

# 重金屬污泥高產值資源化技術簡介

卓英仁

環球企業資源管理科學院副院長

## 一、前 言

台灣地區重金屬污泥主要產出之工業包含電鍍業、印刷電路板業，以及面板廠或晶圓廠等高科技電子產業，行政院環境保護署(以下簡稱環保署)統計 2010 年全台灣地區重金屬污泥申報資料，整理如表 1 所示。總計 2010 年全年度，重金屬污泥申報量約 168,000 噸，其中以委託或共同處理 56,290 噸(平均每月 4,691 噸)、再利用 55,459 噸(平均每月 4,622 噸)，以及廠內貯存 56,472 噸(平均每月 4,076 噸)為主要之處理方式。

然而實際上台灣地區之重金屬污泥產量，遠高於上述表中所統計之申報量，這是由於台灣地區主要採用業者主動申報制度之故，但仍有部分業者礙於重金屬污泥處理成本高，故以非法棄置、非法貯存等方式隨意處理，此部分未經妥善處理之重金屬污泥當然無法於申報資料中顯示，一般保守估計，申報量約為實際產量之 50%~60%，意即台灣地區 2010 全年度實際之重金屬污泥產量應有近 300,000 噸。

由於重金屬污泥非法隨意棄置或貯存，對於土壤、飲用水、地面水與地下水等，均造成重大污染，嚴重破壞生態環境，影響居民健康，且政府對於產業發展與環境保護的態度，已慢慢由原本兩者並重，漸漸轉為環境保護優先之行政決策方向，此一行政決策方向可由最近國光石化不於台灣彰化地區設廠可見一斑，故此，針對台灣地區未合法處理與申報之重金屬污泥，環保署亦列為重要之監督目標，因此，原本非法棄置處理之重金屬污泥，迫切需要尋找妥善合法之處理或再利用方式，而原本已妥善處理之業者，則尋求更加便宜經濟之處理或再利用方式，故台灣地區重金屬污泥處理或再利用，將有十分廣大的商機。



表 1 全台灣地區重金屬污泥申報統計表<sup>(1)</sup>

年份	月份	重金屬污泥處理方式				
		委託或共同處理	自行處理	再利用	境外處理	廠內暫存
2010	1	2,653	1	2,824	4	3,529
	2	2,117	0	2,074	0	3,759
	3	3,269	1	3,072	0	3,499
	4	2,915	1	3,083	0	4,098
	5	2,762	25	3,342	0	3,944
	6	3,457	27	2,979	0	4,097
	7	20,684	81	20,986	5	4,125
	8	3,234	30	3,427	0	5,265
	9	3,312	30	3,528	0	5,378
	10	3,740	34	3,149	0	5,659
	11	3,957	24	3,327	0	5,234
	12	4,192	27	3,668	0	7,885
總計		56,290	281	55,459	10	56,472
每月平均		4,691	23	4,622	1	4,706

## 二、現有技術回顧

由於重金屬污泥中確實含有許多可再利用之資源，因此目前有許多關於重金屬污泥再利用或處理之技術，惟主要技術仍偏重於單一或成分濃度較高之金屬元素或離子之濃縮或回收，介紹如下<sup>(2)(3)(4)(5)(6)(7)</sup>。

### (一)置換電解法技術

將污泥中所含重金屬成分經加酸溶提後成為含重金屬溶液，調整其 pH 值，再利用氧化還原電位差原理，藉由鐵粉置換溶液中的重金屬，其屬自發性反應。此技術可得到重金屬的含量約 61~83%，且為循環利用製程，但是廢酸溶液所衍生再次污染問題未獲妥善解決。

### (二)酸液浸提氧化還原法技術

將含銅污泥先以酸溶解後，於含銅液加入氫氧化鈉，使其形成氫氧化銅

及氫氧化鐵等物質，調整 pH 值後，於反應槽中再加入過氧化氫等氧化劑形成氧化銅及氧化鐵的沉澱。此技術回收之氧化銅的含銅量約 40%，可作為製造硫酸銅或煉銅的原料。此技術為循環利用製程，廢酸溶液仍是二次污染問題。

### (三) 氨浸法技術

此技術係以含氨之碳酸鹽溶液為浸漬劑，與污泥中如銅、鋅、鎳等金屬氫氧化物形成可溶性錯銨碳酸鹽。可溶性錯銨碳酸鹽經過濾後，浸漬殘渣部分可經乾燥、煅燒、萃取而資源化成銻黃與鐵黑產品。至於濾液主要是以銅、鎳、鋅之錯銨鹽為主，經通入蒸汽解離後會形成鹼式碳酸鹽沉澱，回收氨後加入硫酸，溶解形成銅、鎳、鋅的硫酸鹽溶液，再利用有機溶劑進行重金屬溶劑萃取，將銅、鎳、鋅予以分離純化成各單一金屬的硫酸鹽溶液，最後再應用結晶技術，將其製成資源化產品。

