

# <sup>1</sup>快濾去除地下水鐵錳影響因素之模廠研究 Pilot Study on the Affecting Parameters for the Removal of Iron and Manganese in Groundwater by Rapid Filtration

謝永旭\*

黃肇隆\*\*

李弘民\*\*\*

## 摘 要

本研究係針對自來水公司提出幾家淨水場，地下水原水之鐵、錳背景值較高之淨水場，進行實際淨水場現場原水之模廠實驗，探討在曝氣氧化銜接快濾以去除地下水中溶解性鐵、錳的處理流程中，不同接觸反應時間、濾率、濾層深度、濾料粒徑、濾料結合等控制參數對其處理成效的影響，以尋求及建立自來水處理時更為完整與實用的設計依據。

初步選定之地點有台灣省自來水公司第四區管理處龍井淨水場，及第十一區管理處全興、花壇、福興等淨水場，進行現場實際原水之模廠試驗，並利用個案診斷方式，提出改善建議方案。

## 一、前 言：

鐵、錳存在於土壤及岩石中，為地殼中常見的元素。而地下水資源主要涵養於地層的孔隙中，與地層中的土壤或岩石接觸最完全，因此各種地質的特性皆相當程度的反應於流過其中的地下水溶液中。傳統的氧化—快濾法應用於去除地下水之鐵、錳，主要是利用水中溶解性鐵、錳經氧化後使其形成難溶性的三價鐵及四價錳膠體顆粒，再經

\* 國立中興大學環工系教授

\*\* 國立中興大學環工所碩二

\*\*\* 國立中興大學環工系助理

快濾裝置的濾除而達到去除功效。由於水質的背景條件對於二價鐵的氧化與去除具有不同程度的影響，而傳統的氧化—快濾處理設計往往忽略以地下水水質條件與操作條件併同考量，因此部份淨水場發生處理效果不彰的情形，可能導因於此。

## 二、研究內容

茲將主要研究內容歸納以下四點：

1. 依原水水質的特性、區域用水的來源及地緣的便利性，選擇進行實際原水模廠試驗的適當地點。初步的選定地點將考慮台灣省自來水公司第四區管理處龍井，及第十一區管理全興、花壇、福興等實際原水中鐵、錳較高的淨水場，除了進行以下之研究內容探討外，並利用個案診斷方式，提出改善建議方案。
2. 針對原水中二價鐵錳的去除控制，先進行批次式曝氣氧化處理的探討，除監測鐵錳的溶解性，顆粒性與總量濃度外，並利用雷射粒徑分析儀測定顆粒性鐵錳的粒徑分佈與動力變化，以掌握最有利於快濾截留之進流尺寸及停留池之有效凝聚時間；同時，對於替代氧化方式上亦選擇氧化劑進行相同試驗。
3. 針對原水中二價鐵錳的去除控制，以模廠方式進行氧化/快濾的連續試驗，選定的快濾池設計參數包括濾率、濾床深度、濾料粒徑、濾料組合等均納入探討的對象，測定的項目除前項所述外，並對濾層的水頭損失及貫穿情形予以監測，以掌握濾程的控制。
4. 對於地下水原水中可能含有溶解矽與腐植酸，分別以原子吸收光譜儀及總有機碳分析儀(以TOC之監測替代可能的腐植酸含量)予以測定，並在上述兩項實驗過程中同時監測。

### 三、實驗設備

利用自行組裝之模廠裝置，進行自來水淨水場實際原水之操作試驗，模廠設備如圖 1 所示。

### 四、實驗流程

本研究係對實際原水中鐵、錳含量較高之自來水淨水場，進行實際原水模廠試驗，實驗流程如圖 2 所示。

首先以淨水場之實際原水注入 1000 L 之 PE 桶內，密封此貯水設備，並以循環馬達迴流攪拌來維持溶液的均勻狀態，且在實驗期間須不斷監測原水質，以確定原水質初始條件不變。

淨水場實際原水以蠕動馬達定量抽送至 3.5m 高的氣曝塔，以曝氣氧化的方式，使鐵、錳氧化成膠羽顆粒，而後經過停留池凝聚，控制其 pH 值及停留時間，以觀察膠羽顆粒凝聚的情形。經溢流口進入過濾管柱，以定速率方式過率，並將水位固定於濾層上方 90 cm 處，經粒狀層過濾後到達集水區，再經流量控制器後放流。

