污水處理廠設計及解說

(110 年版增修訂)



內政部營建署

中華民國 110 年 11 月 19 日

序

污水下水道的功能，在於改善國民生活環境品質，維護公共水體水質，回收資源循環利用及創造水岸優質水環境。

今日污水處理廠的功能，已非過去的污水處理，只是將污水下水道系統所收集的污水經處理後，合乎放流水水質標準予以放流，更進而為因應極端氣候變遷造成缺水的風險，以回收水資源再利用，形成第二水資源外，其可提供水流舒緩熱島效應，提升都市周邊河川水環境促進潺潺水流，創造都市及水岸土地利用效益等，已成為今日污水下水道及污水處理廠極重要的附加價值。

基於上述的背景，新的污水處理廠設計，除需考量污水處理的功能外，更需考量污水處理過程中，能資源的耗費，重視節能及溫室氣體排放，並進而回收能資源。

污水處理廠的建設，除為達到既有放流水水質標準，更需考量未來水質標準提升得以彈性因應，以及設施的長壽命化和耐地震、防洪等災害之安全，並以生命周期總支出(LCC)最低，為建設評價目標。

本污水處理廠設計及解說，係以污水處理綜合性之處理設施為對象，依各設施之設計考量加以制訂，包括污水處理廠基本設計、抽水站及前處理設施、初級處理、污水生物處理及固液分離、處理水再生利用及三級處理、消毒及放流、污泥處理及其附屬之機電儀控設施，以及污水處理廠之環境設施等設計所需考量之相關技術內容加以編撰，以供設計之遵循。

本設計及解說，乃延續內政部營建署於民國 86 年印行之「污水處理廠最適化設計規範之研訂」、92 年 3 月 12 日台內營字第 0320084950 號令發佈及 98 年 11 月 27 日修正之「下水道工程設施標準」、93 年 2 月頒行之「下水道設計指南」及 105 年 3 月印行之「污水下水道工程設計指針與解說」，繼於 107 年委託台灣水環境再生協會修訂為「污水處理廠設計及解說」。

本次之增修訂，係內政部營建署下水道工程處，就前述 107 年之「污水處理廠設計及解說」版本，先由前處長現營建署副總工程司陳志偉及處長曾淑娟主持，邀請資深主管顏慧敏、盧偉銘、洪俊生為委員，和處本部及北、中、南各分處代表，組成編修研商小組，針對全書逐章進行深度審議，歷經十五次對該版本內容提出增修訂方向，內容鉅細靡遺，備極詳盡，提供原該版本編撰之台灣水環境再生協會，再做滾動式的增修訂。

本版之增修訂，除依前述審議意見為主外，也再補充參考引用國內外最新文獻、案例及相關法令，並補充未來重要設施更新改建設計及配合新放流水標準之處理技術，提升處理設計時考量事項。本版之增修訂，由歐陽嶠暉教授綜整，陳立儒技師修訂第三章，並請謝長原技師協助補充，需進一步增修補充之部分外，另由游勝傑教授動員，進行大、中、小不同規模污水廠之進流水水質時間變動調查，建立本土之水質特性數據。

本增修訂綜整稿完成後，經該協會前理事長張添晉教授主持，邀請莊順興教授、陳伯珍技師、黃台琪技師、黃靖修技師、蘇玫心技師、陳立儒技師、謝長原

技師、王朝民技師及陳松傑技師等資深技師，及營建署水工處魯子裕課長及鄭惠君課長全程參與，歷經數次諮詢審議，得以修正完成，在此謝謝大家的參與及協助。

本版於修正工作完成後，承營建署水工處曾淑娟處長，邀請專家侯嘉洪委員、陳一銘委員、黃良銘委員、羅秋秀委員、顏慧敏委員、盧偉銘委員、洪俊生委員及水工處北、中、南區分處及處本部代表共同審查，提供寶貴意見經再修正後定稿，使得本設計及解說得以更加完整精準，在此謝謝數年來參與的所有專家委員及工作人員，終於完成此一艱鉅任務。

污水處理廠設計及解說(110 年版增修訂)

目錄

第一章　總論 1

1.1 下水道的功能與效益 1
1.2 世界各國下水道發展狀況..... 2
1.3 台灣的下水道建設 3
1.4 污水下水道相關法規 5
1.4.1 下水道法 6
1.4.2 水污染防治法 8
1.5 污水處理系統 9
1.6 從營運管理思考污水處理系統之設計 9
1.6.1 污水處理 9
1.6.2 污泥處理及其利用 11
1.7 下水道建設對環境的影響 11
1.8 下水道面臨之挑戰與超前部署 15

第二章　污水處理廠設計原則 19

2.1 概說..... 19
2.2 設計基本條件 19
2.2.1 污水處理計畫區域..... 19
2.2.2 計畫目標年..... 21
2.2.3 污水集污區的重整合併、廣域化及共同化..... 21
2.2.4 計畫人口..... 21
2.2.5 計畫污水量及設計污水量 22
2.2.6 污水處理分期設計 25
2.2.7 計畫污染負荷量、計畫進流水水質..... 27
2.3 污水處理方法的選定 31
2.3.1 計畫放流水水質..... 31
2.3.2 放流水體 32
2.3.3 污水處理廠進流水量及水質..... 36
2.3.4 污水處理水回收利用..... 37
2.3.5 污泥處理方法及資源利用..... 37
2.3.6 污水處理廠用地及地域特性..... 38
2.3.7 操作維護管理性 38
2.3.8 經濟性 38

2.3.9 污水處理方法及水質 39
2.3.10 三級處理之目的及去除物 39
2.3.11 污水處理程序的選擇 41
2.4 污水處理設施的配置 42
2.5 污水處理廠池槽 50
2.6 污水處理系統繞流之考量 52
2.7 設施間之水位差及導水渠設計 53
2.8 污水處理設施節能 53
2.9 污水處理廠多目標使用 53
2.10 營運初期對策 59
第三章　抽水站及抽水機 62
3.1 概說 62
3.2 抽水站設計基本原則 62
3.2.1 設計流量 63
3.2.2 設置位置、安全、環境及節能 63
3.2.3 抽水機抽水量、台數及容量 63
3.3 離心式抽水機特性 65
3.3.1 離心式抽水機分類 65
3.3.2 抽水機特性曲線 67
3.3.3 比速度及相似定律 70
3.4 管線系統操作曲線特性 72
3.4.1 管線系統水頭損失計算 72
3.4.2 壓力管線系統水頭-流量曲線之繪製 81
3.4.3 管線系統曲線與定速抽水機特性曲線之關係 82
3.4.4 抽水系統操作包絡範圍 87
3.4.5 變速抽水機之操作範圍之訂定 87
3.5 抽水站整體設計考量 89
3.5.1 抽水機吸水口及出水口管線及附屬設備設計考慮事項 89
3.5.2 抽水站之濕井及乾井 92
3.5.3 抽水機進水管線及輔助設計 103
3.5.4 水錘(Water Hammer) 109
3.5.5 孔蝕(Cavitation) 111
3.6 抽水站附屬設施 115
3.6.1 制水閘門及滑動閘門之設計考量 116
3.6.2 抽水站進入口制水閘門之設計及考量 121
3.6.3 攔污柵 122
3.6.4 抽水站之除臭及換氣 135

3.6.5 抽水機之保護裝置 136
3.6.6 抽水站之防爆考量 137
3.7 沉砂池 137
3.7.1 沉砂池的設計考量 138
3.7.2 沉砂池的種類及設計依據 139
3.7.3 沉砂池的附屬設施 155
3.7.4 沉砂處理 156
第四章　污水沉澱處理及初級沉澱池設計 162
4.1 概說 162
4.2 污水沉澱處理 162
4.3 初級沉澱池處理設計 164
4.3.1 沉澱設計時間及水表面積負荷 164
4.3.2 初級沉澱池之形狀及池數 164
4.3.3 初級沉澱池之構造 171
4.3.4 初級沉澱池有效水深 172
4.3.5 初級沉澱池出水高度 174
4.3.6 進流口及整流設備 174
4.3.7 浮渣去除設備及浮渣處理 181
4.3.8 初級沉澱池出水設備 182
4.3.9 長方形池污泥刮泥機 187
4.3.10 正方形或圓形池污泥刮泥機 191
4.3.11 初級沉澱池污泥抽除 197
4.3.12 多層沉澱池 197
第五章　污水生物處理及固液分離 202
5.1 概說 202
5.2 活性污泥法 203
5.2.1 活性污泥法之淨化原理 203
5.2.2 活性污泥法的種類及特性 211
5.2.3 活性污泥法設計及操作因子 212
5.3 活性污泥法處理單元設計 226
5.3.1 設計基本考量 226
5.3.2 各種活性污泥法處理單元及特性 227
5.3.3 各種活性污泥法反應槽設計 244
5.3.4 活性污泥篩選槽設計 253
5.3.5 去氮除磷凝聚劑的添加設計 253
5.4 曝氣及送風系統 258

5.4.1 需氧量 258
5.4.2 必要之空氣量 260
5.4.3 生物反應曝氣槽形狀、構造及槽數 262
5.4.4 曝氣方法的選定 263
5.4.5 鼓風機的選定 264
5.4.6 鼓風機壓力 269
5.4.7 動力、電動機及台數 272
5.4.8 鼓風機室 273
5.4.9 附屬設備 274
5.4.10 機械曝氣方法 276
5.4.11 厭缺氧槽的攪拌動力 279
5.4.12 活性污泥法污泥抽水機、附屬設備及監測設備 281
5.5 去氮或去氮除磷系統設計應有之考量 282
5.5.1 各種去氮或去氮除磷系統設計考量 282
5.5.2 去氮或去氮除磷反應槽應有之設備 283
5.5.3 既設活性污泥法設施之改造 284
5.5.4 水質檢測項目 285
5.6 生物膜法 286
5.6.1 基本原理 286
5.6.2 接觸曝氣法及其特性 287
5.6.3 接觸曝氣法處理系統設計 294
5.6.4 好氧過濾法及其特性 296
5.6.5 好氧過濾處理系統設計 297
5.7 固液分離及二級沉澱池 300
5.7.1 基本原理與特性 300
5.7.2 二級沉澱池設計 300

第六章　水再生利用及三級處理 308

6.1 概說 308
6.2 再生水的利用 308
6.3 再生水利用評估 309
6.3.1 污水處理水再生利用策劃 311
6.3.2 三級處理 312
6.3.3 水再生處理物質及處理程序 313
6.3.4 再生水利用水質 313
6.3.5 處理程序 317
6.4 三級處理種類及程序設計 318
6.4.1 三級處理種類 318

6.4.2 快濾法過濾設計 319
6.4.3 活性碳吸附法設計 323
6.4.4 薄膜分離法設計 326

第七章　污水消毒處理及放流 329

7.1 概說 329
7.2 氯消毒 329
7.2.1 氯消毒理論 330
7.2.2 必要加氯量 330
7.2.3 氯消毒設計 331
7.3 紫外線消毒設計 334
7.3.1 紫外線消毒基本特性 334
7.3.2 設計處理量及水質考量 335
7.3.3 紫外線消毒設備 335
7.4 臭氧消毒設計 338
7.4.1 臭氧消毒特性 338
7.4.2 臭氧消毒設備 339
7.5 處理水放流設施 340
7.5.1 排放口設計及排放位置選擇 341
7.5.2 處理水排放口型式 342
7.5.3 排放口設計其他應考量事項 343

第八章　污泥處理及資源化 344

8.1 概說 344
8.1.1 污泥處理、處置及資源化 346
8.1.2 污泥處理設施設計污泥量 349
8.1.3 污泥處理設施概要 353
8.2 污泥輸送 353
8.2.1 污泥管設計 353
8.2.2 污泥抽水機 355
8.2.3 污泥抽水機房 357
8.2.4 污泥貯槽機房 357
8.2.5 其他附屬設備 358
8.3 濃縮 359
8.3.1 重力濃縮 359
8.3.2 帶濾濃縮 360
8.3.3 離心式濃縮機 362
8.3.4 滾筒式濃縮 364

8.3.5 浮除濃縮 366
8.3.6 各種濃縮設施設計比較 368
8.4 污泥消化處理 369
8.4.1 概說 370
8.4.2 污泥穩定處理設計原則 372
8.4.3 厭氧性加溫消化 373
8.4.4 厭氧無加溫消化 394
8.4.5 好氧性污泥消化槽設計 395
8.5 污泥脫水 396
8.5.1 凝聚劑調理設備設計 396
8.5.2 帶濾式脫水機 398
8.5.3 離心式脫水機 400
8.5.4 壓濾式脫水機 401
8.5.5 螺旋壓濾式脫水機 403
8.5.6 污泥機械脫水設備之選擇評估 404
8.5.7 污泥濃縮脫水機 407
8.5.8 污泥曬乾床 410
8.5.9 污泥處理共同附屬設施 412
8.6 污泥堆肥 413
8.6.1 污泥堆肥化計畫 413
8.7 污泥乾燥 415
8.7.1 污泥乾燥方式 416
8.8 污泥熱處理 426
8.8.1 污泥焚化 427
8.8.2 污泥熱解 428
8.8.3 污泥碳化 429
8.8.4 污泥熔融 431
8.9 污泥資源化利用及最終處置 432
8.9.1 污泥資源化利用及最終處置 433

第九章　污水處理廠附屬設施 439

9.1 概說 439
9.2 廠內污水抽水機 439
9.3 管理中心實驗室 441
9.3.1 管理中心 441
9.3.2 實驗室 442
9.4 維修室及備料貯藏室 443
9.5 臭氣處理設施 443

9.5.1 臭氣控制及處理 453
9.6 池槽分水..... 469
9.7 各種量水設施..... 478
9.7.1 各種量水設施之選用 478
9.8 不同流量之分水方式..... 490
9.9 廠內各種連絡管線..... 492
9.9.1 連絡管線 492
9.9.2 管線、管閥之設置 494
9.10 水位及高程..... 509
9.11 吊車的選定..... 511

第十章　電力儀控及計測設備 517

10.1 概說..... 517
10.2 受變電及配電設備..... 517
10.2.1 法規之遵守 517
10.2.2 受電計畫與方式 518
10.2.3 受變電及配電設備 520
10.3 負載設備..... 526
10.3.1 負載設備對供電之要求 527
10.3.2 動力負載設備..... 527
10.3.3 照明設備 531
10.4 緊急備用柴油引擎驅動發電機設備..... 533
10.5 控制及計測設備電源..... 535
10.5.1 交流控制電源 535
10.5.2 直流控制電源..... 536
10.5.3 不斷電裝置系統 536
10.5.4 電氣計測監控用電源設備 536
10.6 儀控計測設備 536
10.7 自動化與監控系統..... 539
10.7.1 自動化系統之設計 542
10.7.2 監控系統及安全防爆之設計 545
10.7.3 中央監控中心(室)設計 556
10.8 配電室及緊急備用柴油引擎驅動發電機室..... 559
10.8.1 配電室 560
10.8.2 緊急備用柴油引擎驅動發電機室 560

第十一章　廠區規劃及環境安全計畫 562

11.1 概說 562

11.2 廠址地區特性考量 562
11.3 設施配置考量 563
11.3.1 設施配置 563
11.3.2 設施上部加蓋 564
11.4 建築計畫 565
11.4.1 建築計畫 565
11.4.2 一般管理設施(管理中心) 566
11.5 環境保護 568
11.5.1 周邊環境對策 568
11.5.2 廠區道路、排水及綠美化 570
11.6 設施劣化及安全對策 570
11.6.1 設施腐蝕及劣化對策 570
11.6.2 防災及安全對策 571

參考文獻 572

歷次編修研商會議委員意見回覆表 569

第一篇至第七篇審查會議紀錄 意見回覆表 649

第八篇至第十一篇審查會議紀錄 意見回覆表 677

修訂一版審查會議紀錄 意見回覆表 687

第一章 總論

下水是指一般家庭、商業辦公場所及事業場所等，因生活、營業及生產活動所排出的污水及降雨的地面逕流之總稱。

下水道是指收集處理下水而設之公共及專用下水道，包括為輸送下水之抽(揚)水站設施，但不包括灌溉排水渠道及水肥淨化槽(化糞池)等設施。

下水道與自來水系統，同為都市維生活動所必要的基本設施，亦為健全都市發展、維護公共衛生、確保國民健康及保護水域環境不可欠缺的社會基礎設施。藉下水道的建設，不僅具有確保公共衛生、維護都市居民的財產、生命，並創造健全的水循環再利用，建構循環型社會及促進都市水資源再生之效能。

1.1 下水道的功能與效益

下水道不僅是防止雨天時的積水、淹水，同時更是維護生活環境所必要的公共設施，更具保護水體水質的功能。

下水道可達成的效益，包括：

一、確保公共衛生，改善生活環境，減除惡臭及蚊蠅滋生。

二、廁所糞尿沖洗化，解決水肥、化糞池或合併淨化槽的清除處理。

三、降低水媒介疾病。

四、防止水體水質污染。

五、處理水及污泥可有效利用，形成循環型社會。

下水道是維護都市安全、防止淹水、確保公共衛生、維護良好水體及處理水循環利用等，以健全水資源建構循環型社會，進而以流域性綜合治水，達到安全宜居的環境。其效益包括：

1. 公共衛生效益

自來水及下水道的普及完備，可促使糞尿等排泄物順利排除，亦可減少水媒介疾病的發生率。

2. 防止雨水氾濫

豪暴雨造成市區淹水，會造成交通、財產及衛生上的災害，影響地區經濟活動，雨水下水道的建設，可達到防止淹水，確保公共安全，安心宜居的生活。

3. 擴大土地利用

由於雨水下水道的敷設，使得原排水不良地區之低窪土地獲得改善，可擴大供發展利用。例如台北市內湖地區原為低窪地，經敷設雨水下水道系統，其土地已發展成為高度工商業使用區。

4. 減低道路修繕費及河川疏浚費

由於雨水下水道的敷設，改善地區排水，使得道路因地下水位下降而減少受壓損壞，維護費降低，相對的流入河川的砂土也減少，得以減低疏浚費。

5. 淨化水體水質

由於下水道的建設，下水經收集處理後，再利用或排放於水體，而不再直接排放水源地區、河川或海洋，達到防止污染恢復河川水體水質。例如近年台北地區由於污水下水道建設普及，使得淡水河及基隆河河川水體恢復清淨。

6. 解決水肥問題

下水道普及，一般沖洗廁所普及化、化糞池及合併淨化槽拆除，污水納入下水道處理，原應定期抽取化糞池水肥或淨化槽污泥得以解決。例如台北市區每日清理污水下水道尚未普及地區之化糞池清除物，皆載送至迪化污水處理廠與污水一併處理。

7. 促進都市的舒適性

由於下水道的建設，都市生活環境品質提升，形成安全、衛生的社區，地價因而提高，創造出舒適的都市生活。例如台北市由於污水下水道普及改善河川水質，河岸成為高級住宅綠帶，水上親水活動結合沿河文化設施，成為更富國際性的舒適水岸城市。

8. 能資源可回收利用

台灣地區水資源不足，又因全球氣候變遷，使降雨量更不均勻，導致未來水資源將更加不足，影響民生及經濟至大，且隨著世界資源逐漸稀缺，污水廠的氮、磷及污泥能源化回收更顯重要，為構築次世代污水廠之重要改善項目。

下水道收集處理後，所產生的處理水及下水污泥，將是未來珍貴的資源，可依當地用水的不足現狀，做為水資源移轉利用，可滿足不同利用程度水質之需要，以充實水資源利用，目前台灣地區在推動污水處理水回收再利用，除了已有數百處學校、社區外，污水處理廠則已有高雄鳳山、臨海、台南安平及永康、台中福田及豐原等，正進行工程建設階段。另下水污泥中，含有各種可回收利用的資源，包括沼氣、磷、氮，甚至熱能和微生物物質等，如台北迪化污水處理廠乾燥污泥與垃圾共燒，回收電力，皆為未來開發新資源的寶藏。

1.2 世界各國下水道發展狀況

從人類文明的演進，可知道古代都市由於人口密度低，住宅周邊就是農耕地，因之其下水多經由岩石渠道引至農地供做灌溉用。到中世紀都市人口增加，且已有街道排水設施，故開始規範各戶的污水或污物，必須予以收集後，倒入街道的溝渠，最後流入河川，但卻因而造成河川污染，都市環境及衛生狀態惡化。

東西方國家生活文化的差異，與下水道建設文明有極密切的關係。歐洲各國在其現代化以前，其糞尿污水都經收集後排入溝渠，或居住高樓者，直接從窗戶潑出，經由溝渠流入河川，因而造成城鎮環境衛生、傳染病發生，並導致河川嚴重污染，為改善其環境衛生，而著手各大都市開始籌建現代化下水道。

但東方的國家，例如日本、韓國、台灣，早期城鄉內的糞尿，都經由收集，運至市郊供做農作肥料或養殖利用，而未發生太大的環境衛生問題，直至城鄉人口聚居，糞尿超出利用量後，即行倒入河川或海洋，其後在建築技術規則中，規定建築物必須設置化糞池，糞尿先經化糞池消化後，其溢流水再排入溝渠流出，因之現代化下水道的建設起步較歐美晚，亦即因生活文化上的差異，致影響現代化下水道的建設和普及。

到了近代，工業革命後都市人口急速增加，都市環境衛生極差，因而造成霍亂等疾病，死亡嚴重，又因下水直接排入河川，使河川污染更惡劣，而開始建設截流管，將下水導至河川下游排放，以防止污染。制訂法令，並開始下水道系統化之建設，也發展出污水處理技術，以減輕河川污染。歷經一百多年來的建設，各國下水道及污水處理率也已相當普及，都市環境及河川水質獲致充分改善。

隨著社會環境變化、人口增加、工商業發展、能資源短缺、全球氣候變遷、生態環境破壞，但人類的文明持續在進化，因之今日的下水道已是一進化的下水道，不再只是早期 Civil Engineering(民生工程)，而成為一跨領域綜合性的治理學問。

瑞士洛桑管理學院(IMD)每年評估並公布各國國家競爭力，在其評比做為國家進步指標的「基礎建設」項目，共包括五項因子，即基本基礎設施、技術基礎設施、科學基礎設施、健康與環境及教育，而「污水下水道普及率」則屬「健康與環境」指標之一，因此污水下水道普及率，遂成為國家健康與環境進步指標。

1.3 台灣的下水道建設

台灣地區下水道建設，可溯自清朝時期，為築造城牆、官衙、興修水利而建設，其中以劉銘傳擔任巡撫，銳意經營治理，尤以台北市於清光緒十四年(公元 1888 年)起有電燈、自來水及溝渠之施設。

台灣於 1895 年割據予日本，日本為統治台灣於台北設置總督府，為建立一文明都市，亟需就市街之整潔、衛生設備及交通加以改善及建設。適逢當時日本內務省衛生局，聘請英籍顧問衛生工程師巴頓(William Kinnimond Burton)，任期屆滿介聘至台，從事台北、基隆之自來水及下水道調查，此為台灣下水道具有系統規劃之開始。1899 年總督府制定律令台灣下水道規則供依循。

由於巴頓熟稔熱帶及亞熱帶地區之環境特性，並基於：

(1)明溝較暗溝易於清運。

(2)明溝較暗溝造價便宜。

(3)在交通量低時，明溝尚不易肇至危險。

(4)適當井水可供沖洗。

(5)糞便可以糞桶及水肥車收集供肥料。

(6)抽水馬桶尚未使用。

前述因素乃採用石材砌積兩側，底部砌積成半圓形，內面以膠泥粉刷之明渠，為輸送下水之主要構造。嗣各市街之下水溝渠雖採用不同建材構築，惟以明渠收集及排除下水(未含糞尿)為光復前台灣下水道之主要構造物。

下水道工程初為市區改善工程之一，亦為都市計畫事業，隨都市計畫之訂定公告，次第興辦，迄 1931 年共計公告六十九個市鄉鎮之都市計畫，其所興辦之都市計畫事業費，自 1896 年迄 1931 年共計 3,186 萬餘日圓，由於都市計畫事業，包括市街道路開建拓寬、下水道工程設施及土地重劃，下水道工程費用並未另計列，雖無法臆測其設施實況，但對下水道溝渠興建已多所推展，殆無疑義。以主要都市言，台北市自 1895 年，基隆市自 1899 年，台中市自 1911 年，台南市自 1902 年，高雄市自 1908 年相繼開始有都市計畫事業興辦之統計，可窺一斑。

又依據 1899 年公告之台灣下水道規則，曾指定台灣下水道規則施行市鄉鎮，計有基隆、台北、新竹、台中、麻豆、台南、嘉義、高雄、屏東、宜蘭、羅東等處。

台北市於 1895 年開始著手改善市內下水道，構築建造排水溝，次年構築主要道路之下水溝渠。1898 年發佈台北城內市區計畫，並完成部分工程。

台北城內地區之排水計畫，係依巴頓(Burton)及濱野技師之建議，採用開(明)渠式合流法興建，施做懷寧街、館前街及忠孝西路等數條排水溝，為台灣雨水下水道之始，至 1901 年幾已全部完成。城內地區及萬華方面之南、北排水幹線，則於 1906 至 1913 年間完成。下水幹線之排水口，計有兩處設有制水閘門，暗渠之構造為馬蹄形、圓形或矩形之鋼筋混凝土構造，總長為七公里，於淡水河設出水口，總共歷時七年完成。而城內東南方之兒玉町、佐久間町及千歲町，驟雨時仍為下水之氾濫所苦，污水則匯流於老松町與若竹町(今萬華地區)附近，為此，1927 年 12 月乃計畫增設南門下水幹線暗渠，次年公告實施。依 1910 年「台北市區改正圖」(1/5,000)地圖史料內所繪當時之下水明溝，其構築法依各種排水斷面，計有二十種。下水幹線之設計及築造，堪稱都市現代化不可或缺之基礎設施。

其後隨市區之發展逐年增加，在 1938 年為供市區東部一帶排水，開鑿新生南路大排水溝，於 1942 年完成(即今之新生南路道路下之排水系統)。

由於當時房屋多將廁所另築於屋外，並採出糞坑式廁所，由人工收水肥挑運至郊外當作肥料之用，故排入下水道之家庭污水污染量濃度較低，且由於污水量少而河川水量豐沛(因上游尚未構築水庫)，因此不影響河川自淨能力造成河川污染。

台北市於 1933 年修正都市計畫，將松山納入台北市轄區，預計至 1955 年可容納人口六十萬人。其中有關下水道措施方面，除在中崙、中和及三重等地設水肥殺菌池以外，並於淡水河右岸及基隆河左岸，設置六處污水處理計畫用地，以配合排水幹線，將收集之污水於排入河川前先行處理再排放，以避免污染河川。可惜此六處處理廠計畫用地，迄光復時仍未開闢建設，目前除迪化污

水處理廠、雙園水肥投入站及濱江維護場已開闢使用外，其餘均已變更為其他土地使用。

在下水道系統規劃中，台北市於 1942 年完成台北市下水道調查書。該項調查書以都市計畫特一號路線為界，迄第四十一號為範圍之人口稠密區域。計畫面積為 1,696 公頃，計畫人口為四十五萬人。排水區劃為四個集水區，內含十一個排水區，污水處理區分為二，含城內、城北、城東及城南流域區。下水收集排除方法採合流式，但城內區分流、合流併用。設計雨水量為 58 mm/小時，抽水站為 45 mm/小時。設計污水量為每人 300 公升。管渠為暗渠式，採圓形、矩形兩種以鋼筋混凝土構築建造，總工程費為日幣 2,950 萬圓，此為台灣下水道系統，將雨水與污水一併規劃之先河。

迄光復止，台灣雨水下水道完成規劃地區，計有台北市、基隆市、新竹市、台中市、彰化市、台南市、高雄市、埔里、水里、竹山、員林、斗六、虎尾、北港、朴子、麻豆、白河、學甲、鳳山、屏東、豐原、南投等二十三處。

台灣光復後為配合中興新村的新闢，於 1959 年完成分流式下水道系統；台北市為配合民生東路新社區的開發，也於 1970 年完成分流式下水道系統。台北區污水下水道綱要計畫，於 1972 年由聯合國及世界衛生組織協助完成，其後策訂第一期六年計畫，並於 1975 年自士林開始籌建持續至今。高雄市於 1986 年完成仁愛河九處污水截流設施。同一時期台中市黎明社區、鳳山市五甲社區及基隆市安樂社區等，都是為了配合新闢社區而籌建污水下水道系統。

政府有計畫的全面推動污水下水道建設，始於民國 77 年制訂「污水下水道發展方案」，並依社會經濟發展和都市環境之狀況，據以研提第一期六年計畫循序推動，並延續至五期六年建設計畫，屆 108 年共已開辦 90 處系統，建設完成 66 座污水處理廠，可處理污水量約 408 萬 CMD，公共污水下水道普及率 34.68%，累計接管戶數 305.3 萬戶，並完成公共污水處理廠放流水回收再利用示範方案，完成首座水資源回收中心再生廠 2.5 萬 CMD，提供產業用水再利用，並研訂第六期污水下水道建設計畫，預定延續前五期，自 110 至 115 年度，預計至 115 年底，全國公共污水下水道用戶接管數，累計可達 396 萬戶，再生水處理廠至 6 座，再生水量每日 13.9 萬噸之階段目標。

近四年來，在瑞士洛桑管理學院(IMD, The Institute for Management Development) 評比各國污水處理率資料中，依據 2019 年公告之各國整體污水處理率，我國在 48 個評比國家中排名第 39，如表 1.1，顯示有待積極推動。

我國的整體污水處理率，包括「公共污水下水道普及率」、「專用污水下水道普及率」及「建築物污水設施設置率」，其中公共污水下水道普及率部分，截至 108 年 7 月底，累計接管戶數約 305.3 萬戶，公共污水下水道普及率為 34.68%。歷年污水處理率，如圖 1.1。

1.4 污水下水道相關法規

污水下水道之建設與管理，其相關法規有「下水道法」及「水污染防治法」

等。

1.4.1 下水道法

依據下水道法第 1 條：「為促進都市計畫地區及指定地區下水道之建設與管理，以保護水域水質，特制定本法；本法未規定者適用其他法律。」具體規定下水道法之建設，是以都市計畫地區及經指定地區為主，以健全都市計畫地區之生活環境，進而以能達到保護水域水質為最終目的。

表 1.1 105 年～108 年各國污水處理率及 IMD 排名

國家名稱	報告年份							
	2016 年(105 年)		2017 年(106 年)		2018 年(107 年)		2019 年(108 年)	
	排名	污水處理率(%)	排名	污水處理率(%)	排名	污水處理率(%)	排名	污水處理率(%)
哈薩克	39	62	34	65	36	67	35	68.4
愛爾蘭	36	69	33	69	35	67.3	36	67.3
斯洛伐克共和國	37	62.3	35	62.7	38	63	37	65.8
約旦	38	62.1	36	62.1	38	63	38	65
臺灣	42	48.9	37	51.2	41	53.4	39	55.9
哥倫比亞	44	36.7	43	22.2	37	66	40	54.6
沙烏地阿拉伯	—	—	—	—	—	—	41	54
羅馬尼亞	41	49.3	40	49.3	42	49.3	42	49.3
巴西	—	—	39	49.8	43	48.1	43	48.1
克羅埃西亞	43	42	41	44	44	44	44	46

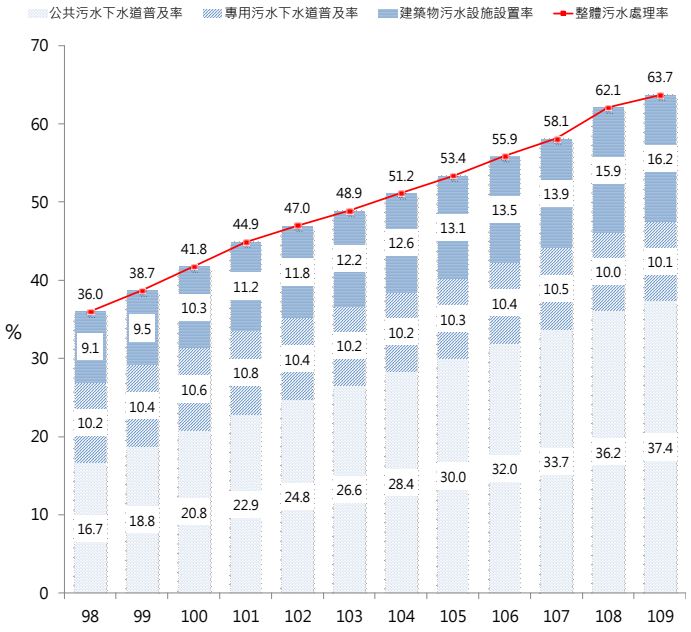


圖 1.1 98 年～108 年整體污水處理率示意圖

另下水道法第 11 條：「直轄市、縣(市)主管機關，應視實際需要，配合區域排水系統，訂定區域性下水道計畫，報請中央主管機關核定後，循法定程序納入都市計畫或區域計畫實施。」亦即下水道計畫之計畫範圍，配合區域排水系統，可將數個都市計畫區或指定地區，納入成為區域性下水道計畫地區，亦即下水道系統範圍，不僅限於個別鄉、鎮、市之都市計畫地區，可考量納入多個鄉、鎮、市，為一區域性下水道計畫地區。

鑒於未來少子化，及部分鄉、鎮、市將因人口減少，污水量也勢必減少，且污水下水道未達一定規模以上，其系統及設施之管理，將因人力不足或技術

不足而將無法有效營運管理，致其單位處理量及營運費不具經適當系統整合後之規模經濟，故未來規劃污水下水道系統，宜朝由直轄市或縣(市)，跨鄉、鎮、市整合鄰近數個行政區為一系統之規模，尤其為達到水體分類水質標準時，更需連結流域區內之數個收集區域成為一系統，形成流域性污水下水道系統，以保護承受水體分類水質標準之需求。

1.4.2 水污染防治法

水污染防治法第 5 條：「為避免妨害水體之用途，利用水體以承受或傳運放流水者，不得超過水體之涵容能力。」即已明訂污水下水道所收集之污水，經處理後，其放流水之水質不得超過承受水體之涵容能力。

水污染防治法第 7 條：「事業、污水下水道系統或建築物污水處理設施，排放廢(污)水於地面水體者，應符合放流水標準。前項放流水標準，由中央主管機關會商相關目的事業主管機關定之，其內容應包括適用範圍、管制方式、項目、濃度或總量限值、研訂基準及其他應遵行之事項。直轄市、縣(市)主管機關得視轄區內環境特殊或需特予保護之水體，就排放總量或濃度、管制項目或方式，增訂或加嚴轄內之放流水標準，報請中央主管機關會商相關目的事業主管機關後核定之。」

由上所述，環境特殊或需特予保護之水體，其排放之總量或濃度，即為水污染防治法第 6 條：「中央主管機關應依水體特質及其所在地之情況，劃定水區，訂定水體分類及水質標準。」

依水污染防治法第 5 條、第 6 條及第 7 條之內涵，即污水下水道之放流水水質，除須符合放流水標準外，若超過承受水體的涵容能力，且承受水體具有環境特殊或需特予保護之水體者，則所排放之放流水總量或濃度，就應同時符合水體分類之水質標準。

水污染防治法第 8 條：「事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施之廢(污)水處理，其產生之污泥，應妥善處理，不得任意放置或棄置。」

水污染防治法第 12 條：「污水下水道建設與污水處理設施，應符合水污染防治政策之需要。中央主管機關應會商直轄市、縣(市)主管機關訂定水污染防治方案，每年向立法院報告執行進度。」水污染防治法，中央主管機關為行政院環境保護署。

為綜合上述，水污染防治法對污水下水道之相關規範，包括：

(1)公共污水下水道污水處理後之放流水水質，應符合放流水水質標準。

(2)下水道放流水之水質，不得超過承受水體涵容能力，若超過且該水體被列為環境特殊或需特予保護之水體，則其排放總量或濃度，就應減量或減排，甚至零排放，以達到符合水體分類之水質標準。

(3)水污染防治法第 8 條明訂，污水下水道系統之廢(污)水處理所產生之污泥，應妥予處理。

(4)中央主管機關，應會同下水道主管機關內政部營建署，共同策劃污水下水道

建設及管理，以達適當放流水質。

1.5 污水處理系統

污水處理是將處理水與污染成分進行分離之設施。污水處理設施，包括污水調節(整)池、沉砂池、最初沉澱池、生物反應池、二級沉澱池、過濾設施(或三級處理設施)、消毒設施及各所需的附屬設備。

污泥處理是將在污水處理過程中所分離的污泥，予以減量化及達到質的安定化之處理。污泥處理設施，包括污泥濃縮設施、消化設施(又分為好氧消化設施及厭氧消化設施)、脫水設施及乾燥設施。

處理設施，係指處理污水的各種設施及其附屬設施，又可分為污水處理設施及污泥處理設施，是由土木、建築等構造物及機電設備所組合而成，係以能使污水達到放流水標準的各種單元及設備組合而成。污水處理系統組成，如圖1.2。

1.6 從營運管理思考污水處理系統之設計

1.6.1 污水處理

台灣有系統推動公共污水下水道之建設，已進入第六期，顯示局部系統已建設使用二、三十年，此已是管理和建設雙頭並進。

對於新闢污水處理系統之標準設計方法，傳統上乃以計畫最大日污水量及計畫流入水質，以及計畫污泥量的計算值，依水力停留時間及水面積負荷等之設計基準值，做為設計的基準。

但對於擴建或改建的污水處理系統，其過去實際處理操作值和原計畫設計值，或有差異時，於經嚴謹評析既有設施之差異值(如最初沉澱池之沉澱去除率等)，則可據以取代一般標準值，以達到降低擴建、改建之建設費及降低操作費等之最適處理設計。

在新建、擴建或改建設計時，應就節能效率、自動化及應用資訊傳達技術「ICT」(Information and Communication Technology)的技術，利用設備狀態監視及時間計畫維護之併同檢討，以縮減設施之生命週期總費用。

新建污水處理系統之設計，除需考量未來放流水質之氨氮限值，對於與既有系統如何整合，以達到新放流水標準外，另對強調水體用途之水質分類標準之達成，應以流域性、區域性或廣域性進行系統評估，更能達水體分類之水質標準值。

污水去氮生物處理設計時，對於缺氧槽脫硝反應，無法提供足夠的有機物碳源時，檢討以最初沉澱污泥繞流補充或採取分段進流之處理方法，以避免長期操作補充外部碳源之不經濟。

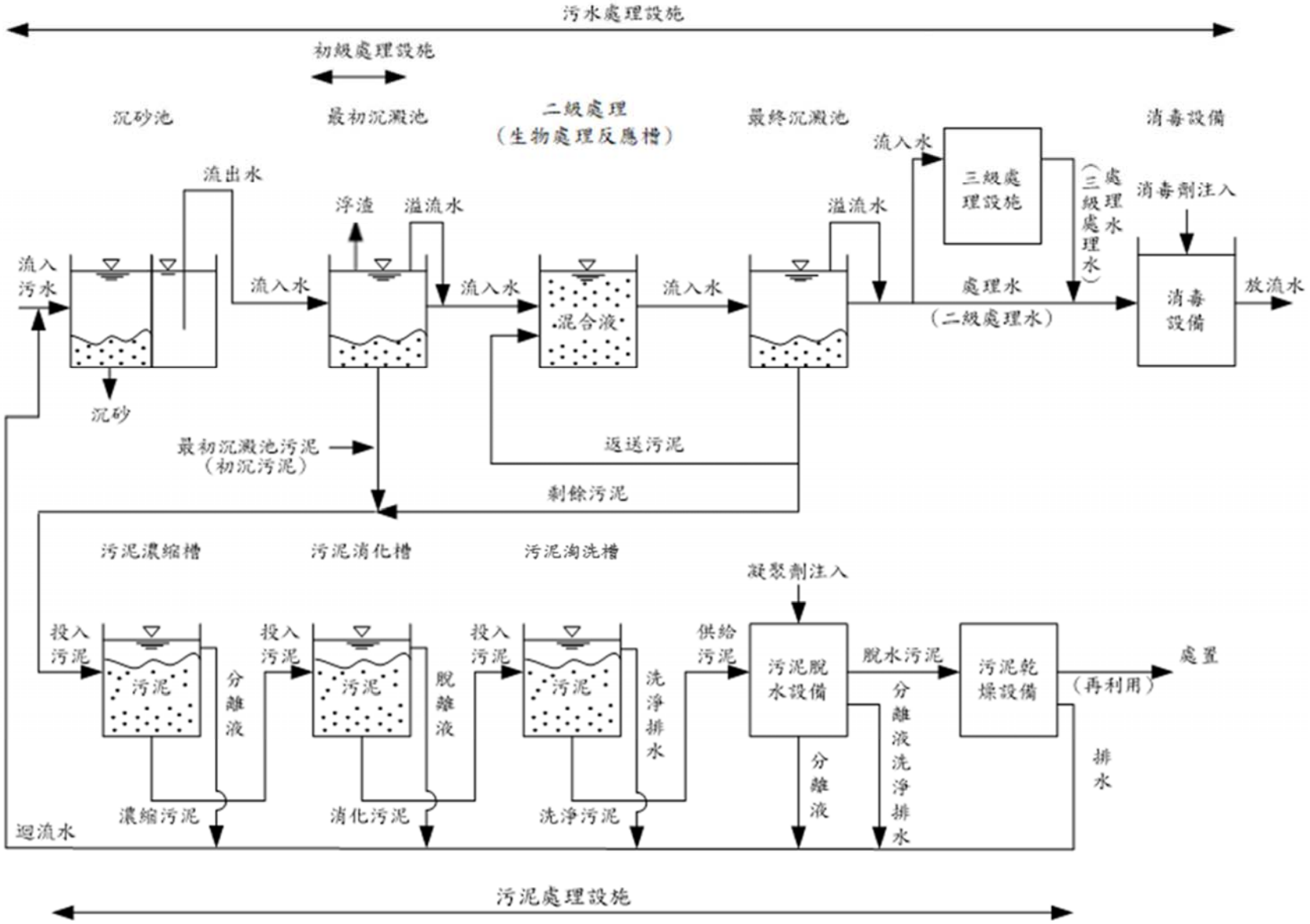


圖 1.2 污水處理系統之組成

對於新建、擴建或改建污水處理設施之設計，從檢討其進流水質、流量變動特性，考量高效率之散氣設備及鼓風機之操作模式，以達最適風量和節能效益。

對於既有處理設施之防災救災考量設計，包括防止淹水、地震等之補強檢討、擴建及改建之設計，應併同考量。

基於水資源的有效利用，於處理設施設計時，應就處理水之再利用及利用效益，列入檢討之必要性考量。

1.6.2 污泥處理及其利用

在污水處理系統中所產生的污泥，其含水率約在 98～99%，約為流入污水量的 1～2%，由於含有多量的有機物，任意放置必發生腐敗惡臭。污泥處理設施係能充分立即處理污泥，以防止腐敗，並達到減量化或利用。

(1)污泥的減量化，包括濃縮、消化、脫水、乾燥等。

(2)污泥的利用，包括土壤改良劑、建設材料、能源利用等。

過去污水處理廠污泥處理的設計，係依據過去的設計指針及解說的標準方法，評估計畫污泥產生量、計畫產生的固體物量的數值、污泥濃縮濃度及含水率之設計基準值，進行設計並營建。但對既有污水處理廠歷經操作後，若發現上述標準設計和經驗檢討後，發現原設計值及實際操作條件有所差異時，則可於相關污水處理設施擴建及改建時，予以修訂更符實際。

另對於擴建及改建計畫，可就其既有設施自開始操作以來所累積之資訊，污泥產生量及含水率，由污泥處理設施所排出的污泥迴流液所產生的負荷量，消耗電力等維護管理所累積的資訊，予以充分檢討後，回饋做為擴建或改建之設計依據。

另外於擴建或改建時，對於既有設施操作上之影響，並朝廣域化、共同化、效率化的檢討，共同集中處理之效益，包括接納其他小規模污水處理廠所產生的污泥、水肥、廚餘，結合成新的生質能或綠能之新基地，以增大擴建之效益。

在檢討新建、擴建或改建時，應就操作自動化、省人力化之資訊傳達技術「ICT」的應用，於維護管理上，兼採設備狀態監視及時間計畫維護之併用，以達到減少設備生命週期的總支出。

於進行新建、擴建或改建之設計時，應就既有同規模相關設施及污水處理廠，對於其污泥處理及處置之問題，詳加瞭解掌握，以為設計之參考，尤其包括污泥濃縮之操作方式與效益、消化效率、脫水污泥含水率、消化瓦斯之產生率及各種能資源之利用效率等，以及未來社會變遷、跨部門與垃圾焚化廠之共同處理或處置之方式，從長期性及廣域性之思維整體納入設計考量，以發揮效益。

1.7 下水道建設對環境的影響

下水道建設除具有正面的效益外，相對的也有在建設期間、建設完成後之長期和短期影響、放流水體之影響及水資源再生中心內之環境影響等問題，因之如何使其影響能降至最低，仍須加以重視及避免。

1. 建設期間之影響

下水道為都市工程之一，無論是管渠施工或抽水站、水資源再生中心施工，皆可能對環境造成長短期性之影響。

(1) 長期性影響：下水道建設完成後，可能產生之長期性環境影響有：

①減少水媒傳染病之發生，改善生活環境衛生。

②有些地區由於水污染之改善，恢復水資源之有效利用，有些地區則因放流水之影響，而改變放流點下游水體之生態環境。

③對下水水資源再生中心四周造成空氣污染、惡臭、噪音等二次影響，然若能妥為設計並適當營運操作，則其影響可大幅減低或完全避免。

④好氧性生物處理轉化有機物為二氧化碳及水，二氧化碳為對溫室效應之物質，也是一負面影響。如表 1.2。

⑤在某些水再生處理廠在除氮過程中，應達到氮化物以 N_2 氣體釋出，避免以 N_2O 釋出，防止對溫暖化之影響。

⑥污泥厭氧消化應避免以 CH_4 排氣，經燃燒或發電後排氣，可減少對溫室效應之影響。

(2) 短期性影響

下水道建設之短期性環境影響，乃指施工期間及營運初期所發生之問題，由於施工過程將導致自然環境水土之破壞；又初期試營運期間各處理設施之功能尚無法充分發揮，可能導致二次公害之發生。

2. 放流水之影響

污水下水道之最大目的，在改善生活品質及確保河川等水體之水質，而流域性污水下水道將上游之污水予以截流收集，雖然可以改善河川水質，但卻無法挹注枯水期河川基流量，因此基於河川生態環境之需要，以能就地處理後補充河川流量為宜。

若採地區性分散處理，污水中所含各種污染物要100％之處理達到天然水的水質，現階段在技術上、經濟效益上仍有難度。污水於水資源再生中心內經處理設施之操作，雖可使可分解污染物質在短時間內分解後放流，而此等放流水中仍會有殘存之未分解物，不能期待迅速藉由水體達到自淨作用，並且會有沉澱等問題，當大雨時水流增加造成沖刷，這些難分解之物質將導致降雨初期下游受到污染；但若污水集中於下游處理後才予以放流，則無此問題。故為防治污染在流量低的之河川或有水源取水的地方，其上游之污水仍以流域性幹管予以收集繞流為宜。

台灣的河川坡陡流短，不若歐美等大陸國家的常流河川，加上水庫蓄水的豐枯水資源調度儲備，枯水期河川流量往往難以支撐生態所需，一般生態學者認為污水應就地處理後放流該河段以增加河川流達到水之自然循環，則

是水質與水量的權衡選擇。另其顧慮大量流量集中下游經處理後放流，會破壞放流地點下游之生態問題，所以需以能合乎水體分類水質標準來考量整合為流域性排放系統，排放至河川最下游，達到不影響放流點下游之水體利用或從放流設施之稀釋、擴散，或於放流點之河道、河灘地進行淨化處理後排放以改善之。

上述雖一般常被認為流域性水質管理之流域下水道可能造成之問題，然由於台灣地區土地利用為高密度之發展，都市周邊地區水資源再生中心用地取得困難，以及河川普遍缺乏稀釋污染之固有流量，具一定經濟規模的系統性或流域性之水再生處理設施，甚至垃圾處理廠，仍是存在的選項。

3. 水再生中心內的影響

水資源回收中心廠內所受到的影響包括來自污水處理系統單元所產生的惡臭與噪音，污泥處理系統單元所產生的惡臭、噪音、空氣污染等，其中惡臭與噪音對水資源再生中心外周圍環境影響較少。至於污泥處理採用焚化法時，廢氣由煙囪排出，屬於固定污染排放源，排出污染物以粉塵與硫氧化物為主，若焚化爐操作不當，亦可能有惡臭與大量粉塵排出之虞。其影響內涵如圖1.3。

表 1.2　污水處理方法及溫室氣體之排出

處理方法	處理過程溫室效應氣體的排出	可加以抑制之溫室效應氣體之排出
好氧性處理	污水中有機碳之氧化，造成CO_2的排出	因曝氣所需動力發電廠致CO_2的排出
厭氧性處理	甲烷氣體的排出或甲烷氣體發電，造成CO_2的排出	甲烷氣體的直接排出，以及因加溫消耗燃料導致CO_2的排出
生物脫氮去除氮化物	脫氮時產生之氮氣（N_2），並非溫室效應氣體	硝化、脫硝過程產生之N_2O的排出
污泥焚化	污泥中之有機碳在燃燒過程，產生CO_2的排出	助燃所使用化石燃料之CO_2的排出及硫化物、氮化物（N_2O、NO_x）的排出

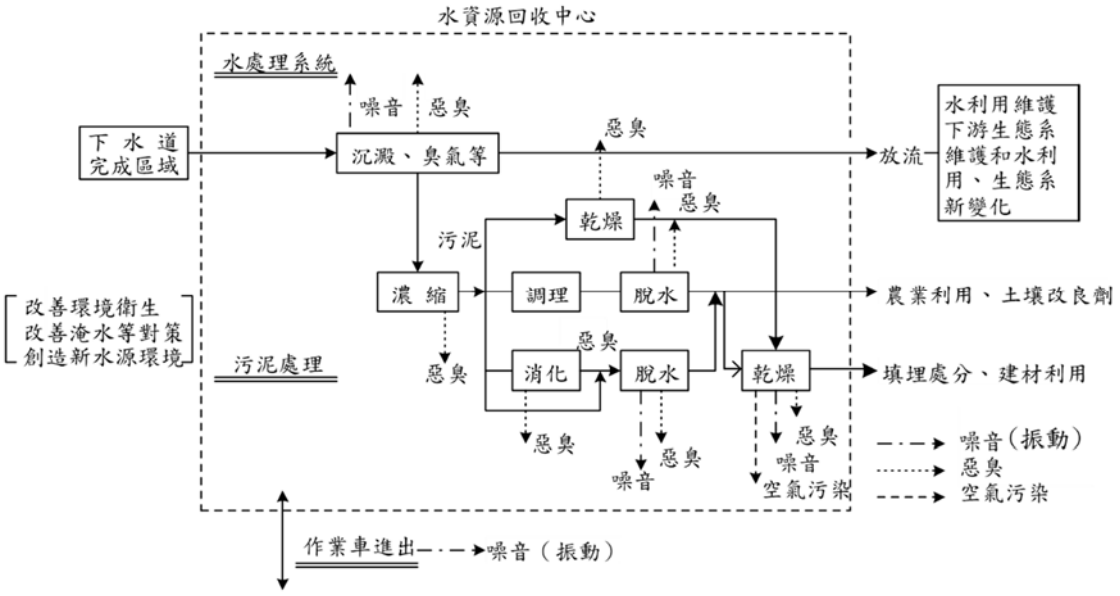


圖 1.3　水資源回收中心對環境之影響

4. 綠營建之下水道建設

為建設提供國民可安全舒適居住的環境，同時形成方便的社會生活，其進行實現的行為過程，即為公共建設。

近年來由於人口都市化，都市基礎建設之需求，國民環保意識的提升，能源及資源愈形匱乏，而人類愈文明，愈尊重生命，也愈尊重自然，重視能源和資源的平衡，因之未來的公共工程將是一朝向「生態、安全、舒適和管理之土木」的新境界發展之趨勢。

而污水下水道建設在於提升生活環境品質，則在建設、營運中，如何減少對環境之影響，並進而創造前瞻性之效益，有賴工程師之智慧及貢獻。

因之為降低下水道建設對環境造成之影響，在下水道建設規劃設計階段，就應針對建設計畫之內涵，做充分之環境影響分析，並擬訂影響減低對策，確實防範於未然，並做有系統的追蹤和評估，以充分發揮下水道建設之正面效益。

1.8 下水道面臨之挑戰與超前部署

台灣地區下水道建設，雨水下水道起步較早，全台建設率已近 75%，但因早期雨水下水道排水設施設計降雨頻率多較低約 2~5 年發生一次，所產生的逕流做為管線排水設計依據，而近年在極端氣候暴雨下，常造成市鎮雨水排水設計不足而淹水，居民蒙受損失之社會問題，亟待改善。

另台灣污水下水道之建設起步較緩，其建設受限於人口老化社會福利需求日殷，導致排擠效應，使得下水道之建設財源受到限制，以及擔負設施維護管理責任之地方政府，也因原有預算分配之排擠效應，其可供轉供新增支出之財源籌措不易，恐增設施因經費影響而有維護不足，導致設施加速劣化影響設施永續利用之效能。

再則台灣地區面臨少子化之嚴峻問題，除全國人口中推估至 2050 年約降至 20,500,000 外，更有部分縣市在其鄉鎮行政區中，由於人口遷移，降幅有達 30%以上者，佔該縣市中行政區總數之二分之一至三分之一之現象，顯示對於尚未建設之行政區，為免有管無水可流或沉積，及有廠無水可處理之虞，皆為未來檢討計畫發展必須提早加以重視者。

另對於各地污水廠污泥之有效處理、減量及最終處置，以及因應因人力及經費不足之龐大操作維護管理，也是一大挑戰，要改變傳統維護管理之模式者，於設計時皆必須有不同的思考及部署。

1. 市鎮淹水及對策

近年來因極端氣候，常造成局部地區豪雨，而由於都市化及部分地下空間利用，因之甚至曾發生地下室淹水死亡及地下捷運淹水之重大事故。

都市防止發生淹水，除應從評估既有設施綜合排水計畫去改善外，包括提升降雨頻率之逕流量以貯留、滲透分區暫存尖峰流量外，對於淹水之預防措施、緊急措施及家屋淹水措施，分述如下：

(1) 預防措施

①下水道管線不均勻下陷，對該不良管線部分，應立即進行修繕或改建。

②對於倒虹吸管、放流抽水站、放流口等，以及暗管及明渠接合點之攔污柵等隨時清理，以防阻礙排水。

③確保雨水井及管線排水機能，定期清掃。

④防潮閘門及制水門類之定時檢點及整備。

(2) 緊急措施

首先調查附近之陰井(雨水井)及側溝的水流狀況，陰井或落水口之流入口，因常遭落葉、垃圾及塑膠袋阻塞影響水流，應於雨季來臨前加強提前清掃，以確保水流順暢。

(3) 家屋淹水措施

家屋易淹水地區，多因周邊屬地盤下陷區為多，對於如何防止水流向低窪地區流動至為重要。另車道上因道路淹水，汽車通行時，將雨水波動帶入住宅區，對於這些地區可以堆置砂包降低淹水至最小限度，居民也應協助因應。

同樣的當豪雨時，管渠內的水壓異常升高，致使宅地內的排水設備因逆流而受害，對於此等地區可事先於雨水陰井上設置逆止閥連接預防。但若管渠內因雨水的逆流可能會導致逆止閥阻塞問題，則應向居民說明。

另居民地下室的淹水，則有賴提高進出口的高程，或以砂包、檔板等事先對應。

2. 未來少子化造成之衝擊及對策

(1) 少子化對下水道之衝擊，包括

①人口老化及減少，政府稅收減少，但社福負擔比例增多，可供下水道的預算將更不足。

②下水道設施，機電設備使用年限 10～15 年、土木設施 35 年。在未來即要新建，又要更新，更新將逐年增多，經費更不足，不僅普及率不易提升，若未能及時更新，設施將破敗不堪使用。

③未來某些地區因人口減少，污水量減少，每人每日用水量減少，污水量更少，將造成管線流速降低，因淤積而加速腐敗。污水廠污水量減少，單位處理成本增高。

④人口少子化後職業選擇性高，恐更造成下水道建設及設施維護人力不足，將更加速劣化。

(2) 人口減少及設施老化之下水道因應

①台灣都市計畫面積內之總人口，約為總人口之 85%，依法為建設目標，建設期程上需 40 年以上。

②人口在減少中之市鎮及市鎮周邊聚落，未來有可能更加衰退甚至廢村者，重新檢討下水道計畫地區之優先性、統合或以合併式淨化槽或聚落式污水處理設施替代，或以截流方式於河灘地採生態處理等。

③檢討建設成本，提升下水道管材材質及延長各種設備的壽命。強化管理模式，減緩老化，土木設施以能達 70 年壽命為目標，以延緩更新的來臨。

④避免下水道設施過度設計，尤其一般市鎮計畫人口密度之引用，宜更保守，污水處理廠更分多期建設。

⑤加強下水道設施的維護管理，延遲老化。

⑥建立受益者付費，收取污水下水道使用費，補充營運財源。

3. 污泥跨區集中處理或擴大為生質能中心

考量除為跨行政區統合污水處理中心之污水處理外，其產生之污泥，除對於中心市鎮規劃為處理該廠之污泥外，檢討擴大地區性聚落污水處理設施之污泥、合併淨化糞污泥、廚餘及市場廢棄物，或容納水肥處理、堆肥處理場之廢液處理，以形成地區性生質能中心，聚集生質能發電，除為能源自給，並達到地區或本身之能源自立，以及處理水轉供再生水利用。藉統合、擴大生質能處理之潛能，提升污水處理中心之魅力及地區據點之機會。

4. 藉 ICT 活化污水處理產業提高效能

藉 AI 或自動化建設污水處理廠廠站，朝向自動化及遠距管理，以及各種檢測效率化推動，進而達到下水道管線維護管理台賬系統之大數據的活用管理效能，以發揮污水處理系統的價值和魅力，使下水道成為「看得到」之先端技術效能，或可誘導優秀人力加入，同時提升下水道整體效能。

(1) 檢討設置下水道光纖系統，促進下水道維護管理，以提升管理效率，包括：

①遠距監視、遠距操作。

②區域性系統流量監測。

③機電設備振動、裂紋、異溫、異音之監測。

④各種旋轉機器鼓風機、抽水機、異常振動、異常溫度之全天候預防檢測。

⑤各種閘門、截流設施閘門之遠距控制

⑥下水道幹管地震龜裂、管路老化等之檢測，震災後龜裂段及老化預測等之功能。

(2) 維護管理的區域化、共同化檢討，以能發揮緊急時可互相共助對應之最大效果及經濟效益。

第二章 污水處理廠設計原則

2.1 概說

本章係就污水處理廠設計時，應綜合考量的基本事項，包括設計污水量及設計水質的估算，於規劃設計時以階段性分概念設計、基本設計，再進入細部設計，而於細部設計時，應將其未來進入施工階段及營運階段，所需的整體性、方便性、節能及經濟性等內容加以納入考量。次就污水處理是否可合乎污水處理放流水標準或水體分類水質要求限值，或環評承諾下之放流水質及其處理方法、處理程序的選擇做完整的敘述。另就污水處理設施的配置和構造、污水處理系統繞流、設計可回饋的事項等予以充分列出，以配置案例詳加分析討論，並就污水處理廠站多目標利用的型式，以能朝友善的環境地標，以促進公共設施的親和性，也應能因應污水處理廠營運初期所面臨之污水量少、水質低，於設計時應予考量之對策，做整體綜合性的說明。

2.2 設計基本條件

2.2.1 污水處理計畫區域

污水處理計畫區域係指污水下水道系統，其管線擬收集的範圍，其決定應從投資的效益、經濟性、維護管理等加以評估，依廣域性、共同性，並就相關區域及流域特性，檢討污染削減目標及承受水體水質目標決定之。

解說：

污水處理區域，是針對一定區域之都市計畫區域為範圍，檢討其現在及未來人口變動，以及污水經收集處理後，放流水排放點之水質要求等目標，並考量將來污水處理廠之長期營運之經濟性，將都市計畫地區內人口較密集地區之污水鏈結成一污水處理系統。

為促進區域性之經濟效益，以及減少放流水之排放點，計畫區域宜朝區域性、流域性、廣域性及共同性檢討，即使在一都市計畫區內，亦可依其係市區或郊區及分散性聚落之人口密度及經濟性，評估將其納為一污水處理系統或分別以聚落性社區之污水下水道系統，或以建築物污水處理設施併同存在，以界定其區域。惟其污泥處理資源化利用，則可以共同化集中處理考量。各種規模污水處理設施之分區處理，如圖 2.1。其考量如下：

1. A 類社區聚落數處，經評估結果，以納入既有系統較為適合，因而併入既有市鎮之污水下水道系統。
2. B 類社區聚落，則因距既有市鎮之污水下水道系統較遠、地形及距離等因素，而以社區聚落規模設置獨立之污水下水道系統為宜。
3. C 類聚落內因人口較分散，污水量少，在收集管線之最小管徑及一定坡度下，致造成固體物的沉積而腐敗，反而成為公共衛生問題，且在經濟上並不適合鏈結成為污水下水道系統，故規劃為建築物污水處理設施(合併淨化槽)之地

區。

4. D 類聚落地區為分散性既有村落，故規劃為可維持其既有的單獨化糞池之村落。

污水下水道之建設，除所需建設費甚為龐大外，其設施之操作操作維護費，也依規模相差很大。

在人口密度較低之地區，生活污水採就地處理(合併淨化槽)及排放，其個別設置費皆相同，但集中處理之污水下水道，一般在人口密度較小地區較高，若有一定住戶數以上，將其污水以管線收集納入集中處理，其管線埋設工程費及操作維護費，將隨著人口密度愈大，其每人之費用將愈低，其變化依人口密度而異，如圖 2.2。

評估污水下水道系統之開辦，需從相關法令、放流水標準之流量分級、都市化狀況、經濟性，並配合放流水標準等做為檢討建設之基準，且以未來人口減少可較緩以及人口較密集之地區為優先，同時考量可世代共享，以發揮投資之效益。

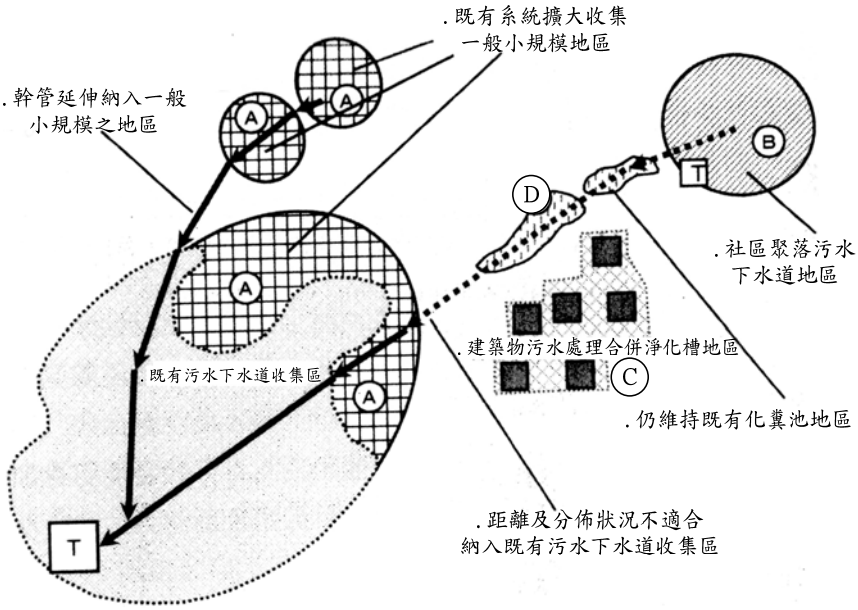


圖 2.1 各種規模污水處理區域之考量

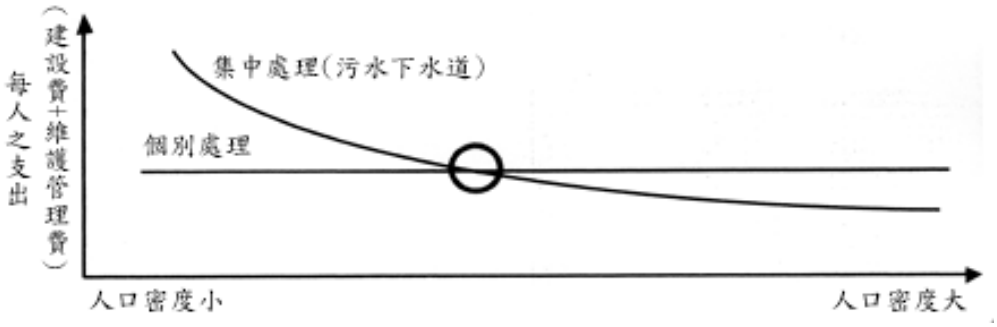


圖 2.2 污水個別處理及集中處理之每人費用示意圖

2.2.2 計畫目標年

1. 污水下水道計畫之目標年，為從基準年起約 20～30 年為範圍決定。
2. 污水下水道設施設計時，若有進流污水量減少，則應針對設施的處理量變動狀況，進行處理設施的計畫目標年檢討修正。

解說：

1. 污水下水道系統的管渠及處理廠之土木設施標準耐用年數約 50 年，尤以管線經埋設後，要進行階段性的擴建有其困難，因此必須預為規劃長期的使用年限。
2. 台灣人口已自 2020 年達到尖峰二千三百六十萬人，預估將開始逐年遞減，至 2050 年人口將降至一千六百萬人至一千八百萬人，因此必須考量將來設施的營運管理，而配合計畫目標年之營運管理，包括設施的改建、整合、廣域化之營運管理為目標，而設定計畫目標年。

2.2.3 污水集污區的重整合併、廣域化及共同化

1. 對於既有的污水集污區，須檢討同一行政區域內鄰接污水集污區之合併重整，進行廣域化的檢討。
2. 相鄰近污水下水道系統之重整合併、污泥處理或資源化利用之共同化。

解說：

1. 因應未來人口之變化，需檢討既有污水處理廠與鄰接污水集污區之合併重整，其具體做法為優先檢討同一行政區內之污水集污區之重整，包括：
   (1) 跨越既有污水集污區域或行政區之廣域化。
   (2) 階段性既有污水集污區的重整、廣域化。
   (3) 設施重建或功能提升時，進行共同處理設施之重整計畫。
   (4) 以直轄市或縣市為行政區考量進行重整。
2. 相鄰近污水處理系統的鏈結，包括因既有系統改建，而短期間將污水部分抽送至鄰接處理廠或管線鏈結，或因應地震防災之對策。
3. 集中化係為提升污泥處理效率或資源回收效率，將污泥抽送或搬運至鄰近污水處理廠集中處理之共同處理措施。

2.2.4 計畫人口

計畫人口為計畫目標年、計畫區域內，人口之預測，包括常住人口及移動人口，分別估算之。

解說：

計畫目標年計畫人口之推估，必須依都市將來之發展狀況，並檢討將來各種社會因素後決定之。

一個都市，一般發展至某一程度，人口就不會再增加，甚至近年來有少子化現象反而逐年減少，故依都市土地使用計畫，按飽和人口密度法及年輪推估法等各種推估法加以比較，並考量社會變遷等因素進行預估。而對於都市立體

化及都市更新等問題亦應充分加以檢討，有些辦公地區白天比夜晚人口多，而一些夜間活動地區則反之，因此人口之推估，應朝常住人口及移動人口，分別估算之。

1. 常住人口

常住人口以過去人口之變動資訊為基礎推估未來之人口，可收集內政部對各都市計畫地區之人口推估資訊做為參考。若自行進行推估，則應依人口變化之趨勢，分別進行不同公式之推估。包括對未來人口呈少子化減少地區，為能反應出人口變動趨勢，其變動之推估方法，可採年輪推估法。在人口呈穩定的市鎮，則可以曲線延長法的簡易法推估。人口呈增加發展的市鎮，則可以最小二乘法推估。

2. 移動人口

在計畫區內若有大規模商業區，可能白天流入人口多，影響污水產生量大，則以下列另估之：

(1)辦公地區、商業活動地區及學校地區等，以單位面積上班人數、上學人數估計之。

(2)觀光地區可分為常態性或季節性，若為常態性則可視依其歷年活動性估計常住及非常住人口。若屬季節性的移動人口，則應調查其尖峰週期變動，評估其影響估計之。

2.2.5 計畫污水量及設計污水量

1. 污水量區分為生活污水量、事業廢水量、觀光污水量、其他污水量及地下水入滲量等。 2. 特定遊憩觀光地區的污水量，則需另行估算，並以事業廢水分類之。 3. 計畫污水量，包括平均日污水量、最大日污水量、計畫最大時污水量。最大時污水量即尖峰污水量。

解說：

1. 生活污水量的內涵

廣義的生活污水，包括家庭污水、機關、學校、公園綠地、遊憩地區、商業區等所產生之生活污水，以每人每日平均污水量推測，並參考計畫目標年、區域內給水計畫之每人每日平均用水量決定之。其規劃原則如下：

(1)家庭污水量

家庭污水量＝目標年計畫人口數×每人每日污水量。

每人每日污水量，係以計畫區內每人每日用水量為基準，乘上一適當轉換係數推估而得。

每人每日污水量＝每人每日用水量×轉換係數(因地制宜，一般約為0.80～0.90之間)。

每人每日用水量，原則以計畫目標年每人每日用水量預估，約 180～250 公升(經濟部水利署規劃)，依實際加以推估。

(2)機關單位污水量

機關污水量，以單位面積污水量推估。

建議採 50 CMD/公頃為機關之單位面積污水量，或依組織編制及實際調查估算。

(3)學校單位污水量

學校污水量，以單位面積或每一學生(含教職員污水量推估，其值約介於 15～73 CMD/公頃)。

建議採 50 CMD/公頃，為學校之單位面積污水量。

但已發展飽和之區域，或人口較少之偏遠地區，仍以實際調查之污水量估算。

(4)公園綠地污水量

都市計畫區內之公園綠地，污水來源主要為遊客盥洗所產生，以單位面積污水量推估。

建議採 10 CMD/公頃，為公園綠地之單位面積污水量。

(5)遊憩觀光地區污水量及水質

遊憩觀光地區污水量，以每人次每日污水量推估。由於遊憩觀光地區污水量及水質，與該地區衛生排水設備狀況有關，依日本調查統計，建議屬住宿者為常住家庭污水量的 50%，污水水質負荷 BOD、SS 及 T-P 為 85%、T-N 為 95%。不留宿者為常住家庭污水量的 15%，BOD、SS 及 T-P 為 25%、T-N 為 40%。(依日本下水道設施計畫、設計指針及解說，2019 年版)。

(6)商業區污水量

商業區污水量，以單位面積人口密度污水量推估。

但已發展飽和之區域，仍以實際調查之污水量估算。

(7)事業廢水量

事業廢水量，以單位面積污水量推估。

都市計畫區內，零星事業用地所產生之事業廢水量，[如醫療院所、洗衣、大型賣場、小規模食品業(麵包等)]，建議採 10 CMD/公頃估算。大型工業用地所產生之事業廢水量，是否納入公共污水下水道系統，需另行考量。

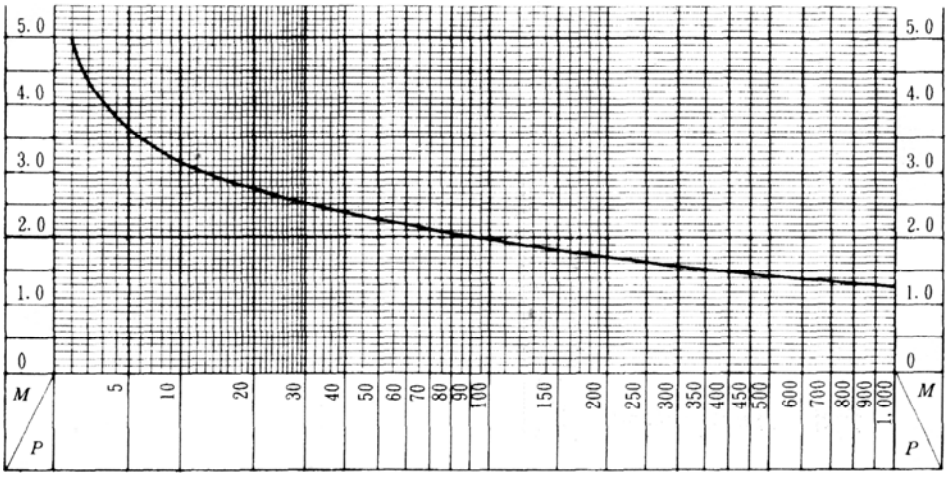
(8)平均日/最大日/最大時污水量

家庭污水量與各種生活活動及事業廢水量之總和，為平均日污水量，在一般小規模污水下水道系統，平均日污水量約每人每日 200 公升。因廣義生活污水量，已涵蓋家庭、機關、學校、公園綠地、遊憩地區、商業區等污水量，故上述(1)～(6)各類污水量推估，僅提供收集系統計算參考，應避免重複計算。同時應就歷年自來水用水量加以比對確認，如台北市 109 年用水量分析，每人每日生活用水量為 335 公升(生活用水量/轄區人口數)，每人每日家庭用水量為 212 公升(家庭用水量/轄區人口數)。生活用水量＝售水量－工廠－市政－支援台水-其他用水量。家庭用水量＝生活用

水量－非屬家庭場所用水量(含機關、學校、營業等用水)。

最大日污水量建議值，為平均日污水量乘上 120%～140%估算，並依人口規模酌定之。

另計畫最大時污水量的決定，也可利用 Babbitt 公式，如圖 2.3。該公式可自小口徑至幹管，依計畫人口求出最大時污水量，依據計畫人口求出之最大日污水量之平均 1 小時當量，乘上 Babbitt 係數 M，即可算出最大時污水量。



備註：$M=5\times P^{1/5}$

P<1.0(1,000 人)時，M＝5

P>1,000(100 萬人)時，M＝1.25

P：1,000 人為單位之人口數

圖 2.3 Babbitt M 曲線

引自「下水道施設計畫、設計指針と解說」

(2019 年版，日本下水道協會)

(9)入滲量

入滲量(入滲及入流量)，應充分考量計畫區地下水位高低、降雨、土質、污水管線規模、管材、長度、管徑、接頭型式、人孔型式、管線施工方法及維護品質等因素。

建議採最大日污水量之 10%～15%估算，其水質負荷設定為 0(BOD、SS)，特殊情形可視實際情況考量其入滲量或水質負荷。

2. 污水量及水質

特定遊憩觀光地區之污水量及水質，依其規模、季節、例休假日，分別調查其活動特性估計之。

在一般都市計畫區內之遊憩觀光活動人口所產生之污水量，已涵蓋計畫區內之每人每日生活用水量，經換算為都市計畫區內常住人口之每人每日污水量中，但若在一特定遊憩觀光地區，其污水經收集後要納入公共污水下水道，但其污水量經評估會影響到公共污水下水道污水處理廠之穩定操作時，

則不適合納入，而應依事業廢水相關規定自行處理後排放。

特定遊憩觀光地區活動人口所產生的污水量及水質，應就其住宿為常住、遊客住宿及非住宿分別調查，其產生之污水量及水質，則依前第(5)項遊憩觀光地區污水量及水質推估之。

3. 計畫設計污水量

計畫污水量乃污水下水道設施設計之基本數據，係調查當地自來水公司在收集區域內之實際售水量，以及實際用水人口數，據以推估每人每日生活用水量，同時調查有無使用地下水或山泉水而整合推估之。

(1)平均日污水量，係指計畫目標年一年內，總產生污水量除以 365 日之值，為預估使用費及操作維護費之用。

(2)最大日污水量，係指計畫目標年內一年間，最大一日產生之污水量，主要為供處理設施設計依據之用。

(3)最大時污水量，係指發生最大日污水量時，其尖峰時段一小時或一年間最大一小時之污水量，主要可為管線、抽水站及處理廠內的前處理等設施之設計依據。

(4)計畫設計污水量

污水量以實測值推估，有困難時再依單位污水量估計。各污水量之和加入滲量，即為計畫設計污水量。

計畫平均日污水量為平均日污水量與入滲量之總和。

計畫最大日污水量為最大日污水量與入滲量之總和。

計畫最大時污水量為最大時污水量與入滲量之總和。

2.2.6 污水處理分期設計

污水處理分期計畫，應依計畫區目前及未來人口、污水量之變化，依最終規模分別考量之。

解說：

鑒於未來人口少子化趨勢、人口將因產業活動變動及社教等，導致未來人口變動之可能性，同時考量用水量的變動、管線及工程上用戶接管進度等因素，加以充分分析檢討，以免污水處理設施過早投資造成維護操作問題及不經濟性，而應採分期建設，但管線系統則依人口較密集、容易用戶接管之地區，優先以計畫目標年之計畫人口污水設計量一次設計，而分為：

1. 大規模污水處理計畫，原則上分三期建設，第一期以計畫目標年之三分之一污水計畫量設計。當其進流污水量達到八成設計量時，再檢討第二期的設計量。
2. 中規模污水處理計畫，原則上分二期建設，第一期以計畫目標年之二分之一污水計畫量設計。當其進流污水量達到八成設計量時，再檢討第二期的設計量。
3. 小規模污水處理計畫之設計分期，可參考「臺灣地區小規模污水處理設施設計及解說」第 2.3.12 節。

4. 污泥處理設計分期，可參考本設計及解說第 8.1.2 節。

2.2.7 計畫污染負荷量、計畫進流水水質

1. 計畫污染負荷量，以生活污水、事業廢水及觀光污水分別估計之。 2. 計畫進流水質，依負荷量之合計除以計畫平均日污水量估計之。 3. 既有污水處理廠之進流水水質及其變動。

解說：

1. 生活污水污染負荷量，可依每人每日產生之污染量(g/人・日)估計，平均 BOD 約 34～43 g/人・日，SS 約 34～43 g/人・日，T-N 約 9g/人・日，T-P 約 1.0g/人・日。事業地區之計算甚不容易，但可比照生活污水負荷估計之。觀光客之污染負荷量，常住人口與一般生活污水相同，住宿客以常住人口的 85%計，非住宿人口則以 25%估計之。
2. 污染負荷量之總和，除以計畫平均日污水量，即為計畫進流水水質。一般生活用水量若為 180～250 L/人・日，則原污水 BOD 及 SS 濃度約為 136～239 mg/L 之間，故取較穩定的 140～240 mg/L，T-N 約 36～50 mg/L，T-P 約 4.0～5.5 mg/L(設計時得依實際情況，適度調整說明之)。一般污水水質，如表 2.1。
3. 基於上述說明，本污水處理廠設計及解說，建議污水下水道每人每日 BOD 及 SS 之污染量，採每人每日 40 g(34～43 g)。滲入水之污染量以零估算，事業用地事業廢水污染量另計，設計用水量每人每日 180～250 公升，則原污水 BOD 及 SS 之濃度各約為 140～240 mg/L，T-N 約 36～50 mg/L，T-P 約 4.0～5.5 mg/L，惟設計時應參考就近污水處理廠實際流入水之水質設定之。

表 2.1 一般污水平均水質

水質項目	平均水質(mg/L)
pH	6.5～7.5(無單位)
$BOD_{5,20℃}$	140～240
COD_{cr}	250～350
SS	140～240
TS	600～700
T-N	36～50
T-P	4.0～5.5

台灣各既有污水處理廠在現階段，因部分為初期建設，水質尚不具代表性，又部分系統包括截流污水、化糞池未拆除及雨污水未徹底分流者，故實際進流水濃度皆偏低。

為建立在地化污水處理廠之進流水時間流量變動及水質變動特性，特由游勝傑教授等人，就目前較具代表性的污水處理廠，進行平日及假日變動之差異調查並做分析，可供做為設計考量之重要參考資訊。

游等人(2021)針對大規模(桃園北區)、中規模(北大特區)及小規模(三鶯)三座不同規模水資源回收中心進行連續 48 小時原水水質調查，其調查時間自周五 0 時至周六 24 時止，含跨平日與假日兩個時段，以每個小時採樣一次之頻率進行，桃北流量變動調查結果如圖 2.4 所示，水質分析結果如圖 2.5 所示，氮、磷水質分析結果如圖 2.6 所示。

由圖 2.4 可看出桃園北區水資源回收中心之進流水水量，在平日平均為 2,072.7 CMH，假日平均為 2171.2 CMH，假日較平日高出 4.5%，但其差異性不大，顯見大規模污水處理場平假日之水量無明顯差異，另無論平日或假日，其水量的尖峰時間均約為 0 時前後。

圖 2.5 則顯示桃園北區水資源回收中心之化學需氧量於平日平均水質濃度為 249.3 mg/L，假日平均為 310.8 mg/L，假日較平日高出 19.8%，平日尖峰時間約為 10 至 22 時，假日最高峰出現在 22 時前後。而生化需氧量平日平均濃度為 90.9 mg/L，假日平均濃度為 98.2 mg/L，差異性不大，平日沒有明顯的尖峰值，而假日最高峰出現在 15 時。懸浮固體物平日平均為 36.1 mg/L，假日平均為 21.0 mg/L，平日較假日高出 41.7%，平日最高峰出現在 7 時，假日最高峰出現在 14 時。

圖 2.6 顯示氨氮平日平均水質濃度為 35.9 mg/L，假日平均濃度為 38.6 mg/L，總氮平日平均濃度為 46.1 mg/L，假日平均濃度為 42.7 mg/L，兩者平日均較假日高出 7.3%，平日與假日尖峰時段均為 12 時前後。總磷平日平均為 5.1 mg/L，假日平均為 6.1 mg/L，假日較平日高出 15.8%，平日最高峰出現在 10 時前後，假日則出現在 14 時前後。

整體而言，表 2.2 顯示桃園北區水資源回收中心化學需氧量、生化需氧量、懸浮固體、總磷與總氮之平均值為 280.1 mg/L、94.5mg/L、28.5mg/L、5.6mg/L 以及 44.4mg/L，尖峰係數在 1.5-2.2 不等。

北大特區流量調查結果如圖 2.7 所示，生化需氧量、化學需氧量及懸浮固體之水質分析結果如圖 2.8 所示，氮、磷水質分析結果如圖 2.9 所示，相關水質數據如表 2.3 所示。

由圖 2.7 可看出北大特區之進流水水量平日平均為 501.1 CMH，假日平均為 533.6 CMH，假日較平日高出 6.1%，無論平日或假日，其尖峰時間約為 22 時至 2 時，離峰時段為 3 時至 7 時。圖 2.8 則顯示北大特區之化學需氧量平日平均為 357.6 mg/L，假日平均水質濃度為 321.4 mg/L，平日較假日高出 10.1%，平日最高峰出現在 19 時，假日尖峰時間在 7 至 12 時。生化需氧量平日平均為 116.5 mg/L，假日平均為 119.5 mg/L，差異不大，平日在 8 至 22 時濃度較高，無明顯尖峰值，假日尖峰則在 11 時左右。懸浮固體物平日平均為 103.6 mg/L，假日平均為 84.7 mg/L，平日較假日高出 18.3%，平日與假日尖峰均出現在上午 7-8 時左右。

圖 2.9 所示氨氮平日平均水質濃度為 35.4 mg/L，假日平均為 39.4 mg/L，總氮平日平均為 39.7 mg/L，假日平均為 45.2 mg/L，假日均較平日約高出 10-12

%，無論平日或假日最高峰皆出現在 8 時。總磷平日平均為 5.8 mg/L，假日平均為 6.4 mg/L，假日較平日高出 9.3%，無論平日或假日最高峰皆出現在 8 時。

整體而言，表 2.3 顯示北大特區化學需氧量、生化需氧量、懸浮固體、總磷與總氮之平均值為 339.5 mg/L、118.0 mg/L、94.2 mg/L、6.1 mg/L 以及 42.4 mg/L，尖峰係數在 1.7-3.1 不等。

三鶯水資源回收中心流量調查結果如圖 2.10 所示，生化需氧量、化學需氧量及懸浮固體之水質分析結果如圖 2.11 所示，氮、磷水質分析結果如圖 2.12 所示，相關水質數據如表 2.4 所示。

由圖 2.10 可看出三鶯水資源回收中心之進流水水量平日平均為 188.5 CMH，假日平均為 219.1 CMH，假日較平日高出 14.0%，無論平日或假日，其尖峰時間約為 0 時至 2 時，離峰時段為 3 時至 7 時。圖 2.11 則顯示三鶯水資源回收中心之化學需氧量平日平均為 289.1 mg/L，假日平均為 311.5 mg/L，假日較平日高出 7.2%，平日最高峰出現在 13 時，假日最高峰出現在 21 時。生化需氧量平日平均為 122.6 mg/L，假日平均為 160.2 mg/L，假日較平日高 23.5%，平日最高峰出現在 13 時，假日尖峰則在 7 時至 12 時左右。懸浮固體物平日平均為 166.5 mg/L，假日平均為 106.6 mg/L，平日較假日高出 36.0%，平日最高峰出現在 13 時，假日尖峰時間在 8-20 時。

圖 2.12 所示氨氮平日平均為 47.5 mg/L，假日平均為 53.9 mg/L，假日較平日高出 12.0%，平日尖峰時間約為 6-8 時，假日最高峰時間出現在 6 及 16 時，總氮平日平均為 60.6 mg/L，假日平均為 62.3 mg/L，假日較平日高出 2.7%，平日尖峰時間約為 6 時至 8 時，假日尖峰時間約為 6、10、16 及 20 時。總磷平日平均為 4.1 mg/L，假日平均為 5.4 mg/L，假日較平日高出 23.2%，無論平日或假日尖峰時間皆出現在 8-16 時。

整體而言，表 2.4 顯示三鶯水資源回收中心化學需氧量、生化需氧量、懸浮固體、總磷與總氮之平均值分別為 300.8 mg/L、142.2 mg/L、136.6 mg/L、4.8 mg/L 以及 61.5 mg/L，尖峰係數在 1.5-4.9 不等。

綜整上述三座大、中及小規模水資源回收中心，可看出化學需氧量平均約在 280.1-339.5 mg/L，三廠平均為 306.8 mg/L；生化需氧量平均約在 94.5-142.2 mg/L，三廠平均為 118.2 mg/L；懸浮固體平均約在 28.5-136.6 mg/L，三廠平均 86.4 mg/L；總磷平均約在 4.8-6.1 mg/L，三廠平均為 5.5 mg/L；而總氮之平均值約在 42.4-61.5 mg/L，三廠平均約在 49.4 mg/L。可看出除懸浮固體外，其餘水質項目大、中及小規模之差異均不到 10%。

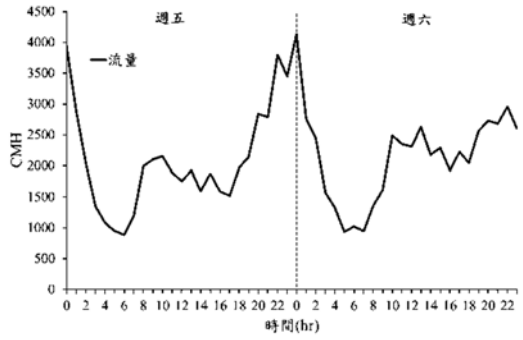


圖 2.4　大規模系統進流水流量時間變動(桃北為例，2021 年)

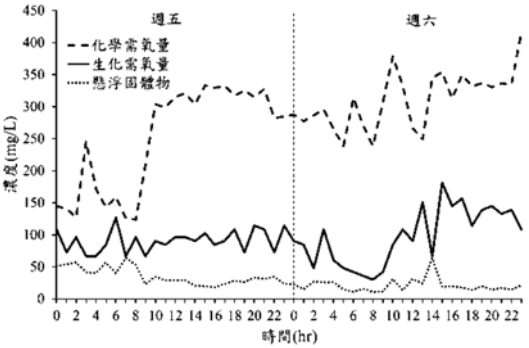


圖 2.5　大規模系統進流化學需氧量、生化需氧量及懸浮固體物之時間變動(桃北為例，2021 年)

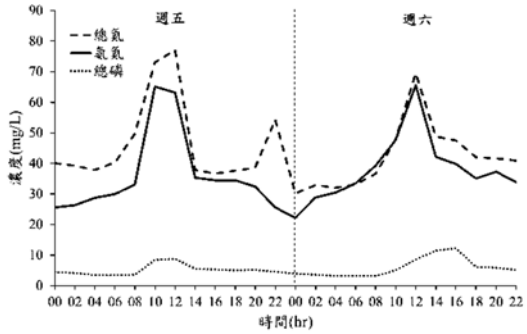


圖 2.6　大規模系統進流水總氮、氨氮及總磷之時間變動(桃北為例，2021 年)

表 2.2 大規模系統進流水水質數據(桃北為例，2021 年)

項目 / 數值	水量	化學需氧量	生化需氧量	懸浮固體物	總磷	氨氮	總氮
	CMH	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
最高值	4,132.0	416.1	181.2	64.1	12.2	65.6	77.1
最低值	884.0	124.1	30.2	11.1	3.2	22.1	30.2
平均值	2,121.9	280.1	94.5	28.5	5.6	37.3	44.4
標準差	782.6	72.7	33.6	14.3	2.5	11.9	12.7
尖峰係數	1.9	1.5	1.9	2.2	2.2	1.8	1.7

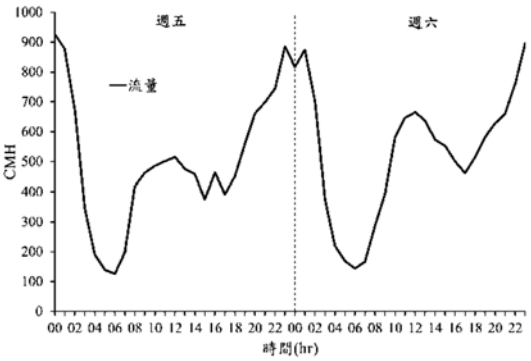


圖 2.7　中規模污水處理廠進流水流量之時間變動(北大特區為例，2021 年)

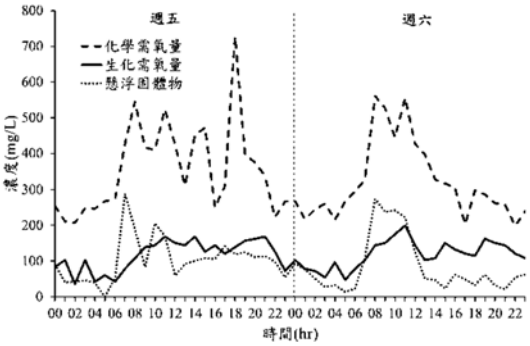


圖 2.8　中規模污水處理廠進流水化學需氧量、生化需氧量及懸浮固體物之時間變動(北大特區為例，2021 年)

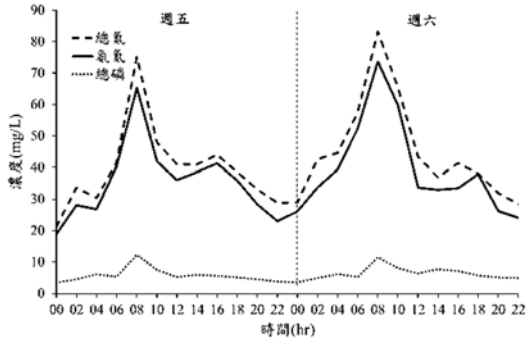


圖 2.9　中規模系統進流水總氮、氨氮及總磷

表 2.3 中規模系統進流水水質數據(北大特區為例，2021 年)

項目 / 數值	水量	化學需氧量	生化需氧量	懸浮固體物	總磷	氨氮	總氮
	CMH	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
最高值	927.0	728.0	199.3	288.0	12.4	73.6	83.2
最低值	126.0	198.9	36.2	0.5	3.4	18.9	21.2
平均值	517.4	339.5	118.0	94.2	6.1	37.4	42.4
標準差	220.1	118.6	40.1	71.1	2.2	13.5	14.8
尖峰係數	1.8	2.1	1.7	3.1	2.0	2.0	2.0

水質之時間變動
(北大特區為例，2021 年)

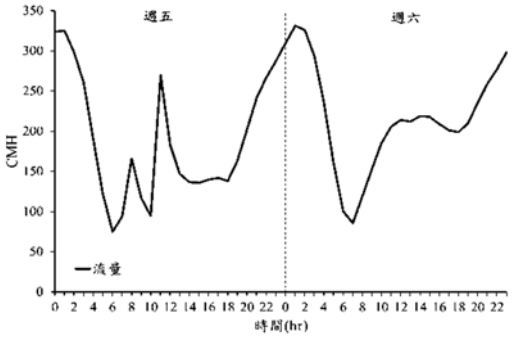


圖 2.10　小規模系統進流水流量之時間變動(三鶯為例為例，2021 年)

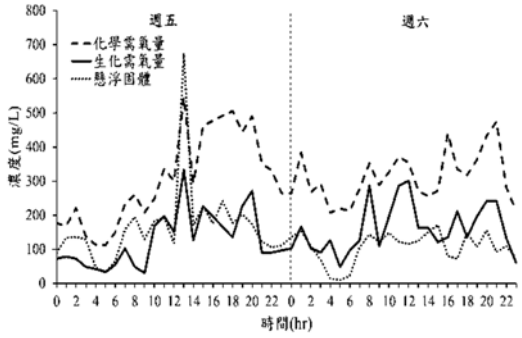


圖 2.11　小規模系統進流水化學需氧量、生化需氧量及懸浮固體物之時間變動(三鶯為例，2021 年)

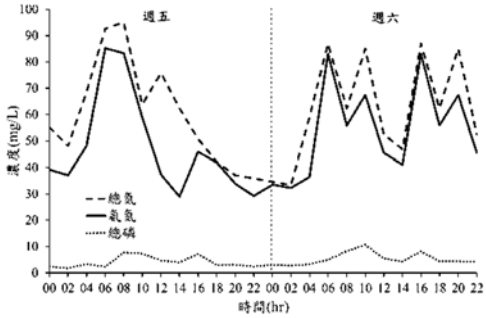


圖 2.12　小規模系統進流水總氮、氨氮及總磷水質之時間變動(三鶯為例，2021 年)

表 2.4 小規模系統進流水水質數據(三鶯為例，2021 年)

項目 / 數值	水量	化學需氧量	生化需氧量	懸浮固體物	總磷	氨氮	總氮
	CMH	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
最高值	331.0	545.4	332.2	674.7	10.7	85.3	95.1
最低值	75.0	112.6	30.2	10.5	1.8	29.0	33.5
平均值	203.8	300.8	142.2	136.6	4.8	50.7	61.5
標準差	72.6	105.0	78.7	95.0	2.3	18.5	19.4
尖峰係數	1.6	1.8	2.3	4.9	2.3	1.7	1.5

2.3 污水處理方法的選定

污水處理方法的選定時，應就承受水體特性及其放流水水質標準，並於考量下列後決定之。

1. 計畫放流水水質標準。
2. 放流水體特性。
3. 污水處理廠進流水流量及水質。
4. 污水處理水回收再利用及用途。
5. 污泥處理方法，污泥有效利用與否及用途或最終處置。
6. 污水處理廠用地條件及地域特性。
7. 操作維護管理性。
8. 經濟性。
9. 污水處理方法的選定，應就處理物質濃度及要達到的目標水質加以選定。
10. 污水處理程序的選擇，應就整體性加以評估檢討。

2.3.1 計畫放流水水質

1. 計畫放流水水質，依環保署最新法令放流水水質標準。 2. 目標水質，係以能達到放流水體水質分類之限值的放流水水質。

解說：

1. 放流水標準(依最新法令標準訂定)：
   (1)一般地區：Q＞250 CMD 者，BOD 限值為 30 mg/L，SS 限值為 30 mg/L，油脂 30 mg/L，硝酸鹽氮 50 mg/L，大腸桿菌群 200,000 CFU/100mL。Q＜250 CMD 者，BOD 限值為 50 mg/L，SS 限值為 50 mg/L，油脂 10 mg/L，硝酸鹽氮 50 mg/L，大腸桿菌群 300,000 CFU/100mL。氨氮(未收受水肥者)既設廠為 10 mg/L，新設廠為 6 mg/L。
   (2)水源水質水量保護區：除上述 BOD、SS、油脂、硝酸鹽氮(若無總氮管制)外，尚有總氮 15 mg/L、總磷 2 mg/L。氨氮 113 年之前為 10 mg/L，113 年開始為 6 mg/L、另外無總磷管制者，正磷酸鹽(以三價磷酸根計算)為 4 mg/L 以下。

   公共污水下水道系統放流水水質項目及限值，如表 2.5。另社區專用污水下水道系統放流水水質項目及限值，如表 2.6。
2. 放流水目標水質，除符合放流水水質標準外，若放流水體為水污染主管機關認定為環境特殊或需特予保護之水體，則應檢討放流水水質與承受水體設定之流量及水質混合後，應能達到地面水體分類及水質標準，如表 2.7。計畫或區域放流水水質之決定程序，如圖 2.13。

2.3.2 放流水體

污水處理廠放流地點的選擇，應考量對承受水體水質不造成影響，以獲致稀釋效果，且具自淨作用之良好水體，放流水水質除應達到放流水水質標準外，若承受水體之放流點被列為環境特殊或需特予保護之時，則需整理考量各種措施，以減少對承受水體的直接影響。

解說：

污水處理廠放流地點，若被列為環境特殊或需特予保護者，則應考量事項如下：

1. 污水處理水放流水水質如前述計畫放流水水質。
2. 承受水體之自淨能力良好者。
3. 放流水量與承受水體水質混合稀釋擴散之狀況。
4. 放流水體水質分類之水質，在與放流水混合稀釋後，一年間可有 75%以上達到水體分類水質限值之地點。
5. 放流水體放流口下游現在及未來水資源利用要求之水質狀況，且需位於自來水取水口下游一定距離(各地不同，非定值)以上。(依飲用水管理條例第 5 條規定，該距離由直轄市、縣主管機關訂定，報請中央主管機關公告之)。
6. 承受水體主管機關及水體利用者之因應能力或策略。
7. 污水下水道集污區域與放流點位置之關係，包括距離及高程。

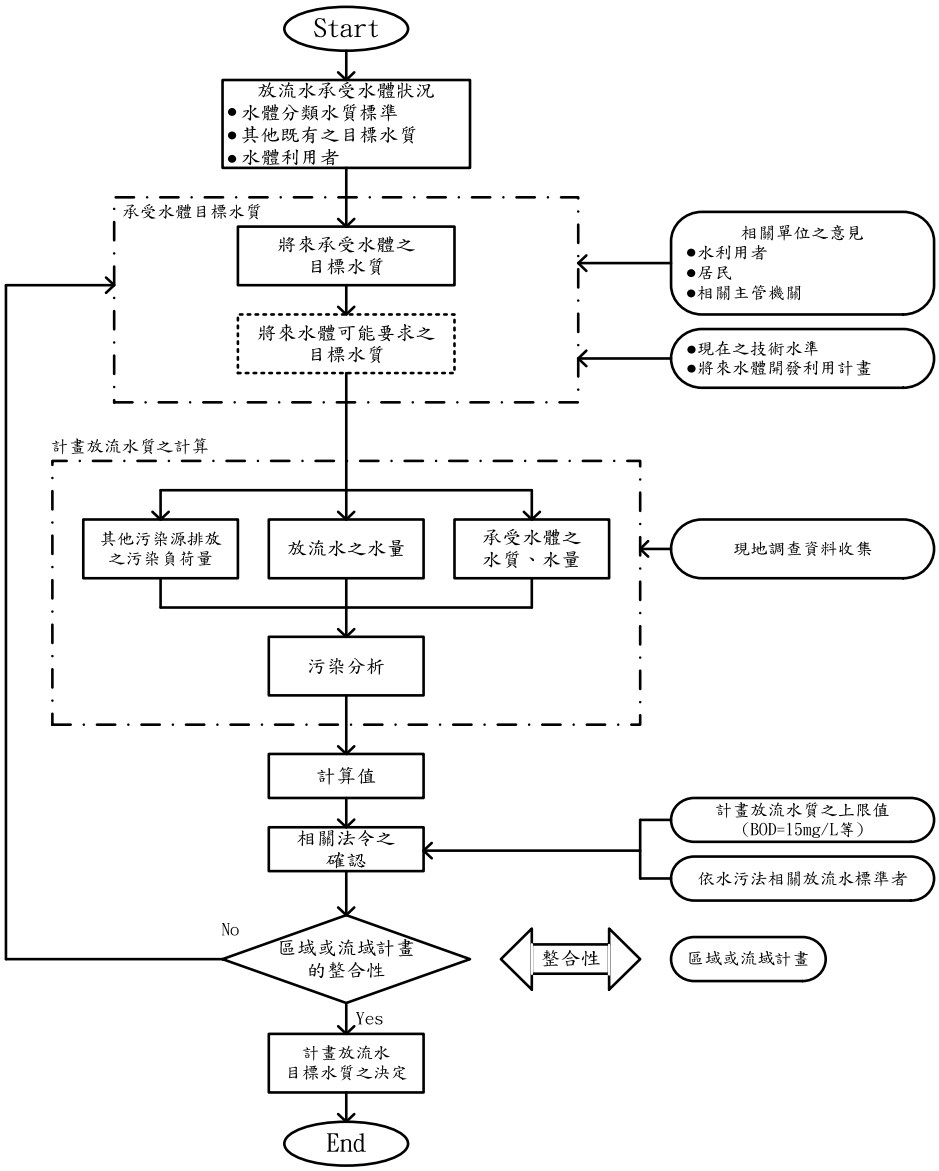


圖 2.13 計畫或區域放流水目標水質之決定程序

表 2.5 公共污水下水道系統放流水水質項目及限值(108 年 4 月)

適用範圍	項目				限值	備註
共同適用	水溫	排放於非海洋之地面水體者			攝氏三十五度以下(適用於十月至翌年四月)	
					攝氏三十八度以下(適用於五月至九月)	
		直接排放於海洋者			放流口水溫不得超過攝氏四十二度，且距排放口五百公尺處之表面水溫差不得超過攝氏四度	
	氫離子濃度指數				六．0—九．0	
	硝酸鹽氮				五0	不適用有總氮管制者。
	正磷酸鹽(以三價磷酸根計算)	排放於自來水水質水量保護區內者			四．0	不適用有總磷管制者。
	總磷	排放於自來水水質水量保護區內者	中華民國九十年十一月二十三日前尚未完成工程招標者		二．0	
	陰離子界面活性劑				一0	
	油脂(正己烷抽出物)				一0	
流量大於二五0立方公尺／日	生化需氧量				三0	
	化學需氧量				一00	
	懸浮固體				三0	
	大腸桿菌群				二00、000	
	氨氮	排放於自來水水質水量保護區內者			一0	
					六	自中華民國一百十三年一月一日施行。
		排放於自來水水質水量保護區外者	許可核准收受處理事業廢水、截流水或水肥之設計最大量達總廢(污)水最大量	中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	七五	自中華民國一百十年一月一日施行
					三0	自中華民國一百十三年一月一日施行。
			百分之二十以上者	中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	二0	
			許可核准收受處理事業廢水、截流水或水肥之設計最大量未達總廢(污)水最大量百分之二十者；或未收受處理事業廢水、截流水或水肥者	中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	一0	自中華民國一百十年一月一日施行。
					一0	
				中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	六	自中華民國一百十三年一月一日施行。
	總氮	排放於自來水水質水量保護區內者	中華民國九十年十一月二十三日前尚未完成工程招標者		一五	
		排放於自來水水質水量保護區外者	許可核准收受處理事業廢水、截流水或水肥之設計最大量未達總廢(污)水最大量百分之二十者；或未收受處理事業廢水、截流水或水肥者	中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	五十	自中華民國一百十年一月一日施行。
					三五	自中華民國一百十三年一月一日施行。
				中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	二十	
流量二五0立方公尺／日以下	生化需氧量				五0	
	化學需氧量				一五0	
	懸浮固體				五0	
	大腸桿菌群				三00、000	
	氨氮	排放於自來水水質水量保護區內者			一0	
	總氮	排放於自來水水質水量保護	中華民國九十年十一月二十三日前尚未完成工程招標者		一五	

適用範圍	項目		限值	備註
		區內者		

表 2.6 社區專用污水下水道系統放流水水質項目及限值(108 年 4 月)

適用範圍	項目		限值	備註
共同適用	水溫	排放於非海洋之地面水體者	攝氏三十八度以下(適用於五月至九月)	
			攝氏三十五度以下(適用於十月至翌年四月)	
		直接排放於海洋者	放流口水溫不得超過攝氏四十二度，且距排放口五百公尺處之表面水溫差不得超過攝氏四度	
	氫離子濃度指數		六．0—九．0	
	硝酸鹽氮		五0	
	氨氮	排放於自來水水質水量保護區內者	一0	
	正磷酸鹽(以三價磷酸根計算)	排放於自來水水質水量保護區內者	四．0	
	陰離子界面活性劑		一0	
	油脂(正己烷抽出物)		一0	
	溶解性鐵		一0	
	溶解性錳		一0	
	鎘		0．0三	
	鉛		一．0	
	總鉻		二．0	
	六價鉻		0．五	
	甲基汞		0．000000二	
	總汞		0．00五	
	銅		三．0	
	鋅		五．0	
	銀		0．五	
	鎳		一．0	
	硒		0．五	
	砷		0．五	
	硼	排放於自來水水質水量保護區內者	一．0	
		排放於自來水水質水量保護區外者	五.0	
流量大於二五0立方公尺／日	生化需氧量		三0	
	化學需氧量		一00	
	懸浮固體		三0	
	大腸桿菌群		二00、000	
流量二五0立方公尺／日	生化需氧量		五0	
	化學需氧量		一五0	

表 2.7 地面水體分類及水質標準(106 年 9 月 13 日修正)

基準點		甲　類		乙　類		丙　類		丁類	戊類
		陸域	海域	陸域	海域	陸域	海域	陸域	陸域
保護生活環境相關環境基準	pH 值	6.5~8.5	7.5~8.5	6.5~9.0	7.5~8.5	6.5~9.0	7.0~8.5	6.0~9.0	6.0~9.0
	溶氧量(DO)	≥6.5	≥5.0	≥5.5	≥5.0	≥4.5	≥2.0	≥3.0	≥2.0
	大腸桿菌群	≤50	≤1,000	≤5,000		≤10,000			
	生化需氧量(BOD)	≤1.0	≤2.0	≤2.0	≤3.0	≤4.0	≤6.0	≤8.0	≤10.0
	懸浮固體(SS)	≤25		≤25		≤40		≤100	無漂浮物且無油污
	氨氮(NH_3-N)	≤0.1		≤0.3		≤0.3			
	總磷(TP)	≤0.02		≤0.05					
保護人體健康相關環境基準	鎘	0.01							
	鉛	0.1							
	六價鉻	0.05							
	砷	0.05							
	汞	0.002							
	硒	0.05							
	銅	0.03							
	鋅	0.5							
	錳	0.05							
	銀	0.05							
	有機磷劑+氨基甲酸鹽(2)	0.1							
	安特靈	0.0002							
	靈丹	0.004							
	毒殺芬	0.005							
	安殺番	0.003							
	飛佈達及其衍生物 (Heptachlor, Heptachlor, epoxide)	0.001							
	滴滴涕及其衍生物 (DDT, DDD, DDE)	0.001							
	阿特靈－地特靈	0.003							
	五氯酚及其鹽類	0.005							
	除草劑(3)	0.1							

註：(1)各項目之單位：pH 值無單位、大腸桿菌群 CFU/100ml，其餘均為 mg/L。
(2)有機磷劑係指：巴拉松、大利松、達馬松、亞素靈、一品松、陶斯松。
氨基甲酸鹽係指：滅必蝨、加保扶、納乃得。
(3)除草劑係指：丁基拉草、巴拉刈、2,4-地。
(4)陸域地面水體指河川、湖泊。保護人體健康相關環境基準：全部公共水域一律適用。
(5)資料來源：環保署修正發佈之"地面水體分類及水質標準"106.9.13。

2.3.3 污水處理廠進流水量及水質

污水處理廠進流水量及水質應考量事項如下：

污水處理廠設計進流水量及水質之推估，應同時考量其變動特性以及放流點之水體分類水質要求，據以選定污水處理方法。

解說：

污水處理廠設計於選定污水處理方法時，對於進流水量及水質的變動特性應加以掌握，作為系統選定之依據，其進流水質水量變動大者，則應有因應或

不同程序的考量，同時要考量處理規模用地等因素，有關設計進流水量及水質之建議於第 2.2.5 及 2.2.7 節討論。

2.3.4 污水處理水回收利用

污水處理水回收利用應考量事項如下：

污水處理廠處理水若計畫回收再利用，其處理方法的選定，應依回收水利用標的所需水質檢討其處理程序。

解說：

由於污水處理廠處理水流量穩定，為一可靠的水資源，可供綠地澆灌、清洗用水、事業廢水、沖廁用水、農業用水及環境維持用水。惟成為再生水之條件，必須有各種評估因子，且此等水質項目互有關連，必須加以綜合考量，以能達到最經濟之效益，包括：

1. 衛生上之問題：大腸桿菌群、餘氯量。
2. 美質上之問題：外觀、濁度、色度(或 SS)。
3. 舒適度之問題：臭味。
4. 污染上之問題：BOD、pH、氨氮、總磷。
5. 供水管線系統不造成障礙：結垢、軟泥的形成。
6. 供應工業或高科技廠所需之回收利用其所需水質要求，依其需求而定。

另若全廠之放流水計畫全部回收再利用時，其處理程序則可以一步到位，依再利用需求水質規劃設計之，否則仍以一般達到放流水質之要求進行規劃設計，而僅就再利用水量部分進行處理。

2.3.5 污泥處理方法及資源利用

污泥處理方法及資源利用應考量事項如下：

污泥處理因處理方法的不同，其處理過程所產生的分離水及污泥產量也互異。而污泥資源回收利用及最終處置之不同及污水處理是否除磷，其污泥處理方法也需有所因應，皆應納入污水處理方法選定之考量因素。

解說：

1. 污泥處理方法之不同，其分離水水質影響污水處理負荷差異頗大，如污泥採好氧消化或厭氧消化，而在厭、好氧消化過程中，由於固體物分解也會增加 COD 及氨氮等，致其分離水之水質，會影響污水處理程序及效果。另污泥的產生量多少也是一大因素，故於選定污水處理方法時，必須充分檢討污泥處理方法。
2. 污泥處理過程之不同，所產生之最終產物的性質及量有很大的差異，必須就其能源及資源效益一併加以考量。
3. 中規模污水處理廠之污泥穩定處理，宜採無加溫或加溫厭氧消化。大規模廠則採用厭氧消化，小規模則依生物處理方式而定，其分離液除有很大的差別外，污水處理若為除磷系統則污泥所攝取的磷化物，可能在污泥濃縮及厭氧消化過程中釋出，而影響污水處理磷的去除效果，因此污泥的處理影響因素，

也需加以掌握或排除。

2.3.6 污水處理廠用地及地域特性

污水處理廠用地及地域特性應考量事項如下： 污水處理方法之選定，應針對處理廠用地條件及地域特性加以考量。

解說：

1. 在用地條件上，應考量的事項，包括：
   (1)用地面積及形狀。
   (2)用地地形(坡地等)。
   (3)用地的地質條件(軟弱地盤、岩盤等)。
   (4)用地之利用狀況及設施配置(既有或改建)。
   (5)原則上以都市計畫污水處理廠用地，或在鄰近系統而土地可取得之用地。
   (6)與居民社區之距離遠近及最多風向之影響。
2. 在地域特性上，應考量的事項，包括：
   (1)氣象條件(氣溫、風向、降雨量等)。
   (2)廠址區位條件(海濱、國家公園、歷史文化遺址、自來水水源保護區)。
   (3)處理廠用地周邊的土地利用狀況(有無指定為特定用途)。
   (4)產業及觀光動態(產業地區、觀光地區)。
   (5)環境保護法規(水污染防治、噪音、空污及海岸管理法等相關法規)。
   (6)污水處理產生物之最終處置(篩渣、沉砂、污泥餅等)。
   (7)都市計畫土地使用分區。
   (8)環境影響評估。

2.3.7 操作維護管理性

操作維護管理性應考量事項如下： 污水處理廠於設計時，即應就未來操作維護空間及安全等納入考量，以利營運後之維護管理。

解說：

污水處理廠之維護管理性，考量層面包括維護管理體制、空間、人力需求、安全、技術水準、點檢、維修頻率及位置數，操作管理的難易度等，應就各種不同處理程序，其營運、管理及維護面，加以充分比較檢討後，提出最適合的程序，以決定處理方法。

2.3.8 經濟性

經濟性應考量事項如下： 污水處理廠於污水處理方法選定時，應就能源效率、建設費及操作維護費充分檢討比較之。

解說：

1. 污水處理方法之不同，其處理機械、電機設備差異頗大，應就能耗納入比較

之。

2. 污水處理方法之不同，建設費及操作操作維護費也異，故應就建設費、設備費及可使用年限評估比較，同時加入耗能、操作維護費及年費等，計算其生命週期總支出(LCC)等充分比較選定之。

2.3.9 污水處理方法及水質

污水處理方法及水質應考量事項如下： 於檢討污水處理時，應就其處理對象物質及濃度選定處理方法。 1. 污水處理依其處理對象物質的不同，其處理方法也互異。 2. 各種生物處理方法可達到的放流水水質因處理方法而異。

解說：

1. 一般公共污水下水道污水的處理流程，如圖 1.2。污染物質之處理項目及可選定之處理方法，如表 2.8。
2. 各種處理方法，其處理方法的類型及可達到處理水的水質，如表 2.9。

表 2.8 污水去除物質及其處理方法

項目	處理方法
有機物去除	活性污泥法等
有機物及氮去除	各種生物處理法、循環式硝化脫硝法
有機物及磷去除	厭氧、好氧活性污泥法
有機物、氮及磷去除	各種厭氧、缺氧、好氧法

2.3.10 三級處理之目的及去除物

對於難分解物質的去除，或為改善處理水的色度、混濁等觀感，以及確保衛生安全性之處理。

解說：

三級處理其主要的處理方法，為於二級處理之後段，增加物化處理方法為主。至於過去列為三級處理分類之氮、磷去除之營養鹽類，則已併入二級生物系統中一併去除，不再納入三級處理之分類。三級處理之對象物質及處理方法，如表 2.10。

表 2.9 日本不同計畫放流水質之污水處理方法

計畫放流水水質			處理方法及可達同等以上水質的處理方法
生化需氧量	氮含量	磷含量	
BOD_5(mg/L)	mg/L	mg/L	
10 以下	10 以下	0.5 以下	循環式硝化脫硝膜濾法(MLE+膜濾，限添加凝聚劑)、厭氧缺氧好氧法(A^2O 法，限添加有機物質及凝聚劑)併快濾法
		0.5～1.0	循環式硝化脫硝膜濾法(MLE+膜濾，限添加凝聚劑)、厭氧缺氧好氧法(A^2O 法，限添加有機物質及凝聚劑)併快濾法，以及循環式硝化脫硝法(MLE 法，限添加有機物質及凝聚劑)併快濾法
		1.0～3.0	同上
		—	循環式硝化脫硝膜濾法(MLE+膜濾)、厭氧缺氧好氧法(A^2O 法，限添加凝聚劑)併快濾法，以及循環式硝化脫硝法(MLE 法，限添加凝聚劑)併快濾法
	10～20	1.0 以下	厭氧缺氧好氧法(A^2O 法，限添加凝聚劑)併快濾法，以及循環式硝化脫硝法(MLE，限添加凝聚劑)併快濾法
		1.0～3.0	厭氧缺氧好氧法(A^2O 法)併快濾法，以及循環式硝化脫硝法(MLE，限添加凝聚劑)併快濾法
		—	厭氧缺氧好氧法(A^2O 法，限添加凝聚劑)併快濾法，以及厭氧好氧活性污泥法併快濾法
	—	1 以下	厭氧缺氧好氧法(A^2O 法，限添加凝聚劑)併快濾法，以及厭氧好氧活性污泥法併快濾法
		1～3	厭氧缺氧好氧法(A^2O 法)併快濾法，以及厭氧好氧活性污泥併快濾法
		—	標準活性污泥法併快濾法
10～15	20 以下	3 以下	厭氧缺氧好氧法(A^2O 法)及循環式硝化脫硝法(MLE 法，限添加凝聚劑)
		—	厭氧缺氧好氧法(A^2O 法)及循環式硝化脫硝法(MLE 法)
		3 以下	厭氧缺氧好氧法(A^2O 法)及厭氧好氧活性污泥法
		—	標準活性污泥法

備註：日本下水道協會，下水道設施計畫設計指針と解說，2019 年

1. 活性污泥法，包括氧化渠法、長時間曝氣法、分批式活性污泥法、好氧過濾法、接觸曝氣法、活性污泥膜濾法(MBR)。
2. 好氧缺氧脫氮法，包括 A^2O 法、階梯多段流入式硝化脫硝法、好氧缺氧氧化渠法。
3. 處理水水質項目中，「－」係表示無該水質要求。

表 2.10 三級處理之對象物質及處理方法

目的	去除物質		水質項目	處理方法
提升達公共水域水質	有機物	懸浮性(膠體)	SS，VSS	快濾，微細篩，凝聚沉澱，浮除分離
		溶解性	BOD，COD TOC，TOD	活性碳吸附，凝聚沉澱，臭氧氧化，生物膜接觸
水再利用	微量物質	無機鹽類	TDS，電導度 Na，Ca，Cl 離子等	薄膜，電透析，溶解，離子交換

2.3.11 污水處理程序的選擇

污水處理程序的選擇應考量事項如下：

污水處理除要達到放流水水質標準之要求，其處理程序必須充分評估其他重要因素，綜合決定之。

解說：

污水處理程序的選擇，應充分考量因素包括下列：

1. 進流污水量及水質變化情況：污水處理廠的單元操作及單元程序，必須具備能在進流污水量及污染負荷變化範圍內，達到穩定的放流水質的能力。
2. 以系統方法評估處理單元操作程序：污水處理廠是由不同的處理單元操作程序所組合而成，設計時須以系統方法評估處理單元操作程序的不同組合及其相互作用，例如：採用調節池單元時，須考量其下游各處理單元水量及水質的均勻負荷，另外污水與污泥間的相互作用須做整體考量，不應侷限於污水處理單元，故質量平衡分析亦為系統評估重要之一環。
3. 處理程序的應用性：處理程序應用性的評估，係依據過去的經驗、公佈的數據、實廠及模廠研究的數據等。惟如遇到新的或不尋常的情況，有必要做模廠實驗。
4. 應用的流量範圍：處理程序應適合預期的流量範圍，例如：接觸曝氣法，並不適合極大的流量或污染負荷。
5. 應用的流量變化：大多數處理單元操作程序，必須設計在廣泛流量變化範圍內能操作，而大多數處理單元在相對穩定流量下，有最佳的處理效果，如果流量變化太大，有必要採用流量調節。
6. 進流污水特性：進流污水的特性，會影響預備選用處理程序的種類(例如：化學處理或生物處理程序)及適當操作這些處理程序的需求性。
7. 抑制及無法處理的污染物成份：污水中所含污染物成份，其可能對處理程序產生抑制作用，在處理過程中須評估能否有效處理。
8. 氣候的限制：溫度影響大多數化學及生物處理程序的反應速率，溫度可能也影響設施的實質操作，較高溫度可能加速厭氧臭味的產生以及影響大氣的擴散。
9. 反應動力學及選擇反應槽：反應槽尺寸，係依據主要的反應動力學，動力公

式的數據，通常係源自經驗值、發表的文獻及模廠試驗的結果，反應動力學對選擇反應槽的影響，可參考相關的文獻。

10. 處理效能：處理效能通常以放流水水質做為衡量，放流水水質須符合放流水標準。
11. 處理殘留物：處理後產生的固體、液體及氣體殘留物，須了解或估算，模廠試驗時，常用來鑑定及量化殘留物。
12. 污泥處理：污泥處理成本高低，處理過程迴流之固體物是否影響污水處理單元操作程序，污泥處理系統的選擇須與污水(迴流液)處理系統的選擇同步進行。
13. 水頭需求：污水處理單元操作程序通常採重力流，處理系統中如有雙重生物處理程序，亦即除了活性污泥之懸浮生長式反應池外，尚有生物濾床等固定生長式反應池，通常該固定生長式反應池單元會採壓力式進流。污泥處理單元操作程序，通常採用泵送壓力流方式。
14. 處理水再利用計畫：配合處理後放流水再利用的水質要求，選擇具有達成該水質功效的處理單元操作程序。
15. 環境限制：各種環境因素，如：盛行風、風向及鄰近住宅區，可能限制或影響使用某種程序，特別是會產生臭氣者。噪音及交通可能影響廠址的選擇。承受水體可能有特別限制，需要去除特定成分如氮、磷。
16. 化學藥劑需求：部分處理單元操作需要化學藥劑、需求數量及儲備時間，加藥可能會對處理殘留物的特性以及處理費用等考量。
17. 能源需求：欲設計經濟有效的處理系統，能源需求及未來可能的能源費用，應予了解。
18. 其他資源需求：若有資源需求，則須予以儲備，以便能順利執行處理單元操作程序。
19. 人員需求：人力組織規模及何等技術需求，這些技術是否需要訓練。
20. 操作及維護需求：何種特殊的操作或維護需求，需要何種備用零件，其庫存及費用。
21. 附屬設備：需要之支援程序，特別是在程序不正常時，其是否影響放流水水質。
22. 可靠度：處理單元操作程序的長期可靠度，該單元操作程序是否穩定，受週期性的突增負荷之因應。
23. 複雜度：正常或緊急情況下運轉該處理單元程序之複雜性，操作人員須有訓練以因應。
24. 相容性：處理單元操作程序與既有設施的配合性，擴廠之考量。
25. 土地面積是否足夠：是否有足夠的空間，容納現現有的處理設施以及未來的擴充用地，有多少緩衝區可做為景觀綠地，以減少視覺及其他衝擊。

2.4 污水處理設施的配置

污水處理設施配置應考量事項如下： 污水處理廠之配置，依用地面積、廠址形狀及毗鄰狀況，充分考量能達

到建設分期彈性、操作方便、節能減碳、安全、環境友善及睦鄰等目標。配置時應考量事項如下：

1. 污水處理廠配置基本原則及考量因素。
2. 污水處理廠平面配置步驟。
3. 廠區機房入口及開口之擋水高程，應高於洪水水位重現期，距 100 年降雨狀況下之淹水潛勢高程。

解說：

污水處理廠，依規模別單位處理量用地需求，如表 2.11。惟若採氧化渠法或另有三級處理時，則須另加考量。其用地原則上，應為各槽體及建築物投影面積的一倍以上。

表 2.11 污水處理廠依計畫設計規模別單位處理量用地需求

單位：(m^2/m^3・日)

處理規模(m^3/日)	10,000～20,000	20,000～50,000	50,000～100,000
二級處理廠 用地需求	1.0～2.0	1.0～1.5	0.8～1.2

污水處理廠之配置，須考量處理設施功能、水力動線及操作運轉維護管理等因素，以能達到建設分期彈性、操作方便、節能減碳、安全、環境友善及睦鄰等目標。

1. 污水處理廠配置基本原則及考量因素

(一)基本原則：污水處理廠設施的配置，應考量廠址形狀、廠區地形、地質及基礎條件、進流管位置、放流管位置、廠內水力剖面、處理程序種類、處理程序性能及效率、車輛進出動線、操作人員進出動線、操作之可靠度、經濟性、景觀、環境之控制、未來擴廠之準備(包括增加土地面積)等。而在配置上一般需考量下列數點：

(1)污水處理廠用地若與住宅相鄰接，則應有充分的緩衝綠地隔離。

(2)各種動線應順暢，包括水流、污泥輸送、曝氣空氣系統、控制電纜、巡視工作動線等。大規模之處理廠，此等動線則可納入管廊，中小規模廠之操作維護及管線配置成本考量，並不建議設置管廊。

(3)初級沉澱池、生物反應槽、二級沉澱池，應採複數池槽自成一系列配置，並視污水增加及經濟狀況，分期擴建。

(4)污泥處理設備，應避免接近民宅或上風處。

(5)未設置初級沉澱池之氧化渠等處理系統之設計，應考量設置油脂之去除設施。

(6)管理中心為操作管理之重心，應與操作管理上較需人力的前處理設施、處理機械管廊及污泥處理設施鄰近配置之。

(7)依處理程度及處理廠規模設置，必須適當配置水質檢驗室。

(8)應儘可能設計由管理中心監控室環視全廠區處理單元。

(9)處理廠為防止臭氣外溢，必要時進流抽水站應設於室內，前處理、初級沉澱池及污泥處理設施等皆應加蓋，並設置適當之除臭設施。

(10)若在廠內兼設回饋設施，除應顧及安全外，應有區隔之獨立出入口。

(11)廠內除值日室外，得視需要設置相關生活所需設施。

(12)民眾參觀動線與廠區操作區域做區隔，以維安全舒適。

(二)考量因素

(1)維護管理方面

①污水處理廠內之水流，自流入至流出，應以同一方向減少轉彎，保持水頭損失最小為宜。

②污泥可順暢輸送。尤其初步沉澱池污泥之輸送較易阻塞，配管延長愈短愈佳，管徑至少為 150mm 以上，彎管少，且儘量配置於接近污泥處理設施處。

③操作人員之巡行動線，應路徑順暢、方便且短，尤其容易故障設施及污泥設施，以接近管理中心為宜。

④人員、污水、污泥、送風、電纜等之動線應能流動順暢。大規模污水處理廠可考量設置管廊。

⑤各池槽開孔之覆蓋板，除考量支撐之安全度外，其大小、重量、方向，應考量巡檢人員提舉之位置和方向，以維安全及方便觀察。另池槽應考慮排水及清洗水之設置。

⑥各種設備之驅動裝置，其位置除應考量巡檢人員之可及性外，若置於高處，應設置有利於巡檢之梯架外，需有欄杆或安全措施。

⑦廠內道路之配置，應考量方便沉砂及污泥之運搬，以及經常性檢查維修所需，同時也要配合將來的擴建需要，又廠內道路應考量具環廠巡迴，除一般用 2～4 噸車可進入外，亦須考量大型(吊)車可通行，除用地受限外，另應有側門供污泥車出入。

⑧對於預防颱風、豪雨、地震等之災害及非常事故之對應，也應加以考量。

⑨為防污水處理廠進流水發生異常暴量，應於進水抽水站前幹管之人孔或抽水井配置超高水位時，可溢流至排水系統之緊急排水設施，以維護污水處理廠之安全。

⑩鼓風機房、脫水機房、抽水機房、電氣機房，應預留設備搬運出入口，以及維修所需間距、吊升高度及通風換氣之考量。

(2)周邊環境調和及現場條件方面

考量當地人文景觀之特殊性，管理中心或污泥機房外觀，應與周鄰環境相融合，以降低提高民眾之嫌惡觀感。

①廠址若位於飛機起降航道下方，而劃為飛航高度管制區時，應依照限高規定，限定其各種建築設施的高度。在植栽方面，樹種亦應選擇不會吸引鳥類棲息，或生長的果實不會招引鳥類啄食者，以避免

大型高飛禽鳥闖入飛航區。

②避免散發臭氣、噪音、產生泡沫及振動，致影響當地環境。

③放流水承受水體之用途。

④水災、停電、地震之考量。

⑤地質、地盤之考量。

(3)建設分期方面

①依用地平行順暢配置，同時兼具擴建彈性之考量。

②便於分期施工之配置，配合污水量之逐年增加分 2～3 期建設。

(4)處理功能方面

①污水處理及污泥處理分成複數系列配置之，以二系列以上配置，以利故障時之調整。

②大規模設置管廊者，有利於配置、動力、控制設備之維護。

③處理設施中，沉砂池、抽水機房、鼓風機房、污泥處理機房等，因需要留意管理，且容易發生故障，故以接近於管理中心配置為宜。

④管理中心、前處理單元(含沉砂池)、機械房、電氣房、污泥處理機房、變電站及緊急發電機房等之建築物分開或共構，各有優缺點，共構時雖可節省土地面積，但為防臭氣及噪音，必須增設防治設備，則長期而言不一定較為經濟，因之應綜合檢討決定之。但對於小規模處理廠，由於管理人員少，動線以共構或鄰近為宜。

⑤上述考量可以歸納為外部因素及內部因素，污水處理廠配置考量事項，如表 2.12。

2. 污水處理廠平面配置步驟如下：

(一)污水處理廠進行設計配置時，應先完成各污水及污泥處理單元設施主體全期階段的概念設計，各取其平面圖備用。主要單元設施應有兩個以上的系列。中大規模處理廠之初級沉澱池、生物反應槽、二級沉澱池等，宜以數單元相鄰並排，以減少設施需求面積。

(二)在廠址外圍地界線處，往內劃設適當寬度或依規定之植栽用地，做為與附近住戶的緩衝綠地分隔，若用地充足，必要時再往內劃設一條環廠道路。

(三)污水處理廠的配置，首先須考量污水處理單元，特別著重關係到長期能源消耗的全廠水理坡降。從進流污水管線進入處理廠的位置，到放流水經排放口流出至廠外的位置，依序設置前處理單元(包括粗攔污柵、進流抽水站、細攔污柵、沉砂池等)、初級沉澱池、生物反應槽、二級沉澱池、三級處理及消毒池，處理單元間之連絡管線應愈短愈佳，以節省管線費用及減少管線水頭損失導致的能源消耗。除流量量測單元不計外，全廠水頭損失應力求減少，三級處理或廠址位於坡地者得不在此限。

(四)管理中心宜與前處理設施，鼓風機房及污泥處理機房接近，並可監視廠區全貌。台電受電室應靠近出入口。

表2.12 污水處理廠配置考量事項表

外部因素	1.一般因素	1.用地狀況(形狀、面積、高程差、方位) 2.道路狀況(道路寬度、計畫道路) 3.各種維生管線之引入(自來水、電力、瓦斯) 4.放流河川位置、流入管位置
	2.地域特性	1.氣候(風向、雨量、溫度) 2.氣象(地震、高潮位、颱風、淹水) 3.地域、地形(都市、農地、丘陵、地質)
	3.法規限制	1.土地用途(住宅、商業、工業…) 2.都市計畫法、水利法… 3.其他規定
	4.居民要求	1.各種請願、回饋要求、居民說明 2.公害防治(噪音、振動、臭氣、日照、排氣) 3.用地的多元化(公園、運動場、停車場)
	5.睦鄰及環境調和	1.地標、環境調和 2.地區回饋(焚化爐熱水、消化瓦斯) 3.公園、綠地
內部因素	1.機能因素	1.物流(機器、器材、廠內外道路) 2.水流(處理水、放流水、再利用水) 3.污泥流(初沉污泥、生物迴流及廢棄污泥、分離液、污泥餅、浮渣) 4.操作維護動線(巡檢、維修及各種公用管線) 5.處理方法(水、污泥、三級處理) 6.處理法的校核(未來提升等) 7.安全及衛生
	2.管理因素	1.各設施的連絡(動線規劃、管廊規劃) 2.控制系統(管理中心、中央控制系統) 3.配管之平衡、單純 4.未來技術提升之對應(三級處理…) 5.防災對策(地震、內水淹水、外水侵入) 6.操作管理體制 7.監視、控制方法及程度 8.水肥投入計畫 9.管廊配置
	3.建設技術	1.分階段施工(次期施工容易、單元方法) 2.假設工程、基礎工程 3.覆蓋(上部利用、排氣脫臭、梁柱跨距) 4.危險物設施之設計、建設(瓦斯、氯鹽、重油) 5.初期投資之合理化(第一期建設設施) 6.水路及管廊之交錯 7.流入、流出方向

本表整理自「處理場之設計演習」日本下水道事業團(2012年)

(五)污泥處理設施，應避免接近民宅或位於上風處。排泥配管採最短路徑直線設計，並接近污泥處理設施，排泥管徑應在 150 mm 以上(含)。易產生臭味之設施，應設置臭氣收集系統及除臭設施。

(六)污水處理設施、污泥處理設施、管理中心間，宜以維修道路來分隔。中大規模污水處理廠污水及污泥各處理單元之間，有時亦須設置維修道路，以備移動式起重機等能駛近處理單元，進行機械設備之維修或汰舊換新需求。分期興建之處理設施，亦須有維修道路做為施工車輛進出之用。維修道路寬度，應考量運送沉砂、污泥、藥品、單元維修、未來擴建及地下管線埋設空間需求。維修道路與各設施的出入口之間，應以人行步道連接。

(七)污水處理廠應依不同使用者進出，動線應獨立設計，員工上下班及來訪客人係由正門進出，而攔除物、砂礫、污泥及化學藥品槽車，則由側門進出。停車場應盡可能設在大門附近，避免行經廠內員工作業場所，以策交通安全。污水處理廠平面廠址部分做為他用，或上部空間採多目標使用時，其不同使用者進出動線應獨立設計，且供公眾活動之空間，不得與廠區處理設施混雜使用。

(八)污水處理廠在平面配置時，應先作成幾種方案，再依照上述基本原則及考量因素，審慎選擇一定案配置。

(九)圖 2.14 為依數方案經評估比較後之一定案配置案例，其考量因素包括：

(1)本廠為中規模廠，故編號 1 管理中心(含檢驗室及備品房)、編號 2 抽水站房及編號 3 污泥處理機房合併，其管理及建設費用可較低，且距住宅區較遠，主要管理動線短。惟各機房應在建築上加以適當區隔，避免噪音、臭味之互為影響。

(2)初期初級沉澱池具有複數單元，可在任一池停用時，以其他二池分擔處理負荷。

(3)污水處理設施(初級沉澱池、曝氣池、二級沉澱池)之進出流渠道，若加區隔可變更為複數操作。

(4)本方案編號 4 初級沉澱池及編號 6 二級沉澱池之管道長度為最短。

(5)污泥流經編號 9 濃縮槽、編號 10 消化槽及編號 3 污泥處理機房之動線可順暢。編號 11 鼓風機房鄰近曝氣槽，動線短且靠近管理中心。

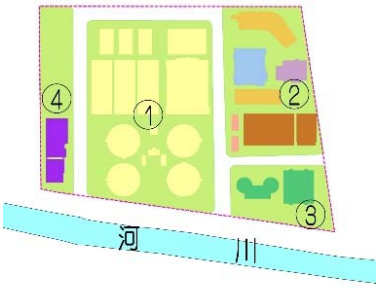
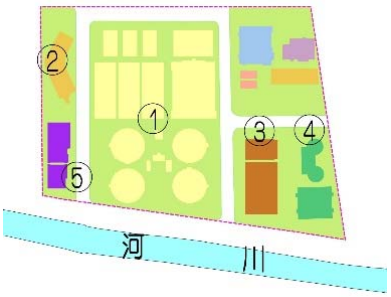
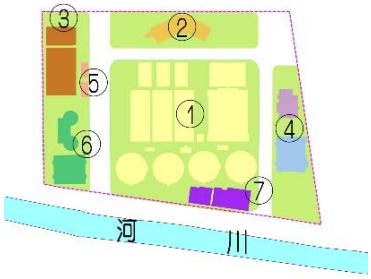
(6)本方案因水流動線最短，各單元鏈結，距河川放流口近，因之水頭損失可達最小。

(7)本方案之分期建設沒有困難，且擴建時不干擾住宅區。

(8)污水處理廠的配置依污水處理廠規模，可採(1)集中型、(2)集中+分散型、(3)分散型配置，其優缺點比較，如表 2.13。

3. 廠區機房入口及開口之擋水高程，應高於廠址位置在重現期距 100 年降雨狀況下之淹水潛勢高程。若廠址位置無相關參考資料時，可採歷史淹水水位紀錄加 0.5 m 或「鄰近河川」100 年重現期距之洪水位

表 2.13 污水處理廠配置比較

	配置計畫	設施名稱(編號)	優點	缺點
(1)集中型		① 污水處理設施。 ② 管理中心、前處理單元(進流抽水站、沉砂池)、鼓風機房、污泥處理房。 ③ 污泥消化槽。 ④ 消毒單元。	1. 動線最短。 2. 建設費最低。 3. 維護管理較易。 4. 能源設施集中。	1. 噪音振動易對其他設施造成影響。 2. 污泥處理之通風影響較大。 3. 由於日照面積較小，直接採光較差。
(2)集中+分散型		① 污水處理設施。 ② 管理中心、前處理單元(進流抽水站、沉砂池)、鼓風機房。 ③ 污泥處理房。 ④ 污泥消化槽。 ⑤ 消毒單元。	1. 污泥處理設施遠離，故對其他單元影響較少。 2. 污泥處理若委託辦理，可有明確的工作分界。	1. 管理中心與污泥處理房之聯絡不便。 2. 管理中心與污泥處理房之距離稍遠。
(3)分散型		① 污水處理設施。 ② 管理中心。 ③ 污泥處理房。 ④ 前處理單元(進流抽水站、沉砂池)。 ⑤ 鼓風機房。 ⑥ 污泥消化槽。 ⑦ 消毒單元。	1. 分期建設較易。 2. 南側臨河川，若未來鄰近區域規劃設置住宅區，其影響較小。 3. 噪音、振動、臭氣之影響最少。 4. 鼓風機接近生物處理單元，空氣輸送距離較短。	1. 管理中心與其他設施距離過遠。

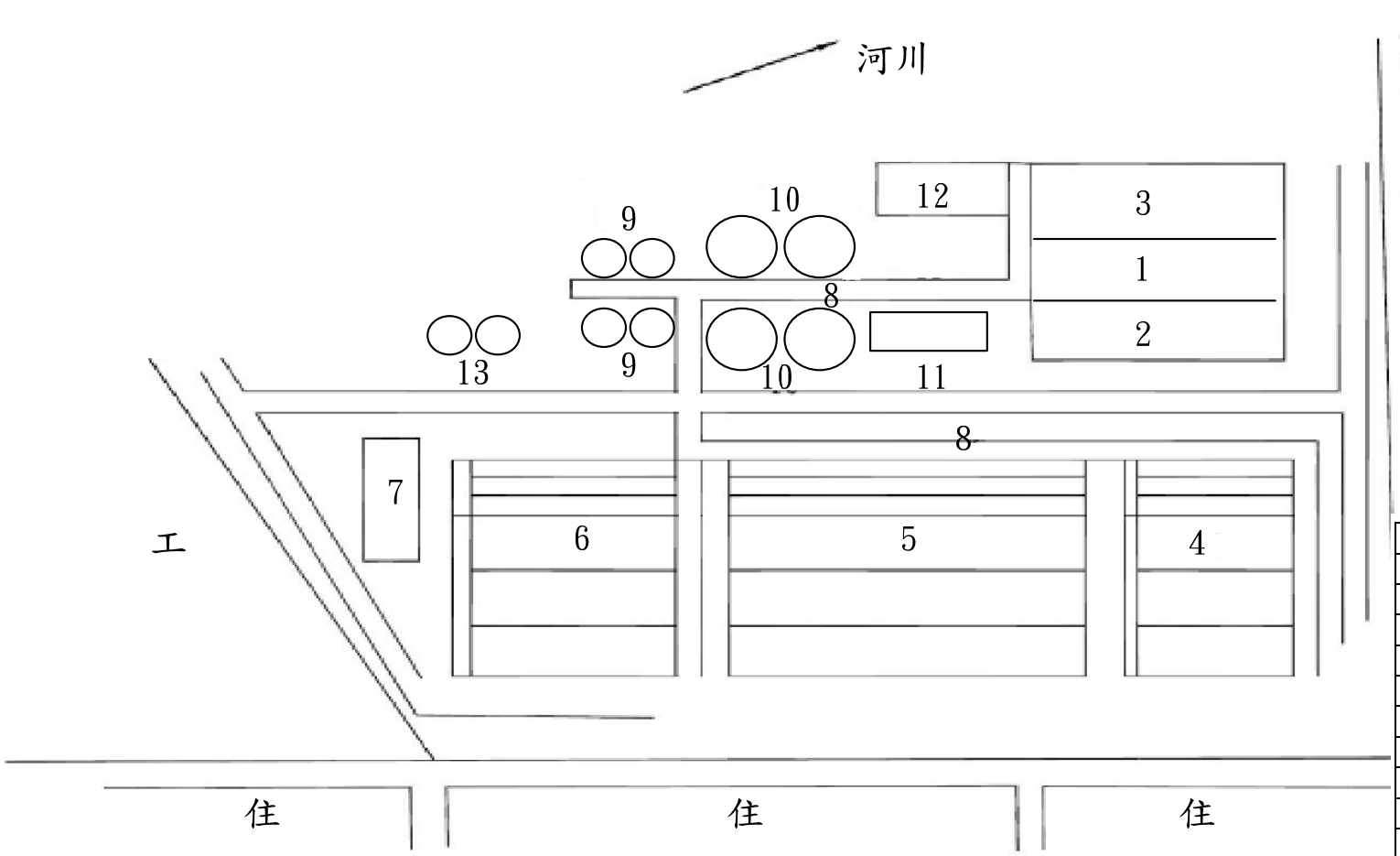


圖	例
1	管理中心
2	抽水機房
3	污泥處理機房
4	初級沉澱池
5	曝氣槽
6	二級沉澱池
7	消毒槽及再生水砂濾
8	管廊
9	濃縮槽
10	消化槽
11	鼓風機房
12	污泥分離液貯槽
13	瓦斯槽

圖 2.14 平面配置方案檢討最佳方案圖例

2.5 污水處理廠池槽

污水處理設施之池槽，大部分為圓形或長方形，本節就設置應有之考量加以討論。至於各池槽的分水，於第 9.6 節討論。

污水處理池槽構造應考量事項如下：

1. 污水處理設施各池槽應考量結構物安全，池槽應以堅固耐久且具水密性之鋼筋混凝土建造，並須可抵抗地下水之浮力。
2. 氣密性之大型池槽，應裝設釋壓及真空閥，以避免因槽內氣體產生過度壓力或真空而損壞槽體。
3. 池槽應設計足夠之出水高度。
4. 池槽應考量能排空池水的措施。
5. 加蓋之池槽槽頂應設置能安全上下之階梯，在槽頂邊緣及開口部分應設置欄杆。
6. 地下管線進出池槽或建築物等結構物，或穿越不同地質，會產生不均勻沉陷處，應設置可撓性管件或採用雙套管之設計。
7. 廠內池槽設置，應考量節省土地面積。

解說：

1. 污水處理設施的構造物部分埋設在土中，為避免地下水經由池牆滲入池內，或池內污水經由池牆滲出而污染地下水，應以鋼筋混凝土的構造達到堅固耐久及水密性。各池槽之設計使用年限長達數十年，故池槽結構設計應考量靜載重、活載重、衝擊、振動(風機及離心機等)、扭力(迴轉式刮泥機加諸於中心柱)、動態載重、水壓、土壓、地震力、風壓等，以使池槽具備安全及耐久性，並須檢討溫度變化導致池槽伸縮引起的溫度應力、土壤承載力及空槽時地下水上浮力。

   污水處理設施池槽設計時，特殊考量事項如下：

   (1)圓柱形係結構上最適合的池槽槽體，但若有下述特殊目的，則應改用長方形池槽：

   ① 槽體用地面積須減少時。

   ② 槽體須隔間或需要多個池槽時。

   (2)鋼筋混凝土池槽，如超過 3 m 高，壁厚至少須為 30 cm。任何次要結構元件厚度至少為 15 cm，如須要 5 cm 保護層厚度，則厚度至少為 20 cm。

   (3)受地下水浮力影響的池槽，須以增加自重對應。

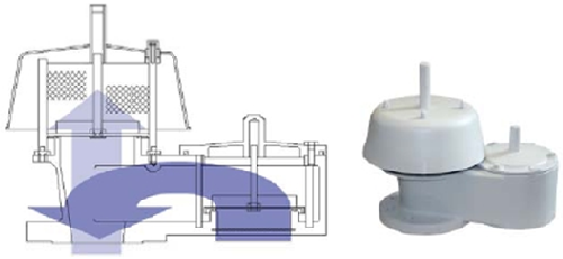
   (4)暴露於中等濃度硫化氫濃度以上(150～1000 ppm)侵蝕的鋼筋混凝土池槽，應採用抗硫化物水泥。

   (5)同一結構物中不同水泥，不能交替使用。

   (6)適當材料設計而製造出的混凝土具有緊密性、水密性，且可抵抗大部分的化學侵蝕，在一般使用情況，不需要其他的防止化學侵蝕的保護。在特殊情況下，例如硫化氫存在於靜止未通風的環境中，且定期處理或清除有困難或不經濟時，才須要塗刷保護層。

2. 污水處理廠一些氣密性之池槽，例如：厭氧消化池等，如其頂板為固定式，

當槽內氣體瞬間的排氣量遠大於進氣量，或槽內水位急遽下降時，槽內水位上部空間會形成真空，如池槽頂板結構強度不足，可能會使池槽頂板遭受大氣壓力壓垮；相反的，當槽內氣體瞬間的進氣量遠大於排氣量，或槽內水位急遽上升時，槽內水位上部空間會產生壓力，如池槽頂板結構強度不足，亦可能會使池槽結構體遭受池內氣壓破壞。為避免這種情況發生，可採加強頂板結構，或在池槽頂板裝設呼吸閥(breather valves)(如圖 2.15)，該閥兼具有釋壓閥及真空閥功能。保護通氣(conservation vents)或安全通氣(safety vents)，係以法蘭固定在頂板上，其閥體的釋壓及真空閥，各有一個托盤及隔膜裝置，托盤及隔膜的重量會壓在排氣孔口上方的 O 型密封環上以防止漏氣，當槽內氣體壓力增加或產生真空時，托盤及隔膜會上升，使得槽內氣體或槽外空氣能經孔口流向壓力較低處，從而避免槽內氣壓增加或產生真空。



a.示意圖　　b.照片

圖 2.15 釋壓及真空閥

3. 池槽出水高度，應考量當該池槽下游端出現水理問題時，可能使該池槽的出流渠道淹水，但不至於溢出池牆外，此出水高亦足夠迴水至該池槽前的其他池槽。池槽設有 RC 頂板時，出水高度應足夠，使頂板的梁底合乎下述要求：①在最高水位之水面上，②不致阻礙水面浮渣之流動，③不會妨礙裝設在水面上的刮泥機或刮渣機之運行。池槽設有表面曝氣機時，在曝氣機上下游 3 m 或以上的局部池槽，可較其他部分的池槽增加出水高度。池槽會因曝氣而產生泡沫時，應考量足夠的出水高度，使泡沫不易被風吹走，並可使消泡噴水頭能有效的消泡。
4. 污水處理廠的池槽須定期排乾池水，以便清除淤積、檢修設於池底的設備或其它目的。污水處理廠池槽排水設計，傳統的方法係在池槽底部設置排水閘門，一旦須要排水，僅須打開閘門，將池水排入池槽附近的廠內污水下水道系統，而以重力流方法流入中繼加壓站或進流抽水站即可。由於排水閘門並非經常使用，長期浸泡在污水中，不是遭污泥或泥砂掩埋，就是因銹蝕而無法打開，或是無法關閉，必須臨時調動抽水機來排水，將池水排乾後，再檢修或更換排水閘門，此已失去原先設置排水閘門之目的，故欲在池槽設置排水閘門，首應考量排水閘門是否會故障的問題。

   污水處理廠池槽排水的第二種方法，係採用可移動的柴油引擎抽水機或沉水式抽水機，及其必要的排水軟管，除能將池水抽至池槽附近的廠內污水下水

道系統，而以重力流方法流入中繼加壓站或進流抽水站外，亦可依照不同的需求，將池水排放到各個指定的地點，例如將進行維修的生物反應槽第一池的池水排至第二池中，或將初級沉澱池第二池池水排入生物反應槽的進流渠道中。因此，採用抽水機在池槽排水操作上較具彈性。

惟使用抽水機排水，池水僅能下降到抽水機的葉輪高程處，約離池底地板 30 至 40 cm，而無法完全排乾。為儘量排乾池水，可在靠近池槽方便作業的地方，選擇一處池底規劃設置深約 30 至 40 cm 深的抽水坑，以配合抽水機之排水作業。一些在清除淤積及檢修設備時，須完全排乾的池槽，如圓形或矩形初級沉澱池及二級沉澱池，可利用其既有之污泥斗，而生物反應槽及加氯消毒池，則須在其池底適當地方設置較深的抽水坑，以便排乾池水。

5. 依「職業安全衛生設施規則」之規定，在高度達 2 m 以上之加蓋池槽槽頂上作業時，對於邊緣及開口部分，人員有遭受墜落危險之虞者，應設有適當強度之圍欄、握把、覆蓋等防護措施，其照明設備應保持適當照明。加蓋池槽槽頂邊緣及開口之欄杆扶手高度，不得小於 1.20 m。在高差超過 1.5 m 以上之加蓋池槽槽頂上作業時，應設置能使人員安全上下之階梯。各池槽的周邊應有護欄。
6. 地下管線與結構物因兩者重量不同，長時間可能產生不均勻沉陷，或因地震產生不同變位量，另同一地下管線穿越不同地質時，因地質條件不同，也可能產生不均勻沉陷，應設置可撓性管件(如橡膠或鑄鐵材質可撓管)吸收變位量。
7. 為達節省廠區土地面積，多槽矩形池槽應採共同壁(共構)設計，而多槽圓形池槽應採兩排或以上，且錯開設置。多槽矩形池槽採共構方法，由於省略了池槽間的聯絡管線，可達節省水頭要求。池槽階梯處或機械設備所在位置，應設置銜接車行道路的維護管理步道。

2.6 污水處理系統繞流之考量

為增加污水處理系統之安全及彈性操作，應考量系統繞流之配置。

解說：

為提升污水處理設施之安全及操作彈性，應考量污水處理系統繞流之配置，包括：

1. 為因應氣候變遷之極端降雨，造成集水區淹水，導致大量雨水逕流灌入污水下水道系統，或污水處理廠發生意外事故，而不得不停止進水時之風險，宜在主幹管流入抽水站前之人孔，設置可將雨、污水緊急消毒後，溢流入周邊雨水下水道管渠或水體之設施，以達紓流之目的。
2. 為因應污水處理系統之正常穩定操作及初期低流量與維修需要，宜考量由進流抽水站直接繞流至初級沉澱池(不經沉砂單元)，或不經初級沉澱池，而直接流入生物反應槽之規劃與配置。
3. 在去氮、除磷系統，為提升反應槽之釋磷或脫硝反應所需之碳源，可考量部分或全部污水，以及初級沉澱池之沉澱污泥，以繞流管引入生物反應槽之彈

性操作考量。

2.7 設施間之水位差及導水渠設計

1. 各污水處理單元間的水位差，則依各處理單元水頭損失分別計算。若為改建或擴建工程，則可參考操作之實際狀況做適當的決定。
2. 導水渠之設計流量，以計畫時最大污水量加各種迴流量設計之。

解說：

1. 設施間水位差之設計考量，包括：
   (1)各處理單元的水位，依下游處理單元水位為基準，分別針對各處理單元配置構造上的損失水頭，並加計導水渠及量測設備的損失水頭。另依抽水機之最大能力(含備用抽水機)抽水時，確認其不會造成溢流狀況為原則。
   (2)各處理單元間的水位差若偏大，將造成進流抽水機的過高揚程而不經濟，水位差過小，則下游處理單元有影響上游處理單元水位之虞，在處理機能上不適宜，故應以能達各處理單元間之平衡設定其水位差，並須考量因流量增加或一般沉陷量，設計適宜的餘裕量。
2. 導水渠的設計量，依計畫最大時污水量，加計畫迴流污泥量、分離液及脫硝硝化液量，考量設施間之水位關係，以平均流速 0.6～1.0 m/sec 設計之。

2.8 污水處理設施節能

污水處理設施節能，應考量事項如下：

污水處理廠的設計，應就未來營運操作，從流程依各設備之能耗加以考量節能設計，使未來的營運能達到節能之效果。

解說：

污水處理廠的設計，應就處理廠流程，檢討各設備，從營運角度考量各設備之操作狀態，進行設備設計及選用，以達到節能之目的。

污水處理廠各主要設備節能設計考量，如表 2.14。

2.9 污水處理廠多目標使用

污水處理廠多目標使用，應考量事項如下：

污水處理廠的上部空間等，係都市中重要的開放空間，應加以考量多目標使用。

解說：

污水處理廠頂部空間做為公園、運動設施、避難所、產生能源等使用，對於下水道的順利推動，以及提升下水道的形象等，皆有密切的關連。污水處理廠頂部空間做為多目標用途時，可使用之型式，如表 2.15。

表 2.14 污水處理廠各主要設備節能設計考量內容

流程	設備區分		設備、系統、技術具體內容
前處理流程	電氣使用設備	沉砂池設備、泵浦設備	1.攔污機間歇操作(定時器、水位差、主泵浦連動) 2.洗砂機間歇操作，依據池序、交互運轉 3.依據流量實施池數管控 4.進流水抽水機運轉效率化 1)台數管控、2)轉速管控、3)高水位運轉(揚程減低) 5.進水抽水機流量穩定(管線、調節池利用)
水處理流程	電氣使用設備	初級沉澱池設備	1.依據流量實施池數管控 2.刮泥機操作(檢視污泥界面) 3.污泥輸送泵浦間歇操作(定時、濃度、排泥量設定) 4.提升浮渣去除捕捉率(迴流污水減量)
		生物反應槽設備	1.調控適宜送風量 1)進流流量比例管控、2)MLSS 管控、3)DO 管控 2.提升曝氣系統氧氣傳輸效率 3.硝化循環泵浦(流量管控、台數管控、轉速管控) 4.防止曝氣系統阻塞(壓損降低) 5.降低電力使用量 1) 離心式鼓風機(台數管控、變頻裝置) 2) 魯氏鼓風機(台數管控、轉速管控) 3) 水中攪拌機、曝氣機(轉速管控、間歇操作) 6.消泡流量間歇操作、間接灑水
		二級沉澱池設備	1.依據流量實施池數管控 2.刮泥機操作(檢視污泥界面) 3.污泥輸送抽水機間歇操作(定時、濃度、排泥量設定) 4.迴流污泥抽水機(台數管控、轉速管控) 5.浮渣去除設備提升捕捉率(迴流污水減量)
		消毒設備	1.依出流水量調節加氯量
		三級處理設備	1.水中攪拌機、曝氣機(轉速管控、間歇操作) 2.最佳化砂濾過濾、膜濾法曝氣機(轉速管控、間歇操作)、設備沖洗計畫
污泥處理流程	電氣使用設備	污泥濃縮設備	1.提升濃縮功能(濃縮污泥減量) 2.提升固形物捕捉率 3.降低機械濃縮設備動力
		污泥厭氧消化設備	1.進流污泥濃度管理 2.污泥消化槽溫度管理 3.污泥消化槽加強保溫隔熱 4.污泥消化槽攪拌設備用低動力化 5.蒸氣配管加溫設備加強隔熱保溫 6.鍋爐、加熱器等自動控制 7.蒸氣、溫水有效利用
		污泥好氧消化設備	1.調控適宜送風量(VSS 及 DO 管控)
		污泥脫水設備	1.供給污泥濃度管理 2.降低污泥餅含水率 3.污泥輸送及脫水設備流程管控 4.降低脫水設備用電量

流程	設備區分			設備、系統、技術 具體內容
污泥乾燥流程	電氣使用設備	污泥乾燥設備		1.污泥乾燥操作運轉計畫與污泥餅產量調整 2.調整負荷運轉率 3.降低污泥餅含水率 4.減低輔助燃料使用、增加自燃時間 5.熱回收利用設備(燃燒空氣預熱、白煙防止預熱、污泥預備乾燥) 6.加強隔熱保溫 7.減低排氣處理流量 8.熱媒洩漏防止 9.自動控制系統 1)燃燒空氣量與發熱量的調整 2)溫度管理 3)鼓風機、排氣等運轉速管控
其他主要耗能設備	電氣使用設備	除臭設備		1.除臭空氣量減少 1)除臭發生源的擴散防止 2)臭氣發生的洩漏防止 3)與一般換氣分開 2.排風扇間歇操作(季節、時段)
		受變電、配電設備	低耗能變壓器	使用低耗能變壓器(模鑄式變壓器、非晶質鐵心型變壓器、高效率變壓器)
			穩壓器	高負載設備使用高壓電，為提高供電系統的可靠性增加穩壓器，瞬間電壓的突升與突降，造成損壞後面的設備如切換變壓器、電壓調整器、自動電壓調整器等台數管控裝置。
其他主要用電設備	空調、換氣、熱水、升降機等	受變電、配電設備	變壓器台數管控裝置	監視變壓器的負載率，控制系統並聯、解聯方法以減少負載損失、提升負載率等之變壓器台數管控裝置。
			變壓器容量	電力使用容量與負載率等配合調整
			高效率不斷電系統	正常狀態下使用電壓、頻率穩定之商用電源，如停電或頻率變動過大，自動啟動蓄電池等變頻式不斷電系統裝置，正常時採用變頻運轉，可降低電能損失。
			蓄電設備	控制日間尖峰用電過大，使用高效率大容量蓄電設備(NaS 電池、氧化還原電池)。
		功率因素改善	進相電容器	設備受電端、電流相位會落後電壓現象，加裝油式、乾式電容後有效調整電流的相位，來改善整體功率因數。
			自動功率因素調整器(APFR)	測定系統功率因數，以達到 0.95 落後為需求，設置投入/開放自動裝置以改善功率因素。
			機械式進相電容器	於個別的機械設備上配置進相電容器，個別改善功率因素。
		高效率馬達	高效率馬達	採用高級鐵心及改善線圈之冷卻風扇，相較於標準型效率損失較小之感應馬達。
			永久磁鐵馬達	採用轉子為永久磁鐵(PM)的同步馬達，即使不投入二次側繞組電力，亦可以有較高效率。

流程	設備區分			設備、系統、技術具體內容
		運轉速管度管控	變頻設備	泵浦、風機等設備流量可調整，採用變頻設備有效控制馬達的頻率、電壓等。
			多段式馬達	可多段調整馬達轉速，以有效多段控制轉速變換及固定。
		電能管控	需求控制裝置	監測最大電力使用量，當超過預估之設定值時，自動發出警報、並切斷負載。
		空調、熱源設備、系統等	高效率離心式冷凍機	採用定格運轉時其性能系數(COP)在 6 以上的冷凍機。壓縮機採用變頻設備，冷卻水於溫度低時 COP 有上升現象。
			瓦斯引擎熱循環泵浦系統	啟動瓦斯引擎熱循環泵浦系統，提供為冷暖氣時，於暖氣時可回收瓦斯引擎之熱排氣。
			高效率中央空調	壓縮機、排風扇採用直流電馬達，提升壓縮機，室外內機熱交換性能高的中央空調。個別空調系統亦可使用。
			儲冰式中央空調	冰水主機桶槽與中央空調系統結合，夜間製冰產生冷氣白天使用。個別空調系統亦可使用。
			改良型雙效用吸收冷溫水機	吸收液再生、冷凝流程等所排放熱值做為燃燒用空氣、吸收液預熱或製造溫水等之配備。
			外氣冷房空調系統	冬季時，適當的利用較低溫度之室外進氣，可節省冷氣空調系統的能源消耗。另外、設置全熱能交換器的空調系統，也可以將熱能進行繞流。
			紅外線暖房	藉由紅外線的照射，提供暖房效果。由於空氣溫度較為暖和，有其功效。
			全熱交換器	有效回收排氣的熱能，可降低進氣量的補充。
			預冷熱之外氣進氣控制	溫度預冷或預熱時，管控室外進氣量的補充。
			外氣取入量控制	監測室內 CO_2 氣體狀態，管控適當的室外進氣量。
			冷熱水供水最佳設定控制	冷卻或溫水設備提供冷水或熱流量，依據負載需求配合適當的輸送動力，可有效提升性能系數(COP)。
			冷卻水最佳設定溫度控制	冷卻水於溫度低時，有利於冷凍效率提升，因此在維持冷凍設備正常運轉的保護回路熱平衡下，管控適當的溫度。
			熱源台數量控制	對於已設置複數台的冷凍設備，管控適當的台數以符合實際的需求。
		空調設備、系統等動力節約	減低水、空氣輸送時之水頭損失	自動化管控適當的壓力。
			葉輪間距的調整	泵浦葉輪間距調整，依據供流量之壓力需求選定特性曲線符合之泵浦。
			配管內摩差損失減低	密閉系統配管內，利用界面活性劑混合流體使得阻抗減低，以減少動力消耗。
			漿狀水化物	水化物與水溶液混合的熱傳導媒介劑，屬於高密度

流程	設備區分			設備、系統、技術 具體內容
			空調系統(VCS)	材質，可提升冷熱能的傳導功能，降低空調系統動力消耗。
		空調設備相關等及其他	內壁、窗戶、床等隔熱	針對非空調空間與房屋間之隔間進行隔熱。
			外壁、屋頂、窗戶、床等隔熱	建築物外牆、屋頂、窗戶、床等強化隔熱效果。
			建物氣密性	使用氣密門、雙重門、回轉門等增加氣密性。
			屋頂綠化、牆壁綠化	考量散熱、冷氣效應加強屋頂、牆壁綠化。
			日曬隔熱	使用遮蔽材料、熱反射玻璃、選擇透光性材料、隔熱塗刷素材等。
			適當劃分空調區域	依據使用時間、負載型態等適當劃分空調區域。
		熱水裝置	自然冷媒(CO_2)熱循環泵浦熱水裝置	自然冷媒(CO_2)熱循環泵浦熱水裝置，運轉可以得到90℃的熱水。利用自然冷媒(CO_2)取代海龍，可降低對環境的負荷，並且可以得到高溫的熱水。熱循環泵浦熱水裝置可與熱水供應裝置組合成套裝設備。
			高效率熱循環泵浦熱水裝置	新冷媒(R410A)熱循環泵浦熱水裝置，運轉可以得到 80℃的熱水，效能係數(COP)高。熱循環泵浦熱水裝置可與熱水供應裝置組合成套裝設備。
			潛熱回收型熱水裝置	一般瓦斯熱水供應裝置，常將 200℃的廢氣排放，利用潛熱回收型熱水裝置，可將廢氣排放溫度降至80℃，回收的熱能可做為熱水預熱。
			瓦斯引擎熱利用熱水裝置	瓦斯引擎發電的同時，將廢氣排熱儲存利用，供熱水供應裝置使用，瓦斯引擎裝置可與熱水供應裝置組合成套裝設備。
		高效率換氣設備	可變式換氣設備	利用變頻設備調節換氣風量。
			局部換氣系統	針對吸煙場所、燃燒器具、影印機等空氣污染源高負荷區域，降低用電量。
		適當換氣量	依據 CO_2、CO 濃度控制適當換氣系統	使用於停車場等，監測 CO_2、CO 濃度以控制換氣系統之適當鼓風機數量、轉速等運轉系統。
			依據溫度適當換氣系統	使用於電氣室、機械室等，依據設定之上下溫度以控制換氣系統之適當運轉。
			利用定時器控制適當換氣系統	配合倉庫、機械室等使用時間、季節性等特性，利用定時器控制換氣系統，並適時檢討間歇使用，調節適當換氣系統。
		電梯	使用變頻設備	電梯運轉系統使用變頻設備。
			電力回收系統	每次電梯運轉之人數及方向，運轉時馬達消耗電力的同時，可利用電力回收系統回收部分電力。
			永久性電磁捲揚機	採用永久性電磁馬達之無段式捲揚機，電梯加速、減速時噪音小，效率高。

流程	設備區分			設備、系統、技術具體內容
		電扶梯	自動運轉裝置	電扶梯前加設光感器具，光感有使用者時電扶梯才自動運轉的裝置。
			台數管控	依據帶狀使用時間，管控使用台數。
	照明設備	高效能照明設備	LED 照明器具	使用 LED 照明器具，低耗能、降低發熱、體積小、壽命長
			窗邊照明回路分離	白天光線充足時可自動關燈、將窗邊照明回路分離配置。
			光導管系統	光導管內部設置鏡面，可有效將日曬光線導入屋內之系統，可補足正常照明。
			高反射率板	設置螢光燈具之高反射板提升高反射率。
			高亮度誘導燈	使用冷陰極管提高亮度之誘導燈。
		照明設備控制裝置	窗簾遮蔽控制	依據季節性、時間性等日曬有效使用，並配合空調負載調節系統。
			照明自動開關裝置	利用定時器、光感、人員感應等，自動控制照明開關裝置。
			多段調光系統	依據必要照度多段調整亮度系統，可避免多餘亮度使用。
			日間利用系統	利用光感設備，將日曬有效使用，並配合調整亮度系統。
	未利用能源	下水熱能有效利用設備		1.做為空調設備熱源 2.提供溫水
		消化瓦斯有效利用設備		1.消化瓦斯做為發電機引擎燃料 2.焚化爐輔助燃料 3.做為鍋爐熱源 4.提供其他單位使用
		小水力發電設備		利用水壓位能做為開放型蓄熱系統揚水動力、利用水壓位能設置小型水力發電設備、回收部分電力。
		烘乾廢熱有效利用設備		1.污泥預烘乾熱源 2.做為空調設備熱源 3.消化槽加溫 4.提供溫水

備註：引自日本省エネルギーセンター「節能省エネ 104 項目」

表 2.15 污水處理廠多目標使用之型式

利用設施	利用型式	說明
抽水站 污水處理廠	休閒設施	上部公園化、運動用途等設施
	集會場所	社區活動中心、紀念館
	教育設施	自然教室、環境教育教室、圖書室
	防災設施	緊急避難、災後臨時安置
	辦公設施	空間利用(出租大廈、公寓)
	停車場	出租停車位
	產生能源	太陽能發電、風力發電

污水處理廠多目標利用，如依照對民眾開放的方式可分兩種，第一種是完全

獨立的進出門禁，藉著圍籬或是上下層的天然屏障，將民眾與處理設施隔開，阻絕其接近處理設施；第二種是開放廠地中的公園、運動設施及道路，以不須事先報備方法，任由民眾由大門或偏門，進出廠地進行休憩、打球及慢走等活動。這種惠而不費的回饋方法，可以與附近居民建立和睦相處的關係。對於處理設施，則採加鎖、加強警示及監控等安全防衛措施，以維護民眾及處理設備的安全。

國內污水處理廠採用第一種開放方式的多目標利用，又可分成兩種方法，其一是在平面上，如：廠區範圍內建廠多餘的土地，或是保留做為未來擴建的用地，或是前面兩者合併的土地，實例有新竹市客雅水資源回收中心；其二是在立面上，如：廠區局部或全部的上部空間，實例計有台北市迪化污水處理廠及台北市內湖污水處理廠，兩者之污水處理設施部分，皆採用半地下化方法興建，而上部則闢為運動休憩公園。

採用第二種開放方式的多目標利用，在國內多數是屬公共的污水處理廠，實例有雲林斗六水資源回收中心。

污水處理廠頂部空間利用，應對下列事項加以檢討：

1. 適合利用為公共設施的內容。
2. 對地方及周遭住戶的貢獻。
3. 下水道設施維護管理上的阻礙。
4. 將來擴建及改建時的阻礙。
5. 對下水道形象增進的貢獻。

2.10 營運初期對策

初期低流量低濃度操作對策應考量事項如下：

污水處理廠營運初期進流水量低，其水質也因水量低流速慢，而在流程中因沉積及分解，以致濃度低，故於設計時，應有因應之考量。

解說：

1. 污水處理廠分期施作時，第一期工程建設會受到收集管線工程建設期程之影響，因此在操作初期，污水量及水質多遠低於設計值，部分區域會納入截流水補注污水處理量，因此於概念設計時就應將初期彈性操作維護需求，於第一期設計階段納入考量。
2. 污水處理廠第一期建設，應考量低處理量、低水質之操作模式，池槽分池設計應考量最低處理量，機械設備應考量低處理量及低水質之需求，特別是進流泵浦、鼓風機及迴流污泥泵浦。另第一期進水抽水站之濕井設計，應考慮中間隔牆，作為操作之彈性。
3. 污水處理廠第一期建設之污泥因水量水質因素，污泥量應會低於終期理論推估值，因此污泥處理流程、機械設備處理量及設置台數，應特別注意避免閒置或是無法啟動試車。
4. 營運初期進流水量低，宜考量由進流抽水站直接繞流至初級沉澱池(不經沉砂單元)，或不經初級沉澱池，而直接流入生物反應槽之規劃與配置，並申請變更操作許可。

5. 營運初期污泥產生量少，為配合濃縮槽間歇性操作，應有間歇放空濃縮槽，以防污泥腐敗之排空配置，以及併同分離液引入抽水井或生物反應槽之配置。
6. 由於污水收集系統建設期程長，可考量將污水處理廠建設分期，另機械設備有其使用年限，因此可考量初期設置較小容量機組以因應初期需求，等後期擴建時初期設置之機械設備如達使用年限，可一併更換為較大容量機組，以提升機械設備運轉效率避免投資浪費。
7. 污水處理廠分期施作之後期建設，如收集系統依計畫建設，污水量應已無初期低水量之影響，惟水質部分則需依據第一期實際操作資料統計分析，推估未來可能之水質變化。

第三章 抽水站及抽水機

3.1 概說

污水下水道系統上，抽水站之種類包括污水下水道管線之中繼加壓站、污水抽水站和污水處理廠之進放流抽水站等。

中繼加壓站設於管線埋設甚深或位於低窪地帶，抽水設備將污水揚升至適當高程後，繼續以污水管線重力排放。抽水站則是透過抽水設備，將污水遠距抽送至下游銜接重力管線或污水處理廠內。

污水抽水站的運作，係先以機房內設置的抽水機，將污水以壓力方式抽送至遠方的污水管線或污水處理廠處理。

污水處理廠之進流抽水站，係將較深處之進流污水揚升至污水處理程序所需之適當高程，放流抽水站則是將污水處理後之放流水揚升高程後排放或直接壓力輸送至放流承受水體。

典型中大型抽水站之組成，包括設置於抽水站流入口之進流閘門，設置於抽水站內各渠道，藉以調整分水流向之各種閘門，避免阻塞管線為目的攔污柵，甚至是能將污水中的粗固體物破碎的破碎機，以保護下游抽水機及各處理設施，作為抽水站主角之乾井、濕井、抽水機、其他操作維護附屬設施以及沉砂池等。圖 3.1 所示為臺北市內湖污水處理廠之進流抽水站。

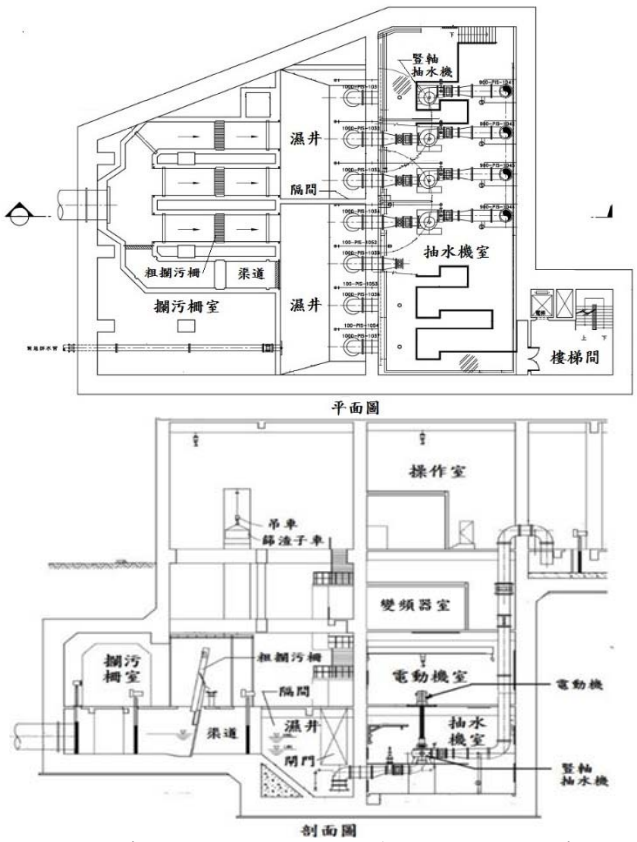


圖 3.1 污水處理廠進流抽水站例(臺北市內湖污水處理廠)

3.2 抽水站設計基本原則

3.2.1 設計流量

抽水站的設計容量，應為最大時流量。

解說：

分流式污水下水道之中繼加壓站、抽水站及污水處理廠進放流抽水站，皆以污水最大時流量為設計流量。如果抽水站每日進流量的時變遷較大，需考量以多台、變速或不同容量之抽水機因應之。

3.2.2 設置位置、安全、環境及節能

抽水站設置位置、安全、環境及節能考量如下：

1. 抽水站的位置，依用途別、最適水理條件、用地條件及動力條件檢討設計。
2. 抽水站應有防止雨水異常流入異常高水位，以確保抽排水能力之考量。
3. 放流口之設置，應考量承受水體之狀況、放流口高程等，必要時應設置排水抽水機。
4. 抽水站應具有在大規模地震下，仍可維持正常運作及危機管理對策設計之。
5. 應有防止抽水站發生振動、噪音、臭氣等環境保護措施及防爆安全設備之考量。
6. 抽水站應具節省能源之考量。

解說：

1. 污水抽水站位置，依流入管渠、處理設施配置及放流管渠等，加以綜合考量配置決定位置。在位置的決定時，也要檢討未來改建或修繕的方便性等。
2. 抽水站應有防止因豪雨、颱風時等造成異常流入量之措施，並為防止污水處理廠進流水發生異常暴量，應於進流抽水站前幹管之人孔或抽水井配置超高水位時緊急溢流，以維護污水處理廠安全，緊急溢流應有防止排水逆流設施。

   抽水站整地高程，應不低於周邊高程。抽水機室、電機室、監控室等重要設備之外部開口及通道出入口等，應依政府公告之淹水潛勢圖資及歷史淹水災害資料決定設置高程，必要時加設水密性防水閘門，以確保抽水機之抽水機能等防止淹水對策。
3. 當處理廠排放承受水體外水水位升高淹沒放流管，以致外水有倒灌入廠內之可能時，應設置防逆流之閥門(如舌閥)及關斷用閘門或擋水設施，以阻擋外水進入廠內。當外水水位升高，以致於放流水無法排出時，必須利用放流抽水站以抽水機壓力排放。
4. 抽水站之結構，應具大規模地震之耐震設計，以防地震損壞，影響整體運作。
5. 抽水站若鄰近住宅用地，其可能產生的振動、噪音、臭氣等應加充分檢討防制之，並應有防爆及安全設備之考量。
6. 為節省能源，抽水站所用的抽水設備，應採用具節能型之機器。

3.2.3 抽水機抽水量、台數及容量

抽水機抽水量、台數及容量，考量如下：

1. 抽水機台數，應依計畫抽水量大小設置之。
2. 抽水機台數及容量，應依抽水量作分配。

解說：

1. 污水下水道系統抽水站採用之抽水機類型，須配合污水特性、容量及揚程選

用，常用型式為離心式抽水機。

抽水機台數及容量之決定，應配合進流污水量之變動，穩定抽取水量，以均衡污水處理設施之流量，不含備用之總抽水量應符合尖峰污水量需求。

因應維修之需要，應設置備用抽水機，備用抽水機規格應與最大容量機組同規格。

2. 抽水機計畫抽水量與設置台數之關係，參考表 3.1。進流抽水機台數，應考量單台或多台並聯性能曲線、抽水系統曲線、定變速及備用考量、啟停模式等操作原則，確認是否符合操作需求。

表 3.1 抽水機計畫抽水量與台數關係

計畫抽水量(m^3/s)	設置台數(含一台備用)
≦0.5	2～4
＞0.5 且≦1.5	3～5
＞1.5	4～6

進流量相對穩定的抽水站，應設置相同容量的抽水機組，以利後續操作維護。

進流量因初期接管率較低，導致初期污水量與全期差異甚大，或該區域因特殊因素(如上班時間集中)導致進流量變動大的抽水站，則需考量低進流量對較大容量機組啟停時間之影響。常用的應對方式如下：

(1)設置變速機組

選用時應注意定速與變速機組間性能曲線及操作啟停模式的搭配。

(2)採用不同容量機組搭配

全期進流量變動大不同容量機組，可參考日本設計指針所建議之台數及容量關係，如表 3.2。如抽水機為並聯使用時，則需依實際需求選用規格，選用時應繪製各機組性能曲線及不同機組之性能組合曲線，並比對抽水系統曲線，以確保各機組提供之水量能滿足系統所需，並確保各機組在合理的操作範圍，避免發生小台抽水機因關閉水頭不足而無法並聯使用之情況。

抽水站抽水機如配合初期污水量選用較小容量機組時，應注意採用管線管徑需考量全期輸送需求，擴建時應檢討抽水機規格需求，避免過多規格影響操作維護。

表 3.2 全期進流量變動大之抽水機台數及容量選用參考

容量台數	配置方式	小	中	大
2 台	—	—	Q×2 台(1 備)	
3 台	甲	—	Q/2×3 台(1 備)	—
4 台	甲	Q/4×2 台	—	2Q/4×2 台(1 備)
	乙	Q/6×1 台	2Q/6×1 台	3Q/6×2 台(1 備)
5 台	甲	Q/8×2 台	2Q/8×1 台	4Q/8×2 台(1 備)
	乙	Q/8×1 台	2Q/8×2 台	3Q/8×2 台(1 備)
6 台	甲	Q/10×2 台	2Q/10×2 台	4Q/10×2 台(1 備)

	乙	Q/13×1 台	2Q/13×2 台	4Q/13×3 台(1 備)
備註：Q 為計畫抽水量，甲、乙為依流入量變動選擇之。不含備水台數				

本表整理自「下水道施設計畫・設計指針及解說」2019 日本下水道協會

3.3 離心式抽水機特性

3.3.1 離心式抽水機分類

離心式抽水機常用分類，可依據流體、葉輪型式、軸向、泵殼、安裝位置及輸送固體物需求等。

解說：

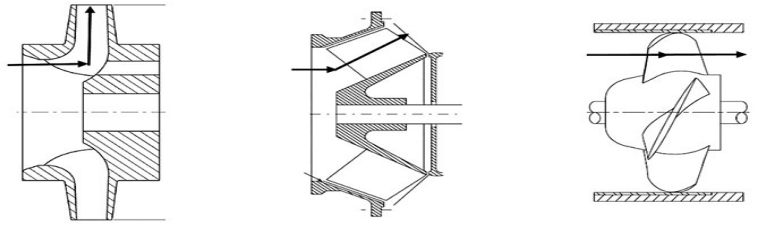
1. 離心式抽水機常用分類如下：

(1)離心式抽水機，依據流體經葉輪方向分類，可分為下列三種，如圖 3.2。

A. 徑流(Radial flow)-指流體流出葉輪之方向與軸向呈垂直狀態。

B. 斜/混流(Mixed flow)-指流體流出葉輪之方向與軸向呈傾斜狀態。

C. 軸流(Axial flow)-指流體流出葉輪之方向與軸向相同。



徑流 Radial flow　　斜/混流 Mixed flow　　軸流 Axial flow

圖 3.2 抽水機流體經葉輪方向分類

(2)離心式抽水機依據葉輪型式分類，可分為下列三種，如圖 3.3。

A. 全開放式(Full open)-葉輪前後側均無蓋板，適用輸送液體含固體物。

B. 半開放式(Semi open)-葉輪僅有後側蓋板，適用輸送液體含固體物。

C. 密閉式葉輪(Closed type)-葉輪前後側均有蓋板，不適用輸送液體含固體物。



全開放式 Full open　　半開放式 Semi open　　密閉式葉輪 Closed type

圖 3.3 抽水機葉輪型式分類

(3)離心式抽水機依據軸向分類，分為橫軸及豎軸，豎軸安裝後軸心與水面垂

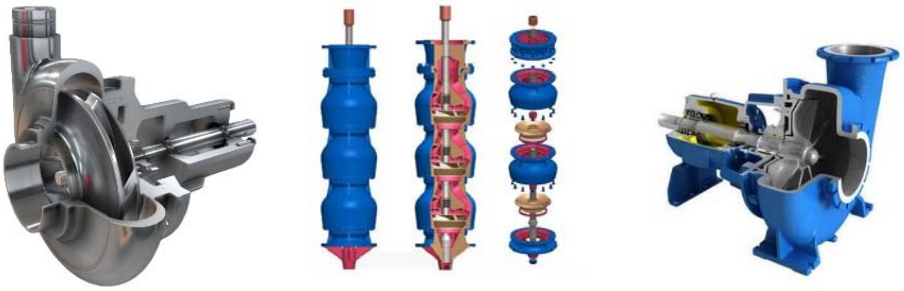
直，其占地使用面積較小，但葉輪位置較高，電動機位置高較難維護，橫軸則安裝後軸心與水面水平，使用面積較大，葉輪位置較低，電動機位置低要防淹水，兩者選用要依據用地、維護需求考量。

(4)離心式抽水機依據泵殼分類，可分為下列三種，如圖 3.4。

A. 渦卷抽水機(Volute)-指利用如蝸牛殼般的渦卷型泵殼與葉輪的迴轉達所需之揚程。

B. 透平抽水機(Turbine)-適用於多段式葉輪之抽水機，外殼內設有導葉引導經葉輪液體至下一級葉輪加壓。

C. 渦流抽水機(Vortex)-指利用退縮葉輪於泵殼內迴轉所產生之渦流來帶動液體。



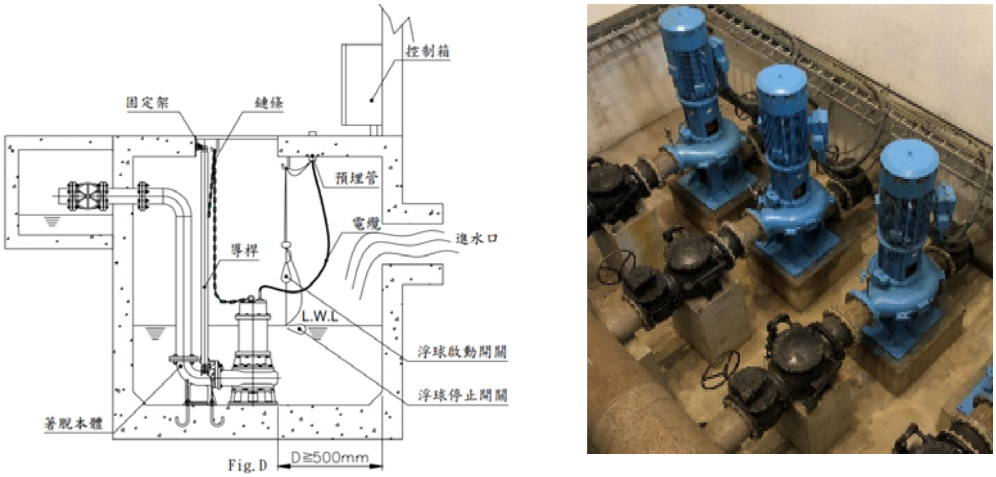
渦卷抽水機 Volute　　透平抽水機 Turbine　　渦流抽水機 Vortex

圖 3.4 抽水機泵殼分類

(5)離心式抽水機依據安裝位置分類，可分為下列兩種，如圖 3.5。

A. 沉水抽水機(Submersible pump)-指抽水機整體機組含電動機，皆安裝於沉水之區域。

B. 乾井抽水機(Dry pit pump)-指非整體機組安裝於沉水之區域之抽水機組。



沉水抽水機 Submersible pump　　乾井抽水機 Dry pit pump

圖 3.5 離心式抽水機安裝分類

(6)離心式抽水機輸送液體允許含一定規格之固體物，稱不阻塞型抽水機(Non-Clog)，通常是指採用 100％內縮葉輪或經過特殊設計的非阻塞式葉

輪之抽水機，這種抽水機一般允許通過的固體物粒徑等於抽水機出口直徑。

(7)對於浸水危險之處或吸水淨水頭大時，以採用豎軸式或沉水式抽水機為宜。

(8)下水道系統用抽水機應為不阻塞型、能抗腐蝕、磨損少、容易拆解清理之構造。

3.3.2 抽水機特性曲線

1. 抽水機選用應由製造商提供特性曲線。 2. 特性曲線應至少包括流量、揚程、效率、功率和淨吸水高度(NPSHr)等資料。 3. 選用抽水機應注意依據效率選定抽水機工作區域。 4. 抽水機選用驅動設備，應考量連結傳動效率及驅動設備效率，應注意設備廠商資料所指所需功率是水馬力、軸馬力或總馬力。

解說：

1. 抽水機製造商在特定轉速下，依照抽水機不同直徑的葉輪，進行一系列流量及水頭的試驗，同時並量測抽水機所需之馬力數，及計算不同操作點的效率，將這些結果繪製在同一張圖上，這些性能曲線統稱為「抽水機特性曲線」，如圖 3.6。
2. 泵曲線可提供有關泵性能的資訊，其中 x 軸以流量為單位，y 軸以揚程為單位，除此外應包括效率、軸馬力和淨吸水高度(NPSHr)。

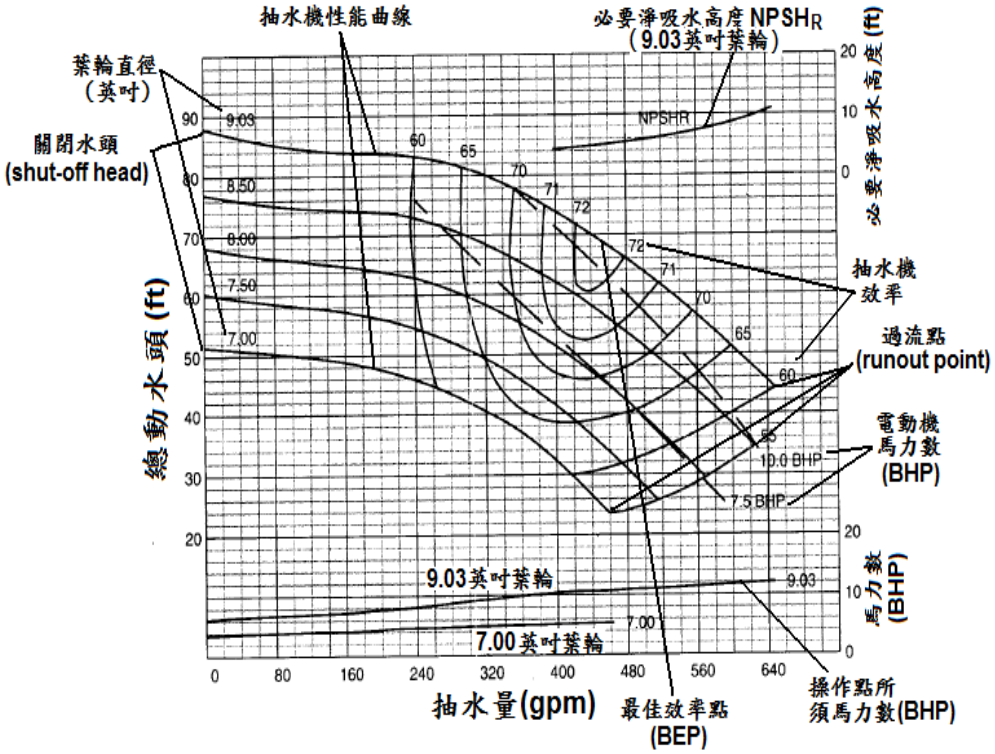


圖 3.6 離心式抽水機典型特性曲線

3. 抽水機的效率，是在特定操作條件下驅動抽水機所需的輸入功率與產生水功率之間的關係，依據抽水機性能曲線所標示的最佳效率點(BEP)，可定義出最適合該抽水機連續操作的優選工作範圍(Preferred Operating Range，POR)，依據美國 Hydraulic Institute 建議，一般離心式抽水機的 POR 為抽水機最佳效

率點(BEP)流量的 70%至 120%，而抽水機製造商則會標示整個抽水機性能曲線的允許操作範圍(Allowable Operating Range，AOR)，AOR 範圍標示可以連續運行而不會嚴重影響泵的性能或壽命，惟使用壽命將低於 POR 操作範圍。

另抽水機特性曲線上的每一點並非皆能作連續或長期運轉，當太靠近零流量之關閉水頭(Shut-off head)，或在最佳效率點(BEP)右側最遠端的過流點(Runout point，為抽水機製造商允許之最大流量點)連續操作將會導致抽水機嚴重的損壞。

選擇抽水機時，操作點越儘量靠近最佳效率點，當偏離最佳效率點越多時，會產生孔蝕及高溫現象並影響抽水機整體壽命，如圖 3.7 說明。

4. 流量-效率曲線：抽水機於不同流量下會有相對應不同的效率，如中 Q-EFF 曲線，部分廠商之效率曲線分為抽水機效率曲線及電動機含抽水機效率曲線兩種，如圖 3.8。

(1)淨吸水高度(NPSHr)曲線，可提供不同流量下抽水機吸入特性，曲線應標識在該流量下所需的淨吸水高度，以避免孔蝕問題造成整體性能影響或造成損壞。

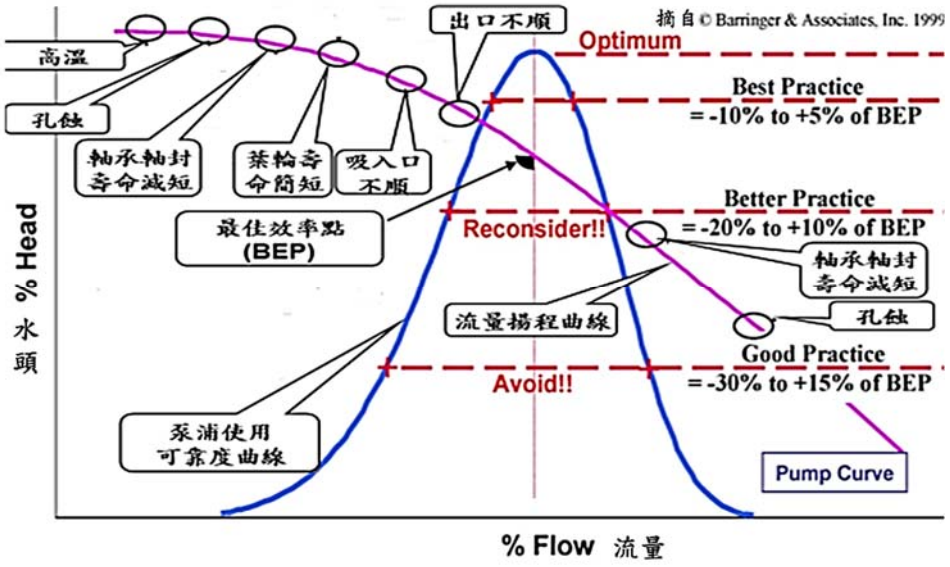


圖 3.7 離心式抽水機操作範圍與可靠性關係圖

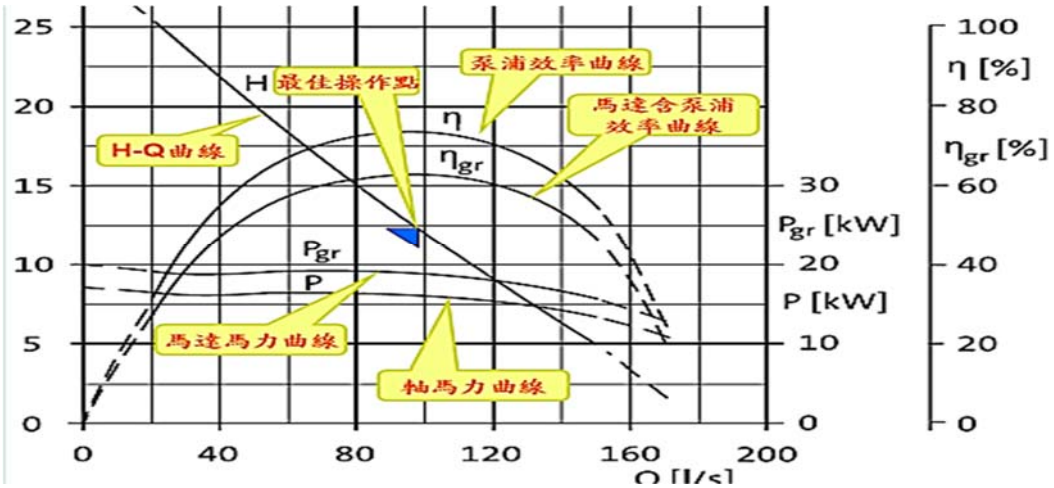


圖 3.8 離心式抽水機流量-效率曲線

(2) 流量-馬力曲線：抽水機於不同流量下會有相對應不同的馬力，抽水機的水馬力(WHP)，表示抽水機推動液體流動所需的有效功率，與抽水機的流量、揚程，液體密度與重力加速度相關；抽水機軸馬力(BHP)，表示為提供抽水機水馬力，於抽水機軸端所施加之功率，與抽水機的水馬力與抽水機本體的效率有關；抽水機電動機輸入功率(Pin)，表示抽水機運作時所須消耗的總功率，與抽水機本體效率、電動機本體效率，以及連結傳動效率有關。抽水機可依據抽水量及揚程需求，即可計算抽水機之水馬力。

$$P_w = 0.163\,\gamma \cdot Q \cdot H_t \quad \text{.....(3-1)}$$

抽水機之軸動力，可由公式 3-2 計算之

$$P_b = \frac{0.163\ \gamma \cdot Q \cdot H_t}{\eta} \quad \text{.....(3-2)}$$

式中：

P_b：抽水機之軸動力(kW)(1Hp=0.746kW)

γ：水之單位體積重量(kg/L)(污水之 γ=1)

Q：抽水機之抽水量(m^3/min)

H_t：抽水機之揚程(m)

η：抽水機之效率(小數)

抽水機效率會因流體輸送或葉輪型式，而對效率有所改變，應參考製造廠商資料，一般而言，不阻塞式抽水機的效率較清水抽水機低，而渦流式抽水機(退縮葉輪式抽水機)的效率較不阻塞式抽水機低。

