

利用超音波與電解技術 處理含銅廢水

Farooq R., Wang Y., Lin F., Shaukat S.F., Donaldson J. and Chouhdary A. J. (2002) "Effect of ultrasound on the removal of copper from the model solutions for copper electrolysis process", Water Research, 36(12), 3165-3169.

◎執筆 / 章日行

許多重金屬相關工業製程的廢水中，重金屬濃度經常已達到回收效益的程度，因此，回收廢水中的重金屬成為環境工程的重要趨勢之一。

目前常用的回收技術包括：吸附(adsorption)、凝聚(cementation)、電解(electrolysis)、離子交換(ion exchange)、薄膜分離(membrane separation)、沉澱(precipitation)及溶劑萃取(solvent extraction)等，其中所謂電解技術主要以電鍍(electroplating)為主，許多研究報告指出，其搭配超音波技術對回收處理程序中的電流效率及電能消耗具有正面效果。除此之外，施加超音波對電極表面特性(硬度、光澤度、孔隙率)及電鍍沉積(electrodeposits)亦有若干程度的影響。

本研究即進行一系列實驗以探討電鍍技術在超音波環境下，對含銅廢水：(1) 銅去除效率(實際電鍍沉積/初始銅量)；(2) 電流效率(實際電鍍沉積/理論電鍍沉積)及(3) 電量消耗(每克電鍍沉積消耗之電能)等評估因子的

影響。

其實驗控制參數包括：是否施加超音波(頻率 35 kHz)、廢水中銅的濃度(範圍為 100-500 mg/L)及陰極電極種類(平板式與網格式)。每組實驗以 1.0 安培的固定電流連續操作 8 小時。

實驗結果顯示，電鍍之反應動力模式符合一階反應動力方程式，含銅濃度為 100 mg/L 之情況下，求出之反應常數分別為 2.19×10^{-3} (超音波) 及 6.75×10^{-4} (無超音波) min^{-1} ，比較未搭配超音波技術的電鍍效果時，施加超音波對銅的去除效率由 55.1% 增加至 94.6%，電流效率由 2.9% 增加至 4.9%，電能消耗則由 51.49% 降至 24.5%。

由以上數據可知，超音波不但加速電鍍反應速率，且提升銅的電鍍回收效益。究其因，影響電鍍效率之限制因子主要是金屬離子傳輸至電極表面的速度，而擴散能力(diffusion)、電遷移(migration)及對流(convection)為離子傳輸的主要機制，當離子藉此傳輸機制愈快穿透電極表面的擴散層溶液，電鍍反應即能加速，因此，對

單一種類金屬離子而言，電極表面擴散層之厚度也就扮演重要的角色（電鍍反應速率與厚度成反比）。而超音波即被認為具有改變擴散層特性的能力，因超音波在溶液中產生高溫高壓氣泡，氣泡破碎時擾動或破壞擴散層之分子結構，此作用能促進離子快速接觸電極表面以增進電鍍效率。

除了超音波外，銅離子的濃度與極板種類亦對電鍍有顯著的影響，在含銅濃度為 500 mg/L 情況下，施加超音波僅能使去除效率由 93.1% 增加至 97.3%，電流效率僅由 24.5% 增加至 25.6%，電能消耗則由 7.5% 降至 7.05%。

相對於 100 mg/L 的操作情況，超音波增強電鍍的效益並不顯著。此乃因離子濃度低時，擴散速率為限制因子，但當離子濃度增高時會壓縮擴散層厚度，故擴散速率增加並使其對反應速率的限制相對地變弱，故離子濃

度成為相對重要的限制因子。

另外，無論於任何實驗情況下，網格式極板所表現的銅去除效率、電流效率及電量消耗，皆較平板式電極為佳，原因為網格式極板的面積較平板式電極大，當極板面積愈大，離子與電極愈容易碰撞接觸而使反應加速，故此實驗結果頗符合實驗設計之期待。

整合式超音波與電解技術可有效增進廢水中重金屬回收率，本研究結論可歸納為下列三點：

1. 超音波可能改變電極表面擴散層特性，使得重金屬去除效率增加並增加電能利用效益；
2. 超音波技術在處理低重金屬濃度的廢水時，回收率的提升較高濃度者顯著，此意謂本整合技術適用於濃度範圍變化劇烈的廢水；
3. 增加電極板面積可加強本技術的處理效果。■

作者簡介

章日行

現職：朝陽科技大學環境工程與管理系助理教授

學歷：土木暨環工博士

經歷：朝陽科技大學環境管理系研究員

專長：有機污染物土壤傳輸、土壤復育技術、界面化學