

資源化技術

廢酸洗液鐵氧磁體資材化處理與 實廠化可行性評估之研究

吳俊毅*、梁蜀昀*、陳偉聖**、蔡敏行***

摘要

本研究採用濕法冶金中之鐵氧磁體化技術，控制反應溫度、起始 pH 值、曝氣量及攪拌速率等操作條件，進行廢酸洗液鐵氧磁體資材化處理技術之探討。由水質分析結果可知，經鐵氧磁體化處理後之過濾液符合放流水標準。固相產物以 XRD 晶相鑑定確認為鐵氧磁體結晶構造；另由 SEM 影像分析結果得知，產物之平均粒徑大小 $< 0.2\mu\text{m}$ 。另由 TCLP 毒性溶出試驗分析結果顯示，產物符合 TCLP 溶出標準，為一般事業廢棄物，其已達到無害化之處理目的。

鐵氧磁體產物應用於顏(塗)料、釉料、氧化鐵、磁材與空氣吸收劑等資材化用途，其中以作為空氣吸收劑最具經濟價值。由經濟可行性評估，建置一套實廠化之鐵氧磁體資材化系統，初設成本約 650 萬元，每年操作維護成本以及設備折舊等費用約 1,094 萬元，每年節省廢酸洗液委託處理費用與資源化產品產值為 1,728 萬元，回收期約 1 年。將鐵氧磁體資材化系統、委託清除處理與蒸餾濃縮回收系統 3 者相比較，若投資 10 噸反應槽進行鐵氧磁體資材化實廠規模處理，每月可節省 57.5~62 萬元處理費用。

【關鍵字】廢酸洗液、鐵氧磁體化、資材化、再利用、經濟評析

*國立成功大學資源再生及管理研究中心 研究助理

**國立成功大學資源工程學系 博士班候選人

***國立成功大學資源再生及管理研究中心 研究教授

一、前　　言

酸洗(pickling)是很多金屬加工業必要的製程，如線材、鋼鐵板材、管材加工業、螺絲螺帽製造加工業、不銹鋼板材加工業、塗裝業等皆以酸洗去除金屬表面的黑皮、氧化物及其他污染物，以利加工品質。在酸洗製程使用之各種無機酸，因製程中酸濃度隨時間漸減，金屬濃度漸增，當酸洗液中鹽酸殘餘濃度降至約3%，或酸洗液比重大於1.3 時(鐵離子濃度大於100g/L)，須將老化酸洗液排出，更換新酸洗液。

目前國內金屬基本工業及表面處理業之酸洗製程所產生之廢酸洗液，再生利用技術已有相當之應用，但各種再生利用技術之設置成本及操作難易差異甚大，且所再生之資材化產品亦不相同。國內於再生利用技術之應用除考量技術之成熟性、設置成本、操作維護成本之外，再生資源產品之應用、行銷通路及其經濟價值更是技術選用之主要原因。

盤元線材業之酸洗製程主要使用之無機酸種為鹽酸，其酸洗液槽之建議濃度範圍約在16~18%，製程所產生廢酸洗液中分別含有氯化亞鐵與廢鹽酸。本研究採用鐵氧磁體化處理技術，控制起始pH值、操作溫度、曝氣量及攪拌速率等操作條件，且對於資材化產品應用途徑加以分析並評估實廠化規模之經濟可行性，期能提供業界做為廢酸洗液處理再利用技術選用之參考。

二、廢酸洗液來源、產量及處理方式

2.1 廢酸洗液來源

金屬基本工業及金屬表面處理業所使用之鋼板、線材、鋼管及棒鋼，在進行二次加工處理前需將物件表面上之氧化鐵錫皮去除，由於酸洗方式可達較高之金屬物件表面清潔度，因此業者常用酸洗方式去除，以利後續金屬物件表面加工製程。

