

目 錄

第一章 前言.....	1
第二章 產業概況.....	3
2.1 產業現況.....	3
2.2 製程概述.....	11
第三章 廢棄物特性與處理現況.....	26
3.1 廢棄物來源及特性.....	26
3.1.1 固體廢棄物.....	28
3.1.2 高濃度廢液.....	30
3.2 廢棄物產生量及清理現況.....	34
3.2.1 固體廢棄物.....	34
3.2.2 高濃度廢液.....	53
3.2.3 一般廢水.....	54
第四章 清潔生產.....	58
4.1 廠內管理.....	59
4.1.1 原料管理.....	59
4.1.2 製程管理.....	60
4.2 環境化設計.....	66
4.2.1 原料替代.....	68
4.2.2 製程改善.....	70
4.2.3 環境化設計趨勢.....	74
第五章 資源化技術.....	88
5.1 固體廢棄物回收金屬.....	88
5.1.1 廢板邊料回收金屬.....	88

5.1.2 廢水污泥回收金屬	95
5.2 廢液回收金屬	100
5.2.1 刷磨廢水污泥之銅粉回收.....	100
5.2.2 冷卻／結晶法回收硫酸銅.....	103
5.2.3 置換／電解回收貴重金屬.....	105
5.2.4 離子交換回收貴重金屬.....	115
5.3 廢酸回收再利用	120
5.3.1 廢硫酸.....	120
5.3.2 廢硝酸.....	121
5.4 廢印刷電路板材回收	122
第六章 設備選用程序與評估	126
6.1 設備選用程序	126
6.1.1 作業程序.....	126
6.1.2 顧問聘請.....	128
6.2 供應商評估	129
6.2.1 供應商評估及選擇.....	129
6.2.2 代理商服務及維護能力評定.....	131
第七章 資源化案例	132
7.1 冷卻結晶回收硫酸銅.....	132
7.2 電解回收銅及錫／鉛金屬	137
7.3 高質傳電解設備回收銅及鉛	143
7.4 離子交換法配合電解法回收銅	147
7.5 離子交換法配合電解法回收鎳	150
7.6 廢板邊料處理及回收金屬資源.....	154
7.7 廢酸置換回收硫酸亞鐵再利用	158

7.8 廢印刷電路板材資源化	161
7.9 萃取配合冷卻結晶回收硫酸銅	166
7.10 含銅污泥回收銅	169
名詞解釋	174
參考文獻	180
附錄 技術供應商名錄	183

圖 目 錄

圖 2.1	台灣歷年電路板年產值成長趨勢	3
圖 2.2	電路板產業結構	4
圖 2.3	台灣電路板產業分佈狀況	5
圖 2.4	電路板工廠資本額規模比例	6
圖 2.5	印刷電路板減除法製造流程	13
圖 2.6	印刷電路板加成法製造流程	14
圖 2.7	印刷電路板局部加成法製造流程	15
圖 2.8	典型單面板製造流程	17
圖 2.9	典型雙面板製造流程	18
圖 2.10	典型多層板製造流程	20
圖 3.1	典型多層電路板工廠之製程及污染來源	27
圖 3.2	印刷電路板工廠固體廢棄物種類比例	34
圖 3.3	廢板邊料清理現況	37
圖 3.4	含銅重金屬污泥清理現況	43
圖 3.5	墨膜渣產出現況	48
圖 3.6	電路板工廠高濃度廢液種類比例	53
圖 3.7	不同類型之工廠 84 年及 87 年單位產品用水量比較	55
圖 4.1	清潔生產與永續發展	58
圖 4.2	各種耐燃劑分類	80
圖 4.3	磷系耐燃劑防燃機構	82
圖 5.1	廢板邊料酸洗金屬回收處理流程	89
圖 5.2	廢板邊料溶蝕金屬回收處理流程	90
圖 5.3	廢板邊料搖洗浮選金屬回收處理流程	91

圖 5.4	廢板邊料焚化金屬回收處理流程	92
圖 5.5	廢印刷電路板裂解處理流程	93
圖 5.6	廢板邊料直接冶煉金屬回收處理流程	94
圖 5.7	污泥氨浸萃取金屬回收處理流程	95
圖 5.8	污泥置換電解金屬回收處理流程(Recontek).....	97
圖 5.9	污泥乾燥氧化還原回收金屬處理流程	99
圖 5.10	濾紙式過濾設備內部構造示意圖	102
圖 5.11	氯化銅蝕刻廢液之鋁置換回收處理流程.....	106
圖 5.12	廠內集中式處理之電解回收系統	110
圖 5.13	實廠規模銅電解回收系統	112
圖 5.14	自不鏽鋼陰極板剝離之銅金屬	112
圖 5.15	氯化銨蝕刻廢液循環電解回收處理流程	113
圖 5.16	廢水離子交換濃縮配合電解回收處理流程	115
圖 5.17	廢硫酸液轉化成硫酸鐵／硫酸亞鐵之流程	121
圖 5.18	基板再利用平面塑合板處理流程	123
圖 5.19	基板再利用模造塑合板處理流程	123
圖 5.20	PVC 地磚結構圖	124
圖 5.21	基板再利用 PVC 地磚製造流程.....	124
圖 5.22	廢基板再利用浪板製造流程	125
圖 7.1	工廠印防焊綠漆前處理流程	133
圖 7.2	硫酸銅冷卻結晶系統操作方式	134
圖 7.3	線路鍍銅及鍍錫鉛製程單元之銅、錫及鉛金屬回收流程	139
圖 7.4	銅及鉛金屬回收處理流程	145
圖 7.5	離子交換法配合電解法回收銅	148
圖 7.6	離子交換法配合電解法回收鎳	152

圖 7.7	廢板邊料處理及回收金屬溶蝕流程	155
圖 7.8	廢板邊料處理及回收金屬電熔精煉流程	156
圖 7.9	廢酸(硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液)置換回收硫酸亞鐵再利用流程	159
圖 7.10	萃取配合冷卻結晶回收硫酸銅流程圖	167
圖 7.11	硫酸銅回收之酸鹼氣防制系統.....	168
圖 7.12	置換法回收銅原理	171
圖 7.13	氧化銅法回收氧化銅原理	171
圖 7.14	煅燒法回收氧化銅及氧化鐵原理	172

表 目 錄

表 2.1	近年來國內大型電路板工廠產值規模分佈	7
表 2.2	近幾年國內電路板相關業界環保工安事件統計表	10
表 2.3	化學銅槽液主要成份及其功能	23
表 2.4	蝕刻液主要成份及其功能	24
表 3.1	電路板業固體廢物來源、種類及特性	28
表 3.2	典型多層板工廠廢棄物種類及單位產品廢棄物產生量	29
表 3.3	電路板業高濃度廢液來源、種類及特性	30
表 3.4	各類型電路板製程單元使用物料及定期排棄槽液污染特性分析表	31
表 3.5	典型電路板業原廢水污染濃度表	33
表 3.6	廢板邊料金屬含量分析	36
表 3.7	廢板及邊料平均產出量推估	36
表 3.8	貴金屬及廢板邊料清除處理核可量	38
表 3.9	廢板邊料及粉屑之清除處理機構彙整資料	39
表 3.10	廢水污泥重金屬含量及毒性溶出試驗分析	41
表 3.11	含銅重金屬污泥平均產出量推估	42
表 3.12	含銅重金屬污泥清除處理核可量	44
表 3.13	含銅重金屬污泥之清除處理機構彙整資料	45
表 3.14	墨膜渣／一般污泥平均產出量推估	47
表 3.15	墨膜渣／一般污泥清除處理核可量	49
表 3.16	一般污泥清除機構彙整	51
表 3.17	一般污泥處理機構基本資料彙整表	52
表 3.18	各類型電路板工廠之單位產品廢液產生量	54
表 3.19	不同類型工廠單位產品污染量分析	56

表 3.20	電路板工廠綜合廢水污染濃度分析統計結果	56
表 4.1	電路板製程單元廢棄槽液成份及污染特性分析表	61
表 4.2	電路板工廠廢水、廢液分類原則及處理方式	63
表 4.3	電路板製程單元之清潔生產減廢技術	67
表 4.4	WEEE 預計禁止使用之成份與材料	75
表 4.5	日本電子業界之無鉛化情形	77
表 4.6	日本無鹵素環保型基材板廠商與產品	81
表 5.1	氯化銅溶蝕原理說明	90
表 5.2	廢板邊料回收金屬各技術之評價	94
表 5.3	應用重金屬污泥回收處理流程前之污泥分類	97
表 5.4	廢水污泥回收金屬資源化技術之評價	100
表 5.5	印刷電路板業高濃度含銅廢液電解回收電流效率	114
表 5.6	廢印刷電路板組成（約略值）	122
表 7.1	冷卻結晶回收硫酸銅之效益評估	136
表 7.2	工廠主要製程單元槽液組成及濃度	138
表 7.3	電解槽操作條件	139
表 7.4	銅之回收效率	140
表 7.5	電解設備回收銅之效益評估	141
表 7.6	電解設備回收錫／鉛之效益評估	142
表 7.7	高質傳電解回收銅及鉛之效益評估	146
表 7.8	離子交換法配合電解法回收金屬銅之效益評估	149
表 7.9	離子交換樹脂法配合電解法回收金屬鎳之效益評估	153
表 7.10	廢板邊料處理及回收金屬資源之效益評估	157
表 7.11	溶蝕法、粉碎法、熔煉法之特點比較	158
表 7.12	硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液置換回收硫酸亞鐵之效益評估	161

表 7.13	廢印刷電路板材與人造塑合板材之 TCLP 測試.....	162
表 7.14	不同廢印刷電路板材添加比例之塑合板物性（粗粒度）	163
表 7.15	PVC 地磚物性測試.....	164
表 7.16	利用廢印刷電路板材製造人造木材／模造塑合板之效益評估	165
表 7.17	電路板之含銅污泥組成（乾基）	170
表 7.18	銅污泥回收銅／氧化銅之效益評估	173

序

主導人類經濟的發展，除資本與技術外，最重要的是資源的掌握，因此，資源的有效利用，將是維繫未來人類經濟活動永續的命脈。廢棄物產生量多寡與資源有效運用具高度關聯性，本局自民國七十九年起，即積極推動工業減廢與污染預防工作，協助輔導產業界進行產源減量及資源回收再利用，並將輔導成果彙整，其中印刷電路板業部份分別於民國八十四及八十五年編撰成「電路板業回收設備選用手冊」及「印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編」供業界參考運用。

鑑於產業變遷、廢棄物資源化技術精進及因應九十一年七月公布之「資源回收再利用法」產源減量及資源回收再利用精神，本局委託財團法人台灣綠色生產力基金會將上述案例彙編重新編修成本手冊。本手冊除更新產業現況及資源化技術外，因應源頭減量及清潔生產等理念，並增闢「清潔生產」一章，說明如何透過廠內管理及環境化設計，推動清潔生產；另為便於產業於增設廢棄物資源化相關設備之選購，增加「設備選用程序與評估」及「技術供應商名錄」；除此，增列「名詞解釋」便於查詢，期編修後之手冊能成為業界廢棄物資源化之實用工具書，並對於廢棄物資源化技術之認知逐步提升，以擢升企業環保及經營績效。

本手冊編修過程，感謝工研院環安中心鄭智和經理及王文裕先生等參與資料蒐集及編修，以及台灣大學環境工程研究所楊萬發教授、台北科技大學環境規劃與管理研究所張添晉教授及材料及資源工程系陳志恆教授等委員之審訂，使本手冊得以付梓。但由於時間匆促，其實務資料蒐集彙整不易，內容如有錯誤漏植之處，尚祈不吝指正。

經濟部工業局 謹識

中華民國九十一年十二月

第一章 前言

國際上有愈來愈多的學者預言，二十一世紀將是爭奪資源的世代，亦即主導人類經濟的活動，除了資本與技術之外，最重要將是資源的擁有。因此，資源的有效利用，將是維繫未來人類經濟活動的命脈。現在各國對於處理廢棄物的趨勢，逐步以資源化為主，因為若能正確的把廢棄物資源化，不但可以減緩廢棄物處理設施興建的壓力，亦可創造新的利潤，降低經營成本，使資源永續利用。

又為達成資源永續利用，在可行之技術及經濟基礎下，對於物質之使用，應優先考量減少產生廢棄物，失去原效用後應依序考量再使用，其次物質再生利用，能源回收及妥善處理。故事業於進行事業活動時，應循清潔生產技術及資源回收再利用等相關原則進行，以減少資源之消耗，抑制廢棄物之產生及促進資源再利用，以節約自然資源使用，減少廢棄物產生，促進物質回收再利用，減輕環境負荷，建立資源永續利用之社會。

印刷電路板製造業（以下簡稱電路板業）是集光學、電學、化學、機械、材料及管理科學的綜合工業，也是國內電子工業的兩大零件製造業之一，隨著電子資訊工業的蓬勃發展，使得該產業的成長更加快速，民國 90 年的年產值已達到台幣 1,600 億元以上，對我國經濟發展有很大貢獻。由於電路板業製程複雜，使用多種化學藥劑及特殊原料，因此排放的廢水、廢液及廢棄物等種類繁多，除了含有多種有機性污染物外，更蘊含大量的銅、鉛及鎳等重金屬。此等重金屬未予以回收循環使用而任意排棄，其影響所及不獨造成農漁受害，污染飲水水源，破壞環境，損及人體健康，亦造成企業體及社會成本增加。工業局有感於業者對廢棄物資源回收循環使用之需求日漸提高，且對其相關技術之觀念甚為薄弱，因此彙整國內外電路板業廢棄物資源化技術，供進一步推廣廢棄物資源化處理參考應用，以輔導業者解決廢棄物污染問題。

為精簡篇幅及方便資料查詢，本手冊共分七章，先以「產業概況」做為背景描述，就電路板業做一輪廓式之敘述，並說明產業之分類及結構，以及其未來發展趨勢。「廢棄物特性與處理現況」則對廢棄物來源、特性及資源化類型做一說明，並調查評估其產生量及處理現況。「清潔生產」則從廠內管理及環境化

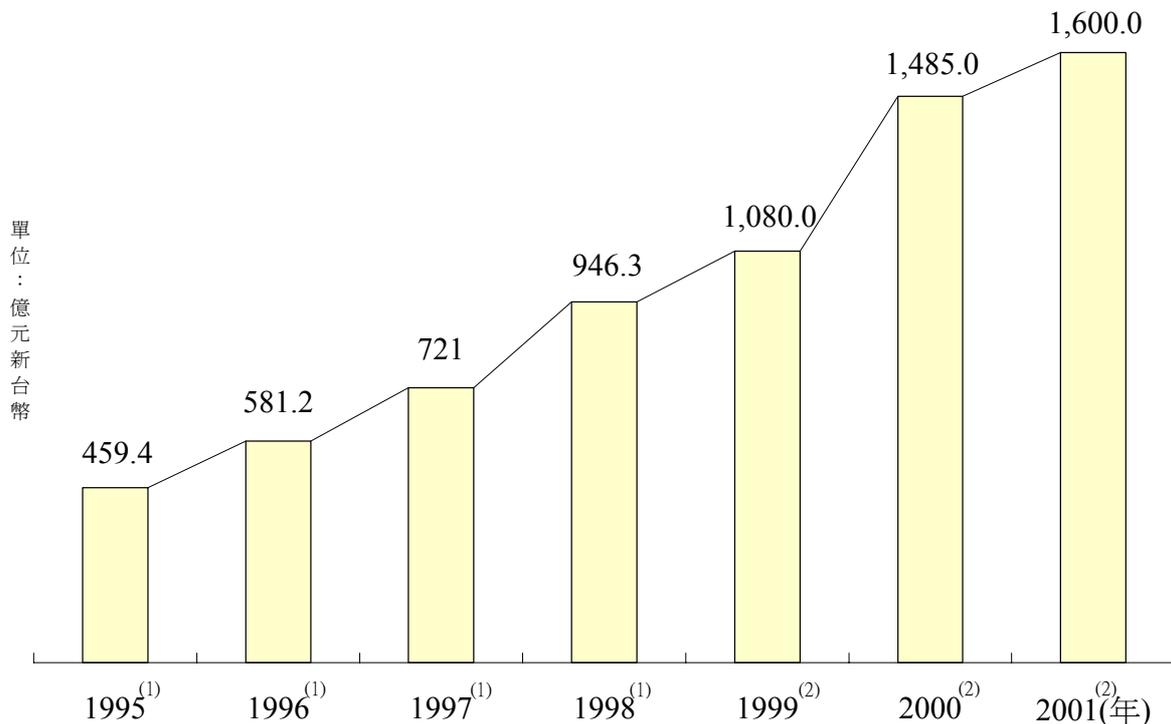
設計角度著入說明相關生產活動及產品之污染預防工作。「資源化技術」則針對國內外較成熟且較具效益之資源化技術做一探討說明。「設備選用程序與評估」則提供購置回收系統設置之選用程序及評估要領，並於附錄提供技術供應商、代理商名錄，期能提供業者在選用回收備時，得以參考應用。「資源化案例」則彙集實際執行之各項資源化措施，並就資源化執行成效及經濟效益進行量化評估，進而確實推動執行資源化工作。

第二章 產業概況

2.1 產業現況

2.1.1 歷年產值

台灣電路板工業發展迄今，已近 30 年的歷史，2000 年時為全世界第三大電路板生產國，產值僅次於美、日兩國，但 2001 年大陸已取代臺灣成為全球第三大電路板生產地。依照經濟部生產統計月報顯示，我國電路板的產值，於 1987 年首度突破百億元台幣。近年來，更隨著電子、資訊等工業的蓬勃發展，2001 年已達到 1,600 億台幣以上。詳細之歷年產值統計資料如圖 2.1 所示。



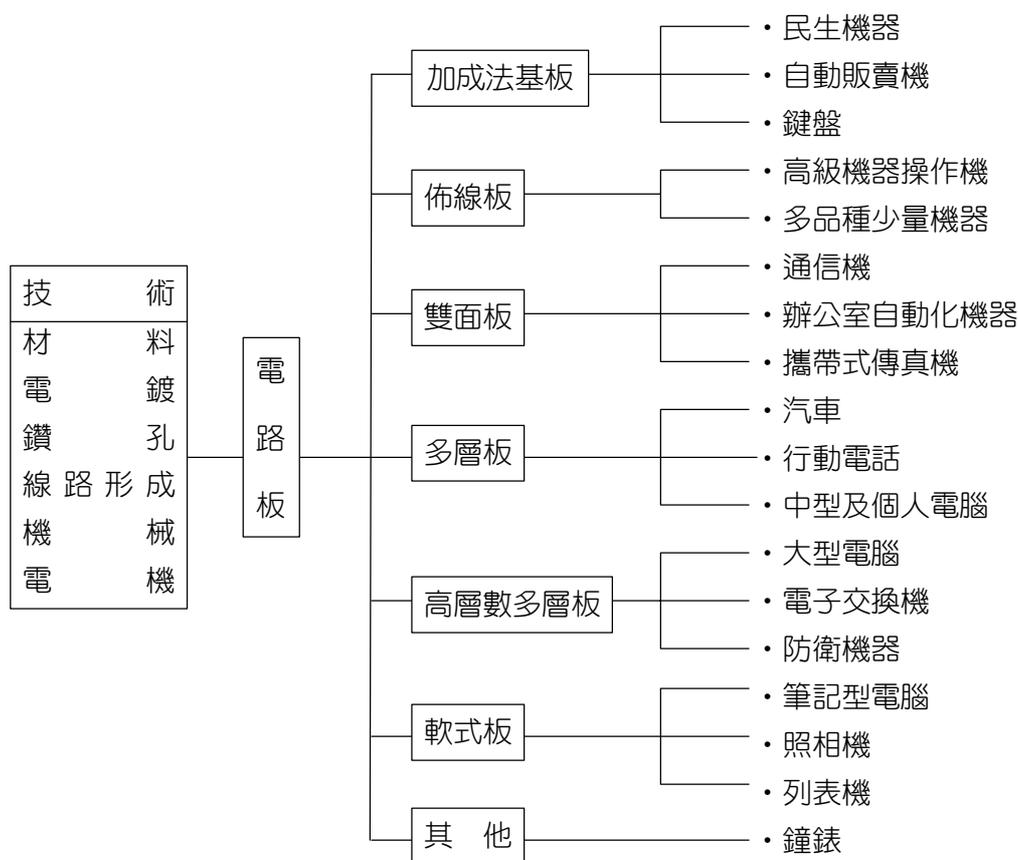
資料來源：(1)電路板會刊第 6 期，1999 年 10 月。

(2)2001 電子零組件工業年鑑，2002 年 6 月。

圖 2.1 台灣歷年電路板年產值成長趨勢

2.1.2 產業結構

隨著電子資訊工業之蓬勃發展，位屬上游工業之電路板製造業亦持續秉持多樣化、多機能化及高速處理化之目標，廣泛應用於各種機具上，一般電路板可依產品型態及層次，區分為軟板、硬質單面板、雙面板及多層板等四類，其產業結構如圖 2.2 所示。舉凡民生機具、通信器材、電腦及汽車等設備均大量採用電路板作為支撐電子零件彼此間電路相互接續之組裝基板。



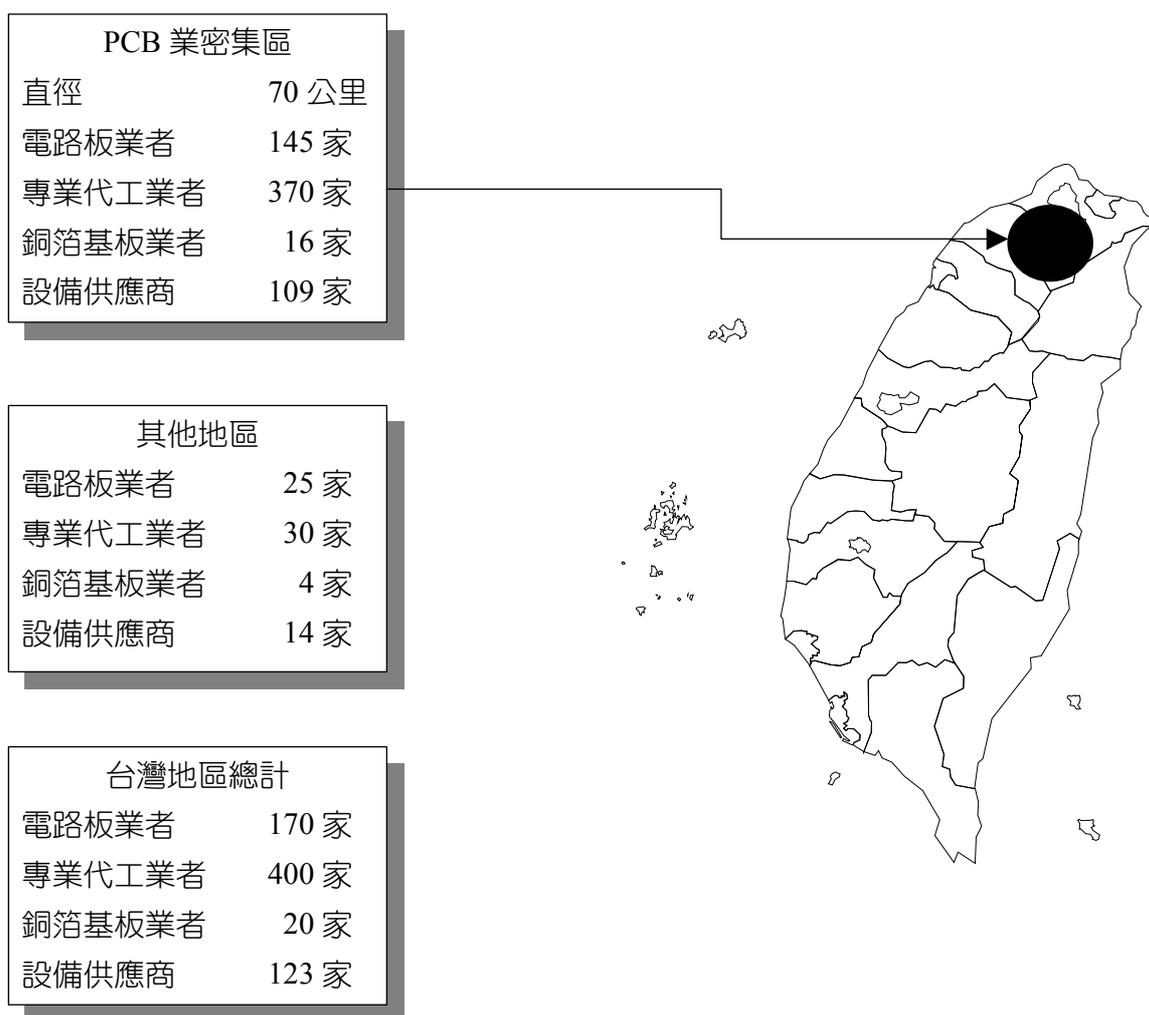
資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

圖 2.2 電路板產業結構

2.1.3 產業分佈概況

根據民國 89 年臺灣印刷電路板協會(TPCA)及工研院經貿中心產業資訊服務計畫(ITIS)調查資料顯示，目前國內專業全製程電路板工廠共有 170 家，其中約有 85%的工廠，集中在北部地區，如圖 2.3 所示，其中以蘆竹、中壢、大園等大

桃園地區之工廠家數最多，佔工廠總數的 45% 以上，其次為新莊、樹林、三重等台北地區，工廠數約佔總家數的 40% 強，此外，以電路板工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，以就近服務各專業電路板製造工廠。台灣電路板產業高密度地集中在此方圓 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，具有更強的市場競爭優勢。

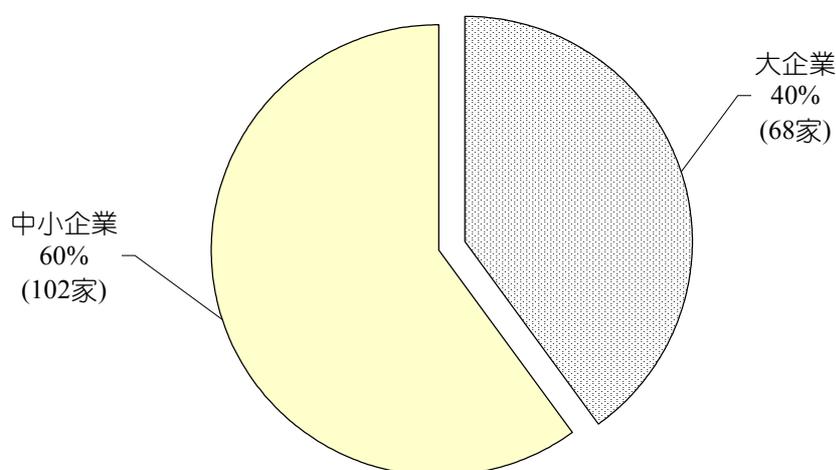


資料來源：臺灣印刷電路板協會(TPCA)及工研院經貿中心產業資訊服務計畫(ITIS)，民國 89 年。

圖 2.3 台灣電路板產業分佈狀況

2.1.4 產業規模

依據經濟部產業現況調查資料顯示，目前國內 170 家電路板工廠屬中小企業（實收資本額在新台幣 6,000 萬以下者）之比例約為 60%，屬大型企業之比例則約佔 40%，如圖 2.4 所示。由此一比例來看，國內電路板工廠屬於大企業之比例相當高（與其他一般電子零組件產業比較），造成電路板業大企業所佔比例高於其他一般電子零組件產業之主要原因為電路板的生產製程複雜，工廠設立初期即需投注相當多的資金成本在設置相關製程設備上。



資料來源：工研院經貿中心產業資訊服務計畫(ITIS)

圖 2.4 電路板工廠資本額規模比例

此外，目前國內 170 家電路板專業製造工廠中員工人數規模在 100 人以下者，約佔 60% 左右，估計整個產業從業員工總人數約在 3 萬 5 千人上下。在產值方面，依 2001 年之調查資料顯示，平均月產值超過 2 億元新台幣之超大型廠共有 13 家，平均月產值在 1~2 億元新台幣者則有 19 家，工廠產值規模分佈如表 2.1 所示。調查結果亦顯示，國內前 30 大電路板工廠（佔工廠總數的 18%），其產值即佔全國電路板總產值的 88%，由此數值可發現，國內電路板產業已邁向大型化方向發展。

表 2.1 近年來國內大型電路板工廠產值規模分佈

工廠規模	月產值(台幣)	1998 年 ⁽¹⁾ 工廠數	1999 年 ⁽²⁾ 工廠數	2000 年 ⁽³⁾ 工廠數
超大型廠	2 億元以上	9	12	13
大型廠	1 億元~2 億元	9	15	19

註：統計資料之工廠數計有 150 家。

資料來源：(1)天下雜誌 1000 大製造業排行榜。

(2)2001 年電子零組件工業年鑑，2001 年 6 月。

(3)電路板會刊第 15 期，2002 年 1 月。

2.1.5 產業動向

台灣的電路板市場近年來出現高度的成長，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想辦法精簡生產成本，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。台灣目前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，這種情況雖然加重了大家的競爭壓力，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。

不過在高度成長的背後，我們也不得不承認，上述二大驅動力從某種角度來說，也將成為台灣電路板業最大的發展阻礙。同業間為求生存，勢必展開一場激烈的價格追逐戰。

國內電路板產業在長期的努力下，已成功地跨入國際舞台，面對中國大陸及其他生產國的競爭，國內業者應及早朝向技術層次較高的產品市場方向發展，產業間並應通力合作，致力於技術交流與國際市場的開發，以維持競爭優勢於不墜。

2.1.6 未來發展趨勢

台灣電路板業經歷了 2001 年的不景氣，各國貨幣的持續貶值、中國大陸的虎視眈眈，都讓前景蒙上一層陰影。

1. 來自中國大陸電路板產業的威脅

經過 2001 年經濟不景氣的洗禮，使許多美、歐等國的電路板廠關閉美、歐等地的廠房，迅速轉移至亞洲等低生產成本的區域，其中以投資中國大陸最為積極。日本在過去投資中國大陸較為保守，主要是在民族性歷史情感上的癥結，造成投資的步伐較其它國家落後，在大勢所趨下，未來將會積極投資在中國大陸。韓國過去在投資中國大陸上也是積極佈局，但是 2001 年南韓電路板業在內需市場上的表現不錯，加上中國加入世界貿易組織（World Trade Organization, WTO）後，使得南韓在出口上的更為便利，所以現在對投資中國大陸的步伐已稍做修正。以 2001 年而言，華東的產能成長 65%，華南的產能成長 32%，其它區域成長 20%，整個中國大陸成長高達 35%，高居全球之冠。在各國競相投資下，未來仍會有相當程度的成長。

根據印刷電路板協會的統計，2001 年中國大陸電路板產值產量一舉擠下台灣成為全球第三名，當我們檢視大陸 2001 年 40 億美金的電路板營收，發現有 37% 是由台灣、香港的業者所投資，35% 是其它國家所投資的，中國大陸本身只有 28%。中國大陸已成為全球電路板投資的重點區域，在加入 WTO 後，中國大陸更享有開發中國家的出口關稅優惠，未來各國會更積極的投入資金。在資金的持續注入下，相信未來在技術上的差異也會逐漸的縮小。

台灣在全球的電腦產業中，扮演著舉足輕重的角色，然而隨著時勢變遷，台灣許多的電子產業已經將生產重心逐漸轉移至中國大陸，在台灣僅保留研發中心及部份的量產工廠。台灣花了數十年的時間來發展的供應鏈，透過外來資金及技術的協助，大陸可能在 3~5 年就建立起這樣的生產模式，這將是台灣電子產業所不可忽視的警覺。

2. 來自專業電子代工廠（Electronic Manufacturing Service, EMS）產業的競爭

全球的 EMS，如 Sanmina 購併 Elexsys、Altron 及 Hadco 等電路板廠以增加其競爭力，華碩投資百億來供應其市場的需求，鴻海則是透過策略聯盟，與欣興合作開發市場，透過電路板廠的技術及專利來鞏固原有的市場，這股風潮

似乎已在全球醞釀，特別是美國地區的 EMS 及電路板業者的結合最盛。電子產業似乎正吹起另一股垂直整合的氣息，過去專業分工的電子產業，為了保持自身的競爭力，反而逆向整合或是進行一波波的策略聯盟，可以預見的是專業電路板廠除了面對同業的競爭外，更會面臨來自客戶本身的競爭。

3. 台灣電路板業面臨轉型

台灣電路板產業正面臨著轉型的考驗，過去的成本控制、品質優勢已逐漸為中國大陸所取代，在華東、華南許多台灣的廠商都建立起自己的生產基地，將生產的重心重做調整，中國大陸與台灣的生產比重各半或視大陸為未來主要的生產基地。研發及設計中心則多數留在台灣或是建立第二個研發中心於大陸；在台灣接單到大陸生產，未來這樣的趨勢會更明顯，電路板產業不能忽視這樣的改變。在台灣、中國大陸陸續加入 WTO 後，原有的競爭規則將會改變。

2.1.7 國內電路板相關業界環保工安事件

雖然近幾年台灣的電路板業蓬勃發展但也災難連連，如表 2.2 所示。從 2000 年 3 月聯茂電子公司大火，釀成二死十傷的慘劇；鴻源電路板公司鹽酸氣外洩集體中毒事件；7 月的長興公司廢棄物承包商昇利化工公司傾倒廢溶劑引起自來水源污染事件；智恩電子氨氣外洩事件；耀華電子因承包商施工不慎引起爆炸，導致 1 人死亡；及楠電設於楠梓加工出口區的三廠大火，突顯出環保、工安及消防安全防護體系與廠房用地密集等問題點。由於環保與工安問題易流於形式化及紙上作業，如發生問題，將使後續的檢討與改善付出龐大的社會成本，因此業者本身在經營管理上如何落實環保與工安作業並居安思危，將是當務之急。

表 2.2 近幾年國內電路板相關業界環保工安事件統計表

廠 商	日 期	事 件
聯茂電子	2000/03/31	聯茂電子公司大火，釀成二死十傷的慘劇。
鴻源電路板	2000/07/04	鴻源電路板公司鹽酸氣外洩集體中毒事件，造成五十五名外勞、十八名本國勞工集體中毒。
長興化工	2000/07/17	高屏溪上游被傾倒廢有機溶劑二甲苯和二氯聯苯案，檢警搜索長興化工、昇利公司。
智恩電子	2000/08/03	在員工上班時間發生氨氣外洩事件，因氨氣具揮發刺激性造成八人因吸入受傷。
耀華	2000/09/10	耀華電子土城廠，在換裝風管發生氣爆意外，共有包商及耀華員工等六人分別因被火灼傷及玻璃、金屬碎片擊中受傷，其中一人送醫後宣告不治。
楠梓電	2000/10/01	楠電設於楠梓加工出口區的三廠大火，損失逾六千萬，大夜班百餘員工逃命，三人嗆傷。

資料來源：工研院經資中心 ITIS 計畫。

2.2 製程概述

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，其製造方法上則可概分為減除(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，然後將板面上線路部份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，以化學銅沉積的方法，在基板上欲形成線路的部份進行銅沉積，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。

2.2.1 製造方法

1. 減除法

減除法的製造方式是從銅箔基板開始，基板本身由非導電性材質組成，如環氧樹脂、酚醛樹脂及其他特殊樹脂或陶瓷等材料，經加熱加壓方式與銅箔貼合後即為銅箔基板。由於電路板板面形成線路的厚度組成，除了原來銅箔以外，尚需依靠後續製程中的電鍍來補足加厚，因此，減除法中又可細分為全板鍍銅法(panel process)及線路鍍銅法(pattern process)，請參見圖 2.5 所示，當銅箔基板在鑽好插裝零件的通孔後，為使上下銅層得以導通，以化學鍍銅在非導體的通孔壁上沉積金屬銅，而全板鍍銅法是在鍍化學銅後即以電鍍銅方式將通孔及板面一律鍍厚到所需的規格，然後進行正片蝕刻阻劑轉移，即在所欲形成的線路及通孔上覆蓋一層耐蝕刻的乾膜或油墨阻劑，經蝕刻溶蝕除去未覆蓋蝕刻的銅面，再去除阻劑，即可得到線路板；而線路鍍銅法則是在鍍化學銅後進行負片抗鍍阻劑轉移，即在線路及通孔以外的銅箔表面上覆蓋一層抗電鍍的乾膜或油墨阻劑，然後進行電鍍銅及電鍍錫鉛製作，此時銅及錫鉛僅沉積於線路及通孔上，使線路銅達到一定的厚度，並於線路及通孔表面形成一錫鉛保護層，以抵

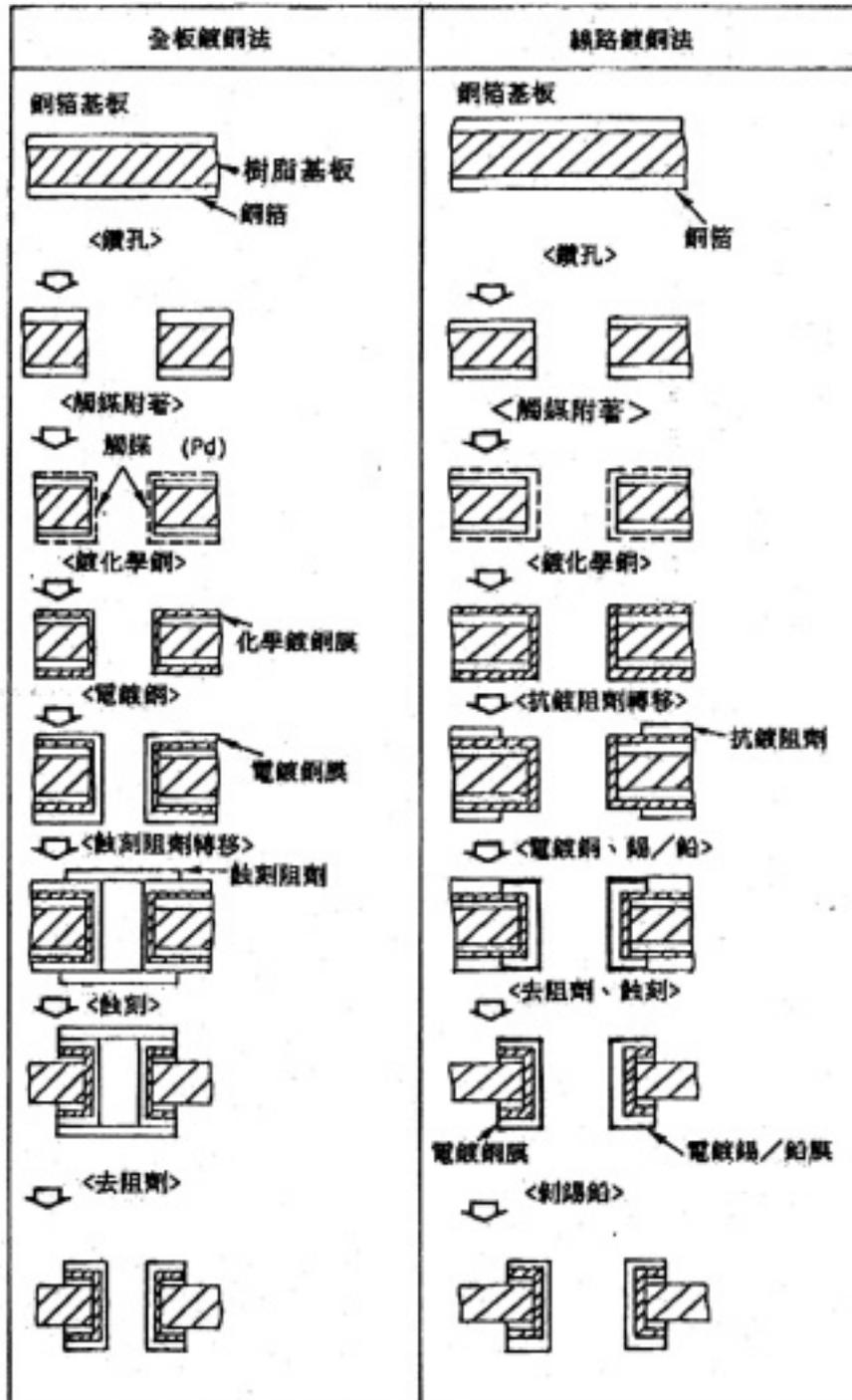
抗後續的蝕刻製作，在完成銅及錫鉛電鍍後，再將線路以外的銅箔表面油墨或乾膜（抗鍍阻劑）剝除，然後再進行蝕刻，將裸露之銅箔溶蝕除去，此時，線路及通孔因有錫鉛的保護而不被溶蝕得以保留，最後進行剝錫鉛，將錫鉛去除，以形成板面之線路及通孔。

2. 加成法

加成法所採用的基板，板面上並未能貼合銅箔，其製作方式亦可區分為兩種，請參見圖 2.6 所示，一者以事先做過特殊催化處理的基板，在板面上又另塗上一層做過同樣催化處理的塗料，當此種基板經鑽孔後，即在板面上進行永久性的負片抗鍍阻劑轉移，即在非線路及通孔的板面上覆蓋一層抗電鍍的乾膜或油墨阻劑使在進行化學銅沉積時，銅僅沉積於線路及通孔上，當銅沉積完成後，這種阻劑不需再剝除，當成永久性的板面材料，之後使用強氧化劑將塗層表面及孔壁咬蝕出許多微孔，以強化化學銅之銅沉積於塗層表面及孔壁上的密著性，然後以化學銅將線路及孔壁同時沉積到所需的厚度。另一則採非催化處理的基板，板面上塗以非催化處理的塗料，鑽孔完畢後也同樣浸入強氧化劑中進行粗化處理，之後再進行催化反應，待其乾燥後，再進行永久性的負片抗鍍阻劑轉移，最後在未覆蓋阻劑的板面線路及孔壁進行化學銅的銅沉積，直至所需的厚度。

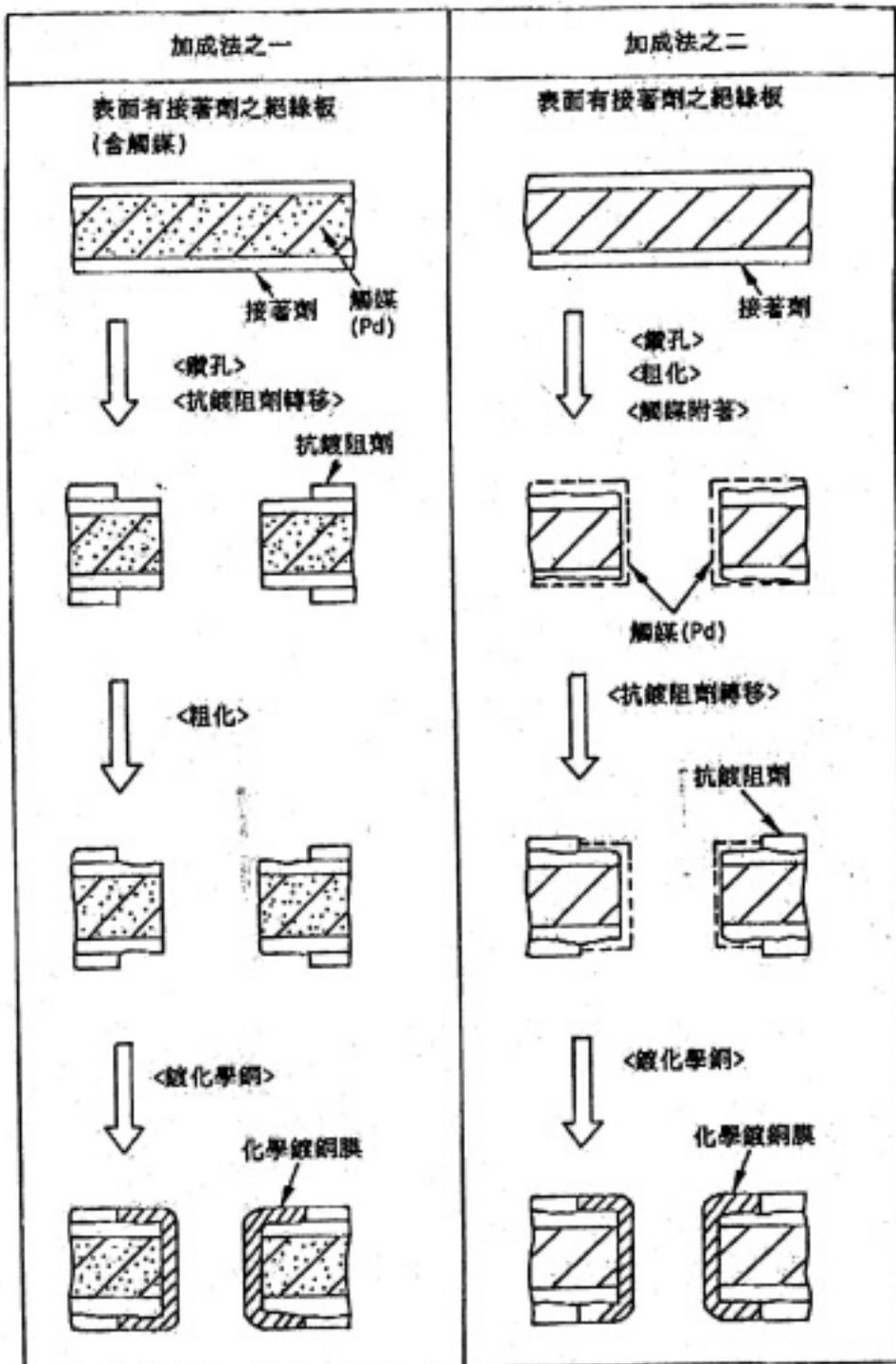
3. 局部加成法

局部加成法的基材也是採用銅箔基板，其製造流程如圖 2.7 所示。製作時直接在銅箔基板上進行正片蝕刻阻劑轉移，再蝕刻出線路來，並除去阻劑，當板面上形成所要的線路圖形後，再將板面完全覆蓋上抗鍍阻劑，然後進行鑽孔及對各孔壁進行催化，最後進行孔壁化學銅沉積，當其到達所需的厚度時，在去除阻劑後即可得到線路板。



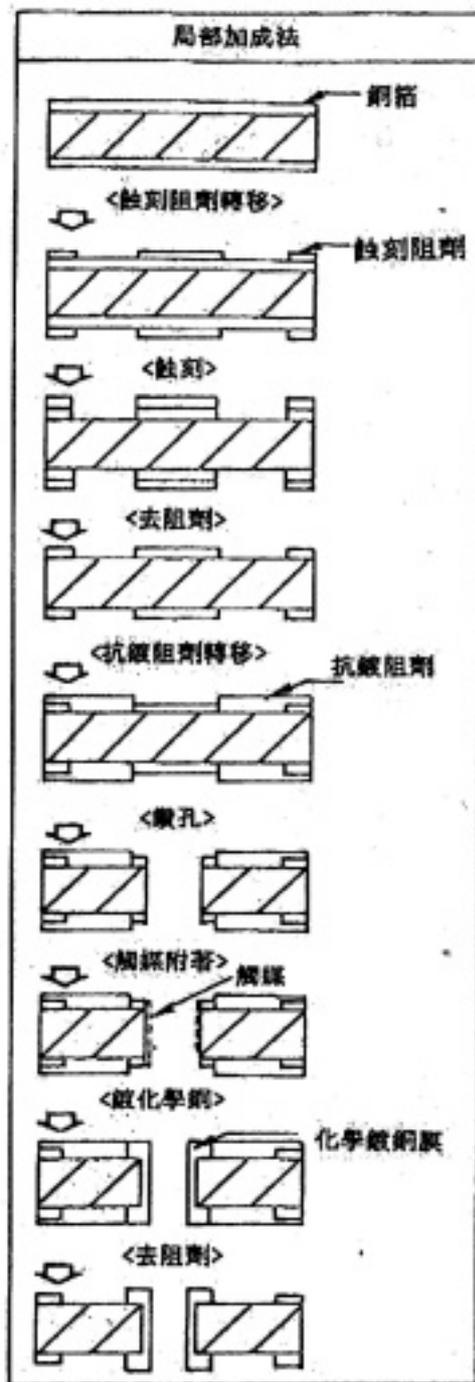
資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

圖 2.5 印刷電路板減除法製造流程



資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

圖 2.6 印刷電路板加成法製造流程



資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

圖 2.7 印刷電路板局部加成法製造流程

2.2.2 製造流程

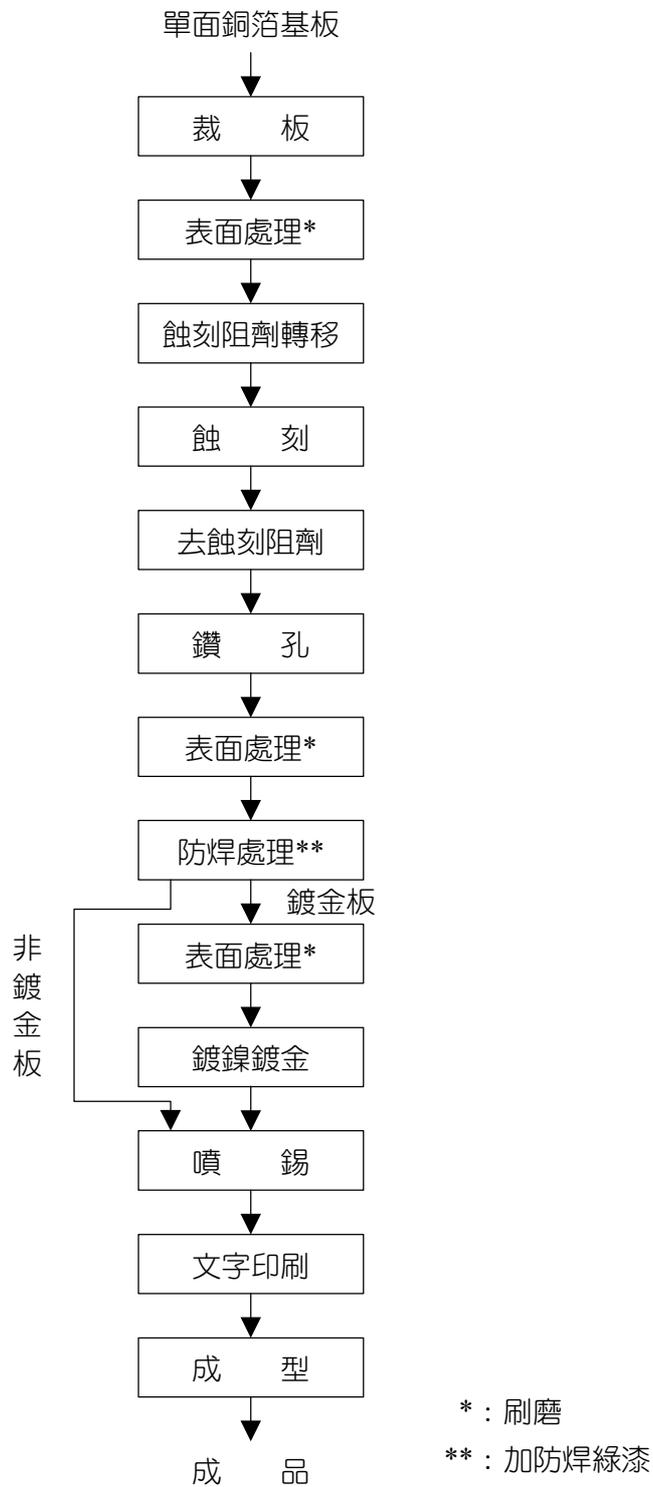
國內電路板工廠之製造方法目前幾乎全部都採用減除法，由於各廠大小、型態、生產方向及硬體規模並不盡相同，在製造流程上亦有所差異，但究其產品型態及層次可分為硬質或軟式單面板、雙面板及多層板，而軟式電路板製造方式大致同於硬板。

1. 單面板

單面板的基材主要為酚醛樹脂基板，少部份為環氧樹脂基板，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 2.8 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，一般都採用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，以便鍍鎳及鍍金，或噴附上一層錫，作為電子零件裝配焊錫之用。

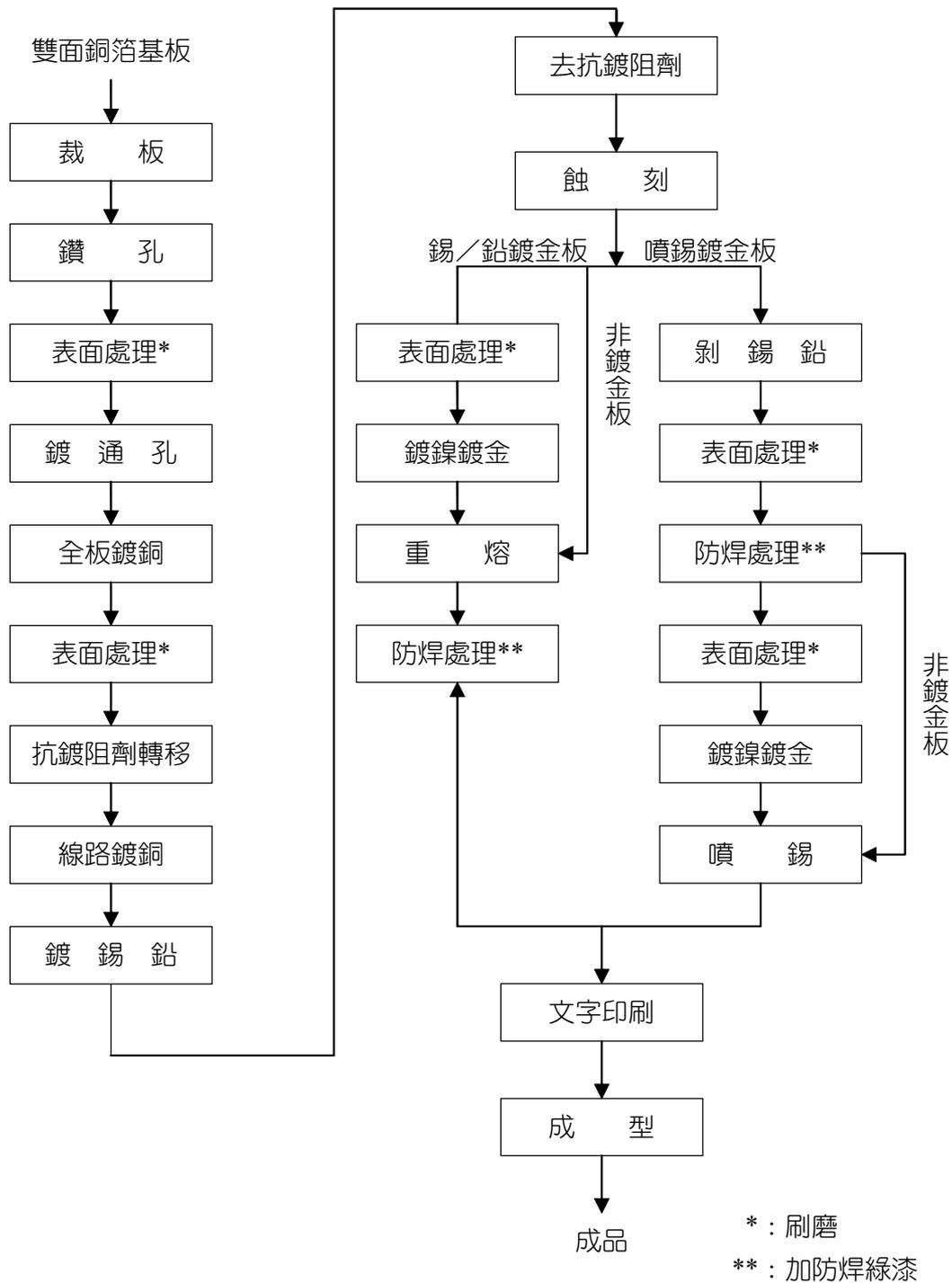
2. 雙面板

雙面板的基板乃以環氧樹脂為主，兩面貼合銅箔以成雙面銅箔基板，其典型製造流程如圖 2.9 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沉積銅，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，然後去除劑，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、石臘）熔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綠漆塗佈，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。



