



## 四種不同型態錳之存在對於六價鐵製備的影響

甘其銓<sup>\*a</sup>、陳政宏<sup>b</sup>、林紘傑<sup>b</sup>、萬孟璋<sup>c</sup>

<sup>a</sup> 嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所助理教授

<sup>b</sup> 嘉南藥理科技大學環境工程與科學學系四技大專生

<sup>c</sup> 嘉南藥理科技大學環境工程與科學學系副教授

### 摘要

隨著環境議題備受重視，減廢與對環境友善的各種製程理念已被應用於各種產業，包括環保及淨水產業。傳統以地下水為水源之淨水廠，原水中含有鐵錳離子，經氧化處理後產生大量鐵錳汙泥，此類汙泥並非有害汙泥，卻仍須後續之汙泥處理程序，耗費相當多的汙泥處理成本。故本研究將淨水程序所產生的鐵錳汙泥加以利用，製備成兼具混凝與氧化效果的六價鐵，並探討製備條件對六價鐵產物純度的影響。製備成的水處理藥劑將可利用於各種水處理程序，成為一綠色的水處理藥劑。六價鐵為一種具有強氧化力與無機混凝性的新型淨水氧化劑，本研究以含鐵量高的廢棄汙泥為原料，利用濕式氧化法進行合成六價鐵。由於淨水場鐵錳汙泥合成六價鐵易受其他成分影響，因此利用硝酸鐵模擬實場汙泥之主要成分進行其他成份做添加試驗，探討不同含量的高錳酸鉀、氯化錳、氧化錳與錳離子對六價鐵製備之影響。實驗結果顯示，濃度 2.0M 的 HNO<sub>3</sub> 在酸洗過程中鐵錳汙泥可溶出最大量的鐵，在硝酸鐵添加試驗中，以純硝酸鐵製備六價鐵產量並不高，額外添加適量的高錳酸鉀、氯化錳與錳離子成分對六價鐵的產量有加成作用，但氧化錳的成分影響較不顯著。綜合言之淨水場鐵錳汙泥製備六價鐵的產量高於純硝酸鐵合成六價鐵的產量，汙泥中其他成分之加成作用使得六價鐵產量提升。

**關鍵字：**六價鐵、汙泥資源化、水處理汙泥、鐵錳汙泥

---

\*通訊作者：甘其銓

Email: cckanev@mail.chna.edu.tw



## 壹、前言

國內因自來水原水水質普遍惡化，淨水程序所需添加之藥劑量因而提升，導致所產生的淨水污泥量節節高升，然而在台灣廢棄污泥之最終處理方法絕大部分為掩埋處理或焚化處理，但近年來掩埋場不足且污泥處理費用不斷增加，未來淨水污泥減量技術發展須邁向資源再利用。此外，混凝與消毒為水處理重要的一環，傳統混凝與消毒需分別使用不同藥劑，高鐵酸鉀(六價鐵)為一新興水處理藥劑，兼具混凝與氧化功能，且在酸性或鹼性下都有強氧化效果，用於水處理即可混凝與消毒同時進行。六價鐵可有效地去除懸浮物、重金屬、及水中多種有機污染物，而反應後最終產物具有對環境友善之特性，因此被稱為綠色氧化劑。本研究藉由淨水廠的污泥進行六價鐵的合成，探討不同污泥特性及製備條件對六價鐵產量及純度之影響。以建立污泥製備六價鐵之最適操作程序。

高鐵酸鉀(六價鐵)最初在 1702 年由科學家 Stahl 在實驗中發現，隨後 Eckenberg 和 Becquerel 在鐵礦與氫氧化鉀混合實驗中製作出相同深紫色的化合物，且能在水中分解，文獻記載化學式為  $K_2FeO_4$  (Jian and Lloyd, 2002)。六價鐵具有強氧化性，其氧化電位在酸性及鹼性條件下分別為 2.20 V 及 0.70 V (如表 1 所示)，高於臭氧、氯和高錳酸鉀。進行氧化反應時，能還原成三價鐵進行混凝作用，在水處理過程中使用低劑量即可有效進行混凝與氧化消毒，是具有雙重效果的淨水劑(Sharma et al, 2005)。

