

經濟部工業局
印刷電路板業污染防治法規與
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，感謝張維欽、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	2-10
2.2	廢氣污染防制	2-13
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	2-20
2.3	其他污染管制	2-25
2.3.1	廢棄物污染防制	2-25
2.3.2	土壤污染整治	2-35
第三章	製程與污染特性	3-1
3.1	製程概述	3-1
3.1.1	單面板	3-1
3.1.2	雙面板	3-1
3.1.3	多層板	3-2
3.2	水污染來源與特性	3-5
3.2.1	水污染來源	3-5
3.2.2	水污染特性	3-5
3.3	空氣污染來源與特性	3-6
3.3.1	空氣污染來源	3-6
3.3.2	空氣污染特性	3-6
第四章	水污染防治處理技術	4-1
4.1	印刷電路板業廢水處理技術	4-1
4.1.1	一般性廢水處理技術原理	4-1
4.1.2	印刷電路板業廢水處理規劃設計或改善執行要項	4-4
4.2	印刷電路板業廢水處理方法	4-15
4.2.1	重金屬廢水處理-氫氧化物沉澱法	4-15
4.2.2	化學銅廢液及廢水之處理	4-23
4.2.3	顯像、去墨/膜廢液之處理	4-50
4.3	廠內管理/減廢	4-85
4.3.1	污染源清查	4-86
4.3.2	廠內管理	4-87

4.3.3	製程減廢技術	4-92
4.4	印刷電路板業廢水處理流程	4-100
4.4.1	工業區內之廢水處理流程	4-100
4.4.2	工業區外之廢水處理流程	4-101
第五章	空氣污染防治處理技術	5-1
5.1	處理原理	5-1
5.2	處理方法及流程	5-1
5.2.1	局部排氣系統	5-3
5.2.2	粉塵及金屬燻煙控制技術	5-16
5.2.3	酸性氣體控制技術	5-55
5.2.4	VOCs 控制技術	5-58
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	6-28
6.2	處理單元之異常對策	6-53
6.2.1	水污染處理單元之異常對策	6-53
6.2.2	空污處理單元之異常對策	6-67
第七章	案例介紹	7-1
7.1	典型完整廢水處理流程之案例	7-1
7.1.1	工業區內之典型處理案例 (工廠 A).....	7-1
7.1.2	工業區外之典型處理案例 (工廠 B、工廠 C).....	7-4
7.2	廢水處理程序之改善案例	7-9
7.3	廢水處理廠常見查核缺失與改善之案例	7-18
7.3.1	印刷電路板製造工廠 (工廠 E).....	7-18
7.3.2	印刷電路板製造工廠 (工廠 F).....	7-21
7.3.3	印刷電路板製造工廠 (工廠 G).....	7-23
7.3.4	印刷電路板製造工廠 (工廠 H).....	7-24
7.3.5	印刷電路板製造工廠 (工廠 I).....	7-27
參考文獻		i

圖目錄

圖 2.1.1-1	水污染防治法規架構圖.....	2-1
圖 2.1.1-2	水措計劃及許可申請之流程.....	2-3
圖 2.2-1	空氣污染防制法及相關子法架構圖.....	2-13
圖 2.3.1-1	廢棄物清理法及相關子法架構圖.....	2-26
圖 2.3.2-1	土壤及地下水污染整治法及相關子法之架構.....	2-35
圖 3.1.1-1	典型單面板製造流程.....	3-3
圖 3.1.2-1	典型雙面板製造流程.....	3-4
圖 3.1.3-1	典型多層板製造流程.....	3-4
圖 4.2.1-1	金屬離子之溶解度與 pH 之關係.....	4-18
圖 4.2.1-2	印刷電路板工廠綜合廢水分批式處理流程圖.....	4-20
圖 4.2.1-3	印刷電路板工廠綜合廢水連鎖式處理流程圖.....	4-20
圖 4.2.2-1	EDTA 之離子型態與 pH 值關係.....	4-27
圖 4.2.2-2	化學鍍銅製作流程及清洗方式.....	4-29
圖 4.2.2-3	硫酸亞鐵處理法處理化學銅廢液及廢水之處理流程.....	4-30
圖 4.2.2-4	處理化學銅廢水 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 添加量與銅去除效果之關係.....	4-35
圖 4.2.2-5	添加鈣鹼處理化學銅廢水銅之去除效果與 pH 之關係.....	4-36
圖 4.2.2-6	鈣鹽處理法處理化學銅廢液及廢水之處理流程.....	4-37
圖 4.2.2-7	硼氫化鈉還原法處理化學銅廢液及廢水之處理流程.....	4-40
圖 4.2.2-8	鋁催化還原法處理化學銅廢液及廢水之處理流程.....	4-44
圖 4.2.2-9	銅催化還原法處理化學銅廢液之處理流程.....	4-50
圖 4.2.3-1	顯像、去墨/膜廢液酸化及化學混凝沉澱處理流程.....	4-61
圖 4.2.3-2	生物膜之代謝模式.....	4-67
圖 4.2.3-3	固定床式接觸曝氣法基本構造圖.....	4-69
圖 4.2.3-4	水力停留時間與出流水 COD 濃度之關係.....	4-71
圖 4.2.3-5	COD 容積負荷與 COD 去除率之關係.....	4-71
圖 4.2.3-6	接觸材表面積負荷與 COD 去除率之關係.....	4-72
圖 4.2.3-7	接觸曝氣法處理顯像、去墨膜廢液之處理流程.....	4-72
圖 4.2.3-8	顯像、去墨/膜廢液生物處理後出流水活性碳等溫吸附試驗結果....	4-79
圖 4.2.3-9	活性碳吸附穿透曲線.....	4-81
圖 4.2.3-10	活性碳塔多段式吸附操作.....	4-81
圖 4.2.3-11	反應槽攪拌吸附方式之處理流程.....	4-82
圖 4.2.3-12	活性碳塔槽吸附方式之處理流程.....	4-83
圖 4.4.1-1	廢水納入工業區廢水處理廠之管末處理流程與方法.....	4-101
圖 4.4.2-1	採用粒狀活性碳吸附法之管末處理流程與方法.....	4-102
圖 4.4.2-2	採用粉狀活性碳吸附法之管末處理流程與方法.....	4-102

圖 4.4.2-3	採用接觸曝氣法之管末處理流程與方法	4-103
圖 5.2.1-1	吹出氣流與吸引氣流差異示意圖	5-4
圖 5.2.1-2	邊長比為 1:2 之矩形開口部吸引氣流之等速剖面圖	5-4
圖 5.2.1-3	簡單圓形開口氣罩	5-6
圖 5.2.1-4	簡單矩形開口氣罩	5-6
圖 5.2.1-5	錐式氣罩入口壓力損失係數	5-9
圖 5.2.1-6	直葉型風車	5-14
圖 5.2.1-7	曲葉型風車(通稱透浦風車(turbo blowers))	5-14
圖 5.2.1-8	環型風車	5-14
圖 5.2.1-9	風車選用	5-15
圖 5.2.2-1	濾袋及其支架	5-18
圖 5.2.2-2	濾袋及漏斗	5-18
圖 5.2.2-3	內部過濾(微粒被收集在濾袋內部)	5-19
圖 5.2.2-4	濾袋屋之粉塵進口	5-20
圖 5.2.2-5	濾袋附件	5-20
圖 5.2.2-6	漏斗	5-21
圖 5.2.2-7	濾餅過濾現象	5-22
圖 5.2.2-8	毛氈式的濾材	5-23
圖 5.2.2-9	振盪洗袋法	5-26
圖 5.2.2-10	反洗空氣洗袋法	5-27
圖 5.2.2-11	脈衝噴氣式集塵器裝置圖	5-28
圖 5.2.2-12	脈衝噴氣式集塵器之空氣供應系統	5-29
圖 5.2.2-13	靜電集塵器示意圖	5-31
圖 5.2.2-14	氣體流經平板式 ESP 的情形	5-32
圖 5.2.2-15	ESP 本體結構分解示意圖	5-33
圖 5.2.2-16	敲擊機構示意圖	5-34
圖 5.2.2-17	礙子室與支撐礙子示意	5-35
圖 5.2.2-18	均流板圖示	5-35
圖 5.2.2-19	靜電除塵器內的不均勻電場(上視圖)	5-35
圖 5.2.2-20	電極線附近產生電暈放電的現象	5-36
圖 5.2.2-21	在電暈發光區內發生的雪崩相乘效應	5-37
圖 5.2.2-22	在二個電極之間空氣游離成陰離子的情形	5-37
圖 5.2.2-23	在微粒周圍變形之電場線	5-38
圖 5.2.2-24	溫度及濕度對水泥粉塵餅之顯在電阻係數的影響	5-41
圖 5.2.2-25	飛灰之電阻係數與煤炭含硫量及煙道溫度的關係	5-42
圖 5.2.2-26	多孔膨脹室之進氣口	5-42
圖 5.2.2-27	電力分隔區	5-43

圖 5.2.2-28	濕式洗塵器的除塵原理.....	5-46
圖 5.2.2-29	流動床洗塵器之收集效率與微粒粒徑(Dp)的關係.....	5-47
圖 5.2.2-30	多孔平板洗滌器.....	5-48
圖 5.2.2-31	泡罩之衝擊表面詳圖.....	5-49
圖 5.2.2-32	典型的文氏洗滌器.....	5-50
圖 5.2.2-33	可變喉口之文氏洗滌器.....	5-51
圖 5.2.2-34	衝擊噴水式噴頭及螺旋式噴頭.....	5-53
圖 5.2.2-35	簡單之噴霧塔.....	5-54
圖 5.2.2-36	除霧器.....	5-55
圖 5.2.3-1	填充洗滌塔廢氣處理系統.....	5-58
圖 5.2.4-1	揮發性有機物控制技術選用原則及流程.....	5-61
圖 5.2.4-2	揮發性有機物控制技術相對費用及濃度適用範圍.....	5-62
圖 5.2.4.2-1	各式廢氣焚化設備.....	5-66
圖 5.2.4.3-1	活性炭吸附回收系統示意圖.....	5-71
圖 6.1.1-1	板框壓濾式污泥脫水機.....	6-18
圖 6.1.1-2	板框壓濾式脫水機操作程序.....	6-19
圖 7.1.1-1	A 工廠廢水處理流程圖.....	7-2
圖 7.1.2-1	B 工廠廢水處理流圖.....	7-6
圖 7.1.2-2	C 工廠廢水處理流程圖.....	7-8
圖 7.2-1	D 工廠主要製造流程.....	7-10
圖 7.2-2	D 工廠廢水處理流程.....	7-11
圖 7.2-3	D 工廠改善處理流程圖.....	7-15
圖 7.3.1-1	處理流程圖.....	7-18
圖 7.3.1-2	慢混槽攪拌情形.....	7-19
圖 7.3.1-3	採曝氣攪拌.....	7-19
圖 7.3.1-4	酸洗廢水(添加粉狀活性炭).....	7-19
圖 7.3.1-5	脫水機老舊.....	7-19
圖 7.3.2-1	處理流程圖.....	7-21
圖 7.3.2-2	膠凝效果不佳.....	7-22
圖 7.3.2-3	脫水機老舊.....	7-22
圖 7.3.3-1	處理流程.....	7-23
圖 7.3.3-2	快混池.....	7-23
圖 7.3.3-3	慢混池.....	7-23
圖 7.3.3-4	終沉池沉澱.....	7-24
圖 7.3.4-1	設備老舊現場凌亂.....	7-25
圖 7.3.4-2	塑膠桶任意堆置鐵網覆蓋.....	7-25
圖 7.3.4-3	管線未加標示現場凌亂.....	7-25

圖 7.3.4-4	廢水處理流程.....	7-26
圖 7.3.5-1	處理流程.....	7-27
圖 7.3.5-2	廢水處理設施容量不足.....	7-28

表目錄

表 2.1.1-1	專責人員類別規定彙整表.....	2-3
表 2.1.1-2	印刷電路板業一般管制項目及限值.....	2-5
表 2.3.1-1	印刷電路板業製程有害事業廢棄物.....	2-28
表 2.3.2-1	土壤及地下水污染整治法裁罰基準案例.....	2-42
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 4.1.1-2	廢水處理廠化學處理單元基本原理.....	4-2
表 4.1.1-3	廢水生物處理基本程序.....	4-3
表 4.1.2-1	單面板製造流程一覽(範例).....	4-5
表 4.1.2-2	雙面板及多層板製造流程一覽(範例).....	4-5
表 4.1.2-3	製程單元槽液種類及成分(範例).....	4-6
表 4.1.2-4	製程單元廢水及廢液污染質、污染量綜合調查表(線路鍍銅及鍍純錫)(範例).....	4-9
表 4.1.2-5	印刷電路板製程單元廢棄槽液成分及污染特性分析表(範例).....	4-10
表 4.1.2-6	印刷電路板工廠廢水、廢液分類原則及處理方式(範例).....	4-12
表 4.2.1-1	印刷電路板工廠綜合廢水污染濃度分析統計結果.....	4-16
表 4.2.2-1	化學銅溶液組成成分.....	4-24
表 4.2.2-2	國內印刷電路板工廠化學銅廢液及廢水之污染特性.....	4-25
表 4.2.2-3	硫酸亞鐵處理法處理低濃度化學銅廢水試驗結果表.....	4-27
表 4.2.2-4	硫酸亞鐵處理法處理高濃度化學銅廢液試驗結果.....	4-28
表 4.2.2-5	鈣鹽處理法處理化學銅廢水廢水中各成分之平衡濃度關係.....	4-33
表 4.2.2-6	鈣鹽處理法處理化學銅廢液及廢水之測試結果.....	4-34
表 4.2.2-7	各種鈣鹽之溶解度.....	4-34
表 4.2.2-8	理論還原金屬量與硼氫化鈉加藥量之重量比.....	4-38
表 4.2.2-9	硼氫化鈉還原法處理化學銅廢液及廢水之試驗結果.....	4-39
表 4.2.2-10	添加鋁片處理低濃度化學銅廢水試驗結果.....	4-43
表 4.2.2-11	添加鋁粉及甲醛處理化學銅廢水試驗結果.....	4-45
表 4.2.2-12	添加銅箔處理高濃度化學銅廢液試驗結果.....	4-48
表 4.2.2-13	添加銅粉處理化學銅廢液及廢水試驗結果.....	4-49
表 4.2.3-1	各類型印刷電路板工廠顯像去墨/膜廢液污染特性分析.....	4-51
表 4.2.3-2	顯像、去墨/膜廢液各種前處理方法及試驗步驟.....	4-58
表 4.2.3-3	顯像去墨/膜廢液各種前處理方法之試驗結果及成效評估.....	4-59
表 5.2.1-1	不同污染源狀態下之捕捉速度.....	5-5
表 5.2.1-2	不同邊比 r 之 b 值.....	5-7
表 5.2.1-3	氣罩入口之壓力損失.....	5-8
表 5.2.2-1	濾袋使用之典型纖維材料(EPA, 1981).....	5-24

表 5.2.2-2	淨濾布面積 A_n 與因子 f 之關係表	5-30
表 5.2.2-3	平板洗滌器之操作特性	5-50
表 5.2.2-4	文氏洗滌器之操作特徵	5-52
表 5.2.2-5	噴霧塔之操作特徵	5-55
表 5.2.4-1	各種揮發性有機物控制技術之優缺點	5-60
表 5.2.4.2-1	常見碳氫化合物的燃燒範圍	5-65
表 5.2.4.3-1	影響吸附的因子	5-71
表 6.1.1-1	帶壓脫水設備之特性	6-16
表 6.1.1-2	泵浦之構造分類	6-27
表 6.1.1-3	泵浦用途分類及使用材質	6-27
表 6.1.2-1	熱破壞防制設備維護、保養及功能查核要點	6-51
表 6.1.2-3	吸收設備維護、保養及功能查核要點	6-51
表 6.1.2-4	吸附設備維護、保養及功能查核要點	6-52
表 6.2.1-1	化學沉降/混凝沉澱設施之維護檢查項目	6-53
表 6.2.1-2	過濾系統異常現象及對策	6-54
表 6.2.1-3	膜分離之異常現象及對策	6-55
表 6.2.1-4	活性污泥異常現象之主要原因及其對策	6-56
表 6.2.1-5	絲狀微生物膨化原因及防治	6-57
表 6.2.1-6	板框壓濾式脫水機異常主要原因及對策	6-60
表 6.2.1-7	帶濾式污泥脫水機異常對策	6-60
表 6.2.1-8	電磁流量計常見的故障與排除	6-61
表 6.2.1-9	超音波流量計常見的故障與排除方法	6-62
表 6.2.1-10	渦輪式流量計常見的故障與排除方法	6-63
表 6.2.1-11	pH 監測計、ORP 監測之故障原因及處置方法	6-64
表 6.2.1-12	溶氧計常見的故障與排除方法	6-65
表 6.2.1-13	液位計常見的故障與排除方法	6-66
表 6.2.1-14	泵浦故障原因及對策(例：自動控制系統)	6-67
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	6-67
表 7.1.1-1	A 工廠設計處理水量及水質	7-1
表 7.1.2-1	B 工廠設計處理水量及水質	7-5
表 7.1.2-2	C 工廠設計處理水量及水質	7-7
表 7.2-1	D 工廠廢水水量及水質條件*	7-12
表 7.2-2	D 工廠廢水廢液分類原則及處理方法	7-14
表 7.2-3	D 工廠改善後廢水處理流程質量平衡計算表	7-16
表 7.2-4	D 工廠廢水處理改善成效	7-17

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「印刷電路板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

依據行政院環境保護署公告，印刷電路板製造業之定義係指從事以印刷、照相、蝕刻、電鍍等方法製造電路板，作為支撐電

子零件及零件間電路之事業。台灣電路板工業發展迄今，已有三十餘年的歷史，目前為全世界第三大電路板生產國，產值僅次於美、日兩國，目前國內專業全製程電路板工廠約有 85% 的工廠集中在北部地區，其中以蘆竹、中壢、大園等大桃園地區之工廠家數最多，其次為新莊、樹林、三重等台北地區，此外，以電路板廠為核心的相關週邊支援廠商及各類供應商等數百家，亦齊聚在桃園、中壢、台北一帶，以就近服務。台灣電路板產業高密度地集中在方圓 60~70 公里的區域範圍內，此一特殊的現象，與全世界其他主要生產國家比較，應具有更強的市場競爭優勢。

台灣的電路板市場近來出現高度的成長，歸納起來大致有二大原因。首先是整體產業的帶動，在全球資訊產業的蓬勃發展之下，不但使得電腦系統及週邊零組件的需求大幅增加，隨之而來的價格競爭壓力，亦使得國際上各資訊大廠不得不精簡生產成本，在大量與低價的強烈要求之下，以代工能力強、機動性高聞名的台灣廠商便成為最好的選擇，這種發展趨勢不但加重了台灣在整體資訊工業所佔的份量，更是直接帶動了電路板產業的高度成長。

其次是相關條件的配合，台灣地區之電路板，八成以上的廠商都集中在桃園、中壢一帶，形成了一塊專業區，這種情況雖然加重各自競爭壓力，但生產區域集中的特性不但強化了整體產業的力量，也使得上游原物料、相關設備及代工資源的供應不虞匱乏。在相關支援條件都能充分配合的情況之下，台灣的電路板業的確具備了發展潛力。

電路板的製作是應用印刷、照相、蝕刻及電鍍等技術來製造細密的配線，作為支撐電子零件及零件間電路相互接續的組裝基地。隨著電子資訊產品朝輕薄短小化的方向發展，裝配方法亦逐漸朝著高密度及自動化裝配的方向前進，而電子零件的小型化、

薄型化、輕量化不得不因應而生，電路板也由單純的線路板演變成多樣化多機能化與高速處理化的基板，因此，高密度化及多層化的配線形成技術成為電路板製造業發展的主流。

電路板的種類很多，用途也相當廣泛，其製造方法可概分為減成(subtractive)法及加成(additive)法。前者以銅箔基板為基材經印刷或壓膜、曝光、顯像的方式在基材上形成一線路圖案的銅箔保護層後，將板面上線路部分以外的銅箔溶蝕除去，再剝除覆蓋在線路上的感光性乾膜阻劑或油墨，以形成電子線路的方法；而後者則採未壓覆銅箔的基板，以化學銅沈積的方法，在基板上欲形成線路的部分進行銅沈積，以形成導體線路，另還有將上述兩種製造方法折衷改良的局部加成(partial additive)法。

第二章 環保法規

本章特針對印刷電路板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一一說明，並列舉違反相關案例說明。

2.1 廢水污染防治

印刷電路板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。本節彙整現行與印刷電路板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，彙整水污染防治法規架構如圖 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

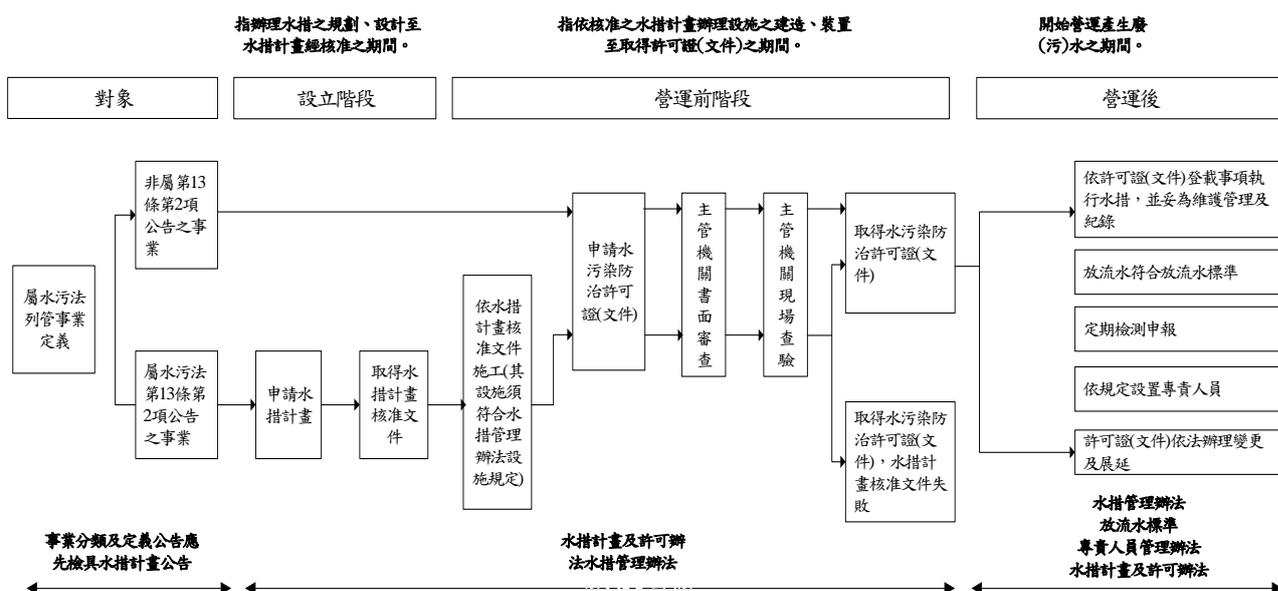
水污染防治法中明訂事業的定義與類別，需遵循的法規如圖 2.1.1-1 架構所示。

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 水措計劃及許可申請之流程

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

印刷電路板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。

印刷電路板業放流水標準如表 2.1.1-2 所示。但特定區域另定有

排放標準者，依其規定。

表 2.1.1-2 印刷電路板業一般管制項目及限值

管制項目	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)
pH	6.0 ~ 9.0
BOD	50
COD	120
SS	50
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 2 條條文)

註：除水溫及 pH 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

緩金額，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 萬以下；疏漏污染物或廢(污)水有不符合放流水標準時，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

經統計印刷電路板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 Cu 及 pH 值，根據水污法第 7 條第 1 項一事業、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 條一廢(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 項一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 多噸，但因處理容量功能不足，自 94 年 9 月起每日僅處理 15,000 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

印刷電路板業之空氣污染排放標準和處理辦法、管制架構如圖2.2-1所示。



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

空氣污染防治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

印刷電路板之生產製程其空氣污染源及廢氣特性，概分如下述3類：

1. 第1類：乾式製程中裁板、鑽孔過程所排放粗大粒徑(大於10 μm)粉塵微粒，以及濕式製程中融熔噴錫過程所排放少量之細粒徑(小於10 μm)金屬燻煙。
2. 第2類：濕式製程中因使用酸鹼藥劑而排放之酸鹼廢氣，其中以硫酸、硝酸、鹽酸及氨氣等酸鹼煙霧為主。
3. 第3類：絲印法使用油墨溶劑、防焊綠漆溶劑及網版清洗溶劑等所排放之揮發性有機廢氣，其成分以酯、醇、醚類、乙苯、甲苯、二甲苯及丁酮等為主。

因此其空氣污染排放主要依循固定污染源空氣污染物排放標準(102.04.24.修正)，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。

(二)特定行業別法規管制對象：

印刷電路板業若設有鍋爐或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，印刷電路板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：氯化氫、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1次檢測。
- (二)第2級：每6個月檢測1次，於每年1月至6月期間及7月至12月期間內應各執行1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1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)揮發性有機物。

(三)甲苯、二甲苯、乙苯。

(四)其他經中央主管機關指定之空氣污染物。

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

經統計印刷電路板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)。

某工廠製造程序，經稽查設備元件時發現有揮發性氣體溢散，有 4 點淨檢測值分別為 12,251 ppm、17,426 ppm、9,262 ppm 及 3,220 ppm，皆超過 2,000 ppm，已違反空氣污染物排放標準與揮發性有機物空氣污染物管制及排放標準第 29 條(設備元件淨檢值不得大於 2,000 ppm-高雄市加嚴標準)。

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。
- (五)未依規定紀錄許可相關核定內容(如壓降等)

某工廠從事印刷電路板製處理作業，經現場查核發現防制設備洗滌塔部分，pH 值未依規定顯示及記錄，且現場洗滌器壓降為 25 mmaq，皆與操作許可核發操作條件洗滌器壓降 30~60 mmaq 明顯不符，已違反空污法第 23 條第 1 項及許可管理辦法第 20 條(應依許可證內容進行操作)。

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，並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)從事營建工程、粉粒狀物堆置、運送工程材料、廢棄物或其他工事而無適當防制措施，致引起塵土飛揚或污染空氣。
- (三)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。
- (四)使用、輸送或貯放有機溶劑或其他揮發性物質，致產生惡臭或有毒氣體。
- (五)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。

某工廠之氯乙烯化學製造程序，其尾氣產生量驟降，尾氣分

解爐氣燃比失衡，致管道排放黑煙散布於空氣，本次異常排放未依空污法第 32 條規定，於故障發生後 1 小時內通知當地主管機關(如傳真、電話)。

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 廢棄物污染防制

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

印刷電路板業與有害事業廢棄物相關性，主要為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。

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。

二、混合五金廢料：依貯存、清除、處理及輸出入等清理階段危害特性判定。

有害特性認定之有害事業廢棄物種類如下：

一、毒性有害事業廢棄物：

(一)依毒性化學物質管理法公告之第 1 類、第 2 類及第 3 類毒性化學物質之固體或液體廢棄物。

(二)直接接觸前目毒性化學物質之廢棄盛裝容器。

二、溶出毒性事業廢棄物：指事業廢棄物依使用原物料、製程及廢棄物成分特性之相關性選定分析項目，以毒性特性溶出程序(以下簡稱 TCLP)直接判定或先經萃取處理再判定之萃出液，其成分濃度超過附表 4 之標準者。

三、腐蝕性事業廢棄物：指事業廢棄物具有下列性質之一者：

(一)廢液氫離子濃度指數(pH 值)大於等於 12.5 或小於等於 2.0；或在攝氏溫度 55 度時對鋼(中華民國國家標準鋼材 S 20 C)之腐蝕速率每年超過 6.35 毫米者。

(二)固體廢棄物於溶液狀態下氫離子濃度指數(pH 值)大於等於 12.5 或小於等於 2.0；或在攝氏溫度 55 度時對鋼(中華民國國家標準鋼材 S 20 C)之腐蝕速率每年超過 6.35 毫米者。

四、易燃性事業廢棄物：指事業廢棄物具有下列性質之一者：

(一)廢液閃火點小於攝氏溫度 60 度者。但不包括乙醇體積濃度小於百分之二十四之酒類廢棄物。

(二)固體廢棄物於攝氏溫度 25 度加減 2 度、一大氣壓下(以下簡稱常溫常壓)可因摩擦、吸水或自發性化學反應而起火燃燒引起危害者。

(三)可直接釋出氧、激發物質燃燒之廢強氧化劑。

五、反應性事業廢棄物：指事業廢棄物具有下列性質之一者：

(一)常溫常壓下易產生爆炸者。

(二)與水混合會產生劇烈反應或爆炸之物質或其混合物。

(三)含氰化物且其氫離子濃度指數(pH 值)於 2.0 至 12.5 間，會產生 250 mgHCN/kg 以上之有毒氣體者。

(四)含硫化物且其氫離子濃度指數(pH 值)於 2.0 至 12.5 間，會產生 500 mgHS/kg 以上之有毒氣體者。

事業之有害事業廢棄物須依本法第 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。

在有害廢棄物認定標準中，印刷電路板業可能產生之廢棄物說明如下表 2.3.1-1。

表 2.3.1-1 印刷電路板業製程有害事業廢棄物

行業別	製程產生之廢棄物	成分		危害性 ^(註)
		中文	英文	
廢棄物處理業及其他具有右列製程產生之廢棄物之行業 其他非鐵金屬基本工業及其他具有右列製程產生之廢棄物之行業	一、廢料回收產生之金屬固體殘留物	鉛、鎘、鉻	lead; cadmium; chromium.	(T)
	二、廢料回收產生之酸性廢液或污泥	銅、鉛、鎘、鉻	copper; lead; cadmium; chromium.	(T)
	三、廢電線電纜粉碎分選回收產生之集塵灰	銅、鉛	copper; lead.	(T)
	四、廢料回收產生之廢螢光粉	汞、鉛	mercury; lead.	(T)
	五、電鍍製程之廢水處理污泥，但下述製程所發生者除外： (一)鋁之硫酸電鍍 (二)碳鋼鍍錫。 (三)碳鋼鍍鋁。 (四)伴隨清洗或汽提之碳鋼錫、鋁。 (五)鋁之蝕刻及研磨。	鎘、六價鉻、鎳、氰化物(錯合物)、銅	cadmium; hexavalent chromium; nickel; cyanide(complexed); copper.	(T)
	六、電鍍廢棄之氰化物電鍍液	氰化物(鹽類)	cyanide (salts).	(T)

行業別	製程產生之廢棄物	成分		危害性 ^(註)
		中文	英文	
	七、使用氰化物之電鍍程序電鍍槽底殘留物	氰化物(鹽類)	cyanide (salts).	(T)
	八、使用氰化物之電鍍程序清洗及汽提廢液	氰化物(鹽類)	cyanide (salts).	(T)
	九、使用氰化物之金屬熱處理油槽之冷卻槽殘留物	氰化物(鹽類)	cyanide (salts).	(T)
其他具有右列製程產生之廢棄物之行業	一、金屬熱處理槽鹽浴罐清洗之氰化物廢液	氰化物(鹽類)	cyanide (salts).	(T)
	二、使用氰化物之金屬熱處理程序之冷卻廢水處理污泥	氰化物(鹽類)	cyanide (salts).	(T)

註：危害性表示：(I)：易燃性；(C)：腐蝕性；(R)反應性；(T)：毒性。

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及保護措施避免污染。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堆放大量印刷電路板碎屑及污泥等事業廢棄物」，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。

(四)違反有害廢棄物輸出入辦法

事業廢棄物之輸入、輸出、過境、轉口，依廢棄物清理法第38條應向直轄市、縣(市)主管機關申請核發許可文件，始得為之；其屬有害事業廢棄物者，並應先經中央主管機關之同意。

已發生案例如「○○公司違法輸出有害事業廢棄物之貨物含銅成分均超過20%」，根據廢棄物清理法第53條處新臺幣6萬元以上30萬元以下罰鍰。經限期改善，屆期仍未完成改善者，按日連續處罰。情節重大者，並得命其停工或停業。

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

為防治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，其責任與本法第 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

- 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，應依法定罰鍰額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。

第 10 條 依本法規定進行土壤、底泥及地下水污染調查、整治及提供、檢具土壤及地下水污染檢測資料時，其土壤、底泥及地下水污染物檢驗測定，除經中央主管機關核准者外，應委託經中央主管機關許可之檢測機構辦理。

前項檢測機構應具備之條件、設施、許可證之申請、審查、核(換)發、撤銷、廢止、停業、復業、查核、評鑑程序、儀器設備、檢測人員、在職訓練、技術評鑑、盲樣測試、檢測方法、品質管制事項、品質系統基本規範、檢測報告簽署、資料提報、執行業務及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。

依第一項規定進行土壤、底泥及地下水污染物檢驗測定時，其方法及品質管制之準則，由中央主管機關定之。

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

3.1 製程概述

國內電路板製造方法目前以減除法(subtractive process)為主，由於各廠大小、型態、生產方向及硬體規模並不盡相同，在製造流程上亦有所差異，但就其產品型態及層次可分為硬板(單面板、雙面板及多層板)、軟板(單面板、雙面板及多層板)，HDI 板及 IC 載板等，其原廢水污染物雷同。

3.1.1 單面板

單面板的基材主要為酚醛樹脂基板，少部分為環氧樹脂基板，經單面貼合銅箔於加熱、加壓下形成單面銅箔基板，進行裁切成一定尺寸規格後，即進行一系列線路形成的作業，其典型製造流程如圖 3.1.1-1 所示。首先在銅面上施以輕刷粗化，以加強蝕刻阻劑與銅面的附著力，然後再進行正片蝕刻阻劑轉移，在所欲形成的線路上覆蓋一層耐蝕刻的乾膜或油墨阻劑，一般均採油墨網板印刷方式，經蝕刻溶蝕除去線路以外的銅面，再將阻劑去除，板面上即出現所要的線路圖形，接著進行鑽孔，所形成的通孔用以提供未來電子零件導線插入及焊接之用，再行刷磨去鑽孔時在孔口形成的毛頭，以增加後續防焊綠漆與板面的附著力，最後全板再加印防焊綠漆，但要留出板面的通孔及線路，噴附上一層錫，作為電子零件裝配焊錫之用。

3.1.2 雙面板

雙面板的基板及以環氧樹脂為主，兩面貼合銅箔以成雙面銅箔基板，其典型製造流程如圖 3.1.2-1 所示，在裁切好的基板上進行鑽孔及孔口毛頭去除後，進行化學銅導通孔，即在非導體的通孔壁及兩面銅層上沈積銅，使上下兩面銅層經由化學銅導體化後的通孔得以連通，在化學銅之後需先做上一次很薄的全板鍍銅，以加厚孔壁上的銅層，再行表面刷磨清潔及粗化銅面後，進行負片抗蝕阻劑轉

移，再進行線路鍍銅及鍍錫鉛後，去除阻劑，經蝕刻將兩面所要形成的線路及通孔裸露出來，錫鉛鍍金板則先行鍍鎳鍍金，再將板面已鍍上灰暗的錫鉛合金層用高溫的媒體(如甘油、石蠟)溶融成為光澤表面的合金實體，以增加美觀、防銹及焊接的功能，噴錫鍍金板則需剝除錫鉛鍍層，以形成裸銅板然後進行防焊錄漆塗佈，最後在待插焊之通孔及其焊墊上進行噴錫，使裸銅能得到保護及具備良好的焊錫性。

3.1.3 多層板

多層板的製造包含內層及外層線路的製作，雙面銅箔薄基板為多層板主要的內層材料，另配合膠片及銅箔與完成導體線路製作的內層板進行疊板壓合以形成多層板，其典型製造流程如圖 3.1.3-1 所示，內層板導體線路的形成與單面板相同，待完成內層線路後，進行黑/棕氧化使內層板線路表面上形成一粗糙的結構，以增加在進行疊板壓合時與膠片之間的結合能力，在疊板過程中，四層板用 1 片內層板，六層板用 2 片，八層板則用 3 片，中間以膠片作為黏合及絕緣材料，外層再覆蓋銅箔，進行壓合後成為多層板，為使內外層線路得以連通，需行鑽孔，而鑽孔後在孔壁上形成的膠渣，先行去除後，再進行鍍通孔作業，其後之多層線路作業流程與雙面板相同。

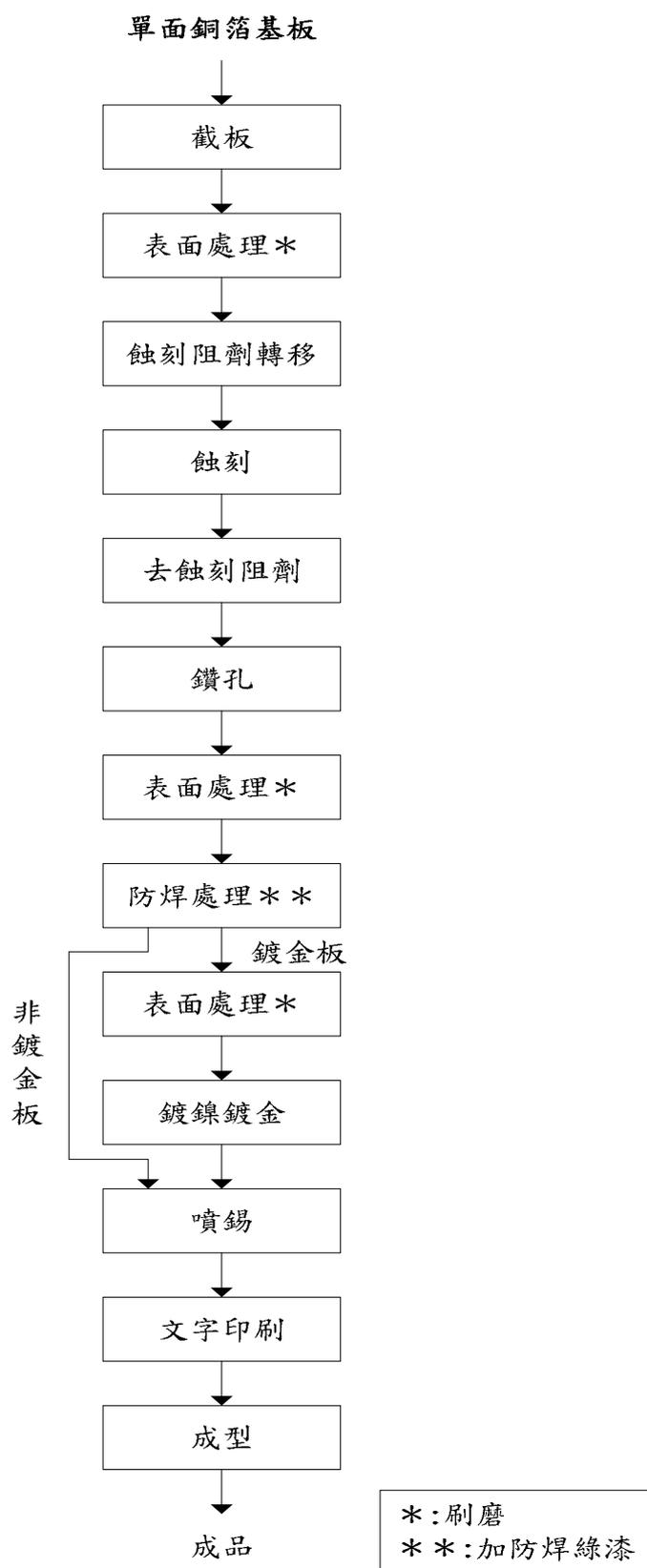


圖 3.1.1-1 典型單面板製造流程

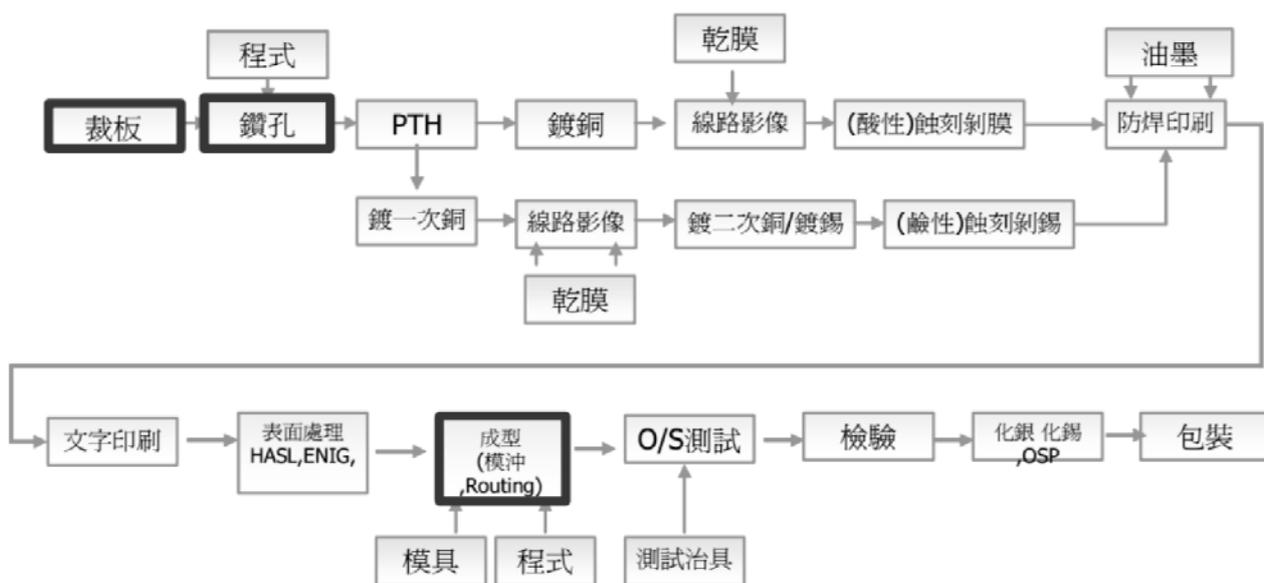


圖 3.1.2-1 典型雙面板製造流程

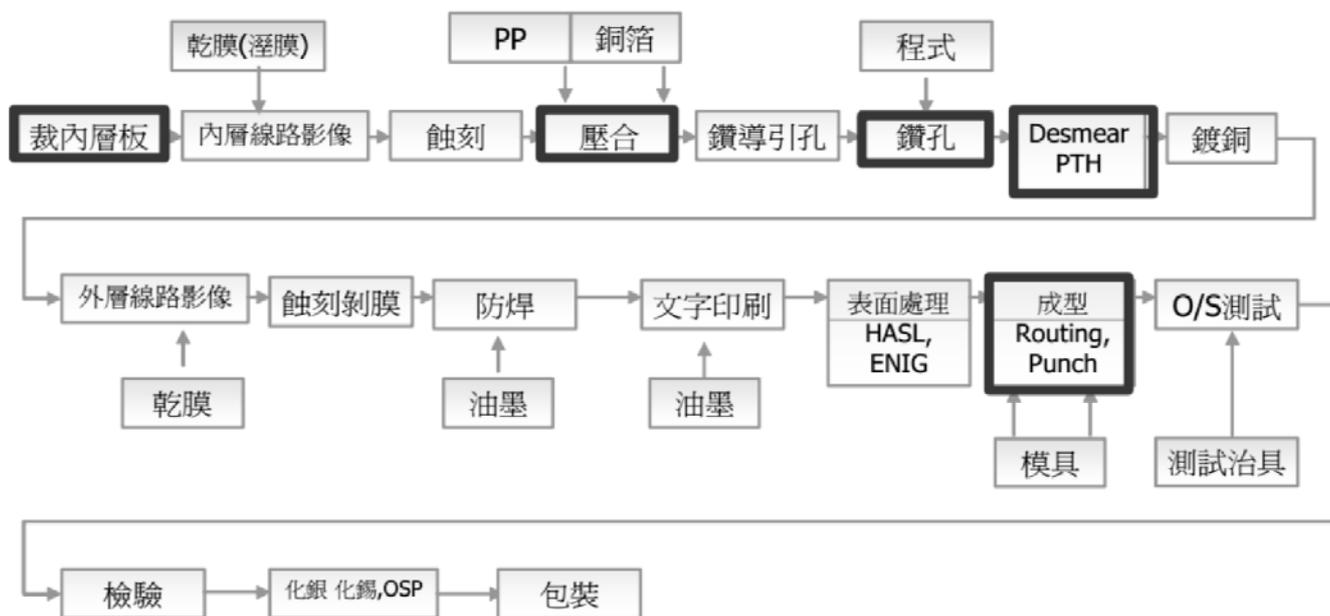


圖 3.1.3-1 典型多層板製造流程

3.2 水污染來源與特性

3.2.1 水污染來源

印刷電路板製程一般可區分為乾式製程(dry process)及溼式製程(wet process)，以典型多層板之製程而言，乾式製程包含裁板、乾膜壓合、疊板壓合、鑽孔、成型裁邊等，所產生的污染物主要為固體廢棄物，如廢邊料、廢銅箔、護膜、鑽屑、廢墊板、廢蓋板及報廢板等，溼式製程包含內層刷磨、內層顯像、內層蝕刻、內層去墨或剝膜、黑/棕氧化、去毛邊、除膠渣、鍍通孔、全板鍍銅、外層刷磨、外層顯像、線路鍍銅、鍍錫鉛、外層剝膜、外層蝕刻、剝錫鉛、防焊綠漆、前處理刷磨、防焊綠漆顯像、鍍鎳鍍金、噴錫前/後處理、成型清洗及綠漆褪洗等。各溼式製程單元之藥液槽採用多種化學原料，在生產過程中排出各類老化之高濃度廢棄槽液及低濃度清洗廢水。以下便針對多層板、雙面板及單面板工廠之廢水、廢液污染來源做詳盡的介紹，以使能深入瞭解並掌握各類印刷電路板製程之污染發生源。

3.2.2 水污染特性

印刷電路板製程廢水、廢液的污染特性隨產品層次的提升而趨於複雜，且與其製程使用之物料有直接的關係。印刷電路板工廠排放廢水之主要污染物有 pH、COD、銅離子(Cu^{2+})等，而由於近年來國際公約(如 WEEE 及 RoHS 等)的要求，以及各特用化學藥品供應商為減輕廢水管末處理之負荷，而自行研發許多低污染之藥劑，因此過去存在於典型印刷電路板製造業原廢水之污染物，如氰化物、鉛離子(Pb^{2+})、六價鉻(Cr(VI))及氟化物等，在國內的印刷電路板製造業原廢水中，其濃度已大幅降低或不存在。

3.3 空氣污染來源與特性

3.3.1 空氣污染來源

印刷電路板依產品型態及層次可分為硬板(單面板、雙面板及多層板)、軟板(單面板、雙面板及多層板)，HDI板及IC載板等，隨著電子零件小型化、薄型化、輕量化之訴求，高密度化及多層化的配線形成技術成為電路板製造業發展的主流。國內工廠製造印刷電路板之方式以減除法為主，其流程隨產品層次之提升而趨於複雜。

3.3.2 空氣污染特性

印刷電路板之生產製程其空氣污染源及廢氣特性，概分如下述三類：

- 一、第一類：乾式製程中裁板、鑽孔過程所排放粗大粒徑(大於 $10\mu\text{m}$)粉塵微粒，以及濕式製程中融熔噴錫過程所排放少量之細粒徑(小於 $10\mu\text{m}$)金屬燻煙。
- 二、第二類：濕式製程中因使用酸鹼藥劑而排放之酸鹼廢氣，其中以硫酸、硝酸、鹽酸及氨氣等酸鹼煙霧為主。
- 三、第三類：絲印法使用油墨溶劑、防焊綠漆溶劑及網版清洗溶劑等所排放之揮發性有機廢氣，其成分以酯、醇、醚類、乙苯、甲苯、二甲苯及丁酮等為主。

依據前述三類空氣污染物之分類方式，分別就其所屬排放源之污染特性分析說明如下：

- (一) 粒狀污染物排放之主要污染源包括裁板與鑽孔過程所逸散之基板碎片及銅箔碎片，以及噴錫過程所排放含錫成分之金屬燻煙，其中基板碎片與銅箔碎片排放量雖大且含銅量高，但由於粒徑較大，不易飛揚於空氣中，故對人體健康之影響有限，而且目前國內大部分電路板工廠皆已採用袋濾集塵機進行污染控制，因其處理效率可高達99%以上，故能有效去除基板碎片與銅箔碎片，是以此類粒狀污染物對環境空氣品質

之影響不大；至於噴錫排放錫金屬燻煙之粒徑，雖然較小(< 10 μm)，但因逸散排放量非常低，且作業區空間之密閉性良好，故對環境空氣品質之衝擊亦不嚴重。

(二) 酸鹼煙霧之排放污染源幾乎遍佈整個濕式製程，此乃由於電路板濕式製程大量使用酸鹼藥液之故。

第四章 水污染防治處理技術

4.1 印刷電路板業廢水處理技術

4.1.1 一般性廢水處理技術原理

一、物理處理

物理處理單元包括：篩除、沉砂池、調勻池、混合、沉澱、浮除及過濾等，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

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

二、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裡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，處理單元基本原理如表 4.1.1-2 所示。

表 4.1.1-2 廢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，使汙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，將汙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汙染物接觸活性碳時，會被活性碳吸引，進而停留在碳表面，達去除汙染物之目的
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

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

三、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)。

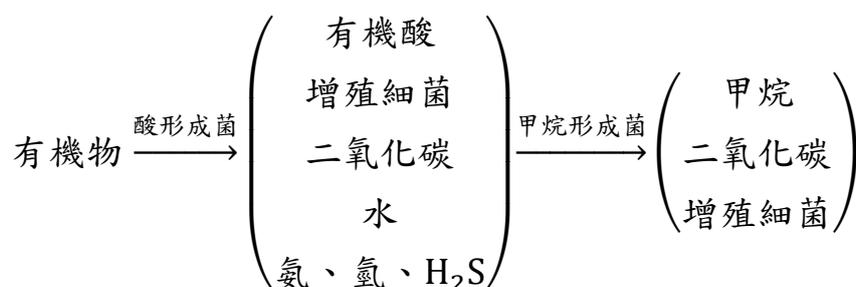
(一) 好氧性處理

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：



(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、氫及硫化氫等，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 4.1.1-3。

表 4.1.1-3 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

型式	名稱	用途
(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
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 及氯化作用
(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

4.1.2 印刷電路板業廢水處理規劃設計或改善執行要項

一、污染源清查

污染源清查是執行廠內管理與製程減廢的首要工作，內容主要針對製程中可能產生的污染物，有系統地進行與製程有關的調查、測量、分析、記錄、統計及問題查詢等工作，以建立完整的廠內背景資料，以供日後廠內管理、製程減廢及管末處理之重要參考依據。

有效率的清查工作，必須動員工廠多數人的力量，由生產部門主管召集熟悉製程、污染物特性及管末處理等的相關工程人員組成工作小組，在製程減廢專家的指導下進行。一般來說，清查工作可細分為 7 項步驟，各步驟的作法將逐項說明如後。

(一) 檢視工廠實際製造流程

進行現場勘查，實地瞭解廠內製程操作及單元程序間的順序與關係，以建立完整之製造流程，並將每一個製程單元依其順序進行編號，範例如表 4.1.2-1 及表 4.1.2-2 所示。

表 4.1.2-1 單面板製造流程一覽(範例)

編號	製程單元	編號	製程單元
S-1	裁板	S-8	刷磨
S-2	刷磨	S-9	印防焊綠漆
S-3	油墨印刷	S-10	烘乾
S-4	烘乾	S-11	鍍鎳鍍金(金手指)
S-5	蝕刻	S-12	噴錫
S-6	去墨	S-13	文字印刷
S-7	鑽孔	S-14	成型

表 4.1.2-2 雙面板及多層板製造流程一覽(範例)

編號	製程單元	編號	製程單元
D-1/M-1	裁板	D-7/M-17	乾膜壓合
M-2	鑽孔	D-8/M-18	曝光
M-3	刷磨	D-9/M-19	顯像
M-4	乾膜壓合	D-10/M-20	線路鍍銅/鍍純錫
M-5	曝光	D-11/M-21	剝膜
M-6	顯像	D-12/M-22	蝕刻
M-7	蝕刻	D-13/M-23	剝錫
M-8	剝膜	D-14/M-24	刷磨
M-9	黑/棕氧化	D-15/M-25	印防焊綠漆
M-10	層壓	D-16/M-26	曝光或烘乾
D-2/M-11	鑽孔	D-17/M-27	顯像
D-3/M-12	去毛邊	D-18/M-28	鍍鎳鍍金(金手指)
M-13	除膠渣	D-19/M-29	噴錫

編號	製程單元	編號	製程單元
		D-20/M-30	化學鍍金
0-4/M-14	鍍通孔(PTH)	D-21/M-31	文字印刷
0-5/M-15	全板鍍銅	D-22/M-32	成型
0-6/M-16	刷磨	D-23/M-33	有機保焊劑

註：D：雙面板 M：多層板

(二) 清查製程單元中各步驟使用之原物料

廠內排放廢水、廢液的污染特性與製程使用原物料有直接關係，故須清查各製程單元所使用之原物料，以初步瞭解污染特性，範例如表 4.1.2-3 所示。

表 4.1.2-3 製程單元槽液種類及成分(範例)

編號	製程單元	步驟	槽液成分
S-2, S-8, D-6, D-14, M-3, M-16, M-24	刷磨	酸洗	5% 硫酸
M-6	顯像		1~2% 碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)
S-5, D-12, M-7	酸性蝕刻		氯化銅(CuCl ₂)或氯化鐵(FeCl ₃)
S-6, M-8	剝膜或去墨		4% 氫氧化鈉(NaOH)
M-9	黑/棕氧化	脫脂	鹼性脫脂劑
		微蝕	硫酸雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)或過硫酸鈉(SPS)
		氧化劑	亞氯酸鈉，磷酸三鈉，氫氧化鈉
M-13	除膠渣	膨鬆	鹼性有機溶劑
		氧化劑	高錳酸鉀
		還原	酸性溶液
D-4, M-14	鍍通孔	整孔/調整	鹼性清潔劑
		微蝕	硫酸雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)或過硫酸鈉(SPS)
		預活化	氯化亞錫、鹽酸
		活化	氯化鈮、氯化亞錫
		加速化	硫酸
		化學銅	硫酸銅、甲醛、螯合劑(EDTA、酒石酸鹽)
D-5, M-15	全板鍍銅	脫脂	酸性清潔劑
		微蝕	硫酸雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)或過硫酸鈉

編號	製程單元	步驟	槽液成分
			(SPS)
		預浸酸液	10% 硫酸(H ₂ SO ₄)
D-9, M-19	顯像		1~2% 碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)
D-10, M-19	線路鍍銅 及鍍純錫	脫脂	酸性清潔劑
		微蝕	硫酸雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)或過硫酸鈉 (SPS)
		酸洗	1% 硫酸(H ₂ SO ₄)
		預浸酸	硫酸
D-11, M-21	剝膜或去墨		4% 氫氧化鈉(NaOH)
M-22	鹼性蝕刻		氫水、氯化銨、銨銅錯化物
D-13, M-23	剝錫		硝酸、硝酸鐵
D-17, M-27	顯像		1~2% 噸酸鈉(Na ₂ CO ₃)
S-11, D-18, M-28	鍍鎳鍍金 (金手指)	前處理	鹼性清潔劑、活化酸液
S-12, D-19, M-29	噴錫	酸洗	5% 硫酸(H ₂ SO ₄)
		助焊劑塗佈	鹵化有機物
D-20, M-30	化鎳金	酸性清潔	酸性清潔劑
		微蝕	過硫酸鈉(SPS)
		預浸	硫酸
		活化	硫酸、氯化鈣
D-23, M-33	有機保焊劑	微蝕	過硫酸鈉(SPS)
		有機保焊劑	有機保焊劑
D, M	剝掛架		硝酸(HNO ₃)
S, D, M	剝廢板綠漆		強鹼性溶液

(三) 建立製造程序及污染來源流程圖

根據製造程序，詳細調查污染來源及排放情形，確立出各製程單元步驟連續性及定期性廢水、廢液排放源，並製作流程圖。

(四) 調查各製程單元步驟槽液體積及組成

詳細調查各製程單元之槽液體積及槽液基本組成，作為後續廢水、廢液污染物濃度分析的基本資料來源。以線路鍍銅及鍍純錫製程單元為例，對其單元流程步驟逐一調查彙整於表 4.1.2-4 之 1~4 項。

(五) 調查分析各單元步驟之槽液更換(清)週期及其污染物濃度

調查製程單元流程步驟各槽液更換(清)頻率及排放特性，並依其槽液組成特性，分析廢棄槽液中污染物濃度，以瞭解各槽液更換(清)時，產生的污染量及污染質。以線路鍍銅及鍍純錫單元為例，調查分析結果彙整於表 4.1.2-4 之 5~7 項。

(六) 推估量測及取樣水質分析各單元步驟清洗水之水量、水質

估測製程單元流程步驟用水量，並取樣檢測水質，以瞭解清洗廢水中所含污染物濃度。以線路鍍銅及鍍純錫單元為例，由於各段清洗水特性相同，採用綜合量測分析，其結果彙整於表 4.1.2-4 之 6~8 項。

經由以上步驟，將廠內各製程單元逐一清查彙整成表 4.1.2-4，各廠可依本身製程特性，加以修正或增列，以建立完整的廠內廢水及廢液之污染質和污染量數據資料，再據以評估、分析廠內製程中具減廢潛力的單元，及各單元所排放的污染總量，以利於後續進行廠內製程改善研擬及掌握改善工作成效，並可正確地建立廢水、廢液分類收集系統，及擬訂最有效且經濟的管末處理設施規劃設計或改善方案。

表 4.1.2-4 製程單元廢水及廢液污染質、污染量綜合調查表(線路鍍銅及鍍純錫)(範例)

代號	1 製程		2 數量	3 槽液成份、 濃度	4 槽液體積 (L)	5 更換/ 清槽期限	6 連續性排 放廢水水量	7 定期性排 放廢水或液量	8 廢水水質				
	單元	步驟							pH	COD (mg/L)	Cu ²⁺ (mg/L)	Pb ²⁺ (mg/L)	Ni ²⁺ (mg/L)
M-20	線路鍍銅 及鍍純錫	脫脂	1	脫脂劑:50ml/L 硫酸:100ml/L	800	每二週	-	0.8m ³ /二週	-	4,500	100	-	-
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	水洗	2	-	800	每日	*	*	*	*	*	*	
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	微蝕	1	過硫酸鈉: 110-130g/L 硫酸:8-12ml/L	800	每週	-	0.8m ³ /週	-	20	6,500	-	-
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	水洗	2	-	800	每日	*	*	*	*	*	*	
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	酸洗	1	硫酸: 40-60ml/L	800	每週	-	0.8m ³ /週	-	20	60	-	-
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	鍍銅	3	硫酸銅: 165-185g/L 硫酸: 170-200g/L	800	每三個月	-	-	-	1,500	18,500	-	-
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	水洗	2	-	3,200	每日	*	*	*	*	*	*	
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	預浸酸	1	烷基磺酸	800	每週	-	0.8m ³ /週	-	1,500	150	-	-
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	鍍純錫	2	烷基磺酸錫	800	不排水	-	-	-	2,500	-	3,650	-
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	水洗	2	-	1,600	每日	*	*	-	*	*	*	*
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	剝掛架	1	硝酸	800	每二週	-	0.8m ³ /二週	-	4,500	20,000	2,500	-
M-20	線路鍍銅及 鍍純錫	水洗	1	-	800	每日	*	*	*	*	*	*	*
*	線路鍍銅及鍍純錫綜合清洗水			-	-	-	4.0m ³ /hr	7.2	-	40	15	2	-

