

# 過氧化氫改善鐵鹽混凝減低三鹵甲烷之生成

## Improvement of Ferrous Salts Coagulation for Reducing Trihalomethane Formation Using Hydrogen Peroxide

康世芳\* 顏幸苑\*\* 許聖哲\* 洪嘉昌\*\*

### 摘要

本研究以腐植酸模擬原水三鹵甲烷前驅物質，改變pH、過氧化氫、亞鐵加藥量等比較鐵鹽混凝與Fenton法減低 THMFP之效果。鐵鹽混凝減低 THMFP最佳pH值範圍為4.0-5.0，Fenton法前氧化最佳pH範圍為3.0-4.0。Fenton法前氧化THMFP殘留率隨過氧化氫加藥量增加而減少，過氧化氫可顯著改善鐵鹽混凝去除腐植酸及降低 THMFP，同時可減少鐵鹽加藥量與污泥發生量。由於腐植酸再溶出，使Fenton法混凝後之THMFP殘留率皆較前氧化為高，THMFP減低主要在前氧化完成。溶解鐵和鐵腐植酸錯合物干擾 $A_{254}$ ， $A_{254}$ 不適合評估腐植酸殘留量，故高錳酸鉀消耗量較 $A_{254}$ 適用為THMFP之替代參數。

### 一、前言

受污染原水中存在的微量有機物於淨水廠加氯處理過程中，衍生三鹵甲烷 (Trihalomethanes, THMs)，THMs為消毒副產物 (Disinfection By-Products, DBPs) 之一，美國及我國台北市皆將總三鹵甲烷 (TTHMs) 限值為 $100 \mu\text{g/L}$ 。為維護人體健康則儘可能減低飲用水 TTHMs 含量，故美國擬將 TTHMs 限值降至 $50-80 \mu\text{g/L}$ [1][2]。目前台灣省飲用水水質標準 TTHMs 雖為 $150 \mu\text{g/L}$ ，但環保署研訂全國一致性飲用水水質標準草案 TTHMs 限值為 $100 \mu\text{g/L}$ [3]，因此今後台灣省自來水公司所屬淨水廠處理受污染原水仍然繼續採用加氯時，則必須改善傳統處理技術及可能增設高級處理設施，以控制及減低 TTHMs 生成。同時鋁鹽混凝處理，因飲用水中殘留鋁鹽會引起老年癡呆症，故以鐵鹽取代鋁鹽為混凝劑又漸受重視[4]-[6]。為去除化學混凝不易處理之 THMs 前驅有機物質及減低 THMs 生成，高級氧化程序 (Advanced Oxi-

---

\*淡江大學水資源及環境工程研究所副教授

\*\*淡江大學水資源及環境工程研究所碩士班研究生

dation Processes, AOPs) 等高級處理技術中，過氧化氫經常被引用 [7]，過氧化氫若能配合鐵鹽混凝操作，於酸性條件下能產生具強氧化能力氫氧自由基 ( $\cdot\text{OH}$ )，可改善鐵鹽混凝處理有機物，Haung氏亦指出  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  (Fenton) 為同相 (Homogenous) AOP 系統，且不須照射 (如  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ,  $\text{O}_3/\text{UV}$ ) 與複雜的程序控制 [8]。Fenton 法為 AOPs 中唯一兼具前氧化及混凝雙重處理功能，然而 AOPs 於飲用水處理技術之研究，以  $\text{O}_3/\text{UV}$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ 、 $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ 、 $\text{TiO}_2/\text{UV}$  等程序為多 [7][9]，相對地  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  研究例罕見 [10][11]。故本研究目的探討過氧化氫改善硫酸亞鐵混凝減低三鹵甲烷生成潛能 (THMFP)，改變 pH、過氧化氫、硫酸亞鐵加藥量等比較傳統混凝與 Fenton 法減低 THMFP 之效果，同時檢討 254 nm 的吸光度 ( $A_{254}$ )、高錳酸鉀消耗量與 THMFP 之相關性。

## 二、實驗材料與方法

### 1. 人工原水

腐植酸為受污染原水中天然有機物質 (NOMs) 主要成份之一，以市售腐質酸 (東京化成) 試藥模擬 THMs 前驅有機物。腐植酸烘乾後秤取 2g 於蒸餾水中以 2N NaOH 調整 pH 至 12.0，再以蒸餾水稀釋至一公升，經  $0.45\ \mu\text{m}$  濾紙過濾，所得之濾液為含腐植酸之人工原水儲備溶液，其高錳酸鉀消耗量為 4360mg/L。實驗時使用含高錳酸鉀消耗量 58mg/L (THMFP 770  $\mu\text{g/L}$ ) 之人工原水，同時以市售氯仿 ( $\text{CHCl}_3$ , Merck) 模擬淨水廠預氯所產生之 THMs。