六價鐵的分子式為  $FeO_4^{2-}$ ，在溶解態顏色呈深紫色(Delaude et al., 1995)，以 X-ray powder pattern 分析六價鐵形成  $K_2FeO_4$  其離子態為四面結構體，包括四個等面積共價氧原子與中心為六價的鐵離子，此結構溶於水中會有三種共振結構模式，如圖 1 表示。

表 1 高鐵酸鉀與其他氧化劑/消毒劑物質之電位比較

Oxidants	pH	Reaction	Potential, V
Ferrate	Acid	$FeO_4^{2-} + 8H^+ + 3e^- \rightarrow Fe^{3+} + 4H_2O$	2.20
	basic	$FeO_4^{2-} + 4H_2O + 3e^- \rightarrow Fe(OH)_3 + 8OH^-$	0.70
Hypochlorite	acid	$HClO + H^+ + 2e^- \rightarrow 2Cl^- + H_2O$	1.48
	basic	$ClO^- + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + 2Cl^-$	0.84
Ozone	acid	$O_3 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow O_2 + H_2O$	2.08
	basic	$O_3 + H_2O + 2e^- \rightarrow O_2 + 2OH^-$	1.24
Hydrogen peroxide	acid	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	1.78
	basic	$H_2O_2 + 2e^- \rightarrow 2OH^-$	0.88
Permanganate	acid	$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$	1.68
	basic	$MnO_4^- + 2H_2O + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 4OH^-$	0.59

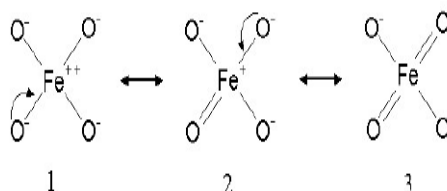


圖 1 六價鐵在水溶液中狀態與三種共振結構(Yoon et al., 2004)

以化學反應動力模式得知不同 pH 值範圍裡有四種六價鐵的離子型態，分別有  $H_3FeO_4^+$ 、 $H_2FeO_4$ 、 $HFeO_4^-$ 、 $FeO_4^{2-}$ ，圖 2 為不同 pH 值下六價鐵存在之各種形態比例圖，

可得知  $\text{FeO}_4^{2-}$  在鹼性條件下較穩定，然而酸性條件下則是以  $\text{HFeO}_4^-$  較穩定(Li et al., 2005)。在自然與微鹼的溶液中，以  $\text{H}_2\text{FeO}_4$  (hydrogen ferrate) 及  $\text{FeO}_4^{2-}$  (ferrate) 為主要的型態。

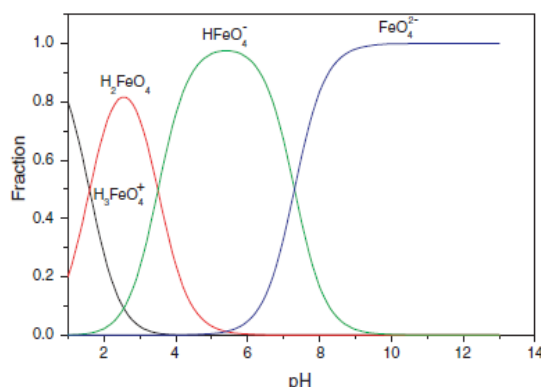
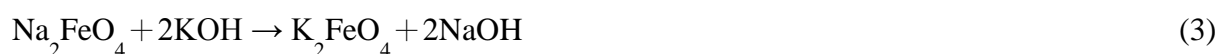
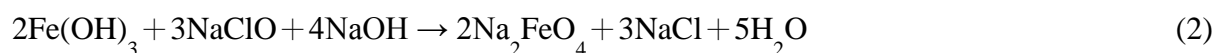
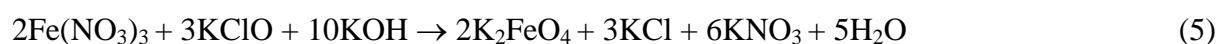