2.2 廢酸洗液產量

國內金屬基本工業及金屬表面處理業製造業所產生之廢酸洗液，依據環保署廢棄物管制中心所公告之廢棄物代碼^[1]，可申報為廢液 pH 值小(等)於 2.0 或廢酸洗

液。而中鋼公司(鋼板捲類連續酸洗製程)及春雨公司(線材類)等大型工廠，皆於廠內設置廢鹽酸回收設備，將其所產生之廢酸洗液進行回收再利用，此類之廠內廢鹽酸回收再利用者大部分未進行網路申報，故環保署廢棄物管制中心之廢酸洗液申報量未能呈現實際廢酸洗液產生量。依據 90 年環保署事業廢棄物查核及輔導改善專案計畫推估，盤元線材所產生廢鹽酸之產出因子約 0.0365 公噸/公噸產品。依據經濟部 92 年度生產統計月報之線材產量彙整^[2]，推估盤元線材加工業的廢酸洗液產生量約 9.7 萬公噸，再推估 92 年度金屬基本工業及金屬表面處理業製造業所產生之廢酸洗液量合計約 35 萬公噸。

2.3 國內廢酸洗液資源化處理方式

國內常見廢酸洗液資源化處理技術彙整詳如表 1 所示^[3]，由表中每年經濟效益分析項目得知，僅有噴霧燒焙法、流體化床燒焙法和硫酸置換法較具經濟利益，但業者需評析硬體初設投資成本、處理量、操作維護費用與再生產品之市場需求等多重影響因子。

表 1 國內常見廢酸洗液資源化回收技術比較

技術名稱 原 理	噴霧燒焙法 噴霧加熱燒焙	流體化床燒焙法 流體化床加熱燒焙	真空蒸餾法 真空蒸餾	硫酸置換法 加入硫酸反應
再生酸回收率	98%	98%	依自由酸濃度 而定	98%
再生酸濃度	16-18%	16-18%		16-18%
資源化產品	Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	FeCl ₂ (35%)	FeSO ₄ H ₂ O
處理量(月)	1,080 噸	1,368 噸	200 噸	200 噸
投資設備成本	7,500 萬元	6,570 萬元	500 萬元	500 萬元
操作維護費(年)	1,600 萬元	1,859 萬元	190 萬元	340 萬元
產品量(年)	1,760 噸	2,170 噸	1,470 噸	694 噸
產品價值(年)	1,760 萬元	1,085 萬元	147 萬元	485 萬元
回收酸價值(年)	960 萬元	1,216 萬元	40 萬元	192 萬元
經濟利益(年)	1,120 萬元	442 萬元	-3 萬元	337 萬元
所需場地面積	500M ²	500M ²	100M ²	100M ²
操作方式	連續操作	連續操作	半連續操作	半連續操作
操作溫度	800°C	800°C	85°C	85°C

表 1 國內常見廢酸洗液資源化回收技術比較(續)

技術名稱 原 理	噴霧燒焙法 噴霧加熱燒焙	流體化床燒焙法 流體化床加熱燒焙	真空蒸餾法 真空蒸餾	硫酸置換法 加入硫酸反應
資源化再生 產品應用途徑	顏(塗)料、媒染 劑、永久磁鐵	顏(塗)料、拋光劑、 磁性墨、磁帶塗覆	廢水處理劑、 媒染劑、 製造氯化鐵	廢水處理劑、還 原劑、防腐劑
污染狀況	較高空氣污 染、無水污染及 污泥	較低空氣污染、無水 污染及無污泥	低度空氣污 染、無水污染及 無污泥	低度空氣污 染、無水污染及 無污泥

註：1.操作維護費包括人事費、維護費、原料費、燃料費及水電費。

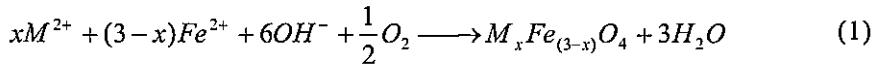
2.廢酸中含鐵量為 130g/L、鹽酸含量 3%為計算基礎。

3.資源化產品價格： Fe_2O_3 ： 8 元/Kg； Fe_3O_4 ： 10 元/Kg； $FeCl_3(45\%)$ ： 2.5 元/Kg；
 $FeCl_2(35\%)$ ： 1.0 元/Kg； $FeSO_4 \cdot H_2O$ ： 6 元/Kg； $HCl(16-18\%)$ ： 1.25 元/Kg

三、鐵氧磁體化技術原理^[4~14]

廢酸洗液濕式冶金鐵氧磁體合成之製造方法，透過反應溫度、起始 pH、曝氣量及攪拌速率等操作條件，產生安定性高且具有磁性的鐵氧磁體產物，此技術不僅大幅降低操作費用，其所產生之產物亦達無害化，以利後續資材化之應用。