### 2. 瓶杯試驗

混凝瓶杯試驗採六連式瓶杯試驗機，以硫酸亞鐵 ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (Nacalai Tesque) 為混凝劑，加藥量以亞鐵濃度計算之。瓶杯實驗依設定之實驗條件，以 0.5N NaOH 及 0.5N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  調整 pH 值，實驗用水量為 1 公升。操作步驟為 100rpm 快混 10 分鐘，40rpm 慢混 30 分鐘，靜置 30 分鐘取其上澄液 500mL。Fenton 法瓶杯實驗分為氧化階段與混凝階段，氧化階段於所設定實驗條件中加入硫酸亞鐵與過氧化氫 (Merck, 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$ )，以  $\text{H}_2\text{SO}_4$  調整 pH  $3.0 \pm 0.5$ ，100rpm 快混氧化 2 小時，靜置 30 分鐘後取其上澄液。若 Fenton 法同時進行氧化階段與混凝階段時，則氧化後調整 pH 5.0，然後依前述混凝瓶杯試驗操作步驟。上澄液以  $0.45\ \mu\text{m}$  濾紙過濾並分析高錳酸鉀消耗量、 $A_{254}$  及 THMFP 或 THM，鐵鹽則未先過濾，測定上澄液之總鐵。

### 3. 水質分析

THM及THMFP分析方法採美國EPA第十八版Standard Method 6232.D及5710.B方法[12]，以氣相層析儀(Shimadzu, GC-14A)配合捕捉沖提器(O.I. Analytical 4560)搭配電子捕捉偵測器(ECD)分析之。高錳酸鉀消耗量依日本上水試驗法[13]，鐵鹽及 $A_{254}$ 吸光度分別以原子吸收光譜儀(Shimadzu, AA-680)及分光光度計(Hitachi, U2000)測定之。

### 三、結果與討論

#### 1. 過氧化氫改善鐵鹽混凝去除THMs

##### (1) 鐵鹽混凝去除THMs

淨水廠處理受污染原水時，若採用預氯則於混凝處理單元前生成THMs，須於後續處理單元予以去除或減低。圖1為含 $600 \mu\text{g/L}$   $\text{CHCl}_3$ 人工原水，於亞鐵 $10\text{mg/L}$ 及不同pH值時混凝結果，不加混凝劑時 $\text{CHCl}_3$ 因揮發而減少為 $574 \mu\text{g/L}$ ；亞鐵 $10\text{mg/L}$ 且pH於 $2.0-9.0$ 混凝後之 $\text{CHCl}_3$ 濃度為 $532-575 \mu\text{g/L}$ ，顯示鐵鹽混凝無法去除THMs。葉氏[14]指出預氯生成之THMs並未於後續處理程序中被去除反而隨著時間增加而增高，曾氏[15]亦認為化學混凝無法去除THMs。

##### (2) Fenton法氧化去除THMs

含 $300 \mu\text{g/L}$   $\text{CHCl}_3$ 人工原水以亞鐵 $10\text{mg/L}$ 配合 $10\text{mg/L}$ 過氧化氫於不同pH經2小時氧化之結果亦如圖1所示，對照組經2小時後之殘餘量為 $295 \mu\text{g/L}$ ，pH $2-9$ 時水樣中 $\text{CHCl}_3$ 濃度變為 $278-301 \mu\text{g/L}$ ，顯示過氧化氫配合鐵鹽產生之 $\cdot\text{OH}$ 自由基無法氧化預氯形成之THMs。亦即Fenton法之氧化能力並不足以破壞THMs中之碳與氯(C-Cl)間之鍵結。因此鐵鹽混凝與Fenton氧化均無法去除THMs，故處理受污染原水時宜避免預氯操作，日本橫濱市小雀淨水廠以中間加氯取代預氯之結果，需氯量約減少30%，TTHMs於夏季高溫時減少20-35%[16]。