### (四) 混凝土固化技術(最常見之處理技術)

將含重金屬污泥以矽酸鹽、水泥或石灰、卜蘭索等物質中和後，加入安定劑等，使其形成定形固化狀態，以填埋方式進行最終處置，或進行再利用如磚化燒結、改質塑膠製品、發泡煉石、陶瓷顏料等，但固化處理無法根除問題。

### (五) 金屬濕式提煉回收技術

此技術的金屬回收方式係結合特殊介質抓取金屬進行精鍊，並可藉此達成廢棄物處理與廢水淨化之整合應用的有效反應程序。本技術可從各種廢棄物及其他污染源中選擇特定金屬加以抓取純化，使其成為具高純度之有價貴金屬。惟此技術需要高耗能與耗水，且重金屬純化後，仍有大量廢水需要處理。

### (六) 乾式熔煉技術

將含有高濃度金污泥進行脫水至含水量 65~85%，以振動、粉碎方式送入高溫乾燥爐中，瞬間輻射熱下將污泥中之水分完全乾燥，並使污泥中之金屬氫氧化物轉化成穩定的金屬氧化物，再於 1,300~1,600°C 高溫熔爐中，加入焦炭、矽化物材料進行熔煉，使金屬氧化物還原為金屬。此法由於需要經高溫乾燥、高溫熔爐等程序，十分耗能，且仍有廢水與廢氣問題需要處理。

整體而言，台灣地區雖不乏可以處理或再利用重金屬污泥之技術，惟相關技術仍有廢棄物、廢氣、廢水、高耗能、耗水之問題，因此導致台灣地區重金屬污泥委託處理費用高達 10,000~20,000 元(新台幣)/噸，故若能引進新穎且再利用成



本便宜、再利用產品用途廣價值高之技術，即可在台灣重金屬污泥處理或再利用市場中，佔有決定性的地位。

### 三、高產值資源化技術

由於將廢棄物資源化技術，是要能製成可再利用，最好能商業化之產品，如能將資源化技術成本降至最低，而產生之產品產值最高，將是最佳資源化技術之最終目標。

以下將介紹一已申請專利之重金屬污泥高產值資源化技術<sup>®</sup>，技術之通用性廣泛，適合處理各種含重金屬之污泥，而且技術條件容易控制，設備簡單，極易進行實廠之處理，減少研發處理成本，為一種減量化、無害化與資源化處理含重金屬污泥之方法。

#### (一)資源化方法原理

重金屬污泥如屬石灰重金屬污泥，則先用硫酸溶液溶解，分離出含  $\text{SiO}_2$  的酸不溶物，再以超音波處理酸溶液，使重金屬離子與氫氧化鈣脫離，然後加鹼，以控制溶液之 pH 值，使  $\text{CaSO}_4$  沉澱分離，如果要處理  $\text{NaOH}$  重金屬污泥，沒有分離  $\text{SiO}_2$  酸不溶物與  $\text{CaSO}_4$  之問題，但如是石灰重金屬污泥，固液分離可以得到重金屬之液體部分以及含  $\text{SiO}_2$  和  $\text{CaSO}_4$  固體部分，液體部分先用硫酸亞鐵處理，使重金屬離子均勻分佈在硫酸亞鐵溶液中，再加鹼調整 pH 值為 8~9，通入壓縮空氣氧化，部分亞鐵形成三價鐵，最後形成鐵氧晶體沉澱結晶，並製成具有多種用途之添加料。固體部分中的  $\text{SiO}_2$  和  $\text{CaSO}_4$ ，作為製水泥以及石膏板之添加料，如果是處理  $\text{NaOH}$  重金屬污泥，則沒有  $\text{SiO}_2$  和  $\text{CaSO}_4$  固體物之問題。

上述操作中所使用之硫酸亞鐵，可以鋼鐵廠酸洗後產生之硫酸亞鐵廢液作為原料來源，達到廢棄物資源再利用之最大目的，亦可由收集或收購廢鐵，再與工業硫酸混合後製備而得，兩者均可避免以高價購入硫酸亞鐵方式，降低整體操作成本。