在實驗過程中，每隔 1 小時於放流口採樣一次，所得水樣以原子吸收光譜儀分析檢測鐵、錳之總量及溶解量，以計算去除率，並由殘留的總量鐵、錳中溶解量所佔比例多寡，判斷經過粒狀層為顆粒貫穿或未形成膠羽的錯合物形態，評估對於錯合顯著之含鐵錳原水，嘗試建立可行的操作條件，來提升鐵、錳的去除率。於過濾的過程中同時記錄濾床的總水頭損失的變化情形，和由溢流口取樣，經雷射粒徑分析儀分析溶液中鐵、錳顆粒粒徑分佈的狀況，判斷彼此的相互關係，以決定當地淨水場實際原水之前處理的最佳操作條件。同一組探討因子採同一批次下的原水進行實驗，以有效模擬當地的操作情況，並確立更實用的相關操作依據，提供當地淨水場具體之改善建議方案。

## 五、實驗內容

### (一)選擇各項操作變因試驗，分述如下：

#### 1. pH控制變因試驗

天然原水經蠕動馬達抽送至曝氣塔氣曝後，於停留池利用pH控制器控制pH值，將pH值分別設定為7.5、9、10.5三組，進行操作試驗，找出適合當地原水的操作條件。

#### 2. 停留時間控制變因試驗

於停留池的各溢流孔位置設定各組停留時間，停留時間設定為0min、15min、30min、60min，進行操作試驗，並尋找適合當地原水的操作條件。

#### 3. 濾率控制變因試驗

天然原水經曝氣停留池凝聚後，經過粒狀層過濾，放出口流量計處設定各組濾率進行模擬比較，各組濾率分別設定為100m/d、200m/d、300m/d三組進行操作試驗，並針對當地特有的水質條件建立適當的操作條件。

#### 4. 濾層深度控制變因試驗

設定濾床深度，分析過濾阻力變化及比較各組之去除率差異，以建立適合當地水質之操作條件，分別設定各組為400、700、1400，此為濾料深 / 濾料有效粒徑之比值作控制探討變因，並配合當地特有水質條件，尋找適合的操作條件，以期從中尋求建立實用化之操作相關參數。

### (二)模擬自來水公司淨水場之處理流程進行操作試驗，並提具體之改善建議方案：

#### 1. 濾料粒徑控制變因

為了解當地淨水場處理時可能遭遇之問題，採淨水場所提供之濾料為本模廠過濾管柱中之粒狀層，以分析探究處理效率是否符合台灣省飲用水質標準。

## 2. 濾層深度控制變因

本試驗之過濾管柱中所選擇之濾層深度，以當地淨水場之快濾池濾層深度為模擬操作規格進行試驗，以符合實際處理時所遭遇之問題，並尋求解決之道。

## 3. 前處理加藥模擬操作試驗

模擬當地淨水場之消毒處理時，原水中鐵、錳去除可能產生的影響，目前台灣地區省市自來水事業除使用液氯者外，逐漸改用次氯酸鈉作為消毒劑，因次氯酸鈉可做為去除二價鐵、錳的氧化劑，於短時間使鐵、錳氧化，故於本研究試驗中之模廠操作加入由當地淨水場提供之消毒劑，進行操作試驗，並於出流水監測其餘氯量，維持餘氯量0.2mg/L至0.8mg/L間之自來水標準值。討論對鐵、錳去除率造成的影響。

# 六、結果與討論

## 花壇淨水場模廠試驗

1. 於花壇當地進行之模廠試驗經實驗結果得知，若不添加任何藥劑，於pH=9.0時，就去除鐵部份而言，選擇停留時間60min可得很好之去除率，而去除錳時選擇停留時間30min和60min皆可得很好之去除率，並且和pH=7.5之濾程相差無幾。
2. 將出流水餘氯量控制於0.2mg/L~0.8mg/L時，發現不須添加任何助凝劑，而加次氯酸鈉既有消毒兼強氧化劑之功能，對於鐵、錳能促進其顆粒之形成，增加粒狀層對鐵、錳之去除率，使出流水中鐵、錳含量皆能符合飲用水標準

## 全興淨水場模廠試驗

1. 若欲同時自水體中將兩者濾除，選擇pH值為10.5及停留時間15min，即能使出流水中鐵、錳含量達限值規定，

也能符合經濟效益，不需很長之停留時間，唯出流水於pH10.5，尚須進行後續之中和處理。

2. 於中性範圍pH值7.5，降低濾率有助於水體中鐵、錳顆粒之濾除，但錳於此pH值下仍無法使出流水含量符合限值規定；而濾層深度之改變對鐵、錳之去除率無顯著之影響。
3. 實驗結果顯示，於處理流程中添加次氯酸鈉時，過濾阻力線增加率增加，且濾層表面有明顯之濾餅形成，其濾除機制較不添加次氯酸鈉時之濾床截留，多出表面濾除機制，但其濾程也因而縮短，增加反沖洗次數。