#### 2. pH對過氧化氫改善鐵鹽混凝去除THMs前驅有機物之影響

##### (1) pH對亞鐵混凝去除THMs前驅有機物之影響

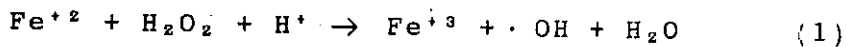
含高錳酸鉀消耗量 $58\text{mg/L}$ (THMFP  $770 \mu\text{g/L}$ )之人工原水(以下簡稱人工原水)於亞鐵 $25\text{mg/L}$ 時，pH對有機物去除之影響如圖2所示，

於pH3.0-5.0範圍，由於亞鐵混凝劑主要以帶正電荷之 $Fe_2(OH)_2^{+4}$ 、 $Fe^{+3}$ 、 $FeOH^{+2}$ 之化學物種存在，使帶負電且穩定之腐植酸膠質，因電荷中和而呈現膠質不穩定(Destabilization)，因此產生良好混凝，高錳酸鉀消耗量及THMFP之殘留率10-30%， $A_{254}$ 則為45%；而最佳混凝pH範圍為4.0-5.0，殘留率為10-20%。相對地 pH範圍於7.0-9.0時，由於鐵鹽以 $Fe(OH)_2^+$ 、 $Fe(OH)_3(s)$ 及 $Fe(OH)_4^-$ 化學物種為主，因電荷中和能力不足或相斥力，使帶負電荷之腐質酸膠體仍呈現穩定狀態，故高錳酸鉀消耗量及THMFP殘留率高達90-100%，且 $A_{254}$ 較混凝處理前增加約30%。本研究與諸多研究以亞鐵或三價鐵為混凝劑，化學混凝去除有機物之最適pH範圍綜合如表1所示約為3.0-5.2，共同的最適pH範圍可為4.0-5.0。

## (2) pH對Fenton法氧化去除THMs前驅有機物之影響

圖2為人工原水於亞鐵與過氧化氫加藥量均為10mg/L，氧化時間2小時，pH對過氧化氫改善鐵鹽混凝去除THMs前驅有機物之影響。當氧化pH範圍於2.0-5.0時，高錳酸鉀消耗量、THMFP及 $A_{254}$ 殘留率則約分別為8-22%、5-8%及10-20%；且殘留率於pH範圍3.0-4.0時最低，皆小於10%。相對地於pH6.0-9.0時，高錳酸鉀消耗量及THMFP值殘留率均大於60%；而 $A_{254}$ 值殘留率為125-140%，且隨pH增高殘留率愈高，故Fenton氧化階段之最適pH為3.0-4.0。

Fenton法氧化之化學反應如(1)式所示，顯示pH( $H^+$ 離子濃度)



、亞鐵與過氧化氫加藥量皆會影響 $\cdot OH$ 生成量，故於低pH時較高pH易生成 $\cdot OH$ 供氧化THMs前驅有機物。同時從淨水程序pH控制觀點而言，Fenton氧化與鐵鹽混凝之最適共同pH約於4.0附近，為節省pH調整之加藥量，若最適共同pH設於5.0時，Fenton氧化之THMFP殘留率約10%，高錳酸鉀消耗量及 $A_{254}$ 殘留率則約20%，即於pH5.0時Fenton法氧化可去除THMs前驅有機物約80-90%，亦可謂良好去除效果。由(1)式而言，THMs前驅有機物之氧化主要主宰於 $\cdot OH$ 生成量及THMs前驅有機物被氧化之難易，若為不易氧化者，於pH5.0時則需提高亞鐵與過氧化氫加藥量，以維持所需 $\cdot OH$ 生成量；若為容易氧化者，則於pH5.0可同時進行前氧化與後續混凝操作，因此Fenton氧化與鐵鹽混凝之最適

共同pH範圍可為4.0-5.0。比較圖1及圖2於同樣鐵鹽及過氧化氫各為10mg/L之Fenton法氧化條件下，生成之THMs(以 $\text{CHCl}_3$ )無法去除，但Fenton法可有效地改善鐵鹽混凝去除THMs前驅有機物，故減低THMs之淨水技術以去除其前驅有機物為宜。

