

工廠廢水減量回收案例介紹－電鍍業

陳見財* 張啓達** 林坤讓*** 楊萬發****

摘要

根據統計，國內電鍍業廢水排放量每家約 $55\text{m}^3/\text{日}$ ，單位產品廢水量則高達 231.3L/m^2 ，製程用水量偏高。因此為能有效節約水資源，電鍍業進行製程用水合理化及減廢回收是相當重要的工作。

工廠欲將製程清洗用水量合理化，在不影響鍍件清洗品質的條件下，可藉由現場操作人員及行政人員之管理措施而達到預期目標；至於減廢回收措施則可加強鍍件清洗方法並將清洗水循環再利用，以節省水資源。

案例工廠於製程規劃時即設置省水之鍍件水洗程序，並於製程線上設置三套離子交換回收處理系統，以回收各鍍槽後水洗程序的清洗水及原物料再用，同時將廢水處理後之放流水含量回收使用，以落實工廠廢水減量及回收工作，足以為同業之楷模。

【關鍵字】

1. 電鍍業(electroplating industry)
2. 清洗水再利用(reuse of rinse water)
3. 離子交換(ion exchange)

*中國技術服務社工業污染防治中心工程師

**中國技術服務社工業污染防治中心小組長

***中國技術服務社工業污染防治中心組長

****中國技術服務社工業污染防治中心主任

一、前　　言

近年來，國內電鍍業者不僅致力於提昇生產效率和投資利潤外，亦瞭解工廠污染防治管理工作的重要性，部份工廠為解決污染問題，不惜斥資設置減廢回收設備與廢水處理設施，同時也獲得良好的回收處理成效，不但使得放流水質能符合排放標準，並可回收製程原物料及放流再利用。

根據行政院環保署針對「第四批列管鍍及金屬表面處理廢水計畫」之統計資料，國內現有之金屬表面處理相關工廠，其每日廢水總產生量約 $165,000\text{m}^3$ ，佔台灣地區一天總廢水排放量 $3,160,000\text{m}^3$ 之5%強，其所佔比例已相當大，另依工業污染防治技術服務團之統計資料顯示，國內電鍍業廢水排放量平均每家約55CMD，單位產品廢水量則高達 231.31L/m^2 電鍍面積，遠較歐美國家的 8L/m^2 電鍍面積為大。由此可見，國內電鍍業用水量明顯偏高。因此，為能有效節約水資源，使水資源發揮最大的效益，業界實有進行製程用水合理化及減廢回收的必要。

二、製程合理化用水與減廢措施

水可說是電鍍製程中最重要的組成份，一般約佔80%，然而水在電鍍製程中會產生下列三個問題：

- 1.適合工業使用的水資源越來越珍貴。
- 2.不良的水質會造成電鍍品質不良等問題。
- 3.電鍍製程產生的廢水必須處理。

因此，如何有效進行製程用水的管理，將必須使用的用水量減至最低的程度，是產業界永續經營的不二法門。

2.1 電鍍用水的水質要求

電鍍過程中，鍍件用水清洗之目的在於確保電鍍品質，並預防電鍍槽液受鍍件殘留的附著液污染。電鍍鍍件清洗水的水質要求，包括清洗槽給水水質標準及清洗之最末槽清洗水溶許濃度控制。國內大部份工廠都使用自來水作為鍍

件的清洗用水，一般都能符合電鍍用水要求；而清洗槽最末槽之清洗用水，一般都能符合電鍍用水要求；而清洗槽最末槽之清洗水容許濃度則因鍍液種類、鍍件品質等而異，由於國內目前尚無清洗槽末槽清洗水容許濃度資料，工廠大多依照鍍件品質要求、作業習慣與經驗來控制用水量，使得清洗槽末清洗水濃度普遍偏低，即清洗用水量作高。因此，工廠欲合理化製程清洗用水量，應在不影響鍍件清洗品質的條件下，訂定清洗槽末槽清洗水中主要化學物質的容許濃度。根據國內有關資料，依鍍液種類分類，相關各類鍍槽之清洗槽末清洗水溶許濃度參考值，綜合整理如表 1。

表 1 各類鍍槽之清洗槽末槽清洗水溶許濃度參考值

鍍液種類	主要化學物質	容許濃度(mg/L)
鍍鉻	Cr ⁽⁶⁾	<20
鉻酸鹽鈍化	Cr ⁽⁶⁾	<20
鍍鎳（硫酸鎳）	Ni ³⁺	<20
鍍銅（硫酸銅）	Cu ²⁺	<10~20
鍍銅（氰化亞銅）	CN ⁻	<5
鹼性鋅酸鹽鍍鋅	Zn ²⁺	<30
鉀鹽鍍鋅	Zn ²⁺	<10