(七) 繪製及標示全廠廢液、廢水排放管路圖

印刷電路板業的廢液、廢水種類繁多且複雜，在完成前述評估調查工作後，應詳細繪製全廠廢液、廢水排放管路圖，並於圖說及管線中，以不同顏色清楚標示其廢液、廢水排放管路之流向及詳細名稱，以利後續廠內管理工作。

二、將廢水廢液進行妥善的分類收集

印刷電路板工廠製程中所排出的各類高濃度廢棄槽液及低濃度清洗廢水，由於性質迥異且污染濃度高低相差懸殊，因此絕不能任意的加以混合收集處理，否則將會因廢水水質的劇烈變化或因成分複雜相互干擾而難以處理。是故為有效的處理各種不同特性的廢水、廢液，並確保處理後放流水質能穩定的達到放流水標準，妥善的分類收集並採行正確的處理方式，是最具決定性的一項關鍵。表 4.1.2-5 為典型的多層印刷電路板工廠各製程單元廢棄槽液成分及污染特性分析表，表中依據各股廢液的污染特性，並考量處理方法的共通性，將印刷電路板製程排棄的廢槽液區分為 A~E 七大類，另外，製程中一般不含銅及含銅清洗廢水則劃歸為 I 類及 J 類。茲將各股廢水、廢液之分類類別、名稱及處理方式彙整如表 4.1.2-6 所示。各類廢水、廢液分開收集後，應按其特性及處理水質的要求選定正確的處理方法。

表 4.1.2-5 印刷電路板製程單元廢棄槽液成分及污染特性分析表(範例)

製程單元	步驟	槽液成分	污染濃度		廢液分類
			COD(mg/L)	Cu ²⁺ (mg/L)	
刷磨	酸洗	5%硫酸	10~50	50~1,000	A1
內層顯像	顯像	1~2%碳酸鈉	10,000~15,000	-	D
內層蝕刻	蝕刻	氯化銅	-	50,000~10,000	E
		氯化鐵	-	40,000~90,000	E
內層剝膜或去墨	剝膜或去墨	4 % 氫氧化鈉 (NaOH)	20,000~30,000	-	D
黑/棕氧化	脫脂	鹼性脫脂劑	1,000~5,000	10~50	B2

製程單元	步驟	槽液成分	污染濃度		廢液分類
			COD(mg/L)	Cu ²⁺ (mg/L)	
	微蝕	硫酸/雙氧水	-	2,000~20,000	E
		過硫酸鈉(SPS)	-	2,000~20,000	A1
	氧化	亞氯酸鈉，磷酸三鈉，氫氧化鈉	-	10~50	B1
除膠渣	膨鬆	鹼性有機溶劑	130,000~200,000	-	B2
	氧化	高錳酸鉀	-	30~50	B1
	還原	酸性溶液	300~1,000	1,000~2,000	A1
PTH 鍍通孔	整孔/調整	鹼性清潔劑	20,000~35,000	10~50	B2
	微蝕	硫酸/雙氧水	-	2,000~20,000	E
		過硫酸鈉(SPS)	-	2,000~20,000	A1
	預活化	氯化亞錫、鹽酸	200~500	20~100	A1
	活化	氯化鈮、氯化亞錫	500~1,000	1~10	E
加速化	硫酸	100~550	-	A1	
全板鍍銅	脫脂	酸性清潔劑	3,000~5,000	500~25,000	B2
	微蝕	硫酸/雙氧水		2,000~20,000	E
		過硫酸鈉(SPS)		2,000~20,000	A1
預浸酸液	10%硫酸	10~50	500~6,000	A1	
外層顯像	顯像	1~2%碳酸鈉	10,000~15,000	-	D
線路鍍銅及鍍純錫	脫脂	酸性清潔劑	3,000~5,000	500~3,500	B2
	微蝕	硫酸/雙氧水	-	2,000~20,000	E
		過硫酸鈉(SPS)	-	2,000~20,000	A1
	酸洗	1%硫酸	10~50	500~1,000	A1
預浸酸	硫酸	10~50	500~1,000	A1	
外層剝膜	剝膜	4 % 氫氧化鈉 (NaOH)	20,000~30,000	-	D
外層蝕刻	蝕刻	氨水、氯化銨、銨銅錯化物		100,000~150,000	E
剝錫	剝錫	硝酸、硝酸鐵		1,000~1,500	E
綠漆顯像	顯像	1~2%碳酸鈉	15,000~20,000	-	D
鍍鎳金(金手指)	前處理	鹼性清潔劑	1,000~5,000	-	B2
		活化酸液	10~50	-	A1
噴錫	酸洗	5%硫酸	10~50	15,000~20,000	A1
	助焊劑塗佈	鹵化有機物	極高	50,000~10,000	B2
化鎳金	酸性清潔	酸性清潔劑	3,000~5,000		A2
	微蝕	過硫酸鈉(SPS)		2,000~20,000	A1

製程單元	步驟	槽液成分	污染濃度		廢液分類
			COD(mg/L)	Cu ²⁺ (mg/L)	
	預浸		200~500		A1
	活化	硫酸	500~1,000	20~100	E
		硫酸、氯化鈹		1~10	
有機保焊劑	微蝕 有機保焊劑	過硫酸鈉(SPS) 有機保焊劑	很高	2,000~20,000	A1
剝掛架		硝酸(HNO ₃)	3,000~5,000	15,000~ 25,000	E
剝廢板綠漆		強鹼性溶液	10,000~15,000	-	D

表 4.1.2-6 印刷電路板工廠廢水、廢液分類原則及處理方式(範例)

類別	名稱	處理方式
A1 類	含銅酸性高濃度廢液	如酸洗廢液、過硫酸鈉微蝕廢液等，集中收集貯存，定量納入主廢水處理系統處理
B1 類	含銅鹼性高濃度廢液	如黑棕氧化廢液、去膠渣高錳酸鉀廢液等，集中收集貯存，定量納入主廢水處理系統處理
A2 類	不含銅酸性高濃度廢液	如酸性清潔廢液、有機保焊劑廢液等，集中收集貯存，定量納入主廢水處理系統處理
B2 類	不含銅鹼性高濃度廢液	如鹼性脫脂、去膠渣膨脹廢液等，集中收集貯存，定量納入主廢水處理系統處理
C 類	化學銅廢液及廢水	採用硫酸亞鐵處理法、鈣鹽處理法、硼氫化鈉還原法、鋁催化還原法或銅催化還原法等處理方法進行前處理去除銅離子污染後，再定量納入主廢水處理系統適當地點處理
D 類	顯像剝膜(去墨)廢液	採用酸化及化學混凝沉澱、過濾等前處理後，再定量納入主廢水處理系統處理
E 類	其他高濃度液廢	交由回收業者、代處理業或藥液供應商回收處理之廢液，包括：酸性/鹼性蝕刻廢液、硝酸剝掛架廢液、電鍍銅/純錫/鎳/金廢棄槽液、化學鎳/金廢棄槽液、氯化鈹廢液及硫酸/雙氧水廢棄槽液等
I 類	不含銅清洗廢水	如顯像、剝膜、清潔、脫脂等製程清洗廢水，直接進入主廢水處理系統處理
J 類	一般含銅清洗廢水	如酸洗、微蝕、蝕刻、氧化、電鍍等製程清洗廢水，直接進入主廢水處理系統處理

三、應選擇合法且有能力的業者，進行廢液委外回收或處理

印刷電路板工廠所產生的廢液中，包括酸性/鹼性蝕刻廢液、硝酸剝掛架廢液、電鍍銅/純錫/鎳/金廢棄槽液、化學鎳/金廢棄槽液、氯化鈹廢液及硫酸/雙氧水廢棄槽液等，都屬於有價資源，國內已有多家領有合法執照的回收或處理廠商，有能力做好其回收處理工作。因此，應選擇合法且有能力的業者，進行廢液委外回收或處理，勿將這些廢液排入廠內的廢水處理系統。

如有需要相關技術資料，請參考民國 85 年版工業局「印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編」。(下載網址：

<http://proj.moeaidb.gov.tw/eta/publish/technology.asp?HnfiuI0C8KtiysMJsIxiyDx=>)

四、應徹底瞭解各項管末處理方法的特性與限制

印刷電路板工廠製程中所排出的污染物，主要是銅離子及 COD，一般以化學沉澱法處理銅離子，而以生物法(接觸曝氣法)或活性炭吸附法處理 COD，而進行印刷電路板廢水管末處理的最困難之處，在於銅離子及 COD 同時存在於廢水中，互相影響處理效果。

COD 的存在會導致銅離子無法與鹼劑(如 NaOH)形成穩定、不溶於水的氫氧化銅固體顆粒，進而無法在沉降池及砂濾池中被去除；印刷電路板的 COD 本身已經是屬於生物難降解的，銅離子的存在更會毒化接觸曝氣法中的微生物，使得 COD 的處理雪上加霜。

若印刷電路板工廠位於工業區內，可以納入工業區廢水處理廠，由於一般 COD 進廠標準約 600~700 mg/L，因此業者僅需有效處理銅離子，即可排入工業區廢水處理廠；然而若印刷電路板工廠位於工業區外，或不能納入工業區廢水處理廠，業者就必須將銅離子及 COD 都處理至符合國家放流水標準，始得排放。

此外，必須特別強調，工業區廢水處理廠亦有其處理能力上的限制，因此即使可以納入工業區廢水處理廠，工廠亦應落實各項廢水前處理工作，以保護工業區廢水處理廠的處理系統。因此無論能否納管處理，印刷電路板業者應遵行以下事項：

(一) 必須將化學銅廢液進行單獨的前處理

化學銅廢液中含有 EDTA 或酒石酸鹽等強螯合劑及甲醛，強螯合劑會嚴重影響化學沉澱法的效果，而甲醛為一種防腐劑，會殺死微生物嚴重影響接觸曝氣法的效果。因此，必須將化學銅廢液進行單獨的前處理，採用硫酸亞鐵處理法、鈣鹽處理法、硼氫化鈉還原法、鋁催化還原法或銅催化還原法等處理方法進行前處理去除銅離子污染後，再定量納入主廢水處理系統適當地點處理。

(二) 必須將顯像剝膜廢液進行單獨的前處理

顯像剝膜廢液佔全廠 COD 污染量相當大的比重，廢液中含大量壓克力樹脂，採用簡單的酸化及化學混凝沉澱、過濾等前處理後，即可去除約 60~70% 的 COD，大幅降低主廢水處理系統的負荷。

(三) 必須盡可能避免原廢水水質劇烈變化

銅離子及 COD 同時存在於廢水中，會互相影響處理效果，但其影響效果隨其濃度而定。在印刷電路板的各股廢水廢液中，都多少同時含有銅離子及 COD，例如過硫酸鈉微蝕劑中含有有機安定劑，脫脂劑會溶解微量的銅離子等。因此，應將各製程當槽廢液收集後，定量納入主廢水處理系統中，避免直接排入造成原廢水水質劇烈變化，同時降低銅離子及 COD 互相影響處理效

果的程度。

五、應視自身的狀況，選擇適當的管末處理流程與方法

各工廠因其所採用之生產技術、原料不同，廢水之質量會有相當之差異；此外，工廠座落之位置是否位於工業區內，亦影響處理廠流出所要求之水質。因此各工廠應視自身的狀況，選擇適當的管末處理流程與方法。一般而言，若工廠可以納入工業區廢水處理廠，則通常除將化學銅廢液與顯像剝膜廢液分別收集前處理外，由於工業區內有較寬鬆之 COD 納管標準，因此僅需以化學沉降法去除銅與其他金屬離子即可排入工業區廢水處理廠。

若工廠無法納入工業區廢水處理廠，則處理流程安排上則需對 COD 採行進一步之去除措施。依各廠之情形與實際需求，可能需另安排生物處理法或裝置活性碳吸附單元，實際流程之可能安排方式詳 7.3 節印刷電路板業廢水處理流程。

4.2 印刷電路板業廢水處理方法

4.2.1 重金屬廢水處理-氫氧化物沉澱法

印刷電路板工廠重金屬廢水主要包含廠內製程連續排出之一般清洗廢水及各類定量納入處理系統處理之高濃度重金屬廢液。一般單面板工廠重金屬廢水的主要污染成分以銅離子為主，工廠製程若採用氯化鐵蝕刻液，則還會有鐵離子的污染，另外，廢水中亦含有少量的有機污染物；雙面板及多層板工廠，則除了有銅離子污染物外，另含有少量的鎳、錳或鉻等金屬離子及有機污染物。

表 4.2.1-1 為國內各類型印刷電路板工廠綜合廢水之污染濃度分析統計結果。由表中數據顯示，印刷電路板工廠綜合廢水之主要污染成分以 COD 及重金屬離子為主，各工廠除了應將造成 COD 污染之各類有

機性廢水、廢液加以單獨收集處理外，亦需針對金屬廢水進行處理，以去除其重金屬污染成分，使處理後放流水質能符合法定標準安全放流。

表 4.2.1-1 印刷電路板工廠綜合廢水污染濃度分析統計結果

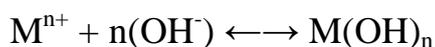
項目	單面板工廠	雙面板工廠	多層板工廠
pH	3-5	2~3	2~3
COD(mg/L)	350~40	250~375	250~400
Cu ²⁺ (mg/L)	30~60	20~50	30~50
Ni ²⁺ (mg/L)	-	0.1~5	0.1~5
Fe ^{2+*} (mg/L)	50~100	-	-

*：採用氯化鐵蝕刻液之工廠

目前國內印刷電路板工廠對重金屬廢水的處理，通常是採用重金屬化學混凝沉澱法，於廢水中添加 NaOH、Ca(OH)₂ 等鹼劑，調整其 pH 值，使廢水中重金屬離子形成不溶性的氫氧化物後，再以沉降分離的方式去除之，此法是現今最為實用與普遍的處理方法。

一、基本原理

重金屬氫氧化物沉澱法，係以添加苛性鈉(NaOH)與石灰(Ca(OH)₂)等鹼劑，提升廢水之 pH 值達到某一範圍，使廢水中的重金屬離子形成溶解性極低的固體氫氧化物而加以沉澱分離去除。廢水中的重金屬離子加鹼後的反應為：



$$M(OH)_n \text{ 的溶解度積常數 } K_{sp} = [M^{n+}] [OH^-]_n \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{而水的解離常數 } K_w = [H^+] [O^-] = 10^{-14}(25^\circ C) \dots\dots\dots(2)$$

若以替代式(1)中的[OH⁻]並取對數則為

$$\begin{aligned} \log [M^{n+}] &= \log K_{sp} - n \log [OH^-] = \log K_{sp} - n \log K_w - npH \\ &= \log K_{sp} + 14n - npH \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

或取負對數為：

$$-\log [M^{n+}] = npH - \log K_{sp} - 14n \dots\dots\dots(4)$$

$[M^{n+}]$ 為與氫氧化物沉澱物共存的飽和溶液中之金屬離子濃度，即在某一 pH 值條件下，溶液中金屬離子的最大濃度，也就是在此一條件下，金屬氫氧化物的溶解度。圖 4.2.1-1 為金屬離子溶解度與 pH 值之關係。

從圖中可以看出，在一定的範圍內，pH 值愈高，廢水中殘餘的金屬離子濃度愈低。但某些兩性的金屬如鉻、鉛等，pH 過高時，會導致其氫氧化物形成錯合物而再溶解，這點必須特別加以注意。

如廢水中含有氟、氨等錯合劑(complexing agent)、EDTA 及酒石酸等螯合劑(chelating agent) 存在時，會與廢水中金屬離子形成穩定錯合物或螯合物，金屬離子不易解離，無法應用氫氧化物沉澱法，使其形成金屬氫氧化物，影響處理效果，為防止上述現象發生，必須特別將含有錯合劑、螯合劑之不同種類的廢水分開收集處理，避免影響整體廢水之處理成效。

另外廢水中含有有機物時，亦會增加金屬的溶解度，使廢水中殘餘金屬離子濃度大於理論預測之濃度。理論上，氫氧化銅的 pH 為 9.0~10.3 之間溶解度最低，但由於印刷電路板工廠之重金屬廢水中除了銅等金屬離子外，還存在其他的污染物質，各工廠廢水中金屬離子的種類、濃度等都有相當的差異，因此在實際處理時廢水 pH 值的控制，各工廠必須依據各自的水質條件及處理測試結果或經驗加以確定。

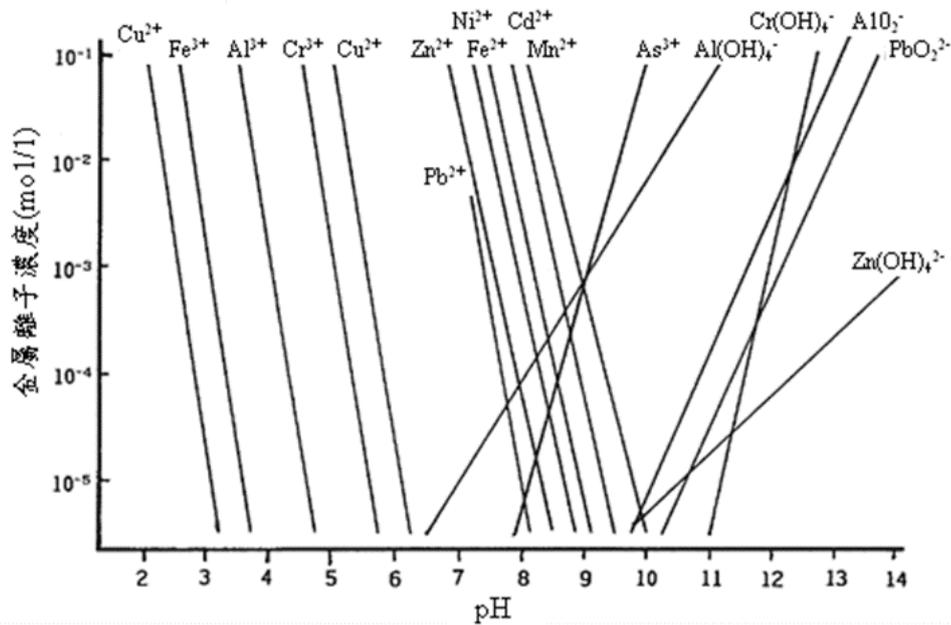


圖 4.2.1-1 金屬離子之溶解度與 pH 之關係

一般印刷電路板工廠在實際進行重金屬廢水處理時可使用苛性鈉或石灰來進行 pH 值調整，但由於廢水中硫酸鹽含量偏高，若完全以石灰作為鹼劑來進行 pH 值調整，易生成大量的硫酸鈣沉澱，大幅增加污泥量造成污泥處理的困擾，為防止上述現象發生，宜採用苛性鈉(NaOH)為主要鹼劑再配合添加少量 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 進行 pH 調整，以減少污泥的產生。

由於氫氧化銅膠羽極輕，不易有效的沉降分離，加入少量的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 充當鹼劑及混凝劑有助於膠羽的沉澱。處理時因反應速率亦較慢，廢水 pH 值的調整控制較為困難，因此可採用二段 pH 調整的方式，首先加入 NaOH 將廢水 pH 值調整為 7~8，再加入 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 將 pH 值提高到 9~10，經反應凝集沉澱後，綜合廢水中的重金屬離子可有效形成氫氧化物膠羽沉降分離去除，處理後之出流水殘餘銅濃度可降至 0.5 mg/L 以下。

二、處理流程及技術

使用化學混凝沉澱法處理印刷電路板工廠之重金屬廢水，大致可分為三個處理過程，即加藥 pH 調整、凝集反應、固液分離。

處理方式的選擇可依據水量的大小來做決定，一般來說，廢水量如果每日小於 50 公噸，可採用批式處理較為經濟簡便，如水量每日大於 50 公噸以上，則以連續式處理較佳。以下分別就分批式及連續式處理方式之處理流程及技術加以說明。

(一) 批式處理

適用於廢水量較少的小型印刷電路板工廠，其處理流程請參見圖 4.2.1-2。廢水流入收集槽中當收集槽滿水後，用泵將廢水抽入批式反應沉澱槽中進行處理，處理時先加入氫氧化鈉將廢水的 pH 值調整至 7~8 之間，再加入氫氧化鈣，把 pH 值提升至 10 左右，經過充分混合反應後，廢水中的重金屬離子將與 OH 基結合形成固體的氫氧化物顆粒，此時再加入 1~3 mg/L 的陰離子性助凝劑(polymer)緩慢攪拌反應 10 分鐘左右，使微細的重金屬氫氧化物顆粒凝聚形成較粗大的膠羽，反應完成後停止攪拌靜置沉澱約 2 小時，使重金屬氫氧化物膠羽完全沉積於槽底，上層水排出經過濾、中和後放流；反應槽底部污泥則經脫水減量固形化後形成污泥餅，由於污泥餅的主要成分為重金屬氫氧化物，為有害性廢棄物，因此必須審慎加以收集存放，並做完善的最終處置。污泥脫水時脫出之分離液必須流回調節槽內再處理。

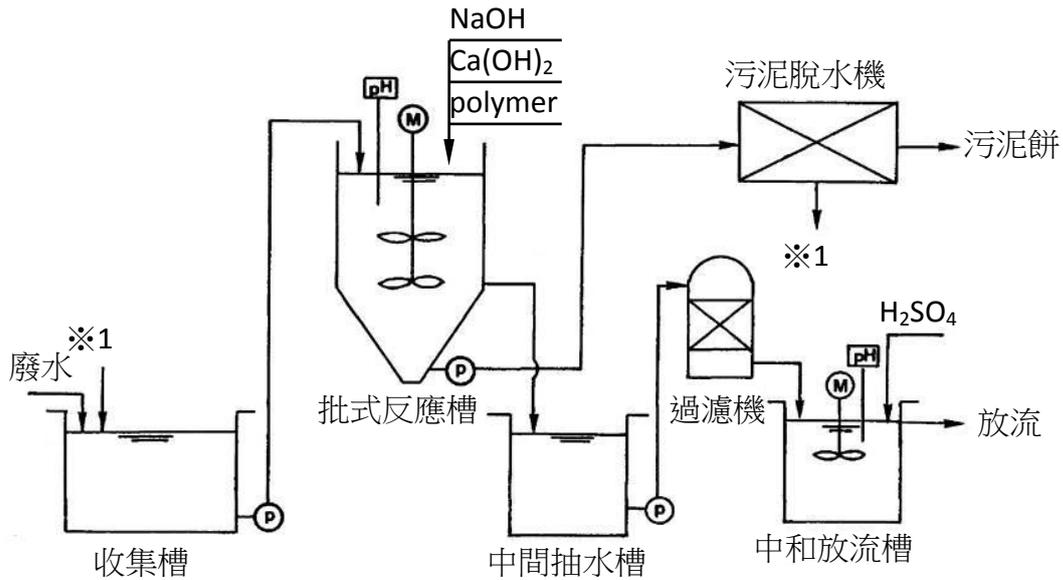


圖 4.2.1-2 印刷電路板工廠綜合廢水分批式處理流程圖

(二) 連續式處理

一般中大型的印刷電路板工廠廢水量較大，適宜採用連續式處理，其處理流程請參見圖 4.2.1-3。

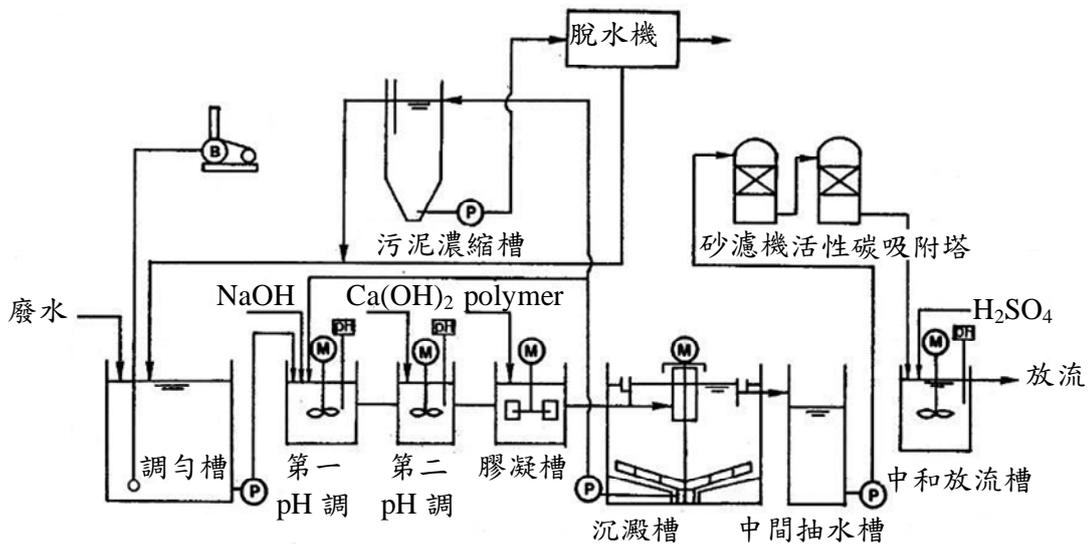


圖 4.2.1-3 印刷電路板工廠綜合廢水連鎖式處理流程圖

連續式處理之操作步驟及技術重點說明如下：

1. 水流入調勻槽內，由泵抽送至流量調整裝置，控制廢水流量，連續平均地流入 pH 調整槽進行處理。

2. 第一 pH 調整槽內加入氫氧化鈉，調整廢水 pH 值至 7~8 之間，再於第二 pH 調整槽加入氫氧化鈣，將 pH 值提高至 10 左右，以使廢水中重金屬離子形成不溶性的重金屬氫氧化物。
3. 水經 pH 調整後流入膠凝槽進行凝集反應，通常加入 1~3 mg/L 的陰離子性助凝劑(polymer)，使廢水中的重金屬氫氧化物凝聚形成沉降性較佳的粗大膠羽，再流入沉澱槽進行固液分離。
4. 廢水於沉澱槽中進行重金屬氫氧化物膠羽的沉降分離，上層之澄清液經溢流堰連續流出至中間抽水槽，沉澱污泥則由污泥泵排出，部分迴流至第一 pH 調整槽，作為核種以增進膠羽的形成及提升污泥沉澱脫水效果，剩餘污泥則流入污泥濃縮槽進行污泥濃縮及後續脫水處理。
5. 沉澱槽之出流水流入中間抽水槽經泵抽送至砂濾機進行過濾，以濾除未完全沉澱溢流出之微細重金屬氫氧化物膠羽，經砂濾後之出流水水質 COD 如果已符合放流水標準，則可直接經中和後放流，如無法達到放流水標準，則必須再經活性炭吸附處理，以降低廢水中 COD 污染濃度。採用活性炭吸附，一般在酸性的條件下操作 pH 值約 5~6，可獲得較佳的吸附效率，因此經砂濾後之出流水必須先調整至適當的 pH 值，再由泵抽送至活性炭吸附塔進行吸附處理，如此活性炭方可發揮較大的吸附效率，並可大幅減少活性炭再生或更新的頻率，有效降低處理成本；然而在此情況之下必須在活性炭吸附塔前增設泵設備，較耗費操作電力成本。

6. 污泥於濃縮及脫水過程所產生之分離液迴流至調勻槽再處理，脫水後污泥餅含有高量之重金屬成分，屬於有害性事業廢棄物，必須集中收集貯存，並進行妥善之最終處置，以避免造成二次污染。

印刷電路板工廠含重金屬廢水採用連續方式處理時，在操作管理上必須注意以下重點，以確保處理成效。

1. 為使處理設備能在穩定的進流水質、水量條件下操作運轉，調勻槽之流量調整泵應控制固定流量，連續泵送廢水進流處理。
2. 廢水濃度若突然產生劇烈的變化，不僅加藥量不易控制，甚至造成加藥量不足及反應不完全的情況發生，因此各類高濃度重金屬廢液應避免瞬間一次全部排入處理廠處理，必須設置貯存收集槽集中收集後再定量平均地納入重金屬廢水處理系統中處理。
3. 廠內製程中含有 H_2O_2 之廢液(如微蝕廢液)宜預先收集將 H_2O_2 分解完全後再慢慢逐量注入廢水處理系統處理，不應直接流入，否則將會影響污泥在沉澱槽之沉澱效果。
4. 助凝劑之添加，可使重金屬氫氧化物膠羽凝集而變得較為粗大，以加快沉降速度，添加助凝劑所得之粗大膠羽極為脆弱，為避免粗大膠羽被破壞，廢水自膠凝槽流入沉澱槽應採緩慢之重力流方式進流，液位差應予妥善控制，使膠羽不致因過度衝激或擾動而破碎，尤其應避免使用泵抽送。
5. 處理水中殘留金屬離子濃度太高時，需檢查排水中是否混有錯合劑或螯合劑成分，如發現有此類干擾物質存在時，應設

法予以分類處理，以免影響處理效果。

6. 由於廢水重金屬離子污染濃度約在 30~50 mg/L 之間，因濃度不高，故處理時成核效應不佳、膠羽形成不良、亦無法發生大量的污泥膠羽，污泥無法產生沉降或污泥氈的全面壓密沉降作用，故沉澱效果不佳，為改善此一現象在處理過程中可將沉澱池內的部分、污泥連續迴流至 pH 調整槽內，以增進膠羽凝集沉澱效果並使污泥具有更良好的脫水特性。迴流污泥量之多寡，宜由處理現況來判定，一般迴流污泥量約控制在促使第一 pH 調整槽(快混槽)內廢水銅濃度提高到 200~300 mg/L 左右，效果最佳。

4.2.2 化學銅廢液及廢水之處理

國內雙面板及多層板製造工廠在鍍通孔(Plating Through Hole, PTH)製程中大都採用化學鍍銅方式在電路板之非導體鑽孔壁上層析一層金屬銅，將其導體化以連結各板面之線路。

通常在化學鍍銅的製作過程中均採用自動控制的方式定量添加補充槽液成分，來維持化學銅溶液的穩定性及新鮮度，因此槽內溶液不斷地溢流出成為廢液排棄，此外由於化學銅溶液的穩定性較差，在使用過一段期間(通常約 8~10 週)之後，槽液便逐漸老化不能再用，必須加以全部排棄並更換新的化學銅溶液，這些廢棄的化學銅溶液、銅含量約在 1.4~3.5 g/L 之間，其銅濃度的高低與化學銅溶液的廠牌及其製程特殊需求有極大的關係，一般鍍薄化銅製程使用的化學銅溶液其銅濃度較低，排放出之化學銅廢液、銅濃度約在 2 g/L 以下，厚化銅製程則採用銅濃度較高的化學銅溶液，其廢液的銅濃度約在 3~4 g/L 左右。

這些高濃度化學銅廢液是 PTH 製程的主要污染來源；另外在化學

鍍銅後的清洗過程，由於槽液不斷地被板子帶出，造成清洗水的污染，這些清洗水由於污染濃度較低，統稱為化學銅廢水，是化學鍍銅製程的次要污染來源。

若要完善地處理化學銅廢液及廢水，首先必須先深入瞭解化學鍍銅的原理、製作流程、槽液組成成分及其污染特性，如此才能正確地掌握處理要領。

國內印刷電路板工廠較常採用的化學銅溶液其型式概略可依據螯合劑的種類來加以區分，一般有 EDTA 系列與酒石酸鉀鈉系列，溶液中硫酸銅與 EDTA 或酒石酸鉀鈉之間的容積莫耳濃度比大約在 1：4~5，其廢液處理的難易度因螯合劑的螯合強度而有程度高低的分別，過去國內外皆有相關的處理技術研究，發現 EDTA 系列的化學銅廢液比酒石酸系列的化學銅廢液難於處理，這是由於 EDTA 與銅離子的螯合能力較強的緣故。目前國內大多數的印刷電路板工廠都採用穩定性較高的 EDTA 系列化學銅溶液，其溶液組成成分請參見表 4.2.2-1 所示。

表 4.2.2-1 化學銅溶液組成成分

成分	含量
CuSO ₄ · 5H ₂ O(硫酸銅)	6~12g/L
EDTA · 2Na(乙二胺四乙酸二鈉)	30~50g/L
NaOH(氫氧化鈉)	6~10g/L
HCHO(甲醛 36%)	15~25mg/L
C ₁₀ H ₈ N ₂ (聯氮苯)	8~12mg/L

化學鍍銅的製作是在鹼性條件下進行，溶液中銅離子與螯合劑產生螯合，不會形成氫氧化物沉澱，在鍍銅過程中加入甲醛等還原劑，供應電子給銅離子使銅離子還原成金屬銅並沉積於經活化處理之印刷電路板通孔及板面，當銅沉積達到一定的厚度，於通孔表面形成具良好導電性的銅鍍層後，即完成化學鍍銅的製作，其反應式如下：



由化學銅溶液的組成分及化學鍍銅的製程原理可知印刷電路板工廠製程中所排出之化學銅廢液及廢水，可能包含的污染種類有 OH^- 、 Cu^{2+} 及甲醛、EDTA 等有機物所造成的 COD 污染等，有關國內印刷電路板工廠化學銅廢液及廢水之污染特性請參見表 4.2.2-2 所示。

表 4.2.2-2 國內印刷電路板工廠化學銅廢液及廢水之污染特性

項目	pH	Cu^{2+} (mg/L)	COD(mg/L)
化學銅廢液	12~13	1,400~4,500	30,000~100,000
化學銅廢水	10~11	25~50	1,000~2,000

由於化學銅廢液及廢水中含有螯合劑成分，廢液及廢水中的重金屬銅離子因與螯合劑產生螯合作用，無法直接以重金屬氫氧化物沉澱法加以去除，處理上較困難。通常此類廢液及廢水必須單獨加以收集，採用比較特殊的物理化學處理方法進行處理，始能獲得良好的處理效果。由於化學銅廢液及廢水中含有過量或殘餘的螯合劑以游離的型態存在，故絕不可與廠內其他種類的重金屬廢水或廢液混合，以免導致重金屬離子與螯合劑產生螯合，干擾化學混凝沉澱的處理效果，因此若任意地將化學銅廢液、廢水與其他重金屬廢液、廢水混合收集處理，將會造成重金屬離子無法完全形成氫氧化物沉澱，使得處理水中仍殘留被螯合化的重金屬，進而造成處理後放流水中重金屬離子仍然超過法定標準。

由以上的說明可知化學銅廢液及廢水必須單獨地收集，並加以妥善的處理已是不容置疑的，然而要如何有效地處理化學銅廢液及廢水，以去除其污染成分是目前國內印刷電路板製造業界相當頭痛的問題，事實上國內外近年來已有非常多的研究著作探討如何處理化學銅廢液及廢水，並已有極具實用性的處理技術發展出來，諸如硫酸亞鐵處理法、鈣

鹽處理法、硼氫化鈉還原法及各種催化還原法等，這些處理方法，皆有相當好的處理效果，在接下來後面幾個小節中將針對這些處理方法做比較詳盡的介紹。

一、硫酸亞鐵處理法

(一) 基本原理

本法是利用亞鐵離子(Fe^{2+})與螯合劑 EDTA 的螯合能力比銅離子(Cu^{2+})為強的基本原理，在適宜的反應條件下，於化學銅廢液及廢水中加入硫酸亞鐵藥劑進行置接反應，將 Cu-EDTA，改變成 Fe-EDTA，使廢水中的銅離子游離，再運用重金屬氫氧化物沉澱法將 Cu^{2+} 形成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉澱去除之。

根據國外對 EDTA 螯合劑特性的相關研究資料顯示，EDTA 在不同 pH 條件下，其對重金屬螯合能力有顯著的不同，由圖 4.2.2-1 為 EDTA 之離子型態與 pH 值關係圖可知，在酸性條件下 EDTA 與重金屬離子的螯合鍵結能力較弱，因此可利用此一特性，先行加入硫酸於化學銅廢水中，降低 pH 值至 3 以下，以減弱 Cu^{2+} 與 EDTA 之鍵結能力，再加入硫酸亞鐵進行置換反應，使廢水中的銅離子完全游離，其後再以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及 NaOH 調整廢水 pH 值至 11.7，使廢水中銅離子及鐵離子形成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 及 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉澱而去除之。

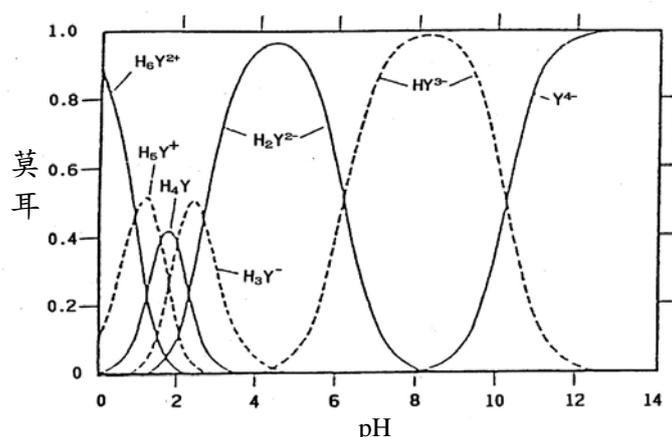


圖 4.2.2-1 EDTA 之離子型態與 pH 值關係

依據對 EDTA 化學銅廢液及廢水的實際處理測試結果發現，亞鐵離子添加量及 pH 控制條件對處理效果有極大的影響，測試結果如表 4.2.2-3 及表 4.2.2-4 所示，由試驗所獲得之數據發現高濃度的化學銅原廢液，在處理時亞鐵離子的添加量與廢液中銅離子之莫耳數比約達到 1:1 以上，最終 pH 值控制在 11.5~11.7 之間，即能獲得相當好的處理效果，廢液中殘餘銅濃度大致均在 1 mg/L 以下。而在處理低濃度的化學銅清洗廢水時，亞鐵離子的添加量與廢液中銅離子之莫耳數比約在 1:1 至 9:1 之間，最終 pH 值控制在 11.7 左右，此時廢水中殘餘銅濃度亦可有效降低至 1 mg/L 以下。

表 4.2.2-3 硫酸亞鐵處理法處理低濃度化學銅廢水試驗結果表

化學銅廢 Cu ²⁺ 濃度(mg/L)	加入硫酸化 後之 pH 值	Fe ²⁺ 添加量 (mg/L)	最終 pH 值	銅殘餘濃度 (mg/L)	鐵殘餘濃度 (mg/L)
10	2.7	80	11.7	0.24	0.49
50	2.7	200	11.7	0.37	0.58
100	2.7	200	11.7	0.44	6.8
150	2.7	150	11.7	0.74	4.5
300	2.7	300	11.7	0.85	9.2

註：1.化學銅廢水試樣先加入硫酸調整 pH 值至 2.7 後，再加入硫酸亞鐵(添加濃度如表中所示)經攪拌反應 30 分鐘，再加入 NaOH 調整 pH 值至 pH = 11.7，以使廢水中銅離子及鐵離子形成氫氧化物膠羽，然後再加 2 mg/L 入陰電性 Polymer 凝集沉澱，待污泥膠羽沉澱後取上澄液過濾分析銅及鐵之濃度。

2.化學鍍銅溶液為 Shipley 廠牌。

表 4.2.2-4 硫酸亞鐵處理法處理高濃度化學銅廢液試驗結果

化學銅廢 Cu ²⁺ 濃度(mg/L)	加入硫酸化 後之 pH 值	Fe ²⁺ 添加 量(mg/L)	最終 pH 值	銅殘餘濃度 (mg/L)	鐵殘餘濃度 (mg/L)
1,670	2.7	1,600	11.7	0.12	-
1,316	2.7	1,200	11.7	0.27	-
1,110	2.7	1,200	11.7	0.37	-
1,410	2.7	1,200	11.5	0.26	-
1,208	2.7	1,200	11.5	2.30	-
1,370	2.7	1,200	11.5	0.34	-
1,405	2.7	1,400	11.7	0.99	304

註：1.化學銅廢液試樣先加入硫酸調整 pH 值至 2.7 後，再加入硫酸亞鐵(添加濃度如表中所示)經攪拌反應 30 分鐘後再加入 Ca(OH)₂ 及 NaOH 調整 pH 值至 11.7，使廢液中銅離子及鐵離子形成氫氧化物膠羽，然後再加入 5 mg/L 陰電性 polymer 凝集沉澱，待污泥膠羽沉澱後取上澄液過濾分析銅及鐵之濃度。

2.化學鍍銅溶液為 Mac - Dermid 廠牌。

3.化學鍍銅溶液為 Shipley 廠牌。

在進行處理方法的介紹之前，必須先做一點補充說明：工廠在著手進行化學銅廢液及廢水的處理之前，不要忽略了製程減廢的重要性，目前大多數印刷電路板工廠的化學鍍銅製程都是採單槽或雙槽連續進水排水的清洗方式，由於清洗方式不佳，需耗用較多的清洗水，造成龐大的清洗廢水量使得處理工作產生極大的困擾。

為簡化化學銅廢液及廢水之處理、降低處理困難度，並減少所需處理之水量使處理設備之尺寸規模減至最小，以節省處理設備之初設成本及操作費用，建議印刷電路板工廠化學鍍銅的製作過程宜採用圖 4.2.2-2 的清洗方式，即於化學銅槽後設置一靜止水洗槽與三段逆流清洗槽之組合流程，當板子由化學銅槽拉起，經靜止水洗槽浸洗後，約有 70% 的帶出液留在靜止水洗槽中，使得板子上的帶出液減少，再經三段逆流水洗，則清洗排水之銅濃度較容易控制在 1 mg/L 以下，但在清洗過程中必須注意，當

靜止水洗槽銅濃度累積達到一定範圍值時必須排棄。並換新水，以確保逆流清洗槽清洗排水之銅濃度小於 3 mg/L，此時清洗排水銅濃度符合放流水標準，可直接排放至中和槽經中和後放流，如此所需處理的僅剩化學鍍銅槽所排出之廢液及間歇排棄之靜止水洗槽廢水，處理量大幅減少，可確實達到簡化處理之目的，並符合經濟效益。各印刷電路板工廠可參酌上述的減廢措施，改進化學鍍銅的清洗方式，以減輕處理成本負擔。

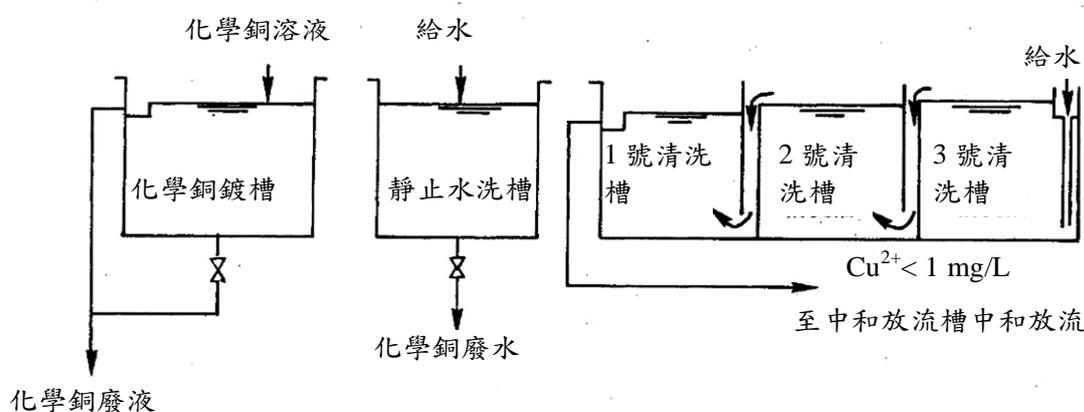


圖 4.2.2-2 化學鍍銅製作流程及清洗方式

(二) 處理流程及技術

硫酸亞鐵處理法處理化學銅廢液及廢水之處理流程如圖 4.2.2-3 所示，製程排出之化學銅廢液及靜止水洗槽廢水經由排放管路集中收集排入獨立的調節槽中，再由廢水泵抽送至反應槽進行處理，由於化學銅廢液及廢水的量不大，一般印刷電路板工廠每日均在 10 噸以下，因此反應槽可設計成批式處理，使處理設備得以儘量簡單化，混合之化學銅廢水、廢液經處理反應完全後，生成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 及 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 膠羽，凝集沉澱於反應槽底部，上層澄清液之銅濃度約在 1 mg/L 以下，可符合放流水標準。

然而其中 COD 濃度仍高達千至數萬 mg/L 之鉅，殘餘鐵濃

度亦可能相當高，故不可直接排放，必須納入後段的貯存槽中集中收集，以備進行後續的處理，至於反應槽底部之沉澱污泥則排入污泥濃縮槽中，經濃縮後泵入污泥脫水機進行脫水處理，以達減量及固形化之目的，脫水分離液則迴流至調節槽再處理。

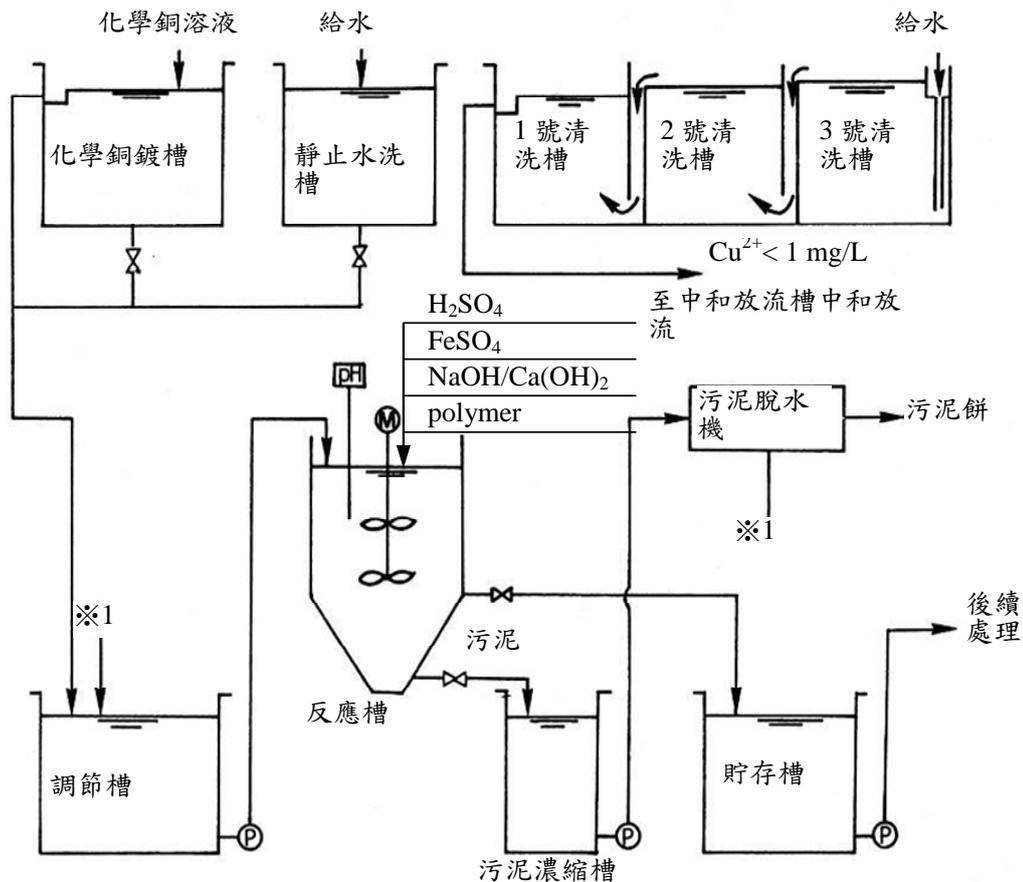


圖 4.2.2-3 硫酸亞鐵處理法處理化學銅廢液及廢水之處理流程

採用硫酸亞鐵處理法一般之標準操作步驟如下：

1. 廢水進流，自泵抽送化學銅混合廢水進入反應槽待處理。
2. 加入硫酸於反應槽廢水中均勻攪拌，將廢水由鹼性調酸降低 pH 值至 2.7。
3. 加入 FeSO_4 ，投入藥劑量約為使 Fe^{2+} 與 Cu^{2+} 之濃度比在 1:1 以上，均勻攪拌 30 分鐘，使反應完全。

4. 加入 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或 NaOH ，調整廢水 pH 值至 11.7，以使廢水中銅離子及鐵離子形成不溶性氫氧化物。
5. 加入陰電性 polymer 約 1~3 mg/L，攪拌凝集使 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 及 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 形成大顆粒膠羽以利沉澱。
6. 停止攪拌、靜置使膠羽完全沉澱。
7. 污泥膠羽沉澱完全後，排出上部澄清液進行後續處理。
8. 排污泥進行污泥濃縮及脫水處理。

依據實際的處理經驗顯示，化學銅廢液及廢水混合收集處理時，其混合廢水之銅濃度在 150~300 mg/L 之間時處理效果最好，銅濃度若太低，則處理時必須加入超量的 FeSO_4 藥劑，廢水中 $\text{Fe}^{2+}/\text{Cu}^{2+}$ 濃度比須在 4~8 之間，相當耗費藥劑成本，並產生大量污泥，否則便無法形成氫氧化物膠羽，處理效果極差；若銅濃度超過 30 mg/L，則處理時污泥膠羽太細，不易凝集沉澱，效果亦不佳，因此混合廢水銅離子濃度若能控制在 150~300 mg/L 之間，則加入之 FeSO_4 僅須使 $\text{Fe}^{2+}/\text{Cu}^{2+}$ 濃度比在 1 以上即能形成良好沉降性之膠羽沉澱，如此投入之藥劑量少，污泥產生量低，最能符合經濟有效之原則。

採用本法處理化學銅廢液及廢水雖效果十分良好，但其仍有相當多的缺點，例如：

1. 操作步驟繁復，處理工作不易自動化。
2. 處理條件嚴格，必須控制混合廢水銅濃度，如此才能確定所需投入的 FeSO_4 藥劑量，否則無法掌握處理成效。
3. 處理過程產生重屬污泥，衍生污泥處置的困擾。

二、鈣鹽處理法

(一) 基本原理

鈣鹽處理法是應用鈣離子與螯合劑 EDTA 的螯合鍵結能力比銅離子強且穩定性高的原理所發展出來的一種處理化學銅廢液及廢水的處理方法。

在正常操作情況下 PTH 製程排出之化學銅廢液及廢水的 pH 值約在 10~13 之間，溶液中的銅離子與 EDTA 呈螯合狀態，並且完全溶解在水溶液中，由於鈣離子與 EDTA 螯合能力比銅離子強且穩定性高，因此在處理化學銅廢液及廢水時，加入適量的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pH 值控制在 11.5 以上，鈣離子將會取代銅離子的地位與 EDTA 產生螯合，而使得銅離子形成氫氧化銅沉澱而去除之。

表 4.2.2-5 列舉出以鈣鹽處理 EDTA 系列化學銅廢水，當 pH=12 反應達到平衡時，廢液中 Cu^{2+} 、 Ca^{2+} 、 EDTA^{4-} 及 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 之平衡濃度關係，由表中可明顯地看出加入鈣鹽可有效地使廢水中銅離子與 EDTA 解離，並形成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉澱。事實上根據過去的處理經驗，鈣鹽處理法不僅對 EDTA 系列的化學銅廢水有效，其對酒石酸鉀鈉或其他螯合劑系列的化學銅廢水亦具有十分良好的處理效果。

表 4.2.2-5 鈣鹽處理法處理化學銅廢水廢水中各成分之平衡濃度關係

成分	狀態一 ¹	狀態二 ²	狀態三 ³	狀態四 ⁴
Cu ²⁺	1.0×10 ⁻¹⁵	6.0×10 ⁻¹⁶	1.2×10 ⁻⁵	6.0×10 ⁻¹⁶
CuEDTA ²⁻	6.0×10 ⁻⁴	5.4×19 ⁻⁴	5.9×10 ⁻⁴	1.7×10 ⁻¹³
EDTA ⁴⁻	1.2×10 ⁻⁴	1.8×10 ⁻⁴	5	5
Ca ²⁺	-	-	2575×10 ⁻⁴	2570×10 ⁻⁴
CaEDTA ²⁻	-	-	1.3×10 ⁻⁴	7.2×10 ⁻⁴
Cu(OH) ₂	-	0.6×10 ⁻⁴	-	6.0×10 ⁻⁴

註：1.廢水中含有超量的 EDTA，Cu²⁺與 EDTA 螯合，忽略 Cu(OH)₂ 產生的可能性。

2.在 pH=12 時，化學銅廢水實際上仍有極少部分 Cu²⁺會形成 Cu(OH)₂ 沉澱。

3.廢水中加入鈣鹽後，Cu²⁺、Ca²⁺、EDTA⁴⁻ 各成分於反應初期之濃度，忽略 Cu(OH)₂ 之形成。

4.廢水中加入鈣鹽後，反應達到平衡時 Cu²⁺、Ca²⁺、EDTA⁴⁻ 及 Cu(OH)₂ 之濃度關係，此時廢水中之 Cu²⁺ 幾乎全部形成 Cu(OH)₂ 沉澱。

5.由於加入超量的 Ca²⁺，EDTA⁴⁻ 與 Ca²⁺ 完全螯合。

6.單位 mole/L

表 4.2.2-6 為添加各種鈣鹽處理低濃度化學銅廢水及高濃度廢液所獲得的實際試驗結果，自表中數據顯示，若加入超量的鈣離子，pH 值控制在 11.6 以上，處理後廢水中銅離子大都可有效降至 0.2 mg/L 以下。

由測試發現添加各種鈣鹽如 CaO、CaCl₂、CaSO₄、CaCO₃ 及 Ca(OH)₂ 等，除了 CaCO₃ 處理效果較差外，其餘均具有良好的處理效果。處理效果的好壞與各種鈣質的溶解度有極大的關係，表 4.2.2-7 為在 pH=11.6 時各種鈣鹽的溶解度。由表中之數據可見，試驗過程中所添加的鈣鹽，如 CaO、CaCl₂、CaS₄ 及 Ca(OH)₂ 可完全溶解，解離出的鈣離子足夠與 EDTA⁴⁻ 螯合，並取代 Cu²⁺ 的地位，使 Cu²⁺ 游離，並形成 Cu(OH)₂ 沉澱，而獲得良好的銅去除效果。

然而加入 CaCO₃ 時處理效果較差，其主要是因為 CaCO₃ 的溶解度太低的緣故，其無法產生足夠數量的 Ca²⁺ 與廢水中 EDTA⁴⁻ 完全螯合，以致處理效果偏差。

表 4.2.2-6 鈣鹽處理法處理化學銅廢液及廢水之測試結果

廢水、廢液 銅濃度 (mg/L)	原廢水廢液 之 pH 值	添加鈣 鹽種類	鈣鹽添加量 (g/L)	處理後最 終 pH 值	polymer 添加量 (mg/L)	處理後殘銅 濃度(mg/L)
50	10.9	CaO	0.50	11.6	1.5	0.14
50	10.9	CaCl ₂	0.75	11.6 ^[1]	1.5	0.22
50	10.7	CaCl ₂	0.75	11.6	1.5	0.20
50	10.9	CaSO ₄	0.92	11.7 ^[1]	1.5	0.44
50		CaCO ₃	0.68	11.6	1.5	36.00
50		Ca(OH) ₂	0.69	1.7	1.5	0.05
50		Ca(OH) ₂	0.50	1.7	1.5	0.18
50		Ca(OH) ₂	0.50	1.7	-	1.21 ^[2]
5		Ca(OH) ₂	0.50	1.6	1.5	0.10
100		Ca(OH) ₂	1.00	1.6	1.5	0.09
1,910 ^[3]		Ca(OH) ₂	5.16	12.0	1.5	3.40

註 1：使用 NaOH 調整 pH 值至現值。

2：不加入 polymer 使 Ca(OH)₂ 自然沉降 16 小時後，取上澄液過濾測銅含量。

3：化學銅原廢液。

表 4.2.2-7 各種鈣鹽之溶解度

鈣鹽種類		溶解度 (g/L)			
化學式	俗名	0°C	10°C	20°C	30°C
CaO	生石灰	-	1.31	-	-
CaCl ₂	氯化鈣	59.5	65.0	74.5	102.0
CaSO ₄	石膏	1.759	1.928	-	2.09
CaCO ₃	石灰	0.0153 25°C 時			
Ca(OH) ₂	消石灰	1.85	1.76	1.65	1.53

在採用鈣鹽處理法處理化學銅廢液及廢水時，鈣鹽添加量的多寡及 pH 控制的範圍，對處理效果具有決定性的影響。在實際的測試過程中發現，要有效的去除化學銅廢液及廢水中的銅離子使之形成 Ca(OH)₂ 沉澱，鈣離子的添加量須達到使 Ca²⁺ 與 Cu²⁺ 對之濃度比在 2.5 以上，並且 pH 值控制在 11.7 以上時才有良好的效果。

圖 4.2.2-4 為以 Ca(OH)₂ 處理化學銅廢水時，Ca(OH)₂ 的添加

量與處理後廢水中殘餘銅濃度之關係曲線圖。

本試驗之步驟如下：

1. 取銅濃度為 1,910 mg/L 之化學銅廢液 26.18 mL，加蒸餾水稀釋至 1L 模擬銅濃度為 50 mg/L 之低濃度化學銅廢水。
2. 加入 1 N 的 NaOH 溶液調整廢水之 pH 值至 11.7。
3. 分別加入不同數量的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，加藥量如圖中所示，攪拌反應 5 分鐘。
4. 分別加入陰離子型 polymer 1.5 mg/L 於各試樣中凝集靜置沉澱 15 分鐘後，取上澄液過濾，並分析銅濃度。

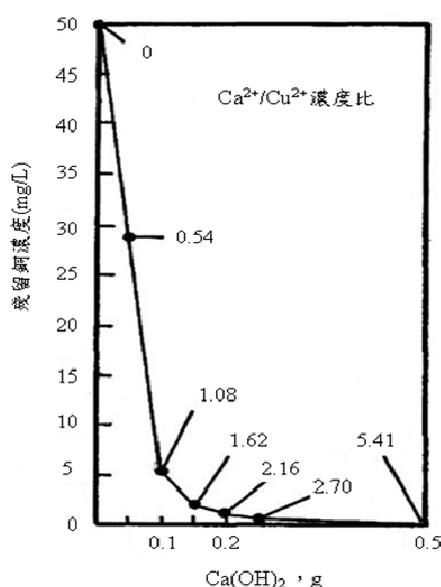


圖 4.2.2-4 處理化學銅廢水 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 添加量與銅去除效果之關係

在測試過程中亦發現，若廢水 pH 值在 11.5 以下，縱然已加入足夠數量的鈣離子，廢水中的銅離子仍然無法形成氫氧化銅沉澱，此時若再加入 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或 NaOH，將廢水 pH 值提高到 11.6 或以上，則立刻產生明顯的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 膠羽。經由試驗結果證實，若以鈣鹽處理法處理化學銅廢水及廢液，欲有效地使銅離子形成

$\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉澱並去除之，pH 值之最佳控制範圍在 11.6~12.5 之間，圖 4.2.2-5 為添加超量鈣鹽處理化學銅廢水時，廢水中殘餘銅濃度與 pH 值之關係曲線圖。