### 3. 過氧化氫加藥量對改善鐵鹽混凝去除THMs前驅有機物之影響

人工原水於鐵鹽5mg/L及pH3.0時，過氧化氫加藥量對Fenton法氧化去除THMs前驅有機物之影響如圖3所示，單獨鐵鹽5mg/L混凝時，高錳酸鉀消耗量及THMFP殘留率約為90%(圖4)，過氧化氫加藥量於0-2mg/L範圍，因過氧化氫加藥量愈高，依(1)式反應生成愈多 $\cdot\text{OH}$ ，氧化能力愈強，故隨過氧化氫加藥量增加其高錳酸鉀消耗量殘留率由90%降至9%，THMFP及 $A_{254}$ 則能降至4%及10%，當加藥量由2mg/L增至10mg/L時，高錳酸鉀消耗量、THMFP及 $A_{254}$ 殘留率均無顯著增加，顯示鐵鹽於低加藥量5mg/L無混凝效果時，添加過氧化氫2mg/L即可大幅改善混凝去除THMs前驅有機物。

### 4. 傳統鐵鹽混凝及Fenton法減低THMs之比較

#### (1) 最適亞鐵加藥量之比較

圖4為人工原水於不同的鐵鹽加藥量時，鐵鹽混凝、Fenton法(過氧化氫2mg/L)氧化及氧化後再混凝之比較。以鐵鹽混凝(pH5.0)時，亞鐵加藥量需達25mg/L始可將高錳酸鉀消耗量、THMFP及 $A_{254}$ 殘留率降低至10%以下。若添加2mg/L過氧化氫後，THMFP欲同時達10%以下之殘留率，鐵鹽混凝與過氧化氫配合鐵鹽所需之亞鐵加藥量分別為25mg/L及5mg/L。因此添加少量的過氧化氫於Fenton前氧化階段可有效地改善鐵鹽混凝，減少亞鐵劑量而達到降低THMFP之效果。

同圖4所示於pH3.0進行Fenton前氧化後，再調整pH至5.0進行Fenton混凝階段，顯示Fenton混凝階段對Fenton前氧化後殘留之THMs前驅有機物未具去除效果，且有有機物有再溶出現象，無論高錳酸鉀消耗量、THMFP或 $A_{254}$ 於混凝後之殘留率皆高於前氧化後，故THMs前驅有機物去除主要於前氧化階段完成。Tambo指出化學混凝一般無法去除分子量低於1500之有機物[22]，Fenton法為高級氧化程序，推測前氧化後殘留之有機物可能皆為低分子量，故混凝無法去除。同時腐質酸於酸性低pH時溶解度較低，如圖5所示腐質酸溶於蒸餾水中各pH之溶解度，於pH3.0及5.0時經 $0.45\mu\text{m}$ 濾紙過濾後之 $A_{254}$ 殘留率分別為5

8%及95%，高錳酸鉀消耗量則分別為78%及88%，故由於pH5.0時腐質酸之溶解度大於pH3.0，致使Fenton法混凝階段之THMFP殘留率皆大於前氧化階段。表2為Fenton前氧化後調整至5.0於10分鐘快混後及10分鐘快混與30分鐘慢混後高錳酸鉀消耗量殘留率之比較，兩者之高錳酸鉀消耗量殘留率相差甚少，顯示pH調整至5.0時於快混即發生腐質酸再溶出現象。

## (2) 污泥生成量之比較

圖6所示人工原水以鐵鹽混凝及Fenton法每升水樣所產生之總固體物乾重，當亞鐵加藥量為0.1-20mg/L時，因不發生化學混凝效果，此時並無污泥量生成。而在鐵鹽加藥量25mg/L時，有機物去除率約90%，此時每升水樣產生之總固體物乾重為48mg，且隨亞鐵加藥量增加產生的總固體物亦增加，當亞鐵加藥量為40mg/L時，每升水樣所產生的固體物高達80mg。然而若以2mg/L的過氧化氫配合亞鐵氧化時，因亞鐵於0.1-2mg/L時去除有機物效果較差且不發生污泥，而鐵鹽於3-10mg/L時，隨亞鐵加藥量增加，總固體物亦由22mg增加至27mg，而在2mg/L過氧化氫配合下，亞鐵加藥量5mg/L時，每升水樣所產生的固體物乾重僅為25mg。故過氧化氫配合鐵鹽氧化不僅可減少亞鐵加藥量，亦可減少污泥發生量。

## (3) 上層液殘留鐵鹽濃度之比較

圖7為相對於圖5所示結果上澄液殘留的總鐵鹽濃度，鐵鹽混凝於不發生混凝效果時，亞鐵加藥量0.1-20mg/L之上層液鐵鹽含量隨亞鐵加藥量增加而增高，而在最適混凝加藥量25mg/L時之殘留鐵鹽濃度為6mg/L，且於亞鐵加藥量為40mg/L時，上澄液鐵鹽更高達12.7mg/L。同樣地Fenton法於亞鐵加藥量3-10mg/L範圍，經前氧化與混凝處理後上澄液鐵鹽濃度為1.1-3.0mg/L，亦超過自來水標準值總鐵0.3mg/L。鐵鹽混凝與Fenton氧化去除腐質酸之最適pH於4.0-5.0，仍殘留多量鐵鹽，必須藉提高pH並配合過濾去除鐵鹽，以降至0.30mg/L以下。

