

機械蒸氣再壓縮系統廢水處理技術及案例介紹

吳典嬈*

前 言

國內大多數的工廠對製程設備之操作維護技術非常瞭解，但對於製程中所排放之廢水量和廢水特性卻不甚明瞭，偶有將高濃度或難處理廢液直接排入廢水處理系統，導致廢水處理效率不佳之現象經常發生。有鑑於此，針對高濃度且既有廢水處理系統難以處理之廢液，本案介紹以機械蒸氣再壓縮系統(Mechanical Vapor Recompression, MVR)技術處理，藉以建立污染防治經驗，共同提升產業環保能量，降低產業污染對環境之衝擊。

*財團法人台灣產業服務基金會 工程師

一、機械蒸氣再壓縮系統技術簡介

一般蒸發單元利用原生蒸氣進行加熱、蒸發、濃縮、結晶等作業用途，且二次蒸氣不再利用而直接送至冷凝器去除之操作程序，稱之為單效蒸發。為充分利用蒸氣熱能，多改採串連數個蒸發器，使蒸氣熱能得以多次利用，從而提高熱能利用率，稱之為多效蒸發，串聯蒸發器依序命名為效數，例如第 2 個蒸發器稱之為第 2 效。由於每一效之二次蒸氣熱能皆低於原生蒸氣，故機械蒸氣再壓縮系統 (Mechanical Vapor Recompression, MVR) 技術應運而生。上述單效、多效及機械蒸氣再壓縮系統之蒸發及冷凝原理如圖 1 所示。

機械蒸氣再壓縮系統是一種壓縮循環之工業熱泵，以系統內自身流體為冷媒加以壓縮循環，是重新利用蒸發濃縮過程產生二次蒸氣冷凝潛熱，做為系統本身的加熱源，因而減少蒸發濃縮過程對額外蒸氣的需求，如此一來，充分利用原本要廢棄的蒸氣，又提高了熱效率，其經濟性相當於多效蒸發的 10~30 效。可運用在煉油石化蒸餾系統、製程濃縮(化工、食品、造紙及藥品業)、純水回收再利用、廢水減量及海水淡化產生純水。其優點包括：

1. 相較於一般蒸發單元，能耗及運行費用較低；
2. 佔地面積小；
3. 公用工程配套少，工程總投資少；
4. 自動化程度及穩定度高；
5. 無需原生蒸氣；
6. 可在 40°C 下蒸發而無需冷凍設備。

而此系統裝置隨操作條件之不同而迥異，有時需要補充少量之額外蒸氣，有時又需將剩餘的蒸氣冷凝來保持總體之熱平衡，因此設置前應進行模廠試驗，以確保其較佳操作條件。

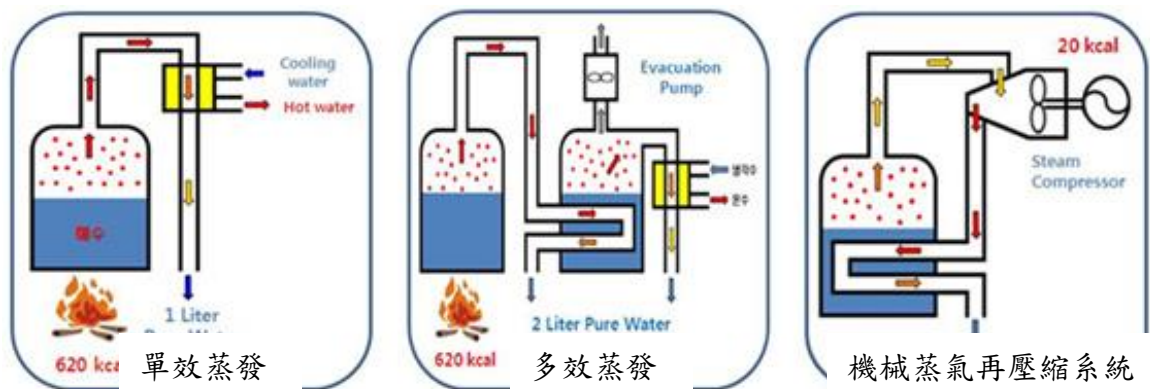


圖 1、蒸發及冷凝原理示意圖

(資料來源：IK Corporation 公司網站)

二、電鍍業高濃度 COD 廢液處理案例

1. 污染特性及處理流程

某廠以脫脂、酸洗、電鍍及後處理等程序完成金屬表面處理作業，製程廢水主要來源為定期排放之高濃度廢棄槽液(包括電解脫脂廢液、化學鎳廢液)，以及連續性排放之低濃度清洗廢水，高濃度廢液污染特性彙整如表 1 所示。

表 1、某廠高濃度廢液污染特性

污染種類	污染來源	廢液量 (公噸/月)	廢水水質 (mg/L)
電解脫脂廢液	脫脂槽液在累積相當程度的油脂、懸浮固體和其他雜質或喪失脫脂作用後，必須更新槽液或進行清槽作業，而產生廢棄脫脂槽液以及高濃度 COD。	~15	COD>1,000~10,000
化學鎳廢液	鍍槽液中之化學原料或添加劑，在電鍍過程中會因電解氧化、化學還原作用而變質，在操作一段時間須廢棄更新。		COD~79,900

