

# 去除原水中二價鐵錳時其生成顆粒粒徑的影響與控制研究

洪世政\* 謝永旭\*\* 盧重興\*\*

## 摘 要

目前台灣之淨水場，大都以氧化 / 快濾法，去除地下水之鐵、錳，由於缺乏以原水水質及操作條件併同處理水量，為硬體設計數據之依據，故常見去除效果欠穩定。因為去除鐵、錳，須先將二價鐵、錳氧化成固態膠羽，再經快濾濾除，而生成之膠羽粒徑，與濾料粒徑之設計，息息相關。因此若無良好之濾料組合及濾速控制，在原水水質及操作條件惡劣，於濾前生成微細之鐵、錳膠羽及高殘留溶解量情況下，將造成膠羽貫穿濾料，於配水系統有紅水之現象發生。

本研究有鑑於此，乃依自然界中，含鐵、錳之原水，可能存在之水質條件，及淨水場可能採用之操作條件，配製人工原水，並進行瓶杯批次氧化反應，隨反應時間之進行，於60分內每隔15分鐘，以雷射粒徑分析儀計測生成之鐵、錳顆粒大小，並同時以A.A. 偵測，其殘留總溶解鐵、錳含量。由試驗結果發現，未含溶解矽和腐植酸之原水，若二價鐵初始濃度、溶氧量較高，及適當的提昇pH值時，增大反應接觸槽容量，將有助於以曝氣氧化法氧化二價鐵時，增大其生成之鐵顆粒粒徑。

## 一、緒 論

鐵、錳為人體必需的元素，故其在健康和衛生上之意義應是正面多於負面，但因為鐵、錳為地殼常見之元素，故時常出現於地下水及湖泊水當中，人類以其當水源時，若鐵、錳無法將其含量經由處理降至限值以下時，將會產生紅

\* 台灣省自來水公司

\*\* 國立中興大學環境工程研究所

水現象，並沈積而阻塞管線，造成對公共給水美學，適飲性和洗衣用水適用性上之嚴重影響，故世界各國之自來水水質標準中，大都對此兩元素規定某一限值，國內亦不例外(台灣省將鐵訂為0.3 mg/L，錳訂為0.05 mg/L，台北市將鐵、錳合計訂為0.3 mg/L)，並將其歸為能影響飲用水適飲性之物質，而非歸為有毒物質或可能影響健康之物質。

有關原水鐵、錳處理之研究已將近有半世紀之久，雖然新的處理方法陸續被人提出，但傳統上還是以自然曝氣氧化法加上快濾或輔以化學氧化來去除鐵、錳較為經濟可行，台灣地區不少淨水場亦採用氧化／快濾法去除地下水之二價鐵、錳，在硬體設計上大都以處理水量為其氣曝塔，接觸池、快濾池尺寸設計上之依據，因缺乏併同原水水質為設計數據上之依據，故常見去除效果欠穩定，除鐵、錳須在濾前將鐵、錳氧化為固態膠羽再經快濾濾除。鐵、錳氧化物膠羽微細，致原水氧化後多呈紅褐色，若無良好之濾料組合及適當之濾速控制，膠羽容易貫穿，無法將色度、濁度、鐵、錳等完全去除，造成配水系統有紅水現象。故鐵、錳氧化物形成之膠羽大小隨反應時間變化之情形實為以氧化／快濾法去除鐵、錳硬體設施中接觸池及快濾池尺寸決定之重要設計數據。

針對上述因有關原水水質及操作條件之不同所反應形成之鐵、錳氧化物膠羽顆粒大小之觀測，實為目前台灣以氧化／快濾法去除鐵、錳硬體設施設計數據上之盲點，而國內外目前亦未有有關此種完全以原水水質及操作條件影響氧化去除二價鐵、錳時所形成之鐵、錳顆粒大小之微觀觀測研究，因此本研究鑑於此，擬以人工方法調配各種不同含鐵、錳之地下原水水質，配合各種不同之操作條件以批分式瓶杯試驗，觀測以自然曝氣氧化法去除二價鐵、錳時所形成之鐵、錳氧化物顆粒之大小。

## 二、實驗方法及內容

### 1. 實驗方法及基本流程

本研究實驗方法及基本流程係先於瓶杯內將蒸餾水以 $N_2$ 脫氧至0.2mg/L以便提供二價鐵、錳存在之環境，再模擬自然界含二價鐵、錳之原水可能變化之水質條件依實驗變因選擇添加各種造成該水質條件之藥劑至目標值，再模擬台灣目前淨水場之可能操作條件(即常用的曝氣氧化)依實驗變因選擇曝氣氧化至目標值，以便進行後續之二價鐵、錳氧化反應試驗，而氧化反應之進行係將前述完成動作之瓶杯，移至Jar test反應器以便依操作條件之實驗變因選擇攪

拌量，並能提供反應動力及流動狀態(配合實場之接觸反應池係為流動而非靜止水流)。又當氧化反應於Jar test 攪拌器內開始攪拌反應後，將隨時間之進行，取樣計測隨時間變化，生成之鐵、錳顆粒粒徑(Malvern 2600 雷射粒徑分析儀)及殘留溶解性鐵、錳含量(Hitachi Z8000 原子吸收光譜儀)，以便提供目前台灣淨水場以氧化 / 快濾法，去除鐵、錳時其反應接觸池所需接觸時間之最佳設計數據。

## 2. 實驗內容

本研究主題係為以氧化法去除原水中二價鐵、錳時，探討原水之水質條件及實場操作條件如何隨反應時間影響生成之鐵、錳顆粒及殘留溶解性鐵、錳含量，故本研究之實驗內容係選擇在基本水質條件(二價鐵、錳初始濃度、pH 值)及操作條件(DO)下以單因子變因之量的變化上做試驗探討。