抽水機操作時電動機之動力，實際上應考量動力之安全係數，電動機動力可以公式 3-3 計算之：

$$P = \frac{P_b(1+\alpha)}{\eta_t} \quad \text{.....(3-3)}$$

式中：

P：電動機動力(kW)

P_b：抽水機之軸動力(kW)

α：安全係數

η_t：傳動效率(直接連結為 1.0)

安全係數 α 在電動機時以 0.15 為標準

3.3.3 比速度及相似定律

1. 抽水機之型式，係依流量、總動水頭及抽水機轉速之比速度(specific speed)來決定，依照比速度之增大，而依徑流、斜流式，逐漸變為軸流式。 2. 抽水機若以規定轉速外之轉速運轉時，其標準特性依相似定律(affinity laws)變化。

解說：

抽水機操作特性，決定於其大小、轉速及設計，用於歸納及分析抽水機在不同情況下性能表現的基本關係，包括：相似定律及比速度。利用比速度可選擇離心式抽水機葉輪的型式，而利用抽水機的標準特性，可了解抽水機效率。

1. 比速度

抽水機型式，係依其計畫條件(流量、總動水頭及抽水機轉速)之比速度(specific speed)來決定，比速度 Ns 可依公式 3-4 計算之。

$$N_s = N \cdot \frac{Q^{1/2}}{H_t^{3/4}} \quad \text{.....(3-4)}$$

式中：

N_s：比速度，相似之抽水機無論大小，其值皆一定，反之 N_s 不同之兩抽水機為不相似。

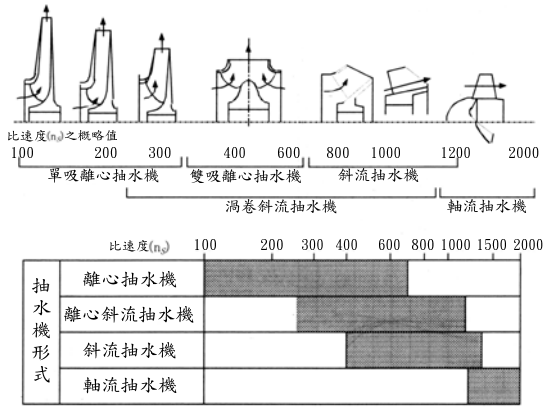
N：抽水機之實際轉速(rpm)

Q：抽水機於最佳效率點(BEP)之抽水量(m3/min)，雙吸時則為 Q//2

H_t：抽水機於最佳效率點(BEP)之總動水頭(m)

在以上述單位計算時，比速度之範圍約介於 100～2,500。抽水機型式依照比速度之增大，而依徑流、斜流式，逐漸變為軸流式，揚程高抽水量小之抽水機，其 Ns 值低；反之揚程低抽水量大者，Ns 值較高。

圖 3.9 為 Ns 與葉輪形狀之關係，幾何形狀相似之兩葉輪，若欲流動狀態亦相似，兩者之 Ns 值應相等。



資料來源：日本下水道協會「下水道施設設計指針と解説」(2019 年版)

圖 3.9 比速度 Ns 與葉輪形狀之關係

抽水機型式不同，其性能曲線形狀也會改變，如圖 3.10

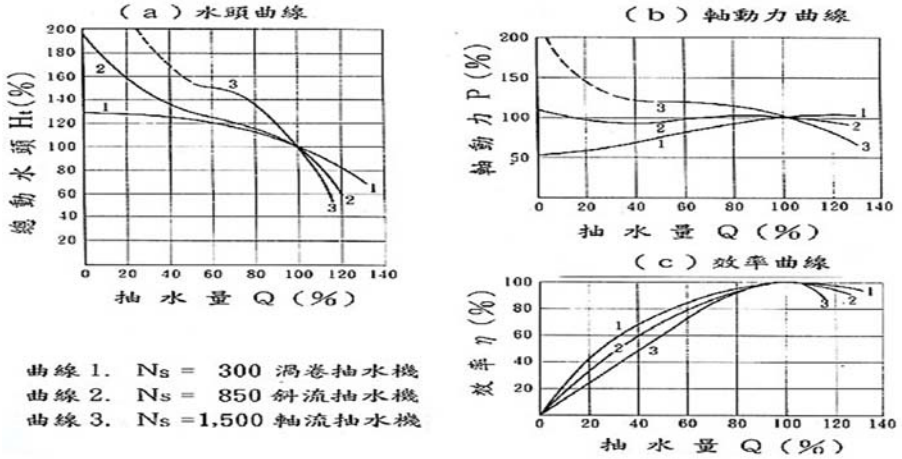


圖 3.10 各種離心式抽水機性能曲線之比較

2. 相似定律

抽水機若以規定轉速 N 外之轉速 N′運轉時，其標準特性依下列公式(3-5)～(3-7)變化，這些關係稱為相似定律(affinity laws)。

轉速 N′時之抽水量$Q' = Q\frac{N'}{N}$.....(3-5)

轉速 N′時之總動水頭$H_t' = H_t\left(\frac{N'}{N}\right)^2$.....(3-6)

轉速 N′時之軸動力$P' = P\left(\frac{N'}{N}\right)^3$.....(3-7)

式中：

Q：規定轉速 N 時之抽水量(m^3/min)

H_t：規定轉速 N 時之總動水頭(m)

P：規定轉速 N 時之軸動力(kW)

公式(3-5)～(3-7)適用於 N′/N=0.8～1.2 之範圍。

相似定律公式可求得不同轉速下抽水機的揚程-流量曲線及馬力-流量曲線變化情形：如圖 3.11。

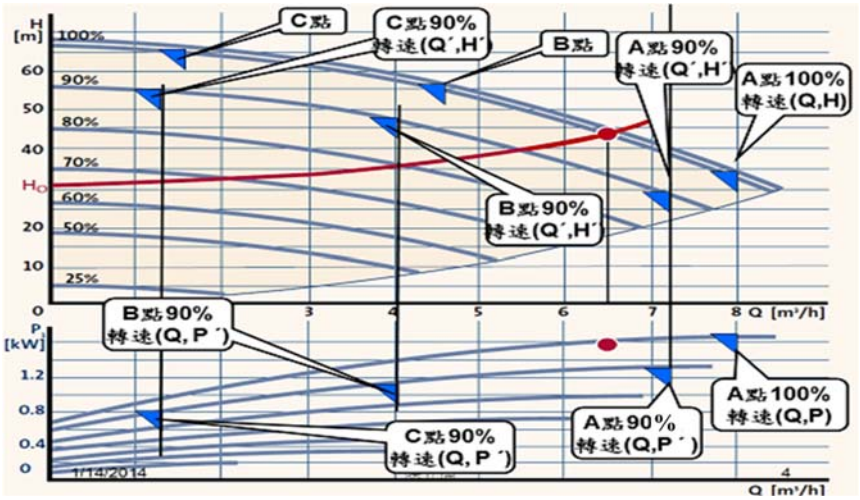


圖 3.11 利用相似定律繪出不同頻率之 Q-H 曲線及 Q-P 曲線

如抽水機的轉速不是介於 N′/N=0.8～1.2 之範圍，則必須參考設備商提供之抽水機不同轉速之性能曲線，如圖 3.12

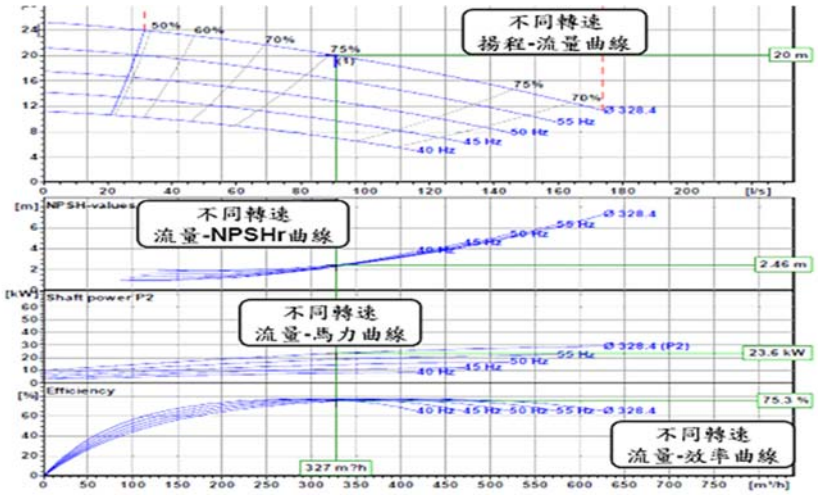


圖 3.12 抽水機不同轉速之特性曲線

3.4 管線系統操作曲線特性

3.4.1 管線系統水頭損失計算

1. 抽水機之總動水頭為總淨水頭、各種管及閥損失水頭、出水管末端之速度水頭等之總和。 2. 直管水頭損失計算常用公式，包括 Darcy-Weisbach 公式或 Hazen-Williams 公式。

解說：

1. 抽水機之總動水頭，為淨水頭、各種管、管件及閥損失水頭、出水管末端之速度水頭等之總和。

(1)總動水頭

抽水機之總動水頭，為淨水頭、吸水管、出水管、閥類、及出水管末端流入水渠，或排入大氣中之速度水頭等水頭損失之總和，依公式 3-8 決定之，如圖 3.13 a 及圖 3.13 b。

$H_t=H_{stat}+h_{ent}+h_{fs}+\Sigma h_{fvs}+h_{fd}+\Sigma h_{fvd}+v_d^2/2g$ .....(3-8)

式中：

H_t：總動水頭(Total dynamic head,TDH,m)

H_{stat}：總淨水頭(Total static head,m)= h_d -h_s

h_s：淨吸水水頭(Static suction head,m)，濕井水位在葉輪基準線上方為淨吸水水頭(Static suction head)，其值為正值；濕井水位在葉輪基準點下方為淨吸水揚水(Static suction lift)，其值為負值。各種葉輪型式之抽水機基準線如圖 3.14。

h_d：靜出水水頭(Static discharge head,m)

h_{ent}：吸水口損失水頭(m)

h_{fs}：吸水管之摩擦損失水頭(m)

Σh_{fvs}：吸水管上管件及閥類之損失水頭和(m)

h_{fd}：出水管之摩擦損失水頭(m)

Σh_{fvd}：出水管上管件及閥類之損失水頭和(m)

$v_d^2/2g$：出水管速度水頭(Velocity head,m)，如出水管末端為空氣或水池之水面下，其速度水頭 $v_d^2/2g$ 列入損失。

淨水頭受抽水機之吸水位，出水位之變化影響很大。應考量其變化範圍、計畫水量及抽水機特性操作運轉之經濟性等決定之。

(2)出水管中間高程高於末端出口高程對總動水頭之影響

計算總動水頭(總水頭損失)時，如出水管的最頂部在末端，如圖 3.15a，則依據公式 3-8 計算，如出水管的高點在中途，則計算總動水頭時，需要比較出水管至最頂部的總動水頭 H_{t1} 與出水管至末端的總動水頭 H_{t2}，設計採用之總動水頭應兩者中取其大者，如圖 3.15b。

$H_{t1}=H_{stat1}+\Sigma h_{f1}+v_d^2/2g$.....(3-9)

$H_{t2}=H_{stat2}+\Sigma h_{f2}+v_d^2/2g$.....(3-10)

式中：

H_{t1}：出水管至最頂部的總動水頭

H_{t2}：出水管至末端的總動水頭

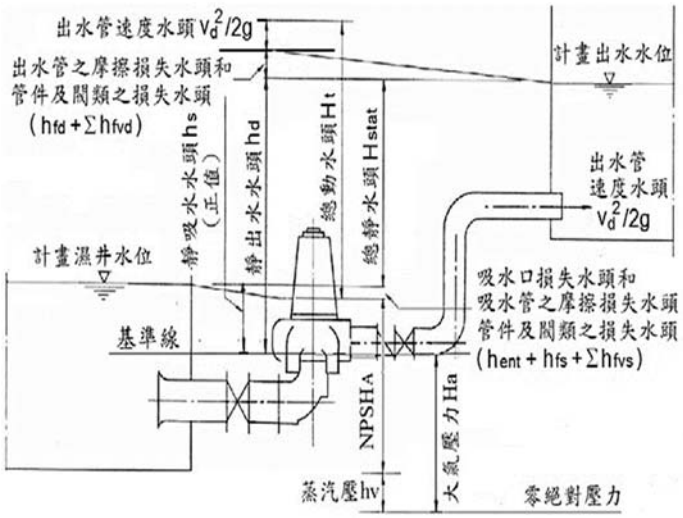
h_{stat1}：最頂部之總淨水頭

h_{stat2}：末端之總淨水頭

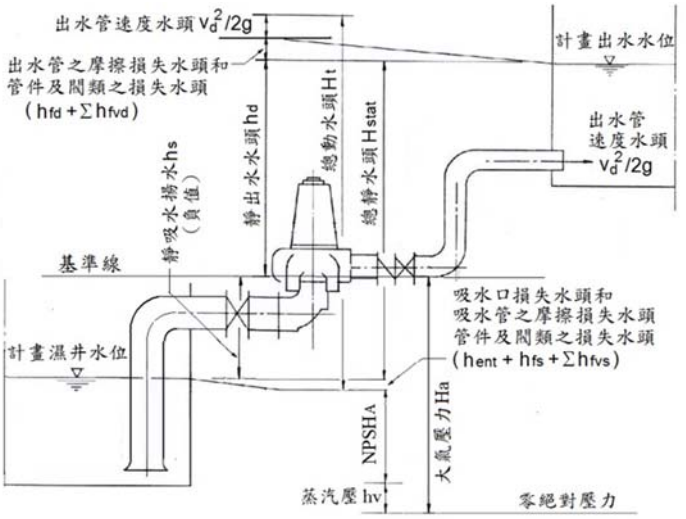
Σh_{f1}：至管線最頂部(吸水口、吸水管、出水管、管件及閥類等)全部之損失水頭

Σh_{f2}：至管線末端(吸水口、吸水管、出水管、管件及閥類等)全部之損失水頭

$vd^2/2g$：出水管末端之速度水頭



a.淨吸水水頭



b.淨吸水揚水

圖 3.13 抽水系統之各種水頭

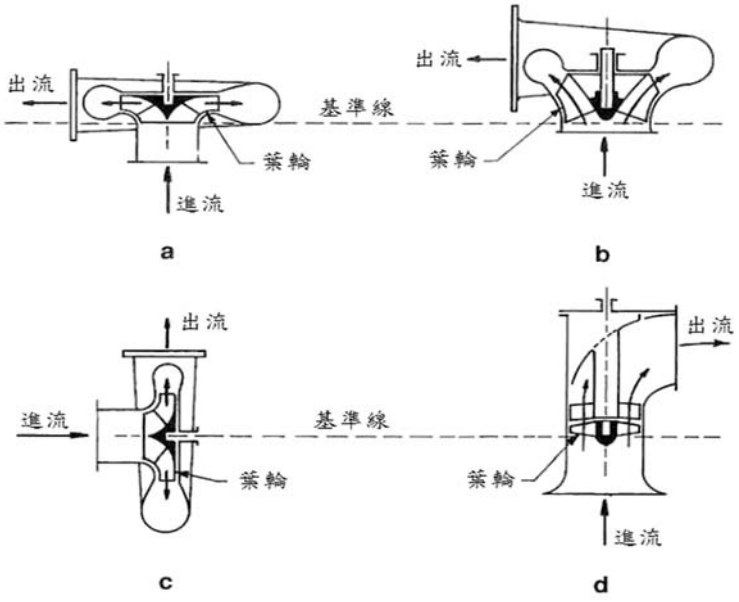
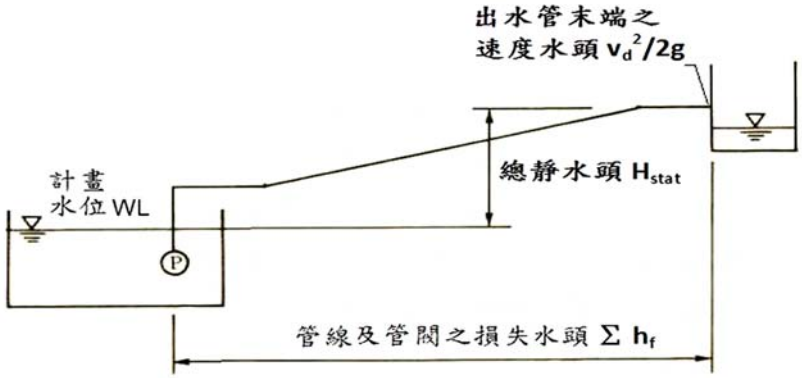
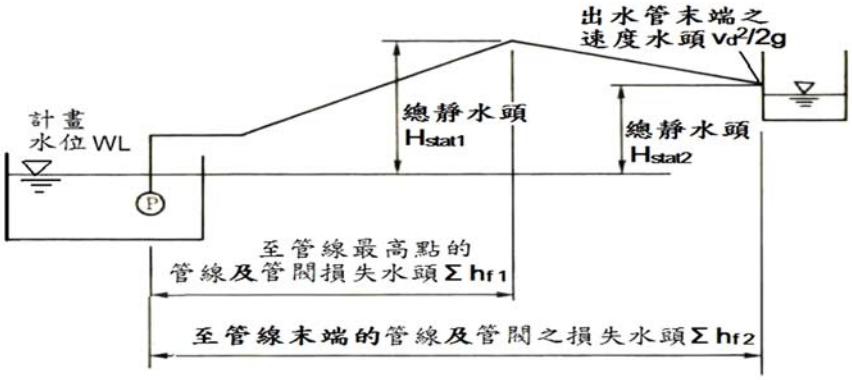


圖 3.14 抽水機之基準線



a.出水管的最頂部在末端



b.出水管的最頂部在中途

圖 3.15 出水管高點位置對總動水頭之影響

2. 直管水頭損失

(1) 達西–威斯巴哈公式 Darcy-Weisbach Equation

由亨利·達西和尤利烏斯·威斯巴哈完成本方程式，描述固定長度管路內，因摩擦力產生的水頭損失和管路中的平均流速的關係，流體流經一定管徑的直管時，由於流體內摩擦力而產生的阻力，阻力的大小與路程長度成正比，公式如下。

$$H_f = f \times \frac{L}{D_h} \times \frac{V^2}{2g} \quad \text{.....(3-11)}$$

式中：

Hf= 水頭損失 [m]；

f = 摩擦係數 [無因次]；

L = 管長 [m]；

V = 平均管中流速 [m/s]；

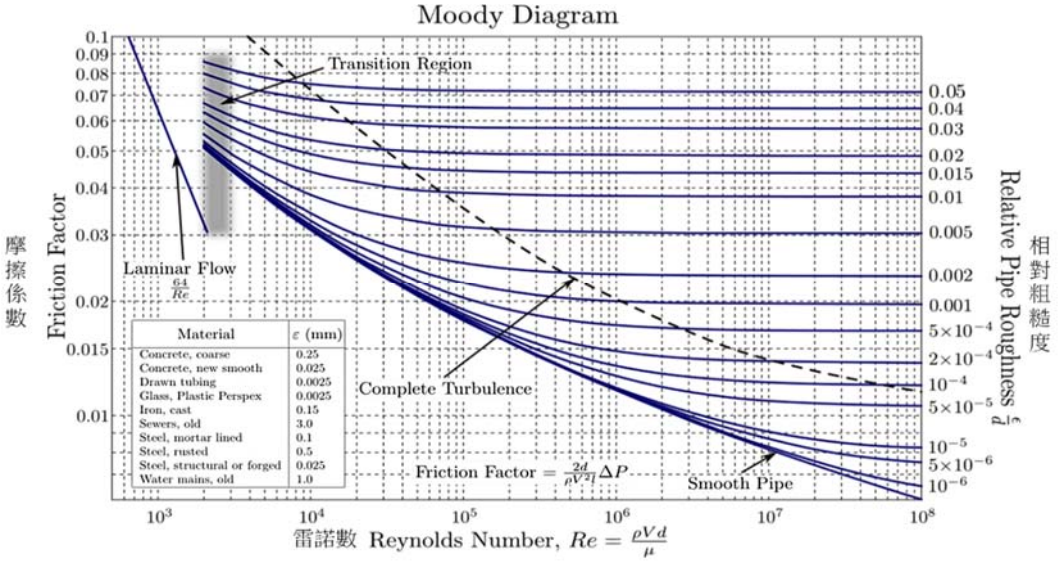
Dh = 水力半徑 [m]

方程式中包括一個無因次的摩擦係數 f，與雷諾數 Re 和管壁粗糙長度 ε 有關，f 值可採實驗測定也可計算得出，當流體為層流(Re < 2300)時：

$f=64/Re$ ..... (3-12)

如果流體為紊流(2100 < Re < 4000)時，f 值可由兩種方法確定：一種

是應用 Moody chart，如圖 3.16 判讀；另一種是直接根據實驗結果，綜合成阻力係數的經驗公式，如 Colebrook equation 或 Swamee-Jain Equation 或 Blasius (1911) formula 等，設計時可依需求採用。



資料來源：S Beck and R Collins, University of Sheffield

圖 3.16 穆迪圖 Moody chart

應用 Moody chart 選用摩擦係數 f，除了與雷諾數 Re 有關外，亦會受管壁的粗糙長度的影響，粗糙長度 ε 的定義為突出管壁之粗糙物的平均高度，其因次為長度[L]，參考數據如表 3.3，請注意因材料的粗糙長度隨採購來源不同而變化，因此粗糙長度參考數據會有±30～50%的不確定差異。

表 3.3 各種管材之粗糙長度 ε

材質	表面	粗糙長度 ε 單位：mm
鋼管 Steel	焊接無縫	0.061
	鋼板/板金/新管	0.05
	商業鋼管/新管	0.046
	鉚接	3.0
	鋼管/舊	2.0
	不銹鋼管	0.002
鐵管 Iron	延性鑄鐵管	0.061
	鑄鐵管/新	0.26
	鍛造管/新	0.046
	鑄鐵管/鍍鋅內層	0.15
	鑄鐵管/瀝青內層	0.12
	延性鑄鐵管/瀝青內層	0.12

銅管	銅管/新	0.002
塑料	熱塑管	0.0015
混凝土	打磨平滑	0.04
	粗糙管	2.0
橡膠	平滑管	0.01

資料來源：Hydraulic Institute, Engineering Data Book

另依日本下水道協會「下水道施設計畫・設計指針及解說」2019 所建議採用之經驗值公式，摩擦係數 f 可依下列公式計算。

鑄鐵管(新管)……$0.02+\frac{1}{2000\times D}$ .....(3-13)

鋼管(新管)……$0.03+\frac{1}{1000\times D}$ .....(3-14)

PVC 管(新管)…… $0.018+\frac{1}{2300\times D}$.....(3-15)

舊管的 f 值為新管的 1.5 倍，但水泥砂漿襯裡的鑄鐵管及 PVC 管的舊管與新管相同值。

(2) Hazen-Williams 公式

Allen Hazen 與 Gardner S Williams，於 1905 年發表可用來計算流體在管路內流動的阻力損失的 Hazen-Williams 公式，該式為由水力學實驗過程所累計的統計值而得的經驗公式。

$$V = 0.3549 \times C \times D^{0.63} \times \left(\frac{h_L}{L}\right)^{0.54} \quad \text{.....(3-16)}$$

$$h_L = L \times \left(\frac{V}{0.3549\times C\times D^{0.63}}\right)^{1.852} = 6.81 \times \frac{L}{D^{1.167}} \times \left(\frac{V}{C}\right)^{1.852} \quad \text{.....(3-17)}$$

$$Q = 24{,}082 \times C \times D^{0.63} \times \left(\frac{h_L}{L}\right)^{0.54} \quad \text{.....(3-18)}$$

式中：

V：壓力流流速(m/s)，設計流量時最小流速經驗值為 0.6 m/s，最大流速經驗值為 3.0 m/s

C：表面粗糙係數(Roughness Coefficient)，其值依各種不同材質而定，管材經長期使用後 C 值亦降低。表 3.4 所示為各種常用材質之流速係數

D：壓力管管內徑(m)

$\frac{h_L}{L}$：能量坡降(分數或小數，無因次)，亦有以 S 代表$\frac{h_L}{L}$

h_L：水頭損失(m)

L：相當直管長(m)

Q：設計流量(m^3/day)

表 3.4 各種管材表面粗糙係數參考 C 值

管材	C 值
延性鑄鐵管(DIP)	
水泥砂漿襯裏(Cement lining)	130-150
焦油襯裏(Tar epoxy lining)	115-135
鋼筋混凝土管(RCP)	100-140
鍍鋅鐵管(Galvanized Iron Pipe,GIP)	120
鋼管(SP)新、無襯裏	140-150
無縫焊接用鋼管 Steel	100
銅管(Copper Pipe)	130 - 140
塑膠管(Plastic Pipe,PP)	140-150
PE 管(Polyethylene, PEP)	140
PVC 管(CPVC)	150
ABS 管	130
FRP 管(Fiber Glass Pipe – FRP)	150
註：1.C 值會因磨耗、管垢、接頭形式變動。 2.本表未列管材 C 值應諮詢生產廠商。	

3. 管件及閥類損失

(1)損失水頭

損失水頭，可以公式 3-19 表示之。

$$h = f \times \frac{v^2}{2g} \quad \text{.....(3-19)}$$

式中：

h：損失水頭(m)

f：損失係數

v：流速(m/s)

g：重力加速度(9.8 m/s^2)

其中之水頭損失係數 f，直管依照管材及新舊，管件依照其種類(如吸水口、彎管、擴大管、縮小管等)會有所不同，如表 3.5。閥類依照其種類及尺寸亦有所不同，如表 3.6。上述兩表皆整理自「下水道施設計畫・設計指針及解說」2019 日本下水道協會。

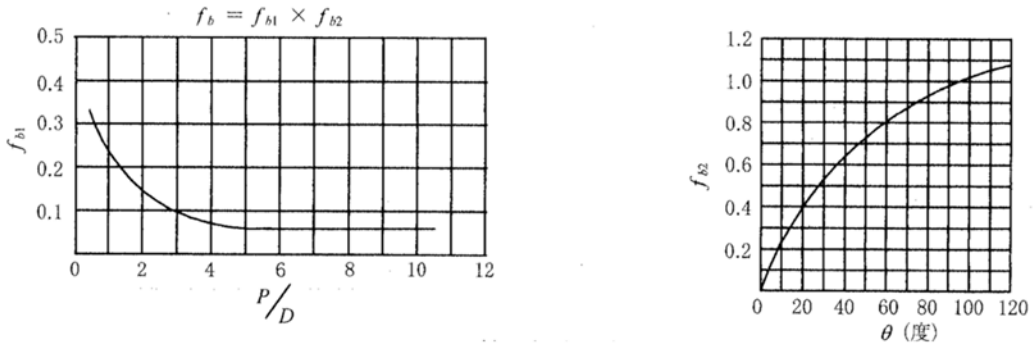


圖 3.17 彎管水頭損失係數之 fb 值

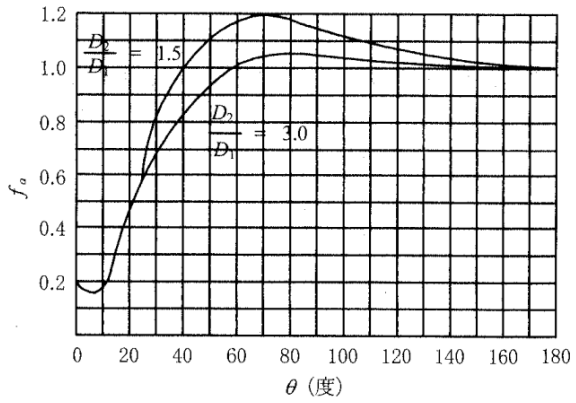


圖 3.18 漸擴管損失係數

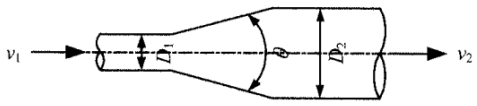
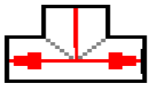
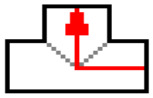
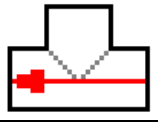


圖 3.19 漸縮小管損失係數

表 3.5 管件水頭損失係數表

損失種類	係數			備註
吸水口	0.15 以下			喇叭口情況
彎管	$f = f_{b1} \times f_{b2}$ f_{b1} 及 f_{b2} 參考圖 3.17 式中： f_{b1}：依據彎管之曲率半徑 ρ 及管徑 D 之比($\frac{\rho}{D}$)所定之損失係數，該彎管的中心角為 90 度的情況。 f_{b2}：任意彎管中心角情況之損失係數與彎管中心角 90 度之損失之比			f_{b1} 及 f_{b2} 值係由 Anderson 及 Straub 所發展的，該值不含摩擦係數，故 f_{b1} 係指光滑管的數值。
T 型管				
	0.55	0.50	0.10	
急擴管	1			$h_e = f_e \frac{(v_1 - v_2)^w}{2g}$.....(3-20)

<table>
<tr><td>漸擴管</td><td colspan="7">參考圖 3.18</td><td>式中
h_e：急擴管或漸擴管的水頭損失
v_1：擴大前的流速(m/s)
v_2：擴大後的流速(m/s)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">急縮管</td><td>$\frac{A_2}{A_1}$</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.6</td><td>0.8</td><td>1.0</td><td rowspan="2">$h_{sc} = f_{sc} \times \frac{v_2^2}{2g}$ …….....(3-21)
$\Delta h_{Sc} = h_{sc+}[\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}]$…..(3-22)
h_{sc}：急縮小之損失水頭(m)
Δh_{sc}：急縮小之水位下降(m)
v_1：縮小前的流速(m/s)
v_2：縮小後的流速(m/s)</td></tr>
<tr><td>f_{sc}</td><td>0.49</td><td>0.49</td><td>0.46</td><td>0.38</td><td>0.18</td><td>0</td></tr>
<tr><td>漸縮管</td><td colspan="7">參考圖 3.19</td><td>$h_{gc} = f_{gc}\left[\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}\right]$ …. ....(3-23)
h_{gc}：漸縮小之損失水頭(m)
f_{gc}：漸縮小之損失係數</td></tr>
</table>

(2) 速度水頭

$$h_o = \frac{V^2}{2g} \text{.....(3-24)}$$

表 3.6 閥類水頭損失係數表

損失種類	係數							備註
舌閥	0.2～0.5							
水表	7							
球型閥 (globe valve)	3～8、10、20							不同型式球型閥之資料
角閥 (angle valve)	2.0、5.0							不同型式角閥之資料
閘閥 (gate valve)	口徑 (mm)	80	100	150	200	250	300 以上	全開的情況
	fgv	0.169	0.164	0.145	0.103	0.047	0	
閘刀閥 (knife gate)	0.2							金屬閥座
	0.3							彈性閥座
閘閥	開度 (%)	全開	75	50	25			
	fgv	0.15	0.26	2.1	17			
球閥 (ball valve)	開度 (%)	全開	67	33				
	fblv	0.05	5.5	200				
蝶閥	0.2～0.4							不同資料來源
底閥	1.5～2.0							
底閥附篩濾器 (foot valve with strainer)	15.0							
偏心塞閥 (eccentric plug)	1.0							矩形(80%)開孔
	0.5							全開孔
隔膜閥	開度(%)	全開	3/4	2/4	1/4			
	fpv	2.3	2.6	4.3	21.0			
擺動式逆止閥 (swing)	2.0							
球狀逆止閥 (ball)	0.9～1.7							

3.4.2 壓力管線系統水頭-流量曲線之繪製

1. 管線系統繪製系統曲線，應考量在低水位(LWL)及高水位(HWL)之總淨水頭。
2. 計算損失時，應考量新舊管之損失係數 f 值不同。

解說：

1. 濕井內水位會在低水位(LWL)到高水位(HWL)之間變動，因此總淨水頭也會變動，因此繪製系統曲線時要注意。
2. 新管預期在一段期間內會相當平滑，但管內會因生長黏菌、淤積、腐蝕或毀

壞，而提高損失係數 f 值。

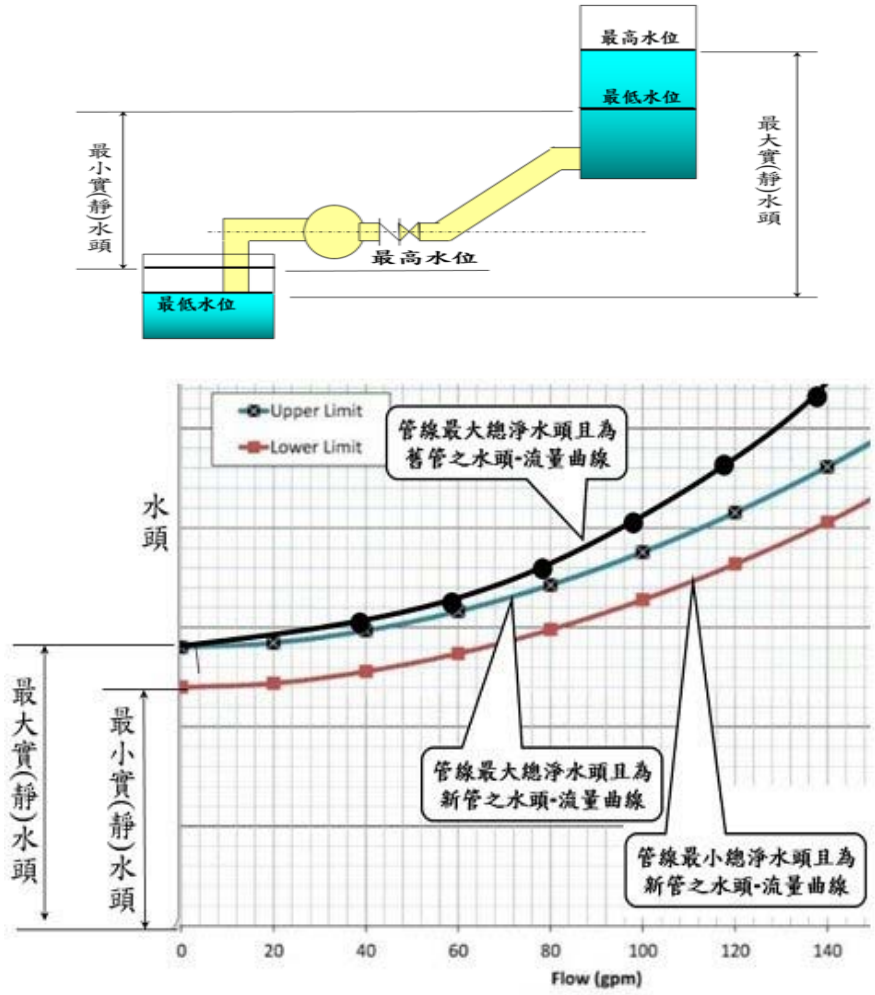


圖 3.20 壓力管線系統水頭-流量曲線範例

3.4.3 管線系統曲線與定速抽水機特性曲線之關係

1. 應依照系統曲線與抽水機特性曲線，選擇靠近最佳操作點之抽水機。 2. 設計時應依據抽水機及管線系統實際配置，繪製系統曲線與抽水機特性曲線之關係圖，常見系統包括單台抽水機操作、串聯抽水機操作及抽水機並聯操作。

解說：

1. 抽水機特性曲線上的每一點並非皆能作連續或長期運轉，應選擇靠近效率高之操作點，同時避免太靠近零流量之關閉水頭(Shut-off head)，或在最遠端的過流點(Runout point，為抽水機製造商允許之最大流量點)。

   (1)單台定速抽水機操作之關係圖

   A. 單台定速抽水機之操作，在任何抽水站及其壓力管線系統中，抽水機提供的水頭，須等於系統中的總動水頭損失，而抽水機的抽水量及管線中之流量應當相等。這關係即決定「抽水機操作點」：將系統水頭-抽水量曲線與抽水機水頭-抽水量曲線共同繪製在同一圖上，兩曲線之交點即為「抽水機操作點」，單台抽水機之操作點宜接近該抽水機之最佳效率點(BEP)，如圖 3.21。

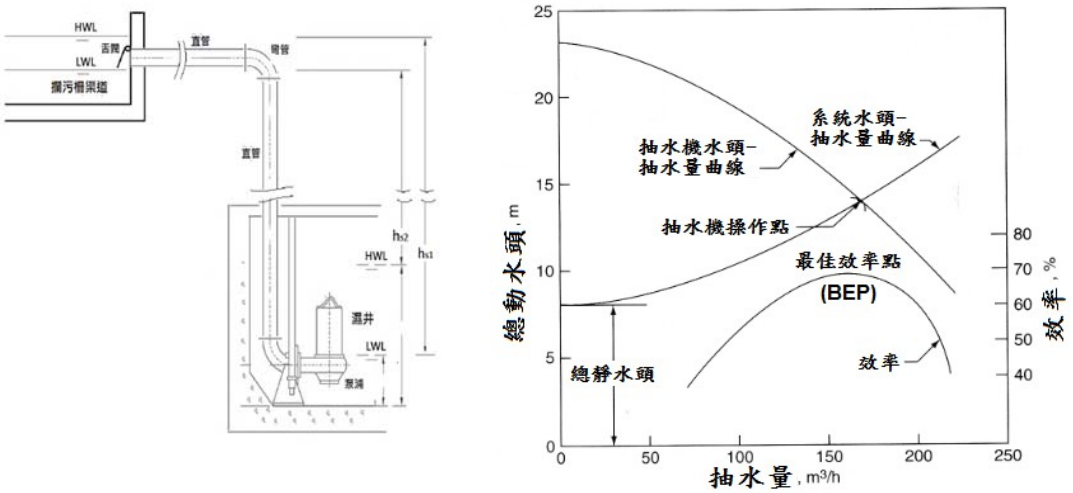


圖 3.21 決定單台定速抽水機在固定總淨水頭之操作點

B. 如考慮系統曲線在濕井不同液位高有不同的淨水頭，且考慮管線於老舊時水頭損失會增加時，抽水機實際操作不是一點，而是一條曲線範圍，(如圖 3.22)點 A 和點 B 之間的曲線 AB 就是實際抽水機操作範圍。

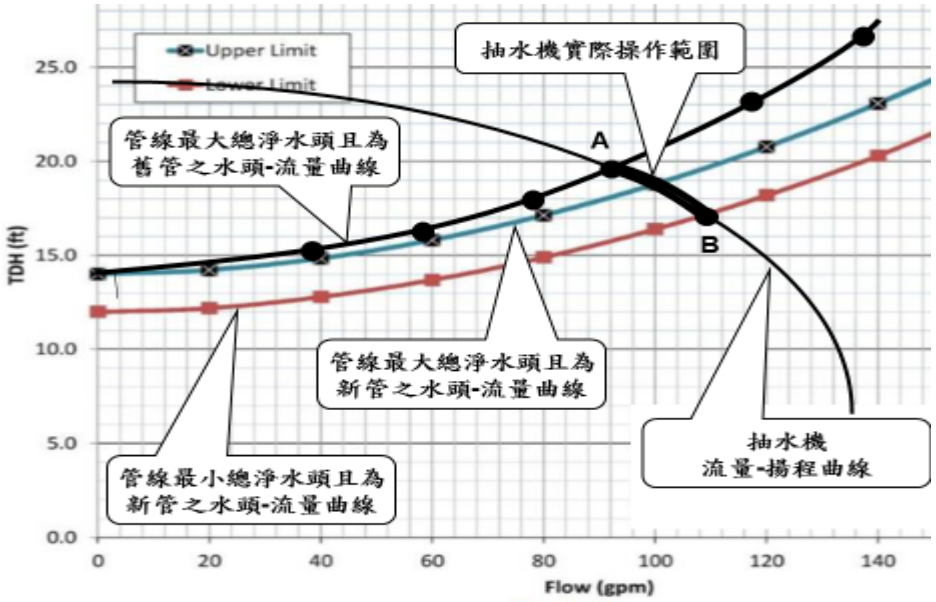


圖 3.22 變動靜揚程之實際抽水機操作範圍

(2)抽水機串聯操作之關係圖

當所需水頭大於單台抽水機所能提供的水頭時，抽水機則以串聯操作，如圖 3.23，抽水機合併的水頭-流量曲線係將同一抽水量的 P1 及 P2 抽水機的水頭累加之和，故水頭 ad=bd＋cd。抽水機 P1 的操作點為 c，抽水機 P2 的操作點為 b，系統的操作點為 a。

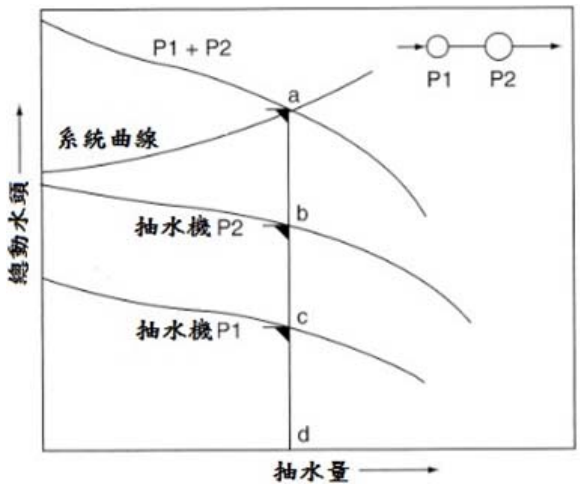


圖 3.23 抽水機串聯操作圖

(3)抽水機並聯操作之關係圖

A. 並聯操作(二台大小相同之抽水機並聯)：

並聯條件，以測量點的位置作為中心，並聯的抽水機之提供主管流量，並聯條件如下：

I. 測量點之流量為各抽水機流量之和

II. 測量點之壓力與各抽水機提供壓力相同

III. 岐管之水頭損失為零

可繪出並聯曲線圖，如圖 3.24 及圖 3.25。

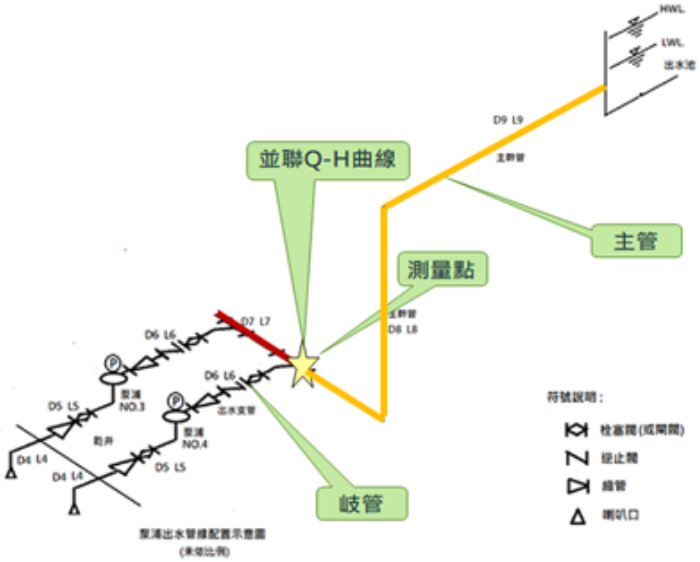


圖 3.24 抽水機二台大小相同並聯操作圖

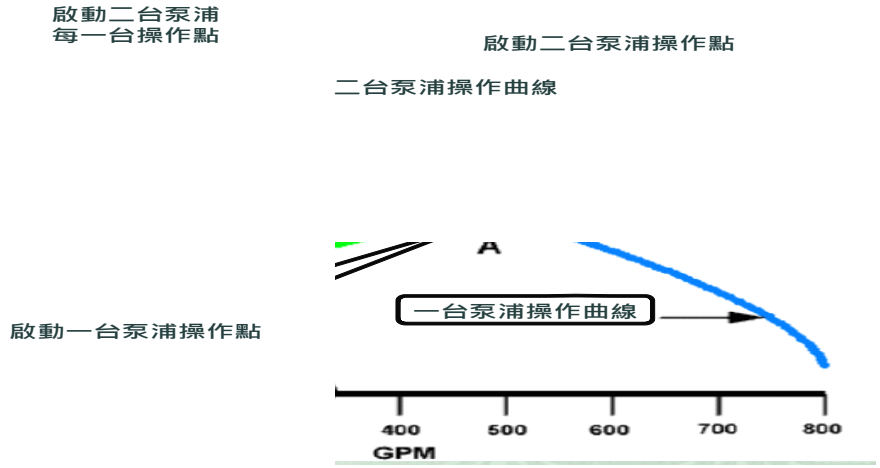


圖 3.25 抽水機二台大小相同並聯操作圖

B. 並聯操作(二台大小不同之抽水機並聯)

並聯條件，以圖 3.24 測量點的位置為中心，並聯的抽水機與測量點之間關係如下：

I. 測量點之流量為各抽水機流量之和

II. 測量點之壓力與各抽水機提供壓力相同

III. 岐管之水頭損失為零

由以上條件可繪出並聯曲線圖，如圖 3.26，抽水機大小台並聯時，要特別注意 P1 抽水機操作點之流量不可太小(需在包絡線之範圍內)，否則會產生抽水機之損壞。

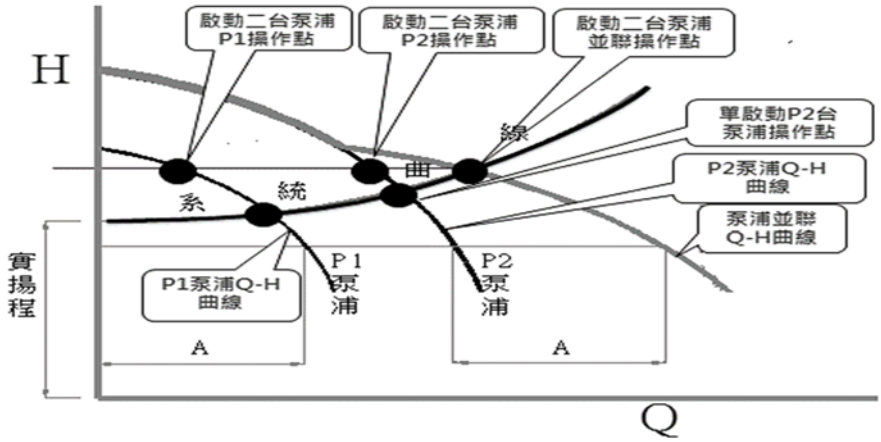


圖 3.26 抽水機二台大小不同並聯操作圖

C. 並聯操作(二台大小不同之抽水機並聯且考量岐管水阻)

並聯條件，以圖 3.24 測量點的位置為中心，並聯的抽水機與測量點之間關係如下：Ⅰ.測量點之流量為各抽水機流量之和，Ⅱ.測量點之壓力與各抽水機提供壓力相同，Ⅲ.要考慮岐管水頭損失，由以上條件繪出並聯曲線圖之前，要先行繪出抽水機修正特性曲線，如圖 3.27。

當兩台或更多台抽水機抽水進入同一主管時，總流量係同一水頭下個別抽水量累加之和。惟因系統曲線並未包括抽水機岐管的損失水頭，

故可從抽水機曲線中將損失水頭扣除。如圖 3.28，MP1 係已扣除水頭損失之 P1 抽水機曲線，MP2 係已扣除水頭損失之 P2 抽水機曲線，MP1 及 MP2 抽水量的累加，即為抽水機曲線 MP1 ‖ MP2，其中之 ‖ 表示並聯，故抽水量 he=hg＋hf。當兩台抽水機並聯操作時，其合併操作點係在 e 點，此時抽水機 P1 之操作點係 g，其實際操作點係 g 點垂直線上的 k；抽水機 P2 之操作點係 f，其實際操作點係 f 點垂直線上的 j。當單台抽水機操作時，P1 的操作點係在 n，P2 的操作點係在 p。故在開抽水機規範時，P1 抽水機須包含其實際操作點 k 及 n 點，而 P2 抽水機須包含其實際操作點 j 及 p 點。

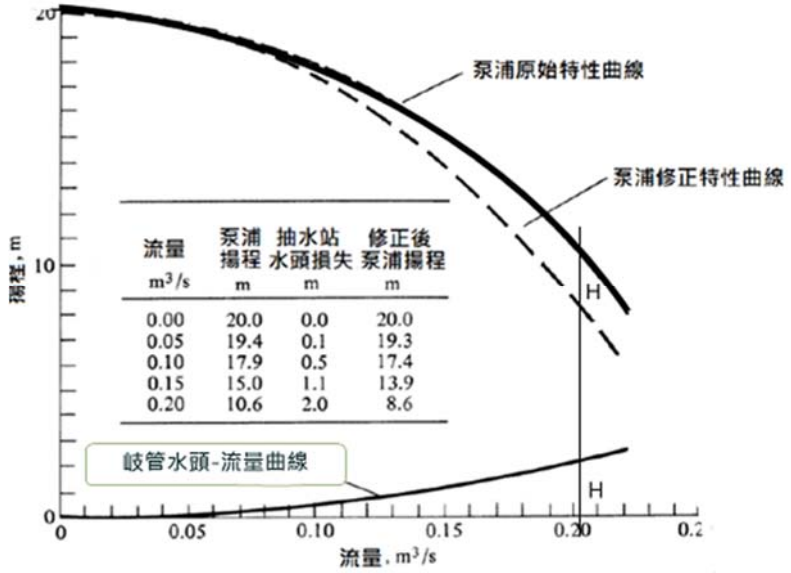


圖 3.27 考慮岐管水阻時抽水機修正特性曲線

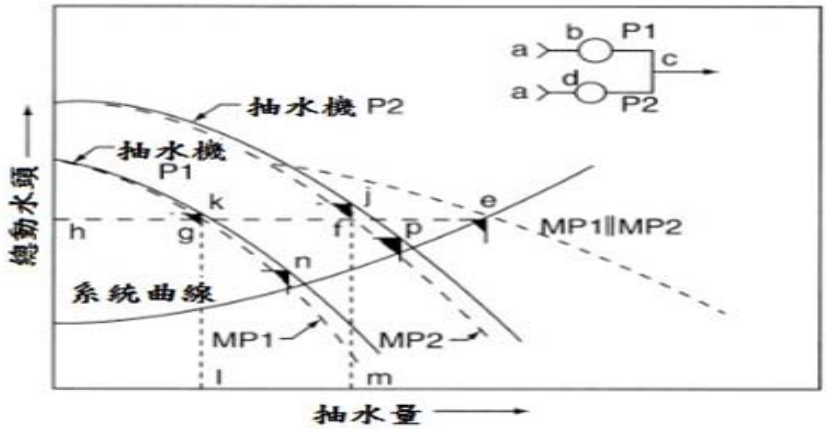


圖 3.28 考慮岐管水阻時，抽水機並聯特性曲線

3.4.4 抽水系統操作包絡範圍

考量抽水機定速、變速操作需求，管線系統抽水井高低液位差造成系統曲線差異等因素，抽水機系統設計時，應先繪製抽水機不同轉速操作特性曲線及不同淨水頭之系統曲線，依據各曲線所形成的包絡範圍，應盡量維持在抽水機較佳之操作範圍內。

解說：

抽水機應儘量在 BEP 附近操作最佳，因在 BEP 葉輪徑向不平衡負荷最小，軸承徑向負荷亦最小，當抽水機操作點大於 BEP 時，徑向負荷增加，效率降低且需有絕對壓力去防止孔蝕發生；當抽水機抽水量低於 BEP 抽水量時，流體於葉輪內循環，引起抽水機振動與水頭損失，亦會造成孔蝕問題。故抽水機有必要將操作範圍限定於由高、低轉速(或不同葉輪半徑)之特性曲線與 BEP 之 70%～120%兩線所形成之包絡線範圍內，如圖 3.29、圖 3.30、圖 3.31 及圖 3.32 所示。

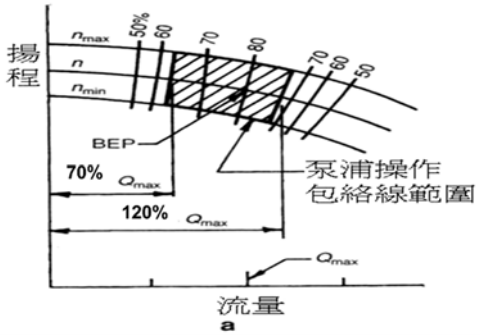


圖 3.29 抽水機包絡線

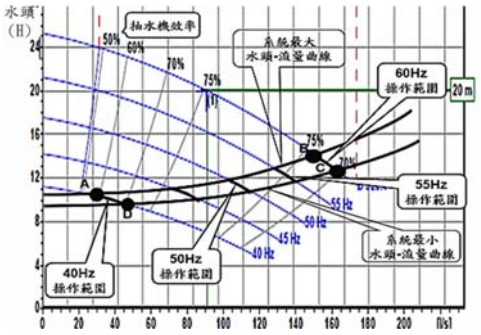


圖 3.30 變速抽水機操作範圍

3.4.5 變速抽水機之操作範圍之訂定

1. 變速抽水機之操作範圍係為一區域。
2. 抽水機操作範圍要控制於包絡線範圍之內。

解說：

1. 變速抽水機之操作範圍係為一區域

變速抽水機與系統水頭-流量曲線相交處為操作範圍，因考慮系統曲線共 2 條，1 條是系統最大水頭-流量曲線，1 條是系統最小水頭-流量曲線，故抽水機實際操作點不是一點或區線，而是一條曲線範圍，如圖 3.31 ABCD 範圍內為抽水機 40Hz 到 60Hz 轉速之操作範圍。

2. 抽水機操作範圍要控制於包絡線範圍之內

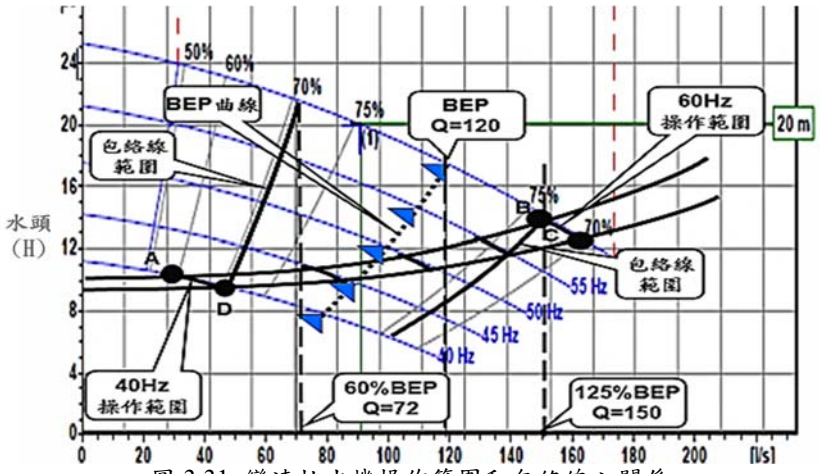


圖 3.31 變速抽水機操作範圍和包絡線之關係

(1) 為了達到改操作曲線的範圍必須在包絡線範圍內，可限定抽水機轉速使用範圍，圖 3.32 如將操作頻率設定於 43 到 55Hz 間，操作曲線的範圍 EFHG 就在包絡線範圍內，故抽水機於 43 到 55Hz 間操作係屬安全範圍。

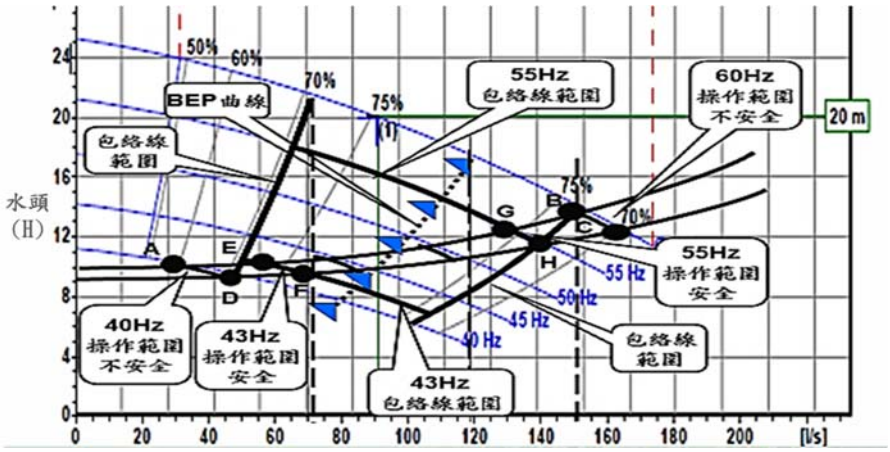


圖 3.32 抽水機限定使用頻率之範圍

(2) 並聯且變頻使用的抽水機使用注意事項：為達成前述目的，可採以下步驟，1.經設備商確定每台抽水機之包絡線範圍(如圖 3.29)，2. 如圖 3.33 為一台大台抽水機和一台小台抽水機並聯使用，WGH 曲線為 2 台抽水機並聯曲線，大台抽水機保持全頻運作，小台抽水機從 60Hz 降速至 50Hz；WMN 曲線為大台抽水機全頻小台抽水機 50Hz 並聯曲線，並聯後全部抽水機操作範圍為 MNHG 範圍，且小台抽水機可以改變轉速，可限定抽水機轉速使用範圍，使抽水機之操作曲線的範圍在包絡線範圍內，圖 3.33 如將操作頻率設定於 43 到 55Hz 間，對應大台抽水機操作範圍為曲線 EF，小台抽水機操作範圍為 ABCD 間之區域，再確定各操作範圍是否在包絡線範圍內，就可確認收抽水機是否能正常運作。

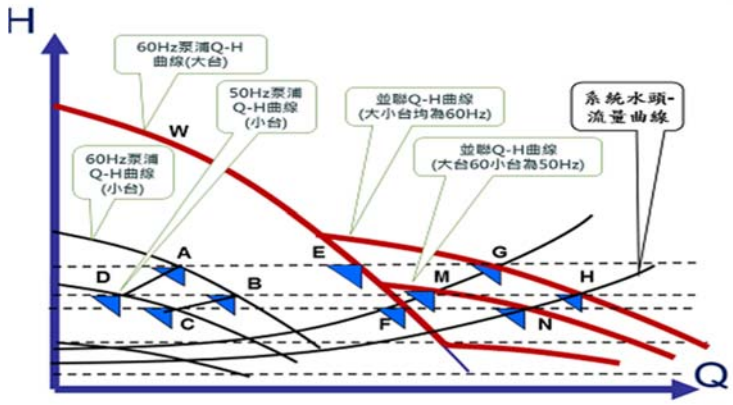


圖 3.33 抽水機並聯且變頻使用

3.5 抽水站整體設計考量

3.5.1 抽水機吸水口及出水口管線及附屬設備設計考慮事項

抽水機吸水口及出水口如下：

1. 抽水機機殼吸水口口徑，依抽水量及機殼吸水口流速決定之。
2. 污水抽水機規範，應訂定能通過圓球狀固體直徑，並配合選用抽水機機殼之吸水端及出水端開口直徑。
3. 抽水機吸水管及出水管，應有合適的設計流速。

解說：

1. 大型抽水機一般以機殼吸水口口徑來表示，如吸水口與出水口口徑不同時，則兩者併計。
   (1)在淨吸水揚水或吸水側損失水頭大的情況，為改善吸水條件，吸水口流速應較小。
   (2)軸流式及斜流式抽水機的機殼吸水口口徑與機殼出水口口徑相同，出水管的管徑亦與抽水機機殼出水口口徑相同。
   (3)離心式抽水機在水頭高時，其機殼出水口口徑會比機殼吸水口口徑小多少，應考量其總動水頭及比速度後決定之。
2. 不論進流污水抽水站上游端，是否已設置攔污柵或破碎機，污水抽水機應選用不阻塞型抽水機，並於規範應明訂通過最小直徑之圓球狀固體。
   (1)如抽水機尺寸夠大，污水抽水機應考量能夠通過直徑至少為 75 mm 之圓球狀固體，此係因考量進流抽水站上游端之攔污柵通常為粗攔污柵，開孔間距為 20 mm 或以上，隨水流通過開孔之繩狀固體物，有可能因濕井內水流情況而集結成球狀，其直徑將隨繩狀固體物之長度及其與其他固體物互相纏繞之結果而定。
   (2)隨抽水機機殼吸水口口徑之增大或攔污柵開孔間距之提高，通過抽水機葉輪之圓球狀固體直徑亦應提高。
   (3)乾井式安裝之抽水機機殼吸水端及出水端處應設有手孔，以便在檢修時能將固體物取出。

3. 抽水機吸水管及附屬設備之設計

(1)每台抽水機應分設吸水管一支，吸水管應儘量縮短水平管長度。

(2)吸水管接頭及其管件不得漏氣，管內不應堆積空氣，並應儘量減少彎曲。

(3)喇叭形吸水口至濕井底面之距離，及至最低水位之浸水深度為 S，以及各吸水口的間距。如圖 3.34 所示。

(4)具有壓力水頭之吸水管，應設置隔離閥。

(5)水平設置之吸水管與抽水機吸水口間之大小頭，應採偏心型式，並使水平側在上方，以避免空氣停積於吸水管內上方。但如果無法避免，則須設置排氣裝置將積氣排至適合地點。

(6)抽水機之淨吸入揚程，應使抽水機不發生孔蝕現象，並依抽水機之型式使其淨吸入揚程降至最低。

(7)應仔細以最壞的大氣壓、流體溫度、蒸氣壓及吸水管情況的可能組合，計算 NPSHa，對廠商提供的抽水機 NPSHr，須有 NPSHa＞1.2 NPSHr 的安全係數考量。前述名詞中，NPSH 為有效淨吸水高度(Net Positive Suction Head)，為判斷抽水機是否會發生孔蝕現象的數值資料，NPSH 分為 NPSHa：可用淨吸水高度(Net Positive Suction Head Available)及 NPSHr：必要淨吸水高度(Net Positive Suction Head Required)。

(8)吸水管管線內如流速過大，水頭損失太多，在彎頭及閥門處的紊流會造成振動問題。

(9)抽水機吸水口上游端水流方向突然改變，會使水流變得不對稱而使抽水機軸及軸承過載。

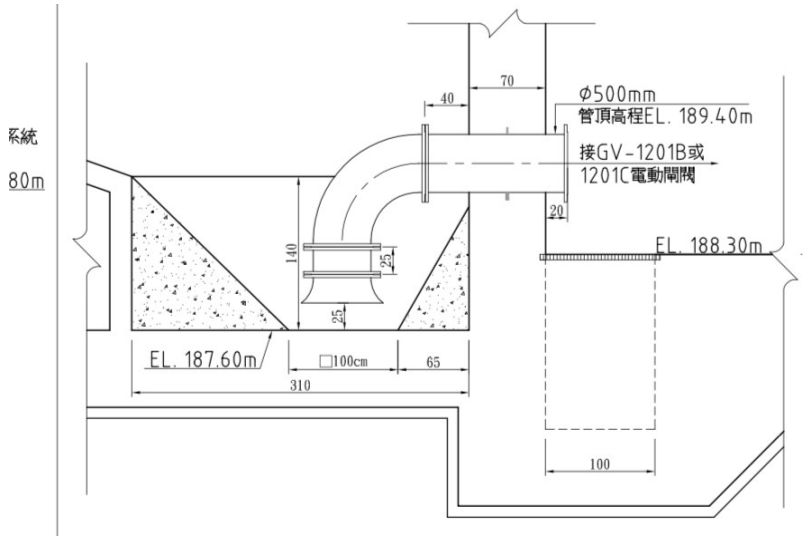


圖 3.34 喇叭形吸水口與濕井底面間距示意圖

4. 抽水機出水管及附屬設備之設計

(1)出水管與抽水機出水口間之漸縮管，可採同心型式。

(2)兩台或以上抽水機的出水管接到共同的壓力主管時，每支出水管上應設置

逆止閥，以防止抽水機停機時產生逆流，並應在逆止閥下游端設置隔離閥，以便維修抽水機及/或逆止閥。

(3)抽水機出水管上的逆止閥、隔離閥等閥類，應設在濕井外的封閉空間，如乾井或閥類陰井。閥類陰井可藉由一個逆止閥或其他自動關閉閥，將陰井內積水排至濕井中，而不須人工操作該閥。如逆止閥係整體抽水機單元的一部分時，只要不須進入濕井，即能將該逆止閥自濕井中移出，則可不須設在另外的閥類陰井中。

(4)抽水機得於出水共同管上設置電磁流量計，流量計前後應維持前 5D 後 3D 之直線段，D 為管徑，並應設繞流管及隔離閥；廠內回流污水應另設流量計。

(5)輸送含大量固體物或砂礫之污水時，擺動式逆止閥應儘量設於出水管之水平段，如須設於垂直段，應儘量減少其上方之垂直段，採用圓球逆止閥、其他不易被固體物或砂礫淤積而打不開之逆止閥。對於閥蓋的維修，應有方便的進出地方。

(6)污水抽水站的抽水機出水管，應接到主管的一側，而不應該自主管底下連接，以防止主管管底的固體物，掉到垂直管中而造成阻塞。

(7)出水壓力高之情況，為避免逆止閥快速關閉所造成之振動及撞擊聲，該逆止閥應採兩段關閉式，即前段快關及後段緩閉之逆止閥。

(8)逆止閥上游端之出水管有積氣之虞時，應裝設污水用排氣閥。

(9)出水管線有發生水錘作用之虞時，應設防止或減輕此項作用之措施。詳見 3.5.4 解說。

(10) 管線及支撐的安排，應使得設備的三個側面有維修方便的進出地方。三個側面都應有至少 1.1 m 的足夠空間。

(11) 應有足夠空間來使用扳手及拿掉螺栓，而對於拆卸套管接頭的套管及螺栓應特別注意。

(12) 需確定所有的管件都有獨立支撐，管件支撐應將包含水的全部管閥重量傳到結構物上。管件應安排以隔離抽水機接頭側向偏心所帶來的應變，隔離應變的最好方法，是在抽水機兩個接頭各自安裝兩組彈性接頭(並非僅有一個)。

5. 抽水機吸水管及出水管應有合適的設計流速。

(1)抽水機吸水管在最大流量時的適當流速為 1.2～1.8 m/s。

(2)出水管的適當流速為 1.8～2.4 m/s。

(3)進流喇叭口(Pump intake)流速為 1.1～1.2 m/s。

3.5.2 抽水站之濕井及乾井

抽水站濕井及乾井之設計考量如下：

1. 抽水站(濕井或乾井式)之地下結構物應為鋼筋混凝土製，池牆具水密性，並應抗浮力。濕井混凝土內壁應有防蝕考量，抽水站之金屬物品亦應採用防蝕材質。
2. 使用定速抽水機之抽水站濕井，其高低水位間的有效蓄水容量應以公式計算，容量過大與不足均不符合設計原則。
3. 應慎選合適之污水抽水站濕井型式。
4. 抽水站設計，以不在濕井底部造成淤積為佳。
5. 設於室內之抽水站，應有通風換氣設備、除臭及其他附屬設備，並考量防爆需求。
6. 應考量初期低流量之因應措施。

解說：

抽水站依其使用抽水機之不同，而有乾濕井分離者及僅有濕井者，乾濕井分離之抽水站，其乾井式抽水機可依種類不同，而分別設置在濕井旁邊或在濕井上方；僅有濕井之抽水站，採用沉水式抽水機，故不須設置乾井。

1. 抽水站含濕井及乾井，其地下結構物應為鋼筋混凝土構造，池牆具水密性，以避免地下水滲入濕井及乾井內，或濕井內之污水滲出至池牆外土壤中。污水處理廠，由於常位在地勢較低處，地下水位較高，埋深較大之進流抽水站，應設計能抵抗地下水之浮力。濕井的混凝土內壁為防止污水中硫化氫的侵蝕，應採防蝕塗刷或防蝕內襯。
   (1)防蝕塗刷可採煤焦油環氧樹脂(coal tar epoxy)、水性環氧樹脂漆、尿素甲醛(Urea formaldehyde)聚合物或聚脂(Polyester)聚合物。
   (2)防蝕內襯可採 FRP 內襯，做為濕井混凝土內壁的裡襯。
2. 污水中之硫化氫，易腐蝕抽水站之金屬物品，重要設備、閘門及維護設施可採用 304 或 316 不鏽鋼；開孔蓋板材質可採用玻璃纖維、鋁或鍍鋅材質；管閥可採用 304 或 316 不鏽鋼，或採延性鑄鐵管外表塗刷環氧樹脂。
3. 抽水井(機)應設操作平台或吊升設備，並規劃適當操作空間及動線規劃。
4. 濕井容量之考量，為使用定速抽水機之抽水站設計中重要的一環，適當之濕井容量，須考量水在濕井中之停留時間，若停留時間過長，則不經濟。反之，如停留時間過短，將迫使抽水機之啟動及停止操作頻率過高，而加速抽水機及電動機之損壞。換言之，抽水站濕井容量過大與不足，均不符合設計原則。
   (1)單台抽水機操作所需之濕井高低水位間的有效蓄水容量，可以公式 3-25 計算之：

$$V_{min} = \frac{Q_p T}{4} \quad \text{.....(3-25)}$$

式中：

V_{min}：定速抽水機由運轉水位(HWL)到停機水位(LWL)之最小控制容量(m^3)

Q_P：定速最大抽水機之揚水量(m^3/min)

T：定速抽水機所需之最小循環時間(抽水機啟動、停機至再啟動之時間，min)

上述 Vmin 係指該台抽水機由高水位(HWL)到低水位(LWL)之所需容量，單台抽水機啟動至停機水位間濕井之所需容量，又稱有效容量(active volume)或控制容量(control volume)，日本稱為有效貯留容量。Q_P係指定速抽水機單台之揚水量，非指該抽水站之尖峰進流量。

(2)抽水機所需之最小循環時間

T 係指定速抽水機所需之最小循環時間(即抽水機啟動、停機至再啟動之時間)，皆與電動機之馬力數有關。馬力愈大，最小循環時間就愈長，每小時容許抽水機啟動次數就愈少，如表 3.7 所示。。

依據 Metcalf & Eddy 所載：15 至 75 kW(20 至 100 bhp)鼠籠式感應電動機驅動之定速抽水機電動機，最小循環時間需要至少 15 min。75 至 200 kW(100 至 268 bhp)，電動機最小循環時間需要至少 20 至 30 min，大於 200 kW(268 bhp)之電動機，最小循環時間最好由該抽水機之廠商提供。至於小於 15 kW(20 bhp)之電動機啟動時間可減為 10 min，但仍建議採 15 min。

表 3.7 抽水機電動機最小循環時間的規定

電動機馬力,bhp	t,分鐘
少於 20	10 至 15
20 至 100	15 至 20
100 至 250	20 至 30
超過 250	由抽水機製造商建議

另依據日本下水道協會「小規模下水道計畫.設計.維持管理指針及解說」2004，沉水式污水抽水機依據電動機容量之最小循環時間(參考值)，如表 3.8 所示。

表 3.8 沉水式抽水機最小循環時間(參考值)

抽水機電動機容量	最小循環時間：Tmin
0.4 kW～7.5 kW	6 分
11 kW～22 kW	10 分
30 kW～45 kW	15 分
55 kW	20 分

本手冊建議設計一般污水抽水站可以中型標準電動機全壓啟動為準，即每小時 4 次啟動，亦即最小循環時間以 15min 為原則。至於大型抽水機之最小循環時間，則應與抽水機廠商(非電動機廠商)討論後再作決定。

(3)多台抽水機操作濕井容積

多台抽水機操作濕井容積計算應配合操作模式，可採陸續啟動，先開啟先關閉，如圖 3.35，或採陸續啟動，先開啟後關閉，則濕井總容量可依式 3-26 計算。

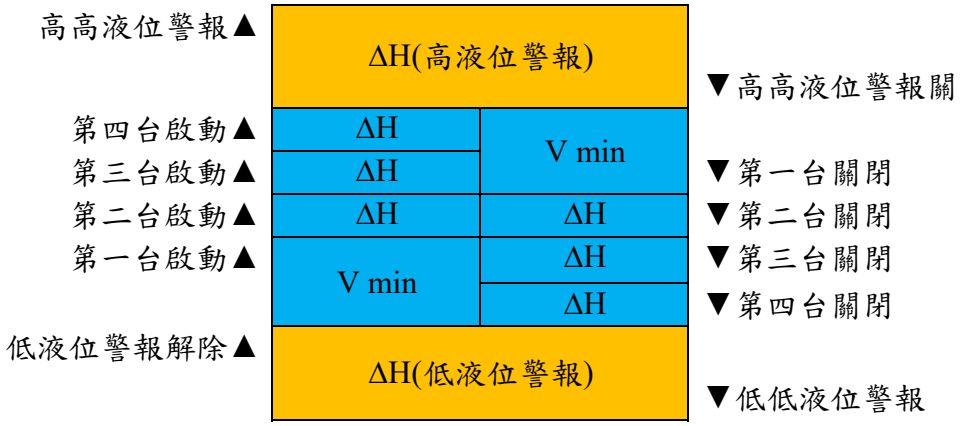


圖 3.35 多台抽水機操作參考模式(先啟先閉)

濕井總容量 $V_{tot,n} = V_{min} + (n-1) \times \Delta H \times S$ .....(3-26)

式中：

S：濕井水面積

ΔH：各台操作啟停間隔水位

Vmin：依 3-25 式計算

Vmin 濕井容量計算時，應採用最大容量抽水機及其最小循環時間計算，各台操作水位需求，應注意水面波動影響，建議不小於 0.2M。

另因污水處理廠採分期建設，各期抽水機設置時，應依設計處理水量，抽水設備之設置相關標準，配置大、中、小不同容量之抽水機及台數。此外，污水處理廠採分期建造，若進流抽水站土建結構亦採分期擴建者，其濕井體積可依該分期設計處理量配合前述公式進行計算，若抽水站土建結構一次興建者，其濕井體積需先考量全期需求計算之，惟為因應初期污水量，可於濕井內施作隔牆及聯通閘門，未來可依進流污水量變化彈性操作。

5. 抽水站濕井型式

抽水站濕井主要係由進流分配段(前池)、進流渠道段(喉口)及抽水機吸水口所構成。污水抽水站的濕井型式及其優缺點如下：

(1)未設隔間之濕井

抽水機通常藉由平台懸吊在沒有隔間或其它導流設施的廣大水體中，這種未受限的抽水站濕井造價較低，用於調節池做為流量調節抽水機或做

為放流水抽水機等，須特別考量者係為在抽水機前端將漂浮物、雜物及魚類等隔離。抽水機吸水喇叭口所需浸水深度參考下節。

(2)矩形濕井

矩形濕井係傳統最常使用的濕井型式，特別適合於大體積的清水池，矩形濕井應以分隔牆及閘門隔成兩個或更多的隔間，以便各隔間能隔離清理，以及未來可能進行的擴建工作，同樣理由，進流管渠亦應分別連接至各隔間，並加裝閘門。進流管及濕井介紹如下：

A. 進流管

進流水自進流管進入濕井，如落下到水面的距離太大，會挾帶大量空氣氣泡而被吸入抽水機內，產生抽水量之損失及抽水機葉輪等的破壞，另外還有浪費水頭(能源)及產生臭味之問題，故在設計濕井時，應使銜接濕井之污水管內最高水位與濕井之最高水位(HWL)一致，不需刻意降低濕井之最高水位(HWL)，如圖 3.36。

B. 濕井

濕井形狀可為矩形或梯形，在平面上，矩形濕井的多台抽水機係靠著一片牆而成列狀配置。矩形濕井之設計，應能使抽水機運轉順暢，污水經進流管線流入濕井後，在流至抽水機吸水管前，需參考設備廠商及本節資料設計，使其流場應有妥善配置，避免引起亂流或渦流現象。

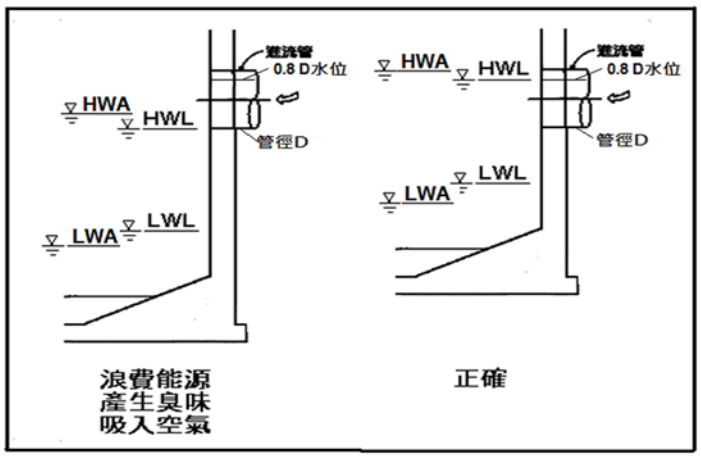
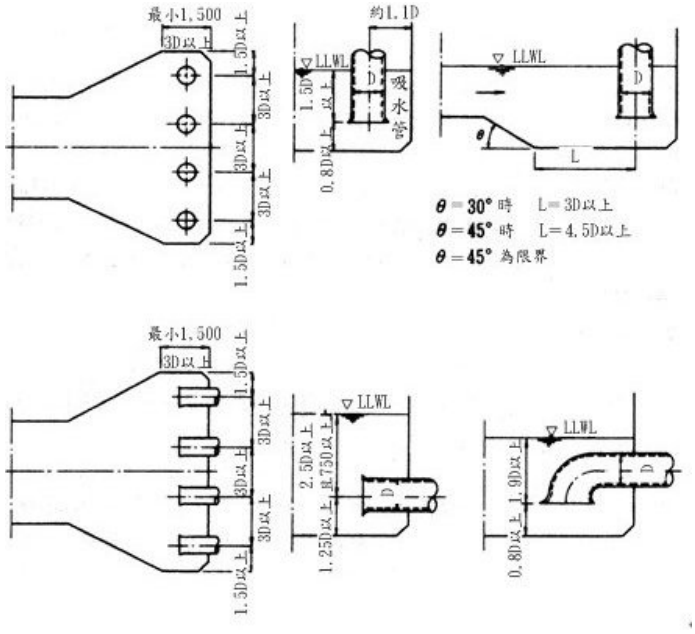


圖 3.36 濕井高水位位置之決定

(HWA：高水位警報，HWL：最高水位，LWL：最低水位，LWA：低水位警報)

濕井不當設計導致的問題絕大部分發生在因為局部漩渦而在水面上產生的漏斗狀渦流，這種漏斗狀渦流會將吸入的空氣經由抽水機吸水口而帶到葉輪上，使葉輪產生徑向的不平衡，從而使水流產生水力脈動，導致軸承及葉輪導引的機械過載。

吸水管端為喇叭形，各種吸水管的型式如圖 3.37。喇叭口至最低水位之浸水深度為 S，參考公式 3-27 及 3-28。



平面　　斷面

註 1.抽水井之大小及尺寸

註 2.日本下水道協會「下水道施設設計指針と解説」2019 年版

圖 3.37 各種吸水管的型式

$$S=(1+2.3F_D)D \quad \text{.....(3-27)}$$

式中：

S：浸水深度(m)

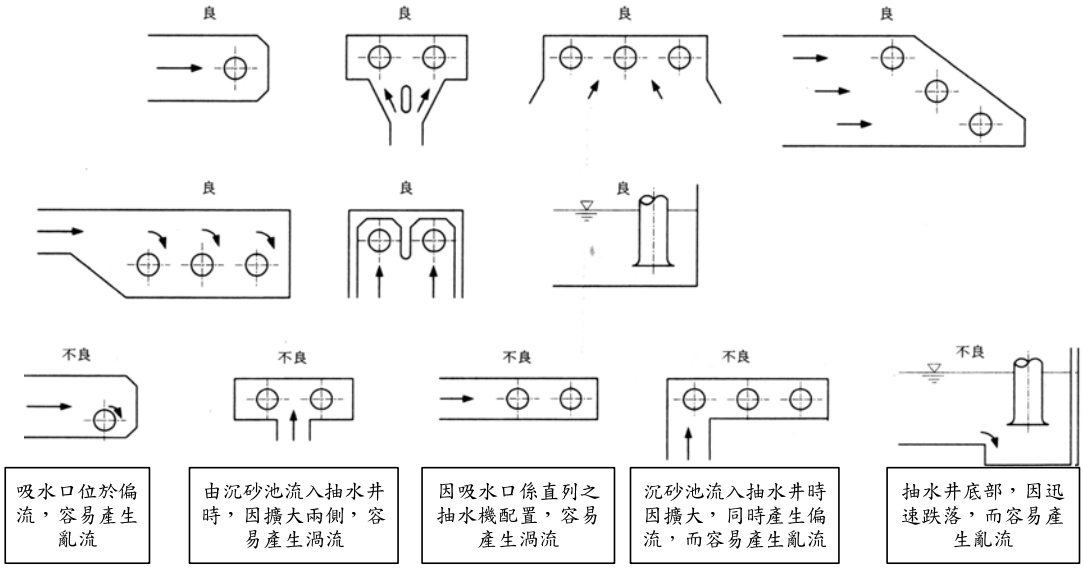
F_D：福祿數(Froude number，無因次) $= v/(gD)^{0.5}$……(3-28)

D：吸水喇叭口外徑(m)

v：吸水喇叭口處之流速(m/s)

g：重力加速度(m/s^2)

濕井中，水流方向突然改變會造成渦流。濕井中朝向抽水機的水平流速，應遠小於 0.3 m/s。濕井角落沒有填角的不連續性，以及水流經過分隔牆鼻端引起之不均勻水流分配，常導致形成挾帶空氣的漩渦。濕井或吸水口管線的形狀會造成不均勻流速，從而使水流旋轉，當水流靠近吸水口時，旋流會增大，抽水機吸水管的渦流，會使葉輪中心局部的可用淨吸水高度(Net Positive Suction Head Available，簡寫為 NPSHa)不足，導致孔蝕、噪音及急速磨損。矩形濕井及進流口之優劣配置設計，如圖 3.38，雖然該圖已將不良的矩形濕井配置顯示出，但即使劃歸為良好的配置，其抽水機吸水口的水流循環仍可能產生渦流。



備註：整理自日本下水道協會「下水道施設設計指針と解說」2019 年版

圖 3.38 抽水井之大小尺寸及進流口之優劣配置設計

防止渦流的方法，包括在牆角及牆底加上填角，在抽水機吸水口底部增設圓錐，或在吸水口及牆壁間增設防旋擋板等，如圖 3.39 填角及地圓錐。對於小型濕井，這些防止渦流的方法可能不具成本效益，其替代方法為使用更具抵抗性的金屬材質，如使用不銹鋼或鋁青銅的葉輪，及添加鎳的鑄鐵機殼等，可能對小型抽水機更具效益。

抽水機間的分隔牆可改善流況，適用於超過 30,000 CMD 之大型抽水站。

如圖 3.40，防止渦流的最佳抽水機隔間組合包括：長度至少須為 5.75 D 的分隔牆，牆角及牆底須加上填角，吸水口底部須加上分水設施，抽水機前端須加上幕牆(curtain wall)。

如圖 3.41 典型使用沉水式抽水機之矩形濕井設計圖，該設計已針對達成平均配水、減少氣泡吸入抽水機內等問題提供解決，至於因底版面積大及低流速(＜0.5 m/s)，容易使砂礫及污泥淤積之清除方法，對於濕井用地面積大、浮渣無法排出等問題仍無解。

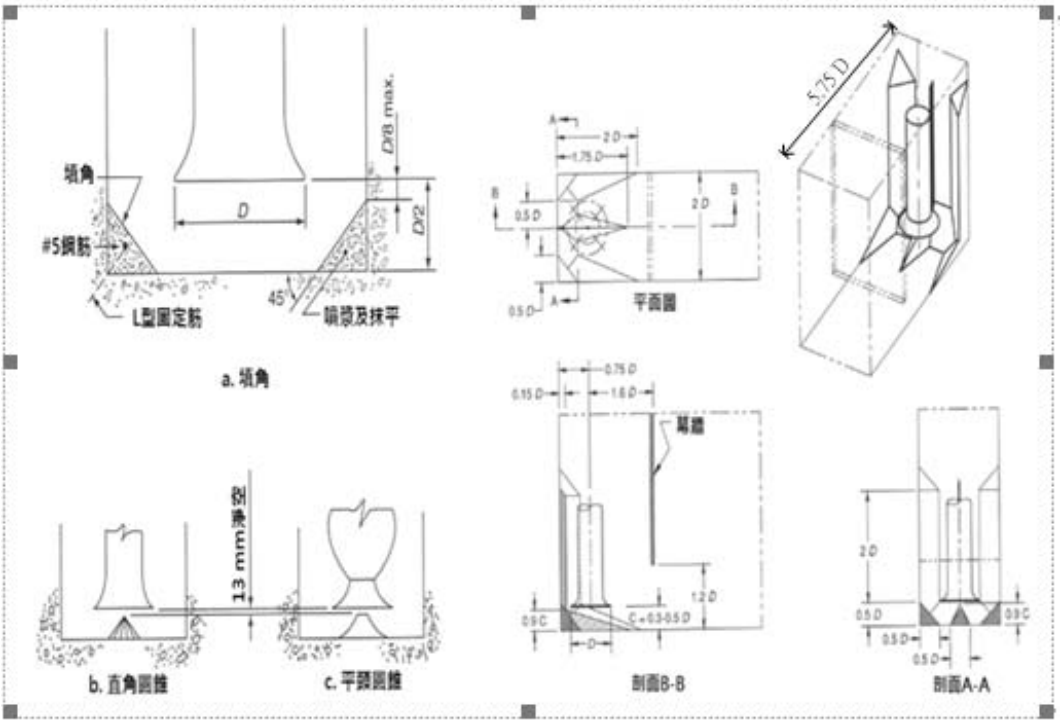


圖 3.39 填角及地版圓錐

圖 3.40 大型抽水機防止渦流隔間圖

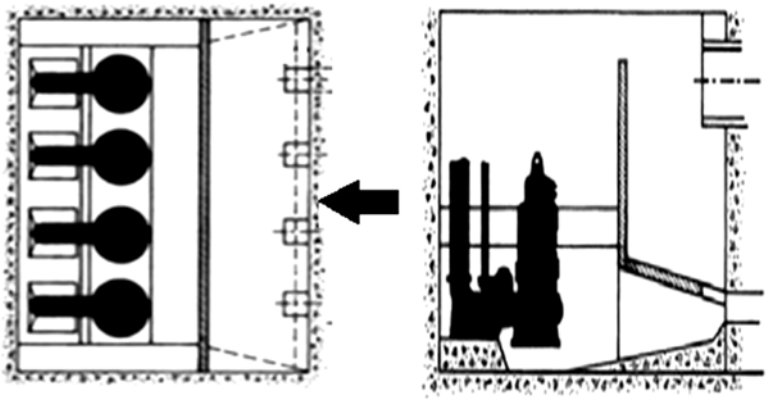


圖 3.41 典型使用沉水式抽水機之矩形濕井平剖面圖

(3)圓形濕井

圓形濕井大都為小型濕井(流量介於 700～16,000 CMD)，因造價低而具有吸引力，濕井可以混凝土場鑄或採混凝土管製造，也可採用 FRP 管或鋼管。

圓形濕井通常採用沉水式定速抽水機。圓形濕井的平坦池底可能發生的牆邊漩渦，可藉由設置填角或將吸入口侷限在至少 2 D 高的筒中來解決。

圓形濕井有進流污水跌落之缺點，當進流污水跌落底下，池中引起的亂流會釋出污水沼氣、氣泡及強烈水流，強烈水流會將氣泡帶到抽水機吸水口中，抽水機吸入空氣會降低抽水機的效率、水頭及流量，並減少軸承及軸封的壽命，雖然採用豎管可避免抽水機吸入空氣，但污水沼氣仍會釋出。

為避免進流污水跌落，並提高濕井的儲存容量，可採用較大坡度之進流接近管，如圖 3.42 裝設兩台沉水式抽水機之小型圓形濕井，接近管設置長度，需配合重力管線人孔設置位置整體考量，坡度建議維持流速不超過 3 m/s。

圓形濕井其他缺點包括：I.過大而平坦的池底會使污泥淤積及腐敗及 II.抽水站清除困難。對於減少污泥淤積，可採用斗狀池底；而對於清理淤積，可採用將浮渣及污泥攪拌及混合的方法。

(4)狹窄隔間之濕井

狹窄隔間之濕井配置，如圖 3.43 所示，其優點為：I.抽水機平時運轉時有優良的水力條件；II.抽水機全速運轉時可將污泥抽出；III.抽水降低水位時可將浮渣抽出；IV.適合大型抽水機。

另一方面，其缺點為：I.對定速抽水機而言，可貯存之液體容積太少(沒有輔助貯存空間)；II.抽水機長時間的停機後，其隔間可能會淤積污泥及砂礫而使抽水機堵塞；III.費用較圓形濕井為高。

至於在狹窄隔間中淤積污泥及砂礫問題，可在抽水機出水管上加裝一支分管，並導入濕井中的一個角落，藉著加壓水流將沉積物擾動後，再以抽水機抽出。

6. 抽水站濕井內之淤積清除困難及具危險性，故抽水站設計以不在濕井底部造成淤積為目標。污水抽水站濕井的死角流速太低，無法避免污水中污泥及砂礫的淤積。大約 0.3 m/s 的流速可保持污泥流動，而大於 0.5 m/s 的流速可保持砂礫流動。在污泥及砂礫淤積後，需要有大於 1.6 m/s 的流速才能將沉積物有效的沖走。清除沉積物的方法如下：

(1)機械攪拌機：在濕井中的抽水機旁邊加裝機械攪拌機。機械攪拌機可以用豎軸式攪拌機，電動機在濕井的頂蓋上，軸流槳葉在濕井中(如圖 3.44 a)，亦可用沉水式攪拌機(如圖 3.44 b)。應用機械攪拌機攪拌來清除濕井中沉積物時，僅限於濕井體積要較少或用更多的攪拌機，因此有下列缺點：A.機械設備費用高 B.電力費用高 C.機械設備的維護費用大 D.尚有死角無法清除乾淨。

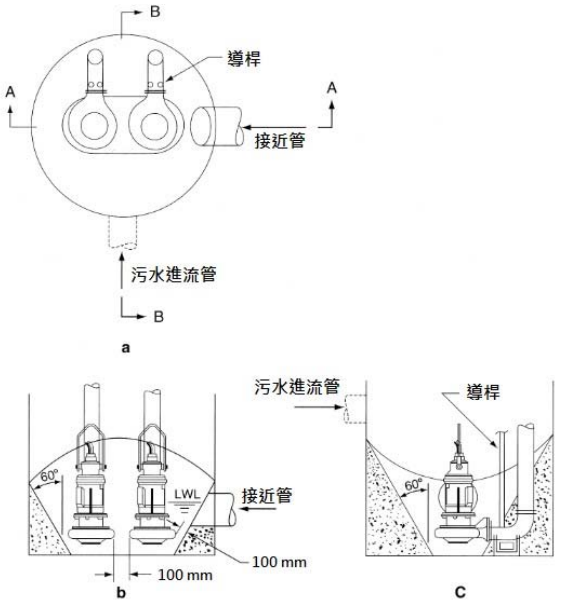
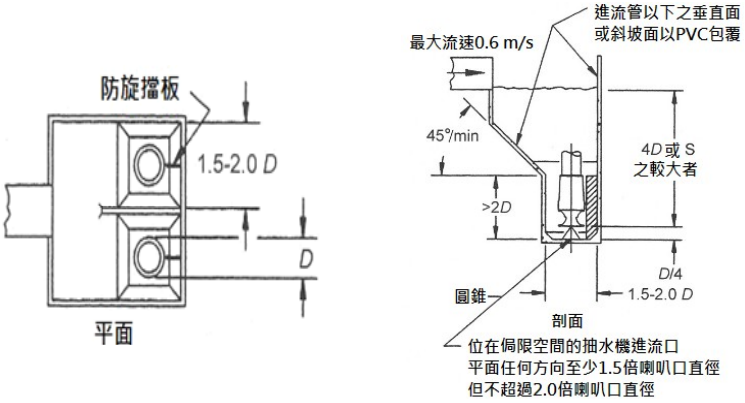


圖 3.42 裝設兩台沉水式抽水機之小型圓形濕井
(建議以實線之接近管代替虛線之進流管)



a.平面圖　　b.剖面圖

圖 3.43 狹窄隔間之濕井配置示意圖

(2)應用出水管線佈設清除沉積物：清除濕井中沉積物另一個方法，是在抽水機出水管上加裝一支分管並導入濕井中(如圖 3.45)，在抽水時，利用分管中下沖的水柱將沉積物擾動，使之揚起，而抽水機最後會將沉積物與污水的混合液經由出水管抽出。分管上裝有制水閥，平常係關閉著，需要清除濕井沉積物時才打開。

(3)豎軸集水坑抽水機以及沉水式抽水機(如圖 3.46 及圖 3.47)：具有兩個出水管，除了正常出水管外，另一個出水管會將污水循環排回到濕井中，使水面上的浮渣及池底的沉積物與污水充分攪拌混合，抽水機上面有轉動桿，能轉動這支出水管的攪拌方向；抽水機上面有閥門操作器，能選擇污水經由循環出水管排到濕井，或經由正常出水管排到排放點。此種抽水機容量小，較適用於集水坑之排水用途。





a.豎軸式攪拌機　　b.沉水式攪拌機

圖 3.44 機械式攪拌機

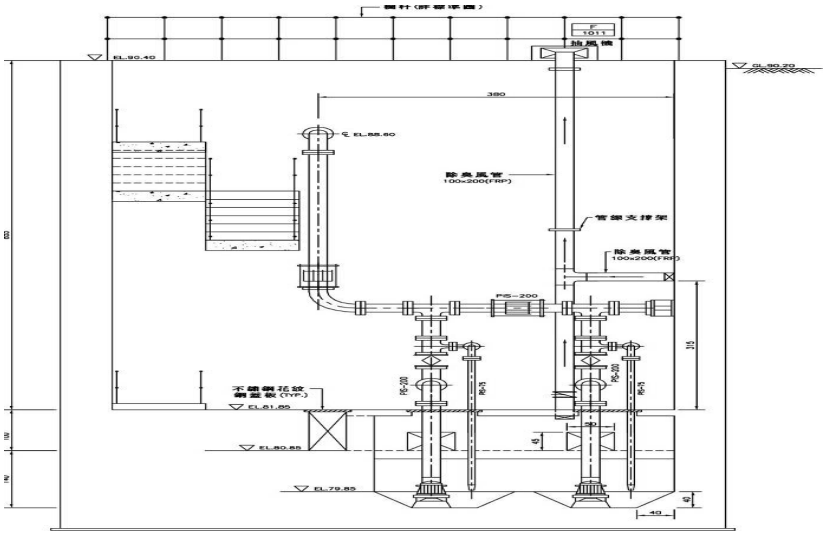


圖 3.45 分支管攪拌

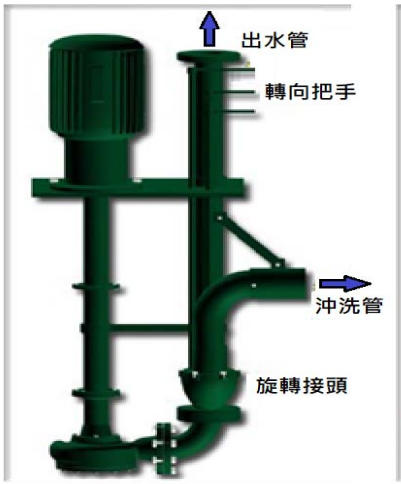


圖 3.46 豎軸集水坑抽水機

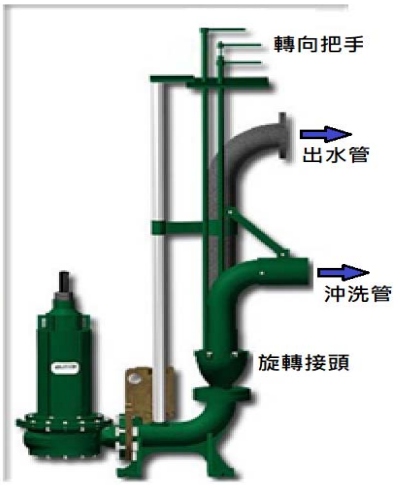
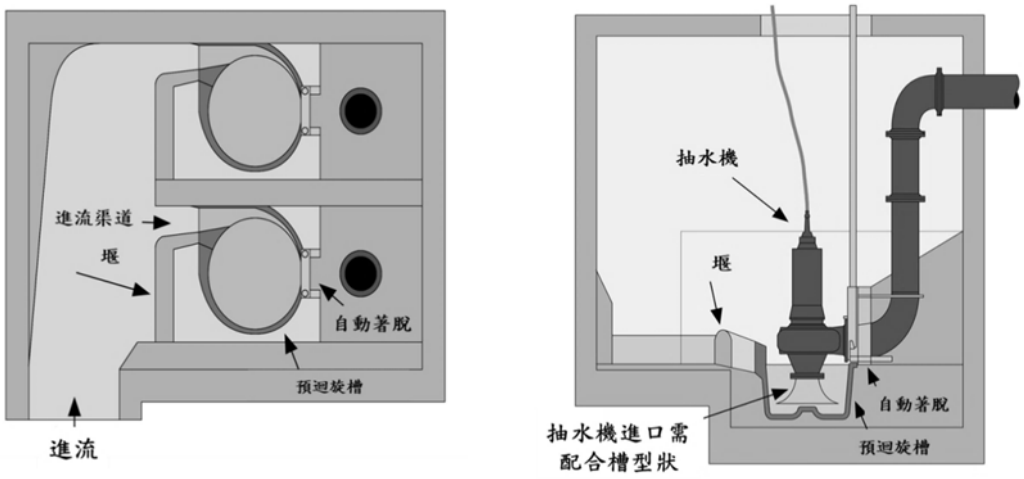


圖 3.47 沉水式抽水機

(4)應用預迴旋槽清除沉積物：抽水站濕井的底部可設置預迴旋槽，以解決浮渣及沉積物的問題。預迴旋槽是設在抽水機吸水口的底下，污水在濕井中接近低水位時，沿切線方向進入抽水機，在吸水口前會流經渦流形狀的導

槽，此時污水會向下流，並順著導槽形成迴旋流，這種力量會將浮渣及沉積物冲到抽水機吸水口，從而經抽水機抽到下一個可分離浮渣及沉積物的單元中。預迴旋槽如圖 3.48。



a.平面圖　　b.剖面圖

圖 3.48 預迴旋槽之例

7. 為降低初期低流量對進流抽水站操作所帶來的不利影響，在規劃設計階段時，即須對進流抽水站之配置予以妥善構思，包括攔污柵渠道、濕井及抽水機。

(1)攔污柵渠道

小規模進流抽水站使用攔污柵籃，故沒設攔污柵渠道；而對於中大規模進流抽水站之攔污柵渠道，為減少渠道的固體物淤積，可將攔污柵上下游的渠道寬度設計的比攔污柵的寬度還要窄，以提高渠道之水流流速，同時可滿足攔污柵柵間最大流速不得大於 0.9 m/s 之要求。

(2)濕井

一般小規模抽水站，如果採用傳統式圓形或矩形濕井，為減少濕井中固體物可能淤積的死水區，濕井的平面面積應減至最小，另外，為使濕井中的固體物在沉降時，能儘量靠近抽水機的吸水口，濕井池牆與底板間應填築底邊長至少為 0.3 m，仰角至少為 60 度的填角；如為矩形濕井，兩面池牆間，亦應填築邊長至少 0.3 m 的填角。

一般傳統乾井式中大規模進流抽水站之濕井形狀可為圓形、矩形或梯形，數台抽水機隔著乾溼分隔牆在乾井處呈等距排列。為減少濕井中固體物可能淤積的死水區，濕井的平面面積應減至最小，另外，為使濕井中的固體物在沉降時，能儘量靠近抽水機的吸水口，除進流管側的濕井底部須有朝向抽水機之斜坡外，其他側的池牆與底板間應設置底邊長至少為 0.30 m，仰角至少為 45 度的填角。

一般濕井式進流抽水站亦可採用圓形、矩形或梯形，數台沉水式抽水機在濕井內呈等距排列。同樣的，為減少過低的污水量在濕井中有過長的停留時間，濕井應設計成具有兩座或三座隔間，每座隔間都應有獨立的入

口及制水閘門，以便將初期過低的水流集中流往一座容積較小的隔間。

(3)抽水機

各種規模的進流抽水站，如果預估進流污水的低流量狀態會維持一段相當長的時間，則可在設計階段即考量採用適合低流量之小台抽水機，等未來進廠污水流量成長到達一定程度，再改用合適流量之中大台抽水機。這種方法最適用於每台抽水機的出水管直接接到前處理區進水渠道的情況；如果每台抽水機的出水管先接到一條共同主管，再以主管銜接到前處理區進水渠道，此時因低流量在主管中的管速太低，恐會使固體物沉降在主管中。

3.5.3 抽水機進水管線及輔助設計

抽水機及其管線等附屬設備之考量如下：

1. 抽水機應依規定，設計其吸水及出水管線等附屬設備。
2. 乾井有浸水之虞時，可採用：(1)豎軸渦輪式抽水機；(2)自吸式抽水機；(3)真空吸引式抽水機：(4)電動機設置於地面層或不會淹水的地下層，而以延伸軸向下連接至乾井底板上的豎軸抽水機；(5)沉水式抽水機採乾井安裝。
3. 抽水機得視情況選擇使用變速器。
4. 抽水機應配合其型式，選擇並安裝其附屬及輔助設備。

解說：

1. 乾井位置較低窪，有浸水之虞時，可採用下列方法：(1)豎軸式抽水機，如圖 3.49；(2)自吸式抽水機，如圖 3.50；(3)真空吸引式抽水機，如圖 3.51；(4)沉水式抽水機採乾井安裝，如圖 3.52。

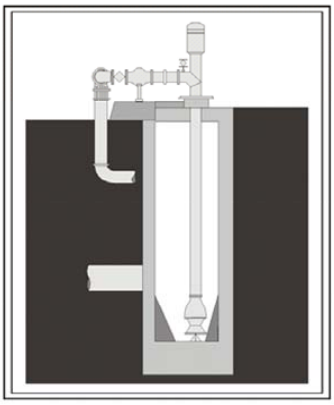


圖 3.49 豎軸式

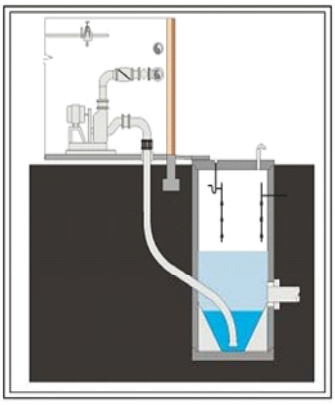


圖 3.50 自吸式

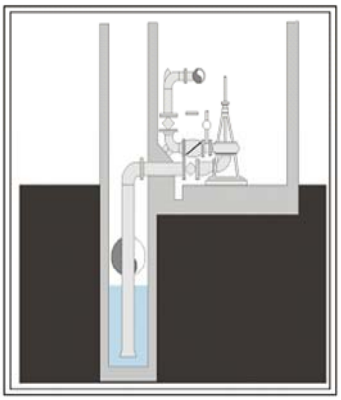


圖 3.51 真空吸引式



圖 3.52 進流抽水站乾井使用沉水式抽水機

2. 變速抽水機之使用

(1)前導點

著眼於抽水量永遠等於進水量目的之變速抽水機，其主要的優點如下：

A. 下游流量變動緩和，不會因定速抽水導致突然激流而衝擊下游管線。

B. 比起定速抽水，濕井可較小、較淺及較便宜，濕井體積可能可以補償變速設備的高額費用。

C. 中大型抽水站需要較少台抽水機，抽水站空間可節省，且須維護的設備較少。

D. 幾乎固定的濕井水位及較短的停留時間，可減少臭味及腐蝕氣體的產生。

E. 由於濕井平均水位較高，經常的較低抽水量及較低的管線摩擦損失，故可節省能源。

F. 因啟動不頻繁，電動機壽命可延長。

G. 大型定速抽水機啟動的特性是會產生高浪湧電流，變速抽水機則是利用變頻器(AFD or VVVF)啟動，可大幅減小浪湧電流。降低浪湧電流啟動的方法稱為「軟啟動」。

H. 大型定速抽水機啟動電壓會造成諧波干擾，此困擾可加裝以固態電子裝置(solid state devices)之降壓啟動器(Y-Δ)或馬達緩衝啟動器（motor soft starter）而大幅減小，尤其是當操作速度達到時，它們會從電路上被切換掉，所以不會繼續有諧波干擾。而大型變速抽水機一般利用變頻器(VVVF)啟動，亦同樣可減少該困擾。

(2)污水抽水站使用變速抽水機的理由

A. 變速操作的連續抽水及非常短的污水停留時間可減少①有機固體物淤積－無法再使固體物懸浮是定速抽水的難題；②腐敗－故污水處理較容易及花費較少；③產生臭味及腐蝕性、毒性氣體；及④水面來回起伏導致污水管氣體進入大氣中。

B. 變速抽水可避免污水在進流管與濕井水面間的高跌落，從而避免空氣氣泡被挾帶進入抽水機中，而大幅減少抽水機效率的情形。

C. 使用變速抽水時，濕井中水位可保持在與進流管相同的正常水位，因此可較在使用定速抽水時，減少 0.6 m 的平均淨水頭。濕井中亂流幾乎可消除，而釋出的臭氣可大量減少。由於持續在濕井高水位，能源費用的節省相當可觀。

D. 使用變速抽水的一個重要原因，係緩慢的流量改變，不會打亂(以至於減低效率)下游的程序例如沉澱池。定速抽水機引起的突然流量改變，即使距離處理廠有一大段長度，仍然會打亂整個處理程序。過去有例子顯示在某一個污水處理廠，這種突然流量改變傳經整個初級及二級沉澱池，最後並打亂加氯系統，逼著操作人員使用變速驅動器(該變速驅動器已安裝，但由於漠不關心，而並未使用)從而解決此問題。

(3)變速抽水機缺點

選擇變速抽水機前，應對其缺點作審慎考量。

A. 變速驅動器增加大筆費用及複雜度，須要更多設備及更多維護，並降低可靠度。故障排除及修理須要在職訓練的人員。每種變速驅動器須要不同的專業訓練。

B. 如操作人員不了解變速驅動器，或認為其不易維護，操作時可能關閉使用，如此將造成設備投資的浪費，且以變速抽水設計的濕井，將會由於改用定速抽水操作而變成容量不足，抽水機更會因頻繁啟動而減少壽命。

C. 變速驅動器的電氣效率比定速電動機要差(雖然變速驅動器因為有較低的管線摩擦損失使耗能可能較少)。

D. 變速驅動軸的振動較難處理，因為共振的容許頻率範圍較狹窄，因此亦較易造成噪音問題。

E. 調整抽水機速度的儀表設備，通常比定速抽水機所需的更精密、準確及昂貴。

F. 變速驅動器並不適合平緩的系統水頭流量曲線，因為(1)在速度範圍內無法得到良好效率；(2)速度些許差異會使流量有重大改變；及(3)高耗能(高費用)。

G. 技術快速的改變，會使某些變速驅動器的型號變得過時。

H. 變速驅動器對於閃電及電氣干擾不具抵抗性，尤其是調頻驅動器(AFD)更是如此。

(4)定速與變速之比較

由於變速抽水機的缺點，即係定速抽水機的優點，故在作比較時應對下述作考量：

A. 定速抽水機所需大型濕井的費用，可能超過變速驅動器的費用，但應注意開挖費用與廠址息息相關。

B. 抽水機尺寸與濕井設計很容易聯結，所以定速抽水機每小時啟動次數，可很容易進入在可接受限值內。

C. 採用數台定速抽水機，也可以對付廣大範圍的流量，而定速抽水機交替運轉用的程序器，比變速抽水機用的控制系統更可靠及價廉，但使用定速抽水機的缺點，係較大的抽水站、更多台的抽水機、更多管線及零件、及分散的增量水流。

D. 啟動或停止一台抽水機引起的激流尚不嚴重，但當多台抽水機啟動時，就顯得嚴重。定速抽水機啟動可採利用降壓啟動器或抽水機與電動閥連鎖控制消除激流。而變速抽水機則利用變頻器運轉無此困擾。抽水機設計時應衡量其優缺點，做客觀的評估。如決定採用變速，則應針對該特定用途選擇最佳的變頻器。

(5)變速驅動器

變速驅動器，包含一個變頻轉換器(變頻器，converter)及一個交流電鼠籠式感應電動機(即驅動器)，變頻轉換器係一組固態電子組件，包括：

整流器(rectifier)：將交流電轉換為直流電。

濾波器(filter)：減少直流電中的紋波。

逆變器(inverter)：在設計範圍內以任何選定的頻率，將直流電轉換為交流電使用變速驅動器時，交流電先以整流器整流為直流電，從外部設備來的控制訊號，會使得逆變器的輸出頻率及電壓依照一些變數的功能，例如污水抽水站濕井水位，轉換為抽水機所需轉速的交流電。變頻器(參考圖3.53)比其他種變速器更有效率，因其滑移損失不是被減除，就是被轉換為有用的功率。



圖 3.53 300 hp 電動機變頻器照片

(6)變速抽水機設計考量

抽水站穩定的抽水量，係其最大台抽水機無法使用時之最大抽水量，同樣的，設有變速抽水機的抽水站必須能夠應付任何流量(從最小至最大)，

且當任一台抽水機或驅動器無法使用時，也可正常操作。抽水站如同時包含定速及變速抽水機，則應能如同全數都是變速抽水機一樣，提供相同的操作結果。變速抽水機設計考量如下：

E. 抽水機抽水站設置的抽水機數量，取決於(1)進流污水量變化範圍，(2)可選擇的抽水機，(3)濕井大小與抽水機大小的最適化及(4)操作費用。

F. 濕井變速抽水站的濕井容量僅須抽水機在啟動、停機至再啟動時(循環時間內)不會對水位造成過多的改變，為了該目的大多數變速控制系統允許循環時間內皆保持濕井水位變化約 0.6 m 的範圍內(也可使用更小的範圍，但須要更複雜的控制系統)。因此，比較定速抽水系統的濕井水位通常在 1.2 m 或更多的範圍中變化，變速抽水系統可節省一些淨水頭。

(7)抽水機選擇

各種變速抽水機系統，皆包括當任一台抽水機無法使用時，其餘抽水機須有足夠抽水能力以抽送尖峰進流量。

A. 抽水站僅設置兩台變速抽水機時，每台變速抽水機須能夠抽送尖峰進流量，單台的尖峰抽水量，應在 BEP 右側以便整個操作範圍都有不錯的效率，而如能在操作範圍的中央，其效率更高。

B. 抽水站僅設置三台變速抽水機時，其中任兩台抽水機須能夠抽送設計尖峰抽水量，而第三台係做為備用單元。除非系統曲線呈現緩和狀，否則每一台抽水機必須能夠抽送比尖峰進流量之半稍微多一些之抽水量。又因「後隨」抽水機需克服額外壓力，才能抽送污水進入合流管，如圖 3.54 所示，進而導致效率不佳。

兩台抽水機操作方法有兩種，一為「交錯式操作」：在低流量時，「前導」抽水機單獨運轉；當進流量稍微超過「前導」抽水機之最大抽水量時，「後隨」抽水機接著啟動，其後兩台抽水機並聯操作，直到進流水量降到稍小於「前導」抽水機的抽水量；二為「均攤式操作」：兩台抽水機以同速並聯操作，通常當進流量稍微超過「前導」抽水機之最大抽水量時，「後隨」抽水機接著啟動，其後兩台抽水機以同速進行操作。「後隨」抽水機繼續操作直到進流水量降到稍小於「前導」抽水機的抽水量。「交錯式操作」時，「前導」抽水機係全速操作，而「後隨」抽水機係非全速操作，「交錯式操作」會增加控制的複雜度、增加能源使用、增加「後隨」抽水機非全速時的流量不平穩(「後隨」抽水機可能在非常低抽水量下長時間操作，因而有損壞的可能)，因為係不良的操作方法，不應使用。兩台抽水機操作時，BEP 應在尖峰抽水量操作點的左側，以便整個操作範圍都有最高的效率。

C. 四台或四台以上變速抽水機組合的選擇原則與前述相同，然而，變速及定速抽水機合併使用之抽水站，其設備費較低。但其限制是任何一台抽水機不能在其允許操作範圍區(AOR)之外操作。



圖 3.54 前導、後隨抽水機操作示意圖

(8)變速抽水機最高速度限制

抽水機絕不能在超過製造商所繪水頭及流量曲線的流量範圍外操作，也不能在其容許操作區以外操作。換言之，不能往外延伸一條水頭及流量曲線。所以可能必須限制一台抽水機的速度，以確定抽水機曲線不僅與系統曲線相交，同時也重疊一部分。須考量可能的系統曲線範圍，並須注意管線摩擦損失可能比預期還要低，特別係新管時，此可能更加限制抽水機的速度範圍。

進水抽水機至少應有一台為變頻，並配合初期進水可設定抽水井於最高水位啟動，最低水位停止抽水之 ON-OFF 操作機制，以達初期低流量之穩定操作。

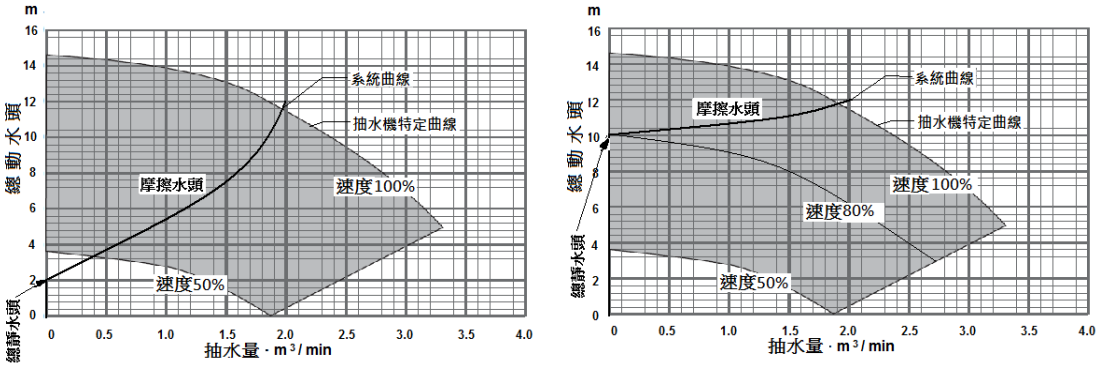
(9)淨水頭與摩擦損失

一般進流抽水站採用變速器控制抽水量，因抽水系統中的總動水頭係以總淨水頭佔大部分，摩擦水頭佔小部分，故變速抽水機的有效變頻範圍很小。如圖 3.55 抽水系統曲線與抽水機特性曲線合併圖，圖 3.55 a 及 b 之總動水頭皆為 11.5 m，圖 3.55 a 之總淨水頭為 2 m，故其變速範圍可自 100%降低至 50%以下；圖 3.55 b 之總淨水頭為 10 m，故其變速範圍僅可自 100%降低至 80%，實際上還是以近乎全速運轉。故進流抽水站採用變速器控制抽水量時應特別注意。

3. 抽水機應配合其型式選擇並安裝其附屬及輔助設備：

(1)抽水機之出水管應裝設壓力計。

(2)配合抽水機之型式，設置供給軸封、冷卻及潤滑用水等設備。



a.摩擦水頭佔大部分之情況　　b.總淨水頭佔大部分之情況

圖 3.55 變頻抽水機在不同總淨水頭下之有效變頻範圍

3.5.4 水錘(Water Hammer)

1. 抽水站抽水機及管線系統，應避免水錘(Water Hammer)破壞。
2. 抽水系統因污水具有腐蝕性，且含有油脂、繩狀固體及砂礫等之因素，考量水錘防止時，應審慎選擇合適的設備。
3. 抽水機出水管有可能發生水錘作用時，應有適當的裝置以防止之。

解說：

1. 當抽水機在瞬間停機或瞬間啟動，由於停電、閥門急閉或急開等的情況，造成壓力管線中之水流速度發生急遽變化，會導致管內壓力發生相當大的改變。壓力會驟增或驟降，時常伴隨類似錘打的噪音，這種短暫發生在壓力管中的壓力及水流情況稱為水錘(Water Hammer)現象。與水錘現象同時發生的是壓力管線的水柱分離(column separation)現象。

   水錘現象造成的損害如下：

   (1)壓力升高，致破壞抽水機、管線、閥類等。

   (2)壓力降低，致管壁被壓損。

   (3)壓力降低，致使管內部分的水會在飽和蒸汽壓以下，而發生水柱分離現象，這個空洞部位當再滿管時，則會產生異常高壓而破壞管、閥。

   (4)水在逆流時，若抽水機或電動機無法承受逆轉，則會造成破損事故。

2. 抽水系統水錘現象的防止對策

   防止水錘現象，應考量水錘作用可能的程度，並針對污水具有腐蝕性，且含有油脂、繩狀固體及砂礫等之因素，審慎選擇合適的設備。水錘現象的防止或減輕方法，如圖 3.56。

   (1)防止發生水柱分離的方法

   A. 抽水機及電動機上增設飛輪，以增加轉動慣性，當動力切斷，轉速並不急降，可緩和激烈的壓力降低。此法對小型抽水機有效，大型抽水機及出水管線較長的情況，飛輪會變得較大，須另設軸承，電動機啟動方法亦須另外考量。

B. 出水管線上，設置調壓水槽(surge tank)，在產生負壓的地點補給水，能防止負壓，亦能吸收上升的壓力。調壓水槽會增加建設費，但係一種安全及確實的方法。

C. 出水管線上，設置單向調壓水槽(One way surge tank)，壓力下降時能補給水，以防止負壓，平常係以逆止閥隔開管線。單向調壓水槽比調壓水槽容量小，較為經濟，但有效範圍較有限制，並且污水中的異物也可能堵塞逆止閥。

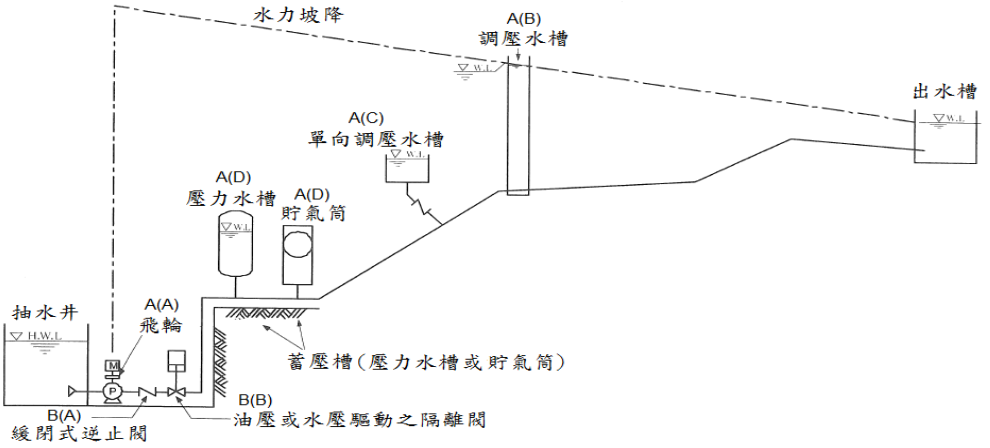


圖 3.56 水錘現象防止或減輕方法

D. 在抽水機出水口附近，設置壓力水槽或貯氣筒(accumulator)之蓄壓槽，由槽中送水或空氣，可減少壓力下降。使用蓄壓槽須注意，經數次保護作用後，污水中的油脂會流入蓄壓槽中，而在油脂硬化後可能堵塞管線，使蓄壓槽失去保護作用。

(2)防止壓力上升的方法

在抽水機出水口設置緩閉式逆止閥，使水慢慢逆流通過逆止閥，最後才完全關閉，以減少上升壓力。此法適用於管線比較短的情況。惟如壓力管長度不超過 1 km，平均坡降小於 4%，管線縱斷面沒有近乎 90 度陡坡，而經電腦分析所得到的抽水機葉輪停止轉動時間足夠長，則快關式逆止閥，通常已足夠防止水錘現象。

3. 壓力管線水錘現象的防止對策

壓力管線水錘現象的防止或減輕方法如下：

(1)變更壓力管線管徑，降低管內流速。

(2)縮短壓力管線長度，減少總動水頭。

(3)重新配置壓力管線，避免陡坡(近乎 90 度)或負水力坡降，以消除管內堆積空氣。

(4)在壓力管線縱斷面凸出部位設置複合式排氣及真空閥，此閥的型式必須非常可靠，其安裝方法亦須確保可靠性(如圖 3.57)，而容易被油脂堵塞的型式，則不能使用。

(5)使用高強度管線：此方法限於小系統，但如果壓力管線的管徑為 200 mm

或更小，此可能為最廉價的解決方法。但管線不斷遭到重擊可能造成龜裂及最終的破壞。所有管線的轉彎、丁字管及端點的抗衝力固定台，須設計防止水錘壓力。

對於水錘現象的防止對策，在基於包含預備抽水機的運轉條件，以及總動水頭、淨水頭、壓力管線長度大於下述數值之情況應予檢討，必要時應有對策。

總動水頭：20 m 以上

淨水頭：10 m 以上

壓力管線長度：300 m 以上

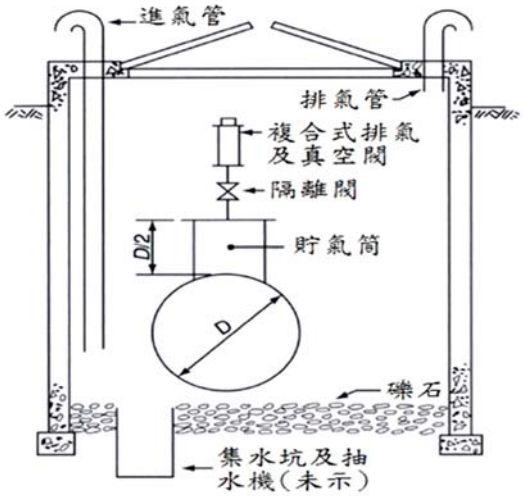


圖 3.57 複合式排氣及真空閥安裝方法示意圖

3.5.5 孔蝕(Cavitation)

1. 抽水系統設計，應避免發生抽水機孔蝕。 2. 抽水機應有足夠的可用淨吸水高度(NPSHa)，以避免發生孔蝕現象。

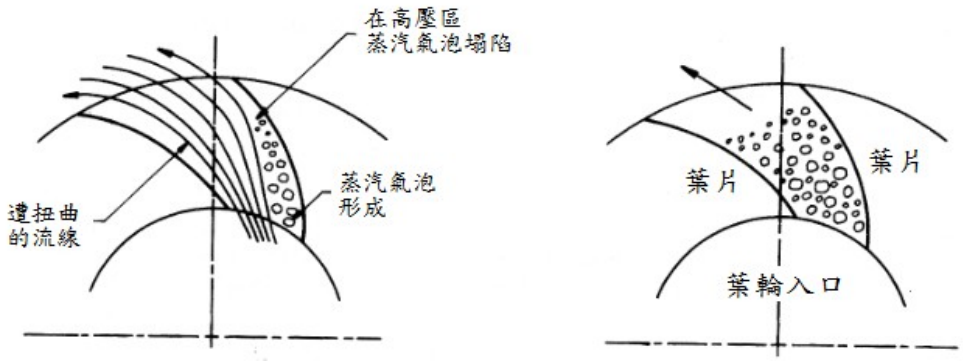
解說：

1. 孔蝕現象(Cavitation)

孔蝕現象是離心式抽水機運轉時潛在的危險，孔蝕現象可能會造成降低抽水機容量及效率及損壞抽水機。

(1)降低 NPSHa 導致抽水機性能降低

離心式抽水機葉輪入口處的通水面積，通常小於抽水機吸入口的通水面積，當水自抽水機吸入口進入葉輪入口處時，通水面積變小導致流速 V_1 增加，但壓力也伴隨的減小，流速愈大，抽水機吸水口與葉輪入口處間的壓力，也下降的愈大。當葉輪入口處壓力下降到一定程度時，該處水的絕對壓力(absolute pressure, p_1)低於同溫度下之飽和蒸氣壓(vapor pressure, p_v)，此種情況下，葉輪入口處的水會沸騰，而產生許多蒸汽的氣泡(空穴)。當 NPSHa 繼續降低，氣泡的體積會增加，抽水機性能即會降低；如 NPSHa 再降低到一定程度，葉輪的葉片間會充滿蒸汽，如圖 3.58 b 完全空穴，使抽水機無法再產生水壓。

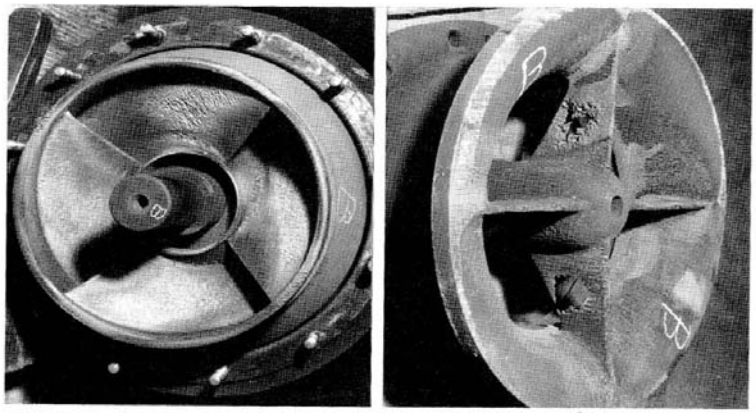


a.部分空穴　　b.全部空穴

圖 3.58 抽水機葉輪上蒸汽氣泡的形成

(2)孔蝕損壞抽水機

許多在部分空穴時產生的氣泡，會在葉片表面水壓較高處遭受水壓而突然崩塌，蒸汽氣泡在崩塌後，會使周圍流體迅速填滿氣泡空間，這種在抽水機中的蒸汽氣泡產生及隨即崩塌的過程，稱為孔蝕現象。這種氣泡崩塌的力道會引發鎚擊作用(hammering action)，其導致的局部高應力，會在轉動葉片的前緣造成極細微的孔蝕，在幾小時或幾天期間形成的幾百萬個小孔蝕的累積效應，會毀掉一組葉輪，如圖 3.59 豎軸軸流式抽水機孔蝕損壞照片(a)。孔蝕現象亦會產生噪音及振動。產生噪音的原因，係氣泡流入高壓區而突然崩塌；產生振動的原因，係氣泡崩塌使葉輪產生不平衡及壓力激增(surging)。振動會損壞抽水機的軸承、耐磨環及軸封。



a.葉輪　　b.吸入口

圖 3.59 豎軸軸流式抽水機孔蝕損壞照片

2. 孔蝕與 NPSH 之檢討

NPSH 判斷抽水機是否會發生孔蝕現象的數值資料，NPSH 分為可用淨吸水高度(NPSHa)及必要淨吸水高度(NPSHr)，分別說明如下。

(1)可用淨吸水高度(NPSHa)之計算

在理論上抽水機之吸水高度為 10.33 m(一大氣壓)，但實際上大都低於

該高度，此一高度即為可用淨吸水高度 NPSHa，其中 a 表示「可用」(available)。其計算如公式 3-29。

$$NPSHa=H_a+h_s-h_v-h_{ent}-h_{fs}-\Sigma h_{fvs}-h_{vol} \quad \text{..... (3-29)}$$

式中：

NPSHa：可用 NPSH(m) (有效淨吸水高度)

H_a：水柱的大氣壓力，以 m 表示，須依表 3.9 海拔高度作修正。暴風雨時大氣壓力會減少約 1.7%

h_s：濕井水位超過葉輪入口的淨吸水頭(m)，當濕井水位低於葉輪入口的淨吸水揚水時，h_s 變為負值

h_v：該水溫下之飽和蒸汽壓(m)(如表 3.10)

h_{vol}：水中各種溶解氣體的分壓，如空氣(可忽略)、污水中之揮發性有機物(通常估計約為 0.6 m)

h_{fs}：吸水管摩擦損失水頭(m)

Σh_{fvs}：吸水管之管件及閥類之損失水頭和(m)

h_{ent}：吸水口損失水頭(m)

表 3.9 大氣壓與海拔高度之關係

海拔高度(m)	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
大氣壓力，以水柱高度表示(m)	10.33	9.74	9.19	8.64	8.13	7.47	7.17	6.74

註：海拔 3000 m 以內，每提高 12 m，大氣壓下降 1.36 cm 水柱高。

表 3.10 水溫與飽和蒸汽壓之關係

水溫(℃)	0	5	10	15	20	25
飽和蒸氣壓 hv(m)	0.062	0.089	0.125	0.174	0.238	0.323
水溫(℃)	30	35	40	45	50	
飽和蒸氣壓 hv(m)	0.433	0.573	0.752	0.977	1.258	

(2)必要淨吸水高度(NPSHr)特性曲線由設備廠商提供，NPSHr 依據流量的增加而增加(如圖 3.60 Q- NPSHr 曲線)

NPSHa 大於 NPSHr 時，可確定對抽水機沒有任何危害；而 NPSHa 小於 NPSHr 時，可能對抽水機會有危害。由於計算 NPSHa 時，有一些不確定性，或濕井吸入口，可能有渦流或不均勻流速分佈，故需要有安全係數，爰有 NPSHa 須大於 1.2 NPSHr，以避免發生孔蝕現象之可能。

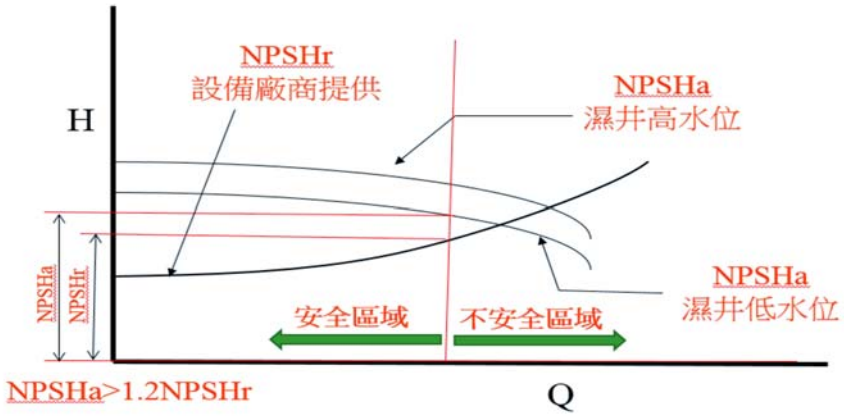


圖 3.60 Q- NPSHr 曲線

(3)孔蝕現象之預防及控制

消除孔蝕現象之最容易、最直接及最好的方法，係確保葉輪入口端之絕對壓力保持高於同溫度下之飽和蒸氣壓；惟如果孔蝕現象已經存在，可能的解決方法如下：

A. 提高 NPSHa

I. 減少負吸水淨水頭或增加正吸水淨水頭。

II. 減少吸水管水頭損失(如：使用較大管徑、較大的轉彎半徑等)。

III. 可能的話，降低蒸汽壓(如：降低污水水溫)。

B. 降低 NPSHr

I. 減少葉輪轉速－可能是如果抽水機太大台，而流量係在目前轉速下被強制節流，以達到所要求的水頭及流量。

II. 避免在製造商規範的「最低流量」下或附近操作。

III. 在抽水機進口處輸入空氣，但缺點為：空氣中含氧量會增加腐蝕、空氣會增加 NPSHr、空氣導致噪音及一些振動。

IV. 減少最大流量以避免孔蝕。

V. 使用變速驅動器以減少轉速。

VI. 更換為較低 NPSHr 之抽水機或葉輪，此種更換可能為增加葉輪入口直徑或葉片進入端直徑。這種增加也會提高吸入能，而萬一抽水機須在更低流量運轉時，可能在更低流量時造成更大危害。

VII. 增加一台中繼抽水機，或在主抽水機葉輪前端增設一組誘導器(inducer)，如圖 3.61，誘導器為裝設在葉輪前端的一個輔助的低水頭軸流螺旋葉，能提供葉輪所需之部分 NPSH，但誘導器本身也會遭受孔蝕，只是更換誘導器的費用比更換葉輪的費用來的便宜。然而當誘導器遭受劇烈孔蝕時，特別是對一台高能抽水機(指 TDH 大於 120 m 之徑流式抽水機)時，可能對整台抽水機造成機件的損壞。

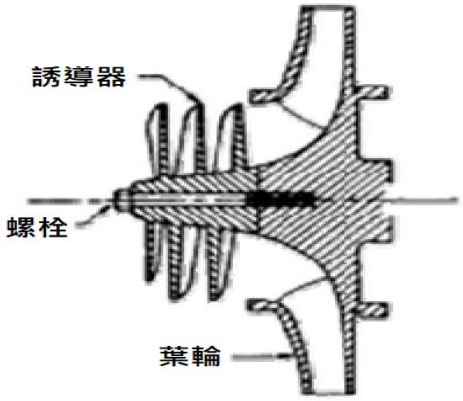


圖 3.61 裝在傳統抽水機葉輪的典型誘導器(軸流葉輪)

利用一些液體合適的蒸汽特性：比較冷水蒸發時的情況，高溫水在抽水機內蒸發時，形成的孔蝕體積會小很多，抽水機製造商對於室溫水所訂的 NPSHr，對於高溫水可能可以減小。

C. 改變抽水機設計

I. 指定葉輪、聯接葉片及其他暴露在孔蝕的部位，改用對孔蝕較具抵抗性的材質，如不銹鋼、鈦鋼等，如表 3.11。

II. 使用沒有彎頭或其它太大改變流向的形狀做為軸向進流管，因為此作法可消除進入葉輪入口之水流的扭曲，進流水的扭曲會使葉片受到進流水改變角度的射擊，葉片上的射擊越大，造成的孔蝕也就越大。

III. 重新設計葉輪葉片，以減少產生孔蝕的局部性壓力降低。

表 3.11 不同金屬之孔蝕相對抵抗力

材質	英文名稱	孔蝕相對抵抗力
鑄鐵	Cast iron	1
含 3%鎳之鑄鐵	Cast iron with 3% Ni	1+
銅錫合金(炮鋼)	Tin bronze(gun metal)	1.2
鋁	Aluminum	1.7
碳鋼	Carbon steel	3.4
錳銅	Manganese bronze	4.5
抗蝕含高鎳合金	Ni-resist	4.6
鉬	Monel	6.8
CB7 不銹鋼	CB7 stainless steel	8.8
CF8M 不銹鋼	CF8M ss	14
鈦	Titanium	18
鋁銅	Aluminum bronze	28
CA15 不銹鋼 410BHN	CA15 ss 410BHN	35

3.6 抽水站附屬設施

3.6.1 制水閘門及滑動閘門之設計考量

1. 制水閘門通常用在進流抽水站的進入口及抽水站濕井間的連通孔，其門框及門鈑的材質通常為延性鑄鐵，開關裝置可依動力的不同而分為手動式、電動式及液壓式。
2. 滑動閘門門框及門鈑，可選擇 304L 或 316L 不銹鋼及鑄鋁等材質，其開關裝置可依動力的不同，而分為手動式及電動式。

解說：

閘門為抽水站及污水處理單元，確保維護機能及處理機能之重要設備，閘門之種類，包括用於管道及水池之制水閘門、滑動閘門、止水閘門、止水塊板、蝶式閘門及排泥閥等，以及用於開孔之制水閘門、堰閘、舌閥等，本節介紹主要使用於抽水站之閘門。

抽水站之閘門，通常包括制水閘門及滑動閘門，具有下列之目的：

A. 豪雨或異常進流量時之保護，以防止抽水設備淹水。

B. 依流量之變化，調整抽水站內之使用管道數，以及流出口方向之改變。

C. 抽水站內機械設備或土木構造物之檢查或修繕時使用。

以下將分別對抽水站制水閘門及滑動閘門之設計考量作介紹。

1. 制水閘門使用時機及設計考量

水密性較佳的制水閘門，通常用在污水處理廠進流抽水站的進入口，以及抽水站濕井間的連通孔，以作為緊密隔絕水流之用。

制水閘門門框及門鈑的材質，可依閘門尺寸之大小及正壓/背壓水頭(seating/unseating head)之高低，可選擇延性鑄鐵或不銹鋼，當尺寸越大及正壓/背壓水頭越高時，則僅能選擇延性鑄鐵，例如 4.3 m × 4.3 m 尺寸的制水閘門在正壓/背壓水頭超過 9 m 時，僅能選擇延性鑄鐵；而 3.7 m × 3.7 m 尺寸的制水閘門在正壓/背壓水頭超過 12 m 時，亦僅能選擇延性鑄鐵。用於污水抽水站之制水閘門，通常以延性鑄鐵材質為標準選擇。

傳統制水閘門之門框及門鈑的邊緣，各自鑲有一圈表面光滑的鑄銅薄片，同時在門鈑的兩側、頂部及底部，都設有數個鑄銅製的可調楔組(wedge)，剛開始關閉閘門時，門框及門鈑的兩圈鑄銅薄片，會先面對面的靠在一起，如再繼續關緊閘門，則鑄銅楔組會產生楔形作用，使得門框及門鈑的鑄銅薄片會越靠越近，最後會達到緊密不漏水的情況。傳統式鑄鐵制水閘門，如圖 3.62。

制水閘門的形狀通常為方形或矩形，安裝在混凝土池牆的方形、矩形或圓形的開孔上，方形、矩形或圓形開孔可裝設廠商提供之過牆套管，但圓形開孔亦可裝設鑄鐵管線法蘭接頭，使閘門框的法蘭可與過牆套管的法蘭或管線的法蘭相接合，如圖 3.63 所示。原則上，矩形制水閘門之高寬比以 1.5：1 為標準。為防止過牆套管的法蘭漏水，閘門框的法蘭與過牆套管的法蘭間，須設置橡膠墊片。過牆套管的型式可為 F 型、E 型及法蘭及機械接頭，如圖 3.64 所示，後者之機械接頭可直接與鑄鐵直管相連接。

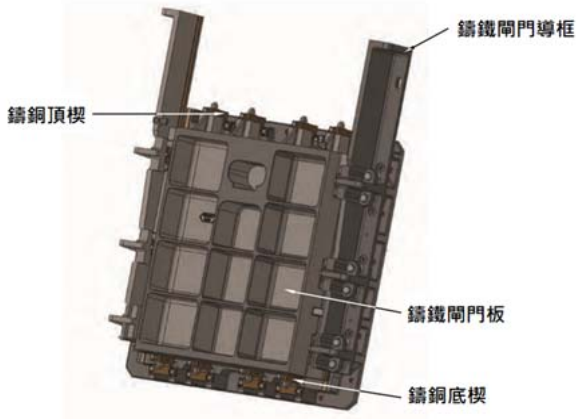
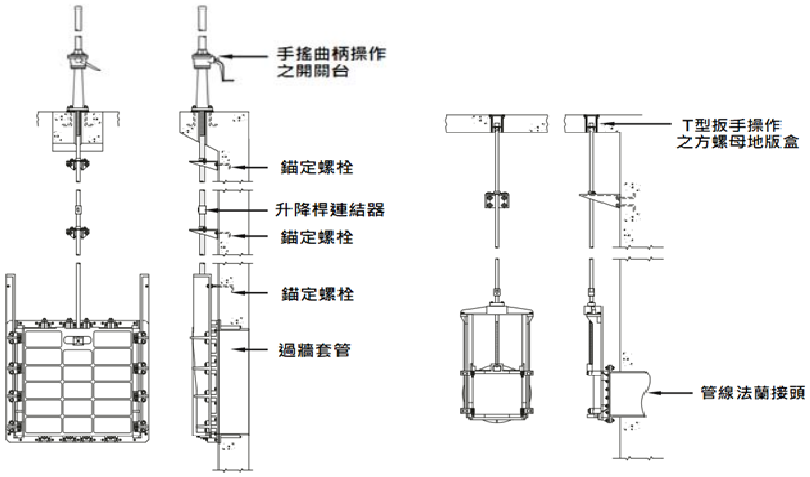


圖 3.62 傳統式鑄鐵制水閘門



A.方形或矩形開孔的過牆套管　　B.圓形開孔的管線法蘭

圖 3.63 傳統式制水閘門之門框與過牆套管及管線的法蘭相接合

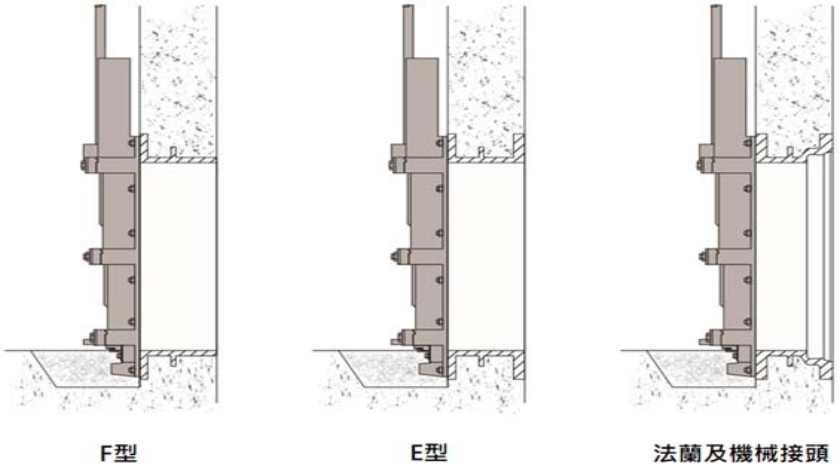


圖 3.64 過牆套管的型式

圓形開孔亦有不使用過牆套管或管線法蘭，而將閘門框直接安裝在池牆上者，如圖 3.65 所示。



圖 3.65 閘門框直接安裝在圓孔外圍的池牆上

傳統式制水閘門的門鈑底部，因需要安裝鑄銅楔組，故其開孔底部須與池底有段距離，而如果開孔底部與池底齊平，則開孔前之底板須設有凹槽，如前圖 3.65 所示，此凹槽會妨礙水流，並會因淤積砂土而使閘門無法緊密關閉。為解決此問題，新式的制水閘門在門鈑底部，不使用鑄銅楔組而改用彈性止水封，當彈性止水封緊壓在閘門底框的固定鐵片時，能達到極有效的密閉效果，如圖 3.66 所示。新式的制水閘門在安裝完成後，底板上的凹槽可以使用輕質混凝土填平。

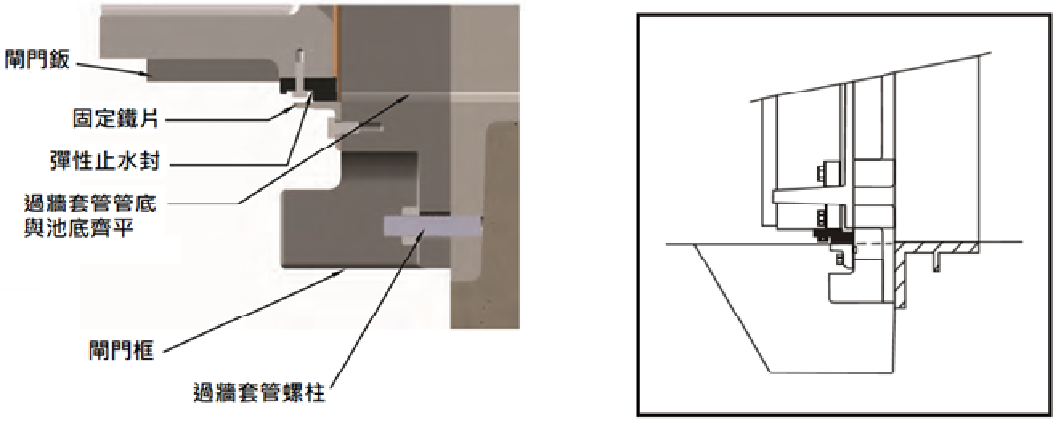
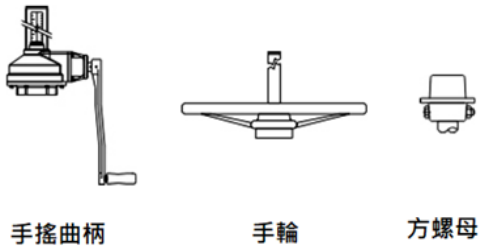


圖 3.66 新式制水閘門的底部可與池底齊平

制水閘門的開關裝置可依動力的不同，而區分為手動式、電動式及液壓式，如圖 3.67。



A.手動式



B.電動式



C.液壓式

圖 3.67 制水閘門開關裝置

制水閘門各種開關裝置之特性及選擇應考量要項，如表 3.12 所示。

表 3.12 制水閘門各種開關裝置之特性及選擇應考量要項

開關裝置	特徵	選擇考量
手動式	1. 適用於尺寸小於 500～600 mm 之閘門。 2. 開關時間不急迫，使用頻率不大。	1. 以人力旋轉方向盤，以人力傳導齒輪使閘門上下啟動，僅適用於人力 10～15 kg 可旋轉開閉者。
電動式	1. 可遙控操作。 2. 關閉速度約 30～40 cm/min，一般較液壓式為緩慢。 3. 停電時閘門可藉自重關閉。 4. 小尺寸者，可同時配置手輪，以保有手動開啟功能。	1. 應防止淹水。 2. 停電時欲行開關，需有自備緊急發電設備。 3. 電力負荷大。 4. 開關速度一定。 5. 較液壓式之驅動設備簡單，維護管理容易，單台設備費用較低。
液壓式	1. 包括油壓、水壓及氣壓。 2. 停電時可自動關閉。 3. 開關速度一般約為 0.5～1 m/min 左右。 4. 電力費比電動式省。	1. 停電時多台可同時藉自重關閉。 2. 台數多時，同時開關的速度會降低。 3. 由於液體洩漏，閘門會有因自重而落下的可能。 4. 如使用油壓，因設有油槽，安全上需特加注意。

2. 滑動閘門之使用時機及設計考量

滑動閘門主要使用於抽水站內的渠道，需臨時變換水流流向時(如分流或

繞流)，其水密性相對較制水閘門為差。

滑動閘門主要構件，包括閘門框、閘門鈑、升降桿及手輪等元件，如圖 3.68 所示。滑動閘門門框及門鈑，可選擇 304L 或 316L 不銹鋼及鑄鋁等材質。

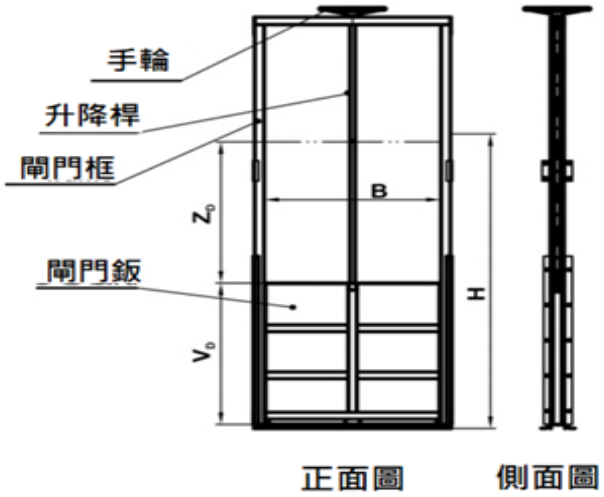
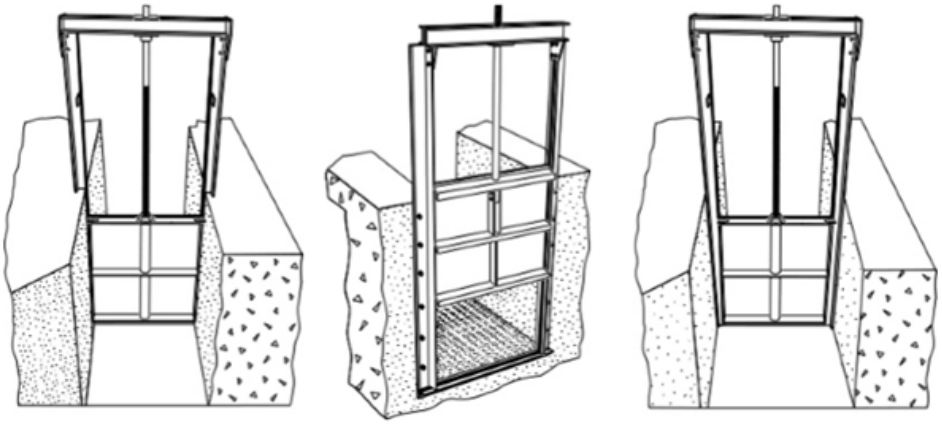


圖 3.68 滑動閘門

滑動閘門門鈑的形狀通常為方形或矩形，其係利用門框兩側及底部等三側的彈性止水封做為止水用，混凝土渠道內的滑動閘門安裝方式計有：A.門框兩側及底側皆嵌入渠道牆內，B.門框設於渠道末端，及 C.門框兩側及底側皆固定於渠道牆內等三種，如圖 3.69 所示。



A.門框嵌入渠道牆內　　B.門框設於渠道末端　　C.門框固定於渠道牆內

圖 3.69 滑動閘門安裝方式

滑動閘門的設計，應考量閘門本身承受水壓、門鈑自重、桿件細長比等因素，以決定開關裝置採手動式或電動式。

3.6.2 抽水站進入口制水閘門之設計及考量

1. 抽水站進入口制水閘門的開口面積，應依最大時流量來設計，而流經閘門開口的速度以 1 m/s 較為適當。
2. 進入口制水閘門的底部，應與流入管管底或渠道底的高程齊平，而閘門的頂部則應位在流入管之計畫水位之上。
3. 制水閘門的設置，應儘可能採用正壓水頭配置。
4. 閘門必須在無法預料的異常水位下，不會被破壞，並仍可進行開關操作。

解說：

1. 抽水站進入口制水閘門的開口面積，應依最大時流量來設計，計算閘門的開口面積時，若水流通過開口的速度過大，會影響粗攔污柵的攔除，若速度太小，則砂土會沉降在閘門附近，故流經開口的速度一般以 1 m/s 較為適當。

制水閘門的開口面積，可依下式計算之：

$$A = \frac{Q}{N/V}\ (m^2) \quad \text{.....(3-30)}$$

$$H = 1.5 \times B = 1.23 \times \sqrt{A} \quad \text{.....(3-31)}$$

$$B = 0.82 \times \sqrt{A} \quad \text{.....(3-32)}$$

式中：

A：每一閘門的開口面積(m^2)

H：閘門開口高度(m)

B：閘門開口寬度(m)

Q：設計流入污水量(m^3/s)

N：閘門數

V：通過流速(m/s)

2. 進入口制水閘門位置的考量，為使進流水以重力流經過閘門，閘門的底部應與流入管管底或渠道底的高程齊平，而閘門的頂部則應在流入管之計畫水位之上。
3. 制水閘門的設置，應儘可能採用正壓水頭配置，如圖 3.70 所示，但用於抽水站進入口的制水閘門，因需要在站外建造深層的閘門陰井，且須設置蓋板及爬梯等設施，同時閘門的升降桿須延伸到地面，故須加大升降桿的直徑，連帶增加各種開關裝置的設備費，使得總工程費大幅增加。另外考量其惡劣的工作環境(密閉及狹窄的空間，無通風及照明設備)，使得維修困難，故如果進入口制水閘門有如下的情況，則可考慮改用背壓水頭配置。

(1)閘門尺寸較小。

(2)背壓水頭(自閘門底部高程起算，至上游人孔地面高程為止之高差)不大。

(3)制水閘門採購時，應依照制水閘門的設計規格：高×寬×正壓水頭×背壓水頭，要求廠商依照規格生產及提供。此外，另須出示獨立驗證機構合格的

水壓測試報告，供業主審查。

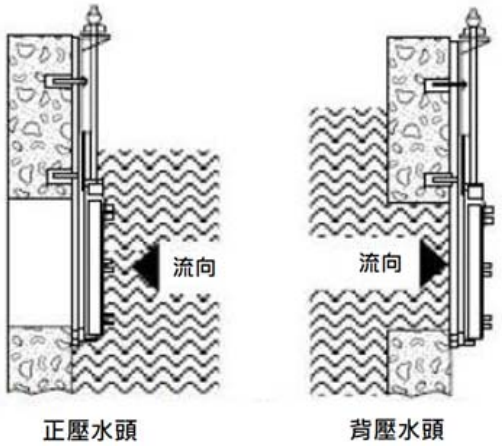


圖 3.70 制水閘門正壓/背壓水頭配置之比較

4. 當停電、異常流入及抽水機故障等無法預料的狀況發生時之異常水位下，閘門必須不會被破壞，並且在此異常水位下仍可進行開關操作。設計水深係自閘門開口底端至閘門開關裝置的底座為止的水深為基準，而閘門下游側的水深則以零計算。操作水深一般即為設計水深。

3.6.3 攔污柵

攔污柵之設計考量如下：

1. 攔污柵可依柵條間距或篩孔直徑之不同，而分為粗攔污柵、細攔污柵及細篩機等三大類，其設置位置各不相同。
2. 常用粗攔污柵之柵條間距約為 20 mm 至 150 mm。細攔污柵之柵條間距約為 3 mm 至 20 mm，細篩機其間距約為 0.5mm 至 3mm。
3. 各種粗細攔污柵設計時應考量下列事項：(A)設置位置、(B)渠道及柵間流速、(C)柵條間距、(D)通過攔污柵水頭損失、(E)安全及防護、及(F)電氣設備及控制系統。
4. 篩渣處置方法包括：(1)送至掩埋場，(2)單獨焚化或與污泥合併焚化及(3)排放至磨碎機或切碎機，經破碎後流回污水中。
5. 設計攔污柵設施時，應審慎考量其附屬設施。

解說：

1. 攔污柵的分類，一般可分為粗攔污柵、細攔污柵及細篩機等三大類。
   (1)粗攔污柵選擇時之考量因素
      A. 污水處理廠中，粗攔污柵用於保護抽水機、閥類、管線及其它設施，使不致於受到破布及大件物體的損壞或堵塞。依據其清除方法，粗攔污柵可再分為人工清除式及機械清除式。機械清除式攔污柵傾斜角與水平成 70～90 度(依設備類型及提升高度不同而異)；人工清除式以人工方法清理者，傾斜角與水平成 45～60 度。人工清潔式係用於小規污水廠。

B. 粗攔污柵之柵條間距為 20 mm 至 150 mm，一般都設置於抽水機前，其設計容量應考量尖峰流量，柵條間距較大之粗攔污柵(150 mm)，係用於有截流設施之污水處理廠。

C. 機械清除式粗攔污柵設施，應設置兩台或更多台，以便一台可停機維修。攔污柵的上下游渠道中應設置閘門，或在渠道牆壁內裝設止水擋板之凹槽，以便該段渠道可排水而維修攔污柵。

D. 如僅設一台機械清除式攔污柵，則應設置一條繞流渠道，並在其間設置一台人工清除式攔污柵，以供緊急時使用。當機械清除式粗攔污柵無法使用時，特別是在無人看管的期間內，該人工清除式攔污柵應可做為溢流設施使用。

E. 粗攔污柵為保護進流抽水機，設置深度應配合進流管線深度。

(2)抽水站細攔污柵及細篩機種類及選擇時之考量因素

A. 細攔污柵通常用於與粗攔污柵併用之前處理。

B. 抽水站前處理細攔污柵之柵條間距為 3 mm 至 20 mm，大多設置於沉砂池之前，目的主要是用於去除水中較小固體物，降低初沉池之負荷。

C. 細篩機用在設計容量為小規模污水處理廠以代替初級沉澱池，與粗攔污柵並用之前處理，柵條間距或篩網孔徑直徑約為 0.5 mm 至 3 mm，細篩機典型 BOD 及 SS 去除率，如表 3.13。攔污功能係利用不銹鋼材質之篩網、沖孔板或楔型柵條，由於相對攔除量較多，須注意要連續移除收集到的固體物，並佐以高壓清洗水避免阻塞，選用時需謹慎比較其經費、管理及效益。

D. 細攔污柵或細篩機，應設置有備用機組，以便一台可停機維修。攔污柵的上下游渠道中，應設置閘門，或在渠道牆壁內裝設止水擋板之凹槽，以便該段渠道可排水而維修攔污柵。

表3.13 代替初級沉澱池之細攔污柵的典型BOD及SS去除率

替代初沉池 細攔污柵種類	柵條間距或開孔直徑 (mm)	去除率(%)	
		BOD	TSS
靜態楔型網式	1.6	5-20	5-30
旋轉鼓式	0.25	15-30	25-45

備註：如 MBR 前之細攔污柵

2. 機械式攔污柵，一般分成迴轉式、往復式、階梯式及連續清除式四類，粗攔污柵之種類，請參考圖 3.71。

(1)迴轉式攔污柵

迴轉式攔污柵是藉由鏈條帶動耙齒呈迴轉式運動，讓耙齒和柵條形成相對運動來清除污物，可概分為前方清除/前方返回式、前方清除/後方返回式、後方清除/後方返回式以及懸鏈式四種類型(參考示意圖 3.72)。

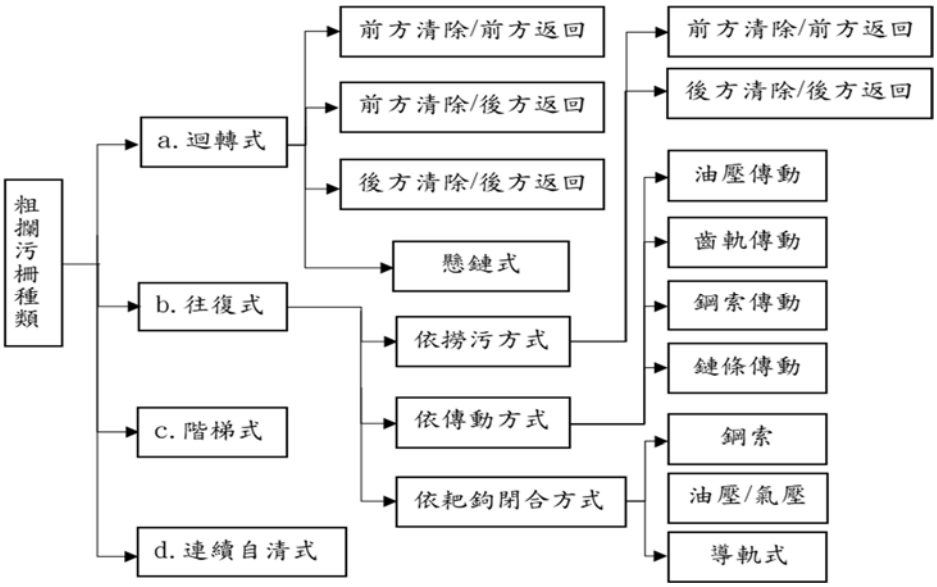


圖 3.71 機械式粗攔污柵種

A. 前方清除/前方返回式

該式是指刮耙在柵條前面運行，污物未到柵條前就被刮耙攔截，能有效減少污物通過攔污柵為該式優點。當刮耙把污物運到高處，會透過刮渣板，將污物刮到輸送帶或垃圾子車上。該類型普遍應用在一般都市污水，柵條為梯型斷面，所形成的漸闊開孔可以避免固體夾在柵條中，如圖 3.71a 所示。缺點是棉絮毛髮不易清除且沒有被清耙機所清理的碎物可能會越過柵條，且刮耙運行至底部時，可能會被較大型污物卡住，導致無法運作。此外，鏈條帶動耙齒的設計，易受到砂礫及碎布影響而有所損壞，故驅動設備經常須要檢視及維護。

B. 前方清除/後方返回式

該式攔污柵是指刮耙在攔污柵條前面，將污物撈起並運送到高處至輸送帶後，如圖 3.71b 所示，變成刮耙在柵條後面，一直運行到再次越過柵條撈污為一循環。刮耙旋轉方向與前方清除/前方返回式相反，該方式通常應用在雨水防洪抽水站，不容許設備被污物擋住，或大型污物從耙齒間隙通過，因此水底會加裝一個短柵條，如圖 3.71d 所示，來確保底部不會被異物卡住為該式優點，缺點則是長柵條需用工字樑兩邊固定，且刮耙停機位置需與短柵條密合，才不會讓污物通過。

C. 後方清除式攔污柵

該式是指刮耙皆在柵條後面運行，運行時刮耙會伸出柵條將污物推離柵條間隙，如圖 3.71c 所示，以避免污物在柵條間被擠迫而卡住。優點是耙齒及運轉設備有柵條保護，可避免受到污水中碩大物體的破壞，缺點是柵條結構強度要足夠，否則柵條容易彎曲變形，且通過柵條的長耙齒容易彎斷，相較於上述兩種方式，機械元件磨耗較為劇烈，且大型污物無法清除，多用於極小型廠之細欄污柵。

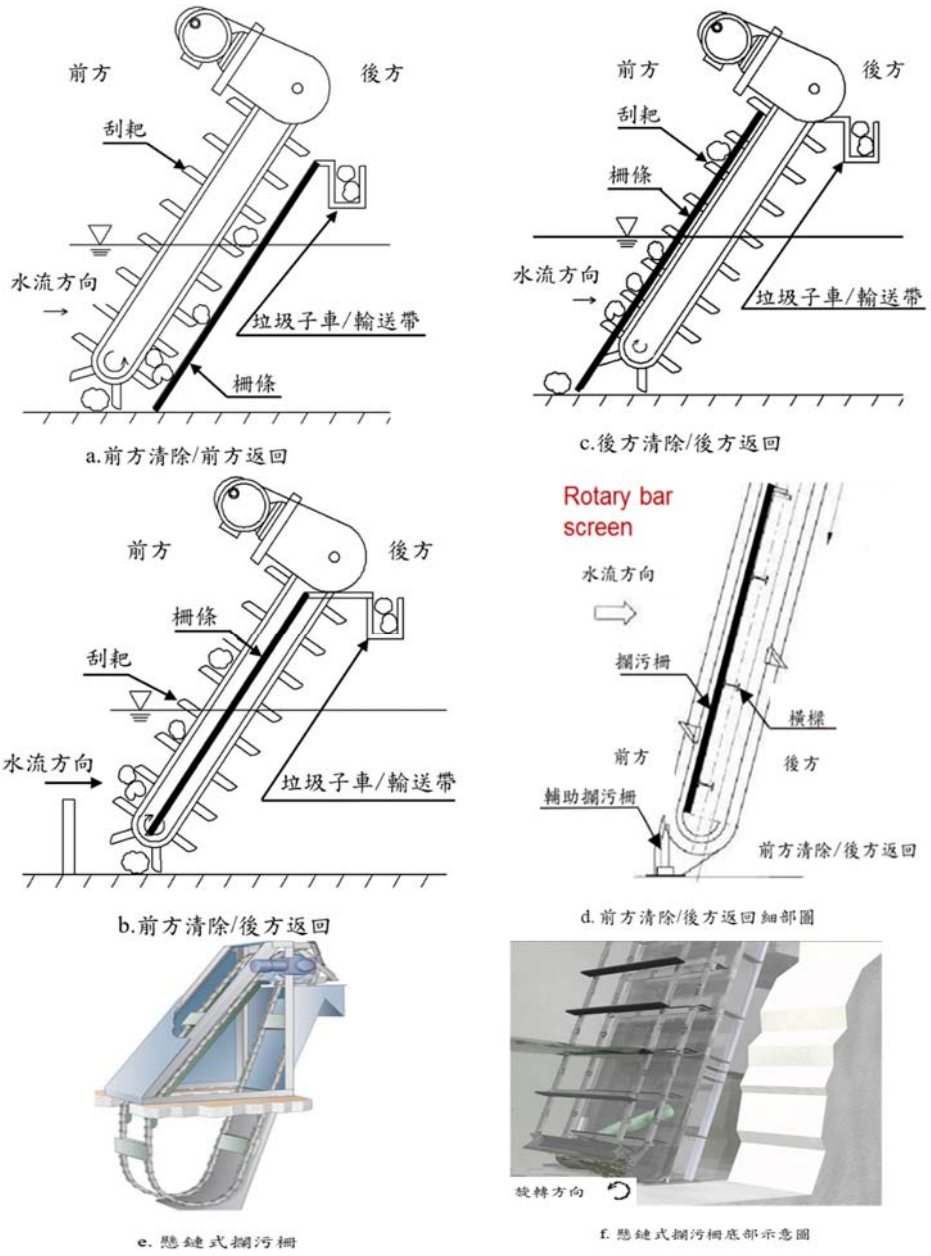


圖 3.72 迴轉式攔污柵類別

D. 懸鏈式攔污柵

該式的運作方式與前方清除/前方返回類，如圖 3.72e 所示，不同點在於懸鏈式攔污柵所有的鏈輪、軸及軸承都在水面上，維修容易也能降低磨損及鏽蝕為優點；鏈條因懸掛而在底部自然形成一個環形，靠近柵條部分因齒耙及鏈條的自重而緊靠在柵條上，能移除柵條底部附近的污物。缺點為耙齒主要僅靠其鏈條的重量而緊貼在柵條上，大的破布或固體會牢牢貼在柵條上，而使得耙齒爬過而刮不乾淨，多用於防洪抽水站污物較大且較多的地方。

(2)往復式攔污柵(reciprocating rake screen)

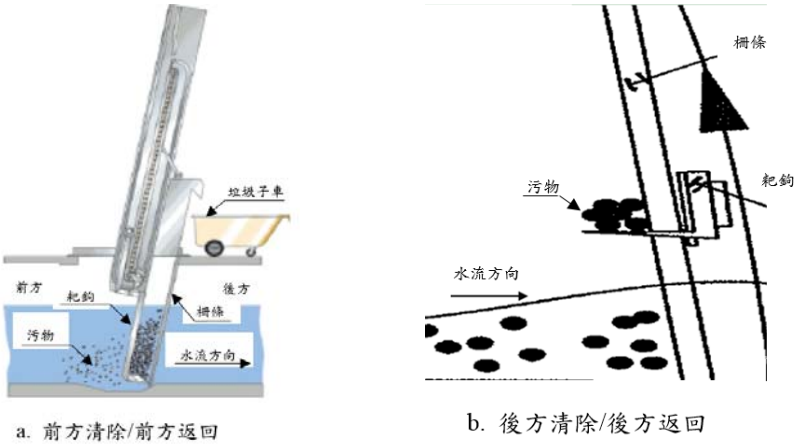
作動原理是藉由耙斗上下往復運動來清除污物，耙齒上下的往復運動，很像人工拿刮耙在撈污，這種攔污柵由於它們在水面下沒有活動零件，故可不須放乾渠道的水，即可容易的進行檢視及維護工作，但時這種系統需要很高的上部空間，如站內上部空間不足，就無法採用這種攔污柵。

當耙鉤上升到頂端時會與刮渣板接觸藉而清掉污物，其優點是相較於旋轉式更能減少垃圾卡住的機會，缺點是僅有單一的耙齒，此會限制其處理大量負荷的能力，特別是在渠道很深而耙行一次需要很長的時間的情況。

A. 依撈污方向分類：可分成前方清除/前方返與後方清除/後方返回兩類，如圖 3.73b 所示。

前方清除/前方返回為污水廠主要使用型式，能減少污物掉落柵條後方的流失量，其缺點為異物卡住柵條時，會造成柵條磨損。

後方清除/後方返回適用於小型污水廠，較大的垃圾易往復掉落，且耙鉤較長，易產生耙鉤變形或斷裂。

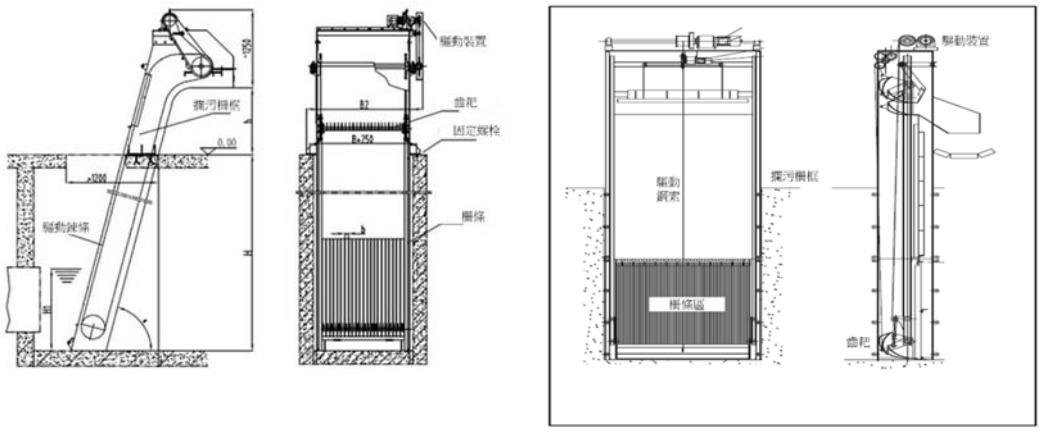


a. 前方清除/前方返回　　b. 後方清除/後方返回

圖 3.73 攔污柵以撈污方向分類

B. 依驅動方式分類：驅動方式是指帶動杷齒上下的動力傳輸方式，一般可分鏈條、鋼索、油壓和齒軌式四類。前三種差別在於驅動連桿的方式不同，比較特別的是齒軌式(cogwheel and toothed rail-rack)驅動裝置，如圖 3.74c 所示；這種設計中，將耙齒與齒輪電動機都安裝在台架上，沿著齒軌上下移動。耙齒可強制去除污物，若耙齒完全卡住時，極限開關會將驅動電動機關掉；缺點為電動機上下移動，壽命較短且太接近水面易遭水淹沒。

一般通常渠道底部至垃圾子車的高度 12-22m 可以用鋼索式，12m 以內使用鏈條式，而齒輪、油壓式只能用在 8m 以下。



a.鍊條式　　b.鋼索式





c. 齒軌式　　d. 油壓式

圖 3.74 攔污柵以驅動方式分類

C. 依耙鉤開合方式分類：鋼索、油壓/氣壓和導軌式三類，如圖 3.75 所示。

- 鋼索式是目前污水廠使用最多的，設備結構單純，主要利用電動機帶動滑輪旋轉，使鋼索拉緊與放鬆耙鉤。
- 油壓/氣壓則是利用油壓/氣壓缸帶動耙鉤開關，作動穩定，油壓管則利用捲輪旋轉使油壓管能隨耙鉤上下移動，管長則依耙鉤行程來決定，故行程不可太長，一般約 5-8m 以下使用。
- 導軌式的作動確實，下降時外導軌會漸漸將耙鉤打開，但到渠道底部時，沒有外導軌，此時耙鉤因彈簧力量而關閉，進到內導軌；當耙鉤上升時，利用內導軌使耙鉤處於關閉情況，一直上升至頂端再進入外導軌，使耙鉤打開。優點是構造簡單，動作確實，缺點則是耙鉤若與污物卡住，不易排除障礙及維修故不適合污物較大、較多之粗欄污柵。

(3)階梯式攔污柵(step or stair screen)

階梯式攔污柵(參考圖 3.76)的攔污柵片，是由固定柵片與活動柵片交叉並排組成，且設計成階梯的外型。當進流管道中的懸浮物積累績在柵片前，使得柵片前後的水位差達到預先設置值，活動柵片便週期性的迴旋運轉。活動柵片的每一個迴旋運轉，會將懸浮物舉升至固定柵片的上一層階

梯，逐漸輸送到柵板頂端，最後排至收集貯斗中。活動柵板的旋轉動作對每一動作提供自清作用。階梯式攔污柵柵板的開孔距範圍通常在 3-6mm，也有小到 1mm。攔除在柵板上的固體物也形成「濾墊」，可促進固體物去除效果。除了作為污水的攔污外，階梯式攔污柵也可用於從化糞池、最初沉澱池污泥或消化污泥中去除固體物。裝設角度為 60°~80°（標準為 75°）。

(4)連續清除式攔污柵(continuous self-cleaning screen)

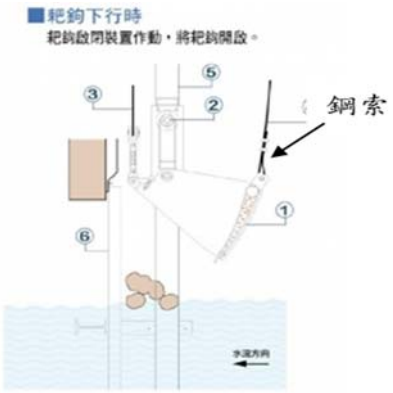
連續清除式攔污柵(參考圖 3.77)，原理為電動機帶動環帶在污水中連續迴轉運行，整條環帶都可做為攔污柵條，依據攔污機制，可分為採耙勾及多孔版兩種型式。

A. 連續耙勾

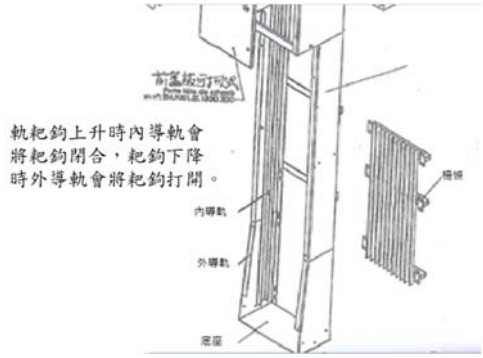
耙勾固定於環帶上。環帶是由塑膠或不鏽鋼組作所構成，柵條開孔一般將垂直設計比水平開孔為大，柵條開口為 1-80 ㎜。該式通常採用小開孔，可從污水中攔除更多的固體。該式優點因在渠道底部有下齒輪鏈輪或導軌來支撐柵條元件，而連續柵除作用可有效的移除大量的固體。在攔污柵底部的渠道中，採用凹槽或凸階可防止砂礫及碎物在攔污攔柵前堆積，也可設計為可抬出水面以便於維修，缺點為必須保持一個角度，否則較大污物不易清理，一般用於細欄污柵。



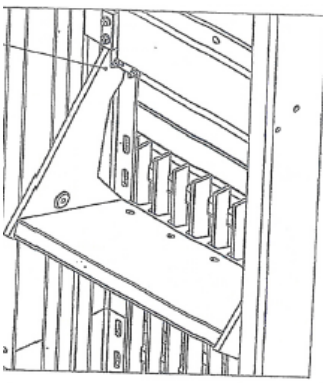
a. 油壓式



b. 鋼索式

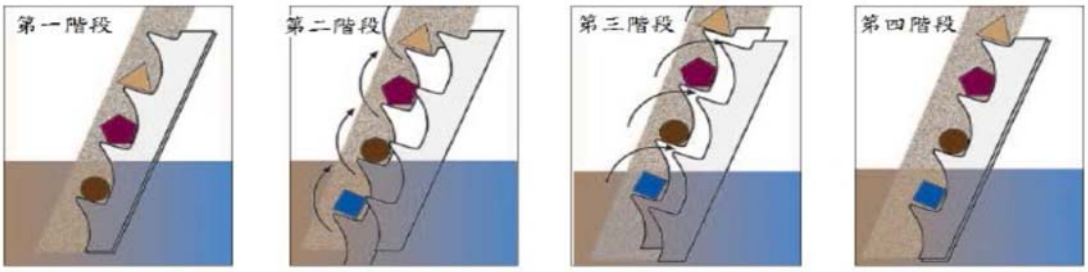


c. 導軌式支架及導軌組合圖



d. 導軌式細部組合圖

圖 3.75 攔污柵以耙鉤開合方式分類



a.階梯式細攔污柵柵板提升固體物示意圖



b.階梯式細攔污柵示意圖

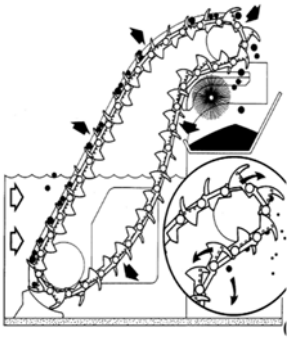


c.裝設在渠道內之階梯式

圖 3.76 階梯式攔污柵



a.連續耙勾型式



b.操作示意圖



c.淡水廠照片

圖 3.77 連續清除式攔污柵

B. 多孔板攔污柵(perforated plate screen)

依本設備使用單位表示，在處理設備中，馬達的傳動軸承經常被纖維、頭髮等雜物纏繞而停止轉動。而多孔板式攔污柵適用於去除大量纖維、毛髮及微細無機物，整個攔污範圍由多片穿孔板組成一個連續輸送帶，孔徑可小至 3mm。如圖 3.78。

3. 細篩機一般分成靜態及旋轉鼓式二類。

(1)靜態楔型網式細攔污柵(static wedge-wire screen)

靜態楔型網式細攔污柵(如圖 3.79)，通常具有 0.2 至 1.6 mm 淨柵條間距，細攔污柵單位面積設計流量約為 400 至 1,200 L/m^{2}min，水頭損失範圍自 1.2 至 2 m。楔型網介質包括細小的不銹鋼楔型柵條，楔型的平坦端面向水流。安裝時需要相當大的地板面積，並且柵條每日需要以高壓熱水、蒸汽或去脂劑清洗一兩次以除去累積的油脂。靜態楔型網式細攔污柵通常

適用於小規模廠或工業上的用途，有時也用於處理初沉池之浮渣。



圖 3.78 多孔板攔污柵



a.操作情況照片　　b.外觀照片　　c.楔型柵條

圖 3.79 靜態楔型網式細攔污柵

(2)旋轉鼓式細篩機(drum screen)

旋轉鼓式細篩機(如圖 3.80)的濾網，係安裝在於水流渠道中旋轉的圓柱上，污水可自旋轉鼓的開口端進入，通過旋轉鼓的濾網，朝著外部流出，濾網收集到的固體物係在旋轉鼓裡面；或是自旋轉鼓的上面進入，通過旋轉鼓的濾網，朝著內部流出，濾網收集到的固體物係在旋轉鼓外面。內部進水的細篩機每台可用的流量範圍在 0.03 至 0.8 m^3/s，而外部進水的細篩機每台可用的流量範圍小於 0.13 m^3/s。旋轉鼓式細篩機的尺寸直徑自 0.9 至 2 m，長度自 1.2 至 4 m。

4. 攔污柵之設計考量

攔污柵之設計考量包括：(1)設置位置，(2)渠道及柵孔流速，(3)柵條間距，(4)通過攔污柵水頭損失，(5)安全及防護，及(6)電氣設備及控制系統。

(5)設置位置

粗細攔污設備通常設置於污水處理設施之前，以去除污水中所含之漂浮粗大固體物，避免對廠內機械設備造成損害。粗攔污柵一般都設置於抽

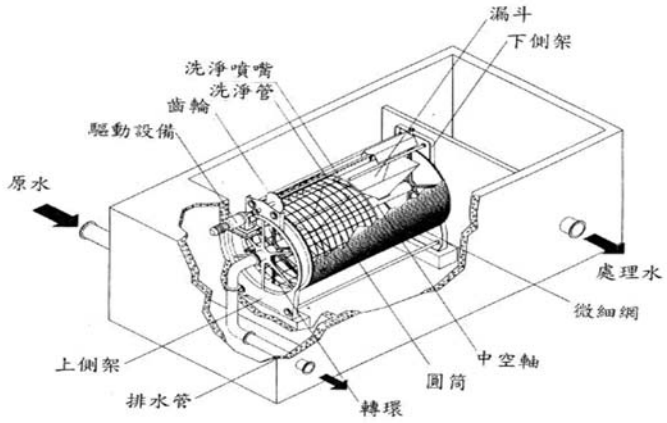
水機前，細攔污柵一般都設置於位於地面層的沉砂池之前。在幾乎所有情況之下，攔污設備應設置於沉砂池之前，如果沉砂池位於攔污設備之前，破布及其它繩狀物質會損壞沉砂池的集砂設備，纏繞空氣管，並與砂礫一齊沉降。當將砂礫抽出，就可能進一步損壞或堵塞抽水機。設置於室內或地下室之攔污設備，應與室內或地下室之其它設備或房間隔離，其出入口應分開設置，並分開設置獨立之新鮮空氣供應系統。



a.內部進水型外觀照片



b.外部進水型外觀照



c.操作示意圖

圖 3.80 旋轉鼓式細攔污柵

(6)渠道及柵間流速

粗細攔污柵上下游渠道之形狀，應能使固體物暢流無阻，減少固體物沉積。為減少渠道淤積固體物，渠道的接近流速採用至少 0.4 m/s。機械清除式攔污柵柵間流速太大時，會將已攔除之篩渣沖走，故在計畫最大時流量下，水流通過粗細攔污柵之柵間流速應在 0.9 m/s 以下。由於在同一條渠道中，既要求攔污柵的上下游渠道，應具有較大的沉積物沖刷流速，又要求攔污柵處，應具有較低的柵間流速，以免將已攔除之篩渣沖走，其可行方法為將上下游渠道的寬度，設計的比攔污柵處的寬度更為狹小。

人工清除式攔污柵在流速太大時清除作業困難，故在計畫流量下，水流通過攔污柵之柵間流速應在 0.45 m/s 以下。為限制此流速所需增加的攔污柵面積，可藉由擴大攔污柵處的渠道寬度，及藉由將攔污柵以較水平角

度安置，以增加沉沒面積。

(7)柵條間距

設置於抽水機濕井上游端之攔污設備，係以保護抽水機為主，由於污水抽水站大都設置在地面下很深的地方，粗攔污設備所截留的篩渣，量多時清除搬運不易，而因為污水用抽水機大都採用不堵塞型，故可考量該抽水機允許通過抽水機葉輪的顆粒粒徑大小，設定粗攔污柵的柵條間距，而讓不會有堵塞抽水機葉輪之虞的篩渣，都可順暢的通過抽水機，待抽水機將較小的篩渣送至地面層後，再以柵條間距較小的細攔污柵作進一步攔除。

細欄污柵間距選擇要注意，該廠進流水棉絮是否較多，需要特殊考量。

(8)通過攔污柵水頭損失

通過粗細攔污柵之水頭損失，係上游渠道的接近流速以及柵間流速的函數，可以式 3-33 計算之。

$$h_L = \frac{1}{C}\left(\frac{V^2 - v^2}{2g}\right) \quad \text{.....(3-33)}$$

式中：

h_L=水頭損失(m)

V=柵間流速(m/s)

v=上游渠道的接近流速(m/s)

C=假設柵條無阻塞時採 0.7；柵條部分阻塞採 0.6

g=重力加速度值(9.8m/s^2)

上述公式計算所得之水頭損失，當柵條堵塞時，柵間有效通水面積減少，使柵間流速增加，假設柵條堵塞率為 p，則此時之柵間流速如公式 3-34

$$V' = Q/[(1-p)\times A] \quad \text{.....(3-34)}$$

式中：

V’=柵條堵塞後之柵間流速(m/s)

Q=通過攔污柵之流量(m^3/s)

A=柵條水面下之柵間面積(m^2)

p=柵條堵塞率，以小數表示

以 V’取代公式 3-34 之 V，即可計算水頭損失。

通過機械清除式攔污柵之水頭損失，通常以操作上的控制方法限制在約 150mm。

當篩渣累積時，會部分堵塞柵條，上游水頭會增加，淹沒新的柵條面積以便讓水流通過，故柵條之結構設計應足夠，以防止當柵條全部被堵塞時造成潰壞。柵條及其支撐材料強度，通常以能承受前後水位差為 1 m 時做為設計依據。如水位異常高，以致超出攔污柵的情況，粗大物體會流入抽水機濕井，必要時應強制使抽水機暫停運轉。

(9)安全及防護

人工清除式攔污柵渠道，應設防護欄杆及渠道格柵板，並提供足夠的條件以利拆卸，或有開孔以便將攔除物耙除。機械清除式攔污柵渠道，應設防護欄杆及渠道格柵板，亦應考量可安排接近設備之臨時出入通道，以便維護及修理。

機械清除式攔污柵，應有可拆卸的外罩以保護人員不致誤觸轉動零件，並防止多層次安裝設備之滴水。在維護期間，應提供能鎖定每個機械設備以及使用臨時出入通道，以便接近設備的措施。

地板及排水之設計應避免讓人滑倒。

所有工作及出入通道地區應提供合適的照明設備。

攔污柵室應裝設防爆之瓦斯偵測器。

(10) 電氣設備及控制系統

採用計時器操作的機械清除式粗細攔污柵，應輔以量測上下游渠道內水位差，做為攔污柵啟動或停止之控制方法。如攔污柵無法將高水位降低，即應有警報顯示。

粗攔污柵設施區，可能會累積易燃氣體，電氣設備、燈具及控制，應符合防爆危險場所 1 區(zone 1)：「爆炸性氣體環境在正常操作下可能存在之場所」防爆電氣構造代號 d「耐壓防爆」之規定。

機械式攔污柵，應設置機械式過載保護裝置，以便在操作中耙齒被大型固體物卡住時，可自動中斷操作。

(11) 其他考量事項

A. 需有監測刮耙水平度功能，當刮耙歪斜可發出警告信號。

B. 刮耙之提吊力測試方法：假設提吊力為 100 kg，其測試方法係以砂包 10 kg ×10 包平均放置於刮耙，從刮耙升起、撇除器自刮耙上撥除砂包、至滑入收集裝置，其過程不得有異常現象。

C. 刮耙上升速度需≦10 m/min(避免污物掉落)，污物撇除器或清理桿與刮耙接觸面，該零件材質需為可替換式非金屬刮板(避免震動、噪音及刮除不乾淨)，撇除器組件應為不銹鋼材質，其機構之設計須能自耙機上撥除污物，自動滑入卸槽，再滑入收集裝置。

D. 攔污柵試車測試時，需以約 10 分鐘啟動撈除污物一次之頻率，經連續運轉 24 小時，並維持正常功能。

E. 攔污柵可設自動清洗設施，應與運輸帶連動避免撈物累積及延遲操作時間。

F. 機械驅動設備及齒輪等，應設可開掀或滑動蓋板或檢視孔。

5. 篩渣處理及處置方法

機械攔污柵設施中，篩渣可由攔污柵直接排送到破碎機、管中氣壓噴射推送泵(pneumatic ejector)或篩渣子車以便續做處置；或卸載到輸送機上，以便傳送到篩渣壓榨機或收集貯斗。輸送機及氣昇式抽水機，通常係機械式傳送篩渣的主要方法。輸送機具有操作簡單、維護容易、不會阻塞及價格低廉

之好處。輸送機會釋出臭氣，需加覆蓋物。氣昇式抽水機較無臭味，對空間之需求通常亦較少；然而如果篩渣中存有大件物體，則較會阻塞。篩渣壓榨機可用於篩渣之脫水及減少體積，實際設計圖，如圖 3.81。篩渣壓榨機包括液壓油缸及螺旋壓榨機，從攔污柵直接收受篩渣，並可輸送壓榨後的篩渣至貯斗中。壓榨機能減少篩渣之含水率達到 50%，及減少體積達到 75%。如同氣昇式抽水機，大件物體會導致卡住，但自動控制能偵測到故障，自動反轉設備，啟動警報器及關閉設備。

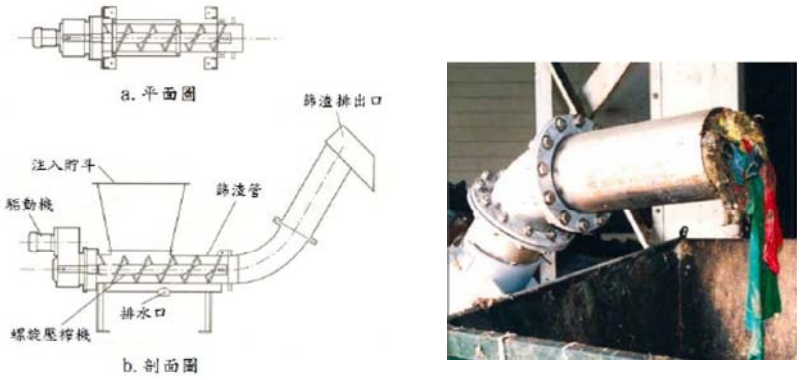


圖 3.81 篩渣壓榨機典型設備

篩渣處置方法包括(1)送至掩埋場，包括與都市垃圾合併處置；(2)單獨焚化或與污泥合併焚化(僅適用於中大規模污水處理廠)；及(3)排放至磨碎機或切碎機，破碎後流回污水中。上述方法中以第一種處置方法最為普遍使用。有時，篩渣需要以石灰穩定，以便在掩埋處置前控制病原菌。

6. 攔污柵設備之附屬設施

攔污柵之設置，以能達到去除污水中之粗大固體物為目的，其設計應充分考量操作管理方便性及環境衛生。篩渣貯斗及攔污柵中間，應設置保養檢查用通道。未加蓋之水池渠道開孔，以及挑高之操作平台，須設置扶手或欄杆。篩渣輸送機之空間，依輸送機之種類、機械高度及餘裕寬度決定之，並需有清洗考量。輸送機及貯斗間，應有配合連絡之空間。設置於地面下的攔污設備，其存放篩渣之子車底部應有瀝乾裝置，子車應設有走輪，有軌或無軌，並設吊耳，以利吊車垂直搬運至地面上。

設置於地面上的攔污設備，其存放篩渣之貯斗應設於搬運車輛可停靠處之上面。貯斗下部應有搬運車搬運空間及高度，同時應有地面清洗及排水考量。

篩渣搬運室之平面配置，應依搬運車之作業而定。搬出口之配置應考量風向、臭氣及其他相關因素。另搬運室地板因需常清洗，故應有水源和適當地面坡度及集水溝。

機械式攔污柵清除篩渣時，通常須配合刮渣的動作，同步自動對於柵條上的篩渣噴灑回收水，以沖散及溶解篩渣中之有機物，將之沖回污水渠道中，以便該有機物可在下游端生物處理程序中繼續處理。此方法可減少篩渣中久

置會發臭的有機物含量。

3.6.4 抽水站之除臭及換氣

1. 抽水站的渠道及濕井等會產生臭氣，該區域應盡量採用密閉設計減少臭氣外洩。
2. 考量周遭環境及作業環境，必要時應設置除臭設備。

解說：

1. 抽水站整體考量

抽水站的渠道及濕井等會產生臭氣，考量周遭環境及作業環境，必要時應設置除臭設備。基於經濟考量，抽水站渠道及濕井皆加覆蓋物，以便採局部方法脫臭。抽水站為確保良好的作業環境，防止腐蝕性氣體對機械腐蝕及劣化，應設置通風換氣設備。設置通風換氣設備時應注意務必將風管深入臭源，同時亦須避免新鮮空氣的短流，換氣方法應採第一種機械換氣方法，如表 3.14，並依個案狀況進行評估。

表3.14 換氣方法

方法		內容
機械換氣	第一種	利用風機將外氣送入室內，利用排風機將室內污濁空氣排出的方法
	第二種	室內適當位置設置排氣口，利用風機將外氣送入室內而將室內污濁空氣從排氣口壓出的方法
	第三種	室內適當位置設置進氣口，利用風機將室內空氣排出屋外，使外氣從進氣口自然流入室內的方法
自然換氣		室內適當位置設置進氣口，室內的空氣從排氣管排出，外氣從進氣口自然流入室內

本表整理自「下水道施設計畫・設計指針及解說」2009日本下水道協會

2. 攔污柵考量

攔污柵室的污水、篩渣及貯斗等會產生臭氣，考量周遭環境及作業環境，必要時應設置除臭設備。基於經濟考量，攔污柵及輸送機可在外圍(包括操作空間)設置透明防臭罩，或直接採用包覆式的攔污柵及輸送機，以便採局部方法排氣及脫臭。

攔污柵設於室內者，為確保良好的作業環境，及防止腐蝕性氣體對機械腐蝕及劣化，應於室內設置通風換氣設備。封閉的攔污設施區或超過 1.2 m 深之開放坑洞，應強制供應新鮮空氣。風管不能設置阻風門，並避免使用濾網或其他障礙物以防止風管堵塞。送氣及排氣風扇應採不產生火花之材質。操作通風設備之開關，應予以標示並設在方便搆到的地方，所有間歇式操作的通風設備，應與各自房間的照明系統互相連接。抽水站之換氣量，如表 3.15，以局部方法排氣之攔污柵一般須考量脫臭處理。有關臭氣控制(包括硫化氫的控制)將與其他設施另章節解說。攔污柵單元設施之換氣，如表 3.16，

該表僅做為初步的參考，設計時應參照各種文獻，並依照攔污柵室的實際情況作審慎的考量。

表 3.15 抽水站之換氣量

外圍型式	場所	換氣量	備註
乾井在濕井隔壁	乾井室內作業空間	依據電動機發熱量計算，換氣次數為 2～3 次/小時以上	
	濕井	開口處水面面積×10 $m^3/(m^2$・小時)*	濕井上方設置蓋板
乾井在濕井上方	乾井室內作業空間	依據電動機發熱量計算，換氣次數為 5～10 次/小時	濕井上方設置蓋板
	濕井	開口處水面面積×10 $m^3/(m^2$・小時)*	濕井上方設置蓋板
中型抽水站濕井上方為露天	濕井	開口處水面面積×10 $m^3/(m^2$・小時)*	濕井上方設置蓋板
小型抽水站濕井上方為露天	濕井	僅設自然排氣管	濕井上方設置蓋板

本表整理自「下水道施設計畫・設計指針及解說」2009 日本下水道協會

*註：排氣一般須考量脫臭處理；乾濕井分離之抽水站，其乾井可依種類不同而分別設置在濕井旁邊或在濕井上方。

表3.16 攔污柵單元設施之換氣量

覆蓋型式	場所	換氣量	備註
雙重覆蓋(渠道覆蓋＋透明防臭罩)	防臭罩內作業空間	3～5 回/小時	
	渠道覆蓋內	開口部水面積×10 $m^3/(m^2$・小時)※	沒有防臭罩時也一樣
	輸送機	輸送機防臭罩之容量×7 回/小時※	
	貯斗	有效容量×3.5 回/小時※	
室內	作業空間	5～10 回/小時	渠道沒有加蓋情況

本表整理自「下水道施設計畫・設計指針及解說」2009日本下水道協會

※註：局部排氣一般須考量脫臭處理

3.6.5 抽水機之保護裝置

抽水機應配備適當的保護裝置，以檢測運行過程中發生的異常，並根據異常程度，停止運行或發出警報或顯示故障。

解說：

保護裝置可檢測在抽水機的啟動或操作期間發生的異常，可安全地停止抽水機操作，並在控制室顯示警報或故障的資訊。

在抽水機啟動或運行期間發生的異常情況，會根據設備的內容而有所不同，但通常包括以下內容。

A. 電動機-短路、過電流、斷相和接地故障，沉水式抽水機電動機浸水或過溫。

B. 水位、壓力-濕井水位異常下降或超高水位，管路壓力過低或過高。

C. 軸承-抽水機軸承溫度異常升高。

D. 軸封水、冷卻水和潤滑水流量不足，壓力異常下降，冷卻水溫度異常上升。

E. 控制-啟停時間異常、轉速流量異常。

設計時應根據抽水機類型、操作方法及使用條件等，選擇設置檢測異常的裝置，如過電流，速度偵測、溫度開關、流量開關、壓力開關、液位開關等，依據保護需求設定控制連鎖條件，如果無法滿足指定的條件，則採取保護動作，如緊急停止、降速或警報等，必要時可在操作面板上設置用於緊急停止的操作開關。

另依據故障的嚴重程度，將故障分為嚴重故障和次要故障。在發生重大故障時，抽水機應立即自動停止，並顯示警報和故障顯示。

在發生次要故障的情況下，僅顯示警報和故障顯示。

故障顯示應集中顯示在操作面板或監視面板上，以方便監視。

3.6.6 抽水站之防爆考量

抽水機房設備及電氣儀控設施，視需要考量防爆等相關安全措施。

解說：

1. 職業安全衛生設施規則第 177 條規定：「雇主對於作業場所有易燃性液體之蒸氣、可燃性氣體或爆燃性粉塵以外之可燃性粉塵滯留，而有爆炸、火災之虞者，使用之電氣機械、器具或設備，應具有適合於其設置場所危險區域劃分使用之防爆性能構造」。另機械設備器具安全標準第 110 條規定：「用於氣體類之防爆電氣設備，其性能、構造、試驗、標示及危險區域劃分等，應符合國家標準 CNS 3376 系列、國際標準 IEC 60079 系列或與其同等之標準規定」。
   (1)在抽水站經常或可能存在易燃性氣體(主要為甲烷)或液體，因此該等場所即適用於職業安全衛生設施規則第 177 條及機械設備器具安全標準第 110 條與第 111 條之規定，必須進行危險區域劃分，並且選用防爆電氣設備，以避免所使用之電氣機械設備具有點火源時，可能產生火災爆炸之危險。
   (2)抽水機室及配電室，應選設在沒有可燃性氣體發生或滯留的場所。如可能有可燃性氣體時，應在該特殊場所，選用防爆型設備，選用耐壓防爆構造(或日規 d2G4，美規 CLASS 1 DIV.1 GROUP D，或歐規 Ex deⅡB T4)或本質安全防爆(日規 i2G4)。
   (3)相關儀電設施規定，請參考第 10.7.2 節。

3.7 沉砂池

污水處理廠中的砂礫，主要係指生活污水中所含不會在後續生物處理階段分解的較重的惰性無機物質及有機物質，其組成之惰性無機物質，包括：砂礫、煤渣、石塊、礫石、菸蒂及金屬片，有機物質包括：骨頭碎片、蛋殼、咖啡渣、種子及大塊食物殘渣，其中以無機物為主。

砂礫會減少污水處理廠處理單元之容量，降低處理設備之效率，提高處理設備之磨損及增加設備維護之費用，因此廠內需設置沉砂池，以便將其去除。

通常生活污水的砂礫粒徑範圍在 20 至 140 號篩，而佔 90%以上的大多數砂礫粒徑範圍在 50 至 100 號篩。100 號篩及較大的砂礫，會對抽水機及處理設備造成磨損。小於 140 號篩的砂礫開始具有上浮、類似粉塵的性質，無法以沉降方法沉澱。傳統上美國環保署定義沉砂為粒徑大於 0.21 mm(ASTM 70 號篩)比重大於 2.65，但是最近的認知是必須去除更小的砂礫，以避免損壞下游的處理單元，許多現代的除砂設計，能夠去除高達 75%之 0.15 mm(100 號篩)的物質。

3.7.1 沉砂池的設計考量

沉砂池之設計考量如下：

1. 沉砂池須設置在進流抽水站之後的地面層，細攔污柵之後及初級處理單元之前。
2. 除使用套裝設備外，沉砂池應為堅固耐久的鋼筋混凝土構造物，並應具有水密性。
3. 為防止臭氣外溢，沉砂池原則上應加蓋，並應有防止沉砂池內部頂版發生腐蝕的措施。
4. 應考量異常流入量時，沉砂池淹水的問題。
5. 沉砂池至生物反應槽之間，應有繞流配置。
6. 中繼抽水站可省略不設沉砂池。

解說：

1. 在高緯度地區，由於冬季嚴寒，戶外積水容易結冰之故，其沉砂池皆設置在進流抽水站的粗攔污柵之後，抽水站濕井之前。我國並沒有這種問題，加以近年來污水進流管有加深之趨勢，使進流抽水站深度大幅增加，這種情況下，為了降低工程費，縮短工期，並使維護管理容易，所以地下構造物會儘量縮小量體，因此形成沉砂池設置在進流抽水站之後的地面層。沉砂池為污水前處理設施之一，為保護污水處理設施的各項設備，沉砂池應設置於細攔污柵之後及初級處理單元之前。
2. 除使用 FRP 或不銹鋼製之套裝設備外，沉砂池應為堅固耐久的鋼筋混凝土構造物，其結構設計應考量自重、活載重、水壓、土壓及浮力等應力因素，並在颱風及地震之侵襲下，仍可屹立且無損其功能，沉砂池應可防止地下水滲入及污水滲出的水密性構造物。使用 FRP 或不銹鋼製之沉砂池套裝設備，在整體設備之運輸、現場安裝、底部承載支撐、接管，接水及接電等過程中，應有該設備製造商派出有經驗的工程人員全程在現場指導。
3. 為防止沉砂池內有機物與砂礫一併沉降而發生臭氣，沉砂池原則上應加頂蓋，並須設置除臭風管及連接至除臭設備，加蓋後水池內部頂版的混凝土表面，

可能會受到硫化氫的腐蝕，亦應有防範對策。

4. 應考量異常流量流入沉砂池所造成之淹水，檢討進流閘門達到安全關閉所需的時間，及沉砂池水位異常的上升高度，防止污水繼續流入造成沉砂池設備淹水的溢流高程等。另應考量設置防止異常水流流入的各種保護隔離措施。
5. 進流污水自沉砂池出水渠道至生物反應槽進流渠道之間，應有繞流配置，以利污水水質濃度低時之操作彈性。
6. 在中繼抽水站，也有省略不設沉砂池的情況，這種情況下，抽水站的沉砂係採疏浚方法來處理。

3.7.2 沉砂池的種類及設計依據

1. 沉砂池種類，包括水平流沉砂池、曝氣沉砂池及渦流沉砂池等三大類。 2. 沉砂池應採用尖峰流量設計，其池數原則以 2 池以上為原則。

解說：

1. 沉砂池一般分為水平流沉砂池、曝氣沉砂池及渦流沉砂池等三大類，分別說明各大類沉砂池之細分類及其設計特性如下：

(1)水平流沉砂池

水平流沉砂池分為方型沉砂池及等速流矩型沉砂池兩種，其設計方法不同，分別說明如下。

A. 方型沉砂池(Detritus Tank)(參考圖 3.82)係允許所有大於某設計砂礫粒徑(一般為 0.21 mm)之沉降速度的所有砂礫及有機固體物皆沉降於池底，再以旋轉刮板，將沉降物刮在沉砂池一側的砂礫排除坑中，最後以洗砂裝置，將砂礫及有機固體物分離，砂礫會被淘出水面而落在儲筒中，有機物則迴流至沉砂池內。方型沉砂池池面積由水面積負荷決定，而水面積負荷即為砂礫之沉降速度，任何單獨砂礫在水中的沉降速度，可由它本身及水的特性來決定，假設砂礫為圓形，則砂礫的沉降速度 VS 可由公式 3-35 來計算：

$$Vs = \sqrt{\frac{4g(S-1)D}{3Cd}} \quad \text{.....(3-35)}$$

式中：

V_S：砂礫的沉降速度(m/s)

Cd：牛頓拖曳係數=24/R+3/√R+0.34，當 $1<R<10^4$

R：雷諾數=V_SD/ν

S：砂礫比重

D：砂礫直徑(m)

ν：水的運動黏度(kinematic viscosity)(m^2/s)

由於 D 與 V_S 需同時滿足兩個公式，故最後的 V_S 需以試誤法才能求得。

當砂礫粒徑 D=0.00021 m，砂礫比重 S=2.65，水溫 20℃時之運動黏度 ν 為 1.0034×10^{-6} m^2/s，先假設砂礫的沉降速度 Vs =0.016 m/s，則雷諾數 $R=0.016\times0.00021/1.004\times10^{-6}=3.35$，故牛頓拖曳係數 Cd=17.6，代入公式 3.，求出 Vs =0.016 m/s，與前述假設相同。

水溫對砂礫的沉降速度影響很輕微，水溫 25℃時之運動黏度 ν 為 0.8926×10^{-6} m^2/s，則砂礫粒徑 D=0.00021 m 之沉降速度 0.0159 m/s。30℃時水之運動黏度 ν 為 0.8007×10^{-6} m^2/s，則砂礫粒徑 D=0.00021 m 之沉降速度 0.0156 m/s。

沉砂池有效水深與流速關係，示如圖 3.81，任何砂礫達到完全沉降，其關係為：

$$\frac{v}{V}=\frac{H}{L} \quad \text{.....(3-36)}$$

$$\text{故 } v=\frac{H\cdot V}{L} \quad \text{.....(3-37)}$$

$$\text{另} V=\frac{Q}{W\cdot H} \quad \text{.....(3-38)}$$

$$v=\frac{H\cdot Q}{L\cdot W\cdot H}=\frac{Q}{L\cdot W} \quad \text{.....(3-39)}$$

$$A=L\cdot W \quad \text{.....(3-40)}$$

$$V=\frac{Q}{A}\text{(水面積負荷)} \quad \text{.....(3-41)}$$

$$t=\frac{W\cdot L\cdot H}{Q} \quad \text{.....(3-42)}$$

式中：

v：砂礫沉降速度(m/s)

V：平均流速(m/s)

L：池有效長度(m)

W：池有效寬(m)

A：水面積(m^2)

Q：流入量(m^3/s)

t 沉降時間(s)

由(3-41)式及(3-42)式可得

$$v=\frac{Q}{L\cdot W}=\frac{Q}{A} \quad \text{.....(3-43)}$$

式中砂礫之沉降速度 v 即為水面積負荷，可以 $m^3/m^2\cdot d$ 表示之，可知被去除砂礫之沉降速度與水深無關，砂礫去除率僅受沉砂池之水面積所左右。沉砂池所需水面積可依公式 3-43 求得。

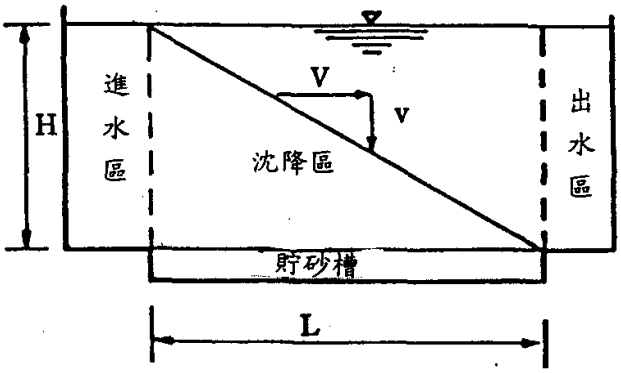


圖 3.82 沉砂池有效水深與流速之關係

幾種常用之砂礫粒徑，在水溫 20℃時之沉降速度及水面積負荷，請參考表 3.17，其中水面積負荷係由沉降速度單位換算而來，例如：砂礫直徑為 0.21 mm，沉降速度= 0.016 m/s × 86,400 s/d=1,380 m/d=1,380 $m^3/m^2/d$ =水面積負荷。方型沉砂池停留時間<1.0 min，尖峰流量時設計水平流速為 0.3 m/s，在低流量時，水平流速小於 0.3 m/s，所以有機固體物會沉積。

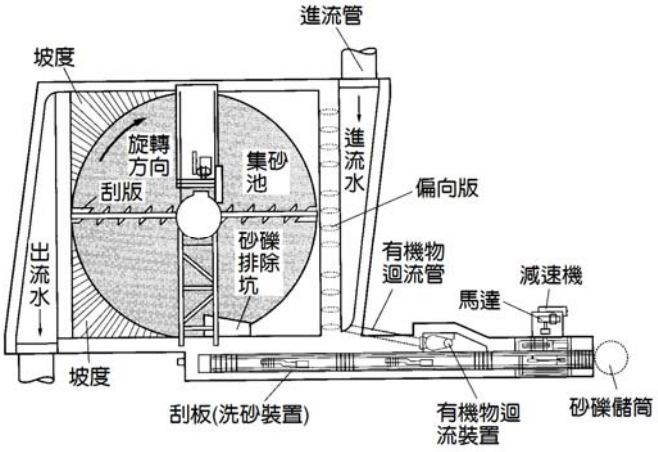


圖 3.83 方形沉砂池例

表 3.17 方型沉砂池水面積負荷表

砂礫直徑 (mm)	砂礫篩號	沉降速度* (m/s)	水面積負荷 ($m^3/m^2/d$)
0.355	45	0.019	1,640
0.30	50	0.018	1,560
0.25	60	0.017	1,500
0.21	65	0.016	1,380
0.18	80	0.015	1,290
0.15	100	0.014	1,180

*依據：水溫 20℃，砂礫比重 2.65

B. 等速流矩型沉砂池(Constant Velocity Grit Chamber)

水平流沉砂池之流速若偏低，會造成比重較小的有機物沉澱；若

流速偏高，超過目標砂礫之掃流速度(scouring velocity)時，會造成已沉降的砂礫再度揚起。掃流速度依 Shield 及 Darcy Weisbach 公式表示之：

$$Vc = \sqrt{\frac{8\beta}{f} \cdot g(S-1)D} \quad \text{.....(3-44)}$$

式中：

V_C：掃流流速(m/s)

f：摩擦係數(≒0.03)

β：常數(≒0.06)

g：重力加速度(=9.8 m/s^2)

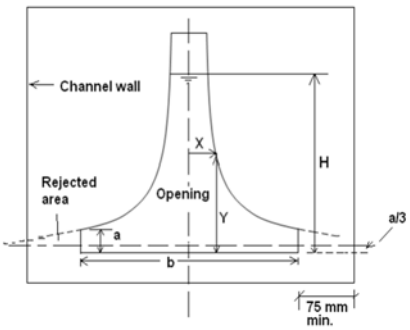
S：砂礫的比重

D：砂礫的直徑(m)

若以粒徑為 0.2 m/m，比重為 2.65 之砂礫，依式(3-44)求之 V_C 約 0.23 m/s，又若砂礫粒徑為 0.4 m/m，則其 V_C 為 0.32 m/s，因此，沉砂池之平均流速以 0.3 m/s 為較適當，此流速將使沉降速度 V_S>0.3 m/s 之砂礫沉降，但此速度將可使有機物被帶離沉砂池。

採用等流速控制法，也就是池內流速不管在任何流量下，皆可維持在 0.3 m/s，等流速控制方法計有：

1. 矩形斷面：下游端設置比例堰(圖 3.84)。
2. 水平流矩型沉砂池的設計數據，如表 3.18，池底坡度為 0.5～1.0%，有效深度應配合進流管渠之有效水深訂定，池底應加 10～30%有效水深且至少 30 cm 以上之沉砂槽，其進流口之配置應防止短流 (圖 3.85)。
3. 梯形斷面：下游端設置巴歇爾量水槽(圖 3.86)。
4. 水平流沉砂池，應設有機械式刮砂設備。水平流沉砂池以設置二池以上為原則。此種沉砂池所需操作運維技術簡單，且建造結構費用低廉，但佔地較大，故多使用於小規模污水處理廠。



$$Q = C.b\sqrt{2ag}.\left[H - \frac{a}{3}\right]$$

Q = Discharge, m^3/sec^1

C = constant = 0.61 for symmetrical sharp edged weir

a = 25 to 35 mm as shown in the Figure 15.3.

b = base width of the weir

H = Height of water above the crest of weir

$$x = \frac{b}{2}\left[1 - \frac{2}{\pi}\tan^{-1}\sqrt{\left(\frac{y}{a} - 1\right)}\right]$$

圖 3.84 控制等流速矩型沉砂池比例堰

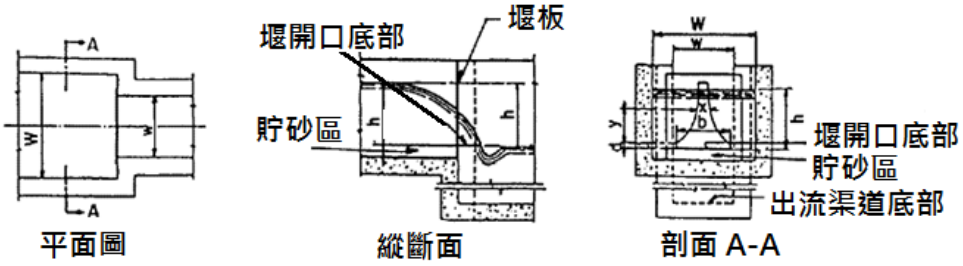


圖 3.85 比例堰控制等流速之矩形水平流沉砂池

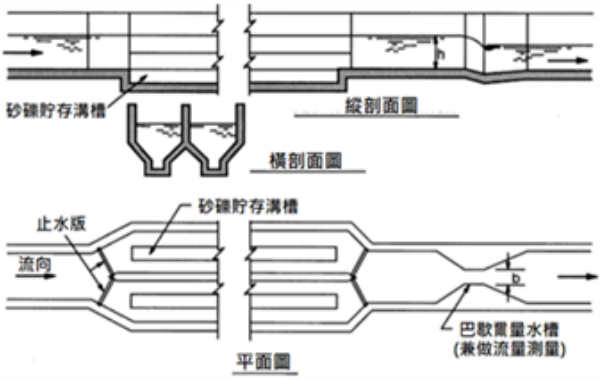


圖 3.86 巴歇爾量水槽控制等流速之矩型沉砂池

(2)曝氣沉砂池

典型的曝氣沉砂池，係設計用於去除粒徑 0.21 mm(ASTM 70 號篩)或更大的砂礫，沉砂池的型式有方形曝氣沉砂池、曝氣沉砂池及曝氣沉砂除油池等三種。各種曝氣沉砂池介紹如下：

A. 方形曝氣沉砂池

方形曝氣沉砂池(Rolling Grit units)之散氣設備，設於靠近方形池中央底部的上方，集中沉降在池底中央的沉砂，使用氣昇式抽砂泵送到池旁的洗砂機，請參見圖 3.88。

表 3.18 水平流矩型沉砂池的設計數據表(以巴歇爾量水槽控制流速)

項目	常用	範圍
停留時間(秒)	60	30～60
水平流速(m/s)	0.3	0.25～0.4
沉降速度 70 號篩(m/min) 100 號篩(m/min)	 1.15 0.75	 1.0～1.3 0.6～0.9
水頭損失(渠深%)	36	30～40
進流及出流長度容許量	30%	25～50%

資料來源：Metcalf & Eddy Wastewater Engineer Fifth Edition,2014.