### 龍井淨水場模廠試驗

1. 以石英砂為濾材時，本套模廠不添加任何藥劑無法尋找出最佳操作條件，遂於試驗進行中添加次氯酸鈉，並改變其停留時間進行操作試驗，過濾阻力明顯上升，但出流水中鐵、錳含量仍偏高，雖然去除率有稍微提昇，但出流水中鐵、錳含量仍偏高，且以溶解態佔多數，不如前面兩家淨水場添加次氯酸鈉可得甚佳之去除率，應是次氯酸鈉消耗於消毒方面，及水體中大量腐植酸及有機質存在消耗次氯酸鈉所致。
2. 將濾材更換為錳砂時，比較過濾阻力分析發現其濾除機制不同；對鐵、錳有較高之去除率，其中以錳之去除率提昇最多，證明錳砂對水體中鐵錳具氧化吸附之能力，但因當地原水中鐵含量偏高，錳砂若長期使用恐將被鐵氧化物包圍而失去除錳功效。
3. 以錳砂為濾材，進行添加次氯酸鈉實驗發現，由於次氯酸鈉可活化錳砂促進氧化吸附能力，就鐵之去除率而言，於停留時間30min，可得本淨水廠試驗之最佳操作條件，而錳之去除方面，在添加次氯酸鈉，並以錳砂為濾材時，停留時間0min和30min皆可達100%去除率，就鐵、錳去除而言，於各項實驗結果顯示，以錳砂為濾材

並添加次氯酸鈉，停留時間30min時可獲得最佳處理效果。

## 福興淨水場模廠試驗

1. 就當地淨水場而言，若不添加任何藥劑進行實驗結果發現，將pH值控制於10.5，停留槽停留時間設定30min，濾率為200m/d時，就鐵及錳而言，皆可得最佳去除率。
2. 進一步實驗結果發現，於操作過程中就濾材使用錳砂而言，若同時採用曝氣裝置並添加次氯酸鈉時，鐵之去除率較採用其中單一操作方式者，得到較差之去除率，錳則無影響，推測原因可能和錳砂對於水體中鐵錳之作用機制有關，就鐵而言以較多之溶解態進入過濾層和錳砂接觸，似乎可得較佳之去除率，錳則無明顯差異。
3. 經實驗結果証實以錳砂為濾材，對錳有較佳之去除率，且可延長濾程，據當地淨水場提供之濾程大約4天，以本套模廠試驗亦可達3天，可減少反沖洗次數，很符合經濟效益，唯錳砂對於水體中不同金屬物種之作用機制仍待進一步之分析探討。
4. 為比較錳砂為濾材時之作用機制，另採用石英砂為濾材進行實驗，發現錳之去除率降至20%以下，明顯下降，延長停留時間亦未獲致改善且濾程縮短，必須時常反沖洗，不符合經濟效益。

## 七、結論與建議

1. 茲將對鐵、錳去除而言，經本套模廠試驗比較石英砂和錳砂之特點整理如表1所示。
2. 在添加消毒劑時發現，所使用次氯酸鈉之貯存設備靜置時會有白色結晶NaCl沈澱，而淨水場當地添加次氯酸鈉之取藥管係接於貯槽底部，以此方法取藥容易使貯槽底部之沈澱物注入快濾池而產生混濁懸浮物，縮短其濾

程，建議於貯槽旁加置一循環馬達，使貯槽內之次氯酸鈉能維持均勻態，以減少此類問題產生。

3. 使用錳砂為濾材時，對鐵錳之去除率皆有提昇現象，應是利用錳砂之催化氧化吸附作用，增加對鐵錳之去除率有關，而其與水體中溶解性鐵、錳之作用機制仍有待進一步研究探討。

## 參考文獻

1. William, R.K., Van Benschoten, J.E., Kearney, M.J., Soborski, A.W. and Reckhow, D.A., "Kinetics of Manganese and Iron Oxidation by Potassium Permanganate and Chlorine Dioxide", Jour. AWWA, 83:6:80 (1991).
2. 曾四恭，「檢討各種用水之水質要求」，國立台灣大學環境工程研究所(1981).
3. 葉宣顯，「調查地下水源含砷、氟、鐵、錳等污染成份及處理效率之研究」，國立成功大學環境工程研究所(1983).
4. Mouchet, P., "From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France", Jour. AWWA, 84:4:158 (1992).
5. Mooyoung, H. and Lawler, D.F., "the Relative Insignificance of G in Flocculation" Jour. AWWA, 84:10:79 (1992).
6. 洪名梓主編，「自來水設施操作維護手冊」，中華民國自來水協會(1993).
7. Robinson, R.B., Dark, F.J., Pisarczyk, K., Singer, P.C. and Sung, W., "Research Needs for the Treatment of Iron and Manganese", Jour. AWWA, 79:9:119 (1987).

8. McDowell-Boyer, L.M., Hunt, J.R., and Sitar, N., "Particle Transport Through Porous Media", UC Berkeley, UCBSEEHL Report No. 85-12 (1985).
9. Andreozzi, P., Insola, A., Caprio, V. and Damore, M.G., "The Kinetic Mn(II)-Catalysed Ozonation of Oxalic Acid in Aqueous Solution", Wat. Res., 26:7:917 (1992).
10. Galvin, R.M., "Ripening of Silica Sand Used for Filtration", Wat. Res., 26:5:683 (1992).