2.2 製程合理化用水

製程合理化用水係著重於管理的層面。管理的方式可以分為二方面，一為現場操作人員的用水管理，一為行政管理人員在顧及生產成本、產品品質及污染防治方面所採取的用水管理。前者的用水管理方式，一般操作員大多耳熟能詳，但在實行上由於顧及鍍件的電鍍品質，而較無法發揮用水減量的功能；後者的用水管理方式，則受限於電鍍業大部份是代加工型工廠，以產量及產值為主要考慮要件，因此大多未能採用。目前國內少數專業電鍍工廠已開始進行管理方面的用水管理。

1. 操作人員用水管理

操作人員的用水管理旨在利用適當的清洗水量來達到鍍件洗淨的目的，因此欲有效地控制用水量，首先必須摒除用水量多、清洗效率高的觀念，並依表2之控制方式進行管理。

2.行政人員用水管理

電鍍工廠在面臨日益嚴格的環保法令需求下，如何使產業能永續經營，其所涉及的層面相當廣；其中，藉由合理化用水的控制，不但可因減少用水量而降低生產成本，同時亦可因廢水量的減少而節省操作成本，是一舉兩得的措施。行政人員用水管理措施主要朝下列四個方向進行：

- (1)在符合單位產品用水量(如8L/m²)下，探討水洗廢水之水質與電鍍品質、廢水處理之關係。
- (2)在符合電鍍品質的情況下，限定清洗廢水之水質，探討用水量情形。
- (3)在符合單位產品用水量與電鍍品質下，探討回收槽液或水洗廢水濃度變化。
- (4)在固定用水量下，探討清洗槽的清洗效率。

表2 操作人員用水管理控制方式

控制方式	內容說明
間歇性補水	1.連續性製程，操作員應嚴格控制進水管之閥門開啓度；人員休息或設備維修時應立即關閉進水閥。 2.非連續性製程，應於操作現場設置操作簡便的清水控制閥，依製程控制進水量或間歇性補充清水。
抽取適量地下水	1.設置地下水貯槽，每天依需要抽取適當之地下水，以避免超量使用。 2.設置地下水抽水泵水錶，嚴格限制抽水量。

為能有效達成管理的目的，必須建立合理化用水之電腦化軟體運算系統，其主要之參數一般有鍍槽濃度、回收槽容積、鍍件帶出液量、電鍍產量、每日工作時數、清洗水量、清洗廢水之濃度上限值及回收槽液之回收濃度等因子。

由於影響槽液蒸發量的變數很多，如槽液成份、槽液濃度、槽液溫度、槽體表面積等，甚至於鍍件移出槽速度、環境溫濕度條件等等，較不易逐一

測量，且一般槽液每小時蒸發量約在數公升左右，與槽液體積數千公升比較，僅在百分之一至千分之一，因此，蒸發量因子幾乎可以忽略，故進行電腦模擬時，一般在運算系統中並未將蒸發量因子列入運算參數中，同時，假設回收槽液系統採批式排放操作，且鍍件附著帶出液進入水洗槽進行清洗係在完全均勻混合狀態下，不考慮水洗水濃度延時變化之反應平衡時間。

2.3 減廢節水措施

2.3.1 鍍件清洗方法

電鍍製程合理化用水管理工作中，選擇適當的鍍液回收方式與鍍件清洗方法是相當重要的一環。鍍件的清洗原則，為獲得相同的清洗效率下所使用的清洗水量愈少，亦即清洗效率愈高。表 3 為一般電鍍工廠常用的高效率清洗方法，對於清洗水量的降低有很大的助益。

2.3.2 清洗水再利用

電鍍製程中，水的回收再用可以節省用水量並且減少廢水量，進而減少廢水處理操作成本，符合國內電鍍特性的技術如表 4。

表3 鍍件有效洗淨法

減廢措施	內容說明
噴洗洗淨	1.水洗槽或回收槽附設清水噴嘴，在鍍件上升時噴水洗淨。 2.為防止水霧飛濺，噴嘴角度宜採水平向下30°。 3.可視需要裝設循環噴嘴，減少用水量。 4.噴嘴角度宜依鍍件形狀做適當修正，以提高噴洗效率。
空氣攪拌	1.鍍件形狀複雜時，可使用空氣攪拌提高洗淨效果。 2.應避免空氣中所含油分、塵埃混入而影響電鍍品質。
超音波洗淨	1.利用超音波之振動使清洗水不斷與鍍件衝擊，產生良好之清洗效果。 2.振動器及振動子須能防蝕。 3.振動頻率不可太高而使直進性變強，降低洗淨效果。
熱水洗淨	1.提昇水溫，降低粘度，增加效率。 2.可於槽底設置蛇管送入蒸氣或使用電熱式，或直接補充鍋爐熱水，但須避免逆流之危險。 3.一般水溫控制在70~80°C之間。
使水流途徑最長	1.清洗槽之進出水口成對角線設計，或於進、出水口處增設擋板，使水流經途徑最長，增加清洗效率。 2.可適用於單槽或多槽水洗。

