

# 電鍍業之節水技術 與清潔產生

**陳效禹/工研院節水團**

台灣地區電鍍業大部份屬於家庭式的小規模加工廠，由於員工、資金及規模都不大，故較沒有能力設置污染防治設備，且技術上停留在手工逐批操作的階段，所以其造成的污染狀況特別嚴重。

由於電鍍業必須以大量的水作為清洗，而且這些使用過後的水源往往會有許多有毒的重金屬（如鎳、鋅、銅等），不僅如此廢水還呈強酸、強鹼的狀態，甚至含有劇毒的氰化物，一旦廢水未經處理而直接排入河流時，則會造成生態嚴重污染與破壞。這些重金屬如果進入生物體內，不但難以代謝無法排出體外，且有累積的作用，如果累積數量達到一定容許值時，將造成人體健康的重大危害。因為人類是屬於食物鏈的最高階，許多遭到污染的動、植物最終都是經由食物鏈的關係進入人體內，亦即這些生物攜帶的重金屬同時在人的體內累積，人因而成為最大的受害者。

電鍍廢水經處理後會產生大量含重金屬的污泥，這些擁有高毒性的污泥同樣是危害性廢棄物，目前處理的方式多只有採取水泥固化的方式，不僅成本不低且執行上也有相當的困難。因此我們可以發現，整治電鍍業造成的污染所要花費的成本偏高，倘電鍍技術仍繼續停留在過去不加裝污染防治設備的階段的話，對水域的傷害將無法估算。本篇將從製程改善的節水技術與面對廢水處理的問題，來減輕電鍍業的用水壓力，進而減少污染物對環境之衝擊。

## 一、電鍍作業環境

鉻金屬於 1797 年由法國 Louis Vanquelin 最早發現。至 1827 年，英國 Cumin 首次報告染料工人因處理重鉻酸化合物，導致皮膚潰瘍與其他皮膚症狀。在 1884 年，MacKenzie 曾報告暴露鉻酸化合物會引起鼻中膈穿孔症狀。在 1932 年，德國流行病學家 Gro 與 Kosch，提出吸入過量鉻酸鹽與肺癌有直接關聯性。而美國統計資料也顯示，鉻酸鹽暴露者較一般人產生肺癌機率高出 25 倍。1975 年 Royle 根據 1,238 名電鍍工人的調查發現，這些工人罹患肺癌的機率較對照組高出 10 倍，產生腸胃道癌的機率也高出 2 倍。常見鉻化合物進入體內的途徑計有：經口食入、皮膚吸收與呼吸道吸入，其中以呼吸道吸入最為常見。鉻化合物

吸入對健康的影響程度依吸入顆粒粒徑、鉻金屬價數、溶解度與呼吸黏膜道反應而定。

據了解西元 2004 年歐盟各國將全面禁止鉻系電鍍產品進口，屆時會對電鍍界產生不小的衝擊。近年來各國相繼研發非鉻系之取代品，國內電鍍業界也應積極籌畫因應之道。

## 二、電鍍工藝基本流程

電鍍過程主要是以水為進行處理程序界面，其中包括前處理、電鍍及後處理三個階段，在這些過程當中，清洗是必須的。以下是一般的電鍍工藝流程：

工件 除油 清洗電解除油 清洗 酸浸 清洗 電鍍 清洗  
處理/烘乾 產品。

目前所採用的傳統生產操作，會對環境帶來一定程度的影響。以下一些等電鍍流程及不適當行為，可以透過應用清潔生產技術，改善其對環境所造成的污染影響

1. 使用含有氰化物的配方。
2. 使用六價鉻的程序。
3. 節省物料的管理措施未完善。
4. 浪費用水。

而透過清潔生產技術所帶來的效益包括：

1. 減少水費及排污費。
2. 減輕廢水處理的負荷。
3. 無需額外人力。
4. 投資少，回本快。

## 三、電鍍製程改善

在電鍍過程中，水洗水佔廢水的大部份。節省用水及增加水的循環再用，不僅能減少水費及排污費，而且能降低廢水處理的費用；按照實際所需而控制水流速度及進水量的方法分別介紹如下。

### （一）減少用水量

把電鍍水洗水回用作其它程序的水源；當不需用水時，關掉水源，並提高清洗效率。以下是一些採用清潔生產而能減少用水的方法建議：

### 1. 反應性水洗

反應性水洗是將一個水洗程序的出水直接回用至另一水洗程序中，作為水源；如果回用的水洗水對產品品質沒有負面影響，這方法是可以考慮採用的。

### 2. 限流器

裝於水管中的限流器的作用是當水管內的壓力或水龍頭的調節開關度有任何改變時，限流器能維持穩定水流流速。它可配合其它水洗技術，更進一步節省用水。例如：它可連接到反應性水洗系統，控制水流流速。