表1 石英砂與錳砂之優缺點比較

濾材	優點	缺點
石英砂	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. pH7.5 時，中性範圍，不添加藥劑鐵可得較佳之去除率。</li> <li>2. 於添加次氯酸鈉時鐵、錳去除率良好。</li> <li>3. 形成之濾餅有很好之濾除效果。</li> <li>4. 使用方便，價格便宜。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 容易造成阻塞濾程短。</li> <li>2. 須時常反沖洗，不符經濟效益。</li> <li>3. 不添加藥劑，對錳之去除較差。</li> </ol>
錳砂	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. pH7.5 時，中性範圍，不添加藥劑對錳有較佳之去除率。</li> <li>2. 濾程很長，不須時常反沖洗，符合經濟效益。</li> <li>3. 無需設置曝氣塔，停留池等裝置，採直接過濾節省設備費用。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不添加藥劑時，雖於 pH=10.5 對鐵、錳可達良好去除率，但須後續中和處理。</li> <li>2. 添加次氯酸鈉時，容易造微細鐵顆粒貫穿，值得注意。</li> <li>3. 原水中鐵份較多，錳砂外面被鐵氧化物包圍後，失去去除錳的功能。</li> </ol>

- (1) 1000L-PE儲水桶
- (2) 氣曝塔
- (3) 停留槽
- (4) 攪拌馬達
- (5) 溢流裝置
- (6) 驗液儲存桶
- (7) pH控制器
- (8) 濾料層
- (9) 水頭損失計量管
- (10) 反沖洗裝置
- (11) 過濾管柱
- (12) 集水區
- (13) 流量控制器