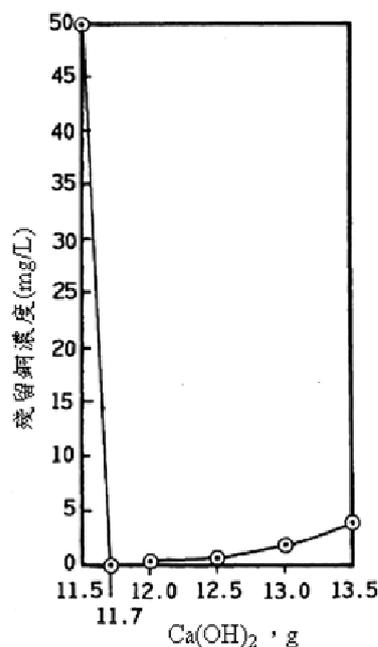


圖 4.2.2-5 添加鈣鹼處理化學銅廢水銅之去除效果與 pH 之關係

(二) 處理流程及技術

鈣鹽處理法處理化學銅廢液及廢水之處理流程與硫酸亞鐵處理法十分類似，僅在處理藥劑的種類及操作步驟有所不同而已，其處理流程如圖 4.2.2-6 所示。

採用鈣鹽處理法處理化學銅廢液及廢水，由於加藥種類較為單純，處理時操作控制條件亦極為簡單，故整體來說，此處理方法較硫酸亞鐵法優良，但本法仍會產生有害重金屬污泥是最大的缺點。

本試驗之步驟如下：

1. 取銅濃度為 1,910 mg/L 之化學銅廢液 21.68 mL，加蒸餾水稀釋至 1L 模擬銅濃度為 50 mg/L 之低濃度化學銅廢水。

2. 分別加入 0.5 g 的氫氧化鈣至各試樣中。
3. 加入 NaOH 溶液調整廢水 pH 值，至圖中之各測定值，並攪拌反應 5 分鐘。
4. 分別加入陰離子型 polymer 1.5 mg/L 於各試樣中凝集靜置沉澱 15 分鐘後，取上澄液過濾，並分析銅濃度。

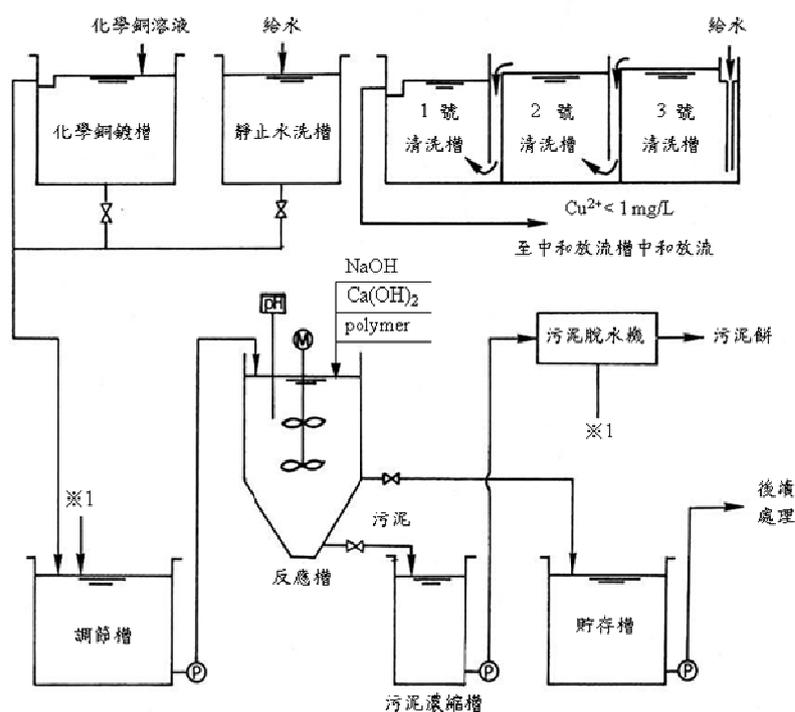
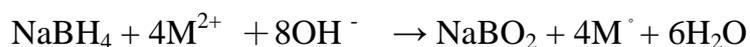


圖 4.2.2-6 鈣鹽處理法處理化學銅廢液及廢水之處理流程

三、硼氫化鈉還原法

(一) 基本原理

硼氫化鈉(NaBH_4)溶液是一種強還原劑，可將溶解性金屬陽離子、重金屬錯合物或螯合物及許多有機金屬化合物還原成不溶性的元素態金屬。其反應如下：



理論上1莫耳的硼氫化鈉可將4莫耳的二價金屬離子還原成元素態的金屬，利用此原理直接添加入適量的硼氫化鈉溶液於化學銅廢液及廢水中，可將廢液及廢水中的銅離子還原成元素態的金屬銅沉積，而加以去除。

表4.2.2-8為理論上每單位硼氫化鈉與所還原金屬之重量比，由表中數據可見每單位之硼氫化鈉理論上可將7倍重之銅離子還原成金屬銅，但在實際操作時，硼氫化鈉的使用量可能會比理論值要來得少，其主要原因是化學銅廢液及廢水中還殘留有大量甲醛，尚可將部分的銅離子還原成元素銅所致。

表4.2.2-9是使用硼氫化鈉還原法處理化學銅廢液及廢水之試驗結果，由試驗結果發現，不論是高濃度的化學銅廢液或低濃度的化學銅清洗廢水，在加入適量的 NaBH_4 溶液後，(加藥量如表中所示)均可有效地將廢液及廢水中的銅離子還原成金屬銅沉積而加以去除。

試驗過程中化學銅廢液及廢水試樣在加入適量的硼氫化鈉溶液後，立即產生劇烈的氧化還原反應，廢水廢液中的二價銅離子首先還原成一價銅離子，並有部分的一價銅離子反應生成黑色的氧化亞銅微細質點，然後再進一步地還原成金屬銅微粒沉積，反應過程伴隨產生大量的氫氣，約經過8~12小時的反應、靜置、沉澱後，上澄液銅濃度可降至0.5 mg/L以下。

表 4.2.2-8 理論還原金屬量與硼氫化鈉加藥量之重量比

金屬	價數	重量比
鉛	Pb^{2+}	22
鎘	Cd^{2+}	12
汞	Hg^{2+}	21
亞汞	Hg^+	42

金屬	價數	重量比
銅	Cu ²⁺	7
銀	Ag ⁺	22
金	Au ³⁺	14
鎳	Ni ²⁺	6
鈀	Pd ²⁺	11
鉑	Pt ⁴⁺	10
鈷	Co ²⁺	6
銠	Rh ³⁺	7
銱	Ir ⁴⁺	10

表 4.2.2-9 硼氫化鈉還原法處理化學銅廢液及廢水之試驗結果

化學銅廢液及廢水濃度(mg/L)	處理前 pH 值	硼氫化鈉(12%)添加量(mL/L)	處理後 pH 值	處理後殘餘銅濃度(mg/L)
1,911	12.7	1.5	12.4	0.4
1,400	12.6	1.2	12.3	0.25
600	12.5	1.0	12.1	0.3
300	12.1	0.5	11.9	0.44

(二) 處理流程及技術

硼氫化鈉還原法處理化學銅廢液及廢水之處理流程如圖 4.2.2-7 所示。印刷電路板工廠化學鍍銅製程所排出之高濃度化學銅廢液及低濃度清洗廢水合併流入調節槽中收集貯存，當調節槽達到滿水位後，啟動泵將廢水抽送至批式反應槽中進行處理。處理時需視混合廢水中的銅離子濃度高低加入適量的硼氫化鈉還原劑，本法的反應操作控制條件極為簡單，通常 pH 值控制在鹼性狀態即可，一般 pH 值在 8~11 時可獲得較高的處理效率，若 pH < 8 時，則由於硼氫化鈉的水解作用，將使其消耗量增加。

若 pH > 11 時，金屬的還原率將略為減低。國內一般印刷電路板工廠所產生之化學銅廢液及廢水 pH 值約在 11~13 之間，在處理時最好能將 pH 值略為調整降低至 11 左右，以提升處理效果；不過依據過去的處理經驗發現在 pH > 11 時，仍然可獲得良好的

銅去除效果，因此為簡化操作起見，pH 值的調整步驟似乎可以加以省略。

在反應過程中，化學銅廢液及廢水中之銅離子受到硼氫化鈉的初步強迫還原及廢水廢液中殘留甲醛的後續還原作用的影響促使之下，迅速地還原成元素態的金屬銅微粒沉積，由於金屬銅微粒極為細小需要較長的沉澱時間(約需 6~8 小時左右)金屬銅微粒才會完全沉積於反應槽底部，此時反應槽內之化學銅廢液及廢水變得澄清透明，殘餘銅含量約在 0.5 mg/L 以下。

上澄液經過濾後流入貯存槽中收集，以進行後續處理，更進一步去除其 COD 污染成分或定量平均排入重金屬廢水處理系統之中和放流槽，與處理後放流水混合稀釋中和後放流。

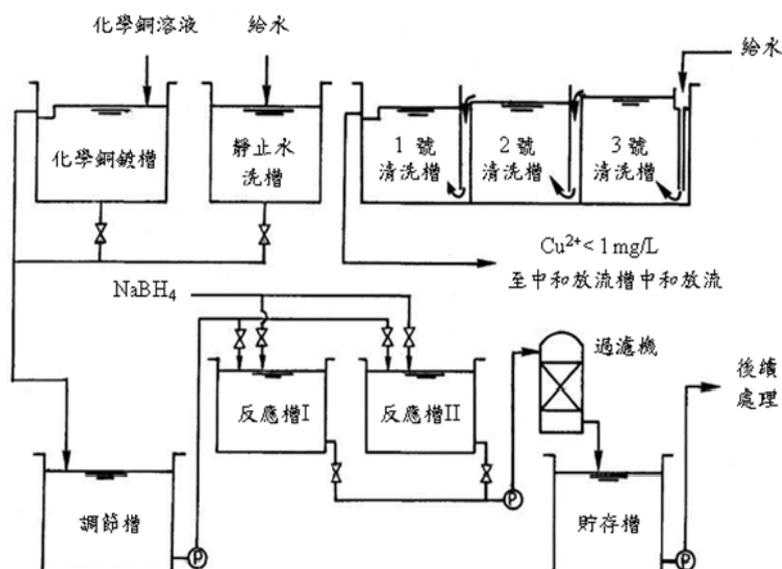


圖 4.2.2-7 硼氫化鈉還原法處理化學銅廢液及廢水之處理流程

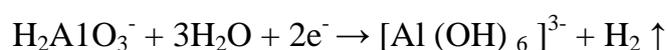
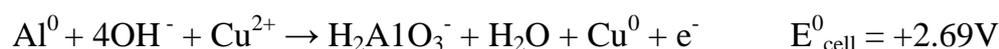
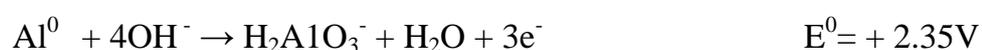
硼氫化鈉還原法可直接將廢水中溶解的金屬離子還原成元素態金屬沉積，這些金屬沉澱物可有效地回收再利用，由於處理方法相當簡單，且反應過程是不可逆的尤其本法不會產生污泥，沒有傳統化學沉降法污泥處理處置的困擾，故基本上來說，本法

是較傳統方法為佳的處理方法。

四、鋁催化還原法

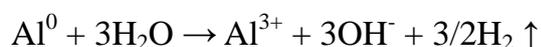
(一) 基本原理

鋁催化還原法是應用金屬鋁之活性較銅為高的化學特性所引發出的一種處理構想，在高濃度的化學銅原廢液或低濃度的清洗廢水中加入金屬鋁介質，將使廢液及廢水中的銅離子與金屬鋁產生電荷交換反應，而使銅離子迅速還原成金屬銅沉積析出而達到去除銅離子的目的，其反應方程式如下：



此一反應為單純的氧化還原反應，金屬鋁在鹼性的條件下釋出 3 個電子，自身氧化成 $(\text{H}_2\text{AlO}_3)^-$ ；銅離子則獲得 2 個電子，還原成元素態銅。由反應電動勢來看，此反應是完全自發性的，無需外界供應能量來促使反應發生。在鹼性的條件下 $(\text{H}_2\text{AlO}_3)^-$ 如繼續獲得電子供應，則會再與水分子發生水合反應，生成 $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$ 錯鹽溶解於化學銅廢液或廢水中，其間並伴隨著有氫氣的產生。

由於鋁是兩性的金屬，在強鹼性的化學銅廢液及廢水中，金屬鋁亦會溶解並形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的膠羽沉積，而在強鹼的環境下 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 膠羽會更進一步與游離的 OH^- 結合形成 $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$ 錯鹽而再溶解，反應方程式如下：





因此在整個氧化還原反應過程中化學銅廢液及廢水中的銅離子會還原成元素態金屬銅析出，所加入的金屬鋁則會因氧化作用的關係逐漸溶解消耗，而以 Al^{3+} 、 (H_2AlO_3) 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$ 等離子狀態溶解於廢水或廢液中，另外並有部分的 Al^{3+} 會形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 白色的氫氧化物膠羽懸浮在廢水、廢液中，反應期間並有大量的氫氣產生。

事實上加入金屬鋁介質進入化學銅廢液及廢水中亦具有催化反應的作用，由於金屬鋁具有催化性質的金屬表面，其可使化學銅廢液及廢水中的銅離子與甲醛產生自發性的氧化還原反應，促使銅離子迅速的還原成元素態的金屬銅沉積析出而達到去除銅離子的目的，其反應與化學鍍銅的原理是相同的，有關反應式說明如下：



由上述鋁催化還原法處理化學銅廢液及廢水之反應原理可知，加入金屬鋁處理化學銅廢液及廢水，可有效地將銅離子還原成元素態銅沉積而加以去除。

表 4.2.2-10 是添加金屬鋁片處理化學銅廢液及廢水之實際測試結果，自測試結果發現加入鋁片之表面積愈大，反應速率愈快，處理效果愈佳，當每公升化學銅清洗廢水中加入 $2,000 \text{ cm}^2$ 的鋁片進行反應約經過 2 小時左右，廢水中銅離子濃度即可由 30 mg/L 降至 1.15 mg/L ；同樣地，在高濃度的化學銅廢液中每公升加

入 2,000 cm² 的鋁片，經過 16 個小時的反應後廢液中銅離子濃度可由 605 mg/L 降至 0.88 mg/L。

試驗結果證實，鋁催化還原法不僅對低濃度的化學銅清洗廢水有良好的處理效果，其對高濃度的化學銅原廢液處理效果亦極佳。由處理測試過程所獲得之經驗顯示，在反應過程中若適度地攪拌廢液及廢水，可有效的提升反應速率。

表 4.2.2-10 添加鋁片處理低濃度化學銅廢水試驗結果

試驗條件 反應時間(hr)	每公升廢水中加入不同面積鋁片反應後銅濃度(mg/L)		
	500 cm ²	1,000 cm ²	2,000 cm ²
0	30	30	30
1	19.64	15.60	3.29
2	10.69	3.75	1.15
4	4.20	1.48	0.32
8	1.75	0.5	0.1
16	0.30	0.15	N.D

表 4.2.2-11 為採用添加金屬鋁粉的方式處理化學銅廢液及廢水所獲之測試結果，由於鋁粉的比表面積相當大，具有極佳的催化活性界面，可大幅的提升反應速率，使化學銅廢液及廢水中的銅離子與甲醛產生氧化還原反應，而使銅離子還原沉積析出，另外由於鋁粉的表面積相當大，其亦提供了良好的界面與銅離子接觸而發生電荷交換，使銅離子獲得電子，還原成元素態銅析出。

(二) 處理流程及技術

鋁催化還原法處理化學銅廢液及廢水之處理流程如圖 4.2.2-8 所示。化學鍍銅製程中所排出之化學銅廢液及清洗廢水合併流入調節槽中收集，當達到滿水位後，再由泵抽送至反應槽中進行處理，由於印刷電路板工廠化學銅廢液及清洗廢水的水量不多，一般大型廠每日約在 10 m³ 以下，因此反應槽體可以批次處

理為原則加以設計。化學銅廢液及廢水在反應過程中，操作控制條件極為簡易，一般僅需加入適量的金屬鋁粉並加以適當的攪拌即可。

由於化學銅廢液及廢水中一般均含有過量的甲醛，這些甲醛可充分的供應電子給銅離子，使其還原成元素態銅，再者加入鋁粉後所產生的氧化一還原應完全是自發性的，因此在處理過程中幾乎無需再添加任何藥劑，pH 值亦無需做任何的調整及控制(一般印刷電路板工廠所排出之化學銅廢液及廢水，其 pH 值約在 11~13 之間，銅離子還原成元素態銅後，在鹼性的條件下銅不會溶解)，因此本法之處理操作極為簡單。

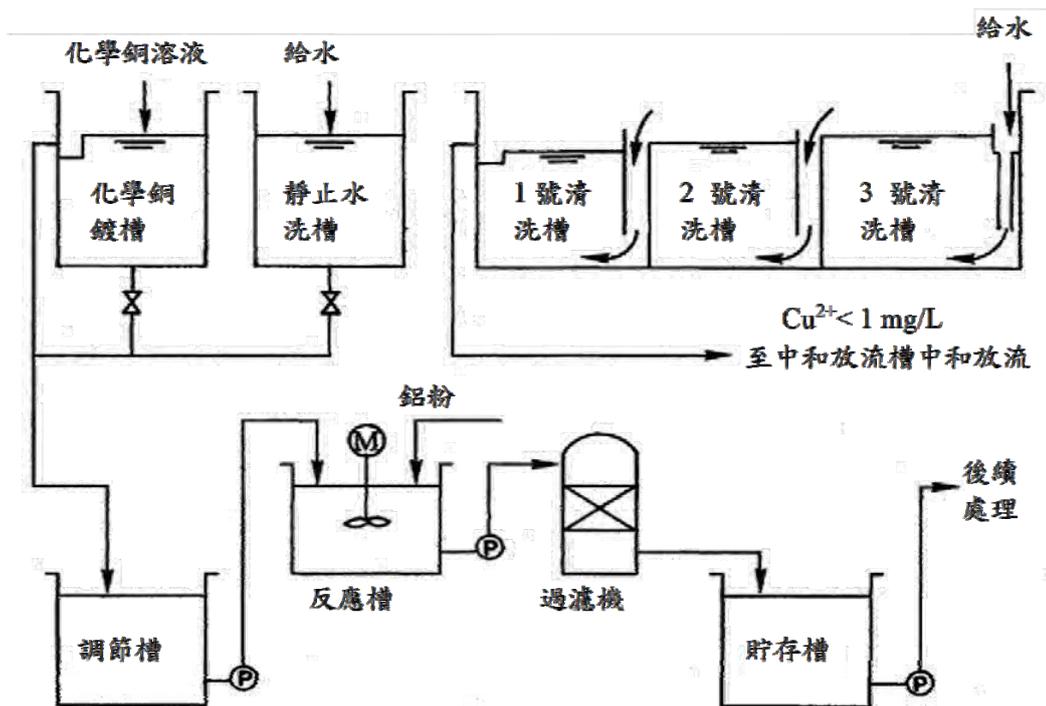


圖 4.2.2-8 鋁催化還原法處理化學銅廢液及廢水之處理流程

表 4.2.2-11 添加鋁粉及甲醛處理化學銅廢水試驗結果

鋁粉添加量(g/L)	甲醛添加量(mL/L)	反應時間(hr)	殘留銅濃度(mg/L)
0	0	0	43
0.5	0	0.5	>25
		1.0	>25
1.0	5	0.5	3.15
		1.0	1.5
		24.0	1.6
1.0	10	0.5	5.6
		1.0	1.5
		48.0	0.0

化學銅廢液及廢水經反應完全後，停止攪拌，靜置沉澱，此時銅離子幾乎全部都還原成元素態的金屬銅微粒沉積析出，反應槽內鋁粉則因失去電子而溶解，部份並形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 白色膠羽沉澱，另有部分鋁粉則因氧化生成 Al_2O_3 白色粉末沉澱。

由於銅離子經還原形成元素態金屬銅後，一般均會在活性化的介質表面沉積析出，而鋁粉雖具有活性的金屬表面，但鋁粉在反應過程中因不斷地失去電子而溶解，使得還原後的金屬銅無良好的活性界面供其沉積析出，因此這些金屬銅大多以微細顆粒狀態與白色的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 膠羽及 Al_2O_3 粉末共同沉積於反應槽底，為有效分離還原後之金屬銅微粒及 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 Al_2O_3 等沉澱物，應於反應槽之後設置過濾裝置，以過濾方式分離這些圓形物質，以確保處理效果。

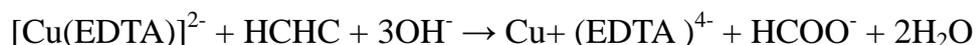
一般過濾裝置可採用 $10\ \mu\text{m}$ (孔徑= $10^{-5}\ \text{m}$) 的濾袋或濾心進行過濾，即可獲得良好的分離效果。過濾後濾除之 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 Al_2O_3 及銅金屬微粒可集中收集，委託代處理業回收或做完善之最終處置，經過濾後之出流水，在正常的操作情況下，殘留銅濃度應在 $1\ \text{mg/L}$ 以下，這些過濾後的濾出液經貯存槽收集貯存後，再定量

平均地排入重金屬廢水處理系統之中和放流槽內中和稀釋後放流，或納入後續的處理單元再處理，以分解去除 COD 污染成分。

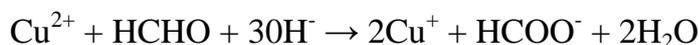
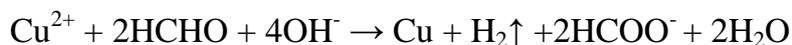
五、銅催化還原法

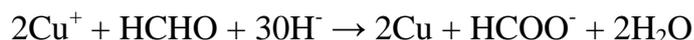
(一) 基本原理

銅催化還原法是應用化學鍍銅的原理發展出來的一種極為經濟簡便的處理方法，化學鍍銅是鹼性條件下進行的氧化-還原反應，其析出銅鍍層的總反應式如下：

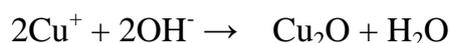


氧化-還原的標準電位 $E^0 = +0.703\text{V}$ ，由於電位很高，故反應可以在室溫下進行，但儘管如此，要有效地析出銅沉積，還必須具備一定的化學動力學條件，亦就是其反應必須在具有催化性質的表面才能進行，在非金屬表面上進行化學鍍銅，由於其不具備催化表面，故反應無法順利進行，因此必須先經過特殊的活化處理，使被鍍物的表面具有催化界面，才能使銅析出而沉積，例如非導體性的塑膠製品鍍銅時，即必須先將鍍件預浸於含有氯化鈇及氯化亞錫溶液，使其表面活化後，才可進行化學鍍銅，印刷電路板工廠的通孔鍍銅(PTH)亦是同樣的道理；然而在金屬銅表面上鍍化學銅，由於銅具有自催化作用，其鍍銅反應完全是自發性的，銅可以迅速地沉積於金屬銅表面上。在化學鍍銅的過程中，鍍銅溶液在催化表面產生的反應，不單只是還原金屬銅鍍層而已，還伴隨著下列的反應發生：





在析銅的過程當中通常會有少量的氫氣產生，並由於擴散作用，會有微量的一價銅離子脫離催化表面的反應液層進入溶液內部而生成氧化亞銅沉澱，這些氧化亞銅質點有些又會因自身的還原作用而還原成金屬銅微粒沉澱，其反應式如下：



氧化亞銅及金屬銅微粒，是具有催化作用的細小質點，這些催化微粒是由槽溶液自行產生的，但另外亦有可能因原材料(板子)及水的帶入或於操作過程中帶進一些不溶性雜質或空氣中掉進的塵埃，這些外來的雜質或有可能是其催化作用的質點。

化學銅溶液中的這些催化質點，會促使槽溶液發生氧化還原反應，而造成溶液失去穩定性，或自然分解，使得銅逐漸地析出並沉積於槽底部，印刷電路板工廠 PTH 製程中排出的化學銅廢液，亦是由於這個作用，造成排放管路中，逐漸累積金屬銅的沉澱而堵塞管路，由經驗顯示，若廢液於密閉容器內存放達 7~10 日，則銅離子會完全析出而使得廢液變得澄清。

由於化學鍍銅溶液氧化—還原反應的特殊現象，進而發現了銅催化還原法這種極為經濟、簡便且迅速有效的化學銅廢液處理法。

銅催化還原法即是應用了上述化學鍍銅的反應原理及自身還原現象，於化學銅廢液中投入大面積的金屬銅以加速其還原反應，使銅快速而完全地沉積於所投入之金屬銅表面。表 4.2.2-12 及表 4.2.2-13 即是採用銅催化還原法處理化學銅廢液及廢水的實

際測試結果，由表 4.2.2-12 中可發現加入銅箔的面積比愈大，反應愈迅速，處理效果愈佳，當每公升化學銅廢液中加入 2,000 cm² 的銅箔時經過 16 小時的靜置反應，廢液中銅離子濃度可由 1,810.2 mg/L 降至 2.15 mg/L。

表 4.2.2-13 為改用添加銅粉方式處理化學銅廢液之試驗結果，由於銅粉的比表面積相當大，處理時效果更好，當每公升廢液加入 50 g 銅粉時，經攪拌反應 6 小時廢液銅濃度可由 600 mg/L 降至 0.53 mg/L。另外在測試過程中發現，若將化學銅廢液稀釋 5 倍及 20 倍，模擬成化學鍍銅清洗廢水並各加入 20 g/L 銅粉進行處理，測試結果顯示，廢水經攪拌反應後銅濃度不但未下降，反而有急劇升高的傾向，其主要原因為廢液經稀釋後 Cu²⁺ 及甲醛濃度降低，還原反應減弱，再者由於 [Cu(EDTA)]²⁻ 的解離常數極低，若再加入大量的金屬銅，將促成金屬銅被過量游離的 EDTA 強迫螯合，而發生逆向的氧化反應，使得廢液中銅濃度不降反升。因此，銅催化還原法僅對高濃度的化學銅原廢液有處理效果，對於低濃度的清說廢水則完全無效。

表 4.2.2-12 添加銅箔處理高濃度化學銅廢液試驗結果

試驗條 反應時間(hr)	每公升廢水中加入不同面積銅箔反應後銅濃度(mg/L)		
	500 cm ²	1,000 cm ²	2,000 cm ²
0	1,810.2	1,810.2	1,810.2
4	1,457.2	839.20	266.5
6	1,053.4	605.2	120.2
8	851.7	328.6	62.13
12	620.6	54.15	3.24
16	423.5	33.95	2.15
24	284.7	17.8	-

註：1.銅箔來源為銅箔基板之裁板廢邊料

表 4.2.2-13 添加銅粉處理化學銅廢液及廢水試驗結果

項目	銅粉添加量 ^[1] (g/L)	反應時間(Hr)				
		0	2	6	12	24
		反應後殘留銅濃度 ^[2] (mg/L)				
化學銅廢液	20	600	184	54.2	3.6	0.65
化學銅廢液	50	600	112	0.53	-	-
化學銅廢液稀釋 5 倍	20	120	354	864	-	-
化學銅廢液稀釋 20 倍	20	30	314	552	-	-

註：1.銅粉來源為印刷電路板工廠刷磨銅粉回收機所濾除之銅粉

2.反應後靜置沉降，取上澄液過濾分析銅濃度

(二) 處理流程及技術

銅催化還原法處理化學銅廢液之處理流程如圖 4.2.2-9 所示，化學銅鍍槽所排出之廢液由單獨之調節槽收集，廢液經泵抽送至反應槽處理，反應槽為批式操作方式，反應過程中僅需加入適量的銅粉，pH 值控制在 10~13 之間，攪拌反應至廢液中銅離子完全還原析出後停止攪拌，靜置待銅粉顆粒沉降後，上層澄清液由泵排出進行過濾，以濾除懸浮之銅粉顆粒，濾出液流入貯存槽中貯存以備後續處理。

採用本方法處理化學銅廢液操作控制條件極為簡單，僅需在操作一段時間後補充或更換反應槽內之銅粉(銅粉可採自印刷電路板工廠刷磨製程銅粉回收機濾除之銅粉屑，來源無慮且完全免費)，在正常狀況下無需添加任何藥劑，除非廢液中還原劑甲醛的含量不足或 pH 值太低，而必須補充甲醛或添加 NaOH 以提高 pH 值，事實上這種現象是極少發生的，因為化學鍍銅溶液中甲醛當量濃度比銅高出許多倍，扣除甲醛至自身氧化及鍍銅反應所消耗的量之外，剩餘的甲醛含量仍足以供應電子給廢液中的銅離子使其全部還原成金屬銅析出；另外化學銅廢液 pH 值高達 12~13，廢液的 pH 值除了因甲醛氧化成甲酸而略為下降外，如無特別因

素 pH 值均能保持在 11.5~12.5 之間，因此在反應槽的處理過程中 pH 值幾乎不必加以調整或控制。

本法具有操作控制條件簡單、處理過程無重金屬污泥產生、設備初設成本不高、操作費用低廉及處理結果所產生之金屬銅粉可回收出售等優點；而其主要缺點是僅能用來處理高濃度的化學銅原廢液，而對靜止水洗槽排出之低濃度化學銅廢水則完全沒有處理效用，由圖 4.2.2-9 中可見靜止水洗槽排出之廢水必須另外採用其他的處理方法來加以處理，才能有效地去除銅離子的污染，而針對此股廢水，目前最經濟有效的處理方法為鋁催化還原法，該處理法在本章前一節中已有詳盡的介紹，可自行參考。

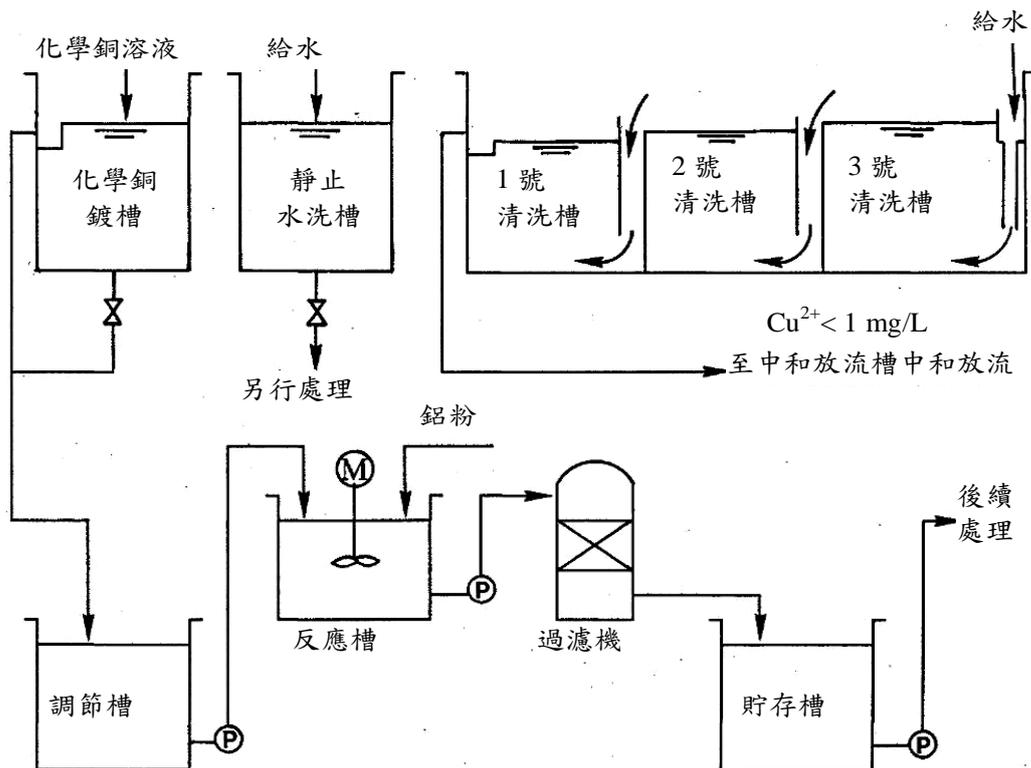


圖 4.2.2-9 銅催化還原法處理化學銅廢液之處理流程

4.2.3 顯像、去墨/膜廢液之處理

印刷電路板工廠在顯像、去盤或剝膜製程中，排放出高濃度的有機

廢液，如顯像廢液、去墨廢液及剝膜廢液等、另外在不良品外層防焊油墨、乾膜(俗稱防焊綠漆)的剝除過程中，所產生之綠漆褪洗廢液等，這些廢液量雖不多但有機污染濃度極高，所造成的COD污染量相當可觀，約佔整廠廢水總COD污染量的60~80%之間，這些廢液儼然是印刷電路板工廠廢水COD污染的最主要來源。

表4.2.3-1為各類型印刷電路板工廠顯像、去墨/膜廢液污染特性分析表。印刷電路板工廠若要將廢水處理達到國家放流水標準所規定之COD限制值，勢必要針對這些廢液加以妥善處理，並且需能有效地去除廢液中的COD污染成分，如此才有可能使廢水符合法令的規定。

表 4.2.3-1 各類型印刷電路板工廠顯像去墨/膜廢液污染特性分析

工廠類別	單面板工廠		鬆面板工廠		多層板工廠*	
	單位產品廢液量 (L/m ²)	COD (mg/L)	單位產品廢液量 (L/M ²)	COD (mg/L)	單位產品廢液量 (L/M ²)	COD (mg/L)
內層顯像廢液	-	-	-	-	0.7~6.2	3,000~20,000
內層剝膜/去墨廢液	-	-	-	-	0.2~1.8	20,000~80,000
外層顯像廢液	-	-	0.4~2	3,000~15,000	0.5~4.6	3,000~15,000
外層剝膜/去墨廢液	0.8~1.2	20,000~80,000	0.2~1	20,000~80,000	0.4~1.6	20,000~80,000
防焊油墨顯像廢液	-	-	-	3,000~10,000	0.4~2.4	3,000~10,000
防焊乾膜顯像廢液	-	-	-	3,000~10,000	0.4~4.8	15,000~25,000
防焊油墨乾膜褪洗廢液	-	-	-	15,000~250,000	0.03~0.05	150,000~250,000
顯像去墨混合廢液	0.8~1.2	20,000~80,000	0.6~3	12,000~15,000	3~20	12,000~15,000

註：多層板工廠包含有4層板、6層、8層板工廠

由於顯像、去墨/膜廢液的污染濃度偏高，處理上相當的困

難，國內外近年來皆有許多學者專家或印刷電路板業者，致力於處理技術的研究，期能尋找出最經濟簡便的處理方法，來去除或降低廢液中的污染成分。

國內有一些印刷電路板工廠近來亦朝減廢方面著手，在製程上不斷地做改進，引進新的低污染製程技術如電著光阻膜 (electrodeposited photoresist) 技術等，以取代目前的油墨印刷或乾膜壓合的製作方式，期能獲得更好的產品品質，並有效地降低污染的產生。電著光阻膜的製作，有陽極性及陰極性之分，它是應用電著塗裝的原理，將板子浸漬於含有感光樹脂的槽液中，施以電壓，使板子與樹脂二者帶有相反電荷產生吸引，基板表面即附著一層類似乾膜或油墨同樣功能的感光樹脂薄膜，作為蝕刻阻劑或抗電鍍阻劑之用，由於這類的電著光阻膜厚度較一般的乾膜為薄，因此在後段的顯像及剝膜製程中，所溶解剝除的樹脂膜量少，排出廢液之 COD 污染量若以相同的產能來說，可明顯地大幅降低，然而這種新製程技術仍在試驗及評估階段，尚未大量的推廣使用，且其於電著塗佈過程中亦有廢水的排放，所產生之污染量有多大，處理時的難易度如何，目前亦未有詳細的評估數據。

國內印刷電路板工廠製程中所使用的線路油墨、乾膜及防焊油墨、乾膜幾乎都是全水溶液型的。各類型印刷電路板工廠除了單面板工廠及少數雙面板工廠仍採用傳統網版油墨印刷外，其餘的雙面板及多層板工廠幾乎全都採用感光型的油墨及乾膜為原料進行比較精密細小線路的製作。

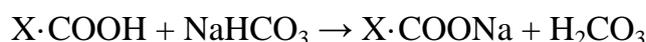
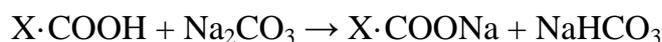
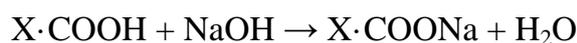
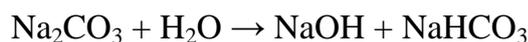
這些感光型的油墨和乾膜可按製程用途來加以區分為內層板的抗蝕刻油墨及乾膜、外層板的抗電鍍油墨及乾膜，另外還有

外層板防焊油墨及乾膜。印刷電路板工廠所採用的感光型線路油墨、乾膜及防焊油墨、乾膜皆為負片型式，其組成成分大致相似，主要為含羧基之壓克力樹脂、聚胺基甲酸乙酯樹脂及環氧樹脂等另外亦含有少量的感光起始劑、填充料、色料、溶劑等。

由於感光型的油墨及乾膜主要是由含羧基(-COOH)的感光樹脂單體所組成，這些含羧基的樹脂會與鹼性的鹽類發生反應，生成有機酸鹽類而溶解於水中，在製造過程中感光型油墨及乾膜經過UV曝光後，底片還透光部分受到紫外線的照射，使其中的感光樹脂單體產生聚合反應，形成結構堅實的高分子聚合物，這些高分子聚合物不易溶解於弱鹼性的溶液中(但會溶解於強鹼溶液中)，而底片遮光部分下的油墨和乾膜，由於未受到紫外線的照射，仍保持原狀，未發生聚合反應，因此結構較脆弱，可被弱鹼性的溶液溶解掉。

印刷電路板工廠應用了上述特性，在製程中大肆的使用這類感光型油墨、乾膜，並利用照相製板、曝光、顯像等技術將其製作成為蝕刻阻劑、抗鍍阻劑及防焊阻劑，以完成內外層板線路的製作。

目前國內的印刷電路板工廠在顯像的製程中即採用弱鹼性的顯像溶液(1~2% Na_2CO_3)把板子上未曝光的油墨、乾膜溶解去除，其反應方式如下：



被UV曝光產生聚合反應的油墨、乾膜，由於反應形成結構

堅實的含羧基高分子聚合物，其不被顯像溶液溶解，而仍覆著在板前上形成一保護層，在內層板製作時其做為抗蝕刻阻劑，在外層板製作時則作為抗鍍阻劑或防焊阻劑，當完成後續的蝕刻(內層板)及電鍍(外層板)等線路製作後，於後段去墨(剝膜)步驟中，使用強酸性的去墨/膜溶液(3~5%NaOH)將此保護層溶解剝除。

顯像溶液及去墨/膜溶液在使用一段時間後，當融溶一定量的油墨或乾膜，達到飽和或製程品質要求的容許濃度後，即必須排棄並更換新液。

另外有些印刷電路板廠為確保顯像的速率及顯像的完整性，在顯像製程中以 pH 值自動監控方式不斷地自動補充新的 Na_2CO_3 溶液以確保槽液穩定，槽內顯像液並不斷的溢流出成為廢液排棄，這些排棄的顯像廢液及去墨/膜廢液由於其中溶解了大量的油墨或乾膜，而此等油墨、乾膜的主要成分-樹脂是以有機酸鹽類的型態溶解在廢液當中，另外廢液中亦溶存了油墨、乾膜的其他組成成分，如感光起始劑、色料、填充料及溶劑...等，這些物質幾乎都是有機性的，因此使得廢液具有極高的 COD 污染源。

此外，在這裡必須特別一提的是消泡劑的使用問題，由於油墨或乾膜中含羧基的樹脂成分溶解在鹼性的顯像或去墨/膜溶液中是一種皂化(saponification)反應，因此在顯像或去墨/膜過程中，不斷地循環噴洒鹼性的顯像或去墨/膜溶液，將使板面上未曝光或已曝光的油墨、乾膜產生皂化、水解、膨鬆而顯像或剝離，這些顯像或去墨/膜溶液在泵的循環抽送及噴洒沖激下，並伴隨產生了大量的泡沫，泡沫的形成將阻擋或減弱顯像或去墨/膜溶液

的噴洒沖擊效果，而使油墨或乾膜無法完全顯像或剝除，影響產品的品質。

為防止泡沫的產生確保產品品質，工廠大都使用消泡劑來抑制泡沫的形成，消泡劑的添加量按一般工廠之操作經驗，每公升顯像溶液或去墨/膜溶液，每次需添加 1 mL 以上，至其成為廢液排棄前需添加 2~5 mL 左右，由於印刷電路板工廠所使用的消泡劑為有機溶劑型，COD 高達百萬 mg/L 之鉅，因此消泡劑的添加，使得每公升顯像或去墨/膜廢液之 COD 多增加達數千 mg/L，由此可見消泡劑亦是顯像、去墨/膜廢液 COD 污染的主要來源。

由以上的說明可知顯像、去墨/膜廢液，不但污染濃度高而且成分相當複雜，因此造成處理上極大的困擾。事實上印刷電路板工廠若要徹底解決顯像、去墨/膜廢液所造成的 COD 污染問題，光是從廢水處理方面著手是不夠的，其在原物料的選用方面亦應做適當的考量，簡單的說即是應朝減少污染方面著手，亦即是在製程中選擇使用低污染性的線路油墨、乾膜及防焊油墨、乾膜，以減少污染的產生，降低處理困難度，如此才能收到事半功倍的效果。

目前市面上販售的線路油墨、乾膜及防焊油墨、乾膜有各種廠牌及型式，這些油墨及乾膜的主要成分為含羧基之壓克力樹脂、聚胺基甲酸乙酯樹脂及環氧樹脂等，大多為高分子有機聚合物質，其在相同的顯像、去墨或剝膜等製造過程中所展現的污染特性或造成的污染量及處理的難易度均有顯著不同，舉例來說，各種廠牌之線路乾膜其厚度就有差異，從 1~4 mil 皆有廠商生產，其在顯像溶液(1~2% Na_2CO_3 水溶液)及剝膜溶液(3~5% NaOH 溶液)

中的溶解速率或溶解度即有高低之分，為防止泡沫產生所需添加之消泡劑量亦有差別，由此可見，在相同的印刷電路板產量下，使用不同廠牌的乾膜所造成的 COD 污染即可能極大的差異，依據經驗顯示 COD 的污染量幾乎有 1~3 倍左右的差距。

此外，顯像廢液及去墨/膜廢液在處理過程中亦展現出不同的處理特性，有的廠牌在處理時 COD 去除效率較高或具有比較良好的生物可分解性，有的廠牌則處理時 COD 去除率偏低且生物不易進行分解，這些現象都在在顯示各種廠牌型式之油墨及乾膜所造成之污染，在程度上有相當的差異，因此印刷電路板工廠在製程中必須審慎的選擇採用低污染性且易於處理的油墨或乾膜(尤其是工業區外的印刷電路板工廠)，惟有如此，才能於管末廢水處理中有效克服顯像、去墨/膜廢液所造成的 COD 污染問題，使廠內廢水在處理後能穩定地達到放流水標準。

目前顯像廢液及去墨/膜廢液的處理大致仍採用傳統的物化處理法及生物處理法來去除其 COD 污染成分；事實上依據顯像去墨/膜廢液的污染特性來說，這些高濃度的有機廢液似乎相當適合採用焚化方式或濕式氧化法(wetoxidation)來進行處理，不過目前國內外尚未有工廠採用這些方法進行處理，亦未有學者專家進行有關方面的研究，因而在此並不加以介紹，以下僅說明各種物化處理方法及生物處理方法進行處理技術，以供參考。

一、酸化及化學混凝沉澱處理法(前處理)

(一) 基本原理

顯像、去墨/膜廢液中溶解了大量的油墨或乾膜，因此 COD 污染濃度極高，這些油墨及乾膜的主要成分為含羧基之壓克力樹

脂、環氧樹脂、胺基甲酸乙酯樹脂等，其可與鹼性的顯像、去墨/膜溶液發生反應，生成有機酸鹽溶解在水溶液中，而這些含羧基的樹脂則不易溶解於酸性的溶液中。應用這個基本原理，在處理顯像、去墨/膜廢液時可加入酸於廢液中進行酸化，將廢液之 pH 值由鹼性調整至酸性，此時廢液中的有機酸鹽因酸的作用，產生逆反應回復成樹脂狀的墨/膜渣析出，並懸浮於變成酸性的顯像、去墨/膜廢液中，若能有效的分離去除這些懸浮的墨/膜渣，則可大幅的降低廢液的 COD 污染濃度。

由於市面上銷售的油墨及乾膜廠牌有十餘種之多，各種油墨、乾膜的特性不同，使得顯像及去墨/膜廢液在酸化處理時，出現各種不同的現象，造成處理上極大的困擾，例如有些顯像、去墨/膜廢液在酸化處理時，所產生的墨/膜渣極具黏性，黏附在槽體及處理設備上不易清除，有些墨/膜渣比重較輕會浮在廢液表面上，有些則呈分散狀膠羽，懸浮於處理槽體表面或沉澱於底部，這些現象使得去除固體墨/膜渣的工作變得十分複雜，甚至必須運用各種固液分離技術來處理這些不同特性的顯像、去墨/膜廢液，造成處理成本的提高，因此從經濟層面來考量，在製程中若能慎選油墨或乾膜的廠牌型式，採用低污染且易於處理的油墨或乾膜，不但可簡化處理程序，降低處理成本，更可確保 COD 的去除效果，使廠內整體之處理水質穩定地達到放流水標準。

根據過去的處理經驗顯示，單獨採酸化處理的方式進行顯像、去墨/膜廢液的處理，若能有效去除墨/膜渣的話 COD 的去除效率約可達到 60% 左右，然而有些顯像、去墨/膜廢液的墨/膜渣不易去除，必須進一步採用其他的固液分離技術，如化學混凝沉澱法、

浮除法、過濾分離法等，促使墨/膜渣與酸化處理後的廢液分離，以提升 COD 的去除率。

表 4.2.3-2 中列舉四種顯像、去墨/膜廢液可行的處理方法及處理步驟，這四種處理方法是採用酸化法或併同各種化學混凝沉澱法進行處理，大體來說都具有不錯的處理效果。

表 4.2.3-3 則為某一印刷電路板工廠以這四種處理方法處理製程所產生之顯像、去墨/膜廢液的試驗結果及成效評估。大致上 COD 去除效果約在 60%~70%之間。

依據實際處理所獲得的經驗顯示，顯像、去墨/膜廢液在酸化過程中常會產生大量泡沫，使墨/膜渣上浮而影響了墨/膜渣的分離或去除效果，其泡沫發生之原因為：

1. 處理過程中不當的沖激攪拌所造成

油墨、乾膜溶解在鹼性的顯像、去墨/膜溶液中實際上是一種皂化作用，因此在處理過程中若不當的沖激或攪拌將造成大量泡沫的產生。

表 4.2.3-2 顯像、去墨/膜廢液各種前處理方法及試驗步驟

處理方法	試驗步驟
酸化前處理	1.緩慢加入 H ₂ SO ₄ ，調整 pH 值至 pH=3 2.靜置沉澱，取上澄液分析 COD
酸化後加入 Ca(OH) ₂ 及 PAC 混凝沉澱前處理	1.緩慢加入 H ₂ SO ₄ ，調整 pH 值至 pH =3 2.加入 Ca(OH) ₂ ，調整 pH 值至 pH=5.5 3.加入 PAC，加藥量= 300mg/L 4.加入 Ca(OH) ₂ ，調整 pH 值至 pH=6.5，快混 3 分鐘 5.加入 polymer，加藥量=10mg/L，慢混 1 分鐘 6.靜置沉澱，取上澄液分析 COD
酸化後加入 FeCl ₃ 及 Ca(OH) ₂ 混凝沉澱前處理	1.緩慢加入 H ₂ SO ₄ ，調整 pH 值至 pH=3 2.加入 FeCl ₃ ，加藥量= 100mg/L，快混 3 分鐘

處理方法	試驗步驟
	3.加入 Ca(OH) ₂ 調整 pH 值至 pH=6.5 4.加入 polymer，加藥量= 10mg/L，慢混 15 分鐘 5.靜置沉澱，取上澄液分析 COD
酸化後加入 polymer 凝集沉澱前處理	1.緩慢加入 H ₂ SO ₄ ，調整 pH 值至 pH = 3 2.加入耐酸性 polymer，加藥量 10mg/L，慢混 15 分鐘 3.靜置沉澱，取上澄液分析 COD

表 4.2.3-3 顯像去墨/膜廢液各種前處理方法之試驗結果及成效評估

項目 處理方法	處理前		處理前		去除率 (%)	成效評估
	水質 pH	COD (mg/L)	pH	COD (mg/L)		
酸化前處理	12.5	10,500	6.5	3,900	62.8	顯像、去墨/膜廢液僅加入酸進行前處理，在 COD 去除率上效果最差，其主要原因隨酸化後墨渣不易沉降分離，上澄液中含微細膠羽顆粒是造成 COD 較高之主因。
酸化後加入 Ca(OH) ₂ 及 PAC 凝沉澱前處理	12.6	12,000	6.5	4,125	65.6	酸化後加入 Ca(OH) ₂ 及 PAC 進行凝沉澱，效果相當好，污泥沉降快，但處理步驟繁複，加藥量大又污泥量多為其主要缺點。
酸化後加入 FeCl ₃ 及 Ca(OH) ₂ 凝沉澱前處理	12.5	10,500	6.5	3,450	67.1	酸化後再加入 Ca(OH) ₂ 及 FeCl ₃ 進行凝沉澱，此法 COD 去除率最高，污泥沉降良好，但處理步驟繁複為其主要缺點，污泥產生量次多。
酸化後加入 polymer 凝集沉澱前處理	12.5	10,500	3.0	3,750	64.3	酸化後直接加入耐酸之非離子性 polymer 進行慢凝集，此法 COD 去除率雖非最高，但處理方法簡單，不必添加其他凝沉劑，污泥量少為其優點。

2. 顯像廢液中的 Na₂CO₃ 所造成

顯像、去墨/膜廢液在酸化過程中，因加入 H₂SO₄，使廢液 pH 值由 12~13 之間驟降至 pH=3，顯像廢液中的 Na₂CO₃ 與 H₂SO₄ 發生反應生成大量 CO₂ 氣體而產生泡沫，其反應式

為：



由於廢液濃度偏高但因皂化作用的關係，廢液黏滯性大，故產生的泡沫不易消除。欲克服並防止泡沫的產生，以增進墨/膜渣的沉澱分離效果，一般可採取以下的變通方法或因應措施：

1. 加入消泡劑，抑制泡沫的產生

消泡劑對泡沫的產生具有抑制作用，但有些消泡劑 COD 極高，如 silicon 型的消泡劑 COD 高達 20,000 mg/L 以上，因此加入消泡劑恐會增加廢液的 COD，造成不良影響，故此法較不被採用。

2. 緩慢加入 H_2SO_4 ，延長酸化反應時間

在酸化過程中泡沫的發生在 pH = 6~6.5 之間最為劇烈， CO_2 氣體大量逸出，若在此階段緩慢加入 H_2SO_4 ，延長酸化反應時間，則泡沫的發生不致於太劇烈，墨/膜渣也不會大量上浮，沉澱分離效果較好。

3. 採用機械攪拌方式，避免使用曝氣攪拌

機械攪拌時採較溫和的慢速攪拌為宜，攪拌不可過於激烈，另外應避免使用曝氣攪拌方式，以免揚起大量泡沫。

4. 顯像廢液單獨收集酸化

將顯像廢液及去墨/膜廢液分開收集，處理時先將顯像廢液加以酸化，此時由於顯像廢液的濃度較低，雖產生大量的 CO_2 氣泡，所造成的泡沫則容易自行破裂消滅，待顯像廢液中的 Na_2CO_3 與 H_2SO_4 反應完全， CO_2 氣體全部逸出後再加入濃度較高的去墨/膜廢液一併進行酸化或後續的混凝沉

澱處理，此種酸化方式較為理想，墨/膜渣膠可有效的沉澱分離。

(二) 處理流程及技術

印刷電路板工廠的顯像、去墨/膜廢液量不大，約佔整廠總廢水量的 1~1.5% 左右，一般中小型廠每日僅產生數噸的廢液，大型廠則約 10~20 噸左右，由於廢液量少，以採用批次處理方式較符合經濟原則，在處理時為克服顯像廢液在酸化過程當中產生大量泡沫，影響墨/膜渣沉澱分離的效果起見，建議印刷電路板工廠將製程中各類顯像廢液與去墨/膜廢液分開收集，依序進行酸化處理，以避免泡沫的產生，建議處理流程如圖 4.2.3-1 所示。

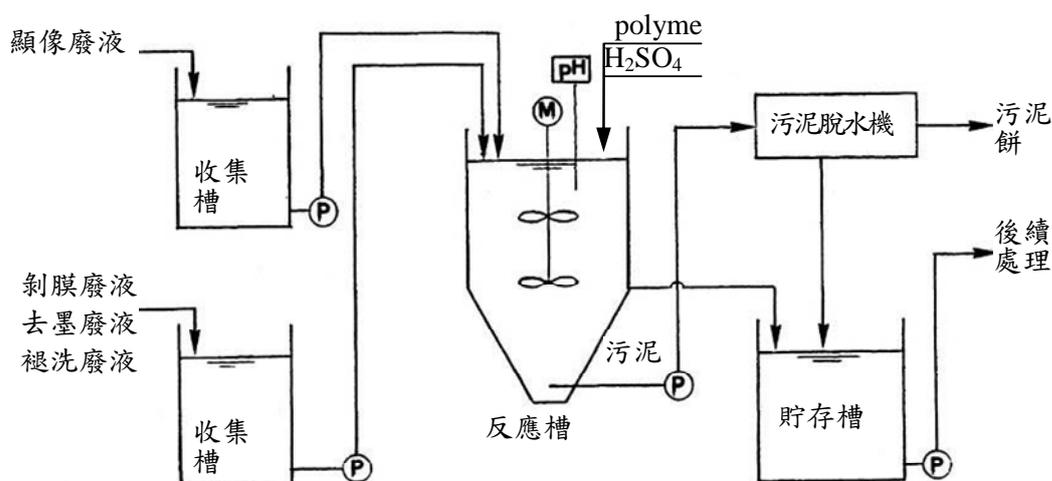


圖 4.2.3-1 顯像、去墨/膜廢液酸化及化學混凝沉澱處理流程

有關處理流程及操作步驟詳細說明如下：

1. 廠內製程排放之顯像廢液及去墨/膜廢液分設單獨之排放管線及收集槽體，個別收集貯存，以便進行處理。

(1) 顯像廢液：包含廠內製程中內、外層板線路油墨或乾膜之顯像廢液及防焊油墨或乾膜(俗稱防焊綠漆)之顯像廢

液，其 pH 值約在 10~11 之間，COD 約在 3,000~15,000 mg/L 之間。

(2) 去墨/膜廢液：包含內、外層板線路油墨或乾膜之去墨或剝膜廢液(pH=12~13, COD=20,000~80,000 mg/L)及廢板防焊油墨或乾膜的剝離廢液，俗稱綠漆褪洗廢液 ($[\text{OH}^-] > 1\text{M}$, COD =150,000~250,000 mg/L)。

2. 處理時依顯像廢液及去墨/膜廢液的排放量比例，按比例先行將顯像廢液泵送至批式反應槽內進行酸化處理，緩慢加入 H_2SO_4 調整 pH 值至 3 左右，使廢液中的 Na_2CO_3 與 H_2SO_4 反應生成 CO_2 氣體完全逸出，然後再將收集槽內的去墨/膜廢液依固定比例泵送入批式反應槽內與酸化後的顯像廢液混合，再加入 H_2SO_4 酸化至 pH=3，使墨/膜渣完全析出。酸化後的顯像、去墨/膜廢液其墨/膜渣大致以下列兩種型態析出：

- (1) 析出之墨/膜渣全部呈細小膠羽狀，均勻分散於廢液中，具沉降性。
- (2) 析出之墨/膜渣具黏性，部分黏結形成大小不一的膠體塊狀上浮於廢液表面，部份則為細小膠羽狀沉澱於槽體底部。

3. 依照墨/膜渣析出的型態選擇後續的混凝沉澱處理措施，以有效分離墨/膜渣與廢液，對應的處理方法及處理步驟如下：

- (1) 加入耐酸性之非離子型助凝劑，加藥量約 5~10 mg/L 慢混攪拌 15 分鐘，使細小懸浮的墨/膜渣形成較大顆粒之

膠羽後靜置沉澱，約經 1 小時的沉澱後，膠羽完全沉積於槽體底部，此時污泥體積約占總廢液量的 20~40%，污泥濃度約 1.4~1.6%。

- (2) 部分上浮於槽體表面黏結成塊狀的墨/膜渣，不太容易採用機械化或自動化的方式加以清除，因此處理上較麻煩，必須耗費人力，使用人工方式加以撈除，上浮之塊狀墨/膜渣經撈除後，必須進行混凝沉澱處理，使部分分散於廢液中之膠羽有效沉澱壓密，以增進 COD 的去除效率。處理時首先加入混凝劑 FeCl_3 於廢液中，加藥量約 80~120 mg/L，快混攪拌 1 分鐘，然後加入 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 調整廢液 pH 值至 6~6.5 之間，再加入弱陰離子型高分子助凝劑(polymer)，加藥量約 3~5 mg/L，緩慢攪拌 10~15 分鐘，使形成粗大顆粒之膠羽後靜置沉澱。沉澱污泥體積需視懸浮於廢液中墨/膜渣的多寡而定，而沉澱持泥濃度亦約在 1.5% 左右。

4. 在經過約 1~2 小時的靜置沉澱後，墨/膜渣膠羽完全沉澱且近於密實，反應槽的上層廢液已變得十分清澈，此時可將上層澄清液排出至貯存槽中收集貯存以備後續再處理，在排出上澄液的過程中，必須特別注意防止底部污泥揚起，以免墨/膜渣膠羽流出，破壞處理效果。當上澄液排除完畢後，接下來則利用污泥來將反應槽底部污泥排出，進行污泥脫水處理。為節省人力、土地空間及簡化操作起見，污泥脫水宜採用機械方式脫水，脫水機可選用板框壓濾式脫水機，污泥可直接由污泥泵壓送至脫水機進行壓榨脫水，脫水後之墨/膜

渣污泥餅為固體塊狀，含水率通常可降至 75~85% 之間，這些污泥餅大都為有機性物質，如無特殊情況，應不具有害成分，可直接運至一般事業廢棄物掩埋場掩埋。污泥脫水過程產生之分離液，則流入貯存槽中與酸化混凝沉澱處理後之上澄液集中收集貯存，再進行後續處理。

依據實際工廠調查所獲得的水質資料顯示，一般印刷電路板工廠，以多層板及雙面板工廠為例，其顯像、去墨/膜混合廢液之 COD 值約在 12,000~15,000 mg/L 之間，若經過酸化及化學混凝沉澱處理過後，廢液的 COD 值大約可降至 4,000~6,000 mg/L 左右，這些廢液經過酸化及化學混凝沉澱處理後 COD 值仍然相當高，是無法符合放流水標準直接排放的，其勢必需經過後續的處理步驟，使排放水質達到管制標準後才能放流，因此酸化及化學混凝沉澱處理充其量僅能算是顯像、去墨/膜廢液的前處理單元而已。而這些顯像、去墨/膜廢液經前處理後，其接下來的後續處理工作則因各工廠所在區域的不同，而有程度上的差異。

對位於工業區內的印刷電路板工廠而言，若工業區內設有共同廢水處理廠，則其後續的處理工作便較為簡單，通常僅需處理至符合共同廢水處理廠的進廠標準即可，一般來說工業區污水廠的進廠標準 COD 值均較國家放流水標準寬鬆，因此，在區內的印刷電路板工廠只要將前處理後的顯像、去墨/膜廢液加以中和，並與廠內綜合處理水混合稀釋達到進廠標準便可直接排放納入共同處理。

依據國內印刷電路板工廠水質調查資料及工廠廢水污染質量平衡換算所獲得的經驗顯示，印刷電路板工廠顯像、去墨/膜

廢液經前處理後與廠內綜合處理水定量混合稀釋排放，其排放水質 COD 值約在 150~300 mg/L 之間，目前工業區污水廠的進廠標準 COD 限制值大都在 500~700 mg/L 範圍內，故大致上均可符合工業區污水廠進廠標準而無需再經處理。

