

污水處理廠 設計及解說(上)



內政部營建署

CONSTRUCTION & PLANNING ADMINISTRATION

內政部營建署

中華民國一百零七年五月十八日

污水處理廠設計及解說(上)

目錄

第一章 總論

第二章 污水處理廠設計原則

2.1 概說	2-1
2.2 計畫污水量及水質	2-1
2.2.1 計畫污水量	2-1
2.2.2 尖峰係數	2-3
2.2.3 計畫水質	2-5
2.2.4 設計污水量及水質	2-9
2.3 污水處理廠設計及建設階段性工作內容	2-10
2.3.1 規劃階段	2-11
2.3.2 設計及建設階段	2-11
2.4 污水處理方法的選定	2-12
2.4.1 計畫放流水水質	2-12
2.4.2 污水處理廠進流水量及水質	2-16
2.4.3 污水處理水回收利用	2-16
2.4.4 污泥處理方法及資源利用	2-16
2.4.5 污水處理廠用地及地域特性	2-17
2.4.6 操作維護管理性	2-17
2.4.7 經濟性	2-18
2.4.8 污水處理方法及水質	2-18
2.4.9 污水處理程序的選擇	2-20
2.5 污水處理設施的配置	2-21
2.6 污水處理廠池槽	2-29
2.6.1 污水處理池槽構造	2-29
2.7 污水處理設施節能	2-31
2.8 污水處理廠站多目標利用	2-36
2.9 營運初期對策	2-37

第三章 抽水站及前處理設施

3.1 概說	3-1
3.2 抽水站設計基本原則	3-1
3.2.1 設計流量	3-1
3.2.2 設置位置、安全、環境及節能	3-2

3.3 閘門	3-3
3.3.1 制水閘門及滑動閘門之設計考量	3-4
3.3.2 抽水站進入口制水閘門之設計及考量	3-9
3.4 攔污柵及破碎機	3-11
3.4.1 攔污柵	3-11
3.4.2 破碎機	3-26
3.5 抽水機及抽水井	3-30
3.5.1 抽水機抽水量、台數及容量	3-30
3.5.2 抽水機污水管壓力流流速及流速係數	3-31
3.5.3 抽水系統設計	3-32
3.5.4 抽水機之濕井及乾井	3-50
3.5.5 抽水機進水管線等及輔助設計	3-67
3.5.6 抽水機之穴蝕現象及水錘作用	3-79
3.5.7 抽水機之自動運轉及保護設備	3-92
3.5.8 電動機	3-95
3.5.9 電力設備	3-97
3.5.10 抽水機室、配電室及主控室	3-98
3.6 沉砂池	3-100
3.6.1 沉砂池的設計考量	3-100
3.6.2 沉砂池的種類及設計依據	3-101
3.6.3 沉砂池的附屬設施	3-118
3.6.4 沉砂處理	3-119

第四章 污水初級處理

4.1 概說	4-1
4.2 基本沉澱理論	4-1
4.3 初級處理處理效率	4-4
4.3.1 初級沉澱池設計沉澱時間及水表面積負荷	4-5
4.4 初級沉澱池設施設計	4-6
4.4.1 初級沉澱池之形狀及池數	4-6
4.4.2 初級沉澱池之構造	4-13
4.4.3 初級沉澱池有效水深	4-15
4.4.4 初級沉澱池出水高度	4-16
4.4.5 進流口及整流設備	4-16
4.4.6 浮渣去除設備及浮渣處理	4-23
4.4.7 初級沉澱池出水設備	4-25
4.4.8 長方形池污泥刮泥機	4-29
4.4.9 正方形或圓形池污泥刮泥機	4-34

4.4.10 初級沉澱池污泥抽除-----	4-39
4.4.11 多層沉澱池-----	4-39
第五章 污水生物處理及固液分離	
5.1 概說-----	5-1
5.2 活性污泥法-----	5-2
5.2.1 活性污泥法之淨化原理-----	5-2
5.2.2 活性污泥法的種類及特性-----	5-10
5.2.3 活性污泥法設計及操作因子-----	5-12
5.3 活性污泥法處理單元設計-----	5-27
5.3.1 設計基本考量-----	5-27
5.3.2 各種活性污泥法處理單元及特性-----	5-28
5.3.3 各種活性污泥法反應槽設計-----	5-42
5.3.4 活性污泥選擇槽設計-----	5-51
5.3.5 去氮除磷凝聚劑的添加設計-----	5-51
5.4 曝氣及送風系統-----	5-56
5.4.1 需氧量-----	5-56
5.4.2 必要之空氣量-----	5-58
5.4.3 生物反應曝氣槽形狀、構造及槽數-----	5-59
5.4.4 曝氣方式的選定-----	5-60
5.4.5 鼓風機的選定-----	5-62
5.4.6 鼓風機壓力-----	5-65
5.4.7 動力、電動機及台數-----	5-68
5.4.8 鼓風機室-----	5-69
5.4.9 附屬設備-----	5-70
5.4.10 機械曝氣方法-----	5-72
5.4.11 攪拌動力-----	5-76
5.4.12 活性污泥法污泥抽水機、附屬設備及監測設備-----	5-76
5.5 生物膜法-----	5-77
5.5.1 基本原理-----	5-77
5.5.2 接觸曝氣法及其特性-----	5-78
5.5.3 接觸曝氣法處理系統設計-----	5-85
5.5.4 好氧過濾法及其特性-----	5-87
5.5.5 好氧過濾處理系統設計-----	5-88
5.6 固液分離及二級沉澱池-----	5-91
5.6.1 基本原理與特性-----	5-91
5.6.2 二級沉澱池設計-----	5-92

第六章	處理水再生利用及三級處理	
6.1	概說	6-1
6.2	再生水利用評估	6-2
6.2.1	污水處理水再生利用策劃	6-2
6.2.2	三級處理	6-4
6.2.3	水再生處理物質及處理程序	6-5
6.2.4	再生水利用水質	6-6
6.2.5	處理程序	6-8
6.3	三級處理種類及設計程序	6-9
6.3.1	三級處理種類	6-9
6.3.2	快濾法過濾設計	6-10
6.3.3	活性碳吸附法設計	6-14
6.3.4	薄膜分離法設計	6-17
第七章	污水消毒處理及放流	
7.1	概說	7-1
7.2	氯消毒	7-1
7.2.1	氯消毒理論	7-2
7.2.2	必要加氯量	7-2
7.2.3	氯消毒設計	7-3
7.3	紫外線消毒設計	7-6
7.3.1	紫外線消毒基本特性	7-6
7.3.2	設計處理量及水質考量	7-7
7.3.3	紫外線消毒設備	7-7
7.4	臭氧消毒設計	7-11
7.4.1	臭氧消毒特性	7-11
7.4.2	臭氧消毒設備	7-12
7.5	處理水放流設施	7-14
7.5.1	排放口設計及排放位置選擇	7-15
7.5.2	處理水排放口型式	7-15
7.5.3	排放口設計其他應考量事項	7-16
	參考文獻	7-17

第一章 總論

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。

在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，並以生命週期總支出(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」，加以擴充去蕪存菁制訂而成，全集共分十一章。

本次之擴充編撰，乃鑒於污水處理工程技術，係一跨領域之綜合性技術，參與及從事下水道業務之公務體系人員，多來自不同專長領域，為使其容易掌握各單元設計應有之考量，特於每一單元或程序皆先就其基本原理和特性加以導引，以利掌握各程序單元設計考量之背景，做為基本智識的延伸，以有利於技術的落實，進而能達到整合及綜合性的考量，對實質有所幫助。

本設計及解說之編撰，已充分參考並掌握國內近年的設計案例及管理評鑑所發現並列舉之相關問題，融入各項設計考量中，以避免再發生外，並參考美、日污水處理相關手冊、專書加以彙整，其間更借重國內近十位資深專家參與諮詢、修訂，其貢獻至鉅，期望本次的擴充編訂，能達到提供做為污水處理廠規劃、設計技術指引之目標，同時也達到做為下水道技術人員實務工具之手冊，對未來污水下水道污水處理廠的設計更具助益和貢獻。

本設計及解說，係由本署委託台灣水環境再生協會編撰，歷經兩年，由歐陽嶠暉教授負責執筆編撰，其中第三章由陳伯珍技師、第九章由謝長原技師、第十章由陳松傑技師協助執筆編撰，初稿完成後，由該協會組成諮議小組，成員包括張添晉教授為召集人、陳伯珍技師、黃靖修技師、蘇玫心技師、陳立儒技師、黃台琪技師、謝長原技師、陳松傑技師以及下工處魯子裕課長等進行多次審議，經修訂完成初稿後，再由本署組成審議小組，由於望聖副主任為召集人，審議委員包括黃良銘委員、侯嘉宏委員、曾樹根委員、羅秋秀委員、陳一銘委員、郭學文委員、盧偉銘委員、洪俊生委員以及下工處各課、各區分處等，歷經三次嚴謹審查，經依據審查意見進行完整修正，並再經本署複核後完成定稿，其過程堪稱積極、慎重。今得以完成本設計及解說，特向全體參與者表示謝意。

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，就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、節能及經濟性等之考量內容加以納入，其後再就污水處理方法及選擇之考量事項，以及可合乎處理放流水標準之處理方法、污水處理程序的選擇，做完整的臚列。另就污水處理設施的配置和構造應考量檢討事項，包括既有污水處理廠的設計可回饋的事項，予以充分列出，並以配置案例，詳加分析討論，繼就污水處理廠站多目標利用的利用型式，以能朝友善的環境地標，促進公共設施的親和性考量外，也應能因應污水處理廠營運初期，因污水量少、水質低，於設計時應予以考量之對策等，做整體綜合性的敘述。

2.2 計畫污水量及水質

2.2.1 計畫污水量

計畫污水量之考量如下：

污水下水道計畫係以所建設的各種設施，可全能力發揮功能之年期為計畫目標年，計畫目標年一般規定至少 20 年以上，以決定計畫規模之污水量。

解說：

管線收集系統計畫污水量=(計畫目標年計畫區內之人口)×(計畫目標年每人每日污水量)×(計畫可接管率)

至於污水處理廠之計畫污水量，則另依分期計畫綜合其他各階段之收集量計畫量之。

計畫目標年計畫人口之推估於預估未來人口數時，必須預都市將來發展狀況，並檢討將來各種社會因素後決定之。

一個都市，一般當其發展至某一程度，人口就不會再增加，甚至近年來有少子化現象，故依都市土地使用計劃按飽和人口密度法以及各種推估法加以比較，並考量社會變遷等因素進行估測。而對於分流式系統，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，因之一日間某一地區人口之變化問題亦應加以考量。

廣義的家庭污水包括住宅污水、機關、學校、公園綠地、遊憩地區、商業區等所產生之生活污水。每人每日平均污水量推測，應參考計畫目標年、區域內自來水計畫之每人每日平均用水量決定之，其規劃原則包括：

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以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，一般約在 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 250 公升(經濟部水利署規劃)以下至 180 公升，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。

但已發展飽和之區域，仍以實際調查之污水量估算。

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。

建議採 50 CMD/公頃為學校之單位面積污水量。

但已發展飽和區域，或人口較少之偏遠地區，則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. 遊憩地區污水量及水質

遊憩地區污水量以每人每次每日污水量推估。

建議為常住屬住宿者家庭污水量之 50%估算，污水水質之 BOD、SS 及 T-P 為 85%、T-N 以 95%估算。屬不留宿者污水量建議為常住家庭污水量之 15%，污水水質之 BOD、SS 及 T-P 為 25%、T-N 為 40%。

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。

都市計畫區內零星工業用地所產生之事業廢水量建議採 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

家庭污水量與事業廢水量之總和為平均日污水量。因廣義家庭污水已含蓋機關、學校、公園綠地、遊憩地區、商業區等污水量，故上述(2)~(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。

最大日污水量建議值為平均日污水量乘以 120%~140%估算，並依人口規模酌定之。大都市為平均日污水量的 1.2，小都市為 1.4 估計之。

最大時污水量建議為平均日污水量乘以尖峰係數而得，尖峰係數如表 2.1。

9. 滲水量

滲水量(入滲及入流量)，入滲指地下水滲入，入流指地面水從人孔等處流入。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，並參酌相關規範或文獻加以擬訂，以避免出現不合理之數值，而影響污水廠操作穩定及增加耗電量。

建議採最大日污水量之 10%~15% 估算。

特殊情形可另為考量。

10. 計畫平均日/最大日/最大時污水量

計畫平均日污水量為平均日污水量與滲水量之總和。

計畫最大日污水量為最大日污水量與滲水量之總和。

計畫最大時污水量為最大時污水量與滲水量之總和。

11. 特定遊憩觀光區之污水量及水質，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，已含蓋於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及公共污水下水道污水處理廠之穩定操作時，並不適合納入，而應依事業廢水相關規定自行處理後排放。

特定遊憩觀光區活動人口所產生的污水量及水質，應就其規模、季節、例休假日、常住、住宿及非住宿分別調查，其產生之污水量及水質負荷量，則前述第 5 項遊憩觀光區污水量及水質概估。

2.2.2 尖峰係數

尖峰係數之考量如下：

污水下水道管線系統設計量及抽水站與沉砂池等，一般以計畫最大時污水量設計，而家庭污水因日間生活變動，其小時間變動極大，故其最大時污水量與平均日污水量之比值，稱為尖峰係數。

尖峰係數的推估，依收集系統污水收集污水當量而定。

解說：

依據國外如圖 2.1 之實測污水流入量變動比分析，可得污水量愈大、變動比愈小，反之污水量愈小、變動比愈大。依據國外污水下水道系統及國內常用之尖峰係數計算公式，係以式 2-1 之 Harmon.W.G.經驗公式計算，並如表 2.1 及圖 2.1、圖 2.2。由圖表分析，此經驗公式符合人口當量愈大(污水量愈大)其尖峰係數愈小，反之污水量愈小其尖峰係數有愈大之趨勢，例如 500 人口當量之尖峰係數約 3.97、1 萬人口當量之尖峰係數約 2.95、10 萬人口當量之尖峰係數約 2.0、100 萬人口當量之尖峰係數約僅 1.39。

$$PF = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}} \dots\dots\dots(2-1)$$

式中：

PF：尖峰係數

P：當量人口數(千人)

表 2.1 尖峰係數表

當量人口數(千人)	0.5	1	2	3	5	10	12	15	20	30	50	60	80	100
尖峰係數(Fp)	3.97	3.80	3.59	3.44	3.25	2.95	2.88	2.78	2.65	2.48	2.26	2.19	2.08	2.00
當量人口數(千人)	110	120	130	150	170	200	250	300	400	500	700	1,000	2,000	3,000
尖峰係數(Fp)	1.97	1.94	1.91	1.86	1.82	1.77	1.71	1.66	1.58	1.53	1.46	1.39	1.29	1.24

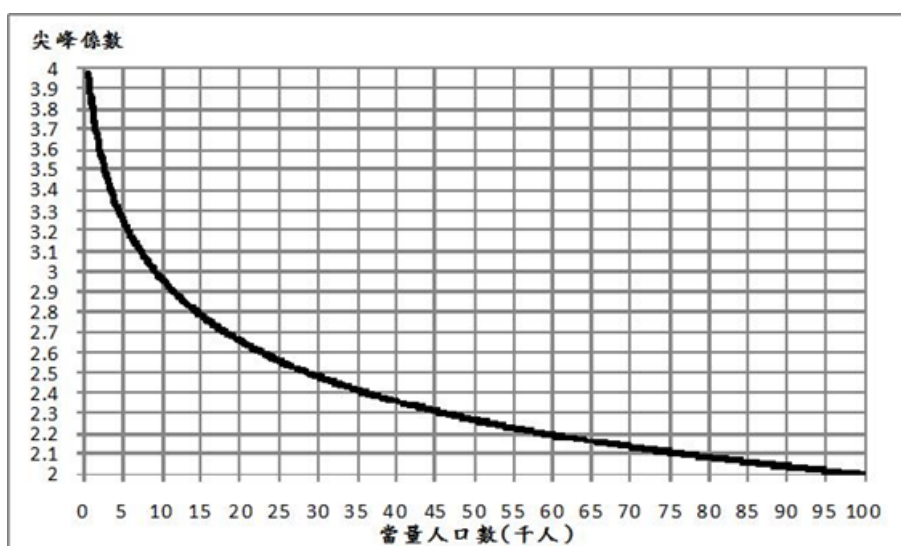


圖 2.1 當量人口數與尖峰係數關係圖(10 萬當量人口數以下)

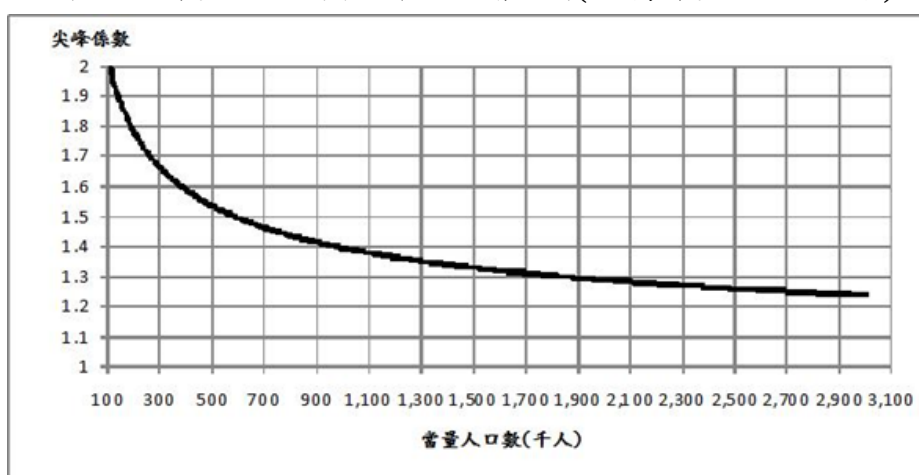


圖 2.2 當量人口數與尖峰係數關係圖(10 萬～300 萬當量人口數)
(下水道工程設計規範 104 年版本)

至於零星工業用地之一般事業廢水之尖峰係數，其流量變化的情形與家庭污水有相似之處，亦即污水量愈大者，其尖峰係數愈小；污水量愈小者，其尖峰係數愈大。另因未來之大規模事業廢水於排入污水管線系統前多需具有預先處理或調節流量之設備，以達到排入系統之限值，且事業廢水與家庭污水發生尖峰流量之時間並不一致(事業廢水尖峰流量大多發生於白天上班時間內，家庭污水尖峰流量則大多於尚未上班之清晨及下班後的晚上發生)，故可以將家庭污水與零星事業用地之事業廢水合併後考量尖峰係數之原則做為設計污水量。而大規模事業廢水量則不考量尖峰係數。

2.2.3 計畫水質

計畫水質之考量如下：

依計畫每人每日污染負荷量，除以每人每日污水量，計算計畫水質。

解說：

一般日常生活用水量，包括使用在炊煮、洗滌、沖洗廁所、洗澡、洗衣服及洗車等，生活用水量應調查當地實際有效售水總量折算人口數，所獲得之每人每日用水量，若低於 250 公升，則以當地用水量為準。而在生活用水過程中夾帶了很多的物質，這些物質多以有機物為主，主要為食物的洗滌水和廁所排泄物的沖洗水，而這些排出的混合水之水質，也即一般生活污水的水質。

一般排水除原來使用的自來水中所含的微量物質外，幾乎都為生活活動所增加的物質，這些物質若以有機物表示，包括以 BOD、COD、總固體物、氮和磷為主。

台灣地區每人所食用的有機物 BOD 比起歐美並不高，因此每人由糞尿所排出的約 $BOD_{5,20^{\circ}C}$ 約 13 g，另由廚房、洗澡等排水約 27 g，合計每人每日排出的 $BOD_{5,20^{\circ}C}$ 及 SS 各約 40 g(一般約 34~43 g)，若除以用水量每人每日 180~250 公升，則其 $BOD_{5,20^{\circ}C}$ 濃度約介於 160~220 mg/L 之間，懸浮固體物(SS)亦然。另排出的總固體物(TS)約 600~700 mg/L，其中溶解性的約 500 mg/L，而總固體物中屬於有機可揮發性(VS)的濃度，約 150 mg/L，其餘為無機性。因之污水水質濃度也依每人每日用水量的多少而異，如表 2.2(在用戶完整接管之下)。

另在排出的污水中的總氮(T-N)約 40 mg/L，其中有機氮約 15 mg/L，來自廚渣或糞便，而氨氮則來自排尿，其濃度約 25 mg/L，兩者合計為凱氏氮。至於總磷(T-P)則來自食物、排泄物及清潔劑等，濃度約 5mg/L。至於各種事業廢水及畜牧廢水水質則濃度更高，如表 2.3 及表 2.4。

表 2.2 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℃}	160~220
COD _{cr}	250~350
SS	160~220
TS	600~700
FS	450~500
VS	150~200
T-N	40
有機氮	15
氨氮	25
NO ₂ -N	0
NO ₃ -N	0
T-P	5
有機磷	1
無機磷	4

資料來源：本案彙整

表 2.3 各種事業廢水量及水質

事業類別	廢水量 ⁷ (CMD/ha)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)
印刷電路板製造業 ¹	240~980	40~360	-	20~940
金屬表面處理業 ²	6~162	-	36~492	34~237
紡織業 ²	87~410	70~178	288~375	34~110
石化業 ³	5~37	120~180	300~450	-
製革業 ⁴	18~160	458~2,240	1,640~5,430	1,060~1,960
印染整理業 ⁴	18~160	65~1,600	310~4,530	9~700
金屬基本工業 ⁵	14~485		142~2,630	35~423
造紙業 ⁵	448~698	178~239	463~577	224~468
罐頭食品業 ⁶	67~83	300~400	-	200~3,000

資料來源：

- 1.事業廢水污染特性分析及污染物控制研議計畫，環保署(104.12)
- 2.產業廢水風險管理與污染防治研議計畫，環保署(105.12)
- 3.事業廢水分業分級管制及個別許可強化管理計畫，環保署(100.12)
- 4.事業廢水水質特性分析及污染管制措施研議計畫，環保署(102.12)
- 5.事業廢水污染特性分析及管制措施研議計畫，環保署(103.12)
- 6.廢水處理廠操作管理，工業局(82.6)
- 7.廢水量參考經濟部用水計畫書作業審查要點之用水量規劃建議值以 0.85 進行折算。

表 2.4 養豬廢水單位污染負荷量

資料編號 水質項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	建議值
BOD(g/頭·日)	200	200	244	78	176.2	200	100	100	100	100
SS(g/頭·日)	180	240	240	435	166.4	350	250	—	—	250
廢水量(L/頭·日)										250

資料來源：

- 1.新竹縣政府環境保護局，「100 年度新竹縣養豬業源頭減量清潔養豬(豬廁所)及豬糞再利用示範推廣計畫」。
- 2.臺灣省畜產試驗所，「豬糞尿處理設施工程設計、施工手冊」。
- 3.環保署，「放流水標準支援計畫」。
- 4.臺大環工所，「臺灣養豬廢水代處理之可行性探討研究」。
- 5.環保署，「得子口溪流域污染整治規劃」。
- 6.環保署，「阿公店溪流域污染整治規劃」。
- 7.國立成功大學，「曾文溪流域水污染防治規劃總報告」。
- 8.環保署，「水質保護策略及措施」。

基於上述敘述，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 之污染量建議採每人每日 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，設用水量每人每日 180~250 公升，則原污水 BOD 及 SS 之濃度約為 160~220 mg/L。

台灣各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，部分系統包括有截流污水、化糞池未拆除及雨污水未徹底分流者，故實際進流水濃度之基本數據尚待建立。依目前運轉中的污水廠，較具代表性者，經調查中規模(約 30,000 CMD)之淡水污水廠逐小時進流水流量水質變化獲致：

- 1.最大時與平均日之比為 1.28 倍。
- 2.進流水最高 BOD 濃度約 122 mg/L。
- 3.進流水最高 COD 濃度約 360 mg/L。
- 4.進流水最高總氮濃度約 37.5 mg/L，氨氮濃度約 36 mg/L。
- 5.進流水最高總磷濃度約 4.2 mg/L，最高正磷酸鹽濃度約 3.2 mg/L。

上述進流水日間流量及濃度變化如圖 2.3，各項目之數值統計如表 2.5。

另北大特區及桃園北區兩污水處理廠進流水水量及水質變化調查例，如表 2.6 及 2.7。

各污水處理廠之進流水水質，顯較建議之綜合生活污水水質稍低，其原因包括污水下水道系統滲入水稀釋，用戶接管時既有化糞池未填除，初期供用流量較低，而有因流速不足，致部分沉積於管內，以及若輸送系統較遠，則有部分有機物在流動過程中降解等所致。

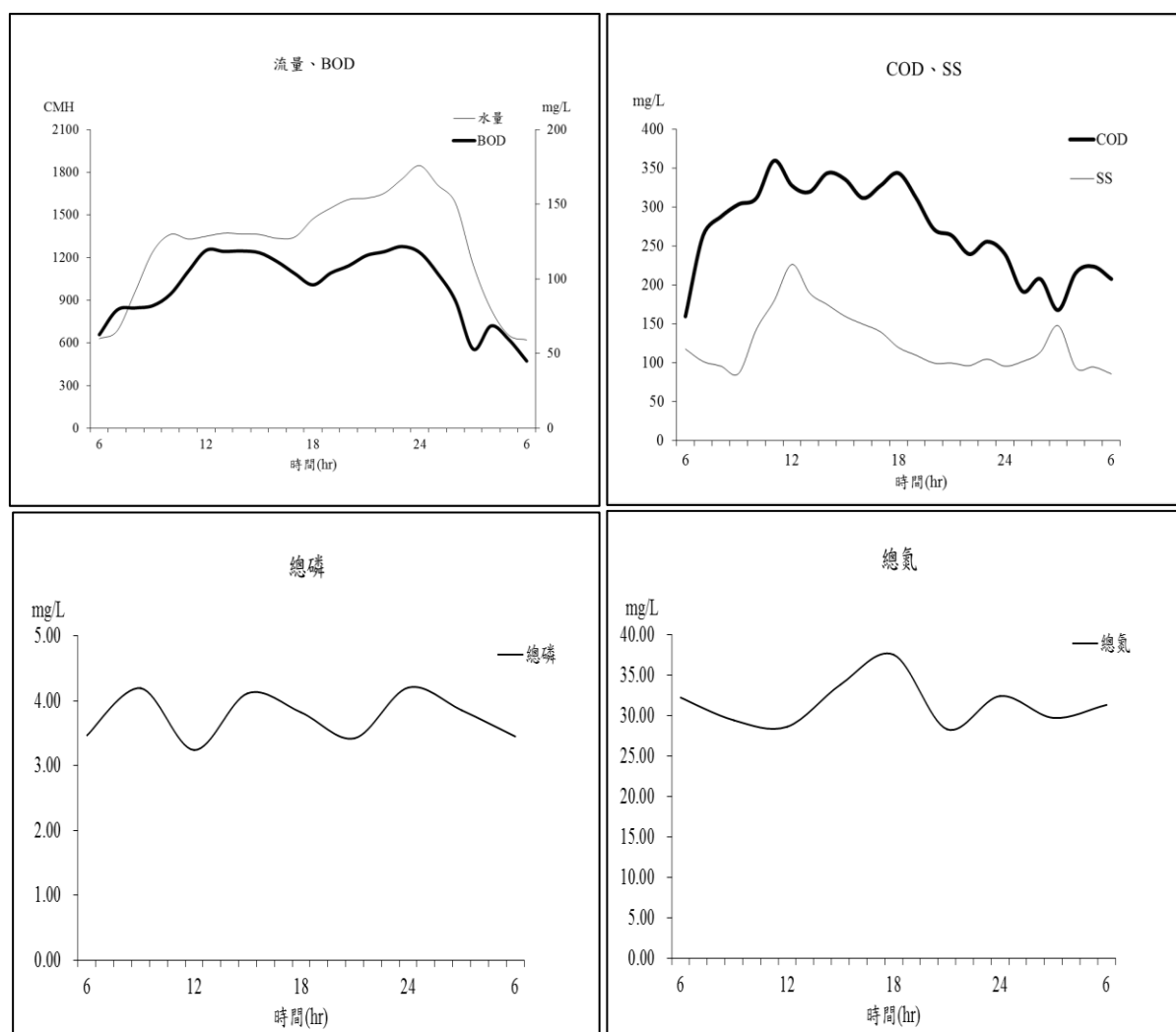


圖 2.3 台灣中規模污水廠進流水流量及水質日間變化(淡水廠例)
(淡水廠例,2016 年 12 月調查)

表 2.5 台灣中規模污水廠進流水量及水質變化(淡水廠例)

淡水水資中心進流水水質								
項目 數值	水量	BOD	COD	SS	總氮	氨氮	正磷酸鹽	總磷
	CMH	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg NH ₄ -N/L	mg PO ₄ -P/L	mg/L
最高值	1846.0	121.6	360.0	226.7	37.5	35.5	3.2	4.2
最低值	621.0	45.0	159.9	86.0	28.3	24.5	1.6	3.2
平均值	1295.2	95.3	271.9	125.3	31.4	29.3	2.6	3.7
標準差	367.9	23.4	58.6	37.3	2.9	2.7	0.4	0.3

表 2.6 北大特區污水處理廠進流水水量及水質變化調查例(2017 年)

北大特區污水處理設施原水水質								
項目 數值	水量	BOD	COD	SS	NH ₃ -N	PO ₄ -P	TP	TN
	CMH	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
最高值	718.0	159.3	492.3	220.7	37.7	4.5	6.6	45.0
最低值	208.3	49.3	125.1	37.9	17.0	1.6	2.7	26.7
平均值	490.3	113.1	335.1	130.4	27.8	2.6	3.9	33.6
標準差	143.5	19.7	78.9	35.0	5.1	0.6	1.0	5.2

表 2.7 桃園北區污水處理廠進流水水量及水質變化調查例(2017 年)

桃園北區水資源回收中心原水水質								
項目 數值	水量	BOD	COD	SS	NH ₃ -N	PO ₄ -P	TP	TN
	CMH	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
最高值	520.8	117.2	336.7	118.6	39.5	4.0	5.3	41.8
最低值	0.0	80.9	212.5	40.9	22.0	2.1	3.6	30.7
平均值	195.0	100.1	259.2	67.8	28.0	2.9	4.3	35.0
標準差	115.7	9.3	33.9	16.6	3.5	0.5	0.5	3.2

2.2.4 設計污水量及水質

污水處理廠設計污水量及水質，依計畫污水量及計畫污水水質於考量下列決定之：

1. 污水處理廠設計污水量依污水處理等級及設施決定設計污水量。
2. 設計水質依污水處理廠進流水質及污泥處理之迴流水水質決定。
3. 進流水水量及水質變動必須加以考量。

解說：

1. 污水處理廠各處理等級及設施之設計污水量如表 2.8。

表 2.8 污水處理廠各處理等級及設施設計污水量

	設計污水量	設施
初級處理	計畫最大時污水量	進流抽水站、攔污柵、沉砂池
	計畫最大日污水量	初級沉澱池
二級處理	計畫最大日污水量+污泥處理迴流水量	反應槽、二級沉澱池等
三級處理	依二級處理水流出量或預計回收需求量	快砂濾池

註：上述計畫污水量係包括各種循環污水量，依質量平衡而定。反應槽係指生物處理單元。

2.設計處理水水質

依每人每日污染負荷量除以每人每日污水量，並考量污水處理廠進流水水質變動狀況，同時考量污泥處理迴流水流入點之水質預估值決定之。

3.水量及水質的時間變動

由於進流水水質水量變動大，其設計污水量及水質應酌加考量，以因應時間之極大變動值。

2.3 污水處理廠設計及建設階段性工作內容

污水處理計畫案之主要執行可分成：1.規劃、2.設計、3.施工監造，其中在規劃及設計階段除了須將計畫案逐步製作成發包文件外，並應在操作及維護手冊中提供流程說明、操作及控制等資料。污水處理廠設計各階段及建設階段工作內容分析圖，如圖 2.4。

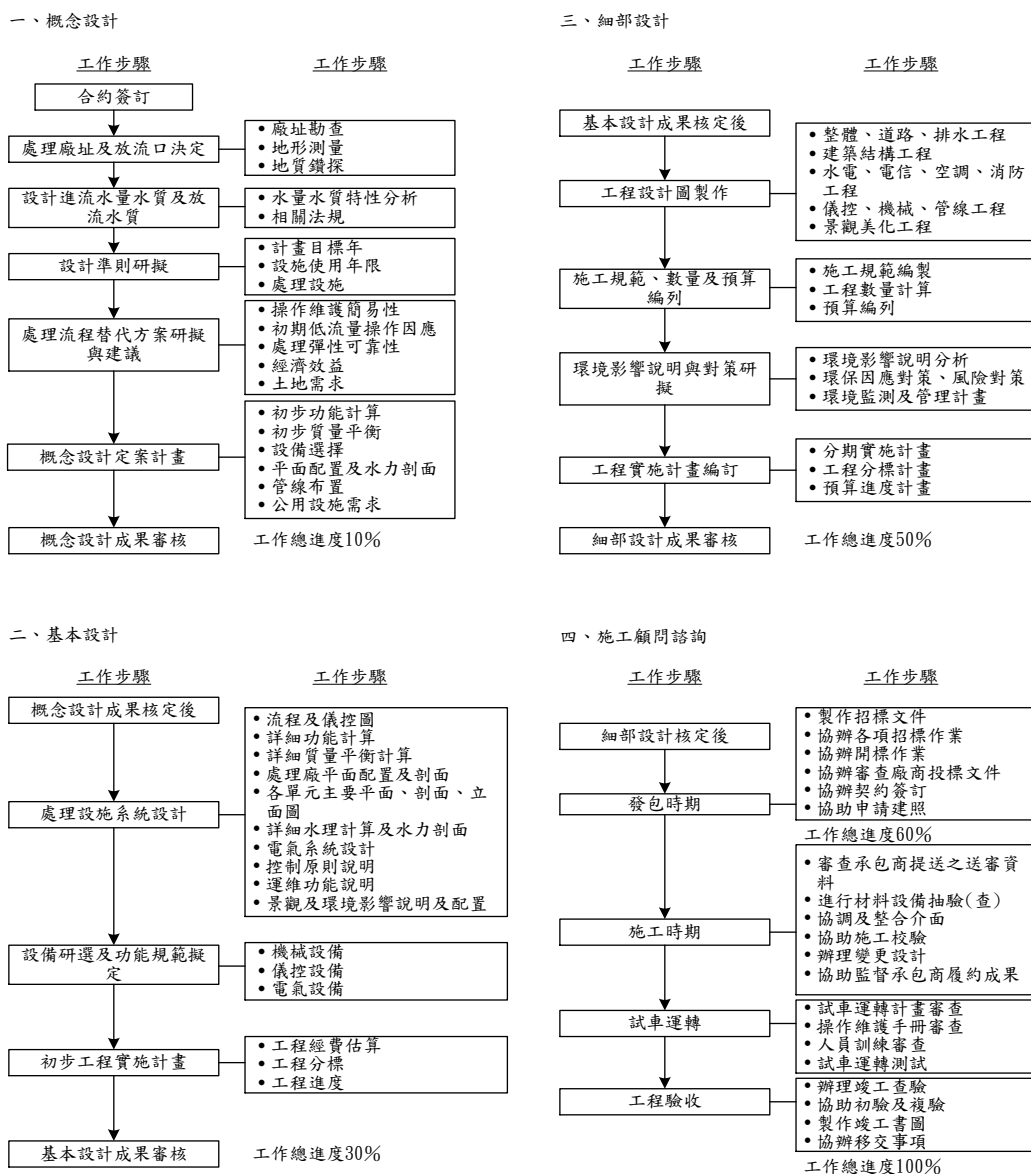


圖 2.4 污水廠設計各階段及建設階段工作內容分析圖

2.3.1 規劃階段

規劃階段應考量事項如下：

規劃係針對技術、經濟、環境、及財務等因素作系統性的分析，以達到經濟可行的污水處理計畫報告。

解說：

污水處理廠規劃階段工作，除針對技術、經濟、環境、財務、能資源回收做整體的可行性規劃外，可能包括環境影響評估，但在大型計畫案，環境影響評估通常為一份獨立報告。規劃範圍包括：(1)介定議題、(2)確定設計年限(通常至少20年)、(3)指定數個處理及處置系統方案，闡述其優缺點並做分析評估、(4)選出定案方案、(5)製作執行計畫大綱，包括財務安排及設計和施工工期表。規劃終極目標係一份具備明確定義、經濟有效、環境方面健全的計畫，能夠執行並可被民眾及監管單位所接受。

2.3.2 設計及建設階段

設計及建設階段應考量事項如下：

規劃之後，一般的設計及發包建造階段之流程應為包括概念設計、基本設計、細部設計及發包監造四階段，而必要時進行特別研究。

解說：

污水處理廠在設計階段的工作，即包括概念設計、基本設計、細部設計及發包監造四階段。概念設計係對規劃中所用的基本設計準則作確定，建立初步的設施配置，確定須要的廠址調查，如測量、地質鑽探及試驗分析等。基本設計係概念設計的擴充，對計畫中預備含蓋的設施作全盤的確認，以便進行細部設計。特別研究可能包括製定設計準則所須的現場研究或試驗。細部設計包括製作詳細契約書及規範以便發包及興建。細部設計包括減少或減輕不可避免的環境衝擊的策略。

1.概念設計

一個計畫案能成功完成，絕大部分係取決於計畫早期階段思考及行動的品質，在計畫案的概念及初步階段，主要工程決策應已作決定、設備型式應已選定、設施的初步配置應已完成。概念設計期間應完成的工作，包括：基本設計數據的訂定、功能計算及質量平衡計算、完成處理流程圖、處理廠水力分析及製備水力剖面圖、確定操作及控制策略、建立設施廠區配置圖及分期建設方案。在此階段，地形測量及土壤鑽探也應完成，土壤試驗在確定基礎條件及建立結構設計準則時特別重要，完成率為10%。

2.基本設計

基本設計階段代表計畫約30%的階段，基本設計期間，完成處理系統設計，廠區平面配置已完成、主要設備已確定、機械設備方案及管線配置已建立、空間需求及建築概念已形成、附屬支援系統及水電瓦斯等設施需求已決定。在此階段，

應包括單元處理流程控制說明、各單元主要平面、立面、剖面圖，應將生命週期納入考量，並依據鑽探報告地質資料，評估基礎型式或地盤改良方案，設計應已足夠進展到能初步工程實施計畫的工程預算。

3.細部設計

處理廠設施設計圖的製作、施工及規範、數量、預算編列、編訂工程實施計畫，此工作通常係由技術顧問公司執行，須有各種專業的專家共同協力，包括不同部門專業的工程師(土木、環工、化工、機械、電氣、結構、大地等)、建築師、繪圖員、其他技術及支援人才共同製訂。計畫及規範會成為正式文件，承包商據此編製施工報價，而監造人員則據此要求承包商依據規定負責完成計畫案。

4.發包及監造

為細部設計經審核後，進入發包、建設施工、試車運轉及驗收階段，其主要工作包括招標及投標審標、合約、申請建照，再進入工程施工、監造，而於完工後進行試車運轉、人員訓練、完成竣工圖至工程驗收為止。

5.特別研究

特別研究有時係在基本設計階段以前或基本設計階段期間執行，研究可能包括新設備或程序的模廠試驗、背景或現況的臭氣量測、或承受水體調查以決定放流地點的擴散特性。在細部設計開始前這些調查須完成以消除不確定性及昂貴的重新設計。

2.4 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.污水處理廠進流水水量及水質。
- 3.污水處理水回收再利用及用途。
- 4.污泥處理方法，污泥有效利用與否及用途或最終處置。
- 5.污水處理廠用地條件及地域特性。
- 6.操作維護管理性。
- 7.經濟性。
- 8.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。
- 9.污水處理程序的選擇，應就整體性加以評估檢討。

2.4.1 計畫放流水水質

計畫放流水水質應考量事項如下：

污水處理廠處理水水質，依現行及未來修訂之放流水水質設計之。

解說：

依行政院環保署民國 106 民國 12 月 25 日公告，包括公共污水下水道系統放流水水質項目及限值(表 2.9)、社區專用污水下水道系統放流水水質項目及限值

(表 2.10)建築物污水處理設施放流水水質項目及限值(表 2.11)之相關限值設計之。

表2.9 公共污水下水道系統放流水水質項目及限值

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。					

單位：pH 值、真色度皆無單位。大腸桿菌群：CFU/100 mL。戴奧辛：pg I-TEQ/L。其他各項目：mg/L。

表 2.10 社區專用污水下水道系統放流水水質項目及限值

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	

單位：pH 值、真色度皆無單位。大腸桿菌群：CFU/100 mL。戴奧辛：pg I-TEQ/L。其他各項目：mg/L。

表 2.11 建築物污水處理設施放流水水質項目及限值

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
中華民國九十八年八月一日以後申請建造執照者	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
	流量介於五0—二五0立方公尺／日	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
中華民國九十七年十二月三十一日以前申請建造執照者	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
	流量介於五0—二五0立方公尺／日	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
	流量小於五0立方公尺／日	生化需氧量		八0
		化學需氧量		二五0
		懸浮固體		八0

單位：pH 值、真色度皆無單位。大腸桿菌群：CFU/100 mL。戴奧辛：pg I-TEQ/L。其他各項目：mg/L。

2.4.2 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水量及水質之推估，應同時考量水量及水質的變動特性，以及放流點之承受水體要求，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，以為系統選定之依據，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已於第 2.2.4 討論。

另放流點若位於自來水水源保護區者，其進流水質及處理方法的選擇，則需考量氮、磷之水質濃度。

2.4.3 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，應依回收利用所需水質檢討處理程序。

解說：

污水處理廠處理水由於水量穩定為一可靠的水資源，可供澆灌與清洗用水、事業廢水、沖廁用水、農業用途用水及環境維持用水。惟成為再生利用用水之條件，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。
- 3.舒適度之問題：臭味。
- 4.污染上之問題：BOD、pH、氨氮、總磷。
- 5.供水系統不造成障礙：結垢、軟泥的形成。

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，而僅就再利用量部分進行再利用量之處理。

2.4.4 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，如污泥厭氧消化會稀釋，而厭、好氧消化由於固體物分解也會增加 COD 及氮氮等，致其分離水之水質會影響污水處理程序及效果。另污泥的產生量大小也是一大因素，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. 污泥之穩定處理一般中規模採用好氧消化，大規模採用厭氧消化，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。

2.4.5 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。

2. 在地域特性上應考量的事項，包括：

- (1) 氣象條件(氣溫、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(噪音、振動、空污等法)。
- (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。

2.4.6 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性納入考量，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、人力需求、技術水準、點檢及維修頻率及位置數，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。

2.4.7 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、建設費及維護管理費充分檢討比較之。

- 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，應就耗能納入比較之。
 - 2. 污水處理方法之不同，其建設費及操作維護管理費也異，故應就建設費、設備費及可使用年限評估比較其年限，同時加入耗能、操作維護費、分年維護費等，計算出生命周期總支出(LCC)，加以充分比較選定之。

2.4.8 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 2.5。污染物質之處理對象項目，可選定之處理方法，如表 2.12，可供參考。

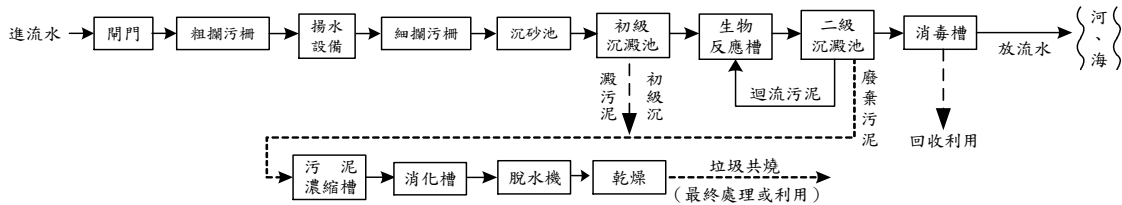


圖 2.5 一般污水處理流程圖(例)

表 2.12 污水去除物質及其處理方法

項目	處理方法
有機物去除	標準活性污泥法
有機物及氮去除	各種生物處理法、厭氧好氧處理法
有機物及磷去除	厭氧、好氧活性污泥法
有機物、氮及磷去除	厭氧、缺氧及好氧處理法

- 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，表 2.13 可供參考。

表 2.13 各種污水處理方法之不同可達到之水質(日本)

處理水水質 (mg/L)		生化需氧量	10.0 以下										10.0~15.0			
		總氮	10 以下				10.0~20						20.0 以下			
		總磷	0.5 以下	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 3.0		1.0 以下	1.0 ~ 3.0		1.0 以下	1.0 ~ 2.0		3.0 以下		3.0 以下	
標準活性污泥法																◎
	併用快濾法處理											◎				○
	添加凝聚劑														○	○
	添加凝聚劑及快濾									○	○	○			○	○
好氧缺氧脫氮法														◎		○
	添加有機物													○		○
	併用快濾處理								◎			○		○		○
	添加有機物、快濾併用					◎			○			○		○		○
	添加有機物、凝聚劑併用快濾			◎	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
厭氧好氧活性污泥法															◎	○
	併用快砂濾法											◎	○		○	○
	添加凝聚劑														○	○
	添加凝聚劑、併用快砂濾法									◎	○	○			○	○
厭氧缺氧好氧法													◎	◎	◎	○
	添加有機物												○	○	○	○
	併用快砂濾法							◎	◎			◎	○	○	○	○
	添加凝聚劑												○	○	○	○
	添加有機物、併用快砂濾法				◎	◎		○	○			○	○	○	○	○
	添加有機物、凝聚劑												○	○	○	○
	添加凝聚劑、併用快砂濾法									◎	○	○	○	○	○	○
	添加有機物、凝聚劑、併用快砂濾法	◎	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

備註：日本下水道協會，下水道設施計畫設計指針と解説，2009 年

1. 活性污泥法指包括氧化渠法、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. ◎：可達到該水質指標濃度的處理法。○：同樣也可達到的相關處理法。
4. 處理水水質項目中，空白係表示無該水質要求。

2.4.9 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：

污水處理除要達到污水處理水放流水水質之要求，其程序的選擇，必須充分評估檢討其他各重要因素，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. 以系統方法方法評估單元操作及單元程序：污水處理廠的單元操作及單元程序的不同組合係一種系統，設計時須以系統方法評估單元操作及單元程序的不同組合及其相互作用，例如：採用調節池時須考量其下游各處理單元水量及水質負荷的減少，另外係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，故質量平衡分析為系統評估之重要一環。
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，有必要作模廠實驗。
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。
5. 應用的流量變化：大多數單元操作及程序必須設計在廣泛流量變化範圍內能操作，而大多數程序在相對穩定流量下有最佳的處理效果，如果流量變化太大，有須要採用流量調節。
6. 進流污水特性：進流污水的特性會影響預備採用程序的種類(例如：化學或生物)及適當操作這些程序的需求性。
7. 抑制及無法處理的污染物成份：污水中含有之污染物成份，其可能對處理程序有否抑制作用，在處理過程中能否有效處理。
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，較高溫度可能加速臭氣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、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. 性能：性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：污泥處理及處理成本高低，處理過程迴流之固體物會否影響污水單元操作或程序，污泥處理系統的選擇須與液體處理系統的選擇同步進行。
13. 水頭需求：污水單元操作或程序通常採重力流方法，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。污泥單元操作或程序通常採壓力流方法。
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單元操作或程序。
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，須要去除特定成分如氮、磷。
16. 化學藥劑需求：部分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，能源需求以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，以便能順利執行單元操作或程序處理系統。
19. 人員需求：須要多少人及何等技術，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：單元操作或程序的長期可靠度，該單元操作或程序是否穩定，受周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程序之複雜性，操作人員須有訓練以因應。
24. 相容性：單元操作或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正考量中的設施，以及未來的擴充，有多少緩衝區可做為景觀綠地以減少視覺及其他衝擊。

2.5 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(最大日污水量)用地需求，如表 2.14。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 2.14 污水處理廠依規模別單位處理量用地需求

單位： $(\text{m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{日})$

處理規模($\text{m}^3/\text{日}$)	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、水理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。

一、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、土質及基礎條件、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、操作之可靠度及經濟性、景觀、環境之控制、未來擴廠之準備(包括增加土地面積)等等，而在配置上一般需考量下列數點：

1. 污水廠用地若與住宅相鄰接，則應有充分的緩衝綠地隔離之。
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，中小規模廠考量操作維護及管線配置成本並不建議設置管廊。
3. 初級沉澱池、生物反應槽、二級沉澱池應採數池槽自成一系列系統配置之。並視污水之增加及經濟狀況，分期增設擴建。
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，應考量油脂之去除設計之。
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、水處理機械房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之水質檢驗室，並做適當配置。
8. 應可由管理中心監控室環視全廠區配置之。
9. 處理廠為防止臭氣外溢，必要時進流抽水站應設於室內，初級沉澱池及濃縮池等皆應加蓋，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)操作人員、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 and 方向，以維安全，以及方便觀察。
- (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，亦須考量大型車可通行，另應有側門供污泥車搬運出入。
- (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，可溢流至鄰近雨水下水道人孔箱連結之緊急排水設施，以維護污水處理廠之安全。

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，大規模(含)以上至少應分三期，中規模(含)至少分二期。

- (3)鼓風機房、脫水機房、抽水機房、電氣機房應預留設備搬出入口，以及維修所需間距、吊升高度及換氣之考量。

4.處理功能方面

- (1)污水處理及污泥處理分成數系列配置之，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、鼓風機室、污泥處理設施等，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、電機房、污泥處理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，表 2.15 污水處理廠配置考量事項表。

二、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略設計，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之植栽用地做為與附近住戶的緩衝綠地分隔，接著再往內劃設一條環廠主要道路。
- (三)污水處理廠各單元設施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，全廠水頭損失不得大於 3.5 m，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。
- (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 $\varphi 150$ 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。

表2.15 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.住民要求	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.土地的有效利用（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、生物廢棄污泥、脫離液、污泥餅、浮渣） 4.人的動線（管理、檢核） 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（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

(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 2.6 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，各單元連結，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。

三、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。

污水處理廠的配置依污水處理廠規模，採(1)集中型、(2)集中+分散型、及(3)分散型配置，其優缺點比較如表 2.16。

表 2.16 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. 水處理設施。 2. 管理部門，沉砂池、泵浦部門，鼓風機機房，污泥處理機房。 3. 消化槽。 4. 消毒房。	1. 動線最短。 2. 建設費最低。 3. 維護管理較易。 4. 能源部門集中。	1. 噪音振動易對其他部門造成影響。 2. 污泥處理之通風影響較大。 3. 由於日照面積比小，來自直接採光較差。
(2) 集中 + 分散型		1. 水處理設施。 2. 管理部門，沉砂及泵浦部門，鼓風機機房。 3. 污泥處理機房。 4. 消化槽。 5. 消毒房。	1. 污泥處理設施遠離，故對其他影響較少。 2. 污泥處理若委託辦理，可有明確的工作分界。	1. 管理部門與污泥部門之聯絡不便。 2. 2及3之距離稍遠。
(3) 分散型		1. 水處理設施。 2. 管理部門。 3. 污泥處理機房。 4. 沉砂池、泵浦部門。 5. 鼓風機機房。 6. 消化槽。 7. 消毒房。	1. 分期建設較易。 2. 北側臨河川，因之將來即使住宅接近，其影響較小。 3. 噪音、振動、臭氣之影響最少。 4. 鼓風機接近處理設施較經濟。	1. 管理部門與其他設施距離過遠。

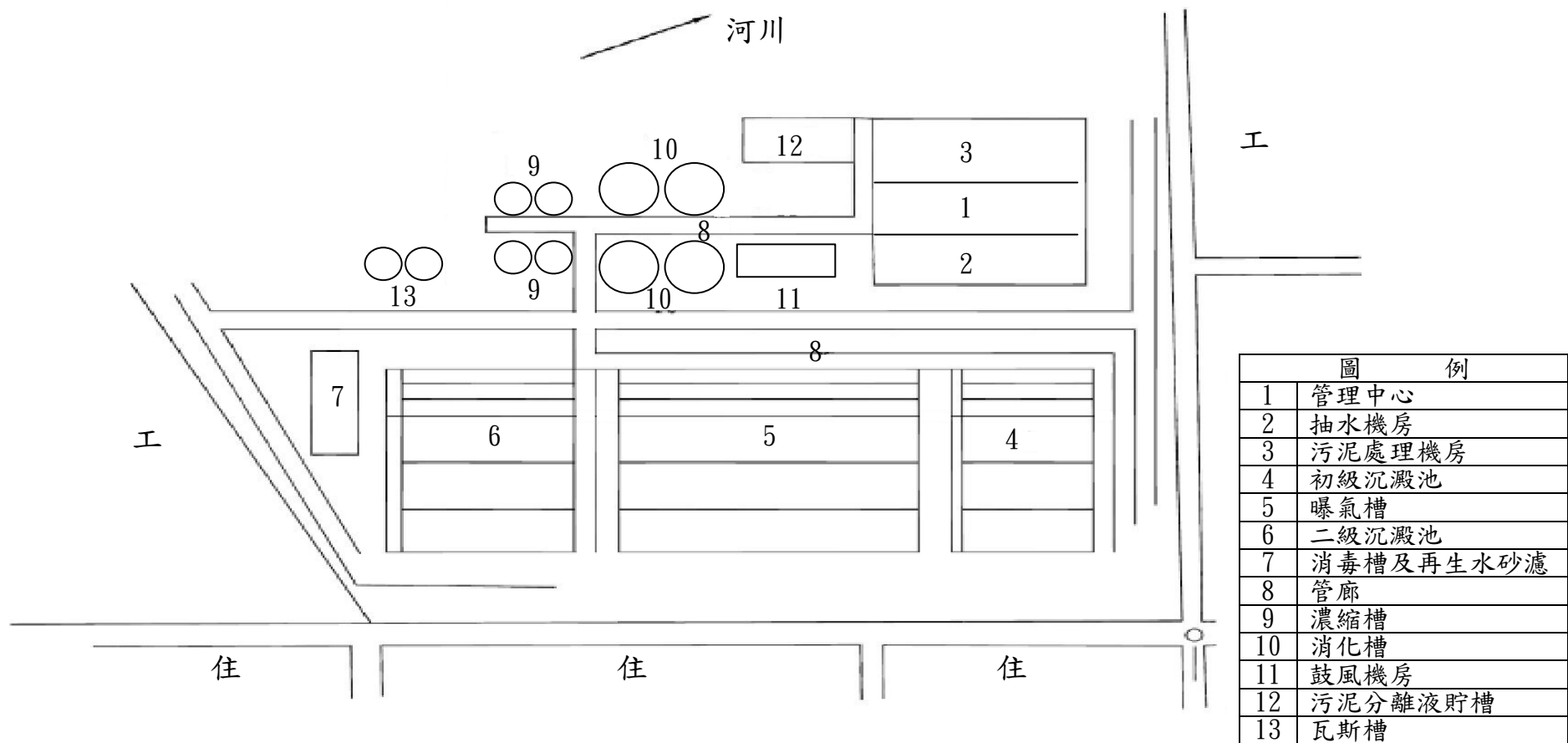


圖 2.6 平面配置方案檢討最佳方案(例)

2.6 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，本節說其設置應有之考量加以討論，至於各池槽的分水，另於 9.6 節討論。

2.6.1 污水處理池槽構造

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. 池槽應考量能排乾池水的措施。
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。
7. 廠內池槽設置應考量能節省土地面積。

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，土壤承载力，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 to 1000 ppm)侵蝕的鋼筋混凝土池槽應採用抗硫化物水泥。
- (5)同樣結構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：臭氧消毒槽、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 2.7)，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。

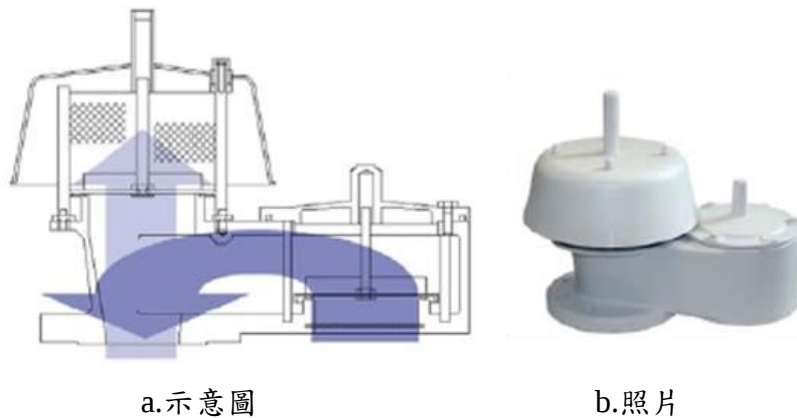


圖 2.7 釋壓及真空閥

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，②③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，必需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的目的。故欲在池槽設置排水閘門，首應考量的即係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桿扶手高度，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)，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並應設置銜接車行道路的維護管理步道。

2.7 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，從流程依各設備之耗能加以考量節能設計，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，進行設備設計及選擇，以達到節能的目標。

污水處理廠各主要設備節能設計考量，如表 2.17。

表 2.17 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.刮泥機間歇操作(定時、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.浮渣去除設備提升浮渣捕捉率(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.防止曝氣系統阻塞(壓損降低) 4.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) 5.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.刮泥機間歇操作(定時、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.迴流污泥泵浦(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)
		三級處理設備	1.水中攪拌機、曝氣機(轉速管控、間歇操作) 2.硝化循環泵浦(流量管控、台數管控、轉速管控) 3.最佳化砂濾、生物膜等過濾設備沖洗計畫
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
污	電氣	污泥乾燥設備	1.污泥乾燥爐操作運轉計畫與污泥餅產量調整

流程	設備區分		設備、系統、技術 具體內容	
泥乾 燥 流 程	使用 設備		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，這對於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、誘導電壓調整器等具有穩定電壓功能。
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，控制系統並列、解列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。
			功率因素自 動改善裝置	測定系統功率因數，以達到 1.0 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。
		運轉速 管度管	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。

流程	設備區分		設備、系統、技術 具體內容
	控	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。
	計測管 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 空調系統 (VCS)	水化物與水溶液混合的熱傳導媒介劑，屬於高密度材質，可提升冷熱能的傳導功能，降低空調系統動力消耗。

流程	設備區分			設備、系統、技術 具體內容
		空調設備相關及其他	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。
		電扶梯	自動運轉裝	電扶梯前加設光感器具，光感有使用者時電扶梯

流程	設備區分			設備、系統、技術 具體內容
			置	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

2.8 污水處理廠站多目標利用

污水處理廠站多目標利用應考量事項如下：

污水處理廠及抽水站的上部空間等，係都市中貴重的開放空間，亟應加以考量利用。

解說：

污水處理廠站設施或廠地上部空間做為公園、運動設施、避難所、產生能源等利用，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。污水處理廠及抽水站的上部廠地做為多目標用途時，可利用之型式如表 2.18。

表 2.18 污水處理廠站多目標利用之型式

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

污水處理廠廠地多目標利用如依照對民眾開放的方法可分兩種，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法的多目標利用廠地可分成兩種方法，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。採用第二種開放方法的多目標利用廠地，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。

污水處理廠及抽水站等的上部空間利用，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。

2.9 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. 污水處理廠分期之第一期建設會受到收集系統建設期程之影響，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設施補注處理量，因此於概念設計時就應將初期操作維護需求，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。
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. 營運初期進流量低，進流水應有可直接自進流抽水經攔污、沉砂程序過後繞流入生物反應槽的考量。
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. 污水處理廠分期之第二期以後之建設，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 抽水站及前處理設施

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、設置在河道上之截流站及抽水站、和污水處理廠之進流抽水站三種。中繼加壓站多設於管線埋設甚深或位於低窪地帶，非藉抽水設備無法將污水揚升至適當高程者。截流站及抽水站的運作係先以設置在河道上的閘門將晴天污水及梅雨初期的逕流阻擋住，再透過截流站機房內設置的抽水機將污水抽送至污水管線及污水處理廠者。污水處理廠之進流抽水站係使污水在處理過程中能以重力方式流過整廠，且最終能放流至承受水體者。

典型中大型抽水站之組成，包括設置於污水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，以保護下游抽水機及各處理設施，並避免阻塞管線為目的粗攔污柵，甚至是能將污水中的粗固體物破碎的破碎機，以及作為抽水站主角之乾井、濕井、抽水機及其附屬設施，圖 3.1 所示為臺北市內湖污水處理廠之進流抽水站。本書僅討論污水中繼加壓站及污水處理廠之進流抽水站，至於截流站及抽水站則不列入本書之討論範圍。

在污水處理廠中，與進流抽水站同時並列為前處理設施的，尚有細攔污柵及沉砂池，其設置地點通常位於緊臨進流抽水站的下游端地面層，考量的著眼點係減少採深開挖方式興建的進流抽水站的容積，並方便操作人員在自然採光及自然通氣下的操作及維修。

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及污水處理廠進流抽水站，皆以污水最大時流量為設計流量。但由於抽水站一天內的時變遷相當大，故需考量以多台且不同容量之抽水機因應之。

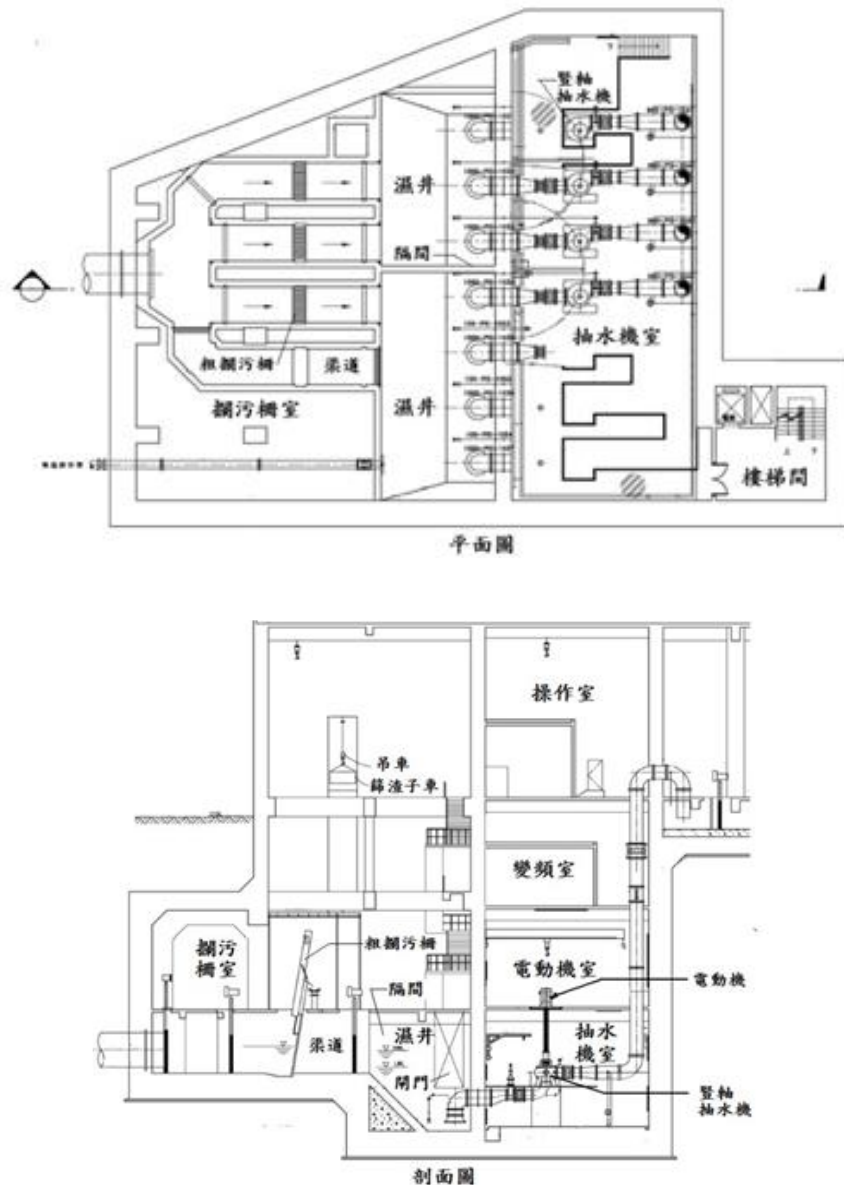


圖 3.1 污水處理廠進流抽水站例(臺北市內湖污水處理廠)

3.2.2 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，可緊急溢流鄰近雨水下水道人孔相連結之緊急排水設施，以維護污水處理廠安全。
抽水站地盤應高於周邊地盤，抽水機室、電機室、監控室等重要設備之外部開口部及通入口等，皆應高於重現期暴雨 100 年一次之洪水位加 0.5 m 之高程，並具水密性，以確保抽水機之抽水機能等防止淹水對策。
3. 污水下水道經收集污水至污水處理廠處理後之處理水，經放流管排放至承受水體之設施，稱為放流口。放流口之設置要點為：
 - (1) 放流口位置，應先與放流水體主管機關充分協議決定之，其放流方向之決定，應考量不使放流水在放流口附近停滯。
 - (2) 放流口管底之高程以位於承受水體之高水位及低水位之中間為原則。放流口管底高程不宜太高，因會造成承受水體底床沖刷，亦不宜過低，因會造成砂土侵入管內產生淤積問題。任何情況之下，放流口管底之高程不可低於承受水體底部高程。
 - (3) 當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，應設置自動閘門、舌閘及備用之手動式閘門或擋水設施，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，必須利用放流抽水機以壓力排放。
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。

3.3 閘門

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、蝶式閘門及排泥閘等，以及用於開孔之制水閘門、堰閘、舌閘等，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：

1. 豪雨或異常進流量時之保護，以防止抽水設備淹水。
2. 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。
3. 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。

3.3.1 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，其門框及門板的材質通常為石墨鑄鐵，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. 滑動閘門門框及門板可選擇 304L 或 316L 不鏽鋼及鑄鋁等材質，其開關裝置可依動力的不同，而區分為手動式及電動式。

解說：

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。

制水閘門門框及門板的材質可依閘門尺寸之大小及正壓/背壓水頭(seating/unseating head)之高低而可選擇石墨鑄鐵或不鏽鋼，當尺寸越大及正壓/被壓水頭越高時，則僅能選擇石墨鑄鐵，例如 4.3 m × 4.3 m 尺寸的制水閘門在正壓/被壓水頭超過 9 m 時，僅能選擇石墨鑄鐵；而 3.7 m × 3.7 m 尺寸的制水閘門在正壓/被壓水頭超過 12 m 時，亦僅能選擇石墨鑄鐵。用於污水抽水站之制水閘門通常以石墨鑄鐵材質為標準選擇。

傳統制水閘門之門框及門板的邊緣各自鑲有一圈表面光滑的鑄銅薄片，同時在門板的兩側、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，門框及門板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，使得門框及門板的鑄銅薄片會越靠越近，最後會達到緊密不漏水的狀況。傳統式鑄鐵制水閘門如圖 3.2 所示。

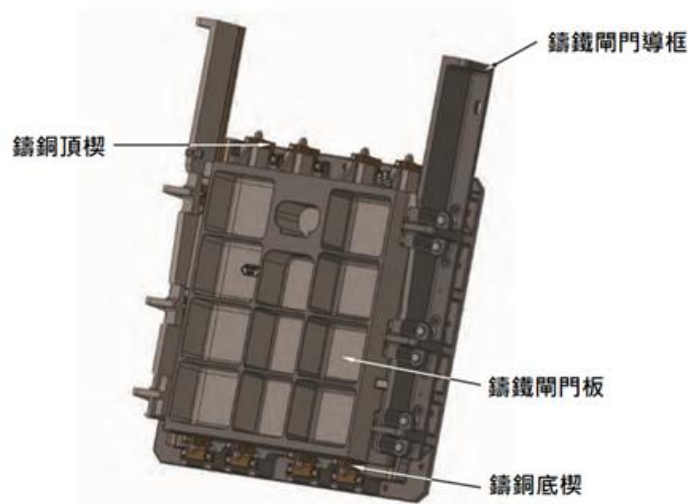
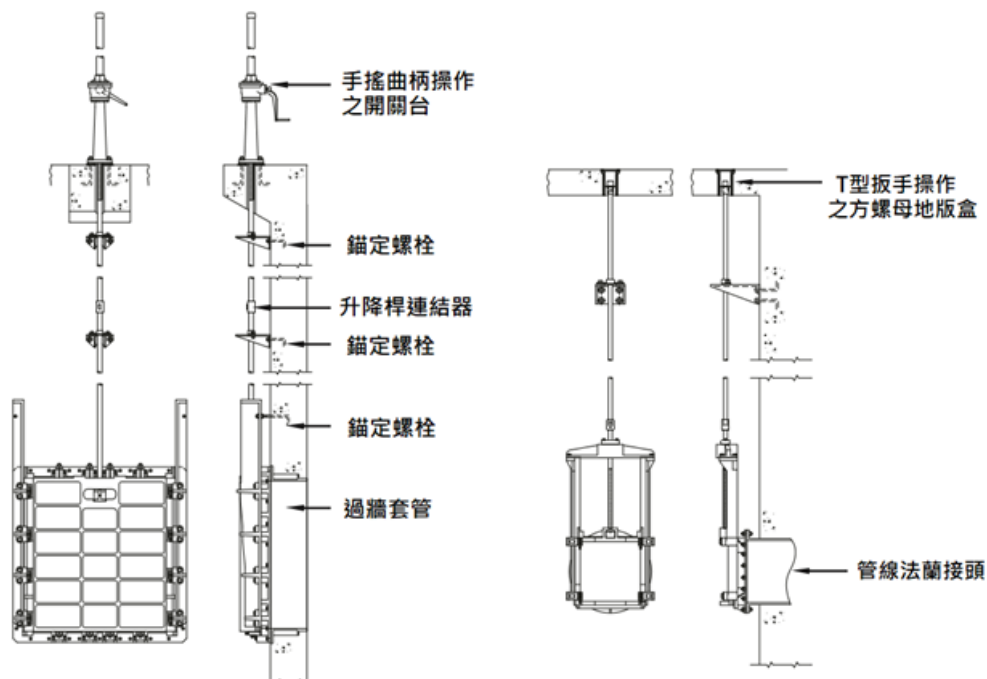