表4 水再利用方式

項目	減 廢 方 案	內 容 說 明
水 再 利 用	使用反應性水洗方式 (清洗水循環再用)	1.將清洗水未經任何處理即導入另一清洗單元循環使用。 2.一般可將酸(鹼)性清洗水導入鹼(酸)性清洗水單元再用；氟化物清洗水則不可與酸性清洗水混和，以免發生意外。 3.清洗水輸送方式可藉重力流方式，或設置中間水槽以小型泵浦抽送。
	重金屬回收後，清水 回收再用	1.鎳、鉻等重金屬以離子交換等方式回收後，其清水可以補回清洗槽再使用。 2.大氣蒸發濃縮設備之蒸氣在降溫後回補至清洗槽再用。
	放流水回收再用	1.放流水可視其水質狀況，補回前處理製程使用。 2.沉澱槽澄清水未調整pH值放流前均偏鹼性，可將其回收至酸性洗滌塔作為洗滌水使用，洗滌廢水排至廢水處理廠處理。
	使用多段逆流清洗法	1.清水由最後一槽補注，廢水由第一槽排出。 2.使用重力溢流方式，不需動力。 3.可配合噴洗法及空氣攪拌法使用。 4.在相同清洗效率下，清水量較多槽單獨進、出水清洗方式節省。

反應性清洗法是指在電鍍作業線上，將用過的清洗水未經任何處理即送回另一清洗槽再用的方法，而是否能應用此法，端視清洗水的特性而定。

電鍍工廠常用的基本清洗流程中，包含酸脫脂、鹼脫脂及酸浸等步驟，若能將酸浸步驟後之清洗水送回鹼脫脂後的清洗槽再使用，其優點大致如下：

- 1.槽中之鹼性清洗水可以得到部份中和作用。
- 2.較易去除物件表面之皂膜(鹼液薄膜)，提高清洗的效率。
- 3.該槽無需再用到清水，因此可以節省部份用水量。
- 4.由於清洗水獲得部份中和作用，而提高了帶出液的pH值，對酸浸溶液形成保護功用，進而延長其使用壽命。

反應清清洗法應用於傳統式以氰化物鍍底時，因一般在酸浸後的清洗水，其pH值可能降至2.5，而氰化物在pH2.5到3.0範圍內會轉化成有毒的氰化氫氣體釋放出來，造成極大的危險，必須避免。同時，使用反應式水洗時，宜將污染質濃度較低之清洗水引回污染質濃度較高處使用，以避免清洗效率無法達到預期之效果。

至於放流水的回收使用，若欲將放流水回收至製程上再使用時，常需配合廢水高級處理設施之運用，以確保放流水水質能符合製程用水之要求。

逆流清洗是由若干段清洗槽串聯而成，從最後一槽供應清水，而由第一槽排水，其水流方向與鍍件清洗方向相反，故稱為逆流清洗。逆流清洗的特點是鍍件在清洗水量少的情況下仍能達到同樣的清洗效率，而清洗水中污染物之濃度則越洗越高；此種清洗法用水量少，清洗效率高，最終排出的清洗水濃度高，有利於回收利用。逆流清洗法一般分為下列二種：

1.連續逆流清洗法

此法為國內目前最常見的逆流清洗法，一般設置2~3段清洗槽，於末段槽進水，靠各槽之間的液位差逐段向前溢流，再從第一槽排水，如圖1所示。連續式逆流清洗稀釋倍數及水量計算公式如下：

$$R = 1 + \left(\frac{Q}{D}\right) + \left(\frac{Q}{D}\right)^2 + \left(\frac{Q}{D}\right)^3 + \dots + \left(\frac{Q}{D}\right)a$$

$$\text{亦即, } R = \frac{\left(\frac{Q}{D}\right)^{n+1} - 1}{\left(\frac{Q}{D}\right) - 1}$$

一般單位時間內清洗水量Q比鍍液帶出量D大得多，故上式可簡化成：

$$R = \left(\frac{Q}{D}\right)^n, Q = DR^{1/n} = D\left(\frac{C_0}{C_n}\right)^{1/n}$$

式中，

$$R : \text{稀釋倍數}, R = \left(\frac{C_0}{C_n}\right)$$

Q : 單位時間內清洗水量 (公升／小時)

D : 鍍件附著液帶出量 (公升／小時)

n : 清洗槽數

C_0 : 鍍槽槽液濃度 (公克／公升)

