

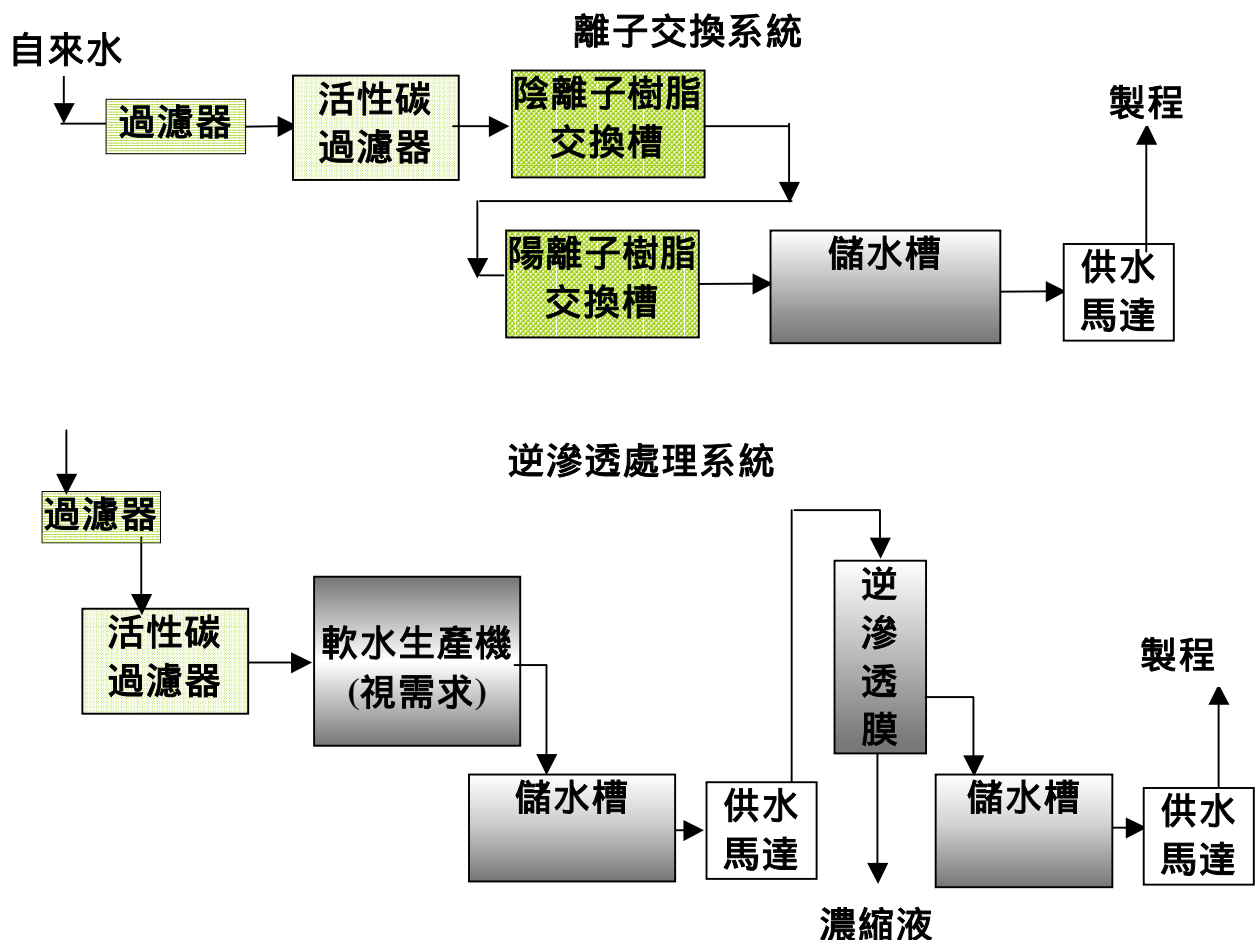
電鍍業者實用回收再利用方法

過去十幾年，幾乎所有的電鍍或金屬表面處理廠，均已裝置廢水處理系統以符合排放標準。不久，廠方人員就發現處理費用很貴，而且處理後產生污泥的處置更是沉重的負擔。因此十年前，許多工廠開始改變廢水處理的方式，以減少污泥量來降低委外處理費用；改善措施包括：廢水預處理、改變化學性質、使用高壓壓濾以及污泥乾燥。這雖然有效降低委外處理費用，但是加在產業界的成本壓力日漸增加。

許多地方政府受到民意的壓力，急於治理環境，因此把排放標準訂得比中央的法規還要嚴格。而且，對於直接排放水體的放流許可，以生物測試結果來作為核發的依據日益普遍，因而實際放流的水質比標準要求還要嚴格。因為這些不同階層的壓力，促使業者認真的考慮回收再利用，以應對 21 世紀的競爭。此文僅將幾個常見的、商業化的技術加以介紹，但限於篇幅，部份新發展的技術將另行介紹。

設定優先順序

電鍍或金屬表面處理業者都認為，最重要的製程物料是「水」。許多回收再利用技術應用失敗，是因為忽略了原水的水質；在應用批式製程時，水中的雜質逐漸累積，終致影響品質無法接受。不論是將該溶液廢棄或補充處理，均造成昂貴藥劑的消耗。為確保原水水質，離子交換與逆滲透是最常用的技術。如果原水中的溶質濃度超過 500 毫克/公升，最好是採用逆滲透法處理，然後視需要應用離子交換處理，系統如圖一所示。



