

## 科技部補助

### 大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

\* \*\*\*\*\* \*  
\* 計 畫 \*  
\* : 鐵錳汙泥覆膜改質石英砂吸附水中重金屬鉻之研究 \*  
\* 名 稱 \*  
\* \*\*\*\*\* \*

執行計畫學生： 王文弘

學生計畫編號： NSC 102-2815-C-041-006-E

研 究 期 間： 102 年 07 月 01 日至 103 年 02 月 28 日止，計 8 個月

指 導 教 授： 萬孟瑋

處理方式： 本計畫可公開查詢

執 行 單 位： 嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學環境工程與科學系(含碩士班)

中華民國

103 年 03 月 31 日

# 鐵錳汙泥覆膜改質石英砂吸附水中重金屬鉻之研究

王文弘

嘉南藥理科技大學 環境工程與科學系

## 摘要

近年來，國內工商業快速成長，對環境所造成的傷害也愈來愈嚴重，其中又以重金屬及其化合物與毒性有機化合物在水體遷移，經由食物鏈的傳播與累積，使得重金屬中毒的問題日益嚴重。

傳統的淨水廠是用地下水做為供水之水源，原水中含有鐵錳離子，經氧化處理後產生大量鐵錳汙泥，雖然這些汙泥並非有害，卻需花費龐大的經費來處理。此外，淨水污泥主要之組成份中含有大量自然界常見之鈣、矽、鋁及鐵之氧化物等無機物質，在自然資源缺乏及廢棄物處置地日益難覓的雙重壓力下，以資源化方式對淨水污泥進行再利用，實為一環境友善的最終處置方式。

爰此，本研究本功地利用廢棄之淨水廠鐵錳污泥包覆石英砂，形成鐵錳污泥—石英砂吸附劑，且經表面元素成份分析，可得知每克的鐵錳污泥—石英砂吸附劑約包覆著0.005克的鐵及錳；此外，吸附平衡試驗亦證明該鐵錳污泥—石英砂吸附劑並不利於鉻金屬之吸附。

關鍵詞：鉻、鐵錳污泥、淨水廠污泥、吸附

## 1. 緒論

### 1.1 重金屬之汙染：

近年來，國內工商業快速成長，對環境所造成的傷害也愈來愈嚴重，其中又以有毒事業廢棄物的不當處置或傾棄，導致污染土壤及地下水，為近年來常見的環保事件。有毒事業廢棄物中可能含有毒性無

機重金屬，以及一些人工合成之毒性有機物，如氯苯、氯酚等，對土壤及地下水環境造成嚴重之危害。若對自然界中的地下水及土壤而言，其主要的無機污染物來源為微量元素及重金屬，例如砷(As)、硼(B)、鉛(Pb)、鋅(Zn)、鉻(Cr)、鎘(Cd)、銅(Cu)、鎳(Ni)、汞(Hg)、硒(Se)等。此外，重金屬及其化合物與毒性有機化合物在水體遷移過程中之差異，在於重金屬及其化合物只會發生型態的變化，並不會經由環境的自然代謝而消失，且為具生物累積性的毒物。

近年來工業發展迅速，鉻的使用率大幅的上升，因工業化造成污染，危及人體健康，鉻的工業用途中以下列五項污染的較為嚴重：鉻電鍍工業、顏料和染料、鞣製皮革、玻璃和陶瓷器製造以及大理石玉石等磨光、鋁材及其他金屬表面處理，使用後的鉻未經過的妥善的處理就排入水中，使地下水水源受到污染，淨水程序所需添加之藥劑量因而提升，導致淨水後所產生的污泥量節節高升，相對的處理污泥的經費也會跟著上升。

水與土壤中的重金屬來源雖為天然存在，但許多工業廢棄物卻形成更嚴重的污染；經由食物鏈的傳播與累積，使得重金屬中毒的問題日益嚴重，尤其有些重金屬對人體的累積性危害，往往需要一、二十年才能顯現出來。

## **1.2 鉻的特性與用途：**

鉻—為抗高溫及高抗氧化物金屬，在地表相當豐富，依據不同氧化情形從二至六價存在，三價鉻在自然界最常見，主要以鉻鐵礦( $\text{FeCrO}_4$ )存在，在人體為必須礦物質，而六價鉻則是工業產物主要型態，包括鉻酸(chromic acid, chromium trioxide)及其鹽類(chromate)、重鉻酸(dichromate)等。鉻或鉻化物具有高熔點、高硬度、高耐磨

及高耐腐蝕等特性，而且鍍鉻金屬製品具有美麗的銀白色外觀。此外，鉻雖是人體必需的微量元素，但是六價鉻含劇毒，對人體是有害的[1]。

### 1.3 鉻污染對人體的危害：

鉻主要是經由呼吸道及消化系統進入人體，影響人類健康；但鉻亦可經由皮膚接觸導致皮膚炎。此外，其經由空氣進入人體影響健康的程度，視空氣中含鉻濃度而定；通常，市區的空氣每立方公尺約含有0.007微克的鉻；郊外每立方公尺含0.001 微克的鉻；冶煉鉻的工廠附近，每立方公尺空氣中即含0.016 微克的鉻。據估計，在正常的環境中，每人每年經由呼吸器官進入人體的鉻量為11~110 微克。[2]

公共衛生學家研究指出：在歐美，製造鉻化物等化學品的工廠工人，得支氣管腫瘤（bronchogenic carcinoma）的比例比一般人為高。到目前為止，雖然尚未鑑定出是何種鉻化物所造成的，但是一般相信該腫瘤與六價鉻或烘燒過程（roasting process）所形成的中間物有關。另據動物試驗證明，將鉻酸鈣丸埋置動物的支氣管，或用其他不溶性鉻化物施以胸內膜注射，有少數動物會導致肺惡性腫瘤。[2]

通常，製鉻或用鉻的工人，工作約15—20 年以上（平均約17 年），較有可能發生肺癌。因此，從致癌的觀點來看，目前很難訂出空氣中含鉻的安全濃度。不過在歐美等國家，為預防工人因鉻污染導致鼻膈穿孔潰瘍，已訂0.1 毫克／立方公尺空氣為其低限值（Threshold Limit Value, TLV）。一般相信，預防工廠工人因鉻致癌之濃度應比此值還要低。[2]