由此可見，對位於設有共同廢水處理廠的工業區內之印刷電路板工廠而言，其顯像、去墨/膜液所造成 COD 污染的問題並不大，相當容易克服。然而對位於工業區外的印刷電路板工廠而言，顯像、去墨/膜廢液的處理工作就複雜許多了，這些工業區外的印刷電路板工廠必須面對國家放流水標準 COD < 100 mg/L 之限制值，很明顯的，這類印刷電路板工廠其顯像、去墨/膜廢液僅經酸化混凝沉澱前處理或經前處理後與廠內其他處理後放流水混合稀釋是不夠的，其必須進行後續的二級生物處理或更進一步的三級處理，並且須待有效的去除廢液中的 COD 污染成分，使廠內整體廢水之處理水質 COD 穩定的達到 100 mg/L 以下，才能符合環保法令的規定。下面幾個小節中將對顯像、去墨/膜廢液的二級生物處理及三級活性炭吸附處理做詳細的介紹，以供業界參考應用。

二、生物接觸曝氣法(中間處理)

顯像、去墨/膜廢液經酸化混凝沉澱前處理後，COD 值約從 12,000~15,000 mg/L 降至 4,000~6,000 mg/L，由於廢液經前處理後 COD 值仍然相當高，使得印刷電路板工廠其整體處理後放流水質 COD 無法達到放流水標準，因此這些工廠勢必採取更進一步的處理措施，將廢液的 COD 降至容許的濃度之下，採用生物接觸曝氣法即可達到此目的。此外，其他不含銅的廢液，如清潔劑廢液、脫脂廢液

等，以及不含銅的清洗廢水，也可以併入經酸化混凝沉澱前處理後的顯像、去墨/膜廢液，採用生物接觸曝氣法進行處理。

實際測試分析國內印刷電路板工廠的顯像、去墨/膜廢液的水質特性，發現顯像、去墨/膜廢液經過前處理去除墨/膜渣後其上澄廢液的 BOD₅/COD 之值約在 0.2~0.4 之間，大致上來說，此類廢液應仍具有相當的生物可分解性，可採用生物處理的方式來去除其 COD 污染成分，不過由於 BOD₅/COD 之值偏低，處理時必然存在相當的困難度，因此在選擇處理方法時，必須深入考量水質、水量的特性，採用操作簡易、效果穩定且適於處理高難度廢水的處理方法較為合適。

再者，由於印刷電路板工廠廢水處理系統相當複雜、除了主要的重金屬廢水化學混凝沉澱處理系統外，還有各類高濃度廢液的前處理系統，操作上已相當繁瑣，因此，在選擇顯像、去墨/膜廢液的生物處理方法時，務必以愈簡易的處理方法愈佳，以避免增加操作的困難度。經審慎的評估各種可行的生物處理方法，並考量 PC 板產業現況及顯像、去墨/膜廢液的水質、水量特性後，發現以好氧性的生物接觸曝氣法最符合上述條件之要求，以其做為顯像、去墨/膜廢液的中間處理方法應最為適宜。以下便就生物接觸曝氣法處理顯像、去墨/膜廢液的基本原理，處理流程及處理技術重點做詳細的說明。

(一) 基本原理

接觸曝氣法(contact aeration)乃是將耐腐蝕性且比表面積很大的接觸材料浸於曝氣槽內之水中，並在槽內給予充分曝氣，使流入槽內的廢水均勻攪拌循環流動，而與接觸材料相接觸。經過一段時間後，接觸材表面開始生長附著生物性污泥(微生物)而形成生物膜，利用生物膜在好氧性的狀態下吸附、氧化廢水中的有

機污染物質而達到淨化水質的一種處理方法。

將接觸曝氣法應用於廢水處理係源自河川自淨作用的一種啟發。由於河川底床之礫石及一些大型固體物表面常棲息著大量的細菌、藻類、原生動物等微生物及輪蟲類、貧毛類等微小後生動物，而形成一層軟泥(slime)，此軟泥即所謂的生物膜。將河川中生物膜淨化有機物的機能實際應用於有機廢水之處理，並利用人工控制以提高處理效率，為固定式生物膜法，接觸曝氣法即屬之。

圖 4.2.3-2 為生物膜之代謝模式。廢水中之有機物質、氮、磷等被存在於生物膜中之微生物，於好氧性狀態下攝取之。生物膜之反應，主要受基質(BOD)及氧所限制，若以化學方程式表示如下：

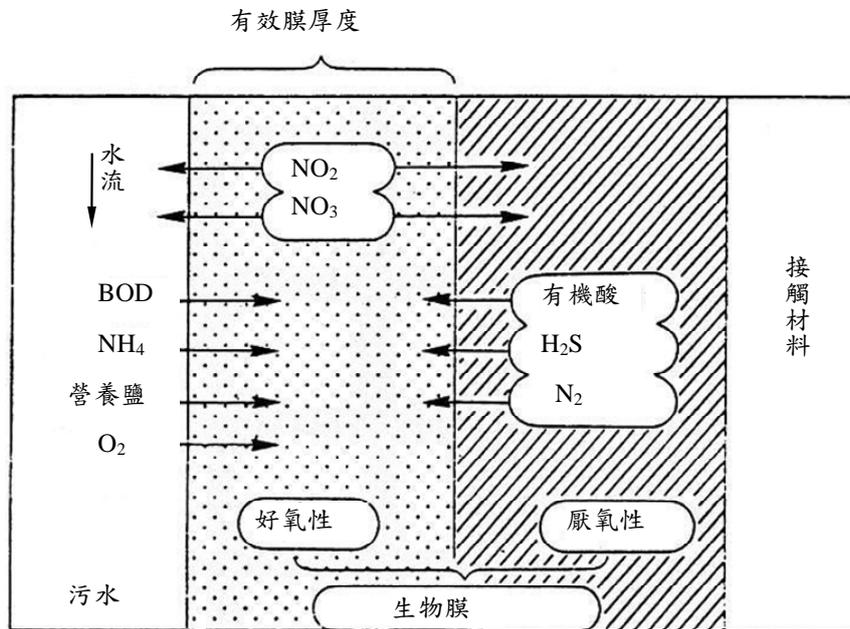
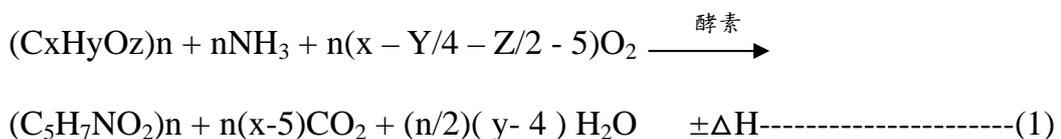


圖 4.2.3-2 生物膜之代謝模式



而部分微生物亦同時進行體內呼吸而自行氧化分解之：



式中， $\pm\Delta H$ 為反應時所利用之能量。

生物膜隨著生長而積厚，由於氧無法到達深部而形成厭氧性層，一般認為氧能夠貫入生物膜之深度約為 2~3 mm。三級處理以外之生物膜法，一般存在有厭氧性層，該層由於厭氧性微生物的代謝而產生有機酸、硫化氫等。故若生物膜過份積厚，將因有機物的厭氧分解而散發惡臭。而好氧性層增殖之微生物，一部分於厭氧性狀態下分解，隨著分解的進行，生物膜自濾材剝落，而再開始形成新的生物膜，厭氧性層過於增大，不利於好氧性處理，因之近年來頗著重於加速生物膜的更新，為生物膜處理法最近發展的傾向。

式(1)為表示微生物直接攝取有機物質的反應，但事實上並不如此單純。生物膜之生物相雖與活性污泥並無太大的差別，但在有日光的地方常有藻類出現，以及菌類及大型生物的出現為其特性。通常藻類在生物膜淨化上並不重要，而以原生動物最多，尤其是纖毛蟲類。且與活性污泥不同，以分歧增殖之綠毛虫較佔優勢。也有後生動物輪蟲類、線蟲類、昆蟲類、貝類、貧毛類等出現。廢水中的有機質被細菌、菌類所攝取，而該等微生物再被原生動物或後生動物攝取，盡全生物膜中發生食物鏈現象，故原生動物及後生動物在淨化過程，扮演著重要的角色。

由於接觸曝氣法的種類有相當多，在考慮操作的簡便性及處理的穩定性及安全性後，以採用固定床式的接觸曝氣法來做為顯像、去墨/膜廢液的生物處理方法最為合適，固定床型式的接觸曝氣法是目前最普遍的處理型式，其基本構造請參見圖 4.2.3-3。

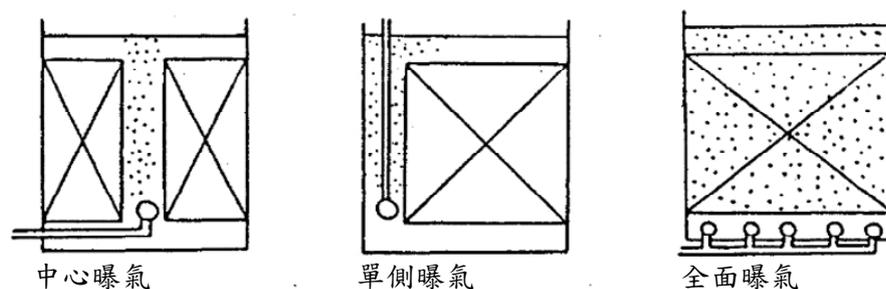


圖 4.2.3-3 固定床式接觸曝氣法基本構造圖

採用固定床式接觸曝氣法進行廢水處理時接觸材型式的選擇至為重要，其關係著處理成效的好壞，通常接觸材型式可因廢水種類、水質特性及處理目的不同做選擇。一般採用之接觸材其直徑或間隔約在數十公厘至一百公厘之間，比表面積約從數十至數百 m^2/m^3 左右，其型式之選擇以不易堵塞並於曝氣攪拌時水頭損失較小者為佳。通常處理時接觸材單位體積 BOD 負荷約在 $1\text{kgBOD}/\text{m}^3\text{-day}$ 以下而接觸材單位面積的 BOD 負荷約為 $3\sim 20\text{gBOD}/\text{m}^2\text{-day}$ 之間。一般負荷的大小取決於廢水的特性及處理的難易度。

經實際採取國內印刷電路板工廠的顯像、去墨/膜廢水進行生物接觸曝氣法處理測試，測試結果如表 4.2.3-7 所示。處理測試所採用的接觸材為波浪板型式，比表面積為 $120\text{ m}^2/\text{m}^3$ ，板間距 4 公分。處理時先將前處理後的顯像、去墨/膜廢液稀釋成各種不同的進流濃度，適量地添加氮、磷營養鹽，使進流基質 COD 與 N、P 之濃度比控制在 200:5:1 左右，然後調整廢水 pH 值至 7.2~7.4 之間進行處理。試驗過程中並改變水力停留時間及負荷條件進行測試，由測試結果發現，COD 去除率的高低與進流廢水的 BOD_5/COD 比值大小、水力停留時間的長、短、槽體容

積負荷及接觸材表面積負荷大小等有密切的關係，測試結果所獲得的最佳 COD 去除率約可達到 60% 左右。

圖 4.2.3-4 為水力停留時間與出流水 COD 濃度之關係，自圖中可知出流水 COD 濃度隨水力停留時間之增加而減少，亦即 COD 去除率隨水力停留時間之增加而增加，從圖中曲線走勢可明顯看出，出流水 COD 濃度在停留時 24 小時之後變化則不大，由此可見欲達到比較良好的 COD 去除率，水力停留時間不宜小於 24 小時。

圖 4.2.3-5 及圖 4.2.3-6 為槽體容積負荷及接觸材表面積負荷與 COD 去除率之關係，由圖中曲線關係可知，欲使 COD 的去除率穩定地達到 50% 以上，COD 容積負荷應在 $1.0 \text{ kgCOD/m}^3\text{-day}$ 以下，接觸材的表面積負荷應在 $16 \text{ gCOD/m}^3\text{-day}$ 以下。另外依據處理過程所獲得的經驗顯示，處理時水力停留時間在 24 小時以上，廢水進流濃度控制在 600~1,000 mg/L 之間，即可獲得較佳的 COD 去除效果。若廢水進流 COD 濃度過高，將使得接觸材的表面積負荷太大，造成接觸材表面附著之生物膜迅速增殖而變得太厚，而產生厭氧狀態或發生堵塞的情形，使處理水質惡化影響處理效果；若廢水進流 COD 濃度太低，則處理效率有明顯降低的趨勢且因稀釋倍數過高，水量太大需要較大的槽體容積而不符合經濟效益。

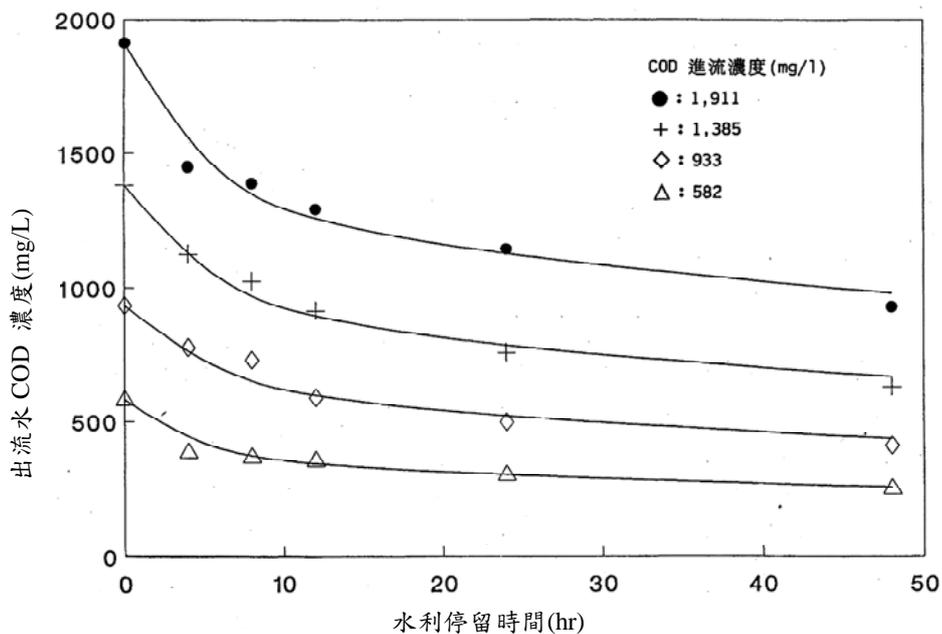


圖 4.2.3-4 水力停留時間與出流水 COD 濃度之關係

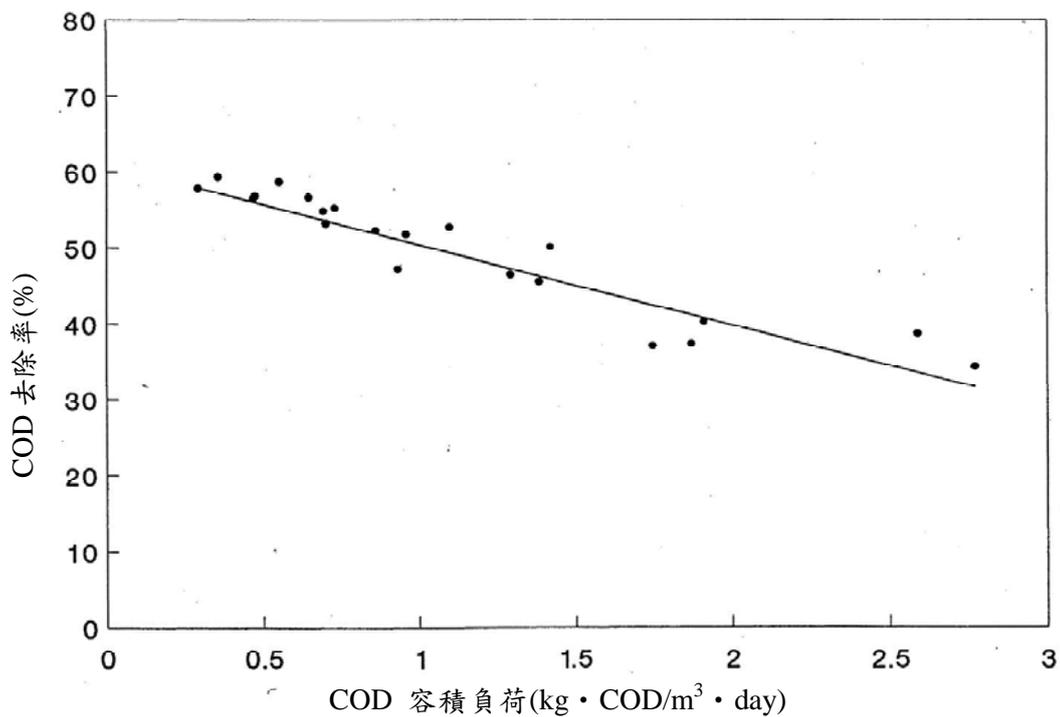


圖 4.2.3-5 COD 容積負荷與 COD 去除率之關係

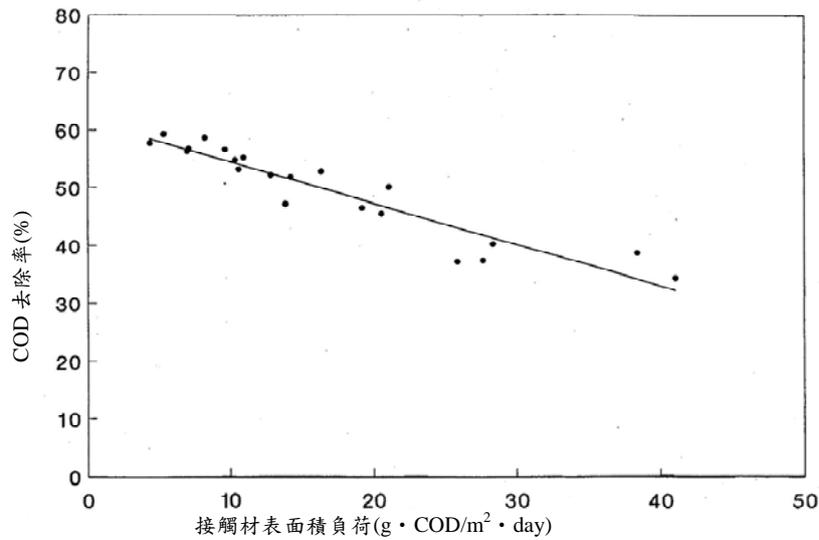


圖 4.2.3-6 接觸材表面積負荷與 COD 去除率之關係

(二) 處理流程及技術說明

以接觸曝氣法做為顯像、去墨/膜廢液的中間處理其典型之處理流程如圖 4.2.3-7 所示。顯像、去墨/膜廢液先經前段酸化混凝沉澱前處理去除墨/膜渣污泥後，流入貯存槽集中收集貯存，然後由泵定量平均抽送至接觸曝氣槽進行二級生物處理，其詳細之處理流程說明如下：

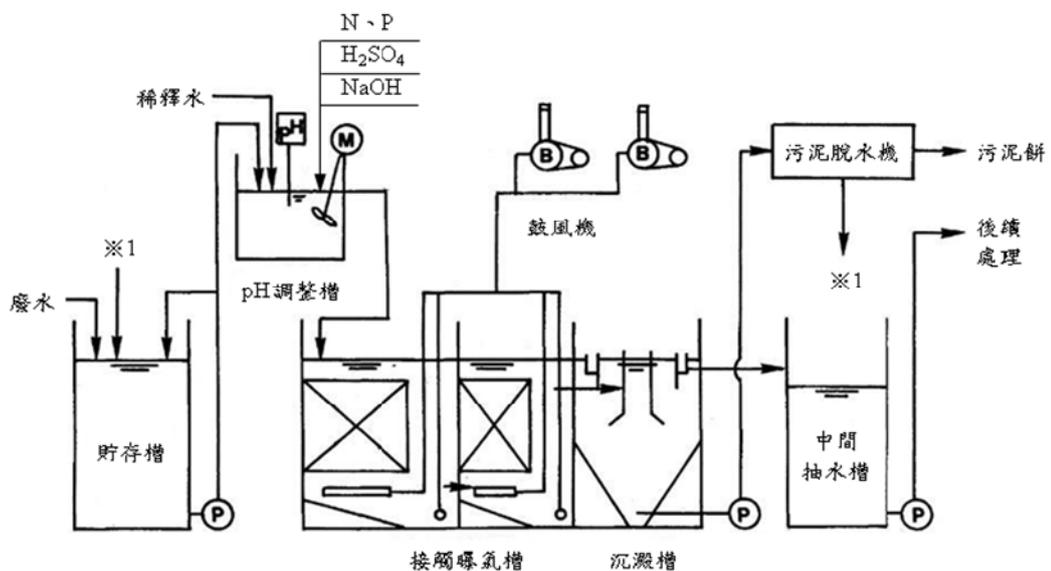


圖 4.2.3-7 接觸曝氣法處理顯像、去墨膜廢液之處理流程

1. 一般前處理後之顯像、去墨/膜廢液由於 pH 值偏低、有機濃度過高(COD 約 4,000~6,000 mg/L)且缺乏氮、磷等營養成分，不適合直接進入接觸曝氣槽進行生物處理，因此廢液須先自泵抽送至 pH 調整槽內與稀釋水均勻混合稀釋至適宜的進流 COD 濃度(COD 約在 600~1,000 mg/L 之間)後，再添加適量的 N、P 鹽類，使廢水中具有足夠的 N、P 營養成分，然後再加入酸、鹼藥劑調整廢水的 pH 值至 7~7.5 之間，以使廢水符合生物處理之進流水質條件。
2. 由 pH 調整槽流入接觸曝氣槽進行生物處理，為防止短流現象發生並提高處理效率，接觸曝氣槽以採兩槽串聯型式為佳：槽內設置散氣攪拌裝置，由鼓風機壓送空氣進入廢水中，循環攪拌廢水，使其與接觸材表面生物膜充分接觸，並供應充足的氧氣使槽內廢水溶氧(DO)濃度保持在 1 mg/L 以上。接觸材表面的生物膜在好氧的狀態下進行有機物的吸附氧化分解反應，以去除廢水中 COD 污染成分。在良好的設計及完善操作條件配合下，進流廢水 COD 約可達到 50~60% 的去除率。
3. 接觸曝氣槽處理後之出流水，流入沉澱槽進行懸浮固體物及污泥的沉降分離。沉澱槽上層澄清液經溢流堰流出至中間抽水槽，由抽水機抽送至後續處理單元再處理或直接與綜合處理水混合稀釋放流。而沉澱槽底部污泥則由污泥泵抽送至污泥脫水設備脫水處理。脫水後產生之污泥餅由於不具毒害性，可依照一般事業廢棄物的處置方式運送至掩埋場掩埋。採用接觸曝氣法做為顯像、去墨/膜廢液的二級生物處理方

法時，必須特別注意防範下列異常現象的發生，方能確保良好的 COD 去除效果。

1. 內層蝕刻後清洗不淨造成顯像、去墨/膜廢液銅離子污染

內層板 CuCl_2 蝕刻液銅離子濃度高達 150 g/L，板子蝕刻完，若清洗不乾淨，將在板面上殘留大量的銅離子，因而污染了後段的去墨或剝膜溶液，造成顯像、去墨/膜廢液的銅離子含量過高，有些工廠的顯像、去墨/膜廢液中銅離子濃度甚至高達 20 mg/L 以上，由於一般生物處理對銅濃度的最大容忍值為 1 mg/L，因此，這些銅離子在顯像、去墨/膜廢液的前處理過程中，若無法有效去除，將流入接觸曝氣槽內對生物膜中的微生物造成毒性，嚴重影響 COD 去除效果。

2. 稀釋水水質異常

通常稀釋水以採用顯像、去墨/膜製程中的清洗廢水較合適，水質異常的情形較少發生。如採用重金屬廢水之處理後放流水時，則必須特別注意，處理水的水質條件是否合適，通常重金屬廢水之處理水質銅離子濃度應低於 1 mg/L 以下時，才適合引用做為稀釋水，否則於長期操作處理時，將會對微生物造成累積性的毒害，影響處理成效。

3. 進流水質 pH 異常

當 pH 調整槽設備功能異常時，將造成進流水質 pH 失控，而影響生物處理功能，工廠必須注意防止此一現象發生。

4. 氮、磷營養鹽不足

氮、磷營養鹽不足，會影響生物處理效率，因此必須維

持進流水之 N、P 平衡，適量的補充添加 N、P 營養劑。

5. 接觸材阻塞發生厭氧狀態

生物膜增殖過厚，累積於接觸材之孔隙中造成阻塞，將影響水流循環及氧氣的傳輸，產生厭氧狀態而使處理效率降低，為防止此一現象發生，必須適時的進行接觸材反沖洗，去除部分過於肥大的生物膜及附著的固體物，提升生物膜之生物代謝機能，以維持良好的去除效率。

在一般日常操作管理時，如發現下列現象，須立即進行反沖洗。

- (1) 曝氣槽內 SS 濃度增加。
- (2) 曝氣槽內有黑色異味的 SS 出現或槽內有厭氧臭味發生。
- (3) 曝氣槽內產生泡沫，處理水透視度下降。

三、活性炭吸附處理法(後處理)

若印刷電路板工廠之顯像、去墨/膜廢液經過酸化混凝沉澱前處理及好氧性生物接觸曝氣中間處理後之出流水 COD 仍然偏高，其與廠內其他 COD 污染濃度較低的綜合處理水混合稀釋後，仍無法穩定地達到放流水標準 COD = 120 mg/L 以下的限值，此時即必須採取更進一步的處理措施，進行三級處理以去除生物處理過程中無法分解之污染物。

本節中將介紹傳統上較常使用的廢水三級處理方法：活性炭吸附法，茲將其處理原理、處理流程及技術重點敘述說明如後。

(一) 基本原理

活性炭係由木材、煤炭、椰子殼或石油殘渣等原料，經脫水、

碳化及活化等過程，把原料中非碳成分去除，形成多孔性的碳化物質。由於原料及製造方法的不同，以及活化溫度的差異，所產生的活性碳吸附特性亦有所不同。

活性碳吸附法為藉活性碳的吸附作用吸附去除水中所含之溶解性或難分解性之有機物，其處理目的包括去除水中的BOD、COD、脫色、除臭等，一般常用在生物處理單元之後，作為三級處理，以去除生物處理過程中無法分解之有機物等污染成分。

通常活性碳依外形及用途可區分為兩種型式：

1. 粉末狀活性碳(PAC)

活性碳經磨碎後，其顆粒粒徑小於 325 mesh (0.043 mm) 約占 60~75%者，稱之為粉末狀活性碳，粉末狀活性碳用於廢水處理時大都直接添加於混凝槽或攪拌槽中，以吸附廢水中有機物質或達到脫色或除臭等目的，其吸附效率較高但再生困難。

2. 顆粒狀活性碳(GAC)

活性碳顆粒粒徑在 40 mesh 以上者，通稱為顆粒狀活性碳，其應用於廢水三級處理時大都採用固定床吸附或管柱吸附型式，由於表面積較小，吸附能力較 PAC 差，但因顆粒較大在濾床或管柱中不易堵塞且易於再生。

活性碳最主要的材質特性是其擁有巨大的表面積，一般活性碳的表面積高 500~1,300 m²/g，其擁有如此巨大之表面積主要是因活性碳表面上細孔數量龐大，且為不規則化所造成。一般選用活性碳時可根據下列三種物理性質加以研判：

1. 碘值(iodine number)

為活性碳吸附低分子量物質之指標，一般碘值約在 600~1,000 之間。

2. 糖蜜值(molasses number)

為活性碳吸附高分子量物質之指標，一般糖蜜值約在 100~500 之間。

3. 表面積

表示活性碳吸附容量之大小，通常表面積愈大時其吸附能力愈大。

活性碳吸附作用可區分為下列三種：

(1) 物理吸附

亦稱凡得瓦爾力吸附，主要是藉固體吸附劑與被吸附物間之分子引力，使被吸附物附著在吸附劑之固體表面。物理吸附為可逆現象，被吸附物分子僅停留在吸附劑表面，而不介入固體的晶格內，附在固體表面之吸附分子與在液體中的分子成一動態平衡，即正逆反應速率相等，各濃度間保持一定比例，若因此改變平衡因素(如溫度)時，則平衡狀態將被破壞，直到另一個新的平衡狀態達成為止。

(2) 化學吸附

亦稱為活性吸附，主要係藉吸附劑與被吸附物間化學作用所產生的化學鍵，使吸附物牢固地附著在吸附劑表面。此一化學吸附力較物理吸附力大，且因化學吸附時，被吸附物處於更穩定的狀態下，故所放出的能量亦較大。

(3) 靜電吸附

主要係藉吸附劑表面靜電荷之吸引力使得被吸附物

附著在其表面，此種吸附作用與溶液中的 pH 值有關，若吸附劑為酸性劑，則吸附作用對酸性溶液較有利，反之亦然。

一般活性碳的吸附效率是以等溫吸附曲線來表示，其定義為在一定的溫度條件下，使活性碳與廢水接觸，當達到吸附平衡狀態時，廢水中溶質濃度與單位重量活性碳所吸附之溶質質量之關係，將其描繪成曲線，此一曲線稱之為等溫吸附曲線。

表示此種吸附平衡的方程式有許多種，不過最有名的是 Freundlich 於 1917 年提出的等溫吸附經驗式，其方程式如下：

$$X=KC^n \quad \text{式中，}$$

X：單位重量活性碳所吸附之 COD 量，mg/g

C：吸附達平衡時之 COD 殘餘濃度，mg/L

K, n：常數

如將(1)式兩邊取對數時，則變成

$$\log X = \log K + \frac{1}{n} \log C$$

但在實際應用上，為了方便比較吸附效果，(2)式可改寫成如下形成

$$\log \frac{(C_0 - C)}{M} = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \text{式中，}$$

C₀：活性碳吸附前之廢水 COD 濃度

M：活性碳用量

圖 4.2.3-8 是以不同廠牌粒狀活性碳進行等溫吸附試驗，吸附處理顯像、去墨/膜廢液生物處理後出流水所獲之試驗結果。試驗所採取之水樣為顯像、去墨/膜廢液經接觸氧化法生物處理後之出流水，其 COD 初始濃度為 542 mg/L，圖中顯示以 a 廠牌之活性碳對 COD 吸附去除效果最佳，c 廠牌活性碳則效果最差。

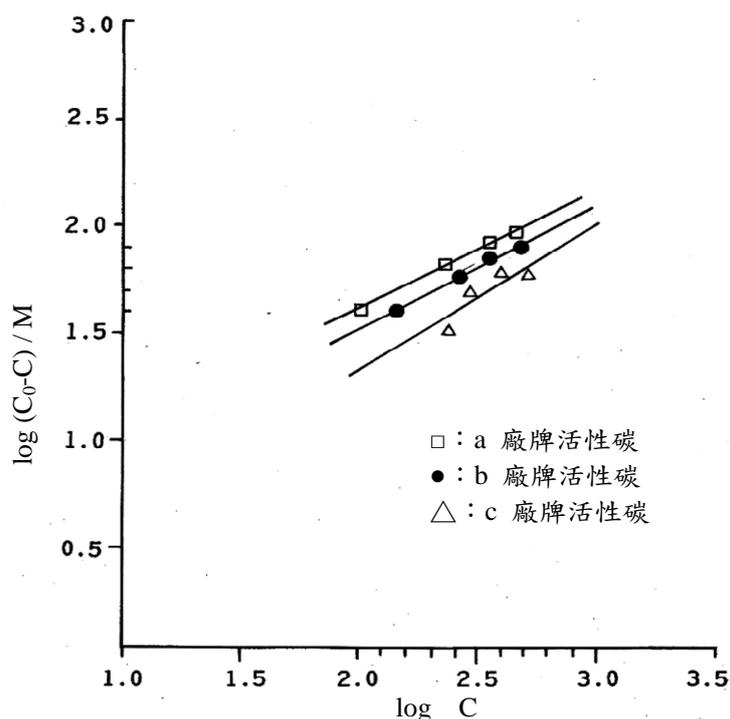


圖 4.2.3-8 顯像、去墨/膜廢液生物處理後出流水活性碳等溫吸附試驗結果

在選用活性碳吸附處理裝置時，必須考慮下列幾項因素：

1. 擬採用顆粒狀活性碳或粉末狀活性碳。
2. 活性碳的種類及廠牌。
3. 吸附方式及吸附前後的處理方式。

使用活性碳吸附處理顯像、去墨/膜廢液生物處理後出流水，以降低其 COD 污染濃度，一般可採用的處理方式可分為下列兩種：

1. 反應槽攪拌吸附方式

主要是使用粉末狀活性碳為吸附劑，處理時將活性碳粉末加入反應槽內，並且進行機械攪拌，使活性碳粉末與水中的有機物充分接觸及吸附，在吸附完成後則進行活性碳粉末的沉降分離，必要時得再經過濾處理，以濾除懸浮的活性碳粉末。

以單槽處理模式進行粉末狀活性碳吸附處理，活性碳的吸附量與處理水之 COD 濃度變化可以下式加以換算求得。

$MX=Q(C_0-C)$ 式中，

M：活性碳用量，kg

X：單位重量活性碳所吸附之 COD 量，g/kg

Q：處理水量， m^3/hr

C_0 ：活性碳吸附前 COD 濃度，mg/L

C：經活性碳吸附後出流水 COD 濃度，mg/L

使用本處理方式，一般吸附速率較快是主要優點，但粉末活性碳吸附過後不易再生，必須直接廢棄是比較不利的缺點。

2. 活性碳塔槽吸附方式

活性碳槽吸附方式是目目前最普通使用的活性碳吸附方式。一般都是使用顆粒狀活性碳為吸附劑，吸附裝置與傳統上所使用的過濾機構幾乎相同。

使用活性碳塔槽吸附去除水中之有機物，開始時可獲得相當良好的處理水質，但操作經過一段時間之後，處理水之濃度會逐漸增加，在一定的處理流量下，處理水的有機物濃度達到容許之限制值時，此限制值通稱為穿透點，在超過穿透點之後如繼續過水，則處理水的有機物濃度會急驟增加而趨近於原水濃度。將處理水量與處理水之有機物濃度變化關係繪製成曲線，此曲線稱為穿透曲線，如圖 4.2.3-9 所示。

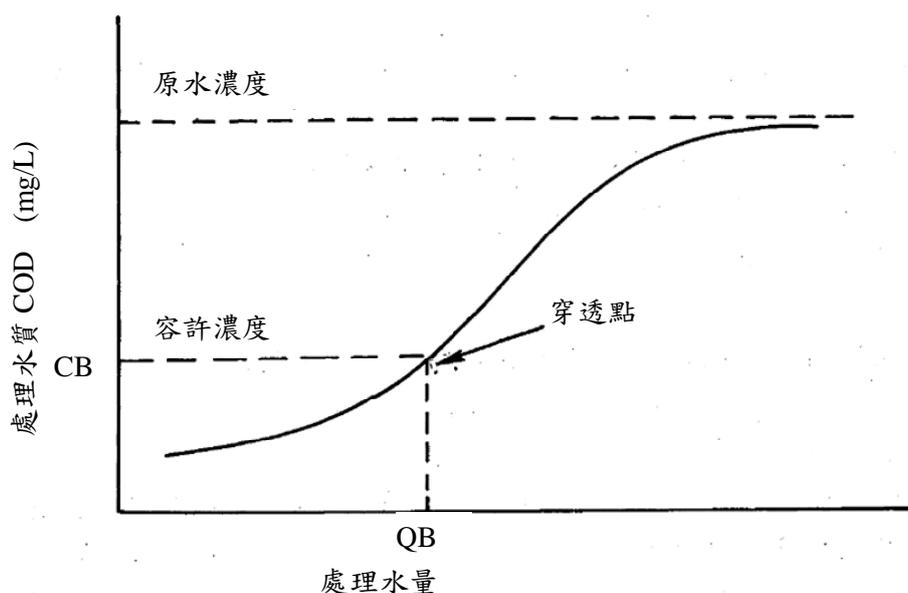


圖 4.2.3-9 活性炭吸附穿透曲線

在達到穿透點時，必須將塔槽內的活性炭全部取出，並更換新的活性炭或再生後之活性炭。

要有效利用活性炭的吸附容量時，可採用多段塔槽吸附方式，如圖 4.2.3-10 所示。開始操作時是以 1→2→3 的順序來進水處理，當第 3 塔之出流水接近穿透點時，就必須將第 1 塔的活性炭取出更換新碳，然後再按照 2→3→1 的順序繼續進水處理。

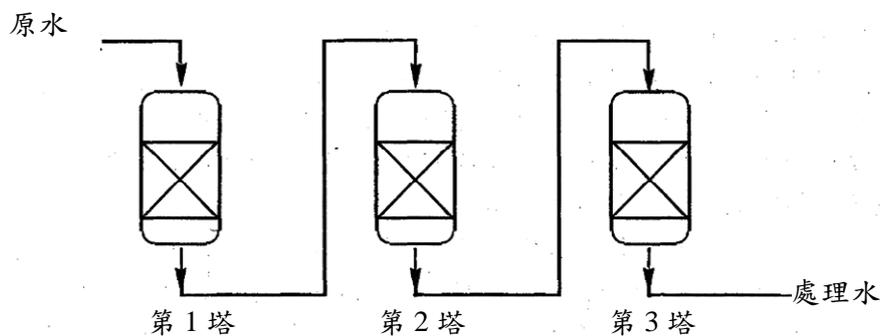


圖 4.2.3-10 活性炭塔多段式吸附操作

此種多段式活性炭塔槽的設計方式，可有效地提高活性炭的利用效率，不過隨著塔槽數的增多，將增加閥件、管路及計量控制設備的成本，因此設計時必須審慎的加以考慮。

(二) 處理流程及技術

使用活性炭吸附做為顯像、去墨/膜廢液之三級處理設施，依照活碳型式的不同，可選用反應槽攪拌吸附方式或活性炭塔槽吸附方式進行處理。以下將就這兩種活性炭吸附方式的處理流程及技術重點加以說明。

1. 反應槽攪拌吸附方式

本法一般均採用批式操作方式，適用於水量較小的處理場合，其標準處理流程如圖 4.2.3-11 所示。

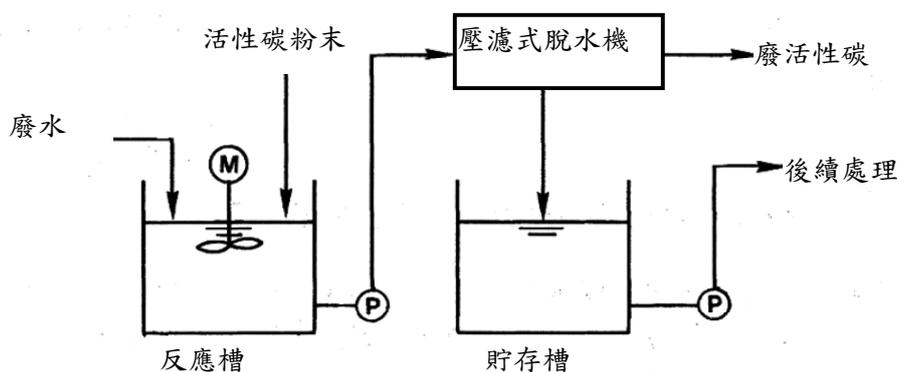


圖 4.2.3-11 反應槽攪拌吸附方式之處理流程

國內中小型的印刷電路板工廠，顯像、去墨/膜廢液量在 $2 \text{ m}^3/\text{day}$ 以下者，採用本法進行後處理是相當合適的。廠內排出之顯像、去墨/膜廢液經酸化混凝沉澱前處理後之上澄液或經生物處理後之出流水直接流入批式反應槽內進行活性炭吸附處理，以去除廢水中有機污染物，反應槽內加入適量的活性炭粉末，經 12 個小時的攪拌吸附後，靜置沉澱，

並利用泵抽送至壓濾式脫水機進行全量過濾，以進行固液分離。過濾後之出流水則流入貯存槽收集，由定量泵少量平均地抽送至廠內重金屬廢水處理系統之中和放流槽內中和稀釋放流；另外壓濾後產生之廢棄活性炭粉末則集中收集，以一般事業廢棄物處理方式運至掩埋場掩埋或焚化。

處理過程中活性炭粉末的添加量，需視進流廢水的性質及欲去除之 COD 量或處理後排放水質容許濃度而定。依據處理測試結果發現，經酸化混凝沉澱前處理後之上澄液，如直接使用粉末狀活性炭進行吸附處理，每公克 PAC 吸附 COD 量約在 120~180 mg 之間，惟其吸附效率高低與活性炭廠牌、特性有極大關係，而經生物處理後之出流水，每公克 PAC 的 COD 吸附量則較低，約在 100~130 mg 之間。

2. 活性炭塔槽吸附方式

本法一般都是採用連續操作方式，塔槽內充填顆粒狀活性炭層，原水流經活性炭層與活性炭充分接觸後，水中有機污染物為活性炭吸附去除，其標準處理流程如圖 4.2.3-12 所示。

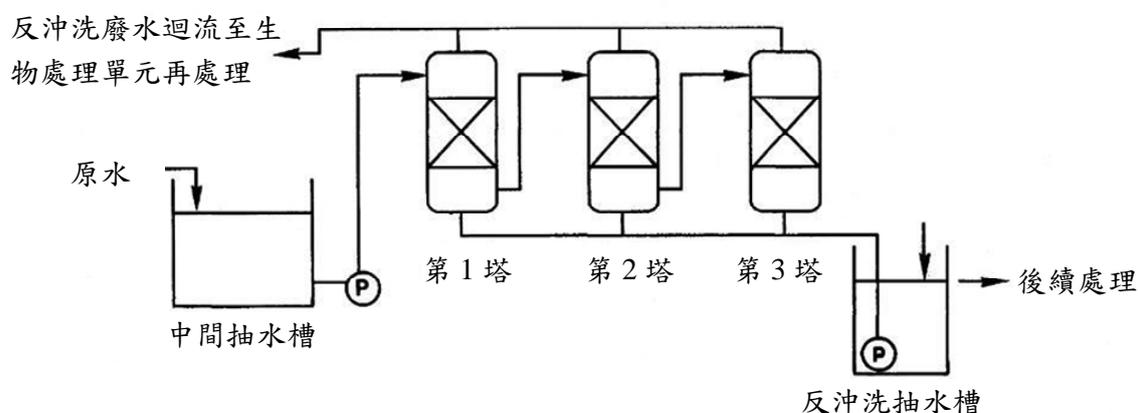


圖 4.2.3-12 活性炭塔槽吸附方式之處理流程

印刷電路板工廠之顯像、去墨/膜廢液經生物處理後之出流水流入中間抽水槽內，經泵加壓抽送至活性炭吸附塔進行過濾吸附以去除生物處理過程無法分解的有機污染物，活性炭塔採高效率之三段串聯吸附方式，經活性炭吸附處理後之出流水則流入反沖洗抽水槽內，滿水後以重力流方式溢流入重金屬廢水處理系統之中和放流槽內中和稀釋放流。

經過一段時間的通水後，活性炭層由於濾除了原水中的SS 而阻塞並增大了水頭損失，當達到一定水頭損失或處理時數後，必須進行反沖洗，反沖洗廢水則應迴流至生物處理單元再處理。通常為減少活性炭反沖洗頻率及延長其使用壽命，可於活性炭吸附塔之前設置砂濾機，先行濾除原水中的SS，以防止阻塞情形發生並增進活性炭的吸附效率。

一般活性炭吸附塔容量的設計，是以達到計畫處理水質目標為主要目的，另外亦必須考慮吸附塔之建造費用及活性炭更新或再生之頻率等因素，以求符合最佳的成本經濟效益。

吸附塔活性炭容量大小通常是由容積速度(SV 值)或接觸時間(1/SV)來決定。實際設計時所採用的 SV 值須藉由模廠或活性炭管柱吸附試驗來求得。廢水處理之活性炭吸附塔橋設計，其設計條件一般為：

SV 值：容積速度，1 小時內之處理水量與活性炭體積之比值，1~6 (1/hr)

V：流速，2~15(m/hr)

1/SV：接觸時間，10~60 (分鐘)

設計時 SV 值取較大數值，則吸附塔內活性碳的充填量少(吸附塔較小)，因此吸附塔之絕對吸附量亦隨之減少，致使活性碳之再生或更新頻率必須增加。反之若設計時 SV 值取較小值，則需活性碳量較多(吸附塔較大)，活性碳再生或更新的頻率就會減低。因此設定 SV 值時相當重要，其不但與設備之建造成本有關，亦會對未來活性碳吸附塔槽的操作、活性碳的再生或更新頻率產生決定性的影響。

依據實際採取印刷電路板工廠顯像、去墨/膜廢液生物處理後之出流水進行活性碳管柱吸附試驗，發現 SV 值設定在 1.5 hr^{-1} 以下，流速則控制在 6 m/hr 以下時，可獲得較佳之處理效率，此時平均每公斤的活性碳顆粒，可吸附去除的 COD 量約在 $0.08\sim 0.12 \text{ kg}$ 之間，吸附量的多寡與活性碳的廠牌、型式及設定之容許處理水質濃度有關。

在實際設置活性碳吸附塔時，必須注意腐蝕的問題，由於活性碳的腐蝕性很強，因此鋼鐵製作的活性碳塔槽或壓力容器內部必須使用環氧樹脂塗料來塗裝或橡膠襯裡(rubber lining)，以防止腐蝕情形發生。

4.3 廠內管理/減廢

解決污染問題的對策，不外乎預防污染物的產生、減少污染物的排放及進行污染物的處理，也就是所謂的廠內管理、製程減廢及管末處理，前二者的基本精神在於「治本」，與後者的「治標」有極大的差異，但對解決污染問題，著實有重大的效益，不僅可有效率地使用原物料，更可預防及減少污染物的產生，進而降低管末管理成本。

因此，污染防治工作不應只是管末處理的事，需追本溯源由廠內污染

源的清查診斷做起，並配合廠內管理及減廢技術來做好污染預防及減量的工作。

4.3.1 污染源清查

污染源清查是執行廠內管理與製程減廢的首要工作，內容主要針對製程中可能產生的污染物，有系統地進行與製程有關的調查、測量、分析、記錄、統計及問題查詢等工作，以建立完整的廠內背景資料，以供日後廠內管理、製程減廢及管末處理之重要參考依據。

有效率的清查工作，必須動員工廠多數人的力量，由生產部門主管召集熟悉製程、污染物特性及管末處理等的相關工程人員組成工作小組，在製程減廢專家的指導下進行。

一般來說，清查工作可細分為七項步驟，各步驟的作法將逐項說明如后。

一、檢視工廠實際製造流程

進行現場勘查，實地瞭解廠內製程操作及單元程序間的順序與關係，以建立完整之製造流程。

二、清查製程單元中各步驟使用之原物料

廠內排放廢水、廢液的污染特性與製程使用原物料有直接關係，故須清查各製程單元所使用之原物料，以初步瞭解污染特性。

三、建立製造程序及污染來源流程圖

根據製造程序，詳細調查污染來源及排放情形，確立出各製程單元步驟連續性及定期性廢水、廢液排放源，並製作流程圖。

四、調查各製種單元步驟槽液體積及組成

詳細調查各製程單元之槽液體積及槽液基本組成，作為後續廢水、廢液污染物濃度分析的基本資料來源。

五、調查分析各單元步驟之槽液更換(清)週期及其污染物濃度

調查製程單元流程步驟各槽液更換(清)頻率及排放特性，並依其槽液組成特性，分析廢棄槽液中污染物濃度，以瞭解各槽液更換(清)時，產生的污染量及污染質。

六、推估量測及取樣水質分析各單元步驟清洗水之水量、水質

估測製程單元流程步驟用水量，並取樣檢測水質，以瞭解清洗廢水中所含污染物濃度。

七、繪製及標示全廠廢液、廢水排放管路圖

印刷電路板業的廢液、廢水種類繁多且複雜，在完成前述評估調查工作後，應詳細繪製全廠廢液、廢水排放管路圖，並於圖說及管線中，以不同顏色清楚標示其廢液、廢水排放管路之流向及詳細名稱，以利後續廠內管理工作。

經由以上步驟，建立完整的廠內廢水及廢液之污染質和污染量數據資料，再據以評估、分析廠內製程中具減廢潛力的單元及各單元所排放的污染總量，以利於後續進行廠內製程改善研擬及掌握改善工作成效，並可正確地建立廢水、廢液分類收集系統及擬訂最有效且經濟的管末處理設施規劃設計或改善方案。

4.3.2 廠內管理

藉由廠內管理來達到污染預防目標是最基本，也是花費最少的，因經由管理防止物料不當使用、槽液洩漏或不當排放等情事，相對也杜絕了污染物的產生，因此是污染防治工作上最佳的治本之道。有關廠內管理的重點，茲分述如下：

一、物料庫存管理

對於原物料及產品，乃至於廢棄物進行適當的進出控制，可使物

料使用合理化，避免物料過時或超量使用，而造成報廢品及處理/處置費用的支出。例如：

- (一) 僅購置某一期間生產作業工作量所需之原物料數量。
- (二) 購置適當數量及具適當大小容器(最好可回收再使用)之物料。
- (三) 發展一套物料採購審核程序，評估欲購物料的純度、使用期限、是否含有毒性成分、是否可提供物料安全資料表，以及供應商或代理商對容器、過時品或廢棄物是否有處理或回收再利用的服務等。
- (四) 先入庫之原料須先使用，以避免原物料庫存過久，而敗壞成廢棄物。
- (五) 使用電腦記錄並控制進出貨及庫存量，以達最適之狀況。

二、洩漏及不當排放預防

印刷電路板工廠因槽液洩漏及不當排放，造成廢水處理困擾，甚至嚴重污染環境的原因有以下幾項：

- (一) 製程設備日常保養管理不周，造成故障、破損而洩漏出槽液。
- (二) 蝕刻廢液貯存槽槽體破損或溢滿，而漏出廢液。
- (三) 製程槽液更新時機過於集中，排出量大且雜的廢液。
- (四) 鍍銅槽老化液未進行純化再用，即直接排放廢棄，或於純化鍍液時，未能將槽底鍍液抽盡，使殘留的鍍液伴隨清洗槽體之清洗水排出。

針對上述缺失之預防對策如下：

- (一) 對製程設備槽體及其附屬設備之管、閥等應嚴格實行管理及檢查，尤其是過濾機的軟管接頭固定不良，常引起槽液洩漏發生，應特別注意。而妥善的安全對策，是在製程槽周圍設置防溢堤及地下

- 貯槽，貯槽內設有液位警報系統，當發生洩漏時，即發出警報。
- (二) 酸性及鹼性蝕刻廢液的貯存，應分別選擇耐酸及耐鹼性材質的貯存桶，並於桶內設置液位控制器，當液面過高時，即發出警報，防止製程蝕刻廢液再排入而造成溢滿的情況。通常液位控制器應選用耐腐蝕材質，並應經常檢視，以防故障發生。
- (三) 應妥善規劃排定各製程單元更換(清)槽時間，以緩衝廢水處理的負荷，較妥善的作法是依各槽廢液的污染特性，分別設置收集管線及貯存槽體。
- (四) 鍍銅槽液老化，應儘可能進行純化工作，如活性碳過濾、弱電解等，不可逕行廢棄，造成廢水處理困擾。

三、廢水、廢液分類收集

印刷電路板製程廢水、廢液種類繁多，性質迥異，濃度高低相差懸殊，為求有效回收再利用或處理/處置各股不同特性的污染源，妥善分類收集是廢水處理規劃初期最具決定性的一項技巧。因此，在製程規劃設計之初，即應加以確立。

基本上，各工廠應依本身製程的污染特性，並考量所欲採用的處理方式，始訂定分類收集方式，即在正確掌握污染特性的前提下，依照各類不同性質的污染源，採用不同的處理方式，以達到最有效的處理效果。針對電路板製程幾股特殊廢水、廢液於分類收集過程中應注意之事項，詳細說明如下：

(一) 化學銅廢液及廢水

電路板製程中之鍍通孔採用化學鍍銅，由於化學銅含有螯合劑成分，產生的廢液及廢水中的重金屬銅離子與螯合劑作用，形成螯合化銅，無法直接以重金屬氫氧化物沉澱法加以去除。此外

若與其他類廢水混合，將整合其他類廢水中所含之金屬離子，致使處理上更加複雜，應將其單獨收集處理。

(二) 顯像剝膜廢液

電路板製程中之蝕刻阻劑轉移、抗鍍阻劑轉移及印防焊綠漆，採用含羧基的壓克力樹脂、聚胺基甲酸乙酯樹脂或環氧樹脂等，以及含有少量的填充料、色料、溶劑等之油墨或乾膜，經去墨或顯像及剝膜，此類有機聚合物即被溶解在去墨液或顯像液及剝膜液中，在使用一段時間後當溶解一定量的油墨或乾膜達到飽和或顧及產品品質，即必須排棄更換新液，此外尚有剝除不良品之板面上的防焊綠漆所產生的綠漆褪洗廢液，這些廢液通稱為顯像剝膜廢液，其所含有機污染濃度極高，所造成的 COD 污染含量相當可觀，約在 10,000~50,000 mg/L 左右，若逕行排入處理廠，易造成負荷過高，且單以化學混凝沉澱法處理，去除效果有限，應集中收集進行適當的處理。

(三) 氨系廢液及廢水

電路板製程中採用過硫酸銨微蝕液，主要是為將板子銅面上的氧化物及其他雜物剝除，以維護後續的製作品質，當此類槽液使用一段時間，由於不斷溶蝕銅面，當銅含量達 20,000 mg/L 左右，即需排棄換新；另在採用鹼性氨系蝕刻液的蝕刻製程中，當板子經由蝕刻溶蝕不需要部分的銅面後，離開蝕刻段時，板面上仍附著有蝕刻液，經由水洗排出，此二者即為氨系廢液及廢水的來源。此類廢水由於銅離子以氨銅錯合物($\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$)形態存在，較不易處理，或瞬間排入處理廠，將影響處理成效，且因此廢水所含 NH_4^+ 在 $\text{pH} = 9\sim 10$ 之鹼性條件下，會反應生成 NH_3 ，形成

微小氣泡，於沉澱槽中會附在膠羽上造成污泥上浮情形，因此該類廢液及廢水應單獨分類收集進行處理。

(四) 氟硼酸廢液

雙面板及多層板製程之鍍錫鉛，採用氟硼酸錫鉛鍍液者，板子需先行浸置於 5~10% 氟硼酸溶液中，將板上線路銅面活化，再行錫鉛電鍍，當操作一段時間後，此預浸的氟硼酸溶液即需排棄更新，因其含有結合安定的氟硼酸錯離子(BF_4^-)，無法以傳統化學混凝沉澱法處理，應單獨收集處理。

(五) 其他廢液

除上述特殊性廢液、廢水外，電路板製程上有許多高濃度的廢棄槽液，如氯化銅或氯化鐵之酸性蝕刻廢液、鹼性氨系蝕刻廢液及剝錫鉛廢液，皆含高濃度重金屬離子，一般含量在 50~150 g/L 之間，此類廢液應個別收集貯存，再由原物料供應商負責清運回收。此外，對於脫脂廢液、微蝕廢液、膨脹劑廢液、活化廢液、鍍銅廢液等，因廢液含高濃度重金屬離子及有機物，若直接排入處理廠，易造成負荷過高，影響放流水質，因此，應依廢液本身的特性，如屬於有機性或無機性、酸性或鹼性，以及對處理功能的影響程度，進行分類收集，再進行前處理或直接定量排入廢水處理廠中。

四、員工訓練

減廢的成敗關鍵，主要決定包括生產、維修、污染防治、物料管理等相關人員是否用心地執行，因此必須加強員工訓練，藉以建立正確的減廢觀念與技巧。主要訓練內容如下：

(一) 從環境、經濟、法規、責任等方面說明減廢的重要性。

(二) 強調並說明減廢對員工工作環境和工廠附近社區環境改善的效益及好處。

(三) 說明工廠管理階層對執行減廢的政策及獎勵措施。

(四) 說明正確的操作處理步驟、適當的設備使用及維修檢視程序等。

4.3.3 製程減廢技術

製程減廢技術不外乎來源減少 (source reduction) 及回收再利用等，前者分為原物料改變及製程技術改進，後者分為廠內/廠外回收有用物質，或再利用廢棄物為原物料等。由於印刷電路板製程特性有相當大的減廢空間，因此，本節將就印刷電路板業相關的減廢技術方案加以說明。

一、原物料改變

製程原物料的選擇，除講求其性能外，對其產生的污染強度及處理的難易程度，也應詳細考慮評估，以避免造成後續管末處理上的困擾。因此，在不影響產品品質的前題下，採用低污染或易處理的物料，即可達到減廢的目的。製程中相關原物料改變的減廢措施說明如下：

(一) 採用低污染性脫脂劑

一般鹼性或酸性脫脂劑多半含有界面活性劑，而前者有些亦含螯合劑，當此等槽液進行更新時，大量的界面活性劑排入廢水中，將造成 COD 值的提高且易產生泡沫問題。若含螯合劑，則會造成廢水中重金屬離子不易去除，因此在選擇脫脂劑時，應瞭解其主要成分及反應注意事項，同時分析其使用前後污染物濃度的變化，以成為選擇較低污染性的脫脂劑之依據。

(二) 採用非氨系的微蝕液

微蝕液中有一類為過硫酸銨 (APS)，其廢水及廢液中含有銅一氨錯鹽 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ ，且會再錯合廢水中的重金屬，造成處理不

易的困擾，目前國內廠家已經完全不使用過硫酸銨，而改用採過硫酸鈉(SPS)或硫酸/雙氧水。

(三) 採用非鉻酸系的除膠渣液

鉻酸會造成含鉻的廢水和廢液，雖後續處理不易並具毒性，但其氧化效果強，產品品質較穩定，因此早期的印刷電路板皆採用鉻酸系的除膠渣液。然而業者經過多年研發，已發展出可靠度足夠、含高錳酸鉀的除膠渣液，因此目前國內廠家已經完全不使用鉻酸，而改採用含高錳酸鉀的除膠渣液。

(四) 採用非氟硼酸系的純錫鍍液

過去的印刷電路板採用氟硼酸錫鉛鍍液，進行鍍錫鉛的製程，於鍍錫鉛前需先行預浸 5~10% 氟硼酸溶液，此預浸溶液需要定期更新，由於鍍液中含氟硼酸離子(BF_4^-)，雖產品品質穩定，但後續處理較為不易。

由於近年來 RoHS 等禁用鉛的國際公約，促使國內印刷電路板業皆已將鍍錫鉛製程，變更為鍍純錫製程，同時，業者為了克服氟硼酸後續處理不易的問題，已發展出可靠度足夠，硫酸系或烷基磺酸系(MSA)的純錫鍍液，因此目前國內廠家已經完全不使用氟硼酸系，而改採用硫酸系或烷基磺酸系(MSA)的純錫鍍液。

(五) 採用鍍純錫方式取代傳統之鍍錫鉛

傳統之鍍錫鉛製程會產生鉛的污染，危害環境安全至鉅，可採用氯化錫鍍浴，以鍍純錫方式取代含鉛之傳統錫鉛電鍍，以免除鉛之污染。

(六) 採用鹼液取代溶劑進行剝膜或印刷網框清洗

溶劑一般具有可燃性、揮發性和毒性，除造成作業環境品質

不佳外，若任其排入廢水中，將造成高 COD 問題，宜改採氫氧化鉀或氫氧化鈉水溶液進行外層剝膜或網框清洗。

(七) 採用硫酸/雙氧水取代硝酸剝掛架

採用硝酸剝掛架，不僅會產生廢氣(紅棕色的氮氧化物)問題，且其廢液若直接排入廢水處理廠，易導致酸度急速提高，來不及調整 pH 值的問題。然近年來國內已有多家合法的回收再利用業者，可進行硝酸剝掛架廢液的回收。