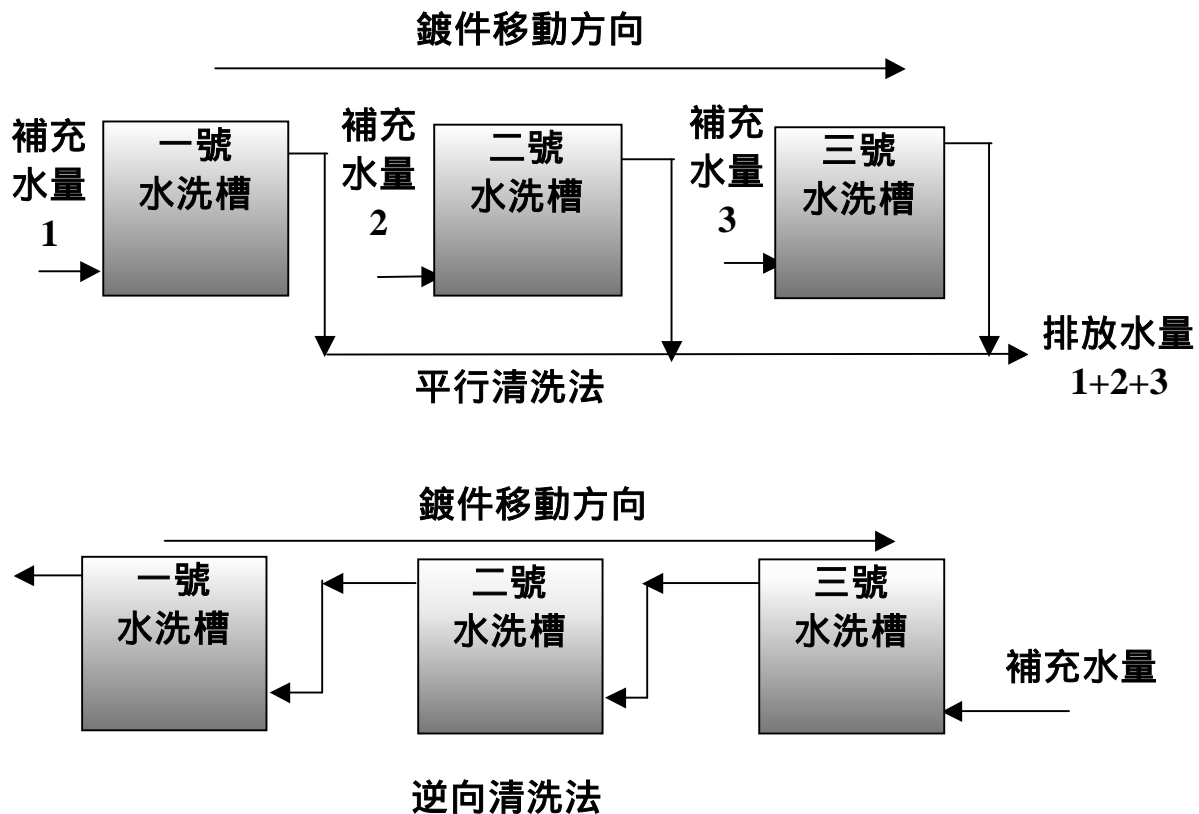
圖一、原水處理系統圖

廢水減量

廢水減量最有效的方式為：改變平行清洗法為逆向清洗法，如圖二所示。逆向清洗法的用水量是與階段數成反比，逆洗方式包括自然順流、噴流或注射空氣對流。

為了獲得最經濟有效的回收效果，務必要減少製程用水的帶出量，有下列措施：

- ▶ 製程使用的化學藥劑不要超量。
- ▶ 製程維持最高容許溫度。
- ▶ 於電鍍槽與潤洗槽之間安置承滴板。
- ▶ 每一階段電鍍之前先充分清洗，以避免交叉污染。
- ▶ 調整鍍件以加速排流。
- ▶ 改善設計以加速排流。
- ▶ 藉潤濕劑以改善清洗效率。
- ▶ 減緩鍍件自鍍槽中提起速度，滾鍍時要轉動滾筒。



圖二、水洗系統型式分平行清洗法(上)與逆向清洗法(下)

回收技術

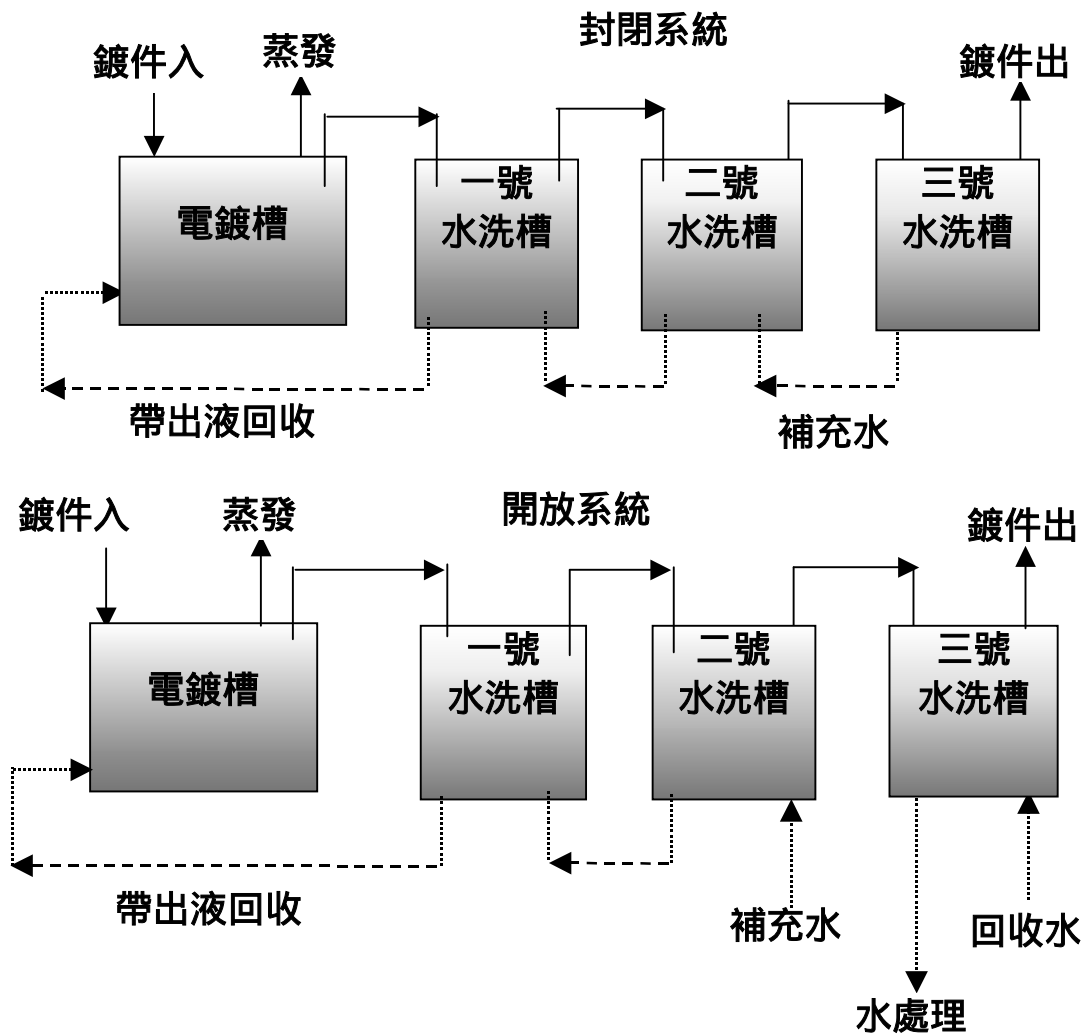
目前已經有許多有效的方式可供應用；若是能夠適度的組合使用，是有可能達到廢水零排放的目標，而且僅產生少量的濃縮廢液與固體廢棄物。回收的基本原則包括：