## 5. 高錳酸鉀消耗量及 $A_{254}$ 與THMFP之相關性

Edward[23]指出 $A_{254}$ 或TOC可作為THMFP之替代參數(Surrogate)，高錳酸鉀消耗量為歐洲、日本飲用水水質標準中有機物指標之一，曾氏亦指出高錳酸鉀消耗量與TOC具良好關係[24]。人工原水高錳酸

鉀消耗量、 $A_{254}$ 與THMFP 80組實驗數據迴歸分析結果如圖 8所示，其關係式分別如式(2)及式(3)，顯示高錳酸鉀消耗量與 THMFP之相關性較 $A_{254}$ 為佳。圖2所示 $A_{254}$ 殘餘率增加至170%之現象，乃因溶解性鐵鹽及鐵鹽與腐植酸形成之錯合物干擾 $A_{254}$ 值，故以鐵鹽混凝去除腐植酸時， $A_{254}$ 值較不適合用為殘留有機物之指標[25]，因此高錳酸鉀消耗量較 $A_{254}$ 適用為THMFP之替代參數。

$$\text{THMFP}=13.3 * \text{高錳酸鉀消耗量} -28.74 \quad r^2=0.95 \quad (2)$$

$$\text{THMFP}=775.6*(A_{254})+1.5 \quad r^2=0.69 \quad (3)$$

#### 四、 結論

- (1) 鐵鹽混凝或Fenton法氧化均無法去除三鹵甲烷。
- (2) 鐵鹽混凝及Fenton法氧化降低THMFP之最佳pH範圍分別為4.0-5.0和3.0-4.0。
- (3) 過氧化氫可有效地改善亞鐵混凝減低THMFP，減少亞鐵加藥量及污泥生成量。
- (4) Fenton法去除腐植酸主要於前氧化階段完成，混凝階段會發生腐質酸再溶出現象。
- (5) 溶解性鐵鹽及鐵鹽腐植酸錯合物干擾 $A_{254}$ 吸光度，以鐵鹽混凝劑時， $A_{254}$ 不適用為有機物指標。
- (6) 高錳酸鉀消耗量可作為作THMFP之替代參數。

#### 參 考 文 獻

1. AWWA(1982)"Treatment Techniques for Controlling Trihalomethanes in Drinking Water", AWWA Research Foundation.
2. Krasner S. W.(1994) "Quality Degradation: Implications for DBP Formation", JAWWA, Vol.86, No.6, pp.34-47
3. 蔣本基(1990)「飲用水水質標準研究」，行政院環境保護署研究報告，EPA-77-005-20-120。
4. 葉宣顯、郭輔仁(1992)「淨水程序操作參數之改變以控制殘餘鋁量之研究」，中華民國自來水協會，第九屆自來水論文發表會論文集，pp.293-308。
5. Legube E.(1990) "Iron(III) Coagulation of Humic Substan-