### 3. 導電度控制水洗水

導電度控制的操作原理是清水比受化學液污染的水的導電度為低。導電度控制水洗水技術基本上需要一個控制器、探測水洗水導電度變化的感應器、控制入水的電磁閥，及使水洗水在洗水槽內均勻流動的空氣攪拌器。一般情況下，電磁閥處於關閉狀態下，當導電度的感應器探測到水洗水中的導電度比指定值為高，控制器會把電磁閥開啟讓清水進入；當導電度下降到設定值，電磁閥亦自動關閉。

### 4. 時控流量系統

時控流量系統是一個簡單的流量控制裝置，包括一個時間控制器及一個電磁閥。當系統接到指示時，會開啟電磁閥放入清水；當指定時間過後，電磁閥會自動關掉終止入水，從而達到減少用水的效果。

### 5. 噴洗技術

噴洗是用清水噴洗工件，沖去附著在工件表面的化學液。由於噴洗用水量一般比其它傳統的浸洗技術為少，因此可節省不少用水，噴洗可減少用水量高達 90%。噴洗最適宜用於平面的工件，讓水洗水可以直接噴到整個工件的表面上；對於有凹位及隱蔽部位的工件就不太合適。細小的工件容易被噴水的沖力從掛具上沖脫，所以亦不適用。

### 6. 間歇性逆流噴洗系統

是把一排噴嘴適當地安裝在每個水槽的頂部，讓工件在一連串的逆流洗水槽上噴洗。每個水槽的水洗水均用作前一個水槽的噴洗水源，此技術最適用於自動生產線上，整個過程由感應器探測掛具的移動自動操作。

## （二）減少帶出液技術

工件從電鍍槽中提出，附著在工件表面的電鍍液繼而被水洗水沖洗到廢水中，這種被工件帶出而流失的電鍍液稱為帶出液。水洗水中所含的化學物質，主要來自帶出液，如果減少帶出量，就可有效地減輕廢水負荷。因此，減少鍍液的帶出量不僅可以減少添加補充劑的成本，還可以減少廢水處理的費用。

許多減少帶出液技術，通常只需簡單的程序或變更少量設備，卻可以既經濟又有效地達到防止廢物產生的目的。以下所介紹的技術，除特別聲明外，均可用於掛鍍或滾鍍上。

### 1. 控制電鍍液

（1）採用較低濃度電鍍液：降低電鍍液的濃度，可使隨帶出液流失的化學品量減少。因此，在不影響成品質量的前提下，應將鍍液濃度調至操作範圍的最低點。

（2）控制鍍液的溫度：在適當的程序上，將電鍍液的溫度升至操作溫度範圍的上限，可降低黏滯度；黏在工件上的鍍液的滴流速度因此增大，使帶出液量減少。

（3）控制鍍液的表面張力：在電鍍液中加入適當濕潤劑，可以減低電鍍液的表面張力，亦可以減少帶出液量。此方法曾在鎳鍍槽中進行了測試，結果顯示，把濕潤劑的份量加倍，可使帶出液量減少百分之十。

### 2. 電鍍程序安排

（1）足夠的滴流時間：是減少帶出液的最簡單方法。工件從電鍍槽中提出，停留在槽上的時間愈長，帶出液量的流失就愈少。延長滴流時間一般不會影響工件品質。但要小心謹慎，別讓工件於空氣中風乾，否則會導致乾斑。

（2）掛滴吊桿/盛滴載架：掛滴吊桿是一種簡單的工具，使掛具可以短暫地掛在鍍缸上，讓足夠滴流時間減少帶出液量。個案顯示，某電鍍廠在前處理程序上安裝了不銹鋼的掛滴吊桿，結果因減少帶出液而節省了操作成本，回本期約 3 個月。另一家塑膠電鍍廠採用了盛滴載架，分析顯示，投資的回本期大約是 7 個月。

（3）防濺蓋板：防濺蓋板是槽與槽之間附加的蓋板，當工件從一個槽轉移到另一個槽時，蓋板可回收從工件滴出的化學液。蓋板應安裝成一定的斜度，使帶出液流回原本的槽內。

（4）槽面噴水：此技術是用水噴洗工件上的帶出液，使帶出液流回槽中。最簡單的方法是採用噴槍，電鍍後的工件懸掛在槽面上，利用噴槍以清水或水洗水噴洗，使帶出液直接流回鍍槽中。某個案在手動操作的滾鍍線上使用噴槍，在帶出