1. 回收製程溶液並直接加料使用。
2. 去除製程溶液中污染雜質，以延長溶液使用壽命。
3. 回收金屬以便再加入使用，或送供應商與回收商加工使用。

下列回收技術已經證明有效：

蒸發

蒸發是最普遍、最簡單，而且在許多情況下最有效的回收方式，能視需要達到全部或部分回收。如圖三所示，是最常用的電鍍槽自然蒸發法；帶出液於緊鄰的清洗槽中累積，並適量回流到電鍍槽，以補充蒸發量。封閉系統固然可以達到零排放，開放系統若管理適當，則最終清洗槽的放流水幾無污染。



圖三、自然蒸發回收封閉(上)與開放(下)系統

在評估上述蒸發回收系統的效率時，可以應用下列公式：

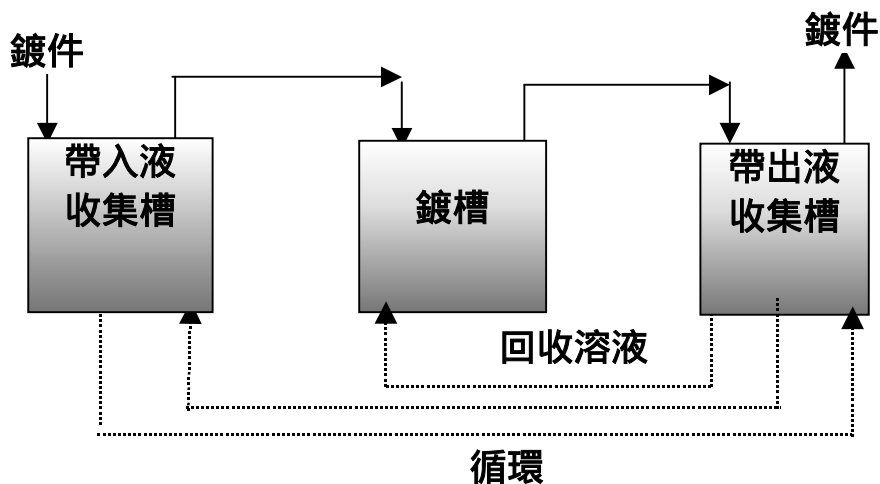
$R = E/D$ ；在此 R 是回收率， E 是蒸發率(量/時)，而 D 是帶出率(量/時)。

$C_n = C_p / (1 + R + R^2 + \dots + R^n)$ ；在此 C_n 是第 n 個清洗槽的濃度； C_p 是鍍槽的濃度。

至於回收百分比，可由下式來估計：

$[1 - (1 / (1 + R + R^2 + \dots + R^n))] \times 100 = \text{回收百分比}$

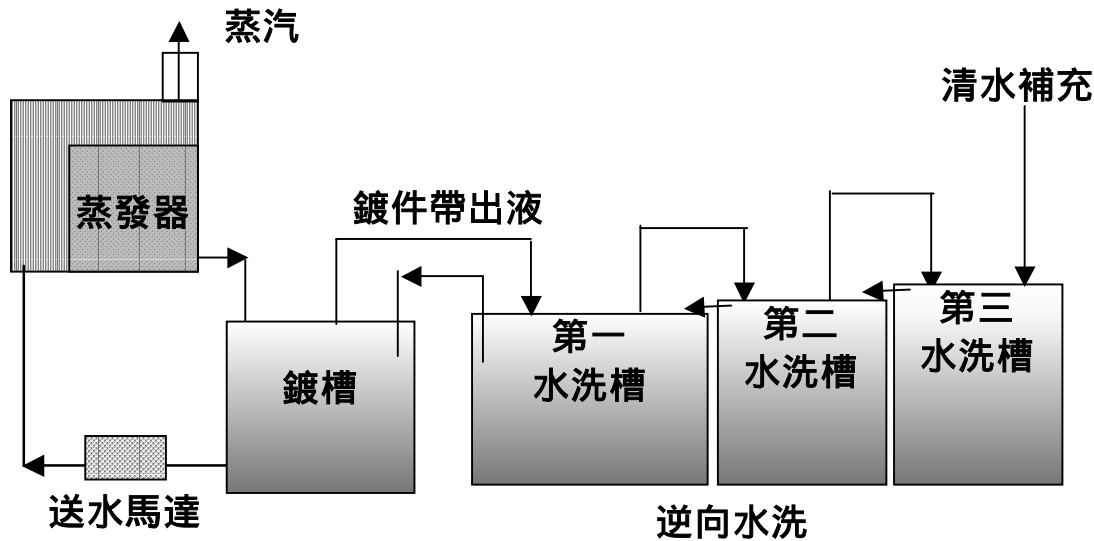
對於低溫電鍍，可以考慮帶入/帶出系統的應用，鍍件帶著回收液回到鍍槽；如圖四所示。