鐵氧磁體化反應可以反應式(1)表示：



鐵氧磁體化處理技術之優點如下：

- 1.可同時處理多元重金屬離子。
- 2.將廢水、廢酸洗液與污泥處理後之過濾液達到放流水標準，且其所產生鐵氧磁體產物，符合毒性溶出試驗標準(TCLP)，為一般事業廢棄物，達無害化處理目的。
- 3.鐵氧磁體產物具有磁性，易於固液分離。
- 4.處理流程簡單，單元操作容易，適合不同規模大小之工廠使用，符合目前國內金屬表面處理業之現況需求。
- 5.鐵氧磁體產物因具有顏色、磁性與高溫吸收廢氣等特性，可作為顏(塗)料、釉料、

氧化鐵、磁材及空氣吸收劑等資材化用途。

四、廢酸洗液處理應用說明

某盤元線材業者向上游購買素材後，需先經由鹽酸、清水與草酸等藥劑反覆進行酸洗、浸洗與浸漬等步驟，以去除線材表面鐵鏽與雜質，但隨著使用次數增加和亞鐵離子濃度提高，致除銹能力降低，為了維護產品的品質，需定期更換酸液，因而產生每日約 6 噸的廢酸洗液(濃度 2~5%，比重 > 1.3，鐵離子濃度大於 100g/L)，目前廠內以每公斤 1.8~2.0 元處理費委託清除/處理/再利用公司進行清運處理。酸洗後之線材再經由磷酸鋅鹽槽浸漬作為防鏽鍍鋅皮膜處理，此處理過程會產生含鋅量高之磷酸鋅事業污泥，同時整廠之廢水處理設施也會產生含鋅量高之事業污泥，詳細製造流程如圖 1 所示。

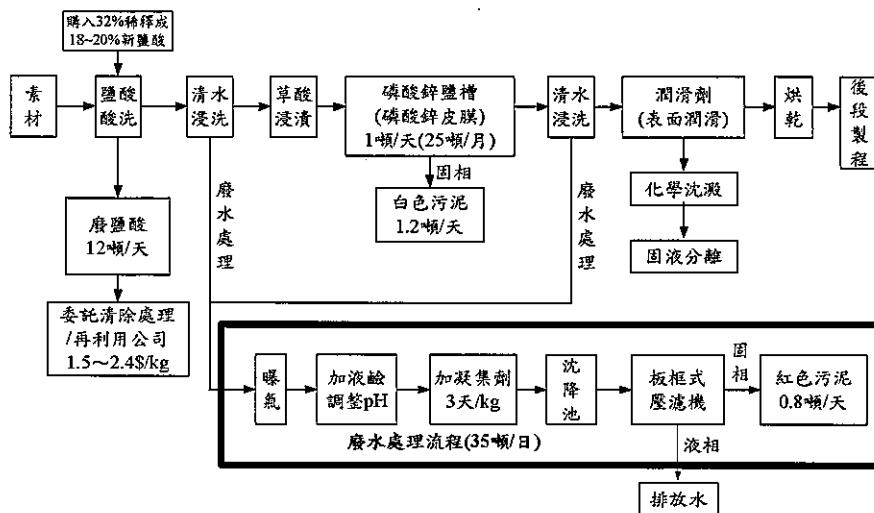
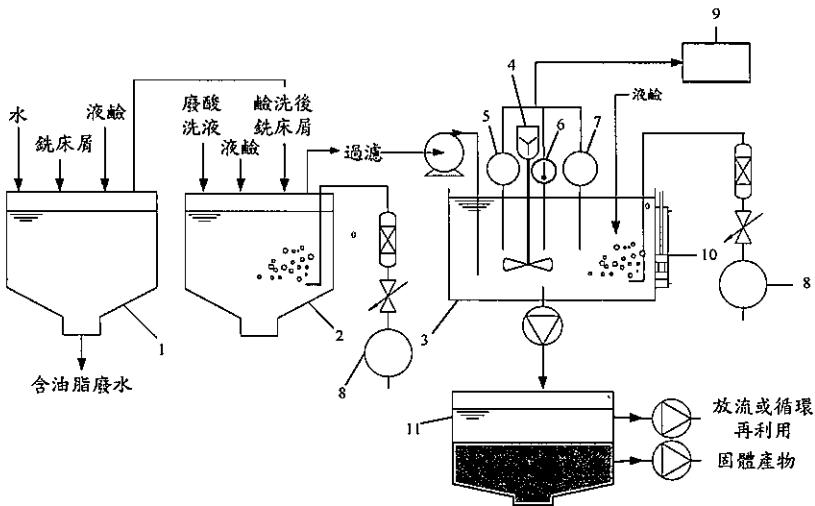


