

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.....	5
第三章 廢棄物特性與處理現況.....	17
3.1 製程與污染特性分析.....	17
3.2 廢棄物來源及特性.....	22
3.3 廢棄物產生量及清理現況.....	27
第四章 清潔生產.....	32
4.1 廠內管理.....	32
4.1.1 物料管理.....	32
4.1.2 製程管理.....	35
4.2 環境化設計.....	36
4.2.1 原料替代.....	36
4.2.2 製程改善.....	40
4.2.3 環境化設計趨勢.....	42
第五章 資源化技術.....	44
5.1 製程廢水回收金屬.....	44
5.2 鉻系廢液及污泥回收鉻酸鹽.....	53
5.3 綜合污泥回收金屬.....	55
5.4 污泥混鍊再生材料.....	62
第六章 設備選用程序與評估.....	67
6.1 設備選用程序.....	67

6.1.1 作業程序.....	67
6.1.2 顧問聘請.....	69
6.2 供應商評估.....	70
6.2.1 供應商評估及選擇.....	70
6.2.2 代理商服務及維護能力評定.....	72
第七章 資源化案例.....	73
7.1 大氣蒸發濃縮設備回收鉻酸.....	73
7.2 流體化床電解設備回收鎳.....	76
7.3 超過濾處理設備回收鎳鍍液.....	78
7.4 逆滲透處理設備回收鎳鍍液.....	81
7.5 離子交換法回收鉻酸.....	85
7.6 離子交換法配合密閉蒸發濃縮法回收鉻酸.....	89
7.7 電鍍污泥資源化再生陶瓷色料.....	92
名詞解釋.....	95
參考文獻.....	99
附錄 技術供應商名錄.....	100

圖 目 錄

圖 2.1	台灣區電鍍工廠暨會員分佈圖	4
圖 2.2	有色皮膜之鉻酸鹽處理流程	13
圖 2.3	光澤皮膜之鉻酸鹽處理流程	14
圖 3.1	工業電鍍典型製程與污染來源分析	18
圖 3.2	裝飾電鍍典型製程與污染來源分析	18
圖 3.3	電子電鍍典型製程與污染來源分析	19
圖 3.4	塑膠電鍍典型製程與污染來源分析	20
圖 3.5	90 年度金屬製成品表面處理業事業廢棄物上網申報處理方式	31
圖 5.1	大氣蒸發濃縮構造圖	45
圖 5.2	離子交換膜分離機構示意圖	46
圖 5.3	隔膜電解流程圖	48
圖 5.4	流體化床電解流程	49
圖 5.5	鍍鎳作業採用逆滲透回收系統實例	50
圖 5.6	離子交換樹脂回收鉻酸流程	51
圖 5.7	離子交換樹脂回收硫酸鎳/鎳流程	51
圖 5.8	重金屬流體化床結晶處理流程	53
圖 5.9	鉻酸鈉回收流程	55
圖 5.10	置換電解金屬回收處理流程(Recontek).....	57
圖 5.11	氨浸萃取技術處理流程.....	58
圖 5.12	液化槽.....	61
圖 5.13	MR3 系統模組	61
圖 5.14	電鍍污泥製造陶瓷顏料製品流程	64
圖 5.15	電鍍污泥與廢塑膠混鍊製作改質塑膠製品流程	65

圖 5.16	電鍍污泥製造實心黏土磚流程	66
圖 7.1	大氣蒸發濃縮設備之處理流程	74
圖 7.2	流體化床電解回收設備處理流程	77
圖 7.3	超過濾設備處理回收鍍液	80
圖 7.4	過濾板式過濾機上視圖	82
圖 7.5	過濾板式過濾機剖面圖	82
圖 7.6	以逆滲透系統處理回收鍍帶出液流程	83
圖 7.7	電鍍工廠鉻酸離子交換回收處理流程	87
圖 7.8	密閉式蒸發濃縮鉻酸回收系統處理流程	90

表 目 錄

表 2.1	台灣區電鍍工廠暨會員分佈概況	3
表 3.1	一般電鍍廢水水質	20
表 3.2	各類型電鍍工廠單位產品廢水量	21
表 3.3	工業電鍍工廠單位產品污染量	21
表 3.4	裝飾電鍍工廠單位產品污染量	21
表 3.5	電子電鍍工廠單位產品污染量	22
表 3.6	塑膠電鍍工廠單位產品污染量	22
表 3.7	電鍍污泥重金屬分析	23
表 3.8	各類電鍍污泥重金屬分析	24
表 3.9	電鍍污泥物理特性分析	25
表 3.10	電鍍污泥化學特性分析	25
表 3.11	鉻系廢液特性分析	26
表 3.12	90 年度金屬製成品表面處理業事業廢棄物上網申報資料	28
表 4.1	常見的預防洩漏方法	34
表 4.2	原物料改善方法	36
表 4.3	鍍液內雜質粒徑分佈	37
表 4.4	低污染性或低毒性之電鍍製程	39
表 4.5	為減少鍍槽液帶出方式與內容說明	41
表 4.6	為延長鍍槽液使用期限的方法說明	42
表 5.1	典型污泥組成份	57
表 7.1	裝設大氣蒸發濃縮設備後鍍鉻槽、靜止水洗槽及水洗槽六價鉻濃度	75
表 7.2	大氣蒸發濃縮設備回收鉻酸之效益評估	75
表 7.3	流體化床電解設備回收鎳之效益評估	78

表 7.4	超過濾處理設備回收鎳鍍液之效益評估.....	80
表 7.5	逆滲透處理設備回收鍍鎳液之效益評估.....	85
表 7.6	離子交樹脂塔樹脂種類、密度及使用量.....	87
表 7.7	離子交樹脂回收鉻酸之效益評估.....	88
表 7.8	密閉蒸發濃縮設備回收鉻酸之效益評估.....	92
表 7.9	電鍍污泥製造陶瓷色料產品性能.....	94

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，其中電鍍業部份於民國八十五年編撰成「電鍍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，感謝中央大學環境工程研究所王鯤生教授、工研院環安中心蔡振球經理及游惠宋經理、中華民國電鍍科技研究發展協會蔡國鈞榮譽副理事長及博台國際科技有限公司吳仲謀總經理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。

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。因此，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。

電鍍在國內已有相當悠久的歷史，也是產品完成過程中重要的加工部份，大至汽機車、機械及電子工業之零組件，小至珠寶飾品等物件，均須經由電鍍加工來加強其防蝕、耐磨、導電及光澤性，進而提高產品的附加價值，對國內整體工業及經濟發展有很大的貢獻。由於電鍍製程中須使用大量有機性及無機性化學原料，排放之廢水與廢液不但污染濃度高低相差懸殊，且常含有大量的重金屬離子及含有毒性的氰化物及六價鉻，此等廢棄物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，因此彙整國內電鍍業廢棄物資源化技術，供業者參考應用，以解決廢棄物處理問題。

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，就電鍍業做一輪廓式之敘述，並說明產業現況，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設備時，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

電鍍製程係一多功能之加工技術，亦即可藉由不同的電鍍過程進行鍍件表面處理，以達成其不同之功能訴求，如耐磨防蝕性的提升，表面光澤裝飾性功能的增進等。依據台灣區電鍍工業同業公會之資料顯示，截至民國 90 年 12 月底，加入同業公會的會員家數總計有 319 家，詳如表 2.1。近年來由於整個產業經濟與景氣的不佳、環保與勞工問題的持續醞酵及產業上中下游的群聚移出效應，致使電鍍工廠的數量急遽的萎縮。

以產業模式而言，根據中技社歷年來輔導電鍍工廠所建立的工廠資料統計，絕大多數的電鍍業工廠其資本額普遍小於 6,000 萬元以下，其中小於 1,000 萬元以下者，約佔 61.5%。而資本額更小於 500 萬元以下者，則佔 49.1%。亦即本行業有近五成的工廠規模皆小於 500 萬之小型工廠，整體而言，大多數的廠商皆適用於中小企業的定義。

表 2.1 台灣區電鍍工廠暨會員分佈概況

縣市 項目	台北	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	南投	嘉義	台南	高雄	合計
會員家數	87	49	3	1	65	34	4	1	61	14	319
贊助家數*	3	1	0	0	6	1	0	0	0	0	11

資料來源：91 年度台灣區電鍍同業公會第五屆第三次會員大會手冊

*：贊助廠商並非為電鍍業者，為賣設備或藥劑之業者，因電鍍公會邀請而加入繳費並贊助。

以電鍍工廠的分佈而言，以北部（台北縣、桃園縣）為主，約佔 43%，其分佈情形如圖 2.1。

以工廠製程規模統計，絕大多數的中小型工廠，廠房面積多在 100 坪以下，鍍槽量在 8,000 公升以下者佔 70%；在生產流程方面未採用自動化者佔 80%；在廢水處理方面，雖有半數之工廠已有回收廢水處理設備，但多數設備簡單；有鍍

液回收設備者佔 22%；在低污染技術方面，採用無氰電鍍者約佔 38%；電鍍方式以吊鍍為主。

由於電鍍業之經營，其規模大小不一，且仍有很多業者為未辦理工廠登記的所謂地下工廠，尤有甚者，部分工廠時而營業時而歇業。因此，國內目前究竟有多少家工廠，眾說紛云，難以查證，惟依台灣區電鍍同業公會的資料顯示，目前國內領有工廠登記之電鍍廠約 630 家。

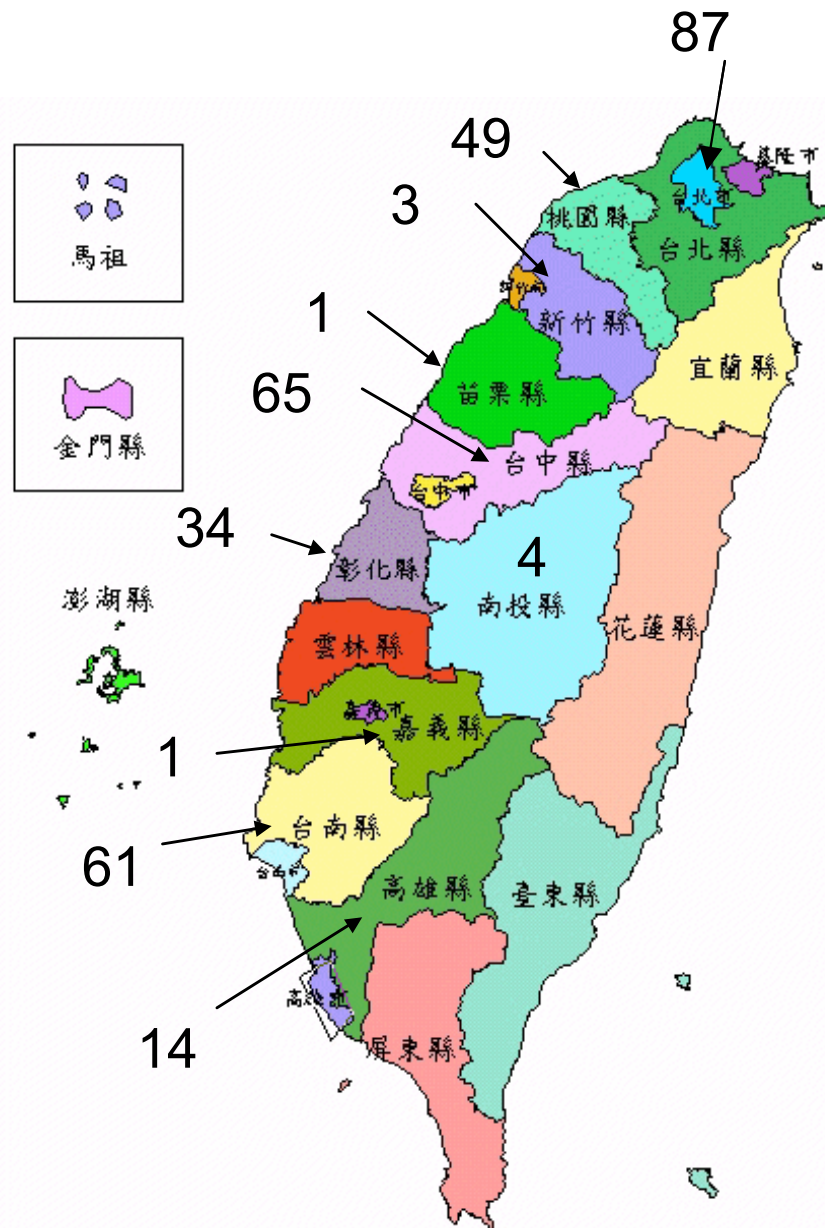


圖 2.1 台灣區電鍍工廠暨會員分佈圖

因電鍍本身並非一項「產品」。而為各項產品的加工製程，因此無法概估其產量究為多少，同時由於其營業包括代客加工、自產自鍍或者兼而有之。此外，很多工廠未加入公會，尚無法全然掌握所有電鍍工廠的生產概況，更增加了核算其總產量的困難。以政府歷年編制「各項產品之產銷存統計表」涵蓋產品 1,500 種以上，內容中亦無電鍍產品一項。根據相關研究表示，於公元 2000 年國內電鍍工業之相關產品總值，以現有登記之一般電鍍工廠總數計算，初步估計相關產值約在 5,000 億以上，較 1999 年約負成長 8.5%。由於電鍍工廠大多屬中小型工廠，據估計平均每廠每年的營業額約為 1,500 萬元。

電鍍工業乃是一項結合傳統與高科技同步成長的產業，更是人類提升生活品質不可或缺的科技工業，然而近年來因市場與環境的急遽變遷，該行業面臨了環保、工安、電力、勞工及土地等壓力，使得該行業的永續發展受到極大的影響，並造成在技術研發、提升及推動上的困難。此外，因應國際性綠色產品趨勢的影響，各式高科技產品因環保意識高漲，愈來愈多被要求製造過程的清潔生產（譬如無鉛電鍍、三價鉻取代六價鉻製程等），面對這樣的趨勢與壓力，電鍍業在面臨產業升級的關鍵時刻，亦衝擊著以往傳統式家族經營的電鍍業者。

2.2 製程概述

電鍍製程是工業製品完成過程中重要的加工程序，依其製程的特性，主要可分為拋光與研磨、前處理、電鍍及後處理四個程序。前處理程序包含研磨、拋光、脫脂及除銹等，經常需使用研磨劑、拋光劑、脫脂劑及酸液等化學藥品。電鍍程序則依產品功能的要求分別鍍上所需要的金屬鍍層，如鍍銅、鎳、鉻、鋅、銀、金等金屬，各類鍍液之主要成分則有硫酸銅、焦磷酸銅、硫酸鎳、氯化鎳、鉻酸、氰化亞銅及氰化銀等。後處理程序主要有金屬鹽皮膜處理、塗裝及乾燥等，使用之化學藥劑需具有金屬鹽及水性或溶劑型塗料。由於電鍍加工製程種類很多，有的用以增加鍍件之耐磨性、防蝕或導電等性能，有的用來提升產品之光澤性。因此，依鍍材質及功能不同，又可概分為工業電鍍、裝飾電鍍、電子電鍍或塑膠電鍍等。以下依據四個製程特性，簡單介紹之。

2.2.1 拋光與研磨

1. 機械拋光(polishing)

當鍍件表面有嚴重氧化物、鏽斑與刮痕時，在鍍件上掛架進行電鍍之前，常須先採用機械拋光與研磨之方法，以獲得較光滑的金屬表面。拋光是利用拋光輪（帶）將金屬表面磨光。為利於與拋光輪（帶）有較好的接觸面，並便於操作員之作業，進行機械拋光的鍍件必須要有較平整之表面。由於拋光可使鍍件表面平整光亮，並呈現鏡面效果，故多用於品質要求較高之鍍件。此外，亦有廠商採用量產型的振動研磨法，將鍍件置入一容器內，加入清潔劑、研磨石，利用容器不斷振動，使其相互碰撞磨擦，以得到較光潔之金屬面。

2.化學研磨(grinding)

化學研磨乃針對形狀複雜或體積較小的鍍件，加入化學研磨劑來進行研磨，甚至再導入電流進行電解研磨，以達到光潔鍍件之目的。但因鍍件本物材質、藥劑種類與濃度之不同，其處理之效能亦有所不同。

2.2.2 前處理

前處理乃是鍍件正式電鍍前之單元，其涵蓋上架／裝桶、脫脂、酸洗等步驟，以下簡單介紹各單元之特性。

1.上架／裝桶

本單元的主要目的乃將欲鍍之鍍件，依其鍍件特性逐一掛於可導電之適當型式金屬掛架上，以利於後續的操作與電鍍程序的進行。由於電鍍作業過程中，掛架和鍍件皆為陰極，為避免金屬鍍於掛架上，整個掛架除了必須接觸導電處外，均須覆一層不導電的保護膜。一般大型的鍍件或品質要求較高的小鍍件，須以掛鍍電鍍(rack plating)方式進行電鍍，而鍍件體積小、數量多或不易使用掛架時，則常用滾桶電鍍(barrel plating)方式進行電鍍。其作業方式乃將小鍍件置入桶內，滾桶可利用齒輪運轉，使鍍件在藥液中翻動並充分潤濕，當滾桶浸入電鍍槽時，鍍件利用本身重疊與插入桶內之活動陰極接頭相接觸，而與外界電源相通方式進行電鍍。

2.脫脂

除前述之上架／裝桶作業外，脫脂程序的良劣，將影響到電鍍的品質。大部份電鍍金屬不易鍍著或與底材結合不佳等品質不良的原因，皆和底材不乾淨有絕對的關係。而底材不乾淨主要源自底材表面處理的過程中，使用熱處理、切削加工、磨光作業以及其他搬運操作程序，會有污染物依附在底材表面，常

見的污染物包括有：各種油脂、鏽斑或塵土等。

脫脂的步驟、方法、藥劑，視處理的材質、污垢的性質、清潔要求的程度而定。脫脂的方法分為浸漬、噴灑和電解三種。其中，電解法係將鍍件當作陰極或陽極，浸入電解液中予以通電，利用電解水所產生的氫、氧氣泡之沖刷作用來達到清除污垢之目的。浸漬法之效果與攪拌關係密切，常有使用超音波振盪來獲得高強度之攪拌作用，以提升去除污垢之效果。

脫脂程序最普遍使用之藥劑為氫氧化鈉(NaOH)、偏矽酸鈉(Na_2SiO_3)、聚磷酸鈉($\text{Na}_5\text{PO}_{10}$)、碳酸鈉(Na_2CO_3)和界面活性劑之混合劑，其性質與一般市售之脫脂劑性質相近。至於有機溶劑雖然可用來做清洗劑，但近年來因考量其造成的環保問題，已較少使用。

3. 酸洗

酸洗(acidic cleaning)之目的乃是透過不同種類酸液的選擇，將欲電鍍底材表面上的氧化皮膜或其他保護層進行浸蝕，以利後續電鍍程序之進行。常見的酸洗液種類包括：硫酸、鹽酸、硝酸、氫氟酸、磷酸或混合酸等，各種酸液的選用原因及其考量因素分述如下：

(1) 硫酸

常溫下的硫酸溶液對金屬氧化物的溶解能力較弱，即使提高溶液濃度，仍無法顯著的提高硫酸的浸蝕能力。當濃度達到 40% 以上時，對氧化鐵的溶解能力顯著降低；達到 60% 以上時，則氧化皮膜幾乎不能溶解。熱硫酸對鋼鐵基體浸蝕能力較強，對氧化皮膜有較大的剝落作用。但溫度過高時容易造成過腐蝕，並使鋼鐵基體產生氫脆現象。故一般只加熱至 50~60°C，不宜超過 75°C，而且還要加入適當的抑制劑。鋼鐵物件一般在 10~20% (體積百分比) 硫酸溶液中浸蝕，溫度為 40°C。當溶液中含鐵量超過 80 g/L、硫酸亞鐵超過 215 g/L 時，應更換浸蝕溶液。

硫酸溶液廣泛用於鋼鐵、銅和黃銅物件的浸蝕。硫酸與鉻酸及重鉻酸鹽的混合液用於去除鋁材表面的氧化皮膜，而與氫氟酸、硝酸或二者之一混合用於去除不鏽鋼表面的氧化皮膜，其中硫酸陽極浸漬是除去鋼鐵氧化皮膜的有效方法之一。

(2) 鹽酸

常溫下的鹽酸溶液對金屬氧化物具有較強的化學溶蝕作用，而對鋼鐵基體的溶蝕卻比較緩慢，使用鹽酸浸蝕不易發生過腐蝕和氫脆現象。鹽酸可在室溫下有效浸蝕多種金屬，當濃度、溫度相同時，鹽酸浸蝕速度比硫酸快 1.5~2 倍。鹽酸浸蝕液通常是在室溫下進行，使用 20~80%（體積百分比）的鹽酸溶液。

(3)硝酸

硝酸是許多光亮浸蝕液的重要成份。硝酸與氫氟酸的混合液廣泛用於去除鉛、不鏽鋼、鎳基和鐵基合金、鈦、鋯及某些鈷基合金上的熱處理氧化皮膜。硝酸和硫酸之混合液可作為銅及銅合金物件之光澤浸蝕液。

(4)氫氟酸

氫氟酸能溶解含矽的化合物，對鉻、鋁的氧化物也有較好的溶解能力。氫氟酸具強腐蝕性，且揮發性強，使用時宜特別小心。

(5)磷酸

磷酸廣泛應用於鋼鐵物件的除鏽，主要是在鋼鐵焊接組零件之噴塗漆上除鏽。例如 2% 的磷酸，在溫度 80°C 時，用於鋼鐵件除鏽效果很好。磷酸與硝酸、硫酸、醋酸或鉻酸混合，可用於鋁、銅、鋼鐵等金屬的光亮浸蝕。

(6)抑制劑

浸蝕液加入抑制劑，可以防止浸蝕超過基體而造成過腐蝕，並避免發生氫脆現象。惟抑制劑以薄膜狀殘留於物件表面上，故浸蝕後須進行徹底之清洗，否則鍍層的密著性會變差。抑制劑之組成大多屬有機化合物，多數是具有不同結構的含氮或含硫有機化合物。例如若丁（主要成份為二磷甲苯硫）、硫、硫銨等，另外氯化亞錫也有抑制作用。

2.2.3 電鍍

常見的電鍍作業往往為幾個連續步驟所組成，包括有底層鍍銅、中層鍍鎳及上層鍍鉻等。以下依各鍍層之特性，簡單分述如下：

1. 鍍銅

銅為紅棕色之金屬，具導電與導熱性佳之特性，材質柔軟而容易拋光，但銅在空氣中容易氧化，易受水份、二氧化碳和含硫氣體之影響，而於表面產生

氧化膜、硫化物和碳酸銅等。

鍍銅層是一種重要的底層處理程序，鋁件、鋅壓鑄件、錫焊件及鉛錫合金等物件電鍍常須預鍍銅，此外，青銅（銅錫合金）亦須預鍍銅，以提高鍍層與物件間的密著性。

鍍銅層亦是一重要的中間鍍層，鋼鐵件和鋅壓鑄件上常鍍銅-鎳-鉻鍍層，無孔隙的銅中間層能提高耐蝕性。塑膠材料上鍍銅中間層，可使塑膠材料物件之抗熱及抗衝擊性能提高，且能耐戶外惡劣天候。以下就各鍍銅方式簡述如下：

(1) 氰化銅浴

氰化銅浴是應用較廣的鍍銅方式，一般使用上可分成三類：預鍍銅液、含酒石酸鉀鈉溶液和高效率氰化銅溶液。預鍍溶液使鍍層均一鍍著於鍍件表面的能力較高，但電流效率低，只適用於薄層預鍍，主要用於鋅壓鑄件。高效率氰化鍍銅溶液電流效率達 100%，且沈積速度快，鍍層光亮。含酒石酸鉀鈉溶液性能介於上述兩種之間，但一般用於鍍層厚度不需太厚的電鍍加工。一般而言，氰化銅浴電鍍製程上，因氰化物屬劇毒性物質，使用操作上宜特別小心謹慎。

(2) 硫酸銅浴

硫酸銅浴之電鍍沈積速率亦相當快，適用於厚鍍層之電鍍，且其組成成份單純，溶液性質穩定，作業過程中不會產生有害氣體。該溶液中添加合適的光澤劑可得到全光亮鍍層，平整性良好。一般電鍍用的高銅低酸溶液的均鍍能力較差。在鋼鐵底材和鋅鑄件上用硫酸銅溶液需進行預鍍。

硫酸銅浴的主要成份是硫酸銅和硫酸。硫酸銅是主鹽，硫酸則是導電物質，同時能改善鍍層外觀。若欲增進表面光澤，亦可添加潤濕劑、光澤劑及平整劑等所組合而成之添加劑。

(3) 焦磷酸銅浴

焦磷酸銅溶液的優點是均鍍能力佳，無毒性且腐蝕性小。焦磷酸銅的缺點是鍍液黏滯性大，不易過濾，長期使用後焦磷酸會被氧化成正磷酸鹽，使得電鍍沈積速率下降，因而造成其使用壽命短、廢水處理廠負荷高等現象。溶液中焦磷酸鹽是主鹽，磷酸根能提高電流密度，並改善銅層質感，氫使鍍層沈積細化呈現光澤，並促進陽極銅板的溶解，有機添加劑可使鍍層光亮、

平滑，正磷酸鹽有緩衝作用並能促進陽極溶解。

(4) 氟硼酸銅浴

氟硼酸銅溶液可在較高的電流密度下操作，沈積速度亦較快，溶液易於維護。缺點是腐蝕性大，同時氟硼酸於廢水處理上亦有困難。

2. 鍍鎳

鎳是銀白色的金屬，能耐稀硫酸和稀鹼，但會受濃鹽酸、氨水、硝酸、鉍鹽、氰化物的腐蝕。鎳在空氣中不穩定，光亮的表面在空氣中會變暗。鎳鍍層相對於鐵底材屬陰極性鍍層，且鍍鎳層呈多孔結構，易導致底材之腐蝕。因此，鋼鐵物件進行電鍍加工常採用銅-鎳-鉻防護層。此外，亦有採用多重鎳-鉻鍍層，藉由不同鎳層組合來提高防護性能。鎳的硬度高，故鎳鍍層常用於需要硬度和耐磨性的場合，例如塑料成型模具等之電鍍。

3. 裝飾保護性鍍鉻

鉻是最重要的防護、裝飾性鍍層之一。由於鉻表面很容易生成鈍化膜（氧化膜），因此在空氣中很穩定，不易變色和失去光澤。除了鹽酸和熱硫酸之外，其他物質對鉻沒有浸蝕作用。鉻鍍層的組織結構與鑄造的鉻不同，鉻鍍層有很高的硬度和耐磨性，常用於零件修復或易磨損物件的電鍍加工。

鍍鉻溶液之主要組成為鉻酸，以及少量含有陰離子之催化劑，用 SO_3^{2-} 作催化劑的溶液稱為普通鍍鉻溶液；用 SO_4^{2-} 和 SiF_6^{2-} 作催化劑的溶液稱混合鍍鉻溶液；用 SrSO_4 和 K_2SiFe_6 作催化劑的溶液稱為自動調節鍍鉻酸液。此外，在鉻酸溶液中加入其他成份，而成為四鉻酸鹽鍍鉻溶液，則稱為快速鍍鉻溶液。