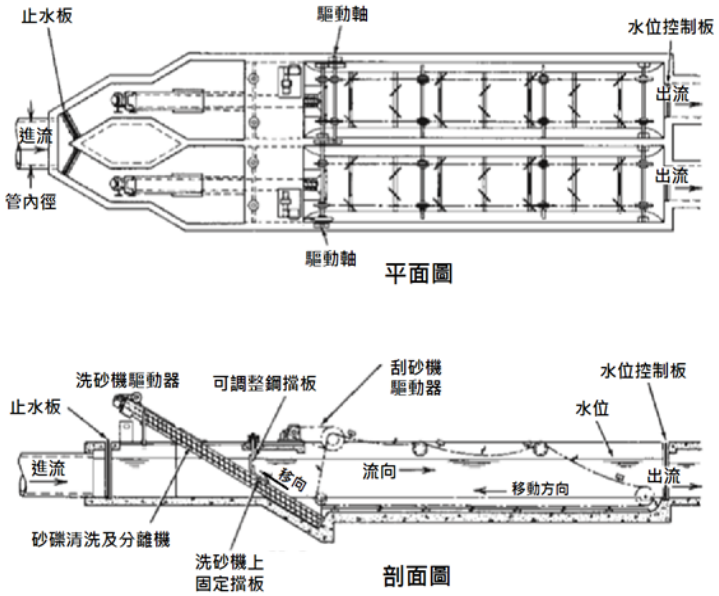


圖 3.87 等速流矩形沉砂池例

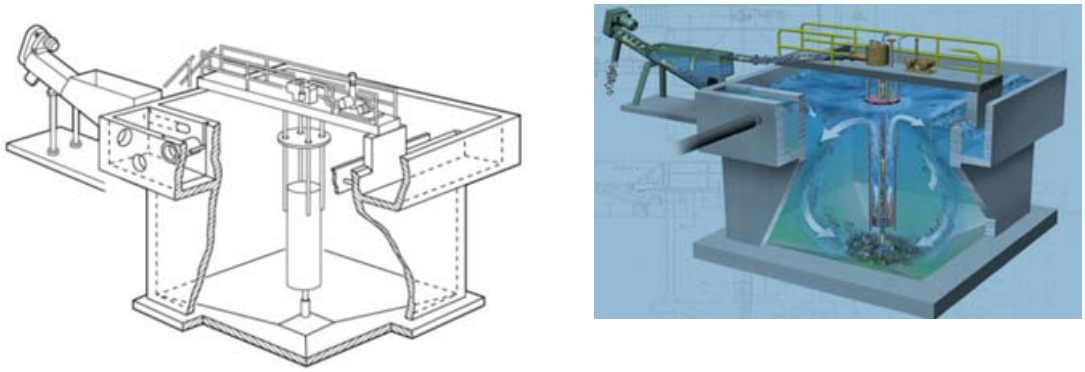


圖 3.88 方形曝氣沉砂池

B. 曝氣沉砂池

曝氣沉砂池(圖 3.89)最早發展於美國，國內早期曾用於工業區廢水處理廠，該型式之沉砂池係由長條形水池的長邊一側，以與長邊呈垂直的方向進水，而於水池長邊之一側以散氣設備送入空氣，污水從進流口到出流口，會以螺旋形水流流動，帶動砂礫與附著於其上之有機物一起翻滾，此滾動的速度應足夠至一方面使砂礫脫離有機物並沉降於池底，一方面使有機物保持懸浮而繼續流到後續處理單元並接受處理。沉砂池的散氣設備，一般設於水深 70%處，池底坡度為 30%。曝氣量的大小，會影響去除砂礫之粒徑，若曝氣量太大，則砂礫無法充分沉降；若太小，有機物會隨砂礫一起沉降於池底。含有有機物的砂礫被清出後，因容易腐敗發臭，使後續砂礫處置工作困難。由於進行曝氣，故曝氣沉砂池應設置消泡設施。曝氣沉砂池一般設計參考數據，如表 3.19。

表 3.19 曝氣沉砂池設計數據參考表

設計項目	設計值	備註
深度(m)	2～5	
長度(m)	7.5～20	
寬度(m)	2.5～7.0	
寬深比	1：1～5：1	
長寬比	3：1～5：1	
尖峰流量時之水力停留時間(min)	2～5	一般為 3，如沉砂池用於預曝氣或用於去除粒徑小於 0.21 mm(ASTM 70 號篩)之砂礫時，則需要更長的停留時間。
單位池長空氣供應量(L/ sec m)	4.6～12.4	
砂礫量	4～200 m^3/百萬 m^3 之水	
散氣設備位置	約高於池底 0.45～0.6 m 處	

資料來源：Metcalf & Eddy Wastewater Engineer Fifth Edition,2014.

另依下水道工程設施標準，規定散氣裝置設於距離池底六十公分以上，送氣量以曝氣沉砂池每一公尺長度曝氣每秒五公升至十三公升為準，並應設置消泡設施。停留時間為一分鐘至五分鐘，有效水深為二公尺至四公尺，出水高為三十公分以上，池底應加三十公分以上之沉砂槽。

曝氣沉砂池在各種水力停留時間，對各種粒徑砂礫之去除率，參考圖 3.90。

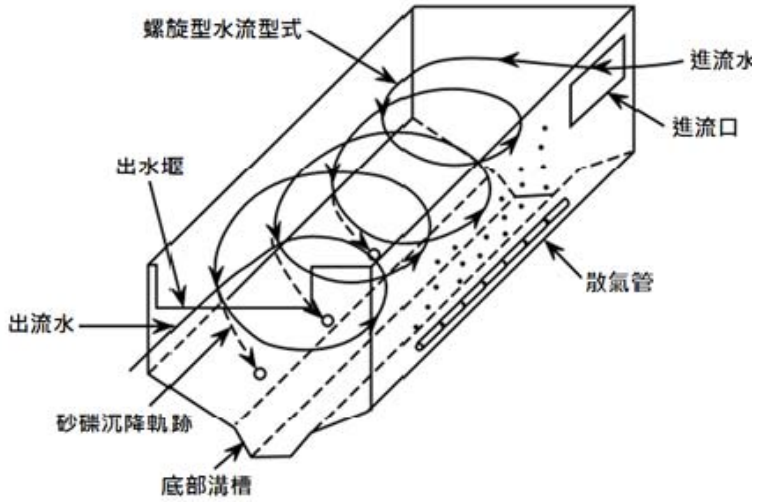


圖 3.89 曝氣沉砂池

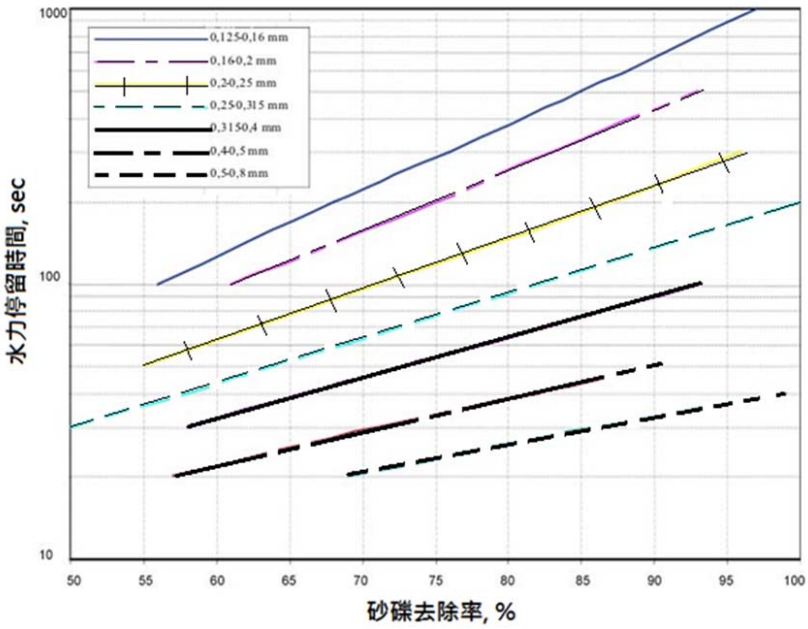


圖 3.90 曝氣沉砂池在各種水力停留時間下對各種粒徑砂礫之去除率

C. 曝氣沉砂除油池

曝氣沉砂除油池(圖 3.91)首先發展於歐洲，國內曾一度普遍使用在許多家工業區廢水處理廠，它除了除砂功能外，還兼有除油的功能，除了專用的除油設備外，這是唯一能附帶處理油脂/浮渣的前處理設備。曝氣沉砂除油池，係由長條形水池的短邊一側，以與長邊呈平行的方向進水，而於水池長邊之一側以散氣設備送入空氣，污水從進流口到出流口，會以螺旋形水流流動，帶動砂礫與附著於其上之有機物一起翻滾，此滾動的速度，應足夠至一方面使砂礫脫離有機物並沉降於池底，一方面使有機物保持懸浮而繼續流到後續處理單元並接受處理。曝氣量的大小，會影響去除砂礫之粒徑，若曝氣量太大，則砂礫無法充分沉降；若太小，有機物會隨砂礫一起沉降於池底。曝氣沉砂除油池，設有曝氣沉砂除油設備，來回行走於池頂，藉由螺旋形水流使浮油及浮渣經由擋板的間隙，上浮於除油池液面。浮在液面之浮油及浮渣利用刮板，刮送至渠端之油脂/浮渣收集裝置，再排放至浮渣槽運棄並作最終處置。附著於砂礫上之有機物，在通過螺旋形水流後會剝離，然後隨著水流流到後續處理單元。而沉砂則採用沉水式抽砂泵，將砂水混合液抽送至洗砂槽內，利用循環水流來分離污水中的有機物及砂礫，砂礫沉澱於洗砂槽底部，而含有有機物之污水，則溢流至迴流管而返回沉砂池內。堆積於洗砂槽內之砂礫最後可運棄並作最終處置。曝氣沉砂除油池的設計數據與曝氣沉砂池不同，須依照廠商建議的流量及各部尺寸對照表來設計。

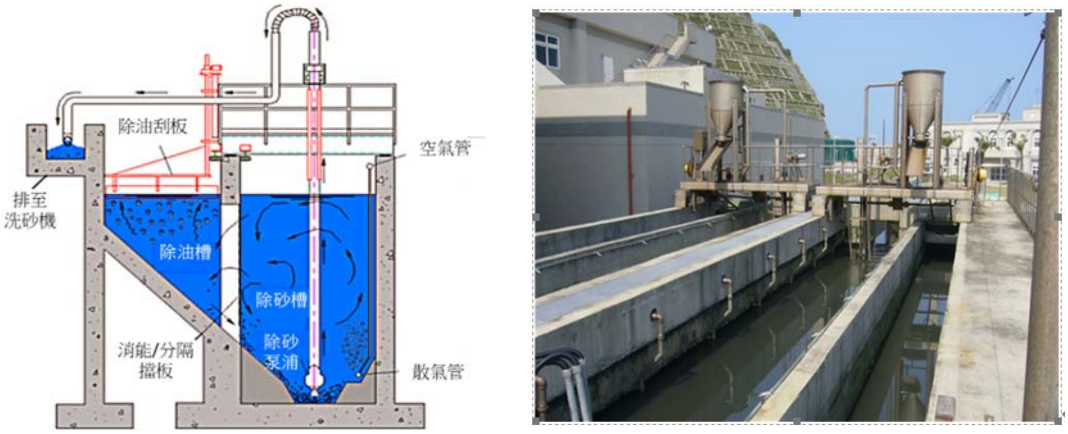


圖 3.91 曝氣沉砂除油池(基隆市和平島水資源回收中心)

(3)渦流沉砂池

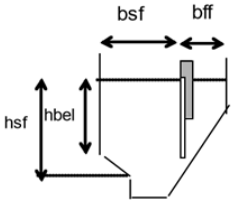
A. 機械引發之渦流沉砂池(Mechanical induced vortex system)

機械引發之渦流沉砂池的組成，為上層的圓柱形沉砂池槽及下層的圓椎形貯砂斗。沉砂池槽中央有一支不斷旋轉的攪拌機，可協助使池槽中循環的污水，在各種流量下都保持相同的轉速。攪拌機會在沉砂池槽中引發渦流，渦流有一個靜止中央區，在此區的砂礫會沉降而掉入沉砂池槽下層的貯砂斗中，再利用設置在沉砂池槽頂部的自吸式抽砂泵或氣昇泵，或是設置在沉砂池貯砂斗旁邊的抽砂泵，將砂礫自貯砂斗中去除。

機械引發之渦流沉砂池，包括兩種基本設計：①平底池槽，其上層圓柱形沉砂池槽與貯砂斗直接連接，沒有漸變段，兩者間設有一塊分隔平板，平板周圍有一狹縫，可使在上層沉砂池槽中沉降的砂礫通過而進入貯砂斗中；②斜底池槽，其上層圓柱形沉砂池槽與貯砂斗間設有斜坡做為漸變段，沉砂池槽具有一個大開孔連接下層的貯砂斗。兩種設計的攪拌器槳葉型式不同。

平底池槽之進流水流入型式，可再分為兩種：第一種型式係水流自進流渠道進入沉砂池槽，沿著池槽旋轉 270 度後，再自出流渠道流出：進流水流經長而平直的進流渠道，使水流儘可能以片流(lamilar)型式流動，此可使砂礫沉降而不是被轉彎等所造成的亂流所擾動。進流渠道的前段為水平渠道，後段為斜坡(ramp)，以便使已經沉降在進流渠道底部的沉砂，能沿著斜坡滑落至池槽底部而被去除，另外，在污水進入水池的入口處設有一個進流擋板，引導進流水使之與池內污水相衝擊。進流渠道的水流沿著沉砂池邊緣，以切線方向流入池槽的水面上，以便更能產生旋轉水流。沉砂池的出流水須經過至少 1.8 m 長的平底出流渠道，以便減少出水堰的效應及建立水位。進流渠道的亂流會挾帶空氣進入水中，出流渠道的污水如跌入垂直管，會產生渦流，使得大氣泡通過管線，而如果水流進入初沉池，將特別難以接受。水流 270 度轉動之平底渦流沉砂池構造示意，參考圖 3.92。

表 3.20 曝氣沉砂除油池設計數據表

設計項目	設計值	備註
深度(m)		
長度(m)	10～50	
除油池寬(bff)/除砂池寬(bsf)	0.2～0.5	
寬深比	bsf/hsf <1 分流制 bsf/hsf <0.8 合流制	
長寬比	長約為寬之 10 倍	
尖峰流量時之水力停留時間(min)	10	如除砂要求較低，約需 5 min，如除砂要求較高，約需 20 min
水平流速(m/s)	<0.2	
除油池表面負荷率(m/hr)	<25	
空氣供應量($m^3/m^3/hr$)	0.5～1.3	沉砂池斷面積<3 m^2，空氣供應量< 0.8 $m^3/m^3.hr$， 沉砂池斷面積>3 m^2，空氣供應量為 1.3 $m^3/m^3.hr$。
散氣設備位置	hsf - hbel = 30 cm (在砂溝上緣)	
池底坡度	35～45 度	

資料來源：ATV, Korrezpondenz Abwasser1998 (45) Nr.3

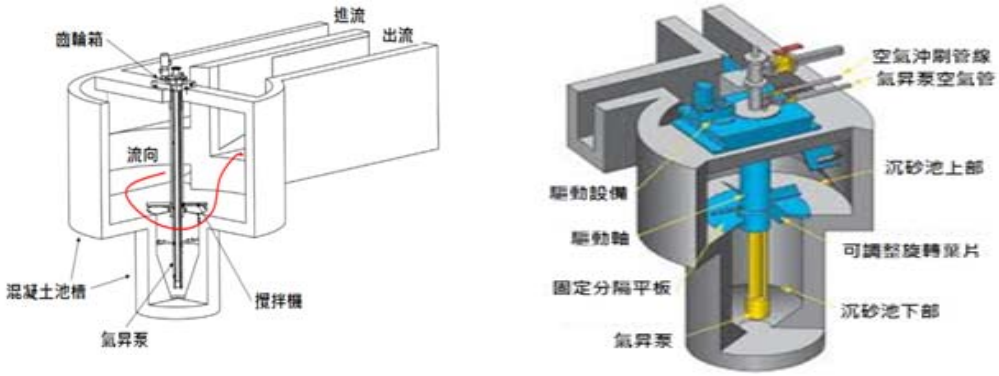


圖 3.92 水流 270 度轉動之平底渦流沉砂池構造示意圖

平底池槽的渦流沉砂池，利用往上層流動的軸流攪拌機、進流擋板及斜坡型式的進流水渠道，可在上層沉砂池槽中製造一種像甜甜圈的環狀(toroidal)水流，這種水流會使沉在平面底板的砂礫被推向水池中央，而由於污水以環狀水流流動，故其停留時間較長，這種渦流沉砂池的除

砂機制，係為強制渦流的水力方法。所有的砂礫在掉入貯砂斗前，都會流經攪拌機的葉輪，使得砂礫與有機物分離。渦流也協助污水中較輕的有機物維持懸浮，再隨著污水流出沉砂池。為避免貯砂斗內積砂過多致抽砂泵無法操作，故攪拌機深入貯砂斗的底部設有砂礫攪拌器，使砂礫呈現懸浮狀態較容易抽送。平底渦流沉砂池之環狀水流示意，參考圖 3.93。

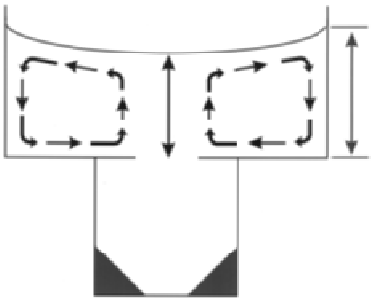


圖 3.93 平底渦流沉砂池之環狀水流示意圖

平底池槽進流水之第二種流入型式，係水流自進流渠道進入沉砂池槽，沿著池槽旋轉 360 度後，再自出流渠道流出：進流渠道的水流沿著沉砂池邊緣，以切線方向流入池槽的水面下，進流渠道整段皆為為斜坡，其進流及出流渠道皆設有擋板，進流的擋板係引導進流水產生渦流及避免以短流的方法進入池槽、容許 360 度繞行通過進流口及出流口，提供最長的運行距離以獲得最有效的砂礫去除。出流的擋板係引導水流離開池槽，做為堰閘來控制池槽及進流渠道的水位，在不需其他流量控制設施的情況下，可使進流渠道在 10：1 的流量變化下維持最適流速，尖峰流量下流速為 1.1 m/s，最低流量下流速為 0.5 m/s，以便在最小亂流下能輸送砂礫，以及提供適當進入池槽的流速。水流 360 度轉動之平底渦流沉砂池構造示意，參考圖 3.94。

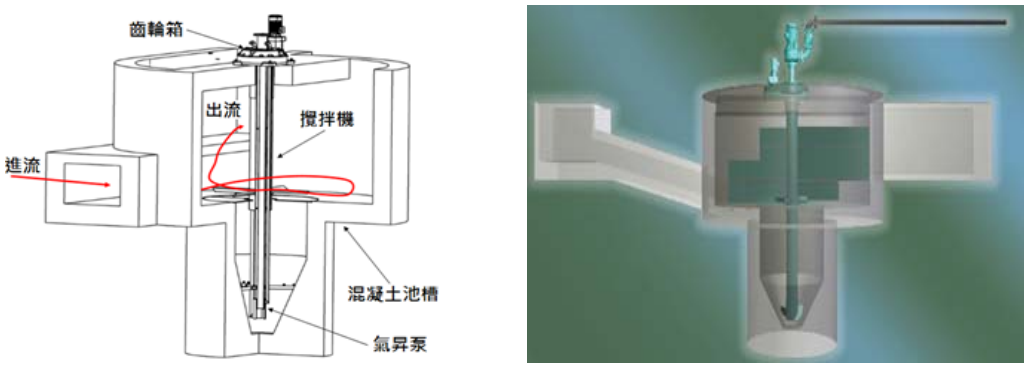


圖 3.94 水流 360 度轉動之平底渦流沉砂池構造示意圖

國內常用的渦流沉砂池，為水流 270 度旋轉的斜底池槽型式，斜底池槽之進流水，亦係自進流渠道沿沉砂池邊緣，以切線方向流入沉砂池

槽的水面上，經沉砂處理後沿著池槽旋轉 270 度，再自較寬的出水渠道流出。斜底池槽的渦流沉砂池，係利用往四周流動的徑流攪拌機，使污水中密度較輕的有機物保持懸浮不致沉降，而攪拌作用產生離心力，使砂礫往牆邊移動，再結合重力作用使砂礫沉降於池槽下層之貯砂斗內，基本上本法係屬於應用砂礫沉降速率的除砂方法。斜底渦流沉砂池構造示意，參考圖 3.95。

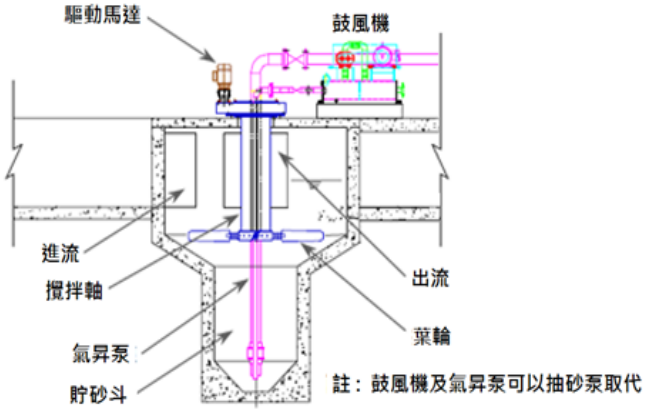


圖 3.95 水流 270 度轉動之斜底渦流沉砂池構造示意圖

新近的斜底池槽渦流沉砂池，亦有廠商推出 360 度型式者，如圖 3.96 所示，其特點如下：

- 進流口：進流口位於沉砂池槽段的水面底下。
- 池槽內水流路徑：藉由裝在池槽內的分隔圓盤將進流路徑與出流路徑分開。
- 連接渠道形狀：出流渠道基本上與進流渠道同方向，以得到 360 度之水流型式。
- 出流渠道：分隔圓盤可提供出流渠道位在進流渠道的任何方向。
- 攪拌機：引發渦流的攪拌機提供沉砂池最適水流型態。

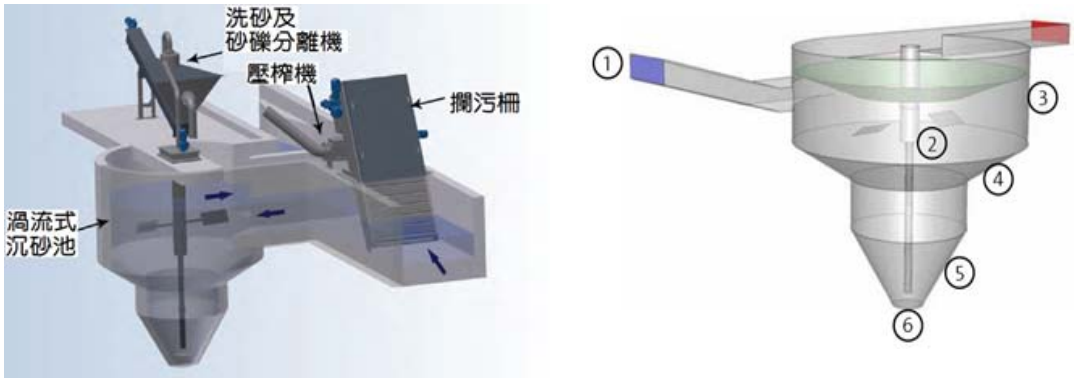


圖 3.96 水流 360 度轉動之斜底渦流沉砂池構造示意圖

機械引發之渦流沉砂池建議設計準則如下：

- 流進渦流沉砂池的理想化的水流應平直、滑順及呈流線型，實務

上，平直段的進流渠道長度，應為進流渠寬之七倍或是 4.6 m，應取兩值之較大者。

- 進流渠道理想化的流速範圍自 0.6 至 0.9 m/s，此理想化的流速範圍應約為尖峰流量的 10 至 80%，低流量之最低可接受流速為 0.15 m/s，因為更低的流速將無法將砂礫帶入沉砂池中。如果預期流速會低至 0.15 m/s，則需設置沖刷設施，以將沉降在渠道上的砂礫移到沉砂池中。此沖刷系統應避免通過沉砂池來洗砂。
- 平底池槽沉砂池在入口處設置擋板，以協助控制沉砂池的水流系統，使砂礫流進來時能強迫它往下。但一些較大型渦流沉砂系統，並不需要進流擋板，這種沉砂池的出流口為進流渠道的兩倍寬，導致較低的流速，所以可避免低於開口水平的砂礫，被出流水挾帶出去。
- 選擇渦流沉砂池的尺寸，係依據設備製造廠商所提供的建議型號，通常以標準化尺寸來上市的這些單元係以尖峰流量來選定。這些單元在設計尖峰流量下的典型停留時間很短，約為 20 至 30 秒鐘。270 度的平底及斜底渦流沉砂池的水頭損失為 6 mm，360 度的平底渦流沉砂池的水頭損失會較大。設計者應與製造廠商確認該選定的型號，曾做過決定性能參數的野外試驗。如果沒有製造廠商事先的同意，就與建議尺寸有所偏差，可能會導致性能保證失效。
- 在選定渦流沉砂單元後，需從製造廠商的設計圖及設計資料中，取得進一步的資訊，以提供適當的進流及出流渠道，安裝除砂設備的混凝土池槽。
- 目前國內外普遍使用渦流沉砂池，原因是其去除效率較高，維修容易，且較不會有氣體臭味問題(如 H_2S 和 VOCs)。採用渦流沉砂池，具有容易控制維修、節省能源，且確保可充份去除砂礫之高效率。

B. 水力構造引發之渦流沉砂池(Structured flow induced vortex system)

水力構造引發之渦流沉砂池(請參考圖 3.97)，在國內有墾丁污水處理廠使用中，基本上它與機械引發之渦流沉砂池不同，它是利用進流管在圓柱形沉砂池周邊的某個水深之下，以切線方向進入時，管線內的水流速度，會推動沉砂池內的巨量流體，使其圍繞垂直軸而產生圓周流動，此旋轉的流體會產生離心力，將砂礫推向池槽外圈。此時池槽內除了水平面的渦流外，也會產生二次垂直渦流。平面渦流會延長砂礫在池槽內的停留時間，增加砂礫從流體中除去的或然率；而垂直渦流會提高砂礫與有機物脫離的有效性，且如同曝氣沉砂池一樣，當砂礫在池槽中央隨垂直渦流往上流動時，水的拖曳力及重力會互相抵銷，而當砂礫在池槽外圍隨垂直渦流往下流動時，水的拖曳力及重力會互相結合，使砂礫沉降在池槽底部。而有機物會隨著出流水，在靠近池槽周邊處流出沉砂池。

分離的砂礫會集中在池槽中央，再以抽砂泵抽走。因為渦流係藉由進流的力量而產生的，所以水力構造引發之渦流沉砂池的直徑比較小，但進流水需要泵浦來加壓。水力構造引發之渦流沉砂池，可設計為比機械引發之渦流沉砂池能去除更高比率的細砂，但會導致更多的水頭損失。去除 95%之 25 μm 砂礫需要 5 至 7 m 的水頭損失是很平常的。如果進流管之流速太低，不足以引發足夠的渦流，則固體物與砂礫無法藉水流分離，而一併沉降於沉砂池底部，使沉砂池如同小型的沉澱池，脫水後的砂礫會含有容易腐敗的有機物，導致發生臭味。

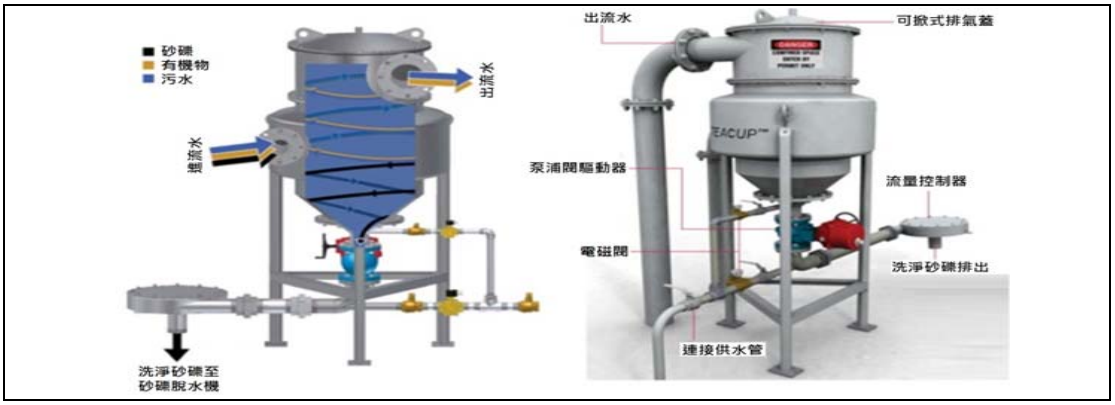


圖 3.97　水力構造引發之渦流沉砂池

C. 多盤式渦流沉砂池(Stacked Tray Separator)

多盤式渦流沉砂池，為日趨普遍的一種專利產品，它係使用流量分配設施，將進流水分配到多重錐形圓盤上。沿著沉砂池邊緣以切線方向流入池槽的水流會產生渦流型態，使得固體物沉降在每層圓盤的邊界層(boundary layer)上，然後流進位在中央的底流收集室以備以抽砂泵抽離。這種設備應用傾斜板技術來除去包含砂礫的固體物，那是使用層層的圓盤來創造一個碩大，但濃縮的表面積及很短的沉降距離。對於新系統，多盤系統可以設在混凝土池槽中，用地比機械引發之渦流沉砂池還要小。對於既設廠，多盤系統可擠進既有沉砂池或調整池。因為砂礫與有機物一併沉降，如需考量砂礫中有機物產生臭味的問題，則除去之固體物須進一步經過洗砂機處理。圖 3.98 為多盤式渦流沉砂池示意圖。

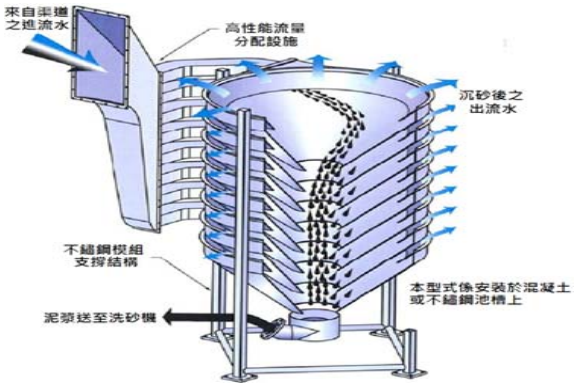


圖 3.98 多盤式渦流沉砂池示意圖

D. 依據營建署公告之「廠站設備延長使用年限之基本原則」，渦流沉砂池設計處理效率處理效率，當砂粒徑分析篩網篩號小於 50 mesh 時其去除率≥ 95%；砂粒徑分析篩網篩號小於 70 mesh，大於 50 mesh 其去除率≥ 85%；砂粒徑分析篩網篩號小於 100 mesh，大於 70 mesh 其去除率≥ 65%

E. 渦流沉砂池的水表面積負荷率，在直徑為 3.0m 時為每日 3,700m^3/m^2・day 以下，4.2m 直徑為每日 5,000 m^3/m^2・day 以下，6.0m 直徑為每日 6,500m^3/m^2・day 以下，亦即直徑愈小，水表面積負荷率就愈小。依據下水道設施標準，採渦流式沉砂池設置者，其出口寬度為入口寬度的二倍，池表面積負荷率為每日每平方公尺 4,800 百立方公尺以下，池內應裝置機械式攪拌設施，防止有機物沉澱。更多設計數據請參考廠商資料。停留時間為 20～30 sec。

F. 處理廠流量較低時，應確認廠商最小規模尺寸之池體之處理效率是否符合。

依據 Water Environment Federation(WEF)2017 年對於沉砂技術之事實報告(Fact Sheet)，最常用之除砂技術整理，如表 3.21。

G. 渦流沉砂池設計設備廠商，依處理多有一定尺寸規直徑，如 180 mm、210 mm、240 mm、300 mm 及 360 mm 等。

表 3.21 常用之除砂技術

除砂方法	優點	缺點
水平流沉砂池	• 可藉由調整出流控制設施，而使其具有彈性。 • 建造相當簡單。 • 藉由有效的流速控制，不需進一步分類的砂礫，可立即運棄。	• 流量範圍廣時，很難維持所需之流速。 • 沉浸在水中的鏈條、刮板及軸承會承受過度的磨損。 • 沒能有效控制流量時，會去除過多的有機物，需要洗砂及砂礫分離。 • 水頭損失甚大(通常為水深之 30 至 40%)。 • 使用比例堰時渠底可能產生高速流，導致沉降在底部的砂礫會被沖刷出去。
曝氣沉砂池	• 在寬廣的流量變化範圍內，砂礫去除效率相當一致。 • 去除的砂礫中，含有相對較少的有機物。 • 預曝氣可能提升下游處理單元的性能。 • 具有多功能，可做為加藥、攪拌、預曝氣及混凝。	• 可能會釋放出有害的揮發性有機物及臭氣。 • 需要更多能源。 • 需要較多維護及控制的人力。
渦流沉砂池	• 在寬廣的流量變化範圍內，砂礫去除效率相當一致。 • 沒有需要維護的沉浸式軸承及零件。 • 用地面積相對很小。 • 很小水頭損失(通常為 6 mm)。	• 攪拌機葉片可能會纏住破布。 • 貯砂斗可能堵塞，需要高壓攪拌將砂礫弄鬆。
方型沉砂池	• 不需要流量控制。 • 所有的軸承及會磨損的機械零件，都在水面上。 • 水頭損失很小。	• 流量變化大時，均勻分水會有困難。 • 在低流量時，會沉降大量的有機物，需要洗砂及砂礫分離。 • 淺池情況(水深小於 0.9 m)時，刮砂機的刮臂會擾動已沉降的砂礫，使其再度上浮。
多盤式渦流沉砂池	• 去除砂礫粒徑≥75 μm。 • 沒有會磨損的機械零件。 • 短沉降距離。 • 用地小。 • 可擴充性。	• 專利設計。 • 消耗水量。 • 30 cm 水頭損失。
水力構造引發之渦流沉砂池	• 去除砂礫粒徑≥75μm。 • 沒有會磨損的機械零件。 • 用地小。	• 高水頭損失(通常>90 cm)。 • 進流水需要以抽水機加壓。

資料來源：“ Liquid Stream Fundamentals：Grit Removal” Fact Sheet, Water Environment Federation(2017)

2. 沉砂池屬於前處理設施之一，其容量設計應採用尖峰流量；此外，考量沉砂池在嚴酷條件下運轉，需要經常的排空以便進行點檢、修繕及清理，故以設置 2 池以上為原則。

3.7.3 沉砂池的附屬設施

沉砂池的附屬設施如下：
1. 出入口應設閘門或擋水板。
2. 沉砂池應有抽砂設施、洗砂機及洗砂機設備。抽砂設施應有防阻塞功能。
3. 沉砂池機械室之空間配置，應考量設備的種類。
4. 貯砂斗下部，應有搬運車作業空間，搬運室地板應有清洗水源和適當地面坡度。設於室內之沉砂池應有通風排氣設備，加蓋之沉砂池水面、沉砂貯斗及砂礫輸送機，應有排氣及脫臭設備。
5. 應有保養檢查用空間，並須設置扶手或欄杆。

解說：

1. 出入口應設閘門或擋水板。閘門應為電動式、油壓式或手動式。電動式開關應備有緊急手動操作設備。
2. 沉砂池應有抽砂設施、旋流機及砂礫脫水分離機設備，沉砂池抽砂抽水機吸水管應連接高壓回收水管，以便沖洗管線，防止管線阻塞。
3. 沉砂池機械室，其空間應依機械的設備種類之高度、寬度及結構物支柱之相關性配置之。同時視水流可能高度設擋水牆及監視走道。輸送機及貯斗間應有配合連絡之空間。
4. 存放沉砂之貯砂斗室，應設於搬運車輛可停靠處之上方，貯砂斗下部的搬運室應有搬運車搬運空間及高度。搬運室之平面配置應依搬運車之作業而定。亦可使用抓斗配合單軌吊車系統，以直接將砂礫自沉砂池卸載到卡車上。
   (1)搬出口之配置應考量風向、臭氣及其他相關因素。另搬運室地板因需常清洗，故應有水源、適當地面坡度及集水溝。
   (2)貯砂斗中的砂礫不易流動，可以下述方法解決：A.貯砂斗使用傾斜側邊；B.砂礫底下使用空氣攪拌或高壓回收水攪拌；C.使用貯砂斗震動器。
   (3)短距離輸送砂礫，有時可用氣昇式抽水機，其優點包括：A.不需高架貯砂斗；B.貯存砂礫產生的臭味問題可消除。氣昇式抽水機主要的缺點，係其管線會有相當大的磨損，特別係在彎管處。
   (4)沉砂池室的污水、砂礫及貯斗等會產生臭氣，考量周遭環境及作業環境，必要時應設置除臭設備。基於經濟考量，沉砂池可採用有開口蓋的蓋板，以便採局部方法脫臭。沉砂池設於室內者，為確保良好的作業環境及防止腐蝕性氣體對機械腐蝕及劣化，應設置通風換氣設備。換氣方法應採表 3.14 所示之第一種機械換氣方法，以局部方法排氣之沉砂池，一般須考量脫臭處理。室內換氣量，如表 3.22，該表僅做為初步的參考，設計時應參照各種文獻，並依照沉砂池室內的實際情況作審慎的考量。有關臭氣控制(包括硫化氫的控制)將於另章敘述。

表3.22 沉砂池單元設施之換氣量

覆蓋型式	場所	換氣量	備註
雙重覆蓋(渠道覆蓋＋透明防臭罩)	防臭罩內作業空間	3～5 回/小時	
	渠道覆蓋內	開口部水面積×10 $m^3/(m^2$・小時)※	沒有防臭罩時也一樣
	輸送機	輸送機防臭罩之容量×7 次/小時※	
	貯斗	有效容量×3.5 次/小時※	
室內	作業空間	5～10 次/小時	渠道沒有加蓋情況

本表整理自「下水道施設計畫・設計指針及解說」2009日本下水道協會

※註：排氣需經脫臭處理

5. 沉砂池抽砂抽水機、洗砂機、砂礫脫水分離機及砂礫貯斗等設備，應有保養檢查用空間，未加蓋之水池渠道開孔及挑高之操作平台，須設置扶手或欄杆。砂礫脫水分離機上方應保留空間，供吊升維修該機之螺桿及耐磨片等。

3.7.4 沉砂處理

沉砂的處理及處置，於考量下列後決定之：
1. 沉砂池應視情況或需求，設置水力離心分離器，應設置洗砂機。
2. 沉砂的搬運及暫存，應有防止飛散、掉落及發生臭氣的措施。
3. 沉砂之處理設施，應考量防止臭氣。
4. 砂礫最普遍的處置方法，係運送至掩埋場。

解說：

1. 除砂設施設置目的之一，係減少砂礫上有機物的附著，然而不同程度的有機物，總會伴隨砂礫而被去除，由於污水中油脂及清潔劑的影響，去除細砂所需的長停留時間，會導致提高沉砂中的有機物含量，所以設計每一個除砂系統，必須在去除細砂需求度，及更有效洗砂設備的較高費用之間做衡量。

砂礫掉入沉砂池的貯砂斗後，以抽砂泵將沉砂抽送至水力離心分離器(cyclone separator)，或稱砂礫濃縮機(grit concentrator)，使砂礫濃縮。通常用於沉砂池，以將砂礫污泥中的砂礫與有機物分開的水力離心分離器，有時亦會用於從初沉污泥中分離砂礫。當沒有沉砂池時，水力離心分離器有時直接用於從污水中分離砂礫及懸浮固體。水力離心分離器流出之砂礫再流到洗砂機(grit classifier)，由脫水分離機之螺旋葉片將砂礫自水中分離出，最後再將砂礫予以運棄。另有以氣提泵來抽砂者，因出水水頭不足以採用水力離心分離器，故沉砂出水係直接流入洗砂機。為避免沉砂池積砂過多致抽砂泵無法操作，故於抽砂泵啟動前，於貯砂斗內注入高壓空氣攪拌，使砂礫呈懸浮狀態而易於抽送。抽砂泵的吸水管，通常會連接一條高壓回收水管，以便利用高壓水來沖洗常會阻塞的吸水管線。水力分離器、洗砂機及抽砂泵之性能特性需互相配合，方能達到去除砂礫之功能，以下將分別介紹這些設備。

(1)水力離心分離器/洗砂機

大部分的沉砂池於沉砂過程中，污水中較重的有機物會與砂礫同時沉降，為避免含有機物的砂礫在貯砂斗中產生惡臭，沉砂應先經洗砂的程序，將黏結在一起的有機物與砂礫，利用水流的沖刷力量予以強制分離。旋流洗砂系統，常用於將沉砂中的砂礫與有機物分開，水力離心分離器產生的離心力作用，使得較重的砂礫及懸浮固體集中在水力離心分離器的側面及底部，而浮渣及較輕的固體，則通過水力離心分離器的頂部而從中央部位分離。水力離心分離器最好操作在定流量及定水壓下，如果偏離設計流量，固體物會隨砂礫流出。水力離心分離器，通常可將砂礫中有機物含量減少至< 5%。水力離心分離器之操作示意圖，如圖 3.99。

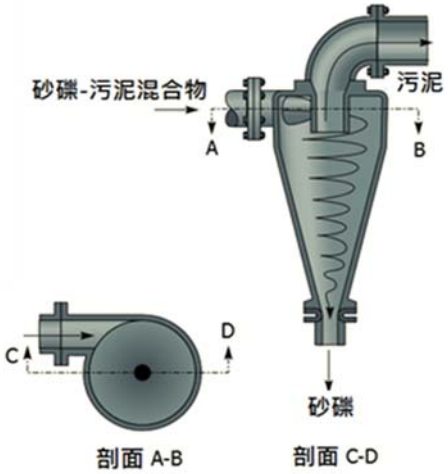


圖 3.99 水力離心分離器操作示意圖

今日所使用的水力離心分離器共有兩種，一種是傳統的水力離心分離器，係在水力離心分離器中產生高速流，另一種是調整過的引發渦流技術，係使切線方向的進流在水力離心分離器中，產生一種次旋流的渦流(subcyclonic vortex)。砂礫的去除機制，是圓柱體中的離心力會將比重高於水的砂礫推向內壁，而重力會使砂礫跌落到底部；較輕的有機物隨著出流水自頂部流出。與砂礫夾帶在一起的有機物，會在底部藉由沖刷而部分去除。水力離心分離器以離心方法濃縮砂礫，需要砂礫泥漿在壓力 34 至 140 kPa 下穩定進流，固定進流率依照水力離心分離器的尺寸，範圍通常為 800 至 1,900 L/m。間歇性操作的循環時間，可從 5 分鐘變成 8 小時，在砂礫尖峰負荷時，可能需要連續性操作。水力離心分離器的尺寸，係由輸入的砂礫泥漿進流量及其固體物濃度來決定，在砂礫泥漿固體物濃度小於 1%時，旋流操作的最好，水力離心分離器的離心作用，能將固體物含量提高到平均約 5 至 15%。輸入進流量中，大約有 90 至 95%會通過水力離心分離器頂部的渦流開孔而排出去，此股水流體積的減少能節省輸送及貯存量，並減少所需的洗砂機的尺寸。

洗砂機無論是傾斜螺旋式或刮板式，皆能藉由分離易腐敗的有機物而

達到洗砂之目的，洗砂機通常可將砂礫中有機物含量減少至<25%。洗砂機操作示意請參考圖 3.100。脫水分離機，依照所要去除的砂礫的沉降速度、輸入流量及耙砂能力來決定尺寸。擇定好所要去除的砂礫大小及輸入流量，設計者選出一個最小水面積及溢流堰長度，再檢核脫水分離機坡度，以確保能去除所希望的砂礫的最小尺寸，較平緩的坡度能去除較細的砂礫。廠商所提供脫水分離機的安裝角度，為自水平起算 15 至 30 度。除了坡度外，螺旋輸送機適當的螺旋葉片轉速(r/min)及螺距(pitch)(通常為半螺距或雙螺距)有助於去除砂礫，而分段螺旋葉片(sectional flight)構造可能比螺線形螺旋葉片(helicoid flights)構造的表現要好。螺旋葉片邊緣應予硬化，以便能抵抗砂礫的磨損作用。螺旋葉片或刮板的尺寸，應足以輸送預期的尖峰砂礫負荷量。

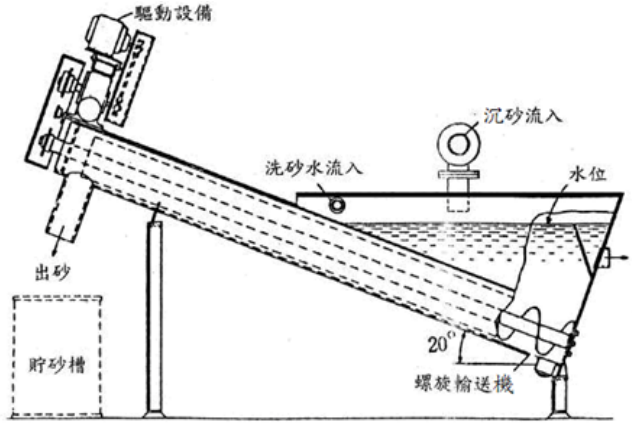


圖 3.100 洗砂機操作示意圖

從沉砂池抽取砂礫加壓進入水力離心分離器的抽砂泵，其額定揚程通常須符合水力離心分離器的高水頭需求、靜揚程及管線水頭損失，由於通過水力離心分離器的水頭，係為流量及尺寸的函數，所以計算水力離心分離器的水頭時，需參照廠商的水壓及流量相關資料。抽砂泵通常使用渦流式泵浦(vortex pump)，又稱為凹陷葉輪式泵浦(recessed impeller pump)。抽砂泵使用擺動式逆止閥時，常會受到磨損，所以建議改用橡膠製擠壓式逆止閥(rubber pinch-type check valves)。將水力離心分離器/洗砂機設置在砂礫子車或貯砂斗的上方，靠近砂礫排入口，可減少砂礫運送的需求。圖 3.101 為抽砂泵、水力離心分離器及洗砂機合併操作示意圖。

由於傳統水力離心分離器之高水頭需求及需要維護，將沉砂段放大的洗砂機最近有增加的趨勢，如圖 3.102。在傾斜螺旋輸送段設有噴水頭以便用於洗砂，這種單元比水力離心分離器/洗砂機，需要更大的空間需求。

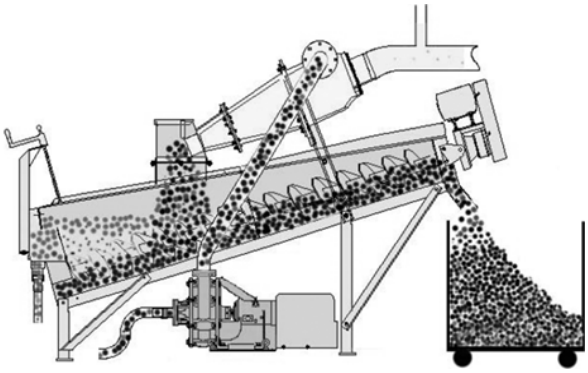


圖 3.101 抽砂泵、水力離心分離器及洗砂機合併操作示意圖

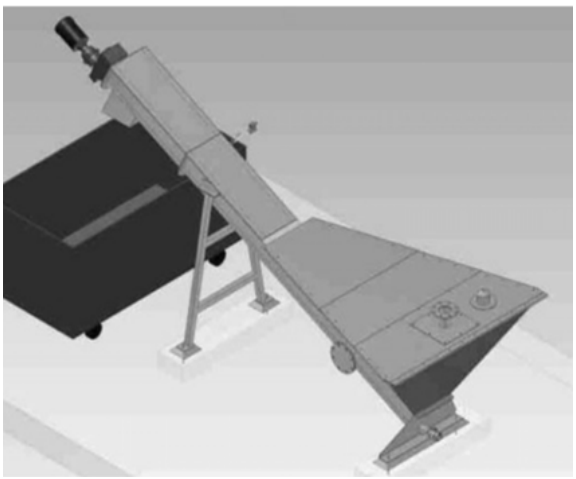


圖 3.102 沉砂段放大的洗砂機

(2)圓錐形洗砂機

圓錐形洗砂機(Conical grit washer)為使用不同系統，從砂礫中洗去有機物之圓錐狀不銹鋼容器，容器中的攪拌機緩慢的攪拌沉砂，而設置於容器底部，以定時器及電磁閥控制的清洗噴頭強力的清洗砂礫，較輕的有機物連續從上端的溢流管溢流出去，而較重的有機物從中層溢流管以間斷方法排除。這種洗砂機能產生低有機物含量的砂礫。包括清洗水的表面流速應該小於 25 m/h，而堰溢流率應小於 15 m^2/h。圖 3.103 為圓錐形洗砂機及洗砂機構造示意圖。

2. 經洗砂後的砂掉落入包裝袋定期封袋密閉搬出掩埋。惟包裝袋周邊應有排水系統，可供定期清理。
3. 為防洗砂機在洗砂過程散發臭氣，該系統應為封閉式並設置於室內，經抽氣處理者。
4. 砂礫最普遍的處置方法係運送至掩埋場，在所有情況下，砂礫處置應符合相關的環保法規。
5. 洗砂機處理能力，應能將粒料直徑在 100 號標準篩以上(含)的砂粒，至少分離出 95%(重量比)以上，其粒料比重等於或大於 2.65，且有機物 VS 含量<25%。

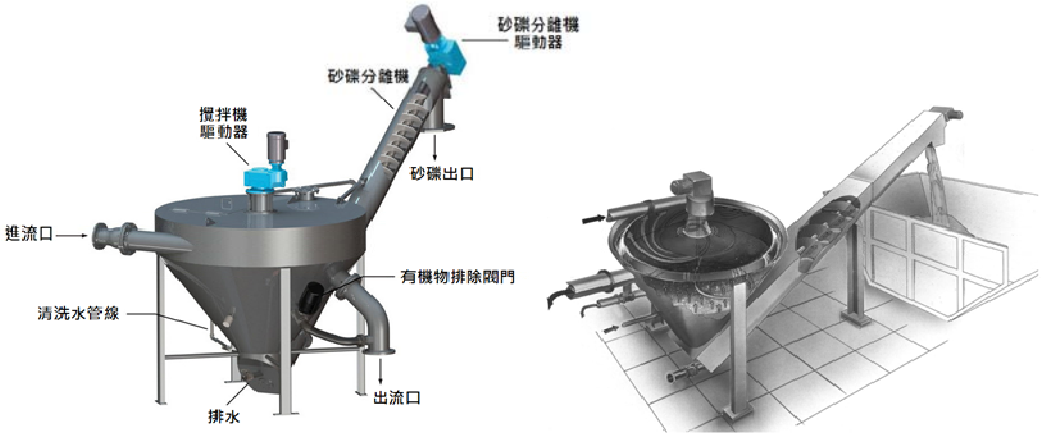


圖 3.103 圓錐形洗砂機及洗砂機構造示意圖

第四章 污水沉澱處理及初級沉澱池設計

4.1 概說

污水處理廠的進流水經前處理，包括粗、細攔污、沉砂等處理後，繼而進行初級處理，而初級處理主要為沉澱處理。

污水之沉澱處理，乃使污水中可沉澱性懸浮固體物，能自污水中沉澱分離之，而沉澱分離物中，包括部分有機物質(以 BOD 表示)，同時使上浮於水面上的懸浮物及油脂等浮渣，也可自污水中分離之，以提高後續生物處理之效能為目的。

在污水處理流程上，污水流入沉澱池前，必先經篩除及沉砂池處理，故沉澱對象為微細的懸浮物，尤其有機性物質較多，沉澱之污泥很容易腐敗，必須迅速自沉澱池排出處理。

設於生物處理設施前的沉澱池稱為初級沉澱池，設於生物處理設施後的沉澱池稱二級沉澱池或最終沉澱池，如圖 4.1。

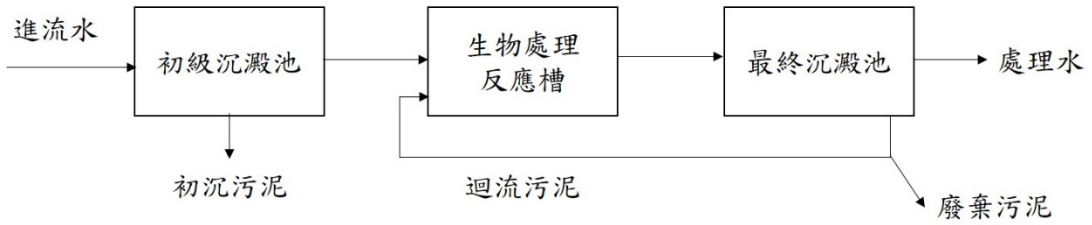


圖 4.1 污水處理之沉澱處理流程示意圖

4.2 污水沉澱處理

污水沉澱處理，包括初級沉澱池及最終沉澱池兩單元。

沉澱池為用以去除可沉澱性懸浮物質(SS)的設施，可分為初級沉澱池及最終沉澱池。初級沉澱池是用以去除進流水中，在前處理沉砂池未能去除的微細砂粒及懸浮物質(SS)，藉緩慢的流速達到沉澱分離，以降低有機負荷，使其後段之生物處理，可達到良好的處理為目的之處理設施。而最終沉澱池，則為用以使自生物處理反應槽流入之混合液，使活性污泥或(接觸生物處理水)沉澱分離，以獲得清澈的處理水，將一部分沉澱污泥迴流，另部分剩餘污泥則予排出為目的之處理設施。

沉澱池所沉澱分離之污泥，因容易腐敗，因之必須設置污泥刮泥機，以將污泥刮集排除之設備。另會因污泥上浮而成為浮渣，因之必須設置浮渣去除設備。而從沉澱池所分離之污泥，經由濃縮，流入量若減少，SS 的去除率則有提高趨勢，因之以能達到濃縮所需時間。而在最終沉澱池，則有因污泥上浮以致處理水水質惡化，因之需有溢流堰及浮渣收集裝置的配置。

若處理廠用地不足，或於改建時必須擴大用地，而無法擴大時，則可考量

設置多層式的沉澱池解決之。

上述狀況是以標準活性污泥法處理之各種狀況，但若採用其他生物處理法，則需另加考慮。尤其如循環式硝化脫硝法(MLE)等之氮、磷生物處理，則因需有有機物碳源，則有時需有考慮繞流初級沉澱池進水或初級沉澱池，不操作直接引入生物反應池的做法。

最終沉澱池之處理及設計，將於第五章敘述。

4.3 初級沉澱池處理設計

初級處理乃物理處理，用以去除污水中較大的固體物，並藉降低流速，以使污水中的砂土及可沉澱性的有機物得以分離。污水經初級處理，約可去除 25％～40％的 BOD 及 40％～60％的 SS。另浮渣去除率約 90～95％。去除後的污泥，則與後續生物處理之廢棄污泥一併處理，經初級處理後的污水再進行二級處理。

初級處理的處理效率，受污水在初級沉澱池的沉澱停留時間及水表面積負荷之影響。

4.3.1 沉澱設計時間及水表面積負荷

沉澱池設計沉澱時間及水表面積負荷考量如下：
1. 初級沉澱池設計以最大日污水量設計，沉澱停留時間以 1.2～2 小時設計。
2. 初級沉澱池設計水表面積負荷，以最大日污水量活性污泥法 35～70 $m^3/m^2 \cdot d$、生物膜法 25～50 $m^3/m^2 \cdot d$ 為範圍。

解說：

1. 一般沉澱池沉澱時間愈長，懸浮物的去除效果愈佳，但若超過某一定時間，其去除效果並不顯著增加，反而會使沉澱池處於厭氧狀態，導致沉澱水質惡化。沉澱時間與 BOD 及 SS 去除率(％)之關係，如圖 4.2。因此都市污水的初級沉澱時間，以活性污泥法 1.5(1.2～2)小時，生物膜法則為 1.5～2.0 小時。該一標準值，係沉澱池內平均流速在 30 cm/min 以下，以最大日污水量設計者。
2. 初級沉澱池以去除 SS 為主，同時亦去除 SS 中之 BOD，去除 SS 時，沉澱去除率，係與水表面積及顆粒的沉降速度成正比，而與進流水量成反比，所以進流水量除以水表面積，即為重要設計因子的水表面積負荷。沉澱池的容量，係先決定表面積負荷，再考量有效水深及沉澱時間後訂定之。SS 的去除率，依照污水水質、沉降性物質的比率及 SS 的濃度等而不同，去除率約 40～60％，同時 BOD 約 25～40％。

   依日本下水道協會「下水道設施計畫•設計指針と解說(2019 年版)」，不同處理方法之初級沉澱池設計有效水深、水表面積負荷及溢流堰負荷，如表 4.1。

4.3.2 初級沉澱池之形狀及池數

初級沉澱池之形狀及池數考量如下：
1. 池之形狀可為長方形、正方形或圓形，依其型式為水平流或放射流。

2. 正方形或圓形池直徑 10～40 m。
3. 長方形沉澱池之長寬比為 3：1 以上，其寬度依污泥刮泥機之長度而定，標準池寬以 3～4 m，而不超過 5 m。一般採用 5：1 以上。
4. 池數以 2 池以上為原則。

解說：

1. 初級沉澱池之形狀，依照處理廠之規模、廠地面積及全廠各單元設施的配置等，可為長方形、正方形或圓形，其水流之流向分為水平流或放射流。水平流用於長方形池，放射流用於圓形池及正方形池。
2. 正方形或圓形池直徑 10～40 m。邊長或直徑與水深比若不恰當，水池過深，池內的流況會不平均，亦會導致沉澱效果不良。依照實驗結果，正方形或圓形沉澱池之邊長或直徑與水深比 6：1～12：1 時，沉澱效果最佳。正方形沉澱池如圖 4.3，圓形沉澱池如圖 4.4。
3. 長方形沉澱池之長寬比範圍可為 1.5：1 至 15：1，若長寬比 3：1 以上，可防止短流(U.S.EPA,1974)，一般係採用 5：1 以上。長方形池寬度，應配合其使用之污泥刮泥機在市面上常用之長度而定。一般而言，長寬及深需有一定比率。長方形沉澱池如圖 4.5。
4. 為便利清掃、修理、改建等，沉澱池池數以 2 池以上為原則，並考量清掃及修繕需要，應有排空之考慮。

表 4.1 不同處理方法之初級沉澱池有效水深、水表面積負荷及溢流堰負荷

處理方法	有效水深(m)	水表面積負荷 ($m^3/m^2 \cdot d$)	溢流堰負荷 ($m^3/m \cdot d$)
活性污泥法	2.5～4.0	35～70	250 以下
生物膜法	2.5～4.0	35～50	100 以下

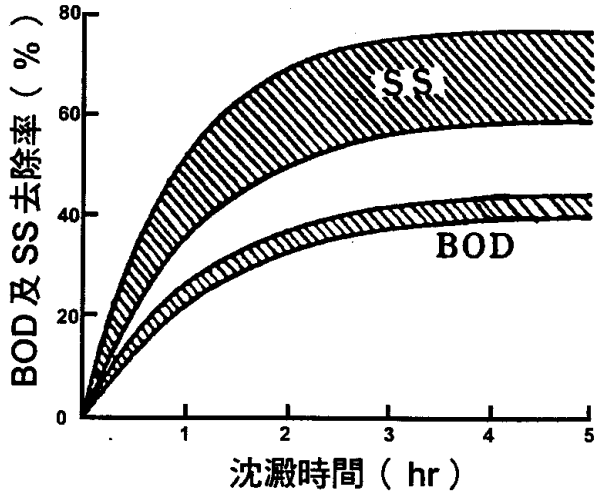


圖 4.2 初級沉澱池沉澱時間與 BOD 及 SS 去除率關係

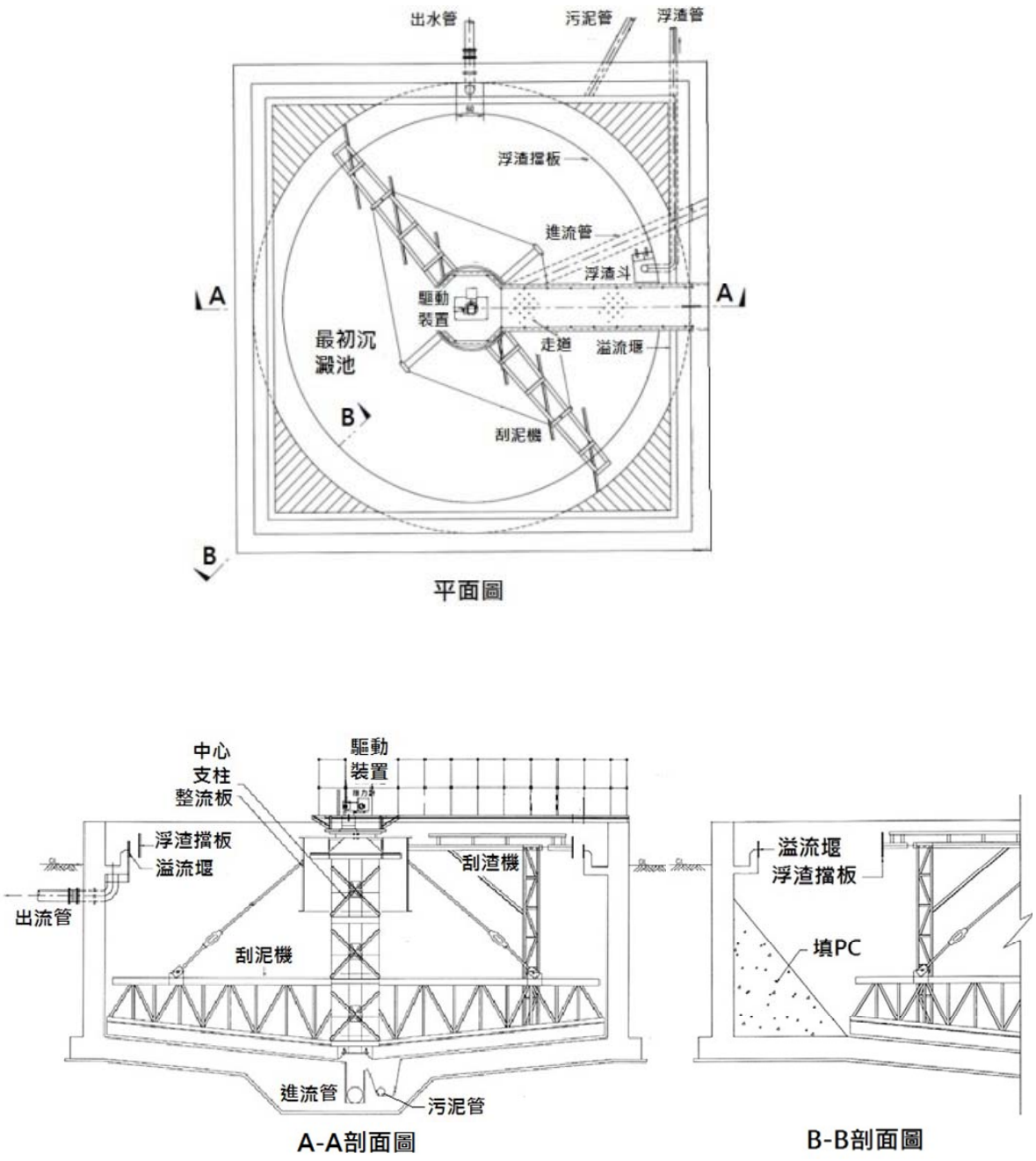
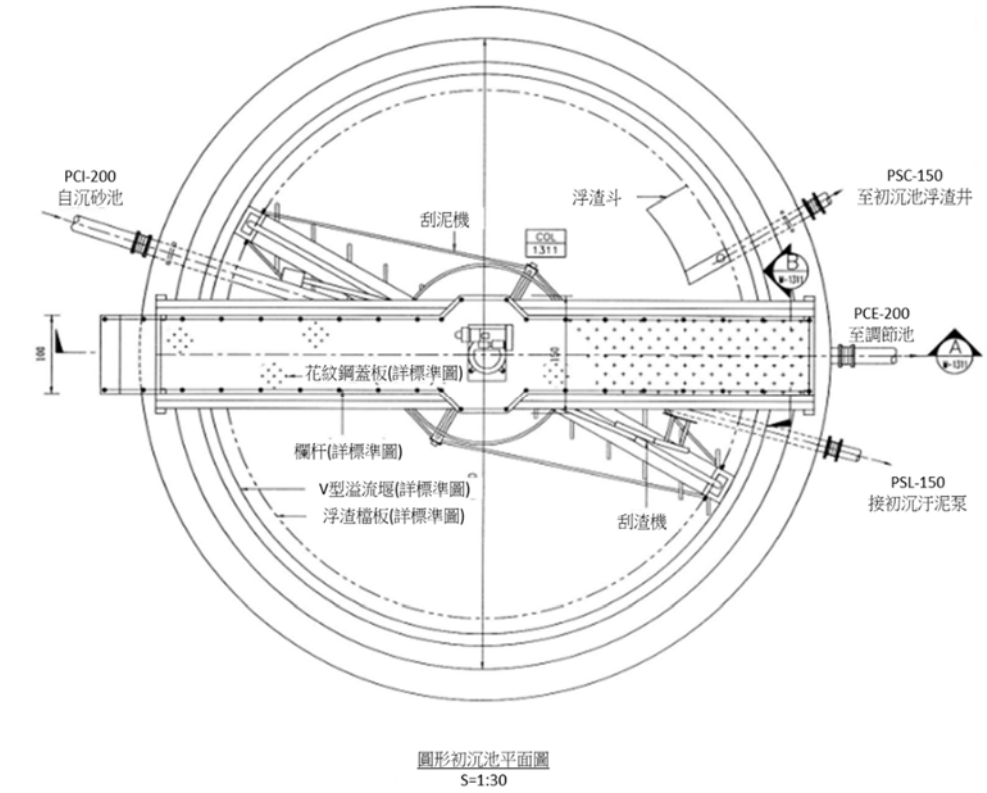

出水管
污泥管
浮渣管
浮渣擋板
進流管
浮渣斗
A
A
驅動
裝置
最初沉
澱池
走道
溢流堰
B
刮泥機
B
平面圖
中心
支柱
整流板
驅動
裝置
浮渣擋板
溢流堰
刮渣機
出流管
刮泥機
進流管
污泥管
A-A剖面圖
溢流堰
浮渣擋板
填PC
B-B剖面圖

圖 4.3 正方形沉澱池(例)



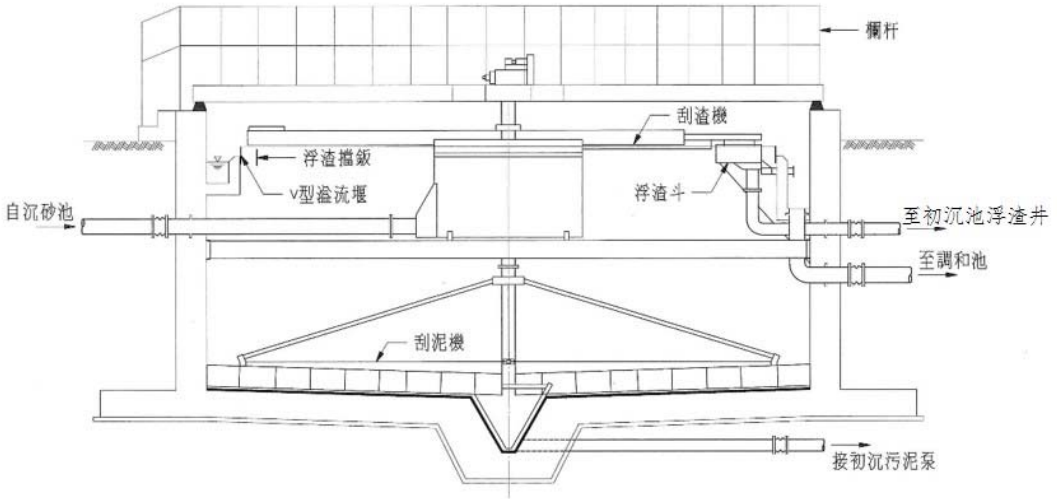
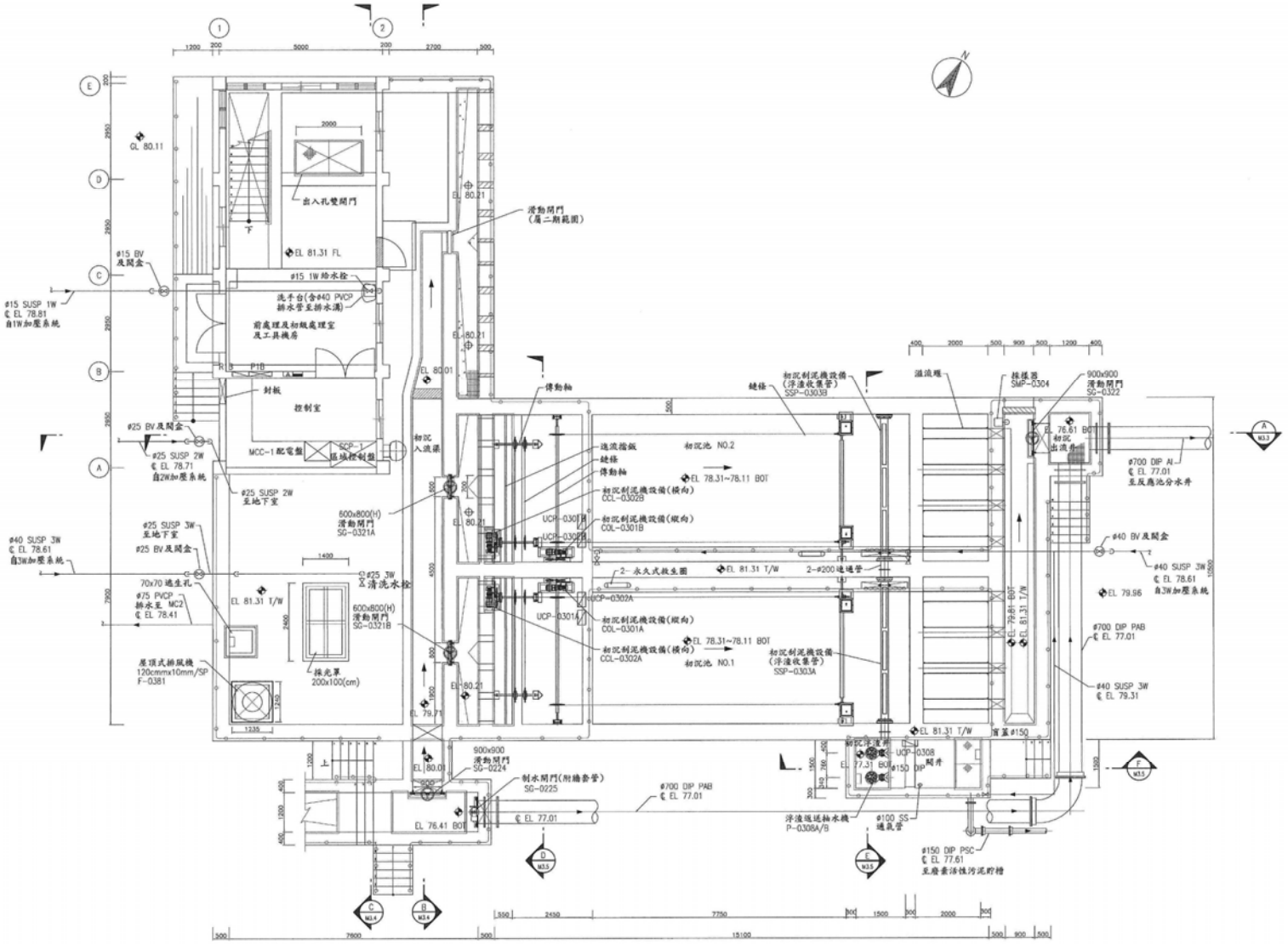
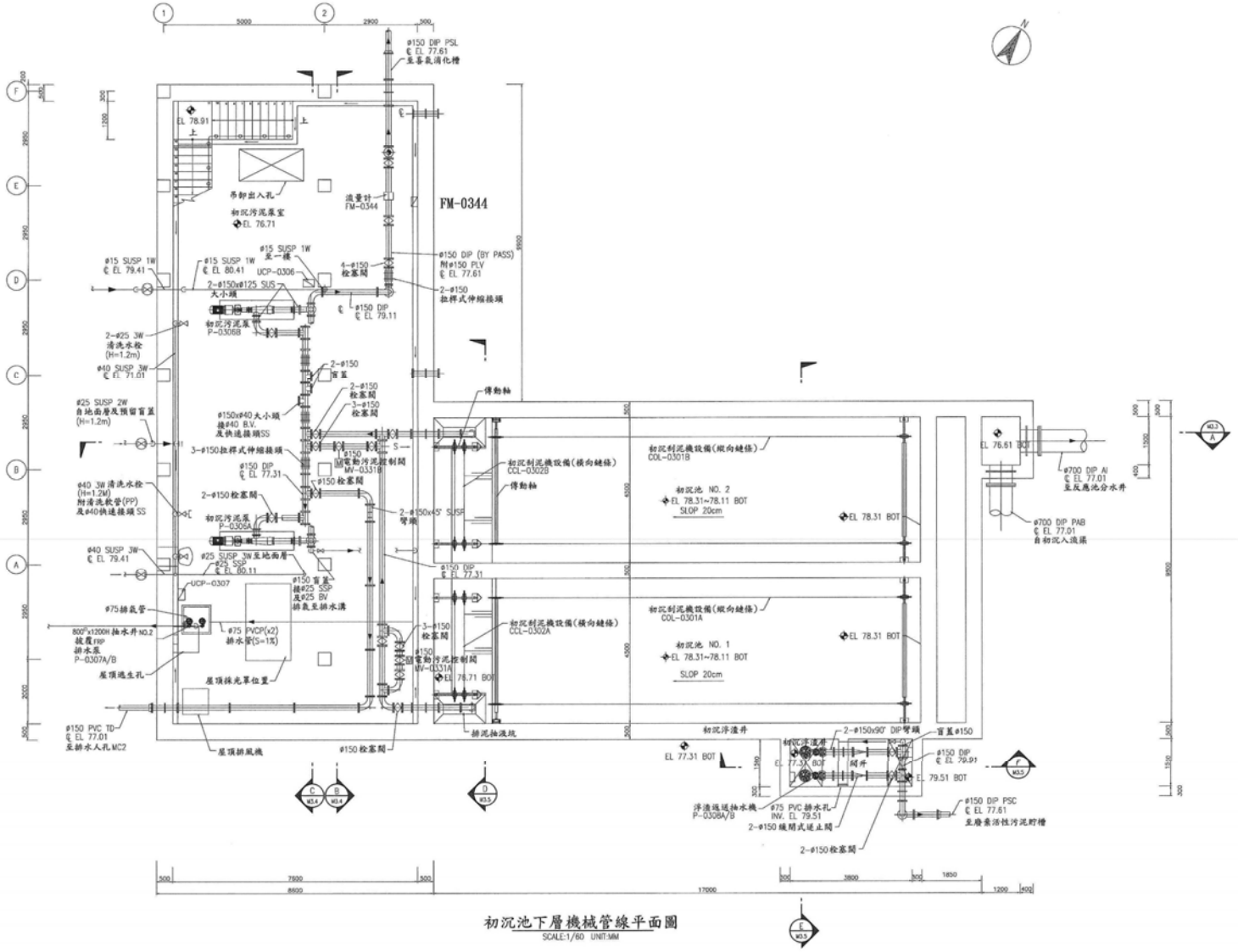


圖 4.4 圓形初級沉澱池(例)



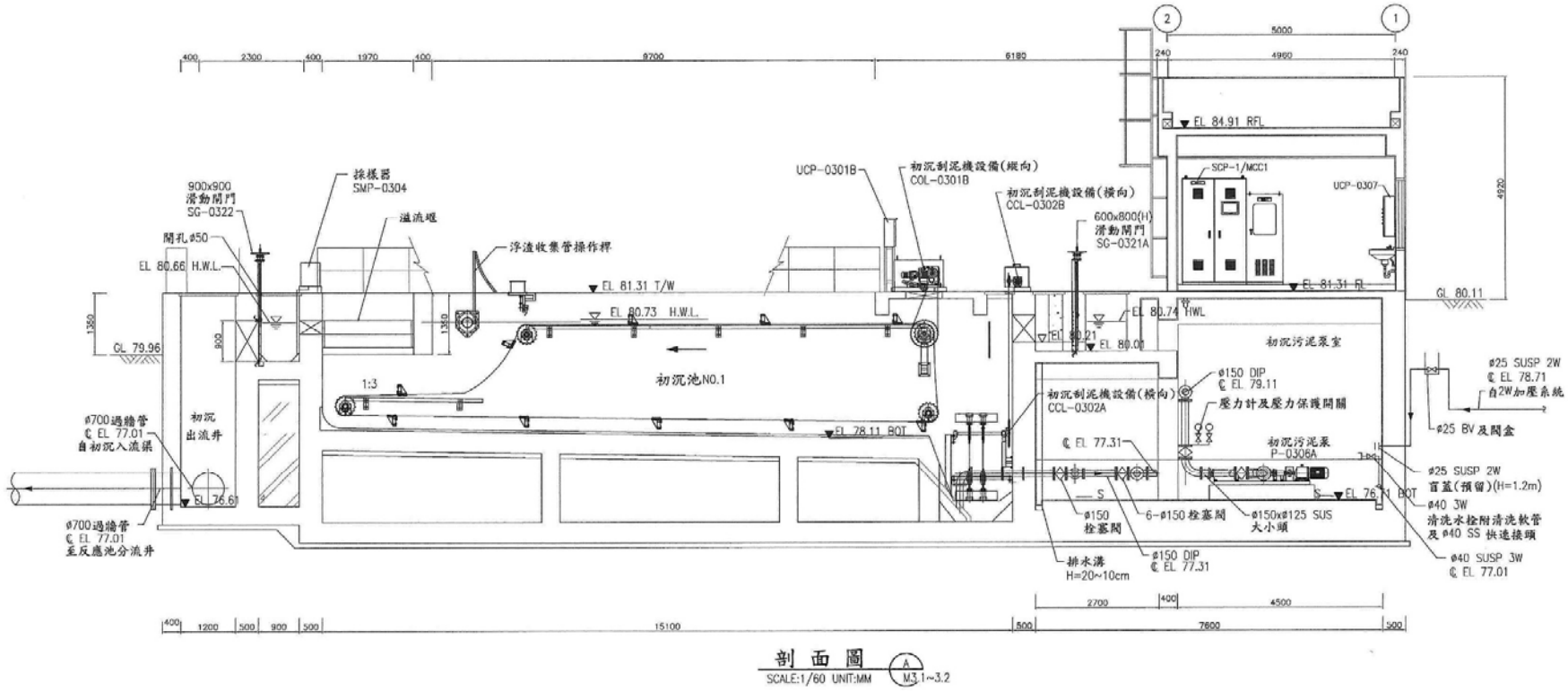
a.上層平面圖

圖 4.5 長方形沉澱池(1/3)(桃園市大溪水資源回收中心例)



b.中層平面圖

圖 4.5 長方形沉澱池(2/3)(桃園市大溪水資源回收中心例)



c.底層平面圖

圖 4.5 長方形沉澱池(3/3)(桃園市大溪水資源回收中心例)

4.3.3 初級沉澱池之構造

初級沉澱池之構造考量如下：
1. 池槽之構造應具堅固耐久性，且具水密性之鋼筋混凝土，可抵抗浮力之安全構造。
2. 應設置污泥刮泥機。
3. 設置污泥刮泥機之情況，池底坡度，圓形池及正方形池為 5/100～10/100，長方形池為 1/100～2/100。污泥斗之坡度為 60 度以上。
4. 考量污水臭氣對環境之影響，應檢討是否設置覆蓋物。
5. 應設置繞流裝置。
6. 池槽設置覆蓋時，應考量觀察及堰清理之需求。

解說：

1. 池槽構造，敘述於第 2.5 節。
2. 初級沉澱池應設置污泥刮泥機，長方形池一般皆須設置縱向刮泥機，將污泥刮至沉澱池進流端之污泥斗。初級沉澱池因污泥較重及高固體物負荷，污泥斗設在進流端，可將污泥早些自沉澱池中移除。沉澱池寬度較小時(如：＜6 m)，沉澱池之一側直接設置兩個污泥斗，兩個污泥斗共用一組抽泥抽水機，或每個污泥斗配置一組抽泥抽水機，兩組污泥抽水機互為備用。沉澱池寬度較大(如：≧6 m)時，沉澱池之一側設置一條污泥坑，污泥坑之一側設置一個污泥斗，使用橫向刮泥機，將污泥坑中之污泥刮送至污泥斗內，每個污泥斗配置一組初沉污泥抽水機，另設一組初沉污泥抽水機備用，如圖 4.6。而其中沉澱池寬度，則以所需表面積與前述長寬比建議範圍內決定之。
3. 設置污泥刮泥機之情況，池底坡度，圓形池及正方形池為 5/100～10/100，長方形池為 1/100～2/100，以利排泥及排空水池後清理水池等配合排泥方式設計。污泥斗之坡度須與水平呈 60 度以上。
4. 考量污水臭氣對環境之影響，應檢討是否須在初級沉澱池設置全面或局部的加蓋，後者係設在出水溢流堰處，由於污水跌入出水渠道而容易釋出臭氣，加蓋時應在浮渣管、出水堰、取樣點及其他適當位置裝設活動蓋板，以便操作人員能打開蓋板加以檢視，如圖 4.7～4.9。在加蓋的情形下，污水中之硫化氫，容易溶解在水池及水渠內面的混凝土表面的水珠中，經細菌氧化而形成腐蝕性甚強的硫酸，故混凝土及金屬表面須做防蝕處理，此外，仍須加裝換氣及脫臭設備，才會達到防臭效果。由於此舉會增加建設費及維修管理費，故對於是否加蓋有必要作全面的檢討。換氣方法應採表 3.14 所示之第一種機械換氣方法，換氣量參考表 4.2，局部或全部覆蓋之初級沉澱池，加蓋內之排氣一般須考量脫臭處理。有關臭氣控制(包括硫化氫的控制)將於後續解說。
5. 考量污水處理廠通水初期污水中有機物量較少，污水經前處理及初級處理，即可符合放流水之 BOD 及 SS 排放標準，可在初級沉澱池下游適當地方，設置繞流管渠連接至(1)加氯消毒池單元，以便初級沉澱池出水可直接加氯消毒後放流；或(2)砂濾池單元，以便初級沉澱池出水可經砂濾及後續紫外線或加氯消毒後放流，皆可得節約能源之效。該繞流管渠在生物處理單元發生異常狀況無法有效處理污水時，亦可啟用，待問題解決後，方將連絡管線中污水

流向回復原狀。另外通水初期亦可考量在前處理單元下游適當地方(亦即初級沉澱池上游進水端)設置繞流管渠連接至生物反應槽，以便生物處理單元有足夠之基質維持微生物之生長。

6. 各池槽設施之覆蓋，應考量操作管理上，對所有驅動系統、攔污柵、刮泥系統鬆緊狀態、浮渣排除、和溢流系統之觀察和清理，以及各池分水均勻狀態之觀察等需求加以適當配置，並以透明或為可移動容易開啟者。

表 4.2 初級沉澱池之換氣量

外圍型式	場所	換氣量	備註
室內	作業空間	3～5 回/小時	初級沉澱池設有加蓋情況
	初級沉澱池覆蓋物內	水面積×2 $m^3/(m^2$・小時)※	初級沉澱池設有加蓋情況
室外	初級沉澱池覆蓋物內	水面積×2 $m^3/(m^2$・小時)※	初級沉澱池設有加蓋情況

※註：排氣須經脫臭處理，本表整理自「下水道施設計畫・設計指針及解說」2009 日本下水道協會

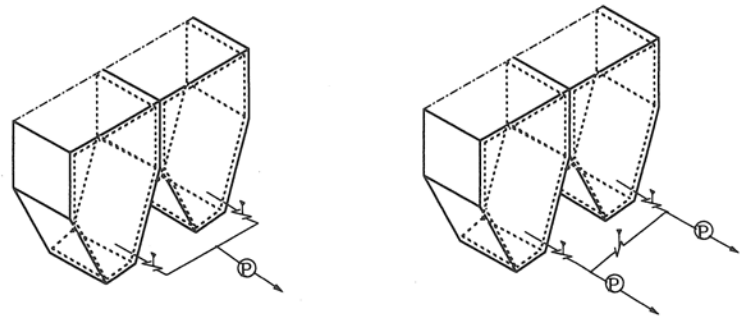


圖 4.6 污泥斗與抽泥抽水機配置圖

4.3.4 初級沉澱池有效水深

初級沉澱池有效水深考量如下：

初級沉澱池有效水深以 2.5～4.0 m 為標準。若為改建，則應依據過去累積的操作資訊，設定適當的水深。

解說：

一般來說，沉澱效果受到池表面積所左右，而與深度關係不大。實際上，水池較淺時會受到水流、刮泥機等影響，使污泥上浮，溫度、風大時，也會降低沉澱效果，故有效水深以 2.5～4.0 m 為標準。有效水深係指水池最淺部分至池底的水深，長方形沉澱池通常在出水端牆量測，圓形沉澱池則指池周邊水深。

長方形池的情況，其表面積負荷、有效水深及沉澱時間與水池容量間，可成立下述公式(4-1)～(4-3)。



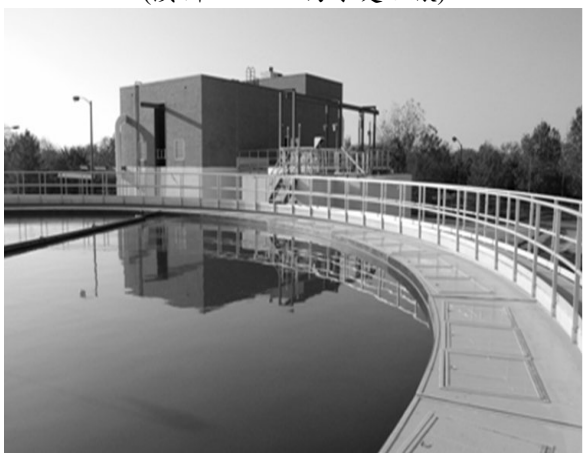
圖 4.7 初級沉澱池的防臭蓋
(基隆和平島污水處理廠)



圖 4.8 圓形初級沉澱池加防臭蓋
(澳洲 Subiaco 污水處理廠)



(a)



(b)

圖 4.9 (a)澳洲 Pimpama 污水處理廠 45 m 直徑圓形初級沉澱池出水渠道加蓋，
及(b)美國德州 Wichita Falls 鎮之 River Road 污水處理廠

$$A = \frac{Q}{I}$$

$$V = A \cdot h = Q \cdot \frac{t}{24} \quad \text{.....(4-1)}$$

$$t = \frac{h}{I} \times 24 \quad \text{.....(4-2)}$$

$$L = v \cdot t \quad \text{.....(4-3)}$$

式中：

I：水表面積負荷($m^3/m^2 \cdot d$) ($= \frac{Q}{A}$)

Q：進流水量(m^3/ d)

A：池表面積(m^2)

t：沉澱時間(小時)

h：池之有效水深(m)

V：池之容量(m^3)

L：池之有效長度(m)

v：平均流速(m/時)

以平均流速 v 為 0.3 m/min(18 m/時)以下求出 L。而沉澱池總寬度則以 A/L 求出，再對應適當數量的刮泥機來分配各池寬。

沉澱時間較長時，SS 的去除會更好，但超過一定時間後，沉澱效果並不會隨之增加，反而會有因腐敗而使水質惡化的情形，所以，沉澱時間應考量沉澱之目的及污水水質而做決定，一般為 1.5 小時的程度。

4.3.5 初級沉澱池出水高度

初級沉澱池出水高度考量如下： 初級沉澱池出水高度以 50 cm 為標準。

解說：

初級沉澱池出水高度以 50cm 為標準，一般採用 50～70 cm，此係考量沉澱池下游端出現水理問題，可能使出流渠道淹水，但不至於溢出池牆外，此出水高度足夠迴水至沉澱池前的分水井。

水池的出水高度，如比必要的還要高，除會增加建設費外，也會造成維護管理上的不便，同樣標準在其他構造物上也不經濟。

但出水高度過小，水位的變化以及風浪，會造成溢流。

另外，有結構樑情況，需要考量浮渣上浮高度等，避免被擋住，影響排渣。如圖 4.10 所示。

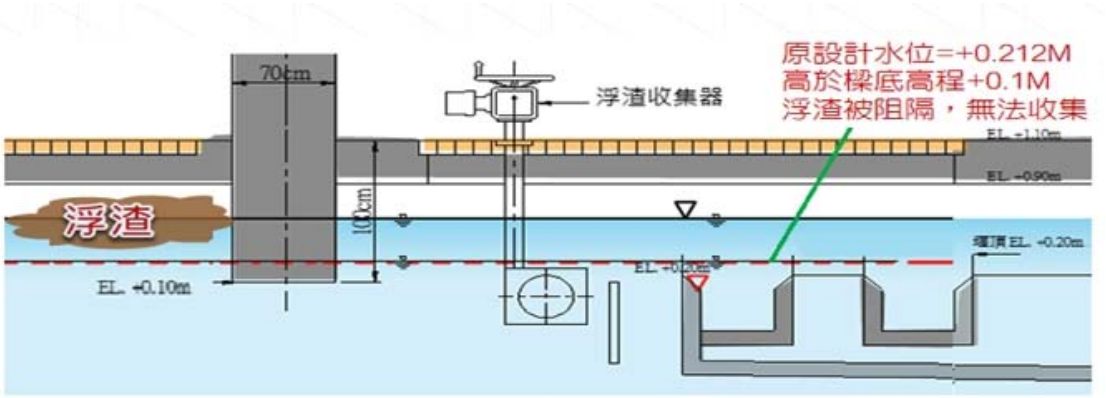


圖 4.10 浮渣上浮考量示意圖

4.3.6 進流口及整流設備

初級沉澱池進流口及整流設備考量分為： 1. 長方形初級沉澱池的進流渠道、進流口及整流設備之設計。 2. 圓形初級沉澱池的進流口及整流設備之設計。

解說：

1. 長方形初級沉澱池的進流渠道、進流口及整流設備之設計考量事項如下：

(1)長方形池進流渠道設計

① 多池之沉澱池，應考量進流污水之水質及水量能均勻分配，因之應有分水設施。各種分水方法敘述於第 9.6 節。

② 欲確保各池流量分配均勻，進流渠道之水頭損失，應比進流入口水頭損

失較小。在尖峰流量時，進流閘門應關小或沉沒孔口尺寸，應設計使流經其間之水頭損失為流經進流渠道總水頭損失之 10 倍。

③進流渠道加寬，可提高通水面積，使流經渠道的水頭損失減小，以此方法確保各沉澱池有相同水位。

④在 50%設計流量時，渠內流速應設計為 0.3 m/s(0.2 至 0.4 m/s)。為防止渠內固體物沉澱渠道，可設置曝氣系統。

⑤進流渠道的下游端，通常會堆積漂浮物，需要偶爾打開下開式閘門，使漂浮物流到沉澱池內，以便隨後能去除。

⑥渠道如有曝氣，破布等漂浮物會纏在一起，要用絞盤或吊車撈出這些物體。

⑦沒有曝氣的渠道，可人工清理之考量。

⑧渠道下游端可設置部分沉沒的傾斜攔污柵，以便在撈出漂浮物前能，有過篩的功能。

(2)進流口設計

①進流口設計原則

初級沉澱池進流口的設計，應為消散進流速度，使水流能在垂直及水平方向流動，均勻分配水流，以便充分利用沉澱池的整個斷面積，降低噴流直接流向沉澱池末端的出水區，以避免短流，且進流水應能避免直接跌落，造成不穩定影響沉澱。

②進流口數量尺寸及形狀

進流口應沿著池寬設計成多孔口來分配水量，進流口間隔距離配合每池進流口數量進行設計，如：池寬≦6m，設置 1～2 個；池寬>6m 則依需求設置。

應避免以污水抽水機直接抽入沉澱池，或以任何形式的跌水方法，流入沉澱池。

③長方形池進流口的型式分為：

(A) 自由水面式開孔

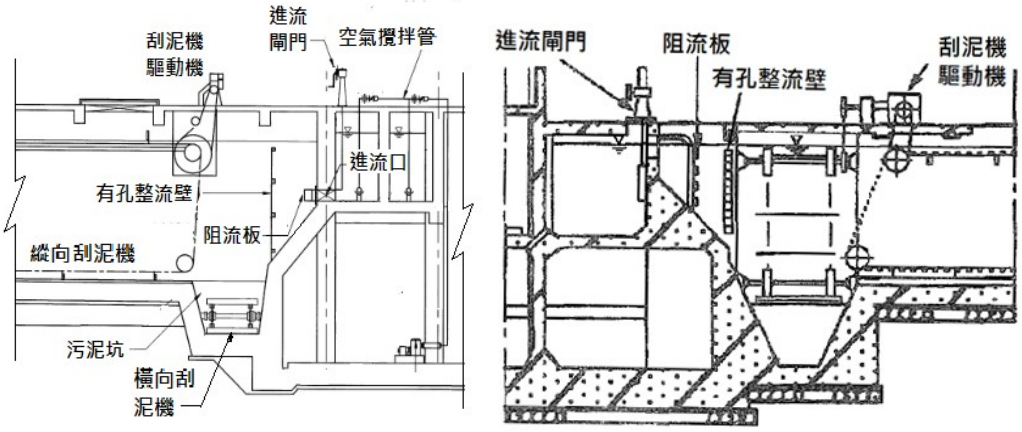
開孔位在水面附近，進流水以自由水面方法，通過開孔進入沉澱池。開孔設有閘門(開孔處水深較沉沒孔口為小，通過同樣流量時，閘門尺寸較沉沒孔口為大)，當沉澱池要維修時可關閉。如欲因應流量變化而調整閘門，則開孔會變成沉沒孔口。本型式的優點是浮渣可自由通過開孔，缺點是進流渠道底層的固體物無法排出，積久會發臭。解決方法為渠道須以機械或空氣攪拌(採用空氣攪拌時會增加水中溶氧，對初級沉澱池下游端緊接厭氧池或缺氧池之去氮除磷生物反應槽，可能會有不利之影響)。如將開孔底部與渠底劃齊，雖可解決固體物排出之問題，但在水力計算上，為求各池配水均勻，開孔面積原本就很小，在開孔面積同樣的情況，因為開孔高度變大，使開孔寬度可能變得很狹窄而不切實際。

(B) 沉沒孔口(如圖 4.11 a)

開孔為沉沒式之孔口，進流水以孔口流方法進入沉澱池中，開孔設有閘門(開孔處水深較自由水面式孔口為大，通過同樣流量時，閘門尺寸較自由水面式孔口為小)，當沉澱池要維修時可關閉。由於孔口尺寸固定，尖峰流量時配水量會受限，如採閘門調整流量，則因閘門沒有與孔口相同的進流特性，可能會改變沉澱池的操作，而低水量時可能配水無法控制。本型式的優點是進流渠道底層的固體物可自由通過孔口，缺點是浮渣無法排出。解決方法係在進流渠道的下游端，須設置下開式閘門，使浮渣流到沉澱池內，以便隨後能去除。

(C) 潛堰式進流口(如圖 4.11 b)

進流水自進流渠道流入後，在長方形沉澱池進水端，以全池寬幅度的平頂潛堰方法流入池中，由於進流水已平均分配至全池，故速度水頭已消散。如採用可調整平頂堰堰板，則分配至各池的流量亦可調整。本型式的優點是浮渣可經堰頂自由流出，缺點是進流渠道底層的固體物無法排出，積久會發臭。解決方法為渠道須以機械或空氣攪拌。



a.沉沒孔口　　b.潛堰式進流口

圖 4.11 長方形初級沉澱池進流口設計

(3)長方形池的進流口，為自由水面式開孔時，其阻流板型式可為木質柵條之隔柵，如圖 4.12 a，可消散進流口水流的速度水頭，進流口為沉沒孔口時，阻流板型式可為不銹鋼板之 T 型管，如圖 4.12 b，可將進流口的水流轉向左右兩側。進流口為潛堰式時，可不須再設置阻流板。

自由水面式開孔、沉沒式開孔及平頂潛堰式進水口下游端，皆建議設置有孔整流壁，以進一步將進流水的噴流作用打破及分散水流，如圖 4.13，a 及 b 為混凝土整流壁，c 為耐力板(polycarbonate)整流壁。其設計考量事項如下：

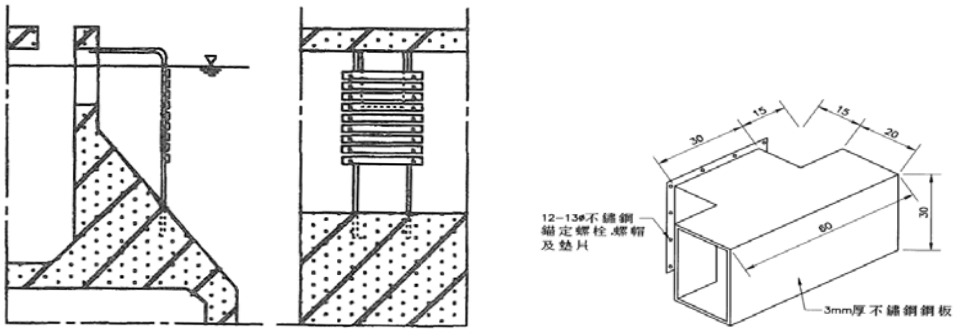
① 通過有孔整流壁的水頭損失，應約為進流水速度水頭的 4 倍。

② 開孔直徑為 10～15 cm，開孔不宜太小，以避免阻塞而形成較小的噴流，特別是在初級沉澱池，依據其前處理的種類，破布或塑膠袋可能存在，而阻塞較小的孔洞。開孔太大，則各別孔口的噴流，將持續呈水平狀態，而減少沉澱池實際的體積。

③ 有孔整流壁應橫跨整個斷面，整流壁頂高在水面下，以容許浮渣在水面流動，底高亦離池底一小段距離(約池深 1/3～1/4)。

④ 開孔以全斷面均勻設置，佔池總斷面積之 6～20%為宜，具有最佳處理效果。

⑤ 沉澱池設有孔整流壁時，池面應加設高壓噴嘴洗淨設備，以回收水定期噴洗。



a.隔柵型(木質柵條組立)　　b.T 型管(不鏽鋼板組立)

圖 4.12 阻流板之例

2. 圓形初級沉澱池的進流水注入方法，分為中央進水式及周邊進水式兩種，分述如下：

(1)中央進水式沉澱池

①進流管及進水孔口

中央進水式沉澱池的進流管可為水平管或豎管，其周圍皆有設置圓筒形整流板，如圖 4.14。水平管的管端，應設有擋板或朝上彎管，以防止產生水平流速。

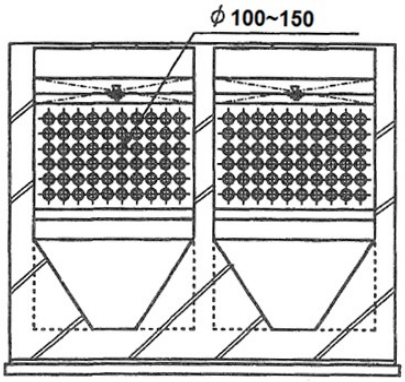
豎管上端設有四個進水孔口，進水孔口可為全浸沒式，或孔口頂端高出水面數公分。進水孔口下游端，有時設有轉向板以阻擋出口流速。中央進水式沉澱池水流型態，如圖 4.15。標準型中央進水豎管及進水孔口設計，如圖 4.16。

②進流井擋板

圓形池圓筒式進流井擋板(如圖 4.14～4.16)，直徑為沉澱池直徑之 15 至 20%。在不考量沉澱池直徑情況下，擋板直徑不超過 10 至 15 m。整流板向下流速限制在 0.7 m/min。在尖峰流量及一池停用時，擋板頂端通常會低於水面，應加注意。擋板底端浸水深為池邊水深之 25 至 50

%，底端邊緣，須位在進水孔口底部約 0.3 m，以防止孔口水流低過整流板而進入沉澱區。擋板主要功能為防止進入沉澱池底部的流速增加(擋板底部空間深度為池邊水深減去整流板浸水深)。擋板有的支撐在刮泥設備上，而隨著刮泥機而轉動，有的支撐在橋下而固定不動。如擋板支撐在橋下而固定不動，其進水孔口的方向須與排渣開孔錯開。

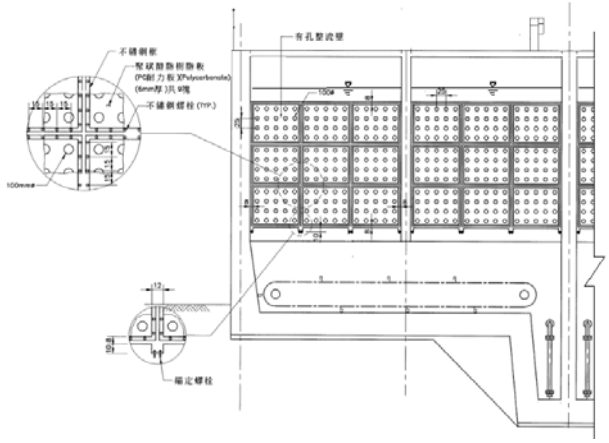
③ 圓型沉澱池周邊之牆頂，應有適當寬度之走道，並加強圍欄、救生圈、安全繩索及腰(背)帶之設置，以供操作管理人員做經常性溢流堰及集水渠清理之動線需求，並確保安全。



a.混凝土整流壁設計圖

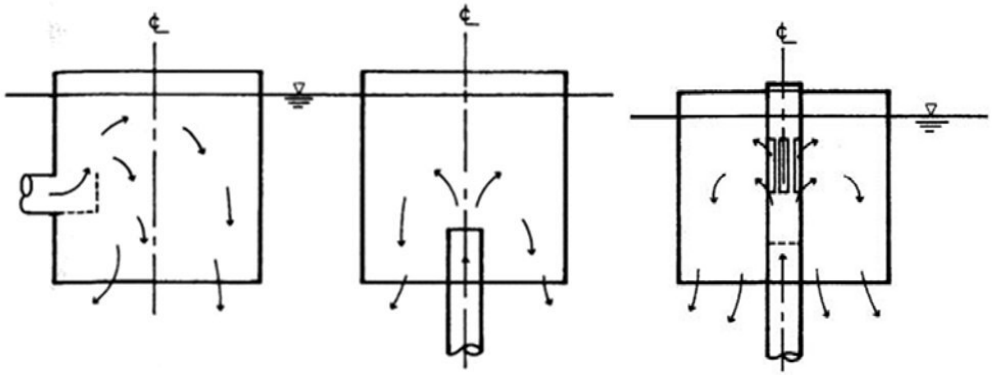


b.混凝土整流壁照片



c.耐力板整流壁

圖 4.13 有孔整流壁例



a.側邊進流　　b.豎管注入　　c.豎管及進水孔口

圖 4.14 傳統中央進水式的進流管進水孔口設計方法

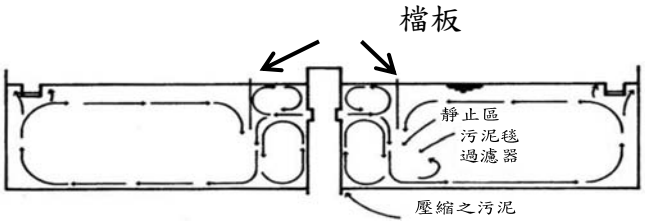


圖 4.15 中央進水式沉澱池水流型態

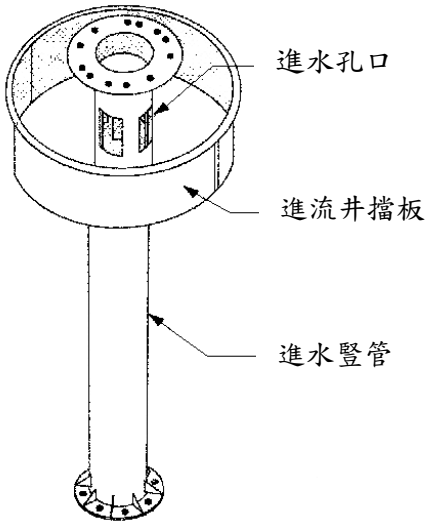


圖 4.16 標準型中央進水豎管及進水孔口設計

(2)周邊進水式沉澱池

周邊進水式沉澱池又分為：1.利用進流渠道底部開孔來配水(如圖 4.17 及圖 4.18)，2.利用在進流通道單向進水，使產生螺旋流型式來配水(如圖 4.19)。兩種大部分用於二級沉澱池，但螺旋流型式也用於初級沉澱池。

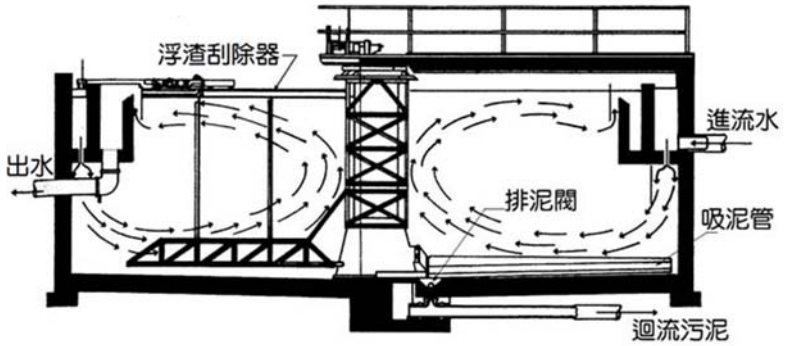


圖 4.17 利用進流渠道底部開孔來配水之周邊進水式沉澱池



圖 4.18 周邊進水式沉澱池照片

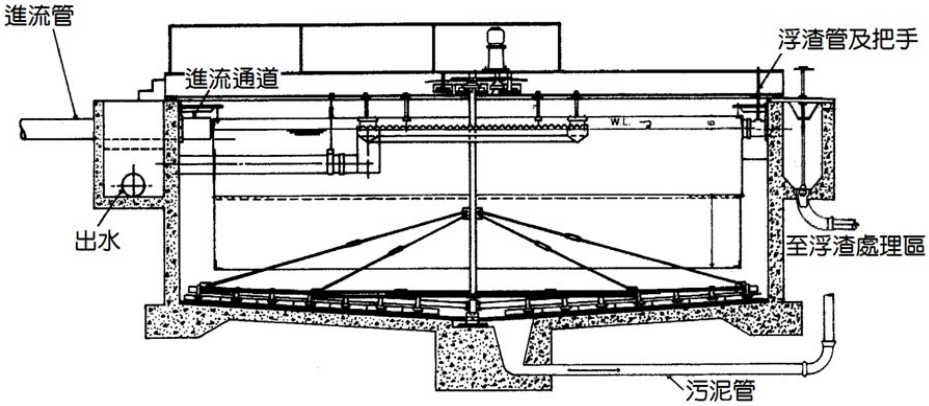


圖 4.19 利用螺旋流型式配水之周邊進水式沉澱池

(3)周邊進水式與中央進水式沉澱池之比較。

① 優點：

(A) 比中央進水式具有較高的水力效率。

(B) 比中央進水式具有較高的懸浮固體去除率。

② 缺點：

(A) 尖峰流量係數大於 3 比 1 之沉澱池為使周邊配水均勻，需要較大的孔口水頭損失(60 mm)，更大的尖峰流量時，需採用特殊溢流裝置。

(B) 進流渠道容易堆積漂浮物。

(C) 由於周邊進水方法容易堆積漂浮物，使用時應檢討對策。

4.3.7 浮渣去除設備及浮渣處理

浮渣去除設備及浮渣處理考量如下： 初級沉澱池應設置浮渣去除設備，浮渣應有適當的處置。

解說：

處理生活污水之初級沉澱池水面，常有浮渣及漂浮物，例如：油脂、塑膠品、樹葉、破布、毛髮及其他等，應設置浮渣去除設備予以去除，並對浮渣採適當的處置方法。

1. 浮渣去除設備

(1) 長方形池浮渣去除設備

浮渣通常在長方形池出水端，以回轉到水面的刮泥板(此時成為刮渣板)加以收集，刮渣板係將浮渣移動到水池末端的浮渣擋板處再去除之。利用設置在水面上之浮渣噴嘴的噴水力量，也可移動浮渣。浮渣可以人工方法自斜坡上刮上來，也可以水力方法或機械方法刮除。中小規模沉澱池，最常使用刮渣管，如圖 4.20。長方形池刮渣管安裝，如圖 4.21。使用刮渣管時，其上方之開口邊緣須旋轉到剛好在水面下，使堆積在水面上的浮渣流入浮渣管中，再排入設置在池邊的浮渣井中。採用刮渣管會導致相當大量的浮渣液體。

還有一種浮渣刮除方法，係為固定在轉軸上的橫向螺旋式刮渣機，浮渣從水面上移除後，通過一小段斜坡，再排到橫向收集的浮渣槽中，最後流到浮渣噴出器(scum ejector)或浮渣收集井中。

浮渣刮除另一種方法，包括鍊條刮板式的刮除機，將沉澱池一側的浮渣收集後，經短斜坡刮到浮渣井中貯存，最後以抽水機抽送到處置設施。走橋式刮泥機的刮板，自污泥斗回到出水端時，會舉到水面當做刮渣板。

(2)圓形池浮渣去除設備

圓形池浮渣去除採用之刮渣機，包括旋轉刮渣機及浮渣斗，如圖 4.22。

2. 浮渣處置

浮渣的比重約為 0.95，固體含量約為 25 至 60％。浮渣量範圍，係介於每 L 污水為 0.1 至 19 mL，中間值約為 5 mL/L，或為 2 至 13 kg/$10^3 m^3$。浮渣量及化學成分變化很大，決定於幾項因素，包括下水道收集區域內的工業發展程度及種類、廠內污水回流、上游處理程序，對浮渣之去除效率及浮渣去除設備。

收集容量較大的浮渣井，通常設置攪拌機或其它混合設施，以便在以抽水機抽送前能攪拌均勻，避免浮渣結塊。浮渣井底部應有斜坡，浮渣井深度不宜過深或過淺，渠道過長易造成收集浮渣堵塞。抽送浮渣的抽水機，可為

推進腔式抽水機、氣壓噴射抽水機(氣昇式)(pneumatic ejector)及離心沉水式抽水機，切削裝置則可有可無。

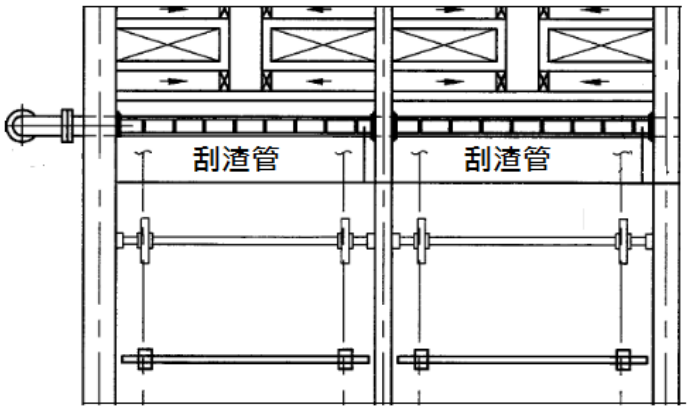


圖 4.20 長方形池刮渣管設計



圖 4.21 長方形池刮渣管安裝示意圖

浮渣管在國外，經常採用玻璃纖維內襯，有時須保溫以減少堵塞。

浮渣通常與廠內產生的初級沉澱池污泥及生物污泥合併，經好氧或厭氧消化後，予以掩埋或焚化處置，然而亦有許多污水處理廠採浮渣分開處置方法。高雄市楠梓水資源回收中心的初級沉澱池浮渣，經刮渣管收集到浮渣篩洗井後，於井中設置斜板細篩機，利用篩網進行渣水分離，濾過液則流入廠內污水下水道系統，斜板內外均設置沖洗噴嘴，透過沖洗使斜板上浮渣收集至垃圾子車，以利後續清運，如圖 4.23。

4.3.8 初級沉澱池出水設備

初級沉澱池出水設備考量如下： 1. 採出水渠時，應設置溢流堰溢流，溢流堰負荷小於 250 $m^3/m \cdot d$。必要時溢流堰及集水槽應考量防藻對策。 2. 採沉水式開孔管時，其下游出水端，需要有流量控制裝置。

解說：

1. 初級沉澱池出水設備，分為出水渠道及沉水式開孔管兩種，其中以出水渠道最為普遍。由於沒有二級沉澱池所需考量的密度流及牆端效應，出水渠道可設在池牆邊。圓形池出水渠道分為池牆外及池牆內兩種(如圖 4.24)，前者之溢流堰設在池牆邊緣頂端，後者之溢流堰則設在出水渠道邊緣頂端。

長方形池出水渠道係設在池末端，分為(1)單一溢流堰及出水渠、(2)雙重溢流堰及出水渠、(3)多重溢流堰及出水渠、(4)出水渠道在中央、(5)多重溢流堰及出水渠，出水渠道在側邊，如圖 4.25。溢流堰設在出水渠道頂端，如渠道貼著側牆，則溢流堰僅設於單側，如渠道距側牆有些距離，則溢流堰設於兩側。由於沒有二級沉澱池所需考量的密度流及牆端效應，出水渠道可設在池末端。為保持出水渠道潔淨，操作人員經常須靠在池牆上，而以水管沖洗渠道，甚至要穿上雨鞋而進入渠道內清理。因此大多數大型沉澱池之渠道約為 30 cm 寬，而操作人員配備有攜帶式爬梯以進入渠道內。建議在沉澱池周圍每隔 30 m 或更小的距離，設置沖洗龍頭以利沖洗渠道，並減少工作人員進入渠道的需求。

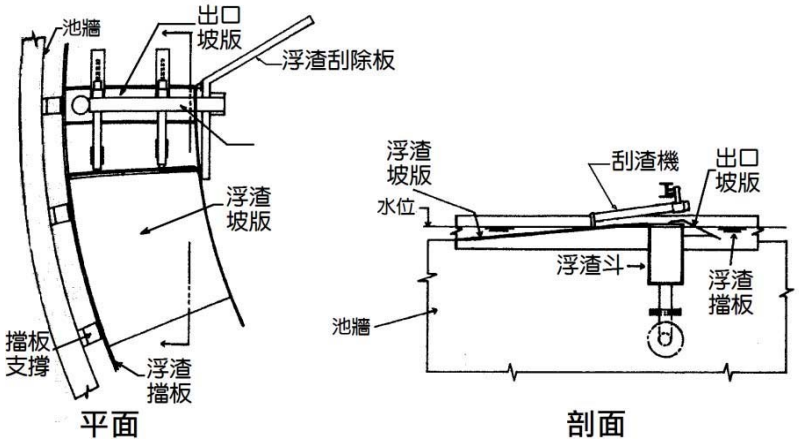


圖 4.22 圓形池浮渣去除設備



圖 4.23 高雄市楠梓水資源回收中心斜板細篩機

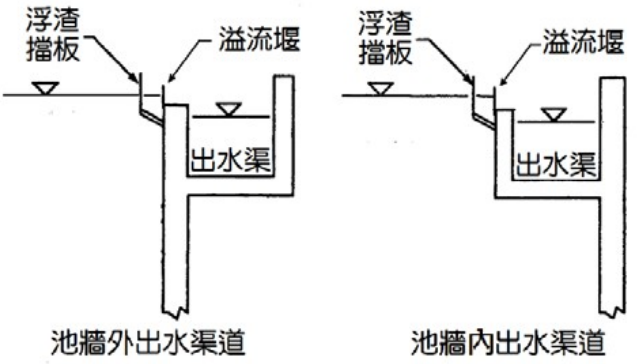


圖 4.24 圓形池出水渠道及溢流堰

出水溢流堰分為 V 型缺口堰、平頂堰及矩形缺口堰三種，分述如下：

(1) V 型缺口堰：堰頂不平時仍可均勻出水。

(2) 平頂堰：堰頂不平或強風吹襲時，容易不均勻出水。

(3) 矩形缺口堰：矩型缺口堰與 V 型缺口堰特性相同，可避免不均勻出水情形，惟矩型缺口堰，較易使漂浮物及浮渣流出，故 V 型缺口堰阻擋水面漂流物及浮渣數量，遠比矩形缺口堰會高出許多。故一般皆用連續型 V 型缺口堰。溢流堰負荷應小於 250 $m^3/m \cdot d$。必要時溢流堰及出水渠道，應考量防藻對策，如圖 4.26。

(4) 沉澱池應加強堰板與結構密合度，避免污水漏流或出水不均，堰出水應保持自由落水。

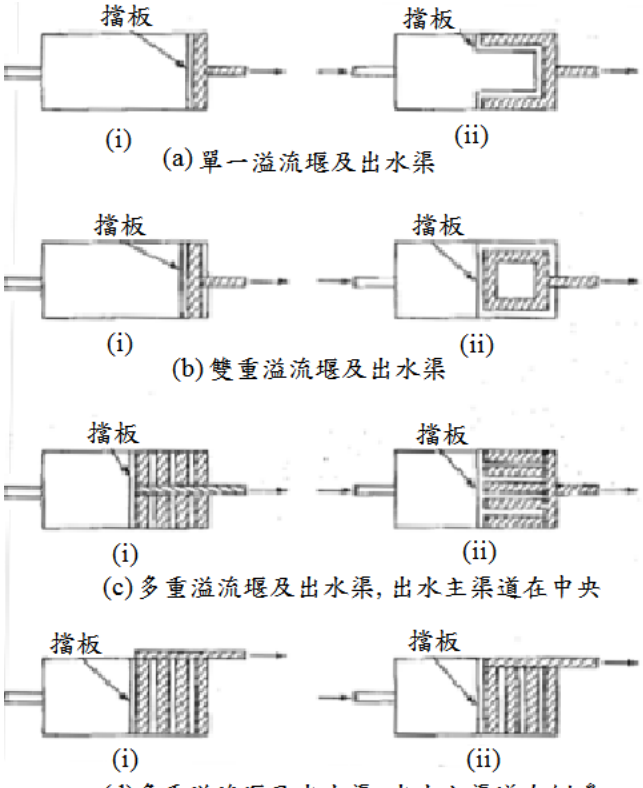


圖 4.25 長方形池出水渠道設置位置圖



圖 4.26 噴水系統去除圓形池蛇狀溢流堰上的藻類

2. 沉澱池出水管採用沉水式開孔管者，為沿著沉澱池內牆設置的圓管，管上開有均勻配置的圓孔。長方形沉澱池沉水式開孔管如圖 4.27。圓形沉澱池沉水式開孔管如圖 4.28。為避免漂浮物進入出水管，出水管下游出水端，需要有流量控制裝置，以維持池內的水位在管頂上 30 至 35 cm。流量控制裝置係在下游端設置一道短渠道及溢流堰，而在中大規模廠通常採自動水位控制閥。

(1) 沉水式開孔管之優點為：

①整個池面可刮渣，故可避免浮渣流入出水管，且不須設置浮渣擋板。

②由於浸水深，出水管上極少藻類生長。

③池內水位變化，對沉澱效果影響比出水渠道小。

④沒有出水渠道不均勻沉陷，導致出水不均的問題。

⑤沒有出水渠道短流的問題。

⑥沒有溢流堰出水產生臭味的問題。

⑦沒有溢流堰出水產生曝氣效果而增加水中溶氧，以致影響下游處理單元，如厭氧性菌種選擇池功能的問題。

(2) 沉水式開孔管缺點為：

①孔口被破布或其他物品堵塞的可能維護問題。管線中生物生長導致的惡臭。

②由於出水管上層水，非屬沉澱區的一部分，故出水管沉澱池的總水深，應比傳統出水渠沉澱池增加一些，此會增加建造費。

③由於沉澱池各池進流分出不易平均，若為溢流堰，則可藉觀察各池溢流之水位，做為調整進流量之依據，沉水或則無法呈現。

(3) 沉水式開孔管設計時，應考量下列事項：

①孔口直徑應為 25 至 45 mm。

②開孔管出口端最大流速應為 0.6 m/s。

③在尖峰流量情況下，通過孔口之流速應為 0.6 至 1.0 m/s。

④開孔管及出水歧管，應每隔適當距離設置支撐。

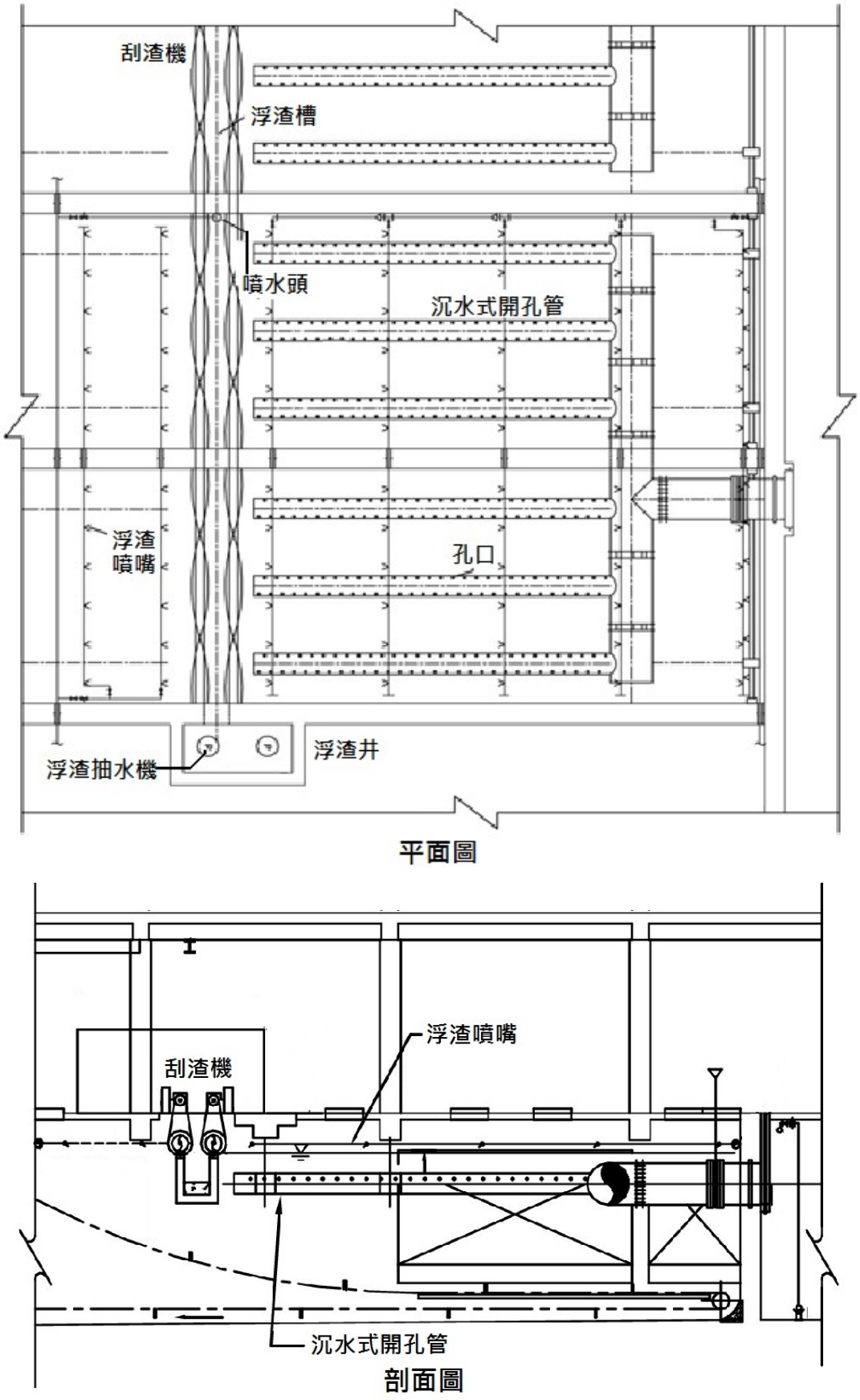


圖 4.27 長方形池之沉水式開孔管(台北內湖污水處理廠例)



圖 4.28 圓形池之出水管照片

4.3.9 長方形池污泥刮泥機

長方形池污泥刮泥機考量如下：

1. 長方形池各種污泥刮泥機中，一般以鏈條刮板式，刮泥區域可達全池底面為宜。
2. 沉澱池寬度較大時(如≧6 m)，建議可使用橫向刮泥機，將污泥坑中之污泥刮送至污泥斗內。
3. 刮泥速度以不攪動沉澱物揚起為原則。

解說：

1. 長方形池污泥刮泥機，包括下列各種型式：

(1)鏈條刮板式

鏈條刮板式刮泥機係在兩條頭尾相連的鍊條上設置許多條刮板，驅動此裝置以將污泥刮除。在池數多的情況，一台驅動機可驅動兩池之刮泥機。鏈條刮板式刮泥機，以往採紅木或金屬刮板及金屬鍊條，現今改用輕量化的非金屬刮板、鍊條及鏈輪，以降低腐蝕及磨損問題。過去由於受到標準材質紅木刮板的撓度、浮力及重量的綜合影響，矩形沉澱池一池寬度限制在 6 m。最近由於玻璃纖維複合材料刮板的進步，使得矩形沉澱池一池寬度可提高到 10 m。刮板間隔為 3 m。長方形沉澱池使用鏈條刮板式刮泥機，如圖 4.29。刮泥板縱斷面可分為兩種型式，包括：①封閉型，方形、日形或Δ形。②非封閉型，如⊏形、冂 形或 ∑ 形。

近年有使用單軌鏈條刮泥機。單軌鍊條刮泥機，係以馬達驅動鍊條，以鍊條帶動設於池底單軌上所設置之刮泥車，每組刮泥車上設有 2 組刮板，刮板設置間，距視池槽尺寸與刮泥量進行選用，如圖 4.30。通常單軌鍊條刮泥機，係以 1 組馬達帶動 2 組刮泥機，此 2 組刮泥機之刮板為對向互動，即 1 組刮泥機向前移動，另 1 組刮泥機則向後移動。當刮板將污泥刮集至池前端之集泥坑後，刮泥車將開始後退之際，其刮板將旋轉 90 度，使刮板面與池底平行，若刮板退至最後端，將再次前進刮泥時，則刮板會再旋轉 90 度，使刮板面與池底垂直後開始刮泥，其運行如圖 4.31。

二級沉澱池，若選用單軌鍊條刮泥機，須考量因其回程運行階段並未刮泥，而迴流污泥則有連續迴流之需求，選用時需考量刮泥車數量設置是否足夠，避免污泥濃度有不均勻之現象。

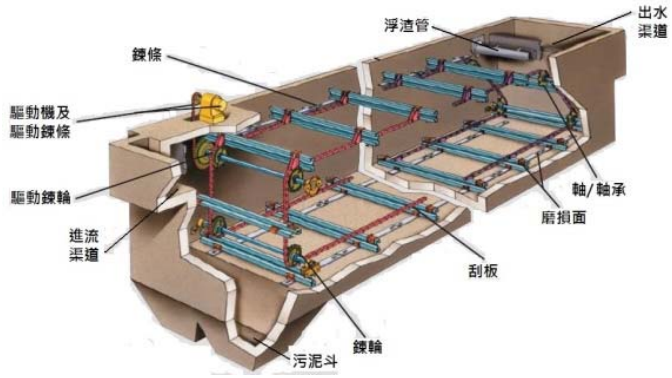


圖 4.29 長方形沉澱池使用鏈條刮板式刮泥機



圖 4.30 單軌鍊條刮泥機

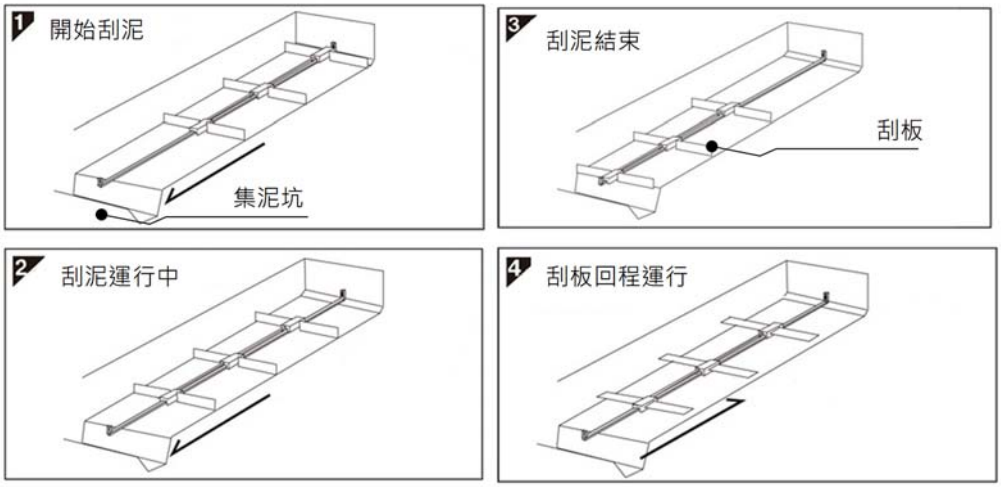


圖 4.31 單軌鍊條刮泥機運行過程圖
(摘自 http：//www.fj-i.co.jp/English/monore.htm)

(2)走橋式刮泥機

主要用於歐洲各國，用於初級沉澱池及三級沉澱池化學污泥。刮板在出水端時放下到池底，再以走橋拉向進水端之污泥斗。刮板自污泥斗回到出水端時，會舉到水面當做刮渣板。其特色係需要維護時不用排乾池水。長方形沉澱池使用走橋式刮泥機，如圖 4.32。

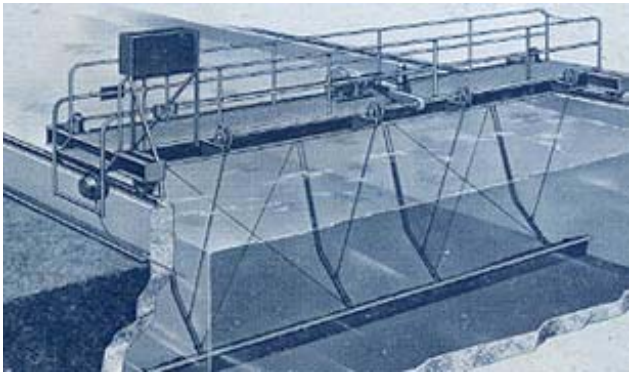


圖 4.32 長方形沉澱池使用走橋式刮泥機

(3)往復式刮泥機

往復式刮泥機，其往復行走的楔型刮板在去程時，垂直面可將污泥推往前方，而在回程時容許污泥滑過斜坡面，以此方法逐步將污泥推向污泥斗。該機因傳動裝置少、維修保養簡單及故障率低。但其浮渣刮除設備，須另外裝設。長方形沉澱池使用往復式刮泥機，如圖 4.33。

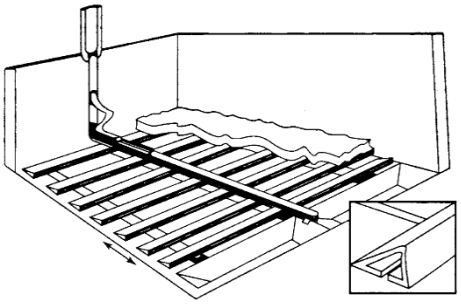


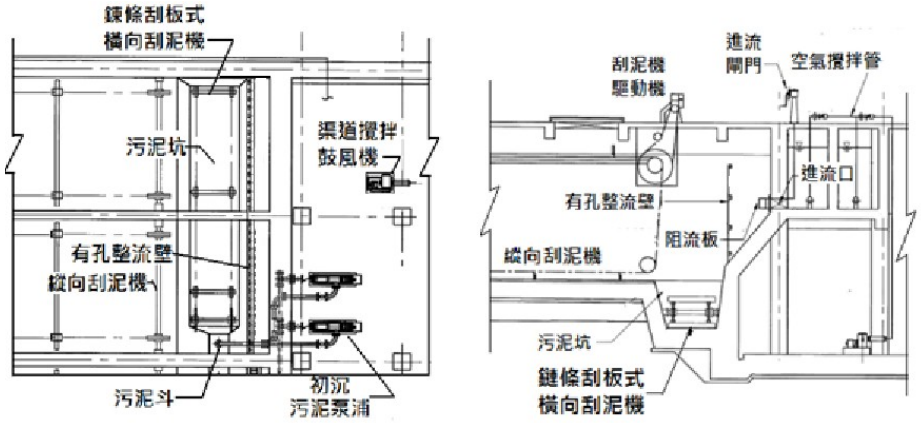
圖 4.33 長方形沉澱池使用往復式刮泥機

在各種型式的刮泥機中，應考量過去使用之實績及優劣經驗，審慎比較後採用之，國內一般常用鏈條刮板式。長方形沉澱池長度約為 25～60 m。長方形沉澱池長度，受到刮泥機系統的限制，因為刮泥鏈條及刮板系統長度的增加，該系統的機械應力也增加。沉澱池太長，只用一組刮泥系統很難將污泥刮過全池，但採用中央污泥斗及多組刮泥系統會增加設備費、維護及設計複雜性。增加長方形沉澱池寬度的另一方法為採用平行多池，池間採開孔隔牆(如圖 4.34)。其缺點為一組刮泥機需要修理時，全部池槽皆須排空，暫停使用。另外，尚不清楚隔牆的開孔是否會形成渦流，而嚴重影響水理的穩定度及懸浮固體的去除率。



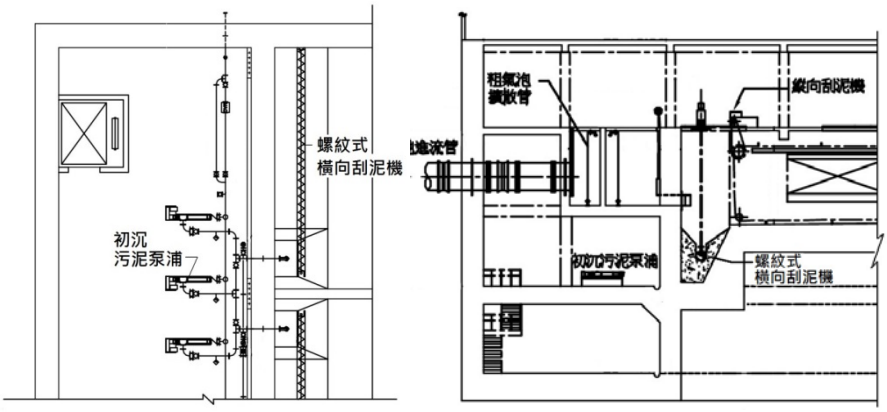
圖 4.34 長方形沉澱池池間採開孔隔牆

2. 大規模之初級沉澱池，其長方形池寬度較大，一般皆設置縱向刮泥機，先將污泥刮至沉澱池進流端之污泥坑，再使用橫向刮泥機，將污泥坑中之污泥刮送至污泥斗內。橫向刮泥機種類，包括鏈條刮板式(如圖 4.35)及螺旋式(如圖 4.36)。



平面圖剖面圖

圖 4.35 鏈條刮板式橫向刮泥機(新竹客雅水資源回收中心例)



平面圖剖面圖

圖 4.36 螺紋式橫向刮泥機(台北內湖污水處理廠例)

3. 刮泥速度，以不攪動沉澱物揚起為原則，鏈條刮板式刮泥機移動速度為 0.3

至 0.9 m/min，刮板速度應調整至接近密度流引起的污泥流動速度，以促進水流穩定及避免逆向刮泥引起的亂流。

4. 鍊條式刮泥機安裝基本原則

(1)土建結構要求

矩型鏈條刮泥機土建結構施工(垂直、水平、平行度)，應符合原廠安裝說明書要求及施工規範之規定，並依選用設計型式擇優訂之。

(2)主動軸安裝

全長水平度偏差，應符合原廠安裝說明書要求，但不得超過 5 mm。

(3)角軸安裝

角軸鏈輪的安裝，表面角軸輪的位置，必須根據主驅動軸位置決定，應符合原廠安裝說明書要求，其偏差不得超過 8 mm。

(4)角軸和池底

應符合原廠安裝說明書要求，其偏差不得超過 10 mm。

(5)刮板導軌安裝

應符合原廠安裝說明書要求，直線度偏差其偏差不得超過 2/1000。

(6)驅動裝置安裝

減速機的動力輸出軸齒輪與刮泥機主驅動輪在同一平面，其安裝偏差應符合原廠安裝說明書要求，但不得超過 3 mm。

(7)廠商應提供施工安裝說明書及安裝圖送審，安裝廠商應有施工安裝經驗證明。

(8)螺栓預埋件或化學螺栓安裝後，應再測量確認，除定位外應符合原廠安裝說明書要求，確認螺栓長度及螺栓埋入深度。

(9)組裝應做好齒輪、軸承保護，並應確認潤滑狀態。

(10)刮泥鏈條安裝，應符合原廠安裝說明書要求，調整張緊度，調整時應避免熱脹冷縮效應。

(11)驅動鏈條安裝，應符合原廠安裝說明書，要求調整鍊條張力。

(12)刮泥機全系統安裝完成後，應提送安裝定位核對報告，確認安裝位置符合原廠安裝說明書要求，並經設備原廠人員出具安裝完成證明。

4.3.10 正方形或圓形池污泥刮泥機

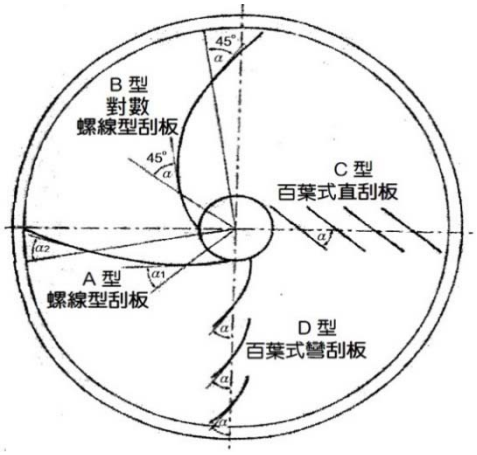
正方形或圓形池污泥刮泥機考量如下：

1. 正方形或圓形池，一般採用迴轉式刮泥機。
2. 刮泥速度以不攪動沉澱物揚起為原則。

解說：

1. 正方形或圓形池採用迴轉式刮泥機，以池中央支柱為軸心迴轉，將污泥順序往中央刮除。

(1)迴轉式刮泥機的刮板型式如圖 4.37，分為 A.螺線型；B.對數螺線型；C.百葉式直刮板；D.百葉式彎刮板。



A.螺線型，其中 α1>α2；B.對數螺線型，角度 a 固定在 45°；C.百葉式直刮板；D.百葉式彎刮板

圖 4.37 迴轉式刮泥機的刮板型式

A.螺線型刮板(如圖 4.38)：



圖 4.38 螺線型刮板

B.對數螺線型刮板(如圖 4.39)，此為較常用之型式：

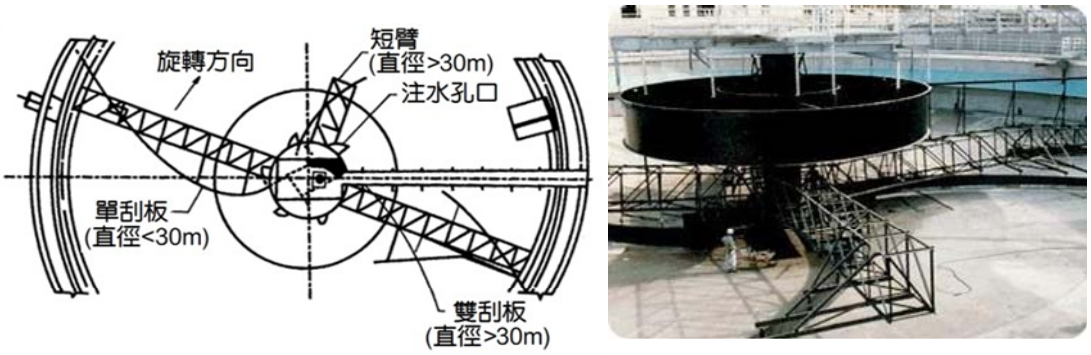


圖 4.39 對數螺線型刮板

C.百葉式直刮板(如圖 4.40)：



圖 4.40 百葉式直刮板

D.百葉式彎刮板(如圖 4.41)：



圖 4.41 百葉式彎刮板

傳統百葉型刮板與螺線型刮板對於污泥刮除所需的時間不同，可由圖 4.42 污泥移動路徑之比較而看出。

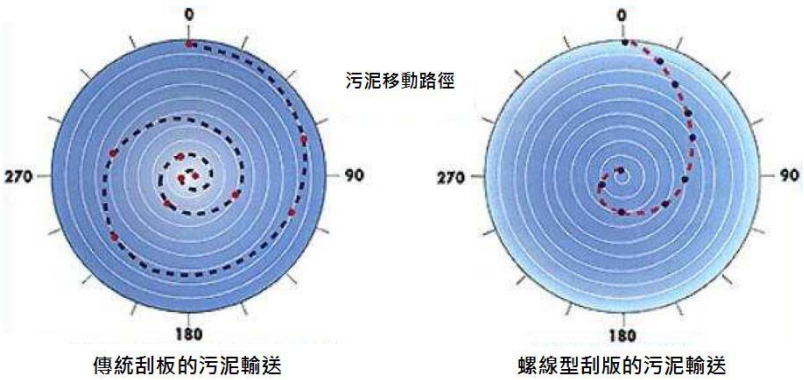


圖 4.42 傳統刮板與螺線型刮板之污泥移動路徑

(2)迴轉式刮泥機的驅動機，依照位置分為下列兩種：

A.中央驅動式，又分為：

(A)橋面支撐式，又稱為全橋式(如圖 4.43：用於直徑＜15 m 之沉澱池)

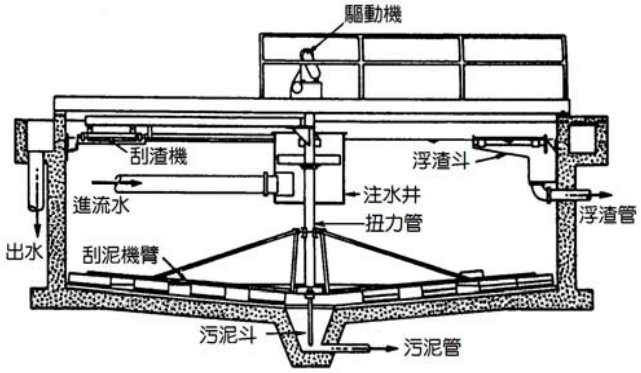


圖 4.43 橋面支撐式驅動機

(B)中心柱支撐式，又稱為半橋式(如圖 4.44)：用於直徑＞15 m 之沉澱池

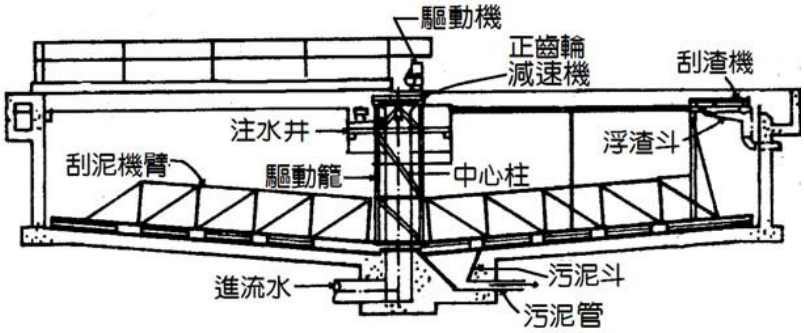


圖 4.44 中心柱支撐式驅動機

B.周邊驅動式(如圖 4.45)：



圖 4.45 周邊驅動式驅動機照片(斗六市水資源回收中心例)

2. 刮泥速度以不攪動沉澱物揚起為原則，迴轉式刮泥機周邊之刮板速度約為 3.0 m/min。各種初級沉澱池污泥刮泥機之種類及特性，如表 4.3。

表 4.3 各種沉澱池污泥刮泥機之種類及特性

機種	鏈條刮板式刮泥機	單軌式刮泥機	走橋式刮泥機	往復式污泥刮泥機	中央驅動及周邊驅動污泥刮泥機
刮除速度	初級沉澱池約 0.7 m/min 二級沉澱池約 0.35 m/min	初級沉澱池約 0.7 m/min 二級沉澱池約 0.35 m/min	初級沉澱池約 0.7 m/min 二級沉澱池約 0.35 m/min	約 2.0 m/min	初級沉澱池周邊速度約 3.0 m/min 二級沉澱池周邊速度約 1.5 m/min
適用範圍	初級沉澱池及二級沉澱池	初級沉澱池及二級沉澱池	初級沉澱池及二級沉澱池	初級沉澱池用	初級沉澱池及二級沉澱池，使用中心驅動內徑 25 m 以下，外周驅動內徑 25～50 m
構造	於兩條鏈條上附置多數的刮板，藉驅動以刮除污泥	由單一鏈條牽引刮泥機組中心，使其穩定於池底軌道上運行，刮板往集泥坑運行時垂直於池底面，回程運行時旋轉 90 度與池底平行	2 支可動臂與側寬相配合，附著 1 片刮泥板，於兩側臂的軌道上往復走動。往程將污泥刮除至池之他端的污泥坑。復程時刮泥板提升至水面上走行	往復行走的楔型刮板，在去程時垂直面，可將污泥推往前方，而在回程時容許污泥滑過斜坡面，以此方法逐步將污泥推向污泥斗	以池中央之支柱為軸旋轉之，順次將污泥刮除至中央。驅動裝置有置於中央支柱之中央驅動方法及於外緣放置驅動裝置之周邊驅動方法
優點	1. 由於作連續刮除污泥，因此污泥刮除量大。 2. 操作簡單，自動化運轉。 3. 利用去程之刮泥板刮除水面浮渣。 4. 沉澱池上機械設備少，要加覆蓋時較為便利。 5. 可做成二層式，土地利用率高。	1. 可承受較大負荷和單邊不平均負荷，且與刮泥台呈剛性接合，較為穩固。 2. 兩側及下緣設置橡膠刮板，能將污泥完全刮除。 3. 水中如有垃圾雜物，在刮板容許強度下仍能正常操作。	1. 污泥刮泥部可提升至水位上。因之維護、檢查較容易。 2. 即使堆積大量高濃度的污泥，也不會損壞機械設備。 3. 污泥刮泥臂上，可裝置浮渣刮除板。	1. 因傳動裝置少，維修保養簡單及故障率低。	1. 機械構造簡單，單價較低。 2. 故障少，維護管理容易。 3. 具耐久性，可自動化。 4. 驅動用動力少。
缺點	1. 軸及鏈條皆在水面下，機械易摩損及腐蝕。 2. 沉澱污泥有被刮泥板的反動或振動而攪亂之可能。 3. 由於機械在水中，故障時修理檢查皆困難，需放空水池。	1. 運行回程時，可能造成池底污泥翻揚。 2. 刮板於池底運行，檢視不易，故障時修理檢查需放空水池。	1. 由於係往復操作，易發生蛇形，走行裝置易故障。 2. 刮泥板吊入水中時，會攪亂污泥而污染處理水。 3. 因受刮泥板吊下機械的限制，無法配置適當的堰長。 4. 無法配置於二層式沉澱池。	1. 浮渣刮除設備須另外裝設。 2. 刮泥設備皆在水面下，機械易摩損及腐蝕。 3. 沉澱污泥有被刮泥板的反動或振動而攪亂之可能。 4. 由於機械在水中。故障時修理檢查皆困難，需放空水池。	1. 用地利用效率低。 2. 溢流堰置於外周，因之溢流堰長度受限制。 3. 中心部流速大，易發生渦流。 4. 雖可裝置於數層次，惟構造複雜。

4.3.11 初級沉澱池污泥抽除

初級沉澱池污泥的抽除，應考量下列事項：
1. 污泥的抽除係以抽泥機為之。
2. 抽泥機台數含備用應為 2 台以上。
3. 排泥管的配管應易於進行清管，考量管線須封閉的情況，在適當地方應設置清潔口及壓力水清洗管。排泥管口徑應為 150 mm 以上為原則。

解說：

1. 初級沉澱池的污泥，比二級沉澱池污泥，含有較多的無機質，比重也較大，另外，又包括多量的渠道雜物，以水位差的方法來抽除時容易閉塞，故以抽泥機強制抽除為較佳。污泥量會隨進流水量的變動及水質影響，通常會有約 2 倍的變化，故設計抽除設備時，應慎重的考量。大規模廠利用自動閥及計時器來順序切換抽泥機的運轉，能使維護管理較容易。
2. 抽泥機台數考量故障等因素，含備用應為 2 台以上。初級沉澱池的污泥，通常都抽送至污泥濃縮單元，污泥斗加深，污泥可達壓密效果，則可直接抽送至消化槽，以減少濃縮單元。
3. 為防止排泥管會不均勻沉陷及腐蝕，應採用堅固及防蝕的材質。配管應易於進行清管，在管線閉塞時，應以壓力水沉澱池上部清洗，以及考量在配管的彎管段設置清潔口，而以壓力水逆向清洗配管。為防止污泥斗底部堆積的砂土閉塞管線，排泥管在配管時，應距污泥斗底部 30 cm 以上。為防止管線阻塞，排泥管口徑應為 150 mm 以上，排泥管以鑄鐵為宜。
4. 污泥抽泥機管線設計，需避免停機時產生虹吸現象。

4.3.12 多層沉澱池

沉澱池多層化時，考量下列條件設計之：
1. 形狀原則上為長方形、水平流。
2. 原則上，各層進流部及出水部的流量應均勻。
3. 出水設備可採溢流堰或沉水式開孔管。初級沉澱池的出水設備，以溢流堰設計，二級沉澱池則各層採同一型式。
4. 抽泥管由於水深較大，應有對付阻塞的安全構造。
5. 有效面積為各層水平面積之合計。

解說：

沉澱池多層化設計時，考量下列條件設計之：

1. 多層沉澱池，包括雙層及三層等型式，形狀原則上為長方形、水平流，而依水流方向，則可分為串聯流及並聯流型式。雙層初級沉澱池如圖 4.46，設計如圖 4.47。串聯流其設計上，進流水先至下層沉澱區，經沉澱刮泥後再由上層沉澱區的出流渠道出水，為下層進上層出。並聯流其水流同時進去上、下兩層沉澱區，出水段也為上、下兩層，同時藉由上層出流渠道出水，其出水詳細設計方式，請詳 3.說明。
2. 進流部的位置及形狀，應儘可能使各層進流的流量均勻，另外，出水部應有

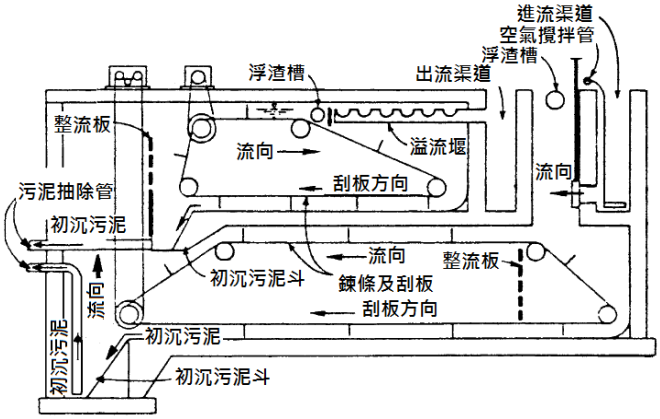
設計以調節流量均勻的構造。

3. 各層出水設備無法設計在同一高度的情況，可採沉水式開孔管。在這種情況開孔管的設置係與流向成垂直，此主管再與出流管銜接。但是從各孔口均勻出水的開孔管，從上游端至下游端，孔口面積須逐漸減小。孔口大時，可防止渠道雜物阻塞，直徑以 5 cm 左右為佳。各出流管須考量能調節流量。二級沉澱池的固液分離，各層出流設備的形狀不同，長時間流量變動使各層水量分配有偏差，必須注意放流水水質之惡化。初級沉澱池因需有浮渣去除設施，故其出水應採溢流堰。
4. 有效面積可參考初級沉澱池水表面積負荷率
   (1)計算下層水平面積時，池長係自整流板算至池末端。
   (2)多層沉澱池之各層水量會不易平衡。
   (3)由於污泥容易堆積在下層，設計二級沉澱池時，應注意放流水質管理上的問題。各種初級沉澱池優缺點比較，如表 4.4。

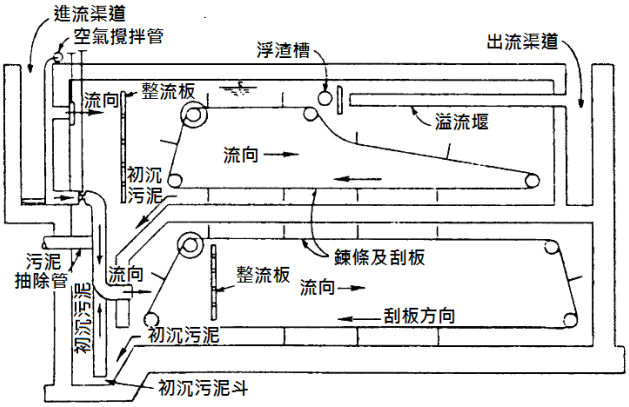
表 4.4 初級沉澱池優缺點比較表

方法 / 項目	長方形	方形或圓型	多層式
懸浮固體物去除效果	△	＋	△
初設成本經濟程度	△	＋	－
年操作運維成本經濟程度	△	＋	－
池體佔地大小比例	1	1.4	0.6
污泥沉降濃縮效果	＋	＋	＋
臭味衝擊程度	－	－	△
景觀效果	△	△	＋
使用普遍程度	＋	＋	△

註：＋：優　△：中等　　－：差



a.串聯流型式



b.並聯流型式

圖 4.46 雙層沉澱池示意圖

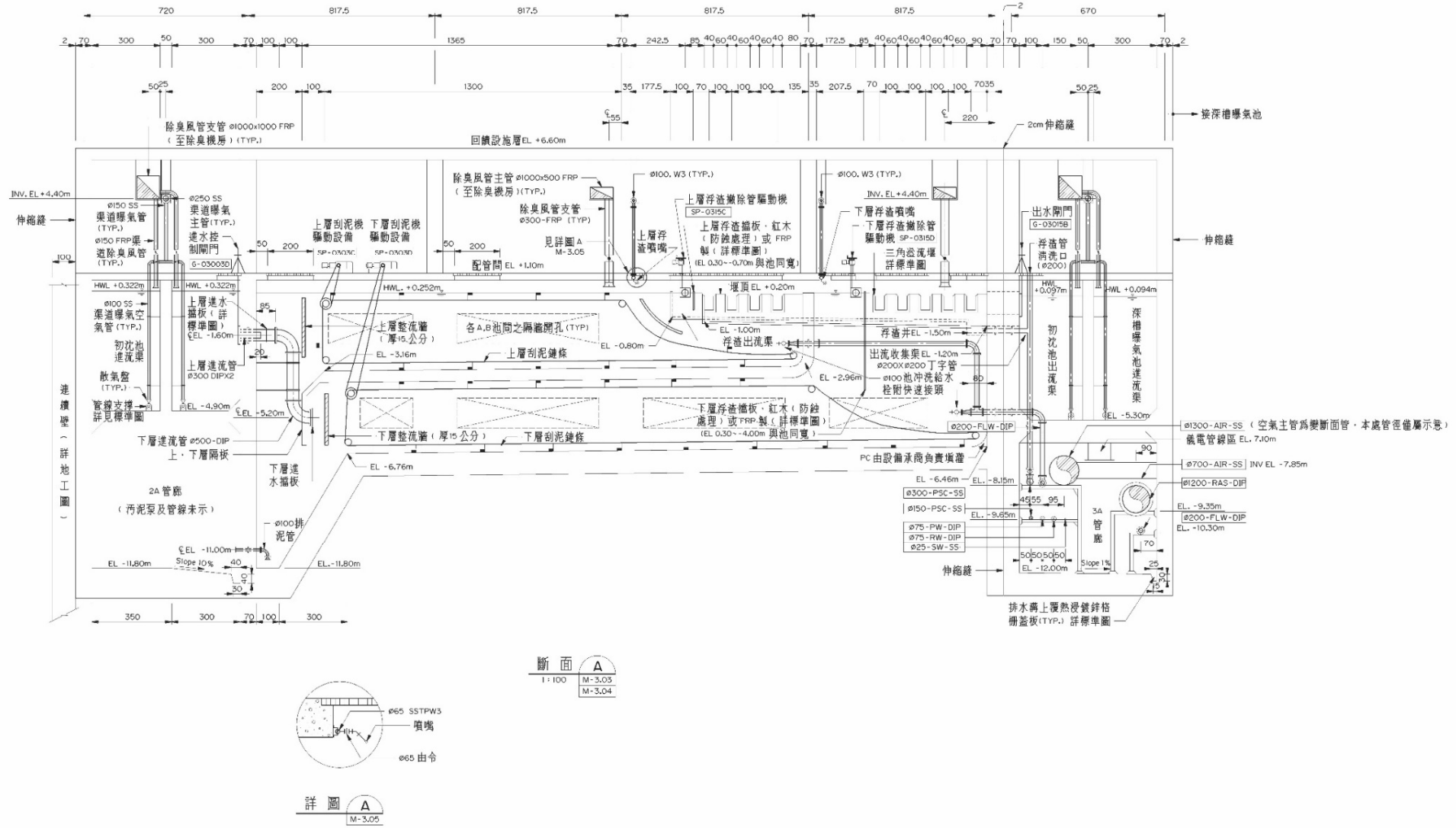


圖 4.47 並聯流型式雙層初級沉澱池(台北市迪化污水處理廠例)

第五章 污水生物處理及固液分離

5.1 概說

污水經初級沉澱處理後，仍殘留有會造成水污染的溶解性、懸浮性的有機物及氮磷等無機物，必須依放流水標準需求，進一步的處理，而在各種處理方法中，污水生物處理及固液分離，無疑是最經濟及最常用的。

生物處理為利用微生物的代謝作用，使污水中的有機物及氮磷等無機物轉化後，於二級沉澱池將可沉澱的固體物，予以分離為目的之處理方法。

存在於污水中的微生物，以污水中之一部分有機物為基質加以攝取分解，作為維持體內及合成新細胞的能源。另一方面，存在於污水中的有機物，則轉換成為無機物或微生物細胞為主之膠羽物質，大部分轉換後的物質，最終經沉澱分離後，成為廢棄污泥排出。

污水生物處理，可分為微生物在反應槽中呈懸浮生長(Suspended Growth)狀態的活性污泥及其衍生法，以及微生物在載體上呈固定生長(Attached Growth)狀態的生物膜法兩大類。近年來各種生物處理法蓬勃開發，其中包括使用活性污泥膜濾法(MBR)。各種污水生物處理法之處理程序及去除物質，如表 5.1。

表 5.1 各種污水生物處理法之處理程序及去除物質

方法		處理程序	主要去除物質
活性污泥法	一般活性污泥法	標準活性污泥法、分段配水式活性污泥法、延長曝氣法、氧化渠法(oxidation ditch)、回分式活性污泥法(SBR)、深層曝氣法及活性污泥膜濾法(MBR)	BOD、SS
	去氮活性污泥法	循環式硝化脫硝法(MLE)、(間歇進流及連續進流)分批式活性污泥法(ICEAS、CASS)、Bardenpho(四段式)程序、相分離氧化渠法、多段進流法、硝化內生脫硝法(OAO 法)、循環式硝化脫硝活性污泥膜濾法(AO-MBR)	BOD、SS、T-N
	去氮除磷活性污泥法	A^2O 法、Modified Bardenpho 程序、MUCT、VIP、MSBR、TNCU、多段進流法、硝化內生脫硝除磷法	BOD、SS、T-N、T-P
生物膜法		接觸曝氣法及好氧過濾法	BOD、SS、T-N

上表中各生物處理去除率，累計 BOD 約 85～95%、SS 約 80～90%、T-N 及 T-P 皆約 60～80%。

本章涵蓋污水生物處理兩大類的基本原理及設計解說，以及固液分離之二級沉澱池設計及解說和生物處理供氧曝氣設施。至於污泥生物處理將另章討論。

5.2 活性污泥法

5.2.1 活性污泥法之淨化原理

活性污泥法處理程序，如圖 5.1，為經前處理後的污水，流入反應槽(曝氣槽)與槽內呈流動狀的好氧性微生物群之活性污泥相，混合接觸後之流出水，於二級沉澱池沉澱分離之，沉澱分離後之污泥，一部分連續迴流至曝氣槽，一部分成為廢棄污泥排出，另行處理之。

活性污泥系統，即為控制上述於最有利環境條件，以達到良好的處理效果為目的。

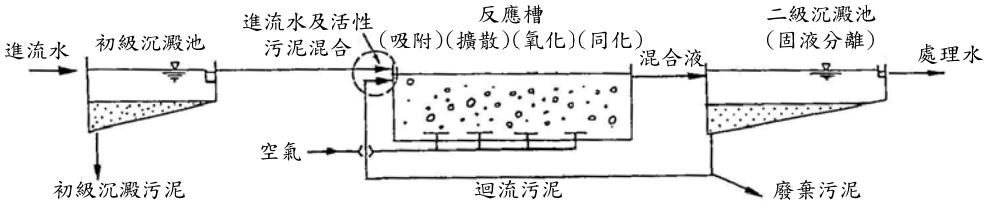


圖 5.1 活性污泥法處理程序

活性污泥微生物所去除污水中的主要成分，包括構成有機物主要的碳化物、氮化物及磷化物等。去除這些物質的活性污泥微生物，依其生理特性可分為四大群，包括：

1. 在好氧條件(有溶氧狀態)下，包括絲狀及單細胞細菌所構成的異營性細菌，利用有機物來增殖，主要的細菌例如：*Pseudomonas*，嗜食碳水化合物(醣類)及碳氫化合物(脂肪類)，而 *Bacillus*、*Flavobacterium* 及 *Alcaligenes* 則是嗜食蛋白質，除這些細菌外，活性污泥中包括原生動物及後生動物，利用這些細菌作為食物。
2. 在好氧條件下，將氨氮氧化為亞硝酸鹽的自營性細菌，包括 *Nitrosomonas*、*Nitrosospira* 及 *Nitrosococcus*，屬氨氮氧化細菌(Ammonia oxidation bacteria, AOB)，將亞硝酸鹽氮氧化為硝酸鹽的自營性細菌，包括 *Nitrobactor, Nitrospira, Nitrococcus* 及 *Nitrospina*，屬亞硝酸鹽氮氧化細菌(Nitrite oxidation bacteria, NOB)，這些 AOB 及 NOB 細菌統稱為硝化菌，此一作用稱為硝化作用。
3. 在缺氧狀態下(低溶氧，但有硝酸鹽、亞硝酸鹽存在狀態)，將亞硝酸氮及硝酸氮還原為氮氣，並分解有機物碳源以獲得能量的異營性細菌，此一反應稱為脫氮，具此一反應機能的細菌稱為脫硝菌 denitrifiers。

4. 厭氧狀態(沒有溶氧，硝酸鹽及亞硝酸鹽也不存在狀態)與好氧狀態相互交互作用下，能超量蓄積多磷酸鹽之異營性細菌，稱為脫磷菌或蓄磷菌。

活性污泥法即為在人為控制條件下，依處理目標利用上述微生物的特色和生理特性，以達到不同物質的去除。

活性污泥的淨化機能，為去除污水中的有機物，以其淨化機能分述之：

1. 活性污泥對有機物的吸附及攝取

當污水與活性污泥混合並加曝氣，則污水中的代表性有機物碳化物就會被去除，污水中有機物的去除量與活性污泥溶氧利用量的關係，依時間的變化而增加，顯示有機物與活性污泥接觸的短時間內就被大量去除，此一現象稱為活性污泥吸附。而固體性有機物被活性污泥的表面吸附之同時，溶解性有機物會很迅速的進入活性污泥中微生物的體內，也即被攝取。

被活性污泥吸附的固體性有機物，經由細菌所分泌的酵素等而行水解之後，再進入微生物體內被攝取，而被攝取的有機物則被氧化及同化所利用，相對的行氧化及同化是依曝氣時間而增多，因之有機物的去除量愈大，所需氧量也愈增加。

有機物(C-BOD)被活性污泥吸附、攝取及轉化過程，如圖 5.2。C-BOD 去除量及曝氣時間之相關性，如圖 5.3。

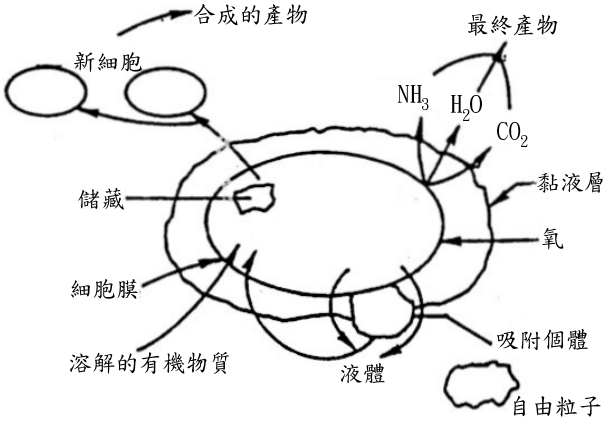


圖 5.2 C-BOD 去除機能示意圖

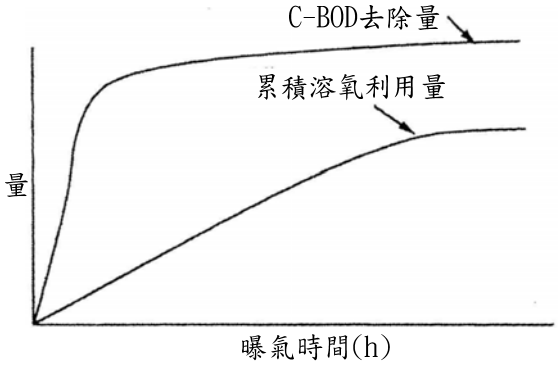


圖 5.3 污水中 C-BOD 去除量及活性污泥法溶氧利用量變化示意圖

當有機物與微生物接觸時即產生傳輸作用。在這個步驟中，污水中之有機物係藉吸附與吸收同時進行作用，傳輸到微生物體內。

圖 5.2 說明溶解狀有機物通過細胞膜，直接進入細胞而被吸收。顆粒與膠體狀有機物則吸附於細胞膜表面，經水解後才能通過細胞膜，而被細胞所吸收。

2. 攝取有機物之氧化及同化

活性污泥所攝取之有機物除成為微生物的營養源所利用，部分成為其能源而氧化分解，以及一部分同化合成為新細胞。

被微生物攝取進入體內的有機物變為細胞的過程為轉化作用，也即經由吸附、攝取、轉化三個程序同時進行，並完成反應。

活性污泥之有機物氧化、細胞合成及細胞氧化作用，可以下式表示之：

(1)有機物氧化

$$CxHyOz + (x + \frac{1}{4}y - \frac{1}{2}z)O_2 \rightarrow xCO_2 + \frac{1}{2}yH_2O - \Delta H \quad \text{.....(5-1)}$$

(2)細胞合成

$$n(CxHyOz) + nNH_3 + n(x + \frac{1}{4}y - \frac{1}{2}z - 5)O_2$$

$$\rightarrow (C_5H_7O_2N)n + n(x-5)CO_2 + \frac{1}{2}n(y-4)H_2O - \Delta H \quad \text{.....(5-2)}$$

(3)細胞分解

$$(C_5H_7O_2N)n + 5nO_2 \rightarrow 5nCO_2 + 2nH_2O + nNH_3 - \Delta H \quad \text{.....(5-3)}$$

式中：

$C_xH_yO_z$：污水中的有機物

$C_5H_7O_2N$：活性污泥微生物之細胞質

ΔH：反應熱

活性污泥之去除有機物，乃藉吸附、氧化及同化之順序進行以達成之。活性污泥法淨化機制模式，如圖 5.4。

3. 膠羽之沉降分離性

污水中的有機物，經活性污泥吸附、攝取，繼而氧化、同化之後，若要獲得清澈的處理水，必須同時於二級沉澱池，使其活性污泥具有良好的膠凝及沉降性，才能達到良好的沉澱分離效果，獲得清澈處理水。

活性污泥的膠凝性及沉降性，隨活性污泥的微生物增殖過程而產生變化，活性污泥的增殖過程，如圖 5.5。

由圖 5.5 可知，對數增殖期乃有機物及微生物之比率較大時發生，在本期內，微生物去除有機物量較多，但欠缺凝聚性及沉降性。隨著微生物增殖的結果，有機物量減少，經由減衰增殖期至體內呼吸期，一般藉減衰增殖期及體內呼吸期之微生物以處理污水。

當可利用之有機物缺乏時，即進入體內呼吸期，微生物以自體的細胞質為能源，進行氧化及分解，微生物數量減少。

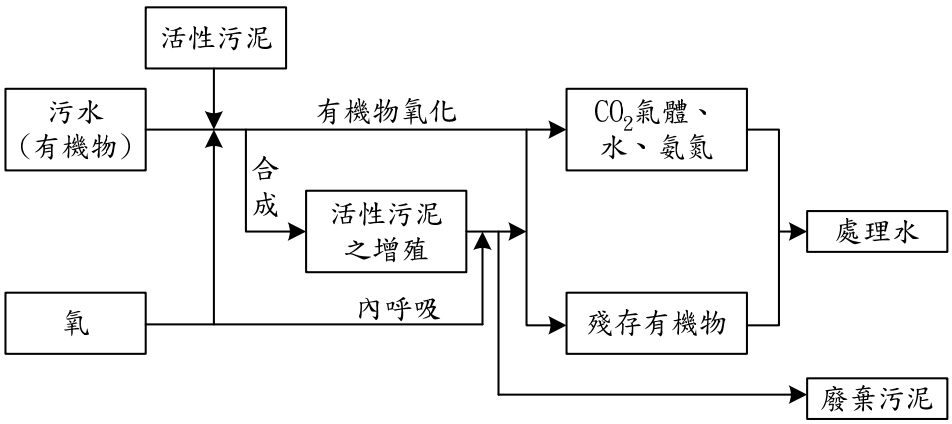


圖 5.4 活性污泥法淨化機制模式

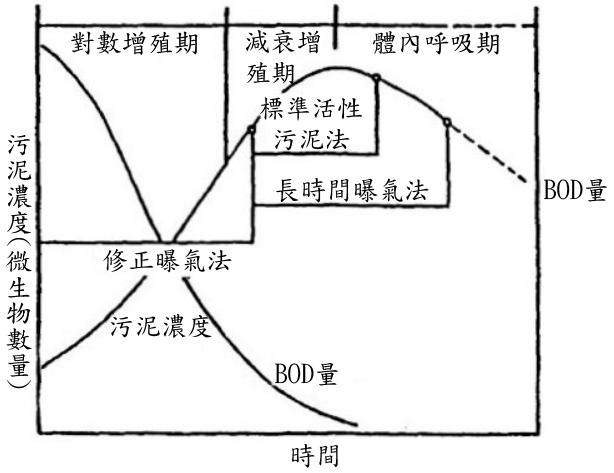


圖 5.5 微生物之增殖過程

微生物的成長及可利用之有機物量之關係，即為各種活性污泥法之負荷條件。

活性污泥為由細菌類、真菌類、原生動物及後生動物等異種個體群微生物所構成之混合培養體。在處理上最初擔任重要角色的為分解、同化有機物之異營菌及液狀營養性真菌類，此等為最低之營養階段，其次被活性營養性之原生動物所捕食，再則被輪蟲及圓蟲類之後生動物之二次捕食者所捕食，而達到淨化，其關係如圖 5.6 所示。

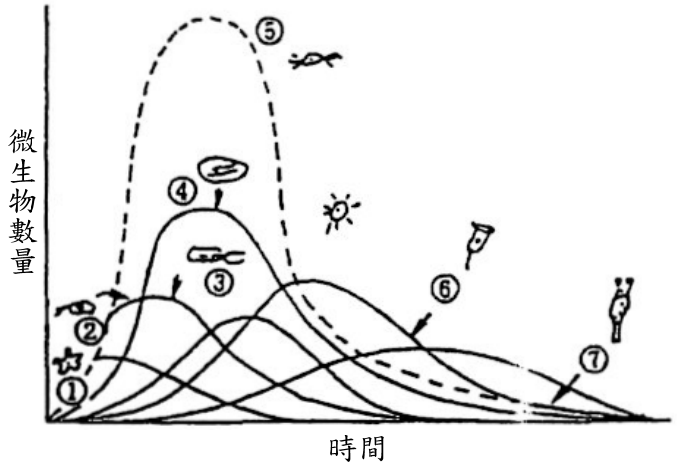
若發生活性污泥的沉降性不佳，其原因多為絲狀菌膨化造成固液分離差，其主要多為操作條件中，溶氧(DO)濃度偏低、F/M 負荷低、有腐敗性(含硫化氫)的污水流入、營養鹽不足或 pH 低等原因所致。

4. 硝化作用

氮在污水中以有機氮和氨氮存在，合稱為凱氏氮，主要為人體所排出之蛋白質代謝物。而有機氮中生物可分解部分，，必先經水解化成為氨氮，再併同原來生污水中之氨氮，經由好氧細菌的反應，部分合成為細胞，部分則

由硝化菌的作用氧化為亞硝酸鹽再氧化為硝酸鹽。由氨氮轉化為硝酸鹽氮的現象，稱為硝化。

經硝化後的硝酸鹽在缺氧狀態下，藉脫硝菌的作用，還原成氮氣，而散出於大氣中，予以去除。氮處理程序中氮之轉換流程，如圖 5.7。



①根足蟲類②植物性鞭毛蟲類③動物性鞭毛蟲類
④自由游泳性纖毛蟲類⑤細菌⑥有柄纖毛蟲⑦輪蟲

圖 5.6 活性污泥中微生物之變化

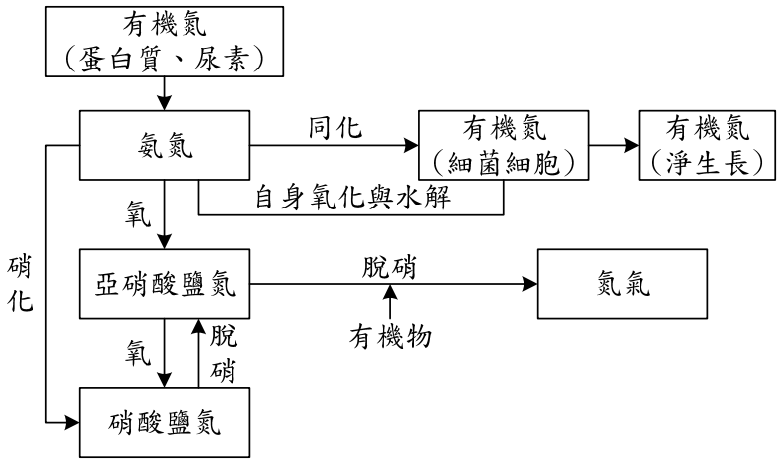


圖 5.7 氮處理程序中氮之轉換流程

硝化作用為自營菌將氨氮先氧化為亞硝酸鹽，再氧化成硝酸鹽氮而釋出能量，並以二氧化碳或碳酸鹽為碳源，合成細胞質。硝化作用的化學反應式可表示如下：

$$NH_4^+ + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O \quad \text{.....(5-4)}$$

$$NO_2^- + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_3^- \quad \text{.....(5-5)}$$