C_n : 第n清洗槽內的平衡濃度 (公克／公升)

$$\text{若考慮實際的清洗效率，則 } Q = D \left(\frac{C_0}{\eta_n C_n} \right)^{1/n}$$

$$\text{其中， } \eta_n = \frac{C_n \text{ (理論值)}}{C_n \text{ (實測值)}}$$

η_n 值與電鍍組成、鍍件形狀、操作條件等因素有關。

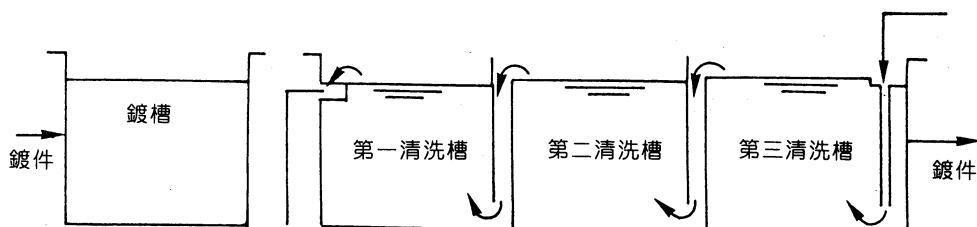


圖1 連續逆流清洗法

表4及表5為 $\eta = 5$ 、 $C_0 = 250$ 公克／公升、 $C_n = 0.005$ 公克／公升、 $D = 0.05$ 公升／小時之多槽並聯直流清洗及連續逆流清洗之計算例。

從表4可看出，二槽式清洗與一槽式清洗相比，其供水量相差很大。以三槽式清洗和二槽式清洗相比，以每一單槽個別供水量而言，三槽式供水流量為二槽式的1/6左右，而總供水流量為二槽式的1/4左右。三槽以上隨著槽數的增加，而供水流量下降率就很小了，故多槽並聯清洗一般最多不超過五槽，否則不經濟。從表5中可知，在清洗槽數相同的情況下，連續逆流清洗

的供水流量是多槽並聯直流清洗流量的 $1/n$ ，而第一清洗槽排出水濃度則相差不多。

表4 多槽並聯直流清洗計算例

清洗槽槽數 η	供水流量,Q (公升／小時)	總供水流量,Q (公升／小時)	各清洗槽濃度(公克／公升)				
			C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
1	2,500.00	2,500.00	0.01	0.01			
2	11.13	22.26	1.12	0.18			
3	1.79	5.38	6.79	1.12	0.01		
4	0.7	2.79	16.72	0.38	0.08	0.01	
5	0.39	6.86	28.72		0.38	0.04	0.01

表5 連續逆流清洗計算例

清洗槽槽數 η	供水流量,Q (公升／小時)	各清洗槽濃度(公克／公升)				
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
1	2,500.00	0.005				
2	11.16	1.211	0.005			
3	1.83	6.849	0.188	0.005		
4	0.73	17.016	1.158	0.078	0.005	
5	0.42	29.446	3.468	0.408	0.047	0.005

2.間歇逆流清洗法

這種清洗方法與連續逆流清洗方法所不同之處，係清水不是連續性進水而是間歇性進水。目前國內使用此法尚不普遍，惟由於國內電鍍業屬於「加工」性質居多，鍍件多樣化的情況下，所需清洗程度亦不同，故間歇逆流清洗值得推廣。依照進水情況不同可分為整槽進水及間接逆流噴洗法二種：

3.其他清洗法

至於電鍍業常使用的其他鍍件清洗方法之特性說明如下：

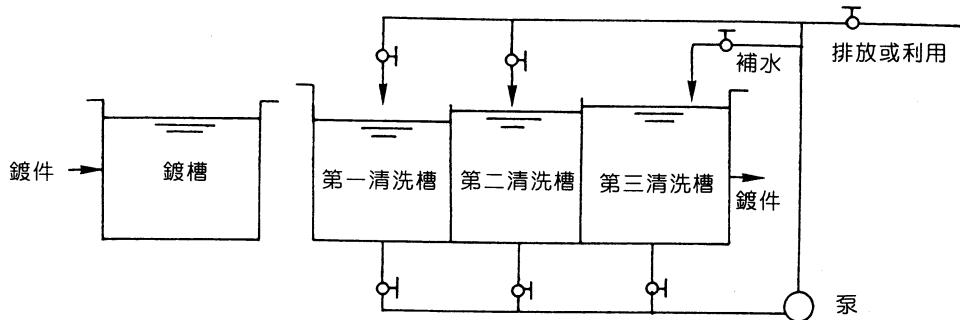


圖2 整槽進水間歇逆流清洗法

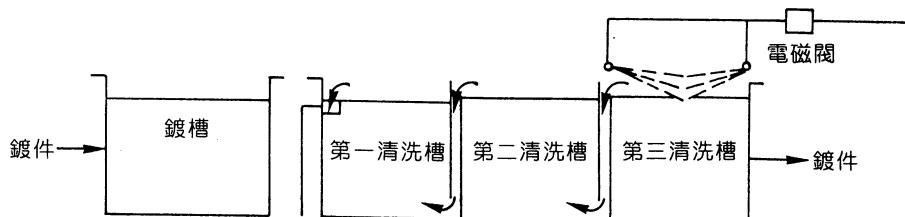


圖3 間歇逆流噴洗法

(1) 噴洗法

噴洗法由於能使噴洗水調整到一定的角度，且噴洗時一般係於加壓狀況下，水珠較易與鍍件接觸而能以較少的水量達到一定的清洗效率。噴洗時的有效範圍與噴嘴方向及壓力有關，此二因素若設計或控制不當，則易造成「空噴洗」或噴洗水外溢現象。