- ces Extraced from Surface Waters: Effect of pH and Humic Substances Concentration", Water Research, Vol24, No.5, pp.591-606
6. Wahlroos G.(1991) "The Realization of Activated-Carbon Filtration in a Water Purification Process for Highly Humic Water by Prior Two Stage Iron(III) Salt Coagulation", J. Water SRT-Aqua, Vol.40, No.4, pp.211-216
  7. Glaze W.H.(1990)" Chemical Oxidation", in Water Quality and Treatment:A Handbook of Community Water Supplies, 4th Edition, McGraw-Hill,Inc., pp.747-777.
  8. Huang C. P.(1993) "Advanced Chemical Oxidation: Its Present Role and Potential Future in Hazardous Waste Treatment", Waste and Management, Vol.13, pp.361-377
  9. Glaze W.H.(1987) "Oxidation of Organic Substances in Drinking Water",in Control of Organic Substances in Water and Wastewater, Noyes Data Corporation, pp.148-174.
  10. Aguiar A.(1993) "Oxydation des Pesticides et Coagulation des Substances Humiques par le Peroxyde D'hydrogene a Faible Doseet le fer Ferreue", Water Supply, Vol.11, pp.157-166.
  11. Terranova N.and C.P. Huang(1994) " Reduction of THMF Potential by Fenton's Reagent", in Hazardous and Industrial Wastes, Ed. by Huang C.P., Technomic Publishing Company Inc., pp.205-211.
  12. APHA,AWWA,WPCF, (1992)" Standard Method for the Examination of Water and Wastewater", 18th Edition.
  13. 日本水道協會(1985)「日本上水試驗法」。
  14. 葉宣顯、黃文鑑(1990)「臺灣南部地區受嚴重污染自來水水源有機物偵測與現有處理效率之研究」，行政院環境保護署研究報告，EPA-80-E3J1-09-15
  15. 曾迪華、應堅聖(1987)「自來水中三鹵甲烷處理技術之回顧與評估」，自來水會刊雜誌，第23期，pp58-75。
  16. 櫻井賢一等(1993)"橫濱市小雀淨水場における中間鹽素處理"，水道協會誌，Vol.62, No.9, pp7-22.
  17. Committee Report (1979)"Organics Removal by Coagulation :Areview and Research Needs", JAWWA, 72. pp.588-603.

18. Black A.P.(1963) "Stoichiometry of the Coagulation of Color-Causing Organic Compounds with Ferric Sulfate", JAWWA, Vol.55, pp.1347-1366.
19. Black A.P.(1961) "Electrophoretic Studies of Coagulation for Removal of Organic Color", JAWWA, Vol.53, pp.589-604
20. Sinsabaugh R. L. (1986) " Precursor Size and Organic Halide Formation Rates in Raw and Coagulated Surface Waters", J. Environmental Engineering, Vol.112, No.1, pp .139-153.
21. 黃汝賢、張朝昌、譚健群、紀長國(1990)「改善混凝處理以減少三鹵甲烷的形成」，中華民國自來水協會，第七屆自來水論文發表會論文集，pp.39-50。
22. Tambo N., Kamie T. and Itoh H.(1987) " Evaluation of Extent of Humic Substance Removal by Coagulation", in Aquatic Humic Substances Influence on Fate and Treatment of Pollutants, Advances in Chemistry Series 219", pp.453-472.
23. Edwald,J.K.;Becker,W.C. and Wattier,K.L.(1985)"Surrogate parameters for Monitoring Organic Matter and Trihalomethane Precursors in Water Treatment", JAWWA, Vol.77, No. 4, pp.12-21
24. 曾四恭、陳國宏(1990)「河川水源有機物指標與相關淨水技術之研究」，第七屆自來水論文發表會論文集，pp.15-26。
25. James M. M.,Consulting Engineers,Inc.(1992) " Final Report: Effect of Coagulation and Ozonation on the Formation of Disinfection By-Products", AWWA & Water Industry Technical Action Panel.

表1 鐵鹽去除有機物之最佳pH範圍

研究者	原水來源	污染物	鐵鹽	最適pH範圍	參考文獻
Hall	河水	有機色度	Fe <sup>3+</sup>	3.5-4.5	[17]
Black	河水	有機色度	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	3.5-4.5	[18]
Black	河水	有機色度	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	3.5-4.0	[19]
Wehloors	河水	COD <sub>mn</sub>	FeCl <sub>3</sub>	4.8-5.1	[6]
Sinsabaugh	河水	有機物	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	5.0-5.2	[20]
黃氏	河水	有機物	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	3.0-4.0	[21]
本研究	人工原水	腐質酸	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	4.0-5.0	

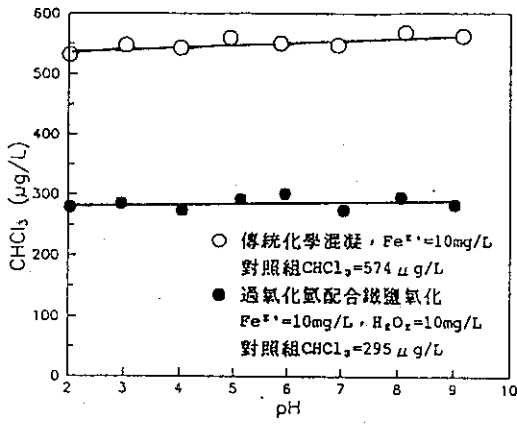


圖1 傳統化學混凝及過氧化氫配合鐵鹽氧化  
去除三鹵甲烷(CHCl<sub>3</sub>)