為了提高銅-鎳-鉻或鎳-鉻鍍層的耐腐蝕性，發展了取代微孔鉻層、無裂紋或微裂紋鉻層的技術。為了減少六價鉻的污染，發展了低濃度鍍鉻法、三價鉻鍍鉻法及無鉻電鍍法等。三價鉻電鍍的優點是毒性小、廢水處理簡單容易，溶液可在室溫下操作，深鍍能力好。但鍍層略帶黃色，與不鏽鋼顏色相近，鍍層內應力較大，屬微裂紋性質，由於溶液的穩定性較差，因此在工業上還未普遍使用。但由於綠色產品為未來之訴求與發展重點，故無鉻電鍍則將為未來發展重點。

4. 工業用鍍鉻

工業用鍍鉻是在各種被鍍底材上電鍍較厚的鉻層，鉻層的厚度依鍍件之用途而異，一般在 2 mm 以上。工業用鍍鉻可採用各種類型的鍍鉻溶液，但常用普通鍍鉻溶液，因為含氟化物的溶液容易腐蝕底材上未沈積鉻層之凹處部份。工業用鍍鉻應用很廣，如切削和拉拔工具、模具、軸承、量具、汽缸、機械手臂等常經工業用鍍鉻加工處理者，皆使用工業用鍍鉻方式進行表面處理。

5. 鍍鋅

鋅易溶於酸，也能溶於鹼，屬於兩性金屬。鋅在乾燥的空氣中幾乎不發生變化。在潮濕的空氣中，鋅表面會生成碳酸鋅膜。在含二氧化硫、硫化氫以及海邊鹽份空氣中鋅的耐蝕性較差，尤其在高溫、高濕及含有機酸的環境中，鋅鍍層極易被腐蝕。

鋅對鋼鐵底材而言，鋅鍍層屬於陽極性鍍層，故可用於防止鋼鐵的腐蝕，其防護性能的優劣則與鍍層厚度關係甚大。此外，鋅鍍層再經鈍化處理，染色或塗覆護光劑後，更能顯著提高防護性和裝飾性。

鍍鋅溶液有氰化物鍍液和無氰化物鍍液兩類。氰化物鍍液又可區分為微氰、低氰、中氰和高氰等四個鍍液。無氰鍍液分為鹼性鋅酸鹽、銨鹽、硫酸鹽及無氮氯化物等鍍液。氰化鍍鋅溶液均鍍能力佳，沈積之鍍層光滑細緻，較被廣泛採用。但由於氰化物具有劇毒性，若處理不當易對環境造成污染，近年來業界已趨向於採低氰、微氰或無氰之鍍鋅溶液。

6. 鍍錫

錫為銀白色的金屬，無毒，可焊性與延展性佳，在一般條件下，錫鍍層對鋼鐵底材而言，屬陰極性鍍層。若錫鍍層達到沒有孔隙的厚度時，錫即具有很好的防護作用。因此，薄鋼板鍍錫是錫鍍層最主要的用途。被於錫鍍層需具可焊性好、在空氣中不易變色，而且幾乎不與硫化物作用等特性，因此銅引線、焊片等零件可以用鍍錫來代替鍍銀；另外與橡膠接觸的零件亦常採用鍍錫方式。錫鍍層也可用於減磨、防止活塞卡死、提高精密螺紋件的密封性，還可作防滲鍍層使用。

7. 鍍錫鉛合金

錫鉛合金鍍層工業上應用很廣，含錫 5~15% 的合金鍍在鋼帶上可提高防腐蝕能力、可焊性及與油漆的結合力，並有潤滑性能。含錫 6~20% 的合金鍍

層用作軸承的減磨鍍層，以提高電子元件引線的可焊性。含錫 60~63%的合金鍍層用作印刷電路板的抗蝕和焊接鍍層。純錫層中加入 1~3%的鉛合金成份能防止生長錫鬚。

由於鉛、錫的析出電位相差很小，在氟硼酸鹽鍍錫合金溶液中，改變鉛鹽和錫鹽的含量可以得到從純錫到純鉛間所有比例的合金鍍層。鍍液中錫鹽含量愈高，鍍層中含錫量也愈高。鍍層中含錫量還隨電流密度升高而加大。

工業上使用的是氟硼酸鹽溶液、焦磷酸鹽溶液、胺基磺酸鹽溶液等，其中以氟硼酸鹽溶液使用較為廣泛，因其溶液成份簡單，可以得到各種成份的合金鍍層。使用高均鍍能力鍍液時，均鍍能力可達 80%，能滿足印刷電路板小深孔電鍍的要求。加入合適的添加劑則能得到光亮鍍層。溶液維護簡單，鍍層成分容易控制，能使用合金陽極。但是氟硼酸鹽溶液腐蝕性極強，廢水處理上亦較為複雜且成本高。

8. 鍍金

鍍金依其功能區分為電子工業鍍金和裝飾用鍍金兩種。金具有高的化學穩定性，只溶於王水，不溶於其他酸，金鍍層耐蝕性強，導電性好，易於焊接，耐高溫，硬金並具有一定的耐磨性。因而它廣泛應用於精密儀器儀表、印刷電路板、積體電路、電子管殼、電接點等，各種要求電參數性能長期穩定的電子零件電鍍。鍍金層外觀為金黃色，延展性好，易拋光，而且具有很好的抗變色性能。因此，在銀層上鍍金可以防止變色。金合金鍍層可呈現多種色調，故常用於裝飾性鍍層，如鍍首飾、鐘錶零件和藝術錶等。但由於金的價格昂貴，應用上受到一定的限制。

9. 鍍銀

鍍銀之功能分為工業鍍銀與裝飾鍍銀。工業鍍銀主要是作為價格昂貴的鍍鉻之替代品，裝飾鍍銀因易於變色，故需要後處理如鉻酸化或上漆等。電子工業、儀器製造業及無線電產品的零件等，大多使用鍍銀以減少金屬表面的接觸電阻，提高金屬的焊接能力；家庭用具、餐具和各種工藝品透過鍍銀以達到裝飾的目的。鍍銀溶液主要區分為含氰化物鍍銀溶液和無氰化物鍍銀溶液等兩種。為減少氰化物的使用，以降低氰化物於操作或對環境的危害，近來無氰鍍銀為業者研發的重點。

2.2.4 後處理

後處理單元乃是鍍件完成電鍍後之最後整理單元，包括有乾燥、鉻酸鹽皮膜處理及上漆等。簡單介紹如下：

1. 乾燥

鍍好的物件經清洗後，自掛架或滾桶取出後，需進行乾燥處理。最簡單的乾燥方法乃是自然乾燥，但對於大規模的生產作業者而言，須有更有效的乾燥方式。現行電鍍業者常使用離心脫水、自動化烘乾或紅外線烘乾方式進行之。

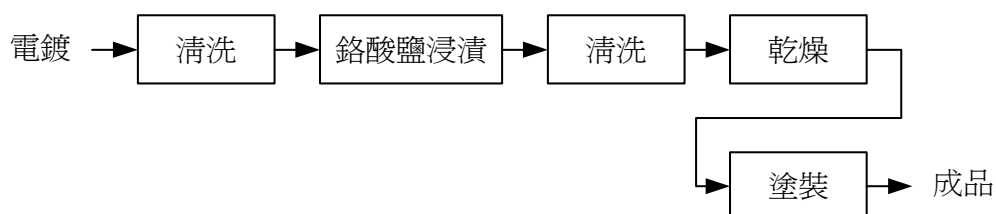
2. 鉻酸鹽皮膜處理

金屬浸漬於以鉻酸為主要成份的藥液中，其表面即會產生一層耐蝕性良好的皮膜，這種處理方法稱之為鉻酸鹽皮膜處理(chromate coating treatment)。鉻酸鹽處理大致可區分為兩種，一為生成一種耐蝕性優良的有色皮膜，另一為生成一種皮膜，但其耐蝕性較前者略差，其表面卻光亮。因上述兩種目的不同，其處理程序亦有所不同。

鉻酸鹽處理為鍍鋅後的處理使用較多，其他電鍍，如鍍銅、鍍鎳之後以此處理防止其變色等亦為有效。鉻酸鹽處理一般分為有色皮膜與光澤皮膜二種，處理流程如圖 2.2 與圖 2.3 所示。

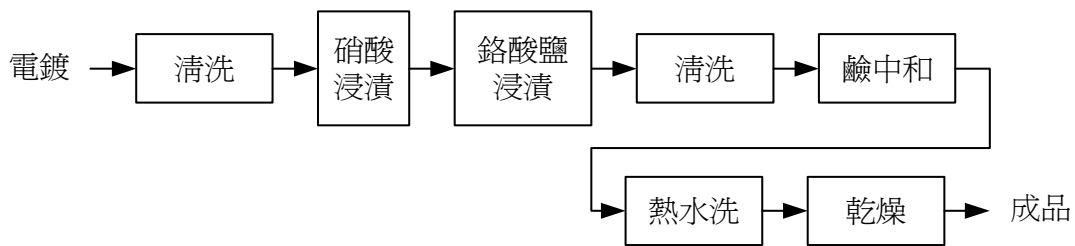
3. 上漆

大多數金屬鍍層皆易腐蝕，為延長其使用期限，依其產品需求在電鍍後再噴塗一層透明漆。但由於漆不耐高溫、磨擦及鹼性溶液，因此其使用範圍亦有相當的限制。



資料來源：金屬表面處理業整合性污染防治技術手冊

圖 2.2 有色皮膜之鉻酸鹽處理流程



資料來源：金屬表面處理業整合性污染防治技術手冊

圖 2.3 光澤皮膜之鉻酸鹽處理流程

2.2.5 產業未來發展趨勢

由於產品或其元件之電鍍的主要目的，乃是透過電鍍的程序替產品或其元件提供一個良好保護或裝飾作用，故電鍍工業本身常隨著鍍材（或受鍍物）的市場環境改變而有重大的變化。國內近年來製造業受全球性經濟不景氣的影響，致使整體性的工業生產呈負成長，由於上游景氣不佳，電鍍工業亦受影響甚大。此外，國內在加入世界貿易組織(WTO)後，整個產業於大環境的競爭上，亦已不受限於國內相互競技，更須和國際上的市場進行競爭，在多層經營環境的變革下，電鍍業者如何進行技術能力的提升、清潔生產技術的選用、人力結構的改變等，則為未來經營發展應加以考量之重點。

1. 產業技術的創新與提升

由於國內大多數的電鍍廠皆屬於家族企業，整個經營與企業的運作方式，大多沿襲舊有的機制，較無法全力進行技術創新與製程改變，且政府針對傳統工業的輔導，亦未能和半導體產業或新興科技產業（如奈米技術），投入相當的研發資源，進行產業的變革。故如何透過業者間的相互合作，或加強和研究單位的產學合作，應為業界加以考量之方向。對於電鍍業者而言，可考量技術創新的方向可包括有：

(1) 品質的提升

配合國際品質發展的潮流，針對產品的品質提升透過品質管理系統的建立，及企業自身內部品質控管的共識，進一步提升自我產品的品質，並符合顧客的需求，當然如能夠在建立品質系統時，考量以 ISO 9000 為管理平台，透過第三者驗證機構的驗證程序，則將更能與國際同步。

(2)製程的改善

隨著國際對環保訴求與產品環境化的發展趨勢，如何進行製程改變或原物料減毒／減廢替代方案的執行，則為企業不得不面對的問題。由於製程的改善牽涉到產品品質，故在改變過程中，須企業內高層負責人的支持。另外因應整個大環境的改變，在製程或原物料使用變更之餘，應和後續的廢水處理或廢棄物一併考量，意即在追求品質卓越外，更應尋找出整體性符合環保與經濟效益的途徑。另外，國際大廠已在產品中要求不可含有鉛、鉻等有毒重金屬，更甚者已有要求於製程中不可使用六價鉻鍍程，故業者宜進一步了解國際環境趨勢，及早建立因應方案。

(3)技術的整合

對於大多數的業者而言，隨著上游產品發展的變革，應明顯的感受到電鍍製程的服務，僅是產品服務的一小部份，長期而言，這個行業比較像是表面處理的整體性服務，資料顯示「台灣區電鍍工業同業公會」於第五屆第三次會員大會時，已提案討論是否更名為「台灣區金屬表面處理工業同業公會」。由此可知，電鍍已僅為製程的一部份，未來如何透過技術提升，走向製品表面之磨光、電著塗裝、噴焊、烤漆、染色、壓花、發藍、上釉及其他化學表面處理等，皆須透過技術的整合與再包裝，以達到技術提升的目標。

2.清潔生產技術的選用

對於電鍍業者而言，清潔生產理念的推行，期希望業者不僅從製程的改善著手，更希望業者進一步的思考產品與服務的環境訴求與改善，亦即製程面的檢討可合併前節於技術提升上總體考量。但在產品面而言，由於電鍍本身僅是產品或元件表面處理的服務而已，如上游廠商不進行產品生命週期的評估與考量時，電鍍業者可著力之處甚微，當然如上游走向綠色產品的訴求時，則電鍍業於無害製程的選用上，則相對顯得重要。

3.人力結構的改變

因應中國大陸低人力成本的競爭，如何在現今的環境體系下進行產品定位與人力結構的變革，則亦為電鍍業經營發展的考驗事項。電鍍業者如要從家庭式傳統產業，改變為具國際競爭力的企業，則須建立合理的人力管理制度，並視產品特性需要，引進大學畢業以上的專業人力，並從傳統的代工模式，配合

知識經濟與知識管理的發展，建立屬於自己的產品定位與技術本位門檻，並透過人力管理與獎勵制度，進行技術創新與本質改善。

第三章 廢棄物特性與處理現況

電鍍工廠所產生的廢棄物主要為高濃度廢液及廢水污泥，由於含有毒重金屬成份，故被判定為「有害事業廢棄物」，若未妥善處理及回收，將造成環境污染及資源浪費的雙重效應。目前國內業者大部份都將高濃度廢液送入廢水處理設施中進行混凝沈澱處理，而產生大量的重金屬污泥，依規定這些污泥尚須進一步的固化或安定化處理後，才可進入衛生掩埋場進行分區掩埋。在進行電鍍業整體性廢棄物特性與現況分析之前，本章將從製程分析著手，進一步探討有那些污染產生及其製程特性，以利後續資源化過程，可有效的掌握其廢液或污泥的特性。

3.1 製程與污染特性分析

一般而言，電鍍製程依其欲鍍材質之不同，大概可區分為工業電鍍、裝飾電鍍、電子電鍍及塑膠電鍍等四大類，各類不同的產品特性，依其需求之不同而有其製程與污染物，以下簡單介紹如下：

3.1.1 工業電鍍

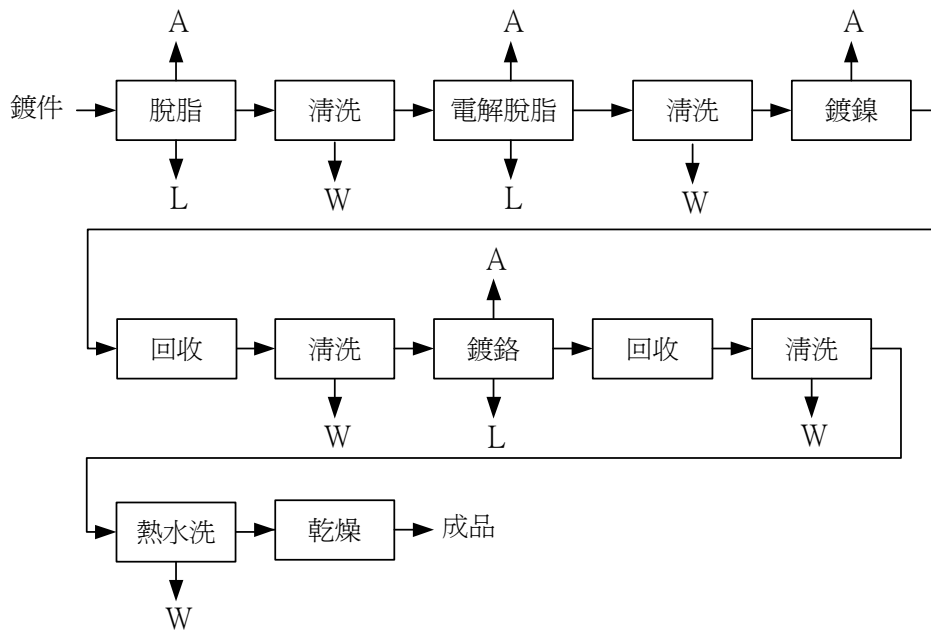
工業電鍍之主要目的係利用鍍層之特殊機械性質，用以增強鍍件之防蝕及耐磨功能，常見的有於鐵材或銅材鍍上耐蝕性強且硬度大的鎳及鉻金屬，如汽車鋼圈、輪弧及手工具等之雙重鎳-鉻電鍍。典型之工業電鍍製程及其廢污排放情形如圖 3.1 所示。

3.1.2 裝飾電鍍

裝飾電鍍係利用電鍍金屬層之光澤及顏色增加商品之外觀價值，如於錶帶、眼鏡架，皮帶扣等表面鍍上各種光澤之金屬合金。此類電鍍中常以鎳或銅鍍底後再鍍上金、銀等金屬。典型之裝飾電鍍製程如圖 3.2 所示。

3.1.3 電子電鍍

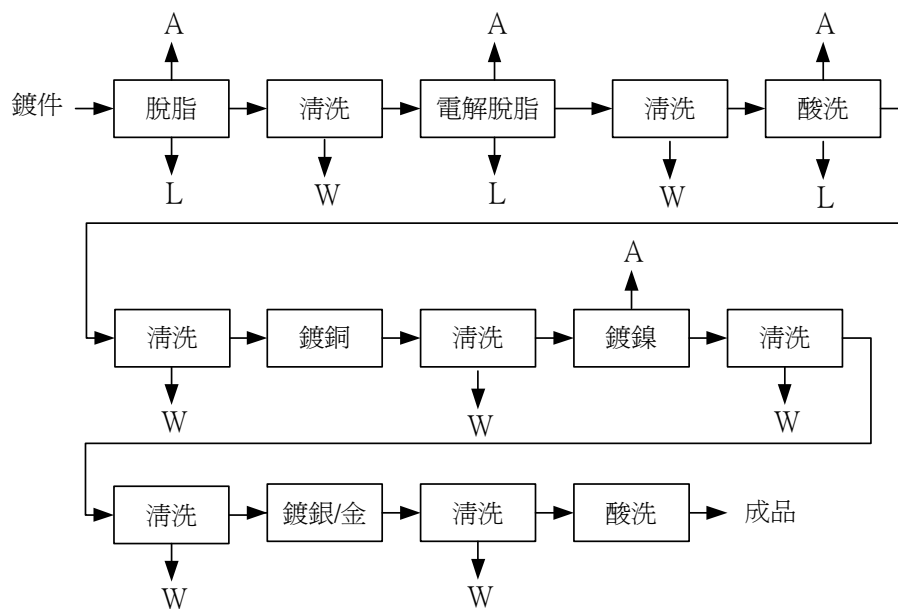
電子電鍍之主要目的是在電機、電子材料接點上鍍錫鉛或貴金屬，以使材料獲得良好的錫鉛或導電性。由於貴金屬材料價格昂貴，整體材料無法完全使用貴金屬，一般都於各接觸表面鍍上一層貴金屬，以獲得穩定且較低接觸電阻的表面。典型之電子電鍍製程如圖 3.3 所示。



註：W:廢水 L:廢液 A:廢氣

資料來源：金屬表面處理業整合性污染防治技術手冊

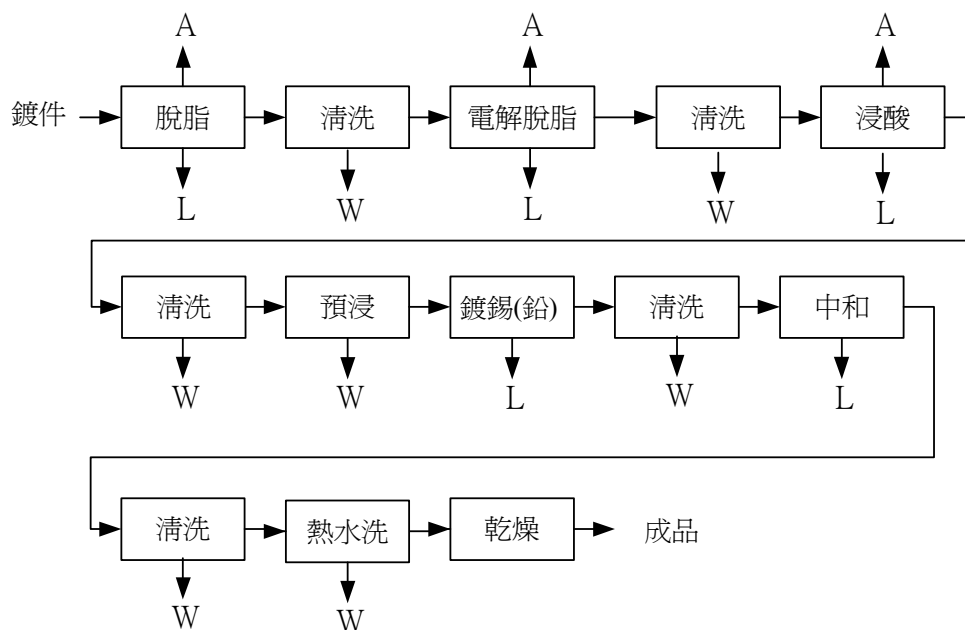
圖 3.1 工業電鍍典型製程與污染來源分析



註：W:廢水 L:廢液 A:廢氣

資料來源：金屬表面處理業整合性污染防治技術手冊

圖 3.2 裝飾電鍍典型製程與污染來源分析



註：W:廢水 L:廢液 A:廢氣

資料來源：金屬表面處理業整合性污染防治技術手冊

圖 3.3 電子電鍍典型製程與污染來源分析

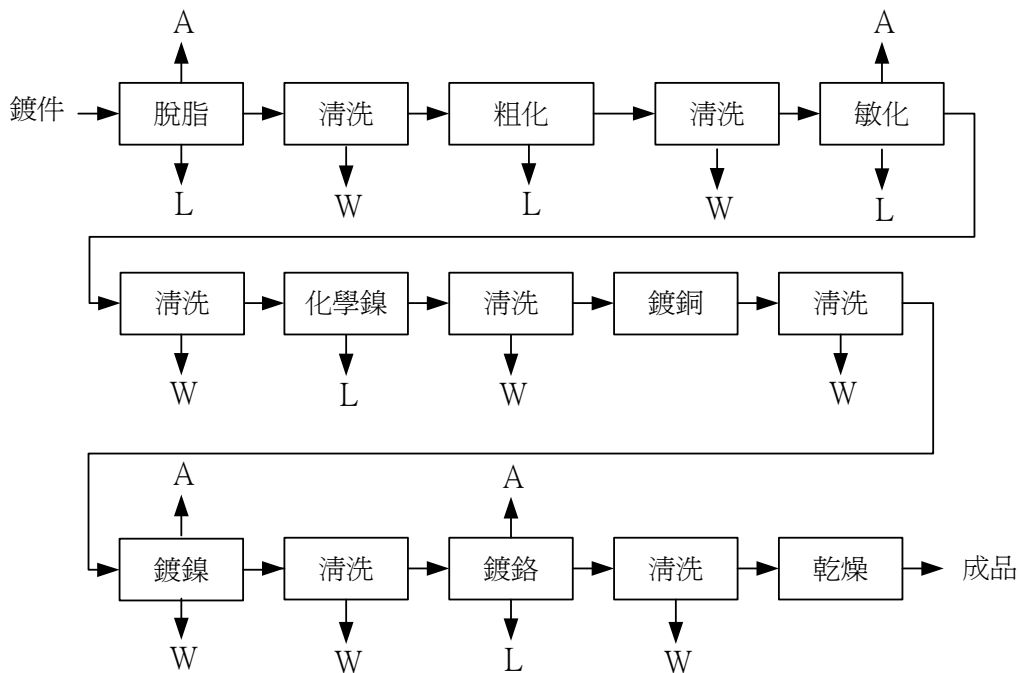
3.1.4 塑膠電鍍

塑膠電鍍係將非導電之塑膠製品表面予以導體化，沉積上一層具導電性的金屬鎳層，再進行一般的鍍銅、鎳或鉻等電鍍程序，以增加塑膠製品之美觀與實用性。典型之塑膠電鍍製程及其污染來源如圖 3.4 所示。

3.1.5 電鍍製程與廢水排放關係

電鍍工廠排放之廢水量與廢水水質之電鍍型態、種類、鍍件量及用水習慣之不同，而有很大的差異性。依中技社歷年來對電鍍業輔導之資料統計，電鍍工廠廢水量一般約為 30~80m³/d，平均每家電鍍工廠之廢水量約為 53 m³/d，依此平均廢水量估算台灣地區 3,314 家電鍍工廠，全國每日電鍍廢水總排放量約為 175,600 m³。

電鍍廢水之污染濃度與鍍件表面的污濁程度、製程使用之原物料種類，槽液濃度及清洗水用量多寡等有很大的關係，電鍍廢水污染物種類有懸浮固體、化學需氧量及鎳、鉻、鋅、銅、鐵等金屬離子及氰化物等。一般電鍍廢水水質根據中技社調查統計，廢水水質之各項污染濃度範圍如表 3.1 所示。



註：W:廢水 L:廢液 A:廢氣

資料來源：金屬表面處理業整合性污染防治技術手冊

圖 3.4 塑膠電鍍典型製程與污染來源分析

表 3.1 一般電鍍廢水水質

水質項目	SS	COD	Ni ²⁺	Cr ⁶⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	CN ⁻
統計家數	51	56	37	52	15	28	21	43
濃度範圍	80~350	150~450	10~150	5~150	15~200	10~50	5~30	5~100
P ₅₀ 濃度	179	236	32.1	33.9	30.7	24.9	215.6	20.5

註：1.濃度單位為 mg/L

2.P₅₀ 表累積或然率為 50%時所對應之變數值

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編

1. 單位產品廢水量

電鍍工廠單位產品廢水量與工廠用水習慣有很大的關係，且因各類型工廠之電鍍種類、電鍍品質及鍍件帶出量不同，而有很大的差異。一般而言，由於

裝飾電鍍鍍件小且形狀複雜會帶出較多鍍液，另因產品品質要求較高，必須使用較多量的水洗水洗淨鍍件，以致單位產品廢水量較其他類型工廠較大。各類型電鍍工廠之單位產品廢水量如表 3.2 所示。

表 3.2 各類型電鍍工廠單位產品廢水量

項次 廢水量	工業電鍍 (L/dm ²)	裝飾電鍍 (L/dm ²)	電子電鍍 (L/dm ²)	塑膠電鍍 (L/dm ²)
範圍	0.12~6.3	0.67~22.1	0.6~9.4	2.3~7.0
平均值	2.07	10.5	3.5	4.1

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編

2. 單位產品污染量

在四種不同類型電鍍工廠中，以裝飾電鍍工廠的單位產品污染量較高，此與鍍件原污染程度與帶出量有關係，而不同類型電鍍工廠之廢水污染成份亦不盡相同，如裝飾電鍍有氰化物污染物，電子電鍍則有鉛離子污染物。各類型電鍍工廠之單位產品污染量如表 3.3 至表 3.6 所示。

表 3.3 工業電鍍工廠單位產品污染量

單位產品污染量 污染值	SS (mg/dm ²)	COD (mg/dm ²)	Cr ⁶⁺ (mg/dm ²)	Ni ²⁺ (mg/dm ²)	Fe ³⁺ (mg/dm ²)
範圍	37~300	71~455	0.26~73.1	0.75~215.8	1.05~5.5
平均值	110.9	216.3	18.9	61.9	3.3