至於經由消化系統進入人體的含鉻量，端視食物中的含鉻濃度而定。據估計，歐洲人每天從飲水中約攝取0.2 毫克的鉻。加拿大人每天從食物中約攝取0.144 毫克的鉻。欲使胰島素在體內維持正常的血

醣代謝作用，鉻是一項不可或缺的元素。鉻也可能與冠狀動脈生理生化作用有關。但鉻如何經由食物吸收，以及其生物半衰期多少等，均無資料可查，故至今仍很難了解其威脅人體健康的情形，食物及飲水中之限值也很難訂定。<sup>[2]</sup>

#### 1.4 鉻的用途及污染來源：

- A. 鉻電鍍工業：電鍍是藉電化學原理，在金屬製品的表面鍍上一層均勻的金屬鍍層，使該製品不易銹蝕，又美觀耐用，鉻電鍍就是最常用的電鍍工業之一。目前，鉻在電鍍工業用量最多（佔鉻用量 43.2%）。<sup>[2]</sup>
- B. 顏料和染料：鉍鉻黃( $\text{ZnO} \cdot 2\text{CrO}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )和鉻黃( $\text{PbCrO}_4$ )是工業上兩種重要的顏料，它們是油漆、噴漆等主要的呈色劑。鉍鉻黃和鉻黃製造過程中，反應槽上層之澄清液，沈澱物之脫水和成品研碎時之粉塵，是此類工業造成鉻污染的來源。<sup>[2]</sup>
- C. 鞣製皮革：重鉻酸鈉( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )等重鉻酸鹽是本省製革工業用來鞣製牛皮、豬皮等的重要工業原料。廢棄之鉻鞣液以及水洗過程中之廢水，是此類工業鉻污染的主要來源。<sup>[2]</sup>
- D. 玻璃和陶瓷器製造以及大理石、玉石等磨光：三氧化鉻是玻璃及陶瓷器製造業之重要綠色顏料，同時也是大理石、玉石等加工業不可或缺的磨光劑。玻璃和陶瓷製造過程中，三氧化二鉻與玻璃原料一起變成成品，除了添加原料揚起之粉塵外，不會造成鉻污染。<sup>[2]</sup>
- E. 鋁材及其他金屬表面處理：鋁材經硫酸陽極處理、水封等過程後的產品，就是日常所見之銀白色鋁門窗材料。此種材料也可再經鉻酸酐( $\text{CrO}_3$ )處理後，塗裝一層多元脂(polyester)等粉末，發色成棕色或咖啡色之粉末塗裝鋁材，供建築、裝潢等建材用。

這種鋁材處理過程中，鉻酸酐僅當浸漬液，因此，廢棄之鉻酸酐是該類工業鉻污染之主要來源。<sup>[2]</sup>

### 1.5 淨水污泥資源化再利用：

自來水為全國人民生活之必要物資，而我國自來水的供給主要由台灣自來水公司與台北自來水事業處專責。台灣早期淨水污泥處置以直接排放回河川為主，當時觀念為淨水污泥源自於河川，理當回歸河川。其後由於環保意識抬頭，且我國「水污染防治法」第七條第二項規定自來水場產生之事業廢水，其BOD需小於100 ppm、SS需小於50 ppm及總餘氯小於0.5 ppm，符合放流水標準方可排放至地面水體，淨水場之濃縮污泥其固體物含量遠高於放流水標準，故不可直接排放至鄰近河川水體。但因近年我國原水濁度逐漸提高，政府為因應自來水場正常供水，行政院環保署已於民國95年10月16日發布「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第四十七條中提到原水懸浮固體濃度超過每公升二千毫克或濁度超過二千濁度單位（NTU），使廢水處理設施無法正常操作，可採取緊急應變措施，直接排放<sup>[3]</sup>。

現今全台每年產生超過15 萬公噸淨水污泥，每公噸淨水污泥之再利用代處理費視投標廠商數、淨水污泥之化學組成及淨水場地理位置而介於三百至一千元不等，成為自來水營運主要支出費用。且少數地理位置較偏遠之淨水場，有時會遭遇無廠商願投標代處理之窘境，而使淨水污泥代處理費用更加高漲<sup>[4]</sup>。淨水污泥為無臭味具燒結性與吸附特性，且近年來廢棄物資源化再利用的環保概念提升，許多學者則依其特性發展資源化再利用的技術<sup>[3]</sup>，且依前期研究顯示：淨水污泥可回收混凝劑、作為廢水處理藥劑、管溝回填材料、水泥、紅磚、培養土、人造輕質骨材與培養土原料等再利用方式<sup>[4]</sup>。

### 1.6 研究動機：

爰此，本研究藉由淨水廠所產出的鐵錳汙泥與石英砂製成吸附劑，用以去除水中之重金屬鉻，並且探討鐵錳汙泥所製成吸附劑之可行性與效果之評估，並以吸附方式應用於水中重金屬污染的去除，除可避免淨水廠汙泥因無妥善處理形成二次污染物；同時亦可提升貴重金屬的資源再利用效益，達到資源再利用的目的。

## 2. 實驗材料與方法

### 2.1 實驗器材及設備：

#### 2.1.1 實驗藥品：

- A.  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ：試藥級，Panreac公司，西班牙。
- B.  $\text{HNO}_3$ : GR級：Merck公司，德國。
- C.  $\text{NaOH}$ : GR級：Merck公司，德國。
- D. ICP Standard for Cr：Merck公司，德國。
- E. 石英砂：粒徑0.7mm-0.9mm，協兌企業有限公司，台灣。
- F. 去離子水：廠牌:ELGA，型號：PURELAB Ultra，導電度為8.3 mΩ-cm。

#### 2.1.2 實驗儀器設備：

- A. Jar Tester:廠牌CHUNG CHUAN，型號：CJ-600。
- B. 攜帶型pH計:廠牌EZDO，型號：6011。
- C. 烘箱:廠牌CHANNEL，型號：DV425。
- D. 攪拌器:廠牌HIPOINT，型號：smarter。
- E. 天平:廠牌OHAUS，型號：AR2140。
- F. 過篩網:廠牌KUANG YANG，型號：NO.16、NO.20、NO.25。
- G. 感應耦合電漿放射光光譜儀:廠牌Perkin Elmer，型號：Optima 2100 DV。