(2) 热水洗净法

热水洗净法目前在國內已有愈來愈普遍的趨勢，主要是因為鍍液的粘度隨著溫度而下降，提高清洗水溫度可以加速鍍件表面附著液的洗淨，因

而節省清水量。再者，鍍件在經熱水清洗後可加速表面乾燥速度，縮短鍍件烘乾時間。

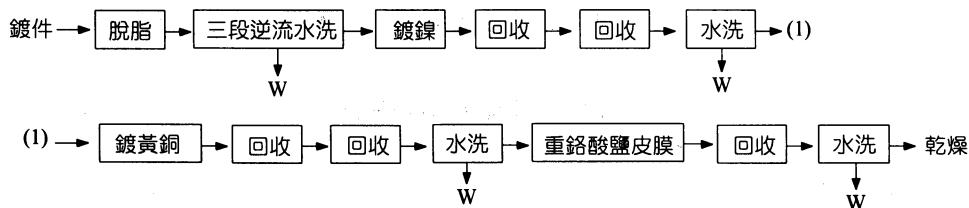
三、案例介紹

3.1 工廠現況

某裝飾性電鍍工廠位於台中工業區內，係一專門從事五金零件電鍍鎳及黃銅之代加工工廠，現有員工11人，每月鍍件量約10萬件。該廠目前之電鍍程序採人工手動操作方式，為擴增產能，現正增設一條自動製程線，並因應未來廢水量增加的處理問題，於製程規劃之初即設置省水之鍍件水洗程序，並於製程線上設置三套離子交換回收處理系統，以回收各鍍槽後水洗程序的清洗水程序的清洗水及原物料再用，同時將廢水處理後之放流水全量回收使用，以落實減廢回收工作。

1. 製程簡介

該廠之電鍍流程如圖4所示：



註：W表廢水排放源

圖4 某裝飾性電鍍工廠製程

2. 廢水種類與特性

該廠之廢水種類依廢水來源及特性，可區分成脫脂水洗廢水、鍍鎳水洗廢水、氰系廢水與鉻系廢水等四類。各類廢水污染成份與廢水量彙整成表6，廢水水質則如表7。

表6 製程廢水種類及特性

廢水種類	污 染 來 源	污 染 成 份	廢水量
脫脂廢水	脫脂程序後清洗鍍件之連續性排水	界面活化劑、鹽酸	38.4m ³ /日
鎳廢水	鍍鎳後清洗鍍件之連續性排水	氯化鎳、硫酸鎳	9.6m ³ /日
氰系廢水	鍍黃銅後清洗鍍件之連續性排水	氰化鈉、氰化銅、氰化鋅	9.6m ³ /日
鉻系廢水	重鉻酸鹽皮膜處理後清洗鍍件之連續性排水	鉻酸鹽	9.6m ³ /日

表7 綜合廢水水質

SS	COD	Ni ²⁺	Cr ⁶⁺	Cu ²⁺	CN ⁻
45	120	35	15	8	17

3.2 回收處理設施

1. 設計廢水量及水質

設計之廢水量及廢水水質如表8所示。

表8 設計廢水量及廢水水質

設計廢水量(m ³ /日)				設計廢水水質(mg/l)		
脫脂廢水	鎳水洗廢水	氰系廢水	鉻系廢水	SS	COD	Ni ²⁺
				100	200	50
40	10	10	10	Cr ⁶⁺	Cu ²⁺	CN ⁻
合計：70				50	20	30

2. 處理原則

工廠基於減廢回收觀念，在廢水污染防治工作上考量下列三項處理原則：

- (1) 分流處理：將各種不同性質的廢水分類收集，並採取適當的回收處理方法，以回收製程原物料再用，減少污染源之產生，使廢水處理趨向單純化。

- (2)回收水洗水與鍍槽槽液：製程中各鍍槽後之水洗排水，在妥善分類處理的原則下，分別採離子交換樹脂法處理，處理後之循環水再使用，而離子交換樹脂飽和之再生液亦可回補至原鍍槽再用。
- (3)回收放流水：脫脂水洗廢水及離子交換樹脂系統之反沖洗排水，含有少量之懸浮物及有機物，經化學沉澱法及活性碳吸附處理後，可回收至前處理製程脫脂單元使用。

