

經濟部工業局
紙漿、紙及紙製品製造業污染
防治法規與處理技術手冊

出版機關：  經濟部工業局

出版年月： 中華民國 103 年 12 月

序

工業乃是我國經濟發展之重點項目，舉凡各工業上中下游供應鏈等產品，均與人類日常生活密不可分，對於促進人類文明，其功厥偉。然其巨大產量附帶而來之水污染、空氣污染及固體廢棄物污染，若未能妥善而有效的處理，對環境造成之衝擊反成為文明人類之夢靨。

近年因環保議題日漸受到關注，民眾環保意識高漲，亦帶動工業供應鏈積極投入環保投資之觀念，經濟部工業局（以下簡稱本局）身為工業主管機關，除積極協助推動產業發展外，並透過產業綠色技術提升的各項輔導、宣導與推廣作為，協助產業推動相關污染防治技術等措施，以因應國際環保趨勢及提升產業競爭力，達到企業永續發展之目標。

本局積極輔導產業從減少原料、藥品損失、減少用水量、減少溢漏等綠色生產觀念之導入，並加強操作維護管理、製程改善等方面著手之外，更重要的是將污染防治納入內部成本(on-site costs)考慮，尤其在能源、藥品、原料和人工成本均上漲之今日，業者尤應如此，以期降低生產成本，保持產品品質與減少管末處理之污染負荷，來維持市場之競爭能力，並善盡維護環境品質之社會責任。

多年來，本局積極輔導產業界進行污染防治工作，早期即有編訂相關行業技術手冊供業者參考，惟考量部分行業近幾年製程更新、廢水處理方式與技術精進、以及因應環保法令趨嚴管理，特邀集業界相關專家學者，著手進行技術手冊彙編；並依產業污染特性增列常用之處理系統及相關異常對策案例，提供納管廠商參考應用。

本手冊編撰作業，感謝蔡勇斌、蘇銘千、王雅玟委員與其他委員等參與編輯工作，並承蒙多位審查委員指導，使得本手冊得以順利編輯完成，謹致上最誠摯的謝忱。

經濟部工業局 謹誌
中華民國 103 年 12 月

目錄

第一章	前言	1-1
1.1	緣起	1-1
1.2	行業介紹	1-1
第二章	環保法規	2-1
2.1	廢水污染防治	2-1
2.1.1	水污染防治法及其相關法規重點摘要	2-1
2.1.2	常見違法案例說明	2-11
2.2	廢氣污染防制	2-14
2.2.1	固定污染源防制	2-14
2.2.2	常見空污違法案例說明	2-24
2.3	其他污染管制	2-28
2.3.1	廢棄物污染防制	2-28
2.3.2	土壤污染整治	2-34
第三章	製程與污染特性	3-1
3.1	製程概述	3-1
3.1.1	製漿	3-1
3.1.2	漂白	3-9
3.1.3	抄紙	3-11
3.1.4	常見製程	3-13
3.2	污染來源及特性	3-15
3.2.1	水污染來源及特性	3-15
3.2.2	空氣污染來源與特性	3-23
第四章	水污染防治處理技術	4-1
4.1	處理原理	4-1
4.1.1	物理處理	4-1
4.1.2	化學處理	4-1
4.1.3	生物處理	4-2
4.2	處理方法	4-4
4.2.1	物理方法	4-4
4.2.2	化學方法	4-13
4.2.3	生物方法	4-24
4.3	處理流程	4-29
第五章	空氣污染防制處理技術	5-1
5.1	處理原理	5-1
5.2	處理方法及流程	5-4
5.2.1	靜電集塵器	5-4

5.2.2	濕式洗塵器	5-16
5.2.3	吸收原理	5-27
5.2.4	氮氧化物控制技術	5-28
5.2.5	硫氧化物	5-39
第六章	污染防治處理設備之操作管理	6-1
6.1	處理設備操作與維護	6-1
6.1.1	污水處理設備操作與管理	6-1
6.1.2	空污處理設備操作與管理	6-26
6.2	處理單元之異常對策	6-39
6.2.1	水污染處理單元之異常對策	6-39
6.2.2	空污處理單元之異常對策	6-55
第七章	廢水處理案例介紹	7-1
7.1	手工紙	7-1
7.1.1	行業概況	7-1
7.1.2	製程概述及污染來源、污染特性	7-1
7.1.3	廠內管理與減廢	7-3
7.1.4	廢水處理設施	7-4
7.2	敬神紙	7-7
7.2.1	行業概況	7-7
7.2.2	製程概述與污染來源、污染特性	7-8
7.2.3	廠內管理與減廢	7-8
7.2.4	廢水處理設施	7-10
7.3	工業用紙	7-13
7.3.1	行業概況	7-13
7.3.2	製程概述及污染來源、污染特性	7-14
7.3.3	廠內管理與減廢	7-14
7.3.4	廢水處理設施	7-15
7.4	家庭用紙	7-20
7.4.1	行業概況	7-20
7.4.2	製程概述及污染來源污染特性	7-21
7.4.3	廠內管理與減廢	7-21
7.4.4	廢水處理設施	7-21
	參考文獻	i

圖目錄

圖 1.2-1	2013 年紙張及紙板生產量比例圖.....	1-2
圖 1.2-2	2013 年紙張及紙板消費量比例圖.....	1-3
圖 1.2-3	台灣區會員紙廠分布.....	1-4
圖 2.1.1-1	水污染防治法規架構圖.....	2-2
圖 2.1.1-2	水措計畫及許可申請之流程.....	2-3
圖 2.2-1	空氣污染防制法及相關子法架構圖.....	2-14
圖 2.3.1-1	廢棄物清理法及相關子法架構圖.....	2-28
圖 2.3.2-1	土壤及地下水污染整治法及相關子法之架構.....	2-34
圖 3.1.2-1	典型的磨木機製造流程.....	3-2
圖 3.1.2-2	牛皮漿法製造流程.....	3-5
圖 3.1.2-3	牛皮漿法藥液循環.....	3-6
圖 3.1.2-4	銨基亞硫酸法製造流程.....	3-7
圖 3.1.1-1	CEDED 漂白工廠製造流程圖(Dorr-Oliver).....	3-10
圖 3.1.3-1	典型抄紙流程圖.....	3-11
圖 3.1.4-1	家庭用紙製造流程.....	3-13
圖 3.1.4-2	文化用紙製造流程.....	3-14
圖 3.1.4-3	工業用紙製造流程.....	3-14
圖 3.1.4-4	手工紙製造流程.....	3-15
圖 4.2.1-1	快濾過濾池形式.....	4-5
圖 4.2.1-2	水中常見污染物與處理方法.....	4-8
圖 4.2.1-3	逆滲透膜之原理.....	4-10
圖 4.2.1-4	薄膜分離法流程(例).....	4-12
圖 4.2.1-5	電透析法原理圖.....	4-13
圖 4.2.2-1	電荷之中和.....	4-14
圖 4.2.2-2	架橋作用概念.....	4-14
圖 4.2.2-3	杯瓶試驗裝置.....	4-17
圖 4.2.2-4	混凝沉澱系統流程圖.....	4-18
圖 4.2.2-5	攪拌設備之形式.....	4-19
圖 4.2.2-6	去除懸浮物為主的三級處理流程.....	4-20
圖 4.2.2-7	凝聚反應槽：(1)槳板式(雙槽)；(2)螺旋式(單槽)攪拌器.....	4-20
圖 4.2.2-8	活性炭吸附裝置.....	4-22
圖 4.2.2-9	多段直列吸附槽.....	4-23
圖 4.2.2-10	臭氧注入方法.....	4-23
圖 4.2.3-1	分批式活性污泥法種類及操作程序.....	4-26
圖 4.2.3-2	(a)側流式(b)沉浸式 MBR.....	4-27

圖 4.2.3-3	接觸曝氣法之 BOD、氮去除特性	4-28
圖 4.2.3-4	接觸曝氣法各種曝氣方式	4-29
圖 4.3-1	一般造紙流程圖	4-31
圖 4.3-2	一般造紙廢水流程圖	4-32
圖 4.3-3	NF、UF 及 RO 膜串聯處理系統(Shukla et al, 2013b) ²⁹	4-35
圖 4.3-4	(A)MF 膜系統的原理圖和(B)MF 膜裝置照片 ³⁰	4-36
圖 5.2.1-1	靜電集塵器示意圖	5-5
圖 5.2.1-2	氣體流經平板式 ESP 的情形	5-6
圖 5.2.1-3	ESP 本體結構分解示意圖	5-7
圖 5.2.1-4	敲擊機構示意圖	5-8
圖 5.2.1-5	凝子室與支撐凝子示意圖	5-8
圖 5.2.1-6	均流板圖示	5-9
圖 5.2.1-7	靜電除塵器內的不均勻電場(上視圖)	5-9
圖 5.2.1-8	電極線附近產生電暈放電的現象	5-10
圖 5.2.1-9	在電暈發光區內發生的雪崩相乘效應	5-10
圖 5.2.1-10	在二個電極之間空氣游離成陰離子的情形	5-11
圖 5.2.1-11	在微粒周圍變形之電場線	5-11
圖 5.2.1-12	溫度及濕度對水泥粉塵餅之顯在電阻係數的影響	5-14
圖 5.2.1-13	飛灰之電阻係數與煤炭含硫量及煙道溫度的關係	5-14
圖 5.2.1-14	多孔膨脹室之進氣口	5-15
圖 5.2.1-15	電力分隔區	5-16
圖 5.2.2-1	濕式洗塵器的除塵原理	5-18
圖 5.2.2-2	流動床洗塵器之收集效率與微粒粒徑(Dp)的關係	5-19
圖 5.2.2-3	多孔平板洗滌器	5-20
圖 5.2.2-4	泡罩之衝擊表面詳圖	5-21
圖 5.2.2-5	典型的文氏洗滌器	5-22
圖 5.2.2-6	可變喉口之文氏洗滌器	5-23
圖 5.2.2-7	衝擊噴水式噴頭及螺旋式噴頭	5-24
圖 5.2.2-8	簡單之噴霧塔	5-25
圖 5.2.2-9	除霧器	5-26
圖 5.2.3-1	填充洗滌塔廢氣處理系統	5-28
圖 5.2.4-1	氣燃比與氮氧化物、碳氫化合物及一氧化碳之典型關係	5-30
圖 5.2.4-2	選擇性觸媒還原法處理程序示意圖	5-34
圖 5.2.4-3	氧氣濃度對觸媒轉化 NO _x 的影響	5-36
圖 5.2.4-4	NH ₃ 添加量對 SCR 反應的影響	5-37
圖 6.1.1-1	板框壓濾式污泥脫水機	6-17
圖 6.1.1-2	板框壓濾式脫水機操作程序	6-18

圖 7.1.2-1	機械抄紙類流程圖	7-1
圖 7.1.2-2	手工抄紙類流程圖	7-2
圖 7.1.4-1	手工紙廢水處理流程圖	7-5
圖 7.2.2-1	抄紙製程圖	7-8
圖 7.2.4-1	敬神紙廢水處理流程圖	7-10
圖 7.3.2-1	工業用紙製造流程	7-14
圖 7.3.4-1	工業用紙廢水處理流程圖	7-15
圖 7.3.4-2	污泥壓濾式脫水機	7-18
圖 7.4.2-1	家庭用紙製造流程	7-21
圖 7.4.4-1	家庭用紙廢水處理流程圖	7-22

表目錄

表 2.1.1-1	專責人員類別規定彙整表.....	2-4
表 2.1.1-2	造紙業、紙漿製造業一般管制項目及限值.....	2-5
表 2.2.1-1	造紙業、紙漿製造業之固定污染源空氣污染物排放標準.....	2-15
表 2.2.1-2	固定污染源戴奧辛排放標準.....	2-18
表 2.3.2-1	土壤及地下水污染整治法裁罰基準案例.....	2-41
表 3.1.2-1	機械製漿法.....	3-3
表 3.1.2-2	機械製漿法比較(以雲杉於同樣游離度測定).....	3-3
表 3.1.2-3	機械製漿法與化學製漿法之比較.....	3-8
表 3.1.2-4	主要製漿法摘要.....	3-9
表 3.1.3-1	化學添加劑種類.....	3-12
表 3.2.1-1	不同原料之蘇打法製漿廢水分析.....	3-19
表 3.2.1-2	半化學紙漿廢水水質分析.....	3-20
表 3.2.1-3	芬蘭州 Anjala 紙廠廢水量纖維損失變遷情形.....	3-21
表 3.2.1-4	美國 EPA 對機械製漿排放污染之限量.....	3-21
表 3.2.1-5	抄紙白水水質.....	3-22
表 3.2.2-1	臭氣排放源.....	3-24
表 3.2.2-2	製程排氣排放源.....	3-24
表 4.1.1-1	污水處理場物理處理單元預期操作功能.....	4-1
表 4.1.2-1	污水處理廠化學處理單元基本原理.....	4-2
表 4.1.3-1	廢水生物處理基本程序.....	4-3
表 4.2.1-1	薄膜處理程序及其特性.....	4-8
表 4.2.1-2	各種薄膜之過濾特性.....	4-8
表 4.2.1-3	各種膜的分離去除特性.....	4-9
表 4.2.1-4	薄膜處理水水質.....	4-11
表 4.2.2-1	常用的凝劑種類及特性.....	4-16
表 4.2.2-2	各類型高分子助凝劑的適用範圍.....	4-17
表 4.2.3-1	一般活性污泥法設計參數.....	4-25
表 4.3-1	造紙工業生產文化用紙所產生廢水之水質特性.....	4-31
表 4.3-2	Lahore 某造紙廠黑液廢水特性.....	4-34
表 5.2.2-1	平板洗滌器之操作特性.....	5-21
表 5.2.2-2	文氏洗滌器之操作特徵.....	5-24
表 5.2.2-3	噴霧塔之操作特徵.....	5-26
表 5.2.4-1	可行之燃燒控制改善方式.....	5-31
表 5.2.4-2	燃燒後氮氧化物控制技術.....	5-33
表 5.2.4-3	選擇觸媒應注意之事項.....	5-34
表 5.2.5-1	排氣 SO _x 控制設備選用及特性.....	5-40
表 5.2.5-2	常用於除酸的吸收(附)劑.....	5-40

表 6.1.1-1	帶壓脫水設備之特性.....	6-15
表 6.1.1-2	泵浦之構造分類.....	6-25
表 6.1.1-3	泵浦用途分類及使用材質.....	6-25
表 6.1.1-4	吸收設備維護、保養及功能查核要點.....	6-38
表 6.1.1-5	氮氧化物設備維護、保養及功能查核要點.....	6-39
表 6.1.1-6	硫氧化物設備維護、保養及功能查核要點.....	6-39
表 6.2.1-1	化學沉降/混凝沉澱設施之維護檢查項目.....	6-40
表 6.2.1-2	過濾系統異常現象及對策.....	6-41
表 6.2.1-3	膜分離之異常現象及對策.....	6-42
表 6.2.1-4	活性污泥異常現象之主要原因及其對策.....	6-43
表 6.2.1-5	絲狀微生物膨化原因及防治.....	6-45
表 6.2.1-6	板框壓濾式脫水機異常主要原因及對策.....	6-47
表 6.2.1-7	帶濾式污泥脫水機異常對策.....	6-48
表 6.2.1-8	電磁流量計常見的故障與排除.....	6-48
表 6.2.1-9	超音波流量計常見的故障與排除方法.....	6-49
表 6.2.1-10	渦輪式流量計常見的故障與排除方法.....	6-50
表 6.2.1-11	pH 監測計、ORP 監測之故障原因及處置方法.....	6-51
表 6.2.1-12	溶氧計常見的故障與排除方法.....	6-52
表 6.2.1-13	液位計常見的故障與排除方法.....	6-53
表 6.2.1-14	泵浦故障原因及對策(例：自動控制系統).....	6-53
表 6.2.2-1	異味處理系統失效可能原因及緊急應變整備方案.....	6-55
表 7.1.4-1	手工紙廢水處理水質.....	7-5
表 7.1.4-2	手工紙廢水處理設備尺寸.....	7-5
表 7.1.4-3	手工紙案例之操作設施可改善與建議事項.....	7-7
表 7.2.4-1	敬神紙廢水處理水質.....	7-11
表 7.2.4-2	敬神紙廢水處理設備尺寸.....	7-11
表 7.2.4-3	粗紙廢水處理設備處理單元操控參數.....	7-11
表 7.2.4-4	粗紙案例之操作設施可改善與建議事項.....	7-12
表 7.3.4-1	工業用紙廢水處理水質.....	7-15
表 7.3.4-2	工業用紙廢水處理設備尺寸.....	7-15
表 7.3.4-3	工業用紙廢水處理單元設計.....	7-16
表 7.3.4-4	曝氣池(進流及出流)及回流污泥沉降試驗表.....	7-17
表 7.3.4-5	工業用紙案例之操作設施可改善與建議事項.....	7-20
表 7.4.4-1	家庭用紙廢水處理水質.....	7-22
表 7.4.4-2	家庭用紙廢水處理設施槽體尺寸.....	7-23
表 7.4.4-3	家庭用紙廢水處理設施單元操控參數說明.....	7-23
表 7.4.4-4	家庭用紙廢水活性污泥及迴流污泥沉降試驗表.....	7-25
表 7.4.4-5	家庭用紙案例之操作設施可改善與建議事項.....	7-25

第一章 前言

1.1 緣起

工業乃是我國經濟發展之重點項目，舉凡各工業上中下游供應鏈等產品，均與人類日常生活密不可分，對於促進人類文明，其功厥偉。然其巨大產量附帶而來之水污染、空氣污染及固體廢棄物污染，若未能妥善而有效的處理，對環境造成之衝擊反成為文明人類之夢靨。

近年來，因環保議題日漸受到關注，民眾環保意識高漲，亦帶動工業供應鏈積極投入環保投資之觀念，從減少原料、藥品損失、減少用水量、減少溢漏等綠色生產觀念之導入，並加強操作維護管理、製程改善等方面著手之外，更重要的是將污染防治納入內部成本(on-site costs)考慮，尤其在能源、藥品、原料和人工成本均上漲之今日，業者尤應如此，以期降低生產成本，保持產品品質與減少管末處理之污染負荷，來維持市場之競爭能力，並善盡維護環境品質之社會責任。

台灣地區由於地狹人稠，任何污染問題若未能積極謀求改善，勢必對周遭環境造成極大的影響，因而尤應改變以往經濟發展重於環境保育之心態，著手進行污染防治工作，以為後代子孫留下一片乾淨之青山綠水。

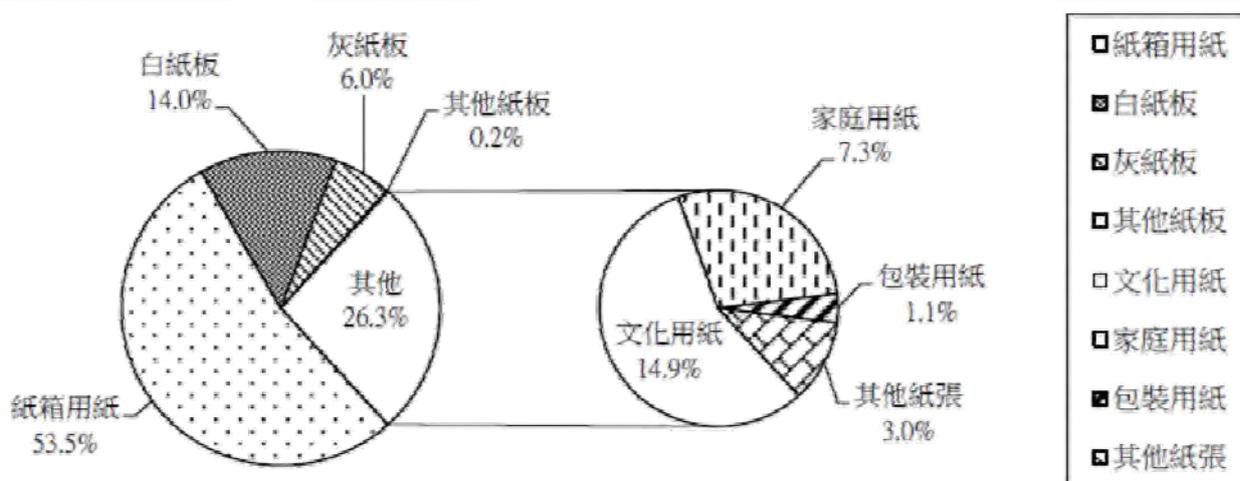
爰此，本手冊彙整相關環保法規的修訂情形，及產業易產生污染之處理技術，編撰「紙漿、紙及紙製品製造業污染防治法規與處理技術手冊」，彙整較新穎之防治技術內容及案例說明，提供產業污染防治之參考使用。

1.2 行業介紹

台灣造紙業亦受惠於國際情勢漸好而有些許成長，但造紙業也受到原料紙漿、能源價格上漲等因素致使成本提高。紙張類尤其是文化用紙的產銷情況相對於工業用紙來說表現疲弱，整體表現內外銷均有微幅減少。

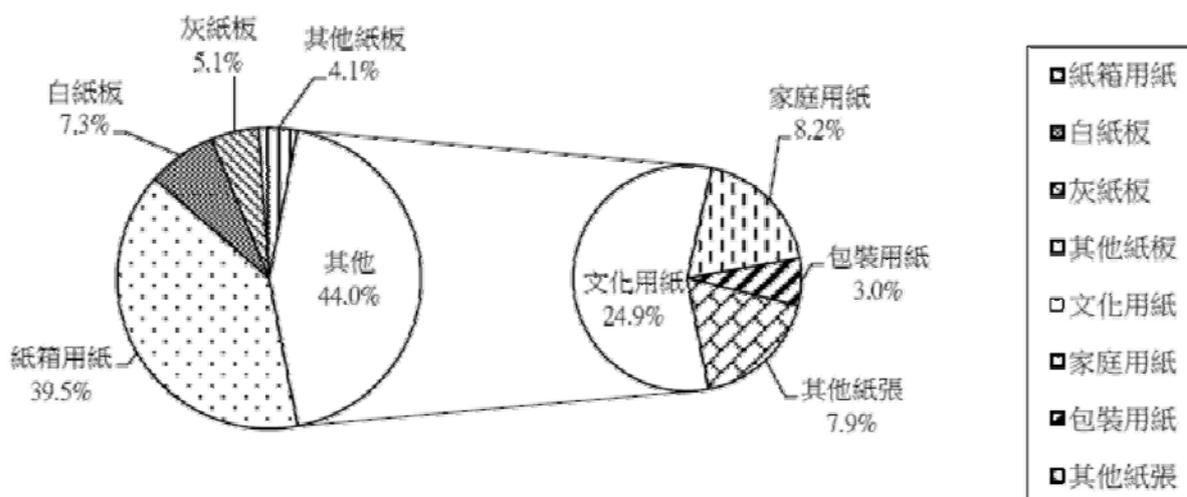
依據經濟部統計處¹資料，以及台灣區造紙工業同業公會 2014 年台灣造紙工業統計指出：2013 年台灣全年紙張與紙板總消費量為 432.9 萬公噸，比 2012 年減少 1.7%。其中紙張 190.4 萬公噸，減少 4.5%，紙板 242.5 萬公噸，增加 0.6%。每人年平均用紙量微幅下滑至 185.2 公斤。紙張與紙板總進口量 153.1 萬公噸，較 2012 年減少 0.8%，其中紙張 107.6 萬公噸，減少 2.8%，紙板 45.5 萬公噸，增加 4.2%。

國內產銷情況：紙張與紙板總產量 415.6 萬公噸較 2012 年減少 1.7%，其中紙張 110.1 萬公噸，減少 4.8%，紙板 305.5 萬公噸，減少 0.6%。紙張與紙板總銷售量 416.1 萬公噸比 2012 年減少 0.8%，其中內銷 280.3 萬公噸，減少 0.8%，外銷 135.8 萬公噸，減少 0.8%，當中紙張外銷增加 1.8%，而紙板外銷減少 1.4%。2013 年紙張及紙板生產量及消費量比例圖，分如圖 1.2-1 及圖 1.2-2 所示。



資料來源：台灣區造紙工業同業公會²

圖 1.2-1 2013 年紙張及紙板生產量比例圖



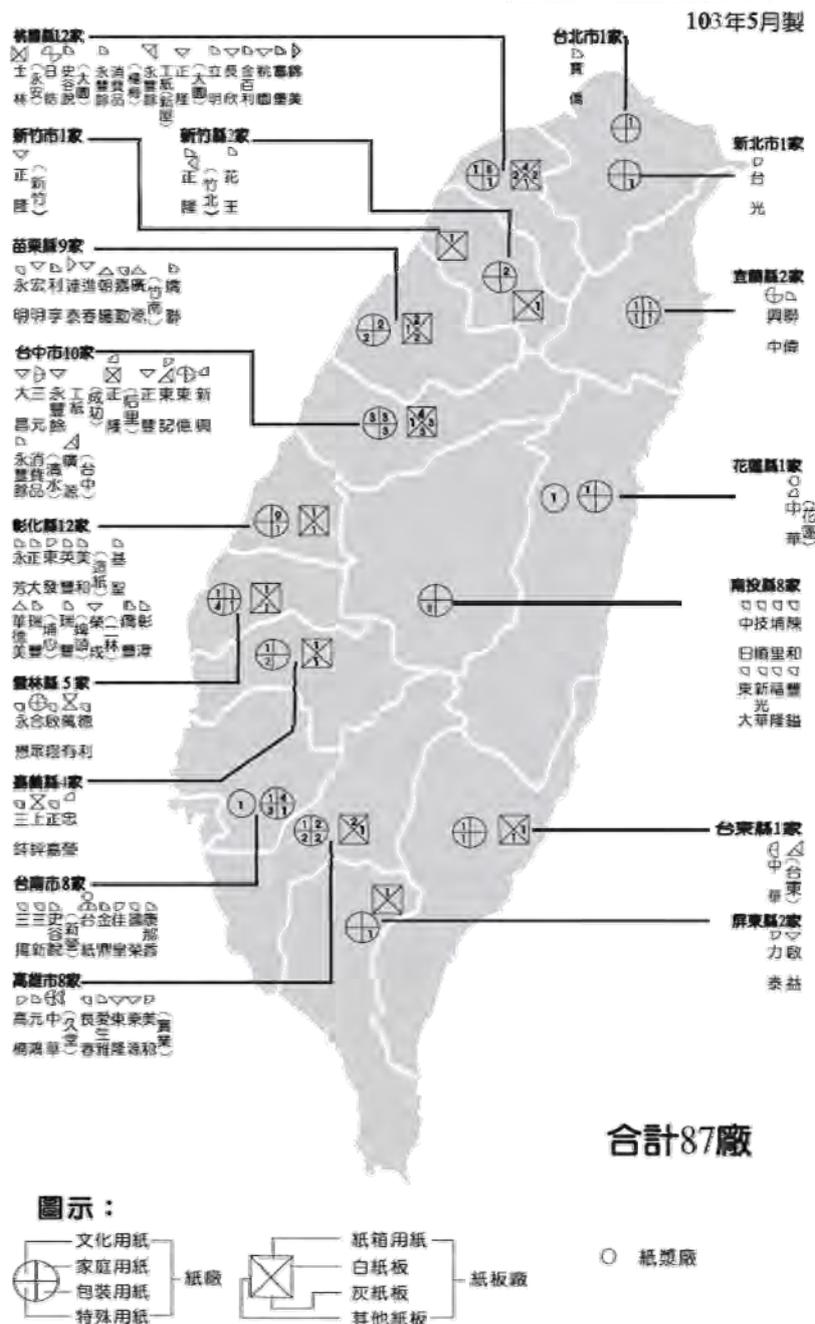
資料來源：台灣區造紙工業同業公會²

圖 1.2-2 2013 年紙張及紙板消費量比例圖

參照台灣區造紙工業同業公會 2014 年出版之台灣造紙工業統計，目前台灣地區登記之造紙業及紙品加工業共有 87 家廠商，以北部(台北市、新北市、基隆市、桃園縣、新竹縣市、苗栗縣、宜蘭縣)、中部(台中市、彰化縣、南投縣、雲林縣)、南部(嘉義縣、台南市、高雄市、屏東縣、澎湖、金門)、東部(花蓮縣、台東縣)為分區，進行廠商家數的分析如圖 1.2-3 所示。台灣區造紙工業同業公會現(103 年)有會員廠 87 家，其中包括紙漿廠，紙廠及紙板廠三種。

造紙業之製程特性為高用水量之產業，但其廢水因原料性質不同，水質大不相同，廢水中之污染物質可分為懸浮性固體物、溶解性有機物及溶解性無機物等三類，污染物來源主要為抄紙過程使用之各種填充料，如白土或細纖維，以及廢紙漿纖維脫墨製程所產生之廢水。造紙工廠之廢水污染源，因造紙廠使用原料及生產製程不同，所產生之廢水污染濃度及用水量均有相當差異，以再生漿及原生漿為原料之廠商，所產生之廢水，可利用化學混凝、加壓浮除及活性污泥處理方法處理，大多只應用到二級生物處理技術，至於部分將製程中黑液與抄紙白水合併處理之自產紙漿廠商，由於其廢水污染濃度相當高，除了必要之初級物化處理極二級生物處理外，大部分尚需進行三級處理，方能確保放流水質。

台灣地區依工業生產統計分類，紙漿、紙及紙製品分為紙漿製造業、一般紙業、中式紙張業、紙板製造業、加工紙業、紙容器業及其它紙製品業。又造紙業能以供小型規模居多，由於業者資本額不高，設備一般較老舊，且無大型機械設備，又缺乏有系統之一貫化作業及企業化經營，以致產量不大，品質提升有限，較缺乏國際競爭力，對污染防治設施之投資意願及能力自然亦較薄弱。



資料來源：台灣區造紙工業同業公會²

圖 1.2-3 台灣區會員紙廠分布

第二章 環保法規

本章特針對造紙業之環保法規如水污染防治法、空氣污染防治法、廢棄物清理法與土壤及地下水整治法，就其相關法規分析，且將近日修正之裁處不法利得的作業要點與裁罰基準或裁罰準則詳細說明，並列舉違反相關案例。

2.1 廢水污染防治

造紙業產生之廢水應依循其廢水特性完整規劃及處理，並應遵循水污染防治法及其相關法規辦法，確實處理與管理，以達到污染防治與環境保護之目的。本節彙整現行與造紙業相關之水污染防治法規架構、說明及常見違法案例。

2.1.1 水污染防治法及其相關法規重點摘要

根據水污染預防與管理之相關法規，彙整法規架構如圖 2.1.1-1，以水污染防治法為法源，含括水污染排放標準和各項管理辦法等法規命令。



圖 2.1.1-1 水污染防治法規架構圖

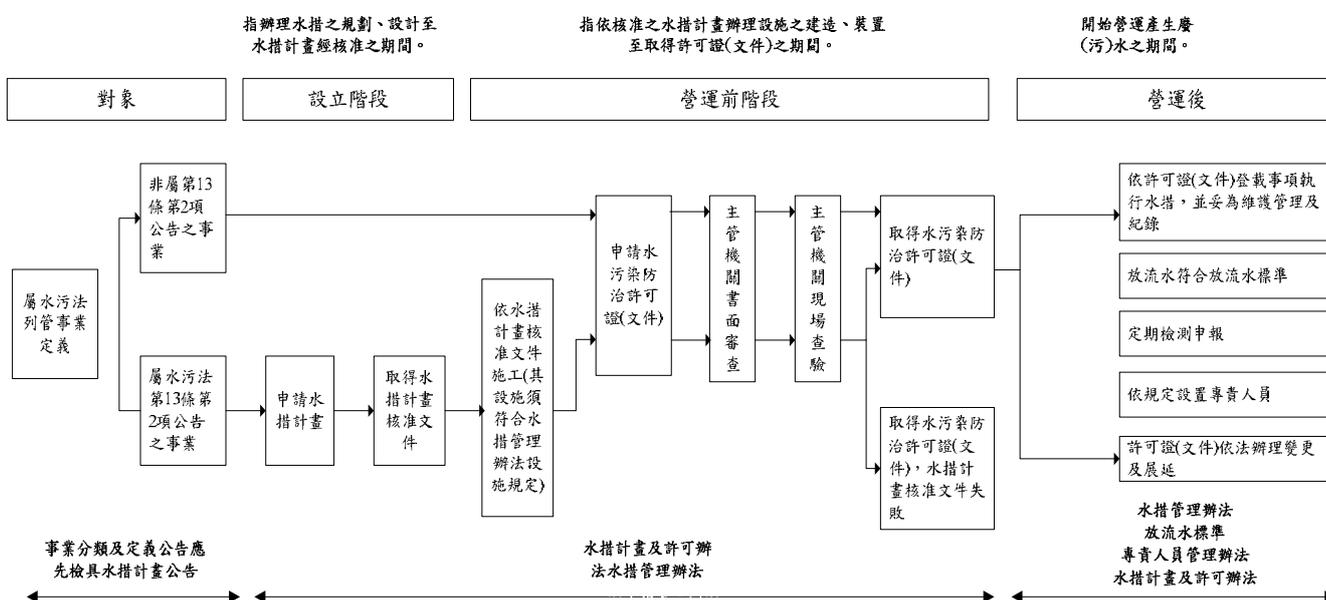
水污染防治法中明訂事業的定義與類別，需遵循的法規如圖 2.1.1-1 架構所示。

依水污法規定，事業於設立或變更前應先檢具水污染防治措施計畫及相關文件，送當地主管機關審查核可後發給排放許可證。既設事業須申請排放許可，對於污染工程改善計畫書需經專業技師簽證。排放許可證之有效期限為 5 年，期滿仍繼續使用者，應自期滿 6 個月前起算 5 個月之期間內，向當地主管機關申請核准展延。每次展延不得超過 5 年。

依事業特性設置水污染防治設備，正常運作排放廢(污)水須符合放流水標準外，應依廢(污)水特性及產生量設置專責人員、定期申報廢(污)水處理設施之操作、放流水質水量之檢驗測定、用水及用電紀錄及其他有關廢(污)水處理之文件。

一、水污染防治措施計畫及許可申請

『水污染防治措施計畫及許可申請審查辦法』依污染防治法第 13 條第 3 項、第 4 項、第 14 條第 3 項、第 19 條準用第 14 條及第 20 條第 2 項規定訂定之。詳列事業的申請程序與應附文件資料，另根據排放水量及擬排放水體種類而申請排放許可。此外若申請採用土壤處理、回收使用等，均依本辦法之內容備妥文件申請。申請水措計畫及許可申請之流程如圖 2.1.1-2。



資料來源：江育德，2014

圖 2.1.1-2 水措計畫及許可申請之流程

二、廢水處理專責人員

事業設有水污染防治設備，則應須參照『環境保護專責單位或人員設置及管理辦法』，應依廢(污)水特性及產生量決定須設置專責單位、甲級或乙級專責人員。事業需設置專責人員之目的，係專責協助事業及污水下水道系統辦理廢污水處理、操作、維護、記錄、申報、改良及其他相關工作，間接減少污染情事發生。而其規模及專責人員類別如表 2.1.1-1 所示。

表 2.1.1-1 專責人員類別規定彙整表

廢(污)水特性規模及產生量	排放一般物質	排放有害物質
應設專責單位之水量規模	> 5,000 (CMD)	> 1,000(CMD)
應設甲級專責人員	2,000 ~ 4,999 (CMD)	200 ~ 999 (CMD)
應設乙級專責人員 (委託處理或納入下水道系統)	100 ~ 1,999 (CMD) (> 300 CMD)	< 199 (CMD) (> 100 CMD)

三、操作、檢測及申報管理

事業應設有功能足夠的水污染防治設備且需正常運作，定期檢修各單元機械設備運作功能是否正常，定期實施保養及適時維修，並依據『水污染防治措施及檢測申報管理辦法』的各項規定，作成紀錄保存 3 年以備查閱。

廢水管制範疇包含作業廢水、洩放廢水、未接觸的冷卻水及逕流廢水，對逕流廢水之削減規定也應依本法申報。各項水措應定期檢查申報，申報內容包含：服務規模、廢水產生量及水質、處理水量及水質、使用藥劑、處理單元操作參數、操作方式、每月操作維護費、專用電錶電量、污泥產生量等資料。排放地面水體者應申報排放廢水水量及水質、流量計每月讀數及校正維護情形等。若回收及貯留須申報如每月回收使用水量、水質及進流端流量計校正維護情形。

原廢水質採每 6 個月檢測一次；排放地面水體者設有專責單位或甲級專責人員應每 3 個月檢測一次，應設置乙級專責人員或免置專責人員者僅需每 6 個月檢測一次。納管下水道系統者為每 6 個月檢測一次，但若下水道主管機關另有規定則需依其規定辦理。申報頻率依其規定每季或每 6 個月檢測一次；每半年或每年申報辦理。若遇緊急疏漏致污染水體之虞，應採緊急措施且事件發生後 3 小時內通報，應變後 10 日內提報緊急應變記錄及處理報告。

四、放流水標準

造紙業、紙漿製造業之水污染排放標準依其放流水體之差異可分為，放流水標準、海洋放流管線放流水標準、地面水體分類、水質標準和事業特別訂定之標準，本節僅對放流水標準予以說明。至於地面水體分類及水質標準依個案而異，本節不再另述。

造紙業、紙漿製造業一般管制項目如表 2.1.1-2 所示，說明管制項目及其限值，但特定區域另定有排放標準者，依其規定。

表 2.1.1-2 造紙業、紙漿製造業一般管制項目及限值

管制項目	造紙業最大限值		紙漿製造業最大限值
水溫	1.攝氏 38 度以下(適用於 5 月至 9 月)。 2.攝氏 35 度以下(適用於 10 月至翌年 4 月)		1.攝氏 38 度以下(適用於 5 月至 9 月)。 2.攝氏 35 度以下(適用於 10 月至 翌年 4 月)
pH	6.0 ~ 9.0		6.0 ~ 9.0
BOD	30		
COD	100	未使用廢紙為原料者	150
	180	使用廢紙為原料達 60% 以上者。	
	160	使用廢紙為原料未達 60% 者。	
SS	30		50
真色色度 (ADMI)	550		550
其他特定項目	請參考「放流水標準」(中華民國 103 年 1 月 22 日行政院環境保護署環署水字第 1030005842 號令修正發布第二條條文)		

註：除水溫、pH 及真色色度外，其他水質項目之單位為 mg/L。

五、其他相關辦法應分別符合其規定辦理

(一)土壤處理

- 1.事業若採土壤處理則依水污染防治法第 24 條事業或污水下水道系統產生之廢(污)水，應經前處理至符合土壤處理標準，

始得採行土壤處理。

- 2.其土壤處理設施之詳細標準請參照水污染防治措施及檢測申報管理辦法第 24 條。
- 3.第 28 條事業或污水下水道系統採土壤處理者，應於排放廢(污)水於土壤前，設置採樣口，採樣口之詳細規範請參照水污染防治措施及檢測申報管理辦法第 28 條所列之規定。

(二)回收使用

- 1.事業或污水下水道系統產生之廢(污)水，應處理至符合放流水標準始得回收使用，並於回收使用前，設置採樣口。但作為洗滌塔或其他污染防治設備、製程之用，不在此限。
- 2.回收使用作為沖洗作業環境內辦公場所、員工宿舍及其他活動場所之室內用水，應符合建築物污水處理設施之放流水標準。前項回收使用之廢(污)水應避免與人體接觸影響健康。
- 3.回收使用廢(污)水者，應於廢(污)水產生及處理後，設置獨立專用累計型水量計測設施；回收前，設置回收使用之獨立專用累計型水量計測設施。

(三)自動監測(視)及連線傳輸

事業及污水下水道系統依前條設置之水量、水質自動監測設施、攝錄影監視設施及連線傳輸設施，其種類、設置位置及自動監測項請參照污染防治措施及檢測申報管理辦法第106條第1項之規定。

六、違反水污染防治法

(一)違反水污染防治法罰鍰額度裁罰準則

- 1.依水污染防治法第 66 條之 1 規定訂定，罰鍰額度除依附表所

列情事裁處外，依行政罰法第 18 條第 1 項規定，應審酌違反本法義務行為應受責難程度、所生影響及因違反本法義務所得之利益，並得考量受處罰者之資力。

- 2.若排放廢(污)水有嚴重影響人體健康卻未立即採緊急應變措施因而致人於死者、不實申報或虛偽記載者、無證排放廢水有害健康物質超過放流水標準者等，其數刑罰得判無期徒刑、有期徒刑、拘役、罰金。
- 3.排放廢水超過放流水標準者、未依法取得許可證者、繞流排放者等採行政罰，得處以 60 萬元以下罰鍰、屆期未改按日連罰、命停工停業、廢止許可證。

(二)新近裁罰修正重點

- 1.針對限期改善取消所有違規均給予限期的規定，修改為有必要者方給予改善期限，且改善期間以未進行污染改善及控管，致違規原因持續或更形惡化作為判定處分原則，按日連續處罰起始日也修正為限期改善屆滿之翌日。
- 2.有關違規改善之檢具文件，修正為需就違規原因改善，且違規原因改善證明文件須經專責人員或技師認證。
- 3.在罰鍰額度上納入不當利得的考量，也就是罰鍰額度應依附表所列情事裁處外，依行政罰法第 18 條第 1 項規定，應審酌違反本法義務行為應受責難程度、所生影響及因違反本法義務所得之利益，並得考量受處罰者之資力。
- 4.此外修正限改期間若未進行污染及控管，導致違規行為持續甚至惡化者，得依違規行為按次處罰，以確保改善期間被視為法律假期的誤解。

(三)不法利得：水污法作業要點及裁罰準則

重大違反環境法案件，常伴隨著依法應支出而未支出之防治(制)措施成本，這些應支出而未支出之成本，遠遠超過環境法上罰鍰最高額，而應支出而未支出的成本與行政罰鍰二者之間價差即為不法利得。以往環境執法習慣採行管末採樣、檢驗，並與各項標準相較，藉以判定是否違法；此方式欠缺查核深度，難以發現違法及不法利得的全面貌，造成稽查處分率偏低；又，即便查獲違法，僅依環境法規定裁處罰鍰，受法定罰鍰範圍限制，無法追繳因違法所受不法利得。故現行以深度稽查亟需採具經濟制裁功能之行政裁罰手段，以污染者惡意污染之所得利益，加以加重罰鍰或追繳。

1.違反水污染防治法裁處不法利得稽查及裁處作業要點(101年1月13日修正)

- 一、為強化水污染防治法對事業及工業區專用污水下水道系統稽查及裁處執法工作。
- 二、主管機關查核比對認定事業或下水道系統有功能不足、未正常操作或繞流排放之虞時，應依本作業要點辦理稽查及裁處。
- 三、主管機關派員稽查事業或下水道系統檢查廢(污)水處理設施各項處理單元。
- 四、前點檢查結果，有任何未依照規定者，稽查人員予以詳細記錄相關事實與判斷於稽查紀錄後，應採樣檢測事業或下水道系統之放流水水質。
- 五、主管機關於稽查現場已確認前項處分之事實證據者，於現場作成限期改善處分之通知書，核給改善期間，並告知其應檢具完成改善之相關證明文件。
- 六、採樣檢測放流水之結果不符合放流水標準時，應通知事業或下水道系統，於15日內，陳述並佐證不符合放流水標

準之原因。

2.違反水污染防治法罰鍰額度裁罰準則(97年5月13日)

第1條 本準則依水污染防治法(以下簡稱本法)第66條之1規定訂定之。

第2條 違反本法規定者，罰鍰額度除依附表所列情事裁處外，依行政罰法第18條第1項規定，應審酌違反本法義務行為應受責難程度、所生影響及因違反本法義務所得之利益，並得考量受處罰者之資力。

第3條 一行為違反本法數個規定，應依法定罰鍰額最高之規定及附表所列情事計算罰鍰額度裁處之。

根據本裁罰準則，違法規定者將依照各類情形來決定罰鍰金額，其包括污染源規模或類型、違規紀錄、承受水體或環境類型、其他等，以下列舉出3類常見的違法事項：(1)排放廢(污)水不符合放流水標準；(2)疏漏污染物或廢(污)水至水體；(3)處理設施未維持正常操作，依據附表1所列之類別彙整列舉說明如下：

- (1)違反水污法第7條第1項，事業、污水下水道系統或建築物污水處理設施排放廢(污)水不符合放流水標準，若事業或污水下水道系統為應設置環境保護專責單位者，處9萬元以上12萬元以下；排放之廢(污)水中任一污染物最高濃度為放流水標準限值6倍以上者，處12萬元以上36萬元以下；自本次違反之日起，往前回溯6個月內違反相同條款次數乘以6萬元；排放廢(污)水之承受水體屬地面水體分類甲類水體水系，處6萬元以上8萬元以下；繞流排放廢(污)水者，處12萬元以上36萬元以下。全部罰鍰金額為6萬元以上，60萬元以下。

(2)違反水污法第 28 條第 1 項，事業或污水下水道系統疏漏污染物或廢(污)水至水體之虞者，應採行緊急應變措施，若事業或污水下水道系統為應設置環境保護專責單位者，處 18 萬元以上 24 萬元以下；疏漏污染物或廢(污)水有不符放流水標準時，處 6 萬元以上 18 萬元以下；自本次違反之日起，往前回溯 6 個月內違反相同條款次數乘以 6 萬元；排放廢(污)水之承受水體屬地面水體分類甲類水體水系，處 6 萬元以上 8 萬元以下；未通報且未採取緊急應變措施者，處 9 萬元以上 12 萬元以下。全部罰鍰金額為 1 萬元以上，60 萬元以下。

(3)違反水污染防治措施及檢測申報管理辦法第 14 條，廢(污)水(前)處理設施未維持正常操作，若事業或污水下水道系統為應設置環境保護專責單位者，處 9 萬元以上 12 萬元以下；排放之廢(污)水中任一污染物最高濃度為放流水標準限值 6 倍以上者，處 12 萬元以上 36 萬元以下；自本次違反之日起，往前回溯 6 個月內違反相同條款次數乘以 6 萬元；排放廢(污)水之承受水體屬地面水體分類甲類水體水系，處 6 萬元以上 8 萬元以下；屬於廢(污)水或污泥處理設備功能不足者，處 30 萬元以上。全部罰鍰金額事業為 1 萬元以上，60 萬元以下；污水下水道系統為 6 萬元以上，60 萬元以下。

2.1.2 常見違法案例說明

經統計造紙業常見水污染防治違反案例，主要以違反超過放流水標準、處理設施功能不足、處理設施未正常操作或維護保養、管線及設備標示不清、繞流偷排、未妥善取得操作許可或擅自變更、未設置符合資格之專責人員及因突發事故或輸送或貯存設備有疏漏致污染水體而未及時通報等。以下分別說明：

- 一、排放水質超出放流水標準、處理設施功能不足或未正常操作與妥善維護，常見因設施未維持正常操作、處理設施功能不足等問題，所造成發生排放水質超過放流水標準時，根據調查最常發生排放水質超標的項目為 COD 及 SS，根據水污法第 7 條第 1 項—事業、污水下水道系統或建築物污水處理設施，排放廢(污)水於地面水體者，應符合放流水標準。得依第 40 條事業或污水下水道系統：處新臺幣 6 萬元以上 60 萬元以下罰鍰，並通知限期改善，屆期仍未完成改善者，按日連續處罰；情節重大者，得命其停工或停業；必要時，並得廢止其排放許可證、簡易排放許可文件或勒令歇業。

若因處理設施功能不足導致污染水體事件，則違反「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第 12 條—廢(污)水(前)處理設施應具備足夠之功能及設備。

此外，未正常操作與妥善維護也是常見之違規情形，其法源依據為「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第 14 條—廢(污)水(前)處理設施，應維持正常操作，定期實施保養及適時維修，並作成紀錄，保存 3 年，以備查閱。

- 二、設施、管線標示不清或未設置放流口告示牌及流量計根據「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第 50 條—事業或污水下水道系統設置之下列水污染防治設施及管線，應清楚標示其名稱與管線內流體名稱及流向。此外，第 53 條—事業或污水下水道系統之放

流口應符合設置位置、明確告示牌及獨立專用放流水錶等規定。

三、排放許可的申請、變更或其他違反事項

常見因排放現況與原登記不符的狀況，違反第 14 條第 2 項：前項登記事項有變更時，非於中央主管機關所定期限內辦理變更登記，其排放廢(污)水，不得與原登記事項牴觸。得根據第 45 條處新臺幣 1 萬元以上 60 萬元以下罰鍰，並通知限期補正，屆期仍未補正者，按次處罰。

若發現無許可排放或違反許可登記事項，則違反水污法第 14 條第 1 項及第 2 項規定—事業排放廢(污)水於地面水體者，應向直轄市、縣(市)主管機關或中央主管機關委託之機關申請，經審查登記，發給排放許可證或簡易排放許可文件後，始得排放廢(污)水。並得依第 45 條 違反第 14 條第 1 項，處新臺幣 6 萬元以上 60 萬元以下罰鍰，並通知限期補正，屆期仍未補正者，按次處罰。

四、繞流偷排、未經許可貯留廢水、輸送或貯存設備有疏漏致污染水體而未及時通報前者違反「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第 52 條第 1 項—事業或污水下水道系統應以核發機關許可之放流口排放。但緊急情形非以繞流排放，不足以搶救人員或處理設施者，不在此限。若未經許可貯留廢水，應依第 20 條第 1 項：事業或污水下水道系統貯留或稀釋廢水，應申請直轄市或縣(市)主管機關許可後，始得為之。得依第 48 條處新臺幣 3 萬元以上 30 萬元以下罰鍰，並通知限期補正或完成改善，屆期仍未補正或完成改善者，按日連續處罰。

若因疏漏導致污染水體，根據水污法第 28 條第 1 項—事業或污水下水道系統設置之輸送或貯存設備，有疏漏污染物或廢(污)水至水體之虞者，應採取維護及防範措施；其有疏漏致污染水體者，應立即採取緊急應變措施，並於事故發生後 3 小時內，通知當地主管機關。

五、未確實設置專責人員

產業設有污染防治設施且符合需設置各級專責人員，但未確實設置則違反第21條第1項：事業或污水下水道系統應設置廢(污)水處理專責單位或人員。須處以新臺幣1萬元以上10萬元以下罰鍰，並通知限期補正或改善，屆期仍未補正或完成改善者，按日連續處罰。

六、不法利得

為遏止事業規避水污染防治責任，因此訂定違反水污染防治法裁處不法利得稽查及裁處作業要點，說明如下：

(一)當不法利得低於法定最高罰鍰額度者：依「裁量基準」或「裁罰準則」該罰鍰逾法定罰鍰最高額者，以法定罰鍰最高額裁處之。未達法定罰鍰最低額者，以法定罰鍰最低額裁處之。

(二)當不法利得高於法定最高罰鍰額度者：以不法利得裁處之。

例如○○公司為污水廠代操作廠商，每日處理污水總量30,000多公噸，但因處理容量功能不足，自94年9月起每日僅處理15,000公噸，其餘污水都暫存於調勻池，至傍晚再經由私自埋設地下管線偷排入海。

依據行政罰法第20條，以污泥產生量、清運量、儲存量，計算短少污泥量，以此換算為未妥善處理的廢污水量，乘以每噸廢水收費金額，計算不法利益裁罰○○公司。

此外，查獲桃園縣○○公司未經核准排放廢污水於雨水下水道，經舉證函送桃園縣政府環保局於101年9月10日及11月14日依違反水污法裁處1萬元及3萬元罰鍰。

2.2 廢氣污染防制

造紙業之空氣污染排放標準和處理辦法、管制架構如圖 2.2-1。



圖 2.2-1 空氣污染防制法及相關子法架構圖

2.2.1 固定污染源防制

空氣污染防制法為空氣污染相關法規之法源依據，本手冊僅針對事業需遵守的固定污染源為說明討論的內容。分別就固定污染源防制、空氣品質及裁處規定，詳細說明如後。

一、空氣污染排放標準

(一)非特定行業之排放標準

造紙業之非特定行業之排放標準可分為固定污染源空氣排放標準、固定污染源戴奧辛排放標準，其重點如下：

1. 固定污染源空氣排放標準

適用於新設立或變更、或既存之固定污染源(分別簡稱為新污染源、既存污染源)；其標準可參考『固定污染源空氣排放標準』之附表 1、附表 2。但特定業別、區域或設施另訂有排放標準者，應優先適用該標準。

針對造紙業、紙漿製造業之固定污染源空氣污染物排放標準彙整如表 2.2.1-1，主要說明粒狀污染物、硫氧化物、氮氧化物、硫化氫(H₂S)，甲硫醇(CH₃SH)，硫化甲基(CH₃)₂S，二硫化二甲基((CH₂)₂S₂)等。

表 2.2.1-1 造紙業、紙漿製造業之固定污染源空氣污染物排放標準

空氣 污染物	排放標準		換算常數		施行日期		備註
	排放管道	周界	a ₁	a ₂	新污 染源	既存 污染源	
粒狀污 染物(不透 光率)	連續自動監測： 每日不透光率 6 分鐘監測值 超過 20% 之累積時間不得超 過 4 小時		—	—	發布日	發布日	下述設備可不受限制： 一.小於 2,500 CC 之 固定式內燃機。 二.實驗室用之設備。 三.手提式焊接設備。 四.打樁機具。 五.目測判煙訓練設 備。 六.消防訓練或火災
	目測判煙： 不得超過不透光率 20%，停 止、開始運轉時可到不透光 率 40%，但 1 小時內超過不 透光率 20% 之累積時間不得 超過 3 分鐘。		—	—	發布日	發布日	
粒狀污 染物(重量濃 度)	(1)		500 μg/Nm ³	0.58	2.8×1 0 ⁻⁴	—	自發布日 起適用標 準(1)
	排氣量 Q (Nm ³ /min)	濃度 C(mg/Nm ³)					

空氣 污染物	排放標準		周界	換算常數		施行日期		備註	
	排放管道			a ₁	a ₂	新污 染源	既存 污染源		
	30 以下	500						二、粒狀污染物排放標準適用對象，新污染源指 102 年 4 月 25 日(含)起設立之污染源；既存污染源指 102 年 4 月 25 日前已完成建造、建造中、完成工程招標程序或未經招標程序已完成工程發包簽約之污染源。惟既存污染源符合空氣污染防治法第 24 條所稱變更條件者，以新污染源論。	
	50	411							
	100	314							
	200	241							
	300	206						三、標準(2)(3)(4)使用加熱爐、裂解爐及鍋爐以外之燃燒過程，排放濃度之計算以未經稀釋之乾燥體積為計算基準。	
	500	169							
	800	141							
	1,000	129							
	2,000	99							
	3,000	85							
	5,000	70							
	8,000	58							
	10,000	53							
	20,000	41							
	30,000	35							
	50,000	29							
	70,000 以上	25							
	燃燒過程	(2)50 mg/Nm ³ (3)100 mg/Nm ³				發布日起適用標準(2)	自 103 年 4 月 30 日起適用標準(3)		
	燃燒以外過程	(4)100 mg/Nm ³				發布日起適用標準(4)	自 103 年 4 月 30 日起適用標準(4)		
硫氧化物 (SO _x 以 SO ₂ 表示)	燃燒過程	氣體燃料	100ppm	0.3ppm	1.0	4.9× 10 ⁻⁴	發布日	發布日	石油煉製業硫磺工廠尾氣焚燒後排放管道標準，除另有規定外，適用 500ppm 標準。
		液體燃料	300ppm				發布日	發布日	
		固體燃料	300ppm				發布日	發布日	

空氣 污染物	排放標準			換算常數		施行日期		備註
	排放管道		周界	a ₁	a ₂	新污 染源	既存 污染源	
氮氧化物 (NO _x 以 NO ₂ 表示)	燃燒設 備	氣體燃 料	(1)300 ppm	—	—	標準(2) 自發布 日起在 全國地 區施行。	標準(2) 自發布 日起在 台北 市、高 雄 市、新 北 市、屏 東 縣、台 東 縣、花 蓮 縣施行。 其他 地區適 用標準 (1)。	一.鍋爐4噸以上及 其他燃燒設備熱 量輸入 2.64×10^6 kcal/hr以上者。 二.混合燃料以下列 公式計算排放值: 排放限值=A _x + B _y +C _z 排氣以乾基計算 A:氣體燃料之NO _x 排放標準。 B:液體燃料之NO _x 排放標準。 C:固體燃料之NO _x 排放標準。 x:氣體燃料占總熱 輸入量之百分率。 y:液體燃料占總熱 輸入量之百分率。 z:固體燃料占總熱輸 入量之百分率。
硫化氫 (H ₂ S)	逕排大 氣 100ppm 燃燒處 理前之 入口濃 度 650ppm	0.1 ppm	0.177	9.0×10 ⁻⁵		發布日	發布日	
硫醇 (RSH 以 CH ₃ SH 計 量)	依第7 條所列 方法計 量	0.01 ppm	0.025	1.2×10 ⁻⁵		發布日	發布日	
硫化甲基 (CH ₃) ₂ S)	依第7 條所列 方法計 量	0.2 ppm	0.646	3.1×10 ⁻⁴		發布日	發布日	
二硫化甲 基 (CH ₃) ₂ S ₂)	依第7 條所列 方法計 量	0.1 ppm	0.49	2.4×10 ⁻⁴		發布日	發布日	

2. 固定污染源戴奧辛之排放標準

若為造漿製程因廠內能源供應，則需參考固定污染源戴奧辛排放標準，依照固定污染源戴奧辛之排放標準其濃度以毒性當量(TEQ)表示，係由測得表 2.2.1-2 所列各項戴奧辛污染物濃度乘以其國際毒性當量因子(I-TEF)之總和計算之；採樣及測定應達 3 次以上並取算術平均值，每次採樣時間應間隔 1 小時以上。

表 2.2.1-2 固定污染源戴奧辛排放標準

污染源	排放標準值 (ng-TEQ/Nm ³)	施行日期
既存污染源	2.0	中華民國 96 年 1 月 1 日
	1.0	中華民國 97 年 1 月 1 日
新設污染源	0.5	發布施行日

(二) 特定行業別法規管制對象：

造紙業若設有鍋爐、汽電共生等設備需要注意其氮氧化物、硫氧化物及粒狀污染物之排放，造紙業之電力設施須符合依「空氣污染防制法」第 20 條第 2 項規定訂定之電力設施空氣污染物排放標準，其詳細排放標準請參照此標準第 4 條之附表。

二、空氣品質監測

依照固定污染源空氣污染物自動監測管理辦法監測設施之種類及量測項目如下：

- (一) 粒狀污染物不透光率監測設施，其量測項目為不透光率。
- (二) 氣狀污染物監測設施，其量測項目為：二氧化硫、氮氧化物(一氧化氮及二氧化氮)、一氧化碳、總還原硫(包括硫化氫、甲基硫醇、硫化甲基及二硫化甲基、揮發性有機物，其他經中央主管機關指定之種類及項目。
- (三) 當 2 個以上適用相同排放標準之固定污染源，其排放氣體混合

後經1個排放口排放時，得於混合後之排放管道設置監測設施，而當同一污染源之排放氣體經2個以上排放管道排放時，每一排放管道應設置監測設施。但排放量較小之排放管道，經主管機關核准者，得免予設置。

(四)2個以上之排放管道，其排放氣體來自相同型式、規模、操作條件及污染防制設備之固定污染源，得共同設置單一監測設施進行量測，且其連續監測時間應平均分配。

三、既存固定污染源污染物排放量認可準則

於未符合空氣品質標準之總量管制區內，公私場所未指定公告之既存固定污染源者，應依公告實施總量管制之日起1年內，向地方主管機關申請認可其全廠(場)及個別污染源之污染物年排放量。本準則適用於粒狀污染物、硫氧化物、氮氧化物及揮發性有機物等四類污染物排放量認可申請。公私場所申請污染物排放量認可時，應檢具申請表及排放量相關佐證資料。但公私場所依前條第1項規定申請者，得免附排放量相關佐證資料。

四、固定污染源設置與操作許可證管理辦法

固定污染源經認定為第1類固定污染源或第2類固定污染源之公私場所，申請固定污染源設置許可證時，應填具申請表，連同經依法登記執業之環境工程技師或其他相關專業技師簽證之空氣污染防制計畫，向直轄市、縣(市)主管機關或中央主管機關委託之政府其他機關申請之。空氣污染防制計畫其應包括內容應依循固定污染源設置與操作許可證管理辦法第6條之規定，取得設置許可證後方能進行固定污染源設備安裝或建造。

公私場所有數固定污染源，其形式、規模、操作條件及污染防制設施均相同者，得准用固定污染源自行或委託檢測及申報管理辦法規定，申報經審核機關核准，擇一定數量污染源進行檢測作業。

此外，申請許可證展延者，應填具申請表，向審核機關為之。

申請展延操作許可證者，並應檢具 1 年內最近一次之檢測報告，或其他足以說明符合本法相關規定之證明文件。但因停工(業)無法檢具 1 年內最近一次檢測報告者，得報經審核機關同意以替代證明文件辦理。

公私場所固定污染源因產能或產品變動快速，須持續申請許可產能異動或變更者，得一次申請未來 5 年內將達成之產能條件許可或與空氣污染物排放有關之原(物)料、燃料使用量之最大操作條件許可。

另外有關空氣污染物年許可排放量，其推估量需依據連續自動監測 1 年以上結果、試車檢驗報告數據，或主管機關或公私場所自行或委託執行 3 次以上之檢測報告數據；中央主管機關公告之排放係數及控制係數、國內外相關技術論文與測試數據、其他經主管機關認可之排放係數或替代計算方式，作為設置許可證及操作許可證變更之依據，其增加量百分比計算，應以相同之推估依據計算之。

五、固定污染源自行或委託檢測及申報管理辦法

固定污染源應依主管機關指定公告之污染物項目及頻率，自行或委託經中央主管機關認可之環境檢驗測定機構執行定期檢測，其檢測頻率分為下列 3 級：

- (一)第 1 級：每 3 個月檢測 1 次，於每年 1 月至 3 月、4 月至 6 月、7 月至 9 月及 10 月至 12 月期間內應各執行一次檢測。
- (二)第 2 級：每 6 個月檢測一次，於每年 1 月至 6 月期間及 7 月至 12 月期間內應各執行一次檢測。但 2 次定期檢測間隔不得超過 9 個月。
- (三)第 3 級：每年檢測一次，第 2 年以後之定期檢測，應於相同於第 1 年定期檢測月份之前後 1 個月份期間內進行檢測。

執行定期檢測時，其污染防制設施應維持正常運轉，且同一

公私場所有數個相同型式、規模、操作條件及污染防制設備之固定污染源，得依操作許可證許可內容規定或報經當地主管機關核准，擇一定數量以上污染源進行檢測。但連續 2 次檢測之污染源不得相同。其他條件及檢測頻率需求，均依該辦法實施。