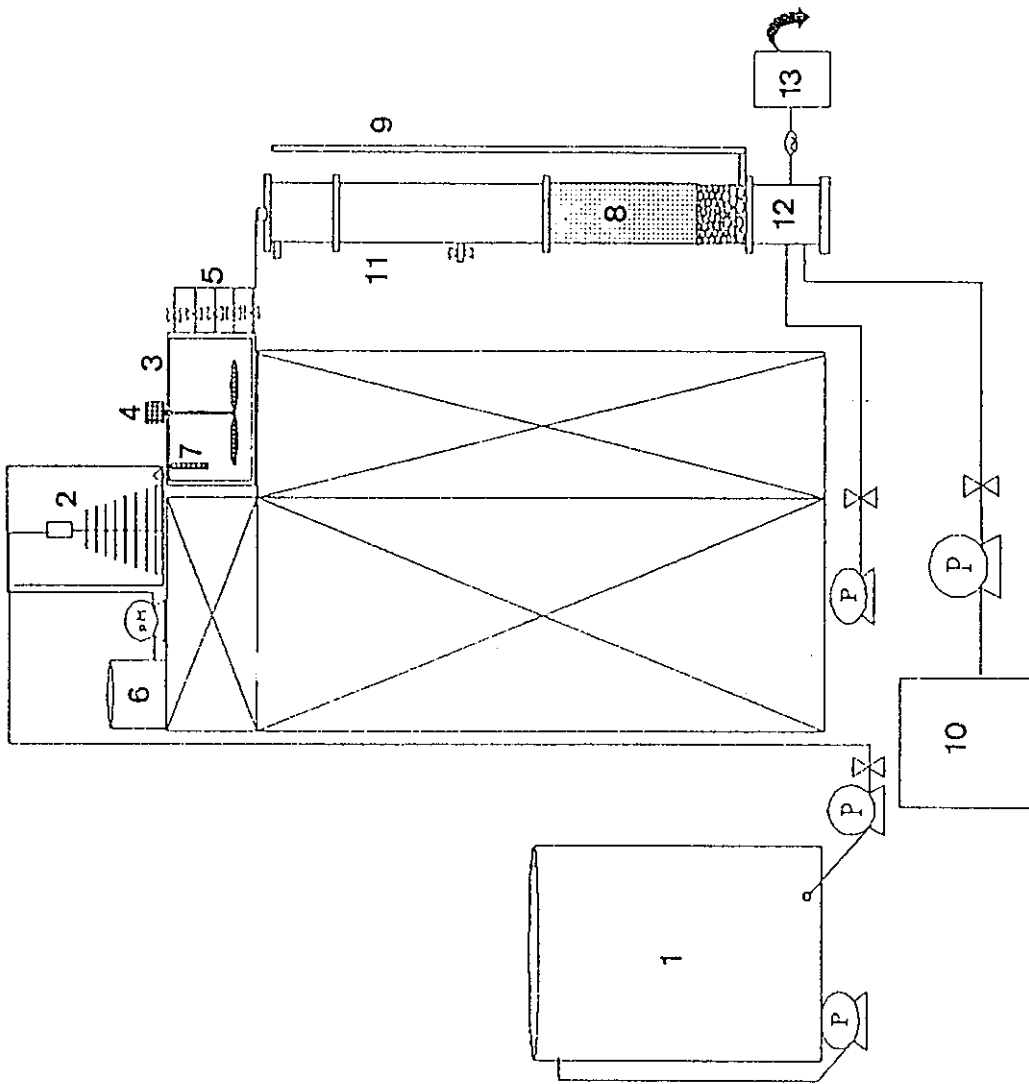


圖 1 實驗模廠圖

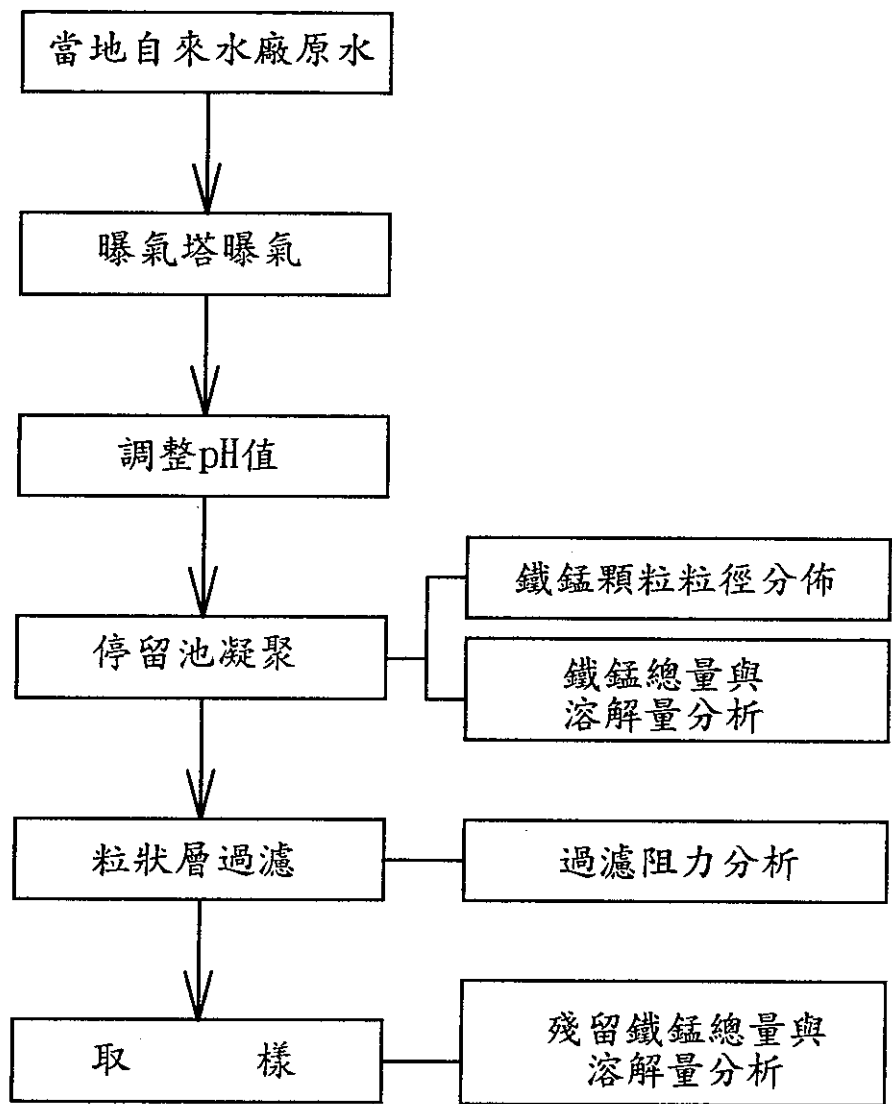


圖 2 實驗流程圖