3.回收處理系統

該廠為有效回收處理各股製程廢水，乃針對鍍鎳、鍍黃銅及重鉻酸鹽皮膜程序後之水洗排水，於廠內分別設置了三套離子交換系統，其處理流程如圖 5 所示；脫脂程序之水洗排水，以及離子交換系統之反沖洗水與再生廢液，則採化學沉澱法處理，並將處理後之放流水全量回收，其處理流程如圖 6 所示。

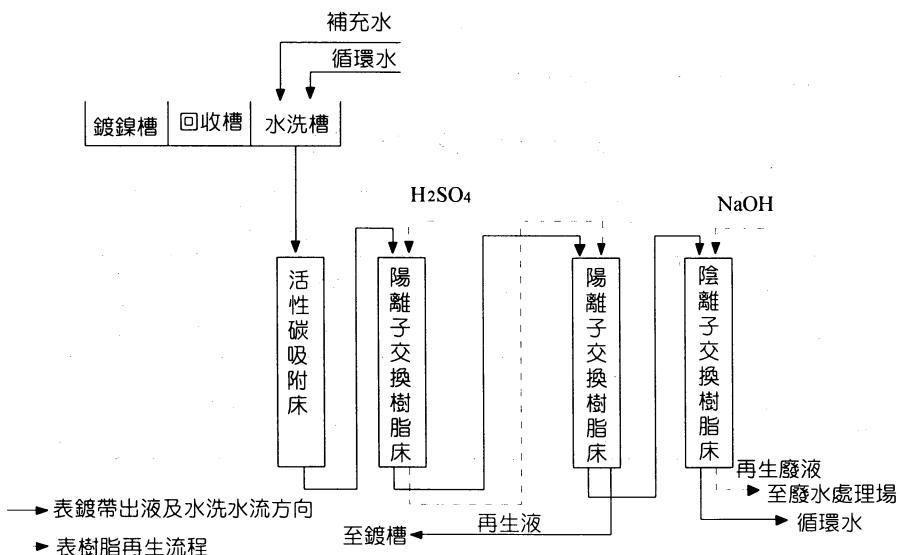


圖 5(a) 鍍鎳水洗水離子交換處理流程

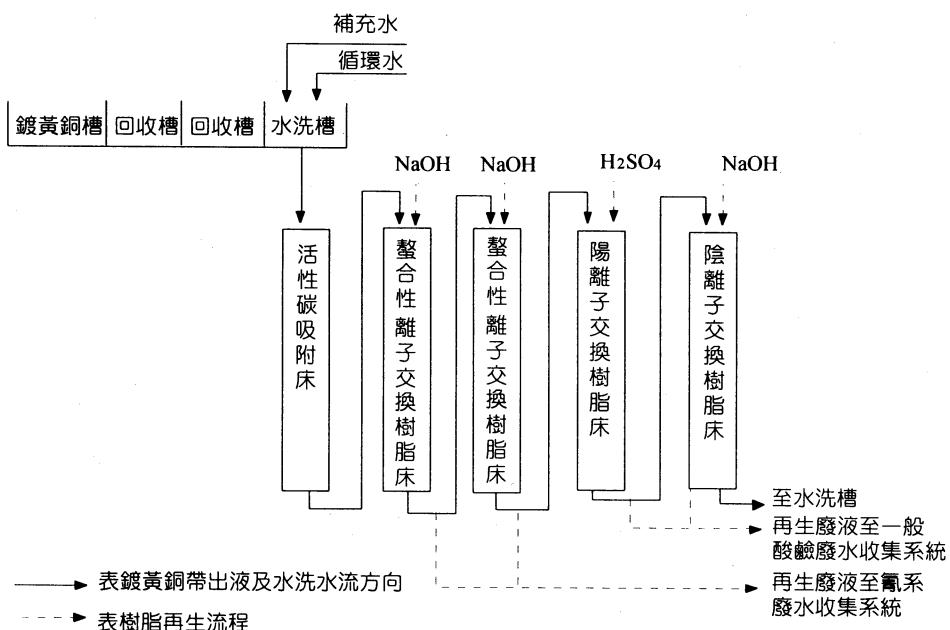


圖 5 (b) 鍍黃銅水洗水離子交換處理流程

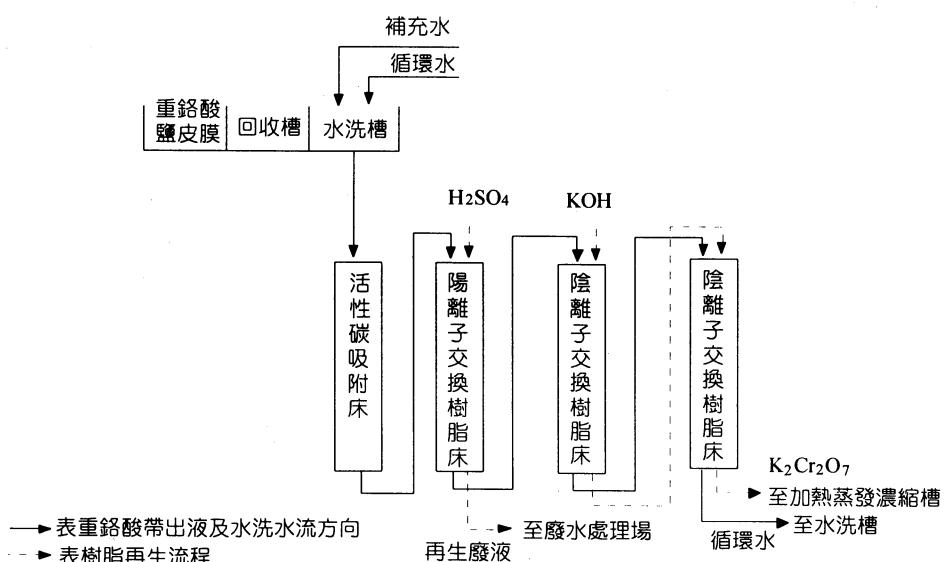


圖 5 (c) 重鉻酸鉀皮膜水洗水離子交換處理流程

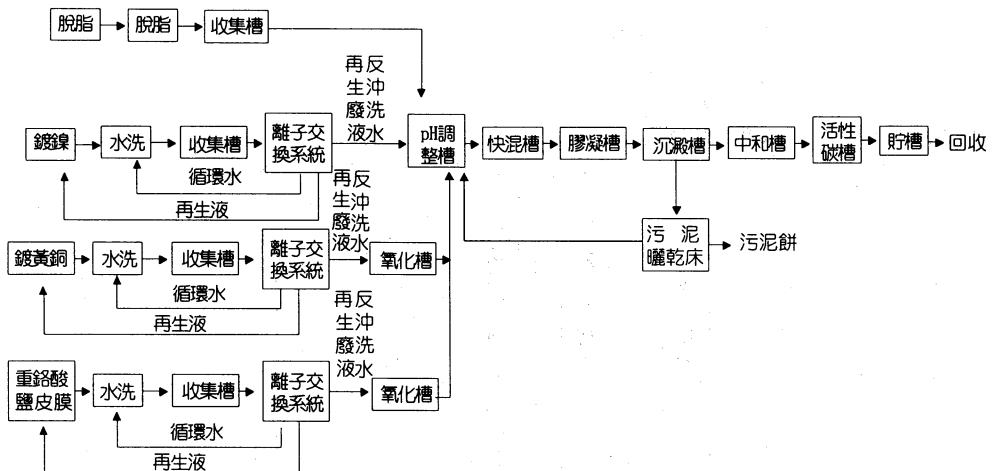


圖 6 製程廢水回收處理流程

4. 處理特色

- (1) 各鍍槽後之水洗排水分別經離子交換系統處理，並循環水洗水再使用，而廢水處理設施僅處理一般酸鹼廢水（脫脂水洗水）及離子交換樹脂塔之反沖洗排水，使得廢水處理成本大幅降低，同時所產生的污泥量少，且因不含有害重金屬離子成份，污泥屬於一般事業廢棄物，可減少污泥處置的困擾。
