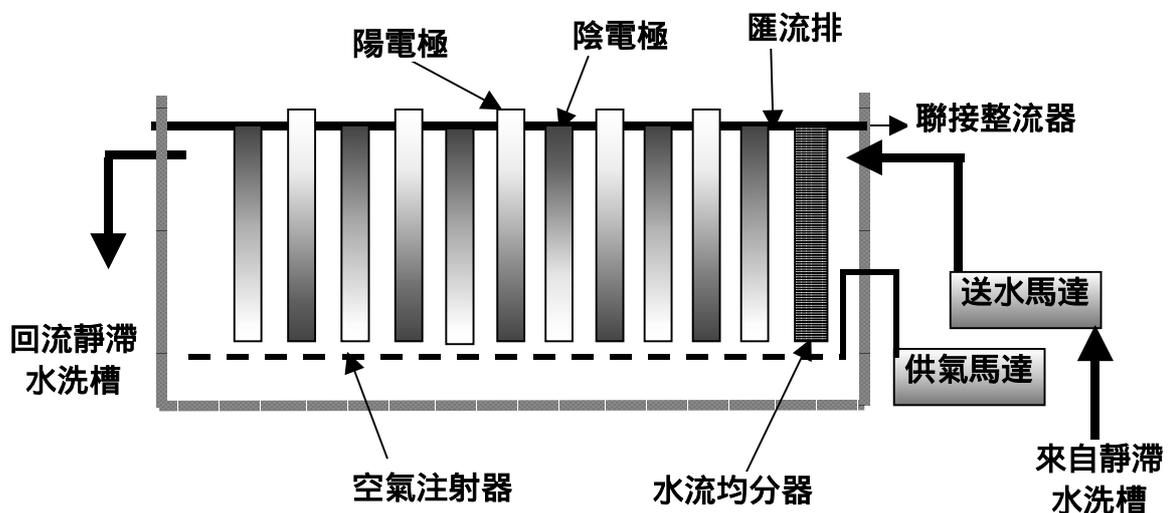


電解沉積法回收金屬與廢水減量

電解沉積法是一種電解技術，可用來將電鍍水洗水中的金屬成份回收；雖然電解沉積法以往僅用於金屬回收，但附帶的也能因此減少水洗用量、廢水產生量以及廢化學品的排放。一套完整的電解沉積處理單元有三個主要部分：電解槽、整流器與抽送馬達。一個電解槽內安置有交錯排列的陽極與陰極板，如圖一所示。這些陽極與陰極板均聯結到各自的匯流排，然後匯流排接到電源。電解槽內可以加裝水流均分器，或空氣注射器，以改善槽內水流循環狀況。在運作時，施加在電極的電位壓，促使溶解的金屬與其他帶正電的離子往陽極移動，並附著於陽極表面。當陽極表面金屬沉積增厚時，沉積速率也減緩；直到金屬沉積將近停滯，將陽極從電解槽內取出，以便現場回用，或委外回收處理。適當的情況下，收回的金屬成份與原料品質相近，可以直接回到製程鍍槽使用。操作時，溶液中有金屬因化學還原而沉積於陽極表面，溶液中其他物質，則因電位壓而在陰極上發生氧化作用；如果有氰化物，先會氧化成氰酸鹽，然後進而氧化成二氧化碳與氮氣。

技術適用性：電解沉積法最常應用來回收金、銀、銅、鎳與鋅；由於金與銀元素的高電位特性，是回收效果最好的兩種金屬。鉻是常用的電鍍金屬，卻無法以電解沉積法回收。鎳是可以用電解沉積法回收的，但是酸鹼值的控制要注意，才能使鎳沉積有效進行。某些含氟硼酸鹽的溶液，像是錫與錫鉛溶液，會侵蝕某些陰極物質。大多數的蝕刻溶液，會迅速的溶掉沉積在陽極上的金屬物質。