圖 3.2 傳統式鑄鐵制水閘門

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

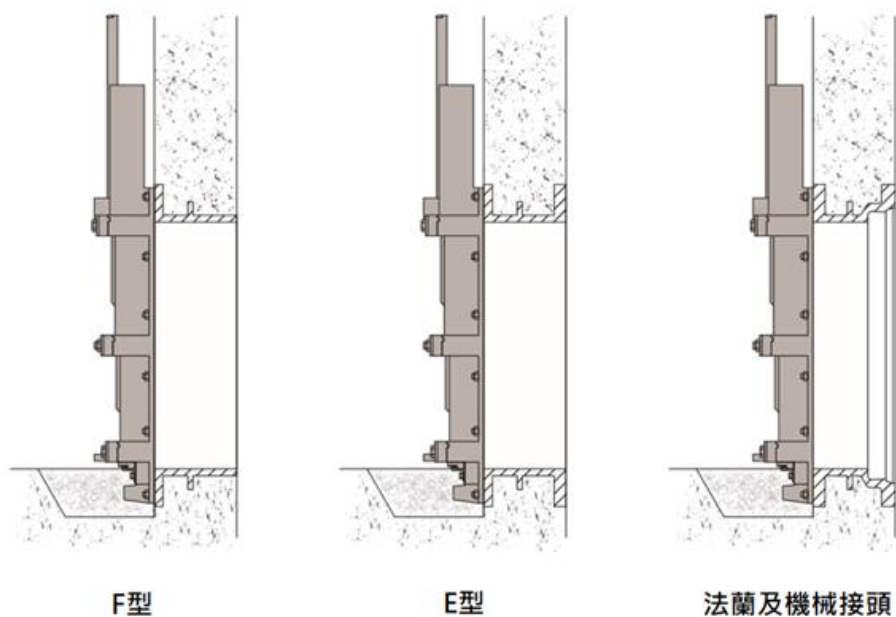
開孔亦可裝設鑄鐵管線法蘭接頭，使閘門框的法蘭可與過牆套管的法蘭或管線的法蘭相接合，如圖 3.3 所示。原則上矩形制水閘門之高寬比以 1.5：1 為標準。為防止過牆套管的法蘭漏水，閘門框的法蘭與過牆套管的法蘭間須設置橡膠墊片。過牆套管的型式可為 F 型、E 型及法蘭及機械接頭，如圖 3.4 所示，後者之機械接頭可直接與鑄鐵直管相連接。



A. 方形或矩形開孔的過牆套管

B. 圓形開孔的管線法蘭

圖 3.3 傳統式制水閘門之門框與過牆套管及管線的法蘭相接合



F型

E型

法蘭及機械接頭

圖 3.4 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 3.5 所示。



圖 3.5 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 3.4 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 3.6 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。

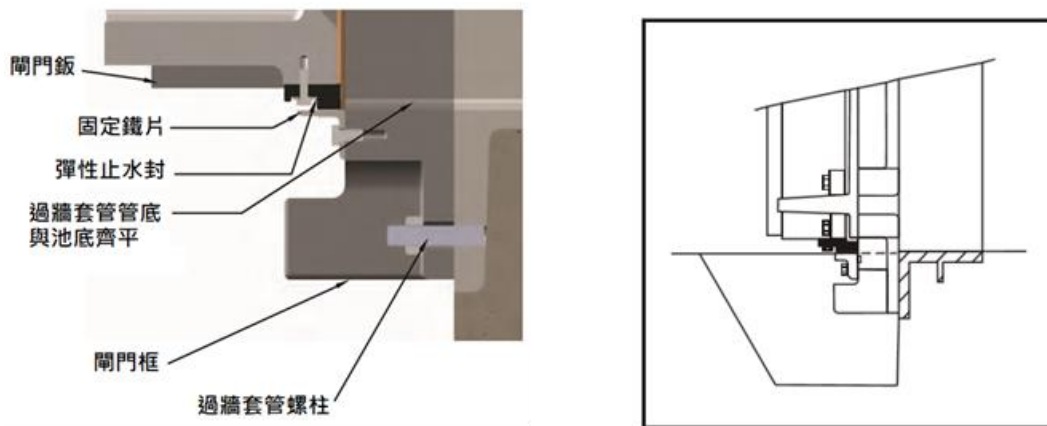
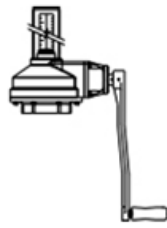
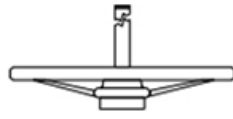


圖 3.6 新式制水閘門的底部可與池底齊平

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 3.7。



手搖曲柄



手輪



方螺母

A. 手動式



B. 電動式



C. 液壓式

圖 3.7 制水閘門開關裝置

制水閘門各種開關光至之特性及選擇應考量要項如表 3.1 所示。

表 3.1 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、閘門鉸、升降桿及手輪等元件，如圖 3.8 所示。滑動閘門門框及門鉸可選擇 304L 或 316L 不鏽鋼及鑄鋁等材質。

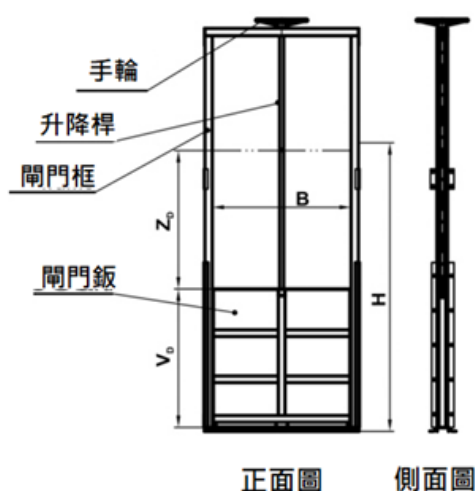
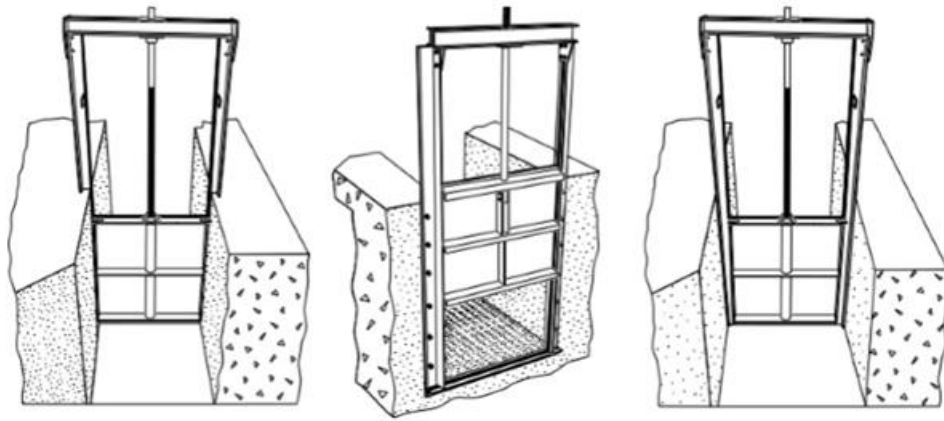


圖 3.8 滑動閘門

滑動閘門門鈹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 3.9 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 3.9 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、門鈹自重、桿件細長比等因素，以決定開關裝置採手動式或電動式，詳解說 2。

3.3.2 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：

$$A = \frac{Q}{N/V} (\text{m}^2) \dots\dots\dots(3-1)$$

$$H = 1.5 \times B = 1.23 \times \sqrt{A} \dots\dots\dots(3-2)$$

$$B = 0.82 \times \sqrt{A} \dots\dots\dots(3-3)$$

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 3.10 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。

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。

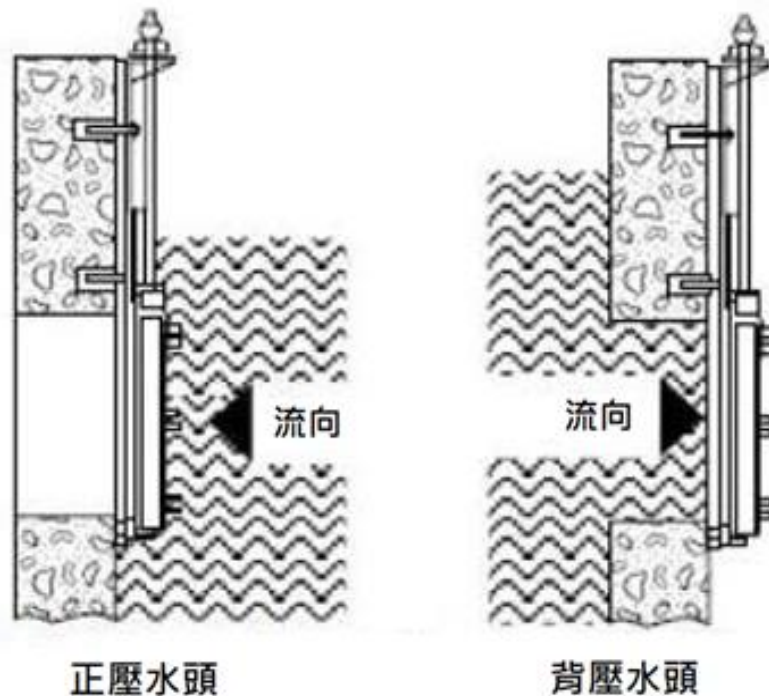


圖 3.10 制水閘門正壓/背壓水頭配置之比較

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。

3.4 攔污柵及破碎機

3.4.1 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. 粗攔污柵可細分成許多種類，在選擇時有不同之考量因素。
3. 細攔污柵可細分成許多種類，在選擇時有不同之考量因素。
4. 細篩機可細分成許多種類，在選擇時有不同之考量因素。
5. 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。
6. 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。
7. 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。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。細攔污柵之柵條間距為 6 mm 至 20 mm，一般都設置於抽水揚升後位於地面層的沉砂池之前，其設計容量亦應考量尖峰流量。至於細篩機之柵條或篩孔直徑通常小於 50 μ m，一般都設置於二沉池之後，主要係用於去除放流水中之微小固體，其設計容量應考量最大日流量。

2. 粗攔污柵種類及選擇時之考量因素

污水處理廠中，粗攔污柵用於保護抽水機、閘類、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；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模污水廠。

(1)粗攔污柵之種類

機械清除式攔污柵有多種，至少包括鏈條或鋼索帶動前方清除式或後方清除式、往復耙行式、懸鏈式和連續清除式攔污柵，分別說明如下：

A. 鏈條或鋼索帶動式攔污柵(chain or cable-driven screen)

這種以鏈條或鋼索帶動耙齒，而在柵孔中移動的是最古老的機械清除式攔污柵(如圖 3.11)，這種攔污柵有許多類型：前方清除/前方返回式、前方清除/後方返回式、和後方清除/後方返回式。前方清除/前方返回式攔污柵因能減少篩渣流失量，最能有效的截留住其所攔除到的篩渣，這種攔污柵普遍用在一般都市污水。前方清除/前方返回式攔污柵係用在高負荷的情況，前方返回式類型的缺點是，沒有被清耙機所清理的碎物可能會流回污水中。前方清除式類型中，柵條應為梯型斷面，其所形成的漸擴開孔可以避免固體夾在柵條中。前方清除式攔污柵的缺點包括底部可能會被不尋常垃圾淤積而卡住，特別是其前方沒有粗攔污柵時更會如此。此外，鏈條或鋼索帶動耙齒的設計，包含沉水式鍊輪或其它機械構造，很容易受到砂礫及碎布所損壞，故驅動設備經常須要檢視及維護，而依據攔污柵的設計，渠道排水有時是必須的。後方清除式攔污柵的耙齒及運轉設備有柵條作保護，可避免受到污水中粗大物體的破壞，後方清除的動作會將固體推離柵條，以避免固體在柵條間被擠迫而卡住，然而，其通過柵條的長耙齒較前方清除式攔污柵的耙齒容易彎斷。



a.操作示意圖

b.透視圖

c.高雄中區污水處理廠照片

圖 3.11 鏈條帶動式攔污柵

B. 往復耙行式攔污柵(reciprocating rake screen)

往復耙行式攔污柵可裝有後方清除/後方返回耙齒(如圖 3.12)，或裝有能減少篩渣流失量的前方清除/前方返回耙齒。耙齒上下的往復運動，很像一個人在耙除人工式攔污柵，可減少垃圾卡住的機會，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，即可很容易的進行檢視及維護工作。

往復耙行式攔污柵的上部空間需求較其它種攔污柵來的大，上部空間需求量的估計，為柵條的垂直深度加上篩渣掉落在地板上的高度。設計時應特別注意上部空間的問題。

攔污柵的傳動裝置有許多種：鏈條和鋼索式、油壓式和螺旋式，有種設計帶有一種齒軌式(cogwheel and toothed rail-rack)傳動裝置，這種設計中，整組耙齒包括齒輪電動機都以台架安放在輪上，而沿著固定栓或

齒軌上下移動。這種傳動裝置可設計成當在清理時耙齒可跨越阻礙。而在不太可能的情況，當耙齒完全卡住時，極限開關會將電動機關掉。往復耙行式攔污柵的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。同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。



a.操作示意圖



b.實際安裝照片

圖 3.12 往復耙行式攔污柵

C. 懸鏈式攔污柵(catenary screen)

懸鏈式攔污柵(如圖 3.13)的構造包括重型齒耙以其鏈條的重量緊靠在柵條上，懸鏈的名字來自柵條前方的鏈條，其懸掛所自然形成的環形，以柵條為底部鏈條彎曲段可有效的移除攔截在柵條的固體物。就像往復耙行攔污柵，懸鏈式攔污柵所有的鏈輪、軸及軸承都位在水面上，可降低磨損及鏽蝕，並使維修容易。由於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，而使得耙齒爬過其上而刮不乾淨。



a.操作示意圖

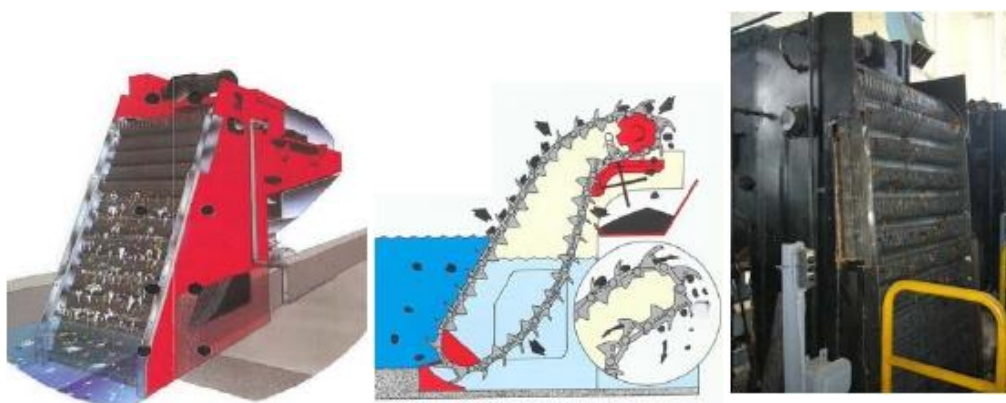


b.實際安裝照片

圖 3.13 懸鏈式攔污柵

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

連續清除式攔污柵(如圖 3.14)包含塑膠或不銹鋼組所構成的連續環帶，該環帶拖經污水中，整條環帶都可做為攔污柵。柵條開孔設計有水平及垂直的限值，垂直開孔較水平開孔為大，柵條開口小至 1 mm，大至 80 mm。這種攔污柵採用小開孔，可從污水中攔除更多的固體。此外，這種攔污柵的連續柵除作用可有效的移除大量的固體。連續清除式攔污柵在渠道底部有下齒輪鏈輪或導軌來支撐柵條元件，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。連續式攔污柵可設計為可抬出水面以便於維修。一些攔污柵系統包括有噴水條和刷子，可改善柵條元件的清理。連續式攔污柵因屬於前方清除/後方返回式設計，故有可能流失其篩渣。



a.透視圖

b.操作示意圖

c.高雄中區污水處理廠照片

圖 3.14 連續清除式攔污柵

(2)粗攔污柵選擇時之考量因素

A. 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，或在渠道牆壁內設置裝設止水擋板之凹槽，以便該段渠道可排水而維修攔污柵。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。

B. 粗攔污柵通常設置於地面下之抽水機室。

3. 細攔污柵種類及選擇時之考量因素

細攔污柵(fine screen)有廣泛的用途，通常用於與粗攔污柵併用之前處理、代替初級沉澱池之初級處理及合流制污水溢流設施之前處理。細攔污柵也用於去除初級沉澱池出流水的固體物，以避免對後續處理設施造成堵塞問題。細攔污柵種類包括：靜態楔型網式、旋轉鼓式及階梯式，這些細攔污柵的柵條間距，通常用於生活污水處理廠，而不設初級沉澱池者為 3.0 mm 至 6.0 mm，用於活性污泥膜濾法(MBR)前處理者為 1.0 mm 至 2.0 mm。

通常細攔污柵係僅適用於通過攔污柵的水頭損失不成問題的處理廠。細攔污柵也可用在設計容量為小規模污水處理廠以代替初級沉澱池。典型 BOD 及 SS 去除率如表 3.2。攔污介質係利用不銹鋼網或特殊楔型柵條，須注意要連續移除收集到的固體物，並佐以噴水以保持攔污介質乾淨，惟選用上需謹慎比較其經費、管理及效益。

表3.2 代替初級沉澱池之細攔污柵的典型BOD及SS去除率

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	25-50	25-45

(1)細攔污柵種類

A. 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 3.15)通常具有 0.2 至 1.2 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/m²min，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。



a.操作情況照片 b.外觀照片 c.楔型柵條

圖 3.15 靜態楔型網式細攔污柵

B. 旋轉鼓式細攔污柵(drum screen)

旋轉鼓式細攔污柵(如圖 3.16)的柵條或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。內部進水的細攔污柵每台可用的流量範圍在 0.03 至 0.8 m³/s，而外部進水的細攔污柵每台可用的流量範圍小於 0.13 m³/s。旋轉鼓式細攔污柵的尺寸直徑自 0.9 至 2 m，長度自 1.2 至 4 m。

C. 階梯式細攔污柵(step screen)

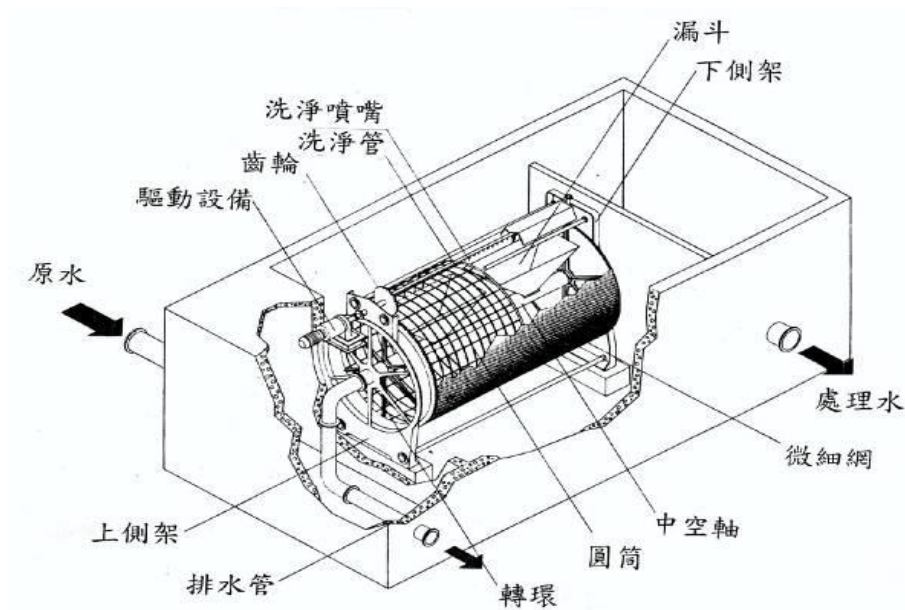
階梯式細攔污柵(如圖 3.17)的設計包含兩組階梯型垂直柵板，一組固定而一組可活動，固定及活動的柵板相互沿著渠道的寬向排列而共組單一的柵板面。活動柵板以垂直移動方法轉動，透過這移動，柵板面上攔除的固體物自動上升至下一固定階梯的平台，而逐漸輸送到柵板頂端，最後排至收集貯斗中。活動柵板的旋轉動作對每一步提供自清作用。階梯式細攔污柵柵板的開孔距範圍通常在 3 至 6 mm，然而，更小的 1 mm 間距也有。攔除在柵板上的固體物也形成”濾墊”，可促進固體物去除效果。除了做為污水的攔污外，階梯式細攔污柵也可用於從化糞池、初級沉澱池污泥或消化污泥中去除固體物。



a. 內部進水型外觀照片



b. 外部進水型外觀照

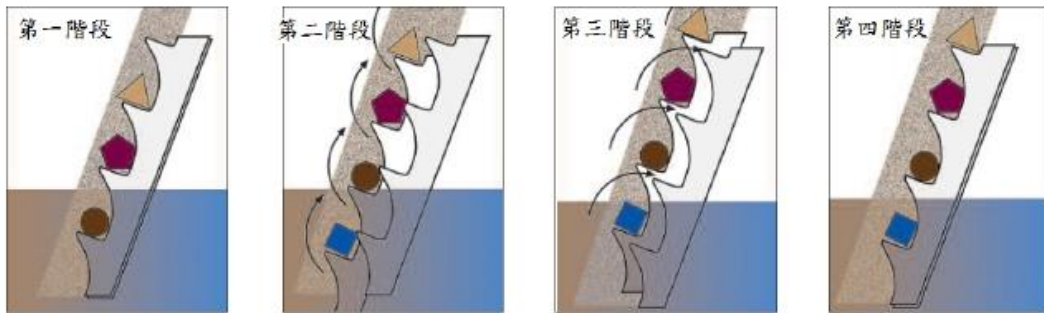


c. 操作示意圖

圖 3.16 旋轉鼓式細攔污柵

(2)細攔污柵選擇時之考量因素

- A. 至少須設兩台細攔污柵，每台須具有處理最大時流量的能力。細攔污柵附近應設置沖洗水，以便能定期除去攔污柵上累積的油脂。寒冷氣溫時，熱水或水蒸汽對於去除油脂更有效。
- B. 操作水頭損失決定於污水中固體物的大小及數量、孔隙大小、清理方法及頻率。



a.階梯式細攔污柵柵板提升固體物示意圖



b.階梯式細攔污柵裝設照片 c.裝設在渠道內之階梯式柵板

圖 3.17 階梯式細攔污柵

4. 細篩機種類及選擇時之考量因素

細篩機(microscreen)一般用於生活污水及工業廢水處理廠，主要用途係自二級沉澱池放流水中去除懸浮固體，以減輕無法符合放流水標準之風險，它們廣泛用於降低排放水中之 BOD、TSS 及化學除磷所產生之化學沉降物質。採用 40 μm 篩孔的細篩機，用於三級處理時，可達到下述處理效果：

- BOD 去除率 60%
- TSS 去除率 30%

(1)細篩機種類

採用重力流的細篩機主要有兩種：旋轉鼓式細篩機(drum-filter)及圓盤式細篩機(disc-filter)，分別說明如下：

A. 旋轉鼓式細篩機

旋轉鼓式細篩機(如圖 3.18)係使用變速的低轉速(≤ 4 rpm)、連續反沖洗之鼓式細篩機，設置在旋轉鼓周邊的篩網，其材質為聚酰胺(polyamide)或不鏽鋼，具有 20 至 60 μm 的開孔。污水自旋轉鼓的進流口進入，通過旋轉鼓的篩網後，朝向外圍流出。篩網收集到的固體物係以高壓噴水反沖洗至位於旋轉鼓最高處的凹槽中。旋轉鼓式細篩機操作示意如圖 3.19 所示。

細篩機通常可去除懸浮固體的範圍為 10 至 80%，平均為 55%。細篩機面臨的問題點包括固體物去除不完全，以及無法應付固體物濃度的變動。降低旋轉鼓的轉速以及減少濾布的反沖洗可提高去除效率，但會使處理能力降低。



圖 3.18 旋轉鼓式細篩機

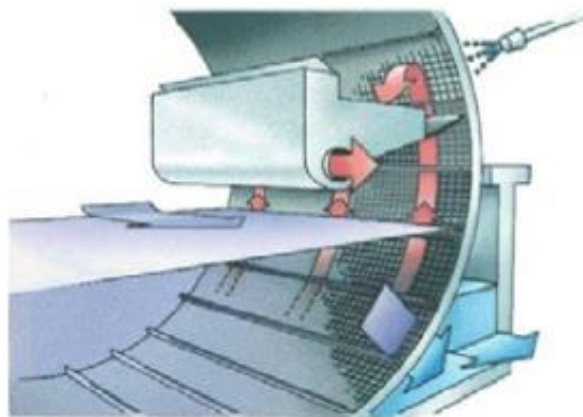


圖 3.19 旋轉鼓式細篩機操作示意圖

B. 圓盤式細篩機

圓盤式細篩機為包含一連串的圓盤，每個圓盤為兩個垂直豎立的平行圓盤所組成，作用為支撐濾布，圓盤中心連接到一條進流管。篩網材質為聚脂(polyester)或 304/316 不鏽鋼。本細篩機可隨同池槽一併供應，或裝設在混凝土池槽中。當考量臭味時，圓盤上可加以覆蓋，如圖 3.20。

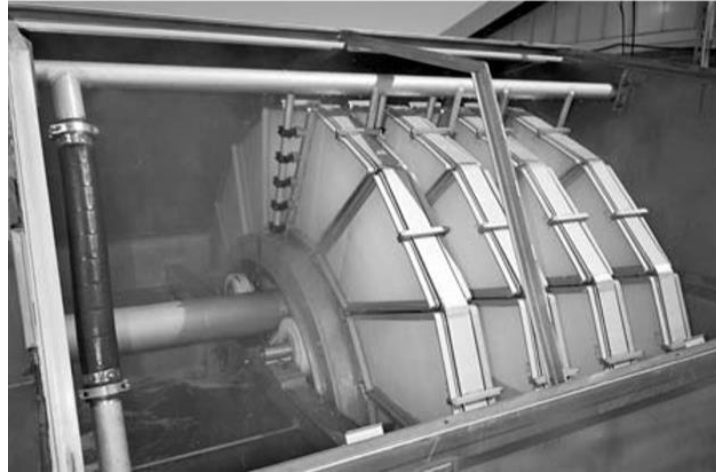


圖 3.20 圓盤式細篩機

圓盤式細篩機為部分浸沒式圓盤篩濾，篩網材質為編織聚脂時，絕對孔隙大小為 $10\ \mu\text{m}$ ，篩網厚度可忽略。平均及最大設計濾率分別約為 $120\text{-}170\ \text{L}/\text{m}^2\text{min}$ 及 $240\text{-}260\ \text{L}/\text{m}^2\text{min}$ ，正常操作時圓盤浸沒度為 60 至 70% 之間，圓盤以 1-8.5 rpm 的轉速旋轉。反沖洗係以噴水方法進行，反沖洗排廢水量之比例約為 1 至 5% 之間。乾淨篩網的水頭損失為 5 至 10 cm 之間，終端水頭損失值定在大約 0.3 m 至 0.6 m 之間，此時將開始反沖洗。圓盤篩濾作業所需之總水頭約為 0.75 至 1.2 m 之間。篩網材質為 304/316 不鏽鋼時，孔隙大小為 $10\text{-}100\ \mu\text{m}$ 。終端水頭損失值較高，平均及最大設計濾率分別約為 $205\ \text{L}/\text{m}^2\text{min}$ 及 $500\ \text{L}/\text{m}^2\text{min}$ ，圓盤連續旋轉，轉速可改變以提供操作上之彈性，如圖 3.21。

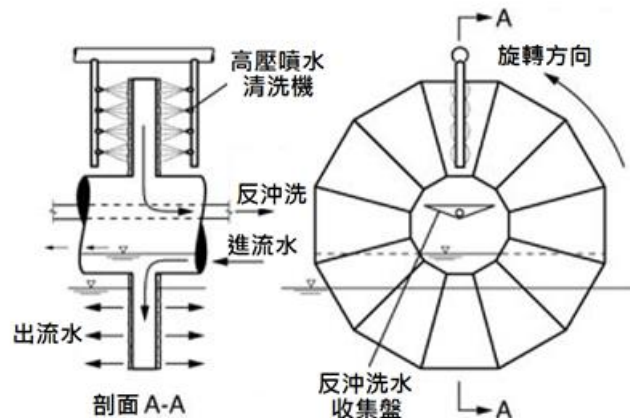


圖 3.21 圓盤式細篩機操作示意圖

(2) 細篩機選擇時之考量因素

細篩機選擇之考量因素包括：(A)懸浮固體物的特性如濃度及絮凝程度；(B)選定設計因素，不僅確保符合最大水力負荷及極端固體物特性的足夠能力，且適合預期水力及固體物負荷範圍的操作性能要求；(C)提供反沖洗及清理設備以維持細篩機的能力。旋轉鼓式細篩機典型設計值如表 3.3。

表3.3 用於篩濾二級沉澱池放流水之旋轉鼓式細篩機典型設計值

項目	典型設計值	備註
篩孔直徑	20-35 μm	不銹鋼或聚酯篩網之篩孔直徑為 15-60 μm
水力負荷	3-6 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}$	依據旋轉鼓浸水表面積
水頭損失	75-150 mm	水頭損失超過 200 mm 時應設置繞流設施
旋轉鼓浸水程度	高度的 70-75%	各種細篩機設計不同
旋轉鼓直徑	2.5-5 m	最常用尺寸為 3 m
旋轉鼓轉速	4.5m/min 在 75mm 的水頭損失	最大轉速限 45 m/min
反沖洗需求	出流水之 2% 壓力為 350 kPa	

5. 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。

(1) 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。至於細篩機一般都設置於二沉池之後，主要係用於去除放流水中之微小固體。

(2) 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冲刷流速，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。

(3)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，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。

(4)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 3-4 計算之。

$$h_L = \frac{1}{0.7} \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(3-4)$$

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)

g =重力加速度值(9.8m/s²)

上述公式計算所得之水頭損失係適用於潔淨的柵條，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 3-5

$$V' = Q / [(1-p) \times A] \dots\dots\dots(3-5)$$

式中：

V' =柵條堵塞後之柵間流速(m/s)

Q =通過攔污柵之流量(m³/s)

A =柵條水面下之柵間面積(m²)

p =柵條堵塞率，以小數表示

以 V' 取代公式 3-4 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。

(5)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。

(6)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。

(7)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。

6. 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、氣壓噴射抽水機(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。輸送機及氣壓噴射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。氣壓噴射抽水機較無臭味，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 3.22。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%。如同氣壓噴射抽水機，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。

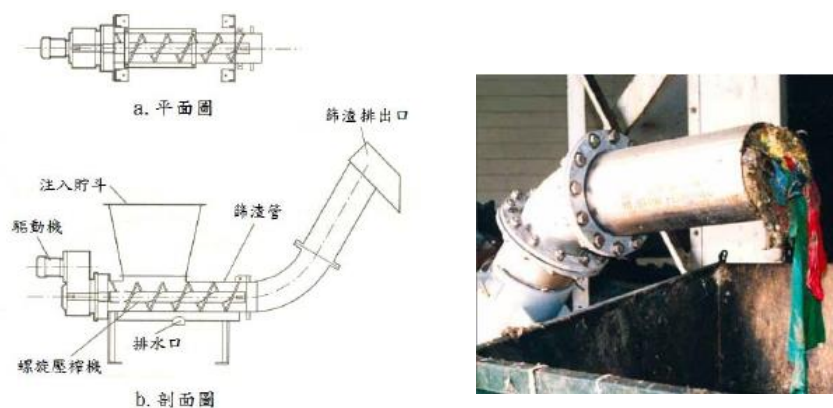


圖 3.22 篩渣壓榨機典型設備

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(圖 3.22 解說)，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。

7. 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並須設置扶手或欄杆。篩渣輸送機之空間，依輸送機之種類、機械高度以及餘裕寬度決定之，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。

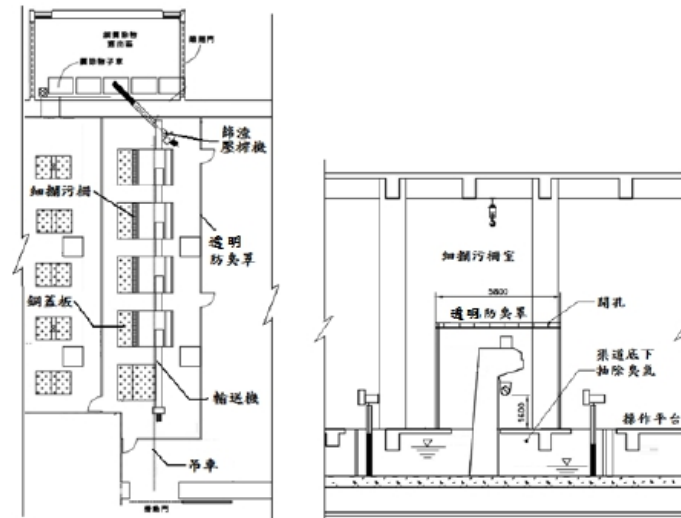
攔污柵室的污水、篩渣及貯斗等會產生臭氣，考量周遭環境及作業環境，必要時應設置除臭設備。基於經濟考量，攔污柵及輸送機可在外圍(包括操作空間)設置透明防臭罩，或直接採用包覆式的攔污柵及輸送機，以便採局部方法排氣及脫臭，如圖 3.23。

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構到的地方，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。換氣方法如表 3.4 所示之第一種機械換氣方法，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。室內之換氣量如表 3.5，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3.4 換氣方法

方法		內容
機械換氣	第一種	利用鼓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，利用鼓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，利用排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



a. 攔污柵外圍設置透明防臭罩設計圖



b. 攔污柵外圍設置透明防臭罩照片(台北市內湖污水處理廠例)



c. 包覆式攔污柵及輸送機照片(新竹市客雅水資源回收中心例)

圖 3.23 攔污柵除臭設備

表3.5 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 $\times 10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{小時})$ ※	沒有防臭罩時也一樣
	輸送機	輸送機防臭罩之容量 $\times 7$ 回/小時※	
	貯斗	有效容量 $\times 3.5$ 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

3.4.2 破碎機

破碎機設施之設計考量如下：

1. 採用破碎機可以省掉篩渣處置及排除之工作，但卻會影響污泥回收時之品質，因之一般多使用於小規模污水廠或在特殊情況下使用之。
2. 破碎機的種類包括切削機、切碎機及磨碎機。
3. 破碎機裝設於沉砂池下游端可延長該設備的壽命，並可減少切削面的磨損。破碎機應有繞流設施，並應考量有足夠的水頭損失。

解說：

1. 在小規模污水處理廠為減少管理工作，且篩渣物也較少，故使用破碎機可做為攔污柵及細篩機的替代方法，在攔污柵渠道中攔截大型固體物，並予以磨碎或切碎。高速磨碎機係與機械式攔污柵合併使用，可將污水中攔除的篩渣磨碎或切碎成較小、較均勻的尺寸，再流回渠道中，以便在下游的處理操作及程序中接著再予移除。破碎機目的係用來減少攔污柵產生的篩渣時常帶來的臭味、蒼蠅及難看，理論上破碎機可以省掉篩渣處置及排除之骯髒及令人厭惡的工作。另破碎機特別適用於抽水站，可保護抽水機避免受到破布及大型物體所阻塞，並刪減篩渣處置及排除之需求。

另一般其應用時機多係在許多整建的情況，案例包括預留做為未來擴充之攔污柵渠道，或在一座非常深的進流抽水站，在該處移除篩渣可能非常困難或費用非常高。破碎機也有替代方法，例如在抽水站使用切削式抽水機，或在污泥抽水機前裝設磨碎機。

2. 破碎機的種類包括切削機、切碎機及磨碎機，分別如下：

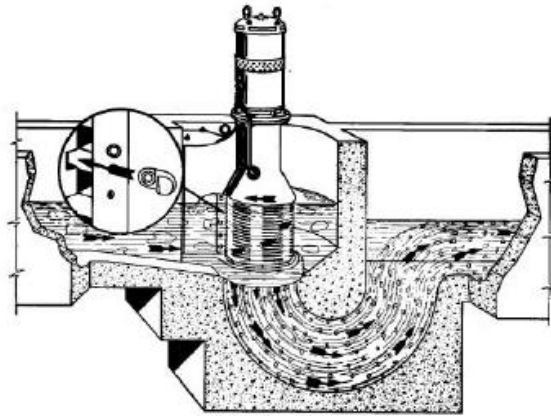
(1)切削機(communitor)

切削機係裝設在污水渠道中以柵除及切削固體物至6至20 mm之尺寸，而不將切削的固體物自水流中移除出來。許多污水量小於30,000 CMD之中小型污水處理廠使用切削機。典型的切削機使用一個固定的水平柵條將水流攔截及一個含有切齒的旋轉或擺動臂與柵條嚙合，如圖 3.24。切齒及柵

條可將大型固體物切削(shred)，小型的切削顆粒會通過柵條而流到下游渠道。切削機可能產生一些串狀物質，例如破布，會纏繞在下游的處理設備。在美國及其他地方，由於切削機的操作問題及高維護需求，新設計通常予以避免，而許多既有設備也有拆除者，較新設施通常使用攔污柵或如下所述的切碎機。



a.切削機實物相片例



b.切削機操作示意圖

圖 3.24 切削機實物相片例及安裝示意

(2)切碎機(macerator)

切碎機為低速的磨碎機(slow-speed grinder)，係垂直安裝在渠道上(如圖 3.25 a)。

切碎機通常包括兩組轉向相反、相互嚙合的切齒裝置，可捕捉通過切碎機的物體並有效的切碎至 6 至 9 mm 之相同尺寸。切齒係堆疊在兩支不銹鋼驅動軸上並有中間夾層，轉軸以不同速度反向旋轉以產生切齒的自淨作用。由於此種設計切碎機可切碎，而不只切割污水中的固體。這種切碎(chop)作用雖可減少破布或塑膠形成繩索而纏繞在下游處理設備的潛在性，但仍無法根除。切碎機可用於中小型污水處理廠的渠道上，亦能用在管線上(如圖 3.25 b)以切碎固體物，尤其係安裝在污水及污泥抽水機之前，管線的管徑通常在 100 至 400 mm。與攔污柵比較，切碎機侷限的開口面積會產生較大的水頭損失，必須在水力設計上納入計算。

另一種用在渠道上的切碎機具有水平轉動的銜接柵網，可使污水通過柵網而將篩渣傳送到位在柵網一側的切碎機(如圖 3.25 c)。這種設備用在大型渠道的標準尺寸，寬度範圍自 750 至 1,800 mm，深度範圍自 750 至 2,500 mm，其水頭損失小於圖 3.25 a 之切碎機。

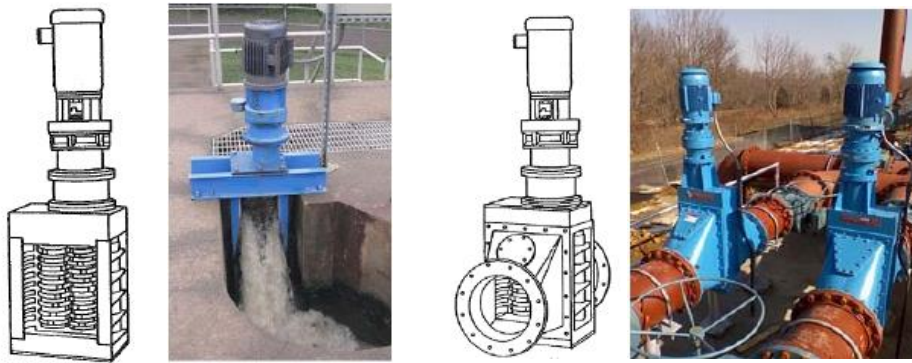
(3)磨碎機(grinder)

高速磨碎機(high-speed grinder)又稱為粉碎機(hammer mills)，係從攔污柵接受篩渣，磨碎機之高速旋轉裝置可將通過的篩渣磨碎，切刀強制將篩渣通過圍繞在旋轉裝置的固定格網上，如圖 3.26。通常使用污水將磨碎機

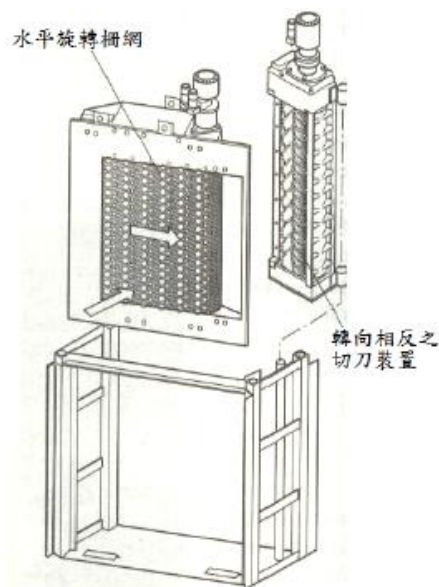
保持潔淨，以及協助將固體物流回污水中。磨碎機的出水可位在攔污柵的上游端或下游端。

3. 破碎機應裝設於沉砂池下游端以延長其壽命，並可減少切削面的磨損。其上游端亦應有粗攔污柵保護。破碎機應有裝設人工攔污柵的繞流設施，萬一流流量超過破碎機的容量或當發生停電或機械故障時應能自動切換到繞流設施使用，如圖 3.27；或在上游渠道設置溢流堰，以利污水不致四處溢流。為方便維護亦應裝設止水閘門及渠道排水設施。通過破碎機的水頭損失通常在 0.1 至 0.3 m，大型機組在最大流量時的水頭損失能達到 0.9 m。

當破碎機係裝設於沉砂池上游端時，切刀會遭受高磨損，而需要經常磨銳或更換。切刀置於柵網前端的破碎機設備應在上游端的渠道上設置 150 mm 深之陷石坑，以收集可能卡住切刀的物質。

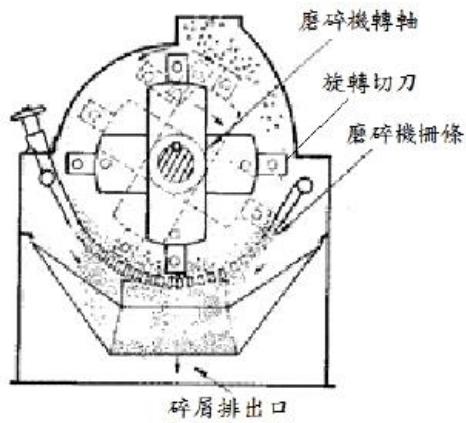


a.渠道型切碎機示意圖及實物照片 b.管線型切碎機示意圖及實物照片



c.銜接柵網的切碎機示意圖

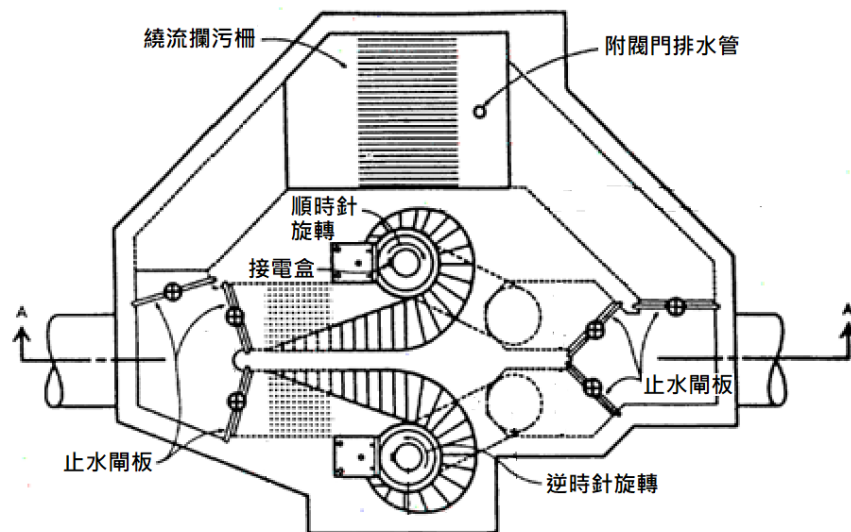
圖 3.25 典型切碎機例



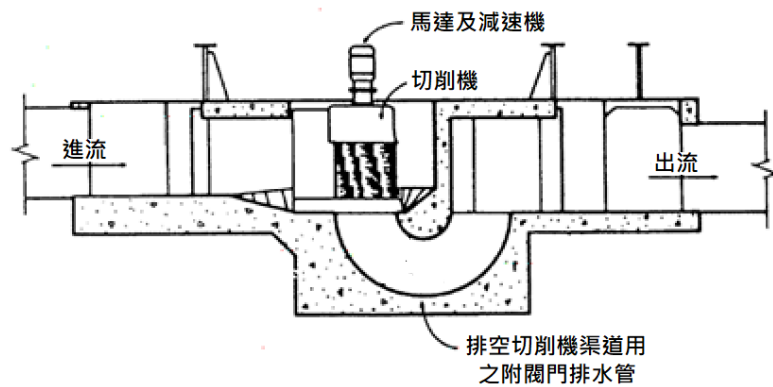
a. 示意圖

b. 磨碎機實物照片

圖 3.26 典型磨碎機



平面圖



A-A 剖面圖

圖 3.27 切削機及繞流攔污柵配置例

3.5 抽水機及抽水井

污水下水道管線埋設至污水處理廠時通常深度已達數公尺，必須將污水抽至地面以便進行處理。此外並須有足夠水頭排水，為了將水提升到必要的水位，故須在處理廠的適當地點設置抽水站抽水。本節說明抽水機抽水量與台數及容量之關係、抽水站濕井及乾井配置、抽水系統設計及其選擇、抽水機進水管線及附屬及輔助設備、變速抽水機、抽水機之穴蝕現象及水錘作用、抽水機之自動運轉及保護設備、電動機、電力設備、抽水機室與配電室及主控室等之設計考量等。

3.5.1 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. 抽水機計畫抽水量與設置台數之關係應依表 3.6。

進流抽水機設備，容量變化甚大，應考量單機性能曲線、多機操作系統曲線及操作原則，確認是否符合操作需求。

表 3.6 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

2. 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，並置備用台數，以備維修之需要。

在美國，低流量至中流量之抽水站係採用兩台 100% 計畫抽水量之抽水機單元，較大流量者則建議採用三台 50% 抽水機單元(如果有較小流量時採用更多台)，以保有應付進流污水量變動之彈性。然而，此必須基於使單一抽水機能在出水主管產生 0.75 m/s 之自淨流速。

日本污水抽水機台數及容量關係如表 3.7。

故美日兩國對兩台及三台抽水機的大小台配置方法相同，但對於四台及以上抽水機之考量方法則不同。美國的污水抽水站係考量採用相同大小的抽水機，但必須檢核單一抽水機能在出水主管中產生 0.75 m/s 之自淨流速，日本則沒做這種考量。至於國內對於四台及以上抽水機台數及容量選擇之考量因素如下：

- (1) 國內新設抽水站皆至少採兩台變頻式抽水機，對於計畫抽水量變化甚大者或初期污水量少者皆有助益。抽揚水站應設監控設備，以強化水量異常之穩定操作。

- (2)如初期污水量甚少，仍可選擇採用單一型號之抽水機，但暫採較小直徑之葉輪，俟污水量成長到設計水量時，方改換較大直徑的葉輪。
- (3)抽水站採用共同出水主管時，如採大小台抽水機配置，須檢核各台抽水機並聯特性曲線是否能配合系統水頭-流量曲線，不能發生小台抽水機因關閉水頭不足，而無法並聯使用之情況。
- (4)須檢核單一抽水機能在出水主管中產生 0.75 m/s 之自淨流速。

表 3.7 抽水機台數及容量

容量台數	狀況	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。				

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

3.5.2 抽水機污水管壓力流流速及流速係數

抽水機污水管壓力流流速及流速係數考量如下：

管渠壓力流水力計算以 Hazen-Williams 公式計算，管材之流速係數，依各種材料而定。

解說：

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，該式雖為由水力學實驗過程所累計的統計值而得的經驗公式，但卻是持續且最廣泛運用於不可壓縮流的管渠壓力流水力計算經驗公式。

$$V = 0.3549 \times C \times D^{0.63} \times \left(\frac{h_L}{L} \right)^{0.54} \dots\dots\dots(3-6)$$

$$h_L = L \times \left(\frac{V}{0.3549 \times C \times D^{0.63}} \right)^{1.852} = 6.81 \times \frac{L}{D^{1.167}} \times \left(\frac{V}{C} \right)^{1.852} \dots\dots\dots(3-7)$$

$$Q = 24,082 \times C \times D^{0.63} \times \left(\frac{h_L}{L} \right)^{0.54} \dots\dots\dots(3-8)$$

式中：

V：壓力流流速(m/s)，設計流量時最小流速經驗值為 1.0 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 3.8 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(CMD)

表 3.8 各種管材 C

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)	140
鍍鋅鐵管(Galvanized Iron Pipe,GIP)	120
塑膠管(Plastic Pipe,PP)	140-150
鋼管(SP)新、無襯裏	140-150

3.5.3 抽水系統設計

抽水系統設計考量如下：

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. 污水抽水機應能夠通過直徑至少為 75 mm 之圓球狀固體，抽水機機殼之吸水端及出水端開口直徑應至少為 100 mm。
3. 抽水機之總動水頭為總靜水頭、各種管閥損失水頭、及出水管末端之速度水頭等之總和。
4. 抽水機依其操作特性而選擇抽水機型式，並以公式計算其所需軸動力。
5. 抽水機吸水管及出水管應有合適的設計流速。
6. 應依照系統曲線與抽水機性能曲線選擇靠近最佳操作點之抽水機。

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。抽水機機殼吸水口之流速以 1.5~3.0 m/s 為標準，在靜吸水揚水(如圖 3.28 b)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。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。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。渦卷斜流式及渦卷式抽水機吸水管的管徑應比抽水機泵殼吸水口口徑大一至二號，而出水管的管徑應比抽水機泵殼出水口口徑大一號。口徑號數係指延性鑄鐵管的標稱管徑，如泵殼吸水口口徑為 200 mm，則吸水管管徑應為 250 或 300 mm；惟實際選用的管徑應以最大流量時之最大流速來決定，請參考圖 3.39 抽水系統各斷面流速示意圖。前述抽水機名詞為日本用詞，表 3.9 為美國及日本抽水機用詞對照比較表。

表 3.9 美國及日本抽水機用詞對照比較表

	美國用詞		日本用詞	
動能式抽水機	離心式	徑流式	渦輪型抽水機	渦卷式
		混流式		渦卷斜流式
	豎軸渦輪式	混流式		斜流式
		軸流式(螺旋槳式)		軸流式
正位移式抽水機			容積型抽水機	

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，污水抽水機皆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，為避免抽水機葉輪受到固體物阻塞，故規定污水抽水機葉輪應能通過直徑至少為 75 mm 之圓球狀固體，且隨抽水機機殼吸水口口徑之增大，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。

破碎機裝設時通常會設有攔污柵之繞流渠道，一旦破碎機故障，會將水流自動切換至繞流渠道，故如同前述攔污柵之理由，規定污水抽水機葉輪應能通過直徑至少為 75 mm 之圓球狀固體。

一旦抽水機葉輪受到固體物阻塞，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，故規定開口手孔直徑應至少為 100 mm。

3. 抽水機之總動水頭為總靜水頭、各種管閥損失水頭、及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靜水頭、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 3-9 決定之，如圖 3.28 a 及圖 3.28 b。

$$H_t = H_{\text{stat}} + h_{\text{ent}} + h_{\text{fs}} + \sum h_{\text{fvs}} + h_{\text{fd}} + \sum h_{\text{fvd}} + v_d^2 / 2g \dots\dots\dots (3-9)$$

式中：

H_t ：總動水頭(Total dynamic head,TDH,m)

H_{stat} ：總靜水頭(Total static head,m)

h_s ：靜吸水水頭(Static suction head,m)，濕井水位在葉輪基準線上方為靜吸水水頭(Static suction head)，其值為正值；濕井水位在葉輪基準點下方為靜吸水揚水(Static suction lift)，其值為負值。各種葉輪型式之抽水機基準線如圖 3.29

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

靜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)損失水頭

損失水頭可以公式 3-10 表之。

$$h = f \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(3-10)$$

式中：

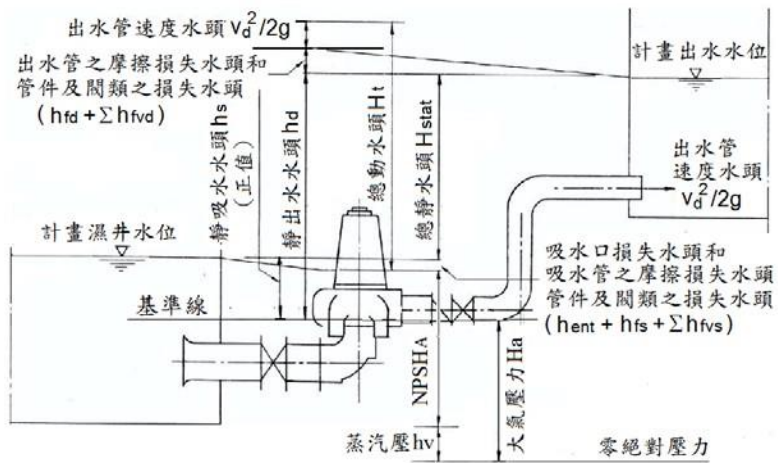
h ：損失水頭(m)

f ：損失係數

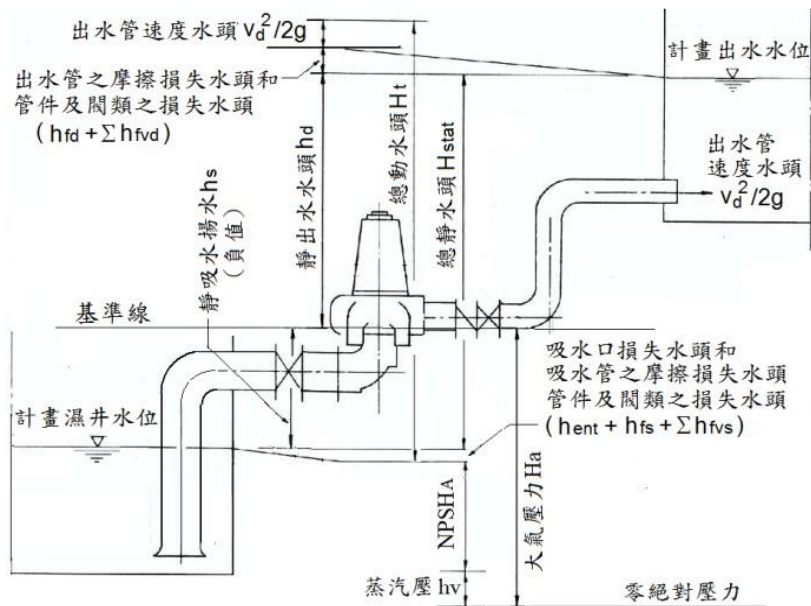
v ：流速(m/s)

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 3.10。閥類依照其種類及尺寸亦有所不同，如表 3.11。上述兩表皆整理自「下水道施設計畫·設計指針及解說」2009 日本下水道協會。



a. 靜吸水水頭



b. 靜吸水揚水

圖 3.28 抽水系統之各種水頭

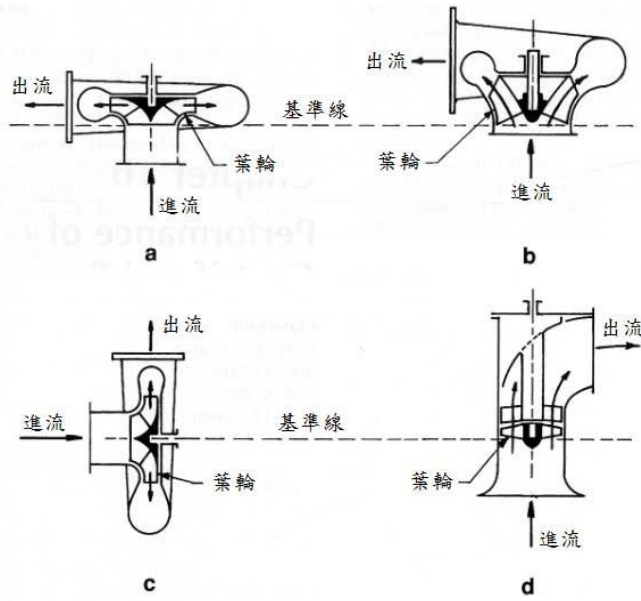


圖 3.29 抽水機之基準線

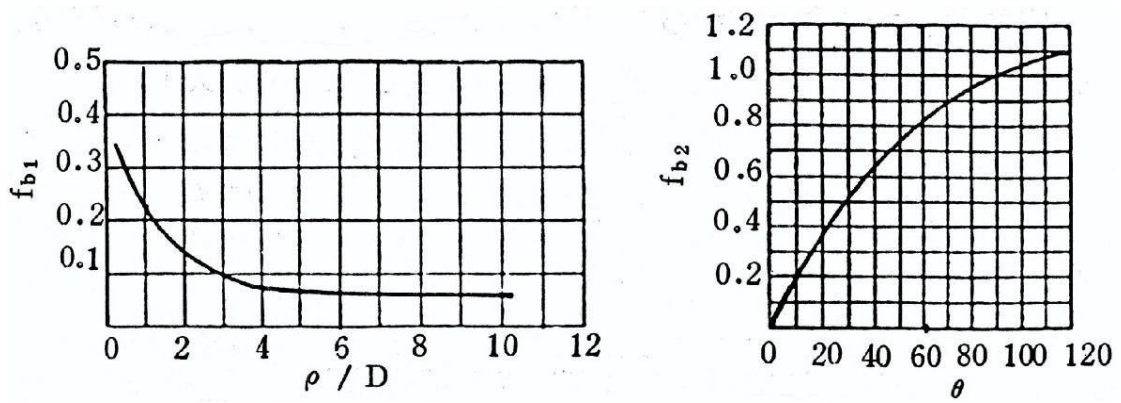


圖 3.30 彎管水頭損失係數之 f_b 值

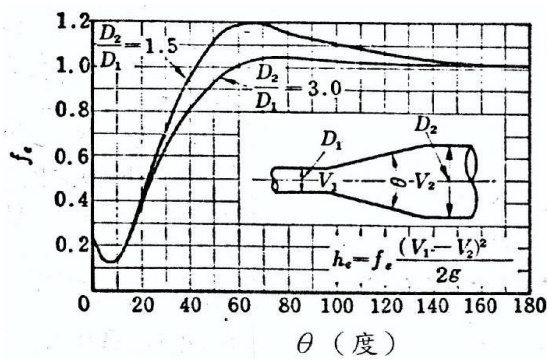


圖 3.31 漸擴管損失係數

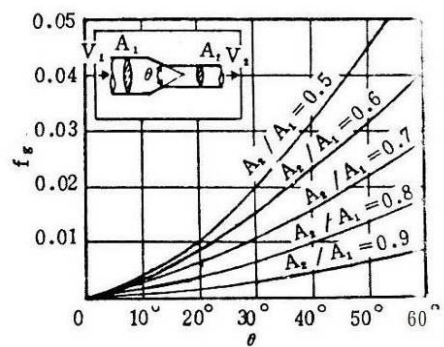
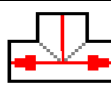
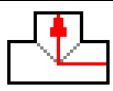
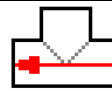


圖 3.32 漸縮小管損失係數

表 3.10 管件水頭損失係數表

損失種類	符號	係數							備註
吸水口	f _i	0.15 以下							喇叭口情況
彎管	f _b	$f = f_{b1} \times f_{b2}$ f _{b1} 及 f _{b2} 參考圖 3.30 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	f _t								
		0.55	0.50	0.10					
急擴管	f _e	1							$h_e = f_e \frac{(v_1-v_2)^w}{2g}$(3-11)
漸擴管	f _e	參考圖 3.31							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)
急縮管	f _{sc}	$\frac{A_2}{A_1}$	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	$h_{sc} = f_{sc} \frac{v_2^2}{2g}$(3-12)
		f _{sc}	0.49	0.49	0.46	0.38	0.18	0	$\Delta h_{sc} = h_{sc} + [\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}]$ (3-13) 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)
漸縮管	f _{gc}	參考圖 3.32							$h_{gc} = f_{gc} [\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}]$(3-14) h _{gc} ：漸縮小之損失水頭(m) f _{gc} ：漸縮小之損失係數
直管	f	鑄鐵管(新管)..... $0.02 + \frac{1}{2000 \times D}$ 鋼管(新管)..... $0.03 + \frac{1}{1000 \times D}$ PVC 管(新管)..... $0.018 + \frac{1}{2300 \times D}$ 舊管的 f 值為新管的 1.5 倍 但水泥砂漿襯裡的鑄鐵管急 PVC 管的舊管與新管相同值							管線較短的情況 $h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$ (Darcy–Weisbach)(3-15) h _f ：直管的水頭損失(m) L：直管的長度(m) D：直管的直徑(m) v：流速(m/s)

(3)速度水頭

$$h_o = \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3-16)$$

$$H_t = H_{stat} + h_{ent} + h_{fs} + \Sigma h_{fvs} + h_{fd} + \Sigma h_{fvd} + v_d^2/2g$$

【附註】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 3.33

$$\text{則 } H_t = H_{stat} + \Sigma h_f + v_d^2/2g \dots\dots\dots(3-17)$$

式中：

H_t ：總動水頭

H_{stat} ：總靜水頭

Σh_f ：吸水口、吸水管、出水管、管件及閥類等全部之損失水頭和

$v_d^2/2g$ ：出水管末端之速度水頭

如出水管的最頂部在中途，如圖 3.33

$$\text{則 } H_{t1} = H_{stat1} + \Sigma h_{f1} + v_d^2/2g \dots\dots\dots(3-18)$$

及

$$H_{t2} = H_{stat2} + \Sigma h_{f2} + v_d^2/2g \dots\dots\dots(3-19)$$

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} ：最頂部之總靜水頭

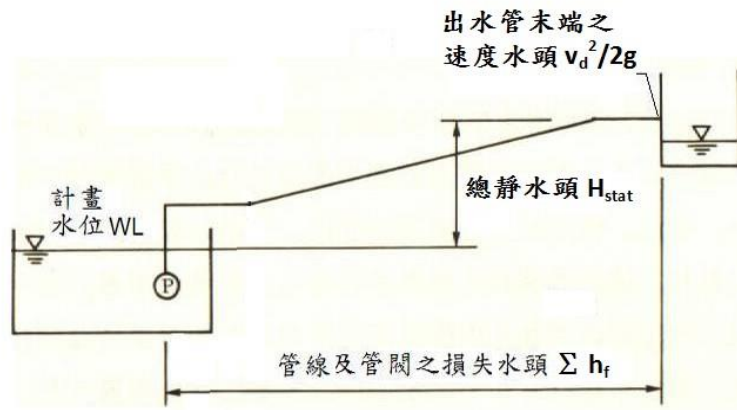
h_{stat2} ：末端之總靜水頭

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

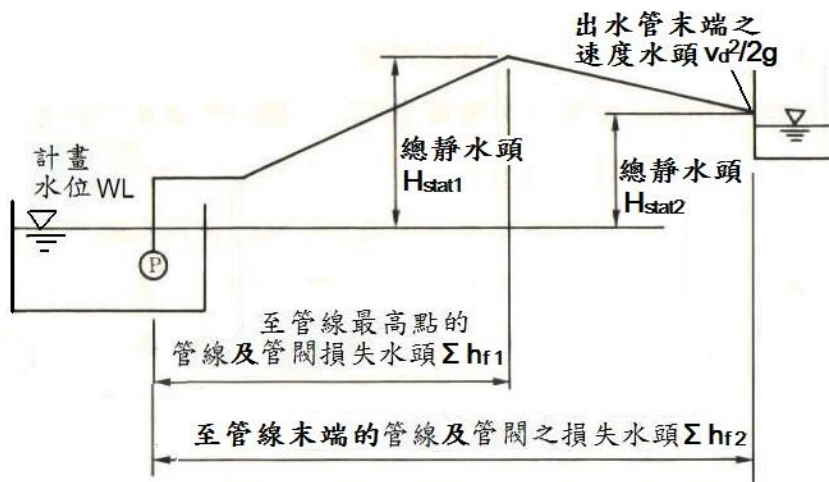
Σh_{f2} ：至管線末端(吸水口、吸水管、出水管、管件及閥類等)全部之損失水頭

$v_d^2/2g$ ：出水管末端之速度水頭

H_t 為 H_{t1} 或 H_{t2} 之較大者。



a. 出水管的最頂部在末端



b. 出水管的最頂部在中途

圖 3.33 總動水頭之計算

表 3.11 閥類水頭損失係數表

損失種類	符號	係數							備註
舌閥	ffv	0.2~0.5							
水表	fm	7							
球型閥 (globe valve)	fglv	3~8、10、20							不同型式球 型閥之資料
角閥 (angle valve)	fav	2.0、5.0							不同型式角 閥之資料
閘閥 (gate valve)	fgv	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)	fkg	0.2							金屬閥座
		0.3							彈性閥座
閘閥	fgv	開度 (%)	全開	75	50	25			
		fgv	0.15	0.26	2.1	17			
球閥 (ball valve)	fblv	開度 (%)	全開	67	33				
		fblv	0.05	5.5	200				
蝶閥	fbv	0.3、0.2~0.4							不同資料來 源
底閥	ffv	1.5~2.0							
底閥附篩濾器 (foot valve with strainer)	ffv/s	15.0							
偏心塞閥 (eccentric plug)	fepv	1.0							矩形(80%) 開孔
		0.5							全開孔
隔膜閥	fdv	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 check valve)法蘭接 頭	fscv	2.0							
球狀逆止閥 (ball check valve)	fbcv	0.9~1.7							
橡皮拍式逆止 閥(rubber flapper)	frfcv	2.0 ($v < m/s$) 1.1 ($v > m/s$)							

4. 抽水機操作特性曲線及選擇

(1) 抽水機特性曲線

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 3.34 所示。惟抽水機無法在沿著其水頭-抽水量曲線上的每一點作連續或長期運轉，在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，為抽水機允許之最大流量點)連續操作將會導致抽水機嚴重的損壞。

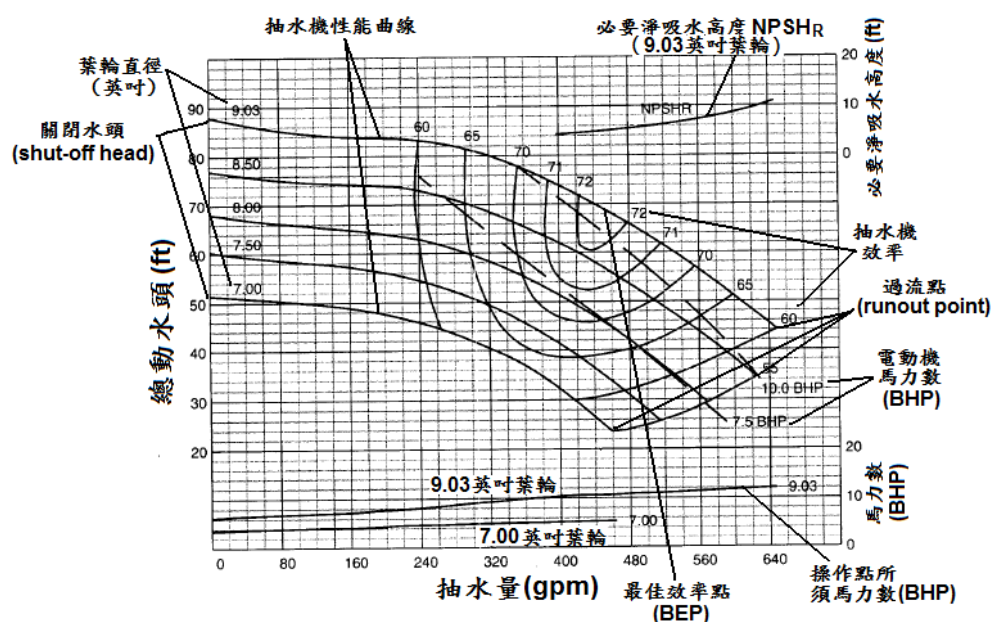


圖 3.34 離心式抽水機典型特性曲線

(2) 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：親和定律及比速度。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。