資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

圖 2.8 典型單面板製造流程



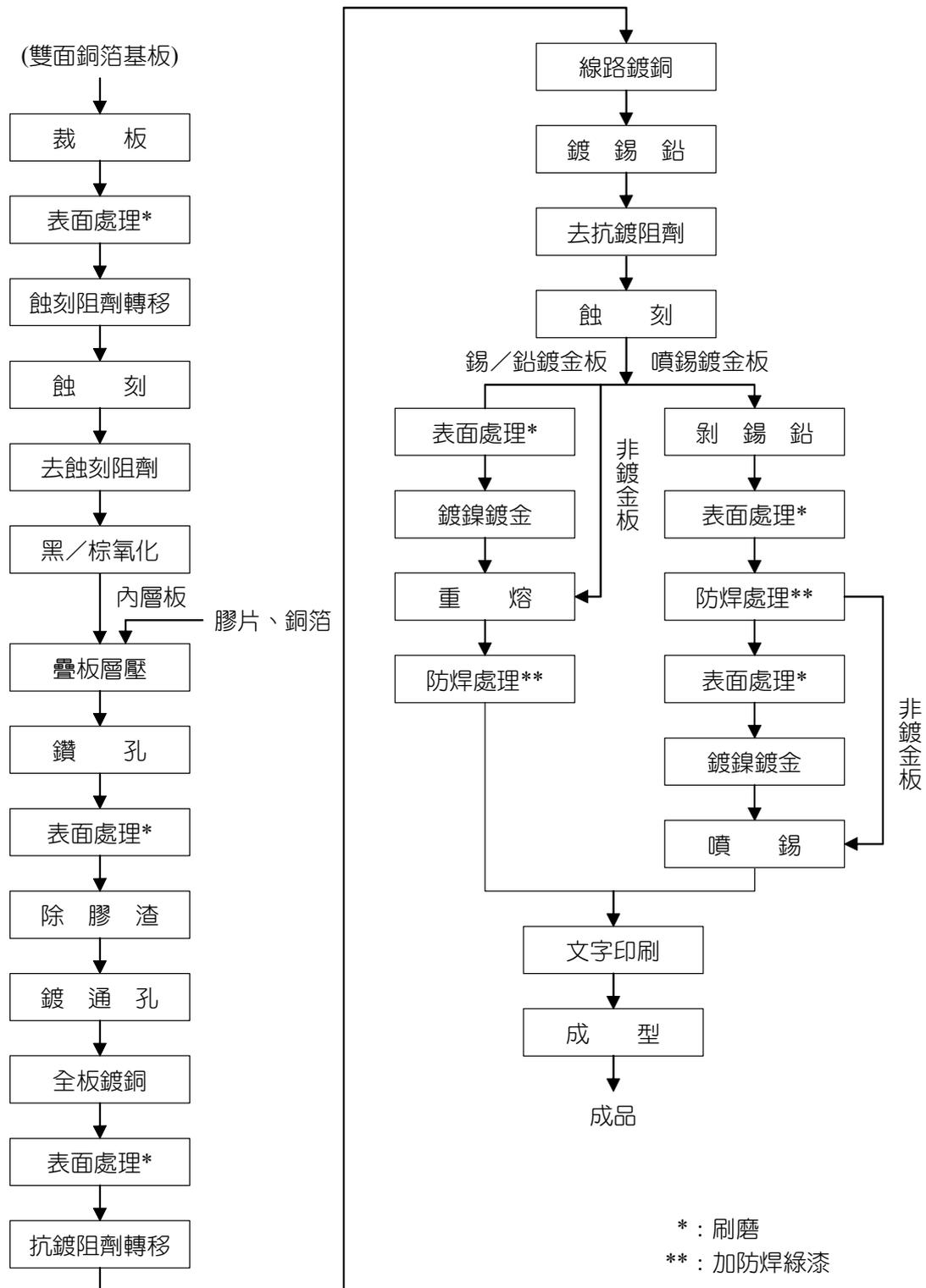
資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

圖 2.9 典型雙面板製造流程

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層壓以形成多層板，其典型製造流程如圖 2.10 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，以增加在進行疊板層壓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，六層板用兩片，八層板則用三片，中間以膠片作為黏合及絕緣材料，外層再覆蓋銅箔，進行層壓後成為多層板，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(PTH)作業，其後之外層線路作業流程與雙面板相同。

早期多層板之製作，內外層板線路之連通係採行全通式鑽孔及鍍通孔(PTH, plating through hole)的方式來達成，通孔並提供作為電子零件引腳之插裝位置，由於當時電路板之線路及電子產品之組裝尚未如現今之細密輕小，故乃可符合市場需求，然而近年來由於電子產品功能的提升及零組件的增加，通孔插裝之技術逐漸為可量化生產且可節省組裝面積之表面黏裝技術(SMT, surface mounting technology)所取代，1980 年開始 SMT 正式進入量產，細線路小孔化之電路板成為電路板工廠發展之主流。然由於電子產品功能不斷的提昇及日益輕薄短小，電子零組件及引腳持續增多，高精密度「晶片級封裝」之多層板市場需求亦漸行增加，傳統之機械鑽孔及鍍通孔技術，已逐漸不符所需，電路板產業界從 1990 年起發展出「非機械鑽孔」方式之盲孔、埋孔甚至通孔製程技術，應用此一技術多層板之製作可由內而外逐次增加層面，多層板之製程技術在微薄化方面之發展自此出現革命性的重大進步，此一新製程技稱為「增層法」(build up process)。由於增層法之技術發展日新月異，在此僅能作概略性之簡介，讀者如欲詳瞭解此一技術，可自行參考已發表相關文獻資料。



資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

圖 2.10 典型多層板製造流程

2.2.3 製程單元

減除法之電路板製造流程是從銅箔基板開始，基板本身由非導電性材質組成，單面板僅進行板面蝕刻阻劑轉移，以保留所需的導體線路，雙面板及多層板則尚需進行上下或內外層板線路的導通，所以需進行一系列的導體化作業其主要製程單元概述如下：

1.表面處理（刷磨）(brushing)

銅箔基板表面處理一般採用刷磨機的刷輪研磨基板上的銅層，來達到清潔銅面的目的，在電路製程中運用到此單元的機會很多，如

- (1)蝕刻阻劑轉移前之刷磨，以增加阻劑與銅面的附著力。
- (2)鑽孔後鍍通孔前之刷磨，以除去孔口之毛頭。
- (3)多層板之內層板去蝕刻阻劑後之刷磨，做為黑／棕氧化前的銅面清理。
- (4)抗鍍阻劑轉移前之刷磨，以增加阻劑與板面的附著力。
- (5)印防焊綠漆前之刷磨，以增加綠漆與板面的附著力。
- (6)噴錫、熔錫後之刷磨，除去可能發生的錫絲。
- (7)鍍鎳、鍍金前之刷磨，使銅面整平及活化。

2.蝕刻阻劑轉移(curing of etching resister)

將感光乾膜(dry film resist)滾壓於銅箔基板上，再將線路圖案底片置於感光乾膜上，於紫外光(UV)照射下曝光，使線路圖案上的乾膜起感光硬化(curing)反應，即正片影像轉移，最後以含碳酸鈉的顯像液將線路以外未感光硬化的乾膜溶解去除。

除上述乾膜壓合法外，另一種蝕刻阻劑轉移為絲印法(screen printing)即油墨印刷，此法乃先將線路圖案製版，然後以人工方式進行印刷，最後再將印在板面線路上的油墨烘乾硬化。

3.蝕刻阻劑轉移後蝕刻(etching after etching resister cured)

以酸性蝕刻液（氯化鐵或氯化銅系）將銅箔基板上未覆蓋蝕刻阻劑之銅面全部溶蝕掉，僅剩被硬化的油墨或乾膜保護的線路銅。

4.去蝕刻阻劑(etching resister stripping)

以含氫氧化鈉的水溶液或有機溶劑溶解線路銅上硬化的油墨或乾膜，使線路銅裸露出來。

5. 黑／棕氧化(black oxide/brown oxide)

其目的在於使內層板線路表面上形成一層高抗撕裂強度的黑／棕色氧化銅絨晶，以增加內層板與膠片(prepreg)在進行層壓時的結合能力，黑／棕氧化槽液為含磷酸三鈉、亞氯酸鈉、氫氧化鈉等組成之黑藍色水溶液。

6. 鑽孔(hole drilling)

其目的在於使板面形成未來零件導線插入的路徑，並作為上下或內外層線路之連通。

7. 除膠渣(de-smear)

其目的在去除因鑽孔過程於基板鑽孔孔壁上所產生的毛渣，以利鍍通孔的進行。過去電路板工廠曾採用鉻酸溶液進行除膠渣，但目前大都已改用高錳酸鉀溶液。

8. 鍍通孔(plating through hole, PTH)

其目的在於使經鑽孔後的非導體通孔壁上沉積一層密實牢固並具導電性的金屬銅層，作為後續電鍍銅的底材。此製程單元詳細步驟說明如下：

- (1) 整孔／調整(conditioning)：以鹼性清潔液(cleaner)去除基板通孔及表面之微粒、指紋。
- (2) 微蝕(microetching)：使用硫酸／雙氧水、過硫酸鈉或過硫酸銨輕微溶蝕銅箔基板表面增加粗糙度，使後續在進行活化過程時，與觸媒有較佳密著性。
- (3) 活化(catalyzing)：將電路板浸置於含氯化亞錫及氯化鈮的酸性槽液中，使觸媒（鈮）被還原沉積於基板通孔及表面上。
- (4) 加速化(accelerating)：溶解去除過量的膠體狀錫，使鈮完全地裸露出來，作為化學銅沉積的底材。
- (5) 化學銅(electrolysis)：將上述導體化處理後之電路板浸置於化學銅槽液中（槽液成份及功能如表 2.3），槽液中之二價銅離子即被還原成金屬銅，並沉積於基板通孔及表面上，其反應如下所示：

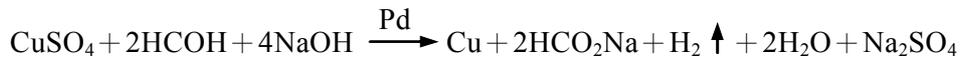


表 2.3 化學銅槽液主要成份及其功能

名稱	成份	功能
銅鹽	硫酸銅(CuSO ₄ · 5H ₂ O)	提供銅
還原劑	甲醛(HCHO)	提供電子，促成銅離子還原
螯合劑	EDTA 或酒石酸鹽等	控制銅離子還原的速率
pH 控制劑	氫氧化鈉(NaOH)	控制 pH 值，以利銅離子還原
添加劑	專密配方	穩定、光澤、加速、強化

資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

9. 抗鍍阻劑轉移(curing of plating resister)

此製程與前述蝕刻阻劑轉移所使用的感光乾膜或印刷油墨及原理幾乎相同，唯一不同的是採負片影像轉移，即將線路以外的區域曝光或烘乾硬化，而將線路上的乾膜顯像溶解掉，以使後續鍍銅及鍍錫鉛只對線路進行金屬析鍍，而對線路以外被抗鍍阻劑保護的區域無法析鍍。

10. 線路鍍銅(circuits plating)

當線路被顯像裸露出來後即進行線路鍍銅，此製程單元詳細步驟說明如下：

- (1) 脫脂：以鹼性清潔液去除來自顯像步驟殘留的墨渣。
- (2) 微蝕：以微蝕液（如過硫酸鈉）輕微溶蝕板面上的線路銅，以完全去除顯像後，線路上殘留的任何乾膜（或油墨）殘渣。
- (3) 酸浸：以稀硫酸液，去除線路銅表面的氧化物。
- (4) 鍍銅：將電路板浸置於含有硫酸銅、硫酸及微量氯離子和添加劑（如光澤劑）的電鍍槽液之陰極，陽極則為磷銅塊，供給直流電源，使電路板之線路銅上沉積金屬銅。

11. 鍍錫鉛(solder plating)

電路板線路被加鍍上銅後，再鍍上一層錫鉛合金於線路上，以作為後續抵抗蝕刻之用。其製程步驟為先行浸置於稀氟硼酸溶液中，將線路銅表面活化，再浸置於含氟硼酸、氟硼酸錫及氟硼酸鉛，陽極為錫鉛棒之錫鉛電鍍槽液中進行電鍍。

12. 去抗鍍阻劑及蝕刻(plating resister stripping and copper etching)

在進行蝕刻前，先行將線路以外的硬化乾膜或油墨部份，以氫氧化鈉或有機溶劑將其溶解剝離，再進行蝕刻（槽液成份及功能如表 2.4），將線路以外未鍍上耐蝕刻錫鉛合金的銅面全部溶蝕掉，其反應如下所示：

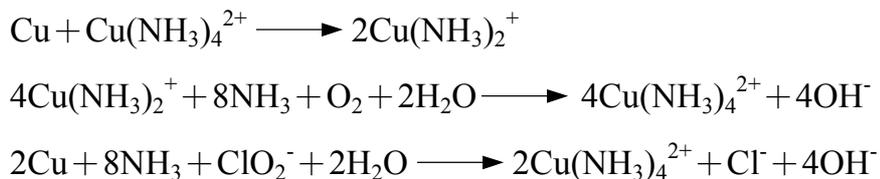


表 2.4 蝕刻液主要成份及其功能

名稱	成份	功能
複合物	氨水(NH ₄ OH)	使銅維持離子狀態溶解於溶液中
加速劑	氯化銨(NH ₄ Cl)	增加蝕刻速率及溶液穩定性
氧化劑	銅離子(Cu ²⁺)、亞氯酸鈉(NaClO ₂)	溶解金屬銅
添加劑	專密配方	緩衝清潔

資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

13. 剝錫鉛(solder stripping)

蝕刻完成後，錫鉛之抗蝕作用已達成，須將其溶解剝除，以裸露其內的線路銅，其剝除方式是將電路板浸置於硝酸或氫氟酸的剝錫鉛液中進行。

14. 印防焊綠漆(solder mask printing)

將液態綠漆以液簾方式塗佈或以乾膜綠漆壓合方式，於整面電路板上覆蓋一層防焊保護層，經紅外線(IR)硬化，再經紫外線(UV)曝光及顯像處理，將板上通孔及線路部份裸露出來，此外另有採絲印法進行油墨綠漆印刷。防焊綠漆的製作目的主要在保護板面，使板面不具沾錫性，在後續噴錫製程中，使熔融錫僅附著於板面通孔及線路部份，其餘被防焊綠漆保護的部份不附著錫。

15. 鍍鎳鍍金(nickel plating and gold plating)

將電路上欲鍍金部份（即須常插件處）浸置於微蝕液中（如過硫酸鈉），再經稀硫酸液浸泡後置於胺基磺酸鎳電鍍液中先行鍍上一層鎳，最後再於含氰化金鉀的鍍金槽液中鍍金。鍍鎳鍍金製程在電路板業界通稱為鍍金手指，其主要目的在使板面線路具有高度的抗磨性及耐焊性。

16. 噴錫(hot air leveling)

將電路板先行塗佈一層助焊劑，再瞬間浸置於融溶態的錫槽中，並隨即垂直拉起，以熱風及空氣刀刮除留在板上多餘的融溶態錫，使板上通孔及線路上附著一層錫，作為電子零件裝配之用。

第三章 廢棄物特性與處理現況

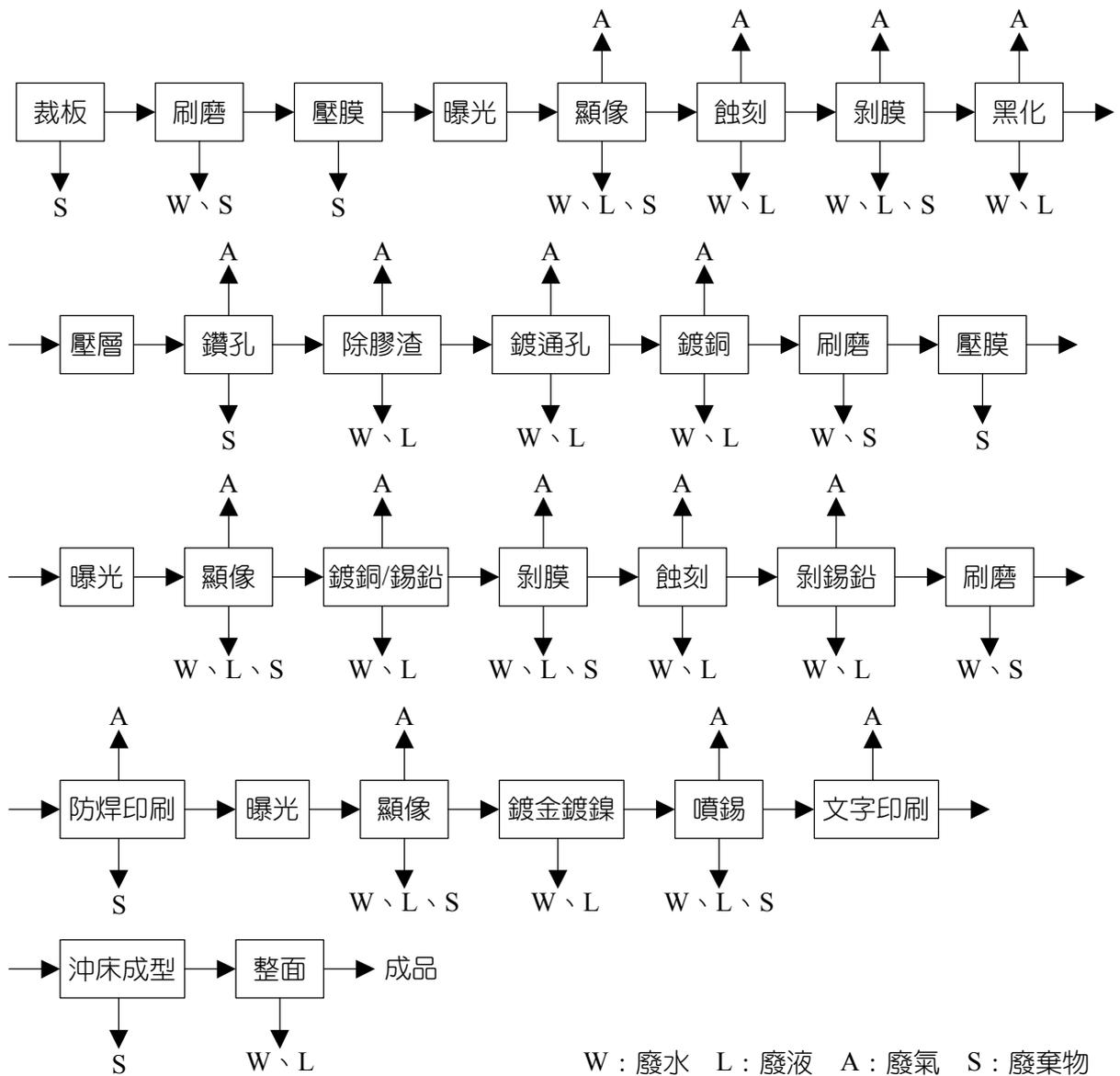
3.1 廢棄物來源及特性

電路板製程一般可區分為乾式製程(dry process)及濕式製程(wet process)，以典型多層板製程而言，乾式製程包含裁板、乾膜壓合、疊板層壓、鑽孔、成型裁邊等。濕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。圖 3.1 為典型多層電路板工廠之製程及污染來源。

乾式製程所產生的污染物主要為空氣污染物及固體廢棄物，主要的空氣污染源及污染物為裁板及鑽孔過程所排放的粗粒徑($>10\mu\text{m}$)之粒狀污染物；固體廢棄物則包括廢邊料、廢銅箔、護膜、鑽孔屑、廢墊板、廢蓋板及報廢板等。

濕式製程所產生的污染物包括廢水、廢氣及廢棄物三類。在廢水方面，由於各濕式製程單元在生產過程使用各類化學原料，因此在生產操作過程中會間歇或連續性的排出各類無機性或有機性之高濃度廢棄槽液及低濃度清洗廢水。在廢氣方面，濕式製程之主要空氣污染源及污染物包括：製程酸性或鹼性槽液成份揮發逸散所排出之酸鹼廢氣，其中以硫酸、硝酸、鹽酸及氨氣等酸鹼煙霧為主；噴錫過程所排放之小粒徑($<10\mu\text{m}$)油霧及金屬煙煙；防焊綠漆、文字與線路印刷過程因油墨溶劑揮發所排放之有機性污染物等。在廢棄物方面，濕式製程之主要廢棄物包括：廠外回收處理之高濃度廢棄槽液及油墨、乾膜等光阻劑廢棄物。

本章節主要在探討固體廢棄物及高濃度槽液兩大類廢棄物之特性與處理現況，同時為因應民國 91 年事業廢棄物管制中心廢棄物代碼變更，於 3.2 節敘述廢棄物清理現況時，亦盡可能將新廢棄物代碼附上。



資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

圖 3.1 典型多層電路板工廠之製程及污染來源

3.1.1 固體廢棄物

固體廢棄物主要來自乾式製程、濕式製程及廢水處理廠，其來源、種類及特性依製程別條列如表 3.1 所示；典型之多層板工廠所產生之廢棄物種類及單位產品廢棄物產生量如表 3.2 所示。

表 3.1 電路板業固體廢物來源、種類及特性

製程	廢棄物	特性
裁板	廢邊料	樹脂、玻璃纖維、銅箔
	廢墊板	電木
微蝕	廢硫酸銅結晶	CuSO ₄
壓膜	廢塑膠膜	PE、PET
製版	廢底片	AgBr、樹脂
顯像	墨膜渣	樹脂、顏料
剝膜	墨膜渣	樹脂、顏料
層壓	廢膠片	樹脂、玻璃纖維
	廢銅箔	Cu
鑽孔	廢墊板	電木
	廢鋁片	Al
	粉塵	Cu、Al、電木、玻璃纖維、樹脂
	廢鑽頭	鎢鋼
刷磨	廢銅粉屑	Cu、矽藻土
噴錫鉛	廢錫鉛渣	Pb、Sn、Flux
成型	廢成型邊料	Cu、玻璃纖維、樹脂
	廢整邊屑	Cu、玻璃纖維、樹脂
	銑刀	鐵
品檢測試	廢板	Cu、玻璃纖維、樹脂
廢水處理	污泥	含 Cu、Pb 重金屬污泥、墨膜渣污泥、生物污泥等
其它	廢原料桶、廢紙、廢棧板、一般垃圾	

資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

表 3.2 典型多層板工廠廢棄物種類及單位產品廢棄物產生量

序號	廢棄物名稱	類別	單位產品產生量
1	廢板	有害事業廢棄物*	0.01~0.3kg/m ² · 產品
2	邊料	有害事業廢棄物*	0.1~1.0kg/m ² · 產品
3	廢鑽孔屑	有害事業廢棄物*	0.005~0.2kg/m ² · 產品
4	廢銅粉屑	一般事業廢棄物	0.001~0.01kg/m ² · 產品
5	廢錫鉛渣	有害事業廢棄物	0.01~0.05kg/m ² · 產品
6	廢銅箔	一般事業廢棄物	0.01~0.05kg/m ² · 產品
7	廢鋁片	一般事業廢棄物	0.05~0.1kg/m ² · 產品
8	廢膠膜	一般事業廢棄物	0.1~0.4kg/m ² · 產品
9	廢墊板	一般事業廢棄物	0.02~0.05kg/m ² · 產品
10	廢紙類	一般事業廢棄物	0.02~0.05kg/m ² · 產品
11	廢木類	一般事業廢棄物	0.02~0.05kg/m ² · 產品
12	廢原料桶	一般事業廢棄物	0.02~0.05kg/m ² · 產品
13	廢紙片	一般事業廢棄物	—
14	墨膜渣	一般事業廢棄物	0.02~0.1kg/m ² · 產品
15	廢水污泥	有害事業廢棄物	0.02~3.0kg/m ² · 產品
16	一般垃圾	一般事業廢棄物	0.05~0.2kg/m ² · 產品
17	酸性蝕刻液	有害事業廢棄物	1.5~3.5 L/m ² · 產品
18	鹼性蝕刻液	有害事業廢棄物	1.8~3.2 L/m ² · 產品
19	剝掛架廢液	有害事業廢棄物	0.2~0.5 L/m ² · 產品
20	剝錫鉛廢液	有害事業廢棄物	0.2~0.6 L/m ² · 產品
21	膨鬆劑廢液	有害事業廢棄物	0.05~0.1 L/m ² · 產品
22	助焊劑廢液	有害事業廢棄物	0.05~0.1 L/m ² · 產品
23	微蝕廢液	有害事業廢棄物	1.0~2.5 L/m ² · 產品
24	化學銅廢液	有害事業廢棄物	0.2~0.5 L/m ² · 產品

*：依據民國 90 年 3 月 7 日修訂公告之「有害事業廢棄物認定標準」，含金屬之印刷電路板廢料及其粉屑於貯存及清除階段時屬一般事業廢棄物，工廠於廠內貯存時可以一般事業廢棄物貯存之方式貯存；於處理及輸出階段屬有害事業廢棄物。

資料來源：印刷電路板業環保工安整合性技術手冊，民國 89 年 9 月。

3.1.2 高濃度廢液

電路板廠內部份高濃度廢棄槽液由於特性偏屬強酸性或強鹼性，且廢液中含有高濃度的重金屬成份或含有高量之生化需氧量(COD)污染成份，大部份將之歸納為廢棄物進行處理處置，其中有部份高濃度廢液如：蝕刻廢液、剝掛架廢液等，由於銅含量極高，具回收價值，國內早已成立多家廢液回收處理工廠，專門進行此等廢液之回收處理工作。有關電路板工廠之高濃度廢液來源、種類及特性彙整如表 3.3 所示。

電路板製程廢水、廢液的污染特性隨產品層次的提昇而趨於複雜，且與其製程使用材料有直接的關係，由表 3.4 各類型電路板製程單元使用物料及定期排棄槽液污染特性以及表 3.5 典型電路板製造業原廢水污染濃度，可瞭解單面板工廠排放廢水有 pH、COD、銅離子(Cu^{2+})等污染物，雙面板及多層板工廠則有 pH、COD、銅離子(Cu^{2+})、鉛離子(Pb^{2+})、鎳離子(Ni^{2+})、六價鉻(Cr^{6+})及氟化物(F^-)等污染物。

表 3.3 電路板業高濃度廢液來源、種類及特性

製 程	廢 液	槽液成份	特 性		
			Cu^{2+} (g/L)	Pb^{2+} (g/L)	COD(g/L)
蝕刻(內外層)	氯化鐵廢液	氯化鐵	40~90	—	—
	氯化銅廢液	氯化銅	100~150	—	—
	氯化銨廢液	氯化銨、氨水	100~150	—	—
微蝕(黑/棕氧化、鍍通孔、全板鍍銅、線路鍍銅及鍍錫鉛)	微蝕廢液	硫酸/雙氧水	2~20	—	—
	微蝕廢液	過硫酸鈉	2~20	—	—
	微蝕廢液	過硫酸銨	2~20	—	—
除膠渣	膨鬆劑廢液	鹼性有機溶劑	—	—	100~400
化學銅(鍍通孔)	化學銅廢液	硫酸銅、甲醛、螯合劑	1~4	—	30~100
剝錫鉛	剝錫鉛廢液	氟化銨、硝酸、雙氧水	1~1.5	10~15	—
剝掛架	剝掛架廢液	硝酸	15~25	2~4	—
噴錫	助焊劑廢液	—	—	—	1,000 以上

資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

表 3.4 各類型電路板製程單元使用物料及定期排棄槽液污染特性分析表

製程單元	步驟	單 面 板	雙 面 板	多 層 板	槽 液 成 份	污 染 濃 度		
						COD (mg/L)	Cu ²⁺ (mg/ L)	Pb ²⁺ (mg/ L)
刷磨	酸洗	✓	✓	✓	5%硫酸(H ₂ SO ₄)	10~50	50~1,000	—
內層顯像	顯像	✓	—	✓	1~2%碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)	10,000~15,000	—	—
內層蝕刻	蝕刻	✓	—	✓	氯化銅(CuCl ₂)	—	100,000~150,000	—
		✓	—	✓	氯化鐵(FeCl ₃)	—	40,000~90,000	—
內層去墨 或剝膜	去墨或 剝膜	✓	—	✓	4%氫氧化鈉(NaOH)	20,000~30,000	—	—
黑/棕 氧化	脫脂	—	—	✓	鹼性脫脂劑	1,000~5,000	10~50	—
	微蝕	—	—	✓	硫酸/雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)	—	2,000~20,000	—
		—	—	✓	過硫酸鈉(APS)	—	2,000~20,000	—
		—	—	✓	過硫酸銨(APS)	—	2,000~20,000	—
氧化	—	—	✓	亞氯酸鈉、磷酸三鈉、氫氧化鈉	—	10~50	—	
除膠液	膨鬆	—	—	✓	鹼性有機溶劑	100,000~400,000	—	—
	氧化	—	—	✓	高錳酸鉀(KMnO ₄)	—	30~50	—
		—	—	✓	鉻酸(CrO ₃)	—	—	—
	還原	—	—	✓	酸性溶液	300~1,000	1,000~2,000	—
PTH 鍍通孔	整孔/ 調整	—	✓	✓	鹼性清潔劑	20,000~35,000	10~50	—
	微蝕	—	✓	✓	硫酸/雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)	—	2,000~20,000	—
		—	✓	✓	過硫酸鈉(APS)	—	2,000~20,000	—
		—	✓	✓	過硫酸銨(APS)	—	2,000~20,000	—
	預活化	—	✓	✓	氯化亞錫(SnCl ₂)、鹽酸(HCl)	200~500	20~100	—
	活化	—	✓	✓	氯化鈀(PdCl ₂)、氯化亞錫(SnCl ₂)	500~1,000	1~10	—
	加速化	—	✓	✓	硫酸(H ₂ SO ₄)、氟酸類	100~550	—	—
	化學銅		✓	✓	硫酸銅、甲醛、螯合劑	30,000~100,000	1,000~4,000	—

表 3.4 各類型電路板製程單元使用物料及定期排棄槽液污染特性分析表（續）

製程單元	步驟	單 面 板	雙 面 板	多 層 板	槽 液 成 份	污 染 濃 度		
						COD (mg/ L)	Cu ²⁺ (mg/ L)	Pb ²⁺ (mg/ L)
全板鍍銅	脫脂	—	✓	✓	酸性清潔劑	3,000~5,000	500~2,500	—
	微蝕	—	✓	✓	硫酸／雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)	—	2,000~20,000	—
		—	✓	✓	過硫酸鈉(APS)	—	2,000~20,000	—
		—	✓	✓	過硫酸銨(APS)	—	2,000~20,000	—
	預浸酸液	—	✓	✓	10%硫酸(H ₂ SO ₄)	10~50	500~6,000	—
外層顯像	顯像	—	✓	✓	1~2%碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)	10,000~15,000	—	—
線路鍍銅 及鍍錫鉛	脫脂	—	✓	✓	酸性清潔劑	3,000~5,000	500~2,500	—
	微蝕	—	✓	✓	硫酸／雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)	—	2,000~20,000	—
		—	✓	✓	過硫酸鈉(APS)	—	2,000~20,000	—
		—	✓	✓	過硫酸銨(APS)	—	2,000~20,000	—
	預浸酸液	—	✓	✓	10%硫酸(H ₂ SO ₄)	10~50	500~1,000	—
預浸氟硼酸	—	✓	✓	5%~10%氟硼酸(HBF ₄)	—	—	—	
外層剝膜	剝膜	—	✓	✓	4%氫氧化鈉(NaOH)	20,000~30,000	—	—
外層蝕刻	蝕刻	—	✓	✓	氨水(NH ₄ OH)、氯化銨(NH ₄ Cl)	—	100,000~150,000	—
剝錫鉛	剝錫鉛	✓	✓	✓	氟化銨、硝酸、雙氧水	20,000~25,000	1,000~1,500	10,000~15,000
綠漆顯像	顯像	✓	✓	✓	1~2%碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)	10,000~15,000	—	—
鍍鎳金	前處理	✓	✓	✓	鹼性清潔劑	1,000~5,000	—	—
		✓	✓	✓	活性酸液	10~50	—	—
噴錫	酸洗	✓	✓	✓	5%硫酸(H ₂ SO ₄)	10~50	15,000~20,000	—
	助焊劑塗佈		✓	✓	鹵化有機物	極高	50,000~100,000	—
剝掛架		—	✓	✓	硝酸(HNO ₃)	3,000~5,000	15,000~25,000	2,000~4,000
剝廢板綠漆		✓	✓	✓	強鹼性溶劑	100,000~150,000	—	—

資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

表 3.5 典型電路板業原廢水污染濃度表

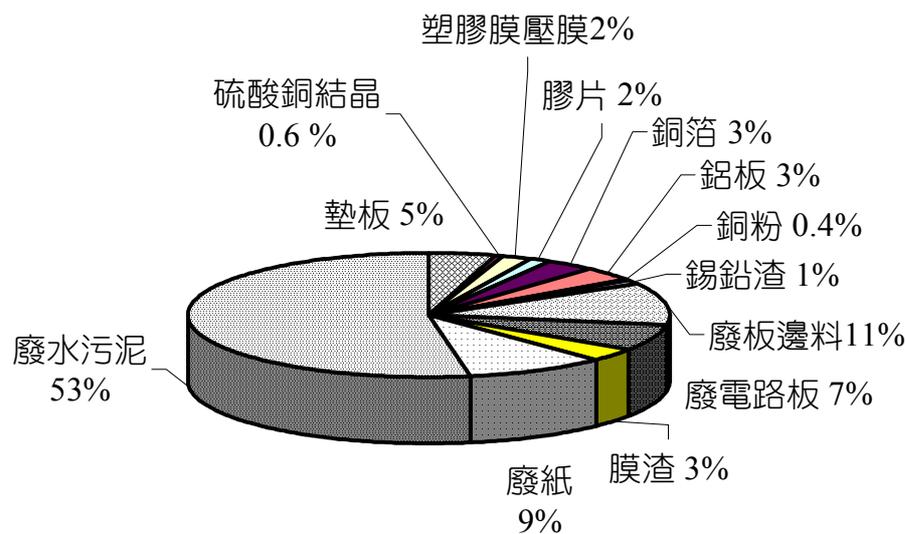
成 份		範圍值(mg/ L)
總懸浮固體，Total Suspended Solids		0.998~408.7
總氰化物，Total Cyanide		0.002~5.333
可氯化氰化物，Cyanide (Amenable to Chlorination)		0.005~4.645
銅，Copper		1.582~535.7
鎳，Nickel		0.027~8.440
鉛，Lead		0.044~9.701
總鉻，Total Chromium		0.005~38.52
六價鉻，Hexavalent Chromium		0.004~3.543
氟化物，Fluorides		0.648~680.0
磷，Phosphorus		0.075~33.80
銀，Silver		0.036~0.202
鈀，Palladium		0.008~0.097
金，Gold		0.007~0.190
螯 合 劑	乙烯二胺四乙酸，EDTA	15.8~35.8
	檸檬酸鹽，Citrate	0.9~1,324
	酒石酸鹽，Tartrate	1.3~1,108
	月青基三乙酸鹽 (NTA sodium, nitriloacetate)	47.6~810

資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

3.2 廢棄物產生量及清理現況

3.2.1 固體廢棄物

如表 3.1 所示，電路板業固體廢物種類繁多，根據工業污染防治服務團調查民國 87 年之資料顯示，印刷電路板業固體廢棄物種類比例如圖 3.2 所示，並 89 年 9 月出版之「印刷電路板業環保工安整合性技術手冊」指出，銅箔、鋁板、錫鉛渣及廢紙等仍具極高經濟價值者，53~67% 的工廠由原料供應廠商或廢金屬回收廠商回收；廢水污泥及廢板邊料屬有害事業廢棄者及部分數量較少且屬一般事業廢棄物者，一般皆委託代清除業者、代處理業者或代清除處理業者處理。



資料來源：印刷電路板業環保工安整合性技術手冊，民國 89 年 9 月。

圖 3.2 印刷電路板工廠固體廢棄物種類比例

以下則以產量較大或不易處理之廢板邊料、含銅重金屬污泥、墨膜渣／一般污泥為重點，進一步說明其產源、特性、產生量推估、清除處理方式、清除處理核可量、清除處理機構費用等。

1.廢板邊料

(1)產源

製作印刷電路板時可能產生廢板、邊料之製程單元有：裁板時的邊料、成型時之成型邊料及整邊屑、品檢階段中之廢板等。

(2)特性

電路板是以基板(laminates)為原料製成的電子組裝基地。電路板中常用的基板材質可分為紙質酚醛樹脂基板，主要作為單面板之板材使用；複合基板，作為雙面板使用之基材；玻纖環氧基板為目前銅箔基板的主流，其隨著製成之產品的不同，可用在核心基板、膠片、或雙層板的板材。一般而言，基板由高分子聚合物（樹脂）、玻璃纖維或牛皮紙及高純度銅箔三者所構成之複合材料，而這三者亦是構成廢板邊料的主要材質。

電路板中之樹脂成分為鄰位型溴化物的耐燃環氧樹脂(FR-4)，其典型分子式為 $C_{57}H_{66}O_{10}Br_4$ ，分子量為 1,225.6 克／莫耳，由 FR-4 之四層板，推估理論樹脂含量約佔 39.37%，可推估廢板邊料中除 C、H、O 等元素外，尚含有危害性較高之 Br 元素約 10.27%，且由於熱值約 2,187kcal/kg，顯示在適當燃燒條件下，一旦被引燃即可自給燃燒所需的熱能而持續燃燒，並排放出含溴之危害性氣體。表 3.6 所示為廢板邊料金屬含量分析。廢板邊料經粉碎後利用搖洗浮選法將金屬與樹脂及玻璃纖維分離，並分析銅、錫、鉛、鎳等金屬，顯示硬板製造廠廢板邊料之金屬含量約 4.26～25.74%（一般廢印刷電路板之硬板含銅量約有 10～15%），而軟板製造廠廢板邊料之金屬含量約 41.74～64.05%，鍍銅邊料含銅量為 25～30%，由此可見廢板邊料極具金屬資源回收之潛力及效益。

(3)產生量推估

依據臺灣電路板協會之「電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫」之調查推估，係由 9 家有效樣本工廠的廢板及邊料之廢棄物產生因子，及電路板行業產品產出現況，推估民國 88 年及 89 年電路板行業產生

之最小、平均及最大廢棄物產生量，如表 3.7 所示。

表 3.6 廢板邊料金屬含量分析

來源 含量(%)	A 廠	B 廠	C 廠	D 廠	E 廠	F 廠	G 廠	H 廠
銅，Cu	19.49	4.19	21.06	21.29	12.75	23.4	63.68	41.35
錫，Sn	0.49	0.05	0.7	0.42	0.46	1.38	0.24	0.27
鉛，Pb	0.29	0.02	0.53	0.03	0.34	0.96	0.12	0.12
鎳，Ni	0.006	0.001	0.001	0.007	0.001	ND	0.006	0.004
金屬	20.29	4.26	22.29	21.75	13.55	25.74	64.05	41.74
樹脂及玻璃纖維	79.71	95.74	77.71	78.25	86.45	74.26	35.95	58.26

註：F 廠為雙面板製造廠；G 及 H 廠為軟板製造廠

資料來源：電路板業廢水污泥與廢板邊料之特性分析及處理處置方案評估綜合報告。

表 3.7 廢板及邊料平均產出量推估

年度 推估量 (噸/年)	88 年	89 年	說 明
廢棄物平均 產出推估量	33,997	38,932	1.88 年行業產品產量為 400,430,571 平方英尺 2.89 年行業產品產量為 458,557,589 平方英尺
廢棄物最大 產出推估量	76,883	88,043	3.依據有效樣本數 9 家之廢板及邊料之產生因子(單位 產品之廢板產生量及單位產品之邊料產生量)推估
廢棄物最小 產出推估量	9,730	11,143	

資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

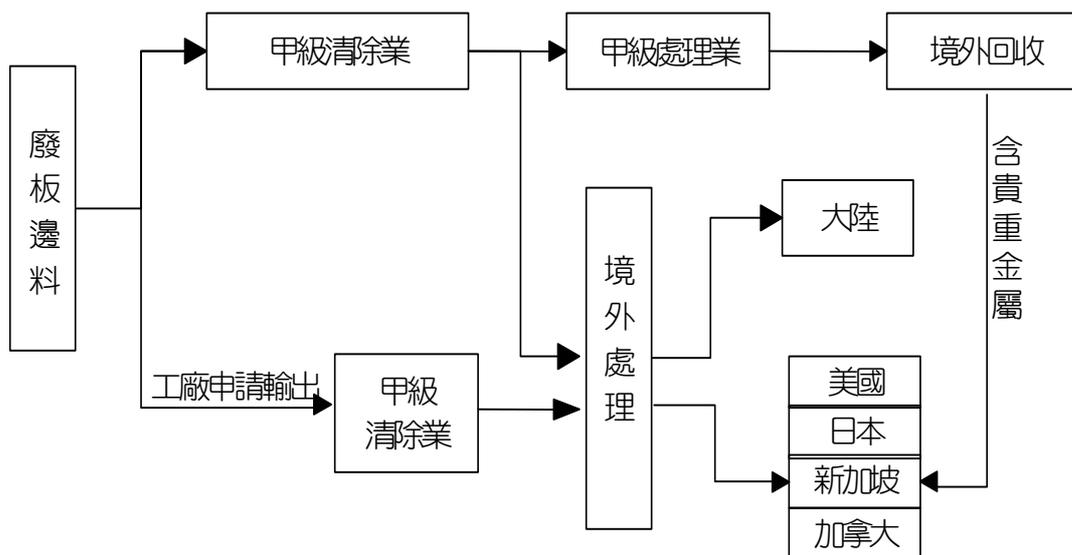
(4)清除處理方式

- 廢印刷電路板、邊料及粉屑合併以含金屬之印刷電路板廢料及其粉屑 (E-0221) 名義委託甲級清除機構清運，目前工廠大都以此種清除方式為主。

- 廢印刷電路板、邊料及粉屑合併以其他無法歸類之混合五金廢料 (E-0399) 名義委託甲級清除機構清運，目前工廠有以此種清除方式。
- 廢印刷電路板、邊料以其他無法歸類之混合五金廢料 (E-0399) 名義委託甲級清除機構清運，但粉屑併入工廠所產生之一般事業廢棄物清理，以生活垃圾 (D-0181) 的名義委託清除機構清運至國內處理廠焚化或至最終處置地地點採取掩埋。

依據民國 90 年 3 月 7 日修訂公告之「有害事業廢棄物認定標準」，含金屬之印刷電路板廢料及其粉屑於貯存及清除階段時屬一般事業廢棄物，工廠於廠內貯存時可以一般事業廢棄物貯存之方式貯存；於處理及輸出階段屬有害事業廢棄物，故部分工廠將粉屑併入一般事業廢棄物清除處理，違反「廢棄物清理法」之規定。

國內廢板邊料之清理現況如圖 3.3 所示，目前以甲級清除機構清運且輸出中國大陸處理為主；其次輸出至先進國家如日本、美國、新加坡及加拿大等地處理者，以含有貴重金屬之廢板或 IC 為主；而國內甲級處理機構除處理廢板邊料外，亦可處理含有貴重金屬之廢板或 IC，經破碎後輸出至先進國家回收。



資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

圖 3.3 廢板邊料清理現況

(5)清除處理核可量

目前國內合格甲級清除機構共 20 家，總核可清除含金屬之印刷電路板廢料及其粉屑（E-0221）及混合五金廢料（E-0399）之年許可量達 160,884 噸，扣除因市場過度競爭而轉移清除含貴重金屬之 IC 晶片、電阻器、電容器等清除機構 9 家之年核可量共計 107,158 噸。處理機構共 6 家，其中部分機構以清除處理含貴重金屬之廢料（積體電路晶片、電容器、電阻器等）為主，其核可量詳如表 3.8 所示。

表 3.8 貴金屬及廢板邊料清除處理核可量

機構種類	年核可量(噸)	僅清除處理含貴金屬之機構 年核可量(噸)	清除處理廢板邊料之機構 年核可量(噸)
清除機構	160,884 (21 家)	53,726 (9 家)	107,158 (12 家)
處理機構	206,280 (6 家)	91,800 (2 家)	114,480 (4 家)

資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

由表 3.7 及表 3.8 可知，核可清除及處理量均大於產出量，因此國內清除處理機構應可全部合法清除處理電路板業所產生之廢板邊料，惟：

- 此處所統計之核可清除處理項目為混合五金廢料，因國內清除處理機構之許可清除處理種類及許可量並未嚴格細分，所以表列核准量除廢板、邊料外，尚包括廢馬達、廢壓縮機、不含油脂之含銅電線電纜、廢電腦等。
- 清除處理核可量僅為參考，實際清除處理量主要受市場機制、處理設備限制、最終處置途徑及清除處理機構營運正常性所影響。
- 部份清除機構採境外處理，其實際清除量亦受境外輸出核准量限制。

(6)清除處理機構

廢板邊料及粉屑之詳細清除機構名稱、處理機構、處理方式及相關清理現況資訊等彙整如表 3.9 所示。

表 3.9 廢板邊料及粉屑之清除處理機構彙整資料

編號	清除機構名稱	處理機構名稱	處理方式	備註
1	隆太金屬股份有限公司	中國大陸 江蘇省鎮江亞太金屬有限公司	粉碎、分選	已取得輸出許可
2	進田企業股份有限公司	中國大陸 廣東省清遠市進田有限公司	粉碎、分選	已取得輸出許可
3	和亞實業有限公司	中國大陸 廣東省有色金屬增城五金塑膠料	—	—
4	南亞環保工程企業有限公司	中國大陸 溫嶺亞泰再生資源加工有限公司	粉碎、分選	已取得輸出許可
5	觀鼎企業有限公司	中國大陸 廣東省清遠市進田有限公司	粉碎、分選	—
6	上祈企業有限公司	1.中國大陸 旌風企業有限公司五金處理廠(山東省煙台市濱海北路 102 號) 2.上祈企業有限公司	上祈企業有限公司：拆解、破碎、分選、溶蝕	1.回收銅、鋁、鐵及金、銀、鈹、鎳等重金屬售予相關業者 2.總運廢棄物清理股份有限公司 3.目前處理廢印刷電路板及邊料約為 30 噸/月 4.已取得輸出許可
7	日亦光環境清除行	中國大陸 江蘇省太倉市蘇州順惠有色金屬製品有限公司	拆解、粉碎處理	—
8	連冠國際實業股份有限公司	1.中國大陸 廣東省 2.新加坡 漢迪哈曼公司	拆解、粉碎、冶鍊	1.正在辦理清除許可變更 2.已取得輸出許可
9	凱倫金屬有限公司	中國大陸 廣東省增城市寧西鎮五金加工廠	拆解、粉碎及分選	已取得輸出許可
10	萬集興環保工程股份有限公司	1.新加坡 漢迪哈曼公司 2.日本 中外礦業株式會社	熔煉	僅收含貴重金屬之 IC、晶片等，幾乎不收廢板邊料

表 3.9 廢板邊料及粉屑之清除處理機構彙整資料（續）

編號	清除機構名稱	處理機構名稱	處理方式	備註
11	增明環保工程事業有限公司	日本 大口電子株式會社	粉碎、分選、熔煉	清運量約為 10 噸/年，已 1 年未有輸出
12	永豐盛企業有限公司	日本 三菱金屬株式會社	粉碎、分選、熔煉	僅收含貴重金屬之 IC、晶片等，幾乎不收廢板邊料
13	雙慶環保工程股份有限公司	加拿大 超穩公司 STABLEX, Inc.	輸出境外處理	1.已 1 年多未收廢板、邊料 2.辦理變更清除許可，轉送加拿大超穩公司 STABLEX, Inc.
14	均格企業有限公司	加拿大 Noranda Metallurgy Inc.	拆解、粉碎、冶鍊	自 87 年成立至今僅收含插件電路板 22 噸，目前申請輸出至加拿大處理
15	可寧衛股份有限公司	美國 World Resource Company	拆解、破碎	幾乎沒有清運廢板邊料
16	昌蒲實業有限公司	佳龍工程股份有限公司	破碎、分選、酸洗、溶蝕	1.金屬(如銅、鐵)或塑膠售予國內再生業者 2.玻璃纖維、樹脂粉自行再利用為樹脂混凝土製品 3.廢板邊料處理量為 30 噸/月
17	金益鼎企業股份有限公司	金益鼎企業股份有限公司	拆解、破碎、分選、溶蝕	1.回收銅販賣金屬熔煉廠 2.非鐵金屬化合物送日本處理回收 3.樹脂及玻離纖維部分目前暫存 4.日處理量約 7~8 噸
18	弘馳股份有限公司	弘馳股份有限公司	拆解、破碎	僅收含貴重金屬之 IC、晶片等，幾乎不收廢板邊料，且破碎後送日本松田產業株式會社熔煉
10	台灣美加金屬股份有限公司	台灣美加金屬股份有限公司	拆解、破碎	僅收含貴重金屬之 IC、晶片等，較少收廢板邊料，且破碎後送美國 Noranda Sampling Inc.熔煉
20	全亞冠科技股份有限公司	全亞冠科技股份有限公司	人工分類、機械拆解、粉碎、溶解	國內自設處理設施

資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

2.含銅重金屬污泥

(1)產源

電路板業產生之重金屬污泥主要來自於蝕刻、酸洗、刷膜、化學銅、剝掛架、剝錫鉛及水洗等製程單元廢水，經廠內廢水處理場收集處理，目前電路板工廠大都採用重金屬化學混凝沈澱法處理重金屬廢水，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，再以沈降分離的方式去除之。

(2)特性

電路板工廠所產生之重金屬污泥中主要的重金屬為銅及鉛，另有少量之鎳、鉻、鋅等重金屬，其中銅主要來自於蝕刻、酸洗、刷磨、化學銅、剝掛架及水洗等程序，而鉛則來自鍍錫鉛、剝錫鉛及水洗等程序，經壓濾後含水率約為 75%，其中含銅量約有 5~10%。依據工業污染防治服務團曾針對電路板工廠廢水污泥進行重金屬總量及毒性溶出試驗分析結果顯示，銅及鉛的乾基重量比各約為 2.6~12.3%及 0.06~0.2%；而銅及鉛的毒性溶出試驗值各約為 76~350mg/L 及 0~0.80mg/L，其結果如表 3.10 所示。由於銅的毒性溶出試驗值均超過標準值 15mg/L，所以廢水污泥係屬於有害事業廢棄物。

表 3.10 廢水污泥重金屬含量及毒性溶出試驗分析

項目 來源	總 量 分 析						毒性溶出試驗分析	
	鋅 (mg/kg)	鎳 (mg/kg)	鉛 (mg/kg)	銅 (mg/kg)	鉻 (mg/kg)	鎳 (mg/kg)	銅 (mg/L)	鉛 (mg/L)
A 廠	818	15	1,080	33,850	6	70	76	0.8
B 廠	519	16	710	26,270	65	130	108	0.07
C 廠	7,753	210	580	75,480	16	32,690	120	0.12
D 廠	121	28	850	122,930	10,686	—	350	ND
E 廠	1,052	—	2,150	42,580	3	—	88	0.72

資料來源：電路板業廢水污泥與廢板邊料之特性分析及處理處置方案評估綜合報告，民國 87 年。

(3)產生量推估

依據臺灣電路板協會之「電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫」之調查推估，係由 10 家有效樣本工廠的含銅重金屬污泥之廢棄物產生因子，及電路板行業產品產出現況，推估民國 88 年及 89 年電路板行業產生之最小、平均及最大廢棄物產生量，如表 3.11 所示。

表 3.11 含銅重金屬污泥平均產出量推估

推估量 (噸/年)	年度		說 明
	88 年	89 年	
廢棄物平均 產出推估量	162,935	186,587	1.88 年行業產品產量為 400,430,571 平方英尺 2.89 年行業產品產量為 458,557,589 平方英尺 3.依據有效樣本數 10 家之重金屬污泥之產生因子 (單位產品之重金屬污泥產生量)推估
廢棄物最大 產出推估量	654,183	749,146	
廢棄物最小 產出推估量	28,030	32,099	