設計與應用的考量：一套電解沉積系統的設計與應用，要考量電鍍與水洗操作的配置與控制。如果已經採用帶出液減量措施與多階段逆向水洗方式，電解沉積法可以免除不斷水流清洗的需求。



圖一、一套電解沉積系統的橫截面

電解沉積法應用最常見，也是最經濟有效的方式，是在帶出液回收槽之後的靜滯水洗槽內，裝置一套電解沉積系統。為了維持靜滯水洗槽內穩定的金屬濃度，使其濃度低於某一設定值，電解沉積系統陽極上的金屬沉積速率，要和從回收槽帶進的速率相當。所以金屬沉積速率成為設計的一項重要參數，因為藉此可以決定電解沉積系統的需電量、大小與成本。電解沉積系統的應用，要維持每天 24 小時的運作，以便儘可能的回收金屬，並將靜滯水洗槽內的金屬與氰化物濃度減至最低。在製程休停的期間繼續操作電解沉積系統，可以將生產時帶出液累

積的金屬回收，並消除氰化物；於是靜滯水洗水可以繼續使用，減少後續水洗槽之補充水量，只要補充蒸發量即可。適度調整與控制金屬濃度、電流密度、攪拌方式與陽極表面積，可以改善電解沉積法應用效果，分述如下。

金屬濃度：為了達到最高回收率，電解沉積法要應用在金屬濃度較高的水洗水處理，而靜滯水洗槽是最理想的一環。

電流密度：金屬沉積速率隨電流密度增強而升高，但是若電流密度太高，會造成陽極表面附近金屬濃度過低的現象，無法提高金屬沉積速率；過量的電流會轉為電解水，產生氫氣與氧氣，不僅浪費，而且危險。

攪拌方式：攪拌可以消除電極表面的滯流層，因此可以提高電解沉積系統的電流密度，以加速金屬沉積速率。

陽極表面積：金屬沉積速率與電極表面積成正比，而兩種主要的陽電極分別是平板式與網狀式。平板式陽電極是用不鏽鋼為材料，其平面面積就是有效沉積面積，可以重複使用。當金屬沉積厚度達到 0.47625 公分(3/16 吋)至 0.635 公分(1/4 吋)時，平板式陽電極就要自電解槽中移出並清洗。平板式陽電極的優點是可以重複使用，而且其回收的金屬可以現場回用。網狀式陽電極是以碳纖維作成，然後表面披覆金屬，其有效沉積面積是平面面積的 10 倍左右；其優點是沉積率甚高。雖然電極無法重複使用，但是滿載的電極沉積金屬較多，而且以委外回收處理為主。

最後，電解沉積系統無法去除或氧化的溶解鹽類，會累積在水洗水中。如果累積的溶解鹽類開始影響水洗效果，就要排放處理，並換注清潔的水。排放的水洗水可以蒸發、處理或其他的方式處置。