此外，原水含溶解矽或腐植酸時，其存在濃度之影響亦一併列入探討之變因。

# 三、結果與討論

## 1. 曝氣氧化二價鐵( $\text{Fe}^{2+}$ ) 試驗結果分析

### (1) 二價鐵初始濃度影響生成之鐵顆粒粒徑及殘留總溶解量動力試驗

本項試驗係以  $\text{pH} = 12$ 、 $\text{DO} = 7.5 \text{ mg/L}$ 、 $T = 15^\circ\text{C}$ 、 $\text{rpm} = 10$  之基本實驗條件下，選擇二價鐵初始濃度在  $0.5 \text{ mg/L}$ 、 $2.0 \text{ mg/L}$ 、 $8.0 \text{ mg/L}$  時，觀測其對氧化後生成之鐵顆粒粒徑及殘留總溶解性鐵濃度之不同影響，試驗結果分別如圖1及表1。

若生成之鐵顆粒粒徑，以顆粒累積體積分佈之50%為代表，即以  $D[V, 0.5]$  為表示方式，由圖1可以看出，當二價鐵初始濃度增高時，其生成鐵顆粒之  $D[V, 0.5]$  將隨之增高。在隨時間之變化方面，初始濃度為  $0.5 \text{ mg/L}$ ，及  $2.0 \text{ mg/L}$  者，其隨時間增長趨勢，較初始濃度為  $8 \text{ mg/L}$  者小。另由表1可以看出，由於選在較高之pH值(12)下氧化二價鐵，故二價鐵去除效果均甚好，除初始濃度為  $0.5 \text{ mg/L}$  和  $2.0 \text{ mg/L}$  兩者，在15分鐘之觀測時間內，尚能偵測到殘留總溶解鐵外，餘均無法偵測到。

從圖1比對表1可以發現，當二價鐵初始濃度愈高時，生成之鐵顆粒粒徑愈大，其殘留總溶解鐵濃度比率，亦將愈低；且隨時間之進行，顆粒增

大者，其殘留總溶解鐵之比率將有減低之趨勢。就理論之觀點言之，鐵顆粒之成長，應由二價鐵先氧化變成三價鐵後，因三價鐵溶解度甚低，故將生成固體顆粒，而顆粒再經聚結作用而成長變大。由於二價鐵之氧化速率係與二價鐵濃度成一次方正變關係，故二價鐵初始濃度甚大時，其初反應速率將甚快，因而生成之三價鐵將愈多，又因選定之氧化係在pH = 12 情況進行，而二價鐵之之氧化速率係與 $[\text{OH}^-]$ 成二次方正變關係，因此整個反應速率，將更加的快速，所以對二價鐵初始濃度為8.0 mg/L 者其反應在0分鐘者顆粒 $D[V, 0.5]$ 已達112  $\mu\text{m}$ ，而殘留總溶解性鐵濃度，已偵測不到。

## (2) 溶液pH 值影響生成之鐵顆粒粒徑及殘留總溶解量動力試驗

本項試驗係以二價鐵初始濃度8 mg/L、DO = 7.5 mg/L、T = 15°C、rpm = 10 之基本實驗條件下，選擇溶液pH 值分別在7.5、9、10.5、12時，觀測其對氧化後生成之鐵顆粒粒徑及殘留總溶解性鐵濃度之不同影響，試驗結果分別如圖2及表2。

從圖2可以看出，當溶液pH 值在7.5、9、10.5時，生成之鐵顆粒粒徑，係隨pH 值升高而增大，但溶液pH 值升高至12時，其生成之鐵顆粒粒徑卻比pH = 10.5時小，但還比pH = 9時為大。在隨時間之增長方面，pH 在中性及弱鹼性範圍鐵顆粒隨時間增長之趨勢較鹼性範圍小甚多，尤其在15分鐘過後，其顆粒生長幾已達穩定。從表2可以看出，由於本試驗之基本實驗條件係選在二價鐵初始濃度8 mg/L 下，進行比較，依前節結果可知，在此高初始濃度進行之試驗，其氧化速率在選擇之四種溶液pH 值下，均將甚為快速，故除了pH 值在7.5時，0分鐘尚能偵測到殘留總溶解鐵外，餘均無法偵測到。

從理論之角度言之，三價鐵之溶解度係隨pH 值而改變，一般而言，鐵非兩性元素，應係只溶於酸，而不溶於鹼，故pH 值愈高時，依溶解度積平衡觀念，其溶解之三價鐵量應愈趨減小。但事實上溶解度係隨pH 值有一最低點存在，越過此一點即有升高之趨勢，而此一點存在之pH 值即一般所謂的等電點，在等電點之鐵顆粒，因為其表面電荷為零，因此膠體粒間之斥力最小，其凝聚性應最佳，故最能生成較大粒徑之顆粒，且隨時間增大之趨勢將最佳。以 $\text{Fe}(\text{OH})_3(s)$ 在25°C之 $K_{sp} = 10^{-37.5}$ 計算當pH = 7.5時，其三價鐵之溶解量理應遠小於0.01 mg/L，但是表2 pH = 7.5時之0分鐘，殘留總溶解性鐵濃度卻為0.01 mg/L，此可能為0分鐘時，二價鐵尚未全部氧化為三價，另此剛生成之三價鐵顆粒，可能部份仍很細微，尚能通過濾紙，故濾液經酸化後仍能為A. A. 所偵測到，因而pH = 7.5時於0分鐘，所偵測到