A. 親和定律

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(3-20)~(3-22)變化，這些關係稱為親和定律(affinity laws)。

$$\text{轉速 } N' \text{ 時之抽水量 } Q' = Q \frac{N'}{N} \dots\dots\dots(3-20)$$

$$\text{轉速 } N' \text{ 時之總動水頭 } H'_t = H_t \left(\frac{N'}{N} \right)^2 \dots\dots\dots(3-21)$$

$$\text{轉速 } N' \text{ 時之軸動力 } P' = P \left(\frac{N'}{N} \right)^3 \dots\dots\dots(3-22)$$

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)

(3-21)~(3-22)適用於 $N'/N=0.8\sim1.2$ 之範圍。

B. 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 N_s 可依公式 3-23 計算之

$$N_s = N \cdot \frac{Q^{1/2}}{H_t^{3/4}} \dots\dots\dots(3-23)$$

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：抽水機之抽水量(m^3/min)，雙吸時則為 Q/2

H_t ：抽水機之總動水頭(m)

在以上述單位計算時，比速度之範圍約界於 100~2,500。葉輪之形狀依照比速度之增大而依渦卷式、斜流式，逐漸變為軸流式，如圖 3.35。一般而言，在一定轉速下：

(A)如 N_s 值低於 300，Q 必定低而 H_t 必定高。

(B)如 N_s 值界於 300 至 1,200，Q 及 H_t 必定為中間值。

(C)如 N_s 值高於 1,200，Q 必定高而 H_t 必定低。

高 N_s 之軸流式抽水機，其管徑與葉輪(螺旋槳葉)同一尺寸；而低 N_s 之渦卷式抽水機，其管徑較小。

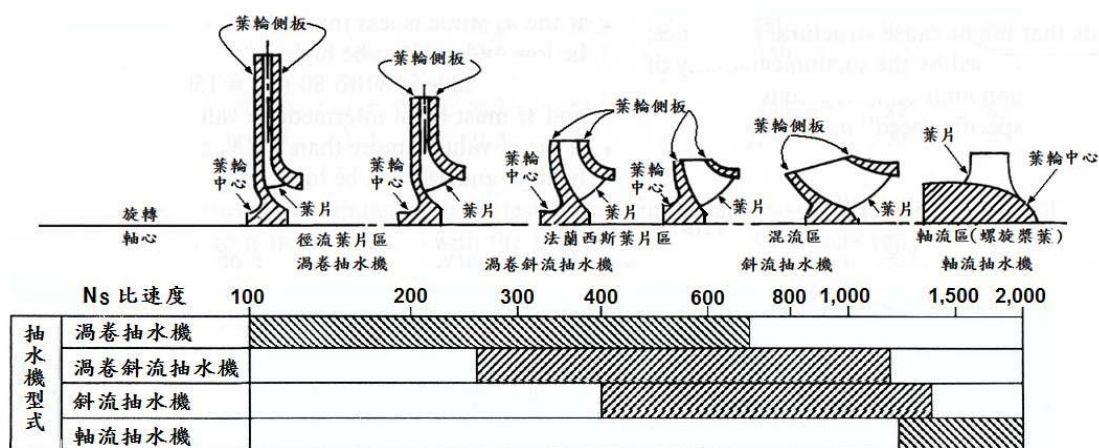


圖 3.35 比速度與葉輪之形狀

(3) 抽水機選擇

抽水機在一定轉速(N)運轉時，其抽水量(Q)、總動水頭(H_t)、軸動力(P_s)、效率(η)等值及其相互關係可以標準特性表示。抽水機型式不同，其性能曲線形狀也會改變，這種狀況如圖 3.36 各種 N_s 情況下抽水量與總動水頭、軸動力、效率等特性及抽水機選擇上應注意事項，如表 3.12。

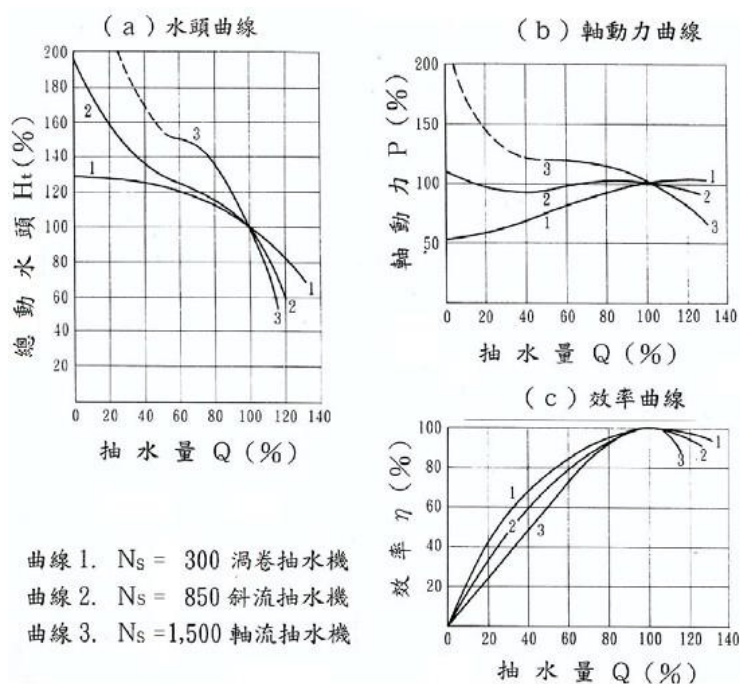


圖 3.36 各種離心式抽水機性能曲線之比較

表 3.12 各種抽水機特性及選擇上應注意事項

機種	N_s	總動水頭 ($Q-H_t$)	軸動力($Q-P$)	效率($Q-\eta$)	選擇上注意 事項
離心徑 流式抽 水機	約 300	$Q-P$ 曲線右下 降 坡 度 較 緩。 Q 接近於 零時呈平坦 隨者 H_t 的變 化 Q 之變化 大	Q 零時 P 最 小， Q 增大 P 也增大，於近 最高點時 P 最 大	效率高的範 圍大， $Q-\eta$ 曲 線幅度大	適合於中水 頭，可易獲高 效率。 Q 的使用可 能範圍大
離心混 流抽水 機	約 600	$Q-H_t$ 曲線右 下降坡度愈 大 H_t 亦愈 大， Q 接近於 零時， H_t 最大	Q 零時 P 最 小，最高效率 點附近 P 最大	$Q-\eta$ 曲線的 彎曲幅度較 小，與斜流抽 水機較接近	適用於低水 頭，可獲高效 率， Q 的使用 範圍大
斜流抽 水機	約 800	$Q-H_t$ 曲線為 向右下降，介 於離心及軸 流抽水機之 間， Q 為零時 之水頭為正 水頭的 200%	Q 雖變化但 軸動力變化 小。 Q 為零為 正規軸動力的 100~130 %	$Q-\eta$ 曲線的 幅度為介於 離心及軸流 之間	與離心抽水 機比較，適於 水頭變化較 大者。適用於 中低水頭
軸流抽 水機	約 1,600	$Q-H_t$ 曲線的 向右下降較 急，而在操作 點附近有變 曲點。在操作 點的 130~ 160% 時特性 不安定，會發 生噪音	$Q-P$ 曲線的右 下降較急，操 作點的 130% 水頭其軸動 力約為 35%， $Q=0$ 時約為 操作點之 180 ~220%	$Q-\eta$ 曲線之 彎曲幅度較 急	適用於極低 水頭或低水 頭。 轉速大時其 吸入性較斜 流抽水機差

下水道抽水水頭隨時改變，且由於排水抽水機之變動率大，故應能適應一年中各種水量條件下之抽水，在最大水頭時也能抽水之特性。

抽水機之選擇視抽水水頭、裝設位置及抽水量而定，選定依據如下：

A. 總動水頭與抽水機之型式，以表 3.13 為選擇標準。

表 3.13 總動水頭與抽水機型式之關係

總動水頭(m)	抽水機機殼吸水口口徑(mm)	型式
5 以下	400 以上	軸流抽水機
3~12	400 以上	斜流抽水機
5~20	300 以上	離心混流式抽水機
5 以上	80 以上	離心徑流式抽水機

B. 對於浸水危險之處或吸水靜水頭大時，以採用豎軸式或沉水式抽水機為宜。

C. 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。

(4)軸動力及電動機出力

抽水機先依照 3.5.1 解說決定抽水量後，再依本節 3.5.3 解說一計算總動水頭，即可計算抽水機之軸動力。

抽水機之軸動力，可由公式 3-24 計算之

$$P_s = \frac{0.163 \gamma \cdot Q \cdot H_t}{\eta} \dots\dots\dots(3-24)$$

式中：

P_s ：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 $\gamma=1$)

Q ：抽水機之抽水量(m^3/min)

H_t ：抽水機之總動水頭(TDH，m)

η ：抽水機之效率(小數)單段、單吸離心式抽水機之最大效率依比速度及抽水量而改變，如圖 3.37。在最佳效率點及最適比速度下之抽水機最大效率，如圖 3.38。表 3.14 為豎軸渦卷斜流抽水機效率表；表 3.15 為沉水式渦卷抽水機效率表。但須注意的是，大口徑抽水機會因機軸型式及葉輪型式而對效率有所改變。一般而言，不阻塞抽水機的效率會低一些，而渦流式抽水機(退縮葉輪式抽水機)的效率會更低。

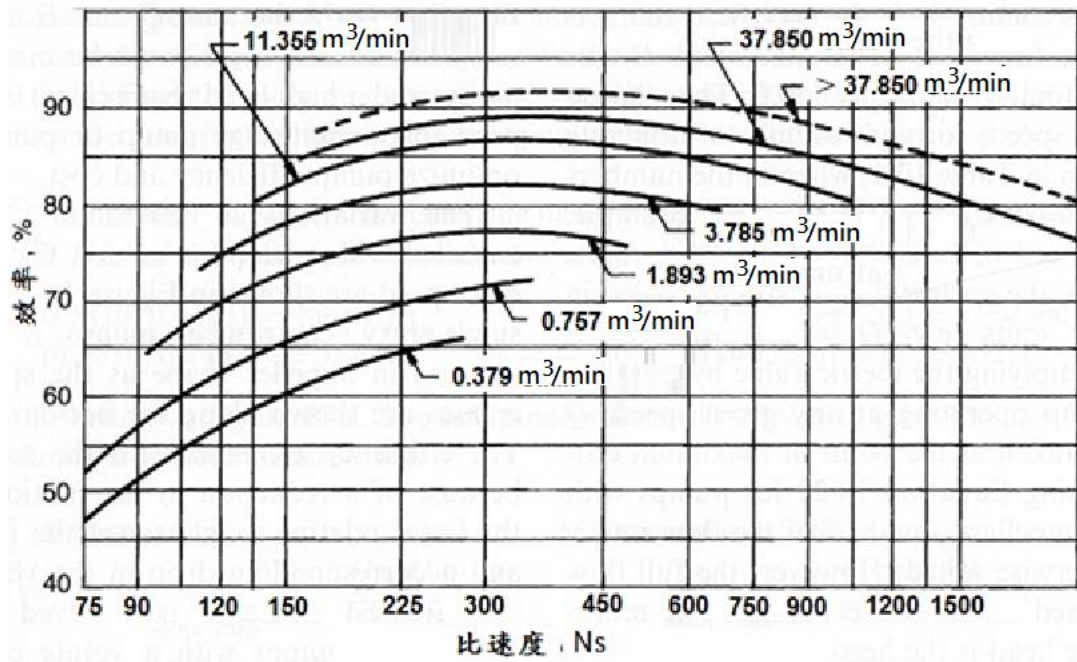


圖 3.37 單段、單吸離心式抽水機之最大效率依比速度及抽水量而改變

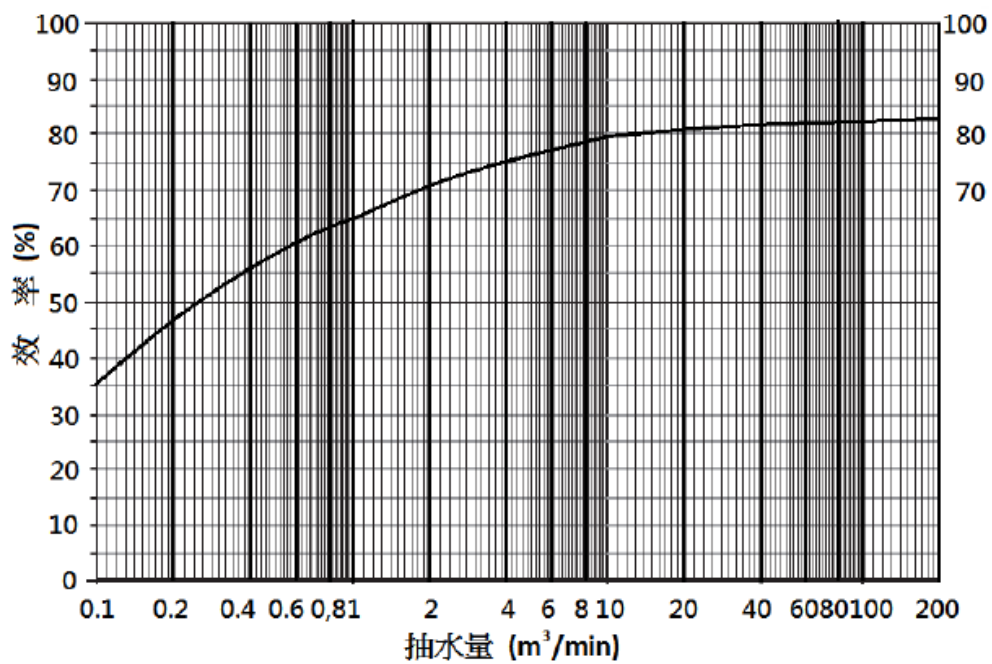


圖 3.38 在最佳效率點及最適比速度下之抽水機最大效率

表 3.14 渦卷斜流抽水機效率表

口徑(mm)	300	350	400	450	500	600	700	800
效率(%)	70.0	74.0	76.0	77.0	78.0	79.0	80.0	81.0
口徑(mm)	900	1000	1200	1350	1500			
效率(%)	81.0	83.0	84.0	85.0	85.0			

表 3.15 沉水式渦卷抽水機效率表

口徑(m)	300	400	500
效率(%)	70.0	73.0	74.0

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 3-25 計算之：

$$P = \frac{P_s(1+\alpha)}{\eta_t} \dots\dots\dots(3-25)$$

式中：

P：電動機動力(kW)

P_s ：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。

5. 抽水機吸水管在最大流量時的適當流速為 1.2~1.8 m/s，出水管的適當流速為 1.8~2.4 m/s，進流喇叭口(Pump intake)流速為 1.1~1.2 m/s。如圖 3.39。軸流式抽水機之出水管與葉輪(螺旋槳葉)同一管徑。

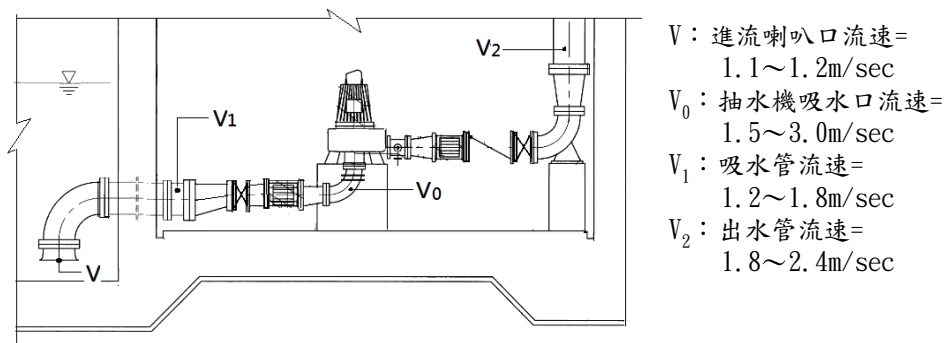


圖 3.39 抽水系統各斷面流速示意圖

6. 抽水系統分析

(1)系統水頭-流量曲線

抽水站及其壓力管線系統之水頭-流量曲線係包括在低水位(LWL)及高水位(HWL)之總靜水頭，及自零流量至預期最大流量的損失水頭(包括所有摩擦、管

件及閥類之損失水頭)。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、或毀壞而可能將管線水力計算所用 Hazen-Williams 公式之流速係數 C 值降低。如圖 3.40 典型抽水站及其壓力管線系統水頭-流量曲線。

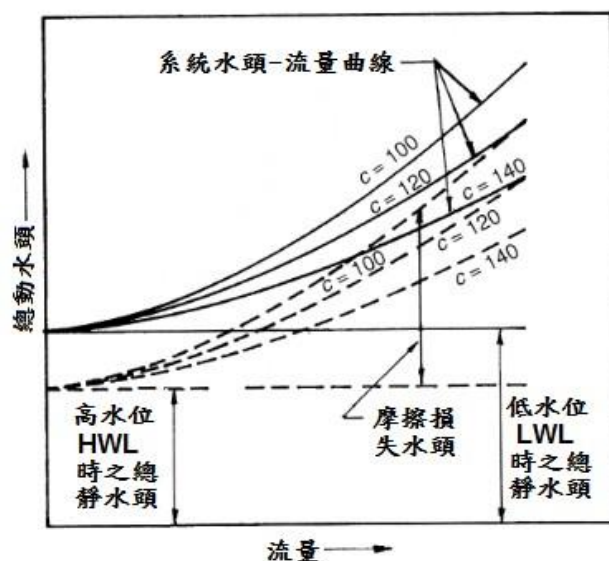


圖 3.40 典型抽水站及其壓力管線系統水頭-流量曲線

(2)單台單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。這關係即決定了「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 3.41。

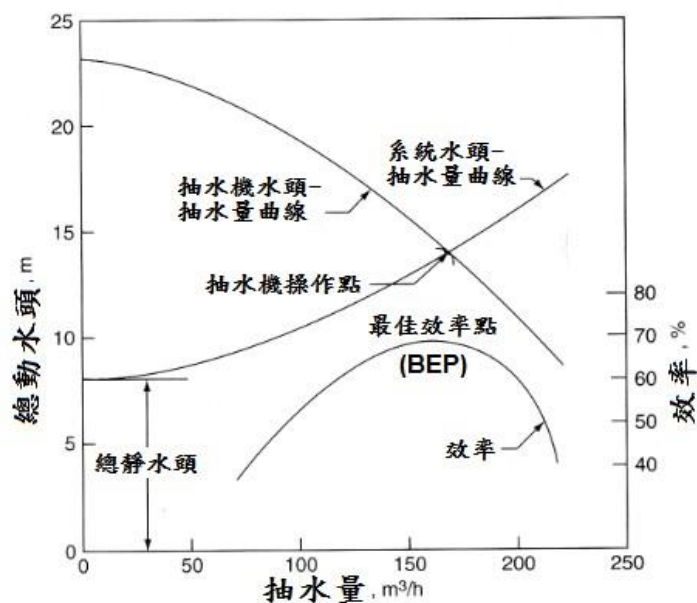


圖 3.41 決定單台單速抽水機在固定總靜水頭之操作點

(3) 多台抽水機之操作

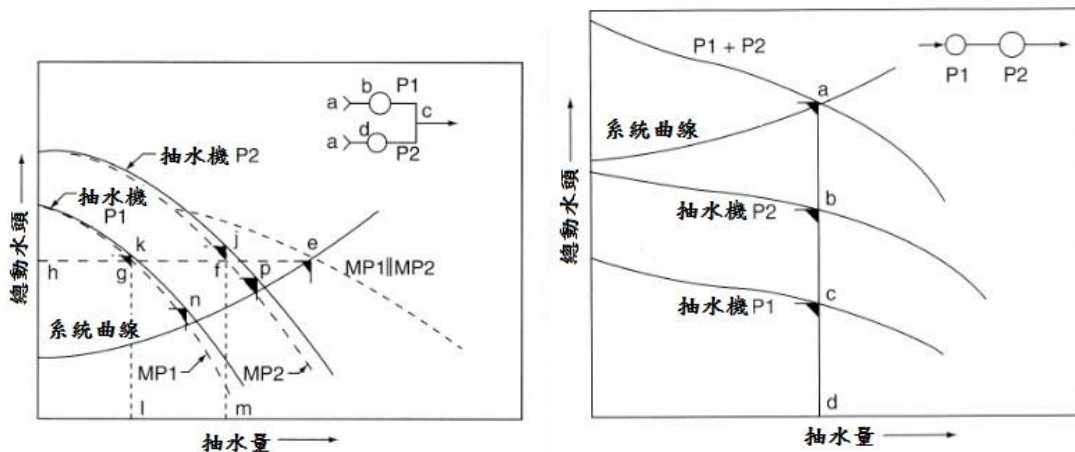
設有數台抽水機的抽水站，該些抽水機通常採並聯操作，但有時則採串連操作。

A. 並聯操作

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吸水管及出水管的損失水頭，故可從抽水機曲線中將抽水站內最後一台抽水機吸水管及其與主管銜接點前之出水管的損失水頭扣除。如圖 3.42 a，MP1 係已扣除抽水站內水頭損失之 P1 抽水機曲線，MP2 係已扣除抽水站內水頭損失之 P2 抽水機曲線，MP1 及 MP2 抽水量的累加和即為抽水機曲線 $MP1 \parallel MP2$ ，其中之 $\parallel$ 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。

B. 串聯操作

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 3.42 b，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。



a. 並聯操作

b. 串聯操作

圖 3.42 兩台抽水機並聯及串聯操作

3.5.4 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。
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之之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，可塗刷兩道煤焦油環氧樹脂(coal tar epoxy)。經驗顯示，如果煤焦油環氧樹脂塗刷不當，或煤焦油環氧樹脂經久變質沒再重新塗刷，則混凝土面仍會腐蝕。由於濕井經常很難排空，故重新塗刷相當困難。新方法係使用高密度聚乙烯(HDPE)做為濕井混凝土內壁的裡襯，並須將 HDPE 接縫及進流管周圍縫隙焊接完全，以避免硫化氫侵蝕混凝土。另一種代替方法係採聚合物混凝土結構，以聚合物(polymer)代替混凝土中的水泥，因聚合物混凝土不容易受到硫化氫的侵蝕。聚合物混凝土包括尿素甲醛(Urea formaldehyde)聚合物混凝土及聚脂(Polyester)混凝土。

污水中之硫化氫很容易腐蝕抽水站之金屬物品，包括：管線、沉水式抽水機導桿、管夾、支撐、格柵板、欄杆扶手、扶梯、爬梯、攔污柵、螺栓、螺帽、溢流堰、滑動閘門及其他等。防止腐蝕的方法包括抽水機導桿、管夾、支撐、格柵板、欄杆扶手、扶梯、爬梯、攔污柵、螺栓、螺帽、溢流堰、滑動閘門等可採用 304 或 316 不鏽鋼；開孔蓋板可採用量輕及耐用之玻璃纖維材質，小面積格柵板、溢流堰等亦可採用玻璃纖維材質；延性鑄鐵管外表應塗刷環氧樹脂；電氣部分亦應採用防蝕材質。

抽水井(機)應設操作平台或吊升設備，搭配防鏽蝕管材並規劃適當操作空間及動線規劃。

2. 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，則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。濕井高低水位間的有效蓄水容量可以公式 3-26 計算之：

$$V_{\min} = \frac{Q_p T}{4} \dots\dots\dots(3-26)$$

式中：

$V_{\min}$ ：定速泵浦由運轉水位(HWL)到停機水位(LWL)之最小控制容量(m^3)

Q_p ：定速泵浦單台之揚水量(m^3/min)

T ：定速泵浦所需之最小循環時間(泵浦啟動、停機至再啟動之時間，min)

上述 $V_{\min}$ 係指該台泵浦由高水位(HWL)到低水位(LWL)之所需容量，單台泵浦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 係指定速泵浦單台之揚水量，非指該抽水站之尖峰進流量。 T 係指定速泵浦所需之最小循環時間(即泵浦啟動、停機至再啟動之時間)，皆與馬達之馬力數有關，馬力愈大，最小循環時間就愈長，每小時容許泵浦啟動次數就愈少。

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。

依據 Metcalf & Eddy 所載：15 至 75 kW(20 至 100 bhp)鼠籠式感應馬達驅動之定速泵浦馬達啟動時間需要至少 15 min。75 至 200 kW(100 至 268 bhp)馬達啟動時間需要至少 20 至 30 min，大於 200 kW(268 bhp)之馬達啟動時間最好由該泵浦之廠商提供。至於小於 15 kW(20 bhp)之馬達啟動時間可減為 10 min，但仍建議採 15 min。此值與美國陸軍及空軍部資料所載最小循環時間(表 3.16)進行比較後，可看出兩種規定大致相同。

表 3.16 最小循環時間的規定

馬達馬力,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	由泵浦製造商建議

前述 Metcalf & Eddy 資料出版於 1981 年，美國陸軍及空軍部資料出版於 1985 年，目前看起來兩者對於容許馬達啟動次數的規定似乎因基於使用標準馬達而顯得過於保守，由於近幾年來，鼠籠式感應馬達的耐熱及耐應力設計已有長足的進步，Jones & Sanks 出版於 2008 年的資料說明以全壓方法啟動的中型標準馬達之啟動次數為每小時 4 次(即最小循環時間為 15 min)時對於馬達壽命沒有影響，採用特殊馬達及/或啟動方法時，可提高乾井馬達的啟動次數至每小時至少 6 次(即最小循環時間為 10 min)，及沉水式馬達的啟動次數至每小時至少 12 次(即最小循環時間為 5 min)。

至於 Flygt Pump 資料說明其中型(midrange)沉水式泵浦(20 L/s~350 L/s)使用之啟動次數為 15 次/小時。另據 GRUNDFOS 資料，如表 3.17 所示，污水工程常用的 20~100 kW 之沉水式馬達的容許每小時啟動次數達到 15 次，相當於最小循環時間 4 min，而 5~20 kW 之沉水式馬達容許之每小時啟動次數更高達 20 次，相當於最小循環時間 3 min。

表 3.17 GRUNDFOS 沉水式馬達容許之每小時啟動次數

泵浦馬力	容許每小時啟動次數
0 – 5 kW	25 1/h
5 – 20 kW	20 1/h
20 – 100 kW	15 1/h
100 – 400 kW	10 1/h

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，沉水式污水泵浦依據馬達容量之最小循環時間(參考值)見表 3.18 所示。

表 3.18 沉水式泵浦最小循環時間(參考值)

泵浦馬達容量	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

一般中型標準電動機全壓啟動可承受每小時啟動 4 次，對電動機壽命無影響；採用降壓啟動時，能降低浪湧電流(inrush current)，全速運轉會從 6 至 10 秒延伸至幾分鐘，故啟動次數可增加至每小時 12 或 15 次。特殊乾井電動機可承受每小時 6 次啟動；沉水式電動機可承受每小時 12 次啟動或多至 20 次。大型電動機每小時啟動次數要少些。本手冊建議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。

採用兩台相同的定速抽水機，抽水量小於 4,000 CMD 之小型抽水站，如採自動交替運轉的控制線路，計算濕井容量時可減少一半。若採多台抽水機並聯時，濕井容量除考量最大容量抽水機及最小循環時間外，另應考量各台抽水機液位控制水位。

3. 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簡介如下：

(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不貴，用於調節池做為流量調節抽水機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。進流管及濕井簡略介紹如下：

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 3.43。

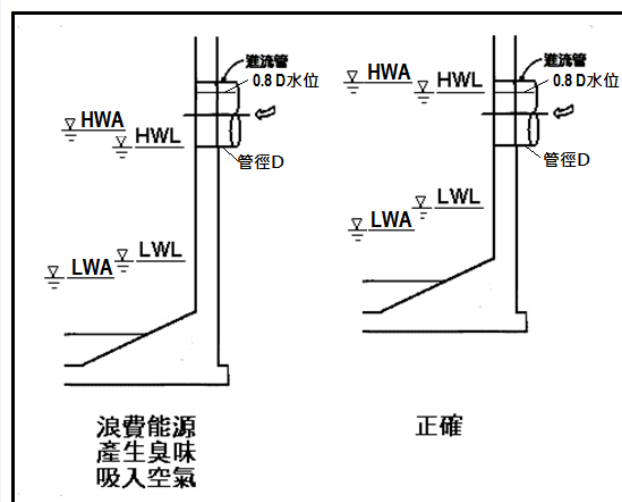


圖 3.43 濕井高水位位置之決定

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

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。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 3.44，抽水機吸水口及底版的距離不能超過吸水喇叭口直徑的一半，最好是喇叭口直徑的三分之一。喇叭口至最低水位之浸水深度為 S ，參考公式 3-27 及 3-28。

$$S = (1 + 2.3F_D)D \dots\dots\dots(3-27)$$

式中：

S ：浸水深度(m)

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

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)

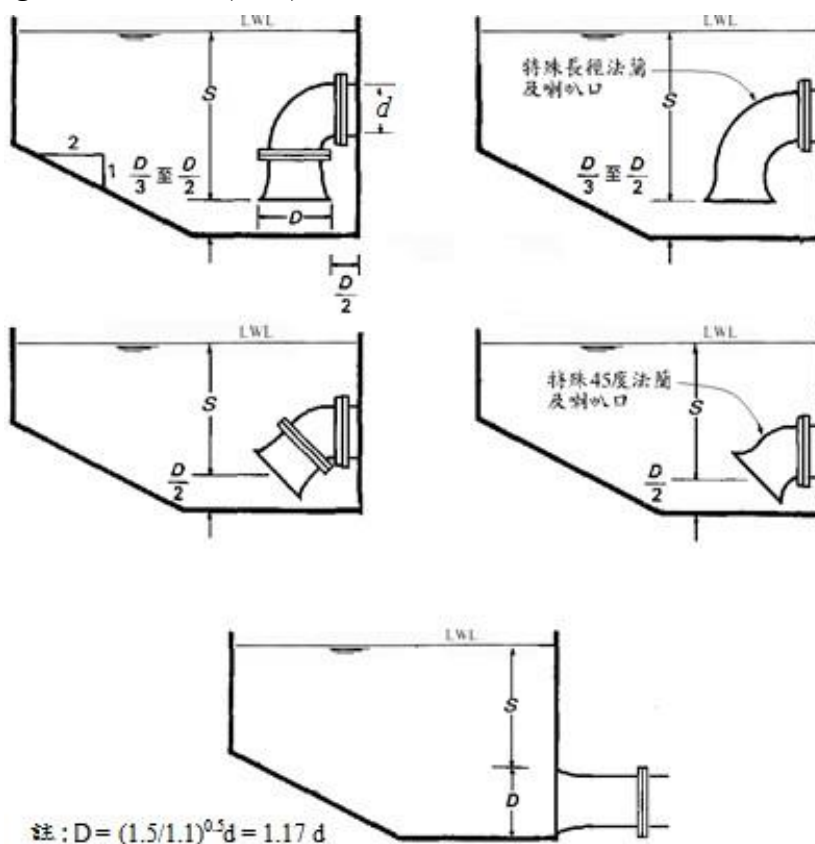


圖 3.44 各種吸水管的型式

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有效淨吸水高度(Net Positive Suction Head Available，簡寫為 NPSHA)減到零，導致孔蝕、噪音及急速磨損(詳 3.5.5 節)。矩形濕井及進流口之優劣配置設計，如圖 3.45，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。

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 3.46 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 3.47，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 3.48 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詳見解說 4，但對於濕井用地面積大、浮渣無法排出等問題仍無解。

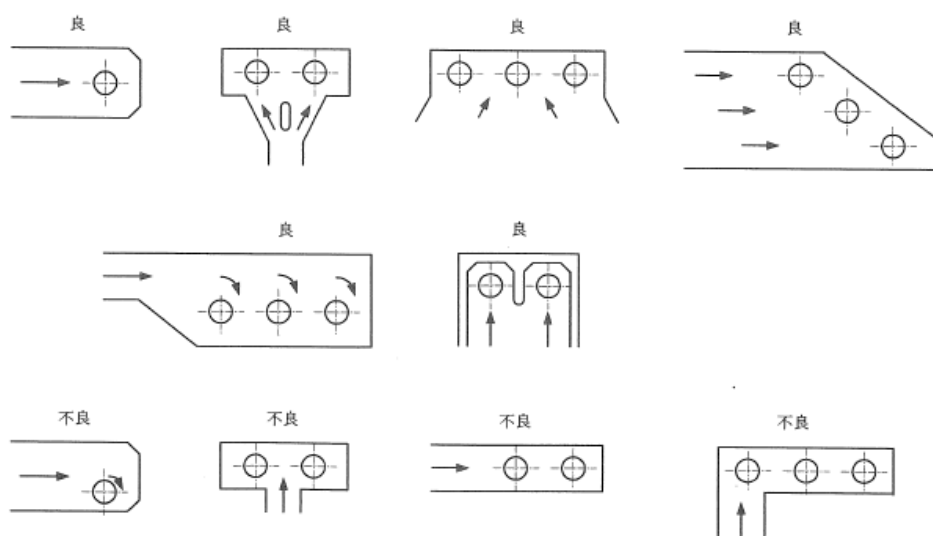


圖 3.45 矩形濕井及進流口之優劣配置設計

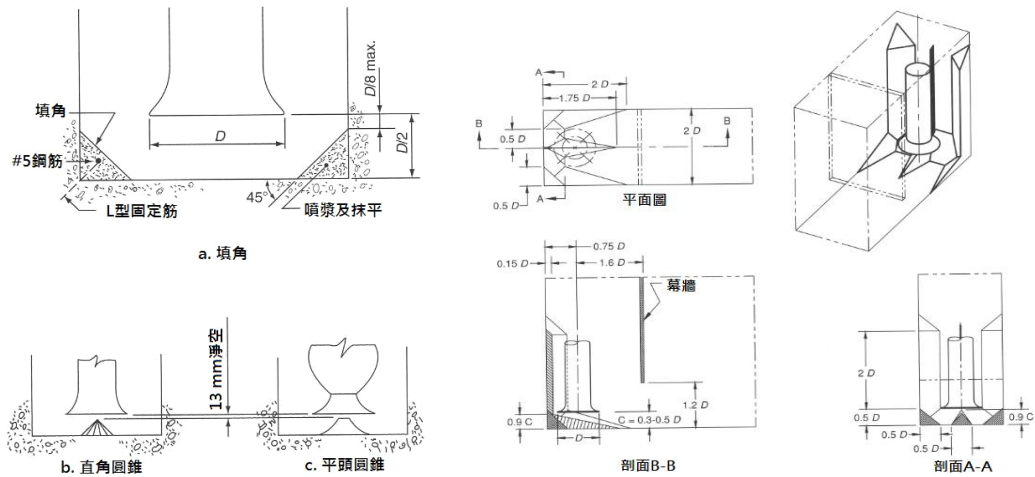


圖 3.46 填角及地板圓錐 圖 3.47 大型抽水機防止渦流最佳隔間詳圖

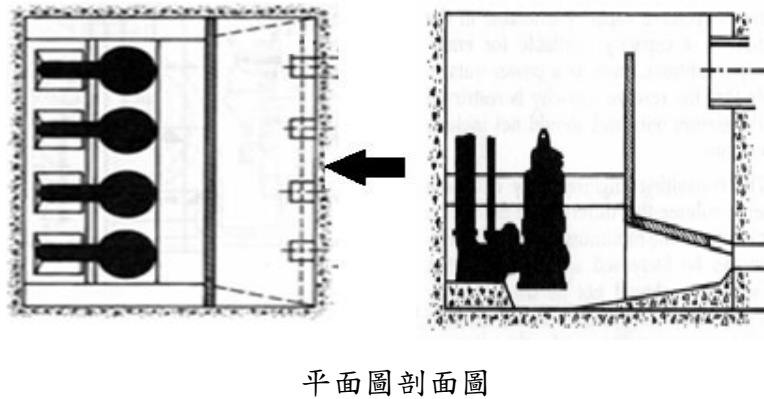


圖 3.48 典型使用沉水式抽水機之矩形濕井設計圖

(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，濕井可以混凝土管製造，也可採用 FRP 管或鋼管。圓形濕井雖可使用乾井式抽水機(例如自吸式抽水機)，但通常使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 $2D$ 高的筒中來解決。許多小型圓形濕井有嚴重缺點，其中之一為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，可採用如同渠道型濕井之接近管，如圖 3.49 裝設兩台沉水式抽水機之小型圓形濕井。圓形濕井其他缺點包括：(1)大而平坦的池底會使污泥淤積及腐敗，及(2)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，詳見解說 4。

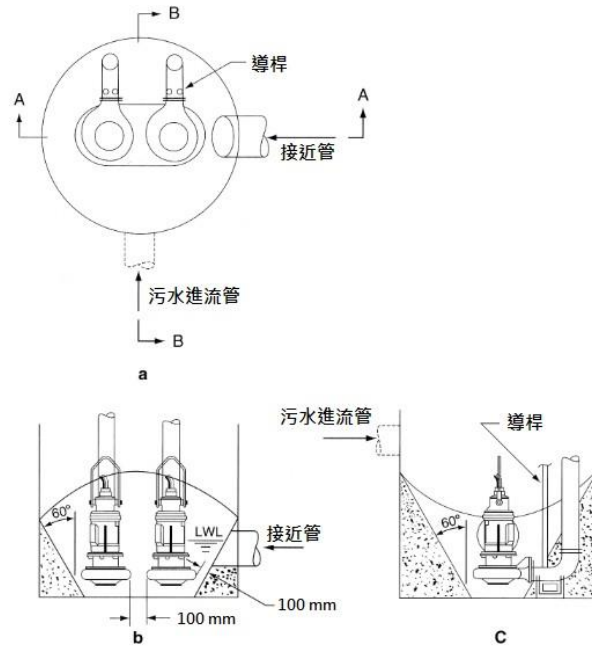


圖 3.49 裝設兩台沉水式抽水機之小型圓形濕井
(建議以實線之接近管代替虛線之進流管)

(4) 渠道型濕井

A. 渠道型濕井介紹

渠道型濕井的構想係在 1950 年代後期所發展出，其與傳統矩形濕井設計不同之處在於濕井形狀係一條深而狹窄的渠道，而各抽水機吸水口係沿著此狹窄渠道並排設置，進流水自渠道的一端流入，如圖 3.50，如與圖 3.43 比較，此係違反傳統矩形濕井的設計方法，但卻解決了傳統矩形濕井的一些缺點。渠道型濕井的抽水機吸水口係局限在渠道中，與上游端進流管同在一直線上，但遠低於上游端進流管（渠道型濕井原設計係於 1998 年推出，改良後之新式渠道型濕井則係於 2008 年推出）。新式渠道型濕井設計優點為：(1)抽水機吸水口水力條件良好；(2)以最小的用地尺寸抽送污水；(3)池底地板面積小故污泥淤積最少；(4)利用洩洪道產生水躍，將沉積物冲到渠道末端，即可由最後一台抽水機將沉積物抽出，故清理沉積物快又容易。渠道型濕井適合於設計流量超過大約 12,000 CMD 的抽水站，有些抽水站超過 400,000 CMD。如圖 3.51 使用乾井抽水機之新式渠道型濕井。

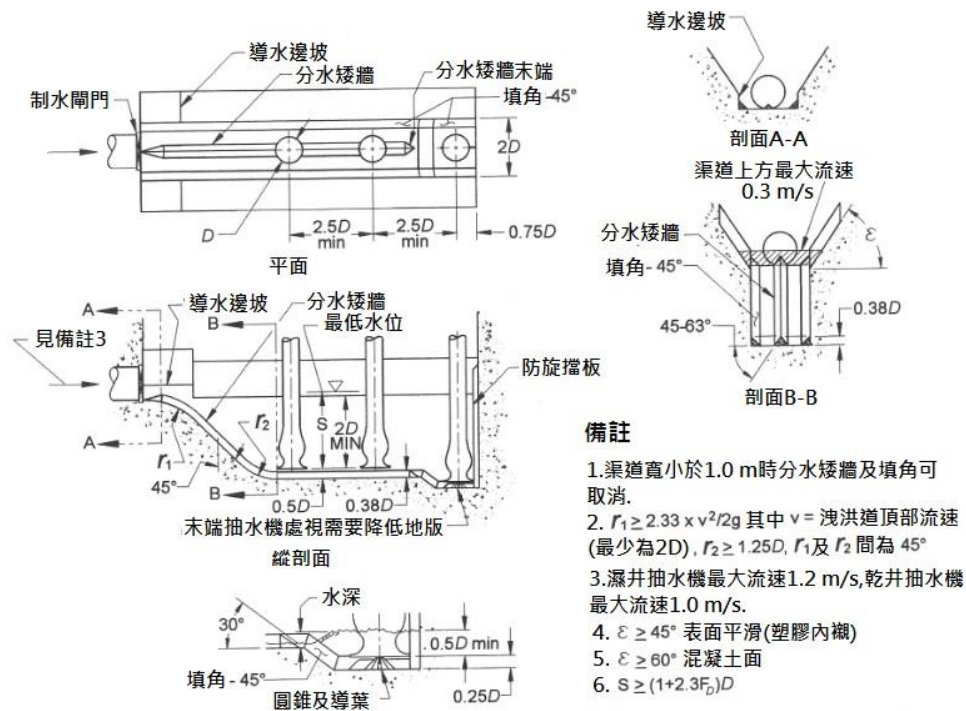


圖 3.50 使用豎軸抽水機之渠道型濕井
(用於含固體物之污水及變速抽水機)

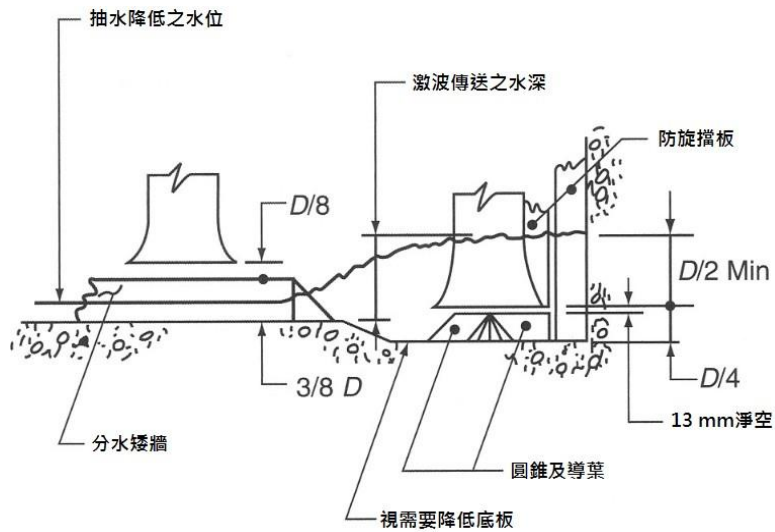
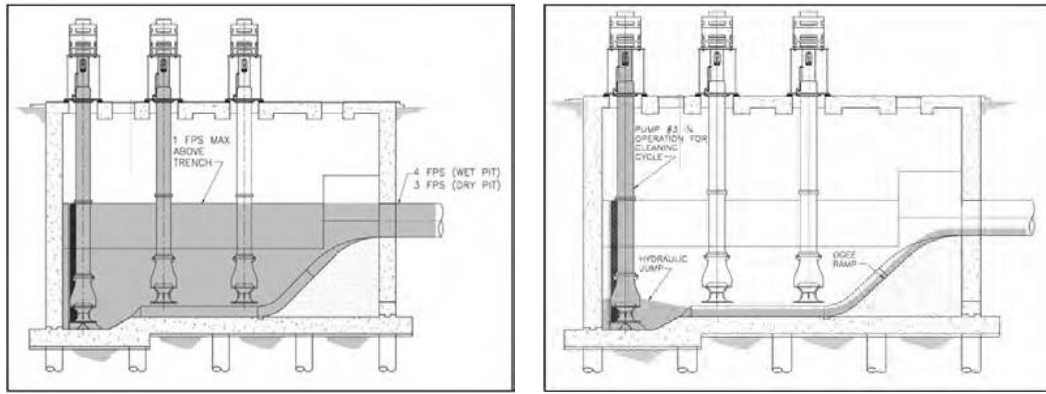


圖 3.51 使用乾井抽水機之渠道型濕井

渠道型濕井沉積物的清除方法如下：以抽水方法將渠道中水位下降至離抽水機吸水口上面幾公分後，讓污水自上層進流管經洩洪道流到下層渠道的前端而產生水躍，激波向渠道下游端傳送時，會將渠道中沉積物冲到最後一台抽水機處，即可由該抽水機將沉積物抽出，請參考圖 3.52 示意圖。



a. 正常操作情況

b. 自動沖洗渠道情況

圖 3.52 渠道型濕井清除沉積物示意圖

渠道式濕井的抽水機可為變速或定速。採用定速抽水機的情況，當抽水機沒在運轉時，須將污水暫時儲存。定速抽水機的水位上下變動約 1.2 m，為避免造成水位大幅跌落，並增加這種精簡式濕井的儲存容量，須自濕井上游端的銜接人孔做為起始點，將該人孔下游的原污水管變更設計為坡度較大且將管徑放大的接近管(approach pipe)，接近管進入濕井的管底須稍低於濕井的低水位(LWL)。通常該銜接人孔、接近管及濕井等係並由污水處理廠設計。在進水階段，濕井水位升至高水位(HWL)時，濕井入口處的接近管係為滿管，但不致迴水至上游端的污水管。在抽水階段，接近管會排空，除了少許容量(約 30%)會為高流速將管線沖刷潔淨的進流水所佔去。接近管最適長度約 60 m，最適坡度為 2%，最適管徑(D2)較污水管管徑(D1)約大高 1 至 2 號，這種配置會使 HWL 及 LWL 有 1.2 m 的高差，而接近管會有調節抽水機啟動及停止次數所需濕井體積大約一半之容量。接近管的管徑及長度可依濕井所需之不足容量而改變。接近管既已提供部分的需求容量，濕井即可做最適自清形狀的設計。如圖 3.53 使用接近管增加濕井儲存容量的沉水式小型定速抽水機之新式渠道型濕井，及如圖 3.54 接近管段示意圖。因渠道短且非常狹窄，無法裝設分水矮牆及填角，因此取消分水矮牆及填角。

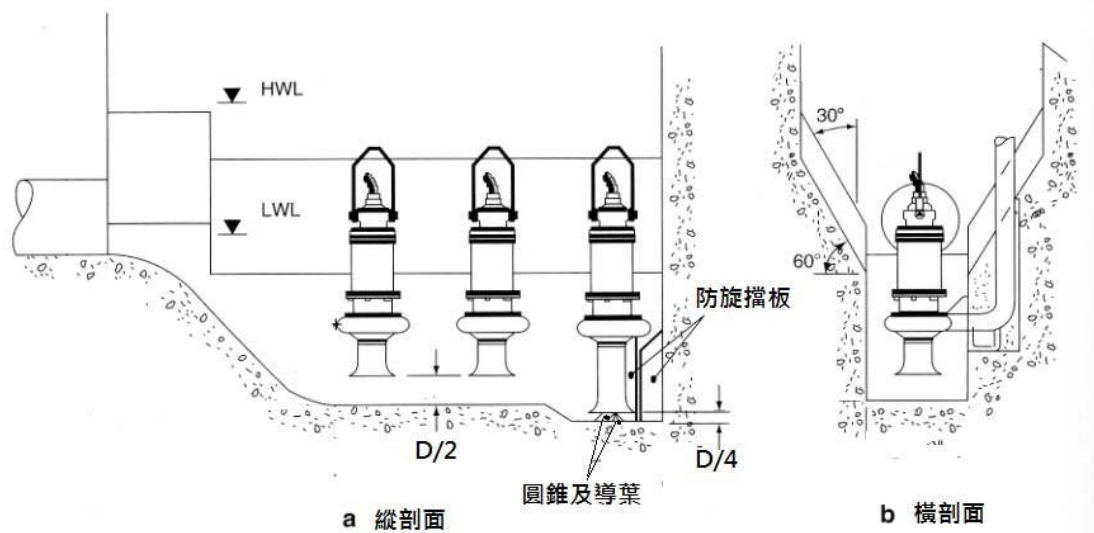


圖 3.53 使用沉水式抽水機之渠道型濕井(用於小型定速抽水機)

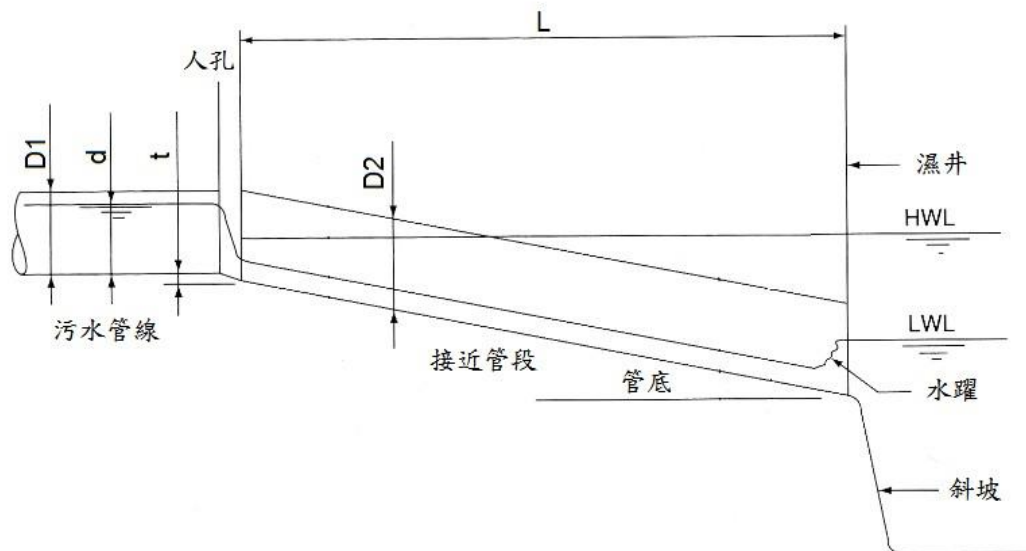


圖 3.54 接近管段示意圖

B. 矩形濕井與渠道型濕井比較

傳統式濕井(包括矩形與圓形)與渠道型濕井之比較如下：

(A)傳統式污水抽水站濕井容量係依照前節(公式 3-26) $V_{\min} = \frac{Q_p T}{4}$ 計算，

其中濕井容量 $V_{\min}$ 係指濕井內高低水位間的深度乘以濕井水面面積。最小循環時間與抽水機的馬力數有關，因此大抽水量及大馬力抽水站需要的濕井容量即非常大。

(B)傳統式濕井進流管的 $0.8D$ 水位通常設定為濕井的高水位，因此在非高水位情況下的大部分的時間，進流水通常以瀑布方法自由落下，挾

帶大量空氣氣泡進入濕井中，而為抽水機所吞沒，導致葉輪不均勻負荷，產生過度磨損及嚴重的減少效率。渠道型濕井進流管的管底高程設定為略低於濕井的低水位，跌落高度減小，挾帶的空氣氣泡也減少。

(C)傳統式濕井會在濕井井底地板上堆積砂礫及污泥，影響抽水機的抽水效率，沉積的固體物會分解而產生硫化氫，形成硫酸，嚴重腐蝕混凝土及金屬表面。沉積物清除困難，作業環境也惡劣。為減少濕井中沉積物堆積，建議縮小抽水機吸水口處地板的水平距離，並將其餘的地板以 1:1 的坡度向上延伸至進流口，使固體物接近抽水機吸水口，減少沉積；另外亦可將濕井分為兩個或以上的隔間，每個隔間應分別有進流渠道及閘門，以便將污水引入任一隔間，及將另一隔間空出來清理。隔牆須設閘門，以便將隔間連通，提供抽水機最小運轉周期所需的容量。

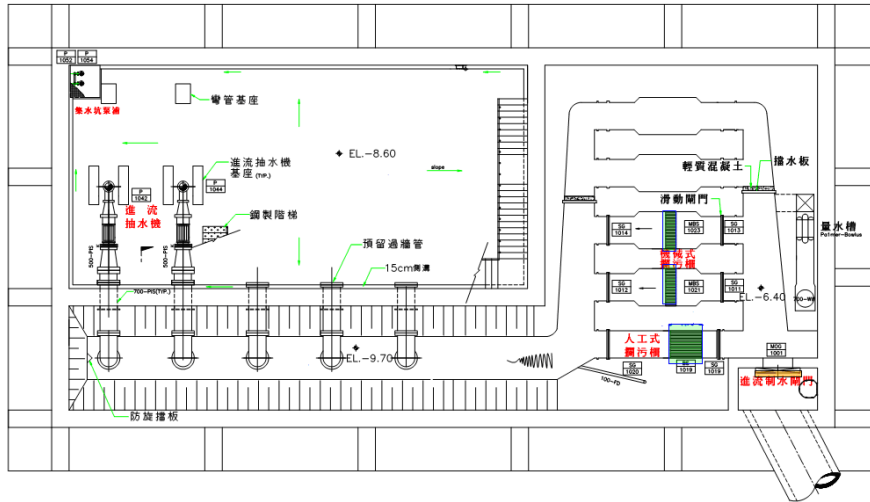
如圖 3.55 進流抽水站採渠道型濕井的典型設計例。

(5)狹窄隔間之濕井

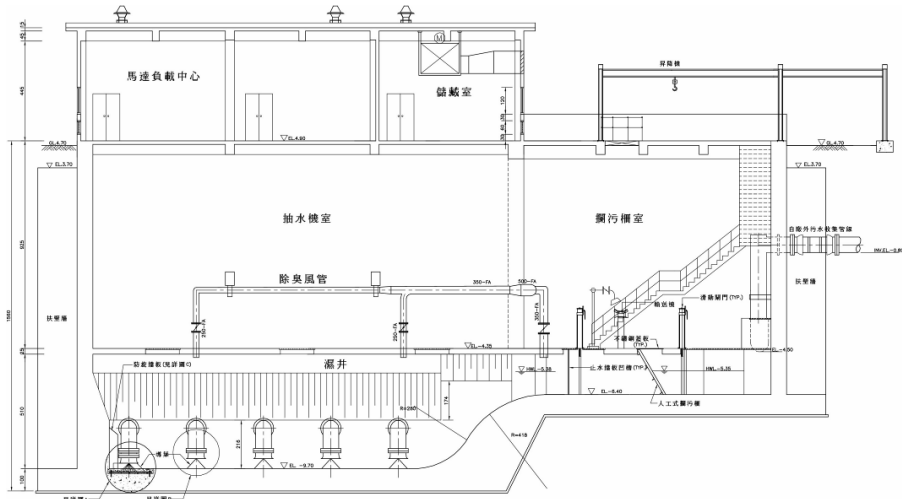
狹窄隔間之濕井配置如圖 3.56 所示，其優點為：(1)抽水機平時運轉時有優良的水力條件；(2)抽水機全速運轉時可將污泥抽出；(3)抽水降低水位時可將浮渣抽出；(4)適合大型抽水機。另一方面，其缺點為：(1)對定速抽水機而言，可貯存之液體容積太少(沒有輔助貯存空間)；(2)抽水機長時間的停機後，其隔間可能會淤積污泥及砂礫而使抽水機堵塞；(3)費用較圓形濕井為高。

上述貯存容積問題可如同渠道型濕井，以一支接近管來解決。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，詳見解說 4。

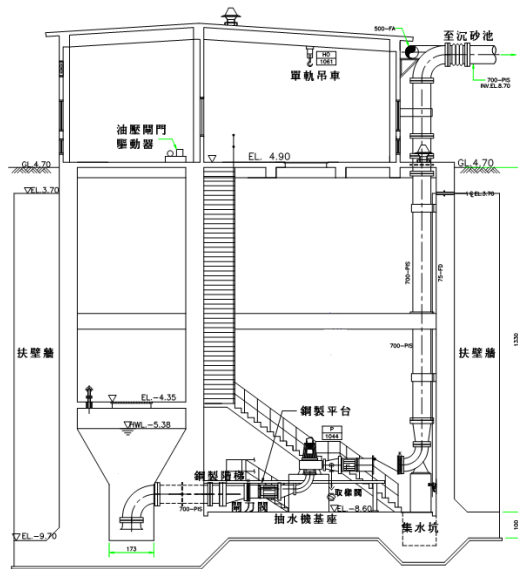
4. 抽水站濕井內之淤積清除困難及具危險性，故抽水站設計以不在濕井底部造成淤積為目標。污水抽水站濕井的死角流速太低無法避免污水中污泥及砂礫的淤積。大約 0.3 m/s 的流速可保持污泥流動，而大於 0.5 m/s 的流速可保持砂礫流動。在污泥及砂礫淤積後，需要有大於 1.6 m/s 的流速才能將沉積物有效的沖走。一些清除沉積物的方法如下：



a. 平面圖



b. 剖面圖



c. 剖面圖

圖 3.55 進流抽水站自清式渠道型濕井設計(新竹客雅水資源回收中心例)

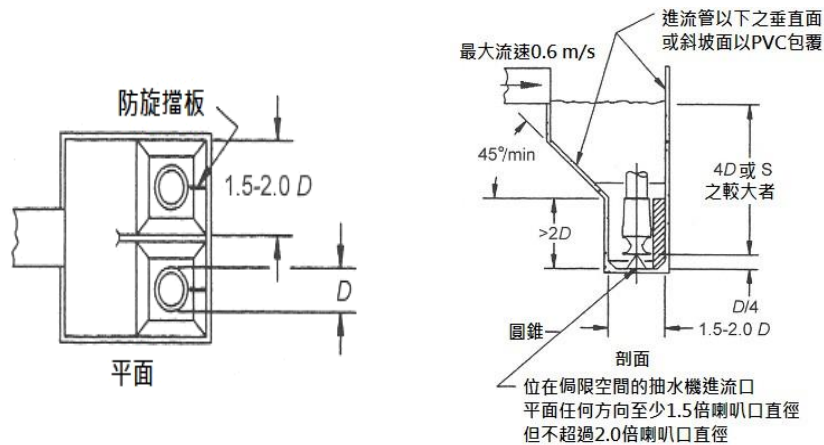


圖 3.56 狹窄隔間之濕井配置示意圖

- (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 3.57 a)；亦可用沉水式攪拌機(如圖 3.57 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，因此有下列一些缺點：
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。
- (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 3.58)，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。



a. 豎軸式攪拌機



b. 沉水式攪拌機

圖 3.57 機械式攪拌機

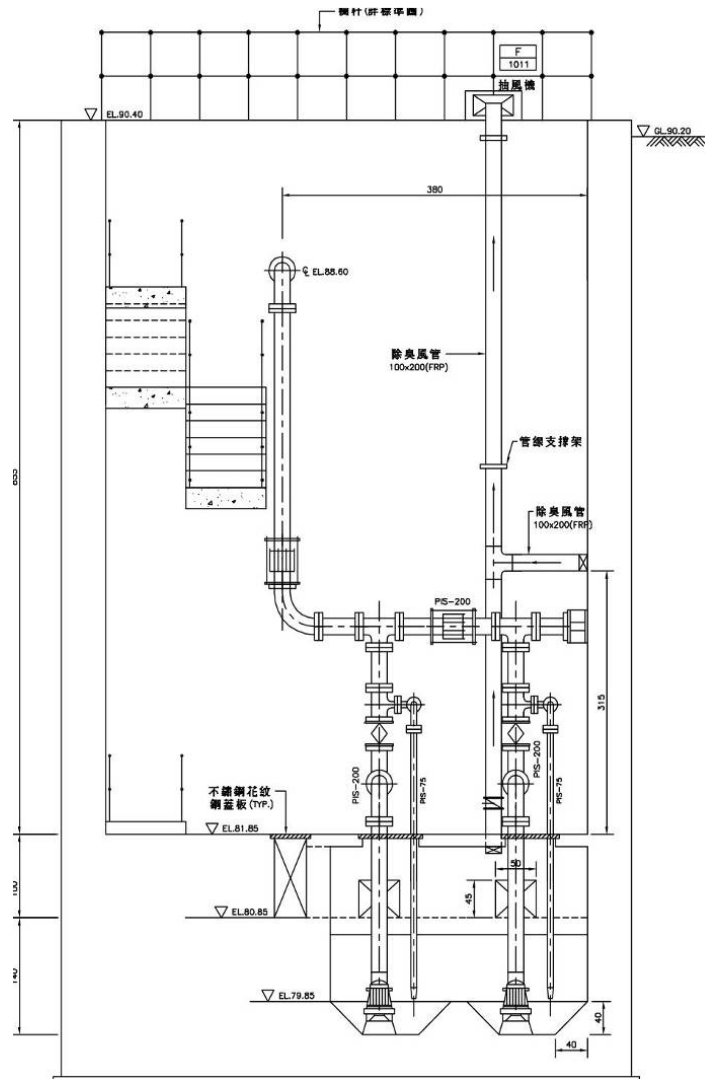


圖 3.58 分支管攪拌

(3)豎軸集水坑抽水機以及沉水式抽水機(如圖 3.59 及圖 3.60)：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。

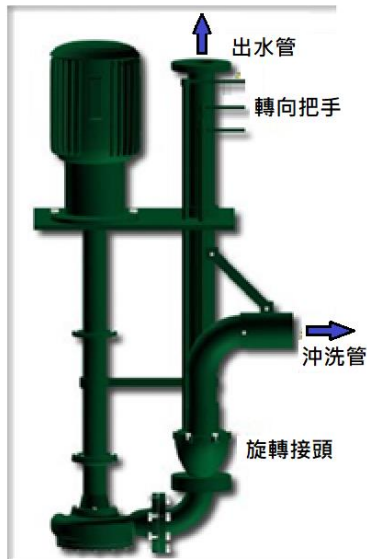
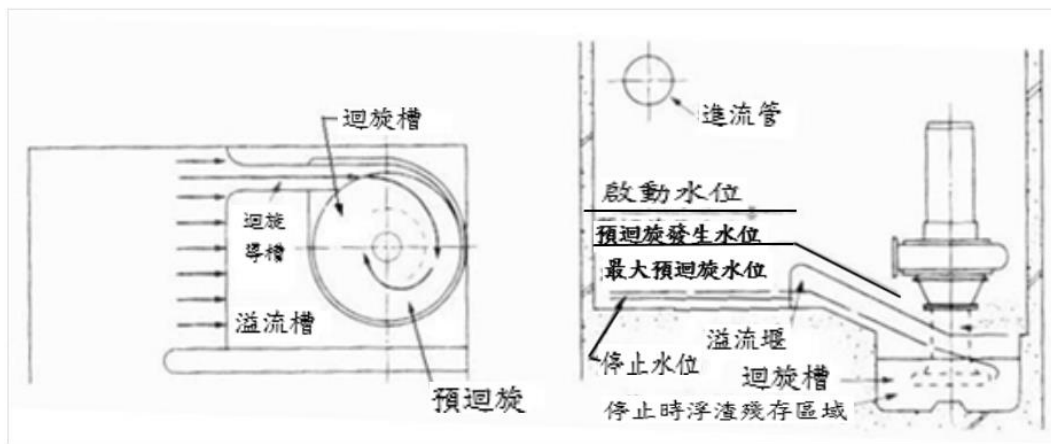


圖 3.59 豎軸集水坑抽水機



圖 3.60 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 3.61。



a. 平面圖

b. 剖面圖

圖 3.61 預迴旋槽之例

5. 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，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。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 3.4。抽水站之換氣量參考表 3.19，並依個案狀況進行評估。

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 3.19 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 $\times 10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{小時})^*$	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 $\times 10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{小時})^*$	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 $\times 10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{小時})^*$	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

6. 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、濕井及泵浦。

(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，參見圖 3.55 之 a. 平面圖渠道寬度比攔污柵寬度窄的設計。

(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泵浦的吸水口，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，數台泵浦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泵浦的吸水口，除進流管側的濕井底部須有朝向泵浦之斜坡外，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，數台沉水式泵浦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) 泵浦

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泵浦，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泵浦。這種方法最適用於每台泵浦的出水管直接接到前處理區進水渠道的情況；如果每台泵浦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。

3.5.5 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要項如下：

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)螺旋抽水機；(6)沉水式抽水機採乾井安裝。
3. 抽水機得視合適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. 抽水機吸水及出水管線之設計

(1) 抽水機吸水管及附屬設備之設計

- A. 每台抽水機應分設吸水管一支。
- B. 吸水管應儘量縮短水平管長度。
- C. 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。
- D. 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，參考 3.5-4 解說 3。
- E. 利用牆壁來支撐沉重的管線及管閥。吸水管甚長時，中間得設固定支架。

- F. 具有壓力水頭之吸水管應設置隔離閥。
- G. 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。
- H. 抽水機之吸入靜水頭應使抽水機不發生孔蝕現象，並依抽水機之型式使其吸入靜水頭降至最低。
- I. 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需求 NPSHA，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穴蝕現象的數值資料，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)。
- J. 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。
- K. 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。
- L. 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。

(2)抽水機出水管及附屬設備之設計

- A. 出水管與抽水機出水口間之漸縮管可採同心型式。
- B. 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。
- C. 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。
- D. 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，或採用圓球逆止閥或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。
- E. 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。
- F. 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。
- G. 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。

- H. 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 3.5-5 解說 2。
- I. 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。
- J. 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。
- K. 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)。
- L. 典型豎軸離心抽水機吸水及出水管線、管件及閥類設計，如圖 3.62。

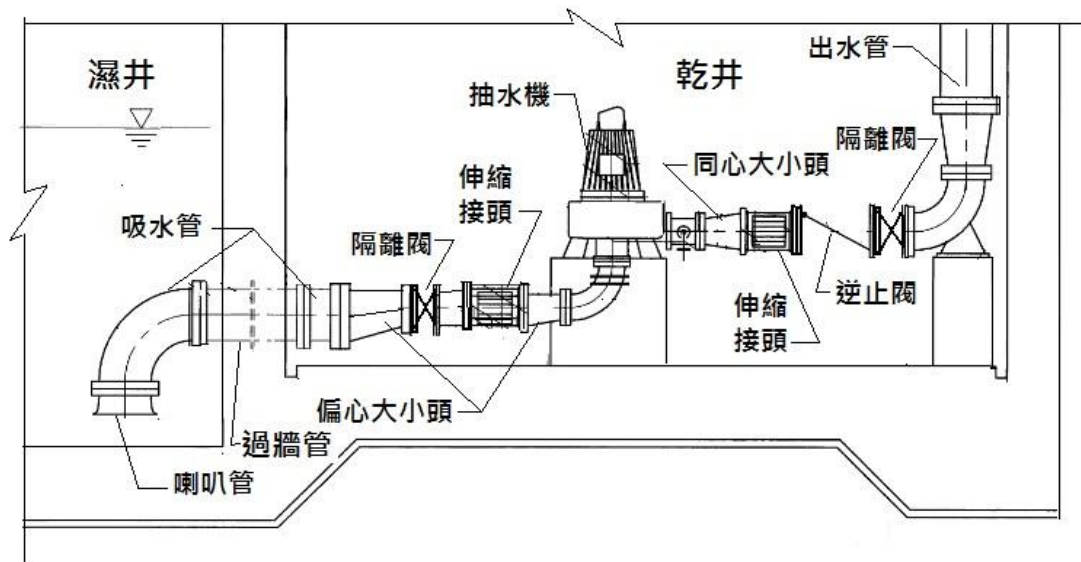


圖 3.62 抽水機吸水及出水管線、管件及閥類

2. 乾井位置較低窪，有浸水之虞時，可採用下列方法：(1)豎軸渦輪式抽水機，如圖 3.63；(2)自吸式抽水機，如圖 3.64；(3)真空吸引式抽水機，如圖 3.65；(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，如圖 3.66；(5)螺旋抽水機，如圖 3.67；(6)沉水式抽水機用於乾井，如圖 3.68。