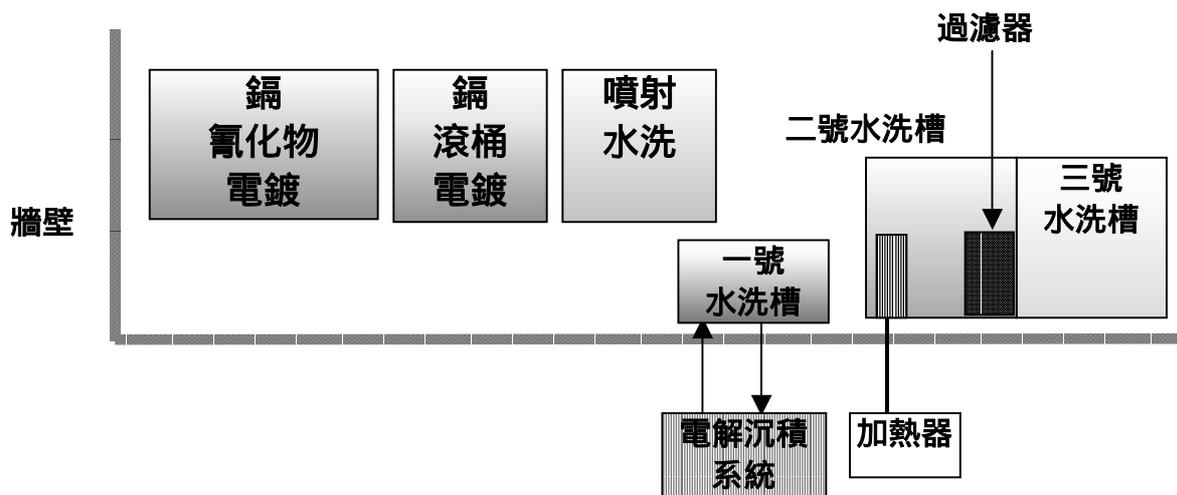
案例：全金電鍍的電解沉積法應用

位於加州的全金電鍍公司專營電鍍業務，為航太與其他工業客戶進行鍍鎳、鍍青銅、鍍鋅與黑色氧化物塗佈等作業。全金電鍍公司有員工 15 名，佔地約 8,000 平方英尺。由於該地水污費甚高，加上該地污水處理廠施加壓力，要求廠商降低放流水的金屬含量，全金電鍍公司決定採取改善措施。重點放在鍍鎳線，因為該生產線操作最頻繁，所帶出的金屬物是廢水中的主要污染成份。

設備成本：一套電解沉積系統價格約在美金\$5,000 元至\$15,000 元之間，要看大小、設計與陽電極的種類。可重複使用的平板式陽電極每個要美金\$200 元，無法重複使用的網狀式陽電極每個要美金\$12 元；人工、電極換裝、維護與能源成本均低。

第一階段的改善，是先評估整體製程效率與控制方式，目的是要減少帶出液，調整水洗水的使用量。結果帶出液與水洗水減量 50%，廢水處理化學用藥因此減量 60%，並且使製程更有效率，水洗效果更好；此一階段改善的成本回收期約 1.7 年。

第二階段的改善，是以第一階段的改善結果為基礎，進行更有效的減廢措施。經過比較分析，全金電鍍公司認為電解沉積法是最適用的處理技術，可能減少廢水中的鎳污染以及鍍鎳製程的廢水排放。