資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

(4)清除處理方式

目前工廠清除處理含銅重金屬污泥之主要方式可分為下列三種：

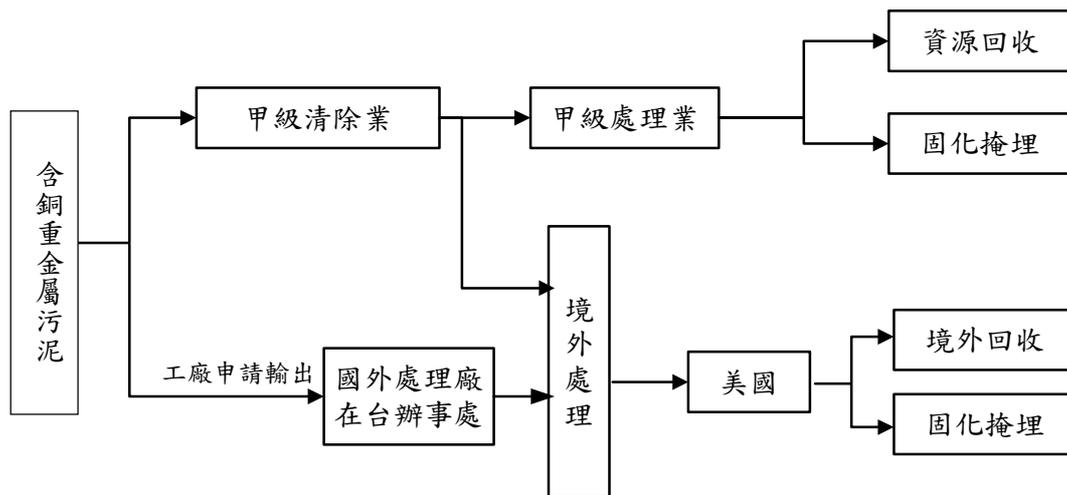
- 以污染防治設施或製程產生之含銅污泥（C-0110），且經有害認定標準確認屬有害事業廢棄物委託甲級清除機構清運，目前工廠大都以此方式清運。
- 少數工廠將本類廢棄物歸為非屬公告應回收或再利用之一般事業廢棄物--污泥混合物（D-0999），清運時以委託甲、乙及丙級清除機構清運。
- 部分工廠將其產生之含銅重金屬污泥以電鍍製程之廢水處理污泥（A-8801，成份：鎳、鋅、氰化物、六價鉻、鎘、銅）之名義委託清運，由於該分類之廢棄物屬製程有害事業廢棄物，故工廠清除時委託甲級清除機構。

由於工廠因製程設備及對廢棄物廠內處理方式不同，所產生的廢棄物特性亦不同。針對上述第二種清理方式，除非工廠設有銅回收處理設備，如硫酸銅回收處理設備、刷膜廢水之銅回收機、或電解回收處理設備等，否則其

污泥中的含銅量實難符合目前有害認定標準，以一般性污泥委託甲、乙及丙級清除機構清運，對於未經過檢測，即逕自委託乙級或丙級清除機構清運，違反「廢棄物清理法」之規定。

其次，部分工廠於清理本類廢棄物時，將其視為電鍍製程之廢水處理污泥（A-8801，成份：鎳、鋅、氰化物、六價鉻、鎘、銅）委託甲級清除機構清運。惟電路板業製程非完全屬電鍍製程，且配合事業廢棄物上網申報之要求，本類廢棄物申報時，採用污染防治設施或製程產生之含銅污泥（C-0110）為宜。

國內含銅重金屬污泥清除處理現況如圖 3.4 所示，目前工廠主要以委託甲級清除處理機構清理及境外輸出為主，且依處理方式可分為資源回收及固化掩埋。



資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

圖 3.4 含銅重金屬污泥清理現況

(5)清除處理核可量

目前國內可清除含重金屬污泥之甲級清除機構共 12 家，其總核可清除重金屬污泥之年許可量達 141,320 噸。處理機構共 6 家，其中有 3 家採資源回收之處理機構：順倉、碩泰、佶鼎；3 家採固化處理：中聯爐石、岡聯可寧衛及台灣瑞斯曼，其核可清除處理量彙整如表 3.12 所示。

表 3.12 含銅重金屬污泥清除處理核可量

清除機構 年核可量(噸/年)	處理機構年核可量(噸/年)		
	採資源回收 年核可量(噸/年)	固化 年核可量(噸/年)	合計 (噸/年)
141,320 (12 家)	31,320 (3 家)	211,800 (3 家)	243,120 (6 家)

註：此表之核可清除處理項目為重金屬污泥，所以表列核准量除含銅重金屬污泥外，尚包括受重金屬污染之土壤、含重金屬污泥、殘餘物及塵灰等。

資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

以含銅重金屬污泥之平均年推估量 162,935 噸(88 年)及 186,587 噸(89 年)而言，國內處理機構之年核可量足以處理電路板業之含銅重金屬污泥。

清除機構之年核可量相較含銅重金屬污泥之平均年推估量則略顯不足，工廠可採直接與處理機構簽約，由處理機構清運或自行僱車清運；若採境外處理可專案自行申請輸出。

(6)清除處理機構

含銅重金屬污泥之詳細清除機構、輸出地點、處理機構、處理方式等統計至 90 年 7 月止之資料彙整如表 3.13 所示。

(7)清除處理費用

含銅污泥清除處理費用依所含金屬成分及濃度而定，含貴金屬污泥依其含量可販售或以極低價委託處理，不含貴金屬之含銅污泥則依含銅率及含水率而定，處理費用約為 5,000~20,000 元/噸。

含銅率較高或含貴金屬之污泥以輸出美國回收為有利。

國內採酸溶法回收銅或固化處理，其處理費用相近，約為 8,000~14,000 元/噸，但含銅率較高者建議採回收方式以減少環境衝擊。

表 3.13 含銅重金屬污泥之清除處理機構彙整資料

編號	清除機構名稱	輸出地點 處理機構名稱	處理方式	備註
1	順倉股份有限公司	順倉股份有限公司	酸溶法 回收利用	1.中聯爐石處理資源股份有限公司（固化）及岡聯企業有限公司（掩埋）為順倉公司之二次廢料（製程廢棄物）之最終處理廠。 2.清除電路板工廠污泥約佔其目前清除量之 85%
2	信鼎科技股份有限公司	信鼎科技股份有限公司	酸提法 回收利用	信鼎科技股份有限公司已取得清除及處理許可，其核可期限皆至 91.12.31 有效。
3	勤快興業有限公司	碩泰環保事業股份有限公司	酸溶法 回收利用	—
4	碩泰環保事業股份有限公司	碩泰環保事業股份有限公司	酸溶法 回收利用	以清理電路板之污泥為主
5	岡聯企業有限公司	岡聯可寧衛股份有限公司	固化	處理電路板工廠污泥約佔其目前處理量之 50%
6	信利環保工程有限公司	岡聯可寧衛股份有限公司	固化	處理電路板工廠污泥約佔其目前處理量之 50%
7	永豐盛企業有限公司	中聯爐石處理資源化股份有限公司	固化	處理電路板工廠污泥，約佔其目前處理量之 14~20%
8	和豐環保工程有限公司	中聯爐石處理資源化股份有限公司	固化	—
9	台灣瑞斯曼股份有限公司	台灣瑞斯曼股份有限公司	固化	清除電路板工廠污泥約佔其目前清除量之 60%
10	可寧衛股份有限公司	1.美國 World Resources Company 2.中聯爐石處理資源化股份有限公司 3.岡聯可寧衛股份有限公司	資源回收 固化	—
11	萬集興環保工程股份有限公司	日本 中外礦業株式會社	熔煉	—
12	東漢邦實業股份有限公司	美國 EnviroSafe Services of Idaho, INC. (ESII)	固化	目前仍在申請輸出許可，清運後之重金屬污泥暫存
13	自行輸出	美國 World Resource Company	資源回收	濃縮污泥以提高銅濃度，後交熔煉廠回收銅

資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

3. 墨膜渣／一般污泥

(1) 產源

製作電路板時使用光阻劑作為電路板上曝光佈線之用，當製作電路板的內層板時之蝕刻阻劑轉移製程單元中，乾膜阻劑被滾壓於銅箔基板上，再將線路圖案底片置於乾膜上，於紫外光照射下曝光，使線路圖案上的乾膜起感光硬化反應，即正片影像轉移，最後以含碳酸鈉的顯像液將線路以外未感光硬化的乾膜溶解去除；而製作外層板時則採用負片影像轉移，即將線路以外的區域曝光或烘乾硬化，而將線路上的乾膜顯像溶解掉，以使後續鍍銅及鍍錫鉛只對線路進行金屬析鍍，此製程會產生部分膜渣。

於剝膜製程單元中，工廠使用 3~5% 氫氧化鈉水溶液 (pH 約為 14) 將正片法中之線路或負片法中之非線路上已硬化的油墨或乾膜溶解，此時若溶液達到飽和狀態時會產生濃稠之膜渣固體浮出。目前一般工廠於顯像及剝膜製程線上，會安裝離心過濾機或輸送帶濾布，連續將剝下的膜渣濾除，以利後段製程不致因阻塞而能順暢進行，而濾出的液體再以抽回槽中繼續使用。

有些工廠若未在顯像、剝膜製程線上過濾膜渣，會造成高濃度的顯像及剝膜廢液，此類廢液與工廠其他股有機性廢水，如防焊印刷、綠漆褪洗廢液等一起處理後形成一般污泥。

(2) 特性

國內目前使用之油墨及乾膜按製程區分可分為：內層板的抗蝕刻油墨及乾膜、外層板的抗電鍍油墨及乾膜、外層板的防焊油墨及乾膜，其組成大致相似，主要為含羧基的壓克力樹脂、聚胺基甲酸乙酯樹脂或環氧樹脂，極少量的感光起始劑、填充料、色料、溶劑等。由於顯像及剝膜製程為強鹼溶液，因此過濾而得之膜渣亦呈強鹼及濃稠狀，一般 pH 值約為 14，目前工廠處理方式有經中和後，併入一般垃圾清除。

有些工廠若未在顯像、剝膜製程線上過濾膜渣，而與其他股有機性廢水一起處理後形成一般污泥，則顯像、剝膜、防焊印刷等製程廢水因溶解大部分之油墨、乾膜及溶劑，其組成與前述墨膜渣相似，此部份廢液量雖然不大，但卻是電路板工廠廢水 COD 污染的主要來源，一般工廠處理此部份廢水乃採用酸化及化學混凝沈澱法，將廢液之 pH 值由鹼性調整至酸性，因為其中含羧基的樹脂不易溶解於酸性溶液中，因此會有墨膜渣析出懸浮於廢液中，

若能有效的分離去除這些懸浮的墨膜渣，將可降低廢液中 COD 達 60%；經過墨膜渣撈除後的廢水，經化學混凝沉澱處理，產生之污泥經脫水機壓濾後其含水率通常為 75~85%，污泥餅之性質為有機性，若無其他特殊狀況應不具有害成份。

(3)產生量推估

在顯影製程中，乾膜大都溶解於顯影液中，一般而言 1L 的 1% Na₂CO₃ 的溶液可溶解 6~10g 的乾膜，大於此溶解範圍時，墨膜渣會沉澱析出，但僅屬少部分沉澱，且目前工廠大都以濾心過濾收集，濾心用後即丟棄；而於剝膜製程，以一般常用之 40mm 厚度的乾膜而言，1 平方公尺的銅箔基板上可塗佈含乾膜量為 40~50g，若電路板上線路以 50% 計，則約有 20~25g 的墨膜渣產生，工廠可依據本身產生之墨膜渣的含水率不同，推估產生墨膜渣的數量。

依據臺灣電路板協會之電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫之調查推估，係由 10 家有效樣本工廠的墨膜渣之廢棄物產生因子，及電路板行業產品產出現況，推估民國 88 年及 89 年電路板行業產生墨膜渣之最小、平均及最大廢棄物產生量，如表 3.14 所示。

表 3.14 墨膜渣／一般污泥平均產出量推估

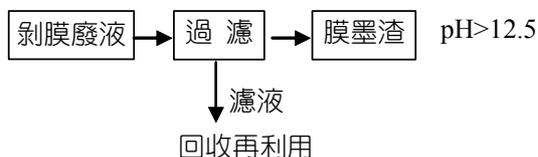
年度 推估量 (噸/年)	88 年	89 年	說 明
廢棄物平均 產出推估量	16,017	18,342	1.88 年行業產品產量為 400,430,571 平方英尺 2.89 年行業產品產量為 458,557,589 平方英尺
廢棄物最大 產出推估量	72,078	82,540	3.依據有效樣本數 10 家之墨膜渣之產生因子(單位 產品之墨膜渣產生量)推估
廢棄物最小 產出推估量	80	92	

資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

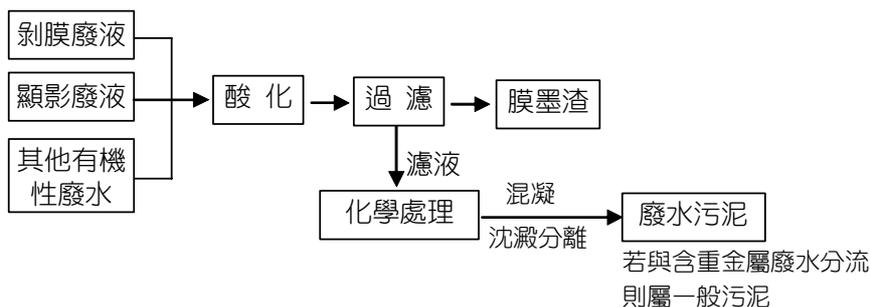
(4)清除處理方式

目前工廠對於墨膜渣的清理現況如圖 3.5，其詳細說明如下：

(1)



(2)



資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

圖 3.5 墨膜渣產出現況

- A. 製程線上過濾收集之墨膜渣經中和調整其酸鹼值後，併入一般事業廢棄物，以一般垃圾（D-0180）名義委託清除機構清運；或未經中和調整其酸鹼值，即直接併入一般事業廢棄物，以一般垃圾（D-0180）名義委託清除機構清運。
- B. 顯影廢液、剝膜廢液及工廠其他股有機性廢水，一同至廢水處理廠經酸化處理、過濾後，所產生之墨膜渣，併入上述墨膜渣處理或一般污泥清理。
- C. 上述廢水經過濾墨膜渣後，經生物處理、混凝、沉澱分離後，所產生之污泥，經壓濾後之清理方式有：
- 以污泥混合物（D-0999）之名義委託清除機構清運。
 - 以生活垃圾（D-1801）名義委託清除機構清運。
 - 併入污染防治設施或製程產生之含銅污泥（C-0110）委託甲級清除機構清運。

由於墨膜渣自強鹼溶液線上過濾收集後，其 pH 值超過有害事業廢棄物認定標準之規定，若工廠未經中和處理，即併入一般垃圾委託乙級或丙級清

除機構清運，於法規面實屬不宜，建議工廠應以添加硫酸並緩慢攪拌中和其酸鹼值，經檢測其酸鹼度，以確定其屬於一般事業廢棄物。其次，經有機性廢水收集、酸化處理後，所撈除之墨膜渣，其成份與線上收集之墨膜渣成份類似，亦可併入一起清理，由於墨膜渣之性質為含高分子之有機物，建議以一般有機性污泥清理，宜委託乙級或丙級清除機構清運。

經過濾墨膜渣後之廢水，經由一系列化學處理、混凝後產生之污泥，若工廠有機性廢水與含重金屬廢水分流收集處理，其污泥應屬一般性污泥，宜委託乙級或丙級清除機構清運。

由於墨膜渣並無適合之廢棄物代碼及清除機構清理，且一般污泥不易跨區清除，所以目前部分工廠將本類廢棄物併入含銅重金屬污泥，以委託甲級清除機構清理，雖然工廠以較高之清理價格清理，然因墨膜渣與一般污泥之性質屬有機成份，當併入重金屬污泥清理時，恐影響後續重金屬污泥資源回收或固化之處理條件，因此若經確認其為一般事業廢棄物後，應以一般污泥之名義委託適合的清除處理機構清理，以符合法規需求，並節省廢棄物清理成本。

(5)清除處理核可量

目前環保署廢棄物代碼中尚未有墨膜渣之適合項目，建議工廠宜確認本身的墨膜渣不具有害成分後以一般污泥委託清除處理，國內可清除一般污泥之清除機構共計 175 家，核可清除數量為 2,755,164 噸／年，處理機構有 21 家，核可處理量為 682,998 噸／年，其中 2 家採衛生掩埋，4 家採堆肥或培養土資源化處理，15 家採焚化處理，其清除處理核可量如表 3.15 所示。

表 3.15 墨膜渣／一般污泥清除處理核可量

清除機構 核可清除量 (噸/年)	處理機構 核可處理量 (噸/年)	衛生掩埋核可量 (噸/年)	堆肥核可量 (噸/年)	焚化核可量 (噸/年)
2,755,164 (175 家)	682,998 (21 家)	169,200 (2 家)	113,580 (4 家)	400,218 (15 家)

註：此處之核可清除處理項目為灰渣、一般垃圾、廢紙屑、廢木屑、廢木材、廢纖維、棉屑、廢布、動植物殘渣等。

資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

以墨膜渣之平均年推估量 16,017 噸(88 年)及 18,342 噸(89 年)而言，國內處理機構之年核可量足以處理電路板業之墨膜渣。

墨膜渣除採焚化外，亦可經由研發與其他具熱值之污泥或油泥調配製成泥燃劑作為輔助燃料，以提昇廢棄物作為資源化使用。

墨膜渣目前無適合廢棄物代碼，亦無清除處理機構具清除處理墨膜渣之許可，依環保署事業廢棄物管制中心建議，如廢墨渣經判定非屬有害事業廢棄物，可使用廢油墨代碼 D-2405 申報。

(6)清除處理機構

依據行政院環保署「公民營廢棄物清除處理機構名冊」網站查詢資料，目前合法可清除一般污泥之甲、乙及丙級清除機構共計 175 家，表 3.16 依清除機構的類別，統計各地區家數及核可清除量。目前一般處理方式，以清運至公營的衛生掩埋場為主，其次委託處理機構以焚化或堆肥處理。國內合法處理一般污泥的處理機構共計 21 家，以第一類乙級處理機構居多，依其地區別、核可處理量、家數及類級別彙整一般污泥處理機構如表 3.17 所示。

表 3.16 一般污泥清除機構彙整

類級別	一甲		一乙		一丙		二類		總計	
	核可 清除量 (公噸/月)	家 數								
基隆市	930	1	2,700	3	-	-	-	-	3,630	4
台北縣	-	-	1,200	1	-	-	-	-	1,200	1
桃園縣	-	-	4,066	8	210	1	-	-	4,276	9
新竹市	1,110	1	930	1	-	-	-	-	2,040	2
新竹縣	600	1	2,460	5	460	4	-	-	3,520	10
苗栗縣	483	1	17,190	13	690	2	-	-	18,363	16
台中市	-	-	21,878	23	-	-	-	-	21,878	23
台中縣	-	-	3,080	8	-	-	-	-	3,080	8
彰化縣	-	-	10,200	21	300	1	-	-	10,500	22
雲林縣	-	-	450	1	-	-	-	-	450	1
嘉義縣	-	-	2,640	5	480	2	-	-	3,120	7
台南市	-	-	23,105	8	-	-	-	-	23,105	8
台南縣	3,120	2	47,925	20	-	-	150	1	51,195	23
高雄縣	900	1	32,820	9	27,000	1	-	-	60,720	11
花蓮縣	-	-	12,300	6	-	-	15	1	12,315	7
南投縣	-	-	1,187	5	78	2	-	-	1,265	7
屏東市	-	-	6,670	8	465	1	-	-	7,135	9
高雄市	-	-	1,710	5	95	2	-	-	1,805	7
總計	7,143	7	192,511	150	29,778	16	165	2	229,597	175

資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

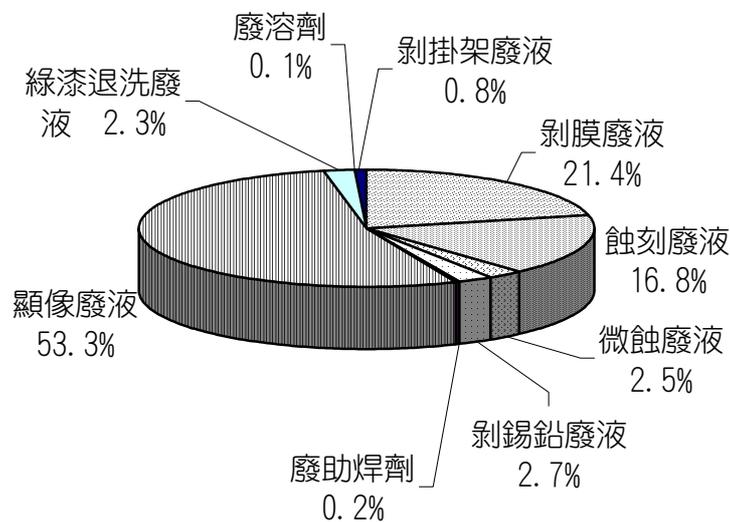
表 3.17 一般污泥處理機構基本資料彙整表

家數	機構名稱	地區	核可處理量 (公噸/月)	處理方式	縣市總核可 處理量 (公噸/月)
1	水美工程企業股份有限公司	桃園縣	2,700	焚化	2,700
2	長春石油化學股份有限公司苗栗二廠	苗栗縣	1,044	焚化	2,544
3	廣源造紙股份有限公司	苗栗縣	1,500	焚化	
4	萬力油壓工業股份有限公司	台中縣	135	焚化	2,385
5	永豐餘造紙股份有限公司成功廠	台中縣	2,250	焚化	
6	行政院衛生署雲林醫院	雲林縣	73	焚化	6,433
7	日友環保科技股份有限公司	雲林縣	450	焚化	
8	南亞塑膠工業股份有限公司麥寮總廠	雲林縣	5,910	焚化	
9	宏晟環保工程股份有限公司	嘉義縣	6,000	衛生掩埋	6,000
10	奇美實業股份有限公司	台南縣	600	焚化	11,580
11	錦樺實業有限公司	台南縣	2,880	焚化	
12	普捷企業股份有限公司	台南縣	8,100	衛生掩埋	
13	日友環保科技股份有限公司(高雄美濃廠)	高雄縣	3,000	焚化	15,150
14	日友廢棄物處理高雄美濃廠	高雄縣	450	焚化	
15	達和清宇股份有限公司	高雄縣	9,000	焚化	
16	弘偉環保工程股份有限公司	高雄縣	2,700	堆肥	
17	介旺有限公司	屏東縣	1,200	堆肥	1,200
18	環偉實業股份有限公司	南投縣	2,160	焚化	2,160
19	柏葳園藝有限公司	宜蘭縣	2,025	堆肥	5,565
20	今日景藝有限公司	宜蘭縣	3,540	堆肥	
21	永豐餘造紙股份有限公司台東廠	台東縣	1,200	焚化	1,200

資料來源：電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，臺灣電路板協會，民國 90 年 7 月

3.2.2 高濃度廢液

電路板工廠製程單元廢棄槽液種類如圖 3.6 所示，各製程單元槽液除隨製程單元功能需求而添加各種有機或無機化學藥品外，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，否則不但因廢水水質的劇烈變化或因成份複雜相互干擾而難以處理，更造成資源的浪費。各製程單元槽液除隨製程單元功能需求而添加各種有機或無機化學藥品外，歸納其共通特性為高濃度 COD 或重金屬銅、鉛污染。部份含銅廢液含螯合物或複離子（化學銅廢液、過硫酸銨微蝕廢液）不易處理；部份廢液（蝕刻廢液、微蝕廢液、剝掛架廢液）具資源回收價值。其清理方式依 89 年 9 月出版之「印刷電路板業環保工安整合性技術手冊」指出，顯像廢液及剝膜廢液目前有 90% 的工廠自行清除之；蝕刻廢液由於銅離子濃度高且具回收價值，有 43% 的工廠販賣給回收廠商；其餘高濃度廢液由於產生量少且不具回收價值，工廠大都自行清除或委託代清除處理業者處理之。目前難以處理的高濃度廢液主要為剝錫鉛廢液及廢助焊劑。



資料來源：印刷電路板業環保工安整合性技術手冊，民國 89 年 9 月。

圖 3.6 電路板工廠高濃度廢液種類比例

就資源回收觀點，由於蝕刻、微蝕、化學銅、剝錫鉛及剝掛架等五股廢棄槽液尚含有極高濃度的銅或鉛，極具資源回收潛力。工業污染防治技術服務團曾針對生產單面板、雙面板及多層板等各類型電路板工廠進行高濃度廢液調查，並依據各工廠之產品生產量，推估各類型工廠單位產品量與各類廢液產生量的關係如表 3.18。

由於高濃度廢液常造成廢水處理上的困擾且造成資源浪費，目前國內已有部份業者在微蝕製程上設置微蝕液冷卻結晶機回收硫酸銅，並將處理後之稀薄微蝕液循環使用，達到資源回收再利用的實質效益。另由於酸性蝕刻液（已由經濟部公告為第三十四項事業廢棄物再利用種類及管理方式）及鹼性蝕刻液等亦具有資源回收經濟價值，故目前國內已有合格之甲級廢棄物代處理業者利用溶劑萃取技術回收處理酸性蝕刻液及鹼性蝕刻液，處理後之蝕刻液再售予電路板業者使用。另少部份業者亦將剝錫鉛廢液委託原料供應商回收，然其處理技術未明，因此恐將是另一污染源。至於其他廢液，尤其是有機性廢液，目前大多是排入廢水處理廠處理，亦為電路板工廠廢水不易處理之主因。

表 3.18 各類型電路板工廠之單位產品廢液產生量

單位: L-廢液/m²-產品

廢液種類 工廠型式	酸性 蝕刻廢液	鹼性 蝕刻廢液	微蝕 廢液	顯像 剝膜廢液	化學 銅廢液	剝錫 鉛廢液	剝架掛 廢液
單面板	1.44	—	0.06	0.10	—	—	—
雙面板	—	2.47	1.94	14.90	0.37	0.80	0.56
多層板	2.89	2.70	1.58	17.50	0.35	0.40	0.33

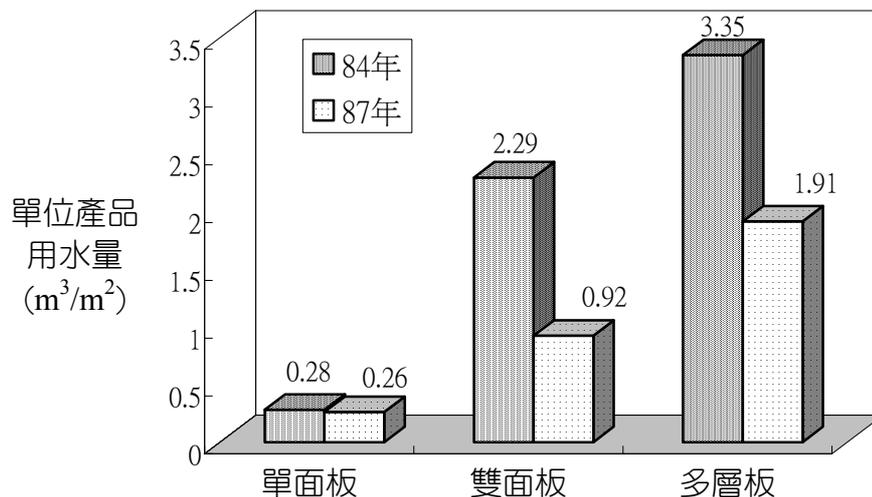
資料來源：工業污染防治技術服務團調查資料

3.2.3 一般廢水

(1) 用水量

根據工業污染技術防治服務團調查民國 87 年之資料顯示，樣本工廠統

計結果如圖 3.7 所示，87 年單位產品用水量均較 84 年減少，每生產 1m^2 單面板用水量為 0.26m^3 ，雙面板及多層板則各為 0.92m^3 及 1.91m^3 。



資料來源：印刷電路板業環保工安整合性技術手冊，民國 89 年 9 月。

圖 3.7 不同類型之工廠 84 年及 87 年單位產品用水量比較

(2) 單位產品廢水污染物產生量

電路板製程廢水來自生產過程中排出之低濃度清洗廢水及各類定量納入處理系統之高濃度廢液，其污染特性隨產品層次的提昇而趨於複雜，且與其製程使用材料有直接關係，主要廢水污染物有 pH、COD、銅離子(Cu^{2+})、鉛離子(Pb^{2+})、鎳離子(Ni^{2+})、六價鉻(Cr^{6+})及少量氟化物。

國內電路板工廠於製造過程中所排放之廢水量及污染量，隨著各廠之生產型態、製造程序、產品種類及品質要求等因素而有所不同，其中又以生產型態最具關鍵性。依前述之調查統計，電路板工廠每生產 1m^2 的單面板，約排出 0.25m^3 的廢水；每生產 1m^2 的雙面板及多層板，廢水量則分別為 0.67m^3 及 1.69m^3 。污染物方面主要以有機物造成的 COD 及銅離子為大宗，其統計結果如表 3.19 所示。

表 3.19 不同類型工廠單位產品污染量分析

工廠類型	單位產品廢水量 (m ³ /m ²)	單位產品污染量 (g/m ²)		
		COD	SS	Cu
單面板	0.25	46	26	15
雙面板	0.67	103	28	50
多層板	1.69	283	82	93

資料來源：印刷電路板業環保工安整合性技術手冊，民國 89 年 9 月。

表 3.20 為國內各類型電路板工廠綜合廢水之污染濃度分析統計結果。由表中數據顯示電路板工廠綜合廢水之主要污染成份以 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，亦需針對綜合廢水進行處理，以去除其重金屬污染成份，使處理後放流水質能符合法定標準安全放流。

表 3.20 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)	350~400	250~375	250~400
Cu (mg/L)	30~60	20~50	30~50
Pb (mg/L)	—	1~2	1~5
Ni (mg/L)	—	0.1~5	0.1~5
Fe* (mg/L)	50~100	—	—

*：採用氯化鐵蝕刻液之工廠。

資料來源：印刷電路板業環保工安整合性技術手冊，民國 89 年 9 月。

(3) 廢水處理方法

目前電路板工廠綜合廢水之污染成分以 COD 及重金屬離子為主，其中顯像、剝膜廢液所造成的 COD 污染量約佔整廠廢水總 COD 污染量的 60~80%，為電路板工廠廢水 COD 污染的主要來源，目前處理上大致仍採用傳

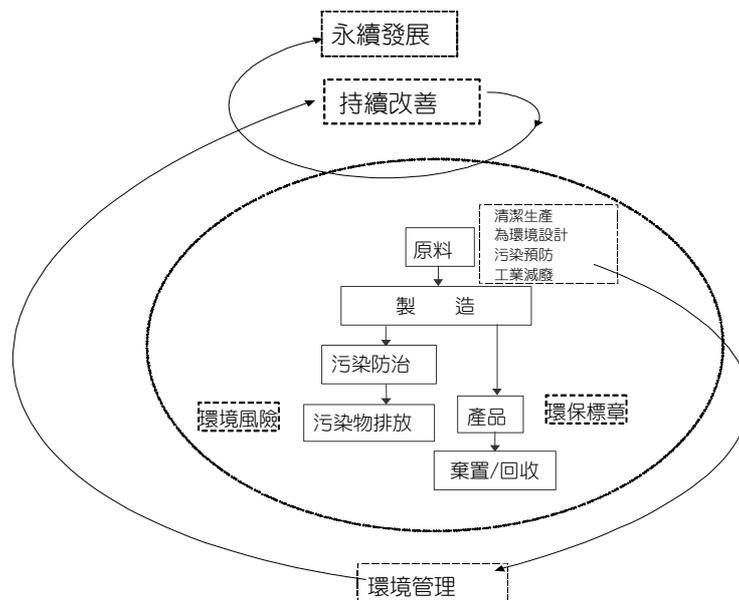
統的物化處理法及生物處理法；重金屬廢水處理通常是採用化學混凝沉澱法；其它無回收價值或無法交由代處理業處理的高濃度廢液則經前處理後，定量納入一般清洗廢水處理系統處理。電路板工廠大都採行傳統之物化處理，即化學混凝沉澱法來進行廢水處理。

(4)廢水處理成效

電路板工廠原廢水污染濃度經調查統計，結果顯示工廠廢水平均污染濃度 COD 為 782 mg/L，SS 為 107 mg/L，Cu²⁺則為 88 mg/L，廢水經處理後，放流水水質平均污染濃度 COD 為 88 mg/L，SS 為 9.9 mg/L，Cu²⁺則為 2.3 mg/L，均可符合現行之放流水標準。

第四章 清潔生產

1998 年聯合國環境規劃署提出「清潔生產」(cleaner production)，至今全球 61 個國家已成立 188 個清潔中心；美國環保署則在 1990 年提出「污染預防」(pollution prevention) 的官方定義；1996 年公佈的 ISO 14001 亦將「污染之預防」(prevention of pollution) 列為組織環境政策的要件之一，清潔生產與污染預防已成為環境管理整體規劃最重要的架構之一。1992 年里約地球高峰會中「永續發展」獲得全球一致的認同，清潔生產理念也向上與永續發展連結，如圖 4.1。依據聯合國環境規劃署於 1997 年重新對「清潔生產」所下之定義：「清潔生產係整合性環境預防策略(an integrated preventive environmental strategy)持續應用於製程、產品、服務，以增進生態效率(eco-efficiency)，並降低對人類及環境之風險」。而所謂生態效率(eco-efficiency)，依據世界企業永續發展協會(WBCSD)之定義係指：「經由提供便宜的貨品及服務，以滿足人類需求及帶來生活品質，同時透過生命週期的觀念減少對生態的衝擊，以及資源耗盡的壓力，且至少應達到可以與地球所能負荷的能力相符的程度」。透過生態效率的改善，清潔生產將與企業生產力、獲利率本質有關的資源有效利用及環境責任連結起來。



資料來源：清潔生產與環境績效指標，工業污染防治季刊，第 75 期，民國 89 年 7 月。

圖 4.1 清潔生產與永續發展

本章節則從廠內管理與環境化設計的各個層面探討印刷電路板業的清潔生產課題。

4.1 廠內管理

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。

藉由廠內管理來達到污染防治目標往往是最簡易，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，相對地杜絕了污染物的產生，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：

4.1.1 原料管理

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：

1. 僅購置某一期間生產作業工作量所需之原物料數量。
2. 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。
3. 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、是否含有毒性成份、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。
4. 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。
5. 使用電腦記錄並控制進出貨及庫存量，以達最適之狀況。

電路板工廠亦常因原料槽或廢液槽之液體洩漏及不當排放，造成廢水處理困擾，甚至嚴重污染環境的原因有以下幾項：

1. 製程設備日常保養管理不週，造成故障、破損而洩漏出槽液。

2. 蝕刻廢液貯存槽槽體破損或溢滿，而漏出廢液。
3. 製程槽液更新時機過於集中，排出量大且雜的廢液。
4. 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：

1. 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。
2. 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。
3. 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更槽廢液的污染特性，分別設置收集管線及貯存槽體。
4. 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。

4.1.2 製程管理

1. 廢液、廢水分類收集

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。

表 4.1 為典型的電路板工廠各製程單元廢棄槽液成份及污染特性分析表，表中依據各股廢液的污染特性，並考量處理方法的共通性，將電路板製程排棄的廢槽液區分為 A～H 八大類，另外，製程中刷磨廢水及一般清洗廢水則劃歸為 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 4.2 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 電路板製程單元廢棄槽液成份及污染特性分析表

製程單元	步驟	槽液成份	污染濃度(mg/L)			廢液分類*
			COD	Cu ²⁺	Pb ²⁺	
刷磨	酸洗	5%硫酸(H ₂ SO ₄)	10~50	50~1,000	—	A
內層顯像	顯像	1~2%碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)	10,000~15,000	—	—	E
內層蝕刻	蝕刻	氯化銅(CuCl ₂)	—	50,000~100,000	—	H
		氯化鐵(FeCl ₃)	—	40,000~90,000	—	H
內層去墨或剝膜	去墨或剝膜	4%氫氧化鈉(NaOH)	20,000~30,000	—	—	E
黑/棕氧化	脫脂	鹼性脫脂劑	1,000~5,000	10~50	—	B
	微蝕	硫酸/雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)	—	2,000~20,000	—	A
		過硫酸鈉(SPS)	—	2,000~20,000	—	A
		過硫酸銨(APS)	—	2,000~20,000	—	D
	氧化	亞氯酸鈉、磷酸三鈉、氫氧化鈉	—	10~50	—	B
除膠液	膨鬆	鹼性有機溶劑	130,000~200,000	—	—	B
	氧化	高錳酸鉀(KMnO ₄)	—	30~50	—	A
		鉻酸(CrO ₃)	—	—	—	G
	還原	酸性溶液	300~1,000	1,000~2,000	—	A
PTH 鍍通孔	整孔/調整	鹼性清潔劑	20,000~35,000	10~50	—	B
	微蝕	硫酸/雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)	—	2,000~20,000	—	A
		過硫酸鈉(SPS)	—	2,000~20,000	—	A
		過硫酸銨(APS)	—	2,000~20,000	—	D
	預活化	氯化亞錫(SnCl ₂)、鹽酸(HCl)	200~500	20~100	—	A
	活化	氯化鈀(PdCl ₂)、氯化亞錫(SnCl ₂)	500~1,000	1~10	—	A
	加速化	硫酸(H ₂ SO ₄)、氟酸類	100~550	—	—	A
	化學銅	硫酸銅、甲醛、螯合劑	30,000~100,000	1,000~4,000	—	G

表 4.1 電路板製程單元廢棄槽液成份及污染特性分析表（續）

製程單元	步驟	槽液成份	污染濃度(mg/L)			廢液分類*
			COD	Cu ²⁺	Pb ²⁺	
一次銅	脫脂	酸性清潔劑	3,000~5,000	500~2,500	—	A
	微蝕	硫酸／雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)	—	2,000~20,000	—	A
		過硫酸鈉(APS)	—	2,000~20,000	—	A
		過硫酸銨(APS)	—	2,000~20,000	—	D
	預浸酸液	10%硫酸(H ₂ SO ₄)	10~50	500~6,000	—	A
外層顯像	顯像	1~2%碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)	10,000~15,000	—	—	E
二次銅／錫 鉛	脫脂	酸性清潔劑	3,000~5,000	500~2,500	—	A
	微蝕	硫酸／雙氧水(H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂)	—	2,000~20,000	—	A
		過硫酸鈉(APS)	—	2,000~20,000	—	A
		過硫酸銨(APS)	—	2,000~20,000	—	D
	預浸酸液	10%硫酸(H ₂ SO ₄)	10~50	500~1,000	—	A
	預浸氟硼酸	5%~10%氟硼酸(HBF ₄)	—	—	—	F
外層剝膜	剝膜	4%氫氧化鈉(NaOH)	20,000~30,000	—	—	E
外層蝕刻	蝕刻	氨水(NH ₄ OH)、氯化銨(NH ₄ Cl)	—	100,000~150,000	—	H
剝錫鉛	剝錫鉛	氟化銨、硝酸、雙氧水	20,000~25,000	1,000~1,500	10,000~15,000	H
綠漆顯像	顯像	1~2%碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)	10,000~15,000	—	—	E
鍍鎳金	前處理	鹼性清潔劑	1,000~5,000	—	—	B
		活性酸液	10~50	—	—	A
噴錫	酸洗	5%硫酸(H ₂ SO ₄)	10~50	15,000~20,000	—	A
	助焊劑塗佈	鹵化有機物	極高	50,000~100,000	—	H
剝掛架		硝酸(HNO ₃)	3,000~5,000	15,000~25,000	2,000~4,000	A
剝廢板綠漆		強鹼性溶劑	100,000~150,000	—	—	E
各製程	刷磨	清洗水	依各製程內容而異			I
各製程	一般清洗	清洗水	依各製程內容而異			J

*：廢液分類原則詳見次頁表 4.2。

資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

表 4.2 電路板工廠廢水、廢液分類原則及處理方式

類別	名稱	處理方式
A 類	酸性高濃度廢液	集中收集貯存，定量納入 J 類廢水處理系統處理。
B 類	鹼性高濃度廢液	集中收集貯存，定量納入 J 類廢水處理系統處理。
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 E 類廢水生物處理系統中處理或定量平均地與 J 類處理水混合稀釋中和後放流。
D 類	氨系廢液及廢水	1.採用硫化物沉澱法先行去除銅離子後再定量平均地與 J 類處理水混合稀釋中和後放流或納入 E 類廢水生物處理系統作為氮營養劑添加之用。 2.採用折點加氯法先行去除氨氮後再定量納入 J 類廢水處理系統處理。
E 類	顯像去墨(膜)廢液	1.採用酸化及化學混凝沉澱前處理後定量平均地與 J 類處理水混合稀釋中和放流。 2.經酸化及化學混凝沉澱前處理後再進行二級生物處理，以降低 COD 污染濃度，處理後出流水與 J 類處理水混合稀釋放流。
F 類	氟硼酸廢液及廢水	低濃度清洗水採用離子交換法處理，高濃度廢槽液及樹脂再生廢液則採用高溫或常溫鋁鹽－石灰處理法進行前處理，以分解去除氟硼酸，然後再定量納入 J 類廢水處理系統中處理。
G 類	鉻系廢液及廢水	採用亞硫酸鹽還原法將六價鉻還原成三價鉻後，定量納入 J 類廢水處理系統處理。
H 類	其他高濃度廢液	1.由藥液供應商回收處理。 2.交由代處理業處理。
I 類	刷磨廢水	經銅粉回收機濾除銅粉後納入 J 類廢水處理系統處理。
J 類	一般清洗廢水	採用重金屬氫氧化物沉澱法進行處理，以去除廢水中重金屬離子污染。

資料來源：電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。

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。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題下，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：

(1)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份，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，將螯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。

(2)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退洗廢液，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 10,000~50,000mg/L 左右，若逕行排入處理場，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。

(3)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 20,000mg/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份的銅面後，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($\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$)型態存在，較不易處理，若瞬間排入處理場，將影響處理成效，且因此類廢水所含 NH_4^+ 在 pH

=9~10 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。

(4) 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。

(5) 其他廢液

除上述特殊性廢液、廢水外，電路板製程尚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 50~150g/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，若直接排入處理場，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場中。

2. 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：

- (1) 從環境、經濟、法規、責任等方面說明減廢的重要性。
- (2) 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。
- (3) 說明工廠管理階層對執行減廢的政策及獎勵措施。
- (4) 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。

4.2 環境化設計

環境問題的範圍已由地方性及區域性的問題衍生為全球性的問題。高度工業化所帶來之資源消耗及環境污染已經嚴重威脅當前人體健康與生態系統之平衡。不少產品在使用期間所產生的環境污染物遠超過產品製造階段所產生的污染物。最典型的例子即為不易損壞的產品，例如家用電器設備及汽車，在使用及丟棄時所產生的環境污染遠大於在製造階段所造成的環境污染。其他像紙巾與鋁箔包裝紙在製造過程中對於環境的污染雖是已相當嚴重，然而，其整個生命週期所造成的污染則又高於製造生產階段所產生的環境污染。

目前的環保已由只注重製程的清潔（低污染）程度，逐漸擴展到產品本身使用與棄置的環保考量，其主要的焦點將由製造程序的清潔生產技術，演變到清潔原料的設計與清潔產品的使用等「環境化設計(Design for Environment, DfE)技術」。在環境化設計技術中，「生命週期評估」則是最重要的技術工具。生命週期評估廣泛討論從原物料的開採、產品製造、使用、棄置各階段的環境問題，以整體的觀點評估一個產品系統，避免重大環境錯誤的產生。

清潔生產係整合性環境預防策略持續應用於製程、產品、服務，以增進生態效率，並降低對人類及環境之風險；環境化設計係指在產品生命週期中，將各項環境考量面整合於產品研發過程當中的設計活動。該作業能使產品達到最佳化的環境績效，並兼具產品本身既有的特性、功能、成本以及安全等特質。在產品設計與發展上，環境化設計的可能方式包括：改善原料與能源使用效率、清潔生產之設計、延長產品使用壽命、再利用與回收、減少廢棄物以及減少產生對人體健康與生態系統之有害物質。也就是在產品或製程設計的階段，利用清潔生產技術或生命週期評估的結果為基礎，進行評估及設計，減少對環境的干擾到最低。而使用這些技術的產品，便可稱為的「清潔產品」。

清潔生產技術不外乎來源減少(source reduction)及回收再利用，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物為原物料。有關廠內／廠外回收將於第五章中說明；本節將清潔生產延伸至環境化設計的理念，分別從 4.2.1 原料替代、4.2.2 製程改善，及 4.2.3 環境化設計等各項議題，探討電路板業的清潔生產與環境化設計的實務。電路板之製程特性相當適合執行清潔生產工作，茲將各項清潔生產技術綜合整理如表 4.3 所示。

表 4.3 電路板製程單元之清潔生產減廢技術

製程單元	減廢技術	減 廢 方 案
電路板製作	來源減少 · 產品改變 · 原物料改變	· 採用加成(additive process)取代減除法(subtractive process) · 使用較薄銅箔基板
刷 磨	回收再利用	安裝刷磨廢水銅粉回收機
蝕刻／抗鍍阻劑轉移及印防焊綠漆	來源減少 · 原物料改變 · 製程技術改進 回收再利用	採用鹼液取代溶劑進行剝膜 · 延長槽液使用壽命 · 清洗水溢流藥液配製槽再利用 安裝分餾設備回收剝膜後之廢溶劑
內／外層蝕刻	來源減少 · 原物料改變 · 製程技術改進 回收再利用	· 採用較薄銅箔基板 · 延長槽液使用壽命 · 廠外回收再利用
黑／棕氧化	來源減少 · 原物料改變 · 製程技術改進 回收再利用	· 採用低污染性清潔劑 · 採用硫酸／雙氧水微蝕液取代過硫酸銨 · 減少槽液帶出 · 提高清／浸洗效率 · 採用反應性清洗方式 安裝冷卻結晶系統回收硫酸銅
除膠渣／鍍通孔	來源減少 · 原物料改變 製程技術改進	· 採用高錳酸鉀取代鉻酸除膠渣 · 採用低污染性清潔劑 · 採用硫酸／雙氧水微蝕液取代過硫酸銨 · 採用弱性螯合劑 · 採用礬層塗佈或直接金屬化系統 · 減少槽液帶出 · 提高清／浸洗效率 · 延長槽液使用壽命
除膠渣／鍍通孔	回收再利用	· 安裝冷卻結晶系統回收硫酸銅 · 採用硼氫化鈉還原化學銅為元素銅。 · 安裝高錳酸鉀再生機再生高錳酸鉀槽液 · 安裝膨脹劑過濾系統延長膨脹劑槽液壽命
鍍銅／鍍錫鉛	來源減少 · 原物料改變	· 採用低污染性清潔劑 · 採用硫酸／雙氧水微蝕液取代過硫酸銨 · 採用烷基磺酸錫鉛鍍液或硫酸亞錫鍍液取代氟硼酸錫鉛鍍液
	· 製程技術改進	· 減少槽液帶出 · 提高清／浸洗效率 · 使用鍍液純化系統延長槽液使用壽命

表 4.3 電路板製程單元之清潔生產減廢技術（續）

製程單元	減廢技術	減 廢 方 案
鍍銅／鍍錫鉛	回收再利用	<ul style="list-style-type: none"> · 安裝冷卻結晶系統回收硫酸銅 · 安裝蒸發設備回收水 · 安裝離子交換樹脂塔配合電解設備回收水及銅
剝錫鉛	回收再利用	剝錫鉛液廠外回收再利用
鍍鎳鍍金	來源減少 <ul style="list-style-type: none"> · 原物料改變 · 製程技術改進 	<ul style="list-style-type: none"> · 採用低污染性清潔劑 · 減少槽液帶出 · 提高清／浸洗效率
	回收再利用	鍍金液廠外回收再利用
噴錫	來源減少 <ul style="list-style-type: none"> · 原物料改變 · 製程技術改進 	<ul style="list-style-type: none"> · 採用硫酸／雙氧水微蝕液取代過硫酸銨 · 減少槽液帶出 · 提高清／浸洗效率
	回收再利用	廢助焊劑及錫鉛渣廠外回收再利用
廢水處理	來源減少	<ul style="list-style-type: none"> · 建立分類收集系統 · 採用產生較少污泥量的藥劑 · 適當控制藥劑添加量

資料來源：印刷電路板業環保工安整合性技術手冊，民國 89 年 9 月。

4.2.1 原料替代

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，也應詳細考量評估，以避免造成處理上的困擾，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，間接可達到減廢的目的。製程中相關原物料改變的清潔生產措施說明如下：

1. 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，使用此種新型式之銅箔基板，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。

2. 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-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，宜改採硫酸／雙氧水。

3.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使用時應注意事項，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。

4.採用非鉻酸系的除膠渣液

採用鉻酸除膠渣會產生污染強度較大之含鉻廢水和廢液，宜改採污染性較低之高錳酸鉀進行除膠渣。

5.採用低污染性之油墨或乾膜

目前市面上販售的各種廠牌、型式之油墨、乾膜，其主要成份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 1~4mil 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 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。

6.採用硫酸／雙氧水取代硝酸剝掛架

採用硝酸剝掛架，不僅會產生廢氣問題，且其廢液（含高濃度銅離子）亦無回收效益，造成處理上的困擾，宜採硫酸／雙氧水，並配合使用冷凍結晶回收機，以回收硫酸銅。

7.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。

8.採用非氟硼酸系的錫鉛鍍液

採用氟硼酸錫鉛鍍液，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^-)，較不易處理，宜改採非氟硼酸系鍍液，如烷基磺酸系(MSA)。

9.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，可改採用氯化錫鍍浴，以鍍純錫方式取代含鉛之傳統錫鉛電鍍，以免除鉛之污染。

有關錫鉛合金之原料取代在後續的「4.3.2 節環境化設計趨勢之 1. 電路板無鉛化」將有更進一步的說明。

4.2.2 製程改善

由於電路板製程甚長，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昇而趨於複雜，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。

1.延長槽液使用壽命

(1)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，濾出的液體再以泵抽回槽中繼續使用。

(2)銅槽槽液的純化處理，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，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 1~2ml/L，加熱到 50~60°C，並攪拌 1 小時，以氧化有機物，再加入 3~5g/L 的活性碳，攪拌 3~4 小時後過濾，去除有機污染物，過濾後鍍液依需要補充添加劑等再行使用，避免逕行廢棄。

- (3) 剝掛架的硝酸槽液一般採多槽串聯配置，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、鉛等濃度不斷提高，當最後一槽的剝離效果不佳時，可將第一槽飽和之槽液排放處理，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。
- (4) 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份濃度分析，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。
- (5) 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。

2. 溢洗水減量及回收

(1) 減少帶出液量

- A. 水平的顯像、剝膜、蝕刻及剝錫鉛製程機組之出口處，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。
- B. 黑/棕氧化、除膠渣、鍍通孔、鍍銅及鍍錫鉛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，在槽上方宜有暫停勾、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。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份幾乎相同，可經由過濾機導入藥液槽中。

- C. 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。
- D. 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。
- E. 使用空氣刮刀吹刮鍍件之帶出液，使鍍件所帶出的槽液，藉外力加速滴落入槽中。
- F. 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。

(2) 提昇水洗效果，減少用水量

- A. 調整水洗槽之進水口及出水口位置，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。
- B. 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 度；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。
- C. 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，達到清洗水重覆利用的目的。
- D. 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，一般以 3~5 槽最具經濟效益。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。

(3) 溢洗水回收：濕製程若有設置最後溢流清洗水，則可匯流各濕製程之溢流清洗水導入離子交換塔，再生純化為一般清洗水回收再用，尤其在供水吃緊時，不失為替代水源之良方。

(4) 放流水回收：採用逆滲透薄膜分離回收放流水應用於水洗水。

3. 製程回收再利用設備

應用於製程的回收再利用設備很多，主要有下列幾種型式：

(1)高錳酸鉀老化液循環再生

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。

電解法取代化學法再生高錳酸鉀槽液可獲致之具體成效分述如下：

- A.減少廢棄槽液量：由每月廢棄更新一次減少為每4個月一次。
- B.降低藥液補充量：以槽液體積 780L 而言，每年約可節省藥液補充費用 24,000 元。
- C.節省廢水處理費用：每年約可節省亞硫酸氫鈉 144,000 元及氫氧化鈉費用 31,000 元，合計約 175,000 元。
- D.節省污泥處理及處理費用：每公斤高錳酸鉀處理後約產生含水率 80%之 $Mn(OH)_2$ 污泥 0.7kg，依每公斤污泥代處理費 15 元計，則每年可節省污泥處置費用約 156,000 元。

(2)循環電解回收銅

由於鹼性蝕刻廢液之銅離子含量高達 100~150g/L，且產生量相當大，一般由原液供應商負責回收，不但可以解決重金屬污染問題，並可回收其中所含的銅，達到資源回收再利用的目的，另亦可於蝕刻製程單元線上設置循環電解設備，即將蝕刻槽液以連續循環方式，通過一擺置多組陰陽極近距密排的電解槽，將廢液中的高濃度銅鍍在不銹鋼的陰極板上，以降低蝕刻液中的銅，電解一段時間後將陰極取出，可輕易的撕下高純度的銅，且系統本身有冷卻、循環、過濾、抽風、液面控制及比重控制等設備，在槽液返回蝕刻槽時，另有補充氨水及加溫的裝置，以保持槽液繼續具有蝕銅的能力，如此，可減少槽液消耗量及廢液產生量。

此外，亦可在鍍銅槽後的回收槽上設置電解設備，使回收槽的槽液經電解回收銅後的濃度保持在某一濃度範圍內，以降低帶出液的含銅量，並減少清洗水用量，一般應控制回收槽內 Cu^{2+} 濃度在某一範圍內，以確保水洗槽排放水中 Cu^{2+} 濃度在 3mg/L 以下。

(3)離子交換法配合電解法回收銅

製程中鍍銅、蝕刻及微蝕等單元清洗廢水中含有可觀的銅離子，可使用

離子交換法將廢水中所含銅離子置換，最後樹脂再生時被反沖洗出之高濃度銅溶液，可與含高濃度銅離子的鍍銅廢液及微蝕廢液混合收集，再藉電解的方式，將銅鍍在極板上，達到一定的厚度後，將銅片剝下，因其金屬銅純度頗高，可以出售或作其他用。

(4)冷卻／結晶法回收銅為硫酸銅

銅箔基板之表面清潔或粗糙化微蝕處理單元與墨／棕氧化及鍍通孔製程前之微蝕單元等大都採用硫酸／雙氧水為微蝕液，當微蝕槽液中含銅量達到一定限值就必須排棄，一般含銅量約 20g/L 左右，而此廢液可利用硫酸銅結晶原理，將其冷卻，以分離回收硫酸銅結晶。廢液中之硫酸銅成份經冷卻結晶分離後，增補硫酸及雙氧水藥劑成份後即可再返送回微蝕槽再使用。

(5)刷磨廢水之銅粉過濾及刷磨水回收

壓膜、去毛邊、印防焊綠漆前等刷磨製程單元，會產生含銅粉屑的廢水，一般平均每部刷磨機耗水量約 5~7m³/hr，此部份用水量佔製程總用水量的 20% 以上，若經銅粉回收過濾機的處理，可以免除廢水污染的顧慮，且過濾後的水可再循環使用，節約大量用水。

4.2.3 環境化設計趨勢

目前電路板產品正面臨全球的環境化設計趨勢，主要的議題包括：電路板產品的無鉛化、無鹵化、增層法(Build Up)基板製程、鍍通孔清潔製程及水平式清潔製程的發展，無論對未來電路板的製造方法、產品原料，乃至其環保狀態，都會有重大影響。