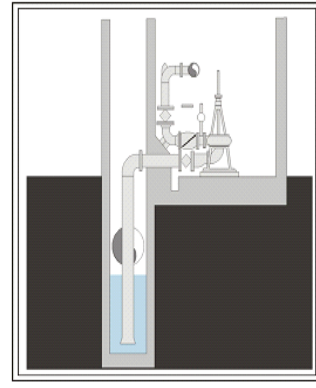
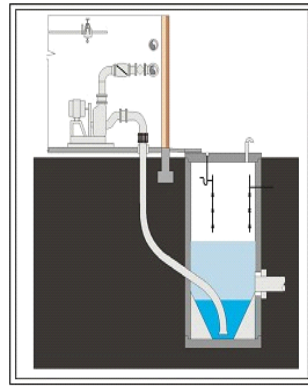
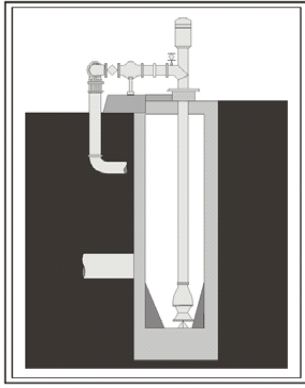
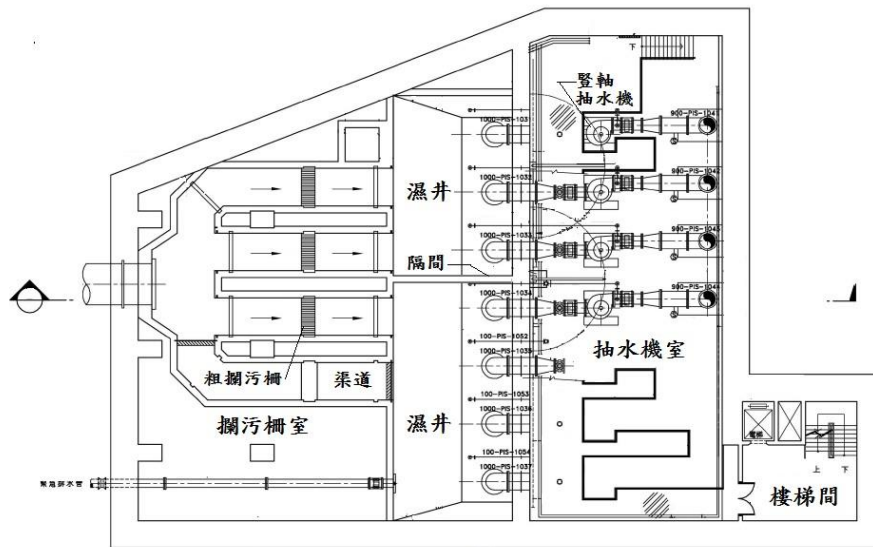
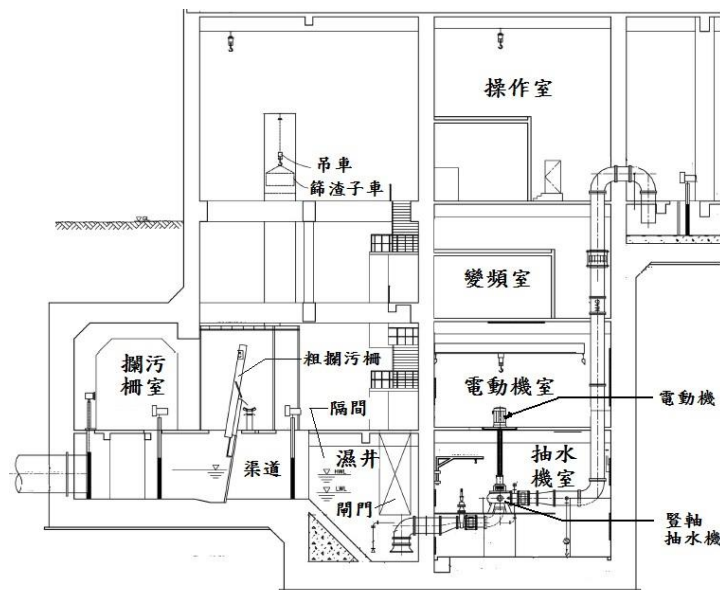


圖 3.63 豎軸渦輪式抽水機 圖 3.64 自吸式抽水機 圖 3.65 真空吸引式抽水機



平面圖



剖面圖

圖 3.66 豎軸抽水機之電動機設置於上層(台北市內湖污水處理廠例)



原污水抽水站照片

圖 3.67 進流抽水站使用螺旋抽水機的相片及設計圖
(台中市福田水資源回收中心例)



圖 3.68 進流抽水站乾井使用沉水式抽水機的相片
(新竹客雅水資源回收中心例)

3. 變速抽水機之使用

(1) 定速與變速抽水機說明

抽水機如依照速度運轉分類，可分為定速及變速兩種，分別說明如下：

A. 定速

在 60 赫茲(Hz)交流電下操作的定速電動機所驅動的抽水機，其一般轉速如表 3.20 所述。電動機的同步轉速為 $120 \times \text{頻率} / \text{電動機極數}$ ，同步電動機需操作在此同步轉速，但鼠籠式及繞線式感應電動機的轉速，因滑移(slip)而比同步轉速少 2~3%。

表 3.20 定速電動機在 60 赫茲(Hz)交流電下的操作轉速

極數	電動機轉速(rpm)		極數	電動機轉速(rpm)	
	同步	感應		同步	感應
2	不適用	3,550	16	450	435
4	1,800	1,770	18	400	390
6	1,200	1,170	20	350	350
8	900	870	22	327	318
10	720	705	24	300	290
12	600	585	26	277	268
14	514	500	28	257	249

污水抽水機大部分之應用轉速會在 500~1,770 rpm 之間，依照抽水機規模及水頭而定，高轉速則用於高水頭需求，1,770~3,550 rpm 應用於清水的附屬設備，如回收水的清洗水、製程用水及加氯抽水機。轉速低於 435 rpm 的抽水機不太普遍，常用於大容量的抽水機。當選到的兩種合適的抽水機有不同的轉速時，如果污水中含有砂礫，為減少磨損，通常選擇低轉速的抽水機。

多速操作可用鼠籠式及繞線式電動機，鼠籠式電動機的轉速限制在表 3.20 所列出的兩種或更多的轉速，如果雙速電動機的低速是高速的一半，則可使用單線圈電動機；如果雙速電動機的低速不及高速的一半，則需使用雙線圈電動機。

當操作雙速的抽水機時，鼠籠式電動機(或同步電動機)的優點是電動機在雙速時都有最大效率；但繞線式電動機僅在全速操作時有最大效率，當操作在低於全速時，電動機的效率大幅下降。

B. 變速

採用污水變速抽水機的首要目標係使抽水站抽水量隨時等於進水量，使抽水站僅須非常小容量的濕井，抽水機亦不須常啟閉。

依據”Pumping Station Design”一書第 15 章”Variable-Speed Pumping”，一般用法中，「變化速度」(variable speed)一詞係指調整抽水機的速度以產生所需的抽水量，實際上，「變化」(variable)一詞表示使用者可或不可控制此種改變，而「可調」(adjustable)一詞則表示使用者可控制此種改變。

「變速」(variable-speed)一詞專指電動機速度會隨負載而大幅改變，其速度係決定於負載及驅動器的速度-扭力曲線的相交點。變速驅動器包括不可控制的單元，例如：串聯繞線電動機、繞線轉子交流電動機、沒有轉速表反饋的渦電流離合器、及流體驅動器等，惟任何這些單元皆可藉由裝設自動速度控制，而做為控制速度驅動器之使用。例如變阻器控制的繞線轉子電動機，雖然速度會隨負載及控制而改變，但仍可藉由外

部控制來掌握合適的速度。

「調速」(adjustable-speed)一詞專指電動機速度可調整至操作點者或自動速度選擇裝置所選定的速度，這選定的速度幾乎不隨負載而改變。調速驅動器的一個例子係調頻驅動器(AFD)，國內常誤稱為變頻驅動器(VFD)；惟為配合國內之習慣用詞，本文後續將以「變頻驅動器」稱之。

「頻率」應僅用於使用交流電的驅動器，而「速度」一詞可用於交流電、直流電及機械式驅動系統，所以抽水機速度可任意使用「調速」或「變速」驅動器來改變。本文中，這兩種驅動器皆稱為「變速」，但如果與電機工程師討論時，使用正確術語或能避免混淆。

變速及定速抽水的差別很大，並有影響深遠的結果，故所有應用之理由應審慎加以考量。

(2)變速抽水機優點

著眼於抽水量永遠等於進水量目的的變速抽水機，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. 不須貯存量，故比起定速抽水，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. 定速驅動器啟動的特性—高浪湧電流可在例如調頻驅動器(AFD)的變速驅動器大幅減小。降低浪湧電流啟動的方法稱為「軟啟動」。
- H. 定速抽水機啟動造成的電壓可以使用如降壓啟動器之軟啟動設備而大幅減小。固態的降壓啟動器最具彈性、經濟及省空間，當操作速度達到時，它們通常會從電路上關掉，所以不會再有諧波干擾。

(3)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，從而避免了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 的平均靜水頭。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，最後並打亂了加氯系統，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。

(4)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。

(5)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，但當許多台抽水機在運轉時，這情況就可能發生。固態接觸器或抽水機控制閥可消除一般情況下之激流。抽水機設計時經衡量其優缺點，客觀的評估結果而採用變速，則應針對該特定用途選擇最佳的驅動器。

(6) 變速驅動器

變頻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頻驅動器時，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 3.69)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 3.69 300 hp 電動機變頻器照片

(7) 變速抽水機設計考量

抽水站穩固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：

A. 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。

- B. 濕井變速抽水站的濕井容量僅須抽水機在關閉或開啟時不會對水位造成過多的改變，為了該目的所需的水面面積相當小。水位變化可減少到調節抽水機轉速所需之量，大多數變速控制系統關閉或開啟抽水機及調節轉速皆係在濕井水位變化約 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靜水頭。

(8)變速抽水機最低操作速度

最低操作速度(零 Q 速度)定義為抽水機無法克服靜水頭而維持流量的速度，故每台抽水機及每座抽水站的最低操作速度為獨一無二的，而其係發生在抽水機關閉水頭等於靜水頭時之速度，如圖 3.70 單台變速抽水機在不同轉速下之特性曲線與系統曲線合併圖。在零 Q 速度，並且僅在零 Q 速度，抽水機水頭可改變而不改變流量，此時抽出之水會在渦卷內循環，產生對葉輪不平衡的徑向推力，導致機軸撓曲，造成軸承損壞及機軸疲乏性的破裂。

依據經驗，抽水機在最佳操作容量(BEC，抽水機最大建議速度的最佳操作點之流量)之 30%或更多的流量下連續操作係安全的；惟須符合抽水機製造商要求的最低流量。一些抽水機的最低流量可能建議為最佳操作容量之 50%或更多的流量。雖然可訂製較粗重的機軸及軸承以解決最低速度需求之問題，但大部分訂製的不阻塞抽水機都不便宜；採用多台較小抽水機亦是可行的變通方法。

大多數變速驅動器提供避免抽水機在預定的最低速度下運轉之方法，當進流量少於抽水機在預定最低速度時之抽水量，抽水機即會頻繁開啟及關閉，在此期間，抽水機速度不會改變，如果進流量少於單台抽水機最低建議抽水量，濕井須有足夠貯存容量以防止抽水機在此抽水量下頻繁開關。當進流量再度達到抽水機在預定最低速度時之抽水量時，藉由控制系統，抽水機會回復到變速操作。

下述兩方法可用來避免主抽水機的頻繁開關：

- A. 採用多台較小抽水機，每台抽水機的建議最小抽水量比最小進流量小。
- B. 增加兩台輔助變速抽水機，僅在當進流量比主變速抽水機建議最小抽水量的小時操作，每台輔助變速抽水機的最大抽水量應稍為比任何一台主抽水機建議最小抽水量高一些。

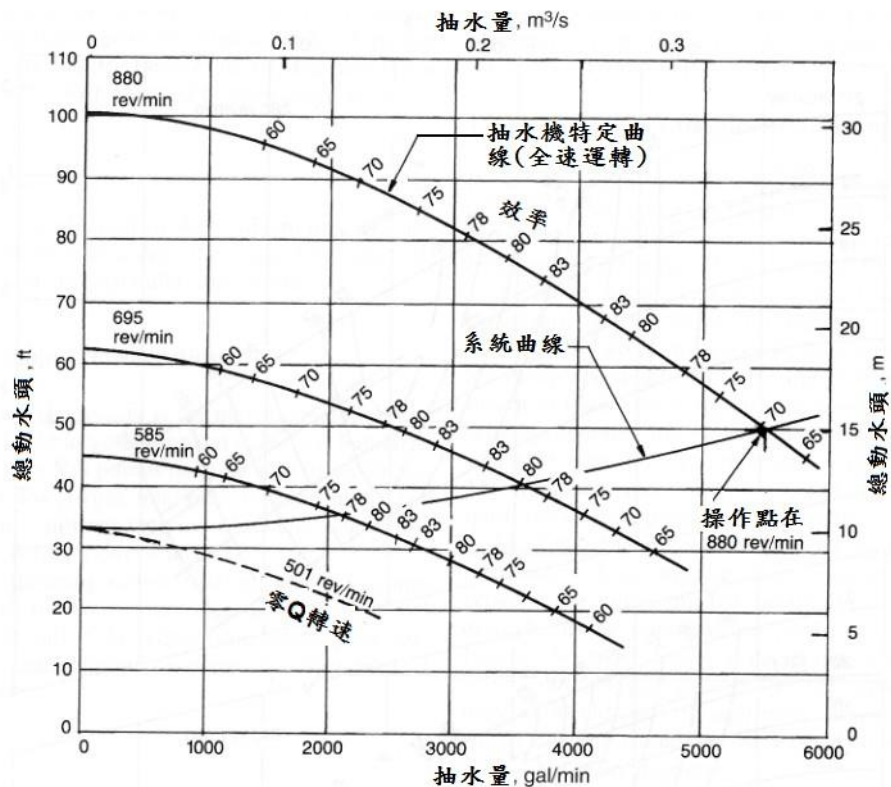


圖 3.70 單台變速抽水機在不同轉速下之特性曲線與系統曲線合併圖

(9) 抽水機選擇

各種變速抽水機系統皆包括當任一臺抽水機無法使用時，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。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. 四台變速抽水機四台或以上變速抽水機採用相同的抽水機選擇原則，然而，變速及定速抽水機合併使用能以較低設備費而提供變速驅動器的一些好處。但其限制係在任何抽水站的抽水量時，抽水機不能在其容許操作區以外操作，另外，大多數抽水機不能在小於其最大抽水量(Q_{max})之約 35% 下操作。

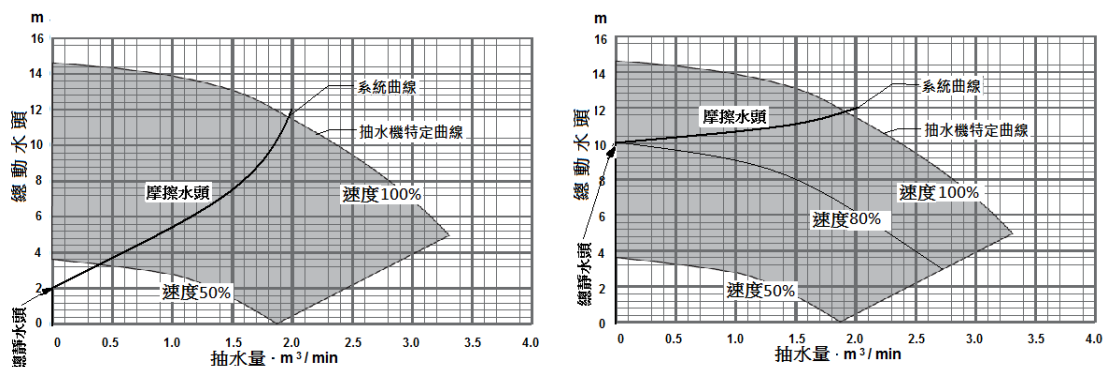
(10) 變速抽水機最高速度限制

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。

(11) 靜水頭與摩擦損失

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靜水頭佔大部分，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 3.71 抽水系統曲線與抽水機特性曲線合併圖，圖 3.71 a 及 b 之總動水頭皆為 11.5 m，圖 3.71a 之總靜水頭為 2 m，故其變速範圍可自 100% 降低至 50% 以下；圖 3.71 b 之總靜水頭為 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。



a. 摩擦水頭佔大部分之情況

b. 總靜水頭佔大部分之情況

圖 3.71 變頻抽水機在不同總靜水頭下之有效變頻範圍

4. 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。

3.5.6 抽水機之穴蝕現象及水錘作用

抽水機之穴蝕現象及水錘作用考量如下：

1. 抽水機應有足夠的可用淨吸水高度(NPSHA)以避免發生穴蝕現象。

2. 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. 穴蝕現象(Cavitation)

(1)穴蝕的發生及其影響

穴蝕現象是離心式抽水機運轉時潛在的危險，穴蝕現象可能會造成：

a.降低抽水機容量及效率，b.損壞抽水機。這些影響是否會發生及發生程度，主要取決於下列因素：

A. 抽水機進入口之低 NPSHA，a 及 b 會發生。

B. 當抽水機在遠高於或遠低於 BEP 上運轉，a 及 b 會發生。

C. 抽水機在「高能(指相當高之總動水頭)」上操作，僅 b 會發生。

(A)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)。 p_1 與 p_v 之差值，再加上抽水機的吸入口之速度水頭 $V_1^2/(2g)$ ，即為 NPSHA。蒸汽氣泡係出現在葉輪入口處外圍葉片的尾隨面或吸入側靠近根部的邊緣處，當 NPSHA 繼續降低，氣泡的體積會增加，在葉片吸入側形成部分空穴而扭曲了水的流線，如圖 3.72 a 部分空穴，扭曲程度大時，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 3.72 b 完全空穴，使抽水機無法再產生水壓。

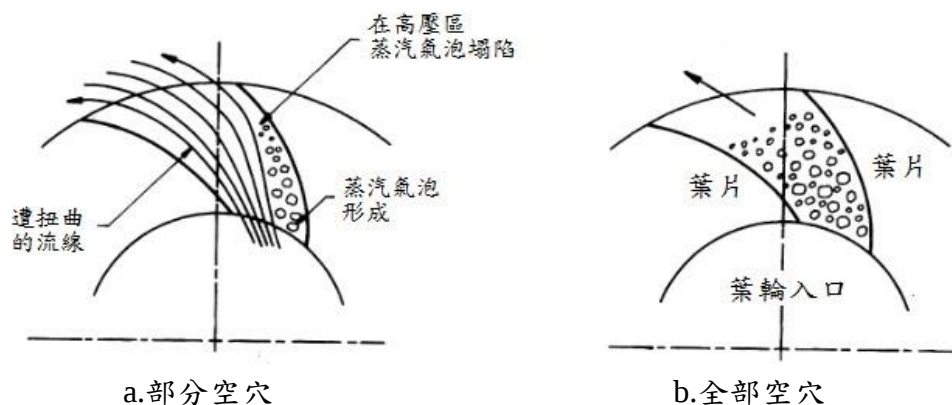
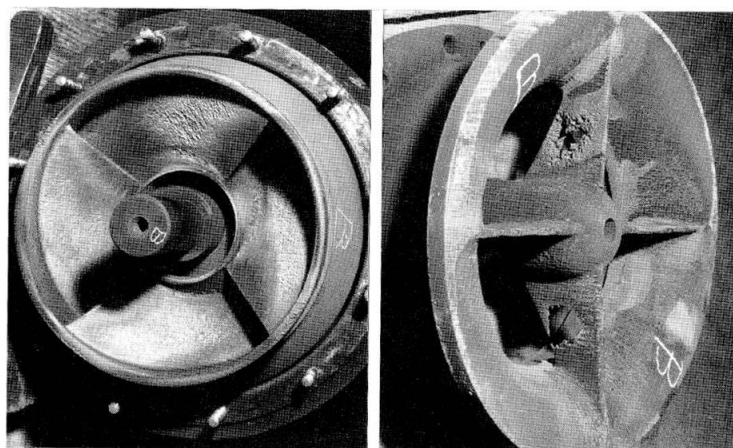


圖 3.72 抽水機葉輪上蒸汽氣泡的形成

(B) 穴蝕損壞抽水機

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穴蝕現象。這種氣泡崩塌的力道會引發錘擊作用(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穴蝕，在幾小時或幾天期間形成的幾百萬個小穴蝕的累積效應會毀掉一組葉輪，如圖 3.73 豎軸軸流式抽水機穴蝕損壞照片(a)。這種穴蝕在完全空穴時會較不嚴重，因為其時抽水作用已停止了。除了在葉輪上造成穴蝕外，穴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。

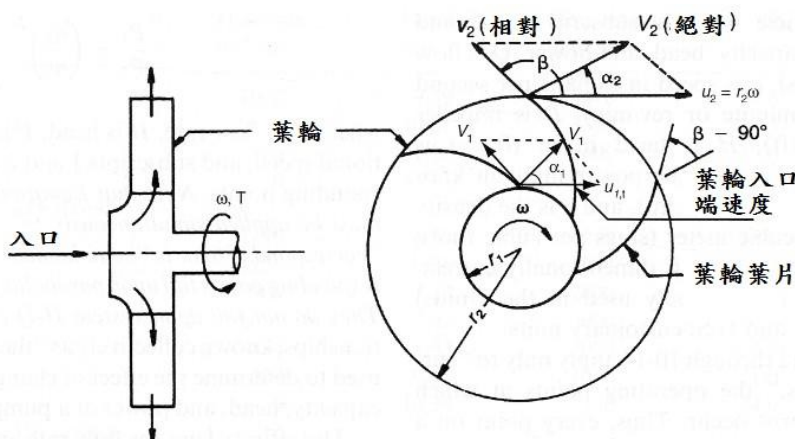


a. 葉輪 b. 吸入口

圖 3.73 豎軸軸流式抽水機穴蝕損壞照片

(C) 沖蝕性的損壞及吸入能即使有許多氣泡崩塌而導致廣泛的穴蝕，也不致於產生沖蝕性的損壞，除非崩塌壓力(collapse pressure, p_c)相當大

而葉片材料軟弱。 pc 值隨著抽水機的吸入能(suction energy)而增加，吸入能可以抽水機葉輪入口處之葉片尖端速度 $u_{1,t}$ 之速度水頭 $u_{1,t}^2/2g$ 表示，亦即葉片最大直徑的線性速度，如圖 3.74 所定義。抽水機之 $u_{1,t}^2/2g$ 小於 30 m 通常不會因穴蝕而有沖蝕性的損壞。入口葉片尖端速度水頭約為離心式抽水機總動水頭 TDH 的四分之一，故徑流式抽水機通常在 TDH 小於 120 m 時不會因穴蝕而有沖蝕性的損壞；而軸流式抽水機的 TDH 小於 30 m 時則可預期會發生沖蝕性的損壞。



V ：絕對速度； v ：相對速度； u ：周邊速度； α_1 ： V_1 在葉輪入口端的角度；
 α_2 ： V_2 在葉輪周圍上的角度； β ： v 在葉輪周圍上的角度； ω ：轉速； T ：扭矩

圖 3.74 徑流式抽水機葉輪的速度示意圖

(D) 能量層級、TDH 及穴蝕的沖蝕速度

TDH 也可做為抽水階段能量層級的一種量測方法，如同吸入能，如抽水機係在高於臨界能量層級(critical energy level)上操作，沖蝕性的穴蝕會發生。臨界能量層級的 TDH 隨著比速度 N_s 的提高而下降，高 N_s 抽水機比低 N_s 抽水機在較低 TDH 時更展現沖蝕性的穴蝕。抽水機在高於臨界能量層級上操作的結果會很激烈，如果一台以某種轉速運轉的抽水機很接近臨界能量層級，如其轉速提高，將會面臨沖蝕性的穴蝕。一台高能抽水機中，穴蝕沖蝕到葉片或其他影響面速度的增加，大約是入口葉片尖端速度 $u_{1,t}$ 的六次方倍，此將大幅縮短抽水機的壽命。

D. 不在最佳效率點上運轉

如果抽水機不在最佳效率流量(Best Efficient Capacity, BEC)，亦即設計流量，點上運轉，穴蝕位置將會改變，當 Q 超過 BEC 時，低壓區逐漸自圖 3.74 所示的地方移到抽水機葉片的另一側，而在其 NPSHA 下，導致的性能下降會大一些。

當 Q 遠比 BEC 小時，對於 Q 的低流量而言，葉輪會過大，使抽水

變得高度不穩定，渦旋水會自葉輪入口處回流，此高速而紊亂的回流充滿具有低壓中心的渦旋，所以包含有氣泡，這些氣泡由回流帶到銜接上游的管壁及固定導翼，而在伴隨的較高滯留壓力下崩塌。圖 3.73 看出上游固定導翼已被這種激烈的沖蝕現象所貫穿。當崩塌氣泡周圍的壓力增加時，崩塌壓力 p_c 會變大，甚至會比在 BEP 操作的葉輪還要大。圖 3.73 b 所見的破壞強度，也發生在葉輪葉片的驅動面或壓力側(圖 3.73 a 葉輪葉片看不見的另一面)，那是由於這些葉片係驅動著前述的漩渦回流。

E. 最低流量限制

從上述討論，明顯可見在低流量、不在最佳效率點上運轉的情況，強烈的穴蝕會伴隨不穩定的回流，沖蝕、噪音及振動更加激烈。這些情況使抽水機製造商規定最低流量限制，這個限制隨能量層級而改變，高能抽水機的最低流量比低能抽水機須更接近 BEC。這個限制也受到 NPSHA 的影響，例如，抽水機在足夠高的 NPSHA 時，不會出現穴蝕，故可容許較低的最低流量。

(2) 穴蝕現象之檢討

NPSH 判斷抽水機是否會發生穴蝕現象的數值資料，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。

A. 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。

$$NPSHA = H_a + h_s - h_v - h_{ent} - h_{fs} - \sum h_{fvs} - h_{vol} \dots \dots \dots (3-29)$$

式中：

NPSHA：可用 NPSH(m)

H_a ：水柱的大氣壓力，以 m 表示，須依表 3.21 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靜吸水水頭(m)，當濕井水位低於葉輪入口的靜吸水揚水時， h_s 變為負值

h_v ：該水溫下之飽和蒸汽壓(m)(如表 3.22)

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)

$\sum h_{fvs}$ ：吸水管之管件及閘類之損失水頭和(m)

h_{ent} ：吸水口損失水頭(m)

表 3.21 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

表 3.22 水溫與飽和蒸汽壓之關係

水溫(°C)	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(°C)	30	35	40	45	50	
飽和蒸氣壓 hv(m)	0.433	0.573	0.752	0.977	1.258	

B. 必要淨吸水高度(NPSHR)之計算

NPSHR 係抽水機製造商對形狀相同的抽水機，在定速及定量但改變吸水水頭時所作的試驗結果，其中 R 表示「必要」(required)。試驗時，穴蝕現象係在調整吸水水頭直到總動水頭顯示掉落 3%時所發生，該點稱為 $NPSH_{3\%}$ ，抽水機製造商係以該點做為 NPSHR，實際上，穴蝕早在總動水頭掉落 3%前就已發生。

抽水試驗開始時係採很高的 NPSH 值(如圖 3.75)，所以沒有氣泡產生。然後抽水機進流壓力逐漸減少(由圖 3.72 之右邊移向左邊)，剛出現氣泡之點稱為穴蝕起始點，而這時之 NPSH 稱為 $NPSH_i$ 。此時總動水頭並未改變，實際上，NPSH 繼續下降一段距離，總動水頭亦未改變，直到總動水頭開始跌落點，該點稱為 $NPSH_{0\%}$ ，此時蒸汽片狀氣泡沿著葉輪葉片前緣移動，但總動水頭未減少。 $NPSH$ 繼續降到 $NPSH_{3\%}$ 時，每片葉片的蒸汽片狀氣泡延伸至其後方葉片的前緣，此情況雖使總動水頭僅跌落 3%，但 NPSH 如繼續下降，會使得抽水機性能全盤喪失(亦即失去全部總動水頭)此時的 NPSH 點有時稱為「NPSH 破壞點」。

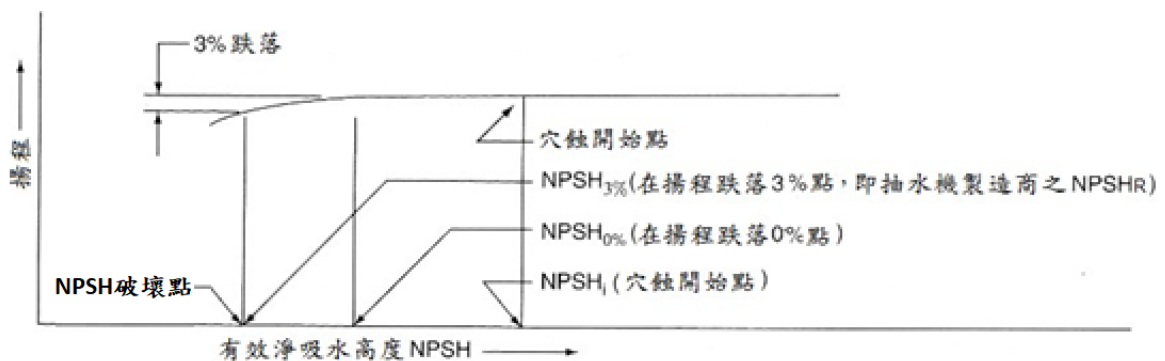


圖 3.75 抽水試驗所決定之 NPSH 準則

NPSHR 係抽水機製造商對抽水機所作的試驗結果，但如果沒有該試驗結果，則可用 NPSHR 與總動水頭之比等於 Thoma 穴蝕常數來推估 NPSHR，參考公式 3-30。

$$\text{NPSHR} = \sigma H_t \dots\dots\dots(3-30)$$

式中：

NPSHR：抽水機所需有效淨吸水高度 NPSH(m)

σ ：Thoma 之穴蝕常數(如圖 3.76)

H_t ：抽水機總動水頭(m)

以單吸抽水機而言，Thoma 穴蝕常數 σ 亦可由 Rutschi 所提出之關係式(公式 3-31)求出：

$$\sigma = K \times \frac{N_s^{4/3}}{10^6} \dots\dots\dots(3-31)$$

其中 K 值與抽水機效率有關，如表 3.23。

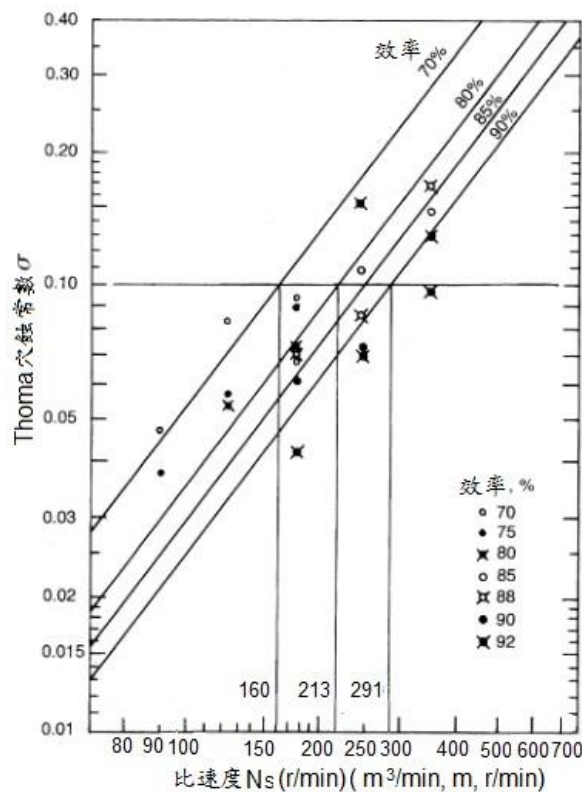


圖 3.76 比速度 N_s 與 Thoma 穴蝕常數 σ 之關係

表 3.23 公式 3-31 之 K

抽水機效率(%)	K 值
70	112.618
80	78.950
90	51.937

註：Ns 值使用：m³/min,m,rpm

上述 NPSHR 係在 BEP 情況下之值，但如果抽水機係在較低總動水頭下操作，此時比 BEP 有較大流量，應採公式 3-32 來矯正操作情況下之 NPSHR：

$$\frac{\text{操作情況下之NPSH}_R}{\text{BEP情況下之NPSH}_R} = \left[\frac{\text{操作情況下之Q}}{\text{BEP情況下之Q}} \right]^n \dots\dots\dots(3-32)$$

在大部分的水及污水抽水機情況，上式中之 n 值界於 1.8 至 2.8。

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 以避免發生穴蝕現象之可能。

(3)穴蝕現象之預防及控制

消除穴蝕現象之最容易、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；惟如果穴蝕現象已經存在，可能的解決方法如下：

A. 提高 NPSHA

- (A)減少負吸水靜水頭或增加正吸水靜水頭。
- (B)減少吸水管水頭損失(如：使用較大管徑、較大的轉彎半徑等)。
- (C)可能的話，降低蒸汽壓(如：降低污水水溫)。

B. 降低 NPSHR

- (A)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。
- (B)避免在製造商規範的「最低流量」下或附近操作。
- (C)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。
- (D)減少最大流量以避免穴蝕。
- (E)使用變速驅動器以減少轉速。
- (F)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。

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 3.77，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穴蝕，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穴蝕時，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。

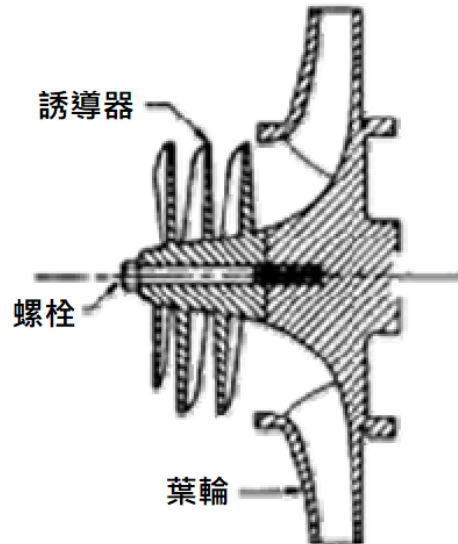


圖 3.77 裝在傳統抽水機葉輪的典型誘導器(軸流葉輪)

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穴蝕體積會小很多，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

- (A)指定葉輪、聯接葉片及其他暴露在穴蝕的部位改用對穴蝕較具抵抗性的材質，如不銹鋼、鈦鋼等，如表 3.24。
- (B)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，造成的穴蝕也就越大。
- (C)重新設計葉輪葉片以減少產生穴蝕的局部性壓力降低。

表 3.24 不同金屬之穴蝕相對抵抗力

材質	英文名稱	穴蝕相對抵抗力
鑄鐵	Cast iron	1
含 3% 鎳之鑄鐵	Cast iron with 3% Ni	1+
銅錫合金(炮銅)	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
鈹	Monel	6.8
CB7 不鏽鋼	CB7 stainless steel	8.8
CF8M 不鏽鋼	CF8M ss	14
鈦	Titanium	18
鋁銅	Aluminum bronze	28
CA15 不鏽鋼 410BHN	CA15 ss 410BHN	35

2. 水柱分離及水錘現象的防止對策

當抽水機在瞬間停機或瞬間啟動，或由於停電，亦或閘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。壓力會驟增或驟降並且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。

壓力管中的滿管水流原係處在穩流狀態，但當抽水站突然停電，或是管線上游端的閘門突然快速關閉時，可能會產生負壓坡(低於正常壓力)，在一些情況下，負壓波會導致水柱分離現象，此現象特別會發生在壓力管線坡度轉折點處，例如：從向上坡改變成向下坡的高點，或是坡度減少之點。停電時，抽水機快速停止，產生如同關閉閘門的效應，靠近抽水站的上游水流停止行進，但水流因慣性作用而繼續往下游端靠近出口端流去，此時隨著以秒計算的時間過去，靜水力坡降線開始下降，直到抽水機與管線坡度轉折點間發生些微負壓，在相當長的管線中出現蒸氣壓，水開始沸騰而形成許多大團蒸氣泡，水柱分離於是發生了，(如圖 3.78 所示)。在負壓波迅速從水柱分離處傳送到出水口端時，負壓波會使壓力管中的流速降低，當它抵達管線出水口端時，它會以正壓波折回而朝向水柱分離處傳送，而在其傳送期間，會進一步降低水流速度。當正壓波出現時，在水柱分離處的蒸氣泡會崩塌而使兩股水柱以相當於特快車的速度撞在一起，此即水錘現象，由於水幾乎是不可壓縮的，所以兩股水柱撞擊之力道可能相當的劇烈。

$$a = 1440 / \left(1 + \frac{C_1 K d}{E e} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(3-34)$$

式中：

a：壓力波速度，m/s

$C_1=1$ ，管線到處都有伸縮接頭

$=1-\mu^2$ ，管線錨定防止軸向移動(例如，埋在土中的壓力管線)

$=5/4-\mu$ ，管線沒有伸縮接頭及在上游端錨定

μ ：Poisson 比值，如表 3.25

K：水的體積模量，2,070 MN/m²(1MN=10⁶N，N=Newton)

d：管徑，mm

E：管材的彈性模量，MN/m²，如表 3.25

e：管壁厚度，mm

表 3.25 管材物理特性表

管材	μ Poisson 比值	E 彈性模量(MN/m ²)
石墨鑄鐵管	0.28	166,000
鑄鐵管	0.28	103,000
HDPE 管	0.45	1,000
PVC 管	0.45	2,700
鋼管	0.30	207,000

水流改變點處壓力蓄積的幅度與水流是否在等於、少於或大於臨界周期的期間內停止有關，如果水流改變點處的流速減少到零的期間等於或少於臨界周期 T_c ，這種改變可說是「瞬間」的，可能發生在閘門迅速關閉的時候，這種在閘門處發生瞬間流速改變的水錘壓力幅度可以公式 3-35 表示：

$$h_{w(max)} = aV/g \dots\dots\dots(3-35)$$

式中：

$h_{w(max)}$ ：最大水錘壓力，m

a：壓力波速度，m/s

V：管中流速，m/s

g：重力加速度，9.81 m/s²

水錘現象造成的損害如下：

- 壓力升高致破壞抽水機、管線、閘類等。
- 壓力降低致管壁被壓損。
- 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、閘。
- 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。

(1)抽水機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詳見圖 3.79。

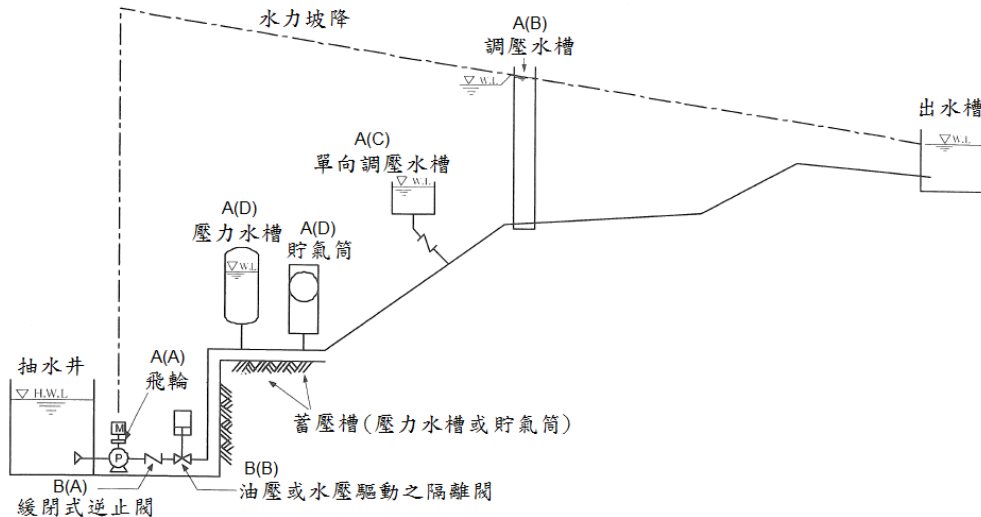


圖 3.79 水錘現象防止或減輕方法

A. 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。
- (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。

B. 防止壓力上升的方法

- (A)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

(例如：超過 4 至 5 倍的 T_c)，則快關式逆止閥通常已足夠防止水錘現象。

(B)不設逆止閥，而在抽水機出水口設置以油壓或水壓等驅動之緩慢關閉的隔離閥。此法適用於高水頭及大型抽水機。

(2)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：

- A. 變更壓力管線管徑，降低管內流速。
- B. 縮短壓力管線長度，減少總動水頭。
- C. 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。
- D. 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 3.80)，而容易被油脂堵塞的型式則不能使用。
- E. 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、丁字管及端點的抗衡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、靜水頭、壓力管線長度大於下述數值之情況下應予檢討，必要時應有對策。

總動水頭：20 m 以上

靜水頭：10 m 以上

壓力管線長度：300 m 以上

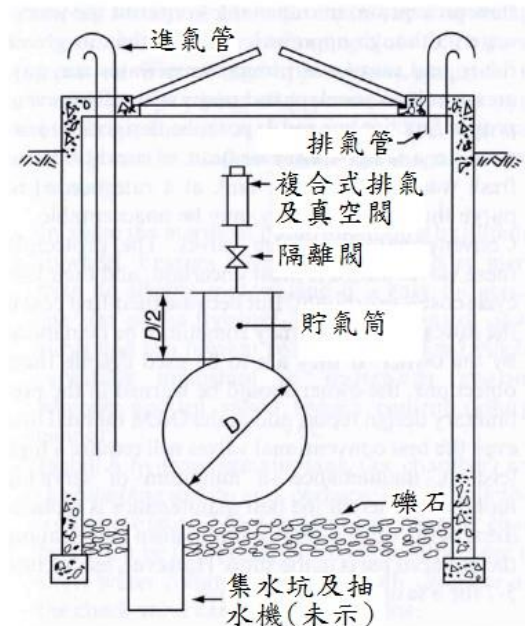


圖 3.80 複合式排氣及真空閥安裝方法示意圖

3.5.7 抽水機之自動運轉及保護設備

抽水機之自動運轉及保護設備考量如下：

1. 抽水機採自動操作時，應考量抽水機之型式、使用條件、驅動設備種類、工程費、操作效率及維護管理等，選定合適的控制方法。
2. 抽水機自動操作時，為了使啟動及停止的動作過程能順利進行，應裝設下列必要裝置：
 - (1) 水位計。
 - (2) 水流檢知裝置或壓力開關及電氣式開關閥、各電磁閥。
 - (3) 極限開關及安全裝置。
3. 應設置偵測不正常運轉、故障時停止運轉、發出警報或故障指示等適當之保護設備。

解說：

1. 一般抽水機運轉時，必須有抽水機的軸封、冷卻及潤滑、驅動設備的啟動及停止、出水管閥類的開啟關閉等一連串的操作，這些操作如個別進行，將很繁雜，因此一般採用連動化或自動化。抽水機運轉，分為(1)僅操作一個操作開關，(2)設定抽水機的啟動及停止，順序連動，運轉時要手動的連動控制方法，(3)設定啟動及停止程序，運轉時可自動檢查出運轉中控制要素的自動控制方法。控制方法的選定方向，應綜合檢討進流污水的變動、抽水機的型式及運轉頻率、工程費、維護管理費、操作人員人數及技術水準，及在剛開始啟用時的初期對策等，從控制技術的進步、省人力、省能源的方面，多採用自動控制方法。為了在其他情況的試運轉及調整，應能在現場進行單獨運轉，另外，在自動控制方面，應能以備用的手動控制方法進行運轉。豎軸離心式抽水機自動供應軸封水之系統流程如圖 3.81。

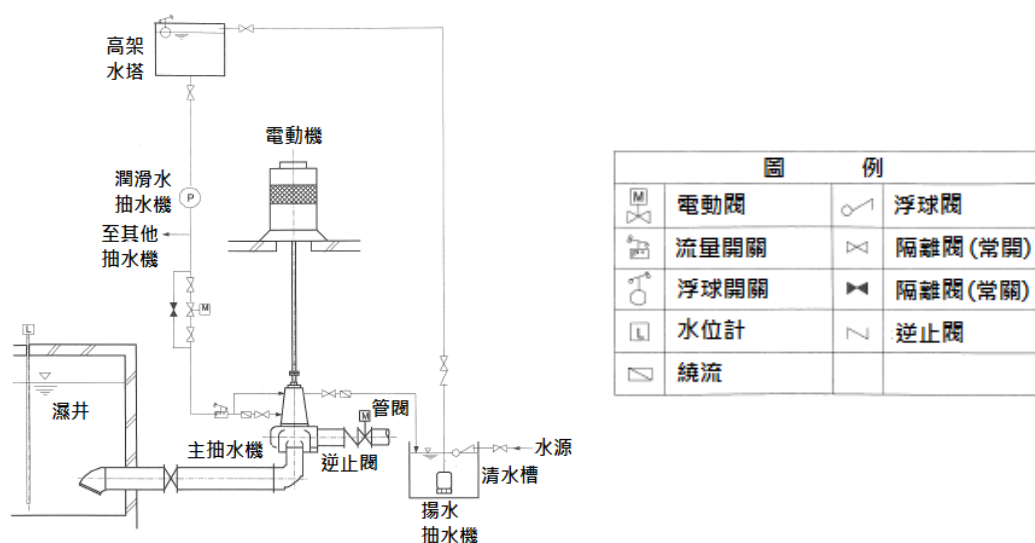


圖 3.81 豎軸離心式抽水機自動供應軸封水之系統流程

抽水機的自動控制方法從簡單的依據偵測到的高低水位，以自動控制抽水機的啟動或停止，到複雜的選擇抽水機台數及控制抽水量等。

(1)水位控制

檢測出的濕井水位或其變化係依據進流水量變動，濕井水位保持一定的變動幅度，進流水量以約略比例的量來抽水。

(2)流量控制

抽水量係依據濕井水位，從水位目標—抽水量關係曲線及水位變化補正率求得，控制抽水量。

水位及流量控制可藉由抽水機台數與轉速來達成：

(1)抽水機台數

所設抽水機的設定水位係依據濕井水位，以此為基礎增減抽水機之運轉台數的方法。

(2)抽水機轉速

改變抽水機轉速，來調節抽水量的方法。採用電動機的抽水機，其轉速範圍係考量水頭的變化，一般約在 70~100%，主要採用二次電阻控制、變頻器控制或其他方法。

2. 抽水機進行啟動及停止自動操作時，因應抽水機之型式及設備內容不同，應裝設下列必要裝置：

(1)抽水站濕井應裝設水位計，其型式有壓力式(差壓式)、水壓傳訊式、浮球式、氣泡式、超音波式等，選擇時，應針對其目的、精度、測定範圍、懸浮固體及浮渣之影響、維護、安裝方法等作考量。特殊型式應在土木結構的設計施工階段，就須考量如何安裝。

(2)裝設水流檢知裝置係為了在操作進行當中，檢查啟動中抽水機軸封水、冷卻水及水中軸承的潤滑水的水流情況。水流檢知裝置係使用在檢查到抽水機運轉時的斷水，然後停止抽水機運轉的保護裝置。軸封水量量少時，水流檢知裝置無法檢測到，應採用壓力開關。軸封水、冷卻水及潤滑水等小配管系統使用的電氣式開關閥，一般採用電磁閥及電動閥。

(3)設置極限開關係為了使隔離閥能在全關、全開及指定開度時將閥門停止。設置扭力開關係為了在使用電動閥時，當有異物卡住閥門時，能將隔離閥的電動驅動器關掉的保護裝置。

(4)處理廠用濕井沉水式抽水機內至少應設置含有馬達線圈之溫度感測器(過熱跳脫保護開關)、溼度感測器(洩漏偵測跳脫保護開關)及積時器(在單元控制盤上設置亦可)，除能將前項訊號傳送至現場單元控制盤顯示外，並能經單元控制盤的 PLC 傳遞訊號至中控室顯示，以利即時監視及狀況處理。若為乾井沉水式抽水機，除前之感測器外，需增設冷卻循環水溫度感測器。另馬力超過(含)100HP 之抽水機，則應加裝軸承溫度感測器(應含連續類比輸出功能，且能外接顯示器顯示溫度數值)以及振動感測器。水位計除於單

元控制盤可顯示外，並能經單元控制盤的 PLC 傳遞訊號至中控室顯示，以利即時監視及狀況處理。

3. 保護設備係在檢知抽水機啟動及運轉中發生的異常，為了抽水機安全運轉，在監控室等必要場所設置警報或故障表示。一般抽水機在啟動或運轉中產生的異常，及設備的內容有異狀，包括：

- (1) 電動機(主抽水機及附屬抽水機)的短路、過電流、欠相及接地故障。
- (2) 濕井異常低水位。
- (3) 抽水機及原動機的推力軸承溫度異常高升。
- (4) 軸封、冷卻及潤滑用水(或潤滑油)流量過少及壓力過低，冷卻水溫度異常上升。

檢測出這些異常的元件，計有：過電流繼電器、溫度開關、流量開關、壓力開關、水位開關等，依照抽水機型式、運轉方法、使用條件等使用必要的項目。上述方法，迴路應設置成對於啟動過程達不到滿足連動條件的情況之下，就無法進到下一個過程(步驟)。此外，必要時應在控制盤上設置抽水機緊急停機用的操作開關。故障依照程度分為重故障及輕故障，重故障情況時抽水機自動停機，警報及故障表示；輕故障情況時，警報及故障表示。故障表示應集中表示在操作盤或監控盤上，使其便於監視。

電動機驅動豎軸離心抽水機重故障及輕故障一般項目舉例如表 3.26。

表 3.26 電動機驅動豎軸離心抽水機重故障及輕故障一般項目舉例

區分	檢測項目	備註
重故障	啟動緩慢 濕井異常低水位 推力軸承溫度異常高升 電動機過電流 短路 軸封停水 其他必要項目	軸承滑動情形
輕故障	停機緩慢 高架水塔低水位 清水槽異常低水位 電動閥過扭力開關有動作 附屬抽水機故障 其他必要項目	

3.5.8 電動機

電動機設置規定如下：

1. 污水處理廠內抽水機應以三相感應電動機為標準。
2. 電動機的型式應考量其用途、裝卸場所及周圍情況而作選擇，原則上應採用高效率感應電動機。
3. 啟動電流應符合經濟部屋內線路裝置規則規定。採用非全電壓啟動者，應配合電動機之種類及容量選擇之。
4. 應設置下列保護設備：
 - (1) 應設置適當之過電流保護設備，且開關與啟動器設備及二次側短路裝置相互間應設防止誤操作之連鎖裝置。
 - (2) 應於電動機設置短路、過電流、接地故障及低電壓時遮斷回路的保護裝置。
5. 感應電動機應具有 E 級以上之絕緣等級，若採用沉水式應為 F 級以上。

解說：

1. 污水處理廠內抽水機，為求操作管理方便及安全性，一般其驅動設備皆使用電動機。

交流電動機有兩種基本型：同步電動機及感應電動機，污水處理廠內抽水機應以構造簡單，運轉及維護容易之三相感應電動機為標準。三相感應電動機的種類由於轉子構造不同而分為下類：

- (1) 普通鼠籠型：用於輕負荷(額定輸出 3.7 kW 以下)，啟動扭力比較小的小型電動機。
- (2) 特殊鼠籠型：用於需要比較大啟動扭力的電動機。鼠籠型的轉子構造有雙重鼠籠型及深溝鼠籠型兩種，5.5kW 以上的電動機皆屬特殊鼠籠型。
- (3) 繞線型：啟動扭力較大，使用於啟動電流有限制的情況，以及啟動時間較長的情況。

鼠籠型電動機因為構造簡單、可靠及經濟，常用於定速及變速抽水機。繞線式電動機則可直接變速使用，但較須維護。目前由於可以採用變頻器來控制轉速，使得繞線式電動機變的較不普遍。

沉水式抽水機所用的電動機有兩種：

- A. 清水封入型沉水電動機：係在鼠籠型電動機的內部封入清水或不凍液，由於耐水絕緣材料的開發，故廣泛用於清水用途。
- B. 乾式沉水電動機：係採完全水密構造，使用於水中及陸上，一般使用在 0.75 kW 以上，因轉子係在空氣中旋轉，故效率較佳。

水電動機容量直至 140 kW 等級，因小型及重量輕，安裝容易。

應注意因檢測到滲入水，基於保護而關機的情況，軸封的檢查也是必要的。

沉水電動機係小型及重量輕，比起陸上電動機，效率及功率因素較差，暴露於空氣中運轉時，須要注意溫度上升及絕緣電阻的降低。

2. 電動機的型式應考量其用途、安裝場所及周圍情況而作選擇，其保護型式應依

安裝地點之情況而做決定，如表 3.27。

表 3.27 電動機保護型式與安裝地點的關係

安裝地點之情況	型式
乾燥而塵埃少	保護型
有水沫之虞	防沫型
有可燃性粉塵、氣體之虞	防塵防爆型
有水沖或濕度高	防水型
有腐蝕性氣體之虞	耐蝕型
屋外	屋外型
水中	浸水型

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

電動機安裝場所的周圍環境有必要防止噪音的情況，應在電動機上安裝消音器，或使用低噪音型之電動機。污水處理廠在選擇電動機時，應從節能減碳對策之觀點，原則上採用高效率電動機等節能型之機種，以削減電力使用量。

3. 啟動電流應配合電動機之種類及容量，如表 3.28。

表 3.28 電動機之種類及容量與啟動設備關係

電動機種類	啟動設備
鼠籠型感應電動機	1.直接啟動
	2.Y— Δ 降壓啟動器
	3.自耦變壓降壓啟動器
	4.電抗型降壓啟動器
線繞轉子型感應電動機	啟動電阻器

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

4. 應設置下列保護設備：

(1)為防止繞線式電動機啟動時引起的電氣事故，啟動器及電動機之二次側短路裝置不能回復至啟動位置時，應設置防止誤操作之連鎖裝置。

(2)為防止過電流的燒毀及停電後再送電的危險，應於電動機的配電盤或配電箱設置短路、過電流、接地故障及低電壓時遮斷回路的保護裝置。

5. 感應電動機應具有 E 級以上之絕緣等級，若採用沉水式應為 F 級以上。一般用低壓三相鼠籠型感應電動機之溫度上升限度如表 3.29。電動機使用的各種絕緣種類之容許最高溫度如表 3.30，一般使用感應電動機的絕緣種類，低壓用 E 種、B 種、F 種，高壓用 F 種。

表 3.29 低壓三相鼠籠型感應電動機之溫度上升限度(單位：°K)

電動機區分	耐熱等級	電阻法	
		0.2~0.55(kW)	0.75~37(kW)
定子線圈	E	75	75
	B	—	80
	F	—	100
鐵心及所有的構造構成物	這部分的溫度上升，在任何情況下，其絕緣物及相鄰材料都不可產生有害的影響		

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

表 3.30 各種絕緣種類之容許最高溫度

絕緣種類	容許最高溫度(°C)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	超過 180

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

- (1)絕緣等級：以 F class 以上為原則(次要設備除外)。
- (2)服務係數：1.15。(歐規服務係數為 1.0，其馬力數應乘以 1.15 選用)。
- (3)陸上型之電動機需符合 CNS14400 高效率馬達之 IE2 以上標準。(沉水式及機組一體且與被驅動裝置無法分離之電動機除外)。
- (4)沉水式之電動機以使用較高效率馬達為原則。
- (5)軸承壽命：AFBMA 以 B10-100,000(50,000*2，1 組備用)小時為原則(次要設備除外)。(附計算書，包含廠牌、型式、型號及 C 值等)。
- (6)保護等級：陸上型 IP55，水中型 IP68。

3.5.9 電力設備

電力設備設置規定如下：

1. 電力設備應依經濟部有關規定裝設，並充分考量操作、維護、管理及防止事故之發生，其受電電壓應依台電公司營業相關規定並視該地區之供電方法與台電公司洽定。
2. 受電設備其容量不得低於最大負載容量之 1.25 倍。
3. 變壓器容量應由三相電壓最大值預留 10~20%之餘裕。
4. 應符合各類場所消防安全設備設置標準規定。

解說：

1. 電力設備應依台電公司有關規定裝設，並充分考量操作、維護、管理及防止事故之發生，其受電電壓應依台電公司營業相關規定並視該地區之供電方法與台電公司洽定。
因停電而影響安全之虞及其他重要設備，應設置自用緊急發電設備及其他備用電力。
緊急發電設備應採用柴油引擎同步發電機為原則。應依操作需求確認緊急發電設備或備用電力負載。
2. 受電設備容量應為使用全變壓器的受電電壓容量，以及運轉中電動機等的受電電壓的容量(kVA)的總和。然而，高壓進相電容器不包含在受電設備容量內。另外，應考量在維護檢查時，也能持續確保設施機能的最低限度。受電設備其容量不得低於最大負載容量之 1.25 倍。
3. 變壓器的容量 KVA，應同時合計各種電氣負荷的出力 kW 值，再由此換算入力 (KVA)值，加上 10~20%程度之餘裕。配合規格品的情形，選定最接近的高一級產品。
4. 電力設備設置場所應符合內政部最新修訂「各類場所消防安全設備設置標準」之規定。

3.5.10 抽水機室、配電室及主控室

抽水機室、配電室及主控室考量如下：

1. 抽水機室及配電室構造：
 - (1) 應使用鋼筋混凝土等不燃性構造物；特殊情況使用易燃性材料時，電力設備之上方天花板及側面，應以不燃材料覆蓋。
 - (2) 抽水機室應有良好通風、採光，防止噪音、振動及充分照明設備，並避免浸水。
 - (3) 配電室及主控室應依前述規定設置擋水設施，以防淹水。
 - (4) 應選設在無氯氣或其他腐蝕性、可燃性氣體發生或滯留之地點。
 - (5) 抽水機室應預留適當空間便於機械拆裝時放置之用。
 - (6) 配電室之設置並應參照臺電公司有關配電室設置規定。
2. 主控室之構造應通風良好，充分照明設備及能防止噪音、振動，並設在易於監視管理抽水機及配電設備之地點。

解說：

抽水機室是由抽水機本身、設置吸水管及出水管等所需的配管室及設置電動機等所需的原動機室所構成。抽水機室是抽水站設施中最重要之室別之一，必須思考在緊急時，能確保抽水機之揚排水機能。

1. 抽水機室及配電室構造：
 - (1) 抽水機室及配電室應使用鋼筋混凝土等不燃性構造物；特殊情況使用易燃性材料時，電力設備之上方天花板及側面，應以不燃材料覆蓋。與配電室

連接之管道(間)均應使用不燃材料製成。配電室消防設施之設置、管理與維護應依最新公布之消防法規、納入建築物消防安全系統辦理。

- (2)抽水機室應設有機械通風排氣系統，並應將配電室之通風納入抽水機室之通風排氣系統。抽水機及配管室一般需要設置在地下，為了在檢修時確保作業環境，機械設備的維護等，應設置適當的照明及換氣設備。另外，使用電動機的情況，為了防止室溫上升，亦應設置充足的換氣設備。此外，考量對附近居民的影響，應建構必要的噪音振動的對策。抽水機、內燃機及電力設備，應視需要加裝適當之隔音設備。當抽水機為乾井式設計，其電動機等不能淹水之設備高度或機房入口高度，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 0.5m 或以上計之，以避免因淹水造成設備受損，無法操作。若上述方法有實質困難時，乾井之抽水機可採用如 3.5-5 解釋 2 所述之：(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)螺旋抽水機；(6)沉水式抽水機用於乾井。關於抽水機配管室，當沉砂池機械室等浸水時，其防水牆應有不會受到淹水危害的構造。特別是濕井水位計用的防波管，以及貫通防水牆的配管及配線，須要連結污水處理設施管廊的抽水機配管室，都必須做充分的考量。
 - (3)配電室、主控室等不容許淹水之空間，其設置位置高度或機房入口高度考量方法如上述(2)。配電室設置於無淹水之虞的場所，如設置於當地洪水水位以下或易淹水之樓層時，應設置適當之防(擋)水及排水設備(例如公共工程委員會公共工程施工綱要規範建築工程第 08393 章之「防洪閘與水密門」)。
 - (4)在有氯氣或其他腐蝕性氣體存在的場所，機械及電氣設備容易被侵蝕而損壞，因此抽水機室及配電室應選設在無氯氣或其他腐蝕性氣體發生或滯留之地點；在可燃性氣體發生或滯留的場所，電氣設施容易引發火災甚至會爆炸，因此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，使用防爆型電氣或設備。
 - (5)抽水機室裡面為了要設置抽水機、閥類、配管、流量計、電動機、現場控制盤等多種機械，有必要確保這些機械安裝及維護的無障礙空間。抽水機設備與其他設備相同，有很多因應進流量而須作階段性設置的情況，必須在擴建時搬入以及安裝各種機器，有必要確保搬入路徑以及確保維修空間。電動機室的室內高度，應考量電動機及抽水機整組的搬出入，以及安裝的必要高度。應考量室內吊車組合的吊車設備的型式，以及各種配管的配置，機器的解體搬入等，以訂定合理的室內高度。
 - (6)配電室之設置條件、設計及施工等均應參照台電公司最新版之「新增設用戶配電場所設置規範」規定辦理。配電室設置於地下室時，宜設置專用通道，俾利供電設備進出之用。
2. 主控室應設在易於監視管理抽水機及配電設備之地點。為了確保主控室作業環

境，應設置適當的照明及換氣設備。另外，主控室使用電氣設備，為了防止室溫上升，亦應設置充足的換氣設備。此外，考量對附近居民的影響，應建構必要的噪音振動的防止對策。

3.6 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，其組成中惰性無機物質包括：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，其來源為：家庭污水、暴雨逕流、工業廢水、集水坑排水及地下水入滲。

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(65 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。

3.6.1 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，所以地下構造物會務求儘量縮小量體，因此形成沉砂池設置在進流抽水站之後的地面層的共識。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，原則上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 或不鏽鋼製之套裝設備外，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，沉砂池應為可防止地下水滲入、污水滲出的水密性構造物。使用 FRP 或不鏽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，抽水站的沉砂係採浚渫方法來處理。

3.6.2 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，其池數原則上以 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，茲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 3.83)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 V_S 可由公式 3-36 來計算：

$$V_S = \sqrt{\frac{4g(S-1)D}{3Cd}} \dots\dots\dots(3-36)$$

式中：

V_S ：砂礫的沉降速度(m/s)

C_d : 牛頓拖曳係數 $=24/R+3/\sqrt{R}+0.34$, 當 $1<R<10^4$

R : 雷諾數 $=V_s D/\nu$

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°C 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 $V_s = 0.016$ m/s, 則雷諾數 $R=0.016\times 0.00021/1.004\times 10^{-6}=3.35$, 故牛頓拖曳係數 $C_d=17.6$, 代入公式 3, 求出 $V_s = 0.016$ m/s, 與前述假設相同, 故 OK!

水溫對砂礫的沉降速度影響很輕微, 水溫 25°C 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°C 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 3.82, 任何砂礫達到完全沉降, 其關係為:

$$\frac{v}{V} = \frac{H}{L} \dots\dots\dots(3-37)$$

$$\text{故 } v = \frac{H \cdot V}{L} \dots\dots\dots(3-38)$$

$$\text{另 } V = \frac{Q}{W \cdot H} \dots\dots\dots(3-39)$$

$$v = \frac{H \cdot Q}{L \cdot W \cdot H} = \frac{Q}{L \cdot W} \dots\dots\dots(3-40)$$

$$A = L \cdot W \dots\dots\dots(3-41)$$

$$v = \frac{Q}{A} \text{ (水面積負荷)} \dots\dots\dots(3-42)$$

$$t = \frac{W \cdot L \cdot H}{Q} \dots\dots\dots(3-43)$$

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

$$v = \frac{Q}{L \cdot W} = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(3-44)$$

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 3-44 求得。

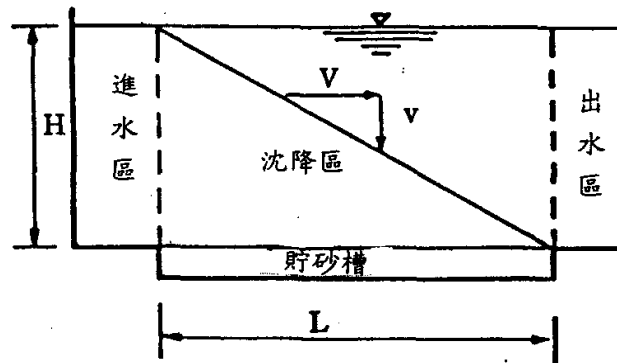


圖 3.82 沉砂池有效水深與流速之關係

幾種常用之砂礫粒徑在水溫 20°C 時之沉降速度及水面積負荷請參考表 3.31，其中之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 $= 0.016 \text{ m/s} \times 86,400 \text{ s/d} = 1,380 \text{ m/d} = 1,380 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ = 水面積負荷。方型沉砂池停留時間 $< 1.0 \text{ min}$ ，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。

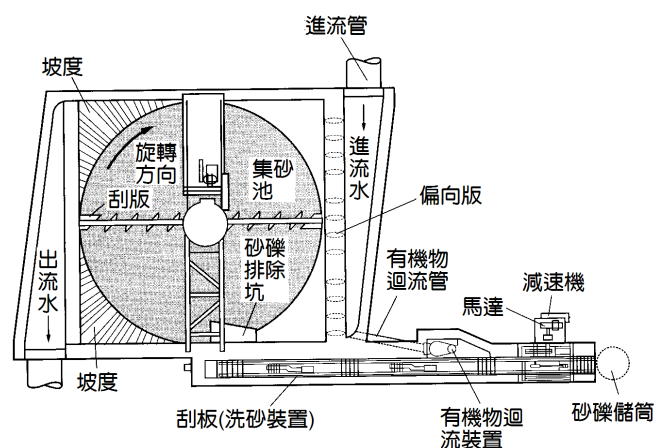


圖 3.83 方形沉砂池例

表 3.31 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 公式表之如下：

$$V_c = \sqrt{\frac{8\beta}{f} \cdot g(S-1)D} \dots\dots\dots(3-45)$$

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($=9.8 \text{ m/s}^2$)

S ：砂礫的比重

D ：砂礫的直徑(m)

若以粒徑為 0.2 mm，比重為 2.65 之砂礫，依式(3-45)求之 V_c 約 0.23 m/s，又若砂礫粒徑為 0.4 mm，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 $V_s > 0.3 \text{ m/s}$ 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 Sutro 比例堰(圖 3.84)

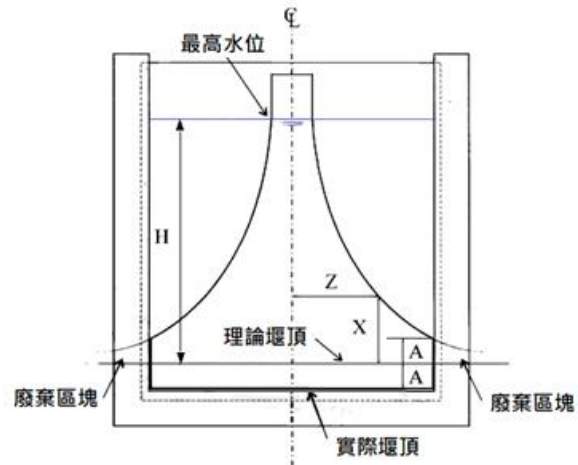


圖 3.84 控制等流速矩型沉砂池之 Sutro 比例堰

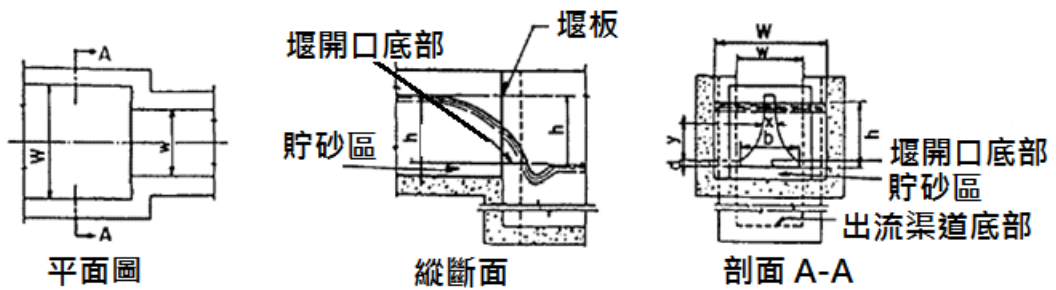


圖 3.85 比例堰控制等流速之矩形水平流沉砂池

② 梯形斷面：下游端設置巴歇爾量水槽(圖 3.86)

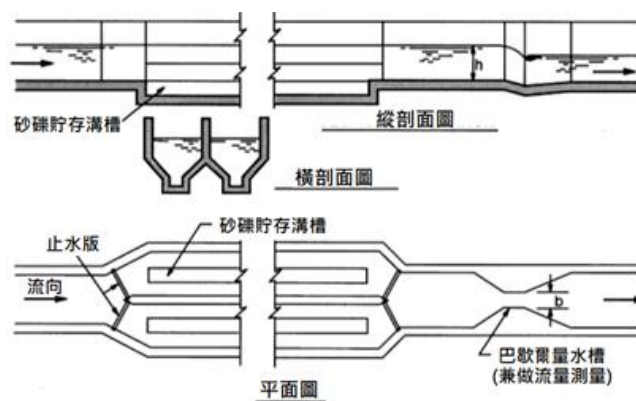


圖 3.86 巴歇爾量水槽控制等流速之矩型沉砂池

水平流矩形沉砂池的設計數據如表 3.32，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。

表 3.32 水平流矩形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	45~90
水平流速(m/s)	0.3	0.24~0.4
沉降速度		
50 號篩(m/min)	2.9	2.8~3.1
100 號篩(m/min)	0.8	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：Crites and Tchobanoglous, 1998.