圖四、帶入/帶出回收系統

大氣蒸發器與真空蒸發器

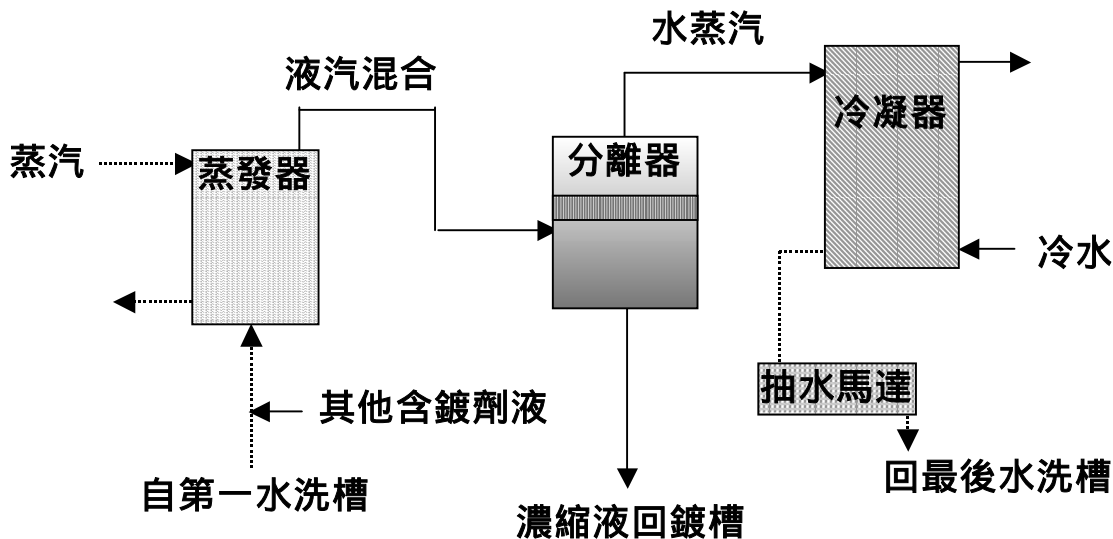
大氣蒸發器藉潤濕表面、加壓氣流與加熱溶液促進蒸發作用。圖五例舉一個密閉系統，但開放系統也很常見。若是直接應用時，發現鍍液無法達到蒸發溫度，就必須加裝一個加熱槽。鍍液先注入加熱槽，然後才進入蒸發器，濃縮後才回到鍍槽。



圖五、大氣蒸發系統

大氣蒸發器可以應用到不同鍍液，包括鎳鍍、鉻鍍、氰化物鍍、鋅鍍與清洗。雖然設置費用相當低，但是能源操作費用頗高；每蒸發 1 加侖的水份，消耗熱能約 9,000 BTUs。

真空蒸發藉減低氣壓以降低水的沸點，如圖六所示。一具真空泵自清洗槽中抽取含帶出鍍液的清洗水，真空蒸發的缺點之一，是設備與操作費用均高。但是用於對熱敏感的化合物，真空蒸發其鍍液勝過其他方法。