有關電路板產品的無鉛化、無鹵化，在歐盟環保團體努力推動下，「廢棄電機電子設備(Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE)指令」將禁止歐盟產品使用含鉛、鹵素、重金屬與放射線物質等污染物（見表 4.4），而電子產品占台灣每年出口量第一位，其中又以 IC 相關產品與印刷電路板產品為最高，而這些相關產業所生產出的產品，仍存在不少會危害人類與生態之物質，更突顯我國應該在環保產品之改良與研發上用心，將來才有能力與世界大廠競爭。

表 4.4 WEEE 預計禁止使用之成份與材料

元件及材質，Components and Materials
鉛（陰極射線管之鉛除外），Lead (except lead in cathode ray tubes)
汞，Mercury
六價鉻，Hexavalent Chromium
鎘，Cadmium
多氯聯苯，Polychlorinated biphenyls
含鹵素耐燃劑，Halogenated flame retardants
輻射物質，Radioactive substances
石棉，Asbestos
鈹（合金中鈹含量低於 2%者除外），Beryllium (except alloys where the beryllium content does not exceed two percent of the overall weight of the alloy)

資料來源：工研院材料所及經資中心 ITIS 計畫整理，2001 年 6 月

1. 電路板無鉛化

鉛的使用歷史很早，用途也相當廣泛，早在古羅馬時就知道應用鉛良好的延展性與加工性來做水管與接合。後來被大量的用在鉛酸蓄電池，汽油中添加四乙基鉛當成避震劑，白色塗料，農藥與電子工業的錫料等。錫鉛合金具優異之焊錫性，廣泛用於導線架、印刷電路板、半導體裝置以及特殊電子零組件。

鉛及其化合物都是有毒物質，且會在人體內出現累積效果而引起中毒，對人體影響較大者為神經系統、血液、腎臟及消化系統。因製造與廢棄含鉛產品的不當處置，滲入土壤、地下水及空氣中造成環境污染問題，危害人體健康。經由食物鏈、大氣環境及工作場所中鉛對人體健康之危害，包括：頭痛、目眩、貧血、嘔吐、下痢、易疲勞、關節痛、食慾不振、四肢感覺異常及造成精子缺少與多發性神經炎等不良影響。

在全球環保意識覺醒的今日，歐美、日本等先進國家都紛紛減少，甚至禁止產品使用含鉛的成份。隨綠色環保的流行，為環境而設計之「綠色產品」將是未來消費者全面追求的目標，而「生態效率」乃企業發展的新環境觀，此經營管理哲學鼓勵企業提高經濟效益、更具競爭力，同時亦更能負起保護環境的責任。消除含鉛焊料等危害物已為近年來全球各先進國家努力目標；除歐盟 WEEE 電子電機設備廢棄品指令中提到公元 2004 年 1 月禁止含鉛產品輸入外，

其他例如：日本國際貿易及工業部門(Ministry of International Trade & Industry, MITI)制定電子產品回收法令；現今主要日本電子廠商，諸如：Sony, Toshiba, Hitachi, NEC, Panasonic 等都規劃出無鉛產品的時程（參考表 4.5）。美國禁止鉛用於消費性塗料，含鉛廢棄物的最終處置，需通過毒性物質溶出試驗不得超出 5ppm；美國國家電子製造協會(National Electronic Manufacturing Initiative, NEMI)亦自 1999 年開啟無鉛組裝計畫，2001 年生產無鉛產品，目標亦定在 2004 年完全消除鉛。

今世界各相關研究機構、協會及焊錫供應商等均致力無鉛焊錫之研究，且已推出各類取代品。以往昔取代錫鉛電鍍製程而言，德州儀器自 1989 年推出銅導線架採用鍍鎳 1~3 μm 、鍍鈮 0.075~0.25 μm 製程，取代傳統點狀鍍銀後封膠再鍍錫鉛，此綠色技術為半導體業界去除鉛對環境衝擊，如今已商業化且制訂相關規範；印刷電路板表面處理係藉抑制底材氧化與腐蝕並促進焊接性，在電路板業界，製程表面錫墊處理仍有 70~80% 使用噴錫（錫/鉛 63/37 共融而成），雖然「無鉛」的要求在電路板複雜的製程中，技術上並不困難，但對相關製程配合細節仍不可疏忽，以免造成不必要的損失。

隨著電子組裝(Assembly)技術的不斷進展，在電路板技術的提升上，的確帶來莫大的推力。從早期穿孔式(THT)組裝技術的盛行，到表面黏著技術(SMT)的興起，使得表面黏著穿孔式混載組裝(SMT+THT)，全面表面黏著用電路板成為產品主流。表面黏著技術發展分為兩邊伸腳及四面伸腳(QFP)，但在 IC 元件密度不斷增加下，全面性球格排列(Ball Grid Array)、高密度的晶片級封裝 CSP(Chip Scale Package)及覆晶封裝(Flip Chip Package)等封裝技術應運而起。

電路板錫墊表面處理製程技術，為能符合電子系統產品以及電子組裝技術的要求，在技術層次的提升上，亦朝高密度、薄板、細線小孔、高尺寸安定、低價格的方向發展。在噴錫(Hot Air Solder Leveling)製程的發展，設備也從垂直作業改為水平噴錫，來提升錫墊上噴錫厚度的均勻性與降低板翹及尺寸的變化。甚至在 Pentium 1 時代，曾用過超級錫(Super Solder)，係由日商古河電工(Furukawa Electric Corp.)與哈利馬化成(Harima Chemicals)兩公司共同開發的表面焊接製程，以協助高密度多腳的 TAB(Tape Automated Bonding)及 TCP(Tape Carrier Package)等晶片載體在板面進行構裝。

表 4.5 日本電子業界之無鉛化情形

製造商	「無鉛」目標	年代
新力 Sony	2001 年全面無鉛化	2001
東芝 Toshiba	行動電話	2000
日本電器 NEC	1997 年一半的產品無鉛化 2002 年全面無鉛化	2002
日立 Hitachi	1997 年一半的產品無鉛化 2001 年全面無鉛化	1999 2001
國際 Panasonic	2001 全面無鉛化 1998.10.01 CD 及 MD 無鉛化	2001 Oct. 1, 1998
三菱 Mitsubishi	2004 年一半的產品無鉛化 2005 年全面無鉛化	2004 2005
自動車連盟 Automobile	2000 年三分之一的產品無鉛化 2005 年一半的產品無鉛化	2000 2005

資料來源: 譯自 Osaka University

由於傳統 SMT 用焊錫大部份是以錫鉛合金為主體，當鉛金屬被禁用於焊錫組成時，尋求別種替代金屬作為因應已是必要的課題。目前常被提及的鉛替代品包括有 Zn、Bi、Cu 及 Ag 等金屬，這些替代金屬可以與 Sn 形成共融合金取代既有的錫鉛焊錫。新型無鉛焊錫除 Bi 系外，其它種類之熔點皆較傳統錫鉛焊錫為高，在熔焊或波焊過程中溫度歷程會較原來焊溫要高且時間也較長，因應此種高溫與長時間之熔焊製程對板面抗焊油墨的耐熱性必須獲得較佳的提升，才不至因熔焊製程造成變色或浮離，同時對於新型無鹵系銅箔基板材料而言，更必須提升抗焊錫溫度至 288°C 以因應無鉛焊錫的新挑戰。

目前無鉛化表面處理方式，包括：化學錫、鍍鎳／鈮、化學鎳／金及有機焊接保護層(Organic Solderability Preservative)等。為了排除噴錫製程品質問題與順應環保法令「無鉛」的壓力，各類「無鉛」表面鍍墊處理製程被電路板業者應用。相關製程與供應廠商名稱如下：

- (1)無電鎳金—台灣上村公司、奧野製藥(山興化工公司代理)、台灣麥特公司、日本能源(中鼎化工公司代理)、阿托科技、台灣希普勵(Shipley)、阿爾發(ALPHA)…等。

(2)有機保焊劑—美商樂思(Ethane OMI)、四國化成(華立代理)、大豐電化…等。

(3)浸鍍銀—阿爾發(ALPHA)、台灣麥特公司、阿托科技…等。

(4)浸鍍錫—阿托科技、昶緣興、揚勝化工、台灣麥特公司…等。

(5)無電鍍鈀—阿托科技、台灣希普勵(Shiplely)。

(6)水平噴錫(錫銅,銅0.7%)—和友貿易代理。

其中無電鍍鈀在台灣業界,生產線甚少,而鈀的價錢昂貴,每公克約新台幣600~700元,是金價的二倍,且無鉛之水平噴錫(錫銅,銅0.7%)台灣市場尚未推廣。

就無鉛化的表面處理而言,傳統噴錫板(HASL)幾年後將被取代是勢在必行的,各家藥水商皆卯足全力的開發此市場,目前此製程在量產或製程應用上尚屬測試階段;世界各國的PCB產業中,以日本的無鉛化腳步最快,包含零件、封裝、構裝,皆整裝待發的迎接無鉛化的電子產業新世代,台灣也與全球同步的導入與發展這個製程。

化學錫藥水系列中,污染最低、反應最溫和的應屬甲基磺酸錫系列,為求環保起見,此系列之藥水將受到青睞;導入化學錫製程還有一大特點,就是應用在微細線路(1mil~4mil)微細腳距(12mil~16mil)的製作(當蝕刻阻劑用),此法在IC載板和軟板的應用上,有極大的表現空間。在綠漆浮離之問題上,化學錫藥水還有改善空間尚在克服中,這個問題也使得藥水商絞盡腦汁地加以修正藥水和開發新的添加劑來解決綠漆浮離的問題,說服PCB業界來導入此製程。

無鉛焊錫並不足為解決錫鉛毒性效應之萬靈丹,由於大部份取代鉛之錫錫合金其廢棄物經溶出試驗顯現其區分為有害事業廢棄物,若含銀或銻之不適當廢棄接觸地下水,將造成地下水不宜飲用,錫銅經溶出亦難符合法規限制。

選擇取代錫鉛之錫合金電鍍製程得考慮置換問題,以及防止氧化皮膜生長,重熔時有些須在氮氣中實施;錫合金鍍液組成與操作條件影響鍍層組成,更因而改變焊接性,由於錫銅、錫銀等電鍍製程將邁入商業化,然其熔點將高於現行鉛錫約40餘度,衝擊電子基板材料,至今相關焊接接合數據等尚未建立完善,工業相關標準規範仍待籌備。純錫無毒性,鍍層含碳量低、晶粒大微結

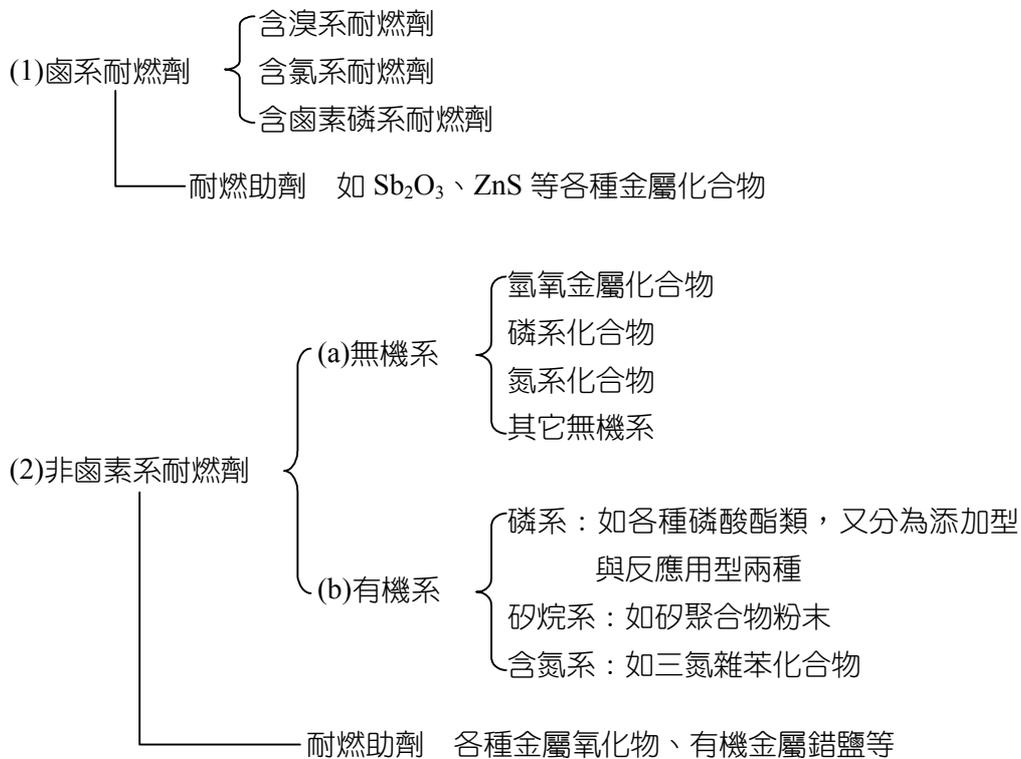
構之純錫克服內應力所導致鬚晶問題，將可成為較適宜之焊錫取代製程。

2. 無鹵素基板

隨著全球各地的環保意識逐漸抬頭，封裝載板亦不可避免面臨綠色環保之課題，如無鹵、無鉛及材料再回收利用等課題的挑戰。由於歐盟 WEEE 指令自 2004 年起禁止鹵素系耐燃劑之使用，對於電路板未來發展造成極大衝擊，目前銅箔基板之材料主要是利用四溴丙二酚 A 系(tetrabromobisphenol-A)環氧樹脂作為耐燃劑，由於歐洲與日本強力為無鹵環保課題背書，因此無鹵系統之銅箔基板材料開發與使用，已成為近年以來各大基板材料廠商及電路板廠商努力的重點。

傳統鹵素溴系之耐燃劑，其主要原理是利用高溫燃燒過程中所形成之 HBr 氣體，捕捉火焰中之各種燃燒反應之自由基(Free Radical)而阻礙燃燒之進行。至於無機系氫氧化物之耐燃助劑，則是在燃燒過程中本身進行脫水反應而釋放水分子，用以阻絕氧氣與可燃物接觸而達到耐燃之效應。除上述化學品外亦有以磷化物為主之耐燃劑，係因其在燃燒時會形成聚磷酸之焦膜而覆蓋於燃燒物之表層，阻止氧氣進入燃燒反應之物料中而達成耐燃效果。

銅箔基板材料由於係有機高分子系樹脂與玻璃纖維布配合而成之複合材料，若無耐燃劑之使用便無法通過電子產品要求之耐燃特性要求。以往四溴丙二酚 A 系環氧樹脂耐燃劑一直被使用於配方中作為耐燃成份，此種鹵素系耐燃劑具低成本、高耐燃、及低吸濕分解性等特點，因此被廣泛採用於配方系統中。隨著無鹵課題的快速發展，目前各大公司已積極研發鹵系替代之耐燃劑系統。一般常見之耐燃劑系統如圖 4.2 所示，其中非鹵素系耐燃劑包括：無機磷系、無機氫氧化物粉體、無機氧化物粉體及其它有機磷化物等；目前包括日本或歐美等材料供應商，都以有機磷化物作為主要耐燃系統，並配合無機氫氧化物粉體作為抑燃之助劑。



資料來源：日本 Polymer Digest，1999 年 1 月

圖 4.2 各種耐燃劑分類

有機磷化物具有良好耐燃效果且添加量亦無需如溴之大量，但卻因有機磷化物在樹脂系統中，容易游離與水解，因此常造成抗撕強度不足與耐熱性降低以及耐焊錫性不良等問題。目前各大廠為克服這些問題起見，已開始使用反應型耐燃磷化物系統以改善上述問題。反應型磷化物可在壓合熱硬化過程與環氧樹脂進行架橋反應，進而獲得穩定之分子結構，改善積層板耐熱性與耐水解性。目前歐美日各大銅箔基板材料廠商，紛紛推出無鹵系銅箔基板之材料，特別是日本廠商最為積極，包括東芝、日立、松立、及住友等公司皆推出相關產品如表 4.6 所示。這些公司不但針對無鹵系基板材料進行開發，更將無鹵觀念導入新型增層製程相關之薄膜狀及背膠銅箔之介質材料產品中，預期在未來無鹵型材料將很快在市場上全面被使用。

表 4.6 日本無鹵素環保型基材板廠商與產品

公司名稱	產品名稱	主要特徵
日立化成 Hitachi Chemical	MCL-E679F	Tg: 170-180, CCL, IC 封裝用
	MCL-R0-67G	Tg: 140-160, CCL, 多層印刷電路板用
	MCF-4000G (RCC)	Tg: 110-120 增層印刷電路板用
松下電器 Matsushita Electr Comp	MEM-1566	For FR-4, CCL
	R1551	預浸材(Prepreg)
	MEW-0580(RCC)	Tg: 150, Solder 260: > 120 sec 增層印刷電路板用
住友 Bakelite	ELC-4765GS	Tg: >180 (動態—機械分析儀 DMA), 熱膨脹係數(CTE): 20-30 封裝用薄內層型銅箔基板
	EI-6765GS	Prepreg for Multilayer
	APL-4702 (RCC)	Tg: > 160 (動態—機械分析儀 DMA), 無鹵無磷配方 增層印刷電路板用
	APL-4701 (RCC)	背膠銅箔(RCC)用
東芝化學 Toshiba Chemical	TLC-W-555	FR-4, CCL
	TLP-555	預浸材(Prepreg)
	TLD 152	增層用 RCC

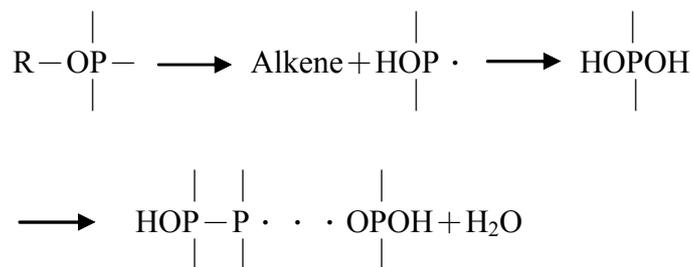
註：Tg：玻璃轉移溫度、RCC (Resin Coated Copper)：背膠銅箔、CCL (Copper clad laminate)：銅箔基板、FR-4：銅箔基板、Multilayer：多層板、Solder 260：浸錫溫度 260°C

資料來源：環保政策對電路板產業的影響，經濟部產業技術資訊服務推廣計畫 ITIS，民國 90 年 2 月。

在全球已形成不再使用鹵素耐燃劑的共識下，為了因應材料的生命週期、火災的危險性與環保問題，塑膠廠商都殷切期盼能開發出低發煙性的非鹵素耐燃複合材。事實上，目前所用的各種耐燃複合材料中，實在很少具備併用三氧化銻和含溴系耐燃劑的優異耐燃性能，然而從近幾年來所開發的新產品來看，

以磷系耐燃劑的成長情形最令人側目。

磷系耐燃劑的特徵是用量雖少，但耐燃效果卻比用鹵素耐燃劑高，尤其是磷原子含量高時，少量添加，更有利於高分子的物性及加工性之提高。而其耐燃機構則是當複合材遇火燃燒時，磷酸會產生脫氫碳化作用、或產生自由基效果、或生成多孔質鏈，來阻隔燃燒持續發生，降低燃燒範圍，如磷酸酯加熱分解後（如圖 4.3 所示），會產生磷酸或聚磷酸，然後脫氫並進行碳化反應，如此就會在材料的表面產生熔融的玻璃層或緻密的鏈鍵，能遮斷材料與熱及氧的接觸，防止火燄擴大。



資料來源：日本 Polymer Digest ，1991 年 1 月

圖 4.3 磷系耐燃劑防燃機構

1998 年全球磷酸酯系耐燃劑的總需求量估計在 23,000 噸左右。目前常用來製做 OA 機器或電子零件的塑膠原料，如：改質 PPE、ABS、PC 等幾種樹脂，為了怕燃燒時會產生戴奧辛等有毒氣體，已有很多廠商紛紛改用磷酸酯系耐燃劑；此外複印機、印表機等的外殼樹脂也是採用像三苯基磷(Triphenylphosphine, TPP) 或 TPP 寡聚合物的磷酸系化合物作為耐燃劑，尤其後者由於揮發性低、不會污染模具、對樹脂物性影響很小，被認為是很好的耐燃劑，目前該寡聚合物的市場需求量已有顯著的增多。據估計，用在 OA 電子機器相關樹脂之磷酸酯系耐燃劑量約有 14,000 噸，年成長率為 15 % 左右。使用磷酸酯系耐燃劑的高分子材料除了前述的 ABS、PC 樹脂外，作為建材的硬質 PU、作為汽車坐墊的軟質 PU、酚醛積層板、印刷電路板的環氧樹脂等，也都陸續改用磷酸酯化合物為耐燃劑。至於做為電子零件的環氧樹脂、聚烯烴系、聚乙烯系樹脂及 PPO、PC 等工程塑膠，廠商也正嘗試使用磷酸酯系耐燃劑。

磷系耐燃劑的種類，從單磷酸鹽的 TPP 及 TCP 到縮合型的磷酸鹽，由於可應用範圍不斷地擴增，因此，市面上也不斷地有新產品上市。目前所使用的磷系耐燃劑大部份是液態型產品，以後隨著各種工程塑膠的推展，固體（粉末）磷酸酯耐燃劑也將逐漸上市，今後為了因應需求，高機能型的磷酸酯如反應型磷酸鹽、聚合型磷酸鹽、高含磷型的磷酸鹽等新產品，也將不斷問市。隨著市場對耐燃複合材的需求增多，預測磷系耐燃劑的種類與需求量都會有大幅成長，看來在不久的將來，為了環境的安全要求，磷酸酯系耐燃劑在此領域中終會成為新的主角。

在無鹵課題中雖然目前主要替代系統以磷系化合物為中心，但由於磷化物本身仍將會衍生其它環保課題，因此開發無鹵無磷基板材料，已成為未來技術研發之重點，而各大基板廠商亦視此項技術突破為未來勝負之關鍵。

3.增層法(Build Up)基板製程

在電子系統朝向輕薄短小，可攜式、高功能化、高密度化、高可靠性、低成本化的同時，身為電子系統產品支撐體的電路板，亦將隨之改變。因傳統基板之密度不夠，雖在製程上不斷改良如鑽孔機、蝕刻機等製程設備，但仍只能做到 4mil 線距與 6mil 鍍通孔，如此無法達到高密度基板之需求及未來窄腳距 IC 構裝設計的限制，因此具有細線、小孔的高密度基板便應運而生，希望能取代傳統多層壓合電路板的製程。

(1)原理說明

目前增層法基板尚未有統一的全球規格，因此目前市面上各種增層法技術可說百家爭鳴，但其基本製程原理仍是一致的，即在傳統電路板上加上一至數層的細線層，是一種經濟又有效的做法，此類型的中間層為傳統之 FR-4 基板，然後逐層疊加上介電層與銅箔，此疊加上的線路與孔徑均比傳統的電路板細小，而層間厚度也相對縮小，如此密度增加且厚度變薄，故一層之線路相當於傳統基板數層線路，其相對價格將比傳統電路板便宜。

(2)對環境之衝擊

由於應用增層法電路板技術，有減少或取代部份如蝕刻、去膠渣、黑化、化學銅導通孔、電鍍銅等濕製程單元，如此無論化學品的使用量，廢水、廢液、廢板邊材的產生均有明顯的降低，預估以相同的功能（每單位面積之線長度）其污染產生量只有目前傳統製程的十分之一。

4. 鍍通孔清潔製程

鍍通孔的目的在於使經鑽孔後的非導體通孔壁上沈積一層密實牢固並具導電性的金屬銅層，做為後續電鍍銅的基材(substrate)。目前最為常用的鍍通孔製程為無電鍍銅(electroless copper)，又稱為化學鍍銅的方法。其製程可大致分為以下五個單元為：(1)以鹼性清潔液(cleaner)去除基板通孔及表面之微粒、指紋的整孔／調整(conditioner)單元；(2)使用硫酸／雙氧水、過硫酸鈉或過硫酸銨等溶液，輕微溶蝕銅箔基板表面之增加粗糙度，後續在進行活化過程時，與觸媒有較佳密著性的微蝕(microetch)單元；(3)將電路板浸置於含氯化亞錫及氯化鈀的酸性槽液中，使觸媒(鈀)被還原並沈積於基板通孔及表面上的催化／活化(catalyst)單元；(4)溶解去除過量的膠體狀錫，使鈀完全地裸體出來，做為化學銅沈積的底材的加速化(accelerator)單元，以及(5)將上述導體化處理後之電路板浸置於化學銅槽液中，槽液中之二價銅離子即被還原成金屬銅，並沈積於基板通孔及表面上的化學鍍銅(electroless copper)單元。此方法的優點為控制容易且成本低廉，並且亦可得到不錯的品質，其缺點則為需時冗長，並且在製程中使用甲醛(一種致癌物質)及其他多種有害物質，若管理不當會造成環境的嚴重污染及對於工廠的作業員及民眾健康的危害。此外，這種製程使用非常大量的水，而多種螯合劑的使用則是增加了廢水處理的困難及成本。

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。與傳統的化學鍍銅比較，目前國際間較通行、技術較成熟且已商業化的鍍通孔的清潔生產技術有：無甲醛化學鍍銅法、碳黑法、石墨法、鈀金屬法、導電高分子法及高分子墨水法等多種。其中鈀金屬法又可分為有機高分子—鈀法及錫—鈀法兩種，大部份的製程均是採密閉的水平操作方式。各項製程原理茲說明如下：

(1) 無甲醛化學鍍銅

傳統的無電鍍銅主要是用甲醛當成還原劑，由於甲醛的致癌性質，因此近來發展出無甲醛製程的鍍通孔技術，以次磷酸鹽(hypophosphite)替代甲醛當成還原劑。基本上兩種製程的差異並不大，其最大原理上的不同可能在於：次磷酸鹽鍍槽，並非如原先甲醛所在的鍍槽是自我催化(autocatalytic)的，因此並不會像含甲醛的反應，一定要被鍍的板樣被挪開之後電鍍才會停止。

相反的，它會在所有的覆蓋鈹的通孔表面被鍍上銅了之後（約 10~15 微英寸）後，自動停止。

(2) 碳墨法

本方法是由美國的 Hunter Chemical 公司發展出來並且商業化的技術—Blackhole System，目前已在世界各國安裝了超過 135 套。這套系統是一種密閉的輸送帶式的水平製程。其方法主要是將一層導電的碳黑(carbon black)顆粒分布在基板及通孔，其製程簡單來說，先用一道前處理的調整溶液去除基板的油脂及雜質，並且在通孔的玻璃及樹脂表面形成正電。之後，一種非結晶結構(amorphous)的碳黑顆粒便可以吸附在帶正電的表面上，並在整個板樣上形成導電層，接下來在一次銅微蝕刻中，電鍍前的清洗便可將附著在銅表面多餘的碳去除。由於微蝕刻不會侵蝕通孔的玻璃及樹脂表面，因此將只有通孔的表面會有導電碳層，典型的碳方法共有六個化學製程步驟及兩個空氣刀/烤箱烘乾步驟，分別為清洗、碳黑、烘乾、調整、碳黑、烘乾、微蝕及防鏽。

(3) 石墨法

本方法主要有兩家製造商分別是 Shipley Company 的 Graphite 2000 系統及 Electrochemicals, Inc 的 Shadow 系統。這兩套系統均是採用密閉輸送帶式的水平製程。石墨法主要是將分散狀態的石墨(disperse graphite)附著在基材表面的方法，與碳黑法相同的是，一開始也是用調整溶液在通孔的基材上形成帶正電的表面，之後石墨顆粒會附著在通孔暴露的表面。與碳黑法不同的是碳黑是非結晶型的晶粒(crystallite)，而石墨則是三度空間的結晶形高分子。這種結晶的結構能產生一層覆蓋在外層板的銅及非導電表面的導電層。接下來是一次銅的微蝕過程，以去除在銅表面多餘的石墨，並將一層導電的石墨留在通孔的玻璃及樹脂表面。其典型的製程為清洗/調整、石墨、固定（非必要）、烘乾及微蝕。

(4) 鈹金屬法

本方法依穩定劑的種類可分成兩類，其製造商及機種分別為：Atotech 的 Neopact®（有機穩定法，Organic-stabilized method）和 LeaRon Inc. 的 Conduction DP®，Shipley Company 的 Crimson®，Enthone-OMI, Inc. 的 Envision DPS®及 Solution Technology Systems 的 HN504®（錫穩定法，

Tin-stabilized method)。所有的系統均可用水平（輸送帶式）或垂直（非輸送帶式）的方式操作。雖是相同的方法，然而由於是由多家製造商分別發展出的，因此其製程仍互異。基本上，本方法主要是利用鈮顆粒去活化通孔之非導電表面的一種方法。由於鈮顆粒傾向於凝聚在一起，因此若要穩定鈮顆粒，可用一層保護膜圍住鈮顆粒的表面，讓鈮顆粒形成膠體。此方法中有兩種常用的穩定劑，分別是有機高分子及錫。其製程一開始同樣是用調整溶液在通孔的基板形成帶正電的表面；對於形成有機高分子／鈮的膠體而言，一種預浸(pre-dip)溶液會在通孔表面形成一種高分子的膜，並會成為膠體附著的促進劑。當基材與膠體的懸浮液接觸時，錫／鈮膠體會附著在微帶正電的表面，而有機高分子／鈮的膠體則吸附在鍍通孔牆面的覆膜上。如此，使被吸附的膠體顆粒在通孔牆面形成的是一層非導電的覆膜(coating)。此時，必須再將此基材置入加速溶液中去除錫，或後浸(post-dip)溶液中去除有機高分子的穩定劑，方能在通孔上形成導電的鈮顆粒層。其典型的製程為清洗／調整、微蝕、預浸、催化／導電、加速後浸及酸浸。其中 Envision DPS 系統可用在既有的化學鍍銅設備中。

(5)導電高分子法(Conductive Polymer Methods)

本方法是由 Atotech, Inc.在 1988 年發展出來並且商業化的技術。Compact CP®為其商業化的系統，主要應用是在歐洲地區。本系統是採用輸送帶式的水平製程，其方法乃是應用一種導電高分子沈積在通孔基板的方法。其製程為先經過清洗／調整步驟後，以一種水溶性有機膜將通孔的玻璃及樹脂表面覆蓋起來，而含高錳酸鹽的催化溶液則透過氧化作用將二氧化錳沈積到該有機膜上。而這種反應只會在有覆膜的玻璃及樹脂表面發生。當含吡咯(pyrrole)單體的導電高分子溶液應用在覆有二氧化錳的表面時，聚合作用便會發生並且一直進行到所有二氧化錳被消耗完畢為止。此時，導電的高分子層已經覆披在通孔上了。導電高分子方法典型的製程為微蝕、清洗／調整、催化、導電高分子、微蝕及薄鍍(flash-plated)銅。

5.水平式清潔製程

(1)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，其採用酸脫脂加上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，此一新製程技術極具污染減量潛力，其效益列舉如下：

- 採水平式製程，上下料放板收板簡易自動化。
- 製程大幅簡化，且無需高溫氧化及熱水洗，改善作業環境，降低廢水及廢氣污染。
- 用水量及電力消耗量減少 60%。
- 生產速率提高 4 倍。
- 廢水產生量僅傳統製程的 1/3。
- 可垂直疊板減少佔地空間。
- 完成板停滯保存時間可長達 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。

(2)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。

- 水平電鍍之後的清洗步驟，若採用多段式水平清洗，可比垂直式減少 80% 的耗水量，降低重金屬的排放，及處理廢水所消耗的人力及化學藥品。
- 水平電鍍為模組式之密閉系統，所以可降低鍍液及廠房內的空氣污染，提供較好的工作環境及電路板的貯存空間。廢氣也可作有效的處理再排放。
- 水平電鍍為密閉系統，可減少熱量的散失，提高電路板烘乾時之效率，降低能量的消耗。
- 水平電鍍槽的清理、鍍液的添加及更新，可完全自動化。能有效的管理鍍液，並減少工作人員接觸化學藥品，造成意外。也可減少人為的疏失，錯誤的添加而影響鍍層的品質。
- 水平電鍍可獲得高分佈力的鍍層，所以可減少 20% 鍍銅層的厚度，不只可降低直流電能及陽極的消耗，縮短電鍍時間，也可製作較細而品質高的線路。

第五章 資源化技術

人類從其發展歷史過程上可以發現，一直在使用種種天然資源來滿足生活之所需。同時，隨著文明進展，人類便開發使用另一種新的材料資源。因此，各時空背景相對地就有所謂「石器時代」、「銅器時代」、「鐵器時代」、「複合材料時代」等，來代表該時期之特色。

由於近幾百年來，工業與科技高度發展，礦產資源以及所衍生出來的各種材料更是被廣泛的利用。大量礦產資源正由於人類開採、製造、消費等活動而持續地分散於自然環境中。如就其活性而言，這些礦產資源總量並沒有改變，但因為這些資源的存在型式由高濃度轉變為低濃度，已無法直接而利用，亦即由「可用資源」轉變為所謂「廢棄物」。事實上，「資源」與「廢棄物」僅一念之隔，因為理論上是可以設計一套分離純化回收程序將已經被稀釋的物質再濃縮使用，或經適當調配摻合改質程序，即可製成再生材料循環使用。

基於以上認知，本章節將針對「印刷電路板製造業」產生各類廢棄物（如廢板、廢水污泥、廢液、廢酸等）之資源化技術，一一介紹其技術特點、適用性及優缺點，以供各界參考！

5.1 固體廢棄物回收金屬

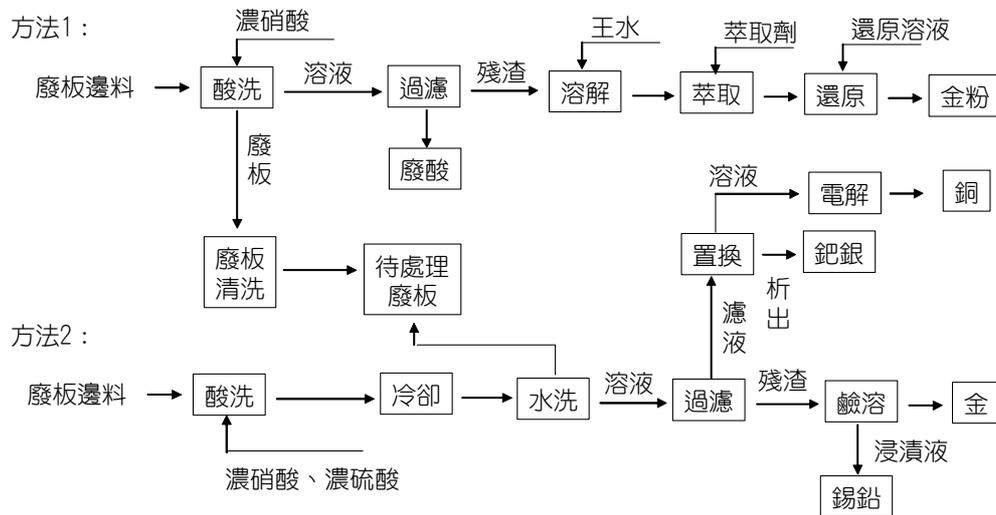
5.1.1 廢板邊料回收金屬

廢板邊料回收金屬資源化技術可概分為化學處理（如酸洗、溶蝕等）、機械物理分離（如浮選等）、熱處理（如焚化、裂解、冶煉法等）等，如以技術來評估，各類技術均趨成熟；但部份技術之污染防治方面則需花多點心力，才能竟其全功！茲將各回收處理技術說明如下：

1. 酸洗法

利用酸洗方式回收廢板邊料中的金屬，其回收處理流程如圖 5.1 所示。酸洗法係將含貴金屬之廢板邊料以強酸或強氧化劑處理，取得貴金屬的剝離沈澱物，再分別將其還原成金、銀、鈮等金屬產品，含有高濃度銅離子的廢酸則可回收硫酸銅或電解銅。但往往由於經濟價值明顯降低，導致經貴金屬回收後的

廢板邊料及含銅離子廢酸遭任意傾棄或掩埋，而造成嚴重的二次污染，雖然回收了貴重金屬，卻付出了高昂的環境成本，同時酸洗回收處理過程會產生酸霧及酸泥，若未妥善收集處理，亦會造成嚴重的二次污染。

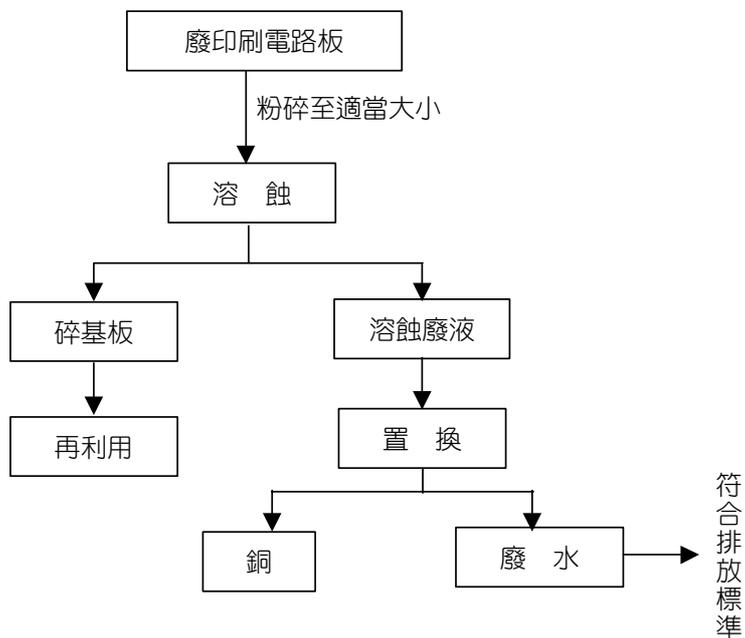


資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p28，民國85年5月。

圖 5.1 廢板邊料酸洗金屬回收處理流程

2. 溶蝕法

如圖 5.2 所示，利用氯化銅溶蝕法（其原理請參閱表 5.1 所示）回收廢板中的貴金屬。氯化銅溶蝕法主要是用於回收含貴金屬接點銅合金底材，將其置於氯化銅溶蝕液中，在適當的氧化還原電位值控制下將銅底材溶蝕，但貴金屬則保持不溶並加以回收，溶蝕後母液（氯化亞銅）再以氯氣氧化，氯化銅溶蝕液循環使用，溢流廢液則以置換方式回收銅粉後，再加以處理使尾液合乎排放標準。氯化銅溶蝕廣泛應用於印刷電路板回收銅及貴金屬之處理應屬可行，而且銅之溶蝕率高，唯一要注意的是處理過程中，針對多層板經破碎處理後再溶蝕，其內層銅面之溶蝕效率是關鍵所在。另外，置換回收銅粉時，會產生廢水及污泥，而且回收金屬後之廢印刷電路板仍須另行設法處置或經粉碎作為複合材料之添加料，以期達到資源化目的。



資料來源：鄭智和，廢印刷電路板之處理技術介紹，電路板會刊，第 14 期，p68，
民國 90 年 10 月。

圖 5.2 廢板邊料溶蝕金屬回收處理流程

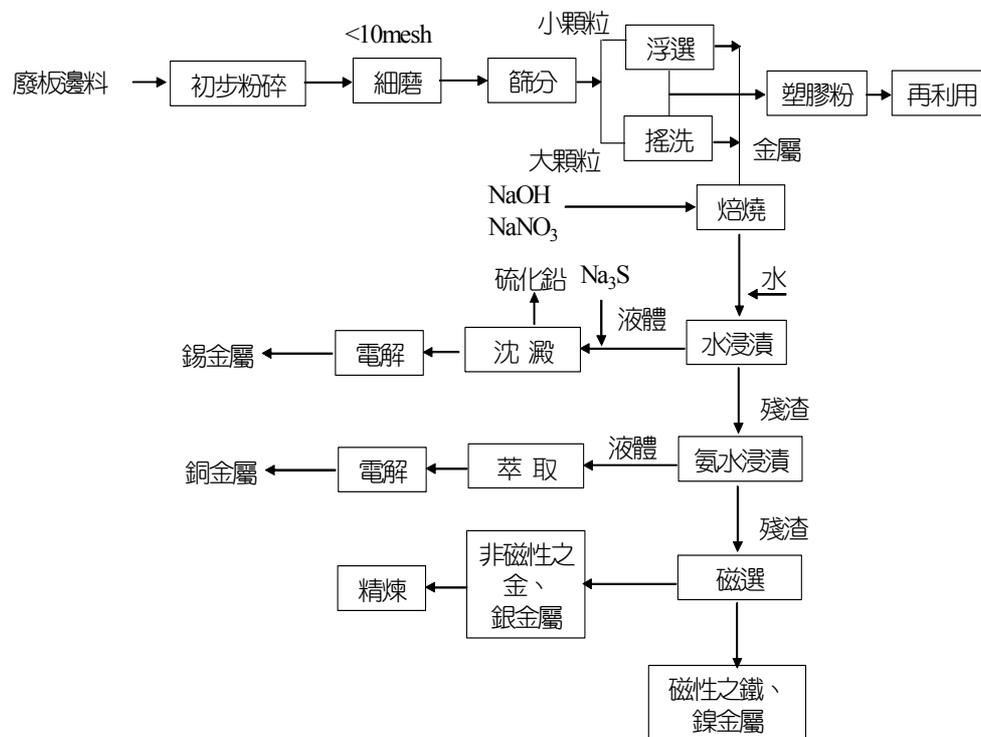
表 5.1 氯化銅溶蝕原理說明

單元程序	化學反應式	說明
溶蝕	$\text{Cu} + \text{Cu}^{++} \rightarrow 2\text{Cu}^{+}$	銅轉換成氯化亞銅
再生	$2\text{Cu}^{+} + 1/2 \text{O}_2 + 2\text{H}^{+} \rightarrow \text{Cu}^{++} + \text{H}_2\text{O}$	通空氣入溶蝕液，並以稀酸調整 pH，將一價銅轉換成二價銅，使溶蝕液可以繼續使用。
置換	$\text{M} + \text{Cu}^{++} \rightarrow \text{Cu} + \text{M}^{+2}$	因循環使用之故，銅含量會逐漸增加。加入 M 金屬進行置換，產出銅土出售。

資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫—總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

3.機械物理分離法

利用機械粉碎廢印刷電路板，再以物理分離，收集金屬與非金屬。首先將廢印刷電路板粉碎後通過 10 mesh 之過篩物，以搖洗桌及浮選收集金屬相與非金屬相，或是將粉碎之產物利用金屬與非金屬比重之差異，利用浮沈法(float-sink method)加以分離。金屬部份另行化學回收方式，如回收錫、回收銅後，再以磁選分離磁性金屬與非磁性之特性回收金、銀、鉛等；非金屬部份則可作為補強材料之再利用。利用這種處理回收方法可將金屬分別予以回收並與非金屬相分離，但因處理過程中有粉碎、浮選及電解等步驟，亦有粉塵及重金屬廢液之污染需要克服，但可行性較高。其回收處理流程如圖 5.3 所示。



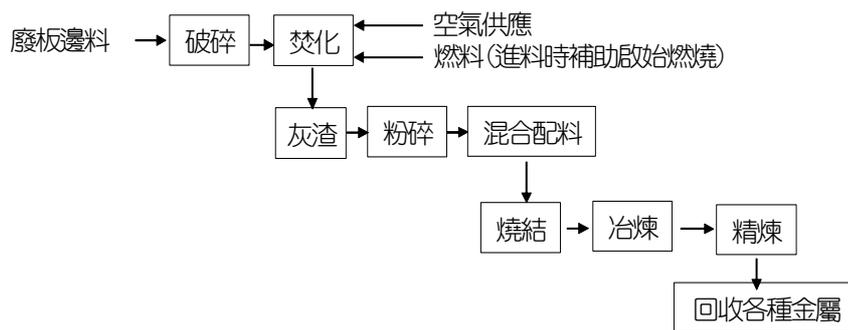
資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局， p29，民國 85 年 5 月。

圖 5.3 廢板邊料搖洗浮選金屬回收處理流程

4.焚化法

利用焚化法回收廢板邊料中的金屬，其回收處理流程如圖 5.4 所示。廢板

邊料經機械破碎後，送入焚化爐中焚燒，將所含約 40% 的樹脂分解破壞，剩餘殘渣即為裸露之金屬及玻璃纖維，經粉碎後即可送往金屬冶煉廠進行金屬回收。由於金屬與玻璃纖維已非黏結狀態，故均適合以濕法或火法治煉回收。不過因廢板邊料為有害事業廢棄物，焚化過程可能產生含溴廢氣，故相對焚化爐及空氣污染防制設施的設置規範要求較嚴格。



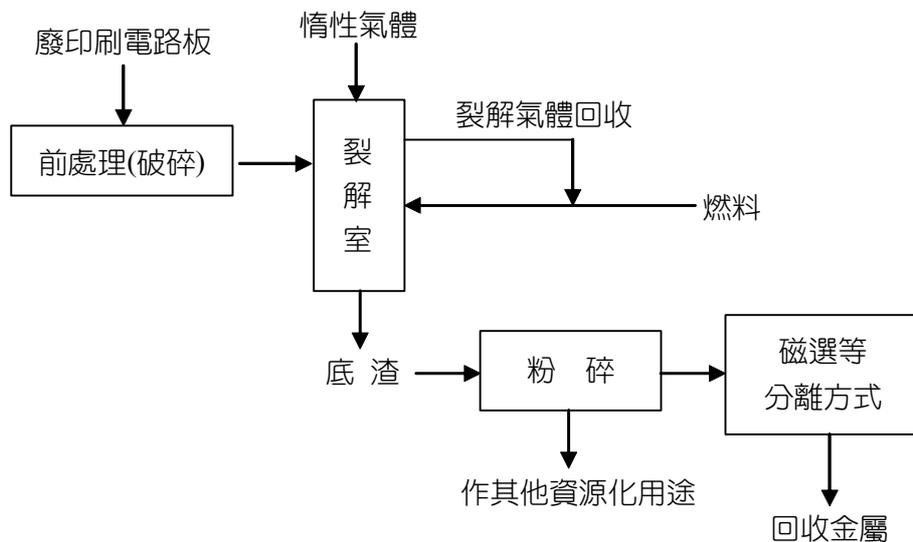
資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局， p30，民國 85 年 5 月。

圖 5.4 廢板邊料焚化金屬回收處理流程

5. 裂解法

如圖 5.5 所示，利用熱解(pyrolysis)將廢印刷電路板熱裂解，回收可燃油氣及金屬物質。使用熱裂解法將廢印刷電路板裂解減量，回收之可燃油氣可作為裂解所需之輔助燃料，而裂解過程產生之廢渣為未燃碳、純金屬及玻璃纖維，亦可提煉金屬或開發玻璃纖維之資源化用途。若裂解處理技術能開發完成，以廢棄物減量及資源化之立場來看，應為一具有競爭力之回收處理方法，不過如同焚化方法一樣，空氣污染防制設施的設計及設置要求較高，目前處理技術仍要在經濟上再做考量為宜。至於熱裂解處理流程簡述如后：熱裂解乃是在缺氧的環境下將有機物質加熱（通常是攝氏 350~900 度）使其分解。在高溫及缺氧之狀態下產生有機物裂解反應，分子較大之物質逐漸由於分子間化學鍵之斷裂而生成分子量較低之分子，而形成液態、氣態及固態之生成物，熱裂解後的產物通常有氣體、油、碳及水四個相。裂解後廢印刷電路板中膠結之有機物分解、揮發，廢印刷電路板中各種組成則成單離狀態，易於以簡單的粉粹、磁選、渦電流分選等方法將其分選回收，依廢料之種類及特性決定下一回收處理之流

程。裂解過程所產生之揮發氣體經由反應器之排氣管排出，經過油氣分離（冷凝）、將可凝結之氣體冷凝成油，不可凝之氣體則經處理後則可做為燃料利用，並經二次燃燒室在 1,000°C 停留 2 秒，使其完全破壞後排放。



資料來源：鄭智和，廢印刷電路板之處理技術介紹，電路板會刊，第 14 期，p66，民國 90 年 10 月。

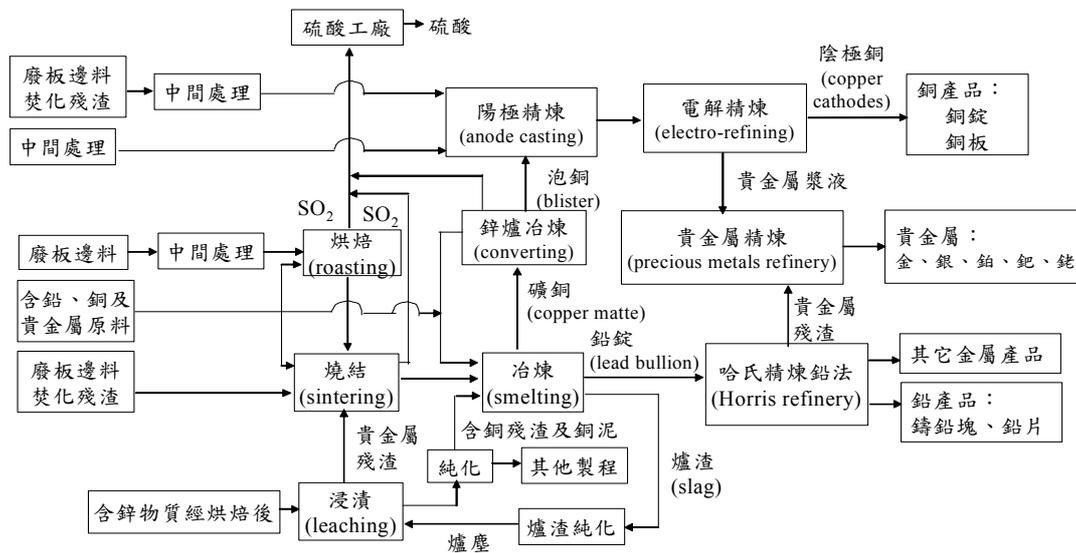
圖 5.5 廢印刷電路板裂解處理流程

6. 直接冶煉法

利用直接冶煉法回收廢板邊料中的金屬，其回收處理流程如圖 5.6 所示。經焚化處理後之廢板邊料可供為陽極精煉(anode casting)或燒結(sintering)之原料，而未經焚化處理之廢板邊料亦可直接供為烘焙(roasting)之原料，經烘焙處理後即可再送燒結製程進行處理。事實上，此類金屬冶煉廠係為綜合性廢五金再生冶煉廠，其製程繁複包括前處理、冶煉、精煉，所產出之產品包括各類貴金屬及重金屬，其品質則可直接供入金屬原料市場。

綜合以上所述，化學處理（酸洗如、溶蝕等）、機械物理分離（如浮選等）、熱處理（如焚化、裂解法、冶煉法等）等廢板邊料回收金屬資源化技術皆有其特點。至於各技術之評價，可從「經濟可行性」、「再資源化效果」、「二次公害風險」等角度來分析，所謂「經濟可行性」：主要針對設備費用、操作成本、回收收益、環保相關支出等因素考量；所謂「再資源化效果」：主要針對技術回收

效果與其相關資源化產品承接程度等因素考量；所謂「二次公害風險」主要針對可能衍生之污染防治難易度而言，其評價結果如表 5.2 所示。



資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p31，民國 85 年 5 月。

圖 5.6 廢板邊料直接冶煉金屬回收處理流程

表 5.2 廢板邊料回收金屬各技術之評價

處理技術	經濟可行性	再資源化效果	二次公害風險
酸洗法	中	中	高
溶蝕法	中	高	中
機械物理分離法	中	高	低
焚化法	低	低	高
裂解法	低	高	低
直接冶煉法	中	中	中

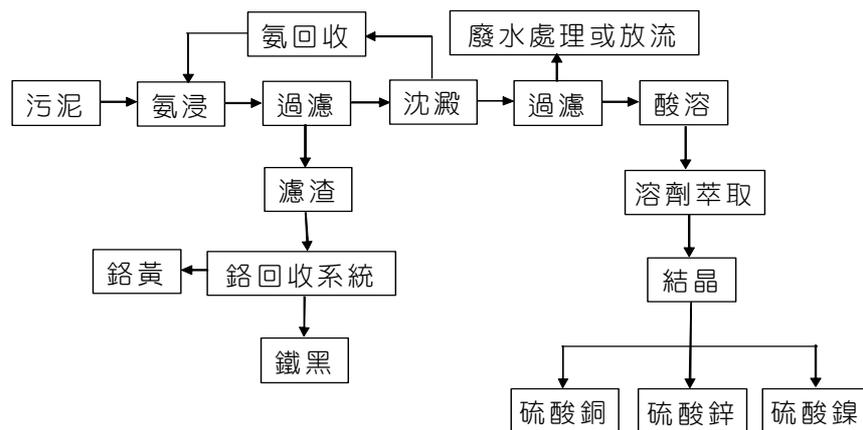
資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫－總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

5.1.2 廢水污泥回收金屬

印刷電路板工廠廢水化學混凝所產生之污泥為有害事業廢棄物，其所含主要重金屬為銅及鉛，另有較少量之鎳、鉻、鋅等重金屬。廢水污泥回收金屬資源化技術可概分為濕式處理、乾式處理等，如以技術來評估，各類技術均成熟；但如何提高資源化經濟效益則為關鍵所在。茲將各回收處理技術說明如下：

1. 濕式處理－氨浸萃取回收金屬

氨浸萃取技術早在 1970 年代就已有文獻記載，中國大陸在近十年則有實廠運轉之文獻記載。瑞典 Am-MAR (Ammonical Carbonate Leaching-Metals and Acid Recovery) 處理重金屬污泥流程，已完成試驗工廠規模。此外，美國、加拿大、西德及國內工研院等均已有關研究工作結果，而圖 5.7 則為氨浸萃取技術處理流程。



資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局，p34，民國 85 年 5 月。

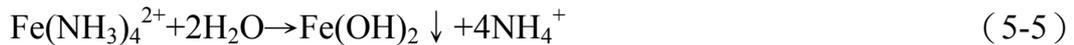
圖 5.7 污泥氨浸萃取金屬回收處理流程

由於污泥中重金屬多以氫氧化物的形式存在，因此，可利用各種重金屬與氨形成錯離子(complex ion)之形成常數的差異，而將污泥中的重金屬做初步的分離，如此形成銅、鎳、鋅等金屬的可溶性錯氨碳酸鹽，另外鉻與鐵在形成錯氨鹽後，會繼續水解，再度形成氫氧化物而留存在污泥中。此反應方程式如下：