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。

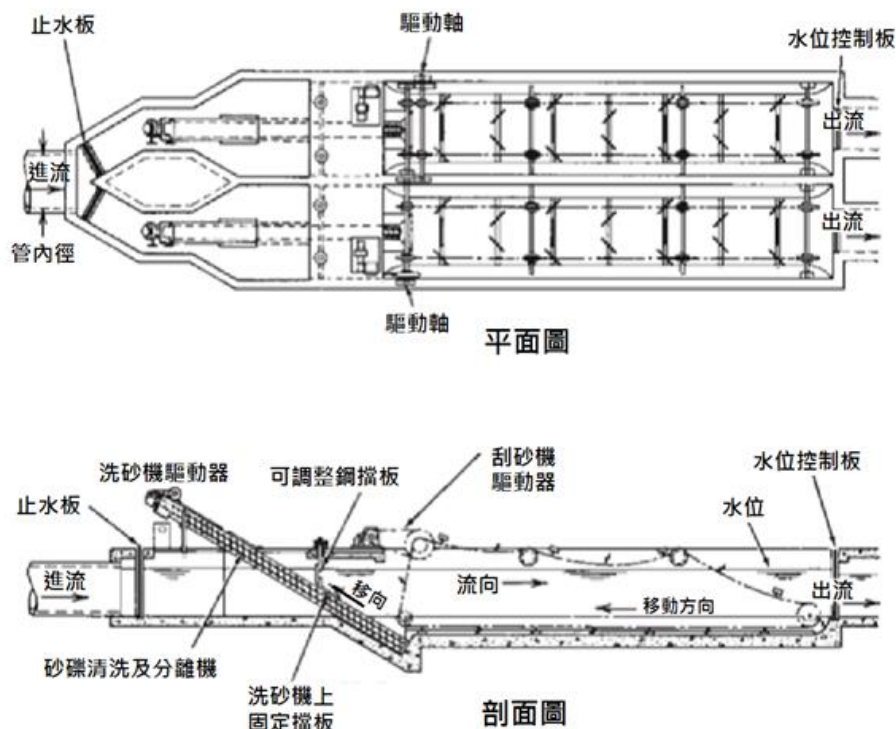


圖 3.87 等速流矩形沉砂池例

(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(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四種。現將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水機泵送到池旁的洗砂機，此種沉砂池國內有竹東污水處理廠在使用，請參見圖 3.88。

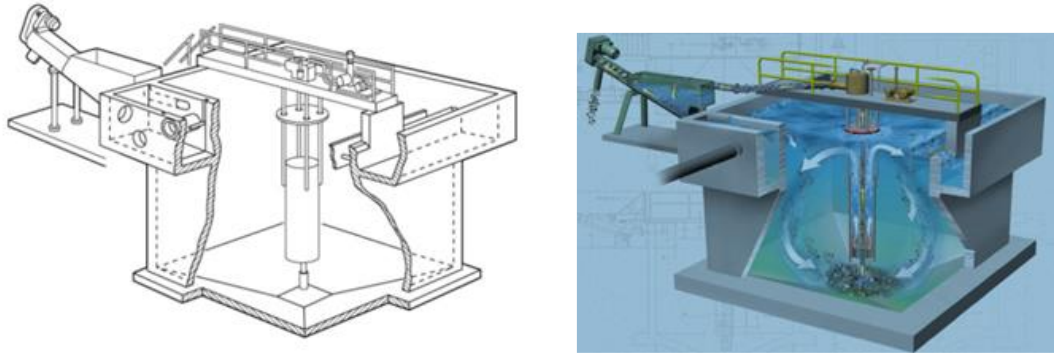


圖 3.88 方形曝氣沉砂池

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。曝氣沉砂池設計數據見表 3.33。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參考圖 3.90。

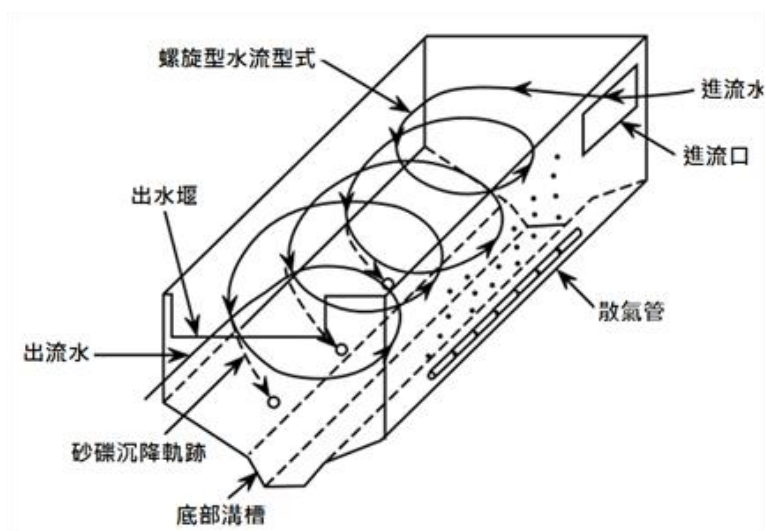


圖 3.89 曝氣沉砂池

表 3.33 曝氣沉砂池設計數據表

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(65 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：QASIM ,Wastewater Treatment plants, p.298

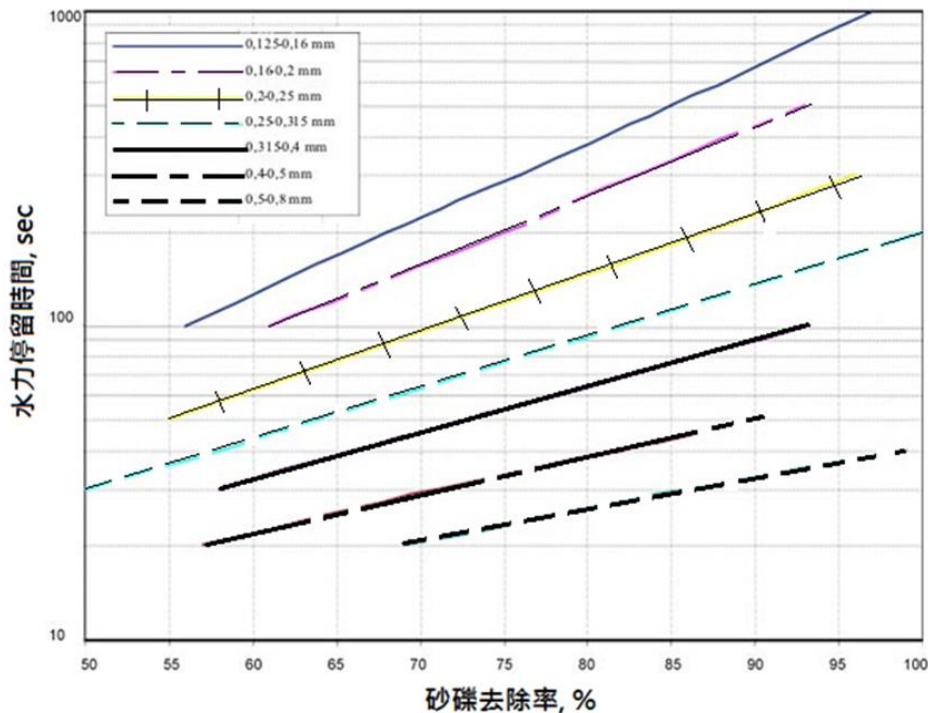


圖 3.90 曝氣沉砂池在各種水力停留時間下對各種粒徑砂礫之去除率

C. 曝氣沉砂除油池

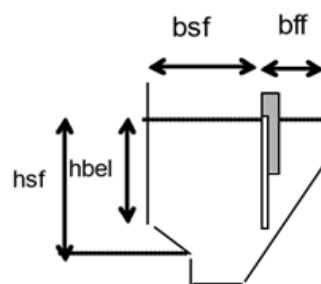
曝氣沉砂除油池(圖 3.91)首先發展於歐洲，國內曾一度普遍使用在許多家工業區廢水處理廠，它除了除砂功能外，還兼有除油的功能，除了專用的除油設備外，這是唯一能附帶處理油脂/浮渣的前處理設備。曝氣沉砂除油池係由長條形水池的短邊一側，以與長邊呈平行的方向進水，而於水池長邊之一側以散氣設備送入空氣，污水從進流口到出流口，會以螺旋形水流流動，帶動砂礫與附著於其上之有機物一起翻滾，此滾動的速度應足夠至一方面使砂礫脫離有機物並沉降於池底，一方面使有機物保持懸浮而繼續流到後續處理單元並接受處理。曝氣量的大小，會影響去除砂礫之粒徑，若曝氣量太大，則砂礫無法充分沉降；若太小，有機物會隨砂礫一起沉降於池底。曝氣沉砂除油池上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)

表 3.34 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, Korrespondenz Abwasser1998 (45) Nr.3

(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，及下層的圓錐形貯砂斗。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請參考圖 3.92。

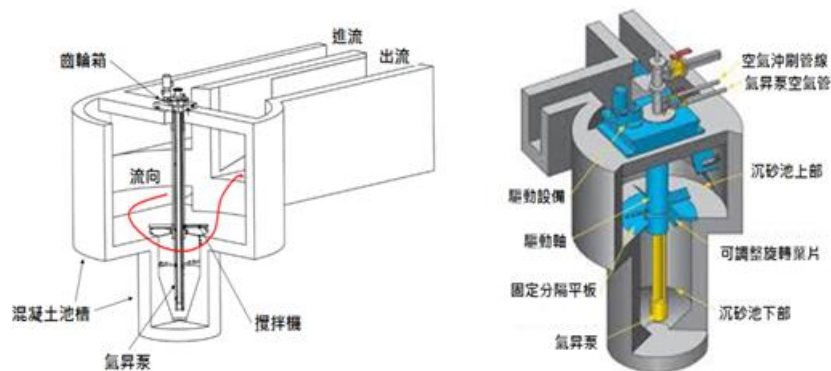


圖 3.92 水流 270 度轉動之平底渦流沉砂池構造示意圖

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請參考圖 3.93。

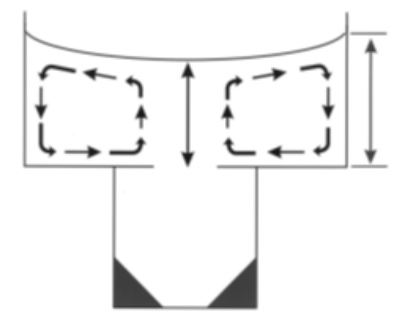


圖 3.93 平底渦流沉砂池之環狀水流示意圖

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及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請參考圖 3.94。

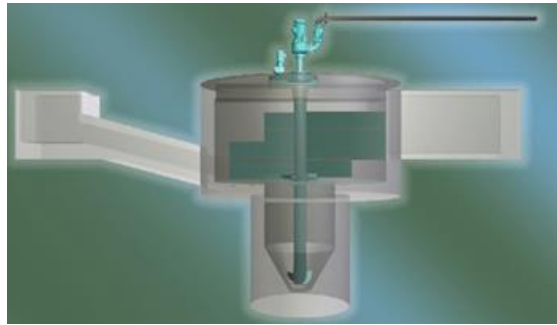
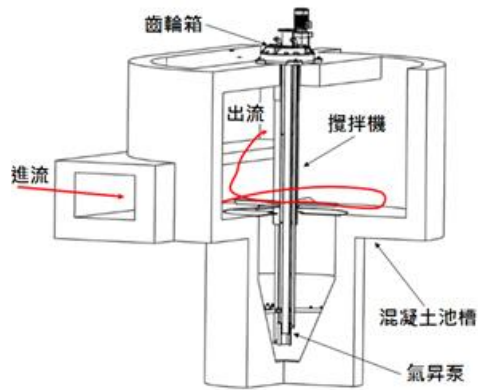


圖 3.94 水流 360 度轉動之平底渦流沉砂池構造示意圖

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請參考圖 3.95。

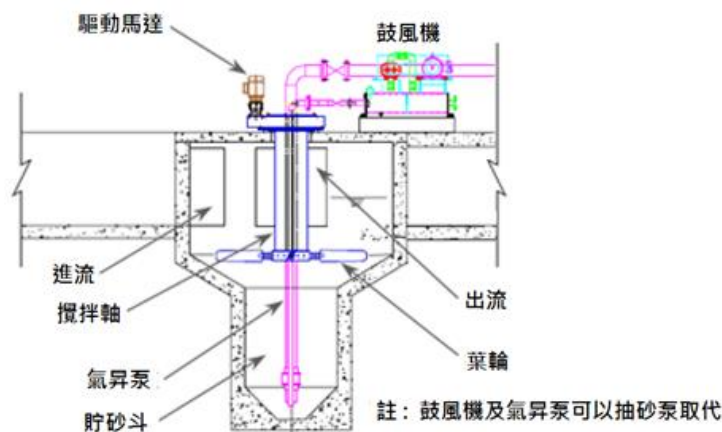


圖 3.95 水流 270 度轉動之斜底渦流沉砂池構造示意圖

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。

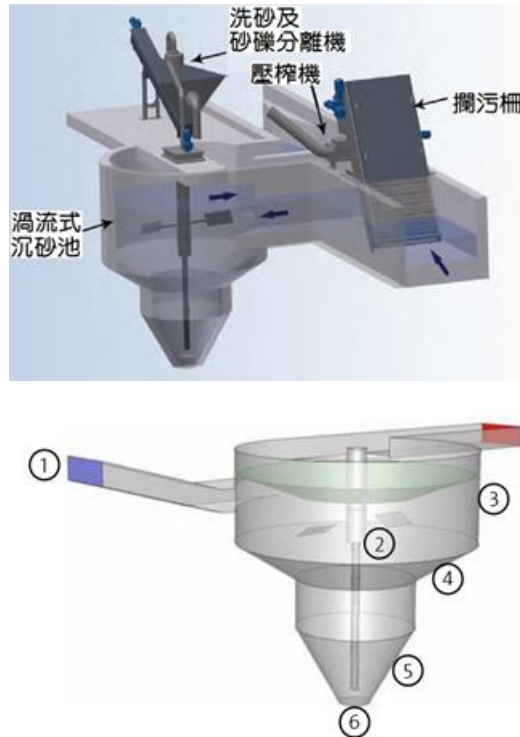


圖 3.96 水流 360 度轉動之斜底渦流沉砂池構造示意圖

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，及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在使用中，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，將砂礫推向池槽外圍。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 $25\ \mu m$ 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。

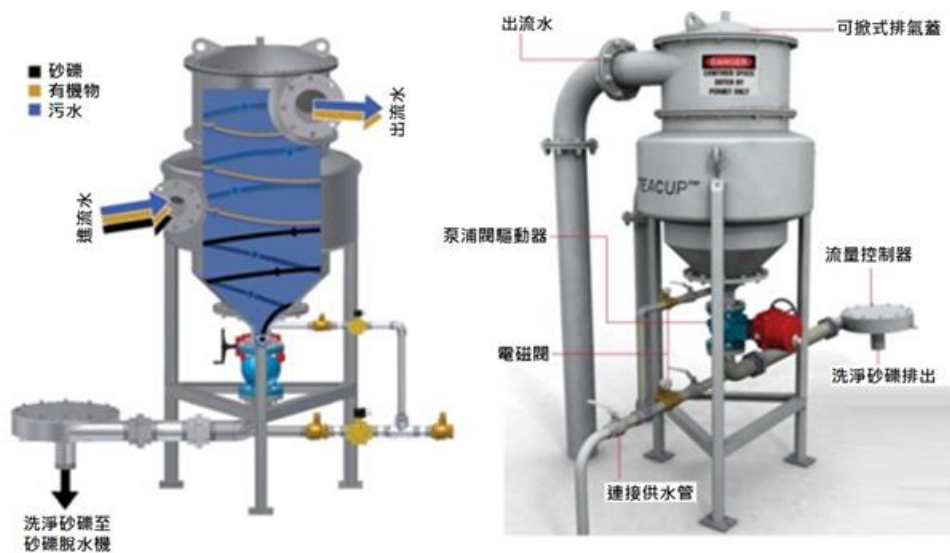


圖 3.97 水力構造引發之渦流沉砂池

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以及很短的沉降距離。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。

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 3.35。

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。

表 3.35 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。 • 需要深開挖會增加建造費用。 • 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$\geq 75\ \mu\text{m}$。 • 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$\geq 75\ \mu\text{m}$。 • 沒有會磨損的機械零件。 • 用地小。	• 高水頭損失(通常$>90\ \text{cm}$)。 • 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)

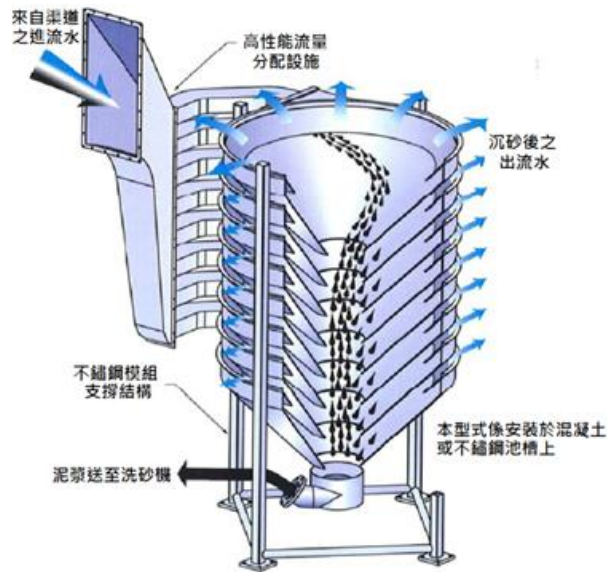


圖 3.98 多盤式渦流沉砂池示意圖

3.6.3 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、洗砂機及砂礫分離機設備。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，沉砂池砂礫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。

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。

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；C.使用貯砂斗震動器。

短距離輸送砂礫有時可用氣壓噴射抽水機，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。氣壓噴射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。

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 3.36 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。室內之換氣量如表 3.36，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3.36 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 $\times 10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{小時})^*$	沒有防臭罩時也一樣
	輸送機	輸送機防臭罩之容量 $\times 7$ 次/小時 *	
	貯斗	有效容量 $\times 3.5$ 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. 沉砂池砂礫抽水機、旋風洗砂機及砂礫脫水分離機、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，以及挑高之操作平台並須設置扶手或欄杆。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。

3.6.4 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而設置旋流洗砂機，惟應設置砂礫分離機。
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. 除砂設施的設置目的之一係減少有機物的去除量，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

需求度以及更有效洗砂設備的較高費用之間作個衡量。

砂礫掉入沉砂池的貯砂斗後，以抽砂泵將沉砂抽送至旋流洗砂機(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旋流洗砂機，有時亦會用於從初沉污泥中分離砂礫。當沒有沉砂池時，旋流洗砂機有時直接用於從污水中分離砂礫及懸浮固體。旋流洗砂機流出之砂礫再流到砂礫分離機(grit classifier)中，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旋流洗砂機，故沉砂出水係直接流入砂礫分離機。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。以下將分別介紹這些設備。

(1)旋流洗砂機/砂礫分離機

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，旋流洗砂機產生的離心力作用使得較重的砂礫及懸浮固體集中在旋流洗砂機的側面及底部，而浮渣及較輕的固體則通過旋流洗砂機的頂部而從中央部位分離。旋流洗砂機最好操作在定流量及定水壓下，如果偏離了設計流量，固體物會隨砂礫流出。旋流洗砂機通常可將砂礫中有機物含量減少至 $<5\%$ 。旋流洗砂機之操作示意圖見圖 3.99。

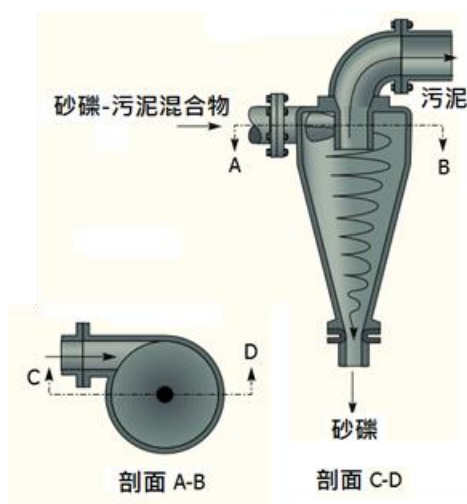


圖 3.99 旋流洗砂機操作示意圖

今日所使用的旋流洗砂機共有兩種，一種是傳統的旋流洗砂機，係在旋流洗砂機中產生高速流，另一種是調整過的引發渦流技術，係使切線方向的進流在旋流洗砂機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。旋流洗砂機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，固定進流率依照旋流洗砂機的尺寸，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。旋流洗砂機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，旋流洗砂機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% 會通過旋流洗砂機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，並減少所需的砂礫分離機的尺寸。

砂礫分離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的目的，砂礫分離機通常可將砂礫中有機物含量減少至 <25%。砂礫分離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。

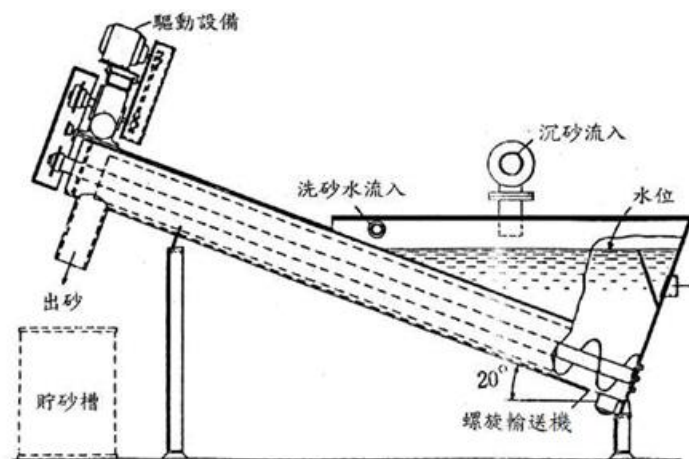


圖 3.100 砂礫分離機操作示意圖

從沉砂池抽取砂礫加壓進入旋流洗砂機的抽砂泵，其額定揚程通常須符合旋流洗砂機的高水頭需求、靜揚程及管線水頭損失，由於通過旋流洗砂機的水頭係為流量及尺寸的函數，所以計算旋流洗砂機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)。將旋流洗砂機/砂礫分離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、旋流洗砂機及砂礫分離機合併操作示意圖。

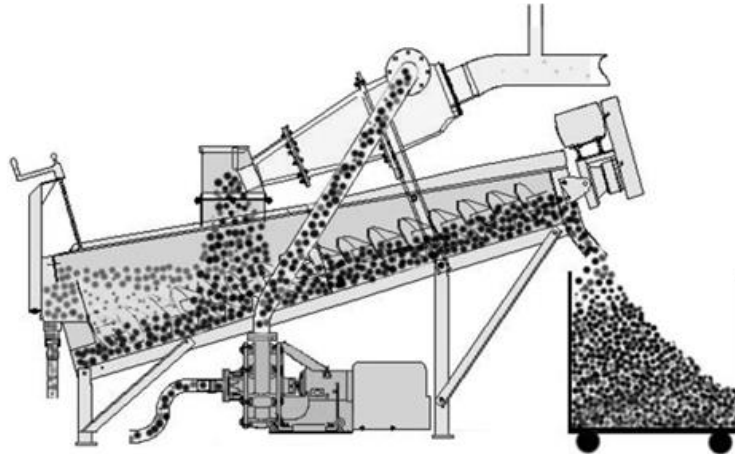


圖 3.101 抽砂泵、旋流洗砂機及砂礫分離機合併操作示意圖

由於傳統旋流洗砂機之高水頭需求及需要維護，將沉砂段放大的砂礫分離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，這種單元比旋流洗砂機/砂礫分離機需要更大的空間需求。

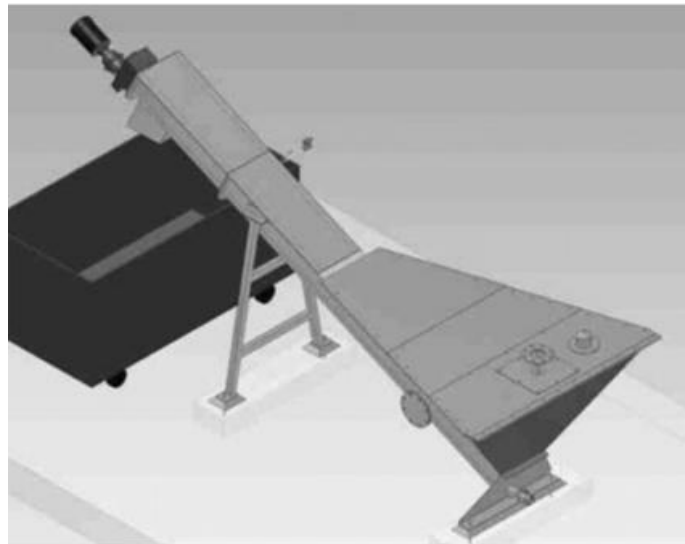


圖 3.102 沉砂段放大的砂礫分離機

(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鏽鋼容器，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 m²/h。圖 3.103 為圓錐形洗砂機及砂礫分離機構造示意圖。

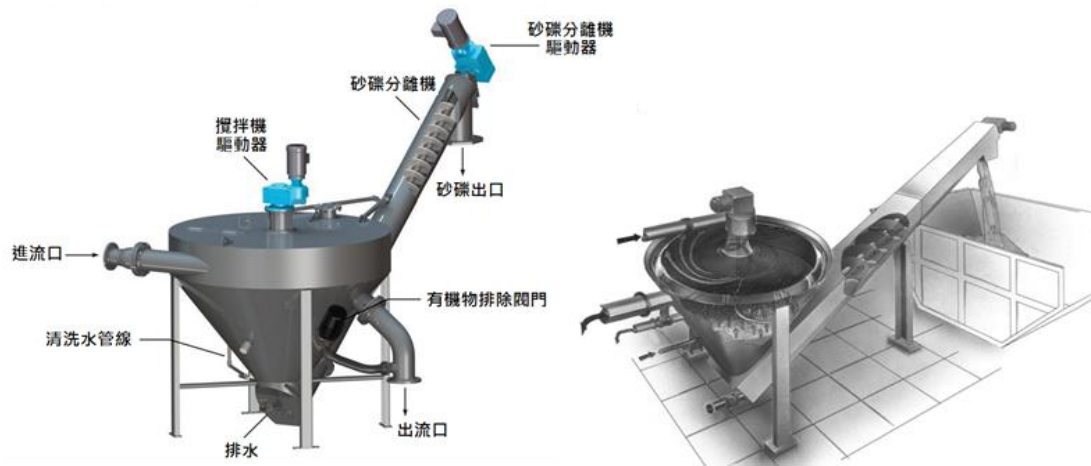


圖 3.103 圓錐形洗砂機及砂礫分離機構造示意圖

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. 為防砂礫分離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。洗砂水則引入進水抽水井或生物處理前併行處理。

第四章 污水初級處理

4.1 概說

污水處理廠進流水於經前處理包括粗、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。

本章將就初級沉澱池的沉澱理論、沉澱效率、沉澱池之種類、形狀、尺寸、水深、停留時間、進水流方法及沉澱池附屬設施加以敘述。

4.2 基本沉澱理論

污泥之沉降有單顆粒沉降及壓密沉降，一般初級沉澱池污泥屬單顆粒沉降。而化學混凝污泥或生物污泥，因於沉降中會發生層沉降或壓密沉降，此乃因污泥顆粒濃度較高，彼此非常接近而黏著在一起，形成一個塑性結構體，此時，顆粒間相互作用的黏滯力，足以維持每個顆粒在相同的相對位置上，是以在沉降的過程中，整體的形成緩慢沉澱，使污泥顆粒與上澄液間形成一明顯的界面而稱之。

沉澱由懸浮固體物之濃度及顆粒凝聚性，而分為如下四種型式：

(1)單顆粒沉澱：保持單顆粒之沉降性，而其大小、形狀、密度不變，顆粒數少。

一般初級沉澱污泥及生物膜法污泥沉澱即屬單顆粒沉澱。

(2)混凝沉澱：顆粒較多，而有凝聚作用，因此在沉降中改變顆粒大小、形狀、沉降速度亦隨著變化。

(3)層沉澱：因懸浮固體物濃度大，成為層狀沉澱，澄清液與固體沉澱物有明顯界面。一般活性污泥法污泥沉澱即屬層沉澱。

(4)壓密沉澱：水中懸浮固體物濃度很高，顆粒互相接觸，由於顆粒重量向下壓縮，把孔隙中之液體擠出，而減少固體物之體積。污泥沉澱即屬壓密沉澱。

如上述污泥之沉降有單一顆粒沉降，一般初級沉澱池污泥屬單顆粒沉降。而化學混凝污泥或生物污泥，由於在沉降中會發生層沉降或壓密沉降，此乃因污泥顆粒濃度較高，彼此非常接近而黏著在一起，形成一個塑性結構體，此時，顆粒間相互作用的黏滯力，足以維持每個顆粒在相同的相對位置，在沉降的過程中，整體的形成緩慢沉澱，使污泥顆粒與上澄液間形成一明顯的界面而稱之。

基本上，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，其主要的原因，是由於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。

本節僅就污水初級沉降原理為沉降對象的單顆粒沉澱之基本原理加以分析。另屬於生物沉澱分離之層沉澱將另於 5.6.1 分析，而屬於壓密沉降之壓密濃縮，將再另於 8.3.1 重力濃縮加以分述。

1. 單顆粒之沉降

瞭解水中單顆粒之沉降速度，對於沉澱池甚為重要，在理論上視同單一顆粒運動而以沉降速度式求之。但粒子群及凝聚性顆粒之沉降狀態則非如此。因此在實際沉澱池設計時，有時必須藉助於實際探討粒子群沉降速度的界面沉降速度。

一般對於較稀薄液體中粒子的移動，可當作為單一粒子的沉降速度，在設計上具有很大的意義。單顆粒由於沉降速度之不同，其理想沉澱狀態如圖 4.1。

一般流體中一個粒子之運動所受之阻力 R ，若以水流方向相直角之斷面積 A ，摩擦係數為 C ，則可以下式表之。

$$R = \frac{1}{2} C A V^2 \rho_F \dots\dots\dots (4-1)$$

式中：

V ：粒子之速度

ρ_F ：流體之密度

上式之阻力，當重力大於浮力時，粒子則以一定的速度運動，這一速度稱為終端速度(terminal velocity)，球形粒子的終端速度以下式表之。

$$V = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{D(\rho_s - \rho_F)}{C \rho_F}} \cdot g \dots\dots\dots (4-2)$$

摩擦係數 C 依雷諾數 R_e 而變，(4-1)式在雷諾數之範圍中，可改寫為：

(1)微粒子 $R_e < 1$ (Stoke's 公式)

$$V = \frac{D^2(\rho_s - \rho_F)}{18\mu} \cdot g \dots\dots\dots (4-3)$$

(2)中粒子 $1 \leq R_e \leq 500$ (Allen 公式)

$$V = \left\{ \frac{4}{225} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_F)^2 \cdot g^2}{\rho_F \mu} \right\}^{1/3} \cdot D \dots\dots\dots (4-4)$$

(3)粗粒子 $500 < Re < 200,000$ (Newton 公式)

$$V = \sqrt{\frac{3(\rho_s - \rho_F)D}{\rho_F} \cdot g} \dots\dots\dots(4-5)$$

式中：

D ：粒徑(m)

ρ_s ：粒子之密度(kg/m³)

ρ_F ：流體之密度(kg/m³)

μ ：流體之粘性係數(kg/m · s)

Re ： $DV\rho_F/\mu$

沉澱池之操作範圍，為在 stoke's(式 4-2)及 Allen(式 4-4)公式之範圍。無論用任何一公式計算，皆必須檢討 Re ，以確認適用範圍的正確性。

沉降速度為 v_0 ，去除率 y 則如下：

若 $v \geq v_0$ 時，所有粒子皆可去除，即 $y=1$ 又即

$$v_0 = \frac{h_0 v}{L} = \frac{h_0 Q}{L h_0 B} = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(4-6)$$

若 $v < v_0$ 之粒子

$$y = \frac{h}{h_0} = \frac{v}{v_0} = \frac{v}{Q/A} \dots\dots\dots(4-7)$$

式中：

h_0 ：沉澱池有效水深

B ：沉澱池寬

A ：沉澱池表面積

L ：沉澱池長度

Q ：處理水量

h ：沉澱速度為 v 之粒子在池長 L 內所沉降距離

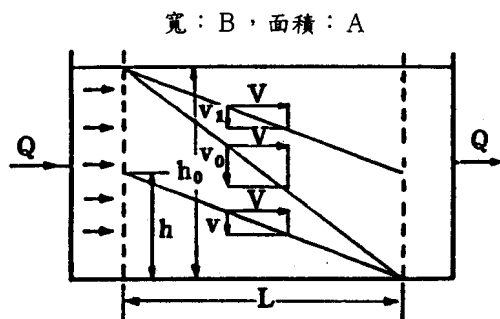


圖 4.1 理想沉澱池(水平流)

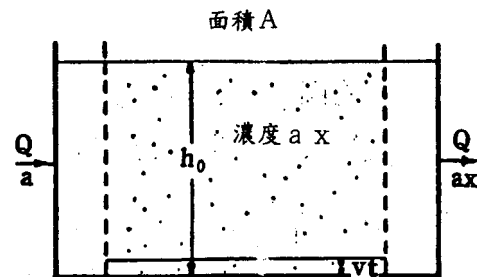


圖 4.2 完全混合形

2. Hazen 去除率論(完全混合)

假設粒子之濃度，在任何一點與流出水濃度相等，又一旦沉降至池底之粒子並不再上浮。如圖 4.2 流入濃度 a ，流出濃度 ax ，則槽內粒子濃度為 ax 。

t 時間時流入之粒子量 $= Qat$

t 時間時流出之粒子量 $= Qaxt$

t 時間時沉澱之粒子量 $= vtAax$

$$\therefore Qat = Qaxt + vtAax$$

$$\therefore x = \frac{1}{1 + \frac{v}{Q/A}} \dots\dots\dots (4-8)$$

$$\therefore y = 1 - x = 1 - \frac{1}{1 + \frac{v}{Q/A}} \dots\dots\dots (4-9)$$

粒子自水面降至池底所需時間為 t ，停留時間為 T 時，

$$\frac{v}{Q/A} = \frac{h_0/t}{Q/A} = \frac{h_0A}{Qt} = \frac{T}{t} \dots\dots\dots (4-10)$$

則(4-9)式可改寫為

$$y = 1 - \frac{1}{1 + \frac{T}{t}} \dots\dots\dots (4-11)$$

由以上可知顆粒之沉降速度 V 與表面積負荷 Q/A 之比與沉澱效率有關。因此為提高沉澱效率，可以提高粒子的沉降速度或減少表面積負荷(增大沉澱池面積)以達成之。

提高粒子的沉降速度可以凝聚達成，混凝沉澱池添加凝聚劑可達成凝聚效果。而污水處理廠曝氣槽活性污泥的作用也為凝聚之進行，因此曝氣槽之操作功能可視同生物凝聚。

減少表面積負荷可以 2 層或 3 層沉澱池，甚至以傾斜板沉澱池或傾斜管沉澱池達成。

4.3 初級處理處理效率

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 初級沉澱池設計沉澱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 1.5 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 $35\sim70\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 、生物膜法 $25\sim50\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 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 4.3。

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，而與進流量成反比。所以進流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 的濃度等而有不同，去除率約 40~60%，同時 BOD 約 25~40%。

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負荷，如表 4.1。

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負荷

處理方法	有效水深(m)	水表面積負荷 ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$)	溢流負荷 ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$)
活性污泥法	2.5~4.0	35~70	120 以下
生物膜法	2.5~4.0	25~50	100 以下

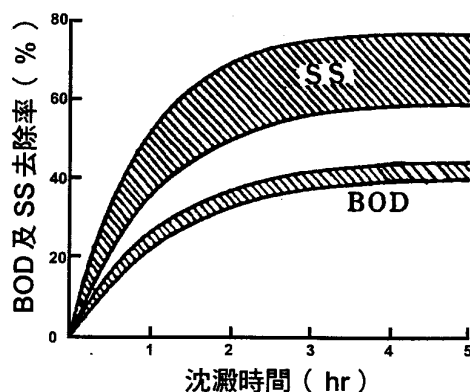


圖 4.3 初級沉澱池沉澱時間與 BOD 及 SS 去除率關係

4.4 初級沉澱池設施設計

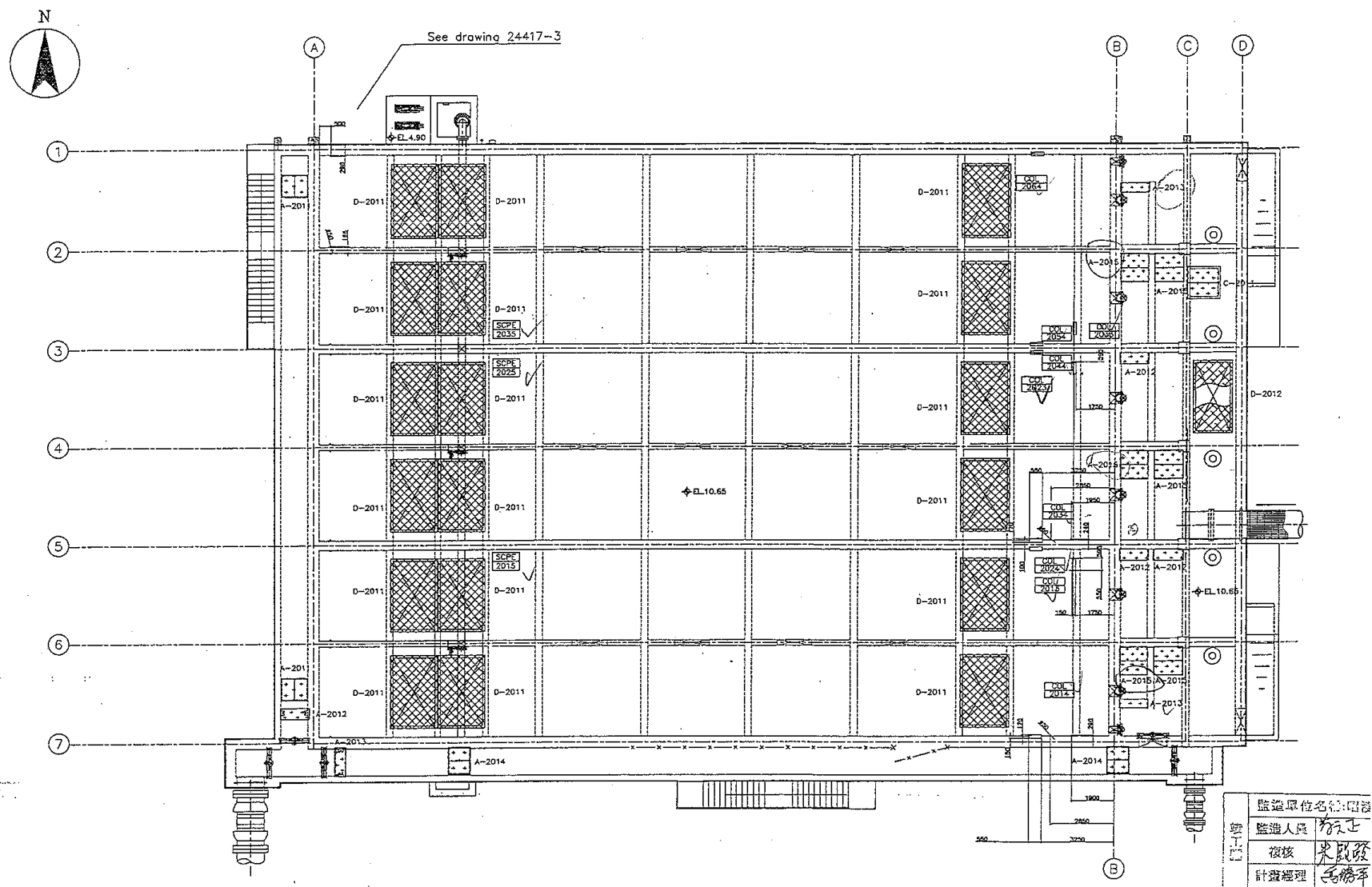
4.4.1 初級沉澱池之形狀及池數

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，依其形式為水平流或放射流。
2. 正方形或圓形池直徑 10~40 m。
3. 長方形沉澱池之長度約為 25~60 m，長寬比為 3:1 以上，可防止短流，一般採用 5:1 以上。其寬度依污泥刮泥機之長度而定。
4. 池數以 2 池以上為原則。

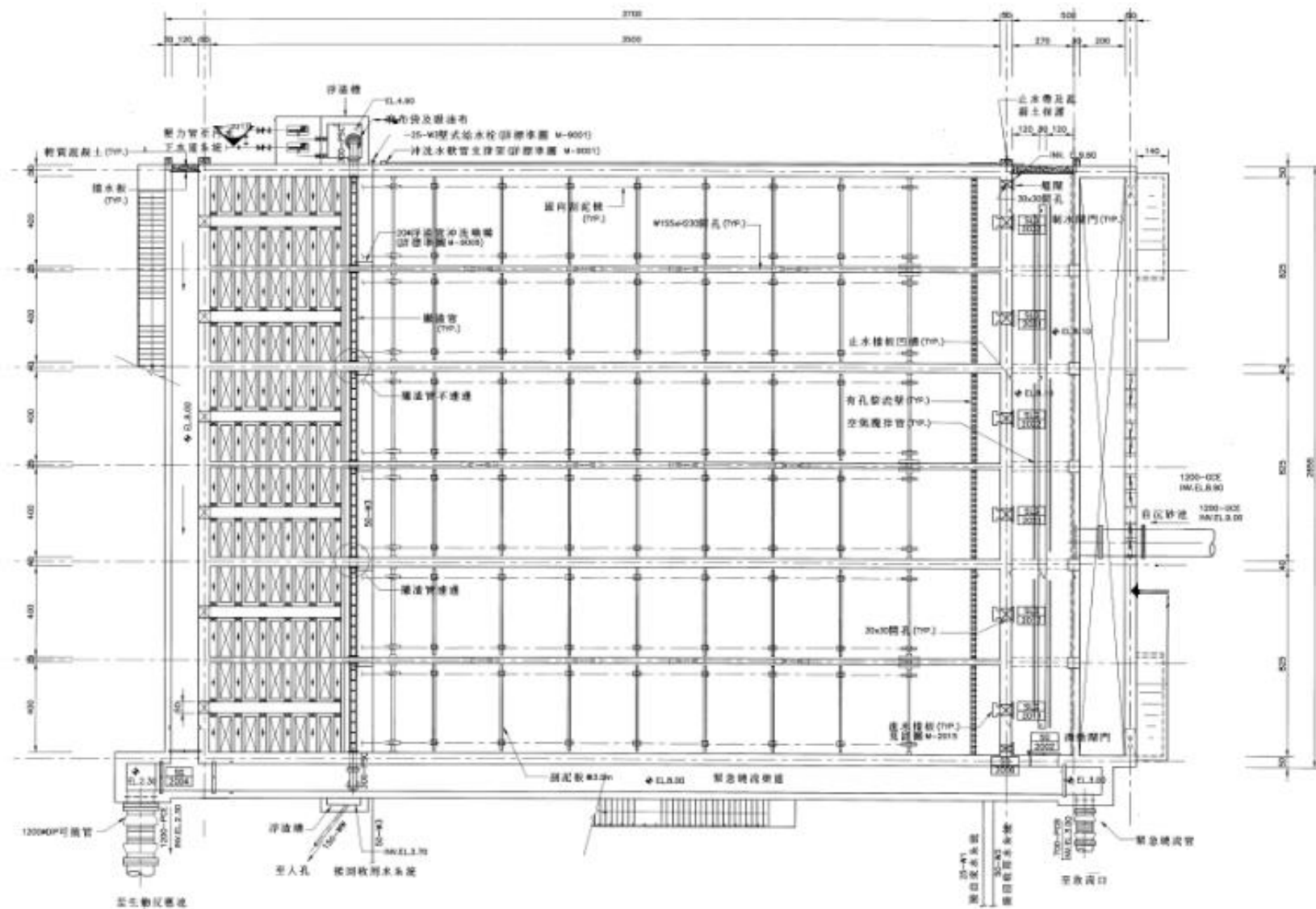
解說：

1. 初級沉澱池之形狀依照處理廠之規模、廠地面積、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，水池過深的話，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 4.4，圓形沉澱池如圖 4.5。
3. 長方形沉澱池之長度約為 25~60 m。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 4.6。
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，應有排空之配慮。



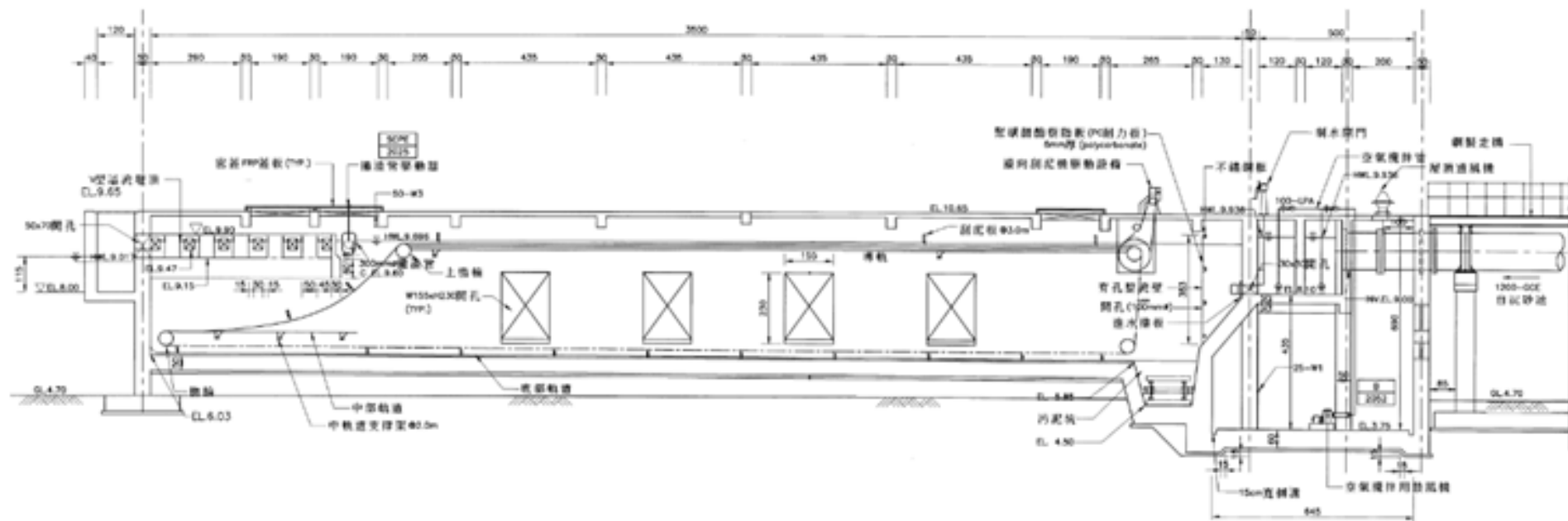
a.上層平面圖

圖 4.6 長方形沉澱池(1/4)(新竹市客雅資源回收中心例)



b.中層平面圖

圖 4.6 長方形沉澱池(2/4)(新竹市客雅資源回收中心例)



d.剖面圖

圖 4.6 長方形沉澱池(4/4)(新竹市客雅資源回收中心例)

4.4.2 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，應預留觀察及堰清理之考量。

解說：

1. 池槽構造已述於第二章 2.6 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： $<6\text{ m}$)，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： $\geq 6\text{ m}$)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泵，另設一組初沉污泥泵備用，如圖 4.7。
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。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 4.8~4.10。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 4.2 所示之第一種機械換氣方法，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)將於後續專節解說。

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 $\times 2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{小時})$ ※	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 $\times 2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{小時})$ ※	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

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，應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。另外通水初期亦應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。污泥斗與污泥抽水機配置，如圖 4.7。
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。

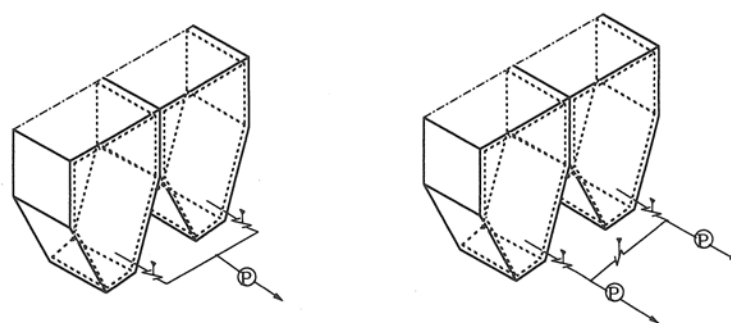


圖 4.7 污泥斗與抽泥抽水機配置圖



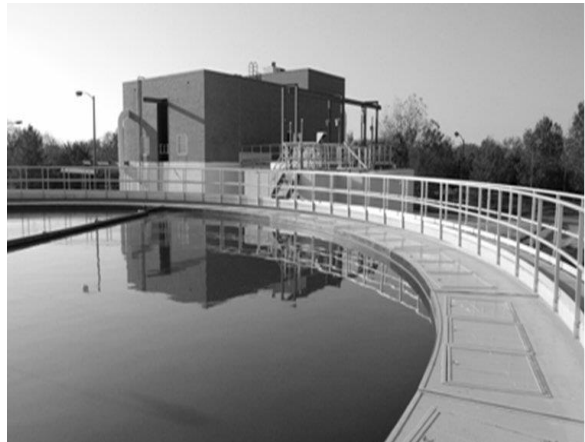
圖 4.8 初級沉澱池的防臭蓋
(基隆和平島污水處理廠)



圖 4.9 圓形初級沉澱池加防臭蓋
(澳洲 Subiaco 污水處理廠)



(a)



(b)

圖 4.10(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

4.4.3 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。

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、刮泥機等的影響使污泥上浮，溫度、風等影響大時會降低沉澱效果，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(4-12)~(4-14)。

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

$$V = A \cdot h = Q \cdot \frac{t}{24} \dots\dots\dots(4-12)$$

$$t = \frac{h}{I} \times 24 \dots\dots\dots(4-13)$$

$$L = v \cdot t \dots\dots\dots(4-14)$$

式中：

I：水表面積負荷($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)

Q：進流水量(m^3/d)

A：池表面積(m^2)

t：沉澱時間(小時)

h：有效水深(m)

V：水池容量(m^3)

L：水池有效長(m)

v：平均流速(m/時)

以平均流速 v 為 30 cm/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的目的及污水水質而做決定，一般為 1.5 小時的程度。

4.4.4 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。

但出水高度過小的話，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。

4.4.5 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分述於 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，需要偶而打開往下開的閘門，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

(A) 進流口應沿著池寬設計成多孔口來分配水量，進流口間最大水平間隔通常為 2 m(或 3 m)。

(B) 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 4.11a)

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往下開的閘門，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 4.11b)

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。

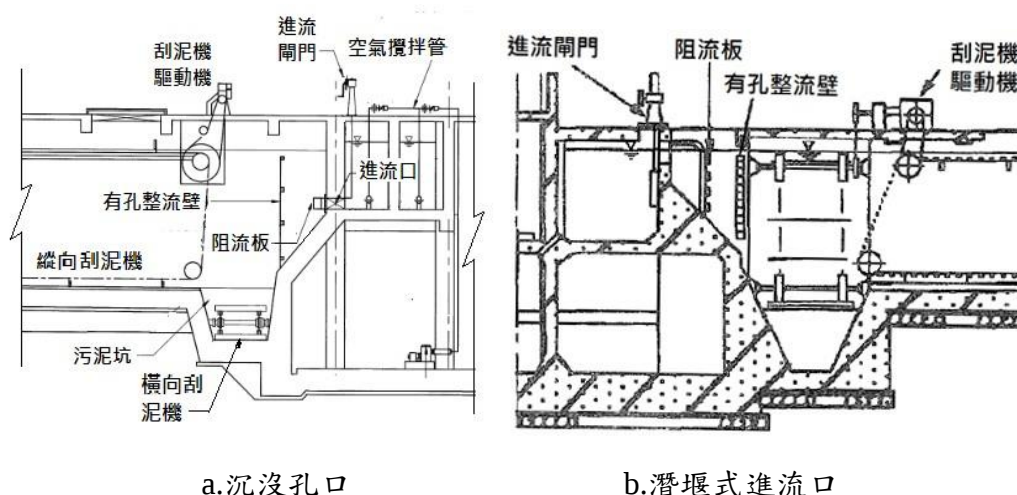
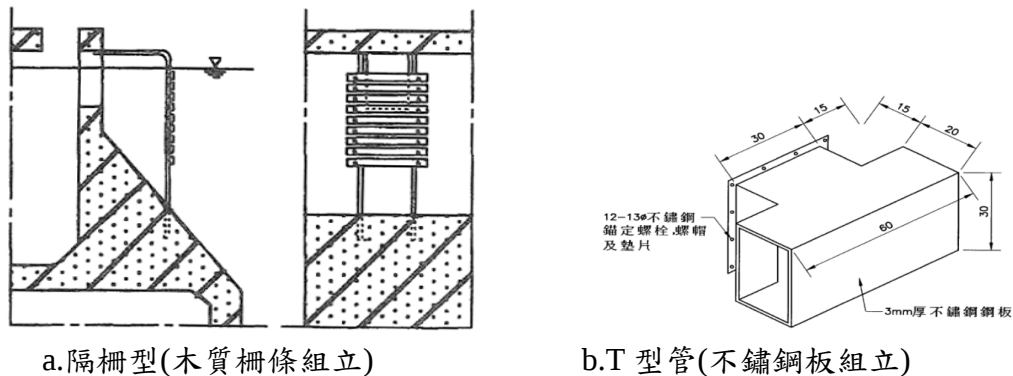


圖 4.11 長方形初級沉澱池進流口設計

(3)長方形池的進流口為自由水面式開孔時，阻流板型式可為木質柵條之隔柵，如圖 4.12a，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 4.12b，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。



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

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，以免可能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，則個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 開孔總面積佔池斷面積為 6~20%，但有些研究認為佔 5% 的有孔整流壁具有最佳處理效果。
 - 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。
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，茲分述如下。

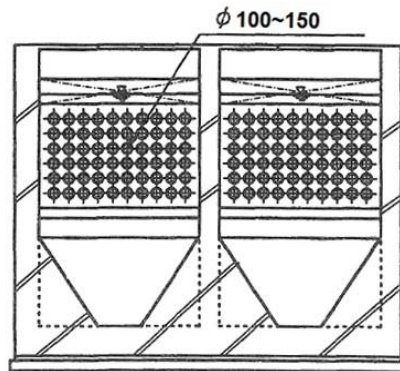
(1) 中央進水式沉澱池

① 進流管及注水孔口

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。

豎管上端設有四個注水孔口，注水孔口可為全浸沒式，或孔口頂端高出水面數公分。注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注水孔口設

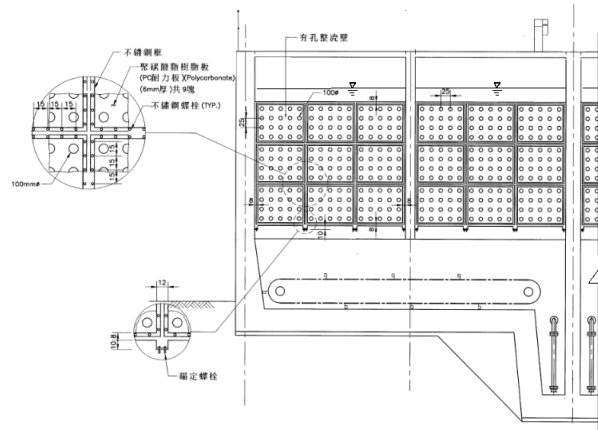
計如圖 4.16。



a. 混凝土整流壁設計圖

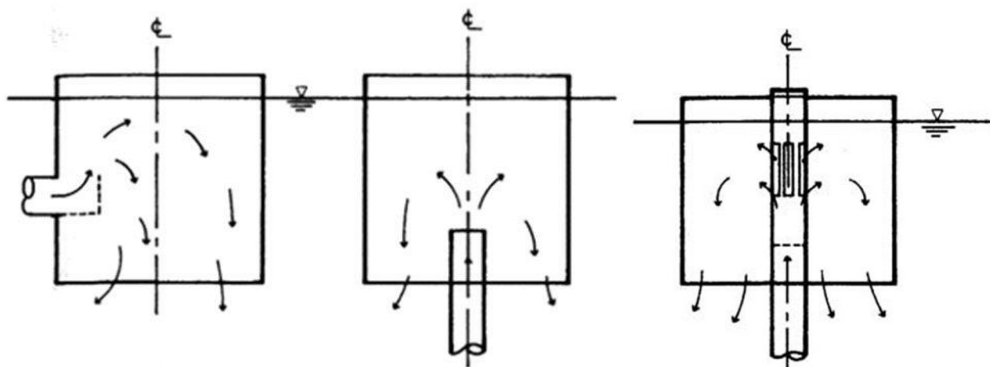


b. 混凝土整流壁照片



c. 耐力板整流壁

圖 4.13 有孔整流壁例



a. 側邊注入

b. 豎管注入

c. 豎管及注水孔口

圖 4.14 傳統中央進水式的進流管注水孔口設計方法

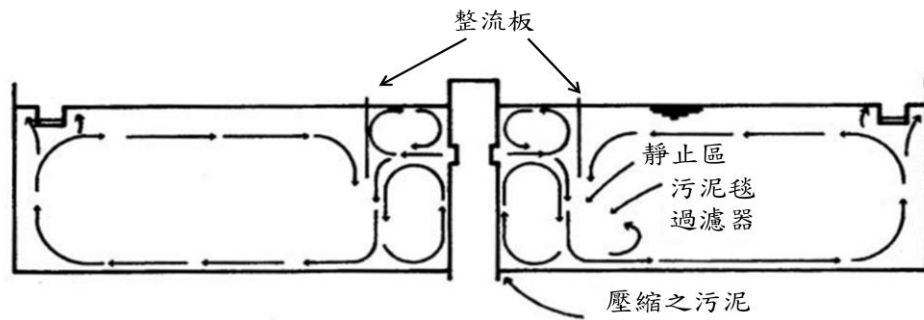


圖 4.15 中央進水式沉澱池水流型態

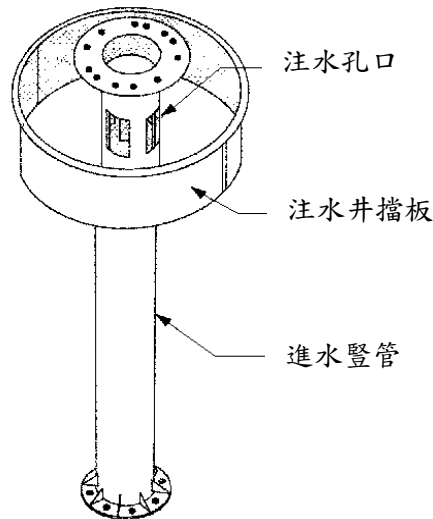


圖 4.16 標準型中央進水豎管及注水孔口設計

② 整流板

圓形池圓筒式整流板(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，整流板直徑不超過 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，整流板頂端通常會低於水面，應加注意。整流板底端浸水深為池邊水深之 25 至 50%，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整流板而進入沉澱區。整流板主要功能為防止進入沉澱池底部的流速增加。(整流板底部空間深度為池邊水深減去整流板浸水深)。整流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。如整流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。

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、救生圈及安全繩索及腰(背)帶之設置，以供操作管理人員做經常性溢流堰及集水堰清理之動線需求，並確保安全。

(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)，及 2. 利用在進流通道單向注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。

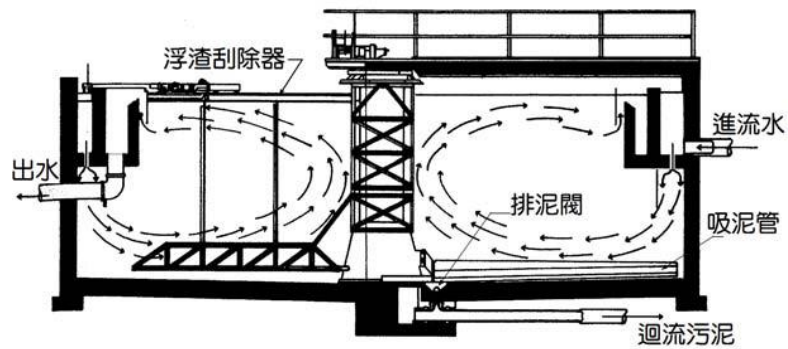


圖 4.17 利用進流渠道底部開孔來配水之周邊進水式沉澱池



圖 4.18 周邊進水式沉澱池照片

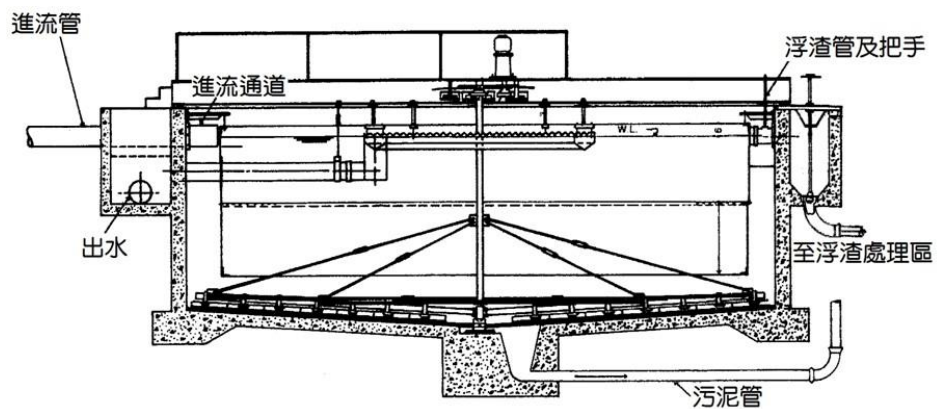


圖 4.19 利用螺旋流型式配水之周邊進水式沉澱池

(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。

4.4.6 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 所示。長方形池刮渣管安裝示意如圖 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。

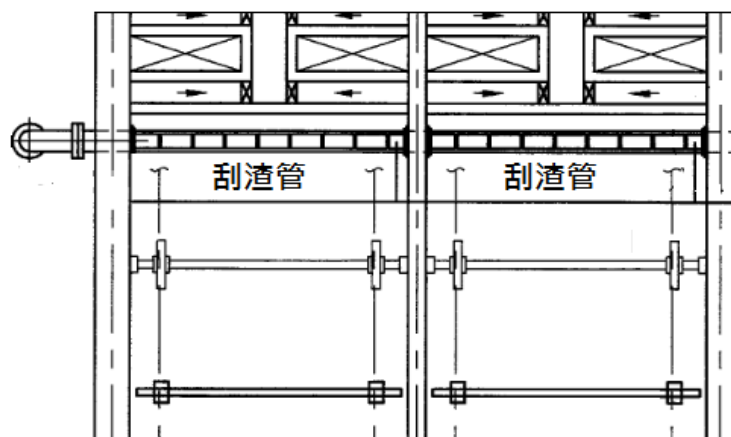


圖 4.20 長方形池刮渣管設計



圖 4.21 長方形池刮渣管安裝示意圖

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/10³m³。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。

浮渣管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。新竹市客雅水資源回收中心的初級沉澱池浮渣經刮渣管收集到浮渣井後，於井中刮渣管末端設置麻布袋以過濾浮渣，麻布袋裝滿浮渣後以垃圾方法處置，濾過液則流入廠內污水下水道系統，回流至前處理區重新再處理。這種不與初級沉澱池污泥及生物污泥合併處置的方法減少了浮渣管線的埋設費用，更重要的是免除了浮渣處理及管線、設備的維護工作。

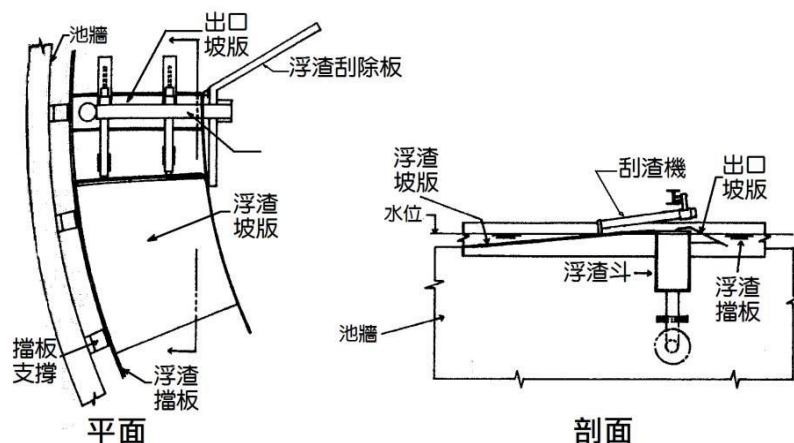


圖 4.22 圓形池浮渣去除設備

4.4.7 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 $250 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$ 。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 4.23)，前者之溢流堰設在池牆邊緣頂端，而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 4.24。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。

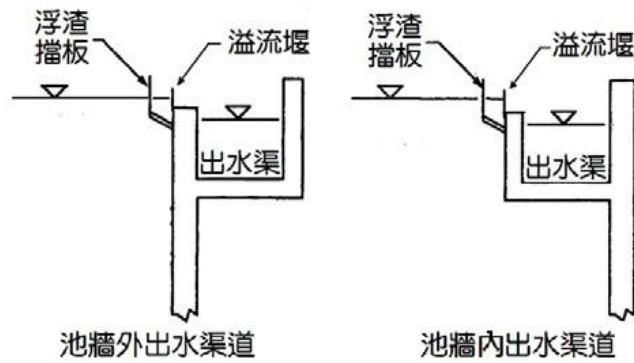


圖 4.23 圓形池出水渠道及溢流堰

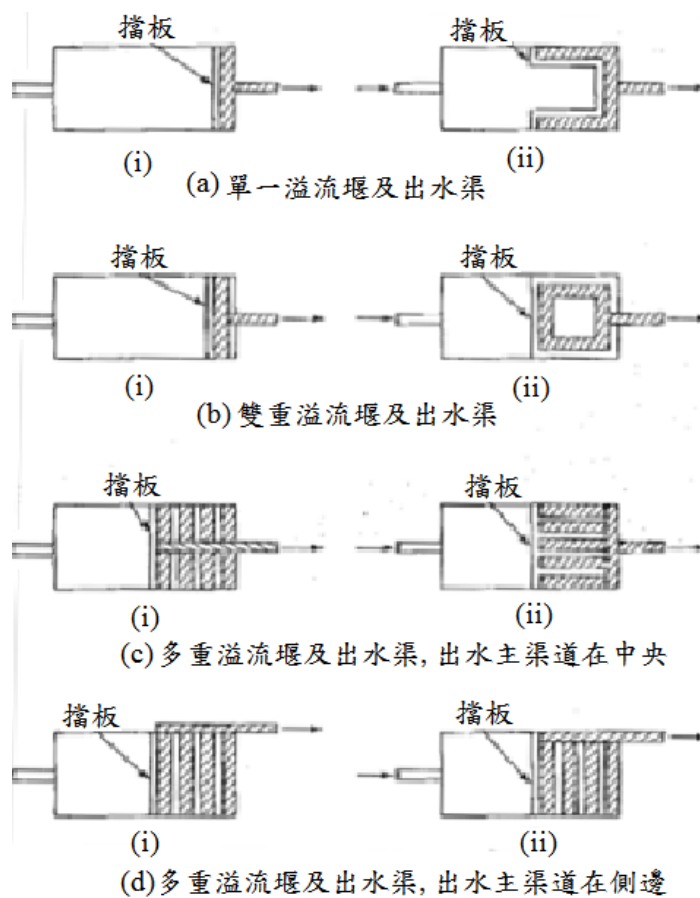


圖 4.24 長方形池出水渠道設置位置圖

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：間距 15 或 30 cm，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型缺口堰會高出許多。故一般皆用連續型 V 型缺口堰。溢流堰負荷應小於 $250 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$ 。必要時溢流堰及出水渠道，應考量防藻對策。

如圖 4.25 噴水系統去除圓形池蛇狀溢流堰上藻類照片。

- (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 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 4.26，圓形沉澱池沉水式開孔管如圖 4.27。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。