- (2) 在廢水妥善分類收集、處理的原則下，各股重金屬離子廢水分別以符合特性的樹脂進行處理時，樹脂不易氧化，使用期限長；離子交換樹脂飽和再生週期，依實際操作情形約一個月再生乙次即可，而離子交換處理系統之反沖洗及再生程序均採用自動化連續操作方式，可以減輕現場操作人員之工作負擔。
- (3) 該廠為有效回收重金屬離子及水資源，乃於廠內設置回收處理系統及廢水處理設施，在正常操作維護下，不但能節省原物料的使用量，同時使放流水全量回收使用，致使工廠幾乎無廢水的排放。
- (4) 整體而言，結合減廢回收系統及廢水處理設施可減少污染物及廢水的排放量，但對於處理水循環使用比例或次數，須視鍍件清洗品質的要求，進行部份放流或定期排放更新，同時因一般酸鹼廢水中所含之有機物以化學沉

濾法處理，其處理成效有限，須藉由活性碳吸附以維持回收水之水質，故此部份之處理成本較高。

(5)工廠在廠區面積有限的情況下，使用減廢回收措施，以減少廢水量使廢水處理設施小型化，並設置套裝式廢水處理設施，以節省廢水管末處理設施之佔地面積，有助於工廠土地之有效利用。

3.3 回收處理成效

1. 處理現況

(1)目前該廠之廢水處理設施以處理脫脂水洗水為主，處理水則全量回收使用，同時各電鍍程序排放之重金屬離子廢水則以離子交換系統處理，處理水亦循環作為水洗水使用。如此，工廠每日可以節省70m³的清洗水量。