圖 1 盤元線材工廠製程流程圖

4.1 硬體設備

廢酸洗液鐵氧磁體資材化處理之硬體設備，包括前處理設備(銑床屑鹼洗槽和銑床屑 pH 調整槽)以及鐵氧磁體主體反應設備(鐵氧磁體反應槽、攪拌裝置、加熱

裝置、空壓機、感測器、電腦監測系統與濃縮槽)共 2 個主要部分，如圖 2 所示。



1.鹼洗槽 2.pH 調整槽 3.鐵氧磁體反應槽 4.攪拌裝置 5. pH 感測器
6.溫度感測器 7.ORP 感測器 8.空壓機 9.電腦監測系統 10.加熱裝置 11.濃縮槽

圖 2 廢酸洗液鐵氧磁體資材化處理之硬體設備

4.2 材料與處理流程

4.2.1 材料

- 1.廢酸洗液：取樣自台南縣某盤元線材工廠
- 2.銑床屑：取樣自臺南市某鐵工廠
- 3.NaOH：採用工業用 45%液鹼

4.2.2 處理流程

鐵氧磁體化處理流程如圖 3 所示，取樣進行廢酸洗液基本性質分析，項目包括 pH 值、含氯量、金屬離子濃度與比重等分析。為了大幅降低液鹼使用量與處理費用，將銑床屑置入鹼洗槽進行鹼洗程序，藉以去除鐵屑表面油脂、雜質與屑灰。將廢酸洗液與鹼洗後的銑床屑以 L/S(1 公升的廢酸洗液與 100 g 的銑床屑)之比例導

入 pH 調整槽，並進行曝氣，藉以將廢酸洗液的 pH 值調高至 2.5~3.0。經過濾後的廢酸洗液導入反應槽進行鐵氧磁體化處理，設定反應溫度為 70°C、添加液鹼以控制起始 pH 值為 10.5~11.0，曝氣量為 5 L air/min/L liquid 與攪拌速率為 200rpm 等操作條件，當鐵氧磁體反應完成後進行固液分離與產物烘乾等程序，後續將過濾液和固體產物進行重金屬離子濃度、XRD、SEM 與 TCLP 等分析與探討資材化之應用途徑。