#### (二)資源化流程概述

資源化之流程如圖 1，敘述如下。

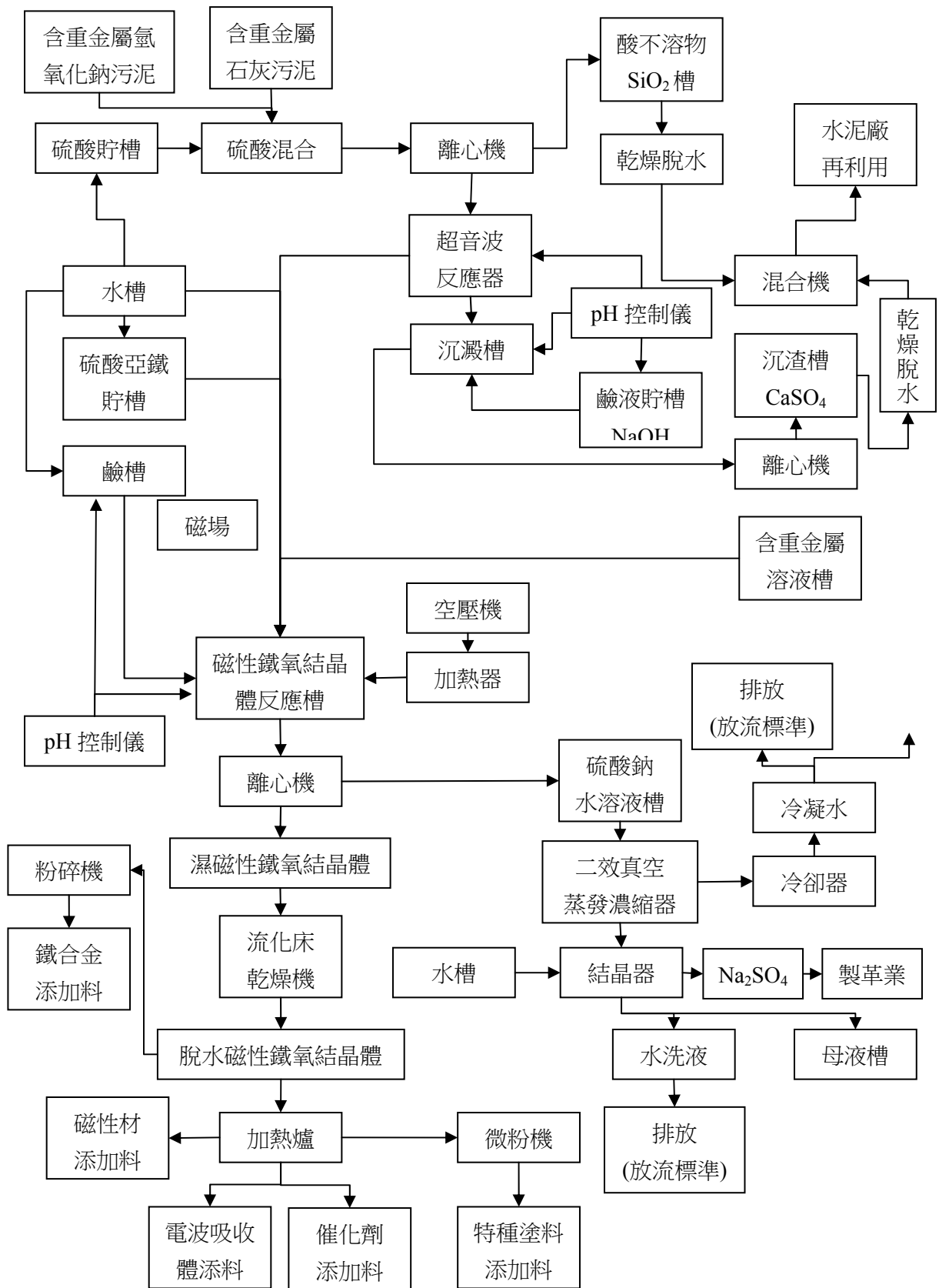


圖 1 資源化流程



- 1.用硫酸溶液溶出含重金屬鹼性污泥中含有的金屬，如含重金屬鹼性污泥為含重金屬之石灰污泥，經固液分離後，會有含  $\text{SiO}_2$  之酸浸渣以及酸浸液 B，如含重金屬鹼性污泥為含重金屬之  $\text{NaOH}$  污泥，即無酸浸渣，僅有酸浸液 A。
  - 2.超音波處理步驟 1 所得之酸浸液 A 和酸浸液 B。
  - 3.將鹼液加入步驟 2，如是含重金屬之石灰污泥所得之酸浸液 B 中，控制溶液之 pH 值使  $\text{CaSO}_4$  會沉澱分離，固液分離後，可得液體部分 B 和固體部分  $\text{CaSO}_4$ 。
  - 4.步驟 3.中，液體部分 B 加入硫酸亞鐵溶液，並在酸性條件下反應 5~30 分鐘，得液體部分 C。
  - 5.將鹼液加入步驟 4.處理後之液體部分 C，控制溶液之 pH 略成鹼性，通入壓縮空氣，形成含重金屬的鐵氧晶體。
  - 6.將步驟 3.所得到的固體部分，和步驟 1.的含  $\text{SiO}_2$  酸浸渣，以及步驟 3.的  $\text{CaSO}_4$  脫水混合後，可製成水泥添加料，或是石膏板添加料；如是含重金屬之  $\text{NaOH}$  污泥，就沒有含  $\text{SiO}_2$  酸浸渣和  $\text{CaSO}_4$ (硫酸鈣渣)，可直接加入硫酸亞鐵製成鐵氧晶體。
  - 7.整體而言，鐵氧晶體產生量，約可達到污泥乾重的 50%。
- 註：以上詳細處理流程已申請專利

#### 四、鐵氧體用途

鐵氧體目前在應用上，已開發出許多種用途，就本資源化技術產生之鐵氧體而言，如僅經乾燥脫水，而不再進行精細研磨等程序，因其本身總鐵含量可高達 60%~70%以上，可直接取代鐵礦砂，作為鋼鐵冶煉之原料。

在作為污染處理功用上，鐵氧體可作為污染物處理之觸媒，例如，於設定之反應條件下且反應溫度為  $400\text{ }^\circ\text{C}$  時，利用鐵氧體為觸媒，處理有機物鄰-二甲苯，有約 97% 的轉化率，相較於石英砂僅有 31% 的轉化率，明顯高出許多，此外，於 72 小時之衰敗試驗中，鐵氧體觸媒並未出現明顯衰敗情況，且生成之產物為  $\text{CO}_2$ ，顯示鐵氧體具極佳的觸媒潛能<sup>(9)</sup>，而同樣之鐵氧體觸媒，處理揮發性有機物苯(benzene)、甲苯(toluene)、乙苯(ethylbenzene)及二甲苯(xylenes)(合稱 BTEX)以及丙酮等，亦有不錯之效果<sup>(10)(11)</sup>。