之殘留總溶解性鐵，其內容物應可能包括未被氧化之二價鐵，及已被氧化成三價，但尚屬溶解性，和部份已形成膠體顆粒，但粒徑仍甚小能通過濾紙者。

### (3) 溶氧影響生成之鐵顆粒粒徑及殘留總溶解量動力試驗

本試驗係在二價鐵初始濃度 $8\text{ mg/L}$ 、 $\text{pH} = 9$ 、 $T = 15^\circ\text{C}$ ， $\text{rpm} = 10$ 之基本實驗條件下，選擇曝氣氧化分別曝至溶氧(DO)為 $0.2\text{ mg/L}$ 、 $1\text{ mg/L}$ 、 $7.5\text{ mg/L}$ 時，觀測其對氧化後生成之鐵顆粒粒徑，和殘留總溶解性鐵濃度之影響，其試驗結果分別如圖3表3。

從圖3可以看出，當曝氣氧化二價鐵時，曝氣的程度愈高者，形成之鐵顆粒愈大，以本試驗而言，當 $\text{DO} = 0.2\text{ mg/L}$ 時，顆粒之粒徑甚小(0分鐘時 $D[v, 0.5] = 3\mu\text{m}$ )，且隨時間增長的趨勢甚微(60分鐘時 $D[v, 0.5] = 8\mu\text{m}$ )，但當DO提高時，其形成之鐵顆粒將愈大，且隨時間增大之趨勢均甚為明顯。另從表3可以看出，當 $\text{DO} = 0.2\text{ mg/L}$ 時，殘留總溶解鐵濃度在一小時之觀測時間內均能偵測到，但隨著時間增長，其殘留量隨之減少。而當 $\text{DO} = 1\text{ mg/L}$ 和 $\text{DO} = 7.5\text{ mg/L}$ 時則成效良好，無法偵測到殘留量。

從理論之觀點言之，當溶液中溶氧量升高時，則二價鐵被氧化成三價鐵之量將增加，氧化反應速率亦將增快，所以本實驗 $\text{DO} = 0.2\text{ mg/L}$ 之氧化成效將最差，故尚能偵測到總溶解性總鐵。

### (4) 溶解矽濃度影響生成之鐵顆粒粒徑及殘留總溶解量動力試驗

本試驗係在二價鐵初始濃度 $8\text{ mg/L}$ 、 $\text{pH} = 9$ 、 $\text{DO} = 7.5\text{ mg/L}$ 、 $T = 15^\circ\text{C}$ 、 $\text{rpm} = 10$ 之基本實驗條件下，選擇添加 $\text{Na}_4\text{Si}_4\text{O}_9 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，當溶液中之溶解矽濃度分別為 $0\text{ mg/L}$ 、 $100\text{ mg/L}$ 、 $250\text{ mg/L}$ 時，觀測其對氧化後生成之鐵顆粒粒徑及殘留總溶解性鐵濃度之影響，其試驗結果分別如圖4及表4。

從圖4可以看出，當溶液中含有溶解矽時，會造成生成之鐵顆粒粒徑變小，以本實驗而言，當溶液中未添加溶解矽時，生成之顆粒最大且能隨時間有很明顯之成長，但當溶解矽含量增至 $100\text{ mg/L}$ 時，鐵顆粒粒徑顯著的被抑制，且無法隨時間成長，惟再增大溶解矽濃度至 $250\text{ mg/L}$ ，生成之鐵顆粒粒徑與溶解矽含量 $100\text{ mg/L}$ 者，相差無幾。另從表4可以看出，未添加溶解矽之溶液去除效果甚佳，當添加後，則效果奇差，又添加 $250\text{ mg/L}$ 與添加 $100\text{ mg/L}$ ，所造成之差異不大，在時間之變化方面，整體而言，添加溶解矽者所偵測之殘留溶解鐵濃度變化不大，無減少之跡象。

溶液中添加溶解矽，能夠催化二價鐵氧化成三價鐵，再與三價鐵發生錯合，故添加愈多時，其造成之錯合效果愈好，因而將使鐵顆粒形成膠體懸浮之現象，其顆粒甚為細微。另從化學反應計量之觀點言之，錯合劑與被錯合物質之間有一定之化學反應重量比例關係，超過此比例，亦無法增加被錯合之量，因此本試驗溶解矽添加250mg/L與添加100 mg/L，所產生錯合效應相差無幾。

#### (5) 腐植酸濃度影響生成之鐵顆粒粒徑及殘留總溶解量動力試驗

本項試驗係在二價鐵初始濃度8 mg/L、pH = 9、DO = 7.5 mg/L、T = 15°C、rpm = 10之基本實驗條件下，選擇添加腐植酸(H. A.)濃度分別為0 mg/L、5 mg/L、10 mg/L時，觀測其對氧化生成之鐵顆粒及殘留溶解性鐵濃度之影響，甚試驗結果分別如圖5及表5。

從圖5可以看出，當溶液不添加腐植酸時，生成之鐵顆粒較大，當添加5mg/L之腐植酸時，鐵顆粒粒徑顯著的被抑制，但仍隨時間之增長有增大之趨勢，但當腐植酸添加量增至10 mg/L時，鐵顆粒變得更細微，用肉眼已無法看出，但隨時間之增長已無增大之趨勢。另從表5可以看出，當腐植酸添加量為0 mg/L，和5 mg/L時，去除成效良好、但添加量增至10 mg/L，則所測得之殘留值已遠超過台灣省鐵濃度之飲用水限值0.3mg/L。