圖 2 不同 pH 值下六價鐵存在之各種形態比例圖

目前高鐵酸鉀(六價鐵)有三種常見的製備方法，分別為乾式氧化法：在高氧與高鹼度下混合鐵氧化物。電解法：以鐵合金作為陽極並以氫氧化鉀與氫氧化鈉作為電解液，進行電解。濕式氧化法：利用次氯酸鈉在強鹼下將三價鐵氧化成六價鐵，之後再加入高濃度的氫氧化鉀使固態的高鐵酸鉀沉澱出來，再經脫水乾燥而成，其反應方程式如(1)至(3)所示：



影響產量的因素大多以 KOH 與次氯酸鈉濃度的多寡為製備高鐵酸鉀的優劣為重要指標(Schreyer and Ockerman, 1951)，水中的氫氧根鹼度與次氯酸鈉不足，會影響三價鐵無法完全反應成六價鐵，使保持在三價鐵的狀態，然而，六價鐵需以低溫下保存，使保持較高的氧化能力，並減低降解速度，但以一般乾燥法保存其電位與純度則隨著時間而改變，製備高鐵酸鉀的鐵來源也會因各化學性質不同而影響成品的優劣，濕式氧化法大多是以硝酸鐵為鐵來源。而在次氯酸鈉的濃度上也有相關聯，次氯酸鈉濃度越高產量也越高，若次氯酸鈉濃度不夠時反應容易失敗，依反應式(4)、(5)可得知是合成六價鐵的關鍵之一。



溫度也是導致產量減少的因素之一，因為溫度上升會使六價鐵的降解速率增加(Schreyer and Ockerman, 1951)，完成品須以 5°C 以下保存，使氧化能力保持較高的狀態，且減緩分解的速率。

高鐵酸鉀兼具有雙重效果的氧化劑，製備方式也簡單，藥品價格低廉也容易取得，而使用傳統混凝劑鐵鹽類與鋁鹽類會有副產物及毒性物質產生，造成二次污染；但高鐵酸鉀雖是一種環保的處理藥劑，卻不容易保存，須在低溫下保存且穩定性差。

因此，由上述之文獻可歸納總結本研究之目的如下：



- (1) 污泥基本組成成分之分析:探討污泥基本組成成分與鐵、錳的含量比,是否錳離子或氧化錳與鐵競爭溶出。
- (2) 淨水場鐵錳污泥進行製備六價鐵:以模擬淨水污泥成分來比對實場污泥中製備六價鐵影響因子。
- (3) 純硝酸鐵進行製備六價鐵:自製模擬淨水污泥酸洗後之硝酸鐵成分與氧化錳、錳離子、氯化錳以及高錳酸鉀的存在方式,探討模擬污泥成分存在其他因子是否影響製備六價鐵之關係。

## 貳、 材料及方法

### 1. 淨水場鐵錳污泥製備六價鐵步驟

使用水分測定儀將污泥烘乾至含水率 50%，稱取 25 克污泥，加入 50mL 的 2.0M HNO<sub>3</sub>，以 100 rpm 攪拌 1.5 hr(攪拌完成後抽取 20mL 的酸洗污泥，利用 DR2800 分析總鐵)。100mL 4°C NaOCl (10%~13%) + 30g NaOH 攪拌至完全溶解。(須冰浴控溫 25~30°C) 攪拌均勻。加入酸洗後的污泥混合，以 100 rpm 攪拌 20min，加入 70g NaOH 以 300 rpm 攪拌 20min(須冰浴控溫 25~30°C)。加入 100mL 10M KOH，以 300 rpm 攪拌 20min(須冰浴控溫 25~30°C)。利用 DR2800 分析六價鐵。六價鐵溶液分別置入棕色瓶保存，在冰箱 5°C 以下。