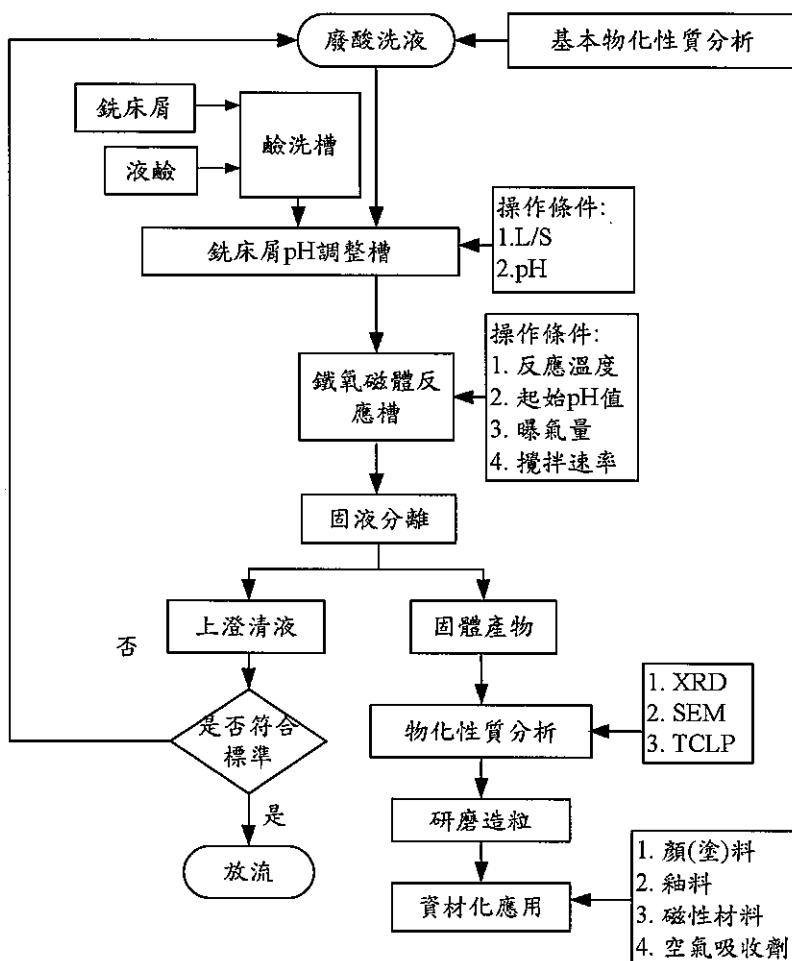


圖 3 廢酸洗液鐵氧磁體資材化處理流程圖

4.3 分析結果

4.3.1 水質分析

廢酸洗液基本物化性質分析結果如表 2 所示，廢酸洗液以鐵離子濃度(118,900 mg/L)為主，其中重金屬部分銅、鉻、鋅、鉛、鎳與 pH 皆不符合放流水排放標準。經銑床屑置換調升 pH 後，pH 提高為 2.8，鐵離子濃度提高至 165,000 mg/L，但重金屬離子濃度仍超過放流水標準。因此，廢酸洗液經由鐵氧磁體化處理後，其過濾液之 pH 需經調整後再予以放流外，其餘重金屬離子濃度皆符合放流水標準，詳細分析結果如表 3 所示。

表 2 廢酸洗液及其調整後之基本物化性質分析

單位 : mg/L

分析項目	d (比重)	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$	Fe	Cu	Cr	Zn	Pb	Ni	Cd	pH
廢酸洗液	1.35	98,600 /20,300	118,900	2.27	18.70	99.50	2.32	18.40	0.26	—
調整後 廢酸洗液	1.37	122,200 /42,800	165,000	2.01	15.70	78.05	1.51	12.40	0.13	2.8
放流水 標準	—	—	—	3.0	2.0	5.0	1.0	1.0	0.03	6~9

表 3 廢酸洗液經鐵氧磁體資材化後之水質分析

單位 : mg/L

金屬離子	Fe	Cu	Cr	Zn	Pb	Ni	Cd	pH
廢酸洗液	118,900	2.27	18.70	99.50	2.32	18.40	0.26	—
調整後 廢酸洗液	165,000	2.01	15.70	78.05	1.51	12.40	0.13	2.8
鐵氧磁體化	882.6	0.49	0.11	1.44	0.89	0.56	0.01	9.17
放流水標準	—	3.0	2.0	5.0	1.0	1.0	0.03	6~9

4.3.2 XRD 分析

廢酸洗液經鐵氧磁體化處理後之固相產物，以 XRD 繞射分析比對結果如圖 4 所示，結果顯示確認其結晶構造為鐵氧磁體產物(Magnetite, Fe_3O_4)。

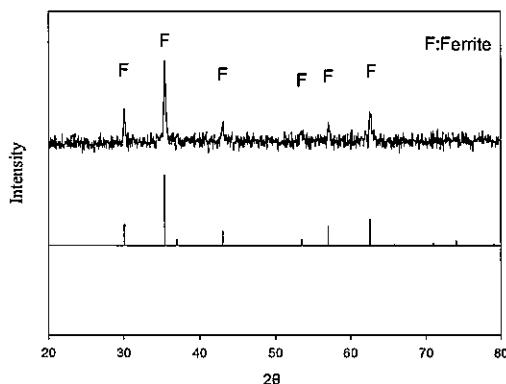


圖 4 廢酸洗液經鐵氧磁體化處理後產物之 XRD 分析圖譜

4.3.3 SEM 分析

廢酸洗液經鐵氧磁體化處理後之固相產物放入掃瞄式電子顯微鏡(SEM)進行影像分析，其結果如圖 5 所示，廢酸洗液經鐵氧磁體化處理後，單一鐵氧磁體顆粒之平均粒徑 $< 0.2\mu\text{m}$ 且單體緊密堆疊在一起，形成較大顆粒的型態存在，單體顆粒間的單離特性並不明顯。