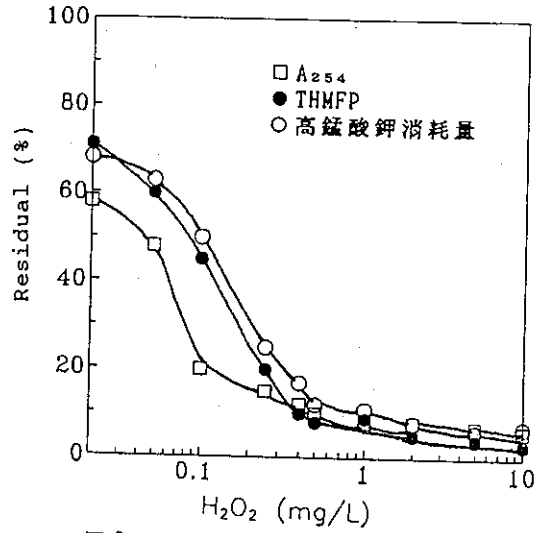


圖3 過氧化氫加藥量對Fenton法氧化  
去除三鹵甲烷前驅有機物之影響

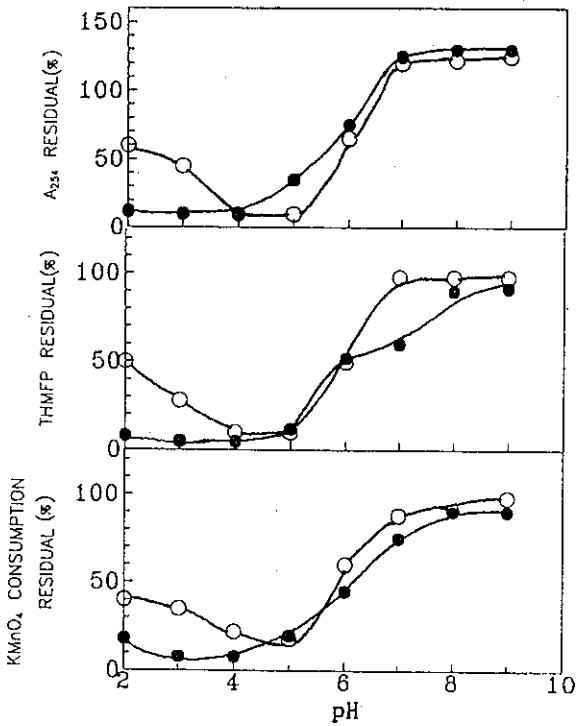


圖2 pH對亞鐵混凝及Fenton法氧化  
去除三鹵甲烷前驅有機物之影響  
○ 亞鐵混凝 (Fe<sup>2+</sup>=25mg/L)  
● Fenton法氧化 (Fe<sup>2+</sup>=10mg/L  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=10mg/L)

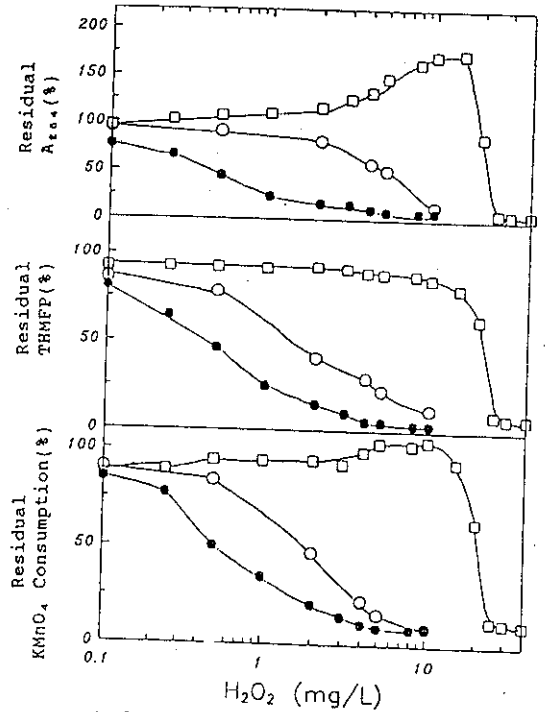


圖4 亞鐵混凝及Fenton法氧化 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=2mg/L)  
之高錳酸鉀消耗量、THMFP及A<sub>254</sub>  
殘留率之比較  
□ 亞鐵混凝  
● Fenton法前氧化階段  
○ Fenton法混凝階段

