

鋒騰科技有限公司

多段式流體化床廢水處理裝置

計畫目標

本計畫以含重金屬銅廢水為開發之對象。傳統之重金屬廢水處理方式係利用 pH 調整方式，使重金屬於鹼性條件下形成化學沉澱物，以去除廢水中所含之重金屬，一般而言常用的 pH 值調整劑包含氫氧化物、石灰、碳酸鹽及硫化物等，由於此種處理方式將產生大量之含水重金屬污泥，需要其他的設備及土地空間針對所產生污泥進行處理，造成後續處理之額外成本。

應用流體化床技術處理含重金屬廢水包含下列優點：(1) 相較於傳統之化學混凝沉澱方式其所需之土地面積最少 (2) 重金屬包覆於流體化床反應槽內之石英砂表面，無污泥產生，減少污泥處理問題及所需費用 (3) 包覆於砂表面之重金屬可溶於強鹼中進行回收再利用。串聯式流體化床反應槽係結合結晶及過濾兩種處理方式，同時對於進流水質之變化具有緩衝特性，以確保出流水水質。

本計畫以工業廢水內所含銅離子為處理目標，擬設計一套符合國內現況所適用之廢水處理設施-三段式流體化床廢水處理裝置。為使計畫產出之相關設備能夠有效的應用於產業界，除了設備硬體的開發之外，計畫內容尚包括設備處理效能的整體性評估，以及適用於設備硬體的細部技術規格等。經多項測試及分析後證實，三段式流體化床裝置對水中金屬離子的去除具有優異的效果，並有利於後續資源化開發的可能。

執行成果

開發產品	三段式流體化床	操作條件細則
產品簡介	設備之硬體架構及各項元件	針對本設備所設計之最適操作條件及方法

新產品簡介

三段式流體化床設備的基本概念是利用三段串聯式管柱取代傳統流體化床之單一管柱，也就是將單一管柱所需的填砂量及水頭高同時分散至三段長度較短之管柱。相較於單一管柱，三段化管柱有如下優點：

- 所需揚程較低，動力耗費少。
- 後段管柱可作為前段管柱之緩衝處理，具有保護作用。
- 床高較低，補換砂作業可簡化。

技術合作單位及合作內容

項目	對象	方式	內容	起迄期間
技術購買	-	-	-	-
委託研究	台大環工所	委託台大環工所提供流體化床反應槽功能計算、槽體設計及現場操作測試等技術指導	1. 提供流體化床反應槽功能計算 2. 提供槽體設計 3. 現場操作測試指導	94/04~94/12
委外測試	台灣大學	進行水質化驗分析、結晶物成份分析及結晶物純度分析等	1. 針對廢水處理廠原水水質及經多段式流體化床反應槽出流水水質進行分析化驗 2. 針對流體化床反應槽結晶物之組成成份進行分析 3. 針對結晶物純度進行分析	94/04~94/12
委託勞務	-	-	-	--

成果應用領域

本項技術可應用至存在水/廢水污染問題之行業，其範圍包括：水質軟化、重金屬回收、磷酸鹽去除及含氯廢水之處理。本計畫完成後，將藉由研討會方式，將本計畫執行之相關成果發表出來，並提供相關產業技術指導。

- 世界市場及國內市場狀況
利用流體化床結晶方式進行水/廢水處理包括下列幾項優點(Lee and Yang, 2004. Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers)：A. 污染物與結晶劑直接於反應槽內反應，相較於傳統之化學沉澱反應無須混凝及膠凝等單元，此外，結晶反應非常迅速，反應槽體積相較於一般沉澱池來得小，故整體廢水處理土地使用空間可大幅減少。B. 反應結束後無污泥產生，可減少後續污泥處理費用；C. 對於含重金屬之廢水處理，重金屬結晶物可回收再利用。目前利用流體化床結晶技術進行水/廢水處理之國家(van Dijk and Wilms, 1991; Harms and Robinson, 1992)，其反應槽設計多為單段式，動力消耗較大。此外，本公司所研發之多段式流體化床廢水處理裝置，係結合結晶及過濾兩項處理機制，同時因為多段式反應槽，故可有效減少動力消耗，對於進流水質之變化有緩衝效應，確保出流水質，當設備進行維護更新亦不影響原有之操作功能。
- 開發完成後對公司影響
本案完成後，將可進一步提升本公司水/廢水處理技術，並獲得相關之專利。此外，並可協助廠商有效解決廢水處理所需空間不足問題及減少後續所需之污泥處理費用。

專案執行績效說明

- 不同於傳統沉澱法，流體化床處理重金屬廢水的結晶過程中不須添加混凝劑及助凝劑，結晶污泥在質與量上均較沉澱法少。經處理飽和之結晶擔體密度約 1.9~2.2 g/cm³。根據本計劃對工業污水廠的調查，沉澱池處理每立方公尺含重金屬廢水約產生 2.07 公斤之污泥，而經流體化床處理之結晶擔體，每立方公尺進流水僅產生 0.79 公斤之結晶污泥，約可減量 61% 以上。
- 以 pH 值控制的方式加藥時，將出流水 pH 值控制在 9 上下，可得最佳的處理效率，但處理效率仍受進流水濃度影響，一般去除率可高於 96%，正常狀況下平均去除率 98.65%，過濾後平均去除率 99.35%。
- 在各種加藥濃度的測試中，當進流水濃度介於 150~350mg/L 之間時，無論定量加藥或以 pH 值控制加藥，皆以總碳酸濃度 3000mg/L 為最佳加藥條件，出流水平均 Cu 濃度 2.523mg/L，經過過濾處理後平均濃度 1.033mg/L，並可維持穩定且低濃度的出流。
- 管柱廢棄之污泥經靜置 3~5 分鐘，或經濃縮處理後，含水量大約介於 23%~26% 之間，平均含水量 25.60%；經真空或滲帶脫水設施處理之污泥，其含水量約 12%~15%，平均含水量 14.36%；已風乾的污泥含水量約 0.5%~2.5%，平均含水量 1.45%。
- 流體化床結晶的操作必須維持在低負荷的條件，迴流水的作用便是在稀釋管柱內銅離子，故需要大量的處理水迴流。實驗顯示迴流比在 10:1 時有優異的處理效率，然而迴流比 5:1 時則表現不佳。
- 適當的水力負荷可以提供充足的反應時間，並可以維持流體化床管柱內的穩態流況，一般判斷水力負荷是否過大的方式為觀察抬升後的砂層頂部是否與清水段維持明顯的介面，若砂層介面模糊且有砂粒浮動現象，則為過大的水力