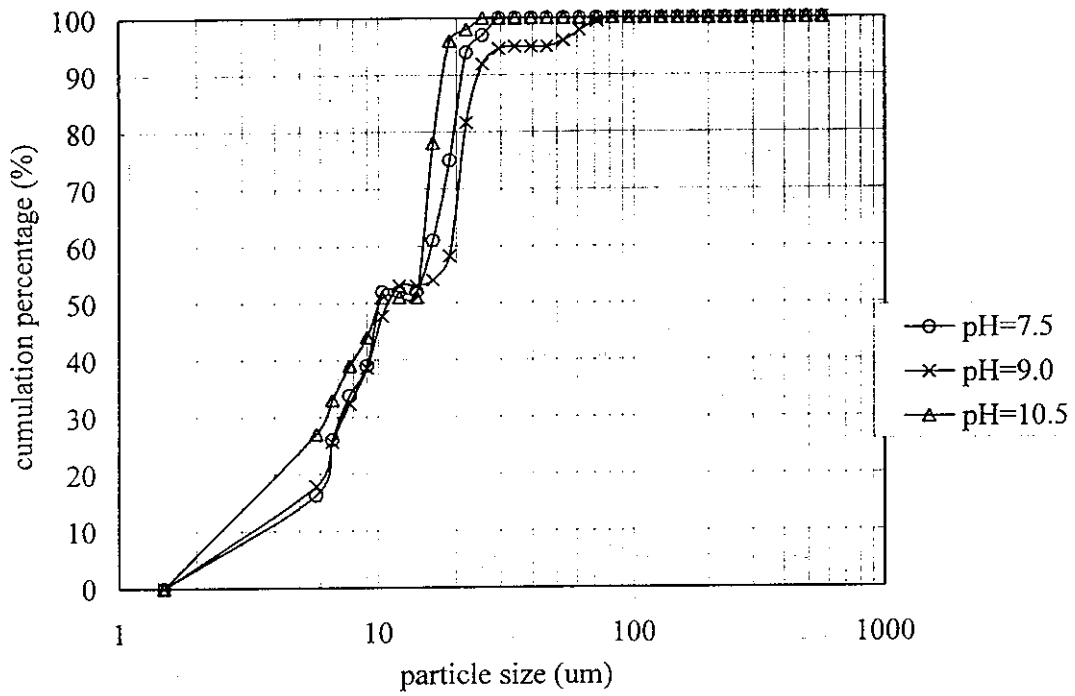


圖3 pH值影響鐵錳粒徑分析

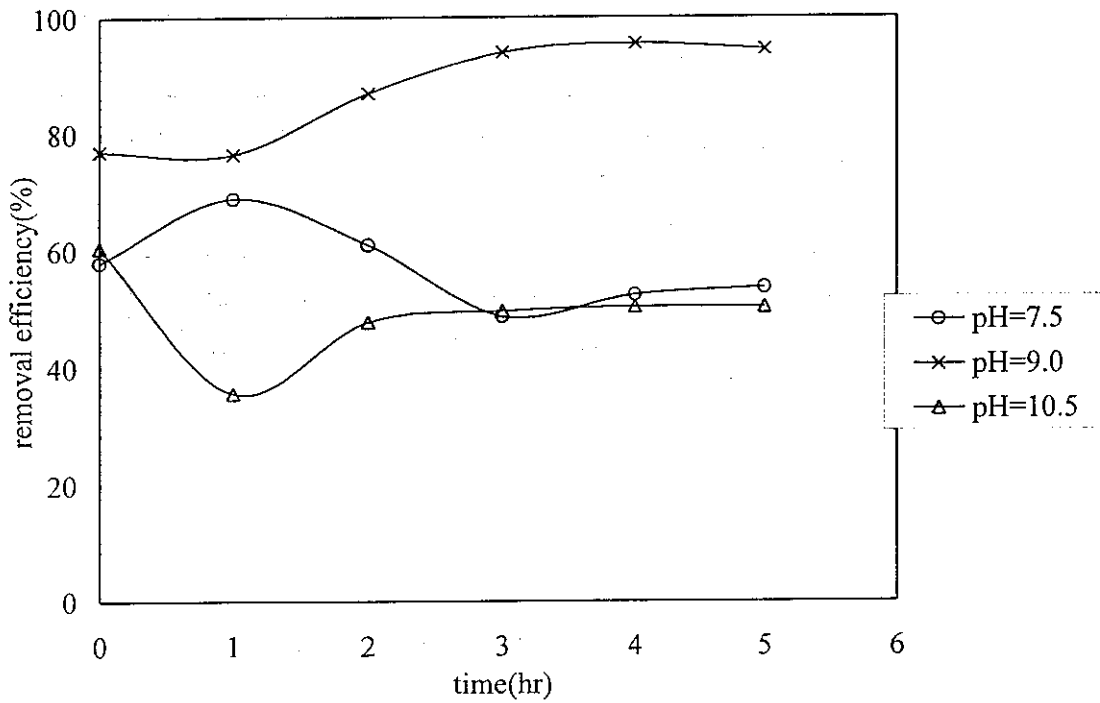


圖4 pH值影響鐵去除率