腐植酸存在於水體時，二價鐵很難被氧化，並能與之形成穩定之錯化合物，呈膠體懸浮之現象，故本試驗於添加腐植酸後，鐵顆粒能夠被明顯地抑制，同時添加量愈大時，其抑制效果愈好。另外對於殘留溶解性鐵濃度之影響，亦同樣於添加量少時，對錯合效應之產生幾乎無影響，因此可能偵測不到殘留溶解性鐵之存在。

## 2. 曝氣氧化二價錳(Mn<sup>2+</sup>) 試驗結果分析

### (1) 溶液pH值影響生成之錳顆粒粒徑及殘留總溶解量動力試驗

本項試驗係在二價錳初始濃度0.2 mg/L、DO = 7.5 mg/L、T = 25°C、rpm = 10之基本實驗條件下，選擇溶液pH值分別在7.5、9.0、10.5、10.5、12.5、時，觀測其對曝氣氧化生成之錳顆粒粒徑，及殘留總溶解性錳濃度之影響及控制效應，其試驗結果分別如圖6及圖7。

從圖6可以發現pH值在7.5、9.0、10.5時，均無法用肉眼觀查有錳顆粒之生成，其一小時內之雷射粒徑觀測值均未超過18 μm。但當pH值跳昇至12.5時，則很明顯在0分鐘時，即能覺查有錳顆粒之生成，且隨時間增長之趨勢非常明顯。另從圖7亦可發現，溶液pH值在7.5、9、10.5所產生之溶解性殘留錳量，均超過台灣省之飲用水標準錳濃度限值0.05 mg/L。而

pH 跳昇至 12.5 時則尚能達到該標準限值內，但溶解性殘留量卻無法隨時間之增長而有效的降低，故顆粒能隨時間增長者，其溶解性殘留量，不一定隨之減少。

pH 值影響生成之錳顆粒粒徑原因，如同 pH 值影響生成之鐵顆粒，意即在等電點附近有一最佳之凝聚效果和最小溶解度。但是本項試驗有一有趣之發現，當 pH 值為 10.5 時，其溶解性殘留量反較 pH 值為 9 和 7 者大，故有錳顆粒再溶解之現象發生，故是否  $MnO_{2(s)}$  有兩個等電點存在，尚值得再進一步研究探討。

#### (2) 溶解矽及腐植酸濃度影響生成之錳顆粒粒徑及殘留總溶解量動力試驗

本項試驗係在二價錳初始濃度 2 mg/L、pH = 12.5、DO = 7.5 mg/L、T = 25°C、rpm = 10 之基本實驗條件下，添加不同濃度之矽酸鈉和腐植酸，觀測其對同時含溶解矽和腐植酸之原水，曝氣氧化生成之錳顆粒粒徑，及殘留總溶解性錳濃度之影響，其試驗結果分別如圖 8 及圖 9。

從圖 8 可以發現，在未添加溶解矽和腐植酸之原水，因為基本實驗條件係在 pH 12.5 之有利情況下進行，結果在約 15 分鐘之觀測時間後，錳顆粒即迅速增大，在 30 分鐘之  $D[v, 0.5]$  觀測值已達 155  $\mu m$ 。相對於添加矽酸鈉濃度 10 mg/L，和腐植酸濃度 5 mg/L 後，則因與二價錳發生錯合作用，故錳顆粒粒徑，嚴重的被抑制。但添加量加倍時，再抑制之作用已不明顯。另從圖 9，可以發現，未添加溶解矽和腐植酸者成效良好，添加者，則無法達到台灣省水質標準錳之限值 0.05 mg/L，同時添加量加倍後，其溶解性殘留值亦隨之升高。

## 四、結論與建議

1. 未含溶解矽和腐植酸之原水，以曝氣氧化二價鐵時，若原水之二價鐵初始濃度、溶氧量較高，將有助於鐵顆粒之成長，且亦能隨反應時間增長，有增大之趨勢。
2. 未含溶解矽和腐植酸之原水，以曝氣氧化二價鐵時，提高原水之 pH 值，將有助於鐵顆粒之成長，且亦能隨反應時間增長、而有增大之趨勢。惟若 pH 值高至 12，則顆粒卻變小，且亦隨時間有減小之趨勢。

3. 含溶解矽之原水，以曝氣氧化二價鐵時，若溶解矽含量增大，將因錯合作用發生，鐵顆粒變成細小穩定之膠形懸浮，無法用肉眼觀察，其殘留溶解量甚高，遠超過0.3mg/L (台灣省鐵之水質標準)。
4. 含腐植酸之原水，以曝氣氧化二價鐵時，若腐植酸含量增大，將亦因錯合作用發生，鐵顆粒變成細小穩定之膠形懸浮，無法用肉眼觀察，且殘留溶解量甚高，遠超過0.3mg/L。
5. 未含溶解矽和腐植酸之原水，或同時含溶解矽和腐植酸之原水，以曝氣氧化二價錳時，提高pH值均有助於錳顆粒之長大及提高去除率，惟pH值提高至10.5時，卻有顆粒變小及殘留溶解量升高之現象發生，再提高pH值至12.5則顆粒之粒徑及去除率均又達到最高，此種現象值得再進一步研究及探討。
6. 由於以快濾法濾除鐵、錳顆粒時，常依循明礬膠凝及沈澱，故未來應繼續做連續流之模型廠實驗研究，以整體性評估處理效益，並符合實際自來水原水處理之須求。

## 五、參考文獻

1. 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。
2. Suzuki, Y. and Kuma, K., "Existence of Stable Fe(II) Complex in Oxidized River Water and Its Determination", *Wat. Res.* Vol. 26, No. 11 pp. 1421-1424, 1992.
3. Stumm, W., and Lee, G. F., "Oxygenation of Ferrous Iron", *Ind. Eng. Chem.*, 53:(143), 1961.
4. Ghosh, M. M., "Oxygenation of Ferrous Iron (II) in Highly Buffered Waters", in *Aqueous-Envi. Chem. of Metals*, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI, 1976.
5. Theis, T. L. and Singer, P. C., "The Stabilization of Ferrous Iron by Organic Compounds in Natural Waters", in *Trace Metals and Metal-Organic Interactions in Natural Waters*, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI, 1974.
6. Morgan, J. J., "Chemical Equilibria and Kinetic Properties of Manganese in Natural Waters", *Proc. 4th Rudolfs Conference, Principles and*

Applications of Water Chemistry, John Wiley and Sons Inc., New York, pp. 561-624, 1967.