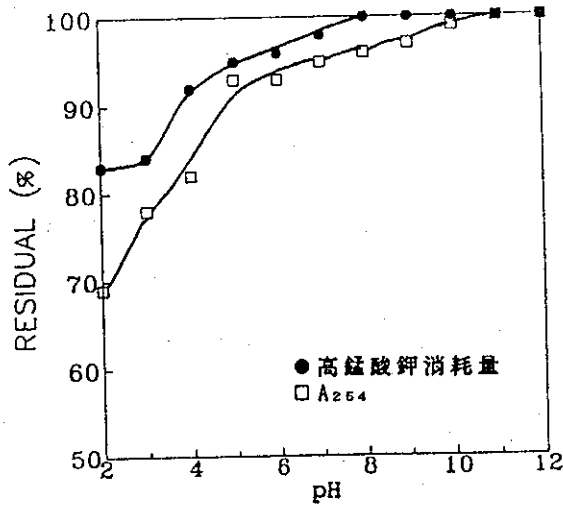


圖5 人工原水調整pH值過濾後之高錳酸鉀消耗量、A<sub>254</sub>殘留率

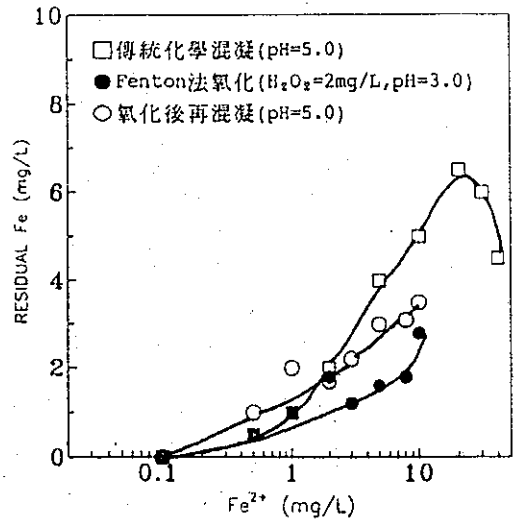


圖7 傳統化學混凝、Fenton法氧化及氧化後再混凝之上層液鐵鹽濃度

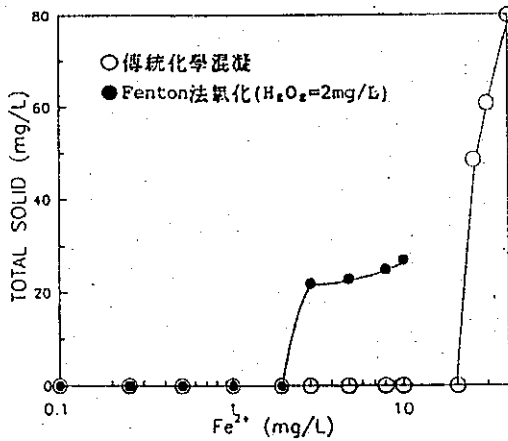


圖6 傳統化學混凝及Fenton法氧化每升水樣所產生之總固體物乾重

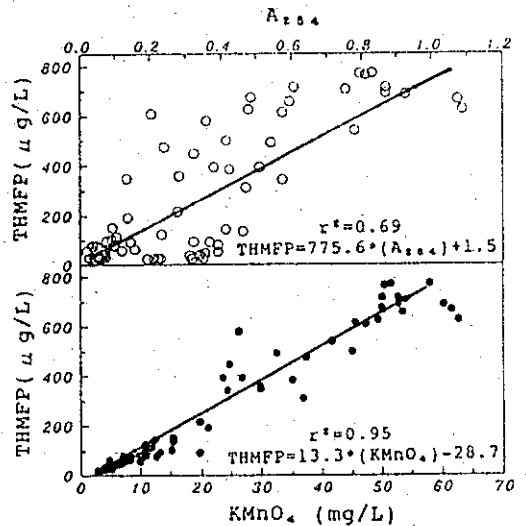


圖8 高錳酸鉀消耗量、THMFP及A<sub>254</sub>之間的相關性(80組資料)

表2 Fenton氧化、氧化後再混凝及氧化後pH調高至5.0快混10分鐘後高錳酸鉀消耗量殘留率比較

條件	人工原水	人工原水
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> =2 mg/L Fe <sup>2+</sup> =5 mg/L	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> =2 mg/L Fe <sup>2+</sup> =10 mg/L
Fenton法氧化	10%	10%
氧化後再混凝	17%	10%
氧化後pH調高至5.0快混10分鐘	18%	10%