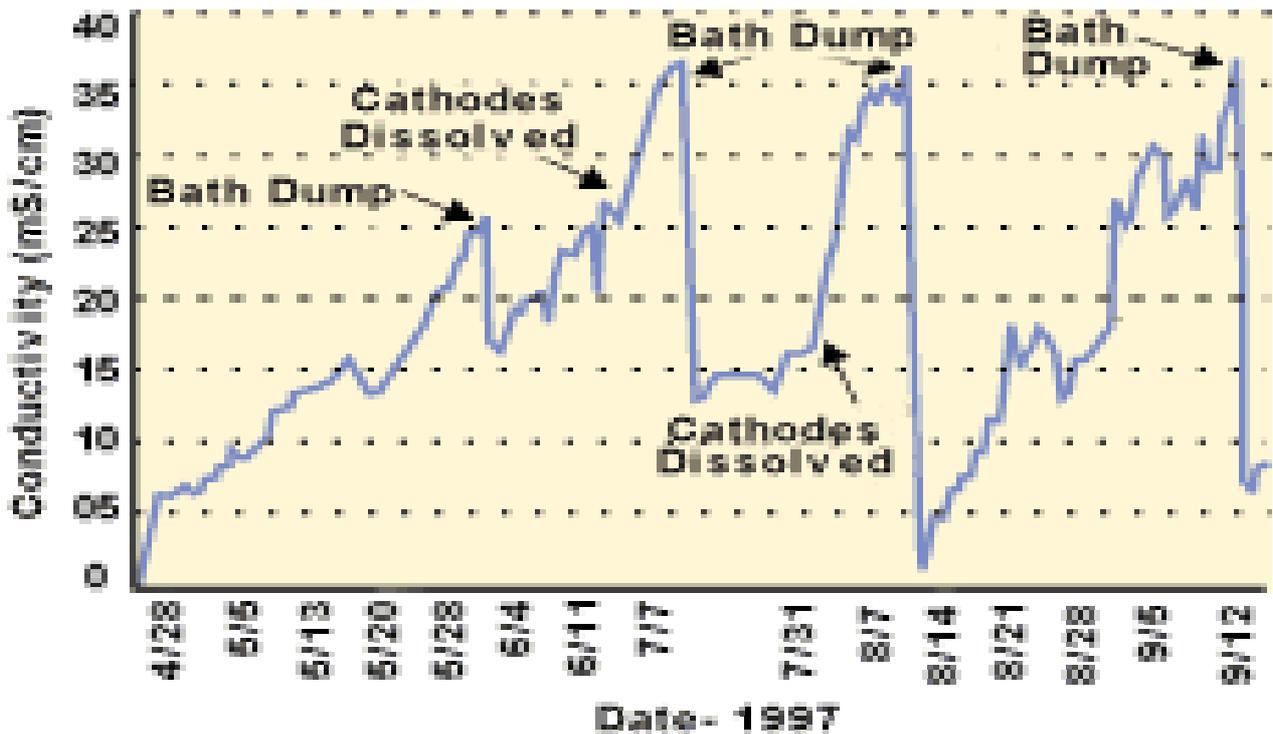


圖二、全金公司鍍銅製程線

電解沉積系統的裝置與操作：全金公司購買一套電解沉積系統(USFilter 公司出產的 Retec Model 6)，具備 6 個陽電極並且有 100 安培的能量。電解槽與整流器就裝置在靜滯水洗槽(一號水洗槽，在帶出液噴水回收槽之後)上方的架子上，電解槽內使用網狀式陽電極。一號水洗槽蒸發的水份由二號水洗槽流入補充，三號水洗槽的清水補充，由溢流堰流入二號水洗槽。電解沉積系統最理想的設計，是在一號水洗槽內加裝電熱器；如此，可以濃縮金屬含量，增加沉積速率。由於全金電鍍公司的一號水洗槽是塑膠製成的，不耐高溫，所以將電熱器改在二號水洗槽內。為了清除水洗水中的懸浮粒子，全金公司也在二號水洗槽內加裝過濾器。

結果：全金公司電解沉積系統的操作是每天 24 小時，每週 7 天。陽電極平均每三個月更換一次，但是經過兩個月的運作，這 6 個陽電極共沉積了約 2 公斤的銅；滿載的電極交給金屬處理商進行回收。

未裝置電解沉積系統之時，全金公司的逆向水洗槽，以每分鐘 0.5 加侖(每小時 30 加侖)的持續流量進行。裝置電解沉積系統之後，水洗槽改為靜滯模式操作。而在二號水洗槽內的電熱器，將水溫維持在華氏 115 度(攝氏 46.1 度)，蒸發水量每天約 15 加侖，這是每天需要補充的水量。所以裝置電解沉積系統之後，用水量減少 94%，而且不再產生廢水。由於電解沉積系統無法去除所有溶解物質，一號與三號水洗槽的電導度測量紀錄如圖三所示。



圖三、一號水洗槽的電導度測量紀錄

三號水洗槽平均每 6 週排放槽水，以清除累積的溶解物質，並添加清潔的水洗水；排放的槽水在現場以蒸發方式處理。一號水洗槽的氰化物含量也定期檢測，發現也被電解沉積系統大量的去除。

結論：電解沉積系統的功效，與陽電極的置換與保養方式有很大的關係。全金公司電解沉積系統曾經歷兩次特殊狀況，當時陽電極開始溶解到槽水中；因為匯流排與陽電極的接觸不良，而有斷電的情況。第一次異常，是起因於電解沉積系統的 3 個陽電極沒有裝設好。第二次異常，是起因於陽電極的聯結器腐蝕，造成接觸不良。如今，全金公司每次更換陽電極時一併更換聯結器；而且，也定期檢視匯流排與陽電極的接觸狀況。