其總反應式為：

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O \quad \text{.....(5-6)}$$

氨氮氧化為亞硝酸氮所釋出的標準自由能，約為 66～84 kcal/mole ammonia，而亞硝酸氮的氧化，約釋出 17.5 kcal/mole nitrite。若微生物的細胞合成量正比於能量釋放，則因氨氮氧化所形成的微生物量，將比因亞硝酸氮氧化所形成的微生物量要多。

因此，氨氮完全氧化的理論需氧量是 4.57 g O_2/g N，其中 3.43 g O_2/g N 是用來形成亞硝酸氮，1.14 g O_2/g N 用來形成硝酸氮，但是當考量微生物的合成作用時，實際的氧需求量將較低些，根據 U.S. EPA，氨氮完全氧化與細胞合成之需氧量為 4.18 g O_2/g N，細胞生長率(cell yield)分別為 0.15 g O_2/g NH_4-N oxidized 和 0.02 g O_2/g NO_2-N oxidized。

在考量硝化過程，於鹼度消耗利用之反應下，其總反應如下式：

$$NH_4^+ + 1.86O_2 + 1.98HCO_3^- \rightarrow 0.02C_5H_7O_2N + 0.98NO_3^-$$
$$+1.04H_2O + 1.88H_2CO_3 \quad \text{.....(5-7)}$$

此外，由方程式中可計算出，每公克的 NH_4-N 硝化會消耗 7.14 公克的鹼度(as$CaCO_3$)，這表示都市污水處理廠若進流水中有 25 mg/L 的氨氮，要將之完全去除需在進流水中有 260 mg/L 的鹼度，才能保證曝氣槽出流水中仍有 80 mg/L 的鹼度。因此現場的操作上，有必要時通常是添加石灰或蘇打粉維持硝化槽的 pH 值，以利硝化作用的進行。

硝化之發生，可從污水處理中的 BOD 量測中看出，其 C-BOD 乃一般有機物的氧化耗氧量，而當殘存有機物低量時，則呈現 N-BOD 即為氮化物硝化耗氧量，T-BOD 即為總耗氧量，如圖 5.8。

硝化細菌的增殖速度，一般比活性污泥中的異營菌為慢，因之為保持活性污泥中的硝化細菌，需要比較長的 SRT，另硝化細菌的增殖速度受水溫、DO 濃度、pH 等之影響很大。

若進流污水中的鹼度低，而氮濃度高時，會因硝化過程而降低污水中的鹼度，使處理水的 pH 下降，處理水的鹼度與 pH 之關係，如圖 5.9。當進行硝化時，若活性污泥混合液及處理水的 pH 降低，可藉添加鹼液或於脫氮時所產生的鹼度，恢復其 pH。

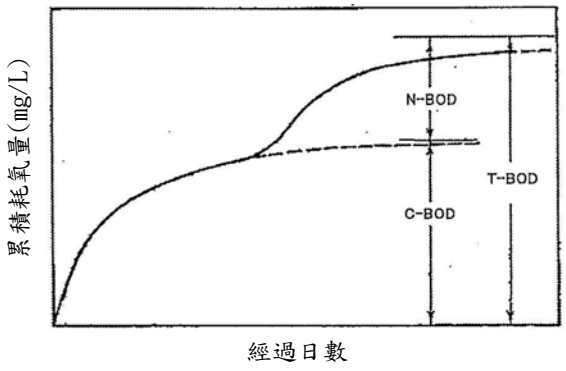


圖 5.8 BOD 的概念圖

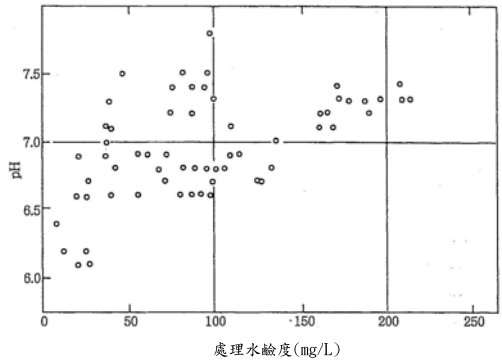


圖 5.9 處理水鹼度及 pH 之關係例

5. 脫硝作用

脫硝作用係以有機物作為氫之電子接受者，將硝酸鹽氮還原為氮氣，並分解有機碳源以獲得能量之作用，其脫硝作用的化學反應式為：

$(NO_3^- \rightarrow NO_2^-) 2NO_3^- + 2(H_2) \rightarrow 2NO_2^- + 2H_2O$ .....(5-8)

$(NO_2^- \rightarrow N_2)\ 2NO_2^- + 3(H_2) \rightarrow N_2 + 2OH^- + 2H_2O$ .....(5-9)

$(NO_3^- \rightarrow N_2)\ 2NO_3^- + 5(H_2) \rightarrow N_2 + 2OH^- + 4H_2O$ .....(5-10)

上述反應中之(H_2)由有機質提供，為甲醇等之有機物及蓄積於細胞內的蓄積物分解後供給。在進行脫硝反應中，反應槽中的溶氧濃度要非常低，同時應存在有反應之細菌內氧化對象的有機物為條件。

由式(5-10)的脫硝反應，1 公克的硝態氮會產生 3.57 公克的鹼度，2.86 公克的有機物(換算 COD)被消耗利用。惟脫硝反應的同時，微生物也在增殖，因之其利用的有機物若以甲醇為碳源，則以下式表示之：

$NO_3^- + 1.08CH_3OH + H^+ \rightarrow 0.065C_5H_7O_2N + 0.47N_2 + 0.76CO_2 + 2.44H_2O$...(5-11)

由上式知，脫硝反應每去除 1 公克的硝酸鹽氮會消耗 2.47 公克的甲醇，甲醇 1 公克約 BOD 1 公克，因之脫硝時所需 BOD 量約 2.5 公克 BOD/ 公克 NO_3-N，但實際上因污水之有機物有所差異，脫硝所利用之 BOD 量，也會有所幫助，再加上硝化反應槽的氧化分解所消耗的，脫硝所需之 BOD/T-N 比約在 3.0～3.5 以上。

典型缺氧好氧生物脫氮處理程序，如圖 5.10，其 BOD 及各種氮化合物濃度之變化情形，如圖 5.11。於缺氧階段，水中 NOx-N 逐步降低至完全脫硝，BOD 濃度同時降低，於好氧階段，NH_4-N 降低，同時 NOx-N 濃度增加，達成硝化作用。

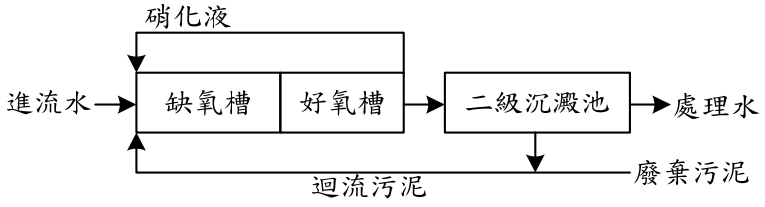


圖 5.10 典型缺氧好氧脫氮程序

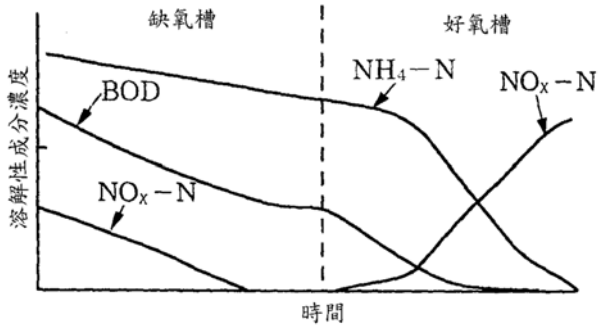


圖 5.11 去氮系統反應槽中 BOD 及氮化物的變化

6. 生物除磷

生物除磷乃是藉磷蓄積菌以去除水中的磷。傳統二級生物處理系統，藉由 BOD 氧化之生物合成作用而攝取水中的磷，而被攝取的磷，則被用來作細胞內能量移轉之用，是細胞合成作用的重要成份，此磷的攝取量多寡和生物合成作用成計量需要的關係。一般而言，傳統二級生物處理污泥磷含量在 1.5～2%，但 AO(Anaerobic-Oxic process)系統中，污泥磷含量可至 4～12%之間，大約是傳統活性污泥的 2～4 倍，這是由於在 AO 系統中會形成 Acinetobacter，此類磷積蓄菌的優勢環境，因而加強生物去除的效果。

圖 5.12 為活性污泥法中磷的質量平衡圖，廢棄污泥中磷的含有率愈高，磷的去除率就愈大。

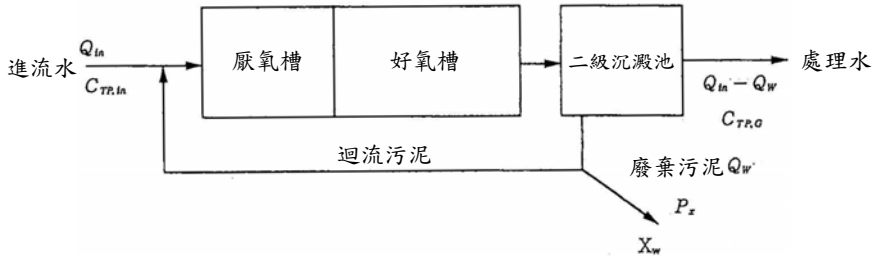


圖 5.12 活性污泥法除磷平衡圖

反應槽及其相關之磷的質量平衡，可以下式表示之：

$Q_{in} \cdot C_{TP,in} = Q_w \cdot X_w \cdot P_x + (Q_{in}-Q_w)C_{TP,G}$ .....(5-12)

式中：

Q_{in}：進流水量

Q_w：廢棄污泥量

$C_{TP,in}$：進流水 T-P 濃度

$C_{TP,G}$：處理水 T-P 目標值

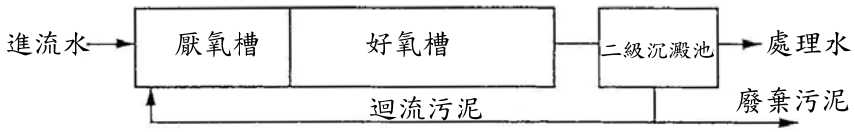
X_w：廢棄污泥 SS 濃度

P_x：廢棄污泥中磷含有率

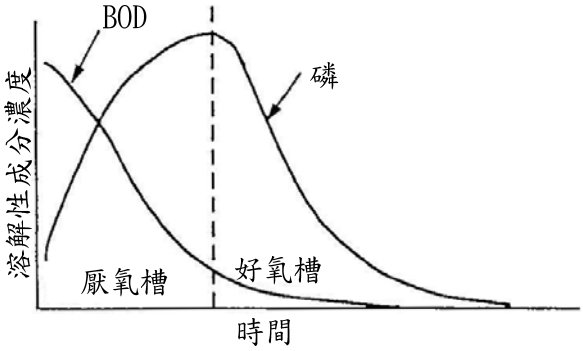
處理水中 T-P 濃度，可改寫成式 5-13：

$$C_{TP,G} = \frac{1}{Q_{in}-Q_w}(Q_{in} \cdot C_{TP,in} - Q_w \cdot X_w \cdot P_X) \quad \text{.....(5-13)}$$

在活性污泥反應槽中，前段設定為厭氧槽時，活性污泥於厭氧槽釋出正磷酸鹽(PO_4^{3-}-P)，再於好氧槽攝取超量的正磷酸，最終使處理水中磷的濃度降至接近於 0，同時基質濃度也減少，顯示在厭氧狀態下有機物也被攝取，生物除磷原理，如圖 5.13。



(a)厭氧、好氧活性污泥程序



(b)反應槽中 BOD 及磷的變化

圖 5.13 生物除磷之原理(厭氧、好氧狀態磷濃度變化)

5.2.2 活性污泥法的種類及特性

活性污泥法，依反應槽形狀、混合條件、環境條件(好氧狀態、缺氧狀態、厭氧狀態)、去除對象物質、單位操作機能等之不同，而有各種處理法，若以反應槽形狀之特性加以分類，可分為：

1. 依反應槽形狀加以分類，有一般標準活性污泥法使用的矩型，以及氧化渠法的迴流渠道型。前者可深槽化，用地較省。後者水深多較淺，用地較大。
2. 依反應槽內的混合特性分類，可分為完全混合型及栓塞流動型。

曝氣槽內之水流狀態，依污水之流入方法、迴流污泥之注入方法、曝氣槽內混合液之混合流動方法之不同，而有栓塞流動型及完全混合型兩種，也有其中間型者，如圖 5.14。

(1)栓塞流動型

栓塞流動型為長方形水路之曝氣槽，初級沉澱水自槽之一端流入，而於另一端流出。迴流污泥則於曝氣槽之流入端注入與流入之污水相混合。

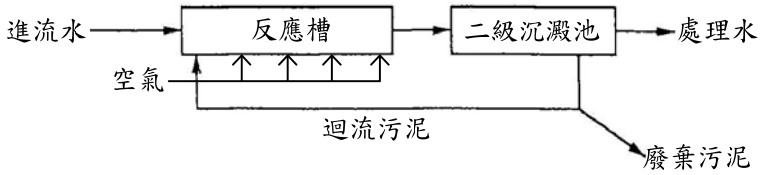
槽內之混合液，大都由設置於槽之一側之曝氣設備所產生之旋迴流所混合，而向槽之流出端流出。

在這種流動狀態下，槽內各點之食微比漸次減少，倘流入污水之食微比增大時，槽之流入部附近就常有溶氧不足的現象。

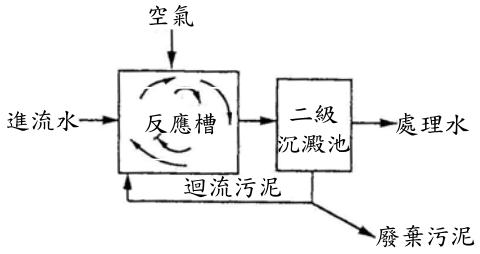
(2)完全混合型

槽之形狀及曝氣方法加以特殊配置，使流入污水、迴流污泥及槽內混合液在短時間內混合，使槽之溶氧消耗均勻化之方法，稱為完全混合型曝氣槽。

這種流動狀態下，槽內之食微比一定，流入污水之平均停留時間也可縮短，但較栓塞流動型容易發生短流現象。



(a)栓塞流流動型示意圖



(b)完全混合流流動型示意圖

圖 5.14 曝氣槽的反應型式

3. 依反應槽內的環境條件分類，依處理對象物質而異，若為去除一般有機物BOD、硝化或攝取除磷，則其環境條件為好氧狀態，若為脫硝去氮，則在缺氧狀態下脫硝。另若為除磷，則依磷蓄積菌(PAO)的生理特性，先於厭氧狀態釋磷，再於好氧狀態攝磷，藉排除污泥以去除磷，因之反應槽之環境條件，依去除目的物質而異。
4. 依反應槽之單元操作機能之分類，活性污泥微生物及污水中之污染物質的反應，以及活性污泥的固液分離，而依單元操作區分為反應槽及二級沉澱池。

5.2.3 活性污泥法設計及操作因子

活性污泥法之設計及操作因子，包括水力停留時間(HRT)、污泥停留時間(SRT)、食微比(F/M)、微生物濃度(MLSS、MLVSS)、廢棄污泥產生量、硝化反應控制、溶氧濃度、需氧量及污泥沉降性等。

標準活性污泥法反應槽容量，其適當 HRT 約 6～8 小時，依水溫、負荷、硝化與否而異。

SRT 依負荷、停留時間及硝化控制而定。

溶氧量依反應需求，pH 下降也會阻礙硝化菌的增殖，尤其在硝化程序影響更大。SRT 則為假設流入反應槽之水質在一定濃度下，依各種活性污泥法的經

驗所設定的 HRT 及 MLSS 濃度所求出者。而 MLSS 濃度，則可依迴流污泥的 SS 濃度及污泥迴流比求出。廢棄污泥的產生量，則視 SRT 的長短而異，SRT 愈長污泥產生量愈少。當進行硝化反應所需氧量，也因活性污泥行內呼吸作用，其需要量也愈增加，其結果單位污水處理量之需氧量也增加。

活性污泥的沉降性及濃縮性惡化原因之一，是為絲狀菌的膨化，在活性污泥混合液中，絲狀性細菌之增殖，會導致活性污泥的分離沉降性及濃縮性變差，因之在活性污泥法操作上，必須考量混合液中絲狀性細菌增殖之控制因子，而做適當的因應。

茲就活性污泥法的設計及操作因子分項分析之：

1. 活性污泥之反應速度

在生物處理的反應過程中，微生物對有機物的代謝與微生物的增殖特性，如圖 5.15。在對數增殖期階段，單位時間微生物濃度變化與微生物增殖速率之關係，可以下式表示之：

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = \mu X \quad \text{.....(5-14)}$$

式中：

$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g$：微生物增殖速率(mg/L・hr)

X：微生物濃度(mg/L)

μ：微生物比增殖速率(mg/hr・mg)

改寫上式得

$$\mu = \frac{(dX/dt)_g}{X} \quad \text{.....(5-15)}$$

在對數增殖期及減衰增殖期階段，基質濃度與微生物比增殖速率之關係，依 Monod 實驗，推估殘留基質濃度與比增殖速率之關係，呈一雙曲線式，一般稱 Monod 式，如下式：

$$\mu = \mu_m\left(\frac{S}{K_S+S}\right) \quad \text{.....(5-16)}$$

式中：

μ_m：飽和濃度中微生物最大增殖速率(hr^{-1})

S：基質濃度(mg/L)

Ks：飽和常數，$\mu=\frac{\mu_m}{2}$時基質濃度(mg/L)

綜合上述對數增殖期及減衰增殖期階段，其微生物比增殖速率與基質濃度關係，如圖 5.15。合併(5-15)及(5-16)式，得

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = \frac{\mu_m X \cdot S}{K_S+S} \quad \text{.....(5-17)}$$

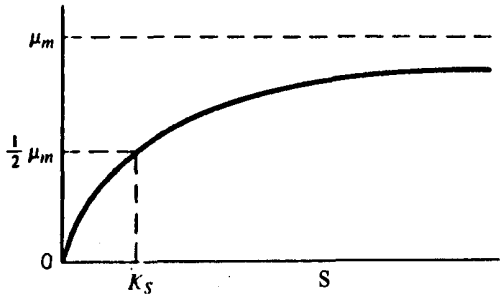


圖 5.15 微生物比增殖速率與基質濃度之關係

微生物之增殖，乃微生物利用基質而轉化成為新的細胞所增加者，則其間的關係，可以下式表示之：

$$X_m - X_0 = YS_0 \quad \text{.....(5-18)}$$

式中：

X_m：基質限制濃度(S_m=0)時，微生物濃度(mg/L)

X_0：最初基質濃度 S_o 時之微生物濃度(mg/L)

Y：微生物增殖係數(mg/mg)

改寫(5-18)式得

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = Y\left(\frac{dS}{dt}\right)_u \quad \text{.....(5-19)}$$

基質濃度極低時，可將(5-19)式代入(5-17)式，得(5-20)式如下：

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_u = \frac{\mu_m X \cdot S}{Y(K_s+S)} \quad \text{.....(5-20)}$$

式中：

$\left(\frac{dS}{dt}\right)_u$：基質利用速率(mg/L・hr)

而在減衰增殖期，由於部分微生物死亡或一部分微生物，以其原生體為維持生存的能量來源，以致微生物濃度減低，可以下式表示之：

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_d = -k_d X \quad \text{.....(5-21)}$$

式中：

$\left(\frac{dX}{dt}\right)_d$：微生物減衰速率(mg/L・s)

k_d：微生物減衰係數(hr^{-1})

欲求取體內呼吸期微生物之淨增殖率，則可聯合(5-17)、(5-21)及(5-19)得(5-22)及(5-23)式。

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g^{net} = \frac{\mu_m X \cdot S}{K_s+S} - k_d X \quad \text{.....(5-22)}$$

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g^{net} = Y\left(\frac{dS}{dt}\right) - k_d X \quad \text{.....(5-23)}$$

將(5-22)除以 X，即得修正之 Monod 式

$$\mu_{net} = \mu_m \frac{S}{K_S+S} - k_d \quad \text{.....(5-24)}$$

再依(5-19)，以 Y_{obs} 為淨增殖係數推估體內呼吸階段的微生物淨增殖係數，得

$$Y_{obs} = \frac{(dX/dt)_g}{(dS/dt)_u} - k_d \frac{X}{(dS/dt)_u} \quad \text{.....(5-25)}$$

式中：

Y_{obs}：淨微生物增殖係數

另將(5-23)式兩側除以 X，改寫之得

$$\frac{dX/dt}{X} = Y\frac{dS/dt}{X} - k_d \quad \text{.....(5-26)}$$

上式為有限量及有限時間時

$$\frac{1}{X/(\Delta X/\Delta t)} = Y\frac{\Delta S/\Delta t}{X} - k_d \quad \text{.....(5-27)}$$

(5-27)式中$(\Delta S / \Delta t)/X$ 為單位微生物於單位時間內所分解之基質，即比基質利用率，以(q)表示之。又 $X/(\Delta X/\Delta t)$為平均污泥停留時間，以(θc)表示之，則(5-27)可改寫為：

$$\frac{1}{\theta c} = Y_q - k_d \quad \text{.....(5-28)}$$

式中：

q：比基質利用率(Specific substrate utilization rate)

θc：污泥停留時間(Sludge Retention Time, SRT)或固體物停留時間(Solid Retention Time, SRT)

活性污泥系統之微生物動力反應參數典型值，如表 5.2。

上列諸式，乃在微生物增殖所必須營養物皆充足，僅異營性微生物增殖所須有機物為唯一限制基質，而 pH 及溫度，皆可調整為最適增殖速率等之條件下導出者。

活性污泥法有效處理污水，必須注意下列幾點：

(1) 可沉澱性固體物，應先於初級沉澱池去除之。
(2) 污水與活性污泥之混合液應充分曝氣，以維持好氧性。
(3) 利用空氣或機械設備攪拌混合液，使活性污泥膠羽維持懸浮狀，使活性污泥與污水中之懸浮物質及溶解性物質容易接觸及吸著。
(4) 處理水需經二級沉澱池沉澱，使污水中的活性污泥得以分離。
(5) 持續將必要的活性污泥迴流至曝氣槽，廢棄的污泥予以排出。
(6) 為達到上述諸項條件，必須有各種處理設施配合。普通為污水先經沉砂、過篩、初級沉澱等初級處理，再經生物處理後，於二級沉澱池使上澄液與污泥分離，上澄液消毒後放流於水域。

表 5.2 活性污泥系統之微生物動力反應參數典型值

參數	單位	數值	
		範圍	典型值
k	(d^{-1})	2-10	5.0
k_s	mg/L BOD_5	25-100	60
	mg/L COD	15-70	40
Y	mg VSS/mg BOD_5	0.4-0.8	0.6
	mg VSS/mg COD	0.4-0.6	0.45
k_d	(d^{-1})	0.025-0.075	0.06

註：(1)μ_m=Yk, k=q_m(最大比基質利用率)(2)20℃參考值

被分離後的污泥，一部分成為迴流污泥，再送至曝氣槽，其餘污泥成為廢棄污泥排出，另行處理之。

2. 污泥停留時間(SRT)

在一個有迴流污泥的活性污泥反應槽(如圖 5.16)，以 Q_o、S_o、X_o 表示進流污水量、進流污水 BOD 及 SS 濃度。以 V、S_e、X 表示反應槽中之槽體積、BOD 濃度、MLSS 濃度。以 Q_R、X_R、Q_W 表示迴流污泥量、迴流污泥濃度、廢棄污泥量。以 X_e 表示出流水 SS 濃度。若反應槽為完全混合槽，則該反應槽與二級沉澱池之質量平衡，可以下式表示之：

反應槽中微生物之變化率 = 進流水之微生物變化率 + 微生物產生率 − 微生物去除率

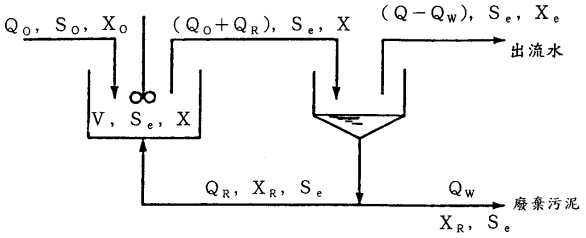


圖 5.16 活性污泥法反應槽質量平衡示意圖

將上述質量平衡以方程式表示，若反應槽容積為 V，進流固體物濃度(X_0)甚低予以省略，可示如下式：

$$\frac{dX}{dt}V = \mu XV - [(Q_0 - Q_W)X_e + Q_W X_R] \quad \text{.....(5-29)}$$

簡化之 $$\frac{dX}{dt} = \mu X - \frac{[(Q_0-Q_W)X_e+Q_W X_R]}{V} \quad \text{.....(5-30)}$$

在穩定狀態(Steady State)下設$\frac{dX}{dt} = 0$，則

$$\mu = \frac{(Q_0-Q_W)X_e+Q_W X_R}{VX} \quad \text{.....(5-31)}$$

代入得污泥停留時間$\theta_C = \frac{VX}{(Q_0-Q_W)X_e+Q_WX_R}$.....(5-32)

即$\mu = \frac{1}{\theta_c}$，上式污泥停留時間(θ_c)並未包括微生物自行減衰之減少量，而實際 θ_C，應將微生物自行減衰量包括在內，而稱為平均細胞停留時間(MCRT，θm)，則

$$\theta_m = \frac{VX}{(Q_0-Q_W)X_e+Q_WX_R+k_dXV} \quad (5\text{-}33)$$

3. 食微比(Food/Microorganism ratio, F/M ratio)

若活性污泥反應之周邊，以基質平衡關係表示之，則為[反應槽基質變化率]=[基質流入率]－[基質流出率]+[基質去除率]。改以方程式表示之：

$$\frac{dS}{dt}V = Q_0S_0 + Q_RS_e - \left[\frac{\mu XV}{Y} + (Q_0+Q_R)S_e\right] \quad (5\text{-}34)$$

簡化之

$$\frac{dS}{dt} = \frac{Q_0}{V}(S_0 - S_e) - \frac{\mu X}{Y} \quad (5\text{-}35)$$

當在穩定狀態，假設$\frac{dS}{dt} = 0$

則$\frac{\mu}{Y} = \frac{Q_0(S_0-S_e)}{VX}$.....(5-36)

上式$\frac{\mu}{Y}$可以 q 表示之。

$$q = \frac{Q_0(S_0-S_e)}{VX} \quad (5\text{-}37)$$

q 為總基質量被總微生物之利用率

$$若\ E = \frac{(S_0-S_e)}{S_0}\times 100 \quad (5\text{-}38)$$

式中：

E：BOD 去除率(%)

且加入有機物負荷率(L_S)或食微比(F/M Kg BOD/Kg MLSS・d)，為單位微生物量在一天時間內所負荷的有機物。若上述之(5-37)式中，不計流出水之 S_e，其式為

$$\frac{F}{M} = L_S = \frac{(Q_0\cdot S_0)}{VX} \quad (5\text{-}39)$$

$$q = \frac{(Q_0\cdot S_0)}{VX}\times\frac{(S_0-S_e)}{S_0} = \frac{(F/M)E}{100} \quad (5\text{-}40)$$

$$\frac{1}{\theta_C} = \frac{Y(F/M)E}{100} - k_d \quad (5\text{-}41)$$

又負荷量也有以容積負荷(L_V，kgBOD/m^3・d)表示：

$$L_V = \frac{Q_0 \cdot S_0}{V} \quad \text{.....(5-42)}$$

曝氣槽單位容積食微比，可以曝氣槽之容積和 BOD 與流量之積計算之。

食微比增加，則 BOD 去除率降低。食微比及有機物之分解及污泥增殖之關係，如圖 5.17。即食微比愈大，未淨化之有機物量愈多，處理水水質愈差。食微比之不同，污泥之沉降性也異。為獲得良好的處理水，如何能形成沉降性良好的污泥為先決條件。

依據實際污水處理廠操作經驗，一般採 BOD 容積負荷量 0.5～1 kg BOD/m^3・d、食微比 0.2～0.4 kg BOD/kg MLSS・d 為宜。

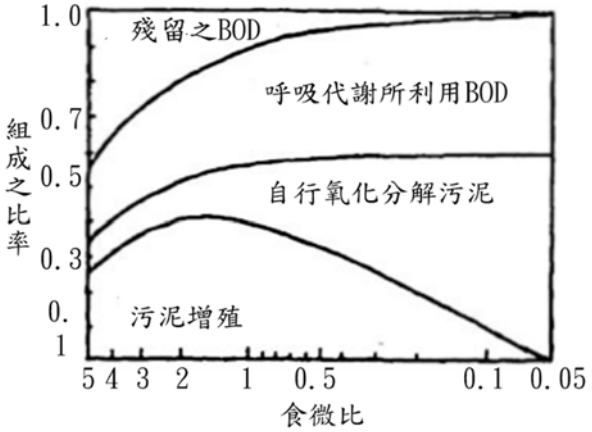


圖 5.17 食微比及有機物之分解和污泥增殖之關係

4. 微生物濃度、反應槽體積及污泥產生量

反應槽中微生物濃度與基質濃度之變化，可以下式表示之：

$$\frac{dX}{dt} = Y\frac{dS}{dt} - k_d X \quad \text{.....(5-43)}$$

$$\mu = Yq - k_d \quad \text{.....(5-44)}$$

$$\text{改寫之} q = \frac{(1/\theta_C + k_d)}{Y} \quad \text{.....(5-45)}$$

$$\text{依(5-45)} \frac{1/\theta_C + k_d}{Y} = \frac{Q_0(S_0 - S_e)}{VX} \quad \text{.....(5-46)}$$

調整上式，得反應槽中微生物濃度為：

$$X = \frac{YQ_0(S_0 - S_e)}{V(1/\theta_C + k_d)} \quad \text{.....(5-47)}$$

一般以下式表示之：

$$X = \frac{YQ_0(S_0 - S_e)\theta_C}{V(1 + k_d\theta_C)} \quad \text{.....(5-48)}$$

相對的若出流水 S_e 及 θ_c 或 F/M 已知，則曝氣槽體積可由(5-49)式改寫：

$$V = \frac{YQ_0(S_0 - S_e)\theta_C}{X(1+k_d\theta_C)} \quad (5\text{-}49)$$

另污泥產生量(P_X，kgVSS / d)則可改寫為

$$P_X = \frac{YQ_0(S_0 - S_e)}{1+k_d\theta_C} \quad (5\text{-}50)$$

5. 曝氣槽水力停留時間(HRT)

污水 BOD 之去除，需有充分的反應時間，送入曝氣槽之空氣，具有使活性污泥與污水混合液充分攪拌混合的效果。曝氣時間長短，視污水之濃度及種類而異，一般曝氣槽當迴流比一定時，系統之平均水力停留時間可以下式表示：

$$\theta = \frac{V}{Q_0} \quad (5\text{-}51)$$

上述有機物負荷率(L_S)、BOD 容積負荷(L_V)及水力停留時間的關係，如式(5-52)及(5-53)。

$$L_V = \frac{Q_0 \cdot S_0}{V} \times 10^{-3} = \frac{1}{\theta} \times S_0 \times 10^{-3} \quad (5\text{-}52)$$

$$L_S = \frac{Q_0 \cdot S_0}{X \cdot V} \times 10^{-3} = \frac{S_0}{X} \times \frac{1}{\theta} \times 10^{-3} \quad (5\text{-}53)$$

通常流入污水 BOD 較一定時，活性污泥法處理上 HRT 與 BOD 容積負荷呈反比，BOD-SS 負荷在經驗上，可藉以預估處理水的 BOD 或 BOD 去除率。

在活性污泥法的設計及操作指標上，SRT 及食微比(F/M)為一重要因子。

6. 活性污泥之沉降性

經活性污泥法處理後的污水，必須將處理水與污泥分離，而以沉降性較佳、容易分離之污泥為宜。污泥沉降性之指標，以污泥容積指標(Sludge volume index 簡稱 SVI)表示。

SVI 乃曝氣槽內之混合液在 1000 mL 的量筒中，靜置三十分鐘之沉澱率，以 1g 之活性污泥所佔容量以 mL 表示。

$$SVI = \frac{\text{活性污泥 30 分鐘沉澱率}(\%) \times 10^4}{\text{曝氣槽內混合液 MLSS 濃度}(mg/L)} \quad (5\text{-}54)$$

操作正常活性污泥之 SVI 為 50～100 mL/g(一般活性污泥 MLSS 濃度下，1 g 的污泥在量筒的體積)，但當污泥發生膨化時，其 SVI 常高達 300～400 mL/g。SVI 與食微比有密切的關係。通常在低負荷 0.05～0.1、中負荷 0.2～0.4 kgBOD/ kgMLSS 下操作，其 SVI 較低。另 SVI 的倒數 SDI 為單位體積濃度的重量。

影響 SVI 之因素，包括 BOD 濃度、溶氧濃度、曝氣時間、水溫、F/M 及有毒物質等。

一般污水處理廠，大都選擇 SVI 較低的低負荷或中負荷之生物處理法設計。

7. 污泥迴流比及污泥沉降性

為維持曝氣槽內污泥濃度一定，並假設進流水及放流水中之 SS 偏低不計，則曝氣槽內混合液濃度 X 和迴流污泥之濃度 X_R 間之關係，可以下式表示之：

$$Q_R X_R = (Q_R + Q_0)X \quad \text{.....(5-55)}$$

$$Q_R = \frac{Q_0 X}{X_R - X}$$

$$R = \frac{Q_R}{Q_0} = \frac{X}{X_R - X} \quad \text{.....(5-56)}$$

式中：

X_R：迴流污泥 SS 濃度(mg/L)

R：污泥迴流比(Q_R/Q_0)

Q_R：迴流污泥量

若欲維持曝氣槽內一定之混合液濃度(MLSS)X 時，依迴流污泥之濃度(X_R)，可藉以決定迴流污泥比，則(5-57)式，可改以圖 5.18 表示之。

另曝氣槽之最大可能 MLSS 濃度(X)，可由污泥迴流比(R)及 SVI 求取之，即

$$X = \frac{10^6}{SVI} \times \frac{R}{1+R} \quad \text{.....(5-57)}$$

因此，若知道污泥沉降性 SVI，則迴流污泥量就可決定之。污泥迴流比，SVI 和 MLSS 之關係，如圖 5.19。

同樣 SVI=400 時，

$$R_{400} = \frac{1}{10^6/(2000 \times 400) - 1} = 4 = 400\%$$

由本例可知，若 SVI 愈大，迴流污泥量必愈大，當 SVI=400(mL/g)以上時，實際上已非活性污泥法。

8. 硝化及脫硝作用

(1)硝化作用

硝化之原理及作用，已於第 5.2 節敘述，至於其設計及操作因子，包括：

① 水力停留時間：水力停留時間愈長，硝化作用愈完全，但欲達到硝化作用之水力停留時間，隨系統內活性微生物量之增加而縮短，故增加活性微生物量，可縮短水力停留時間。

② 有機物負荷：食微比的高低影響處理水濃度，進而影響對氨氮去除率，如圖 5.20。此外，BOD_5/TKN 比的高低，會直接影響活性污泥系統中硝化菌的比率。當 BOD_5/TKN 比大於 5 時，硝化菌所佔比率將降低，會影響硝化之進行，因此其比率以低於 5 以下為宜。

③ 溫度：溫度的影響與一般活性污泥法相同，溫度愈高，其系統愈能完全氧化為亞硝酸鹽氮與硝酸鹽氮，使得系統的氨氮去除率愈高，一般操作溫度在 20～35℃。

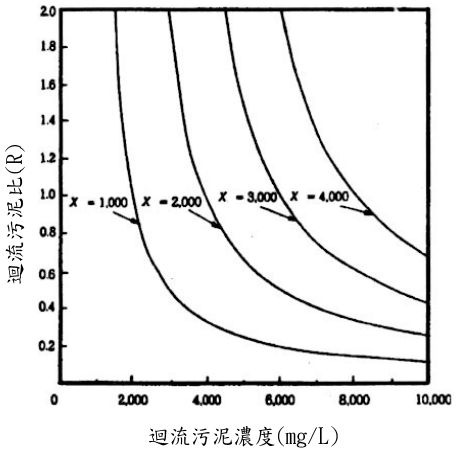


圖 5.18 一定 MLSS 濃度下，迴流污泥濃度與迴流比之關係

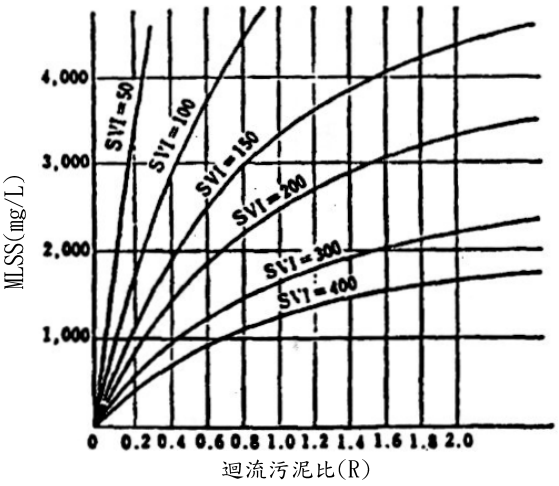


圖 5.19 迴流污泥比、SVI 和 MLSS 之關係

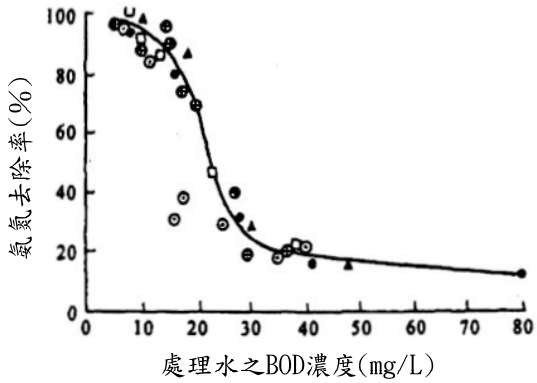


圖 5.20 處理水 BOD 對氨氮去除之影響

硝化之溫度影響關係式如下：

$$\mu m' = \mu m \exp[0.098 - (T - 15)] \quad \text{.....(5-58)}$$

式中：

μm′：T℃時硝化反應之最大比生長速率(L/d)

μm：15℃時硝化反應之最大比生長速率(L/d)

④ 溶氧：由於硝化菌皆為好氧菌，硝化反應的進行需要有溶氧，通常水中的溶氧愈高，硝化的速度愈快。故欲增進硝化作用的效果，一般污水中溶氧的濃度應維持在 2.0 mg/L 以上較佳。(如圖 5.21)

⑤ pH：由於硝化作用會消耗鹼度(7.14 mg/mgN as $CaCO_3$)，因此若水中鹼度不足，硝化槽的 pH 值將逐漸降低，通常須於槽中添加鹼液調整 pH 值。一般 pH 值範圍在 6.5～8.6 之間，最佳 pH 值在 8.0～8.6 左右，如圖 5.22。

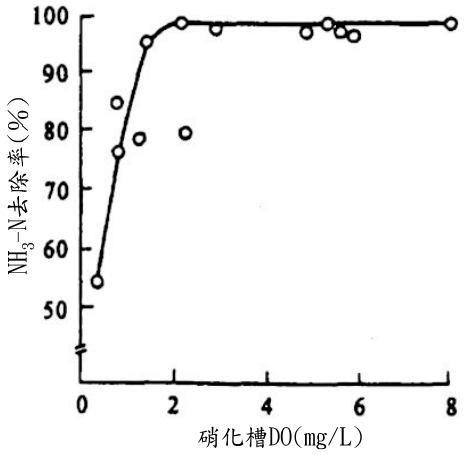


圖 5.21 硝化槽 DO 與氨氮去除率之關係

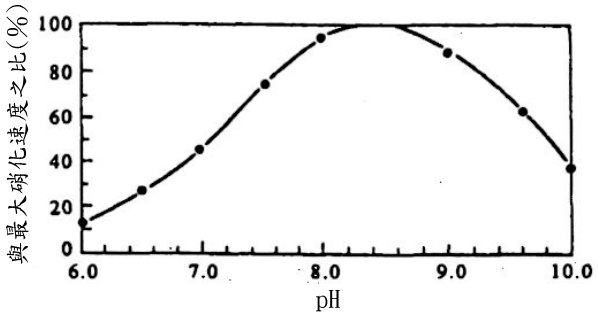


圖 5.22 pH 變化對最大硝化速度之影響

⑥ SRT：為維持硝化菌能不被洗出，以較長 SRT 為宜(10～15 日)，因此若為活性污泥系統，為達硝化效果，其 MLSS 濃度應高於一般活性污泥法之濃度，以 2,000～3,000 mg/L 為宜。

⑦ 其他影響因子：例如非游離態自由氨分子(free ammonia)及非游離態亞硝酸(unionized nitrous acid)，均會對硝化作用造成抑制。其他尚有如重金屬等，均會影響系統的硝化效果。

(2)脫硝作用

① pH：脫硝作用最適 pH 為 6.5～7.5，若太低則其產物為 N_2O，為影響溫室效應的氣體。

② 必要溶氧量：包括有機物氧化消化、活性污泥微生物內生呼吸所需氧量及系統維持量，如下式：

$$\text{必要溶氧量}=D_B+D_N+D_E+D_O \quad \text{.....(5-59)}$$

式中：

D_B：有機物氧化所需溶氧量

D_N：硝化反應所需溶氧量

D_E：內呼吸所需溶氧量

D_O：維持系統所需溶氧量

③ 溶氧：脫硝速率受溶氧之影響，溶氧在 0.2 mg/L 以上，即會抑制脫硝反應，其影響式

$$R'_{DN} = R_{DN}(1 - DO) \quad \text{.....(5-60)}$$

式中：

R'_{DN}：修正值

R_{DN}：未受溶氧影響之脫硝速率

DO：溶氧濃度(mg/L)

④ 氧化還原電位(ORP)：氧化還原電位需維持負值，以確保達到缺氧狀態，一般 ORP 值低於-100 - 150 mV 以下，有助於微生物脫硝反應之進行。

⑤ 低負荷：有機負荷在 0.05 kgBOD/kgMLSS・日以下時，脫硝速率低，在缺氧段之管理上應加注意，如圖 5.23。

⑥ 碳氮比：脫硝作用的進行，需要以有機物做為氫的電子接受者，若以污水中的 COD 有機碳做為碳源，(COD/T-N)比值須在 4.5 以上，其 T-N 去除率才能維持在 70%以上。但有機物負荷過高，異營菌大量繁殖，將導致硝化菌無法留置於槽中，使硝化作用不明顯，故將脫硝槽置於硝化槽之前，以利脫硝作用的進行，並降低硝化槽的碳/氮比，促進後續的硝化作用。C / N 比與脫硝率關係圖，如圖 5.24。活性污泥系統之硝化與脫硝反應動力參數值，如表 5.3。

9. 生物除磷

生物除磷之原理及作用，已於第 5.2.1 節敘述，至於其設計及操作因子，包括：

(1) pH：一般最適 pH 為 7.5～8.0 之間。

(2) 溫度：在 24～37℃間，有最大好氧磷攝取量。

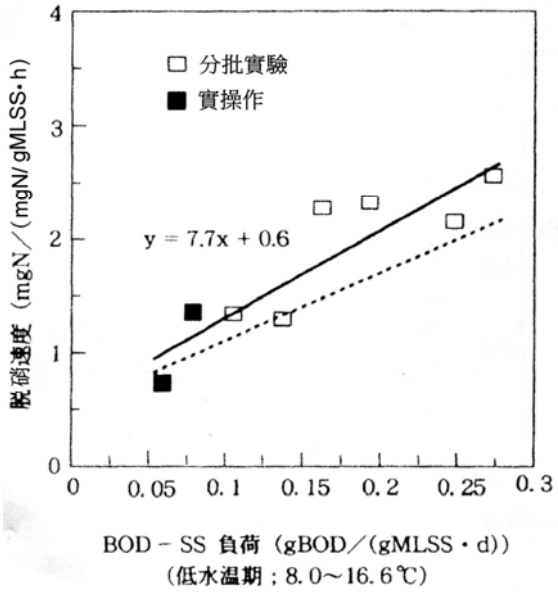


圖 5.23 低負荷時之脫硝率

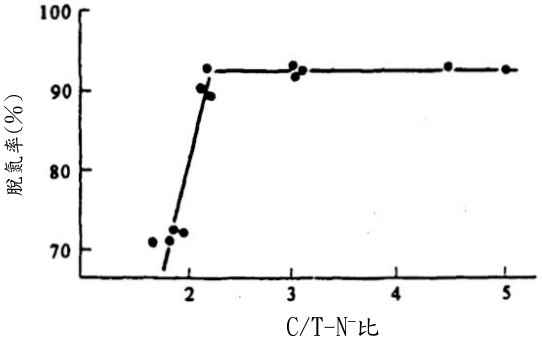


圖 5.24 C/N 比對脫氮率之影響

表 5.3 活性污泥系統之硝化及脫硝動力反應參數典型值

參數	單位	硝化		脫硝	
		範圍	典型值	範圍	典型值
μ_m	(d^{-1})	0.3-3.0	1.0	0.3-0.9	0.3
k_s	mg NH_4^+-N/L(硝化)	0.2-5.0	1.4	-----	-----
	mg NO_3^--N/L(脫硝)	-----	-----	0.06-0.20	0.1
Y	mg VSS/mg NH_4^+-N(硝化)	0.1-0.3	0.2	-----	-----
	mg VSS/mg NO_3^--N(脫硝)	-----	-----	0.4-0.9	0.8
k_d	(d^{-1})	0.03-0.06	0.05	0.04-0.08	0.04

(3) 磷的蓄積能力(phosphorus storage capability)：依磷的蓄積能力，可將活性污泥程序區分為兩種型式，一種為"磷的負荷限制(phosphorus loading limited)"，另一種為"磷的蓄積限制(phosphorus storage limited)"。如果系統中的污泥，具有超過其相對應磷負荷的磷蓄積能力，則此程序的除磷

效果為磷的負荷所限制，又若程序中污泥缺乏磷攝取及儲存的能力，則稱該程序為磷的蓄積能力所限制。一般傳統活性污泥法由於缺少厭氧段，因此通常為磷的蓄積限制。典型的磷在厭氧及好氧段的濃度變化情形，如圖 5.25。

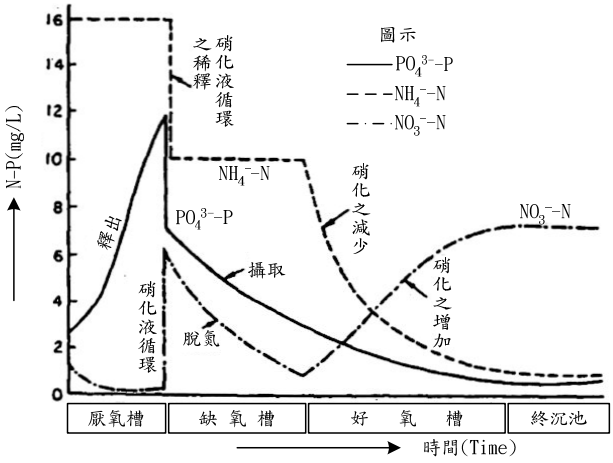


圖 5.25 厭氧/缺氧/好氧程序對去氮除磷特性之典型示意圖

(4) 碳/磷比：在現有的程序中，其污泥的最大含量所對應的碳/磷比值為一臨界值。當碳/磷比值大於此臨界值時，則此系統屬於"磷的負荷限制"，系統中的磷含量小，於最大污泥磷含量，其放流水中磷的濃度與進流水之磷負荷無關。系統中污泥的磷含量，隨 MCRT(平均細胞停留時間)、碳/磷比值等之變動，而能自行調整其污泥的磷含量，使系統達到一定程度之磷去除率。反之，若進流水之碳/磷比值小於系統之碳/磷臨界值，則此處理程序便是屬於"磷的蓄積限制"，此系統中污泥磷的含量維持一定，且無法再增加其磷含量。其磷的去除主要依廢棄污泥達成，而放流水中磷的濃度，則隨負荷之增加而升高。因此，在程序的設計上，其碳/磷比值應在其碳/磷臨界值以上，使其處於"磷的負荷限制"之下操作，以確定系統對磷的去除，是處在安全的磷負荷之下。一般建議之 BOD/T-P 比，以 20 以上為宜。

(5) 厭氧槽的水力停留時間：生物除磷程序最重要的關鍵，乃在厭氧段中污泥的釋磷作用，因其釋出的量愈多，在好氧段所超量攝取的量將愈多。而厭氧段的停留時間，卻影響到污泥釋磷作用的進行，若停留時間不夠，污泥所釋出磷的量太少，將直接影響其在好氧段對磷的攝取量，導致系統的除磷效率降低。因此，厭氧段的停留時間愈長，其污泥將具有較大的"蓄積能力"。一般建議在完全厭氧的環境(指沒有溶氧及硝態氮的存在)，應具有 1～2 小時以上停留時間為宜。

(6) 污泥停留時間(SRT)：生物除磷系統中磷的去除，僅能藉廢棄污泥排出，增加廢棄污泥量將可提升磷的去除率。因此，SRT 不宜過長，一般在 5

～12 日左右，故通常以傳統活性污泥法之 MLSS 濃度(2,000 mg/L)操作，增加廢棄污泥量或減少 MCRT，可增進系統對磷的去除效果。

(7) 硝酸鹽的抑制：在生物除磷程序中，硝酸鹽的存在會造成厭氧槽中磷釋出的抑制。因此，在考量將氮、磷合併去除時，應將迴流的硝酸鹽避免流進磷釋出的厭氧槽，即另外設置一缺氧的脫氮槽，以避免影響磷的釋出，而降低系統的除磷效果。

(8) 攝磷溶氧量：為使磷蓄積菌於好氧槽中能充分攝取磷，好氧槽中之溶氧量以維持在 2.0 mg/L 以上為控制條件。活性污泥系統之除磷反應動力參數值，如表 5.4。

表 5.4 活性污泥系統之除磷動力反應參數典型值

參數	單位	典型值
μ_m	(d^{-1})	1.2(磷負荷限制)
		0.42(磷累積限制)
k_s	mg COD/L	0.18(磷負荷限制)
		0.18(磷累積限制)
Y	mg VSS/mg COD	0.66
k_d	(d^{-1})	0.04

5.3 活性污泥法處理單元設計

活性污泥法處理設施，包括生物處理單元及二級沉澱池單元，各單元之設計流量、形狀、尺寸等設計參數及設計應注意事項，以及生物處理單元分一般去氮及去氮除磷之設計程序，將分項予以討論。

5.3.1 設計基本考量

5.3.1.1 設計流量及水質

活性污泥法生物處理，包括生物處理單元及二級沉澱池，其設計流量以計畫最大日污水量設計。

解說：

1. 污水二級處理其質量平衡計算及功能計算設計流量，以計畫最大日污水量設計。
2. 污水二級處理單元之水理計算，因選用流程不同，應考量進流污水分配、污泥迴流量、硝化液循環量之影響，各單元之水力控制點應注意通過水量之差異。
3. 上述設計流量，應考量質量平衡計算後之數值。
4. 設計水質，依初級沉澱後之水質與內部循環迴流水混合後之水質而定。

5.3.1.2 設計應考量之內涵

活性污泥法設計，應就其系統及設計參數和操作因子，做整體的考量。

解說：

活性污泥法系統設計，應考量事項包括：

1. 確認處理規模及進入二級生物處理之流量和污染負荷。
2. 選擇生物處理方法：判斷是否有去氮除磷需求或是回收再利用，依需求選擇適當之處理程序。
3. 根據全廠的設計處理量及水量水質負荷變動，選擇適當的設計參數(如污泥齡、MLSS 濃度、食微比、SVI 及安全係數)，污泥齡應考量溫度影響。
4. 要注意活性污泥的混合液懸浮固體濃度(MLSS)，對生物反應槽體積影響是相反的。生物反應槽的體積，隨著 MLSS 濃度的增加而減小，二級沉澱池的表面積需求，則隨著 MLSS 濃度的增加而增大。
5. 依選擇的污泥齡計算生物反應槽需要的容積。
6. 根據需要，確定生物除磷的厭氧槽、脫硝缺氧槽的尺寸。
7. 去氮需求之生物處理，應考量需要脫硝的硝酸鹽量，並根據選擇的去氮處理流程，確定生物處理單元的脫硝缺氧槽的體積比例。
8. 根據污水成分，生物反應槽的構造和混合特性(如選用菌種選擇池)，選擇污泥容積指標(SVI)，並決定迴流污泥濃度，依此計算所需迴流污泥率及選擇適當的二級沉澱池表面積負荷或固體物負荷。
9. 根據二級沉澱池水表面積負荷或固體物負荷，決定二級沉澱池之表面積，並決定沉澱池的深度及確認刮泥機的性能可符合需求。
10. 計算廢棄污泥產量，必要時需考量去氮和除磷外來碳源產生的污泥量。
11. 計算進入脫硝缺氧槽的循環硝化液流量(依選擇流程)或計算 SBR 去氮週期。
12. 計算需氧量，設計符合需求的曝氣設備，設計厭缺氧槽攪拌設備。
13. 驗算剩餘的鹼度，以計算後續操作需要的鹼量，需考量的包括氨化、硝化、脫硝、磷沉澱對鹼度的影響。
14. 生物處理單元的設計，應考量營運初期進流水流量低時，可彈性操作，以及未來若有放流水水質標準提升時，可容易調整因應之措施。
15. 生物處理單元的設計，應充分考量節能、減碳及降低污泥產量之整體效能。

5.3.2 各種活性污泥法處理單元及特性

5.3.2.1 一般活性污泥處理方法及設計參數

一般活性污泥法處理方法，包括標準活性污泥法、階梯式活性污泥法、深層曝氣法、延長曝氣法、氧化渠法、回分式活性污泥法(SBR)及活性污泥膜濾法(MBR)等，係以直接去除污水中之污染物質 BOD 為對象，其設計參數包括 MLSS 濃度、食微比(F/M)及 HRT 等。

解說：

各種一般活性污泥法(C-BOD 處理)之種類及設計參數，如表 5.5。

活性污泥法係指經前處理程序之污水，流入生物反應槽與槽內成流動狀的好氧性微生物群之活性污泥物質，充分混合接觸後之流出水，於二級沉澱池沉澱分離，沉澱分離後之污泥部分迴流至生物反應槽，另一部分則成為廢棄污泥排除後，另行處置之處理法，為污水處理系統中常見之二級處理程序。

污水主要利用好氧性微生物對於有機物的分解代謝能力，配合各生長階段的懸浮固體物活性污泥，以達到去除有機物或氮磷等污染物。考量需處理水質目標、進流水水質條件、廠址現地條件、處理程序效率、操作管理便利性及經濟性等因素，除傳統標準活性污泥法外，尚發展出許多改良方法，包括階梯式活性污泥法、延長曝氣法、氧化渠法、回分式活性污泥法(SBR)、深層曝氣法及活性污泥膜濾法(MBR)等，各種方法簡述如下：

1. 標準活性污泥法(Activated Sludge)

標準活性污泥法，可採用完全混合式或柱塞流式池槽，迴流污泥自生物反應槽流入端與初級沉澱池沉澱後之進流水混合後，一併流入生物反應槽，藉水平流動經一定時間曝氣之方法，生物反應槽流出水導入二級沉澱池沉澱分離懸浮固體物質，上澄液即為處理水，沉澱之懸浮固體物，一部分迴流生物反應槽，一部分則成為廢棄污泥排除。

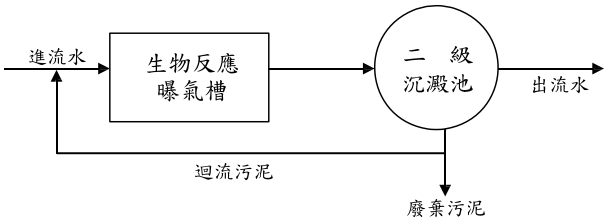


圖 5.26 標準活性污泥法(Activated Sludge)示意圖

2. 階梯式進流活性污泥法(Step Feed Aeration)

為達生物反應槽內混合液之溶氧利用量均勻化，將狹長生物反應槽分成數處分別流入污水之方法，稱為階梯式活性污泥法，操作之 BOD 雖與標準活性污泥法相同，但 BOD 容積負荷較大，去除一定 BOD 所需生物反應槽之容積較標準活性污泥法小，曝氣時間短，亦可使污泥濃度降低。

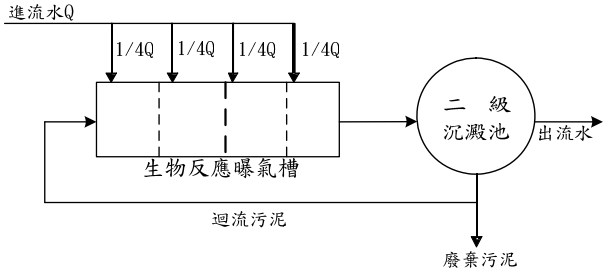


圖 5.27 階梯式進流活性污泥法(Step Feed Aeration)示意圖

表 5.5 去除 C-BOD 為對象各種活性污泥法設計參數

處理方法	特性	食微比 (Kg BOD/ Kg MLSS · d)	混合液懸浮固體濃度 (MLSS)(mg/L)	反應槽水深(m)	水力停留時間 (HRT)(hr)	污泥停留時間(SRT)(d)	污泥迴流率(%)	反應槽形狀
標準活性污泥法*	為包括初級沉澱池、生物反應槽及二級沉澱池之活性污泥處理法	0.2～0.4	1,500～2,000	4～6	6～8	5～10	25～50	柱塞流式、完全混合式
階梯式活性污泥法*	同標準活性污泥法，惟生物反應槽進流水以多段均勻進流	0.2～0.4	1,500～2,000	4～6	4～6	5～10	25～50	多段柱塞流式
深層曝氣法*	設施與標準活性污泥相同，反應槽水深較深	0.2～0.4	1,500～2,000	10～12	6～8	5～10	50～100	柱塞流式、完全混合式
延長曝氣法*	為可不設初級沉澱池，低負荷，污泥產生量較少	0.05～0.10	3,000～4,000	4～6	16～24	20～40	100～200	柱塞流式、完全混合式
氧化渠法*	為可不設初級沉澱池，反應槽為迴流渠道型	0.03～0.05	3,000～4,000	1～5	24～36	20～40	100～200	繞流式完全混合形 可無初級沉澱池
回分式活性污泥法 (SBR)*	為一單槽，兼供進流、生物反應、沉澱排水等機能，高負荷型	0.2～0.4 (高負荷型)	1,500～2,000 (高負荷型)	4～6	12～24	5～10	排水比 1/4～1/2 (高負荷型)	完全混合式
	同上，其負荷為低負荷型	0.03～0.05 (低負荷型)	2,000～3,000 (低負荷型)		24～48	20～40	排水比 1/6～1/3 (低負荷型)	
活性污泥膜濾法 (MBR)	為有細篩，初級沉澱池可省略，附有 MF 或 UF 膜代替二級沉澱池，可無二級沉澱池及消毒池	高負荷 0.2～0.4 低負荷 0.03～0.05	6,000～8,000*	依膜材而定	3～6	長(依 MLSS 而定)	柱塞流式，依操作混合 MLSS 而定，完全混合式則無	柱塞流式、完全混合式

備註：

1. 處理方法中，有*符號各項之食微比、MLSS 濃度、反應槽水深及 HRT 等數據，係參考自日本下水道協會「下水道施設計畫・設計指針と解說」2019 年版。其他數據則參考其他文獻考量後設定。
2. 其他處理方法，活性污泥膜濾法，則依污水處理廠主要設備規範及解說第 11308 章。MBR 的選用，必須考慮在操作上可確實除砂及微細篩，且模組重置時可不受相關採購的限制。

3. 深層曝氣法(Deep Tank Aeration)

標準活性污泥法經過多年發展，其各種變化方法之生物反應槽水深多為4～6 m，如採更深生物反應槽則稱為深層曝氣法，因其池槽水深較深，設施單位面積將可大幅減少(如水深 10 m 時池槽面積可減低至 50%)，適合用地取得困難之地區。

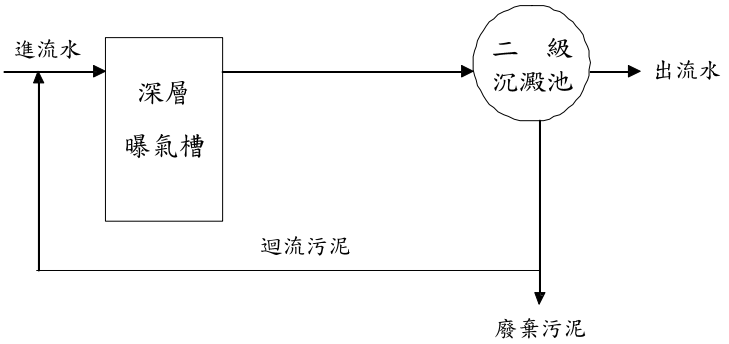


圖 5.28 深層曝氣法(Deep Tank Aeration)示意圖

4. 延長曝氣法

本方法之流程與標準活性污泥法相同，惟採用調整設計參數方法，利用微生物體內分解期之階段，使污水中 BOD 減少，同時減少廢棄活性污泥。本法生物反應槽內 F/M 負荷很低，由於長時間曝氣，使槽內之活性污泥處於營養不足狀態，利用微生物體內呼吸期，因此一度形成之污泥膠羽再度分解，以減少廢棄污泥產生量。

5. 氧化渠法(Oxidation Ditch)

氧化渠法與延長曝氣法原理相同，但處理設施不同，為深 2.0 至 5.0 m，寬 2.0 至 6.0m 之溝渠連結成環狀或帶狀，典型方法以橫軸輪刷式曝氣機自水表面供給氧，同時使污泥不沉降，混合液之流速維持 0.3 m/s 以上之處理方法。

氧化渠的水深若太深，則不易確保流速，惟可以曝氣攪拌設備或設置阻流板等方法，而可不需提高水深。渠道寬度依軸長的經濟性為考量，以6m 為標準，如圖 5.29(b)。

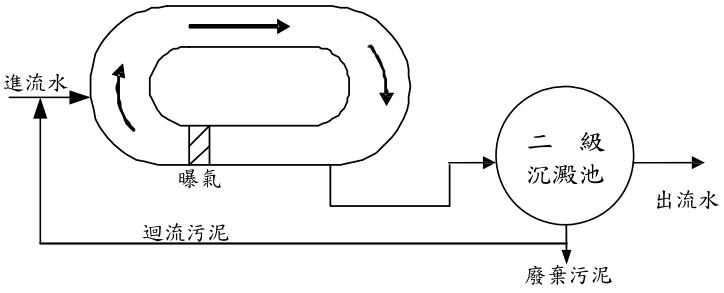


圖 5.29(a) 氧化渠法(Oxidation Ditch)示意圖

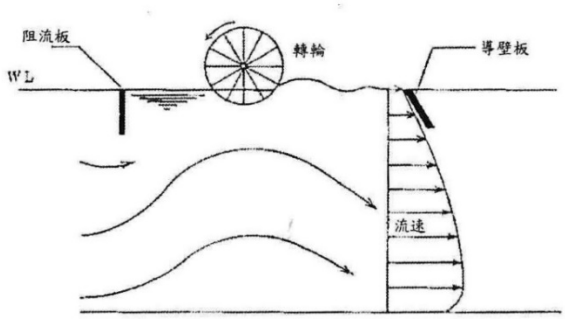


圖 5.29(b) 阻流板設置(例)

轉角部由於愈外周期流速愈快，內側流速較慢，產生滯留污泥沉降，以致有效容量有減少之虞，故轉角部可設置導壁板使內側流速增大，如圖 5.29(c)。

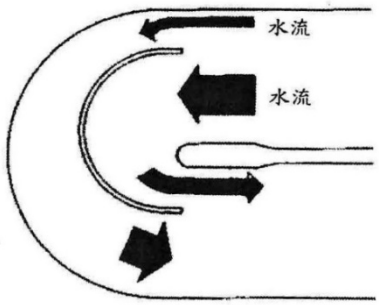


圖 5.29(c) 轉角部設有導壁板之設置(例)

6. 回分式(分批式)活性污泥法(SBR)

回分式(分批式)活性污泥法為活性污泥法之修正法，基本上為生物反應槽兼具沉澱池之用，而依其流入水為間歇流入或連續流入而有不同操作，間歇流入者，其操作分污水流入、曝氣、沉澱及排水等四個階段進行。由污水流入至排水為一循環，其循環之操作，包括曝氣及攪拌設備，皆在一個反應槽內依次進行，而以連續循環操作之，如圖 5.30。

回分式(分批式)活性污泥法，不需如同一般活性污泥法，需另設置二級沉澱池及迴流污泥泵浦，進流方法連續流入者，則需有避免影響沉澱之阻流設施。

7. 活性污泥膜濾法(Membrane bio-reactor，MBR)

活性污泥膜濾法係於生物反應槽內(或採外掛方法)加設微濾膜(Microfiltration)/超濾膜(Ultrafiltration)模組，其結合薄膜固液分離與生物反應槽功能之處理技術，具備生物分解與薄膜分離之雙重作用，可達到去除溶解物質及固體物之效。本法將反應槽內微生物或懸浮固體，以薄膜分離阻絕而產生澄清濾後水，由於微生物被有效滯留於反應槽內，因而可穩定控制微生物在反應槽之停留時間(污泥齡)，膜組操作時利用透膜壓力為驅動力，將經過活性污泥處理過之混合液過濾，而得到過濾液放流水，由於本法通常使用之薄膜孔徑僅約 0.01 至 0.4 μm，濾後放流水水質較一般砂濾為佳，可直接作

為都市用途水，如景觀澆灌、街道灑水、沖廁等使用。活性污泥膜濾法，因其藉由膜進行固液分離，可取代傳統生物處理系統之沉澱池、砂濾及消毒單元，惟膜系統必須定期反沖洗及藥洗以恢復通量。模組之配置分為內置型及外置型，如圖 5.31。

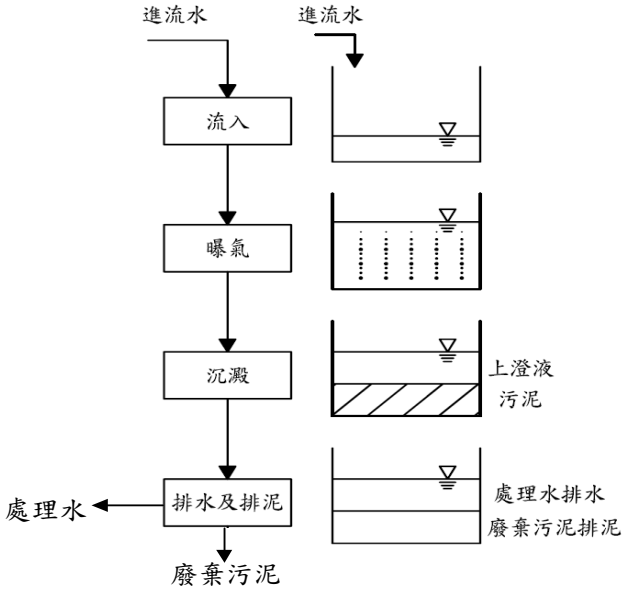
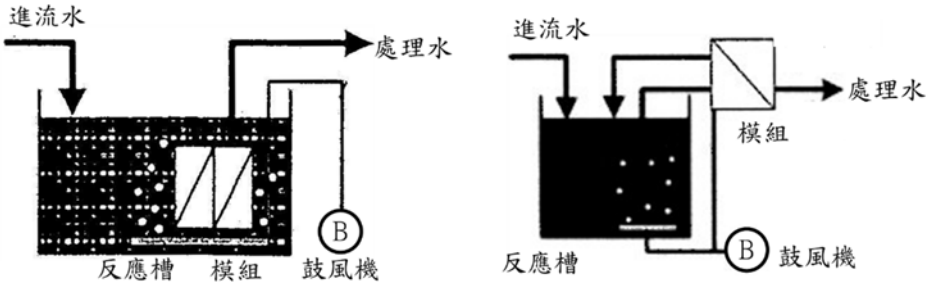


圖 5.30 回分式(分批式)活性污泥法(Sequencing Batch Reactor)示意圖



(a)模組內置型　　(b)模組外置型

圖 5.31 活性污泥膜濾法(Membrane Bioreactor , MBR)示意圖

5.3.2.2 活性污泥法去氮處理之種類及參數

活性污泥法去氮處理，包括生物硝化及脫硝處理，其處理方法，包括循環式硝化脫硝法(MLE)、硝化內生脫硝(OAO)、回分式(分批式)去氮活性污泥法(SBR)、Bardenpho 程序、循環式硝化脫硝活性污泥膜濾法(AO-MBR)、多段進流等多段缺氧進流方法。其設計參數，包括食微比(F/M)、SRT/ASRT、HRT 及硝化液循環率等。

解說：

各種活性污泥法去氮處理單元，主要為其有機物負荷低於標準活性污泥法，並同時具有硝化及脫硝程序，其種類及參數說明如下：

1. 循環式硝化脫硝法(MLE)(modified Ludzack-Ettinger process)

為將反應槽分割為兩部分，前段缺氧槽以進流水 BOD 作為碳源進行脫硝反應，後段好氧槽進行硝化反應。本修正系統(如圖 5.32)為將後置的脫硝槽改置於硝化曝氣槽之前，而增加一內部循環，將曝氣槽中已硝化的硝化液循環迴流至前段的脫硝槽中進行脫硝作用。而脫硝作用其微生物所需的碳源，則由原污水中可生物分解性的有機碳提供，即所謂使用內部碳源。但因好氧槽出流水仍有未迴流的硝酸鹽流出，而未能完全脫硝。本程序在循環比為 2 之下，氨氮去除率約 70～80%，總氮約 60～80%。

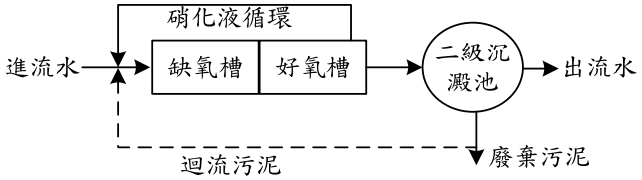


圖 5.32 循環式硝化脫硝法(MLE)

2. 硝化內生脫硝法(OAO 法)

本法流程如圖 5.33，係 Wuhrmann 於 1964 年所發展，於硝化段後配置脫硝，而以在硝化段時活性污泥所吸附的有機物及蓄積於細胞內的有機物，做為脫硝所需的碳源，故於脫硝時既不需添加外部有機物碳源，也不需要迴流硝化液。

本法於脫硝後再曝氣，以使出流水處於好氧狀態，不會於二級沉澱池因發生脫硝，而可防止污泥上浮。

本法若進流水穩定，反應槽對於其流入的氨氮去除率約 70～80%，總氮約 60～70%，反應槽容量較循環式硝化脫硝法(MLE)大 1.2～1.3 倍。脫硝槽應維持 DO 在 0.5 mg/L 以下，以達脫硝。本法為維持脫硝所需碳源，可不設初級沉澱池。



圖 5.33 硝化內生脫硝程序

表 5.6 各種去氮活性污泥法設計參數

處理方法	特性	食微比 (kgBOD/ kgMLSS·d)	ASRT (day)	MLSS (mg/L)	水力停留時間(hr)(HRT)			污泥迴流率(%)	硝化液循環率(%)
					缺氧段	好氧段	合計		
循環式硝化脫硝法 (MLE 法)*	為以前段進流水之 BOD 為碳源脫硝，後段進行硝化反應，需迴流硝化液	0.1～0.2 (較標準活性污泥法略低)	11～15	2,000～3,000	1～3	4～12	5～15	50～100	100～200
硝化內生脫硝法*	生物反應槽之前段為好氧硝化，中段為缺氧脫硝，後段為好氧再曝氣，不設初級沉澱池	0.05～0.1 (較標準活性污泥法略低)	18～24	2,500～4,000	好氧，缺氧，再曝氣 14～18，3～4，1～2		18～24	50～100	不迴流硝化液 (不設初級沉澱池)
回分式(分批式)去氮活性污泥法 (SBR)**	為一單槽分批進流水同槽生物反應、沉澱分離	0.03～0.05	10～30	2,000～5,000	可變動	可變動	20～30	-	-
相分離(硝化脫硝)氧化渠法*	在氧化渠循環系統中，區分為缺氧及好氧段，以氧化脫硝，不設初級沉澱池	0.1～0.2	20～30	2,500～4,000	好氧缺氧時間比 1：1		依計算	50～100	-
Bardenpho 法	為改進 MLE 程序，利用進流水中的微生物分解有機碳進行脫硝	0.1～0.2	11～15	2,000～3,000	(缺氧 1) 1～2	(好氧 1) 2～9	5～15	50～100	100～200
					(缺氧 2) 1～2	(好氧 2) 1.0			
循環式硝化脫硝活性污泥膜濾法 (AO-MBR)*	為於 MBR 系統中，置前段為缺氧，後段為好氧，並置 MBR 於好氧段進行固液分離	依 MLSS 濃度而定	長 (依 MLSS 濃度而定)	8,000～12,000*	1～2	3～4	4～6	20～100	100～300
多段進流活性污泥法(Step Feed)*	生物反應槽分為缺氧、好氧多段，污水進流入缺氧段之方法，分 2～3 段依去除重點可有不同比例	0.1～0.2 (較標準活性污泥法略低)	11～15	2000～3,000 (最終段)	配合進流水比例控制好氧段之相同食微比設計，總 HRT6～9			50～100	不迴流硝化液，若為高去氮需求可增設段數
間歇曝氣延長曝氣法	為不設初級沉澱池，採間歇曝氣以達脫硝	0.1～0.2	20～30	3,000～4,000	好氧缺氧時間比 1：1		16～24	50～100	-

備註：

1. 處理方法中，有*符號各項之食微比、MLSS 濃度及 HRT 等數據，係參考自日本下水道協會「下水道施設計畫・設計指針と解說」2019 年版，P.44～P.45。其他數據則

參考其他文獻考量後設定。
2. 處理方法中，有**符號各項之 ASRT、MLSS 濃度及 HRT 等數據，係參考 Metcalf & Eddy/Aecom(Wastewater Engineering)(第四版)，P.797。(因第五版欠相關資料)
3. 其他處理方法，延長曝氣法，則參考其他文獻考量後設定。
4. 設計者應以設計流量和設計水質，就處理方法之食微比、ASRT 和 MLSS 各參數之數據範圍值為設計依據，水力停留時間值僅做為參考較為妥適。

3. 回分式(分批式)去氮活性污泥法(SBR)

SBR 去氮程序，為於單槽反應槽分六個階段為一循環之操作程序，而於反應槽排泥後，再進流污水至操作水位後的缺氧狀態下，將反應槽予以攪拌，使進流水之有機物做為碳源，進行充分脫硝，繼而進行好氧硝化、沉澱、排水及排泥程序之循環操作。本程序操作為達硝化 MLSS 濃度一般較高，ASRT 也較長，約 10～30 日。

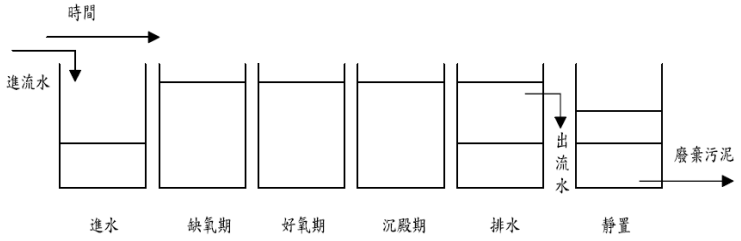


圖 5.34 SBR 處理程序循環示意圖

4. 相分離(硝化脫硝)氧化渠法(OD)

氧化渠硝化脫硝程序如圖 5.35，為於氧化渠的循環流動系統中，藉區分為好氧區及缺氧區，亦即氧化相區與還原相區，以形成同時行硝化及脫硝作用，但亦可以全面好氧及全面缺氧，輪流操作，達到去氮的處理程序。本程序好氧及缺氧段停留時間比約 1：1，氨氮去除率約 70～80%，總氮約 60～70%。

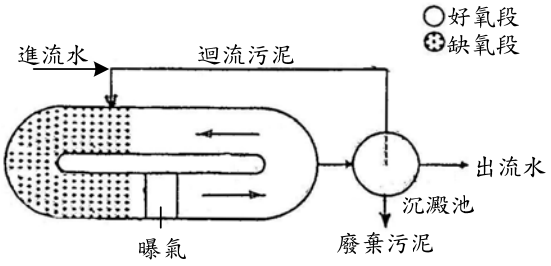


圖 5.35 相分離(硝化脫硝)氧化渠程序

5. Bardenpho 程序

Barnard 為改進循環式硝化脫硝法(MLE)系統，如圖 5.36，使得前脫硝槽中微生物，利用進流水中生物之可分解性之有機碳，進行脫硝反應，而水中殘餘的硝酸鹽，則由後脫硝槽中微生物利用外加碳源或代謝產生的生物碳源，進行二次脫硝，故幾乎可達完全脫硝之目的。

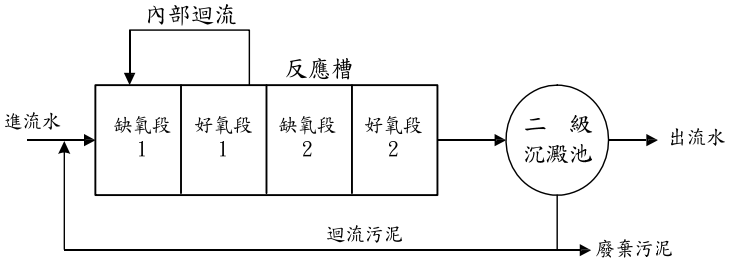


圖 5.36 Bardenpho 去氮程序示意圖

6. 循環式硝化脫硝活性污泥膜濾法(AO-MBR)

活性污泥膜濾系統如圖 5.37，可將好氧性反應槽之硝化液以 100～300%循環至前段缺氧反應段，成為具有硝化、脫硝功能之系統，硝化液迴流循環為本技術特色。進流水應先經細篩分離，穩定流量，反應槽前段為缺氧槽，後段為曝氣活性污泥槽，內置中空絲膜組或片板模組，放流水由膜分離之，可維持高濃度的懸浮固體液。

本處理程序設計及解說，可參考「小規模污水處理設計及解說」第 5.4.7 節。

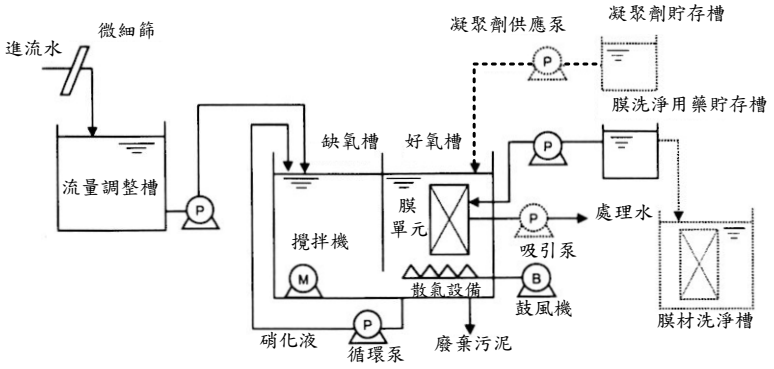
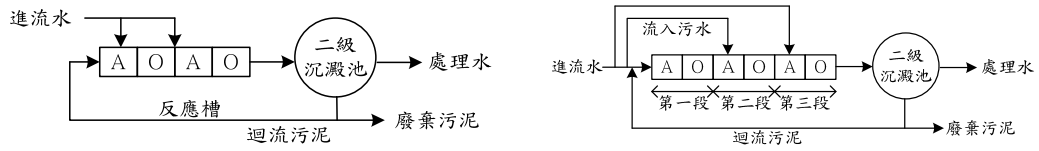


圖 5.37 循環式硝化脫硝活性污泥膜濾法系統圖(AO-MBR)

7. 多段進流去氮程序(Step Feed)

前述方法雖然都可以達到良好的去氮處理效率，惟如須泵送大量之硝化液進行內部循環，來達到脫硝效果時，將消耗較高動力，而多段進流去氮處理程序，可分二段或三段多段缺氧-好氧槽配置進水，如圖 5.38，可不需內部硝化液循環，由於進流水多段進入各缺氧-好氧區，槽內污泥濃度之稀釋作用將被推遲至後幾段，前幾段之 MLSS 濃度將高於後幾段，因此多段進流去氮程序，具較多之污泥儲存量及較長之 SRT，可承受較大的變動負荷。



(a)分二段進水　　(b)分三段進水

圖 5.38 多段進流去氮程序示意圖
(A：缺氧段、O：好氧段)

多段進流應用者，有兩段進水、TNCU 的三段進流及 Metcalf 及 Eddy/Aecom 的四段進水。TNCU 三段進水流量比為 0.7、0.2 及 0.1，其前段 MLSS 較高，相對的負荷較低，可促進硝化作用，中段進流則可提供脫硝碳源並補充鹼度，而後段進流除仍可提供脫硝碳源外，因進流水流量較低，其出流水中未硝化之氨氮及硝化後之 NO_3-N 相對濃度則可較低，在不添加外部碳源下，其處理水總氮可達 12 mg/L 以下，氨氮亦可達 6 mg/L 以下。

日本三段進流法，則為各段進流 1/3 流量，其後續再以人工添加碳源脫硝或各段迴流硝化液。同時 TNCU 也可視進流水之濃度，其三級進流水比，調整為 0.8：0.1：0.1 或適當比列操作。

另依據 Metcalf 及 Eddy/Aecom，其反應槽分八段，缺氧及好氧各分四段，進流水分四段進流，其流量比分別為 15：35：30：20，並依進流水 TKN 濃度添加適量外部碳源下，其處理水的硝酸鹽，可降低 5 mg/L。惟其最後段進流比較大，其出流水恐仍有未脫硝之氨氮，存在量有較高之虞。多段進流對於其各分段之進流量，應能精確分流。

8. 間歇曝氣延長曝氣法

為在前述延長曝氣法之設施中採間歇曝氣之方法，以達去氮之處理方法。

5.3.2.3 活性污泥法去氮除磷處理法之種類及設計參數

活性污泥法去氮除磷處理方法之種類，包括 A^2O 法、Modified Bardenpho 法、MUCT 法、VIP 法、回分式去氮活性污泥法(MSBR)法、TNCU 法及硝化內生脫硝除磷法等。其設計參數包括 F/M、ASRT、HRT、RAS 及內部循環迴流率等。

解說：

各種活性污泥法去氮除磷處理程序之種類及其設計參數，如表 5.7，說明如下：

1. 厭氧缺氧好氧活性污泥法(A^2O)：

典型之厭氧/缺氧/好氧程序為厭氧、缺氧及好氧三單元之組合(Anaerobic/Anoxic/Oxic)，厭氧槽置於最前端，迴流之磷積蓄菌可直接利用進流污水中之有機物，使其與其他細菌競爭，又由於脫硝菌利用有機物較不敏感，可於第二(缺氧)槽中，將迴流水之 NO_2^-及 NO_3^-進行脫硝反應，第三(好氧)槽中則具有硝化作用。此程序之特點，在於設計較短之污泥停留時間 SRT，及較高之食微比(F/M)。本法氨氮去除率約在 70～80%，總氮約 60～70%。由於本法中流至厭氧池的迴流污泥可能富含硝酸鹽，將會妨礙厭氧菌的生存環境，因此乃有人在厭氧池前端增設一缺氧池，以便將迴流污泥中的硝酸鹽還原為氮氣，便將此法稱為改良型 A^2O，實際上，在前端增設缺氧池的改良型 A^2O，即為約翰尼斯堡處理程序(Johannesburg, JHB)，如圖 5.39(b)所示。

2. Modified Bardenpho 處理方法：

Modified Bardenpho 為厭氧、缺氧及好氧等三生物反應槽組合，第一段厭氧槽，可將有機碳及有機氮裂解出較小分子之有機物，如脂肪酸及乙酸，並產生無機氨氮和磷酸鹽，經由第二段缺氧槽時，迴流之混合液挾帶結合氧，如 NO_2^-及 NO_3^-，在此與有機碳被脫硝菌所利用分解而發生脫硝反應，產生

N_2 逸出水中，再流經第三段曝氣槽由好氧性硝化菌繼續進行生物氧化氨氮，轉化為更完全之硝酸鹽氮，同槽內磷積蓄菌進行攝取水中大量磷酸鹽入胞內，形成含高磷量之污泥，除部分污泥排棄於系統外，部分污泥迴流返送回厭氧槽，再行釋磷並分解更多有機物。

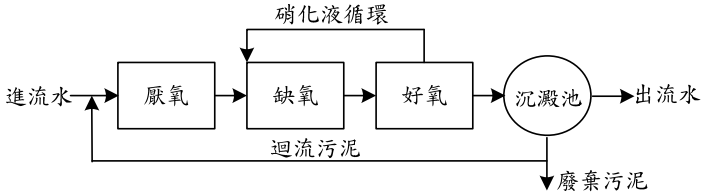


圖 5.39(a) A^2O(Anaeroxic-Anoxic-Oxic)處理程序示意圖

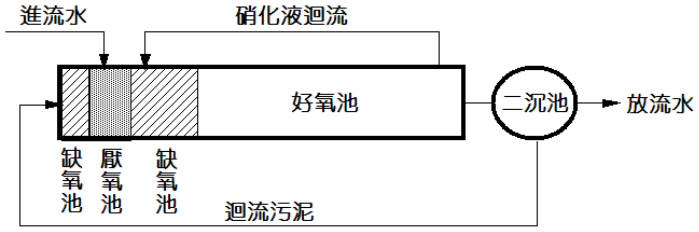


圖 5.39(b) 約翰尼斯堡處理程序示意圖

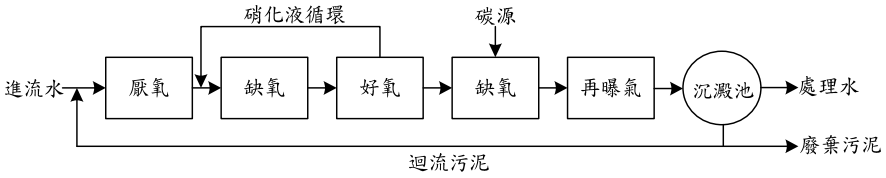


圖 5.40 Modified Bardenpho 處理程序示意圖

3. UCT 及 MUCT 處理方法示意圖如下：

為避免厭氧槽的釋磷作用，受到迴流污泥中硝酸鹽的干擾，UCT 系統將三階段式 A^2O 系統之外部迴流污泥及內部迴流重新排列，由二沉池迴流之污泥先經過缺氧槽進行脫硝後，再迴流至第一段厭氧槽進行生物釋磷作用。依 Metcalf & Eddy/Aecom，本方法如沉澱良好，其處理水總氮可達 3～5 mg/L，但 SRT 長，其總磷處理較差，操作系統複雜，多層迴流，惟若沉澱氮、磷去除可佳。

MUCT 是 UCT 的改良型，其特色是將缺氧池分隔成二池，迴流污泥係流入第一缺氧池，但硝化液迴流並沒流入該池，硝酸鹽在此池被還原，而該池的混合液則迴流至厭氧池，第二缺氧池接在第一缺氧池之後，並從好氧池接受硝化液迴流，而成為此處理程序脫硝的主要部分。

表 5.7 去氮除磷活性污泥法設計參數

處理方法	特性	食微比 (kg BOD/kg MLSS・d)	ASRT (day)	MLSS	水力停留時間(hr)(HRT)						污泥迴流率(%)	硝化液循環率(%)
					厭氧段	缺氧 1	缺氧 2	好氧 1	好氧 2	合計		
A^2O**	反應槽分厭氧、缺氧段、硝化液循環	0.1~0.2	5~25	3,000~4,000	0.5~1.5	1~3	—	4~8	—	5.5~12.5	25~100	100~400
Modified Bardenpho**	為五段式的反應槽，包括厭氧、缺氧、好氧、缺氧及再曝氣	0.1~0.2	10~20	3,000~4,000	0.5~1.5	1~3	2~4	4~12	0.5~1.0	9.5~23	50~100	400
MUCT**	為厭氧、缺氧、缺氧、好氧反應槽	0.1~0.2	10~25	3,000~4,000	1~2	—	2~4	4~12	—	7~18	80~100	100~600 (缺氧液 100~300)
VIP**	反應槽分厭氧段、缺氧段及好氧段，而污泥迴流缺氧段，再迴流厭氧段	0.1~0.2	5~10	2,000~4,000	1~2	1~2	—	4~6	—	6~10	80~100	200~400 (缺氧液 100~300)
MSBR**	為單一槽分批進水同槽生物反應，沉澱分離	0.1~0.2	20~40	3,000~4,000	1.5~3	1~3	—	2~4	—	1 循環 8~12	—	—
TNCU	為將反應槽分六區，包括缺氧、缺氧、好氧、缺氧及再曝氣，進流水分三段，0.7、0.2 及 0.1，進流入厭缺氧段	0.1~0.2	11~15	2,000~3,000	1~1.5	1.5~2.0	1.5~2.0	好氧(1) 3~3.5	好氧(2) 1.5~2.0 好氧(3) 1.0~1.5	9~12	20~50	—
硝化內生脫硝除磷法	為不設初沉池，反應槽分好氧、缺氧、厭氧及再曝氣	0.1~0.2	11~15	2,000~3,000	2~3	1~2	—	6~8	1~2	10~15	20~100	—

備註：

1. 處理方法中，有**符號各項之 ASRT、MLSS 濃度、HRT 及污泥迴流率等數據，係參考 Metcalf & Eddy/Aecom(Wastewater Engineering)(第五版)，P.873。其他數據則參考其他文獻考量後設定。
2. 其他處理方法，TNCU 及硝化內生脫硝除磷法，則參考其他文獻考量後設定。
3. 設計者應以設計流量和設計水質，就處理方法之食微比、ASRT 和 MLSS 各參數之數據範圍值為設計依據，水力停留時間值僅做為參考較為妥適。

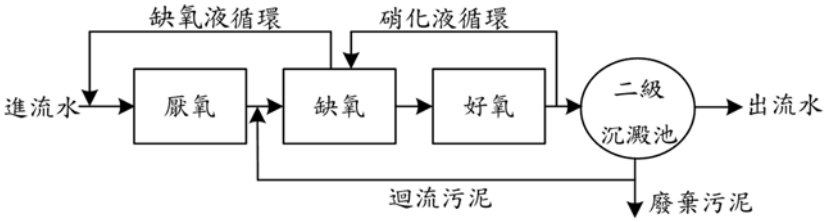


圖 5.41(a) UCT(University of Cape Town)處理程序示意圖

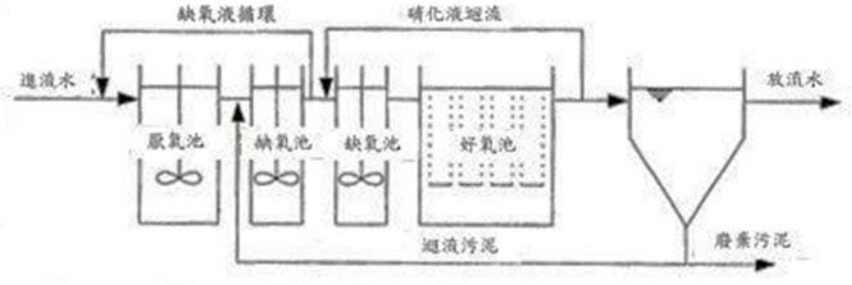


圖 5.41(b) MUCT(Modified University of Cape Town)處理程序示意圖

4. VIP 與階梯式 VIP 處理方法：

VIP 法處理程序，如圖 5.42(a)，為將污泥及硝化混合液都迴流至缺氧槽，其後再自缺氧槽迴流混合液至厭氧槽之程序，則迴流之循環硝化液及污泥中硝酸鹽，可在缺氧槽內先被去除，減低對厭氧槽釋磷之抑制。

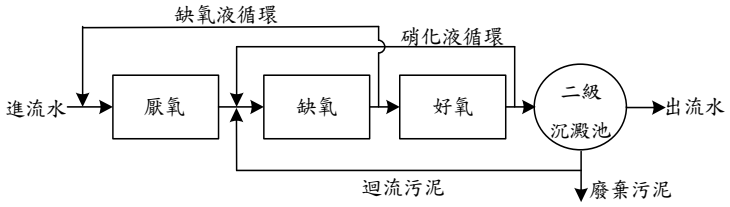


圖 5.42(a) VIP(Virginia Initiative Plant)處理程序示意圖

MVIP 法處理程序，如圖 5.42(b)，其特色仍是採用 VIP 法隔成二至三個小池的厭氧/缺氧/好氧池，但同時採用多段分段配水法，將初沉出水平均分配至厭氧池，本法除迴流污泥流至第一段的缺氧池外，只有缺氧液迴流係利用泵浦送至厭氧池，但硝化液迴流則以重力方式，自前段的好氧池流入後段的缺氧池，因此省去了好氧液迴流泵浦，本法的去氮除磷效果佳。台北市內湖污水處理廠，即是採用階梯式 VIP 處理法來設計。

5. 回分式(分批式)去氮活性污泥法(SBR)：

SBR(Sequential Batch Reactors)，如圖 5.43，所有活性污泥之反應，均於同一完全混合式的反應槽中完成，此反應槽兼具生物反應槽與沉澱池之功能，本程序為將 SBR 系統之操作，分為進水、厭氧期、好氧期、缺氧期、沉澱期、

排水及排泥之操作，以使釋磷、硝化、攝磷、脫硝及分離，達到去氮除磷。惟在放流前放流部分，宜再有曝氣。本法若沉澱良好，可有效去除氮、磷。

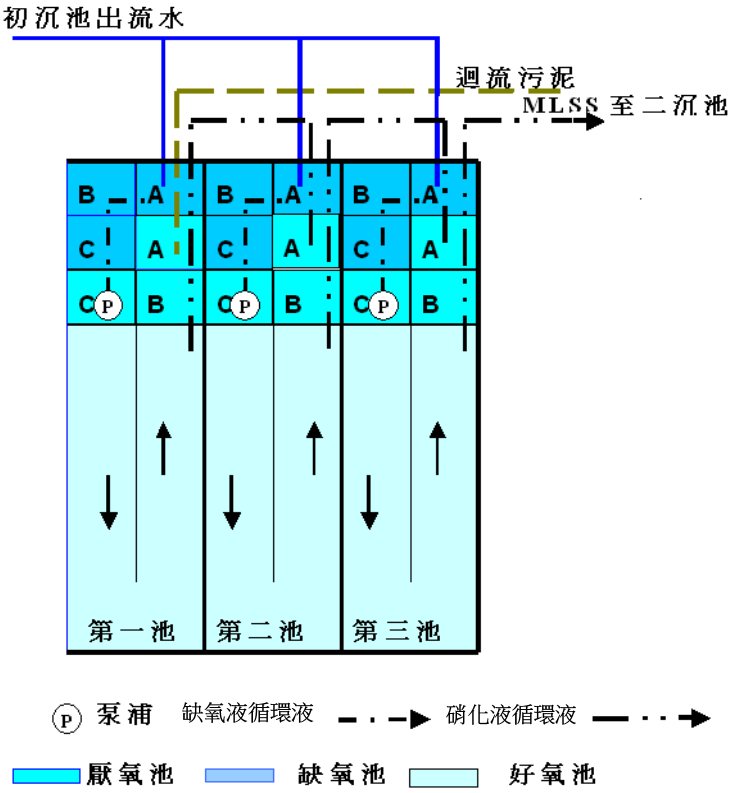


圖 5.42(b)　MVIP 處理程序示意圖

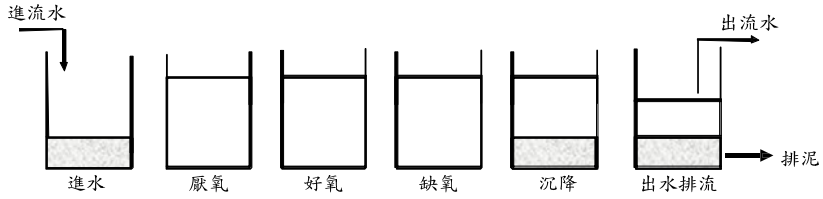


圖 5.43　SBR(Sequential Batch Reactors)處理程序示意圖

6. TNCU 處理方法：

本法處理程序，如圖 5.44，大部分流入水與迴流污泥混合，先進行厭氧釋磷反應後，再於後續好氧槽進行充分硝化及攝磷反應，其後再於後續之 AOAO 缺氧槽，充分脫硝及好氧槽硝化，為提供足夠碳源進行脫硝反應，將小部分流入水引至各缺氧槽，出流前再予提供溶氧，因出流水硝酸鹽有效被去除，可避免迴流污泥影響厭氧槽充分釋磷，各段進流分別以 80%：10%：10%或 70%：20%：10%為適當。本法若進流水分水良好，可獲總氮 12 mg/L、氨氮 6 mg/L 以下之處理水。

一般去氮除磷系統，在於同時去氮、除磷，因之其處理負荷 F/M 比受限，以及不外加碳源脫硝及添加藥劑除磷之經濟考量下，其總氮及總磷之去除率，多約在 70%左右。

但若要獲得更高的去除率，則可採「多段硝化脫硝法+後脫硝及除磷程序」。

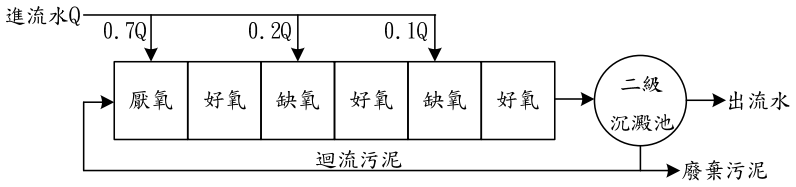


圖 5.44 TNCU(Taiwan National Central University)處理程序示意圖

本程序以低負荷，將污水分三段均量進流，在經三段硝化、脫硝後，於後續再添加外部碳源，進一步達到充分脫硝，另於其後再外加 PAC 進行化學除磷，故本程序可獲得 COD 7.5 mg/L、總氮 3.0 mg/L、總磷 0.08 mg/L 以下之處理水，為一超級去氮、除磷程序，其流程如下：

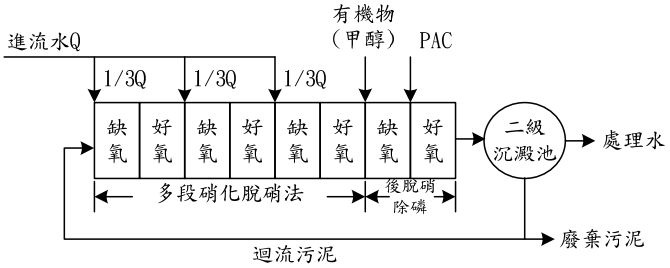


圖 5.45 多段硝化脫硝法+後脫硝及除磷程序

本程序為使各段之固體物量呈同量，故設定各段(含缺、好氧)之槽容量比分別為 1.0：1.4：1.8，且因未有如 A^2O 法等程序，未有未脫硝的氮流出，故其反應槽體積可大為縮小，總氮去除率就可大為提升。

本生物反應槽的 MLSS 濃度可較高(與 A^2O 法等比較)，MLSS 3,000～4,000 mg/L，F/M 比 0.1～0.2 kgBOD/kgMLSS，設施可較小，且係各段皆以缺氧、好氧排列設置，其操作較易掌握，維護管理也較為容易。

本程序適用於大規模污水處理水排放封閉性水域，為降低排放氮、磷總量之系統。在日本琵琶湖污水處理廠之應用實績，其放流水總氮濃度達 2.0 mg/L、總磷 0.04 mg/L 以下。

7. 硝化內生脫硝除磷法：

硝化內生脫硝除磷法，係位於硝化內生脫硝系統之缺氧及再曝氣段間，增置厭氧段，以形成釋磷環境，再於其後予以曝氣攝磷處理，處理水經沉澱池沉澱，排除含高濃度含磷的污泥，以達去氮除磷目的，如圖 5.46。

各種去氮除磷系統特性之比較，如表 5.8。

各種去氮或去氮除磷系統之各反應槽，應設置 MLSS、DO 及 ORP 計，以為操作控制之掌握。

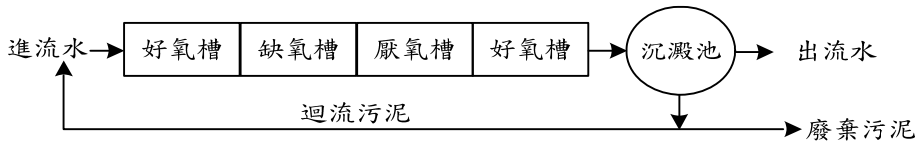


圖 5.46 硝化內生脫硝除磷系統

5.3.3 各種活性污泥法反應槽設計

各種活性污泥法反應槽容積之設計，應依其係一般活性污泥法、硝化脫氮活性污泥法或去氮除磷活性污泥法之不同，分別依其反應特性設計反應槽容積。

解說：

1. 一般活性污泥法反應槽容積設計

活性污泥法之設計，須包括食微比、生物反應槽型式、污泥產生量、需氧量、營養需求、環境需求、固液分離、放流水水質、廠址現地條件等項目，活性污泥法之反應槽容積，依各處理方法之設計參數水力停留時間及設計流量計算之。

當以去除碳源污染物為主時，反應槽的容積及污泥產生量，可依下列公式計算：

(1) 依食微比計算：

$$V = \frac{Q(S_o - S_e)}{L_s X} \quad \text{.....(5-61)}$$

(2) 依污泥泥齡計算：

$$V = \frac{QY\theta_c(S_o - S_e)}{X_V(1+k_d\theta_c)} \quad \text{.....(5-62)}$$

式中：

V：反應槽的容積(m^3)

S_o：反應槽進流水 5 日生化需氧量(mg/L)

S_e：反應槽出流水 5 日生化需氧量(mg/L)

Q：反應槽的設計流量(m^3/d)

L_s：反應槽的 5 日生化需氧量污泥負荷[kgBOD$_5$/(kgMLSS·d)]

X：反應槽內混合液懸浮固體平均濃度(mgMLSS/L)

Y：污泥產率係數(kgVSS/kgBOD$_5$)(一般取 0.4～0.8)

X_V：反應槽內混合液揮發性懸浮固體平均濃度(mgMLVSS/L)

θ_c：設計污泥停留時間 SRT(d)

k_d：衰減係數(d^{-1})

表 5.8 各種生物去氮除磷系統的比較

生物去氮除磷系統	優點	缺點
A^2O 法	1. 可同時去除污水中的 C、N、P。 2. 脫氮及除磷時，直接利用污水中的有機碳，不需外加碳源。 3. 部分碳源因脫氮作用消耗，因此污泥產量較一般活性污泥法少。	1. 脫氮及除磷所需污泥停留時間長短不同，且互相牽制。 2. 缺氧槽中的脫硝菌與好氧槽中的硝化菌，亦因栓塞水流的緣故，不易停留於槽中完全發揮效用。 3. 需要迴流大量硝化液，能耗大。 4. 為使好氧槽氨氮完全氧化為亞硝酸氮及硝酸氮，需要相當長的停留時間，以使有機碳先行氧化去除後，自營性硝化菌才能完全發揮效用。
Modified Barbenpho 法	1. 可同時去除污水中的 C、N、P。 2. 脫氮及除磷時，直接利用污水中的有機碳，不需外加碳源。 3. 放流水的磷可小於 1 mg/L。 4. 污泥產量是所有生物除磷系統中最少的。 5. 污泥磷含量高，可當作肥料。 6. 總氮可處理到比其他處理程序還低。 7. 好氧槽的鹼度可由缺氧槽提供，因此可減少或不用鹼度的添加。 8. 已經被廣泛的使用，有大量的資料可參考。	1. 由於好氧槽直接或迴流到缺氧槽，可能造成溶氧過高，影響到脫硝效率。 2. 槽數太多，泵浦也多。 3. 因槽數較多，所以比 A^2O 法的體積大。 4. 進流需要高的 BOD/P 值。 5. 需要雙重迴流大量缺氧循環液及硝化液而能耗大。
UCT 法及 MUCT 法	1. 可同時去除污水中的 C、N、P。 2. 二沉池迴流污泥到缺氧槽再迴流到厭氧槽，此法可提高脫硝效率和厭氧釋磷環境。 3. 脫氮及除磷時，直接利用污水中的有機碳，不需外加碳源。 4. 部分碳源因脫氮作用消耗，因此污泥產量較一般活性污泥法少。 5. 槽體積比 Barbenpho 稍少。	1. 厭氧槽之厭氧菌，由於栓塞水流的緣故，不易停留於厭氧槽中發揮其水解複雜有機碳的功能。 2. 要提供動力來攪拌，使厭氧槽和缺氧槽的污泥能懸浮。 3. 大量的內部迴流，因此泵浦的能量消耗大，保養也複雜。 4. 需除磷要添加化學藥劑，浪費成本且污泥量多。 5. 進流需要高的 BOD/P 值。
SBR 法	1. 可同時去除污水中的 C、N、P。 2. 單槽處理，系統操作簡單。 3. 系統的操作彈性，可依操作人員的需求而變。 4. 集初沉、曝氣、二沉，3 功能於 1 槽，節省土地的需求。 5. 硝化菌與脫硝菌，因可貯存於槽中的緣故，所以不易流失。 6. 由於單槽處理，所以管路系統趨於簡單。	1. 處理流量多用於小規模者。 2. 因長時間曝氣的關係，所以上澄液 SS 較高。 3. 由於波段的關係，污泥經常上浮而隨放流水流失，導致槽中 MLSS 異常下降。
多段進流及 TNCU 法	1. 可同時去除污水中的 C、N、P。 2. 脫氮及除磷時，直接利用污水中的有機碳，不需外加碳源。 3. 不需內部迴流硝化液，可節省能耗。 4. 部分碳源因直接脫硝利用，因此污泥產量較一般活性污泥法少。 5. 好氧槽的鹼度，可由多段進流及厭氧槽提供，可不用外加鹼度。	1. 由於進流水以定量多段進流，因之進流分水要特別設計。 2. 厭氧槽之厭氧菌，由於栓塞水流的緣故，不易停留於厭氧槽中發揮其水解複雜有機碳的功能。 3. 由於好氧槽污泥直接流入缺氧槽，可能造成溶氧過高，影響脫硝。

(3) θc(SRT)

θc 為 SRT，代表污泥在系統中停留的平均時間，是活性污泥法設計時關鍵的參數，最小污泥停留時間與微生物比生長率成倒數關係，常用的最小參考值，如表 5.9。

表 5.9 最小污泥停留時間與微生物比生長率最小參考值

處理目標	SRT 範圍(day)	影響 SRT 因素
生活污水去除溶解性 BOD	1-2	溫度
生活污水轉換顆粒有機物	2-4	溫度
處理生活污水形成生物膠羽	1-3	溫度
完全硝化	3-18	溫度、尖峰 TKN 負荷、抑制物質
生物除磷	2-4	溫度
穩定活性污泥	20-40	溫度

參考 Grady/Daigger/Lim“Biological Wastewater Treatment”2nd

去氮除磷活性污泥法之 SRT 用於計算好氧槽容積，一般也表示為 ASRT，如果活性系統需考量硝化時，選擇硝化設計 SRT 要考量溫度、尖峰 TKN 負荷、抑制物質等之影響，需乘上安全係數提高設計 SRT 值，安全係數可為 TKN 尖峰負荷與平均負荷之比值。

(4) 衰減係數 K_d 值

應以當地冬季和夏季的污水溫度進行修正，並依下列公式計算：

$$k_{dT} = k_{d20} \times (\theta_T)^{T-20} \quad \text{.....(5-63)}$$

式中：

k_{dT}：T℃時的衰減係數(d^{-1})

k_{d20}：20℃時的衰減係數(d^{-1})

T：設計溫度(℃)

θ_T：溫度係數，採用 1.02～1.06

(5) 污泥產生量

$$Px = \frac{QY(S_o - S_e)}{1+k_d\theta_c} \quad \text{.....(5-64)}$$

式中：

Px：污泥產生量(kg VSS/d)

依上述計算之反應槽容積、進流水流量及水質，以及設定之 MLSS 濃度，校核食微比(F/M)、處理水水質、迴流污泥率及污泥停留時間。

(6) 反應槽型式

反應槽型式已詳述於第 5.2.2 節，其中完全混合型、進流污水及迴流

污泥流入反應槽後，即刻與槽內的混合液徹底混合，因此池內混合液亦具稀釋污水之能力，而使此類反應槽可承受較大的污水濃度與性質變化之衝擊。

(7) 延長曝氣法、氧化渠法、回分式活性污泥法及活性污泥膜濾法，其處理流程可省略初級沉澱池，適用於中小規模處理廠。

(8) 活性污泥膜濾法，因過濾膜採用 MF 或 UF 膜(孔徑 0.01～0.4 μm)，為避免濾膜損傷，進流水應先經細篩處理，並調勻流量，其設計可參考「小規模污水下水道設計及解說」。

2. 硝化反應及硝化槽設計

一、活性污泥法去氮的機制

(1) 活性污泥法去氮，包括硝化及脫硝兩種機制。硝化為硝化菌將氨氮氧化為亞硝酸鹽氮，再行氧化成硝酸鹽氮，脫硝則為脫硝菌以硝酸鹽或亞硝酸鹽為電子接受者，有機碳為電子供應者，進行生物還原作用成為 NO、N_2O 及 N_2。

(2) 硝化作用，主要受 pH、溶氧、碳氮比、溫度、水力停留時間、污泥停留時間、分子氨濃度等因子影響。

(3) 相關反應式

A. 硝化理論需氧量為 4.57 g-O_2 / g-N，反應式如下：

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + H_2O + 2H^+$$

B. 硝化理論鹼度消耗量為 7.14 g-$CaCO_3$ / g-N，反應式如下：

$$NH_4^+ + 2HCO_3^- + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2CO_2 + 3H_2O$$

C. 氨氮轉化成生物細胞，反應式如下

$$4CO_2 + HCO_3^- + NH_4^+ + H_2O \rightarrow C_5H_7O_2N + 5O_2$$

D. 總反應可參考如下：

(A) 依本章 5.2 硝化作用總反應式

$$NH_4^+ + 1.86O_2 + 1.98HCO_3^{—} \rightarrow 0.02C_5H_7O_2N + 0.98NO_3^{—} + 1.04H_2O + 1.88H_2CO_3 \quad \text{.....(5-65)}$$

(B) 參考 Metcalf & Eddy/Aecom“Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery”5th. P.623 ,2014

$$NH_4(HCO_3) + 0.9852Na(HCO_3) + 0.0991CO_2 + 1.8675O_2 \rightarrow 0.01982C_5H_7NO_2 + 0.9852NaNO_3 + 2.9232H_2O + 1.9852CO_2 \quad \text{..(5-66)}$$

E. 硝化比生長率

硝化比生長率計算參考如下，與最小污泥停留時間 $\theta_{c,min}$ 成倒數關係：

參考 Metcalf & Eddy/Aecom“Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery”5th. P.762 ,2014

$$\mu_n = \mu_{nm} \times \left(\frac{S_{NH_4-N}}{K_n+S_{NH_4-N}}\right) \times \left(\frac{S_{O_2}}{K_o+S_{O_2}}\right) - K_{dn} \quad \text{.....(5-67)}$$

式中：

μ_{nm}：硝化菌最大比生長率(1/d) (0.9)

S_{NH_4-N}：氨氮濃度(mg/L)

K_n：硝化半飽和常數(mg/L) (0.5)

S_{O_2}：溶氧濃度(mg/L)

K_o：溶氧半飽和常數(mg/L) (2.0)

K_{dn}：硝化菌衰減係數(L/d) (0.17)

二、硝化槽體積計算可參考如下：

(1) 參考 Taylor & Francis“Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal”, P.30

$$V_{NO} = \frac{[Y_{nH}(S_0-S)+X_i+Y_{nN}\times N_{OX}]\times Q\times\theta_{c,d}}{X} \quad \text{.....(5-68)}$$

式中：

Y_{nH}：淨污泥產率係數(kg-VSS / kg-BOD_5)=Y/(1+ $K_d \times\theta_{c,d}$)，其中 Y=0.6(無論是否有初級處理)

S_0：進流水 BOD_5 濃度(mg/L)

S：出流水 BOD_5 濃度(mg/L)

X_i：進流水不可分解惰性固體物濃度(mg/L)

Y_{nN}：硝化菌淨污泥產率係數(kg-VSS / kg-BOD_5)，0.15(無論是否有初級處理)，YN/(1 + Kdn $\times\theta_{c,d}$)

N_{OX}：氨氮氧化成硝酸鹽濃度(mg/L)

$\theta_{c,d}$：設計污泥停留時間(d)，應等於θ_c,min × S.F.

X：硝化槽 MLSS 濃度(mg/L)

或

(2) 參考日本下水道協會 “下水道施設計畫・設計指針と解說 V.1 – 後編 (2019 年版)”

$V_A=Q_{in}\times t_A= Q_{in}\times\theta_{XA}(a\times C_{S\text{-}BODin} + b\times C_{SS,in}) / (1+c\times\theta_{XA})X$.....(5-69)

式中：

Q_{in}：進流水量(m^3/d)

t_A：好氧槽停留時間(d)

θ_{XA}：好氧之污泥停留時間(A-SRT)(d)

$C_{S\text{-}BODin}$：進流水溶解性 BOD 濃度(mg/L)

$C_{SS,in}$：進流水 SS 濃度(mg/L)

X：MLSS 濃度(mg/L)

a：溶解性 BOD 之污泥轉換率(g MLSS/g S-BOD)

b：SS 之污泥轉換率(g MLSS/g SS)

c：污泥自行分解係數(L/d)

一般 a =0.5～0.6，b=0.9～1.0，c=0.025～0.035

3. 脫硝反應及脫硝槽設計

一、脫硝所需碳源(電子供應者)不同時，其反應式如下

(1) 污水

$C_{10}H_{19}O_3N + 10NO_3^- \rightarrow 5N_2 + 10CO_2 + 3H_2O + NH_3 + 10OH^-$

(2) 甲醇

$5CH_3OH + 6NO_3^- \rightarrow 3N_2 + 5CO_2 + 7H_2O + 6OH^-$

(3) 醋酸

$5CH_3COOH + 8NO_3^- \rightarrow 4N_2 + 10CO_2 + 6H_2O + 8OH^-$

二、硝化液內部迴流比IR計算

參考 Metcalf & Eddy/Aecom “Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery” 5th. P.808

$$IR = \frac{NOx}{N_e} - 1.0 - r \quad \text{.....(5-70)}$$

式中：

IR：硝化液循環比

N_e：設計出流水 NO_3^-濃度(mg/L)

r：迴流污泥比

NO_x：好氧硝化所產生之 NO_x

三、比脫硝率rNO_x可依F/M、溫度、R校正後求取經驗式，或計算參考如下：

(1) 經驗式：參考 Metcalf & Eddy/Aecom “Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery” 5th. P.737

$r_{NOx} = [\ 0.03 \times (F/M) + 0.029\ ] \times 1.026^{(T-20)}$ ..... (5-71)

(2) 理論通式：參考 Metcalf & Eddy/Aecom “Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery” 5th. P.743

$$r_{NOx} = \left(\frac{1-1.42Y}{2.86}\right) \times \left(\frac{kXS}{K_S+S}\right) \times \left(\frac{NO_3}{K_{s,NO3}+NO_3}\right) \times \left(\frac{K\prime_O}{K\prime_o+DO}\right) \times \eta + \left(\frac{NO_3}{K_{s,NO3}+NO_3}\right) \times \left(\frac{K\prime_O}{K\prime_o+DO}\right) \times \left(\frac{1.42}{2.86}\right) \times k_d X_\eta \quad \text{.....(5-72)}$$

式中：

$K_{s,NO3}$：硝酸鹽限制反應半速率常數(mg/L)，0.1

K_o：DO 對硝酸鹽抑制係數(mg/L)，0.1～0.2

η：脫硝菌佔比例，0.6～0.8

四、脫硝槽體積計算參考如下：

(1) 參考 Metcalf & Eddy/Aecom “Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery” 5th. P.803

$$V_{AN} = \frac{NO_r}{r_{NOx} \times X_b} \quad \text{.....(5-73)}$$

式中：

NO_r：去除之 NO_3-N 量(g-NO_3-N / g-VSS / d)

X_b：脫硝槽 MLVSS 濃度(mg/L)

或

(2) 參考日本下水道協會“下水道施設計畫・設計指針解說後編 V.1 -(2009 年版)”

$$V_{AN} = \frac{Q_{in} \times t_{AN}}{24} \quad \text{.....(5-74)}$$

式中：

Q_{in}：進流水量(m^3/d)

t_{AN}：缺氧槽停留時間(h)

缺氧槽進流水之停留時間一般為 1～2 小時

五、去氮系統的效率

(1) 去氮系統的效率，是依據硝酸鹽氮的脫硝程度計算，計算時應扣除廢棄污泥及出水中所去除的凱氏氮，計算式如下：

$$\text{去氮去除率} = \left(1 - \frac{TN_{ef} - TKN_{ef}}{TN_{in} - TN_{ex} - TKN_{ef}}\right) \times 100\% \quad \text{.....(5-75)}$$

式中：

TN_{in}：進流水總氮量

TN_{ef}：放流水總氮量

TN_{ex}：廢棄污泥總氮量

TKN_{ef}：放流水凱式氮總量

(2) 根據硝酸鹽氮之平衡關係，各種處理方法所能達成之最大去氮理論去除率(如圖 5.47)，計算式如下：

$$\text{最大去氮理論去除率} = \left(1 - \frac{1}{N} \times \frac{1}{1+r+R}\right) \times 100\% \quad \text{.....(5-76)}$$

式中：

N：缺氧槽段數

r：迴流污泥率(0-1)

R：系統最後一段之硝化液內部循環比

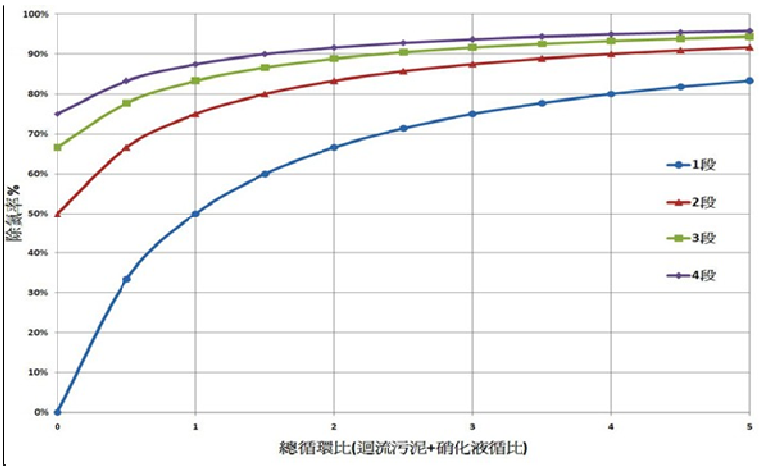


圖 5.47 去氮段數、循環比與去氮效率圖

4. 攝磷反應及厭氧槽容量設計

活性污泥法除磷的機制

(1) 活性污泥除磷程序，即藉由超量攝取磷之磷蓄積菌的行為，以降低廢水中磷之濃度，而儲存於磷蓄積菌體內的磷，則藉由系統排泥，以達到除磷之目的。

(2) 除磷作用，主要受 pH 值、磷的蓄積能力、碳磷比、厭氧槽水力停留時間、污泥齡、硝酸鹽濃度、攝磷溶氧量等因子影響。

(3) 厭氧槽容量之計算

厭氧槽容量，可依厭氧段停留時間計算或是參考日本下水道協會“下水道施設計畫・設計指針解說後編 V.1 - (2009 年版)”

$$V_{DN} = V_{DN+A} - V_A \quad \text{.....(5-77)}$$

$$V_{DN+A} = \frac{C_{BODin} \times Q_{in}}{L_{BOD/X} \times X} \quad \text{.....(5-78)}$$

式中：

V_{DN}：脫硝段容量(m^3)

V_A：好氧段容量(m^3)

C_{BODin}：進流水 BOD 濃度(mg/L)

Q_{in}：進流水量(m^3/d)

$L_{BOD/X}$：BOD-SS 負荷(kg BOD/kg MLSS/d)

X：MLSS 濃度(mg/L)

5. 反應槽設計補充要點

綜合上述各不同反應槽容量設計，補充相關要點如下：

(1) 反應槽容積，依各種處理方法之設計參數水力停留時間及設計流量計算之，並藉以區分各處理方法之相關各段之容積，再依設定 MLSS 濃度，校核該處理方法之食微比、污泥停留時間等。

(2) 為有效去除污水中的磷，得於污水處理廠進流水中，自沉砂池後設置繞流管直接引水入去氮除磷之生物反應槽。

(3) 去氮除磷生物系統中，二級沉澱池所沉降之活性污泥，應維持循環迴流，其污泥排出時，應即進行污泥處理，以防止固體物中磷的釋出。

(4) 厭氧、缺氧、好氧槽間，應設池牆或隔板區隔(如圖 5.48)，隔牆的設置要注意其開口需避免造成短流，另外在隔牆接近水位處需設置開口，以利上方浮渣可以往後排送。流入應避免或降低帶有自由氧之混合液迴流至厭氧槽或缺氧槽。

(5) 厭、缺氧槽攪拌之目的，在以維持混合液懸浮狀態，可以使用沉水式攪拌、豎軸攪拌或噴射攪拌等方法，並避免表面渦流使空氣帶入混合液中。

(6) 去氮處理系統及去氮除磷系統中，採多段進流之程序者，其各段之流量累積變動，因而 MLSS 濃度互異，而逐段 MLSS 濃度漸增，故反應槽之 MLSS 濃度，則應以各段之濃度加以平均，並據以核算全反應槽之 F/M 負荷(如圖 5.49)。

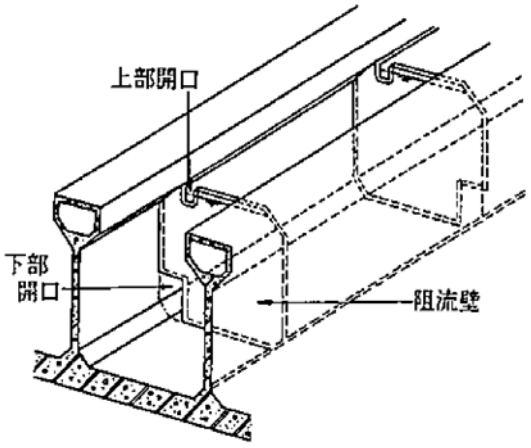


圖 5.48 反應槽池牆或隔板設置案例圖

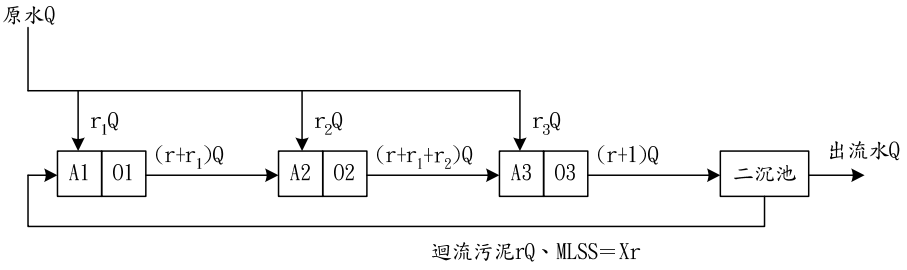


圖 5.49 多段進流反應槽 MLSS 計算方法

5.3.4 活性污泥篩選槽設計

活性污泥法缺氧性菌種篩選槽(Anoxic Selector)容量設計考量：
為抑制活性污泥膨化，可於活性污泥生物反應槽前設置菌種篩選槽，其容量以水力停留時間 20～30 min 設計。

解說：

1. 活性污泥膨化(Bulking Sludge)現象，係指污泥的重量輕、顏色淡、會隨放流水流出之現象，其 SVI 值通常大於 150，可分為絲狀菌及非絲狀菌兩種，絲狀污泥係，因絲狀菌在活性污泥中不正常繁殖，導致 SVI 極端增高所致，以致沉降性變低，影響二級沉澱池之固液分離效能。
2. 為抑制活性污泥膨化，可於活性污泥生物反應槽前設置菌種篩選槽，其可混合進流污水及迴流活性污泥，並應設置攪拌器，以維持進流水及迴流污泥的均勻混合及缺氧狀態。
3. 菌種篩選槽設計容量需具備足夠停留時間，讓迴流污泥之膠羽快速攝取溶解性有機物，以利後續處理程序，但需控制不可過大，以避免氧化過多 BOD，故菌種篩選槽容量，宜以水力停留時間 20～30 min 設計。

5.3.5 去氮除磷凝聚劑的添加設計

一般以生活污水為對象的污水處理，並不需要添加凝聚劑，但在去氮除磷生物處理系統，則因硝化而會降低 pH 值，致影響硝化的進行時，有時必須檢討添加鹼液。若污水處理廠進流水 BOD 濃度偏低，但厭氧、缺氧所需的 BOD 源不足時，則需添加外部碳源。另為促進磷的沉澱去除，有時需要添加凝聚劑等，故必須檢討進流水水質及氮、磷處理的穩定操作及要達到的處理水水質，並從經濟上考量是否添加藥劑、藥劑的種類和添加量。

5.3.5.1 氫氧化鈉、石灰或小蘇打等的添加

反應槽設備，於考慮下列決定之：
1. 因硝化反應及凝聚劑的添加，而造成槽內 pH 下降時，應設置氫氧化鈉、石灰或小蘇打等添加設備。
2. 流入水之有機物濃度若偏低，於缺氧段進行脫硝所需之氫供給體(有機物)，若不足，必要時應添加甲醇等及設置其所需之設備。

解說：

1. 硝化速率常數 Kw 對於 pH 的影響甚為敏感，若 pH 值下降，Kw 也降低，其主要的原因為硝化過程利用鹼，惟污水於硝化後流入缺氧段時，因脫硝可生成鹼度，而回收部分。

   在硝化過程每氧化 1 mg 的 NH_4^+-N，在化學量上會消耗 7.14 mg 的鹼度。另 1 mg 有機氮分解為氨氮時，以及脫硝 1 mg 的 NO_3-N 還原為氮氣時，約會生成 3.27 mg 的鹼度。

   另若為添加硫酸鋁等凝聚劑，也會消耗鹼度。添加凝聚劑硫酸鋁時，所消耗的鹼度其化學量添加硫酸鋁 1 mg 為 5.56 mg。若為 PAC(聚氯化鋁)時，

依實例為 1 mg 的鋁約消耗 3.24 mg/L 鹼度。

因之鹼度之消耗量△C_{ALK}(mg/L)可依下式計之：

$$\triangle C_{ALK} \fallingdotseq 7.14 \cdot \alpha \cdot C_{TN,in} - 3.57(C_{org \cdot N} + C_{NOx}) + \varepsilon \cdot C_{Al} \quad (5\text{-}79)$$

式中：

$C_{TN,in}$：流入水之 T-N 濃度(mg/L)

$C_{org \cdot N}$：分解為 NH_4^+-N 之有機氮濃度(mg/L)

C_{NOx}：脫硝的氮濃度(mg/L)

α：C_{TN} 被硝化之氮濃度比(通常 0.7～0.8)

ε：添加鋁 1mg 之鹼度消耗量(mg/mg)

C_{Al}：鋁添加濃度(mg/L)

若無添加凝聚劑，則所添加氫氧化鈉、石灰或小蘇打等之鹼度提供量如下，無需計算凝聚劑鹼度消耗量：△$C_{ALK} \fallingdotseq 7.14 \cdot \alpha \cdot C_{TN,in} - 3.57(C_{org \cdot N} + C_{NOx})$。

若流入水之鹼度低，而 T-N 超過 50 mg/L 時，將明顯的消耗多量鹼度，就有必要添加鹼劑。生物處理設施設計時，若好氧槽的流出水鹼度低於 30～40 mg/L，就必須考量設置鹼劑注入設備，其添加位置應位於好氧槽的流入端。

鹼劑注入泵應以隔膜泵為適當，注入泵的接觸部及貯存槽等皆應具耐鹼性的材料，且貯存槽應設置防溢堤。

2. 若流入污水之有機物濃度偏低，缺氧槽脫硝所需的氫供給體(有機物)無法提供時，可以甲醇(高純度)或糖蜜為碳源，1g 的甲醇相當於 1g 的 BOD。

增加缺氧槽脫硝所需的碳源之方法，可以污水進流水不經初級沉澱池，而直接繞流入生物處理反應槽，或將初級沉澱池的污泥直接提供反應槽。基於經濟性，於檢討添加甲醇之前，宜充分加以考量比較。

5.3.5.2 除磷凝聚劑的添加

除磷凝聚劑的添加，於考慮下列設計之：

1. 為確保處理水 T-P 濃度在限值內，必要時宜檢討設置除磷凝聚劑添加設備，或流入水之 BOD 偏低，厭氧槽處理反應所需有機物不足時，必要時亦可檢討醋酸等添加設備。
2. 凝聚劑以 PAC 等鋁鹽、聚硫酸亞鐵之鐵鹽等為主，選定時依凝聚劑的性質、處理系統特性選定之。
3. 凝聚劑添加量，依流入水的溶解性總磷濃度、凝聚劑添加莫耳比及設計流量而定。
4. 凝聚劑的添加方式，有定量方式、流量比例方式及負荷比例方式，依處理程序之特性而定。
5. 其他包括添加位置於反應槽末端。凝聚劑添加配管應加保溫。
6. 凝聚劑貯存量以 2 週至 1 個月為宜。

解說：

1. 藉由好氧槽對磷的攝取速度及處理水溶解性 T-P 濃度，以確認處理水磷濃度，可由下式求之：

$$C_{P \cdot A \cdot out} = C_{P \cdot AN \cdot out} / (KU \cdot X \cdot \tau_{AT} \cdot 10^{-3} + 1) \quad (5\text{-}80)$$

式中：

$C_{P \cdot AN \cdot out}$：厭氧槽流出水溶解性 PO_4^3-P 濃度(mg/L)

$C_{P \cdot A \cdot out}$：好氧槽流出水溶解性 PO_4^3-P 濃度(mg/L)=處理水溶解性 PO_4^3-P

濃度 $CP_{\cdot eff}$(mg/L)

KU：溶解性 $PO_4^{3-}P$ 攝取速度可設定為 0.5(1/g MLSS·h)值

X：MLSS 濃度(mg/L)

τ_{AT}：好氧槽實停留時間，以好氧槽容量乘以 24 除以計畫最大日污水量加迴流污泥量之值

處理水溶解性 T-P 濃度 $C_{SP\cdot eff}$(mg/L)依實驗，其濃度與處理 T-P 濃度之關係如下式：

$$CP\cdot eff=C_{Peff}\times 1.02+0.07 \quad \text{.....(5-81)}$$

由上式求出之處理水溶解性 T-P 濃度 $C_{SP\cdot eff}$(mg/L)值，應能確認處理水 T-P 濃度在目標值 $C_{TP\cdot G}$(mg/L)以下。

除磷處理系統，也可由活性污泥中含磷率 P_x(gp/gMLSS)，用以確認磷之去除，其含磷率可由下式求之：

$$Px=\frac{(C_{TP,in}-C_{SP\cdot eff})Q_{in}}{Q_w\cdot X_w} \quad \text{.....(5-82)}$$

式中：

$C_{TP,in}$：流入水 T-P 濃度(mg/L)

Q_{in}：流入水量(m^3/d)

$Q_w\cdot X_w$：廢棄污泥量(kg/d)

實際上污泥中磷含有率Px約 0.025～0.05(gp/g MLSS)為良好的除磷狀態。

而為達到處理水磷的濃度在目標值以下，則可從處理水溶解性 T-P 濃度及活性污泥之磷含有率，計算出處理水 T-P 濃度之目標值 $C_{SP\cdot G}$(mg/L)，可由下式求之：

$$C_{SS\cdot G}=(C_{TP,G}-C_{SP\cdot eff})/PX \quad \text{.....(5-83)}$$

藉以確認處理水含磷濃度。

2. 若為促進磷的去除，而需添加凝聚劑時，原則上以選用添加 PAC 為普遍，另其他代表性凝聚劑及其性質，如表 5.10。

凝聚劑的選用，應同時考慮到污泥最終處置之安全性，鋁鹽添加的污泥，不宜當肥料用，應加注意。

3. 凝聚劑的添加，若以鋁鹽或硫酸鋁者，處理水的總磷及溶解性磷，與流入水之溶解性磷及其凝聚劑添加莫耳比之關係，如依實廠操作數據，如圖 5.50。

表 5.10 代表性凝聚劑

凝聚劑 (液體)	成分及濃度	腐蝕性	其他特性	防止膨化效果	處理水清澈感
硫酸鋁	以 Al_2O_3 表示，88.2%	較弱	最適 pH6.0 左右	有	高
聚氯化鋁	以 Al_2O_3 表示，10%	弱	最適 pH6.0 左右，鹼度消耗較硫酸鋁低	有	高
聚硫酸亞鐵	以鐵表示，11%	較弱	最適 pH6.0 左右	有	高

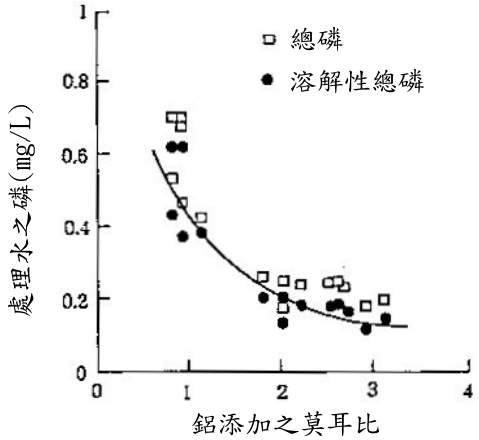


圖 5.50 處理水之磷濃度 Al/P 莫耳比之關係(調查例)

依上圖，若欲達到二級沉澱池流出水總磷及溶解性總磷之目標水質，分別為：

$C_{TP\cdot eff}$=1mg/L

$C_{SP\cdot eff}$=0.4mg/L

並以硫酸鋁凝聚劑之添加率，依圖 5.50 添加莫耳比為 1 時，二級沉澱池流出水之 SS 濃度，可由下式求之：

(1) 處理水總磷濃度，可由下式求之：

$$C_{TP\cdot eff}= C_{SP\cdot eff} +C_{PP\cdot eff} \quad \text{.....(5-84)}$$

式中：

$C_{SP\cdot eff}$：處理水之溶解性總磷濃度(mg/L)

$C_{PP\cdot eff}$：處理水 SS 中之磷濃度(mg/L)

(2) 處理水 SS 中之磷濃度，可由下式求之：

$$C_{PP\cdot eff}=C_{SS\cdot eff}\times P_X \quad \text{.....(5-85)}$$

式中：

$C_{SS\cdot eff}$：處理水之 SS 濃度(mg/L)

P_X：磷含有率(mg/L)

(3) 磷含有率，可由下式求之：

$$Px = \frac{(C_{TP,in}-C_{SP\cdot eff})\times Q_{in}\times 10^{-3}}{L_{ss\cdot w}} \quad \text{.....(5-86)}$$

式中：

$C_{TP,in}$：流入水總磷濃度(mg/L)

$C_{SP\cdot eff}$：處理水之溶解性總磷濃度(mg/L)

Q_{in}：計畫最大日污水量(m^3/d)

$L_{ss\cdot w}$：產生污泥量(kg/d)

(4) 若添加之凝聚劑為鋁鹽，污泥產生量($L_{SS\cdot W}$)，可由下式求之：

$$L_{SS\cdot W}=Q_{in}(a\cdot C_{S\cdot BOD,in}+b\cdot C_{SS,in}-c\cdot X_A\cdot\tau_A+r\cdot C_{Al})\times 10^{-3} \quad (5\text{-}87)$$

式中：

Q_{in}：流入水量(m^3/d)

$C_{S\cdot BOD,in}$：流入水溶解性 BOD 濃度(mg/L)

$C_{SS,in}$：流入水 SS 濃度(mg/L)

X_A：未含有凝聚劑之活性污泥濃度(mg/L)

τ_A：好氧槽水力停留時間(d)

C_{Al}：鋁添加率(mg/L)

a：溶解性 BOD 之污泥轉換率 0.4～0.6(g MLSS/g BOD)

b：SS 之污泥轉換率(0.9～1.0 g MLSS/g SS)

c：污泥內分解速率(0.03～0.05 g 1/d)

r：鋁鹽之固體物產生倍率(5)

(5) 二級沉澱池出流水 SS 量 $L_{SS\cdot eff}$(kg/d)，可由下式求之：

$$L_{SS,eff}=C_{SS,eff}\times Q_{in}\times 10^{-3} \quad (5\text{-}88)$$

式中：

$C_{SS\cdot eff}$：處理水 SS 濃度(mg/L)

(6) 進而可依剩餘污泥固體物量($L_{SS\cdot W}$-$L_{SS\cdot eff}$)及污泥含水率 W，求出廢棄污泥量：

$$Qw=(L_{ss\cdot w}-L_{ss\cdot eff})\times\frac{1}{1-W}\times 10^{-3} \quad (5\text{-}89)$$

在標準添加凝聚劑為鋁鹽 2～4 mg/L 下，依實際操作經驗，廢棄污泥量約比標準活性污泥法之廢棄污泥量增加 5～20%。

4. 凝聚劑的添加方式，包括定量方式、流量比例方式及負荷比例方式，應配合處理廠的處理特性採用最佳方法，其考量依據如下：
   (1) 定量方式為最簡易方法，處理結果可獲最佳，惟若流入水磷濃度周期性變化大，因莫耳比之降低，會造成水質惡化。
   (2) 流量比例方式，所設定的凝聚劑添加量可維持一定的方式，但若雨天流入低濃度的污水量增加時，可能造成過度添加問題，而應有對策。
   (3) 負荷量比例應為最正確的操作方式，但相對的在控制上較為複雜，維護管理較不易，另泵流量的控制範圍若太大，設置費將提高，因之本方法只適用在負荷變動很特殊的場所。
5. 添加位置原則以添加於反應槽的末端，添加液及混合液可充分混合，但應防

止過度攪拌而造成膠羽細小化，一般多在末端前為宜。添加劑的配管，若添加量少且外溫偏低時，有可能造成添加劑凍結導致管線破裂，因此在寒冷季節之配管應有保溫措施。

6. 凝聚劑的貯存日數容量以 2 週至 1 個月為宜，若太長，硫酸鋁的水分將蒸發致結晶，導致配管阻塞的問題，皆應加注意。

5.4 曝氣及送風系統

為使好氧性微生物吸附、氧化污水中有機物，曝氣槽內之混合液，必須經常維持有溶氧狀態。微生物利用溶氧限界濃度為 0.2～0.5 mg/L。因此，須要曝氣以維持曝氣槽混合液中之溶氧濃度，經常處於 0.5～1.0 mg/L 以上。

5.4.1 需氧量

生物處理需氧量，包括有機物(BOD)之氧化、活性污泥微生物內呼吸之需氧量、硝化反應時之硝化需氧量。

解說：

活性污泥處理必需氧量(AOR,Actual Oxygen Requirement)，可以下式表示之：

$$必需氧量(AOR)=D_B+D_N+D_E+D_O \quad \text{.....(5-90)}$$

式中：

D_B：有機物氧化所需氧量(kg O_2/d)

D_N：硝化反應所需氧量(kg O_2/d)

D_E：內生呼吸所需氧量(kg O_2/d)

D_O：反應槽維持溶氧濃度所需氧量(kg O_2/d)

1. 有機物氧化所需氧量 D_B(kgO_2/d)

依去除之 BOD 總量乘以 BOD 去除量係數(A)可求得，若包括脫硝時，則脫硝所消耗的 BOD 量應予以減除，D_B 依下式計算之。

$$D_B=\{(C_{BOD_{in}}-C_{BOD_{eff}})\times Q_{in}\times 10^{-3}-(L_{NOX_{DN}}-L_{NOX_A})\times K\}\times A \quad \text{.....(5-91)}$$

式中：

$C_{BOD_{in}}$：進流水 BOD(mg/L)

$C_{BOD_{eff}}$：處理水 BOD(mg/L)

Q_{in}：反應槽進流水量(m^3/d)

$L_{NOX_{DN}}$：缺氧槽 NOx-N 負荷量(kgN/d)

L_{NOX_A}：缺氧槽 NOx-N 流出量(kgN/d)

K：脫氮所消耗 BOD 量(2.0～3.0 kgBOD/kgN)

A：去除單位 BOD 所需氧量(0.5～0.7 kgO_2/kgBOD)

2. 硝化反應所需氧量(kgO_2/d)

藉硝化反應之氮量比求出。硝化的氮量，依凱氏氮之去除量減去廢棄污泥之氮利用量，以下式求出之。

$$D_N=C\times 硝化之凱氏氮量(kgN/d) \quad \text{.....(5-92)}$$

式中：

C：硝化過程中所消耗的氧量(4.57 kgO_2/kgN)

硝化之凱氏氮量：(進流水 Kj-N 量)-(出流水 Kj-N 量)-(廢棄污泥所轉換的 Kj-N 量)

進流水 Kj-N 量=$Q_{in}\times C_{KN_{in}}\times 10^{-3}$

流出水 Kj-N 量=$Q_{in}\times C_{KN_{eff}}\times 10^{-3}$

廢棄污泥所轉換的 kj-N 量=廢棄污泥量×N_X

廢棄污泥固體物量：$(a\cdot C_{S\text{-}BODin}+b\cdot C_{SS,in}-c\cdot\tau\cdot X)\cdot Q_{in}(m^3/d)$ ....(5-93)

式中：

$C_{S\text{-}BODin}$：進流水 BOD 濃度(mg/L)

$C_{SS,in}$：進流水 SS 濃度(mg/L)

$C_{KN,in}$：進流水 Kj-N 濃度(mg/L)

$C_{KN,eff}$：出流水 Kj-N 濃度(mg/L)

N_X：廢棄污泥含氮率(%)

c：污泥內分解速率(1/d)

τ：鋁鹽之固體物產生倍率

X：MLSS 濃度(mg/L)

3. 內生呼吸所需氧量 $D_E(kg\ O_2/d)$

反應槽內之微生物量(MLVSS)乘以單位微生物量內呼吸所消耗氧量(B)，由下式算出之。

$D_E=B\cdot V_A\cdot MLVSS$ .....(5-94)

式中：

$C_{KN,\ eff}$：出流水 Kj-N 濃度(mg/L)

B：單位 MLVSS 於內呼吸所消耗氧量(0.05～0.15 $kg\ O_2/kg\ MLVSS\cdot d$)

V_A：好氧部分之反應槽容量(m^3)

$V_A=\tau_A\cdot Q_{in}(m^3/d)$

τ_A：好氧槽水力停留時間(d)

Q_{in}：反應槽進流水量(m^3/d)

MLVSS：活性污泥中有機性微生物量(MLSS 中 SS 之強熱減量 mg/L)

4. 維持反應槽所必要之氧量 $D_O(kgO_2/d)$

即為好氧槽流出之溶氧量，可由下式計算之。

$D_O=C_{O\cdot A}\cdot(Q_{in}+Q_r+Q_c)\times 10^{-3}$.....(5-95)

式中：

$C_{O\cdot A}$：好氧槽出水端溶氧濃度(一般為 2 mg/L)

Q_r：迴流污泥量(m^3/d)

Q_c：循環污水量(m^3/d)

上述 1、2、3 及 4 合計之量，即為必要之需氧量。

實務上，依進流水水質及操作方法的不同，以及所採用處理方法而有很大的變化，在應用時該等數據需詳加檢討引用，藉以計算必要之需氧量。

5.4.2 必要之空氣量

必要之空氣量，係指曝氣設備的溶氧溶解效率，在 1 大氣壓未有溶氧(脫氧)的清水狀態下，污水處理所必要之空氣量。

解說：

必要之空氣量，係指以下式換算其在清水狀態所得的溶氧供給量SOR(Standard Oxygen Requirement)，由溶氧溶解效率可計算出必要之空氣量。

1. 參考日本下水道協會 2009 年版之計算如下：

$$SOR = \frac{AOR \times C_{S1} \times r}{1.024^{T_2 - T_1} \times \alpha(\beta \times C_{S2} \times r - Co)} \times \frac{101.3}{P} \quad \text{.....(5-96)}$$

式中：

SOR：T_1℃下清水狀態所供給氧量(kg O_2/d)

AOR：每一反應槽在 T_2℃下一天所必須溶氧量(kg O_2/d)

T_1：曝氣設備之性能為前提的清水溫度(℃)

T_2：混合液之水溫(℃)

C_{S1}：清水 T_1℃時之飽和溶氧量(mg/L)

C_{S2}：清水 T_2℃時之飽和溶氧量(mg/L)

C_O：混合液之 DO 濃度(mg/L)

α：綜合溶氧移動容量係數 K_La 之修正係數

(與清水時之 K_La 相對應混合液之 K_La 之比。低負荷法 0.93，高負荷法 0.83。)

P：大氣壓(KPα)

β：飽和溶氧濃度之修正係數

(與清水時之飽和溶氧濃度相對應混合液之飽和溶氧濃度之比。低負荷 0.97，高負荷法 0.95。)

r：散氣水流之飽和溶氧濃度之修正係數

$$r = \frac{1}{2} \times \left(\frac{10.332 + h}{1.332} + 1\right) \quad \text{.....(5-97)}$$

式中：

h：散氣水深(m)

另曝氣設備之必要空氣量(Gs)可由下式計算之

$$G_S = \frac{SOR}{E_A \times \rho \times O_W} \times 100 \times \frac{273 + T_2}{273} \times \frac{1}{1440} \quad \text{.....(5-98)}$$

式中：

P：處理廠所在地之大氣壓(KPa)

G_S：必要空氣量(Nm^3/min)

E_A：溶氧溶解效率(%)

ρ：空氣密度(1.293 kg 空氣/Nm^3)

O_W：空氣中所含溶氧之重量(0.232 kg O_2/kg 空氣)

2. 參考 Metcalf & Eddy “Wastewater Engineering Treatment and Reuse”之空氣量計算如下列說明：

(A) 理論需氧量(AOR)

R_0=Q(S_0-S)-1.42×Pxbio+4.32Q(NOx)-脫硝所提供氧量(2.86g O_2/g NO_3-N)×(進流氨氮氧化為NO_X濃度-進好氧段NO_X濃度)×Q……(5-99)

Pxbio：VSS 廢棄量 g/d

NOx：TKN-Ne-0.12 Pxbio /Q

TKN：進流TKN mg/L

Ne：放流NH_4-N mg/L

S_0：bCOD=1.6 BOD(進流)

S：Ks[1+kdSRT]/[SRT×(μm-kd)-1]

Ks：單位體積活性污泥去除BOD 量 20g/m^3

kd：內呼吸削減係數，g VSS/g VSS.d

(B) SOR (Standard Oxygen Requirement)

SOR = AOTR×CS20 /[(βCSTH-CL)×α×F]×1.024(T-20)

AOTR=SOR×(βCSTH-CL)/CS20×1.024(T-20)×α×F……(5-100)

β：0.95-0.98

CSTH：飽和溶氧 mg/L

CS20：20℃飽和溶氧 mg/L

CL：操作溶氧濃度 mg/L

T：操作溫度

F：fouling factor 0.65-0.9

(C) 設計空氣需求量

$$\text{設計空氣需求量}=\frac{\text{SOR}}{\text{E}\times 60\times \text{空氣比重}\times \text{含氧比率}}\times \text{SF} \quad \text{……(5-101)}$$

空氣比重 1.201 kg/m^3，氧佔23.2%(注意相關數據會因溫度及氣壓變動)

E ：Diffuser 效率

SF：考量溫度、水量變化或是污染負荷激增或是管損變動，系統需可調整負荷，設計風量需考量安全係數(1.5-2)。

(D) 鼓風機動力

Pw=wRTo(29.7ne)×[(P/Po)^0.283-1] ……..……..……..(5-102)

P_W：每台鼓風機所需動力，kW

w：空氣流量質量，kg/s

R：氣體常數，8.314kJ/k ml

To：進氣絕對溫度，K

Po：進氣絕對壓力，atm

P：出氣絕對壓力，atm

n：(k-1)/k=0.283，k=1.395

29.7 ：常數

e：效率(70-90%，視鼓風機類型)

5.4.3 生物反應曝氣槽形狀、構造及槽數

生物反應槽之形狀、構造、槽數、水深及出水高度，於考量下列各項目決定之。

1. 形狀為長方形或正方形，槽寬為水深的 1～2 倍，深槽式則與深度相同。
2. 為避免短流，應設置阻流壁，進水端設置制水閥或閘，槽底應有排空的考量。
3. 槽體為堅固耐久的水密性鋼筋混凝土，並能達到防止淹水的安全構造，周壁應高於地面，並設置步道及扶手。
4. 槽數以 2 槽以上為原則。
5. 有效水深標準以 4～10 m，槽深較大者可為 10 m。
6. 出水高度標準者 80 cm，深槽式以 100 cm。
7. 深槽式以旋迴流者，依水流方向設置導流板。
8. 槽體在泡沫集合側應設置消泡設備。
9. 出水端可採堰流或孔口流之方式進行設計。
10. 散氣裝置以能充分攪拌供氣之設備。

解說：

1. 為使反應槽內維持均勻混合能達良好狀態，槽寬以水深的 1～2 倍為宜，深槽則寬度與水深相同。
2. 為防止發生短流，使槽內達均質化之目的，宜設置阻流壁，並於下側開最小開口，並於上部為防止浮渣亦開小開口，一般每一槽可設置 3 片阻流壁。另進水口應有制水閥或閘門，池底有集水排空之設置。
3. 為防地面水或砂土流入，槽頂應高於地面 10 cm 以上，但以能不增加水頭損失為原則。
4. 為清理及修繕保養，以 2 池以上為原則。
5. 一般以構造物建設費考量，槽深以 4～6 m 為宜，但為節省用地，可用槽深 10 m。
6. 在考量建設費之經濟及維護管理之方便，出水高度以 80 cm 為適。惟深槽因送氣管較粗大，考量所需空間，出水高度可為 100 cm。
7. 深槽者為提升氧溶解效率及混合液的循環效率，宜設置導流板，則其散氣設備的配置，可在較淺的水深 4.5～5.0 m 處。
8. 消泡設備一般設置在曝氣池表面，泡沫集中的一側，設置於距水面 0.3～0.6 m 之高度處，每間隔 1.2～1.5 m 設置一個消泡嘴，其一般噴出壓力為 100～150 KPa，噴水量 6～12 L/min，如圖 5.51 及圖 5.52。
9. 出水端可採堰流或孔口流之方式進行設計，相關設計準則可參考第九章內容。
10. 散氣裝置以能達到充分攪拌供氣之規定設置，其清水測試氧氣之溶解效率應達20%以上，且散氣盤風量選用，應避免產生曝氣不均勻狀況。
    (1) 反應槽體安裝散氣裝置係用於分散曝氣空氣，供應廢水處理流程中所需之氧氣，並保持廢水中之固體物懸浮，安裝於曝氣池內散氣設備應採用細氣泡散氣設備。

(2) 常用細氣泡散氣設備型式，為盤(或管)式預穿孔薄膜散氣組合，包括散氣盤(管)、供氣垂管、歧管、支撐、排水等。

(3) 散氣盤(管)：每個散氣盤(管)組件，包括散氣薄膜、散氣盤(管)基座、固定整組元件之固定裝置、密封墊片等；散氣盤(管)須有流量控制孔口以限制空氣流量，防止散氣盤(管)遭受機械性損壞時，空氣由此散氣盤大量洩漏。

(4) 散氣盤之水頭損失，包括散氣盤本體與流量控制孔口所造成的損失。

(5) 管線的水頭損失，包括所有控制孔口上游端供氣垂管頂端管線的全部水頭損失。散氣管線系統的設計須便於現場安裝，並考慮空氣管線高程的調整及全部管路元件之熱膨脹等因素。

(6) 生物反應槽應考量攪拌需求，主要目的在於避免固體物在池內沉積，對於散氣盤(或管)排列於生物反應槽底，如採全面曝氣型式，其混合需求為10～15 CMM/1000 m^3池容積。(參考Metcalf & Eddy"Wastewater Engineering Treatment and Reuse"，5-12節曝氣系統)，如採側邊SPIRAL曝氣則攪拌量為20-30 SCMM/1000 m^3，或另依下列公式計算所需G值，在一般好氧系統中，活性污泥要維持其懸浮性其G值需介於20～75 sec^{-1}：

$$G=[(Q\times\gamma\times h)/(60\times V\times\mu w)]^{0.5} \quad \text{.....(5-103)}$$

其中：

G：速度梯度(sec^{-1}) Q：空氣流量(m^3/min)

γ：液體比重(N/m^3) h：散氣盤上水深(m)

V：池體積(m^3) μ_w：絕對黏度($N/sec\cdot m^2$)

(以上參考 WEF, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants(5^{th} Edition)，p14-123～124)

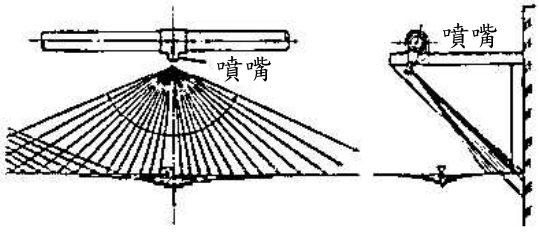


圖 5.51 散水設施例

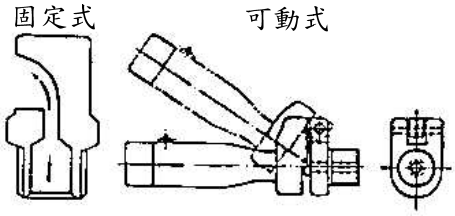


圖 5.52 消泡噴嘴例

5.4.4 曝氣方法的選定

1. 曝氣方法，包括旋迴流式、全面曝氣式、氣泡噴射式及水中攪拌式等，於採用時應考量氣液混合、氧溶解效率、經濟性及在地條件等決定之。 2. 散氣設備的選定，必須考量空氣溶解效率決定之。

解說：

曝氣方法有散氣式及機械攪拌式兩種。機械攪拌式另於第 5.4.10 節分述。

1. 散氣式曝氣為自鼓風機送入的空氣，使成為微細的氣泡狀進入水中，空氣成為氣泡而向水面上升，達到使空氣溶解之效果。污水向上旋迴流中具有攪拌

及混合的效果，同時活性污泥微生物所需的氧也得以補給。曝氣方法依槽之形狀及曝氣設備之配置之不同，可分為旋迴流式及全面曝氣式，如圖 5.53。

旋迴流式之槽底為水平，於槽之長方向一側配設散氣設備，藉空氣之噴出使水流形成旋迴流。旋迴流式者有於槽之底部附近噴出空氣的高壓及自水面下 80 公分左右噴出空氣之低壓式兩種。低壓式之送風壓可較低，但為使水能形成充分的旋迴流，比起高壓式要多出數倍的空氣量。

全面曝氣式之槽底部與水流方向成直角，每一間隔成一低谷，在低凹處配設散氣設備，使水流成直流。

2. 散氣式曝氣設備，包括多孔性散氣盤設備、多孔管散氣設備及噴射式等多種，如圖 5.54。升降式曝氣系統配置如圖 5.55。

散氣設備之選定，必須考量溶解效率、氣泡直徑、設備耐久性及氧溶解效率(%)，如表 5.11 及表 5.12。若以節能考量，建議所採用設備之清水之氧溶解效率，至少應為 28%。

5.4.5 鼓風機的選定

鼓風機的台數種類、構造，於考量下列決定之：
1. 台數以 2 台以上(含備用台數)，並能依最適化考量選定之。
2. 機種依送風量及送風壓而選定，並能長時間連續運轉而不發生障礙者。

解說：

1. 依污水量、水質調整送風量，以達到節能。初期對策為防止過度曝氣，並能依進流水各時段水質變動而調節，應考量設置不同送風量的鼓風機，並以台數控制之，也可藉變頻旋迴數及閥等控制之。
2. 鼓風機依送風量、壓力、空氣性質及使用目的等不同，而有各種機型，散氣式反應槽所用之鼓風機，以離心式及容積式為主。於選定鼓風機機種時，應就送風量、送風壓力、控制方法及噪音等，加以考量決定。鼓風機的分類及適用範圍，如表 5.13。

表 5.11 各種曝氣設備特性(例)

型式	旋迴流式				全面曝氣式			
	散氣板		散氣筒		散氣板			散氣盤
材質	陶瓷	合成樹脂	陶瓷	合成樹脂	陶瓷(矩形)	陶瓷(圓形)	合成樹脂	合成樹脂
標準通氣量(L/min)	80~100/個	80~120/個	120~150/支	100~150/支	20~40/個	30~40/個	40~80/個	50~70/個
氣孔徑(μm)	200~400	100~400	200~450	100~400	200~260	150	150	150

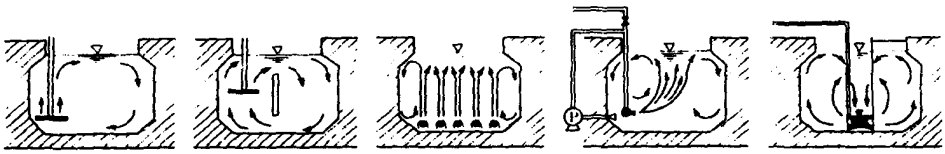
表 5.12 各種曝氣設備之效率(例)

曝氣設備	清水之氧溶解效率 E_A(%)

微細氣泡	全面曝氣		28～31
	旋迴流式	標準式	26～30
		深槽式	24～27
高密度配置式	全面曝氣		27～31
	旋迴流式	標準式	23～27
		深槽式	22～28
散氣板 多孔性散氣筒	全面曝氣		20～32
	旋迴流式	標準式	14～16
		深槽式	15～17
機械攪拌式	表面低速		20～30
	表面高速		20～30

註：1.參考自日本下水道協會「下水道施設計畫・設計指針と解說」2019 年版，P.71。

2.表內數值以 5m 水深為基準，其他情況需修正 E_A。



(a)旋迴流式　(b)全面曝氣式 (c)氣泡噴射式(d)水中攪拌式

圖 5.53 曝氣槽曝氣方法

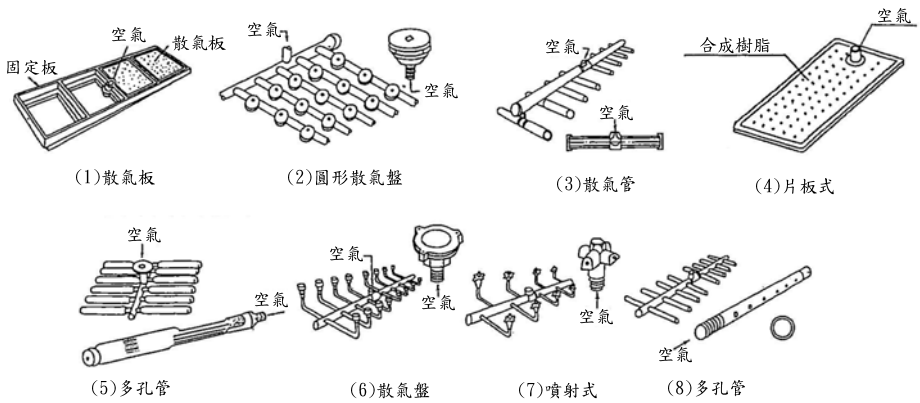


圖 5.54 各種散氣設備

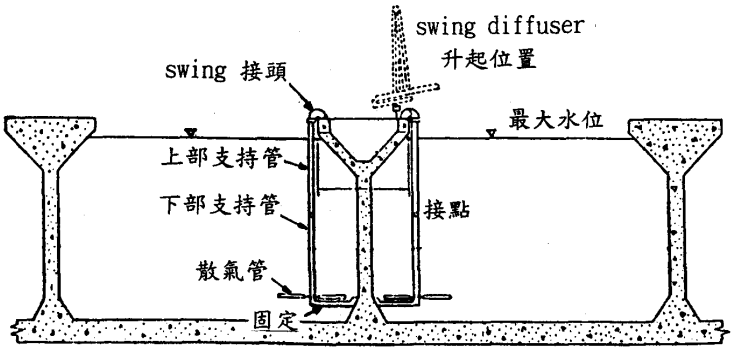


圖 5.55 升降式曝氣系統配置例

(1)多段離心式鼓風機

① 風量約 40 cmm 到 500 cmm(依據不同風壓需求有不同風量供應範圍)以上，壓力可以高到 7000 mmAq，性能曲線壓力與流量變化大，可以用進流閥控制調整供氣量。流量控制可採進流閥控制、出流閥控制或變頻控制。

② 因離心式風壓問題，故管損計算可考量增加安全量 3.4 Kpa，以避免碰到啟動阻力增加造成振動。

③ 常用轉速約 3,600 RPM。

④ 構造及外觀，如圖 5.56。

(2)單段離心式鼓風機(馬達直驅式)

① 風量約 30 cmm 到 500 cmm，(依據不同風壓需求有不同風量供應範圍)壓力可以高到 10,000 mmAq 以上，其性能曲線壓力與流量變化大。

② 流量控制採變頻馬達或出流閥控制。

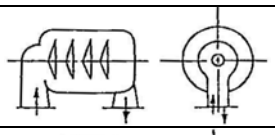
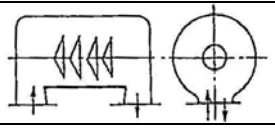
③ 因離心式有風壓問題，故管損計算可考量增加安全量。

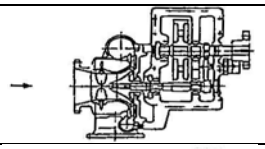
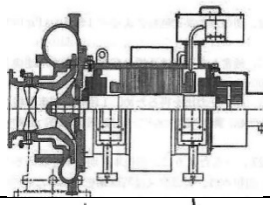
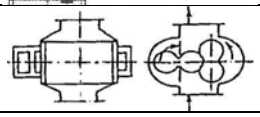
④ 採用高轉速鼓風機，設備應注意隔音及通風導熱。

⑤ 構造及外觀，如圖 5.57。

⑥ 單段離心式鼓風機系統，應含有溫度、壓力、風量及積時器等裝置，能夠測量入口、出口之壓力、風量及馬達溫度，並應訂定軸承保護及預防維護機制。

表 5.13 鼓風機的分類及適用範圍

機種			範圍	風量 (m^3/min)	壓力 (mmAq)	旋轉數 (min^{-1})
離心式	多段	鑄鐵製		40～500	4,000～7,000	3,000(50Hz) 3,600(60Hz)
		鋼板製		20～100	4,000～7,000	3,000(50Hz) 3,600(60Hz)

	單段 (馬達直驅式)		30～500	4,000～10,000	8,000～20,000
	磁浮軸承或 氣浮軸承式		30～200	5,000～8,000	12,000～34,000
容積式	旋轉式(魯氏)		5～80	700～7,000	400～2,500

(3)單段離心式鼓風機(馬達+增速機驅動)

① 風量約 15 cmm 到 2000 cmm，(依據不同風壓需求有不同風量供應範圍)壓力可以高到 15,000 mmAq 以上，其性能曲線壓力與流量變化大。

② 流量控制採進出口導流葉調整或出流閥控制。

③ 離心式有風壓問題，因此管損計算可考量增加安全量。

④ 採用 10,000 至 14,000 RPM 高轉速，設備應注意隔音及通風導熱。

⑤ 構造及外觀，如圖 5.58。

⑥ 單段離心式鼓風機系統，應含有溫度、壓力、風量、震動之感測器及積時器等裝置，能夠測量入口、出口之壓力、風量、馬達溫度及軸承之溫度及震動。

(4)容積式(魯式)鼓風機

① 包括兩葉及三葉轉輪型式。

② 適合中小風量，從 5～80 cmm，可達 7,000 mmAq 以上壓力，惟耗能較高易產熱，大馬力要設置水冷系統，因屬定容類機種，無法以進出閥控制風量。

③ 風量控制常採 BYPASS 或變轉速控制(改 PULLEY 或變頻)，常用轉速約 1,100 RPM。

④ 構造及外觀，如圖 5.59。



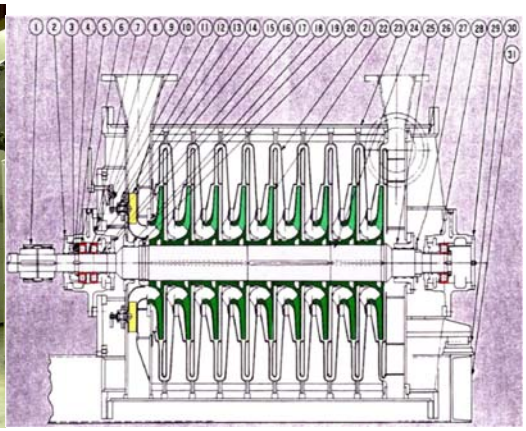


圖 5.56 多段離心式鼓風機

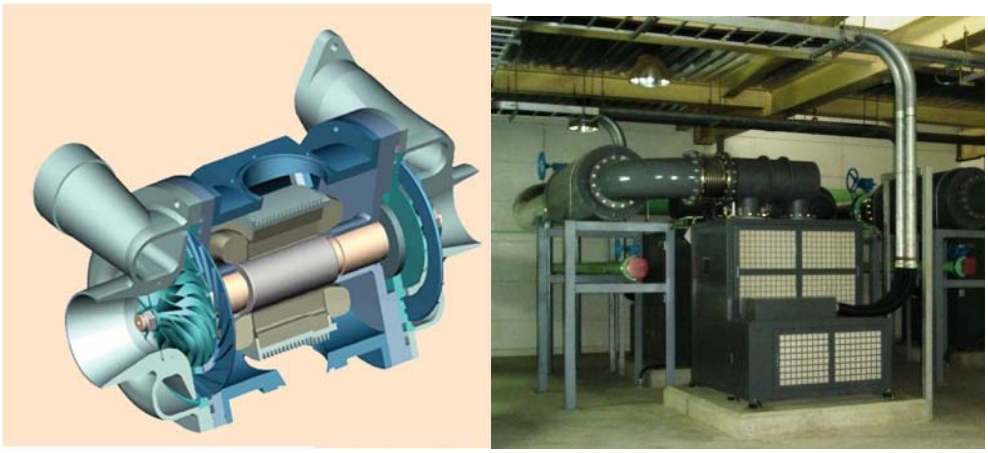


圖 5.57 單段離心式鼓風機(馬達直驅式)

5.4.6 鼓風機壓力

鼓風機壓力設計考量如下： 鼓風機壓力應為散氣設備之水壓，以及包括透過空氣過濾機、送風管風量量測裝置及曝氣設備等阻力之合計，並加適當餘裕量之和。

解說：

鼓風機壓力應為能滿足曝氣設備之曝氣效果者，其鼓風機壓力以下式表示之。

$$Pr=h+H_C+H_P+Hz+H_M+H_A+\alpha \quad \text{.....(5-104)}$$

式中：

Pr：鼓風機壓力(Kpa)

h：水頭壓力(Kpa)

H_C：通過空氣過濾器之阻力(Kpa)

Hz：送風異形管壓力損失(Kpa)

H_P：送風直管壓力損失(Kpa)，由式 5-105 及 5-107 求之

H_M：通過風量量測裝置之阻力(Kpa)

H_A：通過曝氣設備之阻力(Kpa)

α：餘裕壓(Kpa)(於考量曝氣設備的阻塞壓力損失及配管損失，以 5.0 Kpa 為適當)

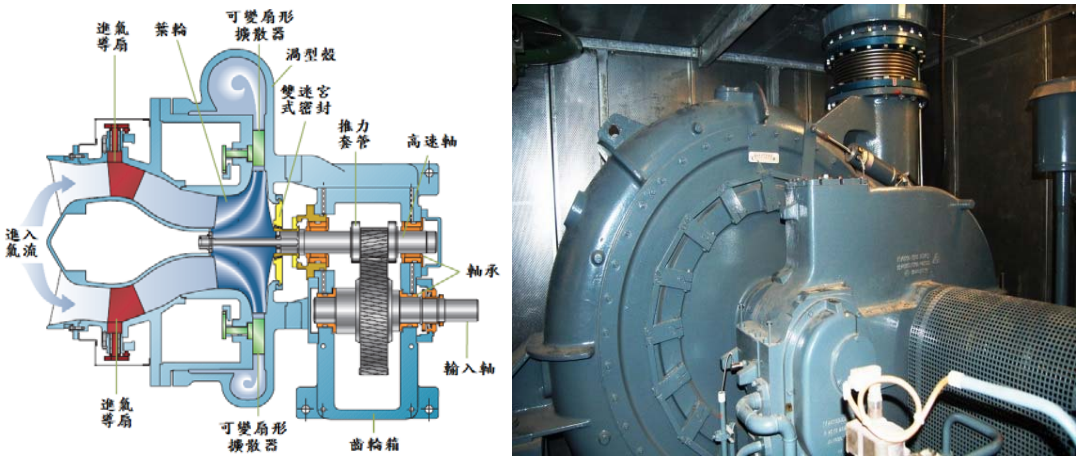


圖 5.58 單段離心式鼓風機(馬達+增速機驅動)

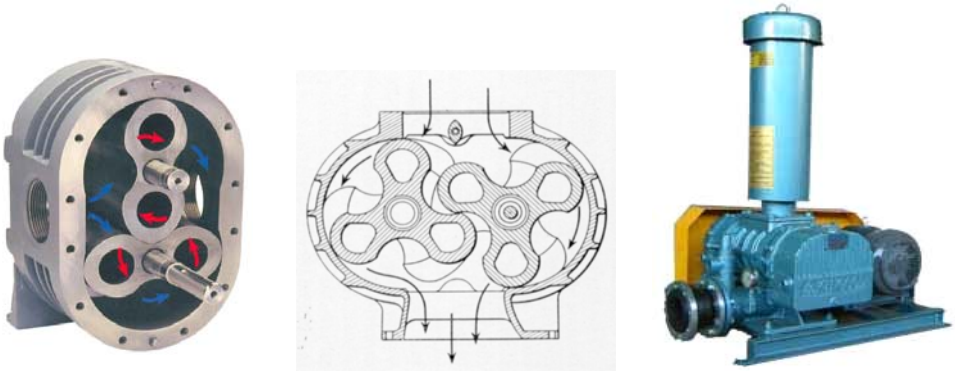


圖 5.59 容積式(魯式)鼓風機

各種損失之計算分述如下：

1. 直管段的壓力損失

直管段的壓力損失計算式如下：

$$H_P = 4f_1 \times \frac{\ell}{d} \times \frac{rv^2}{2} \times 10^{-3} \quad \text{.....(5-105)}$$

式中：

H_P：直管段的壓力損失(Kpa)

f_1：損失係數(=0.004～0.0059)

ℓ：配管管長(m)

d：管徑(m)

r：空氣密度(kg/m^3) $(=1.293 \times \frac{273}{T} \times \frac{P}{P_A})$

v：空氣流速(m/s)

T：空氣絕對溫度(k) (=t℃+273)

P：空氣絕對壓力(Kpa) (=101.3+量測表壓力)

P_A：大氣絕對壓力(Kpa) (=101.3)

在 20℃之大氣條件下，損失係數為 0.005(鋼管)，空氣密度為 1.2 kg/m^3 時，直管段之壓力損失為

$$H_P = 0.02 \times \frac{\ell}{d} \times \frac{1.2v^2}{2} \quad \text{.....(5-106)}$$

2. 異形管的壓力損失

異形管段的壓力損失計算式如下：

$$H_Z = f_2 \times \frac{rv^2}{2} \times 10^{-3} \quad \text{.....(5-107)}$$

式中：

H_Z：異形管段的壓力損失(Kpa)

f_2：損失係數(如表 5.14)

表 5.14 異形管段之壓力損失係數(f_2)

90 度彎曲管					T 字管	管入口	管出口	閥	
r/R								逆止閥	蝶閥
1/3	1/2	1/1.5	1/1.2	1/1					
0.21	0.36	0.70	1.37	2.44	1.23	0.62	1.23	0.02	0.26

3. 曝氣設備的壓力損失

透過曝氣設備之阻力所產生的壓力損失，如表 5.15。

表 5.15 曝氣設備之壓力損失

種類	散氣板	散氣筒	高密度配置式	微細氣泡式	風量量測裝置	空氣過濾器
壓力損失(Kpa)	3.92	3.92	3.0	11.0(標準型) 6.0(低壓損型)	1.9	0.29

4. 送風管之管徑及流速

送風管的管徑及流速，於考量經濟性及管的振動等，如表 5.16。

表 5.16 曝氣管之經濟性流速

管徑(mm)	流速(m/s)
25～80	3～5
100～250	4.2～7.5
300～600	7.5～10
650～1,500	10～15

另鼓風機之吸入及壓出之連接管，各管通過風量下之流速以 20～30 m/s 定之。

又鼓風機吸入管的風量，在 20℃，一大氣壓下，以能使壓出連接管風量達到壓縮縮小狀態，經壓縮後的壓縮風量，可以下式表示之：

$$Q_{BD} = Q_{BS} \times \frac{r_S}{r_D} \quad \text{.....(5-108)}$$

式中：

Q_{BD}：經壓縮後之縮小風量(m^3/min)

Q_{BS}：鼓風機吸入管之風量(m^3/min)

r_s：鼓風機吸入之空氣密度(kg/m^3) (20℃，一大氣壓時，r_s=1.2)

r_D：經壓縮後縮小之空氣密度(kg/m^3) $(= r_S \times \frac{T_S}{T_D} \times \frac{P_D}{P_S})$

T_S：鼓風機吸入連接管之空氣絕對溫度=(K)×(t℃+273)

P_S：鼓風機吸入之絕對壓力(Kpa) (=101.3+量測表壓力)

P_D：鼓風機壓出連接管(Kpa) (=101.3+量測表壓力)

T_D：鼓風機壓出連接管空氣絕對溫度(K)

$$= \left(T_S + \frac{T_S}{\eta_{TH}} \times \left\{ \left(\frac{P_D}{P_S} \right)^{[(k-1)/k]} - 1 \right\} \right)$$

η_{TH}：鼓風機之溫度效率(絕熱效率) (=0.6～0.8)

k：空氣之比熱比(=1.4)

5.4.7 動力、電動機及台數

鼓風機的動力及電動機的設計，於考量下列後決定之：

1. 所需動力及電動機馬力，依所需空氣量、壓送空氣壓出壓力、氣溫條件等加以充分考量，而設定絕熱效率、餘裕率訂定之。
2. 鼓風機若不是使用電動機，而使用其他原動機時，應考量鼓風機的機種、型式、規模、安全性及經濟性。
3. 鼓風機最少應有 2 台。

解說：

1. 動力及電動機的出力，依下式計算之。

$$L_{AD} = \frac{k}{k-1} \times \frac{P_S \cdot Q_S}{60} \left[\left(\frac{P_D}{P_S}^{[(k-1)/k]} - 1 \right) \right] \quad \text{.....(5-109)}$$

式中：

L_{AD}：理論斷熱壓縮動力(kw)

k：比熱比(為氣體的定壓比熱與定容積比熱之比，空氣為 1.4)

P_S：吸入空氣的絕對壓力(=101.3+儀錶量測壓力)(Kpa)

Q_S：換算為吸入狀態之空氣量(m^3/min) (換算為壓出空氣量為標準狀態下 20℃，一大氣壓，濕度 65%及密度 1.20 kg/m^3 之體積)

P_D：壓出空氣的絕對壓力(=101.3+儀錶量測壓力)(KPa)

$$L_S = \frac{L_{AD}}{\eta} \quad \text{.....(5-110)}$$

式中：

L_S：鼓風機的驅動動力(kw)

η：總絕熱效率

$$P = L_S \times \alpha \quad \text{.....(5-111)}$$

式中：

P：電動機的動力(kw)

α：餘裕率(電動機為 1～1.2)

鼓風機的性能，依吸入狀態而變化，其壓力及動力亦隨之變化，由上述兩式所求出之動力，必須換算為標準吸入狀態之空氣，而在冬天氣溫 t 低於 20℃以下時，其動力必須乘以(273+20)/(273+t)倍，且不超過電動機負荷之動力。一般多段離心鼓風機及單段增速鼓風機總絕熱效率為 60～80%，魯氏鼓風機則為 50～60%。

2. 由於鼓風機多為連續運轉，驅動鼓風機之電動機，以不影響鼓風機的運轉，而能具安定性及經濟性，選定優良的電動機。原動機原則上以使用電動機，但若為利用廢熱，則有使用熱氣渦輪機者。

鼓風機的驅動通常係與電動機直結，低速運轉可以傳送皮帶、高速運轉，則以齒輪增速機等為傳導裝置。

3. 鼓風機最少應有兩台，以備維護輪替使用，惟可視污水處理廠初期流量，規劃最經濟的台數組合或變頻式。

5.4.8 鼓風機室

鼓風機室及鼓風機基礎，於考量下列決定之：

1. 鼓風機室應為不燃性建築物、不沉陷、不會產生地下水入滲及淹水之構造，並應有隔音設施。
2. 鼓風機室應考量鼓風機、電動機及附屬機器運轉及整修維護之需要，有適當的大小，並具良好換氣者。
3. 鼓風機及電動機的基礎，應有防震裝置及承受運轉時最大載重之設施。
4. 鼓風機室應有機器吊升之裝置。
5. 鼓風機室設置位置，應為鄰近曝氣反應槽。
6. 應設置進氣口過濾器。
7. 符合噪音值限。

解說：

1. 鼓風機室為防噪音及各種機器轉動發生共鳴等，應有隔音或消音設備，為防止噪音，可採下列措施：
   (1)多段鼓風機者，鼓風機之進出口應有消音器。
   (2)單段增速鼓風機，應將鼓風機加蓋，鼓風機之進出口應有消音器。
   (3)魯氏鼓風機，則應加蓋。並為防止噪音外洩，鼓風機室應具遮音性的構造，室內裝置吸音材，以防噪音反射，必要時門窗應為雙層隔音玻璃。另吸氣及排氣管為防風速過大，必要時其內部應使用吸音材料外，吸排氣口也應設隔音設施。鼓風機進氣口及旁邊釋壓管廊部分，需設置管線延伸至室外等之機械管線配置。
2. 鼓風機室除鼓風機、電動機、潤滑油供給裝置，啟動用阻抗器、控制器之外，尚有空氣過濾器及各種管、閥類等，為各種機器的運轉及維護作業之需要，各機器類間的間隔、機器與建築物牆壁之間隔，以及管理動線等，皆應加以適當考量。同時也應確保機器類備品之更換、分解整修之需要，所必要的空間。

   另鼓風機室由於鼓風機設備的散熱會導致室溫上升，故應有充分的換氣及冷卻設備。
3. 鼓風機及原動機的基礎，應能承受啟動時及運轉時最大的載重，不下陷，不龜裂等強度，運轉時的振動，對鼓風機、電動機及建築物不造成影響。基礎應能吸收振動之構造。並於鼓風機及電動機的共用台座及基礎間，設置防振裝置，以達防振。
4. 鼓風機室為鼓風機的裝設、維修等之需要，應依鼓風機機種設置天井吊車等裝置，並應有節能之考量。
5. 鼓風機室之設置位置應臨近反應槽，以減少配管長度及鼓風機壓力。且應設計戶外入風口及制訂百葉窗高度在地面(3m)以上，防止塵土、樹葉等雜物通過百葉窗進入進風廊道。
6. 在中小型廠的鼓風機室，鼓風機進氣口可直接拉至戶外。大型廠可考慮使用進氣通道，進氣通道需考量鼓風機進氣量需求，並設置乾式或濕式空氣過濾

器，惟乾式空氣過濾器需考量濾布耗材成本支出，濕式空氣過濾則有污泥需進一步處理。

7. 鼓風機室應依法規檢討周界噪音值限制如下：

頻率	20～200 Hz			20～20,000 Hz		
時段 管制區	日間	晚間	夜間	日間	晚間	夜間
第一類	32	32	27	55	50	35
第二類	37	32	27	57	52	42
第三類	37	37	32	67	57	47
第四類	40	40	35	80	70	60

5.4.9 附屬設備

鼓風機之附屬設備，於考量下列決定之：

1. 鼓風機吸入端設置空氣過濾器。
2. 依機種，設置潤滑油供給裝置。
3. 依機種，設置風量控制裝置，同時設置逆止閥、出口壓閥、放風閥、風量計、壓力計、溫度計及振動計等。

解說：

1. 空氣過濾器為防止散氣設備阻塞，於考量設計風量、散氣孔之大小、除塵效果及空氣阻力選定之。

散氣式反應槽的空氣過濾器，有乾式及濕式空氣過濾器。空氣過濾器都設置於空氣吸入端之前，一般為單獨乾式或濕式、乾式之順序串聯組合設置之。

(1)乾式空氣過濾器

乾式空氣過濾器，為使空氣通過後，空氣中的雜塵，由濾材加以捕捉之空氣過濾設備，其型式為被濾材吸著的雜塵，自動被捲取至下部的方法，以及濾材自動真空清除機清除的自動清除方法。

濾材通常為玻璃纖毛物、濾紙、尼龍纖維毛、綿等，纖維質的雜塵很容易過濾，油性的雜塵則容易造成濾材阻塞。

除塵效果及空氣阻抗，依纖維的粒徑、密度、厚度而變化，一般風速 1.5～2.0 m/s 下，空氣阻抗為 45～120 Pa，若為濾材自動清除者，空氣阻抗則為 120～240 Pa。(如圖 5.60 及圖 5.61)

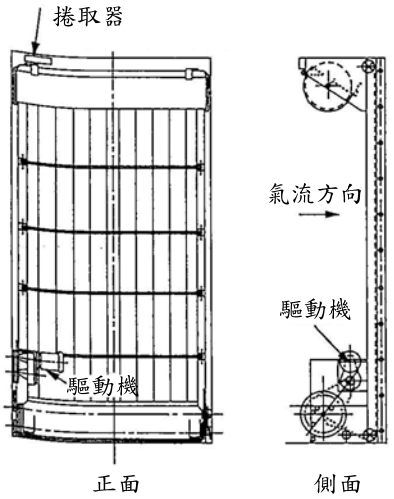


圖 5.60 自動捲取式過濾器(乾式)

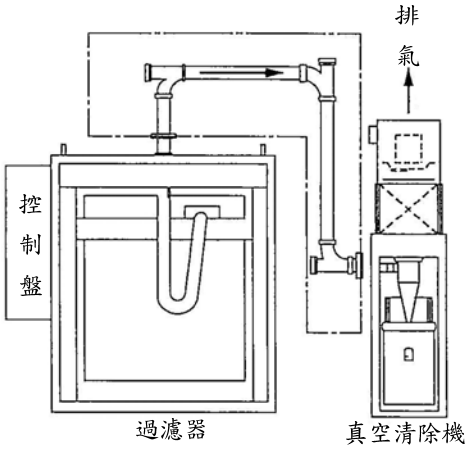


圖 5.61 自動清除式過濾器(乾式)

(2)濕式空氣過濾器

濕式空氣過濾器為於空氣通過濾材後，使空氣中的雜塵附著於油膜之濾材而達到空氣過濾。金屬性濾材一般為複數的嵌板所組成，以簾狀重疊並與鏈條連結，而以定時間歇性的迴轉經過油槽，則附著的雜塵就可被自動洗除。

其適用在雜塵粒子較大量且較多之處，必須定時更換濾材，並清除下部的污物，以及定期更換油，其性能在風速 1.5～2.5 m/s，其空氣阻抗為 50～150 Pa，如圖 5.62。

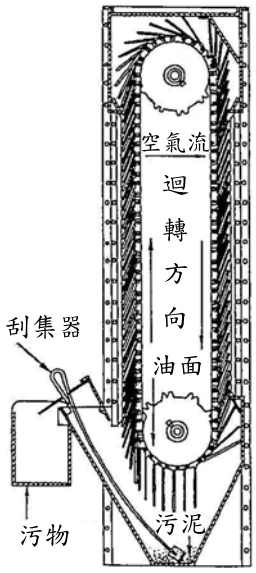


圖 5.62 自動捲迴轉式過濾器(濕式)

2. 輪機型鼓風機，為使用強制給油潤滑，有個別給油及集中給油方法，原則上為個別給油。個別給油裝置包括油泵浦、油冷卻器、油槽、油配管及保護裝置所構成。個別給油方法設有軸端泵浦，以防停電時軸承燒毀。潤滑油之貯存量，應依原廠操作手冊之建議。
3. 風量控制裝置，在多段鼓風機及單段增速鼓風機，為調節送風量，設置於吸入端與風量計連動操作。
   (1)逆止閥，為鼓風機啟動及停止送風時防止空氣逆流者，設置於出風口。
   (2)出口壓閥，為使鼓風機停止操作時，於出口端保持氣密性，其閥以使用控制閥，並以電動式操作。
   (3)放風閥(Blow-off Valve)主要用於魯氏、多段離心式及單段增速鼓風機，為防止風壓激變或喘動(surging)及調整鼓風機壓力，而設於出口端，一般為自動開閉，並與自動調整裝置連結操作。
   (4)另為呈現鼓風機之運轉狀態，應於現場設置可直接閱讀之風量計、軸壓計、溫度計及振動計等。

5.4.10 機械曝氣方法

機械曝氣方法反應槽供氧量、槽體及動力之設計，依下列：

1. 供氧量依生物化學需氧量之去除量、混合液懸浮固體需氧量、出流水必要之溶氧量、硝化反應需氧量及曝氣設備之氧傳輸動力效率決定，設備動力除供氧量外，亦應考量攪拌均勻所需動力。
2. 豎軸式機械攪拌反應槽之容量，依計畫最大日污水量、食微比及曝氣時間估算之。池體為水密性之構造物，一般活性污泥法由多室之正方形池所構成，正方形各室間應設阻流板，若採氧化渠法則不在此限。池頂高出地面至少 10 cm 以上，並設維護曝氣機之走道，池之四週及走道應設護欄。
3. 橫軸式機械攪拌反應槽之容量，依計畫最大日污水量、食微比及曝氣時間估算之。池內流速應大於 0.3 m/s。曝氣機為輪刷式曝氣機者，其旋轉數為 60～120 rpm，並設變速或變浸水深度裝置。
4. 噴射攪拌曝氣系統主要利用循環泵浦達到池內流體連續並且完全混合之攪拌，並可視需求增設鼓風機供氣。
5. 池底應設自然排水抽水坑。
6. 機械曝氣動力依傳導設備之效率決定之。

解說：

機械曝氣式為於曝氣槽之水面以機械設備(渦輪翼、水車等)攪拌混合，使大氣中之空氣溶入混合液中，由於發生旋迴流，使溶氧移動和攪拌混合，達到曝氣之目的。

機械攪拌方法有豎軸式及橫軸式兩種，豎軸式分有縱圓筒式及無圓筒式兩種。有縱圓筒之型式乃於正方形池之中央設置一圓筒，於圓筒的頂部裝設迴轉翼而成。當迴轉翼快速迴轉時，混合液從圓筒的底部上升之同時，並於周圍造成曝氣的型式。未有縱圓筒而以渦輪翼直接攪拌混合者，為於圓板上裝置數片葉片成放射的迴轉翼，藉浮於曝氣槽上的浮箱或架橋予以固定，將其垂於水面下 0.6～1.2 m 以高速迴轉者。

橫軸式曝氣槽，為於水深較淺的槽設置混合攪拌設備，將污水攪拌之同時

發生循環達到曝氣目的，曝氣程度視攪拌混合機的台數、迴轉數及浸水深度調整之。

1. 機械攪拌式

(1)利用機械攪拌以維持固體物在污水中的懸浮狀態，使用豎軸攪拌機之輸入淨動力為 12～16 W/m^3，橫軸攪拌機為 5～7 W/m^3，如採設置隔板的攪拌方法，則隔板間通道內流速應大於 0.3 m/s 或另依下列公式計算所需 G 值，在一般好氧系統中，活性污泥要維持其懸浮性其 G 值需介於 20～75 s^{-1}(參考 WEF, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants (5th Edition), p14-123～124)

$$G=[(1000\times P)/(V\times \mu_w)]^{0.5} \quad \text{.....(5-112)}$$

式中：

G：速度梯度(s^{-1})

P：輸入動力(kW)

V：池體積(m^3)

μ_w：絕對黏度($N/s\cdot m^2$)

(2)機械攪拌機主要有豎軸式及橫軸式，可再區分為表面曝氣及浸沒式曝氣兩種。

2. 豎軸式表面曝氣攪拌機

(1)豎軸式表面曝氣攪拌機，是由淹沒或部分淹沒於液面下的葉輪所構成，葉輪材質可由不銹鋼、鑄鐵、耐蝕性合金或強化玻璃纖維材質構成，葉輪型式有離心式、斜流式或軸流式。依轉速可分為高速或低速。離心式葉輪屬低速型，軸流式葉輪則屬高速型，典型豎軸式表面曝氣攪拌機，如圖 5.63。

(2)豎軸浸沒式曝氣攪拌機於攪拌時，空氣可在攪拌葉輪下面或通過葉輪的下降水流的過程中，經由水流擴散溶入處理水中。葉輪可使空氣氣泡分散並攪拌池內污水。典型豎軸浸沒式曝氣攪拌機，如圖 5.64。

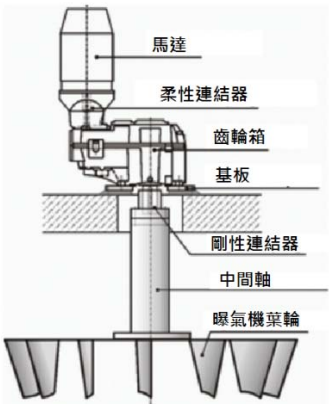
3. 橫軸式曝氣攪拌機

(1)橫軸式表面曝氣攪拌機，主要有輪刷式曝氣機、配合氧化渠深度及寬度之曝氣機。

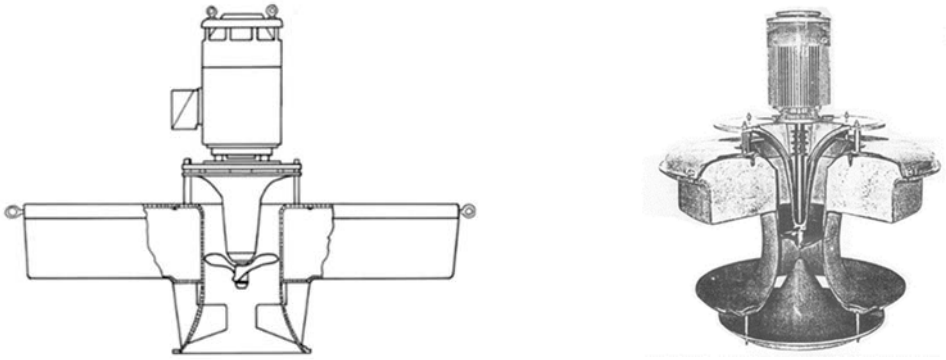
(2)輪刷式曝氣機，其構造主要為安裝於水面上具有刷毛的水平圓柱，圓柱體快速轉動時，藉由刷毛帶動之處理水將其變成較小水滴，並將空氣帶入處理水中。刷毛有角鋼、型鋼、塑料桿或其他型式葉片型式。

(3)橫軸浸沒式曝氣攪拌機，其原理與橫軸式表面曝氣攪拌機相近，惟利用附在轉軸上的圓盤或槳板來攪拌處理水。橫軸圓盤浸沒式曝氣攪拌機常用於氧化渠，圓盤浸沒於水中的深度約圓盤直徑之 1/8～3/8。

(4)氧化渠常用之攪拌曝氣裝置說明，如表 5.17。



A.豎軸式低速表面曝氣攪拌機



B.豎軸式高速表面曝氣攪拌機

圖 5.63 豎軸式表面曝氣攪拌機

4. 噴射攪拌曝氣系統

噴射攪拌系統多由噴射攪拌器及循環泵浦構成(如圖 5.65)，池內流體經由循環泵浦吸入後，再經由液體管、內噴嘴到噴嘴混合室(空氣或導流流體)均勻混合，呈噴射流經外噴嘴射出，達到池內流體(或與空氣)連續、完全混合之攪拌，如需供氧則可採外部供氣或自吸供氣，如由外部供氣(如空壓機或鼓風機)，需考量空氣和泵浦流體最佳比例。

5. 池底應設置自然排水抽水坑。

6. 機械曝氣動力

機械攪拌式曝氣設備所需之動力，可由下式求之

$$L = \frac{2\pi nT}{6{,}120} \quad \text{.....(5-113)}$$

式中：

L：動力(kW)

n：旋轉數(rpm)

T：旋轉扭力(kgf/m)

式(5-113)中之 T 為可測定之值，若由馬達出力，則必須計算傳導設備之效率，其計算式如下：

$$L = \eta L_M \quad \text{.....(5-114)}$$

式中：

L_M：馬達出力(kW)