7. Robinson, R. B., Committee Report: "Research Needs for the Treatment of Iron and Manganese", J. AWWA, 79:9:119, 1987.
8. Anderson, D. R. "Iron and Manganese Study of Nebraska Water Supplies", J. AWWA, 65:10:635, 1973.
9. Mouchet, P., "Elimination du Fer et du Manganese Contenus dans les Eaux Souterraines: Problems Cassiques", Progrès Récent, Water Supply, 3:137, 1985.
10. Cleasby, J. L., "Iron and Manganese Removal:A Case Stady", J. AWWA, 67:3:147, 1975.
11. William R. K. "Impact of Dissolved Organic Carbon on the Removal of Iron During Water Treatment" J. Wat. Res., Vol. 26, No. 11, PP. 1515-1522, 1992.
12. Vuorinen, A., "Chemical, Mineralogical and Microbiological Factors Affecting the Precipitation of Fe and Mn from Ground water", Water Sci. and Technol., 20:3:249, 1988.
13. Hatva, T. "Removal of Iron and Manganese From Groundwater by Reinfiltration and Slow Sand Filtration", Aque Fenn., 15:211, 1985.
14. 陳志聖, "水溶液中重金屬離子加硫沈澱之粒徑分佈與結晶動力研究", 碩士論文, 國立台灣工業技術學院工業技術研究所化學工程組, 1988。

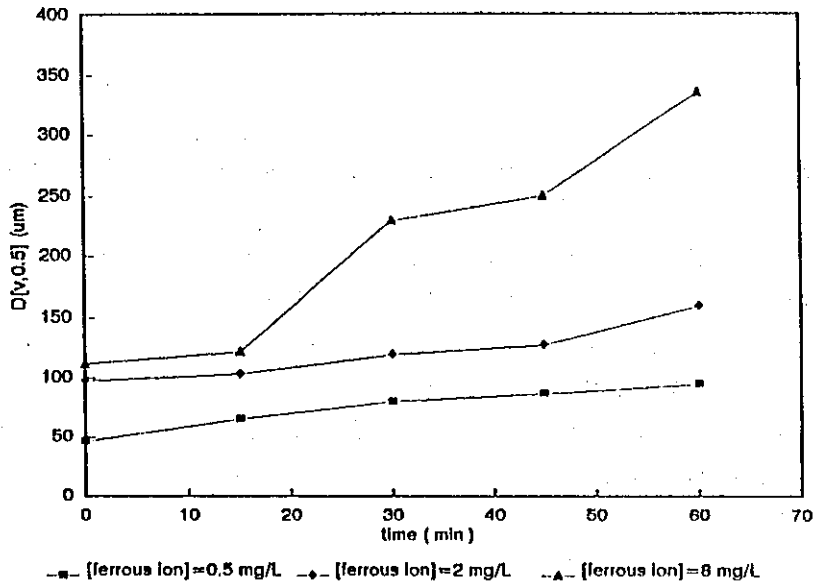


圖 1 曝氣氧化二價鐵時二價鐵初始濃度影響生成之鐵顆粒粒徑試驗 (pH= 12, DO = 7.5mg/L, T = 15 °C , rpm = 10)

表 1 曝氣氧化二價鐵時二價鐵初始濃度影響殘留總溶解鐵量試驗 (pH=12, DO=7.5mg/L, T=15°C , rpm=10)

殘留溶解鐵量 [Fe <sup>2+</sup> ]	時間				
	0分	15分	30分	45分	60分
0.5 mg/L	0.06 mg/L	0.02 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.
2.0 mg/L	0.04 mg/L	0.02 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.
8.0 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

註：檢測值N.D.者表示含量低於儀器偵測極限0.01mg/L

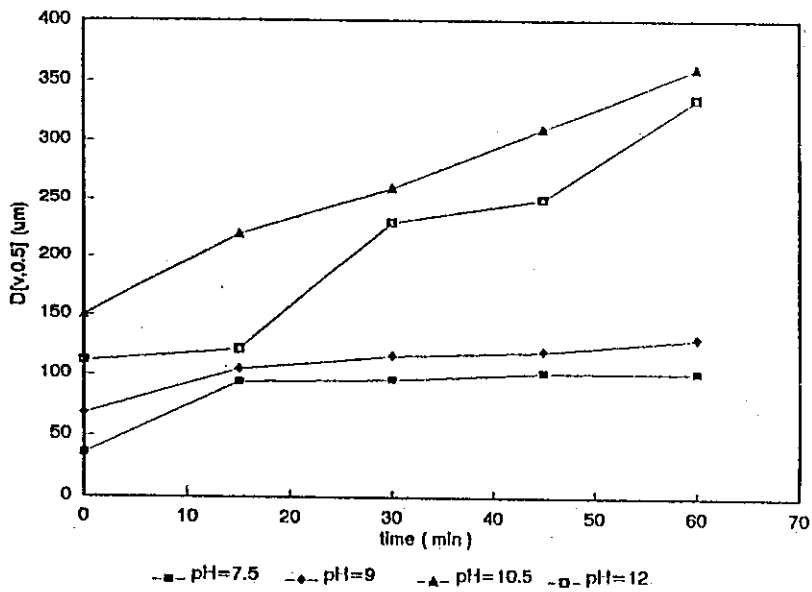


圖 2 曝氣氧化二價鐵時溶液 pH 值影響生成之鐵顆粒粒徑試驗 ( $[Fe^{2+}] = 8\text{mg/L}$ ,  $DO = 7.5\text{mg/L}$ ,  $T = 15^\circ\text{C}$ ,  $\text{rpm} = 10$ )