鉻與鐵在形成錯鹽後會繼續發生水解反應，而形成氫氧化物沈澱，故系統中可溶性鐵、亞鐵、三價鉻離子之含量極低，其反應式如下：



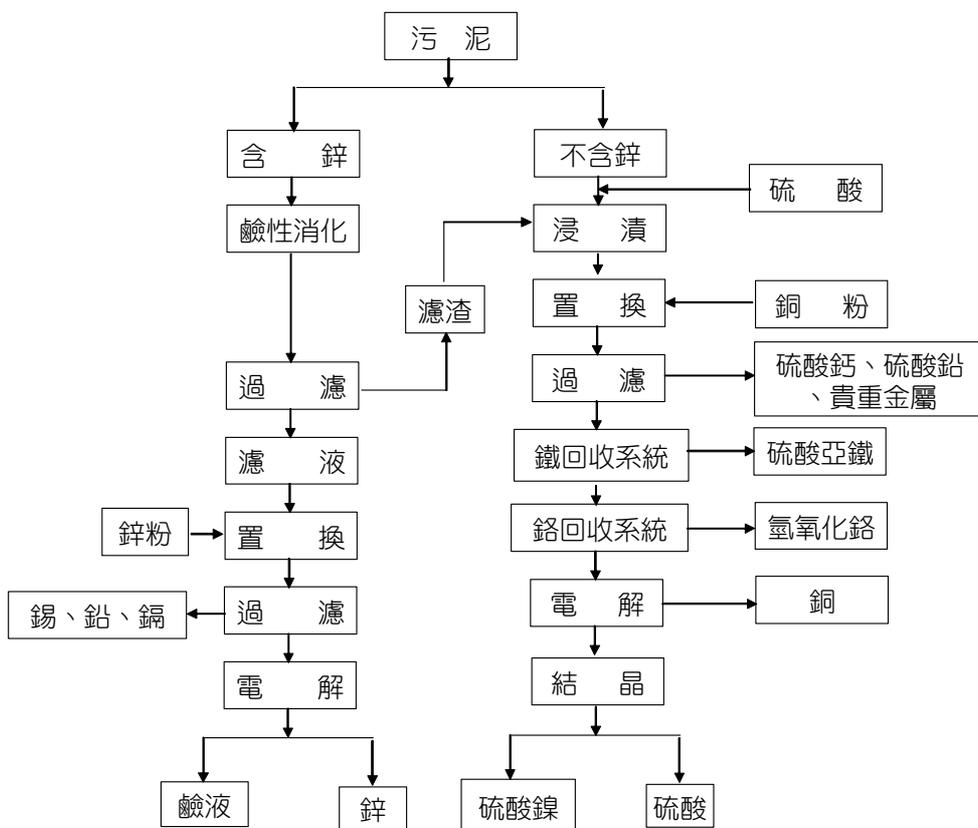
可溶性錯氨碳酸鹽經過濾後，浸漬殘渣部份將可資源化成鉻黃與鐵黑產品；而濾液主要是以銅、鎳、鋅之錯氨鹽為主，經過通入蒸氣解離後會形成鹼式碳酸鹽沈澱，其反應式如下（M 表金屬）：



氨解後的鹼式碳酸鹽，加入硫酸溶解形成銅、鎳、鋅的硫酸鹽溶液。此時利用已商業化的有機溶劑進行萃取分離。溶解萃取將銅、鎳、鋅分離純化成各單一金屬的硫酸鹽溶液後，即應用結晶技術，將其分別製成硫酸銅、硫酸鎳及硫酸鋅等資源化產品。

2. 濕式處理－置換電解回收金屬

利用置換、電解、結晶等傳統化工單元，整合成為從污泥中資源回收重金屬之流程，其技術代表者為美國 Recontek 公司之重金屬污泥資源回收處理流程（如圖 5.8 所示）。首先此技術應用前，應先將污泥分為二類，亦即含鋅及不含鋅兩類，其兩類典型之組成如表 5.3：



資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局，p32，民國85年5月。

圖 5.8 污泥置換電解金屬回收處理流程(Recontek)

表 5.3 應用重金屬污泥回收處理流程前之污泥分類

A 類(含鋅)	B 類(不含鋅)
Cu : 8~10%	Cu : 1~2%
Ni : 0.5%	Ni : 8~10%
Sn : 0.5%	Sn : 0.1%
Pb : 4~5%	Pb : 0.1%
Fe : 2~3%	Fe : —
Cr : 1~2%	Cr : 1~2%
Zn : 8~10%	Zn : —
Cd : 0.1%	Cd : —

資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局，p32，民國85年5月。

(1)A 類污泥（含鋅）

係利用鹼性消化來溶解鋅、鉛及鎘，而銅、鎳、鐵與鉻則不溶。當反應完成，污泥經過濾後，不可溶（濾渣）之部份送往 B 類污泥之處理系統。濾液則送往置換系統(cementation system)。在置換系統內，加入足量鋅粉，任何陰電性較鋅為高之金屬(鉛、鎘)都會被沈澱出來。鉛與鎘經乾燥後即可出售。此時，溶液之中僅剩鋅以鋅酸鈉(Na_2ZnO_2)之形式存在。以電解法處理之後即可回收鋅。而剩餘之鹼性溶液則可回收再利用。

(2)B 類污泥（不含鋅）

A 類污泥經鹼化過濾後之濾渣（含銅、鎳、鐵、鉻）與 B 類污泥混合攪拌後以硫酸浸洗(leach)，將污泥中之銅、鎳、鉻與其他金屬溶解、充氣、加溫等程序亦同時施行以加速反應。在反應完成後，加入足量之銅粉可將貴金屬（尤其是銀）沈澱出來。經過濾後，不溶物（硫酸鈣、硫酸鉛、銀）經乾燥可以出售給貴金屬精製商。濾液中含有銅、鎳、鐵、鉻等金屬經蒸餾程序後，濾液中之氯化物、硼酸鹽，以 HCl 及 HBO_3 之形態回收，硝酸鹽則分解為 N_2 與 H_2O ，剩餘物經加水，過濾後再可送往鐵回收系統，鐵被轉化成硫酸亞鐵($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)之形態回收，如回收品質良好的話，可以售予肥料製造商或水處理公司。鉻則以 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 之形態回收並出售給不銹鋼工業。經鐵、鉻回收系統後，濾液中僅剩銅及鎳，將濾液利用電解法回收銅，此法可將濾液中之硫酸銅濃度降低至 500 mg/L ，而回收陰極銅之純度可達 99%。濾液此時被送往鎳回收系統進行鎳回收，鎳回收係用蒸發及結晶法。其原理特點為硫酸鎳之溶解度隨 H_2SO_4 濃度升高而降低。因此，利用蒸發去除濾液中之水份以提高 H_2SO_4 濃度， NiSO_4 因此得以結晶析出。為避免溶液之密度增大而減緩沈降率，此一程序至溶液密度達 50~60 波美(Beo)可以視為完成，雖此溶液之中尚含有 NiSO_4 。蒸發之水份經收集後，可以回用。經過濾清洗後，鎳在其鹽類中之含量約在 23~25%，可以出售給鎳之製造廠。剩下之濾液為不含金屬之硫酸溶液濃度達 75%，可以回用於廠內。

由於進廠處理之廢液或污泥成份變化多端，因此某些物質，例如：鈉與鐵會在濾液中累積。因此，需要後處理來去除回收累積之不純物。鈉可以經由蒸發、結晶之方式以硫酸鈉之形態回收，而蒸發之水則可以回收再用。99%的鐵是隨著含鋅污泥一同進入處理廠，只有極少部份會在鹼性消化時溶解；大部份將會進入酸性消化系統。在酸性消化系統中，部份會溶解而以

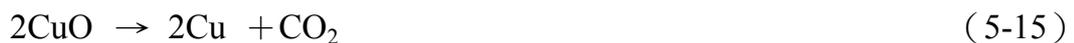
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 之形態存在，加入 H_3PO_4 後會形成磷酸鐵 FePO_4 沈澱。經過濾後再將之轉化成氧化亞鐵出售。

3. 乾式處理－乾燥氧化還原回收金屬

由於廢水污泥中含較高之水份，本技術首先利用乾燥設備進行前處理。經初步烘乾後之污泥，必需進一步進行乾燥，以確保污泥中之水份因加熱後完全蒸發。同時將污泥中之金屬氫氧化物轉化成金屬氧化物，一般於 $600\sim 750^\circ\text{C}$ 高溫環境下進行。其反應式如下：



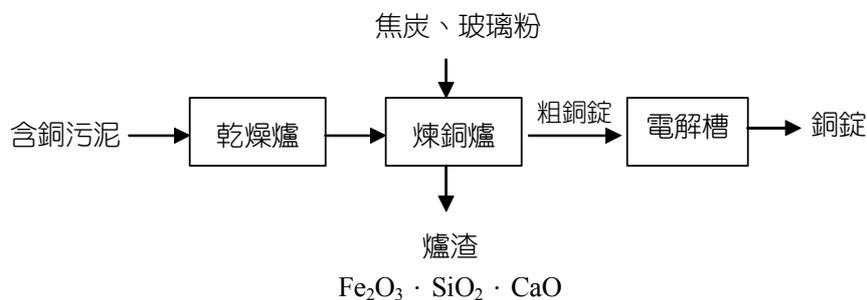
經乾燥、氧化處理後之金屬氧化物，再進行更高溫 ($1,300\sim 1,600^\circ\text{C}$) 之還原反應 (同時加入焦炭)，其目的是將金屬氧化物還原為金屬。其反應式如下：



如以印刷電路板製造業產生之廢水污泥成份來分析，除了銅離子外，鐵離子含量也不低。為提高建議銅之純度等級，建議於還原反應程序中，同時加入含矽化物之造渣材料，其目的在於結合鐵氧化物成為熔點較高之複合物，並以爐渣方式排出。其反應式如下：



經以上程序之後，預估所得之銅之純度等級約為 90% 左右。為了提高銅成份含量，可再利用電解方式進行精製工程。以上所述之流程如圖 5.9 所示。



資料來源：含重金屬污泥的再資源化技術，污泥處理與處置技術研討會，經濟部，p5-21，民國 80 年 3 月。

圖 5.9 污泥乾燥氧化還原回收金屬處理流程

綜合以上所述，廢水污泥回收金屬資源化技術可概分為濕式處理、乾式處理等，如以技術來評估，各類技術均成熟；但如何提高資源化經濟效益則為關鍵所在。至於各技術之評價，如前章節所述，可從「經濟可行性」、「再資源化效果」、「二次公害風險」等角度來分析其評價結果如表 5.4 所示。

表 5.4 廢水污泥回收金屬資源化技術之評價

處理技術	經濟可行性	再資源化效果	二次公害風險
濕式處理	中	高	高
乾式處理	中	中	中

資料來源：鄭智和

5.2 廢液回收金屬

5.2.1 刷磨廢水污泥之銅粉回收

印刷電路板製程中對銅箔基板進行表面處理的單元很多，一般均採用刷磨機的刷輪來研磨基板上的銅層，以達到清潔及粗化銅面的目的。由於基板表面處理程序的不同，刷磨可概分為「重刷磨(deburrer)」及「輕刷磨(scrubber)」，其中「重刷磨」是應用在雙或多層板製程中之鑽孔後鍍通孔前的刷磨，目的在於去除鑽孔後板面上的銅屑。一般重刷磨機均設有噴洗裝置，其設有適當水洗噴嘴，首先以中壓再以高壓進行噴洗鑽孔後基板，以沖除基板通孔內殘留的銅粉屑；經重刷磨後的基板，再進入鍍通孔製程，使基板上經鑽孔後的通孔壁上沈積一層密實牢固的銅層。「輕刷磨」則應用在內層／外層乾膜壓合前、印防焊綠漆前及剝膜後等之刷磨程序。「輕刷磨」一般使用較柔軟的刷磨輪，刷磨過程並同時使用酸劑、磨刷粉（如氧化鋁）及水。「輕刷磨」的主要目的是用來去除銅面上的氧化物，如在乾膜壓合前進行刷磨來清潔板，使板面與乾膜有較佳之密著性。

如前所述，不論「輕刷磨」或「重刷磨」過程均會產生含有銅粉屑的水洗廢水，為移除水中的銅粉屑並循環水洗水再使用，必需根據刷磨廢水中銅粉屑的粒

徑及銅粉量來選擇適當的過濾設備。同時，此類設備之選用重點除包括處理後之回收水水質須符合該製程用水水質要求外，對於分離出來的銅粉屑之脫水處理，以及濾材之清洗更換等操作維護的便利性亦為重要評估項目。另外，值得注意的是，雖然刷磨廢水可經由連續過濾方式循環部份甚至全部再使用，但刷磨廢水槽清槽傾棄時，清槽排水仍應排入廢水處理廠進行處理。因此，過濾回收系統用於回收處理刷磨廢水的限制因素，主要在於排水管線配置的距離。建議此類過濾系統，一般均設置在地下室或製程刷磨機旁，此種設置的主要目的是避免刷磨排水中的銅粉在排水管中沈積，而阻塞排水管。所以在管線配置時，採用的管徑應大於 2 吋(50 mm)，且管線坡度不可小於 0.02。

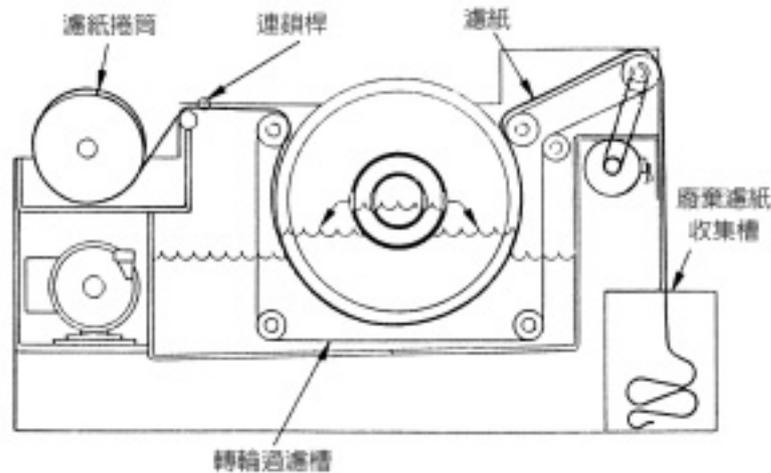
除了以上說明，現彙集「刷磨廢水污泥之銅粉回收」相關設備與其特點，分述如下：

1. 濾紙式過濾設備

此設備之操作方式，主要利用兩只轉輪來自動繞捲濾紙，刷磨廢水以重力方式流經濾紙，水中的銅粉即被濾阻在濾紙上，承載銅粉之濾紙隨著轉輪前進，最後被收集在收集槽內，過濾後的刷磨廢水則循環至刷磨機再使用，該設備之內部構造示意圖如圖 5.10 所示。當濾紙使用完時，轉輪會自動停止，再以人工方式更換濾紙捲繼續進行過，更換濾紙十分簡易，系統內並設有連鎖裝置以防止溢流情況產生。該過濾設備設置時應根據廠內各刷磨製程之廢水流量來決定購買數量與大小。此類設備如再加裝過濾加壓泵，能提供較佳之過濾效果，以確保過濾後循環水的水質，並避免刷磨製程的水洗噴嘴堵塞。

2. 砂濾設備

刷磨廢水之銅粉回收處理，亦可採用砂濾方式，亦即藉由砂層來截留刷磨廢水中的銅粉。其主要過程是經持續過濾達到一定的損失水頭時或操作一段時間過濾層發生阻塞現象時，再以水及空氣進行濾層反沖洗，使含有大量銅粉之反沖洗水，經導入至一濾袋式過濾設備，再加以濾除並收集回收銅粉。



資料來源：工業污染防治技術服務團，電路板業回收設備選用手冊，經濟部工業局，p21，民國 84 年 5 月。

圖 5.10 濾紙式過濾設備內部構造示意圖

3. 離心過濾設備

此類設備顧名思義，乃利用離心原理來分離刷磨廢水中的銅粉屑。基本上，可概分為兩類，一類為在濾除刷磨水中的銅粉過程，需排放水，並同時補充等量的新水以維持設備操作溫度，無法完全回收水洗水。另一類，則可完全回收刷磨水再使用。總之，離心過濾設備最佳操作方式為將刷磨製程廢水，導入一中間水槽，此含銅粉廢水再被吸入離心槽進行離心分離，分離液則返送回刷磨製程再使用，離心過濾裝置之清洗更換須簡單，同時可供多台刷磨機連接使用。

4. 沈降過濾設備

使用重力沈降方式以去除銅粉加以回收，為此類設備的設計特點，以 Marseco 公司設備為例：其使用孔徑為 $100\ \mu\text{m}$ 的聚丙烯材質之濾袋來過濾銅粉，該過濾設備設有一透明可移動式的覆蓋，可用來觀察銅粉累積的情形。刷磨製程產生的廢水排入收集管線後，再被分流成四道水路，並在四道管路的末端，各裝設一個濾袋，經濾袋預過濾後的出流水，以重力方式流入 265 L (70 gal) 的聚丙烯材質沈降槽，再以 1.5Hp 抽水機（轉速 3,450 rpm）將沈降槽內的水以約 $76\ \text{L}/\text{min}$ (20 gpm) 的流速通過一不銹鋼過濾桶槽，過濾桶槽內裝設有 $5\ \mu\text{m}$ 孔隙之壓縮濾材。過濾表面積為 $5,600\ \text{in}^2$ ，可負載 4.51 kg 的銅粉。不銹鋼過濾桶槽裝設有一壓力計，可顯示廢水流經濾材的阻力，當損失水頭達到設定值時，

則需以人工方式更換濾材，此套設備之尺寸為 59L×31W×48H (吋)，設備重量約 165kg。

5. 濾布式過濾設備

濾布式過濾設備是以濾布（如聚丙烯）作為濾材，將刷磨水洗排水泵入此過濾設備，使粒徑大於濾布孔隙的銅粉顆粒被阻留在濾材上，過濾水則泵回製程再使用。此類設備一般均採定速過濾操作，經操作一段時間後，銅粉會逐漸累積在濾布上，使得過濾壓力損失增大，此時需以水或空氣進行反沖洗，採相反方向將濾布上的銅粉逆洗出來，再經重力沈降式濾袋過濾進一步將銅粉集中收集，此類設備在操作上共同存在的問題是逆洗時常有濾布阻塞，或濾除之銅粉含水量太高情況發生，目前國內廠商使用之此類設備有自製與日本製兩類。

5.2.2 冷卻／結晶法回收硫酸銅

利用冷卻結晶法來回收硫酸銅，其主要是運用於硫酸／雙氧水蝕刻液中的 Cu^{2+} 及 SO_4^{2-} ，因兩者在過飽和條件下，會形成硫酸銅結晶而予以分離回收。由於大部份的蝕刻液，會因槽液中之銅離子濃度增加，而使得蝕刻速率降低。因此，採用硫酸／雙氧水蝕刻液者，可配合冷卻結晶系統的使用，來維持蝕刻速率的穩定性。

如前所述，一般蝕刻槽槽液之銅離子濃度最高可達 75 g/L (10 oz/gal)，如欲規劃設置冷卻結晶系統，建議應維持槽液之銅離子濃度在 37.5~52.5 g/L (5~7 oz/gal)。

為了回收硫酸／雙氧水蝕刻液中之硫酸銅，首先說明硫酸／雙氧水蝕刻過程之反應方程式，如下所示：



接著則利用冷卻結晶法來進行。基本上，其操作方式可概分三個步驟：

1. 先將待處理之蝕刻液之溫度降低，以降低硫酸銅之溶解度；
2. 再使硫酸銅之五個結晶水之結晶形態析出；
3. 將回收處理後之蝕刻液再加熱，以避免蝕刻液在回流管中結晶，而堵塞管線，並將回收處理後之蝕刻液泵至原蝕刻槽中再使用。

從廢水處理觀點而言，採用硫酸／雙氧水系蝕刻液可配合冷卻結晶回收系

統，使蝕刻液能重覆使用，並降低槽液排放量；就製程物料成本而言，蝕刻槽可維持在較低銅離子濃度的條件下，並可減少蝕刻藥劑使用量。其他系列之蝕刻液，則當溶液中銅離子濃度升高至一定程度時，即須倒棄更新。

一般而言，冷卻結晶回收系統適合於高產量的印刷電路板製造工廠，其系統型式有「全自動」及「半自動」。「半自動」系統需配置控制盤及掛架計數器；「全自動」系統則需配置有雙氧水自動分析及控制器。總之，此回收系統應依實際需要來設計。現就系統設計要點說明如下：

1.冷卻結晶系統套數多寡考量：

一般印刷電路板製造工廠只設置一套冷卻結晶系統，以作為全廠硫酸／雙氧水微蝕槽之槽液再生回收使用，但若廠內各微蝕製程線相距很遠或微蝕槽液組成及濃度不同，則需視現況規劃一套以上的冷卻結晶系統。

2.系統管路配置與維護考量：

為避免系統管路上形成硫酸銅晶體，造成管路阻塞，於系統安裝配管時，應減少管路的彎曲，必要時彎曲管路部份應設置清理的構造，並於系統停機時，須依操作維護程序進行管路清洗作業。

3.系統之設計處理容量考量：

冷卻結晶系統之設計處理容量，一般以每小時所需回收硫酸銅量來表示。因此，印刷電路板製造工廠在計算微蝕槽槽液產生的硫酸銅量時，應先瞭解下列轉換因子：

$1\% = 10 \text{ g/L} = 10,000 \text{ mg/L}$ ； $1 \text{ oz/gal} = 7,500 \text{ mg/L}$ ； $1 \text{ m mil} = 8.3 \times 10^{-8} \text{ ft} = 1 \times 10^{-6} \text{ in}$ ； 1 ft^3 之銅重量 = 559.1 lb； $1 \text{ lb} = 453.6 \text{ g}$ ； $1 \text{ gal} = 3.785 \text{ L}$ ； 1 gal 水重 = 8.31 lb； $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/L}$等。

接著可根據銅板面之最大曝露面積、每面銅板蝕刻厚度及每小時處理板數，估算每小時之蝕銅量，以下就微蝕槽槽液蝕銅量舉一計算例，做簡單說明：

【例】：某一棕化製程線之微蝕槽每小時處理 333 張內層板，板子的尺寸大小為 18 × 24(吋)。假設板上的線路面積佔全板面積的 50%，則蝕刻面積即為原板面的 50%，蝕刻深度為 50mmil，蝕銅量之計算方法為：

(1)蝕刻面積： $18 \text{ in} \times 24 \text{ in} \times 2 \text{ 面} \times 50\% = 3 \text{ ft}^2 / \text{張}$

(2)每小時蝕刻面積： $3\text{ft}^2/\text{張} \times 333 \text{張}/\text{時}=1,000\text{ft}^2/\text{時}$

(3)銅板之蝕刻厚度： $50\text{mmil} \times 8.30 \times 10^{-8}\text{ft}/\text{mmil}=4.15 \times 10^{-6}\text{ft}$

(4)每小時之蝕銅體積： $4.15 \times 10^{-6}\text{ft} \times 1,000 \text{ft}^2/\text{hr}=4.15 \times 10^{-3}\text{ft}^3/\text{hr}$

(5)每小時之蝕銅量： $4.15 \times 10^{-3}\text{ft}^3/\text{hr} \times 559.1 \text{lb}/\text{ft}^3=2.3 \text{lb}/\text{hr}$

由以上計算估計可規劃設計一可回收 5 lb/hr 銅量之冷卻結晶系統。

補充說明：一般微蝕製程之微蝕深度，在棕化製程線為 30~100mmil；鍍通孔製程線 30~100mmil；線路鍍銅線 10~30mmil；防焊綠漆之前處理製程線 5~30mmil。

4.操作流程方式考量：

承前所述，冷卻結晶法其操作方式可概分三個步驟，現就其流程特性區分「連線式操作方式」及「簡易批次操作方式」兩類分述如下：

(1)「連線式操作方式」：

此操作方式，是將液溫 49~50°C 的微蝕液先經熱交換器進行預冷卻後，再導入結晶槽的頂端，結晶槽內設有冷卻環管，微蝕液經適當攪拌，在結晶槽內冷卻至 21°C 左右。在此溫度下，硫酸銅結晶開始形成，並逐漸加重沈降至槽底。至於結晶物之移除方式，各製造廠之設計不盡相同，有些廠商使用不銹鋼螺旋式傾斜輸送設備將結晶收集在一貯槽中；另一種收集方式，則在槽底裝設一斜槽(chute)定期將結晶物入收集槽，經移除硫酸銅後之微蝕液，則泵回微蝕槽再使用。

(2)「簡易批次操作方式」：

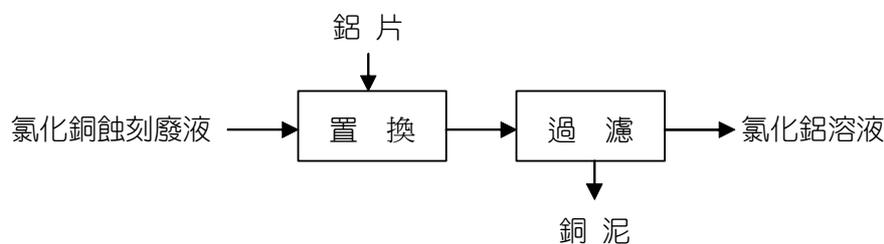
對於產量較低之印刷電路板製造工廠，可將硫酸／雙氧水微蝕液於每週末或每天下班前泵入一普通桶槽（沒有冷卻裝置），以自然冷卻方式使硫酸銅結晶析出，此種簡易之冷卻結晶設備可自行設計。

5.2.3 置換／電解回收貴重金屬

印刷電路板製造過程中會產生不同種類之廢液，其中含一些值得回收之貴重金屬（如金、銀、銅等為主），如欲以置換（如銅等為主）或電解方式（如金、銀、銅等為主）來回收上述之貴重金屬，其適合性如何？茲將說明如下：

1. 置換法

利用置換法來回收氯化銅蝕刻廢液中之銅為例，其回收處理流程如圖 5.11 所示。係以鑽孔製程之下腳鋁片，與氯化銅蝕刻廢液中之銅離子進行置換反應，銅離子反應成銅粉，而鋁片則由元素態反應成離子態，再經過濾的步驟，即得銅粉及氯化鋁溶液。銅粉可進一步製成銅產品，而氯化鋁溶液則可供為凝集劑 (coagulant)。由於製程簡單，故國內大部份進行回收之廠家皆以置換法來回收氯化銅蝕刻廢液。然而置換反應進行時會產生高熱，易造成作業環境酸霧迷漫。此外，尚有銅粉中含氯量高，處理不易；銅粉氧化；氯化鋁溶液中殘銅及殘酸過高等問題，故此法仍需進一步研究改善空間。



資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局， p39，民國 85 年 5 月。

圖 5.11 氯化銅蝕刻廢液之鋁置換回收處理流程

另外，也可利用置換法來回收化學銅廢液中之銅，本例即應用鐵或鋁之氧化力較銅為高的化學特性，在化學銅廢液中加入金屬鐵或鋁，使廢液中的銅離子與金屬鐵或鋁產生電荷交換反應，使銅離子還原成金屬銅達到回收銅的目的。工廠可使用鑽孔製程廢棄之鋁片或鑽屑來處理化學銅廢液。以鋁置換處理化學銅廢液雖然有效，但由於反應速率很慢，對化學銅廢液進行批式處理，可能需要一天以上的時間，若能將化學銅廢液加熱或在反應槽添加 NaOH 及甲醛，則可加速反應進行，縮短處理所需時間。當鋁片在反應過程中完全溶解於溶液時，就必須更換新鋁片使反應繼續進行，所供應之鋁片表面積愈大，反應速率就愈快。因此，以鋁粉取代鋁片，亦可增加反應速率。因為鋁粉可提供較大的表面積，但使用鋁粉的缺點是鋁粉極易被空氣氧化，須適當的存放在乾燥陰涼的地方。

總之，使用鐵置換處理化學銅廢液與鋁類似，但鐵對銅離子進行還原作用時，須在酸性條件下操作，即化學銅廢液須先以硫酸調整至 pH 值 2 左右，再

將鐵加入，被鐵置換之金屬銅顆粒粉末，沈降至槽底，處理後溶液之銅離子濃度約 10mg/L，並含有少量的鐵離子。

至於金、銀回收部份，由於銀離子還原電位較高，僅次於金。因此，易與較低還原電位之金屬（如銅、鐵、鋅、鋁）產生置換反應；廢液中銀離子經置換反應後，就還原成金屬銀，然後過濾分離，再以稀酸洗淨不純物銀。此法優點是所需設備簡單，投資成本不高，置換金屬以鋼纖維最普遍，因其表面積大及價格低廉。但缺點是操作成本高，而置換後排放廢液往往金屬含量偏高。

2. 電解法

首先說明其操作原理，電解程序主要藉外加電場導入直流電，使氧化還原反應中之陽極釋放出電子，產生氧化反應，陰極則隨即獲得電子產生還原反應。理論上可藉熱力學吉伯士自由能(Gibbs Free Energy)之大小判斷某一特定化學反應發生之方向。

茲以下列化學反應式為例加以說明：



式中，

A、B：反應物

C、D：生成物

a、b、c、d：相對莫耳數

$$E = E^\circ - \frac{RT}{ZF} \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (5-19)$$

式中， E° 為陰極與陽極之還原半反應標準電極電位差。於電解槽中， E 值常為負值，故必須施加一大於 $[E]$ 之電壓(V)，使陽極產生氧化反應，陰極產生還原反應。所需之電壓可以 (5-20) 式表示。

$$\begin{aligned} V = -E &= -[(E_c)_r - (E_A)_\gamma - \eta_A - \eta_\Omega - \eta_c] \\ &= -(E_A)_\gamma = (E_c)_r - \eta_A - \eta_\Omega - \eta_c \end{aligned} \quad (5-20)$$

式中，

V ：過電壓，即引起該項電解反應所需之外加電壓

(E_c) ， $(E_A)_r$ ：陰、陽極之可逆化學反應電位

η_A ：陰、陽極活化能過電壓之和

η_Ω ：歐姆過電壓

η_C ：陰、陽極濃度過電壓之和

所謂「過電壓」，即於電解槽中，施予大於平衡電位之電壓，以產生所需之電流強度，其超過部份之電位謂之；茲簡述如下：

(1) 活化能過電壓(activated overpotential, η_A)

一般而言，欲使任一化學反應發生時，不論其為放熱反應或吸熱反應，皆有其最低能障，此一能障即稱「活化能」。欲克服一活化能使反應能夠發生之電壓，即稱為「活化能電壓」。在大部份之電鍍程序中（如銅、鋅、鎳），其 η_A 很小，約為 100mV。

(2) 歐姆過電壓(ohmic overpotential, η_Ω)

$$\eta_\Omega = IR \quad (5-21)$$

式中，

I ：電流，Amp

R ：電阻，Ohm

因溶液本身具有電阻，故通入電流時，將產生 IR 之電壓下降，此種能量消耗實乃溶液導體之電阻所造成，並稱之為歐姆過電壓。因此於電解作用時，可提高電解質濃度（增加導電性）或升高溫度（降低電阻），以減少歐姆過電壓，歐姆過電壓亦可以下式表示：

$$\eta_\Omega = \delta_c / r_o \quad (5-22)$$

式中，

i ：電流密度，Amp/m²

δ_c ：陰極板與陽極板間之距離，m

r_0 ：本體溶液之導電度， $\text{ohm}^{-1}\text{m}^{-1}$

此外，電解操作時，電極表面常會生成鈍化膜或阻力膜（例如：鋁之氧化膜，錯離子生成之阻力膜），亦皆為產生過電壓之原因。

通常金屬離子由本體溶液到達陰極之質量傳送方式包括：擴散、遷移及對流三種。茲分別簡述如下：

- (1)擴散：溶液與陰極表面所形成之濃度梯度，將使金屬離子由本體溶液向陰極方向擴散。於電解過程中，擴散常為主要之速率決定步驟。
- (2)遷移：溶液中帶電粒子會因電場之靜電引力而造成遷移行為。
- (3)對流：於靜止溶液中，僅有自然對流產生，其對質量傳送速率之影響並不大，然在攪拌過程中，將產生強制對流現象，並對擴散方向之質量傳送造成重大影響。

綜上所述，金屬離子自溶液中之去除機制，除受化學動力所影響外，其他如電位、質量傳送亦皆影響其他化學反應速率。

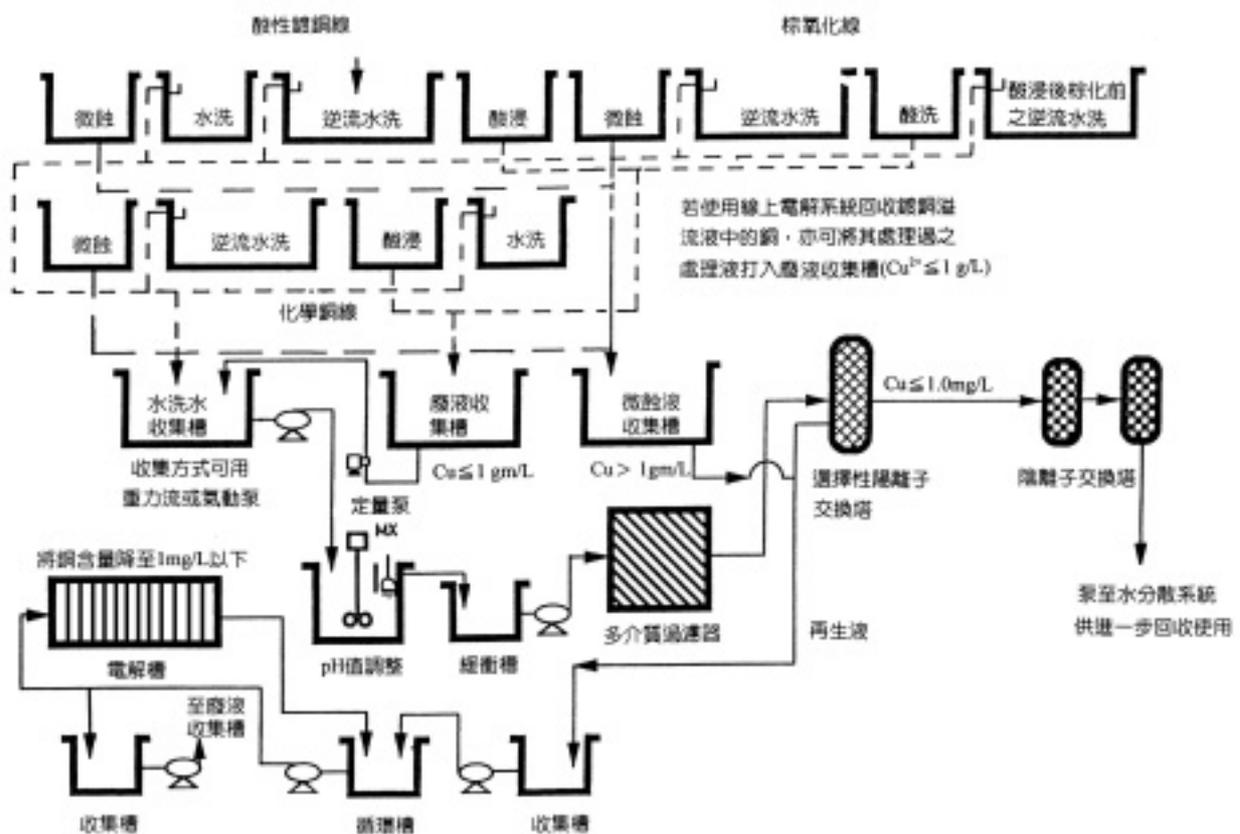
一般而言，工廠在規劃設置電解回收系統前，應先建立下述兩項基本數據資料：

- (1)電解回收過程中單位時間內所欲析出之貴金屬重量，並預估電解回收貴金屬之最大及最小析出量。
- (2)採用中央式集中電解回收系統，須再估計製程廢液平均產生量，若僅對製程中之靜止水洗槽設置電解回收系統時，則不需調查此項數據。

一般商業化的電解回收系統皆有一定的規格，系統設計所根據的參數有陰極板之表面積、每小時可回收的貴金屬量、每電解單元所含之陰極板數等，以一般陰極表面積電解沈積銅的回收率約為 $15.8 \text{ g/hr} \cdot \text{ft}^2$ 為例，建議設計時，最好在銅回收量預估上再加上一安全係數（可高至 150%），來決定所需之電解系統的規格。另外，電解系統之操作運轉時間亦應考慮在內，例如工廠可能只欲操作電解設備 4hr/day ，而不是 24hr/day ，這些考慮將影響系統規格的選擇，一般供應商所提供之系統規格，從每小時回收銅量 0.45kg 至 4.5kg 不等。此外，陰極板的尺寸大小各家不同，假設在陰極上沈積之銅的厚度每面各為 0.25

吋，以銅密度 $5591\text{lb}/\text{ft}^3$ 計算為例，則可根據陰極板之尺寸估計陰極板在滿載時之重量，如此可決定在電解槽上方是否要設置吊車系統，以方便提取更換陰極板。至於對整流器的考量上，電解回收系統可採用常壓可變電流及水冷卻式之整流器，因當貴金屬濃度漸漸降低時（例如銅濃度從 $30\text{g}/\text{L}$ 至 $1\text{g}/\text{L}$ ），電流密度會隨之改變（例如降至 $10\text{ 安培}/\text{ft}^2$ 以下）。

所謂「廠內集中式處理之電解回收系統（如圖 5.12 所示）」建議印刷電路板製造業可依製程實際現況需要（一般指銅回收而言）考慮採用（至於金、銀或錫類依目前現況建議廠外方式回收），此系統中一般均配置兩種功能之貯槽，分別作為廢液收集用槽及循環用槽：在實際電解回收方式設置時，經由適當之管閥配置，兩種槽可交替使用。



資料來源：工業污染防治技術服務團，電路板業回收設備選用手冊，經濟部工業局，p51，民國 84 年 5 月。

圖 5.12 廠內集中式處理之電解回收系統

如上所述，以廠外方式回收銀為例：一般其操作方式以石墨為陽極、不銹鋼為陰極，通入電流後，廢液中銀錯合離子則還原成金屬銀沉積於陰極上，電析所得銀塊，俗稱海波銀，純度約 95~98%，再以電解精煉，可獲得 99% 以上電解銀。此法優點是操作成本低、費用低。缺點是投資設備成本高、電流效率不高、處理時間較長，此為國內最常用方法，電析後廢液含銀量約 50~100 ppm。另外，從廢剝錫鉛液中回收有價錫或其鹽類實例，發現目前慣用中和沉澱方式，建議也可考慮利用電化學之電位差，亦即電解回收方式。

接著，就其流程特性區分「平板電極電解回收方式」及「高質傳電解回收方式」兩類分述如下：

(1) 「平板電極電解回收方式」

如以銅回收為例，當採用平板電極電解回收方式，一般可將廢水中的銅離子濃度降低到 0.5~1g/L。系統開始操作之初，應建立電解槽溶液之銅離子濃度降低與操作時間之關係參數，以利於爾後電解回收時，來控制電解操作時間。至於電解回收終了後的廢液，再導入另一收集槽與其他廢水混合，以定量泵導入離子交換回收系統中處理。一般平板電極電解回收系統用來處理回收量大且高濃度的廢液。此系統採用板狀或篩網狀陽極，陰極則為板狀。用來回收銅的陰極板材料通常為不銹鋼或銅板，電解操作時，廢液以平行或繞動的方式在電解槽中流動，因無法穿透陰極周圍形成的極化膜，使得廢液中之銅離子濃度隨電解操作時間增加而逐漸降低時，電流密度亦隨之降低。

此系統主要包括電解槽、循環槽、循環泵及整流器，廢液自循環槽中以循環泵輸送至電解槽進行電解回收並進行循環攪拌，系統單純，因此在實廠放大時困難度不高，圖 5.13 為實廠操作情形，此案例設計每一槽共有 50cm×50cm 之不銹鋼陰極板 20 片，電解回收後可以天車引出電解槽。在此系統中設計陰極防鍍邊框，電解回收後，將陰極框架拆除，回收之銅板可以很容易自陰極板上剝離，實際操作如圖 5.14 所示。剝離後之不銹鋼板可重複使用。此實廠共設置 6 套電解槽，每槽操作電流 2,000A，總操作電流 12,000A，用以回收 SPS 及離子交換樹脂再生液，銅回收量約 200 公斤/天。



圖 5.13 實廠規模銅電解回收系統

資料來源：印刷電路板業含銅廢水回收處理案例，工業污染防治工程實務技術研討會論文集，經濟部工業局， p308，民國 88 年 12 月。



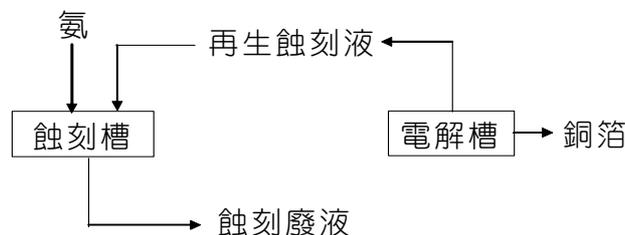
圖 5.14 自不鏽鋼陰極板剝離之銅金屬

資料來源：印刷電路板業含銅廢水回收處理案例，工業污染防治工程實務技術研討會論文集，經濟部工業局， p308，民國 88 年 12 月。

(2) 「高質傳電解回收方式」

一般高質傳電解回收系統用來處理量較少且濃度低的廢水，如以銅回收為例，以較長之操作時間將銅離子濃度降低至 1mg/L 。此系統之電極則採用立體網狀陰極，廢液可穿透陰極周圍的極化膜，在陰極上自由流動。

總之，建議電解回收系統較適合處理回收廢液種類，計有：選擇性離子交換樹脂再生時排放之硫酸銅溶液、老化廢棄之微蝕液、靜止水洗槽之廢液槽液及硫酸銅電鍍槽之溢流廢液等。如以利用電解法回收氯化銨蝕刻廢液為例，該回收處理流程如圖 5.15 所示。係於蝕刻製程單元線上設置循環電解設備，即將蝕刻槽液以連續循環方式，通過一擺置多組陰陽極近距密排的電解槽，將廢液中的高濃度銅鍍在不銹鋼的陰極板上，以降低蝕刻中的銅，電解一段時間後將陰極取出，可輕易的撕下高純度的銅，且系統本身有冷卻、循環、過濾、抽風、液面控制及比重控制等設備，在槽液返回蝕刻槽時，另有補充氨水及加溫的裝置，以保持槽液繼續具有蝕銅的能力，如此可減少槽液消耗量及廢液產生量。



資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局，p38，民國 85 年 5 月。

圖 5.15 氯化銨蝕刻廢液循環電解回收處理流程

另外，談及從廢液中回收銅之電解特性，現舉利用電解法回收「過硫酸鈉(SPS)廢液」、「 $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ 廢液」、「 HNO_3 剝掛架廢液」、「 CuSO_4 廢液」等來說明電流效率大小之比較，如表 5.5 所示。由表 5.5 可看出，SPS 及 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$ 廢液中含有大量之氧化劑，此氧化劑在電解還原時，會與銅離子競爭反應，因此電流效率大約 50~60%，而硝酸及硫酸銅廢液回收電流效率較高，可達 90% 以上。

表 5.5 印刷電路板業高濃度含銅廢液電解回收電流效率

廢液種類	電流效率(g-Cu/A-hr)
SPS 微蝕刻廢液	0.5~0.7
H ₂ O ₂ /H ₂ SO ₄ 廢液	0.5~0.7
HNO ₃ 剝掛架廢液	1.0~1.1
CuSO ₄ 廢液	1.0~1.1

資料來源：印刷電路板業含銅廢水回收處理案例，工業污染防治工程實務技術研討會論文集，經濟部工業局，p308，民國 88 年 12 月。

基於以上認知，現再舉「過硫酸鈉(SPS)廢液」、「H₂SO₄/H₂O₂ 廢液」為例，進一步說明電解現象：

1. 利用電解法回收「過硫酸鈉(SPS)廢液」

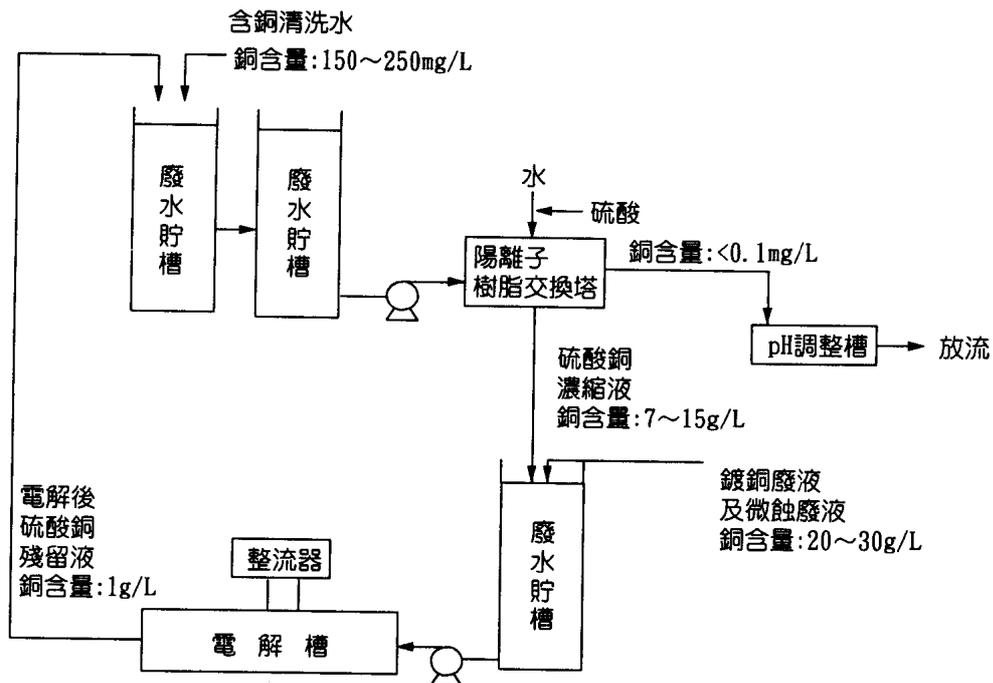
過硫酸鈉系統為目前較普遍使用之微蝕液，此類廢液中含有高濃度過硫酸鈉（視為氧化劑），如採用電解方式，其過程中過硫酸鈉在陰極上容易被還原為硫酸根離子。因此，其電流效率較差，究其原因此時電解反應過程中會產生副反應，以至於消耗一部份輸入之電量。另外，如果考慮以連續操作方式來電解處理 SPS 廢液時，電解反應初階段促使在陰極板上析出銅層；但由於 SPS 廢液本身仍具有蝕刻銅能力，將會被 SPS 廢液再侵蝕，銅層重因而減少。此時廢液中銅含量會先逐步增加一段時間，然後當電解效應大於侵蝕應效時，廢液中銅含量再逐漸因電解析出而下降。

2. 利用電解法回收「H₂SO₄/H₂O₂ 廢液」

H₂O₂ 存在的情況下，使得電解回收 H₂SO₄/H₂O₂ 剝銅廢液的電解特性與其他含銅廢液略有不同。因為於陰極部份的電解反應會優先分解 H₂O₂，等到 H₂O₂ 幾乎完全分解後，陰極板上才會開始電解析出銅。

由於上述為高濃度廢液之回收案例，至於製程中鍍銅、蝕刻及微蝕等單元清洗廢水中含有的銅離子，則可先使用離子交換法將廢水中所含銅離子置換濃縮，最後樹脂再生時被反沖洗出之高濃度銅溶液，可與含高濃度銅離子的鍍銅廢液及微蝕廢液混合收集，再藉電解的方式，將銅鍍在極板上，達到一定的厚

度後，將銅片剝下，因其金屬銅純度頗高，可以出售或做其他用途，不但可以獲得一部份利潤，亦可避免廢水處理後產生大量污泥。其回收處理流程如圖 5.16 所示。

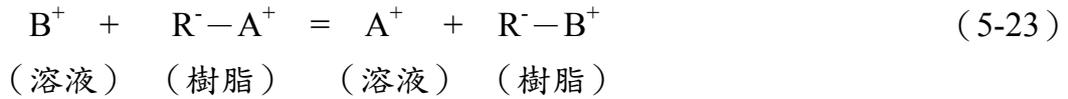


資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局， p42，民國 85 年 5 月。

圖 5.16 廢水離子交換濃縮配合電解回收處理流程

5.2.4 離子交換法回收貴重金屬

離子交換操作原理主要是利用離子交換樹脂面之帶電作用基與廢水中之同性離子進行交換而將其去除，使廢水得到淨化的方法。由於廢水中的離子與樹脂表面之離子進行交換係發生於交換樹脂之表面，交換過程中離子必須經由液相界面轉移至固相界面。因此，此種發生在液—固界面上的吸附，可視為一種表面吸附程序。若將離子交換樹脂之陽離子（此處以 A 代表）與廢水中之陽性離子（此處以 B 代表）的交換反應，以簡單的化學計量反應式表示如下：



式中(R⁻)代表附著在樹脂上固定的陰離子作用基，根據質量作用定律(law of mass action)，離子交換樹脂對某一離子的選擇性(selectivity)，可用下式表達：

$$\begin{aligned} K_B^A &= \frac{[R^- - B^+][A^+]}{[B^+][R^- - A^+]} \\ &= \frac{[\text{樹脂中B離子的濃度}]}{[\text{樹脂中A離子的濃度}]} \times \frac{[\text{溶液中A離子的濃度}]}{[\text{溶液中B離子的濃度}]} \end{aligned} \quad (5-24)$$

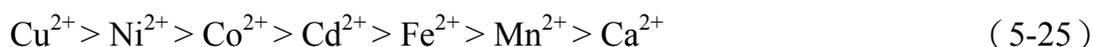
式中 K_B^A 為選擇係數(selectivity coefficient)，其表示當交換樹脂為 A 型，置入一含 B 離子溶液中，其離子相對分佈的情形。然而，此值僅為一估計值，因選擇係數並一常數值，需依交換樹脂特性和實驗結果來決定。總之交換樹脂對各離子的選擇係數值，僅表示各離子對應於樹脂的相對親和力(affinity)。

談及樹脂對離子親和力的大小，一般可歸納出如下所列之通則：

1. 通常高電價的離子其親和力大於低電價的離子，即交換反應的程度隨電價的升高而增加（例如： $Fe^{3+} > Mg^{2+} > Na^+$ ； $PO_4^{3-} > SO_4^{2-} > NO_3^-$ ），此種傾向亦隨溶液中總離子濃度的減少而更加顯著。
2. 對於相同電價的離子，交換反應的程度，隨離子水合半徑（hydrated radius）的減少和原子數的增加而增加（例如： $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Be^{2+}$ ； $K^+ > Na^+ > Li^+$ ）。此種結果乃是由於樹脂內膨脹壓力（swelling pressure）的緣故，當離子水和半徑增加時，樹脂內膨脹壓力增加，而減低了樹脂對此離子的親和力。
3. 對於一溶液具有高總離子濃度時，交換反應的程度並無一定通則，且常是逆向反應，此種結果為樹脂可逆向再生(regeneration)的依據。
4. 樹脂之交聯（crosslinking）的程度和水合離子大小間的關係，將影響交換反應的程度，假如樹脂具有高交聯程度，則離子可能因太大而無法滲入樹脂的基質（matrix）中。

如以應用離子交換法處理廢水回收銅為例，一般採單床式選擇性陽離子交換樹脂，經處理後水中的銅離子濃度可降至 1.0 mg/L 以下；若採用雙床串聯式，

則出流水之銅離子可達到 0.5mg/L 以下。由於選擇性陽離子交換樹脂對廢水中不同金屬離子的親和力有差別，樹脂上之可交換離子與廢水中親和力大的離子先行交換，例如某一樹脂可能有如下之選擇順序：



因此，使用適合之選擇性離子交換樹脂（又稱螯合樹脂）可在去除廢水中之鈉、鈣、鎂或鉀等陽離子之前，就先去除銅離子。一般應用於印刷電路板製程廢水之離子交換樹脂，包括 Rohm & Haas 公司之 Amberlite IRC-718、Purolite 公司之 S-930 及 Sybron Chemical 公司之 SR-5 等種類。但因每一種交換樹脂之選擇順序不盡相同，且依印刷電路板製造工廠廢水特性而異，在選擇樹脂時，最好能先進行可行性試驗再決定之。

一般而言，離子交換回收系統應用於製程水洗衣循環回收再用時，應依水洗衣之污染特性於離子交換系統前設置適當的前處理單元（如 pH 調整槽、還原槽等），將水洗衣調整至適宜的 pH 值，或水洗衣中之氧化物質予以還原，以維持離子交換樹脂的處理效率及使用壽命。此外，處理後之回收水應經緩衝槽收集，並檢測水質狀況，再供製程使用，以避免影響產品之水洗效果。由於應用離子交換法循環回收水洗衣再使用，為避免回收水中鹽類物質累積，不適宜採密閉循環回收操作，應採連續部份排放部份補充清水方式操作，或採定期全量排放全量補充清水方式操作。如以回收貴金屬目的來說明，含貴金屬濃度較低之廢水可先以螯合性離子交換樹脂法處理濃縮，其再生液（或與含濃度較高之廢液合併）再以電解法回收貴金屬。總之，此回收系統應依實際需要來設計。

離子交換系統應用於處理印刷電路板廢水，在設計時，應考量廢水流經樹脂床之進流速度、樹脂交換容量（或再生頻率）及出流水水質等。假設某樹脂床之單位面積允許之平均流速為 1.5 gpm/ft² (61L/min·m²)，當廢水進流量為 10gpm (38L/min) 時，則所需樹脂床截面積為 6.67ft² (0.62m²)，可得理論樹脂床直徑為 2.9ft (88cm)。因此，樹脂床之最小直徑應不小於 3ft (90cm)。

另外，樹脂床之有效床深設計，主要是依據單位時間內需從廢水中吸附去除之總貴金屬離子量及設計樹脂再生的頻率來考慮。由於廢水來源可能分為高濃度及低濃度廢水兩股，在計算總交換去除貴金屬離子量時，應以排放廢水中之貴金屬離子濃度 90% 可靠性之濃度來計算，即排放廢水之貴金屬離子濃度僅有 10% 的時候會超過此濃度，而不是取平均濃度。