此外，以硫酸/雙氧水來剝掛架，並配合使用冷凍結晶回收機回收硫酸銅，亦是相當成熟的技術。惟硫酸/雙氧水剝掛架的速度比硝酸慢許多，且雙氧水易分解、操作控制較不易，因此目前國內大部分廠家仍採用硝酸進行剝掛架。

(八) 採用表面粗化抗氧化預處理之內層銅箔基板

近來市場已有原物料供應商提供經表面粗化及抗氧化處理之內層銅箔基板，使用此種新形式之銅箔基板，可免除於廠內進行內層板前處理，諸如酸洗、刷磨、水洗、烘乾等製程單元均可停止操作，對用水量與污染量及能源耗量之減低有極大助益，此外並可縮短製程、提升生產速率、節省設備佔地空間，可說有一舉數得之功效。

(九) 採用低污染性之油墨或乾墨

目前市面上販售的各種廠牌、型式之油墨、乾墨，其主要成分為含羧基之壓克力樹脂、聚胺基甲酸乙酯樹脂及環氧樹脂等，大多為高分子有機聚合物質，其在相同的顯像、去墨或剝膜等製造過程中所展現的污染特性或造成的污染量及處理的難易度均有顯著不同，其在顯像溶液(1~2% Na_2CO_3 水溶液)及剝膜溶液

(3~5% NaOH 水溶液)中的溶解速率或溶解度即有高低之分，為防止泡沫產生所需添加之消泡劑量亦有差別，由此可見，在相同的電路板產量下，使用不同廠牌的乾膜所造成的 COD 污染即可能有極大的差異，依據經驗顯示 COD 的污染量幾乎有 1~3 倍左右的差距。

此外，顯像廢液及去墨/膜廢液在處理過程中亦展現出不同的處理特性，有的廠牌在酸化處理時 COD 去除效率較高或具有比較良好的生物可分解性，有的廠牌則酸化處理時 COD 去除效率偏低且生物不易進行分解，這些現象都在顯示各種廠牌型式之油墨及乾膜所造成之污染，在程度上有相當的差異，因此電路板工廠在製程中必須審慎的選擇採用低污染性且易於處理的油墨或乾膜，惟有如此，才能於管末廢水處理中有效克服顯像、去墨/膜廢液所造成的 COD 污染問題。

二、製程技術改進

由於印刷電路板製程甚長，使用多種化學原料，產生的廢水、廢液污染強度大，且其污染特性隨產品層次的提升而趨於複雜，為減輕嚴格的環保法規所帶來的衝擊，並降低廢水處理成本，許多低污染性的製程技術不斷地被開發出來，以減少污染的產生。

(一) 延長槽液使用壽命

1. 於顯像、剝膜製程線上安裝離心過濾機或輸送帶濾布，連續將剝下的膜渣濾除，使膜渣盡可能不溶解於顯像、剝膜液中，以延長顯像、剝膜液的使用壽命。除此之外，由於顯像、剝膜製程常有泡沫產生的問題，因此業者會加入大量的消泡劑，也造成顯像、剝膜廢液 COD 的大幅提高，然目前業者則會

以頂部自動噴水的型式進行消泡，如此可以大幅降低，甚至可以不使用消泡劑。

2. 高錳酸鉀除膠渣製程線上安裝隔膜電解再生機，將六價錳酸根離子再氧化成有用的七價高錳酸根離子，以減少高錳酸鉀消耗量及槽液廢棄頻率。
3. 電鍍槽槽液的純化處理：隨著鍍液使用時間的增長，鍍液中會不斷累積添加劑的分解副產物，以及經由板子帶入的其他有機性污染物(如前處理液及抗鍍阻劑等)，造成鍍液老化，影響電鍍品質。因此，除需注重鍍液管理及分析工作外，應定期對鍍液做純化處理，即鍍液累積過多有機污染物時，可添加 30% 雙氧水 1~2 mL/L，加熱到 50~60°C 並攪拌 1 小時，以氧化有機物，再加入 3~5 g/L 的活性碳，攪拌 3~4 小時後過濾去除有機污染物。過濾後鍍液依需要進行弱電解及補充添加劑等即可再行使用。
4. 剝掛架的硝酸槽液採多槽串聯配置，將待剝離的掛架依序浸漬於各槽進行金屬剝離。在剝離過程中，槽內銅或錫等濃度不斷提高，當最後一槽的剝離效果不佳時，將第一槽槽液排放處理，再把後面各槽逐一向前遞補，最後一槽重新加入硝酸液，然後開始下一個週期的剝離。各槽遞補可用耐酸泵抽送。如此可大幅提升硝酸之利用率，減少廢液產生量。
5. 氯化銅蝕刻製程線上安裝再生系統，由於蝕刻液中二價銅溶蝕金屬銅後會產生不溶性的一價銅，致使槽液老化，可經由對槽液中各成分濃度分析，並補充鹽酸及雙氧水，使一價銅氧化成有用的二價銅，不僅可維持蝕刻品質，並可減少廢液

排放頻率。

(二) 減少帶出液量

1. 水平的顯像、剝膜、蝕刻及剝錫製程機組之出口處，應裝有刮回槽液的擠水輪，以減少板面上槽液帶出量。另於藥液槽後水洗槽前增設一只空的回收槽，使板面剩餘的帶出液滴落至回收槽中加以回收，再進行水洗，以儘可能地回收帶出液。由於帶出液量減少，相對後續不需採用多量的水洗水來予以稀釋清洗，亦可減少用水量。
2. 黑/棕氧化、除膠渣、鍍通孔、鍍銅及鍍純錫等垂直製程設備為自動者，宜增加板子在藥液槽上的停留時間，或緩慢拉曳掛架；屬手動設備者，在槽上方立有暫停勾、棒之類的裝置，如能再對掛架施以上下振動，更可有效減少帶出液量。惟板子在藥液槽上的停留時間亦不可太長，以避免鹽類結晶或板面氧化，反而不利於後續水洗。另於藥液槽之後設置空的回收槽，在不影響操作時間範圍內，使附著於板面上的槽液滴落至回收槽內，再進行水洗。而回收槽內的回收液與原槽液成分幾乎相同，可經由過濾機導入藥液槽中。
3. 安裝滴液板於藥液槽及其後回收槽或水洗槽之間，使滴下之藥液返流入原槽中，以防止藥液滴落造成污染。
4. 由於無法完全杜絕槽液帶出的問題，當工作物件在不同藥液槽間移動時，會將帶出液滴到其他槽內，不僅影響產品品質，且使藥液槽受到污染，致提前更換槽液，為防止此種情形，可於輸送機下端設置滴液承接盤，當輸送機移動時，承接盤即可在掛架下端承接滴液。

5. 使用空氣刮刀或噴洗器於藥液槽上，使工作物件所帶出的槽液，藉外力加速滴落入槽中。
6. 改進吊掛方式，儘可能避免水平吊掛工作物件，若能傾斜的話，因液體滴落較快，帶出液量會較少。

(三) 提升水洗效果，減少用水量

1. 調整水洗槽之進、出水口位置，使水流行經路徑最長，避免造成短流，且由槽底供水，增加攪拌作用，以有效洗淨工作物件。
2. 單以給水方式的水洗法，有時並不能充分洗淨物件，此時可併用噴水洗淨或空氣攪拌，以提高水洗效果。採用前者時，為防止水霧飛濺、噴嘴方向宜採水平向下 30°；後者則宜防止空氣中所含油份、塵埃混入，對工作物件品質造成影響。
3. 採用多段逆流水方式，即由最終水洗槽進水，水洗水依次流入前槽，最後由第一水洗槽排出。此方式在水洗水污染程度不影響物件品質的條件下，水洗槽數愈多，水洗水使用量愈節省。另為考慮不影響物件品質，最終水洗槽宜安裝電導度計，事先設定水洗水電導度值，以控制進水量。
4. 採用反應性水洗，將用過的清洗水未經任何處理，直接利用各槽間水位坡降溢流到另一水洗槽再用，利用酸鹼反應達到清洗水最佳利用的目的。

(四) 採用水平式黑氧化製程降低污染產生量

內層板之黑氧化製程近來亦有原物料及設備供應商發展出專利水平新製程，其採用酸脫脂＋微蝕方式直接將內層板表面粗

糙化，可完全取代舊有之黑氧化製程，此一新製程技術及具污染減量潛力，其效益列舉如下：

1. 採水平製程，上下料放板收板簡易自動化。
2. 製程大幅簡化，且無須高溫氧化及熱水洗，改善作業環境，降低廢水及廢氣污染。
3. 用水量及電力消耗量減少 60%
4. 生產速率提高 4 倍
5. 廢水產生量僅傳統製程的 1/3
6. 可垂直疊板減少佔地空間
7. 完成板停滯保存時間可達 10 天，較傳統之黑氧化板 8 小時高出甚多，利於生產品質管理。

(五) 採用碳層塗佈(blackhole)或直接金屬化(direct metallization)製程取代化學銅製程

傳統之化學銅鍍通孔製程衍生出甲醛(危害性致癌物質)污染問題及含螯合劑廢液及廢水之處理困擾，採用新型式之碳層塗佈或直接金屬化製程，可免除化學鍍銅步驟，直接以電鍍方式於導體化之通孔表面鍍上一層金屬銅，此等新製程技術可取代舊有化學銅製程，並有效降低污染產生量。

(六) 採用水平電鍍製程取代垂直電鍍製程

新型式之水平電鍍製程可有效減少槽液帶出帶入量，且製程設備為密閉型式，可有效防止槽液之蒸散，於作業環境之改善及廢水、廢氣污染減量方面均極具效益。

(七) 減少顯像剝膜製程單元消泡劑的使用量

改善顯像剝膜製程設備，增設泡沫界面高低偵測裝置及消泡

劑自動添加設備，以妥善控制消泡劑添加量，降低顯像、剝膜廢液之 COD 污染濃度。

三、回收再利用

回收再利用雖是減廢技術的次要考慮對象，但依印刷電路板業污染排放特性，雖可經由污染源減量來消滅可觀的污染量，但仍會產生為數不少的污染物，就減廢技術的觀點，回收再利用的效益往往不輸於來源減量。

4.4 印刷電路板業廢水處理流程

4.4.1 工業區內之廢水處理流程

若工廠可以納入工業區廢水處理廠，則處理流程建議採圖 4.3.1-1 的方法，I 及 J 類廢水直接進入調勻槽，A1 與 A2 廢液、B1 與 B2 廢液經分別單獨收集後，定量納入調勻槽，D 類廢液經酸化前處理後，亦定量納入調勻槽，再經 pH 調整、快慢混、沉降、砂濾，中和等步驟，放流至工業區廢水處理廠，但 C 類廢液經去銅前處理後，不得納入調勻槽，只能定量納入中和槽。

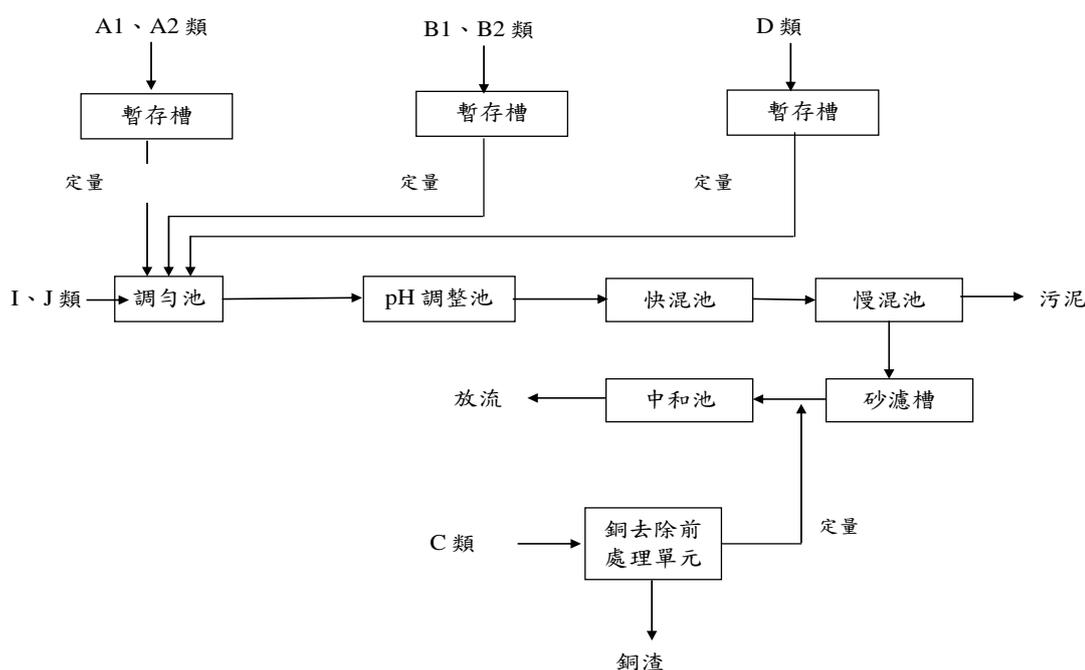


圖 4.4.1-1 廢水納入工業區廢水處理廠之管末處理流程與方法

4.4.2 工業區外之廢水處理流程

若工廠無法納入工業區廢水處理廠，則處理流程建議採圖 4.4.2-1、4.4.2-2 或 4.4.2-3 方法。

圖 4.4.2-1 的方法為在砂濾槽後，加裝粒狀活性炭吸附裝置；圖 4.4.2-2 的方法為在各股(A、B、C、D)廢液進入調勻槽前，先以粉狀活性炭吸附；圖 4.4.2-3 的方法，則是採將含 COD 廢水、廢液分流以接觸曝氣法進行生物處理，但 C 類廢液經去銅前處理後，不得納入生物處理系統，只能定量納入中和槽。

依照上述廢水、廢液分類收集原則，進行廠內排水管線收集系統的規劃，並選擇適當的處理方法進行處理，若能再配合完善的硬體處理設施及良好的操作管理，相信必能使處理後放流水質穩定地達到放流水標準。

本章後續將為各位詳細介紹各種廢水、廢液的處理技術，雖其中的

氨系廢液(過硫酸氨微蝕液)、鉻酸氧化廢液及氟硼酸廢等，國內業者多已不在使用，如有需要相關技術資料，請參考民國 84 年版工業局「印刷電路板製造業水污染防治技術」。(下載網址：<http://proj.moeaidb.gov.tw/eta/publish/technology.asp?a34F>)

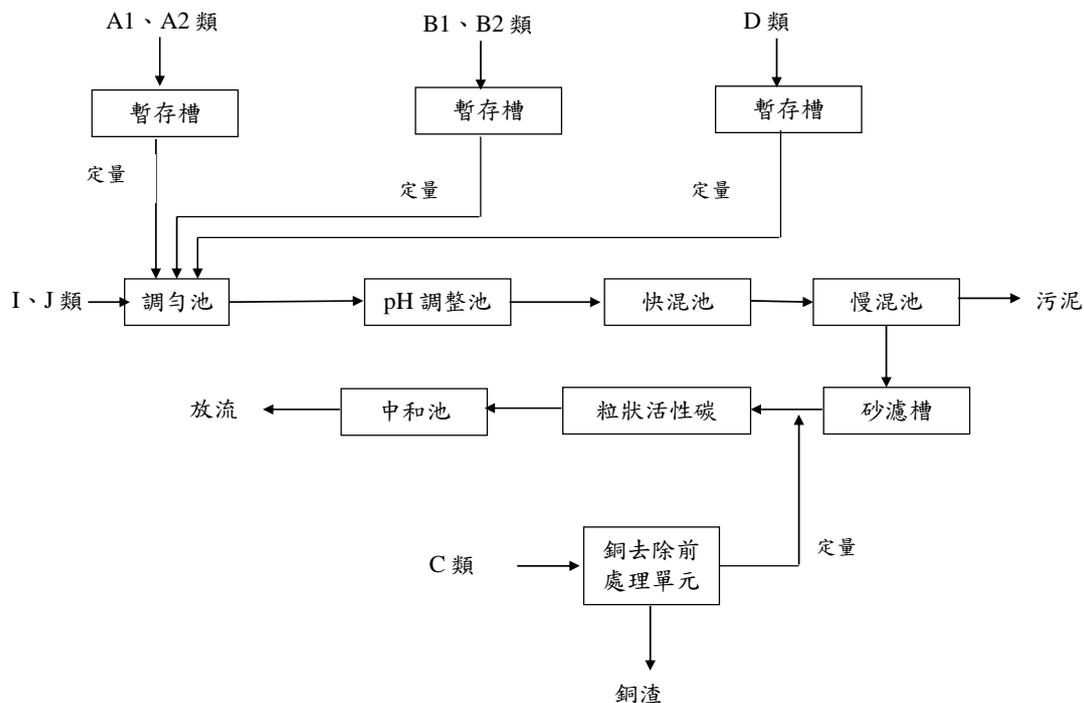


圖 4.4.2-1 採用粒狀活性碳吸附法之管末處理流程與方法

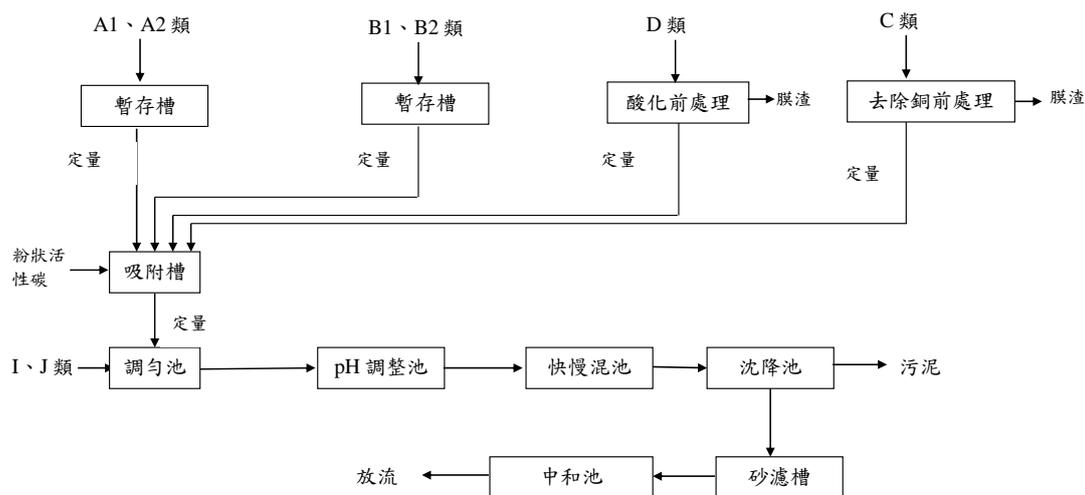


圖 4.4.2-2 採用粉狀活性碳吸附法之管末處理流程與方法

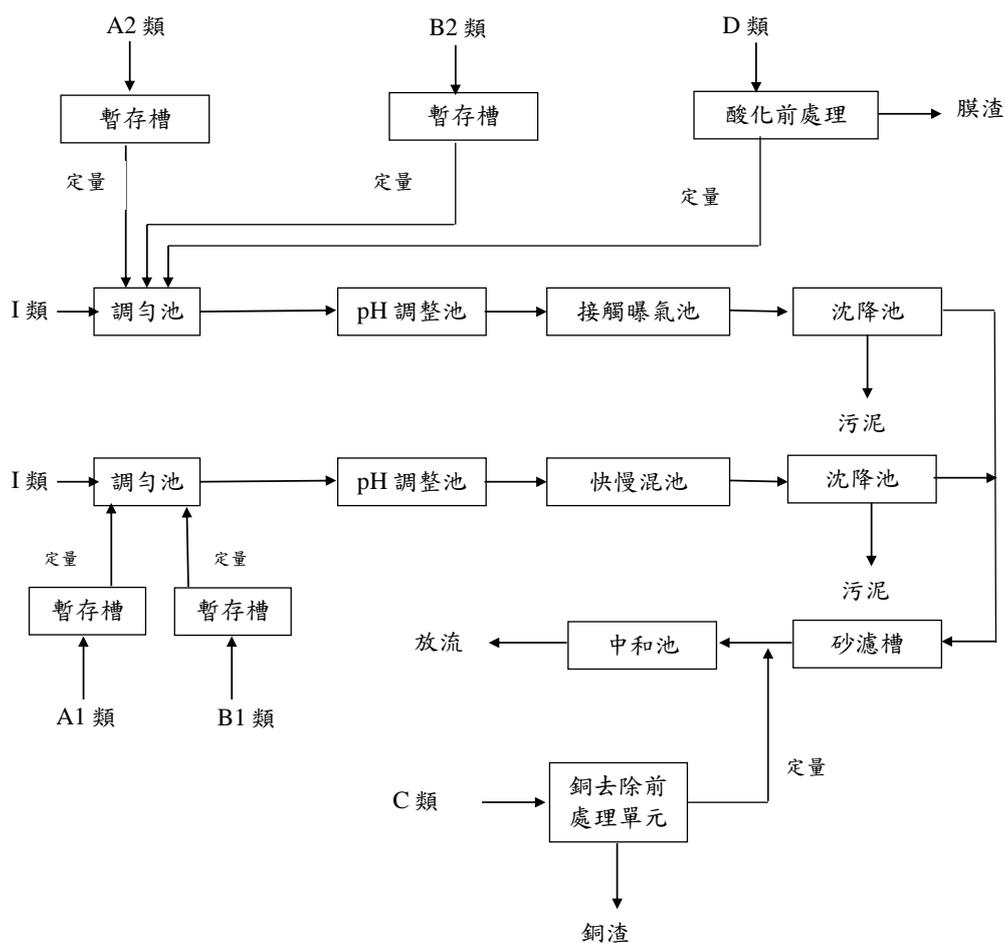


圖 4.4.2-3 採用接觸曝氣法之管末處理流程與方法

第五章 空氣污染防治處理技術

5.1 處理原理

印刷電路板製程中易產生酸鹼廢棄與揮發性有機廢氣，大多施以排風(抽風)設備處理，並經循環水洗洗滌塔處理酸鹼廢氣，有機溶劑廢氣則使用活性炭吸附來處理。在酸洗、蝕刻等步驟所使用之溶劑易溢散成空氣污染源，其管制同固定污染源空氣污染物排放標準之排放管道及週界規定，惟印刷電路板業之有機污染物有濃度低、範圍大的特性，工作區長期人體毒性不可忽視。

業者於排放口加設續熱式焚化設備處理溢散的有機溶劑，達到排放標準並不困難。若是因為未設集中排氣設備以規避排放口標準，或因為現有設施空間不足利用者，造成溶劑容易因散溢長期累積於室內，致對員工健康產生不利的影響，而且如經累積達臨界點後，則有發生意外火災或爆炸之虞。而累積發生的地點，可能在工作場所，也可能在各種封閉管道或轉角，因此電子業因應空氣污染工作最重要的課題並非在於排放口，而係在於工作區的空氣污染及管道累積去除等項目上。散溢的揮發性有機物不但對人體有毒性，釋放於大氣後，也會在紫外線作用下，形成光化學物質，增加臭氧及產生更具刺激性及毒性的化合物，因此，建議小型廠家，宜設置良好的集氣設備等，減少有機溶劑散溢於室內的機會，保障工作人員健康及環境安全。

5.2 處理方法及流程

印刷電路板製造過程中所產生之含粉塵、酸鹼或揮發性有機物之廢氣可分別以下列控制技術加以處理

(一)粉塵及金屬燻煙

1.袋濾集塵機

袋濾集塵機是以纖維布為過濾器，將粒狀物質過濾去除，而將乾淨的空氣排出。

2.靜電集塵機

靜電集塵機是利用電能去除粒狀物質之高效率集塵裝置。

3.濕式洗滌塔

利用氣體與液體間的接觸，把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，達到清淨氣體之目的。濕式處理方式可處理廢氣中之粒狀物，同時也可以去除廢氣中所含之其他氣態污染物質。

(二)酸鹼性污染物

以填充式洗滌塔或噴霧式洗滌塔處理酸氣時，以NaOH為吸收液；處理鹼氣時，則可以H₂SO₄或HCl為吸收液，處理過程之中和反應所形成鹽類，或吸收液濃度過高導致過飽和現象而析出固體物質易造成管壁阻塞，實際操作過程亦常有白色煙霧自煙囪排出，建議增加吸收液更換頻率，或在廢氣排出前裝置除霧器，以解決前述問題。

(三)揮發性有機物

以活性炭吸附塔處理廢氣中之揮發性有機物後，再將乾淨氣體排出。吸附為利用溶質之濃縮現象，以使用內部比表面積較大的多孔性固體粒子(吸附劑)，來分離氣體或液體混合物之操作，稱之為吸附操作。以吸附原理處理VOCs或惡臭物質，一般常用粒狀活性炭或活性炭纖維。因欲處理之廢氣成分可能較為複雜，故於吸附過程中，可藉活性炭之預先含浸或表面處理，使吸附現象併含物理及化學反應，以達到去除VOCs或除

臭效果。

除了去除效率高之污染防制設備外，良好的集氣設備可大大減少有機溶劑逸散於室內的機會，除可保障工作人員健康及環境安全，並可進一步將各製程單元所排放之污染物收集後，送至後端污染防制設備進行處理，此章節將先針對局部排氣系統的設置進行介紹，再說明各污染防制設備。

5.2.1 局部排氣系統

局部排氣系統包括：氣罩、風管、廢氣處理設備、風車及煙囪(排放管道)等，以下分別說明局部排氣系統中各項單元功能：

一、氣罩

氣罩之功能在於捕集逸散源之空氣污染物，其性能對於系統的經濟性及效率有直接的影響，一般氣罩之設置，乃需確保在最小的抽氣風量下達最高之捕集效率。由於污染源設備結構及生產操作特性均有所不同，氣罩的樣式相當多樣。

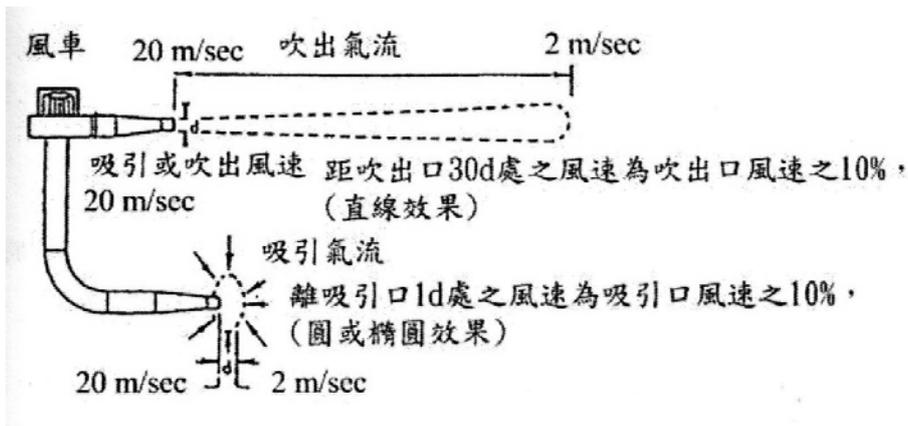
(一)氣罩設置目的與性質

氣罩設置之目的為將局部發生之粉塵或氣體，於其擴散於空氣中受稀釋之前，儘可能以高濃度捕捉收集，以防止環境之污染。而具有擴散性之粉塵或氣體，更需儘可能以小風量將其全部捕集，為此，氣罩之設置在不妨礙作業前提下，應儘可能接近於污染發生源，且以圍板包圍減少其開口部面積，然亦需兼顧作業之方便性。

圖5.2.1-1為吹出氣流與吸引氣流之差異示意圖，其表示吹出氣流有長距離直線推進效果，即在其軸上距吹出口口徑之30 倍距

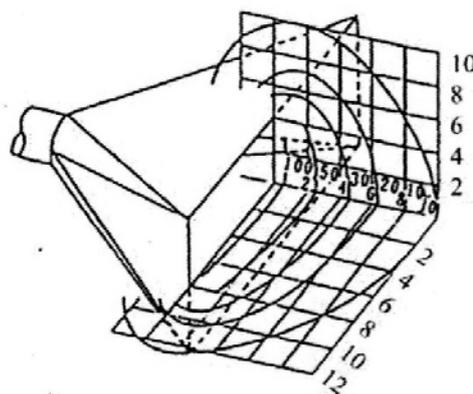
離處，仍能保有吹出時之1/10風速；然吸引氣流則不同，在吸引口周圍之相等吸引流速平面形成近似橢圓或圓形之形狀，而在中心軸上離吸引口約相等於一個口徑距離處，其風速已減弱至吸引口風速之1/10。

圖5.2.1-2係邊長比為1：2之矩形開口部吸引氣流之等速剖面圖，圖中之數字乃指距中心軸與開口面之距離，及其位置之吸引流速對開口部等速之百分比，由此可知距離開口部愈遠，其吸引流速之減少顯著。



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 吹出氣流與吸引氣流差異示意圖



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 5.2.1-2 邊長比為 1：2 之矩形開口部吸引氣流之等速剖面圖

(二)氣罩設計原則

局部排氣主要乃利用氣罩收集空氣污染物，氣罩設計得合理，

使用較小風量即可有效控制污染物的逸散。反之，用很大的排風量也不一定達到預期的效果。設計時注意以下幾點：

1. 氣罩應儘可能將污染源包圍起來，使污染物的擴散在最小範圍內，以能防止橫向氣流干擾，減少抽氣量。
2. 氣罩抽氣方向儘可能與污染源氣流運動方向一致，充分利用污染氣流的初始動能。
3. 儘量減少集氣罩的開口面積，以減少抽氣量。
4. 集氣罩的吸氣氣流不允許先經工人的呼吸區再進入氣罩。

(三) 氣罩的設計

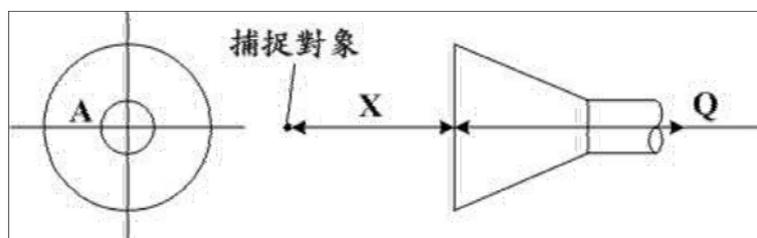
氣罩的設計主要包含：捕捉速度、風量設計和氣罩入口損失計算等。捕捉速度或稱控制速度，係將位於污染發生源近處或位於包圍型氣罩開口面處正要逸散或擴散之粉塵或氣體，將之吸引導入氣罩開口面內所需之氣流風速稱之。換言之，即氣罩開口面之吸引風速，必須足以將距氣罩開口面某距離之移動對象物質，以大於捕捉速度之氣流吸引至開口面，而此捕捉速度乃依發生源之狀態及捕捉對象之性質而決定。表5.2-1係不同污染源狀態下之捕捉速度建議範圍，氣罩之形狀與風量，即以捕捉點之風速大於捕捉速度之原則而設計。

表 5.2.1-1 不同污染源狀態下之捕捉速度

發生或擴散之狀態	實例	捕捉速度V(m/s)
以無實質速度之狀態逸散於靜止狀態之空氣中	由儲槽蒸發、油脂熔解、其他	0.3~0.5
以低速逸散於較靜止空氣中	噴霧房、間歇式裝箱(容器)、低速輸送機輸送、焊接、鍍金、酸洗	0.5~1

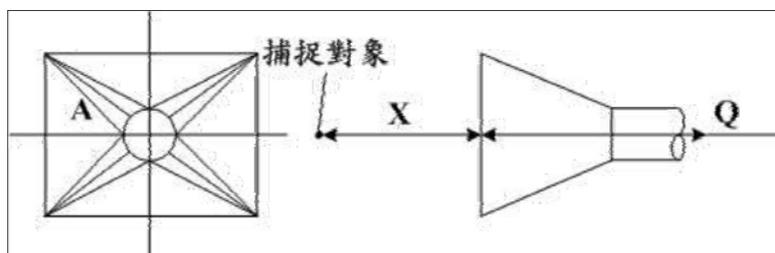
發生或擴散之狀態	實例	捕捉速度V(m/s)
以活潑之發生擴散於有急速氣流之空氣中	狹長噴漆房內之噴漆、裝袋、輸送機裝卸、粉碎機	1~3
以甚快初速放出於有甚快速氣流之空氣中	研磨、研磨噴砂、滾筒打磨(tumbling)	3~10

密閉或箱式氣罩之抽引風量，可以開口面吸引風速大於捕捉速度之原則計算，設計時並應考量氣流分布之均勻性。接受型外部氣罩之形狀一般由發生氣流或粉塵之狀態所決定，而其開口面之風速應大於所發生之向量。捕捉型外部氣罩之捕捉點均在開口面外各處，故其形狀及吸引風量須以各捕捉點之風速大於捕捉速度之原則設計及計算。詳細數據則應由相似形狀氣罩之等速剖面圖(圖5.2.1-2)求之，惟為實際設計之方便，可依下列不同形狀之氣罩(圖5.2.1-3, 5.2.1-4)而近似估算。



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 簡單圓形開口氣罩



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 簡單矩形開口氣罩

A：開口面積

X：開口面與捕捉對象間之軸上距離

V_c ：軸上距開口面 X 處之捕捉速度

Q ：簡單圓形開口吸引風量 $= (10X^2 + A) \times V_c$

有凸緣圓形開口吸引風量 $= 0.75 \times (10X^2 + A) \times V_c$

簡單矩形開口吸引風量 $= (1/bX^2 + A) \times V_c$

有凸緣圓形開口吸引風量 $= 0.75 \times (1/bX^2 + A) \times V_c$

(其中， b 值依邊長比之不同而異，表 5.2-2)

表 5.2.1-2 不同邊比 r 之 b 值

r	b	r	b
0.1	0.020	0.6	0.071
0.2	0.037	0.7	0.075
0.3	0.049	0.8	0.078
0.4	0.059	0.9	0.081
0.5	0.065	1.0	0.083

理論上計算靜止之氣體被吸入氣罩進入風管時，若無摩擦損失，則氣罩與風管接觸點附近之靜壓(SP)與風管中之速度壓力(VP)應相等。而實際上當氣體進入氣罩時，由於氣罩之形狀會造成紊流，使部分之速度壓力變成熱能損失，此即稱之為氣罩入口壓力損失，以 h_i 為代表，則：

$$h_i = SP - VP$$

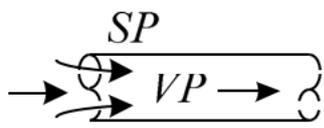
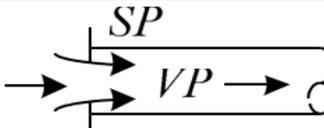
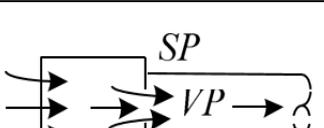
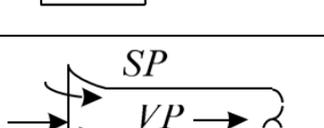
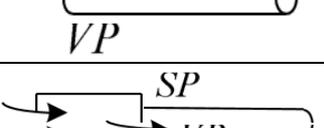
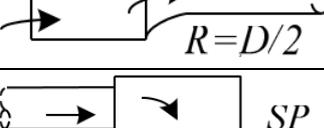
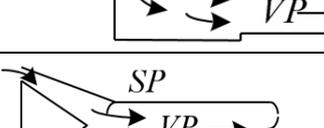
$$h_i = F \times VP = (1/C_i^2 - 1) \times VP$$

C_i ：入口係數

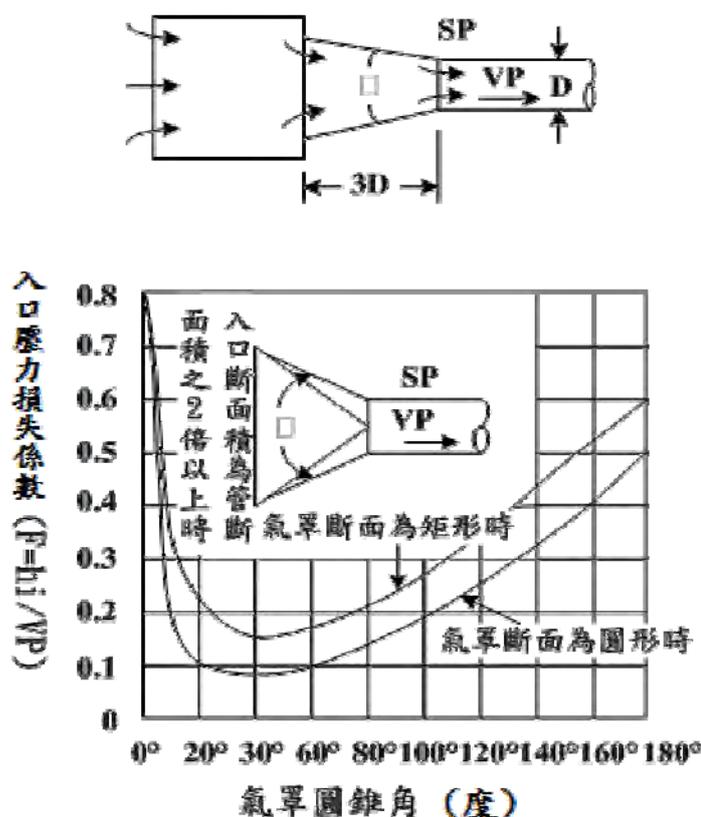
$F = (1/C_i^2 - 1)$ ：氣罩入口壓力損失係數。

依實際而求得各種氣罩之 C_i 及 F 值如表 5.2.1-3 及圖 5.2.1-5 所示。

表 5.2.1-3 氣罩入口之壓力損失

圖例	名稱	入口係數 C_i	入口壓力損失係數 $h_i/(VP) = F$
	直管	0.72	0.93
	有凸緣直管	0.82	0.49
	附有直管之 廂型氣罩	0.82	0.49
	附有喇叭管之 直管	0.98	0.04
	附有孔口之直管， (VP 以孔口為準)	0.60	1.78
	附有孔口及凸緣之直管	0.55	約 2.3 或 1.78(孔口 VP)+0.49(直管 VP)
	附有廂形抽氣罩及喇叭管之直管	0.97	0.06 - 0.10
	陷捕器或沉降室	~ 0.63	1.5
	複式氣罩 (內附圓錐部)	~ 0.70	1.0

註： $1/C_i^2 = 1 + F$



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 錐式氣罩入口壓力損失係數

二、風管

在局部排氣系統中用以輸送氣流的管道稱為風管，其目的在使系統成為一體。設置風管應避免污染物沈積於管內，且避免風管壓力損失過大以增加系統壓損。

風管管內風速，集塵裝置風管內之風速必須具有足以搬送所含粉塵之速度，以防止粉塵沈積於風管中，而減少風管之有效送風面積，增加壓力損失及清理維護工作。但風速若太大，則會增加風壓損失及對風管之磨損，故工業用集塵裝置風管內風速一般約控制於 15~25 m/s 間。將粉塵以不致於沈積之狀態搬送所需氣流速度與粉塵之性質及粒徑有關。若採用高風速時可用小口徑風管以節省設備費用，但因壓力損失與風速之平方成正比，致風車所需動力增大，兩者間之選擇依條件之不同而異，例如須 24 小時連續運轉輸送大風量，且風車之

動力費用佔運轉成本之大部分時，宜採用低風速。

風管壓力損失，風管之壓力，可分為兩種，即靜壓和動壓，靜壓用以產生系統之初速度及克服氣流之摩擦阻力和紊流。動壓又稱為速度壓力，即氣流運動所造成之壓力，若將氣流視為密度 1.2 kg/m^3 之空氣，則其和風速之關係，可用下式表示之：

$$V = 4.043 \times VP^{0.5}$$

V：風速(m/s)

VP：速度壓力(mmH₂O)

計算風管之壓力損失時，若氣體含塵濃度在 30 g/Nm^3 以下，通常可忽視其濃度之影響，以下僅就一般氣流進行探討，如需高含塵濃度之資料，可另參照有關氣力輸送裝置之文獻。

圓形直管壓力損失：由於氣流在風管內流動產生摩擦，而造成壓力損失，此摩擦壓力損失可應用 Fanning 公式計算而得：

$$h = DP/r = 2 \times f \times (L/D) \times u^2/g$$

h = 摩擦損失水頭(mmH₂O)

DP = 摩擦壓力損失(kg/m²)

r = 流體之密度(kg/m³)

L = 管長(m)

f = 摩擦係數

D = 管徑(m)

u = 風速(m/s)

g = 重力加速度 = 9.8 m/s^2

至於管入口、擴大管、漸縮管、彎管及合流管等之摩擦損失，亦可依下式求得：

$$h = DP/r = K \times u^2/2g$$

K：抵抗係數，可針對不同形狀而由實驗數值獲得。

長方形風管之壓力損失，若風管斷面形狀屬長方形時，則應換算

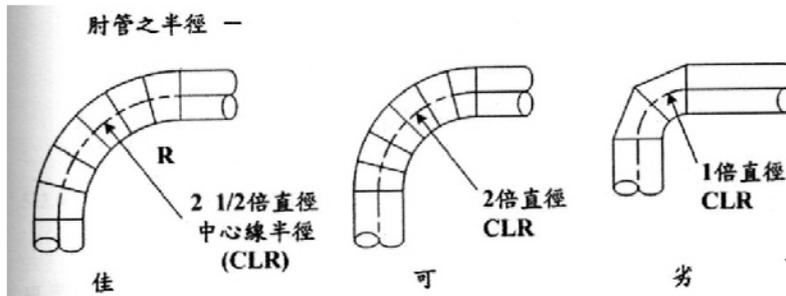
為相同風量、相同單位長度壓力損失之圓形風管直徑計算，其直徑換算可依下式計算：

$$De = 2ab/(a+b)$$

De：換算之等似直徑(equivalent diameter)，a、b 為長方形之邊長。

風管之設計原則：

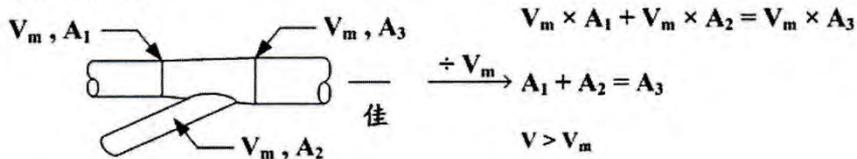
(一)若空間允許，肘管之 R/D 值最好能大於 2。



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

(二)適當之風管尺寸，以確保風管內風速能維持於所選用之搬運速度或較高值。

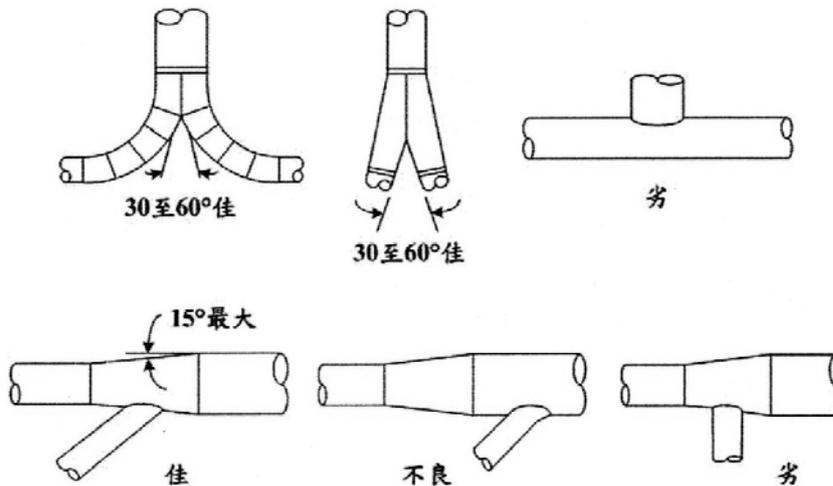
適當風管尺寸 —



V_m = 最小運送風速， V = 最大風管口徑之搬運速度
 A = 橫斷面積

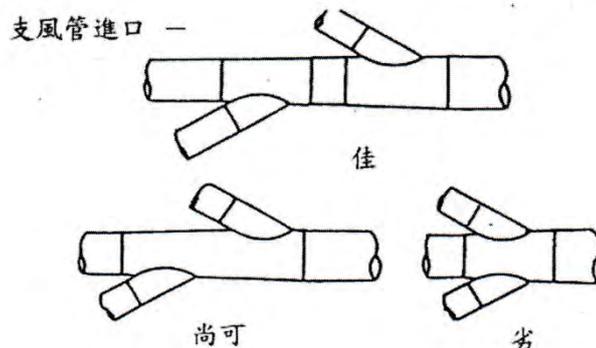
資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

(三)支風管應以小於 60°角進入漸擴之主風管中。



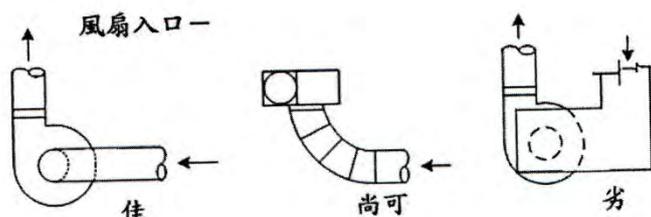
資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

(四)兩支風管不可對向於一點進入主風管中。



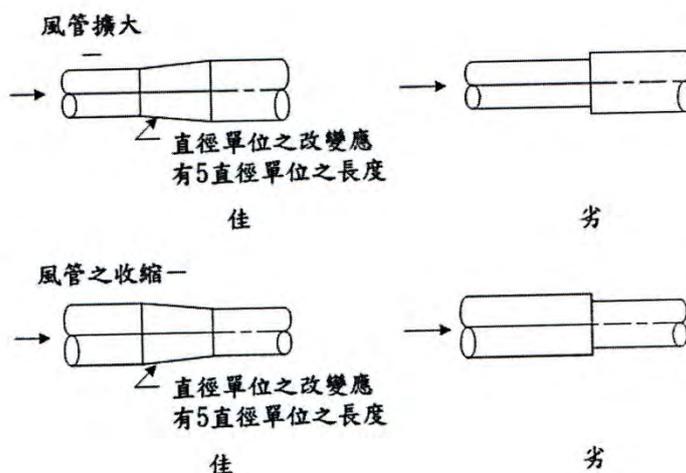
資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

(五)風扇入口最好為直管入口，如必須為肘管入口，則要有一入口箱，箱內有順風片，以消除空氣之旋轉或加諸於風扇葉輪上有不平均負荷，但入口箱仍不適用於含粉塵之氣流。



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

(六)風管之擴大與收縮，其直徑單位之改變應有大於 5 直徑單位之長度。



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

三、廢氣處理設備

經氣罩所收集之污染物濃度若超過排放標準時，需先經廢氣處理

設備處理之，始得以排放。廢氣處理設備之選擇需考慮污染物濃度、污染物特性、廢氣特性、環保法令要求、設置及操作費用與污染物最終處置等各項條件。

四、風車

風車為局部排氣系統之動力來源，風車之抽引風量需足以確保氣罩所需之最小抽引風車；且風車靜壓需大於系統中各單元之壓力損失總和。

風車之壓力、風量及動力，風車性能(performance)依氣體溫度、氣體密度、輸送量、風阻、葉輪轉速等因素而定。對一風車，轉速改變時：(1)氣體輸送量與轉速成正比；(2)總靜壓與轉速比之平方成正比；(3)馬力需求與速比之三次方成正比。一般而言，總風阻在 1,000 mmAq 以下時，氣體獲得之功率(power)為氣體流量(Q)及總風阻(P)等二者之乘積：

$$\text{氣體獲得功率(watt)} = \text{氣體流量}(Q, \text{m}^3/\text{s}) \times \text{總風阻}(P, \text{N}/\text{m}^2)$$

電力輸送至馬達，馬達轉動帶動軸及葉輪，葉輪再對輸送氣體作功。

考量上述能量傳送及風車之熱損，風車效率定義為：

$$\text{風車效率}(E) = \text{氣體獲得功率} / \text{輸入轉軸功率}$$

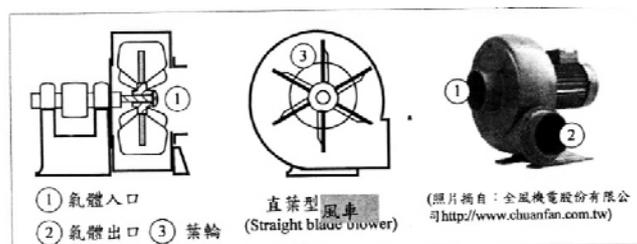
因此，輸入轉軸之功率為：

$$\text{輸入轉軸功率(watt)} = \text{氣體獲得功率(watt)} / \text{風車效率 } E$$

另外，風車效率為 40~80%，一般定為 65%。設若 $E=65\%$ ，則下式可用以估算輸入轉軸之功率：

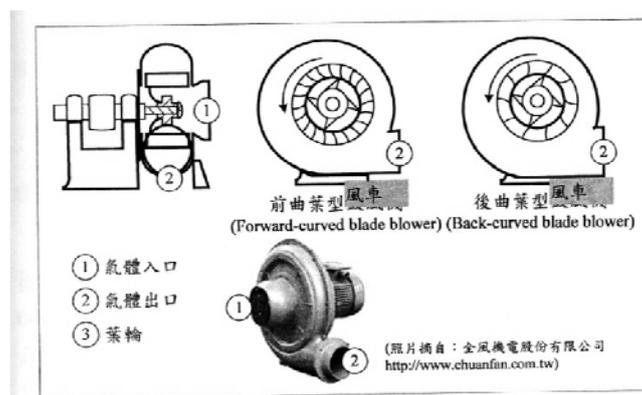
$$\text{輸入轉軸功率(kW)} = 0.000181 \times \text{總壓力 } P(\text{mmAq}) \times \text{風量} \\ (\text{m}^3/\text{min}) \times 35.3 \text{ ft}^3/\text{m}^3 \div 25.4 \text{ mm/inch}$$

風車種類，空污防制工程常用的風車為低中壓型風車，此類風車分為離心(centrifugal)及正向位移(positive displacement)二型。依葉片形式，離心型分直葉、前曲葉、後曲葉三型(圖 5.2.1-6~5.2.1-7)；正向位移型則多為環型風車(圖 5.2.1-8)，用於廢水廠之魯式風車(roots blowers)較少用。



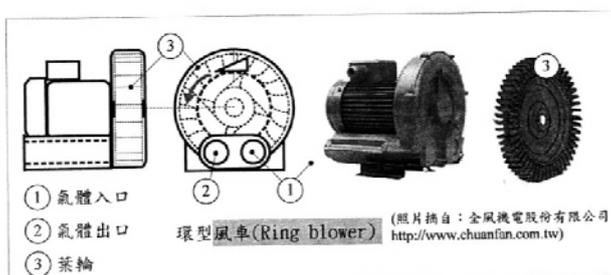
資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-6 直葉型風車



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 曲葉型風車(通稱透浦風車(turbo blowers))

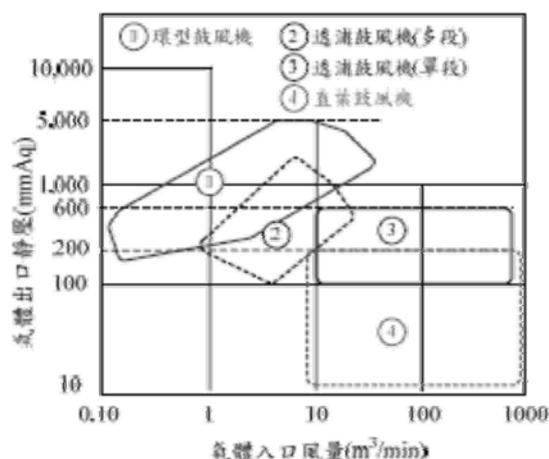


資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.1-8 環型風車

風車選用原則如圖 5.2.1-9 所示。環型風車用於低風量($< 30 \text{ m}^3/\text{min}$)及較高風阻($200\sim 5,000 \text{ mmAq}$ ，水柱高)；透浦(turbo)風車用於

廣風量(5~1,000m³/min)及中風阻(100~600 mmAq);直葉風車用於廣風量(5~1,000 m³/min)及低風阻(<200 mmAq)。實務上，各型風車之選用須參考供應商型錄及設計者經驗。



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 風車選用

五、煙囪(或固定排放管道)

經氣罩收集及廢氣處理設備處理後之廢氣，通常經固定排放管道排放，即所謂煙囪。煙囪需設置「煙道採樣平台」，採樣平台需長 1 米、寬 1 米、高 1 米，載重需大於 200kg，採樣口高過欄杆 20 公分，高度大於 2 米者，爬梯需設護欄。採樣平台每年需保養及填寫保養記錄表。煙囪高度需符合現行空氣污染物排放標準之各項規定，以確保由煙囪排放之空氣污染物足以有效擴散。

局部排氣系統乃藉由氣罩收集製程中所逸散之空氣污染物，再經由風管輸送，使廢氣經處理設施處理，再予以排放，系統中所需動力則由風車提供。局部排氣系統為工業製程逸散源最直接、最有效的廢氣收集方式，為能確實有效收集廢氣，以控制工業製程的各項逸散源，必須瞭解局部排氣的種類、設計原則、氣罩抽氣量的推估及系統的安排等。

5.2.2 粉塵及金屬煙塵控制技術

一、袋式集塵器

袋式集塵器亦稱為濾袋屋，是收集微粒最常用的方法之一，其除塵效率是所有集塵器最高者，袋式集塵器使用的濾布有二種：一為可丟棄者，另一為可重覆使用者。可丟棄者一般用於室內空氣過濾，它可以作成濾墊或厚濾床(0.3 公尺以上的厚度)的型式。濾墊用玻璃纖維棉作成，外面框以鐵架補強。厚濾床則使用玻璃纖維、玻璃纖維紙或其他惰性材料(如細鋼絲)，此諸濾材對粒徑大於 0.3 μm 以上的微粒，收集效率很高(可達 99.97%)，但是當微粒已累積至相當量或壓力降增至很高時，則必須更換濾材。

工廠的廢氣處理需使用可重覆使用的濾布材料。微粒被濾布收集，穿過濾布的氣體變成乾淨氣體。可重覆使用的濾布濾材中，被收集的微粒需自濾布上清除。洗袋的方式有機械振盪式、脈衝噴氣式及反洗空氣式三種，以脈衝噴氣式濾袋屋的過濾及洗袋效果最好，最為常用。被清除的微粒掉入下方的漏斗後，定期排出或回收使用。

微粒被乾淨濾材收集的機制，最主要者有慣性衝擊、直接截留和擴散三種。當過濾進行時，粉塵餅遂漸增厚，此時粉塵餅的過濾會變成最主要的過濾機制。其他比較次要的收集機制如重力沉降、微粒聚結(或凝結)和靜電吸引等亦可增加微粒的收集效率。多個微粒因外力(如音波)聚結成較大的微粒時，收集效率會增高。微粒亦可被帶電荷的濾材吸引而提高效率，這種靜電吸引效應對次微米微粒的過濾效率之提高較為顯著。靜電效應在室內空氣清靜機及空調箱過濾之應用較多，在工業用的濾袋屋上很少使用。重力沉降的收集機

制對大微粒於低的過濾速度，及濾材呈水平擺置時較為重要。

袋式集塵器利用過濾作用(直接截取)原理來收集直徑大於 0.3 μm 之粉塵，去除率 >99%。廢氣通過袋式集塵器前需將廢氣降溫，可利用廢氣稀釋、輻射冷卻及蒸氣冷卻作為前處理。袋式集塵器的優缺點如下：

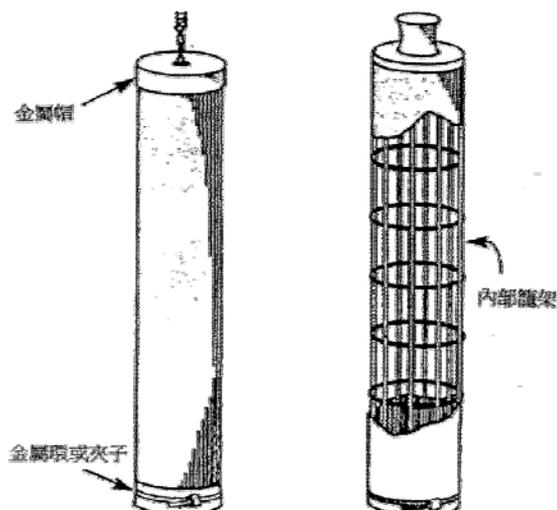
優點：(1)設置空間需求小，(2)除塵效率高(>99%)，(3)設備成本低，(4)可回收塵料。缺點：(1)不適用高溫廢氣，(2)對濕度敏感，(3)需常清理，(4)濾布老化更新成本高，(5)過濾有機質易生爆炸，(6)對過濾速度敏感。

(一)袋式集塵器之系統及構造

可重覆使用的袋式過濾系統稱為袋式集塵器系統。袋式集塵系統包括下列組件：

- (1)濾袋及支架。
- (2)濾袋清洗設備。
- (3)收集漏斗。
- (4)外殼。
- (5)抽(送)風車。

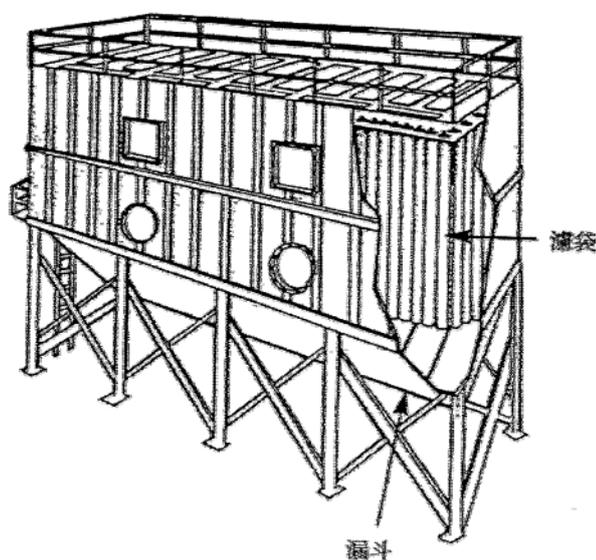
微粒的收集表面包括濾袋和一些支撐濾袋的支架。濾布可用上下兩個鐵環或以鐵籠支撐(圖 5.2.2-1)。大型濾袋屋由數個隔間組成，以便於維護，每個隔間內含許多布管。



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 濾袋及其支架

袋式集塵器由數百或數千個垂直懸掛的濾袋構成。當粉塵累積至一定厚度時，粉塵被逆洗清除至下方漏斗，再利用氣壓或螺旋輸送器自漏斗中排出。集塵器外殼用薄鋼板製成，以保護濾袋免受氣候影響(圖 5.2.2-2)。



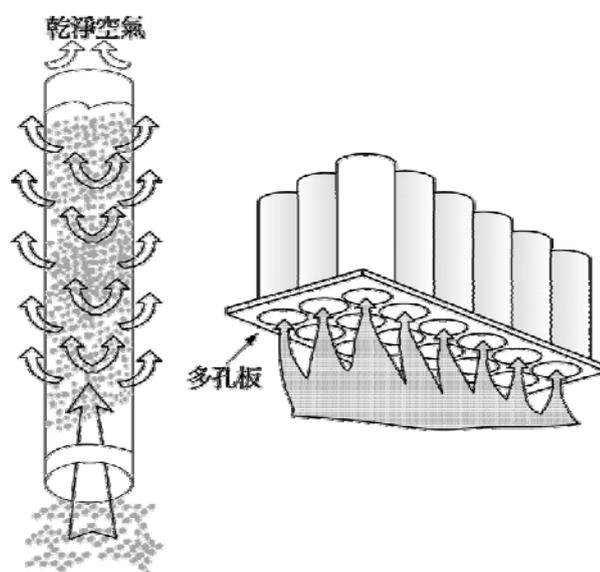
資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-2 濾袋及漏斗