- H. 恆溫式振盪水槽:廠牌YIH DER，型號：BT-350。
- I. 過濾頭:廠牌PALL，型號：GHP 0.45 $\mu$ m。
- J. BET表面分析儀:廠牌MICROMERIRICS，型號：ASAP2020。
- K. VVSEM/EDX高解析可變真空掃描式電子顯微鏡及能量散佈光譜儀：廠HITACHI，型號：S3000。
- L. 濾紙:廠牌Whatman，型號：934-AH<sup>TM</sup>。

## 2.2 實驗架構及流程：

本研究之研究架構如圖1所示，藉由淨水廠所產出的鐵錳汙泥與石英砂製成吸附劑，用以去除水中之重金屬鉻，並且探討鐵錳汙泥所製成吸附劑之可行性與效果之評估，同時亦可建立淨水廠汙泥資源化再利用之回收管道。

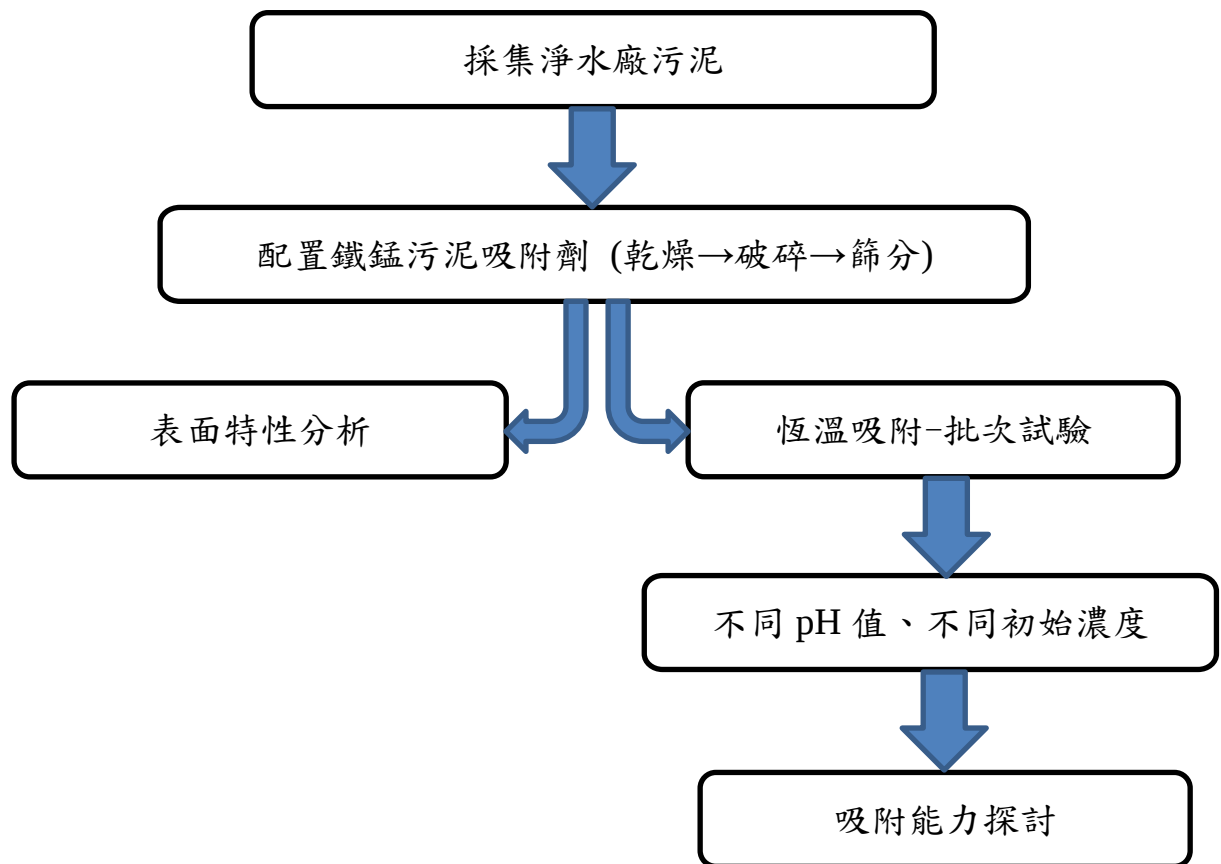


圖1 研究架構及流程圖

此外，針對鉻金屬之吸附，本研究以等溫吸附模式分析探討鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之最佳結合比率及其最大吸附量，並利用吸附動力學探討其吸附機制，希冀能提供更多實質的實驗數據，以利日後實驗室模場建置之設計與控制，達到「綠色環工處理技術」之目標。

### 2.3 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之製備：

本研究參考游宗霖，2012之鐵錳汙泥－石英砂吸附劑製備方式<sup>[5]</sup>，建立本研究之吸附劑之製備方法：將購賣之石英砂粒徑為0.84 mm 浸泡於10%之硝酸溶液中攪拌2小時，而後以去離子水反覆沖洗石英砂至沖洗廢液pH值至7；此時表石英砂上已無硝酸殘留，續將此清後石英砂加入以10 克鐵錳汙泥添加10%之硝酸溶液定量至100ml之溶液，進行攪拌並添加氫氧化鈉調整pH值至7，攪拌24小時使鐵錳離子附著於石英砂表面。再放入烘箱中控溫在105℃烘乾兩天，接著使用過篩網 NO.20 過篩後之固體顆粒即為鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之成品。

### 2.4 批次吸附實驗進行方式：

實驗所使用之反應器為三角錐型瓶，取4.16g之製備吸附劑，水樣體積為30 ml，依照不同起始鉻濃度（500、1000 ppm）、不同的震盪時間(0.5、1、2、4、6、12、24小時)及不同pH值（pH = 3、5、7）置入震盪水槽內震盪，調整其震盪速率為50、75、100 rpm，並在震盪器中置入適量的水，使其保持在室溫當中以進行吸附實驗，當其反應時間到達時，將瓶中液體進行過濾（0.45  $\mu$ m濾紙），並對水樣進行硝化，硝化後之水樣進行稀釋，稀釋後之水樣即可進行ICP-OES之分析。