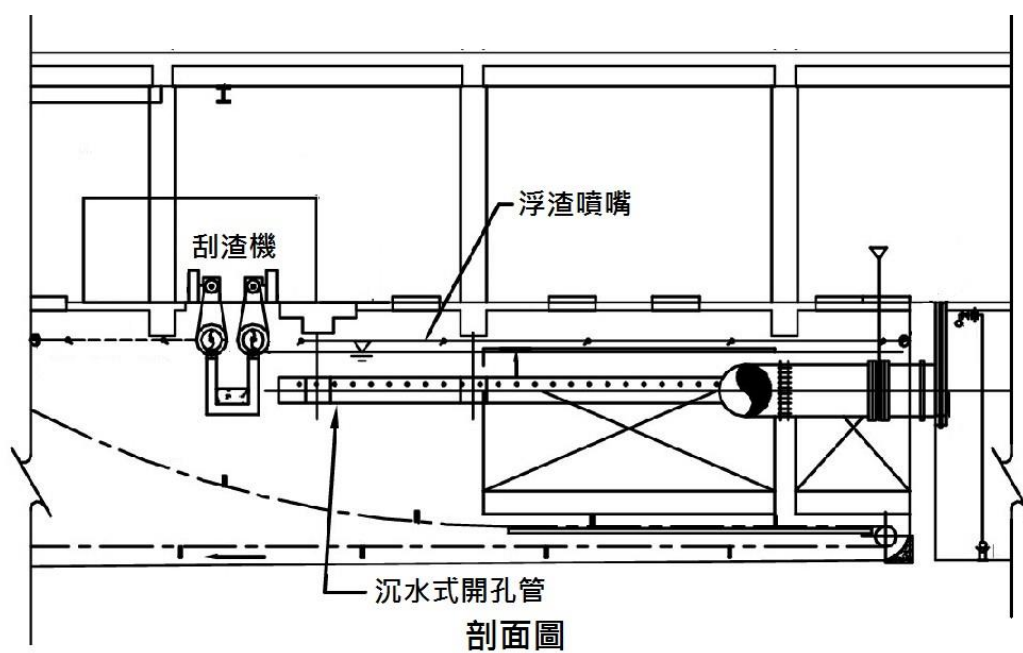
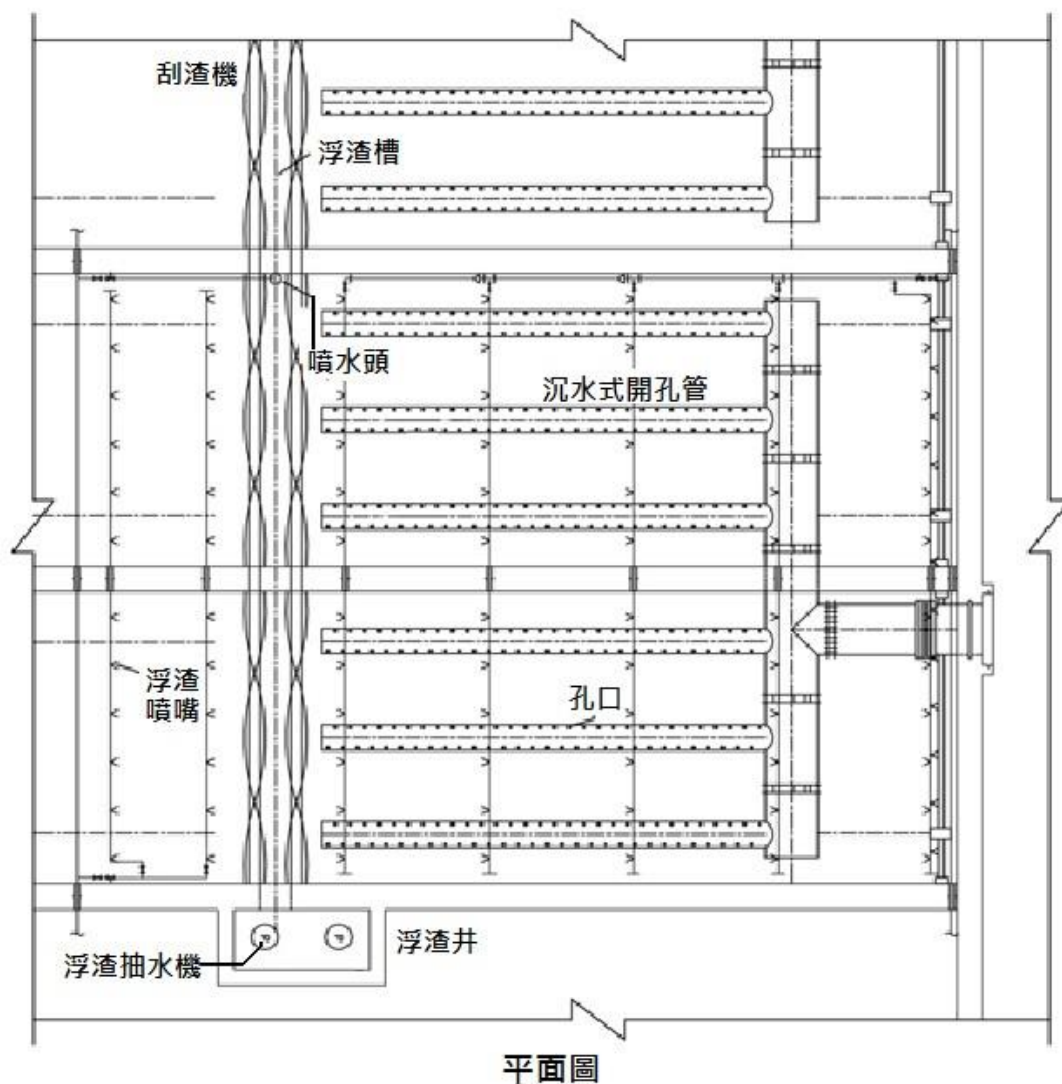


圖 4.26 長方形池之沉水式開孔管(台北內湖污水處理廠例)



圖 4.27 圓形池之出水管照片

(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約為 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。

4.4.8 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、鍊條及鍊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至 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 4.28。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 $\sqsubset$ 形、 $\sqcap$ 形或 Σ 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 4.29。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 4.30。

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。

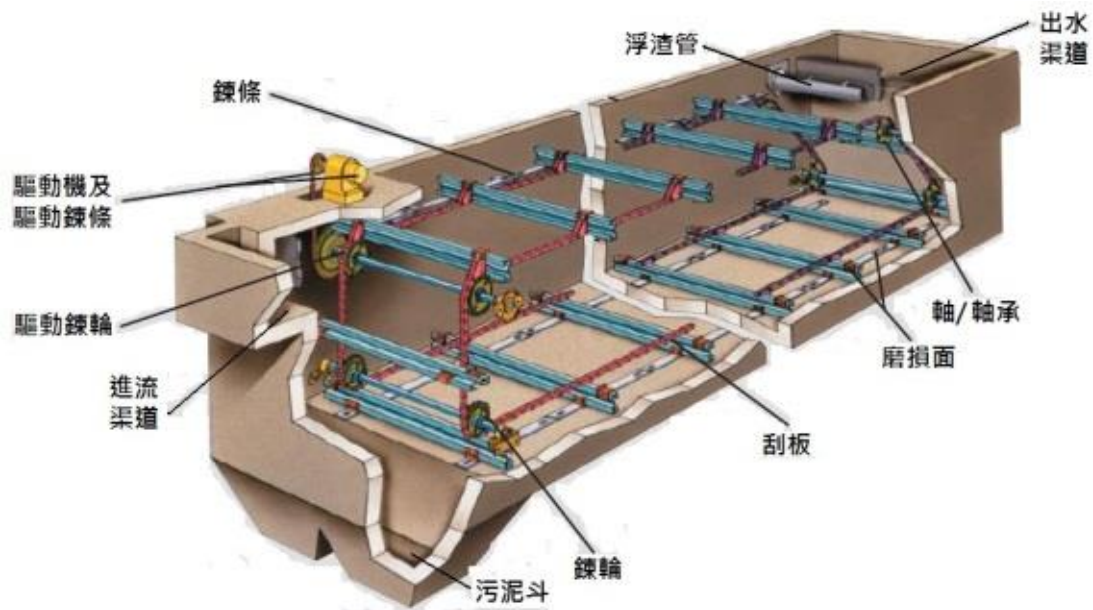


圖 4.28 長方形沉澱池使用鏈條刮板式刮泥機



圖 4.29 單軌鍊條刮泥機

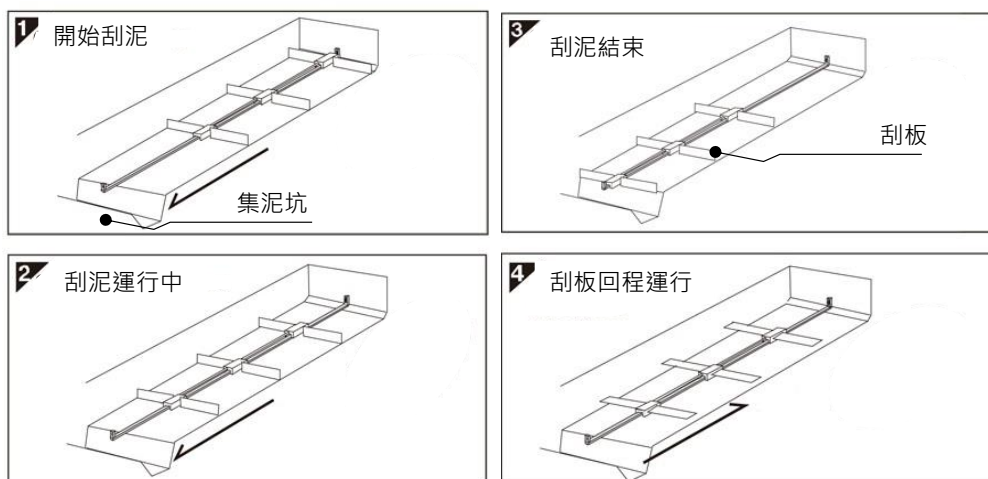


圖 4.30 單軌鍊條刮泥機運行過程圖

(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 4.31。

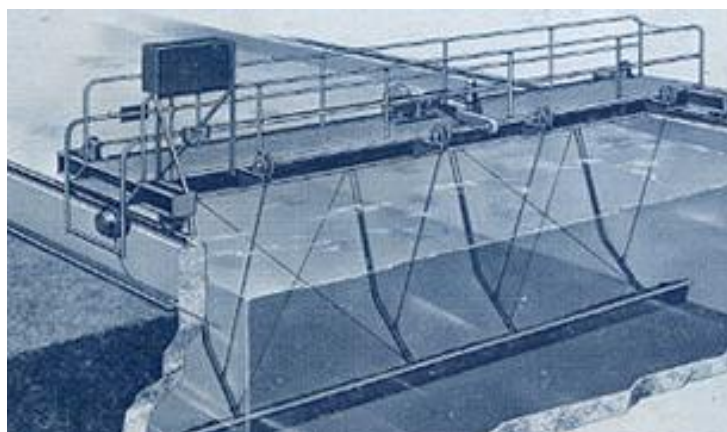


圖 4.31 長方形沉澱池使用走橋式刮泥機

(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 4.32。

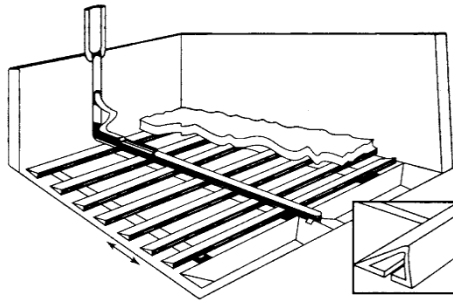


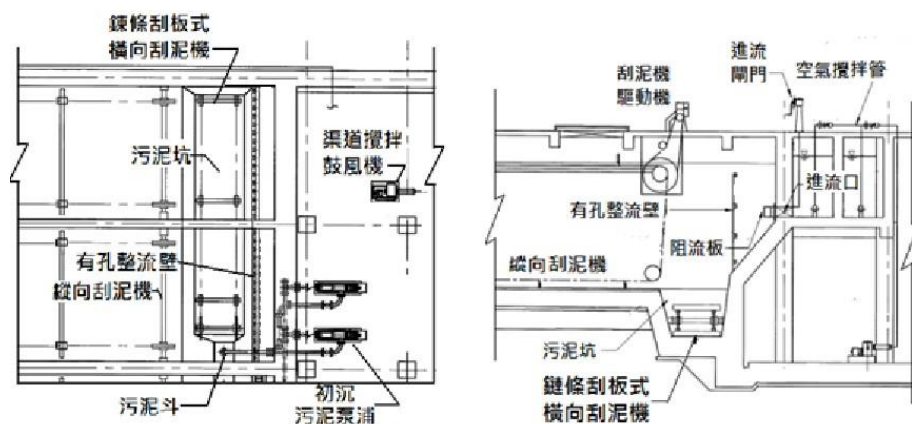
圖 4.32 長方形沉澱池使用往復式刮泥機

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，池間採用開孔隔牆(如圖 4.33)。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。



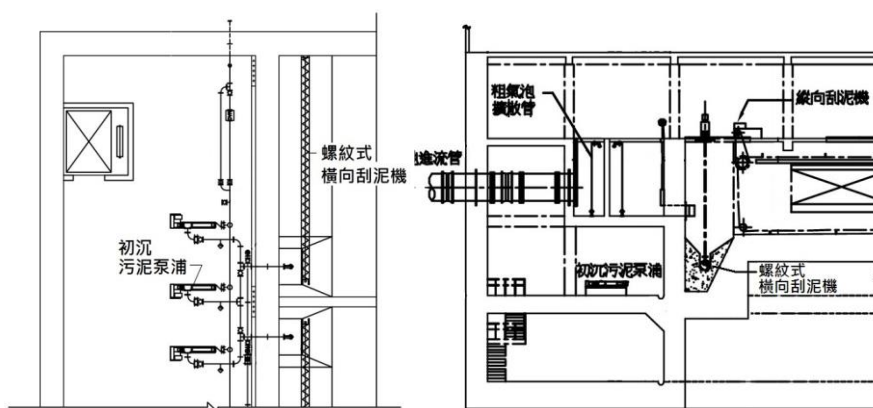
圖 4.33 長方形沉澱池池間採用開孔隔牆

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 4.34)及螺旋式(如圖 4.35)。



平面圖剖面圖

圖 4.34 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 4.35 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，並應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

從動鏈輪的安裝，表面從動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。

4.4.9 正方形或圓形池污泥刮泥機

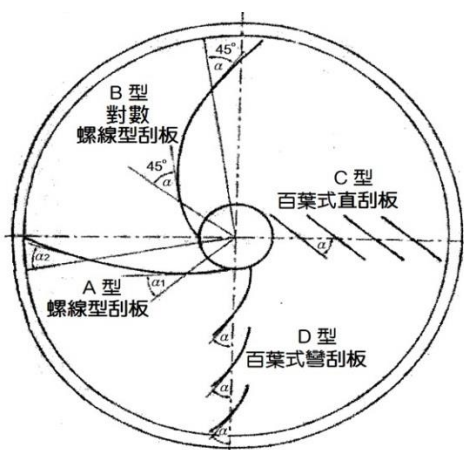
正方形或圓形池污泥刮泥機考量如下：

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 4.36，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 $\alpha_1 > \alpha_2$ ；B.對數螺線型，角度 α 固定在 45° ；C.百葉式直刮板；D.百葉式彎刮板

圖 4.36 迴轉式刮泥機的刮板型式

A.螺線型刮板(如圖 4.37)：



圖 4.37 螺線型刮板

B.對數螺線型刮板(如圖 4.38)，此為較常用之型式：

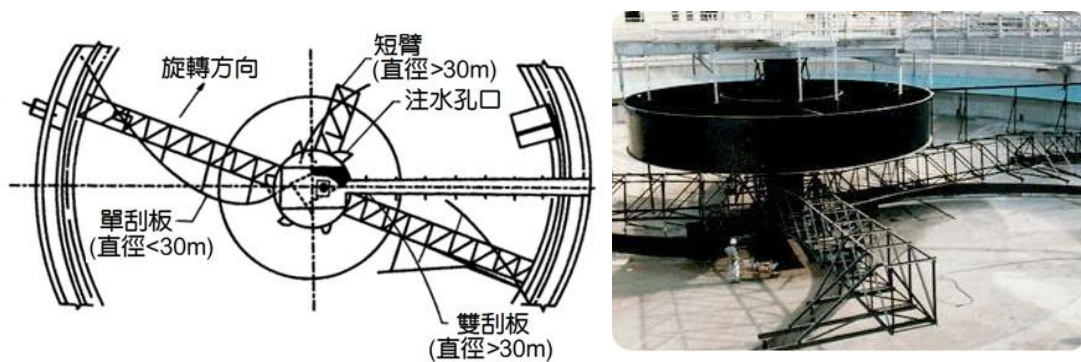


圖 4.38 對數螺線型刮板

C.百葉式直刮板(如圖 4.39)：



圖 4.39 百葉式直刮板

D.百葉式彎刮板(如圖 4.40)：



圖 4.40 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 4.41 污泥移動路徑之比較而看出。

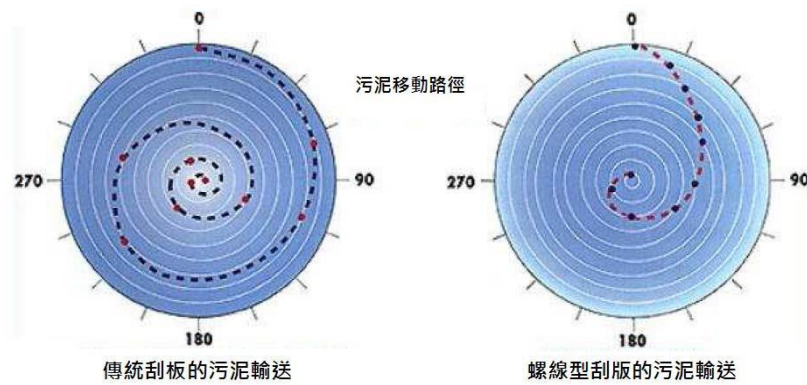


圖 4.41 傳統刮板與螺線型刮板之污泥移動路徑

(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 4.42：用於直徑 $<15\text{ m}$ 之沉澱池)

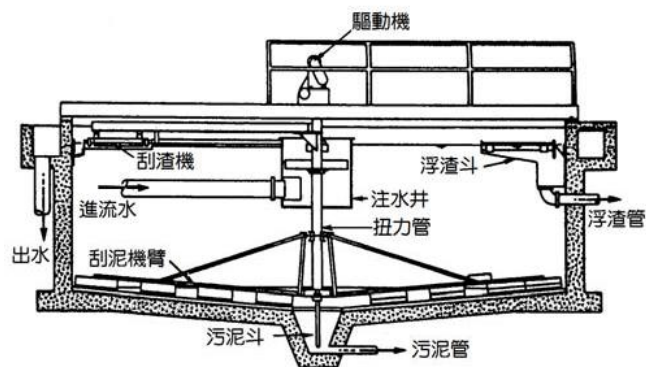


圖 4.42 橋面支撐式驅動機

(B)中心柱支撐式，又稱為半橋式(如圖 4.43)：用於直徑 $>15\text{ m}$ 之沉澱池

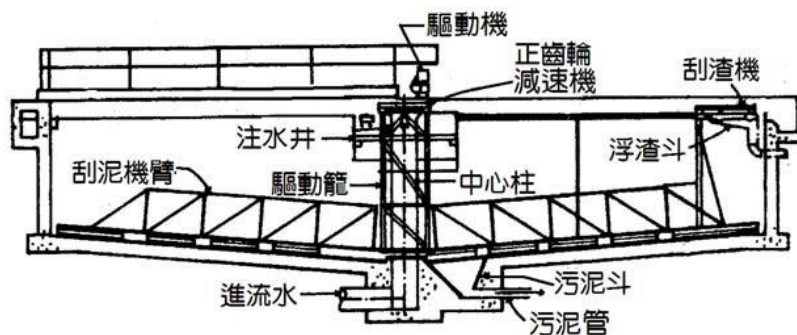


圖 4.43 中心柱支撐式驅動機

B.周邊驅動式(如圖 4.44)



圖 4.44 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 (含單軌式)	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 0.7 m/min 二級沉澱池 0.35 m/min	初級沉澱池 0.7 m/min 二級沉澱池 0.35 m/min	2.0 m/min	初級沉澱池周邊 3.0 m/min 二級沉澱池周邊 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。 單軌式：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。因之污 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。 單軌式： 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 磨損及腐蝕。 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。 單軌式： 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，機械易磨損 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.土地利用效率低。 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。

4.4.10 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而通常會有約 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，惟如污泥斗加深，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，需留意避免停機時產生虹吸現象。

4.4.11 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：

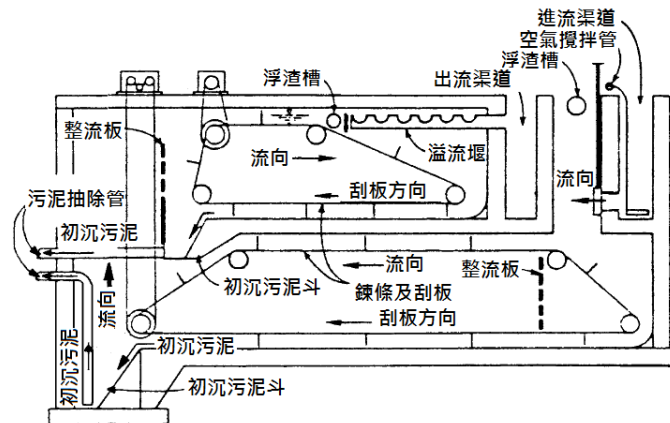
1. 多層沉澱池包括雙層及三層等型式，形狀原則上為長方形、水平流，而依水流方向則可分為串聯流及並聯流型式，雙層初級沉澱池示意如圖 4.45，設計如圖 4.46。串聯流其設計上進流水先至下層沉澱區，經沉澱刮泥後再由上層沉澱區的出流渠道出水，為下層進上層出。並聯流其水流同時進去上、下兩

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。

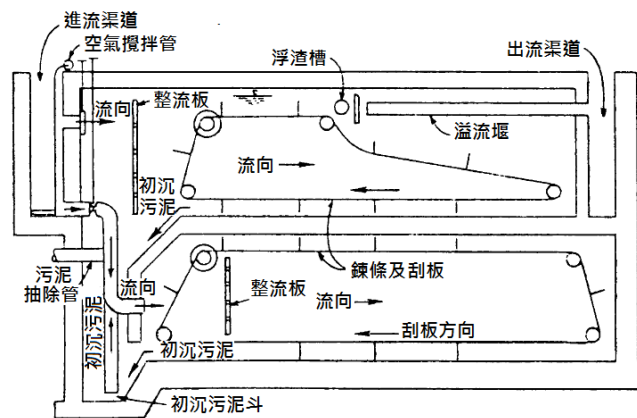
2. 進流部的位置及形狀應儘可能使各層進流的流量均勻，另外，出水部應有設計以調節流量均勻的構造。
3. 各層出水設備無法設計在同一高度的情況，可採沉水式開孔管。在這種情況開孔管的設置係與流向成垂直，此主管再與出流管銜接。但是從各孔口均勻出水的開孔管，從上游端至下游端，孔口面積須逐漸減小。孔口大時，可防止渠道雜物阻塞，直徑以 5 cm 左右為佳。各出流管須考量能調節流量。二級沉澱池的固液分離，各層出流設備的形狀不同，長時間流量變動使各層水量分配有偏差，必須注意放流水水質之惡化。

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。

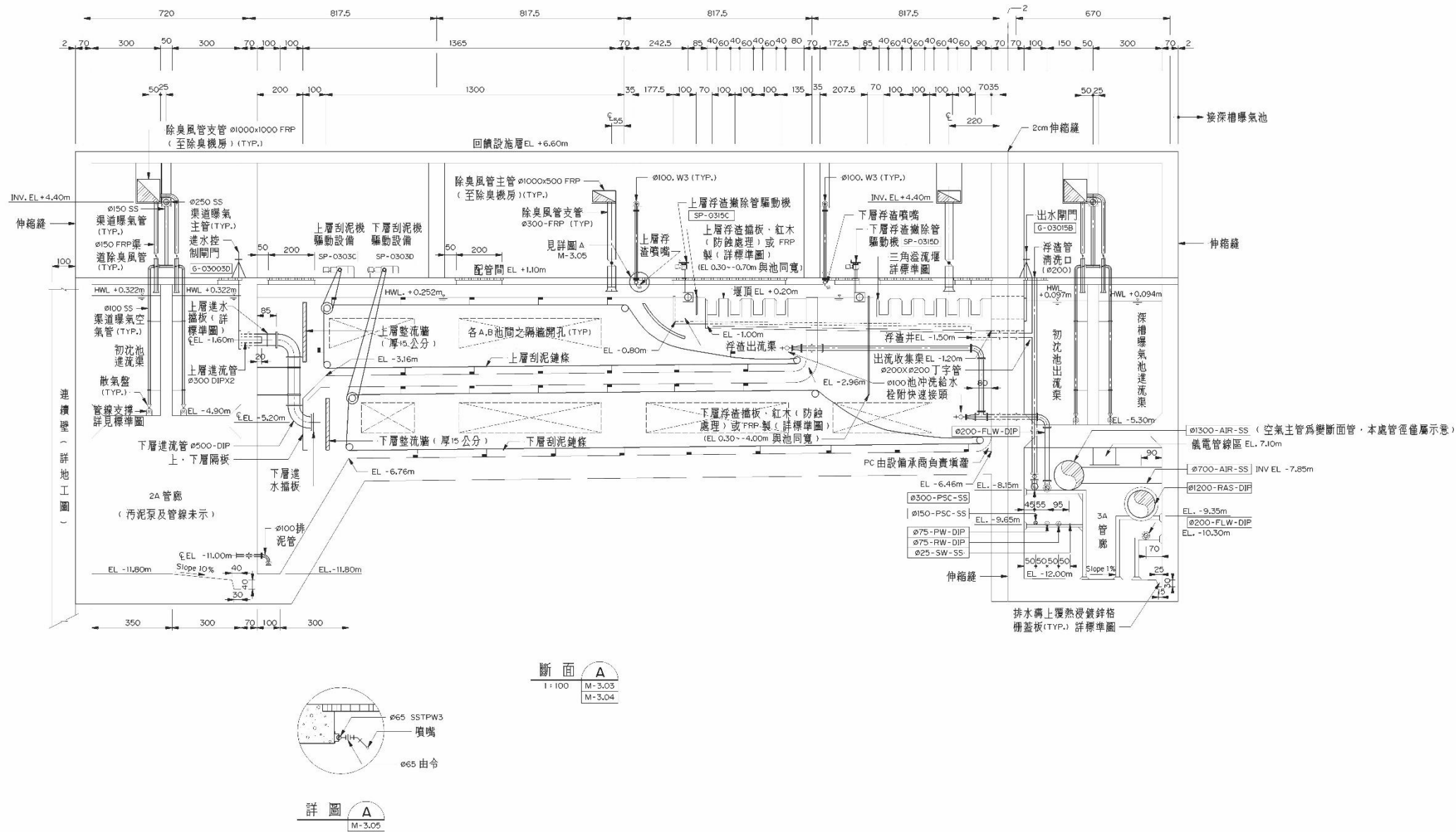


a. 串聯流型式



b. 並聯流型式

圖 4.45 雙層沉澱池示意圖



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

項目 \ 方法	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：++：最優 +：優 △：中等 —：差

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，仍殘留有會造成污染的大部分溶解性有機物及部分懸浮性固體物質，必須依放流水標準需求，進一步的處理，即為污水生物處理及固液分離。

生物處理為利用微生物的代謝作用，使污水中微細的有機物及溶解性有機物達到安定化後，於二級沉澱池將可沉澱的沉澱性固體物予以分離為目的處理方法。

存在於污水中的微生物，以污水中之一部分有機物為營養源加以攝取分解，作為維持體內及合成新細胞的能源。在另一方面，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。

污水處理所利用的生物處理方法，可分為微生物在反應槽中呈懸浮狀態的活性污泥法，以及固定於材料上的生物膜法兩大類。另近年來開發中的有厭氧程序 Anammox 程序。各類有各種不同的處理方法，依去除物質而異，近年常用之各種生物處理法之處理程序，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、階梯曝氣法、延時曝氣法、氧化渠法(oxidation ditch)、分批式活性污泥法(SBR)、深層曝氣法及活性污泥膜濾法(MBR)	BOD、SS
	去氮活性污泥法	MLE、SBR、Bardenpho(四段式)、氧化渠法、硝化內生脫硝法(OAO法)、多段進水法及生物膜濾法(AOMBR)	BOD、SS、T-N
	去氮除磷活性污泥法	A ² O 法、Modified Bardenpho、UCT、VIP、SBR、TNCU、多段進水法	BOD、SS、T-N、T-P
生物膜法		接觸曝氣法、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 70~80%。

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。至於污泥生物處理則將另章討論。

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，另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。

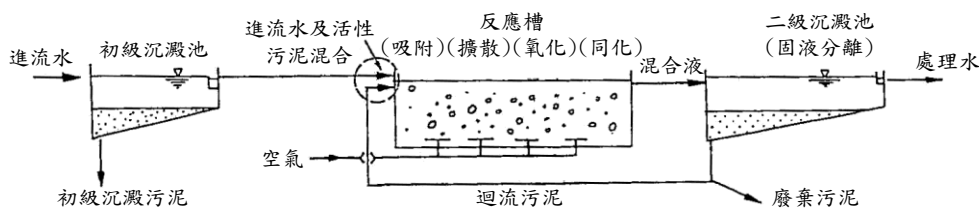


圖 5.1 活性污泥法處理程序

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合物、氮化合物及磷化合物等。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)下利用有機物所增殖的異營性細菌，除細菌外，尚包括有原生動物及大型生物。
- (2) 在好氧條件下，將氨氮氧化為亞硝酸鹽及硝酸鹽氮的自營性細菌，包括 *Nitrosomonas* 及 *Nitrosospira*，*Nitrosococcus* 屬氨氮氧化細菌，這些細菌稱為硝化菌，此一作用稱為硝化作用。
- (3) 在缺氧狀態下(沒有溶氧存在，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氮菌。
- (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，使聚磷酸鹽超量蓄積之異營性細菌，稱為脫磷菌或磷蓄積菌。

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加水分解之後，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，示意如圖 5.2。C-BOD 去除量及曝氣時間之相關性，示意如圖 5.3。

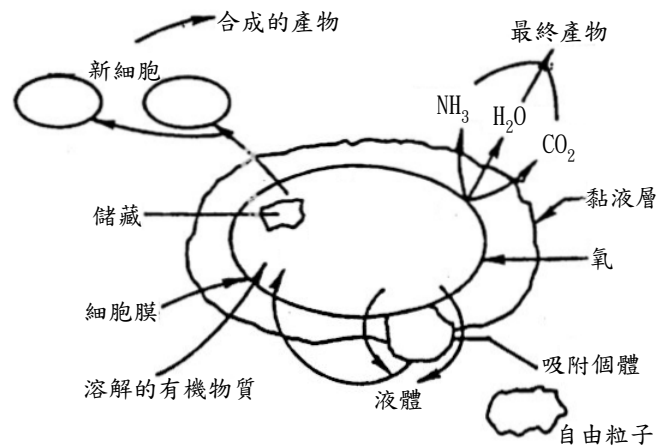


圖 5.2 C-BOD 去除機能示意圖

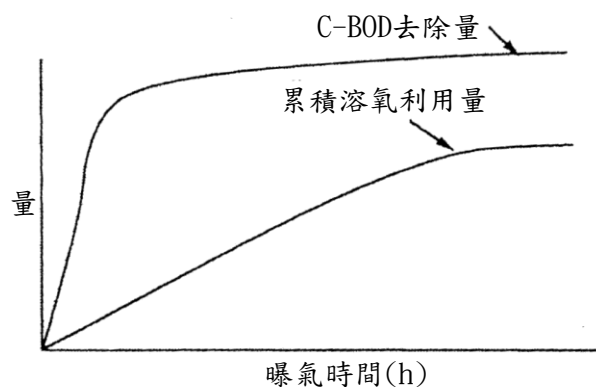


圖 5.3 污水中 C-BOD 去除量及活性污泥法氧利用量變化示意圖

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 用以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。

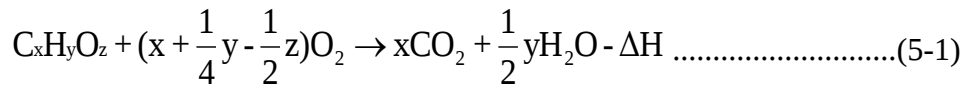
2. 攝取有機物之氧化及同化

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。

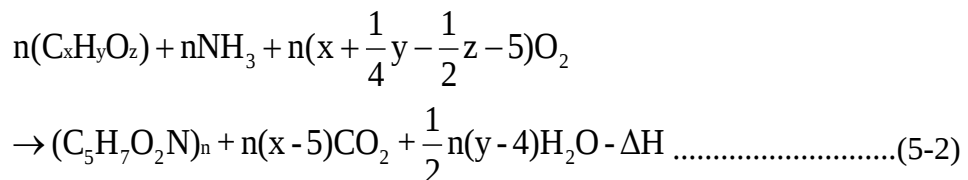
被微生物攝取進入體內的有機物變為細胞的過程是為轉化作用，也即經由吸附、攝取、轉化三個程序同時進行，並完成反應。

活性污泥之有機物氧化、細胞合成及細胞氧化作用，一般可以下式表之：

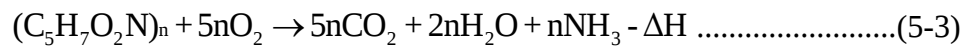
(1) 有機物氧化



(2) 細胞合成



(3) 細胞分解



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。

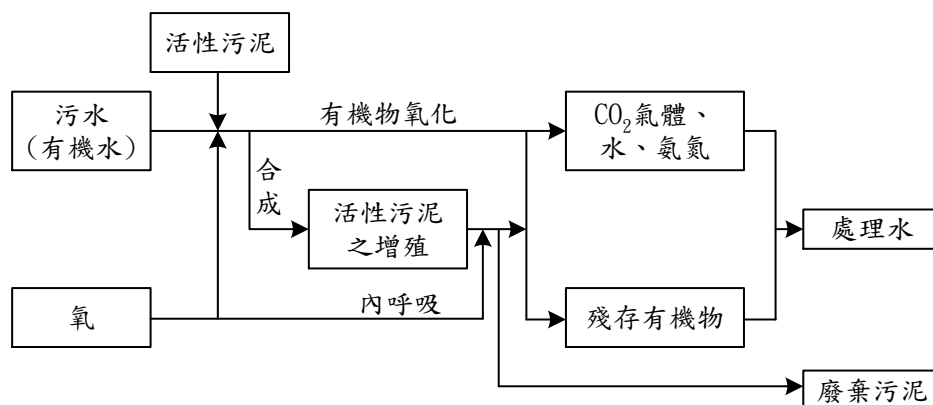


圖 5.4 活性污泥法淨化機制模式

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，因活性污泥的微生物增殖過程而變化，活性污泥的增殖過程，如圖 5.5。

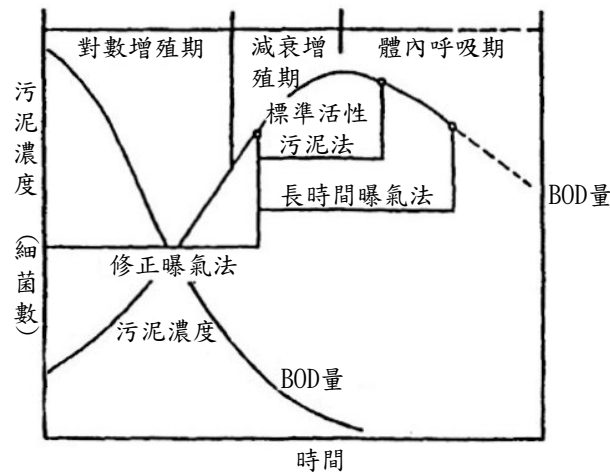


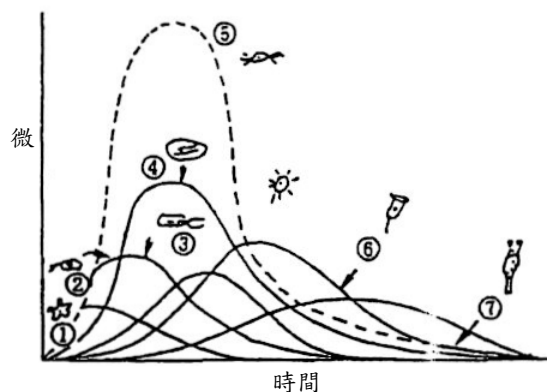
圖 5.5 微生物之增殖過程

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，即行進入體內呼吸期，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。

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。



- 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

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，合計稱為凱氏氮，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。

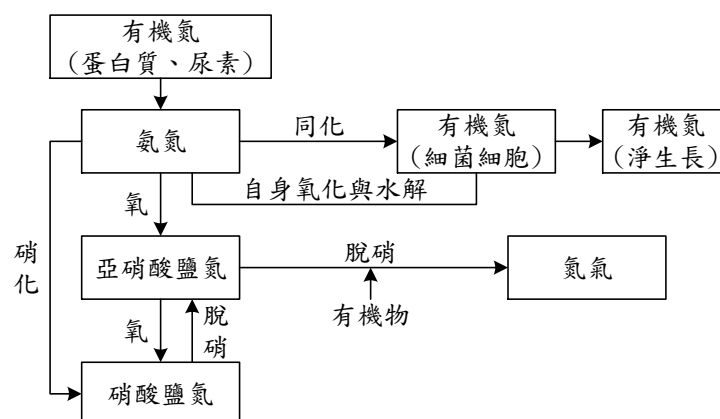
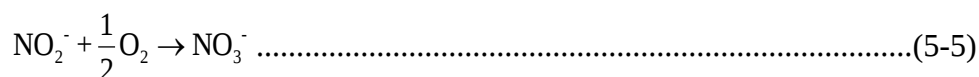
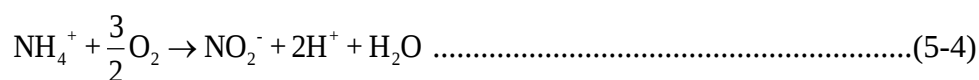
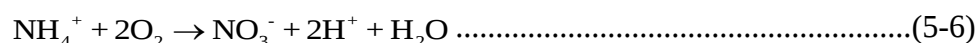


圖 5.7 氮處理程序中氮之轉換流程

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：



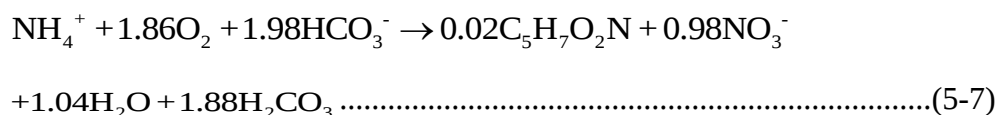
其總反應式為：



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 O₂/g N，其中 3.43 g O₂/g N 是用來形成亞硝酸氮，1.14 g O₂/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 O₂/g N，細胞生長率(cell yield)分別為 0.15 g O₂/g NH₄-N oxidized 和 0.02 g O₂/g NO₂-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：



此外，由方程式中可計算出每 g 的 NH₄-N 硝化會消耗 7.14g 的鹼度 (asCaCO₃)，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。

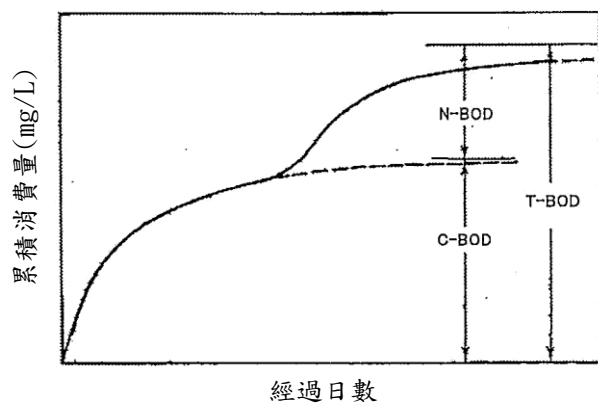


圖 5.8 BOD 的概念圖

又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，可藉添加氫氧化鈉或於脫氮時所產生的鹼度，恢復其 pH。

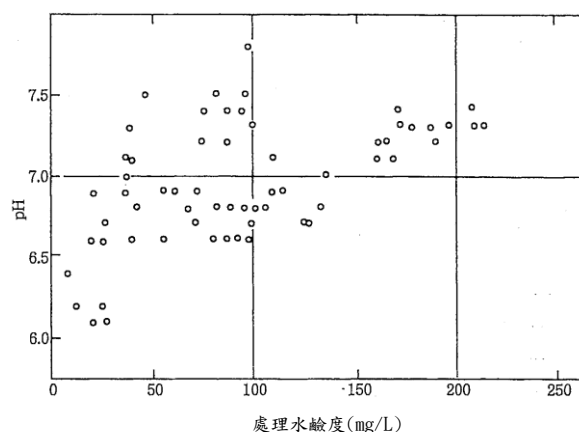
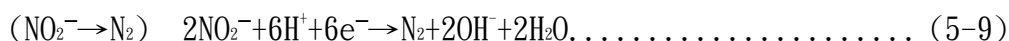


圖 5.9 處理水鹼度及 pH 之關係例

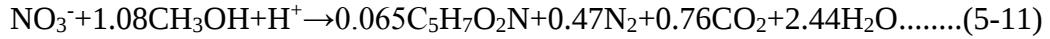
5. 脫硝作用

脫硝作用係以有機物作為氮之電子接受者，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：



上述反應中之 (H^+) 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，1g 的硝態氮會產生 3.57g 的鹼度，2.86g 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，則其以下式表之。



由上式知脫硝反應每去除 1g 的硝酸鹽氮會消耗 2.47 g 的甲醇，甲醇 1 g 約 BOD 1g，因之脫硝時所需 BOD 量約 2.5 g BOD/ g $\text{NO}_3\text{-N}$ ，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 所示，於缺氧階段，水中 $\text{NO}_x\text{-N}$ 逐步降低至完全脫硝，BOD 濃度同時降低，於好氧階段， $\text{NH}_4\text{-N}$ 降低，同時 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度增加，達成硝化作用。

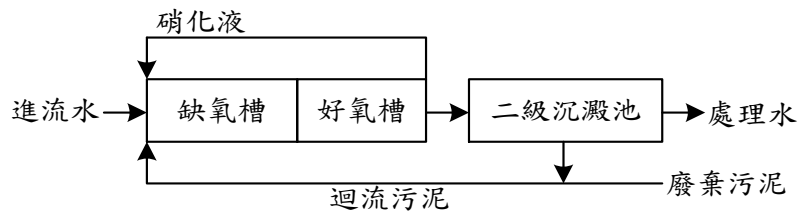


圖 5.10 典型缺氧好氧脫氮程序

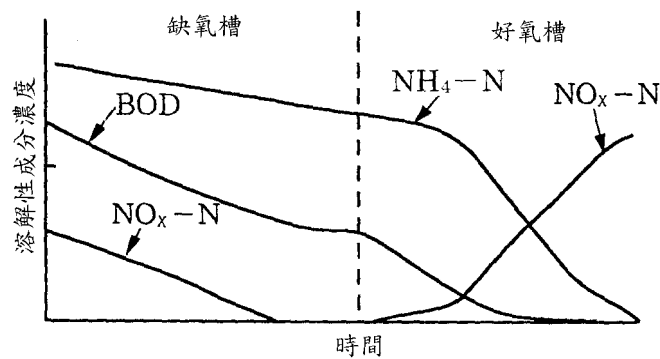


圖 5.11 去氮系統反應槽中 BOD 及氮化物的變化

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。

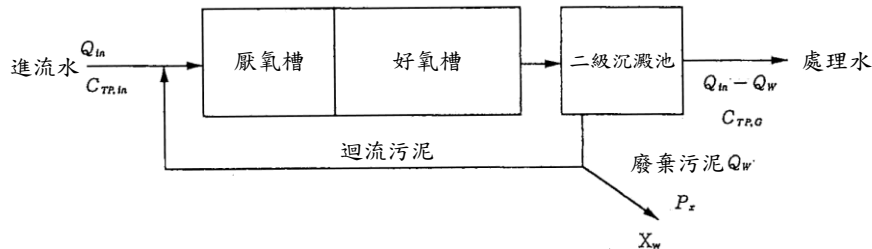


圖 5.12 活性污泥法除磷平衡圖

反應槽及其相關之磷的質量平衡可以下式表之。

$$Q_{in} \cdot C_{TP,in} = Q_w \cdot X_w \cdot P_x + (Q_{in} - Q_w) C_{TP,G} \dots \dots \dots (5-12)$$

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 表之。

$$C_{TP,G} = \frac{1}{Q_{in} - Q_w} (Q_{in} \cdot C_{TP,in} - Q_w \cdot X_w \cdot P_x) \dots \dots \dots (5-13)$$

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。

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，則可分為：

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，而有柱塞流動型及完全混合型兩種，也有其中間型者。如圖 5.14。

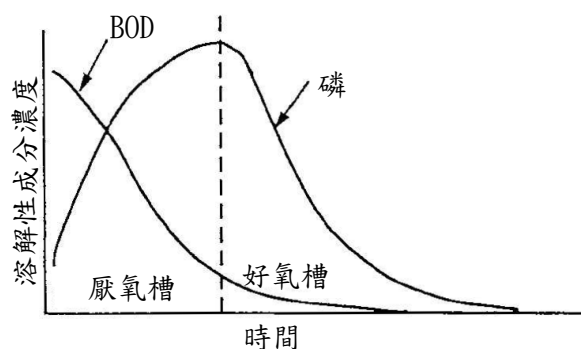
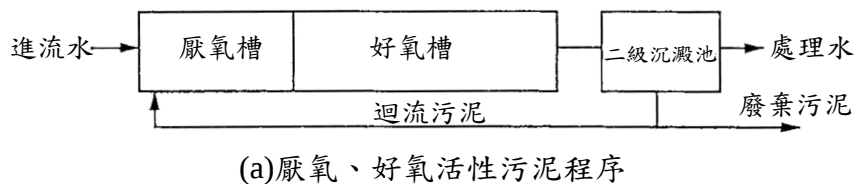


圖 5.13 生物除磷之原理(厭氧、好氧狀態磷濃度變化)

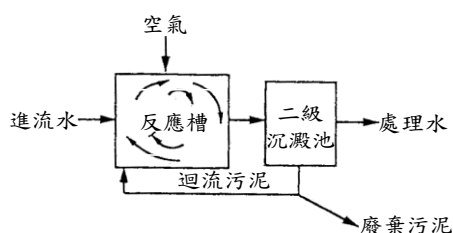
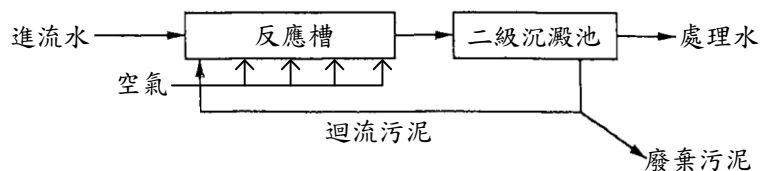


圖 5.14 曝氣槽的反應型式

(1) 柱塞流動型

柱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 BOD 負荷漸次減少，倘流入污水之 BOD 負荷增大時，槽之流入部附近就常有溶氧不足的現象。

(2)完全混合型

槽之形狀及散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 BOD 污泥負荷一定，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。

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 或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，再於好氧狀態攝取磷，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，包括有 HRT(水力停留時間)、SRT(固體物停留時間)、有機負荷(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，其相當 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，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，可以下式表之：

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = \mu X \dots\dots\dots(5-14)$$

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

$$\mu = \frac{(dX/dt)_g}{X} \dots\dots\dots(5-15)$$

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：

$$\mu = \mu_m \left(\frac{S}{K_s + S} \right) \dots\dots\dots(5-16)$$

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)

K_s ：飽和常數， $\mu = \frac{\mu_m}{2}$ 時基質濃度(mg/L)

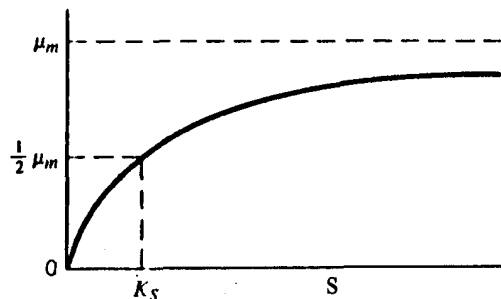


圖 5.15 微生物比增殖速率與基質濃度之關係

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

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = \frac{\mu_m X \cdot S}{K_s + S} \dots\dots\dots(5-17)$$

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之：

$$X_m - X_0 = YS_0 \dots\dots\dots(5-18)$$

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_0 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

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = Y\left(\frac{dS}{dt}\right)_u \dots\dots\dots(5-19)$$

基質濃度極低時，可將(5-19)式代入(5-17)式，得(5-20)式如下：

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_u = \frac{\mu_m X \cdot S}{Y(K_s + S)} \dots\dots\dots(5-20)$$

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，此可以下式表之：

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_d = -k_d X \dots\dots\dots(5-21)$$

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。

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g^{net} = \frac{\mu_m X \cdot S}{K_s + S} - k_d X \dots\dots\dots(5-22)$$

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g^{net} = Y\left(\frac{dS}{dt}\right)_u - k_d X \dots\dots\dots(5-23)$$

將(5-22)除以 X ，即得修正之 Monod 式

$$\mu_{\text{net}} = \mu_m \frac{S}{K_S + S} - k_d \dots\dots\dots(5-24)$$

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

$$Y_{\text{obs}} = \frac{(dX/dt)_g}{(dS/dt)_u} - k_d \frac{X}{(dS/dt)_u} \dots\dots\dots(5-25)$$

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

$$\frac{dX/dt}{X} = Y \frac{dS/dt}{X} - k_d \dots\dots\dots(5-26)$$

上式為有限量及有限時間時

$$\frac{1}{X/(\Delta X/\Delta t)} = Y \frac{\Delta S/\Delta t}{X} - k_d \dots\dots\dots(5-27)$$

(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) 表之。又 $X/(\Delta X/\Delta t)$ 為平均污泥停留時間，以 (θ_c) 表之，則(5-28)可改寫為

$$\frac{1}{\theta_c} = Yq - k_d \dots\dots\dots(5-28)$$

式中：

q ：比基質利用率(Specific substrate utilization rate)

θ_c ：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。

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	day ⁻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	0.25-0.4	0.4
k _d	day ⁻¹	0.04-0.075	0.06

註：μ_m=Yk, k=q_m(最大比基值利用率)

20°C 參考值

為達到上述諸條件，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，再經曝氣處理後，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。

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，另行處理或處分之。

2. 固體物停留時間(SRT)

在一個有迴流污泥的活性污泥反應槽(如圖 5.16)，以 Q₀、S₀、X₀ 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之。

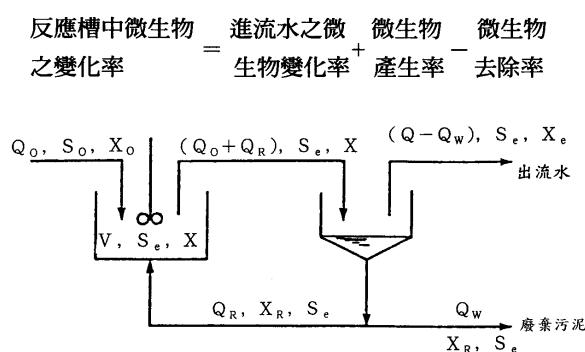


圖 5.16 活性污泥法反應槽質量平衡示意圖

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(X₀)甚低予以省略，則可示如式：

$$\frac{dX}{dt}V = \mu XV - [(Q_0 - Q_w)X_e + Q_w X_R] \dots\dots\dots(5-29)$$

$$\text{簡化之 } \frac{dX}{dt} = \mu X - \frac{[(Q_0 - Q_w)X_e + Q_w X_R]}{V} \dots\dots\dots(5-30)$$

在穩定狀態(Steady State)下設 $\frac{dX}{dt} = 0$ ，則

$$\mu = \frac{(Q_0 - Q_w)X_e + Q_w X_R}{VX} \dots\dots\dots(5-31)$$

$$\text{代入得污泥齡 } \theta_c = \frac{VX}{(Q_0 - Q_w)X_e + Q_w X_R} \dots\dots\dots(5-32)$$

即 $\mu = \frac{1}{\theta_c}$ ，上式污泥齡(θ_c)並未包括微生物自行減衰之減少量，而實際 θ_c

則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, θ_m)，則

$$\theta_m = \frac{VX}{(Q_0 - Q_w)X_e + Q_w X_R + k_d XV} \dots\dots\dots(5-33)$$

3. 有機負荷(Food : Microorganism ratio, F/M ratio)

若活性污泥反應之周邊，以基質平衡關係表之，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]。改以方程式表之

$$\frac{dS}{dt} V = Q_0 S_0 + Q_R S_e - \left[\frac{\mu XV}{Y} + (Q_0 + Q_R) S_e \right] \dots\dots\dots(5-34)$$

簡化之

$$\frac{dS}{dt} = \frac{Q_0}{V} (S_0 - S_e) - \frac{\mu X}{Y} \dots\dots\dots(5-35)$$

當在穩定狀態，則假設 $\frac{dS}{dt} = 0$

$$\text{則 } \frac{\mu}{Y} = \frac{Q_0 (S_0 - S_e)}{VX} \dots\dots\dots(5-36)$$

上式 $\frac{\mu}{Y}$ 可以 q 表示之

$$q = \frac{Q_0 (S_0 - S_e)}{VX} \dots\dots\dots(5-37)$$

q 為總基質量被總微生物之利用率

$$\text{若 } E = \frac{(S_0 - S_e)}{S_0} \times 100 \dots\dots\dots(5-38)$$

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

$$\frac{F}{M} = L_s = \frac{(Q_0 \cdot S_0)}{VX} \dots\dots\dots(5-39)$$

$$q = \frac{(Q_0 \cdot S_0)}{VX} \times \frac{(S_0 - S_e)}{S_0} = \frac{(F/M)E}{100} \dots\dots\dots(5-40)$$

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y(F/M)E}{100} - k_d \dots\dots\dots(5-41)$$

又負荷量也有以容積負荷(L_v ，kgBOD/ $m^3 \cdot d$)表示：

$$L_v = \frac{Q_0 \cdot S_0}{V} \dots\dots\dots(5-42)$$

曝氣槽單位容積 BOD 負荷量，可以曝氣槽之容積和 BOD 與流量之積計算之。

BOD 負荷量增加，則 BOD 去除率降低。BOD 負荷量與有機物之分解及污泥增殖之關係，如圖 5.17。即 BOD 負荷愈大，未淨化之有機物量愈多，處理水水質愈差。BOD 負荷量之不同，污泥之沉降性也異。為獲得良好的處理水，在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/ $m^3 \cdot d$ 、BOD 污泥負荷 0.2~0.4 kg BOD/kg MLSS · d 為宜。

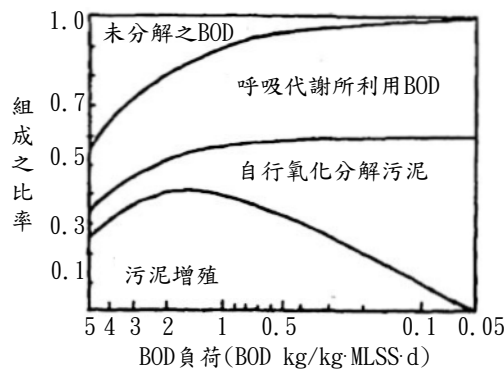


圖 5.17 BOD 負荷及有機物之分解和污泥增殖之關係

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之。

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} - k_d X \dots\dots\dots(5-43)$$

$$\mu = Yq - k_d \dots\dots\dots(5-44)$$

$$\text{改寫之 } q = \frac{(1/\theta_C + k_d)}{Y} \dots\dots\dots(5-45)$$

$$\text{依(5-45)} \frac{1/\theta_C + k_d}{Y} = \frac{Q_0(S_0 - S_e)}{VX} \dots\dots\dots(5-46)$$

調整上式，得反應槽中微生物濃度為

$$X = \frac{YQ_0(S_0 - S_e)}{V(1/\theta_C + k_d)} \dots\dots\dots(5-47)$$

一般以下式表之

$$X = \frac{YQ_0(S_0 - S_e)\theta_C}{V(1 + k_d\theta_C)} \dots\dots\dots(5-48)$$

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

$$V = \frac{YQ_0(S_0 - S_e)\theta_C}{X(1 + k_d\theta_C)} \dots\dots\dots(5-49)$$

另污泥產生量(P_X ，kgVSS / d)則可改寫為

$$P_X = \frac{YQ_0(S_0 - S_e)}{1 + k_d\theta_C} \dots\dots\dots(5-50)$$

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之。

$$\theta = \frac{V}{Q_0} \dots\dots\dots(5-51)$$

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)。

$$L_v = \frac{Q_0 \cdot S_0}{V} \times 10^{-3} = \frac{1}{\theta} \times S_0 \times 10^{-3} \dots\dots\dots(5-52)$$

$$L_s = \frac{Q_0 \cdot S_0}{X \cdot V} \times 10^{-3} = \frac{S_0}{X} \times \frac{1}{\theta} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(5-53)$$

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 及有機負荷率或 F/M 比為一重要因子。

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)表之。

SVI 乃曝氣槽內之混合液在 100 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 表之。

$$SVI = \frac{\text{活性污泥30分鐘沉澱率}(\%) \times 10^4}{\text{曝氣槽內混合液MLSS濃度}(\text{mg/L})} \dots\dots\dots(5-54)$$

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 BOD 負荷量有密切的關係。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、BOD 污泥負荷及有毒物質等。

一般污水處理廠大都考量以 SVI 大時仍能充分處理設計之，大處理廠採用 SVI 150 mL/g，中小處理廠採用 300 mL/g 設計。但實際操作時仍以 SVI 愈小，達到安定操作為目標。

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之。

$$Q_R X_R = (Q_R + Q_0) X \dots\dots\dots(5-55)$$

$$Q_R = \frac{Q_0 X}{X_R - X}$$

$$R = \frac{Q_R}{Q_0} = \frac{X}{X_R - X} \dots\dots\dots(5-56)$$

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

$$X = \frac{10^6}{SVI} \times \frac{R}{1+R} \dots\dots\dots(5-57)$$

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。

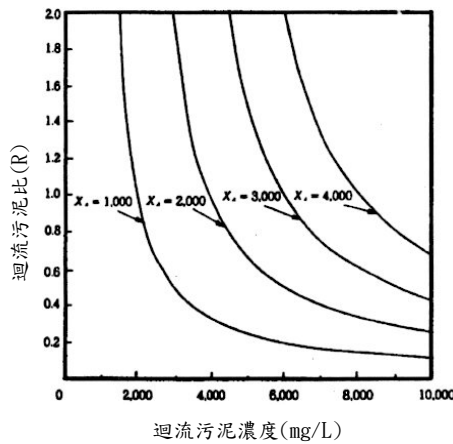


圖 5.18 一定 MLSS 濃度下，迴流污泥濃度與迴流比之關係

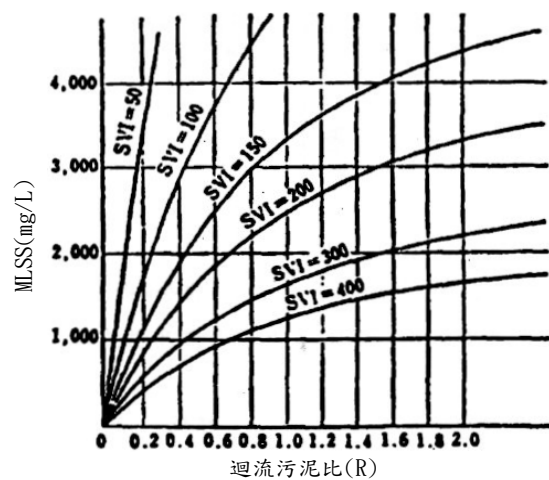


圖 5.19 迴流污泥比、SVI 和 MLSS 之關係

8. 硝化及脫硝作用

(1) 硝化作用

硝化之原理及作用，已於 5.2 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：有機負荷 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。處理水 BOD 高低，呈現有機負荷的影響，其對氨氮去除率之影響如圖 5.20。

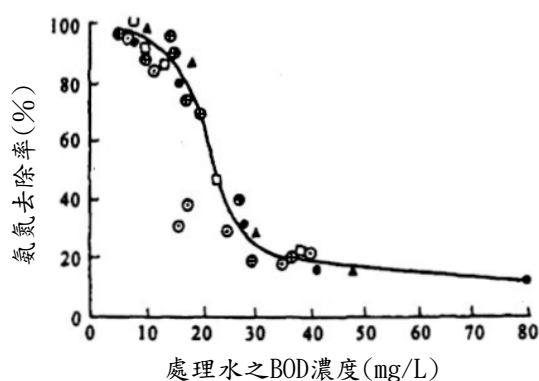


圖 5.20 處理水 BOD 對氨氮去除之影響

- ③ 溫度：溫度的影響與一般活性污泥法相同，溫度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 $20\sim 35^{\circ}\text{C}$ 。

硝化之溫度影響關係式如下：

$$\mu_{m'} = \mu_m \exp[0.098 - (T - 15)] \dots\dots\dots (5-58)$$

式中：

$\mu_{m'}$ ： $T^{\circ}\text{C}$ 時硝化反應之最大比生長速率(L/d)

μ_m ： 15°C 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)

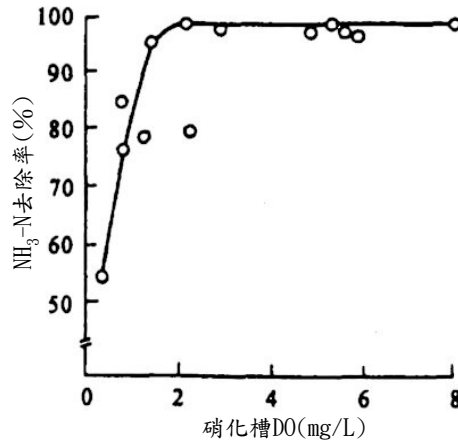


圖 5.21 硝化槽 DO 與氨氮去除率之關係

- ⑤ pH：由於硝化作用會消耗鹼度(7.14 mg/mgN as CaCO₃)，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)。

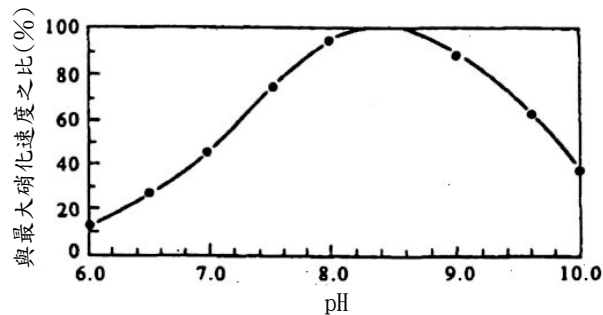


圖 5.22 pH 變化對最大硝化速度之影響

- 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 溫度：脫硝作用如同硝化作用，受溫度的影響至大(如圖 5.23)，最適脫硝溫度為 25~40℃，脫硝率之溫度變化如下式：

$$P = P_{20} \theta^{T-20} \dots\dots\dots (5-59)$$

式中：

P_{20} ：20℃ 時之比脫硝率(%)

T ：T℃

θ ：溫度係數

P：特定溫度時之脫硝率

② 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。

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

$$R'_{DN} = R_{DN}(1 - DO) \dots\dots\dots(5-60)$$

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 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。但在硝化槽中若有有機物負荷過高，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。故目前多將脫硝槽置於硝化槽之前，以利脫硝作用的進行，並降低脫硝槽的碳/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。

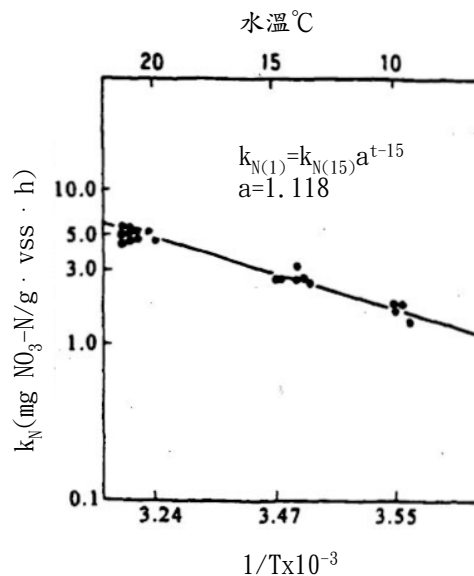


圖 5.23 溫度與脫硝速率之關係

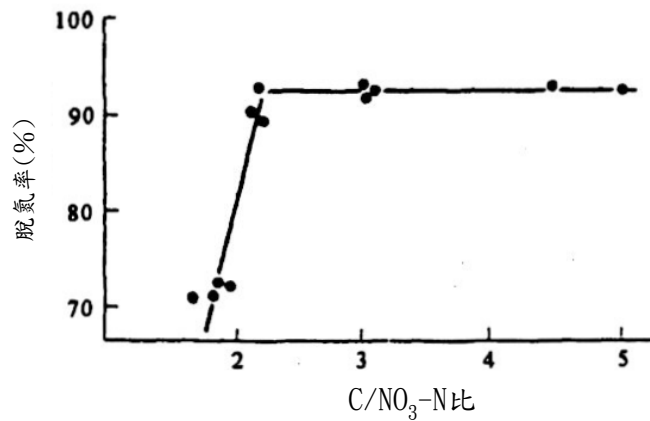


圖 5.24 C/N 比對脫氮率之影響

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		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

9. 生物除磷

生物除磷之原理及作用，已於 5.2 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°C 間有最大好氧磷攝取量。

(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。

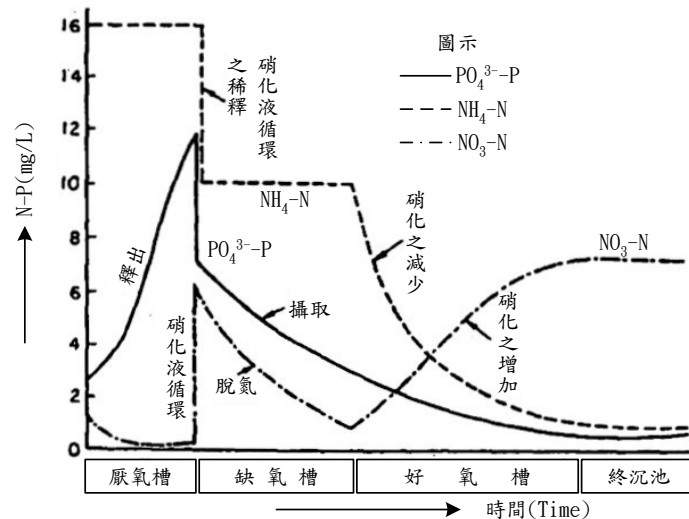


圖 5.25 厭氧/好氧程序對磷的去除特性之典型示意圖

- (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、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) 污泥齡(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，污泥齡(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(平均細胞停留時間)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		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 cell 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則因選用流程不同，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. 設計水質則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以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)，選擇污泥體積指數(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、階梯曝氣法、深層曝氣法、延時曝氣法、氧化渠法、分批式活性污泥法(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)，說明如下：

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，配合各生長階段的活性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，包括階梯曝氣法、延時曝氣法、氧化渠法、分批式活性污泥法(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

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物質，上澄液即為處理水，沉澱之懸浮物部分迴流生物反應槽，一部分則成為廢棄污泥排除。

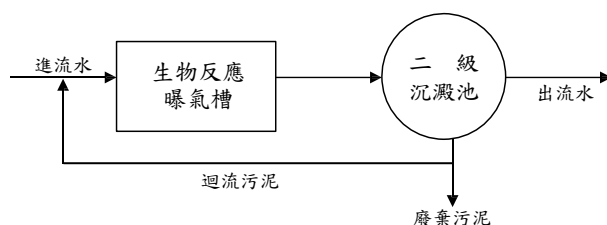


圖 5.26 標準活性污泥法(Activated Sludge)示意圖

2. 階梯曝氣法

為達生物反應槽內混合液之氧利用量均勻化，將狹長生物反應槽分成數處分別流入污水方法，稱為階梯曝氣法，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。