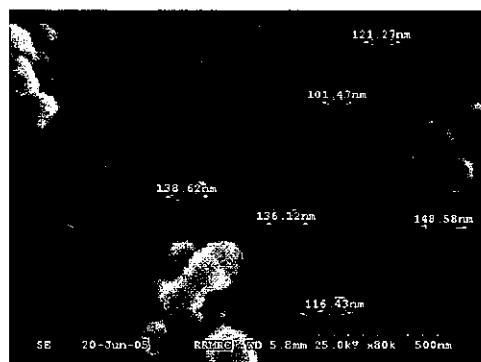


圖 5 鐵氧磁體材質化固體產物之外觀 SEM 分析

4.4.4 TCLP 分析

由表 4 廢酸洗液經鐵氧磁體化處理後之產物 TCLP 分析結果顯示，鐵氧磁體固體產物符合 TCLP 溶出試驗標準，達到無害化之處理目的，可作為一般事業廢棄物處理。

表 4 廢酸洗液經鐵氧磁體化處理後之產物 TCLP 分析

單位：mg/L

金屬離子	Fe	Cu	Cr	Zn	Pb	Ni	Cd
廢酸洗液	118,900	2.27	18.70	99.50	2.32	18.40	0.26
調整後 廢酸洗液	165,000	2.01	15.70	78.05	1.51	12.40	0.13
鐵氧磁體化	35.8	5.70	0.02	0.48	0.27	0.46	N.D.
TCLP 標準	—	15.0	5.0	—	5.0	—	1.0

五、經濟可行性評估

5.1 資材化應用途徑

鐵氧磁體產物依後續再生產品製程的需要與資材化應用途徑，融入純化、冶煉、造粒、分選等技術單元重新組成新的後段再生製程，作為顏(塗)料、釉料、氧化鐵、磁材與空氣吸收劑等使用。依據關稅總局從 1996~2003 年之年度統計資料庫查詢與查訪售價，彙整出上述原物料之進出口平均價格如表 5 所示^[15]。由表 5 中可知，依「經濟價值」、「用以處理廢棄物之轉換產物來處理廢氣」及「產物之特性與實際處理效果」之觀點而言，將鐵氧磁體產物作為空氣吸收劑最具經濟價值，每公斤高達 2,000 元之售價，顏(塗)料次之。但由於再生產品最終仍須以市場規模、行銷通路以及與一次料產品規範之差異性來決定其資材化產品之市場機制。

表 5 鐵氧磁體資材化應用途徑與一次料進出口之平均價格

應用途徑	氧化鐵	顏(塗)料	釉料	磁材	空氣吸收劑	單位：元/kg
進口價值	18~30	229	16~22	29~41	2,000	
出口價值	10~27	110	15~22	17~61	—	

資料來源：1996~2003 年財政部關稅總局一統計資料庫進出口彙整平均數據

網址 <http://web.customs.gov.tw/statistic/statistic>

5.2 實廠化經濟可行性評估

從表 6 可知，某家每日廢酸洗液產生量約為 12 噸之盤元線材工廠，其廢鹽酸濃度為 2~5%，工作日平均為 25 天/月，產生量約為 300 噸/月。由於該工廠對於廢酸洗液處理方式係委託再利用機構進行清除處理，委託處理費用每月高達 60 萬元，不但無法於廠內進行回收再利用，且再生產品通常以氯化亞鐵、氯化鐵、硫酸亞鐵等資材化型態出現，售價偏低(平均售價 1,500~3,500 元/噸)、供過於求且成分因含有重金屬而使市場規模與銷售受限，其產品應用一般主要做為印刷電路板或金屬品蝕刻液、污水處理藥劑、工業廢水用凝集沈降劑等。對於廢酸洗液處理方式若改以真空蒸餾濃縮回收系統進行資材化處理，經初步評估回收酸回收比例約 50%，產生量約為 150 噸/月，可回收至製程再使用，處理成本約為 25.5 萬元/月，之後 50% 殘留酸仍然需委託再利用機構清除處理，處理費用高達 30 萬元/月，整體花費為 55.5 萬元/月，兩者相較之下，使用蒸餾濃縮回收系統僅約節省 4.5 萬元/月。