至於樹脂吸附銅離子之交換容量參數選擇，以銅離子回收為例，雖然理論上可達到 2eq/L ，但在設計時建議將理論交換容量乘以 0.5 作為安全係數，即每 1ft^3 之樹脂可吸附 1 磅的銅（或 16kg/m^3 樹脂）。為便於計算，現假設高低濃度廢水混合後之銅離子濃度為 $100\text{g/L} \times 227.1\text{L/hr} = 22.71\text{g/hr}$ 。連續操作一天，所需之去除之銅離子量為 5.45kg 。假設每操作 120hr 後需再生一次樹脂，則所需樹脂量計算如下：

$$(5.45\text{ kg/day} \times 5\text{ days}) / (16\text{ kg/m}^3) = 1.7\text{m}^3 = 60.1\text{ft}^3$$

則樹脂床之直徑為 3ft，樹脂之有效床深為 8.5ft。

離子交換系統除樹脂床外，還包含前處理系統如 pH 調整槽、多重濾料過濾設備（需含反沖洗設備）、收集系統（如清洗水、製程廢液等）、並聯樹脂床之自動交替運轉切換等設備。此外，若廢水中含有機物時，應先行前處理以除之。

談及樹脂床之操作方式，除並聯交替操作外，亦可採三床式設計，將第一、第二床串聯操作，第三床再生，而後二、三床串聯操作，第一床再生，依次循環使用。設計上亦必須考慮自動逆洗再生時，閥門的開關動作要採徐徐漸進方式，避免因閥門的突開突關，造成槽體、內部支撐結構及進出散水裝置容易損壞，並易導致樹脂的流失。建議在設計階段時應加以考慮以上陳述，則可減少操作後之設備維修及樹脂補充費用；另外若廢水中含有氧化性物質，可考慮在 pH 調整槽中加入還原劑，以延長樹脂使用壽命。

總之，離子交換法是利用離子交換樹脂的選擇性、等當量交換和可逆反應來進行離子之交換和再生。一般離子交換作用是在樹脂床中進行，典型的固定床離子交換之操作程序可分為以下六個部份，各程序之操作參數依實際選用樹脂之不同而有所差異。現分述如下：

1. 交換：

廢水由上而下順流通過樹脂層，處理水由樹脂床底部排出，一般操作流速為 $1 \sim 2\text{gpm/ft}^2$ 。

2. 反洗：

當樹脂交換容量達到控制終點時，在再生前自下而上逆向進水反洗，除去樹脂層中的氣泡和雜質，同時疏鬆樹脂，以利再生，一般反洗強度為 $2 \sim 3\text{gpm/ft}^2$ ，反洗時間為 20 分鐘。

3.再生：

順向（或逆向）通入再生液，進行樹脂的再生處理，使樹脂恢復交換能力，陽離子交換樹脂一般使用 10% H_2SO_4 為再生液，再生流速為 $0.25\sim 0.5\text{gpm}/\text{ft}^2$ ，再生時間 60 分鐘。

4.潤濕：

通入清水順向（或逆向）進水，將樹脂層內殘留的再生液洗淨，一般進水流速為 $0.4\sim 0.5\text{gpm}/\text{ft}^2$ ，進水時間共 40 分鐘。

5.轉換：

一般使用 1~2N NaOH 水溶液，流速 $0.4\sim 0.5\text{gpm}/\text{ft}^2$ 持續 60 分鐘，將 H 型樹脂轉成 Na 型。

6.潤濕：

使用軟水或去離子水，將樹脂層殘留的 NaOH 水溶液洗淨，一般進水流速為 $0.4\sim 0.5\text{gpm}/\text{ft}^2$ 持續 40 分鐘。

由上可知，若採用深床式樹脂床，再生時間約需 3~4 小時，並消耗相當可觀的反沖洗水。因此，考慮再生所需時間，樹脂床一般採並聯交替或三床串聯等方式設計。至於離子交換系統之應用限制對象，在印刷電路板製程廢水中如含 EDTA 之廢水；顯像、剝膜（墨）廢液及其水洗；水以及網框清洗廢水等含有有機污染物之廢水及廢液；照像製版廢液；錫鉛廢液（包括剝掛架廢液、廢助焊劑及其水洗水）；抗銹劑及加速劑廢液及其水洗水；鍍金製程線之活化劑廢液；非接觸性冷卻水及其他不含銅離子廢水（廢水僅需 pH 調整，即可逕行放流）；除膠渣製程線之有機性調整劑及中和廢液，以及其水洗水；高錳酸鉀廢液及其水洗水；刷磨銅粉回收機之出流水；高濃度之微蝕廢液、氯化銅蝕刻廢液及鹼性氨系蝕刻廢液，以及硝酸剝掛架廢液等；棕化廢棄槽液及其水洗水（應特別注意前述廢液若與酸液反應會產生具毒性之氯氣，此類廢液應與還原劑分開收集）；噴錫後處理及鍍金手指之水洗水；化驗室廢水及桶槽清洗水；廢氣洗滌之排水等，均不適合。以含銀廢液為例，可用鹼性陽離子樹脂吸附，樹脂吸附銀離子飽和後，以特定硫代硫酸氨沖洗，將銀離子洗出，再以電析法還原成銀塊，而樹脂可重覆使用。此法優點是操作簡單及處理後廢液含銀量可低至 0.5 ppm 以下。缺點是投資成本較高且含銀量高廢液並不適用。

談及離子交換系統選擇性，離子交換系統之樹脂床一般均採深床式，但仍有深床與淺床二者之區別。以回收銅為例，在於樹脂再生時，淺床式可得較高之銅離子濃度，一般淺床式再生之銅離子濃度為 18~20g/L，深床式則為 4~13g/L；且淺床式再生時間亦因交換床較淺而縮短為數分鐘，深床式則需 3~4 小時。淺床式離子交換樹脂床再生頻率之控制及操作啟動可利用連續偵測出流水之銅子濃度或總處理水量作為再生週期之考慮。至於離子交換系統設置方式可分為製程線上(on-line)及集中式離子交換系統兩類，如設置集中式陽離子交換系統，可同時處理製程中數股不同來源之水洗水，並可將高濃度含銅廢液以定量泵微量泵入一併進行處理，而裝設於製程線上之離子交換系統一般僅用以處理 1 或 2 股含銅之水洗水（總流量約 15L/min）。無論集中式或線上式離子交換系統皆須以酸液進行再生，樹脂再生時產生之硫酸銅溶液，一般需再配合電解回收系統進一步電解回收銅，當電解槽槽液中之銅離子降至 1,000mg/L 左右，為維持較高之電解效率，槽液可再導入廢水貯槽與待處理之水洗水混合，繼續經離子交換及電解處理，以構成一密閉循環處理回收系統。

5.3 廢酸回收再利用

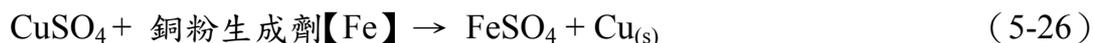
一般而言，印刷電路板製造流程中各處理步驟會衍生所謂「廢酸」尚值得回收再利用者不多，經歸納概分其種類，計有廢硫酸（產源來自微蝕或預浸酸步驟）、廢硝酸（產源來自剝掛架步驟）等兩類。事實上，此章節在說明廢酸回收再利用技術之外，同時也考慮回收銅或其鹽類回收，因為兩類「廢酸」含銅離子濃度高達 25,000mg/L 之故，現分述如下：

5.3.1 廢硫酸

本類廢酸回收再利用除了可應用上述之冷卻結晶法或電解法或離子交換法外，此處所欲建議回收再利用方式，或許較具經濟可行性。現說明如下：

一般而言，印刷電路板製造過程產生廢硫酸來源，除了預浸酸步驟外，來自微蝕步驟主要產生之微蝕廢液，計有二種，亦即「硫酸&過硫酸鈉（銅濃度約 2~3%）」及「硫酸&雙氧水（銅濃度約 3~4%）」。如前所示，硫酸&雙氧水系列微蝕廢液，可藉硫酸銅結晶方法回收硫酸銅，且處理能力已成熟。至於硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液，因其化性活潑，運輸過程易產生危險，且其銅濃度較低故不具回收價值。工廠皆依定量方式納入廢水處理系統，因而產生大量污泥。

基於以上認知，針對「預浸酸步驟」及「微蝕步驟」(指「硫酸&雙氧水(銅濃度約3~4%)」)兩部份廢硫酸來源，建議可將廢硫酸液中之銅離子以銅粉方式析出，並將廢硫酸液轉化成具利用價值之硫酸鐵/硫酸亞鐵化學混凝劑，並應用於廢水處理系統，以達到污泥減量及減少化學藥劑用量雙重效益。其化學反應式則可簡單表示為：



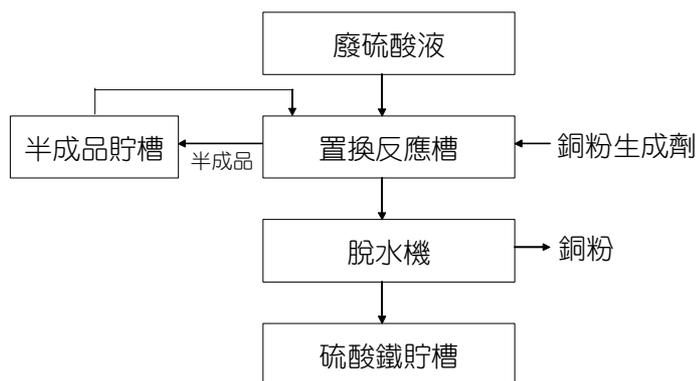
其中銅粉生成劑主要化學成份為鐵、少許催化劑及安定劑，處理流程如圖 5.17 所示。

5.3.2 廢硝酸

本類廢硝酸含有銅離子濃度 3,000~25,000mg/L，其溶液組成中之銅離子以硝酸銅型態存在，因此建議可以加入硫化鈉 (Na₂S) 使硝酸銅解離，銅離子與硫離子結合形成溶解度極低之硫化銅 (CuS 之 K_{sp}=6×10⁻³⁶) 沉澱，而加以分離，其反應式如下：



由於反應生成之硫化銅黑色微細顆粒，具有水合膠體顆粒性質，因此建議最後以真空濃縮方式使 NaNO₃ 以結晶型態存在，期達成完全再利用之目的。



資料來源：發明專利案號 091113820。

圖 5.17 廢硫酸液轉化成硫酸鐵/硫酸亞鐵之流程

5.4 廢印刷電路板材回收

一般而言，廢印刷電路板產生來源可能來自印刷電路板製造過程之不良品、邊料或可能來自相關廢棄資訊產品中之已經拆除組裝元件之印刷電路基板。至於談及廢印刷電路板之組成，其大致可分為兩類，即金屬與非金屬。金屬部份主要含銅，其他仍含有少量金、銀、鎳、錫、鉛等；而非金屬部份則主要含樹脂及玻璃纖維。如再深入分析：廢印刷電路板主要有單層板、雙層板及多層板之分，其所含金屬與非金屬等兩類之組成，可參考表 5.6 所示。

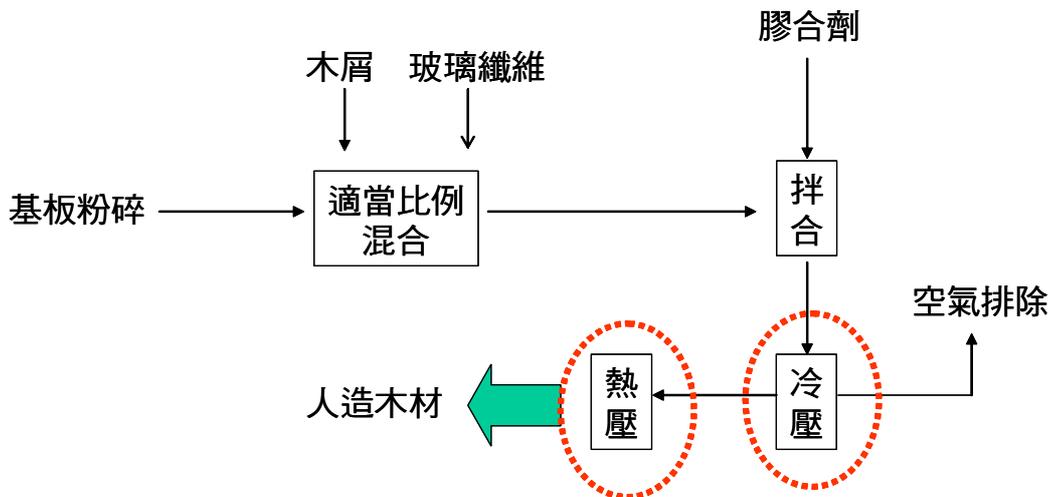
由表 5.6 所示，單層板銅之金屬為約 5%、雙層板約 9%、多層板約 23%；至於樹脂及玻璃纖維總含量，單層板含 94%、雙層板約 90%、多層板約 76%，通常玻璃纖維佔總量之佔 50%左右，樹脂佔總量之佔 30~40%左右，再者樹脂又以酚醛樹脂及環氧樹脂為主，其中環氧樹脂佔多數。總之，所謂「廢印刷電路板材」佔廢印刷電路板總組成約 76~94%之範圍，其回收工作將是未來主要課題。

表 5.6 廢印刷電路板組成（約略值）

項 目	金 屬 (%)		非 金 屬 (%)	
	銅 (%)	非銅 (%)	樹脂 (%)	玻璃纖維 (%)
單層板	5	1	42	52
雙層板	9	1	36	54
多層板	23	1	31	45

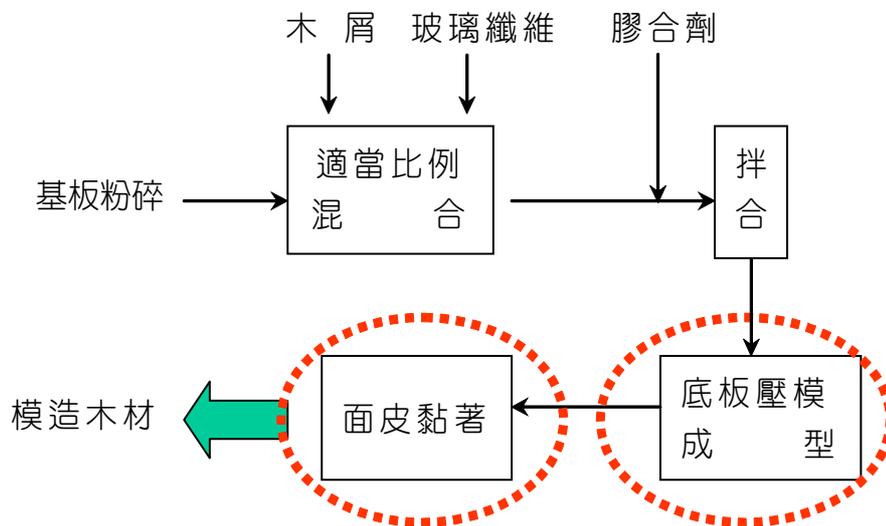
資料來源：鄭智和，廢印刷電路板之處理技術介紹，電路板會刊，第 14 期，pp64，民國 90 年 10 月

綜括 5.1 節及以上所述，酸洗法、溶蝕法、機械物理分離法、焚化法、裂解法、直接冶煉法等皆有其特點。而從廢印刷電路板中回收金屬（如銅等）再利用，則是已有共識。然而對於佔 76~94%之非金屬部份，如再從資源角度著眼，而加以資源化設計與應用，將是未來努力目標。根據國內外技術能力分析：「廢印刷電路板材」只要再經前處理（如水洗、乾燥等）後，且能通過 TCLP 測試標準，則可再利用於人造木材與建築材料上（如圖 5.18~5.22 所示），進而達到減廢與資源再利用之目的。



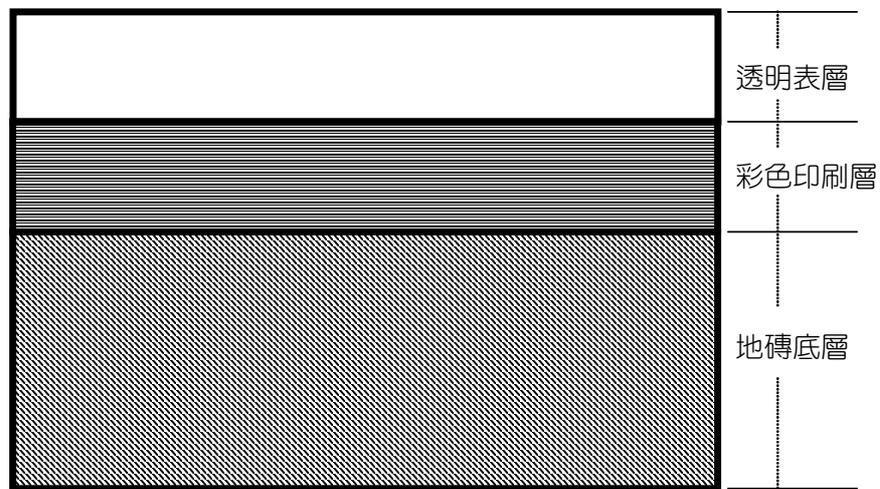
資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫－總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

圖 5.18 基板再利用平面塑合板處理流程



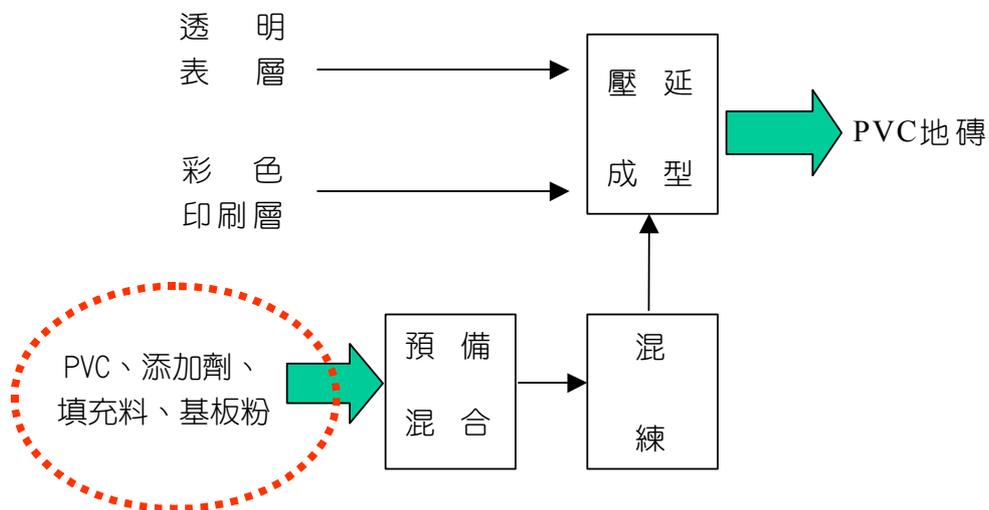
資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫－總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

圖 5.19 基板再利用模造塑合板處理流程



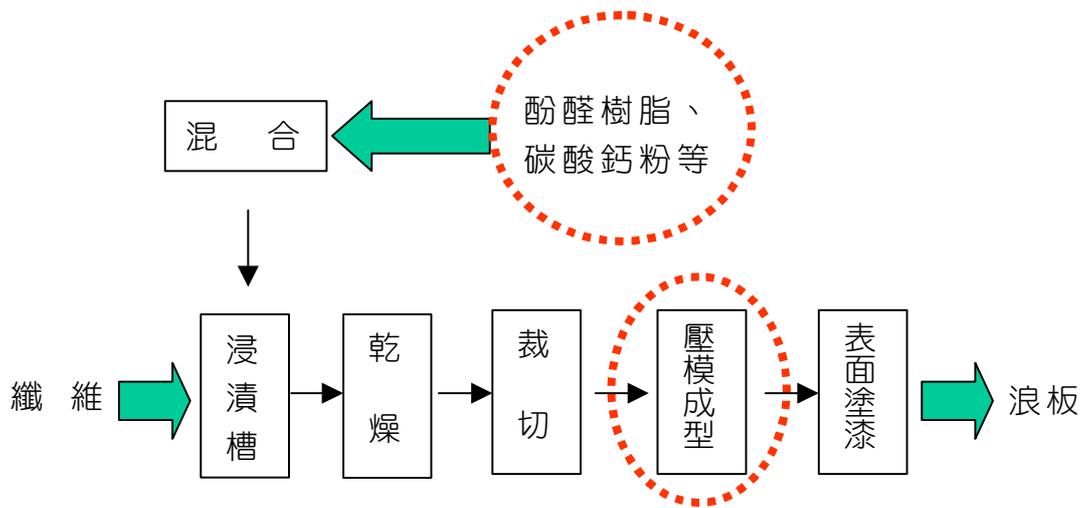
資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫—總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

圖 5.20 PVC 地磚結構圖



資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫—總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

圖 5.21 基板再利用 PVC 地磚製造流程



資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫－總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

圖 5.22 廢基板再利用浪板製造流程

第六章 設備選用程序與評估

本章節將針對「印刷電路板製造業」產生各類廢棄物（如廢板、廢水污泥、廢液、廢酸等）欲進行資源化工作時，如何建立設備選用之標準作業程序，舉出相關基本原則及注意事項，而設備供應商及代理商名錄請詳見附錄。

6.1 設備選用程序

工廠在規劃設置回收系統時，一般必須藉由系統化的程序指導，才能建立確實符合工廠需求的設備，進而達到廢棄物減量及原物料回收之預期目標。各廠可依本身製程特性，規劃完整的設備選用系統之作業程序及預定進度。由於完整的作業程序較為複雜，工廠亦可聘請在此方面有專長及經驗的顧問來協助指導。一般來說，顧問之工作項目說明如 6.1.2 節。

6.1.1 作業程序

相關購置回收系統之各階段工作內容說明如下：

1. 第一階段：清算製程污染源
2. 第二階段：評估減廢方案

針對每一污染源，找出其可應用之減廢／資源化方案，並進一步評估各項減廢／資源化方案對減少污染產生量之預期效果，且有些減廢／資源化方案可能因工廠既有場地面積不足，在此一工作階段即可予以過濾刪除。在執行此階段時，亦可考慮聘用減廢／資源化顧問，以協助提供製程減廢／資源化技術建議及評估。此階段可再細分為三項步驟，各步驟如下：

- (1) 找出可應用之減廢／資源化方案，並選擇較重要者。
- (2) 針對較重要之減廢／資源化方案，評估預期之減廢／資源化成效。
- (3) 將評估結果做成記錄，並進行分析。

3. 第三階段：訂定回收系統採購說明書

工廠應依本身的需求訂定回收系統採購說明書，內容載明回收系統所需達

到的功能要求，並分寄各回收系統供應商。此階段可分為五項步驟，各步驟工作內容說明如下：

- (1)工廠之減廢小組負責擬定回收系統採購說明書，並經由工廠決策人員核可。
- (2)將採購說明書寄至各回收系統供應廠商。
- (3)供應商至現場踏勘，並採集水樣進行可行性試驗。
- (4)採訪類似回收系統之供應商或製造商。
- (5)供應商提出回收系統規劃設計書。

4.第四階段：審核回收系統規劃設計書，並簽訂合約。

審核各供應商所提之回收系統規劃設計書，找出其遺漏的地方，並選出較合適之供應商。在規劃書中應詳列系統之主要設備單價明細，主要設備一般包括泵、液位控制、警報器、桶槽、管件、pH 校正系統、過濾器、攪拌裝置、定量泵、設備平台、設備標示牌、洗眼器及淋浴器等。

審核供應商之規劃設計書後，最好能再與供應商討論，並進一步提出問題，必要時需經試驗確定，因可行性試驗可對回收系統是否能達到預期之處理功能，提供廠內確實的保證。

5.第五階段：修改廠內製程設備

完成回收系統採購合約之簽訂後，進行廠內製程必要之修改工作，以因應回收系統的設置。

6.第六階段：回收系統設置及備用零件貯存

回收系統之備用零件應在系統未設置前就應備妥，且回收系統供應商有必要提供廠方備用零件清單，有時供應商提供之備用零件種類及數量超過實際需要，而造成浪費。因此廠方需先評估備用零件清單的內容。此方面廠方可向已設相同種類回收系統之工廠請教。一般的經驗是 pH 計及一些控制零件應比攪拌設備更須準備備品；緊急採購這些零件所花費的時間亦應考慮在內，對於所採購的備用零件應妥善貯存，並予以編號，以利需要時容易取得。

回收系統也應編號以利辨認，編號的方式可將該系統所在之製程線及製程槽納入，此編號可用在採購說明書、訂單及運送該系統之包裝上，整個採購過程即可以此編號系統進行追蹤，並方便查核作業的進行。所有的採購項目可依

編號整理成一張清單，並將設備之相關資料納入清單中，如設備之預期處理功能等數據，其組成之電機機械設備、建造材料設備、尺寸及其相關設計圖編號、預期及實際進貨日期、訂單編號等等，有些重要的閥件，可考慮另列一張清單。

7. 第七階段：系統測試與試車

設備在設置前應先行測試，以確保電氣及機械系統的完善，經測試後再行安裝。試車時應進行處理前後水質之取樣檢測工作，以做為評估系統是否能達到預期處理功能。水質取樣的位置包括進流口及出流口，如離子交換系統及自動催化處理設備；或設備操作前後，如電解回收系統。而離子交換系統應該在進流速度等於合約書之設計流速下進行測試，方才取樣。水樣應以乾淨的塑膠瓶貯槽，採得的水樣分為三瓶，工廠保留二瓶，系統供應商一瓶，雙方分別檢測後互相印證之。水樣應依標準程序妥善保存、運送，並分析之。檢測結果再由雙方共同評估，若無法對檢驗結果達成共識，則應將第三瓶水樣送交第三個檢測機構檢測之。

在執行最後階段的測試時，最好能使用相當量的廢液來測試，處理系統的付費方式，儘可能的話，除了運費與設置費外，工廠應保留 10~15% 的設備費用，以防設備無法達到預期功能。保留的期限以在設備設置並達成預期之處理功能後六個月內為限。

設備之安裝費用一般可保留 10% 做為尾款，直到水力、機械及電氣等操作問題完全解決後，方才給清，有時設備供應商會將此費用提高 2%，以充當利息之損失。

6.1.2 顧問聘請

從評估供應商到完成回收系統之設置，所需之工作相當複雜，工廠可考慮聘請在此領域有專長及經驗之專職顧問，以充當工廠與供應商之間的溝通橋樑。一般來說，顧問之工作項目包含：

- 廠內製程單元之污染源清查。
- 分析統計各製程單元之廢污物產生量，並研提可行的減廢／資源化方案。
- 評估及選擇合適的回收系統供應商。
- 撰寫回收系統採購說明書，內容包括可行性試驗、設備詳細規格、人員訓練與試車，以及設備處理功能等。

- 協助調整或更改現有製程設備，以配合回收系統之設置。
- 協助廠方審核各回收系統供應商所提之規劃設計書，並就技術觀點提供工廠具體意見。
- 決定回收系統供應商後，繼續協助可行性試驗等相關工作的進行，並監督其執行過程，評估其結果。
- 合約書可能需依可行性的試驗結果加以修改，顧問可進一步審核其更改內容，及其處理功能的保證。
- 評核得標廠商所提供的系統配置圖、水力剖面圖、製造流程圖，以瞭解廢液收集系統的設置、二次污染的處理情形、洩漏時之處理措施，以及實驗室廢污物的處置方式是否均能符合環保規定。
- 回收系統正式試車前審核操作維護手冊的完整性。
- 將回收系統之安裝、試車及操作訓練等過程全程錄影，以進一步審核系統的功能。
- 提供廠方操作人員之定期訓練，並校正回收系統之程式控制器準確性。

6.2 供應商評估

6.2.1 供應商評估及選擇

在選擇回收系統供應商時，一般可依據下列項目來判斷供應商的技術能力及所提供的回收系統之優缺點。

- 供應商的員工、工程師、專屬技術專家、實驗人員及銷售人員等人數。
- 所欲購置之回收系統，該供應商已在市場上推行多久。
- 供應商之年營業額多少，對電路板工廠之營業額如何。
- 供應商對於處理購置該項回收系統的工廠，所編制之人力架構如何。
- 那些物料、配件由其他廠商供應。
- 地區代理商服務及維修能力。
- 是否有供應電路板工廠的其他回收系統。
- 各附屬零件（如泵之軸封、馬達、攪拌器、樹脂、塔槽、pH計及ORP計等）

之代理商。

- 系統故障是否能退回。
- 系統運送方式及裝設進度表。
- 是否需加裝隔離設施，以維護製程較敏感的儀器。
- 可提供多少份系統之操作維護手冊。
- 對電路板工廠之濕式製程單元瞭解程度。
- 系統之備用零件取得的難易性，以及是否已將備用零件包括在報價單內。
- 買方是否可參與系統設置之規劃設計的審核工作。
- 系統搬運及重新設置是否方便。
- 現有場地面積是否足夠。
- 置放系統之平台的防蝕措施如何。（採不銹鋼或玻璃纖維的平台較普通的鋼板耐蝕）
- 那些零件可在當地購買，而不抵觸系統保證書的內容。
- 製程產能加倍，該設備應做那些更改。
- 系統是否容許 24 小時連續操作。
- 離子交換樹脂塔再生操作時，產生之再生廢液及反沖洗廢水處理方式為何。
- 電解系統回收銅所使用之電流密度大小，當銅濃度降低時，電流密度是否降低。
- 系統是否能被一般運送的貨櫃所容納。
- 廠區配置圖是否與實際狀況吻合。
- 製程上應做那些修改，以配合此項設備的設置。
- 該系統需多少操作人力、維護頻率及時間如何。
- 是否可先瀏覽該系統之操作維護手冊。
- 該系統日常維護項目有那些。
- 樹脂交換塔之逆洗水是否需使用軟水。

其他次要判斷的項目包含：

- 那些零件最容易故障，修復需多少時間。
- 系統操作時，會有那些狀況產生。
- 是否需額外加裝廢氣處理設施或排氣設施。
- 是否提供該系統之操作維護核對表格，以利系統之管理維護。
- 系統栓緊零件（栓、螺絲、螺帽）是否使用不銹鋼材。
- 控制盤是否有中文標示。
- 誰來負責安裝試車人員之差旅及膳雜等費用。
- 供應商提供所需準備之備用零件是如何決定的。

澄清上述的問題後，若能親自訪視幾家新設（三家）或已設（三年）回收系統之電路板工廠，以做為最後選擇回收系統供應商的依據，因經由現場訪視，可進一步瞭解供應商的服務品質及技術能力，以及該系統實際操作情形，並藉由與現場操作人員聊天來查詢回收系統實際操作上的問題所在，再向供應商詢問澄清之。

6.2.2 代理商服務及維護能力評定

回收系統之地區代理商的服務及維護能力，也是決定回收系統廠牌的重要因素。因回收系統運達工廠後，接下來的系統安裝、試車及操作人員訓練等工作，可能就交由當地代理商負責（一般視廠方與供應商的合約而定），由於各家代理商之技術能力不盡相同，例如有些代理商僅能提供所需附屬零件的更換，有些代理商則可提供此套系統所有技術維修之服務工作。若代理商對工廠製程有相當的瞭解，對往後的維修工作將更有幫助，所以工廠在合約書內應與原設備供應商，釐定清楚地區代理商的責任範圍。

第七章 資源化案例

本章節將針對「印刷電路板製造業」產生各類廢棄物（如廢板廢液、廢酸等）之資源化案例，一一說明介紹。每一資源化案例之內容架構，含有「前言」、「製程及原理」、「效益評析」、「結語」等，現分述以下各節中。

7.1 冷卻結晶回收硫酸銅

7.1.1 前言

本案例為一家大型電路廠板工廠，主要生產多層板，平均月產量為 14,000 m²。該廠位於工業區內，廠內設有乙套廢水處理設施，由於製程定期排放含有銅錯鹽的過硫酸銨廢液，造成廢水處理水質不穩定，並產生大量的重金屬污泥。廠方經研究評估可行性後，將原採用之過硫酸銨微蝕液改以硫酸／雙氧水取代，並於微蝕製程設置硫酸銅冷卻結晶機，以回收微蝕液中之硫酸銅，並循環微蝕液再使用，減少廢液產生，有效降低廢水中之銅離子濃度，進而減少廢水處理之污泥產生量，同時達到廢棄物減量與資源化兩大減廢目標。

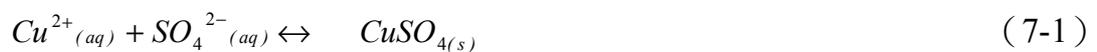
7.1.2 製程及原理

該廠製程亦採用減除法，以銅箔基板為基材，經印刷、照相、蝕刻及電鍍等流程，製造出細密的電子配線基板。廠內印防焊綠漆前處理刷磨製程單元之微蝕槽，如圖 7.1 所示，原採用過硫酸銨微蝕液，用以輕溶蝕銅箔基板表面增加粗糙度，使後續在進行印防焊綠漆時，與防焊綠漆有較佳密著性。此槽液在使用一段時間後，因不斷溶蝕銅面，當銅含量達 30~50g/L，即需拋棄換新，此股廢液中之銅離子以氨銅錯離子[Cu(NH₃)₄]²⁺型態存在，無法以傳統的重金屬氫氧化物沉澱法加以去除，為廠內較不易處理的廢液之一。

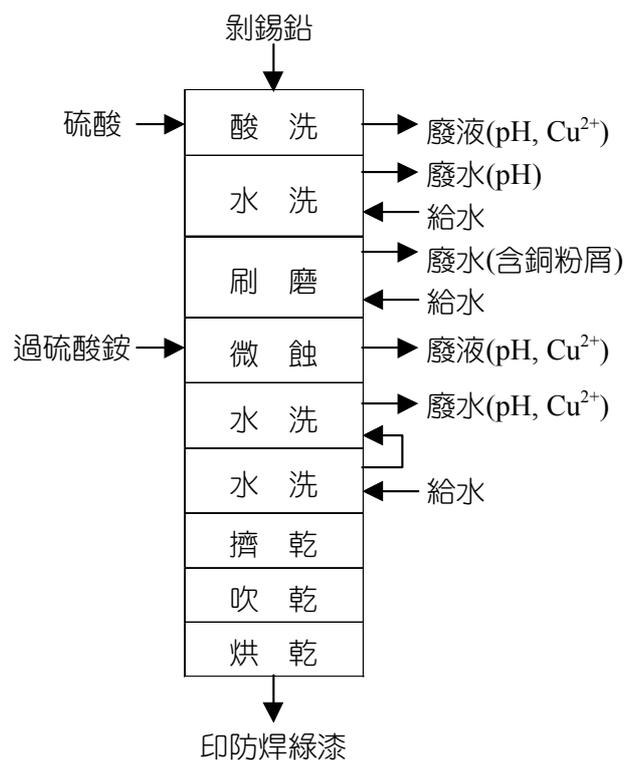
由於使用過硫酸銨微蝕液，其廢水及廢液中含有氨銅錯離子，且會再錯合廢水中的重金屬，造成廢水處理不易的困擾。該廠採用改變製程物料的減廢作法，改以硫酸／雙氧水取代過硫酸銨微蝕液，有效解決放流水銅離子水偏高的問題。此外，為減少此股含高濃度銅離子廢液排放，並回收微蝕液中的硫酸銅，於微蝕製程單元設置乙部硫酸銅冷卻結晶回收系統，以連續回收硫酸／雙氧水微蝕液中

不斷產生的硫酸銅。該系統之操作原理詳細說明如下：

硫酸銅冷卻結晶回收系統主要是利用微蝕液中的 Cu^{2+} 及 SO_4^{2-} 在過飽和條件下，形成硫酸銅結晶而予以分離回收。由於硫酸／雙氧水微蝕液於生產過程中，不斷溶蝕銅面，促成微蝕液中銅離子濃度提高，另為維持穩定的微蝕效率，需由外界連續補充硫酸及雙氧水，相對也增加溶液中硫酸根離子濃度，當微蝕液中的 Cu^{2+} 濃度與 SO_4^{2-} 濃度相乘積大於 CuSO_4 的溶解度積時，即會形成硫酸銅結晶，溫度愈低愈有利於核晶的形成，硫酸銅結晶之反應式如下：



$$K_{sp} \equiv [\text{Cu}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] \quad (7-2)$$

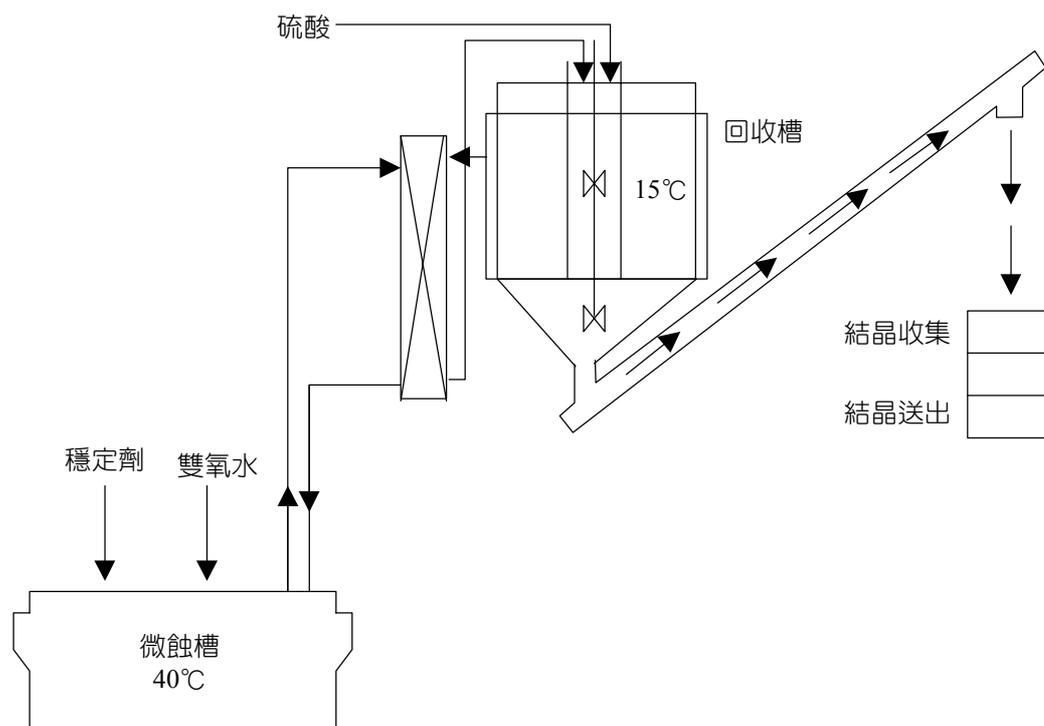


資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p44，民國 85 年 5 月。

圖 7.1 工廠印防焊綠漆前處理流程

但因硫酸／雙氧水微蝕銅面為一散熱反應，槽液溫度保持在約 40°C 左右，使得 CuSO₄ 的溶解度增高，較不利於生成硫酸銅結晶，藉由冷卻結晶系統，將槽液循環冷卻至 15°C 左右，降低 CuSO₄ 之溶解度積，使 Cu²⁺ 及 SO₄²⁻ 過度飽和形成核晶，並配合適當的攪拌作用，促成大量核晶聚集成長，而結晶成硫酸銅晶體。

此系統操作方式如圖 7.2 所示，係將微蝕槽之槽液微量連續打入熱交換器中預冷卻，再排入冷卻結晶槽，經槽內之冷卻環管再冷卻降溫至 15°C 左右，並於適當攪拌下結晶成硫酸銅而沉積於槽底，結晶槽上層之槽液利用動力溢流經過熱交換器回收部分熱能後，返回微蝕槽繼續使用。另為維持蝕刻液之蝕刻效率，微蝕槽必須定量添加雙氧水及穩定劑，硫酸則定量添加於結晶槽內，以提高硫酸銅結晶效果，槽底的硫酸銅結晶則以輸送帶送至硫酸銅結晶收集槽。



資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p45，民國 85 年 5 月。

圖 7.2 硫酸銅冷卻結晶系統操作方式

7.1.3 效益評析

該廠在防焊綠漆前處理之微蝕製程上設置硫酸銅冷卻結晶系統，達到資源回

收目的，其成效詳細說明如下：

1. 回收微蝕液循環再使用，節省藥液使用費用

一般微蝕槽槽液內銅離子濃度達 50g/L 時，微蝕效率即顯著降低，槽液則即需排棄更新，藉由冷卻結晶系統，可不斷將硫酸銅分離出來，使微蝕液中銅含量維持 20g/L 左右，槽液則循環再使用，只需定量補充微蝕過程所消耗的藥劑量，經評估分析結果，原 530L 微蝕槽液每 3.75 天排棄一次，設置回收系統後，並配合採用自動加藥方式，一年可減少微蝕液使用量 44m³，依微蝕液之配置成本 41,624 元/m³ 計算，每年可節省微蝕液費用約 18.3 萬元。

2. 減少微蝕廢液排放量，節省廢水處理及污泥處置費用

設置冷卻結晶系統連續將微蝕過程中所產生的硫酸銅分離回收後，微蝕槽只需定量補充微蝕藥劑而不需定期將高濃度的老化微蝕槽液廢棄，每年可減少 42.6m³ 的老化槽液排棄量，若依此股廢液含銅量 50g/L，及廢水處理費用 16 元/噸計，則每年可節省處理費用約 55.7 萬元；且經處理後所產生的重金屬污泥，以污泥含水率 80%，污泥處置費用 7 元/kg，則每年可減少污泥量約 16m³，節省污泥處置費用約 11.6 萬元。

3. 回收微蝕液的硫酸銅，達到資源回收的目的

一般新配之硫酸/雙氧水微蝕槽液含銅量在 10g/L 左右，廢棄槽液含銅量則約 50g/L，依微蝕槽體積 530L 及槽液廢棄頻率為 3.75 天/次，設置冷卻結晶設備後，可循環槽液再使用，達到槽液不需廢棄的程度，故每年可回收硫酸銅結晶（分子量 249.5）約 6.7 噸，以每公斤售價 6 元估算，硫酸銅之回收淨益有 4.1 萬元。

綜合上述冷卻結晶系統回收硫酸銅資源化成效，評估其效益如表 7.1 所示（成效評估係以 85 年「印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編」之案例，經物價波動指數及利率調整至 90 年現值），設備費用 78 萬元，安裝配管費用約 5.2 萬元，總初設成本約 83 萬元，以設備使用年限 8 年及年利率 7.9% 估計，每年設備折舊費用約 14.4 萬元；每年總投資費用包含設備折舊及操作維護費約 19 萬元。每年可節省費用方面，綜合微蝕液節省費用，硫酸銅回收費用、節省廢液的處理費用及重金屬污泥處置費用合計達 89.9 萬元，扣除每年總投資費用，則每年總淨節省費用 70.8 萬元，設備回收期限約 12 個月。

上述僅就該廠印防焊綠漆製程單元之微蝕槽進行效益評估，若該設備設置於其他蝕銅量較高的微蝕槽，如鍍通孔或線路鍍銅等製程單元之微蝕槽，由於這些微蝕槽液之廢棄量大，相對的使用冷卻結晶系統重覆循環使用微蝕液所獲致的效益就愈大，設備回收期限將更短。

表 7.1 冷卻結晶回收硫酸銅之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設成本	冷卻結晶設備	780,450 元/台	780,450 元
	雜費(如安裝/配管)	52,030 元	52,030 元
	合計		832,480元
每年操作 維護成本	電力費	2.4 元/kw · hr	4,162 元
	維護費	約初設成本之 5%	41,624 元
	合計		45,786 元
每年投資 費用	設備折舊	*CRF=0.173	144,315 元
	總操作維護費用	—	45,786 元
	合計		190,101 元
每年可節 省費用	回收微蝕液	41,624 元/m ³	183,146 元
	回收硫酸銅結晶	6 元/kg	41,624 元
	廢水處理費用	16 元/m ³	557,762 元
	污泥處置費用	7 元/kg	116,547 元
	合計		899,079 元
每年總淨節省費用 = 899,079 元-190,101 元 = 708,978 元			
回收期限 = 832,480 元÷(899,079 元-45,786)元/年= 0.97 年 ≈ 12 月			

* : CRF(設備投資還原因子)= $i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$; i (年利率)=7.9% , n (設備使用年限)=8 年

註：85~90 年物價波動指數 1.0406。

資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p47，民國 85 年 5 月。

7.1.4 結語

於微蝕槽設置冷卻結晶設備回收硫酸／雙氧水型之微蝕液中的硫酸銅，使微蝕液可循環再使用，較傳統採用過硫酸銨型微蝕液之優點，不僅可避免處理銅氨錯化物的困擾，亦可解決此股含高濃度銅離子廢棄槽液的處理及其衍生重金屬污泥的處置問題，因而節省一筆可觀的污泥防治費用，其所回收之硫酸銅亦為有價值可用之資源，根據實際操作經驗顯示，微蝕液用量亦顯著減少，且此套設備回收期限很短，實屬製程設備的一部份，而非單純解決污染問題而已，值得國內其他電路板同業投資設置。該工廠在設置此套設備獲得相當多的具體成效後，決定在廠內其他微蝕槽上陸續裝設冷卻結晶設備。

7.2 電解回收銅及錫／鉛金屬

7.2.1 前言

本案例為美國一家中型規模之電路板工廠，員工人數 300 人，主要生產單面板及雙面板，平均月產量為 3,700m²，廠內設有廢水處理設施，採用化學混凝沉澱法處理，該廠為使廠內廢水處理方式單純化，將廠內部分高濃度廢液交由廠外回收代處理，並為回收廢水中之銅離子及鉛離子資源，廠內設置了七部電解回收設備，將電鍍製程線上之靜止水洗槽內的槽液，分別抽送至電解槽內電解回收銅、錫及鉛金屬，進而減少廢水處理所產生的污泥量。

7.2.2 製程及原理

該廠之製程與國內的電路板工廠相似，仍採用減除法，主要製程之槽液組成及濃度如表 7.2 所示，製程污染來源包括連續性排放清洗廢水及定期性廢棄槽液兩大部分，前者含微量 Cu²⁺及 Pb²⁺等金屬離子，廢水量約 280m³/d，後者有顯像剝膜廢液、蝕刻廢液、剝錫鉛廢液及剝掛架廢液等。

由於廠內廢水處理設備僅適合用於處理一般低濃度清洗廢水，對於高濃度廢棄槽液之處理能力仍嫌不足，且廢液中含有高濃度重金屬，處理後會產生大量重金屬污泥，造成後續污泥處理之困擾。因此，該廠為簡化廠內廢水處理工作，遂將部分較難處理之高濃度定期排放廢液委託廠外回收或處理，交由廠外回收或處理之廢液包括每月 22m³鹼性蝕刻液（銅含量約 120g/L）、6m³剝錫鉛液（鉛含量約 50g/L）、綠漆退洗廢液（含二氯甲烷）及 2.5m³剝掛架廢液（銅含量約 20g/L，鉛含量約 2.5g/L）。

此外，為再回收清洗廢水中的金屬離子資源，乃於鍍銅及鍍錫鉛製程線上設置電解回收設備，由於現有鍍銅及鍍錫鉛製程之清洗單元採用三段逆流水洗方式，水洗排水中之重金屬濃度頗高，有時銅離子濃度達 3,000g/L，為有效回收此股廢水中的重金屬離子，並配合電解回收設備的設置及操作，遂將三段逆流水洗方式改為一段靜止水洗及二段逆流水洗，使經由鍍件帶出的鍍液能留於靜止水洗槽中，再對靜止水洗槽內含有較高金屬離子濃度之槽液進行循環電解，以獲得較佳的回收效率，如圖 7.3 所示。鍍銅及鍍錫／鉛製程線上之電解回收設備的操作方式與原理說明如下：

表 7.2 工廠主要製程單元槽液組成及濃度

製程單元	槽液組成	濃度(g/L)
鍍銅	硫酸	52.2~135
	硫酸銅	160~300
	銅(銅離子)	40~75
	氯離子	20~80(ppm)
	添加劑	—
鍍錫鉛	二價錫	56.2
	鉛	26.2
	氟硼酸	100.0
	硼酸	26.2
	動物膠	5.2
蝕刻	氯化銨	12%
剝錫鉛	雙氧水	10%
	氫氟酸	20%
微蝕	硫酸	20%
	雙氧水	12%
化學銅	銅	1.5~2.4
	甲醛	1.5~3.0
	氫氧化鈉	6~8
	螯合劑	—

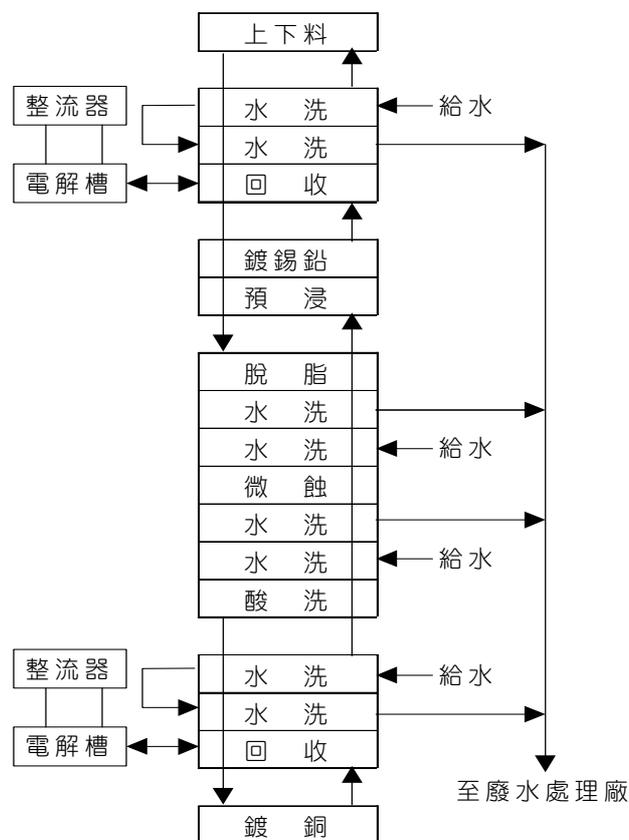
資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p48，民國85年5月。

1. 電解回收銅

銅電解回收設備採用長方形電解槽，規格為 55cm 長×25cm 寬×55cm 高，電解槽內的陰極為圓筒狀（20cm 直徑 ×15cm 高），內放置圓柱形的鈦陰陽極，在固定電壓下操作，電流隨水洗水中導電度的不同而改變，水洗水中金屬離子濃度愈高則電流效率愈高，當進入電解槽的銅含量在 100g/hr 時，銅的回收電流效率可達 80~96%，電解槽之操作條件如表 7.3 所示，銅之回收效率則如表 7.4 所示。

2. 電解回收錫／鉛

錫／鉛電解回收設備所採用之電解槽與銅電解槽之規格與操作條件完全相同，惟因錫／鉛鍍液組成含有氫氟酸會腐蝕電解槽內之鈦陽極，故陽極採用鈮金屬取代鈦金屬，由於錫及鉛離子之還原電位較銅離子低，因此電解回收效率較差。



資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局，p49，民國85年5月。

圖 7.3 線路鍍銅及鍍錫鉛製程單元之銅、錫及鉛金屬回收流程

表 7.3 電解槽操作條件

設計參數	規格/條件
陰極面積(cm ²)	1,884
電解槽體積(cm ³)	36,800
最大流量(L/min)	60
電流(A)	0.5~20
電壓(V)	110
陰極材質	不銹鋼
陽極材質	鈦或鈦

資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局，p50，民國85年5月。

表 7.4 銅之回收效率

項次	回收效率
銅去除速率(g/hr)	18.9~22.7
電流效率(%)	80~96
去除效率(%)	18~22

註：理論回收速率為：23.7g/hr

資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局，p50，民國 85 年 5 月。

7.2.3 效益評析

該廠設置之銅及錫／鉛電解回收設備之效益評估分別敘述如下：

1. 銅電解回收設備

銅電解回收設備之初設費用每部為 9.1 萬元，該廠共設置四部合計為 36.4 萬元，設備安裝／配管等所需之雜費約佔設備費用 10%，合計總初設成本為 40 萬元；每年操作維護費用則含電力費、人力費及維護費用等共計 14.2 萬元，再加上設備折舊費用，則每年總投資成本約 20 萬元；每年可節省費用方面，根據實際操作結果，鍍銅製程之靜止水洗槽槽液的銅離子濃度約在 300~500mg/L 之間，利用泵循環抽送此槽液等量流入 4 部電解槽內電解回收銅離子，全廠每週約可回收金屬銅 4.5g，依金屬銅每公斤 12 元價格計，每年可得 3 仟元；在節省污泥防治費用方面，除可減少廢水處理費用外，每年可減少重金屬污泥產生量 2.3 噸（含水率 85%），依污泥處置費用 5,200 元／噸計，則每年可節省污泥處置成本 11,967 元，合計每年可節省 15,505 元。詳細之效益評估如表 7.5 所示（成效評估係以 85 年「電鍍業廢棄物資源化案例彙編」之案例，經物價波動指數及利率調整至 90 年現值）。

2. 錫／鉛電解回收設備

錫／鉛電解回收設備之初設費用每部為 117,068 元，該廠共設三部合計為 35.1 萬元，包含安裝／配管等雜費，合計總初設成本為 386,375 元；每年總投資費用包括操作維護費用及設備折舊費用合計約 197,075 元，每年可節省費用方面，根據實際操作結果，鍍錫／鉛製程之靜止水洗槽槽液中之錫濃度在 400~2,200mg/L，鉛濃度在 1,900~2,500mg/L 之間，經 3 部電解槽電解回收處

理，每週約可回收錫／鉛 2.3kg，依每公斤 12 元價格計算（可能預估高），可得 1,292 元／年，且每年可減少 0.9 噸含水率 85% 的重金屬污泥，每年可節省污泥處置成本 6,556 元。詳細之效益評估如表 7.6 所示（成效評估係以 85 年「電鍍業廢棄物資源化案例彙編」之案例，經物價波動指數及利率調整至 90 年現值）。

7.2.4 結語

若將本案例工廠之電解設備每年總投資成本與可節省費用相比較，可發現此套電解設備可獲得之經濟效益並不顯著，但並不表示此回收技術沒有採用的價值，在資源日益短缺，環保法規愈趨嚴格的客觀條件下，減少廢水處理後所產生的重金屬污泥，達到潔淨無污染產生的製程程序，將是未來的趨勢，惟為提昇電解效率，並使投資電解回收設備能符合經濟效益，在引用此類設備時應配合離子交換等濃縮設備，將低濃度金屬廢水濃縮後，再以電解回收設備回收金屬。