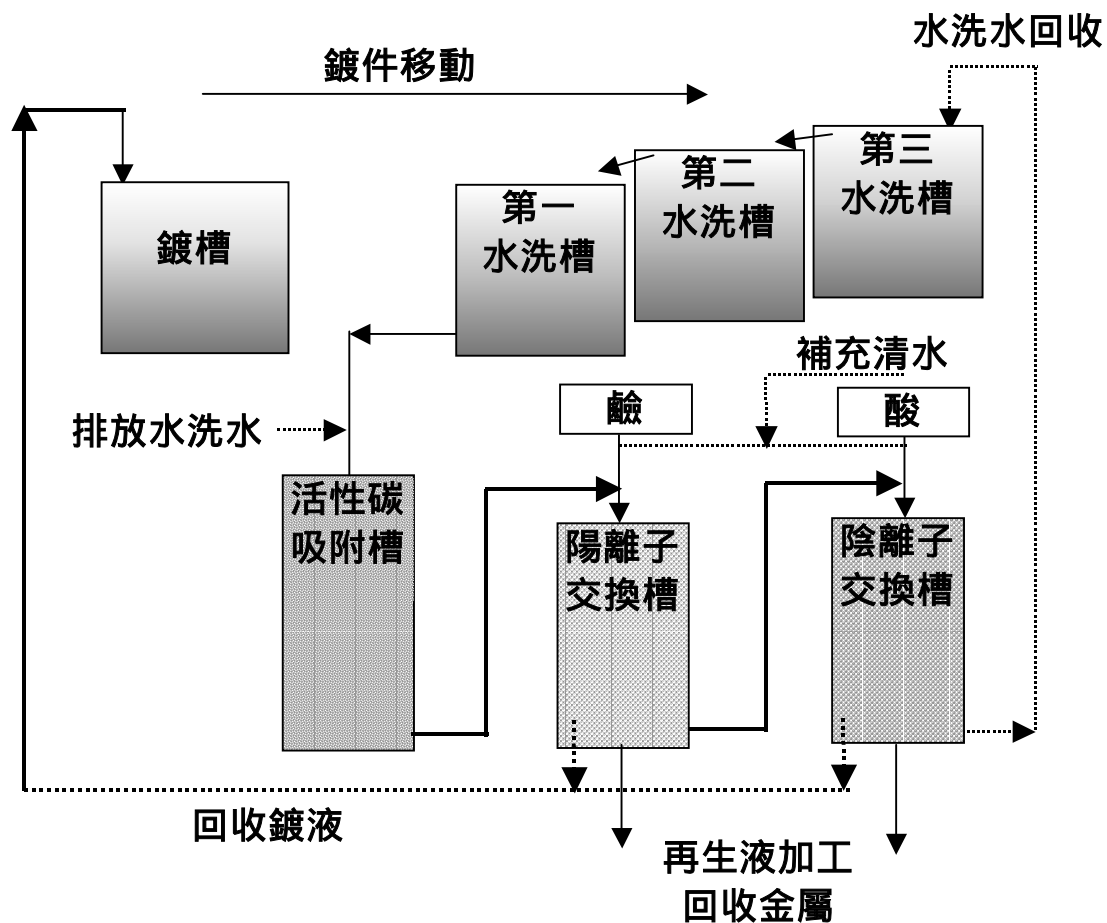


圖六、真空蒸發作用—蒸發罐型式

離子交換

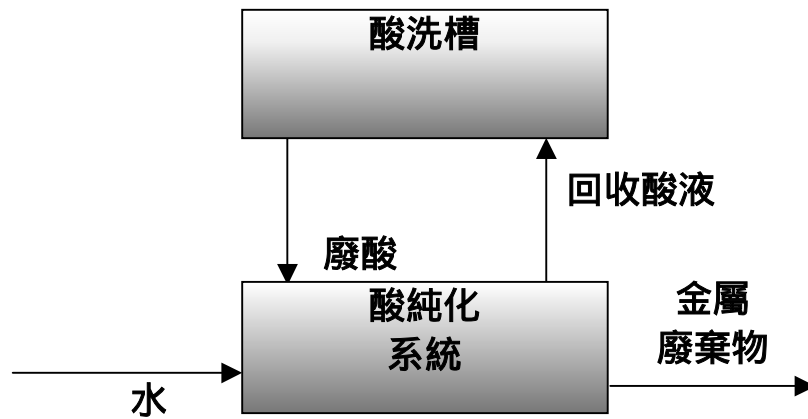
離子交換技術應用在金屬處理工業日益普遍，由於一些突破性的發展，離子交換可以處理許多種類化合物，甚至可以選擇性回收化合物。如圖七所示，樹脂粒裝填於筒狀容器中，樹脂粒具有超大面積的陰離子、陽離子接觸面。陽離子樹脂釋出氫離子(H^+)，以交換正電荷離子，如鎳、銅、鈉或鎘；陰離子樹脂釋出氫氧根離子(OH^-)，以交換負電荷離子，如硫化物、氯化

物或鉻化物。為充份利用離子交換容量，常常是一套系統含二個以上的離子交換筒，其中一具為備用。



圖七、離子交換

離子交換筒飽和之後，依據樹脂特性進行再生作業。鹼性樹脂要用酸液處理，將樹脂上附著的金屬離子代換下來。酸性樹脂要用鹼液處理，將樹脂上附著的陰根離子代換下來；方式與原理兩者都一樣。代換下來的再生溶液，可以直接回用，或進一步加工回收處理。由傳統的離子交換技術衍生的科技之一是螯合樹脂，其功能就像一般螯合劑。螯合樹脂對於過渡金屬離子結合甚強，但是對於較輕的金屬離子結合較弱，所以，可以用來吸取鹽水中的微量貴金屬、重金屬、有毒金屬。另一種衍生技術是特製樹脂，可以自溶液中吸收化合物。圖八所示的酸遲滯作用，是回收酸最常用的吸附技術；廢酸通過樹脂床時，酸根離子被樹脂吸收，但是金屬離子隨廢液排除。樹脂再生時，加入清水，將酸液自樹脂中帶出。

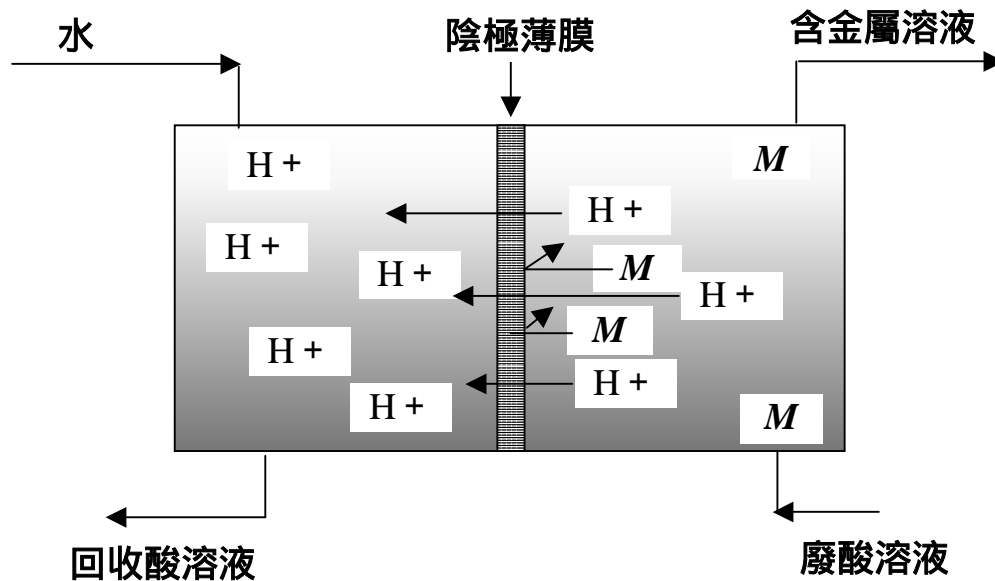


圖八、酸回收系統

還有一種衍生技術，是植物細胞壁與微生物的生物物質，可以自溶液中吸收金屬離子；對於銅、鐵、鋁、鈷、鎳、鉻、鎘、鉛、鋅、銀、金、鉑均有效，而且不會受到鈣、鎂、鈉、鉀離子的影響。