表 2 曝氣氧化二價鐵時溶液 pH 影響殘留總溶解鐵量試驗 ( $[Fe^{2+}] = 8\text{mg/L}$ ,  $DO = 7.5\text{mg/L}$ ,  $T = 15^\circ\text{C}$ ,  $\text{rpm} = 10$ )

殘留溶解鐵量 pH	時間				
	0分	15分	30分	45分	60分
7.5	0.01 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
9.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
10.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
12.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

註：檢測值 N. D. 者表示含量低於儀器偵測極限 0.01mg/L

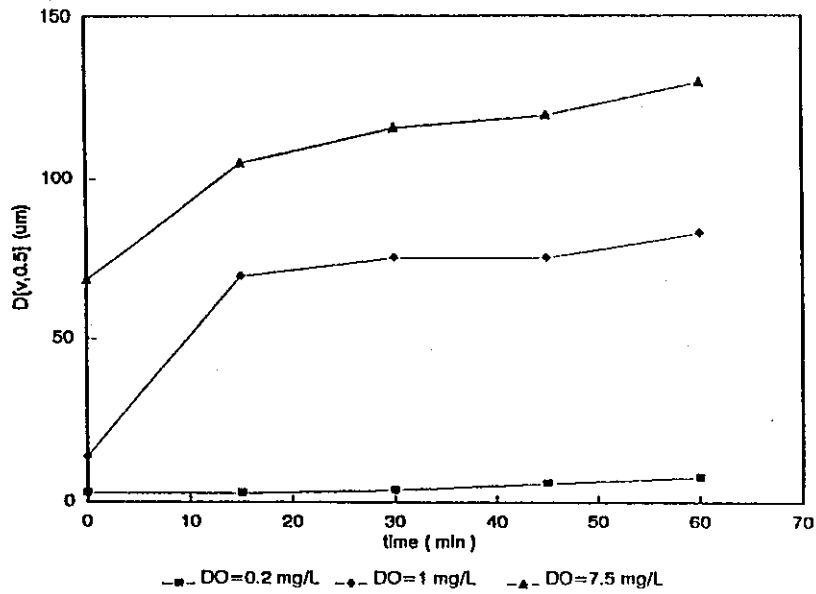


圖 3 曝氣氧化二價鐵時溶氧影響生成之鐵顆粒粒徑試驗  
 ( $[Fe^{2+}] = 8mg/L$ ,  $pH = 9$ ,  $T = 15^{\circ}C$ ,  $rpm = 10$ )

表 3 曝氣氧化二價鐵時溶氧影響殘留總溶解鐵量試驗  
 ( $[Fe^{2+}] = 8mg/L$ ,  $pH = 9$ ,  $T = 15^{\circ}C$ ,  $rpm = 10$ )

殘留溶解鐵量 DO	時間				
	0分	15分	30分	45分	60分
0.2 mg/L	0.14mg/L	0.14mg/L	0.11mg/L	0.07mg/L	0.03mg/L
1.0 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7.5 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

註：檢測值 N. D. 者表示含量低於儀器偵測極限 0.01mg/L

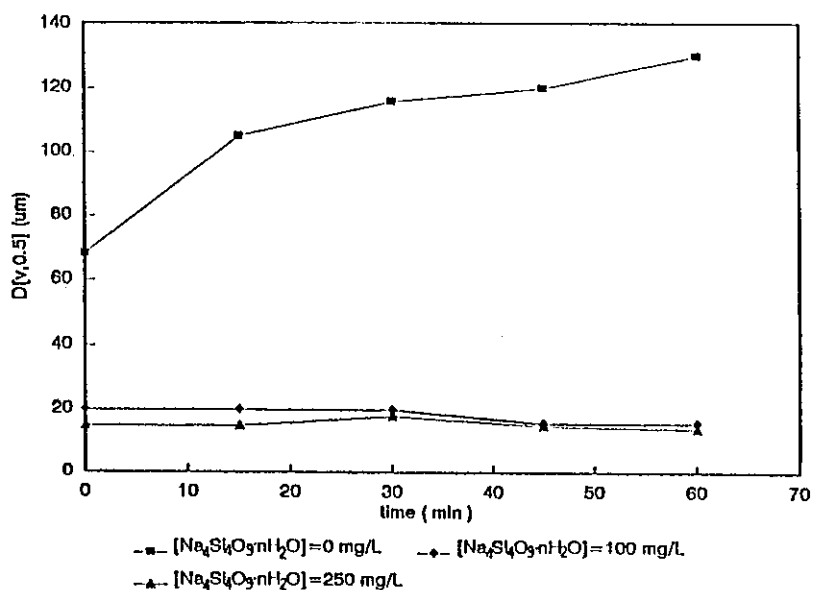


圖 4 曝氣氧化二價鐵時溶解矽濃度影響生成之鐵顆粒粒徑試驗 ( $[\text{Fe}^{2+}] = 8\text{mg/L}$ ,  $\text{pH} = 9$ ,  $\text{DO} = 7.5\text{mg/L}$ ,  $T = 15^\circ\text{C}$ ,  $\text{rpm} = 10$ )