批次吸附實驗主要是利用三種不同吸附劑在上敘條件下進行吸附平衡實驗，並且比較三種吸附劑在相同條件下之吸附平衡時間；在

不同pH值下，針對不同吸附劑觀察其吸附量之變化，分析最適pH值。此外，吸附劑的恆溫吸附現象利用Langmuir等溫吸附式及Freundlich等溫吸附式加以說明。動力吸附模式則應用於探討其吸附機制。

### 3. 結果與討論

#### 3.1 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之表面特性分析：

##### 3.1.1 鐵錳汙泥之特性分析：

為了解本研究使用之汙泥其組成成份，利用能量散佈光譜儀 Energy Dispersive Spectrometer (EDX) 進行汙泥元素分析。圖 2 為本研究使用之汙泥，圖 3 為汙泥之 EDX 分析結果，顯示主要金屬元素成份為 Fe 及 Mn。另從表 1 可得 Fe 之重量百分比含量有 15.65 %，而 Mn 的則有 12.37 %。



圖 2 本試驗所用之鐵錳汙泥

表4.1 鐵錳汙泥所含之金屬含量

| Element | Weight% | Atomic% | Element | Weight% | Atomic% |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C       | 25.55   | 40.61   | P       | 2.01    | 1.24    |
| O       | 36.46   | 43.50   | Ca      | 2.14    | 1.02    |
| Al      | 0.85    | 0.60    | Mn      | 12.37   | 4.30    |
| Si      | 4.98    | 3.38    | Fe      | 15.65   | 5.35    |
| Totals  | 100.00  | 100     | Totals  | 100.00  | 100     |

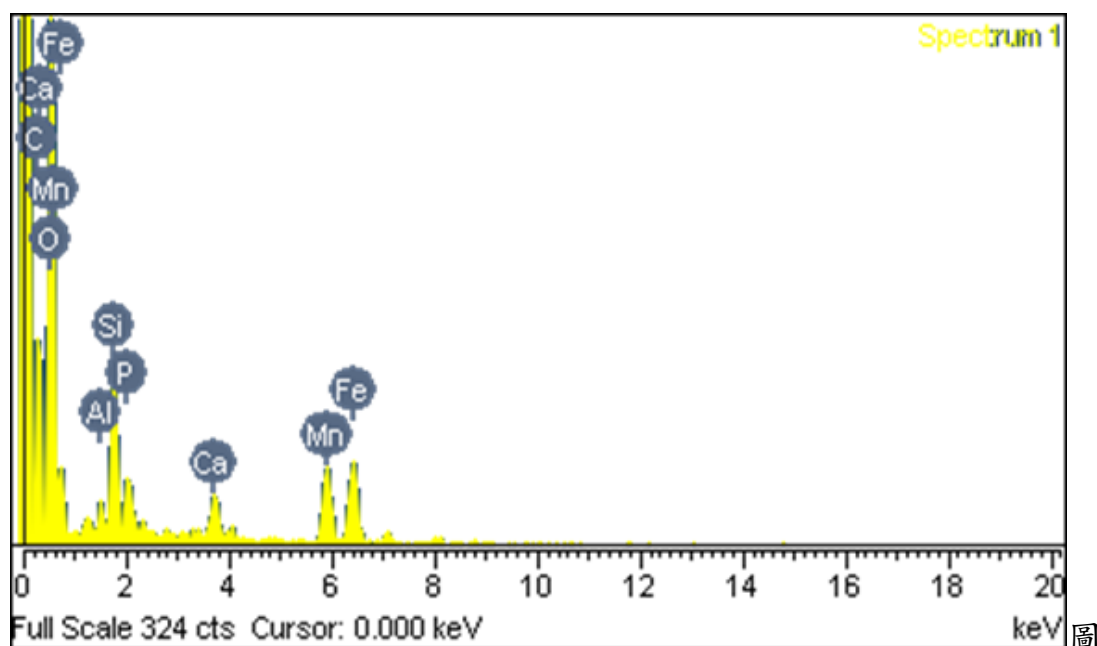


圖 3 實驗鐵污泥所含重金屬之 EDX 分析

### 3.1.2 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑表面型態分析

本試驗將10g的鐵錳污泥加入10%硝酸且定量到100ml並充分攪拌後在調整pH值至7接著攪拌24hr後放入烘箱烘乾後完成。為了解濾料表面特性乃進行改質完成濾料之特性分析，首先利用掃描式電子顯微鏡Scanning Electron Microscope (SEM)，以放大倍率5000倍分別觀察其表面形態，如圖4、圖5所表示。分別為石英砂、鐵錳污泥包覆石英砂(FMSS)不同改質濾料所呈現之表面形態。由SEM圖可發現原始石英砂的表面粗糙不平，且孔隙明顯；而鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之表面則更粗糙不平，並分佈著許多細小顆粒，其應為鐵錳污泥溶解於硝酸後重新沉澱析出於沙子表面，形成之表面形態變化。因此可以看出鐵錳污泥包覆石英砂後，表面將形成更多的孔隙。

為更進一步了解改質前後之孔隙度，乃以比表面積分析儀(BET)進行分析，測得其比表面積 (BET-Surface area) 及平均孔洞直徑 (Average Pore Diameter)，分析結果如表2所示。結果顯示：原始石英砂的比表面積為 $0.3666 \text{ m}^2/\text{g}$ ，經改質過後的鐵錳汙泥－石英砂吸附

劑為 $0.5016\text{m}^2/\text{g}$ ，顯然比表面積增加許多；且平均孔洞直徑更為明顯，石英砂改質前為 $4975.98\text{ \AA}$ ，改質後增加為 $8122.83\text{ \AA}$ 。