η：傳導效率(建議應不低於70%)



圖 5.64 浸沒式曝氣攪拌機

5.4.11 厭缺氧槽的攪拌動力

活性污泥去氮除磷程序中，其厭氧段及缺氧段為維持混合液於懸浮狀態，應設置攪拌設施，其所需動力依槽中 MLSS 濃度估計之。

解說：

在氮磷處理程序中，於厭氧段及缺氧段，皆必須維持反應槽中固體物，處於充分混合的懸浮狀態，而多採用攪拌器攪拌，攪拌葉片設於底層，必要時於中層亦配置，而其表面的攪動以能達輕微者，攪拌所需動力可以下式計算之：

$$\frac{P}{V} = 0.00094(\mu)^{0.3}(MLSS)^{0.298} \quad \text{.....(5-115)}$$

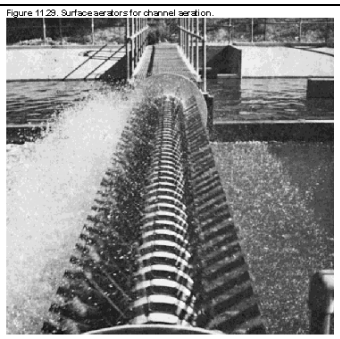
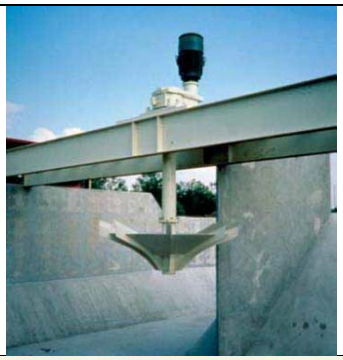
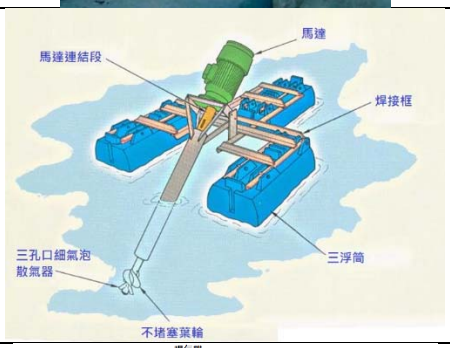
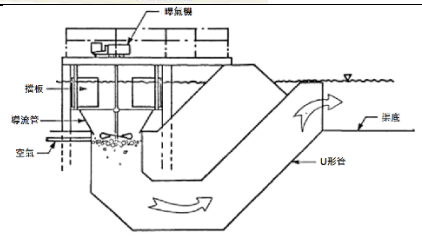
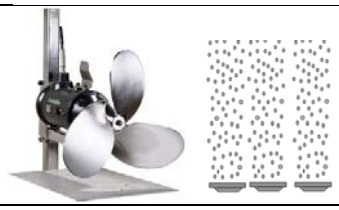
式中：

MLSS：反應槽中之懸浮固體(mg/L)

μ：1.0087(20℃時)

$\frac{P}{V}$：單位體積所需求之動力(kw/m^3)

表 5.17 氧化渠曝氣設備之種類概要

型式	概要	
橫軸型	Figure 11.29. Surface aerators for channel aeration. 	為在橫型旋轉軸上裝置葉片形成滾轉機，於水表面進行攪拌曝氣，為一表面曝氣方法
豎軸型		藉驅動部的旋轉動力，帶動渠道水面上部分浸水之翼輪，進行曝氣的表面曝氣方法
螺旋型		藉螺旋之旋轉造成負壓，以利用自動供給的空氣，形成微細氣泡而擴散於水中的水中曝氣方法
軸流泵型		藉軸流推進器的攪拌和由散氣管供給的空氣相混合，形成氣液混合體，經由軸流泵之下游側再由槽底噴出之方法
推進器型		攪拌及混合由水中的螺旋槳行之，氧的供給則由散氣板散氣之方法行之

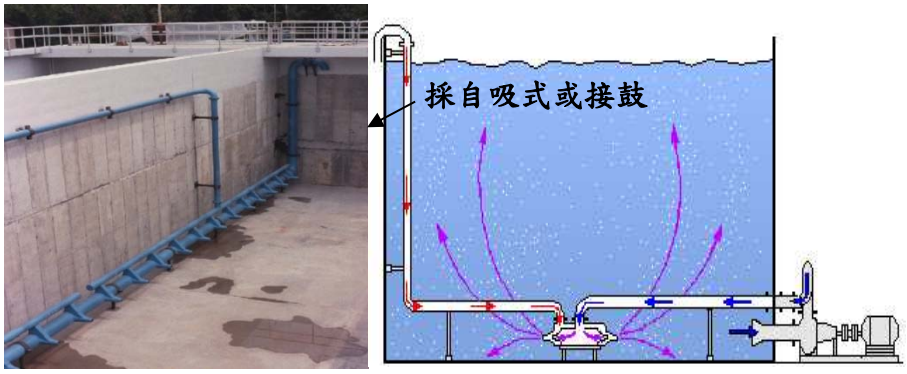


圖 5.65 噴射攪拌曝氣系統

5.4.12 活性污泥法污泥抽水機、附屬設備及監測設備

迴流污泥抽水機應設二部以上，其設計容量為迴流污泥量之 1.5 倍，並應附有易於採樣及計量之裝置。

解說：

1. 活性污泥法污泥抽水機、消泡及附屬設備，設計依據如下：
   (1) 進流及出流口應設制水閥或閘門，並在適當處設置排水管或可移動之抽水機。
   (2) 應設有消泡裝置，噴嘴之出口壓力為1.0～1.5 kgf/cm^2。每一噴嘴之噴水量為6～12 Lpm，噴嘴高度為水面上0.3～0.6 m，噴嘴間之距離為1.2～1.5 m。消泡水之抽水機，以使用離心式為主，噴嘴及配水管應具耐蝕性。
   (3) 迴流污泥抽水機計畫容量，為計畫迴流污泥量之1.5倍，惟平日操作時迴流污泥量約為20至80％流量(迴流污泥量過大會增加二級沉澱池的固體物負荷)，因此抽水機輸送量及台數，應注意低流量操作之需求。
   (4) 迴流污泥量之控制，一般可採迴流污泥流量計，搭配變頻控制抽水機輸送量，或是採迴流污泥流量計，搭配蝶閥開度控制流量。
   (5) 廢棄污泥抽水機抽水量，宜配合後續污泥處理池槽之容量及操作模式設計。
2. 一般活性污泥反應槽，宜設置 DO 及 MLSS 自動顯示之監測設備，以作為調控之依據。至於去氮活性污泥法及去氮除磷活性污泥法，則應設置 DO、MLSS 及 ORP 自動監測設備，並以好氧段依進出調控溶氧濃度，而在缺氧段之 DO 應為 0.2 mg/L 以下，ORP 應能控制在-50～-100，厭氧段則可控制其 ORP 在-200 以下之正常操作狀態。

5.5 去氮或去氮除磷系統設計應有之考量

各種去氮及去氮除磷生物處理法之設計，在生物處理反應上各有其特性，除依設計參數外，其相關之關係值要能維持最適條件，始能達到有效之處理，並獲致預期之去除率，故於設計時應加以充分檢討之。

5.5.1 各種去氮或去氮除磷系統設計考量

去氮或去氮除磷系統，設計考量如下：

1. 污水中生物可分解之有機物對去氮除磷之影響。
2. 適當的污泥齡。
3. 適當的溶氧。
4. 依設計進流水污水濃度，決定是否不設初級沉澱池。
5. 硝化時總凱氏氮之負荷應在 0.05 kg TKN / kg · MLSS · d。
6. 脫硝時水中溶解性 BOD 濃度與硝酸態氮之濃度比要大於 4。
7. 防止處理水於沉澱池產生厭氧、缺氧狀態，以避免聚磷菌釋放磷，降低磷的去除或脫硝，導致脫硝產生 N_2 氣體，干擾沉澱。
8. 去氮除磷系統為促進處理效果，視需要可添加鹼劑、外部碳源或 PAC 等凝聚劑。

解說：

去氮或去氮除磷系統，係控制反應槽之厭氧、缺氧及好氧狀態，以各種不同排列考量而成，故其應考量事項如下：

1. 厭氧段進流水之磷與溶解性 BOD_5 比，應小於 0.06 才能有較佳釋磷效果。另污水的 COD/TKN 比，應大於 1 時，總氮的去除率才能達 80％。若 COD/TKN 比小時 0.7，則無法以生物處理去氮。
2. 同時去氮除磷系統，由於受硝化菌污泥齡需較長，除磷菌則不宜過長之限制，因之污泥齡以 10～15 天為宜。
3. 好氧段之 DO 應為 2 mg/L 左右，太高太低皆不適合，對於厭氧或缺氧愈低愈佳。但由於污泥迴流與進流水的影響，應保證厭氧段之 DO 能小於 0.2 mg/L，缺氧段之 DO 小於 0.5 mg/L。
   (1)因之應減少污泥迴流過程中有曝氣，以使厭氧段或缺氧段的 DO 最低，以利去氮或去氮除磷。
   (2)厭氧段或缺氧段的攪拌器功率不宜過大，一般為 $3W/m^3$，否則會產生渦流，導致混合液 DO 升高，影響脫硝或除磷效果。
   (3)污泥迴流或各段進流水進流，其流入厭氧段或缺氧段，皆應為淹沒流入，以減少曝氣。
   (4)每硝化 1 g NH_4-N，會消耗鹼度 7.14 g (as $CaCO_3$)，致降低 pH 值。
4. 視污水進流水濃度，污水流入厭氧段之濃度低者，污水可不經或不設初級沉澱池，以維持較高 C/N 比，以有利於去氮除磷。
5. 進行硝化時，總凱氏氮的負荷率應小於 0.05 kg TKN / kg · MLSS · d。
6. 脫硝時，BOD 與硝態氮濃度比應大於 4。每 1 g 硝態氮脫硝反應，會產生

3.57 g 鹼度，也即有 2.86 g 的有機物(COD)被消耗利用。

7. 除磷系統為防止於最終沉澱池內產生厭氧及缺氧狀態導致釋磷，應防止污泥的蓄積，廢棄污泥抽出後應立即脫水，以防污泥腐敗，磷從污泥中再釋出。
8. 去氮除磷系統，在硝化處理過程中，會消耗鹼而降低 pH 值，故有時為促進硝化需添加鹼劑氫氧化鈉，以中和水質。又脫硝時必須有足夠碳源，若污水中 BOD 濃度偏低，為提升脫硝效果，需添加外部碳源，如甲醇等。另在除磷程序，為提升磷的去除，有時必須添加 PAC 等凝聚劑，各種藥劑添加時機、添加量及添加方式，可參考第 5.3.5 節。

5.5.2 去氮或去氮除磷反應槽應有之設備

應依處理對象氮或氮與磷物質及處理方法，充分瞭解其生物處理之基本原理，依處理單元的特性，設置下列各項設備：

1. 於厭氧槽設置攪拌設備。
2. 於缺氧槽設置攪拌設備。
3. 於好氧槽設置曝氣設備。
4. 為脫硝從好氧槽循環硝化液至缺氧槽之設備，其循環倍數(不含迴流污泥)，依設計量定之。
5. 各槽之流入口，應設置制水閥或制水門，以調節流量或分水量，另設置各槽清理維修所需之排水管及集中井。
6. 各槽應設置防止泡沫設備、防止浮渣設備及監測設備。

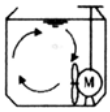
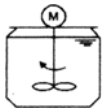
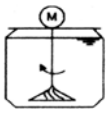
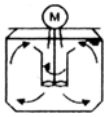
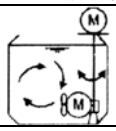
解說：

1. 厭氧槽之目的，在於使所流入的污水，能維持在厭氧狀態下釋放磷，而必須設置攪拌設備，以防止污泥在反應槽中沉降，同時使流入水能充分與活性污泥中的微生物獲得良好的接觸。攪拌設備，一般有機械式、水中攪拌式及橫軸水中螺旋槳式等，也有使用粗大氣泡攪拌設備，做間歇性的曝氣攪拌方式。攪拌設備之種類及特性，如表 5.18。槽上驅動式因維護管理方便，較常使用。
2. 水中攪拌式，有以沉水馬達或以散氣筒攪拌之設備，厭氧槽因不需要氧，故不需要配置散氣管。
3. 橫軸式水中攪拌之攪拌機，為由沉水馬達、螺旋槳、導引環及吊升裝置所組成，以維持保養之需要。
4. 缺氧之目的，在於維護反應槽內之流入水與自好氧槽循環迴流之硝化液，得以充分混合，並使脫硝菌利用流入水中之碳源進行脫硝反應，其攪拌設備與本解說 1.相同。

   上述於好氧槽設置曝氣設備，並於好氧槽的末端設置硝化液循環泵，循環比率依設計需要，將硝化液循環至缺氧槽之流入端。循環流量之調整，可依抽水機之設置台數或變頻轉數控制之。循環方式也有氣升方法，惟因循環液量需配合進流水之流入量變動，並不易控制。
5. 各反應槽的流入口，為調節控制流入量，應設置遮斷閘門、控制閥或可以人工調節流量之小閘門，並為反應槽定期清理需要，設置排水側溝、排水管及集水坑，以應需要。
6. 去氮除磷系統之二級沉澱池，會有浮渣形成，故需設置浮渣去除設備，同時

在生物反應槽的缺氧段，水面也會有浮渣形成，也應考量設置消泡破碎設備。另缺氧槽應設置 pH、ORP 計，好氧槽應設置 DO 計監測設備。

表 5.18 各種攪拌設備特性

種類	水中驅動式		槽上驅動式				
型式	曝氣式	攪拌機式	螺旋槳式	雙曲面式	導筒式	直結式	旋回機構附螺旋槳式
概念圖							
驅動部	水中	水中	槽上	槽上	槽上	槽上 水面上	槽上
攪拌翼徑(mm)	吐出筒 ψ400 ～2600	ψ300 ～1100	ψ1400 ～2500	ψ1500 ～2500	ψ400 ～1000	ψ100 ～300	ψ300 ～400
旋轉數(min^{-1})	600	600～1800	10～40	20～30	300～500	1000～1500	850 以下

5.5.3 既設活性污泥法設施之改造

既設活性污泥法設施，擬改造為去氮或去氮除磷處理設施，如厭氧缺氧好氧活性污泥法時，其應考慮事項如下：

1. 設置厭氧槽及缺氧槽之攪拌設備
2. 硝化液之循環設備
3. 各反應槽間之分隔牆
4. 浮渣去除設備
5. 初級沉澱池之繞流渠道及污泥投入配管
6. 附屬設備，必要時包括鹼劑及凝聚劑等添加設備
7. 其他

解說：

1. 即於厭氧槽及缺氧槽設置攪拌設備。
2. 硝化液循環，其配管之排出口應浸入槽中，並盡量降低水頭損失。
3. 各反應槽間，應依各段之設計容量，設置分隔牆。
4. 在厭氧槽及缺氧槽會產生浮渣，為免在槽內貯積，應以檔板予以分隔。為避免在最終沉澱產生浮渣，應設置散水設備及浮渣去除裝置。
5. 為避免脫硝所需碳源不足，應有自初級沉澱池繞流管或以渠道，將進流水或初級沉澱污泥引入缺氧槽之配置。
6. 必要時設置添加鹼劑及凝聚劑等附屬設備。
7. 由於硝化之需要，去氮系統所需之曝氣量會較標準活性污泥為多，因之有需要檢討既有的鼓風機及曝氣設備的容量。

圖 5.66 為美國德州奧斯丁污水污水處理廠由活性污泥法，改為分段配水式去氮除磷處理法之概念設計圖。

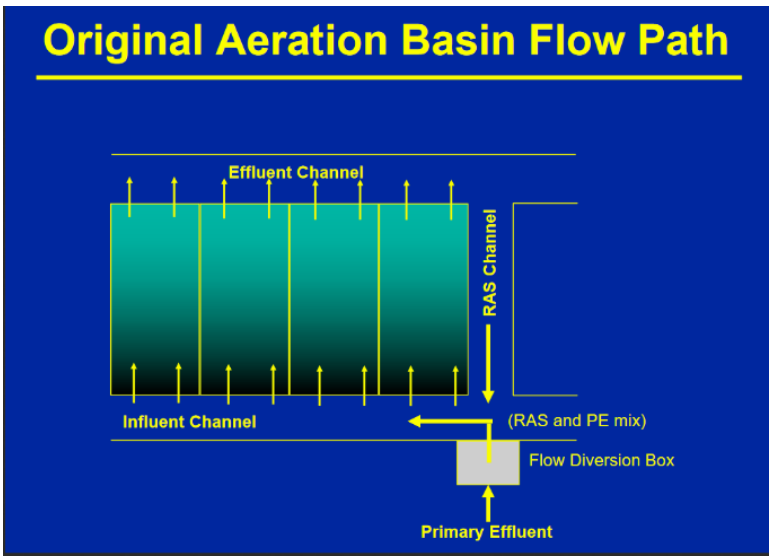


圖 5.66(a) 原設計曝氣池

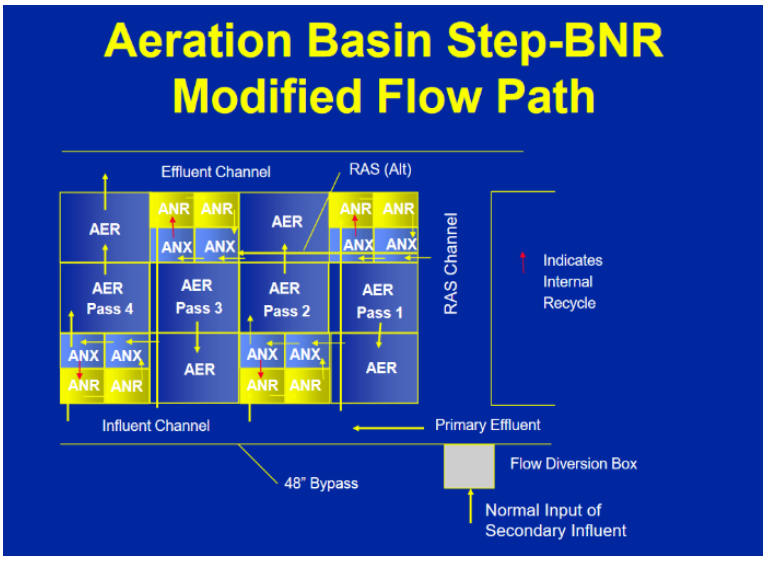


圖 5.66(b) 修改為分段配水式去氮除磷處理法

5.5.4 水質檢測項目

水質檢測在於掌握處理程序能達到適當管理，依設施的規模及相關法令規定檢測水質。

解說：

為掌握各去氮或去氮除磷系統之處理狀況，其應檢測之水質管理項目及設備 之目的如下：

表 5.19 去氮除磷系統水質管理項目

項目	T-N	BOD	NO_2^--N NO_3^--N	NH_4^+-N	T-P	PO_4^{3-}-P	ORP	pH	MLSS	MLDO
生物反應槽流入水	○	○		○	○	○		○		
厭氧槽末端		○ (溶解性)	△			○	○			
缺氧槽末端		○ (溶解性)	○			△	○			
好氧槽			△	△		△		○	○	○

處理水	○		○	○	○	○		○		
迴流污泥					△ (污泥中)	△ (濾液中)				

○：水質管理為目的之定期檢測項目

△：掌握操作狀況之檢測項目

1. NO_X^--N 項

為掌握硝化槽硝化進行狀況之指標。

2. NH_4^+項

為掌握硝化進行狀況及硝化過程中，預測 DO 消耗量之指標。

3. PO_4^{3-}項

為掌握反應槽之除磷進行狀況之指標。

4. ORP(氧化還原電位)項

在厭氧槽或缺氧槽，若有溶氧或硝酸性氮存在，就較難會有磷的釋出，因之維持厭氧狀態甚為重要，而厭氧槽的厭氧狀態，可藉 ORP 計的檢測判斷。

5. pH 項

pH 對於微生物活動的影響甚為重要，同時也是判斷硝化狀態進行狀況的指標，應於好氧槽連續測定。

6. MLSS 項

若為去氮除磷系統，為要維持硝化細菌於系統中，又要達成去氮除磷，循環式硝化脫硝法及硝化內生脫硝法比較上，就必須控制 SRT 在一定範圍，因之要在 SRT 的範圍內維持 MLSS 濃度，進行管理。

7. MLDO 項

若溶氧不足，會影響有機物的分解、硝化及磷的釋出。另方面若溶氧過高，循環至缺氧槽的溶氧將過多，就會阻礙脫硝，過度的曝氣也不適當，因此應於好氧槽末端設置溶氧計，以有效掌握好氧槽中的溶氧濃度。

8. 其他尚需檢測項目

(1)包括流入水水溫

(2)流入量及迴流污泥量的檢測

(3)迴流污泥的濃度

(4)剩餘污泥量及濃度的檢測

5.6 生物膜法

5.6.1 基本原理

對於規模較小的污水廠，除延長曝氣法、回分式活性污泥法及氧化渠法等活性污泥法外，接觸曝氣法及好氧過濾法由於操作上較容易，自 1970 年開始以來，在歐、美、日已漸被普及應用，其中接觸曝氣法在國內也廣被採用。

在反應槽中置入濾材，當污水流入並予以曝氣，與污水流入之微生物，由於生物物理化學作用而附著於濾材表面，附著後的生物在適應其環境下逐漸繁

殖而成生物膜。生物膜形成後，當水流流經濾材表面時，污水中之懸浮物及溶解有機物，就被生物氧化分解。

棲息於生物膜中之生物有 Zooglea 狀細菌類、原生動物、藻類、菌類、後生動物等多種生物，以流過濾池之污水中有機物為營養分而繁殖，而在污水的處理機能上，以細菌及原生動物較為重要。

一般生物膜中之微生物以細菌佔優勢，雖濾池表面因光合成的關係有藻類存在，但與污水淨化之機能完全無關，反有容易造成濾池阻塞之虞。

在反應中，生物膜(污泥)自濾材表面向外漸次生長堆積，生物膜的下部由於食物及氧量的不足，漸成為厭氧性細胞內代謝，一到此種狀態，厭氧性代謝之最終生成物有機酸、醛、酒精等類漸次自表面擴散，另生物膜之表面繁殖之好氧性微生物則自污水中攝取有機物及氧，而氧化分解之。

這種生物膜表面之好氧性微生物受表面以及下部之積厚影響，其結果有機物去除率將降低。

當細胞內代謝作用繼續進行，由於細胞之死亡而分解，則生物膜脫落，尤其在春天 4～5 月間，濾材上生物自冬季形變成夏季形，冬季形生物開始死亡而剝落，致處理效率降低，且由於多量污泥的剝落混入，致處理水水質較差。又秋天十月也會因生物相的變化，有如同春天的影響。生物膜的正常形成受污水水質濃度、散水狀態、通氣狀態、溫度、濾材之條件等所影響。

活性污泥法，依食微比條件以決定污泥停留時間，因此增殖速度較慢的微生物會被排出系統外，但生物膜法則因微生物固著於濾材，故與污水的停留時間無關，即使增殖速度慢的微生物亦會存在。因此比起活性污泥，生物膜微生物之種類較多，構成安定化的生態系。

生物膜法在污水處理上之應用，比活性污泥法還早，在十九世紀就已有使用，其間滴濾法在歐美使用很廣，國內早期在四、五十年代也曾有使用，中興新村曾在四十年代使用。旋轉生物圓盤法在六、七十年代也有應用，惟目前小規模處理設施，則多普遍使用接觸曝氣法。

5.6.2 接觸曝氣法及其特性

接觸曝氣法乃是將接觸材料浸於曝氣槽內之污水中，並在槽內給予充分曝氣，使流入的污水充分攪拌循環流動，而與接觸材料相接觸。經一段時間後，接觸材料表面開始生長附著生物性污泥(微生物)而形成生物膜，利用該生物膜在好氧性狀態下吸附、氧化污水中有機物質的處理方法。

接觸曝氣法之去除 BOD 及去氮的模式，如圖 5.67 所示。本法之優點包括：

1. 不需調整MLSS濃度，也不需迴流污泥，操作管理容易。
2. 可承受食微比的變動，獲穩定之處理水，並可達部分氮化物的去除。
3. 廢棄污泥量少。
4. 沒有污泥膨化問題。
5. 好氧層生物之底下，形成厭氧生物層，可達脫硝效果。

其缺點為：

1. 接觸材上附著之生物量為操作條件，無法調整控制。
2. 負荷過高時，有生物膜阻塞問題。
3. 接觸材為固定於曝氣槽，因此欲達接觸材內之均勻曝氣不易。

接觸曝氣法污水處理系統有異於活性污泥法，其系統係由初級沉澱池、反應槽及二級沉澱池組成，而不需迴流生物污泥，且二級沉澱池進流水之污泥濃度(SS)濃度較低，約在100 mg/L左右，不像活性污泥法高約2,000 mg/L，有利沉澱。

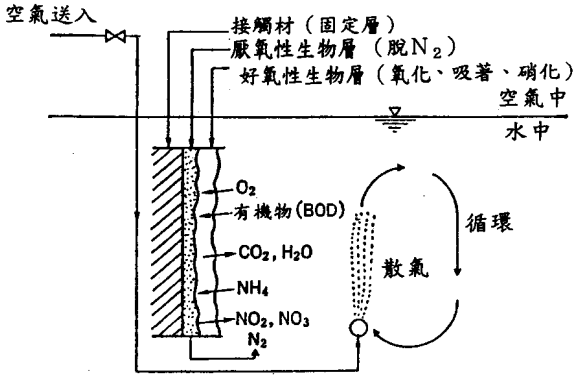


圖 5.67 接觸曝氣法之 BOD、氮去除特性

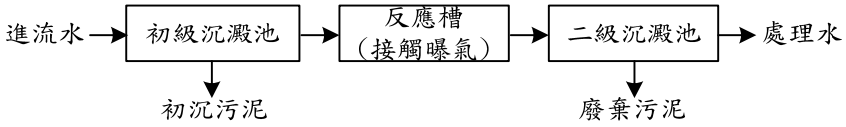


圖 5.68 接觸曝氣法處理系統

1. 接觸材的種類及形狀

目前所使用之各種接觸材料之分類，可分類為：

(1)粒狀不定形(形狀不均勻)：礫石、碎石、坑火石、焦煤、貝殼、煤碳渣、木片、塑膠片等。

(2)粒狀(形狀均勻)：管片、變形管片、桿環。

(3)棒狀、繩狀體：木棒、枝篠、多環繩等。

(4)有孔管體：蜂巢管、多孔性圓筒。

(5)平板、波浪板：石綿板、木板、塑膠網、塑膠浪板。(圖 5.69)

一般成形粒狀之接觸材料，對於懸浮物之捕捉力較強，且其貯留空間也較多，因此捕捉之能量亦多，反之對於水流之阻力大，容易導致濾池的阻塞。尤其是不定形者其粒徑、形狀皆不均勻，且空隙率亦較小，此乃粒狀接觸材料之缺點。

至於平板、波浪板、網狀等其間隔較適當，較無阻塞之問題，但對於懸浮物之捕捉力較弱，對於維持生物膜量之能力較差。

接觸材的選定，應留意下列：

(1)材質安定並具耐久性。

(2)長期使用仍不變形。

(3)不會溶出有害物質。

(4)維持管理及清理容易。

(5)生物容易附著、生成，不易阻塞。

(6)單位體積之表面積大，且不易阻塞。

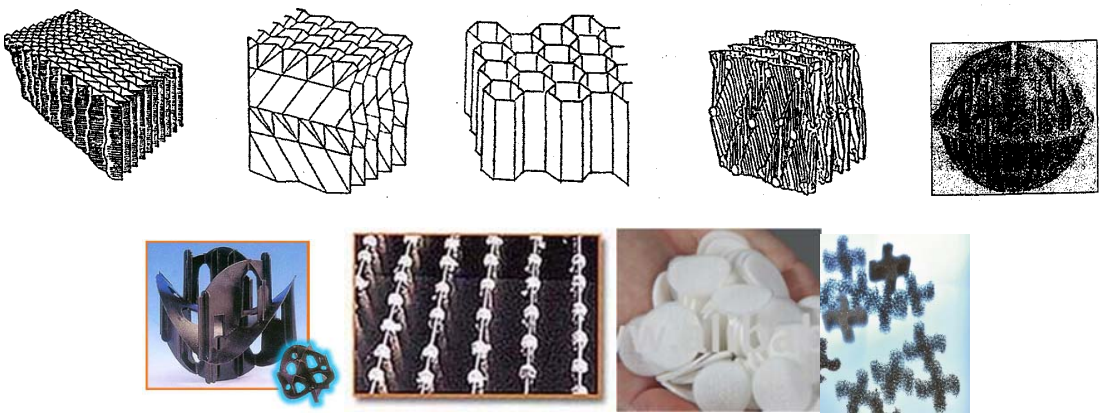


圖 5.69 接觸材之形狀

2. 曝氣方法

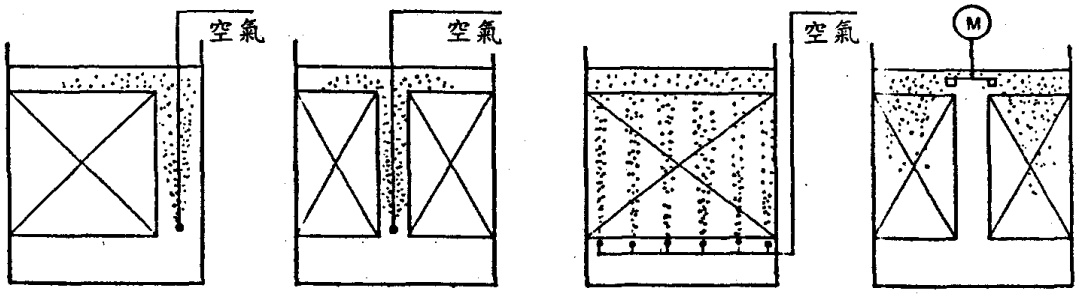
曝氣方法如圖 5.70 所示，有側面曝氣以形成旋迴流方法、槽中心曝氣於兩側形成旋迴流之。中心曝氣方法、於槽底全面曝氣方法，以及於水面機械曝氣等方法。

無論採用何種曝氣方法，以能達到污水與空氣在反應槽內均勻混合及旋迴流動。底部全面曝氣方法，應防止接觸材表面附著之生物剝落、接觸材破損、變形或接觸材上浮等。

3. 接觸材填充方法及槽之構造

(1)填充方法

接觸曝氣法接觸材的填充方法及曝氣槽的構造，對於槽內的水及空氣的循環，影響甚大。



(A)側面曝氣方式 (B)中心曝氣方式 (C)全面曝氣方式 (D)機械曝氣方式

圖 5.70 接觸曝氣法各種曝氣方法

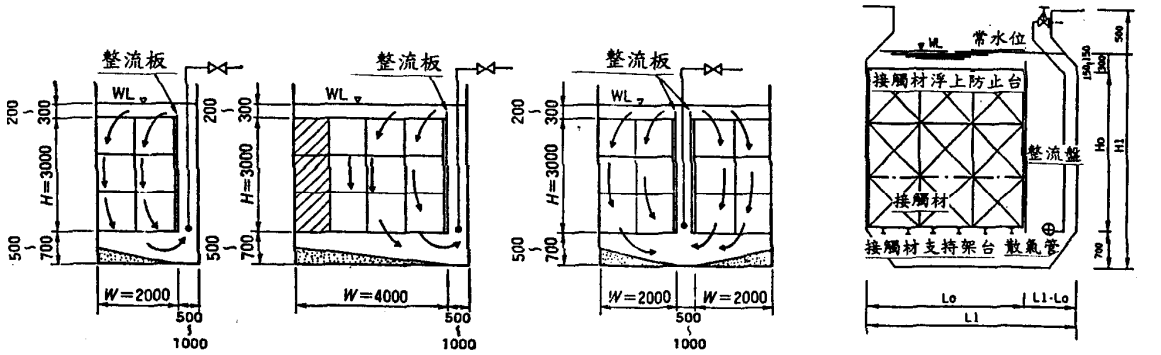
單側曝氣及中心曝氣之曝氣槽形狀及接觸材的填充方法例，如圖 5.71(a)(b)為單槽，曝氣(c)為中曝氣，槽的底部應有 50～70 cm 的空間，以容許污水循環，並呈傾斜狀。

散氣設備氣泡上升空間應有 50 cm～100 cm 之寬度，以便維護管理，接觸材頂端至水面應有 20～30 cm，以容許水之流動。

以寬(W)、填充材深(H)之比 W(0.3～1.0)H 為宜。市面上常見之：

a.高(H)×寬(W)×厚(T)＝1,000×1,000×1,000 m/m

b.高(H)×寬(W)×厚(T)＝1,000×1,000×500 m/m



（a）W= 0.67H （b）W= 1.33H （c）W= 0.67H （d）代表性單側曝氣槽配置尺寸

說明：

H_0：接觸材堆積高度(m) H_1：有效水深＝H_0 + 1,000(mm)

L_0：L_1×(0.4～0.75) L_1：曝氣槽寬(0.5～1.0)H_1

(L_1－L_0)散氣部寬約為 500～1,000 mm，接觸材佔曝氣槽容積比 50～60％以上

圖 5.71 曝氣槽形狀及接觸材填充方法

以此尺寸，為準決定填充方法及曝氣槽之尺寸。代表型的蜂巢管接觸材之尺寸特性如表 5.20。

表 5.20 蜂巢管接觸材之尺寸(例)

商品編號	間距 (mm)	厚度 (μm)	密度 (kg/m^3)	單位體積之比表面積 (m^2/m^3)	耐壓強度 (t/m^2)	標準尺寸 (mm)
VH-13-100	13	100	29	308	2.0	寬度 500
VH-20-120	20	120	23	200	1.5	長度 1,000
VH-30-180	30	180	23	133	1.5	(2,000)
VH-50-280	50	280	21	80	1.7	高度 1,000
VH-75-350	75	350	18	57	0.7	

註：耐壓強度為 250 mm 間隔之正方形格子上的壓縮強度。

(2)流程配置

接觸曝氣槽分 2～3 段，第 1 槽取較大的容積，愈後段愈小，以達負荷之平均。接觸材料以各段皆不易阻塞者為宜，惟前段較易阻塞，因此愈前段其粒徑或間隔採愈大者為宜，也有採不同的接觸材料予以組合以達上述目的。二級沉澱池原則上應予設置，但若採用 SS 捕捉力高之接觸材料，且能定期清洗者，也可省略之。

槽數的決定，基於下列因素，應為 2 系列以上且多段為宜：

接觸槽定期檢查、清理之需要。

①防止發生短流。

②提升處理效率。

同時複數系統設施，應有均勻分流及整流設備，以達處理效果，圖 5.72 為接觸槽配置例。

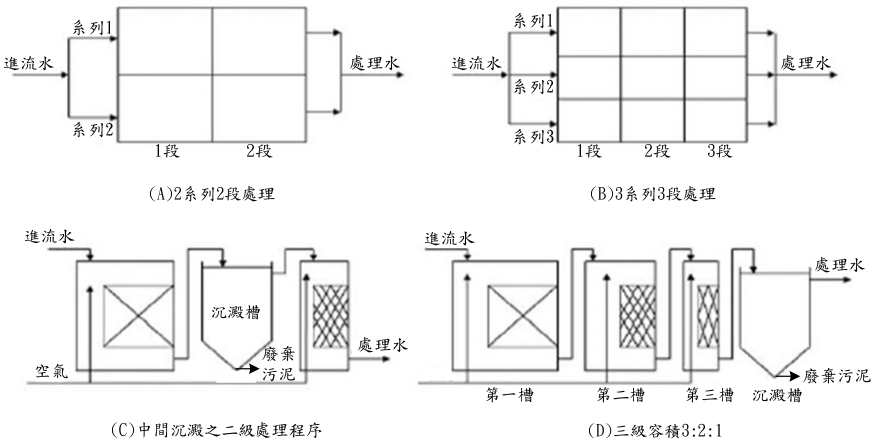


圖 5.72 接觸曝氣法流程配置例

(3)架台

接觸材支撐架台之設計，依接觸材料之種類而異，而對於反應槽內支撐蜂巢管所設置之架台，為免妨礙水流，以格子狀為宜。

使用蜂巢管時，蜂巢管的耐壓強度，依格子的間距而異，以 6mm 的鋼材，做成的正方形格子，格子的間隔和耐壓強度之關係，如圖 5.73。又平行棧板時之間隔為正方形間隔的 1/2，則其耐壓也同樣可求出。

蜂巢管本體雖很輕，但於生物膜附著後會增加重量，而當水槽內滿水時並無問題，但當槽內的水放空時，所有生物膜的重量將加諸於蜂巢管最下端的管面及格子上，此時蜂巢管壁面之附著生物膜厚度和重量之關係，可以下式表示：

$$W = 4{,}000(C - t) \cdot \frac{t}{C^2} \quad \text{.....(5-116)}$$

式中：

W：附著生物膜重(kg/m^3)

t：附著生物膜厚度(mm)

C：蜂巢管之淨間距(mm)

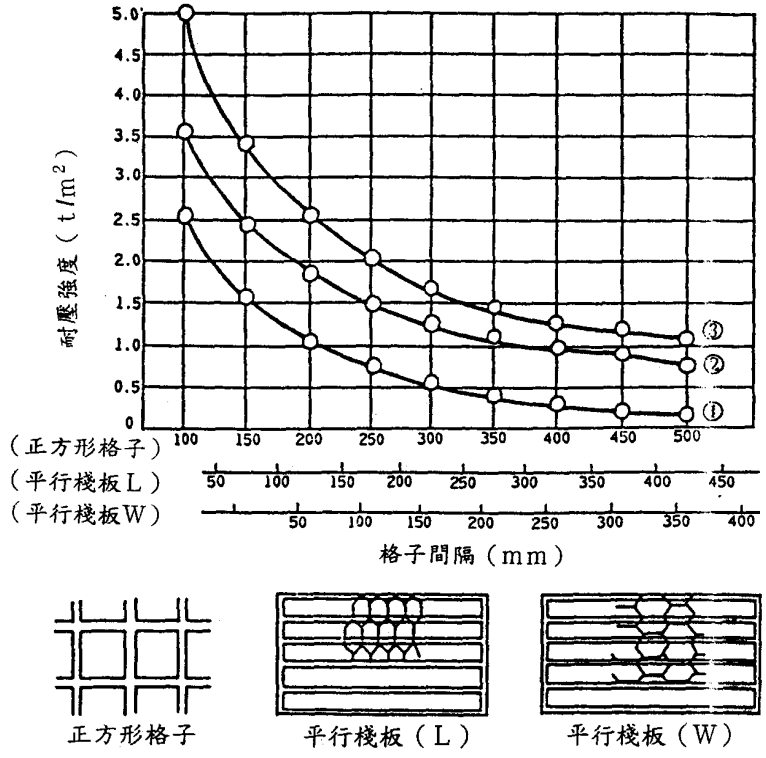
若以表 5.20 之 VH-20-120 之蜂巢管，以 3 層堆置，其平均生物膜厚度為 2 mm 時，則其重量為：

$$W = 4{,}000 \times (20 - 2) \times \frac{2}{20^2} = 1{,}140 kg/m^3$$

則支持格子之間距及應具有之耐壓強度，由圖 5.73 知可用正方形間距 400 mm。

4. 接觸曝氣槽容積負荷

接觸曝氣槽的容積負荷，依進流水濃度、接觸材的形狀等決定之。依經驗 BOD 容積負荷超過 1 $kg/m^3 \cdot d$ 就有阻塞之虞，為維持長時間操作，其接觸材食微比以 0.3～0.5 $kg/m^3 \cdot d$ 左右為宜。反應槽之形狀可為長方形或正方形，寬為水深 1～2 倍。



①：V-75-350 ②：V-20-120，V-30-180，V-50-280

③：V-12-100（桟板厚）

圖 5.73 接觸材支撐之格子間隔所形成之耐壓強度(例)

依實際操作，污水進流水 BOD 200 mg/L，其接觸材附著生物污泥(含水率 96%)約 100 kg/m^3，相當於附著 MLSS 4.0 kg/m^3[100 kg/m^3×(1-0.96)]。則若曝氣槽容量 100 m^3 接觸材填充率為 55%，則曝氣槽 MLSS 濃度為

$$4.0(\mathrm{kg/m^3})\times 55(\mathrm{kg/m^3})/100\mathrm{m^3}\times 10^3 = 2{,}200\mathrm{mg/L}$$

相當於標準活性污泥法 MLSS 濃度。

接觸材的間隔與原水濃度之關係，為防止阻塞，依經驗如表 5.21 所示。

表 5.21 原水濃度與接觸材間隔

BOD(mg/L)	間隙(m/m)
500 以上	100
250～500	80
100～250	50
100 以下	30

接觸曝氣法不像活性污泥法，需操作控制曝氣槽中的 MLSS 濃度，其操作較簡單，但相對的因不能控制其濃度，故在設計更應特別注意。

食微比包括曝氣槽容積之 BOD 容積負荷、接觸材料容積之食微比及接觸材面積之 BOD 面積負荷。由於接觸材料之形狀並不一定，因此一般設計都以單位曝氣槽容積食微比設計之。惟接觸曝氣法乃附著於接觸材料表面之微生物來處理基質，因此其評估仍以單位接觸材料容積之 BOD 容積負荷及單位面積之 BOD 面積負荷較為適當。

(1)BOD 容積負荷

$$L_V = \frac{Q\cdot S_0}{V}\times 10^{-3} \quad \text{.....(5-117)}$$

式中：

Lv：BOD 容積負荷(kg/m^3・d)

S_0：進流水 BOD 濃度(mg/L)

Q：進流量(m^3/d)

V：接觸槽容積(m^3)

(2)BOD 面積負荷

$$L_S = \frac{Q\cdot S_0\times 10^{-3}}{A} \quad \text{.....(5-118)}$$

式中：

Ls：BOD 面積負荷(kg/m^2・d)

A：接觸材表面積(m^2)

各種接觸材料之設計負荷，依其比表面積、接觸材料內之循環水流速、供氧量及曝氣槽形狀、填充接觸材料等條件之不同，其食微比與去除率也異，因此應依據模廠實驗操作後決定之為宜。

接觸曝氣槽為防止阻塞，可設置反沖洗設備以因應之，通常於接觸材下部 10 cm 處設置之，並以接觸材固定架台固定，如圖 5.74。

反沖洗時為使氣泡均勻，以利用封閉型散氣管，並以鼓風機以手動控制操作，其頻率視生物膜附著狀況而定。

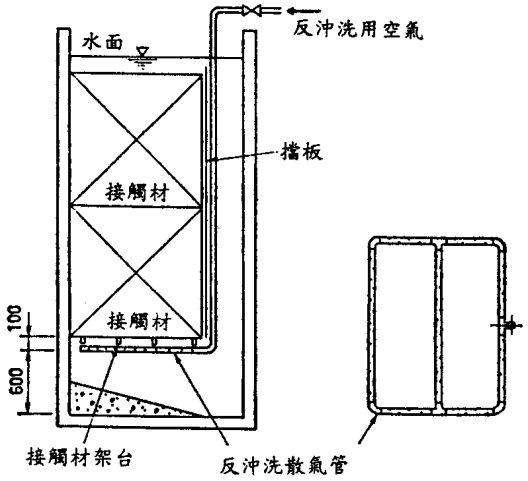


圖 5.74 反沖洗設備例

5.6.3 接觸曝氣法處理系統設計

5.6.3.1 接觸曝氣法前處理

接觸曝氣法前處理考量如下： 1. 進流水量之日間流量變動大者，應設置流量調整槽。 2. 初級沉澱池設計參數，依前處理初級處理設計參數。

解說：

1. 接觸曝氣法污水處理系統，已述於圖 5.67，但若進流水日間流量變動大者，應設污水調整槽，其設計參數可參考「臺灣地區小規模污水處理設施設計及解說」第 5.5.1.6 節。
2. 初級沉澱池之形狀，可為正方形、長方形或圓形，但為減少固體物進入反應槽，而設計負荷多採一般負荷範圍內較低之負荷，包括水表面積負荷 25～50 $m^3/m^2 \cdot d$，有效水深 2.5～4.0 m，溢流堰負荷 100 $m^3/m \cdot d$ 以下設計為宜。為防止污泥腐敗，應防止沉澱污泥的長時間滯留。

5.6.3.2 反應槽之容量、形狀、構造及槽數之考量

接觸曝氣反應槽之容量、形狀、構造及槽數之考量如下： 1. 反應槽容量，依計畫最大日污水量 BOD 容積負荷 0.3～0.5kg/$m^3 \cdot d$ 以下設計。 2. 反應槽寬度為水深的 1～2 倍，一般水深以 3～5 m 為適當。 3. 於考量清理及維修需要以 2 池以上。

4. 為避免短流以 2 段為適。
5. 構造應能避免短流，並應有排泥考量。

解說：

反應槽之容量、形狀、構造及槽數之考量如下：

1. 濾材之比表面積愈大，雖可提高 BOD 容積負荷，但因濾材之間隙小，有造成污泥過度蓄積而阻塞的問題，而無法維持穩定處理，因之反應槽的適當容積負荷，以計畫最大日污水量 0.3～0.5 kg/m^3 · d 為標準。
2. 為使污水在反應槽內能整體均勻接觸，應能保持良好的水流狀態，因此反應槽的寬度以水深的 1～2 倍為適當，若寬度比水深差為大，水流恐無法維持完全接觸濾材，而未能充分利用。反應槽水深若太深，既不經濟，但若太淺則需較大面積，因之一般水深以 3～5 m 為適當。
3. 於考量清理及維修之需要，以 2 池為原則。
4. 為避免進流水在反應槽中有短流問題，原則上以 2 段為適，因若其第一段負荷大，則第 2 段可較低負荷，而達安定處理。反之若第 1 段的處理機能降低時，第 2 段則可提升，以補充其負荷，達到互補作用。而第 1 段及第 2 段的容量比則以 3：2 左右為宜。
5. 構造上為使水能與濾材充分均勻接觸，以不產生短流為考量。底部為定期排泥清洗之需要，應依流出方向有 1～2%左右的坡度，以利排泥。

5.6.3.3 濾材材質、濾材配置、送風量及二級沉澱池設計

濾材材質及濾池配置考量如下：

1. 濾材應具充分孔隙率、均勻、表面積大及不易損傷之特性。
2. 濾材配置可為全面配置、兩側配置及單側配置。
3. 二級沉澱池設計應考量生物膜沉降特性。

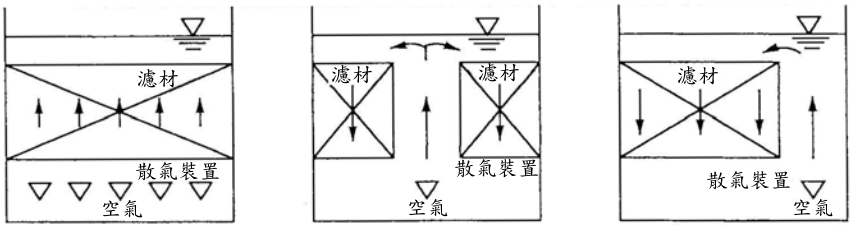
解說：

1. 濾材之形狀及材質考量如下：
   (1)濾材應具均勻及充分孔隙率，生物膜可附著表面積大，不受水流流動所損傷之強度，且長期在污水中不變質，具化學強度之特性。原則上以管狀、繩狀、網狀、平板狀、球狀等，由於形狀之不同，其填充及曝氣方法也異，因之應依進流水性質選定適合濾材及曝氣方法。
   (2)濾材材質以輕質不腐蝕的合成樹脂製品為標準，為確認生物膜附著成長狀況，濾材宜能有一部分可提升觀察之構造為宜。濾材填充以反應槽容積之 50～60%為宜。
2. 濾材的配置方法及送風量，依下列決定之：

   濾材的配置方法如圖 5.75。分為反應槽中全面配置、兩側配置及單側配置。

   (1)全面配置時，空氣量以能全槽均勻攪拌，並維持 DO 為 2～3 mg/L。所需空氣量為計畫污水量的 8 倍左右。
   (2)兩側及單側配置時，以能維持旋迴流而增加其所需送風量。

(3)若考量持續於高負荷操作，有造成生物膜過於肥大而阻塞之慮者，可於濾材之下部配置空氣反沖洗配置，定期反沖洗去除之。反沖洗量、時間及壓力依阻塞狀況而調整。



(1)全面曝氣　(2)兩側曝氣　(3)單側曝氣

圖 5.75 濾材配置方法

3. 接觸曝氣法污水處理系統的二級沉澱池，其形狀可為正方形、長方形或圓形放射流。由於從反應槽流出之處理水中，其 SS 濃度約在 100 mg/L 左右，且係剝落之生物膜其沉澱性較快，甚至有部分係破碎的微細顆粒不易沉澱，因之其設計負荷可選擇較低些，水表面積負荷 20～30 $m^3/m^2 \cdot d$，有效水深 2.5～4.0 m，溢流堰負荷 80 $m^3/m \cdot d$ 以下。

5.6.4 好氧過濾法及其特性

對於規模較小的污水廠，除可採用接觸曝氣法、延長曝氣法、回分式活性污泥法等外，好氧過濾法由於操作上較容易，自 1970 年開始以來，在歐美日已漸普及應用。

好氧過濾法(Biological Aerated Filter, BAF)為生物膜法的一種，其原理如圖 5.76，為於反應槽內充填 2～5 mm 之濾材，污水自上部流入，而自底部所設置之散氣設備曝氣，供給好氧性生物污泥所需之空氣量的處理程序。

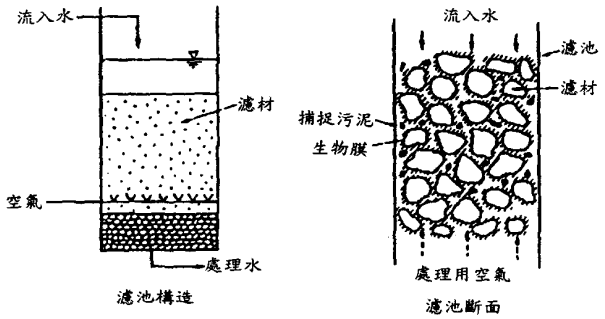


圖 5.76 好氧過濾法之原理

污水由反應槽上部流下時，其懸浮物質(SS)被濾池內之濾材間隙所阻留，而溶解性有機物則被濾材間增殖的生物膜所吸附分解，故本法為兼具有生物膜處理及砂濾之雙重特性。

但相同的因具砂濾之特性，也就有因微生物增殖造成阻塞之問題，此時為

恢復其處理機能，就必須以壓力空氣和水(處理水)反沖洗之，而此等沖洗的反沖洗水則引至初級沉澱池去除 SS 等。

好氧過濾法之特性如下：

1. 本法比起活性污泥法之回分式、長時間曝氣及氧化渠法等，其所需反應時間較短，且可節省二級沉澱池，因之其所需用地面積較小。
2. 本法不需如活性污泥法需迴流污泥，必須控制反應槽的 MLSS 濃度及 DO 濃度，也無二級沉澱池污泥膨化問題，因之操作管理較容易。但相對的在操作上需控制空氣量及過濾速度，以及負荷急激變動時溶氧的濃度及微生物量的管理，則較為複雜困難。
3. 藉由好氧性微生物的吸附作用、生物分解及物理性的過濾，在短時間內可獲得良好水質。惟容易受到污泥處理設施迴流液負荷變動之影響，以及水溫降低時，處理水水質可能惡化之虞。
4. 由於氧的溶解效率高，比起其他處理方法，所需溶氧量可較低，風壓也較低，且不需迴流污泥等動力，較節能。
5. 負荷較低時，因停留時間短可達硝化效果；若氣溫偏低則不易達完全硝化。
6. 為防止迴流水影響水質負荷，應防止污泥及迴流水發生腐敗，對於脫水過濾應設置貯槽，定量控制迴流水。

5.6.5 好氧過濾處理系統設計

好氧過濾處理系統，如圖 5.77。為由污水處理調整槽、初級沉澱池、好氧過濾池、鼓風機、濾池反沖洗槽反沖洗排水貯存槽所組成。

污水調整槽藉以穩定進流水，其設計考量同接觸曝氣法，初級沉澱池的水表面積負荷於考量迴流反沖洗排水之下，以計畫最大日污水量 30 $m^3/m^2 \cdot d$ 設計，餘同接觸曝氣法，但也可以微細篩替代初級沉澱池。

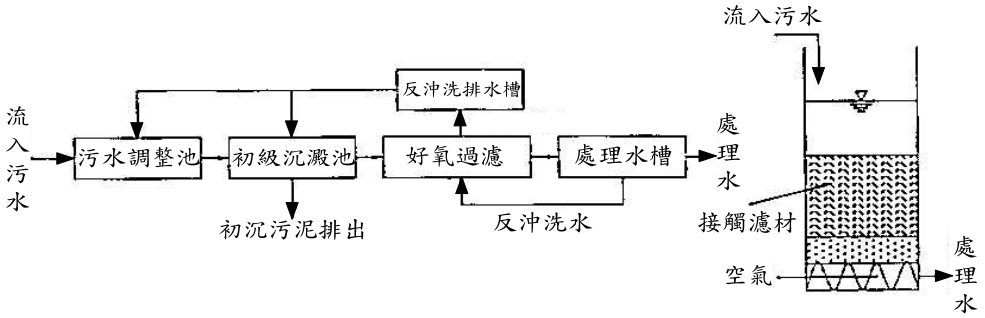


圖 5.77 好氧過濾法處理流程及好氧過濾槽構造圖

5.6.5.1 好氧過濾池之設計

好氧過濾池之設計，應考量事項如下：

1. 過濾速度，以計畫污水量之 25 m/d 以下設計之。
2. BOD 容積負荷，以計畫污水量之 2 $kg/m^3 \cdot d$ 以下設計。
3. 平面形狀可為正方形、長方形或圓形。其斷面形狀應能避免產生短流及污泥堆積。
4. 池數應為 2 池以上，應為堅固的鋼筋混凝土構造，周邊出水端應考量反沖洗時所需之水

位。
5. 濾材應為具耐久性、表面粗糙及粒狀均勻，粒徑 3～5 mm。
6. 濾層厚度以 2 m 為宜

解說：

1. 好氧過濾法處理都市污水時，平均過濾速度以 25 m/d 以下(平均 BOD 容積負荷 2 kg/m^3・d)，最大時負荷 50 m/d 以下(最大時 BOD 容積負荷 4 kg/m^3・d)，其處理水可達 BOD 20 mg/L 以下，SS 10 mg/L 以下。
2. 一般 BOD 容積負荷、過濾速度愈大，其 BOD 去除率降低，與標準活性污泥法 BOD 容積負荷 0.3～0.8 kgBOD/m^3・d 相比，本法之 BOD 容積負荷很大，且反應時間僅需 2 hr，為最大優點。
3. 又過濾速度 30～35 m/d 以下可達硝化反應，當 25 m/d 時，NH_4-N 去除率可達 50～80%。

濾池表面積及 BOD 容積負荷之計算如下：

$$濾池表面積(m^2) = \frac{計畫最大日污水量\ (m^3/d)}{過濾速度(m/d)} \quad \text{.....(5-119)}$$

$$BOD\ 容積負荷(kg/m^3 \cdot d) = \frac{計畫最大日污水量\ (m^3/d) \times 進流水\ BOD\ (mg/L)}{濾池表面積(m^2) \times 濾池濾料填充厚度(m \times 10^{-3})} \quad \text{.....(5-120)}$$

另過濾速度及 BOD 去除率之關係，如圖 5.78。

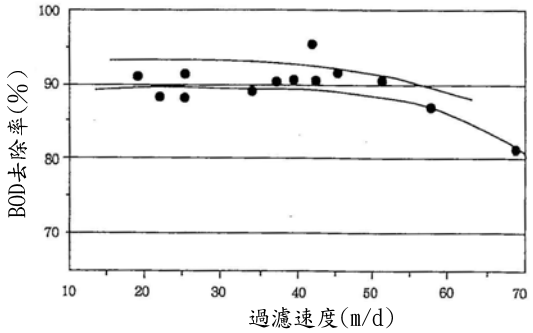


圖 5.78 過濾速度及 BOD 去除率之關係

4. 濾池之進流水，以能從濾池整體均勻速度過濾之形狀為正方形、長方形或圓形，其內部以能避免短流及污泥堆積。
5. 於考量濾池清理、維護及反沖洗，而能持續過濾，以設置 2 池以上為宜。構造應為堅固之構造物，高度應考量反沖洗時之水位。
6. 濾材以適合生物附著，反沖洗時不會破碎之耐久性材料。
7. 濾層厚度以考量反沖洗時，反沖洗水的流速，反沖洗空氣的流速及軀體強度，粒徑 3～5 mm，濾層厚度以 2 m 為宜。

5.6.5.2 曝氣設備及送氣量之設計

曝氣散氣設備及送氣量考量如下：

1. 散氣設備以多孔管為宜。

2. 送風量依進流水水質濃度，約 1 kg BOD 0.9～1.4 kg O_2 為標準。

解說：

1. 散氣設備以多孔管為標準，並能均勻供給空氣配置之。且由於通常每日反沖洗一次，因此多孔管之直徑，以能避免被濾材阻塞之大小為宜。
2. 送風量依流入 1 kg BOD 0.9～1.4 kg O_2 為標準。

5.6.5.3 反沖洗設施之設計考量

反沖洗設施及迴流水之考量如下：

1. 反沖洗設施包括空氣洗淨、空氣及水同時反沖洗。
2. 反沖洗原則以一天一次。
3. 反沖洗應有反沖洗水貯槽，並迴流至污水處理調整槽或初沉池。

解說：

1. 反沖洗為採強制的濾材洗淨，故採分空氣洗淨、空氣及水同時洗淨、水洗淨三段反沖洗為原則。通常兩槽輪流，並以處理水洗淨。其沖洗量如表 5.22。
2. 反沖洗原則上在過濾 24 小時，仍可獲良好水質之條件下，以定時器控制每天一次，並於流入污水量較少的時段進行。

表 5.22 好氧過濾池反沖洗條件

方式	反沖洗量($m^3/m^2 \cdot hr$)	洗淨時間(min)
空氣洗淨	50～60	2～4
空氣及水同時洗淨	50～60(空氣) 30～40(水)	1～2
水洗淨	40～60	3～5

3. 反沖洗排水原則上，於可貯存一次反沖洗排水容量之貯存槽貯存後，在不影響正常操作下定量排入污水處理調整槽。
4. 設計上應注意事項

(1)處理系統之考量

好氧過濾法為由初級沉澱池、處理反應槽及反沖洗水槽所組成，若因流量變動，將影響 SS 的去除，進而影響濾率，導致處理水水質降低或縮短過濾時間，增加反沖洗頻率等之連鎖反應，因此應以能達到流量變化最小為原則。

(2)初級沉澱池

為防止因污泥蓄積，造成污水腐敗，進而影響處理機能，因此初級沉澱池構造以易於排泥為宜。

(3)反沖洗水之排除及攪拌

反沖洗水排除系統應在不淤積之下，順暢排除處理之。

反沖洗排水槽若需短暫儲留，由於需排至調整槽，其反沖洗水之 SS 一般約 200～500 mg/L，為防止沉澱，應有攪拌設備。

(4)散氣設備之阻塞

散氣設備有因生物系統或微小濾材造成阻塞之問題，應設法防止之。

5.7 固液分離及二級沉澱池

5.7.1 基本原理與特性

污水生物處理後，尤其是活性污泥處理，其自反應槽流出之處理水，含有濃度在 2,000～3,000 mg/L 的懸浮固體物(即為生物體的污泥)，必須藉沉澱池予以固液分離，並將分離後的 SS 濃度高約近 10,000 mg/L 的污泥迴流至反應槽，以達到進流水與污泥充分接觸，藉以淨化污水，另一部分沉澱的污泥則以廢棄污泥予以排出，另行處理，此一用以固液分離的設施，稱為二級沉澱池，其沉澱的對象在活性污泥系統，即為具膠凝性的污泥。但在生物膜法則為剝落顆粒狀污泥，與初級沉澱池以去除進流水中可沉澱性的有機物為主不同。

基本上，生物活性污泥沉澱為層沉降，層沉降是屬於阻滯沉降(Hindered Settling)的一種，污泥顆粒整團的沉降速度，較單顆粒或膠凝顆粒的沉降速度為慢，其主要原因，為\污泥沉降時所取代出污水上升的速度，降低了污泥有效的下降速度。

壓密沉降(Compression Settling)，主要是由於固體物濃度過高，使污泥顆粒互相堆疊在一起，且底部的污泥固體物撐著上層的固體物，此時上部顆粒因重力作用緩慢地下降，而將下層污泥中的水份擠壓出來。一般層沉降及壓密沉降，會發生在二級沉澱池及污泥濃縮池內。

另生物膜處理系統由於沒有迴流污泥，因之其自反應槽流出的處理水，其所含的固體濃度則較低，約 100 mg/L，而其污泥係自介質剝落之顆粒為主，而形成粒狀沉降之特性，有異於活性污泥法反應槽的流出水，而沉澱後的處理水 SS 雖低，但因有部分破碎細顆粒，致水質稍有混濁現象。

活性污泥生物處理過程所產生的污泥，需仰賴二級沉澱池沉澱去除，以獲得清澄的處理水，二級沉澱池在原理上與構造上與初級沉澱池相同，惟進流水中之欲沉澱物質，主要為有機物質較生污泥為輕，容易流出須加注意。

沉澱污泥量遠較初級沉澱污泥量為多，含水率約 98～99%，需有充分的排泥設備排泥。沉澱池刮泥機之刮泥速度，應比初級沉澱池小，且能調整速度者為宜。

5.7.2 二級沉澱池設計

5.7.2.1 二級沉澱池的設計負荷

二級沉澱池的設計負荷，依生物處理法而定。

1. 設計流量依最大日污水量設計之。
2. 水表面積負荷、有效水深、溢流堰負荷及沉澱時間，依生物處理法而定。
3. 設計時應檢討可能影響之因素。
4. 除需符合水表面積負荷外，也應檢核固體物負荷。
5. 充分檢討設計程序應考慮事項。

解說：

1. 二級沉澱池的設計流量，依設計最大日污水量，含污泥處理之濃縮分離液及脫離液迴流水量。
2. 生物處理法，包括一般活性污泥法(高負荷)及(低負荷)之氧化渠及延長曝氣法等生物膜法，其設計負荷依處理方法而定。
3. 二級沉澱池主要機制為第三類層沉澱，其可能影響沉澱效果之因素，包括污水因素-污水內容、溶解物質、溫度、TSS、迴流污泥特性等及微生物因素-操作方法(缺氧/厭氧/好氧)、SRT、MLSS、溶氧等。
4. 二級沉澱池是為達成澄清出水和迴流污泥濃縮，設計時應考量足夠沉降時間，二級沉澱池之表面積除須符合水表面積負荷外，並須檢核固體物負荷。一般活性污泥法及生物膜法水表面積負荷，以最大日污水量 20～30 $m^3/m^2 \cdot d$，固體物負荷＜150 $kg/m^2 \cdot d$ 進行設計。

表 5.23 各種生物處理法二級沉澱池設計負荷

處理方法	一般活性污泥處理法(高負荷)	氧化渠及延長曝氣法(低負荷)	生物膜法
水表面積負荷 ($m^3/m^2 \cdot d$)	20～30	10～15	20～30
有效水深(m)	3.5～4.0	3.0～4.0	2.5～4.0
溢流堰負荷 ($m^3/m \cdot d$)	<150	30～50	<80
沉澱時間(hr)	3～5	6～12	3～5

5. 二級沉澱池設計程序如下：
   (1)依據污水進流量特性，選擇水表面積負荷，以達到所需的出水水質。
   (2)依水表面積負荷率計算所需池表面積，並校核固體物負荷，同時應考量池槽停用(維護或修護)之需求。
   (3)選擇適當的池深度，提供固體澄清、濃縮和儲存。(一般需 0.6 m 供濃縮，1 m 的深度供緩衝，2.4 m 深供澄清)。如果晝夜或進流泵浦流量變化或峰值流量狀況超大(如大於 2：1)，則需要更多的緩衝深度。出水高至少約 0.5 m 高度。
   (4)設計配置合理的出水堰長度。考量消除出水結構附近之 MLSS 密度流影響，可視狀況於溢流堰前設置出水擋板。
   (5)依據池槽型式選擇污泥排除機制，可採犁式、螺旋曲線的刮泥葉片、鏈條和刮板或水力吸入系統等。
   (6)完成其他細節設計(刮浮渣設備、浮渣輸送或浮渣攔除設備。設置欄杆扶手和走道。設置排水渠蓋或藻類去除的機制，加強定期的壓力水刷洗。配置清洗用軟管架、照明和維修設備用之電源、救生圈和安全欄杆)。

5.7.2.2二級沉澱池構造設計考量

二級沉澱池形狀、尺寸、池數、溢流堰、刮泥設備及抽泥設備，考量如下：

1. 池之形狀可為長方形、正方形或圓形，依其形狀為水平流或放射流。
2. 長方形池者，長寬比為 3：1 以上，其寬度依污泥刮泥機之長度而定。長方形池長度 25～60 m，出口端水深 3.5 m。圓形池直徑 10～40 m，周邊水深 4 m，但深度可酌予加深。
3. 池數原則為 2 池以上。
4. 應設置污泥刮泥機，其設置之池底坡度，圓形池及正方形池者 5/100～10/100，長方形池者為 1/100～2/100，並設置污泥斗，其坡度為水平角 60 度以上。
5. 採吸泥多孔管式池底坡度者，可採 5/100～6.5/100，採刮泥形式池底坡度者，可採 8.5/100～10/100，並應設置浮渣去除設備。
6. 必要時溢流堰及出水槽，應有防藻對策之考量。
7. 刮泥設備，在長方形池一般以鏈條刮板式，速度為 0.3～1.2 m/min。正方形或圓形池為迴轉式，其轉速為每小時 1～3 迴轉，圓形池其周邊刮泥速度為 3.0 m/min 以下。其速度以不攪動沉澱物揚起為原則。
8. 污泥可用水位差排放或以抽泥機排放，抽水機台數含備用 2 台以上。
9. 其他應考量事項，包括進流管、注水井、消能井、混凝井等，也應加以重視。

解說：

1. 池之形狀依處理廠規模、用地面積及處理廠各單元之配置而定，另池槽設計須考量下列幾點：
   (1)池尺寸比例、直徑等，應考量污水水流之平均。
   (2)池進流應具防止污水滯留、亂流及偏流功能。
   (3)二級沉澱池內因為溫度、分層、污泥濃度因素，應注意密度流造成短流以致於影響出水水質，圓形槽或正方形池之出水可將出水槽設置於池內(如圖 5.79)。
2. 二級沉澱池之長寬比及長度，應配合刮泥設備之功能，池深度應考量固體澄清，濃縮和儲存所需深度。
3. 考量清潔、維護等不能進水之狀況，應設置池數 2 池以上。池槽得採單層及多層設置。
4. 二級沉澱池應設置污泥刮泥機，同時配合設備型式池底應有適當之坡度，長方形池排泥應設置污泥斗，為避免污泥堆積，應注意四面之坡度採水平角 60 度以上。刮泥機型式請參考第四章。其池底坡度吸泥多孔管式為 5～6.5%，刮泥形式為 8.5～10%為宜。
5. 為避免出水水質不佳，二級沉澱池應設置刮浮渣設備、浮渣輸送或浮渣攔除設備。
6. 部分區域出水水質會造成藻類孳生，造成排水水質或觀感不佳，可考量於溢流堰或是排水出水槽加蓋阻擋陽光照射，可減少藻類繁殖，或是設置藻類刷除裝置，或採定期壓力水刷洗。
7. 刮泥機設備應配合池槽形狀選擇。
   (1)刮泥機刮泥速度，以不攪動沉澱物揚起為原則。
   (2)長方形池槽之刮泥機，需要確認刮泥速度與迴流污泥量是否符合，同時需注意污泥停留於池內之時間是否過長。

(3)圓形二級沉澱池之刮泥機除採刮板式外，如當採用直徑大於 20 m 以上時，為考量污泥濃度均勻、避免老化等因素，可選擇採用雙吸泥管如圖 5.80(1)，或多吸泥管式如圖 5.80(2)。

8. 二級沉澱池排泥包括迴流污泥及廢棄污泥。

(1)多槽操作時為考量迴流污泥量及濃度之均勻，可將各沉澱池之污泥採 Telescope Valve(提流斯克閥，如圖 5.81)，其構造為上下套筒，有如望遠鏡可伸縮，當上套筒下降時，則可以水位差方法集中排至特定污泥槽內，再以迴流污泥抽水機、廢棄污泥抽水機輸送至後續流程，提流斯克閥之淨水頭差建議不小於 0.9 m；此外，須配合設置制水閥俾利維修時止水。另進入污泥井之管線前端可設置三通管延伸至地面，並設置壓力清掃口以利管線堵塞時清理。

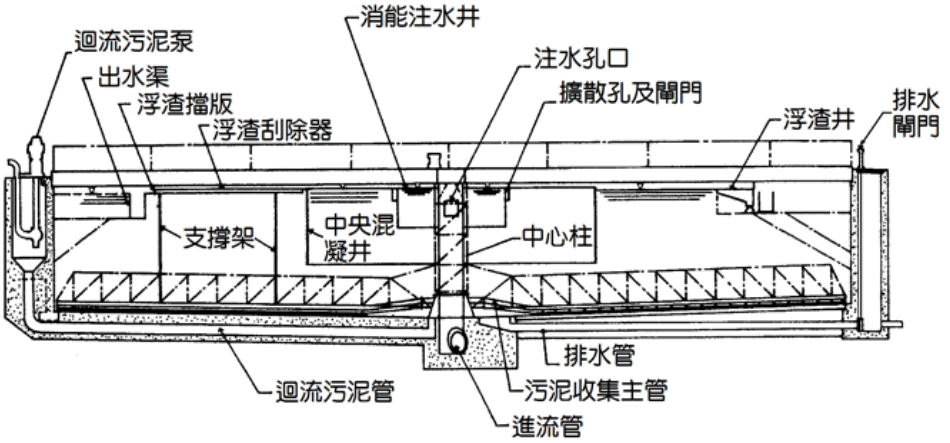
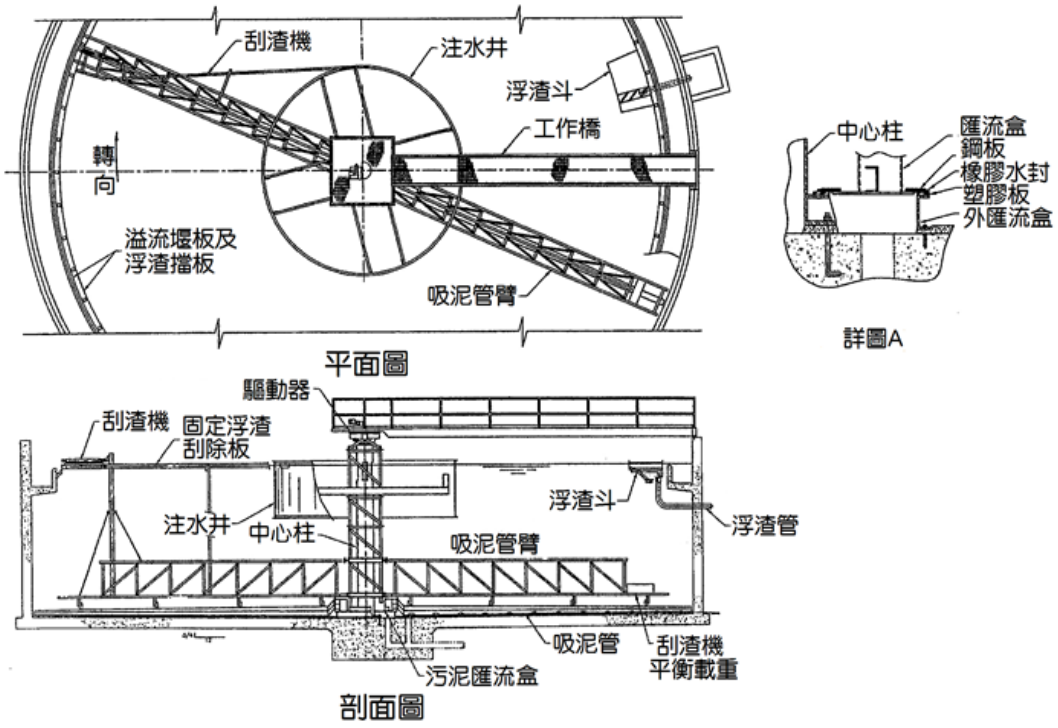
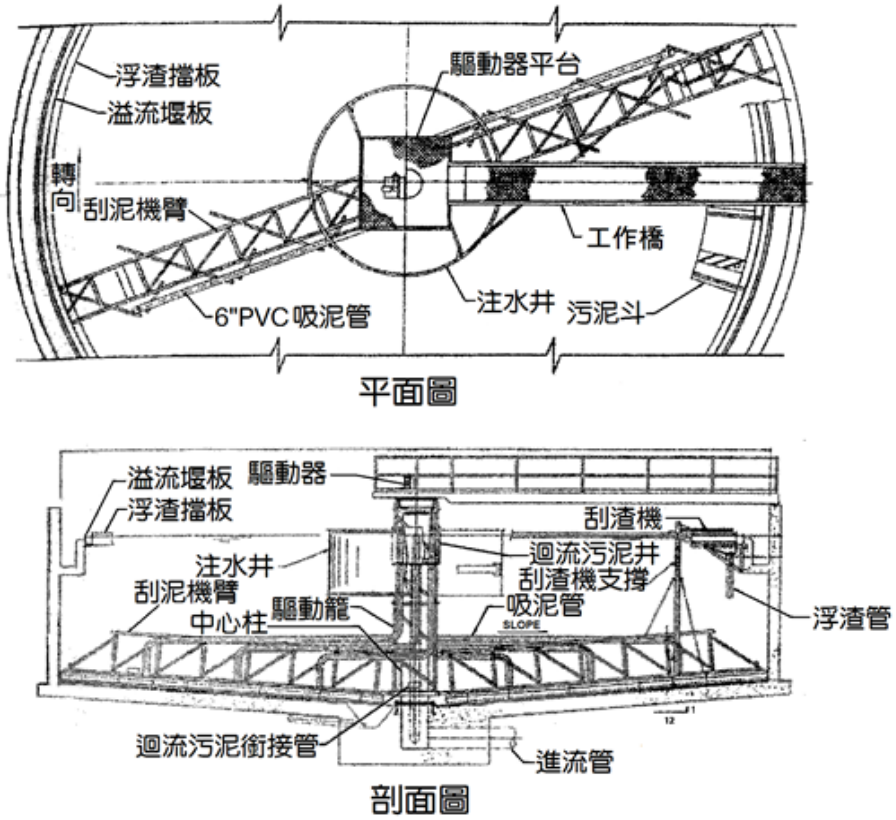


圖 5.79 圓形沉澱池出水渠設置於池內示意圖



(1)圓形中央驅動半橋式雙吸泥多孔管沉澱池示意圖



(2)圓形中央驅動半橋式多吸泥管沉澱池示意圖

圖 5.80 圓形沉澱池設置吸泥管例

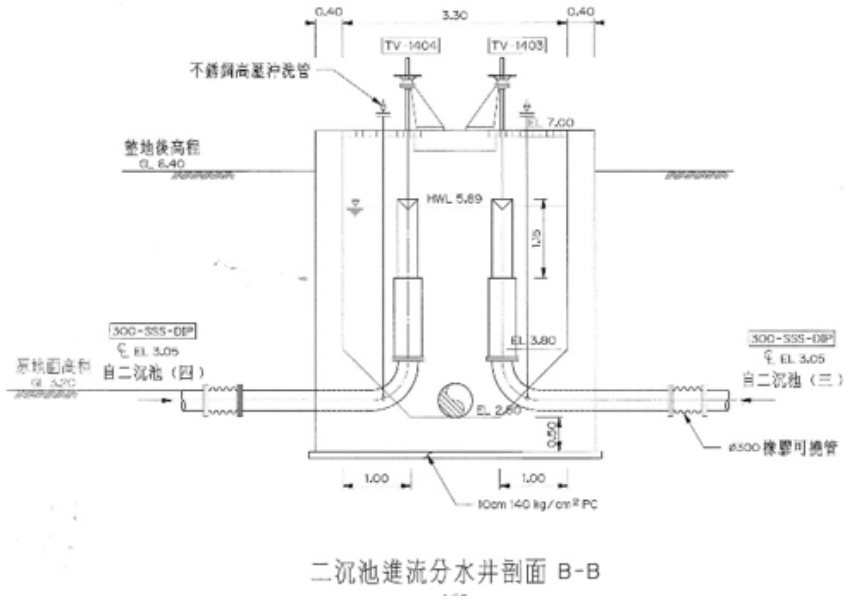


圖 5.81 提流斯克閥示意圖

(2)規模較小的二級沉澱池(如：單池處理量小於 1,000 CMD)也可採抽水機直接抽取，應注意多池間抽取量及濃度之差異。

9. 其他設計上應考量事項，包括：

(1)進流管

① 設計原則：管徑大小需使水中固體物保持懸浮，同時保持低流速，以避免污泥膠羽破壞及過大的水頭損失。

② 在一池停用時，進流管流速在尖峰流量及最大迴流污泥量時，不得大於 1.4 m/s(有的設計者採用更低之 0.7 m/s，以防止污泥膠羽破壞)。

(2)注水井(如圖 5.82)

① 初級沉澱池及固定膜生物反應槽之二級沉澱池：注水井直徑為沉澱池之 15 至 20%。

② 活性污泥反應池之二級沉澱池：注水井直徑為沉澱池之 20 至 25%。

③ 在不考量沉澱池直徑情況下，注水井直徑不超過 10 至 15 m。注水井向下流速限制在 0.7 m/min。

④ 在尖峰流量及一池停用時，注水井擋板頂端通常會高出水面，擋板頂端亦設有四個排渣開孔。

⑤ 注水井擋板底端浸水深為池邊水深之 25 至 50%。

⑥ 注水井擋板底端邊緣，須位在注水孔口底部約 0.3 m，以防止孔口水流低過注水井擋板而進入沉澱區。

⑦ 注水井擋板底部的圓柱型面積約等於注水井的截面積，以防止進入沉澱池底部的流速增加。(注水井底部空間深度為池邊水深減去注水井浸水深)。

⑧ 注水井擋板有的支撐在刮泥設備上，而隨著刮泥機而轉動，有的係支撐在橋下而固定不動。

⑨ 如注水井擋板支撐在橋下而固定不動，其注水孔口的方向須與排渣開孔錯開。

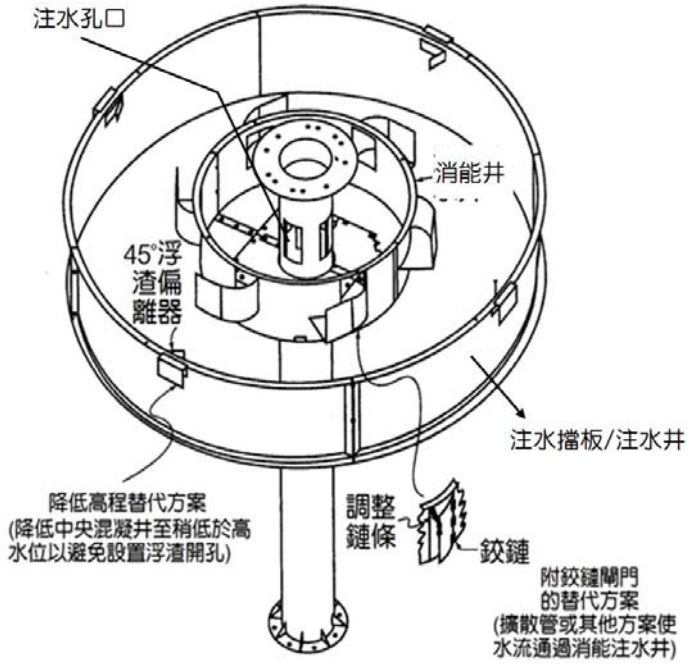


圖 5.82 注水井及消能井

(3)消能井

在某些廠的設計，因為考量懸浮固體到沉澱池時尚未完成形成膠羽，所以要提高沉澱池效能需要提供一個混凝區，有些做法是加大中心注水進流管徑，有些則是採消能井的做法，將水流分布到注水擋板內的區域。

① 尺寸

a. 直徑：約為沉澱池直徑之 10 至 13%。

b. 建議之停留時間：8 至 10 秒。

② 種類

a. 可調整閘門。

b. 曲型槽。

c. 可調整雙閘門開孔(Central Weber,猶他州)。

d. 多點擴散管(LA 洛杉磯市專利)。

e. 消能混凝井(FEDWA)。

(4)混凝區：為注水孔口至注水擋板間之區域

① 僅擴大注水井，使形成混凝區。

體積：20 分鐘停留時間(依據平均日流量加上迴流污泥量)。

混凝區深度：少於池邊水深。

混凝區中設置膠凝機。

② 混凝區中設置消能井。

(5)混凝區中漂浮物之移除。

① 混凝區擋板上端與 V 型堰底同高程。

特點：流量大時，上澄液會稀釋混凝區的污泥以及縮短進流水的停留時間。

② 混凝區擋板高程可調整。

特點：造價較高。

③ 固定式混凝區擋板配合高程可調整之堰板。

特點：造價低、實用。

(6)進水方式

前述(1)～(5)主要為目前較普遍使用的中心進水、周邊出水之型式，此外有其他專利型式為周邊進水、周邊出水的設計，與中心進水主要差異在於進流管不需埋設於池槽下方，進水渠道設置於最外側可由側邊設置進流渠道或管線直接進流，進流渠道內側則設置出水渠道與出水堰，如圖5.83。

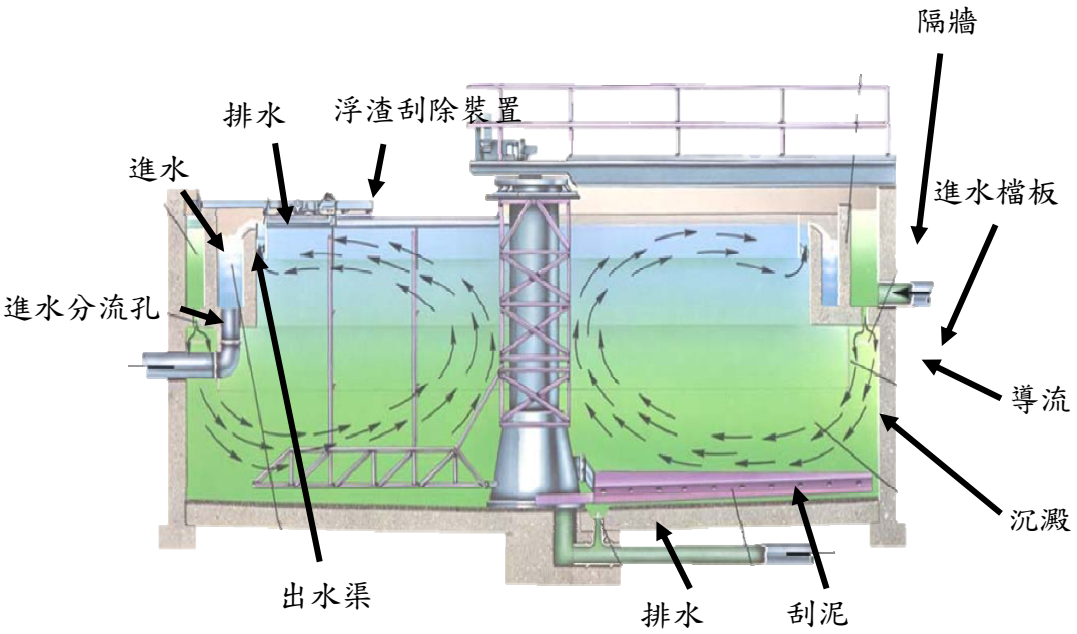


圖 5.83 周邊進水、周邊出水之二沉池示意圖

第六章 水再生利用及三級處理

6.1 概說

近年來由於全球氣候變遷，降雨頻率及降雨量更加異常變化，造成旱澇加劇之趨勢，根據過去六十年統計，台灣地區不僅連續不降雨日數增長，不降雨日數也增加，且發生的間距愈短愈頻繁，洪旱交替頻率密集。根據經濟部水利署 2016 年統計顯示，乾旱週期由 17 年降為 9 年，導致旱者愈旱造成水資源嚴重不足，同時也造成豪大雨頻傳，每次豪大雨造成水源集水區嚴重沖刷，且影響坡地災害增大、增多，淹沒湖庫，清淤困難，影響水庫調節容量，也是造成水源不足原因之一。

基於上述兩大因素，傳統的水資源供應穩定度備受挑戰，而常有缺水問題，政府為長期改善供水穩定，擴大水資源利用來源，特於 2015 年制定「再生水資源發展條例」，並已公布實施。

依再生水資源發展條例第 2 條，再生水係指「以污水、廢水或廢(污)水處理後之放流水為水源，經再處理產生之水，依其處理水源不同，分為系統再生水及非系統再生水」，依上述條例定義，系統再生水係指下水道系統之廢(污)水或放流水，經處理後可再利用之水，明確界定系統再生水乃以取自下水道系統之廢(污)水或放流水經處理後，可再利用之水，供應水資源利用，另非系統再生水，則係指由事業單位直接以其生產利用，所產生的廢污水，經處理再生後，就地利用之再生水，皆以充裕水資源為目的。

根據經濟部水利署民國 108 年預估，至民國 120 年台灣地區再生水之需水量約 132 萬 CMD，其中系統再生水約 77 萬 CMD，非系統再生水約 50 萬 CMD，其他 5 CMD。

6.2 再生水的利用

再生水的利用，視再生處理後之水質或依使用端所要求的水質，提供各種不同的用途。用途包括：

(1)澆灌與清洗用水

台灣地區夏天氣溫高蒸發量大，每年使用於維持都市綠化、公園綠地、行道樹及高速公路緩衝綠帶之綠化，其用水量相當大，若以再生水供應綠化所需之景觀澆灌用水，可利用水車或配管從污水處理廠直接取水利用。

另台灣地區之落塵量亦很高，為清洗街道，過去皆從消防栓取水以清洗街道，未來清洗街道或抑制揚塵均可以再生水替代之，以減少自來水之損耗。

(2)工業用水

鄰近污水處理廠之工業區或工廠，其次級清洗用水或製程用水等，可自都市污水處理廠以專管輸送引用，除可穩定供水之水源外，亦可不受豐枯水期之影響，對水資源再生利用之效益及替代工業用水需求，具很大之助益。近

年如鳳山污水廠之再生水供中鋼利用，台南安平污水廠之再生水供南科之台積電利用，皆為具體再利用例。

(3)沖廁用水

其利用污水處理水之目的，主要為確保水源，以防水源不足。而於社區開發同時就配置中水道系統回收污水處理水之再生水做為沖廁用水。

(4)農業用途用水

由於農業灌溉之用水量大，多為依賴不確定性水庫或河川取水，對於經常用水不足的地方，再生水可為一適當的替代水源，同時也為一種穩定的水源。

使用污水處理水做為灌溉用水，與一般的農業用水相同，且即使是枯水季也可供水，可避免因枯水而受害，但做為水田灌溉，一般需控制氮肥。

利用污水處理水引為灌溉利用，需要輸送水費用，但若抽送至主要圳道，並以處理水直接補充稻作氮肥，則輸送成本可因減少施肥而降低。污水處理水可灌溉，且甚具效益，一般一期稻作約需 90-100 公斤/公頃之氮肥，若利用處理水灌溉可減少氮肥施用量，即可減少施用化學肥料，也是減低稻米生產成本。

(5)環境維持用水

環境用水為維持都市內溝渠之清流、池塘、公園水塘、噴水池及水簾等需水用途，以增進都市景觀之用水，可由污水處理廠將再生水抽送，充分達到環境與綠之增進效果。

其效益為維持都市內河川之生物棲息，沿河及公園周邊居民，享有水岸空間，利用污水處理水之效益和引入河川水相同。有關引用污水處理水為環境維持用水，對於引用水的水質應能合乎要求，但其引用之建設費及維護費，以能較經濟之條件為考量。

(6)污水處理廠廠內用水及一般再利用

污水處理廠廠內用水，包括廠區之沖廁、澆灌等一般利用外，在污水處理廠處理程序上用水量約處理水的 5%，包括抽水機水封、消泡用水、脫水機濾布清洗水、泡藥用水及清潔用水等，皆可使用再生水，以節約用水。

6.3 再生水利用評估

台灣西部區域擁有全世界最高密度之工業區與大型用水產業，於枯水期其承受之缺水風險最高，將大型污水處理廠之放流水再生供作其第二水源，將有助於穩定工業生產，產生最大效益。

污水處理水再利用，將可達到都市內水資源的有效利用。又都市內因河川污染或下水道建設而欠缺流量之溝渠，若將水資源再生廠放流水引入，以增進流量，提供市民水遊樂等水岸活動，或將處理水引至大廈提供廁所沖洗用水之利用或都市內澆灌植生等。此外，配合新社區開發時設置二元供水系統，以再生水替代非飲用之都市用水，亦為水再生極大效益之展現，皆為水循環及水再利用之措施。

6.3.1 污水處理水再生利用策劃

在策劃污水處理廠處理水再生利用時，應注意之項目包括：
1. 對利用者不造成障礙。
2. 應具合理性、安全性及經濟性。
3. 依再利用條件檢討水再生計畫。

解說：

1. 對利用者不造成障礙

處理水的再利用，乃原來由自來水供水的一部分，以再生水替代供應，因之所供應的水，對於利用者多少會有些排斥感，尤其一般污水處理水，多有著色、微臭氣等問題，依需要必須有適當的再生設備淨化之。又處理水及再生水，比起自來水容易腐蝕、積垢、產生軟泥等，造成供給水上的問題，因之再生處理設施、輸、配水設備及再生利用設備，以及其構造和材質，皆應加以適當的考量因應之。

2. 應具合理性、安全性及經濟性

污水處理水再生利用之整體系統的選擇，對於其合理性及經濟性應充分考量，由於再生水為供給作為非特定使用，且因污水處理水中含有大腸桿菌及一般細菌，故於策訂再利用計畫時，對於人體衛生的安全性，更應加充分注意。

為獲得良好的再生水，除上述之外，更應注意再生水處理系統的操作管理，並有明顯的標示以防止誤接、誤飲等之安全管理。

3. 依再利用條件檢討水再生計畫

應根據再生水的用途、再生水使用量、各種用途之目標水質以及循環系統等策訂再生水利用計畫。其策劃之流程如圖 6.1 所示。

再生水之基本條件，除需符合維持安定之再生水水質外，且必須對人體健康衛生上無礙，對設備管線不造成腐蝕阻塞等，並對使用者不造成不快感，同時做為用水需保有應有之清澈條件。在這些必備條件中，對於人體健康上的重視，更應高於對設備及衛生器具功能及人體官能之問題，故衛生上之問題更應慎重考量。但成為再生水之條件必須有多種各樣之因子，且此等之水質項目互有關連，必須加以綜合考量，包括：

(1)衛生上之問題：大腸桿菌群、餘氯量。
(2)清澈上之問題：外觀、濁度(或 SS)。
(3)不快感之問題：臭氣。
(4)污染上之問題：BOD、總氮、氨氮、pH。
(5)供水系統不造成障礙：結垢、軟泥的形成。

為克服上述之問題，水質指標項目，應以大腸桿菌群、餘氯量、外觀、濁度(或 SS)、臭氣、BOD、pH、氨氮為水質指標項目。

在規劃再生水為工業用水之水源時，核心關鍵在於再生水之用途，不同用途將影響技術之選擇，當然，水質特性與再生水之成本效益，亦為決定水再

生利用系統時所必須考量之因子。於各類再利用之用途中，以工業使用具最大效益。工業利用以用於冷卻用水為最普遍之用途，而製程用水需求，則依各產業特性而異，其中亦存在許多應用之機會與潛力。

再生水利用於冷卻用途時，需考量之問題，包括冷卻系統的結垢(Scaling)、腐蝕(Corrosion)及生物滋長堵塞(Biofouling)等。結垢主要是碳酸鈣及磷酸鈣所造成，而腐蝕可藉由 TDS、氯、銨鹽之管制而控制，對管材之選用應加注意。生物滋長則是冷卻水營養物質(BOD_5、氮及磷)過多所造成。

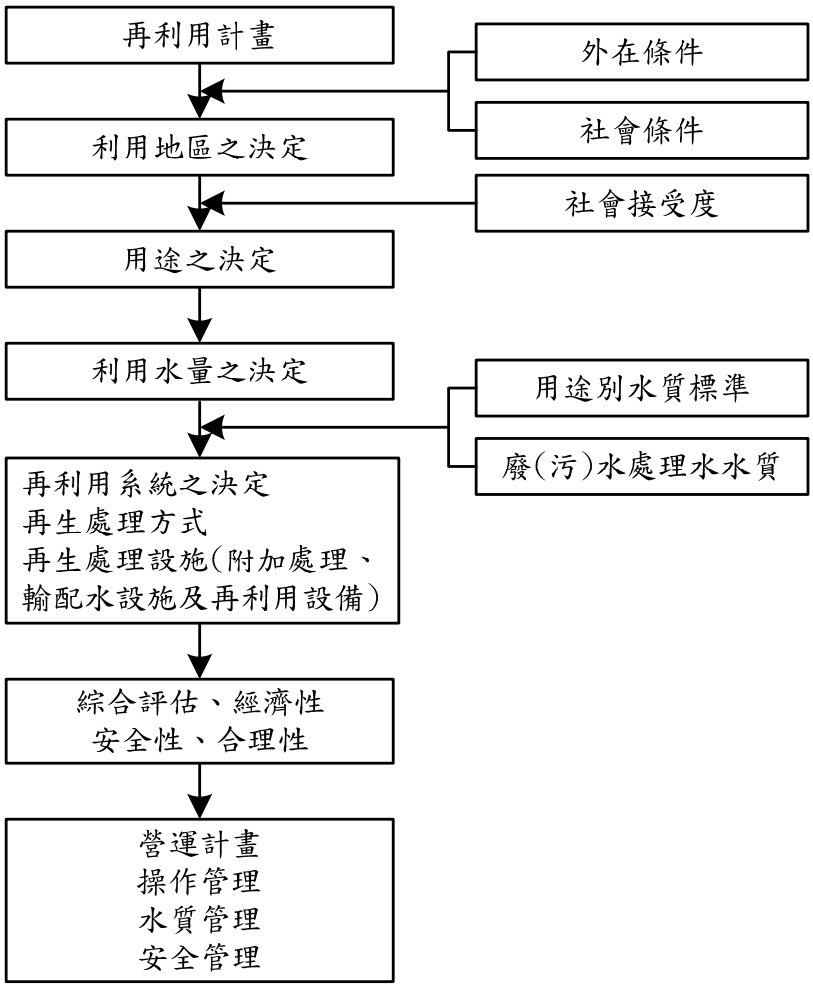


圖 6.1 策訂再生水利用計畫之流程

6.3.2 三級處理

污水處理水之三級處理，依處理水用途，考量處理方法。

解說：

一般污水處理程序上，以篩除及初級沉澱等去除固體物者稱初級處理。活性污泥法及生物膜法等生物處理稱二級處理。接續於二級處理程序之後，以進一步提升水質為目的之處理，稱為三級處理(Tertiary treatment)，若污水未經二級生物處理。而直接處理至同三級處理之水質者，稱為高級處理(Advanced treatment)，其目的包括提升公共水域水質或再利用。

無論三級處理或高級處理，在現階段其處理方法尚未定形化，依所要求處理水水質，有各種不同處理方法，有時則因經濟條件，而限定其處理方法，但近年來因處理水再利用之需求，而漸重要。

經濟條件為選定三級處理的重要因素，因在獲得良好處理水水質之同時，會消耗多量的藥物及電力等，同時也可能對環境造成影響。若處理水需回收再加利用，應先考量用途及所需水質條件，在可能範圍內以較經濟的處理方法為宜。

三級處理之目的、去除物質及處理方法，如表 6.1。過去三級處理去除物質中之氮、磷，皆已併入生物處理去除，而不另行處理，因之不再列入為三級處理之對象物質。

表 6.1 三級處理之目的、去除物質及處理方法

目的	去除物質		水質項目	處理方法
提升達公共水域水質	有機物	懸浮性(膠體)	SS，VSS	快濾，微細篩，凝聚沉澱，浮除分離
		溶解性	BOD，COD TOC，TOD	活性碳吸附，凝聚沉澱，臭氧氧化，生物膜接觸
水再利用	微量物質	無機鹽類	TDS，電導度 Na，Ca，Cl 離子等	薄膜，電透析，溶解，離子交換
		微生物	細菌、病毒	滅菌，消毒

資料來源：日本下水道協會「下水道施設計画・設計指針と解説」2019 年版

6.3.3 水再生處理物質及處理程序

污水處理水再生處理程序之選擇，依處理水殘留成分及再生水利用水質要求，決定再生處理技術。

解說：

污水處理水再生處理，係依污水二級處理水水質及處理水再利用水質之要求，評估各種不同的處理程序或單元，一般三級處理原水水質(即為二級處理後尚未經消毒的處理水)，如表 6.2，為污水處理廠二級處理的放流水水質。而因應二級處理水放流水水質所殘留的成分，其水再生技術，依污染物的特性，而有各種處理單元，如表 6.3。

6.3.4 再生水利用水質

再生水利用水質依用途別之水質規定或建議值決定之。

解說：

經濟部公告之再生水水質標準及使用遵行規定，如表 6.4。經濟部水利署也訂有工業用途再生水水質標準參考值，如表 6.5。行政院農委會也於 92 年 11 月 7 日公告「灌溉用水水質標準」，如表 6.6。農委會亦於 109 年公告放流水排入農田水利設施者，其農業灌溉水質基準值。

表 6.2 三級處理原水水質(二級處理水後尚未經消毒之水質)(例)

項目	濃度	項目	濃度	項目	濃度
水溫	21.6℃	Cl^-	65 mg/L	NH_4^+-N	12.35 mg/L
濁度	6.3 NTU	總鐵量	0.25 mg/L	SO_4^{2-}	60.8 mg/L
色度	17 度	F.DS.	340 mg/L	PO_4^3-P	1.77 mg/L
pH	6.9	V.DS.	134 mg/L	DO	2.9 mg/L
電導度	571(μS/cm)	SS	7.4 mg/L	一般細菌	3,200 個/mL
鹼度	104 mg/L as $CaCO_3$	BOD	15.7 mg/L	大腸桿菌	2,100 個/mL
總硬度	122 mg/L as $CaCO_3$	COD	26.8 mg/L	原生動物	517 個/mL
鈣硬度	91 mg/L as $CaCO_3$	ABS	0.66 mg/L		

資料來源：下水道學

表 6.3 水再生技術單元處理對象污染物

放流水殘留成分	水再生技術單元							
	過濾	微濾/超濾	吸附	氧化	逆滲透	電透析	離子交換	消毒
1. 無機性及有機懸浮固體與膠體								
• 懸浮固體	●	●	●		●	●	●	
• 膠體	●	●	●		●	●	●	
2. 溶解性有機物質								
• 總有機碳			●	●	●	●	●	
• 難分解有機物			●	●	●	●		
• 揮發性有機物			●	●	●	●		
3. 溶解性無機物質								
• 氨					●	●	●	●
• 硝酸鹽					●	●	●	
• 磷					●	●	●	
• 總溶解固體物					●	●	●	
4. 生物性成分								
• 細菌		●			●	●		●
• 原生生物及孢子	●	●	●		●	●	●	●
• 病毒					●	●		●

表 6.4 再生水水質標準及使用遵行水質規定

用途		景觀、澆灌、清洗、灑水抑制揚塵使用
水質項目	單位	限值
pH	—	6.0—8.5
總有機碳	mg/L	10 以下
氨氮(以氮計)	mg/L	10
餘氯	mg/L	結合餘氯 0.4 以上。且自由餘氯 0.1 以上
濁度	NTU	最大限值 5 以下
大腸桿菌群	CFU/100mL	200

資料來源：105 年 10 月 17 日經濟部公告再生水水質標準及使用遵行辦法

表 6.5 工業用途之再生水水質分級 Class A、B、C 水質建議限值

水質參數	Class A	Class B	Class C
pH	6.0～8.5	6.0～8.5	6.0～8.5
濁度(NTU)	2	2	2
色度	5	10	10
臭味/外觀	無不舒適感	無不舒適感	無不舒適感
BOD_5(mg/L)	—	—	最大限值 15 以下且連續 7 日平均限值 10 以下(以生活污水為水源)
COD(mg/L)	—	30	75(以工業廢水為水源)
TOC(mg/L)	0.5		
總溶解固體物(mg/L)	100	800	
電導度(μS/cm)	250	—	
氨氮(mg/L)	0.5	5	5
硝酸鹽氮(mg/L)	15		
總硬度(mg/L as $CaCO_3$)	50	400	850
硝酸鹽類(mg/L)	5		
氟化物 F^-(mg/L)	0.5		
氯化物 Cl^-(mg/L)	20		
二氧化矽(mg/L)	3		
總三鹵甲烷(mg/L)	0.08		
餘氯(mg/L)	2	1	結合餘氯：0.4 自由餘氯：0.1
大腸桿菌群(CFU/100mL)	不得檢出	10	10
總菌落數(CFU/100mL)	不得檢出		
硼 B(mg/L)	0.5		
鐵 Fe(mg/L)	0.04		
錳 Mn(mg/L)	0.05		
鈉 Na(mg/L)	20		
鋁 Al(mg/L)	0.1		
鋇 Ba(mg/L)	0.1		
鈣 Ca(mg/L)	4		
銅 Cu(mg/L)	0.05		
鋅 Zn(mg/L)	0.1		
鍶 Sr(mg/L)	0.1		

備註：
Class A：供給高階工業用水，如鍋爐用水與科技高階用水，水質項目除生物指標外，著重去除溶解性固體、結垢物質與腐蝕物質。
Class B：主要供給工業冷卻用水，水質項目除生物指標外，著重控制結垢物質與腐蝕物質。
Class C：再生水工業用途之基本水質標準。
資料來源：經濟部，107 年 6 月 28 日公告「再生水用於工業用途水質基準建議值」。

表 6.6 灌溉用水水質標準

項目	限值
水溫(℃)	35
氫離子濃度指數(pH值)	6.0—9.0
電導度EC(μS/cm25℃)	750
懸浮固體物SS(mg/L)	100
溶氧量DO(mg/L)	3以上
氯化物Cl^-(mg/L)	175
硫酸鹽SO_4^{-2}(mg/L)	200
總氮量T-N(mg/L)	3.0
陰離子界面活性劑	5.0
油脂	5.0
鈷Co(mg/L)	0.05
銅Cu(mg/L)	0.2
鉛Pb(mg/L)	0.1
鋰Li(mg/L)	2.5
錳Mn(mg/L)	0.2
汞Hg(mg/L)	0.002
鉬Mo(mg/L)	0.01
鎳Ni(mg/L)	0.2
硒Se(mg/L)	0.02
釩V(mg/L)	0.1
鋅Zn(mg/L)	0.2
鈉吸著率SAR$(meq/L)^{1/2}$	6.0
殘餘碳酸鈉RSC$(meq/L)^{1/2}$	2.5
鋁Al(mg/L)	5.0
砷As(mg/L)	0.05
鈹Be(mg/L)	0.1
硼B(mg/L)	0.75
總鉻Cr(mg/L)	0.1
鐵Fe(mg/L)	5.0

*資料來源：行政院農委會 92.11.07 公告「灌溉用水用水質標準」。

農委會對於申請許可排放於農田水利設施範圍內之非農田排水者，需依據「農田灌溉排水管理辦法」第 20 條，其排放水質須符合灌溉水質基準值之規定，水質基準值可分為管制項目限值及品質項目限值，整理如表 6.7。若為申請搭排

經許可者，其水質應符合管制項目限值；而申請搭排於下游具引灌需求之渠道者，其水質不得超出品質項目之限值；另申請搭排於下游不具引灌需求之渠道者，其水質應符合放流水標準。

表 6.7 農業灌溉水質基準值規定(農委會 109 年公告)

項目類別	項目	單位	灌溉水質基準值
品質項目	溶氧(DO)	mg/L	3.0
	導電度(EC)	μS/cm	750
	懸浮固體(SS)	mg/L	100
	氯鹽(Cl^{-1})	mg/L	175
	硫酸鹽(SO_4^{-2})	mg/L	200
	氨氮(NH_3-N)	mg/L	3.0
	鈉吸著率(SAR)	√meq/L	6.0
	殘餘碳酸鈉(RSC)	meq/L	2.5
	油脂	mg/L	5.0
	陰離子界面活性劑(MBAS)	mg/L	5.0
管制項目	鉛(Pb)	mg/L	0.1
	砷(As)	mg/L	0.05
	總鉻(Cr)	mg/L	0.1
	鎘(Cd)	mg/L	0.01
	汞(Hg)	mg/L	0.002
	銅(Cu)	mg/L	0.2
	鋅(Zn)	mg/L	2.0
	鎳(Ni)	mg/L	0.2
	pH	-	6.0~9.0

註：1. 考量環境地理、水域特性及農業生產條件，其灌溉水質視為背景值，得不受本表之限制。

2. 主管機關於受理申請搭排時，得視實際需要納入全部或部分品質項目管制。

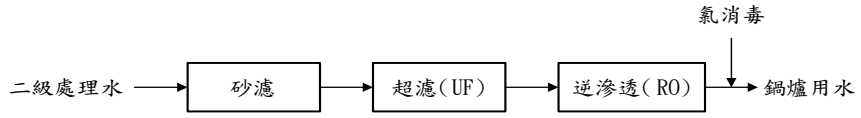
6.3.5 處理程序

污水處理水再生利用處理程序，依下述考量之： 污水二級處理水再生利用處理程序，依再利用用途別決定之。

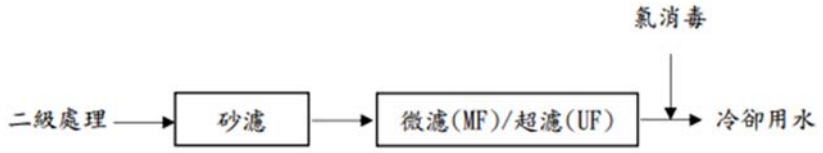
解說：

污水二級處理水再生利用為景觀澆灌、沖廁及污水處理廠廠內利用等一般再利用處理流程，以及提供為工業用途之再生水分級 A、B、C 三級，其處理建議程序如下：

1. A 級用水以提供做鍋爐用水，水質目標以去除生物指標外，著重去除溶解性固體結垢物質與腐蝕物質為主，其流程如下：



2. B 級用水主要以提供工業冷卻用水，水質目標除了去除生物指標外，著重於控制生物指標、結垢物質與腐蝕物質之去除，其流程如下：



3. 一般再利用及 C 級用水，以一般工業清潔、澆灌等基本用水為主，其流程如下：

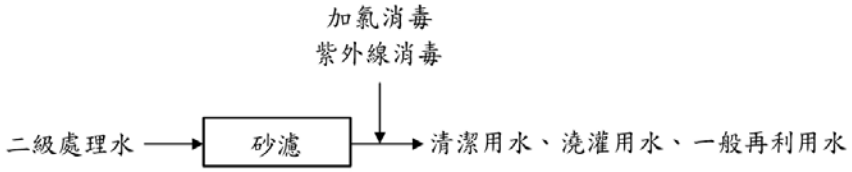


圖 6.2 都市污水處理水再生水利用處理流程例

6.4 三級處理種類及程序設計

6.4.1 三級處理種類

污水經二級處理後，如需加強去除水中之殘存懸浮固體物、膠體物質、總磷及其他微量物質時，得設三級處理。污水三級處理以快濾法、活性碳吸附法、薄膜分離法及細篩機為主。

解說：

1. 快濾法主要去除二級處理放流水中殘留之 SS，併同時去除 SS 中所含之有機物、磷、氮化物等。說明如下：
   (1) 快濾法係將二級處理後殘留之懸浮固體物，藉濾料之附著或攔截功能加以去除。污水經二級處理後，通常尚含有以 5～20 mg/L 程度之微生物膠羽為主之懸浮固體物，如將此等懸浮固體物去除，則可獲得較澄清之處理水。
   (2) 另外在以除磷為主之處理過程，伴隨著懸浮固體物之去除，更可達到穩定的除磷效果。
   (3) 依臺北市迪化污水處理廠之水質資料，二沉池出流水經快濾處理後之回收水水質，懸浮固體物平均約可自 22.6 mg/L 降至 9.6 mg/L 左右，驗證二級處理水經快濾處理後，可大幅降低懸浮固體物。
2. 活性碳吸附法，可有效去除二級處理放流水中尚殘存之溶解性有機物、微量色素及臭味等。

(1) 活性碳吸附，主要係藉由一種可逆作用之凡得瓦力原理將水中物質加以分離。當溶液中所含溶質與活性碳間的吸引力，大於溶質與溶液間之吸引力時，溶質將被吸附於活性碳表面上與溶液分離。

(2) 活性碳顆粒表面具有許多毛細管，吸附作用即發生於這些毛細管內表面及活性碳顆粒表面。

3. 薄膜分離法，係利用各種不同孔徑之薄膜，以加壓之方法，將水與水中膠體物質、微細固體物，甚至離子態物質予以分離，確保水質可達污染減量或回收再利用之要求。薄膜分離法常用者，包括微過濾(MF)、超濾(UF)、奈米過濾(NF)及逆滲透(RO)。水中常見的殘存污染物及處理法，如圖 6.3。
4. 用於二級處理水三級處理之細篩機可參考 3.3.3 之(3) 。

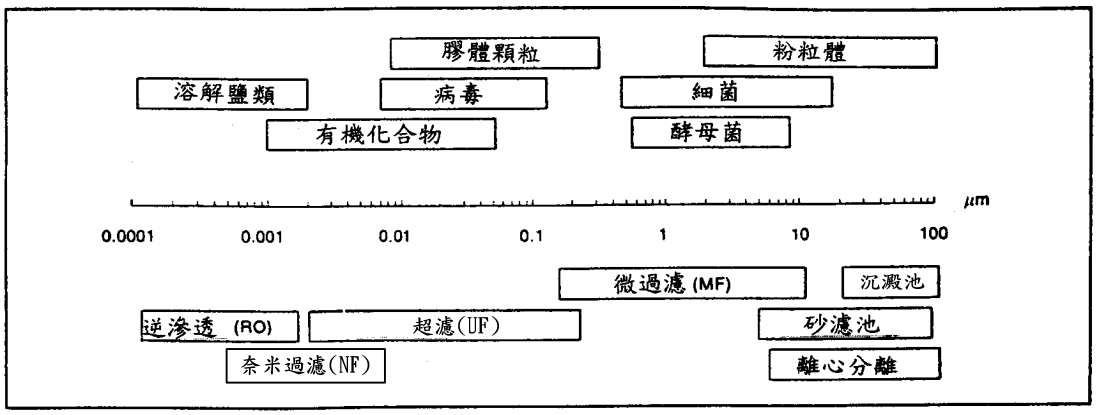


圖 6.3 水中常見污染物與處理方法

6.4.2 快濾法過濾設計

快濾法之設計，其設計於考量下列決定之：

1. 需考量進流水質條件與出流水質要求，並擇定過濾方法與濾料種類及配置，以達成水質淨化的目標。過濾池每一池的面積以 80 m^2 為上限，以求反洗之均勻性。過濾方法依流向或流速來區分，可概分為向上流、向下流及高速過濾等不同方法。
2. 過濾速度依過濾水之水質、懸浮固體之去除能力及持續過濾時間等因素而定。
3. 過濾單元的反沖洗頻率、反沖洗方法(以空氣或過濾水洗淨濾層)、所需設備與管線等，皆需併同本單元考量。反洗方法可分為：水反洗、水反洗加水表面洗、水加空氣反洗以及水、空氣反洗加水表面洗等不同形式。

解說：

1. 快濾法的設計，需視進流水質與所需處理之水質，慎選其過濾方法與濾料的搭配。除水質要求外，尚需考量到可設立之空間、操作便利性、操作成本等因素，再搭配過濾方法來配置反沖洗之設備與管線。各種過濾方法之濾層組成及其設計最大過濾速度，如表 6.8。

表 6.8 過濾設計參數一覽表

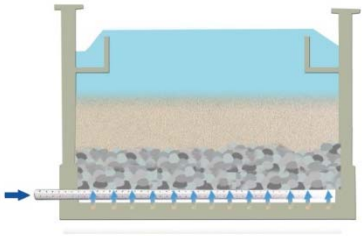
過濾方法		濾層之構成	最大過濾速率 (m/d)
向上	重力式	• 由較粗之砂構成 1.5～1.8 m 之濾層。 • 濾層之表面下方 10 cm 處設置鋼製格子。	300

流		• 濾料有效粒徑 1～2 mm，均勻係數 1.4 以下。	
向下流	重力式 或 壓力式	• 由層厚比例 0.6 以下之砂及無煙煤所構成之二層過濾池。 • 無煙煤之有效粒徑以 1.6～2 mm 為準，且為砂有效粒徑之 2.7 倍以下。 • 無煙煤及砂之均勻係數應儘可能為 1。 • 無煙煤及砂構成之濾層厚度為 60～100 cm。	300
高速過濾	壓力式	• 由纖維粒、球、片或絲構成濾層。 • 有效濾層為 1.0～1.5 m。 • 纖維濾料材質可為 PP 或 PE 或 PS。	720～1,200

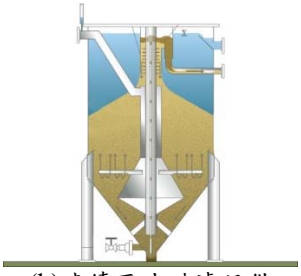
(1) 向上流式過濾法，主要係將原水導入濾池下方，經過濾石、濾砂、無煙煤等濾料過濾後，於上方收集之一種過濾方法。目前市面上較常見之連續反洗式砂濾設備亦屬此種方法，如圖 6.4 所示。

(2) 向下流式過濾法，主要係將原水導入濾池上方，經過無煙煤、濾砂及濾石等濾料過濾後，於下方收集之一種過濾方法，一般重力式快濾或慢濾池皆屬此種型式，另外根據進流型式及出流收集型式，目前市面上尚有 V 型濾池、走橋式、綠葉式、韋氏(或稱惠勒式)、多孔磚、透水板、多孔管及集水器等不同型式，如圖 6.5 所示。

(3) 高速過濾法，主要係將原水導入一壓力容器，利用加壓方法增加過濾速度，使原水經過濾砂、纖維及其他各種特殊型式之濾料等過濾後，於上方或下方收集之一種過濾方法，如圖 6.6 所示。

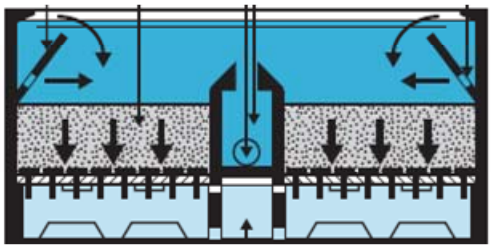


(a)傳統向上流形式快濾池

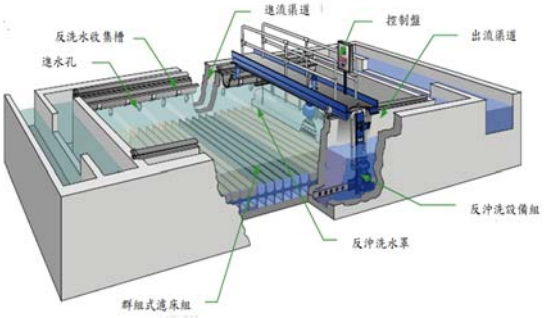


(b)連續反洗砂濾設備

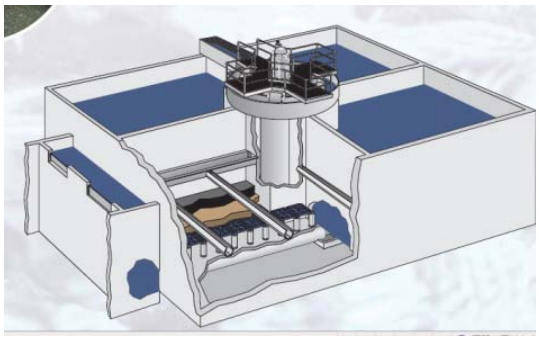
圖 6.4 向上流式過濾法



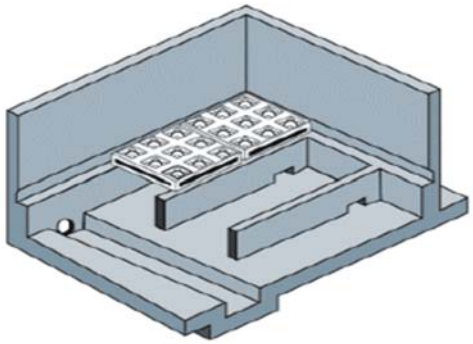
(a)傳統向下流形式快濾池(V 型濾池)



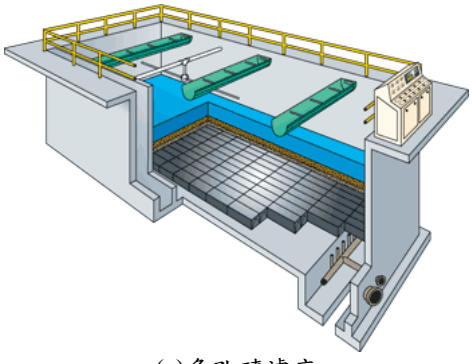
(b)其他向下流形式快濾池(走橋式)



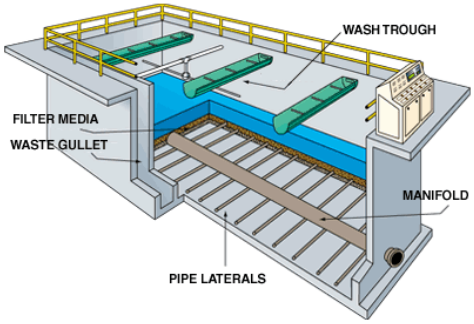
(c)綠葉式快濾池



(d)韋氏(惠勒式)濾床



(e)多孔磚濾床



(f)多孔管濾床

圖 6.5 向下流式過濾法



(a) 傳統壓力式過濾設備



(b)壓力式纖維過濾設備

圖 6.6 高速過濾法

2. 濾層組成與最大過濾速度與濾料型式、粒徑、組成、濾程及水質等相關，上表所示資料為典型參考值，實際濾層及過濾速度應考量過濾前後水質，以試驗或實廠運轉數據作為最後所需設計規格。針對過濾與反沖洗方法的決定與設計，設計前若能針對所選用的濾料與過濾方法，獲得實驗規模的測試或模廠測試資料，將可達成未來操作維護的最大效率。
3. 過濾反洗系統主要區分為(1)表面水洗裝置的水清洗法(2)空氣清洗法(3)結合空氣/水的清洗法。針對(1)(2)的方法，若採向下流的過濾方法，在反沖洗時需要使濾料得以流體化，方得使濾層中的雜質可以去除乾淨。流體化過濾濾速，如表 6.9。空氣與水反沖洗步驟與濾速，如表 6.10。

表 6.9 流體化反洗濾速一覽表

濾層種類	濾料採用粒徑 (mm)	流體化所需最小反洗速率 ($m^3/m^2/min$)
單一濾料(砂)	2.0	1.8～2.0
雙層濾料(無煙煤+砂)	1.5 (無煙煤) 0.65 (砂)	0.8～1.2
多層濾料(無煙煤+砂+石榴子石)	1.4 (無煙煤) 0.5 (砂) 0.35 (石榴子石)	0.6～1.2
纖維濾料	28～30 mm	0.4～0.6

* 1.本表整理自 Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering 5th edition, 2014

2.上述之反洗速率範圍乃基於特定濾料粒徑數，設計者需依照所選用之濾料決定反洗速率。

表 6.10 空氣與水反沖洗之步驟與濾速一覽表

濾料	濾料特性		反洗步驟	反洗速率($m^3/m^2/min$)	
	有效粒徑 (mm)	均勻係數		空氣氣洗 (20℃)	水洗
砂+無煙煤	0.6(砂) 1.5(無煙煤)	1.4	1st–氣洗 2nd–氣洗+水洗 3rd–水洗	1st –0.8~1.6 2nd –0.6~1.6	2nd –0.3~0.5 3nd –0.6~0.9
砂	1.0	1.4	1st–氣洗+水洗 2nd–水洗	1st –0.8~1.3	1st –0.25~0.3 2nd –0.5~0.6
砂	2.0	1.4	1st–氣洗+水洗 2nd–水洗	1st –1.8~2.4	1st –0.4~0.6 2nd –0.8~1.2
無煙煤	1.7	1.4	1st–氣洗+水洗 2nd–水洗	1st –1.0~1.5	1st –0.35~0.5 2nd –0.6~0.8

*1.本表整理自 Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering 5th edition, 2014

2.上述之反洗速率範圍乃基於特定濾料粒徑與均勻係數，設計者需依照所選用之濾料決定反洗速率。



(a)水反洗加表面洗形式



(b)水反洗加空氣洗形式

圖 6.7 反洗方法

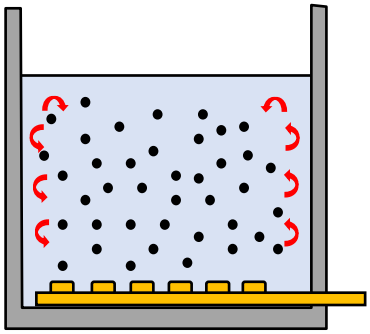
6.4.3 活性碳吸附法設計

活性碳吸附，以去除二級處理水中之有機物、色度及臭味為目的，其設計於考量下列決定之：

1. 活性碳吸附設備，分為固定床及流動床。一般多使用並聯多段床或多段直列固定床，其構造與快濾池相同，並必須定期洗淨。
2. 三級處理所用之活性碳，可為椰子殼、木材、煤炭等原料經高溫碳化者，形狀可為粉狀、粒狀或纖維狀，直徑約 1～5 mm 程度。
3. 選用活性碳之種類及量，過濾之線速度(向下流 5～10 m/hr，向上流 10～20 m/hr)、容積速度，依原水水質而異，應依實驗結果決定之。
4. 上述實驗，可以等溫吸附曲線及管柱法，來決定處理該種污水所需的活性碳容量與反應槽容積。

解說：

1. 因活性碳原料及製造方法之不同，其吸附特性亦異，故其選擇和設計應依吸附實驗決定之。



(a)固定式活性碳吸附槽　　(b)流動式活性碳吸附槽

圖 6.8 活性碳吸附法示意圖

2. 對於常用於污水處理的活性碳種類，包括粒狀活性碳(GAC)與粉狀活性碳(PAC)，一般採用粒狀活性碳為主，其基本特性如表 6.11 所示。

表 6.11 粒狀活性碳基本資料表

參數	單位	活性碳種類
		GAC
總表面積	m^2/g	700～1,300
密度	kg/m^3	400～500
顆粒密度(含水時)	kg/L	1.4～1.5
顆粒粒徑範圍	mm	0.1～2.40
均勻係數		≦1.9
平均孔徑	Å	16～30
碘值		600～1,100
磨損值(最小)		75～85
灰分	%	≦10

*1.本表整理自 Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering 5th edition, 2014

2.上述活性碳資料將會依材料製程與來源而有所改變。

3. 活性碳再生與再活化：對於吸附飽和的活性碳而言，可藉由化學氧化、溶劑洗滌或生物轉換等再生的程序，將吸附物質趕出，使活性碳得再進行吸附作用。而再活化的用意，乃當活性碳失去吸附的能力後，可藉由加熱的程序，使其活性碳再具有吸附的活性。
4. 等溫吸附方程式：一般等溫吸附方程式，包括 Freundlich、Langmuir 及 Brunauer, Emmet, Teller(即 BET isotherm)，茲就較常用的前二者做介紹。
(1)Freundlich isotherm：

$$\frac{x}{m} = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{.....(6-1)}$$

式中：

x/m：單位吸附劑(活性碳)可吸附的吸附質(污染物)(mg/g)

K_f：Freundlich 容量因子

C_e：吸附質的平衡濃度(mg/L)

1/n：Freundlich 強度參數

(2)Langmuir isotherm：

$$\frac{X}{m}=\frac{abC_e}{1+bC_e} \quad \text{.....(6-2)}$$

式中：

x/m：單位吸附劑(活性碳)可吸附的吸附質(污染物)(mg/mg)

a,b：經驗常數

C_e：吸附質的平衡濃度(mg/L)

5. 粒狀活性碳反應器設計：針對較常用的粒狀活性碳反應器，可以質量平衡的觀點寫成以下的方程式。另設計參數如表 6.12。

表 6.12 粒狀活性碳反應槽設計參數表

參數	單位	設計值
體積流率	m^3/hr	50～400
空床體積	m^3	10～50
斷面積	m^2	5～30
反應槽深度	m	1.8～4
孔隙比	m^3/m^3	0.38～0.42
活性碳使用密度	kg/m^3	350～550
流速	m/h	5～15
有效接觸時間	min	2～10
空床接觸時間	min	5～30
設定可操作時間	day	100～600

*1.本表整理自 Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering 5th edition, 2014

2.上述設計參數將會依活性碳規格與水值而有所調整，設計者需詳細依照進出流水質、水量來評估與設計反應器。

累積量=進流量-出流量-吸附量

在穩態下，即

$$M=QC_0t-QC_et-M_{GAC}q_e \quad \text{.....(6-3)}$$

式中：

Q：流量(L/hr)

M：累積量(mg)

C_0：吸附質初始濃度(mg/L)

t：時間，hr

C_e：吸附劑最終平衡濃度(mg)

M_{GAC}：吸附劑質量，mg

q_e：平衡後吸附相的濃度，mg 吸附質/mg 吸附劑

6.4.4 薄膜分離法設計

薄膜分離法的使用，在於去除水中膠體物質及微細固體物，甚至是離子態物質。其設計於考量下列參數決定之：

1. 薄膜設備之型式，可分平版式(Flat Sheet)、中空纖維式(Hollow Fiber)、螺旋式(Spiral wound)或管狀式(Tubular form)。薄膜材質可分有機性及無機性，一般用於污水處理者採有機性，主要有聚丙烯(Polypropylene)、纖維二醋酸酯(Cellulose acetate)、芳香族聚酰胺(Aromatic polyamide)及複合薄膜(Thin-film composite)等。
2. 薄膜的使用選擇，可依驅動力與孔徑區，分為逆滲透(Reverse Osmosis, RO)、奈米過濾(Nano-Filtration,NF)、超濾(Ultra-Filtration,UF)及微濾(Micro-Filtration, MF)四種。設計時可依進出流水質與水量需求，選擇所需的處理程序。
3. 操作壓力(驅動力)根據所選擇之薄膜的種類驅動之。

解說：

使用薄膜處理程序，需要注意以下之設計因子。

1. 薄膜種類之選擇(RO、NF、UF 或 MF)，乃根據其分離機制與孔徑大小來定義之，一般分類如表 6.11 所示，而其參數如表 6.12 所述。
2. 操作壓力與通量：適當的操作壓力與通量，可以確保出流水質與所需的產水率，如表 6.14 參數作為設計考量。

表 6.13 薄膜種類特性表

薄膜種類	分離機制	操作結構	操作範圍
微濾(MF)	篩分	大孔徑 (>50 nm)	0.07～2.0μm
超濾(UF)	篩分	中孔徑 (2～50 nm)	0.008～0.2μm
奈米過濾(NF)	篩分+溶液/擴散+排斥	微孔徑 (< 2 nm)	0.0009～0.01μm
逆滲透(RO)	溶液/擴散+排斥	極微孔徑 (< 2 nm)	0.0001～0.002μm

註：$n=10^{-9}$，$\mu=10^{-6}$

表 6.14 薄膜應用於污水處理之操作參數

薄膜技術	操作壓力 (KPa)	通量 ($L/m^2/h$)	薄膜材質	薄膜型式
微濾 (MF)	34～200	40～60	聚丙烯、丙烯晴、尼龍、聚四氟乙烯	螺旋式、中空纖維、平版式
超濾 (UF)	68～350	40～60	纖維二醋酸酯、芳香族聚酰胺	螺旋式、中空纖維、平版式
奈米過濾 (NF)	700～1400	14～20	纖維二醋酸酯、芳香族聚酰胺	螺旋式、中空纖維
逆滲透 (RO)	800～1900	14～20	纖維二醋酸酯、芳香族聚酰胺	螺旋式、中空纖維、複合薄膜

*本表整理自 Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering 5th edition, 2014

*本表適用於水質 TDS 濃度為 800～1,200 mg/L

3. 薄膜阻塞：可區分為進流水物質於膜面阻塞、於膜面化學沉澱的形成、化學物質對膜面的損害。對於操作階段薄膜阻塞的預防，需以控制進流水質，設置必要之前處理單元、定時膜面水洗或氣洗之反沖洗、定期酸洗或鹼洗等方法進行設計。設計前若有模廠操作數據，則對於該薄膜之操作行為、反洗頻率與壽命等更可加以掌握。
4. 前處理需求：對於 NF 與 RO 的設計，由於其過濾孔徑甚小，若直接採原水過濾容易造成阻塞。因此，前處理單元的設置是必須的，並依照下列選擇前處理單元之搭配。
   (1) 二級放流水需以化學沉澱、多層濾料過濾或 UF 薄膜先行去除膠體物質與顆粒。
   (2) 餘氯(Cl^-)對薄膜的傷害甚大，因此，處理水進入薄膜前，需以還原劑先行去除之。
   (3) 鐵、錳的去除可降低膜面積垢。
   (4) pH 值需被控制在 4.0～7.5 間，以免造成膜面積垢。
5. 淤泥阻塞指數：上述前處理單元的設置，是否可達薄膜前處理需求，故可用 SDI(Silt density index 淤泥阻塞指數)加以評估。阻塞指數必須以簡單的薄膜測試行之，需以孔徑 0.45 μm 及直徑 47 mm 的微孔過濾器(Millipore filter)，在 2.1 kg/cm^2 的操作壓力下測試之，測試時間為 15～120 分鐘不等。SDI 之計算如下所示。

$$SDI = 100 \times [1-(T_i - T_f)] / T \quad \text{.....(6-4)}$$

式中：

T_i 為收集初始水樣 500 mL 所需時間(min)

T_f 為收集後端水樣 500 mL 所需時間(min)

T 為總測試時間

採用逆滲透(RO)薄膜時，進流 SDI 以小於 5 為原則。

處理程序：有關薄膜處理流程，如圖 6.9 所示。設計者可依需求將前處理單元、串聯式薄膜或並聯式薄膜程序、加藥系統等整合進入設計資料中。另表 6.15 為一般都市污水二級放流水經微濾/超濾薄膜過濾之產水水質。

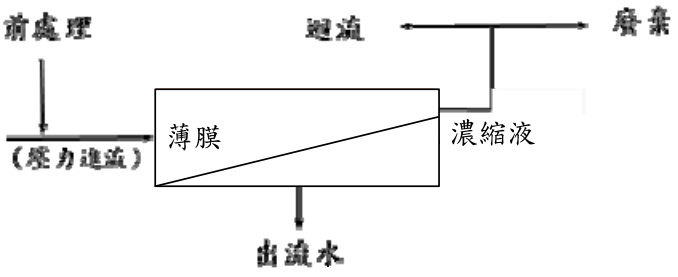


圖 6.9 薄膜分離法示意圖

表 6.15 都市二級放流水經薄膜處理後之水質例

項目	MF 膜/UF 膜處理水	RO 膜處理水	備註
pH	5.8～8.6	5.8～8.6	為提高消毒效果，pH 不宜降至 8.0<
大腸桿菌群數 (CFU/mL)	未檢出	未檢出	
濁度(NTU)	1<	1<	
色度	15 以下(添加混凝劑)	1<	
BOD	3<	1<	
COD	10<	1<	
MBAS	0.3<	0.05<	
TDS	二級處理水相同	14～138	
鹼度	二級處理水相同	6～13	
硬度	二級處理水相同	1～18	
氯離子	二級處理水相同	8～35	
總氮	二級處理水相同	0.7～7.9	
總磷	未添加混凝劑則與二級處理水相同	0.03<	
	添加混凝劑則 0.04～0.2		

資料來源：下水道學(2016 年版)P.440。

備註：表中未列單位者，除 pH 外，餘為 mg/L。

第七章 污水消毒處理及放流

7.1 概說

一般生活污水經二級或三級處理後，雖可減少部分致病菌，然而為確保水質能夠完全符合排放標準或回收之要求，於二級處理後或三級處理前後，採用適當的消毒處理為必要的處理單元。

處理水之消毒，除消毒水中之致病菌外，尚有氧化水中有機物質之作用。一般使用之消毒劑，包括氯化物、臭氧等。另在小規模設施或位於自來水水源地區，則採用紫外線消毒或臭氧消毒。但由於經濟上的理由，大都使用氯化物，而以液態氯最為普遍。小規模污水處理廠，也有用次氯酸鈣(氯錠)或次氯酸鈉者，但因安全考量，近年來紫外線消毒漸受到重視。

處理水於經消毒合乎放流水排放標準後，除部分回收再利用外，於放流時，應考量不得影響承受水體下游利用水質，因之需要有完善設計的放流設施。

消毒設施在於達到處理水中的大腸桿菌群數依放流水標準之 200,000 CFU/100 mL 以下，提高處理水的安定性為目的，消毒主要以氯鹽消毒為主，但若放流水體下游有自來水水源，或處理水有再利用計畫，而考慮到餘氯之安全問題時，則可檢討使用紫外線消毒或臭氧消毒。消毒方法選擇應依污水處理廠之特性選擇之，如表 7.1。

表 7.1 消毒方法之適合特性

消毒方法 / 污水處理廠特性	氯消毒		紫外線消毒	臭氧消毒
	次氯酸鈉	固體氯錠		
適合規模	中、大	小	小、中	中、大
現場安全管理	重要	中	小	中
對水體生物影響	有	有	無	無
接觸及反應時間	長	長	短	長

7.2 氯消毒

氯不僅對生物有毒，對人體也甚具毒性，尤其在常溫常壓下呈氣體狀，一旦外洩不易收回，對人畜會造成很大的傷害，因此加氯設備之安全性甚為重要，萬一外洩應立即處理之。

氯亦具有抑制臭氣及分解硫化氫之作用，硫化氫與氯的作用為瞬時反應，不須長時間接觸，同時氯也具有降低 BOD 的效果。

氯消毒有可能與水中有機物結合衍生成三鹵甲烷，為具毒性之物質因之在自來水取水口上游之放流水，應避免用氯消毒。

7.2.1 氯消毒理論

氯注入水中後，氯與污水中氨反應如下式：

$Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + HCl$

$NH_4^- + HOCl \rightarrow NH_2Cl + H_2O + H^+$

$NH_2Cl + HOCl \rightarrow NHCl_2 + H_2O$

$NHCl_2 + HOCl \rightarrow NCl_3 + H_2O$

在氯與氨之反應過程中，氯之注入量與氨氮之減少，並不成一定比率的關係。注入污水中的氯量、餘氯量及氨氮量間的關係，如圖 7.1。

圖 7.1 之 B 點稱為折點(Breakpoint)，加氯至該折點之法，稱折點加氯法。

在上述反應中所產生之 NH_2Cl(一氯胺)及 $NHCl_2$(二氯胺)，雖具殺菌力，然而比起 HOCl 則甚小。為使氯能達到完全消毒，氯之加入量必須增加至折點為止。因此理論量為污水中氨氮之 7.6 倍，但實際上需要 8～9 倍之氯量。

在污水處理上，除經濟上之理由外，為避免危害放流水域之水棲生物，一般加入量都選用低於折點以下之加入量。

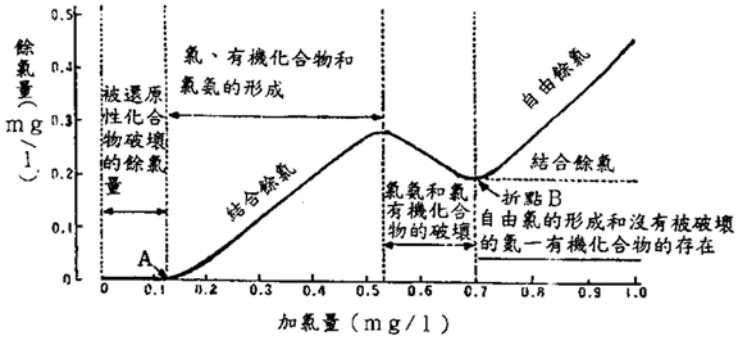


圖 7.1 氯加入量和餘氯量

7.2.2 必要加氯量

污水中病原性微生物一般以大腸桿菌群數為指標，其主要理由為糞便所含細菌之中，大腸桿菌群較其他病原菌為多，對於消毒又較其他稍具耐性，故可從大腸桿菌群知道病原菌之污染狀況，藉以推測消毒效果。污水中一般存在之細菌，一般細菌數 10^5～10^7 個/mL，大腸桿菌群數 10^3～10^6 個/mL，腸球菌群數 10^2～10^5 個/mL 左右。污水處理過程中細菌之去除率，如表 7.2。

污水處理水之消毒程度，依自來水、遊憩用水、魚貝類養殖等放流水域之水利用狀況而定。

加氯入處理水中，一部分氯被存在於水中的有機性物質及還原性無機物質所消耗，故並非全部成為殺菌作用。氯之消毒效果，依污水水質、接觸時間、混合狀況、溫度及氯注入率而異。一般各種污水消毒所必要的加氯量，如表 7.3，依表上之加氯量，普通可得 0.2～1 mg/L 之結合餘氯量，處理水大腸桿菌去除

率可達 99.9%。依污水下水道放流水標準為大腸桿菌群 200,000 CFU/100 mL 即可。

為控制進流水可能因腐敗而產生硫化氫等臭氣，有於污水流入口進水抽水站前，添注液氯，以防臭氣者，再為控制濃縮槽的臭氣，亦有於濃縮槽添加者，其量約 8～15 mg/L，視臭氣濃度而定。

表 7.2 處理方法及一般細菌去除率

處理方法	細菌去除率(%)
細篩	10～20
沉澱法	25～75
標準活性污泥法	90～98
生污水直接加氯處理	90～95
二級處理水加氯處理	98～99

表 7.3 各種污水之加氯量(mg/L)

污水種類	加氯量
生污水	7～12
腐敗生污水	12～25
初級沉澱池流出水	7～10
二級處理水	2～8
砂濾池處理水	1～5

7.2.3 氯消毒設計

氯消毒有氯氣消毒、次氯酸鈉或二氧化氯消毒，由於氯氣消毒有其安全性問題，在污水處理幾乎以次氯酸鈉消毒為主，惟在小規模污水廠也有以氯化鈣氯錠消毒。

7.2.3.1 次氯酸鈉消毒設計

次氯酸鈉消毒設計考量如下：

1. 設計污水量，以計畫最大時污水量設計，消毒目標以達到大腸桿菌群 200,000 CFU/100 mL 以下為目標。
2. 加氯消毒是以維持放流水中結合餘氯量 0.2～1.0 mg/L 添加之。
3. 接觸槽之容量，依計畫最大時污水量至少 15 分鐘之水力停留時間決定，並有可排空以供清洗之考量。

解說：

1. 用以做為接觸反應槽之設施，其設計容量以計畫最大時污水量設計，並以能達到放流水標準大腸桿菌群 200,000 CFU/100mL 以下。
2. 不論是採用次氯酸鈉或二氧化氯等不同之消毒方法，為使水中大腸桿菌群低於 200,000 CFU/100 mL 之目標，宜維持水中結合餘氯於 0.2～1.0 mg/L 之範圍。注入率濃度，應視採用消毒劑之種類及濃度，換算為表 7.3 氯之注入率濃度值。除傳統採用之次氯酸鈉消毒外，二氧化氯(ClO_2)是一種最新型強氧化性殺菌劑，是污水處理、醫療衛生、食品加工、環境保護、自來水、工業

循環用水等領域中殺菌、消毒、除臭及降解 BOD、COD 的理想氧化劑，同時具備藥效長、不破壞環境等特點，同時應有檢測放流水餘氯之設施。

3. 氯劑加入後，將會被污水中有機物質及還原性無機物所消耗，因此所注入之氯劑，並非全數作為殺菌使用。氯劑之消毒效果係受污水性質、接觸時間、混合度、溫度及氯劑注入率等因素影響。為提升消毒效果，以最大時流量，接觸時間最低採用 15 分鐘，水流速 0.2 m/秒以上，並必須使氯劑充分混合與接觸。氯接觸槽的形狀，以狹長為佳，若受地形限制，可於長方形槽中設置繞流牆增加流程，且池底應有可排空繞流之配置。混合裝置係指注入氯劑後予以混合與接觸之接觸槽或放流管渠等，如在放流管渠內可確保充分之接觸時間時，接觸槽之設置亦可予以省略。

7.2.3.2 次氯酸鈉加藥量及加藥機之設計

次氯酸鈉消毒，其加藥機及反應槽設計考量如下：

1. 次氯酸鈉加藥量之設計，依處理水量、氯加藥率、有效氯及次氯酸鈉溶液之比重設計之。
2. 加藥機採用隔膜式或磁驅離心式，其容量及台數依水量與水質變化決定，至少應有一台以上備用單元。
3. 次氯酸鈉之注入，以壓力式或重力式注入。

解說：

1. 次氯酸鈉消毒加藥量依下式計算：

$$VR = Q \times R \times \frac{100}{C} \times \frac{1}{D} \times 10^{-3} \quad \text{.....(7-1)}$$

式中：

VR：加藥量(L/hr)

Q：處理水量(m^3/hr)

R：氯加藥率(mg/L)

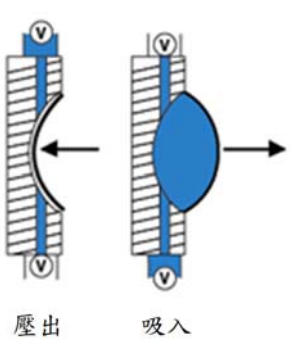
C：有效氯濃度(%)(10～12%)

D：次氯酸鈉溶液之比重(有效濃度 C%時約 1.2)

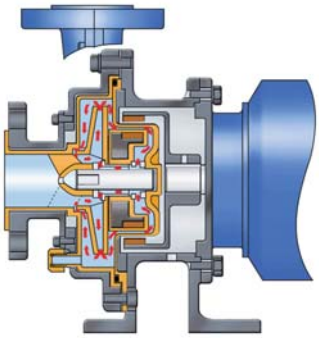
2. 一般加藥設施，應採用可調整流量之設備，為避免突增流量或機械效能降低之原因，採用平常操作量 1.2～1.6 倍之加藥容量設計加藥機設備應屬必須，並且為避免設備故障時，大腸桿菌超出標準而污染環境，宜設置線上備用加藥機設備予以因應。

隔膜式加藥機，係採用富彈性且抗腐蝕材質之薄膜於一密閉之壓力室內，利用氣動或電動方法推動薄膜，使薄膜進行壓縮動作，將藥劑定量吸入及送出之型式。另外磁驅離心式係利用電磁原理，在不與葉輪接觸之情形下，以磁力帶動葉輪，將藥劑以離心方法送出之型式。由於電磁驅動方法並不直接以驅動軸連結葉輪，因此無須於驅動軸與泵浦室之間設置軸封，故亦稱為無軸封泵浦。另因本型式可避免藥劑自軸封處洩漏，因此亦常作為一般化學藥劑加藥使用。以上不同型式之加藥機原理示意圖，如圖 7.2。

3. 次氯酸鈉之注入方法，以泵浦(pump)注入、噴射或吸入式(ejector or injector)注入及重力式注入等型式為宜。採用重力式注入之型式，則應具有適當之高低位差，以利藥劑注入。



(a)隔膜式加藥機



(b)磁驅離心式加藥機

圖 7.2 加藥機設備

7.2.3.3 次氯酸鈉貯存槽設計

次氯酸鈉貯存槽設計考量如下：
1. 次氯酸鈉溶液，其貯存日期以 7 日為原則。
2. 次氯酸鈉貯存室設計，應考量其安全及適合之環境。
3. 為掌握殘留的次氯酸鈉量，必要時應設置量餘氯量測計。

解說：

1. 次氯酸鈉溶液，其有效氯依貯存日數而衰減，如圖 7.3。故次氯酸鈉溶液貯存容量以 7 日份為原則，以耐腐蝕之材料 FRP 或 PE 之貯存槽，貯存槽應設置二槽以上，並設置液位計作為監控為宜。

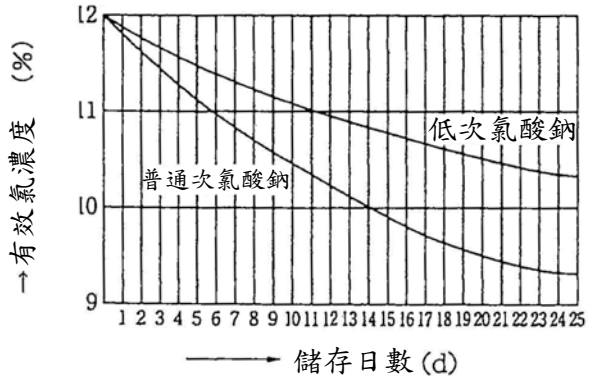


圖 7.3 次氯酸鈉貯存日數之有效氯變化(30℃)

2. 溶液貯存室應為耐震及耐火性、通風採光及防曬設施良好之構造。
3. 應防日照及溫度上升，以抗腐蝕槽體貯存。
4. 消毒房應位於鄰近氯接觸消毒槽，建築物應為耐震之鋼筋混凝土構造，由貯槽室、注入機室及操作室所組成，進出口門朝外設計。貯槽依貯存容量、貯槽總重量、槽體尺寸、高度、易於作業設計，地板應維持清洗坡度並設置集

水溝，並設置可直接掌握槽內液位之量測設施。槽之周邊應有槽容量 1.1 倍容積之圍堤。

5. 加藥機室及操作室，依機械種類及作業性設計。加藥機室之加藥機應與次氯酸鈉貯槽相鄰，並應設置加藥機操作盤，地下配線配管。
6. 次氯酸鈉溶液，除了直接自供應商處採購外，另亦可依現地環境以電解方法製作。



圖 7.4 次氯酸鈉加藥設施實景及示意圖

7.3 紫外線消毒設計

7.3.1 紫外線消毒基本特性

紫外線為在 X 光及可見光線兩者之間，波長約 100～380 nm 之電磁波的總稱。其能量為 1.2～301 kJ/mol 與紅外線(波長 1,000 nm，能量 12 kJ/mol)相比較大很多，因此其分子即使吸收紅外線也僅行熱運動而已，但紫外線被吸收會產生各種結合而解離，同時產生化學反應。

紫外線的消毒，在使細胞內的 DNA 及 RNA 產生損傷效果。

DNA 的紫外線吸收特性及效果曲線如圖 7.5，DNA 的吸收以 260 nm 波長附近達最大值，殺菌效果的曲線亦同，因之紫外線的消毒即以 260 nm 附近波長的紫外線被 DNA 吸收，達到使 DNA 損傷。

紫外線的吸收受損傷的微生物，在被可見光線照射，受損傷的 DNA 可獲得修復，這一現象稱為光恢復。含有大腸桿菌群及其他微生物因有修復機能之故，紫外線消毒系統的設計，必須考量光恢復對於消毒效果的影響，避免滯流及光照射。

照射的紫外線會被污水中的 SS、污濁物及有機物所吸收，因之所照射的紫外線，並不是全部用以殺菌作用，紫外線的消毒效果，受污水性質、接觸時間、溫度及紫外線照射量之影響，一般消毒效果以所定原水紫外線透過率，達 70%以上為標準。為降低紫外線消毒受到影響，處理水的 SS 多先以砂濾為前處理加以控制。

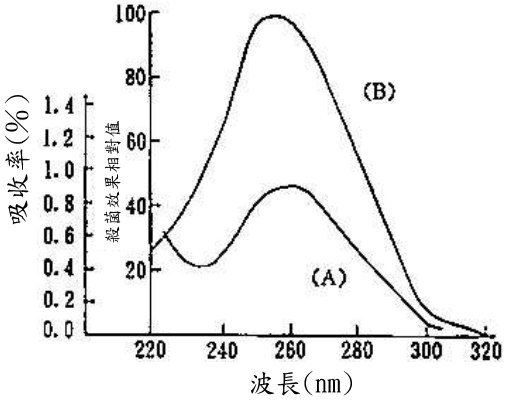


圖 7.5 紫外線之吸收曲線(A)及殺菌效果曲線(B)比較

7.3.2 設計處理量及水質考量

紫外線消毒污水處理，以計畫最大時污水量及處理水質之 SS 10 mg/L 設計。

解說：

紫外線消毒對象，以計畫最大時污水量，其處理水水質之 SS，應在 10 mg/L 以下。

7.3.3 紫外線消毒設備

紫外線消毒裝置考量事項如下：

1. 一般紫外線消毒裝置之型式及規格如下：
   (1) 紫外線消毒裝置之設置方法有密閉式及渠道式，其配置如圖 7.6。
   (2) 照射方法有內照式及外照式。
   (3) 燈管的設置方法有水平式及垂直式。
   (4) 燈管與水流之關係有平行式或垂直式。
   (5) 波長 233.7 至 273.7 nm 之燈管紫外光發散率應達 90%。
   (6) 原水之紫外線透過率應達 70%以上。
   (7) 元件材質應為不銹鋼、石英或鐵弗龍。
2. 紫外線消毒設備應有備用設備，並定期自動清洗或人工化學清洗，以免影響消毒效率。
3. 為避免直接對眼睛及皮膚照射，應有安全保護措施。
4. 依紫外線照射量與大腸桿菌群不活化率(%)之關係決定照射量。
5. 紫外線燈管有低壓及中壓紫外線燈管，應依其特性配合污水處理廠狀況選定之。

解說：

1. 紫外線設備選用時，應就使用目的設置空間、維護管理等，加以檢討選定之。

裝置的形態，依低壓水銀燈或中壓水銀燈而異，低壓水銀燈燈管數較多，係以燈管模組數組設置於渠道的形態為主。相對的中壓水銀燈，若為小容量時係以配管連接型，大容量則採用乾井型為多。

紫外線消毒系統配置如圖 7.6。紫外線消毒設備模組如圖 7.7。消毒設備種類種類如圖 7.8。

紫外線消毒設備之種類如表 7.4。

表 7.4 紫外線消毒設備之種類

項目	種類	
設置方法	渠道方法	密閉方法
照射方法	內照式	外照式
燈管設置方法	水平式	垂直式
燈管與水流關係	平行	直角

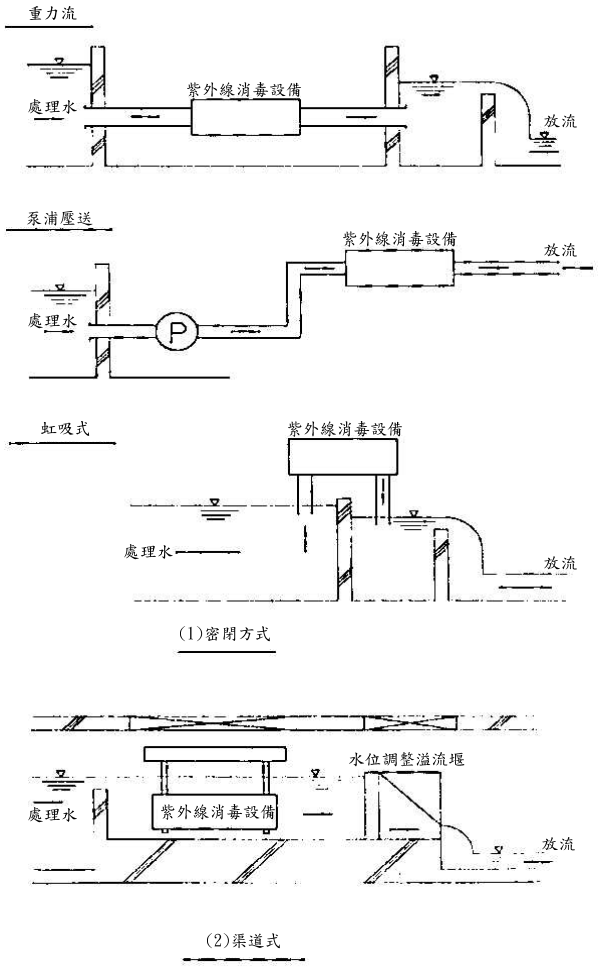


圖 7.6 紫外線消毒系統設置方法

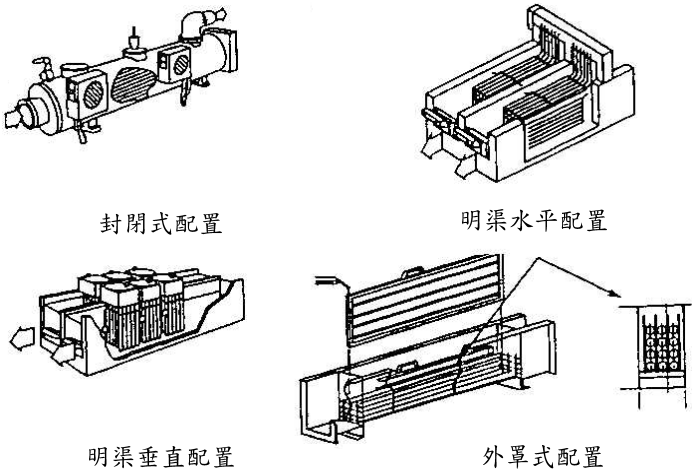


圖 7.7 紫外線消毒模組例

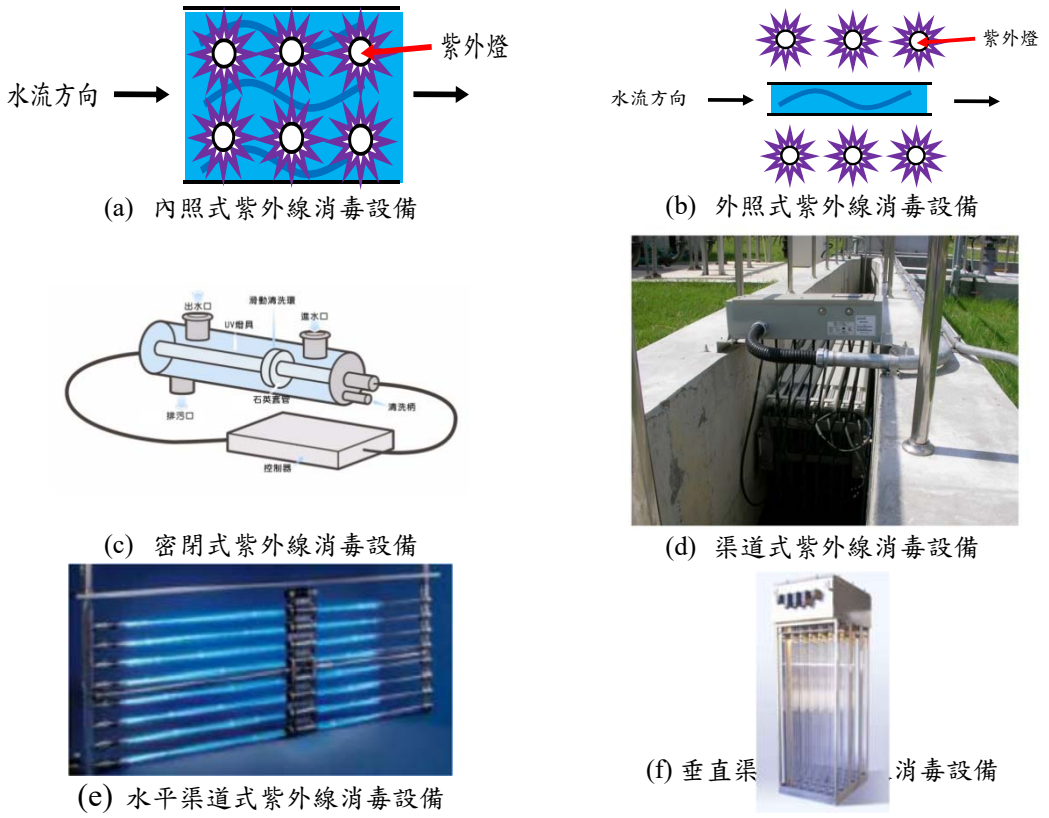


圖 7.8 紫外線消毒設備種類示意圖

紫外線消毒設備之裝置方法，有渠道(浸水式)方法及密閉(流通式)方法。而其照射有覆以保護管內設置之內照式及照射於流水管內之外照式，內照式及外照式之特性如表 7.5，應依其特性管理之。

表 7.5 內照式及外照式之特性

內照式	外照式
‧紫外線照射的大部分被利用，照射效率高	‧燈管所照射之紫外線有效利用率較內照式低
‧燈管由原水(放流水)冷卻，不會有高溫	‧有時需要燈管冷卻設備
‧保護管及燈管破壞時會混入水中	‧燈管即使破壞，也不會混入水中
‧容易受水溫所影響	‧燈管容易更換
‧保護管污染清理容易	‧保護管污染清理及維護管理不易

2. 為避免紫外線消毒設備因燈管壽命已屆或零件損耗之因素而失效，應於處理廠內準備適當數量之燈管及消耗材等備用零件以供隨時替換。另為考量停電或其他無法控制之因素，導致紫外線消毒設備無法運作之情形，宜設置適當的備援系統因應(如人工加氯方法)，並應定期自動清洗設備或人工化學清洗。

3. 採用渠道式之紫外線消毒設備，宜於渠道上方加上護蓋，避免直接對眼睛及皮膚照射。
4. 紫外線的消毒效果與紫外線照射量成正比。紫外線照射量(J/m^2)係以紫外線照射強度(W/m^2)與照射時間(s)的乘積求之。污水二級處理水的消毒，在於消毒後大腸桿菌群的平均殺菌率達 99.9%程度的紫外線消毒，如表 7.6，於考量光恢復後與大腸桿菌群達 300,000 CFU/100 mL 以下，照射量為 300～350 J/m^2，其平均殺菌率仍可達到氯消毒相同消毒效果，並使放流水中大腸桿菌群可達安全的 200,000 CFU/100 mL。
5. 渠道式之紫外線消毒設備，不論採用低壓(單管功率低於 320 W)或中壓型式(單管功率約 400-1000 W)，宜設置水位控制裝置，保持燈管浸沒於水中，避免溫度過高而故障。

表 7.6 紫外線照射量與殺菌群

對象水	大腸桿菌群殺菌率(%)	紫外線照射量(J/m^2)
二級處理水	90.0	150～200
	99.0	200～300
	99.9	300～500

7.4 臭氧消毒設計

7.4.1 臭氧消毒特性

臭氧為不安定的同素體，分子式以 O_3 表示，密度為 2.14 kg/m^3(0℃，101.3 kPa)，熔點為-192.7±2℃(101.3 kPa)，沸點為-111.9℃。在常溫下呈帶狀厚層青色，通常為無色的氣體，具刺激臭味，與空氣或氧混合可呈稀薄狀態存在。

臭氧消毒，係直接於反應槽中使污水與臭氧接觸，為達處理水消毒，其設施包括注入裝置、反應槽及排臭氧裝置。臭氧反應設備，係由原料氣體供給裝置、臭氧產生裝置及冷卻裝置等臭氧產生設備所構成，必要時尚需有前處理設施及後處理設施。

臭氧消毒設施處理流程，如圖 7.9。

臭氧在水中的溶解度，大於氧數倍至 10 倍，其溶解度依亨利法可以式(7-2)表示之。

$$C=\frac{0.604(1+\frac{T}{273})}{1+0.063T}\times Ca \quad \text{.....(7-2)}$$

式中：

C：溶液中臭氧濃度(mg/L)

Ca：氧中臭氧濃度(mg/L)

T：水溫(K)

在水溫 25℃之水中含有 20 mg/L 之臭氧氣體，其在水中相平衡的濃度為 5.12 mg/L，其在水中的半衰期，依水質而異，在空氣中則約 16 小時(1 大氣壓下)。

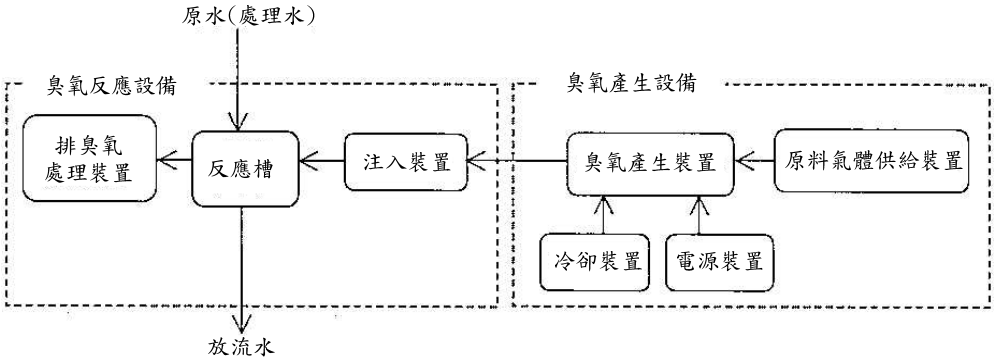


圖 7.9 臭氧消毒設施流程圖

臭氧產生方法，有無聲放電法、電解法及光化學反應法。污水處理消毒所利用者為無聲放電法。為在一對的電極間以玻璃等為誘導體，使空氣或氧流過電極間，以 6～8 kV 的交流電壓使其發生無聲放電，放電空間內的光化學反應使氧生成臭氧。濕氣會使臭氧產生效率降低，並造成腐蝕，故應先充分乾燥之。

自電極放出的電子與氧分子互相衝突，而產生臭氧。臭氧與氯同為重要的消毒劑。臭氧的殺菌力，比起氯或二氧化氯強上數十倍，其殺菌的機制，為對細胞壁等原形質的直接破壞作用，又對於病原菌可直接破壞 DNA 及 RNA，使其不活化。

7.4.2 臭氧消毒設備

臭氧消毒設備於考量下列決定之：

1. 反應槽容量以水深 4～6 m，水力停留時間以最大時流量下 10～20 分鐘決定之。
2. 注入設備有散氣筒及散氣板等方法，依臭氧送氣量、臭氧溶解效率及經濟性等檢討決定。
3. 臭氧注入率為 1.0～5.0 mg/L，殘存率為 0.3～0.9 mg/L。
4. 基於臭氧設施的安全及運轉效率，應設置臭氧濃度量測設備及警告系統。

解說：

1. 反應槽應為具耐腐蝕性及安全性的混凝土製水槽或不鏽鋼製的密閉性構造物，並有防止反應的臭氧外洩。接觸水槽雖愈大愈佳，但若水深太深，則因臭氧產生裝置的壓力會增加，相對的臭氧發生效果會降低，又反應槽臭氧注入的動力費也會增加。為達到污水處理水的溶解及確保反應的進行，反應槽水深以 4～6 m 為適當，接觸時間則以確保有 10～20 分鐘的反應為宜。
2. 注入裝置係以計畫水量及注入率計算做為決定注入量的基礎。計畫水量以計算最大時污水量，臭氧反應槽則以計畫最大日污水量估計。臭氧消毒，以溶解臭氧濃度及接觸時間的乘積愈大，消毒效果愈大。在有機物質及亞硝酸等還原性物質較少的處理水，注入 5 mg/L 以下的臭氧，就可達到處理水的大腸

桿菌群數降至 200,000 CFU/100 mL 以下，但若還原物質多時，臭氧會很快被消耗，故需注入較多的臭氧。

3. 反應槽會排出未反應之臭氧，應設置臭氧排氣處理設備。臭氧排氣處理設備主要可採用以下四種方法將臭氧破壞，比較常用的方法為利用金屬觸媒氧化之型式。
   (1)加熱破壞(於 300～350℃下加熱 3 秒以上)。
   (2)加熱及觸媒氧化併用。
   (3)觸媒氧化。
   (4)濕式粒狀活性碳吸附。
4. 當臭氧未完全反應及破壞時，仍會逸散至大氣中，當大氣中臭氧濃度超過一定程度時，被人體或動物吸入時會造成不同程度之傷害，因此宜設置臭氧濃度量測設備及警告系統加以監控。有關大氣中臭氧濃度對人體及動物影響，如表 7.7 所示。
5. 一般典型臭氧消毒系統流程示意圖，如圖 7.10。各種消毒方法選用考量比較表，如表 7.8。

7.5 處理水放流設施

污水經處理並消毒後排放，排放設施也是污水處理廠設計的一部分，是水再回歸自然界的一道設施，其設計必須配合承受水體的狀況，達到排放後對環境能產生正面的效益，而不影響水利用及航行和水流。

表 7.7 大氣中臭氧濃度對人體及動物影響程度表

臭氧濃度(ppm)	對人體及動物之影響
0.01～0.02	略感異味存在，一段時間後即無感覺異味存在。
0.1	明顯感到異味，並造成鼻子或喉嚨有刺激性的感覺。
0.2～0.4	暴露在此濃度下 3～6 小時，將使視力下降。
0.5	上呼吸道會有明顯的刺痛感。
1～2	暴露於此濃度下 2 小時，將會有頭痛、胸痛及上呼吸道乾澀之感覺，重覆的暴露於此濃度之環境下將會導致慢性中毒現象。
5～10	將有脈搏增加、身體疼痛及麻痺的現象產生，長時間暴露於此環境，將導致肺水腫。
15～20	小動物暴露於此環境下 2 小時將會死亡。
50	暴露超過 1 小時會有生命危險。

表 7.8 消毒方法之比較表

方法 / 項目	紫外線消毒	加氯消毒			臭氧消毒
		氯氣	次氯酸鹽	二氧化氯	
消毒效果	＋	＋	＋	＋	＋
初設成本	－	＋＋	＋＋	＋＋	－－
年操作運維成本經濟程度	△	＋	△	△	－
脫氯設備	＋	－	－	－	＋
土地大小需求	＋	△	△	△	－－
環境友善度	＋	－	－	－	＋
危險物品操作貯存與運輸之避免	＋	－－	△	△	－
殘餘量監測衝擊程度	＋	－	－	－	＋
進流水之水質要求	－	＋	＋	＋	＋
技術應用普遍性	＋	＋＋			△

註：＋＋：最優，＋：優，△：中等，－：差，－－：最差

7.5.1 排放口設計及排放位置選擇

排放口設計之基本原則及位置的選擇，應就放流水體環境加以充分調查掌握狀況，以做為選擇放流點之依據。

解說：

1. 設計基本原則

(1)應能掌握承受水體的特性，依據水文、地形、地質及水體中人工構造物設施，充分調查後加以規劃。

(2)放流點環境之水位落差，在一定水頭以上，具有發電效益時，可檢討回收能源。

(3)排放口擬排放之河段應保有一定水深，排放口應在河流之常水位之下，且可淹沒排放口。

(4)排放口以不設於自來水水源取水口上游或下游 100 公尺之範圍內，並符合飲用水管理條例及公告飲用水取水口一定距離之規定。

(5)排放口的位置，應就其對環境影響加以考量後定之。

(6)排放口的位置，若需跨河堤建造排放設施者，應依「申請施設跨河建造物設置審核要點」申請，並經水利主管機關核可。

2. 位置選擇

(1)排放口應接近污水處理廠附近，以降低工程費。

(2)河床和地形上，若為彎曲河段，應選在水深岸陡的凹岸，並避免頂沖點，而設在頂沖點下游一定距離處。在順直段，選擇水深較深，流速較大，可加速放流後混合之處，且水深常年穩定之處。

(3)放流口位置應充分考量鄰近人工及天然構造物之可能影響，不宜在橋樑、碼頭、堤堰附近設置。

(4)排放口位置應為地質構造穩定，承載力高的基礎上，不宜在斷層、流砂層、風化嚴重的岩層之處。

(5)施工條件上，應為施工便利、方便之處。

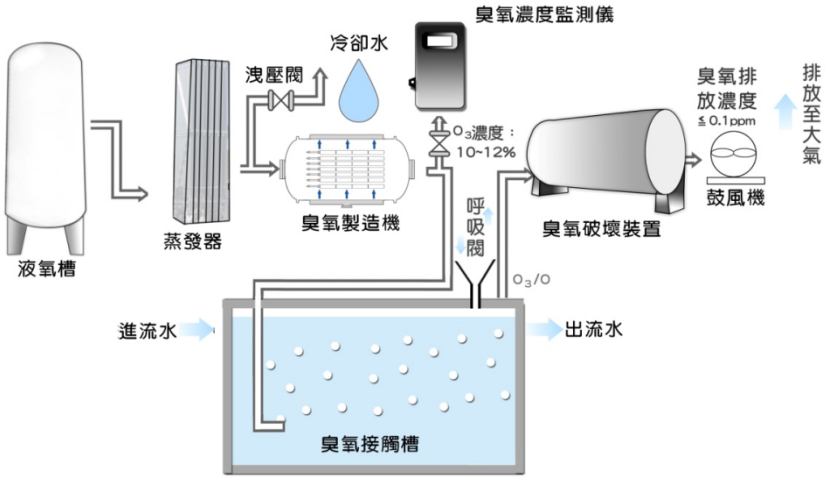


圖 7.10 臭氧消毒系統流程示意圖

7.5.2 處理水排放口型式

處理水排放口之型式，有岸邊排放、近岸排放及河心排放等，於考量排放點之承受水體特性設計之。

解說：

污水處理水排放口依承受水體特性，而採重力或壓力排放，可為岸邊排放、近岸排放及河心排放，如圖 7.11。

1. 岸邊排放

排放口位於河道凹岸，河岸較陡，流量較大，且可充分混合之處，若排放管不能引入河心，可採用岸邊排放。岸邊排放排放口的結構簡單，建設費可較低，但對河道水質可能影響較大，污染帶相對較長。

2. 近岸排放

依據河寬、河床狀況將排放管伸入河道，使排放口位置有足夠水深，同時可避免被淤積，一般適用於近岸水位變化較大之處。

3. 河心排放

為將排放管延伸到河心進行排放，建設費較高，維護較不易，小規模污水處理廠較不適用。

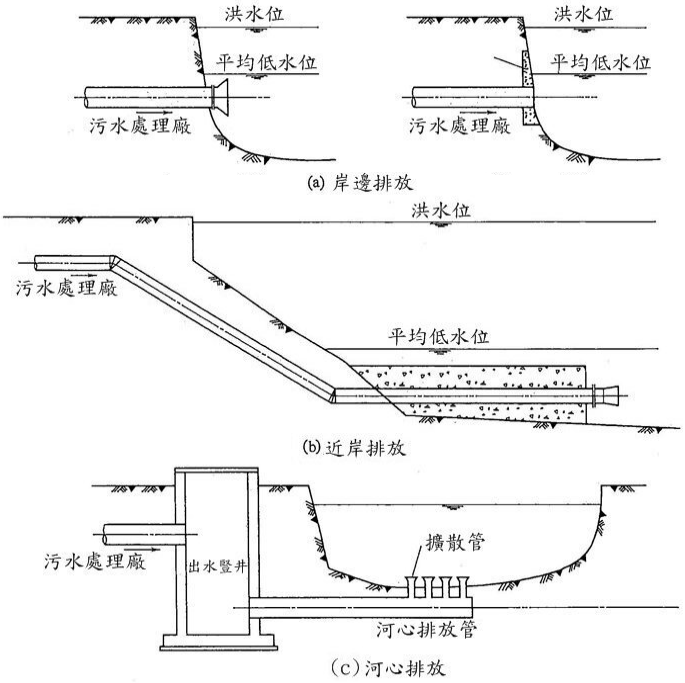


圖 7.11 排放口設置型式

7.5.3 排放口設計其他應考量事項

排放口設計，除以重現期 100 年一次之洪水位的設計，其他應考量事項，包括是否分期建設、防護設施、防止倒灌以及防止沖刷淤積等，於設計時皆應加以考量。

解說：

1. 分期建設問題，為避免初期流量太低，污水廠建設期程長者考量之，但工程費相對較高，一般中大規模者，仍以一次建設為考量。
2. 排放口附近應有防護設施，設立明顯標誌，確保排放口安全。
3. 對於河道在洪水位時，可能超出出流水中水位者，應於排放管上游端，設置制水閥或其他設備，以防止河水倒灌，並以重現期 100 年一次之洪水位設計之。
4. 排放口應能避免沖刷、淤積，尤其山溪型小溪，於山洪發生時，可能造成水流的沖擊，必須有因應措施，以確保安全。
5. 對於排放口附近流速較慢的河川，則應避免放流水在排放口附近造成淤積。

第八章 污泥處理及資源化

8.1 概說

污水在處理過程中所產生之污泥，含水率約在 96～99.5%，體積約為處理水量的 0.5～2.5%，由於含有較多有機物，放置後容易腐敗散發惡臭。污泥處理乃為減少污泥容積和水分，使污泥最終容易處置，達到安定化並合乎衛生，進而以能資源化為目標。

污水處理所產生的污泥屬事業廢棄物，係屬有機污泥之範疇，其再利用應依據廢棄物清理法第 39 條規定進行再利用，依據該條文，「事業廢棄物之再利用，應依中央目的事業主管機關規定辦理」，而下水道主管機關內政部已訂有「公共污水下水道處理廠事業廢棄物再利用管理辦法」，依據該辦法規定，產生污水污泥之事業及再利用機構之事業廢棄物再利用應經內政部核定。

因之污水污泥之處理，除應充分考量污泥減量及穩定處理外，其最終處置也應加以考量其係事業廢棄物的屬性，而依規定另申請最終污泥處置。

污泥處理程序，包括濃縮、消化、脫水、乾燥及焚化等。其單元操作依污泥量、污泥最終處置及污泥利用計畫，可有多種組合。下水污泥處理及處置方法如表 8.1。

表 8.1 污泥處理處置方法

處理程序	濃縮	消化、堆肥化	調理	脫水	加熱乾燥	焚化及其他	能資源化及最終處置
目的	減少體積	安定化	促進脫水性	減少體積	減少體積	減少體積	回歸環境及資源再利用
處理程序之種類	重力式 浮除式 離心式 帶濾式	厭氧消化 好氧消化 堆肥化	添加藥劑 熱處理	曬乾 離心脫水 加壓過濾 螺旋壓濾 帶濾式	氣流乾燥 回轉乾燥	多段爐 流體化床	沼氣發電、磷回收 綠農地利用 建築資材利用 衛生掩埋 燃料利用

污泥的處理方式，應依污泥最終處置方式決定，並以最終處置為前提，檢討都市污水的特性、處理廠位置、處理規模、處理方法的組合、處理設備等因素選擇決定。污泥處理處置之組合如圖 8.1。

污水在處理過程中，各種污泥產生的來源，以及一般污泥為處理程序及最終處置，如圖 8.2，係某一特定污水處理廠污泥處理系統之實際檢測例，可供參考。而在污泥處理過程中，各單元的污泥性質，如表 8.2，各廠因規模及操作有其差異。

在污泥處理程序中，於各單元處理時，分離出濃度甚高的廢液，包括濃縮槽濃縮上澄液、消化槽消化分離液及脫水機脫水分離液。此等廢液量仍多，且污染性高，一般需迴流至調整池或初級沉澱池前，與流入之生污水混合後再行污水處理，或先導入再曝氣槽處理並沉澱後，併同一般初級沉澱池處理水，進

行二級處理，或設廢液暫存槽集中貯留後，定量少量抽送至生物處理分水槽，與初沉水、迴流污泥混合後，再一併生物處理。

污泥處理各處理單元廢液水質，如表 8.3。各處理過程中固體物回收率(例)如表 8.4。

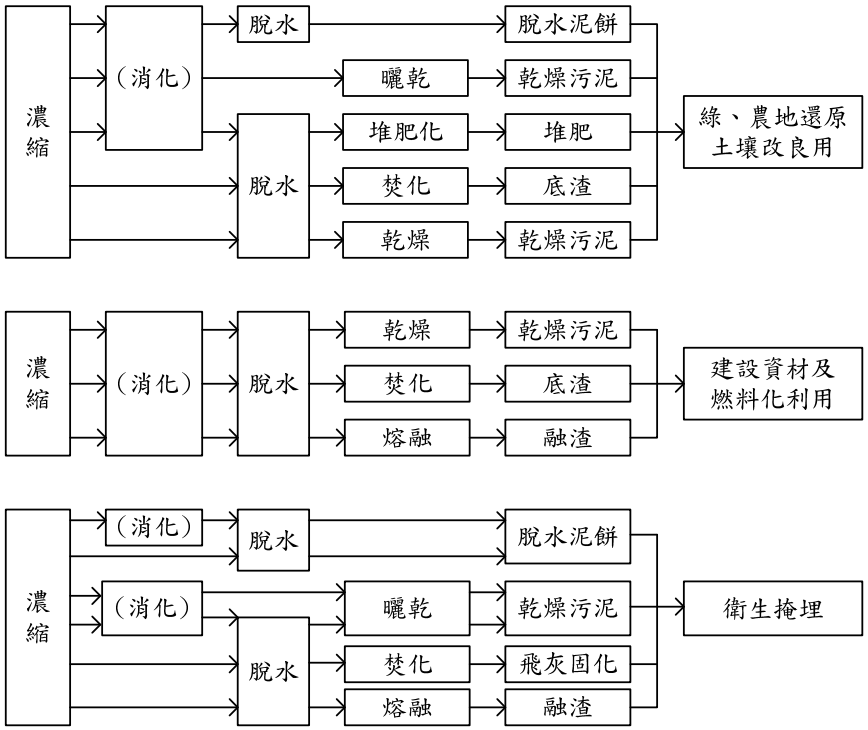


圖 8.1 污泥處理處置之組合

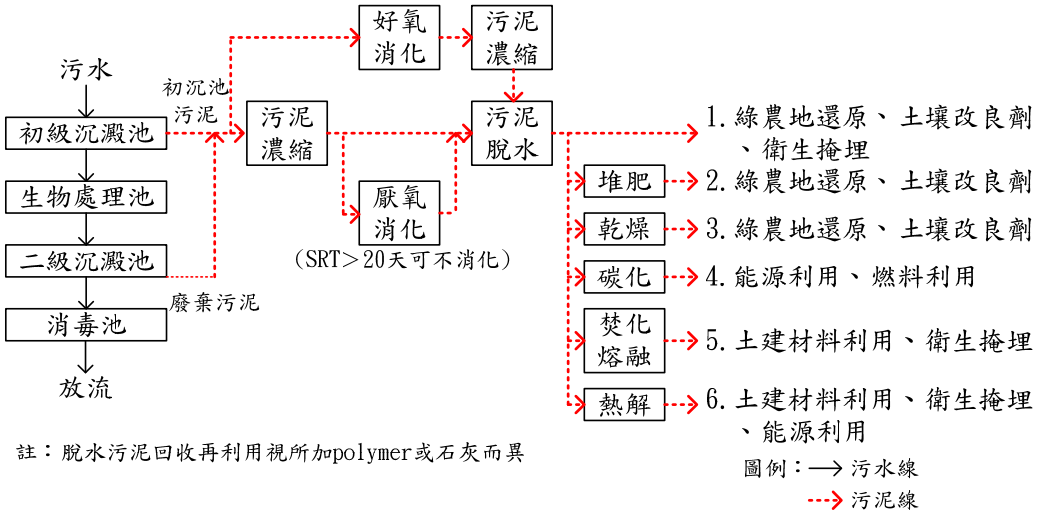


圖 8.2 污泥處理及最終處置程序

表 8.2 污泥處理中各單元污泥性質(案例)

項目	生污泥	濃縮污泥	厭氧消化污泥	污泥餅
採樣位置	濃縮槽入口	濃縮槽出口	消化槽出口	脫水機剝落
污泥溫度(℃)	18.6	19.7	42.5	—

pH 值	5.6～6.9	5.4～6.9	6.8～7.2	—
水分(%)	97.5	95.9	97.1	74.8
固體物質(%)	2.5	4.1	2.9	25.2*
有機分(%)	54.7	54.7	43.0	33.7
無機分(%)	45.3	45.3	57.0	66.3
鹼度(mg/L)	—	670	2,330	—

*：固體物質比，依污泥處理特性及脫水方法而異。

表 8.3 污泥處理各單元分離液之性質(案例)

項目	重力濃縮上澄液	厭氧消化澄清液	脫水分離液
位置	濃縮槽出口	消化槽出口	脫水機出口
溫度℃	23.1	42.2	21.4
pH 值	6.6～11.5	6.9～7.2	6.6～7.1
懸浮固體物 mg/L	4,730	9,690	350

註：各項目之懸浮固體物，依處理方法而異。

表 8.4 各處理過程中固體物回收率(例)

處理程序	處理方法	固體物回收率
污泥濃縮	重力濃縮	80～90%
	離心濃縮	85～95%
	常壓浮除濃縮	95% >
	帶濾式濃縮	95% >
污泥消化	揮發性固體物減少率	30～40%
污泥脫水	螺旋壓濾式脫水	95% >
	壓濾式脫水	95% >
	帶濾脫水	90～95%
	離心脫水	85～95%
乾燥	乾燥後含水率	20～40%

資料：日本下水道協會，下水道施設計画・設計指針と解説，2019 年版

8.1.1 污泥處理、處置及資源化

污泥處理、處置及資源化之具體考量如下：

1. 污泥處理及最終處置方法依處理設施之規模、污泥量及污泥性狀、最終處置、用地條件、建設費、維護費、管理難易及公害對策等定之。
2. 污泥處理及最終處置單元程序，包括污泥濃縮、消化、脫水、曬乾、堆肥、乾燥及熱處理(如焚化、碳化、熱解、熔融等)，其程序選擇應依最終處置充分考量訂定。
3. 污泥能源、資源化利用之充分檢討。

解說：

1. 污泥處理程序之選定，有各項條件應考量，最適合之污泥處理程序需經設計計算，並且綜合評估污泥量、污泥性質、建設費、操作維護費、維護管理性等，另水溫高低、污泥濃縮性、氣候皆有相關影響，地域特性亦各不相同，

這些因素都是污泥處理程序選定的重要考量因素，污泥處理程序選定流程如圖 8.3。

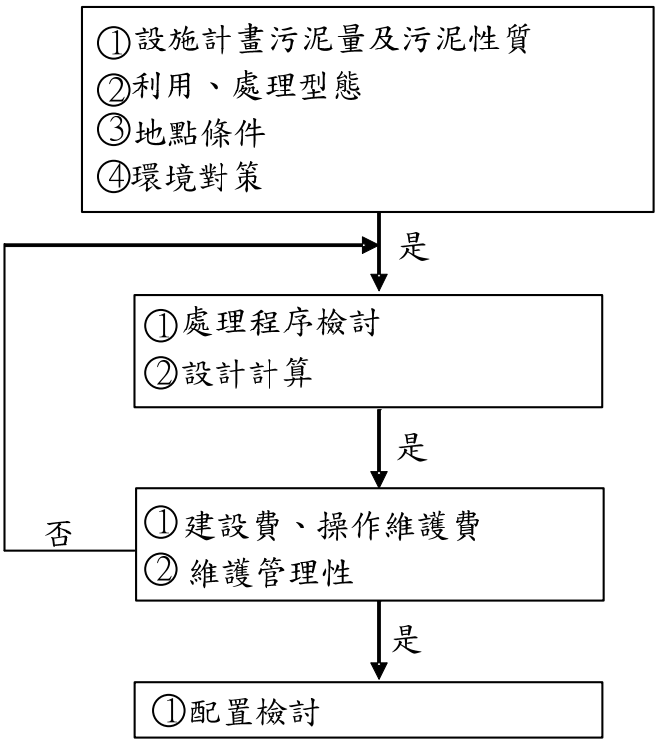


圖 8.3 污泥處理程序選定流程圖

2. 污泥最終處置選擇考量事項，包括：

(1) 評估項目、評估指標及基準

污泥處理處置之選擇，先決基本條件為如何建立有效處理及處置系統，而其重要方向包括：

①目標從傳統的單純處置，轉化為資源化利用目標。

②具經濟的省能源、省資源下水道污泥處理系統之建立。

③操作簡單容易且合乎上述兩項條件之處理系統。

④對環境影響少的下水道污水、污泥處理系統。

從以上的四個方向，列出污泥處理程序選擇評估指標和基準，如表 8.5。

(2) 評估選擇之考量

污泥處理處置程序選擇評估，如表 8.5，有很多的評估項目，各有其指標、基準、評估立場、時空觀點、重要性和緊急性等不同之權重加以選擇。

表 8.5 污泥處理程序選擇評估

評估方向	評估項目	評估指標及評估基準
能資源化利用	・減量化效果	・依處置所需求之減量化

	・資源化效果 ・長期安定性 ・實現可能性	・處置之可能性 ・資源化率、利用率 ・有用性 ・資源化可能性 ・系統的彈性、替代性及安定性 ・處理技術的確立 ・流通及利用體制確立 ・地區或都市之地理條件
具經濟性	・初設費 ・操作維護費 ・生產價值 ・省能源、省資源	・建設費、折舊費 ・用地面積 ・操作管理費、機械耐久性 ・資源回收、利用之利益 ・燃油電力、藥品等使用量
操作管理容易	・管理及作業性	・操作管理之難易 ・管理系統之確立度 ・操作管理人數 ・管理技術層次
環境影響低及接受性	・水質 ・臭氣 ・空氣 ・土壤	・N、P、BOD、SS、有機物質 ・氨、硫化氫等 ・SOx、NOx、煙塵等 ・C/N 比、氮、有害物質等

① 依當地的自然條件、社會條件接受性、經濟條件、設立有效的處置方法(可複數)，再依方法就污泥量、污泥性質及其他條件選擇可達到的處理程序。

② 各項評估項目之個別評估，不僅要考量污泥處理系統，同時應包括考量處理、處置系統整體，以及階段性分期計畫，一併加以考量評估。

③ 從長期安定性考量，檢討將來改變最終處置條件，而考量其系統的安定性、彈性及可替代性等評估之，故可以有下列之考量：

a. 複數的處理、處置系統的組合。

b. 區域處理、處置的可能性。

c. 其他廢棄物之共同處置。

而在上述 b.中，尤應就經濟性、省能源、回收資源加以檢討之。

(3) 經濟性等多面向考量

從過去傳統的單純處置之觀念及衛生掩埋處置之做法，如何改變為從經濟性、省能源、回收資源的經費平衡，則必須從多方面檢討之。

污水處理及污泥處理，在經濟上以能降低建設費及操作維護費為首要，尤其如何達到經費平衡或減輕支出，則必須從回收資源抵消支出，做一考量。在此一原則下，以能從可回收利用量，以及其價值為考量重點。

在污泥之最終處置上，若添加多量之無機藥劑，不僅增加藥品支出

成本、污泥的搬運量增加，且污泥之有機成分降低，而失去肥料利用之價值，仍不具經濟效益。

再者污泥餅若要焚化處理，除非有適當熱值，否則將增加燃料支出，以及焚化系統的設置，皆耗費投資很大，而焚化後之灰渣，其量雖可降低，且經掩埋之體積小，具經濟，但焚化之建設及操作費皆很大，即使做為建材用，仍不具經濟效益。

此外污泥處理，應有一定規模，其設置及操作始具經濟，因此一個市鎮之污泥若能集中處理或最終處置，當更具經濟性。因此經濟性的考量應從整體加以評量。

3. 省能源、資源回收利用

污泥餅所含有機成分，依污泥性質以及污泥處理程序而異，但若予以焚化時，不僅因含水率高，必須添加燃油外，其所含的有機成分未能回收有效利用，若污泥餅能直接利用，將更具經濟性，且不必耗損能源，尤其未來由於溫室氣體排出的限制，能源的利用和消耗，將會是社會的一大瓶頸。參考營建署下水污泥處理減量及再利用審查管理計畫報告書內容，桃園市龜山廠、臺中市福田廠、新北市林口廠、臺北市八里廠、新竹市客雅廠、屏東市六塊厝廠和雲林縣斗六廠乾燥污泥均規劃採焚化方式(分別送至桃園市南區 BOO 焚化廠、烏日焚化廠、八里焚化廠、新竹市垃圾資源回收廠和崁頂焚化廠)，考量焚化爐運作及設備操作上之狀況，建議可先將下水污泥先經乾燥、造粒等前處理製成如燃料錠之資源化產品，再傾入貯坑與垃圾混合進料焚化建議得將下水污泥餅先行乾燥、造粒，製成如燃料錠之資源化產品(含水率應降至40%、濕基低位發熱量達 1,200～1,500 kcal /kg，且粒徑大於 10 mm)。

污泥的資源化很廣，應依水資中心的位置、搬運距離、初期污泥量、以及再利用對象使用量，和使用者的接受性，而做綜合性評估。

台灣地區各市鎮污水下水道建設對於污泥餅的回收利用，應針對各廠污泥產量之變化，做具有彈性之評估，在初期污泥餅量不多之階段，各市鎮之污泥可與其他廢棄物共同處置，俟將來污泥餅量增加後，則可朝向多元化考量，包括乾燥後與垃圾混燒，以回收熱能增加垃圾焚化發電量，現階段應為最可行的能資源回收利用。

污泥在處理過程中，若經消化、脫水，則已趨穩定，不僅含水率低，並已無病菌，且不發臭，在此一狀況下做為有機肥料，無論其經堆肥化與否，已是很適合做肥料利用，在國外已較普被接受。而其成份與目前市面出售的有機肥並無太大差別。因此，利用的接受性應無慮。惟目前受限制，有待突破。

雖然污泥脫水時，為保有機成分，多不添加石灰等無機劑脫水，採用高分子凝聚劑，因此其脫水泥餅稍具粘性，此等性質若經乾燥將可消失，且易於破碎，或予以堆肥化後，其粘性也降低，對於施用上並不造成困擾。

8.1.2 污泥處理設施設計污泥量

污泥處理設施設計污泥量考量如下：

污泥處理各項處理設施之設計流量，原則上以計畫最大日污泥量設計。應依規模充分檢討流量狀況等不確定因素，是否分期建設。

解說：

1. 污水處理各種廢污

污水處理係藉各種固液分離方法，為將污泥固液分離的設施，分離所產生的固體物，依各不同處理設施產生者有攔除物、沉砂、浮渣、初級沉澱池污泥及廢棄污泥。惟其中所產生之攔除物量、沉砂量及浮渣量，則尚未建立量化統計。

(1) 攔除物

為污水處理廠內第一個固體分離的渣物，原則上應將固液分離後之渣物搬出，其處置方法包括以一般廢棄物掩埋或焚化，也可與沉砂及脫水污泥一併掩埋。

(2) 沉砂

可與脫水污泥一併掩埋，沉砂屬於事業廢棄物，原則上應與攔除物一併處置。

(3) 初級沉澱污泥

初級沉澱池沉澱分離的懸浮固體物稱為初級沉澱污泥，初級沉澱污泥一般較廢棄污泥容易腐敗。

(4) 浮渣

主要為初級沉澱池沉澱時浮於池面被蒐集的浮狀物，二級沉澱池也有浮渣，惟一般較少，一般亦以事業廢棄物另行處理或合併污泥直接脫水，或併同脫水污泥一併處理。

(5) 廢棄污泥

反應槽流出水經二級沉澱池沉澱分離後，活性污泥法程序中，不再迴流至反應槽的部分污泥，排出至污泥處理設施進行進一步減量、安定化處理者。而生物膜法之二級沉澱污泥，則全部以廢棄污泥排出進行污泥處理。

(6) 混合污泥

初級沉澱污泥與二級沉澱污泥，合併稱為混合污泥。

2. 污泥產生量主要來源有二，包括沉澱池(初級沉澱池及二級沉澱池)去除懸浮固體物產生量及生物處理池 BOD 之污泥增殖產生量，分別計算如下：

懸浮固體物產生之污泥量：

$$P_{ss}=Q(SS_o-SS_e)\times10^{-3}=Q\ SS_o\ E_{ss}\times10^{-3} \quad \text{.....(8-1)}$$

式中：

P_{ss}：由懸浮物而產生之污泥量(kg/d)

Q：處理量(m^3/d)

SS_o：進流懸浮固體物濃度(mg/L)

SS_e：自二級沉澱池出流懸浮固體物濃度(mg/L)

E_{ss}：懸浮固體物之去除率(%)

污泥增殖產生之污泥量(生物曝氣池)

$$P_{BOD} = \frac{Q \times Y(S_o - S_e)}{1 + K_d \theta_c} \times 10^{-3} \quad \text{.....(8-2)}$$

或 $P_{BOD} = a\,Lr - b\,X\,V \times 10^{-3}$ (經驗式) .....(8-3)

式中：

P_{BOD}：生物增殖而產生之剩餘污泥量(kg/d)

S_o：進流水 BOD 濃度(mg/L)

S_e：出流水 BOD 濃度(mg/L)

Y：微生物增殖係數(mg/mg)

K_d：微生物衰減係數(d^{-1})

θ_c：污泥齡(SRT，d)

a：BOD 之污泥轉換率(一般為 0.5～0.8)

L_r：BOD 去除量(kg/d)

b：污泥體內自行氧化率(0.01～0.1)(d^{-1})

X：曝氣槽內混合液 MLSS 濃度(mg/L)

V：曝氣槽容積(m^3)

$$L_r = Q\,S_o\,E \times 10^{-3} \quad \text{.....(8-4)}$$

式中：

E：BOD 去除率

則總污泥量 $P = P_{ss} + P_{BOD}$ .....(8-5)

$$= [SS_O E_{SS} + \frac{Y(So - Se)}{1 + K_d \theta_c}] \times Q \times 10^{-3} \quad \text{.....(8-6)}$$

或 $P = (SS_o E_{ss} + aS_o E - bX\theta) \times Q \times 10^{-3}$ .....(8-7)

式中：

θ：曝氣槽停留時間(=V/Q，day)