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編

表 3.4 裝飾電鍍工廠單位產品污染量

單位產品污染量 污染值	SS (mg/dm ²)	COD (mg/dm ²)	Cr ⁶⁺ (mg/dm ²)	Ni ²⁺ (mg/dm ²)	Cu ²⁺ (mg/dm ²)	CN ⁻ (mg/dm ²)
範圍	146.4~1,146	111.3~3,038	20~80	38~740	1,119~2,280	687~2,140
平均值	519.6	1,615	44.4	330.8	1,700	1,414

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編

表 3.5 電子電鍍工廠單位產品污染量

單位產品污染量 污染值	SS (mg/dm ²)	COD (mg/dm ²)	Pb ²⁺ (mg/dm ²)	Cu ²⁺ (mg/dm ²)	CN ⁻ (mg/dm ²)
範圍	59.1~147.5	81.3~687.5	8.1~78.7	0.24~88.8	0.06~63.4
平均值	103.3	482.5	43.4	44.5	31.7

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編

表 3.6 塑膠電鍍工廠單位產品污染量

單位產品污染量 污染值	SS (mg/dm ²)	COD (mg/dm ²)	Cr ⁶⁺ (mg/dm ²)	Ni ²⁺ (mg/dm ²)	CN ⁻ (mg/dm ²)
範圍	52.6~440	310.9~800	79.7~700	220~230.9	98.3~220
平均值	246.3	555.5	389.9	225.5	159.2

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編

3.2 廢棄物來源及特性

電鍍製程係為濕式表面加工處理製程，製程中所採用的化學藥劑種類繁多，製程操作後會產生高濃度廢棄槽液或帶出液與較低濃度的廢水，通常電鍍工廠並未將此等廢液與廢水分流處理，而併入廢水處理廠進行化學混凝沈澱處理並產生數量可觀的廢水污泥。

廢水處理後產生之污泥重金屬含量會因製程中所使用之化學藥品種類與濃度等而不同。廢水處理所添加之化學藥品亦會影響污泥之重金屬含量比率。根據中技社所做之研究分析結果顯示，各工廠之乾污泥中重金屬含量相差甚鉅，如表 3.7 所示。由於一般工廠之電鍍程序會採用不同之金屬電鍍，如先鍍鋅再鍍鉻，因而污泥之重金屬含量以鋅與鉻含量較多。一般電鍍製程比較常採用之電鍍浴槽以鋅、鎳及鉻佔多數，所以污泥中所分析出來的重金屬以此三類金屬為主。

表 3.7 電鍍污泥重金屬分析

單位：mg/kg

項目 工廠	鋅	鎳	鉛	銅	鉻	鎳
1	14,989.42	12.41	179.74	197.18	404.09	128.44
2	187.50	25.00	893.06	204.86	101.09	1,438.19
3	1,326.95	10.66	631.93	4,602.40	42,941.05	130,084.84
4	145,609.95	9.17	128.67	37.30	182,128.98	165.50
5	676.95	78.15	865.60	634.64	7,093.08	170,433.05
6	1,351.85	57.41	612.04	5,351.85	-	1,030.55
範圍值	188~145,610 (27,357)	9~78 (32)	129~893 (552)	37~5,352 (1,838)	101~182,128 (38,778)	128~170,433 (50,547)

註：() 內之值為平均值

資料來源：電鍍業減廢回收與污染防治

根據表面工業雜誌社委託工研院分析各種類電鍍污泥之重金屬含量變化結果如表 3.8 所示，污泥之含水率約 68~86%，平均值為 74%。污泥含水率之變化因素甚多，可能影響之因素約有氣候變化、脫水機或曬乾床的功效及污泥堆積日數等，均會影響污泥的含水率。電視框電鍍所產生的污泥含鉻、鎳、銅、鉛及鐵量均很高，都超過平均值很多。自行車幅條電鍍污泥之鋅含量最高，約為 71,647 mg/kg，比其他製程的污泥含鋅量高出很多。一般各種類型電鍍的污泥的含鐵量均很高，範圍值為 4,475~66,751 mg/kg，平均值為 21,297 mg/kg，而銅及鉛含量卻普遍偏低，平均值各為 586 及 545 mg/kg。

表 3.8 各類電鍍污泥重金屬分析

單位：mg/kg

工廠 \ 項目	含水率 (%)	鉻	鎳	鋅	銅	鉛	鐵
1.電阻帽電鍍	76	9.00	5.00	11.00	224.00	36.00	4,475
2.自行車幅條電鍍	86	967.00	5.00	71,647	7.00	46.00	4,563
3.紡織盤頭斷	69	1,132	22.00	225.00	35.00	26.00	8,348
4.樂器及自行車零件電鍍	68	12,194	30,825	400.00	335.00	501.00	66,751
5.電視框電鍍	69	142,700	89,400	504.00	2,330	2,120	22,350
範圍值	68~86 (74)	9~142,700 (31,400)	5~89,400 (24,051)	11~71,647 (14,557)	7~2,330 (586)	26~2,120 (545)	4,475~66,751 (21,297)

註：() 內之值為平均值

樣品分析：工研院化工所

樣品提供：表面工業雜誌社

電鍍污泥的物理與化學特性方面，依據中技社於民國 80 年的分析結果，如表 3.9 及表 3.10 所示。物理特性分析項目包括有含水率、乾基灰份、乾基可燃份及發熱量等。其中乾基灰份平均值為 74%。乾基可燃份的平均值不高，只有 26%。乾基發熱量亦不高，平均值為 637kcal/kg。高位發熱量的發熱值偏低，平均值只有 162kcal/kg。

電鍍污泥之化學特性分析包括 pH 值、碳氮比及六種元素（碳、氫、氧、氮、硫、氯）的分析。污泥的 pH 值範圍約在 6.65~8.96，平均值為 8.13。污泥中碳成份偏低，約在 0.98~10.92%之間，平均值為 2.61%。氫成份含量在 1.37~3.63%之間，平均值為 2.61%。氧成份含量也不高，範圍值在 8.64~20.38%之間，平均值為 15.7%。氮成份含量在 0.01~6.75%之間，平均值為 2.53%。硫成份也不高，範圍值約在 0.01~0.21%之間，平均值為 0.07%，氯成份含量在 0.01~0.41%之間，平均值為 0.15%。總體而言，電鍍污泥的六種化學元素成份含量屬於低含量。

表 3.9 電鍍污泥物理特性分析

工廠	項目	含水率	乾基灰份	乾基可燃份	乾基發熱量	高位發熱量 (溼基)	低位發熱量 (溼基)
		(%)	(%)	(%)	(kcal/kg)	(kcal/kg)	(kcal/kg)
	1	61.36	71.45	28.55	828.42	320.10	-108.15
	2	85.47	74.38	25.62	365.12	53.05	-481.11
	3	91.53	67.75	32.25	1,054.83	89.34	-476.44
	4	63.37	75.00	25.00	532.56	195.08	-249.23
	5	87.38	66.75	33.25	692.98	87.45	-449.16
	6	33.73	86.32	13.68	345.15	228.73	-22.68
	範圍值	34~92 (70)	67~86 (74)	14~33 (26)	345~1,055 (637)	53~320 (162)	-23~-481 (-298)

註：() 內之值為平均值

資料來源：電鍍業減廢回收與污染防治

表 3.10 電鍍污泥化學特性分析

工廠	項目	pH 值	(乾基)					
			碳 (%)	氫 (%)	氮 (%)	氧 (%)	硫 (%)	氯 (%)
	1	6.65	5.41	2.88	6.30	13.49	0.06	0.41
	2	7.75	0.98	2.72	6.75	14.91	0.11	0.15
	3	8.96	9.06	3.63	0.82	18.41	0.21	0.12
	4	8.68	2.58	3.24	0.68	18.37	0.02	0.11
	5	8.43	10.92	1.81	0.01	20.38	0.01	0.12
	6	8.28	3.05	1.37	0.60	8.64	0.01	0.01
	範圍值	6.65~8.96 (8.13)	0.98~10.92 (2.61)	1.37~3.63 (2.61)	0.01~6.75 (2.53)	8.64~20.38 (15.7)	0.01~0.21 (0.07)	0.01~0.41 (0.15)

註：() 內之值為平均值

資料來源：電鍍業減廢回收與污染防治

一般電鍍工廠所產生之高濃度廢液主要可區分為鉻系與氰系。鉻系廢液包括裝飾鉻或硬鉻電鍍廢液、鉻酸鹽處理廢液、含鉻酸之離子交換樹脂再生廢液、塑膠電鍍粗化廢液及其他含鉻酸之高濃度廢液等。氰系廢液包括含氰化物之電解脫脂液、含氰化物之電鍍廢液、含氰化物之金屬剝離廢液、含氰化物之回收槽廢液、含氰化物之離子交換樹脂再生廢液及其他含氰化物之高濃度廢液等。根據中技社針對 8 家電鍍工廠 16 個樣品進行研究分析，結果如表 3.11 所示。各工廠之鉻系廢液重金屬含量差異甚鉅，鉻酸含量範圍值為 5~481g/L，鐵含量範圍值為 102~19,674mg/L，銅含量範圍值為 13~9,855mg/L，鋅含量範圍值為 7~6,412mg/L，鎳含量範圍值為 4~2,764mg/L。

表 3.11 鉻系廢液特性分析

項目 樣品	鉻酸 (g/L)	鐵 (mg/L)	銅 (mg/L)	鋅 (mg/L)	鎳 (mg/L)	pH 值	比重
1	301	14,670	1,631	464	103	<0	1.252
2	312	14,285	2,005	1,162	165	<0	1.248
3	332	19,674	2,410	1,512	97	0.11	1.316
4	295	8,528	1,901	694	109	0.01	1.282
5	188	195	75	185	145	1.00	1.146
6	115	151	24	13	120	0.59	1.040
7	140	102	13	7	6	0.50	1.120
8	85	2,145	286	53	31	0.65	1.082
9	75	1,848	614	309	123	0.80	1.070
10	59	2,963	156	47	9	0.44	1.060
11	5	285	19	22	4	1.59	1.008
12	142	222	310	15	402	0.53	1.114
13	8	203	78	94	201	0.87	1.042
14	140	588	700	6,412	2,764	1.13	1.048
15	136	838	173	14	280	1.05	1.128
16	481	1,764	9,855	424	1,758	<0	1.618
範圍值	5~481 (176)	102~19,674 (4,279)	13~9,855 (1,266)	7~6,412 (714)	4~2,764 (395)	<0~1.59 (0.58)	1.008~1.618 (1.16)

註：() 內之值為平均值

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編

3.3 廢棄物產生量及清理現況

依據行政院環保署 90 年度全年之事業廢棄物上網申報統計資料顯示，全年度約 9,000 多家的上網申報廠商中，合計事業廢棄物總申報量為 1,018 萬噸／年，其中有害事業廢棄物上網申報總量為 43 萬噸／年(佔事業廢棄物產生量的 4%)。由於環保署資料庫的行業分類中，電鍍業乃歸類於金屬製成品表面處理業，故無法從統計資料中將整個表面處理業和電鍍業進行分離。因應電鍍業和金屬製成品表面處理業於製程或產品的相似性高，故本節在廢棄物產生量和處理現況上，將一併進行分析。

表 3.12 為行政院環保署 90 年度全年之事業廢棄物上網申報金屬製成品表面處理業之廢棄物申報統計資料，由該表發現整個行業的廢棄物的產出，以一般性的廢塵灰為最多，每年約有 22,473 噸的申報量，其次為污染防治設施所產生的銅污泥，每年亦有 20,675 噸的產生量，由於銅及其化合物於現行有害事業廢棄物認定標準規定其溶出限值，故該批污泥皆應屬有害事業廢棄物；另外電鍍業所產生的含銅污泥量，則約為 9,305 噸／年。而電鍍業最常見的含六價鉻廢水污泥，於製程認定屬有害事業廢棄物者，則上網申報數量為 6,689 噸／年左右，但依規定屬溶出超過標準者之含鉻污泥量，則申報數量為 273 噸／年。除污泥外，金屬表面處理業最常見的廢酸液與廢鹼液，則申報量分別為 16,991 噸／年與 11,044 噸／年。

就整個廢棄物的處理申報現況而言，由圖 3.5 的分析顯示，各類金屬製成品表面處理業全年合計約產生 132,491 噸的事業廢棄物，其中採委外清理者，約佔 41% (53,969 噸／年)，其次為回收再利用，約佔 30% (39,774 噸／年)，另外亦有 21% (28,470 噸／年) 申報欲採境外輸出處理者，其他仍有微量的事業廢棄物採自行清理或暫存於廠內。

表 3.12 90 年度金屬製成品表面處理業事業廢棄物上網申報資料

廢棄物代碼	廢棄物名稱	廠外清理申報量(公噸)	廠內自行清理申報量(公噸)	回收再利用申報量(公噸)	境外輸出處理申報量(公噸)	廠內暫存申報量(公噸)	總申報量(公噸)
D-0100	廢塵灰	50	-	22,419	-	4	22,473
C-0134	污染防治設施或製程產生之含銅污泥	1,535	-	4	19,081	55	20,675
C-0202	廢液 pH 值小(等)於 2.0	11,049	252	5,634	-	56	16,991
D-0180	垃圾、市場垃圾	11,027	46	-	-	95	11,168
C-0201	廢液 pH 值大(等)於 12.5	11,037	-	-	-	7	11,044
A-6205	電鍍製程之廢水處理污泥含銅	5,422	-	15	3,625	243	9,305
D-0130	廢金屬、金屬廢料	791	10	6,876	4	29	7,711
A-6202	電鍍製程之廢水處理污泥含六價鉻	943	8	-	4	5,734	6,689
C-0901	經中央主管機關公告之混合五金廢料	244	-	11	5,549	46	5,850
D-0092	無機性污泥	4,319	8	414	-	983	5,724
D-0090	污泥	2,835	2	190	-	479	3,506
D-013A	廢鐵	10	-	1,738	-	12	1,760
A-6601	使用氰化物之電鍍程序清洗及氣提廢液含氰化物(鹽類)	-	-	1,353	-	-	1,353
D-0191	廢酸	-	1,281	-	-	-	1,281
A-6206	電鍍製程之廢水處理污泥含鋅	889	1	-	19	255	1,164
A-6203	電鍍製程之廢水處理污泥含鎳	756	4	-	162	144	1,066
D-0060	廢紙、廢紙屑	137	11	355	-	11	514
D-0094	污染防治設施或製程產生之含鋅污泥	280	-	-	1	133	414

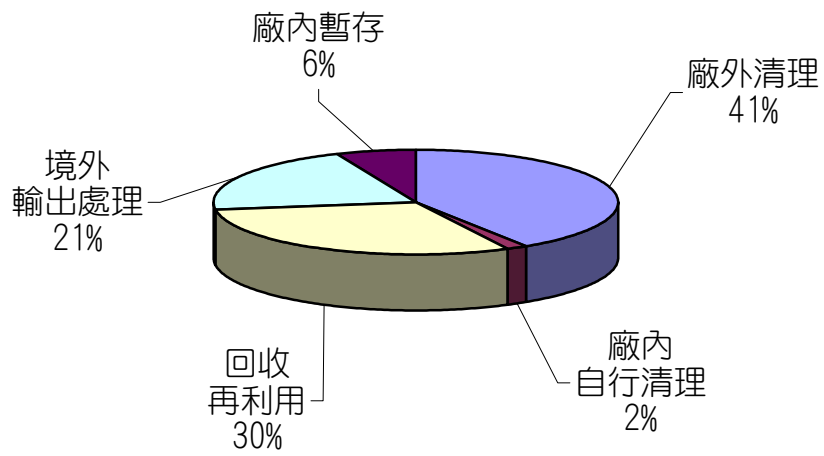
表 3.12 90 年度金屬製成品表面處理業事業廢棄物上網申報資料 (續 1)

廢棄物代碼	廢棄物名稱	廠外清理申報量 (公噸)	廠內自行清理申報量 (公噸)	回收再利用申報量 (公噸)	境外輸出處理申報量 (公噸)	廠內暫存申報量 (公噸)	總申報量 (公噸)
D-0170	廢油	339	-	12	-	48	399
C-0301	廢液閃火點小於 60°C 且乙醇濃度在 24% 以上者	294	-	11	-	20	325
D-0020	廢塑膠	192	5	112	-	6	315
A-6200	電鍍製程之廢水處理污泥	208	-	-	22	60	290
D-0172	廢油漆	277	-	-	-	12	289
D-0053	廢土	273	10	-	-	-	283
D-0132	金屬容器	1	-	281	-	1	283
C-0105	溶出毒性事業廢棄物含鉻及其化合物(總鉻)	247	-	-	-	26	273
A-5401	鐵鉻合金製程之排放控制之灰渣或污泥含鉻	224	-	-	-	36	260
D-0150	廢溶劑	173	-	-	-	38	211
D-0091	有機性污泥	145	2	-	-	29	176
D-013C	廢鋅	-	-	165	-	6	171
D-0193	有機廢液	69	-	8	-	8	85
D-0110	灰渣	48	-	25	-	6	79
D-0041	玻璃屑、玻璃空瓶	54	-	12	-	-	66
D-0093	油泥	57	-	-	-	8	65
D-013B	廢銅	-	-	51	-	4	55
D-0131	金屬屑	1	-	16	-	5	22
D-0062	廢紙容器	-	-	22	-	0	22
A-6401	電鍍廢棄之氰化物電鍍液含氰化物(鹽類)	19	-	2	-	1	22

表 3.12 90 年度金屬製成品表面處理業事業廢棄物上網申報資料 (續 2)

廢棄物代碼	廢棄物名稱	廠外清理申報量 (公噸)	廠內自行清理申報量 (公噸)	回收再利用申報量 (公噸)	境外輸出處理申報量 (公噸)	廠內暫存申報量 (公噸)	總申報量 (公噸)
C-0106	溶出毒性事業廢棄物含六價鉻化合物	8	-	-	-	9	17
D-0028	廢塑膠 (PP; 聚丙烯)	-	-	14	-	0	14
D-0026	廢塑膠 (PE; 聚乙烯)	-	-	14	-	0	14
D-013D	廢鋁	-	-	13	-	1	14
A-6701	使用氰化物之金屬熱處理油槽之冷卻槽殘留物含氰化物(鹽類)	-	-	-	-	9	9
C-0103	溶出毒性事業廢棄物含鉛及其化合物(總鉛)	4	-	-	-	4	8
D-0022	保麗龍	5	-	3	-	-	8
A-5603	鉛、鎳、汞、鎘二次熔煉之排放控制之灰渣、污泥含鎘	3	-	-	-	1	4
C-0104	溶出毒性事業廢棄物含鎘及其化合物(總鎘)	-	-	-	-	4	4
D-019C	廢棧板	2	-	-	-	2	4
D-0171	廢機油	2	-	2	-	0	4
D-0200	中間處理後產物	-	1	-	-	3	4
B-0999	其它經中央主管機關公告之毒性化學物質類	-	-	-	-	3	3
C-0702	含多氯聯苯之廢變電器	-	-	-	3	-	3
D-0029	廢塑膠 (PVC; 聚氯乙烯)	0	-	2	-	1	3
	合計	53,969	1,641	39,774	28,470	8,637	132,491

資料來源：事業廢棄物管制中心申報資料彙整



資料來源：事業廢棄物管制中心申報資料彙整

圖 3.5 90 年度金屬製成品表面處理業事業廢棄物上網申報處理方式

第四章 清潔生產

1997 年初聯合國環境規劃署(UNEP)對「清潔生產」所下的定義：清潔生產(Cleaner Production, CP)是指持續地應用整合且預防的環境策略於製程、產品及服務，以增加生態效益和減少對於人類及環境的危害。

- (1)對製程而言：清潔生產包含了節省原料及能源、不用有毒原料、並且減少排放物及廢棄物的量及毒性。
- (2)對產品而言：清潔生產在於減少整個產品生命週期（亦即從原料的萃取到最終的處置）對環境的衝擊。
- (3)對服務而言：清潔生產在於減少因提供服務，而對於環境造成影響；因此在設計及提供服務的生命週期中，都應該將環境的考慮融入其中。

清潔生產需要藉改變態度、有責任的環境管理及評估的科技方法來達成。

由於前述對於清潔生產的定義，範圍極為廣泛與抽象，如完全轉換在本手冊的執行面上，恐讓業者在技術執行面上失焦，為讓整個清潔生產順利執行，於「製程」面上有更進一步的績效，故本手冊主要將針對製程部份進行進一步的述論，並著重在「廠內管理」與「環境化設計」兩方面：

4.1 廠內管理

4.1.1 物料管理

藉由廠內有效的管理，以達成污染預防的目標，乃是清潔生產控制上，最簡單且最有效的做法，電鍍業者之物料管理，可朝客戶供應品的管理、員工的訓練、原物料庫存管理及原料物洩露預防等方向著手，分述如下：

1. 客戶供應品的管理

客戶供應品（或鍍件）為電鍍業者的重要原料，如何建立一套良好的管理機制，則可增進電鍍的品質，並減少廢污的排出。通常在執行面上其重點為：

- (1)適當的容器與包裝：減少油污接觸到鍍件的機會，以降低後鍍件清潔的成本，並減少廢水與廢棄物的排放量。

- (2)選擇適當的貯存場所：良好的鍍件存放地點，除可避免鍍件生鏽或氧化外，亦可避免製程酸洗的困難，及廢水與廢棄物排放量的增加。
- (3)與客戶之環境管理面的溝通：針對部份鍍件（如沖壓品、彎管等）於加工過程中，可能因須添加潤滑劑或切削油，致使電鍍作業過程中，須加入大量的脫脂劑，衍生廢液產生量之問題，應和客戶進行適切的溝通，以降低發生該狀況的可能性。必要時，可直接和客戶洽商潤滑油和切削油替代的可能性。

2.員工的認知與訓練

員工的認知乃是提升產品品質與建立良好環安績效的不二法門，而員工認知的提升，則須管理階層明確的目標與適當的訓練，建議訓練議題如下：

- (1)國內環安衛相關法令規定。
- (2)環安衛考量與製程改善。
- (3)意外事故與緊急應變程序要點。
- (4)作業環境危害與防護機制。

3.原物料庫存的管理

由於電鍍工廠本身所使用的原物料種類極多，且有多數化學品原物料本身即具毒性或危害性（如鉻酸、氰化物、酸鹼化學品等），所以若能有效管理化學品原物料，則為降低環安事故的關鍵。針對廠區內的原物料管理上，提供下列管理要點以供參考：

- (1)廠區內化學品的存放，應有特定的場所或貯放方式，室外避免放置化學原料、廢棄物、空桶及閒置設備。
- (2)化學品包裝應完整，且應有適當的標示（品名、保管人、危害性等），並備妥相關之物質安全資料表(Material Safety Data Sheet, MSDS)資料文件。
- (3)人行通路不得置放化學物質，尤其具危害性化學物質、危害性氣體及易燃易爆物質等。
- (4)氣體鋼瓶應予固定放置，尤其是危害性氣體鋼瓶或高壓性氣體鋼瓶，宜加強管理。
- (5)開封過的原料應加蓋或袋口捆束，防止原料逸散、粉塵或揮發等。

(6)化學品貯存應注意相容性問題，不相容物質不可放在一起，以避免發生爆炸、火災等意外事故；易燃物質應遠離火源。

(7)除正常情況下，應考慮在異常狀況發生時，原物料有傾倒、破裂、撞擊、震動等之可能性，以及發生該等情事時對環境可能的影響。

在工廠作業面的管理上，提供參考如下：

(1)工作場區應力求整潔，地面上不可有散落的原物料、油污及廢棄物。

(2)工作場區內，原物料、廢棄物及中間產品應區隔放置，並進行妥善標示。

(3)工作場區內各類設備或裝置應能適當的維護，以防止異常操作，並避免不正常的廢氣、廢機油或其他污染情事發生。

4.原物料洩漏預防

常見的電鍍工廠洩漏的地方，大概可區分為：「電鍍槽體」、「過濾機等附屬設備」、「廢水收集管線與處理系統」、「藥液貯存桶」等四大類。表 4.1 為常見洩漏的地方及其預防方法。

表 4.1 常見的預防洩漏方法

項目	預防方法
電鍍槽體	<ul style="list-style-type: none"> · 使用耐蝕材質 · 加強維修保養工作 · 避免槽體受損 · 定期汰舊換新
過濾機等附屬設備	<ul style="list-style-type: none"> · 過濾機之水管接頭使用耐酸鹼材質套管 · 過濾機之水管高於電鍍浴槽以避免虹吸作用 · 儘量降低接頭數目，以減少洩漏機會 · 固定過濾機的軟管，避免洩漏 · 少量外洩之機油或過濾液需以桶子承接 · 設備定期維修保養
廢水收集管線與處理槽體	<ul style="list-style-type: none"> · 避免廢水收集管線受碰撞，於必要時加以覆蓋保護 · 減少管線接頭處 · RC 或磚造處理槽體以環氧樹脂塗裝或內襯 FRP 等防蝕材質，以防止微細裂縫 · PE 等槽體應加以補強，防止槽體變形而造成洩漏
藥液貯槽(桶)	<ul style="list-style-type: none"> · 貯槽(桶)應減少接頭處，以減少洩漏 · PE 等材質之貯桶構造應適當補強，防止其槽體變形而造成洩漏 · 選用適當貯存材質之貯槽(桶)

資料來源：金屬表面處理業整合性污染防治技術手冊

4.1.2 製程管理

1. 掉落鍍件清除

電鍍製程中，造成鍍件掉落的主要原因有四種：

- (1) 掛架選用不當，大鍍件使用小掛架。
- (2) 掛鈎長期使用造成彈性缺乏。
- (3) 滾桶破裂。
- (4) 人員操作不當。

由於金屬底材掉落於電鍍槽液中，會與藥液產生化學反應，而溶解出重金屬離子，造成槽液污染，縮短其使用期限。因此，除了選用適當掛架或滾桶外，並應定期汰舊換新及維修、定期清除槽中之落件，避免槽液受落件的污染。

2. 廢水、廢液分類收集

電鍍廢水、廢液特性不同，應分類收集處理，以避免高濃度廢液排放時，突增廢水處理單元之負荷，而影響處理成效。收集時，性質不同的高濃度廢液亦應分別收集貯存，貯存槽材質及體積須依廢液特性、排放週期及排放量適當規劃。

3. 避免槽液不當排放

槽液不當的排放往往是因為管理不良所造成的，歸納其可能原因有：

- (1) 槽液未完全老化喪失處理能力即排放。
- (2) 槽液使用時，未能藉由適當處理設備以延長使用期限。
- (3) 槽液採一次全部排放方式處理，未能以定期補充槽液或逐段排放的方式處理。
- (4) 回收槽液中之重金屬未回收即排放，造成原物料浪費並增加污染防治處理成本。

因此，為避免槽液不當排放，應採取下列措施：

- (1) 建立槽液處理能力之統計分析資料。
- (2) 定期檢測槽液主成份，當其處理能力不足時，初期應以補充槽液的方式增加

處理能力，爾後則以逐段補充、逐段排放的方式處理，避免一次全量排放、全量補充槽液的情況。

(3)槽液排放時，先以適當方法進行回收後再排放處理，如採用離子交換法、電解法處理回收鉻、鎳等重金屬。

(4)槽液使用時應藉由適當的現場循環設備來延長使用期限。

4.2 環境化設計

本節主要針對原料替代及製程改善兩方面，進行電鍍製程改善可能性分析，主要改善摘要參見表 4.2。而詳細內容則分述如下：

表 4.2 原物料改善方法

減廢方案	內容說明
原料純化	<ul style="list-style-type: none">· 選用高純度原物料· 使用離子水，或純水作為槽液配置用水或補充水· 定期純化去除鍍液中之雜質
原料替代	<ul style="list-style-type: none">· 選用低污染性脫脂劑· 使用無氰化物鍍液· 採用低毒性鍍鉻技術（三價鉻或無鉻鍍液）· 使用有機溶劑替代品