表 4 曝氣氧化二價鐵時溶解矽濃度影響殘留總溶解鐵量試驗 ( $[\text{Fe}^{2+}] = 8\text{mg/L}$ ,  $\text{pH} = 9$ ,  $\text{DO} = 7.5\text{mg/L}$ ,  $T = 15^\circ\text{C}$ ,  $\text{rpm} = 10$ )

殘留溶解鐵量 D.S	時間				
	0分	15分	30分	45分	60分
0 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
100 mg/L	5.11mg/L	5.19mg/L	5.20mg/L	5.23mg/L	5.28mg/L
250 mg/L	5.47mg/L	5.47mg/L	5.47mg/L	5.54mg/L	5.55mg/L

註：1. 檢測值 N. D. 者表示含量低於儀器偵測極限 0.01mg/L  
2. D.S 示溶解矽 ( $\text{Na}_4\text{Si}_4\text{O}_9 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) 濃度

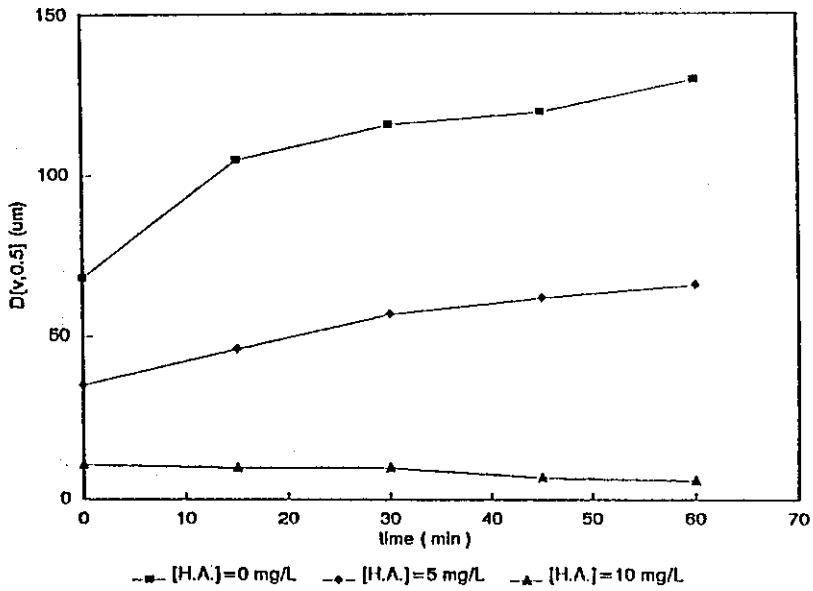


圖 5 曝氣氧化二價鐵時腐植酸濃度影響生成之鐵顆粒粒徑試驗 ( $[Fe^{2+}] = 8mg/L$ ,  $pH = 9$ ,  $DO = 7.5mg/L$ ,  $T = 15^{\circ}C$ ,  $rpm = 10$ )

表 5 曝氣氧化二價鐵時腐植酸濃度影響殘留總溶解鐵量試驗 ( $[Fe^{2+}] = 8mg/L$ ,  $pH = 9$ ,  $DO = 7.5mg/L$ ,  $T = 15^{\circ}C$ ,  $rpm = 10$ )

殘留溶解鐵量 腐植酸	時間				
	0分	15分	30分	45分	60分
0mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
10 mg/L	1.56mg/L	1.59mg/L	1.30mg/L	1.67mg/L	1.67mg/L

註：檢測值N.D.者表示含量低於儀器偵測極限0.01mg/L

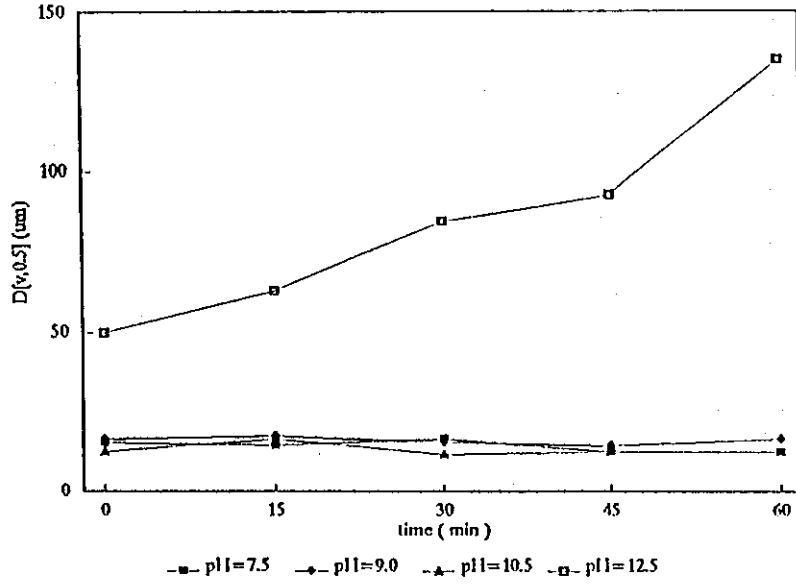


圖 6 曝氣氧化二價錳時溶液 pH 值影響生成之錳顆粒粒徑試驗 ( $[Mn^{2+}] = 0.2mg/L$ ,  $DO = 7.5mg/L$ ,  $T = 25^{\circ}C$ ,  $rpm = 10$ )