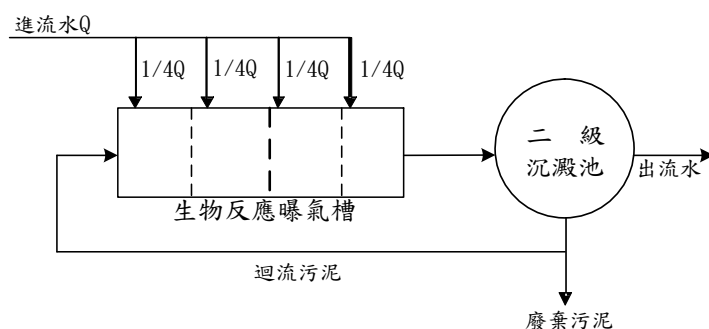


圖 5.27 階梯曝氣法(Step Feed Aeration)示意圖

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 (二級沉澱池槽)	4~6	4~6	5~10	50~100	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
延時曝氣法	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	0.05~0.10	3,000~4,000	2~5	24~36	20~40	120~200	繞流式完全混合形 可無初級沉澱池
分批式活性污泥法(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)	4~5	24~48	—	排水比 1/6~1/3 (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)				排水比 1/4~1/2 (低負荷型)	
活性污泥膜濾法(MBR)	為有細篩，初級沉澱池，附有 MF 或 UF 膜代替二級沉澱池	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)	無	柱塞流式、完全混合式

註：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。

*：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。

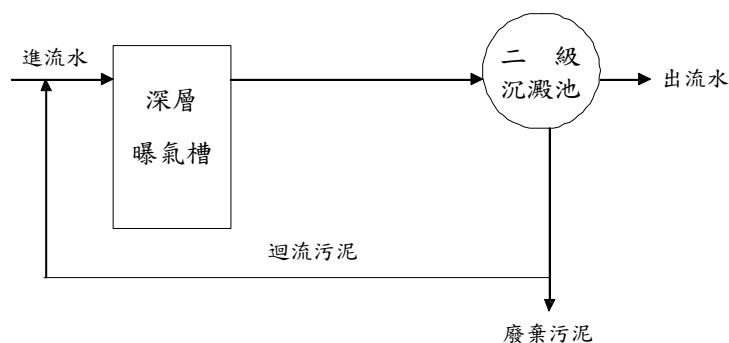


圖 5.28 深層曝氣法(Deep Tank Aeration)示意圖

4. 延時曝氣法

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 BOD 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

氧化渠法與延時曝氣法原理相同，但處理設施不同，為深 2 至 5 m 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。

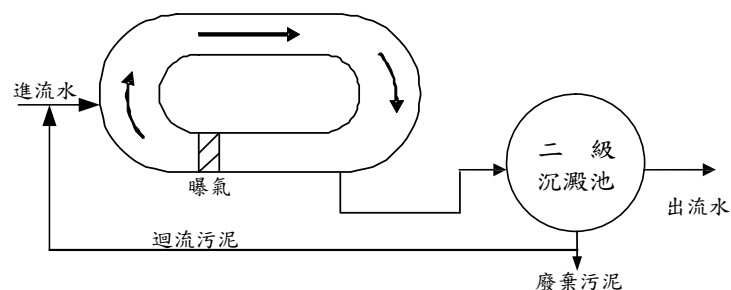


圖 5.29 氧化渠法(Oxidation Ditch)示意圖

6. 分批式活性污泥法(SBR)

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，其一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。

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。

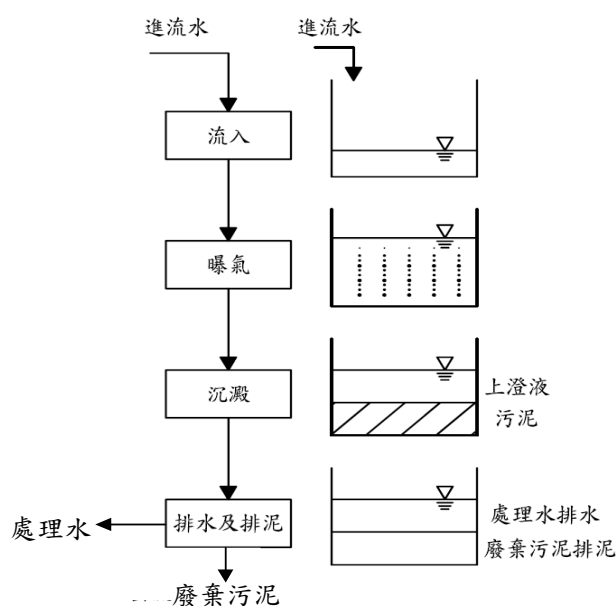


圖 5.30 分批式活性污泥法(Sequencing Batch Reactor)示意圖

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)加設薄膜(Membrane)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組進行固液分離，可取代傳統生物處理系統之沉澱池、砂濾及消毒單元，惟膜組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。

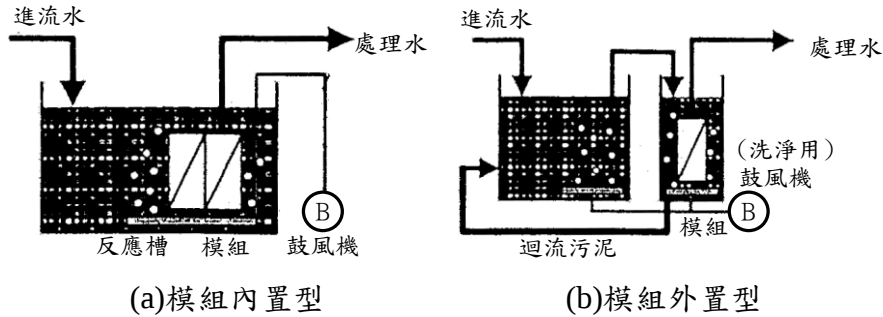


圖 5.31 活性污泥膜濾法(Membrane Bioreactor, MBR)示意圖

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，其處理方法包括有MLE、硝化內生脫硝(OAO)、MSBR、Bardenpho、氧化渠法、AOMBR、多段進流(TNCU 及 Metcalf Eddy/Aecom)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. MLE 程序(modified ludzack-ettinger process)

為將反應槽分割為兩部分，於前段缺氧槽以進流水 BOD 作為碳源進行脫硝反應，而於後段好氧槽行硝化反應。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，總氮去除率約在 50~60%，另包括排泥去除，則約 60~70%。

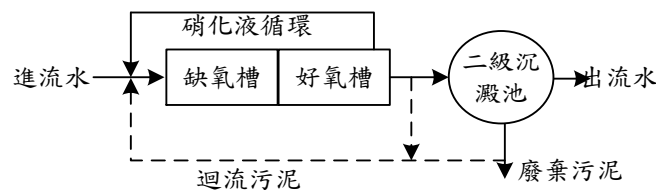


圖 5.32 MLE 去氮程序

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 (d)	MLSS (mg/L)	水力停留時間(hr)			污泥迴流 率(%)	硝化液循 環率(%)
					缺氧段	好氧段	合計		
MLE	為以前段進流水之 BOD 為碳源脫硝，後 段進行硝化反應	0.1~0.2	11~15	2,000~4,000	6	8~12	14~18	50~100	100~200
硝化內生脫硝	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	0.1~0.2	11~15	2,000~4,000	3~4	11~14	14~18	50~100	不迴流硝 化液(不設 初沉池)
MSBR	為一單槽分批進水同 槽生物反應、沉澱分離	0.1~0.2	10~30	3,000~4,000	可變動	可變動	20~30	-	-
Bardenpho (4 段式)	為四段式系統，混合液 循環之方法	0.1~0.2	10~20	3,000~4,000	1~3 (第 1 段 2~4)	4~12 (第 2 段 0.5~1)	8~20	50~100	200~400
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	0.1~0.2	20~30	2,000~4,000	好氧缺氧時間比 1 : 1		18~24	50~100	-
活性污泥膜濾法 (AOMBR)	為於 MBR 系統中，置 前段為缺氧，後段為好 氧	依 MLSS 濃 度而定	長 (依 MLSS 濃 度而定)	6,000~8,000*	2~3	2~3	4~6	-	100~300
多段進流 (Step Feed)	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	11~15	2,000~3,000 (最終段)	配合進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，為高 去氮需求 可增設

*同表 5.5 備註

2. 硝化內生脫硝法

本法流程如圖 5.33，係 Whurmann 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，以使流出水處於好氧狀態，而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總氮可望去除達 70%~90% 以上，反應槽容量要較 MLE 法大 1.2~1.3 倍。脫硝槽應維持 DO 在 0.5 mg/L 以下，以達脫硝。本法為保脫硝所需碳源可不設初級沉澱池。

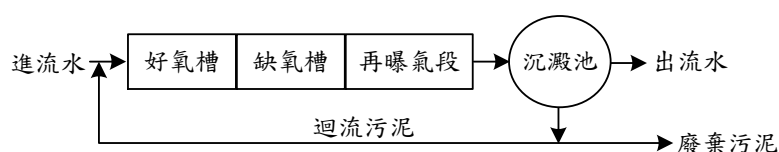


圖 5.33 硝化內生脫硝程序

3. SBR 程序

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。

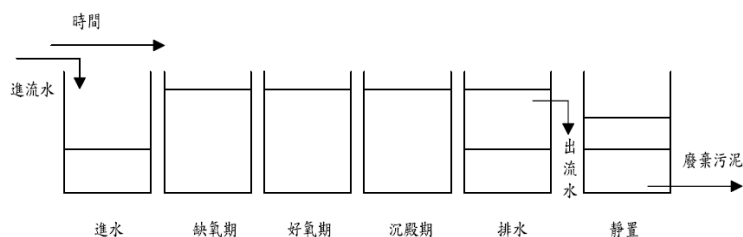


圖 5.34 SBR 處理程序循環示意圖

4. 氧化渠程序

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，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，總氮約可去除 85%。

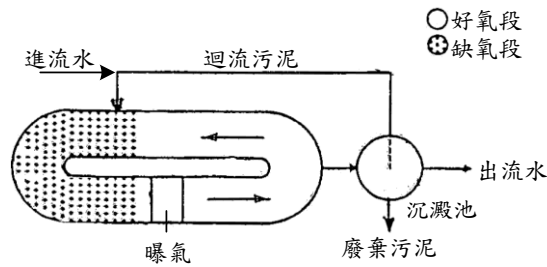


圖 5.35 氧化渠去氮處理程序

5. Bardenpho 程序

Barnard 為改進 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的目的。

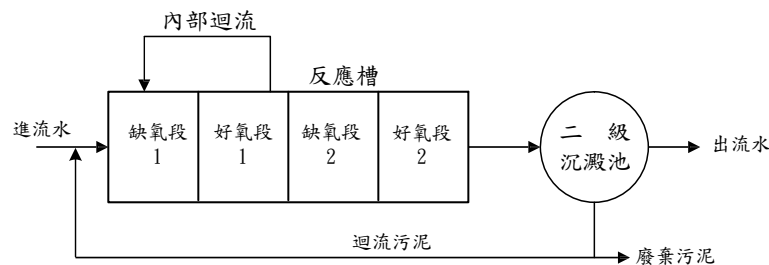


圖 5.36 Bardenpho 去氮程序示意圖

6. AOMBR 程序

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，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 5.5.7 節。

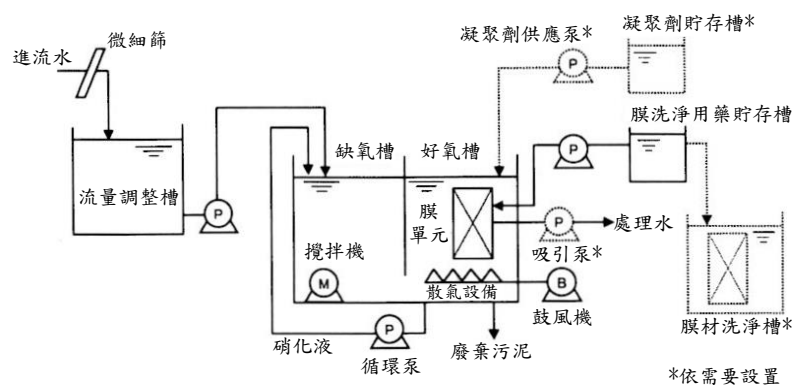


圖 5.37 硝化脫硝活性污泥膜濾系統圖(AOMBR)

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，惟如須泵浦送大量之硝化液內部循環來達到脫硝效果時，將消耗較高動力，而多段進水去氮處理程序，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，因此多段進水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。

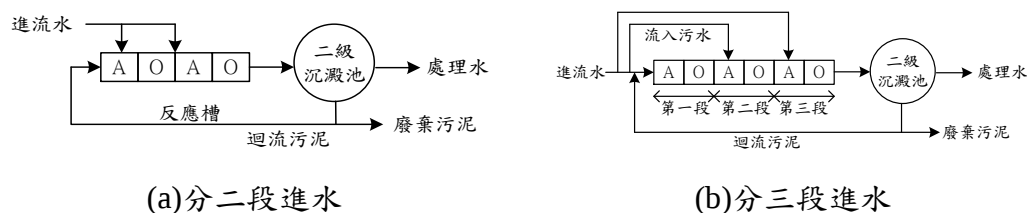


圖 5.38 多段進水去氮程序示意圖
(A：缺氧段、O：好氧段)

多段進水應用者有兩段進水、TNCU 的三段進水及 Metcalf 及 Eddy/Aecom 的四段進水。三段進水流量比為 0.7、0.2 及 0.1，且因前段 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 $\text{NO}_3\text{-N}$ 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。

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。惟其最後段進流比比比較大，其出流水恐仍有未硝化之氨氮，存在量有較高之虞。

多段進水對於其各分段之進流量，應能精確分流。

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，包括有 A^2O 法、Modified Bardenpho 法、MUCT 法、VIP 法、MSBR 法、TNCU 法及硝化內生去氮除磷法等，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。並說明如下：

1. A²O 處理方法：

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，及較高之有機負荷量。本法約可去除總氮 60~70%，總磷 70~80%。

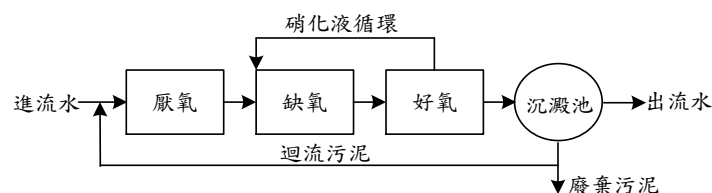


圖 5.39 A²O(ANAEROBIC/ANOXIC/OXIDE)處理程序示意圖

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。

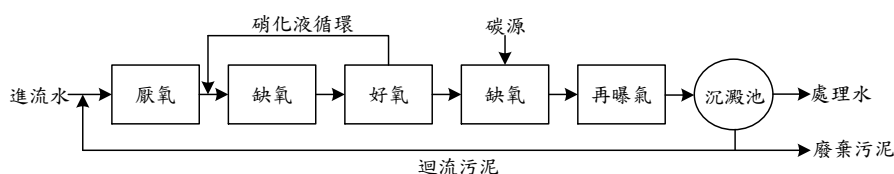


圖 5.40 MODIFIED BARDENPHO 處理程序示意圖

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)						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 ² O	反應槽分厭氧、缺氧段、硝化液循環	0.1~0.2	11~15	2,000~ 3,000	0.5~1.5	1~3	—	4~8	—	5.5~12.5	20~100	100~400
Modified Bardehuo	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	11~15	2,000~ 3,000	1~2	2~4	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	11~15	2,000~ 3,000	1~2	2~4	2~4	4~12	—	9~22	80~100	100~600
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	11~15	2,000~ 3,000	1~2	1~2	—	2.5~4	—	4.5~8.0	80~100	200~400
MSBR	為單一槽分批進水同槽生物反應，沉澱分離	0.1~0.2	11~15	2,000~ 3,000	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	9~12	20~50	—
								好氧(3) 1.0~1.5				
硝化內生去 氮除磷法	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	—

*本表整理自日本下水道協會「下水道施設計畫・設計指針と解説」及 Metcalf & Eddy/Aecom(Wastewater Engineering)(2015)

3. 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 A²O 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。

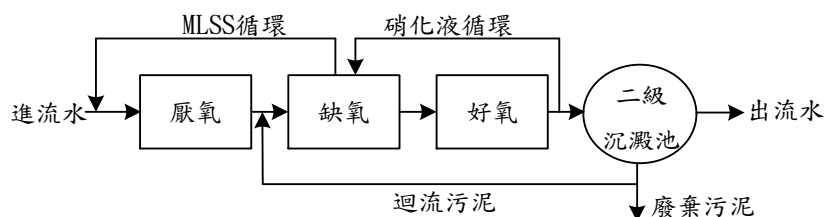


圖 5.41 MUCT(UNIVERSITY OF CAPE TOWN)處理程序示意圖

4. VIP 處理方法：

本法處理程序如圖 5.42，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。本法操作系統複雜，迴流系統多，氮去除效果佳。

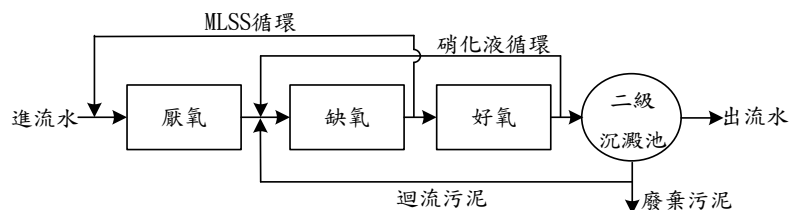


圖 5.42 VIP(VIRGINIA INITIATIVE PLANT)處理程序示意圖

5. MSBR 處理方法：

MSBR(Modified 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、沉澱期及排水和排泥之操作，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。

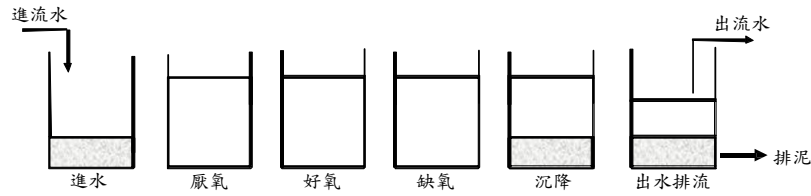


圖 5.43 MSBR(MODIFIED SEQUENTIAL BATCH REACTORS)處理程序示意圖

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 AOA 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。

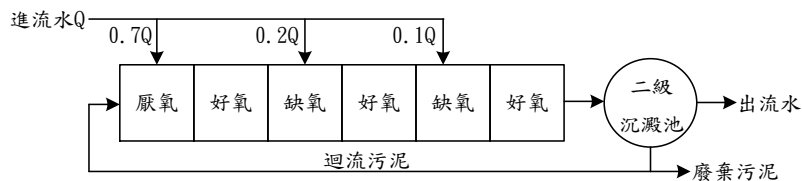


圖 5.44 TNCU(TAIWAN NATIONAL CENTRAL UNIVERSITY)處理程序示意圖

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」。

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：

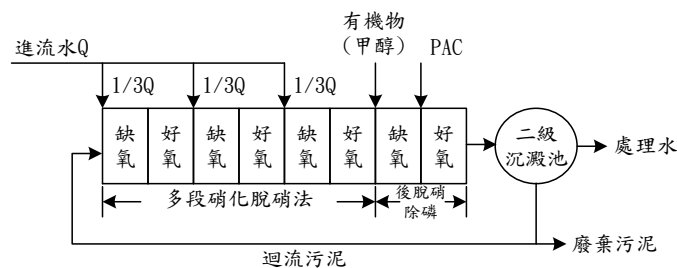


圖 5.45 多段硝化脫硝法+後脫硝及除磷程序

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 A²O 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 A²O 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. 硝化內生去氮除磷法：

硝化內生去氮除磷法，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。

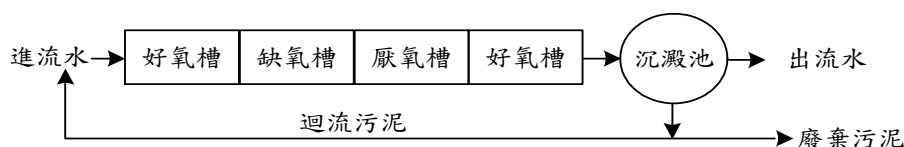


圖 5.46 硝化內生脫硝除磷系統

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 OPR 計，以為操作控制之掌握。

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負荷標準、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)依污泥負荷計算：

$$V = \frac{Q(S_o - S_e)}{L_s X} \dots\dots\dots(5-61)$$

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 ² O 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，亦因堵塞水流的緣故，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. 為使好氧槽氮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 A²O 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堵塞水流的緣故，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水及厭氧槽提供，可不用外加鹼度。	1. 由於進流水以定量多段進水，因之進流分水要特別設計。 2. 厭氧槽之厭氧菌由於堵塞水流的緣故，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。

(2)依污泥泥齡計算：

$$V = \frac{QY\theta_c(S_o - S_e)}{X_v(1 + k_d\theta_c)} \dots\dots\dots(5-62)$$

式中：

V：反應槽的容積(m³)

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(m³/d)

L_s：反應槽的 5 日生化需氧量污泥負荷[kgBOD₅/(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/kgBOD₅)(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：設計污泥齡 SRT(d)

k_d：衰減係數(d⁻¹)

(3)θ_c(SRT)

θ_c 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，最小污泥齡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 最小污泥齡與微生物比生長率最小參考值

處理目標	SRT 範圍(日)	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/Diagger/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：

$$k_{dT} = k_{d20} \times (\theta_T)^{T-20} \dots\dots\dots(5-63)$$

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

$$P_X = \frac{QY_c(S_o - S_e)}{1 + k_d\theta_c} \dots\dots\dots(5-64)$$

式中：

P_X ：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，校核有機負荷食微比、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 5.2.2，其中完全混合型，進流污水和迴流污泥流入反應槽後，就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)延時曝氣法、氧化渠法、分批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，其設計可參考另相關技術應用手冊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、N₂O 及 N₂。

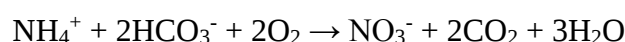
(2)硝化作用主要受 pH、溶氧、碳氮比、溫度、水力停留時間、污泥停留時間、分子氮濃度等因子影響。

(3)相關反應式

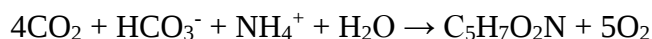
A. 硝化理論需氧量為 4.57 g-O₂ / g-N，反應式如下：



B. 硝化理論鹼度消耗量為 7.14 g-CaCO₃ / g-N，反應式如下：

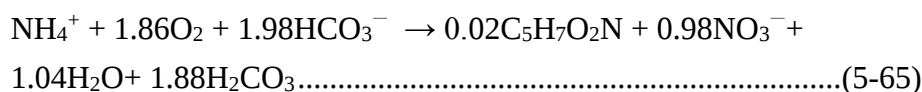


C. 氨氮轉化成生物細胞反應式如下

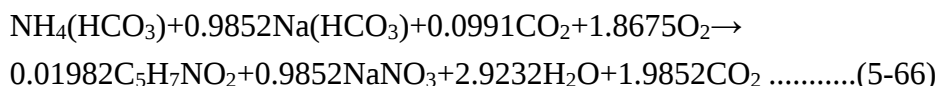


D. 總反應可參考如下：

(A) 依本章 5.2 硝化作用總反應式



(B) 參考 Metcalf & Eddy/Aecom“Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery”5th. P.623 ,2014



E. 硝化比生長率

硝化比生長率計算參考如下，與最小污泥齡 $\theta_{c,\min}$ 成倒數關係：

參考 Metcalf & Eddy/Aecom“Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery”5th. P.762 ,2014

$$\mu_n = \mu_{nm} \times \left(\frac{S_{\text{NH}_4\text{-N}}}{K_n + S_{\text{NH}_4\text{-N}}} \right) \times \left(\frac{S_{\text{O}_2}}{K_o + S_{\text{O}_2}} \right) - K_{dn} \dots\dots\dots(5-67)$$

式中：

μ_{nm} ：硝化菌最大比生長率(1/d)

$S_{\text{NH}_4\text{-N}}$ ：氨氮濃度(mg/L)

K_n ：硝化半飽和常數(mg/L)

S_{O_2} ：溶氧濃度(mg/L)

K_o ：溶氧半飽和常數(mg/L)

K_{dn} ：硝化菌衰減係數(1/d)

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

$$V_{\text{NO}} = \frac{[Y_{\text{NH}}(S_0 - S) + X_i + Y_{\text{NN}} \times N_{\text{OX}}] \times Q \times \theta_{c,d}}{X} \dots\dots\dots(5-68)$$

式中：

Y_{NH} ：淨污泥產率係數(kg-VSS / kg-BOD₅)， $YH/(1 + K_d \times \theta_{c,d})$

S_0 ：進流水 BOD₅ 濃度(mg/L)

S ：出流水 BOD₅ 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-BOD₅)， $YN/(1 + K_{dn} \times \theta_{c,d})$

N_{OX} ：氨氮氧化成硝酸鹽濃度(mg/L)

$\theta_{c,d}$ ：設計污泥齡(d)，應等於 $\theta_{c,\min} \times S.F.$

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・設計指針と解説 V.1 - 前編 (2009 年版)”

$$V_A = Q_{in} \times t_A = Q_{in} \times \theta_{XA} (a \times C_{S-BOD_{in}} + b \times C_{SS_{in}}) / (1 + c \times \theta_{XA}) X \dots \dots \dots (5-69)$$

式中：

Q_{in} ：進流水量(m^3/d)

t_A ：好氧槽停留時間(d)

θ_{XA} ：好氧之固體物停留時間(A-SRT)(d)

$C_{S-BOD_{in}}$ ：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)

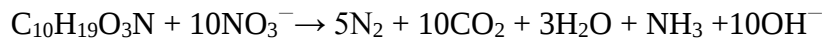
c：污泥自行分解係數(1/d)

一般 $a = 0.5 \sim 0.6$ ， $b = 0.9 \sim 1.0$ ， $c = 0.025 \sim 0.035$

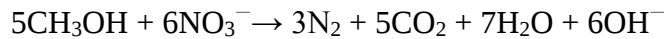
3. 脫硝反應及脫硝槽設計

一、脫硝所需碳源(電子供應者)不同時，其反應式如下

(1)污水



(2)甲醇



(3)醋酸



二、硝化液內部迴流比 R 計算

參考 Metcalf & Eddy “Wastewater Engineering Treatment and Reuse” 4th. P.758

$$IR = \frac{NO_x}{N_e} - 1.0 - r \dots \dots \dots (5-70)$$

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 r_{NO_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 “Wastewater Engineering Treatment and Reuse” 4th. P.754

$$r_{NO_x} = [0.03 \times (F/M) + 0.029] \times 1.026^{(T-20)} \dots \dots \dots (5-71)$$

(2)理論通式：參考 Metcalf & Eddy “Wastewater Engineering Treatment and Reuse” 4th. P.760

$$r_{NO_x} = \left(\frac{1-1.42Y}{2.86} \right) \times \left(\frac{kXS}{K_s + S} \right) \times \left(\frac{NO_3}{K_{s,NO_3} + NO_3} \right) \times \left(\frac{K'_O}{K'_O + DO} \right) \times \eta$$

$$+ \left(\frac{NO_3}{K_{s,NO_3} + NO_3} \right) \times \left(\frac{K'_O}{K'_O + DO} \right) \times \left(\frac{1.42}{2.86} \right) \times k_d X_\eta \dots\dots\dots(5-72)$$

式中：

K_{s,NO_3} ：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

四、脫硝槽體積計算參考如下：

(1)參考 Metcalf & Eddy “Wastewater Engineering Treatment and Reuse” 4th. P.754

$$V_{AN} = \frac{NO_r}{r_{NO_x} \times X_b} \dots\dots\dots(5-73)$$

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)”

$$V_{AN} = \frac{Q_{in} \times t_{AN}}{24} \dots\dots\dots(5-74)$$

式中：

Q_{in} ：進流量(m³/d)

t_{AN} ：缺氧槽停留時間(h)

缺氧槽進流水之停留時間一般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：

$$\text{去氮去除率} = \left(1 - \frac{TN_{ef} - TKN_{ef}}{TN_{in} - TN_{ex} - TKN_{ef}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(5-75)$$

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：

$$\text{最大去氮理論去除率} = \left(1 - \frac{1}{N} \times \frac{1}{1+r+R} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(5-76)$$

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

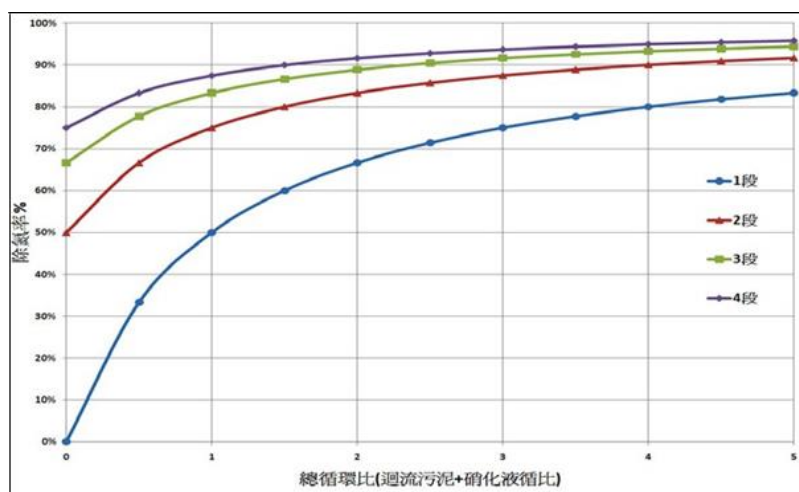


圖 5.47 去氮段數、循環比與去氮效率圖

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，以達到除磷的目的。

(2)除磷作用主要受 pH、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)”

$$V_{DN} = V_{DN+A} - V_A \dots\dots\dots(5-77)$$

$$V_{DN+A} = \frac{C_{BODin} \times Q_{in}}{L_{BOD/X} \times X} \dots\dots\dots(5-78)$$

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、缺氧槽攪拌目的以維持混合液懸浮狀態，包括沉水式攪拌、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，採多段進水之程序者，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)。

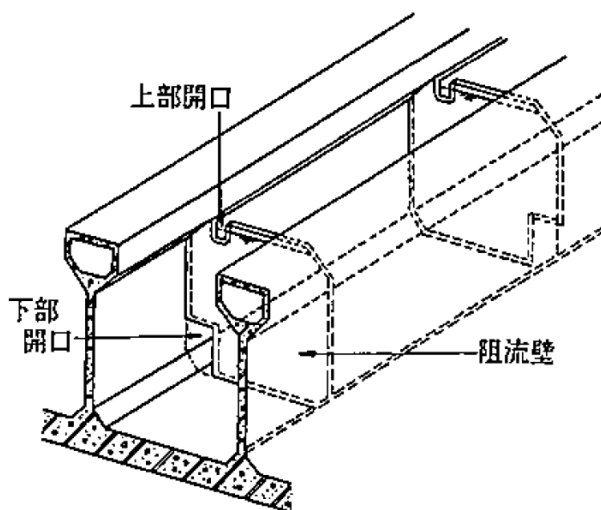


圖 5.48 反應槽池牆或隔板設置案例圖

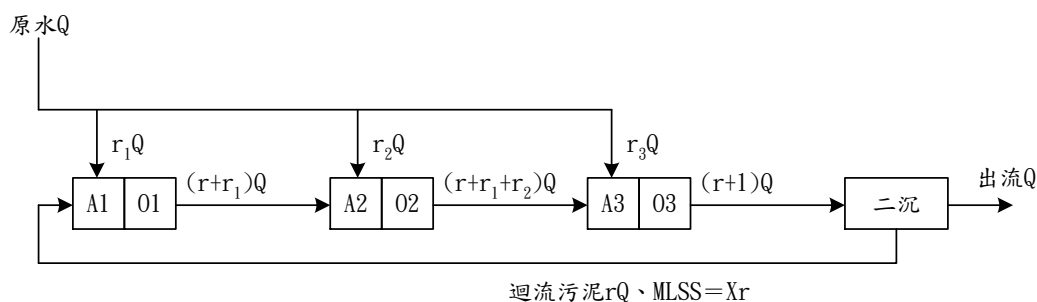


圖 5.49 多段流量反應槽 MLSS 計算方法

5.3.4 活性污泥選擇槽設計

活性污泥法缺氧性菌種選擇槽(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選擇槽，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選擇槽，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. 菌種選擇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，故菌種選擇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，有時必須檢討添加氫氧化鈉。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氮供給體(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 K_w 對於 pH 的影響甚為敏感，若 pH 值下降， K_w 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 $\Delta C_{\text{ALK}}(\text{mg/L})$ 可依下式計之：

$$\Delta C_{\text{ALK}} = 7.14 \cdot \alpha \cdot C_{\text{TN, in}} - 3.57(C_{\text{Org-N}} + C_{\text{NOx}}) + \varepsilon \cdot C_{\text{Al}} \dots\dots\dots (5-79)$$

式中：

$C_{\text{TN, in}}$ ：流入水之 T-N 濃度(mg/L)

$C_{\text{Org-N}}$ ：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)

若流入水之鹼度低，而 T-N 超過 50 mg/L 時，將明顯的會消耗多量鹼度，就有必要添加氫氧化鈉。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，就必須考量設置氫氧化鈉注入設備，其添加位置應位於好氧槽的流入端。

氫氧化鈉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，缺氧槽脫硝所需的氮供給體(有機物)無法提供時，可以甲醇為碳源，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，以防凍結。
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：

$$C_{P\cdot A\cdot out} = C_{P\cdot AN\cdot out} / (K_U \cdot X \cdot \tau_{AT} \cdot 10^{-3} + 1) \dots\dots\dots (5-80)$$

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 $C_{P\cdot eff}$ (mg/L)

K_U ：溶解性 PO_4^{3-} -P 攝取速度(1/g MLSS·h)可設定 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：

$$C_{SP\cdot eff} = C_{P\cdot eff} \times 1.02 + 0.07 \dots\dots\dots (5-81)$$

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：

$$P_X = \frac{(C_{TP\cdot in} - C_{SP\cdot eff})Q_{in}}{Q_w \cdot X_w} \dots\dots\dots (5-82)$$

式中：

$C_{TP\cdot in}$ ：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 P_X 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：

$$C_{SS\cdot G} = (C_{TP\cdot G} - C_{SP\cdot eff}) / P_X \dots\dots\dots (5-83)$$

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。

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

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。

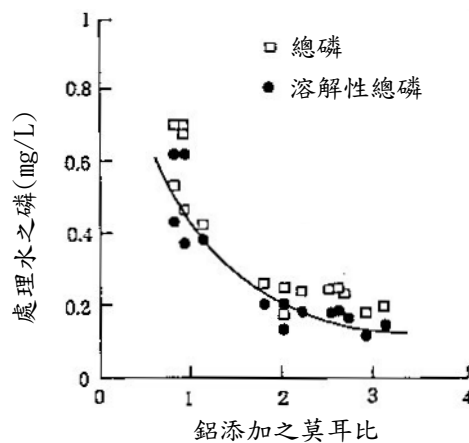


圖 5.50 處理水之磷濃度 Al/P 莫耳比之關係(調查例)

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：

$$C_{TP\cdot eff}=1\text{mg/L}$$

$$C_{SP\cdot eff}=0.4\text{mg/L}$$

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：

$$C_{TP,eff} = C_{SP,eff} + C_{PP,eff} \dots\dots\dots (5-84)$$

式中：

$C_{SP,eff}$ ：處理水之溶解性總磷濃度(mg/L)

$C_{PP,eff}$ ：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：

$$C_{PP,eff} = C_{SS,eff} \times P_X \dots\dots\dots (5-85)$$

式中：

$C_{SS,eff}$ ：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：

$$P_X = \frac{(C_{TP,in} - C_{SP,eff}) \times Q_{in} \times 10^{-3}}{L_{SS,W}} \dots\dots\dots (5-86)$$

式中：

$C_{TP,in}$ ：流入水總磷濃度(mg/L)

$C_{SP,eff}$ ：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)

$L_{SS,W}$ ：產生污泥量(kg/d)

(4) 若添加之凝聚劑為鋁鹽，污泥產生量($L_{SS,W}$)，可由下式求之：

$$L_{SS,W} = Q_{in} (a \cdot C_{S,BOD,in} + b \cdot C_{SS,in} - c \cdot X_A \cdot \tau_A + r \cdot C_{Al}) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5-87)$$

式中：

Q_{in} ：流入水量(m^3/d)

$C_{S,BOD,in}$ ：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(g MLSS/g BOD)

b ：SS 之污泥轉換率(g MLSS/g SS)

c ：污泥內分解速率(1/d)

r ：鋁鹽之固體物產生倍率

一般 a ：0.4~0.6， b ：0.9~1.0， c ：0.03~0.05， r ：5

(5) 二級沉澱池出流水 SS 量 $L_{SS,eff}$ (kg/d)，可由下式求之：

$$L_{SS,eff} = C_{SS,eff} \times Q_{in} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5-88)$$

式中：

$C_{SS,eff}$ ：處理水 SS 濃度(mg/L)

(6) 進而可依剩餘污泥固體物量($L_{SS,W} - L_{SS,eff}$)及污泥含水率 W ，求出廢棄污泥量：

$$Q_W = (L_{SS,W} - L_{SS,eff}) \times \frac{1}{1-W} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5-89)$$

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，但應防過度攪拌造成膠羽細小化，一般多在末端之前為宜。
添加劑的配管，若添加量少，而外溫偏低時，有可能造成添加劑凍結導致管線破裂，因之在寒冷季節，配管應有保溫措施。
6. 凝聚劑的貯存日數容量以 2 週以下為宜，若超過 45 天，硫酸鋁的水分有蒸發致結晶，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。微生物利用溶氧限界濃度為 0.2~0.5 mg/L。因此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)可以下式表之：

$$\text{必需氧量(AOR)} = D_B + D_N + D_E + D_O \dots\dots\dots(5-90)$$

式中：

D_B ：有機物氧化所需氧量

D_N ：硝化反應所需氧量

D_E ：內生呼吸所需氧量

D_O ：反應槽維持溶氧濃度所需氧量

1. 有機物氧化所需氧量 $D_B(\text{kgO}_2/\text{d})$

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。

$$D_B = \{ (C_{BOD_{in}} - C_{BOD_{eff}}) \times Q_{in} \times 10^{-3} - (L_{NOX_{DN}} - L_{NOX_A}) \times K \} \times A \dots \dots \dots (5-91)$$

式中：

$C_{BOD_{in}}$ ：進流水 BOD(mg/L)

$C_{BOD_{eff}}$ ：處理水 BOD(mg/L)

Q_{in} ：反應槽進流量(m³/d)

$L_{NOX_{DN}}$ ：缺氧槽 NO_x-N 負荷量(kgN/d)

L_{NOX_A} ：缺氧槽 NO_x-N 流出量(kgN/d)

K：脫氮所消耗 BOD 量(kgBOD/kgN)

A：去除單位 BOD 所需氧量(kgO₂/kgBOD)

2. 硝化反應所需氧量(kgO₂/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。

$$D_N = C \times \text{硝化之凱氏氮量(kgN/d)} \dots \dots \dots (5-92)$$

式中：

C：硝化過程中所消耗的氧量(kgO₂/kgN)

硝化之凱氏氮量：(進流水 Kj-N 量)-(流出水 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 $\times N_X$

$$\text{廢棄污泥固體物量} : (a \cdot C_{S-BOD_{in}} + b \cdot C_{SS, in-BOD_{in}} - C \cdot \tau \cdot X) \cdot Q_{in} (m^3/d) \dots \dots (5-93)$$

式中：

$C_{S-BOD_{in}}$ ：進流水 BOD 濃度

$C_{SS, in}$ ：進流水 SS 濃度

$C_{KN, in}$ ：進流水 Kj-N 濃度(mg/L)

$C_{KN, eff}$ ：流出水 Kj-N 濃度(mg/L)

N_X ：廢棄污泥含氮率

3. 內生呼吸所需溶氧量 D_E(kgO₂/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。

$$D_E = B \cdot V_A \cdot MLVSS \dots \dots \dots (5-94)$$

式中：

$C_{KN, eff}$ ：流出水 Kj-N 濃度

B：單位 MLVSS 於內呼吸所消耗氧量(kgO₂/kgMLSS·d)

V_A ：好氧部分之反應槽容量(m³)

$V_A = \tau_A \cdot Q_{in} (m^3/d)$

τ_A ：好氧槽水力停留時間(d)

Q_{in} ：反應槽進流量(m^3/d)

MLVSS：活性污泥中有機性微生物量(MLVSS 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。

$$D_O = C_{O \cdot A} \cdot (Q_{in} + Q_r + Q_c) \times 10^{-3} \dots\dots\dots(5-95)$$

式中：

$C_{O \cdot A}$ ：好氧槽出水端溶氧濃度(mg/L)(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。

上述各式中係數為在下列範圍內：

A：0.5~0.7 B：0.05~0.15 C：4.57 K：2.0~3.0

a：0.4~0.6 b：0.9~1.0 c：0.03~0.05

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，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。

$$SOR = \frac{AOR \times C_{S1} \times r}{1.024^{T_1 - T_2} \times \alpha (\beta \times C_{S2} \times r - C_O)} \times \frac{101.3}{P} \dots\dots\dots(5-96)$$

式中：

SOR： $T_1^\circ C$ 下清水狀態所供給氧量(kgO_2/d)

AOR：每一反應槽在 $T_2^\circ C$ 下一天所必須溶氧量(kgO_2/d)

T_1 ：曝氣設備之性能為前提的清水溫度($^\circ C$)

T_2 ：混合液之水溫($^\circ C$)

C_{S1} ：清水 $T_1^\circ C$ 時之飽和溶氧量(mg/L)

C_{S2} ：清水 $T_2^\circ C$ 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。)

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 0.87，高負荷法 0.95。)

r ：散氣水流之飽和溶氧濃度之修正係數

$$r = \frac{1}{2} \times \left(\frac{10.332 + h}{1.332} + 1 \right) \dots\dots\dots(5-97)$$

式中：

h ：散氣水深(m)

另曝氣設備之必要空氣量(G_s)可由下式計算之

$$G_s = \frac{SOR}{E_A \times \rho \times O_w} \times 100 \times \frac{273 + T_2}{273} \times \frac{1}{1440} \dots\dots\dots(5-98)$$

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($1.293kg$ 空氣/ Nm^3)

O_w ：空氣中所含溶氧之重量($0.232kgO_2/kg$ 空氣)

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. 槽體為堅固耐久之水密性鋼筋混凝土，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 4~6 m，深槽者為 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。

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。
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，可以 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/分，如圖 5.51 及 5.52。

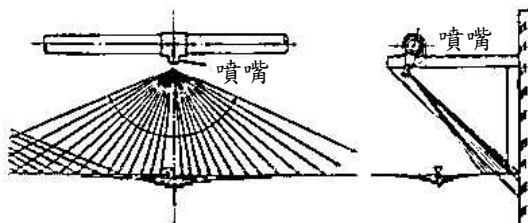


圖 5.51 散水設施例

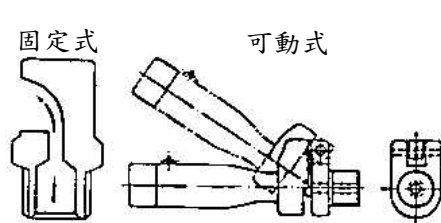


圖 5.52 消泡噴嘴例

5.4.4 曝氣方法的選定

1. 曝氣方法包括有旋迴流式、全面曝氣式、氣泡噴射式、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 5.4.10 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，水流成直流。

2. 散氣式曝氣設備，包括有多孔性散氣盤設備、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、設備耐久性及操作效率(kgO₂/kwh)，如表 5.11 及 5.12。

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		
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
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
氣孔徑(μm)	200~400	100~400	200~450	100~400	200~260	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 (%)	清水之氧溶解效率 E _P (kg/MJ)
微細氣泡	旋迴流式	標準式	14~16	0.5~0.92
		深槽式	15~17	0.5~0.92
	全面曝氣		20~32	0.83~1.28
粗大氣泡	二列配置		10~13	0.39~0.44
	一列配置		8~10	0.33~0.42
氣泡噴射式			15~26	0.44~0.64
水中攪拌式			20~30	0.4~0.64



(a)旋迴流 (b)全面曝氣 (c)氣泡噴射式(d)水中攪拌式

圖 5.53 曝氣槽曝氣方法

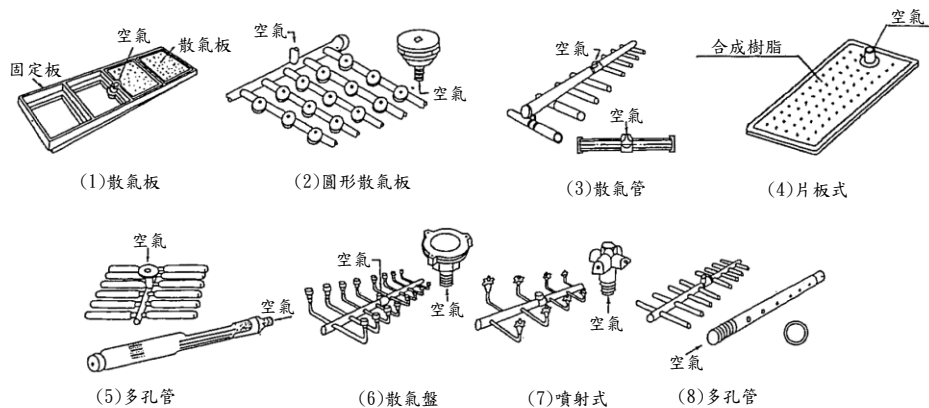


圖 5.54 各種散氣設備

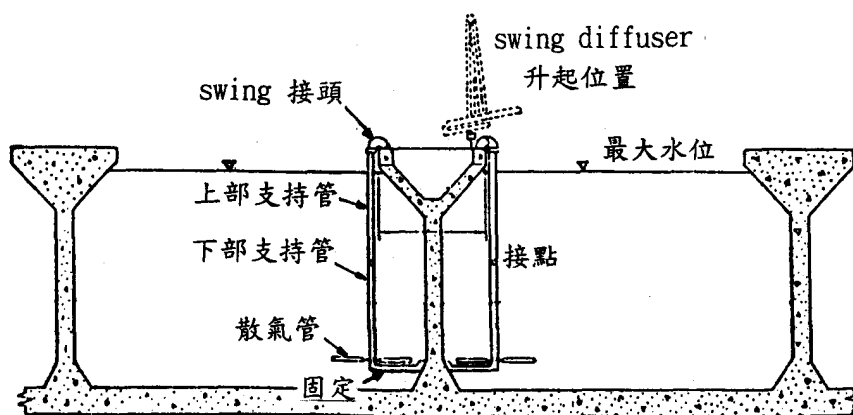


圖 5.55 升降式曝氣系統配置例

5.4.5 鼓風機的選定

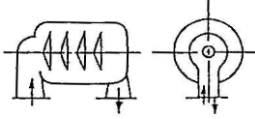
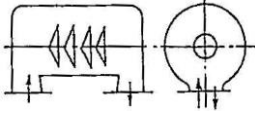
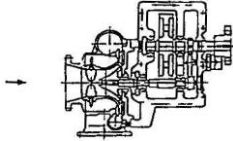
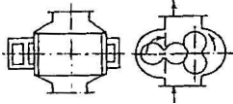
鼓風機的台數種類、構造，於考量下列決定之：

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、水質需調整送風量，達到節能。初期對策並防止過度曝氣。並能依進流水各時段水質變動而調節。因之送風量的控制，應考量設置不同送風量的鼓風機，而以台數控制之。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之不同，而有各種機種和型式，散氣式反應槽所用之鼓風機，以輪機式及容積旋轉式風機為一般者。於選定鼓風機機種時，應就送風量、送風壓、控制方法及噪音等，加以考量決定之。鼓風機的分類及適用範圍，如表 5.13。

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 (kpa)	旋轉數 (min ⁻¹)
輪 機 形	多 段	鑄 鐵 製		40~500	40~70	3,000(50Hz) 3,600(60Hz)
		鋼 板 製		20~100	40~70	3,000(50Hz) 3,600(60Hz)
	單段			30~500	40~100	8,000~20,000
容 積 形	旋轉式 (魯氏)			5~80	7~70	400~2,500

(1)多段離心鼓風機

- 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 40~70 kPa 以上，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或出流閥控制或變頻控制。
- ② 離心式風壓問題，因此管損計算可考量增加安全量 0.5 PSI，以避免碰到啟動阻力增加造成振動。
- ③ 常用轉速約 3,500 RPM。
- ④ 構造及外觀如圖 5.56。

(2)單段離心鼓風機(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，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 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、馬達溫度，並應訂定軸承保護及預防維護機制。

(3)單段離心鼓風機(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，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 10,000-14,000 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) 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 0.4 cmm 到 240 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。

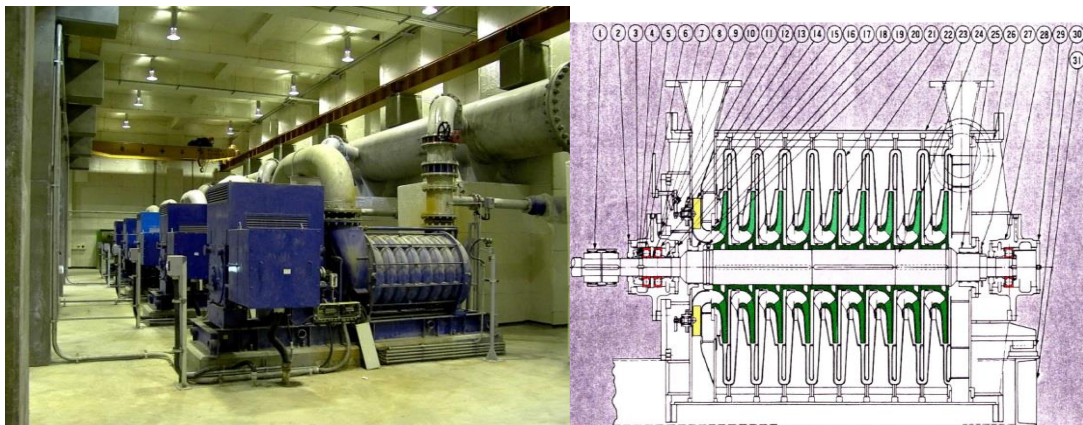


圖 5.56 多段離心式鼓風機

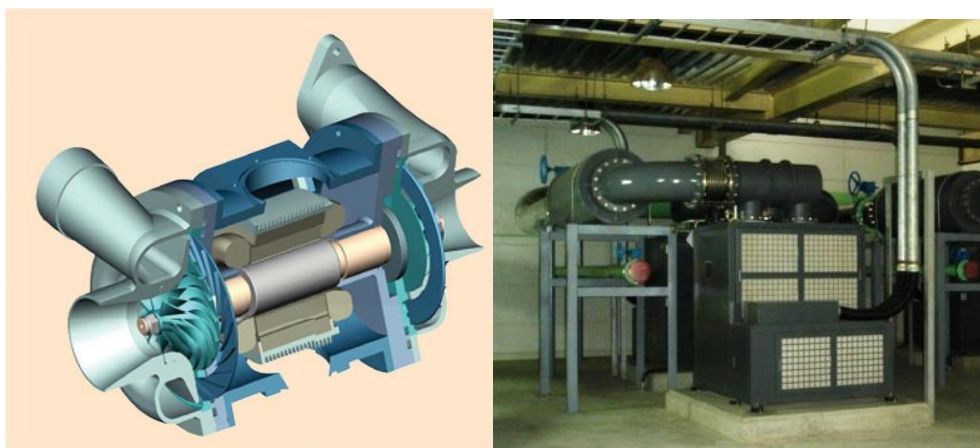


圖 5.57 單段離心式鼓風機(馬達直驅式)

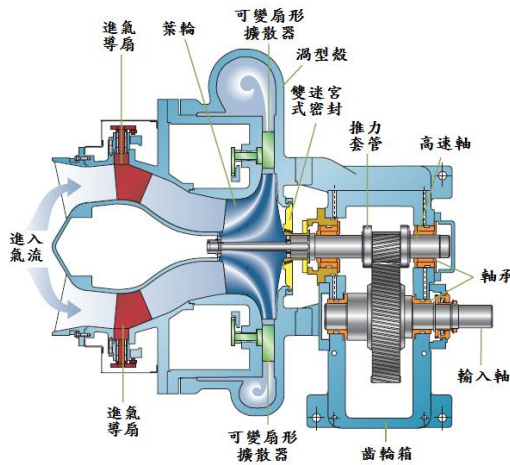


圖 5.58 單段離心式鼓風機(馬達+增速機驅動)

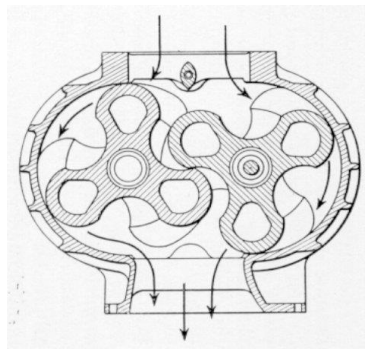
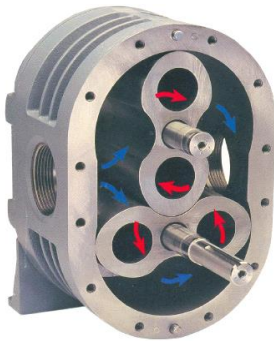


圖 5.59 容積式(魯式)鼓風機

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器、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，其鼓風機壓力以式 5-99 表之。

$$Pr = h + H_C + H_P + H_M + H_A + \alpha \dots\dots\dots(5-99)$$

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)

H_P ：送風管之壓力損失(kpa)，由式 5-100 及 5-102 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)

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:

$$H_p = 4f_1 \times \frac{\ell}{d} \times \frac{rv^2}{2} \dots\dots\dots(5-100)$$

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/m³) ($=1.293 \times \frac{273}{T} \times \frac{P}{P_A}$)

V : 空氣流速(m/s)

T : 空氣絕對溫度(k) ($=t^{\circ}\text{C}+273$)

P : 空氣絕對壓力(kpa) ($=101.3+\text{量測表壓力}$)

P_A : 大氣絕對壓力(kpa) ($=101.3+\text{量測表壓力}$)

在 20°C 之大氣條件下, 損失係數為 0.5 之鋼管, 空氣密度為 1.2 kg/m³ 時, 直管段之壓力損失為

$$H_p = 0.02 \times \frac{\ell}{d} \times \frac{1.2v^2}{2} \dots\dots\dots(5-101)$$

2. 異形管的壓力損失

異形管段的壓力損失計算式如下:

$$H_z = f_2 \times \frac{rv^2}{2} \dots\dots\dots(5-102)$$

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	風量量測裝置	空氣過濾器
壓力損失(kpa)	3.92	3.92	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 定之。

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°C，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之。

$$Q_{BD} = Q_{BS} \times \frac{r_s}{r_D} \dots\dots\dots(5-103)$$

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°C，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)×($t^\circ C + 273$)

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} ：鼓風機入溫度效率(斷熱效率) (=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，而設定斷熱效率、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. 鼓風機最少應有兩台。

解說：

1. 動力及電動機的出力，依式 5-104 計算之。

$$L_{AD} = \frac{k}{k-1} \times \frac{P_S \cdot Q_S}{60} \left[\left(\frac{P_D}{P_S} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right] \dots\dots\dots(5-104)$$

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)

$$L_S = \frac{L_{AD}}{\eta} \dots\dots\dots(5-105)$$

式中：

L_S ：鼓風機的驅動動力(kw)

η ：總斷熱效率

$$P = L_S \times \alpha \dots\dots\dots(5-106)$$

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，依吸入狀態的變化，其壓力及動力也變化，由上兩式所求出之動力，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。因之必須使電動機不超負荷之動力定之。總斷熱效率一般多段離心鼓風機及單段增速鼓風機為 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，低速者可以傳送皮帶、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。

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，設置防震裝置，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，如表 2.7。
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。

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。

濾材通常為玻璃纖維毛、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，依纖維的粒細、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)

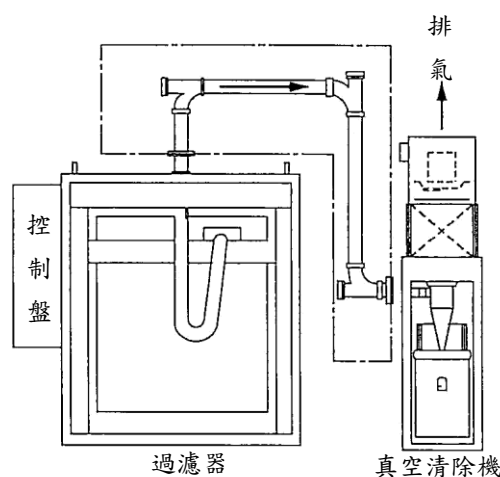
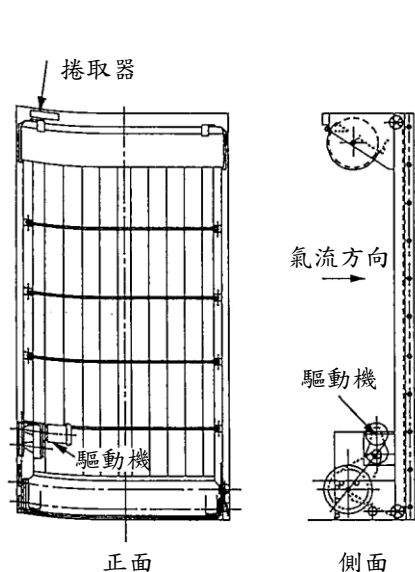


圖 5.60 自動捲取式過濾器(乾式) 圖 5.61 自動清除式過濾器(乾式)

(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上，達到空氣過濾者。本型式一般為複數的嵌板所組成的金屬性濾材，以簾狀重疊，並與鏈條連結，而以定時器間歇性的迴轉經過油槽，則附著的雜塵就可被自動洗除。

本濕式適用在雜塵粒子較大量、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 $1.5\sim 2.5\text{ m/s}$ ，其空氣阻抗為 $50\sim 150\text{ Pa}$ ，如圖 5.62。

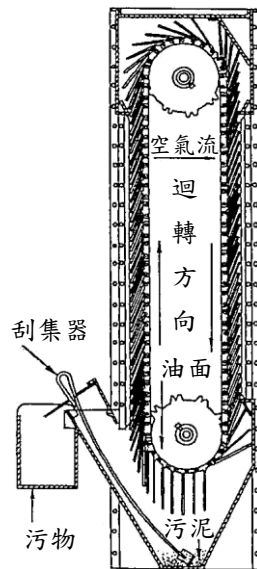


圖 5.62 自動捲迴轉式過濾器(濕式)

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，依相關法令規定。

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。

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。

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。放風閥主要為魯氏及單段增速鼓風機，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。

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 15 cm 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。
4. 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。
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，達到曝氣的目的。

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的目的。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. 機械攪拌式主要於曝氣池水面以機械設備攪拌混合，使大氣中之空氣溶入混合液中，由於發生旋迴流，使溶氧移動與攪拌混合，達到曝氣的目的。

(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 $12\sim16\text{W/m}^3$ ，橫軸攪拌機為 $5\sim7\text{W/m}^3$ ，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 $20\sim75\text{ s}^{-1}$ (參考 WEF, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants(5th Edition), p14-123~124)

$$G=[(1000 \times P)/(V \times \mu_w)]^{0.5} \dots\dots\dots(5-107)$$

式中：

G：速度梯度(s^{-1})

P：輸入動力(kW)

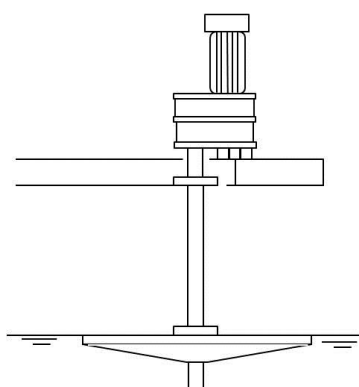
V：池體積(m^3)

μ_w ：絕對黏度($N/s \cdot m^2$)

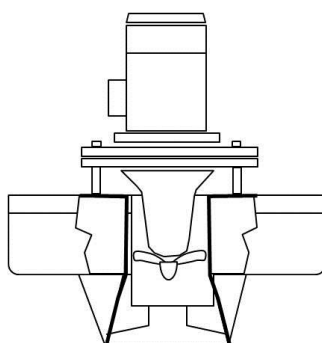
(2)機械攪拌機主要有豎軸式及橫軸式，可再區分為表面曝氣及浸沒式曝氣兩種。

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，依轉速又可分為高速或低速。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。



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

(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。

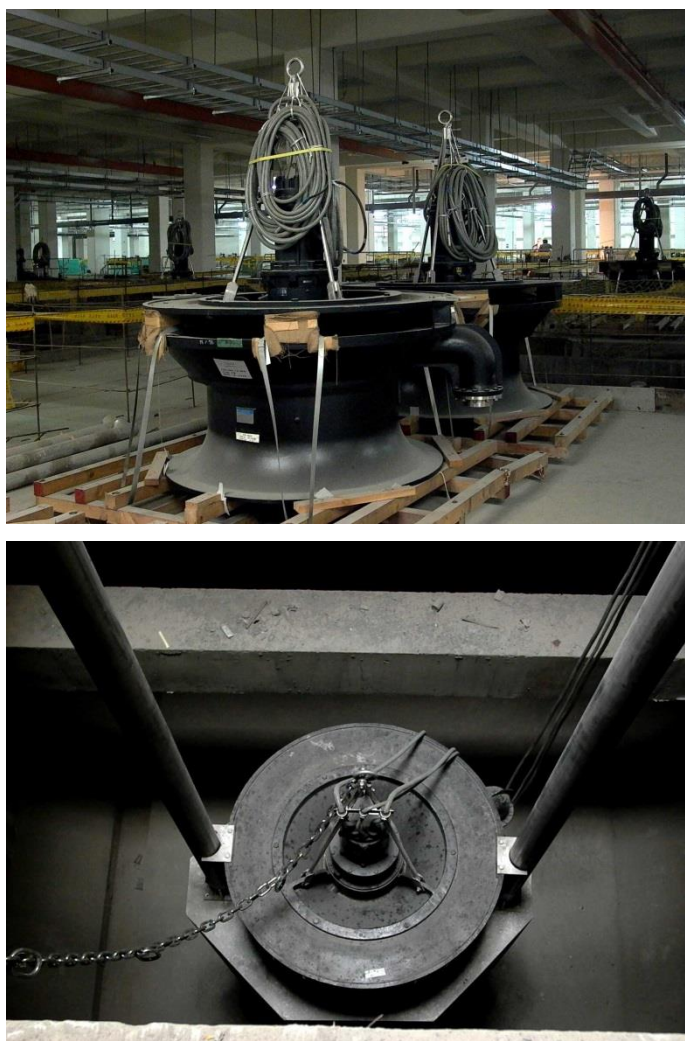
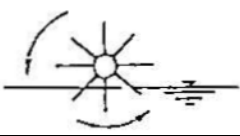
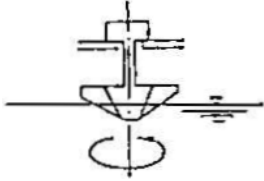
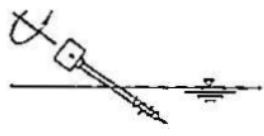
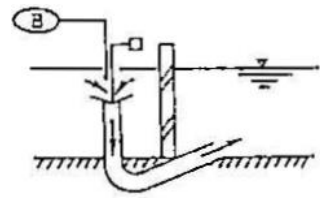
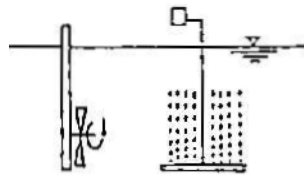


圖 5.64 浸沒式曝氣攪拌機

3. 橫軸式表面曝氣攪拌機

- (1) 橫軸式機械攪拌機，亦可區分為表面曝氣及浸沒式曝氣兩種。
- (2) 橫軸式表面曝氣攪拌機，主要有輪刷式曝氣機及配合氧化渠深度及寬度之曝氣機。
- (3) 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。
- (4) 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 $1/8 \sim 3/8$ 。
- (5) 氧化渠常用之攪拌曝氣裝置說明如表 5.17。

表 5.17 氧化渠曝氣設備之種類概要

型式	概要	
橫軸型		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

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氧或是自吸供氧，如由外部供氧需考量空氣和泵浦流體最佳比例。

5. 池底應設置有適當清理排水抽水之集水坑。

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

$$L = \frac{2\pi nT}{6,120} \dots\dots\dots(5-108)$$

式中：

L：動力(kW)

n：旋轉數(rpm)

T：旋轉扭力(kgP/m)

式(5-108)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：

$$L = \eta L_M \dots\dots\dots(5-109)$$

式中：

L_M ：馬達出力(kW)

η ：傳導效率

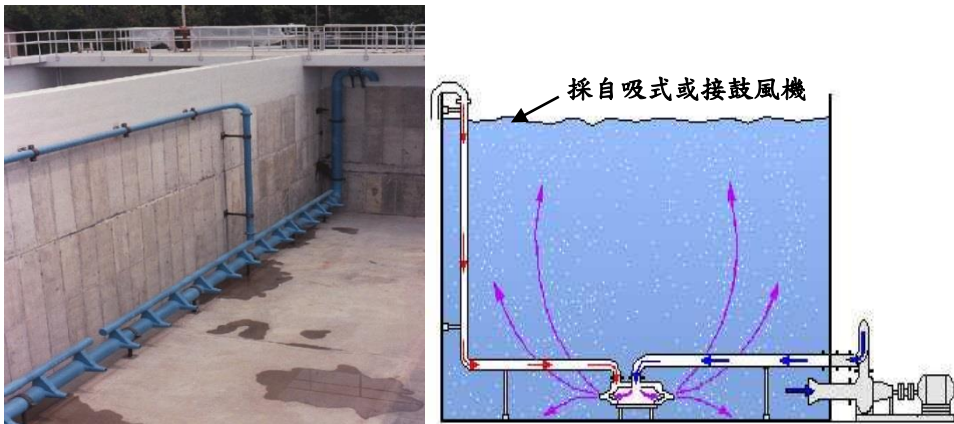


圖 5.65 噴射攪拌曝氣系統

5.4.11 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，攪拌葉設於底層及必要時於中層配置之，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：

$$\frac{P}{V} = 0.00094(\mu)^{0.3} (MLSS)^{0.298} \dots\dots\dots(5-110)$$

式中：

MLSS：反應槽中之懸浮固體(mg/L)

μ ：1.0087(20°C 時)

$\frac{P}{V}$ ：單位體積所需求之動力(kw/m³)

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 $1.0 \sim 1.5 \text{ kgf/cm}^2$ 。每一噴嘴之噴水量為 $6 \sim 12 \text{ Lpm}$ ，噴嘴高度為水面上 $0.3 \sim 0.6 \text{ m}$ ，噴嘴間之距離為 $1.2 \sim 1.5 \text{ m}$ 。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 $-50 \sim -100$ ，厭氧段則可控制其 ORP 在 -200 以下之正常操作狀態。

5.5 生物膜法

5.5.1 基本原理

污水處理一般多採用活性污泥法，但活性污泥法的操作，必須配合外在流入量、進流水質的變化作必要的控制。且有污泥膨化及上浮問題，而需要較高的操作技術。

對於規模較小的污水廠，除延時曝氣法、分批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 Zoogleea 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。生物膜的正常發育受污水水質濃度、散水狀態、通氣狀態、溫度、濾材之條件等所影響。

活性污泥法，依污泥負荷條件以決定污泥齡，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。

5.5.2 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 5.66 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 BOD 負荷的變動，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，甚至可不需二級沉澱池及污泥處理單元。
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。

惟其缺點為：

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。

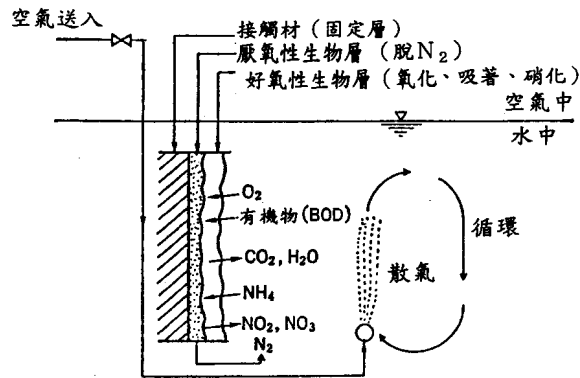


圖 5.66 接觸曝氣法之 BOD、氮去除特性

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。

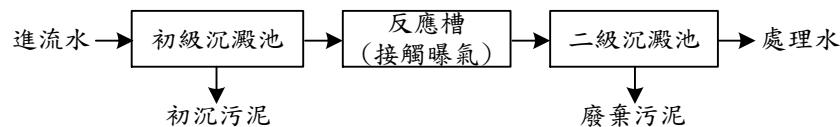


圖 5.67 接觸曝氣法處理系統

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 5.68)