擴散透析法

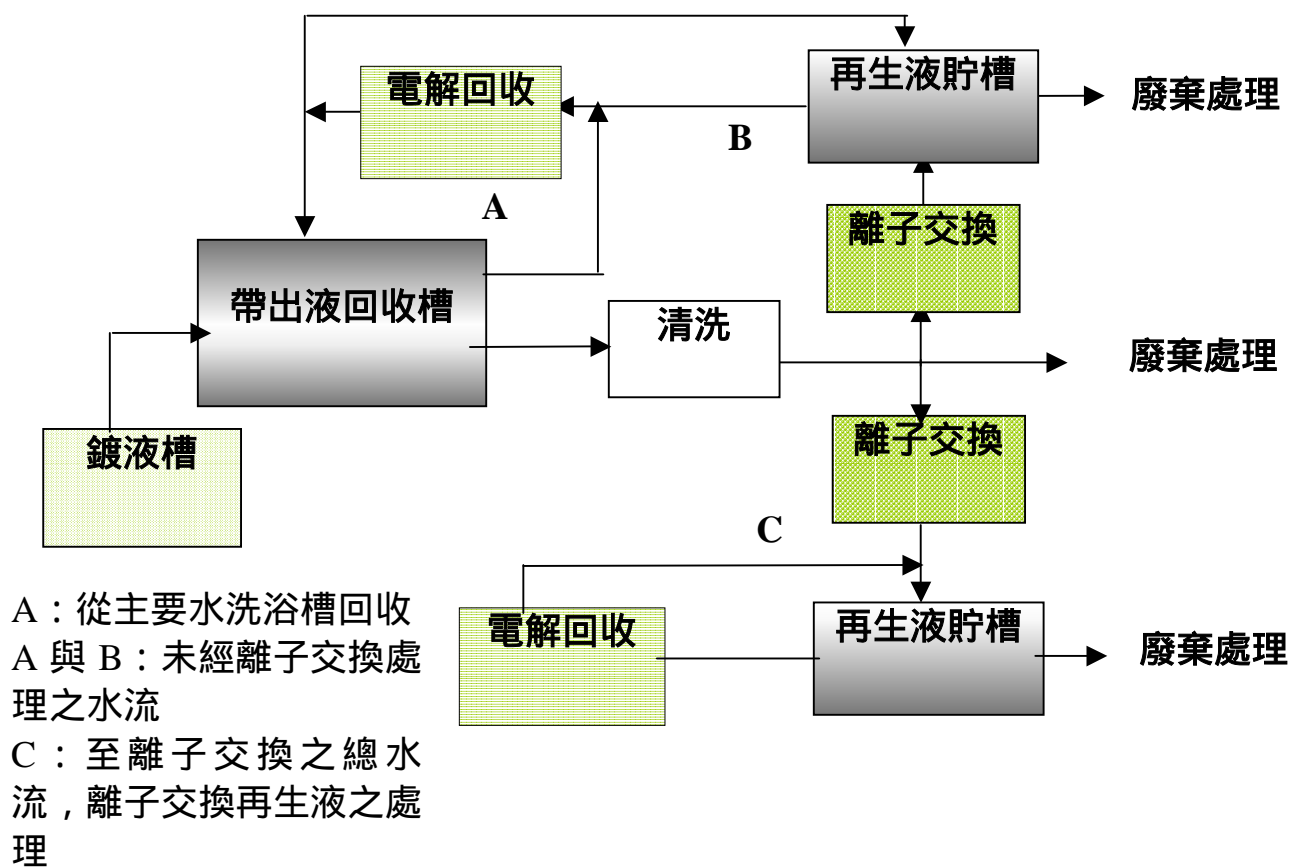
擴散透析法是一個廢酸回收新技術。應用時，將廢酸流過陰離子薄膜的一面，而酸液透過薄膜到另一面，由清水帶出回收再使用；分離的金屬殘餘物，可加工回收，或廢棄處理。如圖九所示。



圖九、擴散透析系統

電解沉積法

電解沉積法可以自電鍍廢棄物去除銅、氰化鎘、氰化鋅、合金銅、錫鉛合金、金、銀、鎳。為了獲得最大效果，常用來處理含高金屬濃度的帶出液回收槽溶液，必要時與離子交換合併使用。本質上，電解沉積法是一種電解程序，藉由直流電將金屬離子沉積在陽極上。陽極與陰極都是由惰性物質作成，陽極通常是用磨光的不銹鋼或碳纖維製成，而陰極通常是用不耗蝕的材質，如鍍鉑鈦、鍍鈦鈦、鉛或石墨。一旦陽極沉積達極限，就移出以便脫除金屬、直接再利用或加工處理。如圖十所示，電解沉積常與離子交換並用，先用離子交換濃縮水洗水中的金屬含量，然後將濃縮液用電解沉積法處理，電解沉積法可以將廢液中百分之 90 至 95 的金屬回收。