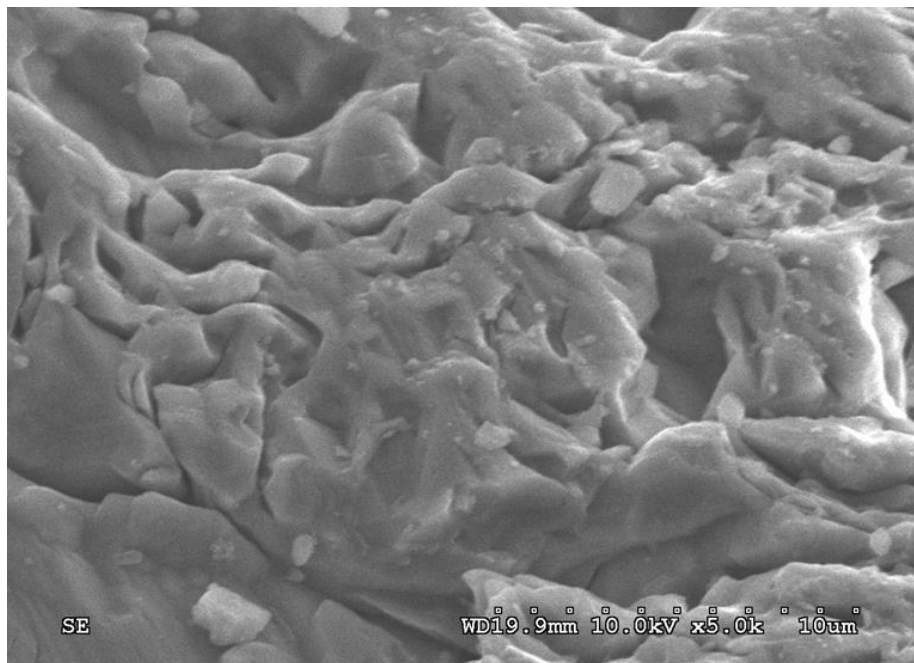


圖4 石英砂表面之掃描式電子顯微鏡照片

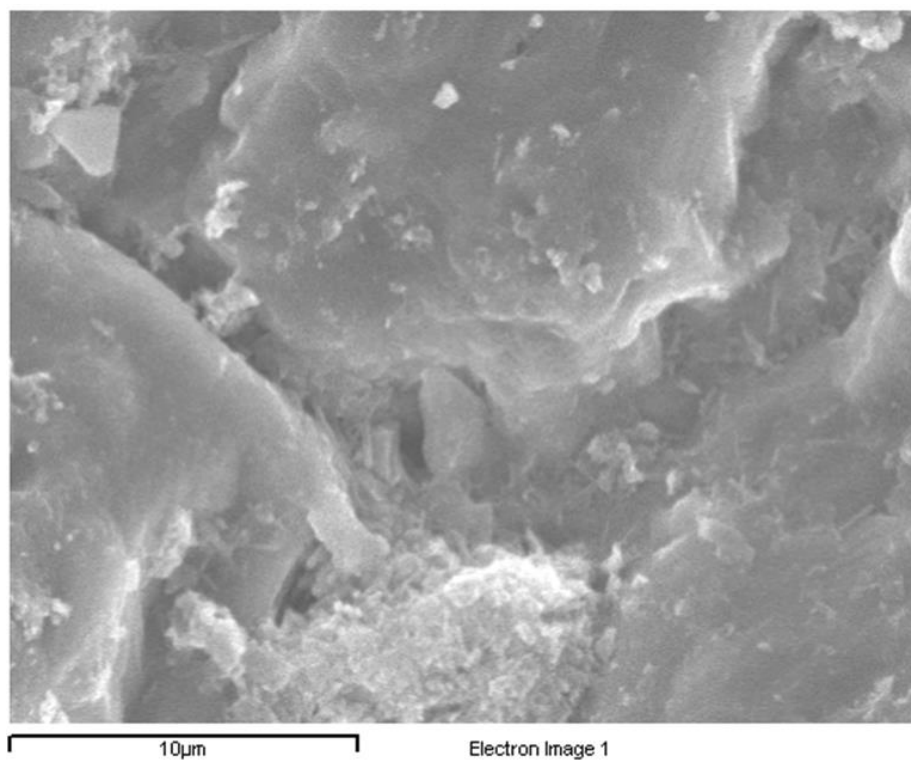


圖5 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑表面之掃描式電子顯微鏡照片

此結果顯示改質後較大之比表面積及孔洞將有助於吸附，同時可增加吸附劑之鋼性結構。此外，根據國際化學與應用化學聯合會（IUPAC）的區分，吸附劑之孔洞可以分為三大類：大孔平均孔徑（ $D > 500 \text{ \AA}$ ），中孔（ $20 \text{ \AA} < D < 500 \text{ \AA}$ ）和微孔（ $D < 20 \text{ \AA}$ ）。根據表2結果顯示，石英砂和鐵錳汙泥－石英砂吸附劑的平均孔徑皆屬於大孔材料。

表4.2 各吸附劑之比表面積分析數據

| 吸附劑種類       | BET-Surface area<br>( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | Average Pore Size<br>( $\text{\AA}$ ) |
|-------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|
| Sand        | 0.3666                                        | 4975.98                               |
| 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑 | 0.5016                                        | 8122.83                               |

### 3.1.3 表面元素成份之分析

為了解改質與未改質石英砂表面之組成成份，乃利用能量散佈光譜儀 Energy Dispersive Spectrometer (EDX) 進行表面元素分析。圖 6 為石英砂之分析結果，顯示原始石英砂所含之主要元素成分為 Si 與 O，圖 7 顯示鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之分析結果，其表面則包含 Si、O、Mn、Fe、Al 等主要元素，證明汙泥之主要成份 Fe、Mn 已成功附著於石英砂上。

更進一步探討各成份之組成比例如表 3 所示，原始石英砂所含之 Si 與 O 二者之重量比約為 1:1.3，此顯示石英砂係屬一含二氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ ) 之化合物。而鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之分析結果顯示 Si 與 O 所占之重量百分比分別有些微下降，且額外加有 0.21% 的 Fe 及 0.25% 的 Mn 被吸附於吸附劑表面，以此重量百分比作推算，可得知每克的鐵錳汙泥－石英砂吸附劑約包覆著 0.005 克的鐵及錳。