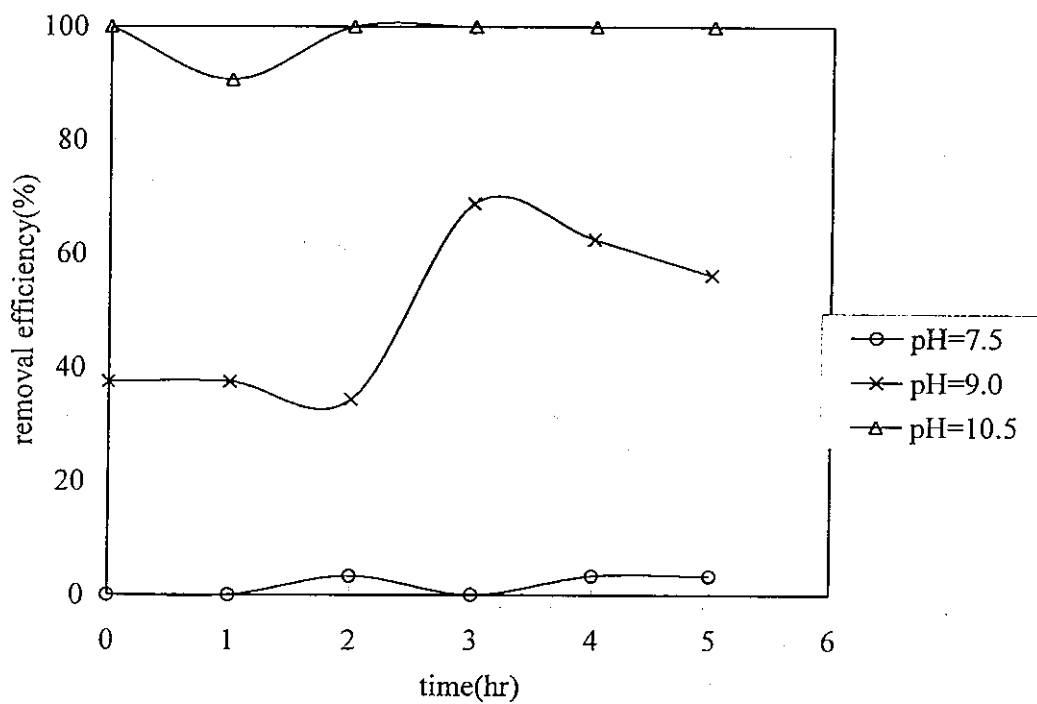


圖5 pH值影響錳去除率

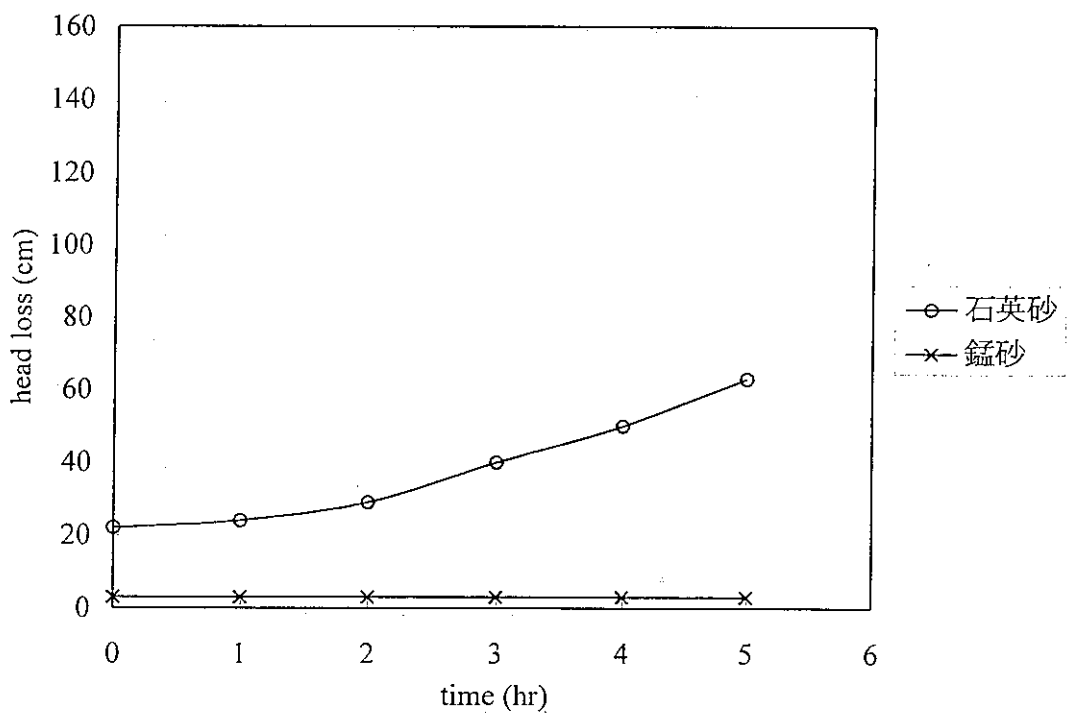


圖6 濾材影響水頭損失