(二)過濾方式

袋式集塵器依廢氣過濾方向分成兩種方式，一是內部過濾，

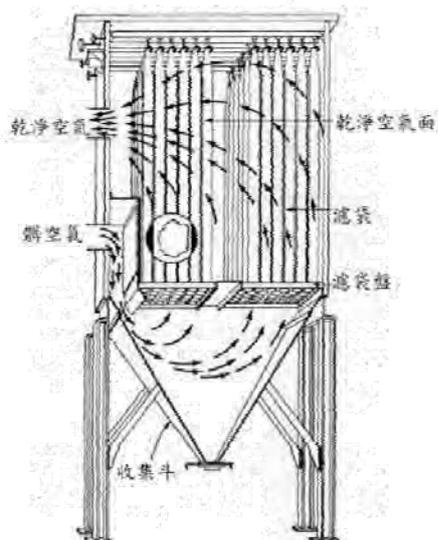
另一是外部過濾。機械振盪式及反洗空氣式濾袋屋為內部過濾，而脈衝噴氣式濾袋屋則為外部過濾。內部過濾方式中，含微粒氣體由濾袋下方或上方經由多孔板或擴散翼進入濾袋內部，微粒在濾袋內部被收集，如圖 5.2.2-3 所示。其中，多孔板是一個環繞著濾袋口的薄鋼板，它將乾淨氣體與濾袋屋的進氣口隔開。髒氣體經過微粒被收集在濾袋內部，乾淨空氣則從濾袋外部逸出。



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 內部過濾(微粒被收集在濾袋內部)

在外部過濾系統，微粒收集在濾袋外部。髒空氣自濾袋外部流進濾袋，乾淨的空氣從內部上方逸出。濾袋內部需使用鐵籠或數個鐵環支撐，否則濾袋容易損壞。廢氣之進氣口依濾袋屋之型式與製造商之不同而異。若進氣口在上方，向下流動的氣體會有一點清洗濾袋的作用，濾袋上粉塵清洗時隔可長一點；若廢氣由下方進入，進氣口通常就位於漏斗上方(圖 5.2.2-4)。下方進氣式在設計及製造上比上方者容易一些，但是應注意氣體流動方向及分布情形，免得將粉塵自漏斗中再揚起。為了使含有粉塵的廢氣能夠均勻分布在每個濾袋，在漏斗內靠近進氣管的地方通常會裝設擋板，使氣流分散。

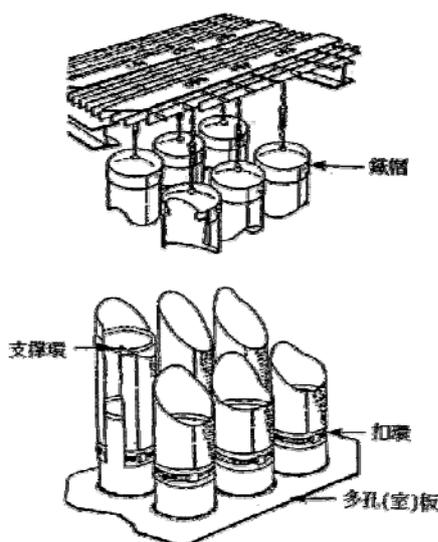


資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-4 濾袋屋之粉塵進口

(三)濾袋與其配件

濾管長度及直徑依設計及製造商之不同而異，通常長度在 3~12 公尺、直徑在 0.15~0.45 公尺間。濾袋通常垂直懸掛，下方或上方用鐵環、鐵帽、夾具或扣環等支持(圖 5.2.2-5)。多孔銅板也用在某些系統作為濾袋支撐之用。外部過濾系統之濾袋內部用鐵籠支持，濾布則用扣環夾撐在鐵籠上。



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

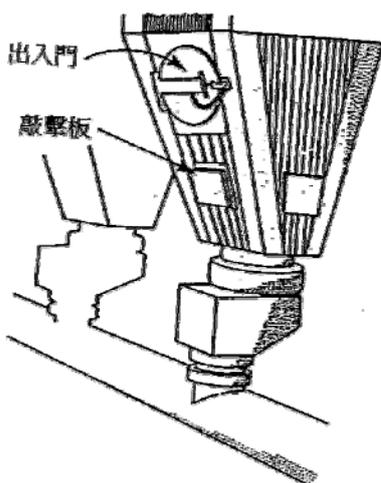
圖 5.2.2-5 濾袋附件

(四)外殼

袋式集塵器由堅固的鋼板構成。它可以是處理廢氣量小時用的獨立單元，或廢氣量大時用的多個分隔室的組合。廢氣流量小的場合有噴漆或研磨等操作的廢氣排放；流量大的場合有工業鍋爐或煉鋼廠等。高溫廢氣若含水分，應考慮在濾袋屋外部使用絕緣材料，以免因氣體冷卻時水氣及酸霧凝結在壁上，加速濾袋屋的腐蝕及損壞。

(五)漏斗

漏斗是儲存粉塵的裝置。通常漏斗內部設計成 60° 的斜坡，讓粉塵能從上方自由的掉到漏斗的底部。有些製造商在漏斗上裝了打擊板、振動器、敲擊器或搗灰孔等，以促進粉塵的排放。打擊板只是鎖在或焊在漏斗外壁的金屬板，若是粉塵阻塞，可以用木槌敲擊打擊板，讓粉塵掉到下方的排放裝置。漏斗外壁經常裝有保養檢查用的門或是孔，詳如圖 5.2.2-6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 5.2.2-6 漏斗

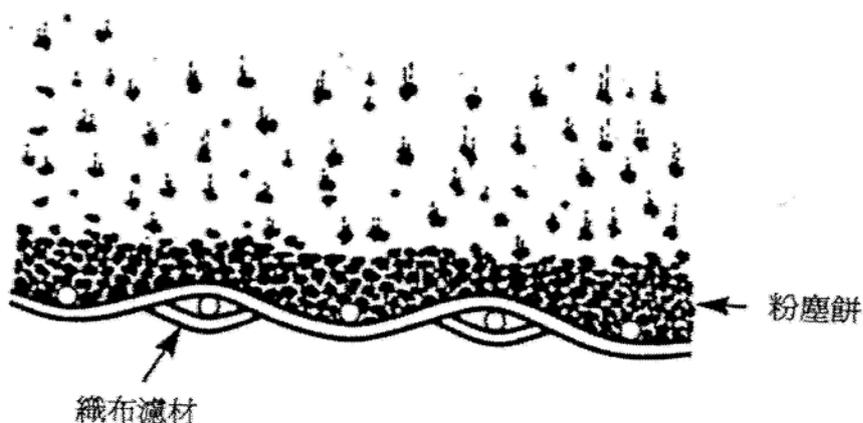
(六)濾布材料與濾袋清洗

濾袋使用二種濾材：織布型(woven)或毛氈型(felted)兩種。織

布型濾材是由細紗編織而成，毛氈型濾材是將不規則的纖維壓縮成濾墊並用較鬆散的編織材料作背襯。織布型的濾材適用於低能量之清洗法，如振盪式或反洗空氣式濾袋屋；毛氈型濾材則適用於高能量清洗方法，如脈衝噴氣式濾袋屋。

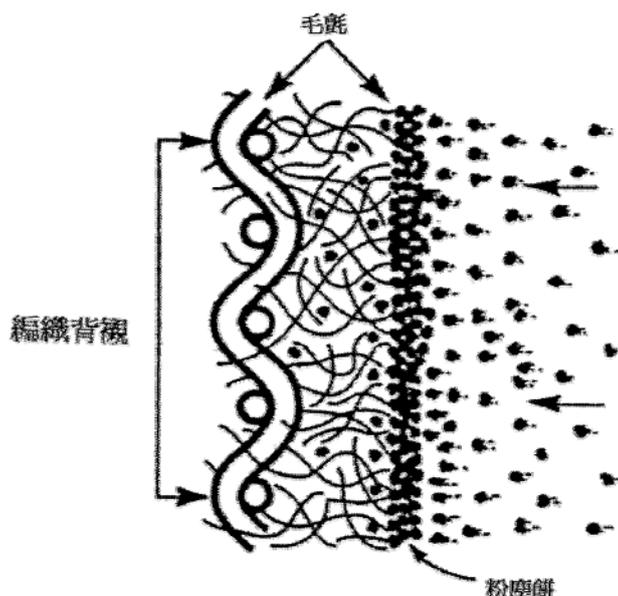
織布型的濾材真正過濾的表面是堆積的粉塵餅(filter cake)。濾袋捕捉過濾初期時的微粒，除塵效率較差，當微粒由於衝擊、擴散及截留等機制被捕捉時，織布的空隙便逐漸被填滿，這個過程稱為濾餅過濾(圖 5.2.2-7)。當塵餅產生後，除塵效率變得很高，甚至可達 100%，這時的壓降增加太多，需要進行洗袋。有效的過濾時間依微粒之濃度而異，從 15~20 分鐘至數小時之久都有可能。

毛氈型濾材是由不規則方向的纖維壓縮在編織背襯上，毛氈與編織背襯之間以化學、加熱樹脂或縫合等法接合。與織布型濾材不同的是，這種毛氈式濾材的每根纖維都是收集粉塵的標的，即使是小微粒在過濾開始時會在濾材表面上被收集(圖 5.2.2-8)，效率即很高，當粉塵餅形成時，濾餅過濾的除塵效率變得更高，接近 100%。毛氈型的濾材較厚，厚度約織布型濾材的 2~3 倍。



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 濾餅過濾現象



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 毛氈式的濾材

毛氈式濾材通常使用脈動噴氣式洗袋法，此法在每單位濾布面積上能處理的空氣量較振盪式或反洗式之洗袋法為高。毛氈型濾布不適用於處理含高濕度的廢氣(尤其當微粒是親水性時)，以免濾布阻塞而無法使用。

(七)纖維種類

濾布使用之纖維材料依工業應用上之不同而異，分成天然及人造纖維兩種，目前以人造纖維的使用最為普遍。天然纖維由棉花或羊毛作成，價格低廉，但氣體溫度不能超過 100°C，且耐磨性差。人造纖維的耐溫性及耐蝕性較天然纖維佳，其中聚脂纖維 (polyester)、諾美克斯(Nomex, aromatic polyamide)、桑通(Ryton, polyphenylene sulfide)、P-84 (polyimide)等常被採用，具良好的耐溫性及耐磨性，人造纖維以聚脂纖維的價格最低。鐵弗龍(Teflon)及玻璃纖維 (Fiberglass)之耐溫性可高達 260°C，且耐酸性高，但價格昂貴。表 5.2.2-1 列出各種纖維材料之溫度上限、耐酸鹼性、抗磨性。

表 5.2.2-1 濾袋使用之典型纖維材料(EPA, 1981)

濾布種類	最高耐溫 (°C)	抗酸性	抗鹼性	抗撓曲 磨損性
棉花(cotton)	82	差	很好	很好
聚丙烯(polypropylene)	88	好-絕佳	很好	絕佳
尼龍(Nylon)	93-107	差-普通	好-絕佳	絕佳
奧龍(Orlon ^R)	116	好-絕佳	普通-好	好
壓克力(acrylic)	127	好	普通	好
聚脂纖維(polyester)	150	普通	普通	絕佳
諾美克斯(Nomex ^R)	204	普通	佳	絕佳
桑通(Ryton ^R)	180	絕佳	絕佳	佳
P-84 ^R	240	佳	普通	普通
鐵弗龍(Teflon ^R)	232	絕佳	絕佳	普通
玻璃纖維(Fiberglass ^R)	260	差	普通	普通

R：註冊商標

濾布在使用前通常需經過預先處理，如水洗、烘乾及熱固加工，以增進機械及尺寸方面的穩定性，避免使用時尺寸縮小；另外，表面也須經加工處理，如樹脂加工、牙光加工、燒毛加工等，以提高過濾及洗袋之性能，延長濾布的壽命。例如用矽脂處理過的濾布在粉塵餅去除時效果較佳。

(八)濾袋損壞的機構

濾袋破損更換佔了濾袋屋操作成本的最大比例。縮短濾袋壽命的原因主要有三種：刮損、熱損及化學侵蝕。選擇濾袋時最主要的設計參數是廢氣溫度，它決定了濾袋的材質。有時降低氣體溫度以防止熱損雖然可行，但是要注意濕氣及酸霧凝結所造成的腐蝕問題。

濾袋最常碰到的另一個問題是刮損。刮損是由於布管的距離太近，導致濾袋在洗袋時互相摩擦或是濾袋與支撐物間摩擦。例如在振盪洗袋時，若振盪太劇烈，濾袋連接支持物之處容易破裂；若採脈衝噴氣洗袋，濾袋可能因不斷與鐵籠作微小的摩擦而導致損壞。因此若是濾袋屋設計不當，使用太高的過濾速度，使得粉塵餅形成很快，需經常洗袋時，濾袋刮損的情形就會很嚴重，濾袋壽命會大幅縮短。在正常的設計及操作狀況下，濾袋應可使用一年以上或是更長的時間。

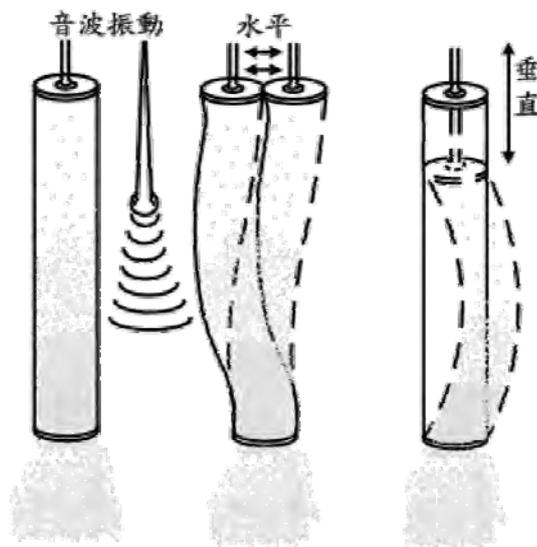
(九)濾袋清洗

濾袋之清洗方式依時間順序區分為間歇性、週期性及連續性洗袋等三種。間歇性法是在需要時才洗袋，洗袋時需停止操作，濾袋一排一排或同時被清洗，此法適用於批式生產製程。週期性法用於具有多個分隔室(濾室)的濾袋屋除塵設備，洗袋時將廢氣自欲清洗的那個分隔室轉入其他已清洗好的分隔室，過濾因而不會中斷，一個分隔室清洗完之後再轉至其他分隔室清洗，週而復始。

連續洗袋是一種自動的方法。常用的例子有脈衝噴氣式法。此法最大的好處是過濾不受影響，在每一個時段裡，總有一排濾袋正在接受清洗，其他濾袋則正常操作。大型的濾袋屋通常設計成許多的分隔室，若某一分隔室的濾袋破損，僅需將該部分停機修理即可。

濾袋清洗的方式常用者包括機械振盪、反洗空氣及脈衝噴氣式三種。機械振盪法(圖 5.2.2-9)可藉手動來達成，但大型濾袋屋通常使用機械振盪，振盪可以水平或上下方向為之。在振盪洗袋

法裡，濾袋的上方密封連接扣環或掛鉤，下方則敞開連接多孔板。

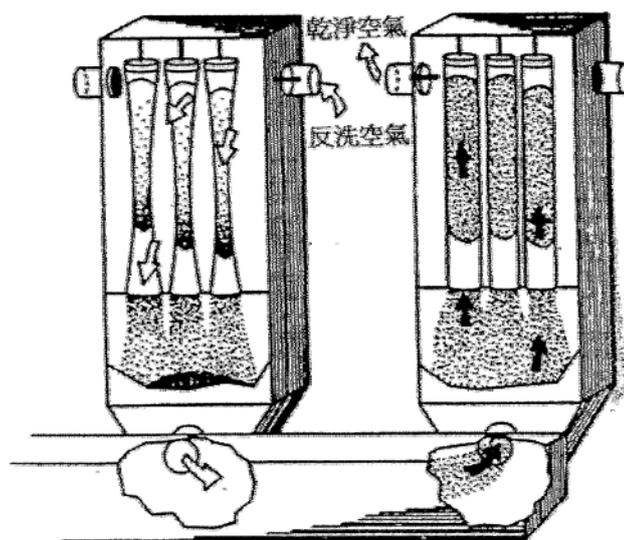


資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-9 振盪洗袋法

振盪的力量及頻率依製造商之設計及粉塵餅之性質而異。若是收集黏性大的粉塵，振盪所需力量太大，容易損壞濾布，因此振盪式清洗法不適用於收集黏性大的粉塵。有一些設計使用如圖 5.2.2-9 所示的音波振盪來進行洗袋，由於音波頻率低，不至於發生可感知的噪音，目前此法並不常用。

反洗空氣法是最簡單的方法之一(圖 5.2.2-10)。在此法中，廢氣暫時停止進入濾袋屋，在過濾的反方向引入低壓之乾淨空氣使濾袋凹陷，黏於其上的粉塵餅便自然破裂並掉落漏斗中。由於洗袋之力量溫和，若使用反洗空氣法時，可以使用抗磨性較差的濾材如 Fiberglass 等。使用反洗空氣式洗袋法時，通常將濾袋屋分成多個濾室。當一個濾室被清洗時，其他濾室仍可照常運作。

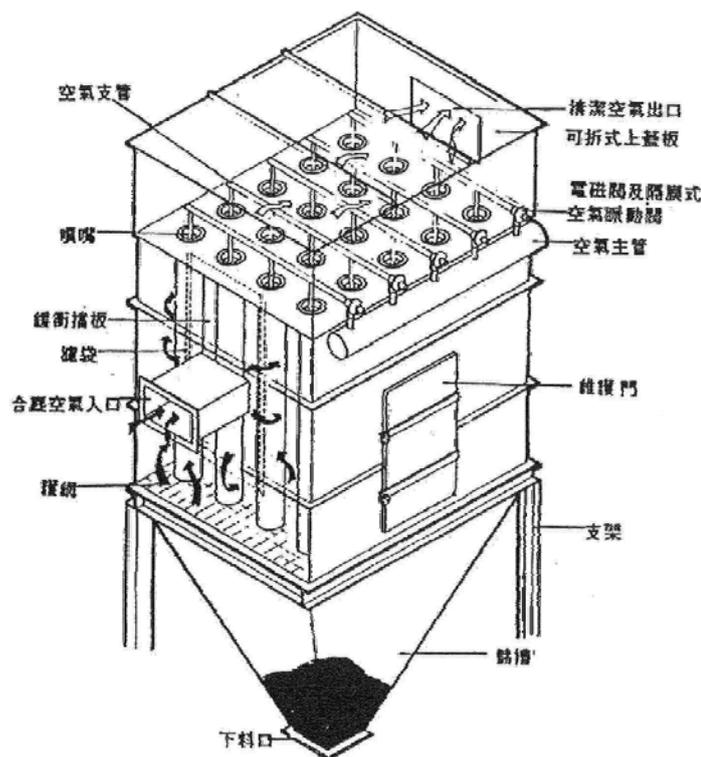


資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-10 反洗空氣洗袋法

在袋式集塵器中，空氣-濾布比(air to cloth ratio, A/C 比)是一個很重要的操作參數。A/C 比定義為單位濾布面積所通過的氣體流率，其單位為 $(\text{cm}^3/\text{sec})/\text{cm}^2$ 。A/C 比與過濾速度之意義相同。反洗空氣式的濾袋屋 A/C 比較低，在 0.5~1.5 cm/s 間。比較之下，振盪式的濾袋屋過濾速度較高，其值在 1.0~3.0 cm/s 間。過濾速度高(或 A/C 比高)，表示單位濾布面積可以處理較大流量的氣體，因此就處理相同的廢氣流量而言，反洗空氣式濾袋屋之體積比振盪式者龐大。

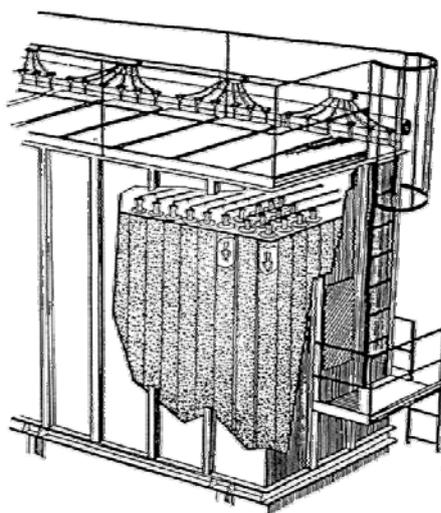
第三種濾袋清洗法是常用的脈衝噴氣法。現在的濾袋屋絕大部分使用此方式洗袋。高壓的空氣經由濾袋上方的文氏管由上往下噴出，形成壓力波往下方移動，濾袋遇此壓力波時會膨脹，附著於其外的濾餅隨即破裂掉入漏斗之中(圖 5.2.2-11)。壓力波到達濾袋底部再折回之時間約 0.3~0.5 秒。在有些設計中，並未使用文氏管，空氣脈衝直接由吹管上之噴嘴噴入濾袋中，進行洗袋。



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 5.2.2-11 脈衝噴氣式集塵器裝置圖

脈衝噴氣反洗系統設計時，需注意噴出氣體強度需足使壓力波到達袋底且能使濾餅裂開。空氣由一排濾袋上方的共用管路中供應，經由每個濾袋上方的文氏管產生強氣流。使用的壓力在 414~689 kPa 間(參見圖 5.2.2-12)。脈衝噴氣洗袋法使用之濾袋直徑在 0.10~0.15 公尺間，長度為 3.05~3.66 公尺，也可長達 7.6 公尺。相對之下，機械振盪式及反洗式之濾袋比較大，其直徑在 0.15~0.45 公尺間，長度可達 12 公尺。脈衝噴氣式的過濾速度之設計值比其他方式為高，在 1.0~7.5 cm/s 間。因為強壓力波的關係，濾材需使用毛氈式的材料，比較耐用。由於沒有可動的機械零件，同時清洗的時間很短暫，此方法廣受歡迎，但是濾布之抗拉強度要求較高，才能應付強壓力波的衝擊。使用脈衝噴氣方法若能減少洗袋的頻率，濾布壽命可延長。



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 5.2.2-12 脈衝噴氣式集塵器之空氣供應系統

(十)過濾速度

如前所述，過濾速度與空氣-濾布比(A/C)是相同的。過濾速度愈高，表示濾布的使用面積較少，初設成本較低，但是太高的過濾速度會使洗袋的頻率增加，濾袋的壽命會縮短，反而增加更換濾袋的費用。過濾速度 V_f 可以用下式表示：

$$V_f = Q/A_c$$

Q = 氣體之體積流率(cm^3/s)

A_c = 濾布表面積(cm^2)

空氣-濾布比(A/C)是單位濾布表面積所能過濾之空氣流量，與過濾速度具相同之物理意義。A/C 比隨不同之濾袋屋設計而異。機械振盪式與反洗空氣式之濾袋屋 A/C 較小，分別小於 3 與 1.5 cm/s ；脈衝噴氣式之 A/C 較大，在 1.0~7.5 cm/s 間；對於燃燒廢氣之處理，通常使用的 A/C 在 1.0~2.0 cm/s 間。亦即對同一廢氣流量而言，脈衝噴氣式濾袋屋比其他兩種濾袋屋體積來的小。

A/C(或過濾速度)是設計及操作濾袋屋之重要參數。假若操作時 A/C 過高，粉塵餅可能會被緊壓在濾袋上，造成嚴重的壓力降，而且粉塵餅可能過早破裂，造成效率降低。A/C 比低之濾袋屋的問題是濾袋屋之體積會變得龐大一些。

高的 A/C 將造成壓力降過高，效率降低，粉塵阻塞，以及因高應力導致濾袋提前破損等。由氣布比 A/C 可以決定總濾布面積，考慮安全係數，總濾布面積 A 必須比淨濾布面積 A_n 大，以一大於 1.0 的因子 f 乘上 A_n ，可得總濾布面積 A，安全因子 f 可由表 5.2.2-2 查得。

表 5.2.2-2 淨濾布面積 A_n 與因子 f 之關係表

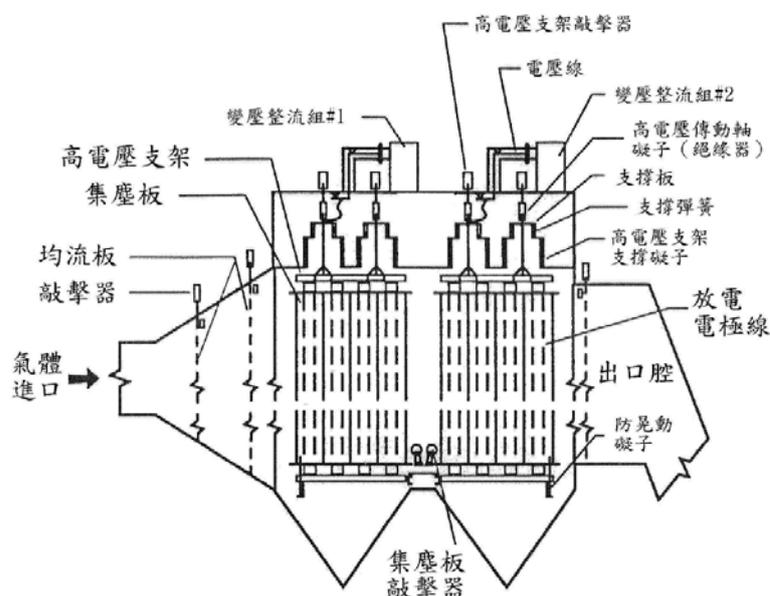
淨濾布面積 A_n (m ²)	淨濾布面積 A_n (ft ²)	Factor f
1~371	<4,000	2.0
372~1,114	4,000~12,000	1.5
1,115~2,229	12,000~24,000	1.25
2,230~3,344	24,000~36,000	1.17
3,345~4,459	36,000~48,000	1.125
4,460~5,574	48,000~60,000	1.11
5,575~6,689	60,000~72,000	1.10
6,690~7,803	72,000~84,000	1.09
7,804~8,918	84,000~96,000	1.08
8,919~10,033	96,000~108,000	1.07
10,034~12,263	108,000~132,000	1.06
12,264~16,722	132,000~180,000	1.05
>16,723	>180,000	1.04

二、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 5.2.2-13)。



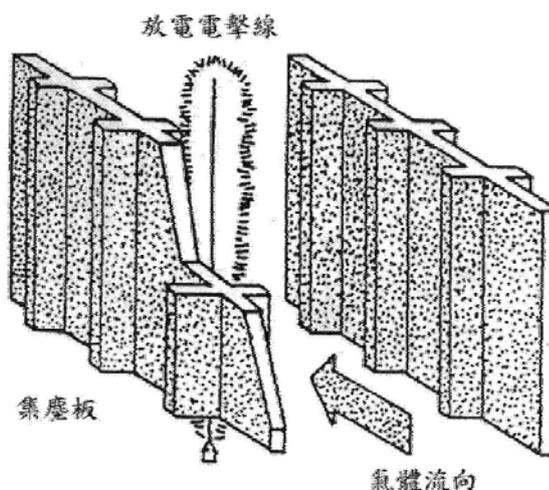
資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-13 靜電集塵器示意圖

放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

5.2.2-14 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 5.2.2-14 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：

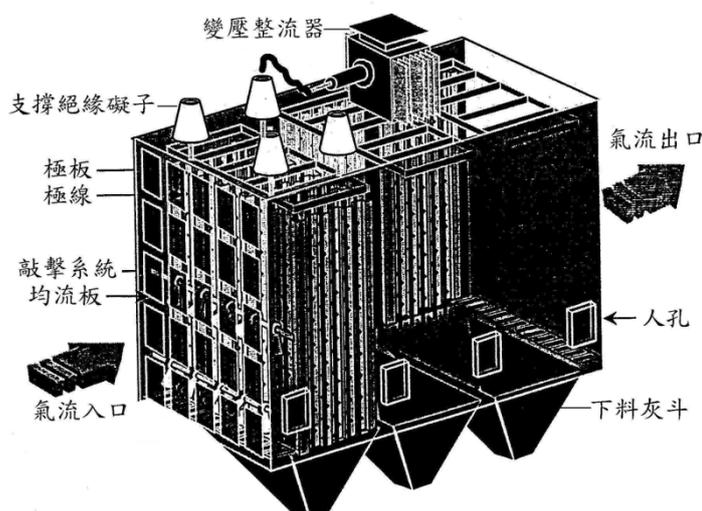
優點：(1)對粒徑大於 $1\ \mu\text{m}$ 以上的粒狀物可達到高集塵效率。(2)操作及維護費用便宜。(3)廢氣壓力損失較小。(4)能源消耗低。(5)可處理大量廢氣。(6)適用於高溫廢氣。(7)耐酸鹼性及耐濕性較佳。

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。

(一)靜電集塵器的構造

圖 5.2.2-15 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 5.2.2-15 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：

- 1.集塵室大小可適當的標準化，在製作及安裝上方便不少。
- 2.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。

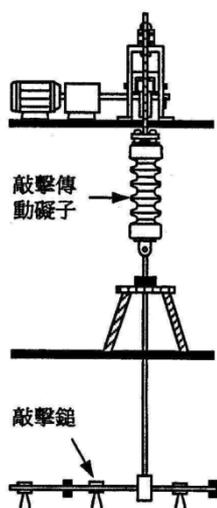


資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-15 ESP 本體結構分解示意圖

敲擊器，參考圖 5.2.2-16，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。

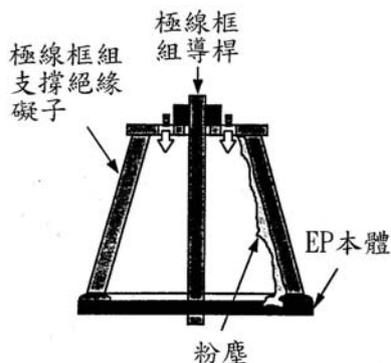


資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-16 敲擊機構示意圖

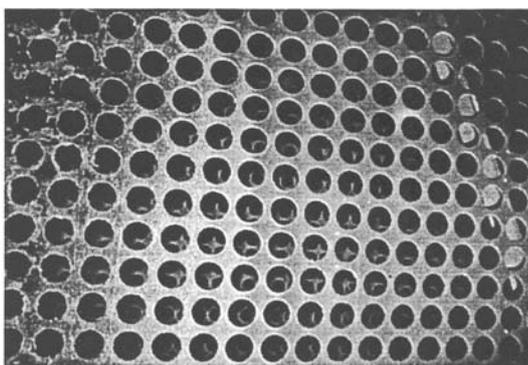
礙子室，支持放電極框組的礙子(support insulator)或礙管如圖 5.2.2-17 所示。礙子置於在特別的礙子室內，室內送入加熱空氣以保持礙子表面之清淨及高溫狀態，防止礙子潮濕影響絕緣。更利用熱風由上部開口向收集室吹送，防止污濁煙氣侵入放電極支撐礙子。

在煙氣之入口罩內部設有如圖 5.2.2-18 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 5.2.2-17 礙子室與支撐礙子示意

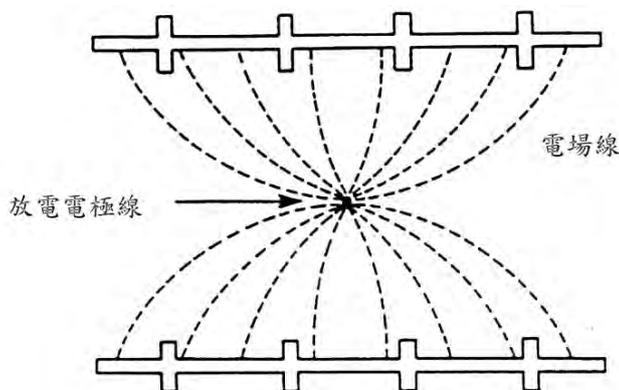


資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-18 均流板圖示

(二)靜電集塵的理論

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 5.2.2-19)中往集塵板移動而被收集。

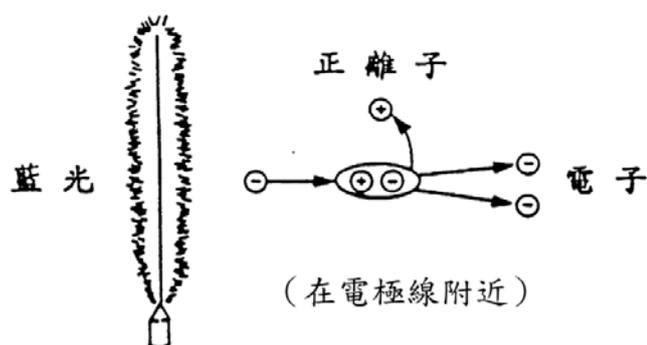


資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-19 靜電除塵器內的不均勻電場(上視圖)

1. 電暈放電

當放電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 5.2.2-20 所示。

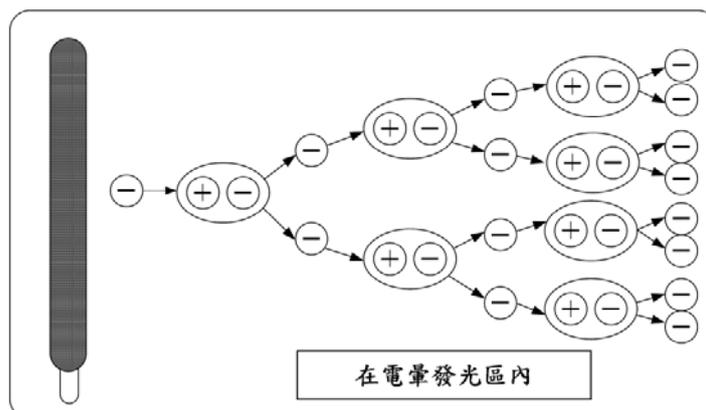


資料來源：行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-20 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 5.2.2-20 所示。

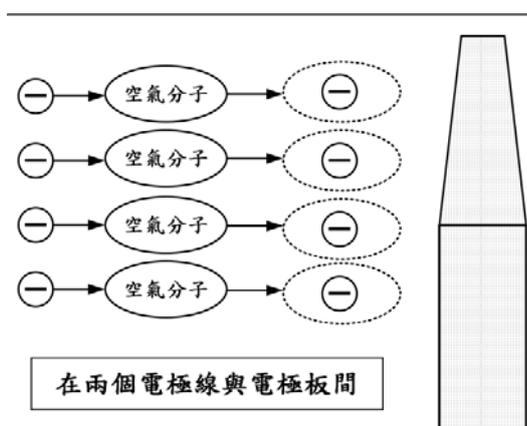
此效應發生於放電電極附近的發亮區域。在離開電極線較遠處，電場降至不能維持游離空氣分子所需之強度時，這種效應才會停止。被游離之正離子游回帶負電的放電電極時，因碰撞電極線或空氣分子又產生更多的新自由電子。這些自由電子則循電場方向往接地之集塵板方向運動。



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 5.2.2-21 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 5.2.2-22)。



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

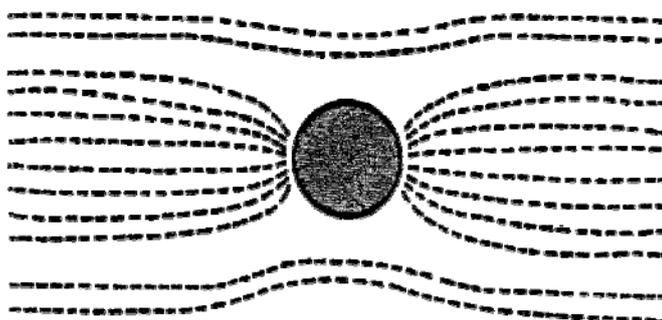
圖 5.2.2-22 在二個電極之間空氣游離成陰離子的情形

2. 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 5.2.2-23)。

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 5.2.2-23 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($0.1\sim 1.0 \mu\text{m}$)在靜電集塵器內的集塵效率最低。

3. 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 $0.08\sim 1.27 \text{ cm}$ 間，厚度太厚時，粉塵可能變成絕緣層，使電場無法建立。

4. 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。

5. 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三個範圍：

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。

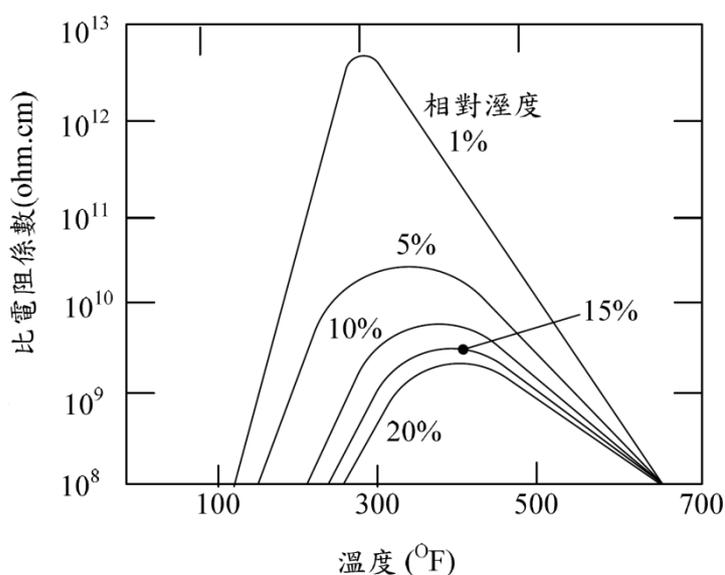
使用氨氣改變粉塵之比電阻係數已被使用多年。據理論推測，氨在 ESP 中與硫酸作用產生硫酸氨微粒，增加了比電阻係數。氨注入量為使氣流在進入 ESP 之管道中達 15~40 ppm 的濃度，以達上述效果。在實際的例子，氨氣的加入可提高低溫度之燃煤火力發電廠排氣中飛灰的比電阻係數。

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 5.2.2-24 所示，微粒的電阻在高溫及低溫時較低。又

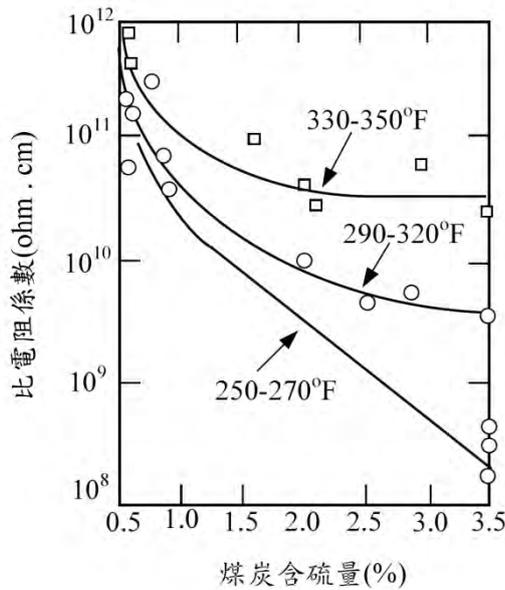
由圖 5.2.2-25 知，增加氣體的濕度可以減低比電阻係數。增加濕度的方法可以藉在 ESP 前之管道中噴水或注入水蒸汽達成。在調節溫度和濕度以改變粉塵電阻時，必需維持氣體在露點以上，以免發生腐蝕問題。



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 5.2.2-24 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 5.2.2-24，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。

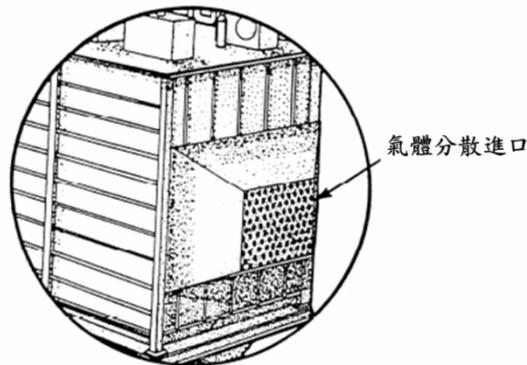


資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-25 飛灰之電阻係數與煤炭含硫量及煙道溫度的關係

6. 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 5.2.2-26 之多孔膨脹進氣室減低其流速，使微粒有足夠時間被 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 5.2.2-26 多孔膨脹室之進氣口

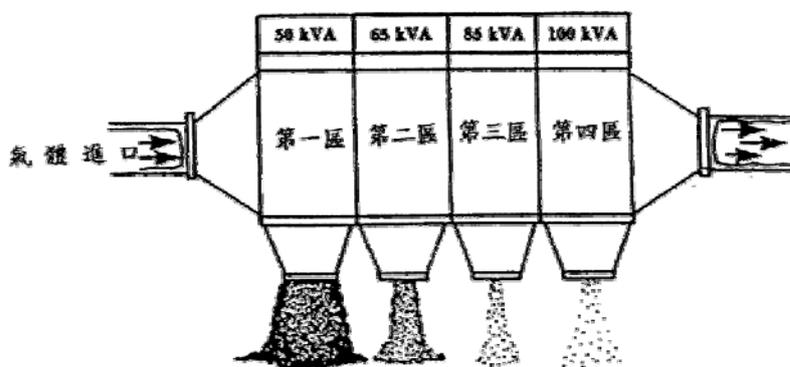
膨脹進氣室含有多孔式的擴散平板，使氣流能均勻的分布於 ESP 內，氣體流速在 0.6~2.4 m/s。若 AR 為 1.5 時，最佳之氣體流速為 1.5~1.8 m/s。

7. 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 5.2.2-27 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 5.2-27 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。

三、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。

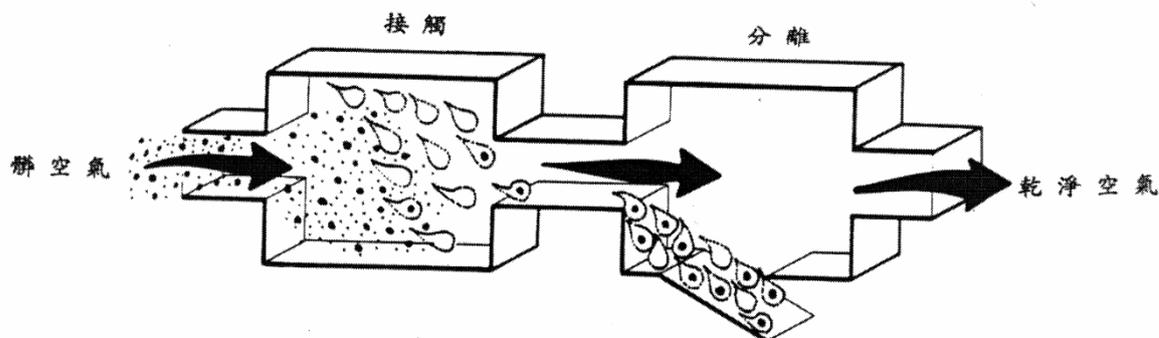
但濕式洗塵器亦有下列缺點：

- 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

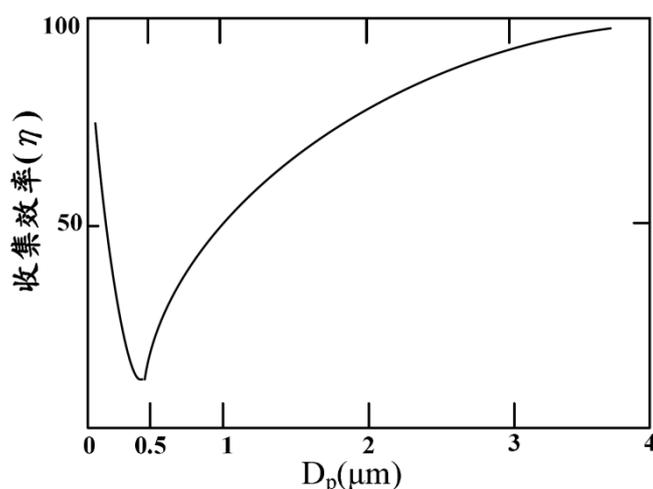
心力自廢氣中分離，而達除塵目的。圖 5.2.2-28 所示者為一般濕式洗塵器內的兩個區域：接觸區及分離區。液滴經由噴嘴、文氏管或機械帶動的轉子產生，在接觸區內微粒藉由三種機制與水滴接觸，即慣性衝擊(inertial impaction)，直接截留(direct interception)及擴散(diffusion)。

慣性衝擊是粒徑大於 $1\ \mu\text{m}$ 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 $50\ \mu\text{m}$ ，但微粒粒徑則通常小於 $5\ \mu\text{m}$ ，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 5.2.2-29 顯示一個流動床洗塵器之收集效率與粒徑的關係。由此可見，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 5.2.2-28 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 5.2.2-29 流動床洗塵器之收集效率與微粒粒徑(D_p)的關係

(一) 濕式洗塵器系統

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($\Delta P: 2 \sim 6 \text{ cm H}_2\text{O}$)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。

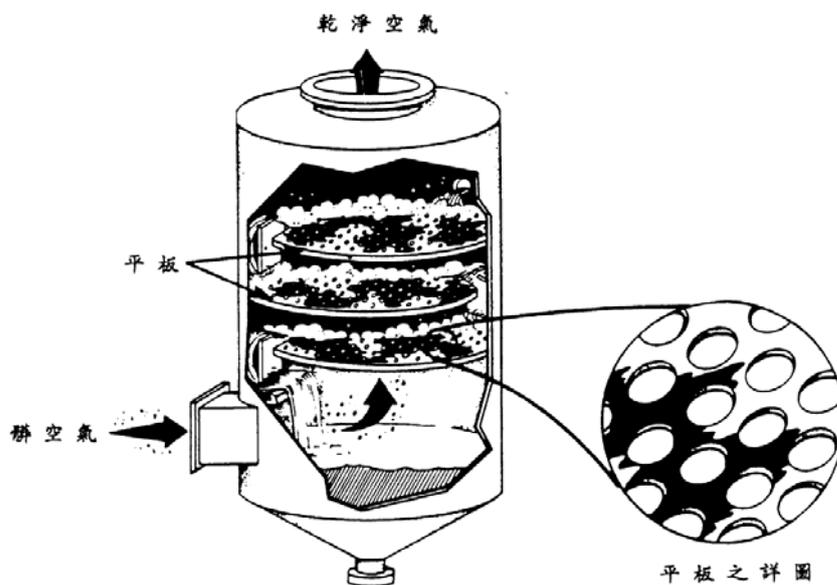
濕式洗塵器依能量消耗方式分為氣相接觸式、液相接觸式、氣液相接觸式及機械補助式等四種：

1. 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 5.2.2-30 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。



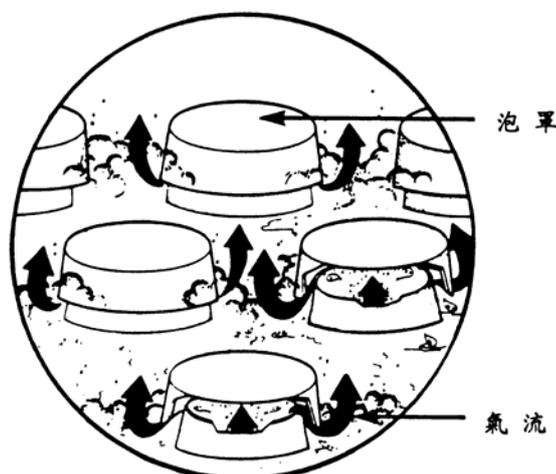
資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-30 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 5.2.2-31 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

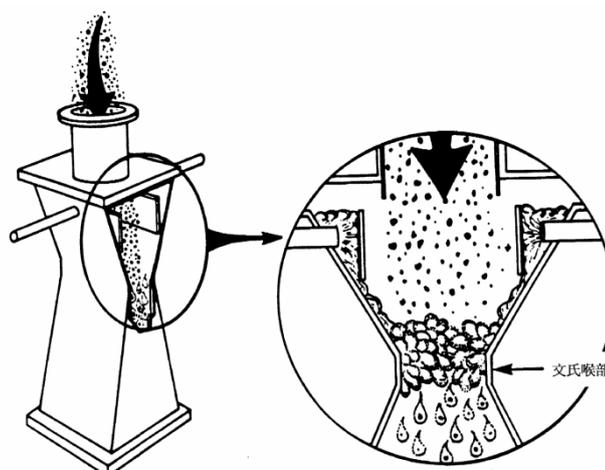
圖 5.2.2-31 泡罩之衝擊表面詳圖

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 5.2.2-3 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 μm 之微粒。

表 5.2.2-3 平板洗滌器之操作特性

壓降(ΔP)	液/氣比 (L/G)	液體入口 壓力(PL)	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 kg/cm^2	>2.0 μm	煤碳乾燥機、煉鋼煨 燒爐、鍋爐、化工製 程、煉油廠、焚化廠

圖 5.2.2-32 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，效率可提升至最高者，也是惟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

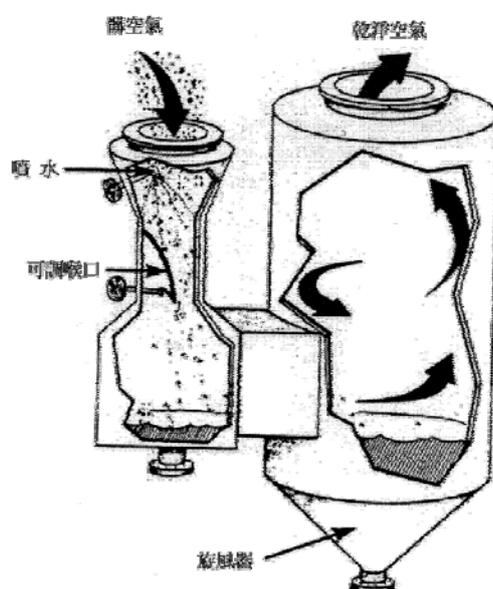
圖 5.2.2-32 典型的文氏洗滌器

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 61~244 m/s(200~800 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 50~500 μm 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改變之製程而設計，圖 5.2.2-33 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 5.2.2-33 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。惟氣體

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 5.2.2-4 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 $> 100\sim 200 \text{ cm H}_2\text{O}$ 。

表 5.2.2-4 文氏洗滌器之操作特徵

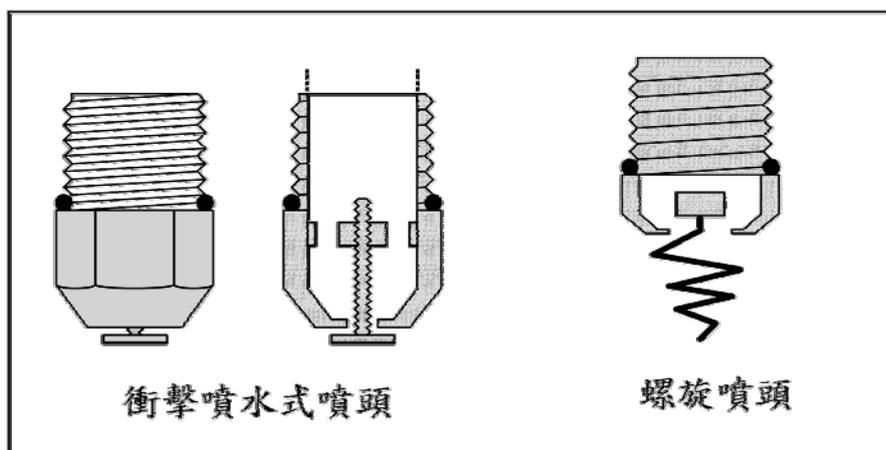
壓力降 (ΔP)	液/氣比 (L/G)	液體入口 壓力(P_L)	截取直徑 (D_{Pcut})	應用
12.5~254 cm H ₂ O	0.67~2.67 公升/m ³	$< 0.07\sim 1.0$ kg/cm ²	0.2 μm (依壓降而定)	紙漿及製紙工業 酸液廠 採礦工業 乾燥機 非鐵金屬工業 製鐵及煉鋼工業 火力及工業鍋爐 焚化爐 化工

2. 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 5.2.2-34)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。

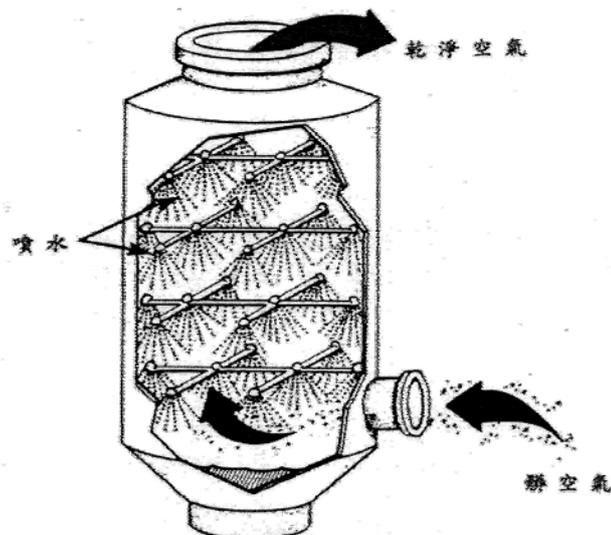


資料來源: 行政院環境保護署環境保護人員訓練所專責人員訓練教材

圖 5.2.2-34 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 5.2.2-35 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。噴霧塔是低能量裝置，其能量消耗比文氏洗滌器低很多，通常壓力降為 2.5 cmH₂O。



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 5.2.2-35 簡單之噴霧塔

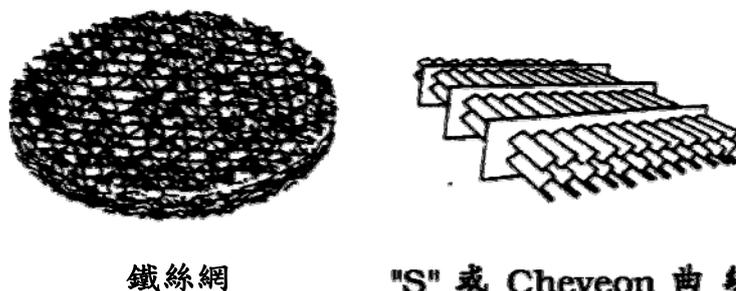
噴霧塔之除塵效率比其他高能量設備低。一般而言，噴霧塔對 10~25 μm 粗微粒之收集是可行的。增加噴水之壓力雖可產生較細的液滴，進而除去較小的微粒。但當水滴變小時，其終端沉降速度降低，氣體與液體之相對碰撞速度便降低，可能會降低除塵效率。

一般而言，發現重力噴霧塔之最佳液滴直徑範圍為 500~1,000 μm 間。Bethea(1978)發現當噴水壓力高達 20~30 kg/cm^2 ，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 5.2.2-36 所示者為鋼絲網及“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 5.2.2-36 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 5.2.2-5 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 5.2.2-5 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 cmH ₂ O	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 酸性氣體控制技術

酸氣不可燃，多易溶於水，可用水吸收但其耗損水量較大，故採用鹼液吸收中和之去除效率較佳，常用鹼吸收液有 Na₂CO₃、NaOH、NH₄ 等，去除方式有數種如濕式吸收、半乾式洗滌及濕式集塵等，其中半乾式洗滌法利用霧化器，將吸收液霧化成直徑約數十微米的小液滴，液滴再與廢氣接觸，大接觸面積使質傳和熱傳效率佳，液滴因吸收廢氣的熱而溫度上升，酸氣則透過液氣界面和吸收劑作用，液滴水則因吸收熱量而漸蒸發，液滴到達塔的底部時，水分已經全部蒸發成乾粉狀態。

對氯化氫、硝酸、硫酸等酸的使用所造成之廢氣與酸霧(除 HF 與 HNO_3 混合產生的 NO_x 外)，可採用 4% 左右的 NaOH 水溶液作為吸收劑以確保吸收效率。使用吸收法處理廢氣中的 HCl 時，因 HCl 溶於水中會放熱，且 HCl 溶解度很高，可與水起快速反應，需使用循環水或冷卻水增進吸收效果。

國外曾採用充填玻璃纖維之吸收塔處理矽晶製造所產生的 HCl 廢氣，其 HCl 廢氣來自 SiCl_4 燃燒，廢氣並含 SiO_2 產物與未反應 SiCl_4 其處理設備由二層充填玻璃纖維(直徑約 50 μm)填充床組合而成再加上一層除霧層，當處理氣體量為 88 m^3/min ，使用水量為 155 L/min，壓降為 100 mmAq，處理效率可達 99.9%，即使使用 5%NaOH 水溶液其處理效率差異有限，但此設備對細小 SiO_2 白煙無甚大處理效率。處理 HCl 廢氣最值得注意的問題在於處理後之水溶液具有強烈腐蝕性，宜妥善處理此類廢水。

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。

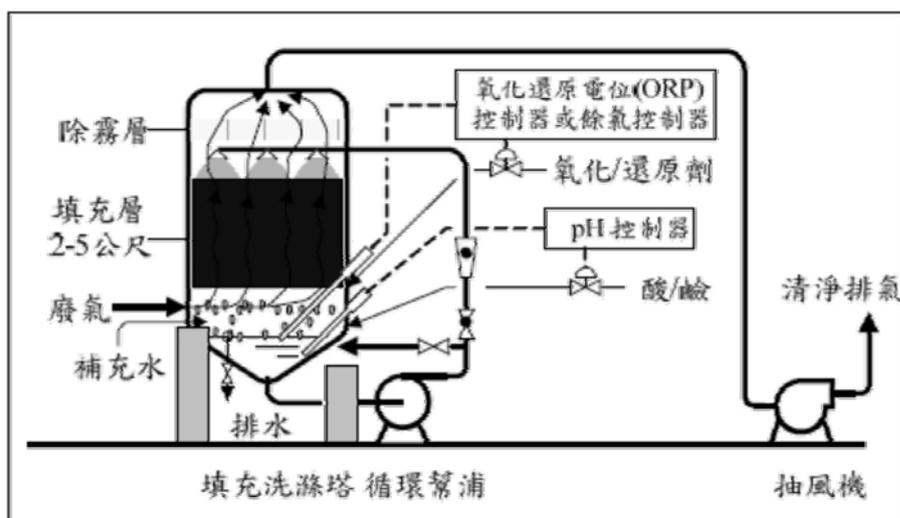
吸收可區分為物理吸收與化學吸收二種。物理吸收主要是藉由污

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 1~3 L/m³，填料高度一般為 2~5 公尺，氣體空塔流速一般為 0.5~1 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/m³，VOCs的亨利常數(m)需小於0.007，方適以水作為吸收劑。



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 5.2.3-1 填充洗滌塔廢氣處理系統

鍋爐燃燒出口廢氣中含氯化氫濃度約 300~1,000 ppm，硫氧化物濃度約 60~300 ppm 等酸氣，常用去除設備有三種型式：濕式洗滌塔、半乾式洗滌塔及乾式洗滌塔，皆可有效將廢氣中之 HCl 及 SO_x 去除。濕式洗滌塔酸氣去除效率高，單機對 HCl 之去除效率可達 95% 以上，對 SO₂ 之去除效率可達 85% 以上，若裝設第二階濕式洗滌塔，對 SO₂ 之去除率亦可達 90% 以上。