資料來源：金屬表面處理業整合性污染防治技術手冊

4.2.1 原料替代

1.原料純化

(1)選用高純度原物料

原物料的純度會影響鍍液老化的速度，鍍液組成成份之不純物濃度過高時，會加速鍍液的老化。因此，在使用化學原料時應慎選純度高、雜質少的原料；化學原料進場後應妥善保存，防止受潮、氧化，且庫存量不宜太多，先入庫之原料須先使用，以免原物料庫存過久而過期。

(2)使用去離子水或純水作為槽液配製用水或補充水

電鍍槽液配製用水大多廠商使用地下水或硬水、去離子水或純水等類

型。一般而言，若使用地下水或硬水時，因其中可能含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 陽離子及陰離子成份，容易影響化學反應的進行，因而導致效率不良造成浪費，並加速槽液之老化，增加水處理之負荷。鍍槽液係於高溫條件下操作，槽液中的水份易蒸發，或因鍍件帶出造成槽液量不足，必須定期補充清水以維持槽液的液位。作業習慣上通常以自來水直接補充，而自來水中含有大量的離子雜質，易造成槽液中雜質濃度增高，因而加速槽液老化，故宜以去離子水或純水補充，以避免造成雜質累積。

(3) 定期純化去除鍍液中之雜質

鍍液中雜質來源有補充不純淨的清水、沉積於掛架上的金屬溶解、掛架（滾筒）或鍍件帶入之污染物等，雜質種類常見的有懸浮固體、鐵離子、銅離子、氯離子及三價鉻等。這些雜質必須控制在適當的濃度範圍內，以避免影響電鍍品質或縮短鍍液的使用期限。

鍍液中的雜質，可以使用過濾法、電解法或活性碳吸附法去除，說明如下：

A. 過濾法

過濾法具有不會影響正常電鍍作業之特點，而且操作簡單，能夠全量過濾。過濾機的選定要依鍍液性質、鍍槽操作條件及雜質種類與粒徑而決定，較常用的過濾機形式有濾布型過濾與過濾板過濾機。一般鍍槽內雜質之粒徑依製程單元槽液組成之不同而異，其粒徑分佈狀況如表 4.3 所示，依所欲去除之雜質粒徑大小可選擇適合的濾布或濾心。

表 4.3 鍍液內雜質粒徑分佈

鍍液種類	粒徑 (μm)
鹼性脫脂	3.5~7.0
電解脫脂	1.5~5.0
硫酸銅	10~15
焦磷酸銅	3.7~7.0
半光澤鍍	3.5~7.0
全光澤線	3.5~7.0
鉻酸	1.7~7.0

資料來源：電鍍業減廢回收與污染防治

B. 電解法

電解法係當鍍槽中含有其他金屬離子污染物時，直接在鍍槽內進行電解純化處理。常用的有弱電解及素陶筒電解二種方法。

弱電解係將不銹鋼板或網折成波浪狀，並置入鍍槽中作為陰極，通入極低的電流，使欲去除之金屬雜質於陰極上析出，常用於鍍銅及鍍鎳槽液之純化。

素陶筒電解，係用於鉻酸純化，電解時素陶筒內須配置 150~200g/L 的鉻酸，作為陰極室之電解質，筒內並放置鉛板作為陰極，再將素陶筒置入鍍鉻槽中，鍍鉻槽則為陽極室，通入電流後，鍍槽中的三價鉻會被氧化成六價鉻，同時鐵離子污染物會透過素陶筒，並於陰極鉛板上沉積，以達到去除鉻酸液之三價鉻及鐵離子等污染物的目的。

C. 活性碳吸附法

活性碳吸附法係當槽液中含有機污染物時，先於槽內加入雙氧水氧化分解部份有機物後，再加入活性碳吸附去除殘留有機物，吸附完成靜置一段時間後，以清水洗淨槽體後，備用貯槽內之電鍍液再利用泵抽送回原槽體內，然後再補充部份新液及添加劑後繼續使用。

2. 原料替代

(1) 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，應瞭解其主要成份及應注意事項，同時分析其使用前後污染物濃度的變化，以據此選擇較低污染性的脫脂劑使用。

(2) 使用無氰化物鍍液

氰化物為具毒性化學物質，在輸送、貯存、使用過程及其所產生之廢棄物均可能造成危害，近年來為防止其可能發生之危害，已有相關之管理法規；而國內由於氰化物原料的短缺，仰賴進口的結果造成價格昂貴。因此，業者應積極使用無氰化物電鍍製程。為徹底解決氰化物所造成的困擾，國外已成功研發出無氰化物鍍鋅技術，並且引進國內使用。無氰化物鍍鋅於操作

時需要配合高濃度的光澤劑，而且適合之電流密度範圍相當小。為使無氰化物鍍鋅技術更為普遍，以研發出 2-硫苯酸噁唑、二乙基氨基甲酸雙硫酸鈉、對-甲基柳醛等三種光澤劑，此三種光澤劑均適用於無氰化物鍍鋅浴中。

(3)採用低毒性鍍鉻技術

三價鉻電鍍是較新電鍍技術，可以避免毒性較強的六價鉻造成危害，並減少管末處理時，將六價鉻還原成三價鉻所需之還原劑費用，進而減少污染量，對於減廢工作有相當大的助益。三價鉻電鍍的主要優點如下：

- 鍍液濃度低，帶出液量較少，大幅降低廢水處理成本。
- 高穩定性、硬度高、管理容易。
- 在低電流密度時，沉積速度較六價鉻快。
- 覆蓋力良好，均一性優良、鍍膜色澤似六價鉻，富吸引力。
- 較六價鉻鍍液的缺點少，可降低不良率，提高生產力。

無鉻電鍍為未來之重要趨勢，尤其是汽車零組件將首先被要求。無鉻電鍍技術之替代方式主要係以其他類似色澤及功能之鍍層代替，如以磷酸鹽之金屬皮膜代替，但所產生之廢水污染防治技術需更進一步研究。

(4)使用有機溶劑替代品

過去製程中所使用之溶劑型脫脂劑，如三氯甲烷、三氯乙烯等溶劑對於礦物油有良好之處理成效，但是卻造成臭氧層之破壞，因此必須使用替代品；替代品之原則為可以大量、便宜生產，同時具有低毒性、生物可分解性之化學藥劑，如 C₁₀H₁₆ 之類的碳氫化合物。

綜合彙整低污染性或低毒性之電鍍製程如表 4.4 所示。

表 4.4 低污染性或低毒性之電鍍製程

製程	類別	方法
鋅電鍍	氰化浴	降低濃度，如 NaCN 濃度由 90g/L 降至 45g/L，甚至更低如 12g/L
	鋅鹽	Zn ²⁺ ：7g/L，NaOH，添加劑
	酸性浴	ZnCl ₂ (Zn：35g/L)，NH ₄ Cl(Cl:140g/L)，添加劑
銅電鍍	弱鹼性無氰電鍍	Cu ²⁺ ：15g/L，pH：9.4，溫度：65°C
		Cu ²⁺ ：2.5g/L，Zn ²⁺ :2.5g/L，pH:9.5

表 4.4 低污染性或低毒性之電鍍製程（續）

製程	類別	方法
銀電鍍	無氰電鍍	槽液組成：CH ₃ SO ₃ Ag：91.3g/L，C ₄ H ₅ O ₂ N：148.5g/L， H ₃ BO ₃ ：30.9g/L，PEI：若干 pH：10 溫度：25°C
鉻電鍍	以 Cr ³⁺ 替代 Cr ⁶⁺	Cr ³⁺ ：5~8g/L pH：3~3.4 溫度：30~35°C
	無鉻電鍍（一般電鍍）	鎳-鉬-磷鍍層，Mo/P 莫耳比：0.33 (pH2.1) 或 0.66 (pH 4.8)，CeCl ₃ ·7H ₂ O：40g/L pH：4.0
	無鉻電鍍（硬鉻電鍍）	Ni-P-W，Ni-B-W
無鎳電鍍	不同層代替	上層：Cu-Sn，Cu-Sn-Zn/Pd 下層：Cu-Sn，Au-Fe，Au-In，Au-Sn，Au-Ag，Au-Cu-Ag， Au-Pd，Au-Cu-Pd

資料來源：Cleaner production technology, Asian Productivity Organization，中技社綠色技術中心彙整

4.2.2 製程改善

製程改善主要的重點乃檢討現今製程，評估製程改善後成本/技術/品質等因素，進行合宜的變化，以利持續保持企業的競爭性與永續性。經彙整工業局歷年來之電鍍業輔導成果，歸納業者可朝如下方向進行改善：

1.降低鍍槽液蒸發

製程中所使用之化學藥劑常因鍍槽液的蒸發，而有逸散的情事發生，除將造成作業環境之污染外，亦可能對鍍件的品質有所影響。通常在製程的改善上可依鍍件的型式或體積之不同，而在槽體上方設計活動式蓋板，以便將蒸發之氣體凝聚並迴流至槽體中。

2.改善清洗方式

製程節約用水方法主要有增設回收槽、採用多段逆流清洗、噴霧清洗、加裝流量等各種方式，於製程面則應依製程特性、鍍件形狀及品質要求等之考量而有所不同。常使用的做法有：改善清洗槽、外加動力法、逆流清洗法及反應性清洗法等。

3.減少鍍槽液帶出

由於鍍槽液的帶出，將增加清除水與最後廢水處理的負擔，故如何減少鍍槽液的帶出，則將影響到整個水處理成本，並間接影響鍍件的品質。減少鍍槽液帶出的方式，大多從掛具的選擇、延長排滴時間、設置自動分離設備或滴板、選用適當濃度之鍍液及設置回收槽等方式著手。表 4.5 為減少鍍槽液帶出方式與內容說明。

表 4.5 為減少鍍槽液帶出方式與內容說明

方案	內容說明
掛具的選擇	<ul style="list-style-type: none">· 選用適當規格之掛具，避免小鍍件使用大排具· 掛具支架與鍍件間應儘量避免形成死角· 選用適當的輔助陰極· 去除掛具非絕緣部分所鍍出之金屬
延長排滴時間	<ul style="list-style-type: none">· 採自動控制者，將製程排滴時間延長 10-15 秒· 採人工控制者，改變員工操作習性並配合吊車之使用
設置滴板	<ul style="list-style-type: none">· 當鍍槽間有足夠之空間時，可設置滴板使帶出液回到鍍槽再使用· 滴板表面必須有適當的斜度，以便帶出液流回原鍍槽· 使用之材質須能耐酸鹼，設置後不影響操作
選用適當濃度之電鍍液	<ul style="list-style-type: none">· 使用黏度較低之藥液，因黏度大時鍍膜厚度較厚，相對使帶出量增加· 在相同效果下，使用濃度較低之藥液，因濃度高時黏度也隨之增加
設置回收槽	<ul style="list-style-type: none">· 於鍍槽後設置回收槽，並妥善處理回收槽液· 回收槽之型式可為空槽回收、浸漬回收或空氣攪拌回收· 回收槽數一般為 1-3 槽

資料來源：金屬表面處理業整合性污染防治技術手冊

4.延長鍍槽液的使用期限

對於電鍍製程而言，鍍槽液本身終將因雜質的累積而有鍍液老化的情況發生，故如何延長鍍液的壽命，並不影響電鍍的品質，則亦為製程改善的重要一環。通常於延長鍍槽液的使用期限上，可使用鍍液純化設備，將雜質予以濾除，並進行槽液的定量補充即可；除鍍槽液外，脫脂槽液亦可採用此方式進行適當的製程回收。表 4.6 為延長鍍槽液使用期限的方法說明。

表 4.6 為延長鍍槽液使用期限的方法說明

槽液種類		回收技術說明
脫脂槽液		適當的補充週期，並配合添加劑
		濾心過濾
		過濾板過濾
		薄膜過濾
		油水分離機
酸洗槽液		良好的倉貯管理
		添加抑制劑
		採用陰極電解
		回收金屬離子
鍍槽液	鎳（銅）鍍液	活性碳吸附
		循環過濾
		弱電解
	鉻鍍液	素陶筒電解
		隔膜電解
		強電解
		循環過濾

資料來源：電鍍業減廢回收與污染防治

4.2.3 環境化設計趨勢

以往人類各種活動所產生的廢棄物與污染物，主要以自然的方式處理，隨著時代的變遷及環境意識的覺醒，逐漸採用各種管末處理的方式，使之符合環保法規的要求。但由於地球上的資源並非取之不盡和用之不竭。因此，回收與再利用的觀念逐漸普遍，更藉由工業減廢、污染預防及清潔生產等方式，採用積極的源頭減廢來取代替消極的管末處理，而「環境化設計」的觀念也由此而生。

依據 1996 年美商麥格羅·希爾公司(McGraw-Hill company)出版之「Design for Environment」一書中對「環境化設計」的定義為：系統化地考量產品生命週期中環境、健康與安全目標的設計績效。另外，聯合國環境保護署(UNEP)亦於 1994 年成立永續產品發展的工作小組，推動永續產品設計(Sustainable Product Design, SPD)相關計畫，並著重於可再生能源與物質(renewable energy and material)的利用，藉由系統與服務的設計對人類文化、社會及經濟等活動來產生正面的影響。此外，美國環保署於 1992 年成立之污染預防與毒性物質管制辦公室(the Office of

Pollution Prevention and Toxics, OPPT)與幾個工業合作，期望提升產品或製程之設計，並藉由商業行為的改變來鼓勵污染預防；其間開發了”清潔技術替代評估”(Cleaner Technologies Substitutes Assessment, CTSA)，該評估方法係為一套系統程序，其可以分析比較替代化學品、製程及相關技術的成本、績效及環境風險等資訊。而其他相關計畫，例如：綠色化學(green chemistry)計畫，則提供較環保的綠色化學品與化學製程供設計者選擇，在產品的設計開端(Begin by Design)即進行環境化設計，以期收到較高的環境效益。

對於電鍍業而言，由於其為產品或原件製程之一部份，故就產品的環境化設計而言，可朝向電鍍製程之無害化／減毒化以降低環境污染，及提高鍍件品質以延長產品使用期限等方面著手。

第五章 資源化技術

對於電鍍業而言，資源回收再利用技術著重於廢水、廢液或污泥中重金屬的回收再利用，主要利用各類分離技術以分離濃縮各種重金屬並回收再利用。就技術的經濟規模與適用性而言，可區分為廠內製程回收技術與廠外集中資源化技術兩類。一般常見的廠內製程回收技術，大多屬於單一回收單元技術，適用對象主要為廢水及高濃度廢液（液態廢棄物），所需經濟規模較小，例如蒸發濃縮法（evaporation）、電解法（electrolysis）、離子交換樹脂法（ion exchange resin）、逆滲透法（reverse osmosis）及流體化床結晶法（fluidized-bed crystallizer, FBC）等；而廠外集中資源化技術，主要為各種化工或冶金單元所組合的整合性系統技術，適用對象主要為高濃度廢液與污泥，所需經濟規模較大，例如鉻系廢液及污泥回收鉻酸鹽技術、綜合污泥回收金屬技術、污泥混鍊再生材料技術等。

5.1 製程廢水回收金屬

1. 蒸發濃縮法

此為應用原理頗為簡單的一種回收技術，主要將清洗廢水中的水份在蒸發器內予以蒸發，回收到清洗槽中使用，而廢水中的電鍍物質則經濃縮至相當程度後，再回收到鍍槽中重新使用。應用於電鍍工業的蒸發器，大略有下列四種型式：淋模式蒸發器、使用廢熱的突沸式蒸發器，沉澱管式蒸發器及常壓蒸發形式，而蒸發濃縮法可分為加熱器蒸發濃縮、真空蒸發濃縮及大氣蒸發濃縮等三種方式，其中又以加熱器蒸發濃縮法最為廣泛使用。茲就三種蒸發濃縮法分別說明如下：

(1) 加熱器蒸發濃縮

主要設備有加熱器及貯槽，將液體溫度加熱至 90~100°C，使其產生蒸氣蒸發而提高濃度。由於操作時係在一般氣壓下進行，可能提昇的溫度有限，故蒸發量少，效率較低，蒸氣回收利用較難；但其設備較簡單，投資費用亦低，故為業界最常使用的方式。

(2) 真空蒸發濃縮

真空蒸發濃縮時，因電鍍物質可能在較高溫下分解，故蒸發過程往往需

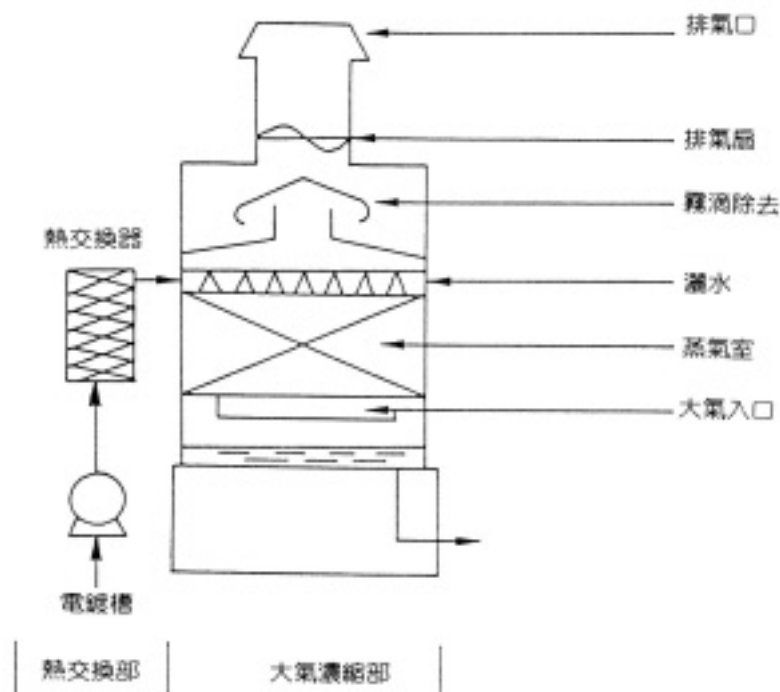
要在真空下（0.1~0.5atm）進行，以降低廢水的沸點（44~83℃）。至於選擇在何種真空下操作，則隨蒸發器形式與電鍍廢水性質而定。由於真空蒸發濃縮系統為完全密閉式，所有的清洗廢水經過蒸發後送回清洗槽使用，而濃縮後的電鍍物質則可補回鍍槽重新使用，故理論上不會有廢水產生。

主要設備有加熱器及真空槽等，由於需在真空下操作，所以操作較不易，但其效率卻可達到相當高的程度。

(3)大氣蒸發濃縮

大氣蒸發濃縮的主要設備有熱交換器、散熱板及抽風機，由於操作上較真空方式簡單，故應用較廣泛。操作時，回收液先經熱交換器提昇溫度（50~60℃）後，至散熱板散佈，與由下面的排風裝置吸引進入的大氣接觸，將水份帶出，而達濃縮的目的。

大氣蒸發濃縮回收效率可以達到 99% 以上，然而由於台灣地區濕度較高，普遍回收效率並不如預期中的理想，且因回收液中雜質含量過高，因此業者多半與電解法併用。圖 5.1 為大氣蒸發濃縮構造圖。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.1 大氣蒸發濃縮構造圖

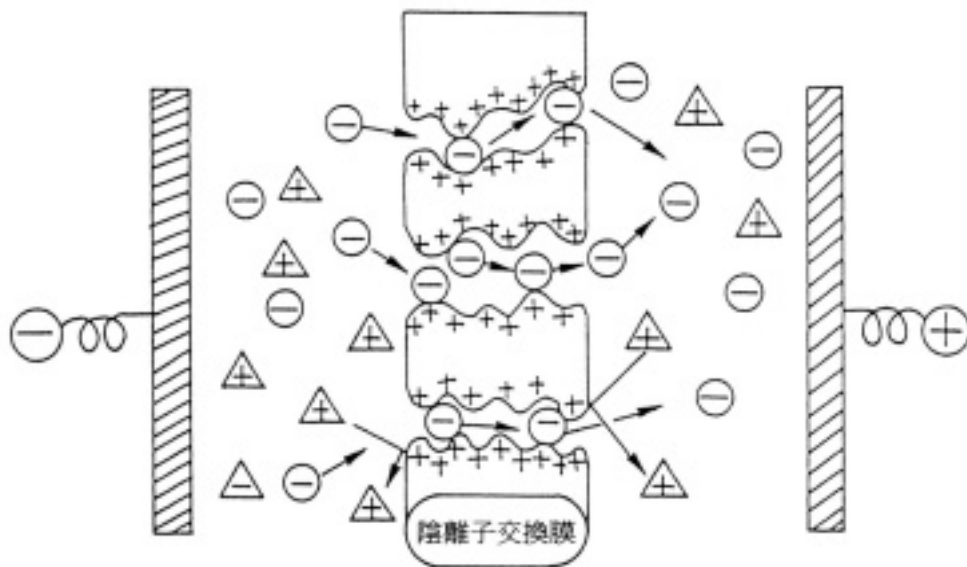
2. 電解法

電解法為相當普遍的使用技術，其原理為在外加電場作用下，控制電解質離子的移動方向，以達到分離濃縮的目的。依使用方式的不同，可分為電透析、隔膜電解及流體化床電解法等，分述如下：

(1) 電透析

此法基本上屬薄膜程序，利用滲透的理論，藉離子交換膜的良好選透性，在外加電場作用下，控制電解質離子的移動方向，以達到分離及濃縮的目的。離子交換膜將電解質分離的機構如圖 5.2 所示，在膜的兩端提供電位差使產生一電場，迫使帶負電的陰離子往陽極方向移動並為膜內表面帶正電荷的孔道所吸附，然後經由孔道內的離子傳送而擴散至膜的另一端，達到將電解質分離或濃縮的目的。

電透析的影響因素主要有電流密度、操作溫度及濃縮液濃度等，簡述如下：



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.2 離子交換膜分離機構示意圖

A. 電流密度

一般而言，高電流密度有較好的電流效率，但當電流達到極限值時，交換膜膜面的選擇透過離子濃度將接近於零，因而降低電流效率。

B. 操作溫度

溫度會影響槽內溶液的粘滯係數 PA，改變選透離子的擴散係數及移動度；因此，提高電透析系統的操作溫度可以增加效率；一般最佳操作溫度為 50~60°C。

C. 濃縮液濃度

濃縮液濃度高時，所需的電流密度亦較高，故電流強度須依濃縮液濃度適當調整，以符合實用性。根據研究，將濃度 625mg/L 的鉻帶出液直接引入電透析槽進行分離及濃縮處理，鉻酸可被濃縮至 2,500mg/L 以上。

(2) 隔膜電解

隔膜電解與電透析構造類似，同屬於薄膜程序。在電位的驅使下，溶液中的離子化雜質會向兩端電極移動，以達到去除溶液中雜質的效果。不同的是，隔膜電解係用膜隔開電解裝置的陽極和陰極，使電透析和電解過程同時進行的一種膜分離法，處理對象為高濃度鍍液（如鉻酸鍍液），處理目的則為去除鍍液中的金屬雜質，直接純化回收鍍液，使能回到鍍槽中再使用。

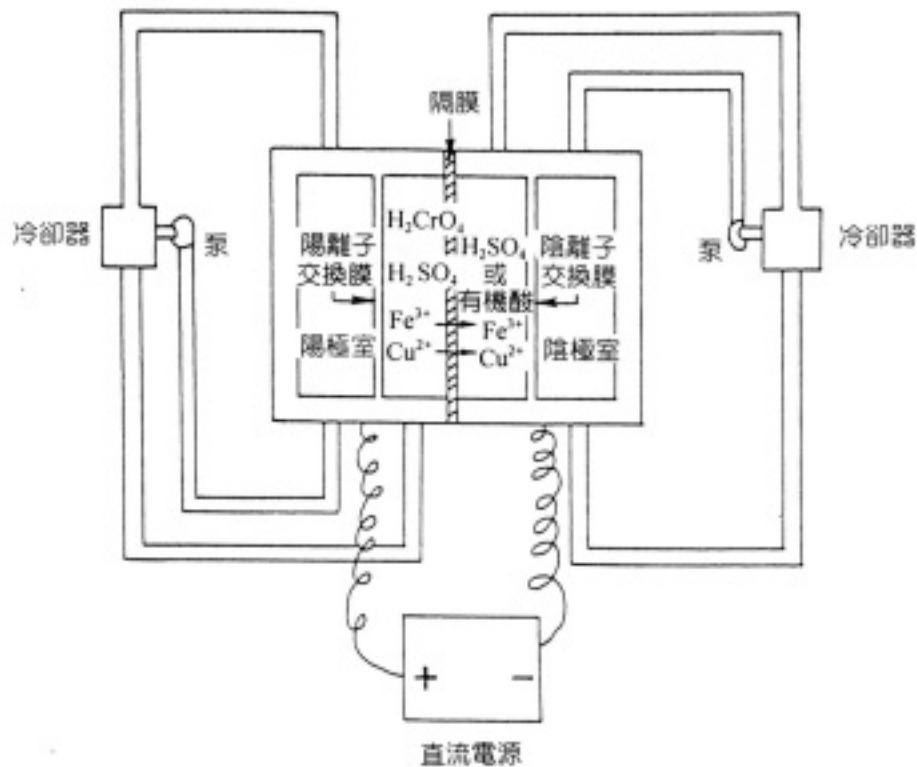
隔膜電解槽的構造，為槽中央放置隔膜，將電解槽分為陽極室與陰極室，隔膜之組成以板材、膜材及膠狀物為主，主要用來隔開正極和負極，以防止兩極在使用過程中短路。陽極室以鉛板為陽極，回收液在陽極室循環；陰極室亦以鉛板為陰極，並放入回收液。電解時，陰極室回收液的陰離子向陽極室回收，陽極室的金屬不純物，如鐵、鎳、銅、鋅等，則移入陰極室，附著於陰極板而被除去。隔膜電解常與大氣蒸發濃縮設備併用。目前國內電鍍業者已能熟練地應用隔膜電解來純化鍍液，回收效率亦可高達 90% 以上，圖 5.3 所示為隔膜電解流程圖。

(3) 流體化床電解法

此法乃於電解槽內置入大量的填充物，常見的有純化玻璃珠子等填充物，利用進流水將電解槽內大量的珠子揚起，藉由珠子在槽內不斷的移動而與電極產生撞擊的作用，並破壞離子間的電雙層降低極化作用，且藉由增加

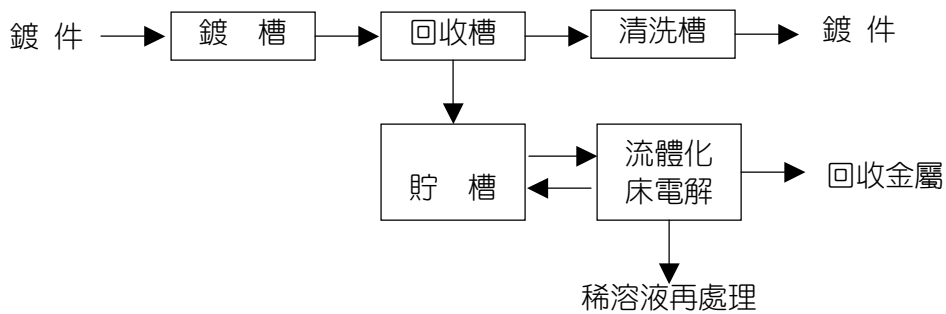
極限電流密度，而減少擴散層的厚度，使流體化離子能在電極板上形成金屬析出。

流體化床電極板有網狀及片狀二種，為耐酸鹼的鈦金屬材質，由於操作時會產生 H^+ ，降低 pH 值，故需以鹼劑適當調整 pH 值，而電解液的 pH 不可小於 1；有機雜質不可大於 $20mg/L$ ，電流密度必須小於 $1KA/m^2$ 。目前業者常將此設備用以回收鎳、銅等較貴重的金屬。圖 5.4 所示為流體化床電解流程圖。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.3 隔膜電解流程圖