表 7.5 電解設備回收銅之效益評估

項次	項目	單位費用	費用**
初設成本	四部電解回收設備	91,053 元／台	364,210 元
	雜費(如安裝／配管)	佔設備費用之 10%	36,421 元
	合計		400,631 元
每年操作維護成本	電費	2.4 元／kw · hr	
	· 整流器(3V, 10A)	—	1,145 元
	· 泵(1／8,Hp)	—	3,642 元
	維護費	約總初設費用之 10%	40,063 元
	勞力(250 小時／年)	375 元／小時	97,608 元
合計		142,458 元	
每年投資費用	設備折舊	*CRF=0.148	59,437 元
	總操作維護費用	—	142,458 元
	合計		201,895 元
每年可節省費用	銅回收(4.5kg／週)	12 元／斤	3,018 元
	污泥處理費 (2.3 噸,含水率 85%)	5,200 元／噸	11,967 元
	廢水處理藥品費	1,300 元／噸	520 元
	合計		15,505 元

*：CRF(設備投資還原因子)= $i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$ ；i(年利率)=7.9%，n(設備使用年限)=10 年

**：以匯率 35 元台幣／美元換算

註：85~90 年物價波動指數 1.0406。

資料來源：印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p51，民國 85 年 5 月。

表 7.6 電解設備回收錫／鉛之效益評估

項次	項目	單位費用	費用**
初設成本	三部電解回收設備	117,068 元／台	351,203 元
	雜費(如安裝／配管)	佔設備費用之 10%	37,253 元
	合計		386,375 元
每年操作 維護成本	電費	2.4 元／kw · hr	—
	· 整流器(3V, 10A)	—	937 元
	· 泵(1／8,Hp)	—	2,706 元
	維護費	約總初設費用之 10%	38,502 元
	勞力(250 小時／年)	375 元／小時	97,608 元
	合計		139,753 元
每年投資 費用	設備折舊	*CRF=0.148	57,322 元
	總操作維護費用	—	139,753 元
	合計		197,075 元
每年可節 省費用	錫／鉛回收(2.3kg／週)	12 元／斤	1,292 元
	污泥處理費 (0.9 噸,含水率 85%)	7,284 元／噸	6,556 元
	廢水處理藥品費	1,301 元／噸	312 元
	合計		8,160 元

*：CRF(設備投資還原因子) $=i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$ ，i(年利率)=7.9%，n(設備使用年限)=10 年

**：以匯率 35 元台幣／美元換算

註：85、90 年物價波動指數 1.0406。

資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p52，民國 85 年 5 月。

7.3 高質傳電解設備回收銅及鉛

7.3.1 前言

本案例是一家小型規模之電路板工廠，廠內生產各類型電路板，以單面板及雙面板為主，每月產量為 2,500m²。該廠製程排放之各種高濃度含銅廢液與低濃度含銅、鉛廢水，均混合收集排入廠內廢水處理場，再以化學混凝沉澱法處理，使得廢水處理場產生大量的重金屬污泥，並增加污泥處理及最終處置成本。該廠遂積極評估相關重金屬廢水資源回收及處理設備，進而設置了兩套高質傳電解回收設備，以處理廠內含銅、鉛重金屬之廢水及廢液，不僅有效地回收銅及鉛金屬，回收處理後之處理水，再經 pH 值調整即可符合當地政府之放流水標準。

7.3.2 製程及原理

該廠製程與國內電路板工廠相似，採用減除法製作電路板，該廠為配合電解回收設備的設置與操作，並有效處理廠內各股不同特性的污染源，將廠內各製程單元排放之廢水及廢液，依其所含重金屬濃度及種類加以妥善分類收集，主要將廠內廢水區分為四段，各股廢水量依序為低濃度含鉛廢水量 $2\text{m}^3/\text{d}$ ，低濃度含銅廢水量 $20\text{m}^3/\text{d}$ ，定期性排放之高濃度含銅廢液量 $0.8\text{m}^3/\text{週}$ ，不含重金屬水洗水排水量 $60\text{m}^3/\text{d}$ 。

該廠深入評估各項資源回收技術，初步選定之回收處理設備包括薄膜分離法、離子交換法、平行板電解法及高質傳電解法，評估結果因薄膜分離法之設備操作維護費用較高，而離子交換法與平行板電解法二者需組合成乙套回收系統始能達到完善的回收處理目的，致設備之初設成本偏高。最後決定採用高質傳電解法，因為此套設備之陰極採用網狀碳纖維材質，具有相當大的陰極面積，電解效率高，可直接電解回收低濃度金屬廢水，不需先以離子交換法或蒸發濃縮法將低濃度金屬廢水濃縮，以提高重金屬濃度，促進後續電解回收之效率，如此可省去濃縮設備之初設及操作費用，同時亦能達到重金屬回收及降低污染排放之目的。

根據廠內低濃度含銅、含鉛廢水量及濃度，規劃設置高質傳電解回收設備如圖 7.4 所示，此系統包含兩大部份，分別用以回收金屬銅、金屬鉛，每一回收系統皆設有兩只收集槽及一部高質傳電解設備，電解設備之設計金屬承載量各為銅 2.7kg、鉛 0.3kg。

製程所排放的低濃度廢水依含銅及含鉛污染物之不同分別被引導至銅及鉛回收系統，兩只玻璃纖維材質之收集槽皆裝設液位轉換器，根據收集槽內的液位高低變化來變換控制系統中四個三向球閥的開關，以控制廢水在回收系統內的流向，例如收集含銅廢水之第一收集槽液位上升至設定位置，液位轉換器即自動將第二收集槽之閥門開啟，而將輸往第一收集槽之閥關閉，並將第一收集槽之廢水送至電解槽，循環電解第一收集槽之含銅廢水，此時第二收集槽用於收集製程所排放之含銅廢水，並未做循環電解操作，直到液位上升至設定位置，液位轉換器即又切換第一及第二收集槽之處理操作功能，依此交替循環操作以達到連續電解回收金屬之目的，與製程中不含金屬之水洗水混合，再經 pH 值調整後放流，pH 調整槽設有自動監測、記錄及加藥設備，完全自動化操作。

製程定期性排放之高濃度含銅廢液則另外收集貯存，待製程停止操作時，再以銅電解系統電解回收銅金屬。電解設備之電極是以具導電性碳纖維織成的層

板，固定在兩片格狀的金屬網內，外圍再以經非導電性塑膠塗佈的框架固定，電解回收操作程序包含電解回收之及電解精煉，進行電解回收時，以碳纖維電極為陰極，電解槽內之金屬離子會析鍍在含廣大接觸表面積的碳纖上，當碳纖維電極表面沉積金屬含量達設計之承載量時，將此電極移掛至另一電解精煉槽作為陽極，進行電解精煉，此時附著在碳纖維表面之金屬將溶解於電解液中，並進一步轉鍍至陰極之不銹鋼板上。電解精煉槽內之電解液依回收之金屬種類不同而異，例如可使用焦磷酸銅(copper pyrophosphate)電解液回收精製析鍍在碳纖維電極表面的銅，電解液則可循環再使用。

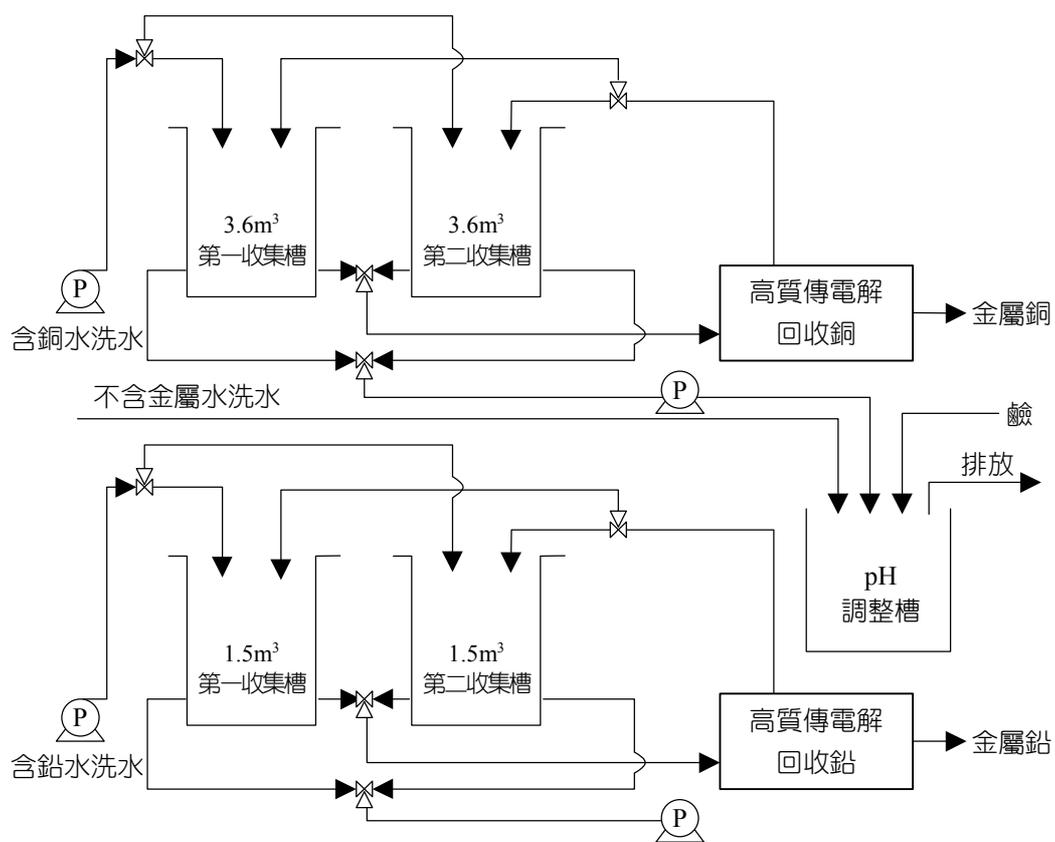
根據該廠實際操作經驗之數據分析，低濃度含銅水洗水之濃度為 9.8mg/L ，流量為 $38\pm 8\text{mg/L}$ ，低濃度含鉛水洗水之濃度為 $18.6\pm 21.8\text{mg/L}$ ，流量為 $4\pm 4\text{L/min}$ ，每批次操作時間含銅水洗水為 1 小時，含鉛水洗水約為 3 小時，高濃度之含銅廢液電解處理時間則需 11 小時左右；電解後處理水含銅量約為 $0.7\sim 1.1\text{mg/L}$ ，含鉛量則低於 1mg/L 。

7.3.3 效益評析

該廠每年約有 55m^3 濃厚廢液委託廠外代處理，每年處理費用約 31 萬元，設置此套設備後，濃厚廢液可在非正常操作時間時直接使用此套設備進行回收處理；此外，低濃度含金屬廢水經電解處理後，亦可直接排放，不需再經過傳統化學混凝沉澱法處理，節省廢水處理費用約 187,308 元/年，及污泥處置費用 4,371 元/年，並使排放水中之重金屬濃度達環保法規的需求，免除法律上的責任。

設置高質傳電解設備回收廢水中之銅及鉛金屬，依處理量大小選用適當規格的電解槽，該廠回收金屬銅之高質傳電解槽約 108 萬元，回收鉛之電解槽約 27 萬元，外加安裝配管等雜質，總初設成本約 148.8 萬元；電力費方面，銅電解槽之操作電流為 7 伏特 \times 50 安培，銅精煉槽為 2 伏特 \times 25 安培，鉛電解槽則為 7 伏特 \times 15 安培，而鉛精煉槽以 2 伏特 \times 8 安培操作，總計全年電力費用約 12,487 元；因系統操作為全自動，除每週一次將電解槽的陰極移掛至精煉槽的陽極外，平日僅需定期巡視操作狀況，每年人力費用約 24,974 元；系統內共有 4 具碳纖網狀電極分別用在銅及鉛金屬的電解及精製上，使用期限約 4 年，平均一年需更換一具，每具約 5 萬元，則每年電極的消耗費平均約 5 萬元；估計含銅及鉛水洗水在經電解回收後僅需調整 pH 值即可放流，pH 調整藥劑費每年約 23,934 元，合計總操作費用每年約 11.3 萬元左右。

設備回收銅及鉛金屬之效益評估如表 7.7 所示（成效評估係以 85 年「印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編」之案例，經物價波動指數及利率調整至 90 年現值），依年利率 7.9% 及設備使用期限 12 年計算，設備折舊費用約 199.6 萬元／年，與總操作維護費相加，則每年總投資費用約 30.9 萬元，另外每年可節省費用總計約 517,386 元，估計設備回收期限約 3.7 年。



資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p54，民國 85 年 5 月。

圖 7.4 銅及鉛金屬回收處理流程

7.3.4 結語

高質傳電解回收金屬設備最大特色在於使用高效率的碳纖維電極，可從含低濃度金屬離子的水洗水中直接電解回收金屬，而不需使用離子交換樹脂等設備先

行濃縮，以提高電解效率，節省以離子交換濃縮設備之設置及操作費用，由於其電解效率高，在正常操作維護下，可於很短的操作時間內，將廢水的金屬離子降至排放標準，適合於中小型規模電路板工廠使用。

表 7.7 高質傳電解回收銅及鉛之效益評估

項次	項目	單位費用	費用**
初設成本	銅電解設備	1,082,224 元/台	1,082,224 元
	鉛電解設備	260,000 元/台	270,556 元
	雜費(如安裝、配管)	約佔設備費用之 10%	135,278 元
	合計		1,488,058 元
每年操作 維護成本	電力費	2.4 元/kw · hr	12,487 元
	人力費	364 元/小時	24,974 元
	電極更換	52,030 元/片	52,030 元
	pH 值校正藥品費	—	23,934 元
	合計		113,425 元
每年投資 費用	設備折舊	*CRF=0.132	196,436 元
	總操作維護費用	—	113,425 元
	合計		309,861 元
每年可節 省費用	濃厚廢液處置費	5,827 元/噸	322,586 元
	污泥處置費	7 元/公斤	4,371 元
	廢水處理費	10 元/噸	187,308 元
	回收金屬	—	3,122 元
	合計		517,386 元
每年總淨節省費用=517,386 元-309,861 元=207,525 元			
回收期限=1,488,058 元÷(517,386-113,425)元/年 ≈3.7 年			

*：CRF(設備投資還原因子) $=i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$ ；i(年利率)=7.9%，n(設備使用年限)=12 年

**：以匯率 35 元台幣/美元換算

註：85~90 年物價波動指數 1.0406。

資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p56，民國 85 年 5 月。

7.4 離子交換法配合電解法回收銅

7.4.1 前言

本案例為國外一家大型印刷電路板工廠，廠內除生產多層板外，並從事電子器材之裝配作業，主要產品為磁碟機。該廠製程所排放之廢水均經由廠內廢水處理後放流，因係採用化學混凝沉澱法處理，處理後產生大量的重金屬污泥，由於污泥均須委託廠外代處理處置，廠方不僅需支付龐大的代處理費用，亦需擔負清運、處理及處置有害性污泥的法律責任，該廠遂設置乙套組合離子交換樹脂床及電解設備的處理回收設施，將製程排放之含銅水洗水經離子交換樹脂處理，樹脂再生所得之硫酸銅濃縮液，再與製程中之含銅廢液合併進行電解回收銅，有效地回收廢水中之銅離子資源，並減少廢水處理過程所產生的污泥。

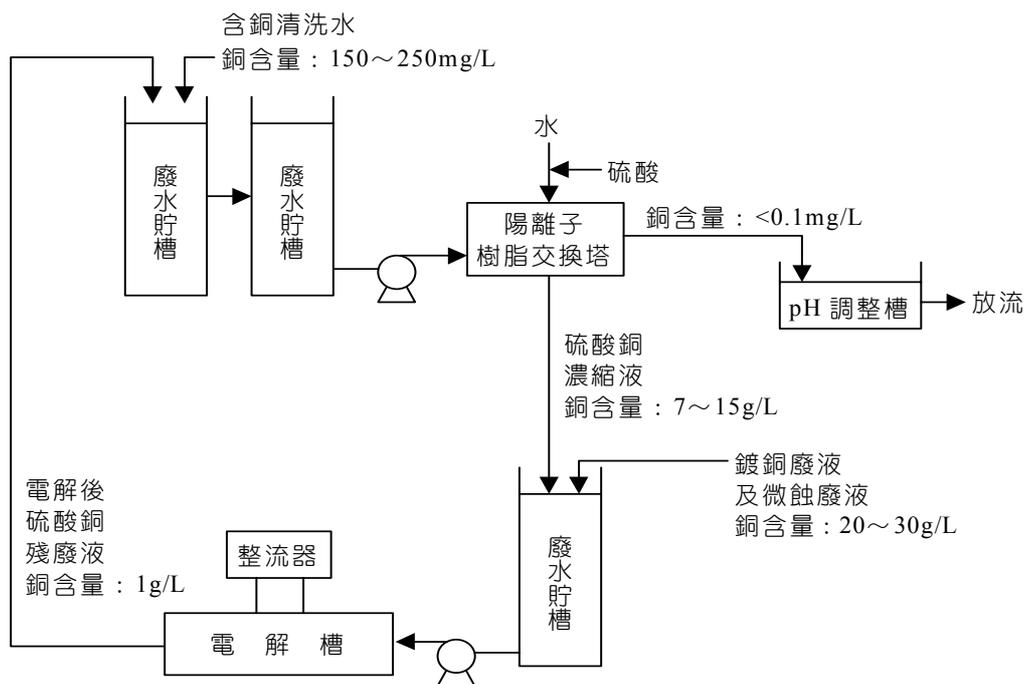
7.4.2 製程及原理

該廠製程採用減除法，係以銅箔基板為基材，經印刷、蝕刻及電鍍等流程，將基板上之線路以外的銅面溶蝕，製造出電子配線基板，其製程之主要污染來源為一般清洗廢水及廢棄槽液，前者屬連續性排水，廢水量較大，污染濃度低；後者屬定期性排放廢液，廢液量小，但污染濃度相當高。

該廠設置離子交換及電解設備以回收製程排放廢液及水洗水中的銅離子，經實際操作結果發現廠內廢水銅離子總排出量減少 99.96%，且此套處理回收系統之處理成本亦較一般傳統化學混凝沉澱處理為低。該系統主要分為離子交換樹脂濃縮及電解回收兩大部份，係先將含低濃度銅之廢水以離子交換樹脂濃縮後，樹脂再生所得之濃縮液與製程中含高濃度銅之廢液混合，再經電解回收銅離子。

根據量測分析結果，廠內鍍銅、蝕刻及微蝕等製程單元之清洗廢水中銅離子濃度在 150~250mg/L，廢水量約 4m³/hr，此股含銅廢水在進行電解回收時，先被集中收集於貯槽中，經適當調勻後，再泵入陽離子交換樹脂床，使廢水中所含銅離子與樹脂之陽離子作用基進行交換反應。離子交換樹脂床係採短床往復流式，規格為 75cm 直徑×15cm 高，最大處理量可達 10m³/hr，交換處理後之出流水銅離子濃度可降至 0.3mg/L 以下，甚至可以達到 0.02mg/L 以下，經適當 pH 值調整後即可排放。此套離子交換系統配有流量積分器，當處理廢水量累計達 5,700m³ 時，系統會自動以 50% H₂SO₄ 進行樹脂再生，且全部再生操作所需時間僅 4 分鐘，樹脂再生時被反沖洗出之硫酸銅溶液銅含量為 15~25g/L，溶液量約

57m³，再與含高濃度銅離子的鍍銅廢液及微蝕廢液混合收集於廢液貯槽，利用泵抽送此股廢液（銅含量 20~30g/L）至電解槽內電解回收銅。電解槽總體積為 1.8m³，槽內擱置多組近距密排的陰陽極，陰極總面積約 11cm²，電解過程中廢液中的銅離子會被鍍在不銹鋼的陰極板上，經一段時間後將陰極取出，可輕易的撕下 50×60cm 片狀的銅片。當電解槽中廢液之銅離子濃度降至 1g/L 左右時，為維持較高的電解效率，槽液需再循環至廢水貯槽，並再經離子交換樹脂床重新處理濃縮後，再進行電解，構成一密閉循環處理回收系統，如圖 7.5 所示，但由於經長時間操作後，其他較微量之金屬，如鎳、鋅、鈣及鐵離子會慢慢在此密閉系統內累積，將影響電解回收銅的效率及品質，為控制這些離子濃度在容許範圍內 (<1g/L)，須定量抽出電解液(19L/day)，另外以化學沉降法作披次處理，以去除這些干擾性金屬離子。



資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p59，民國 85 年 5 月。

圖 7.5 離子交換法配合電解法回收銅

7.4.3 效益評析

廠內含銅廢水經離子交換樹脂處理後，處理水再經適當 pH 值調整後即可排

放，節省了廢水處理的費用，依每噸廢水處理成本 10 元計，則每年可節省 29.9 萬元處理費，且樹脂再生廢液及製程中之含銅廢液經電解回收金屬銅，可避免廢水處理過程所產生的污泥量，節省一筆可觀的污泥處置費用，同時回收之銅金屬亦可轉賣，依每公斤污泥處置成本 7 元計，每年可節省污泥處置費 32.1 萬元，回收金屬銅 23.9 萬元。

銅回收設備含離子交換樹脂床、電解槽、廢水及廢液貯槽，全部設備費用約為 156 萬元，外加設備安裝及配管等雜費，總初設費用為 171.6 萬元；每年操作維護費用則含電力費、維護費及人力費等共計 46.3 萬元，加上設備折舊費用，則每年總投資成本約 71.7 萬元；在每年可節省費用方面，合計節省之廢水處理、污泥處理費用及回收之金屬銅約 86 萬元，扣除總操作維護費用，每年總淨節省費用 14.2 萬元，銅回收設備之回收期限約 4 年，詳細之效益評估如表 7.8 所示(成效評估係以 85 年「印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編」之案例，經物價波動指數及利率調整至 90 年現值)。

表 7.8 離子交換法配合電解法回收金屬銅之效益評估

項次	項目	單位費用	費用**
初 設 成 本	離子交換加電解設備	—	1,560,900 元
	雜費(如安裝、配管)	佔設備費用之 10%	156,090 元
	合計		1,716,990 元
每年操作 維護成本	電費	2.4 元/kw · hr	124,872 元
	維護費	佔總初設費用之 10%	228,932 元
	勞力(300hr/yr)	364 元/小時	109,263 元
	合計		463,067 元
每年投資 費 用	設備折舊	*CRF=0.148	254,729 元
	總操作維護費用	—	463,067 元
	合計		717,796 元
每 年 可 節省費用	廢水處理費	10 元/m ³	299,693 元
	污泥處置費	7 元/kg	321,473 元
	銅回收(115kg/週)	42 元/kg	239,338 元
	合計		860,503 元
每年總淨節省費用 = 860,503 元 - 717,796 元 = 142,707 元			
回收期限 = 1,716,990 元 ÷ (860,503 元/年 - 463,067 元/年) = 4 年			

* : CRF(設備投資還原因子) = $i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$, i(年利率)=7.9%; n(設備使用年限)=10 年

** : 以匯率 35 元台幣/美元換算

註: 85~90 年物價波動指數 1.0406。

資料來源: 工業污染防治技術服務團, 印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編, 經濟部工業局, p60, 民國 85 年 5 月。

7.4.4 結語

離子交換樹脂法及電解法被廣泛應用於處理含重金屬廢水，以達到重金屬回收及資源再生的目的，然而國內電路板業者使用離子交換樹脂法處理廢水時，往往只做到金屬離子濃縮與處理水再利用等階段，至於高濃度的樹脂再生廢液，一般均又納入廢水中處理，甚為可惜，實應再進一步電解回收重金屬，以使離子交換樹脂法之應用完善，而能確實有效地減少廢水中重金屬離子排出，並回收有價重金屬再利用。本案例工廠即採用離子交換樹脂法配合電解法處理銅廢水，其中離子交換樹脂設備係採短床往復流式，再生所需時間僅需 4 分鐘，並配以自動逆洗再生設備，完全不需人工操作，一般離子交換樹脂系統因再生時間長，需設置複數樹脂床以因應樹脂再生時，設備仍能持續操作處理廢水，而此設備則僅需採單床式，且樹脂再生廢液中之銅離子濃度較原廢水高 100 倍，進行電解時可獲得較高的銅回收效率，當電解槽槽液中銅離子濃度降至 1g/L 左右時，即將槽液再泵回離子交換樹脂濃縮處理，而構成一密閉循環的處理回收系統，使得廠內廢水中銅離子總排出量減少 99.96%。

7.5 離子交換法配合電解法回收鎳

7.5.1 前言

本案為國外一家中型規模電路板工廠，廠內生產小型多層板及雙面板，主要供應製造掌上型及筆記型電腦等相關行業，作為電子零件支撐及相互導通的基地。該廠為使製造的電路板表面之線路平坦均一，以符合後續電子零件裝配時的要求，製程中採用化學鎳及化學金取代原有的噴錫，由於化學鎳溶液組成含有螯合劑，生產過程排放的化學鎳廢液及廢水會與廠內其他廢水中的重金屬離子產生螯合，干擾廠內廢水處理效果，使得處理水中仍殘留被螯合化的重金屬而超過法定排放標準。廠方遂設置了乙套離子交換樹脂床及電解設備之組合式處理回收系統，有效地處理此股廢水，並回收鎳金屬再利用。

7.5.2 製程及原理

該廠製程與國內電路板工廠相似，係以銅箔基板為基本材料，將感光性乾膜阻劑壓合於基板的銅面上，以進行曝光、顯像之照相方式，使銅面上的阻劑形成

線路圖案後，經蝕刻溶蝕未受阻劑保護的銅面，再去除阻劑，即完成內層線路板的製作，完成後的內層再與膠片及銅箔進行疊壓以形成多層板，接著進行內外層線路導通鍍通孔，及外層線路形成的製作，最後進行化學鍍及化學金之板面加工，而製造出細密的電子配線基板。惟鍍鎳製程單元係採用化學鍍鎳，槽液組成含有氨水及檸檬酸鈉等螯合劑，使得此製程單元排放之廢水及廢液含有螯合化鎳的污染物。

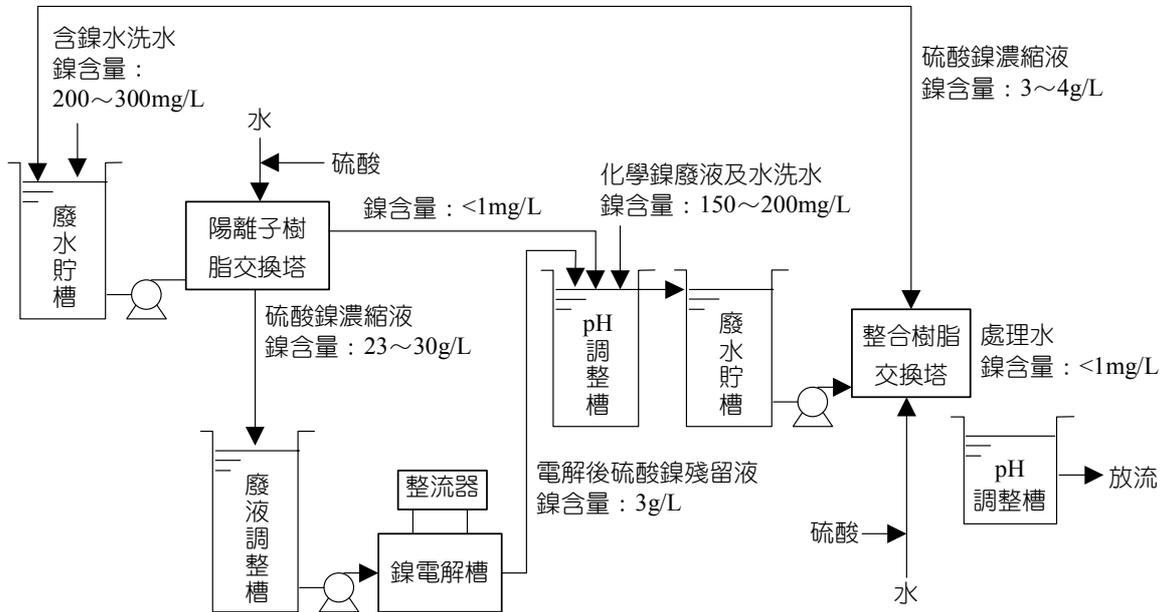
該廠將廠內鍍鎳製程排放之含鎳廢水及化學鍍製程排放之化學鍍廢液及廢水分流收集貯存，並分別採用陽離子交換樹脂及螯合樹脂處理此二股廢水，樹脂再生廢液再經電解以回收鎳金屬。

廠內之離子交換法配合電解法回收鎳之處理流程如圖 7.6 所示，主要包括陽離子交換樹脂床、螯合樹脂床及鎳電解槽。陽離子交換樹脂床用於處理鍍鎳製程排放之含鎳水洗水，以及來自螯合樹脂床的樹脂再生廢液，一般操作處理量約 $1\text{m}^3/\text{hr}$ ，進流水鎳含量在 $200\sim 300\text{mg}/\text{L}$ ，設計尖峰流量為 $3\text{m}^3/\text{hr}$ ，經陽離子交換樹脂床處理後之處理水，一般鎳含量在 $1\text{mg}/\text{L}$ 以下，為確保處理水質將其排入螯合樹脂床進一步處理，螯合樹脂床則用於處理經陽離子交換樹脂床處理過之出流水、鎳電解槽的排出液及化學鍍鎳製程排放的化學鍍鎳廢水及廢液，這些廢水及廢液皆先收集在 pH 調整槽內，並調整 pH 值至交換樹脂最適宜的 pH 值操作條件(pH=3.5)後，再泵入螯合樹脂床處理，一般進流水鎳含量在 $150\sim 200\text{mg}/\text{L}$ ，經樹脂床交換處理後之處理水中鎳離子濃度可降至 $1\text{mg}/\text{L}$ 以下，再經適當 pH 值調整即可直接排放。

陽離子交換樹脂床與螯合樹脂床皆配備有自動再生系統，以自動逆流再生樹脂，再生過程所需時間僅 4 分鐘。陽離子交換樹脂床之樹脂再生產生硫酸鎳濃縮液中鎳含量在 $23\sim 30\text{g}/\text{L}$ ，先排入廢液調整槽再予泵入鎳電解槽循環電解回收鎳；螯合樹脂床樹脂再生產生的硫酸鎳濃縮液中鎳含量在 $3\sim 4\text{g}/\text{L}$ ，此股溶液因鎳含量不高，並不直接進行電解，而將其再泵至陽離子交換樹脂設備前之廢水貯槽，與製程之非螯合性含鎳廢水混合調勻後，以陽離子交換樹脂床進一步處理濃縮。

由於鎳電解設備之電解效率與回收鎳金屬品質受電流密度、溫度、攪拌狀況、pH 值及鎳離子濃度等因素影響頗大，電解過程之操作條件控制很重要，因此使用廢液調整槽適當控制這些參數，並與鎳電解槽並聯循環電解回收鎳，當電解槽槽液之鎳含量降至 $3\text{g}/\text{L}$ 左右，為維持較高之電解效率，則將槽液泵回 pH

調整槽而構成一密閉循環的處理回收系統。



資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p62，民國 85 年 5 月。

圖 7.6 離子交換法配合電解法回收鎳

7.5.3 效益評析

製程排放之含鎳廢水及化學鎳廢水／廢液經陽離子交換樹脂及螯合樹脂設備處理後，處理水之鎳離子濃度可降至 1mg/L 以下，僅需再適當調整 pH 值後即可放流，有效地解決螯合劑金屬廢水處理上困擾，依傳統化學混凝處理此類廢水每噸處理成本 10 元計，每年可節省廢水處理成本約 15 萬元；且樹脂再生廢液經電解回收金屬鎳，可避免廢水處理過程產生的污泥量，同時回收之鎳金屬亦可轉賣再利用，依每公斤污泥處理成本 7 元計，則每年可節省污泥處置費用 17.5 萬元，回收金屬鎳依每公斤 260 元計，每年可獲得之效益約 98.6 萬元。

鎳回收系統之效益評估如表 7.9 所示（成效評估係以 85 年「印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編」之案例，經物價波動指數及利率調整至 90 年現值），該系統包含兩套離子交換樹脂床、鎳電解槽、廢水貯槽、pH 調整槽、調勻槽及廢液調整槽，全部回收設備之初設費用為 208 萬元，外加設備安裝及配管等雜費，

合計總初設費用約 229 萬元；每年總操作費用含電力費、維護費、勞力費及設備折舊費，總計約 80.3 萬元；每年可節省費用方面包括廢水處理、污泥處置及回收鎳金屬共計 131 萬元，扣除總操作維護費用，每年總淨節省費用約 50.8 萬元，該回收系統之回收期限約 3 年。

7.5.4 結語

電路板工廠排放廢水中之主要污染物為重金屬，一般均採用化學混凝沉澱法處理，雖可有效去除廢水中之重金屬離子，但會產生大量的重金屬污泥，造成後續污泥處理及處置的困擾，且當廢水中含有螯合劑時，會干擾化學混凝沉澱的處理效果，使得處理後放流水中重金屬離子超過法定標準。本案例工廠採用陽離子交換樹脂處理不含螯合劑的鎳廢水，而以螯合樹脂處理含螯合鎳的化學鎳廢水及廢液，處理後排放水可符合排放標準，且樹脂再生之廢液可經電解回收鎳金屬，不僅能有效地降低廢水處理過程產生的污泥，並可回收有價的鎳金屬再利用。

表 7.9 離子交換樹脂法配合電解法回收金屬鎳之效益評估

項次	項目	單位費用	費用**
初成	離子交換加電解設備	—	2,081,200 元
	雜費(如安裝/配管)	佔設備費用之 10%	208,120 元
	合計		2,289,320 元
每年操作 維護成本	電費	2.4 元/kw·hr	124,872 元
	維護費	佔總初設費用之 10%	228,932 元
	勞力(300hr/yr)	364 元/小時	109,263 元
	合計		463,067 元
每年投資 費用	設備折舊	*CRF=0.148	339,639 元
	總操作維護費用	—	463,067 元
	合計		802,706 元
每年可 節省費用	廢水處理費	10 元/m ³	149,846 元
	污泥處置費	7 元/kg	174,821 元
	鎳回收(79kg/週)	260 元/kg	986,489 元
	合計		1,311,156 元
每年總淨節省費用=1,311,156 元-802,706 元=508,450 元			
回收期限=2,289,320 元÷(1,311,156 元/年-463,067 元/年)=3 年			

*：CRF(設備投資還原因子)= $i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$ ，i(年利率)=7.9%；n(設備使用年限)=10 年

**：以匯率 35 元台幣/美元換算

註：85~90 年物價波動指數 1.0406。

資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，p63，民國 85 年 5 月。

7.6 廢板邊料處理及回收金屬資源

7.6.1 前言

本案例為彙集國內專業代處理廢印刷電路板現況資料加上編者多年經驗，特將廢印刷電路板產生來源鎖定來自印刷電路板製造過程之不良品、邊料或來自相關廢棄資訊產品中之印刷電路板。經初步評估得知廢印刷電路板處理及回收金屬之經濟效益，決定於銅或金或鉑族等貴金屬含量之多寡及回收率。本案例將以物理方式（粉碎、浮選、磁選等）為前處理後，再進行溶蝕、熔煉、精煉等方式來回收貴金屬，現說明如下。

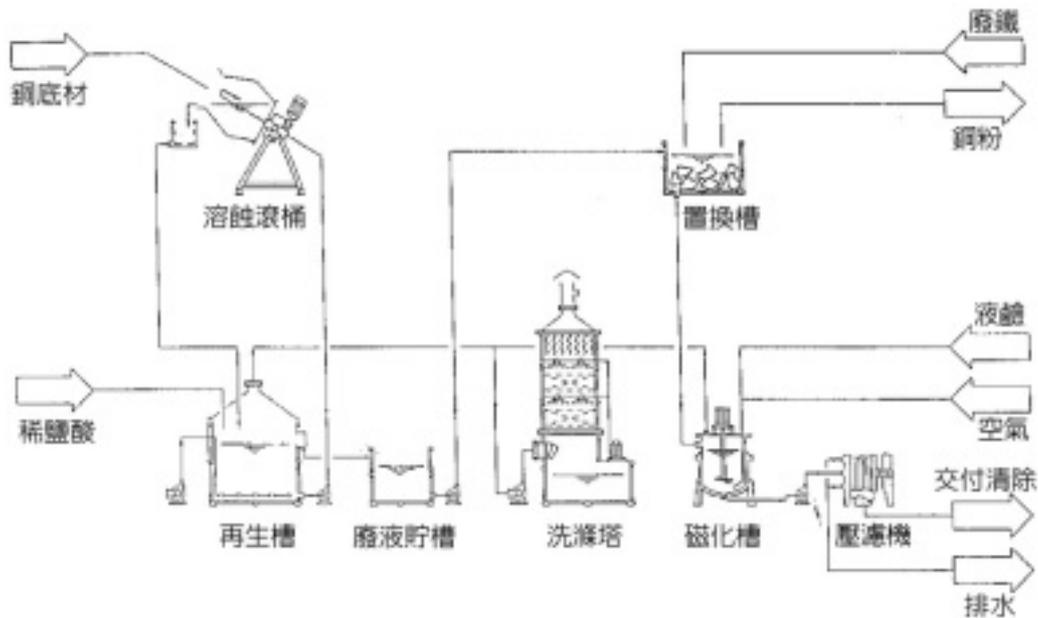
7.6.2 製程與原理

假設一噸之廢印刷電路板經拆卸機去除零組件後，殘留之廢印刷電路底板重量約為 460 公斤，而分離之零組件約為 540 公斤。接著將廢印刷電路板以粉碎機粉碎，再經過浮選步驟，將金屬與塑膠分離；然後金屬部份以磁選機先將鎳、鐵等先行分離，殘留之金屬經熔煉鑄錠、溶蝕、貴金屬精煉可得貴金屬。至於粉碎後之碎片部份（其上仍附殘留 Cu、Sn、Pb 等重金屬），可能無法通過毒性溶出試驗。因此，建議以高功率紅外線加熱至 230°C，再以粉碎機破碎至 4mm 以下，將線路露出，再將其放入溶蝕液內進行溶蝕，使其通過毒性溶出試驗，此碎片即可直接掩埋或作為填充料。接著說明本製程之主要單元，亦即溶蝕、電熔精煉等，現說明如下：

1. 溶蝕

溶蝕流程如圖 7.7 所示，主體為溶蝕滾桶，其設計重點如下：

- (1) 慢速旋轉，內裝擋板攪拌，增加溶蝕速率。
- (2) 溶蝕液能溢流回氧化槽成一循環系統，可不斷地補充新鮮的溶蝕液。
- (3) 滾桶的仰角可上下調整，方便進出料。
- (4) 材質全部採用耐酸鹼塑膠 PVC 或 PP。
- (5) 液面表面積每平方公尺須適量空氣。
- (6) 溶蝕液的深度每公尺須適量空氣壓力。



資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫—總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

圖 7.7 廢板邊料處理及回收金屬溶蝕流程

由於溶蝕液的主成份是銅離子(Cu^{+2})，因此碎片溶蝕的反應方程式如下：



反應後溶蝕液和碎片皆生成亞銅離子(Cu^{+})，然後再以空氣氧化成銅離子(即溶蝕液的主成份)，所以溶蝕液可以再生及循環使用，其反應方程式如下：



當溶蝕液使用一段時間後，其中含銅量會累積增加，比重亦增加。此時將以稀鹽水和弱酸來調降溶蝕液中之銅濃度。同時其體積因而會增加，因此必須將多餘之溶蝕液送到廢液儲槽進行銅置換與鐵氧磁體化處理。置換反應方程式如下所示，加入廢鐵於溶蝕廢液，銅會被置換析出。



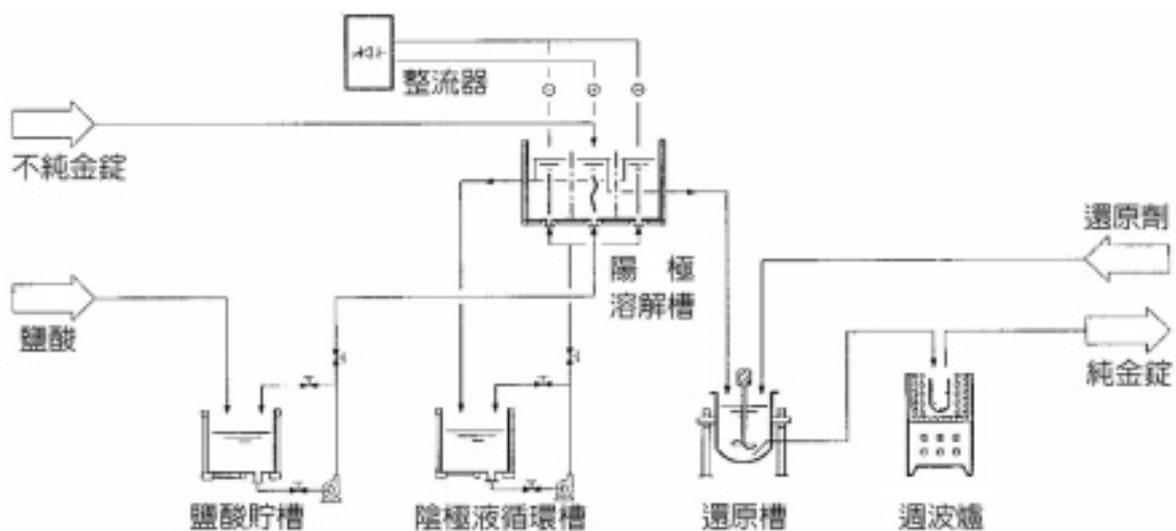
當溶蝕廢液置換後生成含鐵溶液時，建議加鹼調整至 pH 10.5 左右，打入空氣進行氧化，鐵離子和少量的其他重金屬離子會共同生成具有尖晶石結構的鐵氧磁體(Ferrite)，其反應方程式如下：



總之，由上述溶蝕、蝕銅液再生、置換析出、鐵氧磁體化處理等單元操作合成完整的所謂溶蝕技術，無空氣污染，僅有少許之弱酸尾氣，只需經過洗滌塔將弱鹽酸中和即可排放，此外，因溶蝕液不斷循環再生，並不會產生廢酸液，鐵氧磁體相當安定且富磁性，可直接掩埋或當作磁鐵的原料。

2. 電熔精煉

如圖 7.8 所示，以電熔精煉法取代傳統之王水法。整個流程中最重要之單元為電解槽。其槽內陰極為不銹鋼板；陽極為置於陽極籃內之不純之金錠；陰極電解液為 NaOH；陽極電解液為鹽酸；陰陽極間以陽離子交換膜（耐酸鹼之 Nafion 膜）分隔。當通電電解後，金（陽極）氧化並與鹽酸生成 AuCl_4^- ，再以適當之還原劑將 AuCl_4^- 還原成金屬態，並以稀王水將金溶解。其反應式如下：



資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫—總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

圖 7.8 廢板邊料處理及回收金屬電熔精煉流程

7.6.3 效益評析

如前所述，假設一噸之廢印刷電路板經拆卸機去除零組件後，殘留之廢印刷

電路底板重量約為 460 公斤，而分離之零組件約為 540 公斤。廢印刷電路底板以高功率之紅外線加熱至 250°C，約 1 分鐘後底板上之錫鉛焊料即可熔解，回收之錫鉛焊料約 45 公斤；溶蝕液經不斷再生、溶蝕後，排出之部份溶蝕液，以鐵與其中之銅離子進行置換反應，置換生成之銅土經烘乾秤重其重量約為 30 公斤，可售予銅再生業者進行冶煉。另外，分離後之零組件以粉碎機粉碎、分選後，殘餘之樹脂灰渣約為 60 公斤。其他混合金屬部份以磁選機分選，可將鎳鐵先行分離，其分離效率可達 90% 以上，剩餘貴金屬重量約為 230 公斤。整個回收系統之效益評估如表 7.10 所示（成效評估係以「八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫—總報告」之案例，經物價波動指數及利率調整至 90 年現值），依表 7.10 內之各項數值，每噸約虧損 1,250 元（初設備暫不考慮前提下）。如以另一角度來思考，本回收系統之經濟效益，事實上決定於金或鉑族貴金屬含量之多寡及回收率，由評估得知，每噸廢料金之回收量須多於 25g（已將初設備費用考慮在內），始有利可圖；或是向業者收取合理之處理費用；或非金屬類部份有具回收價值之資源化去處。

表 7.10 廢板邊料處理及回收金屬資源之效益評估

基準：1 噸

收 入		
商 品	數 量	小 計
1.金	3.5g	1,165 元
2.銀	120g	500 元
3.銅	160kg	7,495 元
4.錫、鉛	45kg	840 元
5.鎳、鐵	70kg	730 元
共計：		10,730 元
支 出		
操 作 單 元	處 理 量	處 理 費 用
1.機械拆卸	1000kg	1,560 元
2.粉碎、分選、磁選	940kg	3,910 元
3.紅外線、溶蝕	840kg	3,500 元
4.一般廢棄物掩埋（非金屬類）	320kg	670 元
5.電解、精煉	225kg	2,340 元
共計：		11,980 元

註：86~90 年物價波動指數 1.0407。

資料來源：經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫—總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

7.6.4 結語

溶蝕法在本案例中為重要單元之一，其優點：溶蝕液可再生及循環使用、降低成本、廢液產生量少、降低廢液處理負荷及藥品費用、無 NO_x 造成空氣污染、節省吸收劑費用、溶蝕條件範圍廣等。如與粉碎法、熔煉法比較，其特點如表 7.11 所示。

表 7.11 溶蝕法、粉碎法、熔煉法之特點比較

	本方法	粉碎法	熔煉法
處理方法說明	先拆卸零組件後，印刷電路板經紅外線、粉碎、溶蝕等無害化處理後掩埋，零組件進行銅、錫鉛、鎳鐵及貴金屬回收。	廢組裝印刷電路板全部經粗、中粉碎及球磨細粉後，分選出金屬，進行銅及貴金屬回收，玻纖、樹脂等可能當成廢棄物（除非有承接資源化市場）。	先焚燒印刷電路板後，或直接加入高溫熔煉爐，爐底含貴金屬銅錠進行銅及貴金屬電解回收，其餘熔成爐渣丟棄。
特點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不焚燒印電路板，降低空污防治設備負荷。 2. 可回收錫鉛、鎳、鐵。 3. 貴金屬回收時程短。 4. 設備單元較複雜。 5. 大小規模業者皆適用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 動力消耗多，刀具磨損大。 2. 分選效果差，降低貴金屬回收率。 3. 廢棄物無法通 TCLP 測試，造成二次公害。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 須投資完善之空污防治設備。 2. 須備熟練之熔煉技術，使貴金屬熔入銅錠，減少損失。 3. 設備單元複雜。 4. 僅大規模業者適用。

資料來源：經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫－總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

7.7 廢酸置換回收硫酸亞鐵再利用

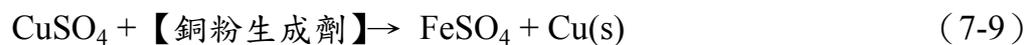
7.7.1 前言

如第五章所述，印刷電路板製造流程中各處理步驟會衍生所謂「廢酸」尚值得回收再利用者不多，經歸納概分其種類，計有廢硫酸（產源來自微蝕或預浸酸步驟）、廢硝酸（產源來自剝掛架步驟）等兩類。本案例以「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」來探討除廢酸回收之外，同時也考慮銅或其鹽類回收。

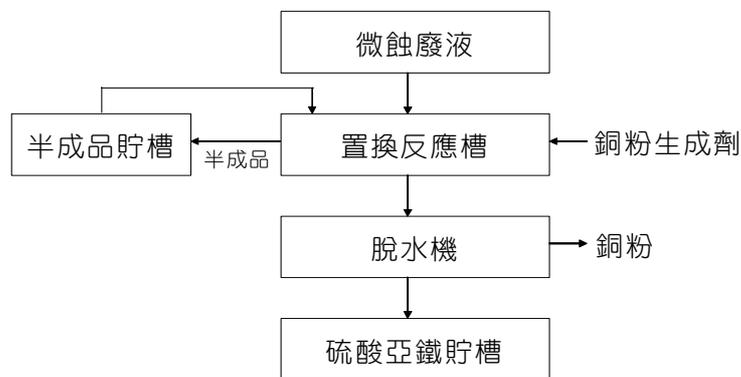
由於此系列微蝕廢液，因其化性活潑，運輸過程易產生危險，且其銅濃度較低故不具回收價值。目前市面上並無「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」合格回收廠商，工廠皆依定量方式納入廢水處理系統；因而產生大量污泥（有害事業廢棄物），並添加大量鹼劑中和。基於以上認知，建議採廠內回收為宜。

7.7.2 製程與原理

「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」中之銅離子主要以硫酸銅方式表示，其反應示意式如下表示：



所謂「銅粉生成劑」主要化學成份為 90%鐵、9%催化劑及 1%安定劑等，依「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」中之銅濃度約 2~3%推估（如銅濃度與各廠數據不符時，請依反應式另行估算）；每 1 噸「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」約產生銅粉 20kg~30kg。銅粉生成劑為本反應之唯一化學藥品，因產品為 4.5%硫酸亞鐵，故每 1 噸「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」須添加銅粉生成劑 50kg，其處理流程如圖 7.9 所示。



資料來源：發明專利案號 091113820。

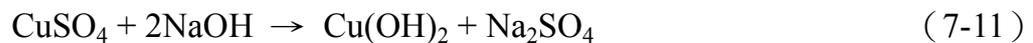
圖 7.9 廢酸(硫酸 & 過硫酸鈉系列微蝕廢液)置換回收硫酸亞鐵再利用流程

依圖 7.9 流程說明：「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」及半成品廢液（母液）一起抽汲至置換反應槽，並投入銅粉生成劑（50kg/T 微蝕廢液），經充份完全反應後，抽汲未完成反應廢液（半成品）至半成品貯槽（作為另一批次反應之母液），

反應成品經脫水機濾除銅粉後，抽汲至硫酸亞鐵貯槽（成品），濾除之銅粉泥餅另行裝包，售以銅粉回收商。

7.7.3 效益評析

「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」以定量方式納入廢水處理廠或再利用為混凝到處理之成本差異相當大，現分析如納入廢水處理廠之污泥處理成本；由以下所列之反應式推估，1kg 銅離子約產生 1.54kg 氫氧化銅污泥，若依污泥餅含水率為 65% 計算，則 1kg 銅離子約可產生 4.4kg 化學污泥（含水率 65%）。



依上述推估，每 1 噸「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」約產生污泥 88kg ~ 132kg。若依每 1kg 污泥處理成本為 7 元為計算依據，則可推估：每 1 噸「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」產生污泥處理成本為 616 元~924 元。如採取「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」再利用考量，則可將銅離子轉換成無害之銅粉，故無污泥產生。

至於節省中和成本方面，「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」再利用可將微蝕廢液再利用成廢水處理藥劑（亦即硫酸亞鐵/硫酸鐵），故因而可減少相同劑量混凝劑（亦即氯化鐵）之 NaOH 中和成本。換言之，每 1 噸「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」約可替代 350kg 氯化鐵(Fe 12%)。依滴定分析；中和 1kg 氯化鐵(Fe 12%)需 0.44kg NaOH(45%)，依上述分析，再利用「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」每 1 噸可減少 160kg NaOH 中和劑量。若依每 1kg NaOH(45%)成本 4 元/kg 為計算依據，則可推估：每 1 噸「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」再利用可減少中和劑成本為 640 元/T。

另外談及減少混凝劑成本方面，依分析每 1 噸「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」再利用可替代 1 噸硫酸亞鐵。如依每 1kg 硫酸亞鐵(4%)成本 2 元/kg 為計算依據，則可推估：每 1 噸「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」再利用可減少混凝劑成本為 2,000 元/T。

最後說明「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」再利用之唯一藥劑支出成本為銅粉生成劑為 21 元/kg，每 1 噸「硫酸&過硫酸鈉系列微蝕廢液」再利用需藥劑成本為 1,050 元。整個回收系統之效益評估如表 7.12 所示（尚無成熟實例，初設備、操作（10 元/噸）、維護、折舊等成本暫不考慮）。

表 7.12 硫酸 & 過硫酸鈉系列微蝕廢液置換回收硫酸亞鐵之效益評估

基準：1 噸「硫酸 & 過硫酸鈉系列微蝕廢液」

項次	項目	單位費用	費用
可節省 費用	污泥處置費	7 元/kg	616 元~924 元
	中和劑費用	4 元/kg	640 元
	混凝劑費用	2 元/kg	2,000 元
	合計		3,256~3,564 元
收入	回收銅粉 (20kg~30kg)	5 元/kg	100~150 元
	合計		100~150 元
支出	銅粉生成劑	21 元/kg	1,050 元
	合計		1,050 元

註：此評估因各項之來源資料會依時而改變，僅供參考。

資料來源：發明專利案號 091113820。

7.7.4 結語

總之，「硫酸 & 過硫酸鈉系列微蝕廢液」逕行納入廢水處理系統易產生大量化學污泥，增加脫水機負荷；並易導致廢水處理系統產生不穩定性。本案例僅分析易於量化之成本差異，對於不易量化之優劣特點則不深入探討，如委外處理風險等。

7.8 廢印刷電路板材資源化

7.8.1 前言

本案例為彙集國內專業代處理廢印刷電路板現況資料加上編者多年經驗，特將已前處理或回收貴金屬後之廢印刷電路板材資源化，作為重點內容來說明。換言之，將廢印刷電路板材再加工，或當原物料或當填充料使用，最終資源化途徑可能為人造塑合板；可能替代混凝土使用於化糞槽、化工用抗酸、抗鹼槽等。當然，廢印刷電路板材資源化產品也要符合相關 CNS 標準且可通過 TCLP 測試，無排放溴氣問題等，如此才算是有效且萬全方式。

7.8.2 製程與原理

綜括言之，本案例之廢印刷電路板材資源化途徑非唯一，計有「人造木材」、「模造塑合板」、「PVC 地磚」、「替代混凝土使用」等，現就其製造流程特點與相關性質測試項目等，簡要彙編如下：

1. 利用廢印刷電路板材製造人造木材

利用廢印刷電路基板製造人造木材之製造方法如圖 5.18 所示，首先將廢印刷電路板材粉碎至 5mm 粒徑以下，然後再與木屑或玻璃纖維混和均勻，接著添加適量之膠合固化劑，進行充分混合。下一階段先以約 30~50 kgf 壓力，溫度約 150°C 進行冷壓，其目的是希望將多餘氣體排除於外，以利爾後緊密膠結。建議採用之膠結劑如尿素樹脂或美耐敏等樹脂類為主。冷壓之後再進行熱壓成型。事實上，此即是一般平面型塑合板製造方法。但在製造此類資源化產品過程必須通過相關測試，如「毒性溶出試驗」、「物性試驗（如靜曲強度、靜曲彈性係數、密度等）」等。以「毒性溶出試驗」為例，如表 7.13 所示，廢印刷電路板材 TCLP 測試值，Cu 為 22.0ppm 較標準質高。究其因可能是板材表層有綠漆覆蓋著銅之故；至於粉碎後經製成之人造塑合板材，進行 TCLP 測試，Cu 為 10.1ppm 較標準質低，此乃金屬為樹脂包裹在內有助於提高抗酸能力。

