



城市礦山一 水中有價資源回收與再利用

技術主編：張冠甫 K. F. Chang

現職：工研院(ITRI) 材料與化工研究所 水科技研究組 正工程師/副組長

學歷：國立中興大學(NCHU) 環境工程研究所 博士

專長：厭氧生物處理、水處理與水回收技術

水中的有價資源回收已成為現代工業與環境管理的重要議題。隨著氣候變遷，導致水資源缺乏及水體環境保護要求日益升高，從廢水中回收金屬、有價物質及水資源等，不僅能降低污染排放，也能創造經濟價值，實現資源循環再利用，達成循環經濟與環境保護之雙贏目標。

產業廢水中常含有多種重金屬如銅、鎳、鋅、鋰等，這些金屬在電子、電鍍、化工以及電池等產業廢水中濃度較高，具備回收價值。傳統的化學沉澱法可去除大部分金屬，是以「處理」角度來確保水體環境安全，但伴隨著大量廢棄含金屬污泥與藥劑成本高等缺點。近年來，新型態吸附材料具有吸附專一性，相關技術可應用於重金屬的高效回收，能有效提升回收率與金屬純度，並降低處理成本。本專題針對水中銅離子以及鋰離子之回收進行深入說明，包含相關吸附材料的應用以及後續副產物的高值化等，皆可作為相關產業針對其既有廢水處理系統高值化之重要參考。

冷卻水塔為產業耗水量相當大的單元，目前常用的模式皆是透過加藥控制來避免因蒸發導致逐步提濃的冷卻用水產生結垢、滋長生物膜等問題，再透過導電度的控制（如以約1,000~1,800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 作為排水點，達到濃縮倍數5~8倍）進行排水與補水。離子交換膜之應用與電透析技術可以透過施加電場作為離子驅動力來達成有效「控制」欲處理水的導電度，相較於RO等壓力驅動系統具備更佳的操作彈性，同時也擁有較低結垢風險。研究團隊針對工研院內冷卻水塔進行以電透析系統之旁流脫鹽驗證，結果顯示除了可提升濃縮倍數達10~12倍以上之外，並可以降低傳統藥劑使用量以及增加冰機的效能，整體而言具備相當減碳效益。

含氨氮與磷等廢水因環保法規管制日益嚴格，造成相關產業處理上面臨嚴峻挑戰。傳統上此類廢水皆以濃度區分，再進行處理或回收以符合法規標準，如低濃度氨氮廢水（數百 mg/L 以下）通常以硝化脫氮之生物處理程序進行；高濃度氨氮廢水（1%以上）可以透過蒸餾程序回收成工業級氨水再利用等。隨著膜材製造精進，國產高疏水性材料應用於薄膜蒸餾技術已驗證為相較於傳統蒸餾程序上相對低耗能之技術，可將中低濃度之氨或磷有效提濃而進行後續再利用。且相關技術具備模組化與客製化優勢，符合目前中小企業之相關氨與磷之回收於廠內進行再利用，不需繁瑣之申請程序並降低對於原物料之依賴，值得中小企業參考與應用。

最後，廢水中有價資源的回收利用不僅提升環境保護成效，也為企業帶來經濟效益。透過整合物理、化學、生物及膜分離等多元技術，建立完善的廢水資源回收體系，以實現廢水中金屬、有機物與水資源的高效回收與循環利用，成為推動綠色產業與永續發展的重要策略。在現今資源永續、低碳循環等議題上可以提供相關產業實現綠色製造之重要環境責任與提升企業價值。🌱