此外，目前常見處理地下水有機物污染，例如苯污染等，常見之透水性反應(催化降解)牆，亦可利用鐵氧體作為觸媒，有極佳之潛力<sup>(12)</sup>。

除應用於煉鐵原料以及環境污染物處理外，鐵氧體具有更高價值之用途，目前許多研究，顯示鐵氧體尖晶石的晶體結構特性，在電磁波等之吸收或干擾抑制上<sup>(12)(13)</sup>，有極佳之成果，可作為防磁塗料之重要原料。

## 五、商業模式

由於本技術已推行商業化，因此將其基本之成本與收益等分析，彙整如下。

### (一)建設成本

以下以再利用處理量 50 噸/日之重金屬污泥再利用廠，進行投資成本估算，每年處理量約達 15,000 公噸，建廠經費主要包括規劃設計與各類許可申請費用、土地費用、廠房工程費用、主體設備費用(如能源設備、資源化設備、附屬設備費、自動控制設備以及設備安裝)、操作維護訓練費用、工安環保衛生工程費用、試車費用以及其他費用(如預備費用)等，經初步概估後總投資成本約為新台幣 20,500 萬元整(詳見表 2 所示)。

表 2 重金屬污泥再利用廠投資成本估算

項目	金額 (新台幣：萬元)	備註
一、規劃設計與各類許可申請費用	250	
二、土地費用	6,000	視不同區域而有差別
三、廠房工程費用	3,000	
四、主體設備費用	9,000	
五、操作維護訓練費用	250	
六、工安環保衛生工程費用	750	
七、試車費用	250	
八、其他費用	1,000	
合計	20,500	



## (二)營運成本

而營運成本估算如表 3。計算乃以處理重金屬污泥每年 15,000 公噸，每年操作日數為 300 天，同時由於高度自動化，故預計以 10 名員工(含管理人員與現場操作員)進行操作管理。

總計本重金屬污泥再利用廠每年之運行成本約為新台幣 10,050 萬元。

表 3 重金屬污泥再利用廠營運成本估算

項目	金額(新台幣：萬元)
一、人員薪資	600
二、水電費	300
三、燃料費	900
四、藥劑、耗材與包裝材料等	6,500
五、設備維修	50
六、設備折舊(十年)	1,200
七、管銷費用	500
合 計	10,050