(2)工廠之鍍鎳及重鉻酸鹽皮膜水洗水以離子交換系統處理時，樹脂飽和再生週期約一個月乙次，其樹脂飽和再生液則回補至原鍍槽繼續使用，因而可節省鍍鎳槽及鉻酸鹽槽之原物料使用量，根據統計每月約可節省700公斤的硫酸鎳及20公斤的重鉻酸鉀。

(3)該廠由於將處理後之處理水全量回收使用，因此，雖已接管至工業區之污水處理廠，然因平日並無廢水排放，故可進一步節省工業區污水處理廠的管理費用。

2. 效益評估

工廠在正常操作下，設置離子交換系統之效益評估如下：

(1)初設成本

整體離子交換系統設置成本，含週邊設備共有2,500,000元。

(2)操作維護費

①動力費

$$6\text{Hp} \times 0.75\text{kW/Hp} \times 4\text{hr/日} \times 25\text{日/月} \times 12\text{月} \times 2.6\text{元/kW.hr} \\ = 14,040\text{元/年}$$

②再生藥品費

$$\text{NaOH : } 20\text{kg/月} \times 15\text{元/kg} \times 12\text{月/年} = 3,600\text{元/年}$$

$H_2SO_4 : 30\text{kg}/\text{月} \times 8\text{元/kg} \times 12\text{月}/\text{年} = 2,880\text{元}/\text{年}$

合計： $3,600\text{元}/\text{年} + 2,880\text{元}/\text{年} = 6,480\text{元}/\text{年}$

③樹脂更換費（以每月平均3,300元計算）

$3,300\text{元}/\text{月} \times 12\text{月}/\text{年} = 39,600\text{元}/\text{年}$

操作維護費用總計：

$14,040\text{元}/\text{年} + 6,480\text{元}/\text{年} + 39,600\text{元}/\text{年} = 60,120\text{元}/\text{年}$

(3)節省費用

①水洗水

$70\text{m}^3/\text{日} \times 25\text{日}/\text{月} \times 12\text{月}/\text{年} \times 8\text{元/m}^3 = 168,000\text{元}/\text{年}$

②硫酸鎳

$700\text{kg}/\text{月} \times 12\text{月}/\text{年} \times 55\text{元/kg} = 462,000\text{元}/\text{年}$

③重鉻酸鉀

$20\text{kg}/\text{月} \times 12\text{月}/\text{年} \times 75\text{元/kg} = 18,000\text{元}/\text{年}$

④廢水處理藥劑費

A.NaHSO₃加藥費用：以處理1kg Cr⁶⁺需添加3kg NaHSO₃計算

$20\text{kg}/\text{月} \times 52/100 \times 3\text{kg} \times 12\text{月}/\text{年} \times 25\text{元/kg} = 9,630\text{元}/\text{年}$

B.NaOH加藥費用：

$15\text{kg}/\text{日} \times 25\text{日}/\text{月} \times 12\text{月}/\text{年} \times 8\text{元/kg} = 36,000\text{元}/\text{年}$

⑤污泥處置費用（以委託代處理費10元/kg估算）：

$110\text{kg}/\text{日} \times 25\text{日}/\text{月} \times 12\text{月}/\text{年} \times 10\text{元/kg} = 330,000\text{元}/\text{年}$

總計每年可節省費用：

$168,000\text{元}/\text{年} + 462,000\text{元}/\text{年} + 18,000\text{元}/\text{年} + 9,360\text{元}/\text{年} +$

$36,000\text{元}/\text{年} + 330,000\text{元}/\text{年} = 1,023,360\text{元}/\text{年}$

(4)設備回收期限

①每年總淨節省費用： $1,023,360\text{元}/\text{年} - 60,120\text{元}/\text{年} = 963,240\text{元}/\text{年}$

②回收期限： $2,500,000\text{元} \div 963,240\text{元}/\text{年} = 2.6\text{年}$

四、結論

傳統上，電鍍廢水多採氧化還原法及化學沉澱法進行處理，但是由於近年來各種減廢技術漸趨成熟，已有多項減廢回收措施陸續地被使用，例如前述的鍍件清洗方法、水回收再利用等技術，不僅減少了廢水的產生量，同時也減少後續污泥處理、處置的困擾，更使得電鍍工廠在規劃廢水污染防治設施趨於單純化小及型化。

參考文獻

- 1.電鍍業水污染防治技術，工業局工業污染防治技術服務團，中華民國82年6月。
- 2.陳瓊龍、陳見財等，電鍍業應用循環過濾法減少脫脂槽液廢棄量與重金屬離子交換法資源化回收案例，1994年工業污染防治工程實務技術研討會論文集，中華民國83年12月。
- 3.Joseph M.R., Ion Exchange: The System Best for You. PRODUCTS FINISHING, Feb 1992.