半乾式洗滌塔對酸氣的去除率不及濕式洗滌塔，單獨對 HCl 有 90% 去除效率，若結合濾袋式集塵器則對 HCl 的去除率達 97% 以上，對 SO₂ 的去除效率亦達 90% 以上。乾式洗滌塔對酸氣的去除率不及濕式洗滌塔和半乾式洗滌塔，單獨去除效率對酸氣僅有 60% 去除效率，若乾式洗滌塔結合濾袋式集塵器則對 HCl 的去除率達 95% 以上，對 SO₂ 的去除效率亦達 90% 以上。洗滌塔相關資訊請參考 5.2.2 節。

5.2.4 VOCs 控制技術

一般 VOCs 控制技術包括：燃燒、吸收、吸附、冷凝及生物處理法等。選擇時須考慮污染物及排氣本身的物理與化學性質、處理效率

以及對控制設備的特殊要求(如場地、位置、大小、成本等)。

各種揮發性有機物控制技術之優缺點整理如表 5.2.4-1。選擇最適當的控制技術，才能夠有效發揮其效能。此外，尚須考量操作成本問題。VOCs 控制技術選用原則及流程如圖 5.2.4-1 所示。一般而言，可依廢氣中 VOCs 濃度及廢氣流量等二參數，作為設備選擇依據，如圖 5.2.4-2。

以下有幾項經驗法則可作為選用時參考：

一、熱破壞法

揮發性有機物在較高濃度時(1,000~5,000 ppm)，VOCs 燃燒發熱量高，適用熱破壞法，一般可達 95~99%之去除效率。但燃燒程序有時會產生不完全燃燒產物或其它有害副產物，須加上其他的設備作後處理。

二、冷凝法

使用冷凝法時，需有相對較高之入口濃度(大於數千 ppm)才可達到 80%以上之效率。通常冷凝法在低溫或高壓條件下才能得到較佳之效率。

三、吸附法

VOCs 濃度在數百 ppm 時，利用吸附法可達 90%以上之效率；達 1,000 ppm 以上之濃度時，可超過 95%之效率。吸附處理須考慮吸附劑用量、費用及所吸附污染物之最終處置問題，如回收或燃燒處理。

表 5.2.4-1 各種揮發性有機物控制技術之優缺點

	優點	缺點
熱破壞法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 操作不甚困難 2. 能回收蒸氣或其他形式之熱能 3. 對大部分可燃性有機物控制效率佳 4. 對各種可燃性污染物可同時去除 5. 可處理異味氣體 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 熱焚化法需大量輔助燃料，操作費高 2. 觸媒焚化之觸媒昂貴，且易被毒化 3. 有回火因而造成爆炸之危險 4. 不完全燃燒時，可能產生黑煙 5. 廢氣流量變化太大時不易控制 6. 有 NO_x、SO_x、HCl 及 CO 排放問題
冷凝法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可回收高純度物質 2. 費用低且操作容易 3. 對高濃度廢氣之處理效率較佳 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一般處理效率不佳，單獨使用難符合排放標準 2. 不適用於低濃度廢氣之處理 3. 有些冷凍劑價格昂貴
吸收法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 壓力降較低 2. 標準化之 FRP 製品耐腐性佳 3. 高質傳效率 4. 可加塔高或板數以增加處理效率 5. 初設費低 6. 設備佔用空間小 7. 能同時處理氣態及粒狀污染物 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 產生廢水處理問題 2. 設計時需考慮參數較複雜 3. 粒狀物累積可能造成堵塞 4. 使用 FRP 材質時，對溫度較敏感 5. 維護費高 6. 排氣可能造成白煙問題
吸附法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 污染物可以回收 2. 隨製程改變之操作彈性佳 3. 當污染物回收至製程時，無廢棄物問題 4. 可自動操作 5. 可處理至相當低濃度 6. 可同時處理多種有機蒸氣 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 回收系統須外加昂貴之蒸氣系統 2. 吸附劑隨使用時間劣化而降低處理效率 3. 吸附劑再生需蒸汽或真空設備 4. 更換吸附劑費用昂貴 5. 廢氣須經前處理以避免粒狀污染物阻塞吸附床 6. 廢氣須冷卻至常溫操作 7. 脫附高分子量碳氫化合物時須消耗大量蒸汽 8. 廢棄吸附劑需再處理
生物法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 操作費用低 2. 操作容易 3. 程序簡單 4. 去除率高 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 濾料易結塊，不易調濕，易阻塞 2. 不適合處理高濃度有機物 3. 對低溶解度氣體效率不彰 4. 對環境條件敏感 5. 處理含鹵素氣體時不穩定 6. 設備空間需求較大 7. 系統一旦發生問題，要達到再穩定須時很長

註：FRP (Fiberglass Reinforced Plastics)玻璃纖維管

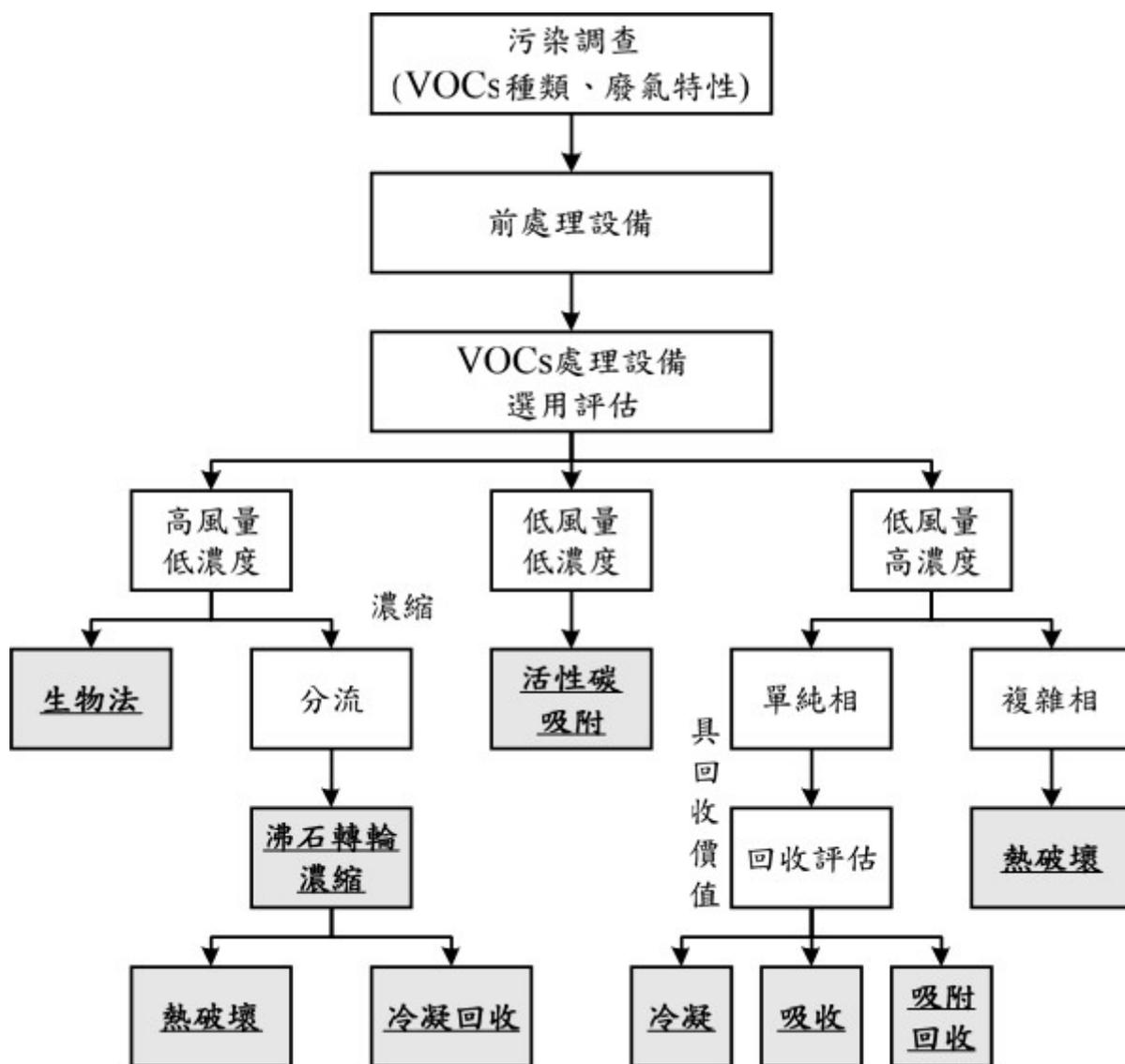
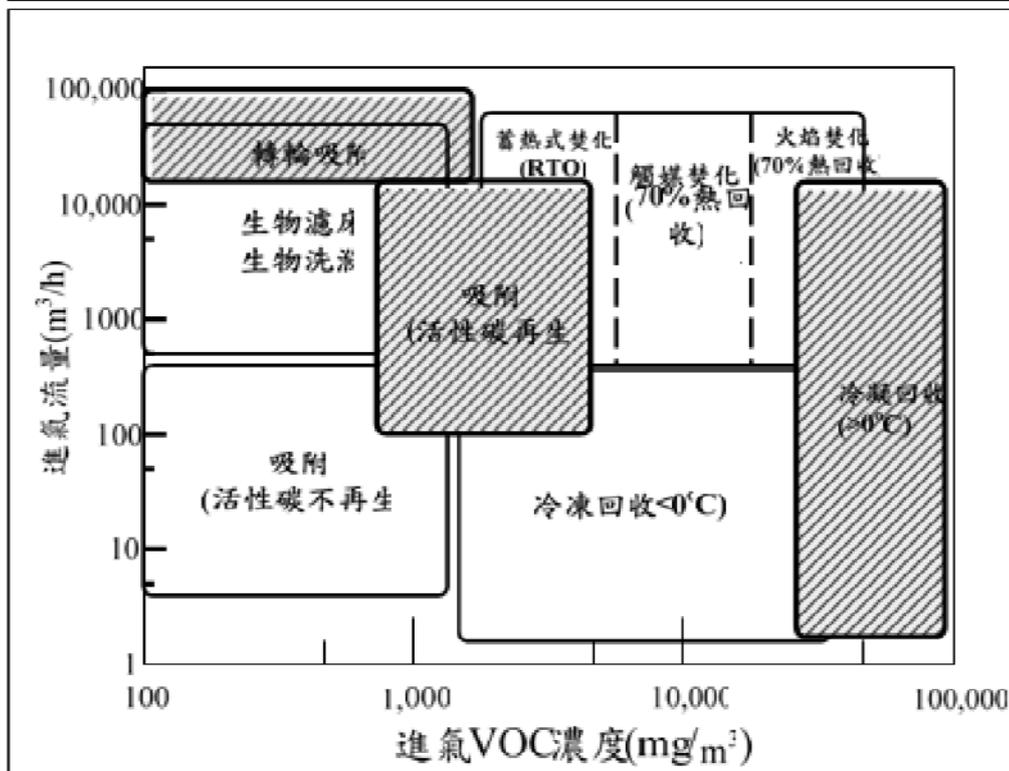
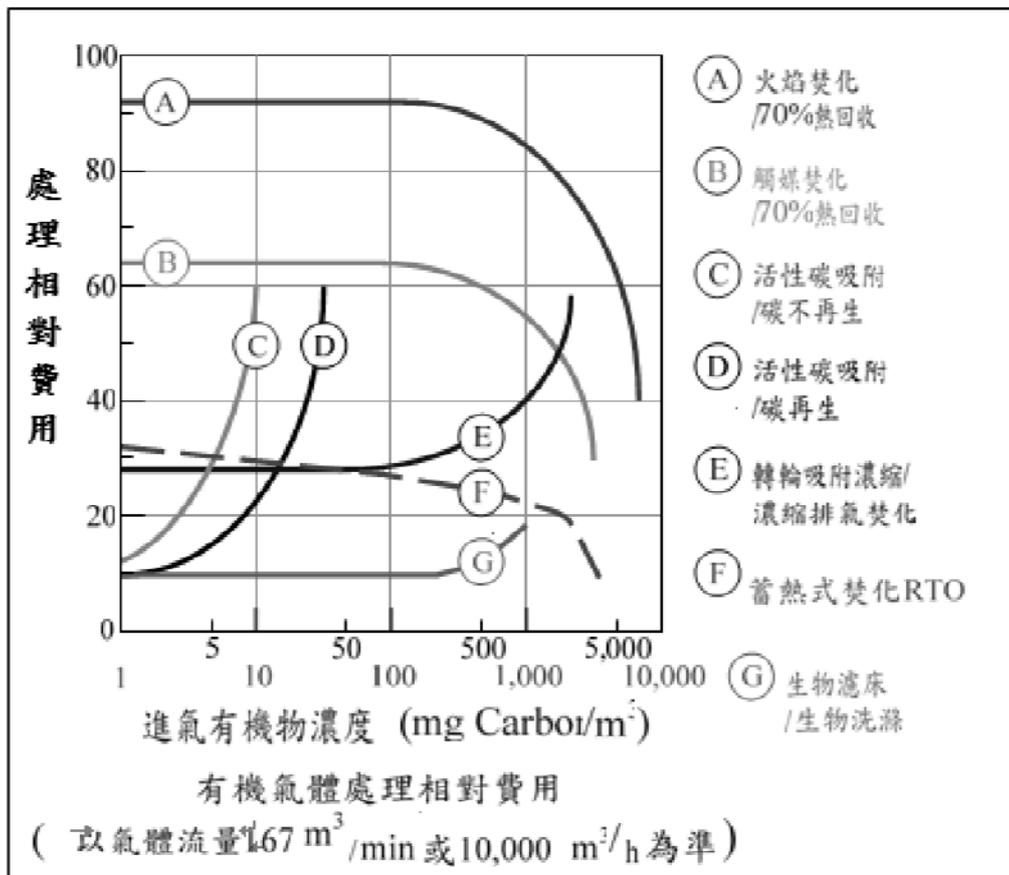


圖 5.2.4-1 揮發性有機物控制技術選用原則及流程



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 揮發性有機物控制技術相對費用及濃度適用範圍

四、吸收法

吸收法之效率係由入流之污染物濃度來決定。通常，較低之污染物濃度(數百 ppm 以下)時，處理效率約為 90%；超過數百 ppm 之污染物濃度時，效率可超過 90%。吸收處理須考慮後續之廢水處理或吸收油液再生等問題。

五、生物法

以生物處理法處理揮發性有機物，空塔停留時間 0.5~3.0 分鐘時可達 95% 以上處理效率。生物處理法包括生物濾床、生物滴濾塔、滴濾式生物濾床及生物洗滌法等四種，適用條件各有不同，須謹慎選擇。

以下針對熱處理法和吸附法進行說明。

5.2.4.1 熱破壞原理

燃燒是一種快速的氧化反應。物質燃燒，須具備燃燒三要素：助燃之空氣、可燃之物質及燃點溫度。欲使氣狀污染物完全燃燒，並轉化為無害物質，燃燒過程必須具備下列四個要件：

1. 空氣：物質燃燒必須供應足夠的空氣量(或氧氣量)才可使氧化反應完全。若空氣量供應不足，則使燃燒不完全，易產生黑煙、一氧化碳或其他污染物；若空氣供應量過大，則會降低爐溫、增加排放量及爐內熱量損失。因此，供應適量的空氣量十分重要。
2. 溫度：可燃物只有達到自燃點以上才能與氧氣反應而燃燒。所謂自燃點亦稱著火溫度，係指在該溫度時，物質不需要外來火源即可發火的溫度，亦為在氧氣存在下，可燃物開始燃燒所必須達到的最低溫度。部分揮發性有機物及輔助燃料之自燃點。若廢氣中揮發性有機物濃度不高，則污染物燃燒產生之熱對廢氣溫度提升相當有限，尚需添加輔助燃料，才能維持所需之燃

燒溫度。

3. 時間：燃燒室內所有可燃物(含揮發性有機物及輔助燃料)在高溫區的氣體停留時間，應超過其後氧化反應所需時間，使燃燒室內所有可燃物有充足時間完全反應。燃燒室的大小及形狀決定於氣體停留時間。
4. 混合：可燃物與空氣中的氧充分混合，使氧化反應迅速且完全。混合程度取決於氣流的紊流強度。

其中，溫度(temperature)、停留時間(time)與紊流強度(turbulence)合稱為燃燒的3T原則，每個條件皆可視需要情況加以修正，並準確控制，以使揮發性有機物完全燃燒，達到預期之處理效果。

燃燒下限，或稱為爆炸下限(lower explosive limit, LEL)，為使可燃物燃燒之最小氣體體積濃度分率。濃度在LEL以下時，因可燃物濃度不足，即使接觸火源，也不發生燃燒。燃燒上限，或稱為爆炸上限(upper explosive limit, UEL)，為使可燃物燃燒之最大氣體體積濃度分率。濃度在UEL之上時，即使接觸火源，亦不燃燒。可燃氣體與空氣於一定溫度下混合時，其體積濃度分率必須在LEL及UEL間才可燃燒，此稱為燃燒範圍。表5.2.4.2-1 為碳氫化合物在1大氣壓及25°C之空氣中之燃燒範圍，這些值受溫度及壓力的影響。一般而言，壓力增加，燃燒範圍亦增加，惟其影響較小可忽略。當溫度升高時，LEL值減小且UEL值增加，使燃燒範圍增加。一般而言，空氣溫度每升高100°C，燃燒下限減少8%，而燃燒上限增加8%。

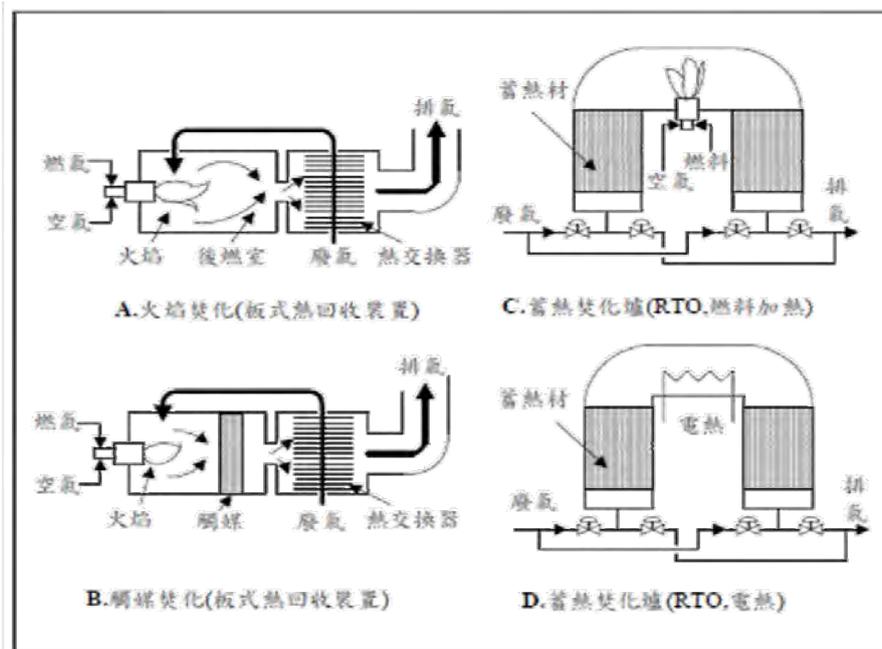
5.2.4.2 熱破壞處理設備

圖5.2.4.2-1顯示各型焚化控制設備。依觸媒之有無，焚化一般分無觸媒熱焚化(簡稱熱焚化)及觸媒焚化二種。依熱回收方式，焚化設施又可分熱回收型(thermal recuperative)及蓄熱型(thermal regenerative)。

熱回收型者以表面式熱交換器(surface heat exchanger)回收焚化設施高溫排氣熱量，一般熱回收率 $<70\%$ ；蓄熱型者以陶瓷或石質蓄熱材回收排氣熱量，一般熱回收率可達 90% 以上。

表 5.2.4.2-1 常見碳氫化合物的燃燒範圍

物質名稱	LEL	UEL	物質名稱	LEL	UEL
氫	4.00	75.0	苯	1.40	7.90
一氧化碳	12.5	74.0	甲苯	1.27	7.10
甲烷	5.00	15.0	二甲苯(o,m)	1.00	6.40
乙烷	3.00	12.4	二甲苯(p)	1.00	6.60
丙烷	2.10	9.50	異丁烷	0.90	6.50
丁烷	1.86	8.40	環己烷	1.26	7.80
己烷	1.20	7.40	甲基環己烷	1.10	6.70
環氧乙烷	3.00	100	甲醇	6.72	36.0
乙炔	2.50	100	乙醇	3.30	19.0
乙烯	2.70	36.0	二甲醚	2.00	27.0
丙烯	2.00	11.0	二乙醚	1.70	27.0
1-丁烯	1.60	10.0	乙醛	3.97	36.0
2-丁烯	1.70	9.70	丙酮	2.55	13.0
1,3-丁二烯	2.00	12.0	丁酮	1.80	10.0
汽油	1.00	7.10	聯氨	4.00	100



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 5.2.4.2-1 各式廢氣焚化設備

一、熱焚化

熱焚化可應用於揮發性有機物及有機氣膠等污染問題。於廢氣含大量粒狀物或金屬等可能毒化觸媒成分之情況，更顯見其適用性。熱焚化法之優點為適於處理各類有機廢氣及異味氣體，處理效果極佳且可回收廢熱利用(如圖5.2.4.2-1-A)。但缺點為燃料費及操作成本高，同時若無連續且高濃度之廢氣來源，則會造成能源之浪費。一般熱焚化之火焰溫度可達 $1,370^{\circ}\text{C}$ ($2,500^{\circ}\text{F}$)。混合氣體在後燃室燃燒溫度為 $650\sim 820^{\circ}\text{C}$ ($1,200\sim 1,500^{\circ}\text{F}$)，氣體停留時間為 $0.3\sim 0.5$ 秒，氣流速度為 $3\sim 15$ m/s。在上述條件下，異味物質之去除率可達99%以上，燃燒產物通常為水、二氧化碳、氮氧化物、硫氧化物等。

熱焚化一般可有效改善由各種成分所致之高濃度臭氣問題，但相當耗費燃料，燃燒不完全時，可能產生甲醛、有機酸、芳醛 (aromatic aldehydes)、不飽合醛類及酸類(a,b-unsaturated aldehydes)

and acids)、次氧化物(suboxides)等二次污染物，其中有機酸具酸臭味，不飽合醛酸類具刺激味(irritating pungency)，次氧化物具燒焦味。因此，燃燒器應設計使含惡臭物質廢氣直接通過火焰，並使氣體在後燃器有足夠溫度、停留時間及氣流強度，以提高去除率。

二、觸媒焚化

觸媒焚化可有效改善由VOCs 所致之臭氣問題。觸媒焚化之混合氣體通常需預熱至後燃室燃燒溫度為350~425°C (650~800°F)，氣體以3~15 m/s之流速通過一觸媒層，於燃燒室內停留時間為0.1~0.3秒。觸媒焚化一般使用貴金屬觸媒(主要為鉑Pt、鈀Pd、銠Rh)或一般金屬氧化物觸媒(主要為Cr₂O₃/Al₂O₃、CO₂O₃/MgO)，異味物質之去除率可達95%。燃燒室後可安裝熱回收裝置，以回收廢熱(圖5.2.4.2-1-B)。

一般而言，在同樣操作條件下，有機物之觸媒焚化難易程度由易而難依次為：醇、醛、芳香烴、酮、乙酸、脂肪烴、氯烴。廢氣通常採過濾設備去除粒狀物質，以預熱設備使脂肪類、多環芳香烴等物質之液滴或固體氣膠在接觸觸媒表面之前即揮發氣化。若含有可能對觸媒造成毒化或影響其性能之成分，則必須先予排除，以延長觸媒使用年限。

觸媒毒化或失效之原因略為：(1)載體燒結：一般支撐貴金屬觸媒之載體為沸石(主成分為矽酸鋁silica aluminate)、氧化鋁、氧化矽，這些氧化物的散熱性能多不佳，在高放熱的觸媒反應中，常會在觸媒表面形成一些高熱點(hot-spot)，嚴重時便會造成原本分散在載體表面的觸媒燒結(分散良好的活性觸媒成分熱凝結)，或造成貴金屬與載體產生活性較低的合金，觸媒效能因而降低。因

應對策為控制進氣VOCs濃度及進氣預熱溫度。(2)阻塞：觸媒係依廣大的表面積與流體接觸以得到VOCs去除效果，若表面被粉塵或積碳覆蓋阻塞，便無法發揮功效。因應對策為將氣體粉塵先行過濾，並定期以蒸汽或空氣將觸媒表面的粉塵吹除。(3)毒化：觸媒接觸到一些特定元素，如鉛、銻、氯、硫、磷等時，觸媒的活性金屬會與該等特定元素產生合金或化合物，觸媒活性會降低甚至完全喪失。因應對策為將特定元素先行由進氣中去除，或選用較耐特定元素之一般金屬氧化物觸媒。(4)破損：塊狀觸媒受到撞擊、粒狀觸媒相互碰撞、或熱脹冷縮破碎時，會影響氣體壓損，另使欲處理氣體無法均勻接觸到觸媒，影響VOCs去除效率。因應對策為更換觸媒塊或篩除破碎觸媒粉粒，另可選用適當載體，使其能承受所需應力及熱脹冷縮衝擊。

三、蓄熱式焚化

熱式焚化法(regenerative thermal oxidation, RTO)為一種高熱回收率焚化裝置(圖5.2.4.2-1-C、D)，它是屬於熱焚化的一種衍生體，以提供廢氣燃燒、回收廢熱、減少熱能損失為主要目的。當進氣中缺乏足夠的可燃物維持燃燒時，則需增加額外的燃料或以電熱加熱氣體。一般蓄熱式焚化系統至少包括二個蓄熱床、進氣控制設備、加熱及溫度控制設備。蓄熱床內填充石質或陶瓷蓄熱材料，欲處理氣體先進入一已預熱至一定溫度的蓄熱床(A床)，以反應去除其中之VOCs，反應後高溫氣體通過另一蓄熱床(B床)時，氣體熱能傳入原已冷卻之蓄熱材，即高溫氣體之顯熱已被儲存，氣體則以較低的溫度排放。待一定時間後，欲處理氣體則導入該高溫床(B床)預熱，反應後高溫氣體能量則儲存於A床，完成一操

作循環(operation cycle)。預熱室中填充陶瓷材質或能耐高溫的填充物，其蓄熱效果甚佳，熱回收率可達90%以上。故僅須極少量的輔助燃料，即可將揮發性有機物完全破壞去除，設備使用年限可高達20年。

5.2.4.3 吸附原理

以吸附法去除VOCs，乃利用可與VOCs進行物理結合之物質為吸附劑，將VOCs去除或回收。吸附現象乃吸附劑(adsorbent)表面對外來吸附質(adsorbate)分子之親和力(affinity)作用。吸附劑表面具有許多活性點(active site)，每個活性位置均可進行吸附作用，而吸附作用即是利用固體表面力，將流體中某些物質吸著並集中於固體表面活性位置的現象。

一般而言，吸附法如用於回收VOCs，具適用範圍大與操作費用低等優點。吸附為一放熱反應，且其效能隨溫度之升高而降低，故操作前應預先冷卻廢氣溫度以提高吸附效率。影響吸附之因子如表5.2.4.3-1所示。

活性炭吸附系統常應用於VOCs的控制，如脂肪族、芳香族、有機氯化物、酮類、醇類(甲醇除外)及酯類等的吸附控制。不適合活性炭吸附處理之VOCs包括：(1)反應性化合物：有機酸、醛類、部分酮類、某些單體；(2)高沸點物質：可塑劑、樹脂類、長鏈碳氫化合物(碳數>14)、酚類、二元醇、胺類。目前國內業界普遍使用固定式活性炭吸附床，處理控制製程中VOCs廢氣。一般吸附系統為固定式再生床，為便於更換吸附劑，亦有採用抽取式或纖維濾網式之吸附設施。一固定床有機溶劑吸附回收系統如圖5.2.4.3-1所示。一般固定床式吸附設備操作條件如下：

(1) 廢氣空塔速度0.2~0.5 m/s。

(2) 廢氣空塔停留時間1~2秒。

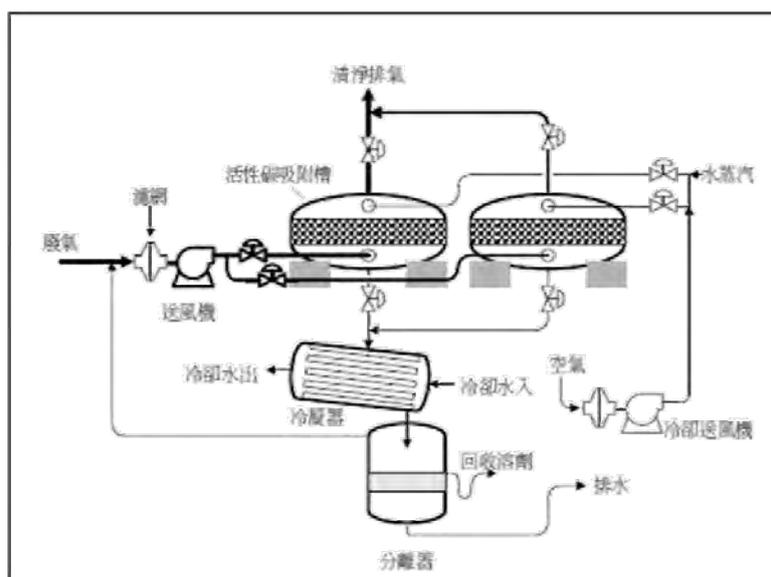
(3) 廢氣通過碳床壓損70~150 mm H₂O。

一般吸附能力隨平衡VOCs濃度之增加、溫度及濕度之降低而增加。吸附操作溫度宜維持在40°C以下，若廢氣含有大量水分，將在活性碳表面凝結，使污染物質吸附效果下降。此外，灰塵、煙霧、雜質若覆蓋在吸附劑表面亦會降低吸附能力，故皆必須先將干擾物質除去。若考慮回收VOCs，進口廢氣濃度宜在300~5,000 ppmv(即分壓0.23~3.8 mmHg)間。若考量工業安全，通常進流廢氣的VOCs濃度須低於25%之LEL。吸附操作一段時日後吸附劑會達飽和狀態，此時須更換或再生吸附劑。再生之方法，一般採用水蒸氣進行脫附，以提供VOCs脫附所需蒸發熱及吹驅力(將脫附的VOCs從活性碳層內吹出來)。吸附劑內VOCs蒸氣經冷凝及重力分離後，可回收VOCs。

對於高風量低濃度之揮發性有機廢氣，可採用濃縮處理技術，沸石濃縮轉輪(zeolite rotary adsorber)即為典型的例子。沸石轉輪濃縮器之目的為將大流量、低濃度VOCs廢氣轉換成小流量高濃度氣流，使系統處理較經濟。沸石轉輪之核心單元為蜂巢狀轉輪，其中具疏水性沸石，可選擇性吸附欲去除之VOCs。沸石轉輪適用風量為2~100 m³/sec，VOCs濃度為0~1,500 mg/Nm³，轉輪轉速2~5轉/小時。當轉輪轉動時，轉輪持續通過吸附區及脫附區，換言之吸附與脫附同時進行，因此整體系統之操作無須間斷，可以連續處理。沸石轉輪可得濃縮比約6~15倍之高濃度VOCs氣流。濃縮後物質可考慮回收，或以燃燒或觸媒加以氧化。若選擇焚化方式，可以熱交換器預熱進氣，同時當作脫附氣體之加熱熱源。

表 5.2.4.3-1 影響吸附的因子

吸附劑性質	比表面積	比表面積愈大，飽和吸附容量愈高。
	孔隙大小	孔隙愈小，單位比表面積愈大，吸附容量愈高。
	表面官能基及極性	在原活性碳表面是呈非極性，故對非極性的有機分子具有極高的親和力。當活性碳表面被氧化物如臭氧、高錳酸鉀及氯等氧化時，則有一部分表面變成極性。
吸附質性質	分子大小	適合吸附物質之分子量約介於 45~200 間，且分子量愈大者，被吸附能力愈佳。
	沸點	適合吸附物質之沸點約介於 20~175°C 間，且沸點愈高，吸附能力愈佳。
	溶解度	溶解度愈大其受濕度之影響愈大。
	官能基及極性	同系分子中，具某特定官能基愈多者與低極性化合物(甲醇除外)吸附能力愈佳。
	濃度	進流 VOCs 濃度愈大，其吸附貫穿時間愈短。
環境因子	溫度	因吸附為放熱反應，故溫度愈低愈有利吸附作用。
	濕度	相對濕度愈大，活性碳飽和吸附容量愈低，且吸附質濃度愈低或溶解度愈大者其受影響愈大。
	流量	流量增大會使貫穿時間縮短。
	熱傳效果	選擇吸附塔半徑及管壁厚度較小者，可增加散熱作用，提高吸附效果。



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 5.2.4.3-1 活性炭吸附回收系統示意圖

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

1. 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，需依賴良好之儀錶監測系統和完善之 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

(A) 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。

(B)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。

(C)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。

2. 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

A.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。

B.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

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

(E)停止攪拌，靜置 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。

(4)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。

(5)觀察膠羽生成之大小及沉降速度，並適時調整操作條件。

3.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(O₃)；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三種方式：(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(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。

4.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。

A.啟動鼓風機，送風量控制在 0.2 m^3 空氣量/ m^3 廢水。

B.停留時間控制在 3 分鐘。

C.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。

A.定期清理油脂分離設備。

B.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。

C.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。

5.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。

6.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：

A.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。

B.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。

C.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。

D.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。

7.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

A.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。

B.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。

C. 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。

8. 活性碳吸附設施

活性碳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，活性碳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，才通過活性碳床，但並未使用二級生物處理單元尚作前處理步驟。

活性碳之現場操作一般可分為接觸系統與再生系統。廢水通過一充滿粒狀活性碳或粉狀活性碳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。

活性碳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。

當活性碳失去其吸附能力後，則需將接觸槽從操作中移至再生系統進行活性碳之再生。在水力反沖洗及再生過程中所失去的活性

碳可以新鮮碳粒補充之。活性碳一般可為粒狀 GAC 直徑約為 0.8 mm 或粉狀 PAC 兩種，其中粒狀活性碳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。而粉狀活性碳微粒非常細微，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，因為粉狀活性碳的再生及回收不易，在廢水處理中其使用不如粒狀活性碳普遍，

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。

1. 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：

- A. 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 $500\sim 1,000 \text{ mg/L}$ 時，再依設計值漸次提高。
- B. 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。
- C. 測定 SV 30 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：

- A. 兩者皆為最適操作，可達放流水標準。
- B. 兩者均可維持良好的放流水質和污泥穩定性。
- C. 兩者均能調整生長速率、代謝和穩定有機物。

D.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。

E.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。

F.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。

G.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。

2.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

A.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。

B.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。

C.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。

3.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

1. 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：

- a. 在符合污泥產生量之需求下，設備儘量小型化。
- b. 設備處理量具彈性，操作簡便。
- c. 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：

A. 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。

B. 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。

- C. 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。
- D. 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。

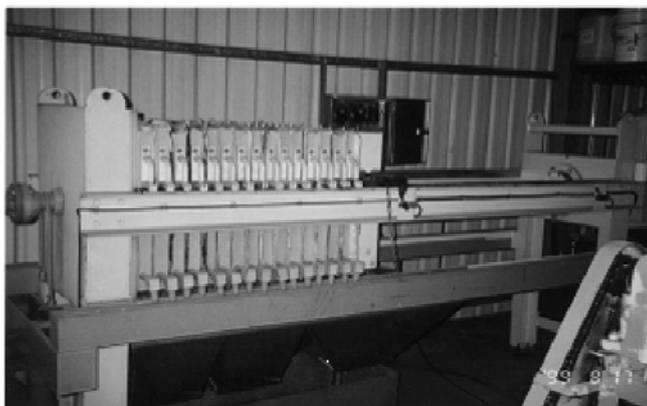
- C.濾布有無皺摺及蛇行及濾布更換時間約 5,000~8,000 小時。
- D.集水板污泥堆積狀況及各滾軸之污泥附著狀況。
- E.脫水污泥餅剝離用刮板之破損及渣物附著狀況。

(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。

A.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 $20\sim40$ 分鐘。

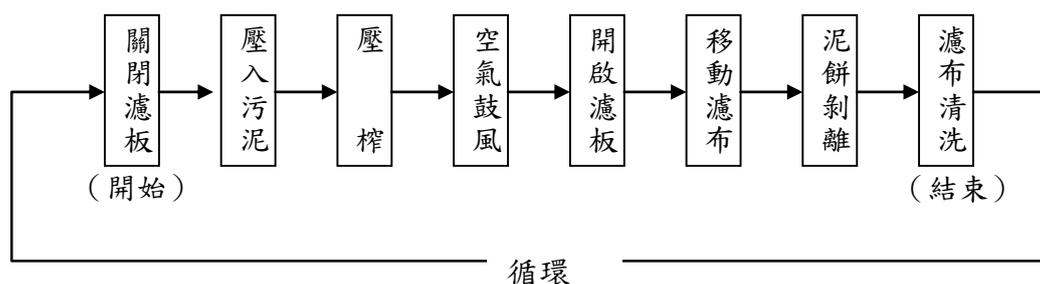


圖 6.1.1-2 板框壓濾式脫水機操作程序

B. 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

1.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。

A.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 0.5~10 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。

B.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。

C.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：

- A.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。
- B.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。
- C.儀表的使用範圍應在儀表性曲線的線性部分。
- D.使用於污水量測時，儀表前需加裝過濾器。
- E.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。

2.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 計為以下三部分所構成：

- A.指示器及記錄器—受信部。
- B.專用電纜(含配線盒 connector box)—中繼部。
- C.電極(含電極支架)—發信部。

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，應迅速查明究屬那一部分出問題，並儘速修復。

A.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。

B. 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 $10^5 \text{ M}\Omega/100 \text{ m}$ 以上。

C. 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，故至少須一週洗淨電極一次，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。

A.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。

B.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。

A. 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。

B. 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。

C. 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。

3. 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。

A. 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。

B. 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乾淨空氣。

(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	使用於黏稠液(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

A. 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。

B. 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、靜電集塵器

1. 操作注意項目 靜電集塵器之效率受含塵氣流之成分、溫度、速度、電氣阻抗及濕度等因素之影響，操作時應注意下列各項情形：

- (1) 入口溫度改變：阻抗會隨溫度而改變，當含水率固定時，在 200°C 以下時，溫度降低，阻抗也隨著降低，收集效率提高。在 200-300°C 間，溫度升高，阻抗則隨著上升，集塵效率降低。
- (2) 含塵氣流成分：若廢氣中含有 SO_x 時，雖有助於增加效率，但其極易與水反應生成 SO_3 與 H_2SO_4 嚴重地腐蝕極板。
- (3) 速度改變：若含塵氣流不穩定，則集塵器內之氣流速度隨著改變，若速度增加則降低效率，故在操作時，排氣及風壓的大小足以影響除塵效率。
- (4) 一氧化碳含量：因操作不當，導致一氧化碳含量過高，即跳脫。
- (5) 停電或瞬間電壓降落，導致跳機。
- (6) 敲擊系統操作不當：若集塵電極上聚集的灰塵被吸附不掉落，

則可持續累積至形成厚灰層。最後才因重力局部的剝落，造成厚灰層表面不正常的突起。如果放電電極保持吸灰狀態，則電極上吸附的灰塵將不斷增加，直到放電電暈的現象逐漸被壓制，最後集塵的功能亦將消失。

(7)高電壓絕緣器破壞：絕緣器表面聚積的任何濕氣或灰塵將會降低其絕緣阻抗，限制充電電壓，引起甚至在實際操作 ESP 時不會發生的破壞性火花意外。

(8)積塵過多：集塵灰斗中的灰塵，逐漸堆積後將高過灰斗頂端甚至碰到放電電極極線，造成破壞性火花，而使 ESP 的操作無法維持穩定，集塵效率降低。

2. 試車前檢查

為避免靜電集塵器於操作過程中發生故障並造成損害，操作應針對各設備及各項目謹慎的進行檢查，其檢查項目與重點應包含下列各項。

(1) 集塵機外殼

- A. 去除彎曲外壁。
- B. 去除彎曲及不平的角。
- C. 檢查支撐穩固性及水平度。
- D. 去除隔間條板及角板。
- E. 去除過多的粉塵結垢。
- F. 廢氣進口擋板開啟程度正確且無阻塞現象。

(2) 放電極線

- A. 極線保持垂直完整。
- B. 避免極線被固定栓扣掛或牽引。

- C. 固定極線支撐桁架使保持牢固且平穩。
- D. 固定極線使保持垂直且堅固。
- E. 去除極線上附著的粉塵，並接地線。
- F. 依設計規範校正極線之準線。

(3) 集塵斗

- A. 移除施工用之鷹架。
- B. 清除排放口。
- C. 檢查粉塵高位控制器有無阻塞。
- D. 關閉擋風門及維護門。
- E. 檢查加熱器、震動器及警報器的操作正常。

(4) 屋頂及絕緣室

- A. 清洗絕緣器及套管清除積碳。
- B. 所有地線需與儲槽支架連接。
- C. 檢查加熱器、密封氣體的系統控制，警報、擋板及過濾器的裝置與操作。
- D. 檢查密封氣體的風車馬達轉向並清除排氣管之阻塞物。
- E. 關閉所有維護門。

(5) 敲震裝置

- A. 檢查所有擺動之槌或錘棒安裝正確且操作自如。
- B. 檢查軸承與套筒完整性。
- C. 檢查控制系統與極線的結合性。
- D. 檢查指示燈與儀錶的操作性。

- E. 清除靜電集塵器內的障礙物。
- F. 確定工作人員遠離集塵機。
- G. 檢查所有連鎖操作系統並鎖定。

(6) 變壓器/整流器組

- A. 絕緣油的液面保持規定位置。
- B. 高壓連結器製造完善。
- C. 集塵器本體、輸出礙子、各室風管及電線導管接地線。

(7) 整流器控制單元

- A. 控制器接地。
- B. 檢查供電系統及警報線路的完整性。
- C. 連鎖系統資料鍵入轉換區。

(8) 溫度

集塵器的操作溫度避免超過使用材質所能承受的最高溫度，以免集塵器受損或降低使用壽命。相反的，集塵器的操作溫度亦不能低於廢氣露點溫度之下，以免造成腐蝕，故操作溫度應依設計要求，並持續保持，故建議設置溫度檢測器於靜電集塵機之廢氣入口。

(9) 粉塵排放系統

- A. 檢查粉塵排放系統及輸送設備有無積聚灰塵並予以清除，以避免損壞排放系統等設備，繼而影響集塵機收集效率。
- B. 集塵機若為負壓，應進行氣密測試，以避免因空氣洩入而產生腐蝕。
- C. 檢查所有管線上的檢查門密封及法蘭墊圈有無氣密。

(10) 觀察煙囪

觀察煙囪不透光率，若發現有煙塵排放的異常現象，應進行檢測分析含塵濃度。

3. 操作程序

(1) 啟動前檢查程序

- A. 完成一切維修工作，並清除機內殘留的工具及雜物，且確定機內的工作人員已離開。
- B. 清除機內堆積、附著或凝結的粉塵。
- C. 關閉所有廢氣進出口擋板，並保持氣密。
- D. 關閉所有檢查門及維護門。
- E. 檢查防爆門及其他安全措施於正常操作位置。
- F. 檢查粉塵排放系統及輸送設備或集塵斗需能防塵且正常操作。
- G. 檢查所有檢測與控制器應已開啟運作。
- H. 檢查保溫系統等相關設施，確定其操作正常。
- I. 視需要先使靜電集塵器進行預熱。
- J. 檢查系統的接地線。
- K. 檢查變壓器/整流器組確定其正常操作。
- L. 啟動系統風車，檢測是否正常操作。
- M. 完成維修、單元檢修及系統檢查等工作之後，應繼續檢查轉動機械的轉動方向是否正確及保護裝置的正常操作。

(2) 啟動程序

- A. 通知控制中心。

- B. 於啟動變壓/整流器組及廢氣進入靜電集塵器的4小時前先啟動絕緣體的加熱系統。直到靜電集塵器內的溫度以被加熱到操作溫度，則關閉加熱系統。若系統有溫度調節控制器，可將其切換溫度設於集塵機之操作溫度。
- C. 重新設定敲震循環控制機械的時間，並啟動敲震器。
- D. 啟動粉塵排放系統及輸送設備。
- E. 打開阻風擋板並設定位置。
- F. 依操作條件啟動風車。
- G. 當靜電集塵器內溫度上升至 200°C 後啟動變壓/整流器。

(3) 停機程序

- A. 通知控制中心。
- B. 依操作條件：關閉風車電源後關閉擋板。
- C. 確定集塵器內已沒有粉塵後關閉變壓/整流器組電源，同時觀察安全檢測器。
- D. 關閉所有擋板。
- E. 粉塵排放系統應繼續運轉，直到集塵斗內的粉塵完全排除後始完全停止運轉。
- F. 關閉集塵斗的加熱系統。
- G. 敲震系統繼續操作一段時間，直到集塵機內的溫度降至室溫後始可關閉停止。以避免敲震槌及集塵板受損。
- H. 集塵器完全停止後，若是短期停機則繼續加熱器的操作以保持機內的溫度，若為長期性停機，則必須關閉電源。

靜電集塵器屬於敏感性高且操作因素複雜之除塵設備，故平常及應予以周密詳甚之維護保養，以確保操作時能正常

運轉與最佳效率，平時應針對下列各項進行定期之操作維護。

1.放電電極

- (1)極線變形或偏離將嚴重影響收集效率，由於靜電集塵器之特性，良好的收集效率要維持正確的電極空間距離與正確之電擊準心，否則，極易產生火花放電而跳機。極板之距離通常維持在 0.2 公尺左右，極線則應垂直於兩片極板的中央，若有太大的偏心，將影響同組若干極線之送電，而此一偏心極線將導致整段集塵器發生火花放電使極板極線造成電蝕而損傷。平時維護時除目視整排之準度外，欲知確實之距離，除詳細量測外別無二途。如發現極線有變形或偏離之現象應即調整或更換，以確保收集效率。
- (2)操作過程極線會附著一些粉塵，有時集聚之粉塵可達 25~75 mm 厚，雖然極線上被覆一層均勻之粉塵並不會改變集塵器之基本特性，但如果集聚太厚增加線徑，而須加大電壓以維持其電暈作用之電流，則可能引起電壓之敏感性，最後因電極之極距間電壓梯度增高而導致火花放電。故平時維護時應將附著之粉塵清除，以確保操作之正常。
- (3)檢查極線架之固定裝置，避免因發生擺動引起電極損傷集塵器的底部。
- (4)機械故障：當使用扭曲形的極線時，於極線與高壓支撐架的接觸點附近經常會發生機械故障。而機械疲勞的結果使電極線產生週期性的移動，造成電極材料的過冷操作。然而週期性的移動通常是受敲震或高速廢氣衝擊等情形造成。維護保養時應加強極線與高壓支撐架的接觸點或極線本身的鎖緊裝置。且鎖緊裝置不使產生應力集中的情形。

- (5)電弧磨蝕：當極線與支撐接觸不良時會產生氣縫，或集塵板隆起有銳角的地方都會產生電弧，這種故障很容易於極線的平面或粗糙面觀察出，遭磨蝕的機械結構對於小尺寸的極線最不利。當高電流的電弧集中於放電極線的一點，部分電極材料於放電過程中會被帶出。
- (6)極線不牢固：當放電極線太長或支撐和固定支架太長時會造成極線不牢固的現象。操作時若發生粉塵集聚太多、熱膨脹及結構彎曲等情形，致使系統無法使用長的極線和連接套筒以維持極線的對心。改善極線不牢固的方法是增加其質量且降低張力重量質心，及減小極線密度。同時也發覺若懸吊錘能限制極線的移動，則任何一種懸錘式極線系統都可以保持穩定，但這不是一個實際的解決方法。實際的作法可在集塵板的底部和底部固定支架的中間安裝固定棒以保持極線的穩定。

2. 極板之變形、腐蝕與積灰

- (1)含塵氣體內之腐蝕成分或溫度降至露點下運轉而導致極板逐漸腐蝕。
- (2)極板由於承受長期積灰與敲震或激烈之溫度變化等因素，而導致變形，影響收集效率，在定期維修時應詳細檢查並予以維修。
- (3)檢查極板固定裝置，避免鬆脫傾斜，使極板與極線之距離改變而影響極板上所收集附著之粉塵，若粉塵具有電阻性，縱然是薄薄一層亦可能導致火花放電，若非電阻性，則聚集至25~50 mm之厚度亦不至產生電氣崩潰(亦即變壓整流器過負載)，積灰厚度若增加至阻礙電子流通時，將使電極電流減小，相對電壓增高，而減低收集效率，故當電壓、電流發

生激變時，應考慮清除集塵板之積灰，以維持集塵效率。

3. 支承礙子積灰、潮濕或龜裂 靜電集塵器之礙子附有高壓絕緣及支承電極之任務，而其表面幾乎均與粉塵接觸，故操作保養工作極為重要。

- (1)由於礙子長時間暴露於粉塵中，維護時應進行徹底之內部清洗，完全清除積灰。

- (2)維護時應檢查有無龜裂並立即更換，以避免漏電或支承不良的現象。

- (3)礙子套管於送電前應先預熱或乾燥，避免因潮濕引起漏電而頻跳火花。

- (4)一般以設置加熱器保持絕緣礙子的乾燥，但設計時應避免加熱器太靠近絕緣礙子或高溫區，以使操作失常。最佳設置宜使絕緣礙子與加熱器保持 125 mm，溫度調節控制器周圍空氣應保持 120°C 左右，且不超過 150°C。

4. 敲震裝置失效或操作不當敲震裝置包括機械衝擊式、電磁式、氣動式等各有其優缺點，維護時須針對其特性檢修。

- (1)機械式鎚擊敲震器，應隨時檢校敲震器軸伸入集塵室機殼內連接之處，與敲震系統接觸之內部機器，並隨時檢校敲震器塵氣處之機件，如轉動元件之磨耗，防漏墊料之緊密等。敲震器之鎚頭型式與效率有關，假如在某種條件下敲震器始終不能發揮效果時，似可考慮改善鎚頭，改用衝擊式較為有利。

- (2)電磁式敲震器彈簧及線圈之故障常由於過度頻繁之強力敲震，應儘量避免，維護中應定時檢查電磁鐵之氣隙。控制箱及機箱應保持清潔或加裝防塵裝置。電磁鎚故障最初可由氣

封涵蓋或螺栓密封發現，氣體自涵蓋洩漏會使圓管硬化並腐蝕螺栓。更換品質較好的墊圈及密封材料，並於密封加裝夾套可改善洩漏問題。

- (3) 氣動式敲震器之維護應注意所使用之壓縮空氣必須確實予以除水。即氣源設備應有後冷器，進管處須附裝自動除水裝置。同時進氣管線最好施以絕熱被覆以防止管外冷空氣接觸管壁。

5. 灰斗內積塵過多

- (1) 檢視灰斗側壁尤其在靠近設備頂部接觸廢氣部分，有無因在露點下操作而凝結水氣，使粉塵附著無法清除，改善集塵斗內水分凝結最直接的方法是在外壁增設加熱器及保溫層。
- (2) 集塵器內部阻塞常因隔夜殘留的粉塵聚積而無法排放。改善法為保持格板與喉部的距離大於 450 mm，且集塵器停止前清除集塵斗內所有的粉塵。
- (3) 空氣的洩入通常自維護門及排放門的細縫進入，門及閥的密封墊圈損壞或鬆弛應經常更換，並應定期檢查磨損情形。
- (4) 集塵斗相對兩邊各設振動器以低頻震動會比單邊高頻振動為佳。

6. 機體外壁與保溫之維護長期間之運轉下可能產生機體外壁腐蝕及保溫破裂等現象，使冷空氣自保溫孔隙洩入，與機體接觸，導致機殼局部冷卻，內部產生冷凝而造成機殼腐蝕，故應定期維護保溫層及機殼之完整性。

7. 維護門

維護門為人員進入ESP內部維護用，維護門平時應保持密閉以避免廢氣洩入集塵器內，但過度的緊迫也會使密封的材

料斷裂或破損，若不立即改善，由於維護門局部溫度升降的改變將引起彎曲，或因缺乏適當的維護及使用較差的密封而需更換整個維護門。

8. 腐蝕

腐蝕的原因大都是由於集塵器於露點以下溫度操作，造成酸腐蝕，故最根本的辦法是維持在酸露點以上溫度操作，但是常常因為製程廢氣的限制而無法如願，一般除增設保溫或加熱器維持溫度以外，只有選用適當的材質或於集塵器內部塗敷防腐材料改善。

9. 平行校正

放電電極線及集塵板的平行度校正是維護程序中重要的工作之一，導致平行度不正的原因包括：建造時材料管理不當、安裝不良、熱膨脹等。將導致放電電極線的懸吊系統偏移及集塵器彎曲等現象。

二、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。高溫導致濾袋融化破洞，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倉蓋口、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，操作可維持二年；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。

三、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。

四、熱破壞防制設備之操作維護

表 6.1.2-1 熱破壞防制設備維護、保養及功能查核要點

設施	維護保養	功能查核
熱焚化	1.焚化設施定期查核及保養 2.馬達及風車運轉是否有異音	1.焚化溫度是否足夠 2.停留時間是否足夠 3.混合是否均勻 4.空氣加入量
觸媒焚化	1.焚化設施定期查核及保養 2.觸媒定期更新避免老化 3.過濾裝置定期更新 4.廢觸媒處置	1.停留時間是否足夠 2.混合是否均勻 3.空氣加入量 4.觸媒是否須更新 5.溫度控制
蓄熱焚化	1.焚化設施定期查核及保養 2.蓄熱材定期維護 3.氣體交換控制閥維護	1.焚化溫度是否足夠 2.停留時間是否足夠 3.壓降 4.熱回收率 5.蓄熱材清潔

五、吸收防制設備之操作維護

表 6.1.2-3 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)
噴嘴阻塞導泵送異常、化學積垢密封及械失效	1.可擇用開口較大之噴嘴 2.加強沈澱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
水槽漩渦導異常磨損及漏	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

設施	維護保養	功能查核
氣液流動不衡	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
氣液分離不以致排氣有霧	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	

六、吸附防制設備之操作維護

表 6.1.2-4 吸附設備維護、保養及功能查核要點

設施	維護保養	功能查核
導管	塵埃聚集狀況並定期清洗 接觸部分狀況	吸附系統阻力
吸附床	應緩慢注水冷卻以免著火	1.避免碳床溫度超過 150°C 2.避免大量水氣瞬間產生，導致吸附床破裂
鼓風機	1.檢視塵埃聚集狀況並定期清洗 2.軸承及潤滑油補注 3.皮帶是否鬆弛	定期以壓差計量測

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

1. 混凝膠凝處理

化學沉降/混凝沉澱效果受進流廢水之濃度、pH 及膠羽型態等之影響，且與混凝劑、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

2. 快濾系統

過濾系統為增進過濾效果，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。

過濾系統操作過程產生之異常現象及對策，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化	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

3. 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

1. 活性污泥法

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) 活性污泥由沈澱池溢出，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、黏土、 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) 有時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過高 (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 細的膠羽現象	(1) 過度曝氣 A. 曝氣時間過	(1) 控制曝氣量，增 加流入水量使負	(2) 特定微生物為 Amoeba，小

項目	區分	異常之現象	原因	對策	備註
			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	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	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
醣類含量高(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。

(1) 運轉注意事項

板框壓濾式脫水機運轉時應注意事項包括：

- (a) 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。
- (b) 濾板的移動是否順暢、油壓是否正常、濾布有否綳摺皆應加以檢查；濾板若未完全緊閉，則污泥有散出之虞。
- (c) 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。
- (d) 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。
- (e) 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。
- (f) 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。
- (g) 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。
- (h) 注意濾布的移動(移動式者)及濾布清洗狀況是否正常。
- (i) 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。

(2) 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：

- (a)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。
- (b)油壓裝置之過濾器的檢查以及油面的確認。
- (c)開關裝置、壓力計之檢測器及量測器之操作是否正常。
- (d)各種閥、配管有無漏損。
- (e)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。
- (f)機體及各零件之螺栓有無鬆脫。

(3)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：

- (a)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。
- (b)污泥進料管及液溝常易附著泥垢，故應定期清理。
- (c)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。

(4)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	3a.檢查及調整濾布 3b.檢查污泥分配裝置

異常內容	原因	對策
	3c.滾軸磨損 3d.濾布發生皺摺	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

1. 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

(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。

(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。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：
- A.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。
- B.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。
- C.儀表的使用範圍應在儀表性曲線的線性部分。
- D.使用於污水量測時，儀表前需加裝過濾器。
- E.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

2.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℃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

故障處所	故障狀況	故障原因	處置方法
檢示部 (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 ~ 0.9 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，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
4. 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
5. 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
6. 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：

- 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。

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

3. 泵浦及攪拌設備

(1) 泵浦設備

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

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
	● 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、吐油量不足	● 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

失效現象	失效可能原因	緊急應變整備方案
		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、噴嘴)有無正常

第七章 案例介紹

7.1 典型完整廢水處理流程之案例

7.1.1 工業區內之典型處理案例 (工廠 A)

一、A 工廠簡介

A 工廠是一家大型印刷電路板工廠，主要產品為雙面板及多層板，產量每月約 15,000~20,000 m²，其中雙面板約佔 60~80%，多層板約佔 20~40%。目前製程每日排放廢水量約 1,500 m³ 左右，經廠內處理達到工業區污水廠進廠管制標準後再排入廢水處理廠共同處理。

二、處理場設計條件

(一) 設計處理水量及水質

處理廠設計處理水量為 $80 \text{ m}^3/\text{hr} \times 24 \text{ hr}/\text{day} = 1,920 \text{ m}^3/\text{day}$ ，各股廢水、廢液排放量及廢水水質如表 7.1.1-1 所示。

表 7.1.1-1 A 工廠設計處理水量及水質

廢水種類	污染特性	廢水量 (m ³ /day)	廢水水質		
			pH	Cu ²⁺	COD
綜合廢水		1,368	1.83	60	192
刷磨廢水		480	5.9	5	10
剝膜廢液		0.78	-	-	80,000
顯像廢液		1.5	-	-	30,000
去墨廢液		0.08	-	-	5,000
清潔劑廢液		2	-	2,000	-
微蝕廢液		2	-	10,000	-
酸洗廢液		2	-	3,000	-
化學銅廢液		10	-	2,000	-