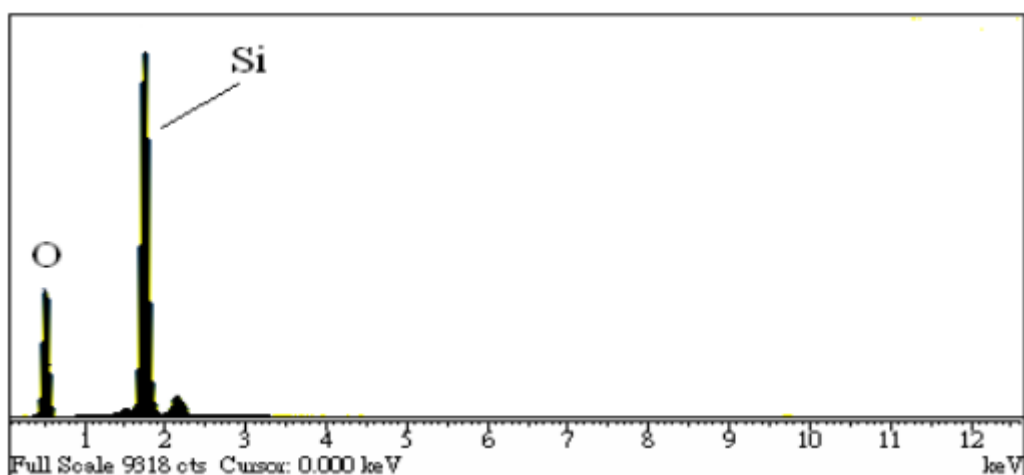


圖 6 石英砂之表面元素成份圖

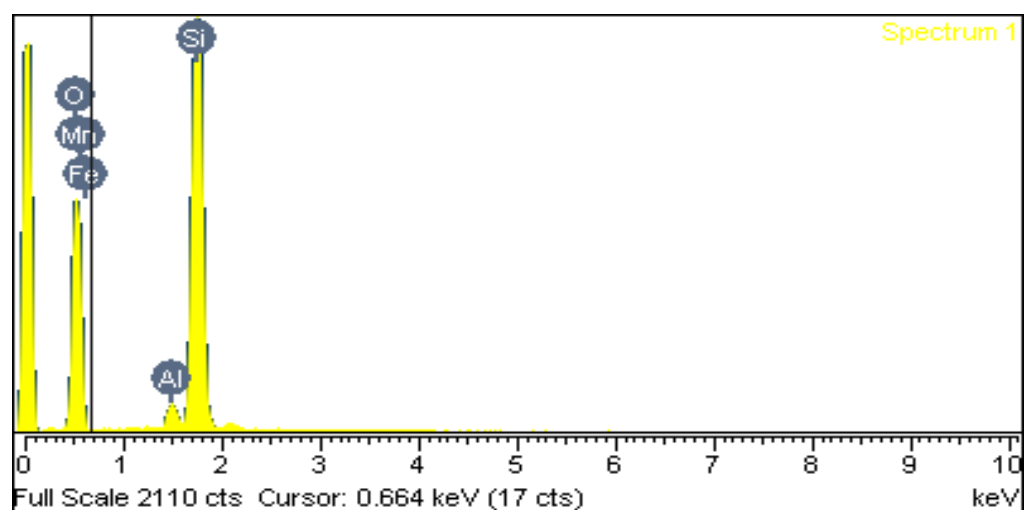


圖 7 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之表面元素成份圖

表3 石英砂與鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之表面元素分析結果

| 種類          | Element | Weight% | Atomic% |
|-------------|---------|---------|---------|
| 石英砂         | O       | 55.83   | 68.93   |
|             | Si      | 44.17   | 31.07   |
|             | Totals  | 100.00  | 100.00  |
| 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑 | O       | 54.74   | 68.05   |
|             | Al      | 2.01    | 1.48    |
|             | Si      | 42.80   | 30.31   |
|             | Mn      | 0.21    | 0.08    |
|             | Fe      | 0.25    | 0.9     |
|             | Totals  | 100.00  | 100.00  |

### 3.2 吸附平衡實驗：

此次實驗原設定鉻濃度本為1000 ppm，因未準確掌握鉻濃度之藥量克數，導致ICP檢測濃度為1206 ppm，鉻濃度超出原本預期支濃度；此外，實驗條件為：不同pH直下，恆溫振盪器轉速為100 rpm，振盪溫度為25°C，實驗結果如圖8所示。

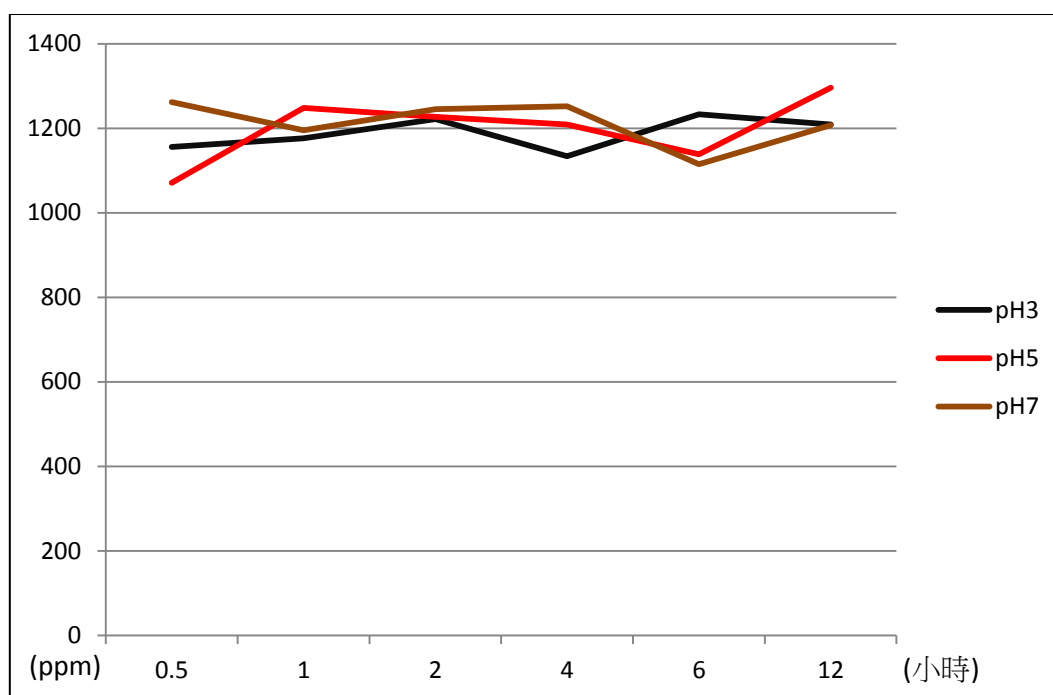


圖 8 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑在起始濃度為 1000 ppm 時，恆溫振盪器轉速為 100 rpm，不同 pH 值下之吸附平衡圖