六、公私場所固定污染源空氣污染物排放量申報管理

公私場所應申報固定污染源空氣污染物排放量，其空氣污染物種類如下：

- (一)粒狀污染物。
- (二)硫氧化物。
- (三)氮氧化物。
- (四)揮發性有機物。

應依規定格式採上網申報，並於每年 1 月底前向直轄市、縣(市)主管機關申報前 1 年該公私場所全廠(場)之空氣污染物排放量。若未依規定申報空氣污染物排放量者，直轄市、縣(市)主管機關得逕依原(物)料使用量、燃料購買量、產品產量、歷史檢測資料或其他有關資料，計算其空氣污染物排放量。其他狀況可參照該法各項說明申報辦理。

而申請改善排放空氣污染物總量及濃度控管，應依中央主管機關公告或認可之空氣品質模式模擬規範進行模擬，證明其模擬範圍內各受體點或軌跡線或網格之各時段平均空氣污染物濃度，應低於抵換前之各時段平均濃度。並填具申請表檢具規定之文件。

各項申請文件、許可證書、檢測紀錄等均依規定年限保留，若有不實文件，主管機關得撤銷其核准證明。而公私場所違反第 9 條或第 10 條第 2 項規定者，主管機關依本法第 56 條規定辦理；具有本法第 82 條第 2 款至第 7 款情形之一者，主管機關除得命其停工或停業外，並得廢止其核准證明。

七、環境保護專責單位或人員設置及管理辦法

事業應依規定設置各級專責人員，主要藉由專責人員辦理廠內空氣污染防制設備之操作維護及相關空氣污染防制管理等作業，間接減少污染情事發生，故倘公私場所屬停工停業狀態者，因其並無產生污染之虞，故得於停工期間免設專責人員，惟日後恢復生產時，則仍應於生產前依規定設置專責人員。而其應執行之業務為：

- (一)釐訂空氣污染防制設施及改善計劃，並協調有關部門實施。
- (二)監督空氣污染防制設施之正常運作，並保存相關資料。
- (三)擬定並協調實施突發事故之緊急應變措施。
- (四)辦理固定污染源設置、變更及操作許可申請，並監督依許可內容操作。
- (五)監督或進行排放管道及周界空氣污染物排放狀況之檢查與鑑定，分析及保存檢測數據，並申報污染源之資料。
- (六)其他有關空氣污染防制管理事項。

八、違反空氣污染防制法

若違反空氣污染防制法第 32 條第 1 項未立即採取緊急應變措施或不遵行主管機關依第 32 條第 2 項所為之命令，因而致人於死者，處無期徒刑或 7 年以上有期徒刑，得併科新臺幣 500 萬元以下罰金；致重傷者，處 3 年以上 10 年以下有期徒刑，得併科新臺幣 300 萬元以下罰金；致危害人體健康導致疾病者，處 5 年以下有期徒刑，得併科新臺幣 200 萬元以下罰金。

其他違反規定之裁處則依『公私場所違反空氣污染防制法應處罰鍰額度裁罰準則』、『違反空氣污染防制法按日連續處罰執行準則』之各項規定辦理。

九、不法利得

公私場所違反空氣污染防制法應處罰鍰額度裁罰準則 (102年3月4日修正)

第1條 本準則依空氣污染防制法(以下簡稱本法)第75條第2項規定訂定之。

第2條 本準則適用於公私場所之固定污染源及檢驗測定機構違反本法時應處罰鍰之裁罰。

第3條 違反本法各處罰條款，除本法另有規定者外，以附表所列之裁罰公式計算應處罰鍰。但經主管機關認定，屬本法第82條各款規定情節重大情形之一者，得以該處罰條款之最高罰鍰裁罰。

主管機關裁處時，除依前項規定計算罰鍰額度外，並應依行政罰法第18條第1項規定，審酌違反本法上義務行為應受責難程度、所生影響及因違反本法義務所得之利益，並得考量受處分者之資力，予以論處。

根據本裁罰準則，違法規定者將依照各類情形來決定罰鍰金額，其包括污染程度、危害程度、污染特性等，以下列舉出2類常見的違法事項：(1)排放污染物未符合排放標準；(2)防制設施或監測設施未正常運作，根據附表列舉說明如下。

(1)違反空污法第20條第1項，排放污染物未符合排放標準，若事業排放粒狀污染物不透光率排放濃度超過排放標準之程度達450%者，係數為3.0；超過排放標準之污染物屬毒性污染物者，係數為1.5；違反本法發生日(含)前1年內違反相同條款累積次數，其全部罰鍰金額為3.0乘以1.5乘以次數再乘以10萬元(非工商廠、場為2萬元)。

(2)違反空污法第23條第1項，未維持防制設施或監測設施正常運作，若事業之防制設施或監測設施應運作而未運作者，

係數為 2.0；未正常運作之防制設施係用於抑制或減少毒性污染物者，係數為 1.5；違反本法發生日(含)前 1 年內違反相同條款累積次數，其全部罰鍰金額為 2.0 乘以 1.5 乘以次數再乘以 10 萬元(非工商廠、場為 2 萬元)。

2.2.2 常見空污違法案例說明

經統計造紙業常見空氣污染防制違反案例，主要以違反空氣污染排放標準(空氣污染防制法第 20 條)、空氣污染防制設施或監測設施沒有正常運作(第 23 條)、固定污染源新增或變更場內設施未依規定申請(第 23 條)、違反各級防治區內之總量管制行為(第 31 條)與公私場所之固定污染源因突發事故，大量排放空氣污染物時(第 32 條)，為常見的違反事項，以下分別說明。

一、違反空氣污染排放標準

空氣污染防制法 20 條公私場所固定污染源排放之空氣污染物，應符合排放標準(固定污染源空氣污染物排放標準)。另依特定業別、設施、污染物項目擬訂個別較嚴之排放標準。(例如：光電材料及元件製造業空氣污染物排放標準)。

因此其改善注意事項可由原物料、燃料及產品量應依許可核定量操作，不可超出許可核定量。污染防制設備應正常有效操作，避免產生大量溢散。同時平日需注意設備及維護與保養，並確實做好維修保養記錄及內部管理稽核作業，確保設備正常運作避免違反排放標準。

二、空氣污染防制設施或監測設施未正常運作

公私場所應有效收集各種空氣污染物，並維持其空氣污染防制設施或監測設施之正常運作；其固定污染源之最大操作量，不得超過空氣污染防制設施之最大處理容量。固定污染源及其空氣污染物收集設施、防制設施或監測設施之規格、設置、操作、檢查、保養、紀錄及其他應遵行事項之管理辦法，由中央主管機關

定之。一般空污防制設施常見的缺失可歸納如下：

- (一)防制設備故障或未運轉其污染源仍繼續運作。
- (二)未依許可核定內容裝設儀錶或監測儀錶損壞。
- (三)操作參數未在許可範圍內操作(壓差、pH、電壓、流量)。
- (四)未依規定時間內進行耗材更換，如濾袋、洗滌液、活性碳等。

若防制設備故障無法操作時，前端污染設備應一併停止操作，待防制設備維修後得正常操作時，前端污染設備才可進行操作。現場設備應與許可證登載設備內容一致，同時現場人員應確實記錄操作項目及各項操作參數、條件與結果。防制設備之操作條件中，若有核定耗材之更換頻率(如濾袋更換、洗滌液更換、活性碳更換等)，應遵照核定時間內進行更換，並記錄更換時間及留存購買收據，以供後續查驗佐證。

因此若違反上述第 20 條與第 23 條的規定，依照空氣污染防治法第 56 條其違反者為工商廠，處新臺幣 10 萬元以上 100 萬元以下罰鍰。依前項處罰鍰者，並通知限期補正或改善，屆期仍未補正或完成改善者，按日連續處罰；情節重大者，得命其停工或停業，必要時，並得廢止其操作許可證或令其歇業。第 1 項情形，於同一公私場所有數固定污染源或同一固定污染源排放數空氣污染物者，應分別處罰。

三、固定污染源新增或變更場內設施未依規定申請

公私場所具有經中央主管機關指定公告之固定污染源，應於設置或變更前，檢具空氣污染防制計畫，向直轄市、縣(市)主管機關或中央主管機關委託之政府其他機關申請核發設置許可證，並依許可證內容進行設置或變更。

前項固定污染源設置或變更後，應檢具符合本法相關規定之證明文件，向直轄市、縣(市)主管機關或經中央主管機關委託之政府其他機關申請核發操作許可證，並依許可證內容進行操作。常

見缺失可歸納如下：

- (一)現場增設、漏列或移除污染源設備、防制設施。
- (二)或排放管道時，導致許可登載內容不符。
- (三)物質流向或廢氣流向錯誤。
- (四)防制設備及污染設備形式更換與許可不符。

某工廠經許可查核時，發現工廠新申請之廢酸純化暨再生處理程序，尚未取得固定污染源設置許可證，即已裝設儲槽及部分污染源設備，已違反空氣污染防制法第 24 條第 1 項及固定污染源設置與操作許可證管理辦法第 11 條之應取得設置許可證後，始得進行設備安裝或建造。

當工廠現場的製程設備(如污染設備、防制設備、管道..等)有變動時(如增加、設備形式改變或流向改變)，需先提送操作許可證異動或設置許可證變更申請，並取得主管機關認可後，才能進行製程變動。工廠若預計新增製程時，需先提送設置許可證申請，並取得主管機關認可後，才能建造及設置設備。

違反上述規定時得依空氣污染防制法第 57 條之公私場所未依第 24 條第 1 項或第 2 項取得許可證，逕行設置、變更或操作者，其違反者為工商廠、場，處新臺幣 10 萬元以上 100 萬元以下罰鍰，並命停工及限期申請取得設置或操作許可證。

四、違反各級防制區內之總量管制行為

依空氣污染防制法第 31 條，在各級防制區及總量管制區內，不得有下列行為：

- (一)從事燃燒、融化、煉製、研磨、鑄造、輸送或其他操作，致產生明顯之粒狀污染物，散布於空氣或他人財物。
- (二)置放、混合、攪拌、加熱、烘烤物質或從事其他操作，致產生惡臭或有毒氣體。

(三)其他經主管機關公告之空氣污染行為。

前項空氣污染行為，係指未經排放管道排放之空氣污染行為。

第 1 項行為管制之執行準則，由中央主管機關定之。

違反上述規定時得依空氣污染防制法第 60 條違反第 31 條第 1 項各款情形之一者，其違反者為工商廠、場，處新臺幣 10 萬元以上 100 萬元以下罰鍰。

依前項處罰鍰者，並通知限期改善，屆期仍未完成改善者，按日連續處罰；情節重大者，得命其停止作為或污染源之操作，或命停工或停業，必要時，並得廢止其操作許可證或勒令歇業。

五、公私場所之固定污染源因突發事故大量排放空氣污染物：

公私場所之固定污染源因突發事故，大量排放空氣污染物時，依空氣污染防制法第 32 條，負責人應立即採取緊急應變措施，並於 1 小時內通知當地主管機關，且主管機關除命其採取必要措施外，並得命其停止該固定污染源之操作。

依照空氣污染第 46 條違反第 32 條第 1 項未立即採取緊急應變措施或不遵行主管機關依第 32 條第 2 項所為之命令，因而致人於死者，處無期徒刑或 7 年以上有期徒刑，得併科新臺幣 500 萬元以下罰金；致重傷者，處 3 年以上 10 年以下有期徒刑，得併科新臺幣 300 萬元以下罰金；致危害人體健康導致疾病者，處 5 年以下有期徒刑，得併科新臺幣 200 萬元以下罰金。

依照空氣污染防制法第 61 條違反第 32 條規定者，處新臺幣 10 萬元以上 100 萬元以下罰鍰；情節重大者，得命其停工或停業，必要時，並得廢止其操作許可證或勒令歇業。

若公私場所不遵行主管機關依本法所為停工或停業之命令者，則依照空氣污染防制法第 49 條公司場所不遵行主管機關依本法所為停工或停業之命令者，處負責人 1 年以下有期徒刑、拘役或併科新臺幣 20 萬元以上 100 萬元以下罰金。

不遵行主管機關依第 32 條第 2 項、第 60 條第 2 項所為停止

作為之命令者，處 1 年以下有期徒刑、拘役或併科新臺幣 20 萬元以上 100 萬元以下罰金。

2.3 其他污染管制

2.3.1 廢棄物污染防治

廢棄物管制及處理相關法規之法源依據為廢棄物清理法，本手冊僅針對事業需遵守的事業廢棄物之處理為說明討論的內容。分別就有害事業廢棄物認定及管制、事業廢棄物之清除處理及裁處規定和資源再利用進行說明。事業廢棄物清理之辦法管制於廢棄物清理法其架構如圖 2.3.1-1 所示。



圖 2.3.1-1 廢棄物清理法及相關子法架構圖

一、有害事業廢棄物之分類

造紙業與有害事業廢棄物相關性較少，惟仍須注意製程中是

否使用任何公告之列管化學物質。需依廢棄物清理法第 2 條第 2 項規定，訂定有害事業廢棄物認定標準，而第 3 條和第 4 條，將事業廢棄物中分出有害事業廢棄物。其中有害事業廢棄物認定標準第 2 條有害事業廢棄物以下列方式依序判定：

- 一、列表之有害事業廢棄物。
- 二、有害特性認定之有害事業廢棄物。
- 三、其他經中央主管機關公告者。

第 3 條中列表相關之有害事業廢棄物種類如下：

- 一、製程有害事業廢棄物：指附表 1 所列製程產生之廢棄物。事業若產生之有害事業廢棄物須依廢棄物清理法第 37 條第 2 項規定訂定之有害事業廢棄物檢測及紀錄管理辦法進行檢測。

二、事業廢棄物之處理辦法

一般廢棄物和有害事業廢棄物之處理途徑可分為清除、處理、輸出入、再利用。分別說明如下：

(一)清除、處理辦法

事業廢棄物之清除處理依廢棄物清理法第 28 條事業廢棄物之處理方式，應以自行清除、處理或委託清除、處理來進行事業廢棄物之處理。

而事業擁有自行處理之設施，則須依廢棄物清理法第 28 條第 2 項規定訂定之事業自行清除處理事業廢物許可管理辦法，與事業自行清除處理事業廢物許可管理辦法第 5 條事業應取得直轄市、縣(市)主管機關核發之自行清除、處理或清理許可後，始得自行清除、處理事業廢棄物。事業自行清除、處理之清除機具、處理設施或設備，應符合事業自行清除處理事業廢物許可管理辦法第 4 條第 36 條之規定。

而事業須依廢棄物清理法第 31 條第 1 項第 1 款規定，檢具事業廢棄物清理計畫書，送直轄市、縣(市)主管機關或中央主管

機關委託之機關審查核准後，始得營運；廢棄物清理法第31條第1項第2款規定，依中央主管機關規定之格式、項目、內容、頻率，以網路傳輸方式，向直轄市、縣(市)主管機關申報其廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出、輸入、過境或轉口情形。

(二)事業廢棄物之輸出入

事業輸入、輸出、過境、轉口事業廢棄物皆須依廢棄物清理法第38條第2項、第4項規定訂定之事業廢棄物輸入輸出管理辦法來執行廢棄物之輸入、輸出、過境及轉口，應依事業廢棄物輸入輸出管理辦法規定申請許可後，始得為之。

但經中央主管機關依廢棄物清理法第38條第3項規定公告之廢棄物種類，禁止輸入且廢棄物之輸入、輸出，應於辦理貨品進出口通關手續時，於報關文件上依中央主管機關規定之分類方式，據實填報廢棄物名稱。

(三)事業廢棄物之再利用

事業將事業廢棄物申請再利用，須依照廢棄物清理法第39條第2項規定訂定之事業廢棄物再利用管理辦法申請及再利用。

三、事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準

事業廢棄物之處理需符合廢棄物清理法第36條第2項規定訂定之事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準，其中又分為貯存、清除、事業廢棄物之中間處理、事業廢棄物之最終處置其各項重點如下：

(一)貯存

一般事業廢棄物及有害事業廢棄物之貯存方法，應符事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第6條、第7條，並貯存以

1年為限，其須延長者，應於期限屆滿2個月前向貯存設施所在地之地方主管機關申請延長，並以1次為限，且不得超過1年。而貯存設施，應符合事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第10條之規定。

有害事業廢棄物因事業無法自行處理、國內無處理機構可供委託處理或其他特殊情形，致無法於期限內處理者，事業得檢具貯存計畫書送至中央目的事業主管機關初審同意後，由中央目的事業主管機關轉中央主管機關複審同意後，得延長其貯存期限。

(二)清除

清除事業廢棄物之車輛、船舶或其他運送工具於清除過程中，應防止事業廢棄物飛散、濺落、溢漏、惡臭擴散、爆炸等污染環境或危害人體健康之情事發生。污泥於清除前，應先脫水或乾燥至含水率85%以下；未進行脫水或乾燥至含水率85%以下者，應以槽車運載。且不具相容性之事業廢棄物不得混合清除。清除有害事業廢棄物之車輛應符合事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第16條之規定。

事業自行或委託清除機構清除有害事業廢棄物至該機構以外之貯存或處理場所時，須填具1式6聯之遞送聯單。其詳細標準請參考事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第17條。

(三)事業廢棄物之中間處理

事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第19條所列出之一般事業廢棄物除再利用或中央主管機關另有規定外，應先經其標準所規定之中間處理。

有害事業廢棄物除再利用或中央主管機關另有規定外，應先經中間處理。其詳細方法請參照事業廢棄物貯存清除處理方

法及設施標準第20條，其中有害事業廢棄物採熱處理法者，應提出試運轉計畫，報請直轄市或縣(市)主管機關核可後，依試運轉計畫進行試運轉。其詳細申請辦法請參照事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第22條。事業廢棄物之中間處理設施，應符合事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第23條之規定。

(四)事業廢棄物之最終處置

事業之廢棄物最終處置應交給符合事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第30至41條之處理事業廢棄物業者。

四、廢棄物清理專業技術人員管理辦法

事業廢棄物之處理須依照廢棄物清理法第44條所訂定之廢棄物清理專業技術人員管理辦法設置專職人員執行廢棄物之處理。

五、違反廢棄物清理法

事業違反廢棄物清理法須依廢棄物清理法第61條規定訂定之違反廢棄物清理法按日連續處罰執行準則來進行處分。

根據廢棄物清理法45條，違反廢棄物清理法第12條、第18條第1項、第28條第1項、第7項、第36條第1項、第38條第1項、第39條第1項或第41條第1項規定，因而致人於死者，處無期徒刑或7年以上有期徒刑，得併科新臺幣1,500萬元以下罰金；致重傷者，處3年以上10年以下有期徒刑，得併科新臺幣900萬元以下罰金；致危害人體健康導致疾病者，處5年以下有期徒刑，得併科新臺幣600萬元以下罰金。

六、常見違法案例說明

廢棄物清除處理常見之違法案例，包含：清運、清除或處理的廢棄物未依規定填具聯單申報、非法棄置致環境污染、事業廢棄物之貯存為申請許可、清除或處理方法及設施未依規定設置、違反有害廢棄物輸出入辦法等，以下簡要說明：

(一)清運、清除或處理的廢棄物未依規定填具聯單申報

根據廢棄物清理法第9條規定主管機關得自行或委託執行機關派員攜帶證明文件，進入公私場所或攔檢廢棄物、剩餘土石方清除機具，檢查、採樣廢棄物貯存、清除、處理或再利用情形，並命其提供有關資料；廢棄物清除機具應隨車持有載明廢棄物產生源及處理地點之證明文件，以供檢查。其證明文件依廢棄物清理法第31條第1項第2款申報廢棄物情形所列印之遞送聯單；依事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準規定所填具有害事業廢棄物之遞送聯單，其他主管機關所定或認定之格式或文件。

常見案例如載送有害廢棄物之貨車未隨車攜帶清運聯單，違反廢清法第9條規定，則依廢棄物清理法第49條，處新臺幣6萬元以上30萬元以下罰鍰，並得沒入清除機具、處理設施或設備。

(二)非法棄置致環境污染

根據廢棄物清理法第27條任意棄置廢棄物造成地面污染等行為，則依廢棄物清理法第50條處新臺幣1,200元以上6,000元以下罰鍰。經限期改善，屆期仍未完成改善者，得按日連續處罰。

(三)事業廢棄物之貯存、清除或處理方法及設施未依規定設置

廢清法第36條規定事業廢棄物之貯存、清除或處理方法及設施，應符合中央主管機關之規定。如有害事業廢棄物應與一般事業廢棄物分開貯存、明顯標示、避免溢散污染、貯存容器或設施應與有害事業廢棄物具有相容性即保護措施避免污染。貯存以1年為限，其須延長者，應於期限屆滿2個月前向貯存設施所在地之地方主管機關申請延長，並以1次為限，且不得超過1年。

曾發生之案例「申請承租空閒倉庫惡意污泥等事業廢棄物」，得依廢棄物清理法第46條，處1年以上5年以下有期徒刑，得併科新臺幣300萬元以下罰金，其他行為詳列於第46條請自行參考。

2.3.2 土壤污染整治

土壤及地下水污染整治法之架構如圖 2.3.2-1 所示，事業若發生土壤、地下水污染事件，需根據主管機關的相關規定，應由圖 2.3.2-1 之相關子法依據法規規定，分別說明如下。



圖 2.3.2-1 土壤及地下水污染整治法及相關子法之架構

一、防治措施

為防止事業使用之土地轉移時產生的污染事宜，根據土壤及地下水污染整治法第 8 條「讓與人」(即土地所有人)應提供土壤污染評估調查及檢測資料(以下簡稱評估調查資料)，報請所在地主管機關備查：

第 8 條中央主管機關公告之事業所使用之土地移轉時，讓與人應提供土壤污染評估調查及檢測資料，並報請直轄市、縣(市)主管機關備查。

土地讓與人未依前項規定提供受讓人相關資料者，於該土地公告為控制場址或整治場址時，其責任與土壤及地下水污染整治法第 31 條第 1 項所定之責任同。

而指定公告之事業於設立、停業或歇業前，需依第 9 條「應檢具用地之土壤污染檢測資料，報請所在地主管機關備查後，始得向目的事業主管機關申辦有關事宜」，條文詳列如下。

第 9 條中央主管機關公告之事業有下列情形之一者，應於行為前檢具用地之土壤污染評估調查及檢測資料，報請直轄市、縣(市)主管機關或中央主管機關委託之機關審查：

- 一、依法辦理事業設立許可、登記、申請營業執照。
- 二、變更經營者。
- 三、變更產業類別。但變更前、後之產業類別均屬中央主管機關公告之事業，不在此限。
- 四、變更營業用地範圍。
- 五、依法辦理歇業、繳銷經營許可或營業執照、終止營業(運)、關廠(場)或無繼續生產、製造、加工。

前條第 1 項及前項土壤污染評估調查及檢測資料之內容、申報時機、應檢具之文件、評估調查方法、檢測時機、評估調查人員資格、訓練、委託、審查作業程序及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

此外根據土壤及地下水污染整治法第 9 條第 2 項規定「土壤污染評估調查人員管理辦法」，訂定評估調查人員之資格、訓練內容、執行調查工作應注意事項及不得違反事項等管理辦法。

二、監測標準、管制標準

各級主管機關應定期檢測轄區內土壤及地下水品質，若污染濃度達「土壤或地下水污染管制標準」者，應採取適當措施，追查污染責任，直轄市、縣(市)主管機關並應陳報中央主管機關。若有污染，但污染濃度低於「土壤或地下水污染管制標準」而達「土壤或地下水污染監測標準」者，應持續定期監測，並將監測結果公告及報請中央主管機關備查(土污法第 6 條第 1 項)。若拒絕接受主管機關查證，可依土污法第 38 條處罰該土地所有人。

各級主管機關一旦發現土壤或地下水有受污染之虞時，應立即進行查證(土污法第 12 條第 1 項)，若經查證後確認土壤或地下水的污染已達土污法所管制之標準者，則應展開一連串的行政管制措施，並應進一步追查並確認污染整治責任人。

高污染潛勢事業具有提供土壤污染評估調查資料的義務，根據土污法第 9 條中央主管機關公告之事業有下列情形，「依法辦理事業設立許可、登記、申請營業執照、變更經營者、變更事業類別、變更營業用地範圍、依法辦理歇業、繳銷經營許可或營業執照、終止營業(運)、關廠(場)或無繼續生產、製造、加工」之一者，應於行為前檢具用地之土壤污染評估調查及檢測資料，報請直轄市、縣(市)主管機關或中央主管機關委託之機關審查：土壤污染評估調查及檢測資料之內容、申報時機、應檢具之文件、評估調查方法、檢測時機、評估調查人員資格、訓練、委託、審查作業程序及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

若事業未依規定檢具用地之土壤污染評估調查資料報請審查者，依法可處 15 萬元以上 75 萬元以下之罰鍰，並通知限期補正，屆期未補正者得按次處罰(土污法第 40 條第 1 項)。

三、污染場址整治作業與評估

(一)控制場址

各級主管機關一旦發現事業所屬土壤或地下水有受污染

之虞時，應立即進行查證(土污法第12條第1項)，若經查證後，場址之土壤污染或地下水污染來源明確，其土壤或地下水污染物濃度達土壤或地下水污染管制標準者，依土污法第12條第2項規定，直轄市、縣(市)主管機關應將該場址公告為土壤、地下水污染控制場址。

土污法第13條規定控制場址未經公告為整治場址者，直轄市、縣(市)主管機關應命污染行為人或潛在污染責任人於6個月內完成調查工作及擬訂污染控制計畫，並送直轄市、縣(市)主管機關核定後實施。如果是污染行為人或潛在污染責任人進行調查工作，費用即由其自行負擔。

(二) 整治場址

依土污法第12條第3項規定，當該場址被公告為控制場址之後，須進行初步評估，若有「土壤及地下水污染控制場址初步評估辦法」第2條的各項情形時，直轄市、縣(市)主管機關即報請中央主管機關審核，由中央主管機關公告為土壤、地下水污染整治場址。

土污法第14條規定整治場址的污染行為人或潛在污染責任人，應在直轄市、縣(市)主管機關通知後3個月內，提出土壤、地下水污染調查及評估計畫，經直轄市、縣(市)主管機關核定後據以實施。

如果污染行為人或潛在污染責任人不遵循直轄市、縣(市)主管機關的指示提出調查及評估計畫時，直轄市、縣(市)主管機關得通知污染土地關係人提出調查及評估計畫。直轄市、縣(市)主管機關應調查整治場址之土壤、地下水污染範圍及評估對環境的影響，並將調查及評估結果，報請中央主管機關評定處理等級。

如果是污染行為人、潛在污染責任人和污染土地關係人提

出調查及評估計畫，費用即由其負擔。如果是直轄市、縣(市)主管機關進行調查及評估並支出費用，依土污法第28條、第43條及第31條規定，其費用得由土污基金支應。

依土污法第21條的規定，污染行為人或潛在污染責任人應該依土污法第14條之調查評估結果，在收到直轄市、縣(市)主管機關通知後6個月內提出污染整治計畫，並送直轄市、縣(市)主管機關核定後實施；直轄市、縣(市)主管機關則應將核定的整治計畫報請中央主管機關備查，並將計畫及審查結論摘要公告。

土壤、地下水污染整治計畫之提出者，如因地質條件、污染物特性或污染整治技術等因素，無法整治至污染物濃度低於土壤、地下水污染管制標準者，得依土污法第24條第8項規定，報請中央主管機關核准後，依環境影響與健康風險評估結果，提出土壤、地下水污染整治目標。辦理健康風險評估作業之相關評估內容及鑑定，且其評估方法應依中央主管機關之公告辦理，內容應包含危害鑑定、劑量反應評估、暴露量評估與風險特徵描述等4項內容，經直轄市、縣(市)主管機關，邀請專家、學者、相關機關、團體之代表及其他利害關係者等舉行公聽會，並於公聽會辦理後30日內作成紀錄，併同風險評估報告送交中央主管機關，經審查、公聽等程序，決定是否核定其整治目標。

而依據「土壤及地下水污染整治場址環境影響與健康風險評估辦法」第11條，當提出者應於風險評估報告審查通過，並經中央主管機關核定整治目標後，應辦理說明會，邀集污染場址之利害關係者，說明風險評估執行結果與整治作業配合方式，並將相關資訊以網際網路、書面及其他方式公開。

而第31條規定，其費用得由土污基金支應後，再由直轄市、縣(市)主管機關限期命污染行為人、潛在污染責任人或未盡善良管理人注意義務之污染土地關係人繳納。

四、不法利得

違反土壤及地下水污染整治法裁罰基準(101年4月17日修正)
說明如下：

- 一、為使主管機關對違反土壤及地下水污染整治法(以下簡稱本法)之案件，裁處罰鍰符合比例原則，特訂定本基準。
- 二、違反本法規定之行為，其罰鍰額度應由主管機關依本法所定之額度及附表所列情事裁處之。但違反本法規定，經主管機關認定為情節重大者，主管機關得逕依本法所定之最高額度裁處之。
- 三、一行為違反本法數個規定，應依法定罰鍰最高之規定及附表所列情事計算罰鍰額度裁處之。但裁處之額度，不得低於各該規定之罰鍰最低額。
- 四、一行為違反本法數個規定，且其法定罰鍰額均相同者，應先依附表所列情事分別計算罰鍰額度，再依罰鍰額度最高者裁處之。
- 五、依本基準計算之罰鍰逾該法定罰鍰額上限者，以該法定罰鍰額上限裁處之。
- 六、違反本法按次處罰規定，經主管機關或目的事業主管機關命停工、停業或歇業者，自其停工、停業或歇業日起，停止按次處罰。
- 七、主管機關對違反本法規定之行為，其罰鍰額度除依第2點至第5點規定辦理外，並應審酌違反本法規定行為之污染程度、危害程度、應受責難程度、所生影響及因違反本法規定所得之利益，並得考量受處罰者之資力，予以裁處。

前項所得之利益超過法定罰鍰最高額時，得於所得利益之範圍內酌量加重，不受法定罰鍰最高額之限制。違反本法規定之行

為應受處罰，而他人受有行政罰法第 20 條第 1 項、第 2 項規定之財產上利益而未受處罰時，主管機關得追繳其所受財產上之利益。

八、前點所得利益之期間計算，應自主管機關監督查核其違反本法規定之日起，往前回溯計算至主管機關認定其違反本法規定之日止。

前項所得利益之計算，應包含設置應支出而未支出之設施成本、操作成本與其他應執行而未執行之事項等可得計算之經濟利益及前項所受利益之計算期間所生之孳息。設施成本得以設施總成本按公共財產之法定折舊年限或設計使用年限，攤提計算。

九、主管機關依本法第 40 條第 1 項按次裁罰，且經主管機關認定相對人無補正之可能者，主管機關得依行政執行法第 29 條規定委託第 3 人或指定人員代履行之，並停止按次處罰。

違反土壤及地下水污染整治法裁罰基準的規範方式，與水污及空污略有不同，乃依其所違反的條款分別列舉條款內容、依據及罰鍰額、裁罰基準。

以下列舉 3 類常見之違法事項：(1)控制場址應於通知後 6 個月內提出調查工作及擬訂污染控制計畫；(2)整治場址應於通知後 6 個月內提出調查工作及擬訂污染整治計畫；(3)污染土地關係人未盡善良管理人之注意義務，致土地經公告為污染整治場址，分別說明及裁罰狀況如表 2.3.2-1。

其中首次違反或是連續累犯均有加重處罰的依據，且如違反第 41 條第 3 項：污染土地關係人未盡善良管理人之注意義務，致土地經公告為污染整治場址，若涉及衍生污染農、漁、牧產品而需銷毀，得加重罰鍰，且單一污染物超過 1 萬倍以上可採最高裁罰。

表 2.3.2-1 土壤及地下水污染整治法裁罰基準案例

違反的條款	依據及罰鍰額	裁罰基準
<p>第13條第1項： 控制場址未經公告為整治場址者，污染行為人或潛在污染責任人未於6個月內完成調查工作及擬訂污染控制計畫，並送直轄市、縣(市)主管機關核定實施者。</p>	<p>第37條： 新臺幣100萬元以上500萬元以下</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 行為人首次違反本項規定主管機關得視情節輕重裁罰100萬元至500萬元，原則以最輕額裁處。 2. 依本法規定未達應公告為整治場址者，經直轄市、縣(市)主管機關限期命補正而不補正或未補正完成者，每次得依前次裁罰金額加計50萬元； 3. 依土壤及地下水污染控制場址初步評估辦法第7條規定而未公告為整治場址者，每次得依前次裁罰金額加計100萬元。
<p>第22條第1項： 整治場址之污染行為人或潛在污染責任人未依第14條之調查評估結果，於直轄市、縣(市)主管機關通知後6個月內，提出土壤、地下水污染整治計畫，經直轄市、縣(市)主管機關核定後據以實施者。</p>	<p>第37條： 新臺幣100萬元以上500萬元以下</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 行為人首次違反本項規定主管機關得視情節輕重裁罰100萬元至500萬元，原則以最輕額裁處。 2. 未提送整治計畫，經直轄市、縣(市)主管機關限期命補正而不補正或未補正完成者，每次得依前次裁罰金額加計100萬元。
<p>違反第41條第3項： 一、未經公告為整治場址之污染行為人因其行為致土地經公告為污染控制場址。 二、污染土地關係人未盡善良管理人之注意義務，致土地經公告為污染整治場址。</p>	<p>第41條第3項： 新臺幣10萬元以上50萬元以下</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 行為人違反本項規定主管機關得視情節輕重裁罰10萬元至50萬元，原則以最輕額裁處。 2. 個案場址污染結果造成衍生之農、漁、牧產品污染而須銷燬者，得於原裁罰金額加計30萬元以下罰鍰；單一污染物質濃度超過管制標準1萬倍者得以最高罰鍰額裁處。

第三章 製程與污染特性

本章將就紙漿、紙及紙製品製造業之製程與污染特性做系統介紹，並依單元廢水污染質之種類、來源、特性與紙業綜合廢水各別敘述。

3.1 製程概述

紙類成品依台灣區造紙工業同業公會分類，可區分為紙張及紙板二大類。紙張可再分類：印刷書寫用紙(塗布紙、未塗布紙、其他)、薄葉紙、新聞紙、家庭用紙，包裝用紙及其他用紙等類別；紙板亦可再分類：瓦楞紙箱用紙(裱面紙板、瓦楞芯紙)、白紙板(塗布、非塗布、全白紙板)、灰紙板、其他紙板等類別。然其製造程序仍不脫離製漿及抄紙兩大製程，茲將其分別說明如下：

3.1.1 製漿

製漿原理是藉由機械、化學等方法使木材分解纖維狀，亦即將木材結構內部之鍵結拆散。現今最廣為採用之製漿方法可分為機械式、化學式及半化學式三種，分述如下：

一、機械製漿法

磨石磨木漿法(stone groundwood process)是最古老及普通之機械製漿法(mechanical pulping)，係將一定長度之原木垂直壓入一只高轉速之粗糙磨石上，再用水將纖維從磨石表面沖落。

纖維及纖維碎片的稀漿經過篩選，將粗絲(shives)及其他過大粒子篩除，然後脫水，形成適合抄紙之漿料。其原理很簡單，然如要有效的生產均勻且品質較佳的紙漿，則需小心控制磨石表面的粗糙度，對磨石的加壓程度以及沖淋水之溫度，流量亦需小心控制。

製造流程如圖 3.1.2-1 流程中篩選和淨漿之目的乃是從漿流中移除未分散的粗絲，短粗料(chop)以及其他雜物(樹皮及污穢粒子)。而脫水之目的在於濾除水分及提高漿料之濃度。

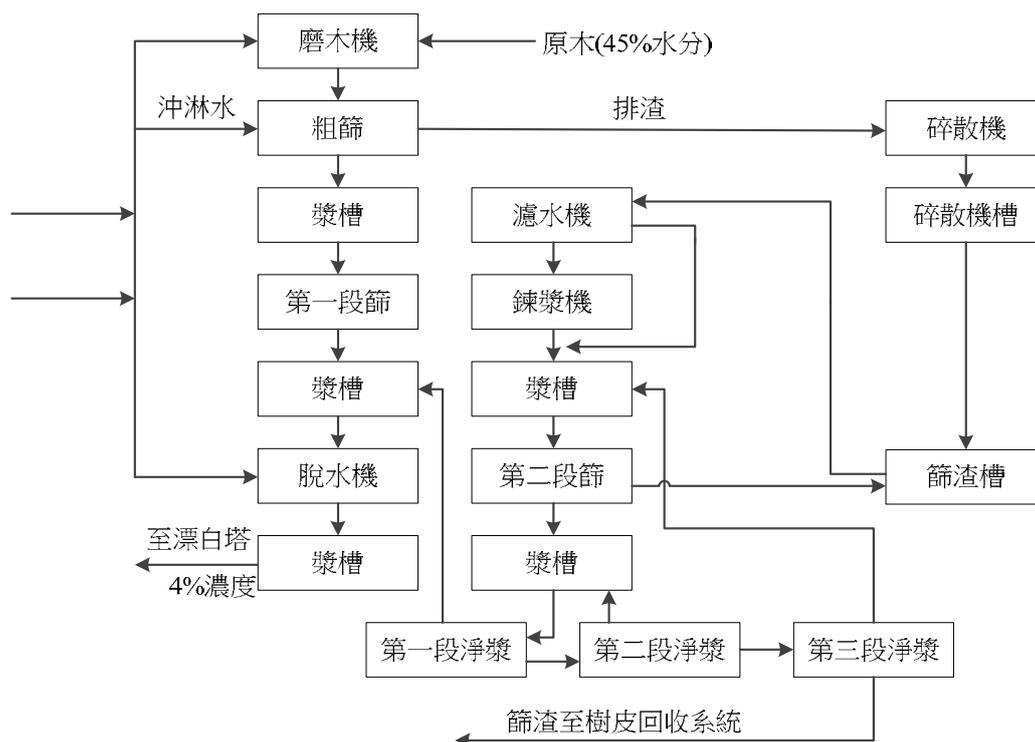


圖 3.1.2-1 典型的磨木機製造流程

新發展之機械製漿法，係將木片(或鋸屑)在磨機(disc refiner)磨鍊成為磨機漿(refiner mechanical pulp, RMP)，此法通常使用兩段磨機串聯操作(two stage refining)，生產之紙漿纖維長度較傳統磨木法長，抗張強度亦較佳。

以 RMP 為基礎，大多數新發展之設備均使用熱或藥劑預先軟化木片，以減少能量消耗並改造紙漿品質，其結果所產紙漿含長纖維較 RMP 多，碎片較少。各種機械製漿法之原理及製漿成品之特性說明如表 3.1.2-1 及表 3.1.2-2。

機械製漿法最大之優點在得料率(生產紙漿的重量/原木重量)可達 90~95%，缺點為較浪費動力。製造之紙漿略帶黃色，主要供報紙印刷及品質要求不高之紙張使用。本法之排放廢水單純，污染問題不大。

表 3.1.2-1 機械製漿法

SGW	磨石磨木漿 化學預熱法(大氣壓下或壓力下)
CGW	化學磨木漿 化學預處理(大氣壓下或壓力下) 大氣壓下磨木
PGW	壓力磨石磨木漿 加壓，高溫磨木
RMP	磨盤漿 大氣壓下鍊磨，無預處理
TRMP	熱磨盤漿 於 100°C 以上對木片預通蒸汽
CMP	化學機械漿 於 100°C 以上對木片預通蒸汽
TMP	熱磨機械漿 木面預通蒸汽 100°C 以上 第一段在 100°C 以上盤鍊 第二段大氣下盤鍊
TANDEM TMP	加壓熱磨漿 木片預通蒸汽 100°C 以上 兩段盤鍊均於 100°C 上
CTMP	化學熱磨機械漿 木片預通蒸汽時加藥劑，溫度 100°C 以上 第一段盤磨，溫度 100°C 以上 兩段盤磨，於大氣壓
SCMP	半化學機械漿 預用藥劑處理木片或於通蒸汽時加藥， 溫度 100°C 以上

表 3.1.2-2 機械製漿法比較(以雲杉於同樣游離度測定)

項目 \ 機械製漿法	SGW	RMP	TMP
需要能量 (mJ/kg)	5.0	6.4	7.0
破裂指數 (kPa · m ² /g)	1.4	1.9	2.3
抗撕指數 (mN · m ² /g)	4.1	7.5	9.0
嵩度 (cm ³ /g)	2.5	2.9	2.7
R-48 Bauer McNett*	28	50	55
粗絲含量 (%)	3.0	2.0	0.5
白度(% ISO)	61.5	59.0	58.5

*長纖維含量相關數值

二、化學製漿法

化學製漿(chemical pulping)係將化學藥品與原料在高溫高壓下蒸煮，而將木質素、丹寧等溶解性物質去除，並剩餘大部分完整之纖維狀纖維素及半纖維素。因製程使用化學藥品之不同可分為蘇打法(鹼法製漿法)(soda pulp)、硫酸鹽法(牛皮漿法)(sulfate pulp or kraft pulp)及亞硫酸鹽法(sulfite pulp)三種。

(一) 蘇打法

本法係使用燒鹼或苛性鈉(NaOH)及純鹼或蘇打灰(Na_2CO_3)之水溶液將原料在高溫，高壓下蒸煮(cooking)或冷浸(cold digestion)，以使不溶性之纖維與可溶性之木質素、丹寧、髓質等分離，而獲得細長管狀之化學紙漿。

冷浸法係將45%濃度之苛性鈉加水及部分回收之黑液浸泡(生浸)約7~15天左右，即可將纖維軟化並溶出木質素；蒸煮法係將原料裝入蒸煮鍋內，送入蒸煮白液及濃黑液(液比3.0~4.0)加熱1.5小時至溫度 170°C ，再蒸煮1.5小時噴出。纖維再經洗滌，漂白及乾燥而成紙漿成品。

由於本法所得紙漿品質較差，收率較低，去木質素能力有限，且蒸煮時間又長，已被硫酸鹽法所取代。惟此法所需設備簡單、操作容易、蒸煮藥液可回收且可於常壓下操作，故仍適用於手工紙廠。

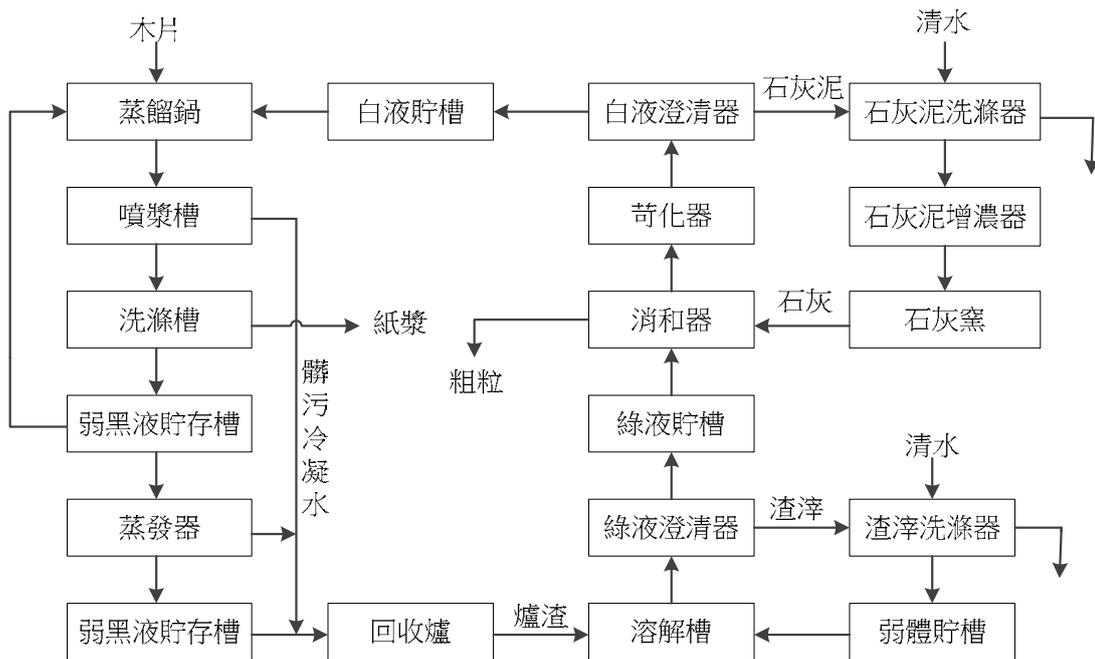
(二) 硫酸鹽法(牛皮漿法)

硫酸鹽法係蘇打法的演進，由C.F. Dahl發展。當初Dahl致力於尋求一種代替昂貴的碳酸鈉(純鹼)之藥品，嘗試加硫酸硝(芒硝)到回收爐中以補充蘇打法製漿時之藥劑的損失。

硫酸鹽在爐中起化學作用，變為硫化物，此硫化物可有效加速木質素之去除，並產生抗張強度較高之紙張。本法使用之藥品為苛性鈉，硫化鈉(Na_2S)及蘇打灰之水溶液。因其蒸煮條

件不似蘇打法之激烈，但其色澤偏褐，較難漂白，其纖維強韌可抵抗任何之機械加工，故又稱牛皮漿法。

典型之製程及回收系統流程圖如3.1.2-2所示。木片於高溫、高壓下進行蒸煮作業(digestion process)，經12小時完成蒸解作業。利用壓力將鍋內物噴至噴漿槽內，軟化之木片在其中分解成纖維，噴出蒸汽在熱交換器中冷凝，供給熱水作洗漿之用。



資料來源：陶泰來，製漿造紙技術手冊

圖 3.1.2-2 牛皮漿法製造流程

蒸煮後之紙漿再經由褐漿洗滌(brown stock washing)程序，使其與廢液分開，再經篩選及淨漿而得未漂漿，如需漂白漿，需再經漂白段處理。製程中所殘留之黑液(black liquor)，含有木質素溶解之化合物，送至回收爐中焚燒，以產生碳酸鈉(sodium carbonate, Na_2CO_3)及硫化鈉之無機熔渣。此熔渣經溶解，形成綠液(green liquor)，綠液與生石灰(CaO)作用將 Na_2CO_3 轉變為 NaOH ，再生成原始的白液回收使用，藥液循環簡圖如圖3.1.2-3。

由於製程中添加硫酸鈉藥劑到回收爐，起反應生成硫化物，

易有臭味逸散問題，然若賴以良好之空氣污染控制，則此方面問題是可以解決的。

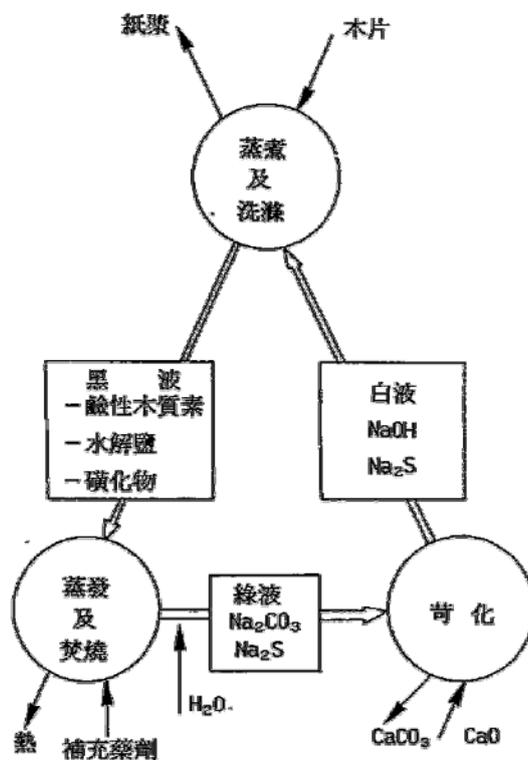


圖 3.1.2-3 牛皮漿法藥液循環

(三) 亞硫酸鹽法

本法係於1857年由美國一位化學師(Benjamin Tilghman)發現，木材可用硫酸軟化和解纖，利用亞硫酸氫根(HSO_3^-)及硫酸來溶解木質素，並以鈣、鎂、鈉或銨等之陽離子基避免纖維之燒焦或變色。

亞硫酸製漿法大致上可分為酸性亞硫酸法、重亞硫酸法及亞硫酸法等三種。傳統的酸性亞硫酸鈣(calcium acid sulfite)蒸煮必須在低pH(約1.5)時進行，因為鈣在較高的pH下蒸煮時會形成不溶解的化合物，導致在蒸解鍋形成石灰垢(liming up)。重亞硫酸法(acid bisulfite)製漿，控制游離酸及化合酸之比，可在pH 1.5~4.0範圍內進行。

亞硫酸法(bisulfite)製漿要在pH 4.0~5.0之間進行。圖3.1.2-4為銨基硫酸製漿之程典型流程，其蒸煮液通常均以燃燒硫磺產生SO₂氣體，然後以鹼基如NH₄OH、Mg(OH)₂或Na₂CO₃等溶液予以吸收而製備之。

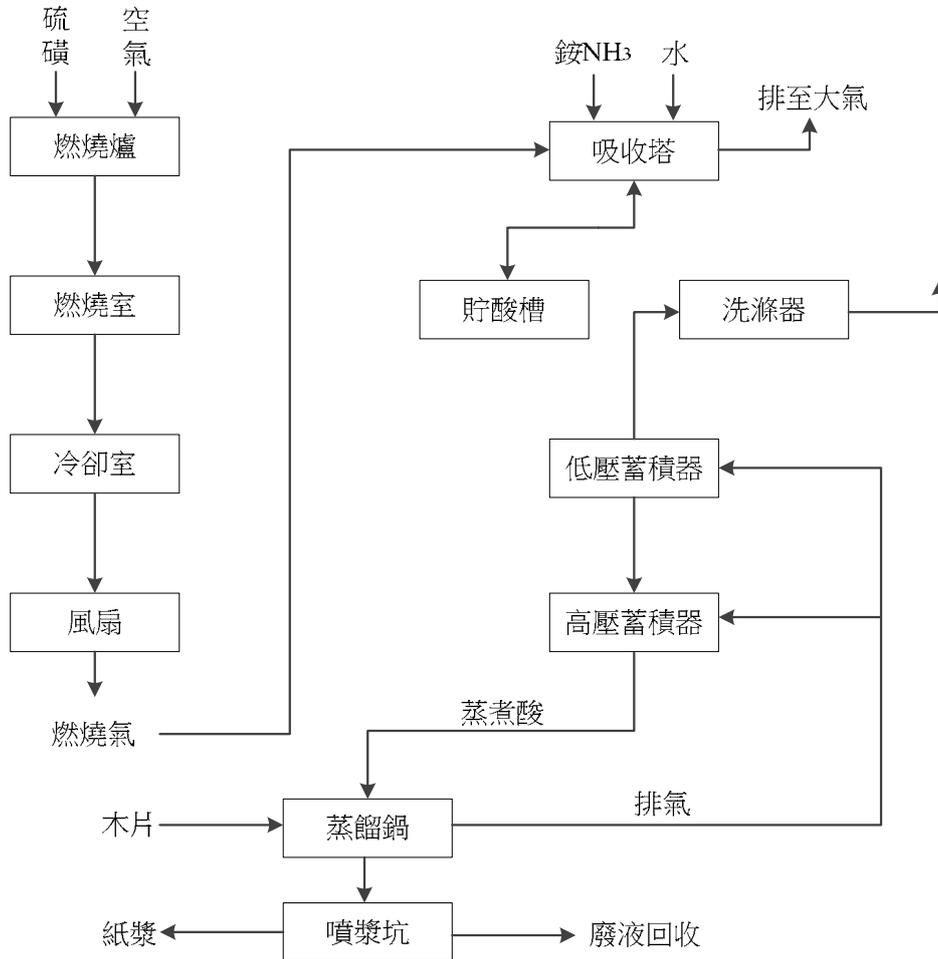
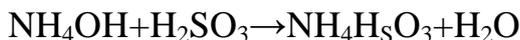
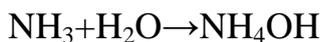
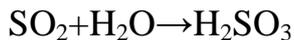
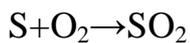


圖 3.1.2-4 銨基亞硫酸法製造流程

反應式如下：



此原蒸煮酸液(raw cooking acid)再與木材在蒸煮鍋中進行反應。完成蒸煮作用後，鍋內木片噴入噴漿管內，氣體予以收集回收SO₂，紙漿經篩選、洗滌便成未漂漿，如需漂白漿，尚

需經漂白段處理。本法對闊葉樹，針葉樹皆宜處理，惟對含松脂高之針葉樹及含丹寧高之闊葉樹則不易處理。且因其對樹種之敏感，紙張強度較弱及對藥劑回收困難等等因素，遂使本法逐漸不被採用。

三、半化學製漿法

本法係利用較溫和之化學藥品如亞硫酸鈉(Na_2SO_3)與碳酸氫鈣($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)之緩衝溶液及採用較溫和之處理條件，將原料先加以軟化，然後再用機械方法將其磨成紙漿，一般做為紙板原料。

以上為各種製漿法之介紹，表 3.1.2-3 及表 3.1.2-4 為以得料率，紙漿纖維之相對強度等性質比較各種機械與化學製漿法，可見得料率以化學製漿法較低，機械法較高，而纖維強度則以牛皮漿法最高。

表 3.1.2-3 機械製漿法與化學製漿法之比較

方法	機械製漿	化學製漿
原理	由機械能來製漿(很少或全無化學藥品和熱)	由化學藥品和加熱來製漿(很少或全無機械能)
得漿率(%)	高得漿率(90~95%)	低得漿率(40~55%)
纖維品質	短、不純纖維	長、純纖維
印刷品質	不良的印刷品質	良好的印刷品質
漂白性	難漂	易漂
實例	磨石磨木漿 盤磨機械漿 熱磨機械漿	牛皮漿 亞硫酸漿 蘇打漿

註：得漿率=生產紙漿的重量/原木重量

表 3.1.2-4 主要製漿法摘要

類別	方法名稱	使用木材	木材形式	得料率(%)	相對強度	
					針葉樹	闊葉樹
機械	石磨法	針葉樹(大部份)	短木	90~95	5	3
	RMP	針葉樹(大部份)	木片	90~95	5~6	3
	TMP	針葉樹	木片	90	6~7	-
化學機械	化學磨木法	闊葉樹	短木	85~90	-	5~6
	冷蘇打法	針葉樹	木片	85~90	-	5~6
半化學	NSSC	闊葉樹	木片	65~80	-	6
	高得率亞硫酸法	針葉樹(大部份)	木片	55~75	7	6
	高得率牛皮漿法	針葉樹(大部份)	木片	50~70	7	6
化學	牛皮漿法	兩者	木片	40~50	10	7-8
	亞硫酸法	兩者	木片	45~55	9	7
	蘇打法	闊葉樹	木片	45~55	-	7-8

*：非常粗略的估算，基於紙漿的全方位強度

3.1.2 漂白

為獲得高品質紙漿，一般均須進行增白(brightening)或漂白(bleaching)處理。紙漿中之纖維素和半纖維素原本即是白色的，其顏色來源是木質素上之發色團(chromophoric groups)所造成。

因此，化學漂白紙漿方式即在保存木質素或移除木質素，而有增白與漂白兩種方式。增白係利用選擇之化學藥品破壞若干發色團，但不傷害木質素，此法所獲得白度*(whiteness)不高，且無法獲取永久白度；而漂白則以氧化破壞木質素之發色基—將酚醛基(phenoic groups)部分轉化為似苯醌(quinone-like)物質，此法可獲取較高且永久白度。

傳統漂白作業通常係分段使用，以不同藥品及條件，循序進行之，並在單元與單元之間進行洗滌。通常使用的漂白藥劑及其簡稱說明如下：

- (一)氯化(chlorination 簡稱 C)：在酸性介質下與氯反應。
- (二)鹼萃(alkaline Extraction 簡稱 E)：利用 NaOH 來溶解反應物。
- (三)次氯酸鹽(hypochlorite 簡稱 H)：在鹼性條件下與次氯酸鈉反應。
- (四)二氧化氯(chlorine dioxide 簡稱 D)：在酸性介質中與二氧化氯反

應。

(五)雙氧水(peroxide 簡稱 P)：在鹼性介質中與雙氧水反應。

(六)氧(oxygen 簡稱 O)：於高壓下在鹼性介質中與氧反應。

(七) D_C 或 C_D ：氯及二氧化氯之混合。

*註：紙漿之白度是由其反射單色光線之能力與一已知的標準(通常為氧化鎂)相比較而測定的。

氯化段及鹼萃段通常依序進行，先形成氯化木質素化合物，然後在鹼萃階段予以溶出。其目的在於從紙漿中去除木質素，在 CE 段中很少有增白出現。氧漂段也一樣是以去除木質素為主的。

以針葉樹牛皮紙漿為例，欲獲得高白度紙漿(89~91%ISO)，通常需五段或六段漂白，如使用 CEDED，CEHDED 或 OCEDED；較低之白度可少用幾段來完成，如欲達到 65 %ISO，使用 CEH 順序可以輕易達成；中間水準可以使用 CED、CEHH、CEHD 或 CEHP 來完成之。

圖 3.1.1-1 為 CEDED 漂白流程，一般亞硫酸鹽紙漿之漂白段為 CEH，硫酸鹽紙漿則為 CEHEH。

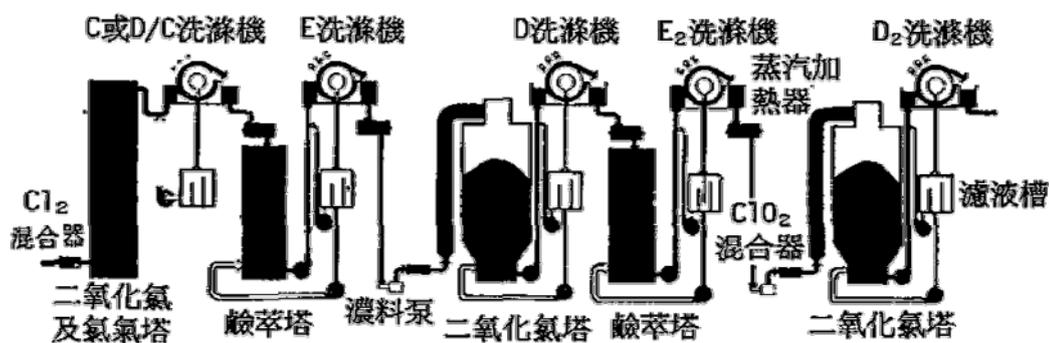


圖 3.1.1-1 CEDED 漂白工廠製造流程圖(Dorr-Oliver)

3.1.3 抄紙

抄紙過程係將經漂白的紙漿經備漿流程處理及抄紙機抄造成為成品，典型流程說明如圖 3.1.3-1，分述如下：

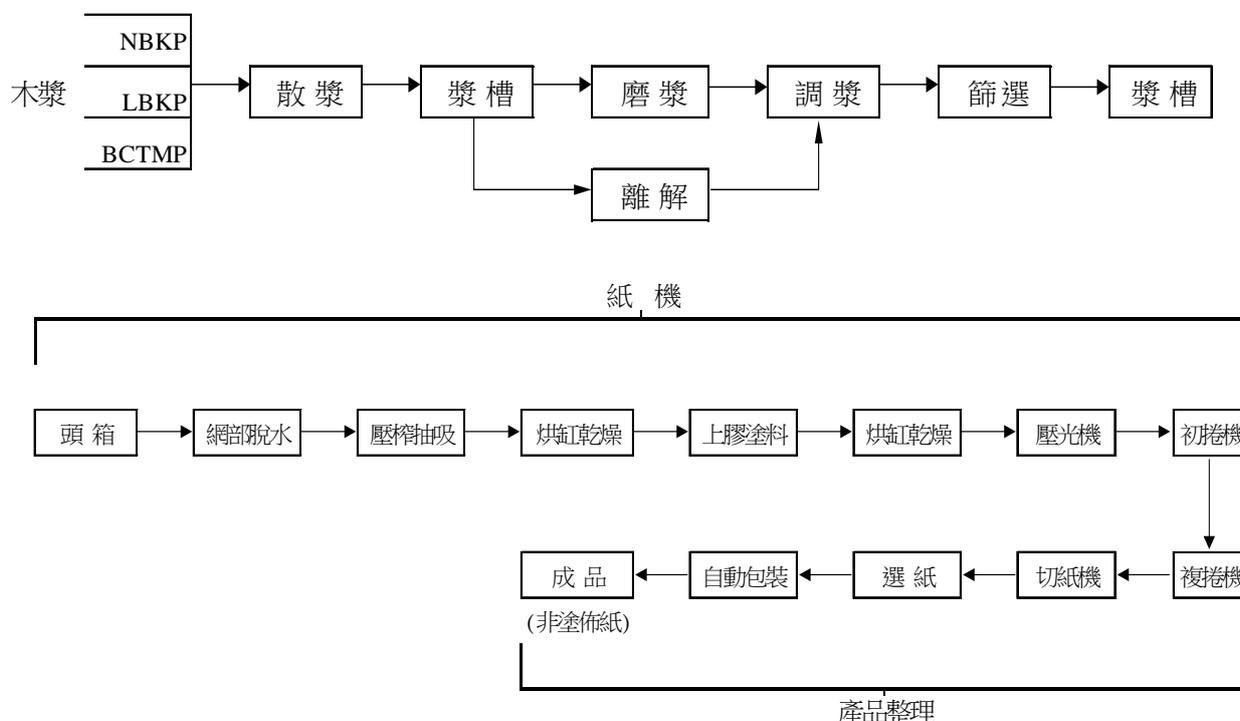


圖 3.1.3-1 典型抄紙流程圖

配料(furnish)之目的，係將纖維紙漿及非纖維成分如添加劑等，均勻地摻合，成為抄紙配料。其步驟一般包括散漿(pulping)、打漿及鍊漿(beating & refining)，添加濕端添加劑(utilization of wet end additives)及計量與混合(metering and blending)。

一、散漿

將原生紙漿、損紙、回收紙等，在散漿機(pulper)中加水打散成為漿泥狀(slurry)或泥漿(slush)狀，各種原料所需動力不同。未漂白牛皮漿是最不易解離，而乾淨之損紙通常較容易打散處理。

二、打漿及鍊漿

利用機械力使紙漿纖維帚化或切斷，以利交織成紙作業。纖維之帚化狀況會影響紙張成型後之交織(formation)，亦影響紙匹抄造時脫水之難易，一般均依產品需求來製備。

打漿和鍊漿之不同在於打漿為在荷蘭式打漿機以旋轉飛刀(rotating bars)對固定底板(statioary bed-plate)的相對動作，而纖維則與飛刀成直角流過；鍊漿(refining)則指錐式鍊漿機或盤磨機連續進行的操作，纖維則是與以刀片平行之方向流。