※資料來源：產業綠色技術提升計畫－輔導報告

該廠平均每月產生高濃度廢液(電解脫脂廢液、化學鎳廢液)約 15m³，原廢水 COD 濃度約為 1,000~10,000 mg/L，為有效控制放流水 COD 之穩定性，將該二股高濃度廢液獨立收集後，進行機械蒸氣再壓縮系統處理之可行性測試，處理流程示意圖如圖 2，主要設備包括高濃度廢液儲存桶、蒸發系統及熱泵乾燥主機系統三部份。首先將高濃度廢液經由隔膜泵定量抽送進入蒸發系統中，並啟動電熱泵乾燥主機進行循環乾燥，過程中持續收集蒸發所產生之冷凝水，及沉積於蒸發系統之濃縮污泥，直至廢液變成乾燥污泥即完成一次操作流程。其中，冷凝水可視水質要求，選擇是否排入原廢水系統繼續處理或回收利用；乾燥污泥則以廢棄物之方式進行處理，整體測試現況如圖 3 所示。

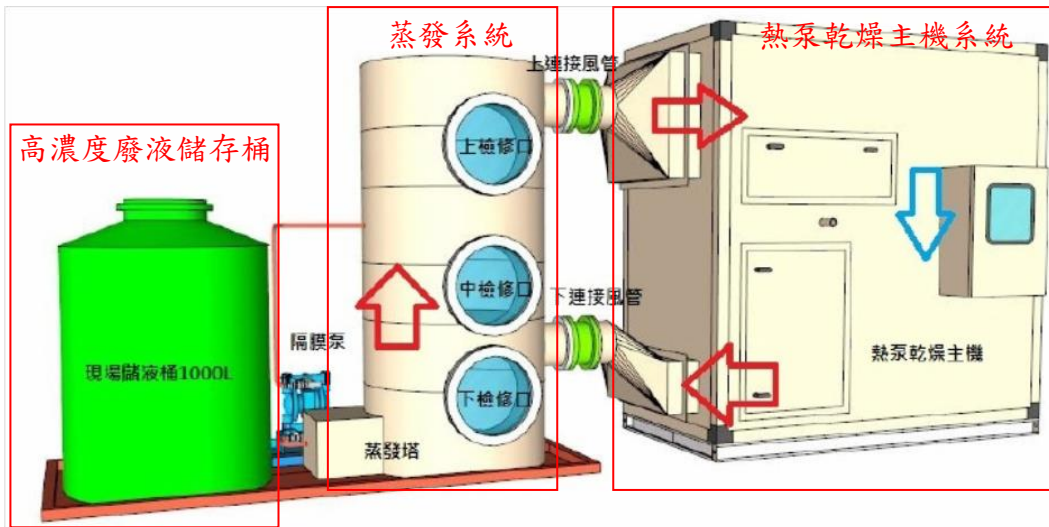


圖 2、機械蒸氣再壓縮系統示意圖



圖 3、機械蒸氣再壓縮系統測試現況

2. 處理效能評估

處理效能測試結果如表 2 所示，以化學鎳廢液為例，處理前 COD 濃度約為 79,900mg/L，且鎳離子(Ni^{2+})濃度則超過偵測極限值無法量測，經蒸發乾燥系統處理後，COD 及鎳離子可分別減量至 146mg/L 及 0.038mg/L；脫脂廢液之 COD 則可減至 106mg/L 以下，處理前後廢液外觀顏色之變化如圖 4。

表 2、高濃度電鍍廢液處理前後水質狀況

項 目		CN^-	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Cr^{6+}	COD	pH
化學鎳廢液	處理前	0.6	7	—	1	79,900	4.45
	處理後	0.001	0.04	0.038	0.022	146	8.16
脫脂廢液	處理前	—	—	—	—	—	—
	處理後	0.005	0.08	0.014	0.037	106	8.49
處理量(CMD)		0.5~1					

項目單位：pH 無單位；其餘項目均為 mg/L。



處理前



處理後

圖 4、機械蒸氣再壓縮系統處理前後廢液外觀顏色變化

3. 成本分析

比較該廠廢水採委外清運處理及採機械蒸氣再壓縮系統處理，可大幅降低污泥產出量，減少廢棄物委外處理費用，評估成本約 2 年可回收，成本分析如表 3 所示。

表 3、電鍍業高濃度 COD 廢液採機械蒸氣再壓縮系統成本分析

評估項目		委外處理	MVR 系統
設置成本		N/A	約 3,500,000 元
操作 成本	電費	N/A	8,400 度/月×3 元/度 = 25,200 元/月
	廢水(污泥) 委外處理費	15 公噸/月×13,000 元/公噸 = 195,000 元/月	0.4 公噸/月×13,000 元/公噸 = 5,200 元/月
	設備維修保 養費用	N/A	20,000 元/月
支出總費用		195,000 元/月	50,400 元/月
每月節省費用		195,000 元/月-50,400 元/月=144,600 元/月	
每年節省費用		144,600 元/月×12 月/年=1,735,200 元/年	
回收年限		約 2 年	

三、 結語

目前高濃度 COD 廢水大多採分流定量注入既有廢水處理系統處理，或委託代處理業處理，操作適當得以符合環保法規；若有放流水水質不穩定或超標現象，機械蒸氣再壓縮系統處理方法則屬可行性技術之一。本案例所述之技術應用於電鍍業高濃度廢液處理，以案例廠化學鎳廢液試驗為例，處理前 COD 濃度約為 79,900mg/L，經蒸發乾燥系統處理後，COD 可減至 146mg/L，每年可減少 COD 約 14 噸。此技術相較於將廢水委外清運處理，約 2 年時間可回收成本，且大幅減少廢棄物二次污染的問題及廢棄物處理費用，惟設備的能源消耗、CO₂ 產生量以及最佳操作條件仍需測試及考量，以落實環保與經濟雙贏局面。

四、 參考文獻

1. 經濟部工業局，產業綠色技術提升計畫－輔導報告，2014。
2. 經濟部能源局，廢熱回收節能管理手冊，2008。
3. IK Corporation 公司網站：<http://ikcorp.tradekorea.com/main.do>
4. 匯能科技股份有限公司網站：<http://transenergy.com.tw/homeweb/>