如圖 2 所示，鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之鉻吸附效果極為不穩定，且效果不佳。經檢討後，歸納原因如下：(1) 吸附劑可能因振盪速率過快，振盪吸附時相互碰撞機會增加，因而導致未被緊密吸附之鉻金屬再度被脫附。(2) 於實驗其間，本研究使用之 ICP-OES 產生嚴重的硬體問題，造成數據讀取上之錯誤，後經工程師檢修後，確定為主機板之問題。

第二批試驗沿用第一批之原水樣，故鉻之起始濃度亦為 1206 ppm，但恆溫振盪器之轉速降為 75 rpm，振盪溫度為 25℃，實驗結果如圖 9 所示。

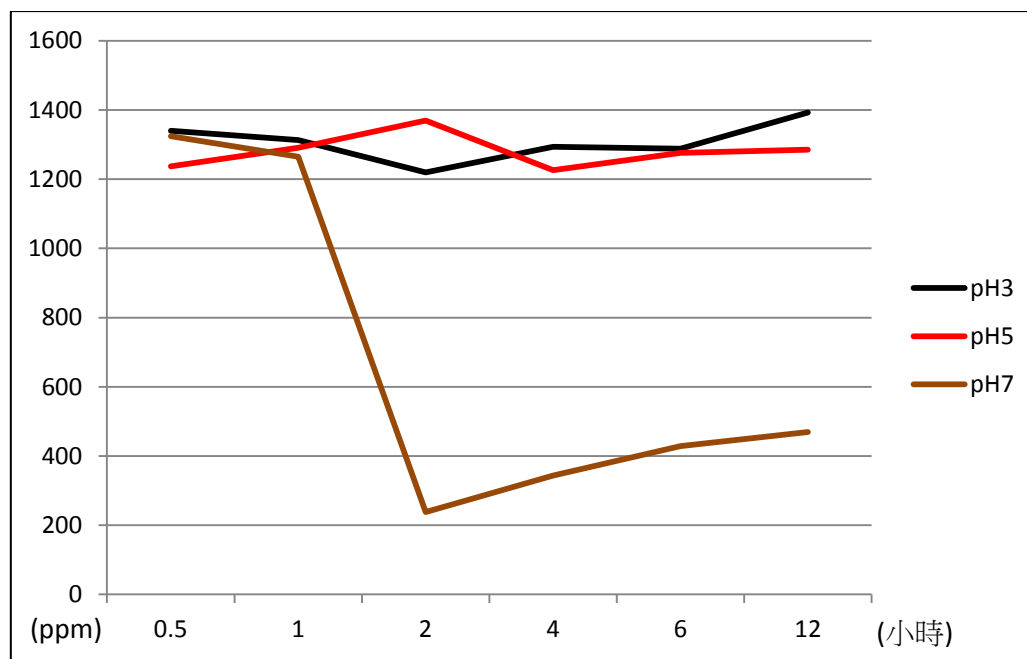


圖 9 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑在起始濃度為 1000 ppm 時，恆溫振盪器轉速為 75 rpm，不同 pH 值下之吸附平衡圖

如圖 9 所示，鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之鉻吸附效果在 pH 值為 7 時有較佳知去除效果，但整體效果仍呈現極不穩定且去除效率並不佳。第三批試驗在經過幾次的試驗與改善後，將配製出接近預期之鉻起始濃度，但恆溫振盪器之轉速再降為 50 rpm，振盪溫度為 25℃，實驗結果如圖 10 所示。

如圖 10 所示，雖然在此批試驗降低了震盪速率，但鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之鉻吸附效果仍不佳。經檢討後，歸納原因可能為鉻之起始濃度太高，造成鐵錳汙泥－石英砂吸附劑之吸附效果不明顯。

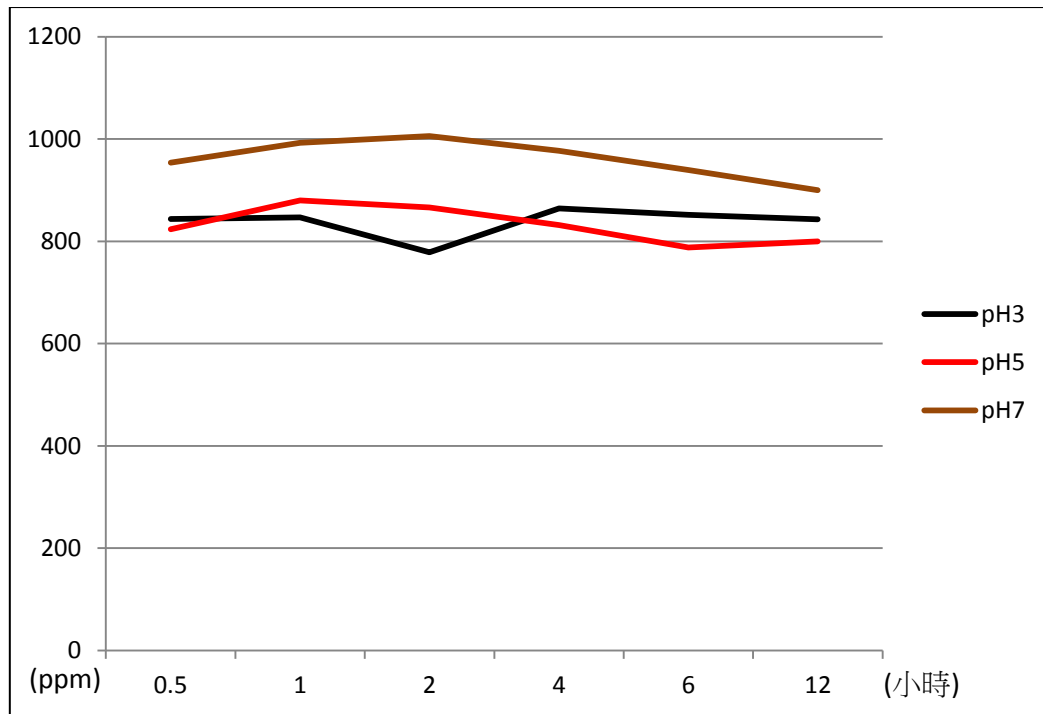


圖 10 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑在起始濃度為 1000 ppm 時，恆溫振盪器轉速為 50 rpm，不同 pH 值下之吸附平衡圖