表一、成本節省統計

鍍電鍍製程線	改善前	改善後	每年節省
用水量	240 加侖/日	15 加侖/日	\$110 美元/年
廢水量	240 加侖/日	0 加侖/日	\$480 美元/年
廢水處理系統操作維護	\$11,080 美元/年	\$10,220 美元/年	\$860 美元/年
脫水污泥處理	760 磅/月	700 磅/月	\$114 美元/年
每年節省 = \$1,564 美元*	*不包括回收金屬的		
設備成本 = \$9,010 美元	市值。		
每年操作維護費 = \$530 美元			
回收期 = 8.7 年			

上述的 8.7 年回收期是相當保守的估計，因為每年 8 公斤的回收鎘、每次廢水鎘含量超限時的 \$1,000 美元罰款並未計算。裝設電解沉積系統之後，產品品質依舊良好；全金公司又在鍍銅製程線上裝設一套電解沉積系統。

原文與作者： Metal Recovery and Wastewater Reduction Using Electrowinning , Laura Bloch, EPA Region 9, San Francisco, CA;
http://www.epa.gov/region09/cross_pr/merit/ewin.pdf

介紹文獻：

友緣公司 RENOCELL 產品介紹；<http://home.kimo.com.tw/persee/big5persee/renocell.htm>
電路板工廠含銅清洗廢水回收處理技術；朱昱學/財團法人中技社 綠色技術發展中心
http://wcis.erl.itri.org.tw/publish/waterpbrs/sen_pub/volume19/p06.htm
氰化金廢水處理案例研究(2001 產業環保工程實務技術研討會論文集)；廖啟鐘、彭淑惠、周珊珊、楊漢明、林世民；<http://eta.moeaidb.gov.tw/paper/2001-09.htm>
流體化床電解回收設備的使用對於污泥減量的實務探討(1995 工程實務技術研討會論文集)；吳仲謀；<http://eta.moeaidb.gov.tw/eng/E95004.htm>
重金屬廢液回收處理技術(工業污染防治季刊 90 年 10 月第 80 期)；周珊珊、廖啟鐘、彭淑惠；<http://www.etdc.org.tw/season/01126.htm>
以電解回收法處理重金屬廢水污泥少價值高；科技專案成功開發兼具環保性及經濟價值之處理技術；<http://www.itri.org.tw/UCL/NEWS/n870522-1.html>
處理電鍍廢水之套裝離子交換及電解回收設備改進及測試計劃；顧洋、劉志成；中國服務技術社研究報告(1992)
垃圾焚化飛灰之萃取特性研究及電解回收重金屬之研究；蔡啟明；國立中山大學環境工程研究所碩士論文，1996

設備廠商：

福傳企業股份有限公司；台中市精誠路一三二巷五號五樓；TEL：(04) 561-8334；FAX：(04) 562-2055；<http://www.environet.org.tw/products/福傳企業股份有限公司.htm>；E-mail：futran@ms47.hinet.net
光洋應用材料科技(股)公司；台南市西門路二段 351 號 4 樓；TEL：(06) 226-2691；FAX：(06) 228-0544；<http://www.solartech.com.tw/default.htm>；<http://www.solartech.com.tw/product4-6.html>
Asarco (American Smelting and Refining Company) Technical Services Center; EMEW® technology; 3422 South 700 West; Salt Lake City, Utah 84119-4191; Phone (801)-263-5213 Fax (801)-263-5206; http://www.asarcotechnologies.com/EW_2.htm; email ebrack@asarco.com
Summit Valley Equipment & Engineering, Inc.; 724 West 500 South, Suite 900, West Bountiful, Utah 84087 USA; Tel: (801) 292-2315; Fax: (801) 292-2896;
<http://www.summit-valley.com/ecells.html>; email engr@summit-valley.com
Remco Engineering; 805/646-3706; Fax 805/646-3923; <http://www.remco.com/ewincomb.htm>;
email: remcobob@remco.com
Lakefield Orestest; 12 Aitken Way, Kewdale, WA 6105; Tel: (08) 9353-3326; Fax: (08) 9353 1028;
<http://www.oretest.com.au/main.htm>; email@oretest.com.au
Mintek; 200 Hans Strijdom Drive, Randburg; Private Bag X3015, Randburg, 2125 South Africa; Phone: +27 (11) 709-4111; Fax: +27 (11) 709-4326;
<http://www.mintek.ac.za/EMD/CIP/ciptech.htm>; andys@mintek.co.za
Western Minerals Technology Pty Ltd; Unit 1, 45 Edward St., Osborne Park, Western Australia; Tel: 61 8 9444 2611; Fax: 61 8 9444 2715; <http://www.wmt.com.au/innovations.html>; Email: info@wmt.com.au