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85年3月

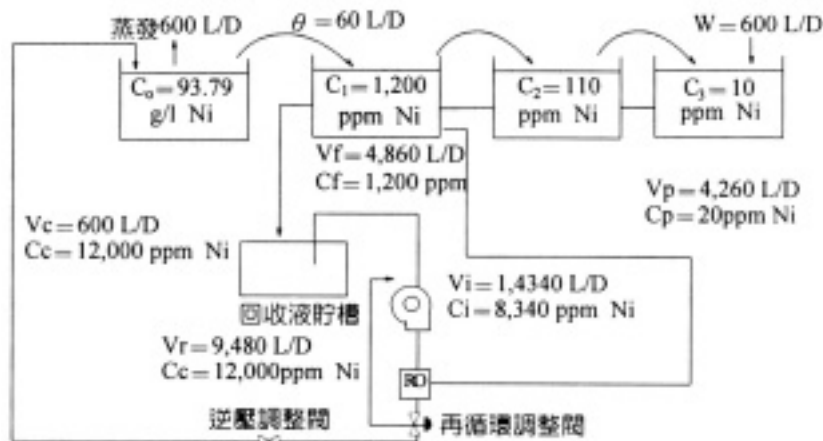
圖 5.4 流體化床電解流程

3. 薄膜過濾法

薄膜過濾法運用於水處理已十分普遍，其中較為常用的包括逆滲透 (Reverse Osmosis, RO)、超過濾 (Ultrafiltration, UF) 及微過濾 (Microfiltration, MF)，這些方法皆以壓力為驅動力 (driving force)，並利用薄膜孔徑大小或薄膜表面的特性分離溶劑與溶質，達到處理或純化水質的目標。清洗廢水在壓力下選擇性通過半滲透膜微孔後，分為淨化的滲透液和濃縮液，故廢水中的電鍍物質經濃縮後可回送鍍槽中使用，純化後的水則可作為清洗水。此法在美國已商業化，並使用於大規模酸性鍍鎳清洗水的濃縮，然而國內因受限於易於堵塞及沉積的問題，使用上仍不廣泛。

逆滲透用於電鍍廢水的回收系統實例，如圖 5.5 所示，最初清洗槽所含雜質濃度較高的清洗水，經溢流泵送至逆滲透系統處理，處理後的濃縮液回送至鍍槽補充蒸發的水份及被帶出的鍍液，滲出液則回送到最後的清洗槽補充清洗用水。由於逆滲透的濃縮能力有限，濃縮液有時需以蒸發濃縮法進一步處理。

商業使用的逆滲透系統有管式、螺旋纏繞式及空心纖維型三種型式，使用時各有其優缺點。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85年3月

圖 5.5 鍍鎳作業採用逆滲透回收系統實例

4. 離子交換樹脂法

離子交換現象是一種可逆的化學反應，可溶性離子可藉溶液與特定物質表面的作用基進行交換反應。離子交換樹脂是合成高分子聚合物，其表面分佈著可反應的作用基，這些反應基可以解離並與周圍的離子進行化學反應；由於為可逆反應，因此當反應趨於完全時，可利用酸及鹼將陽離子樹脂回復至原來的化學狀態，如此樹脂就可進行再次的交換反應。由於交換樹脂對高價金屬的優良交換性已成功的應用在電鍍工業，從廢水中回收金屬及水，有效地降低了污染。現就目前離子交換樹脂在電鍍廢水的一些應用實例加以說明。

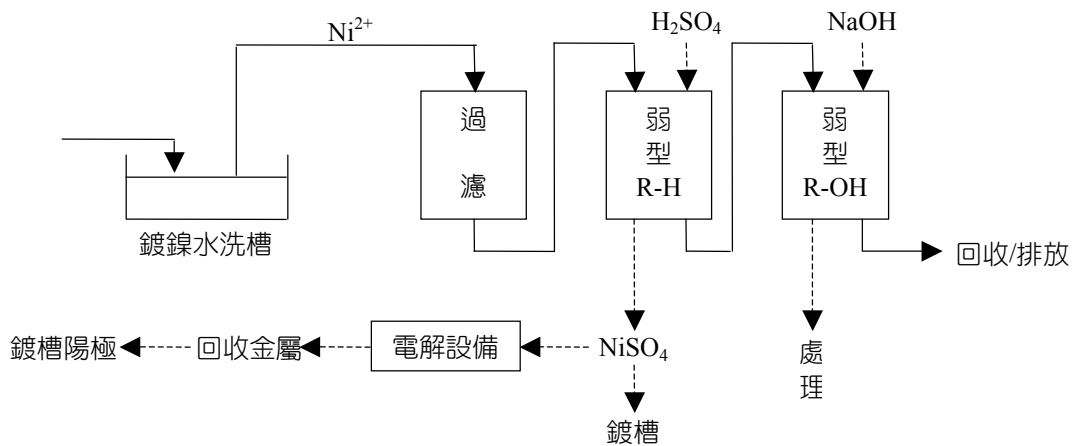
(1) 鉻酸回收

離子交換樹脂除了可去除毒性高的重金屬外，對於高價值金屬的回收也有很大的效果。如鍍鉻工程中， CrO_4^{2-} 會有部份還原成 Cr^{3+} ，除了少量的 Cr^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 外，在水洗過程大約含有數十至數百 mg/L 的 CrO_4^{2-} 可以用樹脂將鉻酸回收至鍍槽中，處理流程如圖 5.6 所示。清洗水經前段處理後可循環再使用。

(2) 硫酸鎳、硫酸銅的回收

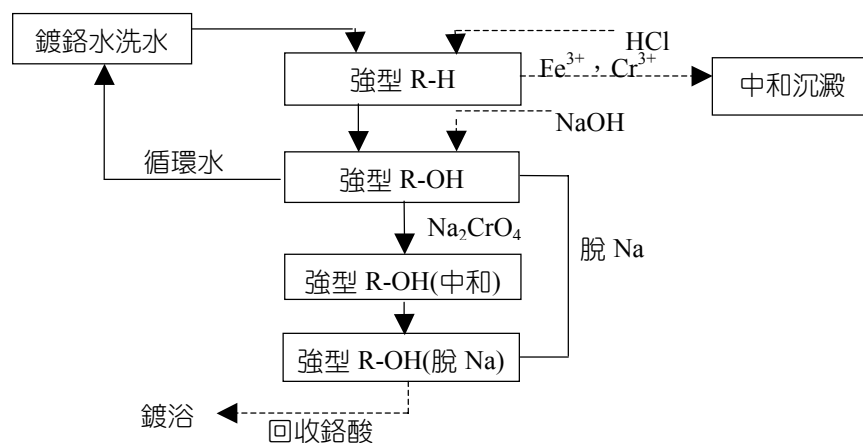
硫酸鎳為鍍鎳的主要成份，其鎳含量約在 35~85g/L。利用弱酸性陽離子樹脂及 5% 硫酸再生液可回收硫酸鎳作為鍍槽的補充液；此外，亦可配合電解方式回收金屬鎳至鍍槽中當陽極使用，如圖 5.7 所示。酸性硫酸銅溶液

的清洗廢水 pH 值約在 2~4 之間，因此使用強酸性陽離子樹脂較適合，再生後的硫酸銅含量高，須經處理方可回收再利用；若含雜質濃度高時，則須經去雜質程序再回收使用，以確保電鍍品質。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.6 離子交換樹脂回收鎳酸流程



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.7 離子交換樹脂回收硫酸鎳/鎳酸流程

5.流體化床結晶處理法

流體化床結晶處理法主要利用金屬鹽具有低溶解度、穩態晶體的特性及控制溶液中低過飽和度，藉以有效去除廢水中污染物。而所謂的流體化床，係於反應器中添加微小顆粒（如石英砂）當載體，以流體由下往上通過顆粒層，在適當流速作用下，使微小顆粒呈現流體化之顆粒層。其主要特性在於微小顆粒能提供廣大的比表面積，在適當藥劑量（如 Na_2CO_3 ）與控制條件下，重金屬與碳酸根形成之碳酸金屬結晶型態，生長於微小顆粒表面，重金屬流體化床結晶處理流程如圖 5.8 所示。其操作條件、晶體純度分析及晶體回收測試如下所述：

(1)操作條件

以流體化床結晶法回收鎳時，pH 值、水力停留時間及總碳酸與鎳之莫耳比(CT/Ni)為最重要的三個參數，其中 CT 表示之總碳酸值(Total Carbonate value)，在強鹼性下也可簡化相當於 CO_3^{2-} 。經由實驗結果顯示，鎳濃度 200mg/L 時，在流體化床結晶槽操作條件控制為 pH：9.6、水力停留時間 33 分鐘及 CT/Ni 比 2.5~3.6，其出流水鎳濃度可維持在 1mg/L 以下。

(2)晶體純度分析

原載體砂粒徑為 232 μm ，長晶後晶體粒徑為 572 μm ，其晶體加 HCl 溶解後，以感應耦合電漿原子發光分光分析法(ICP-AES Analysis)，鑑定晶體純度，發現鎳純度約為 95%，其餘為 2.88%鈣、0.50%鎂、0.53%鈉、0.47%銅及 0.41%鋅。另外 572 μm 粒徑晶體以 H_2SO_4 溶解後之回收液 NiSO_4 濃度比原鍍液濃度高（為 350 g/L，Ni 之濃度 131 g/L），可適量補回電鍍槽回用。

(3)晶體回收測試

哈氏槽(Hull cell)是 R.O. Hull 發明的小型鍍槽，於 1939 年發表，雖然沒化學分析法那麼正確，但在現場可簡易利用，廣用於很多電鍍工廠。

直徑 60 公分，高度 260 公分的流體化床結晶槽模型廠在現場進行了 26 次操作，由靜態觀察乾床由淨高 74cm（重量 351 kg）長晶至 108 cm 後進行排晶，其測試步驟如下：加硫酸溶解晶體，約 130 g/L NiSO_4 (48.7 g/L Ni)，各別加入 10%及 20%（v/v）回收液進行 Hull Cell 實驗。第一組實驗取鍍槽液 270 ml 加 30 ml 回收液，以 10% H_2SO_4 調整 pH 至 4.69，再加 10 ml 柔軟劑、0.3 ml 光澤劑後，陽極為鎳板，陰極為經 HCl 及菜瓜布處理後的鐵板，

工作電壓 6 伏特電流 2 安培，電解 5 分鐘。第二組實驗鍍液 240 ml 加 60 ml 回收液其他步驟相同。結果發現添加 20% 回收液實驗組，其鍍件仍然保持光澤。

流體化床結晶處理法產生之晶體具有高純度（95%）及低含水率（10%）的優點，而影響重金屬結晶之因素包括：流體化床槽體中水相之 pH 值、化學藥劑與廢水中重金屬之莫耳比值、截面流速、槽中重金屬體積負荷等。而流體化床槽體中水相之過飽和度控制對於晶體之成核及成長現象有決定性的影響，過飽和度取決於 pH 值、化學藥劑與重金屬濃度，水中可依飽和度之高低，可略分為穩定區(stable)，介穩區(metastable zone)及不穩定區(labile)，在穩定區為未飽和狀態，故晶體會於此溶解，於不穩定區因過飽和度太高，會發生難以控制之均質成核現象，於介穩區內通常為可控制之次成核及成長機制，不過介穩區之寬度與成核機構有關，因此流體化床中將水相控制在介穩區是重金屬結晶之主要關鍵，當重金屬結晶流體化床操作一段時間後，較大之結晶體自然下沉於流體化之顆粒層底部，當結晶顆粒之終端沉降速度接近於截面流速時，流體化床結晶槽即需進行排晶，並必須補充初始載體，以維持固定的結晶床面積。

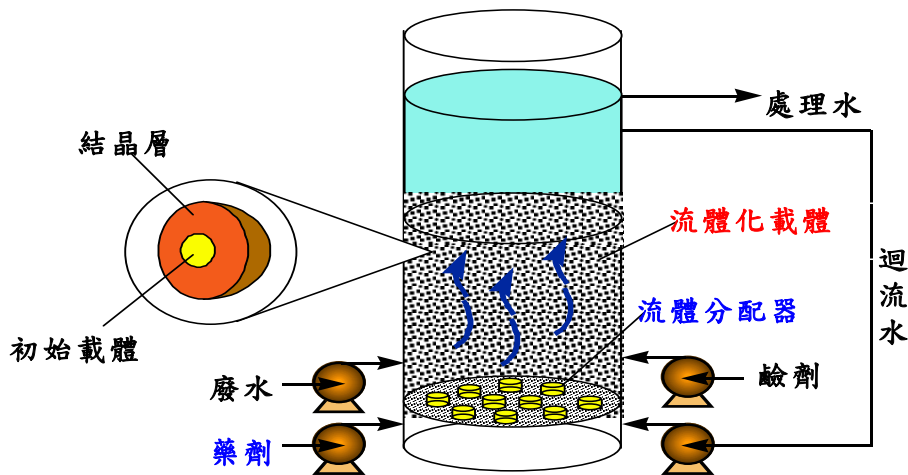
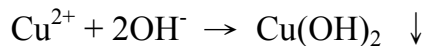
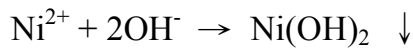
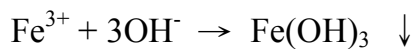
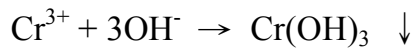
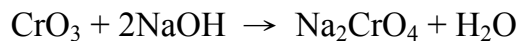


圖 5.8 重金屬流體化床結晶處理流程

5.2 鉻系廢液及污泥回收鉻酸鹽

1. 鉻系廢液回收鉻酸鈉

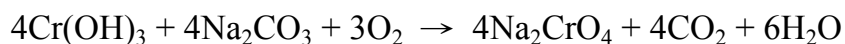
電鍍廠對於濃厚廢鉻液一般均以還原中和法處理，應用此法不但浪費大量處理藥劑且會產生大量污泥，不利於後續的處理處置。事實上，於鉻廢液中加入 NaOH 溶液調整 pH 值至 9~10，可將鉻廢液中主要成份鉻酐（chromic anhydride, CrO₃）資源化為鉻酸鈉溶液，並使其他金屬離子和氫氧根離子鍵結成不溶於水的氫氧化物沉澱，藉由過濾機將沉澱物分離去除，即可回收鉻酸鈉水溶液。其化學式如下：



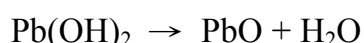
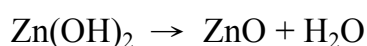
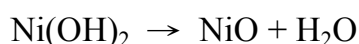
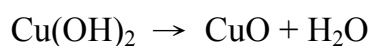
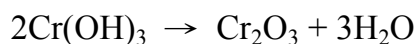
但如果加入太多 NaOH 使 pH 值超過 10，則各種氫氧化物雜質沉澱將會再溶解成水溶性的金屬離子。

2. 鉻系污泥回收鉻酸鈉

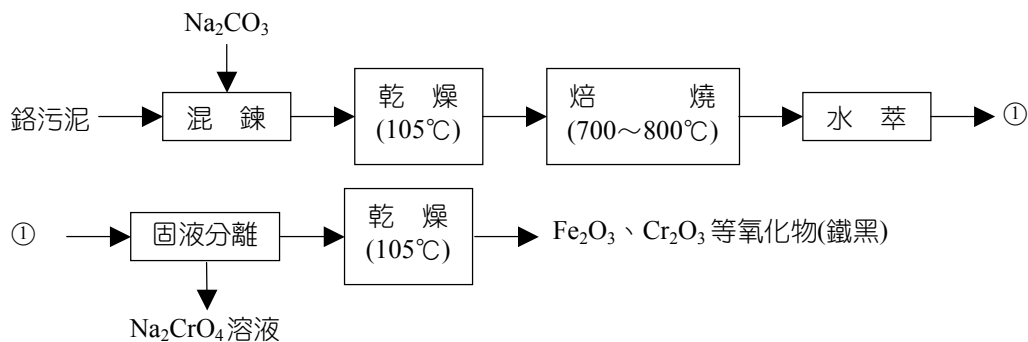
含鉻濃厚廢液及清洗廢水經還原中和所產生的鉻系污泥，主要成份為 Cr(OH)₃，次要成份為 Fe(OH)₃、Cu(OH)₂、Ni(OH)₂、Zn(OH)₂ 及 Pb(OH)₂ 等物質。因鉻污泥中 Cr(OH)₃ 的含量約佔 30~80%，相當於含鉻的礦物原料，且此種污泥粒子微細，於 700~800°C 溫度下極易與 Na₂CO₃ 反應，生成水溶性的 Na₂CrO₄，而其他氧化物又不易溶於水，因此，藉由水萃程序，可分離 Na₂CrO₄ 和其他氧化物，其化學反應方程式如下：



（水溶性）



此方法鉻轉化率可達 95%，而影響鉻轉化率的因素包括：鉻污泥的組成、Na₂CO₃ 的量及反應溫度等。經回收 Na₂CrO₄ 後剩餘的殘渣含有 Fe₂O₃、Cr₂O₃、CuO、NiO、ZnO 及 PbO 等氧化物，可做為製造黑色陶瓷用顏料的成份。圖 5.9



所示為鉻酸鈉回收流程。

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.9 鉻酸鈉回收流程

5.3 綜合污泥回收金屬

1. 置換電解回收金屬

美國 Recontek 公司的綜合電鍍污泥回收金屬資源化處理流程如圖 5.10 所示，利用置換、電解、結晶等傳統化工單元為主要資源化技術，污泥則以是否含鋅而區分為兩類，典型的污泥組成份如表 5.1：

(1) A 類污泥（含鋅）

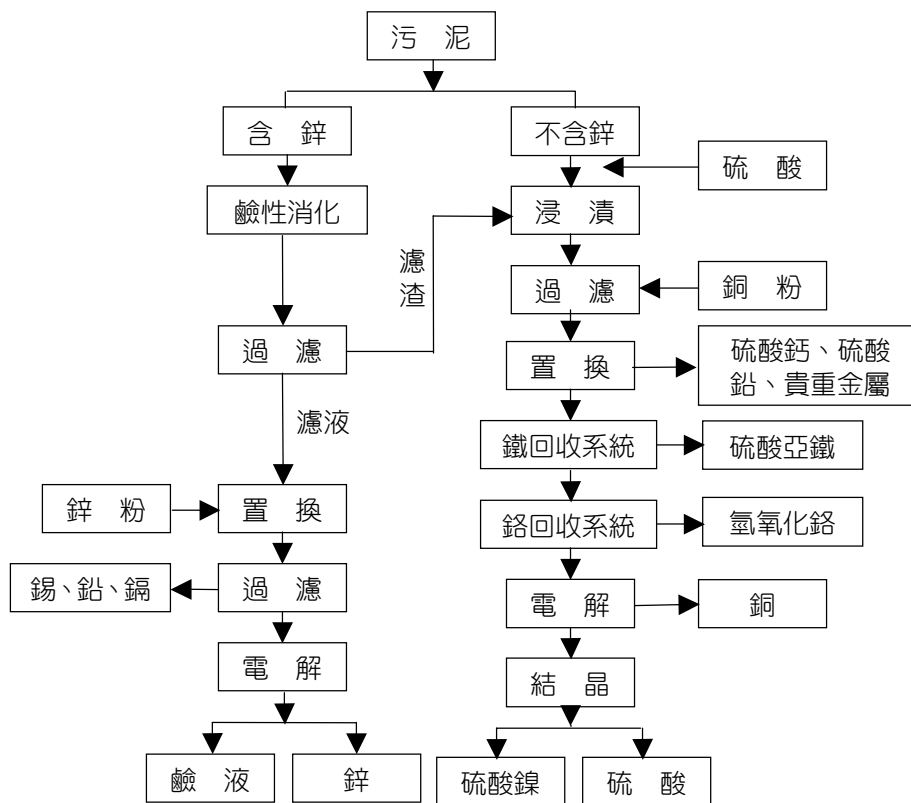
利用鹼性消化溶解鋅、鉛及鎘，以區分不可溶的銅、鎳、鐵與鉻。當反應完成，污泥經過濾後，不可溶（濾渣）的部份送往 B 類污泥處理系統，濾液則送往置換系統（substitution system）。在置換系統內，加入足量的鋅粉，使陰電性較鋅為高的金屬如鉛、鎘沉澱出來，經乾燥後即可出售。此時，溶液中僅剩鋅以鋅酸鈉（ Na_2ZnO_2 ）的形式存在，經電解法處理後即可回收鋅。另剩餘的鹼性溶液則可回收再利用。

(2) B 類污泥（不含鋅）

A 類污泥經鹼性消化過濾後的濾渣（含銅、鎳、鐵、鉻）送往 B 類污泥處理系統，將二種污泥混合攪拌後以硫酸浸洗（leach），使污泥中的銅、鎳、

鉻與其他金屬溶解，同時進行充氣、加溫等程序以加速反應。當反應完成後，加入足量的銅粉，將貴金屬（尤其是銀）沉澱出來，經過濾所得的不溶物（硫酸鈣、硫酸鉛、銀）於乾燥後即可出售給貴金屬精製商。另濾液中含有銅、鎳、鐵、鉻等金屬，經蒸餾程序後，濾液中的氯化物、硼酸鹽等以 HCl 及 HBO₃ 的形態回收，硝酸鹽則被分解為 N₂ 與 H₂O。剩餘物經加水過濾後，可送往鐵、鉻回收系統，鐵被轉化成硫酸亞鐵 (FeSO₄·H₂O) 的形式回收後售予肥料製造商或水處理公司，鉻則以 Cr(OH)₃ 的形式回收後售予不銹鋼工業。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，可使濾液中的硫酸銅濃度降低至 500ppm，而回收陰極銅的純度達 99%。最後濾液被送往鎳回收系統，利用蒸發及結晶法進行鎳回收，其原理為硫酸鎳的溶解度隨 H₂SO₄ 濃度升高而降低，故以蒸發法去除濾液中的水份，提高 H₂SO₄ 濃度，使 NiSO₄ 得以結晶析出；儘管溶液中尚含有 NiSO₄ 存在，為避免溶液的密度增大而減緩沉降率，此一程序至溶液密度達 50~60 波美 (Be) 即可視為完成。經過濾清洗後，鎳在其鹽類中的含量約為 23~25%，可以售予鎳鹽製造商，剩下的濾液為不含金屬的硫酸溶液濃度達 75%，可以回用於廠內，另蒸發的水份經收集後亦可以回用。

由於進廠處理的廢液或污泥成份變化多端，某些物質例如鈉、鐵會在濾液中累積，因此需要後處理來去除回收累積的不純物。鈉可經由蒸發、結晶的方式以硫酸鈉的形態回收，而蒸發的水則可以回收再利用。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 Fe₂(SO₄)₃ 的形態存在，加入 H₃PO₄ 後會形成磷酸亞鐵 FePO₄ 沉澱，經過濾後再轉化成氧化亞鐵出售。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85年3月

圖 5.10 置換電解金屬回收處理流程(Recontek)

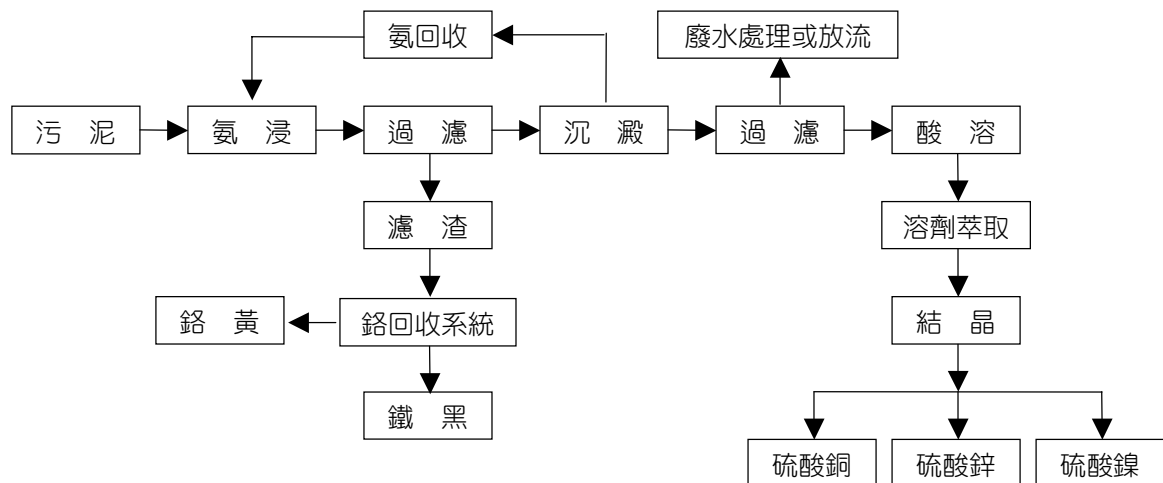
表 5.1 典型污泥組成份

A類(含鋅)	B類(不含鋅)
Cu : 8-10%	Cu : 1-2%
Ni : 0.5-1%	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：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85年3月

2. 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，中國大陸則有實廠運轉的文獻記載。此外，美國、加拿大、西德及國內工研院化工所等，均以氨浸萃取技術進行電鍍污泥資源化的研究工作。氨浸萃取技術處理流程如圖 5.11 所示。



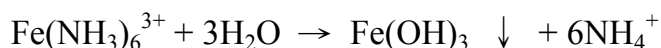
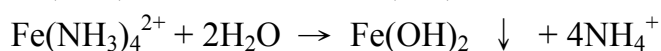
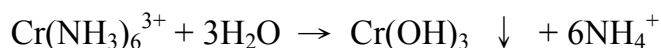
資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.11 氨浸萃取技術處理流程

由於電鍍污泥中，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，將污泥中的重金屬作初步分離，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：

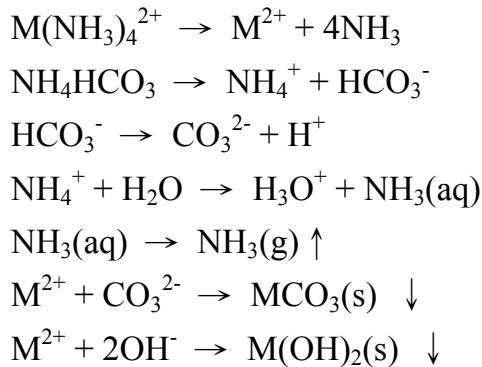


因鉻與鐵在形成錯氨鹽後會繼續發生水解反應，形成氫氧化物沉澱，故系統中可溶性鐵、亞鐵、三價鉻離子的含量極低，其反應式如下：



可溶性錯氨碳酸鹽經過濾後，浸漬殘渣部份可資源化成鉻黃與鐵黑產品；

而濾液主要是以銅、鎳、鋅的錯氨鹽為主，通入蒸氣解離後會形成鹼式碳酸鹽沉澱，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，再利用已商業化的有機溶劑進行萃取分離，溶劑萃取將銅、鎳、鋅分離純化成各單一金屬硫酸鹽溶液後，即可應用結晶技術，將其製成硫酸銅、硫酸鎳及硫酸鋅等資源化產品。