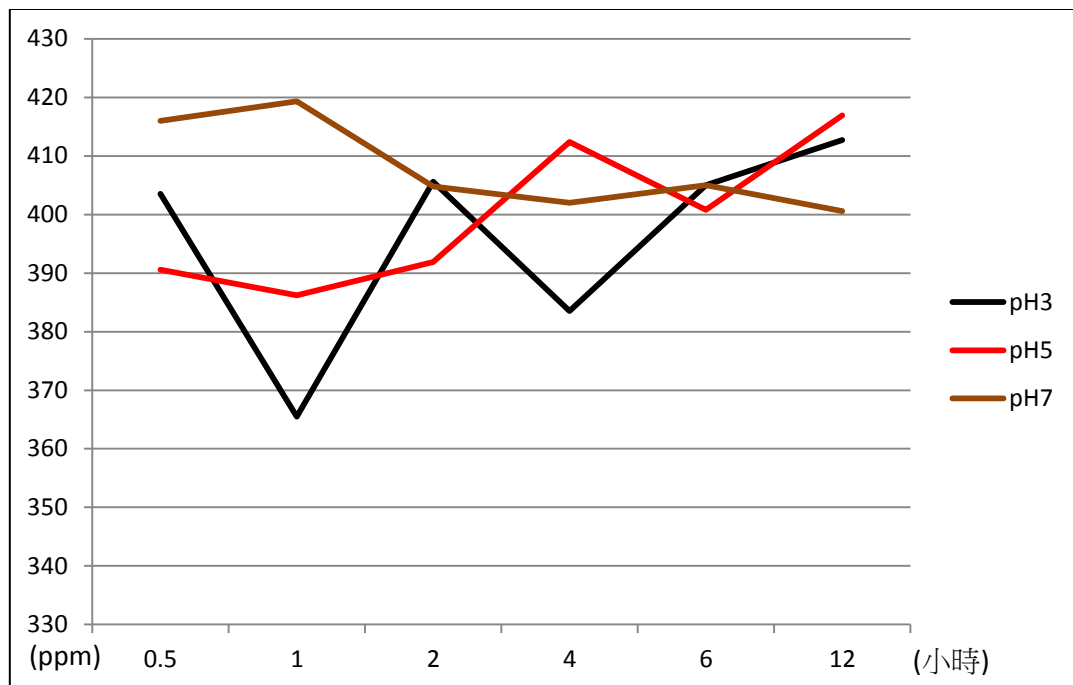


圖 11 鐵錳汙泥－石英砂吸附劑在起始濃度為 500 ppm 時，恆溫振盪器轉速為 50 rpm，不同 pH 值下之吸附平衡圖

第四批試驗改變了鉻的起始濃度本預定為 500ppm，ICP-OES 檢測出鉻濃度為 435.4ppm，恆溫振盪器轉速仍為 50rpm，振盪溫度為 25℃，實驗結果如圖 11 所示。雖然，本批試驗降低了鉻的起始濃度，且在各 pH 值之吸附效果亦較前幾組試驗明顯，但整體之吸附效果仍屬不佳，故該數據並無法進行等溫吸附模式及動力吸附模式之分析。

#### 4. 結論

本實驗成功地利用廢棄之淨水廠鐵錳污泥包覆石英砂，形成鐵錳污泥—石英砂吸附劑，且經表面元素成份分析，該鐵錳污泥—石英砂吸附劑含有 0.21% 的 Fe 及 0.25% 的 Mn 於吸附劑表面，若以此重量百分比作推算，可得知每克的鐵錳污泥—石英砂吸附劑約包覆著 0.005 克的鐵及錳。

本實驗亦利用廢棄之鐵錳污泥包覆石英砂，並依不同起始鉻濃度，不同 pH 值，不同的振盪時間進行吸附試驗。但經由幾次的試驗中，發現鐵錳污泥—石英砂吸附劑應用於鉻金屬之吸附，其效果並不顯著，且吸附情形極不穩定。此外，在多批的試驗中，僅可發現在 pH 值為 7 時有較正常的吸附曲線，若 pH 值為 3 及 5 時，該吸附劑之吸附效果非常不規律，亦可驗證該鐵錳污泥—石英砂吸附劑不利於鉻金屬之吸附。

#### 5. 檢討：

學生在進行本試驗時，以極長的時間進行鐵錳污泥—石英砂吸附劑之製備，但由於每次拿取之廢棄淨水廠鐵錳污泥的品質並不一致，造成成品質亦有極大之落差，故在後端進行鉻金屬之吸附試驗，造成效果的差異。但綜觀此次學生參與大專學生參與專題研究計畫的訓練，

仍覺得獲益良多，特別是從錯誤中學習如何改進，且在與指導教授討論及檢討中，慢慢累積在實驗室中進行實驗及分析的技巧，這些亦是無法從課本中得到之收穫！

## 誌謝

本研究感謝行政院國科會提供研究經費：大專學生參與專題研究計畫(NSC 102-2815-C-041-006-E)。

## 參考文獻

1. 林嘉益，2009，鉻對身體健康之影響，高醫醫訊，29(7)，6。  
<http://www.kmuh.org.tw/www/kmcj/data/9812/7.htm>
2. 李錦地，台灣工業的鉻污染。  
<http://210.60.224.4/ct/content/1980/00020122/0014.htm>
3. 謝健成，2010，淨水污泥再利用於水處理之研究，碩士論文，逢甲大學，環境工程與科學系（所）。
4. 王靜逸，2009，淨水廠污泥再利用技術及用途評估之研究，碩士論文，國立交通大學，環境工程系（所）。
5. 游宗霖，2012，以鐵錳汙泥改質石英砂除砷之研究，碩士論文，嘉南藥理科技大學，環境工程與科學系（所）。