三、濕端添加劑

為給予紙漿產品特殊之性質，必須添加多種化學添加劑，或礦物質添加劑。表 3.1.3-1 說明各種化學添加劑及其用途，如添加填料之目的為使紙面光滑，提高紙張之不透明度，以提高紙張印刷適性與清晰度，亦可增加重量感，主要之填料有白土、滑石粉、濕磨法碳酸鈣(GCC)、沉降法碳酸鈣(PCC)、二氧化鈦等；而上膠之目的係將主要是使紙張具有抵抗水分滲透的能力，而且可加強紙張的抗濕性、提升紙張表面平滑度及減少起毛現象，同時也改善紙張的印刷適性，常用上膠劑為乳化松香、AKD 及 ASA。

表 3.1.3-1 化學添加劑種類

添加劑	用途
酸及鹼	控制 pH
明礬	控制 pH 將添加劑固定於纖維，改良留存率
上膠劑(例如松香皂、乳化松香、AKD 及 ASA)	控制液體滲透
乾強劑(例如澱粉、膠、PAM)	改良抗張強度及破裂強度，提高挺度
濕強劑	增加擦手紙及包裝紙類的濕強度
填料(例如碳酸鈣、白土、TiO ₂)	改良光學及印刷性質
色料(染料、顏料)	配想要的顏色
留存助劑	改良紙漿及填料的留存率
交織助劑	改良紙張交織
消泡劑	改良濾水率及紙匹交織
濾水助劑	增進漉網上之濾水
增白劑	提高白度
樹脂抑制劑	防止樹脂沉澱及集結
殺菌劑	控制黴菌及其他有機物之生長
特殊藥劑	包括防鏽劑，阻燃劑等

資料來源：101 年度造紙工業技術人才培訓系列二「濕端管理及應用培訓班」手冊。

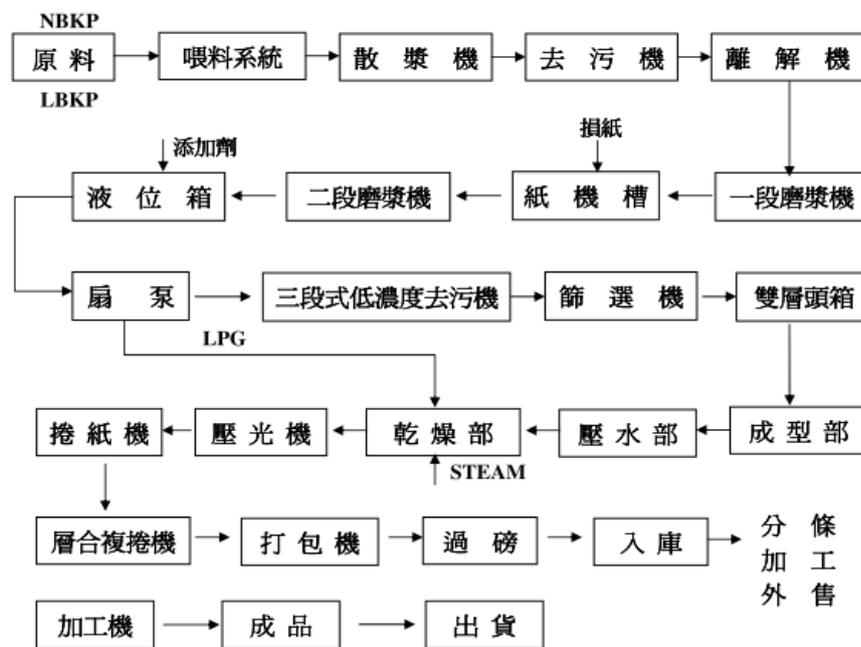
3.1.4 常見製程

前述已將造紙之製漿、漂白、抄紙等步驟，做概括性之介紹，以下列出家庭用紙、文化用紙、工業用紙及手工紙等之一般製造流程，並標示可能廢水來源，以供參考⁷。

一、家庭用紙

家庭用紙即一般俗稱之衛生紙、面紙等，其一般製造流程如圖

3.1.4-1 由於國內品質要求較高，大部分採用處女紙漿抄造。

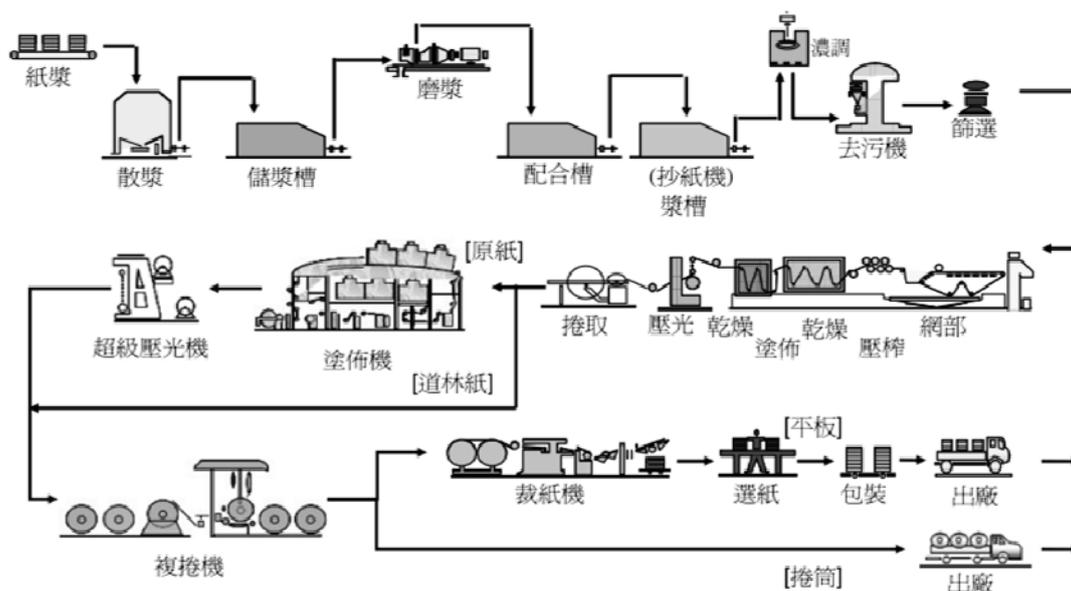


資料來源：台灣區造紙工業同業公會

圖 3.1.4-1 家庭用紙製造流程

2. 文化用紙

因用紙用途及美觀等因素，對紙張品質要求較嚴格，因此均採用處女紙漿抄製，品質要求較低之文化用紙亦有部分採用漂白廢紙為原料者，其一般製造流程如圖 3.1.4-2 所示。

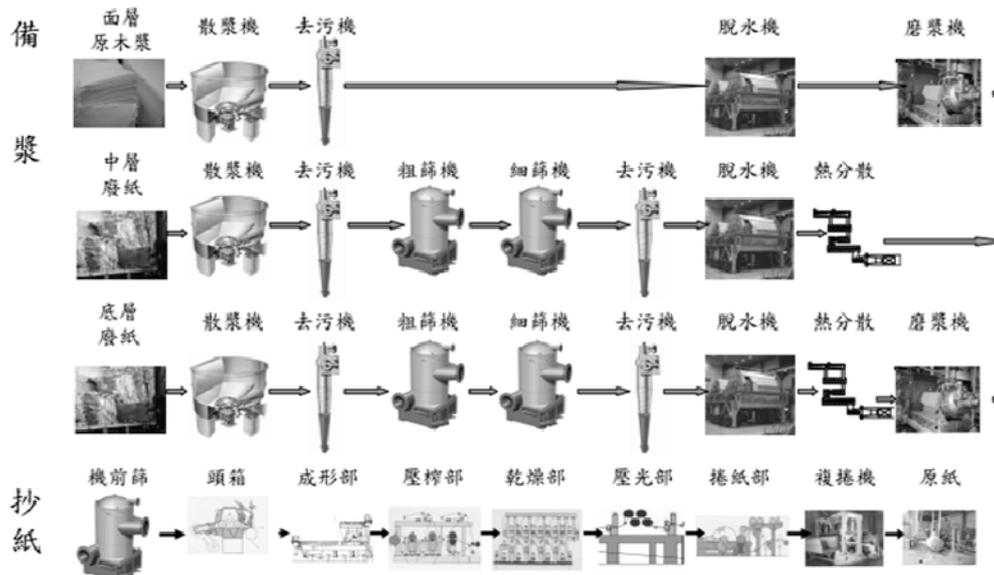


資料來源：台灣區造紙工業同業公會

圖 3.1.4-2 文化用紙製造流程

3. 工業用紙

早期工業用紙之製造原本皆由工廠自行製漿，但因製漿產生高濃度廢液，處理困難，遂改用廢紙回收再生纖維，在美觀及品質要求不高之情形下，可免除自行製漿過程的能源消耗並降低製造成本及減少污染量。因此目前台灣工業用紙製造工廠均改採廢紙回收之製程，其流程如圖 3.1.4-3 所示。



資料來源：台灣區造紙工業同業公會

圖 3.1.4-3 工業用紙製造流程

4. 手工紙

手工紙即一般俗稱之宣紙、棉紙等手工紙製品之總稱。此類紙品以進口樹皮製漿，取其纖維為原料，製造過程中所產生之黑液，量少濃度高，回收不符合經濟效益，因此均予以廢棄。但因其污染濃度高，處理成本昂貴，且該類工廠多為家庭式小型工廠，無論處理設備成本或操作成本，對其來說均為極大負擔，其一般製造流程如圖 3.1.4-4 所示。



資料來源：台灣區造紙工業同業公會

圖 3.1.4-4 手工紙製造流程

3.2 污染來源及特性

3.2.1 水污染來源及特性

製漿過程廢水之主要來源為備料室廢水、蒸煮廢液、篩選室及漂白廠廢水，其中以蒸煮廢液污染度最高。抄紙過程由抄紙機排出之廢水常含有各種填料，如碳酸鈣或細纖維，故稱為白水(white water)。以下就製漿過程及抄紙過程水污染來源分述如下：

一、製漿程序^{6, 8, 9}

(一)備料室廢水

在備料室中經常必須將木材之表皮剝除，如係採用剝皮機

(hydraulic barker)時，其所排出之廢水具有顏色，並含有甚多之木屑、纖維、樹皮、泥土及少許溶解之樹液，較大之原料及樹皮等固體物均經篩選、榨出其水分後，再予以燃燒。

經篩選之廢水僅含有微細之樹皮、木料及溶解物質可和其他廢水混合排出處理。有些工廠將鋸屑、片屑用以製造人造木炭，可減少廢水中懸浮固體物。如工廠採用機械剝皮機者，因用水量少，故廢水不多。備料室廢水之水質依木材之種類，剝皮機之型式，攔篩之有效孔徑及其效率而異。

根據Gehm (U.S.EPA-R2-73-184)之資料，每噸原木用水量為 $0.1\sim 1.2\text{ m}^3$ ， BOD_5 量為 $0.5\sim 4.9\text{ kg}$ ，SS為 $2.5\sim 11\text{ kg}$ 。廢水所含懸浮物以砂礫泥土為主，因此在廢水處理廠中TSS會在初沉池沉澱，廢水之 BOD_5 雖高，但因廢水量少，不致成為污染之主因，故對此項廢水，除篩選外，均與其他廢水混合處理，甚少予以個別處理。

(二)蒸煮廢液

蒸煮是化學製漿時以化學藥品在高溫與壓力下使原料中木質素去除而得紙漿之工程，在整個製漿過程中以蒸煮液污染度最嚴重，其污染特性大致如下：

1. BOD、COD 甚高，排放後容易造成河川水域水中之溶氧量迅速下降。
2. 色度極深，通常呈黑褐色，此乃因為其中含有大量木質素及單寧之故，對微生物之分解作用，具有相當強之抵抗力，故蒸煮廢液中之色度，在排入河川後將帶來色度觀感影響。
3. 廢水中之化學物質對水中生物具有毒性、主要係因其含有強酸或強鹼物質之故。一般而言，酸法(如亞硫酸法)蒸煮廢液之pH約 $2.0\sim 3.0$ 左右，而鹼法(如蘇打法與硫酸鹽法)蒸煮廢液之pH則可高達 12.0 甚至 13.0 左右。水中生物最適宜生存之pH值範圍約在 $6.5\sim 8.5$ 間，蒸氣廢液非低即高之pH值不適宜水中生物

之生長繁殖。

4. 懸浮物質含量大，排入承受水體後，沉積於河底，不但因而墊高河床，減少河川之排水容量，且因其沉積河底，截斷微生物所賴以生存之河底生物，致河川之自淨作用亦隨之減慢，甚至停止。
5. 具惡臭味，因製程中產生硫化物及硫醇、硫化氫氣體，因此具惡臭味。

(三)漿料篩選程序之廢水

篩選工程係使用不同機械以物理方式，將砂礫與大於合用纖維之粗片或蒸煮未完全之木片分離出。在設計適當且正常運轉之高/低濃度淨漿機，其末段所排出之廢水污染質以砂礫為主，所含紙漿不多，因此，排出之白水仍可利用。其廢水水質BOD₅約100 mg/L，揮發性物質200 mg/L與總固形份400 mg/L。

在未漂漿廠，漿篩所篩出之粗漿，通常經一磨漿機予以磨細後併入好漿系統，故無廢棄物產生。漂白漿廠則為免影響紙漿之品質，偶有拋棄而成為污染物者。然大部分紙漿廠則就下列方式之一予以處理，使廢棄物成為有用的物質：

1. 磨細經篩選淨漿後，將篩選所得品質尚佳漿料供次級品漿之用。
2. 潔淨程度不佳者，送至廢木料鍋爐作為燃料。

此過程中不論何種方式需濃縮脫水，濾出水仍可供製程某些單元使用，因此製漿廠篩選部分所產生之廢棄物應只有少量的砂礫而已。

(四)廢紙處理與脫墨產生之廢水

廢紙回收處理後再用於製紙，在台灣地區占極重要之地位。廢紙回收使用上分為「不脫墨」與「脫墨」兩系，其「脫墨」係

將紙面印刷之印墨予以去除，所得之紙漿經漂白後，仍可用作漂白紙漿或半漂紙漿代用品。由於廢紙係收集而來的，所含纖維以外物質種類甚多，廢紙處理系統每段排出雜質之種類，雜質大多不能於紙廠中再利用，且混雜各種雜質，無法做其他利用，僅可做焚燒或掩埋等處理⁸。

(五)漂白程序之廢水

漂白之目的在於使紙漿達到要求的白度，廢水大部分可循環使用，排出部分色度高，常有大量泡沫產生。由於使用之漂白藥品為氯系藥品，與未漂漿中之木質素、碳水化合物等形成氯化有機化合物，具色、臭毒性，須特別予以重視。其廢水水質BOD約240 mg/L，揮發性物質約170 mg/L，總固體量約850 mg/L，每噸紙漿所產生污染物BOD約63 kg以上，揮發性懸浮固體物約45 kg以上，總固體物約227 kg以上。

在整個製漿過程中以蒸煮液污染度最嚴重，以下將就各種製漿法蒸煮廢液特性分別介紹：

(一)蘇打製漿法

台灣地區由於酸鹼工業發達，苛性鈉便宜，因此大部分敬神紙工廠均採蘇打法製漿，因規模較小(日產300噸以下者為主)，大多未裝置蒸解黑液之多段蒸發罐設備以濃縮有機物質(糖類及木質素)之後，將之以燃燒處理及回收蘇打，故廢水中之、污染物含量甚高，黑液中之COD值高達8,000~38,000 mg/L，色度高達2,000 NTU，洗滌漂白等混合廢水pH 7~10，COD平均值7,500 mg/L，BOD平均值2,000 mg/L，各廠廠水水質之差異甚大。

蘇打紙漿之原料主要為蔗渣、稻草、竹材及廢紙等，由國內供應原料充足，所以蘇打法製漿法普遍利用於台灣地區之敬神紙原因。表3.2.1-1列出以蔗渣、稻草、竹材為原料之蘇打法製程廢水

分析案例。

表 3.2.1-1 不同原料之蘇打法製漿廢水分析

原料	SS(mg/L)	TSS(mg/L)	SS(mg/L)	BOD(mg/L)	鹼度(mg/L)	pH
蔗渣	3.6	180,600	118,400	-	32,300	-
稻草	840	8,500	960	-	7,796	8.8
竹材	1,383	-	6,533	1,812	-	10.6

小型蘇打紙漿工廠之製漿過程均為批式(batch process)，因此廢水水質變化甚大，且蒸煮黑液循環使用次數愈多，廢水污染物濃度愈高。

(二)硫酸鹽製漿法

台灣地區使用硫酸鹽法製漿之工廠有二家較具規模，中華紙漿公司花蓮廠及台灣紙業公司新營廠，皆使用闊葉樹木片製漿，為漿紙一貫廠。

硫酸鹽法所使用之藥品價格較昂貴，新式紙廠大都具有效率良好之黑液回收裝置，可以回收95%之藥品，燃燒大部分非纖維質，不但減少污染度且具降低成本之效益。

(三)亞硫酸鹽製漿法

亞硫酸鹽製漿是使用鈣、鐵、鈉、銨等酸性亞硫酸鹽蒸煮木片，溶解纖維素以外之雜物(以木質素為主)，故其廢水大部分為溶解性之木質磺酸鹽，一般常用者為鈣鹽。

因亞硫酸鹽所用之蒸煮藥液較廉且鈣基蒸煮廢液濃縮蒸發時，會產生鍋垢問題，無法回收蒸煮藥液，故蒸液後木質磺酸鈣及溶解性有機物均以廢液排出，不但污染度甚高，且不易處理。

(四)半化學製漿法

本法係將木片置入中性亞硫酸鈉或亞硫酸銨溶液中，蒸解約五小時，留下少許非纖維質，經磨碎其組織，使之纖維化。此種

廢水還原性大，且懸浮物不易沉澱，其BOD及色度甚高。

其中BOD乃由於大量低級脂肪酸鹽及多糖分解所造成之消耗氧量，而色度主要來源來自木質素及鞣酸鹽。每噸紙漿之廢水量約為100~200 m³，主要含有色度2,500~3,000 NTU，COD含量700~1,700 mg/L，其水質分析如表3.2.1-2⁶所示。

表 3.2.1-2 半化學紙漿廢水水質分析

項目	漂白半化學紙漿		未漂白
	NH ₄ 基廢水	鈉基	鈉基
外觀	黃褐色	黃褐色	黃褐色
透視度(cm)	2.7	2.2	1
色度(度)	2,500	3,000	2,600
pH	3.6	3~5	6.9
總固體物(mg/L)	2,395	4,500	4,600
懸浮物(mg/L)	331	250	683
COD (mg/L)	725	1,090	1,770
BOD (mg/L)	468	750	790
NH ₃ -N (mg/L)	93	-	-
硫化物(mg/L) (以 S 計)	18.6	32	124

(五)機械製漿法

機械製漿法近年來因技術之改進，已可使機械漿中CMP(化學機械漿)或CTMP(化學熱磨機械漿)經漂白後白度提高至80%ISO，強度亦可因少量藥品之使用而比傳統之SGW(磨石磨木法)高，且得料率可維持在85%以上。

由於高得料率，其溶於水中之物質自然相對地減少，只是紙漿中細短纖維狀物質會隨水流出(指白水回收或循環再用以後)者較多，而使廢水中TSS較高，然與化學製漿法相較，就資源利用及污染立場而言，機械製漿法仍有其優勢。

美國、芬蘭等國家使用機械製漿法，該廢水污染物排放與處理情況，經分析，若由製程處理改善，不僅使用水量可降低，且

BOD量與纖維損失更為降低。如表3.2.1-3¹⁰、表3.2.1-4¹⁰所示。

表 3.2.1-3 芬蘭州 Anjala 紙廠廢水量纖維損失變遷情形

項目	1979 年前	1981 年改良後	1983 年再度改良後
投入資金	-	1 百萬美元	1 百萬美元
廢水量(kg/T 產品)	70	35	15
纖維損失量(%)	5.3	2.5	1.0

該廠日產 SGW 350 噸與 THP 100 噸及抄紙類新聞紙 450 噸

表 3.2.1-4 美國 EPA 對機械製漿排放污染之限量

單位：kg/T 紙漿

機械製漿法	30 天平均最大值		每日最大值	
	BOD ₅	TSS	BOD ₅	TSS
CMP	7.05	10.45	13.5	19.45
TMP	5	9.2	9.6	17.05
脫墨	9.45	14.2	18.15	26.35

註：EPA BATEA 之限值，CMP 及 TMP 者與化學漿間之差距更大

由芬蘭的Anjala廠製程改良前後數據，顯示廢水與廢水中所含纖維量，均因製程之改善而大幅降低。但該廠持續改善，最終，總產量增加，但纖維損失續降至0.4%。由於該廠應當的排放水水質要求，BOD量應低於8 kg/ton產品，所以該廠將再趁增加紙漿與加壓石磨法PGW產量之便，用水方面亦作改進，並採用厭氣發酵以達到法規之要求。經由厭氣發酵產氣，預計所產生之甲烷氣熱量足以抵消厭氣系統之運轉費用而每年可比喜氣處理節省動力3,600~4,500 kWh⁸。

BCTMP漿廠則因製程關係，廢水所含樹脂酸(針葉樹)較多，約為50~550 mg/L，對水中魚類不利。目前已有不同方法可以處理，如加石灰預處理，大型曝氣穩定池(aerated stabilization basin, ASB)、ASB與lagoon並用或迴流式氧化渠等。

近年來漸受人注意之鹼性CMP製成，因不含亞硫酸根，廢水處理自然較用亞硫酸鹽之BCTMP容易。在纖細纖維降低時，自然

減少廢水中纖維練，接水之處理亦較簡單，且所產生之「廢棄物」量少而且易於處理。

TMP等用較高溫度磨製之木片機械漿廠，在第一段壓力下壓漿時，逸出大量帶有纖維之低壓蒸汽，其總熱量約相當於所用磨漿動力之70%。因此必須利用熱交換器回收可用之清潔蒸汽，(內/外差可低至4~6°C)供其他製程之用，回收率可達60%。

原「髒」蒸汽所帶纖維亦得有效回收，TMP類製漿廠廢水經處理後，所得污泥主要是有機物質，因此經濃縮壓榨脫水後，作為燃料是最經濟有效之處理方法。

二、抄紙程序

抄紙過程由抄紙機排出之廢水常含有各種填料，如碳酸鈣或細纖維，故稱為白水(white water)。白水水質依紙漿之種類、鍊漿狀態、抄紙速度、抄網細度、以及填料種類與量等而異。

白水之BOD較低，污染度不高，可循環使用，以節省用水量。白水雖無特別有害物質，但常含多量細纖及白濁膠質(來自填料及上膠劑)COD仍高，如不回收再利用，應加以處理，以免污染環境。

表 3.2.1-5 列出抄紙白水水質 A、B、C 三廠分析例⁹。

表 3.2.1-5 抄紙白水水質

水質項目	A 廠	B 廠	C 廠
外觀	白濁	白濁	白濁
pH	4.5	4.4	4.5
總固體(mg/L)	638	1,200	1,450
懸浮固體(mg/L)	368	261	450
BOD (mg/L)	48	80	120
COD (mg/L)	100	70	160

3.2.2 空氣污染來源與特性

造紙工業之空氣污染除製漿業因製程中之蒸解、洗漿及黑液回收工程等，產生較多污染排放外，一般而言，較無重大的空氣污染問題。

空氣污染部分主要來源為製漿業因製程產生之臭氣、煙塵及漂白製程氯氣，以及造紙廠鍋爐或汽電共生廢氣，另外紙器廠尚有紙粉及印刷過程產生VOCs的問題。各製程污染物種類及特性說明如下：

一、臭氣

硫酸鹽法製漿使用含有硫化物之蒸煮液(NaOH , Na_2S)來蒸解纖維質原料，因此會產生還原性有機硫化物，即硫化氫(H_2S)，甲硫醇(CH_3SH)，硫化甲基($\text{CH}_3)_2\text{S}$)，二硫化二甲基($(\text{CH}_2)_2\text{S}_2$)等四種。其主要排放源如表3.2.2-1所示。

二、製程排氣

硫酸鹽法製漿之漂白工程中，氯化段及二氧化氯段均有殘餘之氯及二氧化氯氣體由過濾機逸出，濃度不高且隨加藥量及漂白程度而有異，但因具酸性腐蝕性質對作業環境有影響，故亦須予以處理。其主要排放源如表3.2.2-2所示。

三、鍋爐燃燒廢氣

造紙廠的製程，需要用到大量的蒸氣和電力，因此除了回收鍋爐外亦設置燃油或燃煤發電鍋爐，其主要空氣污染物為：粒狀污染物、硫氧化物、氮氧化物等，其成分及濃度則因設備、燃料之不同而異。

表 3.2.2-1 臭氣排放源

排放源		排放方式	處理設施
蒸解工程	1.蒸解釜 2.噴漿槽	間歇式	1.熱回收設備 2.臭氣收集燃燒設備
洗滌工程	1.洗漿機護罩內排氣 2.黑液貯槽排氣 3.黑液過濾機排氣	連續式	1.中低濃度臭氣收集送回收鍋爐燃燒設備
濃縮工程	1.黑液濃縮槽排氣 2.氣壓冷凝器排氣 3.氣壓冷凝器排水	連續式	1.黑液氧化設備 2.中低濃度臭氣收集燃燒設備 3.提臭設備
燃燒工程	1.煙 2.主溶解槽排氣 3.直接蒸發器	連續式	1.主溶解槽熱回收 2.溼式洗塵器 3.靜電集塵器
苛化工程	1.石灰窯	連續式	1.濕式洗塵器 2.濕式靜電集塵器

表 3.2.2-2 製程排氣排放源

排放源		排放方式	處理設施
漂白工程	1.Cl ₂ 段漂白排氣 2.ClO ₂ 段漂白排氣	連續式	吸收塔(以白液吸收)
液氯工程	液氯製造尾氣	連續式	1.鹽酸爐製造HCl 2.NaOH吸收製造Na-Hypo

第四章 水污染防治處理技術

4.1 處理原理

4.1.1 物理處理

物理處理單元包括：篩除、沉砂池、調勻池、混合、沉澱、浮除、過濾及濾膜等，處理單元預期操作功能如表 4.1.1-1 所示。

表 4.1.1-1 污水處理場物理處理單元預期操作功能

單元操作	預期操作功能	設計型式
篩除	藉阻截作用去除水中大塊固體物	攔污柵
沉砂池	去除廢水中所含之砂土	沉砂池
調勻池	調節廢水流量及生物需氧量(BOD)與懸浮固體物(SS)之負荷	調勻池
混合	混合水中之化學藥品及氣體，並使固體顆粒呈懸浮狀	攪拌機
沉澱	去除水中易沉降之懸浮固體物並具污泥濃縮作用	沉澱池
浮除	分離與水比重相近之固體物與顆粒，亦可做生物污泥之濃縮用	浮除池
過濾	去除經生物或化學處理過之微細懸浮微粒	過濾池
濾膜	去除水中微細之粒子、膠體、大分子有機物及離子等成分	薄膜模組

資料來源：廢水處理單元-物理處理，廢水專責人員訓練教材，2006年4月資料

4.1.2 化學處理

為了淨化水質，減少水污染負荷，將有害物質轉化無害物質，必須在都市污水或工業廢水管末處理的操作過程中添加化學藥品，進行下列各項不同目的之處理或操作，包括：中和、混凝與膠凝、沉澱、離子交換、吸附、氧化還原及消毒，處理單元基本原理如表 4.1.2-1 所示。

表 4.1.2-1 污水處理廠化學處理單元基本原理

單元操作	基本原理
中和	將水中酸性物質之氫離子(H ⁺)與鹼性物質之氫氧離子(OH ⁻)，相互反應成水或鹽類的化學反應。
混凝與膠凝	利用化學藥品，使廢水中膠體粒子或分子性粒子等凝結成較大的物體，使其容易沉澱而與液體分離的方法。
沉澱	化學沉澱係利用化學藥劑之添加於廢水中，使污染物發生化學反應而生成溶解度低的沉澱物，而予以去除。
離子交換	所謂離子交換係將水溶液中之離子，在水溶液中與固體(離子交換樹脂, ion exchange resin)間進行可逆之交換反應。
吸附	常見的吸附方式係利用活性碳當作吸附劑，將污染物累積在活性碳表面，因活性碳為一種多孔性具有極大表面積的材料，當空氣或水中微量有機污染物接觸活性碳時，會被活性碳吸引，進而停留在碳表面，達去除污染物之目的。
氧化還原	廣義的氧化為一物質失去電子，即物質的氧化狀態增加，相反的，還原為另一物質獲得電子，即物質的氧化狀態減少，氧化與還原在一反應中必同時發生，利用氧化還原原理以處理廢水，其目的在於使廢水中含有害物質轉變成另一種無害物質。
消毒	消毒係將水中之致病微生物破壞使其失去活性，但不一定完全滅菌，消毒的方法可分為化學藥劑法、物理法、機械法和輻射法，其中化學藥劑法最普遍應用於廢水處理。

資料來源：廢水處理單元-化學處理，廢水專責人員訓練教材，2006年4月資料

4.1.3 生物處理

生物處理法係利用微生物分解廢水中複雜的有機化合物，以代謝作用來處理廢水，此法對處理一般家庭廢水及有機性工業廢水最具經濟效益。生物處理可分為好氧性處理(aerobic process)及厭氧性處理(anaerobic process)。

一、好氧性處理

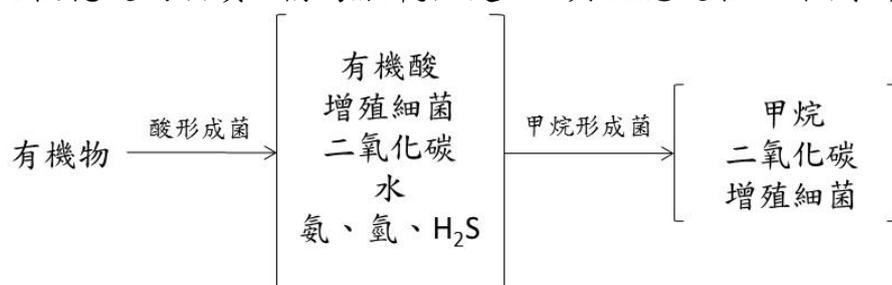
在廢水之好氧處理中，廢水之有機物(包括碳水化合物、蛋白質及脂肪)被好氧性微生物分解，其反應過程如下列所示：

有機物+微生物+氧

$$\xrightarrow{\text{酵素}} \text{增殖生物(細胞)} + \text{二氧化碳} + \text{水} + \text{硝酸鹽} + \text{硫酸鹽}$$

二、厭氧性處理

利用微生物在缺氧情況下分解廢水中有機物，產生甲烷、二氧化碳、氨及硫化氫等，最後並殘留不被分解的有機物如腐植土，或為比較穩定的物質，稱為厭氧性處理，其反應過程如下列所示：



廢水生物處理方法依廢水特性，去除物質欲處理程度而有不同的選擇，常見的廢水生物處理程序，依好氧系統、厭氧系統以及懸浮生長式系統與附著生長式系統列於表 4.1.3-1。

表 4.1.3-1 廢水生物處理基本程序

型式	名稱	用途
1.好氧系統		
(1)懸浮生長式	活性污泥系統	去除含碳 BOD、硝化作用
	氧化塘	去除含碳 BOD
	曝氣氧化塘	去除含碳 BOD
	氧化渠	去除含碳 BOD、硝化作用
	氧化深渠	去除含碳 BOD、硝化作用
	回分式活性污泥法(SBR)	去除含碳 BOD、硝化作用
(2)附著生長式	滴濾池	去除含碳 BOD、硝化作用
	旋轉生物圓盤法(RBC)	去除含碳 BOD、硝化作用
	接觸曝氣法	去除含碳 BOD
	填充塔式反應槽 (置於活性污泥系統之前)	去除含碳 BOD
(3)組合式	滴濾池+活性污泥系統	去除含碳 BOD、硝化作用
	活性污泥系統+滴濾池	去除含碳 BOD、硝化作用
(4)介於懸浮生長式與附著生長式之間	流體化床	去除含碳 BOD、硝化作用

型式	名稱	用途
2.厭氧系統		
(1)懸浮生長式	厭氧接觸系統	去除含碳 BOD、脫硝作用
	厭氧污泥床	去除含碳 BOD、脫硝作用
	厭氧消化槽	穩定作用、去除 VSS
(2)附著生長式	厭氧濾床	去除含碳 BOD、穩定作用及氮化作用
(3)介於懸浮生長式與附著生長式之間	厭氧流體化床	去除含碳 BOD、穩定作用

資料來源：生物處理單元-物理處理，廢水專責人員訓練教材，2006年4月資料

4.2 處理方法

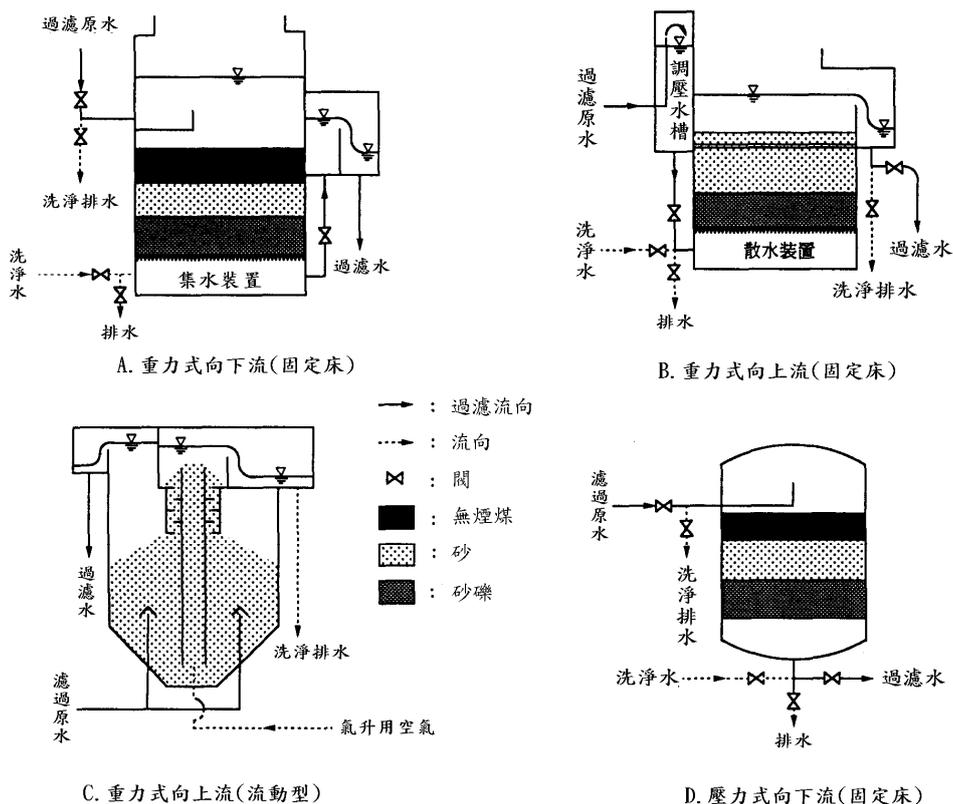
4.2.1 物理方法

一、砂濾

污水處理水再利用多採快濾處理。快濾為以 30~100 cm 高之粒狀濾料並以 $100\sim 600\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 之濾速，藉物理性的阻留作用及沉澱作用，將懸浮物質加以捕捉，使自水中分離之，其過程包括將懸浮物質的「移送」至濾材表面及其到達濾材後以「附著」而分離之程序。

一般二級水再生處理廠放流水中殘留之懸浮性物質，其直徑約自數 mm 至數 100 μm 之微生物膠羽為多，而濾材在 0.5 mm 至數 mm 之範圍，則其去除效果就不受濾材大小所影響，依據經驗在上述之濾材條件下，可去除之懸浮微粒下限值為 10 μm ，因此幾乎經快濾後，殘留於二級處理放流水中之懸浮物大半已被去除。但若為特殊情況，要去除 10 μm 以下之微粒，則可先提升懸浮微粒之粒徑，再予快濾之，快濾過濾型式如圖 4.2.1-1。

快濾最直接的處理效果為去除二級處理放流水中殘留之 SS，併同去除 SS 中所含之有機物、磷、氮化物等，因此若 SS 以外的懸浮性物質佔高比率時可有效的予以去除之。亦可為去除二級處理水之懸浮性 BOD。



資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.1-1 快濾過濾池形式

過濾方式有重力式及壓力式，依其過濾方向和濾層之形態而異，各種過濾構造示如圖 4.2.1-1，其選定應依設置條件、計畫回收水量、維護操作等決定之。濾層之設計以能具高去除 SS 之能力選擇之。過濾速度依流入水及處理水水質、SS 去除能力及過濾持續時間決定之。固定床之濾層清洗，視反沖洗效果，以空氣及過濾水為之。

快濾過濾之設計水量、水質，原則上以最大日污水量設計，處理原水原則上以二級處理水 SS 濃度為 20 mg/L 為設計依據，原則上以每池最大 80 m²，過濾速度依水質、濾層有效利用及過濾持續時間決定之，原則上最大日以 300 m/d，最大小時 45 m/d 設計，反沖洗以每日一次，並以過濾水為水源設計之。

快濾對於二級處理水之再利用處理，最大之效果為：增進清澈度、提高使用者之接受性，及減少再生水之消毒藥劑量，並提

升消毒效果。其種類與形式可分為：

- 重力式、壓力式：以確保濾壓的方法
- 向下流、向上流、水平流、上下向流：依過濾方向分
- 固定床、移動床：濾層之運動方法

綜上，各種類與形式，可將快濾設施依其運作方式分為多種，
下面就常用之幾種進行簡要說明：

(一)重力式向下流過濾

重力式向下流(固定床)式之設施，為以無煙煤及細砂而成兩層過濾為標準，濾層的厚度約為無煙煤厚度的60%以下。無煙煤的有效直徑為1.5~2.0 mm為標準，砂的有效直徑的2.7倍以下。無煙煤及砂之均勻係數以1.4以下。無煙煤及砂層的濾層厚度為60~100 cm。支承礫石之粒徑及厚度，應配合下部的洗淨及反沖洗速度和空氣清洗速度決定之。

(二)重力式向上流過濾

依圖4.1.1-1(B)向上流過濾時，應於過濾池的前後設置過篩或細篩。濾層由下部的支承砂礫及上部的砂組成之。支承砂礫的粒徑，粗粒者置於下層，細粒者置於上層。濾層以單層，砂的厚度以1.0~1.8 m為標準。濾材的有效直徑為1~2 mm，均勻係數為1.4以下為標準。

(三)向上流流動床過濾

其形式如圖4.1.1-1(C)，過濾池之前後設置細過篩設備。濾材以砂粒，有效徑1.0 mm為標準。以砂構成單層過濾，濾層厚度以1 m為標準。砂的均勻係數以1.4以下為宜。設置氣升設備及所需空氣源。

(四)壓力式向下流過濾

其形式如圖4.1.1-1(D)，以砂及無煙煤形成兩層式的濾層，砂層的厚度為無煙煤厚度的60%以下。無煙煤的有效粒徑為1.5~2.0 mm為標準，砂的有效粒徑的2.7倍以下。無煙煤及砂的均勻係數以1.4以下。無煙煤及砂所形成之濾層厚度以60~100 cm。支承礫石之粒徑及厚度，應配合下部的清洗及反沖洗速度和空氣清洗速度決定之。支承礫石，粗者在下層，細者在上層為標準。供水方式依各設施所需利用水量、供水壓力及設置條件決定之。

(五)纖維過濾

濾層為由PP或PE纖維濾料粒、球、片或絲構成之壓力式高速過濾，有效濾層為1.0~1.5 m，最大過濾速度可達720~1,200 m。供水方法依各設施所需利用水量、供水壓力及設置條件決定。

二、薄膜處理

薄膜處理可定義為利用一非移動性質(Immobilized Material)，作為水中分子或離子成分由一相流向另一相的屏障，以達分離效果之處理程序。

為達分離的效果，薄膜必須具有高度選擇性及滲透性，能讓部分物質快速通過，而其他物質則無法通過。常見之薄膜處理程序如表 4.2.1-1 所示，其中以電析(Electrodialysis)、逆滲透(Reverse Osmosis)及超過濾(Ultrafiltration)最為常用。

圖 4.2.1-2 則是常用分離程序適用的範圍。各種薄膜之過濾壓力及分離物質可參考表 4.2.1-2 及表 4.2.1-3。

表 4.2.1-1 薄膜處理程序及其特性

程序	說明	驅動力
逆滲透	逆滲透膜對水分子具有選擇性 (即僅讓水分子過)	壓力梯度
超過濾	由分子大小、形狀決定。	壓力梯度
電透析	對離子成分具選擇性及滲透性。	電動勢能
透析	對溶質傳輸具選擇性。	濃度梯度
凝膠層析	阻滯高子量溶質的貫穿。	濃度梯度
電極分離	分離鹽類物質及膠體	電動勢能
離子電極	對特定離子具選擇性。	濃度(活性)梯度

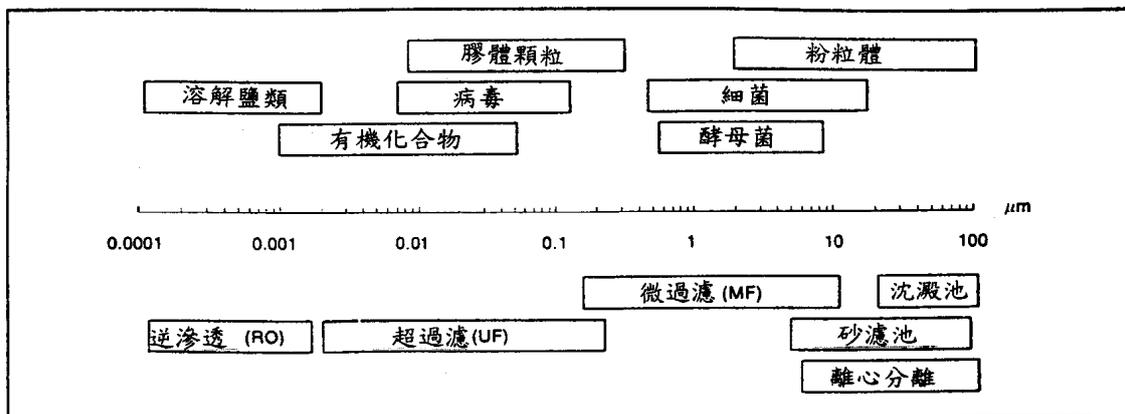


圖 4.2.1-2 水中常見污染物與處理方法

表 4.2.1-2 各種薄膜之過濾特性

種類	過濾壓力	主要分離對象
微過濾 (Micro Filtration)	1~5(kgf/cm ²)	微粒子
超過濾 (Ultra Filtration)	1~10(kgf/cm ²)	膠凝狀
逆滲透 (Reverse Osmosis)	5~100(kgf/cm ²)	鹽類、離子

表 4.2.1-3 各種膜的分離去除特性

項目/膜種類	MF	UF	RO
濁度	○	○	○
色度	△	△	○
臭度	×	×	○
SS	○	○	○
TDS	×	×	○
發泡成分	×	×	○
菌類	○	○	○
病原菌	×	○	○
N	×	×	○
P	×	×	○
TOC	×	×	○
BOD	△	△	○
COD	△	△	○

註：「○」表可分離去除，「△」表部分分離去除，「×」表無法分離去除。

薄膜依其孔徑大小，可分為 MF、UF 及 RO 等三種，以下就其三種薄膜進行簡述：

(一)微濾膜(MF)

微濾膜之去除物質為0.01~0.1 μm之微細至1~50 μm孔徑，可藉顯微鏡直接觀測之物質，其去除視孔徑而定，但亦受物質極性影響，一般去除懸浮物質、膠狀質之一部分及細菌等。

微濾膜之過濾原理與一般過濾理論相同，孔徑較大物質附於濾膜表面，而很快至完全阻塞，比膜孔徑小的物質，則經由微細孔之中間，呈靜電力而附著去除。可分離微粒子、藻類、大腸菌、霍亂、傷寒及病毒等。

(二)超濾膜(UF)

超濾膜過濾界於微濾膜及逆滲透之間，雖沒有逆滲透之緻密，但其孔則無法藉顯微鏡量測之，因之可處理各種分子量之特定高分子水溶液，其透過率之量測成為特過性之指標。超濾

膜之原理與微濾膜相同。

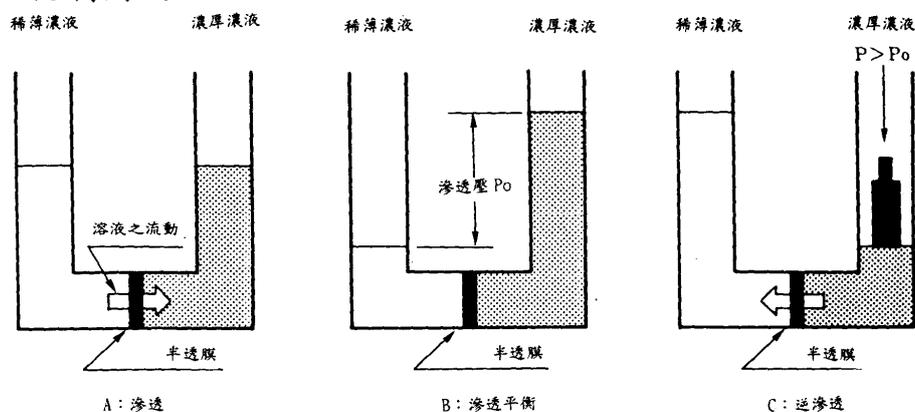
分離之性能主要為分子量在1,000~300,000程度之高分子量物質為對象，可做為蛋白質之分離、濃縮、醱酵物質之分離、濃縮、精製、酵素、病毒、核酸等之分離、濃縮、精製、油分離、膠狀物質之去除、放射性物質之去除。

(三)逆滲透膜(RO)

逆滲透以去除如食鹽之鈉離子為對象。其原理示如圖4.2.1-3。於容納有純水的槽，置只有水可透過之半透膜，使與食鹽水槽相連接，純水則透過膜流向食鹽水之槽，食鹽水之水位因而上升，該上升的水位稱為滲透壓。若於食鹽水槽加壓，則食鹽水中的水就透過膜而再回至純水槽，此一現象稱為逆滲透，而利用此一現象以處理水。逆滲透之驅動力為壓力差。

含有鹽分的水，依濃度而有固定的滲透壓，若於滲透壓膜上加入逆滲透壓以上的壓力，則水分就自膜的相反測流出，惟需有滲透壓的2~3倍的壓力。

一般溶解於水之無機鹽濃度1,000 mg/L，則須以0.7 kgf/cm²，海水因濃度高至35,000 mg/L，滲透壓約需25 kgf/cm²，因之於高鹽分之水中製造純水需較高的壓力，逆滲透被利用為海水淡化利用之。



資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.1-3 逆滲透膜之原理

膜處理法之基本流程，基本上為減低負荷及防止膜的破損，必須先經前處理，以去除溶解物質為目的的程序，應與膜處理程序分開，而膜的部分，上述 3 種 MF、UF、RO 膜皆可適用，又不同薄膜之處理水水質可參考表 4.2.1-4。

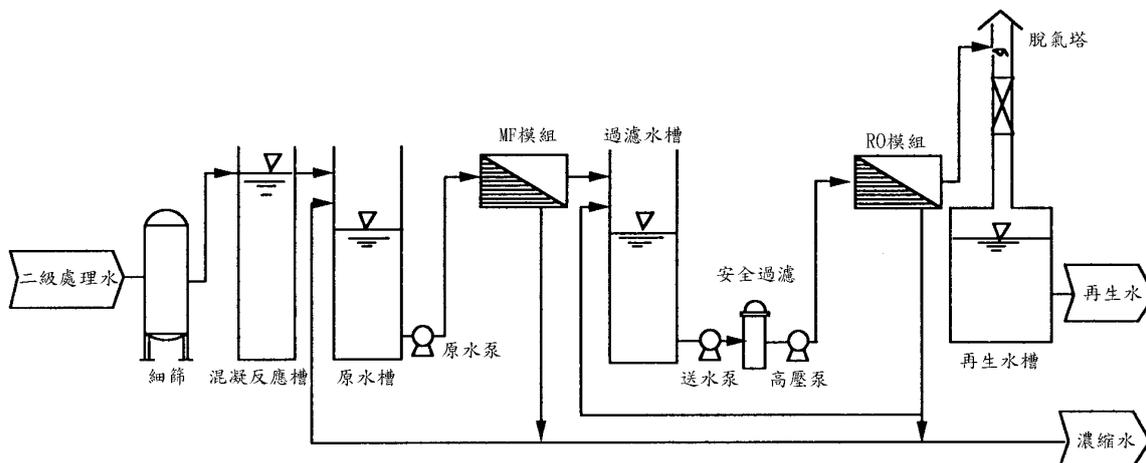
表 4.2.1-4 薄膜處理水水質

項目	MF 膜/UF 膜處理水	RO 膜處理水	備註
pH	5.8~8.6	5.8~8.6	為提高消毒效果，pH 不宜降至 8.0 以下，依進流水而稍異。
大腸菌群數	未檢出	未檢出	
濁度(NTU)	1 以下	1 以下	
色度	15 以下(添加混凝劑)	1 以下	
BOD	3 以下	1 以下	
COD	10 以下	1 以下	
MBAS	0.3 以下	0.05 以下	
蒸發餘留物	二級處理水相同	14~138	
鹼度	二級處理水相同	6~13	
硬度	二級處理水相同	1~18	
氯離子	二級處理水相同	8~35	
總氮	二級處理水相同	0.7~7.9	
總磷	未添加混凝劑則與二級處理水相同	0.03 以下	
	添加混凝劑則 0.04~0.2		

薄膜分離系統由前處理、供水泵、薄膜及後處理所組成，如圖 4.2.1-4，其應用應注意：

- (一)二級處理水先經混凝沉澱、MF 等處理後，並調整 pH 等，並選擇合乎膜之特性處理之。
- (二)依水透過流速求出膜面積，並求出膜組數，而水透過流速則為重要設計因子，無法用理論計算，應依實驗求出之。
- (三)水回收率也即濃縮率愈高，膜面將呈垢殼，分離性會降低，因之應設定不超過溶質之溶解度的濃縮倍數。

- (四)操作壓力從膜之水透過流速，為與膜作用的有效壓力成比例，依膜組之入出口平均操作壓力為壓力，而於出口以孔口或壓力調整閥控制之。
- (五)由於逆滲透膜膜面附近之溶質停滯，為使其流動，因之膜面上應有一定以上的流速，依該一流速決定供給泵揚水量。
- (六)RO 膜組因具 CO₂ 氣體容易通過之特性，使得透過水中溶解多量的 CO₂ 到 pH 稍降低，故應以脫氣塔或曝氣等方式去除水中的 CO₂。
- (七)膜面附著物除反洗外，應定期以藥劑清洗。



資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.1-4 薄膜分離法流程(例)

除前述 MF、UF 及 RO 薄膜處理法外，另有利用電流誘導離子與溶劑分離之電透析法(Electrodialysis)，亦為薄膜處理之一種，乃係將陽離子和陰離子膜交互排列，並通以電流使離子向二極運動，利用陽離子膜只容許陽離子，陰離子膜只容許陰陰離子通過的特性，使容許離子離開區間的濃度降低，而不容許離子離開區間之離子濃度提高，以達部分分離之淨化目的，如圖 4.2.1-5 所示。

良好的電透析膜須具備高度離子選擇(透過)性，低電阻、低水通量，物化性質穩定(尤以抗氧化性為最)、避免極化及積垢產生及

足夠之機械強度等特性。

因於電透析薄膜僅容許一種離子通過，因此極化現象可定義為當離子增加的速度大於被送走的速度，使離子在膜邊界層有累積的現象。當極化現象發生時，需要更高的電流來帶動離子，而當電流強度超過臨界點時，將產生如下之現象：

- (一)電阻增加，導致能源消耗增加。
- (二)發生水解作用，使薄膜一邊的 pH 值升高，另一邊降低，升高之一端將使溶液中 CaCO_3 、 CaSO_4 等沉澱，達分離及純化效果。

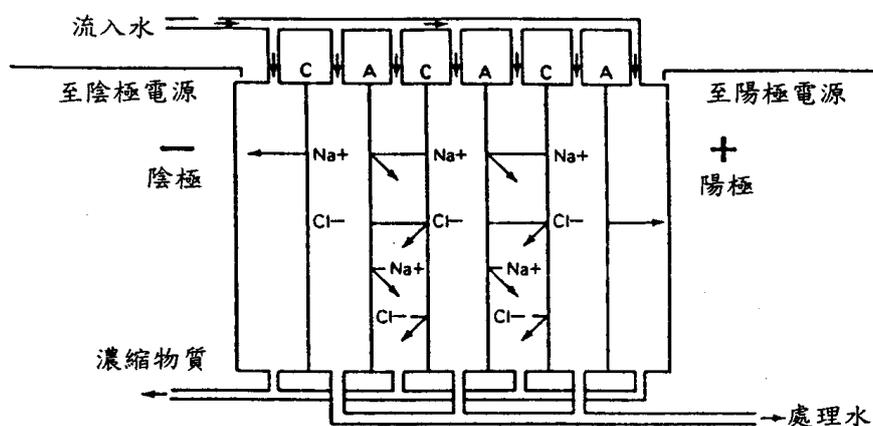


圖 4.2.1-5 電透析法原理圖

資料來源：下水道工程學第五版。

4.2.2 化學方法

一、混凝沉澱

凝聚為降低粒子表面之電位，以形成複雜化合物之現象，此乃高分子凝聚劑之主要作用，同時包含有架橋作用的現象。

水中的微粒子，其表面大多具同一電荷，而粒子間產生靜電的排斥作用。粒子之帶電荷，主要由於粒子表面之親水性所形成，粒子之帶電表面因吸引相反符號的離子，導致相同電荷之離子發生排斥，使得表面及內部各個的離子濃度不同。

這種膠體粒子間之排斥力的指標，以界達電位表之，此為粒

子之表面所附著之外側水層之電位。

降低其電位則粒子間的排斥力消失而粒子間相互附著，因之必須添加具相反符號的離子。帶負電之膠狀液體必須添加陽離子性凝聚劑，如圖 4.2.2-1 為電荷中和之現象。

凝聚的發生大多起自界達電位 20~50 mV，而於±5 mV 時由於電荷中和之進行而達完全凝聚。凝聚的另一現象為架橋作用，高分子凝聚劑之分子中各具若干極性基，該極性基被帶電荷的粒子所吸附，使粒子之間發生架橋作用而達粗大化。(如圖 4.2.2-2)。

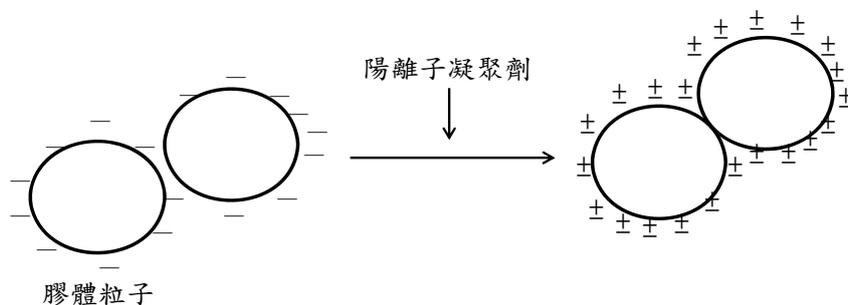


圖 4.2.2-1 電荷之中和

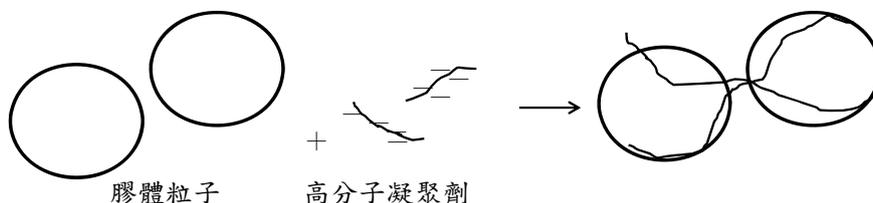
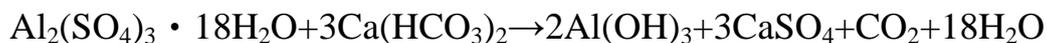


圖 4.2.2-2 架橋作用概念

過去一般以使用無機性凝聚劑較多，近年來由於高分子凝聚劑的進步，此等凝聚劑可單獨使用或與不同性質的無機性凝聚劑併用，而使其利用性更大。一般凝聚劑的分類如下：

- (一)無機凝聚劑：無機性凝聚為多價金屬離子之鹽，經加水分解而成膠狀粒子產生相反符號之較大電荷，一般使用者有硫酸鋁、硫酸亞鐵。以硫酸鋁為例，其作用如下：



由於氫氧化鋁具正電荷而產生凝聚，且由於加水分解而消耗水中的鹼分，致pH降低，有時必須補充鹼劑。

(二)有機高分子凝聚劑：有機高分子凝聚劑，有天然存在物質而具凝聚性質者及人工合成者，現在一般以使用合成者較多。

依高分子凝聚劑(polymer)所具有的性質，可區分為陰離子性凝聚劑、陽離子性凝聚劑及非離子性凝聚劑，且各有其特性。高分子凝聚劑同時具有電荷的中和作用及架橋作用，其特性如下：

- a.硫酸鋁不易處理之廢水，添加高分子凝聚劑具有效果
- b.所添加的凝聚劑不會有析出現象(鋁鹽則有沉澱析出之現象)
- c.pH 不發生變化
- d.污泥產生量比添加鋁鹽者少
- e.可改善脫水性
- f.不增加離子(因凝聚劑)
- g.不易受共存鹽類、pH、溫度之影響

凝聚劑之添加及所需之用量，一般可藉杯瓶試驗(jar test)來決定最佳加藥量操作條件。由試驗所得之加藥量約將比實際所需略為多些。杯瓶試驗步驟如下：

- 1.取 200 mL 水樣於燒杯中，加少量混凝劑後，快混 1 分鐘，慢混 3 分鐘。若無膠羽產生則增加混凝劑劑量，重覆此步驟直到產生膠羽。
- 2.用 6 個燒杯各置 1,000 mL 水樣，以 H_2SO_4 或 $NaOH$ 調整 pH 值分別為 4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0。
- 3.以步驟(1)得之混凝劑劑量分別加入各燒杯。

4.以轉速 80~100 rpm 快混 1~5 分鐘後，轉速改為 25 rpm 慢混 10~30 分鐘。

5.停止攪拌，靜置 10~30 分鐘，取上層澄清液分析水質。

6.選定最適宜之 pH 值後，重覆步驟(2)、(4)、(5)，但使用不同的混凝劑劑量，觀察生成之膠羽大小、沉降速度，並分析上層澄清液以決定有效而經濟之加藥量。

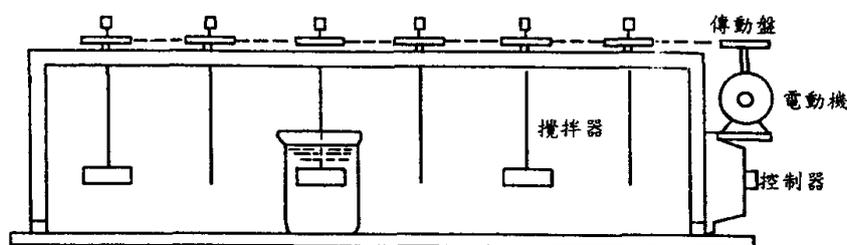
常用之混凝劑及助凝劑如表 4.2.2-1 及 4.2.2-2；本杯瓶試驗裝置(jar tester)，如圖 4.2.2-3 所示。

表 4.2.2-1 常用的混凝劑種類及特性

種類	名稱	化學式	適用 pH 值 操作條件	特性
鋁離子	硫酸鋁	$Al_2(SO_4)_3$	4.5~7.9	混凝適宜之 pH 值接近中性，適用於生物處理的前處理單元
	多元氯化鋁	$Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$	6.0~9.0	具有鹽基性鹽類，鹼度消耗少，且具有高價陽離子，架橋能力強，膠羽形成快
三價鐵	氯化鐵	$FeCl_3$	5.0~11.0	最佳的 pH 值範圍較廣，所形成的膠羽體積大而重，沉降性及脫水性佳，但腐蝕性高
	硫酸鐵	$Fe_2(SO_4)_3$	8.0~8.5	最佳的 pH 值範圍較廣，所形成的膠羽體積大而重，沉降性及脫水性佳，但腐蝕性高
二價鐵	硫酸亞鐵	$FeSO_4$	8.5~11.0	可還原水中的氧化物，所形成的水合物須再一步氧化成三價鐵的水合物，其他特性則與三價鐵同
鈣離子	石灰	CaO 或 $Ca(OH)_2$	7.5~11.0	在高 pH 值操作可釋出污泥中的氨氣，且可去除水中的磷、氮等物質

表 4.2.2-2 各類型高分子助凝劑的適用範圍

種類	適用特點	作用	適用對象
陽離子型	含有機性污染物或分散性膠體之偏酸性廢水	提高污泥脫水和過濾效果，及促進水質澄清	生活污水、油漆加工及食品加工等廢水
陰離子型	含有無機性污染物(尤其重金屬氫氧化物)及部分有機性污染物之偏酸性廢水	促進膠羽沉降、浮除過濾效果	金屬表面理、電鍍及機械加工等廢水
非離子型	含無機性污染物或無機性與有機性污染物混合之偏中性廢水	促膠羽沉降及過濾效果	粘土、礦泥及砂石等廢水



資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.2-3 杯瓶試驗裝置

混凝沉澱之目的，在使無法藉單純沉澱去除的懸浮物質，經由凝聚予以沉澱分離，其內容包括促進沉降、促進清澄化、提高過濾效果及改善脫水性等。

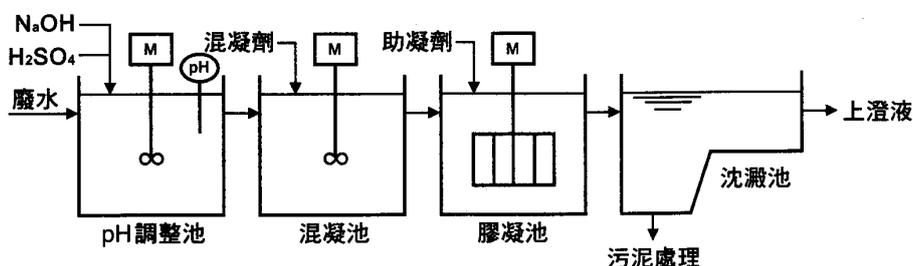
- (一)促進沉降：在使微細粒子、懸浮物質、膠體性物質等粗大化以促進沉降，縮短沉澱時間，減少處理裝置之容積。
- (二)改善上澄水之清澄性：可達到微細粒子的沉澱及脫色等效果，使水質清澈。
- (三)提高過濾性：添加凝聚劑改善過濾性，獲致較佳的過濾效率。
- (四)改善沉澱污泥之濃縮性：添加凝聚劑改善污泥之濃縮脫水性，獲得含水率較低的污泥。