3. 微生物回收金屬

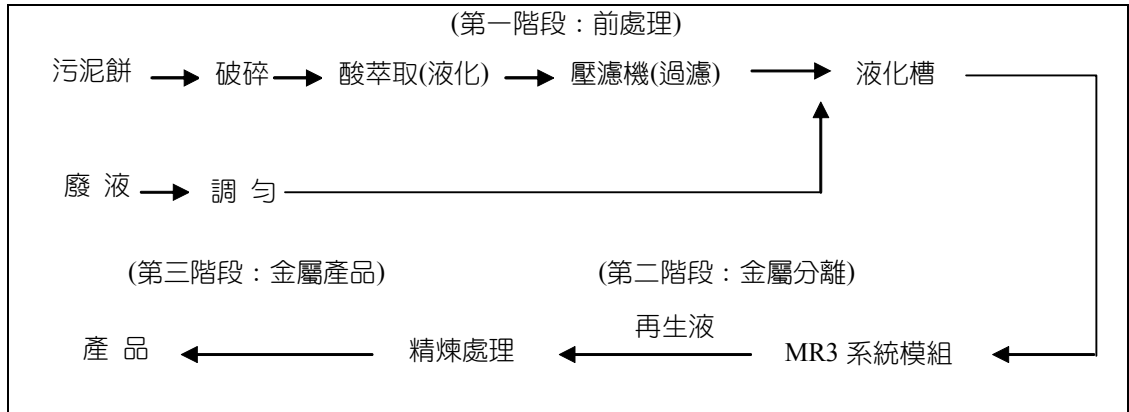
以微生物代替傳統物理化學技術提取電鍍污泥及廢液中的重金屬，係利用電鍍污泥中獲得的 SRI 功能菌處理電鍍廢液及污泥中的重金屬，可回收 95% 以上的六價鉻、鎳、鋅及鎘金屬，而提取的重金屬再經純化則可分別回收各種重金屬。

4. 「金屬濕式提煉回收技術」(MR3)回收金屬

在 1980 年代初期，DeVoe 博士即積極地在進行微生物與動物細胞之間有關物質抓取與傳送的研究，尋求金屬養份有效吸收機制，藉以從各種廢棄物及其他污染源中精準的選擇特定金屬加以抓取，可純化為高純度的有價金屬，也可做成化學製品。「金屬濕式提煉回收技術」(MR3)之處理程序區分成三個階段：第一階段前處理、第二階段金屬分離、第三階段金屬產品。

第一階段可依據處理物質之特性採取適當之處理方式，如破碎、篩選等方法；第二階段的處理功能在於自溶液中分離不同金屬；第三階段則可依產品需求而特別設計，製作成金屬化學品或是成為金屬原料。

「金屬濕式提煉回收技術」(MR3)主要處理流程如圖 5.11，說明如下：



資料來源：重金屬污泥資源化技術 MR3，國外資源化技術講習說明會，91 年 11 月。

圖 5.11 「金屬濕式提煉回收技術」(MR3)處理流程

(1) 第一階段：前處理

此階段之主要目的係將金屬離子從固態或液態原物料中萃取出來，並貯存於液化槽（如圖 5.12）中使處理液達到調勻狀態，以利進入第二階段 MR3 系統模組之抓取。

預處理之技術或設備完全依原物料之性質與成份來決定，如固體物（如污泥餅）需先破碎，並以稀酸或廢酸萃取金屬離子。

第一階段的處理設備，完全由自動化儀控系統控制，系統之處理容量相當有彈性，處理之金屬濃度範圍可以超過 300,000ppm 或少於 1ppb。

(2) 第二階段：金屬分離

此階段是 MR3 之技術核心，設備為回收金屬之 MR3 系統模組（如圖 5.13）。

單一金屬分離模組是由數個封閉式的模組所組成。每個模組裝填特別的吸附介質，吸附介質具有高親合力，而且只抓取預設的金屬。在含有其他各種金屬的水溶液中能持續選擇所需要的單一金屬進行抓取。每個不同的金屬以各自的抓取速度，互不干擾地於串聯的不同模組中分別被抓取。

若是處理金屬污染的廢水，則溶液通過 MR3 系統模組後，所排出的水都已經淨化過，因此可直接排放到一般環境中或回收作為其他用途。



資料來源：重金屬污泥資源化技術 MR3，國外資源化技術講習說明會，91 年 11 月。

圖 5.12 液化槽



資料來源：重金屬污泥資源化技術 MR3，國外資源化技術講習說明會，91 年 11 月。

圖 5.13 MR3 系統模組

5.4 污泥混鍊再生材料

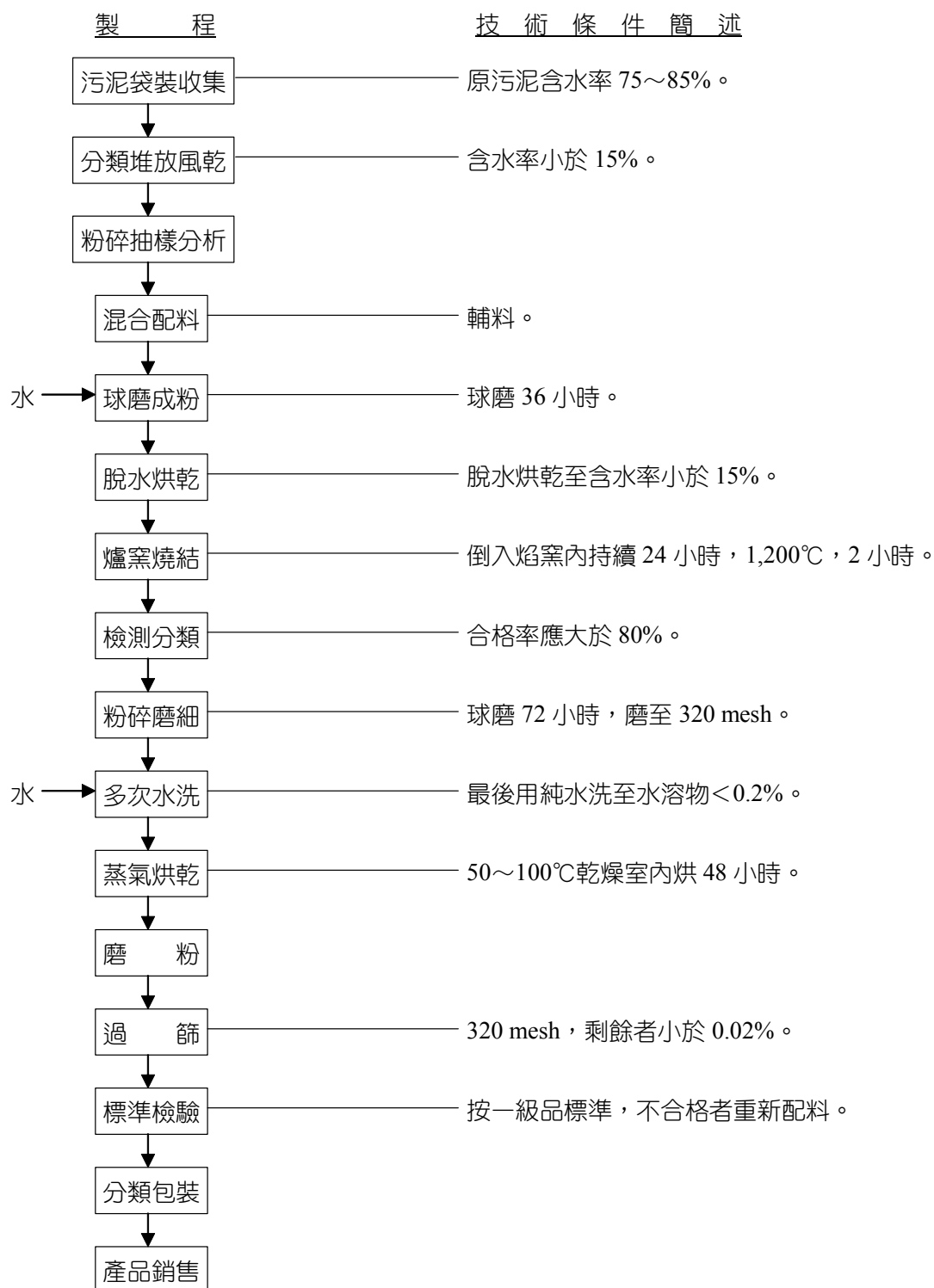
1. 製作陶瓷顏料

由於電鍍製程的不同，造成電鍍污泥成份的多樣性及複雜性，致使純化回收重金屬的理想較難達成；然而電鍍污泥中所含的重金屬與顏色相關，通常可用來製成陶瓷顏料，應用在陶瓷、馬賽克、彩砂等建材中，以獲得較好的經濟效益。

將含有鉻、銅、鋅等重金屬氫氧化物的電鍍污泥集中乾燥、破碎及混勻後，按照陶瓷色料配比計量添加氧化鋅、氧化鐵等輔料，其中污泥量與添加輔料量比例約 20:1，再經混合磨粉裝匣，於 1,200°C 窯爐內隔焰燒成陶瓷釉顏料。由於電鍍污泥中含有矽酸鹽等無機成份及鉻、鐵等氧化物，使污泥在高溫下產生玻璃化作用，特別是三價鉻在大量鐵、鋅存在下所生成的尖晶石結構體，可不再受環境影響而溶出。採用這種技術燒成的成品經粉碎、研磨後，形成黑、棕、深紅或深綠等產物，與市售鋅—鐵—鉻系列陶瓷顏料色調相同，且其他性能亦可符合此類顏料的行業標準，故可用以替代目前陶瓷及高級建材生產上使用的色料，其製造流程如圖 5.14 所示。

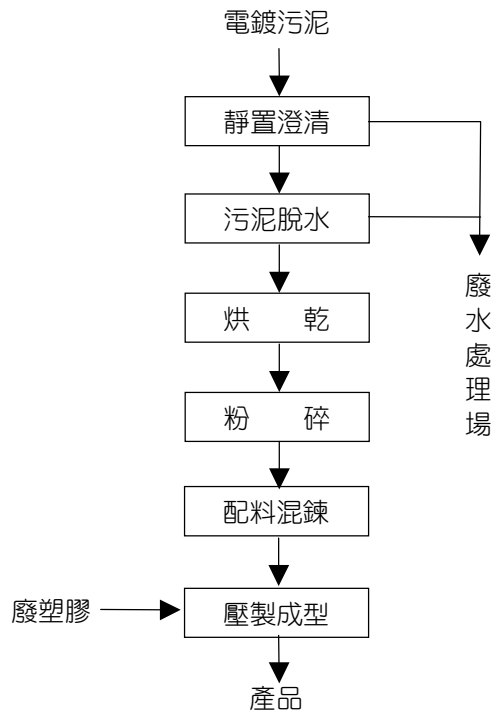
2. 製作改質塑膠製品

理論上，本技術屬塑膠固化技術，係利用金屬氫氧化物和氧化物的特性，將含重金屬電鍍污泥乾燥粉碎後，替代鈣塑製品作為填充料，與回收的廢塑膠混合，經過融化、注塑、成型等技術過程，製成改質塑膠製品，具優於一般鈣塑製品的機械性能，且化學穩定性良好。此技術可同時解決電鍍污泥及廢塑膠的處理問題，其製造流程如圖 5.15 所示。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.14 電鍍污泥製造陶瓷顏料製品流程



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.15 電鍍污泥與廢塑膠混鍊製作改質塑膠製品流程

3. 製作實心黏土磚

理論上，本技術屬矽酸鹽固化技術，於製造黏土磚的過程中，加入一部份的電鍍污泥，使電鍍污泥的主要成份金屬氫氧化物在燒結過程中發生去水反應，形成穩定的金屬氧化物，並與黏土中的矽酸鹽作用，其製造流程如圖 5.16 所示。

為確保黏土磚的品質，避免重金屬二次污染，利用電鍍污泥製作實心黏土磚應限制如下：

- (1) 污泥中不可含有可觀比例的油脂、有機物及其他化學物質。
- (2) 污泥中不允許摻雜生活垃圾。
- (3) 污泥含水率應低於 80%。

(4)重金屬鎘不得滲入污泥和製磚過程，因鎘的沸點較低，於 1,200°C 的燒結過程中易產生有毒金屬氣體。

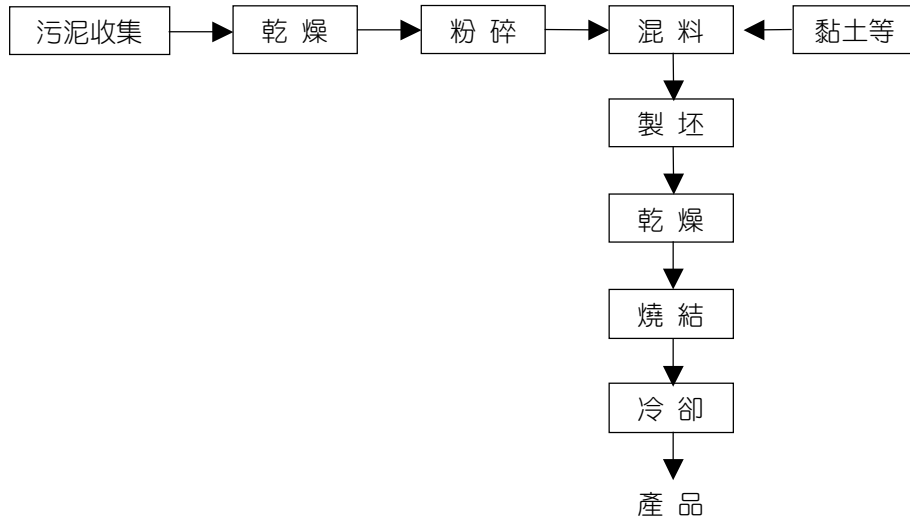


圖 5.16 電鍍污泥製造實心黏土磚流程

第六章 設備選用程序與評估

本章節將針對「電鍍業」產生各類廢棄物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：盤查製程污染源
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，對電鍍工廠之營業額如何。
- 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。
- 是否有供應電鍍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。
- 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。
- 電解系統回收鎳所使用之電流密度大小，當鎳濃度降低時，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。

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）回收系統之電鍍工廠，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

7.1 大氣蒸發濃縮設備回收鉻酸

7.1.1 前言

A 工廠為一裝飾性電鍍工廠，專門從事高級衛浴器材的電鍍加工，主要產品為給水龍頭及銅管，製程以鍍雙重鎳—鉻的裝飾兼防蝕性電鍍為主。該廠於鍍鉻製程線上設置乙套大氣蒸發濃縮設備，將靜止水洗槽內較低濃度的鉻酸，以蒸發濃縮方式回收高濃度鉻酸再使用，減少含鉻廢水排出。由於該設備安裝容易且操作簡便，不僅降低了生產成本，並可達到資源回收及節省污染防治費用的目的。

7.1.2 製程及原理

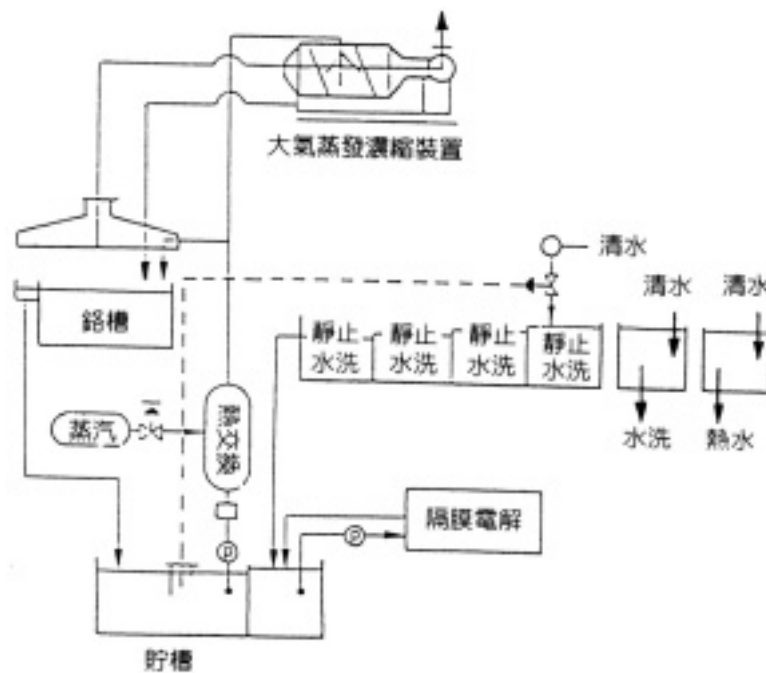
鍍件經脫脂等前處理後，進行半光澤鎳及全光澤鎳電鍍，鍍鎳後鍍件表面附著的鍍鎳液由靜止水洗槽先行回收，再經水洗進行鍍鉻，鍍鉻槽後方設置四段靜止水洗槽以充分回收鉻酸帶出液，鍍件則再經水洗烘乾即為成品。

根據調查統計結果，該工廠平均每日鉻酸帶出量達 3,424g，為充分回收鉻酸帶出液，減少水洗排水中鉻酸污染濃度，該廠於鍍鉻槽後設置四段靜止水洗槽，以充分回收鍍件表面帶出的鍍鉻槽液，惟經由靜止水洗槽回收的鉻酸液濃度不高且量又大，無法完全回補至鍍鉻槽內再使用，需進行部份排棄，因此，裝設大氣蒸發濃縮及隔膜電解設備，將靜止水洗槽內較低濃度的鉻酸蒸發濃縮成高濃度鉻酸，回送至鍍鉻槽內再使用，達到鉻酸帶出液完全回收的目的。

該大氣蒸發濃縮設備主要包含有貯槽、隔膜電解槽、熱交換及蒸發濃縮等四個單元，其處理流程如圖 7.1 所示。將靜止水洗槽槽液收集於貯槽，貯槽內設有液位控制器控制廢液泵及第四靜止水洗槽清水電磁閥的啟閉，亦即當貯槽內廢液達高水位時，泵啟動抽送廢液處理，而清水電磁閥關閉停止補充清水；相反的當貯槽內廢液達低水位時，泵關閉，清水電磁閥啟動補充清水，故理論上清水補充量應與廢液的蒸發水量相等。

熱交換器為提高廢液溫度的主要單元，熱量一般來自鍋爐蒸氣，藉由熱交換器傳遞熱量，使廢液溫度升高至 50~60°C 左右，為防止熱量的散失，通常於熱交換器及管線外圍包裹保溫材料。蒸發濃縮單元主要分為冷卻填充層及蒸發濃縮二

個單元，經熱交換處理後的高溫鉻酸由槽體上方均勻灑佈於網狀的冷卻填充層，與由風扇帶入的冷空氣混合後將水分攜出，增高鉻酸的濃度，濃縮的鉻酸可回補至鍍槽再使用，冷卻後的凝結水則可回收使用或泵送至廢水處理場處理。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85年3月

圖 7.1 大氣蒸發濃縮設備之處理流程

7.1.3 資源化成效

該廠設置大氣蒸發濃縮設備後，鍍鉻製程中各槽液的六價鉻濃度如表 7.1 所示，鍍槽鉻酸平均濃度為 108.73g/L，水洗槽六價鉻平均濃度為 1.16 mg/L，水洗槽實測每日水洗量為 660L。依上述說明可計算出，該電鍍工廠平均每日鉻酸帶出量為 2,697g，而水洗槽排出廢水中六價鉻的平均排放量僅為 0.77g，由此顯示，設置鉻酸回收槽並以大氣蒸發濃縮設備進行鉻酸回收處理，每日可以回收 2,696g 的鉻酸，換言之，即是減少 99.97% 的鉻酸排放量。

該廠使用大氣蒸發濃縮設備回收鉻酸帶出液，其固定成本為蒸發濃縮設備乙套 80.6 萬元，每年操作維護費用包括熱交換器、循環泵浦、維護及勞力費用共計 18.5 萬元，其中以熱交換器的操作費用 15 萬元最高，佔總操作維護費用的 81%；

回收效益則包括節省鉻酸原料 2.7 kg/d、鉻系廢水處理還原劑添加量 31.8 kg/d、鹼劑調整(NaOH)12.3 kg/d 及污泥最終處置 10.5 kg/d，合計每年可節省約 52.93 萬元。經估算，該廠設置此設備的回收期限約 2.3 年，相關效益評估如表 7.2 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）。

表 7.1 裝設大氣蒸發濃縮設備後鍍鉻槽、靜止水洗槽及水洗槽六價鉻濃度

濃度單位：mg/L

項目		鍍鉻槽	第一靜止水洗槽	第二靜止水洗槽	第三靜止水洗槽	第四靜止水洗槽	水洗槽
第一次	測試前	126,800	7,926	1,144	1,619	50.3	1.24
	測試後	83,766	15,725	2,396	410.4	77.1	1.29
第二次	測試前	134,680	8,792	1,084	1,699	52.1	0.38
	測試後	89,678	17,204	2,589	480.6	82.9	1.72

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

表 7.2 大氣蒸發濃縮設備回收鉻酸之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設成本	• 蒸發濃縮設備	806,465 元/組	806,465 元
	合計		806,465 元
每年操作維護費用	• 熱交換器*	500 元/d	149,845 元
	• 循環泵浦	2.4 元/kw • hr	9,740 元
	• 維護	佔總初設成本 2%	16,130 元
	• 勞力	156 元/hr	9,365 元
	合計		185,080 元
每年投資費用	• 設備折舊	**CRF=0.148	119,646 元
	• 操作維護	—	185,081 元
	合計		304,727 元
每年可節省費用	• 鉻酸原料(67 kg/月)	2.7 kg/d	151,719 元
	• 還原劑(NaHSO ₃)	31.8 kg/d	297,820 元
	• 鹼劑(NaOH)	12.3 kg/d	30,719 元
	• 污泥最終處置	10.5 kg/d	49,168 元
	合計		529,426 元
每年總淨節省費用：529,426 元 - 304,727 元 = 224,699 元			
回收期限：806,465 元 ÷ (529,426 元/年 - 185,081 元/年) ÷ 2.3 年			

*：熱交換器操作成本以鍋爐蒸汽估算

**：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
註：85~90 年物價波動指數 1.0406

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

7.1.4 結語

大氣蒸發濃縮設備用於處理鍍件帶出液，具有相當大的功效，不但能回收有用的原料，更能降低廢水污染濃度，為電鍍工廠製程資源回收及降低生產成本的理想設施。根據上述評估內容可以瞭解，大氣蒸發濃縮設備操作成本中，熱交換器所需的費用佔了很大比例，若完全以電力供應計算，則每月的費用將高達數萬元，然而若能利用廠內鍋爐的餘熱，則所需動力費用將減少許多，就節約能源觀點而言，可說是一舉兩得。

7.2 流體化床電解設備回收鎳

7.2.1 前言

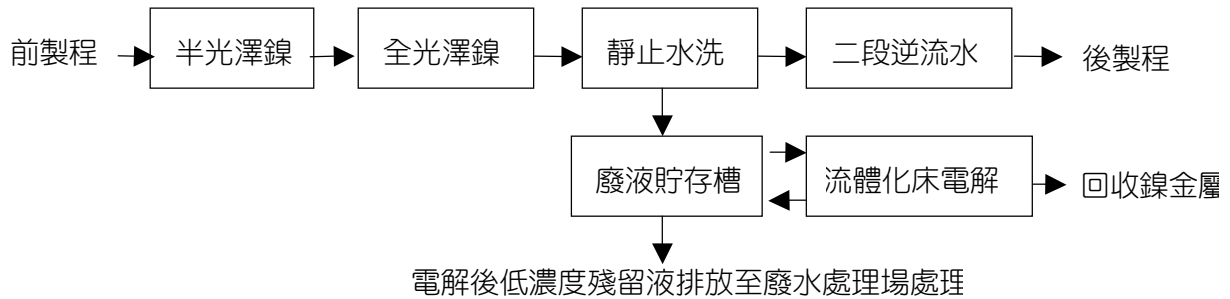
B 工廠為一家庭式的加工型態電鍍廠，主要產品為風扇外殼及雨傘骨，每日產量為 5,000 件，製程以二重鎳一鉻的工業兼裝飾性電鍍為主。該廠為解決廠內所產生的廢水污染問題，並因應環保要求，廠內除設有廢水處理設施外，電鍍製程線上的鍍鎳單元另設有乙套流體化床電解設備，以回收鎳金屬，減低排放廢水中的鎳離子濃度。

7.2.2 製程及原理

該廠為全自動製程，以鍍二重鎳一鉻為主，製程的水洗單元採用多段逆流水洗及噴水洗方式，且鍍鎳槽後的靜止水洗槽設有電解回收設備。廠內主要污染來源為一般含鎳離子的酸鹼廢水及鉻系廢水二種，廢水水量分別為前處理脫脂廢水 52CMD、含鎳廢水 25 CMD 及鉻系廢水 2.5 CMD。

為減低廢水中的鎳離子濃度，並減少廢水處理所產生的污泥量，該廠乃積極評估回收鎳金屬的可行性。由於鍍鎳槽後的靜止水洗槽槽液無法完全回補至鍍鎳槽，且生產過程中鍍件不斷帶出鍍鎳液，使靜止水洗槽槽液中的鎳離子濃度持續增高，相對地後續水洗排水中所含鎳離子濃度亦增高。因此，為減低廢水中的鎳離子濃度，回收鎳金屬，該廠乃設置乙套流體化床電解設備，並於廠房外設置一廢液貯存槽，定期將靜止水洗槽內的槽液抽送至貯存槽收集，再泵送至電解槽電解回收鎳，其處理流程如圖 7.2 所示，經循環電解回收槽液中的鎳離子後，低濃度的殘留液則排放至廢水處理場處理。該流體化床電解回收設備於正常運轉下，循環電解週期約 7 天，每天電解 24 小時，其操作條件為將回收槽液的 pH 值控制

在 3.5~4.0 之間，最高電流強度為 250 安培／小時，評估結果得知每週可回收 36.6 kg（每天 5.23 kg）的鎳金屬，回收率約 80%，且電解前廢水中的鎳離子濃度為 57 mg/L，電解回收後則降低至 11.4 mg/L，顯示電解回收設備對於回收廢水中的鎳離子具有很大效益。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 7.2 流體化床電解回收設備處理流程

7.2.3 資源化成效

該流體化床電解回收設備的設置成本總計 832,480 元，包括流體化床電解設備 67.6 萬元及週邊設備 15.6 萬元，操作維護成本總計 23.9 萬元，包含動力費用、pH 調整用的 NaOH 費用及陽極板損耗、更換費用等項目；而設置運轉後的回收效益總計每月約 3.0 萬元，包括回收鎳金屬 2.2 kg/d 及節省 Ni²⁺ 處理費用與污泥代處理費用，在各項因素考量下，設備回收期限約 6.4 年，有關該設備的效益評估如表 7.3 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

以 B 工廠案例而言，設置流體化床電解設備回收鎳金屬，確實可有效地將廢棄物資源化再利用，且在正確的操作維護下，設備回收年限約 6.4 年。由於陽極板的耗損費用約佔總操作維護費用的 52%，若不考慮該項費用，則可使回收期限縮短至 3.3 年，是以若能研發同等級、低價位的陽極板，將有助於降低操作成本，進而縮短設備的回收期限。