負荷造成。總流量 100ml/s (45.8m/hr) 的水力負荷為最佳。

- 理論上較小粒徑的擔體可以提供流體化床反應槽較大的反應比表面積，並且容易達流體化狀態。但在實際操作上，過小粒徑的擔體容易隨出流水溢流，造成後續處理的困擾，因此建議擔體粒徑介於 0.25mm~0.45mm 之間。

專案執行重要心得

流體化床結晶技術的關鍵在於將系統控制在適當的過飽和度範圍內操作。但實際上此最佳過飽和度範圍（介穩區）的控制並不容易，且流體化床內介穩區的界定並無一明確方式，因此僅能以改變不同的操作因子來比較，找出最佳之操作條件。

- 三段式流體化床廢水處理設備之最佳操作探討已列於本章上節，最佳條件的基本概念在維持結晶槽內反應狀況的穩定，主要方法為調整 pH 值、稀釋及適當的水力狀況。結晶反應對操作變因的敏感度遠大於沉澱方法，因此流體化床的操作必須仰賴正確的觀念及技術方得維持反應器的正常運作。
- 由於實廠廢水之重金屬濃度通常變化較大，因此對於將流體化床結晶技術應用於實廠時，建議利用出流水 pH 值之變化做為加藥劑量之控制，以避免計算之加藥量出現過量或不足之情形。
- 結晶的發生必須維持在低濃度的操作，亦即反應器內無論目標去除離子或添加藥劑皆有一定的濃度標準，適宜操作的進流金屬濃度建議在 600mg/L 以下。
- 三段式管柱相較於單段式的管柱具有緩衝過量級彌補不足的功能，在進流遭受衝擊濃度或前段管柱處理不及時，後段管柱可以繼續發揮處理功效。
- 流體化床反應槽除了銅離子的去除，對其他離子態金屬如鎳、鉛、鉻及鐵的亦有相當的處理效率，流體化床的加藥及酸鹼值控制之設計在實際應用時必須考量其他可能結晶物質之存在，設計得當則可以一併去除混合重金屬廢水內之其他種類金屬。
- 流體化床反應槽內所形成之銅結晶為藍色顆粒狀，估計為碳酸銅晶體，觀察結果在 pH 值過高時（超過 10 左右），藍色的結晶表層會漸漸轉為黑色，估計是碳酸銅氧化為黑色氧化銅所致，氧化可能改變晶體表面的結構，使結晶附著效率變差，但實際影響仍需進一步試驗。
- 流體化床反應槽中進流廢水與藥劑之混合為一重要之設計，為避免兩者於混合過程中出現局部過飽和(local supersaturation)，建議對於反應槽加藥點之設計可利用分段加藥之方式，使結晶藥劑與進流重金屬於砂層內進行反應，並避免沉澱物之生成。
- 流體化床的處理效率及出流水的濃度可能隨著進流水濃度、水中其他金屬濃度、雜質干擾而改變，然而目前的試驗結果，出流水經過過濾後都可以呈現優良的整體處理效率（過濾後皆在 3ppm 以下），因此建議流體化床出流後加設過濾設備，以去除流出的分散沉澱。然這樣並不表示可以過度依賴後續過濾來彌補流體化床操作的不足，因過濾僅能作為出流水的保障設施，並沒有處理沉澱的作用。過量或長時間的沉澱累積在過濾設備，可能造成其阻塞或貫穿，減短過濾器壽命甚至使出流再度變差，因此改善流體化床本體的處理狀況才是首要考量。
- 管柱內良好的流體化狀況可以提升處理效率，隨著時間的增加，擔體粒徑會逐漸增大，因晶體已包附其上，而砂層高度也漸漸增厚，此時結晶粒徑較大的擔體因重量大，會集中在管柱底部，隨著管柱高程有粒徑漸減的現象。當砂層過高可能造成溢流可能時，便可由下部漏出部分擔體，再由上方注入適量擔體。
- 藥液出口使用日久易至堵塞，加藥管下部也有沉積現象，使用改良後之配水器，上述情形已消失，因此經由本試驗結果發展出一新型配水器，已提專利申請中。
- 流體化床結晶反應槽最大的功能在減少水中離子去除所產生的污泥量，離子結晶的可視為雜質純化的過程，所產生的結晶擔體不僅在體積、密度上皆優於傳統沉澱法所產生的污泥，並且可以減少沉澱藥劑的添加，及完全不需使用有機助凝劑，在減量化的過程同時達到經濟的考量；另外結晶後的擔體亦可以作為資源化的回收目標，擔體上所包覆高濃度、純度的金屬離子，經適當的後續處理便可重新回收，唯目前針對流體化床擔體的後續處理技術尚未成熟，資源化技術仍需進一步開發。



圖一、流體化床實際拍攝圖



圖二、流體化床實際拍攝圖



圖三、流體化床實際拍攝圖