若廢酸洗液處理方式採用鐵氧磁體資材化系統進行處理，經過初步評估操作費用約為 80 萬元/月，硬體設備維護費用約為 2 萬元/月，則操作與維護費用二者合計約為 82 萬元/月。固體產物經烘乾後初估資材化產品產生量約 84 噸/月，經由市場調查評估其販賣最低單價可達 1 萬元/噸，計算資材化再生產品產值約為 84 萬元/月，整體計算可獲利 2 萬元/月。此系統相較於委託清除處理方式節省約 62 萬元/月，也相較蒸餾濃縮回收系統約節省 57.5 萬元/月。故廢酸洗液採用鐵氧磁體資材化系統最大誘因，除可節省委託處理費用外，其無害化產物亦可進行廠內資材化應用，創造業者更大的經濟效益。

4.2 廢酸洗液鐵氧磁體資材化處理與實廠化可行性評估之研究

表 6 廢酸洗液資材化處理技術之經濟效益評估

單位：萬元/月

No	分項費用	(A) 委託清除處理	(B) 蒸餾濃縮回收系統	(C) 鐵氧磁體資材化系統
1	委託處理費用	60	30	—
2	廠內操作維護費用	—	25.5	82
3	廠內資材化產品產值	—	—	84
4	整體費用(1)+(2)-(3)	60	55.5	-2
	廠內進行資材化	否	否	可

- 假設某盤元線材工廠之廢酸洗液產生量為 12 噸/日，濃度為 2~5%，工作日為 25 天/月，則產生量約為 300 噸/月為計算基礎。
- 目前委託再利用機構清除處理單價為 2.0 元/kg，處理費用為 60 萬元/月。
- 若以蒸餾濃縮回收系統處理評估，濃縮槽體積為 6 噸，回收酸回收比例約 50%，產生量為 150 噸/月，每噸操作與維護費用約為 0.17 萬元，處理費用為 25.5 萬元/月，殘留酸仍需委託再利用機構清除處理，其費用為 30 萬元/月。
- 若以鐵氧磁體資材化系統處理評估，反應槽體積為 10 噸，每日批次操作 2 次，每月操作費用，包括操作藥劑(含銑床屑 0.6 萬元/月與液鹼 65 萬元/月費用)(2 者合計 65.6 萬元/月)、重油燃燒鍋爐產生蒸汽(8 萬元/月)、人力需求(4 萬元/月)與水電(2.4 萬元/月)費用，合計操作費用約為 80 萬元/月。估計硬體設備維護費用約為 2 萬元/月，操作與維護費用二者合計約為 82 萬元/月。經烘乾後產品產量約 84 噸/月，達資材化產值約為 84 萬元/月，淨利約為 2 萬元/月。

由表 7 鐵氧磁體資材化實廠規模營運之初步經濟可行性評估結果可知，若在廠內設置一套 10 噸反應槽設備，進行廢酸洗液鐵氧磁體化處理之經濟評估，考量因子包括硬體設備設計建造費用、每月操作維護費用、每月產品資材化產值與每月資材化節省費用等，經由計算投資硬體設備回收時期僅需約 11 個月即可回收成本，創造業者更大商機。

表 7 鐵氧磁體資材化實廠規模營運之經濟可行性評估

項目	計算方式	金額(萬元)	時間(月)
(1)硬體設備費用 ^A		650	
(2)每月維護費用 ^B		2	
(3)每月操作費用 ^C		80	
(4)每月產品資材化產值 ^D		84	
(5)每月資材化節省費用 ^E	60 萬元-(2)-(3)+(4)	62	
(6)投資設備回收期	(1)/(5)		10.48

- 1.硬體設備包括鹼洗槽、耐酸鹼 pH 調整槽、耐酸鹼鐵氧磁體反應槽、空壓機、管閥、幫浦、鍋爐、加藥系統、控制系統、自動監測與記錄系統，以 10 噸反應槽進行鐵氧磁體技術處理，批次操作 2 次/日。
- 2.每月維護費用包括上述硬體設備維護費用，約為 2 萬元/月。
- 3.每月操作費用包括操作藥劑添加(65.6 萬元/月)、重油燃燒鍋爐產生蒸汽(8 萬元/月)、人力需求(4 萬元/月)與水電(2.4 萬元/月)費用，合計操作費用約為 80 萬元/月。
- 4.預估資材化產品產量約 84 噸/月，經市場調查最低販賣單價約為 1 萬元/噸，則產品達資材化產值為 84 萬元/月。
- 5.若廠內廢酸洗液委託再利用機構清除處理，則處理費用為 60 萬元/月，預估操作與維護費用合計為 80 萬元/月，資材化產品產值為 84 萬元/月，因此實際資材化節省費用達 62 萬元/月。