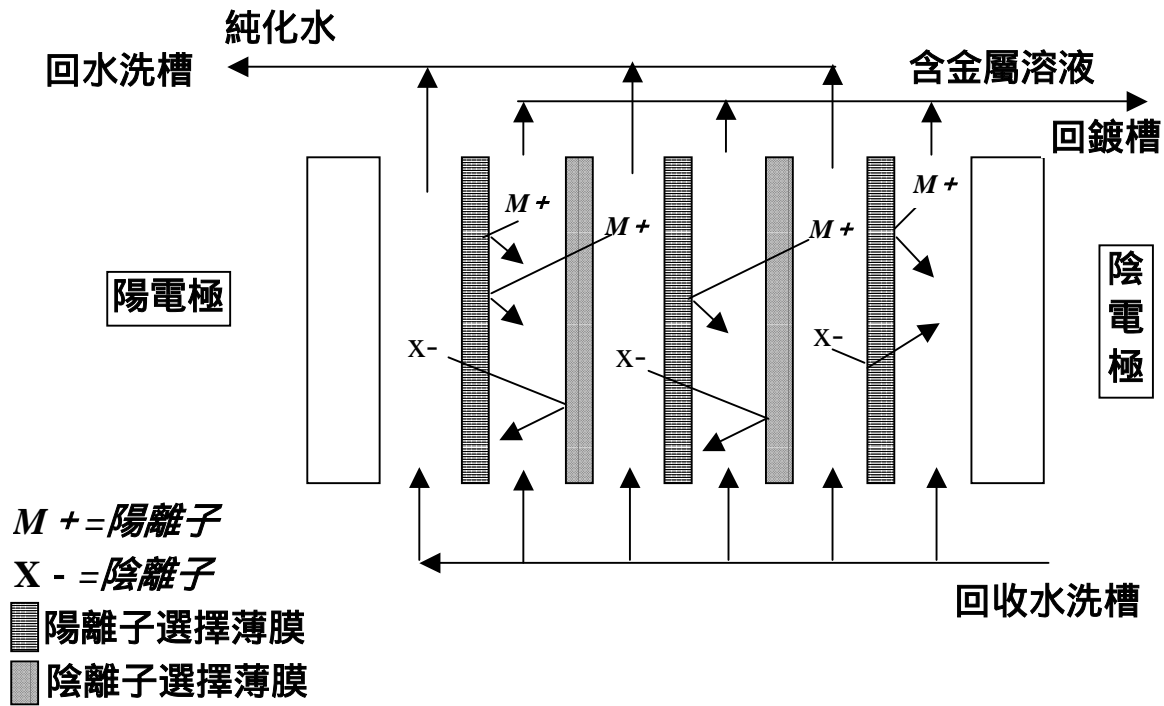


圖十、電解沉積與離子交換並用之系統

電解沉積法是公認省錢，又技術成熟的金屬回收方式，也可以省掉有害事業廢棄物法規管制的麻煩與痛苦。

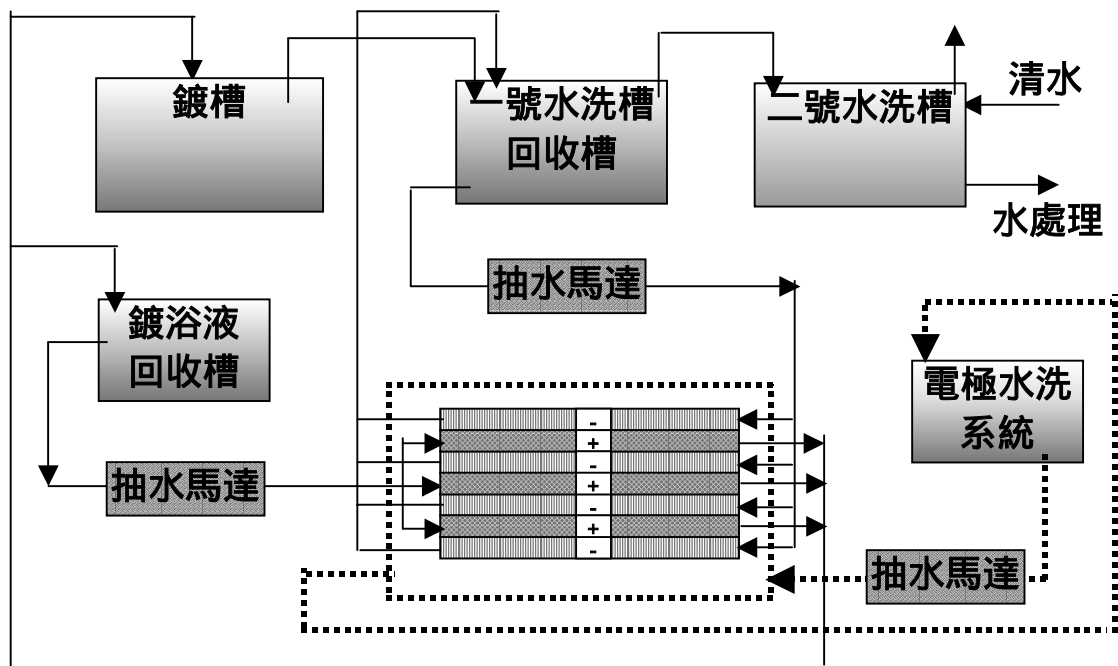
電透析

電透析是公認技術成熟的回收方式，應用薄膜與直流電，來分離、濃縮水洗水中的離子污染物。如圖十一所示，水洗水流經一系列交互並列的陽離子與陰離子滲透膜，並施以電位差壓。陽離子交換滲透膜可以讓鎳、銅、鋅等陽離子通過，陰離子交換滲透膜可以讓硫酸根、氯化物、氰化物等陰離子通過。一個適當設計的系統，可因此匯聚濃縮流與純化流，濃縮流回製程使用，純化流回補水洗槽。



圖十一、電透析系統圖

通常，電透析系統的裝置要聯結回收槽，也就是鍍槽後第一個水洗槽，如圖十二所示。原因是，電透析單元需要處理水以擾流狀態通過，而每次流通的金屬分離效率僅有百分之 20-30，所以使用時要能夠循環回流。



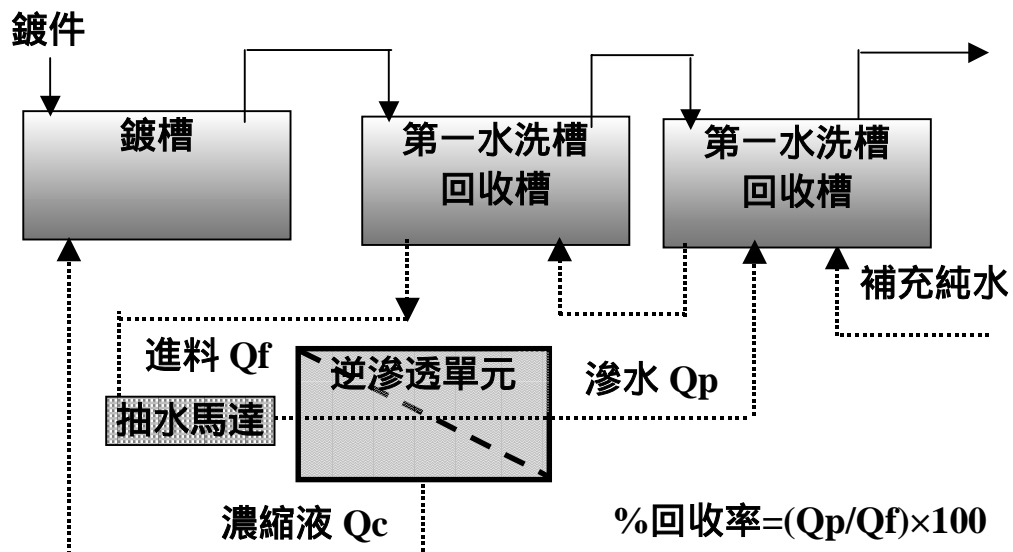
圖十二、常見的電透析系統裝置方式

電透析法在鉻酸回收普遍應用的一個特例，是電解純化法，將半透膜包封一只陽極或陰極。如果想自水洗水回收鉻酸，就將水洗水用半透膜包封的陽極與之接觸作用，則鉻酸根透過薄膜累積在陰極。若是想純化鉻酸溶液，就將溶液用半透膜包封的陰極與之接觸作用，則正電荷的三價鉻、鋁與鐵離子，將透過薄膜聚集在陰極，以便定時清除。

電透析技術曾多次應用在酸基鍍液、鹼基鍍液、氰基鍍液，均相當成功。但是最成功的應用是回收鉻、錫、鎳、金、銀。有時候，電透析法被用作逆滲透與離子交換之前的預處理措施，以處理含高濃度溶解質的水樣。