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。

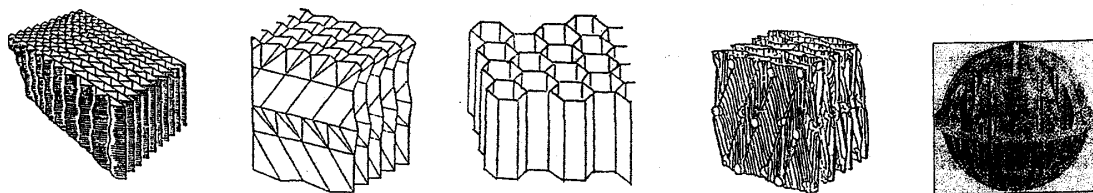


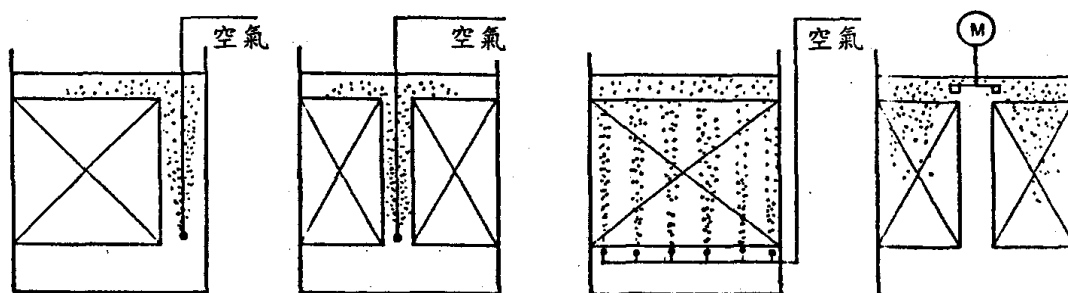
圖 5.68 接觸材之形狀

2. 曝氣方法

曝氣方法如圖 5.69 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。



(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 5.69 接觸曝氣法各種曝氣方法

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。

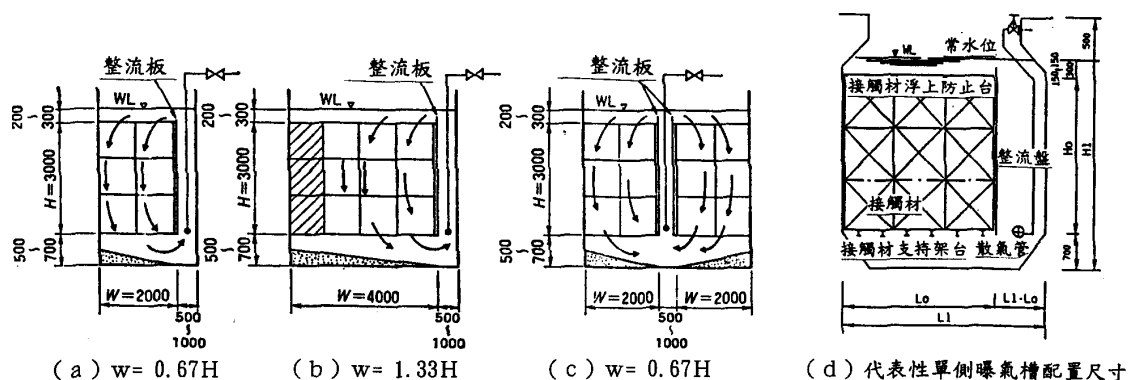
單側曝氣及中心曝氣之曝氣槽形狀及接觸材的填充方法例，如圖 5.70，槽的底部應有 50~70 cm 的空間，以容許污水循環，並呈傾斜狀。

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 $W(0.3\sim1.0)H$ 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



說明： H_0 ：接觸材堆積高度(m) H_1 ：有效水深= $H_0 + 1,000(\text{mm})$

L_0 ： $L_1 \times (0.4 \sim 0.75)$ L_1 ：曝氣槽寬($0.5 \sim 1.0$) H_1

$(L_1 - L_0)$ 散氣部寬約為 $500 \sim 1,000\text{mm}$ 接觸材佔曝氣槽容積比 55%以上

圖 5.70 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 5.18。

表 5.18 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 250mm 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 5.71 為接觸槽配置例。

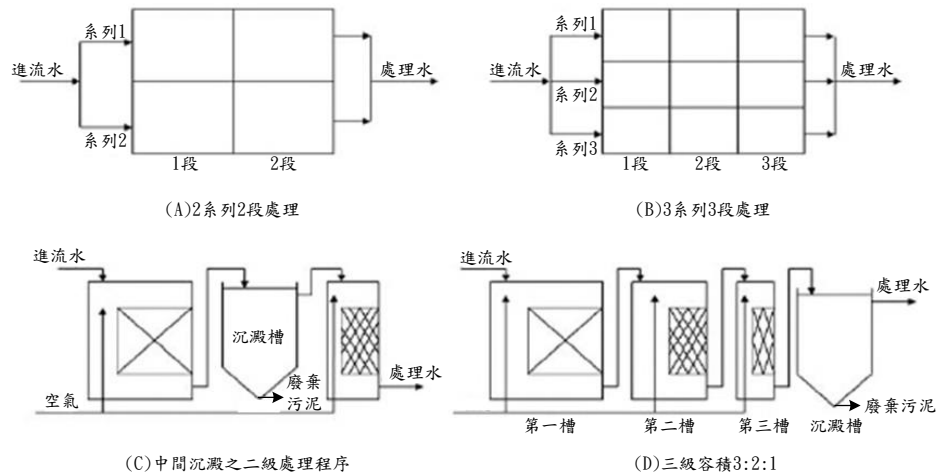


圖 5.71 接觸曝氣法流程配置例

(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 5.72。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：

$$W = 4,000(C - t) \cdot \frac{t}{C^2} \dots\dots\dots(5-111)$$

式中：

W：附著生物膜重(kg/m³)

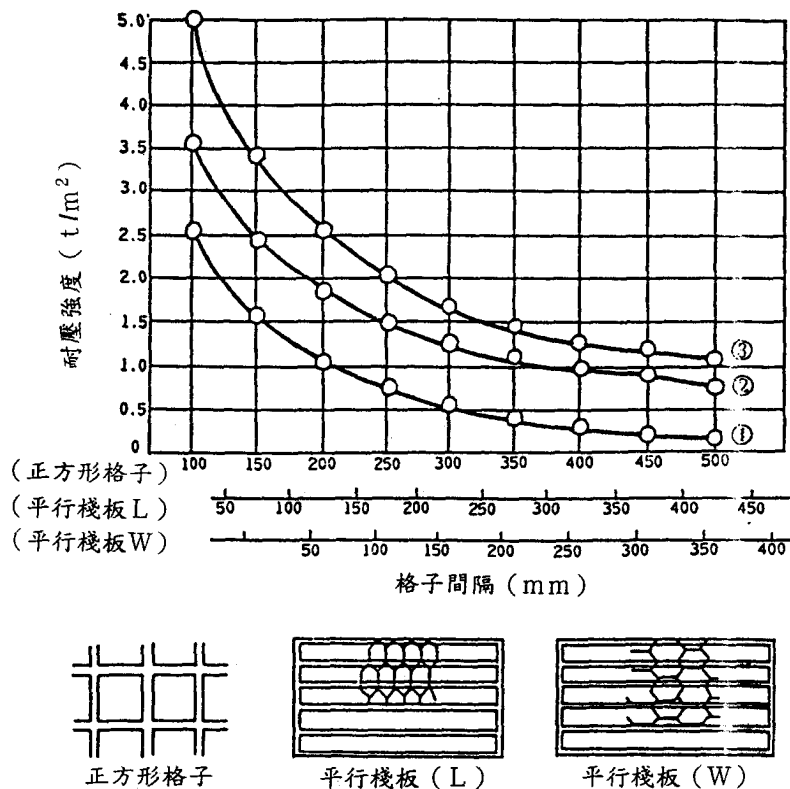
t：附著生物膜厚度(mm)

C：蜂巢管之淨間距(mm)

若以表 5.18 之 VH-20-120 之蜂巢管，以 3 層堆置，其平均生物膜厚度為 2mm 時，則其重量為：

$$W = 4,000 \times (20 - 2) \times \frac{2}{20^2} = 1,140 \text{ kg/m}^3$$

則支持格子之間距及應具有之耐壓強度，由圖 5.71 查知可用正方形間距 400mm。



①：V-75-350 ②：V-20-120，V-30-180，V-50-280
③：V-12-100 (棧板厚)

圖 5.72 接觸材支撐之格子間隔所形成之耐壓強度

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 $1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 就有阻塞之虞，為維持長時間操作，其接觸材 BOD 負荷以 $0.3 \sim 0.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 左右為宜。反應槽之形狀可為長方形或正方形，寬為水深 $1 \sim 2$ 倍。

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 $4.0 \text{ kg/m}^3 [100 \text{ kg/m}^3 \times (1 - 0.96)]$ 。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

$$4.0(\text{kg/m}^3) \times 55(\text{kg/m}^3) / 100\text{m}^3 \times 10^3 = 2,200\text{mg/L}$$

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，一般如表 5.19 所示。

表 5.19 原水濃度與接觸材間隔

BOD (mg/L)	間隔(m/m)
500 以上	100
250~500	80
100~250	50
100 以下	30

接觸曝氣法因不像活性污泥法需操作控制曝氣槽中的 MLSS 濃度，因之操作較簡單，但相對的因不能控制，故在設計更應特別注意。

BOD 負荷包括有曝氣槽容積之 BOD 容積負荷、接觸材料容積之 BOD 負荷及接觸材面積之 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 BOD 負荷設計之。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

$$L_v = \frac{Q \cdot S_0}{V} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(5-112)$$

式中：

L_v ：BOD 容積負荷($\text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$)

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

$$L_s = \frac{Q \cdot S_0 \times 10^{-3}}{A} \dots\dots\dots(5-113)$$

式中：

L_s ：BOD 面積負荷($\text{kg/m}^2 \cdot \text{d}$)

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 BOD 負荷與去除率也異，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 5.73。

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。

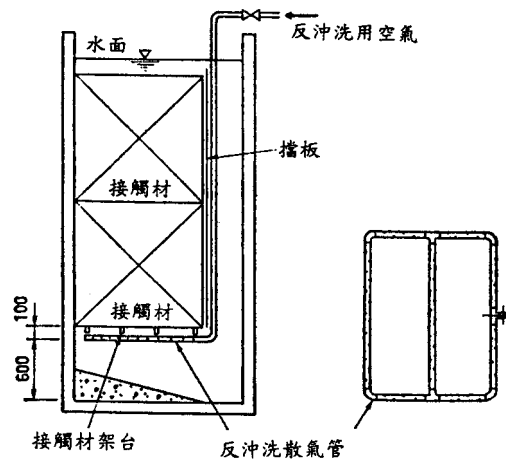


圖 5.73 反沖洗設備例

5.5.3 接觸曝氣法處理系統設計

5.5.3.1 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 5.5.1」。
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 $25 \sim 50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ，有效水深 $2.5 \sim 4.0 \text{ m}$ ，溢流堰負荷 $100 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$ 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。

5.5.3.2 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 $0.3 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 以下設計。
2. 反應槽寬度為水深的 1~2 倍，一般水深以 3~5m 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，因之反應槽的適當負荷以計畫最大日污水量 $0.3 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 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，因之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。
3. 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 3~5m 為適當。
4. 於考量清理及維修之需要，以 2 池為原則。
5. 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。
6. 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。

5.5.3.3 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，並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 5.74。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洗配置，定期反沖洗去除之。反洗量、時間及壓力依阻塞狀況而調整。

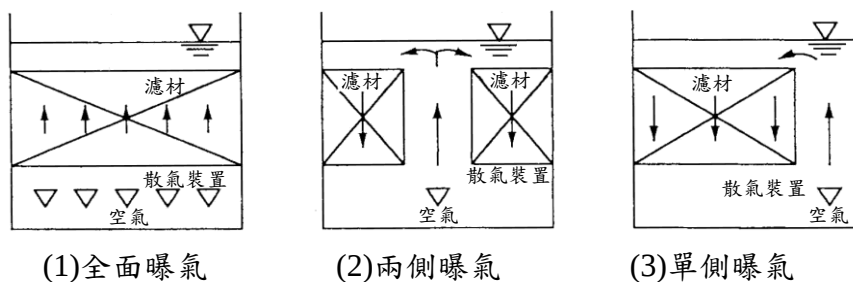


圖 5.74 濾材配置方法

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 $20 \sim 30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ，有效水深 2.5 ~ 4.0m，溢流堰負荷 $80 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$ 以下。

5.5.4 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、延時曝氣法、分批式活性污泥法等外，好氧過濾法由於操作上較容易，自 1970 年開始以來，在歐美日已漸被普及應用。

好氧過濾法(Biological Aerated Filter,BAF)為生物膜法的一種，其原理如圖 5.75，為於反應槽內充填 2~5mm 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。

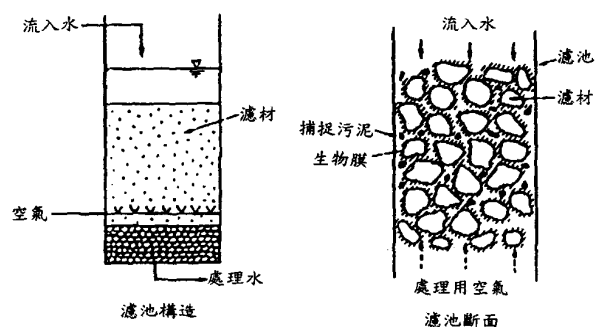


圖 5.75 好氧過濾法之原理

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分批式、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省。
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，可較節能。
5. 負荷較低時，可達硝化效果，惟因停留時間短，若氣溫偏低時，不易達完全硝化。
6. 為防止迴流水水質負荷的影響，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。

5.5.5 好氧過濾處理系統設計

好氧過濾處理系統，如圖 5.76。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 $30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 設計，餘同接觸曝氣法，但也可以微細篩替代初級沉澱池。

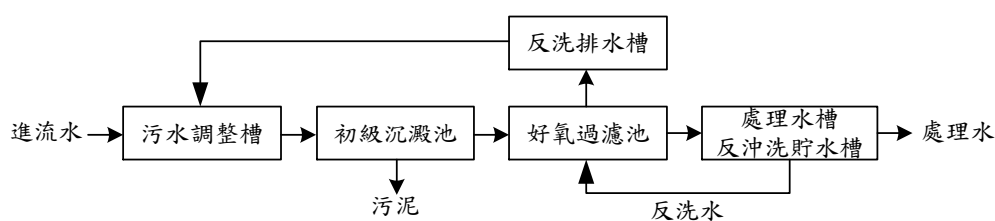


圖 5.76 好氧過濾處理系統

5.5.5.1 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 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、粒狀均勻，粒徑 3~5mm。
6. 濾層厚度以 2m 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 $2 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$)，最大時負荷 50 m/d 以下(最大時 BOD 容積負荷 $4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$)，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 $0.3 \sim 0.8 \text{ kgBOD/m}^3 \cdot \text{d}$ 相比本法可大很多，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， $\text{NH}_4\text{-N}$ 去除率可達 50~80%。

濾池表面積及 BOD 容積負荷之計算如下：

$$\text{濾池表面積}(\text{m}^2) = \frac{\text{計畫最大日污水量}(\text{m}^3/\text{d})}{\text{過濾速度}(\text{m}/\text{d})} \dots\dots\dots(5-114)$$

$$\text{BOD容積負荷}(\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}) = \frac{\text{計畫最大日污水量}(\text{m}^3/\text{d}) \times \text{進流水BOD}(\text{mg}/\text{L})}{\text{濾池表面積}(\text{m}^2) \times \text{濾池濾料填充厚度}(\text{m} \cdot 10^{-3})} \dots\dots\dots(5-115)$$

另過濾速度及 BOD 去除率之關係如圖 5.77。

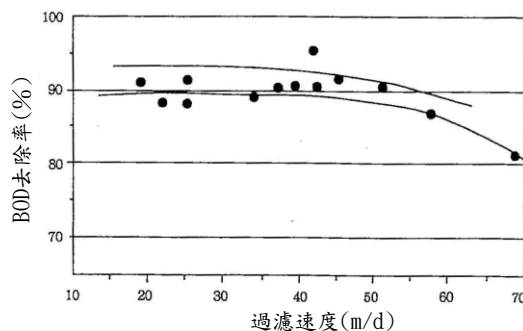


圖 5.77 過濾速度及 BOD 去除率之關係

4. 濾池之進流水以能從濾池整體均勻速度過濾之形狀之正方形、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，高度應考量反洗時之水位。
6. 濾材以適合生物附著，反洗時不會破碎之耐久性材料。
7. 濾層厚度以考量反洗時，反洗水的流速，反洗空氣的流速及軀體強度，粒徑 3~5mm，濾層厚度以 2m 為宜。

5.5.5.2 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. 送風量以進流水質 1 kg BOD 0.9~1.4 kg O₂ 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. 送風量以流入 BOD 1 kg 0.9~1.4 kg O₂ 為標準。

5.5.5.3 反洗設施之設計考量

反洗設施及迴流水之考量如下：

1. 反洗設施包括空氣洗淨、空氣及水同時反洗。
2. 反洗原則以一天一次。
3. 反洗應有反洗水貯槽，並迴流至污水處理調整槽。

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 5.20。

表 5.20 好氧過濾池反沖洗條件

方式	反沖洗量(m ³ /m ² ·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

2. 反沖洗原則上在過濾 24 小時，仍可獲良好水質之下，以定時器控制每天一次，並於流入污水量較少的時段進行。
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，因而影響濾率，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，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。

5.6 固液分離及二級沉澱池

5.6.1 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，其主要的原因，是由於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。沉澱污泥刮泥機之刮泥速度，應比初級沉澱池小，且能調整速度者為宜。

5.6.2 二級沉澱池設計

5.6.2.1 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、有效水深及溢流堰，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，也應檢核固體負荷。

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量。
2. 一般生物處理法包括標準活性污泥法、階梯曝氣法、分批式活性污泥法、深層曝氣法、去氮除磷活性污泥處理、去氮活性污泥處理及生物膜法，其設計負荷依處理方法而定。

表 5.21 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	氧化渠及延時曝氣法	生物膜法
水表面積負荷 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	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 ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$)	<150	30~50	<80

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 $20 \sim 30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ，固體物負荷 $< 150 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。
5. 二級沉澱池設計程序如下：
 - (1) 依據污水進水流量特性選擇水表面積負荷以達到所需的出水水質。
 - (2) 依表面溢流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)提供一個合理的出水堰長度並設計配置。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)。

5.6.2.2 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，周邊深度 4 m，但深度可酌予加深。
3. 池數原則上 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. 應設置採吸泥多孔管式池底坡度可採 5/100~6.5/100，採刮泥形式池底坡度可採 8.5/100~10/100 浮渣去除設備。
6. 必要時溢流堰及集水槽，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、消能注水井、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集水槽設置於池內(如圖 5.78)。

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內容。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集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，同時須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 5.79(1)，或多吸泥管式如圖 5.79(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 5.80)，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，提流斯克閥之靜水頭差建議不小於 0.9 m；此外，須配合設置制水閥俾利維修時止水。
 - (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，惟應注意多池間抽取量及濃度之差異。

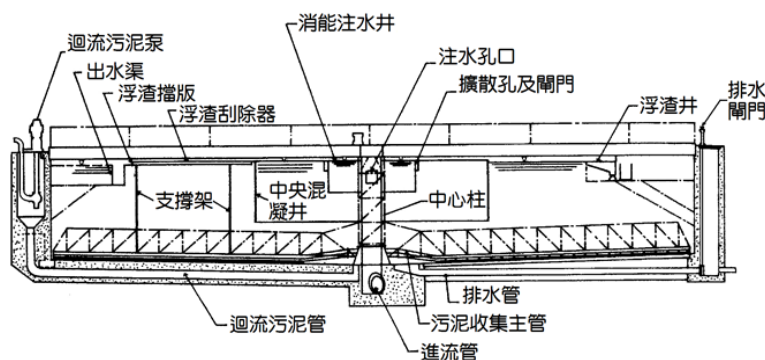
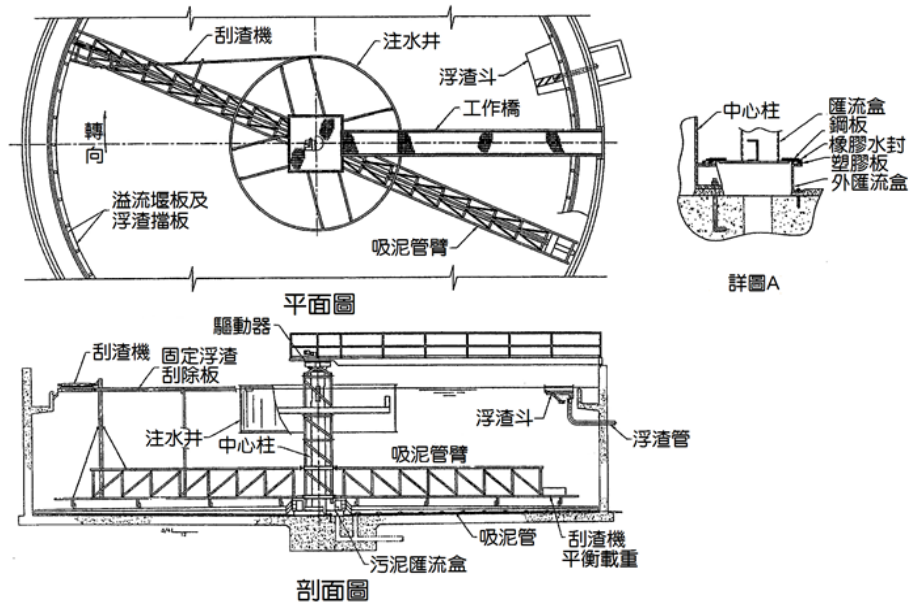
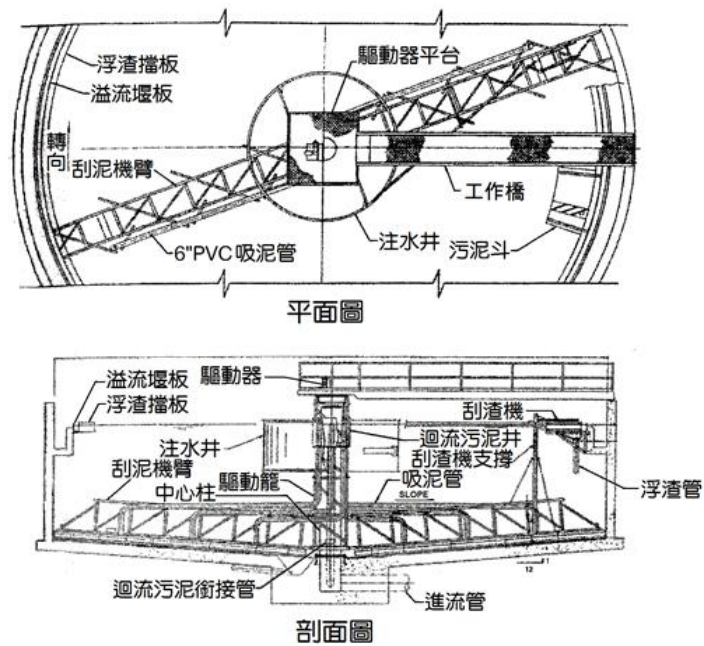


圖 5.78 圓形沉澱池出水渠設置於池內示意圖



(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 5.79 圓形沉澱池設置吸泥管例

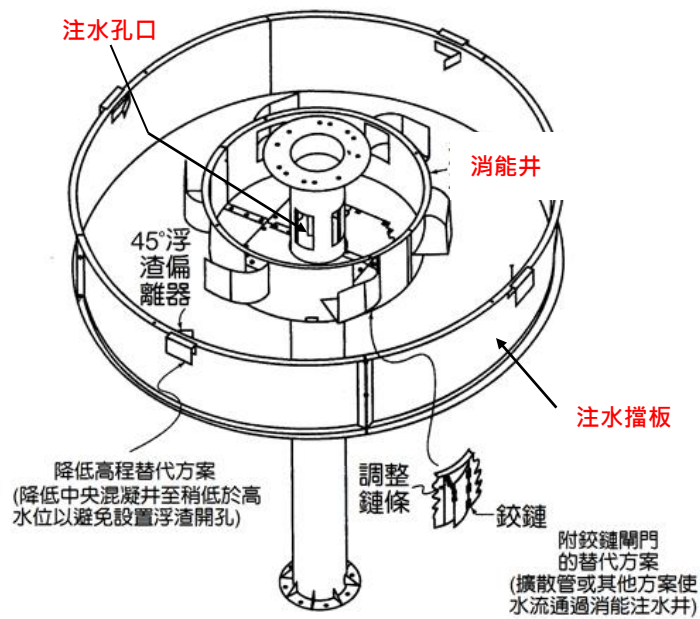


圖 5.81 中心柱注水井及混凝井

(3) 消能井

① 尺寸

- 直徑：約為沉澱池直徑之 10 至 13%。
- 建議之停留時間：8 至 10 秒。

② 種類

- 可調整閘門。
- 曲型槽。
- 可調整雙閘門開孔(Central Weber, 猶他州)。
- 多點擴散管(LA 洛杉磯市專利)。
- 消能混凝井(FEDWA)。

(4) 混凝井

① 僅擴大注水井，使形成混凝井。

體積：20 分鐘停留時間(依據平均日流量加上迴流污泥量)。

混凝井深度：少於池邊水深。

混凝井中設置膠凝機。

② 混凝井中設置消能注水井。

(5) 混凝井中漂浮物之移除。

① 混凝井擋板上端與 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 混凝井擋板高程可調整。

特點：造價較高。

③ 固定式混凝井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 5.82。

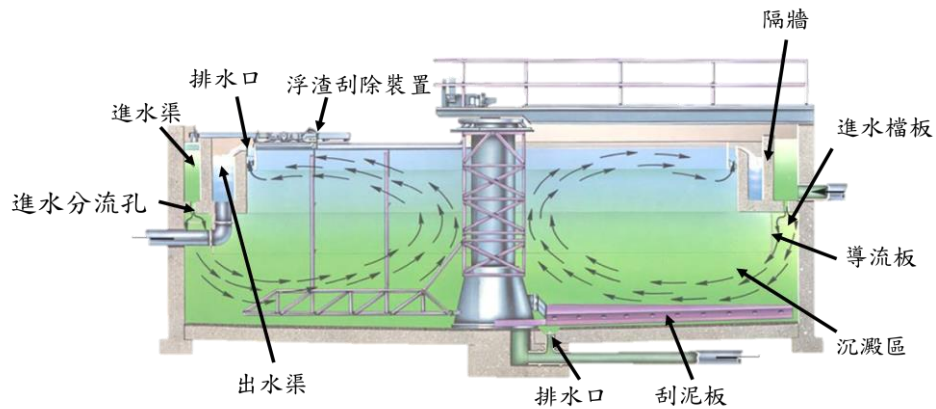


圖 5.82 周邊進水、周邊出水之二沉池示意圖

第六章 處理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，造成旱澇加劇趨勢，依據過去六十年統計，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，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，且帶來坡地災害增大、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二條，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」，明確界定再生水乃以廢(污)水經再生處理後供應水資源利用，以充裕水資源，顯示再生水利用的必要性。

污水處理水再生利用用途，包括：

1. 澆灌與清洗用水

台灣地區由於氣溫高蒸發散量大，每年使用於都市綠化、公園綠地之維持、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，其用水如冷卻用水、鍋爐用水及製程用水等，可自都市污水處理廠以專管輸送，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充裕工業之安定，具很大之助益。

3. 沖廁用水

其利用污水處理水之目的，主要為確保水源，以防水源不足或慢性水源不足。而於社區開發同時就配置中水道回收污水處理水做為沖廁用水。

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，同時也是一種穩定的水源。

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，減少施用化學肥料，也可減少稻米生產成本。

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，充分達到環境水與綠之增進效果。

其效益為維持都市內河川之水生生物棲息，沿河及公園周邊居民，享有水岸空間，利用污水處理水和引入河川水為相同。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。

6.2 再生水利用評估

污水處理水再利用，將可達到都市內水資源的有效利用及自足。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，皆為水循環及水再利用之措施。

就台灣而言，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。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。

6.2.1 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，乃將原來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會有著色、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

應依據再生水的用途、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美質條件。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)美質上之問題：外觀、濁度。
- (3)不快感之問題：臭氣。
- (4)污染上之問題：BOD、pH、氨氮。
- (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、臭氣、BOD、pH 為水質指標項目。

在規劃再生水為工業用水水源時，核心關鍵在於再生水之用途，不同之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)等問題。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(BOD₅、氮及磷)過多所造成。

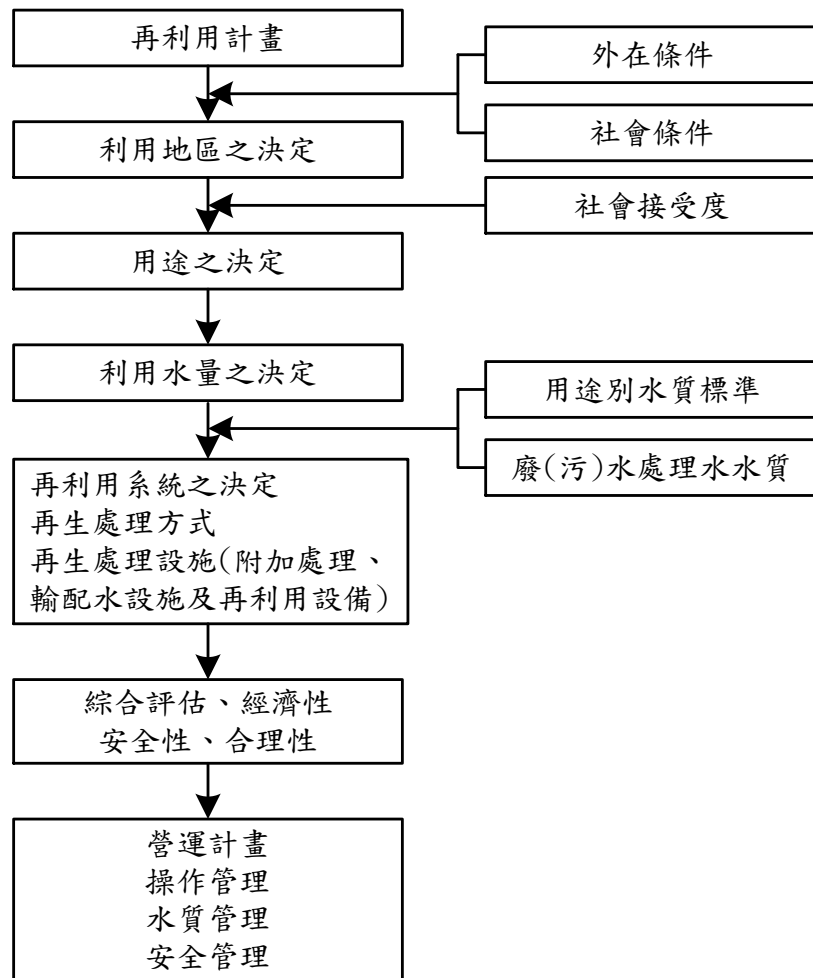


圖 6.1 策訂再生水利用計畫之流程

6.2.2 三級處理

污水處理水三級處理方法，依下述考量之：

污水處理水之三級處理，依處理用途之目的，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。一般三級處理接續於二級處理程序之後時，以進一步提升水質為目的，亦稱為三級處理(Tertiary treatment)或高級處理(Advance 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，而漸呈重要。

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。

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	SS, VSS
		溶解性	BOD, COD TOC, TOD
水再利用	微量物質	無機鹽類	TDS, 電導度 Na, Ca, Cl 離子等
		微生物	細菌, 病毒
			滅菌, 消毒

6.2.3 水再生處理物質及處理程序

污水處理水之再生處理程序，依下述考量之：

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之水質要求，評估各種不同的處理程序或單元，一般三級處理原水水質(即為二級處理末段消毒處理水)，例如表 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。

工業用水再生水質標準如表 6.4，灌溉用水水質標準如表 6.6。

表 6.2 三級處理原水水質(二級處理水未經消毒之水質)(例)

項目	濃度	項目	濃度	項目	濃度
水溫	21.6°C	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		

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	●	● ●	●		● ● ●	● ● ●	●	● ● ●

6.2.4 再生水利用水質

再生水利用水質，依下述考量之：
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水質標準參考值，如表 6.5。

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、沖廁使用
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		
銻 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：經濟部水利署，工業廢水再生利用技術參考，2010 年。

表 6.6 灌溉用水水質標準

項目	限值
水溫(°C)	35
氫離子濃度指數(pH值)	6.0—9.0
電導度EC($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)	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)	2.0
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

6.2.5 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。

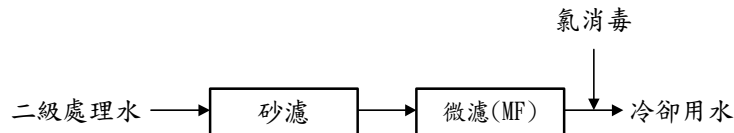
解說：

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：

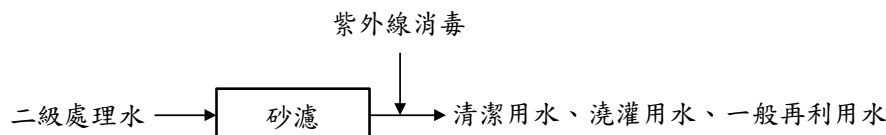


圖 6.2 都市污水處理水再生水利用處理流程例

6.3 三級處理種類及程序設計

6.3.1 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、臭氧消毒、活性炭吸附法、薄膜分離法為主。

解說：

- 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。
- 紫外線消毒，在於去除處理水中的病原菌，以提升用水的安全為目的，且如處理做為一般再利用水時，若處理水以氯化物消毒，其餘氯對再利用有所障

礙，故再利用以紫外線消毒較具安全、衛生。紫外線消毒將於第七章詳述。

3. 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。

4. 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。

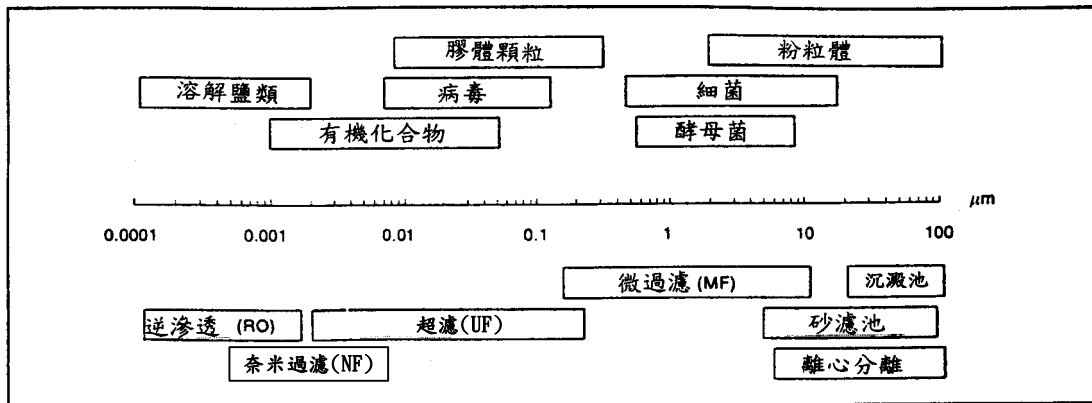


圖 6.3 水中常見污染物與處理方法

6.3.2 快濾法過濾設計

快濾法之設計，其設計於考量下列決定之：

4. 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。
5. 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。
6. 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 6.6 所示。

表 6.6 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 流	重力式	1. 由較粗之砂構成 1.5~1.8 m 之濾層。 2. 濾層之表面下方 10 cm 處設置鋼製格子。 3. 濾料有效粒徑 1~2 mm，均勻係數 1.4 以下。	300
向下 流	重力式 或 壓力式	1. 由層厚比例 0.6 以下之砂及無煙煤所構成之二層過濾池。 2. 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。 3. 無煙煤及砂之均勻係數應儘可能為 1。 4. 無煙煤及砂構成之濾層厚度為 60~100 cm。	300
高速 過濾	壓力式	1. 由纖維粒、球、片或絲構成濾層。 2. 有效濾層為 1.0~1.5 m。 3. 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。

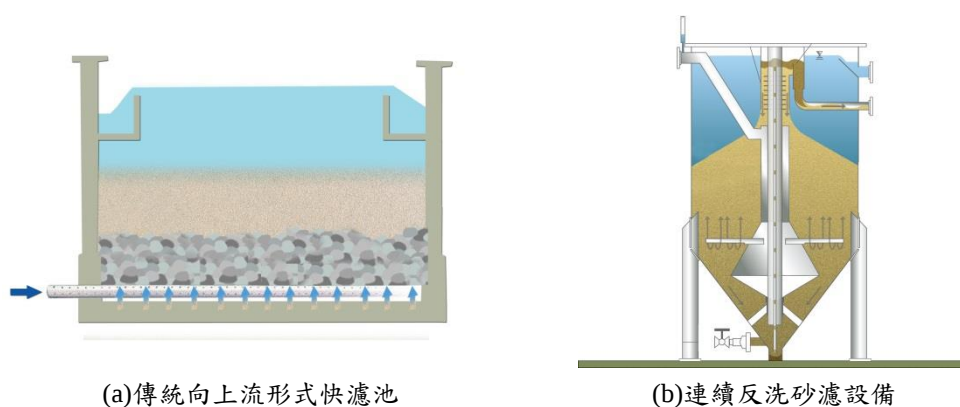
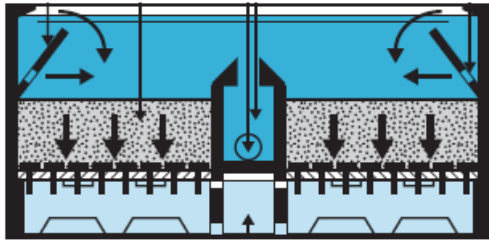
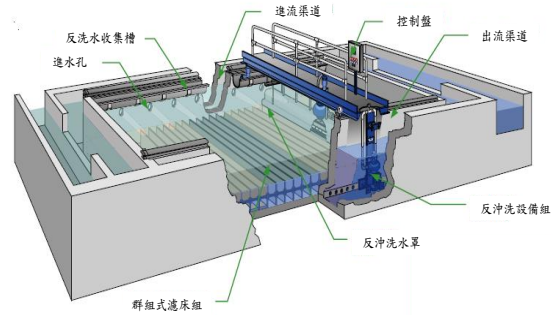


圖 6.4 向上流式過濾法

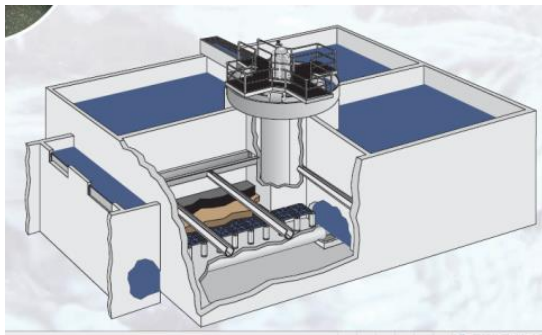
(2)向下流式過濾法主要係將原水導入濾池上方，經過無煙煤、濾砂及濾石等濾料過濾後於下方收集之一種過濾方法，一般重力式快濾或慢濾池皆屬此種型式，另外依據進流型式及出流收集型式，目前市面上尚有 V 型濾池、走橋式、綠葉式、韋氏(或稱惠勒式)、多孔磚、透水板、多孔管及集水器等不同型式，如圖 6.5 所示。



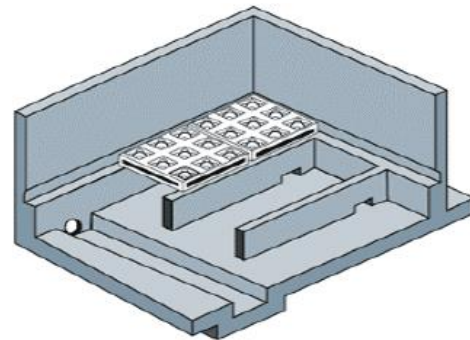
(a)傳統向下流形式快濾池(V 型濾池)



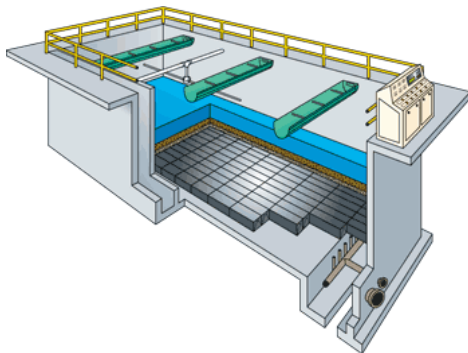
(b)其他向下流形式快濾池(走橋式)



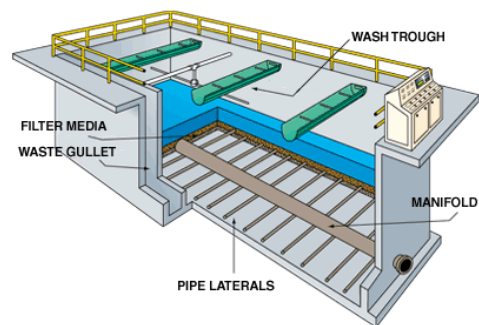
(c)綠葉式快濾池



(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

(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。

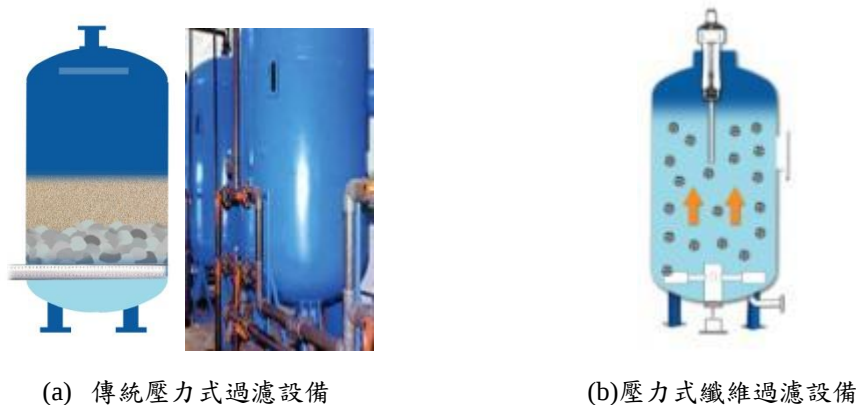


圖 6.6 高速過濾法

- (4) 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。
2. 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。針對濾料流體化的設計參數與反洗步驟，詳表 6.7。

表 6.7 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 ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$)
單一濾料(砂)	2.0	1.8~2.0
雙層濾料(無煙煤+砂)	0.8~2.0(無煙煤) 0.4~0.8(砂)	0.8~1.2
多層濾料(無煙煤+砂+石榴子石)	1.0~2.0(無煙煤) 0.4~0.8(砂) 0.2~0.6(石榴子石)	0.8~1.2
纖維濾料	30 mm	0.4~0.6

* 1.本表整理自 Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering 4th edition, 2004

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。

3. 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。

表 6.8 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($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$)	
	有效粒徑 (mm)	均勻 係數		空氣氣洗	水洗
砂+無煙煤	0.5(砂) 1.2(無煙煤)	1.4	1 st —氣洗 2 nd —氣洗+水洗 3 rd —水洗	1 st —0.9~1.5 2 nd —0.9~1.5	2 nd —0.3~0.5 3 nd —0.6~1.0
砂	1.0	1.4	1 st —氣洗+水洗 2 nd —水洗	1 st —0.9~1.5	1 st —0.25~0.3 2 nd —0.5~0.6
砂	2.0	1.4	1 st —氣洗+水洗 2 nd —水洗	1 st —1.8~2.4	1 st —0.4~0.6 2 nd —0.8~1.2
無煙煤	1.7	1.4	1 st —氣洗+水洗 2 nd —水洗	1 st —1.0~1.5	1 st —0.35~0.5 2 nd —0.6~0.8

*1.本表整理自 Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering 4th edition, 2004

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

6.3.3 活性炭吸附法設計

活性炭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. 活性炭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炭，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. 選用活性炭之種類及量，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炭容量與反應槽容積。

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。

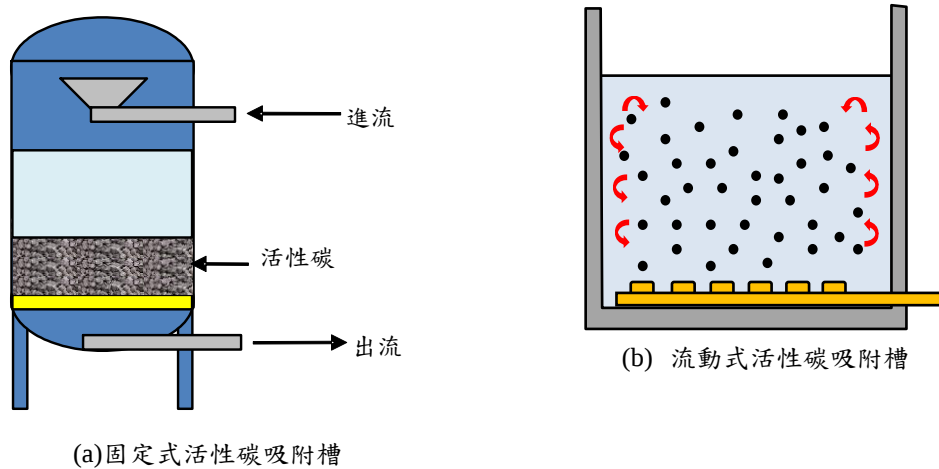


圖 6.8 活性碳吸附法示意圖

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 6.9 所示。

表 6.9 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	1.0~1.5
顆粒粒徑範圍	mm	0.1~2.36
均勻係數		≤ 1.9
平均孔徑	$\text{\AA}$	16~30
碘值		600~1,100
磨損值(最小)		75~85

*1.本表整理自 Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering 4th edition, 2004

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：

$$\frac{X}{m} = K_f C_e^{1/n} \dots\dots\dots(6-1)$$

式中：

x/m ：單位吸附劑(活性碳)可吸附的吸附質(污染物) (mg/mg)

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：

$$\frac{X}{m} = \frac{abC_e}{1 + bC_e} \dots\dots\dots(6-2)$$

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 6.10。

累積量=進流量-出流量-吸附量

在穩態下，即

$$M = QC_0t - QC_e t - M_{GAC} q_e \dots\dots\dots(6-3)$$

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

表 6.10 粒狀活性炭反應槽設計參數表

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
反應槽長度	m	1.8~4
孔隙比	m ³ /m ³	0.38~0.42
活性炭使用密度	kg/m ³	350~550
速度	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 4th edition, 2004

2.上述設計參數將會依活性炭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。

6.3.4 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)依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)，乃依據其孔徑大小來定義之，一般分類如圖 6.9 所式，而其參數如表 6.11 所述。

表 6.11 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 ($>50\text{ nm}$)	$0.06\sim 2.0\mu\text{m}$
超濾(UF)	篩分	中孔徑 ($2\sim 50\text{ nm}$)	$0.008\sim 0.08\mu\text{m}$
奈米過濾(NF)	篩分+溶液/擴散+排斥	微孔徑 ($< 2\text{ nm}$)	$0.0008\sim 0.008\mu\text{m}$
逆滲透(RO)	藉緻密性薄膜僅讓水通過	極微孔徑 ($< 2\text{ nm}$)	$0.0001\sim 0.003\mu\text{m}$

註： $n=10^{-8}$ ， $\mu=10^{-6}$

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 6.12 參數作為設計考量。

表 6.12 薄膜應用於污水處理之操作參數

薄膜技術	操作壓力 (kg/cm^2)	通量 ($\text{L/m}^2/\text{d}$)	薄膜材質	薄膜型式
微濾 (MF)	$0.07\sim 1.05$	$405\sim 1,600$	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)	$0.70\sim 7.03$	$405\sim 815$	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)	$5.27\sim 10.54$	$200\sim 815$	纖維二醋酸 酯、芳香族聚 酰胺	螺旋式、中空 纖維
逆滲透 (RO)	$8.78\sim 70.30$	$320\sim 490$	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 4th edition, 2004

*表中部分材質已無生產，為陶瓷、聚矽、聚二氟乙烯及聚丙烯等材質所取代

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. 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(污泥密度指數)加以評估。阻塞指數必須以簡單的薄膜測試行之，需以孔徑 $0.45\mu\text{m}$ 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 至 120 分鐘不等。SDI 之計算如下所示。

$$\text{SDI} = 100 \times [1 - (T_i - T_f)] / T \dots\dots\dots(6-4)$$

式中：

T_i 為收集初始水樣 500 mL 所需時間

T_f 為收集後端水樣 500 mL 所需時間

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：有關薄膜處理程序範例圖，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。

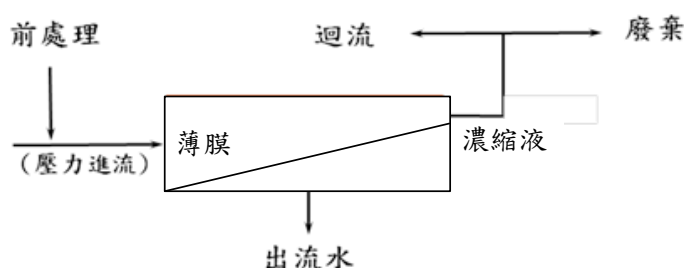


圖 6.9 薄膜分離法示意圖

另表 6.13 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。

表 6.13 都市二級放流水經薄膜處理水水質例

項目	MF 或 UF 膜處理水	項目	MF 或 UF 膜處理水
pH	5.8~8.6	蒸發餘留物(mg/L)	二級處理水相同
大腸桿菌群 (CFU/100mL)	未檢出	鹼度(mg/L)	二級處理水相同
濁度(NTU)	1 以下	硬度(mg/L)	二級處理水相同
色度(ADMI)	15 以下(添加混凝劑)	氯離子(mg/L)	二級處理水相同
BOD(mg/L)	3 以下	總氮 mg/L)	二級處理水相同
COD(mg/L)	10 以下	總磷(mg/L)	未添加混凝劑則與 二級處理水相同
MBAS(mg/L) 甲基藍活性物質	0.3 以下		添加混凝劑則 0.04~0.2

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的穩定與安全，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，雖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，而有餘氯問題時，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

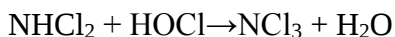
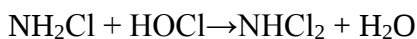
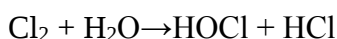
氯不僅對生物有毒，對人體也甚具毒性，尤其在常溫常壓下呈氣體狀，一旦外洩不易收回，對人畜會造成很大的傷害。因此加氯設備之安全性甚為重要，萬一外洩應迅即處理之。

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，可不須長時間接觸。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，氯與污水中氮反應如下式：



在氯與氮之反應過程中，氯之注入量與氮量之減少並不成一定比率的關係。注入污水中的氯量與餘氯量和氮量間的關係，如圖 7.1。

圖 7.1 之 B 點稱為折氯點(Breakpoint)，加氯至該折氯點之法稱折氯點加氯法。

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氯點為止。因此理論量為污水中氮量之 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，為免危害放流水域之水棲生物，一般加入量都選用低於折氯點以下之加入量。

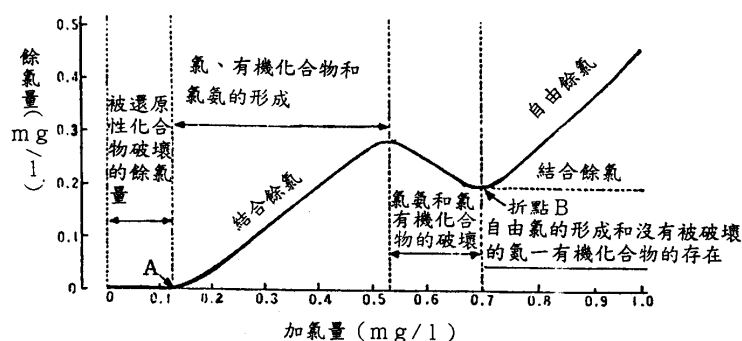


圖 7.1 氯加入量和餘氯量

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，及藉以推測消毒效果。污水中一般存在之細菌，一般細菌數 $10^5 \sim 10^7$ 個/mL，大腸桿菌群數 $10^3 \sim 10^6$ 個/mL，腸球菌群數 $10^2 \sim 10^5$ 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、水遊樂、魚貝類養殖等放流水域之水利利用狀況而定。

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/100mL 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(ClO₂)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、溫度以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：

$$VR = Q \times R \times \frac{100}{C} \times \frac{1}{D} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(7-1)$$

式中：

VR：加藥量(L/hr)
 Q：處理水量(m³/hr)
 R：氯加藥率(mg/L)
 C：有效氯濃度(%)
 D：次氯酸鈉溶液之比重

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需，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。以上兩種不同型式之加藥機原理示意，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。

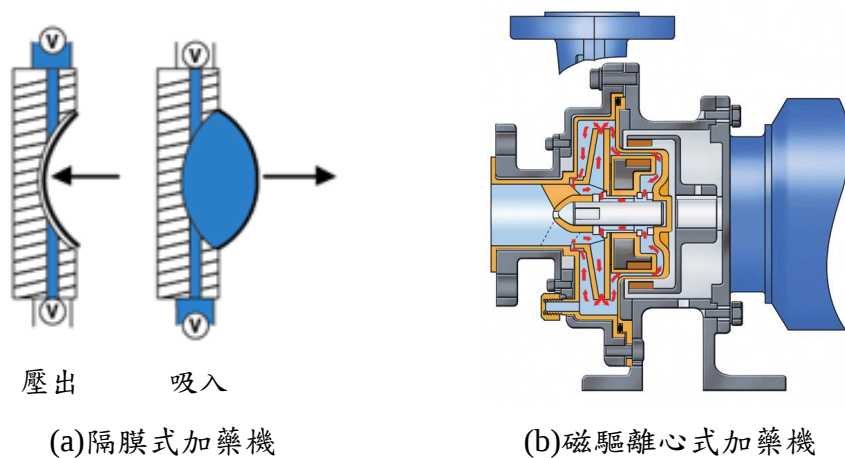


圖 7.2 加藥機設備

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. 次氯酸鈉貯存房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。

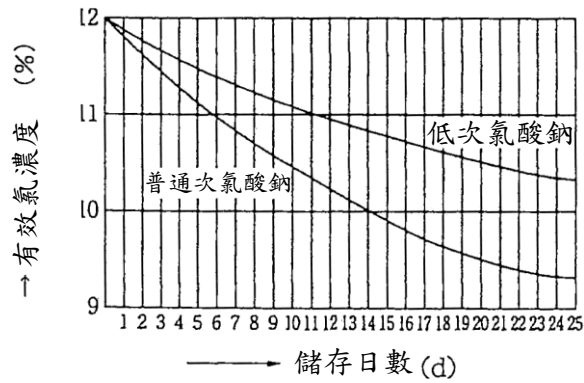
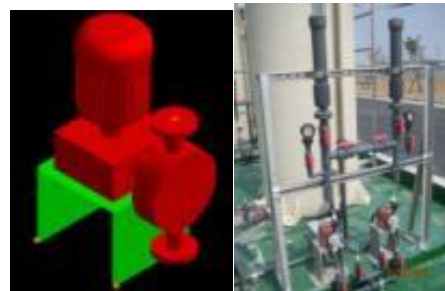


圖 7.3 次氯酸鈉貯存日數之有效氯變化(30°C)

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. 機室及操作室依機械種類及作業性設計。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。



(a)消毒接觸槽



(b)加藥機設備

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 應先以砂濾為前處理加以控制。

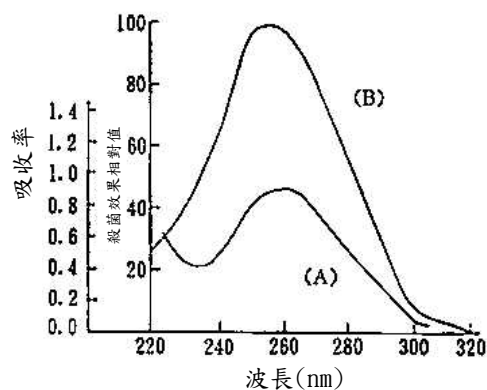


圖 7.5 紫外線之吸收曲線(A)及殺菌效果曲線(B)比較

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)照射方法有內照式及外照式兩種。

- (2)紫外線消毒裝置之設置方法有密閉式及渠道式兩種，其配置如圖 7.6。
 - (3)燈管的設置方法有水平式及垂直式兩種。
 - (4)燈管與水流之關係有平行式或垂直式兩種。
 - (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，並應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。消毒設備種類分類如圖 7.8。

紫外線消毒設備之分類如表 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

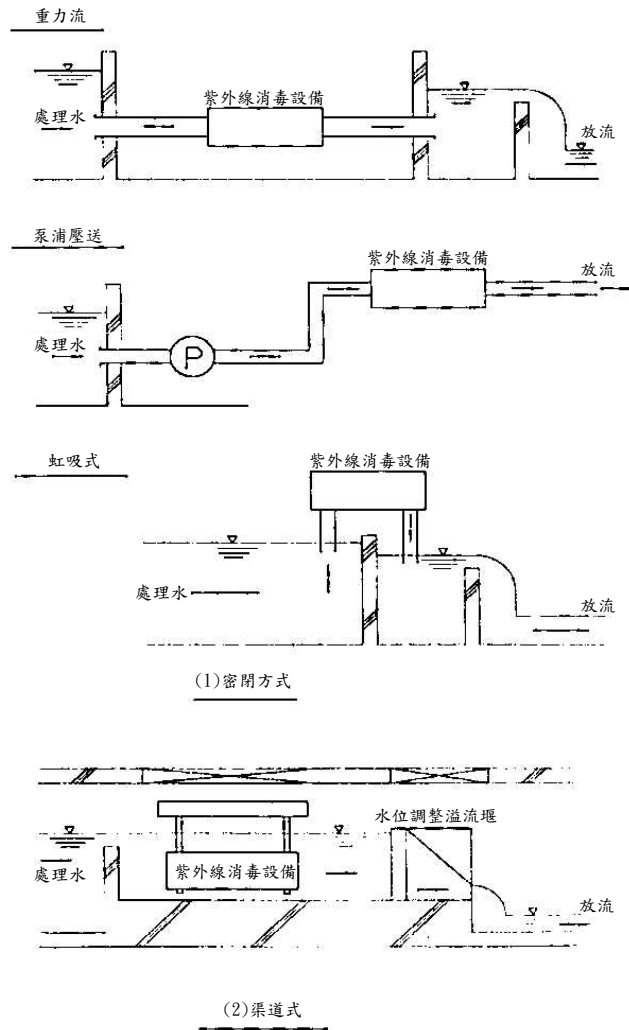


圖 7.6 紫外線消毒系統設置方法

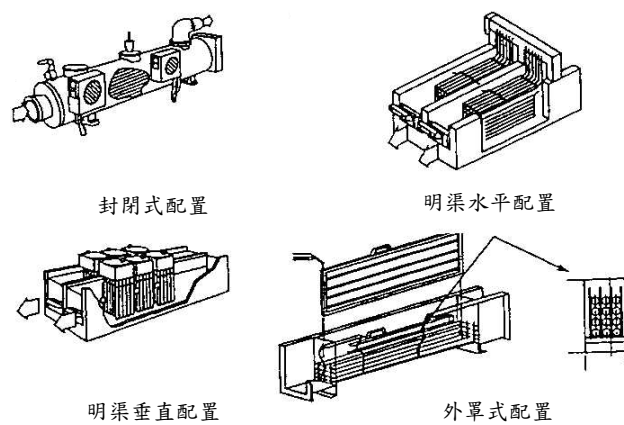


圖 7.7 紫外線消毒模組例

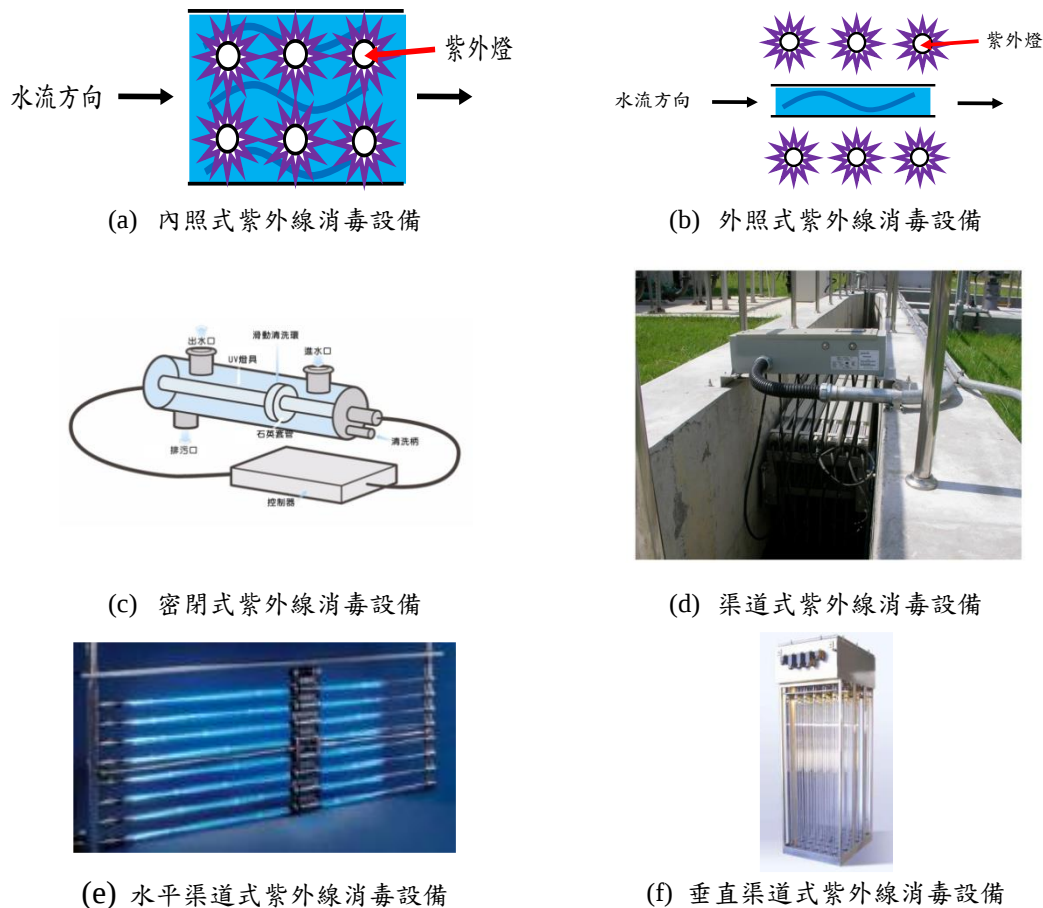


圖 7.8 紫外線消毒設備種類示意圖

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

- 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數的平均殺菌率，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。

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	99.0	150~200
	99.0	200~300
	99.9	300~500

5. 渠道式之紫外線消毒設備，不論採用低壓(單管功率低於 320w)或中壓型式(單管功率約 400-1000w)，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。

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 $2.14 \text{ kg}/\text{m}^3$ (0°C , 1013 hPa)，融點為 $-192.7 \pm 2^\circ\text{C}$ (1013 hPa)，沸點為 -111.9°C 。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。

$$C = \frac{0.604(1 + \frac{T}{273})}{1 + 0.063T} \times C_a \dots\dots\dots(7-2)$$

式中：

C：溶液中臭氧濃度(mg/L)

C_a ：氣中臭氧濃度(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)。

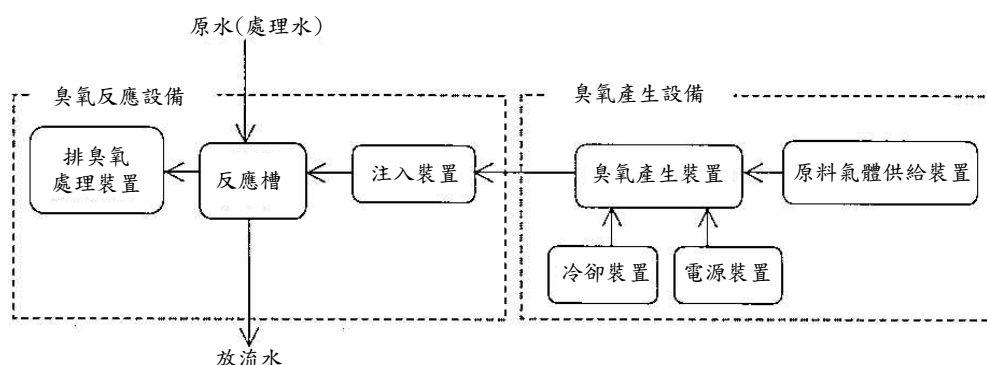


圖 7.9 臭氧消毒設施流程圖

臭氧產生方法有無聲放電法、電解法及光化學反應法。污水處理用者為已商業化之無聲放電法。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 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。大氣中臭氧濃度對於人體及動物之影響如表 7.7 所示。

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。

5. 一般典型臭氧添加流程示意圖，如圖 7.10。

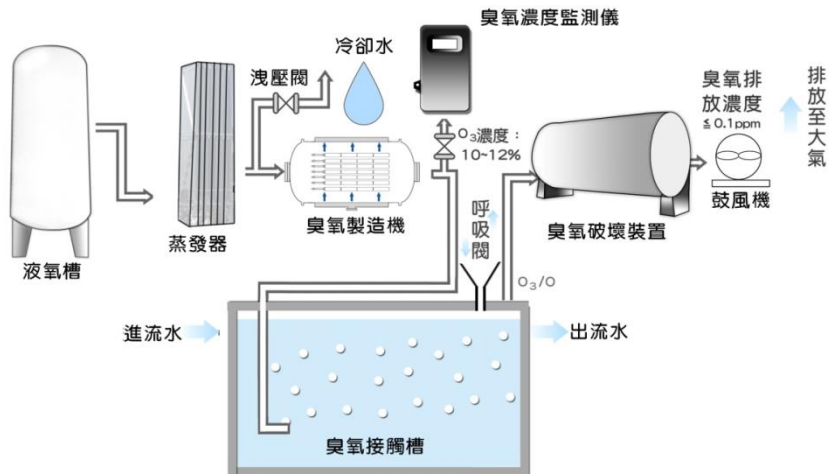


圖 7.10 臭氧消毒系統流程示意圖

各種消毒方法選用考量比較表，如表 7.8。

表 7.8 消毒方法之比較表

項目 \ 方法	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(經濟程度)	—	++	++	++	— —
年操作運維成本經濟程度	△	+	△	△	—
脫氯設備	+	—	—	—	+
土地大小需求(節省程度)	+	△	△	△	— —
環境友善度(THMs)	+	—	—	—	+
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 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。

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)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。
- (3)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。
- (4)排放口的位置應就其對環境影響加以考量後定之。
- (5)排放口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，承载力高的基礎上，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。

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(1)岸邊排放(2)近岸排放及(3)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。

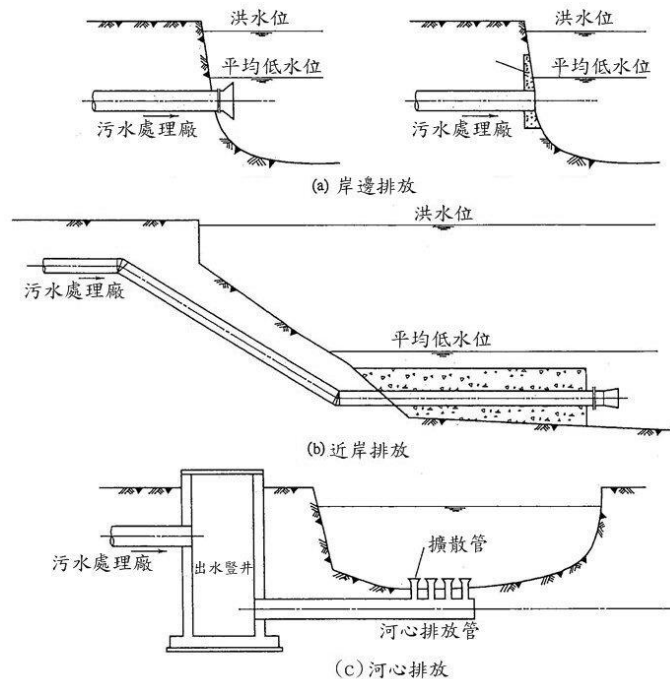


圖 7.11 排放口設置型式

7.5.3 排放口設計其他應考量事項

排放口設計附帶應考量事項，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，設置制水閘或其他設備，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，尤其山溪性小溪，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。

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 流域別下水道整備總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 計畫・設計計算事例 1992 年
7. 建設産業調査會 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・設計指針と解説 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説
21. 日本下水道協會 下水道施設計畫・設計指針と解説(前編) 2009 年版
22. 日本下水道協會 下水道施設計畫・設計指針と解説(後編) 2009 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