液回收槽上，以噴槍在滾筒內噴洗，把藏著的帶出液有效地沖出。從回收槽收集到的液體可用作鍍槽的補充液，以減少流失，方法簡單且回本期很短。

### 3. 適當掛具設計

適當的工件與掛具設計及正確的工件排列方法，除了可使工件有均勻的鍍層及良好的覆蓋外，亦可改善滴流，因而減少帶出液量。

### 4. 採用帶出液回收槽

電鍍廠普遍使用帶出液回收槽回收帶出液，當愈來愈多鍍件在帶出液回收槽清洗時，它的濃度會不斷增加，直到足夠濃度便可以回用到鍍槽中，作為帶出液及蒸發流失的補充。

## （三）鍍鉻技術改良

裝飾性鍍鉻是指在金屬或塑料工件上的鎳或其它中間鍍層上，再鍍上一層具有保護作用的裝飾性光亮層。電鍍商大都採用六價鉻電鍍，但是三價鉻電鍍技術在國外已發展成熟，替代六價鉻電鍍作裝飾性用途。提倡從六價鉻轉為三價鉻電鍍，主要是在環境和安全的角度考慮，採用三價鉻電鍍可以：

1. 免除鉻酸的使用，減少對員工健康的影響。
2. 減少對環境的污染。
3. 免除廢水處理中的化學還原步驟，簡化處理程序，並減少處理成本。

## （四）淘汰氰化物

氰化物是一種劇毒的物質，電鍍程序卻經常使用它，例如：清潔工序、鍍銅、鍍鋅、鍍青銅、鍍銀及鍍金等。如能淘汰氰化物，可消除氰化物的潛在危險，保障員工的健康及安全；減少對環境的污染；簡化廢水處理程序，從而減少處理費用。

### 1. 通用的無氰配方

電鍍化學品供應商已進行許多深入的研究及調查，開發各樣的無氰配方以取代現有的含氰化物配方。雖然其中一些還未商業化，但某些無氰配方已經發展完善，可取代傳統的含氰配方。無氰除油及無氰鍍鋅等技術已相當成熟，在海外電鍍商中普遍使用，而無氰銅電鍍相信在不久將來，亦會普遍取代現時廣泛應用的氰化鍍銅。

## 2. 無氰除油工序

在傳統的電鍍操作觀念上，含氰化物的除油配方在清潔工序中常被認為是最好的清潔劑之一，而且所含的氰化物還具有預防除油不良之弊。實際上，無氰除油程序已經成熟，並能在前處理中產生優良的表現。許多電鍍商經過長時間轉用無氰除油劑，代替含氰除油劑，對其效果亦表滿意。目前鹼性浸漬除油劑及電解除油劑，在市面上均廣泛流通。雖然無氰除油劑價錢較高，但可避免使用有害的氰化物，減少對員工健康的危害並降低廢物處理成本等，這些好處比含氰除油劑優勝得多。

## 3. 無氰鍍鋅

在海外，對於無氰鍍鋅的配方已有深入的研究，並發展了幾種取代氰化鍍鋅的無氰配方，其中包括鹼性無氰鍍鋅配方及酸性氯化鋅配方。一般來說，酸性氯化鋅具較高陰極效率，而鹼性無氰配方具有較強的均鍍能力。這兩種配方都能鍍出光澤及結合力強的表層。

## 4. 無氰銅電鍍

某些金屬工件，特別是鋅合金壓鑄的工件，需要先鍍上一層預鍍層才可進行往後的電鍍工序。其實，由這程序所產生出來的廢水一般含有較高的氰化物，有可能會超過廢水排放標準。為了淘汰使用氰化物，用鹼性無氰銅電鍍取替氰化鍍銅是很重要的。市場上亦有幾種鹼性無氰銅電鍍配方出售，海外電鍍商現開始採用新發展的鹼性無氰銅電鍍工藝。

# 四、廢水處理設施常見缺失

## 1. 廢水未有效分類收集

廠內廢水排放未依廢液特性設置單獨收集管路及貯存槽體，造成系統負荷之劇烈變化，影響處理成效，造成處理困難。其中少數工廠氰系及鉻系廢水並未分別收集進行前處理後再與一般酸鹼廢水合併處理，而逕行納入廢水貯池一併以化學混凝方式處理。由於氰化物在酸性 pH 值範圍易形成 HCN 有毒氣體，因此，將鹼性氰系廢水與酸性鉻系廢水及一般酸鹼廢水合併處理實具有產生 HCN 之潛在危險，不僅未能充分發揮處理設施處理成效，對於員工之健康亦具有危害性。

## 2. 處理設備未有適當之維護保養

電鍍工廠對於廢水處理設施之操作維護工作，多由製程之生產員工兼任，且多未受廢水處理專責人員之訓練，有關廢水處理之專業知識較為缺乏，亦較無充裕之

時間對設備進行維護保養工作，尤其對於部份之檢測控制計如 ORP 計、pH 計等屬於精密設備，常因保養不當致精確性降低，且部分工廠其安裝位置與進出口、加藥點及攪拌設備之間常配置不當，使其所顯示之數據不足以反應真正狀況，致影響處理成效。