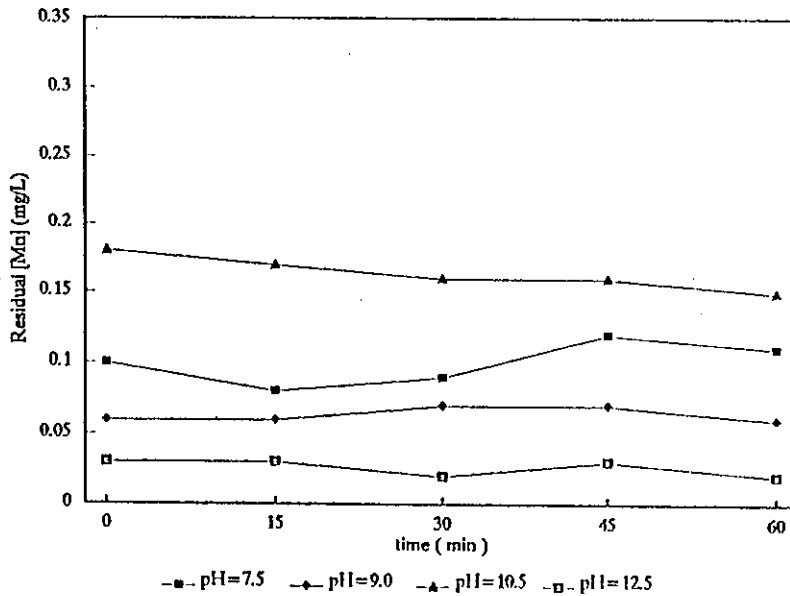


圖 7 曝氣氧化二價錳時溶液 pH 值影響殘留總溶解錳量試驗 ( $[Mn^{2+}] = 0.2mg/L$ ,  $DO = 7.5mg/L$ ,  $T = 25^{\circ}C$ ,  $rpm = 10$ )

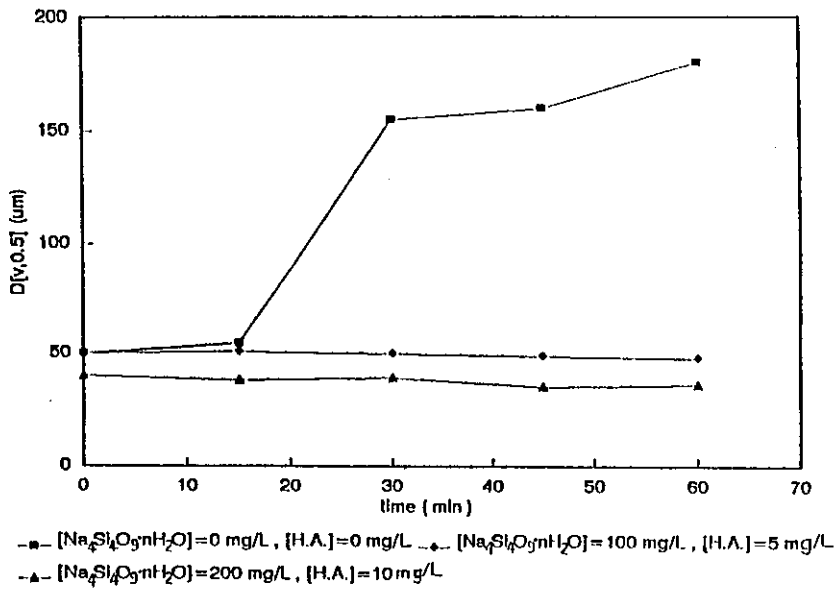


圖 8 曝氣氧化二價錳時溶解矽及腐植酸濃度影響生成之錳顆粒粒徑試驗 ( $[Mn^{2+}] = 2mg/L$ ,  $pH = 12.5$ ,  $DO = 7.5mg/L$ ,  $T = 25^{\circ}C$ ,  $rpm = 10$ )

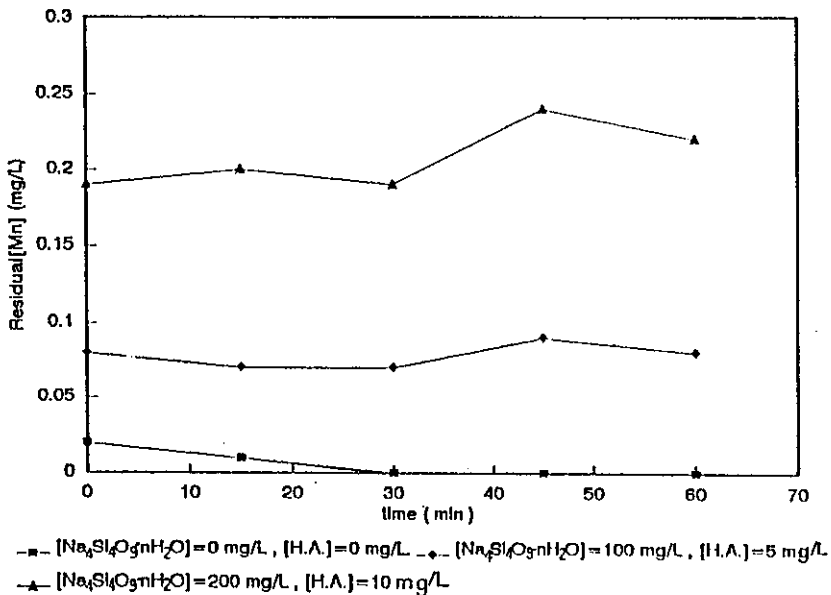


圖 9 曝氣氧化二價錳時溶解矽及腐植酸濃度影響殘留總溶解錳量試驗 ( $[Mn^{2+}] = 2mg/L$ ,  $pH = 12.5$ ,  $DO = 7.5mg/L$ ,  $T = 25^{\circ}C$ ,  $rpm = 10$ )