表 7.3 流體化床電解設備回收鎳之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設成本	流體化床電解設備	676,390 元/套	676,390 元
	週邊設備	156,090 元	156,090 元
	合計		832,480 元
每年操作 維護費用	動力費用(2.5Hp)(24hr/d)	2.4 元/kw·hr	43,830 元
	NaOH(pH 調整)(12.5 kg/d)	—	70,241 元
	陽極板損耗更換費用 (2 年/片, 6 片/套)	—	124,872 元
	合計		238,943 元
每年投資 費用	設備折舊費用	*CRF=0.148	123,505 元
	操作維護費用	—	238,943 元
	合計		362,448 元
每年可節 省費用	回收鎳金屬(2.2 kg/d)	—	247,250 元
	NaOH(廢水中 Ni ²⁺ 處理)	—	24,350 元
	乾污泥代處理(30 kg/d)	—	97,400 元
	合計		369,000 元
每年總淨節省費用：369,000 元－362,448 元＝6,552 元			
回收期限：832,480 元÷(369,000 元/年－238,943 元/年)＝6.4 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

註：85~90 年物價波動指數 1.0406

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

7.3 超過濾處理設備回收鎳鍍液

7.3.1 前言

C 工廠為一金屬零件電鍍工廠，以鍍鎳—鉻為主，製程中鍍鎳單元分為半光澤鎳及全光澤鎳電鍍，於全光澤鎳電鍍槽後方則設有一個靜止水洗槽及二段逆流水洗槽，為使靜止水洗槽槽液能有效地回收至鍍鎳槽再使用，並降低二段逆流水洗槽排水中的鎳離子濃度，該廠乃另外增設一靜止水洗槽，配合加裝超過濾處理設備 (UF)，進行靜止水洗槽槽液的濃縮及純化以回收鍍鎳液。其結果為二段逆

流水洗槽排水中的鎳離子濃度由 22.5 mg/L 降低至檢測不出的程度，且每月可節省 28% 鎳原物料。

7.3.2 製程及原理

鍍件經脫脂等前處理後，進行半光澤鎳及全光澤鎳電鍍，鍍鎳後先浸漬於靜止水洗槽充分回收鍍件上的帶出液再行水洗，而水洗方式則採二段逆流水洗，以節省水洗用水量，鍍鎳後再經鍍鉻、回收、水洗及乾燥等過程即為成品。該廠主要污染來源為一般酸鹼廢水（含鎳金屬離子）及鉻系廢水二種，其中酸鹼廢水約 25CMD，鉻系廢水約 3CMD。

為充分回收帶出液，使水洗排水的污染濃度減至最低，該廠於鍍鎳槽後增設一靜止水洗槽；此外，為使靜止水洗槽的槽液能有效地再使用，除將第一靜止水洗槽的槽液直接回送至鍍槽外，並設置一超過濾處理設備，處理第二靜止水洗槽的槽液，使槽液經濃縮及純化後亦能回送至鍍槽再使用。茲就所設置的回收設備詳細說明如下：

1. 增設靜止水洗槽，充分回收帶出液

減少鍍液帶出的方法，治本之道在於鍍件出槽時，儘可能緩慢拉曳掛架及延長掛架在槽上的排滴時間，但為顧及產能及電鍍品質，該廠儘量採用多重可回收帶出液的措施，即在既有的靜止水洗槽後增設一靜止水洗槽。經量測結果，附著於鍍件上的帶出液可由靜止水洗槽回收 70~80%，不僅減低後續水洗排水的污染濃度，所需水洗水量亦大為減少。

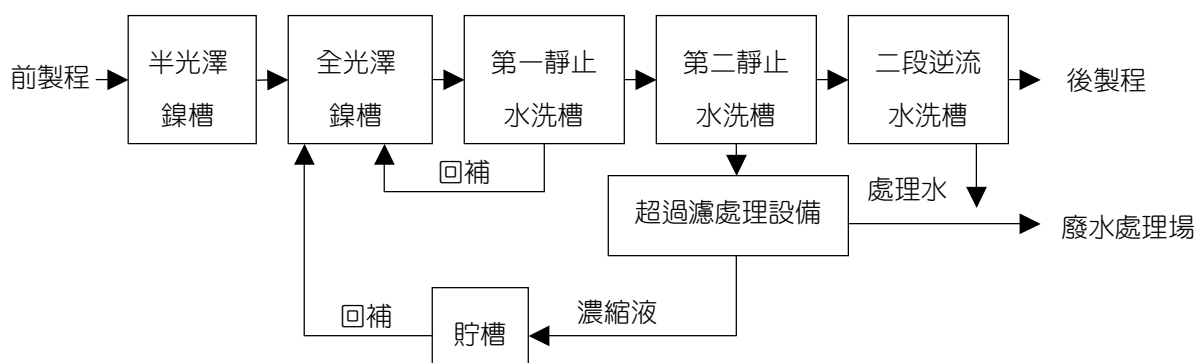
2. 設置超過濾設備，回收靜止水洗槽的槽液

第一靜止水洗槽槽液中的鎳離子濃度較高，可直接回送至鍍鎳槽再使用；而第二靜止水洗槽槽液中的鎳離子濃度較低，無法直接回送至鍍鎳槽再使用，故將該槽液以超過濾設備處理，經濃縮及純化後，所得的高濃度濃縮鍍液直接回送至鍍鎳槽再使用，含微量鎳離子的處理水則排放至廢水處理場處理，以超過濾設備處理回收鍍鎳液流程如圖 7.3 所示。該廠裝設超過濾處理設備後，鍍鎳槽的鎳鹽原料使用量由 166.7 kg/月降至 120 kg/月，每月可節省 28% 鎳原物料，且排放廢水中的鎳離子濃度亦由 22.5 mg/L 降低至檢測不出的程度。

7.3.3 資源化成效

該廠裝設二套超過濾處理系統，另加其他附屬設備，總初設費用約 15 萬元，該設備在正常操作下，經濃縮純化的槽液可回送至鍍鎳槽再使用，即每月可節省

硫酸鎳使用量 46.7 kg，每年可節省硫酸鎳使用費 4 萬元；相對地在廢水處理上，由於廢水中鎳離子濃度的降低，亦可減少 NaOH 添加量 24 kg/月及減少污泥量 140 kg/月，有關設備投資成本效益評估如表 7.4 所示，設備回收期限約為 2.3 年，若考慮因回收處理使放流水符合排放標準而免於受罰的效益，則回收期限將更短（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）。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 7.3 超過濾設備處理回收鎳鍍液

表 7.4 超過濾處理設備回收鎳鍍液之效益評估

項次	項目	單位	費用
初設成本	• UF 設備(2 套)	72,840 元/套	145,680 元
	• 3/4Hp 泵浦(1 台)	4,685 元/台	4,685 元
	合計		150,365 元
每年操作維護費用	• 動力費用(4.5kw • hr/d)	—	2,472 元
	合計		2,472 元
每年投資費用	• 設備折舊費用	*CRF=0.148	22,308 元
	• 操作維護費用	—	2,472 元
	合計		24,780 元
每年可節省費用	• 鎳鹽回收費用	46.7 kg/月	39,655 元
	• 廢水處理場 NaOH 添加量	24 kg/月	2,400 元
	• 污泥處置(污泥含水率 80%)	140 kg/月	26,225 元
	合計		68,280 元
每年總淨節省費用：68,280 元 - 24,780 元 = 43,500 元			
回收期限：150,365 元 ÷ (68,280 元/年 - 2,472 元/年) = 2.3 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

註：85~90 年物價波動指數 1.0406

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

7.3.4 結語

靜止水洗槽一般可回收約 80% 鍍件帶出液，因其設置簡易且投資費用低，為目前電鍍業中使用較廣泛的回收措施之一，但一般鍍槽槽液蒸發損失量往往小於靜止水洗槽槽液量，使靜止水洗槽槽液無法完全回送至鍍槽，因此，需配合蒸發濃縮、離子交換、逆滲透或超過濾等設備進一步濃縮後才回送至鍍槽再使用，本案例工廠採用超過濾裝置，證實此為可行的回收措施之一。

7.4 逆滲透處理設備回收鍍液

7.4.1 前言

D 工廠為一中型規模的代加工電鍍廠，製程以鍍雙重鍍—鉻的工業兼裝飾性電鍍為主。該廠為解決廢水污染問題並回收有價資源，除設置乙套離子交換樹脂處理製程所排放的含鉻廢水外，另增設逆滲透處理系統(reverse osmosis system,RO)及脫脂液連續過濾裝置，分別回收鍍鹽及延長脫脂液使用期限，以充分循環原物料再使用，減少污染物排出，達到降低生產成本及節省污染防治費用的雙重目標。

7.4.2 製程及原理

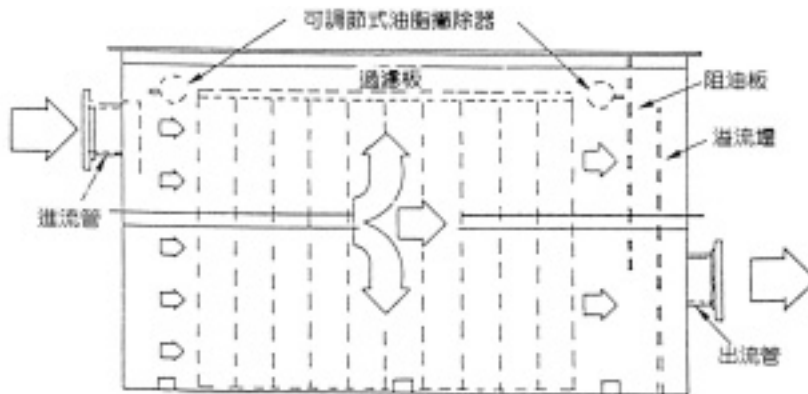
該廠以鍍金屬扳手為主，製程中主要污染源為一般酸鹼廢水（含鍍重金屬廢水）、鉻系廢水、化學研磨用的雙氧水系廢水及高濃度廢液等，其中酸鹼廢水約 48CMD，鉻系廢水約 12CMD 及雙氧水系廢水約 20CMD。

經由代理商的介紹，該廠引進連續過濾裝置及 RO 回收處理系統，分別用以延長脫脂液使用期限及回收鍍鹽循環再使用，有效回收製程原物料及減少污染物排出。茲就所設置的回收設備詳細說明如下：

1. 設置脫脂槽液過濾機，延長脫脂液使用年限

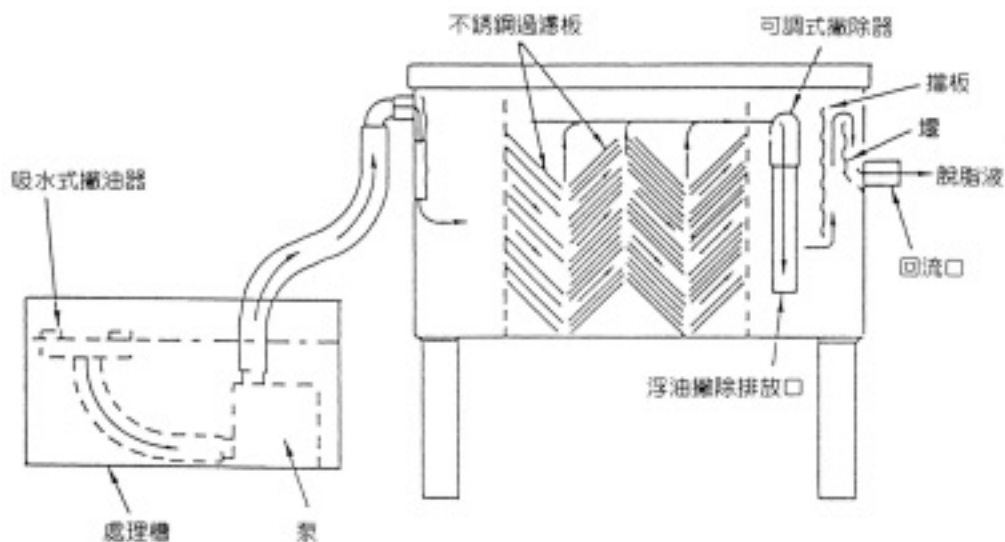
由於該廠的金屬扳手鍍件表面含有大量油脂，經脫脂處理後，脫脂槽液會溶存大量油脂及泥垢等雜質，使槽液的皂化能力減弱，為延長脫脂槽液使用年限，廠方原採取方式為利用下班時間，將脫脂槽的上層液抽送至備用貯槽，於清除槽內底部沉積泥垢及洗淨槽體後，再將備用貯槽內的脫脂液泵送回原脫脂槽內，配合補充部分新液繼續使用，惟此方式在處理上較繁瑣，且清除沉積泥垢費時又費力，對欠缺人力的廠方而言，實可謂一大困擾。經由多方面評估後，該廠決定於製程上設置過濾裝置，即採用可同時去除槽液懸浮油脂及槽底沉積泥垢的過濾板式過濾機，經採樣分析油脂、雜質濃度、顆粒粒徑及特性後，規

劃設計過濾板最佳設置角度、板距及表面積大小，如圖 7.4 及圖 7.5 所示，藉由浮油撇除器及過濾板的作用，將脫脂液中的浮油、泥垢等雜質予以去除。其實際操作所得結果為熱脫脂槽液的使用期限由 2 週延長為 7 週，同時亦減少脫脂廢液排棄量 $4.8\text{m}^3/\text{月}$ 。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 7.4 過濾板式過濾機上視圖

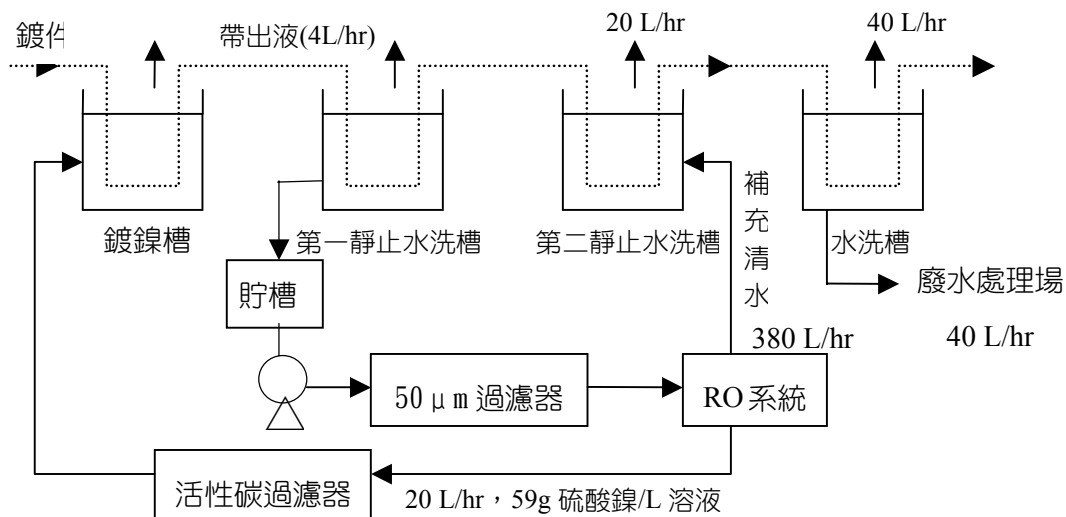


資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 7.5 過濾板式過濾機剖面圖

2. 裝設逆滲透系統回收鍍鎳液

根據多次測試結果，該廠於正常作業條件下，製程中鍍鎳槽液的硫酸鎳平均濃度為 270g/L，鍍槽的操作溫度為 55~58°C，槽液表面的水份蒸發量約 20L/hr，靜止水洗槽的清水補充量為 20 L/hr，而電鍍過程中平均鍍鎳液帶出量約 4 L/hr，亦即帶出液經由第一靜止水洗槽與第二靜止水洗槽充分回收後，二只靜止水洗槽每小時累積的鎳鹽濃度分別為 3,000 mg/L 與 333 mg/L。為使靜止水洗槽所回收的帶出液能有效地完全回補至鍍槽，該廠設置逆滲透 (RO) 系統以純化及濃縮靜止水洗槽中的帶出液，其回收處理流程如圖 7.6 所示。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 7.6 以逆滲透系統處理回收鎳帶出液流程

該廠所設計的逆滲透系統由六個薄膜單位所組成，係依據鍍鎳槽液蒸發量、鍍槽的鎳鹽濃度及鍍液帶出量等操作情況，配合製程的靜止水洗槽槽數及最終水洗排水所含鎳鹽濃度，選用適當的逆滲透膜組，其總薄膜面積為 30.66 m²，操作壓力維持在 400~800psig，透過水流量為 12.22 L/hr · m²，適宜的 pH 值操作條件介於 2.5~11.0，且薄膜的使用壽命約 2 年。此系統的操作流程是將第一靜止水洗槽溢流出的槽液收集於貯槽，經泵送至裝有孔徑 50 μm 濾蕊式濾心的過濾器過濾，預先去除槽液中所含雜質後，再進行逆滲透處理，以維護薄

膜的壽命。經由逆滲透系統處理後的過濾液可直接循環作為第二靜止水洗槽補充清水用，而濃縮液的鎳鹽濃度達 59g/L，再經活性碳過濾器去除其中的有機污染物質後則可回補至鍍槽。自裝設逆滲透系統後，廠方不僅每年回收 4,500 kg 的鎳鹽，同時也節省 6,000 kg 的污泥處置費用，對資源回收、減少管末處理費用、降低生產成本及增加產品競爭力均大有助益。

7.4.3 資源化成效

該廠設置的逆滲透系統（含高壓離心幫浦及薄膜乙組）耗資 52 萬元，活性碳過濾器 7.8 萬元及管線配置 2.6 萬元，總初設成本共計 62.4 萬元，另配備折舊費用及操作維護費用共計每年 23.8 萬元，其中操作維護費用的設備維護、薄膜更換及活性碳樹脂項目即高達 101,450 元，佔年操作維護費用 70%。逆滲透系統裝設後除可循環清水再使用外，每年亦可回收鎳鹽（硫酸鎳及氯化鎳）274,715 元、節省廢水處理化學藥劑費用 57,235 元及污泥處置費用 93,655 元，總計每年可節省 42.5 萬元，設備回收期限約為 2.2 年，其相關設備投資的效益評估如表 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）。

7.4.4 結語

常用於電鍍廢水的資源回收處理技術有離子交換樹脂法、電解法、蒸發法及薄膜過濾法，每一種回收方法均有其特定的處理對象及限制，需視廢水本身的特性而定。逆滲透設備除了具有佔地面積小、節省能源及操作簡便等優點外，由於鍍鎳槽液的 pH 值約 4~6，十分適合多種逆滲透膜的操作，而且鍍槽水份蒸發量大，不需再配合其他蒸發濃縮設備，即可直接從鍍槽後的靜止水洗槽中回收鍍液，節省不少的設備及操作費用。惟工廠在規劃設置逆滲透處理系統時，需掌握電鍍製程中的鍍槽蒸發量、鍍液帶出量、靜止水洗槽槽數及最終水洗槽排水的鎳離子濃度等設計參數，方設計出兼具資源回收及污染防治雙重功能的逆滲透回收設備。

表 7.5 逆滲透處理設備回收鍍鎳液之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設成本	RO 系統(含 50 μ m 孔徑過濾器、幫浦及 RO 薄膜 6 支)	520,300 元/組	520,300 元
	活性碳過濾器	78,045 元/套	78,045 元
	管線	26,015 元/台	26,015 元
	合計		624,360 元
每年操作 維護費用	電力費用(*1.8kw-5,000hr/年)	2.4 元/kw · hr	23,420 元
	人力費用	—	20,820 元
	維護費用	—	44,230 元
	薄膜更換(6 支/2 年)	13,000 元/支	39,000 元
	活性碳樹脂	—	18,220 元
合計		145,690 元	
每年投資 費用	設備折舊費用	**CRF=0.148	92,625 元
	操作維護費用	—	145,690 元
	合計		238,315 元
每年可節 省費用	NiSO ₄ 回收(0.75 kg/hr)	—	234,135 元
	NiCl ₂ 回收(0.15 kg/hr)	—	40,580 元
	廢水處理化學藥劑費	—	57,235 元
	污泥處置費用	—	93,655 元
	合計		425,605 元
每年總淨節省費用：425,605 元 - 238,315 元 = 187,290 元			
回收期限：624,360 元 ÷ (425,605 元/年 - 145,690 元/年) = 2.2 年			

*：評估效益以每年操作 5,000hr 為基準，薄膜面積為 30.66 m²

**：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

註：85~90 物價波動指數 1.0406

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

7.5 離子交換法回收鉻酸

7.5.1 前言

E 工廠為一高級運動器材零件的電鍍工廠，廠內製程採全自動掛鍍方式，以鍍銅、鎳及鉻的裝飾性電鍍為主。該廠於鍍鉻製程線上設有乙套大氣蒸發濃縮設備，用以回收鍍鉻靜止水洗槽的鉻酸帶出液，回收效果相當顯著。但為更進一步使鍍鉻製程的鍍鉻槽、靜止水洗槽及水洗槽構成一密閉循環系統，該廠乃另外投

資設置乙套離子交換樹脂裝置，結合既有的蒸發濃縮設備，進行鍍鉻水洗水回收處理工作，不僅可回收鉻酸及循環水洗水再使用，更可達到鉻酸水洗水不排放的理想目標。

7.5.2 製程及原理

該廠為全自動製程，鍍件為鋅壓鑄件的底材，經熱脫脂、酸洗等前處理後，基於電鍍金屬與底材的密著性考量，鍍件先進行氰化銅及焦磷酸銅電鍍後，再進行鍍鎳及鉻等表層金屬電鍍程序。廠內綜合廢水水量約為 60CMD，其中鉻系廢水 9.6CMD、氰系廢水 3.6CMD 及酸鹼系廢水 46.8CMD。

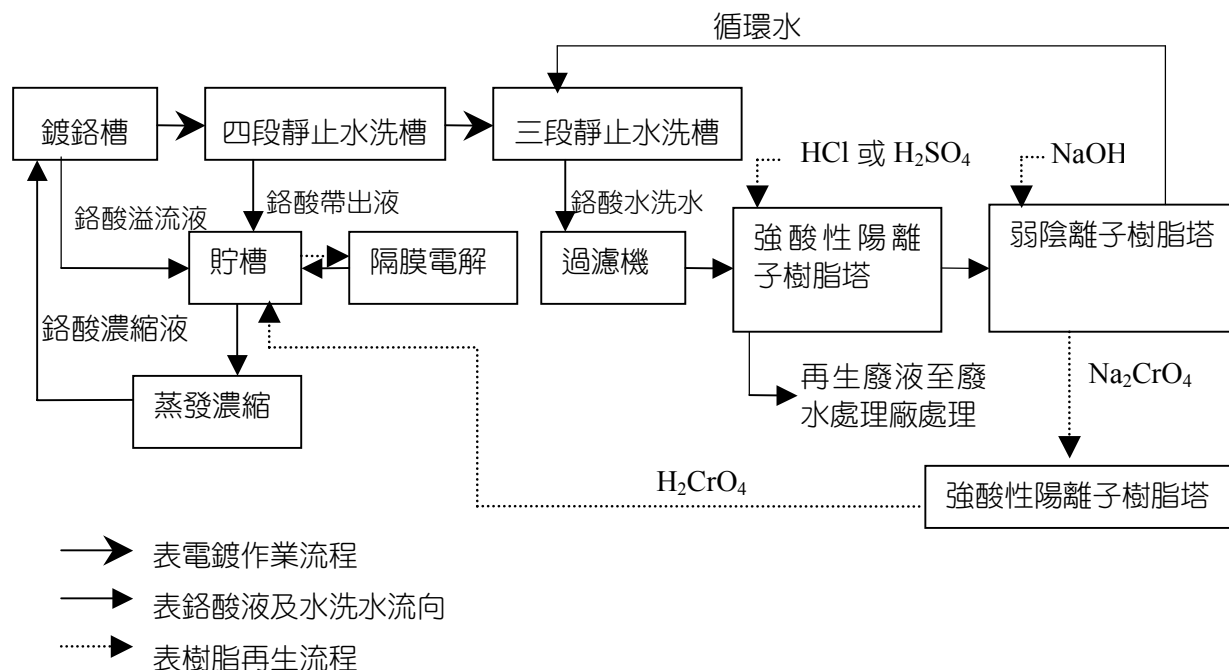
該廠鍍鉻製程的鍍件經四段靜止水洗後，再行三段逆流水洗，因靜止水洗槽槽液所含鉻酸濃度較高，可直接經蒸發濃縮設備濃縮，並以隔膜電解設備去除濃縮液中氯離子及鐵離子等污染物後，即泵回鍍槽使用；而三段逆流水洗排水所含六價鉻濃度為 125 mg/L，遠超過放流水標準，則排放至廠內廢水處理廠進行還原處理及化學混凝沈澱，以去除廢水中所含六價鉻。該廠為達到鉻酸水洗水資源回收的目標，乃於鍍鉻後的三段逆流水洗單元設置乙套離子交換樹脂裝置，如圖 7.7 所示，該離子交換樹脂塔採用的交換樹脂種類、密度及使用量等如表 7.6 所示。

鉻酸水洗水經強酸性陽離子樹脂去除重金屬離子後，再以陰離子樹脂交換鉻酸根離子，回收水洗水循環再使用，當陰離子樹脂達飽和時，採用 NaOH 進行樹脂再生處理，處理後的再生液為 Na_2CrO_4 及 NaOH 混合液，需再經過一強酸性陽離子樹脂塔進行脫鈉處理，以將鉻酸鹽轉化成鉻酸，所得的鉻酸再配合隔膜電解及蒸發濃縮設備以去除雜質及提高鉻酸濃度。

7.5.3 資源化效益

該廠的鉻酸離子交換系統每天操作 8 小時，強酸性陽離子樹脂每 5 週以 10 kg 的 98% H_2SO_4 進行再生，弱陰離子交換樹脂則每 3 週以 8 kg 的 98%NaOH 再生。根據檢測，處理前水洗水中鉻離子濃度為 125 mg/L，經離子交換樹脂及蒸發濃縮處理後，回收的鉻酸濃度為 50g/L，鉻酸回收量為 67 kg/月。

該離子交換樹脂塔、週邊設備及陰、陽離子樹脂等初設費用約 46 萬元，每年操作維護及設備折舊投資費用約 12 萬元。依工廠原廢水處理污泥產生量每日 125 公斤計算，每年可節省的鉻污泥處理及最終處置費用達 58 萬元，若再考慮鉻酸回收等效益，則每年可節省的費用總計有 71.7 萬元，經初步評估的結果，該設備回收期限約 9 個月，其相關的評估效益如表 7.7 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）。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85年3月

圖 7.7 電鍍工廠鉍酸離子交換回收處理流程

表 7.6 離子交樹脂塔樹脂種類、密度及使用量

樹脂種類	型式	密度(g/L)	使用量(L)	塔容積(L)
強陽離子樹脂	IR-120	850	50	100
弱陰離子樹脂	IR-A94SP	670	50	100
強陽離子樹脂(脫鈉)	IR-120	850	50	100

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85年3月

7.5.4 結語

離子交換樹脂對於高價重金屬離子具有良好的交換性，目前已成功地應用於電鍍廢水處理，以回收廢水中的重金屬離子及清洗水，其中則又以應用於鉍酸、硫酸銅及硫酸鎳等電鍍製程的廢水回收處理最為普遍。

然而國內電鍍工廠使用離子交換樹脂法處理含重金屬廢水時，往往只做到重金屬離子濃縮與處理水再利用等階段，對於高濃度的樹脂再生廢液，一般均納入廢水中處理，致無法達到重金屬回收及資源再生的理想目標，甚為可惜。因此，在使用離子交換樹脂法處理電鍍廢水時，除了要慎選樹脂種類外，亦應兼顧回收目的，進一步採取相關回收處理措施，如電解去除雜質、蒸發濃縮提高重金屬濃度及電解回收重金屬等方式，使離子交換樹脂法的應用趨於完善，確實有效地減少廢水中重金屬離子排出，回收有價槽液及重金屬再利用。