但是，污水處理廠污泥產生量，也有依不同生物處理方法，以去除 SS，包括 BOD 轉換之綜合值，做為去除 SS 當量之污泥產生率之經驗計算式如公式：

$$P = Q \times SS_o \times 10^{-6} \times E \times m \quad \text{.....(8-8)}$$

式中：

P：總污泥量(Ton/day)

Q：處理量(m^3/day)

SS_o：進流懸浮固體物濃度(mg/L)

E：全廠懸浮固體物總除去率(%)

m：去除 SS 當量之污泥產生率(如表 8.6)

表 8.6 不同處理方法之 SS 當量之污泥產生率(例)

產生率 處理方法	去除 SS 當量之污泥產生率(%)
標準活性污泥法	100
氧化渠法	75
延長曝氣法	75
分批式活性污泥法(低負荷)	75
好氧過濾法	100
接觸曝氣法	93
活性污泥膜濾法	70

資料來源：日本下水道協會，下水道施設計畫-設計指針及解說(後編 2019 年版)

污泥流量計算如下：

$$Q_s = P \div S \times 10^3 \quad \text{.....(8-9)}$$

式中：

Q_s：污泥流量(m^3/day)

P：污泥總量(kg/day)

S：污泥濃度(mg/L)(如表 8.7)

表 8.7 污泥濃度表(例)

處理方法	污泥濃度(%)		
	初沉污泥	廢棄污泥	混合污泥
標準活性污泥法	2.0～4.0	0.5～10	1.0
氧化渠法	—	0.5～10	—
延長曝氣法	—	0.5～10	—
分批式活性污泥法(低負荷)	—	0.5～10	—
好氧過濾法	—	—	1.0
接觸曝氣法	2.0	0.8～1.2	1.0
活性污泥膜濾法	—	0.8～1.2	—

資料來源：日本下水道協會，下水道施設計畫-設計指針及解說(後編 2019 年版)

3. 污水處理廠之污泥設計流量，除考量目前之污水量外，係以計畫目標年之污泥產生量設計。惟因建設時程，常有用戶接管之延宕、預估未來人口及污水量產生變化等不確定因素，故需再定期加以檢討評估，因之污水處理廠之污泥處理設計量，應依系統之規模整體規劃，並考量分期建設計畫辦理之。
   (1) 原則上，系統規模在 1,000～5,000 之小規模者，即以單一系統一次設計之。
   (2) 原則上，系統規模在 5,001～30,000 之中規模者，可依實際評估採二期建設，其第一期可依目標年之一半人口之污泥量之規模建設，待第一期之進流污泥量達七、八成時，再檢討評估第二期之建設。

(3) 原則上，系統規模在 30,001～100,000 之大規模者，其污泥量之處理設計，則可分三至四期，視進流污泥量之狀況，評估決定建設時程。但厭氧消化槽之設計量，則可考量分兩系統分二期設置。

8.1.3 污泥處理設施概要

污泥處理程序，包括濃縮、貯留、消化、脫水、乾燥、堆肥化及材料化，各種處理設施之概要，如表 8.8。

表 8.8 各種污泥處理設施概要

設施名稱	設施概要
①濃縮	污泥減量化為目的之設施，藉以減少後續污泥處理程序的負荷及設施的容量，以減少處理經費，提升效率
②貯留	小規模污水處理廠處理量少，為後續脫水等間歇操作之需要，供污泥暫存為目的。另亦可以污泥消化槽供貯留、污泥消化穩定之用
③消化	污泥消化目的在於達到安定化，可分為好氧消化、無加溫厭氧消化及加溫厭氧消化。係藉不同的微生物反應，使污泥中的有機物進一步降解，且在厭氧消化可產生沼氣供利用
④調理	為降低污泥與水的親和性，以降低脫水含水率，包括添加藥劑、淘洗、超音波污泥破碎或熱處理等
⑤脫水	為降低污泥含水率，以達污泥減量化，使污泥便於最終處理，並達降低處置費用
⑥乾燥 共燒	藉日曬乾燥或機械乾燥機乾燥，可與垃圾共燒回收能源，達到污泥減量化並易於最終處置
⑦堆肥化	脫水污泥經由醱酵，以達堆肥化的設施
⑧材料化	污泥經由燒結造粒輕質骨材

8.2 污泥輸送

污水處理設施及污泥處理設施所產生的污泥，需藉污泥輸送管線及泵予以集中，或輸送至次一單元進行處理，污泥的輸送依其輸送對象，含水率有很大的差異。污泥的輸送，應考量其質和量及周邊環境，選用最經濟的輸送方式。

污泥的輸送依污泥性質，一般液狀污泥，可藉管線或真空車輸送，而脫水污泥，因已屬固體狀，多以卡車載送。本節以液狀之污泥輸送，包括污泥管、污泥抽水機、污泥抽水機室、污泥貯槽及附屬設備，加以敘述。

污泥的輸送應考量其質和量及周邊環境，選用最經濟的輸送方式。

8.2.1 污泥管設計

污泥管之設計考量如下：

1. 材質應為延性鑄鐵管或其他堅固可耐久使用者。
2. 管內流速以 1.0～1.5 m/sec 為準，管徑原則上應在 150 mm 以上。
3. 必要時應設置管內洗淨裝置。

4. 必要時應有保護之設備。

解說：

1. 污泥管的配管方法，應考量下列：
   (1) 在水力坡降線以下配管。
   (2) 盡可能為直線，並避免急彎曲。
2. 污泥管內流速以 1.0～1.5 m/sec 為準，但長距離輸送時，為了減少摩擦損失水頭，流速大約為 1.0 m/sec；污泥管管徑應在 150 mm 以上，以避免管線阻塞。
   (1) 污泥濃度 2%以下、流速 1.0 m/sec 以上時，污泥輸送水頭損失計算公式如下：

$$H_f = 6.82\, C_H^{-1.85} \cdot D^{-1.17} \cdot V^{1.85} \cdot L \quad \text{.....(8-10)}$$

式中：

H_f：水頭損失(m)

C_H：流速係數(Hazen-Williams 係數)

管別	C_H 值	備註
鑄鐵管	100	使用 20 年後
鋼管	100	
水泥襯裡鑄鐵管	130	考慮彎曲損失等，C＝110 較安全
塗裝鋼管	130	
石棉管	130	
離心式鋼筋混凝土管	130	
預力鋼筋混凝土管	130	
硬質 PVC 管	130	

D：管徑(m)

V：流速(m/s)

L：管線長度(m)

   (2) 污泥為粘性流體，溫度變化對於污泥特性有所影響，故污泥輸送時管摩擦水頭損失計算應考量污泥濃度及溫度之影響。一般而言，污泥溫度較少低於 10℃，管摩擦水頭損失計算如下：

$$K = 1 + 0.11C \quad \text{.....(8-11)}$$

$$H_f = 6.82(C_H^{-1} \cdot V)^{1.85} \cdot D^{-1.17} \cdot L \cdot (1+0.11C) \quad \text{.....(8-12)}$$

式中：

K：液體溫度 10℃管摩擦損失水頭係數比

C：污泥液體溫度 10℃濃度

污泥溫度介於 10～20℃時，修正公式

$$C = [1 - 0.019(T - 10)]0.37C_r \quad \text{.....(8-13)}$$

式中：

Cr：污泥於液體溫度 T℃時之濃度(%)

3. 必要時應設止水控制閥、排泥管、排氣閥及洗淨裝置。污泥管及各種閥類設置例，如圖 8.4。另污泥管線在配置上，需有互為備用之考慮。
4. 必要時應有保護之設備。
   (1) 管線與本體接合處，應具耐震性。
   (2) 在橋梁掛架設置之地點，應為可撓性接頭。
   (3) 彎曲管、T 字管等管件，為避免與混凝土固定座脫離，應以金屬片固定。

8.2.2 污泥抽水機

污泥抽水機之設計，考量下列條件決定之：

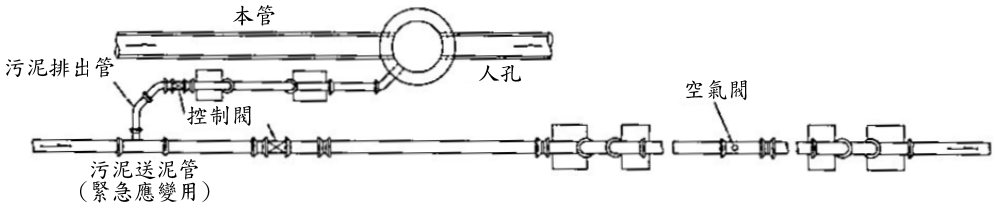
1. 具不阻塞、耐磨損、耐腐蝕，且為容易拆解之構造。
2. 台數(含備用)2 台以上，以能變頻操作，並可因應操作變動調節流量。
3. 污泥抽水機吸入端設置高程原則需保持在淨吸水高度。
4. 應有考量水錘作用之對策。

解說：

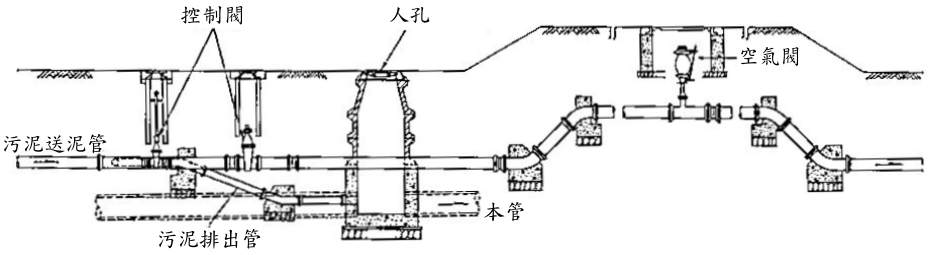
因污泥中含有容易造成磨損的砂土，故污泥抽水機應為高硬度耐磨耗的材料。

污泥抽水機吸入蓋、外殼及吸入管，應預留設有人手可伸入大小的清除口，以利有布片等阻塞時可清理的構造，因污泥抽水機常因清理或維修需分解，故以容易分解及組成的構造為宜。

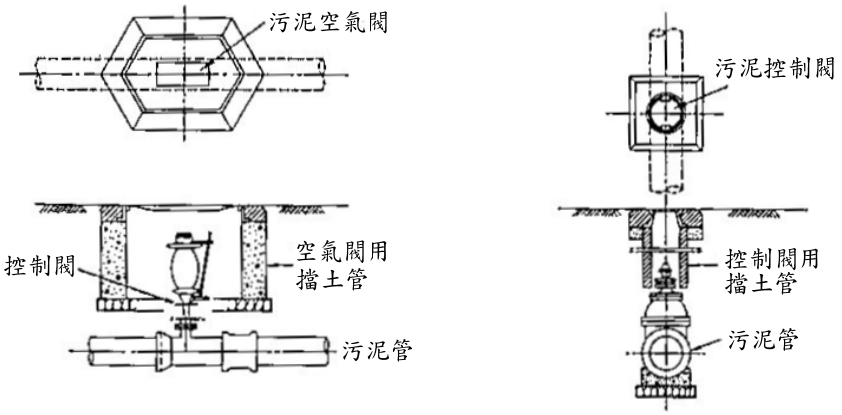
1. 污泥中含泥砂，故污泥抽水機應採不阻塞、硬度高、耐磨損之材料製造。
2. 污泥抽水機設置台數應該考量故障維修情況，故台數含備用 2 台以上。
3. 考量孔蝕現象，污泥抽水機吸入端設置高程原則需保持在淨吸水高度。
4. 污泥抽水機快速啟動或運轉中遇停電急速停止，泵之排出側依管線狀況可能發生水錘現象，應設置必要之防範裝置(可參閱第三章 3.5.6 節)。



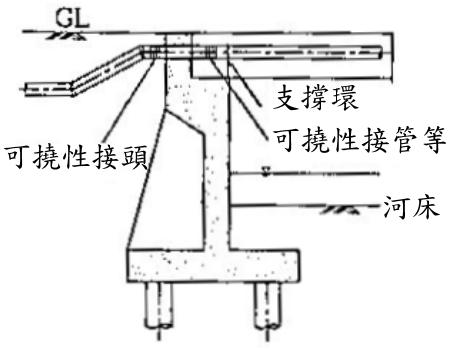
平面圖



斷面圖



雙口空氣閥設置狀況　　控制閥設置狀況



橋梁架設例

圖 8.4 污泥管及各種閥類設置例

8.2.3 污泥抽水機房

污泥抽水機房，於考量下列條件設置之：
1. 構造原則上應為鋼筋混凝土構造。
2. 其空間需考量污泥抽水機及管線和其他設備之搬運、拆解及修理所需。
3. 污泥抽水機房內應有適當的照明及排水。
4. 污泥抽水機房在安全上，應有充分換氣及防臭對策。
5. 電氣設備之裝設位置，應能防淹水。
6. 應考量污泥採樣的方便。
7. 為防污泥管阻塞，應適當的設置反沖洗管。

解說：

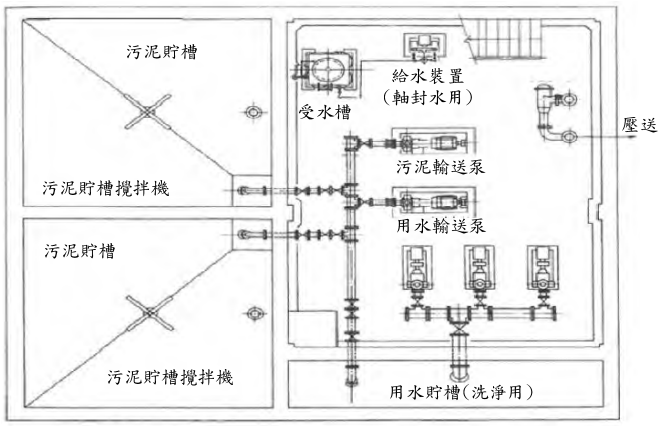
1. 污泥抽水機房多設於地下，以鋼筋混凝土構造較堅固，並且應避免地下水滲入，具水密構造；排水口、電氣管處應避免雨水滲入。
2. 空間應足夠大以利機具搬運進出，並且因污泥抽水機的拆解、清理及維修頻率較高，應考量有足夠之作業空間。
3. 污泥抽水機房內應有適當的照明及排水，以利操作運維。
4. 污泥抽水機房換氣率應足夠，確保為適當之作業環境，因污泥產生各項臭氣，故考量作業環境之改善及設備機器之保護，應充分換氣及具有防臭對策。
5. 電氣設備於濕度高環境下修理維護易發生意外，裝設位置應避免淹水。
6. 污泥性質改變對污泥處理有重大影響，故於污泥抽水機房需考量污泥採樣方便性，以利採樣分析。
7. 污泥管徑最小採 150 mm，當污泥沉積於管內時，應以反沖洗裝置沖洗，以避免污泥持續阻塞。

8.2.4 污泥貯槽機房

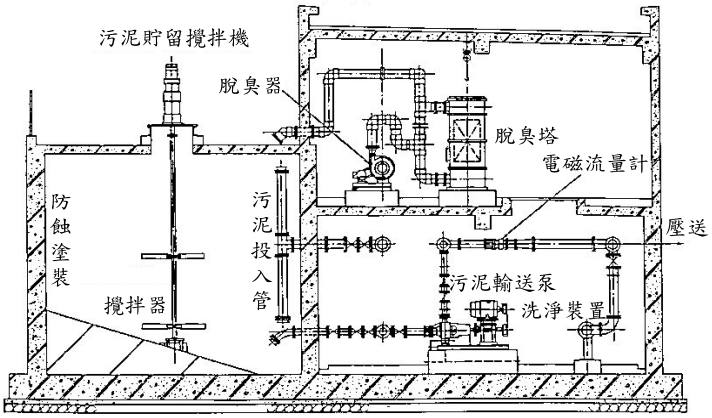
污泥貯槽於考量下列條件決定之：
1. 污泥貯槽之容量應考量各項需求及機能後決定之。
2. 構造上應為鋼筋混凝土，需考量耐腐蝕或防蝕塗裝。
3. 數量原則以 2 槽以上。
4. 為防止污泥腐敗或沉澱，應有攪拌設備。
5. 應充分考量室內臭氣收集及除臭。

解說：

1. 污泥貯槽之容量，於考量污泥投入量、抽泥量、連續或間歇抽泥及維護管理上必要的貯留時間決定之。
2. 污泥貯槽較多位於地下，以鋼筋混凝土構造較堅固，並且應避免地下水滲入，具水密構造。且需考量耐腐蝕或防蝕塗裝。
3. 基於設備維修需要，貯槽數量原則以 2 槽以上，污泥貯槽配置案如圖 8.5。
4. 污泥長時間放置，易腐敗或沉澱，為避免浮渣產生及泥砂沉積於底部，應設置攪拌設備、打入空氣或裝設浮渣去除器。
5. 污泥貯槽之臭氣應避免外洩並且妥善收集至除臭設備。



平面配置圖



剖面配置圖

圖 8.5 污泥貯槽配置圖

8.2.5 其他附屬設備

污泥輸送系統設計，應考量下列各項決定之：

1. 必要時應在污泥輸送及貯留設施前，設置前處理裝置，包括沉砂、除渣。
2. 必要時對於所去除的沉砂、除渣，應考量能容易處理或處置。
3. 必要時應設置流量計及濃度計等。

解說：

1. 為避免污泥在一般處理程序中，濃縮、消化、脫水、乾燥、焚化等設施，受砂礫、篩渣之影響，因之污泥輸送之前處理必須有沉砂、除渣設備，另由各污泥處理設施排出的污泥，於暫存用的污泥貯存槽或調整槽，必要時也應有沉砂、除渣設備。此時設置應為抽砂泵、旋流洗砂機、砂粒分離機、自動除渣之攔渣設備。
2. 沉砂及篩渣為便於分離搬運，必要時設置沉砂分離機及沉砂斗。除渣設備為便於搬運，必要時應有脫水裝置。以及篩渣搬運貯留設備，輸送帶及篩渣斗，以利容易搬運。
3. 為能掌握輸送之污泥量，必要時應設置流量計及濃度計等。

8.3 濃縮

污泥濃縮為污泥消化、脫水操作之預先處理，污泥量依含水率而異。含水率與污泥量之關係，若不考量濃縮前後污泥密度之變化，可以下式表示之：

$$V_2 = \frac{100-r_1}{100-r_2} \times V_1 \quad \text{.....(8-14)}$$

式中：

r_1：濃縮前污泥之含水率(%)

r_2：濃縮後污泥之含水率(%)

V_1：濃縮前之污泥量(m^3)

V_2：濃縮後之污泥量(m^3)

另濕污泥的比重 S，可由下式求之：

$$S = \frac{W_w - W_s}{(W_w/1.0)+(W_w/S_s)} \times 100 \quad \text{.....(8-15)}$$

式中：

W_W：水的重量(kg)

W_S：乾污泥重量(kg)

S_S：乾污泥比重(一般 1.02)

由式(8-14)含水率 96%之污泥量為含水率 99%之污泥量的四分之一。因此降低污泥含水率並以減少污泥量為污泥濃縮之目的，也因而可減少污泥消化或直接脫水所需要設備體積並節省操作費用。

$Wr(\%) = [Ww/(Ww+Ws)] \times 100$ .....(8-16)

式中：

Wr：污泥含水率(%)

污泥濃縮方式有重力法、帶濾法、離心法及浮除法，重力法污泥濃縮達 10%以上時，污泥之抽送發生困難。近年來因重力法之效率較低，有漸用帶濾法或離心法之趨勢。

浮除法之應用，在下水污泥以常壓浮除較多，對於微細污泥之濃縮具有相當的效果，混合污泥可濃縮至 4～7%。

8.3.1 重力濃縮

污泥靜置於量筒進行沉降，由於污泥濃度不同而有不同現象。稀薄污泥之沉降，其污泥及上澄液之境界面不很明顯，這一狀態為粒子之自由沉降(Free settling)。若濃度高者，則呈清楚的境界面而下降，這一狀態為粒子間呈集合而相互干擾之同時而下降，稱干擾沉降(Hindered settling)，所呈清楚的界面稱界面沉降(Zone settling)。接著污泥濃度增加，上層粒子與下層粒子間呈壓密狀態，稱為壓密沉降(Compression settling)。濃縮沉降狀態如圖 8.6。

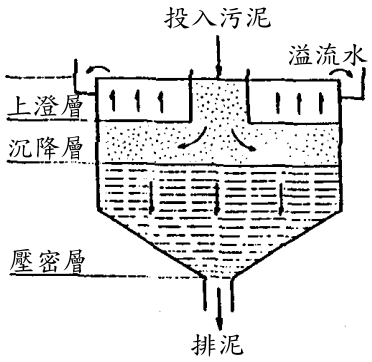


圖 8.6 重力濃縮模式

8.3.1.1 重力濃縮槽設計

重力式濃縮槽之容量，於考量下列決定之：

1. 固體物負荷以 60～90 kg DS/m^2·d，有效水深 4 m 設計之。
2. 濃縮槽為圓形或矩形之水密性構造，必要時並加覆蓋。中規模以上者應為 2 池。

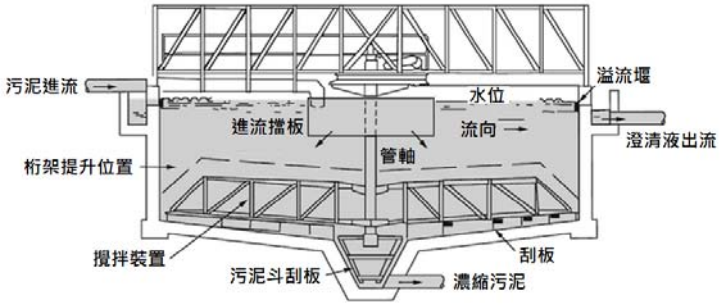
解說：

1. 容量以固體物負荷 60～90 kg DS/m^2·d，投入污泥濃度 1%，水深 4 m，其停留時間為 12 小時，其濃縮污泥含水率為 97%～98%。
2. 濃縮槽為圓形或矩形之水密性構造，必要時並加覆蓋。有效水深為 4 m。中規模以上者應為 2 池，如圖 8.7。
   (1) 附有刮泥機之槽底坡度宜為 5%以上；未設刮泥機者，槽底為漏斗狀，對水平之傾斜角為 60 度以上。
   (2) 設置污泥進流管、污泥排出管及上澄液排出管，上澄液迴流至污泥處理單元之迴流管渠、浮渣去除設備等。必要時增設溢流堰及除臭設備。
   (3) 槽體構造應為鋼筋混凝土，需考量耐腐蝕或防蝕塗裝。

8.3.2 帶濾濃縮

1. 重力帶濾式污泥濃縮機，主要是藉由重力原理使間隙水經濾布過濾後分離。此外在污泥進入帶濾式污泥濃縮機前，可於污泥中加入高分子凝聚劑增加污泥凝聚性，因此帶濾式污泥濃縮機所分離排除之水分主要為污泥中之間隙水及表面附著水，而污泥含水量可由原來之 99%降至 95%～96%。
2. 帶濾式污泥濃縮機係自帶濾式脫水機演變而來，通常帶濾式脫水機第一段為重力排水，可使污泥有效濃縮，因此將重力排水段獨立成為一設備即為帶濾式濃縮機。
3. 通常投入濃縮機前會加入高分子凝聚劑調理，添加量約每 kg 污泥 0.3 g，並經由濃縮機之污泥分佈器後，均勻入流於濾布上，進行重力排水以達濃縮效果，混合污泥濃縮負荷混合污泥約 700～1100 kg SS/(濾帶寬)m·hr，通常在濾布上方污泥移動方向上設有數排之耙犁，使污泥於濾布上翻騰及均勻分佈，

以增加污泥排水效能，最終濃縮污泥自另一端排出。帶濾濃縮系統例，如圖8.8。



污泥濃縮池



圖 8.7 重力濃縮槽(龜山水資源回收中心)

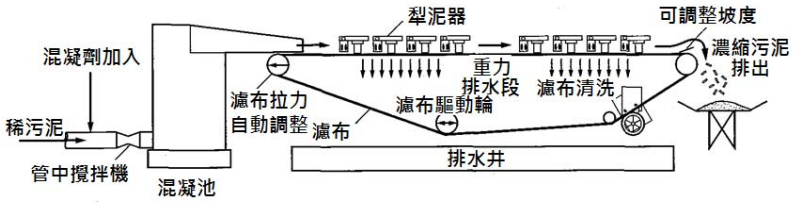


圖 8.8 帶濾濃縮系統例

8.3.2.1 帶濾式濃縮機設計

帶濾式濃縮機依下列條件決定之：

1. 台數依處理污泥量，每台處理容量及工作日操作時數決定之。
2. 帶濾濃縮機濃縮性能如下：
   濃縮後固體物濃度　4～5%
   凝聚劑添加率　≦0.3%(依固體物量)
   固體物回收率　95%以上
   濃縮後污泥含水率視污泥種類而定，約為95%至96%。
   每台處理量約 10 m^3/h～100 m^3/h。
3. 污泥濃縮負荷二級沉澱污泥負荷為 300～540 kg(SS)/(濾帶寬)m·hr；混合污泥負荷(含初沉污泥)為 700～1,100 kg(SS)/(濾帶寬)m·hr。
4. 濃縮機含備用設二組以上。

解說：

1. 帶濾濃縮機有效濾帶寬度及台數如下：

$$B = \frac{S_o}{t \times Q_o} \quad \text{.....(8-17)}$$

式中：

B：帶濾濃縮機有效濾帶寬(m)

S_o：工作日每日處理固體物量(kg SS/day)

Q_o：單位濾帶固體負荷量(kg/m・hr)

t：工作日 1 天操作時間(hr/day)

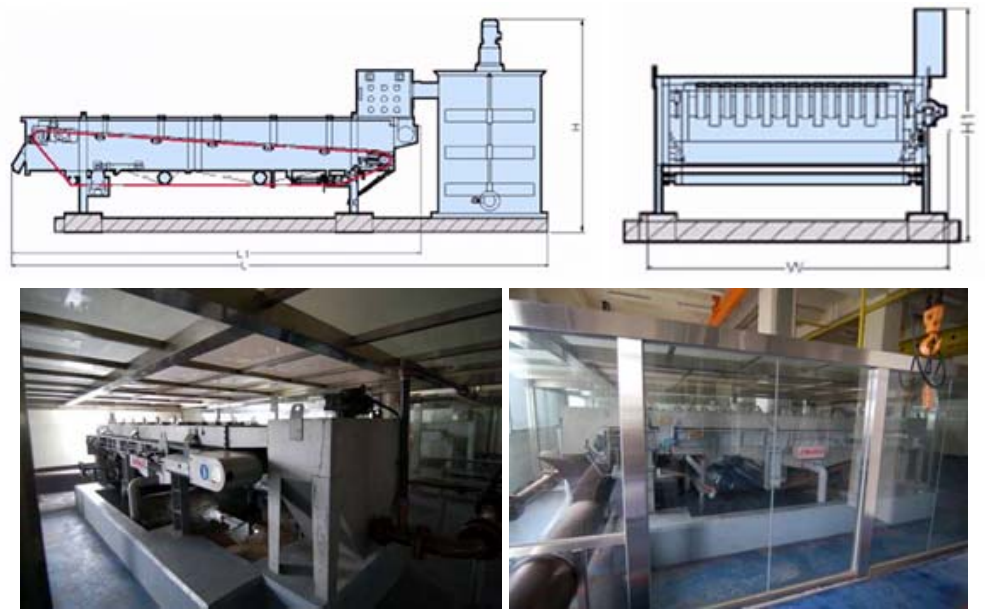
$$N = \frac{B}{a} \quad \text{.....(8-18)}$$

式中：

N：台數

a：每一台有效濾帶寬度(m)

2. 帶濾式濃縮機，如圖 8.9。濃縮性能標準藥品添加率約 0.3%，濃縮污泥濃度約 4～5%，SS 回收率約 95%以上。



帶濾式濃縮機　　帶濾式濃縮機外圍設置玻璃防臭罩

圖 8.9 帶濾式濃縮機(宜蘭地區水資源回收中心例)

3. 污泥濃縮負荷包括終沉污泥負荷、混合污泥負荷(含初級污泥)須依規定設計。
4. 為促進固液分離，可於濾帶上設耙犁機具將污泥攪動。污泥進料泵應使用具備可調整流量功能之污泥抽水機，每組濃縮機各設置一台。附屬設備包括凝聚劑攪拌及混合裝置、防臭及濾帶沖洗水設施。

8.3.3 離心式濃縮機

離心式濃縮機係藉旋轉體高速轉動的離心力，分離污泥中的固體污泥及液體之構造。

離心式濃縮機有連續式橫軸型及分批式縱立型兩種，一般使用橫軸型。不易藉重力沉降濃縮之污泥，採用離心式濃縮頗具效果。

橫軸型離心機主要為由本體(殼)及螺旋器而成，投入的污泥在旋轉體內承受離心力，濃縮污泥則分離至旋轉體的周邊部，藉旋轉體的旋轉差轉動之螺旋器將濃縮污泥排出。離心式濃縮機(橫軸型)例，如圖 8.10。

一般離心式濃縮機之設置，應有兩台以上，一般操作可將含水率降至 96%以下，固體物回收率可達 85～95%之目標，離心力為重力加速度的 1,000～2,500 G。

若污泥中含砂量多，對離心式濃縮機螺旋器前端將造成磨損，選用時應加克服或注意。

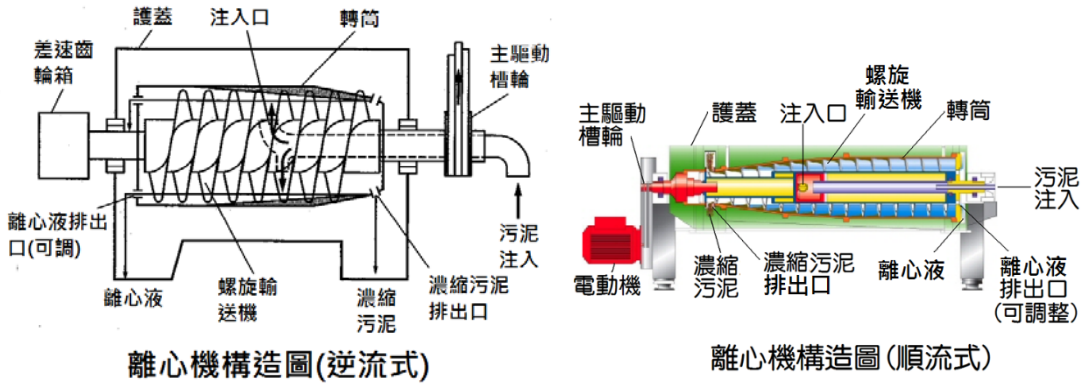


圖 8.10 離心式濃縮機例(橫軸型)

8.3.3.1 離心式濃縮機設計

離心式濃縮機於考量下列條件決定之：

1. 台數依處理污泥量，每台處理容量及工作日操作時數決定之。
2. 濃縮機應設二組以上，由具轉速差之旋轉本體與螺旋軸體組成，耐磨、耐久、堅硬之金屬構成，離心力為重力加速度之 1,000 倍至 2,500 倍。

解說：

1. 濃縮機台數依下列公式計算：

$$N = \frac{Q}{q \times t} \quad \text{.....(8-19)}$$

式中：

N：台數

Q：處理污泥量(m^3/day)

q：1 台每小時處理容量(m^3/hr)

t：工作日 1 天操作時間(hr/day)

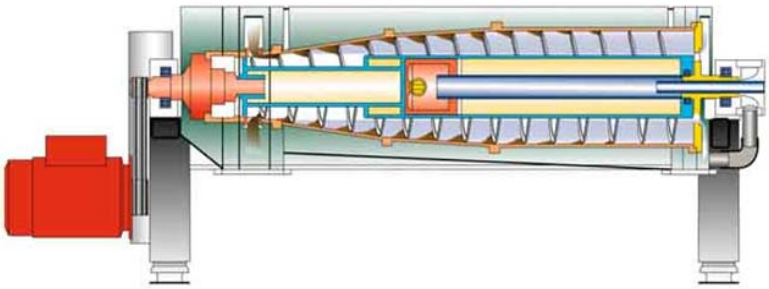
2. 污泥進料泵應使用具備調整流量功能之污泥抽水機，每組濃縮機各設置一台。濃縮機對於進流污泥濃度及進流量的改變，應有對應之考量，並設置必要之加藥設備，並設噪音防制設施。一般操作可將污泥含水率降至 96%以下，離

心式濃縮機約有 85～95%的標準固體回收率，離心力一般為 1,000～2,500 G。離心式濃縮機，如圖 8.11。





(1)側面圖

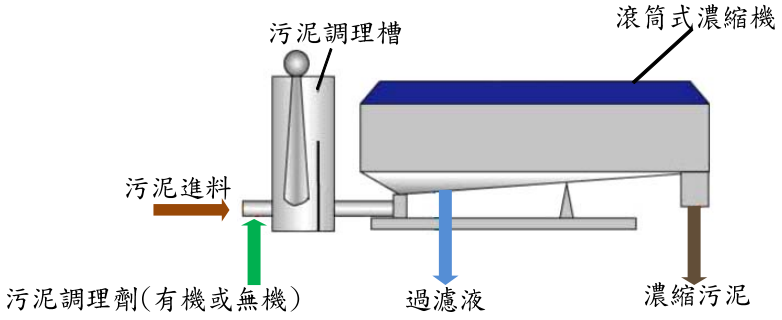


(2)剖面圖

圖 8.11 離心式濃縮機例

8.3.4 滾筒式濃縮

滾筒式濃縮係欲濃縮之污泥先與高分子調理劑在調理槽中混合反應形成膠羽，隨後進入滾筒式濃縮機部的滾筒中，滾筒依各廠家採用型式之不同，可能為細篩網或篩網表面覆蓋合成濾布，並以大約 5～20 rpm 之速度旋轉，利用低速離心過濾方式將通過滾筒式濃縮機之膠羽污泥中的懸浮固體物與液體分離，分離後之濃縮污泥留於旋轉機體內側，廢液則經由旋轉主體外側過濾排出至旋轉主體外的承載外殼，濃縮後污泥的濃度主要取決於進流污泥的含水率、調理劑的加入量與種類、滾筒的轉速以及滾筒的傾斜角度等，一般濃縮污泥含水率約 96～97%。濃縮機為完全封閉式構造，可避免操作時污泥或分離液臭味外溢。滾筒式濃縮機構造及原理，如圖 8.12。



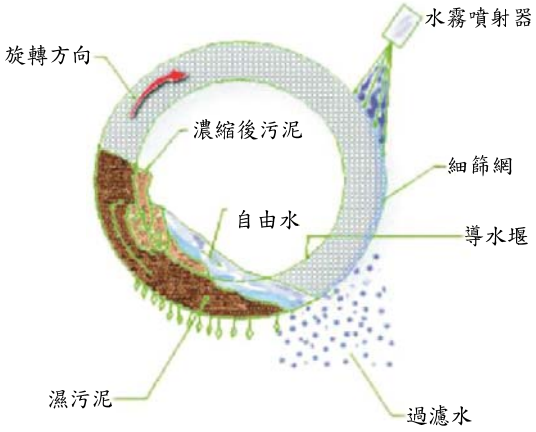


圖 8.12 滾筒式濃縮機構造及其濃縮原理圖

8.3.4.1 滾筒式濃縮機設計

滾筒式濃縮機於考量下列條件決定之： 1. 台數依處理污泥量，每台處理容量及工作日操作時數決定之。 2. 濃縮機應設二組以上，由具低轉速之濾布或金屬篩網所構成之旋轉主體、攪拌器、支撐架、驅動馬達、減速機組成。

解說：

1. 濃縮機台數依下列公式計算：

$$N = \frac{Q}{q \times t} \quad \text{.....(8-20)}$$

式中：

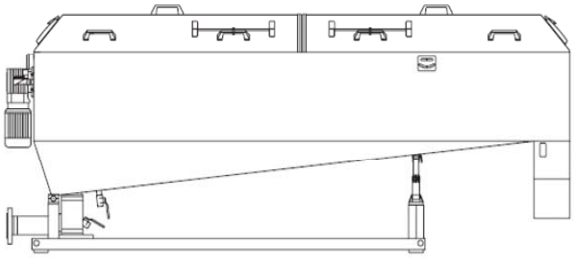
N：台數

Q：處理污泥量(m^3/day)

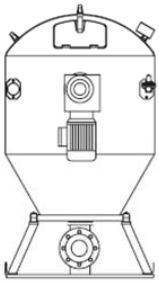
q：1 台每小時處理容量(m^3/hr)

t：工作日 1 天操作時間(hr/day)

2. 污泥進料泵應使用具備定排量功能之污泥抽水機，每組濃縮機各設置一台。應設置加藥設備。滾筒式污泥濃縮機為一機械式污泥濃縮機，如圖 8.13，必須利用驅動馬達驅動旋轉主體，利用低速離心過濾方式，將通過該機組之膠羽污泥中懸浮固體物與液體分離，分離後之濃縮污泥由旋轉機體內側排出，廢液則由包覆於旋轉主體外側過濾排出至旋轉主體外的承載外殼。濃縮機為完全封閉式構造，避免操作時污泥或分離液臭味外溢。滾筒轉速為 5～20 rpm，濃縮後污泥含水率約 96～97%。



正面圖



剖面圖





淡水水資中心例

圖 8.13 滾筒式污泥濃縮機例

8.3.5 浮除濃縮

浮除濃縮為在水中通入或產生大量的微細氣泡，使其附著在懸浮顆粒上，造成密度小於水的狀態，利用浮力作用，使懸浮粒浮至水面，達到固液分離之目的。

浮除過程大致可分為：①首先在廢水中，加入適當的混凝劑與膠凝劑等起泡助劑及空氣，在適當的操作下進行混凝、膠凝反應，使廢水中的微細顆粒凝聚成疏水性的粗大膠羽。②在廢水中產生多量的微細氣泡。③使細小氣泡與膠羽顆粒充份接觸，以形成良好的膠羽+氣泡結合體(比重＜水)，以有效於廢水中浮上分離。

浮除法可用以替代初級沉澱池或生物活性污泥法之二級沉澱池。廢水中之纖維類及其他不易沉澱、妨礙廢水生物處理之物質，其與混凝劑、高分子聚合物反應形成膠羽之後，可使用浮除法使之成為浮渣去除。常壓浮除濃縮系統例，如圖 8.14。

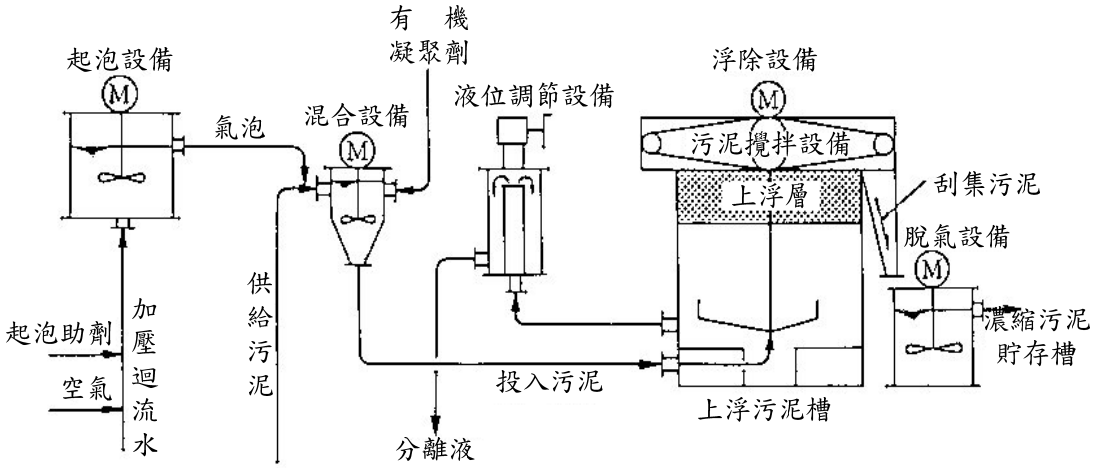


圖 8.14 常壓浮除濃縮系統例

8.3.5.1 常壓浮除式濃縮槽設計

浮除式濃縮槽之設計，依下列考量之：

1. 容量依固體物負荷，以單位面積處理固體物量 25 kg DS/m^2・h 設計，固體物回收率以 95%以上為標準。
2. 槽之有效深度為 4 m。
3. 停留時間依浮除分離面積及有效水深而定。
4. 形狀可為方形、圓形或長方形。
5. 槽數以 2 槽以上，並配置附屬設備。

解說：

1. 容量依固體物負荷 25 kg DS/m^2・h，固體物回收率可達 95%以上。浮除式濃縮槽重要設計參數有三項，分別為空氣/固體比、固體負荷率、polymer 用量，一般氣固比為 0.03～0.05 kg 空氣/kg•DS 為標準。氣固體比公式如下：

$$\frac{A}{Sa}=\frac{1.32\times Cs\times(f\times P-1)\times R}{S\times Q} \quad \text{.....(8-21)}$$

式中：

A＝溶解槽溶解空氣量(g/m^3)

Sa＝處理去除之懸浮固體物質量(g/m^3)

Cs＝相對大氣壓力下之空氣溶解度(mL/L)

S＝廢水中懸浮固體物濃度(mg/L)

f＝空氣溶解效率，0.5～0.8

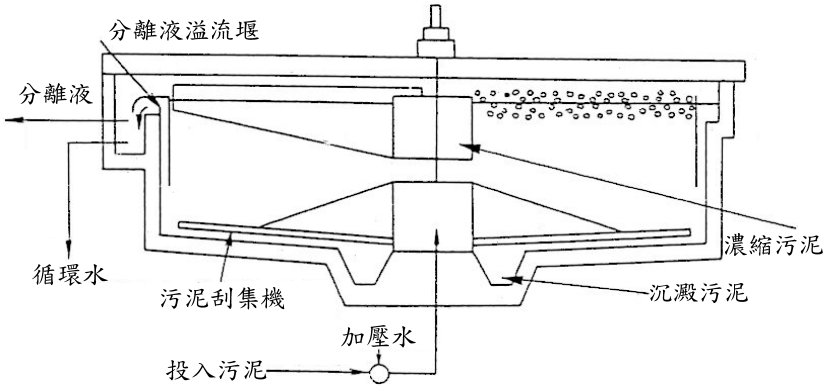
P＝壓力(atm)，一般為 3～5 atm

R＝加壓迴流水量(m^3/hr)

Q＝污水量(m^3/hr)

2. 槽之有效深度為 4～5 m。

3. 停留時間依浮除分離面積及有效水深而定，一般為 2 小時以上。濃縮污泥含水率約 95%。
4. 構造應為具水密性混凝土構造物，並設堰及其他設施，以調整水位。應設有上浮物刮集及沉澱污泥刮除設備，如圖 8.15。加壓泵之出口壓力為 2～4 kgf/cm^2，其加壓水量依氣固比、溶解效率及氣泡放出率而定，一般為投入污泥量的 1.5～3.5 倍。空氣溶解槽之構造應合乎相關規定，以空氣溶解效率高者為例，容量以停留時間 2 分鐘估算，並應設有擴散設備、壓力計、安全閥及檢修人孔。
5. 槽數應為 2 槽以上，並應設置投入污泥貯存槽、上浮污泥脫氣槽、濃縮污泥貯存槽、污泥抽水機、循環水槽等附屬設備。



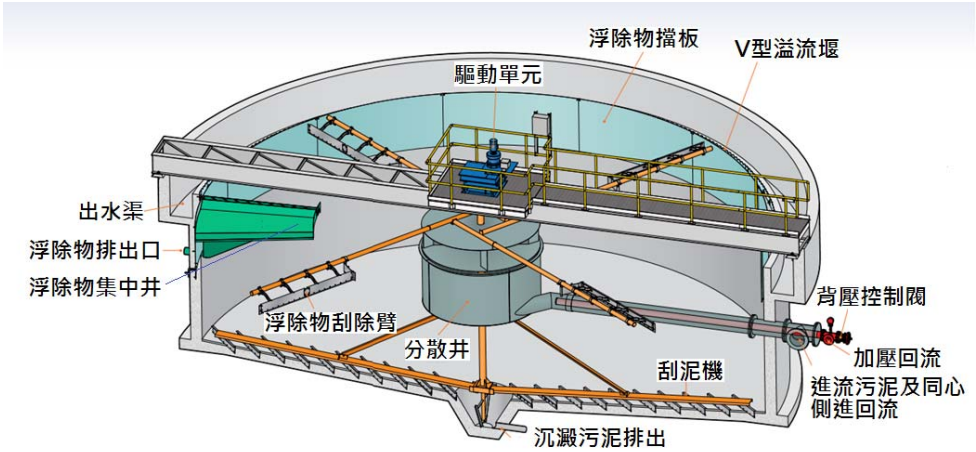


圖 8.15 污泥浮除濃縮槽

8.3.6 各種濃縮設施設計比較

濃縮設施設計之選擇，應就下列比較考量之：
1. 各種濃縮設施之特性、優缺點，加以比較選定。
2. 對於機械式濃縮方式，應就其初設費、操作維護費、濃縮功能及環境影響，加以比較選擇。
3. 依規模考量濃縮方式。

解說：

1. 各種污泥濃縮設備，優缺點相對比較，如表 8.9。
2. 各種機械濃縮方式之特性比較，如表 8.10。
3. 依污水處理廠規模，原則上小規模採用重力式或直接脫水，中大規模採用機械式。

表 8.9 污泥濃縮設備優缺點相對比較表

	重力式濃縮	帶濾式濃縮	離心式濃縮	滾筒式濃縮	浮除式濃縮
優點	1. 設備簡易 2. 操作費用低 3. 操作簡易 4. 兼具污泥貯存功能 5. 無需加藥調理 6. 動力消耗低	1. 可調整功能 2. 污泥濃縮效果佳 3. 污泥適用性廣	1. 佔地面積小 2. 可調整功能 3. 對廢棄活性污泥效果佳 4. 無臭味問題 5. 可無需加藥調理 6. 固體濃縮功能佳	1. 初設費低 2. 動力消耗低 3. 固體捕集率高	1. 對廢棄活性污泥效果佳 2. 在負荷降低時，無需加藥調理
缺點	1. 有臭味問題 2. 污泥濃縮功能不佳，固液分離效果低 3. 土地需求高	1. 濾帶壽命較短 2. 需加藥調理 3. 有臭味問題 4. 濾帶清洗需反洗水量	1. 初設費及動力消耗高 2. 維護工作複雜 3. 較適合連續式操作 4. 操作技術稍高	1. 需加藥調理，且對不同藥劑敏感度高 2. 有臭味問題	1. 動力消耗高 2. 固體濃縮功能較差 3. 有臭味問題 4. 與其他機械濃縮比較，佔地面積大

表 8.10 機械式濃縮方法之比較

	帶濾式	離心式	滾筒式	浮除式
初設費	＋	－	△	△
操作維護費(含加藥需求)	＋	△	△	－
濃縮功能	＋	＋	△	△
臭味問題(需加蓋除臭)	△	＋	＋	－
動力需求	＋	－	△	△

註： ＋：較優　　△：中等　　－：較差

8.4 污泥消化處理

污泥消化處理在於促使污泥穩定化，其處理方式有污泥厭氧消化及污泥好氧消化。

8.4.1 概說

1. 污泥厭氧消化基本原理

由污水中分離出的污泥，經由厭氧菌的分解作用達到安定無害的過程，稱為污泥厭氧消化。

厭氧消化之處理過程，可分為酸性醱酵期(水解)、酸性減退期(酸生成)及鹼性醱酵期(甲烷生成)三階段說明之。

污泥厭氧消化為一極其複雜的過程，為 1979 年 Bryant 等學者根據微生物的生物種群，提出的厭氧消化三階段理念，也是一般較為公認的理論模式，三階段厭氧消化的第一階段，在水解與醱酵細菌作用下，將複雜的有機物油脂、木質素、蛋白質與纖維素組成的污泥分解成單醣、氨基酸、低碳脂肪酸及揮發酸與二氧化碳，第二階段是在產氫及產乙酸菌的作用下，將前一階段的產物分解成氫、二氧化碳和乙酸、戊酸、丙酸及乙醇轉化反應式如下：

戊酸的轉化

$CH_3CH_2CH_2CH_2COOH+2H_2O\rightarrow CH_3CH_2COOH+CH_3COOH+2H_2$

丙酸的轉化

$CH_3CH_2COOH+2H_2O\rightarrow CH_3COOH+3H_2+CO_2$

乙醇的轉化

$CH_3CH_2OH+2H_2O\rightarrow CH_3COOH+2H_2$ .....(8-22)

第三階段是通過兩類不同的產甲烷菌的作用，一類把氫和二氧化碳轉化為甲烷，即

$4H_2+CO_2\rightarrow CH_4+2H_2O$ .....(8-23)

另一類對乙酸脫羥產生甲烷，即

$CH_3COOH\rightarrow CH_4+CO_2$.....(8-24)

在厭氧消化的過程中，由乙酸形成的 CH_4 約佔總量的 2/3，由 CO_2 還原形成的約佔總量的 1/3。

由上述可知，產氫產乙酸菌在厭氧消化中具有極為重要的作用，它與水解及醱酵細菌及產甲烷細菌之間存在共生關係，且不斷地提供大量的 H_2 做為產甲烷細菌的能源，以及還原 CO_2 生成 CH_4 的電子供應體。

厭氧性污泥消化，即為於鹼性醱酵期狀態下，在槽內投入污泥，使污泥中有機物成為分離液、安定化污泥及瓦斯之處理方法。

經厭氧消化後的污泥，可達到下列之效果：

(1) 污泥量減約為原來的 1/3～1/5。
(2) 污泥較容易脫水。
(3) 污泥臭味得以減少。
(4) 污泥中病原性生物可以減少，達到衛生安全之目的。

消化過程中所產生的甲烷瓦斯，可供做消化槽加溫及發電之用，消化污泥呈腐植土狀，與堆肥之性質與組成相似，可供做肥料用。

一般厭氧消化產生瓦斯起自 6℃，瓦斯產量隨溫度上升而增加，25～38℃為最適溫度，中溫消化以 37℃左右為最佳。

污泥厭氧消化達到 90%最終產生量所需消化日數，約 20 日左右，依消化溫度而異，最適消化溫度可分為約 30～37℃及約 50～55℃，前者稱為中溫消化，後者即為高溫消化。

高溫消化具有增加瓦斯產生量、提高污泥處理負荷、縮短消化日數等優點，但因對溫度變化甚為敏感，且加溫所需熱量大等不經濟，故採用不多。一般以產生之瓦斯為燃料，採用中溫消化適當溫度 30～37℃。

消化瓦斯產生量，在正常消化狀態下，約為含水率 98%之投入污泥量的 7～10 倍容量。瓦斯的成份依投入污泥之性質而異。熱量為 5,000～5,500 kcal/m^3，但當 5～15 倍之空氣混入時，因瓦斯之閃火點變低，易發生爆炸，故管線及設備需有防爆之考量。

污泥厭氧消化是在密閉槽中進行，消化槽的機能可分為複雜有機物為微生物進行分解的生物化學作用，以及經壓密而進行濃縮脫水的物理作用。

污泥消化中若予以充分攪拌及加溫，可促進生化作用的進行，而物理作用部分並無加溫之必要，經靜置就可達到濃縮之目的。兩種相反條件而在同一環境下消化反應現象，有諸多不妥之處，因此消化過程有分以二段進行，以補救上述缺點。即於第一消化槽進行加溫及攪拌，而於第二槽進行澄清液之分離，即為兩段式污泥消化。

2. 污泥好氧消化基本原理

污泥好氧消化法，為污泥經長時間曝氣，藉好氧性細菌的作用，以分解污泥中的有機物，成為二氧化碳及水，使污泥達到安定化的方法。通常包括污泥曝氣槽及污泥濃縮槽。

好氧消化程序與活性污泥法類似，除以好氧性異營菌穩定系統之有機物外，當可利用的基質耗盡時，微生物即開始內呼吸作用，消耗體內的細胞質，以提供細胞生存所需的能量。一般細胞組織中約 75～80%會氧化成二氧化碳、水及氨，剩餘 20～25%則由惰性成分及非生物分解性的有機化合物組成。在消化過程中，氧化所產生的氨再氧化成硝酸鹽，總反應如下：

$$C_5H_7O_2N+8O_2 \rightarrow 5CO_2 + NO_3^- + 3H_2O + H^+ \quad (8\text{-}25)$$

一般消化日數(曝氣日數)，依台灣南北月平均溫差約 5℃下，可以 10～12 日為標準。所需空氣量按槽容量 1 m^3 約 0.02～0.06 m^3/min，機械曝氣 0.75～0.94(w/m^3)。或依混合污泥之分解狀況約 1.6～1.9 kgO_2/kgVS 分解，有機物減少率約 40%～50%。

好氧消化過程中由於有機物的氧化及有機氨的硝化，因之消化液之 pH 會稍降低。

好氧消化為藉體內呼吸，因此生物可分解物質的減少速度與其濃度成比例。

$$\frac{dS}{dt} = K_dS \quad (8\text{-}26)$$

式中：

S：生物可分解有機物(mg/L)

t：時間(d)

K_d：自行氧化速率(d^{-1})

K_d依污泥性質及濃度而異，而污泥分解依消化日數和濃度而變。

好氧消化一般用於小規模生物污泥之處理，尤其是延長曝氣法等之生物污泥，除可得與厭氧消化同樣較低之揮發性固體物外，其上澄液 BOD 濃度較低，污泥脫水性佳及處置容易均為其優點，但耗費能源較高，且不能回收有用副產物。

3. 污泥消化處理特性比較

厭氧性污泥消化處理與好氧性污泥消化處理，其特性比較如表 8.11。

表 8.11 厭氧性污泥消化與好氧性污泥消化之概略性比較

消化 / 項目	厭氧性消化		好氧性消化
揮發性固體物減少率	較高		稍低
上澄液 BOD 濃度	高		低
最終產物有臭味	有		無
消化污泥脫水性	佳		佳
可回收沼氣	可		不可
設備費	高		低
操作耗能	小		大
消化污泥量(VS/TS)	低		高
溫度影響	加溫	無影響	低溫有影響
	不加溫	有影響	
適用規模	加溫	大	小
	不加溫	中小	

8.4.2 污泥穩定處理設計原則

污泥消化穩定處理，包括厭氧消化及好氧消化，基於節能、創能及操作管理複雜性之考量，其設計規定如下：

1. 污水處理生物反應槽為長時間曝氣處理者，污泥停留時間在 20 日以上者，得免設污泥消化處理設施。
2. 污水處理廠計畫最大日污水量在 5,000 m^3 以下，採活性污泥法污泥停留時間大於 20 日或生物膜法方式且無初沉污泥者，得不設消化槽。污泥停留時間在 20 日以下者，採好氧消化或尹霍夫槽消化。
3. 污水處理廠計畫最大日污水量在 5,000(含)至 10,000 m^3 者，污泥得以好氧消化處理或厭氧性無加溫消化處理。
4. 污水處理廠計畫最大日污水量在 10,000(含)至 30,000 m^3 者，污泥得以厭氧性無加溫消化處理，並回收沼氣利用。惟若採加溫消化，應就經濟性及操作複雜性做效益比較。

5. 污水處理廠計畫最大日污水量在 30,000(含)m^3 以上者，污泥得以厭氧性加溫消化處理，並回收沼氣利用。

解說：

說明小、中、大不同規模處理設施之污泥穩定處理原則。惟若初期流量低，或污泥量尚未到一定規模，經評估後，則可考量暫依替代之穩定方式處理之。

8.4.3 厭氧性加溫消化

污泥厭氧消化有一段消化及二段消化。原則上，中規模者以一段消化，大規模者採一段消化或二段消化。

一段消化為污泥在經重力濃縮或機械濃縮後，投入消化槽濃度較高的污泥，經污泥消化後，未經固液分離，直接進行脫水的消化方式。由於其未先經固液分離，因之脫水分離液濃度較高，直接送回水處理系統再處理，負荷也較大。

二段消化係投入之污泥，在第一段槽進行加溫及生物反應，而於第二段槽進行濃縮及固液分離，則其分離出之消化污泥濃度一般較高，而分離液迴流至處理系統再處理，其負荷也可較低，一段及二段體積比為 2：1，而以二座為一段消化，另座為二段消化併列運轉，二段槽若設有加溫及攪拌設備，也可依修繕之需要，調整為一段槽操作。

8.4.3.1 有效容量及消化污泥量

有效容量之計算及消化污泥量，可依下列計算決定之： 1. 污泥消化槽有效容量，依污泥投入量及消化日數定之。 2. 消化污泥量，依投入污泥中之有機成分、消化率及污泥含水率定之。

解說：

1. 消化槽容量，依投入污泥量、消化日數及消化污泥量計算之，一般消化槽之有效容量(含第 1 段及第 2 段消化)可以下式計算之。

$$V = Q_1 \cdot T \quad \text{.....(8-27)}$$

式中：

V：消化槽有效容量(m^3)

Q_1：投入污泥量(m^3/d)

T：消化槽污泥消化停留日數(日)

一般分解污泥中有機物之中溫消化溫度為 30～37℃，總消化日數 20～30 日，其中第二段以分離為目的採 10 日左右，但其容積亦可以有機負荷量推算之。

為考慮上部有浮渣及底部沉積砂土，除應以漏斗狀外，並考慮其有效容積。消化槽內徑一般以小於 30 m，側深為內徑的一半，槽底坡度≧0.3 為宜。

2. 消化污泥量及消化率

消化污泥量依投入污泥之有機成分、消化率及污泥含水率而定。消化污泥量，依消化率可以下式計算之。

$$Q_2 = Q_1 \times (\frac{100\text{-}MC_1}{100\text{-}MC_2}) \times (1\text{-}\frac{VS_1}{100} \times \frac{D}{100}) \quad \text{.....(8-28)}$$

式中：

Q_2：消化後污泥量(m^3/d)

Q_1：投入污泥量(m^3/d)

MC_1：投入污泥之含水率(%)

MC_2：消化污泥之含水率(%)

VS_1：投入污泥之有機成分(%)

D：消化率(%)

消化率是指投入污泥中之有機物因氣化而減少之比率，依消化日數、消化濃度、投入污泥之有機成分而異，一般可以下式計算之。

$$D = (1 \cdot \frac{FS_1 \times VS_2}{FS_2 \times VS_1}) \times 100 \quad \text{.....(8-29)}$$

式中：

FS_1：投入污泥之無機成分(%)

VS_1：投入污泥之有機成分(%)

FS_2：消化後污泥之無機成分(%)

VS_2：消化後污泥之有機成分(%)

依「日本下水道協會，下水道施設計画・設計指針と解説，2019 年版」指出，一般中溫若消化溫度 30～37℃，消化日數 20～30 日，而投入污泥之有機成分在 70%左右，則約可獲消化率 50%左右。高溫消化溫度 50～55℃，消化日數 10～15 日。

消化污泥含水率約 96.0～97.5%，與投入之污泥濃度相近。

消化的固體物之減少率約為

$$Y_0 = \left(\frac{VS_1}{100} \times \frac{D}{100}\right) \times 100 \quad \text{.....(8-30)}$$

式中：

Y_o：固體物減少率(%)

一般經驗上消化槽之容量，則以污泥投入量 Q_1 及消化污泥量 Q_2 以下式計算之。

$$V = (\frac{Q_1 + Q_2}{2}) \times T \quad \text{.....(8-31)}$$

至於無加溫消化日數，「日本下水道協會，下水道施設計画・設計指針と解説，2019 年版」指出，應考量冬季溫度決定日數 60～90 日，惟台灣終年污泥溫度多在 15℃以上，故建議以 50～60 日為考量。

8.4.3.2 形狀、槽數

消化槽之形狀、槽數，考慮下列決定之：

1. 形狀為圓筒形、蛋形或龜甲形，其內徑及有效水深之比，以能達到槽之攪拌效果為考量。
2. 槽底坡度於考量防止砂土淤積決定。
3. 全期原則上 2 系列以上。

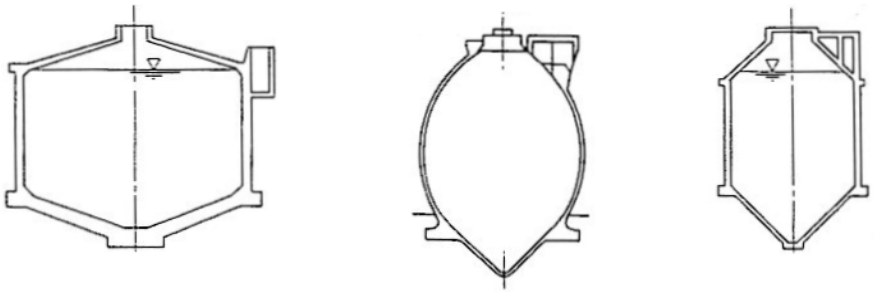
解說：

1. 污泥消化槽的形狀，於考量污泥攪拌，槽內溫度均一化，加溫、保溫及構造上之經濟性、安定性為考量，一般使用圓筒形，但從攪拌上看，國外則以蛋形較佳而漸普及。另龜甲形除具上述優點外，其施工較容易為其優點。

圓筒形者其內徑以 10～30 m，內徑及側深(有效水深比以 2：1 為宜。若以消化瓦斯攪拌，為確保攪拌效果，其水深以最低 4 m 為宜)。

蛋形者，其槽側為球殼構造，頂部及底部幾成直線，因之單位容積之表面積較小，熱損失也可較小，且較不淤積砂礫為其優點。

龜甲形者，其內徑及有效水深比以 1：1 為宜。污泥消化槽之形狀例，如圖 8.16。消化槽之體型比較，如表 8.12。



(1)圓筒形　　(2)蛋形　　(3)龜甲形

圖 8.16 污泥消化槽之形狀例

表 8.12 消化槽體型之比較

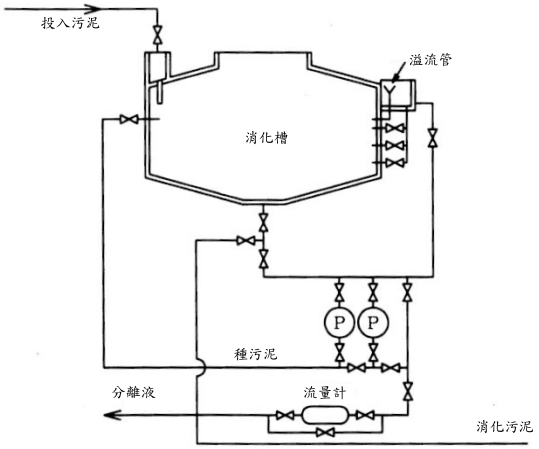
類別	圓筒形	蛋形	龜甲形
構造經濟性	佳	差	可
污泥攪拌效果	差	佳	可
內徑/有效水深	2/1	—	1/1
槽底坡度	30/100	1/1	1/1

2. 為防止砂土淤積，以維持有效容量，槽底坡度以圓筒形 30/100 以上，蛋形及龜甲形則為 1：1 之坡度為宜。
3. 考量消化方式的轉變，消化槽修理、檢查及清理等需要，消化槽全期以 2 系列以上為宜。

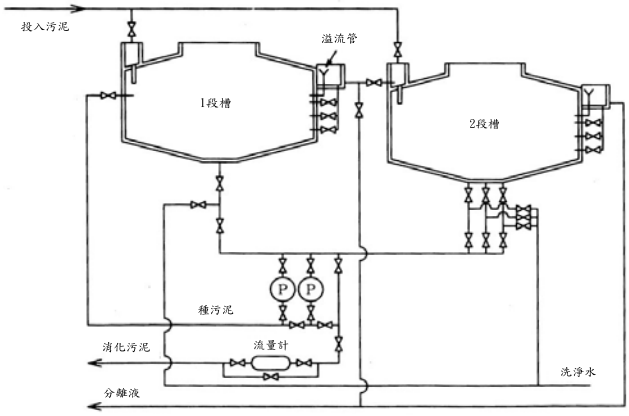
二段消化之第一、二段容量比以 2：1，若消化槽設置 3 座，則 2 座做為第一消化操作，另 1 座做第二段操作，且 3 座之容量皆為相同為宜。

一段(單段)及二段厭氧消化處理系統流程如圖 8.17。另厭氧消化槽如圖

8.18 及圖 8.19。



(1)一段槽



(2)二段槽

圖 8.17 一段及二段式厭氧消化處理流程示意圖

8.4.3.3 構造

厭氧消化槽的構造，於考量下列決定之： 1. 構造應為具氣密性、水密性及耐腐蝕性之鋼筋混凝土或鋼構構造。 2. 可防止熱能的擴散。 3. 頂端與液面間之間隔，能使瓦斯配管及污泥飛散不會波及之高度。 4. 二段式消化槽其位差，應為可自第一段直接重力排泥進入第二段消化槽。

解說：

1. 污泥消化槽之構造，與其他污水處理設施相同，應為具水密性的鋼筋混凝土或鋼構構造等為準的設施。且厭氧消化槽因有瓦斯產生，以能防止外漏甚至發生爆炸之危險，依相關法令規定。槽體內部應塗以環氧樹脂，有玻璃觀察孔處應以陶瓷等施工，並能達到防止硫化氫等氣體的腐蝕。槽體的頂蓋有固定式及浮動式，如圖 8.20。
2. 為減少槽體熱能的溢散，對其周壁及蓋等皆以輕骨材混凝土等熱傳導較小的

材料為覆蓋或雙重壁之保溫構造。

周壁覆以適當厚度的覆土保溫，而以黏土質較少透水性較佳的砂土為主。蛋形槽的壁面因呈球狀，故施以發泡樹脂保溫材後，再塗防水材，並為保持防水及防氣候變化。

3. 頂端與液面的空間，應考慮瓦斯配管及污泥攪拌之飛濺不影響之距離，同時考量污泥投入及抽出時因液位變動，造成對槽內產生壓力的緩衝效果，如圖 8.21。屋頂與液面之距離 A，依蓋的構造而異，一般取 2 m，平頂者可酌量減少，另排氣及作業孔之內徑 B，以能考量維護人員出入及設備的搬運所需空間，消化槽體頂蓋型式及特性比較，如圖 8.21 及表 8.13。



圖 8.18 厭氧消化槽(淡水水資源回收中心例)



圖 8.19 厭氧消化槽(迪化污水處理廠例)

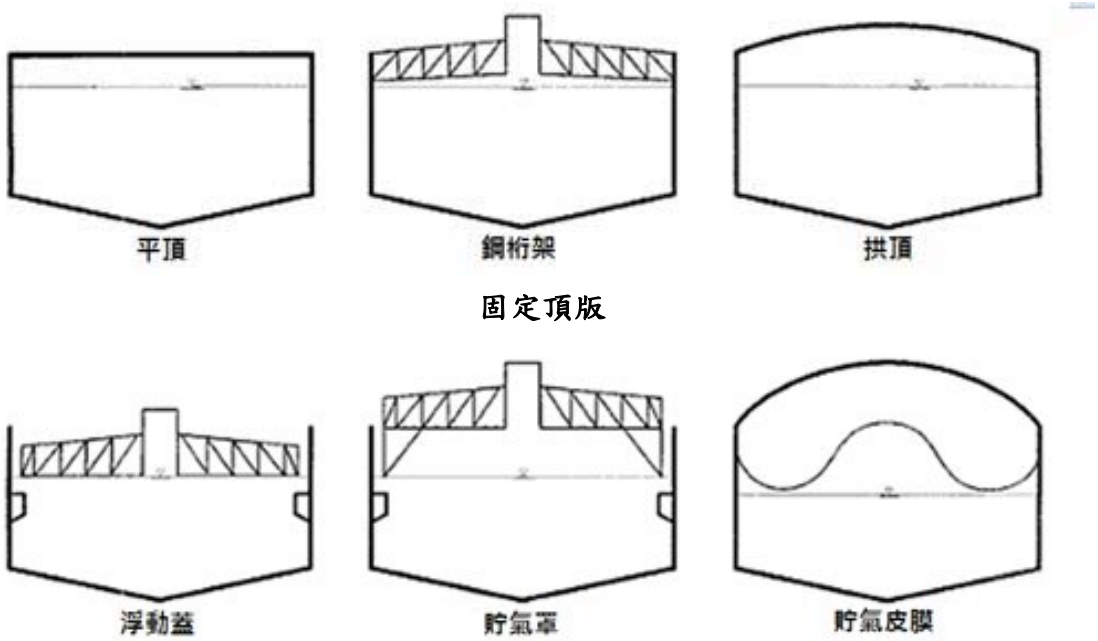


圖 8.20 消化槽頂蓋型式示意圖

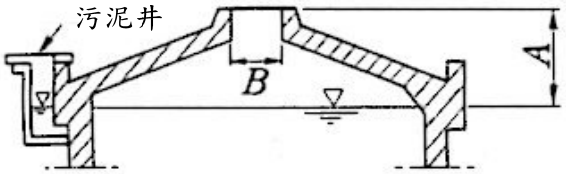


圖 8.21 消化槽頂蓋例

表 8.13 消化槽頂蓋型式之比較(參考)

類別	固定蓋	浮動蓋	說明
穩定性、氣密性	佳	較不穩定	浮動蓋因頂蓋移動，介面磨耗，且瓦斯存於槽內受頂蓋壓力，瓦斯處於中高壓狀態易造成瓦斯洩漏
建設及維護成本	低	高	浮動蓋造價比固定蓋高
系統多少	少	少	截至 2017 年 12 月底為止，固定蓋國內有實績者已有三家以上，浮動蓋僅一家，浮動蓋在歐洲早已停產不再使用
使用壽命	長	中	國內固定蓋均正常使用中，有些已超過 10 年(如迪化廠)
綜合比較			原則上，固定蓋較簡易，而浮動蓋之操作水準較高

8.4.3.4 攪拌設備

攪拌設備的設置，於考量下列決定之：

1. 能達槽內污泥的充分攪拌，以達溫度的均勻化及污泥均質化。
2. 若以瓦斯攪拌，其攪拌用則可以消化所產生的瓦斯進行。
3. 對消化瓦斯應設置有安全裝置。

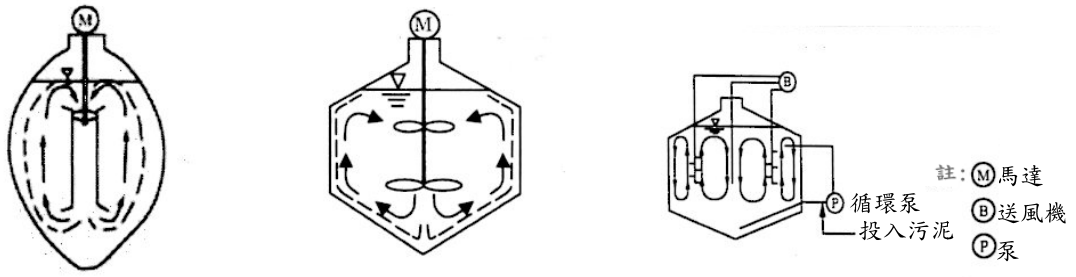
解說：

1. 攪拌之目的，除達到槽內溫度的均勻化及污泥的均質化，尚可防止浮渣結硬，並提升消化效率促使消化氣體分離。

   另二段消化槽為破碎浮渣，也應設置表面攪拌設施。

   攪拌方式有機械攪拌及瓦斯攪拌。機械攪拌有強攪拌力的導流管(draft tube)、攪拌機、螺旋槳攪拌機及於槽外部以抽泥循環泵，將污泥以機械攪拌方式，如圖 8.22。也有螺旋槳式+循環泵複合攪拌方式。

   導流管攪拌機及螺旋槳攪拌機，兩者因驅動軸係由大氣中貫穿槽體，致常有瓦斯外洩，應加注意。污泥循環泵的攪拌一般係與瓦斯攪拌併用。



(1)導流管方式　　(2)螺旋槳方式　　(3)循環泵抽泥方式

圖 8.22 機械攪拌方式示意圖

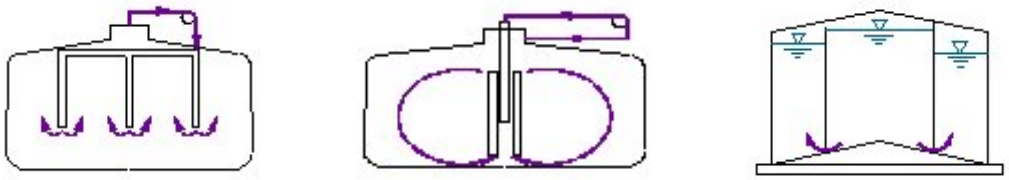
   瓦斯攪拌是將槽內瓦斯層的瓦斯抽出加壓後，再灌入槽內，使污泥上升流動混合，其優點：

   (1) 即使槽內液位變動，仍可確保一定攪拌力。

   (2) 槽內並沒有機械攪拌設備，故障少，但不容易掌握攪拌用瓦斯量。

   一般機械濃縮所投入之污泥，其濃度達 5%以上，污泥的黏性也高，就必須考慮以機械攪拌。

2. 瓦斯攪拌，攪拌瓦斯之灌入方式，包括有無噴出口、構造及導管之不同，其方法也異，而攪拌方法有全部攪拌及部分攪拌。一般多採全槽攪拌，攪拌消化之氣體量，依槽直徑 0.3～0.6 m^3/min・m 進行。二段消化槽浮渣的破碎為短時間，可以一次消化槽攪拌瓦斯的一部分或備用機械運轉。瓦斯壓縮機其吐出壓較低，可用魯式型，若吐出壓高且量大者，則多用 vane 式壓縮機。
3. 攪拌用瓦斯壓縮機，其抽壓之瓦斯為高溫且可燃性者，吸入口應有沉澱祛水器(sediment trap)之瓦斯過濾及逆火防止器等，吐出側若使用潤滑油，則應有油污分離器，若為水封式則應有乾燥分離設備及安全閥等安全裝置。消化槽之瓦斯及水位差壓攪拌方式，如圖 8.23。其比較如表 8.14。



1.瓦斯攪拌-注入管　　2.瓦斯攪拌-中間管　　3.水位差壓攪拌

圖 8.23 消化槽瓦斯及水位差壓攪拌方式示意圖

表 8.14 消化槽攪拌方式之比較

比較項目	機械式	水位差壓式	瓦斯攪拌	說明
系統功能	可	可	可	三種型式去除率約 40～60%
能源消耗	中	小	大	瓦斯攪拌動力大，壓差式平時免攪拌動力，機械式尚可
操作難度	中	易	中	差壓式僅設定內外槽壓力差即可操作，惟無上澄液排出口且槽係平底式
維護難易	易	易	難	瓦斯攪拌設備多，且因瓦斯貯存於中高壓狀態，系統維護不易

8.4.3.5 加溫設備

加溫及鍋爐設備，於考量下列決定之：

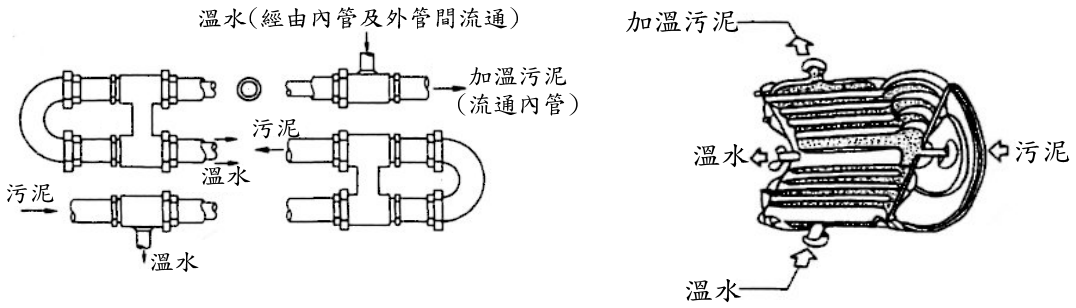
1. 加溫有直接加溫及間接加溫方式。
2. 加溫所需熱量，包括投入污泥所需熱量、槽體、配管等散熱等。
3. 鍋爐、溫水熱水器之容量，於考量污泥消化槽最大加熱量、運轉時間及台數決定之。惟原則上鍋爐及加熱器各為 2 台。
4. 鍋爐構造依相關法令規定。
5. 蒸氣配管等以保溫材包覆，蒸氣管應設有蒸氣祛水器(steam trap)及真空破壞閥，為防止蒸氣壓入管發生異音及振動，應考慮噴入深度及設備形狀。

解說：

1. 加溫式厭氧消化槽，一般係以消化瓦斯為燃料，供作鍋爐或熱水器熱源。若設有消化瓦斯發電，也可以利用其廢熱，以熱交換器供作槽內加溫。

   直接加溫係以蒸氣噴入槽內的污泥中，與污泥充分攪拌，設備簡單，操作容易，為一般使用最多者，惟本法必須補充蒸氣之補給給水和鍋爐設施。

   間接加溫方式則以熱交換器從槽外部，以雙層管式或螺旋型式熱交換器，雙層管是將污泥流入內管，溫水於外管流動循環之構造。螺旋式則為圓管內以傳熱板呈螺旋狀，使溫水與污泥以同一方向流動，以達傳熱效果，如圖 8.24。



(1)雙層管熱交換器　　(2)螺旋式熱交換器

圖 8.24 熱交換器例

熱交換器所需面積依下列計算

$$A = \frac{Qmax}{K \times \Delta T} \times 1.2 \quad \text{.....(8-32)}$$

式中：

A：熱交換器傳熱面積(m^2)

Qmax：消化槽污泥加溫最大熱量(W)(kcal/h)

K：總傳熱係數($W/m^2 \cdot K$)(kcal/h・m^2)(K)(℃)

△T：對數平均溫度差($\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{2.3\, log(\Delta T_1/\Delta T_2)}$)(K)(℃)

$\triangle T_1$：熱交換器入口之溫水溫度 Tw 及出口之污泥溫度 Ts'之差(K)(℃)

$\triangle T_2$：熱交換器入口之溫水溫度 Tw'及出口之污泥溫度 Ts 之差(K)(℃)

1.2：總傳熱係數之餘裕量

若污泥循環量為 Qs(m^3/h)，溫水循環量為 Qw(m^3/h)，則 Ts'及 Tw'可由下式求之：

$$Ts' = Ts + \frac{Qmax}{Qs \times 1{,}000} \quad \text{.....(8-33)}$$

$$Tw' = Tw + \frac{Qmax}{Qs \times 1{,}000} \quad \text{.....(8-34)}$$

(Tw 為 60～90℃時，Tw-Tw'約為 10～15℃)

2. 加溫所需熱量的計算，包括投入污泥所需熱量、槽、加溫配管等從外界散出的熱量，皆需加計，其計算：

(1)投入之消化污泥，欲提高至消化溫度所需熱量為

$$Q_1 = CQs(T_D - T_S) \times 1{,}000 \quad \text{.....(8-35)}$$

式中：

Q_1：投入污泥之溫度提高至消化溫度所需熱量(W)(kcal/h)

C：污泥之比熱(≒1 kcal/kg)(℃)

Qs：投入污泥量(m^3/hr)

T_D：污泥消化溫度(K)(℃)

T_S：投入污泥之溫度(K)(℃)

(2)由槽向外界所散出之熱量 Q_2(kcal/h)

若消化為單段消化，則消化槽周圍之地面及大氣中所散發之熱損失量單一槽，熱交換器對外界所散發的熱量，可由式(8-36)及式(8-37)求之。

①單一槽所散發熱量

$$Q_2=[\Sigma K_1 \cdot A_1(T_D-T_A)+\Sigma K_2 \cdot A_2(T_D-T_B)]\times 1.2 \quad (8\text{-}36)$$

式中：

Q_2：單一槽所散發熱量(W)(kcal/h)

A_1：槽壁面等之放熱面積(m^2)

A_2：槽底部壁等之放熱面積(m^2)

K_1：槽壁面、蓋等之總傳熱係數($W/m^2 \cdot K$)(kcal/h·m^2)(℃)

K_2：槽底部壁等之總傳熱係數($W/m^2 \cdot K$)(kcal/h·m^2)(℃)

T_A：大氣溫度(K)(℃)

T_B：土中之溫度(K)(℃)

②熱交換器等所散發熱量

$$Q_3=\Sigma K \cdot A(T_m-T_A)\times 1.2 \quad (8\text{-}37)$$

式中：

Q_3：熱交換器所散發熱量(W)(kcal/h)

A：熱交換器放熱面積(m^2)

K：熱交換器之總傳熱係數($W/m^2 \cdot K$)(kcal/h·m^2)(℃)

T_m：鍋爐、溫水熱水器出、入口之平均溫度(K˚)(℃)

1.2：各式中之 1.2，為溫水、蒸氣及加溫污泥配管之放熱所考慮之值因之污泥消化槽之加熱量及鍋爐、熱水器所需發熱量，則依式(8-38)及式(8-39)求之

$$Q_{tm}=Q_1+Q_2 \quad (8\text{-}38)$$

$$Q_{max}=Q_1+Q_2+Q_3 \quad (8\text{-}39)$$

式中：

Q_{tm}：污泥消化槽之加熱量(W)(kcal/h)

Q_{max}：污泥消化槽加溫用鍋爐、熱水器熱量所需發熱量(W)(kcal/h)

Q_1：污泥之加溫所需熱量(W)(kcal/h)

Q_2：污泥消化槽等所散發熱量(W)(kcal/h)

Q_3：熱交換器等之散發熱量(W)(kcal/h)

污泥消化槽之加溫所需熱量，通常要有餘裕量之考量，故中溫消化訂為 30～37℃，而能依投入污泥的負荷設定消化溫度為宜。

保溫材若為兩種以上組合時，其總熱傳導率如表 8.15。

又污泥之加溫、槽體等之散熱量，最低溫之月平均值(1～2 月)為

外氣溫度，同時設定投入污泥溫度及土中之溫度並進行計算。

保溫材若由兩種以上組成時之總傳熱係數，可由式(8-40)計算之(圖 8.25)。

$$\frac{1}{K}=\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}+\frac{1}{\alpha_2} \quad \text{(8-40)}$$

式中：

K：總傳熱係數(W/m^2•K)(Kcal/h•m^2，℃)

α_1：消化瓦斯或污泥之熱傳達率(W/cm^2•K)(Kcal/h•m^2，℃)

α_2：空氣或土中之熱傳達率(W/m^2•K)(Kcal/h•m^2，℃)

λ_1、λ_2：保溫材之熱傳導率(W/m•K)(Kcal/h•m，℃)

δ_1、δ_2：保溫材之厚度(m)

保溫材之熱傳導率(λ)及熱傳達率(α)，示如表 8.15 及表 8.16。

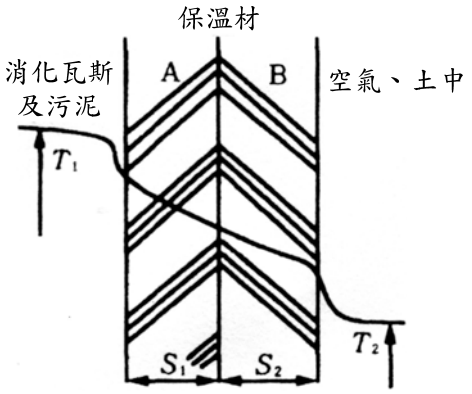


圖 8.25 散熱狀況

表 8.15 保溫材之熱傳導率

項目	熱傳導率 {W/(m・K)} {kcal/(h・m・℃)}	項目	熱傳導率 {W/(m・K)} {kcal/(h・m・℃)}
磚砌	0.5(0.58)	空氣	1.0～2.0
水泥面	1.2(1.4)	土	1.2～2.3
輕混凝土	1.2(1.4)	壁－空氣	20(33)
鋼筋混凝土	1.4(1.6)	壁－地下水	500(582)
混凝土塊	1.0(1.2)	壁－高水分污泥	300(349)
玻璃壁	0.04(0.05)	壁－濕土壤	5(6)
骨材(砂)	0.32(0.37)		

表 8.16 熱傳達率

項目	熱傳達率 {W/(m^2 · K)}{kcal/(h · m^2 · ℃)}
壁-空氣	23(20)
壁-地下水	582(500)
壁-高水分之污泥	349(300)
壁-濕土土壤	6(5)

3. 蒸氣鍋爐之容量，依污泥消化槽最大加熱量、運轉時數及台數決定之。台數於考量故障及定時維修，以 2 台以上為宜。鍋爐容量計算：

$$Ge = \frac{G(I-I')}{L} \quad \text{.....(8-41)}$$

式中：

Ge：蒸氣鍋爐容量(相當蒸發量)(kg/h)

G：常用蒸發量(吹入蒸發量)($\frac{Qmax}{I-I_1}$)(kg/h)

Q_{max}：蒸氣鍋爐必要發生熱量(W)(kcal/h)

I'：消化污泥之焓(J/kg)(kcal/kg)

I：蒸氣鍋爐常用壓力時發生蒸氣之焓(J/kg)(kcal/kg)[蒸氣鍋爐常用壓力為 0.2～0.5 MPa(2～5 Kcal/cm^2]

I_1：蒸氣鍋爐用水的焓(J/kg)(kcal/kg)，其值與當地最低溫時蒸氣鍋爐用水水溫同一數值，例如溫度 15℃為 63 kJ/kg(15 kcal/kg)

L：大氣壓下 100℃之水的蒸發潛熱(2,255 kJ/kg)(538.8 kcal/kg)

飽和蒸氣焓如表 8.17。

表 8.17 飽和蒸氣焓

溫度(℃)	絕對壓力(KPa)	焓(kj/kg)
100	101.325	2676.0
110	143.27	2691.3
120	198.54	2706.0
130	270.13	2719.9
140	361.38	2733.1
150	476.00	2745.4
160	618.06	2756.7
170	792.02	2767.1
180	1,002.7	2776.3
190	1,225.1	2784.3
200	1,554.9	2790.9

溫水熱水器之容量，以其單位時間所發生熱量表示之：

$$G_H = \frac{Qmax(I_H-I_1)}{I_H-I_1} \quad \text{.....(8-42)}$$

式中：

G_H：溫水熱水器之容量(W)(kcal/h)

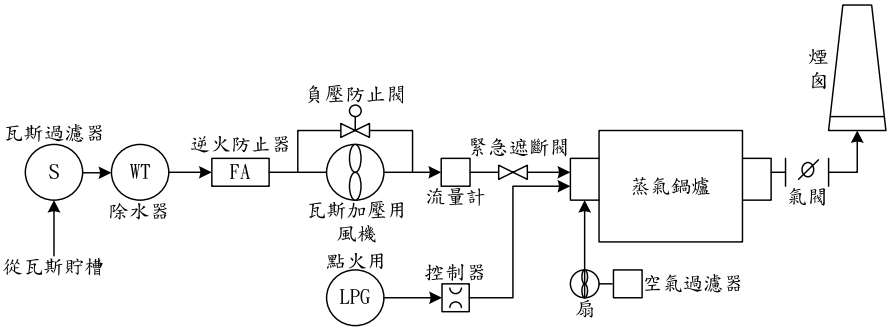
I_H：溫水熱水器使用溫度之焓(J/kg)(kcal/kg)

蒸氣鍋爐為簡單的爐筒煙管式，以能獲得熱效率較好，相當於蒸發量 10 t/h 量的使用較廣。

溫水熱水器因係低壓，其一部分的組成或拆解及搬運容易，並以鋼製為宜。

蒸氣鍋爐、溫水熱水器之燃料，原則上以使用消化瓦斯，不足時再以燃油補充，故宜裝設可切換的雙燃料燃燒機(Burner)。

4. 鍋爐構造及系統配置例，依相關法令製造及操作管理，蒸氣鍋爐系統之流程如圖 8.26。



S：strainer

WT：water trap

FA：flame arrester

LPG：Liquefied Petroleum Gas

圖 8.26 蒸氣鍋爐系統圖

5. 蒸氣鍋爐、熱交換器、蒸氣管、溫水管等，必須以保溫材覆蓋，盡可能減少散熱損失。蒸氣管因要去除冷凝水，需設置蒸氣祛水器及防止逆流之真空破壞閥。

溫水管需設膨脹槽及空氣閥。加溫配管依溫度變化而會膨脹、收縮，造成伸縮或偏心，故應於適當位置設置伸縮管。

蒸氣鍋爐水系統之流程如圖 8.27。

蒸氣吹入管，因其蒸氣吹入為不連續性，故會發生異音或振動，因之蒸氣吹出部應予固定，並維持流速在 20 m/s 以上。吹入管的側面也應設置噴出口，以分散蒸氣的吹入及擴散，並設置於液面下 4 m 以上為考慮。又吹入管的直徑以 50～80 mm，厚度以 40 mm 程度，其前端為防止破裂，應以環管補強為宜。

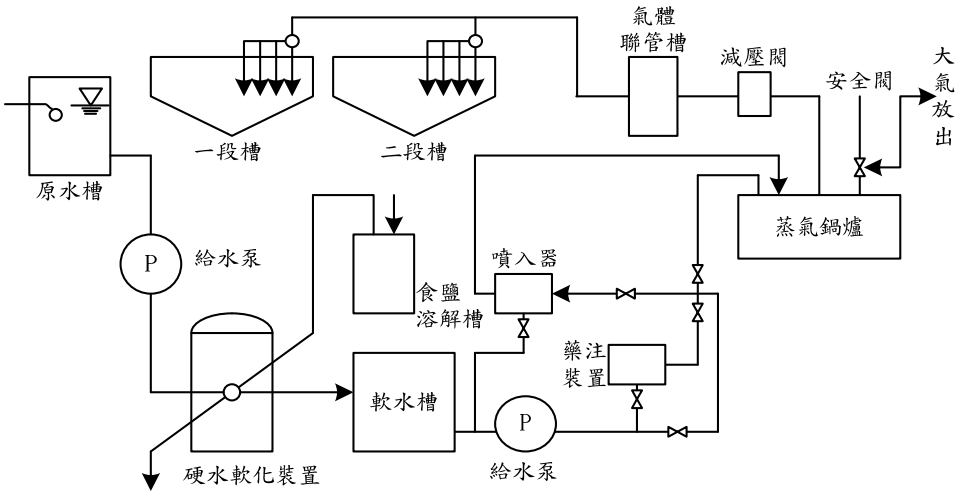


圖 8.27 蒸氣鍋爐水系統圖

8.4.3.6 污泥投入及抽出

污泥之投入及抽出，於考量下列決定之： 1. 濃縮污泥投入管，應設置於可使槽內均一擴散之位置。 2. 污泥抽泥管之管徑 150 mm 以上。 3. 污泥管之設置，應以能達到防止阻塞。 4. 污泥抽泥閥等，應有停電之對應措施。

解說：

污泥配管流程例，如圖 8.17。

1. 污泥的投入應能與消化槽內的污泥充分混合，一般為自槽的頂部或側壁直接或經接受井投入。
2. 為防止污泥管阻塞，其管徑應在 150 mm 以上，並設置以處理水或澄清液(設有二段消化時)，以壓送污泥抽水機可反洗的配置，以供備用。

   消化污泥因很容易沉澱於槽的底部，因之污泥抽泥管應設於槽中央的底部，而可均質抽泥，同時考慮防止砂土堆積，而設置備用管，依次自動輪流操作抽泥。
3. 消化槽污泥的抽出，原則上藉水位差進行，但為考慮阻塞必須以強制抽泥或設反洗泵備用，若以泵抽泥則應設備用泵。

   另抽泥管及澄清液輸送管，因液中含磷在高 pH 下磷酸銨鎂結晶(MAP)，致容易造成阻塞，故應採用較不會有 MAP 附著之合成樹脂管等材質，以避免 MAP 的附著，並考慮以清洗較方便的構造。

   若為二段消化，應配置自二段迴流至一段之配置，以便一段槽污泥的植種污泥的補給，或暫時性消化污泥的移送貯留之對應，並能兼供抽泥、移送、反洗及植種污泥抽送之用。

   自一段槽移送污泥至二段槽，原則上以溢流管(或受井)移送、受井經大氣中，就會有浮渣，故仍要配置連接管可直接移送之措施。
4. 消化污泥抽泥閥等自然重力流下的閥類，在操作中若發生停電，則有無法關

閉導致污泥溢出，故應考慮設置可逆作動之緊急空氣閥切斷閥。

8.4.3.7 澄清液之抽出及處理

污泥消化槽內固液分離後，澄清液之抽出及處理，於考量下列決定之：
1. 澄清液之抽水管，以能抽出不同深度的澄清液配置。
2. 澄清液以直接或經處理後，迴流至調整池、沉砂池或初級沉澱池所需之配管配置。

解說：

1. 二段消化的第二段消化槽，其底部為高濃度的消化污泥，水面為懸浮固體物，但其中內層則為 SS 很低的澄清液，依消化良好程度不同，其厚度也異，而可於槽深一半以上，設置 3～4 個水深不同的抽水管，並自其中選擇最好的深度抽出之。

   二段槽澄清液的抽出，係以溢流管(或受井)抽出。污泥抽入二段槽，澄清液的抽出及消化污泥的抽出，可考慮以控制液位運轉，設置迴轉溢流管的配置，其管徑以 150 mm 以上為宜。

   槽間各種移送流動配管，如圖 8.17。

2. 澄清液量比起流入污水量少很多，但濃度高，可能對水處理設施造成瞬間負荷，原則上為引入沉砂池或初級沉澱池，也可由污水廠內的排出管引入沉砂池。也可引入反應槽供生物處理程序之利用。

   澄清液因含高 COD、磷及氮，也可考慮以 MAP 法結晶回收氮、磷肥。

8.4.3.8 瓦斯收集及貯留

消化瓦斯的收集及貯留，於考量下列決定之：
1. 瓦斯的收集，必須考慮消化狀態、污泥投入、消化污泥的抽出及澄清液(二段消化者)的抽出，皆會影響消化瓦斯量及瓦斯壓的變動。
2. 拱頂貯氣室(gas dome)及瓦斯貯存，應考量安全裝置。
3. 應設脫硫設備。
4. 瓦斯貯存量是依用途而定，而以貯存半天份以上。
5. 瓦斯貯存槽的構造，依相關法令。
6. 設置剩餘瓦斯燃燒設備。

解說：

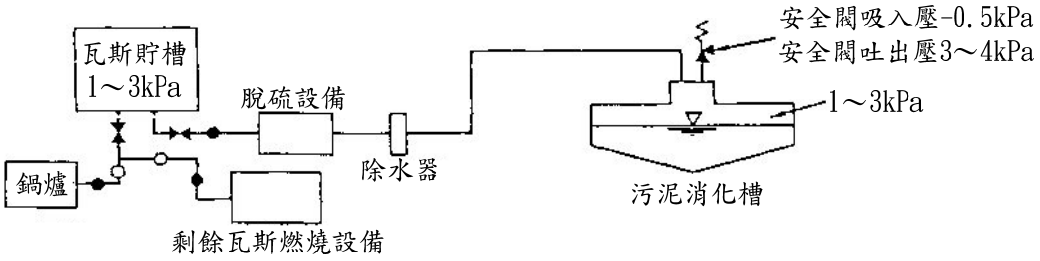
消化瓦斯量，依消化進行是否良好，在良好狀態下，每投入 1 kg 污泥有機物，會產生約 0.5～0.6 Nm^3 之消化瓦斯。消化瓦斯成分，依消化狀態而異，如表 8.18。若混入 3～15 倍空氣，可能會有爆炸危險，其低位發熱量 21,000～23,000 kJ/Nm^3(約 5,000～5,500 kcal/Nm^3)。

瓦斯收集及貯存設施容量，於考慮消化產生量的變動，以投入污泥之有機物每 1 kg 以 600 NL 估計之。

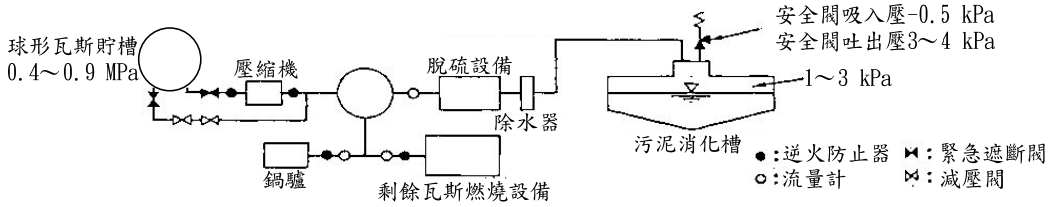
表 8.18 消化瓦斯成分例(%)

甲烷	二氧化碳	氫	氮	硫化氫
60～65	33～35	0～2	0～3	0.02～0.08

1. 除考慮消化瓦斯量的變動，應對其有爆炸危險控制，故消化槽的瓦斯壓，應經常維持在 1～3 kPa，如圖 8.28。



低壓瓦斯貯存方式



中壓瓦斯貯存方式

圖 8.28 瓦斯收集及貯存系統例

消化瓦斯配管與瓦斯貯槽間的管徑以 100～300 mm 為標準，並考量凝結水及煙霧之附著，造成瓦斯產生量變動應以安全閥設定壓力等，又當抽出消化污泥時，以及澄清液抽出時，會有異常液位的下降，而為避免造成槽內產生負壓，而從安全閥頻繁吸入空氣，槽相互間及瓦斯貯存槽間的配管的管徑，必須考慮其損失壓力決定之。

瓦斯槽出口側瓦斯管的管徑，從安全上考慮，瓦斯的流速多定為 3～5 m/s，同時考量瓦斯管中之飽和蒸氣壓，會因溫度的下降，使得管內有凝結水，而影響消化瓦斯的流動，因之其配管應依其流向配置成 1/200 之坡降，而在低點處、上升部之前將冷凝水排出之考量。

2. 要從消化槽收集消化瓦斯，可於槽上部中央設一拱頂貯氣室(gas dome)，並從該處收集同時加以計量。該貯氣室的瓦斯壓應以不變動之下，為避免發生高壓或負壓，可設置如機械式瓦斯安全閥例，如圖 8.29。

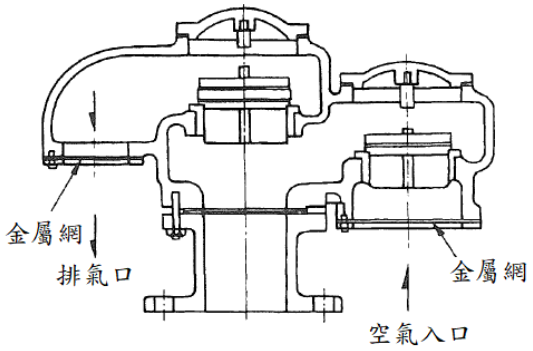


圖 8.29 機械式瓦斯安全閥例

又為安全閥的點檢，可設置手動閥。球形(中壓)瓦斯貯槽，若其緩衝槽容量少，當抽消化污泥時，消化槽內會呈負壓，因之槽與瓦斯貯槽間應設置負壓防止閥的連結管。瓦斯貯槽除設安全閥外，也應設地震時關閉所需的緊急切斷閥。若未有瓦斯槽及脫硫設備備用單元者，則應設置瓦斯繞流配管。

3. 消化瓦斯之硫化氫濃度約 200～800 ppm，若與水肥混合處理約 1,000～2,000 ppm，為無色氣體，呈腐敗臭，比重為 1.2，具毒性，尤其在濕潤狀態存在 600 ppm，很快就會使金屬腐蝕。

燃燒時會產生腐蝕性很強的亞硫酸氣體，故一般消化瓦斯必須加以脫硫處理。

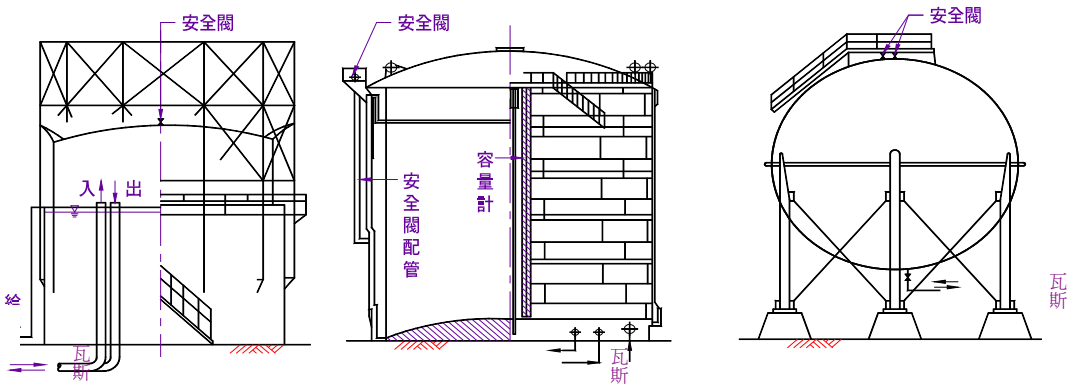
消化瓦斯的脫硫，主要是考慮硫化氫的腐蝕性及燃燒時產生硫磺酸化物，故應降至 500 ppm 以下，一般消化瓦斯經鹼性洗淨及脫硫劑等處理過後，其硫化氫含量可降至 10 ppm 以下。又硫化氫在濕潤狀態較乾燥狀態，其腐蝕性更強，因之應裝設祛水器，以去除消化瓦斯中的水滴，以排出瓦斯管內的凝結水。

硫化氫含量，依職安法規定，應為 10 ppm(15 mg/Nm^3)，為防止其外洩，對於室內的通風排氣應加注意。

脫硫設備因脫硫劑的更換及維修需要，應有 2 座為宜。

脫硫設備有乾式及濕式兩種，詳細請參閱本解說 9.5 節臭氣處理設施。

4. 瓦斯產生量，因污泥投入、抽出操作而增減，為保留均衡而需設置瓦斯貯槽。消化槽數若多，其總產生消化瓦斯量變動較少，則貯槽容量則以一天產生量的半日量以上。若槽數少或消化瓦斯有所利用時，則其貯存量依用途決定之。
5. 瓦斯貯槽有低壓式或中壓式。低壓式內壓為 1～3 KPa(100～300 mmAq)，中壓式(球形)為 0.4～0.9 MPa(4～9 kg f/cm^2)。一般都使用低壓式，大規模則有用中壓式。瓦斯貯槽設置槽數以 2 槽以上為宜。瓦斯貯槽種類如圖 8.30。瓦斯貯槽的設置必須依據相關法令，如「公共危險物品及可燃性高壓氣體製造儲存處理場所設置標準暨安全管理辦法」等規定進行設計施作及管理。



(a) 濕式(低壓)　(b) 乾式(低壓)　(c) 球形(中壓)

圖 8.30 消化瓦斯貯存槽之型式

6. 未利用的消化瓦斯，從安全及減少溫室氣體的減量不可直接排出，必須加以焚燒，焚燒設備設置應考慮安全場所，並配有自動切斷閥及逆火防止器等。

剩餘瓦斯的燃燒設備，有爐內燃燒型及爐外燃燒型，後者有於導管內燃燒，使外部看不到火焰，惟不易區分。燃燒時供給燃燒器的瓦斯壓力，依供給爐的空氣壓力之有無加壓而不同。

瓦斯貯槽即使在維修中，消化瓦斯仍必須直接從污泥消化槽導入燃燒，因之以不加壓消化瓦斯的機種為宜，惟因設備會較大，故大規模廠之瓦斯則多使用加壓機種。剩餘瓦斯燃燒設備的容量，於考慮消化瓦斯產生量及消化瓦斯利用等變動因素決定之。

8.4.3.9 配管室

污泥消化槽之配管室，於考量下列決定之：

1. 配管室以收納消化槽附隨的管閥類、熱交換器、循環泵、瓦斯壓縮機及其他設備，而設置於消化槽鄰接處。
2. 具耐火性、防止消化瓦斯外洩、火災等安全構造。
3. 考慮瓦斯壓縮機的噪音。
4. 室內的通風、排氣及防止淹水等，皆應依相關法令加以考慮。

解說：

1. 由於配管室應鄰接消化槽設置，因此可以利用消化槽外壁設置配管室，較為經濟，配管上也較方便。污泥消化槽為 2 座時，普通則設於兩槽間，但應注意不均勻沉陷問題，又因管閥類及機械設備之點檢、維修、拆出或搬運之需要，應有較寬廣的工作空間，甚至備有推車，以利點檢、修理。
2. 壁、屋頂及窗等，應為不燃性材料，且為耐火構造物，並為防止各不同配管瓦斯外洩，除應配置自動偵測警報裝置外，電氣設備原則上應為防爆型。
3. 瓦斯壓縮機的噪音大，依周邊環境，其換氣導管中應設有消音器，專用室也應設置，通常因除點檢以外，並無人在內，故室內應有簡易的吸音設施。
4. 配管室因消化槽壁及瓦斯壓縮機之排放熱量比較大或瓦斯外洩時，該等應迅速以換氣排除。且因有臭氣問題，必要時應考量脫臭。

配管室之地面排水，應有坡度、排水溝及集水井之設置，以達容易排水，有需要時應設置排水泵。

8.4.3.10 附屬設備

附屬設備包括浮渣之防止及抽出設備、人孔、取樣口、溫度測定設備、液位計、觀察窗、保護管及避雷針。

解說：

1. 浮渣

主要為投入污泥中含有油脂、纖維物質、塑膠、毛髮等，因消化瓦斯的排出而上浮所形成。浮渣的產生皆於液面層，會阻礙消化瓦斯的產生而抑制消化，同時也會減少消化槽有效容量，並影響澄清液分離，因之應避免浮渣的形成而予破碎。

二段式消化，因其第一段消化槽皆在持續攪拌，因之浮渣形成較少，惟第二段消化槽為處於靜態狀態較易發生浮渣，因之浮渣的防止，以第二段槽為主要重點。

浮渣的破碎方式有下列各項：

(1)污泥投入前再一次經設置攔污除渣。

(2)以消化瓦斯攪拌液面部分。

(3)以機械設備攪拌液面，防止浮渣層形成。

2. 人孔

為搬出槽內部堆積的砂土及浮渣之用，於槽的蓋或壁面所設置之作業用人孔。

人孔為以硬脂塑膠的襯墊予以氣密固定，並藉水封兼做安全裝置。小容量的消化槽，則以瓦斯拱頂(gas dome)兼做人孔用，在該區的配管，可與人孔的側壁相連接，人孔蓋應做成可單獨開啟者。

3. 採樣設備

為確認消化程度、浮渣堆積及槽內的混合狀態，而於蓋之下配內徑 400 mm 的管，至低於液位約 1.0 m，而可從該管內以採樣瓶採樣，澄清液及消化污泥的採樣設備例，如圖 8.31。

抽泥管、澄清液輸送管及瓦斯管等，也皆應設置採樣之配管，尤其污泥採樣用配管，應設於洗淨及排水方便之處。

4. 溫度量測設備

由於溫度對消化效果影響很大，因之必須設有溫度量測設備，以備經常量測，一般溫度量測設備多設置於槽的側壁、中段及下段設置鞘管，而於其內設置電阻式測溫計。

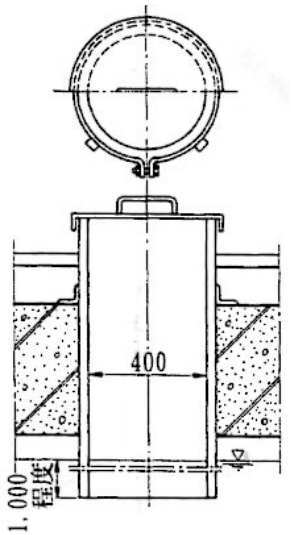


圖 8.31 採樣設備(例)

5. 液位計

液位計為自槽之上部至液中配置瓦斯氣體捕集管(purge pipe)，將消化瓦斯捕集，而測其背壓的瓦斯捕集方式，或於槽的側壁裝設套管或以污泥管之支管，藉量測水深的壓力之壓差式。

瓦斯氣體捕集方式常因有污泥或泡沫等造成阻塞，故應設有瓦斯風機及水洗淨設備。

常有因停電造成液位計錯誤操作，以致波及設備的誤操作，為防止誤操作，工業計測器的各種電源，皆應考慮以不斷電系統供應。

6. 觀察窗

為觀察槽內部的液位，可於槽的頂部設置 2 處觀察窗。其內部備置清掃用滑動片(wiper)及噴嘴，並可使用採光器照射內部的構造。

7. 保護管

蒸氣吹入管、瓦斯吹入管等，配置於槽內的污泥中之配管，皆設於保護管內，以便在管理上可單獨抽出。

8. 避雷針

為保護瓦斯貯槽及污泥消化槽，於其保護範圍內設置，其構造依相關標準，但若在海岸地區應考慮鹽害對策。

8.4.3.11 防蝕

防蝕措施，於考量下列決定之： 1. 在脫硫前的消化瓦斯及與污泥接觸的各種材質，皆應具耐腐蝕性。 2. 塗裝除需充分處理底層，而可使用合成樹脂的耐熱及耐藥品塗料。

解說：

由於消化瓦斯之溫度及濕度皆高，且含有硫化氫致具強腐蝕性，尤其是與消化瓦斯及含有消化瓦斯之污泥相接觸的部分，應考量防蝕。

1. 與消化瓦斯及污泥相接觸的配管、機器之材質，應以不鏽鋼、環氧樹脂粉體

塗裝等處理的鋼管，或至少應使用碳鋼時，也應施以內襯充分考慮防止腐蝕。法蘭式接頭，應使用具耐腐蝕的合成橡膠、天然橡膠。

2. 與消化瓦斯及污泥相接觸部分之塗裝，應考慮耐熱性及耐藥品性，而用環氧樹脂系的塗料塗裝，並為防止瓦斯槽因太陽熱照射致溫度上升，其外面也應塗以吸收太陽熱較低之顏色為宜。

8.4.3.12 消化瓦斯利用

消化瓦斯利用考量如下：
消化瓦斯可收集做為污泥消化、熱源、發電、污泥餅烘乾等利用。

解說：

對於大規模的污水處理廠，由於其污泥量多，其消化過程所產生的瓦斯量亦多，應加以回收，藉消化瓦斯驅動內燃機動力發電，消化瓦斯利用應先處理去除硫化氫及矽氧烷，以保護內燃機，而內燃機排出廢能由廢熱鍋爐回收，內燃機冷卻水之熱也可加以回收，提供消化槽加溫之利用，約 30%消化瓦斯的能源可轉變為電力，其電力約為全廠總消耗電力的 20～30%，消化瓦斯之發電流程如圖 8.32。另消化瓦斯除供發電、動力及餘熱利用外，也可供污泥乾燥、焚化等燃料利用，必須從投資、操作及平衡上加以充分檢討。

消化瓦斯之利用，其相關設備及照明等，皆應有防爆之考量。

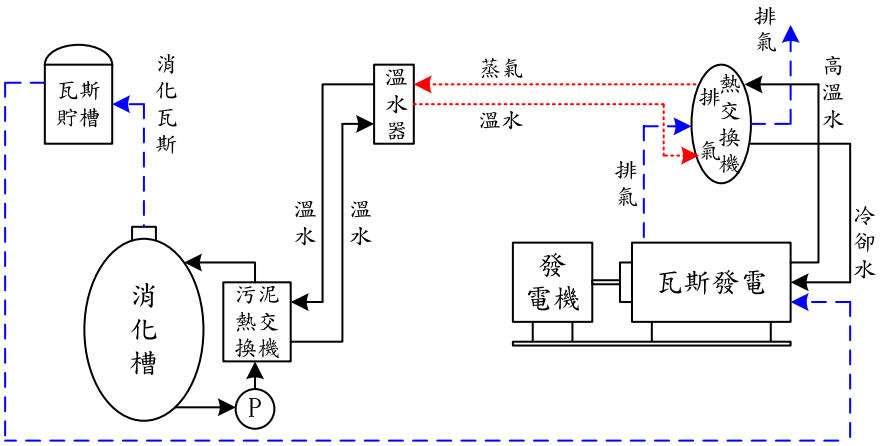


圖 8.32 消化瓦斯能源回收

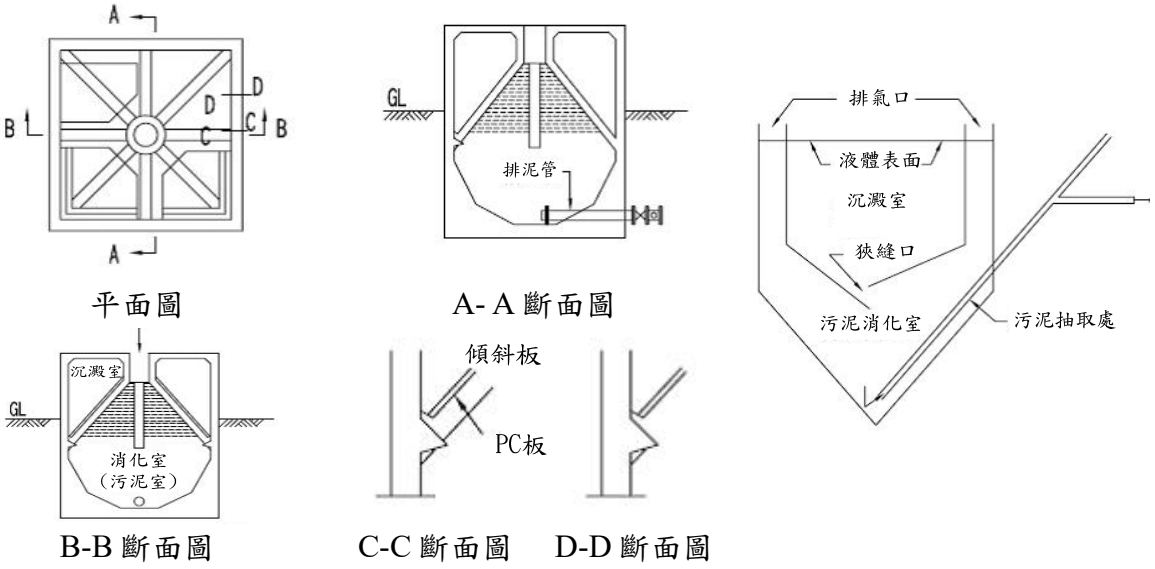
8.4.3.13 尹霍夫槽設計

尹霍夫槽考量下列設計之：

1. 尹霍夫槽為具沉澱污泥貯留，消化(厭氧無加溫消化)等機能之設施。可做為替代初級沉澱池之水處理設施。也可將廢棄生物污泥導入沉澱、貯留及消化。
2. 尹霍夫槽形狀為正方形或圓形，分沉澱部、浮渣部及污泥貯留部，水流為平行流或放射流，與普通沉澱池相同，並設有進出流設備及排氣設施，如圖 8.33。另相關設計可參考「小規模污水下水道設計及解說」第 7.5 節。

解說：

1. 因本設計及解說之對象規模較小規模為大，故深度採 10 m，單位容量採較小每人 60 公升最小管徑採較大，沉澱部容量以一日最大污水量決定之，沉澱時間 2～3 小時，平均流速以 30 cm/min 為標準。有效水深 1.5～4.5 m，含污泥貯留部以不超過 10 m 為原則，底部隔壁之坡度為 1.2：1～1.5：1。
2. 沉澱部與污泥貯存部之整流斜板孔隙有效間隔為 15～20 cm，其前端重疊之水平距離為 15～20 cm，漏斗之坡度 1.7：1，原則分設 3 個以下。污泥貯留部有效容量以每人 60～80 公升計算之，依水質、氣溫而異。浮渣部寬度最小 60 cm，其面積為污泥貯留部面積的 20～30%。污泥貯留部設置污泥排泥管，最小管徑 200 mm。



平面圖　A- A 斷面圖　B-B 斷面圖　C-C 斷面圖　D-D 斷面圖

(A)　(B)

圖 8.33 尹霍夫槽示意圖

8.4.4 厭氧無加溫消化

厭氧無加溫消化槽之構造及消化日數，依下列決定之：

1. 消化日數以 50～60 日設計之。
2. 構造物應為水密性鋼筋混凝土或鋼構構造，原則上應加蓋。
3. 設置攪拌及浮渣破除設備，投入前生污泥與植種污泥應有混合設備。

解說：

厭氧無加溫式的消化，因未加溫，溫度較低，故消化所需日數較長，致消化槽容量較大。

又消化因受氣溫的影響，若所在位置之溫度較低，則所需消化日數也更長，僅能適用在小規模之投入污泥，惟因其可節能且操作維護較易，為其優點。

厭氧無加溫消化槽，其設計除本節列舉事項外，餘依有加溫厭氧消化相關設計準則。

1. 消化日數原則上為 50～60 日，設置 2 座，可為一段式或二段式配置。
2. 污泥無加溫消化槽為防臭氣外散及收集瓦斯之需要，原則上應設置固定蓋，但若對周邊沒有影響，則可不加蓋。設置固定蓋時，必須同時設置消化瓦斯收集及貯存槽，以及瓦斯焚燒器。
3. 應有攪拌均質及浮渣破除設備。

8.4.5 好氧性污泥消化槽設計

好氧性污泥消化槽於考量下列條件設計之：

1. 槽之容量依污泥停留日數 10～12 日決定，原則上為單槽設計。
2. 槽之形狀原則上為矩形，可依地形配置之，如圖 8.34。矩形槽之寬應為水深之 1～2 倍，有效水深 3.5～5 m。

解說：

1. 台灣南北氣溫在冬季最低月平均相差 5℃，其影響有限，故可以停留日數 10～12 日設計。利用散氣式曝氣或機械曝氣設備之配置，曝氣所需空氣量，按槽容量 1 m^3 約 0.02～0.06 m^3/min，機械曝氣 0.75～0.94(W/m^3)，有機物減少率約 40～50%。污泥之進流及排出方法等依活性污泥生物反應槽規定。曝氣設備之清水測試傳氧效率應達 20%以上。
2. 消化槽應設置消泡設備。好氧性污泥消化一般用於中小規模廠生物污泥之穩定，除揮發性固體物減少率較厭氧消化為低之外，上澄液 BOD 濃度較低，污泥脫水性良好、操作較容易，以及最終產物處置容易等均為其優點，但耗費能源較高，且不能回收利用消化瓦斯、固肥、液肥及產生污泥量較多等缺點。



圖 8.34 好氧消化槽(大溪污水處理廠例)

8.5 污泥脫水

污泥脫水之目的，在於減少污泥體積，使污泥容易搬運。

污泥脫水的方法，包括機械脫水及露天曬乾兩大類。機械脫水可在短時間內處理大量污泥，所需用地面積較小。露天曬乾易受天候影響，且所需面積較大，需時也很長，因其不具經濟性，惟仍可在偏遠之小規模地區使用。

大部分的污泥，主要為膠凝狀之微粒子，具複雜的化學構造，與水之親和力甚強，若直接予以機械脫水，不易分離。因此於脫水設備脫水前必須調理污泥之物理化學性質，使其易於脫水。調理方法包括添加氯化亞鐵等無機性凝聚劑、高分子凝聚劑、或以熱處理、凍結融解等方法改善之，惟目前多以添加高分子凝聚劑為主。

機械脫水的方法，目前較多使用者，為帶濾脫水、離心脫水、壓濾脫水及螺旋壓濾脫水等方法。於下列分項討論之。

8.5.1 凝聚劑調理設備設計

污泥脫水，一般使用高分子凝聚劑調理，所用之藥劑為能促使污泥收斂性較大者，以增大其凝聚力，使粒子粗大化，提高污泥之脫水性。

至於高分子凝聚劑，一般有機性污泥大都使用陽離子性之 Polyacrylamide 及 Polyamide 系者。無機性污泥則用陰離子性 Acrylate Ester。高分子凝聚劑，以重合度高者較具凝聚性。高分子凝聚劑添加量過多時，將因粒子表面過剩吸著高分子層呈親水性，致凝聚效果反而降低。

污泥高分子凝聚劑調理設備，依下列決定之：

1. 高分子調理系統，應完整配置。
2. 污泥脫水機調理用高分子凝聚劑，其添加量以固體物量的 0.5～1.5%估計之。藥劑貯存量依計畫添加量，應有 7 日以上之貯存量。

解說：

1. 污泥高分子凝聚劑調理設備包含有進料機、加藥泵、攪拌機、給水設備及填料台等，其配置如圖 8.35。
2. 依高分子凝聚劑(polymer)所具有的性質，可區分為陽離子性凝聚劑、陰離子性凝聚劑、非離子性凝聚劑及兩性凝聚劑四類，高分子凝聚劑溶液濃度 0.2～0.3%。凝聚劑溶解槽應有防蝕設施，並設置攪拌設備。加藥機應為可調整藥量加藥機，並可正確計量者。污泥混合方式流程如圖 8.36，但亦可將初沉污泥直接與廢棄污泥同時投入混合污泥貯槽，再以濃縮機濃縮，而不設置重力濃縮槽。高分子凝聚劑注入設備流程如圖 8.37。兩種藥劑調理流程，示如圖 8.38。

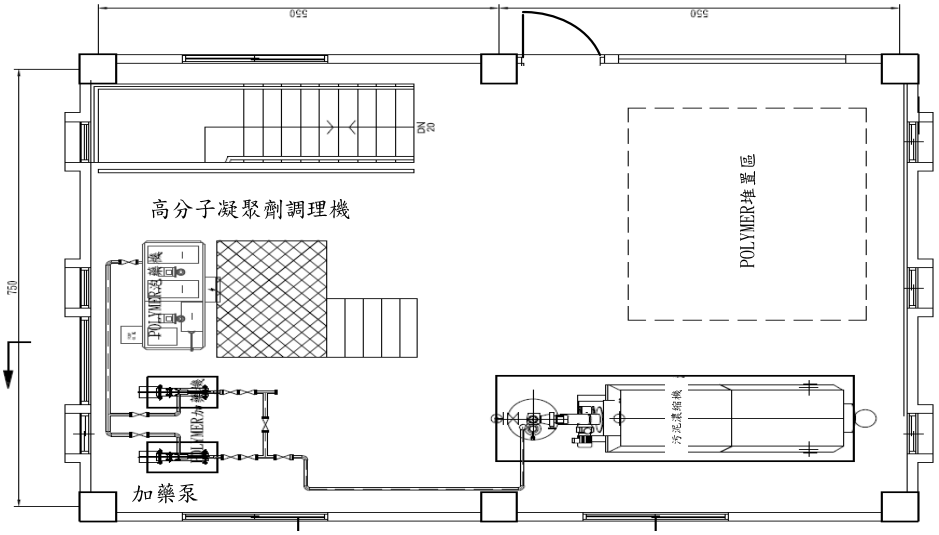




圖 8.35 高分子凝聚劑調理機及濃縮機配置室(例)

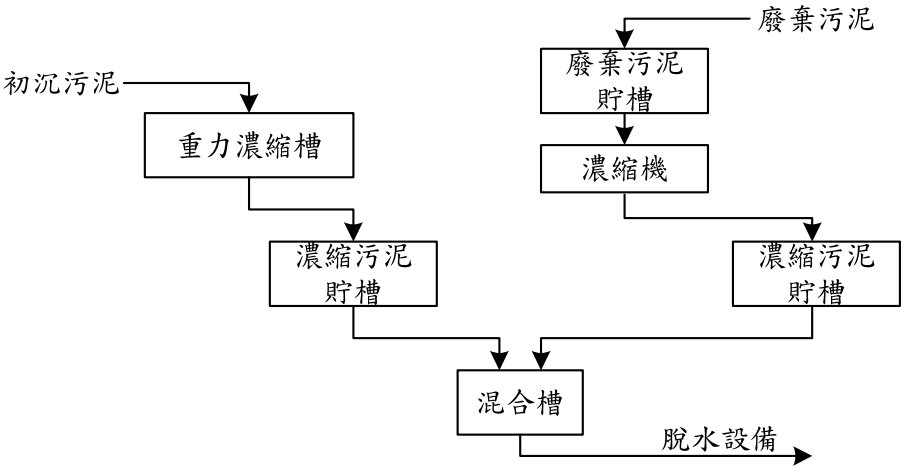


圖 8.36 污泥混合方式流程(例)

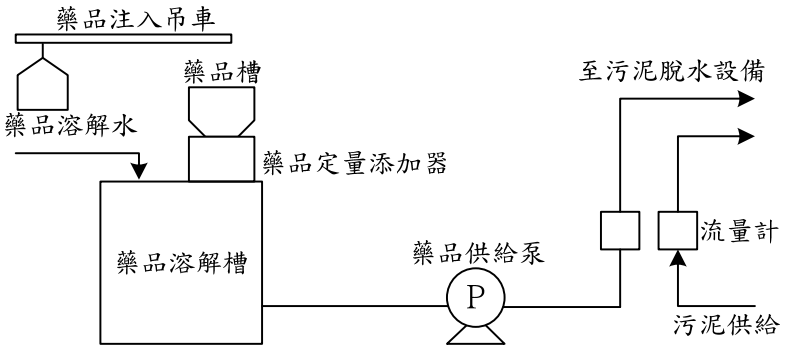


圖 8.37 高分子凝聚劑注入設備流程(例)

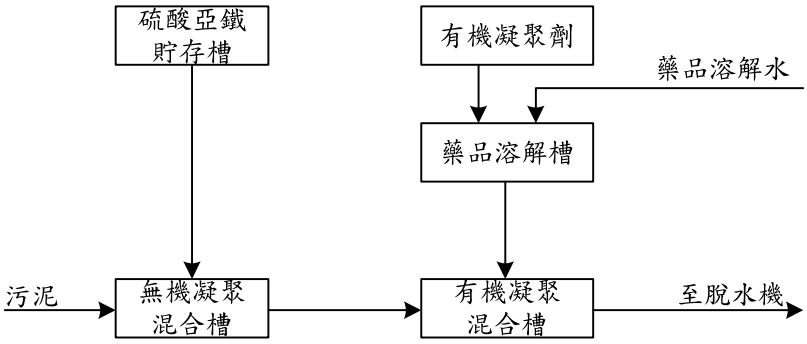


圖 8.38 兩種藥劑調理流程(例)

8.5.2 帶濾式脫水機

在一系列滾輪之濾布上，因濾布連續移動，藉上下濾布之滾輪轉壓脫水壓榨，污泥膠羽間之水分及附著之水分被脫水，泥餅由刮泥板刮離，濾布經水洗以免阻塞後繼續循環脫水。輪帶速度以 1～3 m/min 連續脫水，脫水能力高。帶濾式脫水機之脫水性，對於 TVS 較高(65～75%)之污泥，高分子凝聚劑添加率為固體物之 0.5～1.5%，其過濾速度在單位輪帶寬度下以脫水污泥固體物量之約 90～120 kg/m·h，依污泥性質而定，脫水污泥餅含水率 70～80%。帶濾式脫水機之容量，一般以輪帶寬表示之。

帶濾式脫水機考量下列決定之：

1. 容量(濾布有效總寬度)及台數，依處理污泥量、過濾速度、工作日操作時數決定之。
2. 過濾速度：
   重力濃縮混合污泥　110～140 kg/m・hr
   機械濃縮混合污泥　140 kg/m・hr 以上
   重力濃縮厭氧消化污泥 80～100 kg/m・hr
   機械濃縮厭氧消化污泥 80～110 kg/m・hr
3. 原則上應為 2 台以上(含備用)。

解說：

1. 脫水機濾布有效總寬度及台數，依下列計算之：

$$B = \frac{1{,}000\left(1-\frac{W}{100}\right)\times Q}{V\times t} \quad \text{.....(8-43)}$$

式中：

B：必要有效濾帶寬度(m)

W：污泥含水率(%)

Q：處理污泥量(m^3/day)

V：過濾速度(kg/m・hr)

t：工作日 1 天操作時間(hr/day)

$$N = \frac{B}{b} \quad \text{.....(8-44)}$$

式中：

N：台數(台)

b：每台有效濾帶寬度(m /台)

2. 過濾速度應符合規定範圍值。過濾速度及濾布的張力及軌跡應為可調節者。

濾布經足夠的加壓清洗水水洗以免阻塞，經水洗後的濾布繼續循環脫水。濾布應為不易阻塞，且可耐久使用者。

3. 原則上應為含備用 2 台以上應有防臭氣集氣罩、臭氣收集及除臭設備。脫水機室、污泥搬送設備及脫水污泥貯留設備清洗設備等，帶濾式脫水機設備及系統流程例，如圖 8.39 及圖 8.40。

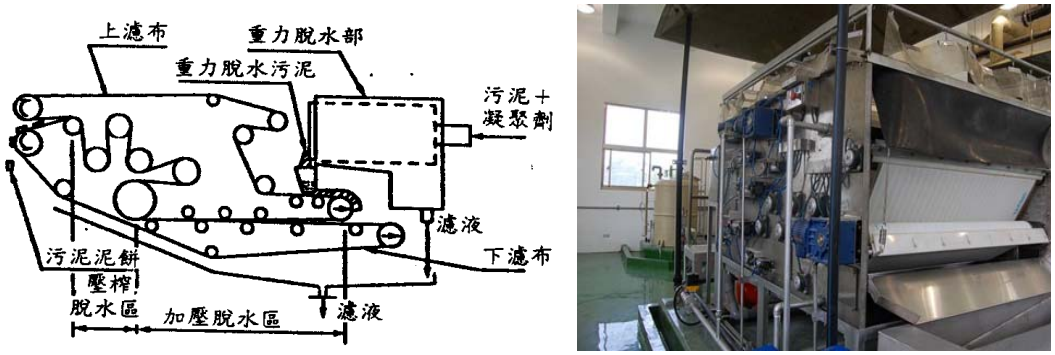


圖 8.39 帶濾式脫水機設備(例)

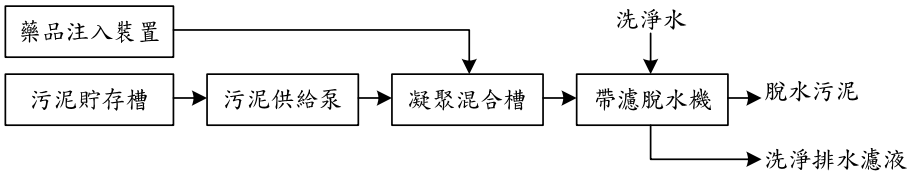


圖 8.40 帶濾式脫水機脫水系統流程(例)

8.5.3 離心式脫水機

利用離心力使污泥中的水分分離的方法是為離心脫水，下水污泥之離心脫水，一般使用橫型連續式離心脫水機。如圖 8.41。

離心分離機在高速回轉時，自回轉體之投入口連續注入污泥，所分離出固體由螺旋器脫水並自泥餅排出口排出。分離液由分離液排出口排出。液面由分離液排出口之調整板調整之。

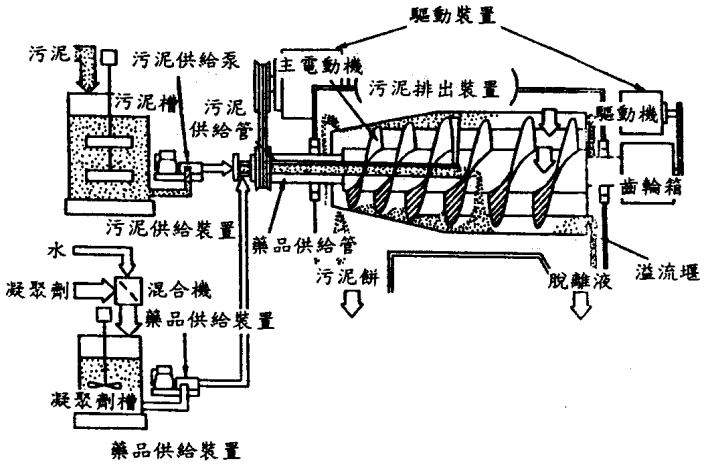


圖 8.41 離心脫水機系統例

離心效果為 2,000～3,000 G，若添加 0.4～1.0%之高分子凝聚劑，脫水污泥之含水率可達 75～80%。

污泥脫水若固體物和澄清液之分離不良，可減少液面半徑增加回轉數，或減少處理量等方法改善之。

離心式脫水機依下列決定之： 台數依污泥處理量及每台每小時可處理量決定之，原則上應有 2 台以上(含備用)。

解說：

1. 脫水機台數依下列計算：

$$N = \frac{Q}{q \times t} \quad \text{.....(8-45)}$$

式中：

N：台數

Q：處理污泥量(m^3/d)

q：每台每小時可處理量(m^3/h)，以污泥濃度 3～5%，每小時 35～50 m^3 之供泥量。

t：工作日操作時間(hr/day)

2. 離心式脫水機原理：

係使離心分離機在高速回轉時，自回轉體之投入口連續注入污泥，經由分離胴之孔導入分離筒以分離固體物，如圖 8.42。設備流程如圖 8.43。

3. 離心機之材質應為具耐久性者。
4. 旋轉差速應為可變速型。
5. 脫水機室、污泥搬送設備及脫水污泥貯留設備清洗設備等，依各種脫水方式共同事項設置。



圖 8.42 離心式脫水機例(宜蘭水資源回收中心)

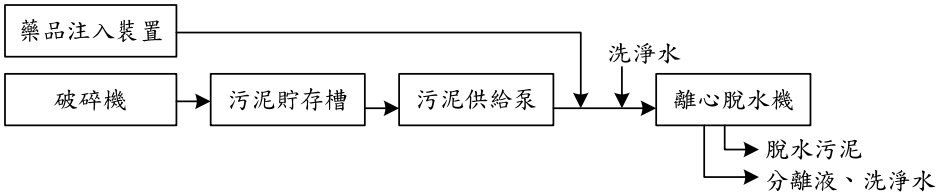


圖 8.43 離心式脫水設備流程(例)

8.5.4 壓濾式脫水機

壓濾脫水機如圖 8.44 所示，當過濾時，全部濾板由油壓予以閉合，污泥經由濾板上所開有之孔藉壓入泵送入各濾室，當全部濾室填滿污泥並繼續加壓，污泥中的水分受擠壓達到脫水的效果。過濾液經由濾板下部刻有數小孔之排出口排出。而至濾室內充滿泥餅時停止供給污泥，並灌入壓縮空氣將餅中的水分排出，當濾板打開時，污泥餅由於自重從濾布剝落。污泥餅含水率可達 65～75 %。

壓濾式脫水機之設計，於考量下列決定之： 1. 過濾面積依每日處理污泥量、污泥含水率及過濾速度決定之，並以每台之過濾面積計算台數。 2. 過濾速度，濃縮污泥為 2～4 kg/m^2 hr，消化污泥為 2～3.5 kg/m^2 hr。 3. 濾布應具不易阻塞且可耐久使用者。原則上應為 2 台以上(含備用)。

解說：

1. 脫水機之過濾面積及台數依下列計算：

$$A = 1{,}000 \times \left(1 - \frac{W}{100}\right) \times \frac{Q}{V \times t} \quad \text{.....(8-46)}$$

式中：

A：總過濾面積(m^2)

Q：每日處理污泥量(m^3/day)(不含凝聚劑注入量)

V：過濾速度(kg/m^2・hr)

W：污泥含水率(%)

t：工作日 1 天工作時間(hr/day)

$$N = \frac{A}{a} \quad \text{.....(8-47)}$$

式中：

N：台數(台)

a：每台脫水機之過濾面積(m^2/台)

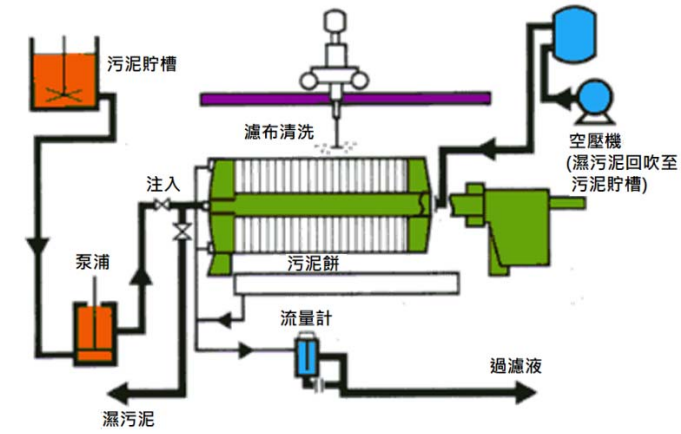




圖 8.44 橫軸式壓濾脫水機圖

2. 過濾速度應符合規定範圍值。
3. 壓濾式脫水機主要操作程序：油壓啟動→濾板閉合→開始進料→物料濾水→濾餅形成→膜片二次壓榨→濾餅落料。污泥進料泵應為不阻塞構造，每一台脫水機設置一部，泵容量為脫水機容量的 2 倍。加壓泵或空氣壓縮機吐出壓力宜為 7 kgf/cm^2 以上，台數含備用應為 2 台以上。脫水機室、污泥搬送設備及脫水污泥貯留設備清洗設備等，依各種脫水方式共同事項設置如圖 8.45，系統流程例，如圖 8.46。

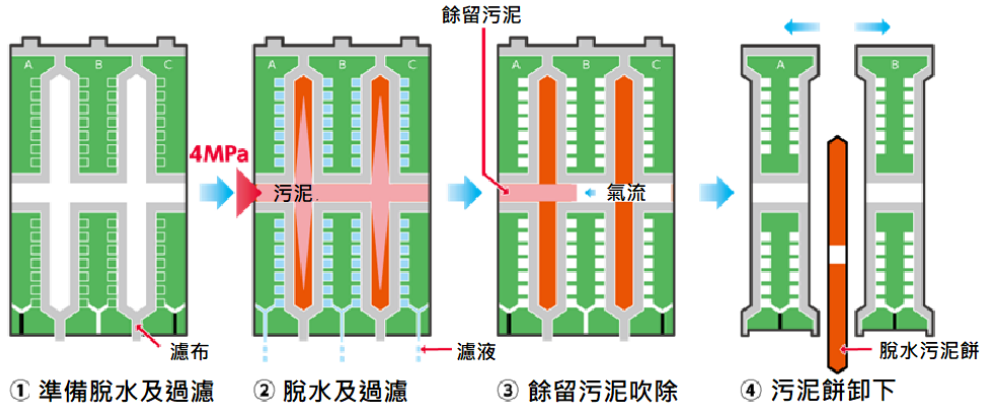


圖 8.45 加壓過濾機操作過程

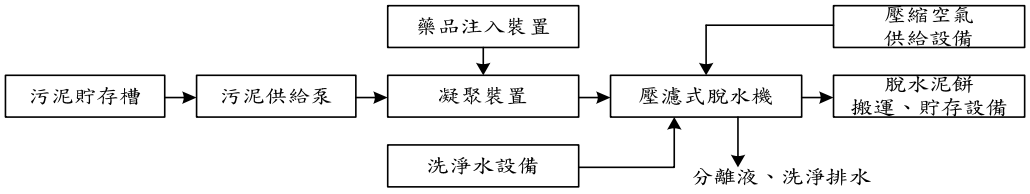


圖 8.46 壓濾式脫水系統流程(例)

8.5.5 螺旋壓濾式脫水機

螺旋壓濾脫水機為具螺旋加壓脫水機及帶濾脫水機兩者之過濾及壓榨脫水特性，螺旋壓濾脫水機的前段部為過濾區，後段部則為壓榨區。

螺旋壓濾脫水機為一圓筒狀的外筒及圓錐狀的螺旋之間，設置濾室，當過濾時，使螺旋持續旋轉，而將經有機凝聚劑調理的污泥投入濾室，則膠羽間的間隙水被篩離設備所過濾。而被螺旋旋轉移動的污泥，被押壓板和螺旋之壓榨力作用而壓密。脫水後之污泥則由外筒的篩離器及押壓板之間的間隙排出。

螺旋壓濾式脫水機考量下列決定之：
1. 台數依處理污泥量、每台每小時處理固體量(過濾速度)、每日操作時數決定之(原則含備用應有 2 台以上)。
2. 處理量依機械濃縮混合污泥約 4.5 kg DS/hr、厭氧消化污泥 2.6～3.1 kg DS/hr。

解說：

1. 脫水機台數依下列計算之：

$$N = \frac{S_o}{t \times Q_o} \quad \text{.....(8-48)}$$

式中：

N：脫水機操作台數

Q_o：每台脫水機每小時處理固體物量(kg DS/hr・台)

t：工作日每日操作時間(hr/day)

S_o：處理污泥量(kg DS/day)

篩網孔徑依式(8-49)求之

$$A = (\frac{Q_o}{Q_{300}})^{2.2} \times 300 \quad \text{.....(8-49)}$$

式中：

A：篩網孔徑(mm)

Q_o：一台脫水機處理固體物量(kg DS/h•台)

Q_{300}：篩網徑 300 mm 之標準處理量(kg DS/h)所求出之篩網孔徑值，以一定數，最大 1200 mm 之 100 mm

2. 處理量應符合規定範圍值。污泥進料泵應為正排量污泥抽水機，每台脫水機設置 1 台。污泥抽水機的容量應為脫水設備容量的 0.5～1.5 倍。污泥餅含水率約 75～80%。脫水機室、污泥搬送設備及脫水污泥貯留設備清洗設備等，依各種脫水方式共同事項設置，如圖 8.47，其系統與前圖 8.46 相同。螺旋壓濾式脫水機原理：

(1) 污泥濃縮

第一階段為污泥濃縮段，此段的篩網孔徑為 § 1.5mm。

(2) 水份濾出

第二階段為濾出段，此段的篩網孔徑為 § 1.0mm。

(3) 泥餅擠壓

第三階段為擠壓段，此段的篩網孔徑為 § 0.5mm。

8.5.6 污泥機械脫水設備之選擇評估

污泥機械脫水設備之選擇考量如下：

污泥脫水設備有帶濾式脫水機、離心式脫水機、壓濾式脫水機及螺旋壓濾式脫水機，依其脫水特性、操作管理及設置空間和設備費等選定之。

解說：

1. 污泥脫水之目的在於減少污泥之水分及體積，使污泥容易搬運，並需配合污泥最終處置方式選擇最合適之脫水系統，以達到經濟、合理及有效之處理效果。
2. 各種機械脫水機特性比較，如表 8.19。
3. 脫水機容量及污泥進料貯槽應考量每週工作天數，一般一星期工作五天，每天工作六小時。

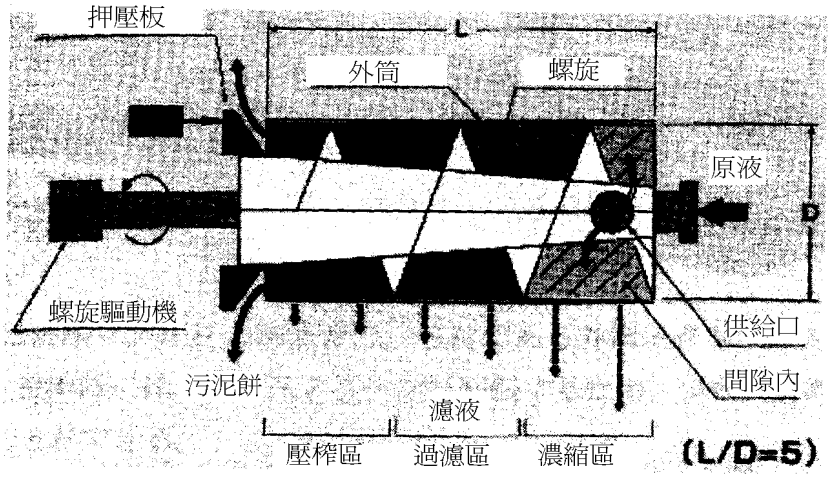
依表 8.19 之比較及評估：

(1) 帶濾式雖污泥餅含水率略高但其操作維護最簡單，投資成本亦低。

(2) 離心式脫水機有佔地小等之優點，但污泥脫水含水率較高、效果較差且有噪音、振動、葉片磨損、故障率高、電力費高，維修困難等缺點，國內尚無生產。

(3) 壓濾式雖可得含水率較低的污泥，但其操作技術最難，投資成本高、設置面積大，且因添加消石灰及氯化鐵增加污泥量等缺點。

(4) 螺旋壓濾式初期建設成本稍高，但具備能源消耗低、維護費用低、耗水量少、噪音量小等優點。



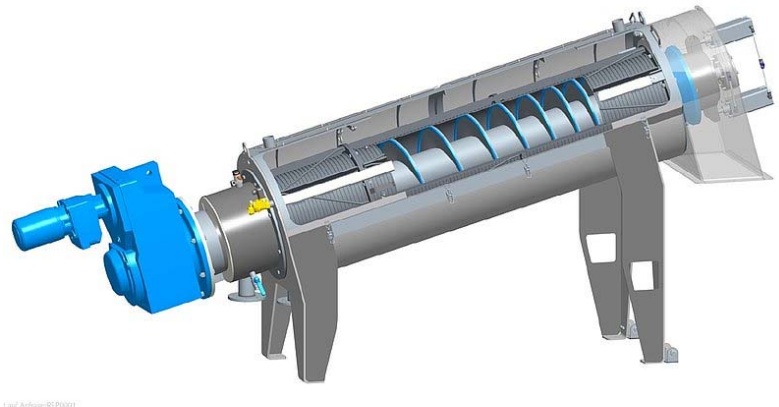


圖 8.47 螺旋壓濾式脫水機示意圖

表 8.19 各種機械脫水機特性比較評估表

項次	型式 / 特性	帶濾式脫水機	離心式脫水機	壓濾式脫水機	螺旋壓濾式脫水機
1	脫水方式	連續式	連續式	分批式	連續式
2	脫水SS回收率 污泥餅含水率	1. 95% 2. 70%～80%	1. 95% 2. 70%～80%	1. 97% 2. 65%～75%	1. 95% 2. 75%～80%
3	維護	1. 清洗濾布及清洗水噴口 2. 加油 3. 濾布蛇行調整，張度調整	1. 清洗胴體 2. 加油 3. 軸承更換 4. 螺旋更換	1. 更換濾布 2. 加油 3. 檢查濾布洗淨 4. 更換壓榨級齒	1. 需清洗篩網 2. 潤滑油加油
4	優點	1. 能源消耗低 2. 固體物不因注藥而降低發熱量 3. 操作單純 4. 污泥及藥品的混合容易 5. 設備單純 6. 附屬設備少，更換品也少	1. 注藥設備併於機體內 2. 固體物不因注藥而降低發熱量 3. 操作單純 4. 由於係密閉式，故不散發臭氣 5. 污泥及藥品的混合容易 6. 設備單純 7. 附屬設備少，更換品也少	1. 含水率可最低 2. 如需焚化，可省燃料油 3. 泥餅量少 4. 泥餅含水量可調整 5. 噪音低	1. 泥餅含水率低 2. 可操作低濃度污泥 3. 操作簡單，全自動化操作 4. 能源消耗最低 5. 維護費低 6. 採密閉式空間設計，可將氣味吸走處理 7. 耗水量少 8. 噪音小、振動小
5	缺點	1. 濾布用久效率降低 2. 設置面積於各種脫水機間居中 3. 脫水機效率及 SS 回收率較低	1. 因高速運轉，故有振動及磨損等問題 2. 必須控制注藥的操作 3. 藥品費高 4. 螺旋葉片需定期送至工廠維修	1. 設置面積大 2. 附屬設備多	1. 初設成本稍高 2. 需注意污泥調理
6	投資費用比較	低	次高	高	高
7	總評	1. 污泥餅含水率較高 2. 操作最簡易 3. 電力費較省	1. 近年來由於螺旋體的新開發，含水量可降至 75%以下 2. 由於係連續密閉操作，因之操作管理容易 3. 在運轉中不易直接監視 4. 電力消耗較大	1. 減少污泥含水量最多 2. 操作技術最難，投資較高	1. 處理量大 2. 操作簡單 3. 維護簡便 4. 可於製作螺旋桿上，設計各不同之壓縮率以達到欲壓縮脫水之需求。

8.5.7 污泥濃縮脫水機

污泥濃縮或脫水之目的，在於達到污泥減量化，現階段所使用的機械式濃縮設施，有帶濾式、離心式、滾筒式及浮除式四種機械式濃縮方式。

而污泥脫水機現階段使用的有帶濾式、離心式、壓濾式及螺旋壓濾式等脫水機。

上述各種污泥濃縮機或脫水機，皆為個別設置，惟近年來為整合兩者之操作介面，以減少空間配置和個別操作之繁雜，則發展有結合濃縮及脫水一體的濃縮脫水機。

污泥濃縮係指調理後污泥中的自由水去除的過程，其固體物含量可提升至4%～10%；污泥脫水，則是指去除污泥膠羽中之結合水，使固體物含量可提升至 20%以上，而濃縮脫水一體機則是結合調理、濃縮及脫水三個部分所構成的套裝系統，其空間需求小、操作過程可高度自動化。

污泥濃縮脫水一體機，於考量下列選用之： 1. 應充分瞭解各機型之特性選定之。 2. 應充分比較其濃縮脫水效率、通量及藥劑添加量。 3. 帶濾濃縮脫水機，其污泥餅之含水率可達 70～80%。

解說：

1. 各機型特性之比較及考量，包括：
   (1) 依污泥的性質之調整所需凝聚劑的使用量。
   (2) 進入脫水部前需能均勻混和。
   (3) 應為密閉系統以防止氣味散逸。
   (4) 需提供清水用水之性質及使用量。
   (5) 各部分可直接分離成模組，分開安裝。
2. 污泥濃縮脫水一體機之種類及其通量和效率

   污泥濃縮脫水一體機之種類有下列三種，其操作特性如下：

   (1) 滾角式濃縮＋帶濾脫水一體機(Drum thickener + Belt press)

   為最常見的型式，如圖 8.48。濃縮時藉由慢速轉動，自由水自篩網中流出，原理如圖 8.12。轉速通常控制在 5-20 rpm，特別適用於高纖維的污泥，如造紙業。

   (2) 重力帶濾濃縮＋帶濾脫水一體機(Gravity belt thickener + Belt press)

   在重力帶濾濃縮中，自由水自濾布排出，如圖 8.49 所示。能耗較前者為低。須特別注意污泥的沉降性：浮渣易使篩網阻塞，影響脫水效率。脫水部建議設計值須小於每公尺濾帶 570 L/min。可依情況調整濾帶角度。

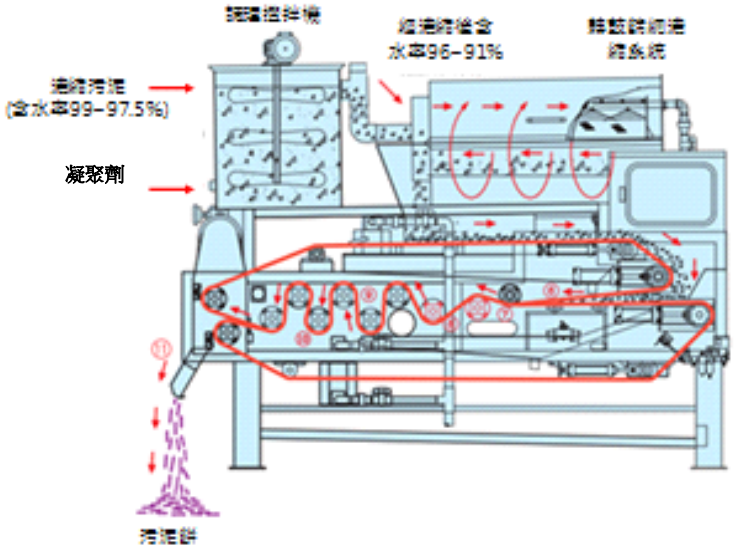




圖 8.48 轉鼓式濃縮＋帶濾脫水一體機

上述(1)及(2)二機型之脫水效率及加藥量如表 8.20，過濾速度如表 8.21。

表 8.20 脫水效率及加藥量

污泥種類	污泥濃度(%)	泥餅含水率(%)	凝聚劑添加率(對 DS%)
廢棄污泥	0.4～1.5	78～84	0.5～1.0
混合污泥	1.5～3.0	77～82	0.3～0.8

表 8.21 過濾速度

污泥種類	過濾速度(kg solids/h/m^2)
活性污泥	0.8～1.0
初級污泥	4.5～5.1
混合污泥(活性污泥+初級污泥)	1.6～2.4

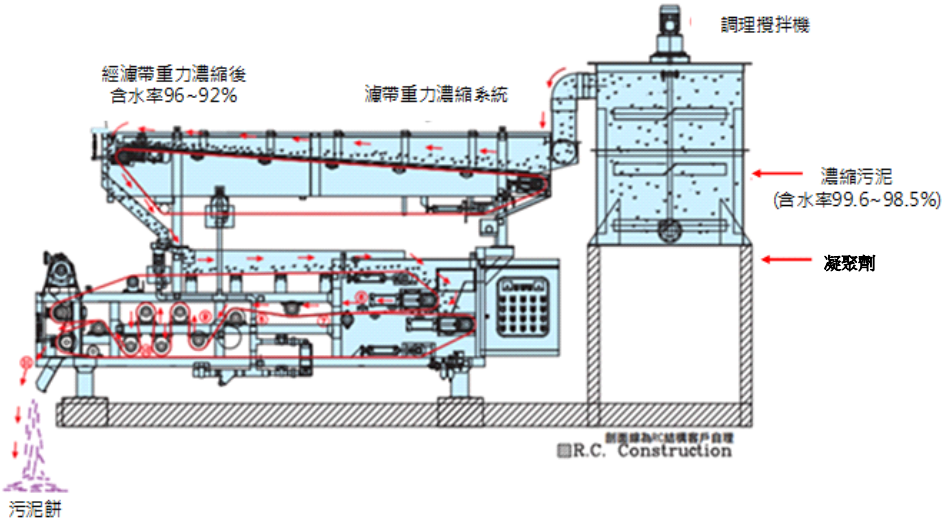


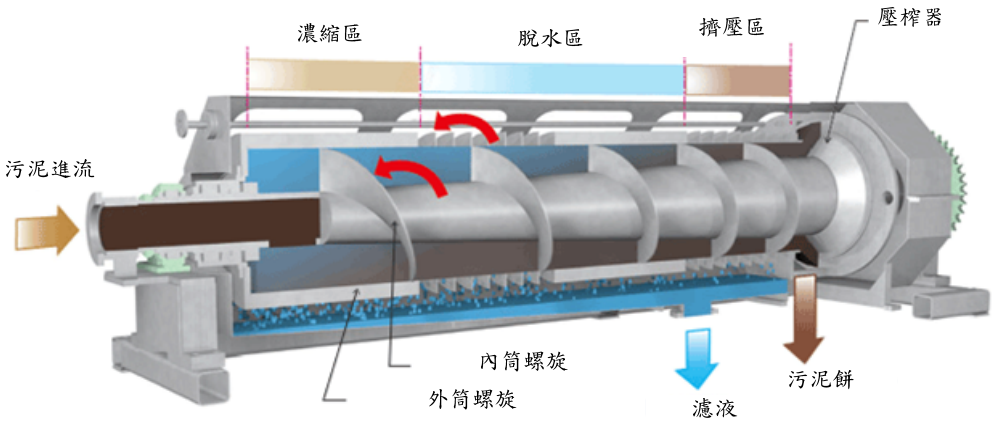


圖 8.49 重力帶濾濃縮＋帶濾脫水一體機

(3) 螺旋壓濾式濃縮脫水機(Screw Press)

如圖 8.50 所示，可分為三個區段：濃縮區、脫水區以及擠壓區。篩網的孔徑遞減；並且擠壓區間的濾縫及螺距的逐漸減少。優點為噪音低、清洗水量極少、耗材以及維護費用最省，惟污泥含水率較前二者稍高。

3. 依國內製造應用之帶濾濃縮及脫水一體機如圖 8.51，係合併兩者於一機，其在進料 0.4～0.8% DS 下，濃縮後 5～8% DS，再經脫水後污泥餅含水率為 75～85%，如圖 8.51。





(註：圖片來源 VOITH 官網)

圖 8.50 螺旋壓濾式濃縮脫水機

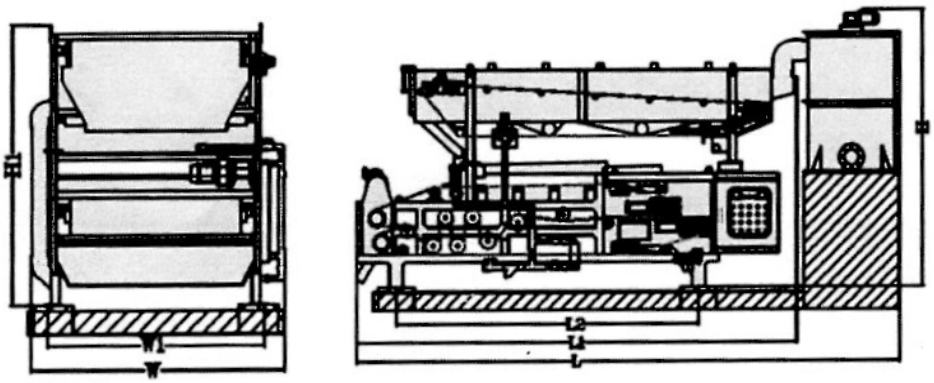


圖 8.51 帶濾機及脫水機合併一體之濃縮脫水機(例)(國內製造)

8.5.8 污泥曬乾床

將污泥分散於砂床上，其中一部分以水分過濾作用去除之，同時由太陽熱能及風的作用自然乾燥為污泥曬乾。由於係自然乾燥，其乾燥速度依天候、氣溫及風速而異。本法具有沉降、脫水、乾燥三種特性，使污泥體積得減少外，

也具有促進污泥分解的效果，污泥曬乾適用於經充分消化後之污泥，至於生污泥或未經充分消化之污泥，欲以曬乾時，所須面積較大，同時在乾燥中會發散惡臭。

消化污泥之曬乾日數，依當地之天候、氣溫、濕度、污泥性質、污泥之散積厚度而異，一般為 10～15 日。

乾燥之良否，依污泥之種類、消化程度等而異，消化程度低時，不僅乾燥慢也易腐敗散發惡臭。經常需於曬乾床中之污泥表面上，定時噴灑殺蟲劑，以防止蚊、昆蟲等之發生。

基於臭氣問題、天候問題及觀瞻上的考慮，也有於曬乾床上架設以玻璃者，則應配置換氣通風設備，以免蒸發的水蒸氣，於玻璃上凝聚為水再降落至曬乾床。

自污泥中沉降之脫出液，經曬乾床底下之排水管收集，此等過濾液回送至最初沉澱池前與流入水再處理之，極少量者或以重力流入進水井。

曬乾床之設計，於考量下列條件決定之：

1. 曬乾床形狀應為長方形，床數應達曬乾所需日數以上。每床長度 20 m 以下，面積依每一污泥投入口以 200 m^2 為限，以求均勻。
2. 污泥曬乾日數，依當地氣侯及污泥性質而定，一般為 10～15 日。
3. 投入污泥厚度為 10～20 cm，出水高度為 15 cm 以上。

解說：

一般而言在日曬充足及土地取得容易之情況下，可採用污泥曬乾床脫水最經濟，但常受限土地及防止臭味等二次公害產生之因素。

1. 曬乾床所需面積及床數，依下列計算：

$$A = \frac{Q \times T}{D} \quad \text{.....(8-50)}$$

$$N = \frac{A}{a}$$

式中：

A：所需總面積(m^2)

Q：每日污泥量(m^3/day)

D：投入污泥厚度(m)

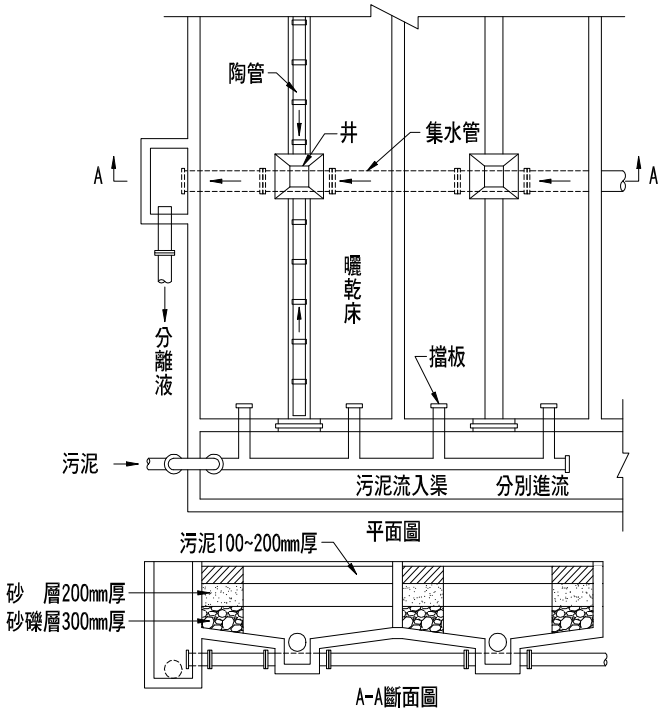
T：曬乾日數(day)

a：每床之面積(m^2)

N：床數

2. 污泥曬乾日數，依當地氣侯及污泥性質而定，一般為 10～15 日。
3. 投入污泥厚度為 10～20 cm，出水高度為 15 cm 以上。曬乾床之構造，其最上層為細砂層(20～30 cm)，其下為粗砂層 15～30 cm(粒徑 0.7～2 mm)，再其下應有適當的坡度 10%，最深部為內徑 100～200 mm 之有孔集水管，或為楔型濾板(其材質可為 HDPE 或 PU)，每間隔 2～6 m 配置，如圖 8.52。應設有上澄液排除及過濾液排出設備，濾液應排回污水處理系統處理。曬乾床周

壁應為混凝土構造，並防止雨水侵入。曬乾污泥應有暫貯存設施，底部應為混凝土構造，必要時得設置遮雨設施。



污泥曬乾床



楔型濾板

圖 8.52 污泥曬乾床及楔型濾板

8.5.9 污泥處理共同附屬設施

各種污泥脫水方式應考量下列共同事項如下：

1. 污泥脫水機房，應考量機器操作及維修所需空間、脫水泥餅搬運方便，並備吊車以備裝設維修用，同時考量通風照明及地面排水。
2. 應設置污泥餅之搬送、計量及貯存斗，貯存斗容量依搬運計畫決定之。
3. 並應備置污泥貯留槽、沖洗水抽水機、小型空壓機及防臭設備。

解說：

1. 應以鋼筋混凝土或鋼骨混凝土築造，且需不滲水、場地寬敞，能使抽水機、管件等易於搬動，便於分解及修理等，污泥處理機房需有充分之通風、換氣、照明及排水設備，電氣設備之配置應儘可能設在高處。

2. 應設置污泥餅之搬送、計量及貯存斗，貯存斗容量依搬運計畫決定之，須考量運輸車輛容量及運輸頻率等因子。
3. 長距離輸送污泥時宜設置污泥附有攪拌設備之貯存槽，其容積應大於最大日污泥量，並須有除臭設備。

8.6 污泥堆肥

脫水污泥餅直接供肥料用，由於會散發臭氣，並有病原菌及寄生蟲等問題，而曬乾或機械乾燥則因受天候及燃料費之限制等。若將脫水污泥餅予以堆肥化除可減輕費用、可達使用方便及臭氣少，且由其醱酵熱可具消滅病原菌及寄生蟲等優點。

堆肥化的反應為藉微生物將生物可分解性有機物分解、資源化的反應，與過去農家所做以厭氧性條件下做長時間堆肥的方法有所不同。通常的堆肥化方法係在好氧性條件下，儘量以短時間使原料有機物獲得生物性安定化的一次醱酵過程，及施用於農地時不阻礙植物生育為目的之二次醱酵過程等二個步驟所組成。

8.6.1 污泥堆肥化計畫

污泥堆肥計畫，於考量下列決定之：
1. 污泥堆肥設施之規模，依製品之需求量，若污泥產生量全量堆肥時，原則上以計畫最大日污泥量為設計量，並考量其經濟性及維護管理。
2. 堆肥化設施包括前調理單元、醱酵單元、製品化單元所組成，考量自動化程序決定設備內容，以及其貯存及搬運需符合事業廢棄物之相關規定。

解說：

1. 醱酵日數和有效容量。

醱酵日數應考量有效容量，各項考量如下：

(1) 一次醱酵的醱酵日數標準約 10～14 日，進行二次醱酵視自然通氣需 30～60 日，強制通氣 20～30 日，可保持堆肥品質穩定，進行醱酵時，含水率過高會影響醱酵溫度，過低則可能使微生物活動能力受阻，故其含水率宜調整至一次醱酵熟成時在 30～50%為宜。

(2) 醱酵槽有效容量、添加物量、破碎混合程度、翻攪程度、送風量都是考量的範圍。

2. 堆肥化之一般程序包括預先調整、第一次醱酵、第二次醱酵(腐熟)，如圖 8.53。

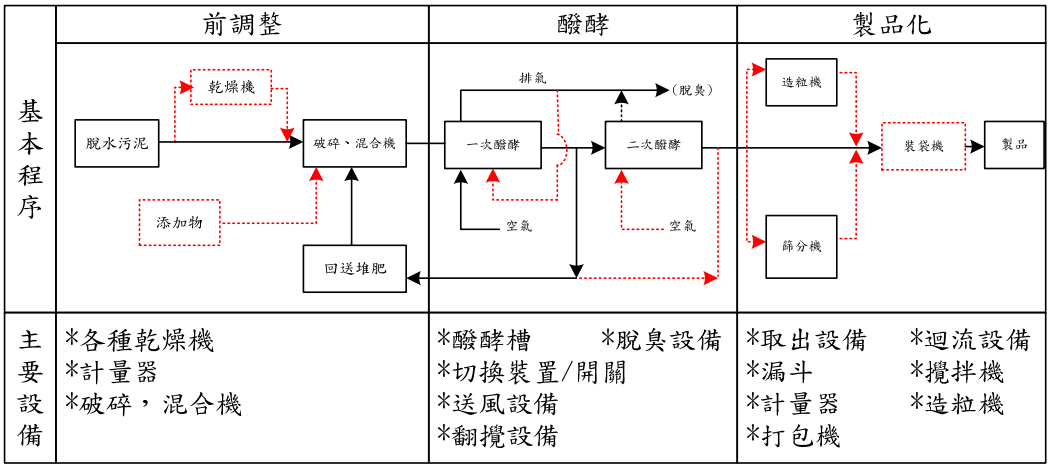


圖 8.53 堆肥化之一般程序

醱酵槽構造型式有堆積式、橫式以及直立式。型式的選定視設施容量、原料屬性、製品處理、經濟效益、環境(包括處理作業的環境與周邊環境)影響、實際效果等決定。

(1) 堆積式醱酵槽

佔地面積較寬廣，易受天候影響，此外因為醱酵時日較長，需要長時間通氣，如圖 8.54。

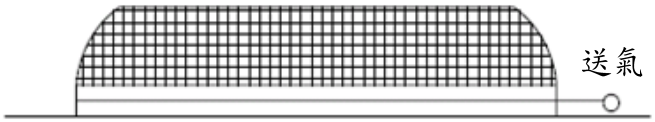


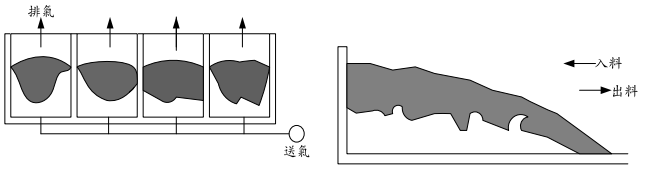
圖 8.54 堆積式醱酵槽

(2) 橫式醱酵槽

藉翻攪設備使堆肥與空氣接觸多，故醱酵過程較均勻，可直接監控過程，但須注意臭氣、粉塵的產生與水蒸氣等問題，如圖 8.55。

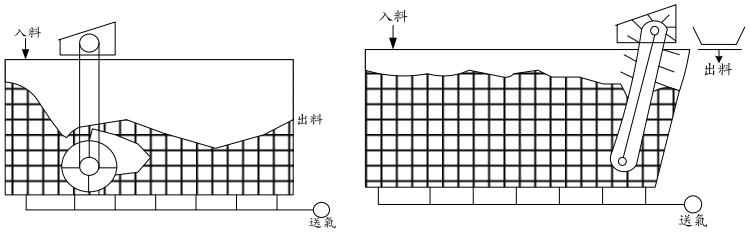
(3) 直立式醱酵槽

污泥從上方投入、逐層往下方移動，以污泥逐層下落時可進行攪拌並與空氣混合產生醱酵，污泥於底層以皮帶運送出去。因為是密閉式結構，所以醱酵環境可保持最佳狀態，與橫式等開放式醱酵槽相比，具有醱酵熱能損失最少，臭氣易處理等優點，如圖 8.56。



正面圖　　側面圖

(1)橫形鐵鍬式



(2)橫形槳式　　(3)橫形勺子式

圖 8.55 橫式醱酵槽

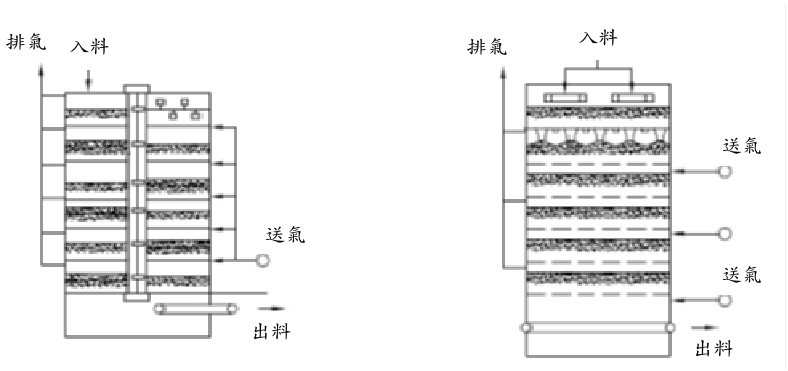


圖 8.56 直立式醱酵槽

8.7 污泥乾燥

污泥藉消化處理及機械脫水以減少含水率，使成固體狀之泥餅後可搬運處分，然仍含多量水分及有機物，若予以烘乾，其容積將更為減少。

乾燥污泥除減少體積，適用搬運降低運費外，也可與垃圾共燒，回收污泥中之熱能，達到資源化。

下水污泥中含有多量熱量。污泥中揮發性物質發熱量約 5,000～6,000 Kcal/kg，消化污泥餅一般為 1,500～2,000 Kcal/kg，生污泥餅約 2,000～3,000 Kcal/kg。為使污泥乾燥時不發生臭氣，其排出的廢氣，應適當處理之。

污泥乾燥設備依其方式，有直接加熱型與間接加熱型。而乾燥機的型式有旋轉式、槳葉式、流體化床式、兩段式、真空乾燥式及蒸發冷凝式，各有其特性，應依乾燥目標、設置費、能源使用、操作狀況及安全性，加以檢討選用之。

8.7.1 污泥乾燥方式

脫水污泥乾燥方式，考量下列各項設計之：

依據脫水污泥之特性及含水率，乾燥污泥之利用目的及後續處理程序，檢討適當乾燥目標。一般以乾燥污泥含水率 20～40%為目標。

解說：

1. 乾燥方式可分為直接加熱及間接加熱乾燥方式，依乾燥目的、程度、熱源種類及污泥量，綜合檢討選定之。乾燥機乾燥方式之比較如表 8.22。

表 8.22 乾燥機乾燥方式比較

項目＼方式		直接加熱型	間接加熱型
設備型式		附攪拌機熱風旋轉乾燥機氣流乾燥機	攪拌型乾燥機
乾燥方式		熱風直接接觸傳熱	熱媒經傳熱面傳熱
廢氣	氣體量	大	小(約為熱風加熱式之 1/2～1/5)
	灰塵量	大(1～10 g/Nm^3)	小(0.1～2 g/Nm^3)
	溫度	低(露點 40～70℃)	高(露點 80～95℃)
	廢氣處理設備	大	小
乾燥後含水率		50～70(%)	75～85(%)

2. 污泥乾燥機之容量，依熱容量係數、綜合熱係數及蒸發速度決定之。污泥乾燥機之台數，依每台乾燥機之蒸發量、系列數及未來擴建計畫決定之。
3. 污泥乾燥機之材質，應具耐熱、耐腐蝕及耐磨損等特性。污泥乾燥機之型式包括旋轉乾燥機、氣流乾燥機及攪拌型乾燥機。
4. 污泥乾燥條件依熱媒體之乾燥機進口溫度、乾燥所需熱媒體量、乾燥用空氣量及溫度決定之。
5. 污泥乾燥機之附屬設備包括定量供給設備、鍋爐及熱產生爐、集塵器、熱交換器等，必要時應有專用之脫臭設備等。
6. 乾燥使用熱源優先以廠內自有熱源或鄰近可用熱源為主要來源考量。
7. 去除水分之技術。

應用最廣泛之去除水分技術係以乾燥為主，依其乾燥原理可分為「自然乾燥」與「熱乾燥(機械乾燥)」等兩種，相關技術說明如下：

(1) 自然乾燥

自然乾燥係利用自然力量(以我國氣候特性，主要為太陽能)減少污泥水分之方式，其適用於較小規模之污水處理廠，或氣候較乾燥、佔地較廣之區域，常見自然乾燥技術即曬乾床，其具備優點包括初設成本較低(於不需額外購地之前提)、操作技術複雜性較低、低能源需求、幾無藥劑消耗、對污泥性質變動較不敏感、經曬乾污泥含水率較機械脫水為低等；至於缺點則包括佔地面積較大、污泥須經相當程度穩定處理、易

受天候因素影響、清除工作較耗費人力、臭味逸散等。

(2) 加熱乾燥

常見污泥乾燥機型式包括直接接觸型之旋轉式、多層床式及流化床式等，熱源多為高溫熱風，以及間接接觸之中空或夾套槳葉式、盤式等(旋轉式及流化床式亦有間接接觸設計)，熱源多為蒸汽或熱媒油，至於其他型式尚包括傳導與接觸混合型、紅外輻射型、油溫減壓型(油炸法)、微波加熱型等，其設計流程如圖 8.57。針對部分主流乾燥機機種及特色，說明如下：

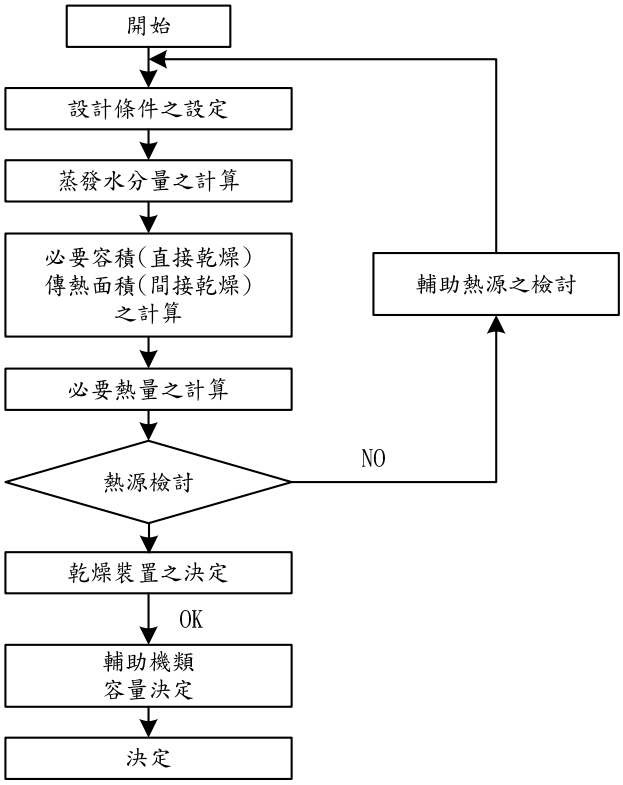
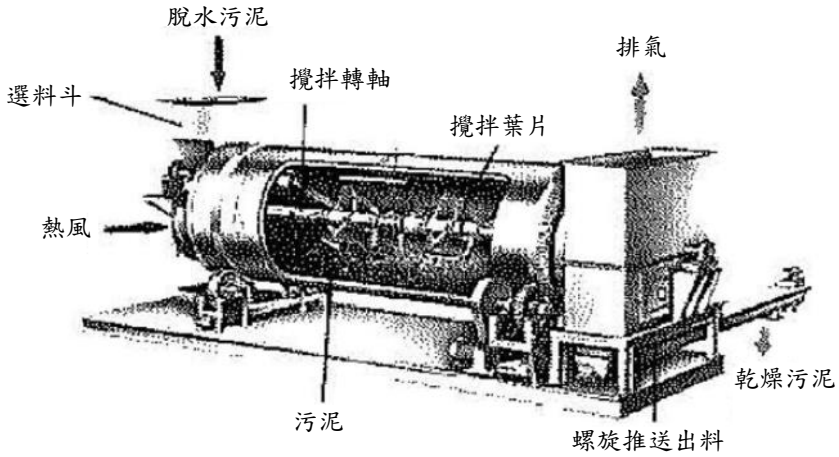


圖 8.57 脫水污泥乾燥機設計流程

①旋轉式乾燥機(直接加熱型)

旋轉式乾燥機，示如圖 8.58。其主體為一直徑 0.3～3 m 且略帶傾斜之旋轉圓筒，長度約為直徑之 4～10 倍。污泥從一端進料，圓筒內部裝有螺旋狀之斜板以攪動污泥，污泥正向或反向與熱風接觸，再送往另一端之出口排出，其中斜板之設計優劣攸關翻攪效率，將影響其乾燥效能。旋轉式乾燥機乾燥方式流程例，如圖 8.59。



資料來源：孫世勤等，都市下水道污泥乾燥減量及再利用整合規劃，工業污染防治期刊第 104 期(2007 年)。



圖 8.58 旋轉式乾燥機示意圖

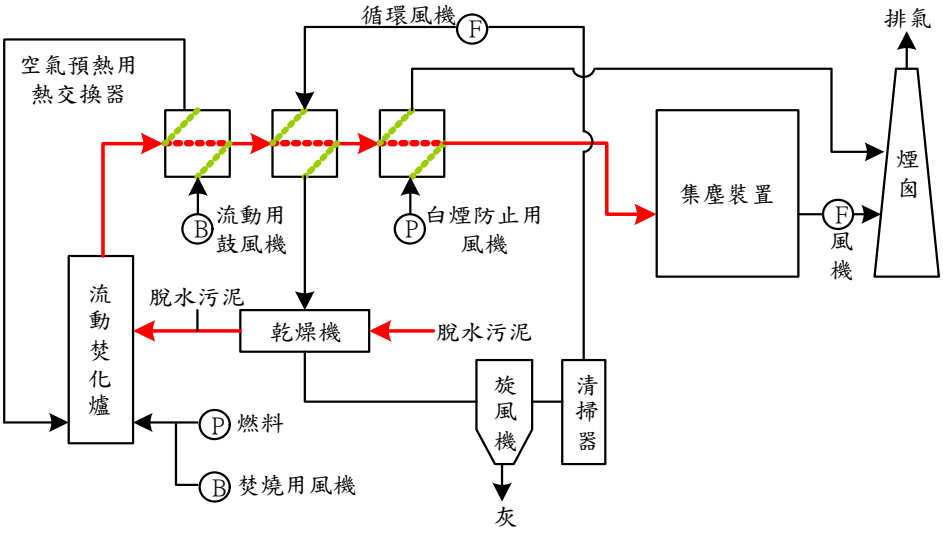


圖 8.59 旋轉式乾燥機乾燥方式流程(例)

由於旋轉式之處理量大，適用性廣，清理亦容易，為使用甚廣之乾燥機型式。一般其翻攪進度為 3～30 rpm，空氣流速為 1.5～2.5 m/s，熱風溫度約為 100～200℃。過去此類型乾燥機因熱風需求較大，導致尾氣處理成本亦偏高，惟目前多改採氣體循環再利用之設計，估計約 85%熱風可返送回製程，除減少尾氣處理負擔，且可有效控制乾燥系統氧氣量，大幅提升系統安全性，有關旋轉式乾燥機之特點包括：

a. 熱介質(熱風或蒸汽)與污泥接觸而受污染，後續排放廢水或蒸汽均需經無害化處理後方可排放。
b. 熱接觸介質體積需求較大，能量消耗亦大。
c. 廢氣量與臭味均難控制(惟採空氣循環系統可降低其影響程度)。

旋轉式乾燥機之相關應用相當普遍，處理規模範圍亦大，相關應用案例說明如表 8.23。

② 槳葉式乾燥機(間接加熱型)

槳葉式乾燥機如圖 8.60，其處理流程如圖 8.61。為在有外套之橫臥圓筒中裝置攪拌槳葉，進料之污泥沿加熱面旋轉移動，同時被槳葉所翻攪，以提升其熱傳效果而乾燥，最後再由槳葉將乾燥污泥排出。此種設備可處理多種型態之污泥，從黏稠狀到液狀者均可，熱傳係數約 85～350 $W/m^2.K$。有關槳葉式乾燥機之特點包括：

a. 乾燥過程排氣氧氣濃度維持 2%以下，大幅降低爆炸與著火之危險性。
b. 排氣處理量少，所需相關成本低，處理系統操作亦較單純。
c. 以熱煤油為熱介質者，熱回收系統較為複雜。

表 8.23 旋轉式乾燥機案例說明

項目	Changi(新加坡)	Bran Sands(英國)	Valenton(法國)
容量 (l/h 蒸發水量)	5×11,000	7×5,000	3×7,000
熱源	天然氣/沼氣	天然氣/煤油	—
污泥進料量(ton/h)	60	7×6.55	—
乾燥前含水率(%)	75	75	72 至 75
乾燥後含水率(%)	6±2	8	8
乾燥後(造粒)尺寸 (mm)	1 至 4 mm	1 至 4 mm	—
運轉年度	2007 年	2001 年	2005 年
備　註	為世界上最大 污泥乾燥廠	為歐洲最大 污泥乾燥廠	巴黎市第一座 污泥乾燥廠

資料來源：內政部營建署，全國都市污水處理廠污泥等廢棄物處置方式評估及工程規劃(2010 年)。



圖 8.60 槳葉式乾燥機示意圖

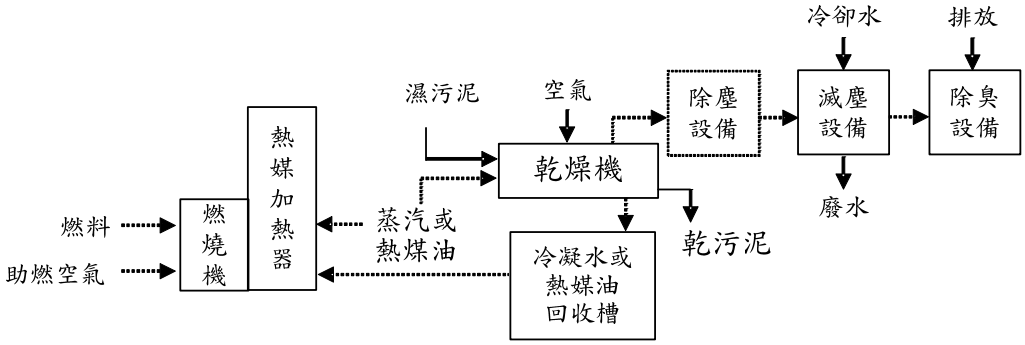


圖 8.61 槳葉式乾燥機處理流程例

③ 流化床式乾燥機(直接加熱型)

流化床式乾燥機如圖 8.62，係利用流動床內不斷上升熱氣流，使固體顆粒處於懸浮狀態呈現流體化，增加有效熱傳面積，而達到去除水分功能，熱效率約為 60％～80％，體積熱傳系數高達 2,000～6,000 kcal/s.L.m^3。通常要求只有粒狀顆粒物方可進入乾燥機內，且其尺寸亦須控制不可過大。有關流化床式乾燥機之特點包括：

a. 因結合熱交換器之接觸乾燥及循環氣體之對流乾燥，故乾燥效果良好。

b. 處理量大，且乾燥機本身無機械機構，維修工作較單純。

c. 乾燥後顆粒粒徑無法控制。

d. 乾燥後氣體流量大，廢氣冷卻與除塵等系統規模需求大。

④ 兩段式乾燥機

兩段式乾燥係由兩組乾燥設備所組成(如圖 8.63)，第一段為「薄層乾燥機」，以中心筒為主結構，利用中心筒與隔熱層間之蒸汽或熱油使熱油對內壁傳熱，至於污泥經高速運轉形成薄層，經中心軸所安裝的翼片保持污泥均勻性及推動污泥至出口端，此時含水率可控制 50～60％

間，在於過程間並無粉塵產生。

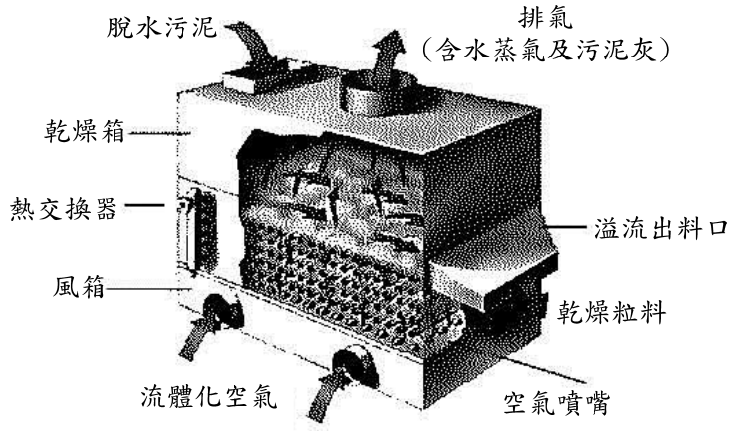




圖 8.62 流化床式乾燥機示意圖

經第一段乾燥後污泥，尚有可塑性，可藉擠壓裝置與切碎機(chopper)製成直徑 5 mm 左右之條狀物(長度視再利用去處而定)，再送至第二段「輸送帶式乾燥機」；於乾燥機輸送帶之條狀物，因輸送帶上開有小孔，故可藉熱風循環提高乾燥效果，通常於輸送帶末端溫度已降低 40～50℃，污泥含水率則視需要調整輸送帶速度使其控制於 10～40％間。

兩段式乾燥機特點有：

a. 成型效果佳，且尺寸較易控制(由切碎機控制)。
b. 採「先成型，再乾燥」設計，避免粉塵產生，減少爆炸等意外發生機率。
c. 可視再利用市場需求，調整乾燥污泥之形狀及含水率(控制切碎機及輸送帶速度)，操作彈性佳。
d. 因設備較多，系統配置所需空間亦較大。

由於市面上乾燥機型式種類繁多，故針對乾燥設施之比較，將以國外某設備廠商就其製造乾燥機之評估說明為範例，即針對應用較廣之輸送帶式、旋轉式及流化床式及槳葉式等四種乾燥機型式進行比較，如表

8.24，其比較項目係以能源使用、操作需求、產物品質及製程安全等為主。

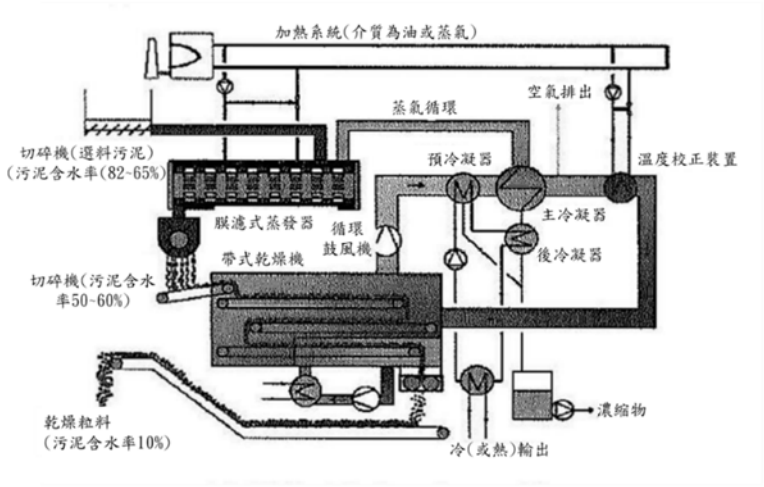




圖 8.63 兩段式乾燥機示意圖

⑤ 真空乾燥機

真空乾燥機如圖 8.64，其方式為在密閉乾燥機內裝入濕污泥原料，在真空條件下使用內部攪拌軸，同時進行攪拌、乾燥、破碎、粉碎。加熱方式由導入乾燥機本體外套以及攪拌軸片的蒸汽或熱媒等，經由壁面傳導，採間接加熱方式進行。

污泥真空乾燥機特色如下：

a. 不受原料含水率的限制，污泥、生垃圾各種殘渣物的乾燥都可適用，乾燥處理後成品為粉狀或粒狀，易於後續處理操作。
b. 處理成品含水率可以自由設定，因此最適用於肥料、飼料等的生產。
c. 無惡臭、污水的問題，因全系統皆為密閉構造，且採用循環處理熱交換機，利用生物處理方式，同時完成脫臭、淨化處理。
d. 採真空方式，可以低溫乾燥，故操作成本較低。
e. 乾燥機系統簡潔節省空間。

f. 乾燥機自動運轉方式操作簡單，採批次式運轉或連續式運轉可自由選擇，因此可配合原料做最適當的運轉。

表 8.24 各種乾燥機型式比較

項　目		輸送帶式	旋轉式	流化床式	槳葉式
能源使用	廢熱	可使用	可使用 (須＞100～150℃)	可使用 (需設鍋爐)	可使用 (需設鍋爐)
	熱水	可使用 (須於 100～150℃)	可使用 (輔助熱源)	不可使用 (溫度過低)	不可使用 (溫度過低)
	沼氣	可使用	可使用	可使用 (連接鍋爐)	可使用 (連接鍋爐)
	蒸汽 (＜6 BAR)	可使用	可使用 (輔助熱源)	可使用 (輔助熱源)	可使用 (輔助熱源)
	蒸汽 (＞6 BAR)	可使用	可使用 (輔助熱源)	可使用	可使用 (輔助熱源)
	化石燃料	可使用	可使用	可使用 (連接鍋爐)	可使用 (連接鍋爐)
	熱媒油	可使用	可使用 (輔助熱源)	可使用	可使用 (連接鍋爐)
操作需求	規格範圍	0.5～3.0(t/h) (蒸發水量)	1.0～15.0(t/h) (蒸發水量)	1.0～20.0(t/h) (蒸發水量)	1～2.8(t/h) (蒸發水量)
	完全乾燥	可 (DS 約 90～94%)	可 (DS 約 92～96%)	可 (DS 約 94～98%)	可 (DS 約 92～98%)
	部分乾燥	可	不可 (但可採乾料返混)	不可 (但可採乾料返混)	可
	直接加熱	可	可	可	不可
	間接加熱	可	可	可	可
	自動化操作	可	可	可	可
	操作彈性	可	可	可	可
	空間需求	單層空間即可	需多層空間	近旋轉式 (樓層可減少)	單層空間即可
產物品質	成型效果	形狀與尺寸較不均勻	(球狀)成型物抗壓性佳，尺寸差異性不大	如採乾粉返混可獲較佳成型效果	形狀與尺寸較不均勻
	成品粉塵量	粉塵量較旋轉式稍高	低粉塵量	粉塵量較旋轉式為高 (可藉乾料返混改善)	含水率 6～8%以下，粉塵量較高，6～8%以上則較無粉塵量
製程安全	防爆、 防火、 人員防護	因操作溫度較低，乾燥區較無需通入惰性質，亦無需結構防爆	● 導入燃燒尾氣或蒸汽以確保乾燥製程區欲得維持安全 ● 周遭設備應結構防爆	● 導入燃燒尾氣或蒸汽以確保乾燥製程區欲得維持安全 ● 周遭設備應結構防爆	● 因操作溫度較低，乾燥區較無需通入惰性質。 ● 周遭設備有防爆需求

以迪化污水處理廠乾燥機為例(如圖 8.65)，廠內設置 2 台污泥乾燥設備，每台每日可處理 70 噸脫水污泥，以熱煤油(溫度維持 124～226℃)間接加熱污泥，其燃料優先使用廠內污泥厭氧消化槽所產生之消化瓦斯，不足者再補充天然氣作為燃料。脫水污泥於乾燥設備內部停留約 4～6 小時後，其污泥含水率可由 80%降至約 10%，乾燥後污泥藉由污泥輸送機運送直接掉入太空包裝袋內後封口打包，再清運至最終處置場所。

⑥ 蒸發冷凝式乾燥機

蒸發冷凝式乾燥機如圖 8.66 其原理為污泥水分於乾燥箱中被帶出，濕氣中的水分在冷凝器中凝結後，變為乾燥氣流，重新加熱並在系統內循環，用以加熱污泥，與食品冷凍乾燥原理相似。

污泥冷凝式乾燥機特色如下：

a. 密閉循環，幾無異味外逸。

b. 能耗低，電力消耗 0.4 kWh/kg H_2O。

c. 多於 70～80℃下運轉，產出污泥含水率約 40～50%，亦有達 30%者(花蓮)。

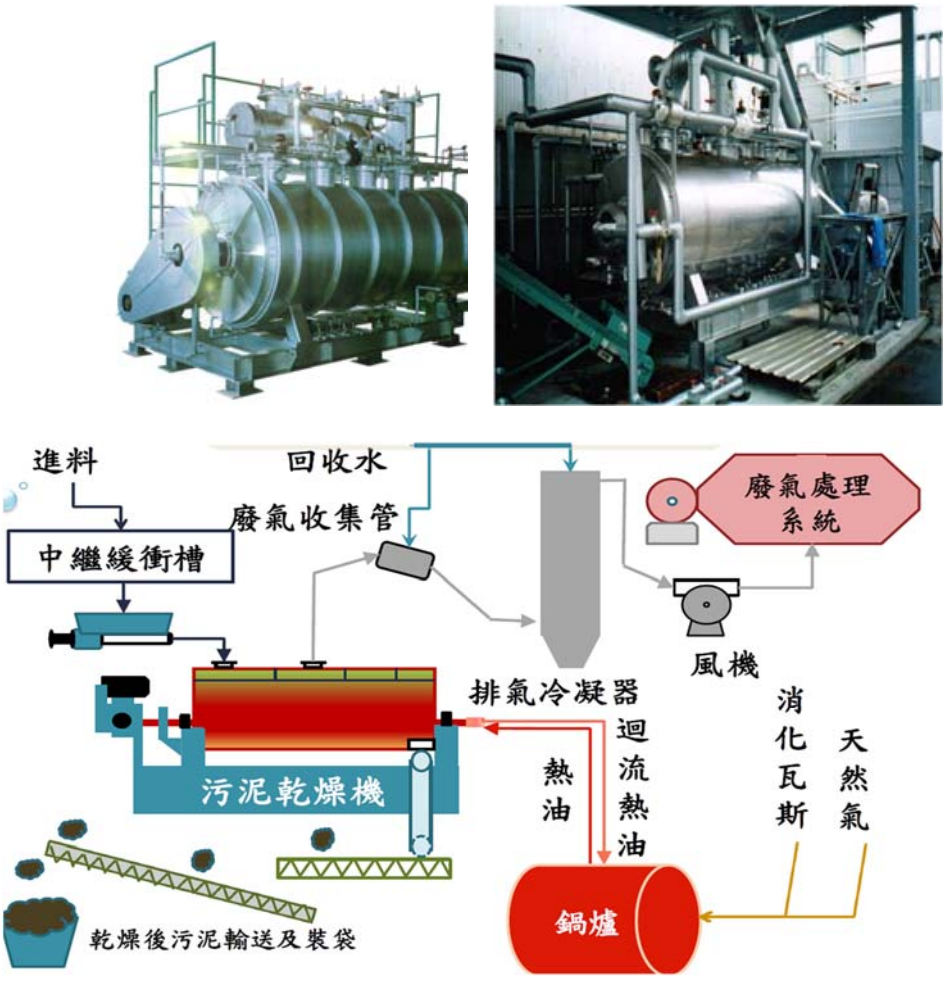


圖 8.64 真空式乾燥機流程及照片



圖 8.65 污泥乾燥機例(迪化污水廠)