逆滲透

逆滲透是藉高壓，迫使水溶液經半透膜，將水與大分子量化合物分離的一種程序。高壓是要克服自然的滲透壓，讓水分子由高濃度溶液中往低濃度的一方移動；依據化合物的特性，需要的壓力範圍約 100 到 600 PSI(大氣壓力約 14.7 PSI)。因此，逆滲透處理產生兩股水流：濃縮流與清滲流，其中濃縮流回到鍍槽再利用，而清滲流回到水洗槽。逆滲透常用來處理水洗回收槽的回收液，如圖十三所示，其回收處理效率約百分之 95 以上。

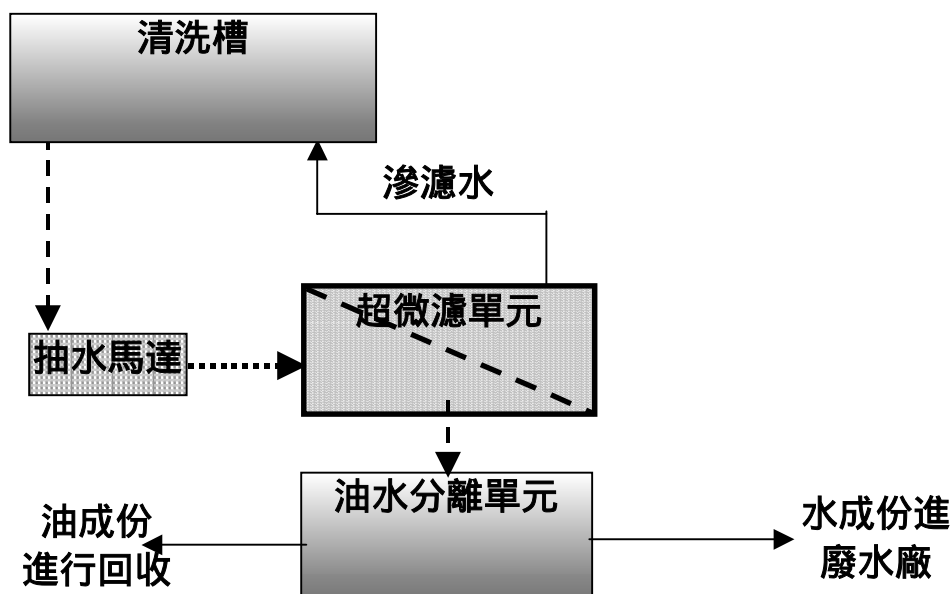


圖十三、通常見到的逆滲透系統裝置

逆滲透系統曾用來回收鉻、銅、鋅、合金銅、鎳、錫、鈹與其他稀有金屬，但是最常用的案例，是酸鎳的回收。

超過濾

超過濾與逆滲透操作頗多類似，只是使用的濾膜容許透過孔徑是 20 埃，而大部分的逆滲透膜是 5 埃，所以操作壓力也小得多。最常用的案例，是將製程溶液除油，特別是鹼性清潔液，如圖十四所示；藉以延長溶液使用壽命，減少化學品成本，減少廢水處理污泥。超過濾膜容許鹼性清潔液中大部分的清潔劑與化學藥劑通過薄膜，以便回到製程中再利用。



圖十四、通常見到的超過濾系統裝置

委外回收處理

過去數年，有些回收處理廠已設立，以回收重金屬。這些處理廠商，不僅有的應用上述的回收技術，也有以較經濟的大規模方式，採用新發展的技術，例如：高溫冶金法(高溫熱還原)、濕式提鍊法(選擇性金屬沉澱)、結晶法與電化學重金屬去除法。由於有害事業廢棄物法規的管制與責任追究，有關委外專業處理的方案值得探討。

結論

廢棄物中含有各類化學藥劑，是製程使用效率不良的現象。上述的技術有助於改善生產效率，節約成本，避免污染的責任負擔。

參考文獻

1. *Water and Waste Control for the Plating Shop*, Joseph B. and Arthur S. Kushner, Gardner Publications Inc., Cincinnati, Ohio, third edition, 1994.
2. "Guides to Pollution Prevention: The Metal Finishing Industry," U.S. EPA, EPA/625/R/92/011, October, 1992.
3. "Summary Report: Control and Treatment Technology for the Metal Finishing Industry, In Plant Changes," U.S. EPA, EPA 625/8/82/008, January, 1982.
4. "Summary Report: Control Technology for the Metal Finishing Industry, Evaporators," U.S. EPA, EPA 625/8/79/002, June, 1979.
5. "Summary Report: Control and Treatment Technology for the Metal Finishing Industry, Ion Exchange," U.S. EPA, EPA 625/8/81/007, June, 1981.
6. "Guides to Pollution Prevention: the Printed Circuit Board Manufacturing Industry," U.S. EPA, EPA /625/7/90/007, July, 1990.
7. "Guides to Pollution Prevention: The Fabricated Metal Industry," U.S. EPA, EPA/625/7/90/006, July, 1990.
8. American Electroplaters and Surface Finishers Society, 1264 Research Parkway, Orlando, Florida, 32826, 407-218-6441, various seminars, conferences and courses.
9. *Electroplating Engineering Handbook*, edited by Lawrence J. Durney, Nostrum Reinhold, New York, Fourth edition, 1984.
10. "Environmental Pollution Control Alternatives: Reducing Water Pollution Control Cost in the Electroplating Industry," U.S. EPA, EPA/625/5-85/016, September, 1985.
11. "Environmental Pollution Control Alternatives: The Economics of Wastewater Treatment Alternatives for the Electroplating Industry," U.S. EPA, EPA/625/5-79/016, June, 1979.

12. "Facility Pollution Prevention Guide," U.S. EPA, EPA/600/R-92/088.

13. "Waste Minimization Opportunity Assessment Manual," USEPA, EPA/625/7-88/003, July 1988.

原文 : [Recovery/Recycling Methods for Platers](http://www.pfonline.com/articles/pfd9803.html); *Stephen R. Schulte*; [http:// www. pfonline. com/ articles/pfd9803.html](http://www.pfonline.com/articles/pfd9803.html)