(二) 設計處理後水質

pH：5~9

COD：100 mg/L 以下

SS：50 mg/L

Cu²⁺：3 mg/L

Pb²⁺：1 mg/L

三、處理流程

該廠廢水處理流程如圖 7.1.1-1 所示。

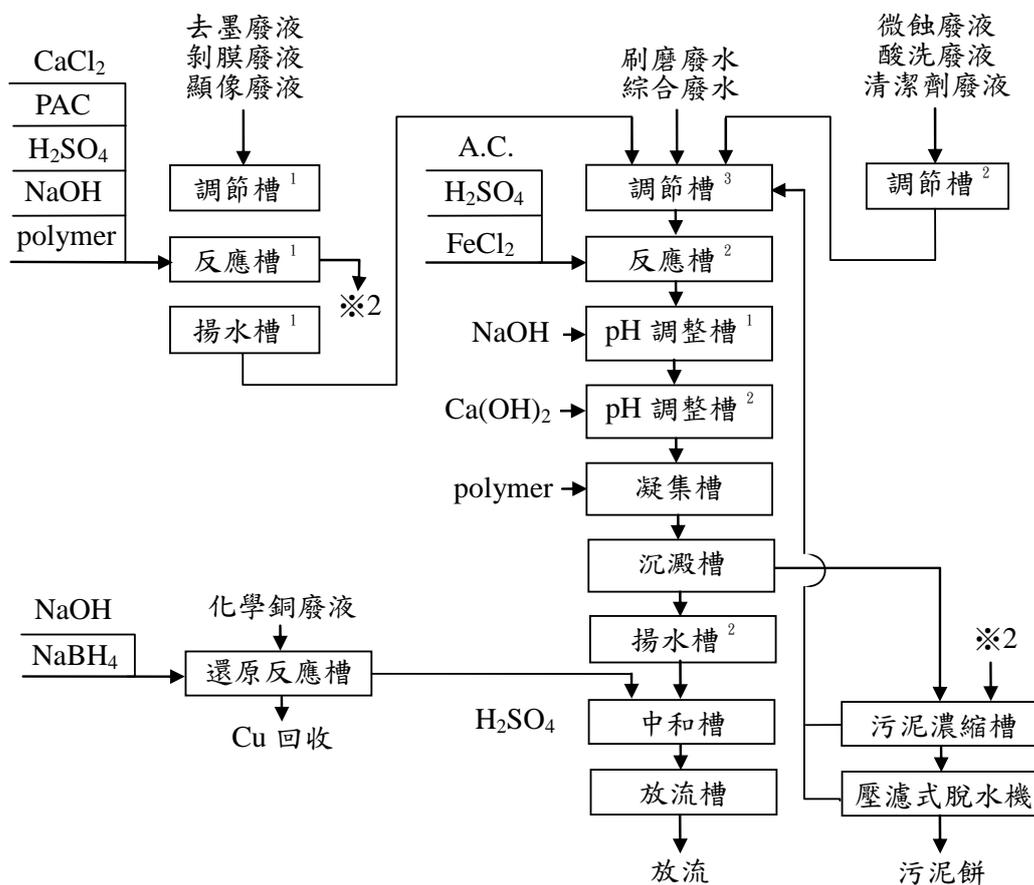


圖 7.1.1-1 A 工廠廢水處理流程圖

四、處理原則

廠內製程排放之廢水、廢液除蝕刻廢液、剝錫鉛廢液及助焊劑廢液是交由廠外代處理業回收處理外，其餘全部納入廢水處理場處理，有關處理原則說明如下：

(一) 去墨、剝膜、顯像等廢液，含有高濃度之油墨、乾膜等有機污染物質，集中收集後採酸化方式進行前處理，以降低廢液中有機污染濃度。其處理步驟如下：

1. 調節槽¹內廢液經廢液泵抽送至反應槽¹進行批次處理。
2. 加酸於反應槽內，將廢液酸至 pH = 2~3。
3. 加入 CaCl₂、PAC、NaOH、polymer 進行化學混凝反應，凝集生成大顆粒之膠羽後，靜置沉澱。沉澱後上澄液定量排入調節槽³，稀釋再處理，沉澱污泥則由污泥泵抽送至污泥濃縮槽進行污泥脫水處理。

(二) 微蝕、酸洗廢液及清潔劑廢液等含銅離子，及有被污染濃度極高，故自調節槽²先行集中收集，再利用廢液泵定量注入調節槽³中，再予處理。

(三) 化學銅廢液由廠內製程集中收集，加入硼氫化鈉(NaBH₄)強還原劑將廢液銅還原成元素銅回收，還原處理後之處理液則定量泵入中和槽內稀釋排放。

(四) 調節槽³內之廢水，經調整泵抽送至反應槽²，進行連續式化學混凝沉澱處理，其處理步驟說明如下。

1. 於反應槽²內加入 FeCl₃ 及活性碳粉末，以破壞廢水中金屬錯合物之鍵結並吸附廢水中 COD 污染成分，廢水 pH

值控制在 2~4 之間。

2. 加入 NaOH 及 Ca (OH)₂ 進行三段式 pH 調整，廢水 pH 值控制在 8~10 之間，以使廢水中重金屬離子形成重金屬氫氧化物析出。
3. 加入 polymer 高分子助凝劑使形成大顆粒之重金屬氫氧化物膠羽。
4. 廢水流入沉澱槽使膠羽沉澱，上層澄清液流入中和槽，中和後放流。沉澱槽底層之污泥則運用污泥漿抽送至污泥濃縮擠進行重力濃縮。濃縮後污泥經壓濾式污泥脫水機脫水減量形成污泥餅，以便進行最終處置。

7.1.2 工業區外之典型處理案例 (工廠 B、工廠 C)

一、 B 工廠簡介

B 工廠是一家大型印刷電路板工廠，製程採用加成法(additive process)，生產各類型印刷電路板，每月產量約 70,000 m²，其中多層板產量約 4,000 m²/月。

二、 處理場設計條件

(一) 設計處理水量及水質

該廠將廠內廢水區分為以下 7 類進行處理，各類廢水設計處理水量、水質如表 7.1.2-1 所示。

表 7.1.2-1 B 工廠設計處理水量及水質

廢水種類	廢水量 (m ³ /day)	廢水水質(mg/L)			
		Cr(VI)	Cu ²⁺	F ⁻	COD
鉻系廢水	3	> 100	-	-	-
含重金屬廢水	360	-	> 50	-	-
含氟硼酸廢液	0.8	-	-	> 30	-
顯像剝膜廢液	10	-	-	-	> 15,000
化學銅廢液	20	-	3,000~4,000	-	> 30,000
化學銅清洗廢水	10	-	> 20	-	> 150
雜系廢水	240	-	> 20	-	> 50

(二) 設計處理後水質

該處理場設計處理後，綜合放流水質如下：

pH：6~8

COD：30 mg/L 以下

Cu²⁺：0.5 mg/L 以下

(三) 處理流程

該廠廢水處理流如圖 7.1.2-1 所示。

(四) 處理原則

該廠製程所產生之廢水、廢液，其中高濃度之蝕刻廢液、剝錫鉛廢液、對剝掛架廢液、微蝕廢液、酸洗廢液等均交由廠外代處理業處理，其餘各系廢水、廢液則納入廠內廢水處理系統處理。有關處理系統之處理原則說明如下：

1. 鉻系廢水單獨收集進行前處理，將六價鉻還原成 Cr³⁺後排入調勻槽與含重金屬廢水合併進行化學混凝沉澱處理，以去除廢水中重金屬離子等污染物質。

2. 含氟硼酸廢液，係應用常溫鋁鹽—石灰處理法，添加 Al^{3+} 水解破壞氟硼酸錯離子後，加入 Ca^{2+} 使形成 CaF_2 沉澱，以去除廢液中氟化物等污染物質。
3. 顯像剝膜廢液單獨收集、貯存，先經酸化後，直接加入特殊助凝劑，反應生成粗大膠羽後利用離心式脫水機脫水，以去除廢液中油墨乾膜等不溶解性有機持染成分；分離液則經中和後進行後續二級生物處理，以去除廢液中溶解性 COD。
4. 化學銅廢液及化學銅清洗廢水分別單獨收集，先經中和後流入電析槽，電解回收廢液中的銅離子，電解後廢液中的銅離子濃度可降至 3 mg/L 以下，然後再排入活性污泥槽進行二級生物處理，以去除廢液中 EDTA 及甲醛等造成 COD 之污染物質。

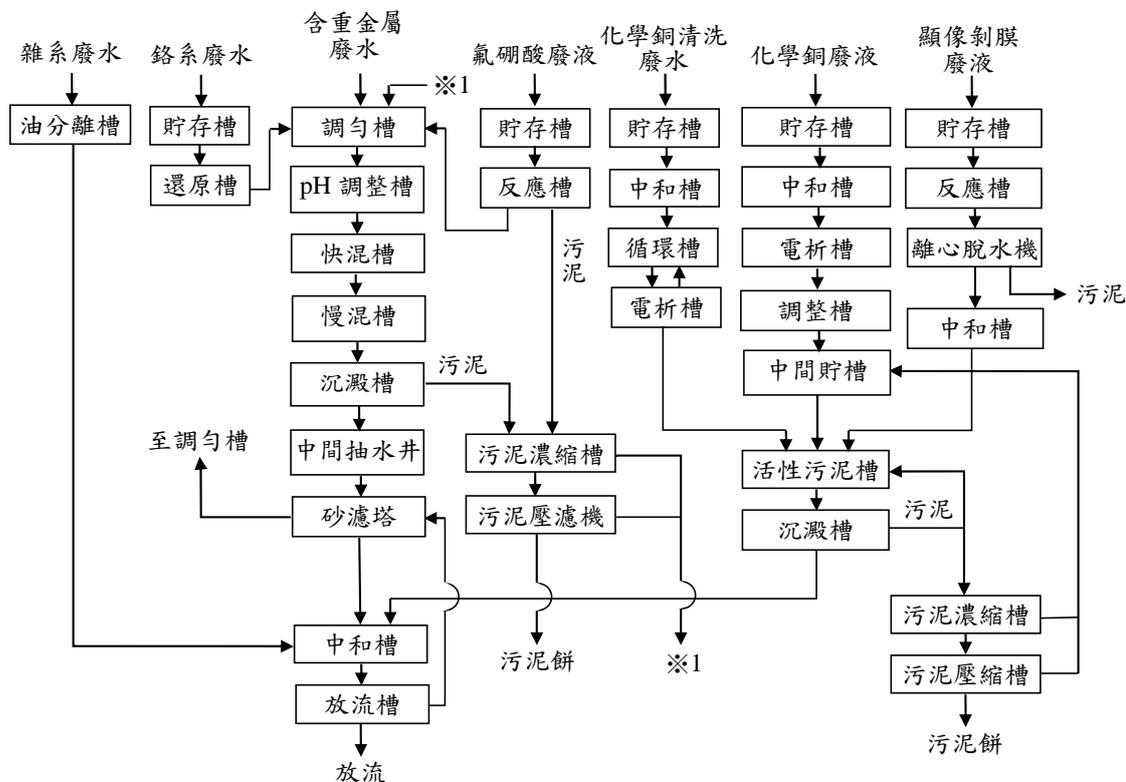


圖 7.1.2-1 B 工廠廢水處理流圖

三、C 工廠簡介

C 工廠是一家中型規模之印刷電路板工廠，以生產雙面板及多層板為主，每月產量約 5,000 m²，製程中每日排放廢水量約 90 m³ 左右。

廠內廢水處理設施僅用來處理各濕式製程所排放之低濃度清洗廢水，及員工生活污水，至於其他高濃度廢液如蝕刻廢液、微蝕廢液、化學銅廢液、剝錫鉛廢液及剝掛架廢液等均交由代處理業回收或處理。

四、處理場設計條件

(一) 設計處理水量及水質

該廠將廠內廢水分成下列四股，其設計處理水量、水質如表 7.1.2-2 所示。

表 7.1.2-2 C 工廠設計處理水量及水質

污染特性 廢水種類	廢水量 (m ³ /day)	廢水水質(mg/L)			
		pH	Cu ²⁺	COD	SS
含重金屬廢水	54	2~4	> 50	> 60	> 150
有機廢水	5	8~10	> 100	> 150	> 200
刷磨廢水	30	6~7	> 5	-	
生活污水	16	-	-	-	

(二) 設計處理後水質

設計處理後綜合放流水質如下：

pH：6~8

Cu²⁺：1.5 mg/L 以下

Fe³⁺：8 mg/L 以下

BOD₅：12 mg/L 以下

COD：18 mg/L 以下

SS : 30 mg/L 以下

(三) 處理流程

該廠廢水處理流程如圖 7.1.2-2 所示。

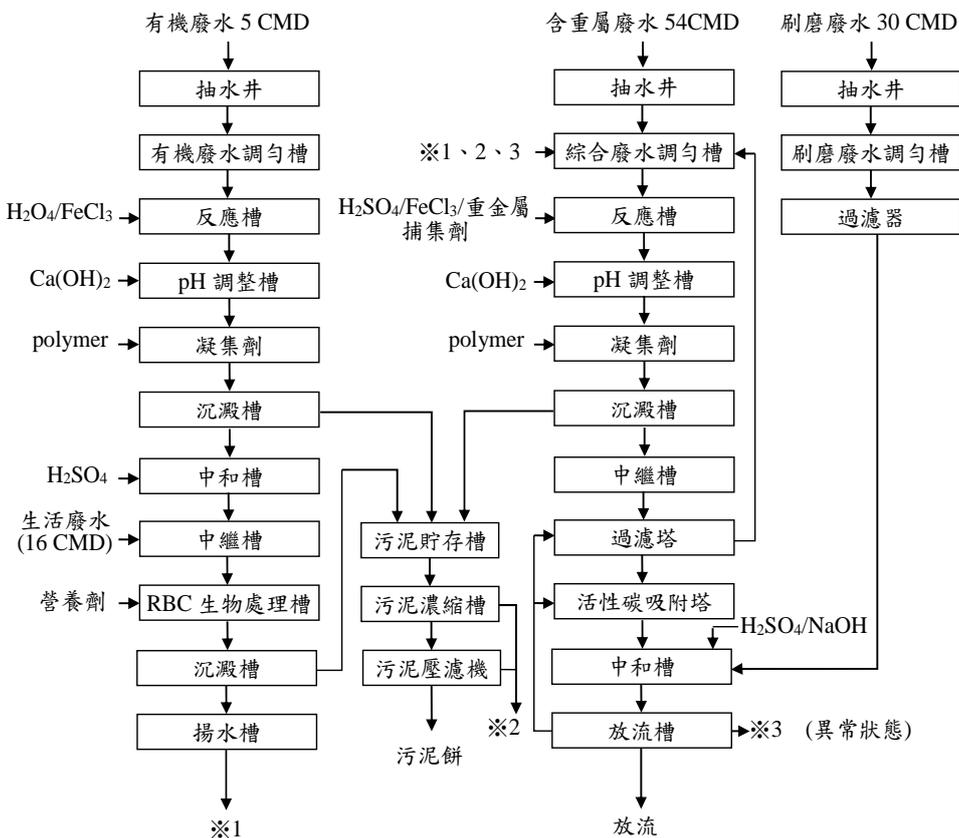


圖 7.1.2-2 C 工廠廢水處理流程圖

(四) 處理原則

1. 刷磨製程廢水單獨收集，經過濾除銅粉屑之後，排入綜合廢水處理系統中和槽內，與其他處理後廢水合併進行中和，再行放流。
2. 有機廢水由於含有油墨、乾膜等有機污染成分，先經酸化後，再進行化學混凝沉澱，沉澱後上澄液經中和後與廠內生活污水合併收集，採用迴轉生物圓盤法(RBC)進行二級

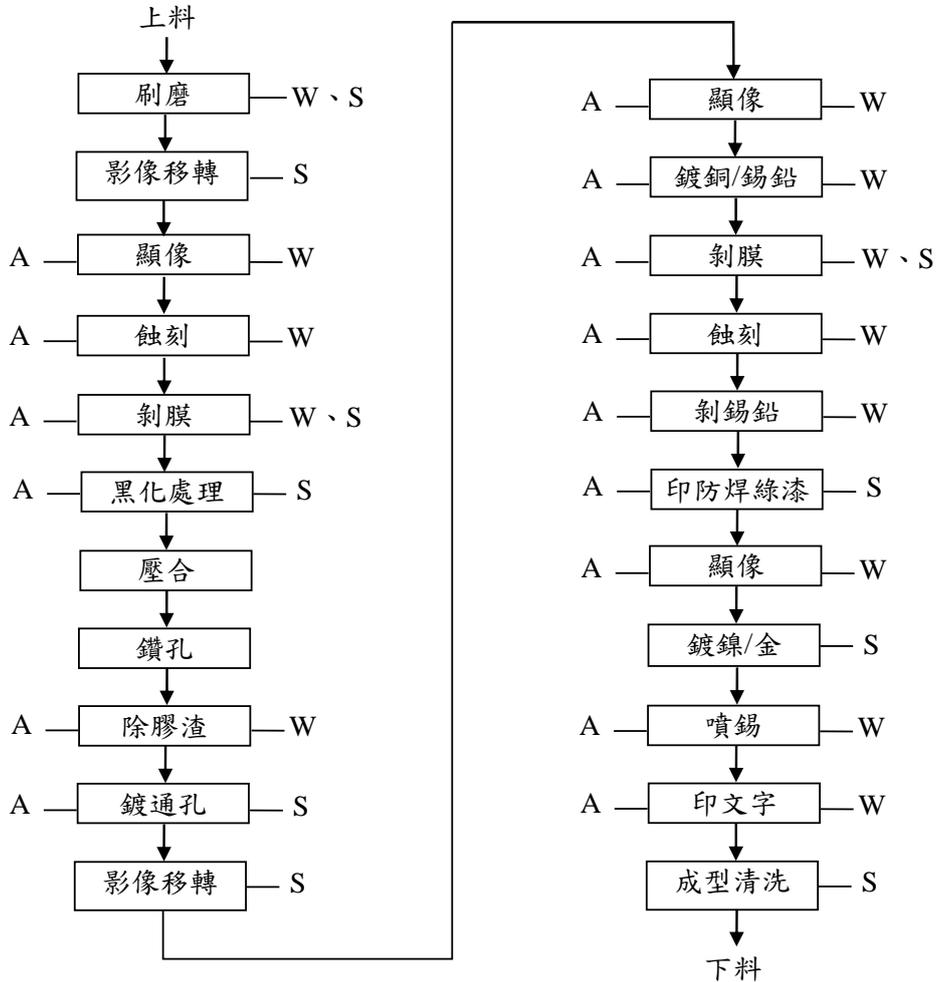
生物處理，以去除有機污染物質，生物處理完成後之出流水則排入綜合廢水調勻槽，與含重金屬廢水合併收集處理。

3. 含重金屬廢水與經過一級生物處理後之出流水和污泥脫水分離被混合收集形成綜合廢水，綜合廢水先經酸化至 pH=2~3 後加入 FeSO_4 以破壞廢水中之重金屬螯合物，再加入重金屬捕集劑、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及 polymer 可進行化學混凝沉澱，以去除重金屬污染物質。沉澱槽上澄液再經過濾及活性炭吸附，以去除未能沉澱之微細重金屬氫氧化物膠羽及有機污染成分，處理水最後經過中和後即行放流。

7.2 廢水處理程序之改善案例

D 工廠位於工業區內，係一專業印刷電路板製造工廠，專門生產雙面板及多層板，月產量約 $18,600 \text{ m}^3$ ，屬於大型的印刷電路板工廠，其主要生產流程及污染來源說明如圖 7.2-1 所示：

該工廠每日於生產過程中排出各類濃度高低不等的廢棄槽液及清洗廢水，合計約 2,000 m³/day。



註1：上述製程單元中之水洗為主要廢水來源，排放方式有生產過程清洗時連續性排放及定期清槽時間歇性排放兩種。

2：W表示廢水，A表示廢氣，S表示廢棄物。

圖 7.2-1 D 工廠主要製造流程

廠內製程排出之各類廢水、廢液混合收集排入廢水處理廠處理，由於各類高濃度廢液未妥善分類收集及前處理，製程更換槽液時瞬間排出大量廢液，造成處理場負荷突增，處理水質急速惡化，嚴重影響處理成效，處理後放流水質經常無法符合工業區污

水廠進廠標準。

一、既有污染防治設施與缺失

(一) 既有污染防治設施

該廠設有一套化學混凝沉澱處理設施，其處理流程如圖 7.2-2 所示：

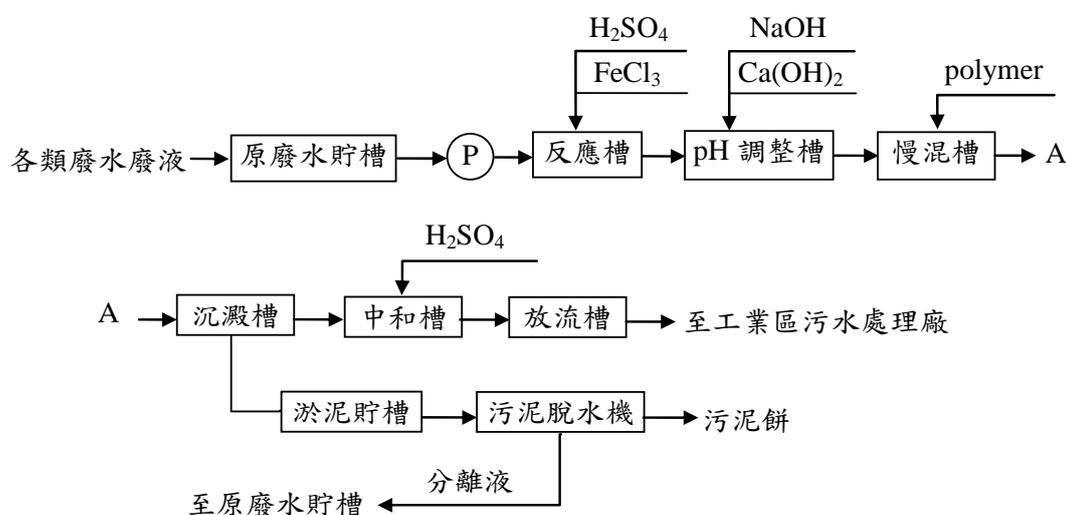


圖 7.2-2 D 工廠廢水處理流程

(二) 主要缺失

1. 製程排放之各類高濃度廢液未妥善分類收集及前處理，以致廢水水質產生劇烈變化，處理成效極不穩定。
2. 含螯合劑及錯合劑之化學銅廢水、廢液及氨銅廢水、廢液未妥善分類收集及前處理，其與製程其他含銅廢水、廢液混合收集處理時極易干擾處理效果，使廢水中重金屬離子無法有效形成氫氧化物沉澱而去除，工廠為求放流水質合格，於處理過程中大量加入處理藥劑，如 FeCl_3 、重金屬

捕集劑等，如此不但浪費藥劑成本，處理成效亦不見良好，而且由於藥劑投加過量，產生大量污泥，更造成污泥處理、處置的困擾。

3. 顯像剝膜廢液與各類重金屬廢水、廢液混合收集處理，不但極易影響重金屬化學混凝沉澱法除效果，且由於顯像剝膜廢液大量瞬間排入處理系統處理，COD 去除率偏低，處理後放流水質 COD 無法符合工業區污水廠進廠標準。

二、改善措施

(一) 進行廠內各類污染源清查及污染特性分析

全面清查廠內污染發生源及各製程單元所使用的化學品，以初步瞭解其污染特性。

(二) 進行廠內各類廢水、廢液水質、水量的量測調查及取樣水質分析。

詳細調查濕式製程的槽體容積、槽液基本組成及更新頻率或排放特性，並實際量測推估各股廢水、廢液之排出量及取樣分析其污染濃度，以作為建立廢水、廢液分類收集系統及改善廢水處理設施之依據。經過廠內廢水、廢液水質水量的量測、分析後，將各股廢水水量水質之量測分析結果加以統計分析整理如表 7.2-1 所示。

表 7.2-1 D 工廠廢水水量及水質條件*

種類	水量(m ³ /day)	pH	COD(mg/L)	Cu ²⁺ (mg/L)
顯像剝膜廢液	18.0	11~13	15,000	0
化學銅廢液	1.0	12~13	50,000	1,800
化學銅清洗廢水	4.0	1~11	1,250	50
高濃度廢液**	8.0	0~3	7,000	10,000
一般清洗廢水	1,967	5~7	40	5

*：內外層板蝕刻廢液、剝錫鉛廢液、助焊劑廢液由廠外代處理業回收處理。

**：高濃度廢液包含製程排放酸性、鹼性高濃度廢棄槽液及氨系廢液及廢水。

(三) 擬定廢水、廢液分類原則及處理方法

依據水質、水量的量測分析結果，並考量污染特性、處理技術或經濟、安全等因素，擬定適宜的廢水、廢液分類原則及處理方法如表 7.2-2。

(四) 建立廢水、廢液分類收集系統改建(改善)廢水處理設施

依據廢水、廢液分類原則，建立完善之分類收集系統，並進行廢水處理系統改善工程之規劃設計及施工。有關改善後之廢水處理流程及處理系統質量平衡計算結果如圖 7.2-3 及表 7.2-3 所示。

三、改善成效

D 工廠廢水處理改善後所獲得之具體成效如表 7.2-4 所示，改善成效重點說明如下：

- (一) 經改善後各類廢水、廢液，例如顯像剝膜廢液、化學銅廢水廢液、氨系廢水廢液以及酸、鹼性高濃度廢液等均經過妥善的分類收集或前處理後，再定量納入綜合廢水處理系統處理或定量與綜合處理水中和稀釋放流，不但有效的解決了高濃度廢液瞬間排放造成處理負荷突增的困擾，並能防止具干擾性的廢水、廢液影響化學混凝沉澱處理效果，使處理後放流水質穩定的達到工業區污水廠進廠標準。
- (二) 改善後各股廢水、廢液經分類收集或進行妥善的前處理，化學混凝沉澱處理過程中不再產生化學銅及氨系廢水、廢液的干擾問題，因此無需再添加氯化鐵、重金屬捕集劑等處理藥劑，不但節省了可觀的處理操作費用，並顯著的減少了重金屬污泥的產生量。

(三) 改善後顯像剝膜廢液單獨進行前處理，處理過程產生之墨渣不再夾雜有重金屬成分，屬無害性的有機污泥，可與有害性的重金屬污泥分開進行最終處置，節省了大筆的污泥最終處置費用。

表 7.2-2 D 工廠廢水廢液分類原則及處理方法

項次	分類原則		污染來源	處理方法
1	顯像剝膜廢液		廢液主要來自廠內顯像、剝膜等製程所之廢棄槽液	採酸化化學混凝沉澱法進行前處理，去除膜渣後，上澄液定量泵入綜合廢水處理系統之中和放流槽內中和稀釋放流
2	化學銅廢液及其清洗廢水		本系廢水、廢液主要來自廠內鍍通孔(PTH)製程中所排放之化學銅廢液及其清洗廢水	採用鋁催化還原法進行前處理，以去除廢水、廢液中螯合化之銅離子，前處理後之廢液定量泵入綜合廢水處理系統之中和放流槽內中和稀釋放流
3	高濃度廢液	氨系廢水廢液	主要來自外蝕刻製程之靜止水洗廢水、氨水洗廢水及其他APS系列之微蝕廢液等	採用折點加氯法前處理，將廢水中之氨氧化脫除，以防止NH ₃ 與重金屬錯合，影響重金屬化學混凝沉澱去除效果，前處理後與酸性高濃度廢液集中收集定量平均泵入綜合廢水處理系統中處理
		鹼性高濃度廢液	主要包含膨脹劑、鹼性清潔劑、黑棕氧化劑等鹼性廢棄槽液	集中收集定量平均泵入綜合廢水處理系統中處理
		酸性高濃度廢液	主要來自微蝕刻、酸洗、酸性清潔劑、剝掛架等酸性高濃度廢棄槽液	集中收集定量平均泵入綜合廢水處理系統中處理
4	一般清洗廢水		包含廠內各製程連續排放之低濃度清廢水	採化學混凝沉澱法以去除廢水中重金屬污染物質
5	蝕刻廢液		包含內外層蝕刻廢棄槽液	交由廠外代處理業回收處理
6	剝錫鉛廢液		廠內剝錫鉛製程之廢棄槽液	交由廠外代處理業回收處理
7	助焊劑廢液		來自廠內錫製程	交由廠外代處理業回收處理

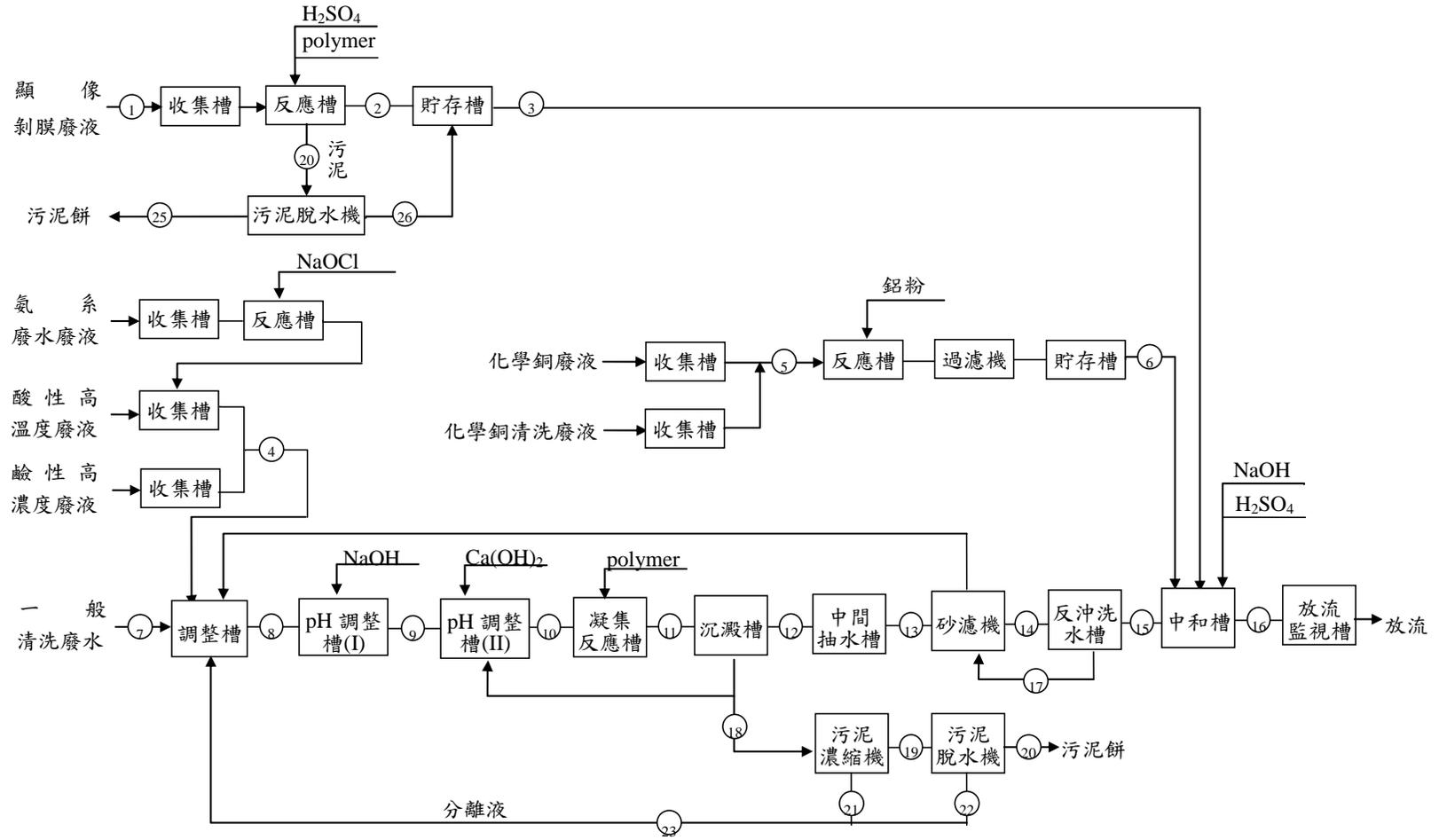


圖 7.2-3 D 工廠改善處理流程圖

表 7.2-3 D 工廠改善後廢水處理流程質量平衡計算表

項目	流量(m ³ /day)	pH	COD(mg/L)	SS(mg/L)	Cu(mg/L)
1	18.0	11~13	15,000	-	0
2	12.0	3	6,000	-	0
3	17.4	3	6,000	-	0
4	8.0	0~3	7,000	-	1,000
5	5.0	11~13	11,000	-	400
6	5.0	11-13	11,000	-	0
7	1,967	5-7	40	-	5
8	2,018.5	3-5	68.2	-	45
9	2,018.5	7	68.2	-	45
10	2,018.5	10	68.2	-	45
11	2,018.5	10	68.2	-	45
12	2,004	10	68.2	-	0
13	2,004	10	68.2	-	0
14	2,004	10	68.2	-	0
15	1,974	10	38.5	-	0
16	1,996.4	8	147.3	-	0
17	30	10	68.2	-	0
18	14.5	10	68.2	10,000	6,200
19	7.25	10	-	20,000	12,400
20	0.97	10	-	150,000	93,000
21	7.25	10	68.2	-	0
22	6.28	10	68.2	-	0
23	13.25	10	68.2	-	0
24	6.0	3	-	15,000	0
25	0.6	3	-	150,000	0
26	5.4	3	6,000	-	0

表 7.2-4 D 工廠廢水處理改善成效

項目	改善前	改善後
處理後放流水質	處理後放流水質極不穩定，無法達到工業區污水廠進廠標準 pH=3~9 COD=200~1,000 mg/L Cu ²⁺ =5 mg/L 以上	處理後放流水質相當穩定，可符合工業區污水廠進廠標準： pH=6~8 COD=200 mg/L Cu ²⁺ =1 mg/L
氯化鐵消耗量	改善前氯化鐵添加量平均為 300mg/L，氯化鐵(38%)消耗量高達 1.6 公噸/day $300 \text{ g/m}^3 \times 2,000 \text{ m}^3/\text{day} \div 38\% = 1,57\text{kg/day}$ =1.6 公噸/day	改善後無需添加氯化鐵，節省藥劑成本約： 1,600 kg/day×5 元/kg=8,000 元/day
重金屬捕集劑消耗量	改善前重金屬捕集劑平均添加量約 50 mg/L，日平均藥劑消耗量： $50 \text{ g/m}^3 \times 2,000 \text{ m}^3/\text{day} = 100 \text{ kg/day}$	改善後無需添加重金屬捕集劑，可節省劑成本約： 100 kg/day×150 元/kg=15,000 元/day
污泥產生量	Cu(OH) ₂ (15%)=921 kg/day Fe(OH) ₃ (15%)=2,634 kg/day 墨渣(15%)=600 kg/day <hr/> 合計=4,155 kg/day	改善後因無化學銅及氨系廢水廢液的干擾問題發生，處理時無需添加 FeCl ₃ 及重金屬捕集劑，因此污泥產生量大幅減少，另外顯像去墨廢液單獨前處理，處理過程產生之墨渣屬無害污泥，故改善後有害重金屬污泥僅由 Cu(OH) ₂ 所造成，其污泥產生量如下為 921 kg/day 改善後有害重金屬污泥產生量較改善前減少 3.2 公噸/day 以上，節省污泥處置費用：3.2 噸/day×10,000 元/公噸=32,000 元/day

7.3 廢水處理廠常見查核缺失與改善之案例

7.3.1 印刷電路板製造工廠 (工廠 E)

一、查核原因

放流水 COD 為 186 mg/L 超出放流水標準 120 mg/L，其處理流程如下。

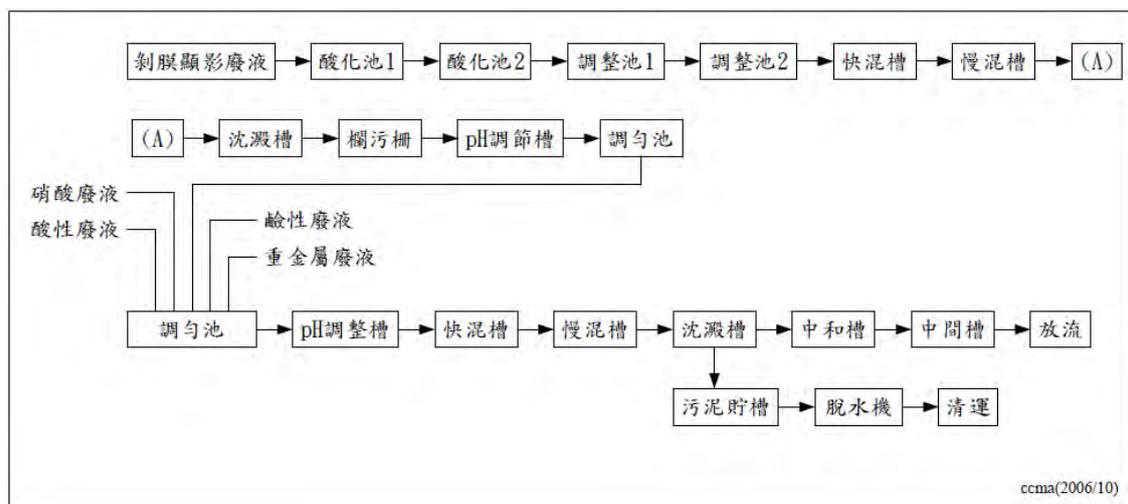


圖 7.3.1-1 處理流程圖

二、查核情形

- (一) 依現場製程觀察發現，本廠部分廢水含高濃度 COD，但污水處理程序中主要採用化學混凝為主，對於 COD 去除似乎無法應付目前實際操作需求。
- (二) 本廠廢水量為 800 CMD 水量，僅 5 m³ 慢混槽，容積明顯不足，且慢混槽攪拌過度，膠羽機轉速太快，如圖 7.3.1-2 所示。
- (三) 本廠生產線不定時操作，水量不穩定，調勻池容積不足，遇瞬間高濃度廢水則處理水可能超過放流水標準。
- (四) 混凝池多採曝氣攪拌，混凝劑採氯化鐵，污泥量多，如圖 7.3.1-3 所示。
- (五) 酸化廢水以添加 PAC(粉狀活性碳)方式處理，並非最佳方式，

設備如圖 7.3.1-4 所示。

(六) 廢水處理廠設施機械設備老舊，如圖 7.3.1-5 所示。



圖 7.3.1-2 慢混槽攪拌情形



圖 7.3.1-3 採曝氣攪拌



圖 7.3.1-4 酸洗廢水(添加粉狀活性炭)



圖 7.3.1-5 脫水機老舊

三、改善建議

- (一) 快混池及慢混池如以曝氣攪拌進行，混合難控制均勻，應加強注意其風量大小。另高濃度廢液系統膠羽機轉速過快應降低。
- (二) 現有廢水處理設施廢水量不穩定，廢水濃度若突然產生劇烈的變化，不僅加藥量不易控制，甚至造成加藥量不足及反應不完全的情況發生，各類高濃度重金屬廢液應避免瞬間一次全部排入處理廠處理，必須設置貯存收集槽集中收集後，在定量平均地納入重金屬廢水處理系統中處理。因此建議本廠宜另增設廢水貯存槽將高濃度廢液可先行儲存處理，再定量排出與其他系

廢水混合處理，以減少突增負荷所造成之操作問題。

- (三) 酸化廢水以添加 PAC(粉狀活性碳)方式處理，操作困難，將難以持續，應設法改變。
- (四) 建議增加慢混槽容積，或可考慮將混凝劑採管中加藥方式加入，而將快混池改為慢混之用。
- (五) 應加強現場人員簡易檢測水質及操作調整能力，並考慮製定操作 SOP，供現場操作依循。
- (六) 污泥為有害污泥處理費用較高，可研究乾燥後再行委外處理，節省污泥處理費用。
- (七) 本廠在進行化學混凝沉澱時，可於沉澱槽增設迴流污泥泵將沉澱槽之污泥部分迴流至快混槽中，以增加膠羽量，提升混凝沉澱之處理效果。通常迴流污泥量約控制在促使快混槽中廢水銅離子濃度提高到 200~300 mg/L 左右效果最佳。若能依此建議，進行測試及完成上述操作改善工作，相信能大幅減少重金屬污泥產生量。
- (八) 現場機械設備老舊，建議應積極維護相關設施，並於保養週期內定時上油保養及維修，並確實記錄保存。
- (九) 化學處理應更加重視加藥量及 pH 值的控制，因此對於儀控設施 (pH 計) 應加強保養，如電極應常清洗並按時校正。

7.3.2 印刷電路板製造工廠 (工廠 F)

一、查核原因

偶發放流水質超出標準之異常現象，其處理流程如下。

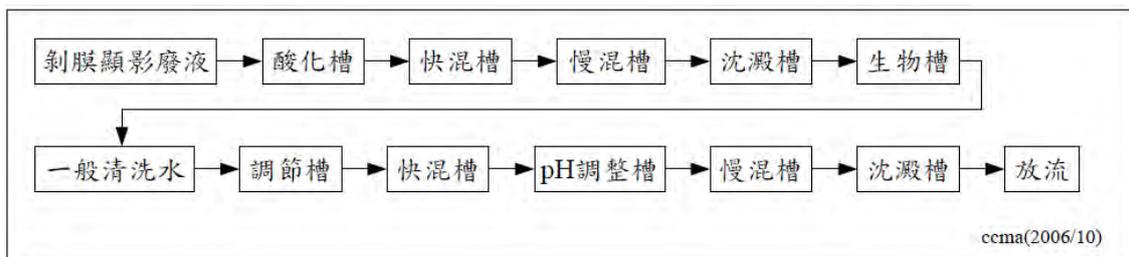


圖 7.3.2-1 處理流程圖

二、缺失情形

- (一) 廢水處理委由代操作業者操作，由訪視中發現，代操作業人員對於整廠廢水水質特性不瞭解且並未積極投入操作，對現況未能完全有效掌控。
- (二) 該廠一般清洗水以化學混凝處理，由於 SS 於生物處理中大都已被去除及廢水之銅離子濃度不高，處理時膠羽成核效果不佳，無法形成較大的污泥膠羽，污泥無法產生壓密的沉降作用，如圖 7.3.2-2 所示。
- (三) 脫水機老舊，脫水效率不佳(如圖 7.3.2-3 所示)。
- (四) 提供操作維護手冊及維護紀錄不完整，無緊急應變處理流程資料。



圖 7.3.2-2 膠凝效果不佳



圖 7.3.2-3 脫水機老舊

三、改善建議

- (一) 化學混凝膠凝效果不佳，無法形成較大的污泥膠羽，故需另添加混凝劑以促使沉降效果良好，建議可將此化學混凝程序的沉澱污泥經迴流當成核種，除可減少化學混凝的藥品添加量，亦可減少污泥產生量。有關污泥迴流量之多寡，以瓶杯試驗進行評估。
- (二) 由於本廠廢水中的污染物特性單一，而銅離子沉澱的最佳操作 pH 值為 9~10 之間，建議依個別廠家之重金屬污染物成分，擇最佳沉澱之 pH 值範圍操作，有關混凝劑、重金屬捕集劑及 polymer 等藥劑添加之最適值可透過杯瓶實驗方法求取。
- (三) 廠內製程中含有 H_2O_2 之廢液(如微蝕廢液)宜預先收集將 H_2O_2 分解完全後再慢慢逐量注入廢水處理系統處理，不應直接流入，否則將會影響污泥在沉澱槽之沉澱效果。
- (四) 現場機械設備老舊，管線腐蝕嚴重，顯見缺乏維護管理，建議每年對管線重新上漆作防銹處理，脫水機老舊建議汰舊換新。
- (五) 廢水處理設備安檢及維修或操作紀錄需詳實而明確，以利後續追蹤瞭解，並研擬建立緊急應變措施等資料。

7.3.3 印刷電路板製造工廠 (工廠 G)

一、查核原因

操作不當及製程廢水濃度不易掌握，曾遭環保局開罰原因為處理水質 COD 為 274 mg/L、Cu 為 5 mg/L 及 Ni 為 4.39 mg/L 超過排放標準，其處理流程如下。

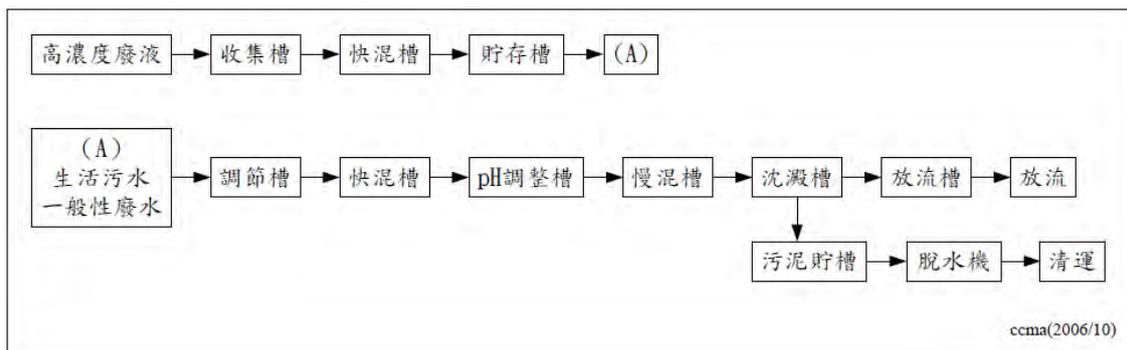


圖 7.3.3-1 處理流程

二、查核情形

- (一) 現場空間狹小，人員進出不便而危險，設備配置凌亂及工作人員動線不良。
- (二) 慢混池之操作處理尚可，但因使用氯化鐵為混凝劑，污泥量很大，處理效果尚可，混凝操作詳見圖 7.3.3-2 及圖 7.3.3-3 所示。
- (三) 訪視當天廢水廠處理效果尚可，如圖 7.3.3-4 所示。



圖 7.3.3-2 快混池



圖 7.3.3-3 慢混池



圖 7.3.3-4 終沉池沉澱

三、改善建議

- (一) 建議需再重新規劃整理，尤其在目前設施整修工程中需考慮操作人員之動向及工安衛生問題，以便日後完工後，能將環保及工安問題一併處理。
- (二) 該公司產生之有害銅污泥，含水率達 70% 以上，建議先進行強效脫水，可以降低清運處理成本，並委善委託合格之環保清運公司回收再利用，以免造成二次污染問題。此外，該公司預定提高產能，預計含銅污泥會由原本六噸增為十五噸/日，即須由乙級廢棄物處理專責人員提升為甲級廢棄物專責單位，人員之訓練及培養需儘早完成。

7.3.4 印刷電路板製造工廠 (工廠 H)

一、查核原因

曾有不良紀錄因此成為環保局列管對象，其廢水處理流程如下。

二、缺失情形

- (一) 廢水處理設施老舊，腐蝕嚴重顯得相當簡陋與凌亂，如圖 7.3.4-1 所示。
- (二) 廢水處理設施之操作：輔導當日廠內其他處理設施未運轉，惟

操作人員表示現場操作情況一切正常。然操作紀錄及水質檢測資料不齊全，僅有水質水量紀錄，未有加藥及污泥清運等紀錄，另外由於廢水含銅金屬，因此產生含銅污泥，其屬有害事業廢棄物，輔導當日代操作人員均以口述，無法提出污泥檢測相關資料。

(三) 環境與安全之維護：廢水槽上方覆蓋鐵網，鐵網老舊且未固定，人員於上方行走危險性高。且現場收集管線，未見標示清楚，如圖 7.3.4-2 所示。

(四) 多數管線大都已廢棄未使用，且未加以拆除，如圖 7.3.4-3 所示。



圖 7.3.4-1 設備老舊現場凌亂



圖 7.3.4-2 塑膠桶任意堆置鐵網覆蓋



圖 7.3.4-3 管線未加標示現場凌亂

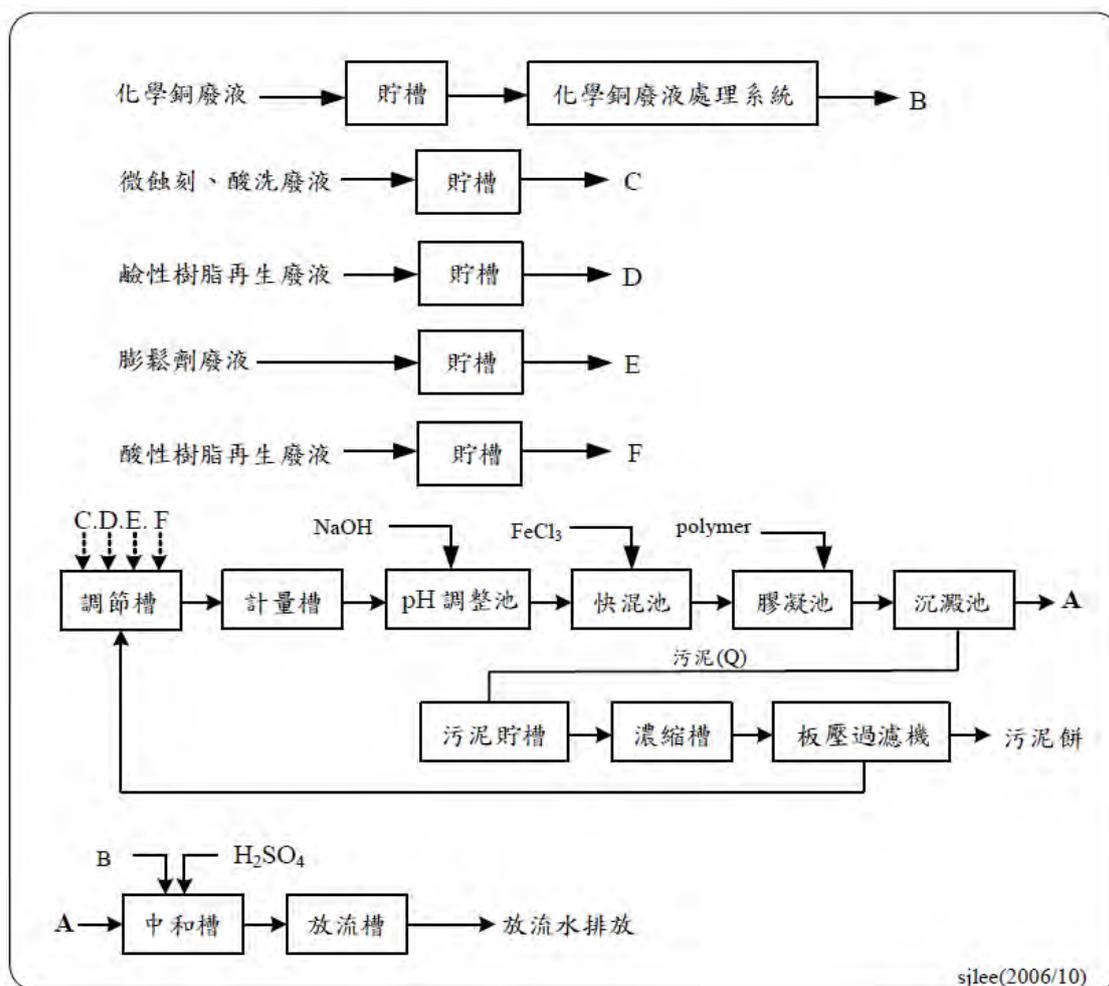


圖 7.3.4-4 廢水處理流程

三、改善建議

- (一) 建議建立長期水質資料(例如，SS、COD 及 BOD₅ 等項目)與電腦檔操作紀錄，以作為修改操作條件及處理流程的參考依據。
- (二) 由於現場操作維護表面資料不齊全，化學廢液貯存及清運資料不完整，建議應建立化學藥品回收及使用紀錄，以了解藥品商對於廢液之處理方法及流向，以確實掌握其處理動態，此外，並應與其簽訂委託清除處理合約，以符合廢棄物清理法之規定。
- (三) 重新檢視廢水收集管線，拆除或封閉已廢棄不用管線，並對收集管線加以標示廢水名稱及流向，以利日後維修保養、辨識用。

(四) 建議改善現場工作環境與工安設施，例如工作場所雜物堆置，廢水處理廠管線鏽蝕嚴重等。

(五) 建議廢水處理操作維護及藥品購買使用應確實記錄、或是訂定委託操作合約並確實監督等。

7.3.5 印刷電路板製造工廠 (工廠 I)

一、查核原因

廢水廠之擴建計畫不及製程擴增，導致廢水污染總量超過原先設計之最大處理量，常造成處理水無法達到放流水標準，其處理流程如下。

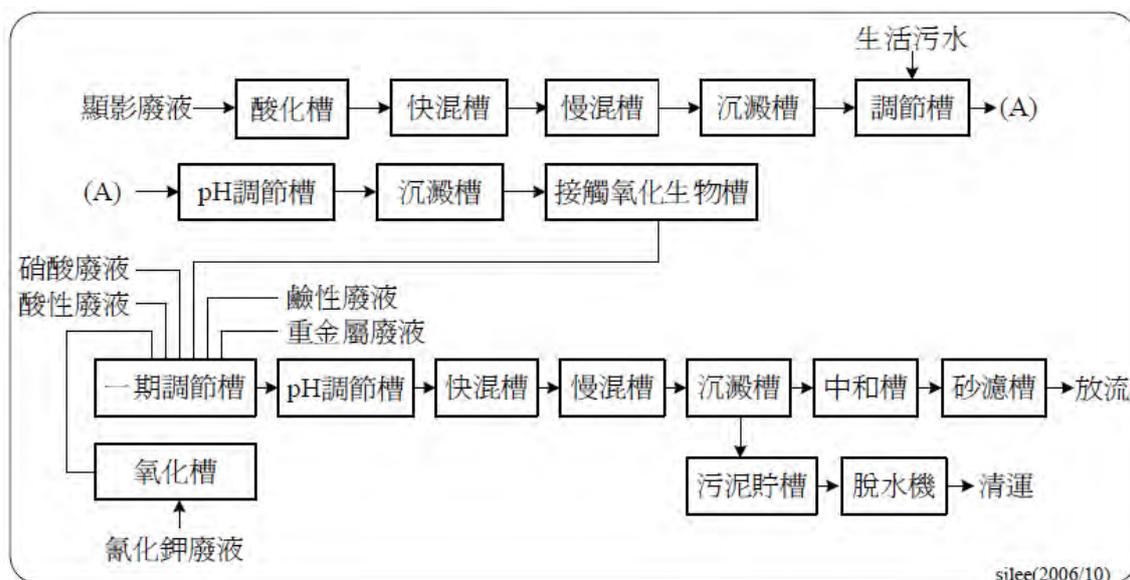


圖 7.3.5-1 處理流程

二、缺失情形

(一) 廢水污染總量超過原先設計之最大處理量，導致停留時間不足，如圖 7.3.5-1 所示。

(二) 快混及慢混池之攪拌機已壞掉，必須靠曝氣送風攪拌，效果不佳。Jar test(瓶杯試驗機)都已損壞不堪使用，無法測最佳加藥量，化學混凝效果不佳。

- (三) 提供操作維護手冊及維護紀錄不完整，無緊急應變處理流程資料。



圖 7.3.5-2 廢水處理設施容量不足

三、改善建議

- (一) 據廠內製程異動進行廢水處理操作調整，以使操作效能達最佳化，各項操作參數可藉由瓶杯試驗方法求取。
- (二) 快混池及慢混池如以空氣曝氣攪拌時，需注意其風量大小，尤其在慢混池中可藉由膠羽是否下沉了解風量是否過低，如此可能於慢混池發生沉澱現象之虞，而風量過大時膠羽會被破壞。
- (三) 廢水濃度若突然產生劇烈的變化，不僅加藥量不易控制，甚至造成加藥量不足及反應不完全的情況發生，因此各類高濃度重金屬廢液應避免瞬間一次全部排入處理場處理，必須設置貯存收集槽集中收集後再定量平均地納入重金屬廢水處理系統中處理。
- (四) 一般電路板工廠在廢水化學混凝沉澱處理過程中加入混凝劑是造成大量污泥的主要原因，事實上電路板工廠在進行廢水處理時，如能排除錯合劑或螯合劑的干擾問題，處理過程不必加入任何混凝劑及重金屬捕集劑，僅需添加 NaOH 鹼劑控制適當 pH 值，及加入 1~2 mg/L 劑量之陰電性 polymer 即可獲得良好的凝集沉澱效果。依據經驗顯示，國內一般雙面、多層板工廠，在

廢水在分類完善、操作穩定之最佳處理狀況下，其廢水銅離子污染濃度約在 30~50 mg/L 之間，在進行化學混凝沉澱時，由於濃度不高，所形成之氫氧化銅膠羽稀少，凝集沉澱效果不佳，無法形成污泥氈之壓密沉澱現象或產生良好的共沉效應，為克服此缺點，化學混凝沉澱操作可於沉澱槽增設迴流污泥泵將沉澱槽之污泥部分迴流至快混槽中，以增加膠羽量，提升混凝沉澱之處理效果。通常迴流污泥量約控制在促使快混槽中廢水銅離子濃度提高到 200~300 mg/L 左右效果最佳。若能依此建議，進行測試及完成上述操作改善工作，可大幅減少重金屬污泥產生量。

- (五) 廢水處理設施容量不足，建議應檢討節約用水量，以減少廢水量；其次，應檢討槽體之承受力及水力狀況，考慮加高槽體高度，或增設處理設施，以避免廢水溢出。
- (六) 廢水處理設備安檢及維修或操作紀錄需詳實而明確，以利後續追蹤瞭解，並研擬建立緊急應變措施等資料。

參考文獻

1. 行政院環保署水污染防治，<http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/>
2. 環保署水保處江育德技正(2014)，水污染防治法規及實務案例說明
3. 環保署水保處中華民國(2011)，違反水污染防治法實際案例探討
4. 李元陞國立宜蘭大學環工系，水污染防治相關法令現場操作及設備常見缺失
5. 行政院環保署空氣污染防制，<http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/>
6. 臺南市政府環保局空噪科專員林界宏(2014)，空氣污染防制法法規介紹
7. 高雄市政府環境保護局(2013)，固定污染源案例宣導說明會
8. 行政院環保署廢棄物清理，<http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/>
9. 桃園縣政府環境保護局事業廢棄物管理科徐進財(2013)，違反廢棄物清理工法實際案例探討
10. 環境保護署環境督察總隊林茂原，廢棄物稽查重點、常見問題及案例分析
11. 行政院環保署 土壤污染整治 <http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/>
12. 行政院環保署(2012)，土壤及地下水污染整治及基金求償手冊
13. 行政院環保署(2014)，廢水處理設施功能查核與應變(第十六冊)
14. 「廢水處理廠操作管理」，經濟部工業局工業污染防治技術服務團技術手冊第25冊，82年6月。
15. 陳見財，含氟廢水結晶法處理技術簡介，污染防治報導第117期，86年12月。
16. 世鑫環境工程有限公司(2011)「MBR膜生物反應器」，<http://sxmembrane.com/mbr.html>。
17. 白容生，電路板業之廢棄物現況調查，電路板資訊，第32期。
18. 陳忠譯，印刷配線版之種類及技術動向，表面工業雜誌，第22期。
19. 電鍍工廠排水處理與管理，工業污染防制技術手冊(21)，經濟部工業局污染防制技術服務團，財團法人中國技術服務社編印，1990年4月。
20. 周榮廷，化學鍍銅溶液穩定性問題的探討，表面技術雜誌，第121期。
21. 生物接觸曝氣法，工業污染防制技術手冊(12)，經濟部工業局污染防制技術服務團，財團法人中國技術服務社編印，1987年11月。
22. 工業廢水活性碳處理，工業污染防制技術手冊(7)，經濟部工業局污染防制技術服務團，財團法人中國技術服務社編印，1987年5月。
23. 經濟部工業局，印刷電路板業廢水前處理技術手冊，2011年6月。
24. 經濟部工業局，印刷電路板製造業水污染防治技術，1993年3月。
25. Michael Carano, Trends in Finishing Printed Wiring Boards, Plating and Surface Finishing, January, 1988.
26. USEPA, Plating and Circuit Board Manufacturing Industry, Guides to Pollution Prevention, June, 1990.
27. USEPA, Control and Treatment Technology for the Metal Finishing Industry: Ion Exchange, Summary Report, June, 1981.
28. Nunno, T., S. Palmer, M. Arienti and M. Breton, Toxic Waste Minimization in the printed Circuit Board Industry, noyes Data Corporation, New jersey, 1988.

29. Judd, R. L., B. Fleet, C. E. Small, G. A. Davis, B. Piasecki, and M. J. Muller, Final Report to Department of Health Services, State of California, Waste Reduction Strategies for the Printed Circuit Board industry, 1987.

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

印刷電路板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 978-986-04-3687-7 (平裝)
1.水汙染防制 2.空氣汙染防制 3.電子業
445.9 103025925

印刷電路板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、王文裕、張靖霖

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：1010302930

ISBN：978-986-04-3687-7

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