由於凝聚有上述之效果，得以提高物理處理之效率，且近年

來由於藥劑的改良，而得獲致更具效果的凝聚劑。其應用除單純做為沉澱分離之目的外，尚可做處理水除磷等各種處理之用。

混凝沉澱設施包括由快混槽、凝聚槽(慢混槽)及沉澱槽所成之分離型，若三者成一體之裝置即為所稱之高速混凝沉澱裝置。

分離型之凝聚槽有利用堰、水流或利用機械攪拌機等以行凝聚反應。圖 4.2.2-4 為分離型機械式凝聚沉澱設施，圖中凝聚設施之配置以分成 2 段凝聚為佳，在第 1 段中先加入混凝劑快速攪拌使其與廢水相接觸混合，第 2 段則為添加助凝劑進行慢混以促進膠羽的形成。



資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.2-4 混凝沉澱系統流程圖

流體混合所需攪拌程度，主要之控制參數為速度坡降(velocity gradient)，G 值之定義如下：

$$G = \left(\frac{P}{\mu V} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (式 4-1)$$

- G = 速度坡降(sec⁻¹)
- P = 輸入槽中之攪拌動力(W)
- μ = 液體絕對黏度(N-S / m²)
- V = 槽中流體體積(m³)

因此，可由槽中流體體積及速度坡降決定所需攪拌動力(P)

$$P = \mu V G^2 \dots \dots \dots (式 4-2)$$

若攪拌採用曝氣方式，則曝氣量由(4-3)式決定之

$$P = 3902.4 Q a \log \left(\frac{h + 10.36}{10.36} \right) \dots \dots \dots (式 4-3)$$

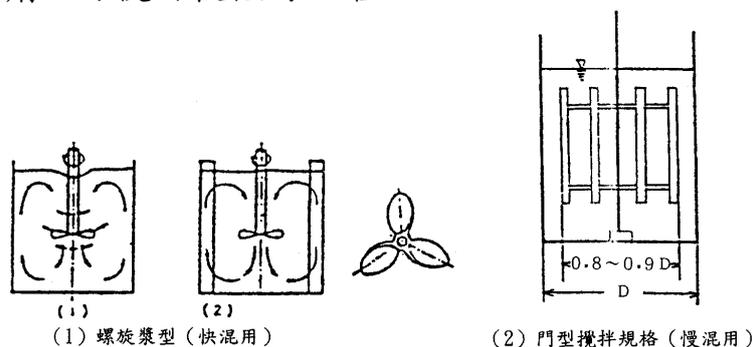
- P = 所需攪拌動力(W)
- Qa = 所需曝氣量(m³ / min)

H=散氣管浸水深度

廢水處理中常用的機械攪拌設備主要為螺旋槳攪拌機(propeller mixer)及輪葉攪拌機(turbine mixer)。快混池一般採用螺旋槳式攪拌機，輪葉式攪拌機則常用於膠凝池，輪葉式攪拌機轉動時常會形成渦流而影響攪拌效率，因此，設計時受池的幾何形狀而變，且一般常設置擋板以阻止渦流的產生。圖 4.2.2-5 為典型的攪拌機，輪葉及擋板與池幾何形狀之關係。

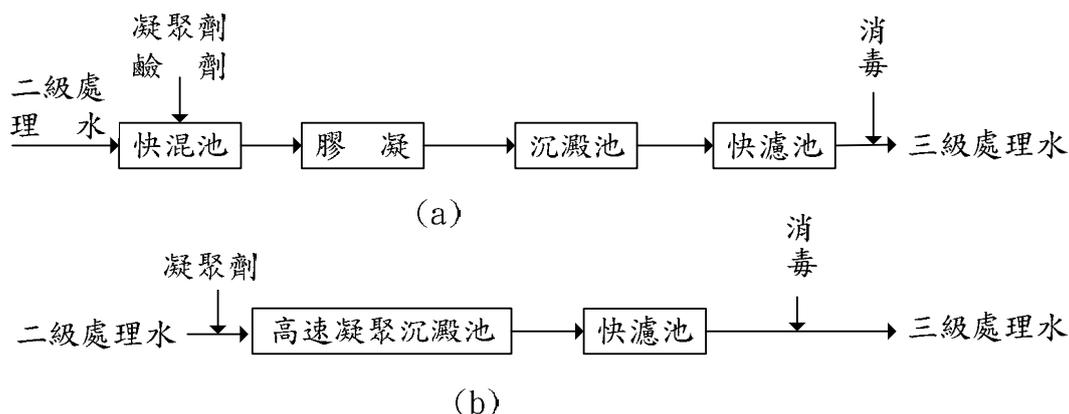
一般三級處理程序對於懸浮物及膠狀物去除流程如圖 4.2.2-6；凝聚反應槽如圖 4.2.2-7。在繼二級處理後，本程序幾乎可去除全部溶解物質，獲較良好水質。若三級處理水之水質要求較低時，可省去過濾階段，或二級處理水之濁度較低時，僅經凝聚、沉澱也可獲得良好的水質。

一般使用之無機凝聚劑有 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 、 FeCl_3 及 PAC 等。混凝及膠凝單元設計上考慮參數為表示攪拌狀況之速度坡降 G 值及水力停留時間。混凝池之水力停留時間約 1~3 分鐘，所需攪拌速度坡降 $G=300\sim1,000 \text{ sec}^{-1}$ 。一般圓型混凝池比方型或長型效率高，圓型池其水深應等於其直徑；膠凝池之水力停留時間通常在 20~30 分鐘，速度坡降 $G=20\sim80 \text{ sec}^{-1}$ ，Gt 值在 104~105；以石灰為混凝劑時，因固形物比重大，應使用較高之 G 值，若以硫酸鋁為混凝劑，可使用較低的 G 值。



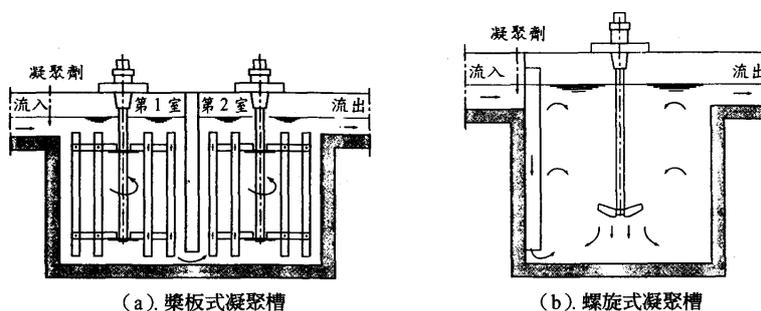
資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.2-5 攪拌設備之形式



資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.2-6 去除懸浮物為主的三級處理流程



資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.2-7 凝聚反應槽：(1)槳板式(雙槽)；(2)螺旋式(單槽)攪拌器

二、活性炭吸附

二級處理放流水中，尚殘存有機物量約 50~120 mg/L，及其他微量的色度和臭味等。此等物質雖可以混凝、沉澱、過濾等處理法去除之，但仍無法完全去除。而逆滲透法，蒸發法及冷凍法或可去除，惟處理上並不經濟，而活性炭吸附法則可經濟的去該等物質，為其最大優點，可分為粒狀碳及粉狀碳兩種。

粒狀碳之粒徑約 0.6~1.5 mm，為裝置於塔狀之容器中，將欲處理的水自塔之頂部或底部引入，予以接觸操作處理之方法。經長時間使用後則失去吸附能力，需將活性炭自塔內取出再生 (regeneration)。

粉狀碳為非常微細的碳粒，容易飛散，通常含有 30~50% 的水，以利使用。使用時與混凝劑相同，於注入欲處理之水中，予以攪拌接觸，再沉澱之處理方法。粉狀碳不再生，因此使用過後就需廢棄。

活性碳細孔之分類，依 1972 年國際所訂之分類，各種細孔直徑分別為：

(一) Macropore：細孔直徑 500 Å 以上

(二) Mesopore：細孔直徑 20~500 Å

(三) Micropore：細孔直徑 8~20 Å

(四) Sub-micropore：細孔直徑 8 Å 以下

活性碳粒上有直徑 10~10⁵(Å)之無數細孔，比表面積約達 500~1,500 (m²/g)，活性碳之吸附能力，即仰賴這些微細的小孔。

活性碳的性質依細孔大小之分布，活性碳之粒度，賦活之方式等而異，又被吸附物質對於水之溶解度、分子的大小、pH 濃度、溫度等之不同，活性碳之吸著力亦異。因此活性碳處理裝置設計時，必須先行吸附實驗，做為設計依據。活性碳吸附特性一般以 Freundlich 之吸附等溫式表之。

$$\frac{X}{M} = KC^{1/n} \dots\dots\dots(\text{式 4-1})$$

M：活性碳重量(mg /100mL)

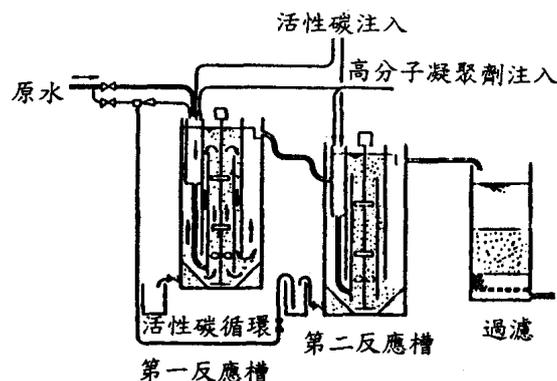
X：被吸附物質(mg)

C：去除物質殘存濃度(mg /L)

1/n： $\frac{X}{M}$ 與 C 所呈吸附等溫線斜率

粉狀活性碳之接觸槽，需有攪拌槽，其構造與給水工程之慢混池相同。攪拌接觸、吸附之後，活性碳粉需自水中分離之，故需有沉澱池，因此具有攪拌、接觸及沉澱分離功能之高速膠凝沉澱池也可做為活性碳吸附槽。

為充分發揮活性碳之吸附能力，以降低處理水之濃度，則可設置多段槽，而於後段使用過後之活性碳引入前段，這種稱為向流式多段吸附裝置。圖 4.2.2-8 為利用高速膠凝沉澱池之二段向吸附裝置。



資料來源：下水道工程學第五版。

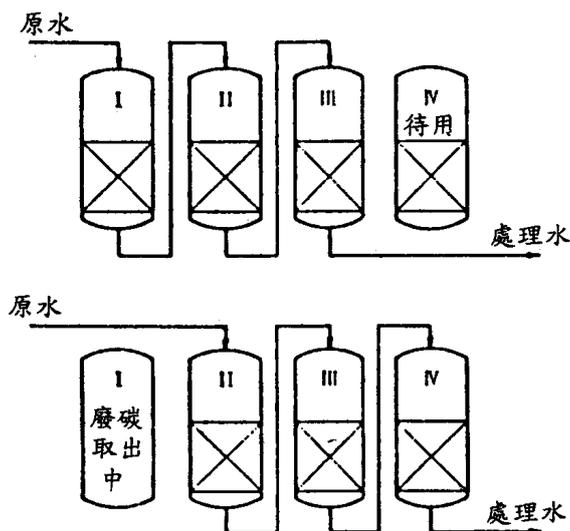
圖 4.2.2-8 活性炭吸附裝置

活性炭處理之固定層吸附槽與快濾池相同，於槽內填充粒狀活性炭過濾。由於處理水之懸浮物污染活性炭層，通水阻力增大，而需反沖洗，並為破壞表面之泥球，必須設置表面沖洗設備，此等設備也與快濾池相同。

固定層吸附槽，當被吸附物飽和時，活性炭(廢碳)應換新碳，廢碳則送再生工廠進行再生。為提高活性炭之負荷量，接觸都採多段直列式。圖 4.2.2-9 為多段直列式活性炭吸附裝置，最初以 I → II → III 之順序通水，當第 I 段之出水濃度超過容許度時，第 I 塔就必須停止操作，更換新碳，而改以 II → III → IX 之順序通水操作。

粒狀活性炭，當其吸附量達到飽和時，就必須取出再生。再生方法有濕式氧化法、藥品再生法、生物再生法，而以熱處理法最為普遍。

熱處理法，為將廢碳投入再生爐，首先於 100~150°C 下乾燥之，繼再於 300~700°C 之高溫下使揮發物揮發，而後升溫度至 700~1,000°C，以水蒸氣或二氧化碳氣體予以賦活。再生爐內應避免空氣流入，以防止活性炭發生燃燒。



資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.2-9 多段直列吸附槽

三、臭氧處理

臭氧處理主要利用水與臭氧充分接觸，藉臭氧之氧化力以去除污染物質，其注入水中之方法如圖 4.2.2-10，可分為加壓法及散氣法。加壓法為將加壓之水經噴壓器，利用噴嘴噴出、並與臭氧混和後，於反應槽底部流出，優點為氣液混合效果好，然需加壓泵將水加壓(2~3 kg/cm²)，所需之臭氧量約為處理水量之 2~3 倍，臭氧總濃度應以 20 g/Nm³ 注入(限界為 40~60 g/m³)。

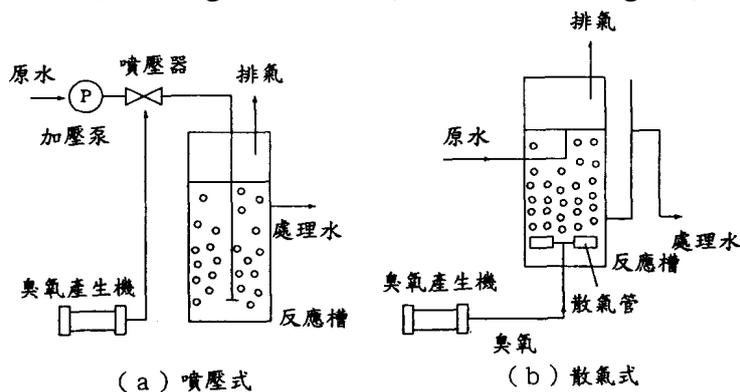


圖 4.2.2-10 臭氧注入方法

散氣式係於反應槽底部設置散氣設備，將臭氧以微細氣泡狀散出，於反應槽中與水接觸溶解，所需動力費較低、操作較容易，應用較廣。應用實為提升臭氧之吸收效率，反應槽一般深度為 3~5 m，且為防腐蝕，多以不銹鋼材、FRP 材或混凝土材等材料，散

氣管亦使用耐腐蝕之陶製散氣管為宜。

臭氧在三級處理之目的為脫色及除臭，臭氧與流入水中之亞硝酸鹽、硫化氫等無機物及有機物相反應而消耗，因之注入量應依處理水之性質、處理目的、處理程度而異，應依試驗結果而定，一般生物處理所需之臭氧注入量約 10 g/m^3 。接觸反應時間為 10~15 分鐘。

臭氧處理所需之停留時間(接觸時間)依處理水之水量、水質及臭氧注入速率而有所不同；另處理水之水溫、pH 將影響水中殘餘之臭氧量，一般約將設置貯留槽，使處理水停留約 10~20 分鐘，以利殘餘臭氧充分分解、逸散；又由反應槽所排出之臭氧(約 5~20%)，若任由其散入大氣，恐造成人體危害，應將之妥善處理至 0.01 ppm 以下為宜。

4.2.3 生物方法

一般生物處理常用標準活性污泥法、批次式活性污泥法、活性污泥膜濾法以及接觸曝氣法等。

一、標準活性污泥法(Conventional activated sludge process)

迴流污泥自曝氣槽之流入端與最初沉澱池沉澱後之下水，一併流入曝氣槽，藉水平流動而經一定時間曝氣之方式。曝氣槽之流出水導入最終沉澱池沉澱分離懸浮物質，上澄水即為處理水，沉澱之懸浮物則一部分以迴流污泥迴流曝氣槽。其設計參數如表 4.2.3-1 所示。

標準活性污泥法曝氣槽流入部及流出部之 BOD 污泥負荷及生物相皆不相同，將曝氣槽流出之生物再加迴流利用，要使其再開始活動需要一段時間，故若流入下水水質變化太大時，常有無法適應的現象。

曝氣槽混合液消耗氧量，以槽之流入區較多，愈向流出區愈小。為改良本法同一曝氣量之缺點，依曝氣槽內混合液消耗氧量，調整空氣供給量之方式，稱為遞減曝氣法，此法因曝氣適當，顯

有抑制硝化菌繁殖的效果。

近年來有為提升污水處理之操作穩定性，而於標準活性污泥法反應槽之前端隔離出一菌種選擇段(Selector)，使進流水及迴流污泥處於厭氧狀態並加攪拌下，以抑制系狀菌的增殖，防止發生膨化之措施，其混合停留時間一般約 20~30 分鐘。

表 4.2.3-1 一般活性污泥法設計參數

處理方式	食微比 (KgBOD/Kg MLSS · Day)	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) (day)	迴流污泥率 (%)
標準活性 污泥法	0.2~0.4	1,500~2,000	4~6	6~8	3~6	25~50
批次式活性 污泥法 (SBR)	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)
	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)	低 (依 MLSS 而定)	8,000~15,000	依膜材 而定	3~6	長 (依 MLSS 而定)	無

二、批次式活性污泥法(Sequencing batch reactor)

分批次活性污泥法為活性污泥法的修正法，基本上為曝氣槽兼具沉澱槽之用，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、反應、沉澱、放流及靜待五個階段進行。由污水流入至靜待為一循環，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。

本法不需要如同一般活性污泥法需另設置最終沉澱池及迴流污泥泵。進流方式連續流入者，則需有避免影響沉澱之阻流設施，示如圖 4.2.3-1。本法多利用於小規模處理設施，並以全自動控制操作之。

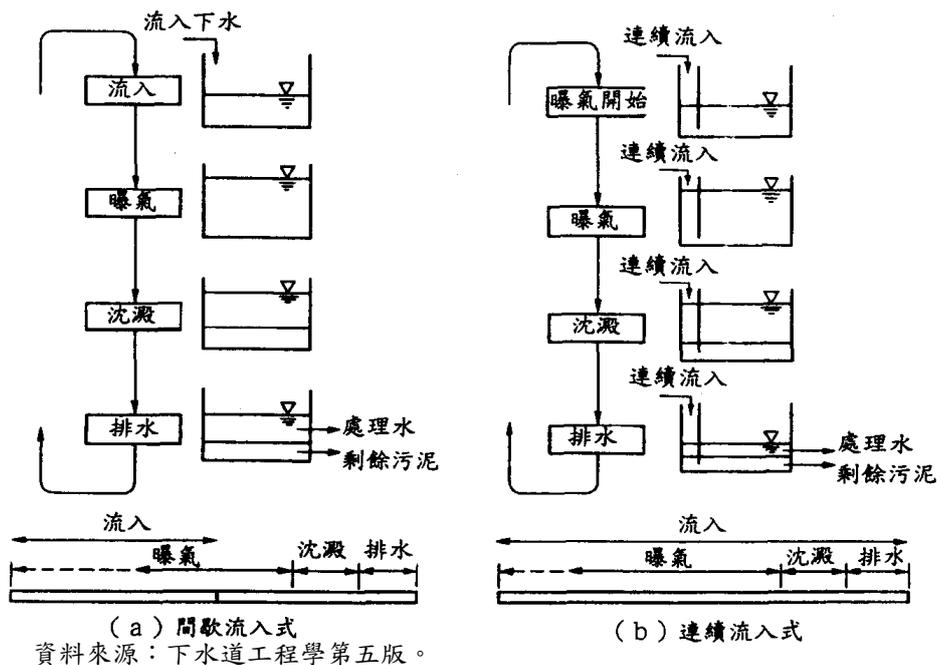


圖 4.2.3-1 分批式活性污泥法種類及操作程序

三、活性污泥膜濾法(Membrane bio-reactor, MBR)

本法為於傳統活性污泥曝氣槽中加裝數組膜組而成，膜組可分為中空絲或片板兩種，操作時利用透膜壓力為驅動力，將經過活性污泥處理過的混合液過濾而得到過濾液放流水。由於一般使用薄膜的孔隙約僅有 0.1~0.4 μm ，因之所得放流水水質甚佳，其處理水甚至能達到回收再利用的水質標準，因之近年來普通被利用於小規模污水廠。惟膜板必須定時反沖洗及藥洗。

活性污泥膜濾系統，進流水應先經細篩分離，穩定流量，內置中空絲膜或片板膜，放流水由膜分離之，可維持高濃度的懸浮固體液。

就一般用於污水處理之固液分離程序的 MBR 而言，可依照薄膜置入活性污泥法的位置有可區分成側流式(side stream，或稱為外部迴流式 external recirculated)、沉浸式(immersed/submerged，或稱為整合式 integrated)兩類，如圖 4.2.3-2 所示。

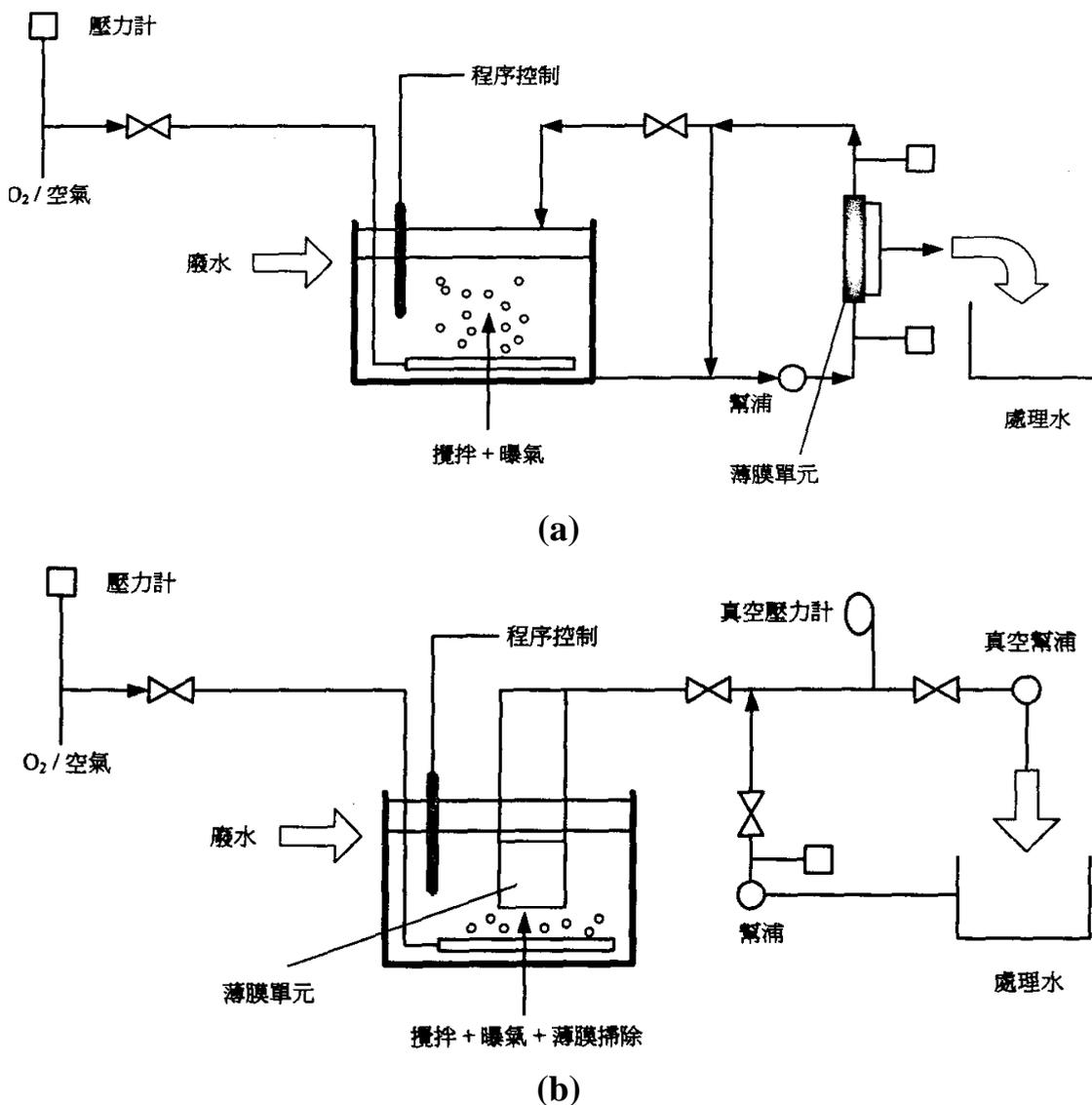
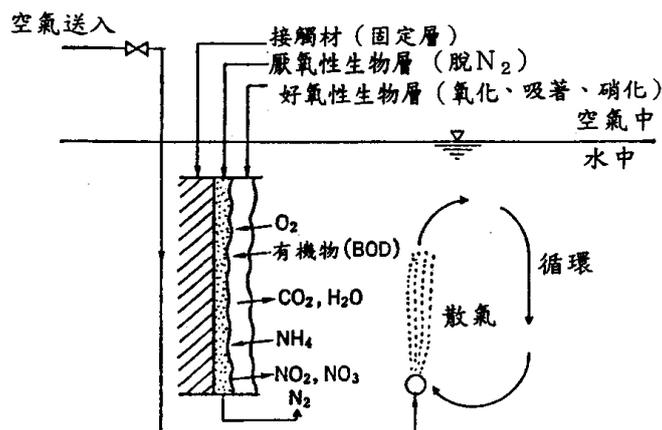


圖 4.2.3-2 (a)側流式(b)沉浸式 MBR

四、接觸曝氣法(Contact aeration)

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，使流入的廢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、氧化廢水中有機物質的處理方法。接觸曝氣法之去除 BOD 及去除氮的模式示如圖 4.2.3-3 所示。



資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.3-3 接觸曝氣法之 BOD、氮去除特性

本法之優點包括：

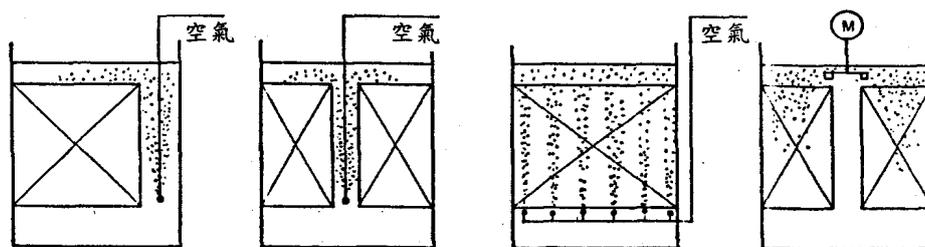
- (一)不需調整 MLSS 濃度，也不需迴流污泥，操作管理容易。
- (二)可承受 BOD 負荷的變動，獲穩定之處理水。
- (三)剩餘污泥量少，污泥處理單元甚至可不需終沉池。
- (四)沒有污泥膨化問題。
- (五)好氧層生物之底下，形成厭氧生物層，可達脫硝效果。

惟其缺點為：

- (一)接觸材上附著之生物量為操作條件，無法調整控制。
- (二)負荷過高時，有生物膜阻塞問題。
- (三)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。

本法之曝氣方式如圖 4.2.3-4 所示，有側面曝氣以形成旋迴流方式、槽中心曝氣於兩側形成旋迴流之中心曝氣方式、於槽底全面曝氣方式，以及於水面機械曝氣等方式。

無論採用何種曝氣方式，以能達到污水與空氣在反應槽內均勻混合及旋回流動。底部全面曝氣方式，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

資料來源：下水道工程學第五版。

圖 4.2.3-4 接觸曝氣法各種曝氣方式

4.3 處理流程

一、廢水處理方法之選擇

在規劃廢水處理方法及流程時，應先實地調查工廠所排出之廢水流量及水質特性，處理方法及流程之選定乃針對廢水的種類、性質、廢水量、廢水特性及處理目標，選定最適合之方式。

決定廢水處理方法及流程時，應考慮的因素主要包括下列各項，應綜合評估選定最適合的方法。

(一)處理方法的組成及其處理效率

處理方法之選擇應以能達成所需之處理目標，亦即該有之處理效率為最根本之考量，處理方法及流程應能適合廢水中所含污染物之性質，所選擇單元應能有效去除廢水中之污染物，達到排放標準之目的。

(二)經濟性

處理單元設施應為建設費用低、操作管理費便宜者。

建設費包括：

1. 土地開挖、整地費。
2. 處理單元建造費。
3. 機械設備等購置費。
4. 設備運輸、裝設費。
5. 電氣設備及配線費。
6. 進、排水配管設備費。
7. 土地使用費。
8. 控制房建造費。

操作管理費包括：

- 1.電力費(動力費)。
- 2.藥品消耗費。
- 3.各種器材消耗。
- 4.機械設備維修費。
- 5.污泥處理費。
- 6.人事費。
- 7.折舊及利息。

(三)維護管理容易，具穩定性

廢水處理設施應為操作容易、低噪音、能防止惡臭者為宜，對於廢水水質及水量之時間變化，適應力強，且系統穩定。

(四)污泥產生量少

廢水處理可能會產生生物性或化學性污泥，這些污泥須經處理後再做最終處置，因此以產生污泥量少之處理方式為較佳。

(五)用地面積

廢水處理設施所需用地頗大，若受限於用地面積，以採用所需面積小者之處理方法為宜。

二、傳統流程

造紙工業的廢水來源，一般來自製漿、抄紙等製程中所產生的白水或黑水，其中所內含的污染物質，大致可分為懸浮性固體物、溶解性有機物、溶解性無機鹽類等3大類。

懸浮固體物主要來自製漿蒸煮廢液、洗漿廢水、抄紙白水與添加的填充物如石膏、黏土等；溶解性有機物質主要來自製漿蒸煮廢液、漂白廢水、白水與添加劑等；而溶解性無機鹽類部分，主要來自於製漿蒸煮廢液時所添加的亞硫酸鹽或硫酸鹽，及漂白時所添加的氯氣、二氧化氯、次氯酸鹽等。造紙工業生產文化用紙所產生廢水之水質特性如表 4.3-1 所示。

表 4.3-1 造紙工業生產文化用紙所產生廢水之水質特性

主要污染種類	污染來源	廢水水質特性(mg/L)
抄紙機之白水	濾布之濾水及清洗水	pH：4.5~6.5 SS：200~450 COD：300~550
手工抄紙之白水	抄紙槽排放廢水及壓榨過程之濾水	pH：7.0~10.0 SS：400~600 COD：500~650
一般廢水	清洗廢水及生活廢水	pH：5.5~7.0 SS：300~500 COD：200~300

造紙製程雖因原料與產品特性之不同而略有差異，但基本上可分為製漿及抄紙二個系統，廢水亦主要來自製漿及抄紙單元(經濟部工業局，1994)，前者以製漿程序之散漿調成用水量最多，含大量纖維與懸浮固體物，水質較為單純，後者因添加大量抄紙化工藥品，亦含抄紙網部所流失之微細纖維、殘餘抄紙藥劑及有機物質，水質複雜，一般造紙流程如圖 4.3-1。

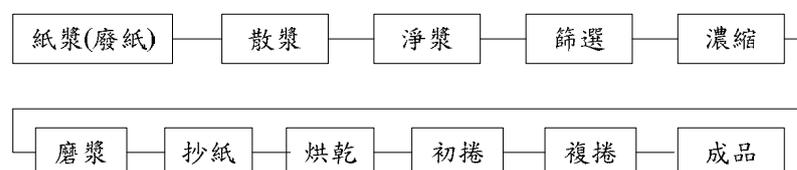


圖 4.3-1 一般造紙流程圖

造紙廢水常因製程抄造不同紙品而於紙機改抄、清洗與散漿機清理等過程，瞬間大量排水致廢水量大幅變動、白水中含大量懸浮固體物、高濃度有機物質以及複雜化工藥品等水質特性，經常導致廢水處理系統不穩定而影響放流水質，一般造紙廢水處理流程如圖 4.3-2。

造紙廢水前處理大多採用化學混凝沉澱/加壓浮除法，主要原因在於化學混凝沉澱法操作簡易，而加壓浮除法之優點為減少處理廠土地面積；早期因製程紙漿纖維保留不佳，使用加壓浮除兼具回收白水中之殘餘纖維功能，以獲得較高之漿料得率。

上述處理方式均有相當之初級處理效果；一般而言，初級沉澱池

應能提供平均流量 1.5~2.5 小時之停留時間，但若用於生物處理前，停留時間可小於 0.5~1 小時，其目的為去除較少的 SS，以利於後續最終沉澱池生物污泥之沉降；而加壓浮除可能造成 SS 過度去除，過度降低二級生物處理池進流水中比重較高之無機質含量，可能導致後續終沉池生物污泥沉降性不良，固液分離效果不佳，而影響放流水質。

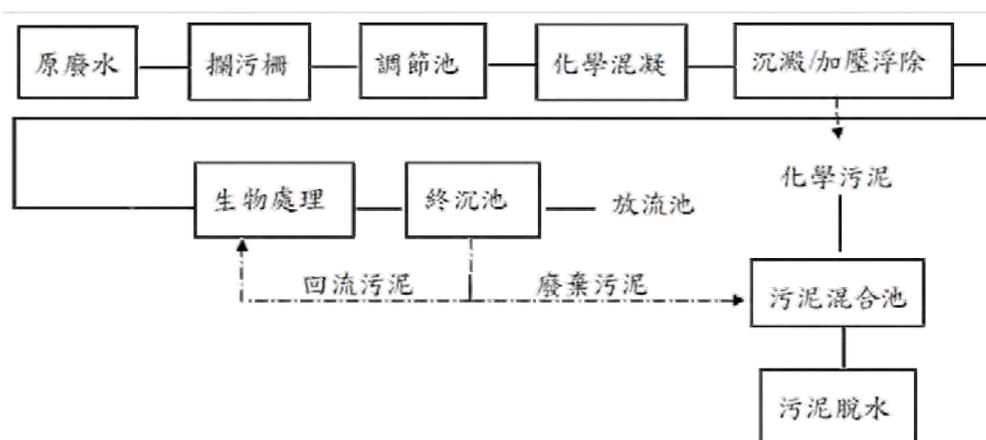


圖 4.3-2 一般造紙廢水流程圖

一般廢水處理設施包括攔污柵、沉砂池、緩衝調勻池、快混、慢混、沉澱、浮選加上二級處理等，二級處理可分為好氧及厭氧處理，目前就廢水回收再利用方面，是以廢水零排放為目標，將廢水回收再做二次利用，但是當減少水的排放或是零排放時會衍生其他問題，如不含水的排放物、濃縮鹽液等，因此當設計一個廢水回收系統時，需了解所有污染物的型態和特性，衡量整體的利弊後，加以設計以達到廠方最佳之需求。

而造紙廢水因原料、產品種類繁多，製程繁複，至各廠廢水水質與廢水量皆有很大的差異。因此，處理時須特別注意廢水水質、水量變化的實地調查，並依廢水的情況與放流水標準選擇適當的處理方式。

三、新穎處理流程

紙漿造紙工業每年 4 億噸的產量，生產過程中有 50% 形成廢污，也是目前用水量最大的工業(Sutherland et al., 2010)¹⁴，未來的須求仍會持續增加(Hillman et al., 2010)¹⁵，因此有必要投資在具持續性的生產技

術，以及有效的廢污處理與管理策略。

迄今造紙業仍一直在尋找具永續性的製紙技術，應用新技術可使製程用水更有效率，減少製紙用水的須求，透過污泥處理過程產生的甲烷氣，更可減少製程能源需求，及降低碳足跡。

造紙業排放的廢水中包含重金屬(Cd, Cu, Pb, Ni)、有機物(例如：木質素)、生化需氧量(BOD)、化學需氧量(COD)、有機鹵素(AOX)、植物固醇(phytosterols)、含磷萃取物等(Gupta et al., 2013¹⁶; Lopes et al., 2013¹⁷; Mahmood-Khan and Hall, 2013¹⁸; Su et al., 2013¹⁹)。

這些污染物需要經過適當處理與處置，以減少對承受水體環境的影響。加拿大研究發現造紙業排放水會影響呆鰱魚(fathead minnow)的產卵行為，BOD 大於 25 mg/L 時，會完全抑制產卵(Kovacs et al., 2013²⁰)。

(一)永續性技術(Sustainable Technologies)

Buyukkamci and Koken (2010)²¹ 針對 96 家紙漿造紙工業檢討其廢水處理系統的經濟效益，共有 12 種不同的處理流程，處理水量範圍在 3,000~10,000 m³/day，對於低、中、高污染濃度的紙漿造紙廢水，最具經濟效益的處理程序分別為延長性活性污泥法、延長性活性污泥或上流式厭氧污泥床(UASB)+曝氣槽、UASB+曝氣槽或 UASB+傳統活性污泥程序。

使用零價鐵奈米顆粒(zero valent iron nanoparticles; ZVI NP_s)可以從造紙廢水中去除有機鹵素五氯酚(pentachlorophenol)污染物，在 pH2、3 g/L 的 ZVI 條件下，可在 60 分鐘內將 6 mg/L 的五氯酚降解剩 0.267 mg/L (Udayasoorian et al., 2013)²²。

離子交換是另一種可行技術，可有效去除廢水中的溶解性有機物(Bassandeh et al., 2013)²³，陰離子樹脂可有效去除色度、木質素、腐質酸與黃酸(分子量在 500 g/mol and 1,000 g/mol 間)，因而可去除約 50% 的溶解性有機碳。

然而陰離子樹脂的交換容量，無法完全被復原的，因其對某些無機或有機化合物的吸附是不可逆的(irreversible)。相反的陽離子樹脂對

溶解性有機物的吸附效果就不如陰離子好，對溶解性有機碳的去除率僅能 27%。

對整廠水資源妥善規劃與管理，亦是一可行的減污策略，印度 Shukla 等人(2013a)²⁴ 針對流量、COD、總溶解性固體物以及有機鹵素進行整體評估考量，有效分配回收水與自來水的使用，可減少 55.6% 的排放水量，COD 與有機鹵素的排放量分別減少了 36% 與 73%，進而使整個污染處理成本降低 35.2%。

濕式氧化法(wet oxidation)可用於去除污泥中的木質素，在 220°C、1 大氣壓下，濕式氧化 20 分鐘可去除 90% 以上的萃取物，有效減少難分解的抑制性化合物的量，120 分鐘後，則分別對酚醛(phenolics)、脂肪酸、樹脂酸(resin acids)、植物固醇(phytosterols)有 95.7%、98.6%、99.8%、100% 的去除效果，同時醋酸的濃度也增加 2 g/L(Baroutian et al., 2013)²⁵。

混凝程序亦可用於去除廢水中的 COD 與總懸浮固體物(TSS)，Irfan 等人(2013)²⁶ 探討組合使用硫酸鋁(Al_2SO_4)、氯化鐵($FeCl_3$)、氯化鋁($AlCl_3$)、硫酸亞鐵($FeSO_4$)、多元氯化鋁(PAC)以及陰、陽離子聚合物(polymer)為混凝劑\膠凝劑的效果，比單獨使用為佳，最佳組合為使用氯化鐵($FeCl_3$)、氯化鋁($AlCl_3$)，搭配陰陽離子的聚丙醯烯胺聚合物(polyacrylamide polymer)，在 pH<3 時對 COD、TSS、色度的去除率可分別達 76%、95%、95%。原廢水特性如表 4.3-2 所示。

表 4.3-2 Lahore 某造紙廠黑液廢水特性

項目	濃度
pH	6.73
COD	28,270 mg/L
TSS	11,455 mg/L
色度	1,640 鉑鈷

此外，Yuliani 等人(2013)²⁷ 亦發現過去習慣延長污泥齡來降低污泥產量，但往往卻增加了曝氣的能源成本，Stoica 等人(2009)²⁸ 建議應該縮短污泥齡，以減低曝氣能源需求(此部分佔整個處理廠 50% 的能耗)，

此舉可增加污泥產製甲烷的能源回收。

(二) 薄膜技術(Membrane Technology)

薄膜技術是目前熱門的方法，Shukla 等人(2013b)²⁹以 6.8、10.3、13.7 bar 的初始壓力，用於 UF 與 NF 膜，另以 13.3、13.7、17.2 bar 的初始壓力，用於 RO 膜，並將在滲析過程中未能通過膜而被保留下的滯留物返送回進水端，直到操作壓力達到限值為止，效果最佳的壓力發生在低壓操作時，UF 對污染物的去除效果不盡理想，但 NF 與 RO 的效果良好，其中以 RO 對 COD 與 AOX 的去除率最佳，分別可達 50~89 % 與 80~91%，與膜孔徑、污染物濃度與操作壓力有關，其操作程序如圖 4.3-3 所示。

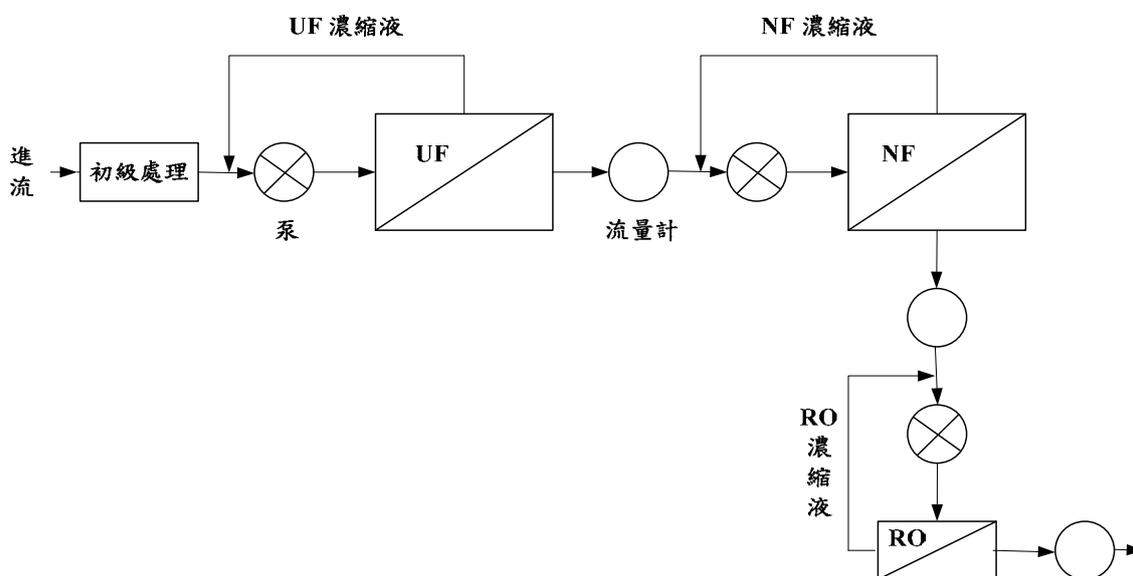


圖 4.3-3 NF、UF 及 RO 膜串聯處理系統(Shukla et al, 2013b)²⁹

Amaral 等人(2013)³⁰使用中空纖維 MF 膜(平均孔徑 0.5 μm ，濾膜面積 0.05 m^2)，探討不同流速(Reynolds 1,226, 1,653 與 2,043)、進流水 pH(7、10 與 10.6)及溫度(28、43 與 48 $^{\circ}\text{C}$)操作條件下，對紙漿廢水的去除效果。

結果顯示 MF 膜對含纖維的懸浮固體物去除率可達 99%，最佳操作條件發生在 1 bar 壓力下，Reynolds 1,653 與 pH7 時。MF 膜系統的原理圖和 MF 膜裝置照片 如圖 4.3-4 所示。

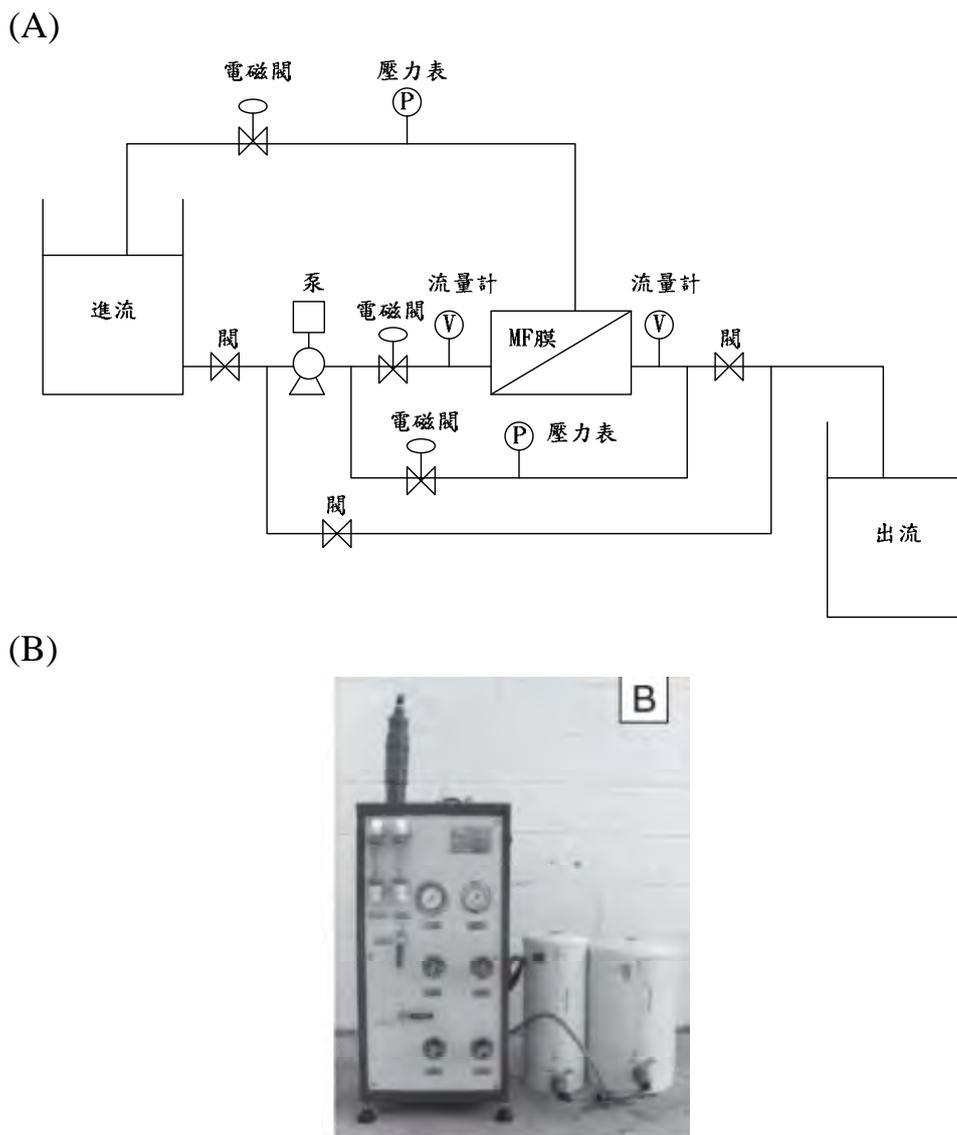


圖 4.3-4 (A)MF 膜系統的原理圖和(B)MF 膜裝置照片³⁰

Ko and Fan (2010)³¹ 使用漆酶結合薄膜 (laccase-polymerized membrane; LPM)處理紙漿造紙廢水，可達 60%以上的 COD 去除率。Zhang 等人(2009)³² 結合連續膜濾(continuous membrane filtration)與逆滲透，建立薄膜系統，其出水可達紙廠回收再利用須求，導電度、COD、濁度與色度，分別小於 200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 、15 mg/L、0.1 NTU 與 15 PCU。

(三)農業應用(Agro Application)

造紙廢水因含有機物(如木質素)，其排放水具有農業用途，Gupta 等人(2013)¹⁶ 使用盆栽試驗顯示，10%的稀釋率可供作稻米營養源。此外，Choudhary 等人(2013)³³ 也成功地應用表面水平流式人工濕地，去

除紙漿廢水中的 AOX 與氯酚(chlorophenolics)。該人工濕地水深 0.28 m，面積 5.25 m²，其上種植美人蕉(*Canna indica*)觀賞植物，經過 5.9 天的水力停留時間操作下，對 AOX 的平均去除率為 89.1%，對氯酚的去除率則在 67~100%間，其中可完全被去除者計有 2,3-dichlorophenol、3,4-dichlorophenol、2,3,5-trichlorophenol、2,4,6-trichlorophenol、3,5-dichlorocatechol、3,6-dichlorocatechol 及 4,5,6-trichloroguaiacol 等，部分氯酚累積在植物體與土壤中。

紙業排放水富含營養鹽，也可用於植栽澆灌，稀釋率在 16~25%有助於楊樹中的毛白楊幼苗(*Populus tomentosa*)的生長(Wang et al., 2013)³⁴。

(四)生物處理技術(Biological Treatments)

造紙廢水可利用生物處理技術來降低污染負荷，或使用污泥產製沼氣(biogas)。Ekstrand 等人(2013)³⁵從瑞典紙廠廢水中，利用厭氧消化技術產製沼氣，其中製程的鹼性廢水可有理論值 50%的甲烷產量，但酸性廢水則效果不佳，漂白廢水的甲烷產量僅理論值的 10~15%，含亞硫酸的混和廢水，則可有理論值 60%的甲烷產量，熱磨壞漿廢水(thermo-mechanical pulp mill)則有最好的甲烷產量，約理論值的 40~65%，如果是化學性的熱磨壞漿廢水，其甲烷產量則只有 40~50%。

此外，製漿造紙廢污也可以 1:1 揮發性固體物(volatile solid; VS)比例與食品廢污混合，進行二階段的中高溫厭氧共消化(mesophilic-thermophilic anaerobic co-digestion)，氫氣產率為 64.48 mL/g VS，甲烷氣的產率則為 432.3 mL/g VS(Lin et al., 2013)³⁶，是一種穩定且有效的能源回收與生物質穩定化的技術。製漿造紙廢污也可以與都市污水廠的污泥共消化產製甲烷，消化後的殘渣還可供作非食用植作之土壤改良劑(Hagelqvist, 2013)³⁷。Mussoline 等人(2013)³⁸也發現將製漿造紙廢污與養豬廢水添加至水稻秸杆中共消化，可增加甲烷產量，縮短消化時間。

製漿造紙廠廢水因含有固醇(sterols)及其他萃取物，會使承受水體的魚類內分泌異常，生物處理技術可以有效降解固醇，降解率可達 90

%(Mahmood-Khan and Hall, 2013)³⁹，也可以有部分的生物吸附效果，惟宜提供足夠的水力停留時間，否則固醇的生物降解率會降低。

製漿造紙廠廢水近年以被考量為生質能源之一，Lamichhane Upadhyaya 等人(2013)⁴⁰將廢水添加葡萄糖及氮磷營養鹽，以高碳氮比(70:1)於好氧活性污泥中馴養 7 天，發現可以累積脂質(lipids)，在厭氧條件下馴養，累積的脂質可以達最大，5 天內可達細胞乾重的 40.6%，所得脂質為 C16-C18 的脂肪酸(fatty acids)，其中以 C18 的油酸(oleic acid)及 C16 的棕櫚酸(palmitic acid)為主要成分。由脂質進一步製得的生質柴油(biodiesel)最大產率可達細胞乾重的 6~8%，顯見製漿造紙廢水具發展為生質能源之潛能。

木質素也是可以透過生物分解技術去除的，Chandra and Bharagava (2013)⁴¹針對兩株可分解木質素的微生物(*Citrobacter freundii* and *Citrobacter sp.*)進行瞭解，發現混和菌珠(mixed culture)對木質素的降解效果比純種菌珠(axenic culture)好，前者對合成木質素(synthetic lignin)與硫酸鹽木質素(Kraft lignin)的脫色率分別為 85%及 62%，後者則僅為 64%與 54%。此外，混和菌珠對合成木質素與硫酸鹽木質素的 TOC 去除率分別為 78%與 58%，AOX 去除率為 78%與 53%，COD 去除率為 70%與 58%，木質素去除率則為 74%與 58%。

Kumar 等人(2013)⁴²從製漿造紙廢水中分離出的 *Pseudomonas aeruginosa* 菌珠，可有效降解 AOX，去除率可達 78%。此外，廢水中的 2,4,5 三氯酚(2,4,5-trichlorophenol)亦可被 *Kocuria sp.*、*Bacillus pumillus* 與 *Pseudomonas stutzeri* 等菌珠所降解(Karn and Reddy, 2013)⁴³，高達 600 mg/L 的 2,4,5 三氯酚濃度，可在二週內被完全降解，且可分別去除 61%與 63%的 AOX 與可萃取的有機鹵化物(extractable organic halogen; EOX)。

結合物理吸附與生物方法使用粒狀活性碳批次生物膜反應槽(granulated carbon sequencing batch biofilm reactor; GAC-SBBR)，亦可有效處理含高濃度 COD 與 AOX 的製漿造紙廢水，在 8~48 小時水力停留時間條件下操作，前者去除率為 53~92%，後者則為 26~99%，且最大

去除率發生在 48 小時停留時間條件。

(五)生化處理(Biochemical Treatment)

高級氧化(如臭氧、二氧化鈦)結合生物處理方法，可有效處理製漿造紙廢水，其中以臭氧效果最佳，2.4 g-O₃/L 臭氧用量在初始 pH7 時，對牛皮紙廢水 COD 去除率可達 60%，對回收紙廢水 COD 去除率亦可達 35%，如果其後再增設生物處理單元可再提高 10% 去除率，而 TiO₂ 光催化劑對這兩種廢水的 COD 去除率僅 20~30%，且增設生物處理單元亦無明顯提升去除率(Merayo et al., 2013)。

Soloman 等人(2009)⁴⁴ 使用電化學前處理 (electrochemical pretreatment) 來強化製漿造紙廢水的生物可分解性，可使生物可分解性指標(biodegradability index)由 0.11 提升至 0.46，且可有效改善 COD 與色度的去除效果，減少反應槽體積的須求。

Barreto-Rodrigues 等人(2009)⁴⁵ 結合 TiO₂/UV 光催化與生物處理，有效處理製漿造紙廢水，對色度、總酚、毒性、TOC 去除率分別達到 94%、93%、5%、62%。Assalin 等人(2009)⁴⁶ 結合活性污泥與臭氧程序處理製漿造紙廢水，在 pH10 時 COD、TOC 與色度去除率約 80%，總酚去除率約 70%；而 pH8.3 時 COD、TOC、色度與總酚的去除率分別為 75.5%、59.1%、77%、52.3%。

(六)物化處理(Physicochemical Treatments)

電混凝技術雖耗能較高，但是一種有效降低製漿造紙廢水濁度的方法，濁度去除率 92% 時，耗電量為 0.68 kWh/m³，處理後的水可回收再利用於製程中(Terrazas et al., 2010)。

El-Ashtoukhy 等人(2009)⁴⁷ 使用陽極氧化處理製漿造紙廢水，COD 去除率達 97%，耗電量 4~29 kWh/m³ 條件範圍下，色度去除率達 53~100%。Zaied and Bellakhal (2009)⁴⁸ 評估電混凝技術商業應用的可行性，探討電極種類、反應時間、電流密度、pH 等因子的影響，得到在最佳條件 pH7、t=50 min 及 J=14 mA/cm² 下，COD、多酚(polyphenols)與色度的平均去除率分別可達 98%、92%與 99%。

Dutta 等人(2010)⁴⁹ 使用電化學(electrochemical process)程序對厭氧

處理後的出流水進一步去除並回收元素硫，去除率可達 80%，回收率則高達 75%，且回收率不受廢水成分影響，但如果在厭氧程序有硫的還原反應產生，則會使此法的硫回收降低。

Duan 等人(2010)⁵⁰ 結合皂土(bentonite)的吸附能力與聚矽氯化鋁(Polyaluminum Silicate Chloride; PASiC)的混凝能力處理製漿造紙廢水，最佳操作條件為在 30°C 下以 300rpm 攪拌 30 分鐘，COD 與色度去除率可分別達到 60.9% 與 41.4%，最佳的混凝劑加藥量為 400~450 mg/L。

Shaw and Lee (2009)⁵¹ 實驗證實使用超音波(357 kHz)可去除製漿造紙廢水的色度與濁度，但對 COD 的去除效果不佳，主要因為形成的重碳酸根與硫酸根離子，阻礙了有機物的氧化。

Liu 等人(2009)⁵² 以 CuO/Al₂O₃ 為催化劑的濕式空氣氧化法(catalytic wet air oxidation method)處理製漿造紙廢水，在反應時間 3 小時、Cu 負荷 4% 及 220°C 的最佳條件下，可得 COD 去除率為 90%，pH 由 9.6 降至 7.8。

Uğurlu 與 Karaoğlu (2009) 使用 UV/H₂O₂ 光催化降解 AOX 及去除總氮，最佳條件為初始濃度 20 mg/L 與 50 分鐘反應時間，可將 AOX 由 3 降至 0 mg/L，總氮也由 23 減至 9 mg/L，且研究亦發現，使用 H₂O₂ 有助於木質素分解產物的去除，UV/TiO₂/H₂O₂ 的系統效率比 UV/H₂O₂ 系統者為佳。

(七)植生復育(Phytoremediation)

Mishra 等人(2013)⁵³ 使用盆栽培養試驗，評估用植生復育處理含重金屬製漿造紙廢水的可行性。用於養殖六種水生植物(鳳眼蓮 *Eichhornia crassipes*, 水王孫 *Hydrilla verticillata*, 水龍 *Jussiaea repens*, 青萍 *Lemna minor*, 水浮蓮 *Pistia stratiotes* 與菱角 *Trapa natans*)，經過 20 天可降低 pH、導電度、總溶解固體物(TDS)、TSS、氯、硫、BOD 與 COD 濃度。

此外，水生植物亦可有效降低重金屬汞(Hg)與銅(Cu)的濃度，其中青萍(*Lemna minor*)的效果最佳可去除 66.5% 的 Hg，其次菱角(*Trapa natans*)可去除 64.8% 的 Hg。

第五章 空氣污染防治處理技術

5.1 處理原理

一、臭氣處理

因臭氣主要發生自蒸解、濃縮及燃燒等工程，在進行處理技術或設備選定前，應先行考量：(1)製程改善與管理是否已充分考量並實施、(2)廢氣抽除系統是否完善、(3)廢氣抽除量是否可再減少等項目。

上諸項目已充分考量並實施後，如排氣不符法令標準，或雖符標準，仍有影響員工及廠外民眾健康或干擾其嗅覺之虞者，即應處理。

異味處理技術分：(1)物理、(2)化學、(3)生物等3大類，一般可以單一技術或二種以上技術組合(串聯)以完成單一異味處理工作。各類技術特性結合上述基本資料合併考量，可選定經濟有效之處理程序。

(一)蒸解工程臭氣之處理

在蒸解操作上要避免臭氣外洩，蒸解排氣的熱交換器性能要保持良好，噴射冷凝器水溫要盡可能保持低溫。另一方面蒸解操作條件注意以下3項即可減少臭氣之生成：

- 1.儘量採用高溫短時間的蒸解方式。
- 2.儘量降低蒸解藥液的硫化度。
- 3.增加鹼添加量，即提高蒸解藥液 pH 值。

但實際上操作條件尚受紙漿物性要求之限制而不可能作大幅度改變。處理程序為將濃稠之蒸解噴漿排氣以集氣櫃(gas holder)收集，經冷卻除濕及加熱等過程後，送石灰窯或回收鍋爐燃燒。

(二)黑液氧化設備

黑液氧化對設有直接蒸發器之黑液蒸發濃縮系統而言，具有防止臭氣產生之功能，黑液濃縮前先加以氧化，使黑液中之硫化鈉經氧化後變成性質穩定的硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)留存於黑液中，即可避免或減少臭氣之發生，

同時也可避免硫分逸失。

(三)黑液濃縮工程

濃縮工程改採不使用直接蒸發器之多效蒸發罐(一般至少六效以上，目前已採用七罐七效)直接將黑液濃度由16~18%TS濃縮至60%以上，則可防止臭氣之發生。

(四)惡臭冷凝水提臭工程

含有惡臭之排水如黑液真空蒸發罐混合凝結水及蒸解排氣凝結水等臭味極濃且COD及BOD高之液體，此種液體的臭氣去除方法以提臭(stripping)法最為有效。其原理乃以氣體(空氣或水蒸汽)之衝力將溶解在水中的臭氣解離氣化，收集後送燒除臭，提臭方法有3種：

- 1.空氣提臭法(air stripping)
- 2.蒸汽提臭法(steam stripping)
- 3.真空蒸汽提臭法(vacuum steam stripping)

惡臭冷凝水之COD達1,500 ppm以上時，亦可檢討將之以厭氣法處理，以兼收改善廢水性質及利用所產甲烷氣之效。

(五)中低濃度臭氣收集燃燒設備

洗漿機及黑液貯槽排氣、黑液濃縮排氣及製程中各部分逸散性臭氣經收集後，先經冷卻器冷卻去除其中之水分，再經蒸汽加熱器加熱後送入回收鍋爐燃燒。

(六)主溶解槽排氣處理

主溶解槽係將回收鍋爐底部之熔渣收集溶解以回收鈉(Na)。排出口流出之溶渣通常有1,000°C~1,200°C，高溫溶解時產生大量之水蒸汽及微量之煙塵與臭味，經濕式集塵器處理後以熱交換器予以回收熱量，然後再經除霧器後排放。

二、製程排氣處理

(一)漂白製程排氣

漂白工程中氯化段及二氧化氯段由過濾機逸出之 Cl_2 及 ClO_2 殘餘氣體經由密閉管路系統送吸收塔以白液吸收後排放，可避免酸性氣體腐蝕設備及改善作業環境之雙重目的。

(二)液氯製造尾氣處理

氯氣冷凍液化過程中有殘餘之未液化尾氣，可送至鹽酸爐製造鹽酸，亦可送至吸收塔以氫氧化物吸收製造漂液。

三、鍋爐燃燒廢氣處理

(一)粒狀污染物處理

粒狀污染物主要是燃料中的灰份燃燒後隨著煙氣排出而造成污染。粒狀物控制設備的選擇，主要取決於下述各因素：(一)顆粒性質：如粒徑大小、物理、化學及電力性質。(二)顆粒濃度和體積。(三)氣體的溫度及濕度。(四)所需之除去效率。(五)操作、建造之成本。