## (三)投資報酬率

### 1. 每年收入估算

本重金屬污泥再利用廠之每年收入估算如表 4。本重金屬污泥再利用廠之收入可分成污泥處理費，以及再利用產品販售收入兩部分。計算乃以處理重金屬污泥每年 15,000 公噸，生產 9,000 噸之鐵氧晶體，12,000 噸之  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 。

總計本重金屬污泥再利用廠之每年收入約為新台幣 24,300 萬元。



表 4 重金屬污泥再利用廠運行成本估算

項目	金額 (新台幣：萬元)	備註說明
一、污泥處理費	18,000	每噸 12,000 元，共 15,000 噸
二、鐵氧晶體販售	4,500	每噸 5,000 元，共 9,000 噸
三、Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 販售	1,800	每噸 1,500 元，共 12,000 噸
合 計	24,300	

### 2. 稅金

按台灣地區營業稅 5%，以及營利事業所得稅 17% 計算。

$$\text{營業稅} = 24,300 \text{ 萬元} \times 5\% = 1,215 \text{ 萬元}$$

$$\text{營利事業所得稅} = (\text{年收入} - \text{年成本支出}) \times 17\%$$

$$= (24,300 \text{ 萬} - 10,050 \text{ 萬}) \times 17\%$$

$$= 2,423 \text{ 萬元}$$

### 3. 投資報酬率估算

$$\text{每年淨利潤} = \text{每年營運收入} - \text{每年營運成本} - \text{稅金}$$

$$= 24,300 \text{ 萬元} - 10,050 \text{ 萬元} - (1,215 \text{ 萬元} + 2,423 \text{ 萬元})$$

$$= 10,612 \text{ 萬元}$$

$$\text{投資報酬率} = \text{每年淨利潤} \div \text{設備投資成本} \times 100\%$$

$$= 10,612 \text{ 萬元} \div 20,500 \text{ 萬元} \times 100\%$$

$$= 52\%$$

## 六、結論

本資源化方法，處理場佔地面積小，利用各類廢棄物為主要原料，且資源化後成為重金屬鐵氧晶體與各類之水泥與石膏添加料，除將寶貴資源循環利用外，亦節省大量土地資源，實為台灣亟需之資源化處理方法。



## 參考文獻

1. 行政院環境保護署事業廢棄物申報及管理系統網站，2012年，  
<http://waste.epa.gov.tw/prog/IndexFrame.asp>。
2. 張國忠，「重金屬污泥再利用技術介紹」，經濟部工業局產業環保雙月刊，第34期，第5~7頁，2005年。
3. 陳炯立，「含重金屬污泥燒製磚材資源化之研究」，碩士論文，國立台北科技大學材料及資源工程系碩士班，2004年。
4. 林宗曾，「水泥固化/穩定化氧化銅之反應機制與溶出行為」，博士論文，國立台灣大學環境工程研究所，1993年。
5. 胡紹華，「重金屬污泥處理技術探討」，資源與環境學術研討會論文集，第355~368頁，2005年。
6. 楊致行，「電鍍污泥資源化再利用技術」，環保月刊第1卷第4期，第160~166頁，2001年。
7. 楊維鈞，王粵，呂慶慧，「以溶技萃取法分離氨銅溶液之研究」，第九屆廢棄物處理技術研討會，第541~550頁，1994年。
8. 卓英仁、劉文治，「含重金屬污泥資源化處理方法」，發明專利，2011年。
9. 黃郁仁，「鐵氧磁體程序處理工業廢水之應用及其觸媒性質研究」，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所，2008年。
10. 李思遠，「以鐵氧磁體觸媒焚化 BTEX 之研究」，碩士論文，國立高雄應用科技大學化學工程與材料工程系，2010年。
11. 洪裕晉，「以鐵氧磁體觸媒焚化丙酮之研究」，碩士論文，國立高雄應用科技大學化學工程與材料工程系，2010年。
12. 黃詠華，「不同鐵氧磁體透水性催化降解苯之研究」，碩士論文，國立成功大學環境工程學系碩博士班，2010年。
12. 歐政隴，「 $\beta$ -碳化矽/尖晶石錳鋅鐵氧磁體/碳黑複合材料的吸波研究」，碩士論文，國防大學中正理工學院應用化學碩士班，2011年。
13. 郭家銘，「Mn-Zn 鐵氧磁體對高頻雜訊的抑制」，碩士論文，義守大學電子工程學系碩士班，2010年。