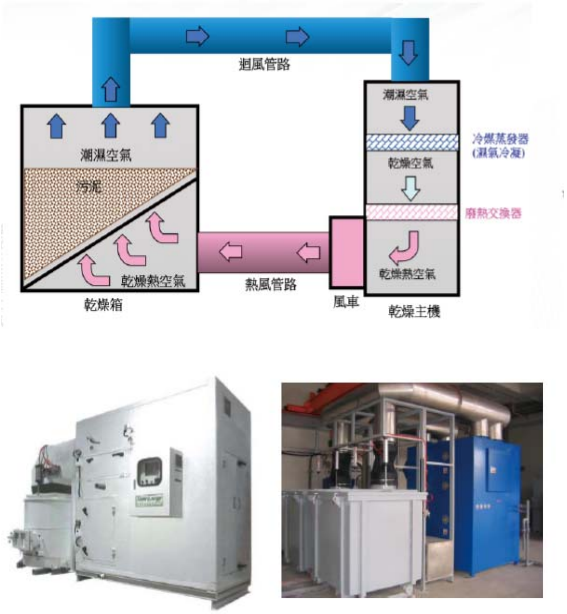


圖 8.66 蒸發冷凝式乾燥機

8.8 污泥熱處理

脫水泥餅之含水率仍約 80%，若為減量或材料資源化利用，則可進一步做熱處理，包括焚化、熔融處理、熱能、碳化、水解及燃料化。

例如含水率 75%的污泥予以焚化，若去除殘留之水分及相當固體中 50%揮發性物質(有機物)，則焚化後殘留約為脫水污泥量的 12.5%。

污泥中含有多量水分，為使燃燒時排出之氣體不具臭味，燃燒溫度應達 700～1000℃。污泥中揮發性物質發熱量約 5,000～6,000 Kcal/kg，消化污泥泥餅一般為 1,500～2,000 Kcal/kg，生污泥餅約 2,000～3,000 Kcal/kg。為使污泥燃燒時不發生臭氣，應使其達完全燃燒，排出的廢氣，應適當處理。

表 8.25 國內乾燥機設置情形與能耗比較表

污水廠	設備型式	能源效率	能源效率單位
八里污水處理廠	間接加熱	<770	千卡 / kg H_2O
林口水資源回收中心	蒸發冷凝	0.45	度電 / kg H_2O
龜山水資源回收中心	間接加熱	<770	千卡 / kg H_2O
客雅水資源回收中心	蒸發冷凝	0.45	度電 / kg H_2O
福田水資源回收中心	間接加熱	<770	千卡 / kg H_2O
斗六市水資源回收中心	蒸發冷凝	0.5	度電 / kg H_2O
朴子市水資源回收中心	蒸發冷凝	0.49	度電 / kg H_2O
六塊厝污水處理廠	間接加熱	<800	千卡 / kg H_2O
花蓮水資源回收中心	蒸發冷凝	0.5	度電 / kg H_2O
榮湖水資源回收中心	間接加熱	<850	千卡 / kg H_2O
安平水資源回收中心	蒸發冷凝	0.41	度電 / kg H_2O

8.8.1 污泥焚化

污泥焚化爐之設置，於考量下列各項設計之：

1. 依污泥處理目標年之污泥性質、年間變動、操作日數等決定處理規模。
2. 基於必須定期停爐檢修，原則上爐數應為複數，並考量負荷變動，應有適當餘裕量。

解說：

1. 常見污泥焚化設備包括流動床、多段床及旋轉窯等種類，又以流動床焚化爐(Fluidized bed combustor)應用最廣。流動式焚化爐之設計，視爐體本體重量、附屬設備重量、流動媒體重量、供給污泥重量、旋轉力矩、地震及風壓等，取大者設計，如圖 8.67。流體焚化床之爐床面積及爐高度，依污泥的性質、空塔速度及爐內停留時間、水分負荷率決定之。爐體之構造及高度，以能形成流動層的均勻，可在爐內達到完全燃燒，且流體媒體不會濺出爐外，其高度在靜止時約 1m，流動時約 1.5 倍，流體媒體為矽砂，粒徑為 0.1～1.0 mm。爐體應具耐火磚之材質，能充分耐火、耐腐蝕及耐磨損。
2. 應有餘裕高度，並設置爐壁維修檢查口設施等。依需要設置流動媒體之供給及排出之設施。若將沉砂、浮渣及篩渣一併混燒時，應於流動層下部設置粗大物排出口，並設置異常時之緊急排放閥。為防止產生戴奧辛及 N_2O，燃燒溫度為 850℃以上為宜，沉砂一併混燒時，應酌升溫度。為維持流動床的接觸效率，空氣比以 1.3 為宜。為防止燃燒氣體自檢查口外溢，爐體餘裕應經常維持負壓(-50～-500 Pa)。焚化爐輔助燃料，原則上以消化瓦斯為之，但消化瓦斯不足時，則以天然瓦斯或燃油為燃料，或垃圾與污泥混燒。應設置防二次公害氣體排出設施。焚化爐之廢熱，應回收做為燃燒空氣之預熱用。廢

氣處理設施，應有防止產生白煙之熱交換器的回收設施。為節省輔助燃料，鍋爐所產生的廢熱、廢氣，應以熱交換器回收，供做脫水污泥餅乾燥用。洗煙廢水的熱能，也應檢討回收利用。

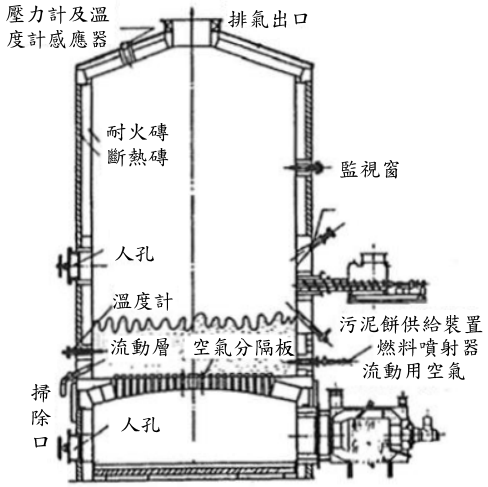


圖 8.67 流體化床式焚化爐示意圖

8.8.2 污泥熱解

污泥熱解係利用高溫將污泥在無氧或缺氧條件下，使有機物之化學鍵結斷裂重組，熱解時可將污泥中有機成分轉化成燃油或燃氣回收再利用，處理流程如圖 8.68。

污泥熱解設計考量如下： 1. 依污泥熱解後之用途需求，年間變動及操作日數，決定處理規模。 2. 污泥熱解溫度，以 600～1,000℃。

解說：

1. 熱解係將污泥加熱至固定溫度(高溫為 600～1,000℃，低溫指小於 600℃)、無氧或缺氧之操作條件下，藉由乾餾及熱解作用將污泥之有機物轉化為小分子碳氫化合物之反應行為，其受熱分解過程包括碳化、液化及氣化等反應，使污泥分解為油、不凝性氣體及碳化物等。
2. 污泥於熱解的過程中，由於熱力學上限制，往往導致部分燃燒或燃燒不完全，而產生微量的有機污染物，如 VOCs、PAHs 等。
3. 分別在不同溫度(550℃、350℃、250℃)下以污泥熱解，發現其碳渣可資源再利用，當作吸附劑、鋪路骨材等。
4. 有關污泥熱解技術特點包括：
   (1) 設備較簡單(與其他能源化再利用技術相比)，無需耐高溫、高壓設備。
   (2) 能量回收率高，污泥中含碳約 2/3 得以熱解燃油型式回收。
   (3) 由於反應溫度較低，廢氣之污染物(如氮氧化物等)濃度亦較低。
   (4) 下水污泥如已於污水廠內經厭氧消化，因有機成份降低，熱解燃油產量將受影響。
   (5) 技術成熟度與商業化規模尚待觀察。

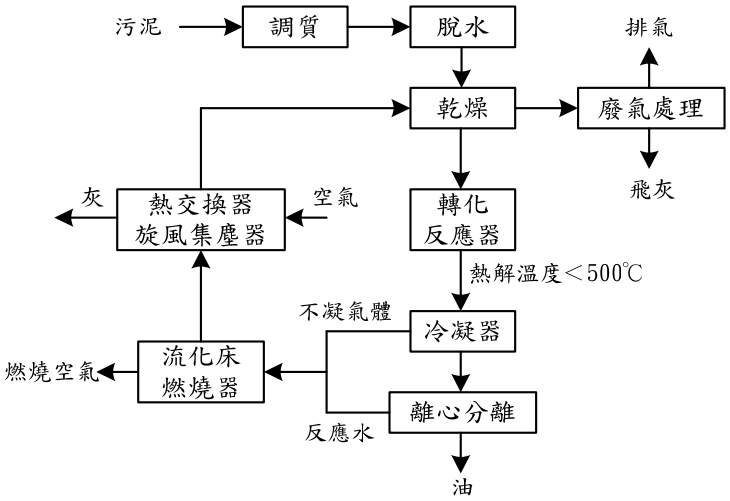


圖 8.68 下水污泥熱解處理流程圖

8.8.3 污泥碳化

下水污泥在缺氧或無氧下加熱，其水分及吸著氣體就即行蒸發，繼而熱分解並排出乾餾氣體，在約 800℃之碳化爐燃燒下成為碳化污泥，此一過程稱為碳化。

碳化產品因含有磷，容易被植物吸收，可供做綠農地肥料及土壤改良用，也可做為煤炭的替代燃料。

污泥碳化設計考量如下：

1. 依污泥碳化後之用途需求，年間變動及操作日數，決定處理規模。
2. 污泥碳化方式，可以脫水污泥直接碳化，以及脫水污泥經乾燥至一定含水率後再進行碳化。
3. 脫水污泥碳化系統，包括脫水污泥投入供給設備、乾燥設備、碳化設備、排氣及廢氣處理設備等所組成。依其產品做為綠農地肥料用、固體燃料或供做脫水污泥助燃劑之不同目的，決定碳化系統。

解說：

1. 碳化產品有自燃性，為一可燃物，因之在處理系統之規劃、設計及管理上，應考量其發熱機制，有適當及安全防護措施，並符合消防相關規定。依東京都經驗，碳化產品熱值估計約 2,000 kcal/kg(約一般煤炭之三分之一)，可作為鄰近火力發電廠之替代燃料(混燒比約 1%)。
2. 脫水污泥直接碳化，其系統比經乾燥污泥進行碳化為複雜，其設計以能減少能源利用或回收熱能供乾燥利用。
3. 依日本實廠經驗，碳化技術可依操作溫度分為低溫碳化(250～350℃)、中溫碳化(400～500℃)及高溫碳化(600～800℃)，實廠污泥碳化技術比較如表 8.26。

   有關污泥碳化技術特點包括：

   (1) 能源轉換率高，廢氣產生量通常較焚化少。
   (2) 應用技術多集中於高溫碳化領域，有關低溫碳化之技術成熟度與商業化規模尚待觀察。

(3) 下水污泥如已於污水廠內經厭氧消化，因有機成份降低，碳化產生之碳化物燃料量將受影響。

目前東京都污泥碳化處理流程以及日本下水污泥碳化實廠處理流程，如圖 8.69。

宜蘭污水處理廠也設置有每日處理污泥量 10 噸之污泥碳化處理驗證廠，其流程示如圖 8.70。

本系統主要將脫水污泥進行乾燥，利用污泥碳化過程所產生的可燃性乾餾氣體燃燒後產生約 750-850℃高溫煙氣為熱源，並將水分乾燥至 30%(含水率)後透過輸送機送至乾燥後污泥貯槽。

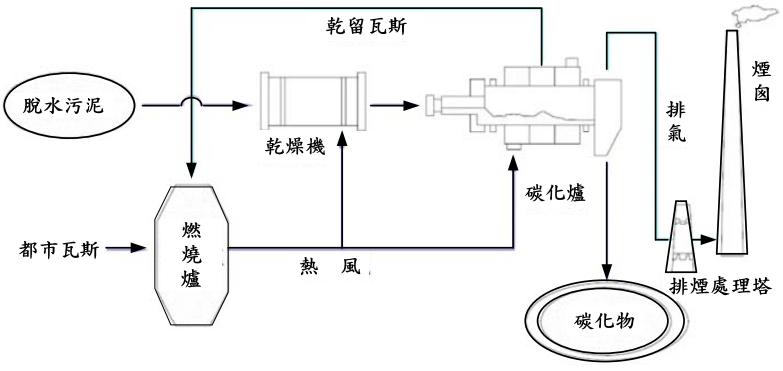
本系統為外熱多段式碳化加熱爐，爐內由多段螺旋輸送管上下貫通，螺旋傳送器外面有一層設有小孔的外殼。並由分段式的螺旋輸送管依次被移送到上段、中段、下段。碳化系統爐內溫度可依現況作調整，加熱方式為從螺旋輸送管的殼體加熱，而通過碳化加熱爐螺旋輸送管內的乾燥污泥在低氧狀態下受熱分解，碳化時間為 20~60 分鐘，污泥在碳化加熱爐中加熱後，在表面和內部形成了眾多的孔洞，進一步的升溫後，有機成分持續減少，最終形成富含固定碳的碳化產品。

表 8.26 污泥碳化技術比較

項目		低溫碳化	中溫碳化	高溫碳化
碳化溫度		250～350℃	400～500℃	600～800℃
發熱量 (kcal/kg-DC)	未消化	4,500～5,300	2,650～4,750	2,400～3,600
	消化	3,100～3,800	2,400～2,850	1,700～2,200
臭氣		微臭	無臭	無臭
自然發火性		低	有必要調濕	低

資料來源：月島機械株式會社

備註：有文獻指出，污泥低溫碳化易產生氧化亞氮。



資料來源：東京都下水道局

圖 8.69 東京都污泥碳化處理流程圖



資料來源：晶淨科技股份有限公司

圖 8.70 宜蘭脫水污泥碳化處理驗證廠流程圖

8.8.4 污泥熔融

熔融係將污泥加熱至熔融點以上(約於 1,100～1,400℃條件下)，使其熔化成液狀，再經氣冷或水淬方式冷卻後，形成玻璃狀熔渣，處理流程如圖 8.71。

污泥熔融處理規模及爐數依下列因素決定之：
1. 處理污泥量及其未來之可能變化。
2. 污泥之性狀及其一年間之變化狀況及操作率，以決定處理規模。
3. 配合定期檢修及停止使用時之需要，原則上以複數爐數。
4. 為因應污泥量之變動，應有餘裕量。
5. 應有配合未來設備更新之因應措施。

解說：

處理規模依單獨或複數污水處理廠集中處理量，規模及爐數依下列因素決定之：

1. 處理污泥量及其未來之可能變化。
2. 應掌握污泥之性質及其一年間之變化狀況及操作率，以決定處理規模。
3. 配合定期檢修及停止使用時之需要，原則上以複數爐數。
4. 為因應污泥量之變動，應有餘裕量。
5. 應有配合未來設備更新之因應措施。污泥熔融設施，包括下列設備：
   (1) 前處理設備
      ①應有污泥餅或灰渣定量供給設備。
      ②脫水污泥乾燥設備。
      ③灰渣投入設備。
      ④調理劑投入設備。

(2) 熔融爐之構造及材質，同焚化爐之構造及材質。

(3) 熔融產生設備

①應有可能爐體連續流出融液、冷卻、固化所需設備。

②應設有融渣貯存斗或堆置場及搬運設備。

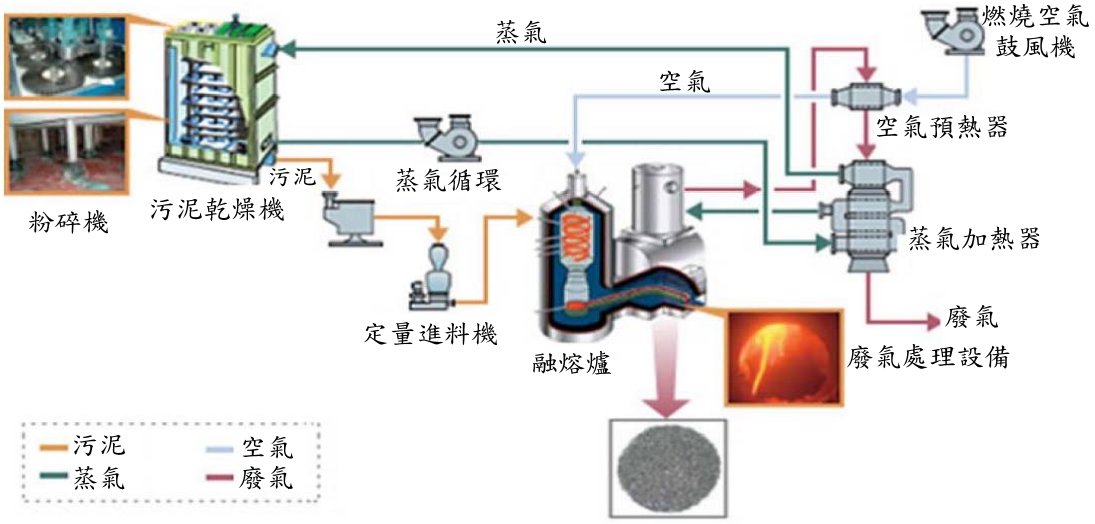
③融液流出口容易維護之空間。

(4) 廢熱回收設備

①利用廢熱供熱交換，以預熱空氣做為燃燒用空氣。

②爐內水管、鍋爐廢熱及鍋爐之廢氣，可回收熱能，供做為污泥乾燥及蒸氣鍋爐之熱源。

(5) 廢氣處理設備之設計，依相關法令規定而定。



資料來源：月島機械株式會社

圖 8.71 下水污泥熔融處理流程

8.9 污泥資源化利用及最終處置

下水道是改善都市生活環境及保護水域水質，都市生活之中重要的公共設施。但近來由於全球溫暖化氣候變遷及資源、能源的不足，下水道之功能漸趨多樣化。

下水道為水、熱等各種利用可能的資源、能源，從廢棄物問題解決及資源的有效利用的觀點，污泥的有效利用甚為重要。

有效利用技術包括物質回收、物質轉換及能源轉換三大類。物質轉換包括堆肥、焚化灰渣建設材料化之污泥循環利用處置轉換技術。能源轉換包括消化瓦斯發電或污泥乾燥化。另污泥中有用物質的回收則尚在發展階段。

污水處理過程中有用物質可回收構想流程如圖 8.72。下水污泥資源化之途徑如圖 8.73。下水污泥依污泥型式不同之資源利用樹，如圖 8.74。

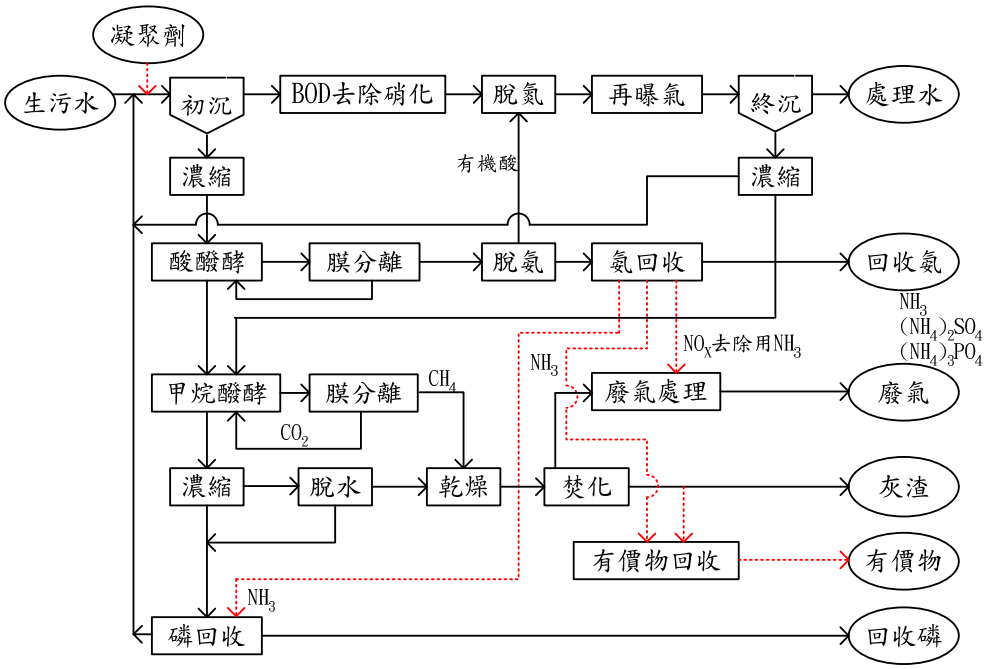


圖 8.72 污水處理過程中回收有用物質構想(例)

8.9.1 污泥資源化利用及最終處置

污泥資源化回收利用，應就規模、用途及經濟性比較後，選擇應用：

1. 綠農地利用。
2. 建設材料利用及最終處置。
3. 消化氣體能源利用。
4. 磷回收利用。

解說：

1. 綠農地利用

(1) 在現階段下水道堆肥污泥利用尚未鬆綁之前，宜朝市鎮綠地、花卉、行道樹等土壤改良利用，目前雨水下水道側溝清理之污泥，係作為市鎮綠地、花卉、行道樹等土壤改良利用。

(2) 將來法令有所改變調整後，可朝供水稻、蔬菜及果樹有機肥料利用，其利用量如表 8.27。

表 8.27 農作物有機肥需求量

作物		施肥量(t/ha・year)
水稻(水田)		2～4
蔬菜	露天式	3～6
	遮蔽式	2～4
果樹		3～6

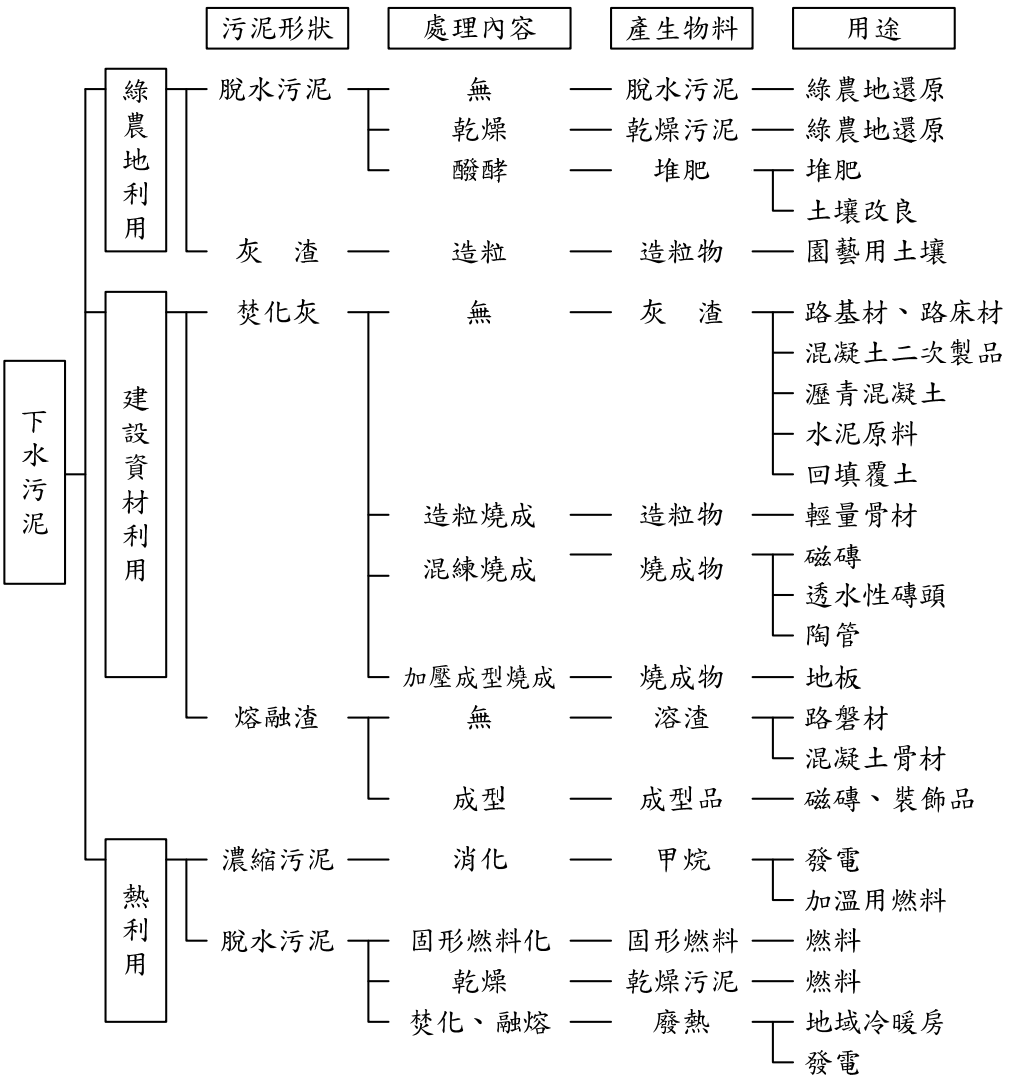


圖 8.73 下水污泥資源化之途徑

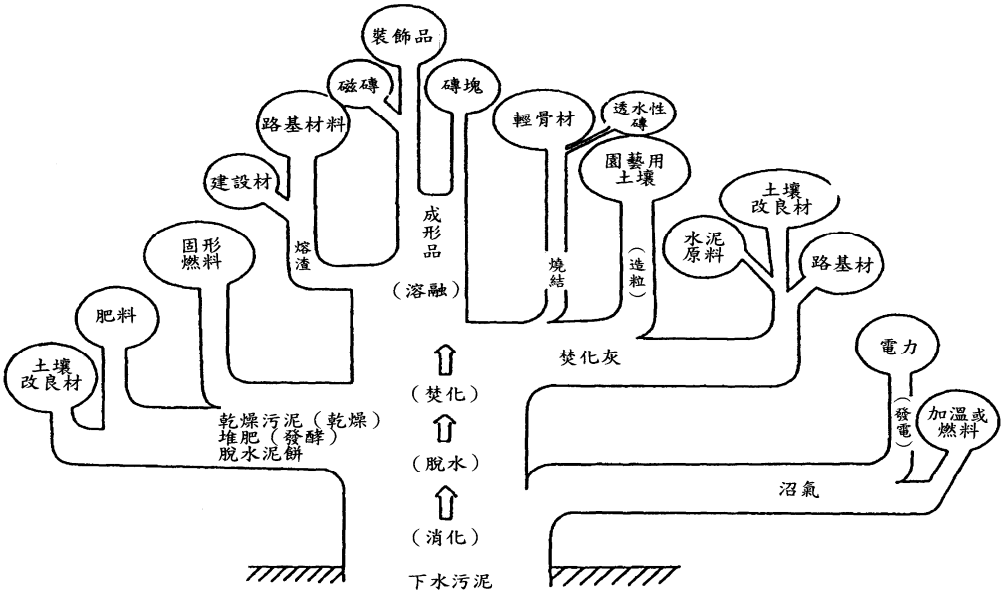


圖 8.74 下水污泥資源樹

2. 建設材料利用及最終處置

下水污泥建設材料利用，分為污泥經適當處理後，直接利用或經加工程序後利用等兩種型態。

一種是污泥經烘乾、焚化後之焚化灰渣，未再加工而直接利用為建設材料，一般多做為柏油混合料、土壤改良材料、混凝土二次製品原料、水泥原料、垃圾掩埋場覆土、路基材料等利用。尤其市鎮建設路基及下水道管線埋設回填料需求大，且污泥經焚化後灰渣之化學成分，皆可符合土壤標準利用，各種檢驗項目之現值，當可有效使用。

依據營建署下水污泥處理減量及再利用審查管理計畫，污泥特性調查結果如表 8.28。各檢驗項目在生活污水處理廠皆符合土壤標準限值，應為現階段最適的利用及最終處置。至於台中港特定區及六堵因係工業廢水處理為主，而有銅、鎳、鋅等超標現象，故可朝管制生活污水廠以不納入工業廢水，以免造成污泥最終處理之問題。

另一種利用型態，則以焚化灰渣做為原料的一部分或全部，予以加工處理做成建築材料。加工方法主要為加工成形、燒結等，而做成磁磚、磚塊、紅瓦、陶管、輕量骨材及裝飾品等利用之。

表 8.28 台灣地區污水廠污泥特性與土壤標準比較(mg/kg)

廠家/檢驗項目 (105-106 年度)	砷	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅
土壤標準	60	20	250	400	20	200	2,000	2,000
淡水	3.6	1.7	54.8	244.5	2.7	33.5	27.8	1,175
林口	3.8	2.0	126.5	201.0	3.2	68.2	31.9	1,123
客雅	4.4	1.5	45.9	156.0	2.5	28.2	27.3	688
竹南頭份	6.7	2.5	65.8	179.3	4.0	47.1	41.8	982
斗六	14.7	2.8	92.4	348.0	3.2	56.3	71.9	1,982
楠梓	5.1	2.3	115.8	250.8	4.7	74.5	58.8	1,950
羅東	15.8	2.4	50.7	217.8	8.5	37.5	44.1	812
花蓮	4.6	1.7	52.0	170.3	4.2	82.0	28.4	911
台中港特定區	10.6	3.3	152.5	1,104.8	1.0	74.5	62.5	2,147
六堵	3.6	2.6	97.4	499.8	9.8	471.5	51.8	1,632

3. 能源利用

(1) 消化瓦斯利用

消化瓦斯主要成分為甲烷(約 60%)、二氧化碳(約 35%)，其他為硫化氫、水分等。消化瓦斯發熱量約 5,500 kcal/Nm^3，與低位發熱量的都市瓦斯具同等之燃料價值。將消化瓦斯中具腐蝕性的硫化氫予以去除就可供燃料用，做為發電機、鼓風機、泵等原動機之燃料，污泥加溫用鍋爐、污泥烘乾熱源及污泥焚化爐之補助燃料，甚至可出售予瓦斯公司等。消化瓦斯及蒸氣供給系統如圖 8.75。

(2) 消化瓦斯發電利用與垃圾焚化廠能源連結利用

歐美各國自早期即進行以消化瓦斯發電，下水污泥(乾固體物)每 kg 約可產生 0.35 Nm^3 之消化瓦斯，該瓦斯之燃燒熱能之 30～37%轉變為電力下，約可獲得 0.7 kW 之電力。消化瓦斯與垃圾焚化廠能源利用例，統如圖 8.76。

未來污水處理廠為節省能源，應朝向減少契約用電，將自產的消化瓦斯發電約可達自給率 15～30%，而國外有達 64～73%，甚至 100%。消化瓦斯也可與垃圾焚化廠能源共同連結利用，其流程如圖 8.77。

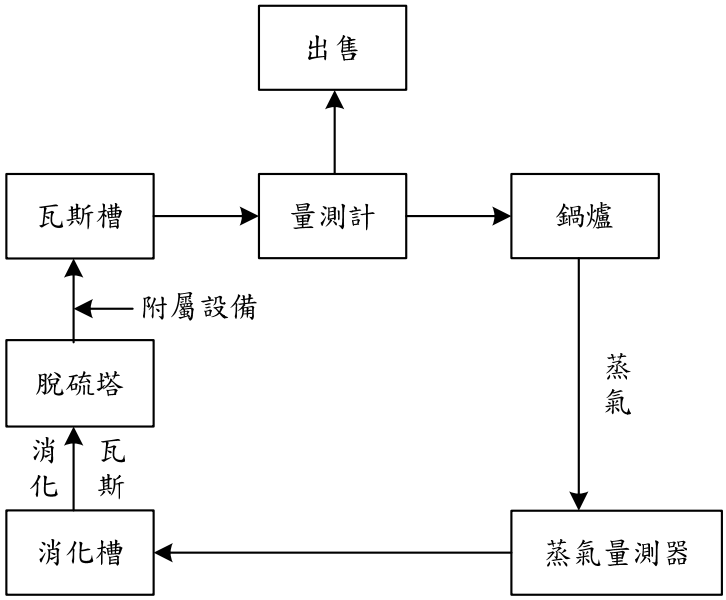


圖 8.75 消化瓦斯、蒸氣供給系統例

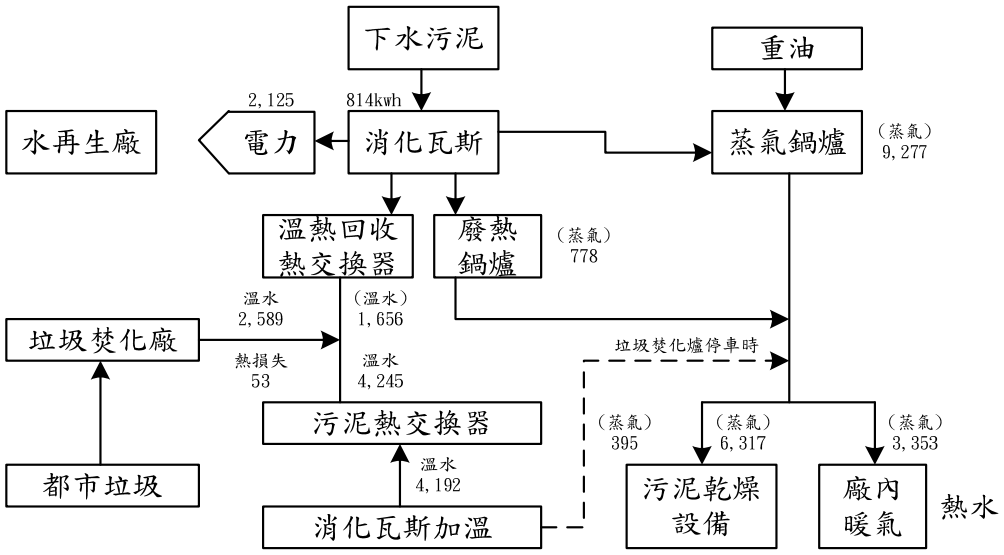


圖 8.76 消化瓦斯與垃圾焚化廠能源利用例(單位：kWh)

(3) 消化瓦斯燃料電池

燃料電池比起消化瓦斯發電，其具發電效率較高，且其廢氣 NOx 量

低，而具清潔、低振動噪音之特性，未來利用潛勢大。

一般燃料電池所使用之燃料氣體，要求高純度，而消化瓦斯對於電池燃料中含有高濃度的 CO_2 約 35%，因不具活性會影響電池出力，又硫化氫因腐蝕性強，會腐蝕電池內部的觸媒，因之將消化瓦斯做為燃料電池時，必須先去除此兩種物質，其他物質在可能範圍內，應予去除，以獲得高純度的甲烷。

燃料電池是將消化瓦斯進行前處理，將 60%濃度的甲烷純化為 90%的高濃度氣體，再將該氣體以水蒸氣高溫化，藉觸媒作用將氫氣變換，而該氫氣瓦斯與空氣中的氧做為燃料電池之電解質進行化學反應(水的電化分解及逆反應)，而發生直流電。其反應為發熱反應，高溫之排氣可由熱交換器回收有效利用。發電效率比消化瓦斯發電的 30%高約 40%，NOx(氮氧化物)濃度在 10 mg/L 以下(瓦斯引擎約 200 mg/L)，SOx(硫氧化物)在 0.01 mg/L 以下，噪音約 65 dB(瓦斯引擎 100 dB)，燃料電池所發生水蒸氣可供污泥處理利用。

(4) 下水污泥燃料化

下水污泥固體物約含有機成分 65～80%，此一污泥固體物平均具有熱值 4,200 kcal/kg(高分子凝聚劑脫水泥餅)，而脫水後污泥餅固體物約 20%，水分 80%，經乾燥處理至含水率約 30%以下，與垃圾共燒回收能源，即為污泥燃料化。一般做為燃料化之污泥，仍以先經厭氧消化，並回收瓦斯做為污泥餅烘乾之熱源，較未消化直接脫水污泥餅之烘乾，其能源效益較高。

另污泥燃料化，可先將其含水率 80%的脫水污泥餅，以消化瓦斯為熱源，降低含水率至 4%左右，含油份 10～20%，與低位發量 4,000～5,000 kcal/kg 的煤炭相近的污泥燃料。

污泥燃料可供作水泥製造用燃料，其燃料灰渣成為水泥的一部分，對於下水污泥的有效利用甚具效能。污泥燃料也可作為各種鍋爐之固體燃料，其所產生的蒸氣熱能，可供發電、溫水游泳池等之熱源。

4. 磷回收利用

台灣並無磷礦產出，為一輸入國，每年約需輸入 55,952 噸，供肥料、飼料及化工業利用。

依統計至民國 120 年公共污水下水道普及率 52%時，流入污水中每年約含有 8,000 噸的磷，此等污水中的磷若能藉污水處理程序，從厭氧消化澄清液，可予以回收，提供肥料利用。國內磷之使用量與下水道系統磷量推估量，如圖 8.77。

磷於污水處理過程，可藉由厭氧好氧活性污泥法，透過磷蓄積菌之代謝將磷累積於污泥中，之後，污泥於濃縮或消化單元，磷大量被釋出存在於上澄液中，高磷濃度之上澄液，可藉由結晶技術將磷轉化為顆粒狀之磷肥。一

般常見之磷結晶產物為磷酸鈣晶體($Ca_5(PO_4)_3OH$,HAP)或磷酸銨鎂晶體($MgNH_4PO_4·6H_2O$, MAP)，磷酸銨鎂晶體之市場價格較高。

荷蘭、日本等流體化床結晶技術大部分已有實廠運轉經驗。流體化床結晶法以污泥處理過程中上澄液或脫水濾液為對象進行磷之回收，磷回收最佳單元為污泥濃縮、消化槽及脫水機單元，此三單元皆可取得含磷之水樣，再經由流體化床結晶技術以 MAP 及 HAP 結晶法進行磷回收，如圖 8.78 所示。此外，亦有從污泥焚化或燒卻之殘留灰加酸萃取磷之回收方式。我國之磷回收有待未來於設有厭氧消化之污水廠以實廠驗證。

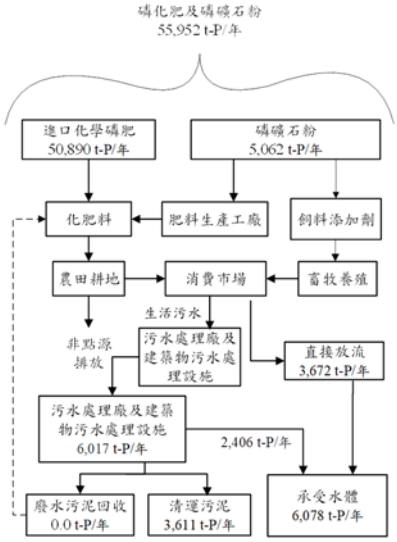


圖 8.77 國內磷之使用量與下水道系統磷量推估(民國 108 年資料)

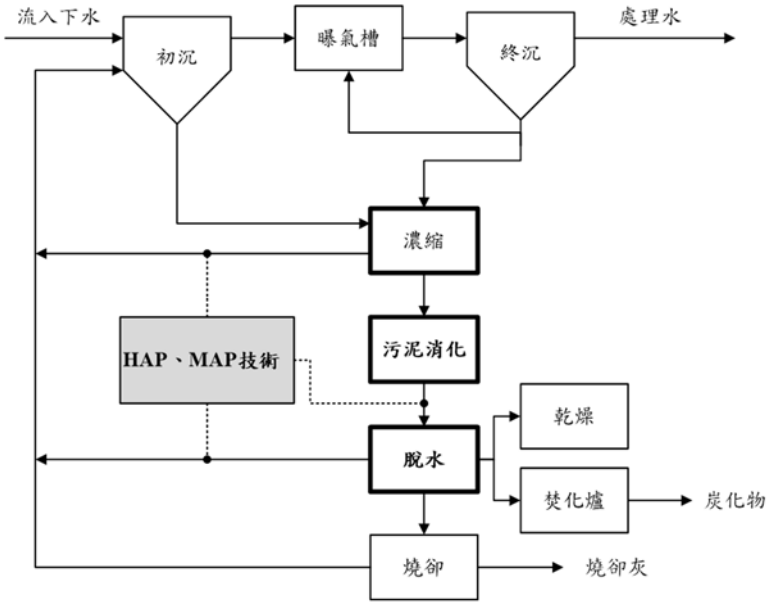


圖 8.78 磷回收技術應用單元與對象

第九章 污水處理廠附屬設施

9.1 概說

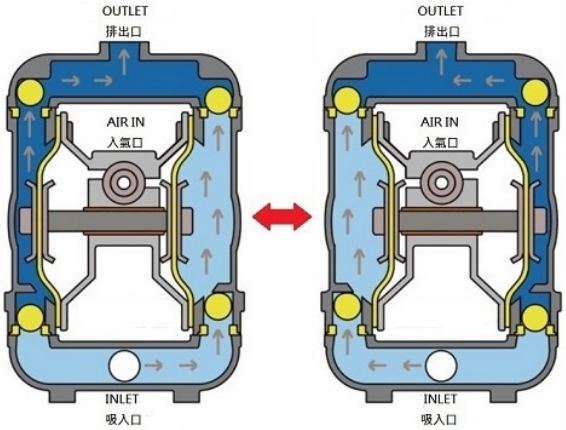
本章主要說明處理單元外之附屬設施，如：管理中心、實驗室維修室及備料貯藏室等設置時應有之考量，並介紹污水處理廠的臭氣處理設施之設計要點。最後對於池槽利用聯絡渠道、管線等分水方式、全廠水位及高程等設計應有之考量，加以詳述。

9.2 廠內污水抽水機

抽水機除為前述第三章進流污水抽水站之主要設備外，亦應用於污水處理廠之其他設施中，如污泥抽水機、給水抽水機及加藥抽水機等。污水處理廠使用抽水機之型式及數量皆相當多，為適合各種用途，應依各目的選用最適當的型式、大小及材質，如表 9.1，為三種抽水機型式、特徵、構造分類及用途之概要說明。

污水處理廠內各種用途目的之抽水機，如表 9.1。圖 9.1 為各用途別可選用之抽水機種，其中氣升式、渦流式及離心式抽水機之說明，詳上冊第三章內容，而隔膜泵、柱塞泵及推進腔泵，其特性說明如下：

1. 隔膜泵屬於往復泵的一種，利用彈性薄膜、耐腐蝕橡膠或彈性金屬片，將泵分隔成互不相通的兩部分，分別是被輸送液體和活塞區域。活塞的往復運動，通過同側的介質傳遞到隔膜上，使隔膜亦作往復運動，從而被輸送液體經球形活門吸入和排出。隔膜泵內與被輸送液體接觸的唯一零件，只有球形活門。一般在污水處理廠隔膜泵，主要用於輸送藥劑，例如次氯酸鈉等。



2. 柱塞泵屬於容積式泵、往復泵的一種泵。它依靠柱塞在缸體中往復運動，使密封工作容腔的容積發生變化來吸液體、壓液體。柱塞泵具有額定壓力高、結構緊湊、效率高和流量調節方便等優點，被廣泛應用於高壓、大流量和流量需要調節的場合。以軸向柱塞泵為例，是活塞或柱塞的往復運動方向與缸體中心軸平行的柱塞泵，利用與傳動軸平行的柱塞，在柱塞孔內往復運動所產生的容積變化來進行工作的，由於柱塞和柱塞孔都是圓形零件，可以達到

很高的精度配合，因此容積效率高。

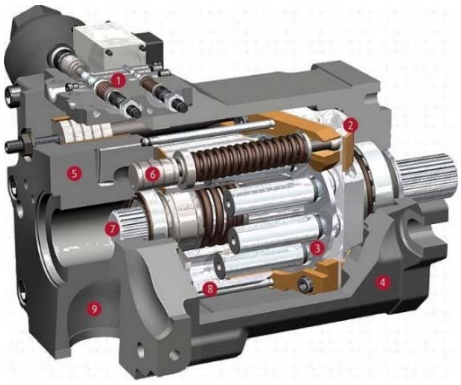


表 9.1 抽水機型式、特性、構造分類及用途之概要說明

種類	型式		特性	構造分類或代表名稱	用途
動能式抽水機	離心式抽水機	徑流抽水機	高水頭、低容量	不堵塞式、自吸式、渦流式(葉輪退縮型)、單吸、雙吸、單段、多段、開放型葉輪、密閉型葉輪、沉水式、螺旋-離心葉輪式、磨碎式、切削式、不堵塞式(VTSH型)。	雨水、污水、排泥、污泥迴流、取水樣、井水
		混流抽水機	中水頭、中容量		雨水、污水、迴流污泥
		軸流抽水機	低水頭、高容量		防洪、污水、迴流污泥
	渦輪式抽水機	混流抽水機	高水頭、低容量	1. 線軸驅動豎軸多段式、沉水馬達驅動豎軸多段式 2. 橫軸軸流式	深井、清水
		軸流抽水機	低水頭、高容量		防洪
正位移式抽水機	往復式抽水機		低容量、高壓力、定量	活塞式、柱塞式、隔膜式	污泥、化學藥劑
	旋轉式葉瓣抽水機		低容量、高壓力、定量	葉瓣式、齒輪式	污泥、化學藥劑
	推進腔式抽水機		低容量、高壓力、定量	單段、多段	污泥、化學藥劑
	螺旋抽水機		構造簡單，不阻塞	開放型、閉合型	防洪、污水、迴流污泥
特殊抽水機	氣壓噴射抽水機		小容量、中水頭		利用廠內多餘的高壓空氣作為排水用
	氣昇式抽水機		無轉動零件、故障少，需有送氣設備、效率低。	氣昇	排泥、沉砂排除、污泥迴流、深井

註：本表所註各型式抽水機之用途僅作為參考。

3. 推進腔泵為一種迴轉容積型之單軸螺旋泵浦，其轉子為斷面成圓形之金屬製外螺旋，而定子為斷面長圓形之橡膠製(彈性材料)內螺旋。轉子置於其偏心軸之中心做迴轉，則轉子會在定子內部一方面做迴轉，一方面做上下運動。當轉子一開始迴轉，即可立刻產生強而有力之自吸作用，此時被吸入充滿在轉子與定子兩者空隙(與轉子之容積相等)間之液體，便會順著其螺旋之前進運動方向，連續不斷的由吸入口，輸送到排出口。



9.3 管理中心實驗室

9.3.1 管理中心

污水處理廠管理中心設計考慮事項如下： 1. 污水處理廠管理中心，應包含辦公室、會議室、檔案室、更衣室、茶水間、浴室、廁所、備勤寢室、中央監控室、實驗室等及其他機電室，並視需求設置值日室、詢問台及配合環境教育設置之相關設施。 2. 廠內的連絡及廣播設備。 3. 朝向銀級綠建築與合格級智慧建築進行設計。

解說：

污水處理廠管理中心之設計，應依污水處理廠規模、管理人力、管理體系及污水處理廠概況，做合理的空間配置，並以綠建築設計。為使污水處理廠能進行適當的維護管理，應設置以下的各種必要設施：

1. (1)辦公室，污水處理廠管理中心，應包含辦公室、會議室、檔案室、更衣室、茶水間、浴室、廁所、中央監控室、實驗室等及其他機電室，管理中心除為全廠之操作管理控管中心外，尚包括外來訪客、參觀服務及員工工作活動之空間，故能提供管理之用外，更應呈現其形象和環境友善性。設計時應依污水處理廠規模、管理人力、管理體系及污水處理廠概況，做合理的空間配置，並以綠建築設計。

   (2)會議室，係作為召開管理及營運會議、員工之講習及研修等使用，也做為供一般參觀訪客的說明場所來使用。

   (3)檔案室，係存放污水處理廠之竣工圖、設計原圖、施工紀錄、操作運轉手冊、型錄、水質試驗報告、操作日報、月報、年報等維修管理上必要之資料，而一般事務用之公文紙，係放在倉庫中保管，其位置應考量能與辦公室連通。

   (4)走道的動線，應考慮到簡明及最短化，對於高齡及身障者，應考量安全及容易移動，具體的說，應確保輪椅通行的路寬、並提供無障礙坡道，必要時

設置電梯等。

(5)廁所應考量供參觀訪客之使用，男廁與女廁分開，亦應考量供身障者使用。處理廠占地遼闊時，距離管理中心較遠的場所，也有必要設置廁所。

(6)管理中心各室之大小，可參考表 9.2 計算其面積。

2. 污水處理廠廠內適當處所，應備有通信設備，以備各設施間之連絡、緊急狀況之通報等。小規模污水處理廠，可使用對講機，一般污水處理廠，使用廠內電話。要連絡在戶外的人員時，如備有擴音器則較為方便。比起以對講機或手機連絡，擴音器一方面可同時連絡一群人，一方面亦可連絡正用對講機或手機與他人通訊中的人，且避免忘記帶手機、手機關機、手機沒電等之無法以手機聯絡之情況。再者，聽到廣播的人，亦可提醒沒注意到廣播的其他人。

9.3.2 實驗室

實驗室之設置考量如下：

1. 實驗室原則上，應設置於管理中心內，適合採取試體及維持管理之處。
2. 實驗室的組成，依照處理廠的規模、檢驗內容及工作人員數量而定。實驗室可包括中央檢驗室、研究室、天秤室、儀器分析室、恆溫室、瓶桶裝室等。配置以中央檢驗室為中心，需考量檢驗作業效率及與諸室連絡之方便性。
3. 實驗室空間，應考量樣品處理、一般檢驗、生物檢驗、儀器分析、藥品、鋼瓶、研究、品保品管及實驗室廢液收集貯存區等空間。總面積依污水處理廠之規模計算，大規模者為 200 m^2 以下，中規模者為 150 m^2 以下。小規模污水處理廠之實驗室，僅檢驗基本水質項目：水溫、pH、SS、BOD、DO，其他必要時(如 COD、導電度 EC)可交由中大規模污水處理廠或委外予合格實驗室檢驗代為檢驗。

解說：

1. 水質及污泥檢驗的結果，如未能及時獲得會反映到處理廠的操作運轉，因此實驗室原則上，應設置於較好連絡到辦公室及中央監控室的管理中心內。水質及污泥檢驗相伴隨的作業，係到處理廠內各單元設施處採樣及目視檢查，如做現場檢驗，會搬出各種機器，多次進出戶外，所以實驗室的位置，最好設在管理中心的一樓，以避免二樓以上機器搬出及搬入的問題。另外實驗室可在面向戶外的牆上，設置水樣收受口，採到的水樣可經由收受口送進實驗室。該牆上並可設一扇後門，以專供採樣人員的進出，避免採樣人員採樣時，鞋底所沾的污泥，會經由管理中心的大門，沿路散布到連接實驗室門口的地板上，或是其攜帶的水樣，可能沿管理中心走道滴漏到地板上。另外在該扇門外適當地點處，可設一個沖洗水龍頭，以便在進入實驗室之前，能清洗受污之手及鞋子。此外，於實驗室規劃設計時，應注意開門方向，出入口應以向外開啟，俾利逃生、急救。
2. 實驗室的規模及組成，應視檢驗項目、儀器設備之需求及規模，並以中央檢驗室為中心與諸室容易連絡配置之。實驗室可包括中央檢驗室、研究室、天

秤室、儀器分析室、恆溫室、瓶桶裝室。污水處理廠廠內各單元水質檢測分析項目，參考表 9.3 及表 9.4。大規模處理廠之實驗室基本設備，建議參考表 9.5，中小規模應酌量減少之。一般生活污水處理廠，通常不設置原子吸收光譜儀(AA)或其他重金屬分析設備，但若兼收集處理工業廢水者，則可列入或委外予合格實驗室檢驗代為檢驗。

3. 實驗室為污水處理廠應有之設施，惟其規模及設備，應確實檢討其必要性，以免造成設備閒置之浪費。大規模污水處理廠實驗室配置，參考圖 9.2，其總面積以 200 m^2 為限。中規模配置參考圖 9.3，其總面積酌縮小為 150 m^2 以下。至於小規模者，可不考慮專任檢驗員或以兼任者或採巡迴檢驗之方式，故可不設專用空間，而可與其他管理室合用之隔間配置之。

9.4 維修室及備料貯藏室

維修室及備料貯藏室之設置考量如下：

1. 維修室空間體積大小，應配合處理廠規模及所需自行維修最大設備體積考量之，並設置空調設備、物料架、工具櫃及工作桌。
2. 備品儲存空間，應考量全廠備品數量進行設計，另備品儲存及維修空間，以設置於室內為主。
3. 維修室應設置維修設備及工具，包括全廠機械設備、儀表等設備之保養及維護所需之設備及工具。各工作機械及設備均，應附有完整之控制、保護及指示裝置。

解說：

備用零件、修理工具及緊急時使用的工具，其數量常比預期來的多，在估計維修室空間時，應保持一些餘裕。在修理及修繕工作較多時，應設置工作室，並提供工作台、簡易修理程度的工作機械、常用的工具及道具。日常維修所需之潤滑油及塗料等，應有獨立地點供儲藏，其貯藏量因涉及法規上列為危險物品，應依照消防法等危險物品貯藏限制之相關法令來貯藏。

9.5 臭氣處理設施

污水收集及處理的不同過程中，釋出或產生的各種臭氣化合物會，引起許多對臭氣的抱怨，污水處理設施產生的主要臭氣種類如下：

1.胺(amine)：魚臭味。

2.氨(NH_3)：氨氣味。

3.二胺(Diamines)：腐肉味。

4.硫化氫(H_2S)：臭蛋味。

5.硫醇(mercaptan)：臭鼬味。

6.有機硫化物：腐敗捲心菜味。

7.糞臭素(skatol)：糞臭味。

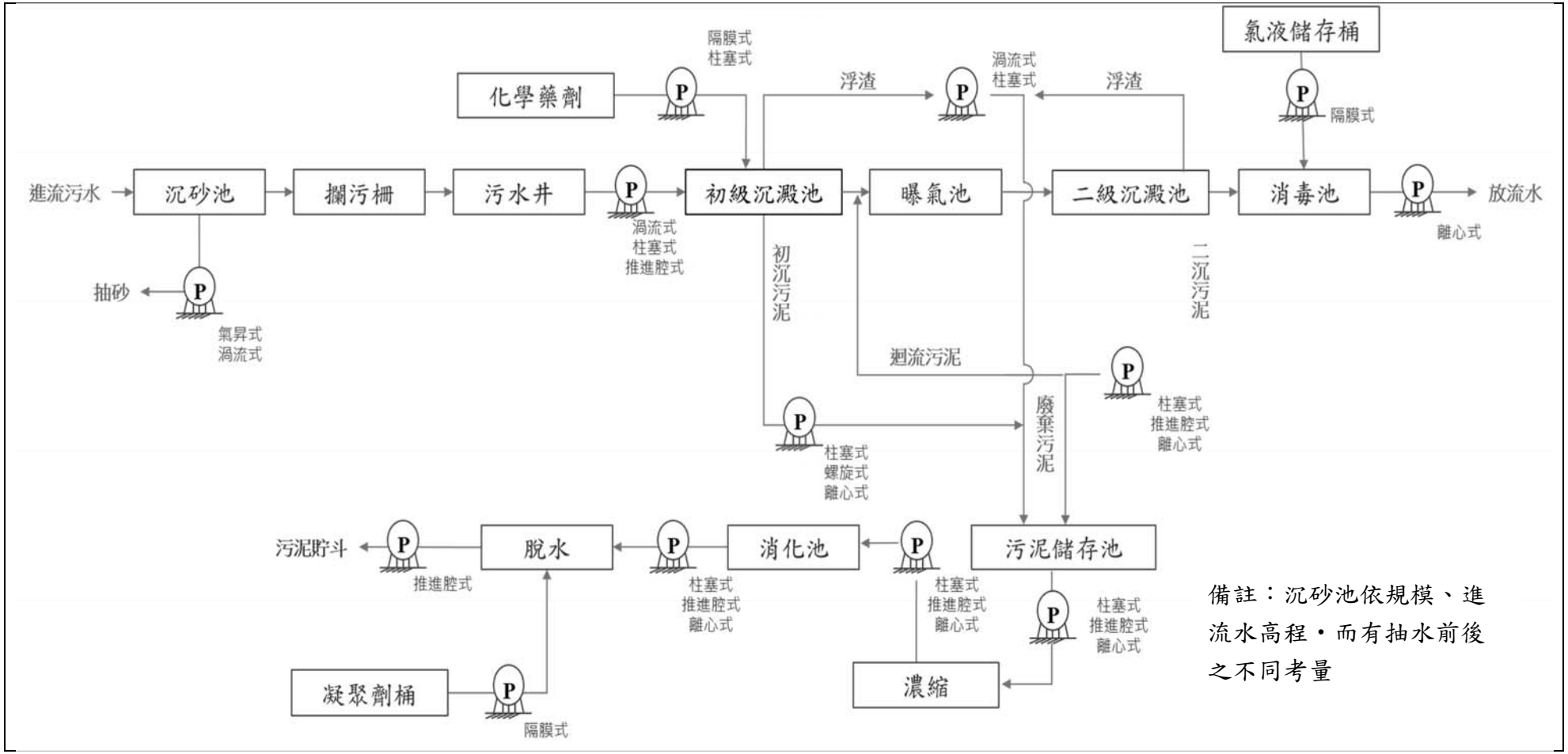


圖 9.1 污水處理廠抽水機種類之應用

表 9.2 管理中心各室之面積計算

<table>
<tr><td>項目</td><td colspan="3">面積計算</td></tr>
<tr><td>辦公室</td><td colspan="3">4.0 m²/人×(換算人員數)＋20 m²
換算人員數權重如下
<table><tr><td>區分</td><td>廠長級</td><td>組長級</td><td>員工</td></tr><tr><td>換算人員數</td><td>8</td><td>2.5</td><td>1</td></tr></table>備註：操作管理員、水質檢驗員不包含在內。</td></tr>
<tr><td>會議室</td><td colspan="3">依計畫最大日污水量 R 萬 m²/日計算：5 m²×R＋50 m²</td></tr>
<tr><td>檔案室</td><td colspan="3">辦公室面積的 17%以下</td></tr>
<tr><td rowspan="2">操作管理員辦公室</td><td rowspan="2">操作管理員</td><td>10 人以下</td><td>20 m² 以下</td></tr>
<tr><td>10 人以上</td><td>1.5 m²/人×(白天人數)＋5 m²</td></tr>
<tr><td rowspan="3">更衣室</td><td>男性</td><td colspan="2">1.0 m²/人×操作員數</td></tr>
<tr><td rowspan="2">女性</td><td>4 人以下</td><td>4 m² 以內</td></tr>
<tr><td>4 人以上</td><td>1.0 m²/人×女性人數</td></tr>
<tr><td>茶水間</td><td colspan="3">每層 13 m² 以下</td></tr>
<tr><td rowspan="2">浴室</td><td rowspan="2">操作管理員</td><td>25 人以下</td><td>25 m² 以內</td></tr>
<tr><td>25 人以上</td><td>1 m²/人×操作人員數</td></tr>
<tr><td rowspan="4">廁所</td><td rowspan="2">男性用</td><td>30 人以下</td><td>30 m²＋15 m²/層 x(層數-1)以內</td></tr>
<tr><td>30 人以上</td><td>1 m²/人×人員數＋15 m²/層×(層數-1)以內</td></tr>
<tr><td>女性用</td><td colspan="2">15 m²/層×層數以內</td></tr>
<tr><td>無障礙</td><td colspan="2">依建築技術規則建築設計施工編第 167 條相關規定設置</td></tr>
<tr><td>無障礙升降梯</td><td colspan="3">兩層樓以上設置</td></tr>
<tr><td>玄關、走廊、階梯</td><td colspan="3">依需要規模</td></tr>
<tr><td>值日室</td><td colspan="3">4.0 m²/人×(值日人數-1)＋10 m²</td></tr>
<tr><td>詢問台</td><td colspan="3">2.0 m²/人×(人員數-1)＋10 m²</td></tr>
<tr><td>備勤寢室</td><td colspan="3">4.0 m²/人×(夜間工作人員數-1)+10 m²</td></tr>
<tr><td>中央監控室</td><td colspan="3">依需要規模(含台帳貯存室)，設於樓上為原則</td></tr>
<tr><td>實驗室</td><td colspan="3">依需要規模(含研究室)，設於一樓為原則</td></tr>
<tr><td>通風、空調間</td><td colspan="3">依需要規模</td></tr>
<tr><td>冷氣機間</td><td colspan="3">依需要規模</td></tr>
<tr><td>資訊通訊機室</td><td colspan="3">依需要規模</td></tr>
<tr><td>管道間</td><td colspan="3">需考量實驗室排風櫃管線、電氣儀控線路、衛生給排水管路與通風空調進排氣管線尺寸及數量需求進行設計。</td></tr>
</table>

表 9.3 污水處理廠各處理單元建議水質分析項目

採樣點	分析項目	分析頻率	
		大、中廠	小廠
進流水	外觀※	日	日

	水溫※	日	日
	溶氧※	日	日
	氫離子濃度指數※	日	日
	生化需氧量※	日	日
	化學需氧量※	日	日
	懸浮固體※	日	日
	導電度	日	日
	大腸桿菌數※	日	日
	總氮	日	日
	氨氮	日	日
	硝酸鹽氮	日	日
	總磷※	月	月
	總油脂※	季	季
	重金屬※※	季	季
	酚類※	季	季
	氰化物※	季	季
前處理系統入口	外觀顏色	日	日
	水溫	日	日
	氫離子濃度指數	日	日
	生化需氧量※	日	-
	化學需氧量※	日	-
	懸浮固體※	日	日
	揮發性固體	日	日
	大腸桿菌群數	月	-
	總油脂	季	-
	總氮	週	-
	氨氮	週	-
	總磷	月	-
	酚類	季	-
	氰化物	季	-
	重金屬	季	-
初沉池進流水	懸浮固體※	週	週
	生化需氧量※	週	週
初沉池出流水	懸浮固體※	週	週
	生化需氧量※	週	週

表 9.3 污水處理廠各處理單元建議水質分析項目(續)

採樣點	分析項目	分析頻率	
		大、中廠	小廠
厭氧池/缺氧池	外觀顏色	日	日
	水溫※	日	日
	氫離子濃度指數※	日	日
	懸浮固體※	日	日
	揮發性固體※	日	日
	溶氧※	日	日
	ORP(氧化還原電位)※	日	日
	顯微鏡觀察※	月	月
	總磷※	月	月
	總氮※	週	週
	氨氮	週	週
	鹼度※	週	月
曝氣池	外觀顏色	日	日
	水溫※	日	日
	氫離子濃度指數※	日	日
	化學需氧量	日	日
	生化需氧量※	日	週
	MLSS※	日	日
	MLVSS※	日	週
	溶氧※	日	日
	SVI※	日	日
	SV30※	日	日
	ORP(氧化還原電位)※	日	日
	總氮※	週	週
	氨氮	週	週
	總磷※	月	月
	鹼度※	週	月
	顯微鏡觀察※	月	月
曝氣池出流水	生化需氧量※	日	週
	化學需氧量※	日	日
	懸浮固體※	日	日
終沉池出流水	外觀	日	日
	水溫	日	日
	溶氧	日	日
	氫離子濃度指數	日	日
	生化需氧量※	日	日
	化學需氧量※	日	日
	懸浮固體※	日	日
	溶解性固體物※	日	月
	總磷※	月	月
	總氮※	週	週
	氨氮	週	週
	濁度※	週	-
	大腸桿菌數	月	-
迴流污泥	懸浮固體※	週	週
	揮發性固體物※	週	週

表 9.3 污水處理廠各處理單元建議水質分析項目(續)

採樣點	分析項目	分析頻率	
		大、中廠	小廠
放流水	外觀	日	日
	水溫※	日	日
	氫離子濃度指數※	日	日
	導電度	日	日
	生化需氧量☆	日	日
	化學需氧量☆	日	日
	懸浮固體☆	日	日
	溶氧※	日	日
	真色色度※	日	週
	餘氯量※	日	週
	大腸桿菌數☆	日	週
	總氮☆	日	日
	氨氮☆	日	日
	總磷※	月	月
	總油脂※	季	季
	酚類※	季	季
	氰化物※	季	季
	重金屬※	季	季
回收水	外觀※	日	日
	水溫	日	日
	氫離子濃度指數※	日	日
	懸浮固體※	日	日
	餘氯量※	週	週
	生化需氧量※	週	週
	化學需氧量	週	週
	大腸桿菌數※	週	週

硫化氫的濃度低至 0.05 mg/L，即有特殊的臭蛋味，雖然它被認為係存在於污水中最廣布的含臭化合物，但不應假定在每一種情況下的臭味元凶就是硫化氫，其它含臭化合物，如硫醇、有機硫化物及胺，也可能是重要的禍首。硫化氫除產生臭氣外，亦會產生腐蝕問題。

污水處理廠進流抽水站、前處理單元、初級處理及污泥處理單元的重力管線、渠道、池槽及壓力管線中，硫化氫會從污水中逸出，而進入管線及水渠上部的空氣中，管線頂部管壁及水渠頂版或牆壁上任何濕氣及水珠都會溶解硫化氫，然後經細菌氧化而形成硫酸，硫酸對於下水道系統及各處理單元的鑄鐵、混凝土及水泥砂漿裡襯，特別具有強腐蝕性。

本節介紹污水處理廠的臭氣控制方法及處理設施。

表 9.4 污泥處理單元建議分析項目

採樣點	分析項目	分析頻率	
		大、中廠	小廠
污泥混合槽內污泥	懸浮固體※	日	日
	總固體物※	日	日
	氫離子濃度指數※	日	日
污泥濃縮槽上澄液	氫離子濃度指數※	日	日
	懸浮固體※	日	日
	生化需氧量※	週	月
	化學需氧量※	週	月
污泥濃縮槽進流污泥	懸浮固體※	日	日
	總固體物※	日	日
	揮發性懸浮固體※	日	週
	氫離子濃度指數※	日	日
	總磷	季	-
	總氮	季	-
污泥濃縮槽出流污泥	懸浮固體※	日	日
	總固體物※	日	日
	鹼度※	日	週
	揮發性懸浮固體※	日	週
	氫離子濃度指數※	日	日
	總磷	季	-
	總氮	季	-
厭氧污泥消化槽污泥	懸浮固體※	日	日
	導電度	日	-
	總固體物※	日	日
	揮發性懸浮固體※	日	週
	鹼度※	日	週
	氫離子濃度指數※	日	日
好氧污泥消化槽污泥	懸浮固體※	日	日
	溶氧※	日	日
	導電度	日	-
	總固體物※	日	日
	揮發性懸浮固體※	日	週
	氫離子濃度指數※	日	日

表 9.4 污泥處理單元建議分析項目(續)

採樣點	分析項目	分析頻率	
		大、中廠	小廠
污泥貯存槽污泥	懸浮固體※	日	-
	揮發性懸浮固體※	日	-
	氫離子濃度指數※	日	-
	生化需氧量	週	-
	化學需氧量	週	-
	鹼度※	週	-
脫水機進流污泥	氫離子濃度指數※	週	週
	總固體物※	週	週
	揮發性懸浮固體※	週	週
污泥脫水機濾液	化學需氧量	月	-
	生化需氧量	月	-
	懸浮固體※	月	月
	氫離子濃度指數※	月	月
	總磷	月	-
	總氮	月	-
污泥餅	含水率※	月	月
	VS※(僅限送焚化爐處理/燃料化再利用/材料化再利用)	月	-
	熱值※(僅限送焚化爐處理與燃料化再利用)	月	-
	總磷(僅限肥料化再利用)	月	-
	總氮(僅限肥料化再利用)	月	-
	TCLP	季	季
	重金屬總量※	季	季

表 9.3 及表 9.4 備註：

1. “☆”表法令規定的檢測項目；“※”表操作管理上需瞭解的項目；除此之外，其他項目則依各廠狀況進行調整。
2. TCLP、重金屬總量：包括砷、鎘、總鉻、銅、鉛、總汞、鋅、鎳、六價鉻。
3. 總氮：包括氨氮、硝酸氮、亞硝酸氮、有機氮。
4. 水質分析項目應視各廠狀況，依行政院環境保護署環境檢驗所公告之檢測方法進行檢測。
5. 本表僅供參考，各檢測項目及頻率機關，得依各廠污水量及地方特性進行調整。
6. 若於水源水質保護區，總氮、總磷檢測頻率需增加，並需符合放流水標準。
7. 小型污水廠總氮、總磷、重金屬等檢測頻率，應依實驗室設備規模進行調降，若實驗室無該檢驗設施，仍應購置或委外完成該檢測項目。
8. 廠內若設置水肥投入站，需於污泥消化槽進流污泥增設採樣點，採樣項目如污泥濃縮槽出流污泥。
9. 各廠進、出流水每季需進行 1 次非假日連續 24 小時採樣，每 2 個小時採樣 1 次並進行檢測，以瞭解污水廠進流及出流水質之變化，檢測項目為 BOD、SS、總氮、氨氮、總磷及大腸桿菌。

表 9.5 實驗室基本設備(參考)

項目名稱			單位	數量
實驗桌櫃	中央檢驗室	中央實驗桌 (附懸空式藥品架)		1
		靠邊桌	座	2～3
		雙水槽桌(附滴水架)	座	1
		排煙櫃(含室內廢氣處理裝置)	座	2～3
		無菌無塵台	座	1
		緊急洗眼裝置	座	1
		廢液收集裝置	組	1
		藥品櫃	座	1～2
		實驗椅	支	2～3
	天平室、精密儀器	靠邊桌 1 座	座	1
		天平台 1 座	座	1
		實驗椅 1 支	支	1
一般儀器設備	分析天平、電子上皿天平		台	1
	加熱板/攪拌器		台	2
	電子加熱器		組	2
	水浴加熱器		組	2
	高溫爐		組	1
	烘箱		台	1
	冰箱		台	1
	貯藏室冰藏櫃		台	1～2
	吊掛型純水製造系統		組	1
	凱氏氮分析裝置		組	1
水質分析儀器	pH 計		組	1
	溶氧分析計		組	1
	導電度計		組	1
	濁度計		組	1
	COD 加熱裝置		組	2
	控溫培養箱		台	1
	真空過濾裝置		組	2
	高溫滅菌器		組	1
	無菌操作台		台	1
	菌落計數器		組	1
	全自動相位差顯微鏡		組	1
	離心機		組	1
	分光光度計		組	1
	攜帶式 pH 計、DO 計、導電度計		台	1
	油脂萃取器皿		組	1
	過濾漏斗		組	1
	乾燥箱		台	2
	超音波洗淨器		台	1
	定水層採樣器		個	2
	自動滴定器		組	2
	COD 快速分析儀		組	1
	其他附屬設備		套	1

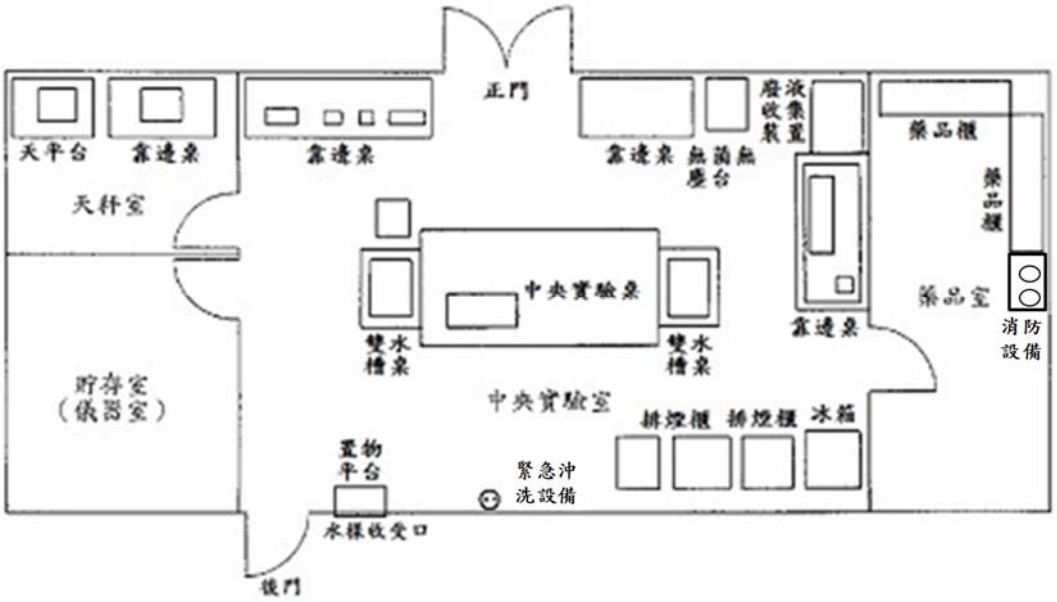


圖 9.2 實驗室配置示意圖例(大規模)

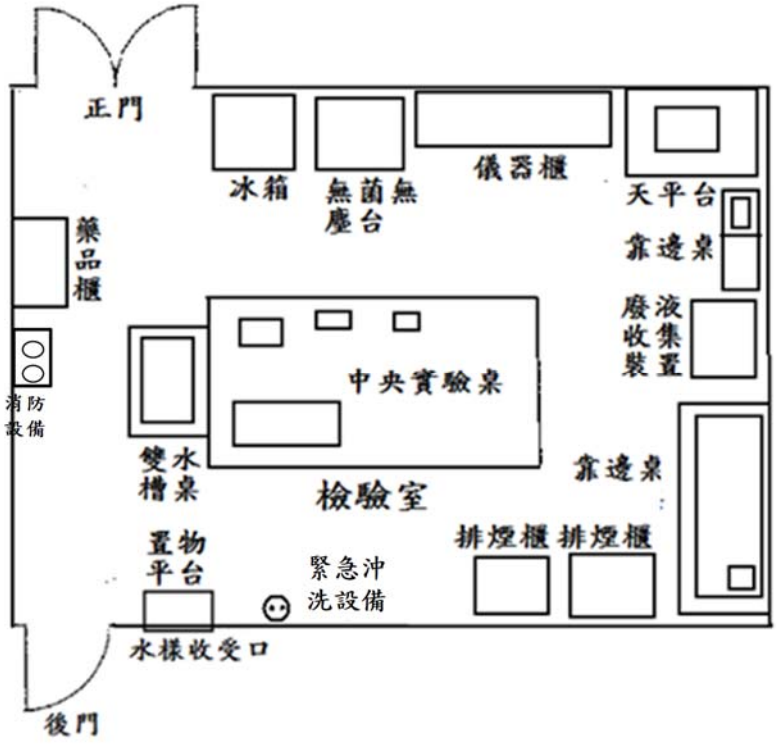


圖 9.3 實驗室配置示意圖例(中小規模)

9.5.1 臭氣控制及處理

臭氣及處理方法之設計考量如下：

1. 限制臭氣產生法，係在設計時即應考量縮短污水的停留時間，以及避免固體物的沉積；當產生臭氣時，可用添加氧、空氣、生物製劑或化學藥劑，來限制或控制臭氣的產生。一般配合防止渠道沉積，多採用空氣法。
2. 臭氣處理設施，係在污水處理廠前處理單元、污泥處理之污泥濃縮及脫水單元中，已經產生臭氣後，對臭氣所採用的消除或破壞方法，其方法包括化學濕式洗滌塔、生物氧化法、吸附系統法及上述三種方法中兩種或三種之合併運用法。

解說：

污水處理廠的臭氣控制(包括硫化氫的控制)方法，包括不使臭氣從污水中釋出之限制臭氣產生法，及臭氣自污水中釋出後，如何消除及破壞該臭氣的臭氣處理法，分別介紹如下。

1. 限制臭氣產生法

限制臭氣產生法係，屬於上游端的控制，即係在污水下水道系統及污水處理廠中控制臭氣的產生，而不是等到臭氣產生後，再想辦法來處理。限制臭氣產生法可分為兩階段，即設計階段及操作階段。

(1)設計階段

下水道系統在設計時，即應考量降低污水變成厭氧的機會，其方法係縮短污水在下水道管線中的流達時間，同時流速須維持在可將可能變成臭氣來源的沉積物刮走；污水處理廠前處理單元中，控制臭氣的產生的方法，係縮短污水在池槽的停留時間，以及避免固體物在池槽的死角及底部沉積。

(2)操作階段

當污水下水道系統及污水處理廠前處理單元，在操作階段產生臭氣時，可在污水中採用下述添加物使硫化氫產生化學變化，或影響硫還原菌之生長，以達到限制或控制臭氣產生之目的。這是一種防止臭氣產生之預防性措施，有別於一旦臭氣產生後，須採取臭氣控制技術之治療性措施。

① 石灰

石灰以兩天或三天間隔注入管線中，會對管壁黏膜的硫還原菌造成壓制作用，使硫還原菌失去活性，不會迅速繁殖而產生大量的 H_2S。本法的缺點在於僅能控制管壁黏膜的活性，污水本身仍會腐敗；然而，本法可用於當不使用氧氣注入或空氣注入法時。本法特別適用於臨時或季節性使用，例如用於夏季月份。

② 氧氣

氧氣可將硫化氫氧化成硫元素，如下式：

$$2H_2S + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2S$$

注入純氧與注入空氣相較，有氮氣不會在壓力管線高點累積的優點，並且容許較高的氧溶解率。溶氧對污水亦具有一些處理效果。

③ 空氣

空氣以每 mm 管徑 0.011 m^3/min 的量注入壓力管線中可，有效壓制硫還原菌及 H_2S，空氣必須連續性不斷注入，即使是在實際抽水循環(啟動-停止-啟動)當中。所需空氣量可能會隨壓力管線長度、停留時間等而改變。空氣中的氧亦會將硫化氫氧化成硫元素。

由於空氣中僅有氧氣會溶解到水中，不溶解的氮氣會移動而集中到管線頂部。如果壓力管線並非持續以往上坡度埋設，則氮氣會在管線高點累積，而妨礙輸水，除非在高處裝上排氣閥以將氮氣排出。當壓力管線繼續往上爬坡時，可能需要沿線進一步再注入另外一股空氣。

注入空氣相當簡單且比較便宜，特別是管線中沒有高點的情況。當多餘空氣釋出時，壓力管線末端的出入口或其他結構物，會有相當大的飛濺，如果出入口的構造不適當，在抽水時，將會產生大量噪音，使得人員無法進入。在壓力管銜接處理設施的入口處，壓力管應自上方彎下而進入水池中，以避免產生向上的噴氣。在彎管處應設置虹吸破壞器，以便萬一管線有破裂時，可防止水池中的水逆流到管線中。

④ 過氧化氫

過氧化氫屬強氧化劑，可將硫化氫氧化成硫元素，如下式：

$H_2S + H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + S$

由於過氧化氫(H_2O_2)係屬溶液狀，對有高點的壓力管不會造成問題，亦即是說，不會產生空氣堵塞。過氧化氫極易氧化高濃度的 H_2S，然而，過氧化氫不穩定，長時間貯存可能喪失其氧化能力。在價格基礎上，它不能與氧氣注入法競爭。它主要優點在於改善腐敗的影響。

⑤ 氯

氯屬強氧化劑，可將硫化氫氧化成硫元素，如下式：

$HS^- + OCl^- \rightarrow S + Cl^- + OH^-$

加入足夠的氯氧化劑 OCl^-，可消除硫化氫的存在，而如加入較高劑量則能抑制黏菌。因為氯較貴，故注入量接近實際需要量很重要，且過多的餘氯可能造成金屬腐蝕及人員安全的問題，對污水處理廠也可能有不利的影響。

⑥ 鐵鹽

在污水腐敗後，鐵鹽能防止 H_2S 氣體的生成，鐵鹽與溶解性硫化物碰觸後，會結合形成永久性沉降物，所以可從污水中去除溶解性硫化物。其對污水處理廠之影響，特別是污泥，應先做調查。

⑦ 生物製劑

現在市面上有許多不同種類的生物製劑，這些生物製劑常宣稱可促進不產生硫化氫的菌種的繁殖，且宣稱可去除管線黏菌及分解油脂，專家的經驗指出，使用這些產品會有混合性的結果。

2. 臭氣處理設施

處理廠操作人員及顧問工程師，通常都熟知除臭的許多種技術，但由於缺乏一個有效而持平的方法，以比較每種技術的相對優點，而在選擇適當技術時經常會受到阻礙。量測污水處理廠臭氣去除的新標準正在建立中，新標準將依據檢測門檻(detection threshold)的強度，而不只是依據某種目標化合物的濃度(如 ppm)。新標準將包括硫化氫及其它複雜臭氣化合物的影響，以及對總臭氣單位的合併量測，臭氣樣品會經收集後送到認證合格的實驗室，實驗人員會校驗該樣品已經稀釋至預先設定的檢測門檻，以判定樣品的臭氣單位。臭氣單位(odor unit,OU)之定義為一臭氣單位(1OU)在標準情況下 1 立方公尺自然空氣中，經聞臭小組中 50%的人聞出氣味時的臭氣量，該值相當於 123 μgn-butanol 蒸發到 1 立方公尺的自然空氣中，其濃度為 0.040 μmol/mol。台灣目前環檢所，對於臭氣檢驗方法為異味污染物官能測定法－三點比較式嗅袋法(NIEA A201.14A)。

臭氣處理法，係在污水下水道系統、污水處理廠前處理單元、污泥處理之污泥濃縮及脫水單元中已經產生臭氣後，對臭氣所採用的消除或破壞方法，常用的方法包括：化學濕式洗滌塔、生物氧化法、吸附系統法及上述三種方法中兩種或三種之合併運用法，分別說明如下。

(1)化學濕式洗滌塔

① 一般說明

化學濕式洗滌塔，對於污水處理系統最常見的臭氣化合物中的硫化氫及氨具有高效率去除效果，化學濕式洗滌塔，係藉由臭氣與洗滌容器中的填料上面之化學藥液接觸的物質，轉換吸收而達到除臭目的，並添加藥品調整至適當的 pH 及氧化電位。任何吸收洗滌系統的性能，可以兩個參數來定義，即：氣體/液體接觸的效率，及水溶液相中促進反應及吸收的化學品的足夠性。填料須有高效的表面積以利氣體/液體接觸，促進均勻的液體及氣體，分佈以達高物質轉換率。污水處理廠對於使用氫氧化鈉及次氯酸鈉以控制硫化氫，及使用硫酸以控制氨氣已經標準化。將化學條件維持在有利於最高性能係很重要的。所需的 ORP 及 pH 化學通常根據實際存在的氣體組成而在現場調整。

須注意的是，當需要以硫酸去除氨時，將需設置另一段洗滌容器。以下簡化公式說明傳統化學藥液洗滌系統，去除硫化氫及氨的化學組合及典型的 pH/ORP 設定：

吸收程序(僅有氫氧化鈉)

$NaOH + H_2S \leftrightarrow Na^+ + HS^- + H_2O$

氫氧化鈉洗滌的設定

pH=11.0～11.5

吸收及氧化(氫氧化鈉及次氯酸鈉)

$HS^- + 4NaOCl + H_2O \leftrightarrow H_2SO_4 + 4NaCl + OH^-$

氫氧化鈉及次氯酸鈉洗滌的設定

pH=9.5～10 (ORP=600–700 mv)

氨的吸收(硫酸)

$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$

硫酸洗滌的設定

pH=4.0～6.0

② 處理臭氣種類及去除效率

使用兩段氫氧化鈉及次氯酸鈉系統的化學濕式洗滌塔，可去除臭氣中 99%之硫化氫，使用第一段硫酸(通常設在最前端)，可去除臭氣中99%之氨。鹼性濕式洗滌塔對於硫醇及其它有機硫化合物的效率較差，去除效率介於 20-70%。

如同生物洗滌塔，化學濕式洗滌塔對於僅含硫化氫的臭氣之處理後排放至空氣中，可達良好的臭氣單位，然而當臭氣包含有機硫化合物及硫化氫時，排氣的臭氣單位會超過 1,000 OU/m^3。

註：排放至空氣中的臭氣單位如小於 100 OU/m^3，因該臭氣自源頭被釋出，經大氣稀釋，而最後觸及附近人們的嗅覺器官，通常已聞不出氣味，故係可被接受的臭氣量。

③ 操作維護考量

化學濕式洗滌塔處理臭氣時，容器中的風速係所有臭氣控制技術中最高者，可達 170 m/min，故濕式洗滌塔本身佔地面積比其它兩種方法還要小，但因需加上其它的附屬設施，如化學藥液貯存槽(通常至少兩槽)、循環泵、控制及其它設施，故其用地面積會比活性碳吸附系統大，但仍小於生物氧化系統。參考圖 9.4 兩段填料床及一段噴霧洗滌塔處理流程示意圖，及圖 9.5 濕式洗滌塔照片。

化學濕式洗滌塔，係所有臭氣控制技術中，需要最多及最複雜的控制及儀表者，儀表包括 pH、ORP 感應器、加藥機(有時與硫化氫偵測器連接並受其控制)、循環泵、連接到化學藥液貯存槽及警報器的液位計、及風扇控制，此使得化學濕式洗滌塔，在所有臭氣控制技術中，係最複雜及最須維護者。

化學濕式洗滌塔，需要定期補充化學藥液，此通常包括氫氧化鈉及次氯酸鈉，如果需除氨時，另須硫酸。化學藥液通常每 30 至 60 天需要補充。

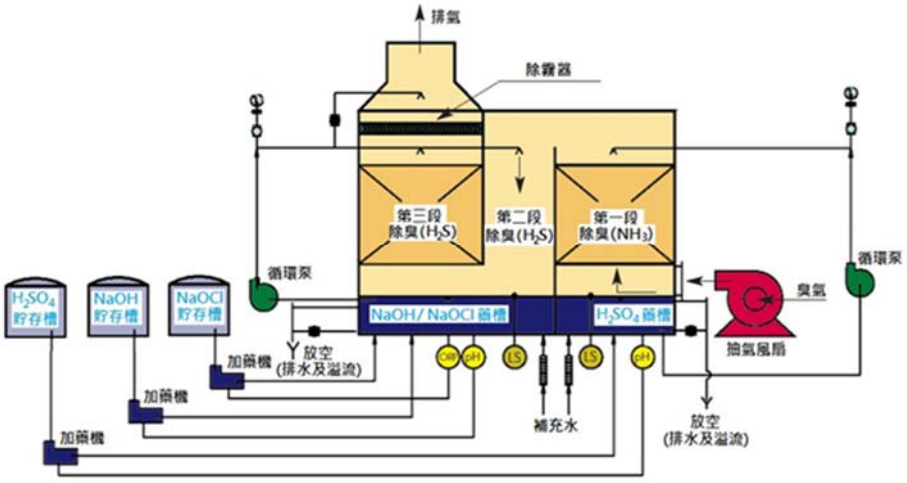


圖 9.4 兩段填料床及一段噴霧洗滌塔處理流程示意圖



圖 9.5 濕式洗滌塔照片

④使用時機

化學濕式洗滌塔，最適合應用於污水處理廠本身，與收集系統相反，因為化學濕式洗滌塔的高維護需求，最好在永久有人駐守的設施中處理。鹼性濕式洗滌塔極適合處理前處理單元及污泥設施所產生之高濃度硫化氫，酸性濕式洗滌塔對去除氨有效，適合於如堆肥處理設施可能會產生氨的地方。

目前常用之兩種化學濕式洗滌系統係填料床洗滌塔系統及噴霧洗滌塔系統，填料床洗滌塔，包括內含惰性填料物質(增加表面積)的洗滌塔、洗滌藥液、藥液循環系統、抽氣風扇、風管及控制，臭氣進入洗滌塔並通過填料床，在該處臭氣與洗滌化學藥液接觸，使用過之洗滌藥液落在

洗滌塔底部，經收集後再循環通過整個單元，並依需求補充高濃度化學藥劑。噴霧洗滌塔系統包括二至三段之洗滌塔、洗滌藥液、藥液循環系統、抽氣風扇、風管及控制，臭氣進入洗滌塔，在該處臭氣與霧狀洗滌化學藥液接觸，使用過之洗滌藥液經凝結後落在洗滌塔底部，經收集後再循環通過整個單元，並依需求補充高濃度化學藥劑。

(2)生物洗滌塔(生物氧化法)

① 一般說明

生物氧化法處理臭氣的應用已有許多年，過去的錯誤名稱為生物過濾。因為這種程序包含臭氣化合物的代謝轉換，並不是過濾。介紹如下：

生物洗滌塔的系統組成、結構及濾料生態系統，係為了能在腐蝕環境下，連續操作 15 至 20 年生命週期而設計的，生物洗滌塔的操作類似生物滴濾池及濕式填料床化學藥液洗滌塔，然而，它們包含一種抗酸的惰性高孔隙濾料，含有礦物營養素及微量元素的二級處理水或補充水，以與處理的臭氣同向或對向方式作循環流動，循環液及濾料係作為促進薄膜的硫氧化菌，主要為 thiobacilli，生長的生態系統。

$$H_2S + 2O_2 \xrightarrow{\text{硫氧化菌}} H_2SO_4$$

因為硫化氫生物氧化的副產品為硫酸，循環液必須有足夠的排空速率，以確保酸濃度不會增加到限制水中硫化氫溶解率的程度。雖然硫氧化菌能在 pH 遠小於 1.0 的情況下存活，但細菌生長及硫化氫溶解率的最適平衡點，為 pH 在 2.0 至 3.0 之範圍。

低 pH 之排空水的酸濃度很弱，可回到處理廠的進流污水中中和，而不會對處理造成影響。

與其它硫化氫控制技術比較，生物洗滌塔的操作費非常低，因為細菌氧化係發生在周遭溫度下，不消耗化學藥劑，維護只須最少的勞動力。生物洗滌塔單獨作為去除硫化氫及氨的洗滌塔，以及作為與生物濾池及活性碳吸附塔合併處理，以去除揮發性有機碳及複雜臭氣化合物的第一階段，都證明經濟有效，大幅延長有機濾料或活性碳的壽命。

② 處理臭氣種類及去除效率

生物洗滌塔對處理硫化氫最有效，最佳處理範圍為 10 至 1,000 ppm，在此範圍內，生物洗滌塔最低處理效率為 98%，且經常會超過 99%。對於氨及胺的處理效率經常高於 90%，但對於有機硫化合物的處理效率較差。

對於有機硫化合物的處理效率似乎有限制，thiobacilli 在消耗這些化合物時效率不高。

生物洗滌塔在硫化氫去除程序的二次效應，係去除氨及胺，如前所述，消耗硫化氫的副產品為硫酸，此使得生物洗滌塔有效做為酸性洗滌塔以去除氨及胺，通常處理效率高於 90%。

生物洗滌塔對硫化氫具有高去除效率，對其它化合物的效率則較低，此表示其對僅含硫化氫的臭氣之處理後排氣的平均臭氣單位可以非常好，但對於混和污染物之臭氣之處理後排氣可高至 1,000 OU/m^3。

③操作維護考量

生物洗滌塔需要風扇、流量控制阻風閘門及循環泵。濾料壽命通常為 10 年或更久，生物洗滌塔甚至可能永遠不須更換濾料。生物洗滌塔除了簡單的 pH 計及風扇控制盤外，通常不須儀表或控制。參考圖 9.6 生物洗滌塔除臭流程示意圖及圖 9.7 除臭用生物洗滌塔照片。

生物洗滌塔大都為高容器，時常為 6 至 9 m 高，面積需求與活性碳系統類似。

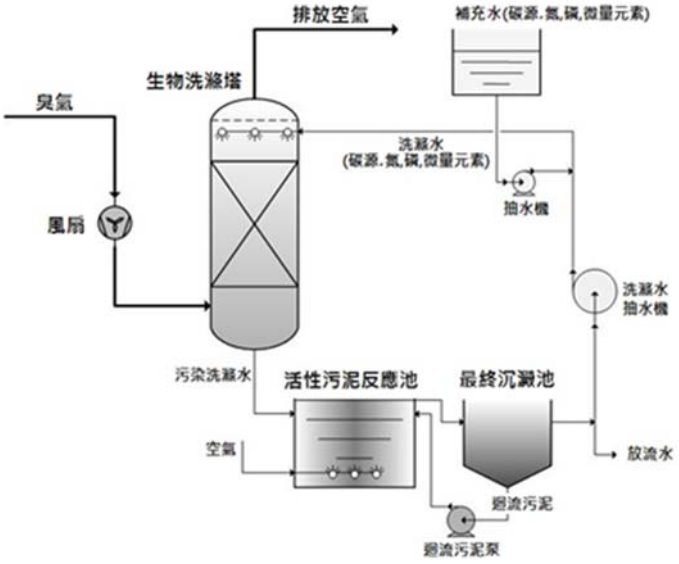


圖 9.6 生物洗滌塔除臭流程示意圖



圖 9.7 除臭用生物洗滌塔照片

④使用時機

生物洗滌塔，最適用於去除中度至高度硫化氫(濃度自 5 至 1000 ppm)，由於二級處理水係生物洗滌塔理想的循環液來源，故此系統最適合用於污水處理廠，它們在補充營養份後，也可用於污水收集系統。生物洗滌塔的應用上，也很適合同時去除氨及硫化氫。生物洗滌塔不建議用於低濃度或濃度變化很大的硫化氫，因為生物群對硫化氫濃度的改變，無法迅速作反應。

(3)生物濾床法(生物氧化法)

①一般說明

生物濾床(biofilter)使人想起去除空氣中微粒的網狀物，但那是誤導。生物濾床事實上，係依據如土壤似的老程序的空氣處理程序。自然界會產生細菌及真菌，它們可以將幾乎任何有機物當做食物來源，這些微生物在有機土壤及腐敗的蔬菜物質(例如農田堆肥)中非常豐沛。生物濾床係一個控制的環境，在那環境中，有機臭氣及揮發性有機碳會與自然微生物接觸，而作為微生物的食物來源。此觀念係將污染空氣通過生物性基質，如堆肥，在那裡微生物僅係完成自然所啟動的捕捉及分解揮發性有機碳及臭氣。

傳統的生物濾床成功的使用，這些原則已幾十年了，在歐洲用的比在美國多，通常它們係設於地面占地極大的單層單元，依靠一層疏鬆的有機濾料床，其下為粗略的空氣分配系統，上面係噴灌系統以控制處理條件。此系統通常為開放式，濾料床的上部曝露在外界中。近幾年，生物濾床展開改造，在提高處理效率及減少占地面積上都有各種進步。污染空氣的溫度及濕度調整到適合微生物新陳代謝的程度，生長微生物的堆肥或有機濾料結構化(有時合併無機結構物)，以提高有效的表面積及使處理能遍佈整個濾床深度。

生物濾床比任何既有的其它臭氣控制技術，更能去除廣泛之複雜臭氣及揮發性有機碳的混合物，然而，對於處理負荷超過 5 ppm 以上的硫化氫，就有很大的限制。生物濾床中的高負荷硫化氫會產生 thiobacillis 菌群的增加，導致酸的過度生產，此會摧毀所有能分解更複雜臭氣化合物的微生物及真菌，這些微生物及真菌無法在低 pH 環境下存活。此時會出現處理效果喪失，有機濾料會壓實及溝道化。除了這些弊端外，由於硫化氫部分氧化而使硫元素堆積在濾床上，也會因濾料上塗了一層膜使水頭損失增加，進而影響處理性能。雖然可使用鹼液消除，但鹼液很快即被產生的硫酸所耗盡。硫磺時常形成小顆粒，也促使濾床堵塞而須提前更換濾料。

②處理臭氣種類及去除效率

生物濾床對於處理有機化合物非常有效，包括在污水臭氣中常見的還原性硫化合物。生物濾床對處理胺及氨亦有效。

與活性碳相反，生物濾床適合較高濃度的有機化合物，由於這些化合物構成此生物的食物來源-濃度越高，生物群就越大及越強壯。如前所述，低濃度至中濃度(約至 10 ppm)的硫化氫，也可經濟有效的以生物濾床處理，然而，較高負荷會導致失去其它臭氣化合物處理容量，以及產生其它前述的問題。

生物濾床對臭氣的去除效率，傾向於比其它臭氣控制技術較低，所有進入的污染物達到的去除效率範圍自 50%至 95%。較老一代的頂部開放、地面上的生物濾床之處理效率，傾向於此範圍較低之一方，由於曝露濾料的壓實、溝道化及惡化，會造成效率的喪失。改造後的生物濾床較能達到污水處理廠所需要的 90%及以上的效率。去除效率亦與所用的接觸時間有關，生物濾床通常操作的接觸時間介於 15 至 60 秒，接觸時間較高，去除效率也較高。生物濾床通常達到平均臭氣單位約 200 至 400 OU/m^3 的排放水準。

③操作維護考量

所有設計妥善的生物濾床，都需要風扇及阻風閘門，以提供及調整進入生物濾床的臭氣，另外生物濾床須保持水潤，所以需要加濕器。參考圖 9.8 生物濾床除臭流程示意圖及圖 9.9 除臭用生物濾床照片。風扇及抽水機須作正常的維護。一些生物濾床也須添加營養份及/或緩衝化學劑，故亦須額外的貯存槽及加藥機。設在地面的生物濾床每二到三年須換一次濾料，而改造的生物濾床，由於其結構化的濾料可防護於外界，時常可撐五年或更久而不須更換濾料。

設在地面的生物濾床需要出入口，以便大型機械如前端裝載機及傾卸卡車更換濾料，更換作業耗時兩周，包括開挖及運棄廢濾料、修理或更換空氣分配管、裝填新濾料及重新組裝澆灌系統。

改造的生物濾床較容易作業，僅須移除廢濾料及裝填新濾料進入容器之出入口。移除作業通常採用真空吸引機通過容器中之人孔，將廢濾料運出，而裝填作業亦係通過同一人孔傾卸新濾料，這種作業最多須時幾天。

④使用時機

生物濾床最適用於處理含有濃度在 ppm 等級範圍之有機化合物的混合臭氣，低濃度的硫化氫(10 ppm 及更少)可有效處理，臭氣負荷相當穩定的應用，也同樣適合生物濾床。

生物濾床不建議應用於處理高負荷硫化氫的情況，亦不建議應用於處理間歇性或高度變化負荷的情況。

(4)吸附系統法

①一般說明

典型臭氣吸附，係指使用活性碳將臭氣化合物吸附到活性碳材料上，此通常藉由將臭氣通過活性碳床，使吸附作用發生，並釋出潔淨空氣至

大氣中。

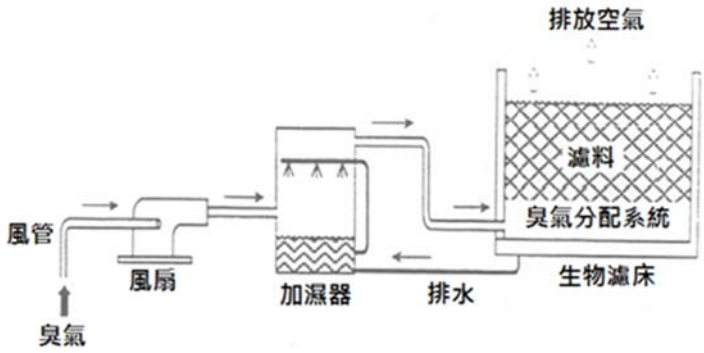


圖 9.8 生物濾床除臭流程示意圖



圖 9.9 除臭用生物濾床照片

臭氣控制用的吸附劑主要為活性碳，其它吸附劑包括活性鋁(activated alumina)、活性鋁浸漬過錳酸鉀、沸石(zeolite)及矽膠(silicagel)等。臭氣控制用的活性碳可分下列數種：

(A) 利用物理吸附的標準活性碳

標準活性碳的工作，係捕捉硫化氫及不同有機分子至碳顆粒的石墨小板結構中，活性碳對捕捉這些化合物有特定的容量，一旦超過這容量，隨後進入的化合物會未處理即貫穿而出。

(B) 利用化學吸附的鹼性浸漬活性碳

以氫氧化鈉或氫氧化鉀浸漬的鹼性活性碳，可增加活性碳對硫化氫的去除效率。標準活性碳對硫化氫的去除容量很差，添加苛性鈉(氫氧化鈉)後，製造出對硫化氫的吸附容量大為提高的活性碳。使用鹼性浸漬活性碳時，硫化氫分子首先被物理性的吸附，然後通過與苛性鈉化學反應而轉化為硫分子，所以稱為化學吸附。活性碳對於硫比對於硫化氫，具有更大的吸附容量，結果，鹼性浸漬活性碳對於硫化氫的吸附容量，通常大於標準活性碳而達到 5 至 7 倍。

然而，此效能的提高並非沒有代價，浸漬活性碳犧牲了硫化氫以外所有化合物的吸附容量，並比標準活性碳具有較低的點燃溫度，此大幅增加經歷碳床著火的機會。

(C) 利用化學吸附的混合碳的介質

混合碳的介質與鹼性浸漬活性碳非常類似，在製造混合介質的過程，一開始金屬氧化物(通常為氧化鎂)係以固體形式添加，而並非在製造過程的最後以液體形式噴灑。如同鹼性浸漬活性碳，混合介質，係藉由硫化氫與金屬氧化物間的化學反應形成元素態硫，而提高活性碳對硫化氫的吸附容量。與鹼性浸漬活性碳相同，混合介質相對的耗盡對有機化合物的吸附容量，因為金屬氧化物為非吸附材質，對有機化合物的吸附毫無貢獻，然而混合介質並沒有浸漬活性碳較低的點燃溫度的特性。

(D) 催化型活性碳

催化型活性碳，係臭氣控制的最新型活性碳，此種活性碳也提高了對硫化氫的吸附容量，但其達成提高容量並不與浸漬活性碳或混合碳的介質相關。催化型活性碳，將吸附的硫化氫轉化為硫酸及亞硫酸，而比硫化氫更有效的貯存在活性碳上面(但不像元素態硫那麼有效率)。催化型活性碳主要的好處，係其轉化的酸為水溶性，容許活性碳可在現地以簡單的水洗來再生。催化型活性碳並沒有浸漬，所以並不會如同浸漬活性碳的降低有機臭氣吸附容量及提高碳床著火的可能。

② 處理臭氣種類及去除效率

(A) 硫化氫

各種活性碳對硫化氫吸附容量的比較，如表 9.6 所示。

(B) 有機硫化合物

此種化合物，係污水廠臭氣控制僅次於硫化氫的最普遍臭氣，典型的有機硫化合物，包括甲基硫醇(methyl mercaptan)、二甲基二硫(dimethyl disulfide)及羰基硫(carbonyl sulfide)。

在各種情況下，活性碳可以物理吸附方式除去這些化合物。鹼性浸漬活性碳及混合碳的介質，對這些化合物並沒有提供額外的吸附容量，事實上存在於活性碳裡面或上面的金屬氧化物，會減少活性碳的物理吸附容量。當這些化合物經由物理吸附除去時，活性碳無法在現地再生。活性碳可經濟有效的處理低濃度(1-5 ppm)的有機硫化合物，較此為高的濃度通常會很頻繁的消耗活性碳，使得換碳會成為不合理的費用及操作者頭痛的問題。

(C) 胺

活性碳對於污水廠中大部分的胺化合物，能提供有用的吸附容量，然而如同有機硫化合物，活性碳對這些化合物的吸附容量有限，且無法現地再生。

(D) 氨

大多數活性碳對去除氨無效，氨分子在活性碳上吸附不良，很

快就會貫穿而出，故通常不建議以活性碳去除氨。採用酸性浸漬活性碳係一種例外，然而此方式通常不如其它除氨方法之經濟有效。

(E) 去除效率

活性碳可能是前述任何技術中，具有最高去除效率者，所有進來污染物通常可去除 99.9%。活性碳也具有最低平均臭氣單位約 100 OU/m^3 的排放水準。

表 9.6 各種活性碳對硫化氫吸附容量的比較

活性碳種類	硫化氫容量	備註
標準活性碳	0.01-0.03 g/cc	1
浸漬活性碳	0.12-0.14 g/cc	
混合碳的介質	0.14-0.27 g/cc	2
催化型活性碳	0.09-0.63 g/cc	3

備註：

1. 椰子殼製造的活性碳有較高(0.03 g/cc)的容量，而直接活化煤炭的活性碳具有較低的容量。
2. 依據不同氧化鎂混合活性碳樣品之多次試驗結果。
3. 0.09 g/cc 數字僅用於初步容量，而 0.63 g/cc 極致容量係已考量經水洗的因素。本表顯示標準活性碳僅應用於處理低濃度(1-2 ppm)的硫化氫，而浸漬活性碳、混合碳的介質及催化型活性碳可經濟有效的處理高至 20-30 ppm 的硫化氫。

③ 操作維護考量

活性碳吸附系統，包括風扇或鼓風機、活性碳床(一段或多段)、防蝕風管及必要的控制。活性碳系統，係任何主要的臭氣控制技術中，具有最少活動零件的技術。碳系統本身沒有活動零件，僅有風扇及阻風閘門或鼓風機及閥類，係具有活動零件的組成。碳系統通常不需要電子感應器或儀表，並且除了風扇電動機的啟動器及開關按鈕外，通常不需要其它的控制。參考圖 9.10 臥式活性碳吸附系統示意圖及圖 9.11 立式活性碳吸附塔照片。

除了催化型活性碳外的所有活性碳，其容量用罄時，必須將系統停機數日，以便自容器中將活性碳移除及更換，活性碳的裝卸，通常需要容器上方至少有 1.8 m 的淨高。

催化型活性碳系統，可用水洗以回復對於硫化氫的吸附容量，所以大幅減少所需更換活性碳的頻率，水洗通常可由操作人員約花 1 至 2 天完成。

標準活性碳系統(當不處理硫化氫時)，通常設計成運轉一年才須更換活性碳，浸漬活性碳，係設計成處理硫化氫約一年後才須更換活性碳，混合碳的介質在正常硫化氫負荷下，可供二至三年之壽命，而催化型活性碳，時常提供五年或以上使用才須更換活性碳。

活性碳系統通常比任何臭氣控制技術，需要最小的整體用地面積。

④ 使用時機

標準活性碳系統，最適合用於處理低濃度的有機化合物(通常係在 ppb 範圍)及用於其它臭氣控制技術處理之後作為淬煉(polishing)的處理系統。鹼性浸漬活性碳，則因碳床著火的內在安全問題已逐漸廢棄不用。混合碳的介質及催化型活性碳，適合於中濃度至高濃度硫化氫，特殊的催化型活性碳系統可處理 50 ppm 或更高的硫化氫。所有的活性碳系統，皆極適合間歇流及間歇負荷的應用，因為活性碳對臭氣濃度改變具有瞬間的反應，並在啟動後立即生效。活性碳極適合應用在污水收集系統及合流制的溢流站(Combined Sewer Overflow,CSO)/污水管溢流(Sanitary Sewer Overeflow,SSO)的情況。

活性碳通常在經濟上，不適合處理高負荷之有機化合物(5 ppm 及更大)，不管甚麼種類的活性碳，也不建議用於高於 200 ppm 之硫化氫負荷。

(5)合併運用法

表 9.7 為前述各種除臭技術對各種臭氣的去除效率表，每一種除臭技術，都有其不同的強項及弱項，有些係重疊，但也有許多地方其中的一種技術，顯然比其它技術好。同樣明顯的是，時常有一些臭氣，包含許多種臭氣化合物，這種臭氣情況時常無法僅以單一系統或技術解決。舉例而言，可能有臭氣，包含高濃度的硫化氫(30 ppm 或更多)及相當程度的有機硫化合物(可能係 5 ppm 的甲基硫醇)，沒有一種技術能解決這問題。如果使用催化型活性碳系統，可能可以處理硫化氫，但硫醇將會快速填滿所有的吸附部位而貫穿而出；生物洗滌塔同樣可容易的處理硫化氫，但對硫醇不會非常有效；使用鹼性化學洗滌塔也是一樣；生物濾床可處理全部臭氣達一段時間，但高濃度的硫化氫，會逐漸導致消耗硫醇細菌的死亡以及有機濾料的變質。在這種情況下，包含兩種技術的合併系統即成為唯一可行的解決方法。在這個例子中，第一階段如生物洗滌塔或催化型活性碳系統，可用來去除硫化氫，第二階段採生物濾床系統，將係非常理想以去除硫醇及任何剩餘的硫化氫，後者此時係為非常低的濃度。

另一種時常需要合併運用法的情況，係敏感地區的臭氣控制。有時臭氣源十分接近廠區圍牆線，一些臭氣控制技術所排放空氣的臭氣單位，可能無法被緊鄰圍牆線的鄰居所接受，例如，生物濾床通常排放空氣的臭氣單位介於 200 至 400 OU/m^3，此濃度可能代表生物濾床已消除相當量的臭氣，但對鄰居來說仍然太高，此時解決方法係增加第二階段的活性碳系統，以進一步消除臭氣單位至 100 OU/m^3 或更低。

這種活性碳臭氣控制技術係做為進階處理，生物洗滌塔及化學濕式洗滌塔也是做為進階處理的候選者，因為它們通常去除 98%或更高的硫化氫及/或氨，但它們對去除有機硫化合物並不那麼好，使得排放至空氣中的臭氣單位，有時會高達 1000 ppm，此時增加活性碳淬煉系統，可使整個臭氣處理系統達到排放的臭氣單位至約 100 OU/m^3。

使用化學濕式洗滌塔及生物氧化法系統時，當臭氣濃度有尖峰情況時，也可增加活性碳做為進階處理。

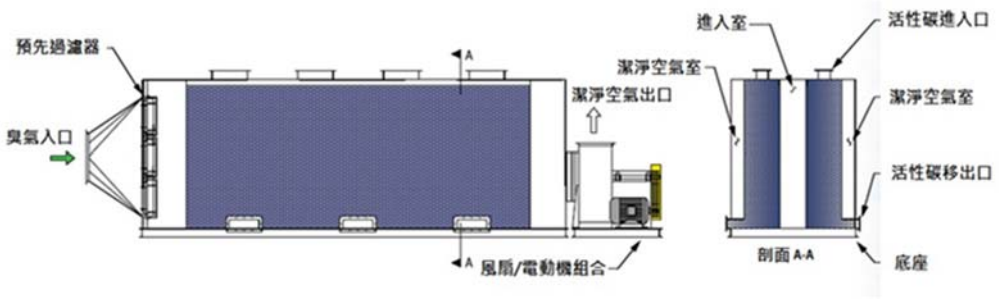


圖 9.10　臥式活性碳吸附系統示意圖



圖 9.11 立式活性碳吸附塔照片

臭氣去除效率：可以想像的，有好幾種可能的合併處理系統。合併處理系統，係提供最高去除效率及最大可能減少臭氣單位，目標化合物在第二(或第三)階段排放空氣之去除效率應超過 99%，排放空氣的臭氣單位，在使用生物濾床作為第二階段時，不應大於 200 至 400 OU/m^3，而使用活性碳進階處理時不應大於 100 OU/m^3。

(6)常見臭氣情況及可能解決方法

臭氣會在污水收集系統以及污水處理廠本身許多地點產生，這些臭氣可能由無機及有機化合物合併所引起，以下選擇三處常產生臭氣的地方加以探討：

① 污水收集系統-抽水站

污水收集管線中含硫化氫之污水流到抽水站後，污水受到攪拌，硫化氫從液相釋放到氣相，導致臭氣產生。空氣中硫化氫濃度從 2 ppm 至數百 ppm，通常硫化氫濃度可假設為 10 ppm。其它臭氣化合物可能存在，但通常僅為非常低的濃度。參考表 9.8 典型抽水站臭氣種類及濃度。

表 9.7 各種除臭技術對各種臭氣去除效率表

除臭技術	型式	H2S	NH3	胺	硫醇	有機硫化合物	排放臭氣單位(OU/m^3)
化學濕式洗滌塔	NaOH NaOCl	去除率 99%	—		去除率 20-70%	去除率 20-70%	臭氣源僅有 H_2S 時：良好，臭氣源包括有機硫化合物及 H_2S 時：會超過 1,000 OU/m^3
	H_2SO4	—	去除率 99%	去除率 99%			
生物氧化法	生物洗滌塔	5-1000 ppmv。去除率>98%，經常>99%。低 H_2S 或 H_2S 為間歇性或變化太大時不適用	去除率> 90%	去除率> 90%		去除率有限	臭氣源僅有 H_2S 時：良好，臭氣源包括有機硫化合物及 H_2S 時：會超過 1,000 OU/m^3
	生物濾床	適合<10 ppmv。去除率 50-90%較高時，會對其它臭氣化合物的處理產生排擠效應。H_2S 為間歇性或變化太大時不適用	去除率佳	去除率佳	去除率佳	去除率佳	200-400 OU/m^3
吸附系統法	標準型	適合 1-2 ppmv 去除率 99.9% 不建議>200 ppmv	去除率差	去除率有限 活性碳無法現地再生	去除率有限 活性碳無法現地再生	適合 1-5 ppmv>5ppmv 不經濟	100 OU/m^3
	催化型	適合 20-30 ppmv 去除率 99.9% 不建議>200 ppmv					

表 9.8 典型抽水站臭氣種類及濃度

污染物	說明	典型濃度
硫化氫(H_2S)	高	50-100 ppm
氨(NH_3)	低	<10 ppm
還原硫化合物	低	<0.1 ppm
其它有機物	低	<0.1 ppm
臭氣單位	臭蛋味 H_2S	500–5,000 OU/m^3

解決方法：硫化氫佔大多數，加上沒有太多的有機臭氣化合物，使單段技術可有效解決此問題。硫化氫濃度在較低情況(10 ppm 及更少)時，改造的生物濾床或催化型活性碳系統為不錯的選擇。硫化氫濃度在較高情況，生物濾床變成不太足夠的解決方式，但生物洗滌塔現在可能變成一個可接受的方案。抽水站的特色，係包括靠近民房及有限土地面積，這些其它的因素使活性碳成為最適當的技術。

② 污水處理廠-前處理區

硫化氫通常係前處理區最普遍的臭氣化合物，其出現的濃度自 5 ppm 至 50 ppm 及以上。還原硫化合物也通常存在，濃度自 50 ppb 至幾個 ppm。前處理區時常係合併系統的候選者。參考表 9.9 典型前處理區臭氣種類及濃度。

解決方法：高濃度硫化氫及還原硫化合物的組合，需要合併系統以得到真正有效的解決，解決方案有數個，其中之一為兩階段系統，包括第一階段生物洗滌塔以去除硫化氫，接著為改造之生物濾床(如果有機化合物為低至中 ppm 範圍)及活性碳系統(如果有機化合物為 ppb 至非常低 ppm 範圍)。

表 9.9 典型前處理區臭氣種類及濃度

污染物	說明	典型濃度
硫化氫(H_2S)	高	50-100 ppm
氨(NH_3)	低	<1 ppm
還原硫化合物	低	<0.1 ppm
其它有機物	可能高	>1 ppm
臭氣單位	高強度	500-3,000 OU/m^3

③ 污水處理廠-污泥處理區

污泥處理過程，係所有污水作業中呈現一些最強烈臭氣的地方，通常其硫化氫平均濃度可假設為 10 ppm。參考表 9.10 典型污泥處理區臭氣種類及濃度。

表 9.10 典型污泥處理區臭氣種類及濃度

污染物	說明	典型濃度
硫化氫(H_2S)	高	1-25 ppm
氨(NH_3)	高	50-100 ppm
還原硫化合物	高	1-5 ppm
氨/胺化合物	魚臭味	1-10 ppm
臭氣單位	持久且逸散很遠	500-10,000 OU/m^3

解決方法：此種情況最好以合併技術解決，所有主要臭氣化合物都屬高濃度，可採生物洗滌塔作為第一階段(假設硫化氫濃度為 20 ppm 或更高)以處理硫化氫及氨，接著採生物濾床作為第二階段，以降低有機臭氣及進階處理任何剩餘的硫化氫及氨。如果硫化氫平均濃度低於 20 ppm，第一階段採生物濾床，接著第二階段採活性碳進階處理為最佳選擇。

9.6 池槽分水

多槽之同類型池槽，應考量進流污水之水質及水量能均勻分配。如以沉澱池為例，為使各池能完全利用，流入各池的污水量，需依照其相對的處理容量來分配。如沉澱系統，包括多個大小及形狀都相同的沉澱池，則污水需分成相等分流入各池。污水分流如不良，則沉澱池的處理容量無法完全發揮，低於負荷的沉澱池出水水質改善程度，無法彌補超過負荷的沉澱池出水水質的變差，並且因為水質差的沉澱池出水量較多，導致整體出水水質更加惡化。在此情況下，為改善沉澱池的出水，就必須限制污水進入負荷最大的沉澱池的總流量，使其不超過最大容量，但此會導致其他沉澱池的負荷跟著降低，而損失了總處理容量。經由污水分流的改善，沉澱系統的容量可提高，因為所有沉澱單元都能完全利用到其容量。

如以生物反應池為例，為使各池能完全利用，流入各池的污水及迴流污泥量，需依照其相對的處理容量來分配。如生物反應池系統，包括多個大小及形狀都相同的反應池，則污水及迴流污泥需分成相等分流入各池。污水及迴流污泥分流如不良，則各生物反應池的停留時間會不同，使得池中生物相會不同，水質處理程度亦會不一樣。而由此會導致各池的需氧量不同，各池偵測到之溶氧量亦會不同，使各池送風量的控制困難。

池槽分水種類及設計如下：

1. 管線幾何對稱(參考圖 9.12)

方法：採用管線幾何對稱，使管線一再分流，讓進入各池中的管線水頭損失相同，以達到均勻分流之目的。

優點：水頭損失最少。

缺點：管線布置所需用地面積大。

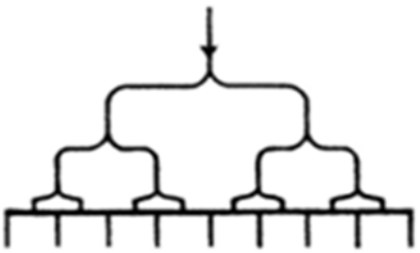


圖 9.12　管線幾何對稱

2. 分水井(參考圖 9.13)

方法：使用多個分水堰來分水，每個堰版分水至每個水池。堰板採平頂堰，堰長應該等比於流入該池的流量分配。進流管在分水井中央以垂直管方式進水。

優點：本分水井最適合安排在各水池的幾何中央。

缺點：水頭損失最大。初級沉澱池及前處理單元採自由跌落堰分水，污水跌落時會有臭氣產生。

3. 流量計及控制閥(參考圖 9.14)

方法：在每個水池的進入口，設置流量計及控制閥，自動控制系統依據各池處理容量的比例，來調整流入各池的相對流量。

優點：控制得宜時，分水均勻。

缺點：高設備費用及高維護費，控制器不正確的調整，會因控制閥產生擺動作用而使分水不均。

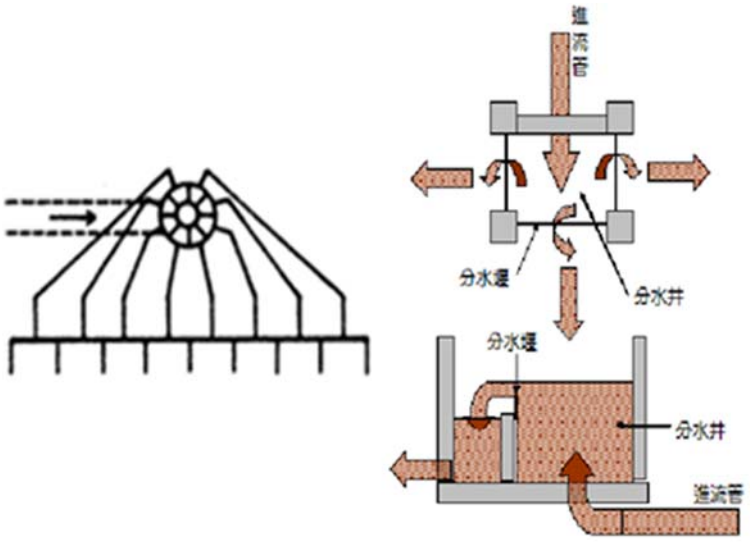


圖 9.13　分水井

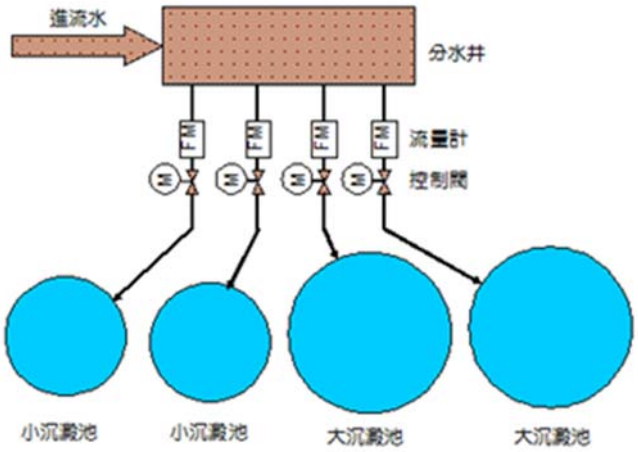


圖 9.14　流量計及控制閥

4. 喉口式水槽(參考圖 9.15)

方法：分水井可以連接多個喉口式水槽來分水，每個喉口式水槽分水至每個水池。

優點：喉口式水槽類似於巴歇爾水槽，但不同處在於沒有平行的喉口段，以及整條水道之底部高程與渠道底部高程相同。

使用喉口式水槽，可避免發生使用孔口分水時的淤積浮渣。喉口式水槽不建議做為量取流量之用途。

缺點：比溢流堰或分水渠道，喉口式水槽構造費用相對較高。

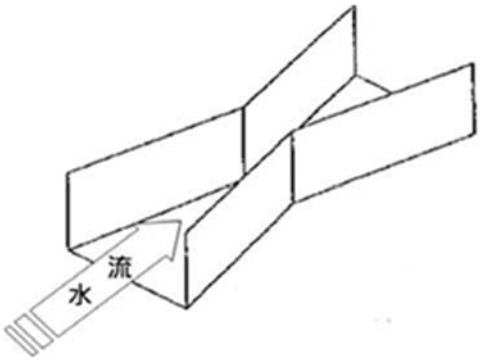


圖 9.15　喉口式水槽(Cut Throat Flume)

5. 分水渠道

分水渠道的分流設施，通常使用出水孔口、出水閘門、出水溢流堰或合併上述之方式。分流設施施作時的小瑕疵，往往會造成設施水理特性上的些微差異，為確保這些小瑕疵不會影響並聯處理單元的相對流量，出水孔口等的水頭損失，須克服渠道的水力坡降。沿著整條渠道的分流為連續性或近似連續性時，渠道(或管線)與出水孔口間的水力關係可依據(Fair,Campetal.,1968)公式 A 計算：

$h_{Lp}=\Delta h/(1-m^2)$.....(9-1)

式中：

h_{Lp}=通過出水孔口的水頭損失，m

Δh=沿著整條渠道的水力坡降相差值，m

m=通過各孔口之最低流量與最高流量之比值

例如設計時要求在最大流量時，通過第一個孔口的流量 q1 與通過第 n 個孔口的流量 q_n，相差在 5%以內，即 $m=q_n/q1=0.95$，於最大流量下，各孔口的水頭損失，應大於分水渠道整體水頭損失的 10 倍以上。

至於分水渠道整體水頭損失的計算方法，可假設水流係以固定流量(即進流或最大流量)方式通過整條渠道，而依照公式 8-2 計算出水頭損失 H_L，再將該水頭損失乘以 1/3，如公式 8-3，其結果即約略等於分水渠道的實際整體水頭損失 H_a。

$H_L=SxL$ .....(9-2)

$H_a=1/3H_L$ .....(9-3)

式中：

H_a=分水渠道的實際整體水頭損失，m

H_L=渠道之水頭損失，m

S=依照曼寧公式計算所得的渠道水力坡度，m/m

L=上游及下游渠道間之距離，m

(1) 分水渠道－溢流堰(參考圖 9.16)

方法：使用溢流堰來分水，堰長應該等比於流入該池的流量分配。在擴廠時，如新池槽容量與舊池槽容量不同，需要用不同長度的堰板來分水。

優點：在一定的流量範圍內，分水相當均勻。採用可調整高程的堰板，即可容易調整流量。自由跌落堰板出水量，可肉眼觀測並可量測流量。浮渣可自由流出。

缺點：由於堰板長，些微高程差即會對流量有大程度的改變，準確的調整流量不容易。自由跌落堰板水頭損失大。初沉池進流堰採用自由流的堰板跌落時，會有臭味產生，應改用潛堰。初沉池進流渠道底部容易淤積，應採用粗氣泡攪拌設備或水中攪拌機來防止淤積。二沉池採用進流堰時，須留意混合液自池頂跌落會產生密度流的效應。

(2) 分水渠道－沉沒式孔口(參考圖 9.17)

方法：使用沉沒式孔口來分水，孔口面積應該等比於流入該池的流量分配。在擴廠時，如新池槽容量與舊池槽容量不同，需要用不同面積的孔口來分水。

優點：在一定的流量範圍內，分水相當均勻。

缺點：由於孔口大小固定，尖峰流量時，孔口可能限制最大流量；低流量時，孔口可能無法達到分水功能。渠道末端水面須設置漂浮物

閘門，以便將漂浮物導引至沉澱池除去。

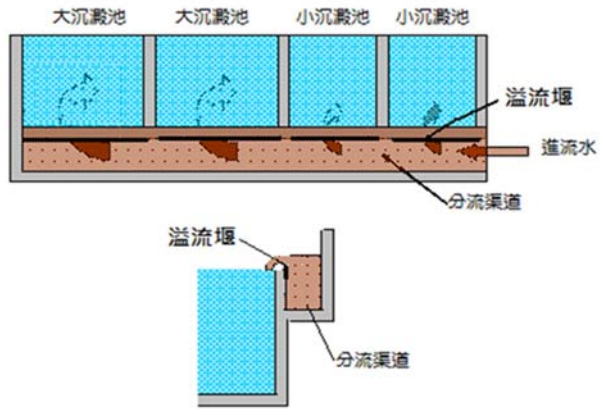


圖 9.16　分水渠道－溢流堰

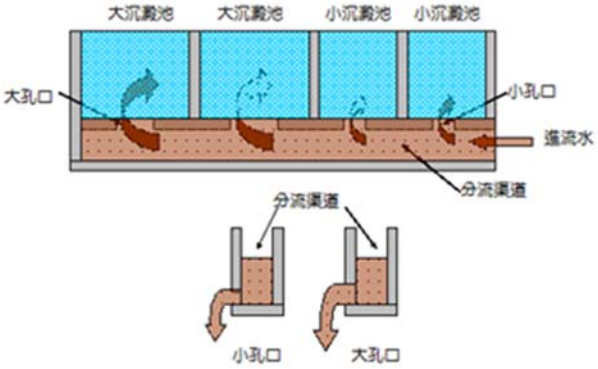


圖 9.17　分水渠道－沉沒式孔口

(3) 分水渠道－沉沒式入口閘門(參考圖 9.18)

方法：利用等斷面渠道各池的沉沒式入口閘門，調整閘門開孔大小，並使出水堰在同一高度。若需排除浮渣時，可做全斷面開口式閘門，平時以沉沒式入口操作，需排浮渣時則閘門完全開啟。

優點：閘門開孔大小，可依據任何持續一段時間的流量來調整，最具彈性。缺點：渠道末端水面須設置漂浮物閘門，以便將漂浮物導引至沉澱池除去。

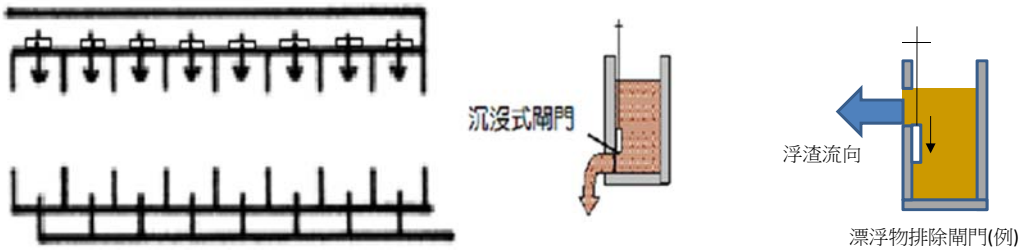


圖 9.18　分水渠道－沉沒式入口閘門

(4) 漸變斷面分水渠道－配合溢流堰、沉沒式孔口或入口閘門(參考圖 9.19)

方法：利用漸變渠道，使各孔口處的流速相同，以確保各分水孔口的水位相同。在擴廠時，如新池槽容量與舊池槽容量不同，需要用不同面積的孔口或入口閘門來分水。

優點：分水較等斷面窄渠道為均勻。

缺點：渠道變化量沒有與流量成等比時，分水仍不均勻。

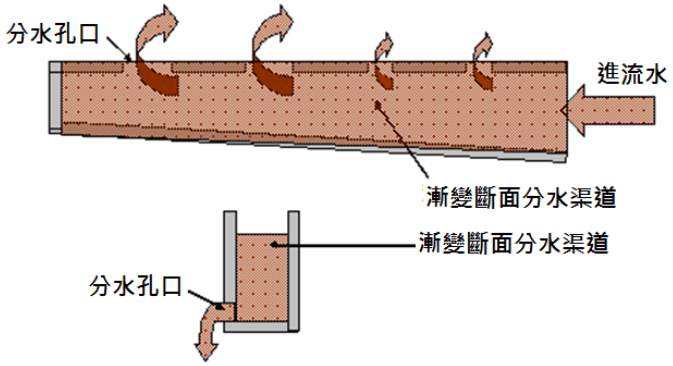


圖 9.19　漸變斷面分水渠道－配合沉沒式孔口或入口閘門

(5) 零流速分水渠道－配合溢流堰、沉沒式孔口或入口閘門(參考圖 9.20)

方法：利用既寬且深的渠道，使流速非常緩慢，約 0.2～0.4 m/s，確保各分水孔口的水位相同，以便均勻分水。在擴廠時，如新池槽容量與舊池槽容量不同，需要用不同面積的孔口來分水。

優點：分水均勻

缺點：為避免污水中固體物沉澱，渠道中要以機械或空氣攪拌。

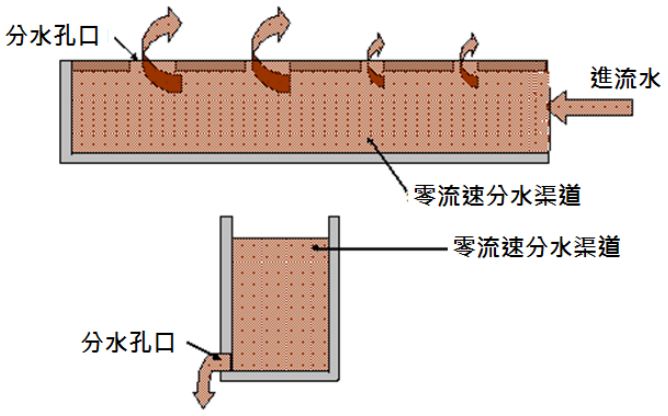


圖 9.20　零流速分水渠道－配合沉沒式孔口或入口閘門

(6) 環狀分水渠道(參考圖 9.21)

方法：利用環狀分水渠道，配合低流速，能確保各出水孔口的水位相同，以便均勻分水。

優點：每個出水孔口上下游的渠道牆壁上，均預設止水擋板專用的槽溝，當要維修某個出水孔口上的溢流堰或入口閘門時，可在該出水孔口的上下游渠道上，安裝臨時止水擋板，以便該渠道段能局部排水，在不影響其他出水孔口水流之情況下，能維修該溢流堰或入口閘門。

缺點：使用環狀分水渠道及配合低流速，用地面積及工程費會增加。

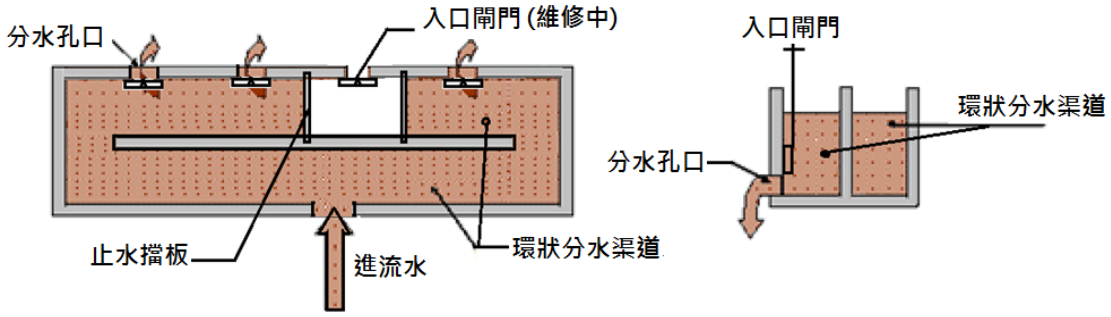


圖 9.21 環狀分水渠道

6. 污水分流的條件：

(1) 分流設施施作時的小瑕疵，往往會造成設施水理特性上的些微差異，為確保這些小瑕疵不會控制並聯處理單元的相對流量，故在污水分流時，需要有足夠的水頭損失以供分流設施使用。

(2) 除了「管線幾何對稱」及「流量計及控制閥」方式外，採用分水堰及分水孔口方式，對於分水井或分水渠道的整體水面，仍要求達到近乎水平。

7. 渠道或孔口應依其需求分別採用不同之閘門

用於渠道之閘門(參考圖 9.22)種類如下：

(1) 制水閘門(sluice gate 又名 penstock)：矩型制水閘門係採用鑄鐵或不鏽鋼製造，通常以設於閘門兩側及底部之可調整黃銅楔組之楔型作用做為水密機制，底部之黃銅楔組亦有改以彈性座封者，用於水壓較大的渠道，其可承受之正壓及背壓水頭皆大於滑動閘門，制水閘門在設計正壓及背壓水頭下不允許滲水或漏水，其餘詳上冊第 3.3 節說明。

(2) 滑動閘門(slide gate)：又稱為渠道閘門(channel gate, canal gate)，閘門採用碳鋼、不鏽鋼、FRP 或鋁板製造，以彈性座封做為水密機制，附轉輪，用於渠道內、渠道口或浸沒孔口之擋水，閘門僅允許極少量滲水或漏水，其餘詳上冊第 3.3 節說明。

(3) 止水閘門(stop gate)：又稱為止水閘板(stop plate)，僅附手提把手，不附轉輪，用於渠道內之擋水，閘板允許少量滲水或漏水。

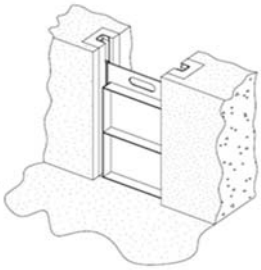
(4) 止水塊板(stop log)：用於渠道之臨時擋水，採用鋁板或不鏽鋼板製造，依照渠深由數塊止水塊板疊置而成，止水塊板係以彈性座封做為水密機制，塊板間允許少量滲水或漏水。



a.制水閘門



b.不銹鋼滑動閘門



c.止水閘板



d.止水塊板



e.矩形蝶式閘門



f.池底排泥閥

圖 9.22 用於渠道之閘門

(5) 蝶式閘門(butterfly gate)：垂直轉軸式矩形閘門，用於操作空間不足及須控制渠道流量者，閘門允許少量滲水或漏水。

(6) 排泥閥(mud valve)：閘門係藉由手動、氣動或液動方式操作，採用鑄鐵製造，以黃銅座面做為水密機制，用於渠道底部之排水。

用於孔口之閘門(參考圖 9.23)種類如下：

(1) 制水閘門：矩型制水閘門係採用鑄鐵或不鏽鋼製造，通常以設於閘門兩側及底部之可調整黃銅楔組之楔型作用做為水密機制，底部之黃銅楔組亦有改以彈性座封者，用於水壓較大的池牆開口、管線或渠道末端之孔口，其可承受之正壓及背壓水頭皆大於滑動閘門，制水閘門在設計正壓及背壓水頭下，不允許滲水或漏水。

(2) 堰閘(weir gate)：設置於渠道末端之孔口或渠道側邊分水孔口，藉由閘門向下開啟，而控制上游水位或允許排出一定流量者，堰閘不允許滲水或漏水。

(3) 舌閥(flap gate)：用於管線或渠道末端之孔口，防止出口處之水逆流進入管線或渠道。



a.堰閘



b.舌閥

圖 9.23 用於孔口之堰閘及舌閥

表 9.11 閘門種類及應用表

閘門種類 / 應用	制水閘門	滑動閘門	止水閘板	止水塊板	蝶式閘門	池底排泥閥	堰閘	舌閥
渠道		●	●	●	●	●		
孔口/渠道末端	●						●	●
水密性*	＋＋＋	＋＋	＋	＋	＋	＋＋＋	＋＋	＋＋
永久性裝置	●	●			●	●	●	●
臨時性裝置			●	●				
手動開關	●	●	●	●	●	●	●	
自動開關	●	●			●	●		●
垂直開關	●	●	●	●		●	●	
水平開關					●			●
特殊用途		控制上游水位				渠底排水用	調節溢流量用	單向出水用

*備註：＋越多表示水密性越佳

9.7 各種量水設施

一般水量之測定，是在某一單位時間內，流經渠道某一斷面之水容積，即為流量之測定。用公式表示即為 Q=AV

式中：

Q=單位時間內通過渠道某斷面(A)之流量(立方公尺/秒)

A=渠道某一斷面(平方公尺)

V=水流斷面(A)之平均流速(公尺/秒)

於污水處理廠其流量測定之方法，係利用某些特別設計之量水構造物設置於渠道內，其斷面形式為一定，流量僅與水位有關，故測定流經此斷面水深即可計算流量，普遍採用的量水設施包括：堰、孔口、巴歇爾量水槽及電磁流量計等。

9.7.1 各種量水設施之選用

各種量水設施，依其特性於適當使用場地選擇設置之：

1. 堰。
2. 孔口。
3. 巴歇爾量水槽。
4. 電磁流量計。

解說：

上述量水設施，皆適合及常用於污水處理廠，堰及孔口以污水處理廠，可用水頭為主要選用考量，電磁流量計與巴歇爾量水槽，以商用尺寸為主要選用依據。

1. 堰

(1) 原理：堰為測定流量最簡單，又相當精確的量水構造物之一。係在渠道適當地點設置隔牆，橫築於明渠中並附設缺口，使水流流經缺口，據以測定流量之構造物。

(2) 型式：堰之形狀，依其缺口形狀可分為矩形、梯形(trapezoidal)、三角形、拋物線形及其他規則之形狀，其中以矩形、梯形及 90 度三角形堰最為普遍，其形狀如圖 9.24。

(3) 矩形堰

①標準不收縮矩形堰

堰頂與引渠渠底距離發生縱向收縮，堰頂邊端為引渠邊壁而無橫收縮者，稱為標準不收縮矩形堰。

流量計算公式如下：

不考慮接近流速

$$Q = CLH^{3/2} = 1.838LH^{3/2} \quad \text{.....(9-4)}$$

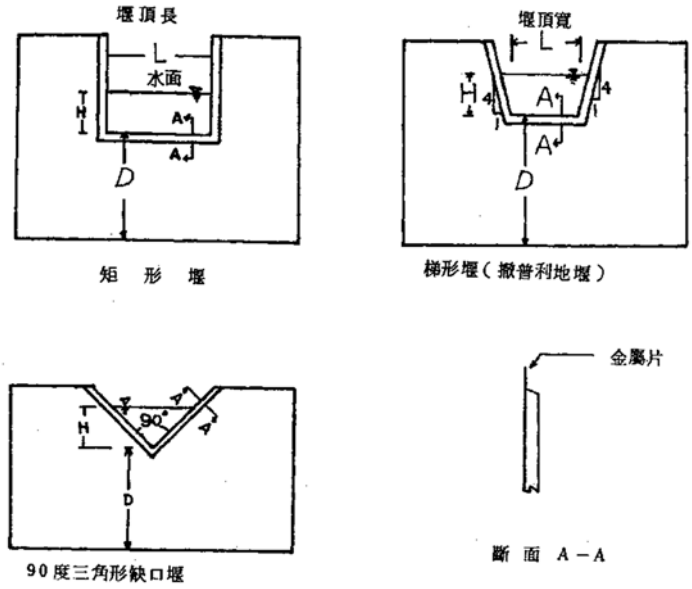


圖 9.24 梯形堰

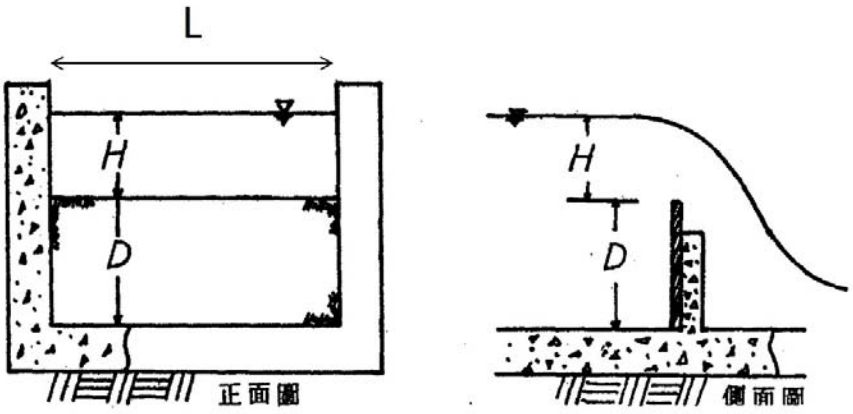


圖 9.25 標準不收縮矩形堰(D>3H)

考慮接近流速(Hv)

$Q=1.838L〔(H+Hv)^{3/2}-Hv^{3/2}〕$

式中：

Q：流量以秒立方公尺計

C：流量係數=1.838

D：渠底至堰頂深度以公尺計

L：堰長以公尺計

H：堰上水頭以公尺計

Hv：接近流速水頭（$H_v=\frac{V^2}{2g}$）

② 標準收縮矩形堰

由堰頂至引渠底及由堰頂兩側至引渠邊牆之距離，發生縱向收縮及橫向收縮者為標準收縮矩形堰。

流量計算公式如下：

不考慮接近流速

$$Q=1.838(L-0.2H)\,H^{3/2}\quad\text{(9-5)}$$

考慮接近流速時

$$Q=1.838(L-0.2H)\left[(H+H_v)^{3/2}-H_v^{3/2}\right]\quad\text{(9-6)}$$

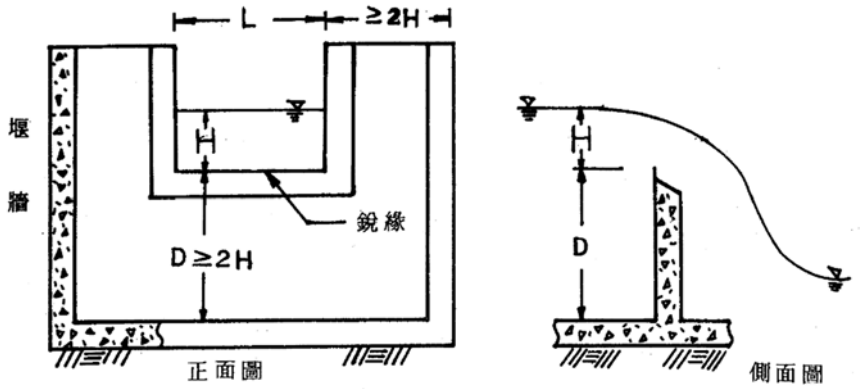


圖 9.26 標準收縮矩形堰

(4) 標準銳緣梯形堰

銳緣梯形堰為收縮堰，堰頂至引渠渠底及至引渠兩邊牆，均應有充分之距離，堰頂左右兩緣之斜度，應保持縱向 4 橫向 1 之比。

流量計算公式如下：

不考慮接近流速時

$$Q=1.856LH^{3/2}\quad\text{(9-7)}$$

考慮接近流速時

$$Q=1.856L(H+1.5H_v)^{3/2}\quad\text{(9-8)}$$

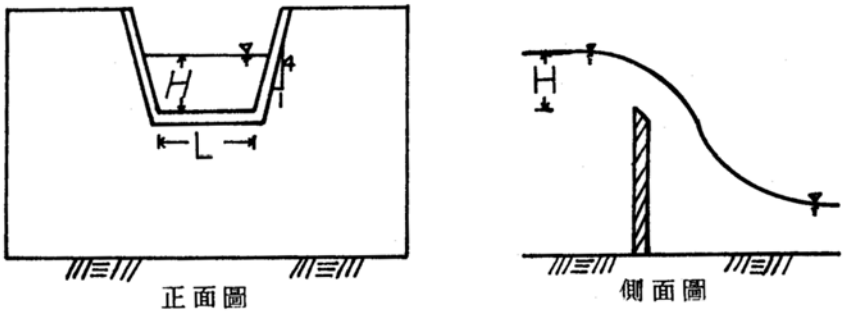


圖 9.27 標準銳緣梯形堰

(5) 標準銳緣 90 度三角形堰

90 度三角形堰，用以測定小流量時，頗為精確方便。

流量公式計算如下：

$$Q=1.40H^{5/2}\quad\text{(9-9)}$$

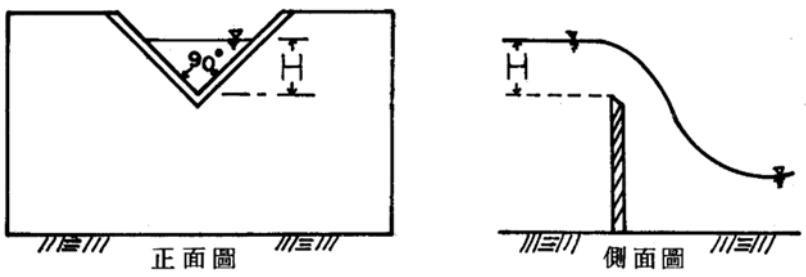


圖 9.28 標準銳緣 90º 三角形堰

(6) 寬頂堰

堰口水流非屬銳緣而屬寬平者，稱為寬頂堰，寬頂堰型式有多種，如矩形頂部、梯形頂部、弧形頂部等，又其堰頂緣面，亦有圓形及方形兩種，以上各種因素均將影響流量係數。

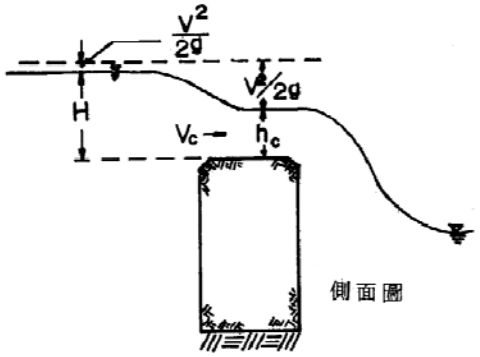


圖 9.29 寬頂堰

流量公式計算如下：

一般寬頂堰公式可按接觸堰頂之接觸緣而定

圓緣寬頂堰：$Q = 1.55LH^{3/2}$.....(9-10)

方緣寬頂堰：$Q = 1.41LH^{3/2}$.....(9-11)

除上列公式之外，可以堰上水頭先以銳緣堰求得流量後，再依照寬頂堰之形狀、堰上水頭等因素，加以修正，矩形寬頂堰之流量與銳緣矩形堰之流量關係，可依下式計算：

$$\frac{Q}{Q'} = 0.700 + 0.185\frac{H}{b}$$

$$Q = (0.700 + 0.185\frac{H}{b})Q'$$

式中：

Q：寬頂堰之實際流量

Q′：同一堰上水頭及堰頂寬時之銳緣堰流量

b：堰之厚度

L：堰長

其他各型寬頂堰，可參閱其他有關書籍。

(7) 潛堰

尾水位高過堰頂，致溢流水舌水面與下游水流混合而無空間者，稱為潛流，需以潛流堰公式計算：

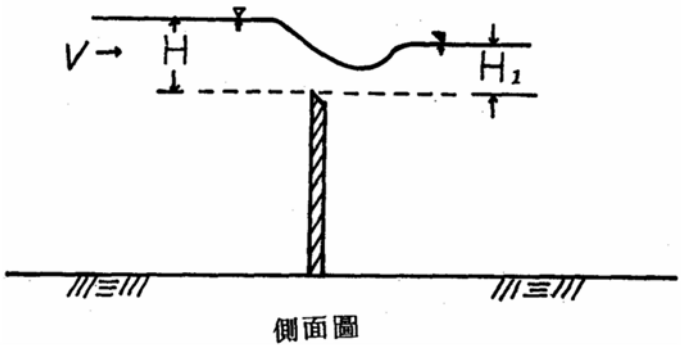


圖 9.30 潛堰

流量公式：

$Q = 1.838\ L(nH)^{3/2}$ .....(9-12)

式中：

Q＝流量(CMS)

L＝堰頂寬(m)

H＝堰上水頭(m)

H_1＝下游潛浸水頭(m)

n＝潛堰係數，由潛浸度$\frac{H_1}{H}$而定

(8) 裝置標準銳緣堰應注意事項

①標準收縮矩形堰

(A) 堰頂設於一段平直而均勻的渠道中，水流平順，無渦流之發生，引渠中心線必須經過堰中心，接近流速以不超過 0.2 公尺/秒為宜。

(B) 堰牆上游面必須光滑，上游之堰頂及其邊緣，必須正直尖銳而平滑，且與堰牆上游面齊平。

(C) 堰頂兩端必須水平，兩側須為垂直。

(D) 堰頂至渠底及由堰頂兩側至引渠邊牆之距離，應不小於堰上水頭之兩倍且不得小於 30 公分。

(E) 水頭(H)以不超過堰前引渠水深 1/4 為宜，以減低接近流速之影響。

(F) 水頭(H)不宜小於 3 公分以下，以免受表面張力之影響。

(G) 引渠斷面積，必須大於堰口斷面積之 6～8 倍以上(引渠長度約為堰口水頭之 15～20 倍)以降低接近流速。

(H) 堰上游之水尺，應設於距離堰頂上最大水頭 4～6 倍處，使不受水面洩降之影響。

(I) 經堰頂之水舌，應以自由流狀態為原則，並使空氣得以自由進入水舌(水簾)下之空間內。

(J) 堰之左右側及堰底不得有漏水現象。

②標準不收縮矩形堰

表 9.12 潛堰係數表

H \ H_1	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0	1.000	1.004	1.005	1.006	1.007	1.007	1.007	1.006	1.006	1.005
0.1	1.005	1.003	1.002	1.000	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989	0.987
0.2	0.985	0.982	0.980	0.977	0.975	0.972	0.970	0.967	0.964	0.961
0.3	0.959	0.956	0.953	0.950	0.947	0.944	0.941	0.938	0.935	0.932
0.4	0.929	0.926	0.922	0.919	0.915	0.912	0.908	0.904	0.900	0.896
0.5	0.892	0.888	0.884	0.880	0.875	0.871	0.866	0.861	0.856	0.851
0.6	0.846	0.841	0.836	0.830	0.824	0.818	0.813	0.806	0.800	0.794
0.7	0.787	0.780	0.773	0.766	0.758	0.750	0.724	0.732	0.723	0.714
0.8	0.703	0.692	0.681	0.669	0.656	0.640	0.631	0.618	0.604	0.590
0.9	0.574	0.557	0.539	0.520	0.498	0.471	0.441	0.402	0.352	0.275

使用此種堰型與收縮堰相同，但應注意下列兩點：

(A) 渠道上、下游兩側，應與堰之兩側吻合，以防水舌向下游產生側向擴大情形。

(B) 水舌下應設置通氣孔，以利通氣作用。

③標準 90 度三角形堰

(A) 缺口邊側與垂直傾斜成 45 度。

(B) 水頭(H)以 3～30 公分為宜。

(C) 水頭(H)以引渠水深之 1/2 以下為宜。

(D) 其他符合於設置標準收縮矩形堰者，均可適用，但流量超過 0.075 秒立方公尺時，則不準確。

④標準銳緣梯形堰

堰頂與邊側均為一薄片，其距引渠之底及兩邊牆均應有充分之距離，以完成收縮。

(9) 堰之維護工作

①堰口之銳緣部分及水尺，如發現受損時，須迅速予以更換。

②引渠內之泥砂雜物，應經常清除。

③堰口以外，其他部分不應有漏水情形，否則必須加以修理。

④水尺應定期維護，以求清晰。

2. 孔口

(1) 原理：在渠道隔牆或側壁上設置洞孔，使水流由洞孔射流而出，以觀測流量者稱為孔口。孔口洩水有自由流孔口及潛流兩種，常用者多為矩形及圓形之潛孔口。

(2) 標準矩形潛孔口

完全收縮矩形孔口稱之

流量公式：

不考慮接近流速

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad \text{.....(9-13)}$$

式中：

C＝流量係數採用 0.61

Q＝流量(CMS)

A＝孔口斷面積(m^2)

g＝重力加速度 9.8(m/sec^2)

H＝孔口上下游水頭差($H=H_1-H_2$)(m)

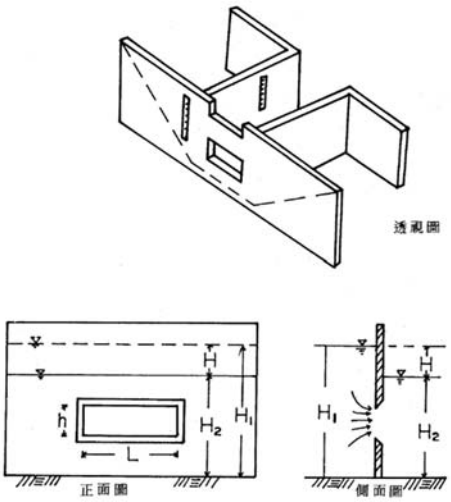


圖 9.31 潛孔口

考慮接近流速

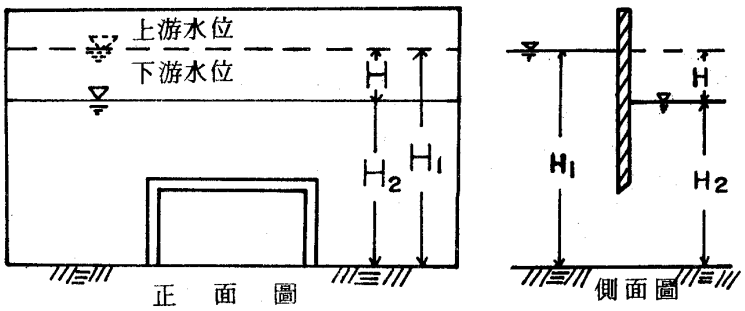
$$Q = CA\sqrt{2g(H+H_V)} \quad \text{.....(9-14)}$$

式中：

Hv＝流速水頭(m)=$v^2/2g$

(3) 不完全收縮潛孔口

潛孔口不收縮時，流量係數頗難決定，但有時為避免孔口上游泥砂



淤積，常將孔下緣置於渠底，致形成底部之不收縮，變成三面收縮矩形孔口，有時亦須施設底部及兩側不收縮之潛孔口。

圖 9.32 三面收縮矩形孔口

流量公式：

不考慮接近流速時

$$Q = C(1 + 0.15r)A\sqrt{2gH} \quad \text{.....(9-15)}$$

r＝孔口不收縮部分之周長與全周長之比

考慮接近流速時

$$Q=C(1+0.15r)A\sqrt{2g(H+H_V)} \quad \text{.....(9-16)}$$

(4) 孔口裝置應注意事項

①孔口上游面應垂直。

②孔口(不包括定水頭潛孔口)四周應裝置銳緣鈑，銳緣鈑應與胸牆或渠壁在同一平面上、上下緣應保持水平，兩邊緣鈑應與上下緣垂直。

③完全收縮孔口、緣鈑與引渠渠底及渠壁，需有孔口最小邊長二倍以上之距離。

④距離孔口上下游 7 m 至 10 m 間之通水斷面積，應為孔口斷面積之 6 倍以上。

(5) 孔口維護

①孔口銳緣鈑如受損而致不平整時，應予更換。

②孔口及其上下游渠道，應經常清除淤砂及雜物。

③水尺應保持刻度清晰，必要時應予換新。

④三面收縮孔口，渠底務必保持水平平滑，如混凝土被磨損應補平。

⑤除孔口外，其他部分有漏水現象時，應予修補。

⑥定水頭孔口水門務必妥予維護。

⑦定水頭孔口，為配合分水，故在其下游亦常有淨水池及分水閘門，亦需妥予維護。

3. 巴歇爾量水槽

(1) 原理：巴歇爾量水槽是在渠道內，將通水斷面以漸變段，使其收縮經一狹窄喉段後，再經一放寬之漸變段，使水流在槽內發生臨界水深、用以觀測水量，其型式可以喉口之大小分為小型、中型、大型三種，依其水流狀態，可分自由流及潛流兩種。

(2) 相關名詞

①在量水槽前段為斷面收縮段，其底部須水平之外，側壁應垂直，中心線長度以 B 表示，側壁長度以 A 表示，上游寬度以 D 表示，下游寬度

即為喉口寬度以 W 表示。

② 在量水槽中段為喉段兩壁垂直，兩壁間寬度保持一定，槽底向下傾斜喉段長度以 F 表示，喉段寬度以 W 表示。

③ 量水槽末段為漸寬段，其底部應隨距離之增加略為提高之。

④ 槽頂：喉段起點底部稱為槽頂(與漸縮段底同高)。

⑤ 上游水頭：在漸縮段中，由喉段起點溯向上游三分之二頂長處之水位，稱為上游水頭，以 Ha 表示。

⑥ 下游水頭：離開喉段終點往下某一點量得之水位，稱為下游水頭，以 H_b 表示。

⑦ 巴歇爾自由流界限

小型 $\frac{H_b}{H_a} < 0.6$ 自由流

中型 $\frac{H_b}{H_a} < 0.7$ 自由流

大型 $\frac{H_b}{H_a} < 0.8$ 自由流

超過上述界限者稱為潛流。

⑧ 分級

小型巴歇爾量水槽：凡喉口寬度為 9 吋(含)以下者屬之。

中型巴歇爾量水槽：凡喉段寬度在 1 呎至 8 呎者均屬之。

大型巴歇爾量水槽：凡喉段寬度在 10 呎至 50 呎者均屬之。

⑨ 巴歇爾量水槽主要部分尺寸及流量公式

巴歇爾量水槽主要部分尺寸及流量計算公式均有一定，茲將較常用之中小型量水槽有關尺寸及公式，列述如下：

表 9.13 中、小型巴歇爾量水槽各部分尺寸表

W	A	$\frac{2}{3}$ A	B	C	D	F	G	X	自由流流量(c.m.s)	
									最　小	最　大
(3″)7.62	46.67	31.12	45.72	17.78	25.88	15.24	30.48	2.54	0.0008496	0.05380
(6″)15.24	62.05	41.43	60.96	39.37	39.69	30.48	90.96	5.08	0.001416	0.1104
(9″)22.86	87.95	58.74	86.36	38.10	37.47	30.48	45.73	5.08	0.002549	0.2520
(1′) 30.48	137.16	91.44	134.24	60.96	84.46	60.96	91.20	5.08	0.003115	0.4560
(1.5′)45.72	144.78	96.52	141.86	76.20	102.55	60.96	91.20	5.08	0.004248	0.6797
(2′) 60.96	152.40	101.60	149.47	91.44	120.65	60.96	91.20	5.08	0.01189	0.9374
(3′) 91.44	167.64	111.76	164.47	121.92	157.16	60.96	91.20	5.08	0.01728	1.427
(4′) 121.92	182.88	121.92	179.39	152.40	193.68	60.96	91.20	5.08	0.03682	1.9229
(5′) 152.40	198.12	132.08	194.31	182.88	230.17	60.96	91.20	5.08	0.04531	2.424
(6′) 182.80	213.36	142.24	209.23	213.36	266.70	60.96	91.20	5.08	0.07363	2.931
(7′) 213.36	228.60	152.40	224.16	243.84	303.21	60.96	91.20	5.08	0.08476	3.438
(8′) 243.84	243.84	162.56	239.08	274.32	339.93	60.96	91.20	5.08	0.09912	3.951

註：W 及 Y 之單位為 cm

中小型巴歇爾量水槽自由流之流量公式，如表 9.14。潛流之公式請參閱有關資料。

(3) 巴歇爾量水槽水頭測定

巴歇爾量水槽之水尺安裝，其零點標高均應與槽頂(即漸縮段底)齊平，如裝設在槽內應與槽壁齊平，如裝有量測井者，如通水管被埋，應先予清除後再行觀測。

(4) 裝設巴歇爾量水槽應注意事項

① 應配合水理現象，選用較為經濟且易於觀測之量水槽尺寸。

② 建造固定式之巴歇爾量水槽，須派有經驗之監工人員，詳予測定各部位標高檢查尺寸及模板穩定性，以符合設計標準。

③ 水尺應安裝在正確位置，如圖 9.33 所示，其零點應與槽頂齊平。

④ 利用移動式巴歇爾量水槽，在安裝時應以水準儀詳加測量調整後，予以固定，槽底下面基礎應穩固並時加檢查，如有移動應即調整。

⑤ 應注意巴歇爾量水槽前段應至少有 5～10 倍喉寬之直線距離，才能有較佳流況。

(5) 巴歇爾量水槽維護要點

①水尺應保持良好，如須更換時安置位置應正確。

②量水井及通水管應經常清理。

③量水槽出口段渠道應當除草，以免下游水流被阻，而產生潛流現象。

④移動型之巴歇爾槽，不用或移動時，應小心安放以免變形。

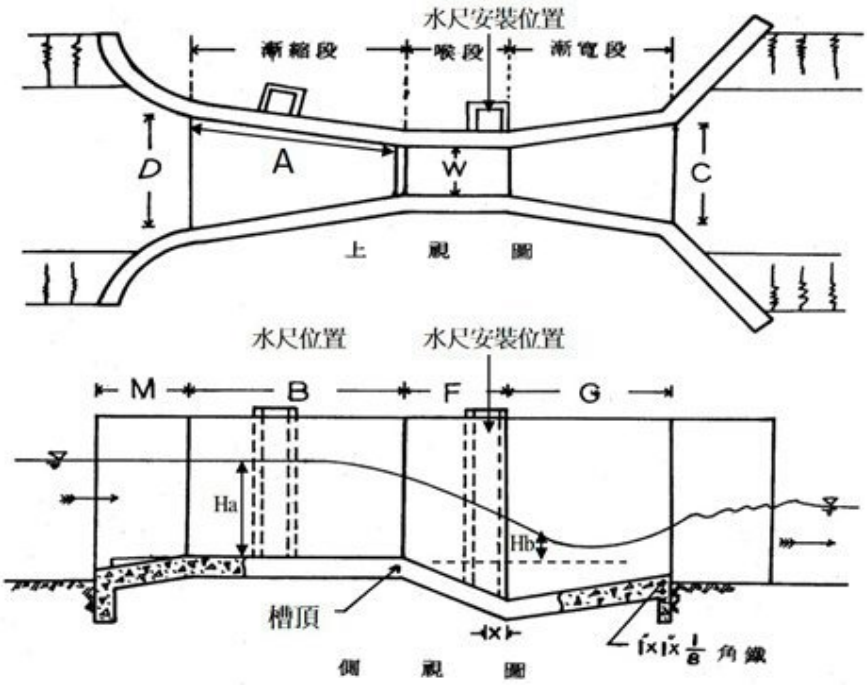


圖 9.33 巴歇爾量水槽

表 9.14 中小型巴歇爾量水槽自由流之流量公式

喉寬(W 值，英吋)	公　　式
1″	$Q=0.048 \quad H_a^{1.55}$
2″	$Q=0.096 \quad H_a^{1.55}$
3″	$Q=0.141 \quad H_a^{1.55}$
6″	$Q=0.264 \quad H_a^{1.58}$
9″	$Q=0.466 \quad H_a^{1.58}$
備　　註	Q：ℓ／sec　H_a：cm

喉寬(W 值，英呎)	公　　式
1′	$Q=0.69091 \quad H_a^{1.522}$
2′	$Q=1.4280 \quad H_a^{1.5497}$
3′	$Q=2.1843 \quad H_a^{1.5661}$
4′	$Q=2.9534 \quad H_a^{1.5779}$
5′	$Q=3.7321 \quad H_a^{1.587}$
6′	$Q=4.5188 \quad H_a^{1.5946}$
7′	$Q=5.3123 \quad H_a^{1.601}$
8′	$Q=6.1114 \quad H_a^{1.6665}$
備　註	Q：m^3/sec　H_a：m

4. 電磁流量計

(1) 原理

電磁式流量計的工作原理，基於法拉第電磁感應定律，當一個導體在磁場內運動，在與磁場方向、運動方向相互垂直方向的導體兩端，會產生感應電動勢，電動勢的大小與導體運動速度和磁感應強度大小成正比。其中，當導電流體以平均流速 V(m/s)，通過裝有一對測量電極的一根內徑為 D(m)的絕緣管子流動時，並且該管子處於一個均勻的磁感應強度為 B 的磁場中，則在一對電極上就會感應出垂直於磁場和流動方向的電動勢(E)。

由電磁感應定律，可寫成：E=kBVD

式中：

E：測量的流體流動面產生的感應電壓，這個電壓信號是由兩端電極產生

k：傳感器的儀表係數

B：磁感應強度，磁場方向與流體流動方向垂直

V：測量管路截面的平均流速

D：測量管路截面的內徑

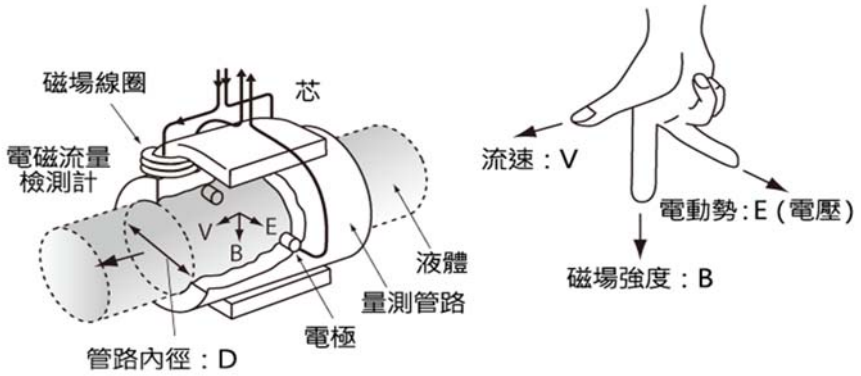


圖 9.34 電磁流量計原理圖

(2) 口徑與流量範圍

表 9.15 為電磁流量計口徑與流量範圍，於選用時需注意常態流量要在該口徑最大與最小流量範圍內，並避免選用之常態流量於該口徑的流量極限，以減少量測誤差或不準確。另應注意電磁流量計前段，應至少有 5 倍管徑以上之直線距離，後段應有 10 倍管徑以上之直線距離，才能有準確的量測數值。此外，就經濟性而言，管徑超過 1000mm(含)以上，因設置費用太高，因此不建議採用電磁式流量計。

(3) 電極材料選擇

電極材料應根據被測液體的腐蝕性來選擇，需查閱相關防腐蝕手冊，對於特殊流體使用前應作試驗。

(4) 電磁流量計維護要點

① 傳訊器應安裝於室內或放置儀表箱內，避免太陽日曬及雨淋。

② 水量計應避免強烈振動和過大的溫度變化，同時要防止腐蝕性液體的滴漏對流量計造成損害。

③ 信號線與勵磁線要配管加以保護，避免重物壓損而信號中斷或進水。

④ 流量計安裝於窨井內應裝設抽水馬達，避免線材與表體長期浸水。

⑤ 流量計通訊線材避免與電源線共用一條管路，電源部分應獨立配線配管。

9.8 不同流量之分水方式

污水處理廠若考量去氮除磷，其生物處理經隔槽後，各槽需分配不同進水量時，可採用之分水方式設計如下：

1. 流量計及控制閥

方法：在每槽的進入口設置流量計及控制閥，自動控制系統，可依據各槽處理容量的設定，來調整控制閥以分配不同之流量。

優點：控制得宜時，分水均勻。

缺點：高設備費用及高維護費，且需有足夠之水頭。此外，控制閥在其特性曲線末端下，開度與流量可能為非線性關係，此時將無法達到原設定流量。

2. 下開式可調節堰

方法：利用每槽的入口處設置不同寬度之下開堰，利用平頂堰或 V 型堰之堰上水深，來換算每池進流量多寡，以調節分配各槽之流量。如圖 9.36。

優點：控制簡單，所需要的設備及維護費較低。

缺點：水力計算時，需先將各種分水情形先行模擬計算，以決定堰寬及堰頂高程。操作調整時較難以確認堰上水深，而有實際進水量與預設進水量差異較大之情形發生。

表 9.15 各口徑電磁流量計與流量範圍

口徑(mm)	15	20	25	32	40	50	65
Q min(m^3/h)	0.19	0.34	0.53	0.87	1.36	2.12	3.58
Q max(m^3/h)	7.63	13.56	21.20	34.73	54.26	84.78	143.28
口徑(mm)	80	100	125	150	200	250	300
Q min(m^3/h)	5.43	8.48	13.25	19.08	33.91	52.99	76.30
Q max(m^3/h)	217.04	339.12	529.88	763.02	1356.48	2119.5	3052.08
口徑(mm)	350	400	450	500	600	700	800
Q min(m^3/h)	103.8	135.6	171.6	211.9	305.2	415.4	542.5
Q max(m^3/h)	4,154	5,425	6,867	8,478	12,208	16,616	21,703
口徑(mm)	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Q min(m^3/h)	686.7	847.8	1,220	1,661	2,170	2,746	3,391
Q max(m^3/h)	27,468	33,912	48,833	66,467	86,814	109,874	135,648
口徑(mm)	2200						
Q min(m^3/h)	4,103						
Q max(m^3/h)	164,134						

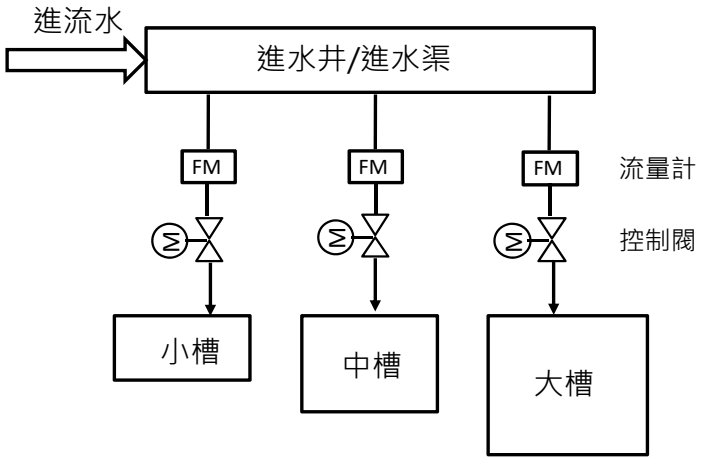


圖 9.35 利用流量計與控制閥進行分水示意圖

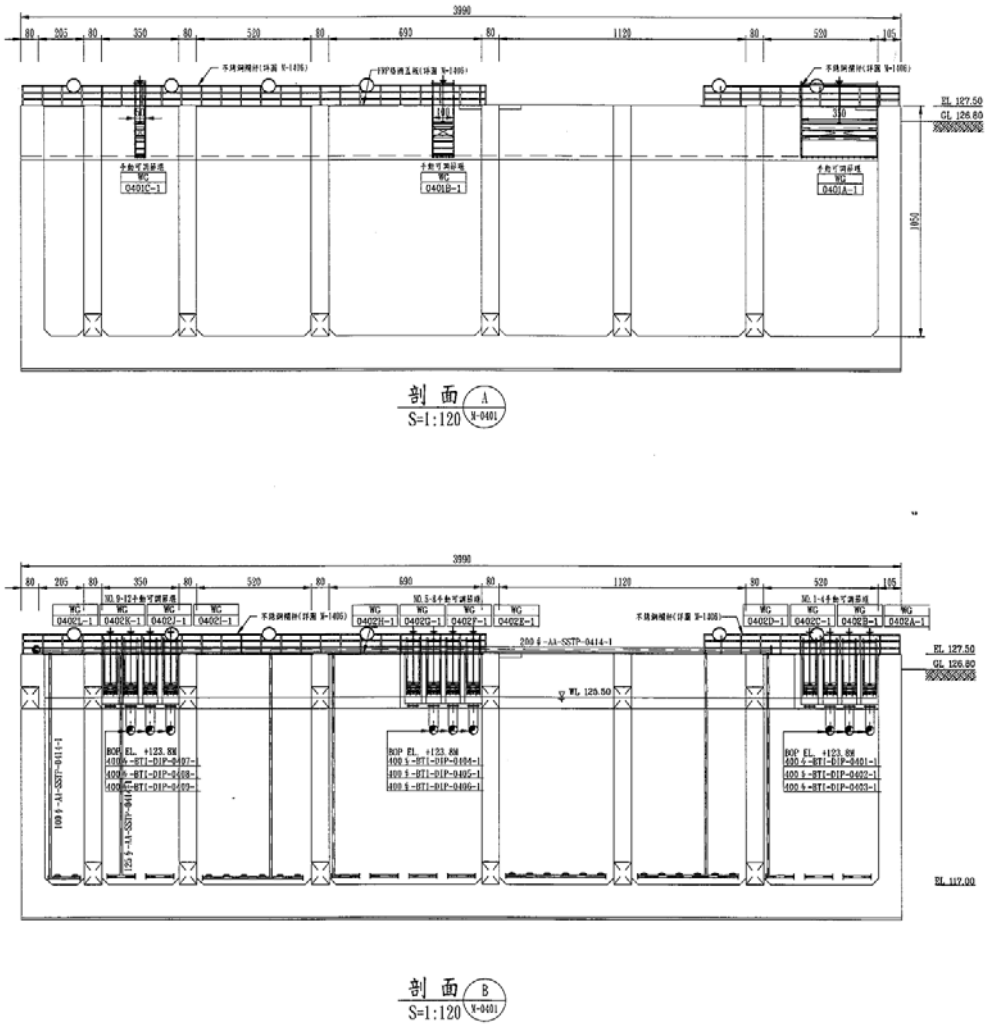


圖 9.36 利用下開式可調堰進行分水示意圖

9.9 廠內各種連絡管線

9.9.1 連絡管線

污水處理廠廠內連絡管渠設置考量如下：

1. 連絡管渠應依照進流的計畫污水量計算其所需的斷面。
2. 管渠內之平均流速以 0.6～1.0 m/sec 為標準。
3. 應採用耐久性及耐震性構造之鋼筋混凝土管渠、不銹鋼管或鑄鐵管。
4. 聯絡管渠應儘可能短而直。
5. 考量環境對策及地域特性，處理廠應檢討於連絡管渠設置覆蓋。
6. 連絡管渠之配置應能達順暢水流。
7. 用水管分為自來水管及回收水管二類，不得混接。
8. 污水處理廠內之各種配管，應依功能分類，分別以不同顏色或分級著色，並標註內容物及流向。

解說：

1. 處理廠各設施導入的污水量，有日變動及時變動。連絡管渠在考量日變動及時變動下，其設計流量應以計畫最大時污水量為準，參考表 9.16。

2. 管渠內之計畫尖峰污水量平均流速採用 0.6～1.0 m/sec，係考量處理廠內各設施間的水位關係，流速較小時污泥會沉澱在管渠底部，但流速較大時，設施間的水位差會變大，使抽水機揚程增加而變得不經濟。生物反應池至二級沉澱池間的連絡管渠，其流速應避免使活性污泥因沉澱而使性質變壞。特別是小規模圓形放射流二級沉澱池連絡管渠的流速，相較於其他的設施，應考量使其連絡管渠為低流速。在這種連絡管渠，為防止活性污泥沉澱，必要時應設置空氣攪拌裝置。

表 9.16 連絡管渠之設計流量

管渠區分段	設計流量
進水抽水機出水口至初級沉澱池	計畫最大時污水量
初級沉澱池至生物反應池	計畫最大日污水量
生物反應池至二級沉澱池	計畫最大日污水量加計畫迴流污泥量
二級沉澱池至消毒設施	計畫最大日污水量
消毒設施至放流口	計畫最大時污水量

本表整理自「下水道施設計畫・設計指針及解說」2009 日本下水道協會

3. 連絡管渠一般以水密性之鋼筋混凝土製造，使用不銹鋼管或鑄鐵管等管類者，應確保管件、混凝土保護及固定支撐，以及不可發生縱斷方向不均勻的沉陷。特別的是，在軟弱地盤上結構物與連絡管渠之銜接點，基礎條件有很大不同的銜接點，以及地盤極度變化的地區，應設置可撓管。另外，對付地震時的耐震對策也有必要。此外，連絡管線中若有空氣不流通的地方，必要時應考量抽除自由水面的空氣。
4. 管廊應為水密性鋼筋混凝土構造，空間應足以容納各類管閥、支撐、維修及逃生空間，並考量通風換氣、照明、擋排水、消防等需求，管廊內之配管，應考量結構伸縮或防振需求，設置可撓管或防震接頭。
5. 為避免因水流停滯而發生污泥沉澱以及浮渣產生，各設施間的聯絡管渠應儘可能短而直，並極力避免倒虹吸管。初級沉澱池、生物反應池及二級沉澱池等主要設施，一般都設置兩池以上，其間的連絡管只有一支時，發生事故時全體的機能恐將會停止，此將造成長時間處理機能的影響，因此主要設施間之連絡管渠，應儘可能設置兩套或採繞流設施。另外，增建及改建工程時有必要分水的地方，應有設置閘門、止水塊板等的構造。
6. 考量處理廠之環境對策、地域特性及設施內的作業環境，並應檢討加蓋、連絡管渠等處，防止臭氣逸散。另外，進水抽水機出水口至初級沉澱池及初級沉澱池至生物反應池間等，設有加蓋鋼筋混凝土連絡渠道者，恐會產生硫化氫的情況，其連絡渠道的鋼筋混凝土表面，須有例如施加防蝕等的防蝕對策。
7. 污水處理廠內之連絡管渠，為連接各處理單元設施，其配置應能達順暢水流，

尤其污泥輸送管線，更應有防止阻塞之考量。同時應考慮其維護管理之方便性。

8. 污水處理廠之用水管，分為自來水管及回收水管二類，不得混接，其設計流量依廠內飲用、冷卻、水封、清洗、消泡、消毒及綠地澆灌等用水量決定。
9. 污水處理廠內之各種配管，應依功能分類分別以不同顏色或分級著色，並標註內容物及流向，其顏色可參考表 9.17。

表 9.17 污水處理廠連絡管線顏色表(參考)

輸送功能	露管外表油漆顏色
空氣	原色(不銹鋼)
污水	棕色
污泥	黑色
回收水	紫色
除臭風管	淺黃色
混凝劑	橙色
助凝劑或調理劑	白色
硫酸	紅色
氫氧化鈉	藍色
次氯酸鈉	黃色
浮渣	灰色
自來水	土耳其藍
上澄液或濾液	棕色

9.9.2 管線、管閥之設置

管線、管閥等設置應考慮事項如下：

1. 廠區各種管線所採用之管材，應依據其管徑、管材之物化特性、管線承受內外壓力、溫度、輸送流體之物化特性等使用條件，再考量管線工程費及工程預算、管線預期使用時間之長短、管線重置之難易度、管材耐久性等經濟因素，綜合考量後選用之。
2. 廠區各種管線所採用之隔離閥，應配合管線之管材，再依據管徑、使用壓力及溫度、輸送流體之物化特性、隔離閥之操控特性及隔離閥費用等經濟因素，綜合考量後選用之。
3. 廠區使用之逆止閥，應依據管線長度、流體性質、流速大小、水平或垂直安裝、湧壓控制、靜音要求等各項因素選用之。
4. 管線應在其可能在管中積氣之高處設置排氣閥，空氣管線水氣凝結，可能在低處累積產生需設置洩水閥。
5. 小管徑的壓力管線，可使用釋壓閥以控制其壓力。

解說：

1. 廠區各種管線所採用之管材，應依據其管徑、管材之物化特性、管線承受內外壓力、溫度、輸送流體之物化特性等使用條件，再考量管線工程費及工程

預算、管線預期使用時間之長短、管線重置之難易度、管材耐久性等經濟因素，綜合考量後選用之。各種管線常用之管材如下：

(1)重力流污水管線

塑膠管、延性鑄鐵管、各種混凝土管(防蝕)。

(2)壓力流回收用水、自來水

塑膠管(常溫用)、延性鑄鐵管(水泥砂漿襯裏)、不銹鋼管。

(3)壓力流污水及污泥管線

塑膠管(常溫用)、延性鑄鐵管(防蝕襯裏)、不銹鋼管。

(4)空氣管線

非浸沒管及浸沒管：不銹鋼管。

浸沒管：塑膠管(常溫用)、不銹鋼管。

(5)加藥管線

濃硫酸管(98%濃度)：塑膠管。

(6)沼氣管線：不銹鋼管。

(7)浮渣管線：延性鑄鐵管(防蝕襯裏)、不銹鋼管、塑膠管。

(8)輸砂管線：延性鑄鐵管、不銹鋼管、橡膠管。

(9)送風管線：鋁板製、FRP 管、鍍鋅鋼管。

(10)排氣(除臭)管線：FRP 管。

2. 隔離閥之種類及應用說明如下：

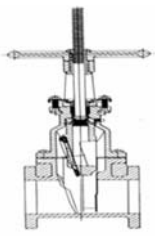
(1)隔離閥之種類(參考圖 9.37)

① 實心楔型圓盤閘閥(solid wedge gate valve)

實心楔型圓盤閘閥適用於含砂、固體物、污泥及其它物質的水中，此種閘閥具有全開孔以及少量調節流量功能的好處，它們亦可安裝在垂直管線上，甚至倒立安裝，因為即使閥帽積有固體物，閘閥仍有作用，但最好在安裝前詢問原廠。如不能則改用塞閥或球閥。實心楔型圓盤閘閥較雙圓盤閘閥便宜，閥帽上淤積的固體物，可藉著開關閥數次而移除。然而，如泥砂有黏性，且閘閥會打開一段長時間，則應考慮改用有彈性閥座之閘閥。

② 彈性閥座閘閥(resilient seated gate valve)

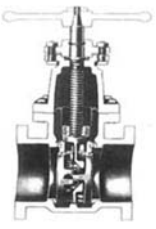
一般閘閥的閥座有個坑袋，會陷入固體物，使閘閥無法完全關閉，而彈性閥座因沒有這種坑袋，所以沒有這個問題。彈性閥座閘閥的圓盤，係以附有橡皮製的邊緣，直接靠在閥體上。彈性閥座閘閥因此適用



a.實心楔型圓盤閘閥



b.彈性座封閘閥

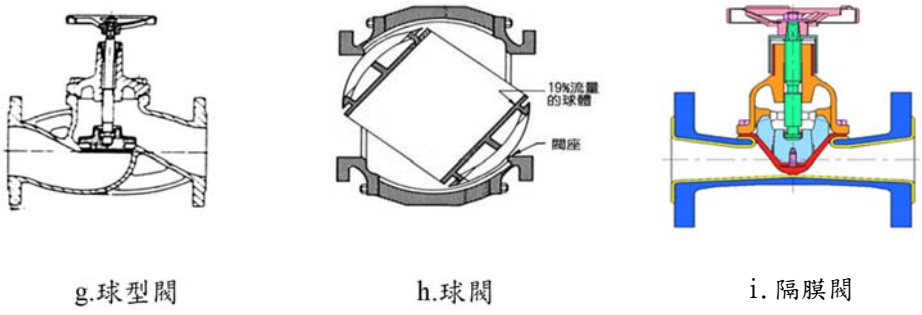


c.雙圓盤閘閥

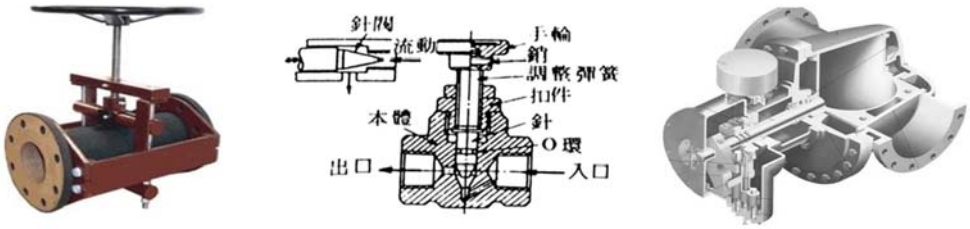


d.偏心塞閥　　e.蝶閥　　f.閘刀閥

圖 9.37 各種隔離閥



g.球型閥　　h.球閥　　i. 隔膜閥



j. 夾管閥　　k.針閥　　l.錐閥



m.考克　　n.阻風開門

圖 9.37 各種隔離閥(續)

於含砂的水、污水以及自來水用途。圓盤外包覆一層硬化橡膠的彈性物質，能緊貼光滑及均質的閥體。這種閥限定裝設在水平管線上，閥帽須向上，水密性可達 1,380 KPa(200 PSI)之壓力。

③ 雙圓盤閘閥(double disc gate valve)

附有升桿的雙圓盤閘閥最常用於自來水，在圓盤降到閥座時，繼續轉動閥桿，會使圓盤順著楔型方向往外擴張，而達到壓力超過 1,700

KPa(250 PSI)的防漏效果。相反方向就能打開閘閥，所以閘閥在尚未緊閉時，圓盤不須滑動，此減少了圓盤環與閥體環間的滑動磨擦。雙圓盤閘閥不應用於含有大量泥砂或固體物的水中，因為泥砂會將閥座填滿，而使得圓盤無法降到底部。此時，應改用有彈性閥座的閘閥。

④ 偏心栓塞閥(eccentric plug valve)

偏心栓塞閥中，閥體及塞座係偏位於轉軸中心，當閥開啟時，塞座面離開閥體座面，這種移動會減少塞座的磨擦及損壞，其它種類的閥，則無法避免這種磨擦及損壞。閥開啟的位置，是關閉位置的四分之一轉，此時，其塞座位於閥體的一側。有些塞閥的孔口為矩型或是直徑較小的孔，有些則是圓型的且與管線同一直徑，故可通過清管塞。塞閥因不會有固體物阻塞之虞，最適合用於污水及污泥用途上。閥塞表面通常塗裝一層彈性物質，如合成橡膠，以形成一彈性座。用於污水、污泥或任何含固體物或砂的流體的用途時，偏心栓塞閥應安置成使其閥塞沿水平軸旋轉，當塞閥是在開啟位置時，閥塞應置於頂部，且閥塞應位於高壓側的相反方向，使得水壓將閥塞牢牢的抵住塞座以期滴水不漏。由於一些塞閥僅能單方向的抵抗水壓，所以必須安裝來承受這水壓，此通常是流向的相反側(如泵出水管上的塞閥)。閥上須註明安裝方向，規範及操作手冊上亦須說明閥如何安裝以及其安裝方位的理由。

⑤ 蝶閥(butterfly valve)

蝶閥是四分之一轉的閥，其圓盤繞著軸心旋轉，而停駐在閥體的圓環上。閥座通常為彈性材質，黏在或固定在圓盤上或閥體上。蝶閥有三種長度：長體、短體及薄體型，大多數廠商皆以短體作為標準型；薄體型因須挪動其鄰接管線，故不建議作為隔離閥。蝶閥主要是作為隔離閥，及有限度的作為節流閥，蝶閥的關閉可設計成滴水不漏，但如沒有彈性閥座，其洩漏即很可觀。即使有彈性閥座，固體物、磨損及污垢淤積，亦會導致洩漏。作為節流閥用途時，圓盤旋轉角度的控制範圍為 15°或 20°至 60°或 70°。由於大多數蝶閥設計不是用於調節流量，而有些蝶閥則容易失敗，故僅能選擇廠商所推荐的蝶閥來作為節流閥。在作為泵之控制閥等用途時，閥座須非常結實耐久，僅有 AWWAC504 的標準，並不能確保蝶閥閥座足夠適合作為調節流量用途。一些蝶閥可以更換新的閥座，但不是全部蝶閥都可以這樣。蝶閥常用於水及空氣用途，但不適合用於污水、污泥或砂礫用途，因為圓盤會纏住繩狀固體物，而閥座邊緣則容易磨損。當用在原水用途時，圓盤軸心應水平置放，以防止泥砂沉積在軸承上。蝶閥的方向亦須調整，使得圓盤下半部能順著水流方向開啟，在圓盤打開時，水流能沖刷固體物而通過閥體。

⑥ 閘刀閥(knife gate valve)

閘刀閥重量較輕，比其它閘閥更適合用於含雜質的水，但很難防止從關閉的閥或從螺桿襯墊處的洩漏，除非少量的洩漏可以接受，以及水

壓較低(如 6 m)，否則應選用它種閥。閘刀閥適合的壓力約為 170 至 350 KPa(25 至 50 PSI)。

⑦ 球型閥(globe valve)

球型閥有一圓盤或栓塞，在球型閥體中垂直移動，通過球型閥的水流，須經過兩個 90°轉彎—先向上再向下—而以圓盤或栓塞來控制。通過球型閥的水頭損失大於角閥、閘閥、蝶閥或球閥。因為水頭損失大—即使是在全開位置—球型閥通常不用做隔離閥，除了用在水封水、瓦斯、燃料油管線。它們可用於調節流量用途，如壓力或流量控制。球型閥適用於潔淨水用途，但不適用於含砂礫的流體，因會導致嚴重閥座磨損。球型閥絕不能適用於污泥或污水用途，因為會因有固體物而容易被阻塞。

⑧ 夾管閥(pinch valve)

夾管閥主要是一段橡皮或彈性材質管體，以空氣或螺釘、楔形體或槓桿來關閉，這種閥是防漏的，且不需要襯墊，但不適合高壓用途，而當管體被緊壓時，也會變脆弱。如果以空氣來關閉，這種閥很便宜，適合用於正位移式泵的繞流管，當泵下游端的管線有堵塞，或不小心將其它的閥關閉時，能保護整個系統免遭損害。其缺點在於：口徑有限制、管體相對的費用較高及困難更換、管體佈設長度較其它種閥為長。

⑨ 針閥(needle valve)

針閥係一種特殊的球型閥，其栓塞為細條錐型針。其環狀通水口易為顆粒所損毀，除此之外，它的特性及優缺點常類似球型閥。針閥可提供非常細微的壓力及流量控制，即使是在閥要全關時的小水量範圍。它常用於水封水管線，以及其它種閥的控制管線上，以控制操作的速度。

⑩ 球閥(ball valve)

球閥的轉子(圓型栓塞)旋轉 90°可從全關至全開，其水頭損失非常小，因通水面積與管線通水面積相同。球閥有兩種：(1)閥座支撐式，用於口徑小於 150 ㎜之球閥，(2)耳軸(trunnion)支撐式，用於口徑 150 ㎜或更大的球閥。由於球閥的安裝長度、重量及費用都遠高於閘閥及蝶閥，故球閥通常不用在抽水站作為隔離閥。閥座支撐的球閥廣泛用於水封水、燃料油、天然氣的附屬管線上，以及作為壓力計及空氣和真空閥的隔離閥，因為這些管線都小於 75 ㎜。採用球閥的好處，是其具有無漏水的密合性。用於重要用途(污水、雨水、突波控制、泵控制)的球閥，通常為耳軸支撐式，由於球閥品質差異很大，在選擇時應特別小心，尤其是其閥座和軸承的材質。閥座會因污水及雨水中的砂礫及鐵屑而磨損破裂，特別是用於防止逆流及突波控制的用途時。軸承及軸心應能抵抗泵故障或突波控制而急速關閉球閥時，所產生的不平衡力量。彈性閥座在有壓差情況下，可能會移動而從其原位中脫離。耳軸支撐式球閥在裝設時，其軸心應水平，且應裝在水平管上。用於水或污水泵、防止逆流及突波控制的球閥，通常配有蝸輪(worm gear)和複合桿的操作器，而操

作器可再配合各種引動器，這種閥比其它種閥更能提供理想的開關特性，能減少泵起動及停止所引起的突波。球閥 Cv 值(水流的量度，參考圖 9.38)的最後 10%需要軸心旋轉 50%，所以最後的水流很慢才關閉。

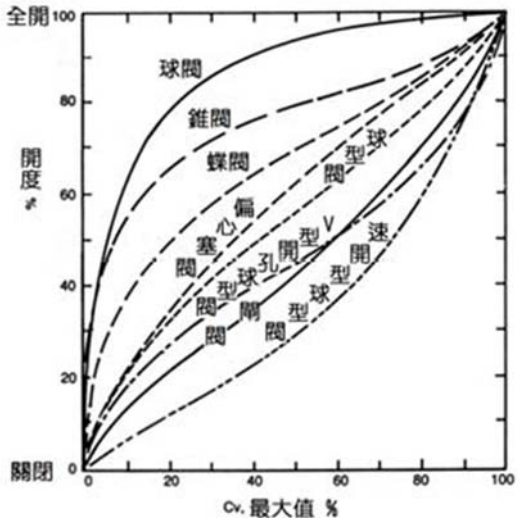


圖 9.38　各種隔離閥流量係數圖

⑪ 隔膜閥(無導桿式)(diaphragm valve-no guide)