(二)氮氧化物(NO_x)之控制

氮氧化物的生成方式分為三類，即熱式氮氧化物(thermal NO_x)，燃料式氮氧化物(fuel NO_x)及瞬間式氮氧化物(prompt NO_x)。熱式氮氧化物之生成係因空氣中之氮氣受熱氧化而生成，燃料式氮氧化物則來自燃料中之含氮化合物轉化生成，而瞬間式氮氧化物係N自由基與碳氮化合物作用生成HCN後再進行氧化生成NO，此種 NO_x 僅在非常富油(fuel-rich)之火焰中產生。

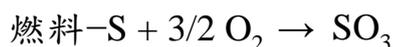
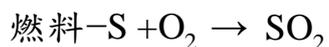
鑑於氮氧化物生成方式之不同，造成氮氧化物之控制技術發展之多元化，然依其生成之原理及處理位置可分為三大類：燃燒前處理—使用含氮量較低之燃料；燃燒中處理—包括燃燒系統調整法，水或蒸氣注入法，低過剩空氣法(low excess air, LEA)，分段燃燒法(staged combustion air, SCA)，煙道氣迴流法(flue gas recirculation, FGR)，低空氣預熱法(reduced air preheater, RAP)，低 NO_x 燃燒器(low NO_x burner, LNB)，以及催化燃燒法

(catalytic combustion)等；以及燃燒後處理一係採排氣管末處理，可分成乾式法(dry process)包括選擇性非觸媒還原法(selective non-catalytic reduction, SNCR)、非選擇性觸媒還原法(non-selective catalytic reduction, NSCR)、選擇性觸媒還原法(selective catalytic reduction, SCR)及非觸媒還原法(non-catalytic reduction, NCR)等；而濕式法(wet process)包括鹼式吸收法(alkali absorption)、酸式吸收法(acid absorption)、複鹽形成吸收法(complex salt formation absorption)、氮化吸收法(oxidation absorption)及液相還原法(liquid phase reduction)等，以及氣態氧化法包括電子束法(electron beam)、直流脈衝電暈放電(D C pulsed stream corona)及介電質放電技術(dielectric barrier discharge)等。

其中以選擇性觸媒還原法、選擇性非觸媒還原法，以及濕式氧化吸收法較常應用於氮氧化物之去除。

(三)硫氧化物(SO_x)之控制

SO_x：燃燒時，若燃料含硫份，於高溫氧化作用下極易形成硫氧化物，整體而言，燃燒爐內硫氧化物的形成反應包括：



SO₂及SO₃可合稱為SO_x，會透過乾沉降或濕沉降，沉積於環境中。一般處理原理分成燃燒前除硫，燃燒中吸硫及燃燒後脫硫反應。

以下針對靜電集塵器、溼式洗塵器、吸收方法及鍋爐產生之NO_x、SO_x處理技術進行介紹。

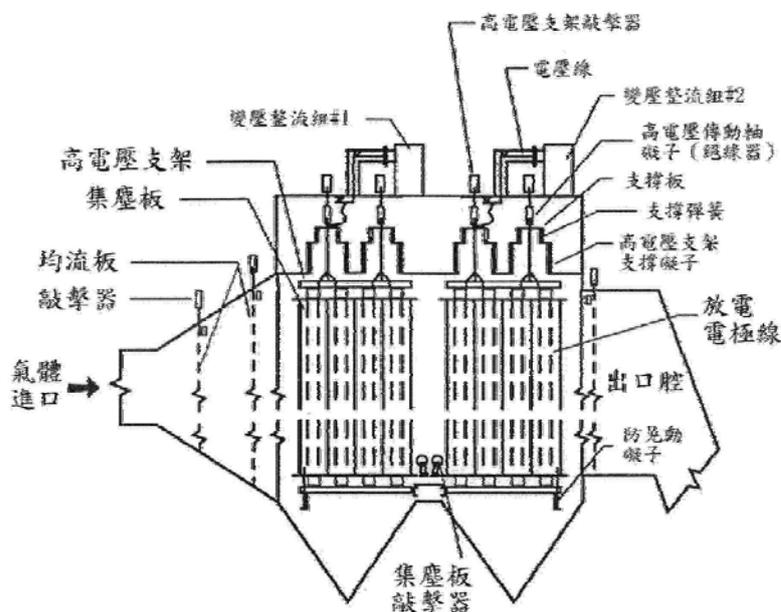
5.2 處理方法及流程

5.2.1 靜電集塵器

利用靜電力沉降微粒之靜電集塵器(ESP, electrostatic precipitator)已

成功的應用在燃煤發電鍋爐、水泥窯、紙漿及造紙廠、酸液廠、燒結廠、PVC 膠布廠、乳膠或 PVC 手套廠及其他工業製程之排氣粉塵或油霧污染防治。ESP 對小於 $1\mu\text{m}$ 微粒的控制效率頗佳。

ESP 分乾式及濕式兩種，乾式主要應用於乾塵去除，濕式用於油霧去除。ESP 主要構成是：(1)集塵器本體(含放電電極線、集塵或集油板、敲擊器或水洗壁、外殼)；(2)入口及出口管道；(3)漏斗及出灰或集油設備；(4)供電系統(如變壓整流組)；(5)其他附件(如礙子、礙子加熱用風機、漏斗加熱器、漏斗震動器等)(圖 5.2.1-1)。



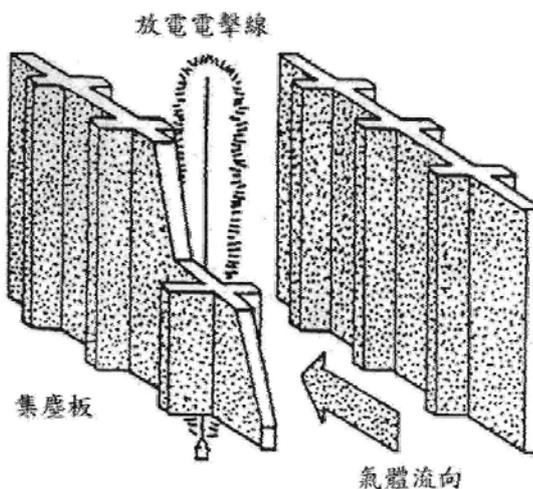
資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-1 靜電集塵器示意圖

放電電極線是能產生電暈放電(corona discharge)的金屬線，它可游離空氣分子進而使微粒充電。集塵板(收集電極板)之電壓與放電電極線之電性相反，使帶電之微粒被收集在其上。敲擊器是產生振動的裝置，用以將集塵板或放電電極線上累積之粉塵微粒振落；水洗壁可將集塵壁上之油污洗除；漏斗及出灰(油)設備則是在 ESP 底部用以收集及輸送粉塵或回收油液之裝置。

平板型 ESP 主要用於乾式集塵，圓管型用於油霧收集。如圖 5.2.1-2

所示，髒空氣流經收集平板間或管內，粉塵或油霧受高電壓電極線充電後，被收集於與電極線帶相反電壓之集塵板或集油管內壁上，板上之微粒由敲擊器除去，管內壁以沖水洗除，微粒或回收油液掉至底部之漏斗中儲存，並由出灰或油液裝置輸送。



資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-2 氣體流經平板式 ESP 的情形

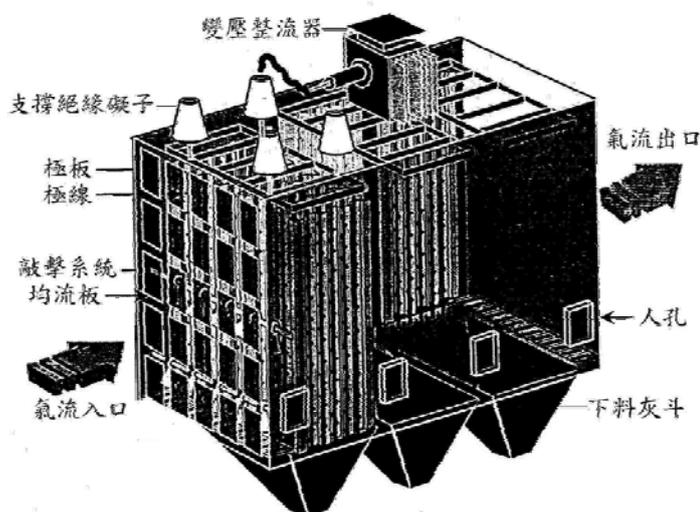
一般而言，靜電集塵器係利用塵粒帶電性加以收集直徑大於 $0.3\ \mu\text{m}$ 之塵粒，去除率達 $>99\%$ 。ESP 常使用在濕式集塵器不適用場所。常用在燃煤發電廠，初級及二級煉製廠等。靜電集塵器的優缺點如下：

- (一)優點：(1)對粒徑大於 $1\ \mu\text{m}$ 以上的粒狀物可達到高集塵效率。(2)操作及維護費用便宜。(3)廢氣壓力損失較小。(4)能源消耗低。(5)可處理大量廢氣。(6)適用於高溫廢氣。(7)耐酸鹼性及耐濕性較佳。
- (二)缺點：(1)設備成本高。(2)操作維護不易，需要技術層次較高之人員。(3)不適用易燃氣體。(4)安全較有顧慮。(5)使用愈久，效果愈差。(6)對粒徑介於 $0.1\sim 1\ \mu\text{m}$ 之粒狀污染物，因荷電困難，故不易去除。(7)集塵效果受進氣條件變化影響較大。

圖 5.2.1-3 為 ESP 斷面圖。一般外殼在斷面上有若干通路並列，各通路內部含如圖 5.2-3 所示的平板型集塵板和以支架支持的線狀電極，在煙氣流向分割為多段的集塵室。欲處理高流量之廢氣，視需要可串列

成 6~8 個集塵室，模組化多段式 ESP 具有下列優點：

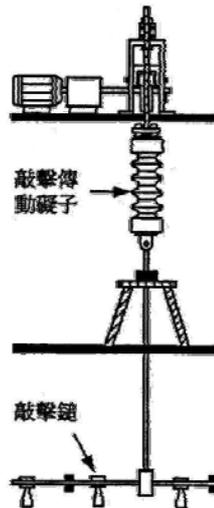
- (一)集塵室大小可適當的標準化，在製作及安裝上方便不少。
- (二)上游、中游、下游各個集塵室的放電電暈電壓電流特性及火花電壓各異，在適當之操作條件下可得最高的集塵性能。例如在上游之集塵器，微粒濃度較高，空間電荷之效果大，電流受抑制，同時在集塵附近之電場上升之結果，會使火花電壓下降，反之下游集塵室因空間電荷效果大幅減低，火花電壓及電暈電流可以提高。



資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-3 ESP 本體結構分解示意圖

敲擊器，參考圖 5.2.1-4，敲擊裝置有一定數量之鐵錘裝在共同驅動軸上，由驅動馬達帶動。驅動軸有的裝於外殼內，有的裝於外殼外。敲打方向是以垂直方向或水平方向為之，敲擊時應注意灰塵再揚起問題、時間之控制及煙氣之變化等，要考慮運轉之安定性，使用最適當之敲擊程序。除機械的驅動方式外，還有利用凸輪來敲擊，或利用氣壓式之空氣錘或電磁吸引之重錘敲擊，後者可隨意調整敲擊之強度為其優點。放電電極線的敲擊需把驅動機構與大地絕緣。

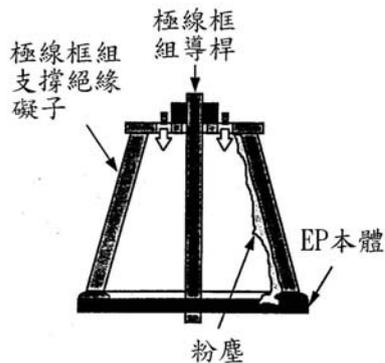


資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-4 敲擊機構示意圖

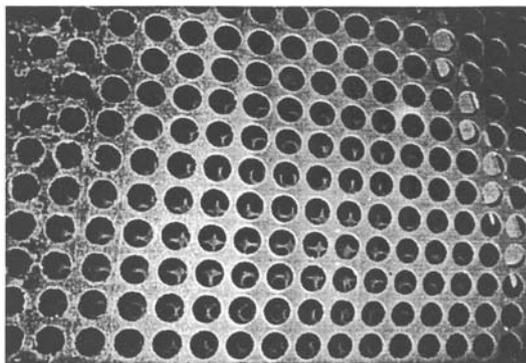
礙子室，支持放電極框組的礙子(support insulator)或礙管如圖 5.2.1-5 所示。礙子置於在特別的礙子室內，室內送入加熱空氣以保持礙子表面之清淨及高溫狀態，防止礙子潮濕影響絕緣。更利用熱風由上部開口向收集室吹送，防止污濁煙氣侵入放電極支撐礙子。

在煙氣之入口罩內部設有如圖 5.2.1-6 所示之多孔板或格子，使煙氣之流速能夠均分化與均一化，這些均流板(或稱為導流板、多孔板)，也會附著多量的灰塵，因此也需設置敲擊設備。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

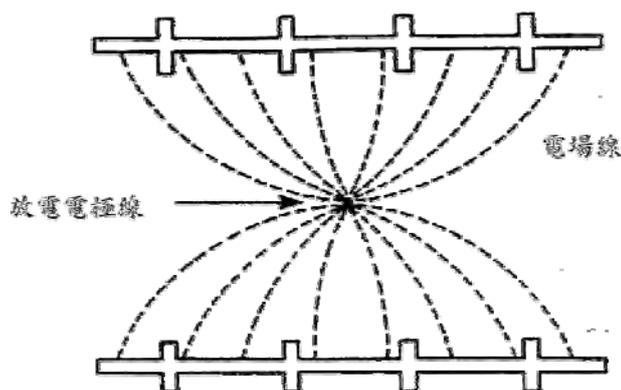
圖 5.2.1-5 礙子室與支撐礙子示意圖



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-6 均流板圖示

粉塵微粒進入靜電集塵器後，與電極線因電暈放電現象而產生的空氣陰離子接觸而帶電，帶電的微粒在電極線與集塵板之間之不均勻電場(圖 5.2.1-7)中往集塵板移動而被收集。

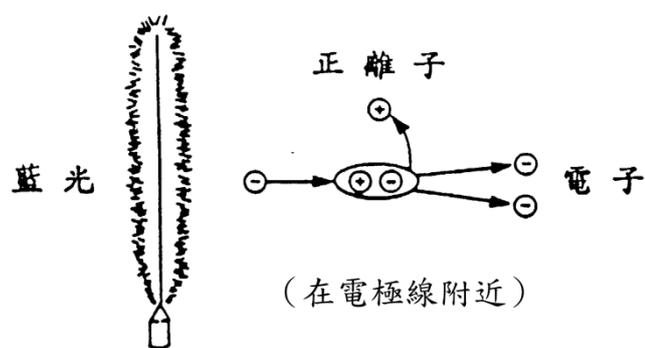


資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-7 靜電除塵器內的不均勻電場(上視圖)

一、電暈放電

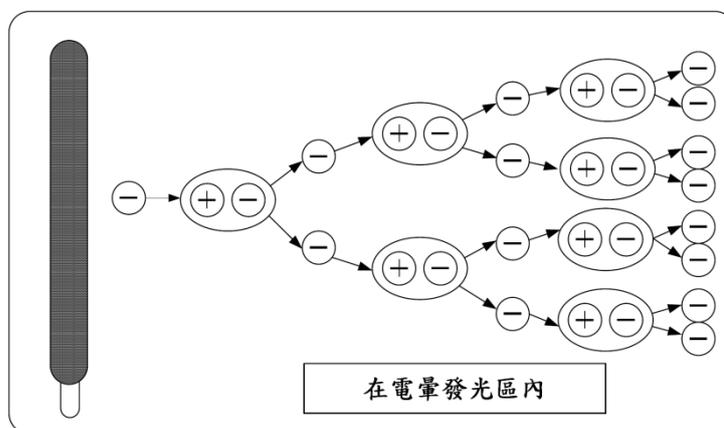
當放電極線之電壓加高至其周圍產生淡藍色的亮光時，稱為電暈放電。電暈放電是由於在放電電極附近，電場強度很高，產生的電子及離子被加速至極高速度，碰撞空氣分子並使之游離，被游離的每個空氣分子各產生一個正離子和一個自由電子，如圖 5.2.1-8 所示。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-8 電極線附近產生電暈放電的現象

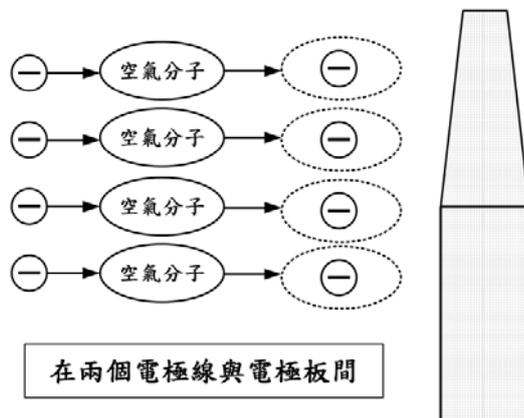
游離的正離子及自由電子再與其他空氣分子作高速碰撞，又產生額外的正離子及自由電子，這個過程不斷的產生，稱為雪崩相乘效應 (avalanche multiplication) 如圖 5.2.1-9 所示。此效應發生於放電電極附近的發亮區域。在離開電極線較遠處，電場降至不能維持游離空氣分子所需之強度時，這種效應才會停止。被游離之正離子游回帶負電的放電電極時，因碰撞電極線或空氣分子又產生更多的新自由電子。這些自由電子則循電場方向往接地之集塵板方向運動。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-9 在電暈發光區內發生的雪崩相乘效應

當電子離開放電電極線後，由於電場強度降低而使運動的速度減慢，當這些電子與空氣分子接觸碰撞時使空氣分子變成陰離子。這些空氣陰離子是使粉塵粒子充電之主要機制(圖 5.2.1-10)。



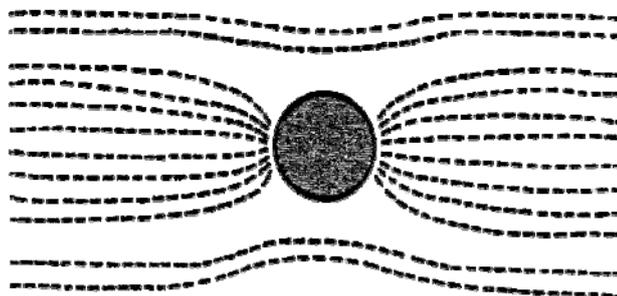
資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-10 在二個電極之間空氣游離成陰離子的情形

二、微粒充電之機制

往電極板運動之空氣陰離子與微粒接觸而使之帶電。充電的主要機制有電場充電(field charging)及擴散充電(diffusion charging)兩種。電場充電主要對粒徑大於 $1.0 \mu\text{m}$ 之微粒有效；擴散充電則對小於 $0.3 \mu\text{m}$ 粒徑之微粒有效；對在 0.3 至 $1.0 \mu\text{m}$ 間之微粒，兩種機制效用較低。

在電場充電機制裡，進入電場的微粒使其附近的電場產生局部變形。空氣陰離子循著變形的電力線運動，繼而碰撞到粉塵微粒而使之帶電(圖 5.2.1-11)。這個過程連續不斷，直至微粒之帶電量增至飽和值為止。這時空氣陰離子無法再靠近微粒，攜有飽和負電之微粒往電極板方向運動而被收集。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-11 在微粒周圍變形之電場線

大於 $1.0 \mu\text{m}$ 微粒之飽和充電量隨著微粒之粒徑平方成正比，與電場強度亦成正比，因此大微粒之帶電量多，易被收集；小於 $0.3 \mu\text{m}$ 的

微粒因擴散機制帶電，雖其帶電量隨粒徑減小而減少，但因其動力移動度增大，致使電動性隨粒徑減小而增加，微粒收集效率也會增加。因此造成次微米微粒(0.1~1.0 μm)在靜電集塵器內的集塵效率最低。

三、微粒在收集板上放電

電阻為一個微粒接受電荷之能力。當微粒與電極板接觸時，微粒之電荷僅有一部分被釋出，另一部分則由於微粒本身之電阻仍存於微粒上，這些電荷增加微粒吸附在收集板上之力量。粉塵在收集板上之堆積厚一般在 0.08~1.27 cm 間，厚度太厚時，粉塵可能變成絕緣層，使電場無法建立。

四、將微粒自電極板上敲落

由以上討論得知，要維持連續不斷的微粒去除，需不斷的將收集板及放電電極上的微粒除掉。在濕式的 ESP，這個工作由噴水來達成；在大部分的乾式 ESP，則是由加諸於極板或極線上的振動裝置來去除，此裝置稱為敲擊器，被敲落之粉塵掉入下方的漏斗內。

敲擊的時機是當粉塵餅累積至 0.08~1.27 cm 厚時才進行。被敲落的粉塵片比較重，可順利的掉落至漏斗中，不會被空氣吹散而再揚起。一般的 ESP 均設計有可依粉塵負荷狀況而調整強度及頻率之敲擊器。被敲落的粉塵掉入漏斗中，而漏斗通常由螺旋桿或氣動傳輸裝置定時將粉塵清掉，以防粉塵堆積太高。

五、粉塵餅比電阻係數

比電阻係數(specific resistance)係指粉塵堆積層對電流之阻力。粉塵餅之電阻係數的定義為面積 1 平方公分且厚度 1 公分的粉塵餅的電阻值，單位為「歐姆.公分」(ohm.cm)，可視為粉塵對電荷傳遞之阻力。粉塵之電阻係數可以分成下列 3 個範圍：

1. 低比電阻係數： $10^4 \sim 10^7$ ohm.cm。
2. 正常比電阻係數： $10^7 \sim 10^{10}$ ohm.cm。

3.高比電阻係數： $>10^{10}$ ohm.cm。

低比電阻係數($10^4\sim 10^7$ ohm.cm)之微粒不容易被收集，因為它們雖容易被充電，但是當微粒到達電極板時，微粒的電荷容易消失於電極板上而失去附著力。因此，微粒易再進入氣流之中，而未被收集。未燃碳粒及碳黑等即是低比電阻係數之粉塵。假若低比電阻係數之粉塵為較粗大的微粒時，它們可以在 ESP 上游用旋風集塵器預先去除，或是在收集板上加裝擋板以防止彈回現象。

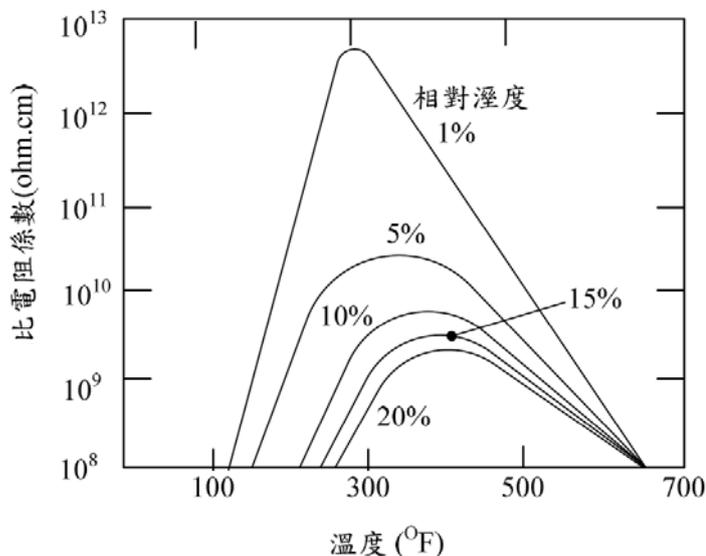
使用氨氣改變粉塵之比電阻係數已被使用多年。據理論推測，氨在 ESP 中與硫酸作用產生硫酸氨微粒，增加了比電阻係數。氨注入量為使氣流在進入 ESP 之管道中達 15~40 ppm 的濃度，以達上述效果。在實際的例子，氨氣的加入可提高低溫度之燃煤火力發電廠排氣中飛灰的比電阻係數。

含正常比電阻係數($10^7\sim 10^{10}$ ohm.cm)的微粒到達收集板上時，電荷不會全部消失。這些微粒緩慢的釋出電荷，靜電力加上微粒與收集板分子間的吸引力使微粒附著良好。粉塵可以慢慢的增厚，直至適當的厚度為止。粉塵之比電阻係數在此範圍時，除塵效率最高。

具高比電阻係數($>10^{10}$ ohm.cm)的微粒不容易被充電。即使在高電場強度時能充電，當它到達收集板上時電荷亦不易消失。當粉塵增厚時，其表面便有負電荷(中心不帶電)，可能會產生背電暈的現象。背電暈發生時，有背電暈之處粉塵餅會破裂，在粉塵餅上留下坑洞。同時，背電暈發生時，產生的正離子會向負電極線移動，抵消了電暈放電的效果，即降低除塵效率。根據研究，若發生背電暈會降低除塵效率，嚴重時將使效率降至 50% 以下。

減低比電阻係數之方法可藉由調整氣體之溫度和濕度來達成，如圖 5.2.1-12 所示，微粒的電阻在高溫及低溫時較低，且增加氣體的濕度可以減低比電阻係數。增加濕度的方法可以藉在 ESP 前之管道中噴水或注入水蒸汽達成。在調節溫度和濕度以改變粉塵電阻時，必需維

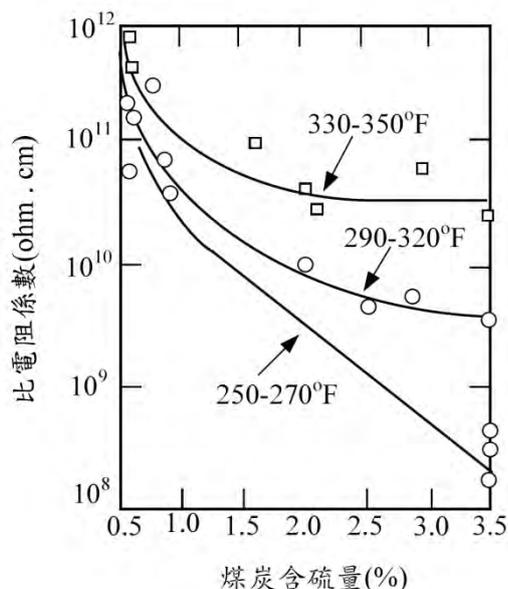
持氣體在露點以上，以免發生腐蝕問題。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-12 溫度及濕度對水泥粉塵餅之顯在電阻係數的影響

當氣流中含有 SO_3 時，粉塵之電阻係數會降低。燃煤大部分會產生 SO_2 氣體，僅 1% 的硫變成 SO_3 氣體， SO_3 之濃度隨著煤之含硫量增加而提高。如圖 5.2.1-13，使用低硫煤時，會產生比電阻係數過高的飛灰，不利於 ESP 之粉塵收集。若在 ESP 前之管道中噴入 10~20 ppm 之 SO_3 ，即能將飛灰之比電阻係數降至正常範圍。其他可用以調整比電阻係數的添加劑包括硫酸、氯化鈉及碳酸鈉(蘇打灰)等。

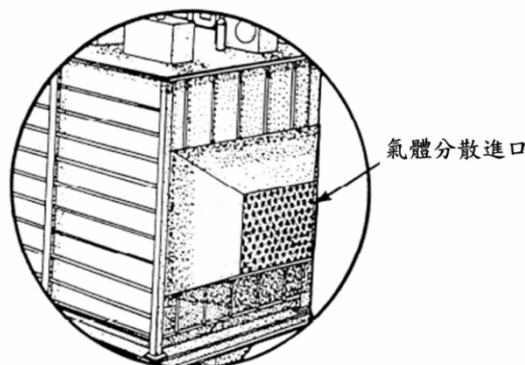


資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-13 飛灰之電阻係數與煤炭含硫量及煙道溫度的關係

六、氣流分布

流經 ESP 除塵室的氣流速度應該緩慢且均勻。氣體在 ESP 前之管道流速宜在 6~24 m/s，在進入 ESP 前可用如圖 5.2.1-14 之多孔膨脹進氣室減低其流速，使微粒有足夠的時間被 ESP 收集。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-14 多孔膨脹室之進氣口

膨脹進氣室含有多孔式的擴散平板，使氣流能均勻的分布於 ESP 內，氣體流速在 0.6~2.4 m/s。若 AR 為 1.5 時，最佳之氣體流速為 1.5~1.8m/s。

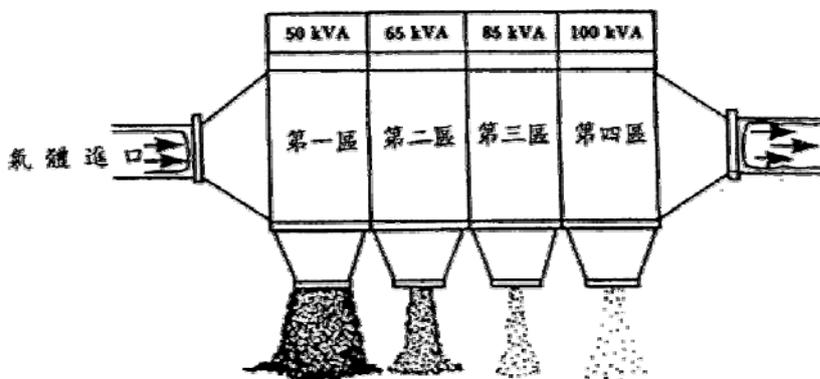
七、電力的分隔區

ESP 的性能和電力分隔區的數目有關。在每個電力分隔區內，按照氣體及微粒的特性，使用最適當的電壓，使每個分隔區內的收集效率最高。為了達到最佳的除塵效果，使用愈多分隔區愈好。每個電力分隔區都有各自獨立的電力供應及控制設備，可隨氣體條件之改變而調整區內電壓。

現代化的 ESP 都具有自動限制電量的電壓控制設備。就每個電力區而言，最佳的電壓值，是使火花產生頻率控制在一定值下的電壓值，這時的收集效率最好。火花產生的原因為粉塵堆積過厚而致放電極線與集板間距過小而放電，或塵粒電阻率過低而放電，當火花產生之頻率過高時，電力會自動減少直至恢復到正常火花產生頻率為止。

由於 ESP 內不同區位所需之電力不同，因此需要分成多個電力分隔區。在進口處的粉塵濃度較高，有阻止電暈放電的現象，這個時候

需要電力使微粒充電。在後半部，粉塵濃度較低，電暈放電比較容易。因為要收集較細、電阻係數較高的粉塵微粒，所需的電力仍舊要高。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-15 電力分隔區

假若整個 ESP 僅使用一個電力區，那麼在某個位置上的過度火花產生頻率，必定限制了整個 ESP 的電力，使 ESP 的效率無法提高。如圖 5.2.1-15 所示，一個 ESP 可分成一連串的電力分隔區。每區均有獨立的變壓-整流器(T-R, transformer-rectifier)、穩壓器及產生電暈放電所需的高電壓設備。ESP 的製造者建議，一個 ESP 至少需 4 個不同之電力分隔區。若收集效率需達 $>99.9\%$ ，需要 7 個以上電力分隔區。

5.2.2 濕式洗塵器

濕式洗塵器(又稱為洗滌器)種類很多，它是利用液體(通常為水)去除微粒或有害氣體的設備。濕式洗塵器的最大的特點是可同時去除粒狀及氣狀污染物。濕式洗塵器的設計彈性比其他污染控制設備大，除塵效率也可以設計得很高，但是它會衍生出一些其他的問題，譬如對除塵效率要求高時則壓力降太大、操作成本較高、產生的副產品不易處理、空氣污染問題可能轉化成水污染及工廠需要有廢水處理設備等。

以成本言，濕式洗塵器比簡單的旋風集塵器高，但較高效率的靜電集塵器和袋式集塵器經濟。近年來由於環保標準的提高，在正常操作情況下單獨使用濕式洗塵器並無法達到嚴格的粉塵排放標準。利用濕式洗

塵器(如填充塔)去除有害酸鹼氣體是目前最廣為使用的方式，此時可能有部分的大微粒會同時被去除，但是對於小於 1 μm (次微米)的微粒的去除效果不佳。

濕式洗塵器與其他控制設備相比，有如下的優點：

- 1.空間需求小：整個系統可以設計在地面窄小、屋頂不高的地方。
- 2.沒有二次粉塵產生：被收集的粉塵不會再逸出或再進入系統中。
- 3.可同時收集微粒和氣體：對規模小的工業比較經濟，不需再投資不同的設備來收集微粒及氣體。尤其是焚化爐排氣處理更適合使用。
- 4.可處理高溫、高濕氣體：可以避免 ESP 及袋式集塵器之溫度限制以及凝結問題，因在濕式洗滌器中氣體受冷且積塵不斷的被洗除。
- 5.使氣體加濕：噴水過程使氣體溫度降低，體積流率減小，故風車及管道尺寸可以減小。
- 6.火災及爆炸性災害最小：因為利用噴水洗塵，故其他乾式集塵器特有的火災及爆炸事件，在濕式洗塵器很少發生。

但濕式洗塵器亦有下列缺點：

- 1.腐蝕：水及被吸收之氣體可能產生腐蝕性的酸液，選用材料時需特別的注意。
- 2.白煙：自濕式洗塵器排出之高濕度氣體會形成可見的蒸氣柱，此問題以冬天最嚴重。
- 3.壓力降及功率需求高：只有當壓力降高的時候，濕式洗塵器的除塵效率才會高，因此操作成本會相對提高。
- 4.水污染：通常需使用廢水處理設備處理排出的廢水，以符合廢水排放標準，因此若工廠無廢水處理設備時，需增加廢水處理設備。
- 5.難回收副產品：因為污泥脫水及乾燥之成本高，粉塵之回收再利用

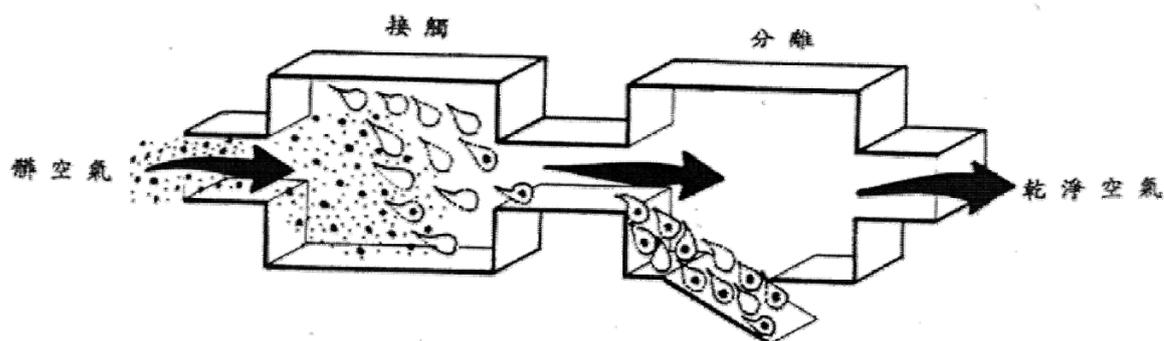
比較困難。

濕式洗塵器之除塵原理是使粉塵微粒與 50 至 500 μm 直徑的水滴接觸而被收集。這些含微粒之大水滴藉著重力、與擋板衝擊或離心力自廢氣中分離，而達除塵目的。

圖 5.2.2-1 所示者為一般濕式洗塵器內的兩個區域：接觸區及分離區。液滴經由噴嘴、文氏管或機械帶動的轉子產生，在接觸區內微粒藉由三種機制與水滴接觸，即慣性衝擊(inertial impaction)，直接截留(direct interception)及擴散(diffusion)。

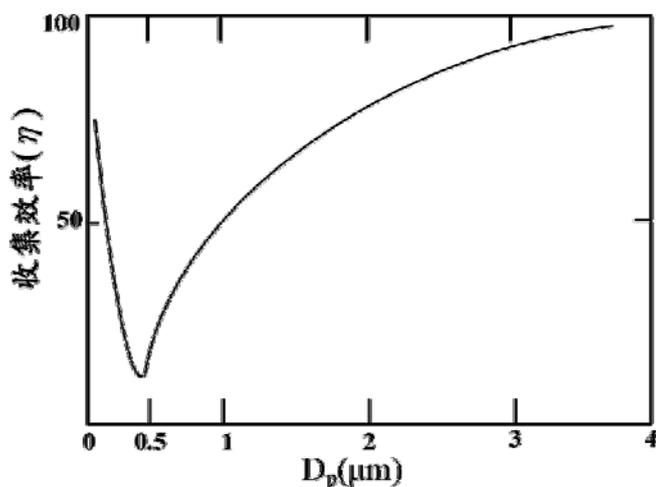
慣性衝擊是粒徑大於 1 μm 以上微粒之最重要收集機制；直接截留對粒徑接近於水滴粒徑之微粒比較重要。在濕式洗塵器內，水滴粒徑通常大於 50 μm ，但微粒粒徑則通常小於 5 μm ，故直接截留並非重要的除塵機制。由於擴散效應，小微粒接觸水滴的機會也很大，導致收集效率的增加。

圖 5.2.2-2 顯示一個流動床洗塵器之收集效率與粒徑的關係。由圖可見，很大及很小的微粒分別因為慣性衝擊及擴散的收集機制比較重要的緣故，收集效率比較高。



資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-1 濕式洗塵器的除塵原理



資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-2 流動床洗塵器之收集效率與微粒粒徑(Dp)的關係

商用的濕式洗塵器系統含有下列諸項組件中的部分：噴嘴、文氏縮管、衝擊面(如擋板、填充物、泡罩等)、旋風集塵器等。由上列組件之不同組合便可變成數種不同的濕式洗塵器。

洗塵器利用氣體之壓力降(ΔP)可分低能量($\Delta P < 2$ 公分水柱(cmH_2O))，中能量($\Delta P: 2 \sim 6 \text{ cmH}_2\text{O}$)及高能量 ($\Delta P: > 6 \text{ cmH}_2\text{O}$)(註 $1 \text{ cmH}_2\text{O} = 98 \text{ Pa}$)。大部分濕式洗塵系統遵循收集效率隨功率消耗(與 ΔP 成正比)增加而增加的原則。氣體之壓降愈大表示除塵效率愈佳，但操作成本也會愈高。

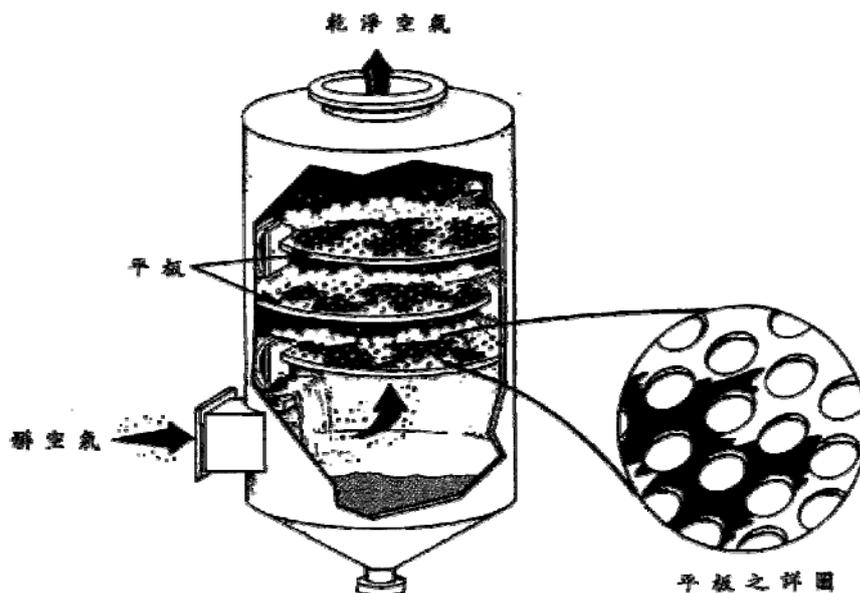
濕式洗塵器依能量消耗方式分為氣相接觸式、液相接觸式等，分述如下：

一、氣相接觸式洗塵系統

利用製程排出的廢氣提供微粒及液體接觸能量者稱為氣相接觸洗塵系統。當氣流通過一個液面時，液體被剪力打碎變成液滴。氣體中的微粒被液滴收集，最後液體被旋風或重力方式除去。剪力的產生方法有許多種，氣體可以強行通過自平板流下之液體，或氣體從覆有液體之平板上的小洞吹出或文氏管(venturi tube)等均能產生液滴。這類洗塵器包括平板洗滌器 (plate scrubbers) 及文氏洗滌器 (venturi

scrubbers)。

平板洗滌器如圖 5.2.2-3 所示。在逆流式的系統中，水由上往下流，廢氣由下往上流動。當廢氣穿過小孔時霧化孔中的液體，廢氣中之微粒打擊在液滴上而被收集。平板上每平方公尺含 6,500~3,2000 個小孔。在對流式的設計中，最乾淨的液體在最上方的平板上收集最乾淨之氣體中之微粒。與氣體吸收不同的是，這個系統通常 2~3 個即足夠。對微粒之收集而言，增加平板數目並不能顯著的提高除塵效率。

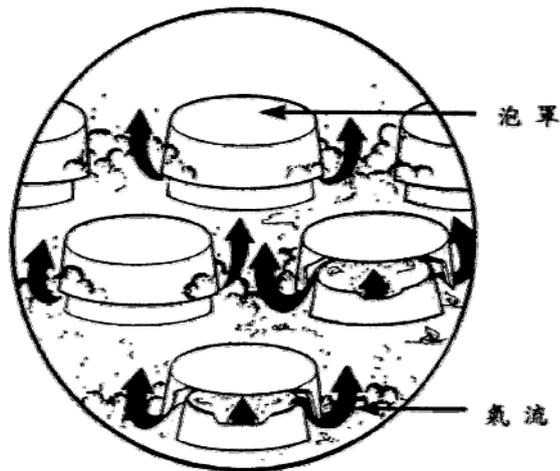


資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-3 多孔平板洗滌器

減少孔徑以及增加平板上小孔的數目皆可提高除塵效率，在每個小孔上加裝衝擊板也可提高除塵效率，固定的衝擊擋板迫使氣流之方向改變，使微粒更易於接觸液滴。氣體通過小孔之速度在 370~610 cm/s 間，小孔孔徑為 0.32~0.64 cm 間。氣體流向被迫改變的結果是液體霧化之效果增加，平板上方也產生紊流泡沫，這些現象都會使微粒與氣體之接觸機會大增，效率可以提高，但是壓力降會增加。

平板洗滌器之問題出在氣體流量降低時，液體會自小孔中向下流出，因而降低衝擊的速度、泡沫量及收集效率。當製程之排氣流量不穩定或太低時，可以使用如圖 5.2.2-4 所示泡罩式之衝擊面。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

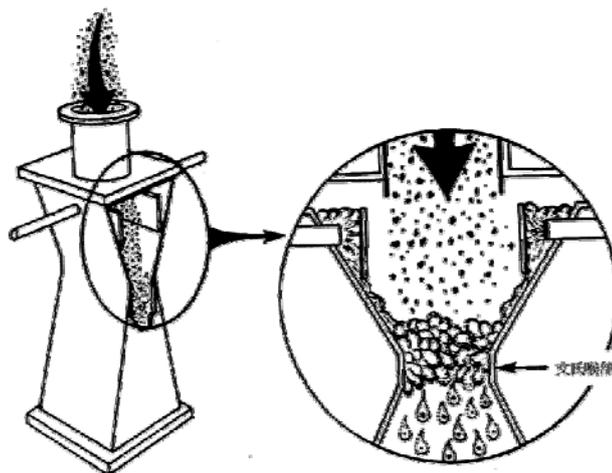
圖 5.2.2-4 泡罩之衝擊表面詳圖

平板洗滌器是中能量型之洗滌器，除塵效率中等。當它使用於高濃度之粉塵、黏性粉塵或結垢性粉塵時可能會阻塞平板上的小孔。它適用於同時去除氣體污染物及粒狀污染物。表 5.2.2-1 列舉一般平板洗滌器之操作特性，平板洗滌器無法去除小於 $1.0 \mu\text{m}$ 之微粒。

表 5.2.2-1 平板洗滌器之操作特性

壓降(ΔP)	液/氣比 (L/G)	液體入口 壓力(P_L)	截取直徑 (DP_{cut})	應用
每盤2.5~20 公分水柱高	0.3~1.2 公升/ m^3	$< 0.33 \text{ kg/cm}^2$	$> 2.0 \mu\text{m}$	煤碳乾燥機、煉鋼煨燒 爐、鍋爐、化工製程、 煉油廠、焚化廠

圖 5.2.2-5 顯示了最簡單的文氏洗滌器的示意圖。文氏洗滌器是所有濕式洗塵器中，效率可提昇至最高者，也是唯一可以去除次微米微粒者，雖然欲達到高的除塵效率時，文氏洗滌器需要大的壓力差，但是因為系統之彈性使它的運用範圍很廣。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

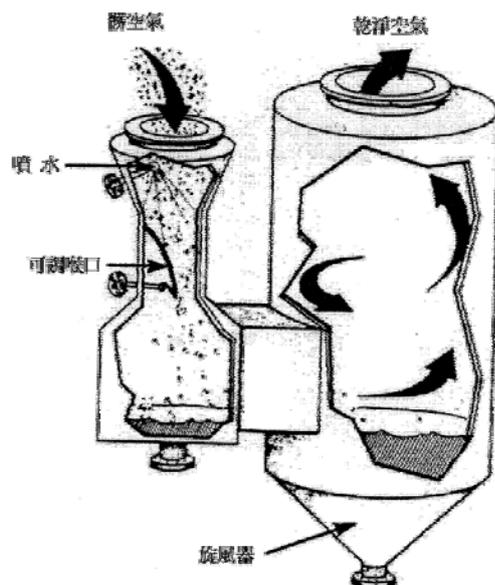
圖 5.2.2-5 典型的文氏洗滌器

文氏管是利用氣體通過窄小的喉部，產生高速氣流，剪斷並打碎注入管壁之液體，因而產生液滴。氣體通過窄小的喉部時，速度可高達 $61\sim 244\text{ m/s}$ ($200\sim 800\text{ ft/s}$)。這個高速氣流亦產生了小的液滴，因而可以增加收集效率。

在喉部產生的無數液滴以及喉部的紊流使微粒與水霧碰撞之機會大增。注水量與液滴之產生有關，通常增加液/氣量之比可以提高除塵效率。但水量超過某個上限值時，除塵效率就不再增加。

含塵粒之液滴最後仍需被排除。液滴直徑通常在 $50\sim 500\text{ }\mu\text{m}$ 間，因直徑大容易被旋風集塵器及除霧器的複合系統去除。商用文氏洗滌器有許多不同種類，差異在注水方式及喉部設計。譬如有的液體注入方式是由上而下旋轉進入喉部，潤濕喉部後，再被高速氣體霧化。

在噴水式的文氏洗滌器中，以 $0.33\sim 1.0\text{ kg/cm}^2$ 的低壓水噴入喉管之中，能使液體在大一點的喉口中更均勻的分布。液體霧化之效果來自噴嘴及高速氣流，但仍以高速氣流之霧化為主。文氏洗滌器需維持一定之氣體壓力差(或氣體流量)以保持相當之除塵效率，有一些洗滌器係專為氣體流量隨時間改變之製程而設計，圖 5.2.2-6 即是這一類的設計。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-6 可變喉口之文氏洗滌器

雖然文氏洗滌器主要用於去除粉塵微粒，但亦可用於吸收氣狀污染物，其優點是結垢及粉塵阻塞的問題比較少。唯氣體吸收需要的接觸時間較長，吸收效率才會提高，然而在文氏管喉部氣體與液體接觸時間很短暫，使氣體吸收效率難以提高。

另外，夾帶粉塵之高速氣體往往造成文氏洗滌器內喉部及其他表面被刮損。因此，文氏管之喉口經常需塗覆碳化金屬類之硬質材料，以防刮損產生。在洗滌器下方通往旋風器之肘管充水，也可防止因微粒直接打擊表面造成刮損的現象。在一些用噴嘴噴水的設計中，若使用循環水可能會阻塞噴嘴，需定期作檢查維修。

文氏洗滌器之操作條件隨應用及設計方式之不同而異。表 5.2.2-2 是文氏洗滌器操作之範圍，文氏洗滌器可以去除次微米的微粒，但是壓力降需 $>100\sim 200\text{ cmH}_2\text{O}$ 。

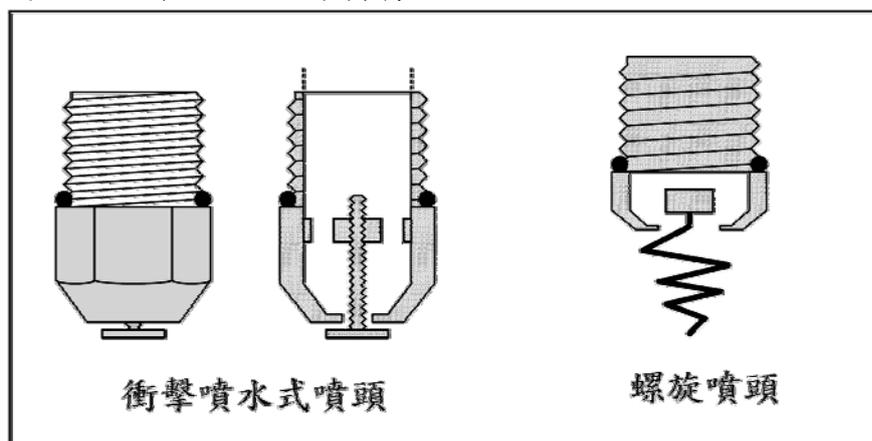
表 5.2.2-2 文氏洗滌器之操作特徵

壓力降 (ΔP)	液/氣比 (L/G)	液體入口 壓力(PL)	截取直徑 (DPcut)	應用
12.5~254 cm H ₂ O	0.67~2.67 公升/m ³	<0.07~1.0 kg/cm ²	0.2 μ m (依壓降而定)	紙漿及製紙工業 酸液廠 採礦工業 乾燥機 非鐵金屬工業 製鐵及煉鋼工業 火力及工業鍋爐 焚化爐 化工

二、液相接觸式洗塵系統

前一節所述之氣相接觸式洗滌器係利用製程排氣霧化液體，再利用液滴收集粉塵。液相接觸式洗滌器則利用噴嘴霧化液滴，與氣體中的微粒碰撞接觸而除塵，因此主要的能量消耗於水的霧化，氣體的壓力降不高，消耗的能量也較少，且除塵率效率不佳，無法去除次微米的微粒。

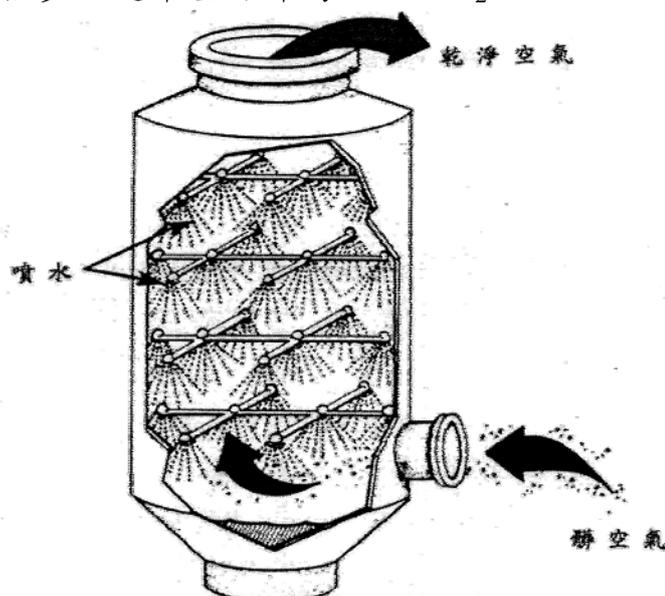
噴嘴包括衝擊噴水式、圓錐式、螺旋式(圖 5.2.2-7)等三種。在衝擊式噴嘴中，高壓的液體撞擊一個平板或者一根針產生均勻粒徑之水滴。圓錐式的噴嘴中，中心之水柱與噴嘴壁上旋轉之水流碰擊而產生水滴。螺旋式的噴嘴產生較寬角度的水霧，阻塞問題也比較少。液相接觸式洗滌器最主要者為噴霧塔。



資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-7 衝擊噴水式噴頭及螺旋式噴頭

噴霧塔又稱為重力噴霧塔、噴霧洗滌器或噴霧室，基本設計如圖 5.2.2-8 所示。液體由一排或多排噴嘴中噴出於圓柱型或長方型的噴霧室中。水霧與通常是逆流而上的髒空氣接觸，便能除去其中所含的微粒。若是洗滌液重覆循環使用，噴嘴易被阻塞。因此本系統使用乾淨的水來作噴霧會較無問題。噴霧塔是低能量之裝置，其能量消耗比文氏洗滌器低很多，通常壓力降為 $2.5 \text{ cmH}_2\text{O}$ 。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

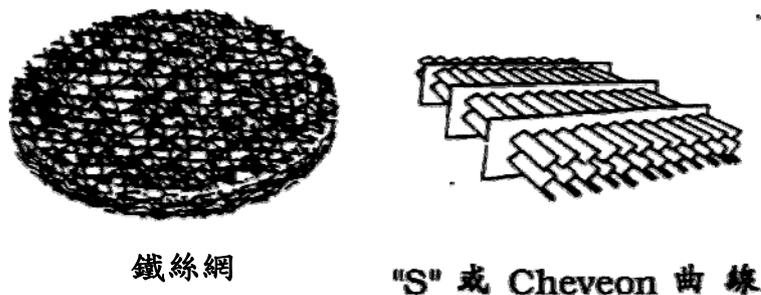
圖 5.2.2-8 簡單之噴霧塔

噴霧塔之除塵效率比其他高能量設備低。一般而言，噴霧塔對 $10\text{-}25 \mu\text{m}$ 粗微粒之收集是可行的。增加噴水之壓力雖可產生較細的液滴，進而除去較小的微粒。但當水滴變小時，其終端沉降速度降低，氣體與液體之相對碰撞速度便降低，可能會降低除塵效率。一般而言，發現重力噴霧塔之最佳液滴直徑範圍為 $500\text{-}1,000 \mu\text{m}$ 間。

Bethea (1978)發現當噴水壓力高達高達 $20\text{-}30 \text{ kg/cm}^2$ 時，產生之水霧中含有十分小的水滴，此時收集機構有別於撞擊收集，因此效率可提高很多。

製程排氣進入截面積大的噴霧塔後膨脹，且被水霧冷卻。因此大流量之廢氣可以在噴霧塔中經調理後，再排出或再引入小一點的高效

率設備中再處理。噴霧塔中氣體流速很低，在 0.61~1.5 m/s 間。若是氣體流速太高，會將小水滴帶入出口之氣流中。噴霧塔之出氣口通常含有水霧，可用除霧器去除。圖 5.2.2-9 所示者為鐵絲網及“S”或 Chevron 曲線型的除霧器，置於噴霧塔的最上方，作排氣之最後處理。其他洗滌器也需要加裝除霧器，以避免水滴從排氣口排出來。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-9 除霧器

噴霧塔是去除大微粒的低成本設備，它亦可用以調理製程排氣(降溫及加濕)。表 5.2.2-3 列出其操作特徵，由此表可知，噴霧塔以去除數微米以上的大微粒為主。

表 5.2.2-3 噴霧塔之操作特徵

壓力降 (ΔP)	液/氣比 (L/G)	液體入口壓力 (PL)	截取直徑 (DPcut)	應用
1.28~7.62 公分水柱高	0.67~2.67 L/m ³	0.68~27 kg/cm ²	2~8 μm	採礦、製鐵及 煉鋼鍋爐及焚 化爐、化工

5.2.3 吸收原理

吸收程序為典型化工單元操作之一，亦可稱之為洗滌，為氣態污染物於廢氣與洗滌液接觸時，藉由分子擴散、紊流等質量傳送及化學反應等現象傳入洗滌液，使污染物質分離而去除，以達到淨氣的效果。

以吸收的方式控制氣狀污染物，其操作方式係將含有污染物之排氣導入吸收設備，使其與吸收劑接觸而除去污染物，排出已淨化之空氣，吸收法常應用於去除低沸點碳氫化合物及異味物質。

吸收單元的主體為吸收塔，伴隨溶質之廢氣從吸收塔底進入，而吸收劑從塔頂進入，以進行氣、液相之接觸。經處理過乾淨氣體自塔頂流出，可逕行排放或導入其他單元處理，而從塔底流出之液體則需送入再生單元處理。

吸收可區分為物理吸收與化學吸收二種。物理吸收主要是藉由污染物在液體中的溶解度，而達到去除空氣污染物的目的；化學吸收之速率，主要依吸收劑與氣體污染物之反應速率決定。以水為吸收劑時，除非被吸收之氣體在水中會產生水解反應或與水發生化學反應，否則應屬物理吸收之範圍。

通常化學吸收可藉升高操作溫度、壓力來增加反應速率，不過同時卻降低了物理吸收的速率；物理吸收在較低溫操作下可達到較佳的去除效果。一般而言，化學吸收可使污染物濃度趨近於零排放，而物理吸收只能把污染物濃度降低至某程度，因此化學吸收在某些氣體污染物的控制及應用上相當重要。

常用的洗滌設備為填充塔(圖 5.2.3-1)，典型之填充塔吸收設備，其內部放入具有大表面積之充填物，以增加氣、液接觸效果。吸收液從塔頂往下流，廢氣向上流，臭氣與吸收液充分接觸而反應去除。吸收液與廢氣流量比例(液/氣比)一般為 $1\sim 3\text{ L/m}^3$ ，填料高度一般為 $2\sim 5$ 公尺，氣體空塔流速一般為 $0.5\sim 1$ 公尺/秒。若需使用大量之吸收液進行吸收，則

此吸收程序就不經濟，因其吸收液會造成二次污染，且動力費可觀。

最常用的物理吸收劑是水。水除了價廉易取得外，亦可溶解相當多種類的物質。選用時，首應考慮液體對所欲去除之氣體之溶解度(或亨利常數)，其水溶性會影響使用吸收劑量之多寡。亨利常數其值愈大，表示水溶性愈差。通常亨利常數大於 0.01 之揮發性有機物，表示其水溶性不佳，不適合採用水作為吸收劑。若液/氣比設為 1 L/m^3 ，VOCs 的亨利常數(m)需小於 0.007，方適以水作為吸收劑。

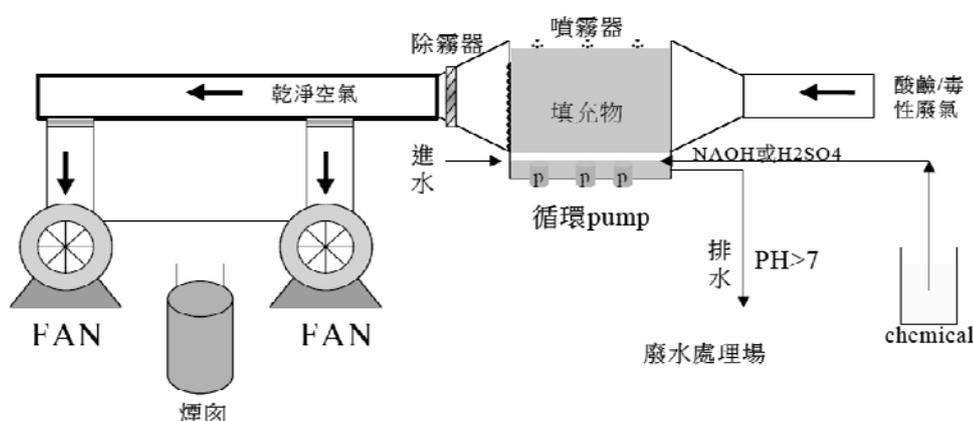


圖 5.2.3-1 填充洗滌塔廢氣處理系統

5.2.4 氮氧化物控制技術

在燃燒系統中控制 NO_x 的產生，必須符合下列幾點原則：

1. 使用不含有機氮化合物之燃料。
2. 降低燃燒區的氧氣濃度。
3. 縮短燃燒氣體在高溫區中的滯留時間。
4. 降低燃燒溫度，特別是不要有局部的高溫區域產生。

不論是單獨應用上述任何一個原則，或者應用這些原則之組合，都可以達到降低 NO_x 的效果。

由氮氧化物成因可知，Thermal NO_x 與 Prompt NO_x 之生成，主要是來自於助燃空氣中的氮氣參與反應。所以，即使燃料本身不含氮的成

分，於高溫燃燒下仍會有氮氧化物的產生。要避免此項情況發生，可採用非碳氫化合物作為燃料或是改採純氧來助燃。

目前已有利用純氧燃燒的方式來處理有害廢棄物的實例，純氧燃燒可提高火焰溫度，使有害廢棄物的破壞效率提高，此因氣流中不含氮氣，可避免 Thermal NO_x 的生成，並且減少排放廢氣體積，但此種燃燒方式仍需考量經濟性及安全性。

燃燒前之防制方法：燃料低氮化，即改採含氮量低的燃料，可避免 Fuel NO_x 的形成，如天然氣、高品質燃料(低氮)或是使用加氫脫氮處理過的燃料。但相對地，這些措施會使成本提高，且仍無法遏止 Thermal NO_x 於高溫下生成。未來，地球上的乾淨能源日益枯竭，使用燃煤或重油機會將增加，因此本法所能達到之控制效果有限。

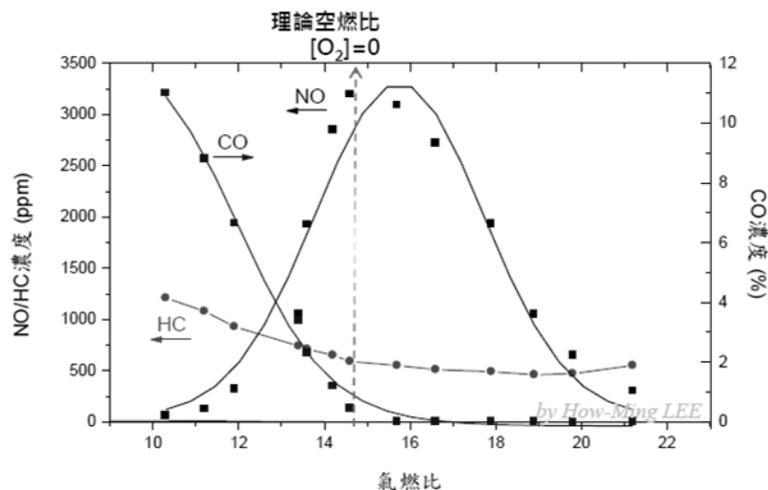
燃燒中之防制方法：就經濟面評量，改善燃燒過程或改良燃燒器為較經濟的方式，可從兩方面著手：(1)變更運轉條件；(2)應用新燃燒法。整體可使 NO_x 濃度降低至 370 ppm 以下。各種常用技術分述如下：