表 7.13 廢印刷電路板材與人造塑合板材之 TCLP 測試

金屬	Cu(ppm)	Pb(ppm)
廢印刷電路板材	22.0	2.9
人造塑合板材	10.1	0.2
標準值	15.0	5.0

資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫－總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

2. 利用廢印刷電路板材製造模造塑合板

一般模造型塑合板製造方法，是將塑合板直接壓模成各類雕花狀之裝飾用木材。通常將裝飾用上下皮面先後壓著於基材外表，其製造流程如圖 5.19。如前所述，首先將廢印刷電路板材粉碎至 5mm 粒徑以下，然後再與木屑或玻璃纖維混和均勻，接著添加適量之膠合固化劑，進行充分混合。下一階段先以約

30~50 kgf 壓力，約 150°C 進行底板壓模成型及面皮黏著。如前所示，在製造此類資源化產品過程必須通過相關測試，如「毒性溶出試驗」、「物性試驗（如靜曲強度、靜曲彈性係數、密度等）」等。以「物性試驗（如靜曲強度、靜曲彈性係數、密度等）」為例，如表 7.14 所示。以粗粒度廢印刷電路板材分別以 50%、40%、30%、20% 及（廢印刷電路板材 15%+玻璃纖維 15%）與木屑混合製成之塑合板測試物性。從表 7.14 可知添加多量之廢印刷電路板材所製成之塑合板，其靜曲強度較差。以添加 20~30% 之廢印刷電路板材較為適量。另外，粒度中小的強度佳，皆合乎 CNS 標準。

表 7.14 不同廢印刷電路板材添加比例之塑合板物性（粗粒度）

試材	靜曲強度(kgf/cm ²)	靜曲彈性係數(kgf/cm ²)	密度(g/cm ³)
廢印刷電路板材 50% 木屑 50 %	143	1.65	1.33
廢印刷電路板材 40% 木屑 60%	177	1.64	1.31
廢印刷電路板材 30% 木屑 70%	235	2.88	1.29
廢印刷電路板材 20% 木屑 80%	235	3.15	1.26
廢印刷電路板材 15% 玻璃纖維 15% 木屑 70%	263	3.98	0.98
標準值	100 型：80 150 型：130 200 型：180	100 型：1.5 150 型：2.0 200 型：3.0	0.5 以上

粗粒的以小於 4 mesh (4.76mm) 的為主；中粒的以小於 6 mesh (3.36mm) 的為主；細粒的以小於 8 mesh (2.38mm) 的為主。

資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫—總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

3. 利用廢印刷電路板材製造 PVC 地磚

由於 PVC 塑膠地磚成份是以 PVC、DOP 可塑劑及碳酸鈣填充料為主。其大致組成如下所示：

PVC : DOP : 碳酸鈣粉 = 1.0 : 0.4 : 5.0

其中碳酸鈣可以廢印刷電路基板取代碳酸鈣粉。如圖 5.20 所示，一般 PVC 塑膠地磚含有三層，亦即地磚底層、彩色印刷層及透明保護層等。其製造流程如圖 5.21 所示：首先將 PVC、DOP（可塑劑）及碳酸鈣填充料等原料混合後，再進行混合、混練等程序製成底板後，再壓延彩色印刷及表面透明保護層成型。一般而言，此類資源化產品必須通過「毒性溶出試驗」及「相關物性測試（如加熱引起長度之變化量、吸水引起長度變化量、加熱減量、熱膨脹率等）」。「物性測試」為例，是以 80 mesh 以下之粉末之廢板材取代碳酸鈣粉製成地磚之物性測試。如表 7.15 所示（添加比例從 0~75%），其各項物性測試結果均合於 CNS 之標準。

表 7.15 PVC 地磚物性測試

廢印刷電路板材 添加比例	加熱長度變化 (mm/300mm)		熱膨脹率 ($\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)	加熱減量 (%)	吸水引起長度變化 (mm/300mm)	
	縱向	橫向			縱向	橫向
廢印刷電路板材 0%	0.25	0.30	2.52	0.07	0.15	0.10
廢印刷電路板材 25%	0.21	0.32	4.38	0.11	0.15	0.10
廢印刷電路板材 50%	0.21	0.36	3.78	0.17	0.15	0.18
廢印刷電路板材 75%	0.27	0.30	2.51	0.20	0.12	0.06
標準值	0.75	0.75	12	0.50	0.75	0.75

資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫—總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

4. 利用廢印刷電路板材替代混凝土使用

利用廢印刷電路板材替代混凝土之製造方法，乃將廢印刷電路板材板粉碎至 2.5mm 以下，於常溫常壓下再進行與不飽和聚酯樹脂混合。如能通過「抗折強度」、「密度」及「TCLP 測試」等，則可替代混凝土使用於製造酸鹼用槽及化糞池建造上。

7.8.3 效益評析

除了資源化產品承接市場價格較難估算與掌握外，粉碎將是主要支出成本。現以年產 5000T 為規模下，分「粒度 5mm 以下」及「粒度 2.5mm 以下」等兩類分析，如表 7.16 所示。粉碎成粒度 5mm 以下每公斤 0.44 元；粒度 2.5mm 以下每公斤 0.55 元。總之，粒度越小粉碎成本越高，如粉碎成粒度達 80 mesh，則其每公斤約 0.80 元，此印刷電路板粉末可用於浪板製造之填充料。

表 7.16 利用廢印刷電路板材製造人造木材／模造塑合板之效益評估

粒度：<5mm (年處理量：5000T/Y)		
項目	計算	費用
粉碎機 2 台 (使用產能 1T/hr 耗電 100hp/hr)	500,000 元×2	1,000,000 元
折舊費用(以 10 年計)	1,000,000 元÷10÷5000÷1000	0.02 元/kg
電	2 元×100×0.75÷1000	0.15 元/kg
冷卻水		0.02 元/kg
維修(5%)	1,000,000 元×5%÷5000÷1000	0.01 元/kg
人事費	600,000 元/人年×2 人年÷5000T÷1000	0.24 元/kg
總計		0.44 元/kg
粒度：<2.5mm (年處理量：5000T/Y)		
項目	計算	費用
粉碎機 2 台 (使用產能 1T/hr 耗電 150hp/hr)	900,000 元×2	1,800,000 元
折舊費用(以 10 年計)	1,800,000 元÷10÷5000÷1000	0.04 元/kg
電	2 元×150×0.75÷1000	0.23 元/kg
冷卻水		0.02 元/kg
維修(5%)	1,800,000 元×5%÷5000÷1000	0.02 元/kg
人事費	600,000 元/人年×2 人年÷5000T÷1000	0.24 元/kg
總計		0.55 元/kg

資料來源：工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫－總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。

根據財團法人工業技術研究院過去研究資料顯示，用 20~30% 粒度小於 5mm 之廢印刷電路板材及 80~70% 木屑，混合並添加熱固性樹脂製成人造塑合板，其強度達 CNS 國家標準。另外也取粒度 80mesh 以下之廢印刷電路板材研磨粉取代塑膠地磚中填充料（碳酸鈣粉）25~75%，其產品也符合 CNS 標準。此外也利用粒度 2.5mm 以下之碎基板 60%，聚酯 40% 製成板，其抗彎強度約 120kg/cm²，

約一般水泥之二倍，可替代混凝土使用於化糞槽、化工用抗酸、抗鹼槽。

7.8.4 結語

根據國內外技術能力分析：「廢印刷電路板材」只要再經前處理（如水洗、乾燥等）後，且能通過 TCLP 測試標準，則可再利用於人造木材與建築材料上，進而達到減廢與資源再利用之目的。

7.9 萃取配合冷卻結晶回收硫酸銅

7.9.1 前言

本案為國內一家專業再利用工廠，該廠產業類別是屬化學材料及化學品製造業，主要產品為基本化學材料無機鹽類，包括銅、鐵、錫、鉛、鎳、鋁等金屬之氯化鹽類、硫酸鹽類、氧化物鹽類、氫氧化物鹽類等之製造。本案例廢棄物種類為鹼性蝕銅液與含銅硫酸溶液，其產生源分述如下：

1. 鹼性蝕銅液

鹼性蝕銅液來自印刷電路板製造外層線路蝕刻程序，其主成份為 NH_4Cl 。廢液中各成份如銅、氯化銨濃度均高，若未有妥善利用不僅是資源浪費，更亦造成環境污染危害。

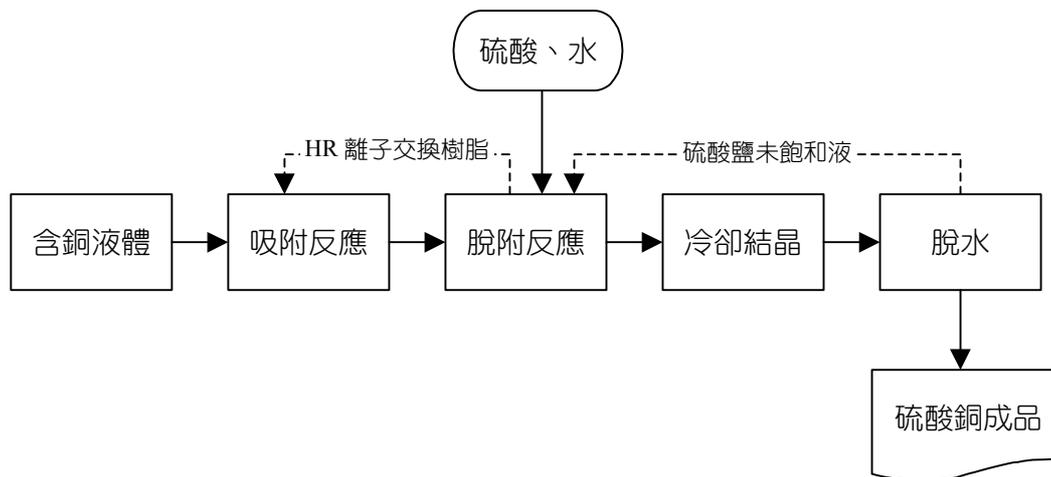
2. 含銅硫酸廢液

含銅硫酸廢液來自印刷電路板製程表面處理微蝕中，其成份計有硫酸（52.5~135 g/L）、硫酸銅（160~300 g/L；銅約 40~75 g/L），水（700~800 g/L）等。由於製程中使用過硫酸所產生含銅硫酸溶液所含不純物相當有限，因此無法在其製程中循環使用，但可轉用於一般工業級產品硫酸銅晶體的製造，作為硫酸及銅之來源。

7.9.2 製程與原理

本案再利用流程乃結合溶劑萃取（或液態離子交換樹脂）與冷卻結晶方式來進行再利用資源化工作，流程簡要如圖 7.10 所示。首先利用萃取劑（液態離子交換樹脂）在萃取槽中進行銅離子之交換，經過分離、水洗等步驟後再送至反萃槽；接著利用硫酸再生離子交換樹脂，反萃後之樹脂循環再使用，飽和硫酸銅溶液則以冷卻結晶方式析出硫酸銅晶體，其純度達 97% 以上，大部分外銷，主要銷售對

象為澳洲、美國、歐洲作為工業或礦場煉銅使用。至於除銅後溶液（主成份為氯化銨）部份則送回原生產業者重新調配製成鹼性蝕銅液，供印刷電路板製造業蝕刻新液重複使用。



資料來源：經濟部事業廢棄物個案再利用申請可文件（910038I），工業局，民國 91 年 3 月

圖 7.10 萃取配合冷卻結晶回收硫酸銅流程圖

整個製造流程是一個封閉式循環回收系統(closed loop recycle system)，充份達到資源回收再利用及循環保護的雙重目的。現將各再利用製程單元細述如下：

1. 萃取

將蝕銅廢液和液態離子交換樹脂（萃取液）依定比例定速打入萃取槽中的混合區，藉特別設計之攪拌混合器，使萃取液與水層混合完全，並進行離子交換之萃取作用，此一混合液流入萃取槽中相分離段靜置分離，並利用槽中隔板設計加強分離效果，而後水層（含氯化銨）即流入儲槽，含銅之萃取液則向後流入水洗槽。



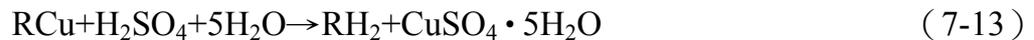
2. 水洗

含銅萃取液和水洗水依一定比例進入水洗槽進行水洗，以去除萃取液殘留

氯離子，其過程同萃取程序。水洗完萃取液進入反萃槽進行反萃，水洗水則用以調整鹼性含銅廢液之鹼度及銅含量。

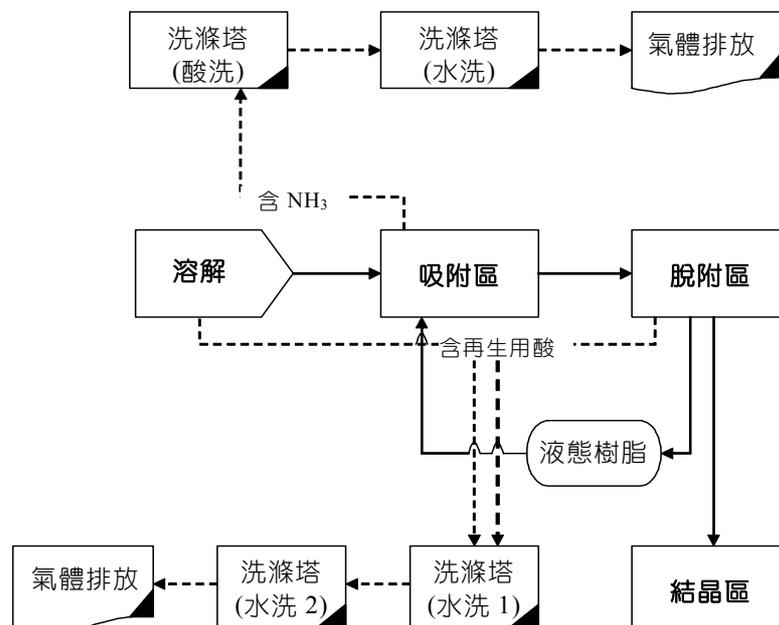
3 反萃

上述萃取液在反萃槽和硫酸液體作用，反萃形成硫酸銅液體，並再生萃取液使不含銅，過程設計同萃取步驟。反萃完之樹脂則在水洗後送到儲槽循環使用，而硫酸銅溶液則送至結晶槽冷卻。



4. 結晶

硫酸銅液體在結晶槽經降溫冷卻、晶核形成、長大等程序後析出硫酸銅結晶，經由脫水、包裝而成品入庫。脫水過濾完之結晶餘液，則送至未飽和硫酸銅液儲槽，補充硫酸後循環於反萃再生使用。另外，本案空氣污染防治方面值得一提，如圖 7.11 所示，廢氣採填充式洗滌塔，處理成效符合法規要求；洗滌液則回收利用。



註：虛線為氣體流程

資料來源：經濟部事業廢棄物個案再利用申請可文件（910038I），工業局，民國 91 年 3 月

圖 7.11 硫酸銅回收之酸鹼氣防制系統

7.9.3 效益評析

如以 2.5m³ 鹼性蝕銅液，並摻配 1.0 m³ 酸性蝕銅液同時進行萃取為例，會產生 455 公斤銅被離子交換樹脂帶出，再合併 0.8m³ 含銅硫酸溶液（其組成為銅 60 g/L；硫酸 120 g/L；水 800 g/L）進行結晶單元。估算如下：

總銅量為： $455+(60\times 0.8) = 503\text{kg}$

硫酸補充量為： $(503/63.5)\times 98 - (120\times 0.8) = 680\text{kg}$

結晶水補充： $(503/63.5)\times 5\times 18 - (800\times 0.8) = 74\text{kg}$

硫酸銅產出量為： $(503/63.5)\times 249.5 = 1,976\text{kg} (6.3\text{T}/\text{D})$

由於含銅硫酸溶液併入，減少硫酸及水的使用，且由於必需額外補充不足，沒有硫酸及水體積膨脹問題。

經處理後之鹼性蝕銅及含銅硫酸溶液，全部資源化製成硫酸銅(CuSO₄·5H₂O)及蝕刻新液。硫酸銅為藍色透明結晶或粉末，用於棉及絲織品印染的媒染劑、製造藍色及綠色顏料、用作殺蟲劑、水的殺菌劑、木材防腐劑、銅的電鍍、電池及製造催化劑。同時可用於有色金屬選礦（浮選）工業、船舶油漆工業、農業飼料添加，及其他化工原料製造。其乃基本化工原料之一，用途極為廣泛且使用需求量極大。

總之，結合減廢及資源再生，以減少 240T/月鹼性蝕銅廢液及 77T/月硫酸銅液廢棄物為例，將廢棄物變成可貴資源產出硫酸銅約 145T/月，同時節省處理費約 100 萬（對廢棄物產生者而言）。而且銷售蝕銅液乃回收液調配重複使用，市場佔有率達 8 成以上（對廢棄物再利用者而言），商機無限！

7.9.4 結語

經由本案呈現，處置過程考量完全資源再利用方式，使得印刷電路板業之含銅廢液對環境的污染能夠降至最低程度。此對環境不僅具有正面效益；而且就整體產業經濟及社會而言，對間接重振國內持續低迷之景氣具有極大意義。

7.10 含銅污泥回收銅

7.10.1 前言

台灣的電路板製造業所生產的電路板約佔世界的 50~60%，於生產階段產生

的廢液經廢水處理後會產生含銅的大量污泥，銅含量約在 5~25% 間，是為相當有價值的資源。

電路板的廢水可區分為：

- (1) 含重金屬離子廢水—如蝕刻廢水、電鍍廢水
- (2) 含氰錯體廢水—如氰化銅電鍍廢水、氰化鐵等廢水
- (3) 含鉻酸鹽廢水—如感光膜去除液及硬化膜液鍍鉻液等廢水
- (4) 含 Na_2SO_3 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 廢水—如顯影劑、定影劑等廢水
- (5) 含有機系還原物廢水
- (6) 含水溶性有機物廢水等等

這些廢水經還原、氧化及酸、鹼中和後，再經凝集、過濾而產生成污泥，這些污泥中含有約 5~25% 的銅，因此極有回收的價值。表 7.17 為代表性的銅污泥之成份分析表。

表 7.17 電路板之含銅污泥組成（乾基）

成份	Cu	Al	Si	Ca	Cr	Fe	Mg	Sn
含有量(%)	9.81	18.74	4.00	2.05	0.34	0.75	0.46	0.49

台灣的電路板製造業，所生產的電路板約佔全世界的 50~60%，所產生的銅污泥每年約 24 萬噸（濕），如以含銅量 10% 計算，則約有 2.4 萬噸銅可以回收。

從銅污泥回收銅的方法可分為置換、電解、還原及氧化銅法等等，這些方法在台灣均有工廠設立在回收中，包括有昶昕、必興、碩泰、長政、永源及衛司特，每天總計可處理 300 噸，年處理量 9 萬噸，估計可回收銅 9,000 噸值 9,000 萬元。

7.10.2 製程及原理

1. 置換取銅

將銅污泥以鹽酸（硫酸或硝酸）溶解之，經過濾去除 PAC 等雜質，然後於溶液中加入鐵屑，則溶液中的氯化銅會因電位序數的差別銅會被鐵所置換形成銅金屬析出，經撈起金屬銅以水沖洗淨後即為產物，溶液則為二價的氯化亞鐵，經通入氯氣，則氯化亞鐵形成三價的氯化鐵，而氯化鐵則可返回電路板的蝕刻

液使用或做為廢水的凝集劑代替 PAC 使用。其原理如圖 7.12：

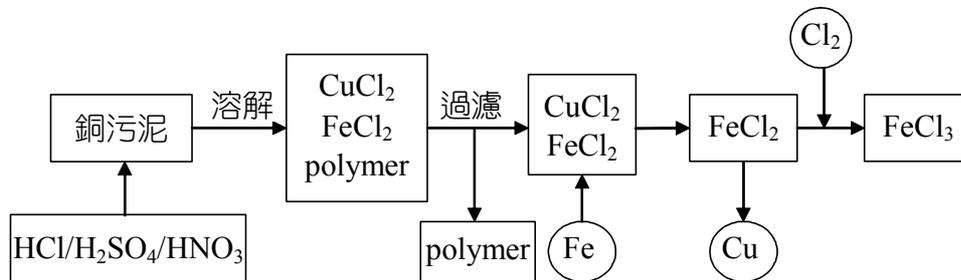


圖 7.12 置換法回收銅原理

2. 回收氧化銅

此方法是將銅污泥先以酸（硫酸）溶解後去除聚合物(polymer)，然後含銅液再加入氫氧化鈉，使其再形成氫氧化銅及氫化鐵等物，於反應槽中再倒入過氧化氫或高錳酸鉀等氧化劑後形成氧化銅及氧化鐵的沉澱以及副產物 Na_2SO_3 。其原理如圖 7.13：

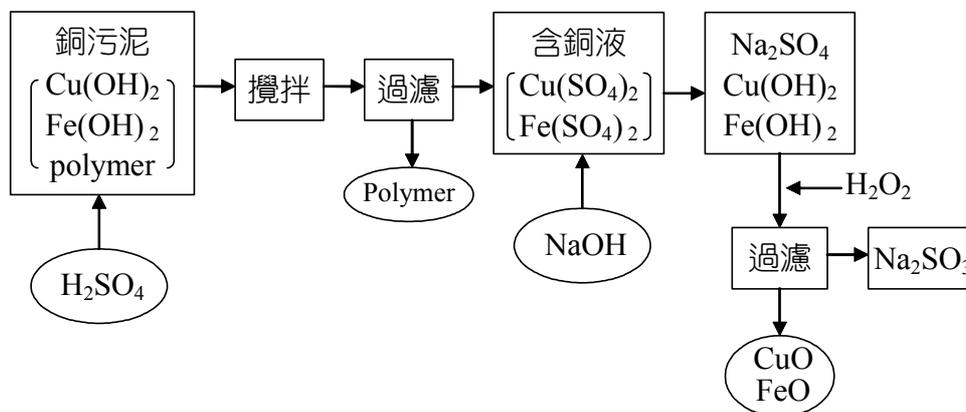


圖 7.13 氧化銅法回收氧化銅原理

3. 煅燒法

銅污泥經乾燥後加熱至 550°C ，則污泥中的氫氧化銅及氫氧化鐵等物會熱分解形成氧化銅及氧化鐵，而 polymer 則分解變成氣體和飛灰。其原理如圖 7.14：

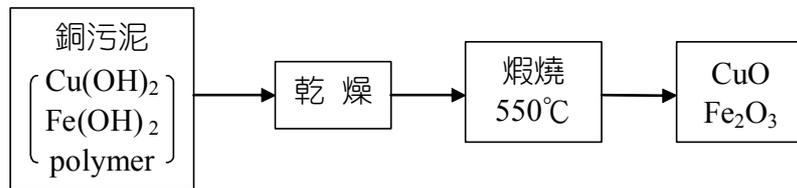


圖 7.14 煨燒法回收氧化銅及氧化鐵原理

以上方法所得的氧化銅成份能在 30~60%，則就具有回收製造硫酸銅的價值。

7.10.3 效益評析

電路板製造時產生的銅污泥具有置換法、氧化銅法及煨燒法等三種回收銅的方法，由其處理方法的不同，其處理的費用亦有不同，以每天處理銅污泥 70 噸（含水率 50%計），則置換法約可回收銅 7 噸，氧化銅法可回收氧化銅 10 噸，而煨燒法亦可回收氧化銅 10 噸，以銅每公斤 10 元，氧化銅每公斤 5 元計，則置換法每年可淨節費用 14,850,000 元，氧化銅法為 7,835,000 元，煨燒法為 9,930,000 元。有關三種方法的效益評估如表 7.18 所示。

7.10.4 結語

我國生產電路板約佔有全世界的 50%，每年產生的含銅污泥亦有約 24 萬噸，銅污泥中含有銅 5~25%，估計 24 萬噸銅污泥中約佔有 3.6 萬噸的銅，其值約值 3.6 億元，極具有回收的價值。

這些含銅污泥如無資源回收，勢必固化掩埋之，不僅形成有價物的浪費與土地的污染，目前台灣共有長政等 6 家公司，各以自家的技術包括置換法、氧化銅法及煨燒法進行銅的回收，然其處理量僅達銅污泥的 25%，有待政府及業者的努力。

表 7.18 銅污泥回收銅／氧化銅之效益評估

項次	資源化方式	項 目	單位費用	費 用	合 計(元)
初設成本	置換法	· 酸溶解槽	200,000	600,000	1,100,000
		· 過濾器	300,000	300,000	
		· 其他	200,000	200,000	
	氧化銅法	· 反應槽	200,000	400,000	1,100,000
		· 壓濾機	500,000	500,000	
		· 其他	200,000	200,000	
煨燒法	· 乾燥機	700,000	700,000	2,100,000	
	· 煨燒爐	1,200,000	1,200,000		
	· 其他	200,000	2,000		
每年操作 維護費用	置換法	· 電力費用(300 天)	2.6 元/kw.hr	960,000	6,150,000
		· 藥 劑(300 天)	4 元/kg	3,000,000	
		· 人力費用(365 天)	2,000 元/人	2,190,000	
	氧化銅法	· 電力費用(300 天)	2.6 元/kw.hr	960,000	7,165,000
		· 藥 劑(300 天)	7 元/kg	3,000,000	
		· 人力費用(365 天)	2,000 元/人	2,190,000	
煨燒法	· 電力費用(300 天)	2.6 元/kw.hr	2,880,000	5,070,000	
	· 藥 劑(300 天)	—	—		
	· 人力費用(365 天)	2,000 元/人	2,190,000		
每年投資 費 用	置換法	· 設備折舊費用	*CRF=0.149	163,900	6,313,900
		· 操作維護費用		6,150,000	
	氧化銅法	· 設備折舊費用	*CRF=0.149	163,900	7,328,900
		· 操作維護費用		7,150,000	
	煨燒法	· 設備折舊費用	*CRF=0.149	312,900	5,382,900
		· 操作維護費用		5,070,000	
每 年 可 節省費用	置換法	· 回收銅(7t/d, 300 天)	10 元/kg	21,000,000	21,000,000
	氧化銅法	· 回收銅(10t/d, 300 天)	5 元/kg	15,000,000	15,000,000
	煨燒法	· 回收銅(10t/d, 300 天)	5 元/kg	15,000,000	15,000,000
每年總淨 節省費用	置換法	21,000,000 元－6,150,000 元＝14,850,000 元			
	氧化銅法	15,000,000 元－7,165,000 元＝7,835,000 元			
	煨燒法	15,000,000 元－5,070,000 元＝9,930,000 元			

[註]*CRF(設備投資還原因子)= $i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$ ，i(年利率)=7.9%；n(設備使用年限)=10 年

名詞解釋

1.單面板(single side boards)

單面板的基材主要為酚醛樹脂基板，少部份為環氧樹脂基板，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。

2.雙面板(double side boards)

雙面板的基板乃以環氧樹脂為主，兩面貼合銅箔以成雙面銅箔基板，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。

3.多層板(multilayer boards)

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層壓以形成多層板。

4.表面處理（刷磨）(brushing)

銅箔基板表面處理一般採用刷磨機的刷輪研磨基板上的銅層，來達到清潔銅面的目的。

5.蝕刻阻劑轉移(curing of etching resister)

將乾膜阻劑(dry film resist)滾壓於銅箔基板上，再將線路圖案底片置於乾膜上，於紫外光(UV)照射下曝光，使線路圖案上的乾膜起感光硬化(curing)反應，即正片影像轉移，最後以含碳酸鈉的顯像液將線路以外未感光硬化的乾膜溶解去除。

6.蝕刻阻劑轉移後蝕刻(etching after etching resister cured)

以酸性蝕刻液（氯化鐵或氯化銅系）將銅箔基板上未覆蓋蝕刻阻劑之銅面全部溶蝕掉，僅剩被硬化的油墨或乾膜保護的線路銅。

7.去蝕刻阻劑(etching resister stripping)

以含氫氧化鈉的水溶液或有機溶劑溶解線路銅上硬化的油墨或乾膜，使線路銅裸露出來。

8.黑／棕氧化(black oxide/brown oxide)

其目的在於使內層板線路表面上形成一層高抗撕裂強度的黑／棕色氧化銅絨晶，以增加內層板與膠片(prepeg)在進行壓合時的結合能力，黑／棕氧化槽液為含磷酸三鈉、亞氯酸鈉、氫氧化鈉等組成之黑藍色水溶液。

9.鑽孔(hole drilling)

其目的在於使板面形成未來零件導線插入的路徑，並作為上下或內外層線路之連通。

10.除膠渣(de-smear)

其目的在去除因鑽孔過程於基板鑽孔孔壁上所產生的毛渣，以利鍍通孔的進行。過去電路板工廠曾採用鉻酸溶液除膠渣，但目前大都已改用高錳酸鉀溶液。

11.鍍通孔(plating through hole, PTH)

其目的在於使經鑽孔後的非導體通孔壁上沈積一層密實牢固並具導電性的金屬銅層，作為後續電鍍銅的底材(substrate)。此製程單元步驟包括整孔／清潔(conditioner)、微蝕(microetching)、活化(catalyst)、加速化(accelerator)、化學銅(electroless copper)等。

12.抗鍍阻劑轉移(curing of plating resister)

此製程與前述蝕刻阻劑轉移所使用的感光乾膜或印刷油墨及原理幾乎相同，唯一不同的是採負片影像轉移，即將線路以外的區域曝光或烘乾硬化，而將線路上的乾膜顯像溶解掉，以使後續鍍銅及鍍錫鉛只對線路進行金屬析鍍，而對線路以外被抗鍍阻劑保護的區域無法析鍍。

13.線路鍍銅(circuits plating)

當線路被顯像裸露出來後即進行線路鍍銅，此製程單元步驟包括脫脂、微蝕、微蝕、酸浸、鍍銅等。

14. 鍍錫鉛(solder plating)

電路板線路被加鍍上銅後，再鍍上一層錫鉛合金於線路上，以作為後續抵抗蝕刻之用。

15. 去抗鍍阻劑及蝕刻(plating resister stripping and copper etching)

在進行蝕刻前，先行將線路以外的硬化乾膜或油墨部份，以氫氧化鈉或有機溶劑將其溶解剝離，再進行蝕刻，將線路以外未鍍上耐蝕刻錫鉛合金的銅面全部溶蝕掉。

16. 剝錫鉛(solder stripping)

蝕刻完成後，錫鉛之抗蝕作用已達成，須將其溶解剝除，以裸露其內的線路銅，其剝除方式是將電路板浸置於硝酸或氫氟酸的剝錫鉛液中進行。

17. 印防焊綠漆(solder mask printing)

將液態綠漆以液態方式塗佈或以乾膜綠漆壓合方式，於整面電路板上覆蓋一層防焊保護層，經紅外線(IR)硬化，再經紫外線(UV)曝光及顯像處理，將板上通孔及線路部份裸露出來。

18. 鍍鎳鍍金(nickel plating and gold plating)

將電路板上欲鍍金部份（即須常插件處）浸置於微蝕液中（如過硫酸鈉），再經稀硫酸液浸泡後置於胺基磺酸鎳電鍍液中先行鍍上一層鎳，最後於含氰化金鉀的鍍金槽液中鍍金。鍍鎳鍍金製程在電路板業界通稱為鍍金手指，其主要目的在使板面線路具有高度的抗磨性及耐焊性。

19. 噴錫(hot air leveling)

將電路板先行塗佈一層助焊劑，再瞬間浸置於融溶態的錫槽中，並隨即垂直起，以熱風及空氣刀刮除留在板上多餘的融溶態錫，使板上通孔及線路上附著一層錫，作為電子零件裝配之用。

20. 減廢之「廢(waste)」

視所用場合而有不同，一般乃指液態、固態或氣態可能造成環境污染或危害健康之物質或能量，其存在型態可為廢水、廢氣、廢棄物，故單獨之“廢(waste)”一字，可作「廢污」解，泛指一般之污染物。至於「廢棄物」乃指具

有濃度之廢液、化學品、固體廢棄物(solid waste)或貯存於鋼瓶中之廢棄氣體。

21. 減廢(waste minimization)

美國環境保護總署(EPA)最早用於有害廢棄物(hazardous waste)，即指任何藉有害廢污之減量、減毒措施，以達到減少有害廢棄物貯存(storage)、處理(treatment)或處置(disposal)設施負荷之目的。廣泛來講，即「廢(waste)」之排出在生產過程或在進入處理系統之前即予控制，減少其廢污之產量、降低廢污之濃度、改變廢污之污染特性、回收再利用以控制排放等，以減少不必要之廢污產生，甚至可回收再利用，進而減少所需處理之負荷，達到經濟並有效地解決工廠廢污問題之目的。

根據美國國會技術評估局(Congressional Office of Technology Assessment, OTA)認為工業減廢乃從工廠內部改善(in-plant changes)做起，在生產過程中減少廢污之產生，但並不包括一旦產生廢污後之減毒、減量在內。

22. 污染預防 (pollution prevention, P2)

工廠在生產過程中藉由各種直接或間接的方法，以減少或消除污染物或廢棄物的行為，稱為污染預防，在美國俗稱為“P2”。這些方法包括污染源減量、原料替代、製程改良、廠內或廠外回收、及良好的生產管理等，污染預防是達成環境保護的最有效方式，同時也可以帶來許多經濟效益，如降低廢污處理／處置成本、原料及能源節約、降低責任風險、及提供更清淨與安全的工作環境等。

23. 清潔生產(cleaner production)

依據聯合國環境規劃署(UNEP)於 1997 年重新對「清潔生產」所下之定義：「清潔生產係整合性環境預防策略(an integrated preventive environmental strategy)持續應用於製程、產品、服務，以增進生態效率(eco-efficiency)，並降低對人類及環境之風險」。意指採取整體預防性的環境策略於製程及產品，以減少對人類及環境可能的危害。就製程策略而言，其包括減少原料及能源耗用量，並且使廢氣、廢水及廢棄物在未自製程中排出前，即減低其量及毒性。而就產品策略而言，其藉由生命週期分析，而使得從原料之取得及至產品之最終處置過程中，對環境之影響減至最低。而為達成清潔製程(cleaner production)，則必須藉由 know-how 技術。

類似之常用語包括有清潔技術(cleaner technology)、無廢棄物產生之技術

(non-waste technology)、及與環境調合之技術 (environmental sound technology, 或 environmental friendly technology) 等。

24.環境管理系統標準(ISO 14000)

國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)為了將國際環境管理制度整合進而標準化，遂於 1996 年訂定 ISO 14000 系列之國際環境管理標準。ISO 14000 是為保護環境而制定，最終目的促使企業界能結合企業管理體系理念以更有效率的保護環境。

25.巴塞爾公約(Basel Convention)

為了規範國際間有害廢棄物跨國輸送，而經由聯合國所制訂之管制公約。國際經濟合作及開發組織 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)國家約自 1982 年起，就已開始討論有害廢棄物跨國輸送之問題。而最後則移至聯合國的舞台上來加以討論。1989 年 3 月聯合國環境規劃署(UNEP)在瑞士巴塞爾(Basel)通過了管理有害廢棄物跨國輸送的「巴塞爾公約(Basel Convention)」，此公約中宣示之一基本原則為「有害廢棄物之處置應由產生國承擔第一責任」，巴塞爾公約之內容要旨如下：

- (1)訂定有害廢棄物跨國輸送之管理規則。
- (2)廢棄物減量措施是各國應積極推動的義務。
- (3)明確規定有害廢棄物的妥善處理是輸出者與產生者的責任。

26.廠內管理(house keeping)

在工廠生產過程中藉由一些管理方式的改良，以達成減廢的目的。常見的方法有：(1)調整操作步驟，(2)廢棄物分流收集，(3)物料庫存改善，(4)製造時程改善，(5)損失防止及(6)人員訓練等。

當然前述所述要做好操作的管理，必須要由主管階層上鼓勵、獎勵，以使員工努力於減廢。

27.永續發展(sustainable development)

是 1992 年 6 月聯合國在巴西里約熱內盧召開「地球高峰會議」所揭櫫的地球環境觀念，定義為「能滿足當代人的需求，又不損害子孫後代滿足其需求

能力的發展」。亦即人類的各種活動必須考慮環境的負荷能力及資源節約與有效利用，使地球上之生態環境能永續發展。

本項觀念應用於工業生產上稱之為「永續經營」更適切，其乃是針對國家政策、工廠產品及生產製程等做設計，以免除或減少人類經濟活動對環境的衝擊，滿足當代人類需求，而不危及下一代子孫使用資源之權利。簡言之即「為環境而設計」。

28. 吡咯環(pyrrole)

pyrrole 是一種含氮的有機環化物，也是生物的新陳代謝物，還可以幾個連起來。它的氮原子，有 lone pair 電子，這些電子可以和金屬性的 ligand 產生作用，使有機分子和金屬原子結成一體，參與有關生理上的作用。

參考文獻

1. 李啟豪，印刷電路板管末廢棄物處理方式之評估，電路板會刊，第 2 期，pp.50～53，民國 87 年 10 月。
2. 王建發，以熔融態錫金屬處理廢板之簡介，電路板會刊，第 5 期，pp.27～31，民國 88 年 7 月。
3. 林正欣，電路板業節水及水回用措施研究，電路板會刊，第 6 期，pp.34～41，民國 88 年 10 月。
4. 李立中，黃麗蓉，黃進華，台灣電路板產業現況與趨勢，電路板會刊，第 6 期，pp.42～46，民國 89 年 10 月。
5. 簡昆良，廢棄物減量經驗談，電路板會刊，第 7 期，pp.58～62，民國 89 年 1 月。
6. 朱昱學，電路板工廠重金屬污泥減量技術，電路板會刊，第 8 期，pp.52～58，民國 89 年 4 月。
7. 朱昱學，電路板廢水處理之改善與降低成本，電路板會刊，第 9 期，pp.40～47，民國 89 年 7 月。
8. 劉至偉，無鉛焊錫之電鍍製程，電路板會刊，第 9 期，pp.34～39，民國 89 年 7 月。
9. 黃俊良，化學錫製程技術及市場趨勢，電路板會刊，第 10 期，pp.49～54，民國 89 年 10 月。
10. 林正欣、小關貴義、松本紘一，電路板業放流水薄膜系統回收之研究，電路板會刊，第 10 期，pp.55～66，民國 89 年 10 月。
11. 彭錢塘，電路板無鉛焊墊之現況，電路板會刊，第 12 期，pp.75～88，民國 90 年 4 月。
12. 陳國賢、趙佩琪、黃錦明、鄭宏德、朱昱學，台灣地區電路板業事業廢棄物清理現況及展望，電路板會刊，第 13 期，pp.50～57，民國 90 年 7 月。
13. 鄭智和，廢印刷電路板之處理技術介紹，電路板會刊，第 14 期，pp.64～69，

民國 90 年 10 月。

14. 朱昱學，電路板業廢棄物清除處理現況與發展趨勢，電路板會刊，第 15 期，pp.67~73，民國 91 年 1 月。
15. 童家慶，台灣電路板產業現況與未來發展，電路板會刊，第 16 期，pp.16~19，民國 91 年 4 月。
16. 王文裕，清潔生產與環境績效指標，工業污染防治季刊，第 75 期，民國 89 年 7 月。
17. 杜懷愚，逆流水洗的好處，表面工業雜誌，第 37 期，pp.37~39，民國 90 年 4 月。
18. 林祈祥、張啟達、林坤讓，隔膜電解設備再生高錳酸鉀溶液，減廢資訊雙月刊，第 32 期，pp.37~45，民國 83 年 10 月。
19. 經濟部技術處，2001 電子零組件工業年鑑，p.4-27~4-50，民國 90 年 6 月。
20. 經濟部工業局，電路板業環境技術與建制環境管理系統指引，民國 89 年 2 月。
21. 經濟部工業局，電路板業回收設備選用手冊，民國 84 年 5 月。
22. 經濟部工業局，印刷電路板業環保工安整合性技術手冊，民國 89 年 9 月。
23. 經濟部工業局，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，民國 85 年 5 月。
24. 財團法人中技社，電路板廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，台灣電路板協會，民國 90 年 7 月。
25. 王文裕，電路板製造業高濃度廢液處理技術及處理現況介紹，電路板製造業環保安衛技術交流示範觀摩會，民國 87 年 12 月。
26. 王文裕、吳敏煌，印刷電路板業廢棄物減量資源回收及處理示範計畫，第四屆工業減廢技術與策略研討會論文集，pp.565~584，民國 83 年 6 月。
27. 含重金屬污泥的再資源化技術，污泥處理與處置技術研討會，經濟部，p.5-12，民國 80 年 3 月。
28. 印刷電路板業含銅廢水回收處理案例，工業污染防治工程實務技術研討會論文集，經濟部工業局，p.308，民國 88 年 12 月。
29. 鄭智和，廢印刷電路板之處理，PCB 材料與製程應用發展研習講座講義，財

團法人自強工業科學基金會，民國 91 年 3 月。

30. 郭永棋，環保政策對電路板產業的影響，經濟部產業技術資訊服務推廣計畫 ITIS，民國 90 年 2 月。
31. 工研院經貿中心產業資訊服務計畫(ITIS)。
32. 工研院，經濟部八十六年度污染防治技術開發及推廣計畫－總報告，經濟部，民國 86 年 6 月。
33. 工業污染防治服務團，電路板業廢水污泥與廢板邊料之特性分析及處理處置方案評估綜合報告，民國 87 年。
34. 台灣電路板協會，電路板業廢棄物清理現況調查與研訂改善因應對策計畫，民國 90 年 7 月。
35. 發明專利案號 091113820。
36. Osaka University，日本電子業界之無鉛情形。
37. 日本 Polymer Digest，1999 年 1 月。
38. 經濟部事業廢棄物個案再利用申請可文件 (910038I)，工業局，民國 91 年 3 月。
39. 曉園出版社，化工化學百科辭典，1992 年。

附錄 技術供應商名錄

由於電路板業之製程特性相當適合執行資源化工作，因此，可應用於廠內外物料回收再利用之系統很多，全世界有能力製造及供應這些回收系統的廠商也相當多，本章將整理主要技術供應商之公司名稱、住址、電話、傳真等相關資料。同時也將目前已知之國內代理商資料一併加以整理，以方便工廠在評估回收系統時之參考。附表一為整理主要技術或系統供應商及代理商的公司名錄，至於相關各公司之連絡資料則詳列於附表二。工廠在選擇技術或系統供應商時，可再依廠商是否具有相當之人員組織、良好之售後服務能力及設備在市場銷售情形等因素進行評估。

附表一 主要技術或系統供應商及代理商名錄

廠商產品類別	國內、外供應商	代理商
離子交換與電解回收系統	1.Eco-tec Inc. 2.kinetico Engineered Systems 3.Memtek Corporation 4.Napco Inc. 5.U.S. Filter Corp. (Lancy International, Inc.) 6.Dornier System GmbH 7.Trionetics Inc. 8.enviro-cell Umwelttechnik GmbH 9.RENOVARE 10.衛司特科技股份有限公司	1.無 2.光洋應用材料科技股份有限公司 3.無 4.友大工業股份有限公司 5.榮環工程股份有限公司 6.無 7.無 8.華禹實業股份有限公司 9.昶緣興化學工業股份有限公司 10.無
冷卻結晶系統	1.Uyemura International 2.Circuit Chemistry Equipment, Inc. 3.雷曼德有限公司	1.無 2.無 3.無
銅粉過濾回收系統	1.Atotech, USA Inc., Chemcut 2.Schmid Systems Inc. (Gebr. Schmid) 3.Gyrex Talus Industries 4.Marseco Inc. 5.Touei Aqua-Tech Co. Ltd. 6.友大工業股份有限公司 7.亞智股份有限公司	1.無 2.揚博企業股份有限公司 3.和友貿易有限公司 4.無 5.天丞企業股份有限公司 6.無 7.無

附表一 主要技術或系統供應商及國內代理商名錄（續）

廠商產品類別	國內、外供應商	代理商
電透析系統	1.Pure Cycle Environmental Technology 2.Ionics Inc.	1.無 2.力洪實業股份有限公司
蝕刻液回收系統	1.Sigmametallextrakton AB 2.FSL Inc.(Cupric chloride) 3.Atotech USA Inc., Chemcut (ammoniacal) 4.Galik Advanced Recovery Systems 5.Eco-tec Inc.	1.昶緣實業股份有限公司 2.好德企業股份有限公司 3.無 4.無 5.無
化學銅處理回收系統	1.Memtek Corporation 2.Kinetico Engineered Systems 3.Shipley Corp. 4.MacDermid Systems Inc. 5.Enthone-OMI, Inc. 6.Circuit Chemistry Equipment, Inc. 7.昶緣興化學工業(股)公司	1.無 2.光洋應用材料科技股份有限公司 3.無 4.無 5.無 6.無 7.無
硝酸剝掛液處	1.Eco-tec Inc. 2.Pure Cycle Environmental Technology	1.無 2.振捷科技顧問公司
陰極板及陽極板	1.Eltech International Corporation 2.BEWT (Chemlec M. Recovery Systems) 3.Electrode Products Inc. 4.Heraeus Englehard Electrochemical 5.Intrepid Industries 6.RENOVARE	1.光洋應用材料 2.福傳企業股份有限公司 3.無 4.無 5.無 6.昶緣興化學工業股份有限公司
離子交換樹脂	1.Rohm & Haas 2.Sybron Chemicals Inc. 3.The Purolite Company 4.Dow Chemical Company	1.無 2.無 3.英商普特樹脂股份有限公司 4.台灣陶氏化學股份有限公司
顯像剝膜液過濾處理系統	1.Morton Electronic Materials (Dynachem Electronics Materials) 2.Memtek Corporation 3.DuPont Electronics 4.協磁股份有限公司	1.無 2.無 3.無 4.無

附表二 主要技術或系統供應商及代理商相關各公司之連絡資料

碼次	公司	連絡住址	連絡電話	連絡傳真
1	Aporate Officew	3236 Falcon Ridge Road ,Diamond Bar, CA 91765 (USA)	1909 861 6990	1909 861 1120
2	Atotech USA Inc. Chemcut Equipment Group	500 Science Park Road ,State College, PA 16803	1 814 238 0514	1 814 234 6545
3	BEWT (Water Engineers) Limited	Tything Road, Alcester, Warwickshire, England B49 6ES	(0789) 763 669	(0789)400274
4	Circuit Chemistry Equipment, Inc.	2687 West Wayzata Boulevard Long Lake, MN 55356 (USA)	1-612 476 2025	1-612 476 2560
5	Dornier System GmbH	Postfach 136-0 7990 Friedichshafen, Germany		
6	Dow Chemical (Dowex Resins) USA International Division	Texas (USA)	1 409 238 9351	1 409 238 9309
7	DuPont Electronics	14 T W Alexander Drive P.O. Box 13999, Research Triangle Park, North Carolina 27709-3999(U.S.A)	1 919 248 5046	1 919 248 5132
8	Eco-tec Inc.	925 Brock Road ,South Pickering, Ontario L1W 2X9 Canada	1-416 831 3400	1-416 831 3409
9	Electrode Products, Inc.	163 Washington Valley Road ,Unit No. 101 Warren, New Jersey 07059(USA)	1 908 302 1686	1 908 627 9496
10	Eltech International Corporation(Subsidiary of Eltech Systems Corporation)	625 East Street, Fairport Harbor, Ohio, 44077 (USA)	1 (216)357 4065	1 (216) 357 4077
11	Enthone-OMI, Inc. P.O.	Box 1900 New Haven, CT 06508(USA)	1-203 934 8611	1-203 799 1513

附表二 主要技術或系統供應商及代理商相關各公司之連絡資料（續一）

碼次	公司	連絡住址	連絡電話	連絡傳真
12	Finishing Services Limited	Woburn road ,Industrial Estate Postley Road ,Bedfordshire MK42 7BU, Great Britian	(0234) 857 004	(0234)855 712
13	Gyrex Talus Industries	436 East Guitierrez Street, Santa Barbara, California 93101 (USA)	1 805 965 5282	1 805 965 7148
14	Heraeus Englehard Electrochemistry Corporation (HEEC)	2655 Route 22 West Union, New Jersey 07083 (USA)	1 908 205 2841 or 1 800 762 2101	1 908 964 2758
15	Intrepid Industries	P.O. Box 443, Whitehouse Station, NJ 08889	1 908 5324 5300	
16	Ionics Inc.	65 Grove Street Watertown, Massachusetts 02172	1 617 926 2500	1 617 926 4304
17	Kinetico Engineered Systems Incorporated	10845 Kinsman Road ,Newbury, Ohio 44065 (USA)	1 216 564 5397	1 216 338 8694
18	Lancy International, Inc. (A Division of U.S. Fiter Corp.)	191 Thorn Hill Road ,Warrendale, Pennsylvania 15086-7527(USA)	1-412 772 0044	1-412 772 1360
19	MacDermid Systems Inc.	100 River Steer, Section 228 Springfield, Vermont 05156(USA)	1-800 828 0281 or 1 802 885 8089	1-802 885 8068
20	Marseco Inc.(or Transword Circuit Products)	15472 Chemical Lane ,Huntington Beach, California 92649(USA)	1 714 895 5514	1 714 895 4759
21	Memtek Corporation	28 Cook Street, Billerica, MA 01821 (USA)	1-508 667 2828	1-508 667 1731
22	Morton Electronic Materials	790 Turnpike Street,North Andover, Massachusetts 01845(U.S.A.)	1 508 691 5650	1 508 691 5646
23	NAPCO, Inc.	Plymouth Industrial Park P.O. Box 26 Terryville, CT 06786 (USA)	1 203 589 7800	1 203 589 7304

附表二 主要技術或系統供應商及代理商相關各公司之連絡資料 (續二)

碼次	公司	連絡住址	連絡電話	連絡傳真
24	Pall Process Filtration Company	2220 Northern Boulevard, East Hills, NY 11548 (U.S.A.)	1 516 484 5400	1 516 484 5228
25	precision Coatings, Incorporated	8120 Goldie Street, P.O. Box 155, Walled Lake, Michigan 48088-0155(U.S.A.)	1 313 363 8361	
26	Pure Cycle Environmental Technologies, Inc.	20 Wilbraham Street, Palmer, Massachusetts 01069(USA)	1 413 283 8939	1 413 283 4480
27	The Purolite Company	150 Monument Road ,Bala Cynwyd, PA 19004 (USA)	1 215 668 9090	1 215 668 8139
28	Rohm & Haas Company	Independence Mall West, Philadelphia, PA 19105 (USA)	1 215 592 2405	1 215 592 2723
29	Schmid Systems Inc. (總公司 Gebr. Schmid Maschinenfabrik 位於德國)	1650 Indian Wood Circle, P.O. Box 339, Maumee, OH 43537	1-419 893 3353	1-419 893 0056
30	Shibley Company, Inc	Environmental, Health, and Safety Department, 500 Nickerson Road, Marlborough, Massachusetts 01752-4634(USA)	1 800 832 6200 or 1 508 481 7950	1 508 468 8522
31	Sigmametallextrakton AB	Datavagen 51, S-436 32 ASKIM, Sweden	46 31 68 19 25	46 31 68 19 88
32	Sybron chemicals Inc.	P.O. Box 66, Birmingham Road, Birmingham, New Jersey 08011(USA)	1 800 678 0020 or 1 609 893 1100	1 609 894 8641
33	Touei Aqua-Tech Co., LTD.	川崎市中原區市 V 坪 415 番地, Japane	044(434)3677(代)	044(434)3670
34	Trionetics Inc.	2021 Midway Drive, Twinsburg, OH 44087	1-216 425 2846	1-216 425 9704
35	U.S. filter Recovery Services, Inc.	2430 Rose Place, Roseville, Minnesota	(612)633-0079	(612)633-5074
36	力洪實業股份有限公司	台北市和平西路一段 143 號 12F-1	(02)2307-6669	(02)2305-5080

附表二 主要技術或系統供應商及代理商相關各公司之連絡資料（續三）

碼次	公司	連絡住址	連絡電話	連絡傳真
37	友大工業股份有限公司	台北縣樹林鎮三龍街 118 巷 24 號	(02)2688-9171	02)2689-1508
38	天丞企業有限公司	桃園市鹽務路 22 巷 21 號	(02)355-5720	(02)355-5719
39	友勳機械工程股份有限公司	台北市南京東路(P.O. Box 73-56)五段 202 號 3F 之 2	(02)2764-4133	(02)2764-4137
40	台灣陶氏化學股份有限公司	南投市南崗工業區工業南一路 9 號	(049)255-536	(049)255-150
41	英商普特樹脂股份有限公司	台北市松山區復興北路 191 號 16F 之 2	(02)25467078	(02)25467069
42	和友貿易有限公司	台北市建國北路二段 33 號 14F	(02)2503-6929	(02)2505-5831
43	衛司特科技股份有限公司	台中市西屯區廣福路 150 巷 20 之 1 號	(04)27010303	(04)27012323
44	昶緣興化學工業股份有限公司	台北縣土城市永豐路 195 巷 19 號	(02)270-5851	(02)265-3301
45	亞智股份有限公司	中壢市工業區南園路 4F	(03)452-9811	(03)452-9810
46	光洋應用材料科技股份有限公司	台南市西門路二段 351 號 4F	(06)228-4693	(06)228-0544
47	華禹實業股份有限公司	台北市民生東路二段 172 號 3F	(02)2509-0509	(02)2505-9875
48	揚博企業股份有限公司	桃園縣蘆竹鄉南崁路二段 66 號 4F-5	(03)322-5001	(03)322-3064
49	福傳企業股份有限公司	台中市精誠路 132 巷 5 號 5F	(04)2325-3794	(04)2325-5026
50	榮環工程股份有限公司	台北市和平東路二段 297 號 2F	(02)2702-7700	(02)2702-7702
51	雷曼德有限公司	桃園縣龜山鄉中興路 10 號	(03)319-1866	(03)320-8088
52	協磁股份有限公司	桃園縣蘆竹鄉錦中村錦順街 48 之 9 號 1 樓	(03)352-7225-8	(03)322-7229
53	昶昕實業股份有限公司	台北縣土城市永豐路 195 巷 19 號	(02)2270-5851	(02)2265-3301