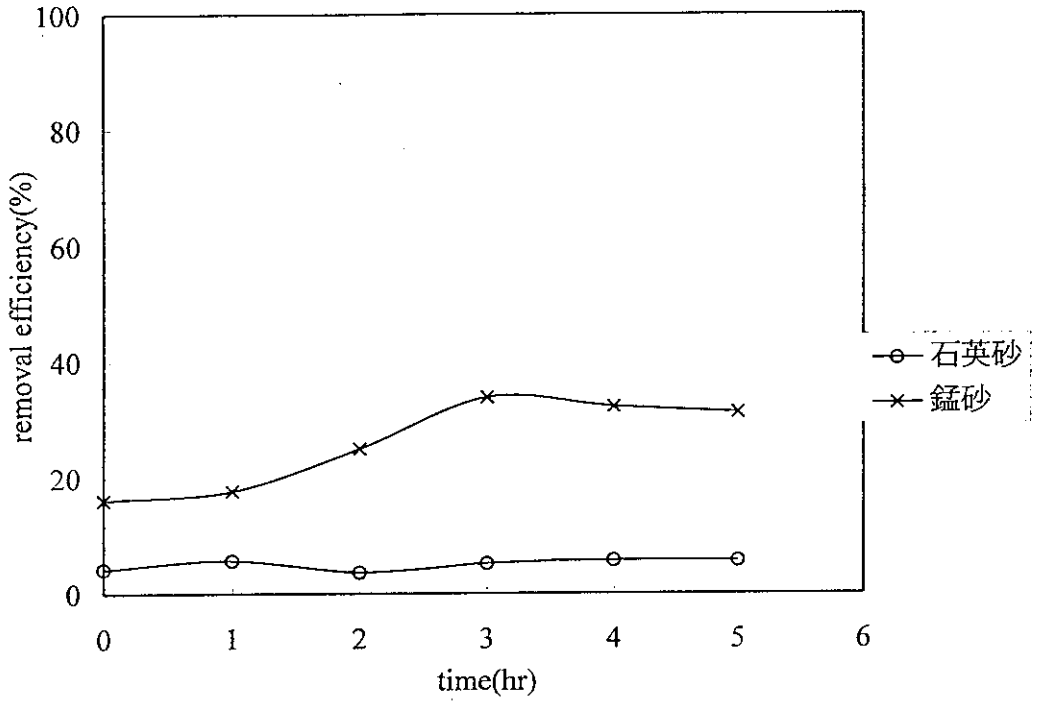


圖7 濾材影響鐵去除率

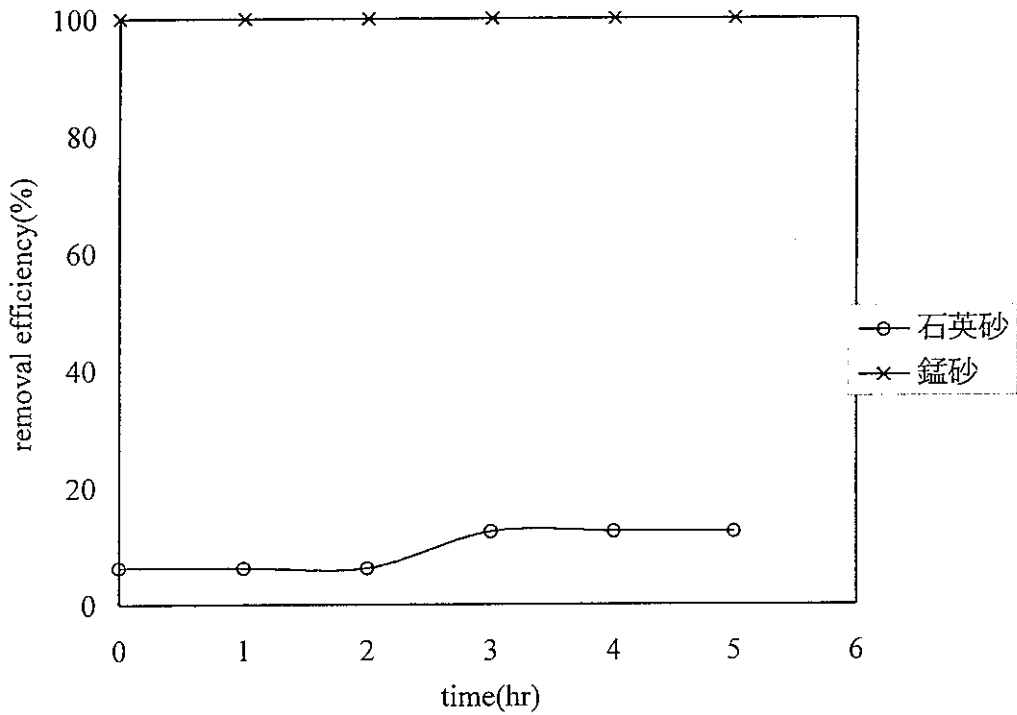


圖8 濾材影響錳去除率