一、變更運轉條件

變更運轉條件，是執行燃燒管理以降低NO_x之策略。除部分燃燒控制裝置之外，並沒有必要進行設備上的改造，是一種設備投資比較少的方法。一般說來，它與後述的應用新燃燒法比較起來，NO_x的控制減量有限，同時也會產生弊害，例如：缺氧燃燒可能造成未完全氧化的CO及黑煙。

A.降低過剩空氣量

操作在理論氣燃比(完全燃燒)可得到最大的能量輸出，此時燃燒溫度達到最高，一氧化碳(CO)及未完全燃燒之碳氫化合物(HC)生成濃度最低，但高溫卻促成 NO 的大量生成，如圖 5.2.4-1 所示。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.4-1 氣燃比與氮氧化物、碳氫化合物及一氧化碳之典型關係

低氣燃比(過剩空氣少)時,由於燃燒室的氧氣濃度會減少,燃燒器內之火焰溫度也會降低。因此,可同時減低 Fuel NO_x 及 Thermal NO_x,但易使氧氣不足導致燃燒不完全,使排氣中 HC 及 CO 濃度偏高,當空氣量降低得太低時,則很容易燃燒不完全而產生黑煙。

當空氣量逐漸增高時(即高氣燃比),氧氣濃度也會隨著增加、燃燒溫度下降,使 Thermal NO_x 和 Fuel NO_x 產量減少。此法雖可提供充足氧氣令燃燒得以完全,但過量的空氣造成燃燒效率不佳,亦使排氣量增加。因此,可採最低空氣量燃燒來執行燃燒管理。低空氣量燃燒也可以成為省能源對策,不過,無法大幅控制 NO_x。

B.降低燃燒室熱負荷

當燃燒室負荷增大時,爐內溫度以及火焰溫度都會上升,使得 Thermal NO_x 生成量也會隨著增加。因此,為減低熱負荷,可降低火焰溫度與減慢燃料釋熱的速率,以控制 Thermal NO_x 生成。需注意此方法會降低爐的燃燒效率和鍋爐的產汽效能。

C.降低空氣預熱溫度

為提高燃燒設備的熱效率，通常會利用排氣中的熱量預熱燃燒用的空氣。由於預熱燃燒用之空氣會直接影響燃燒溫度，因此，將預熱溫度降低即可減少 NO_x 的排出。不過，在採用此法時會產生與前述的燃燒室熱負荷的情況同樣的缺失，與節省能源對策背道而行。

二、應用燃燒改善法

為了減低NO_x，可採用燃燒改善法。此法應用在新的設備，設計時就可直接採用；若應用在既有設備，大多須改造舊設備。工業上可行之燃燒控制改善方式如表5.2.4-1所示。

燃燒後之防制方法：面對日益嚴苛的排放標準，設置高效率之污染防制設備以進行後處理已成趨勢。燃燒後處理控制技術概分為：乾式法、溼式法、氣態氧化法等，目前應用或發展中之NO_x 控制技術如表5.2.4-2所示。

表 5.2.4-1 可行之燃燒控制改善方式

方法	控制原理	相關說明	去除率(%)	燃料適用性	備註
低NO _x 燃燒器	屬於燃燒設備的改良，藉由控制燃氣比達到分段燃燒之目的。	1.燃燒區域大，火焰甚長，需注意燃料與氣體混合程度。 2.初設成本甚高，但操作成本較低，目前業界應用廣泛。	30~60	各種燃料	1.既存鍋爐改裝不易。 2.可與煙道氣循環法配合增加效率。 3.此法並不適用於含氮成份過高的燃料(如煤)。
煙氣迴流法	藉此降低氣流中之含氧量與燃燒溫度以抑制thermal NO _x 。	需控制迴流氣體流量，否則氣流過大將致使火焰不穩定，甚至引起管線的損壞。	20~40	氣態燃料 低氮燃料	1.影響熱傳導與系統壓力。 2.需裝設煙道和風車。 3.影響系統壓力。
火上風空氣法	延遲燃燒的程序，使完全燃燒離開主要燃燒區。	主要燃燒區域為富燃料條件(fuel rich)，等待一些熱能以熱輻射傳導出去，再供應充分空氣量使其完全燃燒。	15~35	各種燃料	1.無法充分混合二次空氣與主燃燒區的燃燒產物。 2.增加煙塵與CO排放。 3.局部火焰過長，爐管過熱。 4.降低鍋爐效率。

方法	控制原理	相關說明	去除率(%)	燃料適用性	備註
低過剩空氣法	減少過剩空氣量，使氣流中O ₂ 降低，減少O ₂ 與N ₂ 反應形成NO _x 機率。	避免供氣量低於理論燃燒計量，以防止因燃燒不完全產生CO及焦炭等物質。	1~15	各種燃料	1.易造成不完全燃燒。 2.可藉由CO濃度之量測，來判斷鍋爐之燃燒條件。
階段燃燒法	階段控制供氣燃氣比，降低O ₂ 濃度，以延緩釋熱速度，避免主要燃燒區火焰溫度過高。	主要燃燒區域進行缺氧燃燒，次燃燒區則補充適當的空氣量以進行完全燃燒。	30~60	各種燃料	1.既存鍋爐改裝不易。 2.火焰增長。 3.影響鍋爐燃燒效率。
水(蒸汽)注入法	於燃燒過程注入水或水蒸汽，以降低燃燒區火焰溫度。	1.火焰強度與燃燒效率易受影響，甚至不完全燃燒。 2.風扇耗能增加，增加操作成本。	40~65	氣態燃料 低氮燃料	1.耗費能源。 2.不完全燃燒之問題。 3.需考量燃燒效率減低之影響。
減少空氣預熱法	藉此使火焰溫度不致過高以減少thermal NO _x 生成。	針對天然氣或低氮成分燃料進行處理，目的在抑制thermal NO _x 。	25~65	氣態燃料 低氮燃料	1.能量損失。 2.進氣氣流溫度下降將使燃燒效率減低。
再燃燒法	將燃料分兩階段注入。鍋爐則分為三區，主燃區因過剩空氣，NO _x 產生較少；再燃燒區添加二次燃料(碳氫化合物)將第一區生成之NO _x 部分還原為N ₂ ；過剩未燃燒物於燃盡區完物於燃盡區完全燃燒。	此法之觀念類似整合階段燃燒法與火風空氣法兩技術，但實際效果更好。	20~50	各種燃料	1.既存鍋爐改裝不易。 2.影響鍋爐燃燒效率。

表 5.2.4-2 燃燒後氮氧化物控制技術

乾式法	溼式法	氣態氧化法
選擇性觸媒還原法	氧化/吸收法	電子束法*
選擇性非觸媒還原法	吸收/還原法*	電暈放電法*
無選擇性觸媒還原法	氧化/吸收/還原法*	介電質放電法*
觸媒分解法		
吸收法		
吸附法		
移動床活性碳法*		

(註)*：可同時去除氮氧化物及硫氧化物

本節介紹目前大量商業應用且處理效果較佳的方法：選擇性觸媒還原法(selective catalytic reduction, SCR)及選擇性非觸媒還原法(selective non-catalytic reduction, SNCR)。整體可使排氣NO_x濃度降低至75~150 ppm以下，以SCR處理效率較佳。

(一)選擇性觸媒還原設備(SCR)

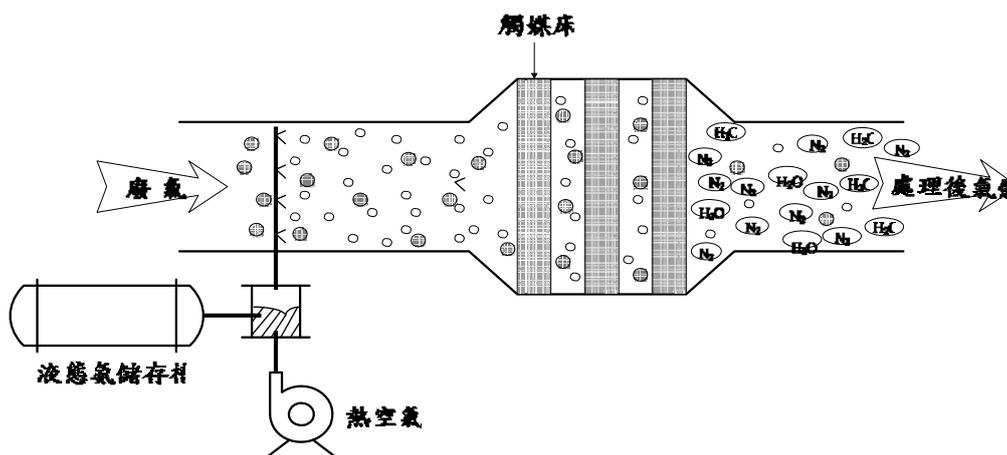
各類氮氧化物控制設備中，以選擇性觸媒還原設備(SCR)的除氮效率最高，一般可達80%以上。

其原理是利用還原劑(如NH₃或尿素等)，藉由適宜的觸媒將氮氧化物選擇性地還原成氮氣，再排入大氣，處理程序如圖5.2.4-2所示。其中以NH₃為還原劑之應用最為普遍，主要反應如下：



選擇NH₃為還原劑的優點，是其具備良好選擇性，在氣流含有適當氧氣時，能夠選擇性地與NO_x反應，而不被O₂所氧化。

影響SCR系統處理效能之因素有：(a)觸媒型式；(b)操作溫度；(c)氧氣含量；(d)NH₃添加量；(e)其他。



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.4-2 選擇性觸媒還原法處理程序示意圖

A. 觸媒型式

就 SCR 系統而言，觸媒種類甚為重要，直接影響其他的操作參數，如操作溫度範圍、最佳還原劑的選擇、反應停留時間或抗酸腐蝕能力。另一方面，觸媒排列型式會影響每單位體積所處理的流量(即空間速度)、觸媒活性與耐用程度。

NO_x 的轉化率隨著孔隙愈密而提高。因為質傳和孔擴散速率，均與表面積成正比。因此高孔隙度觸媒的單位體積，具有較大的表面積，單位體積對 SCR 脫硝速率亦較大。選擇觸媒應注意之因素如表 5.2.4-3 所示。

表 5.2.4-3 選擇觸媒應注意之事項

處理型式	燃煤發電廠，蒸汽鍋爐系統
抗酸與抗腐蝕	煙道氣體成分多以酸性氣體為主，觸媒應具備良好之抗酸與抗腐蝕能力。
耐用性	因應空氣污染防治設備之處理負荷日益增加，選擇觸媒應以高效率、且耐用期限較長者為佳。
適用溫度	不同種類的觸媒對 SCR 反應溫度範圍會改變，選用適用溫度範圍較廣者(或反應溫度控制容易)較佳。
成本	觸媒材質多以金屬或貴重金屬為主，其成本應合理。

SCR 技術發展於日本，雖然其去除率較高，但相對地成本也高。使用之觸媒多為貴金屬、金屬氧化物或沸石等，其適合之應用溫度並不相同，使用最多的主要為 V₂O₅-TiO₂，再添加其他特

殊成分製成。觸媒易受粉塵磨蝕而降低使用年限，且長期使用後，觸媒活性隨反應時間耗減，將影響 NO_x 去除效果。而毒害後的觸媒不得任意棄置，否則將造成二次污染，因此，妥善處置已使用的觸媒亦將增加處理成本。

B. 操作溫度

溫度為 SCR 技術中相當重要的控制參數：溫度過低，觸媒無法發揮功效；溫度過高，則使 NH₃ 氧化，使轉化率變低。所以不同的觸媒種類或還原劑，將使適宜操作的溫度範圍有所不同。例如，鈦系觸媒以 NH₃ 為還原劑時，反應溫度範圍約為 200~450 °C。在設計觸媒床前，應先蒐集所處理煙道氣的溫度資料，不但有利於觸媒種類選擇，亦可藉此減少所處理氣體之預熱成本。

C. 氧含量

氧氣在 SCR 反應中有許多重要的功能。氧氣實際參與 SCR 反應，對還原 NO_x 之效率將有正面貢獻。此外，進行 NH₃-NO 反應時，氧氣有助於讓已反應之觸媒活性位置再生。

由圖 5.2.4-3 可知，氣流含氧量的最佳範圍是 0.1~1%。在此範圍之內，NO_x 經 NH₃ 轉化成 N₂ 的效率可大幅度提升，並可明顯降低反應溫度範圍，增加 SCR 的性能。

D. NH₃ 添加量

NH₃ 在 SCR 脫硝反應中，主要擔任還原劑的角色，與氮氧化物作用。但在高溫有氧環境下，氨本身亦可能會被氧化成氮氧化物或氮氣。圖 5.2.4-4 顯示觸媒對 NO_x 的轉化率隨著 NH₃/NO_x 比值增加而增加當達其反應的化學當量時(即 NH₃/NO_x=1)，轉化率達到最高。

添加過多的氨並不能使 NO_x 的轉化率增加，多餘的氨反而隨著廢氣排出，造成二次污染。因此一般操作上將氨的進料控制

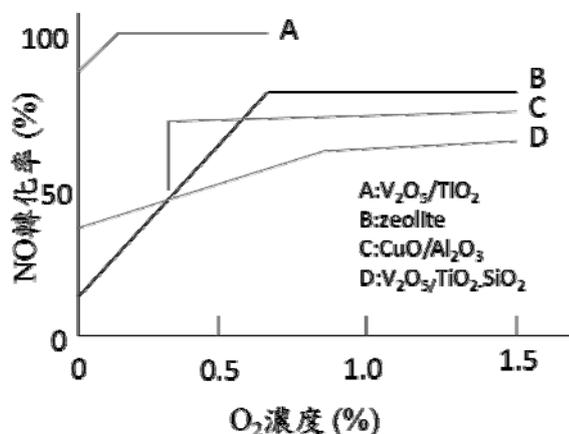
在 $\text{NH}_3/\text{NO}=0.85\sim 1.0$ 間，以確保觸媒的轉化效率(85%)及最低的氨逸漏。此外，氨的注入方式，會影響氨與氮氧化物的混合，進而影響 SCR 脫硝效能與氨逸漏的多寡。

操作時應注意添加過量的氨與煙道氣中的 NO_x 反應，容易發生氨外洩。此外，氨會與煙道氣中的 NO_x 、 SO_x 反應，分別形成 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $(\text{NH}_4)\text{HSO}_4$ 等氣膠，可能造成觸媒堵塞、腐蝕管線或逸散於大氣環境。

E.其他

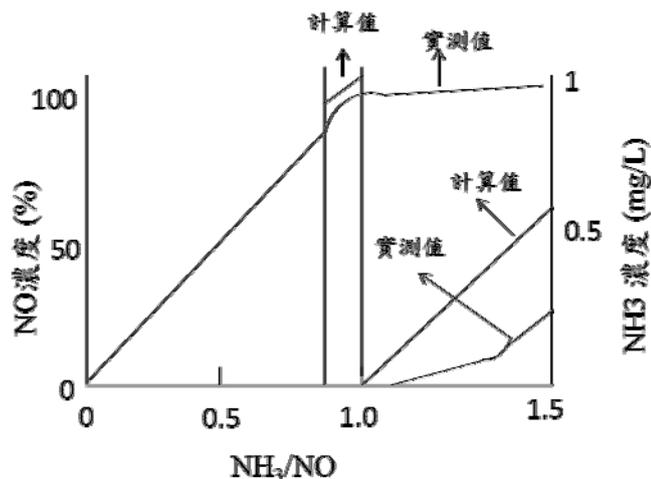
除了上述幾點較重要的操作參數外，其他次要因子包括水氣含量、 SO_2 含量、 CO_2 含量、空間速度(例如： $10,000 \text{ h}^{-1}$ ，即每小時可處理 10,000 倍觸媒體積之進氣)、還原劑/氮氧化物比值等，這些操作參數需經由實地測試才能確實瞭解其個別的影響。

SCR 安裝位置可於靜電集塵器(ESP)前、靜電集塵器後或煙氣除硫設備後。若安裝於靜電集塵器後，須使用高溫靜電集塵器；安裝於煙氣除硫設備後，則須增設再熱器加熱煙氣，以達到 SCR 所要求之反應溫度。因此一般流程中以裝設於 ESP 前，惟因大量飛灰易使觸媒之活性衰減，洩漏之 NH_3 亦會造成惡臭之問題，因此必須妥善控制 NH_3 之洩漏量。



資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.4-3 氧氣濃度對觸媒轉化 NO_x 的影響



資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.4-4 NH₃ 添加量對 SCR 反應的影響

(二)選擇性非觸媒還原法(SNCR)

選擇性非觸媒還原法(SNCR)是於不添加催化劑之情形下，在煙氣溫度850~1,050°C時，將氨或尿素均勻噴入爐內，藉由高溫提供能量，以產生具有高反應性的自由基，並藉著這些高活性物質與氮氧化物進行反應，使廢氣中之氮氧化物還原成氮氣排放。

SNCR可避免SCR系統中的觸媒問題，不過仍有發生氨外洩的可能。一般而言，SNCR處理效率約50~60%，低於SCR(約80~90%)。

注氨系統與尿素系統為目前SNCR所普遍使用的兩種系統，其化學反應如下：



這兩種方法之間最大的不同是：氨(液氨)是在氣態下注入煙道氣，尿素則為水溶液。因為尿素在煙道氣流中還要多一道汽化手續，所以尿素系統需要多一點的滯留時間；注氨系統使用的是氨水，滯留時間也是一樣需要長一點。

液氨因具毒性有安全上之考量，目前已很少工廠願意採用；尿素雖需較高之反應溫度，且尿素使用前須先泡製較為麻煩，但因完全無毒性不需安全防護設施，尿素價格也較氨水便宜，已成為目前普遍使用之還原劑。

SNCR 之主要優點為設置與操作費用低廉，主要設備僅還原劑貯槽與噴注系統，且可避免SCR法中觸媒燒結或老化問題。對於既存工廠而言，設備改裝極為容易。但其NO_x去除率僅約50~60%，遠低於SCR之80%以上之去除率。此外，SNCR所需熱能也較SCR為高，最適合之反應溫度為850~1,050°C，若煙氣溫度低於800°C時，脫硝速度很慢。因此，SNCR適合應用於煙氣溫度較高之製程，如水泥旋窯、汽電共生鍋爐以及重油引擎發電機等。

影響SNCR系統處理效能之因素有：(a)操作溫度；(b)氧氣含量；(c)NH₃添加量；(d)添加劑；(e)其他。分述如下：

A.操作溫度

由於SNCR不用觸媒，且須藉由裂解還原劑以處理NO，此過程所需的反應溫度很高。但若溫度過高(>1,100°C)，NH₃還原劑易被氧氣氧化成NO_x；若溫度太低時，反應所需的自由基生成量將非常有限。因此，SNCR最佳溫度操作範圍，約在850~1,050°C間。停留時間越長去除NO_x效果越佳，一般建議需在0.5秒以上。

B.氧氣含量

當氣流含有適量的O₂時，有助於還原劑裂解。當氧過量時，會造成還原劑被氧化；當氧不足時，會造成自由基生成量不足的問題。

C.NH₃添加量

NH₃/NO 比值愈高，代表添加 NH₃ 越多，有利於 NO_x 之還原。若 NH₃ 過量，未反應的 NH₃ 易外洩(NH₃ slip)造成惡臭污染，或導致管線腐蝕。NH₃/NO 比值宜控制在 1.3~1.5 間。

D. 添加劑

添加劑目的在改善 SNCR 的反應條件，例如於燃燒過程添加 H₂ 或 H₂O₂，不但可使反應溫度範圍降低，減少外加熱能的耗損，並可降低氨外洩。

E. 其他

其他影響 SNCR 的因子還包括 NH₃ 注入點、NH₃ 與氣流的混合程度、及氣流其他成分含量(如 CO₂、SO₂)等。

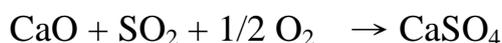
5.2.5 硫氧化物

一、燃燒前之防制方法

可選用低硫燃料，或於燃料進入燃燒室前，先行處理以降低硫份。如洗煤技術或加氫脫硫，以含硫量 3% 的重油為例，經過加氫脫硫處理後，含硫量可減至 0.3%。若以廢棄物作為燃料，則應儘量排除混入或避免含高硫份廢棄物的燃燒，以減低燃燒煙氣中的硫氧化物。

二、燃燒中之防制方法

可在燃燒室內直接加入或噴入吸硫劑，如氧化鈣，使其產生下列反應以去除煙道之 SO_x：



如流體化床焚化爐內的流化介質摻配部分的石灰石(提供 CaO)，或燃燒爐之煙氣轉角處的耐火材料用高氧化鈣的材質，此等皆有助於降低 SO_x 的排放。

三、燃燒後之防制方法

煙道氣離開燃燒室後，再以吸收劑脫硫，其中排煙脫硫主要分成濕式除酸法、半乾式除酸法及乾式注入除酸法等三種方式。在選擇控制

技術上，必須考慮污染源之特性及其限制條件，如污染物濃度、最低去除效率要求、投資成本、場地限制、操作維修成本、施工期對生產的影響及設備的使用年限等。排氣 SO_x 控制設備之比較如表 5.2.5-1 所示。常用於除酸的吸收(附)劑如表 5.2.5-2 所示。

表 5.2.5-1 排氣 SO_x 控制設備選用及特性

設備名稱	除硫效率	投資費用	操作費用	空間需求	特點
濕式	>90%	100%	低	高 100%	1.用水量大 2.材質腐蝕較嚴重 3.排氣有白煙產生 4.需廢水處理
半乾式	>90%	65~90%	中	高 80~100%	1.無白煙問題(露點以上操作) 2.材料腐蝕問題輕微 3.產物(乾粉)易處理 4.不產生廢水
乾式	50%	30%	高	低 20~30%	1.吸收劑用量大 2.處理效率不高 3.設備費用低 4.操作維修容易

表 5.2.5-2 常用於除酸的吸收(附)劑

吸收劑	溼式	半乾式	乾式	適用的酸性氣體
水	V			Cl ₂ 、HCl、HF、NH ₃ 、HCN等及其他水溶性高的酸性氣體
Ca(OH) ₂	V	V	V	SO ₂ 、HCl、H ₂ S、CO ₂
CaO	V	V		SO ₂ 、HCl、H ₂ S、CO ₂
CaCO ₃	V			SO ₂ 、HCl
Na ₂ CO ₃			V	SO ₂ 、HCl
NaOH	V			SO ₂ 、HCl
MgO	V			SO ₂ 、HCl
胺類	V			CO ₂
活性焦炭			V	SO ₂ 、NO

(一)濕式除酸法

於洗滌塔中，藉由氣體與液體間的接觸，將氣體中的污染物傳送到液體中，然後再將清潔的氣體與被污染的液體分離，達成清淨

氣體之目的。氣態污染物則藉紊流、分子擴散等質量傳送、及化學反應等現象傳入液體，達到與進流氣體分離之目的。常用之吸收劑有3種：

- 1.石灰石、氫氧化鈣：副產品為石膏。
- 2.氧化鎂、氫氧化鎂：副產品為硫酸鎂。
- 3.氫氧化鈉：副產品為硫酸鈉。

溼式法雖然可同時處理廢氣中之粒狀物與其他氣態污染物，但處理過程中煙氣被冷卻至60°C左右，若直接引至煙囪會產生排氣的上昇力及浮力不足及水蒸氣凝結產生白煙之困擾。因此，煙氣引至煙囪前需再加熱，將增加操作成本。

(二)半乾式除酸法

半乾式除酸法(semi-dry or spray-dryer absorber, SDA)則利用一霧化器(atomizer)將吸收劑漿液(一般為NaOH、Ca(OH)₂或Mg(OH)₂)霧化成直徑約數十微米的小液滴，這些小液滴在噴霧乾燥吸收塔中接觸廢氣，煙氣高溫將蒸發吸收劑漿液的水分，廢氣中的SO₂、HCl及HF與吸收劑反應生成鈣鹽，由於接觸面積廣，質傳與熱傳效率均佳。當小液滴到達塔的底部時，水分已幾乎全部蒸發而成乾粉狀態，因而無廢水處理問題。

酸氣與吸收劑之化學反應與濕式除酸系統相似，主要差別在於半乾式之操作溫度較濕式為高，因此降低SO₂之吸收效率。SO₂在噴霧吸收過程中包括以下三階段：

- 1.擴散期：SO₂及伴隨之CO₂、HCl、HF、NO₂擴散進入霧化液滴，此諸酸性分子之擴散將會阻礙水分子由液滴表面蒸發，降低液滴表面之蒸發速率。
- 2.反應期：液滴表面繼續蒸發，同時SO₂及伴隨之酸氣溶解入液體，

SO₂轉化成亞硫酸根(HSO³⁻)並與吸收劑Ca(OH)₂反應生成CaSO₃，部分CaSO₃與氧氣反應成CaSO₄。部分CO₂、HCl、HF、NO₂分別轉化成CaCO₃、CaCl₂、CaF₂及Ca(NO₃)₂。

3.終止期：水分蒸發，吸收漿液變成低含水率之塵粒。由於會產生粉塵，尚需於反應器出口安裝除塵裝置，以收集反應後產物。由於煙道氣通過之濾餅仍有未反應之吸收劑，若最後之除塵裝置為袋式過濾設備且煙道氣水氣含量足夠，則將會於濾餅內再吸收SO₂。

半乾式洗滌技術之應用範圍廣泛，如去除酸性氣體：SO_x(燃油鍋爐、燃煤鍋爐)、HCl(焚化爐)、HF(玻璃熔爐、陶瓷業、磚瓦窯業)；塵粒；重金屬：Hg、Pb、As等；毒性物質：戴奧辛(dioxins)、呋喃(furans)等。

(三)乾式注入除酸法

乾式注入除酸法係將吸收劑粉體注入煙道中，與煙氣中酸氣反應。常用吸收劑為鈉基(NaHCO₃)與鈣基(Ca(OH)₂)之吸收劑，直接將粉狀之鹼性吸收劑注入系統中，藉由氣固化學反應，達到除酸之目的，排氣常需再以除塵裝置收集反應後之吸收劑。

乾式注入除酸法藉由噴入吸收劑乾粉與霧化液滴碰撞，其霧化液滴捕捉吸收劑的機制有慣性衝擊、直接截留、擴散(布朗運動)等。一般而言，若吸收劑顆粒直徑大於1微米時，以慣性衝擊效應為主；若吸收劑顆粒直徑小於0.1微米以下時，則以擴散效應為主。

酸氣與吸收劑之化學反應則與半乾式除酸系統相似。此方法優點為設備簡單，初設成本低且反應生成物為乾燥粉體，處理容易，對煙氣溫度影響小。缺點則為氣、固相間反應，處理效率差(~50%)，且吸收劑用量大，操作成本高，並大幅增加集塵設備之粉塵負載。

第六章 污染防治處理設備之操作管理

6.1 處理設備操作與維護

6.1.1 污水處理設備操作與管理

一、物理化學處理單元

(一)中和處理

中和處理係利用酸、鹼藥劑進行中和反應，調節廢水pH值至適宜範圍，一般廢水中和處理大多利用pH控制設備控制酸、鹼加藥量，pH控制設備包括pH控制面板、導線及pH電極所組成，藉由設定pH加藥範圍，在廢水pH值小於設定值時，啟動加藥設備自動加入鹼性藥劑，反之，在廢水pH值大於設定值時，即自動加入酸性藥劑，以控制廢水pH值在適宜範圍內。在化學中和處理程序中，須考慮之因素包括化學中和滴定曲線之建立、酸鹼中和藥劑之選擇及一般操作注意事項。

1.化學中和滴定曲線之建立

廢水處理廠中和處理單元功能的發揮，需依賴良好之儀表監測系統和完善之QA/QC操作維護制度，藉由現場實際水樣之中和滴定實驗預估加藥濃度與劑量，並作為未來應變之參考。

2.酸鹼中和藥劑之選擇

一般常用酸鹼中和藥劑及其中和因子，在選擇酸鹼中和藥劑時，須考慮酸鹼中和藥劑是否與酸鹼廢水起有害反應及其經濟性，以達到廢水中和之目的。

3.一般操作注意事項

(1)廢水收集系統

一般工業廢水常包含酸性及鹼性廢水，如分開收集及加藥，

將會導致藥劑浪費之情形，故在進行廢水中和處理時，應先行考慮酸性廢水及鹼性廢水之特性，在不同性質廢水混合收集不引起有害物質反應下，應利用酸性廢水中和鹼性廢水，在廢水中和後尚無法達到適宜 pH 後，再進行加入酸、鹼性藥劑，避免引起過量加藥之情形。

(2)pH 加藥控制

依後續處理單元或放流水質標準，設定 pH 加藥控制範圍，以符合經濟加藥之原則。

(3)pH 電極校正及清洗

操作時 pH 電極須保持在水面下，以防止 pH 電極劣化，另 pH 電極須定期校正及清洗，以準確測得廢水實際 pH 值，避免浪費加藥及水質不符之情形。

(二)混凝膠凝操作

混凝膠凝處理之操作包括混凝劑之選擇及加藥濃度、快慢混操作之條件要點說明如下：

1.混凝劑之選擇及加藥濃度

混凝劑的選擇依去除物質的種類、量、膠體粒子濃度、水溫、pH、共存鹽類及懸浮物質等而定。膠體粒子少者，較難形成良好之凝聚效果，而必須添加混凝劑以促進之。

在採用無機性混凝劑時，鹼度具有重要的意義。為獲知凝聚條件，對於欲處理水應先做瓶杯試驗，以改變各種操作條件所獲得之試驗結果，做為選定混凝劑及加藥濃度之依據。同時除膠羽的大小外，對於膠羽的密度也應加以檢討。

當使用無機性混凝劑時，若添加量過多，將使膠體顆粒電位發生逆轉，再度成為安定化之狀態。使用高分子助凝劑時亦相同，

若過度加藥會使膠羽表面被高分子助凝劑包覆，而形成再穩定現象，而失去架橋作用；若形成之膠羽過度攪拌，也會導致膠羽破壞而成為微細狀態，因此適當的慢混攪拌強度選定也甚為重要。

目前較為常用混凝劑為石灰、多元氯化鋁(PACl)、鋁及鐵鹽，各種常用混凝劑之加藥範圍及適宜 pH，其中鋁鹽及鐵鹽之膠羽相當脆弱，可加入 0.2~1.0 mg/L 之長鏈陰離子性或非離子性聚合物(polymer)，可使膠羽在整個膠羽化時間內聚集在一起且變大，另廢水中如有界面活性劑存在時，易使膠體趨於穩定，將增加混凝劑加藥量。

2. 快慢混操作條件

- (1)快混：快混之目的，在於使混凝劑與廢水迅速混合，因此注藥位置、進流點、出流點皆需充分注意，以達到充分攪拌並避免發生短流現象；一般停留時間約為 1~5 min，槽內流速通常為 1.5 m/sec 以上。
- (2)慢混：慢混之目的，是要獲得接觸的機會及迅速的凝集，但不能使其破壞已形成的膠羽，慢混凝聚所形成之粒子，通常於流速在 9 cm/sec 以下時發生沉澱，流速 75 cm/sec 以上時則被破壞，故應維持流速在 15~60 cm/sec 之範圍。一般停留時間以 20~30 分鐘為宜。

3. 操作要點

- (1)控制最佳加藥量：混凝沉澱所需加藥(高分子助凝劑)量通常由瓶杯試驗(jar test)來決定最佳加藥量操作之條件，並視現場膠羽之情形調整加藥量，瓶杯試驗步驟如下：
 - A.取 200 mL 水樣於燒杯中，加少量混凝劑後，快混 1 分鐘，慢混 3 分鐘，若無膠羽產生則增加混凝劑劑量重複此步驟直到產生膠羽。

- B.用 6 個燒杯各置 1,000 mL 水樣，以 H_2SO_4 或 NaOH 調整 pH 值分別為 4.0，5.0，6.0，7.0，8.0，9.0。
- C.以步驟 A 得之混凝劑劑量分別加入各燒杯。
- D.以轉速 80~100rpm 快混 1~5 分鐘後，轉速改為 25 rpm 慢混 10~30 分鐘。
- E.停止攪拌，靜至 10~30 分鐘，取上層澄清液分析水質。
- F.選定適宜 pH 值後，重複步驟(B)、(D)、(E)，但使用不同混凝劑劑量。

觀察生成之膠羽大小、沉降速度，並分析上層澄清液以決定有效經濟之加藥量。

(2)加藥操作：

- A.高分子助凝劑不易溶解，在泡藥時須藉由機械或曝氣攪拌，以均勻溶解，另藥劑應避免存放過久而劣化失效。
- B.操作時，應視處理水量、水質及膠羽形成情形調整加藥量，並不定期量測實際加藥量，以達到最佳加藥量。
- C.控制 pH 值，以達到最佳混凝沉降之條件。

(3)觀察膠羽生成之大小及沉降速度，並適時調整操作條件。

(三)化學氧化還原處理

化學氧化或還原處理，通常運用廢水中含有無法以物理方法去除之溶解性無機有毒物質，化學氧化常用氧化劑包括液氯(chlorine)、漂白粉(NaOCl)及臭氧(O_3)；由 Oxidation(氧化)、Reduction(還原)、Potential(電位)的字母組合而成 ORP 氧化還原電位計，可用來測量物質的氧化程度、還原(抗氧化)程度以數值 mv 單位表示。

具有氧化能力者以+(正)表示。具有還原能力者以-(負)表示。通常在進行氧化還原反應時，均會監測及控制其有適當之電位，若有變化則以添加氧化或還原劑來調整其電位，來達到氧化還原之目的，追逐加藥將使水中鹽類濃度增加，造成二次污染。

廢水中常見化學氧化處理流程包括次氯酸鈉處理電鍍廢水及臭氧處理程序。臭氧處理裝置實際應用包括下列3種方式：(1)從空氣中製造、(2)由純氧製造，並將多餘的氧氣循環回到臭氧產生系統、及(3)從純氧活性污泥系統所需的純氧中製造臭氧，並將臭氧分解後所得之氧氣，再循環回活性污泥系統中。

化學還原常用還原劑包括二氧化硫、亞硫酸鹽及硫酸亞鐵等；廢水處理中通常如電鍍業鉻系廢水及氰系廢水均會以ORP為控制要項。含鉻廢水處理程序即為典型化學還原處理程序，處理過程係利用還原劑如 SO_2 、 FeSO_4 、 Na_2SO_3 、 NaHSO_3 等，將六價鉻離子還原成三價鉻離子，再利用鹼性藥劑如石灰、消石灰及氫氧化鈉等，以形成不溶性之 $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 沉澱去除。

(四)除油

廢水中常見油脂污染主要來自餐廳廚房廢水、機械加工物件清洗廢水、機械保養維修等，常見油脂去除方法包括曝氣、重力分離，其操作說明如下。

1.曝氣：利用散氣設備提供曝氣量，使廢水中油脂上浮，並利用浮渣去除裝置去除廢水中浮油。

(1)啟動鼓風機，送風量控制在 0.2 m^3 空氣量/ m^3 廢水。

(2)停留時間控制在 3 分鐘。

(3)視浮油多寡，調整浮渣去除裝置操作頻率。

2.重力分離：利用油水分離設備將油脂去除，並可藉由增設加熱設

備及吸附材料以增加油脂去除效率。

- (1)定期清理油脂分離設備。
 - (2)具有吸附材料之油脂截留槽，視吸附材料之吸附油份之情形，定期更換吸附材料。
 - (3)排水量較大時，將造成油水分離設備效果不佳，故應視排水之情形，調整操作頻率。
- 3.撇清池：撇清池用以去除較輕之上浮物質，池的形狀可為矩形或圓形，停留時間 1~15 分鐘，水深 2.5 m，附有撇清裝置，為增進效果，也可於每立方公尺廢水中通入空氣 0.35~0.75 m³，有時加入少量之氯效果更佳。

(五)調整池

調整池設置的目的主要係在減少或控制廢水水量或水質之變異現象，提供最佳之操作條件以利後續處理單元之正常操作。進一步而言，其主要功能可包括下列：

- 1.提供足夠之緩衝空間平衡有機負荷，減少生物處理單元之突增負荷。
- 2.提供適宜之 pH 控制，減少所需要之化學藥品。
- 3.降低流量對後續物理、化學及生物處理單元之衝擊，同時可提供適切之加藥量。
- 4.即使當工廠無廢水排入時，仍能提供連續之正常操作功能。
- 5.防止或平衡高濃度之毒性物質進入生物處理單元。

調整池常用調勻設施包括鼓風機、螺旋式水平攪拌機、水流噴射式攪拌機及表面曝氣攪拌機械等型式。

(六)快濾設施

過濾之原理係廢水通過濾層時，利用濾層對污水中懸浮性粒子之阻絕作用，使乾淨水通過濾層，懸浮性粒子被阻留於濾層中而被去除。過濾之功能主要為去除廢水中之懸浮性粒子及其所造成之BOD及COD，溶解性物質則無法藉過濾去除。

1.快濾設施種類

依過濾水之水流方向可分為向下流、向上流、雙向流及水平流等四種型式：

(1)向下流式

- A.污水由濾層之上部流入，在濾層內向下流達到過濾。
- B.依過濾壓力可分為重力式及壓力式。
- C.粒子的捕捉乃於濾層表面，因此過濾阻力增大，有濾程(filter run)時間減短之情況。
- D.為提升粒子的捕捉能力，多採用多層式過濾方式。

(2)向上流式

- A.藉泵所抽送的原水，自濾層下部向上部依礫石、粗砂、砂之順序過濾。
- B.粒徑較大的粒子於礫石層或粗砂層被捕捉，較微細的粒子則於砂層被捕捉。於過濾層去除全部的粒子，過濾持續時間可較長。
- C.當濾層被阻塞，濾層過濾漸不容易時，會因流入水造成濾層的流動化，所捕捉的粒子有外洩流出之問題。
- D.為防止濾層的流動，可於濾層上部設置格子狀的板或增加濾層粗砂之厚度。

(3)雙向流式

- A.水流自濾層的上部及下部兩方向流入，於過濾槽的中央將過濾水集中。上層屬向下流式，下層則為向上流式。
- B.過濾速度大，可抑制向上流式過濾濾層之膨脹。
- C.濾層的上部為無煙煤及砂，下部則為砂或砂及礫石，比向下式可捕捉粒子量大數倍。
- D.以空氣及水沖洗，與過濾同方向進行。

(4)水平流式

- A.自圓筒過濾槽的中央部流向圓周部，於其間達成過濾。
- B.與向下流或向上流比較，濾層整體具捕捉粒子的機制，且捕捉量大。
- C.本方式增加高度，可增加過濾面積，而減少設施面積。

(七)薄膜處理法

薄膜分離法可過濾水中微粒，對於水中有機物質去除率高達90%以上，並具有去除臭味及色度之功能。

薄膜分離技術是利用不同成分穿透膜速率上的差異來達到分離的效果，依膜孔徑大小可區分為微過濾(microfiltration)、超過濾(ultrafiltration)、奈米過濾(nanofiltration)、及逆滲透(reverse osmosis)，其中微過濾孔徑大小為0.1~10 μm 、超過濾孔徑大小為1~100 μm 、逆滲透膜的孔徑小於1 μm 、奈米過濾孔徑大小介於逆滲透膜及超過濾膜之間。薄膜分離主要使用薄膜為分離介質，並以壓力差為驅動力以進行固液分離。除採用橫流過濾的方式進行操作外，延長薄膜使用壽命及降低能量消耗，為該程序是否經濟可行之主要因素。

在選擇薄膜時，需先對廢水成分進行了解，如pH值、親疏水性、是否含有機溶劑或特殊成分(與膜材的化學穩定性有關)、是否

有特殊官能基(可能與膜材有特殊的吸附現象)，以及與膜孔大小選擇有關的資料，如粒子(溶質)的粒徑(或分子量)，粒子的濃度及帶電性等。同時也要確認進行廢水處理時，所使用的壓力及溫度範圍。依據操作時的溫度、壓力，配合廢水的pH值、化學成分等條件，選擇合用的材料，再由廢水中粒子的粒徑及特性選擇適當的薄膜孔徑。

應依膜透過率及過濾壓差，適當定期清洗濾膜，以維持處理效率，而造成薄膜阻塞之物質大致上可分為膠體阻塞及生物阻塞，相關說明如下：

1. 膠體阻塞

(1) 懸浮固體之阻塞

此種阻塞可由 5~10 μm 之捲筒式過濾器移除。

(2) 膜面沉積

如 CaCO_3 、 CaSO_4 、 SiO_2 沉澱等，可由前處理利用離子交換將 Ca^{2+} 等離子軟化，或調整 pH 及加入防垢劑等方式，以避免膜面沉積。

(3) 金屬氧化物之沉澱

Fe、Mn、Al 等金屬氧化物在膜面會產生沉澱物，可於前處理使用混凝、膠凝及過濾法改善。

2. 生物阻塞

微生物存在會導致壓力下降及鹽去除率下降，並可能導致膜損害，利用加氯、臭氧或 UV 方式可抑制微生物生長，以避免膜面生物阻塞，其異常現象對策如表 6.1.1-2 所示。

(八) 活性碳吸附設施

活性炭應用於廢水處理可分為兩個主要類別：當做高級廢水處理，及當做獨立的物化處理單元；在高級廢水處理過程中，活性炭被使用以吸附方式來處理不易為生物分解之有機物。在獨立物化處理單元中，原水通常需經過混凝及沉澱(或再加上過濾)後，才通過活性炭床，但未使用二級生物處理單元做為前處理步驟。

活性炭之現場操作一般可分為接觸系統與再生系統。廢水通過充滿粒狀活性炭或粉狀活性炭的容器經過足夠的接觸時間後，不純物可經由吸附而被去除。

活性炭系統通常係使用數個管柱或床體當作接觸槽，大部分的接觸管柱不是開口式混凝土重力型式，就是適用向上流式及向下流式操作的鋼鐵高壓容器。

當活性炭失去其吸附能力後，則需將接觸槽從操作中移至再生系統進行活性炭之再生。在水力反沖洗及再生過程中所失去的活性炭可以新鮮碳粒補充之。

活性炭一般可為粒狀GAC直徑約為0.8 mm或粉狀PAC兩種，其中粒狀活性炭吸附常使用於管柱型之接觸床中通常為20~40 min之接觸時間。而粉狀活性炭微粒非常細微，通常不使用於管柱中，而直接加入廢水中，以混凝及沉澱的方法加以去除，因為粉狀活性炭的再生及回收不易，在廢水處理中其使用不如粒狀活性炭普遍，

二、生物處理單元

廢水二級處理主要處理方式為生物處理，可分為好氧性處理法及厭氧性處理法兩大類，每一類又可依微生物生長方式，分為懸浮生長式及附著生長式，懸浮生長式的微生物是在水中保持懸浮狀態，附著生長式的微生物是附著於惰性介質上，又稱為固定膜式。

(一)活性污泥法

活性污泥係由好氧性細菌、原生動物等微生物、溶解性有機物及被吸附的懸浮物質所形成，具有吸附、氧化廢(污)水中的有機物，使達到安定化的機能，廢水在適當之pH值、溫度及食微比條件下，經由強制曝氣提供廢(污)水中之溶氧(1~3 mg/L)，使微生物被活化而淨化水質之方法稱為活性污泥法。

1. 活性污泥之馴養

活性污泥之形成與化學反應不同，在化學反應中，反應條件改變立刻發生不同的反應。但活性污泥之環境條件一有改變，為適應新條件，活性污泥中的微生物種類及量則徐徐發生變化，而漸次形成新條件之安定化污泥，惟其所需時間甚長。活性污泥的馴養有下列三原則：

- (1) 活性污泥之形成，其馴養先在 BOD 負荷 0.2 kg/m^3 以下之條件進行，俟 MLSS 達到 500~1,000 mg/L 時，再依設計值漸次提高。
- (2) 迴流污泥量在活性污泥馴養完成前，迴流量應大於設計量(迴流污泥量通常為全量迴流，使活性污泥在曝氣池與終沉池中累積，不排出系統外)，俟污泥形成後再以設計量操作。
- (3) 測定 SV30 及 MLSS，設定適當負荷量及操作方法，依污泥沉降狀態，維持 DO 在 1 mg/L 以上操作之。

污泥之形成方法有兩種：第一種是每日分批引入定量的廢水，連續流入並予曝氣，使污泥自然形成。第二種方法為取自相近似水質的處理廠之污泥或添加植種物質，使其形成適合處理水水質的污泥。大規模的處理廠可採用前述第一種方法馴養污泥，小規模處理廠則以後者速度較快。

2. 操作控制

活性污泥法之操作控制，目的即將活性污泥系統之運作，控制在設計值範圍內，使系統可正常運轉，並使處理水質達到最佳放流水質。而活性污泥的性狀視微生物生長情況而定，要使微生物生長得好，食物分配要適中，亦即維持適當的食微比(F/M)和污泥停留時間。F/M 和 SRT 是控制處理系統的兩個重要指標。

當環境因素控制適當時，F/M 和 SRT 有下列效能：

- (1)兩者皆為最適操作，可達放流水標準。
 - (2)兩者均可維持良好的放流水質和污泥穩定性。
 - (3)兩者均能調整生長速率、代謝和穩定有機物。
 - (4)兩者均能顯示穩定有機物和獲得沉降性佳污泥品質所需之微生物量。
 - (5)藉廢棄污泥的排除可控制適當的微生物量：
 - A.欲維持原狀——排除每天的淨增量。
 - B.欲增加——減少排棄量。
 - C.欲減少——增加排棄量。
 - (6)由於彼此相互關連，每改變一個控制參數，另一參數也跟著改變。
 - (7)控制點一旦定好，須讓其保持定常狀態，直到放流水質或污泥特性需要改變才改變。
- 3.各種活性污泥法處理方式實際操作時，須依流入水質、水量、季節及活性污泥狀態進行調整，以維持良好處理效率。

(二)生物接觸曝氣法

接觸曝氣法為提升處理機能而開發出有各種修正法，其構造種類很多，主要依接觸材的狀態而區分，接觸材固定於水中者稱

為固定床接觸曝氣法，接觸材藉水流於槽內流動者稱流動床式接觸曝氣法，而後者又可分為有向上流式及完全混合式(於曝氣槽內投入接觸材粒子)兩種。

本法又依氧的供給形態，可分為完全不供給氧者(厭氣濾床法)、供給空氣者(空氣曝氣)及供給純氧者(純氧曝氣)等，供給方法有散氣式及機械曝氣式。另固定床之曝氣有曝氣循環型、直接曝氣型及槽外曝氣型等曝氣方式。

1.操作維護

(1)曝氣狀況之監視

接觸曝氣槽內狀況之監視，包括混合液之色澤、泡沫、有無臭氣、污泥之發生狀況等。接觸曝氣槽在正常狀態下，幾乎與沉澱流出水相同，懸浮污泥量少。懸浮物質異常多且如活性污泥法之曝氣槽混合液狀態時，乃由於負荷過高或剝離之污泥輸送不易，應檢討其原因改善之。

至於曝氣狀況，則應觀測其旋回流狀況，查看散氣管有無阻塞。

(2)接觸材之反沖洗及剝離污泥之抽送

觀察槽內懸浮污泥之發生狀況及接觸材之阻塞狀況，定期反沖洗以去除過厚的附著污泥。

(3)接觸材之維護

塑膠製接觸材料應無破損之虞，但當有砂或泥土堆積於其底部而欲加清理時，就需加以注意，對於有破損之處應加更換。

(三)薄膜生物處理設施

薄膜生物處理程序是使用一組微過濾薄膜膜組或超過濾薄膜

取代傳統生物沉澱池，並與生物曝氣池連結成迴路系統，利用薄膜的分離能力阻隔微生物及懸浮顆粒的流失並提高放流水品質。通常應用於二級生物處理，具有生物處理與薄膜過濾之特性，其處理水質可達到接近三級處理之性能，為一較新之生物處理技術。通常利用超過濾或微過濾薄膜分離濃縮生物污泥，具得到水質良好之出流水及使生物反應槽內 MLSS 提高達10,000~30,000 mg/L之功效，具有佔地面積小與污泥產生量少之優點，因此土地成本與污泥處置成本均較傳統活性污泥程序少，出流水具有回收再利用之潛力，在目前水源缺乏之狀況下，本技術更具有實用價值。

MBR依其薄膜放置位置可區分為兩類，即支流式MBR及浸入式MBR，支流式MBR是將活性污泥在高速(通常大於2 m/s)流速下，用幫浦將污泥抽至管狀或平版模組中，會產生較大壓降及高透膜壓力，為典型橫流式模組。而浸入式MBR，是將中空纖維或平版模組浸沒於曝氣槽中，使處理水以真空抽取方式穿過薄膜。

MBR其投資成本、操作成本較傳統沉澱池高且薄膜積垢須定期反洗、操作技術較傳統沉澱池高。

三、污泥處理

(一)污泥脫水

脫水方法有機械脫水及自然曬乾兩種；機械脫水方法用地省、脫水時間短且不受天候影響，為其最大的優點。在選擇污泥脫水設備時須注意下列項目：

- 在符合污泥產生量之需求下，設備儘量小型化。
- 設備處理量具彈性，操作簡便。
- 設備處理效率高，污泥餅含水率低。

符合上述需求之污泥脫水設施有帶濾式脫水機或板框壓濾式脫水機，以下就脫水機之操作管理加以說明：

1. 帶壓脫水機(Belt Press)

污泥機械脫水可在短時間內處理大量污泥，其方法包括：帶壓脫水設施、離心分離設施、加壓過濾機、真空過濾機，機械脫水設備，以普遍常用帶壓脫水設施之介紹，其特性如表 6.1.1-1 所示。

表 6.1.1-1 帶壓脫水設備之特性

項目	帶壓脫水
凝聚劑使用種類及比率	高分子凝聚劑(1%)
操作特性	1.構造簡單 2.濾布過長時有蛇行問題
泥餅含水率(%)	76~78
附屬設備	較少，需面積稍大
電力消耗	少
使用情形	多

帶壓脫水設備操作如下：

(1) 帶壓脫水機之操作參數

- A. 污泥進料濃度：30,000~50,000 mg/L
- B. 高分子助凝劑加藥率：2~6 g/kg 乾污泥
- C. 固體物捕獲率：90~95%
- D. 污泥餅含水率：70~80%
- E. 污泥調理膠凝時間：> 30 Sec
- F. 輪帶速度：1~3 m/min
- G. 水污泥固體物量：150~250 kg/h

H.其餘項目如污泥進料泵流量、清洗水流量及壓力等，應依設備原製造廠之建議值操作。

- (2)首先先排除脫水機濾布上清洗水，接著調整濾布的張力及移行速度，且注意濾布是否平整應避免濾布發生皺摺，操作時應注意加入污泥的量及其過濾狀況。
- (3)污泥必需先經調理加藥才易於脫水，污泥在重力濃縮池膠羽形成狀況及沈降情形，可判斷注藥率是否適當及分離狀況是否良好；若分離不良污泥會於帶壓脫水濾布之兩側溢流出。
- (4)停止操作時應先停止供給污泥，並待濾布上之污泥全部排出後停機。若長時間停止操作應放鬆濾布的張力。

為增進帶濾式污泥脫水機之操作效果，於操作時應注意下列各點：

- A.污泥調理須有充分之接觸時間，高分子助凝劑之加量不可過多，以免阻塞濾布；亦不可過少，以免污泥由濾布邊緣漏出。
- B.調理後之污泥進入重力脫水段，應分配均勻，避免濾布產生偏移或皺摺。
- C.滾輪兩側之張力應均衡，避免濾布產生偏移或皺摺。
- D.濾布偏移時，應以濾布偏移矯正裝置修正。
- E.濾布行走速度應於正常值內。
- F.使用適當的濾布，可增加固體物截獲和脫水機的容量。
- G.增加清洗濾布頻率，可增加脫水機處理容量，污泥乾燥程度和濾布壽命。

帶壓脫水設備檢查事項如下：

- A.各滾軸之給油狀有無旋轉。

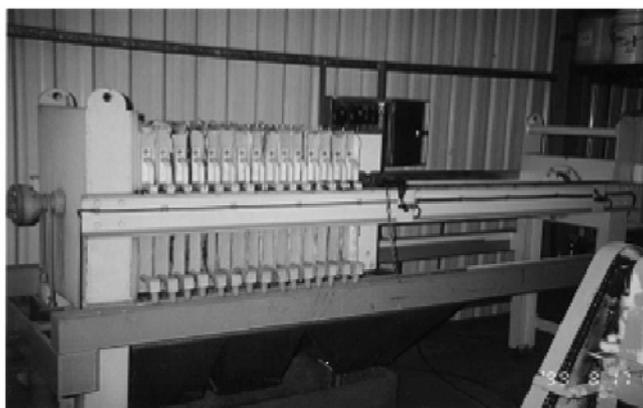
- B. 濾布清洗噴嘴之噴射狀況及清理。
- C. 濾布有無皺摺及蛇行及濾布更換時間約 5,000~8,000 小時。
- D. 集水板污泥堆積狀況及各滾軸之污泥附著狀況。
- E. 脫水污泥餅剝離用刮板之破損及渣物附著狀況。

2. 板框壓濾式脫水機

板框壓濾式脫水機為不須添加高分子聚合物之脫水機，其特性為脫水程序屬間歇操作、脫水泥餅之含水率低、單位過濾速度快之設備。

(1) 構造

板框壓濾式脫水機之構造如圖 6.1.1-1 所示，為一組濾板，濾框之內側上覆以濾布，濾板間所形成的過濾室依所需要的容量排列過濾室之數目。板框壓濾式脫水機之脫水方式有單式及複式，濾布裝置方式有固定式及移動式，濾板之擠壓方式有手動式、油壓式及電動式，過濾室之組合則有橫軸式及豎軸式。



資料來源：金屬表面處理業廢水前處理技術手冊-電鍍業/100 年 6 月

圖 6.1.1-1 板框壓濾式污泥脫水機

板框壓濾式脫水機之基本操作程序為利用污泥進料泵將污泥壓入過濾室，加壓於濾板，藉濾布的過濾作用以分離水分，操作程序如圖 6.1.1-2，說明如下：

- A. 濾框以約 150 kg/cm^2 之高油壓緊閉，污泥則以約 $4\sim6 \text{ kg/cm}^2$ 之壓力壓入。
- B. 壓榨方法一般多使用離心泵將壓力水壓入濾室內，藉壓榨設備進行壓榨，供給壓力為 $15\sim20 \text{ kg/cm}^2$ ，空氣供給設備送風時應避免自排水管散出污水。
- C. 濾框開框之同時移動濾布，使脫水泥餅剝離而移出。
- D. 濾布進行自動清洗並完成一循環之操作。一循環所需時間約 20~40 分鐘。

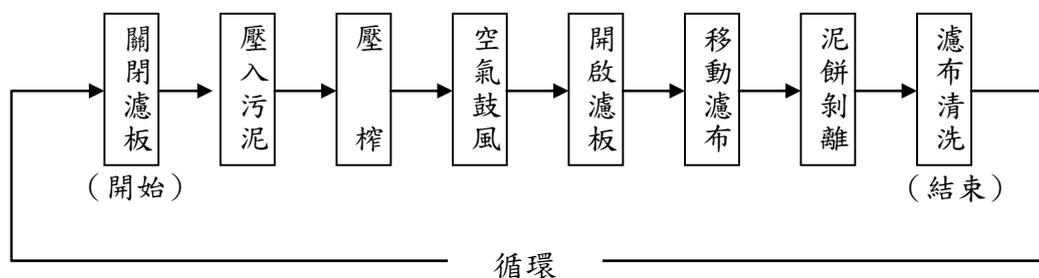


圖 6.1.1-2 板框壓濾式脫水機操作程序

(2) 附屬設備

板框壓濾式脫水機之附屬設備有污泥進料泵、壓榨用壓力水泵、送風用空壓機、濾布清水泵、油壓泵及油壓設備等。

- A. 污泥進料泵：污泥進料泵多為往復式定量泵，所需壓力較高，約 $4\sim6 \text{ kg/cm}^2$ 。
- B. 壓縮用壓力水泵及濾布清洗水泵：多為單發或多段式離心泵。
- C. 送風用空氣壓縮機：空氣壓縮機吐出壓力 7 kg/cm^2 ，必須設置壓力槽。

四、常用儀表

(一)水量監測設備

流量計一般用以量測封閉管道或明渠中的流體流量。污水處理廠常用的三種流量計：電磁流量計、超音波流量計及渦輪式流量計。

1.電磁流量計

由檢出器(或稱傳感器)及變換器(或稱轉換器)所組成。檢出器包括磁路裝置、測量導管、電極、訊號線等裝置。其檢測原理係根據檢出器依電磁感應定律作用而產生。電磁流量計在非磁性材料製成的管道內，流過的導電液體以無數連續導電圓盤，等效長度為 D 的導體做垂直於磁場方向的運動，液體圓盤切割磁力線，按電磁感應定律，產生感應電動勢 E 。

2.超音波流量計

污水處理廠常用的超音波流量計分為都卜勒效應法及傳播速度差法(包括時間差法、相位差法和頻率差法)，分別介紹如下。

(1)都卜勒超音波流量計

都卜勒超音波流量計感測元件，由變換器及換能器(一對發射器-接收器)組成。發射器連續向管路流體中的顆粒發射頻率為 $0.5\sim 10$ MHz 的超音波，其超音波束遇到流體中運動著的顆粒或者氣泡，再反射回來由接收器接收，發射信號與接收信號的都卜勒頻率偏移與流速成正比。所以一般而言都卜勒超音波流量計主要適合應用於含有氣泡或懸浮顆粒的液體。

(2)時間差法超音波流量計

超音波感測元件，由一對超音波發射器-接收器組成。在流量感測應用上，主要是利用傳導時間(transient time)之流速量測方法，分別量測上、下游感測器中，順流與逆流傳導訊號之差

異，藉以測定流量之大小與方向。

(3)使用超音波流量計應注意下列各項，才能測得正確流量。

- A.超音波流量計適用於測量任何流體流量，特別是腐蝕性、高黏度、非導電液體。
- B.換能器的安裝相當重要，應嚴格要求依說明書安裝。
- C.變換器應安裝於振動小、衝擊小、檢修方便的地點。
- D.變換器與換能器間應使用屏蔽電纜連接。
- E.流體中無氣泡或懸浮顆粒，都卜勒超音波流量計將無法使用。

3.渦輪式流量計(Rota Meter)

渦輪式流量計為機械式流量感測器，最簡單的構造為一個渦輪加上齒輪組的儀表即可測量流量，另外可使用電磁元件或光遮斷元件直接測得轉速，流速大致上與轉速成正比。渦流式流量計是利用通過測定置於流體中的渦輪轉速來反映流體流量，渦輪流量計由渦輪流量傳感器和顯示儀表所組成。顯示儀表主要用以指示、計算和控制。傳感器主要包括殼體、導流架、葉輪、軸承和電磁轉換器所組成。使用渦輪式流量計應注意下列各項，才能測得正確流量：

- (1)精確度受被測流體黏度影響較大，口徑越小則黏度影響越大。
- (2)當流體溫度變化較大時，會造成傳感器內部尺寸變化，此時應考慮進行必要修正。
- (3)儀表的使用範圍應在儀表性曲線的線性部分。
- (4)使用於污水量測時，儀表前需加裝過濾器。
- (5)渦輪流量傳感器於使用中切忌有高速氣流引入，因此需要在傳

感器前加裝消氣器。

(二)水質監測設備

1.pH計及ORP計

偵測器機能須靠日常正確管理並使其維持安定狀態，為廢水處理設施運轉正常之重要維護管理項目之一。pH計、ORP計之維護，可分成受信部、中繼部及發信部三部分，如有缺點發生時，應迅速查明究屬哪一部分出問題，並儘速修復。以下三部分所構成：

(1)指示器及記錄器—受信部。

pH計、ORP計之受信部具有接收從電極傳來電位變化信號，反映為機械性或電氣性指示之機能。由於受信部為精密儀器，在設置場所應充分考慮有關有害氣體、濕氣、振動、高溫及強電回路等保護措施。

受信部之維護方面，須核對儀器之設定值是否在正常位置，pH值、ORP值是否正確指示出來，且應依據儀器使用說明書，定期以標準液做必要的校正、調整。

(2)專用電纜(含配線盒 connector box)—中繼部。

pH計、ORP計之接續電纜如無法保持高絕緣性，即會引起指示不良，故應定期測定及檢查絕緣電阻使其保持高絕緣性。專用電纜之心線間絕緣電阻在 $105\text{ M}\Omega/100\text{ m}$ 以上。

(3)電極(含電極支架)—發信部。

pH計、ORP計之發信部由電極、支架、配線組成，經由專用電纜，液體的電位變動不停地傳達至受信部。

此為廢水處理自動控制之最重要部分，應對電極實施日常清洗維護，必要時應予修理，並利用標準液校正，發現有破損、

劣化加速，應立即更換。此外，若電極被油污附著，則將難以顯示正確值，故至少須 1 週洗淨電極一次，並用標準液校正。

清洗電極時，若油污附著量甚少，則可用脫脂棉沾清水擦拭；若油污附著量多，則用脫脂棉沾肥皂水或清潔劑擦拭後，在用水清洗；若有沉澱物附著、固著時，則將電極置於 15 倍稀釋率鹽酸中並用脫脂棉擦拭。清洗電極時，須特別注意勿損及電極前端的玻璃膜。

電極之壽命約 1 年。電極的液絡部與被檢液在電流上應相通，但因氯化鉀溶液會由此流出，故每週應補充一次氯化鉀飽和溶液。有時電極內部會殘留氯化鉀結晶或內部液體遭受污染，此時氯化鉀溶液應全部倒出，重新再加入。

2. 溶氧計

溶解於水中的游離氧俗稱溶解氧。其測定一般用薄膜法和碘量法。本節說明薄膜法之溶氧計。根據儀器不同結構原理，可分為極譜式和原電池式。

(1) 極譜式

儀器由薄膜電極和指示儀表組成。薄膜電極由工作電極和對電極組成。電極內部電解液為氯化鉀或氫氧化鉀，外部用厚度為 25~50 μm 的聚乙烯或聚四氟乙烯薄膜，使水中溶解氧滲透進入電極內部。當電極兩端加 0.5~0.8 V 電壓時，透過薄膜的溶解氧在工作電極被還原，產生與其濃度成比例的擴散電流，電流通過外部電路(指示儀器)測得，並顯示出水中溶解氧的濃度。為了消除溫度影響，電極內配置一個熱敏電阻。

(2) 原電池式

原電池式以銀為陽極，鉛為陰極，銀和鉛浸在氫氧化鉀電

解質中，外層是透氣薄膜，在銀陽極溶解氧被還原，在鉛陰極發生氧化，兩極電動勢為 0.7~0.9 V，電極的老化是一正常的現象，適當的電極保養是必要的工作，正確使用與保養可使電極的使用壽命延長。