施工廠商：

佳宏環保有限公司；桃園市中正路 1067 號 7 樓；電話：(03)357-0526；傳真：(03)355-2384；
<http://104.hinet.net/03/3570526.html>；E-mail: jouelong@ms19.hinet.net

處理廠商：

丙辛酉環保公司；台中縣(437)大甲鎮幼獅工業區東一街 17 號；Tel：(04) 681-8499；Fax：(04) 682-1289；<http://ujstest2.tripod.com/>；e-mail：ok5669@ms24.hinet.net

KD Engineering Co., Inc.; 7701 N. Business Park Drive, Tucson, Arizona 85743, USA; Phone: (520) 579-8315; Fax: (520) 579-3686; http://www.kdengco.com/cu_solvent.html; E-mail: info@kdengco.com

應用廠商：

華通電腦公司(回收銅)；桃園縣蘆竹鄉新莊村大新路 814 巷 91 號；電話：(03) 323-1111；傳真：(03) 323-5566；<http://www.compeq.com.tw/>；電子郵件：inquiry@compeq.com.tw

東方錶面工藝股份有限公司；台南市南區新義路 12 號；電話：(06) 291-1156；傳真：(06) 265-3836；<http://www.ftis.org.tw/wmnet/award/1994/plant/f0005d.html>

楠梓電子(回收銅)；高雄市楠梓加工區經三路 42 號；電話：(07) 361-2116、363-2111；傳真：(07) 361-3884、363-2110；<http://www.wus.com.tw/>

任礦電子

台灣雙羽電機股份有限公司(回收鎳)：新竹縣竹東鎮大明路 240 巷 9 號；電話：(03)595-6611；傳真：(03)594-3635；<http://business.com.tw/home/m0021510/home.htm>

燁輝企業股份有限公司(回收鋅)：高雄縣橋頭鄉芋寮村芋寮路 369 號；；
yp7364@yiehphui.com.tw

朝隆科技(回收銀)：南投市南崗工業區新興里成功三路 323 號；電話：049-257790；傳真：049-257495；sdi@email.sdi.com.tw

全懋科技(回收金)：新竹縣新豐鄉中崙村 290 號；電話：(03)599-5899；傳真：(03)590-5899

元豐電子(回收銅)：桃園縣觀音鄉觀音工業區經建一路 16 號；電話：03-483-9611；網址：<http://www.boardtek.com.tw>；電子信箱：sales@mail.boardtek.com.tw

下表是解離不同金屬所需的電位差（於 25 時）。正負號標示相對於氫的電位。

元素	銅	汞	銀	鈮	鉑	金
電位 V	+0.34	+0.80	+0.80	+0.99	+1.2	+1.3

元素	鋰	鉀	鈉	鋁	鋅	鉻	鐵	鎳	鎳	錫	鉛
電位 V	-3.0	-2.9	-2.7	-1.7	-0.76	-0.71	-0.44	-0.40	-0.25	-0.14	-0.13