### **3.處理方法未能有效去除污染物**

傳統之化學混凝法僅能去除懸浮性 COD，對於溶解性 COD 無法有效去除，致使其放流水之 COD 無法符合放流水標準。

### **4. 處理設備容量不足**

部份工廠在設置處理設備之初，未考慮將來廢水量增加等問題，而造成廢水貯存槽容量不足，各處理單元設計容量亦過小無法因應突增之水質及水量負荷。

### **5. 污泥未妥善處理**

電鍍工廠之廢水處理所產生污泥多數工廠在廠內並未妥善處理。而脫水後污泥餅之最終處置，在代處理業尚不普遍之情況下，委託清除處理之費用約佔總廢水處理操作成本 20%，對業者實為一項頗為沉重之負擔。而污泥產生量主要受廢水污染濃度與加藥量之影響，因此施行廠內管理、製程減廢，並使處理設施在最經濟有效之情況下操作，為減少污泥產生量之最主要方式。

### **6. 處理設備耗損、折舊率高**

電鍍工廠製程由於使用大量酸、鹼藥劑、腐蝕能力較強，加上廢水處理設施未有專人維護保養，且未定期進行有效之防蝕處理，嚴重縮短設備使用年限，增加工廠污染防治費用。

### **7. 廢水專責人員聘任不易**

根據水污法之規定，廢水處理場必須具備廢水處理專責人員，否則將遭到取締，而電鍍工廠操作員工普遍不足，流動率大，使得產業界經營困難。

## 五、解決重金屬污染之新技術

隨著科技的進步，人類對於各種材質的利用越來越多元化，同時所產生的廢棄物也是五花八門，在廢棄物的處理上造成很大的困難。一般的垃圾焚化及污水處理等方法，都會留下許多重金屬含量高的灰渣與污泥，為避免這些灰渣與污泥二度污染環境，通常採取與水泥混合固化的方式，來防止重金屬的釋出。但這種方法不僅處理成本過高且會增加廢棄物的體積，造成廠商採用意願的低落。

為解決這項重金屬污染問題，科學家嘗試將灰渣中的重金屬萃取出來並且回收再利用。據民國 85 年 12 月 3 日中國時報報導在瑞士的一群科學家，從試驗中發現一種在食品工業用於製造檸檬酸的真菌，具有極佳的重金屬萃取功能。這屬於黑麴菌屬的腐生菌，在代謝的過程中產生大量的檸檬酸，這些酸性物質可以有有效的溶解重金屬，如果將這種真菌與灰渣混合之後，再加上培養液，使其在其中成長繁殖，成長過程中產生的檸檬酸將會把灰渣中的重金屬溶解萃取出來。

實驗並顯示這些菌類擁有極佳的效率，通常在一天內就可以溶解灰渣中百分之五十的重金屬，一週內重金屬幾乎被溶解殆盡。而且這種真菌幾乎是不挑食的，對於鉛、錳、鋅、銅等重金屬都有很好的溶解效果。目前因無法有效的分離溶解的重金屬出來，以及必須提供大量的葡萄糖作為真菌代謝過程的能源，故離實用階段仍有一段距離。如能將這些問題解決之後必能對於解決重金屬的污染問題有極大的助益。

## 六、未來電鍍業之規劃

根據工業局的資料，工業局將規劃在全國北中南三地各成立一處電鍍業專區，新吉工業區即規劃中的南部專區。新吉工業區之設置開發，係依行政院院會於 82 年 7 月 1 日通過經建會所訂的「振興經濟方案」之土地策略，希望透過農地釋出的方式協助產業取得土地，以解決產業用地不足及地價過高的問題。我們關心的是，未來的工業區管理中心或市政府是否能有效監督、規範業者做好污水排放處理，讓處理過的污水達到放流標準，不致造成附近的農田及嘉南大圳、鹽水溪下游的汙染，對於這一點，從國內以往各工業區的不良記錄及對市府的能力來看，不得不令人憂心。

建議未來電鍍工業區之電鍍廢水處理方式應朝向更經濟、更環保，並具有節水、節省藥品、無污泥、回收貴金屬等處理方式，完整規劃下列問題：



1. 解決電鍍廢水處理問題：有效處理電鍍廢液，移除重金屬，避免水污染。
2. 回收金屬資源：應用再生方式與電解條件回收廢水中之有價金屬。
3. 回收水資源：廢水適當處理後，以便循環使用，進而達到節水目的。

### 參考文獻：

1. 香港清潔生產中心 ( [www.hkpc.org/hkpc/c\\_search.htm](http://www.hkpc.org/hkpc/c_search.htm) )。
2. 中國技術服務社「電鍍業-廢水處理設施常見缺失」。
3. 中國醫藥學院環境醫學研究所 郭憲文 賴俊雄。
4. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所 葉文裕 陳友剛。