3. 液位計

液位計一般分為直讀式與推論式兩種。直讀式液位計構造較簡單，通常用於現場指示，如：翻板式液位計。推論式則常用於遠距指示、記錄、控制，如：電容式液位計、超音波液位計。

(1) 翻板式液位計

翻板示液位計適用於需直讀且當液體具腐蝕性、毒性或其他危險性場所。磁性浮子裝在旁通連接由非磁性材料製成之筒體中，筒體外安裝磁性翻板指示器及限位開關。由極薄的磁金屬片製成的翻板，正反面塗有不同顏色，當磁性浮子經過某翻板時，在相互磁場作用下，磁性翻板翻轉，因此液面以下與液面以上的翻板呈現不同顏色，可清晰地指示出液面位置。當浮子經過限位開關安裝位置時，限位開關觸點狀態改變，發出相應液位控制訊號。

(2) 電容式液位計

電容式液位計電極置於儲存液中，當兩電極板加一電壓時，由液體構成一通路，電子通過的數目由電壓、電極面積、儲存液特性和兩極板間距決定。當液面越高，電子通過數目愈多，因此能作測量或控制之用。

(3) 超音波液位計

超音波液位計為超音波液位計之結構與測量原理。音波轉換器向感測目標液面發射音波，音波遇到目標液面產生反射，

反射音波被接收器接收，音波發射至接收所消耗之時間與其旅行之距離成比例。因音波在某一狀況下某一介質中的傳送速率為一定，故由其旅行距離可定出液面位置。一般使用時應注意下列各項，才能測得正確數值：

- A. 液位計應固定，避免隨流體漂流(尤其是浮球式液位計)。
- B. 量測污泥液位時，液位計應置於一套筒內，避免隨流體漂流。
- C. 翻板式液位計之磁性浮子於套筒內應避免堵塞，否則測值與實際值將有誤差。

(三) 泵浦及攪拌設備

1. 攪拌設備

調勻設施包括鼓風機、螺旋式水平攪拌機、水流噴射式攪拌機及表面曝氣攪拌機械等型式，而較常用的型式有離心式鼓風機及魯式鼓風機。

(1) 離心式鼓風機

離心式鼓風機又稱輪機式鼓風機，係利用葉輪葉片迴轉產生壓力，空氣由軸方向之孔眼進入葉輪，然後氣流變為徑向進入葉輪並向鼓風機外殼之內圍加速；離心式鼓風機之優點乃因其為變量定壓之機器，在進氣嘴調整即可改善容量或可在葉輪壓力側放置散氣器，如此可將額定容量降低至約 45% 且達到節省動力之效果。

(2) 魯氏鼓風機

魯氏鼓風機係藉兩個轉子以相反方向旋轉而壓縮空氣，然而兩轉子在高速旋轉時並不互相接觸，保持 0.1~0.3 mm 的間隙，轉子之間不需添加潤滑油，所以能傳送潔淨不含油氣之空氣。

2. 泵浦設備

廢水處理廠使用泵浦種類繁多，由於泵浦須輸送腐蝕性廢水、各種藥液及污泥等，有耐酸、鹼不銹鋼製者，有合成樹脂製的泛用泵浦或特殊泵浦等。處水處理廠主要使用之泵浦構造分類如表 6.1.1-2 及 6.1.1-3 所示。

表 6.1.1-2 泵浦之構造分類

泵浦分類	種類
渦捲泵浦 (離心泵浦)	利用迴轉葉片的離心力，一般採用揚液泵浦為渦漩(volute)泵浦
往復泵浦	利用活塞運動傳送液體，故輸送量較少；有高壓式泵浦、活塞泵浦、柱塞泵浦、隔膜泵浦等，適於定量注入使用(輸送量可調整)
特殊泵浦	使用於粘稠液(油、凝集劑)及污泥排泥；有齒輪泵浦、螺旋泵浦、瓣旋(roots)泵浦等

表 6.1.1-3 泵浦用途分類及使用材質

用途	主要使用泵浦	主要使用材質
藥液注入用	磁性泵浦 隔膜泵浦	SUS 27、32 合成樹脂、合成橡膠
酸廢水用	耐酸渦捲泵浦 (主要為自吸式)	SUS 27、32 硬質 PVC
鹼廢水用	耐鹼渦捲泵浦 (主要為自吸式)	鑄鐵 硬質 PVC
污泥用	瓣旋泵浦	鑄鐵
一般廢水用	汎用渦捲泵浦	鑄鐵

(1) 泵浦日常管理

泵浦如使用方法、材質選擇錯誤時，固形異物吸入會促進腐蝕、摩擦，使泵浦之輸送能力降低，故應注意正確使用。泵浦的日常管理確認項目為揚水量、壓力檢查及填料蓋、機械軸

封等之洩漏。

(2) 泵浦保養管理

泵浦的故障，除選擇錯誤以外，單純異常原因居多，但如忽略在異狀發生時即予適當判斷，迅速採取故障排除的話，會造成泵浦本體及馬達高熱，甚至導致損壞。

6.1.2 空污處理設備操作與管理

一、袋式集塵器

1. 影響濾袋壽命的因素

(1) 廢氣量

因袋式集塵器之設計集塵面積，完全決定於氣布比(A/C ratio)。若因製程的不穩定造成氣布比超過原設計值，則可導致廢氣通過濾袋表面速度加快，因而造成塵粒磨損纖維及纖維張力受損，導致濾袋易於損壞，且若含塵濃度不變時將導致濾袋壓差迅速增加，因而造成洗袋次數增加易使濾布鬆散，且因廢氣快速通過濾袋易造成小顆粒卡在纖維內層，導致濾袋阻塞。

(2) 廢氣溫度

因袋式集塵器的濾袋材質須因應製程廢氣溫度而定，若因製程的不穩定，溫度上下超過袋子所能承受最高或最低值時，纖維將增長而失去彈性，可能導致濾袋的損壞。高溫導致濾袋熔化破洞，低溫導致露點發生，尤其是溫度升降很大時，會造成一些區域性低溫，產生腐蝕現象。

(3) 水分

水分是濾袋的最大剋星，水分常會因為低溫而發生凝結水，造成濾袋堵塞，若凝結水與灰餅相結合更易導致壓差發生，造成袋子損壞，纖維失去彈性而破裂，凝結水常常發生的位置為艙蓋

口、灰斗、流體死角等地方。

(4) 廢氣化學性

廢氣中或多或少含有些酸鹼性物質，隨著這些化學物質濃度不同造成露點的改變，若一般操作啟動或停機時則常常操作在露點以下，則氣體中的 SO_2 遇水變成 H_2SO_4 ，若沾在袋子上，造成纖維溶化拉長失去彈性而破洞，若煙氣中含 HF 則會使玻璃纖維濾袋損壞。例如玻璃纖維濾袋暴露在 HF 含量200 ppm以下之 260°C 煙氣，操作可維持2年；在同溫，若 HF 達1,200 ppm，最多持續2個月。

(5) 塵粒濃度及特性塵粒濃度、粒徑分布及硬度的大小影響著洗袋頻率。若清潔頻率過高，易使織布類的濾袋組織鬆散，造成小顆粒的滲透；粒徑若過小易造成濾袋阻塞，粒徑過大的飛灰則容易磨損濾袋；硬度大的顆粒則易造成濾袋的磨損；塵粒若具有黏性則容易造成黏性的灰餅，將造成濾袋清潔的困難，嚴重時可導致濾袋阻塞失去功能；塵粒中若含有火星則可能將濾袋燒破，嚴重的可引發塵爆等問題，最好先使用旋風集塵器去除之。

(6) 濾袋所造成的壓差氣體流經濾布時，因受纖維的阻礙一定會產生壓力差，因此壓力差是濾袋狀況的指標，為維持良好的操作狀況，一定範圍的壓力差是必然的，而壓力差也因為袋濾器種類，氣布比、濾布種類不同而不同，其大約範圍為5~15公分水柱，若發生壓力差過大時則表示濾袋阻塞，若壓差過小時則表示濾袋破洞。

(7) 出灰系統

積灰斗中的灰若不即時清除，且灰斗內溫度若低於露點時，極易造成架橋結塊，阻塞出口管路，腐蝕外殼等問題，且堆在灰斗內的灰又極易受氣體的影響而飛揚，造成塵粒濃度增加。若積灰高及濾袋時更會減少集塵面積造成氣布比增加，因此灰斗內積灰需定期排放。

2. 操作程序

袋式集塵器之操作過程可分為啟動、一般操作及停機等三項，分別介紹如下：

(1) 啟動

不正常的啟動程序，會影響到許多的濾袋，同時也會減短濾袋的壽命增加運轉的成本，故啟動前應先檢查所有的橡皮封、分布器元件、煙道、螺栓、濾袋、擋板、固定濾袋元件、清潔系統、出灰系統、各儀錶功能，並更換需換的備件，檢查風車及擋板(damper)等設備是否一切正常，且人員工具完全離開後，方可蓋上艙門開始啟動風車。若袋式集塵機系統中有換袋子，新袋子一開始若受大量塵粒負載很容易磨損(因新袋子壓差最低，大量氣流流經該袋造成氣布比，增加極易磨損)。

有兩種方法可處理此問題，一是讓袋濾器由輕負載開始慢慢升載(如果允許的話)，另一是先將新濾袋預覆(precoat)一層灰(如高嶺土或石灰石粉末)，造成濾袋表面有阻力即可。

露點也是重要的考慮因素，因為啟動時很容易在露點溫度下操作，加上袋濾器因長時間停機濾袋表面會有冷凝水，若有大量灰塵進入濾袋時將在濾袋表面造成泥狀物，而塞住了濾袋，此時可用石灰石粉末預覆一層，因石灰石遇水會凝固，但當升溫則容易烘乾而流動。對於含有較黏性顆粒(如瀝青及火星)的燃氣均可使用此法以防止濾袋被阻塞燒破，若是濾袋屋之前裝設旋風集塵器，也可避免一部分這種問題的發生。

因啟動時不完全的燃燒將會產生黏性的未燃碳物質，黏在濾袋上或落在灰斗中，無形之中容易造成二次燃燒，因此，繞流(by pass)這些燃燒排氣直到穩定的燃燒後再將部分排氣導入，使濾袋預熱直到袋濾器熱平衡後，再完全導入。

脈衝式濾袋屋在啟動時應注意下列項目：

- A.待壓差升到 7.5~10 公分水柱時將進口擋板全開。
- B.在開機時不要使用計時器控制脈衝系統，待壓差達 10~12.5 公分水柱時才開始使用脈衝系統。
- C.啟動時若是為了乾燥濾袋，則除了風車不開外其餘所有附屬設備均開啟。
- D.啟動風車時擋板應全關，以避免過載。
- E.使用脈衝噴氣式洗袋設備，並保持壓差在設定值內操作，壓縮空氣越強週期越短，壓差則越小，反之壓差越大。

反洗空氣式濾袋屋在啟動時應注意下列項目：

- A.使用灰斗加熱器預熱濾袋。
- B.濾袋在沒有預熱前不可將廢氣導入。
- C.使用瓦斯或燃油鍋爐預熱煙道管。
- E.使用瓦斯或燃油鍋爐預熱濾袋。
- F.預覆濾袋表層。
- G.檢測濾袋表面確實預覆一層。

(2)一般操作

在正常情況下操作袋式集塵器，應隨時注意集塵器的出口之不透光計(若有裝設時)，並固定自動記錄長時間追蹤，若發生破袋致針孔出現時，不透光計的讀值會上升以供判別。

每個濾室的壓差也是觀察濾袋器狀況的指標，並應自動記錄各室狀況，因而判斷那一室有袋子破裂或阻塞(不過當溫度變化時也會影響壓差)。另外利用風車馬達的電流也可判斷壓差的狀況。廢氣風量、溫度則應隨時注意並自動記錄。至於粉塵粒徑分布，進口塵粒濃度、水分、化學性也應該保持記錄，所有操作記錄均

應長時間保存，以供日後參考。

每一班均應有人做例行檢查清潔系統及出灰系統，以保持良好的操作狀態。

A.脈衝噴氣式一般操作時應注意事項

- (A)在清灰時，壓差計也應跳一下，若沒反應，應拆去與大氣接通的一端，看是否有壓差，若沒則表示濾袋阻塞。
- (B)在沒有清灰時，檢查空氣儲存器內壓力有無下降，決定膜片閥有無洩漏。
- (C)在清灰時，傾聽各膜片閥及電磁閥，動作需乾脆而不延遲。
- (D)在清灰時，不透光計讀值應上升一些，但如有破洞時則應上升許多。
- (E)檢查壓縮空氣儲存槽內是否有水或油，若有則應加裝祛水器及祛油器。

B.反洗空氣式或機械震動式一般操作時應注意事項

- (A)檢查差壓計是否有阻塞，方法同脈衝噴氣式。
- (B)在振動洗袋時差壓計應為0，若仍有壓差表示擋板洩漏。
- (C)在反洗空氣式洗袋時產生逆壓造成壓差減少。
- (D)檢查預覆層系統，此系統僅應操作在清灰週期時。

(3)停機操作

停機時最應注意的是露點問題，因此沖吹(purge)濾袋以將酸性物質及水分排出袋濾器為第一優先，在停機後應先清潔所有濾袋二個週期，待濾袋表面的灰餅完全清除，再清除所有灰斗的灰，以防止灰塵再度上揚，且可避免因停機降溫而造成的結塊及人員進入造成傷害。

二、濕式洗塵器

各種不同的濕式洗塵器，在實際操作上發生的問題都不盡相同，雖然濕式洗塵器是較簡單的空污設備，但仍需適當的維護以確保長期操作壽命與順利運轉。適當的設計與設置雖然有助於集塵系統之完整性及除塵效率的提高，但是仍需做到定期的檢視與維護，以維持最佳的操作效率。不適當的操作性能可由下列各種跡象中發現：

1. 不適當的系統設計或操作。
2. 製造系統改善導致設備功能及效率無法發揮。
3. 設備之機械狀況損壞導致性能無法符合原有要求。

在除塵技術上使用濕式收集法較其他設備有更多的異常現象，其主要問題大部分是由水引起的。例如供水、排水設備的機件磨損、控制不良、水位不夠、排氣管之阻塞、腐蝕等問題。尤其是採用噴水或噴霧方式時，常會有噴嘴阻塞現象。

此外，所收集之塵粒以污泥狀態排除時需考慮污水及污泥的處理。由於本型式之設備費不高，但操作費及污水處理費用大，所以在規劃前必須事先做好詳細的評估。

應用在有害氣體吸收時所考慮的經濟因素包括有初設費的高低、維護操作費用以及使用年限等問題。而機件受到吸收液的酸鹼度影響，在馬達、風箱、噴嘴處會有腐蝕、結垢等問題。

綜上所述，濕式洗塵器中發生的問題不外乎腐蝕、固體微粒的堆積、機件磨損以及噴嘴的堵塞等。為減少廢液量常將洗滌液循環使用，因此阻塞的原因除了由於噴嘴、管線不適當以外，洗滌液中固體含量太高、不良的操作與設計等都是問題的來源。這個現象可以由噴出液滴的形式觀察得知，另外液體量減少也是一種徵兆。所以應該選用適當的噴嘴及管線，並且經常清洗，同時適時地排放廢液。

固體微粒的堆積係導因於物理沉澱或是化學反應所產生，一般發生在紊流狀況較低的地方，如管線、導管或偵測儀器的管線上。可以

增加氣液比、控制 pH 以及添加化學藥劑等方式來改善操作狀況。當氣體中含有酸性物質或電解質時最易發生腐蝕，可用 pH 控制或選用適當材質來改善。若氣體中含有易引起磨擦的物質，當氣體在紊流狀態中或突然改變流動方向時易產生磨擦而磨損機件。這個現象常發生在文氏喉管、靠近離心收集氣進口處的壁面以及彎管等地方，故應使用預處理設備和彎度較小的導管。此外，風車和泵等旋轉設備亦較易磨損。

1.操作前檢查

濕式洗塵器安裝完成後，系統正式運轉前各單元設備應進行下列各項檢查：

- (1)洗滌塔內應先注滿清水後再予以排放，以清除洗滌塔內的髒物或其他雜物。
- (2)清除管線及風車內部的積垢或雜物。
- (3)用手撥動風車的葉片，以確定葉片可正常轉動，且不會觸及風車進口或機殼。
- (4)檢查風車皮帶的張力，若太鬆弛應立即調整至適當的緊度；另注意皮帶如磨損，應即更換。
- (5)啟動風車電源開關，以確定風車葉片轉動正常。
- (6)檢查泵循環是否順暢及泵馬達的對心準確度。
- (7)若泵具有填料箱封函，應檢查其確實已安裝密封函。
- (8)用手轉動的轉軸，確定所有轉動部分皆可正常轉動。
- (9)拆除泵的連接套筒，並輕觸按鈕短暫啟動泵以確定葉片可以正常轉動，若轉動方向相反，泵可能造成嚴重損壞。當確定一切轉動正常後，重新接回連接套筒。
- (10)檢查泵軸承以確定已加注潤滑油。
- (11)若泵使用機械軸封，需加潤滑劑，或連續的以清水沖洗。故水量需調整至適當需要量。

- (12)關閉洗滌塔的排放閥，並於洗滌塔內注滿清水，直至注入水開始自溢流連接管流出。
- (13)調整連續進入洗滌塔的補充水量。
- (14)開啟循環管線上的所有閥門，並開啟循環泵。這時洗滌塔內的水量會稍微下降，因為部分水會流入管線內或填充料內。這是正常現象，當操作幾分鐘後，水位又會回升至溢流位置。
- (15)利用循環管線上的節流閥設定循環水量。
- (16)若有洩漏，應檢查循環管上及法蘭迫緊處是否有洩漏處。
- (17)觀察洗滌塔內的噴霧或分流板，以確定水量能均勻分布，若有分布不均的現象，應予以調整。
- (18)關閉洗滌塔的維修門，並打開系統上所有的閥門，但風車進口端的擋板仍應保持關閉，啟動風車然後逐漸打開進口擋板至設計的需求風量。
- (19)調整系統擋板使系統風量符合設計的需求風量。
- (20)檢查風車的過量噪音與振動原因，並予以調整維護，以避免造成對心偏離。
- (21)檢查所有儀器並記錄系統的功能。
- (22)啟動循環泵及風車運轉 2 小時後停機，並排放洗滌塔內的洗滌水。
- (23)重新檢查噴霧嘴及過濾器有無阻塞，並予以清除。

2. 啟動與停機

濕式洗塵器之功能可能為吸收或洗塵，其啟動之程序各不相同，停機的程序則相同，分別如下所述：

- (1)吸收功能之正常啟動程序
 - A.關閉水槽排水閥並注滿至溢流位置為止。
 - B.打開補助閥。其水量已於事先設定好。

C.啟動泵，預先設定好節流閥。泵轉動 2~3 分鐘後再啟動風車。

一般均先啟動泵再開風車，系統關閉時則先關風車再關泵。

D.啟動化學注料系統，注意藥桶要有藥品。

E.檢查所有的液體流量、氣體流量、壓力及壓力之減降大小。

(2)除塵功能之正常啟動程序

A.由正常操作控制注入液體至預先設定的量。

B.啟動所有泵的軸封及風車冷卻水的液體控制系統。

C.關閉所有液體洩漏後啟動循環泵。

D.調整液體流量到設計值。

E.檢查系統跳脫裝置並依初設程序啟動洗塵系統。

F.啟動風車並檢查振動狀況。若有進氣調節閥，在風車轉速正常前勿開啟閥門。

G.檢查重要操作變數(如氣體飽和溫度、液體流量、液面高度、風車壓力變化、管線壓力減降及洗滌器整體壓力減降)。

H.緩慢開啟排放系統以便慢慢地提高污泥濃度。測定最終濃度作為查核放流率計算之用。

I.調整補充水流量以維持液體需要量。

(3)正常停機

A.關掉風車及風車冷卻系統並自洗滌系統分離出來。

B.維持液體系統運轉一陣子，以冷卻洗滌器並可藉以降低污泥濃度。

C.關閉補充水系統，然後讓系統的水正常洩漏。

D.當液面降至最小水位時(泵會有噪音發生)，立即關閉泵，然後關閉泵軸封水。

E.打開系統的人孔，洩氣閥及其他排水孔口。若有爆炸之虞時需先以惰性氣體淋洗一次。在任何狀況下若欲進入內部檢查前均須以空氣淋洗。

3.濕式洗塵器之維護

濕式洗塵器啟動後系統循環水量及風量應重新檢查其是否符合系統的設計要求。連續操作二週後，應停機檢查噴霧嘴有無堵塞及重新安排填充料之高度是否維持設計之要求。通常這些現象於啟動的前二週最容易發生。在正常操作下，每天應檢查循環水至分流系統的情形及補充水量。若有使用化學藥劑，每天應檢查藥劑的適量填充量。並且每天紀錄各儀錶的讀數，如壓力計、溫度計、流量計等，且分析有無異常狀況。

下列項目係針對一般洗塵器檢視所發現的典型問題來源，除須定期檢查外，並得依手冊上的建議做適當的保養工作。

- (1)在氣流下游及液體流速加速度的地方經常發現嚴重的磨蝕。
- (2)檢查洗塵器內表面的腐蝕狀況。(一至三個月一次)
- (3)檢查是否有過量的堆積現象，特別是在乾/濕交界區。(三個月到半年)
- (4)檢查是否有過量的結垢現象，這可能受到諸如溫度、pH、灰塵化學組成或補充水之化學成分，迴流率降低、負荷增加或固粒子去除系統故障等操作程序改變之影響。
- (5)檢查噴嘴是否結垢，有雜質堆積或者損壞。
- (6)檢查沖刷管線是否有堆積現象，可預留清潔孔管線在不停機狀況下進行清理的工作。(一到三個月一次)
- (7)檢查管線及容器內之腐蝕及洩漏現象。特別是有防蝕襯裏的管線，應預防有老化衰退的現象。(一至三個月一次)
- (8)檢查除液滴器的操作。液滴的形成可能由於氣流量過大、除液滴器阻塞或出風口的冷凝作用。應檢查支撐結構並順利的操作。

(三個月到半年一次)

- (9)檢查泵的磨蝕狀況、軸封水、墊片及操作平滑性。(每週一次)
- (10)檢查節流閥及閥聯接點的磨蝕及積垢現象。(每月一次)
- (11)檢查風車潤滑、風車軸承冷卻系統、皮帶磨蝕及張力和導翼的腐蝕/沖蝕程度。(每週一次)
- (12)檢視在主要放流狀況下之內表面及槽支撐狀況。(半年一次)
- (13)檢視所有程序及控制管線、導風管及外接頭的漏水現象。(半年一次)
- (14)檢視所有儀器的操作設定狀況。
- (15)檢視和天氣有關的問題，如冰凍時對管線須有適當的保護或加熱程序。

濕式洗塵器之功能查核與故障緊急應變整備正常操作注意事項：
濕式洗塵器之操作問題包括固體顆粒堆積、機件磨損、腐蝕、噴霧嘴堵塞、液體循環不順暢或桶槽洩出泡沫等問題：

- (1)濕區及乾區形成：濕式洗塵器可能設計不當而造成乾區，致使含塵氣流與無法洗滌之內壁接觸而堆積。可延長導管至洗塵器內或使塔內壁保持完全濕潤。
- (2)噴嘴堵塞：堵塞原因包括噴嘴選擇不當、噴嘴口大小、洗滌液太濃、接頭設計不良及原操作不正常、化學藥劑結垢及機件無法操作等問題。
- (3)流量不穩定：受外界壓力影響導致流量不穩定，可以擋板及節流閥調整適當之流量解決。
- (4)積垢：通常由於洗滌液之化學成分、溶解度、溫度及 pH 值等問題影響而內壁形成積垢現象。除非積垢產生於操作使用處，否則並無影響。結構可以在設計及程序上予以改良。
- (5)局部腐蝕：腐蝕是降低洗滌塔操作壽命之主要因素。平常應避免凹槽處積水，同時有粉塵附著處應予以充分沖洗。

- (6)儀器配件阻塞：儀器配件阻塞情形是系統上最嚴重的問題，因此通常以特殊之設計配件與接頭取代一般之標準配備。
- (7)槽體產生漩渦：漩渦常發生在旋風式的洗塵器。洗滌液形成漩渦會造成嚴重的磨蝕及排水問題，可以反渦流及大量排水方式解決。
- (8)小液滴：液滴分離器操作不當時易產生小液滴。幾乎所有洗塵器都有這樣的問題，只能以適量之設計使降低至最小程度。
- (9)霧化：排水不當與流量不規則會在液滴去除裝置上方發生再霧化作用。同時會發生於高流速煙囪或因配件突出而產生高速氣流之處。
- (10)液氣分布不良：任何洗塵器均需有適當的氣液分布。不良之原因可能有隔板設計不良、粉塵堆積、機件故障、腐蝕、接頭鬆脫或設計不當。
- (11)熱衝擊效應：當熱氣流遇到冷的洗滌液時會產生熱衝擊效應，適當之設計使溫度逐漸降低勿急速改變，可以分類冷卻方向解決。
- (12)阻封損失：在濕式洗塵器接頭處通常以液體為阻封，阻封應於冷卻器頂部或溢流接口處。為避免氣體的洩漏必須做好阻封，阻封效應不良時常造成堵塞及機件故障。
- (13)磨蝕：除非是局部集中的腐蝕否則並無影響。不幸的是濕式洗塵器磨蝕部分通常在操作位置。故只有經常更換磨蝕嚴重之處，高粉塵濃度常引起嚴重的磨蝕。
- (14)振動：濕式洗塵器之風車及泵經常發生振動問題，通常以監測器控制及經常地做防止振動方面之保養。

三、吸收防制設備之操作維護

表 6.1.1-4 吸收設備維護、保養及功能查核要點

設施	維護保養	功能查核
機件浸蝕及(或)腐蝕	1.採用抗浸蝕及腐蝕之材料或加以塗裝 2.避免殘留液體之存在 3.清除積垢	機件是否磨損(浸蝕或腐蝕)
噴嘴阻塞導致泵送異常、化學積垢密封及機械失效	1.可擇用開口較大之噴嘴 2.加強沈殿池之功能以減少吸收液之懸浮固體含量 3.清潔阻塞	1.噴嘴是否阻塞或損壞 2.是否積垢
塔內壁積垢	適當的製程控制或調整吸收液加以抑制	塔內面是否腐蝕積塵
水槽漩渦導致異常磨損及洩漏	安裝防止漩渦板或快速連續洩放	管路及容器是否腐蝕或洩漏
氣液流動不平衡	調整閥門或緩衝器流量	氣液分離器結構支架是否固定良好、氣體流率是否過高
氣液分離不佳以致排氣有水霧	改進或清潔除霧器、降低氣流流率	出口導管是否有凝結現象
氣體洩漏	加強以封膠將管路接合處密封、修理破裂或洩漏之管路以防止洩漏	管路及容器是否腐蝕或洩漏
壓力降過低、過高	1.檢查氣流流率是否過低、調整風車驅動皮帶及速度、清潔氣體入口管道、檢查入口靜壓是否過低 2.檢查氣流流率是否過高、調整風車驅動皮帶及速度、清潔吸收塔	
泵浦與風車振動	經由調整及定期保養加以控制	1.泵浦是否磨損或密封不佳 2.風車之潤滑液及軸承冷卻液是否不足皮帶是否磨損及葉輪是否浸蝕或腐蝕
熱震	使用多重冷卻界面將熱氣逐漸冷卻，而非突然改變溫度	

四、氮氧化物設備之操作維護

表 6.1.1-5 氮氧化物設備維護、保養及功能查核要點

設施	維護保養	功能查核
選擇性觸媒還原法	1.防止 NH ₃ 外洩 2.避免管線腐蝕 3.避免觸媒失效 4.避免觸媒堵塞	1.NH ₃ 添加量 2.氧氣含量 3.觸媒是否須更新 4.溫度控制
選擇性非觸媒還原法	1.防止 NH ₃ 外洩 2.避免管線腐蝕	1.NH ₃ 添加量 2.氧氣含量 3.混合程度 4.溫度控制

五、硫氧化物設備之操作維護

表 6.1.1-6 硫氧化物設備維護、保養及功能查核要點

設施	維護保養	功能查核
濕式除酸法	1.洗滌塔定期檢視及保養 2.防止噴嘴及除霧器阻塞 3.防止風車腐蝕 4.填充材定期清洗 5.管線防止沉積	1.塔本體是否有腐蝕 2.噴嘴及除霧器有無磨損、阻塞 3.填充材及管線清理
半乾式除酸法	1.洗滌塔定期檢視及保養 2.防止噴嘴磨損、腐蝕、阻塞 3.霧化器是否磨損、阻塞、腐蝕	1.塔本體是否有腐蝕 2.噴嘴及霧化器有無磨損、阻塞
乾式除酸法	1.洗滌塔定期檢視及保養 2.防止噴嘴磨損、腐蝕、阻塞 3.霧化器是否磨損、阻塞、腐蝕	1.塔本體是否有腐蝕 2.噴嘴及霧化器有無磨損、阻塞

6.2 處理單元之異常對策

6.2.1 水污染處理單元之異常對策

一、物化處理單元

(一)凝膠凝處理

化學沉降/凝膠沉澱效果受進流廢水之濃度、pH及膠羽型態等之影響，且與凝膠劑、助凝劑之添加方式、藥劑的性質、濃度亦

有相當大的關係。為使化學沉降/混凝維持在穩定條件下操作，必須注意各項設施的維護管理工作，相關的維護檢查項目示於表 6.2.1-1。

表 6.2.1-1 化學沉降/混凝沉澱設施之維護檢查項目

單元	日常檢查項目	週/月檢查項目
快混槽	1. 混凝劑使用量(消耗量)及藥劑之補充 2. 混凝劑濃度 3. 混凝劑注入量之檢核 4. pH 值檢查 5. 攪拌狀態的檢查(是否維持適當攪拌強度)	1. 加藥泵、電磁閥之檢查(是否正常操作、洩漏等) 2. 加藥管線阻塞、破壞之檢查、清洗或更換 3. 藥液槽之檢查、清洗 4. 攪拌機翼板之檢查，附著物之去除或補修 5. 漏電之檢查及修護
慢混槽	1. 助凝劑使用量(消耗量)及藥劑之補充 2. 助凝劑濃度 3. 助凝劑注入量之檢核 4. 膠羽生成狀態的檢查(膠羽之大小及形狀等) 5. 攪拌狀態的檢查(是否維持適當攪拌強度)	1. 加藥泵、電磁閥之檢查(是否正常操作、洩漏等) 2. 加藥管線阻塞、破壞之檢查、清洗或更換 3. 藥液槽之檢查、清洗 4. 攪拌機翼板之檢查，附著物之去除或補修 5. 漏電之檢查及修護
沉澱池	1. 流入水量之校核 2. 沉澱池內水流是否有異常現象(如偏向流、捲升流等) 3. 溢流堰之水平狀況(出水是否均勻、污泥有無流出) 4. 有無污泥上浮或流出(水量過大、膠羽形成不良、污泥上浮) 5. 有無污泥異常堆積 6. 刮泥機是否正常運轉(有無異音) 7. 污泥泵有無異常(壓力計及電流值校核)	1. 污泥泵阻塞、磨損之檢查 2. 污泥泵排泥量之校核 3. 刮泥機之磨損、彎折及腐蝕情形 4. 流出渠浮渣及沉積物之清掃 5. 浮渣及浮泥之去除 6. 溢流堰之清掃及水平調整 7. 補注油料(鏈條、軸承、馬達、減速機等)

資料來源：金屬表面處理業廢水前處理技術手冊-電鍍業/100 年 6 月

(二)快濾系統

過濾系統為增進過濾之操作效果，於操作時應注意下列各點。

1. 過濾進流泵之啟動／停止次數，不可太頻繁，一般最短抽水循環時間(兩次啟動或兩次停止之間隔時間)為 15 分鐘。
2. 水頭損失達設定值應即進行反沖洗。最好每天反沖洗一次。
3. 反沖洗時，注意砂層膨脹應達 20~30%。
4. 反沖洗時若發生砂層流失，應定時補砂。
5. 過濾進流泵應交替運轉使用，避免不常使用之備用泵於需要啟動時無法使用。
6. 若砂濾無法達成去除微細粒子之目的，則應於砂濾單元前加混凝系統以增加處理效果。

過濾系統操作過程之異常現象及對策，整理如表6.2.1-2所示。

表 6.2.1-2 過濾系統異常現象及對策

異常內容	原因	對策
1. 控制盤啟動後，過濾進流泵或反沖洗泵不運轉	1a. 電力終止 1b. PLC(Programmable Logic -Controller)故障 1c. 過濾進流池或反沖洗水池低液位	1a. 檢查電力設施 1b. 檢修PLC(Programmable Logic -Controller) 1c. 檢查水池液位
2. 過濾進流泵或反沖洗泵啟動後，過濾桶之水頭損失不變	2a. 蓄水槽低液位 2b. 過濾進流泵或反沖洗泵進、出口端閘未開 2c. 過濾桶壓力感測器故障 2d. 管線破裂	2a. 檢查水池液位 2b. 開啟過濾進流泵或反沖洗泵進、出口端閘 2c. 檢修過濾桶壓力感測器 2d. 檢修管線系統
3. 過濾進流泵或反沖洗泵啟動／停止頻繁	3a. 過濾桶之水頭損失設定值不正確 3b. PLC(Programmable Logic -Controller)故障	3a. 重新設定過濾桶之水頭損失設定值 3b. 檢修PLC(Programmable Logic -Controller)
4. 過濾進流泵或反沖洗泵不依水頭損失設定值高點／低點進行啟動／停止之動作	4a. 過濾桶壓力感測器之訊號傳送故障 4b. PLC(Programmable Logic -Controller)故障	4a. 檢修過濾桶壓力感測器之訊號傳送 4b. 檢修PLC(Programmable Logic -Controller)

異常內容	原因	對策
5. 低液位時，過濾進流泵或反沖洗泵不停止	5a. 液位計故障 5b. PLC(Programmable Logic -Controller)故障	5a. 檢修液位計 5b. 檢修PLC(Programmable Logic -Controller)
6. 蜂鳴器不作動	6a. 液位計故障 6b. PLC(Programmable Logic -Controller)故障 6c. 蜂鳴器故障	6a. 檢修液位計 6b. 檢修PLC(Programmable Logic -Controller) 6c. 檢修蜂鳴器

資料來源：廢水處理單元操作維護-廢水處理專責人員訓練教材/行政院環保署訓練所編著/97年

(三) 薄膜過濾

微生物存在會導致壓力下降及鹽去除率下降，並可能導致膜損害，利用加氯、臭氧或UV方式可抑制微生物生長，以避免膜面生物阻塞，其異常現象對策如表6.2.1-3所示。

表 6.2.1-3 膜分離之異常現象及對策

現象	原因	對策
膜分離過濾阻力急速上升	流入水水質惡化	1. 膜分離為藉壓力差進行過濾，容易受流入水質所影響，而應先以過篩、砂濾做前處理。 2. 量測並記錄流入水濁度，並監視水質變動。
	洗淨不足	1. 膜於持續進行過濾後，若污染質不被去除，將增加過濾阻力，應定期以藥品化學洗淨膜面附著物質。 2. 洗淨不足時，過濾阻力容易上升，而必須更換新膜。

資料來源：廢水處理單元操作維護-廢水處理專責人員訓練教材/行政院環保署訓練所編著/97年

二、生物處理單元

活性污泥處理如有異常會立即影響處理水水質，因之，應即刻探究其原因並採取對策，異常之主要原因大都由於流入水量、水質的變動、處理設施及操作維護不當所致。

活性污泥法異常現象對策如表 6.2.1-4 所示；絲狀微生物膨化原因及防治如表 6.2.1-5 所示。

表 6.2.1-4 活性污泥異常現象之主要原因及其對策

項目	區分	異常之現象	原因	對策	備註
1.	變色	變黑 變白	活性污泥腐敗發生 絲狀菌	參照第 7 項 參照第 3 項	正常活性污泥 為灰褐色-褐色
2.	膠羽輕	(1)污泥呈灰黑 色，BOD 低 (2)淡棕色，不能沉 降或上升，BOD 高	(1)污泥老化 (2) A.污泥未成熟 B.水力負荷過 高 C.設備不正常	(1)增加排泥 (2) A.增加迴流污泥 B.調整或減低 C.檢查溢流堰整流 設備是否正常， 調整之	上澄液中有細 小顆粒
3.	膨化	(1)活性污泥變 白，不調和狀 (2)沉澱、分離性不 良、不壓密 (3)SVI 在200 以 上 (4)活注污泥由沈 澱池溢出，處理 水水質不良	(1)污泥抽除不足致 zooglea 菌異常 繁殖 (2)下述原因致絲狀 菌異常繁殖 A.曝氣量不足 B.MLSS濃度過高 或過低 C.流入水BOD過高 D.流入水含有害物 質 E.pH 降低	(1)排泥 (2)探究左列原因擬 訂對策，為提早 恢復正常可採下 列措施 A.投入凝聚劑(硫酸 錳、氯化亞鐵、 粘土、矽藻土等) B.添加氯鹽、次氯酸 鈉、矽藻土等 C.添加過氧化氫	以顯微鏡確認 其原因為(1)或 (2)。 若為原因(2)以 其恢復較遲，有 時甚至需要換 污泥
4.	上浮	污泥浮於沉澱池 上面流出	(1)脫氮現象 (2)活性污泥之腐 敗 (3)膨化 (4)解體 (5)沉澱池的缺陷 (底部、刮泥機等) (6)流量變化太大	(1) A.控制曝氣風量 B.增加迴流污泥 量、排泥 (2)參照第7 項 (3)參照第3 項 (4)參照第6 項 (5)沉澱池改造、 調整 (6)設置流量調整 槽	(1)時pH 下降 上浮污泥 附著氣泡 (2)為發生於尖 峰流量
5.	混濁	處理水懸浮物濃 度高，水色混濁	(1) Protozoa增殖，毒 性物質流入 (2) 無Protozoa， 主要為F/M 高 (3)過度曝氣	(1)預先處理控制 (2)減少流量或增 加迴流污泥 (3)減少送風量	通常為暫時 性，原因去除即 可恢復
6.	解體	污泥被破壞成微	(1)過度曝氣	(1)控制曝氣量，增	(2) 之特定微

項目	區分	異常之現象	原因	對策	備註
		細的膠羽現象	A.曝氣時間過長 過份氧化之狀態 B. BOD負荷過低 (2)特定微生物異常繁殖 (3)有害物質流入 (4)機械性的破損	加流入水量使負荷適當。 (2)增加迴流污泥量 (3)管制有害物質流入 (4)減少攪拌強度	生物為Amoeba, 小型鞭毛蟲等
7.	腐敗	污泥發生腐敗，變黑及不快臭氣	(1)氧量不足 A.曝氣量不足 B.曝氣設備故障或停電 (2)沉澱池內長期貯積污泥 (3)曝氣槽、沉澱池之構造有缺陷	(1) 停止污水流入，增加曝氣依恢復程度調節流入水量 (2)增加迴流污泥量，加強排泥 (3)改善構造物	停止曝氣在夏天1天，冬天2天以上就發生腐敗
8.	發泡	曝氣槽顯著發泡	(1)污水基質之原因 (2)一般清潔劑多量流入	(1)提高MLSS 濃度操作 (2)添加消泡劑 (3)設置消泡設備	
9.	異常 pH	pH 下降	(1)進行硝化 (2)混入酸性物質	(1) A.維持適當 MLSS 濃度 B. 控制曝氣量 (放風、分批曝氣等) C 增加迴流污泥量 (2)管制流入水水質	

資料來源：廢水處理單元操作維護-廢水處理專責人員訓練教材/行政院環保署訓練所編著/97年

表 6.2.1-5 絲狀微生物膨化原因及防治

原因	防治方法
醱類含量高(BOD過高) 缺乏營養鹽(N,P 等)	加氯、雙氧水、臭氧，設選種槽補充需要的營養鹽
硫化物含量高(有毒物質流入)	用曝氣或沈積法去除硫化物
低溶氧	改善曝氣系統
低 pH	加鹼，如消石灰或氫氧化鈉等
曝氣池中基質濃度低 高食微比(MLSS 過低)	採用栓柱流反應槽或設選種槽設穩定槽，將迴流污泥先曝氣3~6小時後再進曝氣池
低食微比(MLSS 過高)	採用栓柱流反應槽或設選種槽
溫度不適當	加溫

資料來源：廢水處理單元操作維護-廢水處理專責人員訓練教材/行政院環保署訓練所編著/97 年

三、污泥處理

板框壓濾式脫水機與帶濾式脫水機為工業廢水處理流程最常使用之機械脫水方式，以下針對其操作對策加以說明。

(一)運轉注意事項

板框壓濾式脫水機運轉時應注意事項包括：

1. 污泥進料泵、油壓裝置等附屬設備之操作機能皆應維持正常狀態，任何一項不正常就無法脫水。
2. 濾板的移動是否順暢、油壓是否正常、濾布有否皺摺皆應加以檢查；濾板若未完全緊閉，則污泥有散出之虞。
3. 須注意污泥進料泵壓力計之指示，若壓力上升，則污泥供給系統阻塞；若壓力下降，則污泥供給系統漏失污泥。此外，吐出壓力及濾液量之變化，皆應加以記錄，將對濾布阻塞及機器異常的發現甚有幫助。
4. 送風機相關之閥是否正常動作，並注意空氣、污泥、濾液有否散出。

5. 確認壓榨壓力是否正常，壓榨時壓榨用閥應完全緊閉，否則污泥會發生逆流，造成管體阻塞。
6. 確認濾液開啟時各濾室剝離之脫水泥餅剝離狀況是否一樣。
7. 脫水泥餅之惡化，或有濾室未產出脫水泥餅，都應停止操作並調查原因。
8. 注意濾布的移動(移動式者)及濾布清洗狀況是否正常。
9. 板框壓濾式脫水機運轉中，應能辨別其正常音及異音，並注意有無異音。

(二) 日常檢查

板框壓濾式脫水機有各種型式，依製造廠牌其構造亦略異。檢查作業應依各製造廠之說明書為之。日常檢查主要項目包括：

1. 各主要部分給油狀況的檢查，尤其以濾板關閉柱體及驅動部為重點。
2. 油壓裝置之過濾器之檢查以及油面的確認。
3. 開關裝置、壓力計之檢測器及量測器之操作是否正常。
4. 各種閥、配管有無漏損。
5. 供給污泥壓力、壓榨壓力、油壓壓力、濾布清洗壓力、過濾時間(一循環)等應經常注意，以防止發生異常。
6. 機體及各零件之螺栓有無鬆脫。

(三) 定期檢查

除日常的檢查項目外，還應進行定期檢查，主要項目有：

1. 濾布應定期清洗和換新，板框壓濾式脫水機濾布必須取下才能酸洗。

2. 污泥進料管及液溝常易附著泥垢，故應定期清理。

3. 由於濾板為高壓緊閉，故應注意濾板有無裂傷。若長時間使用，則框體會變形，故應加以注意、檢查。

(四) 異常時的對策

板框壓濾式脫水機異常原因及對策如表6.2.1-6。帶濾式污泥脫水機操作過程產生之異常現象及對策，整理如表6.2.1-7所示。

表 6.2.1-6 板框壓濾式脫水機異常主要原因及對策

異常現象	可能原因	對策
污泥自濾板漏出	● 緊閉壓力不足	● 調查油壓裝置的壓力並調整之
	● 襯墊損傷	● 更換襯墊
	● 濾布折疊或破損	● 修正濾布或更換
	● 濾板間被異物夾住	● 去除異物
脫水泥餅不形成	● 污泥壓入泵阻塞	● 清理污泥壓入泵
	● 供泥管阻塞	● 清理供泥管
	● 管內有空氣混入	● 排除空氣
脫水泥餅過薄	● 污泥壓入泵之壓力降低	● 修理污泥壓入泵
	● 濾布阻塞	● 清理濾布或更換
	● 濾液管阻塞	● 清洗濾板或濾液管
	● 供給污泥之性質惡化	● 調查供給污泥濃度及注藥劑並調整
	● 過濾時間不足	● 增長過濾時間
部分濾室形成軟弱泥餅	● 壓紋齒破損	● 更換紋齒
脫水泥餅含水率不高	● 壓榨壓力下降	● 調查壓入泵、管及閥之漏失。並補修之
	● 供給壓力降低	● 調查空氣壓並調查之
	● 閥類操作不良	● 補修閥或更換
	● 濾布阻塞	● 清洗濾布或更換
	● 供給污泥的性質惡化	● 調整供給污泥濃度及注藥率

資料來源：金屬表面處理業廢水前處理技術手冊-電鍍業/100年6月

表 6.2.1-7 帶濾式污泥脫水機異常對策

異常內容	原因	對策
1. 滾軸旋轉不良	1a.軸承磨損 1b.潤滑油不足 1c.滾軸彎曲	1a.更換新軸承 1b.檢查及補給潤滑油 1c.更換或修正滾軸
2. 污泥自兩側溢流	2a.污泥供給量過多 2b.凝聚混合不良 2c.藥劑添加率不適當	2a.調整污泥量 2b.檢查藥劑添加裝置 2c.檢查藥劑濃度
3. 濾布蛇行	3a.蛇行修正裝置不良 3b.污泥未均勻分布 3c.滾軸磨損 3d.濾布發生皺摺	3a.檢查及調整濾布 3b.檢查污泥分配裝置 3c.更換或修正滾軸 3d.更換或修正濾布
4. 脫水泥餅剝離不良	4a.濾布阻塞 4b.刮板磨耗 4c.濾布移行速度過快 4d.脫水泥餅過薄	4a.清理或更換濾布 4b.更換刮板 4c.調整濾布 4d.調整污泥濃度及濾布移行速度
5. 集水板阻塞	5a.集水板上堆積污泥	5a.清理污泥

資料來源：廢水處理單元操作維護-廢水處理專責人員訓練教材/行政院環保署訓練所編著/97年

四、常用儀表

(一)水量監測設備

1. 電磁流量計

電磁流量計，由檢出器(或稱傳感器)及變換器(或稱轉換器)所組成。檢出器包括磁路裝置、測量導管、電極、訊號線等裝置。其檢測原理係根據檢出器依電磁感應定律作用而產生。則常見的故障及排除方法如表 6.2.1-8 內容所示。

表 6.2.1-8 電磁流量計常見的故障與排除

故障狀況	排除方法
1. 有流量，儀表無指示	1a. 找出斷路或短路故障點，重新接續 1b. 檢查是否有激磁電流 1c. 流量計按流向安裝，並正確接線
2. 無流量，儀表有指示	2a. 零位偏高，或接地不良 2b. 干擾信號過大，排除干擾
3. 儀表指示值不穩	3a. 消除流體中氣泡 3b. 如波形有畸變，排除干擾
4. 儀表使用一段時間後，準確度降低	4a. 管道內壁，結垢導致電極短路 4b. 襯裡絕緣不良，電極短路

資料來源：廢水處理單元操作維護-廢水處理專責人員訓練教材/行政院環保署訓練所編著/97年

2. 超音波流量計

使用超音波流量計應注意下列各項，才能測得正確流量。

- (1) 超音波流量計適用於測量任何流體流量，特別是腐蝕性、高黏度、非導電液體。
- (2) 換能器的安裝相當重要，應嚴格要求依說明書安裝。
- (3) 變換器應安裝於振動小、衝擊小、檢修方便的地點。
- (4) 變換器與換能器間應使用屏蔽電纜連接。
- (5) 流體中無氣泡或懸浮顆粒，都卜勒超音波流量計將無法使用。

超音波流量計常見的故障及排除方法如表 6.2.1-9 所示。

表 6.2.1-9 超音波流量計常見的故障與排除方法

故障狀況	排除方法
1. 瞬時流量值偏大或偏小	1a. 重新確定發射器與接收器相對位置的正確性 1b. 調整儀表零點
2. 累積流量值偏大，瞬時流量正常	2a. 變換器常數設定值偏移減小，應調校修正 2b. 調準變換器參數
3. 累積流量值偏小，瞬時流量擺動	3a. 改善換能器耦合狀態 3b. 調節換能器相對位置，使信號大、噪音最小，並調整倍頻數

資料來源：廢水處理單元操作維護-廢水處理專責人員訓練教材/行政院環保署訓練所編著/97年

3. 渦輪式流量計(Rota Meter)

使用渦輪式流量計應注意下列各項，才能測得正確流量：

- (1) 精確度受被測流體黏度影響較大，口徑越小則黏度影響越大。
- (2) 當流體溫度變化較大時，會造成傳感器內部尺寸變化，此時應考慮進行必要修正。
- (3) 儀表的使用範圍應在儀表性曲線的線性部分。

(4)使用於污水量測時，儀表前需加裝過濾器。

(5)渦輪流量傳感器於使用中切忌有高速氣流引入，因此需要在傳感器前加裝消氣器。

使用渦輪式流量計應注意，渦輪式流量計主要故障原因及排除方法如表 6.2.1-10 所示。

表 6.2.1-10 渦輪式流量計常見的故障與排除方法

異常狀況	故障原因	排除方法
1. 傳感器或顯示儀表沒有輸出信號	1a.接線不正確 1b.葉輪卡死 1c.檢測線圈斷路或短路 1d.前置放大器沒有電源或電壓太低	1a.重新接線 1b.清潔葉輪或更換 1c.量測線圈 1d.檢查電源
2. 流量為零時仍有信號輸出	2a.外界強磁場干擾 2b.管路振動引起葉輪擺動或引起永久磁鐵與線圈之間有相對運動	2a.裝設磁場保護裝置 2b.重新固定管路
3. 指示流量與實際流量不符	3a.同第二點 3b.前置放大器工作不正常 3c.出口壓力過低 3d.介質黏度高 3e.軸承磨損 3f.葉輪附著雜物、髒物	3a.同第二點 3b.檢測或更換前置放大器 3c.檢查渦輪是否卡死 3d.更換他種流量計 3e.更換軸承 3f.清潔葉輪

(二)水質監測設備

1.pH計及ORP計

pH 監測計、ORP 監測計之電極的液絡部與被檢液在電流上應相通，但因氯化鉀溶液會由此流出，故每週應補充一次氯化鉀飽和溶液。有時電極內部會殘留氯化鉀結晶或內部液體遭受污染，此時氯化鉀溶液應全部倒出，重新再加入。pH 監測計、ORP 監測計常發生之故障原因及處置方法示於表 6.2.1-11。

表 6.2.1-11 pH 監測計、ORP 監測之故障原因及處置方法

故障處所	故障狀況	故障原因	處置方法
pH 計 、ORP 計	指針不動	→電源沒接上 →保險絲不良	→以電表確認端子上是否有 AC 110V →更換
	指示不良	校正切換開關	→若校正正常，則檢查檢示部 →若校正不正常，則聯絡製廠商
檢示部(電極)	指針不動(校正正常)	玻璃電極破損(裂痕、針孔)	更換
	指針振動	→配線盒與端子板接線不良 →比較電極不良 →裂痕 →KCl 不良 →電極內有氣泡 →電極引線繼線 →配線盒與端子板絕緣不良 →電極沒浸到被檢液 →玻璃電極引線的斷電端子不良	→檢查、修正 →檢查 →更換 →補充 →去除氣泡 →更換 →測定絕緣電阻 →將電極與液體充分浸漬 →更換
		玻璃電極引線的斷電端子不良	更換
	指示不安定	→接繞端子接觸不良 →比較電極液絡部污染 →高絕緣迴路的絕緣性減低 →玻璃電極帽與引線端子 →配電盒、端子板 →專用電纜線 →被檢液氣泡多 →偶漏電至被檢液 →玻璃電極或專用電纜振動、移動時	→鎖緊 →清洗 →檢查 →鹼液洗淨→乾燥或更換 →鹼液洗淨→乾燥或更換 →鹼液洗淨→乾燥或更換 →消泡 →追查原因或切斷液體迴路 →追查原因並固定
	指示達到安定時間耗時	→高絕緣迴路之絕緣性減低 →玻璃電極污染 →被檢液溫度降低時(5°C 以下)高溫用電極於常溫使用	→鹼液清淨→乾燥 →洗淨 →液溫測定，提高液體溫度 →更換低溫內電極 →更換常溫用電極
	無法調查	→玻璃或比較電極性能劣化 →玻璃電極破損(裂痕、針孔) →被檢液滲入比較電極 →高絕緣迴路之絕緣性減低 →標準液 pH 變化 →高溫用電極在低溫時調整	→更換 →更換 →內部液更新 →鹼液洗淨→乾燥 →用新標準液校正 →提高標準液溫度

資料來源：金屬表面處理業廢水前處理技術手冊/100 年

2. 溶氧計

以銀為陽極，鉛為陰極，銀和鉛浸在氫氧化鉀電解質中，外層是透氣薄膜，在銀陽極溶解氧被還原，在鉛陰極發生氧化，兩極電動勢為 0.7~0.9V，電極的老化是一正常的現象，適當的電極保養是必要的工作，正確使用與保養可使電極的使用壽命延長，溶氧計主要故障原因及排除方法如表 6.2.1-12 所示。

表 6.2.1-12 溶氧計常見的故障與排除方法

現象	原因	排除方法
1. 數字無法顯示	1a. 電源或電路不通	1a. 查電源及保險絲
2. 儀器之讀值在某一個數值固定不變	2a. 大地迴路干擾	2a. 將儀器信號接地線確實接地
3. 儀器讀值顯示為零或超出 4. 或低於量測範圍	3a. 使用非隔離式信號線 3b. 信號線連接不正確	3a. 依廠商建議規格使用正確信號線 3b. 依操作手冊正確接續
5. 數值飄移變化大	4a. 接線盒含有水氣或被腐蝕	4a. 烘乾接線盒，保持乾燥，並應選擇適當地點裝設接線盒
6. 電極反應速度變慢	5a. 電極老化或故障	5a. 更換電極薄膜及填充液
7. 無法零點校正	6a. 電極老化或故障	6a. 更換電極薄膜及填充液

資料來源：廢水處理單元操作維護-廢水處理專責人員訓練教材/行政院環保署訓練所編著/97 年

3. 液位計

液位計使用時應注意下列各項，才能測得正確數值：

- (1) 液位計應固定，避免隨流體漂流(尤其是浮球式液位計)。
- (2) 量測污泥液位時，液位計應置於一套筒內，避免隨流體漂流。
- (3) 翻板式液位計之磁性浮子於套筒內應避免堵塞，否則測值與實際值將有誤差。

主要故障原因及排除方法如表 6.2.1-13 所示。

表 6.2.1-13 液位計常見的故障與排除方法

現象	原因	排除方法
1. 傳感器或顯示儀表沒有輸出信號	1a.接線不正確 1b.線圈斷路或短路 1c.前置放大器沒有電源或電壓太低	1a.檢查電源及接線 1b.檢查線圈之電流狀況 1c.檢查前置放大器之電源及電壓
2. 液位指示瞬時變動大	2a.液面擾動過大 2b.液面有漂浮物或泡沫	2a.減少液面擾動 2b.清除漂浮物或泡沫
3. 液位指示無變動	3a.感測器附近有雜物 3b.液位已超過呆液位範圍 3c.裝設位置離牆面位置過近	3a.清除雜物 3b.調整呆液位設定值 3c.調整裝設位置
4. 監測值與實際液位不符	4a.參數設定錯誤 4b.感測器未固定	4a.重新設定參數 4b.重新固定感測器

資料來源：廢水處理單元操作維護-廢水處理專責人員訓練教材/行政院環保署訓練所編著/97 年

(三) 泵浦及攪拌設備

泵浦的故障，除選擇錯誤以外，單純異常原因居多，但如忽略在異狀發生時即予適當判斷，迅速採取故障排除的話，會造成泵浦本體及馬達高熱，甚至導致損壞。表6.2.1-14提供其故障原因及對策之實例，經由檢查、修理，大體上泵浦應可維持正常。

表 6.2.1-14 泵浦故障原因及對策(例：自動控制系統)

故障內容	原因	對策
馬達無法啟動	● 馬達故障	● 檢查、修理
	● 忘了按熱繼電器的回復桿	● 按下回復桿
	● 接線不良(含斷線)	● 對照接線圖予以復舊，自動運轉，檢查液面繼電器壓力開關
	● 保險絲斷線(含切斷自動斷路器)	● 更換保險絲(恢復斷路器)
	● 泵浦發熱或咬住異物	● 分解、排除原因
馬達空轉吸不上來	● 吸入入口前的空氣	● 檢查、修理配管，接合法蘭、軸封
	● 沒有灌水，即使灌水也洩漏	● 灌水，檢查泵浦底閥、配管是否洩漏
	● 吸引側配管堵塞/泵浦內有異物	● 從法蘭處開始至泵浦進行清除工作

故障內容	原因	對策
	● 吐出閥閉塞	● 打開閥
	● 逆迴轉	● 檢查接線
	● 葉片摩擦耗損	● 修理或更換
揚程、吐 出 量 不 足	● 吐出管洩漏	● 修理
	● 迴流管閥忘記關或沒關緊	● 關閉或調整
	● 葉片磨損	● 更換葉片
	● 迴轉數降低	● 檢查輸入電壓
承軸發熱	● 聯結不平衡	● 修正聯結狀況
	● 長時間超負荷運轉或封閉運轉	● 採取迴流或停止封閉運轉
	● 填料蓋墊圈過緊	● 適度鎖緊

資料來源：金屬表面處理業廢水前處理技術手冊-電鍍業/100年6月

6.2.2 空污處理單元之異常對策

氣狀污染物處理系統失效可能原因及緊急應變整備方案如表 6.2.2-1 所示。

表 6.2.2-1 異味處理系統失效可能原因及緊急應變整備方案

失效現象	失效可能原因	緊急應變整備方案
異味瀰漫 產源周邊	抽風機故障	1.停止生產作業 2.查核抽風機電源 3.啟動備用抽風機 4.修護故障抽風機
	集氣罩破裂	1.停止生產作業 2.修護集氣罩
	集氣空間窗門未關	關閉集氣空間窗門
煙道排放 產源異味	熱破壞系統失效	1.停止生產作業 2.查核燃燒溫度、停留時間、熱回收率、觸媒更換頻率是否正常
	冷凝系統失效	1.停止生產作業 2.查核冷凝管是否破裂或冷凝器管板腐蝕 3.查核冷凝水水質
	吸收系統失效	1.停止生產作業 2.查核觸媒更換頻率是否正常
	生物處理系統失效	1.查核微生物生長狀況是否正常 2.查核處理系統pH值
煙道排放 酸味	氮氧化物設備失效	1.停止生產作業 2.查核 NH ₃ 是否外洩、添加是否正常 3.查核觸媒更換頻率是否正常
	硫氧化物設備失效	1.停止生產作業 2.查核噴嘴及除霧器有無磨損、阻塞 3.查核吸收劑用量是否足夠
	無機酸設備失效	1.停止生產作業 2.查核洗滌塔噴水系統(水源供應、循環幫浦嘴)有無正常

第七章 廢水處理案例介紹

前述各章已將造紙業之水污染防治技術作一完整之介紹，涵蓋製造原理，製程概述污染來源及其特性，可行的減廢技術，與廢水處理技術，設施之操作維護與管理，並說明水污染防治計畫之推動方式。本章將依上述各項目，舉出目前國內造紙業之水污染防治實例，分別列出手工紙、敬神紙、家庭用紙及工業用紙等之實例，供業者參考。

7.1 手工紙

7.1.1 行業概況

手工紙即一般俗稱之宣紙、棉紙等手工紙製品之總稱，屬文化用紙之一環。由於製程中需品質優良之水源，因此，多集中於南投縣埔里鎮附近。宣、棉紙之製造工廠雖多已有數十年歷史，宣紙之製造至今仍需大量勞工、尚無法以機器取代，棉紙之生產則大部分已可採用機器抄造。宣、棉紙之製造工廠大多數為小型工廠，但依 103 年台灣區紙業工業同會公告資料，近年來自於環保意識提高，工人薪資上漲，進口紙之惡性競爭，目前僅剩 20 餘家左右。此類紙品以進口樹皮製漿，取其纖維為原料，製造過程中所產生之黑液，量少濃度高，回收不符合經濟效益，因此均予以廢棄。本節即以台灣某一宣、棉紙製造廠為例，介紹其水污染防治情形，供業者參考。

7.1.2 製程概述及污染來源、污染特性

本案例工廠以生產手工用紙為主。不同的紙類其製程與廢水水質上皆有所差異，造紙工業製程大致可分為以下幾類其製造流程如圖 7.1.2-1 及圖 7.1.2-2 所示：

一、機械抄紙類

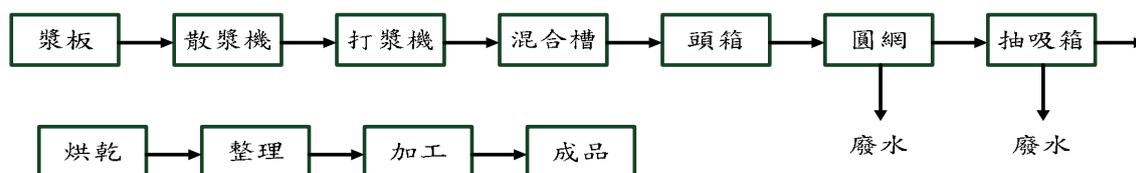


圖 7.1.2-1 機械抄紙類流程圖

二、手工抄紙類

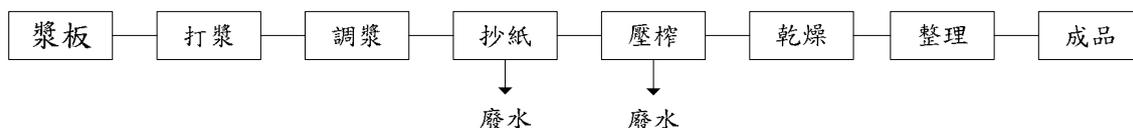


圖 7.1.2-2 手工抄紙類流程圖

過往造紙工業的廢水來源，一般來自製漿、抄紙等製程中所產生的白水或黑水，其中所內含的污染物質，大致可分為懸浮性固體物、溶解性有機物、溶解性無機鹽類等三大類。

懸浮固體物主要來自製漿蒸煮廢液、洗漿廢水、抄紙白水等；溶解性有機物質主要來自製漿蒸煮廢液、漂白廢水、白水與添加劑等；而溶解性無機鹽類部分，主要來自於製漿蒸煮廢液時所添加的亞硫酸鹽或硫酸鹽，及漂白時所添加的氯氣、二氧化氯、次氯酸鹽等。