表 7.7 離子交樹脂回收鉻酸之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設成本	強陽離子樹脂(42.5 kg)	52 元/kg	2,210 元
	弱陰離子樹脂(33.5 kg)	260 元/kg	8,715 元
	強陽離子樹脂(脫鈉)(42.5 kg)	52 元/kg	2,210 元
	樹脂塔及週邊設備	447,460 元/3 套	447,460 元
	合計		460,595 元
每年操作 維護費用	NaOH(再生用)(8 kg/3 週)	17 元/kg	2,310 元
	H ₂ SO ₄ (再生用)(10 kg/5 週)	8 元/kg	810 元
	離子交換動力費用	2.4 元/kw-hr	46,750 元
	樹脂更換	—	3,035 元
	合計		52,905 元
每年投資 費用	設備折舊費用	*CRF=0.148	68,335 元
	操作維護費用	—	52,905 元
	合計		121,240 元
每年可節 省費用	鉻酸回收(67 kg/月)	—	56,892 元
	還原劑使用量	—	77,928 元
	污泥處理費用(含水率 80%)	—	582,343 元
	合計		717,154 元
每年總淨節省費用：717,154 元－121,240 元＝595,914 元			
回收期限：460,595 元÷(717,154 元/年－52,905 元/年)＝0.69 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

註：85~90 年物價波動指數 1.0406

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

7.6 離子交換法配合密閉蒸發濃縮法回收鉻酸

7.6.1 前言

F 工廠的製程以鍍二重鎳—鉻為主，廠內共有二條電鍍生產線，鍍件以自行車車架零件、樂器零配件、電腦及週邊設備外殼等為主。該廠設有乙套廢水處理套裝設備，由於廢水量遠超出處理設備的最大負荷量，為使處理設施能順利操作，該廠遂採用反應性水洗方式，配合設置密閉蒸發濃縮設備回收鉻酸，有效地減少製程用水量及資源回收。

7.6.2 製程及原理

鍍件先經多段電解脫脂前處理後，以稀硫酸活化，再經雙重鎳電鍍鍍底後，依產品需求鍍黑鎳或直接鍍鉻而成為光亮的鍍件。製程中主要污染來源為定期廢棄的高濃度槽液及一般清洗廢水，其中廢棄槽液量較少但污染濃度高，一般清洗廢水量較大但污染濃度低，依廢水特性可分為前處理廢水、含鎳廢水及鉻系廢水三種。

該廠製程中電鍍槽後均設有靜止水洗槽，使電鍍後鍍件表面附著的帶出液能先回收於靜止水洗槽，再進行水洗時，因鍍件表面殘留鍍液量減少，所需水量亦可大幅降低，而靜止水洗槽槽液則定期直接回補至鍍槽中再使用。由於靜止水洗槽槽液量大，且槽液濃度較原鍍液濃度低，無法全量回補至鍍槽再使用，即槽液仍須定期廢棄，如此不僅無法達到回收的目的，且靜止水洗槽槽液濃度不斷提高，鍍件的帶出液濃度亦相對增高，致使後續水洗過程需增加用水，才能有效洗淨鍍件。為克服上述缺失，達到減少廢水量的目標，該廠實施下列減廢及資源回收措施，並已獲得相當良好的成效。

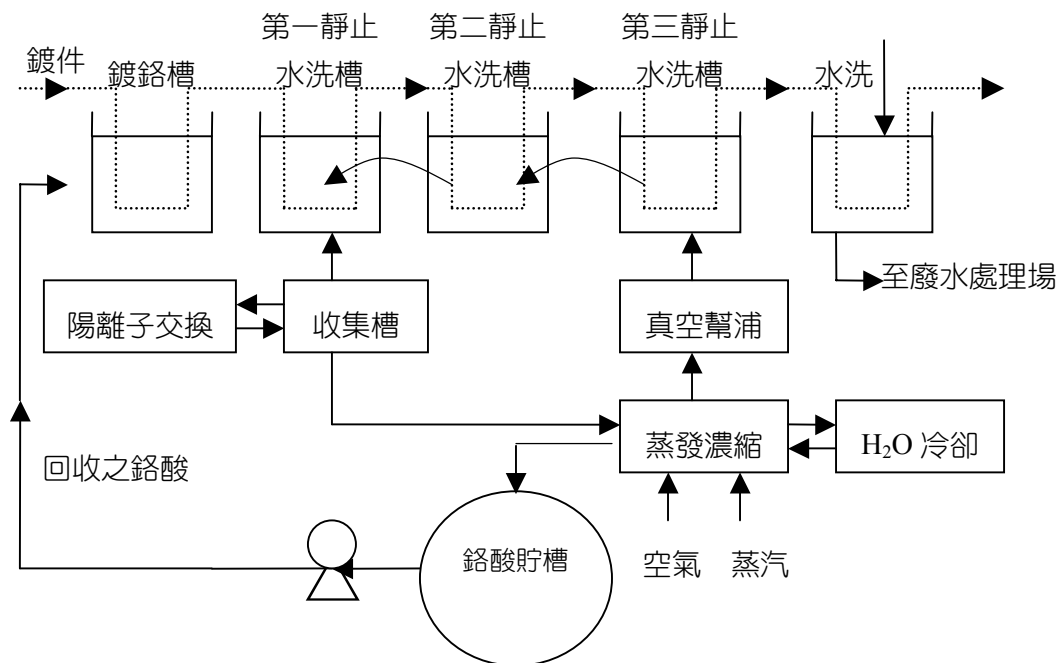
1. 採用反應性水洗方式，節約製程用水量

該廠前處理脫脂程序的水洗單元，採用各水洗槽單獨進、出水的單槽溢流水洗方式，平均每天總廢水量約 51 m³，為廠內最具減廢潛力的製程單元之一。經試驗評估後，發現前處理製程採用反應性水洗方式時，並不會影響電鍍品質，遂將酸活化的水洗水未經任何處理即送至前段脫脂程序的水洗槽再使用，而最終水洗排水再供水質要求不高的酸洗除銹製程水洗使用。

2. 採用離子交換樹脂配合密閉蒸發濃縮設備回收鉻酸

該廠於鍍鉻槽後原已設置三段靜止水洗槽回收鉻酸帶出液，但因靜止水洗槽

內回收的鉻酸未妥善純化濃縮，使槽液因雜質累積或濃度太稀，無法直接回補至鍍鉻槽再使用，即槽液仍須定期排棄，無法達到有效回收的目的，於是決定設置乙套密閉蒸發濃縮設備，以濃縮純化靜止水洗槽槽液，使能完全回補至鍍槽再使用，該廠鍍鉻製程設置蒸發濃縮設備流程如圖 7.8 所示。靜止水洗槽槽液藉重力溢流匯集於收集槽，收集槽內的槽液以強酸性陽離子交換樹脂進行交換，去除鐵、鎳等重金屬離子雜質後送至蒸發濃縮器，通入空氣及 0.013MMBtu/hr 的蒸汽加熱蒸發槽液中的水份，蒸發速率約 76L/hr，再以 4,000L/hr 的冷卻水將加熱蒸發的水蒸氣冷凝成水，由真空泵抽至第三靜止水洗槽作為清水補充之用，濃縮的鉻酸液則返回鉻槽再使用。經過評估，該蒸發濃縮設備每小時約可回收 1.4 kg 的鉻酸，且可維持靜止水洗槽的清水補充量恰等於鉻槽液表面蒸發損失量，使靜止水洗槽槽液經純化及濃縮後能連續回補至鍍鉻槽，達到密閉循環的目的，不僅無鉻酸廢液產生，且因第三靜止水洗槽不斷有清水補充，槽液可保持較低濃度，相對地後續水洗用水量不需太大即可充分洗淨鍍件，廠內鉻系廢水量亦大幅減少。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 7.8 密閉式蒸發濃縮鉻酸回收系統處理流程

7.6.3 資源化成效

1. 反應性水洗裝置

該工廠為配合反應性水洗方式，分別於二條生產線上各加設三個中間水槽作為貯槽，並配置液位控制器與抽送泵，全部修改費用（含工資）為 67,640 元，安裝完成後，每日用水（廢水）量減少了 29CMD，若以每年 280 個工作天計算，每年可節省用水費 59,150 元、廢水處理費用 185,895 元及污泥處理費用 40,585 元，扣除電力、設備維護與折舊費用，每年可回收 39 萬元（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. 蒸發濃縮裝置

該蒸發濃縮系統初設費用總計 103 萬元，包括蒸發濃縮設備乙套 62 萬元、貯槽 5.2 萬元、真空泵 2.6 萬元、管線 9.1 萬元及陽離子交換樹脂塔乙座 23.4 萬元，另每年投資費用約 48.5 萬元，主要為蒸汽及設備折舊費用；而使用該設備後總計其回收效益約 99.3 萬元／年，包括每年可回收鉻酸 46 萬元，節省廢水處理藥品費 32.8 萬元、污泥處理費 20.2 萬元及用水費用 1,639 元，其回收期限約 1.6 年，有關該大氣蒸發濃縮設備的效益評估如表 7.8 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）。

7.6.4 結語

鍍鉻帶出液以離子交換法純化後，再經蒸發濃縮法處理，不但能回收有用的原物料，更能降低廢水污染濃度，為鍍鉻電鍍工廠降低生產成本及節省污染防治費用的理想設施。而設備投資的回收期限除與設備本身價格有關外，主要取決於可節省的費用與設備操作維護的差值，本案例工廠設置此項設備每年總淨節省費用約 50.8 萬元，設備回收期限僅約 1.6 年，若考慮回收處理使放流水符合環保標準而免於受罰的效益，則回收期限將更短，因此，十分值得相關工廠參考設置。

表 7.8 密閉蒸發濃縮設備回收鉻酸之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設成本	·蒸發設備乙套	624,360 元	624,360 元
	·貯槽乙個	52,030 元	52,030 元
	·真空泵浦乙台	26,015 元	26,015 元
	·陽離子交換器乙組	234,135 元	234,135 元
	·管線安裝	—	91,053 元
	合 計		1,027,593 元
每年操作 維護費用	·勞力(100hr/年, 125 元/hr)	130 元/hr	13,008 元
	·設備維護費用	—	61,656 元
	·H ₂ SO ₄ (1,589 kg/hr)維護費用	3 元/kg	5,203 元
	·NaOH(1,362 kg/hr)	8 元/kg	10,406 元
	·電力	2.4 元/kw · hr	65,038 元
	·冷卻水	—	13,008 元
	·蒸汽	—	163,895 元
	合 計		332,212 元
每年投資 費用	·設備折舊費用	*CRF=0.148	152,452 元
	·操作維護費用	—	332,212 元
	合 計		484,664 元
每年可節 省費用	·鉻酸回收(1.4 kg/小時)(5,000 小時/年)	66 元/kg	460,466 元
	·廢水處理藥劑費	—	327,789 元
	·污水處理費用	—	202,917 元
	·節省用水費用	—	1,639 元
	合 計		992,810 元
每年總淨節省費用：992,810 元－484,664 元=508,146 元			
回收期限：1,027,593 元÷(992,810 元/年－332,212 元/年)≐1.6 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

註：85~90 年物價波動指數 1.0406

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

7.7 電鍍污泥資源化再生陶瓷色料

7.7.1 前言

G 工廠為中國大陸北京市一家化工顏料廠，該廠係利用混合電鍍污泥製作陶瓷色料，生產的色料產品除在彩砂等建材生產上使用外，尚供作工業陶瓷和面磚生產用料。由於電鍍製程的不同，造成混合電鍍污泥成份的多樣性及複雜性，故

簡單又有效的方法之一是將其固化成穩定且不易溶出的形式，達到安全處置的要求，同時在經濟效益上，亦能保留污泥中某些貴重金屬的固有價值。民國 85 年資料指出北京市內共有 200 多家取得許可證的電鍍工廠，每年經由廢水處理過程所產生的污泥約 1,000 噸，這些污泥乾燥後鉻含量約 1~10%，同時混有銅、鎳、鎘、鋅等有害重金屬，以這種含鉻混合電鍍污泥製作陶瓷色料，不僅製程簡單，且產品化學性能穩定及物理性能容易調配，可以達到無害化及資源化的雙重效益。

7.7.2 製程及原理

將含有鉻、銅、鋅等有害重金屬氫氧化物的混合電鍍污泥集中乾燥、破碎及混勻後，按照陶瓷色料配比計量添加氧化鋅、氧化鐵等輔料，其中污泥量與添加輔料量比例約 20:1，再經混合磨粉裝匣，於 1,200°C 窯爐內隔焰燒成陶瓷色料。由於污泥中含有矽酸鹽等無機成份及鋁、鐵等氧化物，使污泥中有害重金屬在高溫下產生玻璃化作用，特別是三價鉻在大量鐵、鋅存在下所生成的尖晶石結構體，可不再受環境影響而溶出。採用這種技術燒成的成品經粉碎、研磨後，形成黑、棕、深紅或深綠等產物，與市售鋅—鐵—鉻系列陶瓷顏料色調相同，且其他性能亦可符合此類顏料的行業標準，故可用以替代目前陶瓷和高級建材生產上使用的色料。產品後加工的洗淨程度和研磨細度可依產品用途而異。

分析證明電鍍污泥中有害重金屬（特別是鉻）在高溫燒製過程中已固化成 $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ 及 $\text{ZnO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ 等尖晶石結構體。按污泥中鉻含量的不同，加入過量莫耳比的氧化鋅與氧化鐵，以控制三價鉻轉化成六價鉻，並可用水洗淨。

以生產紅棕色顏料為例，取 3,000kg 高含鉻量污泥及 2,300kg 低含鉻量污泥晾乾，加入工業氧化鋅 232kg、工業鐵紅 50kg，按圖 5.14 所示的流程，可生產出紅棕色顏料 1,000kg。

本技術主要關鍵在於陶瓷色料生產配方，即適當調節不同電鍍廠混合污泥配比和輔料加入量，以及控制燒成溫度曲線。如由熟悉無機色料生產技術的人員操作，將可使每批燒成品的色調均一，並保持產品性能穩定，如表 7.9 所示。

7.7.3 資源化成效

電鍍污泥製成陶瓷色料，不再單純為固化污染物的低值再生技術，而是一種替代原生貴重材料—鉻的資源化方法。原生料生產陶瓷色料，配方中約 24% 需要純三氧化二鉻，即 1 噸產品的原料成本為 8,000 元人民幣左右；而利用電鍍污泥生產陶瓷色料，1 噸產品原料成本相對降低為 6,500 元人民幣。

電鍍污泥製成的陶瓷色料產品，主要應用於建築陶瓷篩面磚的生產，亦曾做過其他相關建材的應用試驗，例如供作外牆薄膜塗料、彈塗用厚塗料、內牆可擦洗塗料及室內地板塗料等色料，其在著色力、耐老化試驗等方面可以滿足塗料要求。另供作玻璃馬賽克著色劑色料，其在著色分散程度、溶池停留時間等方面比傳統色料性能稍好。該廠每噸產品的生產成本為 7,000 元人民幣，產品銷售價格為 2 萬餘元人民幣，每年處理 60 噸混合電鍍污泥，可獲得 20 萬元人民幣的直接經濟效益。民國 85 年資料指出北京市已按本技術另籌建混合電鍍污泥年處理量 1,000 噸的集中處理中心（以民國 85 年物價估算）。

表 7.9 電鍍污泥製造陶瓷色料產品性能

項目	性能
含水率	<0.5%
水溶物	<0.3%
顆粒度	320 mesh，剩餘者<0.2%
水萃取 pH 值	7
熱穩定性	<1,200°C
遮蓋力	<10g/m ²
吸油量	20%
耐酸性能	經酸處理後，色調、光澤無變化
耐鹼性能	經鹼處理後，色調、光澤無變化
外觀	黑、棕、深綠

資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

7.7.4 結語

依據環保法規標準，電鍍污泥中有害重金屬成份的毒性特性溶出試驗值 (TCLP) 均超過標準，係屬有害事業廢棄物，必須經妥善的中間處理後方能進入掩埋場掩埋。目前的處理方法大多以固化處理為主，不但處理成本昂貴且處理後體積增加，造成最終處置的困難，因此如能將其資源化再利用，不僅節省處理成本且可創造產品利潤。

名詞解釋

1.拋光(polishing)

係利用拋光輪（帶）將金屬表面磨光。

2.化學研磨(grinding)

係針對形狀複雜或體積較小的鍍件，加入化學研磨劑來進行研磨，甚至再導入電流進行電解研磨，以達到光潔鍍件之目的。

3.滾桶電鍍(barrel plating)

係將小鍍件置入桶內，滾桶可利用齒輪運轉，使鍍件在藥液中翻動並充分潤濕，當滾桶浸入電鍍槽時，鍍件利用本身重疊與插入桶內之活動陰極接頭相接觸，而與外界電源相通，並利電鍍之。

4.掛鍍電鍍(rack plating)

於電鍍作業過程中，掛架和鍍件皆為陰極，為避免金屬鍍於掛架上，整個掛架除了必須接觸導電處外，均須覆一層不導電的保護膜。一般大型的鍍件或品質要求較高的小鍍件，須以此方式進行電鍍。

5.電解法(electrolysis)

為脫脂的方法之一，係將鍍件當作陰極或陽極，浸入電解液中予以通電，利用電解水所產生的氫、氧氣泡之沖刷作用來達到清除污垢之目的。

6.電透析(electrodialysis, ED)

係利用滲透理論，藉離子交換膜的良好選透性，在外加電場作用下，控制電解質離子的移動方向，以達到分離及濃縮目的。

7.酸洗(acidic cleaning)

係透過不同種類酸液的選擇，將欲電鍍底材表面上的氧化皮膜或其他保護層進行浸蝕，以利後續電鍍程序之進行。常見的酸洗液種類包括：硫酸、鹽酸、硝酸、氫氟酸、磷酸或混合酸等。

8. 鉻酸鹽皮膜處理(chromate coating treatment)

金屬浸漬於以鉻酸為主要成份的藥液中，其表面即會產生一層耐蝕性良好的皮膜。鉻酸鹽處理大致可區分為兩種，一為生成一種耐蝕性優良的有色皮膜，另一為生成光亮皮膜，其耐蝕性雖較前者略差，其表面卻光亮。

9. 工業電鍍(engineering plating)

係利用鍍層之特殊機械性質，用以增強鍍件之防蝕及耐磨功能，常見的有於鐵材或銅材鍍上耐蝕性強且硬度大的鎳及鉻金屬，如汽車鋼圈、輪弧及手工具等之雙重鎳-鉻電鍍。

10. 裝飾電鍍(decorative plating)

係利用電鍍金屬層之光澤及顏色增加商品之外觀價值，如於錶帶、眼鏡架，皮帶扣等表面鍍上各種光澤之金屬合金。此類電鍍中常以鎳或銅鍍底後再鍍上金、銀等金屬。

11. 塑膠電鍍(plastic plating)

係將非導電之塑膠製品表面予以導體化，沉積上一層具導電性的金屬鎳層，在進行一般的鍍銅、鎳或鉻等電鍍程序，已增加塑膠製品之美觀與實用性。

12. 發藍(blueing)

將工件在空氣中加熱或直接浸於濃氧化性溶液中，使其表面產生極薄的氧化物膜的材料保護技術，也稱發黑。鋼鐵零件的發藍可在亞硝酸鈉和硝酸鈉的熔融鹽中進行，也可在高溫熱空氣及 500°C 以上的過熱蒸氣中進行，更常用的是在加有亞硝酸鈉的濃苛性鈉中加熱。發藍時的溶液成分、反應溫度和時間依鋼鐵基體的成分而定。發藍膜的成分為磁性氧化鐵，厚度為 0.5~1.5 微米，顏色與材料成分和工藝條件有關，有灰黑、深黑、亮藍等。單獨的發藍膜抗腐蝕性較差，但經塗油塗蠟或塗清漆後，抗蝕性和抗摩擦性都有所改善。發藍時，工件的尺寸和光潔度對質量影響不大。故常用於精密儀器、光學儀器、工具、硬度塊等。

13. 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。

14. 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。

15. 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)、及與環境友善之技術 (environmental sound technology, 或 environmental friendly technology) 等。

16. 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。

17. 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。

18. 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。簡言之即「為環境而設計」。

參考文獻

1. 91 年度台灣區電鍍同業公會第五屆第三次會員大會手冊，民國 91 年。
2. 經濟部工業局，金屬表面處理業整合性污染防治技術手冊－電鍍業，民國 91 年 5 月。
3. 經濟部工業局，電鍍業廢棄物資源化案例彙編，民國 85 年 3 月。
4. 經濟部工業局，電鍍業減廢回收與污染防治，民國 86 年 3 月。
5. 重金屬污泥資源化技術 MR3，國外資源化技術講習說明會，經濟部工業局，91 年 11 月。
6. 工業污染防治技術服務團，污泥特性調查及處理處置方式研究綜合報告，經濟部工業局，民國 82 年 6 月。
7. 曉園出版社，化工化學百科辭典，1992 年。

附錄 技術供應商名錄

本章整理國內、外技術／設備供應商／代理商之公司名稱、住址、電話、傳真等相關資料，以方便工廠在評估回收系統時之參考。附表一為整理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 技術或系統供應商及代理商名錄

技術/設備名稱	國內、外供應商/代理商
離子交換系統	1.台灣鍊水股份有限公司 2.安旭股份有限公司 3.台灣歐雅實業股份有限公司 4.Napco Inc./ 榮環工程股份有限公司 5.U.S. Filter Corp. (Lancy International, Inc.) 6.Trionetics Inc./ 華禹實業股份有限公司
電解回收系統	1.Kinetico Engineered Systems/光洋應用材料科技股份有限公司 2.U.S. Filter Corp. (Lancy International, Inc.) 3.RENOVARE /昶緣興化學工業股份有限公司 4. Enviro-cell Umwelttechnik GmbH /昶緣興化學工業股份有限公司
超過濾處理設備	1.愛高淨水設備有限公司 2.惠普企業股份有限公司 3.Schleicher & Schuell BioScience, Inc. / 岑祥股份有限公司 4.彰化鍊水工程有限公司 5.菁泉科技股份有限公司 6.宗洋企業有限公司 7. Memtek Corporation/友大工業股份有限公司 8. U.S. Filter Corp. (Lancy International, Inc.) 9. Trionetics Inc./ 華禹實業股份有限公司 10. Eco-tec Inc.
電透析系統	1.Pure Cycle Environmental Technology 2.Ionics Inc./ 力洪實業股份有限公司 3.涇達工程有限公司 4.安旭股份有限公司

附表一 技術或系統供應商及代理商名錄（續）

技術/設備名稱	國內、外供應商/代理商
離子交換樹脂	1.Rohm & Haas 2.Sybron Chemicals Inc. 3.The Purolite Company/英商普特樹脂股份有限公司 4.Dow Chemical Company/台灣陶氏化學股份有限公司 5.太洋化成股份有限公司 6.淇興行 7.台灣羅門哈斯化學工業股份有限公司 8.巨鑫化學股份有限公司 9.基春工業股份有限公司

附表二 主要技術或系統供應商及代理商連絡資料

碼次	公司	連絡住址	連絡電話	連絡傳真
1	Schleicher & Schuell BioScience, Inc.	10 Optical Avenue Keene, N.H. 03431 USA	1-603-352-3810	1-603-357-3627
2	Dow Chemical (Dowex Resins) USA International Division	Texas (USA)	1-409 238 9351	1-409 238 9309
3	Eco-tec Inc.	925 Brock Road ,South Pickering, Ontario L1W 2X9 Canada	1-416 831 3400	1-416 831 3409
4	Ionics Inc.	65 Grove Street Watertown, Massachusetts 02172	1-617 926 2500	1-617 926 4304
5	Kinetico Engineered Systems Incorporated	10845 Kinsman Road ,Newbury, Ohio 44065 (USA)	1-216 564 5397	1-216 338 8694
6	Memtek Corporation	28 Cook Street, Billerica, MA 01821 (USA)	1-508 667 2828	1-508 667 1731
7	NAPCO, Inc.	Plymouth Industrial Park P.O. Box 26 Terryville, CT 06786 (USA)	1- 203 589 7800	1-203 589 7304
8	Pure Cycle Environmental Technologies, Inc.	20 Wilbraham Street, Palmer, Massachusetts 01069(USA)	1-413 283 8939	1-413 283 4480

附表二 主要技術或系統供應商及代理商連絡資料 (續)

碼次	公司	連絡住址	連絡電話	連絡傳真
9	The Purolite Company	150 Monument Road ,Bala Cynwyd, PA 19004 (USA)	1-215 668 9090	1-215 668 8139
10	Rohm & Haas Company	Independence Mall West, Philadelphia, PA 19105 (USA)	1-215 592 2405	1-215 592 2723
11	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
12	Trionetics Inc.	2021 Midway Drive, Twinsburg, OH 44087	1-216 425 2846	1-216 425 9704
13	U.S. Filter Recovery Services, Inc.	2430 Rose Place, Roseville, Minnesota	1-612 633 0079	1-612 633 5074
14	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
15	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
16	台灣歐雅實業股份有限公司	台北市中山區長安東路二段 108 號 3 樓	(02)2506-5126	(02)2506-5866
17	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
18	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
19	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
20	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
21	愛高淨水設備有限公司	東莞市長安鎮烏沙管理區長榮國際機械五金廣場 E1-2 號	0769-5385211	—
22	惠普企業股份有限公司	台北市建國北路二段 15 號 6 樓	(02)2506-2181	(02)2506-0129
23	岑祥股份有限公司	台北市南港區南港路二段 99-15 號	(02)2785-1156	(02)2788-5896
24	彰化鍊水工程有限公司	彰化縣彰化市彰南路四段 302-1 號	(04)738-8220	(04)738-8130
25	鴻涵企業有限公司	台北縣林口鄉新寮路 44-1 號	(02)2603-1977	(02)2603-0813

附表二 主要技術或系統供應商及代理商連絡資料（續 1）

碼次	公司	連絡住址	連絡電話	連絡傳真
26	菁泉科技股份有限公司	新竹縣湖口鄉鳳山村瑞安街 1 號	(03)5977-675	(03)5977-525
27	宗洋企業有限公司	台北市內湖科技園區瑞光路 188 巷 50 號 3 樓	(02)8753-4183	(02)8753-4185
28	浚達工程有限公司	台北市莊敬路 289 巷 5 弄 30 號 1 樓	(02)8780-3843	(02)87803770
29	太洋化成股份有限公司	—	(07)7871-295	(07)7871-052
30	安旭股份有限公司	台北市松江路 156 之 2 號 8 樓	(02)2511-1181	(02)2563-0016
31	淇興行	花蓮縣吉安鄉吉興三街 115 巷 5 號	(03)8514-134	(03)8542-168
32	台灣羅門哈斯化學工業股份有限公司	台北市北投區大業路 452 巷 6 號 2 樓之 A	(02)2898-1500	(02)2898-1213
33	巨鑫化學股份有限公司	高雄市武義街 80 號	(07)711-6511	(07)721-5921
34	基春工業股份有限公司	台北市羅斯福路三段 253 號 9 樓之 2	(02)2362-8189	(02)2362-2374
35	台灣鍊水股份有限公司	台北市漢口街一段 45 號 6 樓	(02)2314-1102	(02)2388-5503