隔膜閥閥內含有一片撓性彈性材質的膜片，會緊壓在閥體內壁，有的會緊壓在內堰上。膜片將閥體與螺桿分開，所以閥可以止漏，而螺桿不需要填函料。這種閥適用於污泥及泥砂用途，因為閥體內沒有堆積砂或固體物的障礙物。然而，類似清管塞之清理工具並沒辦法通過閥體。這種閥可用不同塑膠作為內襯，如 PVC 或 PE，所以時常用於化學管線，如氯液管。它們不常用於污水、水及污泥泵站，因為其它種類的閥較便宜。有時候隔膜閥或它的近親，擠壓閥，用於正位移式泵的繞流管線上作為安全裝置，以預防當下游端錯誤的關閥時，泵或主要管線的損壞。隔膜閥及擠壓閥在超過一定壓力時，藉著預壓的彈簧或空氣壓力，可設定自動的開啟；惟缺少肉眼可見的膜片位置指示是一個缺點。另一種隔膜閥是有導桿的球型閥，其驅動閥的隔膜是設在閥帽上。這兩種閥不同，不能混為一談。

⑫ 錐閥(cone valve)

錐閥又叫做「提昇作用」塞閥，實際上是一種塞閥，在將其栓塞轉到新位置前，須先將栓塞提昇起來。到達新位置後，栓塞再靠回閥座以維持水密性。這種閥具有極佳特性，可做為水錘突波控制及抽水機控制的用途。錐閥曾成功的用於大型水及污水用途上。與球閥比較，錐閥的栓塞提昇，可減少錐閥的操作力道、閥座磨損以及產生較緊密的關閉。然而，由於需要這種提昇，錐閥的操作措施，需要具有技術的維護人員，並且因為構造複雜而容易損壞。另外一種錐閥是小錐形考克，其栓塞是

以彈簧來壓緊，並沒有機械的提昇，當轉動閥時，會稍微有軸向拉動。這種考克適用於自來水、壓力計及取樣口的隔離閥。

⑬ 考克(cock)

考克係一種用於限制或隔離液體或氣體通過管線中流動的小型閥。又稱為 stopcock、bibcock、petcock 或 ballcock。

⑭ 阻風閘門(damper)

又稱風門、氣閘或擋板，係作為調節風管中流通空氣量之用。

(2)隔離閥之應用

Cv 值(Valve flow coefficient)閥類的流量係數值，無因次，係相對量測液體流動之效率，Cv 值說明通過某一閥類之水頭損失與其對應流量之關係。

廠區各種管線所採用之隔離閥，應配合管線之管材，再依據管徑、使用壓力及溫度、輸送流體之物化特性、隔離閥之操控特性及隔離閥費用等經濟因素，綜合考量後選用之。各種管線所適合採用之隔離閥建議如下：

① 含雜物之污水管線

小型管：實心楔型圓盤閘閥(wedge gate valve)、彈性座封閘閥(resilient-seated gate valve)

中型管：偏心塞閥(eccentric plug valve)、實心楔型圓盤閘閥、彈性座封閘閥、閘刀閥(knife valve)、錐閥

大型管：閘刀閥、蝶閥(butterfly valve)、錐閥

② 含雜物之污泥管線(初級沉澱污泥、消化污泥)：偏心塞閥、閘刀閥

③ 迴流活性污泥及廢棄生物污泥管線

小型管(ψ300 以下)：偏心塞閥、實心楔型圓盤閘閥、彈性座封閘閥

中型管(ψ300～ψ900)：偏心塞閥、實心楔型圓盤閘閥、彈性座封閘閥、閘刀閥

大型管(ψ900 以上)：偏心塞閥、蝶閥、閘刀閥

流量控制用：偏心塞閥、蝶閥

④ 回收用水及自來水管線

小型管：考克(cock)、各種閘閥(雙圓盤閘閥、實心楔型圓盤閘閥、彈性座封閘閥等)、球型閥(globe valve)、球閥(ball valve)

中型管：蝶閥、各種閘閥(雙圓盤閘閥、實心楔型圓盤閘閥、彈性閥座閘閥等)

大型管：蝶閥、錐閥

⑤ 空氣管線

小型管：考克、蝶閥、雙圓盤閘閥(double disk gate valve)、實心楔型圓盤閘閥

中型管：蝶閥、雙圓盤閘閥、實心楔型圓盤閘閥

大型管：蝶閥

流量控制用：蝶閥、菱形閥

流量微調用：針閥

⑥加藥管線

次氯酸鈉管線：膜片閥(diaphragm valve)

其他加藥管線：球閥、膜片閥

⑦沼氣管線：蝶閥、偏心塞閥

⑧輸砂管線：擠壓閥(pinch valve)、偏心塞閥

⑨進風及排風管線：阻風閘門(damper)

3. 逆止閥雖有不同型式，但都具有相同的基本功能，即容許流體流往一個方向，但不容許其倒流。逆止閥通常安裝在泵的出水管上，當泵停止運轉時，逆止閥能自動關閉，使泵出到下游系統中之流體不會倒流回來。良好泵站設計應儘量在逆止閥下游端，保持三倍管徑的直線距離。各種逆止閥有不同的關閉特性，應依據管線長度、流體性質、流速大小、水平或垂直安裝、湧壓控制、靜音要求等各項因素選用之。常用美式逆止閥種類及其特性分別介紹如下：

(1)擺動式逆止閥(swing check valve)

①擺動式逆止閥具有一片鉸接的圓盤，停靠在閥座上，以防止流體逆流，當圓盤金屬面閥座水密性不佳，而橡皮閥座則較好。

②若用於廠內自來水輸送，擺動式逆止閥可安裝於水平及垂直位置，安裝於水平位置時，閥帽須垂直向上；安裝於垂直位置時，水流須往上方向。

③用於污水、污泥或泥漿用途時，擺動式逆止閥不可裝在垂直管上，因為破布、雜物及砂礫會沉積在圓盤上，而逐漸使圓盤無法作用。

④為防止當泵停止以及水的逆流所造成的水錘噪音，口徑大於 150 ㎜的擺動式逆止閥，應附有外掛式槓桿及彈簧，以在流體開始逆流時能迅速關閉閥。

⑤這種閥的缺點，是此種外掛式槓桿及彈簧或重錘會使圓盤無法完全打開，特別是在低流速(小於 3 m/s)，導致水頭損失的增加。

(2)緩衝擺動式逆止閥(cushioned swing check valve)

①一些擺動式逆止閥，設有空氣式或水力式緩衝筒，附著在閥上，當水逆流時能調整圓盤關閉的速度。這種緩衝系統包括：加重槓桿支臂、活塞及缸。

②當流速減低時，加重槓桿支臂會迫使圓盤關閉，而活塞在活塞缸中會向下移動。活塞在空氣系統中會壓縮缸內空氣，在油壓系統中會將油排出小孔。調整空氣管或油管上的閥(或緩衝筒上的小孔)就能控制關閉的速度。

③油壓系統比空氣系統的控制性較佳，空氣系統對減輕水錘噪音常毫無幫助。逆止閥可以快速或緩慢關閉，甚至可分兩階段或三階段關閉，例如快速關閉至 50%，中速關閉至 95% ，及緩慢關閉至全關。在安裝後，現場的調整很重要，以便能適當的設定關閉的時間。

(3)雙葉式逆止閥(double leaf check valve)

① 雙葉式(又稱為雙門式、雙盤式或分裂盤式)逆止閥，在短小的閥體內有兩個鉸接的半盤，這兩個半盤是在中間處鉸接，並有彈簧使它們關閉著。這種逆止閥沒有法蘭接頭，必須靠管線的法蘭來夾住它。安裝位置可為水平或垂直。

② 這種逆止閥不應用在污水、污泥用途或會磨損的情形，因其鉸接及圓盤會卡住固體，而閥座及圓盤也會被磨損。雙葉式逆止閥體積小、輕盈、不貴且安裝長度小。它們的關閉非常快，但無法從外面調整，也無法在閥座上加緩衝墊，所以在突然有水逆流時，會造成逆止閥砰然巨響以及水錘。這種逆止閥關閉時不會滴水不漏。其它的缺點包括：(1)維修時，閥體須移除，(2)閥之開或關，外表沒有顯示，(3)當流體通過圓盤，其散發的渦流會使逆止閥產生跳動。如果流體速度小於 3.4 m/s，而逆止閥是設置在流況干擾源，如泵或管件下游端至少八倍管徑的距離，則此問題會減少。

(4)彈性板逆止閥(rubber flapper check valve)

彈性板逆止閥是一種密封式的擺動式逆止閥，其閥座呈 45°角，而內襯鋼片的拍子，僅須行進約 35°即可達全開的位置。這種閥片的短行程及輕重量使得它能迅速關閉，再加上其彈性閥座，可減輕砰然巨響。閥的構造非常簡單，維護亦容易。由於沒有外掛的槓桿，故無法調整關閉的力道，也無從分辨閥是開或關。

(5)斜盤式逆止閥(slanting disc check valve)

① 斜盤式逆止閥，含有一個在轉軸上平衡的圓盤，不像傳統擺動式逆止閥的閥座係垂直於縱向軸，這種逆止閥的閥座係與閥的縱向軸呈 50 至 60°的角度。斜盤式逆止閥應僅用於自來水用途，污水及污泥中的破布及固體會懸掛在圓盤上。

這種閥的優點是：

(A) 由於圓盤設計為機翼的斷面，故在開的位置，水頭損失很小(但不像擺動式逆止閥那麼小)。

(B) 有不同種的空氣式及填油式緩衝筒，可用來控制開及關的速度。

(C) 這些控制可在現場調整。

其缺點則為：

(A) 流速小於 1.5 m/s 時，圓盤不能全開。

(B) 圓盤在流動的水中震盪，軸承在底部磨損，因此閥會開始漏水，閥沒有全開孔。

② 最常遇參考的兩種控制，為底部緩衝系統及上置式緩衝筒，這兩種系統有時會合併裝在同一閥上。底部緩衝系統包含一油壓缸，在缸中有活塞連著關閉的圓盤，圓盤在關閉的前 90%係自由活動，然後會觸動緩衝的活塞，該活塞可在現場調整，以控制圓盤最後 10%的行進。

③上置式油壓緩衝筒系統，可使圓盤在全部行進範圍，都可調整其開及關的速度，這種調整對於泵的啟動特別有用，因為打開閥的速度可以調整變的很慢，此可大大的減小泵啟動所導致的水力暫停效應。其缺點是當泵到達關閉水頭時，作用在機械聯桿的高負荷。然而，馬達控制中心與逆止閥間，並不需要有電氣的連鎖。

(6)靜音式逆止閥(silent check valve)

靜音式逆止閥，又稱為中心桿導引式逆止閥(center post-guided check valve)，靜音式逆止閥價格低，它們比其它的逆止閥關閉較快，它的圓盤在泵起動前，是以彈簧頂住而保持關閉著。彈簧的選擇是個重要關鍵，須規範為逆止閥的差壓(淨水頭及總動水頭 TDH 之差)，而不是系統的安全壓力定級，不正確的規範會導致逆止閥砰然巨響(slam)。這種閥有三個缺點：a.由於動作機制隱藏在閥內，故當維修時，閥體須移除，b.圓盤的位置，外表沒有顯示，c.高水頭損失。

(7)自動控制式逆止閥(automatic control check valve)

自動控制式逆止閥係數個閥合併成一個，適用於高流速或管長超過 1.6 公里之泵浦出水控制，以電動馬達控制，能自動從遠方控制中心來引導，操作期間如突然停電，此閥可不須其他電源，利用本身之水力系統，能以可控制的速率自動關閉。上述各種逆止閥之特性比較參考表 9.18。

除上述常用之逆止閥外，對於以垂直管線輸送污水的需求，市面上亦生產球型逆止閥，另有一些常用於小管徑自來水之逆止閥，包括昇球式逆止閥及底閥，介紹如下：

(1)球型逆止閥(ball check valve)

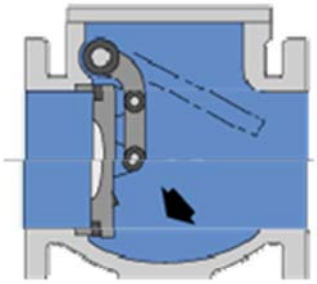
球型逆止閥適合於污水用途，可水平或垂直安裝。其閥體中有一個合成橡膠包覆的不鏽鋼空心球，當流速變慢或停止時，橡皮球會因自重而沿導槽滑落至底部入水口端的閥座，彈性的球面會緊貼閥座，使水無法逆流。

(2)昇球式逆止閥(lift check valve)

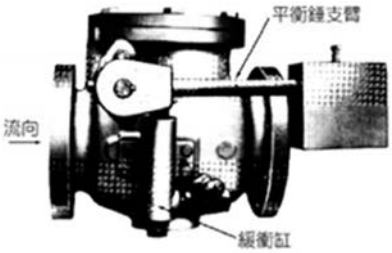
①昇球式逆止閥閥體中有一圓球，能順著導引段離開具彈性材質的閥座，而讓水能流通，而當水逆流時，圓球會回到原閥座上。

②泵站所用昇球式逆止閥口徑在 50 至 75 ㎜或更小，常用於 PVC 管上水封用水或沖洗用水。這種閥很堅固牢靠，由於每次圓球會以不同表面回到閥座，故能重複使用好多次，但它們無法確保不會漏水。

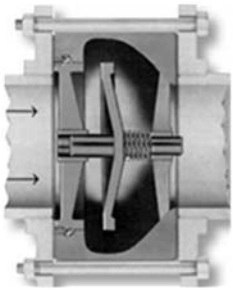
③小口徑的昇球式逆止閥僅用於自來水，那是因為含有顆粒的髒水會堵塞圓球。在泵送污泥的較大口徑(100 ㎜或更大)上，昇球式逆止閥是柱塞泵(plunger pump)動作機制的一部分。



a.擺動式逆止閥



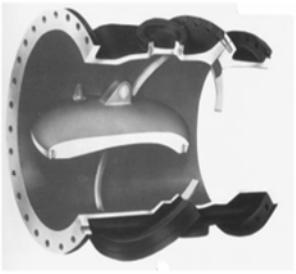
b. 緩衝擺動式逆止閥



c. 雙葉式逆止閥



d.性板逆止閥



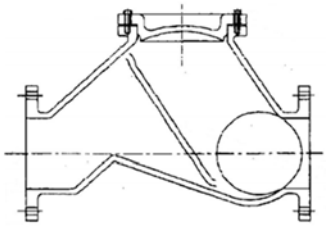
e.斜盤式逆止閥



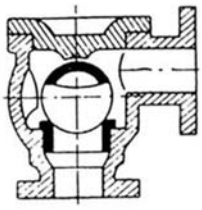
f.靜音式逆止閥



g.自動控制式逆止閥



h.球型逆止閥



i.昇球式逆止閥



j.底閥

圖 9.39 各種逆止閥

表 9.18 各電極材料適用性表

電極材料	適用性	耐腐蝕性能
SUS 316L (不鏽鋼)	適用	1.生活用水、工業用水、原水井水、城市污水 2.弱腐蝕性酸、鹼、鹽溶液

哈氏 HB	適用	1.鹽酸(濃度小於 10%)等非氧化性酸 2.氫氧化鈉(濃度小於 50%)，一切濃度的氫氧化銨鹼溶液 3.磷酸、有機酸
	不適用	硝酸
哈氏 HC	適用	1.混酸如鉻酸與硫酸的混合溶液 2.氧化性鹽類如 Fe3+、Cu2+、海水
	不適用	鹽酸
鈦(Ti)	適用	1.鹽，如：(1)氯化物(氯化物/鎂/鋁/鈣/銨/鐵等) (2)鈉鹽、鉀鹽、銨鹽、次氯酸鹽、海水 2.濃度小於 50%氫氧化鉀、氫氧化銨、氫氧化鋇鹼溶液
	不適用	鹽酸、硫酸、磷酸、氫氟酸等還原性酸
鉭(Ta)	適用	1.鹽酸(濃度小於 40%)，稀硫酸和濃硫酸(不包含發煙硫酸) 2.二氧化氯、氯化鐵、次氯酸、氰化鈉、乙酸鉛等 3.硝酸(包含發煙硝酸)等氧化性酸，溫度低於 80°C 的王水
	不適用	鹼、氫氟酸
鉑(Pt)	適用	大部分的酸、鹼、鹽溶液(包含發煙硫酸、發煙硝酸)
	不適用	王水、銨鹽
碳化鎢	適用	紙漿、污水、能抗固體顆粒干擾
	不適用	無機酸、有機酸、氯化物

(3)底閥(foot valve)

① 底閥是揚昇式逆止閥的一種特殊設計，用於集水坑泵的吸入端以防止失去起動注給(priming)。它是設計為向上流，而係接在泵吸水管的底部。

② 這種閥容易漏水，特別是當水中含會磨損之物體及固體物時，並且在要維修時，它們很難取出。底閥會減少有效的淨吸水高度(NPSHA)。在污水泵站，如無法採用傳統的濕井、乾井設計，則較好的選擇是使用自吸式泵(self-priming pump)。

管線應在可能會積氣之高處設置排氣閥，傳統式污水排氣及真空閥(參考圖 9.40)介紹如下

(1)排氣閥(air release valve)

排氣閥係設置在高低起伏壓力管線中的較高點，它會將高點累積的空氣排放出來。這種閥中有一浮球，當空氣累積在閥體時，浮球會降下而將空氣排出。小於 19 ㎜之排氣閥，通常其浮球會帶動複合槓桿以及連接裝置以確保水密性。閥體有一 5 ㎜或更小的孔口，使空氣能逸出。

表 9.19 逆止閥之特性比較參考表

種類 / 應用	擺動式逆止閥	緩衝擺動式逆止閥	雙葉式逆止閥	彈性板式逆止閥	斜盤式逆止閥	靜音式逆止閥	自動控制式逆止閥

低初設費			V				
安裝長度短			V				
水頭損失高						V	
水頭損失低					V		
廢污水	V	V		V			V
清水	V	V	V	V	V	V	V
是否可埋設				V		V	
直立安裝時可向上或向下流						V	V
直立安裝僅可向上流	V	V	V	V	V		
自由開-自由關	V	V	V	V		V	
靜音關閉特性						V	V
緩衝關閉		V					
強制開及關							V
可強制關閉	V	V		V	V		V
遠端控制							V
湧壓控制	V	V			V		V
關斷閥				V			V
節流閥				V	V		V
逆向流(排水用)	V	V		V	V		V
電動操作							V
圓盤位置指示器		V		V	V		V
外掛式槓桿	V	V			V		
流速小於 3 m/s	V	V	V	V	V	V	V
流速小於 4.5 m/s	V	V	V	V	V		V
流速大於 4.5 m/s			V		V		V



a.污水用排氣閥　　b.污水用排氣及真空閥　　c.污水用複合式排氣及真空閥

圖 9.40　傳統污水用排氣閥

(2)排氣及真空閥(air release and vacuum relief valve)

排氣及真空閥有一個大的排氣孔，當管線在灌水，或深井抽水機在抽水時，可用來排除管中大量的空氣；當管線灌滿水後，排氣及真空閥會關閉，並且一直持續關閉著。而當管線排水時，管中壓力會回復到大氣壓力，此時排氣及真空閥會立即打開，容許空氣再進入管中，以防止管線內產生真空而使管線遭大氣壓垮。

(3)複合式排氣及真空閥(combination air and vacuum valve)

複合式排氣閥之大排氣孔，當管線在灌水時可用來排除管中大量的空氣，而在壓力管線操作時，小排氣孔可將管線中累積的少量空氣排出。當管線排水時，管中壓力會回復到大氣壓力，此時真空閥會立即打開，容許空氣再進入管中，以防止管線內產生真空而使管線遭大氣壓垮。

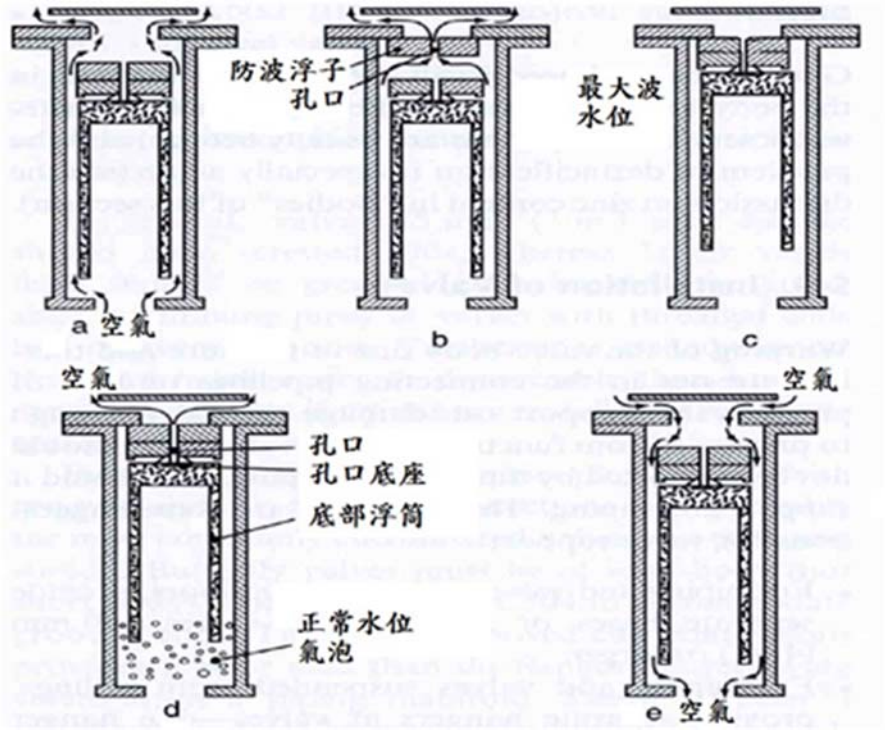
傳統式污水排氣及真空閥之維護費用高，且在打開或關閉時，會被油脂及雜物所阻塞，新式污水排氣及真空閥，較可靠及僅需較少維護，傳統式需要一至三個月即須清理，新式則至少可維持六倍久之時間才須清理。新式污水排氣及真空閥之運作示意參考圖 9.41。各種管閥種類及用途參考表 9.20。

4. 釋壓閥(pressure relief valve)

污水用釋壓閥能控制污水管線的壓力，保護管線避免因為管閥太快關閉或錯誤關閉、抽水機啟動或停止、甚至停電而產生過度壓力導致破壞(參考圖 9.42)。此種釋壓閥通常用於小管徑的壓力管線。

5. 電磁閥

通過對電磁線圈通電及斷電，控制閥的開啟或關閉。一般於污水處理廠於小管徑的附屬程序控制(如：沉砂池回收水沖刷及空氣沖刷控制閥)較常採用電磁閥。主要流程的污水或污泥管因管徑及控制需求，通常不採用電磁閥進行啟閉(參考圖 9.43)。



(a)污水以次臨界流速度在管線中灌水，(b)污水以超臨界流速度在管線中灌水，(c)管線完全充滿水，(d)在壓力下管線釋出少量的空氣，(e)在真空下管線讓空氣流入。

圖 9.41　新式污水用複合式排氣及真空閥

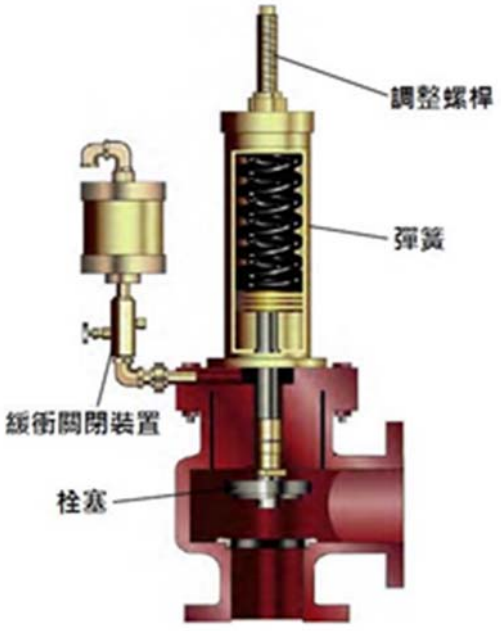


圖 9.42 污水用釋壓閥

表 9.20 各種管閥種類及用途

隔離閥		逆止閥		空氣及真空閥	
蝶閥	水、空氣	昇球式	自來水	排氣閥	污水、自來水
偏心塞閥	污水、污泥	底閥	自來水	空氣及真空閥	污水、自來水
雙圓盤閘閥	自來水	擺動式	水平位置：污水、污泥、自來水 垂直位置：自來水、污水、污泥	複合式排氣閥	污水、自來水
實心楔型圓盤閘閥	含砂水、污水、污泥、自來水	緩衝擺動式	水平位置：污水、污泥、自來水 垂直位置：自來水		
彈性閥座閘閥	含砂水、污水、自來水	彈性板式	污水、自來水		
閘刀閥	含砂水、污水、自來水	傾斜盤式	污水、自來水		



圖 9.43 電磁閥

9.10 水位及高程

水位及高程設計考量事項如下：

1. 水位高程設計，須考量尖峰流量、平均日流量及最大日流量。
2. 水位高程設計，須考量所有主流程之水力高程。
3. 總水頭損失為流經各單元管線及附屬設施之水頭損失總合。
4. 一般污水處理廠全廠水頭損失(不計出流端計量設施)最大日流量下，應以不超過 3.5m 為原則，若有特殊情況可另行說明。
5. 流經單元之水頭損失包括：
   (1) 流入單元結構物。
   (2) 流出單元結構物。
   (3) 流經單元。
   (4) 流況複雜或發生跌水。

解說：

1. 污水處理廠工程的污水處理流程高程設計，主要為確定各處理單元、泵浦機

房及處理單元之間連接管渠的尺寸及其高程；通過計算確定各部位的水面高程，從而使污水能夠在處理結構物之間通暢地流動，保證污水處理工程的正常運行。

在尖峰設計流量下，避免固體物沉積之最小流速為 0.6 m/s。有時最大及最小流量之比例變化很大且很難維持其臨界流之狀態，在最小臨界流的狀態下，仍需維持最小流速以維持自清能力，有些情況下可在管線內曝氣使懸浮固體物保持懸浮，另外亦需考量在某部分單元停止操作之情況。

2. 污水處理廠主流程及其參考之水頭損失範圍，如表 9.21
3. 流量測量裝置(如文氏管、巴歇爾量水槽、孔板等)會有水頭損失，應就相關水頭加以計算。
4. 流經管線渠道及附屬設施之水頭損失包括：
   (1) 流入口。
   (2) 流出口。
   (3) 突縮或突擴。
   (4) 與管壁或渠道磨擦。
   (5) 流經彎管、設備、閘門、閥及流量計。
   (6) 為其他單元所需要之液位控制。
   (7) 表面跌水。
   (8) 預留未來設備擴充時所需水頭。
   (9) 以上孔口、管件及閥類水頭損失計算，請詳上冊第三章。

表 9.21 污水處理廠主流程及其參考之水頭損失範圍

粗柵	0.02～0.3 m
曝氣沉砂池	0.5～1.2 m
初沉池	0.5～1.0 m
曝氣池	0.3～0.8 m
低濾速滴濾池	3～6 m
高濾速滴濾池	2～5 m
二沉池	0.5～1 m
消毒單元	0.2～2.5 m

5. 開放渠道及管線內之次要水頭損失與速度水頭有關。
6. 壓力管線之磨擦損失，可參照上冊第 3.5.2 節 Hazen-Williams formula 計算。
7. 渠道中，速度隨深度之變化與流況有關係。流況可分為均勻流及非均勻流，一般使用 Manning's equation 描述均勻流之流量及流速隨深度變化之速度梯度，一般設計過程皆假設流況在尖峰流量為均勻流狀態。
8. 計算原則：
   (1) 選擇一條距離最長、水頭損失最大的流程進行水力計算，應適當留有餘裕，例如：二沉池溢流堰頂，應高於溢流渠道上游最高水位 5-10 公分，

以保證在任何情況下，處理系統都能夠正常運行。

(2) 計算水頭損失時，一般應以尖峰污水量作為處理單元和聯絡管渠的設計流量，計算涉及後期流量的管渠和設備時，應以全期最大流量為設計流量，以利擴建時具有適當水頭可用。

(3) 污水處理廠水力計算，常以承受水體的最高水位為起點，逆污水處理流程向上倒推計算，盡量使處理後污水在洪水季節也能自流排出，則放流泵需要的揚程則較小，操作費用也較低。但同時應考慮到結構物的深度不宜過大，以免土建投資過大和增加施工上的困難。另結構物頂部高程，應配合出水高度及防止地面逕流水流入進行設計。

(4) 高程設計時，需注意污水流量與污泥流程的配合，盡量減少需抽升的污泥量。在決定污泥暫存槽、污泥濃縮池、污泥消化槽等結構物的高程時，應注意上澄液或濾液，皆能以重力排入廠內污水收集系統或其他結構物的可能。

9. 注意事項：

(1) 計算管道沿程損失、局部損失，各處理單元、計量設備及聯絡管渠的水頭損失，並留有一定的餘裕；還應考慮當某單元停止運轉時，與其並聯運轉的其餘單元及有關的連接管渠能通過全部流量。雨天流量和事故時流量的增加，則採用緊急繞流設施，不納入各單元水力設計。

(2) 避免處理單元之間跌水等浪費水頭的現象，充分利用地形高程差及以重力輸送污水。

(3) 經計算並留有餘裕的前提下，盡量縮小全廠水頭損失及加壓站的揚程，以降低操作費用。

(4) 需要排放的污水，在常年大多數時間裡能夠以重力排放至水體。排放水位不一定選取承受水體水文頻率最長之最高水位。因為其出現時間較短，易造成常年水頭浪費，應選取適當排放水位，當水體水位高於設計排放水位時，可進行短時間以加壓方式排放。

(5) 若採用壓力排放時，所設置之放流抽水站之抽水機及管線，需考量放流水之最大時流量進行設計。惟若長時間採用壓力排放時，需注意承受水體水位之變化對抽水機之操作影響，且必要時可設置穩壓設施以利放流。

9.11 吊車的選定

起重機吊車，係使用在設備較重，如閘門、抽水機、送風機、脫水機等，必須藉機械協助吊動搬入或維修時需要之設備。

1. 起重機吊車定義

起重機吊車，係指吊車中具有可捲揚裝置之吊車，並使用電動滑車(chain block)之設備以鋼索、吊鏈、吊桿等，使搬運物升降及水平搬運。

2. 起重機吊車分類

起重機吊車分類，依構造分類，如表 9.22 及圖 9.44。

(1) 額定載重

依吊車之構造及材料強度決定之最大負載重量，並扣除吊具及框具等重量後可載之重量，即為可載額定載重。一般載重不可超過該一額定載重。

(2) 額定速度

即吊車在額定載重下，其允許吊升或移動之最大速度。

(3) 最大輪壓

乘載吊車之車輪，每 1 個輪可乘載的最大載重，不含作業時的衝擊係數。$最大輪壓 = \frac{鞍座自重+樑壁自重}{總車輪數} + \frac{起重機自重+限定載重}{負荷側車輪數}$

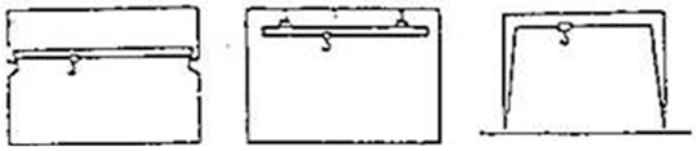
3. 吊車的選定

屋頂移動吊車之操作，應有最大吊升物載重量及揚程，其移動方式可為電動或手動式，依移動距離判斷決定。

污水處理廠需要吊車的設施，可能包括閘門、抽水機、鼓風機及脫水機等，為配合裝設維修，需有吊車以供利用，但其移動或搬入則可予分割吊用。

表 9.22 起重機吊車分類

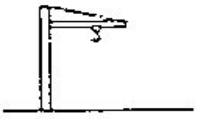
起重機吊車分類		說明
高架軌道吊車 (telpher)		・起重用之吊升、下降，依其路徑沿線移動 ・路徑通常為使用 I 形鋼，有直線環狀曲線
屋頂移動	高處滑動吊車 (top running)	・於樑柱之兩側設置 2 條滑軌移動的方式為最普遍
	懸吊形	・利用屋頂橫樑左右架設 2 條滑軌，於其下移動的方式，一般用於小容量
橋形吊車	門形吊車	・於地板上架設 2 條滑軌，並附有兩腳的起重機吊車，一般於屋外使用
	半門形吊車	・即門形吊車之半側，於地面設置單腳，另一側則於構造物上設置單側軌道之半門形吊車
懸臂起重機	柱形懸臂吊車	・在地面上設置於樑柱的上部，可自由旋迴之水平懸臂裝置，也可以樑柱自行迴轉之形式
	掛壁式吊車	・有固定形及移動形掛壁式吊車。掛壁固定形吊車為於壁體或樑上裝置懸臂以旋迴，多用於小容量。掛壁移動形吊車係設置平行 3 條軌道，進行水平移動



(1)高架軌道　(2)懸吊形　(3) 門形



(4)半門形　(5)掛壁式(固定形)　(6)掛壁式(移動形)



(7)柱形懸臂形

圖 9.44 依構造各種起重機吊車形式分類

例如鼓風機於搬入時，可分為鼓風機本體、防音罩及電動機分開進行，而該三者之最大重量即為機器最大吊升重量。鼓風機可依其送風量規模之不同，而有不同之最大吊升重量。

揚程依各機械室、配管室等不同高度、空間配置，若設置於兩層樓時，其預定配置位置之吊升高程，依地面起算。

各種吊車設備，可依各吊車之用途特性及方式，依表 9.23 選擇考慮事項，選擇應用。吊車揚程參考如圖 9.45。屋頂吊車設置如圖 9.46。

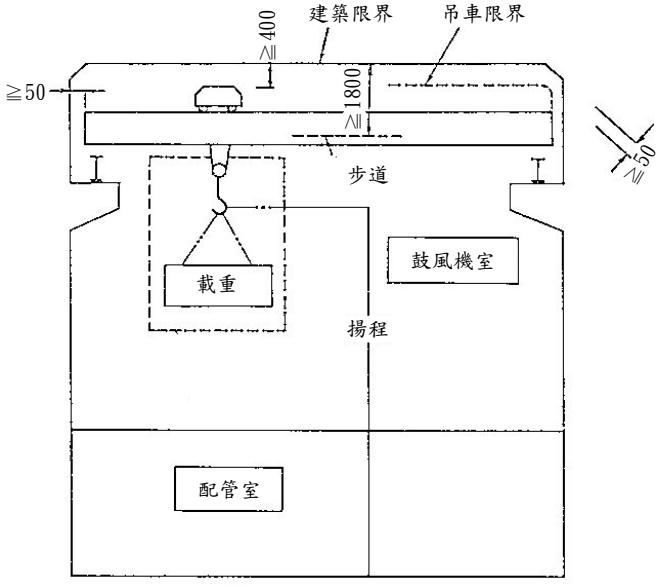


圖 9.45 揚程參考圖

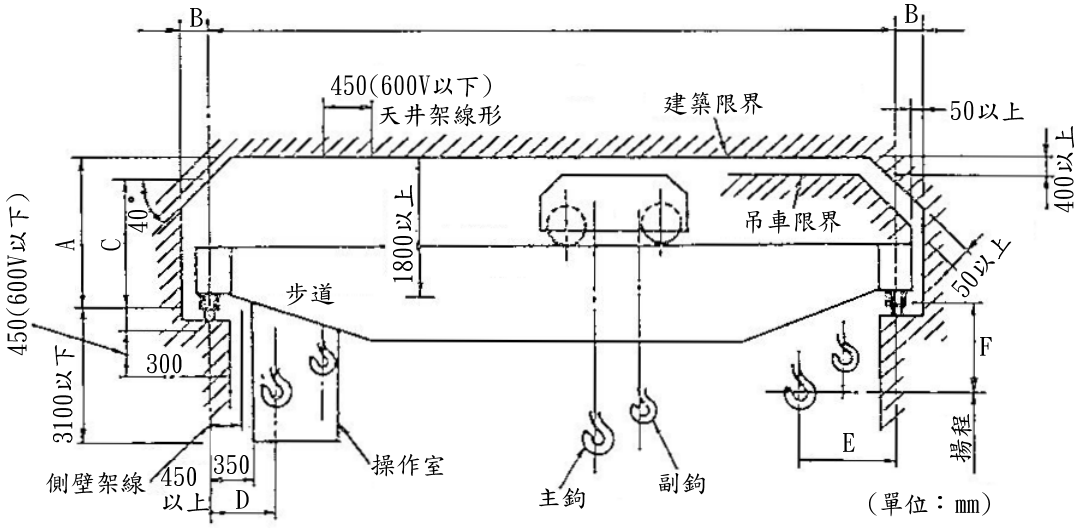


圖 9.46 屋頂吊車設置例

表 9.23 依功能需求吊車設備選擇考慮事項

使用方式		選擇考慮事項
屋頂移動式起重機	全電動	(1)使用頻率較多之處 (2)配合抽水機等故障緊急修理之用 (3)載重 10 噸以上，搬入距離長者 (4)維護費高(需定期檢查)
	吊升電動 走行手動	(1)載重 10 噸以上，吊升高度大，但搬入距離短 (2)與全電動(2)(4)同
	吊升手動 走行電動	(1)載重 10 噸以下，吊升高度適當，搬入距離長 (2)配合機械故障不緊急之處 (3)不需定期檢查，維護費低
	全手動	(1)載重輕，吊升高度及走行距離皆短 (2)與上述(2)(3)同
吊車	固定式	(1)搬入閘門等升降口之用 (2)載重為 5 噸以下之輕載重
	單軌式	(1)與上述(1)(2)同 (2)可長方向搬入 (3)在建築物內的吊車，較屋頂移動式起重機大
	雙軌式	(1)搬入閘門等升降口之用 (2)可縱向及橫向搬移 (3)需配合建築物梁柱加設軌道墩座
鏈滑車	固定式	(1)搬入閘門等升降口之用 (2)載重可至 20 噸 (3)任何位置皆可移動使用 (4)手鎖出力約 28～65 kg

4. 吊車使用應符合職業安全衛生法之「起重升降機具安全規則」，相關重要條文摘錄如下：

(1) 雇主對於固定式起重機之構造，應符合固定式起重機安全檢查構造標準
(2) 雇主應注意固定式起重機之使用，其負荷次數及吊升荷物之重量，不得超過該起重機設計時之負荷條件，並應防止起重機構造部分之鋼材、接合處或銲接處等，有發生變形、折損或破斷等情形。
(3) 雇主對於使用液壓為動力之固定式起重機，應裝置防止該液壓過度升高之安全閥，此安全閥應調整在額定荷重(伸臂起重機為額定荷重之最大值)以下之壓力即能作用。
(4) 雇主對於伸臂固定式起重機之使用，伸臂之傾斜角不得超過該起重機明細表內記載之範圍。
(5) 雇主對於固定式起重機，應於其機身明顯易見處標示其額定荷重，並使操作人員及吊掛作業者周知。
(6) 雇主對於固定式起重機之使用，以吊物為限，不得乘載或吊升勞工從事作業。
(7) 雇主於固定式起重機作業時，應採取防止人員進入吊舉物下方及吊舉物通過人員上方之設備或措施。
(8) 雇主於纜索固定式起重機作業時，為防止捲上用鋼索、橫行用鋼索通過槽輪或其他安裝部分，而發生破損飛落或鋼索震脫彈出等危險，應禁止人員進入有發生危害之虞之鋼索內角側。

第十章 電力儀控及計測設備

10.1 概說

電力系統是由發電、輸電、變電、配電及用電組成。而污水處理廠視為一用電用戶，所需電能的供應與分配，係由高、低壓開關箱、變壓器、馬達控制中心、監控系統、高低壓線路及緊急備用柴油發電機組、不斷電系統(UPS)或直流設備等組成。

用電系統之基本要求在達到：(1)安全性高，能充分保證人身與設備安全。(2)可靠性高，能滿足各級電力負荷連續供電要求。(3)品質佳，其電壓、頻率及波形等，具有優質電力之要求。(4)靈活性高，便於操作維護，並能適應負荷之發展與擴充。(5)經濟性佳，能降低投資及操作與運轉費並節能之用電系統。

一旦用電設備或線路發生故障時，即可能造成電源供應中斷、設備損壞，甚至波及用電系統運轉之安全，因此，必須定期維護保養，並以緊急備用柴油發電機組為備用，以提供安全可靠之用電。

為符合「下水道工程設施標準」等之要求，及實現自動化地操作與管理，污水處理廠需有效地運用儀控與計測設備，依各處理單元系統之操作程序，隨時自動檢測、控制、調節、監視、指示及記錄，以節省時間，減少人為操作錯誤，降低能源損耗及運轉費用，以達到設定的目標。

儀控及計測設備系統，由現場儀控設備、區域控制系統、中央監控系統及聯繫網路等組成。現場儀控設備含初級元件、控制器及最終控制元件；區域控制系統，分為可程式控制器(PLC)、分散式控制器(DCS)及直接數位控制器(DDC)系統等；中央監控系統(CCMS)含電腦主機、伺服器、可程式控制器、控制桌、顯示器、印表機、不斷電系統等硬體設備及各種套裝軟體所構成；聯繫網路則利用高速通訊網路，都以複聯式光纖電纜作為現場與中央監控室(中心)之信號媒介與傳遞。

污水處理廠之電力、儀控及計測設備之設計安裝，應視污水處理廠規模大、中及小而定，分低壓、高壓、特高壓受電，以提供一套完整可靠之供電系統，並計測及處理各儀控系統間之通訊整合，作經濟有效及穩定順利地運轉。

10.2 受變電及配電設備

受變電及配電設備為污水處理廠設備設置之重心，所有污水處理廠設備含動力、照明及儀控設備，能否順利地運轉，均靠受變電及配電設備合理的供應與分配，因此，受變電及配電設備在設計及安裝時，應注意並考慮以下各種因素。

10.2.1 法規之遵守

污水處理廠受變電及配電設備之設置與施工，應遵守最新之電業法(用戶用

電設備裝置規則、輸配電設備裝置規則及營業規章等)、職業安全衛生設施規則、建築技術規則及消防法(各類場所消防安全設備設置標準)等有關規定。

10.2.2 受電計畫與方式

受電計畫與方式，於考量下列後決定之：

1. 受電計畫視污水處理廠大、中及小規模，依最大契約容量及台灣電力公司營業規章規定，決定受電電源及受電方式。
2. 受電電源應視污水處理廠日後維修與擴充之難易及操作人員之技術能力而定。

解說：

1. 受電計畫依規模別及下列因素決定之：
   (1) 最大契約容量(kW)的估算，須考慮總負載設備容量×需量率(約 0.4～0.6)等決定。
   (2) 污水處理廠用電，應依台灣電力公司營業規章規定，以電力及非營業用電申請計算之。
   (3) 受電計畫及受電方式，應依台灣電力公司營業規章第六章供電方式與工程第 46 條規定，依最大契約容量之大小供電。凡未滿 100kW，採低壓 3φ4w 380/220V 或 3φ3W 220V 供電。

       在 100～500kW 之間，依規定選擇高壓 3φ11.4kV(或 3φ22.8 kV)或視需要可選擇低壓 3φ4w 380/220V 供電。

       500kW 以上，在 11.4kV 供電區，須選擇高壓 3φ11.4kV 供電；1,000～5,000kW 視需要選擇高壓或特高壓 3φ69kV 供電；超越 5,000kW 者，概以 3φ69 kV 供電。

       500kW 以上，在 22.8kV 供電區，須選擇高壓 3φ22.8 kV 供電；2,000～10,000kW 視需要選擇高壓或特高壓；超越 10,000kW 者，概以 69 kV 供電。詳台灣電力公司營業規章，第六章供電方式與工程，第 46 條規定，契約容量與供電方式之適用範圍，如表 10.1 所示。
   (4) 污水處理廠，屬小規模者採低壓 3φ4W 380/220V 或 3φ3W 220V 供電；中規模者，採高壓 3φ3W 11.4kV 或 3φ3W 22.8kV 供電(或視需要可選擇低壓 3φ4w 380/220V)；大規模者，採特高壓 3φ3W 69kV 或高壓 3φ3W 11.4kV 或 3φ3W 22.8kV 供電。
   (5) 受電計畫與方式及高(特)低壓用戶責任分界點，應先檢附圖樣行文台電公司洽詢後確定之。
   (6) 六大都市等之污水處理廠之供電方式與工程，其引入都市電源，大都為地下電纜供電方式，郊區尚採架空線方式。其餘各縣市污水處理廠大都設置於郊區，則採架空線供電方式。

表 10.1 契約容量與供電方式之適用範圍(摘自營業規章)

契約容量	供電電壓
未滿 100 瓩	應以低壓供電
100瓩以上、未滿1,000瓩 (22.8 kV特線路供電地區未滿2,000 瓩)	1. 應以高壓供電。 2. 契約容量未滿500瓩者，得以 220/380 伏特供電。
1,000瓩以上(22.8 kV特線路供電地區2,000瓩以上)、未滿30,000瓩	除下列情形外，應以 69 kV供電： 1. 11.4 kV線路供電地區契約容量未滿5,000瓩或22.8 kV線路供電地區契約容量未滿10,000 瓩，用戶申請以高壓供電者，如技術無困難得以高壓供電。 2. 用電整體規劃地區採11.4 kV配電，契約容量未滿7,500瓩，用戶申請以高壓供電者，如技術無困難得以11.4 kV供電。契約容量5,000瓩以上者，並應同時提出經常用電備用電力申請，以兩回線經常供電。 3. 用電整體規劃地區採 22.8 kV配電，契約容量未滿 15,000 瓩，用戶申請以高壓供電者，如技術無困難得以 22.8 kV供電。契約容量10,000瓩以上者，並應同時提出經常用電備用電力申請，以兩回線經常供電。 4. 如經台電公司檢討以 161 kV供電或以高壓供電為宜者，依本公司檢討為準。 5. 上述所稱整體規劃地區係指配合政府政策開發或更新之新市鎮、社區、工商業區等，經開發或更新規劃單位預留變電所用地並經台電檢討認為需要者。
30,000 瓩以上、未滿225,000 瓩	1. 應以 161 kV供電。 2. 契約容量未滿 60,000 瓩者，如技術無困難者或以69 kV供電為宜，得以 69 kV供電。 3. 契約容量 40,000 瓩以上採 69 kV供電者，並應同時提出經常用電備用電力申請，以兩回線經常供電。 4. 供電系統有特殊困難時，台電公司得就個案考量供電電壓。
225,000 瓩以上	1. 應以 345 kV供電。 2. 契約容量未滿 450,000 瓩者，如技術無困難者或以 161 kV供電為宜，得以 161 kV供電。 3. 契約容量 225,000 瓩以上採用 161 kV供電者，並應同時提出經常用電備用電力申請，以兩回線經常供電。 4. 供電系統有特殊困難時，台電公司得就個案考量供電電壓。

(7) 新增設高(特)、低壓用戶，基於用電需要，應依台灣電力公司營業規章，第六章供電方式與工程，第六節配電場所之設置，第 66 條～第 69 條，有關地下配電區及架空線區新增設用戶配電場所規範之設置規定。地下配電區，應於建築基地內或建築物內設置配電場所及通道，以供裝設供電設備，配電場所設置面積，高壓新設至少 4×5m 乙處，低壓新設至少 3×4m 乙處外，長與寬均不得小於 3.5m。架空線區，除特別需要可免之，詳台灣電力公司營業規章第 67 條規定辦理。

(8) 大規模之污水處理廠，採特高壓供電者，由於供電可靠性高及供電品質良好，且有緊急備用發電機組可資利用，一般建議可採單一回線供電，如無特殊需要，可不必採雙回線供電。

(9) 污水處理廠或鄰近地區，若有特高壓電塔或特高壓線路經過者，除應注意人身及設備安全距離外，並考慮對儀控產生干擾問題，採取適當被覆。

(10) 於各處理設施主配電盤與部分重要系統單元之動力設備等處，需架設電

表，以利電力分析並即時顯示，至少包含三相電力、電壓、電流及功率因數等。

(11)各高耗能動力設備亦應裝設電表，以利監控。

2. 受電電源考量下列後設計之：

依用電場所，及專任電氣技術人員管理規則，與用電設備檢驗維護業管理規則，第 4 條規定，低壓(600V 以下)受電且契約容量達 50kW 以上之工廠、礦場及供公眾使用之建築物之用電場所，應置初級電氣技術人員；高壓(601V～22.8kV)受電之用電場所，應置中級電氣技術人員；特高壓(超過 22.8kV 以上)受電之用電場所，應置高級電氣技術人員。且依第 10 條規定，並應委託檢驗維護業者，每六個月至少檢驗一次，每年應至少停電檢驗一次，且不得干預檢驗結果。

(1) 用戶供電方式，按表 10.1 視其契約容量而定。

(2) 應以特高壓供電之用戶，如能提供足夠之變電所土地(無償提供者外，按公告現值計償)，並協助解決線路路權，且台電公司認為需要在該地區建變電所者，得由台電公司投資興建變電所後以高壓供電。但 11.4 kV 二次變電所供電者，以未滿 15,000 瓩為準；11.4/22.8 kV 配電變電所供電者，以未滿 30,000 瓩為準。

(3) 應以特高壓供電之用戶，經辦妥應辦手續並繳付應繳各費後，如台電公司配合設置之供電設備無法及時完成供電而用戶急需用電時，得應用戶要求，個案檢討技術無困難且用戶願另負擔增加之新建長度設置費及供電容量設置費差額者，同意暫以高壓或 69 kV 供電，不受本款第一目應以兩回線經常供電之限制。但 11.4 kV 供電者，以未滿 7,500 瓩為準；22.8 千 5 伏特供電者，以未滿 15,000 瓩為準；69 kV 供電者，以未滿 60,000 瓩為準。

10.2.3 受變電及配電設備

受變電及配電設備，於考慮下列後決定之：

1. 受變電設備，包含避雷器、高壓隔離開關、負載開關、主斷路器、自動切換開關、進相電容器組、保護電驛與計測儀表等設備，應依規定及需求設置於高壓開關箱設備內。
2. 變壓器之分類可為多種，依容量大小分為電力、配電變壓器及變比器；依冷卻方式分為油浸自冷、油浸自冷/風冷、油浸自冷/風冷/迫油風冷式及樹脂模鑄自冷、自冷/風冷式；依絕緣方式分常用為F 及H 級絕緣，其設置應依規定辦理。
3. 變壓器容量及台數，應考慮需量因數與未來擴建等需求。
4. 配電設備包含低壓空氣斷路器、自動切換開關、無熔線斷路器、漏電斷路器、進相電容器組及計測儀表等設備，應依規定及需求設置於馬達控制中心或低壓開關箱內。
5. 上列各項配電設備裝設於變電站或配電室之開關箱設備內(配電盤)，並視污水處理廠規模大小及需要，決定是否設置單元變電站。
6. 除經濟及其他理由外，設備應設於屋內，以延長使用壽命與增進用電安全。
7. 高低壓受變電及配電設備之系統及外殼，均須依用戶用電設備裝置規則規定加以接地。

解說：

1. 受變電設備之設計考量包括下列：

(1) 中、大規模污水處理廠將以 3φ11.4kV 或 3φ22.8kV 之高壓系統受電，如

圖 10.1 及圖 10.2 所示。引入後，先經電表箱計費及高壓開關箱設備後(接單元變電站)，再經變壓器降為一般低壓系統，通常為 3φ4w 380/220V 及 3φ4W 190/110V。然後，由低壓線路將電力配送至各用電設備(負載)。設置變電設備及高低壓開關箱設備之場所稱為變電站或配電室。變電站可分為屋外型及屋內型，除經濟及場所等因素考慮外，一般較少採屋外型設置。屋內型則因操作維護方便，佔地面積不大，除考慮所在地區之地理環境，因採光窗緊閉外，變電站設置位置之選擇，應盡量符合下列各項之要求：

1) 接近道路，容易引入電源。
2) 接近用電負荷中心，以減少線路壓降及損失。
3) 交通運輸方便，以吊運變壓器及高低壓開關箱設備。
4) 不應設於進流抽水站及前處理設施及濃縮消化槽等，有爆炸之虞之危險場所。
5) 不應設於有腐蝕性氣體存在之場所，如除臭機房及加氯消毒區等，若無法遠離時，亦不應設於污染源之下風側或建議加以隔離。
6) 不應設於廁所或浴室或其他經常積水之正下方，且不宜有其他排水管路經過。
7) 不應設於地勢低窪和可能淹水之場所，必要時，可移設於二樓。
8) 因門窗緊閉，應依規定提供自然通風口或機械通風設備，必要時，需提供空調系統設備，冷凍噸位數依空間與變壓器容量及開關設備大小而定。
9) 可設於負荷較大之廠房內或附近，除考慮擴建外，應便於維修保養。
10) 變電站進、出口門應向外開，以利逃生。
11) 變電站應預防小動物如老鼠等，從採光窗、通風窗、電纜溝等，進入室內高、低壓開關箱設備內(應緊閉門窗，加防護網及矽利康阻塞)。
12) 變壓器冷卻方式，採乾式樹脂模鑄型者，可與高、低壓開關箱設備設於同一房間內，且變壓器與各高、低壓開關箱設備，須有符合規定之接地系統。
13) 除(4)～(11)屬禁止及強制性外，其他各項需求仍須考量。
14) 其他設有單元變電站者，比照上述規定參考辦理。

(2) 避雷器(LA)為防止雷電產生時，過電壓沿線進入變電站，危及被保護設備之絕緣，應依規定設計選用，一般為廠用級。

(3) 隔離開關(DS)為斷路器在斷開情況下，進行高壓電源隔離，以確保設備及線路檢修之安全，為必要之設備。

(4) 負載開關(LBS)為具有簡單之消弧裝置，能通斷一定之負荷電流及過負荷電流，但不能啟斷短路電流，小容量較為適用。

(5) 斷路器可採真空斷路器(VCB)或六氟化硫斷路器(GCB)。真空斷路器須考慮短路容量，當線路故障時，應能自動地啟斷故障電路，防止事故擴大

等。六氟化硫斷路器亦須考慮短路容量，當線路故障時，則以 SF6 為消弧介質。

(6) 斷路器應設置保護電驛與儀表等，以監控及指示之。

(7) 所有開關設備，均應考慮額定電流、短路電流及耐壓等級，以維用電安全。

(8) 所有計測儀表應加以記錄，以利收集資訊及檢討系統與設備效益。

2. 電力或配電變壓器設置時，應考慮及注意之條件如下：

(1) 現行高壓變壓器，冷卻方式大都採用乾式樹脂模鑄式自冷及自冷/風冷；特高壓主變壓器，則為油浸自冷、自冷/風冷、自冷/風冷/迫油風冷冷卻。冷卻方式，一般可採自然冷卻及機械強制通風或空調設備，以協助散熱。

(2) 變壓器宜採Dyn11 接線。主要係抑制對3次以上之諧波電流，可在其三角形連結之一次繞組形成環流，而不致注入公共網路中。

(3) 特高壓電力變壓器之電壓調壓，可採無負載分接頭切換方式，其調壓範圍為±2x2.5%。

(4) 阻抗電壓百分比之大小，係配電變壓器之一個重要參數，與容量有關，當容量小時，阻抗電壓百分比小，一般阻抗電壓百分比為4%，對二次側發生短路故障時，產生短路電流亦較小。當容量大時，阻抗電壓百分比大，一般阻抗電壓百分比為6%。對二次側發生短路故障時，產生短路電流亦較大，請參照CNS13390 規定辦理。

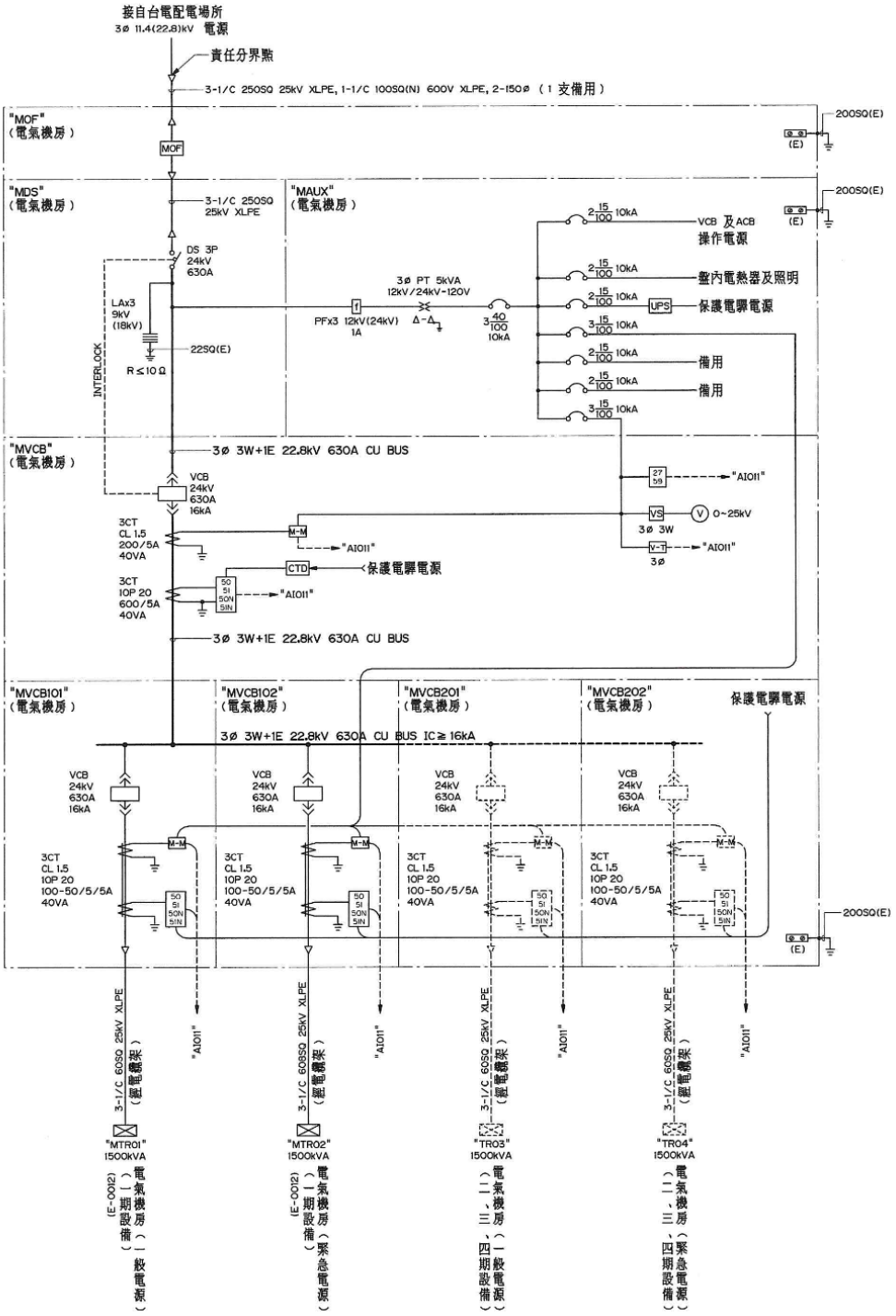
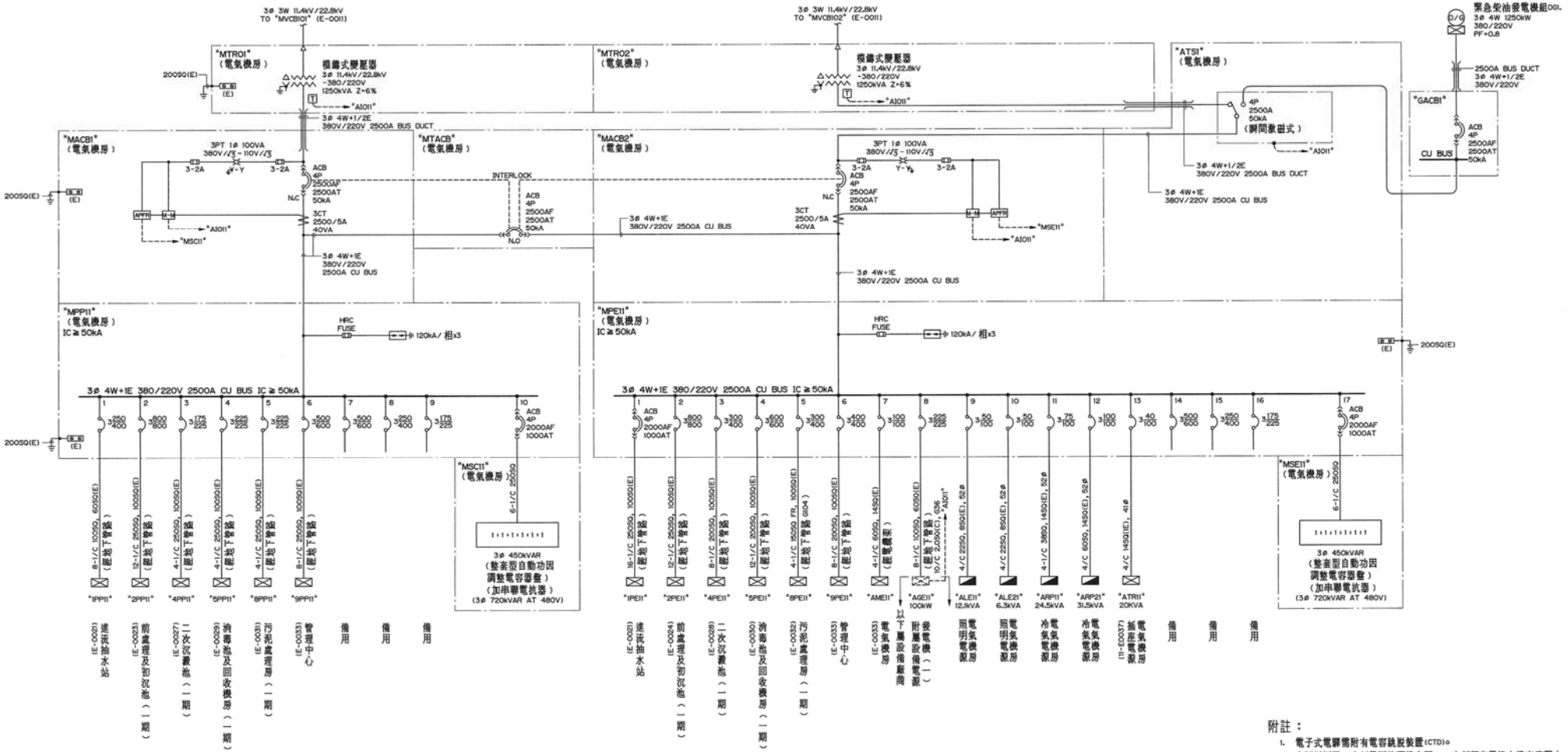

接自台電配電場所
3ø 11.4(22.8)kV 電源
責任分界點
3-1/C 250SQ 25kV XLPE, 1-1/C 100SQ(N) 600V XLPE, 2-150ø (1支備用)
"MOF"
(電氣機房)
MOF
200SQ(E)
(E)
"MDS"
(電氣機房)
3-1/C 250SQ
25kV XLPE
"MAUX"
(電氣機房)
DS 3P
24kV
630A
LAx3
9kV
(18kV)
22SQ(E)
R≤10Ω
INTERLOCK
3ø PT 5kVA
12kV/24kV-120V
PFx3 12kV(24kV)
1A
Δ-Δ
3 40/100 10kA
2 15/100 10kA
VCB 及ACB
操作電源
整內電熱器及照明
UPS
保護電驛電源
備用
備用
"MVCB"
(電氣機房)
3ø 3W+1E 22.8kV 630A CU BUS
VCB
24kV
630A
16kA
3CT
CL 1.5
200/5A
40VA
M-M
"AIO11"
CTD
保護電驛電源
3CT
10P 20
600/5A
40VA
50
51
50N
51N
27
59
VS
V
0~25kV
3ø 3W
V-T
3ø
"MVCB101"
(電氣機房)
"MVCB102"
(電氣機房)
"MVCB201"
(電氣機房)
"MVCB202"
(電氣機房)
3ø 3W+1E 22.8kV 630A CU BUS IC≧16kA
3CT
CL 1.5
10P 20
100-50/5/5A
40VA
3-1/C 60SQ 25kV XLPE
(經電機樓梯)
"MTR01"
1500kVA
"MTR02"
1500kVA
"TR03"
1500kVA
"TR04"
1500kVA
(E-0012)
一般電源(一、二期設備)電氣機房
緊急電源(一、二期設備)電氣機房
一般電源(三、四期設備)電氣機房
緊急電源(三、四期設備)電氣機房

圖 10.1 單線圖例(一)



附註：

1. 電子式電驛需附有電容跳脫裝置(CTD)。
2. 高壓變壓器一次側電壓接頭及高壓CT一次側額定電流之設定應配合台電實際供電電源辦理。
3. 除另有註明外，比壓器、比流器之額定分別爲100VA, 40VA, D-FUSE則爲2-2A。
4. "MACB1","MTACB1","MACB2" INTERLOCK 同一時間只允許投入其中二只，且"MTACB1"應爲手動投入。
5. 當系統由發電機供電時，自動功因調整用電容器須與系統切離。
6. 單線圖之動力線以虛線線條表現者，不屬本工程範圍。
7. 標示"二期(或三期、四期)預留"者之設備，於本工程需自設備端預埋管路至盤體或附近之電纜架(詳見配置圖)，該設備於本工程不設置電纜及起動裝置。

圖 10.2 單線圖例(二)

(5) 變壓器之二次側電壓為4.16kV(或3.45kV)、380/220V(400/231V 或460V或220 V)、190/110V 等，一般低壓以2 之倍數，且不超過2 次降壓為原則。

(6) 變壓器應安裝於負載中心，供電半徑為0.5kM 範圍內，負載損失最小，並能滿足電壓質量(壓降)之要求。

(7) 變壓器不應裝設於有爆炸之虞之危險場所、有腐蝕性氣體存在之場所、經常積水之正下方或劇烈振動之場所。

(8) 變電站應預防小動物如老鼠等，從採通風窗、電纜溝等進入變壓器。

(9) 變壓器與開關箱設備(前面無帶電之配電盤)設置於室內、外時，應符合法規要求，保持一定間距。原則上，室內配置時，除與平頂之距離至少保持0.6 公尺；門寬至少保持2 公尺與外界直通外；單列配置其保護外殼離牆壁之箱後淨距至少應不小於80 公分；箱前不小於150 公分；兩列以上之箱前相對位置至少應不小於200 公分，以利操作維護及檢修，請參照「用戶用電設備裝置規則」第403條規定辦理。

3. 變壓器容量及台數，應考慮需量因數與未來擴建等需求後設計之

(1) 變壓器容量計算式如下：

變壓器容量(kVA)=總設備容量(kW)×α×β/η×φ

α：裕度因數 β：需量因數 η：綜合效率 φ：綜合功率因數

(2) 污水處理廠照明及動力用電，高壓一般選用樹脂模鑄式變壓器(室內)或油式變壓器(室外)，容量與台數之選擇，宜將緊急與非緊急分開。

(3) 為提高供電的可靠性，大規模之污水處理廠，單台容量之選擇建議可選用1,500kVA～2,000kVA 或更大之容量：中規模污水處理廠單台容量之選擇，建議一般不大於1,000kVA。一般大規模污水處理廠，選用高壓供電時，主變壓器選用至少以2 台為原則，最多不宜超過4 台，如採分期擴建設計時，總容量及台數應作適當考慮

(4) 變壓器之長期負載率建議不大於80%，且較少以單台單一容量來決定(至少二台)，應根據負載情況，並考慮需量率及至少25%之擴建需求。

4. 配電設備之設置，於考量下列後設計之：

(1) 二次側之空氣斷路器(ACB)應考慮短路容量及設置保護電驛與儀表，以保護設備及線路。

(2) 無熔線斷路器(NFB 或MCB)應考慮短路容量及依需求設置儀表，以保護線路。

(3) 漏電斷路器(ELCB)一般設置於潮濕及屋外場所，應考慮類別、短路容量、額定感度電流(毫安)及動作時間，以保護線路及用電安全。

(4) 自動切換開關(ATS)為當台灣電力公司停電時，能自動(15～30 秒內)將負載切換至緊急備用發電機側，由緊急備用發電機繼續供電。

(5) 進相電容器組宜設置於低壓側，採非可燃性之進相電容器組，以段數調整，改善功因最高至0.95 為原則。若配合高、低壓感應電動機而選用之電容器，可與該設備共用控制器及保護裝置。

(6) 進相電容器裝設於低壓側之優點為總功率減小，從而變壓器容量亦可減小，還可改善電力品質及減低投資與設置費。

(7) 保護電驛應滿足可靠性、選擇性及靈敏性等之要求，包含過電流、低電壓、欠電壓電驛等。指示或量測儀表應依規定及需要而設，包含電流表、電壓表、頻率表、瓦特表、功率因數表等，電流表其準確度等級應越小越好，分為0.1～5.0 等7 級，一般為1.0 級。電壓表其準確度一般採5P20。頻率表一般為0.5 級。

5. 污水處理廠依規模大小決定設置單元變電站，配電箱型式如下：

金屬閉鎖型配電箱及控制箱之形式稱呼，第1 記號表示隔板的構成：M 表示裝甲型配電箱及控制箱，P 表示隔間型配電箱及控制箱，C 表示箱櫃型配電箱及控制箱；第2 記號表示主要構件的構造：X 表示固定型構件，Y 表示搬出型構件，W 表示抽出型構件；第3 記號表示主迴路絕緣被覆，以G 表示主迴路之匯流排等有絕緣被覆者，其型式記號原則上如MW，MWG，PW，PWG，CX，CY，CW 表示之。請參照中華民國國家標準CNS 3990，3991，13551，13542，13543 等規定說明。

6. 各項配電設備之裝設於屋內外應注意事項：

(1) 高、低壓配電盤屋內用：最高周溫40°C，最低周溫0°C，相對溼度20～80％，海拔1000M 以下運轉；屋外用：最高周溫50°C，最低周溫0°C，相對溼度20～95％，海拔1000M 以下運轉。

(2) 大、中及小規模污水處理廠，中控室應設置信號監視、指示等裝置，以便配電設備發生故障時，能發出警告音響及燈光信號，通知值班人員及時處理。

7. 各受變電及配電設備之裝設應注意事項：

(1) 高低壓受變電及配電設備之系統及非帶電金屬外殼，均須依「用戶用電設備裝置規則」第24條～第29條及第59條規定加以接地，接地導線以使用銅線為原則，絕緣皮應為綠色。

(2) 變電站接地電阻依接地種類分特種(10Ω以下)、第一種(25Ω以下)、第二種(50Ω以下)及第三種接地(依電壓等級，10～100Ω以下)，因適用場所之不同而其接地線大小有異。

(3) 高低壓受變電及配電設備，應依「用戶用電設備裝置規則」第400條規定裝設通風設備。

10.3 負載設備

污水處理廠之負載(用電)設備，包含動力、照明插座、儀控設備等。動力設備如進流抽水泵、撈污機、空壓機、除臭設備單元、迴流污泥抽水機及脫水機等電動機驅動設備；照明插座設備如管理中心(行政大樓)及機房之日光燈，高天井機房之照明燈(LED 燈)，屋外步道LED 燈，道路照明LED 燈及室內一般插座與專用插座等；儀控設備如流量、壓力、液位及溫度等計測項目之用電設

備。

10.3.1 負載設備對供電之要求

各負載設備對供電之要求，於考量下列決定之：

1. 供應污水處理廠電力負載設備之電源，區分為緊急與非緊急。萬一，電力公司供電中斷時，污水處理廠之重要污水系統，如處理設備、廠區部分照明、閉路電視監視系統、消防火警及廣播系統、中控室及區域控制室之儀表及監控系統之緊急負載等，除由固定式緊急備用發電機組繼續供電外，發電機起動期間，中控室、區域控制室之儀控設備，應可由不斷電系統或直流系統供電。
2. 污水處理廠之污泥系統，除特殊需求外，可不加入緊急備用發電機組供電，以節省初裝費及運轉費用。
3. 污水處理廠之配電系統，可配合當地氣候、日照時數、建築方位及設備電力需求等，設置備用或並聯之太陽光電系統，如此，由兩種以上不同電源供電，可紓解夏季尖峰用電及應付緊急用電需求，並節省電費。

解說：

1. 污水處理廠之重要污水系統處理設備及中控室消防監控系統等用電，萬一，台灣電力公司供電中斷時，應能迅速接入緊急備用發電機組繼續供電。中控室之監控系統除利用緊急備用發電機電源外，發電機起動期間，另應由不斷電系統或採直流供電。
2. 其他污泥系統之動力、照明設備，除特殊需求外，基於操作需求及經費之理由，可不接入緊急電源系統。
3. 在經費許可情況下，污水處理廠可配合當地氣候、日照時數等，在管理中心(行政大樓)、進流抽水站、初沉池或脫水機房等場所之頂層裝設太陽光電系統，提供廠區部分用電，以節省電費，或提供場所供能源局(台電公司)施設太陽光電系統發電轉售，提供能源。

10.3.2 動力負載設備

動力負載設備設計考量依下列決定之：

1. 污水處理廠在計算動力負載設備(電動機)時，應將容量、需量率、工作性質、台數及效率等因素考慮在內。
2. 污水處理廠電動機應配合現場區，劃為屋內一般型、防腐蝕型、防爆型、屋外防水型及變頻專用等。防爆型者屬特殊場所之用電設備，須依規定配合裝設防爆設備；防水型者屬潮濕場所之用電設備，應配合裝設漏電斷路器，其保護等級在陸上防水型至少為IEC IP54，水中型為至少為IEC IP68；變頻操作專用者須依規定使用變頻電動機，以確保用電安全。
3. 處理單元之每一電動機分路，應包含過電流保護器、操作器(起動器)、過載保護器、分段設備及儀表等控制單元等，可由現場低壓配電盤(開關箱)或馬達控制中心(MCC)或單元控制盤供電。
4. 三相低、高壓電動機起動電流應不超過「用戶用電設備裝置規則」第162及430條規定，否則，應使用降壓型啟動設備。
5. 電動機之絕緣等級至少應為F 級；服務係數為1.15；陸上型電動機須符合CNS14400 高效率電動機IE3+以上標準；軸承壽命應為L10≧100,000 小時。
6. 電動機以裝置於通風良好及保養方便之位置為原則，其操作電動機時應於可視及之範圍，否則應裝設分段設備。
7. 電動機應依規定裝設功率因數改善電容器組，其容量應配合負載大小及功率因數高低來決定，自動地投入設備之段數及諧波濾波電抗器，改善後之功率因數以95%為原則。
8. 電動機之配線可為金屬管(RSG、EMT)、非金屬管(PVC 管)及金屬電纜架裝置，視場所而

定。其導線應依電壓、電流及埋設溫度，選用適當之PVC 或XLPE 為絕緣物，詳「用戶用電設備裝置規則」第219～259 規定，所有管線設備，皆應考慮防止水氣及腐蝕氣體進入。

解說：

1. 污水處理廠在計算動力設備時應考量下列因素：
   (1) 用電設備之大小，以額定容量表示，其額定容量指用電設備在額定電壓下，能連續輸出或耗用之最大功率。對電動機及照明等設備而言，額定容量係以有效功率表示之；對變壓器及電焊機設備而言，額定容量係以視在功率表示之；而電容器設備而言，額定容量則以無效功率表示之。
   (2) 污水處理廠用電設備，依工作性質區分為：長期連續工作制如抽水泵、空壓機、鼓風機及照明設備等；短時間工作制如控制閘門之電動機等；斷續週期工作制如電焊機、電動吊車等。
   (3) 當電動機在一定負荷下運轉時其功率計算如下：
   P=P0/η0η P：電動機功率(kW) P0：負荷之機械功率(kW)
   η0：機械效率 η：電動機效率
2. 電動機設備為確保用電安全應考量下列事項：
   (1) 污水處理廠使用之電動機，大都為鼠籠式感應電動機非繞線型，其選擇之基本要求有使用環境(如屋內、外或防爆型)、結構形式及冷卻方法(如全閉外扇冷卻型、全閉外扇型)、電壓等級、絕緣等級、額定轉速及額定功率等。
   (2) 電動機外殼之保護等級(IEC IP 碼)，如使用於屋外，屬潮濕場所，應為整體密閉、風扇冷卻，依「用戶用電設備裝置規則」第59條規定，須配合裝設漏電斷路器；如使用於進流抽水站、前處理設施及污泥濃縮、消化機房，應依規定劃分防爆範圍並使用防爆設備，其構造等級至少符合經濟部頒布之「用戶用電設備裝置規則」為第1 種場所或美規NEC CLA.1 DIV.1GROUP C&D 或日規1 級，d2G4 或歐規ZONE 1，Ex deIIB T4。防腐蝕場所如加藥機房及加氯機房，應選用防腐蝕之設備，採用美規NEMA 4X 或對應之國際電工委員會IEC IP56。
   (3) 電動機外殼保護等級，國際電工委員會IP係以保護等級代號來認定該設備之防塵防異物進入及防濕防水特性。IP保護等級是由兩個數字組成，第1 個數字(0～6)表示設備之防塵、防異物進入之等級；第2 個數字(0～9)表示設備之防濕、防水之等級。兩個數字組合起來越大，表示保護等級越高，如IP54 表示部分防塵，可在水噴流狀況下發揮保護作用。詳如表10.2，IEC 60 529 防護等級標記說明。

表 10.2 IEC 60 529 防護等級標記說明

第一位數	名稱	說明
0	—	等同於直接暴露，無法保護接觸與外物入侵
1	直徑 50 mm 和更大的固	物體探測器－球體直徑－不可完全穿過

	體異物防護	
2	直徑 12.5 mm 和更大固體異物的防護	物體探測器－球體直徑－完全不得穿過分段測試指標允許侵入的長度最大為，但必須保持足夠的間隔距離
3	直徑 2.5 mm 和更大固體異物的防護	物體探測器－球體直徑－完全不得穿過
4	直徑 1.0 mm 和更大固體異物的防護	物體探測器－球體直徑－完全不得穿過
5	防塵	不可能完全阻止灰塵侵入，但灰塵的侵入量不能對裝置的正常工作或安全造成不良影響
6	灰塵密封	箱體內壓力為 20 毫巴－低壓時不應有灰塵侵入
第二位數	名稱	說明
0	無防護	-
1	水滴防護	垂直落下的水滴不應造成損害
2	外殼傾斜不超過 15°，必須能提供水滴防護	當外殼兩側直立面傾斜角不超過 15° 時，垂直落下的水滴不得造成損害性的影響
3	濺水防護	以相對於外殼直立面60° 角朝兩側直立面潑水時，不可造成損害性的影響
4	噴水防護	從每個方向對準箱體噴射的水都不應造成損害
5	噴射水防護	從每個方向對準箱體噴射的水都不應造成損害
6	強力射水防護	從每個方向對準箱體強力噴射的水都不應造成損害
7	短時間浸入水中的防護	箱體在標準壓力和時間條件下短時間浸入水中時，水浸入量不應造成損害
8	長時間浸入水中的防護	箱體在製造商和用戶達成協定的條件下，長時間浸入水中時，水浸入量不應造成損害，條件必定較代碼 7更為嚴格
9	高壓水柱／蒸氣噴射清潔從每個方向對準箱體大	幅度提高壓力的高壓水都不應造成損害

(4) 電動機之起動器、控制按鈕或控制開關，宜裝設在電動機附近人手可及範圍便於操作和觀察運轉狀態之地點，一般距離以不超過15 公尺為原則，否則應在電動機附近加裝分段設備(閘刀開關或無熔線開關)設備，以免檢修人員發生危險。

3. 處理單元每一電動機分路之設計應考量下列：

(1) 電動機起動時，端電壓應保證機械要求之起動轉矩，且引起之電壓波動，應不妨害其他負載設備之運轉為原則。

(2) 進流抽水機建議至少應有一台為變頻起動運轉，並配合初期進水，可設定抽水井於最高水位起動，最低水位停止之啟停操作機制，以達初期低流量之穩定操作。

(3) 特高壓用戶，大規模之污水處理廠，所有進流泵及放流泵應可配合程序運轉，其電動機可由變頻設備採一使用、一備用或交替，逐一調整轉速，進而調節流量。

4. 處理單元每一電動機分路之設計，其起動設備應考量下列：

(1) 電動機起動時，會產生較大之起動電流，使系統電壓下降，影響其他設備正常運轉。低壓用戶，除小容量電動機可採直接啟動外，較大電動機起動電流應不超過「用戶用電設備裝置規則」第162條規定，220V 供電，每台容量不超過15 馬力者，不加限制。380V 供電，每台容量不超過50 馬力者，不加限制。每台容量超過上列限制者，以不超過該電動機額定電流3.5 倍。高壓用戶之低壓電動機，每台容量不超過200 馬力者，不加限制，若超過此限者，以不超過該電動機額定電流3.5 倍，否則，應採降壓起動。

高壓用戶之高壓電動機啟動電流，應按第430條規定辦理。

(2) 電動機啟動方式，一般可分為全壓起動及降壓起動兩種。其中降壓起動有電阻器起動、電抗器起動、自藕變壓器起動及Y-△降壓起動與變頻起動(軟啟動或緩衝啟動)等，應依負載特性選用。

(3) 大、中規模污水處理廠之進流抽水機、鼓風機等，負載轉矩與轉速成平方關係，可採變頻起動、電抗器起動或電阻器起動。

5. 電動機之工程設計應考量下列事項：

(1) 污水處理廠採濕井沉水式抽水機時，至少應設置溫度感測器，除能將訊號傳送至單元控制盤外，並能經單元控制盤傳送至中控室顯示，以利及時監控及狀況處理。

(2) 若為乾井抽水機時，除馬達線圈溫度感測器外，機械軸封需增設冷卻循環水感測器如流量計，100hp(含)以上，應加裝軸承溫度感測器(類比輸出)及振動感測器，除能將訊號傳送至單元控制盤外，並能經單元控制盤傳送至中控室顯示，以利及時監控及狀況處理。

(3) 大規模污水處理廠(設計處理水量30,000CMD 以上)，30hp(含)以上；中規模污水處理廠(設計處理水量30,000CMD～5,000CMD)，20hp(含)以上，小規模污水處理廠(設計處理水量5,000CMD 以下)，10 hp(含)以上，屬該污水處理廠內高耗能之動力設備，其單元控制盤或MCC 設備，應設置多功能電表，以利監控。

6. 電動機之裝置應考量事項如下：

(1) 污水處理廠內鼓風機之裝置，為便於巡檢及預防故障，每台鼓風機應有操作狀態之電流值、電壓值、振動值、軸溫及送風量等之儀表裝置，並應考慮有防制噪音及通風散熱之設計考量，必要時，可裝設空調設備。

(2) 各種設備之驅動裝置，其安裝位置除應考量巡檢人員之可及性外，若安裝於高處，應設置有利於巡檢之梯架。

(3) 污泥脫水機輸送帶，應裝置緊急切斷開關，以利緊急時切斷電源。

(4) 電動機於電源有欠相、反相或接地失效之虞者，宜裝設欠相、反相或接地故障等警報裝置，如箱型冷氣機大都採迴轉式或渦卷式壓縮機，不能逆轉，宜裝設逆向保護開關，以確保人員安全。

(5) 污水處理廠內之設備，如進流抽水機、鼓風機及放流泵之電動機與現場之起動變頻設備，若為陸上型者，應設充足之通風設備，以排除熱氣及降溫。

(6) 鼓風機風量，應視曝氣池溶氧以人工方式作適當調整，可安裝變頻設備調整轉數或利用調節閥控制風量，以降低輸出馬力。鼓風機採間歇操作者，應使各台運轉時數平均，間歇啟停勿過高，以免變頻器損壞。操作時應注意兩側軸承溫度，並檢視運轉壓力、轉數及油箱液位等。

7. 污水處理廠之用電設備，大部分是電感性的，無效功率大，功率因數低，電力系統中，若並聯接入電容器，可補償無效功率改善功率因數其效益(1)總消耗功率減小，提高供電設備的能力。(2)降低壓降，改善電壓質量。(3)減低線路之功率損耗。功因改善方式一般有：(1)個別補償，其效果最佳，但投資費用較高。(2)分散補償，屬一種比較經濟合理之方式。(3)集中補償，其補償效率最差等三種方式。污水處理廠一般建議採分散補償，大型電動機則採個別補償。

8. 電動機之配線可為金屬管、非金屬管及電纜架裝置(可選用RSG、EMT 或PVC管)，視場所而定，但特殊場所(如防爆場所)應選用RSG 管及管封設備。導線採銅導線PVC 絕緣電線或XLPE 絕緣電線，接地線則採PVC 絕緣綠色電線，PVC絕緣絞線最小應為3.5 mm^2。

10.3.3 照明設備

照明設備於考量下列設計之：

1. 污水處理廠室內、外照明設備，為提高工作效率、確保生命安全、檢修維護方便、避免事故發生，在燈具構造(如防爆區特殊場所)之選擇、光源顏色及設計照度等要求，應依場所選用安全高效率燈具，以節約能源。
2. 室內、外照明燈具及照度及均勻度，應符合中華民國國家標準及職業安全衛生法之規定。
3. 污水處理廠室內、外普通插座應普遍設置，以方便使用移動性器具為原則，專用插座及特殊場所使用插座，應依專用需求而設置。普通插座與專用插座，應以裝設高度及型式不同作為區分。
4. 照明之配線，可為金屬管、非金屬管及電纜架裝置(RSG、EMT 或PVC 管)，視場所而定。其導線應依其電壓、電流及埋設溫度選用適當之PVC或XLPE為絕緣物。

解說：

1. 照明設備之選用應考量事項包括：

(1) 照明品質之好壞，常以平均照度、均勻度、眩光、演色性等指標來評價，室內平均照度，是根據室型指數、選用燈具型式、室內裝修材料之利用率及維護係數等，決定所需燈具數量。

(2) 照明的分類方法很多，依功能區分為常用照明、緊急照明。常用照明又可分一般照明、局部照明、分區照明、混合照明、道路照明及移動照明。

緊急照明(含出口照明)採交/直流兩用電源，性能應安全可靠，因涉及人身安全，應依各類場所消防安全設備標準設置。

(3) 依光源方式分類，辦公室、機械房等一般以較能節源之T5 日光燈、PL型或LED 燈為主，高天井則以LED 燈為主，白熾燈及鹵素燈已被淘汰不用，以節約能源。為配合建築物之天花板，可為吸頂式、T-BAR或吊掛式等安裝方式。

(4) 燈具之選擇，係以綠色照明為內涵，包含節能效率(採電子式安定器，T5日光燈)、環境保護、安全和舒適。

(5) 照明光源之顏色(演色性)應與室內高度及表面裝修相協調，一般辦公室色溫採3300～5300K，演色指數為中間系列Ra≧80，機房高度≧7 公尺，Ra≦80，以利辨識。

(6) 照明燈具應配合污水處理廠使用場所之安裝高度，依低(小於4M 用日光燈、LED 燈及省電燈泡)、中(4-7M 用大功率日光燈及LED 燈)、高(7M以上用LED 燈)平頂，分區使用，高平頂者亦可採壁式裝設，並選擇合適之手動開關(15A，300V)加以控制。

(7) 一般燈具配置宜均勻，採單邊、交錯或對稱配置，一般均勻度不小於0.8(CIE 標準)。

(8) 大型水池附近，如初(終)沉池及消毒池等，須裝設室外型投光燈或步道燈，一般採用LED 燈，並可施予自動點滅控制。投光燈照明照度宜保持30～10 Lux，燈桿高度不宜超過12m。步道照明如初沉池等須裝設於水池欄杆邊(非步道內)，以不妨害通行及設備搬運為原則，照度宜保持50～30 Lux，燈桿高度不宜超過3m，燈桿距離不宜超過路幅寬度3.5 倍，以維夜間巡視人員之安全。

(9) 廠區道路及各處理單元出入路口，應裝設道路照明器具，一般採用LED燈為主，並可施予自動點滅控制。由於車道照明屬服務功能，大部分為2線道，目前以LED 燈具為主，照度宜保持30～10 Lux，採半截止燈具，防護等級為IP54 以上，燈桿高度視路幅寬度而定，不宜超過路幅寬度1.2倍，燈桿距離不宜超過路幅寬度3.5 倍，燈臂長度不宜超過18燈桿高度1/4 及燈臂傾斜角度不宜超過15°。燈具採防水型，維護係數0.7～0.75 為宜。

(10) 室內照明設備使用於特殊場所，如進流抽水站、前處理設施及污泥濃縮、消化機房，應劃分防爆範圍及採用防爆設備與配管線，燈具構造等級至少符合「用戶用電設備裝置規則」為第1 種場所使用，或美規NEC CLA.1 DIV.1 GROUP C&D或日規1 級，d2G4 或歐規ZONE 1，Ex deIIB T4。腐蝕場所如加藥機房及加氯機房，應選用防腐蝕之燈具，採用美規NEMA 4X 或對應之IEC IP56。

2. 污水處理廠之室、內外照明，應提供適當之照度需求，若依場所設置考量，應符合中華民國國家標準CNS-12112 照度之參考值及第十一章表11.2 之要求。

(1) 屋外道路：30～10 Lux。
(2) 屋外設施通道：50～30 Lux。
(3) 辦公室、間控室、會議室、水質室驗室：750～300 Lux。
(4) 檔案室、資料室、計算機室：750～300 Lux。
(5) 電氣室、機械房、污泥脫水機室、抽水機室、送風機室、發電機室：300～150 Lux。
(6) 走廊、通道、洗手間及廁所：200～100 Lux。
(7) 倉庫、更衣室、值班室、管郎、配管室、覆蓋設施、沉砂池、攔污室：150～75 Lux。

3. 插座之裝設應考量事項：
(1) 一般場所之所有普通插座，建議一律採接地型為原則，規格為15A 125V，裝高離地30cm；專用插座採20A 250V，接地型，裝高離地120cm。
(2) 特殊場所防爆等級，應符合「用戶用電設備裝置規則」為第1 種場所使用，或美規NEC CLA.1 DIV.1 GROUP C&D 或日規1 級，d2G4 或歐規ZONE 1，Ex deIIB T4。
(3) 腐蝕場所應選用防腐蝕者，如美規NEMA 4X 或IEC IP56；潮溼場所應選用防潮者，如美規NEMA 3 或IEC IP54。

4. 照明插座之電壓等級為1φ220V、1φ110V，配管線一般選用PVC 導線管或EMT管及RSG 管(如特殊場所防爆配管使用)，導線則採銅導線PVC 絕緣。

10.4 緊急備用柴油引擎驅動發電機設備

當颱風季節來臨，萬一，台灣電力公司電力供應中斷或供電系統故障時，為維持污水系統部分設備之繼續運轉，一般污水處理廠常備有低壓(3φ4W 380V)或高壓(3φ3.45kV 或4.16kV)固定式緊急備用發電機組，於15～30 秒內隨之自動起動運轉，繼續供給污水、曝氣與消防火警及廣播系統與監控系統等重要設施用電，以確保污水處理廠安全。

緊急備用柴油引擎驅動發電機設備，由柴油引擎、交流同步發電機及控制系統(包含自動檢測、控制及保護裝置)等三部分組成，說明如下：

緊急備用柴油引擎驅動發電機設備於考量下列設計之：
1. 污水處理廠緊急備用柴油引擎發電機組之選擇，應以污水系統處理設備與消防火警與廣播及監控系統為準，忽略污泥系統處理設備。
2. 緊急備用柴油引擎發電機容量與台數，應依緊急負載大小、投入運轉順序及單台電動機最大起動容量等綜合因素確定，其容量計算請參考「緊急電源容量計算基準」。
3. 緊急備用柴油引擎，應設定自動起動之高速柴油引擎，且為無碳刷激磁之交流同步發電機，並裝設自動調壓裝置。
4. 污水處理廠緊急備用柴油引擎發電機組之設置，應緊鄰變電站，運轉時將產生較大之噪音，最好遠離辦公區，對於一定要安裝於辦公區時，應作必要之隔音處理。

解說：

1. 緊急備用柴油引擎發電機組之容量，以滿足污水處理設施污水部分(含曝氣)、消防火警與廣播系統與管理中心監控系統(不斷電供電系統及直流供電設備)之需要為原則，而忽略污泥系統處理設備。

2. 緊急備用發電設備設置應依下列考量：

(1) 緊急備用柴油引擎發電機組，由於容量(功率)等級較多、安裝面積小、熱效率高、燃油消耗低、起動迅速、操作維護簡單等之優點，適合於污水處理廠作為緊急備用電源之用。

(2) 發電機組之容量計算，請參考緊急電源容量計算基準：

1) 連續運轉之額定功率。

2) 瞬時壓降之視在功率，發電機組之電壓突降不大於15～20%。

3) 尖峰負荷之備用功率。

4) 比較前3 項，以其中最大容量作為選擇發緊急備用柴油引擎發電機選擇之依據。

(3) 緊急備用柴油引擎發電機組，轉速常以1800rpm(高轉速)，輸出電壓為380/220V，頻率以60HZ，功率因數為0.8，緊急備用額定為12 小時為準(允許連續運轉12 小時之最大有效功率，其中有1 小時超載10%之能力)。

(4) 當緊急負載較大時(大型進流抽水站、海洋放流抽水站)，可選擇容量適當、多機組並聯運轉。據經驗顯示，如中型污水處理廠容量不超過800kW 時，宜選用單一機組；超過800kW 宜選用2～4 台；大型污水處理廠單機容量可再加大，但仍以不超過4 台為宜，台數太多，除空間須加大外，可能容量小而無法負擔起動大型電動機之能力(須多台並聯)。

(5) 緊急備用柴油引擎發電機組多台組合時(2 台以上)，有並聯需求時，需有並聯設備裝置。

(6) 多台機組並聯時，宜選擇型號、容量規格及調壓(電子式)調速特性相同之機組。

(7) 由於柴油引擎發電機組作為緊急備用，故應以裝設自動起動為原則，一旦台電供電中斷，應在15～30 秒內起動完成供電，並具有6 次供發電機自動啟動功能，每次時間不大於30 秒，當台電恢復供電時，機組可在2～15 分鐘內自動卸載停車。

(8) 緊急備用柴油引擎發電機組啟動系統以採用24V 蓄電池啟動，大型(2000kVA 以上)柴油引擎發電機組，才採壓縮空氣起動(原則少用)為原則。

(9) 污水處理廠對斷電有嚴格要求者，如中控室的儀表及電腦系統，除備有緊急備用柴油引擎發電機系統外，還應設UPS 設備或直流蓄電池設備。

(10) 緊急備用柴油引擎發電機組，應注意消音、減振、通風及散熱之需求，並應備有欠相、短路、過電流、超速、水溫過高及油壓過低等之保護。

(11) 緊急備用柴油引擎發電機組機房之建築要求，原則上，一般發電機組超過200kW 以上應至少有兩個出入口，且門應向外開，以策安全。

(12) 緊急備用柴油引擎發電機組機房之進風口，以設於正對發電機端或發電機兩側為宜。

(13) 緊急備用柴油引擎發電機房照明基準，至少應保持在300～150Lux為原則。

(14) 緊急備用柴油引擎發電機組周邊除散熱水箱端外，與牆壁之距離應不小於1.5m；與平頂之距離應不小於1.5m，通常要求淨高不低於4.0m。以利操作維護。

(15) 緊急備用柴油引擎發電機組，可採散熱水箱型、散熱水箱分離型及熱交換器型等三種，視緊急備用柴油引擎發電機容量大小及安裝場所而定。

3. 緊急備用柴油引擎發電機組輔助系統(附屬設備)，包含起動系統(蓄電池或空壓機系統)、燃油系統(日用油箱及地下貯油槽)、潤滑油系統、冷卻散熱水箱系統、進排氣系統、排煙系統(消音及黑煙淨化器)及監控系統(控制箱及自動調壓器)等。其中燃油系統日用油箱附件應齊全，儲存容量應以不超過1000公升為限，儲油槽應以地下儲油槽設置為原則，且須依「公共危險物品及可燃性高壓氣體製造儲存處理場所設置標準暨安全管理辦法」辦理，儲油槽儲存容量以不超過3天為限。

4. 緊急備用柴油引擎發電機之設置應緊鄰變電站，以減低壓降及易於集中管理。運轉時將產生較大之噪音，最好遠離辦公區，必要時須以隔音處理。對於安裝於辦公區地下室之緊急備用柴油引擎發電機組，應作必要之隔音與防振處理及採取分離式散熱水箱型較為妥當。緊急備用柴油引擎發電機之設置，應依噪音管制標準辦理。

10.5 控制及計測設備電源

污水處理廠控制及計測監控用電源設備有數種，如交流電源110V，220V(原則少用，安全電壓約50V，愈低愈安全)，直流電源24V、48V，110V及不斷電裝置交流110V 等，可依負載性質、容量及允許中斷供電時間等要求選定。

10.5.1 交流控制電源

交流控制電源設置，應考慮下列決定之：

1. 高、低壓開關箱設備之控制、保護電驛及指示等電源，採交流操作時，宜自控制變壓器或比壓器取得；供馬達控制中心使用時，宜自個別比壓器取得，且均應滿足最小容量之需求。
2. 高壓開關箱設備應配合斷路器等設備，依系統可靠性之要求，選用適當之控制電源，交流控制電源可為110V或220V(原則少用，安全電壓約50V，愈低愈安全)。
3. 控制、保護電驛及指示等之導線，一般選用PVC 絕緣導線。

解說：

1. 高、低壓電源控制依下列設計之：

污水處理廠以高壓受電時，高、低壓開關箱設備，可採交流控制電源，電源自控制變壓器或比壓器取得。

2. 高壓電源控制依下列設計之：

高壓開關箱設備之交流控制電源容量，最小不少於3φ22.8kV(11.4kV)-110/190 5kVA；馬達控制中心之交流控制電源容量，最小不少於1φ380-110V 100VA。

3. 控制、保護及指示等電源之幹線，一般至少選用5.5 mm^2 PVC 絕緣導線，分

路則採2.0 mm^2 PVC 絕緣導線。

10.5.2 直流控制電源

直流控制電源依下列選用之：
1. 特高壓系統受電時，開關箱設備之控制電源，可配合斷路器及電驛等設備要求，選擇直流控制電源。
2. 高、低壓開關箱設備之控制、保護電驛及指示等回路，採直流為控制電源時，具性能穩定、安全可靠之特點。
3. 直流控制電源之蓄電池裝置，宜採浮動充電方式為原則。

解說：

1. 特高壓變電站採直流為控制電源時，因具性能穩定、安全可靠之特點。
2. 高、低壓開關箱設備之控制、保護電驛及指示等回路，可採直流為控制電源時，具性能穩定、安全可靠之優點，亦可採交流作為控制電源。
3. 採直流控制電源裝置含蓄電池、充電裝置及直流分電盤等，採浮動充電方式且應有必要之保護裝置裝置。

10.5.3 不斷電裝置系統

不斷電裝置系統依下列選用之：
1. 不斷電裝置系統之選擇，應以滿足監控系統之可靠性及穩定性為原則。
2. 不斷電裝置電源應用於中央控制盤或區域控制盤時，其額定輸出容量應為最大計算負荷之1.3 倍。
3. 不斷電裝置電源之蓄電池容量，應依允許中斷供電時間等要求確定。

解說：

1. 不斷電裝置電源系統分為靜態與動態兩種，靜態由電子元件組成，動態由旋轉電機組成，污水處理廠中央控制盤之不斷電裝置，一般選用靜態且為單相者為宜。
2. 依據供電可靠程度之不同，不斷電裝置電源系統有簡單型、具轉換開關及並聯型等多種，污水處理廠依設備要求及重要程度，一般採並聯型者。
3. 蓄電池容量至少允許中斷供電時間15～30 分鐘，如中央控制盤至少30 分鐘，區域控制盤至少15 分鐘。

10.5.4 電氣計測監控用電源設備

計測監控用電源設備參考下列選用之：
1. 計測監控用電源設備之容量，應滿足其負荷之種類、計測監控之目的及重要程度而定。
2. 信賴度宜高，維護應容易。
3. 依需要而定，可為直流電源或交流。

解說：

電氣計測監控用電源設備，一般高、低壓受電時，由電源側經變壓器或比壓器取得交流電源。特高壓受電時，常採直流電源設備，基於信賴度宜高，性能穩定，安全可靠，維護應容易。

10.6 儀控計測設備

污水處理廠計測設備，其輸入變數裝置稱為初級元件或檢測器或感測器；轉換與傳訊設備，由初級元件測量結果轉換成為有用信號或壓力裝置，如差壓傳訊器稱為二級元件，用來控制調整程序用如控制閥、泵，則稱為最後控制元件。

污水處理廠計測設備參考下列選用之：

1. 污水處理廠對現場計測項目加以測量，目的在即時了解其變數值，是否維持在合理的設定值或穩定的變化範圍內。
2. 污水處理廠，一般現場計測項目有溫度、壓力、流量及液位等，對特殊用途及目的而量測，如pH 值、好氧池溶氧、入口氮濃度及餘氯量、水質分析表計及氣體偵測器等因系統需求而異。
3. 現場計測項目之計測原理及構造雖互異，但均將測量結果轉換成有用之信號，並傳送到控制器，再由最後控制元件執行之，以構成一個完整之自動控制系統。

解說：

1. 污水處理流程選用計測設備時，應視污水處理廠規模、特性、現場裝設條件及維修能力，其量測項目及元件，如表10.3及表10.4。
2. 污水處理廠一般現場計測項目應依下列考量：
   1) 應考慮裝設計測設備之目的、性能、精確度、靈敏度、響應時間、 安全性、經濟性、外殼保護構造與引用電源等作正確之選擇。
   2) 計測設備皆有其基本特性存在，可分為靜態與動態特性，靜態特性如準確度、精密度、靈敏度及重現性。動態特性如響應度及逼真度。
3. 電氣信號一般為4～20 mA 或1～5V；空氣壓力信號一般為3～15 psi(0.2～1.0kg/cm^2)，所有信號將轉換成電氣信號，以執行控制。

表 10.3 污水處理廠各處理單元之量測項目

處理單元		名稱量測項目
污水處理	擋水設施	渠道水位、渠道閘門開度、擋水閘門開度
	攔污設施	液位差
	沉砂池	沉砂池水位、pH 值、空氣量、抽砂量
	抽水井	濕井水位、出水口水位、泵出水口閥開度、泵轉速、冷卻水量、乾井溫度、有害氣體
	調節池	出流水量、調節池水位、pH 值
	初級沉澱池	進流水量、進流閘門開度、初沉污泥量、初沉污泥濃度、出流水位、污泥介面、進流pH 值
	鼓風機	鼓風機吸入溫度、吸入口開度、送風口開度、鼓風機送風量、鼓風機送風溫度、鼓風機送風壓力、鼓風機轉速、振動、噪音
	曝氣池(氧化渠法)	進流水量、水面曝氣機葉輪浸水深度、中游及下游溶氧、混合液懸浮固體物、出流水量、出流水堰高度、進流水調節口開度、渠道水流速、污泥容積(SV-30)
	曝氣池（標準活性污泥法）	進流水量、風量調節口開度、空氣流量、溶氧、混合液懸浮固體物、曝氣池水溫、出流水量、進流調節口開度
	生物反應池MLE（缺氧-好氧法）	進流水量、風量調節口開度、空氣流量、好氧池溶氧、混合液懸浮固體物、曝氣池水溫、缺氧池氧化還原電位、好氧池pH 值、出流水量、進流調節口開度、循環水量、入口氮濃度
	生物反應池A^{2}0	進流水量、風量調節口開度、空氣流量、好氧池溶氧、混合液懸浮

	（厭氧-缺氧-好氧法）	固體物、曝氣池水溫、厭氧池氧化還原電位、凝聚劑加入量、凝聚劑貯留池液位、循環水量、好氧池pH 值、出流水量、進流調節口開度、循環水調節口開度、曝氣池水位、缺氧池氧化還原電位、入口氮濃度、入口磷濃度、曝氣管曝氣壓力
	二級沉澱池	進流水量計、迴流污泥量、廢棄污泥量、迴流污泥濃度、廢棄污泥濃度、泵轉速、污泥槽水位、出流水pH 值、出流水磷濃度（厭氧-好氧法、厭氧-缺氧-好氧法）、出流水氮濃度（厭氧-缺氧-好氧法）污泥介面、污泥容積、污泥調節閥開度
	消毒設備(次氯酸鈉)	次氯酸鈉加藥量、次氯酸鈉液位或貯存量、餘氯量
	消毒設備(氯氣)	液氯貯存量、氯氣檢漏設備、餘氯量、加氯量、稀釋水量
	消毒設備(臭氧)	臭氧濃度、臭氧餘剩濃度、加藥量、稀釋水量
	消毒設備(UV)	液位高度、濁度、各燈管使用狀態、UV 強度
	放流泵	放流池水位、放流泵轉速、放流口開度
	放流口設備	放流水量、放流水體水位、水質分析、放流口開度、化學需氧量、pH 值、餘氯量、閉路監視設備、氨氮、導電度、懸浮固體物
	輸泥設備	污泥流量、污泥貯槽液位、污泥抽水機出口壓力、污泥抽水機轉速、污泥濃度
	活性污泥膜濾法(MBR)	產水系統：產水泵流量計、膜濾池液位計、膜池污泥濃度計、膜壓力計 氣洗系統：膜濾池鼓風機風量計、膜濾池鼓風機風壓計反洗系統：反沖洗流量計、反沖洗泵浦壓力計 藥洗系統：加藥泵壓力計 污泥迴流、廢棄系統：廢棄污泥流量計、廢棄污泥抽水機壓力計、迴流污泥流量計、迴流污泥壓力計
	分批式活性污泥法(SBR)	池槽液位計、污泥濃度計、溶氧計、pH、混合液態懸浮固體物(MLSS)
	快濾設備	前後貯水槽流量計、前後貯水槽液位計、快濾設備壓力計、快濾設備壓力指示警報器
	除臭設備	氫氧化鈉液位或貯存量、次氯酸鈉液位或貯存量、硫酸液位或貯存量、氫氧化鈉加藥量、次氯酸鈉加藥量、硫酸加藥量、pH 值、氧化還原電位
	重力濃縮槽	進流污泥量、濃縮槽液位、污泥界面、濃縮污泥出流量、濃縮污泥濃度
	機械濃縮設備	污泥貯槽（進流污泥及濃縮污泥）液位、進流污泥量、進流污泥濃度、濃縮污泥量、濃縮污泥濃度、濃縮設備驅動偵測（如轉速、溫度、振動）、加藥量、加藥槽液位
	污泥消化槽(厭氧消化槽)	進流污泥量、污泥消化槽液位、污泥消化槽溫度、抽除消化污泥量、抽除污泥濃度、上澄液流量、抽出瓦斯流量、消化瓦斯硫化氫濃度、消化瓦斯壓力、消化瓦斯溫度、加溫蒸氣量、污泥消化槽出口開度、pH 值、甲烷（含二氧化碳）濃度、污泥消化槽氧化還原電位
	污泥消化槽(好氧化槽)	液位計、污泥濃度計、進流污泥流量計、污泥厚度計
	污泥脫水設備	污泥貯槽（濃縮及消化）液位、進流污泥量、進流污泥濃度、脫水污泥量、脫水污泥含水率、污泥脫水設備驅動偵測（如轉速、溫度、振動）、加藥量、加藥槽液位
	鍋爐	給水量、重油量、供給瓦斯量、鍋爐溫度、加熱蒸氣量、爐槽水

		位、爐內壓力、重油貯留槽液位
	瓦斯貯槽	瓦斯貯槽壓力、消壓槽壓力、受水槽壓力、鍋爐供給瓦斯量、剩餘瓦斯燃燒量、瓦斯漏洩檢測、瓦斯貯存量、硫化氫濃度
	消化瓦斯發電設備	冷卻水溫度、燃料瓦斯流量、燃料瓦斯壓力、燃料瓦斯溫度、廢氣溫度。發電機轉速、發電機線圈溫度。廢氣氮氧化物濃度、廢氣含氧濃度、出口廢氣溫度、廢氣熱交換出口溫水溫度。消化瓦斯流量、壓力、溫度、熱量
	污泥貯槽	進流污泥量、貯槽液位
備用緊急發電設備		電壓、電流、功率因數、頻率、燃料貯留量、發電機及柴油引擎各部之溫度、振動、冷卻水量、廢氣溫度
其他		大氣溫度、濕度、大氣壓、降雨強度、雨量、風向、風速自來水使用量。廠房作業環境如硫化氫、甲烷、氫氣之偵測器、風量及空間溫度、二氧化碳、一氧化碳、LEL 爆炸下限。

10.7 自動化與監控系統

大、中及小規模之污水處理廠，由於人工操作已不符需求，因此，導入自動化與監控系統，所謂自動化與監控系統，皆由監控設備與自動化裝置兩大部分所組成，被監控計測設備，在污水處理過程中，如泵、閘門、撈污機、鼓風機、污泥濃縮、脫水機等，需要計測之參數很多，如進流水之流量、曝氣池之空氣流量、污水中之pH值、溶氧、污泥濃度、消化池內之溫度、液位及壓力等。以流量、壓力液位及溫度等最能有效監控。自動化裝置至少包含三種功能：(1)自動檢測、指示及記錄裝置。(2)自動監視、保護(聯鎖)及警報裝置。(3)自動操作裝置等，其目的及可能達到之效果，包括節省人力、減少人為操作錯誤、降低能源損耗及運轉費用等。

自動化與監控系統較可靠且常用的控制系統，可分為可程式控制器(PLC)系統、分散式控制器(DCS)系統等。可程式控制器系統隨著微電子技術、計算機技術、自動控制技術及通訊技術之迅速發展，性能得到根本性之提升，增加數學演算、數據處理、圖形顯示及聯絡通訊等功能，雖然各廠家之具體結構不盡相同，但基本結構一般都是由中央處理單元、輸入輸出單元、電源及其他外部設備所構成，適用於中、小型污水處理廠。分散式控制器系統是生產過程監視、控制技術發展及計算機網路技術應用之產物，它是縱向分層、橫向分散之大型綜合控制系統，以多層計算機網路為依據，將分布在廣大範圍的各種控制設備和數據處理設備聯接在一起，實現各部分信息共享及協調工作，共同完成各種控制管理及決策功能。分散式控制器(DCS)系統典型結構，包含現場設備、控制設備、監視設備及管理設備等，適用於中、大型污水處理廠，作為自動化監控系統。

表 10.4 常用各量測項目之量測元件

量測項目	量測值/量測元件	適用對象
流量	1.差壓式 測量元件：孔口板、皮托管、文氏管	液體/進流渠，氣體/風管
	2.電磁場及電壓變化式：電磁式流量計	液體/污泥/污水進流
	3.螺旋轉動式：渦流式流量計	乾淨液體
	4.超音波式：超音式流量計	液體/明渠，污泥
	5.水面的高度差式 測量元件：巴歇爾式、堰	液體/明渠
壓力	1.平衡壓力作用於金屬膜片兩側式。測量元件：液體對空氣膜片器	氣體、液體/管線0～200kN/m^2
	2.變位式。測量元件：伸縮管	氣體/風管0～20000kN/m^2
	3.曲管變位式。測量元件：巴登管	氣體/管線 0～35000kN/m^2
液位	1.浮球移動式。測量元件：浮球或浮筒	液體/桶槽0～11m
	2.空氣泡沫背壓式。測量元件：泡沫浸管	液體/ 濕井/ 初沉池 2～56m
	3.空氣壓力式。測量元件：膜片器	液體0～15m
	4.超音波式：超音式液位計。	明渠/水池
	5.電極式：電極式液位計	明渠/水池
污泥液位	1.光電管式(光電管流過污泥覆蓋之光速檢測)：光電管式液面傳送器	初沉池、終沉池及重力式濃縮槽的污泥覆蓋層
	2.超音波式：超音波式液面傳送器	初沉池、終沉池及重力式濃縮槽
	3.電阻變化式。測量元件：電阻體檢測器	厭氧式消化槽、熱水鍋爐、馬達線圈、設備軸承
溫度	電壓，電流式：轉速計	發電機、抽水機、攪拌機機械曝氣機
濃度	1.輻射光式：γ輻射儀	初沉污泥、濃縮污泥混合液懸浮固體物(MLSS)、迴流污泥、廢棄污泥及消化污泥
	2.超音波式：超音波式發射器及接受器	濃縮污泥混合液懸浮固體物(MLSS)、迴流污泥，廢棄污泥及消化污泥
酸鹼度(pH)	電壓式(基於氫離子活動而產生)。測量元件：離子電極	廢水進流，調節池，生物反應池、厭氧式消化槽，污泥脫水及放流
氧化/還原電位(ORP)	電位差式(基於氧化或還原而產生之電位差值)。測量元件：氧化/還原的電極體	厭氧式消化槽、去氮除磷系統缺氧及厭氧段
溶氧值(DO)	電流式(因氧分子的減少而感應之電流)。測量元件：電極體檢測器	污水進流及放流、曝氣池污泥好氧消化槽
總有機碳(TOC)	取樣二氧化碳式：含碳分析儀	廢水進流、放流及曝氣池
餘氯	電流輸出式 測量元件：含氯殘餘量檢測器	氯液槽、廢水放流所含氯殘餘量值
甲烷與硫化氫及二氧化碳等氣體	測量元件：甲烷與硫化氫及二氧化碳分析儀	厭氧式消化槽所產生的消化氣體量及濕井區、進流抽水站、前處理機房、污泥處理機房

污水處理廠由於處理過程中，所使用之監控儀表，在室內外不同天候及條件下運轉，且種類繁多，結構複雜，進流抽水站等更具有爆炸性、腐蝕性或防水性等特點，因此，維修人員須透過對現場操作流程、檢測過程、自動化系統組成之了解，細心保養，包含設備之清潔維護，誤差、精確度及靈敏度等之性能校對，以確保良好操作運轉狀態，獲得準確可靠之測量數據。

污水處理廠中央監控系統，不論規模大、中及小，應至少由儀控系統工作站主機/副機及軟體、資料處理伺服器、自動控制監控系統工作站及軟體等系統組成。全廠處理流程由複置式(Redundancy)可程式監控系統(PLC)及儀錶設備作各處理單元之操作、監視、控制、警報及記錄等，依功能應具有以下系統：(1)流程控制系統。(2)水質監測。(3)資訊管理系統。(4)電力監視系統。

全廠儀控系統架構至少由三大部分所組成：(1)現場儀錶、機械設備及單元控制盤(2)區域控制系統之分散式控制單元(CU)(3)中央監控系統工作站。全廠儀控系統依處理需求設置數處區域控制系統，分別負責監控各處理單元之運轉狀態，並將全廠各單元電力與水量水質之現場量測及指示訊號，傳輸至區域控制系統操控，並透過高速通訊網路，彙整至中央監控中心集中監控與儲存。關鍵性操作參數應設計自動控制迴路，自動依處理流程負載變化做適度調整操作，並可保護人身安全及避免廠站設備遭致損壞。

中央監控系統須涵蓋全廠各處理單元，並需預留各處理單元日後擴充設備時之容量，並可利用中央監控中心之資訊處理功能，提供資料收集及報表列印、電腦連線及問題診斷，並可顯示設備啟動停止次數及每日、每月、每年運轉時數累計值。中央監控系統工作站必須具有OPC UA(Object Linking and Embedding for Process Control Unified Architecture)Server 功能，可提供圖控系統監控/記載數據(如各主要設備運轉、電力資訊、水量水質監控量測數據及其他相關感測資料)給內部或外部OPC UA Client 遠端連接與取值。圖控系統平台經資料匯出連結機制(如OPC UA Client)等連結取出之監測數據(如各主要設備運轉、電力資訊、水量水質監控量測數據及其他相關感測資料)，應遵循營建署規範之資料格式、擷取頻率、檔案命名與存檔位置，自動定時產出及儲存傳輸檔案，並安裝營建署發佈的自動傳輸程式(請參閱「數據採擷及資料傳輸設置規範」)，將數據依據訊號編碼解譯原則編譯後，完整正確傳送至「營建署污水下水道資料整合雲平台」接收儲存。

上傳至「營建署污水下水道資料整合雲平台」之訊號編碼解譯，應依據內政部營建署公告之相關規定辦理：(1)新建廠建置儀控系統作業須配合下水道雲端管理雲及智慧管理系統，必須依據各污水處理廠竣工後流程控制示意圖(P&ID 圖)之硬體設備編號，及其自身全廠處理流程涉及各處理系統、單元、設施與處理設備(機電設備、附屬設備、電力/水質監測儀器)及其設備設施單元所屬或依存關係，遵循營建署資料架構邏輯規定建構專屬各污水處理廠之處理系統設備資料庫，其中訊號歸屬編碼應依據原硬體設備編號編撰。(2)既有舊廠擴充作業涉及全廠各單元電力與水量水質之現場量測及指示監控數據，相關訊號編碼解譯原則或OPC UA Item ID List 規則，如公共工程會第13800 章儀控附系統監控基本需求及數據採集及資料傳輸設置規範之說明。

為了杜絕不法廠商惡意排放污廢水，依據水污染防治措施及檢測申報管理辦法規定：「事業、發電廠、工業區專用污水下水道系統及公共污水下水道系統等應依規定完成水量、水質自動監測設施、攝錄影監視設施、連線傳輸設施及放流水水量、水質自動顯示看板之設置」，如果事業與污水處理廠排放水量達行政院環境保護署所定規模以上，就必須依法設置廢(污)水自動監測(視)設施。另外同管理辦法亦規定，如有水污染防治法規定之繞流排放、大量排放污染物與排放公告有害健康物質等情形的事業，屬於重大違規的事業，所以也要安裝廢(污)水自動監測(視)設施，讓業者放流水排放狀況無所遁形。

10.7.1 自動化系統之設計

自動化系統之設計依下列決定之：

1. 自動化與監控系統之架構，係依污水處理廠大、中及小規模，由現場、中央及聯繫網路所構成。
2. 自動化與監控系統依污水處理廠而定，分為個別監視操作方式及中央採集中監視運作。
3. 中央監控系統由顯示、監視、警示、記錄、控制等設備所構成。
4. 聯繫網路為傳送現場與中央儀控訊息之媒介。
5. 控制點點之數量，應考慮未來擴建之需求，各分區至少保留20%。

解說：

1. 污水處理流程自動化設計與選用計測儀表時，應視污水處理廠規模、特性、現場裝設條件及維修能力而定。採計測項目與PLC 或DCS 監控系統組合。
2. 污水處理廠自動化與監控系統(中央監控中心)，小規模者以個別控制功能式需求而定，中央採集中監視運作；中規模者現場可採個別控制操作或套裝設備單元控制，中央採集中監視方式，或採集中監視、分散控制方式(DCS 系統)運作；大規模者則現場可採個別監視操作或套裝設備單元控制，中央採集中監視、分散控制方式操作。控制系統架構說明，如表10.5及圖10.3～圖10.6所示。各處理單元之程序控制採手動式及自動式控制，應依規模、維修能力及需要性決定之，如表10.6。
3. 中央監控中心(室)需依污水處理廠規模與監控及操作需求而定，由控制、顯示、監視、警示及記錄等設備組成，除負責全廠各系統之控制、顯示、監視、警報、安全保護及連鎖控制外，亦提供完整之資訊服務包含維修、管理等資料之收集。
4. 聯繫網路為整個儀控系統各單元或現場與中央控制室之間，信號傳送與接收之主要骨幹，小型監控系統可採雙絞線(Cat 6)及高頻同軸電纜網路；中、大型規模可採光纖網路，惟有透過正確之網路銜接，才能執行通信、量測與監控任務。
5. 控制點之點的數量，各分區至少保留20%，以便未來擴建之需求。

表 10.5 自動化系統架構

處理廠規模	儀控設施內容及功能		備註
	現場	中央	
小規模(設計處理水量5,000CMD以下)	量測元件、轉換器、傳信器、控制器及最後控制元件	重要之操作資訊之顯示、警示、記錄	中央僅監視，控制功能視需求而定
中規模(設計處理水量30,000CMD～5,000CMD)	量測元件、轉換器、傳信器、控制器及最後控制元件(現場操作器)及套裝設備單元控制盤及區域控制盤	1.重要之操作資訊之顯示、警示、記錄。 2.較複雜之單元與區域聯鎖控制。	1.中央對現場控制器/分區之控制盤僅監視不控制。 2.單元及設備間聯鎖控制應以現場為主。 3.中央對現場之控制在現場有裝設

			閉路監視設備(CCTV)且無安全顧慮時，可設置遠端直接控制。
大規模(設計處理水量30,000CMD以上)	量測元件、轉換器、傳信器、控制器及最後控制元件(現場操作器)及套裝設備單元控制盤及區域控制盤	1.重要之操作資訊之顯示、警示、記錄。 2.除套裝設備現場控制器(盤)之控制外，整廠完整之控制盤。	1.中央對套裝設備現場控制器僅監視不控制。 2.中央對分區之控制盤除監視外，可強制(over-ride)進行控制。 3.中央對現場之控制在現場有裝設閉路監視設備(CCTV)且無安全顧慮時，可設置遠端直接控制。

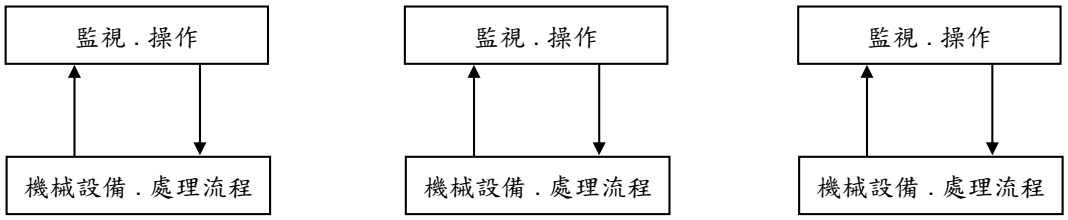


圖 10.3 個別監視操作方式

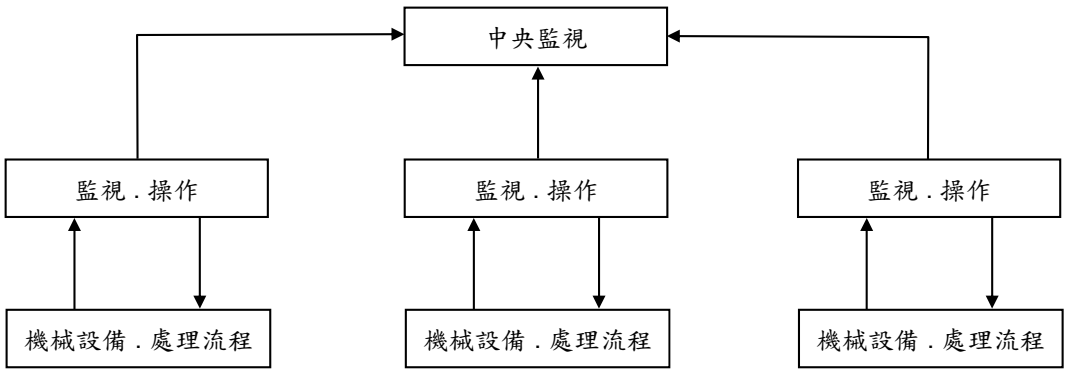


圖 10.4 集中監視個別操作方式

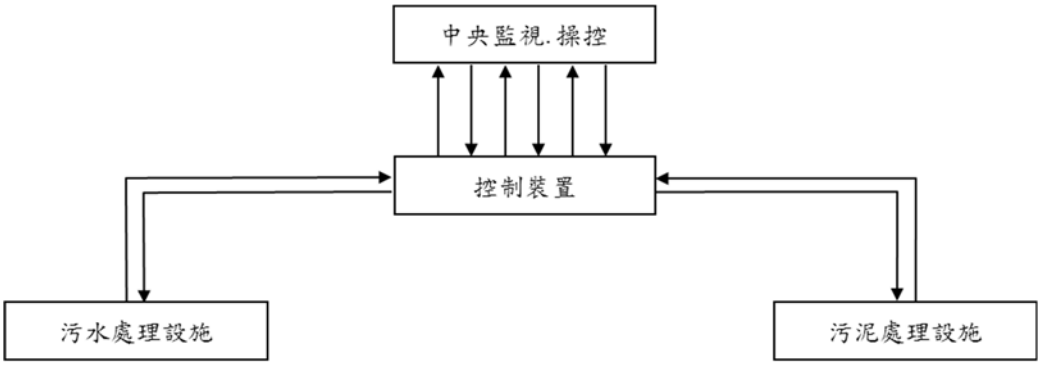


圖 10.5 集中監視集中控制(操作)方式

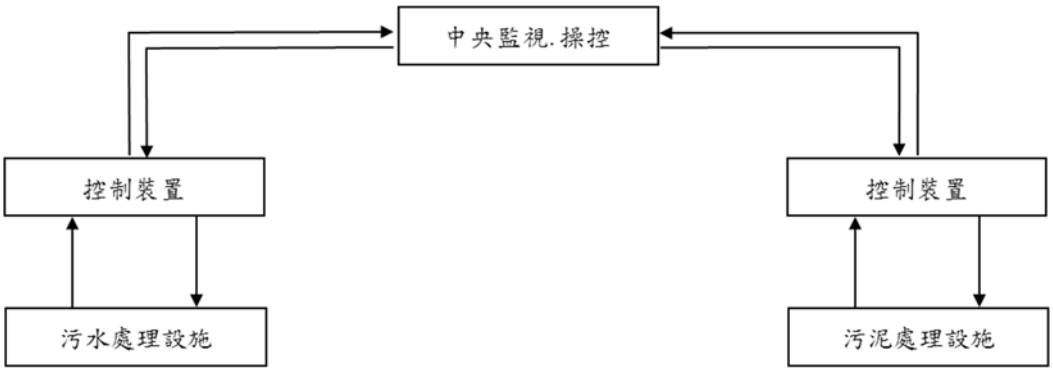


圖 10.6 集中監視分散控制方式

表 10.6 各處理單元程序控制方式

設備處理單元	手動式	自動式
進流（放流）泵	手動啟停/調節	依水位進行變轉速泵、多台定速泵、定速及變速泵組合、交替運轉
攔污柵	手動啟停/調節	間隔時間、液位差
沉砂池抽砂泵、攪拌機(渦流式)鼓風機(曝氣式)洗砂機	手動啟停	固定流量、間隔時間、周邊設備連鎖控制、交替運轉
沉澱池污泥抽水機	手動啟停	固定流量、間隔時間
沉澱池刮泥機	手動啟停	連續運轉
生物處理鼓風機	手動控制	主管風壓控制或曝氣槽溶氧控制
生物處理機械曝氣機、攪拌機、循環泵	手動啟停	連續運轉
廢棄污泥抽水機	手動啟停/調節	固定流量、污泥間隔時間控制、交替運轉
迴流污泥抽水機	手動啟停/調節	依污水量比例調整流量、依流量進行變轉速泵、多台定速泵、定速及變速泵組合、交替運轉
消毒加氯系統	手動啟停/調節	流量比例控制、流量比例與餘氯組合迴路控制、餘氯控制
砂濾系統	手動啟停/調節	由液位、壓力差控制反沖洗水設備，反沖洗後之濾層級配藉由鼓風機送入空氣重新分配
厭氧消化系統	手動調節	各子系統或迴路自動控制
好氧消化池系統	手動調節	手動調節 必要時設置溶氧與空氣量迴路控制

污泥濃縮機/脫水機	手動啟停	系統周邊設備連鎖控制

10.7.2 監控系統及安全防爆之設計

監控系統之設計考量下列決定之：

1. 污水處理廠監控系統設計，包含儀控設備之選擇、管線之設計、配電系統設計、接地及避雷系統設計等。
2. 應依各污水處理廠之規模、處理設施配置等充分考量，以達到預期的目標。
3. 抽水站濕井區、濃縮槽及消化槽等有加蓋之地方及其配電設備之場所，應充分考量安全防爆設計。

解說：

1. 監控系統之設計考量事項包括：

(1) 污水處理廠監控系統設計，應配合污水處理廠之規模及處理流程，繪製P&ID(管線及儀表圖)與廠區監控系統圖，如表10.7及圖10.7～圖10.12所示，包含初級元件、控制器、最終控制元件、現場及遠方控制開關、指示燈及警告聲光、電氣控制及監控設備配置等。

初級元件與控制器及最終控制元件選擇，應注意事項分述如下：

1) 初級元件及控制信號種類，應依其目的選擇。
2) 初級元件之選擇，應考慮精確度、靈敏度、響應時間、安全性、經濟性、統一性、擴充性、各種信號特徵及量測原理與構造等。
3) 控制器選用之種類及裝設方式，應適合其使用目的，儀表盤應適合其管理方式，並應與主控室相配合。
4) 控制器可由處理單元之PLC 控制器、I/O 處理器、電源控制器、輸出入模組、通訊模組、安裝機座、交換器、橋接器及路由器等組成，為確保系統之執行效能，需現場測試並提出報告，供業主認可。
5) 最終元件應依其操作目的，視需要選擇具有遙控或/及現場操作裝置。控制閥之型式及口徑，應為最適合控制目的者。操作抽水機與其他設備所組合之控制設備，應適合其操作目的且需操作安全。

(2) 機械管線之設計安裝時應注意事項分述如下：

1) 加藥管線之儀表控制設備，應能達到最佳之加藥效果，其量測主要部分，應具充分之耐腐蝕性。
2) 抽水機管線其儀表控制設備，應符合運轉之目的控並考量以經濟、安全及可靠之操作為原則。
3) 流量量測元件設置時，其安裝位置，應考量儀表示特性與使用限制，審慎選擇，以減低誤差，一般設置準則如下：
   A) 壓力管線式流量計，應於上游直線穩流段至少為5倍管徑，或於下游至少為5倍管徑，或依儀表廠商建議調整之。
   B) 明渠式巴歇爾量水槽：上游直線穩流段至少為最大流量下喉寬之10倍。液位量測點之距離，依標準槽體尺寸決定，於下游端為自由跌水式(Free fall)設計時，為一點量測，於下游端為浸沒式(Submerged flow)設計時，則為兩點量測。

C) 明渠式堰上游直線穩流段控至少為最大之堰上水頭之20 倍，堰板上游之液位量測點距離堰板控至少應有3 倍之最大堰上水頭。

4) 儀表控制設備控應提供管理上所必要之流量、水位、酸鹼值、溶氧量、溫度、壓力、餘氯量、濁度及污泥濃度等數據，並考慮操作人員安全，裝設甲烷、硫化氫或一氧化碳等危險氣體之偵測。

5) 儀控電氣管線之設計安裝時應注意事項：

A) 儀控設計應參照最新之法規及標準，如ISA(Instrumentation Society of America)。

B) 儀控用電線、電纜及導線管之配置，須遵照經濟部最近頒布「用戶用電設備裝置規則」及「輸配電設備裝置規則」有關之規定設計。

C) 進出有危險氣體蓄積空間之儀控管路，如抽水站濕井區、欄污柵區濃縮槽、消化槽區等，應於管路上適當處所加裝防爆管封配件，並於完成穿線後，以填縫劑(封閉混合物)密封。

D) 抽水站濕井區，屬防爆區及防蝕區，應避免有穿越乾、濕井隔牆之儀控管路，若無法避免時，應依規定採用防爆管封配件加以密封，並以防蝕塗料保護。

E) 儀控導線管之材質需配合實際需求選用，採金屬管或非金屬管。金屬管依管壁厚度，分為厚導線管、薄導線管、EMT 管及可撓金屬管四種；非金屬管係指PVC 製成之電氣用硬質塑膠管或合成樹脂可繞導線管。原則上，厚導線管及EMT 管，比較不適用於發散腐蝕性物質之場所，若使用時則須施行防蝕塗料保護;非金屬管不得使用於有危險氣體存在與高溫及容易受機械碰損之場所。暗管以採用硬質塑膠管為主，明管採用金屬管厚導線管為主;有多條電纜之路徑相同時，為方便敷設，非防爆區可採電纜架或電纜槽。

F) 儀控配管須注意配至儀器或連接箱之高度，屋外儀控設備管線配置，不可高於儀器或連接箱底部，以防儀器設備進水。

G) 所有信號導線管，由屋外進入屋內之落地式配電盤之管線，應以矽利康(Silicon)填塞，以防螞蟻或老鼠咬破電纜絕緣層，或使水氣及硫化氫等氣體藉管線進入箱體，腐蝕電氣接點。

H) 電線管內導線之總截面積佔電線管截面積之百分比，須符合「用戶用電設備裝置規則」之規定。

I) 電纜敷設時應儘量避免穿越建築物伸縮縫，如無法避免時，則應採取相應之保護措施。

J) 所有信號導線應避免與電力交流導線平行，並至少與電力交流線相距60 公分以上，若無法避免交叉時，應保持垂直角度，以抗電磁干擾。

K) 有控制電纜置於不同的電線管內必須予以編號，以利查核。

L) 不同類型之信號，例如直流與交流信號，或電流(4-20mA)與電壓(1-

5V)信號，電力與警報及連鎖控制等交流信號之配線，應分別置於不同的電線管內。

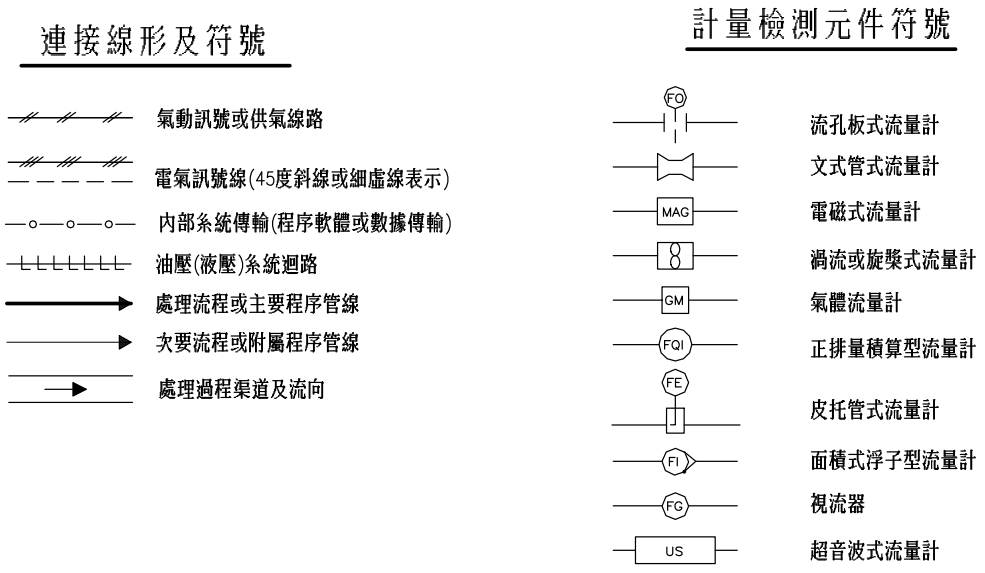
表 10.7 儀表符號引用字母意義說明表

字母 LETTER	第一位字母 FIRST-LETTER		後續字母 SUCCEEDING-LETTER		
	被測變數或引發變數 MEASURED OR INITIATION VARIBLE	修飾詞 MODIFIER	讀出功能 READOUT OR PASSIVE FUNCTION	輸出功能 OUTPUT FUNCTION	修飾詞 MODIFIER
A	分析 ANALYSIS		警報 ALARM		
B	燃燒器、火焰 BURNER		程式設定 PROGRAMMER		
C	導電度 CONDUCTIVITY			控制 CONTROL	
D	密度(比重)DENSITY OR SPECIFIC GRAVITY	差量 DIFFERENTIAL			
E	電壓 VOLTAGE		檢測元件 PRIMARY ELEMENT		
F	流量 FLOW RATE	比例 RATIO			
G	劑量(容量尺寸)GAGING (DIMENSIONAL)		視鏡 GLASS VIEW DEVICE		
H	手動(人工)HAND (MANUAL)				高 HIGH
I	電流 CURRENT(ELECTRIC)		指示 INDICATE		
J	功率 POWER	掃描 SCAN			
K	時間、時間表 TIME OR TIMESCHDULE	變化速率 TIME RATE OF CHANGE		控制站 CONTROL STATION	
L	水位 LEVEL		燈號 LIGHT		低 LOW
M	馬達(水分或濕度)MOTOR(MOISTURE OR HUMIDITY)	瞬時 MOMENTARY			中間 MIDDLE OR INTERMEDIATE
N	振動 VIBRATION	點火 IGNITER			
O	操作 OPERATION		節流孔口或限制 ORIFICE OR RESTRICTION		

表 10.7 儀表符號引用字母意義說明表(續)

字母 LETTER	第一位字母 FIRST-LETTER		後續字母 SUCCEEDING-LETTER		
	被測變數或引發變數 MEASURED OR INITIATION VARIBLE	修飾詞 MODIFIER	讀出功能 READOUT OR PASSIVE FUNCTION	輸出功能 OUTPUT FUNCTION	修飾詞 MODIFIER
P	壓力或真空 PRESSURE OR VACCUM		點(試驗接頭)POINT (TEST CONNECTION)		
Q	數量或事件 QUANTITY OR EVENT	累計或總和 INTEGRATE OR TOTALIZE			
R	放射(輻射)線		紀錄或印出		

	RADIATION		RECORDOR PRINT		
S	速度或頻率 SPEED OR FREQUENCY	安全 SAFETY		開關 SWITCH	
T	溫度 TEMPERATURE			傳送 TRANSMIT	
U	多種變數 MULTIVARIABLE		多功能 MULTIFUCTION	多功能 MULTIFUCTION	多功能 MULTIFUCTION
V	黏度(機械分析)VISCOSITY(MECHANICAL ANALYSIS)Y			閥件、風門 VAVLE OR DAMPER	
W	重量、力 WEIGHT OR FORCE		井口 WELL		
X	未分類變數 UNCLASSIFIED VARIABLE	X 軸 X-AXIS			
Y	事件、狀態 EVENT STATE OR PRESENCE	Y 軸 Y-AXIS		積算 COMPUTE	
Z	位置、尺寸 POSITION DIMENSION	Z 軸 Z-AXIS		執行最終件 UNCLASSFIED CONTROL ELEMENT	



字母代號：

1)在表示儀表之細線圓圈裡，可用字母組合表示該儀表之功能，如 FI 表示流量指示，F 表示流量，I 表示指示。FE 表示流量檢測元件，F 表示流量，E 表示檢測元件。

2)字母〝H〞〝M〞〝L〞可表示被測變量之〝高〞〝中〞〝低〞值，一般標示在圓圈之外。

3)字母 U 表示多種變數或多功能時，可代替兩種以上之變量或功能。

4)字母 X 表示未分類變數或未分類功能。

圖 10.7-1 連接線形計量檢測元件符號

特殊檢測符號及標示(分析類)

BOD 生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand)

CH4 可燃性氣體(Methane)

CL 氯離子(Chlorine ion)

COD 化學需氧量(Chemical Oxygen Demand)

DO 溶解氧(Dissolved Oxygen)

H2S 硫化氫(Hydrogen Suifide)

MLSS 懸浮固體物混合液(Mixed Liquor Suspend Solids)

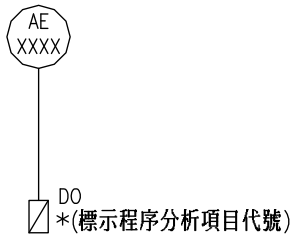
ORP 氧化還元電位(Oxidation-Reduction Potential)

PH 氫離子濃度(Hydrogen-ion Concentration)

TB 濁度(Turbidity)

TDS 總溶解固體物(Total Dissloved Solide)

TOC 總有機碳(Total Organil Carbon)



註：表中僅列舉常用分析類項目，如未列入者依實際需求增列引用。

圖 10.7-2 檢測與計算及變換器功能變數圖形符號

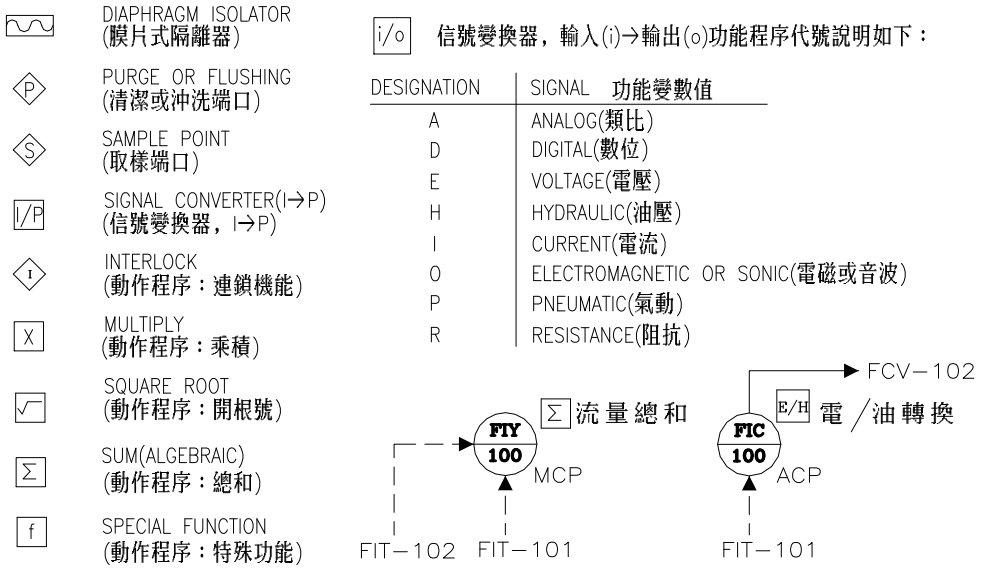


圖 10.7-3 流程設備及儀表元件符號

儀表類型	現場端元件	單元控制盤或 現場操作盤區	區域控制盤或 主控制盤區
元件或獨立 儀表及控制器			
分散控制 共同顯示控制			
分散控制兼 具計算機功能			
分散控制兼 具可程式邏輯 控制功能			

圖 10.7-4 操作開關用功能變數圖形符號

HOA　　手動 — 關閉 — 自動

OCS　開 — 關 — 停止

OCA　開 — 關 — 自動

OC　　開 — 關

L/R　現場 — 遙控(遠端中央)

DS　使用(責務)— 備用

S/S　起動(ON)— 停止(OFF)

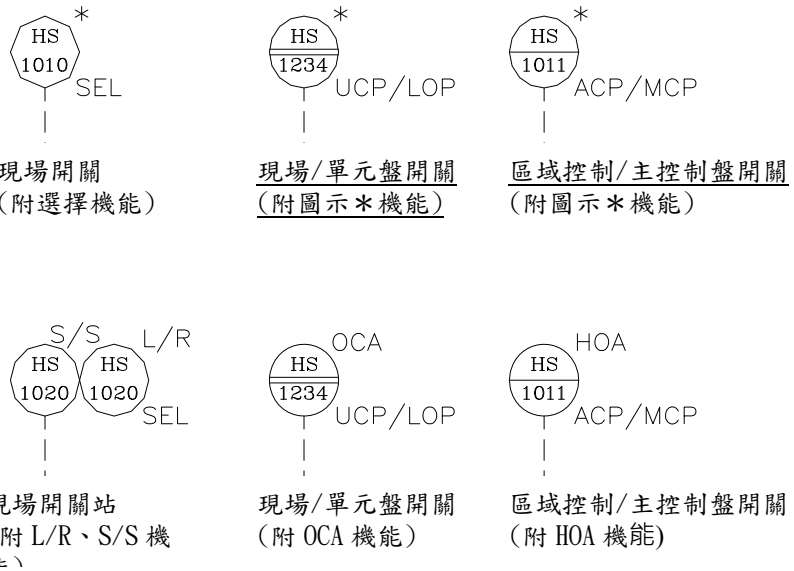
SEL　選擇器(開關)

FS　快 — 慢(雙段設定)

FR　正轉 — 反轉

LL　前導 — 滯後

FORJ 前進 — 關閉 — 反轉 — 緩行



*　記號表該項元件，屬由隨機械設備需求功能提供，安裝於現場流程端或盤體

圖 10.7-5 操作開關及盤體組裝位置代號說明

HS/UCS　操作開關/開關站(安裝現場側或盤體，以直接執行操作動作)

UCP/LOP　單元/現場控制盤(安裝於現場套裝設備區或現場端操作處)

CP　　區域控制盤(安裝於流程處理單元區域，以界定系統分區操作)

ACP　　分區區域控制盤(視流程屬性規模分區統合，以工作站型態進行區 域監控)

MCP　　主(中央)控制盤(統合全廠流程單元，進行程序監控及操作資訊管理)

圖 10.7-6 處理單元設備編號及儀表元件屬性及建置原則圖

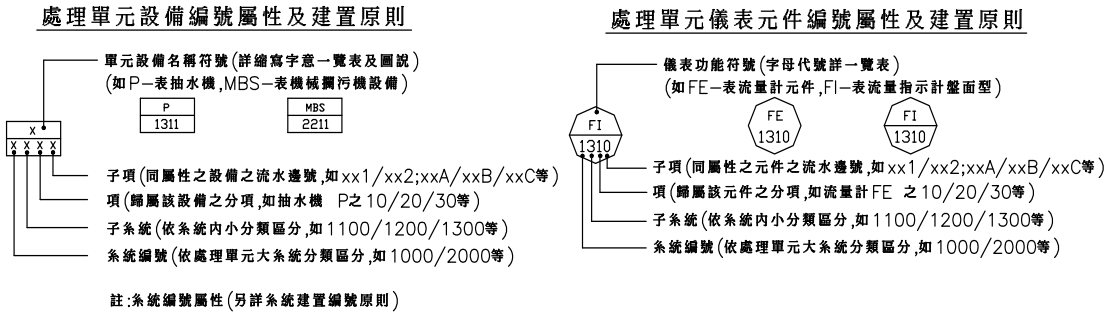


圖 10.8 儀控系統 P&ID 圖控制符號及文字說明

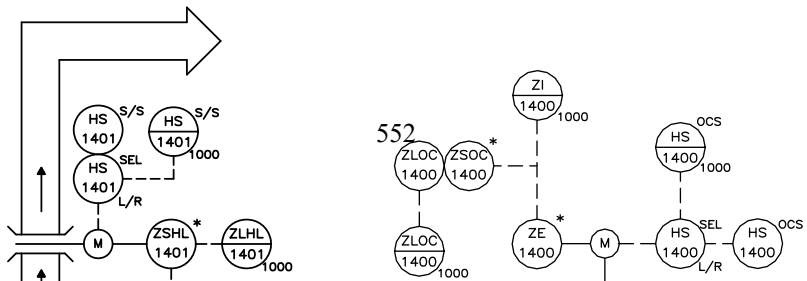


圖 10.9 儀控系統 P&ID 示意圖之一(閘門及控制閥)

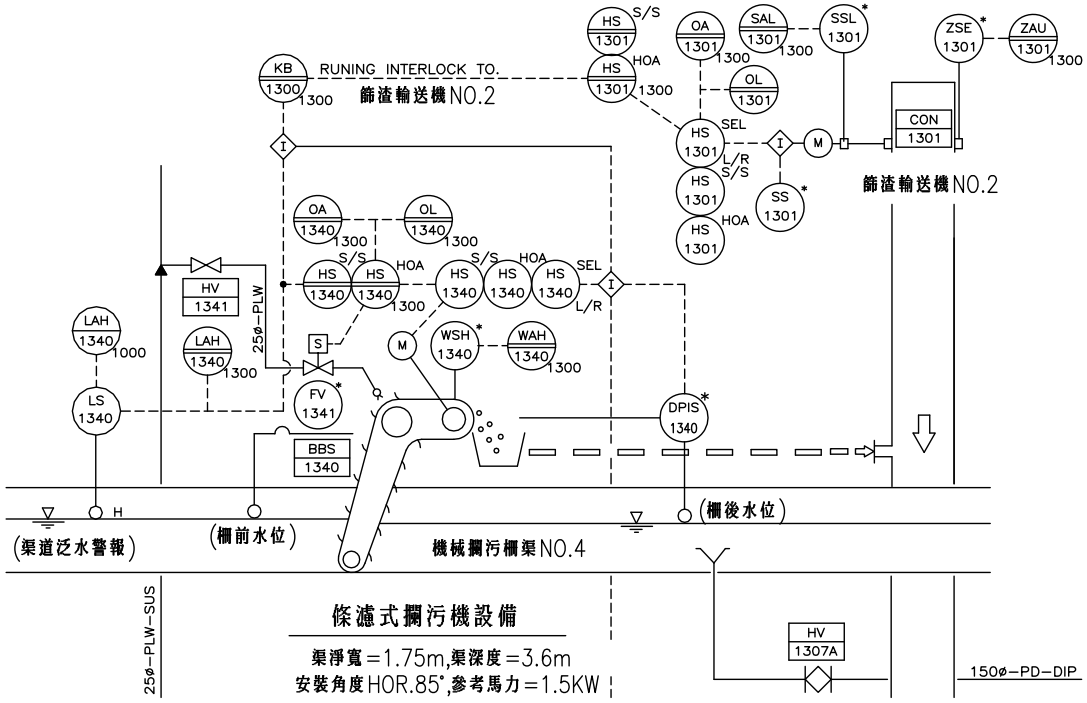


圖 10.10 儀控系統 P&ID 示意圖之二(欄污機與篩渣輸送)

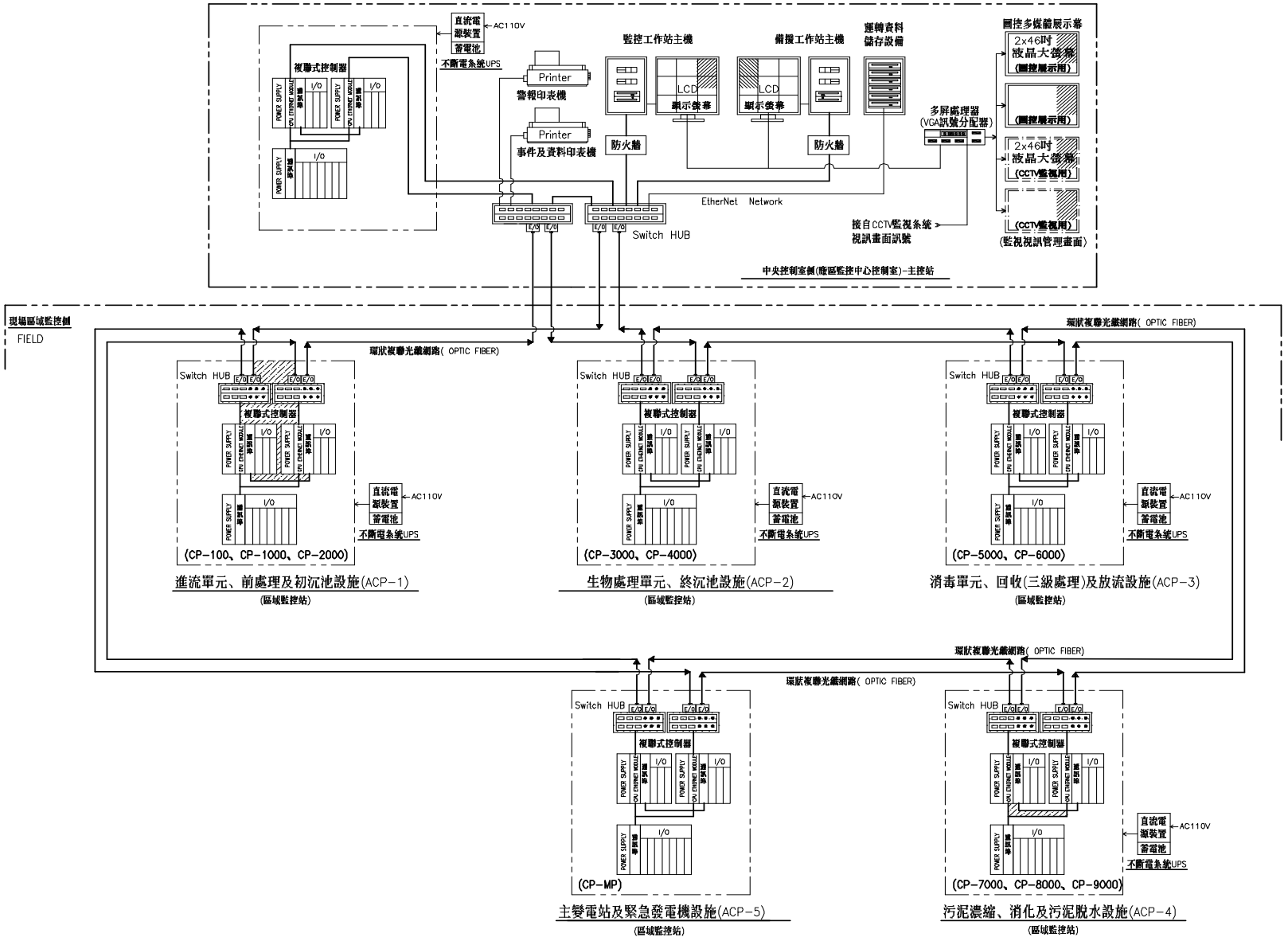


圖 10.11 電腦監控系統架構示意圖(一)

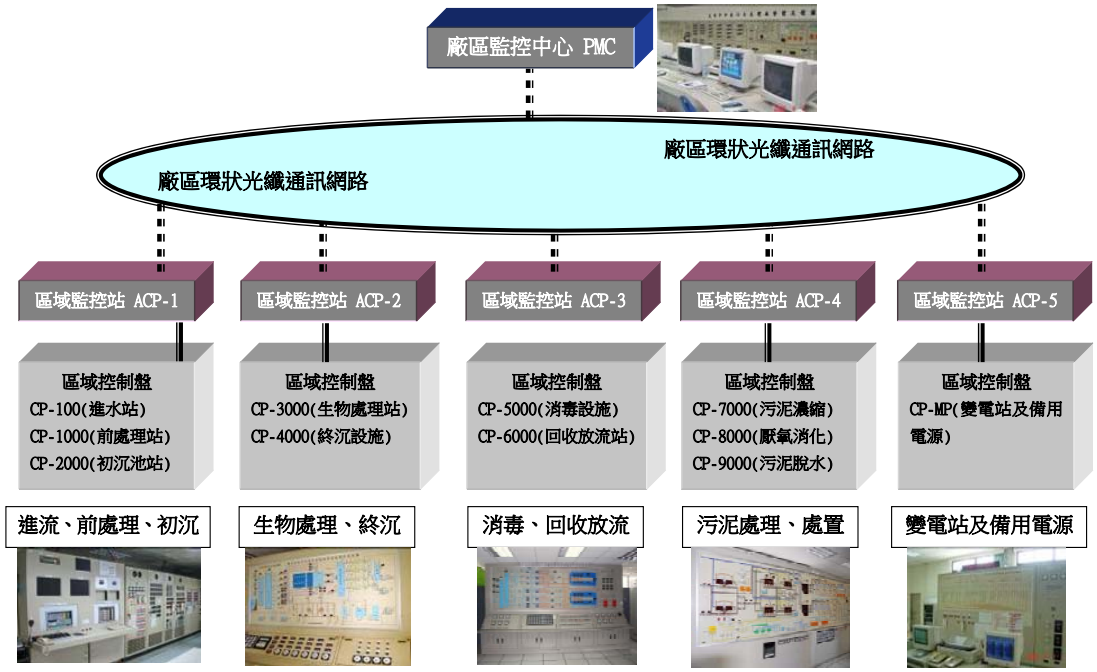


圖10.12 電腦監控系統架構示意圖(二)

M) 不同場所之信號，如防爆與非防爆區，應分別置於不同的電線管內。

N) 應配合儀表設置需求，選用合適之電纜類別。

O) 電纜敷設距離應儘量短，以避免信號受到干擾及造成過度衰減之可能。

P) 電纜敷設路徑應儘量避開大功率設備，以避免受到較強之磁場，對電氣信號產生干擾。

Q) 電纜敷設路徑應儘量避開高溫場所，以免影響電纜散熱及降低載流量。

R) 電氣信號與弱電信號，應分別置於不同的電線管內。

S) 儀控信號之傳輸應採有線傳輸，並應防止電磁感應之干擾，但經認可時，得採用無線電傳輸。長距離之傳輸線應有備用線路(或複聯)，構造物內之配管及配線，應在構造物設計時配合規劃之。信號之轉換型式及精確度，應配合控制需求選擇，以達到合適之信號傳輸。

(3) 供電系統設計安裝時應考量事項：

1) 供電電壓與頻率：採AC 1φ110V 60HZ 或1φ220V 60HZ(原則少用，安全電壓約50V，愈低愈安全。)，由電機工程提供，低於1φ110V 60HZ由儀控工程設計；DC 110V 由電機工程提供，低於110V 由儀控工程設計使用，其他能源例如空氣源、高壓水源及高壓油源時，應符合儀表

設備之要求，並具充足之容量。

2) 供電量：由儀控設計提出用電需求量，電機設計配合提供。

3) 供電品質：供電系統之電壓與頻率變動率及波形等，應符合台灣電力公司規定及儀控設備需求。

4) 正常與緊急或不斷電供電系統(UPS)：正常與緊急電源由電機工程提供，儀控用不斷電系統由儀控工程提供。

(4) 接地及避雷系統設計：

1) 儀控設備接地系統主要目的，為避免操作與維修人員意外感電及設備故障時，可減低漏電電流對設備之損害，接地電阻一般應≦5Ω以下。

2) 為避免人員及儀控設備遭受雷擊，污水處理廠應由電氣工程設置避雷系統，以保護建築物與操作人員及屋內外儀表設備之安全；而儀控設備及線路，則應由儀控工程裝設避雷器或突波吸收器保護。所有儀控系統接地網，應由電氣工程提供設計儀控工程配合銜接。

2. 各污水處理廠監控系統，應至少預留20%之輸出/輸入擴充點數，以供將來擴建或改善之需。

3. 監控系統之安全防爆之設計應注意事項包括：

(1) 初級元件應依裝設地點之環境條件作選擇，於室內可分為一般場所、防爆區及防腐蝕區等，室外可分為潮濕場所及濱海地區之防鹽害區等。初級元件之構造需配合環境條件，審慎選擇適當之保護構造及等級。

(2) 初級元件裝設於屋內濕井區、消化槽區等危險氣體(甲烷)及腐蝕氣體(硫化氫)蓄積空間時，應依「用戶用電設備裝置規則」危險氣體場所設置規定，選用耐壓防爆構造(日規1級d2G4，美規 CLASS 1 DIV.1 GROUP D，歐規Ex deIIB T4)或本質安全防爆(日規i2G4)及防蝕構造。於屋外時，應依規定選用防雨型(IEC 規定IP 54 或美規NEMA 3 以上等級)保護構造。

(3) 控制盤基於安全及價格之考量，應儘量避免設置於劃定為電氣危險場所範圍內，否則應為防爆配置。

10.7.3 中央監控中心(室)設計

中央監控中心(室)設計考量如下：

1. 污水處理廠中央監控中心(室)之設計，其監控需求應依各污水處理廠之規模大小與操作管理、維修能力等，加以評估後選定之。
2. 中央監控中心(室)之建築設計要求，以應能環視全場設置為佳。
3. 工作環境之要求應依規定為之。

解說：

中央監控中心(室)，為值班人員透過電腦自動化監控系統，藉分散式控制系統(DCS)或可程式邏輯控制器(PLC)組合之系統，對污水處理廠進行監視與控制之核心據點，配置如圖10.13～圖10.16所示。中央監控室之設置，應依污水處理廠規模大小與操作管理需求，對自動監控系統設備提供良好之運轉條件，及值班人員提供一舒適之工作環境。

中央監控室設計時，儀控工程師應提出污水處理廠監控設備設置之構想，

供建築、水電、空調、消防工程設計參考，並充分討論之。應考慮之事項至少包含樓層位置之選擇、面積大小、採光與照明、通風空調、控制電纜線之進出(管道間之設置)、供電電源、消防安全設備及通信與接地系統等，分述如下：

1. 監控設備之要求
   (1) 監控設備應有圖控軟體及展示盤或馬賽克流程板，可藉由控制桌之電腦連線至投影機投影於螢幕上，或採用液晶螢幕電視牆，以顯示污水及污泥處理流程及設備操作狀態及警告信息。
   (2) 監控設備應能監視，並即時顯示污水處理過程運轉狀態及控制變量(輸出量)變化。
   (3) 處理廠各單元監控設備，除接收與下達操作量及運轉策略外，應視需要設置遠端視訊監視設備(閉路電視)，以即時顯現影像畫面，提升操作安全。
   (4) 監控策略應提供省力、即時與安全及可靠之要求。監控表計及模組選擇，應滿足操作規模所需，且應有備援裝置，以充分發揮整廠監控機能。
   (5) 污水及污泥各處理單元主要設備工作狀態，應於中央監控室以紅色燈表示運轉中，綠色燈表示待機中，故障或異常時，應以聲音及黃色閃爍燈顯示，警告值班工程師到現場處理。
   (6) 盤面高度及儀控設備配置，應考慮操作人員視覺上最方便之設計。
2. 建築之要求
   (1) 中央監控中心位置之選擇，可設置於行政(管理)中心一樓或二樓，設於二樓時，儘可能在接近樓梯口附近或方便進出的位置，其座向宜坐北朝南，避免西曬，並能環視全廠區為宜，如果無法避免時，應採取適當遮陽措施。
   (2) 避免與高壓配電室相鄰，如無法避免時，應採取適當的防止電磁干擾之遮蔽措施。
   (3) 面積大小，應依污水處理廠規模、電腦監控設備、儀表盤數量及控制桌等配置方式調整，小規模污水處理廠至少應有40平方公尺以上，控制桌與前後左右牆壁及液晶螢幕電視牆之間，應有適當距離約1.5～2.5公尺。
   (4) 設有天花板及高架地板時，室內淨高至少應大於2.1公尺。
   (5) 高架地板之設置高度應保持在60公分以下。
   (6) 中央控制室進出門之大小，應由控制室內最大設備之尺寸來決定，控制室門應向外開，控制室長度超過12公尺，建議設置2個門，以利進出及緊急逃生。
   (7) 中央控制室外牆應依最新建築技術規則規定，留設採光用窗或開口應在有效採光範圍內。
   (8) 中央控制室牆壁、地面及天花板等之色調應柔和，並與儀表盤顏色協調。

3. 工作環境之要求

(1) 中央控制室照明，應依國家標準及綠建築解說與評估手冊要求，進行節能設計，平均照度應介於750-300 Lux之間，燈具配置應使操作面不產生眩光與陰影，燈光之點滅控制，可採手動操作或自動感應等方式。

(2) 應設置獨立之空調系統設備，空間溫度應控制於24±2℃，相對濕度控制於50±10%。

(3) 中央控制室內應裝置通信設備。

(4) 應依各類場所消防安全設備設置標準，提供必要之消防安全設備，以確保生命與財產之安全。

(5) 監控系統應接至緊急備用供電系統，並備有不斷電系統支援設備，以維持系統之運作及執行必要之數值記錄、分析、判斷、警示與警告通報等。

(6) 監控系統應依規定，對電源系統及設備進行避雷接地保護或裝設突波吸收器，以避免儀控設備受傷害，設備信號之接地電阻值應≦5Ω，避雷接地電阻值應≦10Ω。

(7) 中央控制室，由室外進入室內之電纜線的敷設方式，可採管道間或電纜溝配線方式，進入室內則利用高架地板方式敷設，進線之密封需考慮，以防蟻害及鼠害或水氣及硫化氫等氣體進入。控制室如設置於一樓室內，溝底應高出室外溝底至少30cm 以上，纜線敷設方式應符合用戶用電設備裝置規則規定。

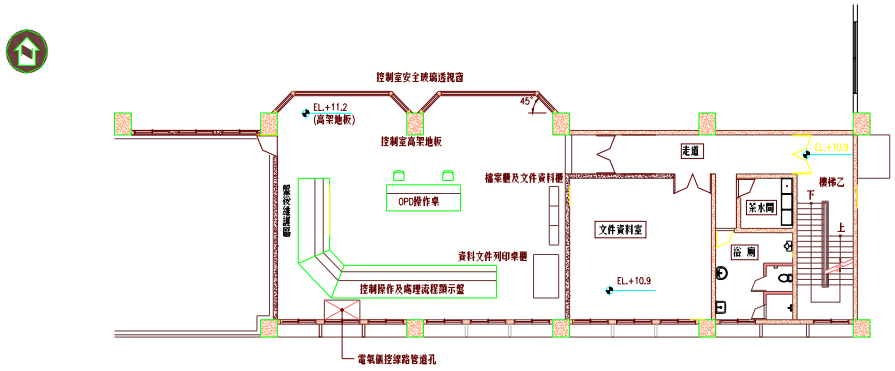


圖 10.13 中央監控中心監控設備配置示意圖

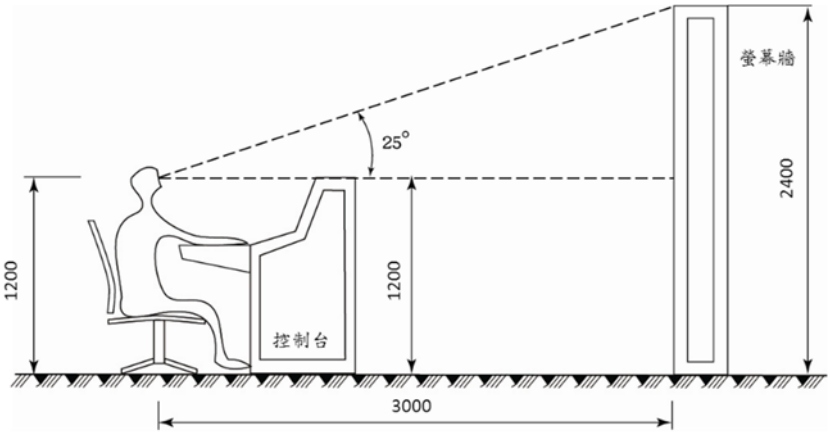


圖 10.14 控制台與螢幕或電視牆配置示意圖



圖10.15 中央監控中心監控設備配置實景圖之一



圖10.16 儀控系統組合配置實景圖之二

10.8 配電室及緊急備用柴油引擎驅動發電機室

污水處理廠之配電室及緊急備用柴油引擎驅動發電機室設計及安裝時，應

考慮及注意之一般基本原則。

10.8.1 配電室

配電室的工作空間設置考量如下：
1. 電氣設備與箱體之搬運、安裝及操作距離與維護通道，應有足夠空間。
2. 應有足夠之通風換氣設備。夏季時，設備容量大而有作業環境要求者，應裝設空調設備。
3. 不應設於地勢低窪和可能淹水之場所。
4. 不應設置於有腐蝕性及爆炸性氣體存在之場所。
5. 應有足夠之照明設備及符合消防法規規定之消防安全設備。
6. 樓地板應有足夠之載重，以支撐負載。

解說：

1. 配電室(變電室)應有足夠之出入空間，且至少有一2 公尺寬之雙開防火門，兩扇門均應向外開，直接與外界相通，以利搬運設備，及另應有一1.0 公尺寬向外開之防火門，作為電氣人員平時進出之用。配電室電氣設備與箱體之安裝，距頂板不宜小於0.8 公尺，當有樑時不宜小於0.6 公尺。配電室裝設高低壓箱體設備時，兩側及後側離牆壁至少保持1.0 公尺，前面間距應為台車長度加1.2 公尺，應依用戶用電設備裝置規則第七章有關規定辦理。
2. 夏季時，配電室應有足夠之通風換氣設備，當建築物西曬或有技術要求者，應裝設空調設備。
3. 配電室不應設於地勢低窪和可能淹水之場所。
4. 配電室不應設於有爆炸性及腐蝕性氣體存在之場所。
5. 應有足夠之照明設備，其照度應保持在300～150 Lux，並符合各類場所消防安全設備設置標準之規定。
6. 設置基座並以基礎螺栓固定箱體設備，高度約10～20公分，載重強度為PC210kgf/cm^2。

10.8.2 緊急備用柴油引擎驅動發電機室

緊急備用柴油引擎驅動發電機室，應考慮的事項如下：
1. 搬運安裝及操作距離與維護通道應有足夠空間。
2. 應有足夠之通風需求，以防止溫度上升。
3. 應有足夠之照明設備及符合消防法規規定之消防安全設備。
4. 應有消音及減振裝置，以防止噪音及振動。
5. 不應設於地勢低窪和可能淹水之場所。
6. 不應設置於有腐蝕性及爆炸性氣體存在之場所。
7. 應盡量接近配電室避免上下樓層設置，以利台電供電中斷時，自動切換至緊急備用系統。
8. 儲油槽及日用油箱，應依「公共危險物品及可燃性高壓氣體製造儲存處理場所設置標準暨安全管理辦法」規定設置。

解說：

1. 應有足夠之出入空間，且至少有一2 公尺寬之雙開防火門，兩扇門均應向外開，直接與外界相通，以利搬運設備，及應另有一1.0 公尺寬向外開之防火門，作為電氣人員平時進出之用。緊急備用發電機室最小保持距離，兩側離

牆壁不小於1.5 公尺，兩台間距至少2.0 公尺。

2. 應有足夠之對向通風口，以利換氣。
3. 應有足夠之照明設備，其照度應保持在300～150Lux，並符合各類場所消防安全設備設置標準之規定。
4. 緊急備用發電機室淨高至少不低於4 公尺，與坪頂之距離至少不低於1.5 公尺，以利裝設消音器及黑煙淨化裝置。若無足夠空間裝設排風口之情況下，可將排風機、水箱與柴油引擎分離，而排風機及水箱，可設於一樓空地或其他適合之場所。
5. 緊急備用發電機室不應設於地勢低窪和可能淹水之場所。
6. 緊急備用發電機室不應設於有爆炸性及腐蝕性氣體存在之場所。
7. 應盡量接近配電室，除考慮電壓降與操作、檢查需求及其他可能因素外，以利台電供電中斷時，能自動切換至緊急備用系統。
8. 日用油箱附件應齊全，儲存容量應以不超過1000公升為限，儲油槽應以地下儲油槽設置為原則，且須依「公共危險物品及可燃性高壓氣體製造儲存處理場所設置標準暨安全管理辦法」辦理，儲油槽儲存容量以不超過3天為限。

第十一章 廠區規劃及環境安全計畫

11.1 概說

污水下水道建設目的，在於促進都市計畫地區或指定地區的下水道發展，以改善環境衛生及保護水域水質，因之其污水處理廠的設置，必須就其廠區對外交通及其環境和安全三大面向，促使整體達到污水下水道建設之目的，以形成一優質環境，確保設施使用壽命及操作維護管理人員之工作環境品質為考量。

因之本章就污水處理廠的廠區規劃、環境保護、安全防護及一般環境管理為內容，加以分析，以供污水處理廠規劃、設計及設置之參考。

11.2 廠址地區特性考量

為提升污水處理廠設置之經濟效益，於規劃階段時，就必須就其座落地區的特性、設施配置、建築計畫及營運管理操作方便性，做整體的考量，藉以確定設施規模、內容及必要的設備。

規劃設計時，對於處理廠用地的自然條件、社會條件等加以考量，並具體的就地區特性，加以調查。

1. 自然生態條件
   (1) 氣溫。
   (2) 海濱地區。
   (3) 自然、生態環境保護地區(國家公園、自來水水源保護區內等)。
   (4) 狹隘地區。
   (5) 軟弱地盤。
   (6) 地盤下陷地區。
   (7) 易淹水地區。
2. 社會條件
   (1) 觀光地區。
   (2) 產業狀況。
   (3) 掩埋場地區。
   (4) 文化、古蹟保護區。

解說：

1. 有關自然條件

(1)處理廠用地四季之氣溫變化應加注意，如氣溫上升容易造成絲狀菌的加速增殖，影響污泥沉澱，廢棄污泥容易腐敗，不易濃縮，而污泥上浮以及鋼筋混凝土構造物容易劣化等。

(2)海濱地區常有鹽害、飛砂及海水入滲管渠，影響處理機能、設施及設備等，包括金屬容易腐蝕、電氣設備絕緣受害、混凝土構造物容易劣化、飛砂侵入廠區、植栽容易枯萎等，皆應有對策。

(3)位於自然環境保護地區或自來水水源保護區，除應獲主管機關同意外，污水處理廠之設置，其可能對地下水、噪音、振動、臭氣等的影響及對策。

(4)污水處理廠之設置，除施工時需有容易出入的道路外，管理人員出入的安全，也甚為重要，其位置若位於山谷、海岸、地形坡度大等，皆應加以充分評估其適合性及可確保適當的空間。

(5)設置位置應避免在海埔地、垃圾掩埋回填地及地質軟弱之地區，應事先充分調查用地。

(6)設置於易淹水地區，除增加防護工程費外，對於長年維護管理，也是一大負擔，因之應事先充分評估，盡可能避免。

2. 有關社會條件

(1)觀光地區之污水處理廠，進流水量的季節性變動與觀光客的動態相關性極大，對其變動特性的把握及處理方法的選擇、調整槽的設置、尖峰時的對策，皆應加以檢討。

(2)收集地區內事業特性，有無水產加工、染整業、皮革業等產業，其廢水是否納入污水下水道，其水量比例，對污水處理的影響及對策，皆應加以檢討。

(3)污水處理廠用地，若曾是垃圾掩埋場，開闢時可能有毒氣體的排出、建設及維護管理之影響及應有的對策，皆應加以檢討。

(4)污水處理廠設置地區是否為文化、古蹟等歷史古蹟、保護區，其建設時應進行調查及研擬對策等。

11.3 設施配置考量

11.3.1 設施配置

處理設施配置時，應考量各設施的機能可充分發揮，且具經濟性、維護管理方便及安全等，加以考量配置之。

解說：

設施配置計畫，應考量下列事項：

1. 用地面積

用地面積原則上，應為污水處理設施平面總面積的一倍，或為各槽體及建築物之投影面積的一倍，並具規則性，容易配置設施之範圍。

2. 水力及污泥動線

應考量各設施，能以最短距離連結，以能使水力及污泥動線，皆能在同一直線之處理設施上順暢流動。

3. 維護管理動線

應考量污泥及藥品等的出入車輛的動線，廠內巡視管理、水質管理動線及逃生動線之順暢，以能避開開孔、渠道蓋板及設備作動區等之作業安全，並標示警示線條，且避免上上下下。

4. 蓋板

池體或通道上之加蓋(或蓋板)部分，應標示禁止踩踏，以維安全。如有橫跨管路之必要時，應設置跨管蓋板或跨管橋梯，並以顏色線條加以警戒標示。此外應配置充分之夜間照明，以確保動線之順暢與安全。

5. 環境條件

應考量包括周邊土地利用狀況、風向、空氣流動。臭氣來源等的設施配置，以及都市計畫土地使用分區管制要點規定基地境界線退縮空間、植栽綠化、建蔽率、容積率及都市設計審查等規定，和緩衝綠帶的相融性配置。

6. 系列數

處理設施依初期建設及維護管理，原則上依規模分兩期至四期建設，並與用戶接管速率配合，就經濟上考量，每期以一至二系列分期設置之。

7. 管理中心

管理中心以可使來訪者容易辨識，且容易到達之位置為宜。

8. 景觀

應與周邊環境相融合，並綠美化環境。

9. 增設、改建的對策

因應未來變化，整體考量周邊等變化之對策。

11.3.2 設施上部加蓋

設施加蓋，主要為於前處理單元、初級沉澱池、生物反應槽、最終沉澱池及重力濃縮槽等的上部設置，於考慮下列各項決定之：

1. 能達到防止臭氣及噪音等發散。
2. 飛砂、鹽害等對策。
3. 周圍及環境的調和。
4. 上部利用。

解說：

污水處理設施的加蓋，雖可防止臭氣發散或提供上部利用，但卻造成設備的出入及操作維護等不方便，以及若通風不良有加速腐蝕之虞，同時也增加工程費。覆蓋的構造材質，視上載載重及關閉頻率，而考慮固定式或可移動式，其材質宜就 PC、RC、FRP 等，適當選擇。另日常要取樣、巡檢及維護管理開啟頻率高的部位，則應設置親子蓋或容易開啟的觀察孔，以利巡視、觀察、清理及維護之方便性和需要。

1. 初級沉澱池或反應槽加蓋，可達到防止臭氣發散、泡沫飛散及蟲類的飛入等效果。
2. 在海岸地區以能有效防止鹽害及飛砂侵入的效果。
3. 抽水站及處理廠，為使其與周邊環境調和或景觀保護之需要，除植栽隔離外，也可採地下式或半地下式，以降低其高度或覆蓋，更能達到與周邊環境景觀之融合，惟可能增加工程費及維護管理之不易。
4. 對於中大規模污水處理廠，上部綠化公園化，或供做網球場、籃球場等運動設施，甚至停車場等公共建築之利用，其主要覆蓋方法，如圖 11.1。

(1) 一次覆蓋方法

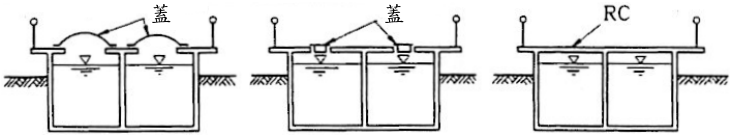
即於池的水面上設置覆蓋設施，尤其是初級沉澱池及污泥重力濃縮槽等發散臭氣較大的單元，其上部不做利用者。

(2) 二次覆蓋方法

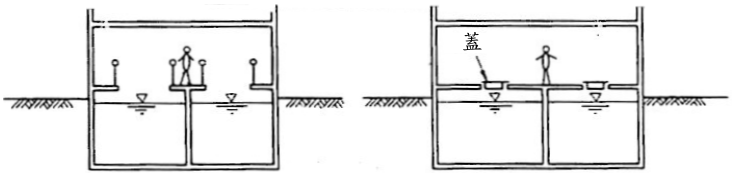
在池的上部，設置一般室內活動高度的覆蓋，有利於維護管理動線及設備出入。

(3) 雙層覆蓋方法

即結合上述(1)及(2)兩種覆蓋，形成雙層的設施。



(1)一次覆蓋方法



(2)二次覆蓋方法　　(3)雙層覆蓋方法

圖 11.1 主要覆蓋方法

11.4 建築計畫

11.4.1 建築計畫

處理廠內的建築物，包括管理中心、污泥處理房、鼓風機房、緊急發電機房、維修備品室及變電室等，可從經濟及維護管理分階段考量計畫、檢討合棟、分棟後決定之。

解說：

1. 建築物配置檢討

(1)建築物的配置，依處理方法及機能的需求，以統一軸線配置，達到人流之順暢。

(2)配置應就處理設施維護管理的動線外，水、污泥、空氣及能源等動線，也應加充分檢討，並考量各設施間的關聯性。

(3)鼓風機房應設置於鄰近曝氣槽處，且考量通風、防噪音、防振動之具體措施及設計。

2. 合棟、分棟檢討

建築物的配置，應考量下列：

(1)合棟型式：即處理廠內的各機能(抽水、前處理、水處理、污泥處理、消毒、電力含照明管理及其他)做適當整合的方法。

(2)分棟型式：基本上各機能採分散或局部整合之方法，建築設施的合棟型式及分棟型式的特性比較，如表 11.1。

3. 管理棟計畫留意事項

(1)會議室及資料庫，原則上與行政室結合。

(2)更衣室、值班室及餐廳，原則上配置成可共用，以達最小面積。

(3)終期處理水量在 2,000 m^3/d 以上者，原則上得考量設置水質檢驗室。

(4)若為低壓受電，可採用室外型的緊急發電，電氣盤可考量為室外型，若為高壓受電或於室內設置緊急發電時，應盡可能採用最小面積。

表 11.1 建築設施合棟及分棟型式特性比較

項目	合棟型式	分棟型式
管理機能及管理體制	因係在同一棟建築物內設置，管理動線較短，機能性佳	由於設施分離配置，管理動線較長
環境污染	由於係合棟，恐有互相干擾的噪音、振動及臭氣，因之必須有避免措施	因係分棟管理，互相之影響較少
建設費	雖初期建設費因一次建設可能較高，但終期則比較低	若採分階段建設時，初期的費用一般較低
景觀等	由於包括人的活動空間及機械設置空間之不同，管理中心及機械應能充分考量達到調和	比較上較容易調整，而不易衝突

11.4.2 一般管理設施(管理中心)

11.4.2.1 行政管理設施

為抽水站及污水處理廠的維護管理之需要，污水處理廠應依規模考量設置下列設施：

1. 辦公室、值班室、會議室、文件室、洗滌室、廁所、盥洗室等管理及營運必要空間。
2. 器材貯存室、工作室、車庫等維護管理必要設備收納之用。
3. 廠區照明、通訊聯絡設施、消防及廣播設備等。

解說：

1. 污水處理廠其主要設施多朝委託操作維護，因之在管理中心之辦公室，仍應考量有委託單位人員常駐或定期監督所需之辦公室，辦公室依污水處理廠最終規模，以每一工作人員 4 m^2 之程度規劃，並充分考量平日空調等能源之節約，考量其氣密性及斷熱性，以達節能設計。可參考表 9.2 各室面積計算。其他各室及設施依規模、參觀及會議等需要，適當配置之。

廠區內除應盡量確保綠地環境植栽外，管理中心之建築，應朝綠建築做

設計，而考慮屋頂或壁面綠化。

2. 各種貯藏室規模及設施，依污水處理廠規模，備用設備貯存、設備維修之需要規劃之。惟潤滑油及塗料等日常維護用品之貯存量及保管等，除應利用方便並有獨立空間置放。
3. 廠區緊急聯絡及廣播通知等，通訊設施之配置考量，且應符合相關職安及消防法規規定。

11.4.2.2 照明

抽水站及污水處理廠的照明設備，於考量下列設置之：

1. 適當的照明，並以耗能低為考慮。
2. 維護管理容易者。

解說：

1. 照明以能具充分照度而不浪費能源，並以光色良好、發熱低及適當陰影，與各場所照明之目的相符的光源、器具、方式、配置等充分檢討設置之。於考量作業條件好，各場所所需之照度基準如表 11.2。

表 11.2 依場所設置之照明設備照度範圍

場所	照度範圍(Lux)
中控室、辦公室、會議室、水質檢驗室、電腦室	750～300
機械室、電氣室、污泥脫水機室、抽水機室、送風機室、發電機室	300～150
消毒機械室走廊、浴室廁所、出入口	200～100
倉庫、更衣室、值班室、管廊、配管室、覆蓋設施、沉砂池室、攔污室	150～75
屋內緊急台階	75～30
屋外道路	30～10
屋外設施	30～50

備註：整理自日本下水道協會「下水道施設設計指針と解說」，2019 年版

由於污水處理廠用電量大，因之各項照明之設置參考下列，以達節能。

(1)盡量將自然採光引入。

(2)可節能的 LED 燈及壽命長的照明燈具。

(3)間接開關(包括人體感應、定時開閉、直接開閉)。

(4)照明迴路適當分隔，依作業動線、門的開啟配置適當的開閉。

(5)充分利用投光器的局部照明。

(6)避免使用導管或配管類遮光。

(7)室外照明應考量夜間巡檢動線之安全需要，並以人體感應自動開閉。

2. 由於污水處理廠的照明設備多，管理維護不易，因之其裝設應考量更新、清掃容易、方便管理，尤其如抽水站等挑高或池槽上裝設，更應加考量適當位置。

又在貯油、瓦斯等危險物處，以及地下室、抽水站及濕氣高的場所，其照明設備應為防爆、防濕等。有關防爆設施等級，應依相關法令之規定。

11.4.2.3 空調及通風設備

污水抽水站及污水處理廠之空調通風設備，於考量下列決定之：
1. 各室依其系統適當分開設置。
2. 空調通風方式依機械使用條件、作業環境等，充分檢討，並達節能選定方式。

解說：

1. 空調之設置，依建築技術規則及職安相關法規設置，並針對各種不同場所之特殊環境加以考量，以達空調通風、防鏽，同時部分場所配合設置天窗配管等。
2. 空調設備於考量人體溫熱感覺四要素，氣溫、濕度、氣流速度及周圍表現溫度等，以及經濟性、維護管理容易加以充分檢討，依各場所之目的，選定空調方式及換氣方式，如表 11.3。

   由於污水處理廠通風換氣耗電量頗大，應從節能考量下列設置之：

   (1)送風機室的換氣，係將外氣導入通風，故應為節能的熱交換器。

   (2)換氣可考慮利用送風機換氣。

   (3)盡量利用局部空調換氣。

   (4)以定時器或恆溫器自動運轉。

   (5)雙層覆蓋，完整隔離，減少換氣空間及換氣次數。

   (6)配合分期建設，設置換氣扇之容量及台數。

11.5 環境保護

11.5.1 周邊環境對策

下水道設施，應依相關環境保護法規及職業安全衛生設施規則等，達到環境友善充分考量之。

解說：

1. 防止惡臭

   各設施設計時，除應依相關法規標準外，應有適當防止對策，包括：

   (1)必要最低限防臭設備。

   (2)藉緩衝帶及綠化，防止臭氣擴散。

   (3)以封閉性的構造，防止臭氣擴散。

   (4)以排氣管於高空位置擴散。

2. 空氣污染

   一般污水處理廠，應依空氣污染防制法相關規定，防止空氣污染。

3. 噪音振動

   廠內的空壓機及鼓風機，為噪音、振動的來源，應依相關規定，以不造成廠內工作人員及對廠外之影響，做具體防止措施。

4. 泡沫飛散對策

必要時於污水處理設施上部加蓋，但應有適當的觀察孔，供掌握操作狀態。

表 11.3 通風換氣量例

設施名稱			換氣量	備註
沉砂池	覆蓋	對象空間		
	雙層	作業空間	3～5 回/小時	
		池部蓋內	開口部水面積×10^3/m^2・小時*	一次覆蓋亦同
		輸送帶	蓋內容量×7 回/小時*	污泥輸送帶亦同
		漏斗	有效容量×3.5 回/小時*	
初沉池	單層覆蓋	蓋內	水面積×m^3/m^2・小時	
抽水機室			依發熱量計算 設 2～3 回/小時以上之能力	
鼓風機室			依發熱量計算 設 2～3 回/小時以上之能力	
發電機室			依發熱量計算 設 3～5 回/小時以上之能力	
反應槽	雙層	作業空間	3～5 回/小時	
		覆蓋內部	曝氣空氣量×1.1*	
	二次	作業空間	5～7 回/小時+曝氣空氣量×1.1*	沒有蓋者
次氯酸鈉注入機室			3～5 回/小時	
污泥濃縮機		覆蓋內部	覆蓋內部容量×1 回/小時*	一次覆蓋亦同
污泥脫水機室		覆蓋內部	覆蓋內部容量×1 回/小時*	機械加蓋者
一般機械室			4～6 回/小時	換氣機械室、脫臭機室、工作室等
管廊、地下階梯			3～5 回/小時	

*一般包括脫臭需要

*整理自日本下水道協會「下水道施設設計指針と解說」，2019 年版

11.5.2 廠區道路、排水及綠美化

廠區內外進出入道路、雨水排水及植栽等包括在內，皆應予以適當配置。

解說：

1. 道路計畫

(1)依廠區規模及出入動線，考量進出入車輛及維護管理巡迴動線的車道、步道，皆應予以適當配置。

(2)廠區道路的鋪設，原則上除車道為柏油車道外，步道應為透水性步道。

2. 雨水排水設施

(1)應依用地面積檢討是否送審核定出流管制計畫。

(2)廠區內雨水逕流量原則上以合理化公式計算之，降雨頻率至少以十年一次降雨強度，逕流係數以土地利用別為標準值。

(3)雨水排水方法以預製品 LU 型側溝，配合滲透設施經濟性考量之。

(4)廠區內排水依廠外排水系統整合之。

3. 植栽及綠美化

污水處理廠的植栽，不僅考量廠內環境外，也應與周邊環境整合融合，必要部位也可以綠籬做為區隔，以提升地區環境整體性景觀計畫之。

11.6 設施劣化及安全對策

11.6.1 設施腐蝕及劣化對策

污水處理設施的各種鋼筋及混凝土，在與污水及腐蝕性氣體長期接觸下，很容易腐蝕、劣化，於設計時應能設想其設置狀況，對於材質的選定、抑制腐蝕、劣化的方法及防蝕工法等，皆應充分考量之。

解說：

下水道設施暴露在惡劣環境下，會因硫化氫及二氧化碳碳酸化等，而導致構造物、配管及設備等劣化。

故各設施設計時，應就其能排除的原因，從材料、材質之選擇及維護管理上，加以重視。

1. 硫化氫的腐蝕劣化對策

硫化氫為造成混凝土及金屬腐蝕的原因，包括在下水道管渠跌落處，用以貯留污水及污泥的貯留處。在處理廠及抽水站之流入渠、抽水井、初級沉澱池、污泥濃縮槽、消化槽及廠內污泥輸送管線等處為顯著。其對策包括：

(1)避免產生硫化氫

污水或污泥在流動中，因滯留、淤積致造成污水、污泥厭氧腐敗造成厭氧化，促使硫化氫的產生，因之在設計上應能確保水流、污泥流的流速，避免滯留、淤積沉澱。最重要的是管線每天應能藉抽水機的起動，達到至少一次的掃流流速。抽水井、貯留槽內的堆積物，當抽水機起動排出時，

就會有大量的硫化氫產生，是惡臭及管線、設施等劣化的原因，因之應能避免堆積，並使流動順暢。

初級沉澱池及污泥濃縮槽，是最容易產生硫化氫的單元，為抑制污泥的厭氧化而腐敗，必要時應從操作管理上防止其滯留。此外，也可於污水壓力管注入空氣，或添加過氧化氫及氯化亞鐵等，以抑制硫化氫的產生。

(2)防止硫化氫排放於大氣中

在水流的堰及跌降之亂流處，或處理廠內污水或污泥的攪拌處，容易散發出硫化氫，因之設計上應有防止水流亂流的構造，盡量減少落差或跌降，以減少散出。

(3)通風

一般初級沉澱池及污泥濃縮槽，為最容易散發出硫化氫的設施，而常被加蓋，導致槽內高溫且潮濕，其散發的硫化氫，就容易腐蝕混凝土構造物，因之應予以通風，以維持內部空間乾燥，也可達到稀釋硫化氫，抑制腐蝕。

槽內的換氣抽氣，則加以處理後排放，惟為減少換氣量，槽內氣相部的容積以能最小者設計之。

(4)使用耐腐蝕材料

在容易產生硫化氫的位置，以考慮使用硬質乙烯樹脂管，環氧樹脂內襯鑄鐵管等之管材、不鏽鋼、鋁、FRP 等耐腐蝕材質設施。混凝土構造物，則可使用煤灰水泥、高爐水泥或二型水泥等耐久性材料。特別腐蝕環境，則可考量防菌之方法。

(5)防蝕被覆

混凝土及金屬之防蝕，則可採遮斷方法，以防腐蝕蓋處理。被覆材料包括環氧樹脂、焦油環氧樹脂、溶入陶瓷的環氧樹脂、乙烯酯樹脂、含玻璃片乙烯酯樹脂，於考慮材料的經濟性、耐久性及施工法選定之。

2. 二氧化碳中性化對策

二氧化碳為造成混凝土的碳酸化，對活性污泥反應槽之劣化較為明顯，為防止其劣化宜有措施及對策。

11.6.2 防災及安全對策

污水處理廠設施的災害(水災、地震、雷擊、火災)之影響和對策，及注意維護管理的安全性，設計時皆應充分考量之。

解說：

污水處理設施為生活維生系統之設施，應能達到各種防災及安全。

1. 設計時對於計畫高程之設定，以歷史淹水水位記錄加 0.5 m 或鄰近河川 100 年重現期距之洪水位，以達雨水排除防止水災。
2. 地震考量，應以耐震設計標準為基準以上設計之。
3. 在處理廠內各槽內部作業、電氣及機械設備的運轉等危險作業，皆應依相關作業考量其安全性。

4. 點檢用開口部的配置及安全對策，其覆蓋板支撐材質，開啟角度、重量及大小和強度、耐用性，皆應充分考量之。
5. 維護管理及巡檢動線之順暢及安全，應充分考量之。

參考文獻

1. 內政部營建署 下水道設計指南 93 年 2 月
2. 內政部營建署 污水下水道工程設計指針及解說 2015 年 3 月
3. Metcalf Eddy/Aecom Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery(Fifth Edition) 2014 年
4. 日本下水道協會 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説 2008 年版
5. 鹿島出版會 下水處理場の監理•計畫•設計 2011 年
6. 東京都下水道技術研究會 下水道技術キー・ポイント 101 選 計画・設計計算実例 1992 年
7. 建設產業調查會 最新下水道 1997 年
8. 日本下水道協會 下水道維持管理指針(實務編) 2014 年版
9. 山海堂 下水道實務講座 10-構造物の設計 1982 年版
10. 山海堂 下水道實務講座 6-污水處理施設の設計 1983 年版
11. 日本下水道事業團 處理場の設計演習 1980 年版
12. 日本下水道事業團 處理場の設計 1982 年版
13. Metcalf Eddy/Aecom Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery(Fifth Edition)2014 年
14. wastewater treatment plant planning design and operation SYED R.QASIM
15. wastewater treatment plant design
16. design of municipal wastewater treatment plants
17. 日本下水道協會 下水道施設計畫•設計指針と解說 1994 年版
18. 日本下水道協會 下水道維持管理指針 1991 年版
19. 歐陽嶠暉 下水道學 台灣水環境再生協會印行
20. 日本下水道協會 下水道施設設計指針と解說
21. 日本下水道協會 下水道施設計畫•設計指針と解說(前、後編)2009 年版
22. 日本下水道協會 下水道施設計畫•設計指針と解說(前、後編)2019 年版
23. 台灣水環境再生協會 水高級處理及再利用 2016 年
24. 台灣水環境再生協會 抽水站規劃設計與操作維護實務手冊 2008 年
25. 游勝傑、陳余育、劉世豪(2021)我國不同規模都市污水處理廠進流水水質調查，第三十一屆下水道與水環境再生研討會，台北