五、結論

- 1.採用鐵氧磁體資材化處理技術，可使廢酸洗液中有害重金屬達無害化，經鐵氧磁體技術處理之過濾液符合放流水標準。由 XRD 鑑定結果，符合鐵氧磁體結晶產物(Magnetite)。由 SEM 觀察結果，鐵氧磁產物之單體顆粒平均粒徑大小 < 0.2 μm 且單體緊密堆疊在一起而形成較大顆粒的型態。經由 TCLP 溶出試驗分析結果顯示，鐵氧磁體產物符合 TCLP 溶出標準為一般事業廢棄物。
- 2.資材化應用途徑方面，鐵氧磁體產物可作為顏(塗)料、釉料、磁材、磁材與空氣吸收劑等再使用，經市調與評估後作為空氣污染防治吸收劑最具經濟價值。
- 3.實廠化經濟可行性評估，若採用鐵氧磁體資材化處理系統，硬體初設成本約 650 萬元，每年操作維護成本以及設備折舊與土地利息費用約 1,094 萬元，每年廢酸洗液委託處理費用與資源化產品產值為 1,728 萬元，預估每年淨利約 634 萬元，回收期限約為 1 年。若與委託清除處理以及真空蒸餾濃縮回收系統 3 者相比較，若投資 10 噸反應槽設備進行實廠規模之廢酸洗液鐵氧磁體資材化處理，每月可節省 57.5~62 萬元處理費用。
- 4.廢酸洗液以鐵氧磁體資材化技術處理，不僅技術成熟、節省委託處理費用，且產物可進一步資材化再利用，具有相當優勢，足以讓該盤元線材工廠有能力(初期投入低)亦樂於設置鐵氧磁體資材化硬體設備(降低成本、無廢酸排放問題)。

六、誌謝

本研究之進行承蒙經濟部之計劃補助(93-EC-17-A-10-S1-0007)，特此誌謝。

七、參考文獻

- 1.環保署事業廢棄物管制中心連線申報系統網頁查詢，網址：<http://waste.epa.gov.tw/>，2004年4月查詢。
- 2.經濟部92年度生產統計月報網頁查詢，網址：<http://www.moea.gov.tw/>，2004年5月查詢。
- 3.經濟部工業局八十七年度專案計劃執行成果報告，廢酸資源回收技術合作開發與推廣，中國技術服務社工業污染防治中心，1998年6月。
- 4.陳文泉，重金屬廢水鐵氧磁體法處理之基礎研究，國立成功大學礦冶及材料科學研究所，碩士論文，臺南市(1991)。
- 5.黃契儒，電鍍廢水鐵氧磁體化及前處理研究，國立成功大學礦冶及材料科學研究所，碩士論文，臺南市(1992)。
- 6.張毓寬，鉻污泥資源化基礎研究，國立成功大學資源工程研究所，碩士論文，臺南市(2002)。
- 7.P. P. Oscar, U. Yoshiaki, Ambient-temperature precipitation of Zn ions from aqueous solutions as ferrite-type compounds, *Hydrometallurgy*, Vol.(63), pp. 235-248(2002).
- 8.W. Wang, Z. Xu, J. Finch, Fundamental Study of an Ambient Temperature Ferrite Process in the Treatment of Acid Mine Drainage, *Environmental Science and Technology*, Vol.(30), pp. 2604-2608(1996).
- 9.孟祥和，胡國飛，重金屬廢水處理，化學工業出版社，第19-20頁，北京(2000)。
10. P. P. Oscar, U. Yoshiaki, ORP-monitored Magnetite Formation from Aqueous Solutions at Low Temperatures, *Hydrometallurgy*, Vol.(55), pp. 35-56(2000).
- 11.第二屆重金屬污泥減量、減容及資材化關鍵技術研討會論文集，國立成功大學，2004年。

- 12.第三屆重金屬污泥減量、減容及資材化關鍵技術研討會論文集，國立成功大學，2005 年。
- 13.經濟部工業局，「廢棄物資材化技術資訊手冊」，2003 年。
- 14.經濟部工業局，「鋼材製品業資材化應用技術手冊」，2004 年。
- 15.財政部關稅總局－統計資料庫網頁查詢，網址：<http://web.customs.gov.tw/>，2005 年 5 月查詢。