然因製漿量少及污染量高，廠方於評估效益後，目前已停止製漿程序，而連同棉紙使用之原料皆從國外直接進口，因此廠內主要廢水來源為手工抄造宣紙與機械抄造棉紙之抄紙廢水(白水)，其水中所含之SS甚多，而且纖維可長達2~3公分，一般纖維直徑為30 μm以上，此類紙纖維很容易從水裡以化學浮除或沉澱方式去除之，由於抄紙過程中亦需依產品之需求，添加各種添加劑，或染色，以致廢水亦有色度之排出，然由於使用之直接性染料易被纖維吸收，故水中殘留之染料不多。

7.1.3 廠內管理與減廢

今日之工業發展係著重於經濟發展與環境保護兼籌並顧，而良好的廠內管理，實施減廢技術與良好的管末處理是達到此最終目標之最佳途徑。由於一般廠內產生之工業廢棄物，若能充分的予以回收，再利用，或減少其產量對無法再回收利用者能予以妥各處理，則不會對環境與人體健康造成危害，且減少資源之耗損，此即所謂污染與資源乃一線之隔。

國內造紙業者，新式製漿及抄紙工廠之整廠設計和操作，均已朝向從製程上減少原料損失及廠內減廢兩方面著手進行。本案例工廠之減廢工作係由源頭減少(source reduction)，包含改變技術，進料，產品與改進操作方式等，及回收再利用(recycling)，包含回收，再利用與廢棄物交換等，以達到減廢之目的。

茲將該廠之各項減廢工作與廠內管理改善工作，實施對策與效益說明如下：

一、改善抄紙機毛毯洗滌系統，減少壓潰造成停車洗滌及減少損紙

該廠未實施改善前常因抄紙機之毛毯洗滌不良造成抄紙壓潰現象；不但須經常停車洗滌且壓潰使不良品(損紙)增加很多，停車洗滌也讓清水用量增大，產量減少，洗毯藥劑增加，更需常常更換毛毯。

改善對策乃將抄紙機上、下毛毯洗毯噴淋由低壓改為高壓噴淋洗滌，並由原來單(正)面洗滌改雙(正、反)面洗滌，並加大噴距重復洗滌，此改善所得效益相當良好，而所需添加之設備僅一部高壓幫浦。

二、抄紙製程白水回收系統改良及清水減量

該廠以往由於地下水取之容易，故對清水之使用並未刻意節制，且節約用水之習慣也未在廠內養成。環保及減廢觀念在廠內植入後，積極推行全廠減用清水計畫，並將製程白水儘量回收使用，除了節水外也降低了廢水處理量及處理成本。其實施方法為：

(一)抄紙機部分白水回收作為製程中稀釋用水，部分則經過濾後漿與水分開回收。

- (二)抄紙製程中儘量改用白水。
- (三)備料各單元用水(打漿、稀釋等)改用白水
- (四)手工白水回收至散漿機(可回收水與碳酸鈣)
- (五)各單位漏水管路整修防止滴水。

所需增加之設備為圓桶離心式過濾機，管路配管及整修與抽水幫浦。

三、損紙(廢紙)蒸煮後打壓成損紙漿塊或損紙及時回收到製程(含手工損紙)

該廠由於每月約產生 15 噸之損紙，時常造成無處存放，最後只得低價售出。建議工廠擬出下列對策以改善之：

- (一)除抄紙技術改善減少損紙量外，產生之損紙依有無濕強及顏色分開打包，分區存放。
- (二)加工時產生之紙邊及損紙分類存放。
- (三)備料人員將損紙依有無濕強及顏色種類配合生產所排定之日程分類分色蒸煮。
- (四)蒸煮後之損紙漿經濃縮打壓成塊(去除水分及減少存放空間)之後按紙種、顏色編號貯存。

四、分散高用電機械使用時間，減少用電超過契約受罰及提高機械速度減少用電時間以減少動力費，執行節約用電，減少不必要之電力使用和檢修電路減少漏電等異常損耗。

五、改善印刷設備，降低印刷機不良率及提高加工機速度增加產能

該廠由於印刷機加工速度相當慢且加工時造成不良率高，使製造成本居高不下。因應對策為加裝弓型輥，減少加工皺紋、整修紙邊調整器，原紙架加裝前後調整器及機製原紙減少斷紙與改善接紙，經改善後印刷機產能共提高 2.22 倍，不良率減少 78%。

7.1.4 廢水處理設施

該廠由於進行製程減廢，廢水之污染程度雖亦增加，但由於添加劑之種類及使用量有效控制，加上廢水處理設備有妥善操作維護，處

理後之水質良好;其中廢水之 SS 主要是紙纖維，現經浮除脫水後賣予敬神紙業作原料。廢水排放許可証登載處理設施原處理水量設計量為 9,900 CMD，最大量為 4,950 CMD。由於從實驗中得知，只要廢水中之 SS 有效清除，即可達放流水標準。故其處理方式採混凝浮除法，主要處理流程如圖 7.1.4-1 及原廢水、放流水質及槽體尺寸大小如表 7.1.4-1~2 所示：

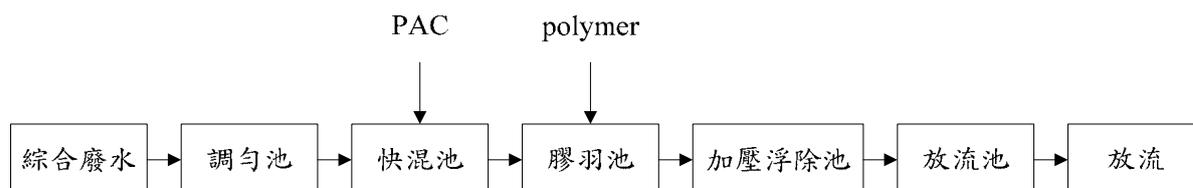


圖 7.1.4-1 手工紙廢水處理流程圖

表 7.1.4-1 手工紙廢水處理水質

項目	廢水種類	
	原廢水	放流水
pH	7.1~7.5	7.3~7.5
COD (mg/L)	100~150	10~30
SS (mg/L)	30~50	3~20
真色色度	500-550	175
溫度(°C)	<35	<35

表 7.1.4-2 手工紙廢水處理設備尺寸

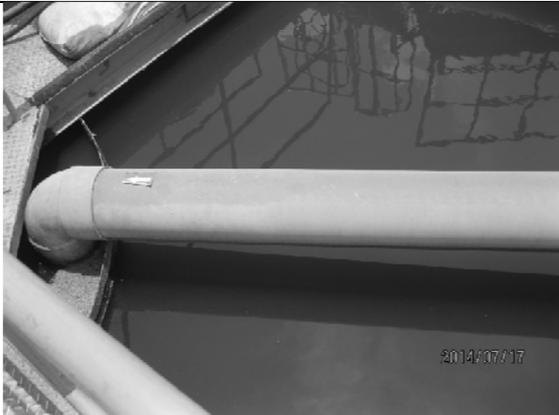
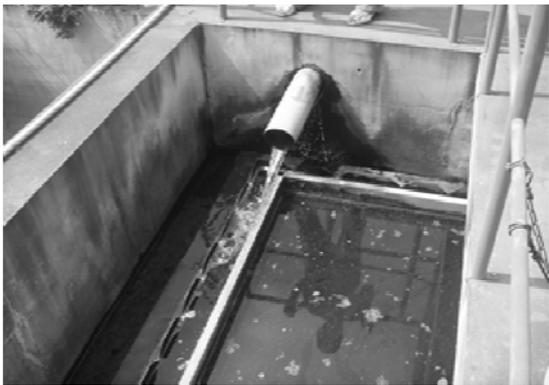
單元名稱	有效容積 (m ³)	實際停留時間	理論停留時間	沉澱池表面積負荷	備註
攔污柵	-	-	-	-	非槽體
集水槽	14.04	5.2	4.0	-	min
反應槽	33.71	12.3	9.8	-	min
混凝槽	13.74	5.0	3.9	-	min
中間槽	8.82	3.2	2.6	-	min
膠凝槽 1	176	230.7	181	-	min

單元名稱	有效容積 (m ³)	實際停留時間	理論停留時間	沉澱池表面積 負荷	備註
膠凝槽 2	186.3	94.9	75	-	min
化學沉澱槽 1	130	236.6	131	27.9	min
化學沉澱槽 2	256	260.9	206	21.2	min
化學沉澱槽 3	318	324.2	256	22.2	min
放流監視槽	9.971	3.6	3	-	min
濾液貯槽	0.588	51.1	39	-	min
污泥貯槽	10.4	26.1	22	-	hr
污泥濃縮槽	15.55	10.6	7.9	-	hr

針對該造紙污水處理設施，評估其去除效率，另與理論值比較，藉以觀察處理單元之操作情形是否良好。該廠之分析檢驗結果，最終沉澱池水質，進一步分析工廠各處理單元之處理成效(去除率)，得知整體 COD 去除率為 85.01%，SS 去除率為 77.37%。

該廢水處理場，設置費用為 750 萬元，操作費用包含電力費(650 kWh/day x 2 元/kWh)與藥品費用(PAC、polymer)合計每日約 3,800 元。目前該廢水處理場設甲、乙級廢水處理技術員各一人，操作多年來，處理後排放水水質皆可符合現行放流水標準。

表 7.1.4-3 手工紙案例之操作設施可改善與建議事項

操作設施改善事項說明	
	
<p>照片 1：標示不清 說明：部分管線水體流向不清</p>	<p>照片 2：放流口標示損壞 說明：標示破損情形</p>
	
<p>照片 3：沉澱效果不佳 說明：槽中有累積污泥於集水槽</p>	<p>照片 4：採樣井中有黑色懸浮固體漂浮 說明：槽中有黑色懸浮固體漂浮</p>
<p>建議處理事項：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 未標示的處理設備，且未在申請之水措內，均需向當地環保機關於換發時進行重新申請與核備。 2. 污水廠內添加新設備需對環保機關進行公文的申請，以免受罰。 3. 廠內處理設施建議以不易脫落材質(噴漆)標示(相關規定)，以免稽查時受管機關開罰。 4. 建議在不影響流量條件下將前方加入擋板或篩板目，使其沉澱物可被攔阻，另建議應定期清理採樣井內之沈澱物。 	

*縣市環保局提供

7.2 敬神紙

7.2.1 行業概況

敬神紙即一般所稱之冥紙或迷信紙，以嘉義縣，台南縣和雲林縣分布最多，且敬神紙業多設廠於偏僻山區，只有少部分遷入工業區經營。因用紙用途及美觀等因素，對紙張品質要求較嚴格，因此均採用

處女紙漿抄製，品質要求較低之文化用紙亦有部分採用漂白廢紙為原料者。

敬神紙業之資本額由數萬元至上億元都有，此與設廠年代有關，廠內抄紙機台數均在 2 台以內，1 台居多。本節敬神紙之實例係介紹位於彰化縣某敬神紙製造業者，操作員由 2 位至 10 餘位，多為袖珍型之小型企業。多數工廠均以竹或廢紙等為原料製成半成品或成品(有捲成圓桶狀，長方體形稱為粒、件或支)，只有少部分工廠繼續進行加工整理做成祭祀用之金紙、銀紙等。

7.2.2 製程概述與污染來源、污染特性

台灣之敬神紙業依使用原料不同，可分為竹材廠、竹材加廢紙廠及廢紙加木屑廠三類；敬神紙業者大多以竹子為主要原料，經以苛性鈉浸泡，再以機械研磨製漿後進行抄紙，其製程說明如圖 7.2.2-1 所示：

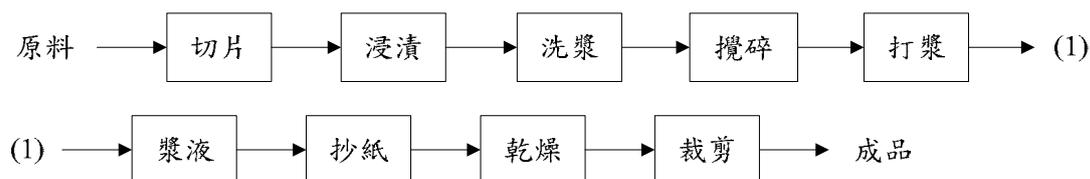


圖 7.2.2-1 抄紙製程圖

浸漬所產生之廢鹼液以分批少量方式會同抄紙廢水排入廢水處理場處理，其綜合廢水水質一般懸浮固體物平均濃度 300 mg/L，COD 平均濃度為 500 mg/L，每日平均排出廢水量約 20 m³。

7.2.3 廠內管理與減廢

敬神紙製造業由於係採鹼法製漿，因此其廢水有機成分高，一向被列為嚴重污染工業，故除注重管末處理外，如何進行廠內改善與減廢工作乃至資源回收實為當前業者之一大課題。茲將敬神紙業者廠內改善及減廢工作之建議列舉如下：

一、減少污染之排放量

敬神紙製程污染來源主要為下列 4 項：

- (一)浸竹黑液及洗漿廢水之溢流。
- (二)散漿之油墨廢水。
- (三)抄紙白水。
- (四)各段製程濺出之纖維和液體。

第(一)項可由浸漬池換水或添加 NaOH 時，注意添加水位之控制，莫使滿而溢出，污染四週環境，以廢紙製漿之工廠在散漿過程將產生少量油墨廢水，雖業者多以手工撈除處理，惟此股廢水最好納入廢水處理廠處理以免造成二次污染。

抄紙白水，因污染性低，大多含有 SS，其品質足以滿足紙廠內其他單元如浸漬、散漿等使用。最好在白水流出前(以過濾機或浮選機)先回收其中固形物(紙纖)再排入回收槽。對浸漬區之竹漿以卡車或怪手送至打漿機時，應盡量避免黑液之濺漏，否則需以良好之收集系統來改善。

二、製程改善

(一)節約洗網用水量

抄紙過程，為避免紙網堵塞，均設淋洗設備，而多數業者均抽取地下水貯於蓄水桶中做為洗網用水。惟經常於水滿後未關掉電源以致浪費用水及電力，改善方式為加裝水位控制器，來控制泵浦之運轉。

(二)節省化學藥品添加量著手減廢

製程中使用之添加劑如苛性鈉、發泡劑，硫酸鋁和染料等藥品添加宜請專家代為尋出適當用量。因藥量與 pH、溫度、反應時間等有絕對關係，不宜憑藉有限之經驗操作，以免過多造成某些藥量之浪費，甚至造成污染。

(三)改變使用原料

浸漬或蒸煮製漿所造成之黑液污染是紙漿工業名列高污染性工業之主因。最好避免傳統製竹方式，考慮改採廢紙及木屑當原料，或採廢紙製漿或進口紙漿只做抄造，以順應環保潮流，改善廢水污染問題。

(四)毛毯清洗使用打毯器效果差且易引起毛毯震動影響抄紙。

可改採扇形噴淋管與往復式高壓斜狀噴淋管來提高洗毛毯效率並節約用水。

三、回收利用

(一)抄紙白水中固形物(竹纖維)含量頗高，任其排放只會增加污染並浪費原料。

宜於流出口處設斜篩過濾機或浮選機預將纖維回收。白水視品質再回收用於清洗、洗漿和散漿等單元。

(二)廢氣熱回收部分

因燃油所得之廢氣餘溫高達 200°C 以上時，可裝置一簡易直接式熱交換器，預熱浸竹廢水，以縮短浸泡時間，提高經濟效益。

(三)藥品之回收

浸竹黑液中含有相當之 NaOH 及固形物，如由工廠直接排放處理，實不經濟且不易處理至合乎放流水標準。若能集中至一定數量，由大廠統一收集以多效蒸發罐濃縮後再由燃燒室回收熱能及蒸解室回收 NaOH 及 CaO。

7.2.4 廢水處理設施

由於浸竹廢液之廢水量小，污染度高，為避免處理系統受到突增負荷之干擾，因此將浸竹廢液分批少量會同抄紙廢水進入污水處理場處理，其處理方式採混凝沉澱+氧化池+混凝沉澱法，主要處理流程如圖 7.2.4-1 及原廢水、放流水質及槽體尺寸大小如表 7.2.4-1~2 所示。

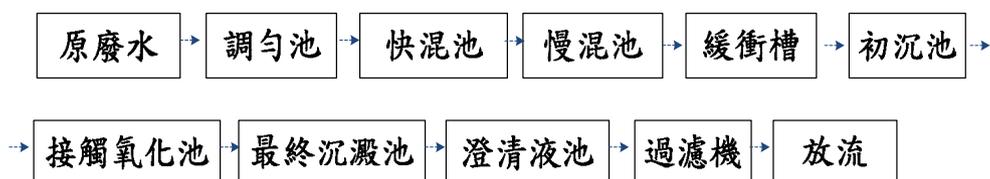


圖 7.2.4-1 敬神紙廢水處理流程圖

表 7.2.4-1 敬神紙廢水處理水質

項目 \ 廢水種類	原廢水	放流水
pH	6.5~9.5	6.5~7.5
COD (mg/L)	200~300	<30
SS (mg/L)	1,200~2,200	<20
真色色度	105	72-80
溫度(°C)	<35	<35

表 7.2.4-2 敬神紙廢水處理設備尺寸

處理單元名稱	長、直徑(m)	寬(m)	高(m)	有效水深(m)	有效容積(m ³)
調勻池(地下)	6	9	4.5	3.5	189
快混池	-	-	-	-	25
慢混池	-	-	-	-	25
緩衝槽	1.54	1.23	3	2.85	5.3
初沉池	-	-	-	-	180
接觸氧化槽	15	5	4.5	4.23	317.2
最終沉澱池	3.5	10.5	4.5	3.92	144.1
澄清液池	3.5	2	4.5	2.79	19.5

針對該造紙污水處理設施，廢水處理設施各處理單元所去除之污染物濃度進行計算，評估去除效率，另與理論值比較，藉以觀察處理單元之操作情形是否良好。各單元去除效率整理如表 7.2.4-3 所示。

表 7.2.4-3 粗紙廢水處理設備處理單元操控參數

處理單元	參數	理論值或建議範圍	設計值	結果	說明
調勻池	停留時間(hr)	≥4	2.9	108	高於理論值
快混池	停留時間(hr)	2~5min	18	14.2	高於理論值
慢混池	停留時間(hr)	15~30 min	18	6.48	高於理論值
初沉池	停留時間(hr)	—	2.15	102	高於設計值
接觸曝氣池	停留時間(hr)	—	4	181	高於設計值
最終沉澱池	停留時間(hr)	—	1.9	82.2	高於設計值
	表面溢流率(m ³ /m ² -d)	2~50	2.2	0.41	低於理論值
	堰負荷(m ³ /m-d)	<250	—	0.51	低於理論值
	有效水深(m)	>2.5	—	3.92	符合理論值

註：理論值摘自行政院環境保護署工業污染防制技術手冊之廢水處理廠操作管理

於該廠放流水之水質狀況，水溫、pH、COD、SS 及真色色度皆符合流水標準。各槽體間之 pH 約為 7.71，水溫約為 31.1℃，導電度約為 1,044 μS/cm。前段化學處理去除率為 BOD 為 35.2%、SS 為 58.9%、COD 為 69.9%；如以整體去除率來看，BOD 為 97.4%、SS 為 99.4%、COD 為 97.8%、真色色度為 90.7%。

該造紙廠並無高濃度廢水產生，另污泥產生的部分，產生之污泥屬有機污泥，因內部污泥脫水機已故障，故無法判對污泥顏色，該場平均每月污泥產生量約 30 公斤，並委託合格的污泥清運公司處理。

該聯合廢水處理廠已於 80 年底試車完成正式運轉操作，設置費用為 500 餘萬，操作費用包括電力(200 kWh/day x 2 元/kWh)與藥品費用(PAC、polymer、H₂SO₄、尿素、磷酸)合計每日約 2,200 元，目前該廢水處理場設有乙級專責人員 1 名，在正常之操作運轉下處理後水質可符合現行放流水標準、但若要達 105 年標準須進一步之改善。

表 7.2.4-4 粗紙案例之操作設施可改善與建議事項

操作設施改善事項說明	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 調勻池：該槽污泥甚多，建議按時清理，以免有效容積減少。 2. 快混池：該池無加藥(液鹼、polymer)。 3. 慢混池：該池無加藥亦無攪拌設備，無法達均勻攪拌狀況，該槽亦無膠羽，槽體有破損現象發生。 4. 初沉池：進流處有曝氣設備，此會影響沉澱功能。 5. 最終沉澱槽：接觸曝氣池進入最終沉澱池時，直接流至溢流堰，再直接流出，已失去最終沉澱池功能，該槽有污泥上浮現象。 6. 污泥濃縮池：該槽體有破損。 7. 污泥脫水機：污泥脫水機已故障多時。 	
	
<p>照片 1：慢混池槽體破損 說明：慢混池槽體有破損情形。</p>	<p>照片 2：污泥濃縮池槽體破損 說明：污泥濃縮池槽體破損情形。</p>

	
<p>照片 3：污泥脫水機 說明：污泥脫水機已故障多時</p>	<p>照片 4：處理單元標示 說明：處理單元標示不符合</p>
	
<p>照片 5：緩衝槽 說明：慢混槽後有一緩衝槽，與原許可不符</p>	<p>照片 6：最終沉澱池進流處 說明：接觸曝氣池進入最終沉澱池時，直接流至溢流堰，再直接流出</p>
<p>建議處理事項：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 未標示的處理設備，且未在申請之水措內，均需向當地環保機關於換發時進行重新申請與核備。 2. 污水廠內添加新設備需對環保機關進行公文的申請，以免受罰。 3. 廠內處理設施建議以不易脫落材質(噴漆)標示(相關規定)，以免稽查時受管機關開罰。 4. 請於換發時註明廠內設備新增設及廢除之申請。 <p style="text-align: right;">*縣市環保局提供</p>	

7.3 工業用紙

7.3.1 行業概況

工業用紙即一般市面所見之包裝用紙、紙箱用紙、白灰紙板、紙袋等之總稱。依據台灣區造紙工業同業公會於 103 年公告之印行之會員中，有生產工業用紙之主廠約 40 餘家，遍布台灣省各縣市，原料取用上多以廢紙再製為主，部分工廠因產品特性酌量添加處女木漿。工業用紙之製造原本皆由工廠自行製漿，但因製漿產生高濃度廢液，處理困難，遂改用廢紙回收再生纖維，在美觀及品質要求不高之情形下，

可免除自行製漿過程的能源消耗並降低製造成本及減少污染量。

本節即以某工業用紙工廠為例，介紹其水污染防治情況，提供業者參考。

7.3.2 製程概述及污染來源、污染特性

本案例以生產瓦楞紙，採用 100% 的再生纖維—廢瓦楞紙箱為原料，其製造流程如圖 7.3.2-1 所示：

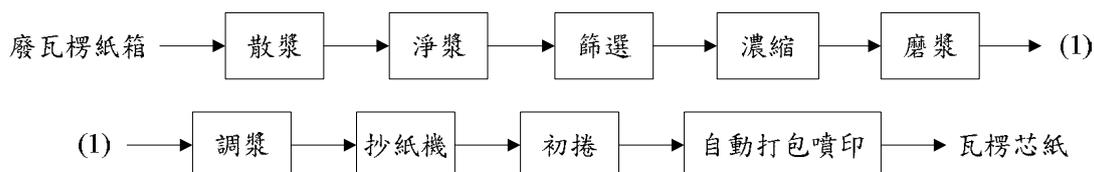


圖 7.3.2-1 工業用紙製造流程

廢水之主要來源為抄紙白水，及漿料濃縮之排水，廢水水質、水量如下：

廢水量：15,000 CMD、pH 6.4~7.3、COD：1,300~1,800 mg/L、SS：700~1,000 mg/L

7.3.3 廠內管理與減廢

以下介紹該廠從事廠內管理及減廢之主要措施：

一、設置白水回收機(savealls)

紙料回收機的設置是減廢措施的第一步，其主要功能是回收從抄紙機流失的漿料纖維及化學添加物，常用之白水回收機有四大類：

- (一)沉澱槽(settling tank)。
- (二)圓筒型過濾機(drum savealls)。
- (三)浮選式回收機(flotation savealls)。
- (四)盤式過濾機 (disc filter)。

該廠使用盤式過濾機，不僅對填料之率存率高，滯留時間短，而且操作性也較穩定。

二、原、物料替代(澱粉)

由於使用原生澱粉或氧化澱粉作濕端添加劑，表面上膠或塗布用。

原生澱粉或氧化澱粉作為濕端添加劑時，澱粉不但難留存，而且在漿料懸液中扮演著分散劑的作用，並可能對其他填料或顏料等形成保護層或電位的影響，而大量減降填料或顏粉的留存率，如此不但損失原料而且增加放流水之 COD 值。

該廠適當改為使用陽性澱粉作濕端添加劑，以增進留存率，不僅有助於紙料流水量及抄紙機操作性質，更能提高紙品的強度及其他性質。

7.3.4 廢水處理設施

廢水處理之規劃原則是調勻水質、水量，去除懸浮固體物及有機物。其處理方式採混凝浮除+生物濾床+活性污泥法，其中生物濾床單元兼有降溫效果，主要處理流程如圖 7.3.4-1 及原廢水、放流水水質如表 7.3.4-1 所示及槽體尺寸如表 7.3.4-2 所示：

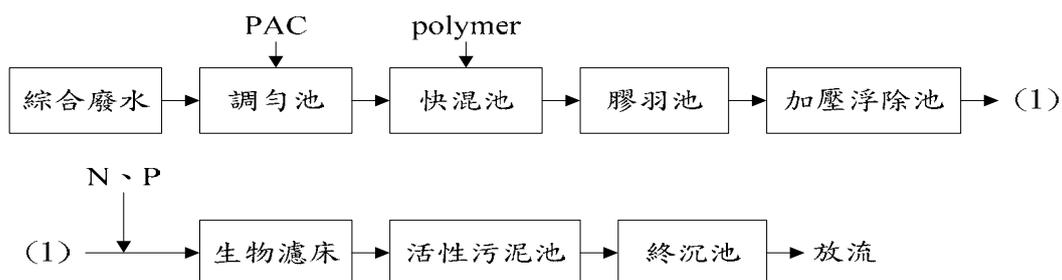


圖 7.3.4-1 工業用紙廢水處理流程圖

表 7.3.4-1 工業用紙廢水處理水質

項目 \ 廢水種類	原廢水	放流水
pH	7~10	6~9
COD (mg/L)	1,200~1,800	<100
SS (mg/L)	700~1,000	15~30
真色色度	105	25
溫度(°C)	<35	<35

表 7.3.4-2 工業用紙廢水處理設備尺寸

處理單元名稱	長、直徑 (m)	寬(m)	高(m)	有效水深(m)	有效容積(m ³)
	許可	許可	許可	許可	許可
調勻池 (廢水調整池)	12	8	5.2	5	480

快混池	1.5	2.5	5.2	5	18.75
慢混池	3.5	3.5	5.2	5	61.25
化學沉澱池 (浮除池)	18	--	5.6	5.5	1200
處理單元名稱	長、直徑 (m)	寬(m)	高(m)	有效水深(m)	有效容積(m ³)
	許可	許可	許可	許可	許可
曝氣池 1	42	25	5.1	5	5250
生物濾床	30.4	7.6	6.1	6	1386
曝氣池 2	30	12	5.1	5	1800
最終沉澱池	33	--	4.6	4.5	3600
放流池	5	2	5.1	5	50

針對中部某工業用紙廠污水處理設施，廢水處理設施各處理單元之設計項目進行計算，並與理論值或設計值比較，除了解操作現況是否與理論值或設計值吻合外，並評估其操作情形是否良好，並作為後續參考之資料，而各單元設計項目之理論值、設計值及結果，整理如下表 7.3.4-3 所示。

表 7.3.4-3 工業用紙廢水處理單元設計

處理單元	參數	理論值或 建議範圍	設計值	結果	說明
調勻池	停留時間(分)	—	40-46	71.1	遠高於設計值
	pH 值	—	6-9	7.21	符合設計值
快混池	停留時間(分)	—	1-1.8	2.63	遠高於設計值
慢混池	停留時間(分)	—	5-5.8	7.27	高於設計值
化學沉澱 (浮除池)	停留時間(分)	—	100-115	142	高於設計值
曝氣池 1	停留時間(分)	—	430-453	508	高於設計值
	DO (mg/L)	0.5-3	2-3	2.41	均符合
曝氣池 2	停留時間(分)	—	160-172	342	遠高於設計值
	DO (mg/L)	0.5-3	2-3	2.48	符合設計值
最終沉澱池	停留時間(分)	—	320-345	376	高於設計值

註：理論值摘自行政院環境保護署工業污染防制技術手冊之廢水處理廠操作

為瞭解該廠曝氣池的操作狀況正常與否，微生物有機體的膠凝化及緩慢沉降能力好壞是判定其功能正常與否之重要指標，對該廠曝氣池及迴流污泥進行污泥之 30 分鐘沉降試驗，作為判定的參考依據。依據結果顯示，現場於曝氣池及迴流污泥管採集水樣倒入 1 公升的量桶

中，經過 30 分鐘靜置後發現，曝氣池及迴流污泥的 SV30 沉降狀況為 92%~97%之間，如表 7.3.4-4 曝氣池 1、2(進流及出流)沉降試驗表所示。由此顯示污泥濃度過高，造成污泥沉降性不佳，其是否增加污泥之廢棄。此外，COD 及 BOD 去除率均達 95%左右，顯示槽內生物活性佳。

表 7.3.4-4 曝氣池(進流及出流)及回流污泥沉降試驗表

曝氣池 1(進流及出流)沉降試驗表					
時間(min)	5	10	30	60	SV ₃₀ (%)
(進流)污泥高度(mL)	950	950	940	940	94%
(出流)污泥高度(mL)	930	930	920	920	92%
曝氣池 2(進流及出流)沉降試驗表					
時間(min)	5	10	30	60	SV ₃₀ (%)
(進流)污泥高度(mL)	950	950	950	950	95%
(出流)污泥高度(mL)	950	950	950	950	95%
迴流污泥沉降試驗表					
時間(min)	5	10	30	60	
污泥高度(mL)	980	970	970	970	
SV ₃₀ (%)	97%				

對該廠進行廢水處理設施各處理單元所削減之污染物濃度進行計算，評估其去除效率，另與理論值比較，藉以觀察處理單元之操作情形是否良好。於初級處理去除率 SS、BOD、COD 及真色色度分別為 79%、4.1%、0%及 38%；在經二級處理後 SS 去除率 80~90%、BOD 去除率 85~95%、CODS 去除率 94.1%及真色色度去除率 50.4%，至最後放流水 SS、BOD、COD 及真色色度去除率分別為 98%、97%、94%及 31%。

活性污泥的沉降性一般以活性污泥體積指標(Sludge Volume Index, SVI)來表示。SVI值可以從曝氣槽取出混合懸浮固體倒入 1 L 的量筒中，靜置 30 分鐘後，1 克活性污泥所佔有的容積(mL)來表示，SVI 值的計算方法如下：

$$SVI \text{ (mL/g)} = SV30 \text{ (mL/L)} / MLSS \text{ (g/L)}$$

式中：

$$SVI = \text{污泥容積指標(mL/g)}$$

$$SV30 = 1 \text{ 公升活性污泥靜置30分鐘時沉澱污泥所佔之體積(mL/L)}$$

$$MLSS = \text{活性污泥濃度(g/L)}$$

該工業用紙廠之廢污水為無害特性之廢污水，產生之污泥屬於無害特性污泥，外觀呈灰褐色，廠內設有污泥貯存槽 1 槽，污泥壓濾式脫水機 3 台(如圖所示，縣市環保局提供)。廠區操作人員於污泥脫水機每週運作 7 次，運作時間為 3 台 24 小時輪替，平均每月污泥產生量約 120 公噸左右，為自行清運處理，因該廠內設有小型焚化爐。

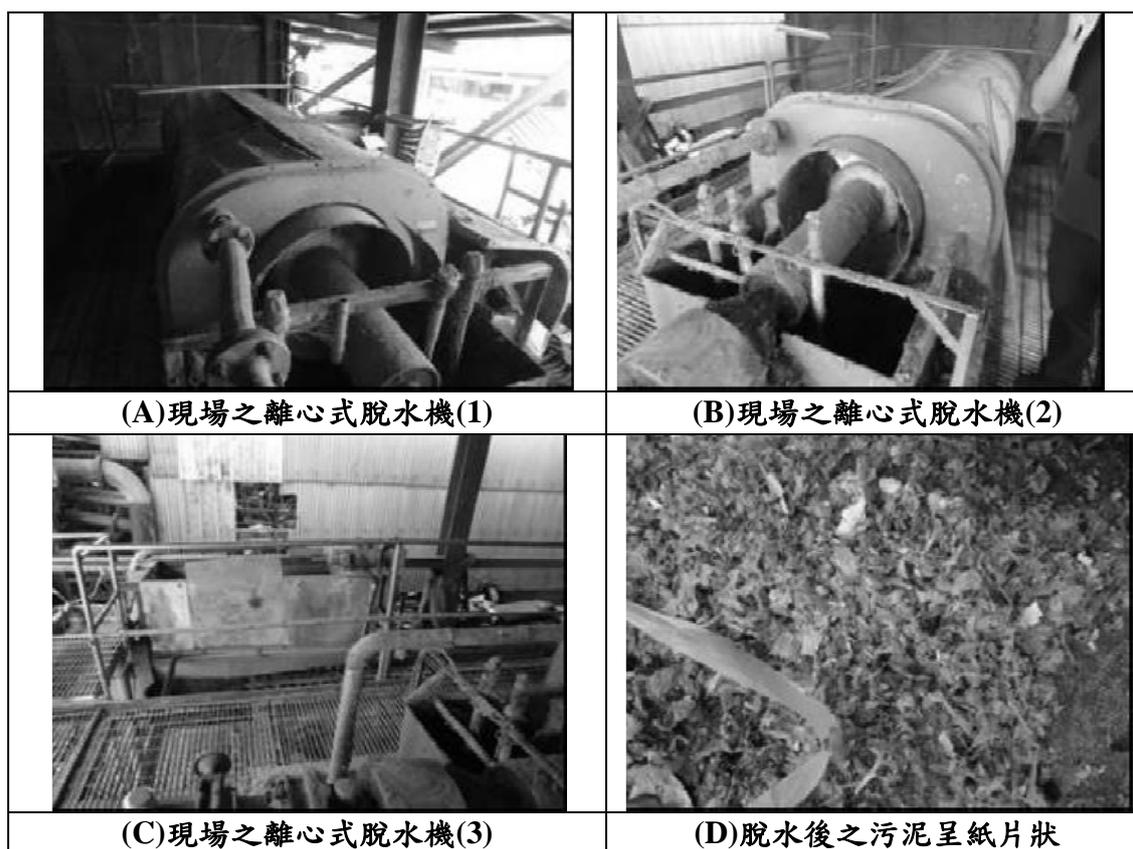


圖 7.3.4-2 污泥壓濾式脫水機

目前造紙廢水可利用生物處理技術來降低污染負荷，或使用污泥產製沼氣(biogas)。Ekstrand 等人(2013)從瑞典紙廠廢水中，利用厭氧消

化技術產製沼氣，其中製程的鹼性廢水可有理論值 50% 的甲烷產量，但酸性廢水則效果不佳，漂白廢水的甲烷產量僅理論值的 10~15%，含亞硫酸的混和廢水，則可有理論值 60% 的甲烷產量，熱磨機械漿廢水 (thermo-mechanical pulp mill) 則有最好的甲烷產量，約理論值的 40~65%，如果是化學性的熱磨機械漿廢水，其甲烷產量則只有 40~50%。

該紙廠廠區內並無高濃度廢水產生，另外污泥產生的部分，產生之污泥屬一般污泥，外觀呈棕黑色，廠內設有帶濾式污泥脫水機二部(交替使用)，依據操作人員表示，該脫水機平均每週操作 2 次，總運作時間約為 210 小時，平均每日污泥產生量約 300 公斤，並且委託合格的污泥清運公司處理，

此外，製漿造紙廢污也可以 1:1 揮發性固體物(volatile solid; VS) 比例與食品廢污混合，進行二階段的中高溫厭氧共消化 (mesophilic-thermophilic anaerobic co-digestion)，氫氣產率為 64.48 mL/gVS，甲烷氣的產率則為 432.3 mL/g VS (Lin et al., 2013)，是一種穩定且有效的能源回收與生物質穩定化的技術。製漿造紙廢污也可以與都市污水廠的污泥共消化產製甲烷，消化後的殘渣還可供作非食用植作之土壤改良劑(Hagelqvist, 2013)。Mussoline 等人(2013)也發現將製漿造紙廢污與養豬廢水添加至水稻秸杆中共消化，可增加甲烷產量，縮短消化時間。

廢水處理場完工啟用日期為 82 年，設置費用為 3,000 餘萬，操作費用包含電力費(7,700 kWh/day x 2 元/kWh)與藥品費用(PAC、polymer、尿素、磷酸)合計每日約 41,000 元。目前該廢水處理場設有甲級廢水處理技術員 1 人，乙級 2 人，操作五年多來，在正常之操作運轉下處理後水質可符合現行放流水標準，但若要達 105 年標準，則須增設後續處理單元。

表 7.3.4-5 工業用紙案例之操作設施可改善與建議事項

操作設施改善事項說明	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 化學沉澱池(浮除池)有黑色污泥上浮現象，與現場標示名稱有誤。 2. 曝氣池 2 出流處，因位於角落位置，曝氣不均，表面污泥上浮。 3. 調勻池旁有一原先設計的舊沉砂池，將舊沉砂池作為調節池緩衝使用，但許可未登載。 4. 快混池添加 polymer 及 PAC，慢混池無添加藥劑，與許可不符。 5. 各處理單元之加藥機，許可未登載。 6. 現場部分管線未標示名稱及流向。 7. 現場留有廢棄管線。 	
	
<p>照片 1：調勻池周圍留有廢棄管線</p>	<p>照片 2：調勻池旁有舊沉砂池，許可未登載</p>
<p>建議處理事項：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 廠區內各處理設備及流向需標示明確，必要時以不同顏色進行區隔。 2. 各處理設備周遭需整齊，不可堆放雜物等不必要之廢棄管線於該處，建議移除或加套封管。 3. 正常污泥但不沉降，由於水力超負荷或部分沉澱池間流量分配不平均。(如兩個以上沉澱池) 4. 未標示管線及設備，且未在水許可申請之水措內，均需向當地環保機關於換發時進行重新申請與核備。 <p style="text-align: right;">*縣市環保局提供</p>	

7.4 家庭用紙

7.4.1 行業概況

家庭用紙即一般市面所見之衛生紙、面紙、紙巾甚至紙尿褲等之總稱、依據台灣區造紙工業同業公會於 103 年網站公告印行之會員名冊中有生產家庭用紙工廠約 30 餘家，大多集中於台灣中部，由於產品

特性需要，其原料大多為處女纖維，且家庭用紙即一般俗稱之衛生紙、面紙等，由於國內品質要求高，大部分採用處女紙漿為製做。本章節即以某家庭用紙工廠為例，介紹其水污染防治情況，供業者參考。

7.4.2 製程概述及污染來源污染特性

本案例以純紙漿為原料，製造衛生用紙，製造流程如圖 7.4.2-1：



圖 7.4.2-1 家庭用紙製造流程

廢水之主要來源為抄紙廢水，由於為純紙漿製作，產品單一，添加劑存留率高，廢水污染強度較低，其廢水量、水質如下：

廢水量：6,000 CMD、pH：6.5~7.5、COD：100~200 mg/L、SS：80~100 mg/L

7.4.3 廠內管理與減廢

該紙廠由於採用原生纖維抄紙，廢水中之主要纖維可再利用，以下介紹該廠從事廠內管理及減廢之措施。

一、設置白水回收機(savealls)

該廠於設有一套白水回收機，白水回收後之白水 SS：150 mg/L，每天約可回收 175 kg 之紙漿，此套白水回收機操作 1 年即已回收設置成本。

二、鍋爐燃料採用米糠燃燒

鍋爐以往採用中油低硫燃料燃燒，以產生蒸汽烘乾紙匹。但近年來評估米糠燃燒效益後，經投資部分設備後，現大部分改採米糠作燃料，因在中部盛產稻米，各農會常視米糠為廢棄物，紙廠以米糠作燃料，不但節省燃油之支出，甚至可向農會申請米糠處理費，故烘乾成本大幅降低。

7.4.4 廢水處理設施

本案例工廠由於廢水量大，廢水水質較單純，處理設備目前有妥

善之操作維護，處理後水質甚佳(符合放流水標準)，某處理方式採混凝浮除法，主要處理流程如圖 7.4.4-1 及原廢水、放流水質及槽體尺寸如表 7.4.4-1 及 7.4.4-2 所示：

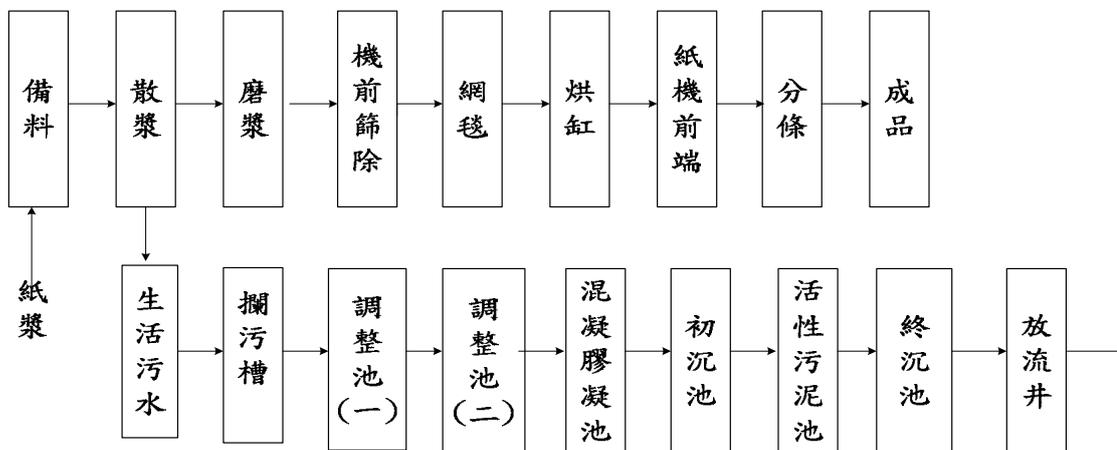


圖 7.4.4-1 家庭用紙廢水處理流程圖

表 7.4.4-1 家庭用紙廢水處理水質

項目 \ 廢水種類	原廢水	放流水
pH	6.0~7.0	6.5~7.0
COD (mg/L)	150~250	40~60
SS (mg/L)	200~400	10~40
真色色度	<25	<25
溫度(°C)	<35	<35

表 7.4.4-2 家庭用紙廢水處理設施槽體尺寸

處理設施	許可資料			許可與現場 符合度 (長/直徑、寬)
	長/直徑 (m)	寬 (m)	高 (m)	
攔污柵(非槽體)	0.8	0.8	1.5	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
調整池	6	5	3.8	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
細篩機(非槽體)	1.5	1.5	1.5	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
pH 調整池	1.5	1.5	4.8	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
凝膠凝池	3	14	3.8	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
凝池	50	14	4.8	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
活性污泥池	50	14	4.8	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
生物污泥槽 (三座並聯)	36	5.5	3.5	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
放流井	3	6	3	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
中繼槽	3	-	4	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
石英砂濾器	1.8	-	1.8	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
袋式微過濾器 (二座-A 及 B 並聯)	0.56	-	1.55	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
紫外線殺菌	0.18	-	0.94	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否

針對中部某家庭用紙廠污水處理設施，廢水處理設施各處理單元之設計項目進行計算，並與理論值或設計值比較，除了解操作現況是否與理論值或設計值吻合外，並評估其操作情形是否良好，並作為後續參考之資料，而各單元設計項目之理論值、設計值及結果，整理如下表 7.4.4-3 所示。

表 7.4.4-3 家庭用紙廢水處理設施單元操控參數說明

處理單元	參數	理論值或 建議範圍	許可登載值	評鑑結果	說明
調整池	停留時間(hr)	≥ 4	0.33~0.39	2.03	高於設計值
pH 調整池	停留時間(hr)	-	0.03~0.04	0.36	高於設計值
凝膠凝池	停留時間(hr)		0.45~0.55	3.94	高於設計值
凝池	停留時間(hr)		10.18~12.22	77.7	高於設計值
活性污泥池	停留時間(hr)	-	11~33	45.7	高於設計值
	食微比 (kg-BOD ₅ /kg-MLSS-day)	0.2~0.4	-	0.011	低於理論值

處理單元	參數	理論值或建議範圍	許可登載值	評鑑結果	說明
生物污泥槽(沉澱池)	停留時間(hr)	≥2.5	7~8.4	12.6	符合理論值
	表面溢流率(m ³ /m ² -d)	20-30	8.6~10.3	1.5	高於設計值
	堰負荷(m ³ /m-d)	≤150	—	—	無提供堰長度資料
	有效水深(m)	2.5-4.0	—	2.95	符合理論值

註：理論值摘自保護署工業污染防制技術手冊之廢水處理廠操作管理

同時為瞭解該廠曝氣池的操作狀況正常與否，微生物有機體的膠凝化及緩慢沉降能力好壞是判定其功能正常與否之重要指標，對該廠曝氣池及迴流污泥進行污泥之30分鐘沉降試驗，作為判定的參考依據。依據結果顯示，現場於曝氣池及迴流污泥管採集水樣倒入1公升的量桶中，經過30分鐘靜置後發現，活性污泥池污泥體積約為13%；迴流污泥外觀呈現黃褐色，迴流污泥沉降30分鐘後污泥體積約為23%。如表7.4.4-4所示，由此顯示污泥沉降性佳。

活性污泥的沉降性一般以活性污泥體積指標(Sludge Volume Index, SVI)來表示。SVI值可以從曝氣槽取出混合懸浮固體倒入1L的量筒中，靜置30分鐘後，1克活性污泥所佔有的容積(mL)來表示，SVI值的計算方法如下：

$$SVI \text{ (mL/g)} = SV30 \text{ (mL/L)} / MLSS \text{ (g/L)}$$

式中：

$$SVI = \text{污泥容積指標(mL/g)}$$

$$SV30 = 1 \text{ 公升活性污泥靜置30分鐘時沉澱污泥所佔之體積(mL/L)}$$

$$MLSS = \text{活性污泥濃度(g/L)}$$

整體而言，各槽體間之pH約為6.74~7.32，水溫約為31.1~35.1℃，導電度約為245~278 μS/cm。本次檢測結果顯示，SS去除率高達83.9%、BOD去除率高達84.6%、COD去除率高達84.8%，真色色度原廢水濃度即為<25mg/L，放流水亦為<25mg/L。

表 7.4.4-4 家庭用紙廢水活性污泥及迴流污泥沉降試驗表

採樣處		活性污泥池(2/3 處)						
沉降時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	60
污泥高度(mL)	0	270	200	170	160	150	130	100
SV ₃₀	13%							
SVI (mL/gMLSS)	40.4							
採樣處		迴流污泥						
沉降時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	60
污泥高度(mL)	960	430	370	340	300	260	230	200
SV ₃₀	23%							
SVI (mL/MLSS)	71.6							

廢水處理場，設置費用一千餘萬元，操作費用包含電力費(3,500 kWh/day x 2 元/kWh)與藥品費用(polymer)合計每日約 22,000 元。目前該廢水處理場設置甲級廢水操作員 1 人、乙級 2 人，操作多年來，處理成效良好，放流水質可符合現今標準。

表 7.4.4-5 家庭用紙案例之操作設施可改善與建議事項

操作設施改善事項說明
1. 攔污柵：原廢水流量計位置設置於攔污柵之後而非攔污柵之前，該設置情形與許可登載不符。
2. 調整池：調整池旁有一許可未登載凹槽，並且「調整池」標示位置標示於此為登載凹槽上。
3. 混凝膠凝池：該單元有厭氧、污泥上浮現象，該槽現場無加藥，許可登載該槽應加 polymer。
4. 混凝池：該單元有污泥上浮現象，且池中無混凝功能。
5. 活性污泥池：許可登載於該槽加入 N、P 肥，但現場加藥位置為混凝池中；該槽現場設有 DO 計，許可未登載。
6. 生物污泥槽：現場為 3 槽並聯，但現場廢水僅進入 2 槽，業者表示水量僅需 2 槽即可負荷，但該流程與許可登載不符。
7. 放流井：放流之巴歇爾水槽生長青苔及蜘蛛網，已建請業者定期清除以免影響放流水質。

	
<p>照片 1：膠凝池加 NP 肥加藥處 說明：NP 加藥處位於混凝池出流，許可登載位置為活性污泥池中</p>	<p>照片 2：混凝池操作缺失 說明：混凝池僅沉澱功能，無混凝功能</p>
<p>建議處理事項：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 未標示的處理設備，且未在申請之水措內，均需向當地環保機關於換發時進行重新申請與核備。 2. 處理設備之周遭環境需清空且整潔，對於設備之輕微維護需定時清除，並寄錄於工作手冊，儀器維護保養均要有定期維護手冊。 3. 若添加量過多，將使膠體顆粒電位發生逆轉，再度成為安定化之狀態。使用高分子助凝劑時亦相同，若過度加藥會使膠羽表面被高分子助凝劑包覆，而形成再穩定現象，而失去架橋作用；若形成之膠羽過度攪拌，也會導致膠羽破壞而成為微細狀態，因此適當的慢混攪拌強度選定也甚為重要。必要時考率做瓶杯試驗已得到最佳操作參數。 4. 因此適當的慢混攪拌強度選定也甚為重要，過快易發生短流現象；過慢混凝劑與廢水無法迅速混合，因此一般停留時間約為1-5 min，槽內流速通常為1.5 m/sec 以上。 5. 污水廠內添加新設備需對環保機關進行公文的申請，以免受罰。 <p style="text-align: right;">*縣市環保局提供</p>	

參考文獻

- [1] 中華民國台灣地區工業生產統計月報，經濟部統計處，2001年2月
- [2] 台灣區造紙工業同業公會，台灣造紙工業統計，2014年5月
- [3] 內政部戶政司，<http://www.ris.gov.tw/>
- [4] 陶泰來譯，製漿造紙技術手冊，食貨出版社印行
- [5] 粗紙業污染防治輔導專集綜合報告，中國技術服務社工業污染防治技術服務團，1991年6月。
- [6] 造紙工廠廢水污染防治，經濟部工業污染防治技術服務團，1987年5月。
- [7] 國內自製活染防治設備市場調查，經濟部工業局工業污染防治技術服務團，1990年6月。
- [8] 台灣省造紙廢水污染防治之研究，行政院環境保護署，1989年6月。
- [9] 張鎮南，製漿造紙製程廢水特性與處理法，造紙業廢水污染防治技術講習會，經濟部工業局，工業污染防治技術服務團，中國技術服務社，1990年10月16日。
- [10] 許慶雲，造紙工業廢棄物特性. 1991年工業減廢示範推廣輔導計畫，工業減廢高級經理人員講習班，工業減廢技術人員訓練班，中鼎工程股份有限公司，中國技術服務社，1990年6月。
- [11] 廢水處理單元-物理處理，廢水專責人員訓練教材，環保署環境保護人員訓練所，2006年4月
- [12] 廢水處理單元-化學處理，廢水專責人員訓練教材，環保署環境保護人員訓練所，2006年4月
- [13] 廢水處理單元-生物處理，廢水專責人員訓練教材，環保署環境保護人員訓練所，2006年4月
- [14] Sutherland, K. (2010) Separation Activities in Wood Pulp and Paper Making. *Filtr. Sep.*, 47 (5), 22–25.
- [15] Hillman, D. (2010) Looking Ahead to 2010-what it may Hold for the Global Pulp and Paper Industry. *Paper Asia.*, 26(1), 24–27.
- [16] Gupta, A.; Pal, R.; Tripathi, A. (2013) Effluent Characterisation of Pulp and Paper Mill in Moradabad and its Impact on Paddy Crop. *POLLUTION RESEARCH*, 32 : 283-287.
- [17] Lopes, A. C.; Munteer, A. H.; Stoppa, T. V.; Aquino, D. S. (2013) Biological activity of bleached kraft pulp mill effluents before and after activated sludge and ozone treatments. *Water Science & Technology*, 67.
- [18] Mahmood-Khan, Z.; Hall, E. R. (2013) Biological removal of phyto-sterols in pulp mill effluents. *Journal of environmental management*, 131 : 407-414.
- [19] Su, F.-L.; Li, H. F.; Zhou, X.; Lu, J.; Qiao, L.; Wang, T. L. (2013) Transfer of heavy metals in wetland ecosystem enrichment. *Fresenius Environ. Bull. Fresenius*

- Environmental Bulletin, 22 : 2803-2808.
- [20] Kovacs, T. G.; Martel, P. H.; O'Connor, B. I.; Hewitt, L. M.; Parrott, J. L.; McMaster, M. E.; MacLatchy, D. L.; Van Der Kraak, G. J.; Van Den Heuvel, M. R. (2013) A survey of Canadian mechanical pulp and paper mill effluents : Insights concerning the potential to affect fish reproduction. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48 : 1178-1189.
- [21] Buyukkamci and Koken (2010) 21
- [22] Udayasoorian, C.; Ramalingam, P.; Jayabalakrishnan, R.; Vinoth Kumar, K. (2013) Carbon supported Zero Valent Iron nanoparticles for treating PCP in Pulp and Paper mill effluent. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 17 : 97-108.
- [23] Bassandeh, M.; Antony, A.; Le-Clech, P.; Richardson, D.; Leslie, G. (2013) Evaluation of ion exchange resins for the removal of dissolved organic matter from biologically treated paper mill effluent. *Chemosphere*, 90 : 1461-1469.
- [24] Shukla, S. K.; Kumar, V.; Chakradhar, B.; Kim, T.; Bansal, M. (2013a) Designing plant scale process integration for water management in an Indian paper mill. *Journal of environmental management*, 128 : 602-614.
- [25] Baroutian, S.; Robinson, M.; Smit, A.-M.; Wijeyekoon, S.; Gapes, D. (2013) Transformation and removal of wood extractives from pulp mill sludge using wet oxidation and thermal hydrolysis. *Bioresource Technology*, 146 : 294-300.
- [26] Irfan, M.; Butt, T.; Imtiaz, N.; Abbas, N.; Khan, R. A.; Shafique, A. (2013) The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation–flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate. *Arabian Journal of Chemistry*.
- [27] Yuliani, G.; Chaffee, A. L.; Garnier, G. (2013) Biorefinery process water effluent treatments by salt coagulation. *Biomass and Bioenergy*, 56 : 189-196.
- [28] Stoica, A.; Sandberg, M.; Holby, O. (2009) Energy Use and Recovery Strategies within Wastewater Treatment and Sludge Handling at Pulp and Paper Mills. *Bioresour. Technol.*, 100, 3497-3505.
- [29] Shukla, S. K.; Kumar, V.; Kim, T.; Bansal, M. (2013b) Membrane filtration of chlorination and extraction stage bleach plant effluent in Indian paper Industry. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15 : 235-243.
- [30] Amaral, M. C. S.; Andrade, L. H. d.; Lange, L. C.; Borges, C. P. (2013) Avaliação do emprego de microfiltração para remoção de fibras do efluente de branqueamento de polpa celulósica (Evaluation of the use of microfiltration for removal of fiber from bleaching pulp mill effluent). *Eng. San. e Ambi.*, 18 : 65-74.
- [31] Ko, C. -H.; Fan, C. (2010) Enhanced Chemical Oxygen Demand Removal and Flux Reduction in Pulp and Paper Wastewater Treatment Using Laccase-Polymerized Membrane Filtration. *J. Hazard. Mater.*, 181, 763–770.
- [32] Zhang, Y.; Ma, C.; Ye, F.; Kong, Y.; Li, H. (2009) The Treatment of Wastewater of Paper Mill with Integrated Membrane Process. *Desalination*, 236, 349-356.

- [33] Choudhary, A. K.; Kumar, S.; Sharma, C. (2013) Removal of Chlorophenolics From Pulp and Paper Mill Wastewater Through Constructed Wetland. *Water Environment Research*, 85 : 54-62.
- [34] Wang, Y.; Xi, B.; Jia, L.; Su, M.; Cui, X.; Li, G.; Liu, D. (2013) Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of populus tomentosa seedlings. *Shengtai Xuebao Acta Ecol. Sin. Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 33 : 1626-1635.
- [35] Ekstrand, E.-M.; Larsson, M.; Truong, X.-B.; Cardell, L.; Borgström, Y.; Björn, A.; Ejlertsson, J.; Svensson, B. H.; Nilsson, F.; Karlsson, A. (2013) Methane potentials of the Swedish pulp and paper industry – A screening of wastewater effluents. *Applied Energy*, 112 : 07-517.
- [36] Lin, Y.; Wu, S.; Wang, D. (2013) Hydrogen-methane production from pulp & paper sludge and food waste by mesophilic–thermophilic anaerobic co-digestion. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 : 15055-15062.
- [37] Hagelqvist, A. (2013) Batchwise mesophilic anaerobic codigestion of secondary sludge from pulp and paper industry and municipal sewage sludge. *Waste management*, 33 : 820-824.
- [38] Mussoline, W.; Esposito, G.; Lens, P.; Spagni, A.; Giordano, A. (2013) Enhanced methane production from rice straw co-digested with anaerobic sludge from pulp and paper mill treatment process. *Bioresource technology*, 148 : 135-143.
- [39] Mahmood-Khan, Z.; Hall, E. R. (2013) Biological removal of phyto-sterols in pulp mill effluents. *Journal of environmental management*, 131 : 407-414.
- [40] Lamichhane Upadhyaya, K.; Mondala, A.; Hernandez, R.; French, T.; Green, M.; McFarland, L.; Holmes, W. (2013) Biocrude production by activated sludge microbial cultures using pulp and paper wastewaters as fermentation substrate. *Environmental technology*, 34 : 2171-2178.
- [41] Chandra, R.; Bharagava, R. N. (2013) Bacterial degradation of synthetic and kraft lignin by axenic and mixed culture and their metabolic products. *Journal of Environmental Biology*, 34.
- [42] Kumar, A.; Dhall, P.; Kumar, R. (2013) Biological AOX removal of pulp mill plant effluent by *Pseudomonas Aeruginosa*–Bench study. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 21 : 296-304.
- [43] Karn, S. K.; Reddy, M. S. (2013) Removal of 2, 4, 5-trichlorophenol by bacterial isolates from the secondary sludge of pulp and paper mill. *Journal of basic microbiology*, 53 : 752-757.
- [44] Soloman, P. A.; Basha, C. A.; Velan, M.; Balasubramanian, N.; Marimuthu, P. (2009) Augmentation of Biodegradability of Pulp and Paper Industry Wastewater by Electrochemical Pre-Treatment and Optimization by RSM. *Sep. Purif. Technol.*,

- 69, 109-117.
- [45] Barreto-Rodrigues, M.; Souza, J. V. B.; Silva, E. S.; Silva, F. T.; Paiva, T. C. B. (2009) Combined Photocatalytic and Fungal Processes for the Treatment of Nitrocellulose Industry Wastewater. *J. Hazard. Mater.*, 161, 1569-1573.
- [46] Assalin, M. R.; Almeida, E. S.; Durán, N. (2009) Combined System of Activated Sludge and Ozonation for the Treatment of Kraft E1 Effluent. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 6, 1145-1154.
- [47] El-Ashtoukhy, E.-S. Z.; Amin, N. K.; Abdelwaha, O. (2009) Treatment of Paper Mill Effluents in a Batch-Stirred Electrochemical Tank Reactor. *Chem. Eng. J.*, 146, 205-210.
- [48] Zaied, M.; Bellakhal, N. (2009) Electrocoagulation Treatment of Black Liquor from Paper Industry. *J. Hazard. Mater.*, 163, 995-1000.
- [49] Dutta, P. K.; Rabaey, K.; Yuan, Z.; Rozendal, R. A.; Keller, J. (2010) Electrochemical Sulfide Removal and Recovery from Paper Mill Anaerobic Treatment Effluent. *Water Res.*, 44, 2563–2571.
- [50] Duan, X.; Liu, T.; Duan, W.; Hu, H. (2010) Adsorption and Coagulation Tertiary Treatment of Pulp Paper Mills Wastewater. *Proceedings of the 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE)*; Chengdu, China, Jun 18-20; DOI : 10.1109/ICBBE.2010.5517706, Available from : [http : //ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=5517706](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=5517706).
- [51] Shaw, L. E.; Lee, D. (2009) Sonication of Pulp and Paper Effluent. *Ultrason. Sonochem.*, 16, 321-324.
- [52] Liu, X.-w.; Wang, Y.; Ge, C.-h. (2009) Treatment of Paper-Making Wastewater by Catalytic Wet Air Oxidation Method. *Environ. Sci. Technol. (Beijing, China)*, 32 (8).
- [53] Mishra, S.; Mohanty, M.; Pradhan, C.; Patra, H. K.; Das, R.; Sahoo, S. (2013) Physico-chemical assessment of paper mill effluent and its heavy metal remediation using aquatic macrophytes—a case study at JK Paper mill, Rayagada, India. *Environmental monitoring and assessment*, 185 : 4347-4359.

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

紙漿、紙及紙製品製造業污染防治法規與處理技術手冊 / 經濟部工業局. -- 初版. -- 臺北市 : 工業局, 民 103.12
面 ; 公分
ISBN 978-986-04-3708-9(平裝)
1.水汙染防制 2.空氣汙染防制 3.造紙工業
445.9 103025968

紙漿、紙及紙製品製造業污染防治法規與處理技術手冊

發行人：吳明機

總編輯：游振偉

審查委員：歐陽嶠暉、高思懷、張添晉、李澤民、周明顯、彭元興、謝世平

編撰：王雅玢、康世芳、張維欽、莊順興、游勝傑、蔡勇斌、蘇銘千(依姓氏筆劃排列)

出版所：經濟部工業局

台北市信義路三段 41-3 號

TEL：(02)2754-1255 FAX：(02)2704-3753

<http://www.moeaidb.gov.tw>

出版日期：中華民國 103 年 12 月

版次：初版

GPN：1010302937

ISBN：978-986-04-3708-9

展售處：國家書店：台北市松江路 209 號 1 樓(02-2518-0207)

<http://www.govbooks.com.tw/>

五南文化廣場：台中市軍福七路 600 號(04-2437-8010)

<http://www.wunanbooks.com.tw/>

定價：新台幣參佰元整

著作權利管理資訊：經濟部工業局保有所有權利。欲利用本書或部分內容者，需徵求經濟部工業局同意或書面授權。

聯絡資訊：圖書室(02)2754-1255 轉 3916