### 1. 硝酸鐵添加四種不同型態錳之製備六價鐵實驗步驟

製備 3000ppm 硝酸鐵 50 mL。依序加入硝酸錳 0.6853g、0.4569g、0.2284g；氧化錳 0.2374g、0.1583g、0.0791g；氯化錳 0.5404g、0.36g、0.18g；高錳酸鉀 0.4315g、0.2877g、0.1438g。100mL 4°C NaOCl (10%~13%) + 30g NaOH 攪拌至完全溶解。(須冰浴控溫 25~30°C) 攪拌均勻。加入酸洗後的污泥混合，以 100 rpm 攪拌 20min；加入 70g NaOH 以 300 rpm 攪拌 20min(須冰浴控溫 25~30°C)。加入 100mL 10M KOH，以 300 rpm 攪拌 20min(須冰浴控溫 25~30°C)。利用 DR2800 分析六價鐵。六價鐵溶液分別置入棕色瓶保存，在冰箱 5°C 以下。

### 2. 實驗材料、設備與分析方法：

本研究所使用之實驗藥品包括有次氯酸鈉(NaOCl, 10~13%，乘立化學股份有限公司)、氫氧化鈉(98%NaOH, 台塑公司)、氫氧化鉀(95.5%KOH, Merck)、硝酸(G.R.級 70%HNO<sub>3</sub>, Merck)。硝酸錳(試藥級 97%Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O, Panreac quimica sau)、二氧化錳(試藥級 90%MnO<sub>2</sub>, Merck)。研究中以分光光度計(Hach, DR2800)，設定波長在 510nm 下測定六價鐵濃度。污泥含水率則以水分天平(AND NL-50)進行分析，其最大秤量為 51g，精確度可達 0.005g，含水率精確度為 0.5%。實場污泥組成則以能量散射光譜儀(Energy Dispersive Spectrometer, EDS)及傅立葉紅外線光譜儀(FTIR, JASCO FT/IR-410)進行定性及半定量分析。

## 參、 結果與討論

### 1. 淨水場鐵錳污泥之定性

從 FTIR 所分析出實場污泥的組成成分如圖 3 所示，可得知 OH 基在 3400 cm<sup>-1</sup> 有極



寬的吸收帶及  $1634\text{ cm}^{-1}$  也有一個 OH 基的吸收峰;而在  $2450\text{ cm}^{-1}$  附近的窄吸收帶為  $\text{CO}_2$ ，有可能是從空氣中吸收  $\text{CO}_2$  而來的;  $1063$  附近出現  $\text{SiO}_2$  的吸收訊號;  $622\text{ cm}^{-1} \sim 720\text{ cm}^{-1}$  則有 Mn-O 的吸收峰和  $478\text{ cm}^{-1}$  附近的位置發現  $\text{MnO}_2$  的波峰訊號;  $462\text{ cm}^{-1}$  則為  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的訊號。由此光譜得知在淨水污泥中基本組成成分含有  $\text{MnO}_2$  與 Mn-O 及  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的存在，另外  $\text{SiO}_2$  雖也是污泥中重要的組成成分之一，但六價鐵製備過程中以硝酸浸漬  $\text{SiO}_2$  在酸性環境下溶解度低，因此本研究先行探討 Fe、Mn 對污泥製備六價鐵之相關影響因子。

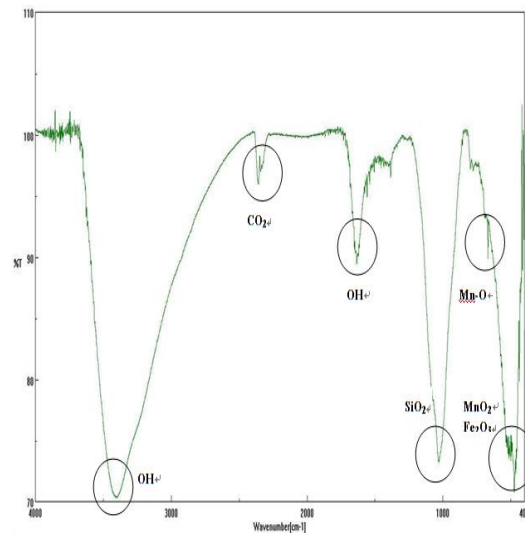


圖 3 淨水場實場污泥 FTIR 分析圖譜

為確實掌握污泥各主成分之含量，首先利用 EDS 分析污泥組成成分和所含元素百分比，如圖 4 及表 2 所示，可得知實驗所使用的污泥基本成分，除了碳、氧居多之外，鐵排第三高，其次是錳。

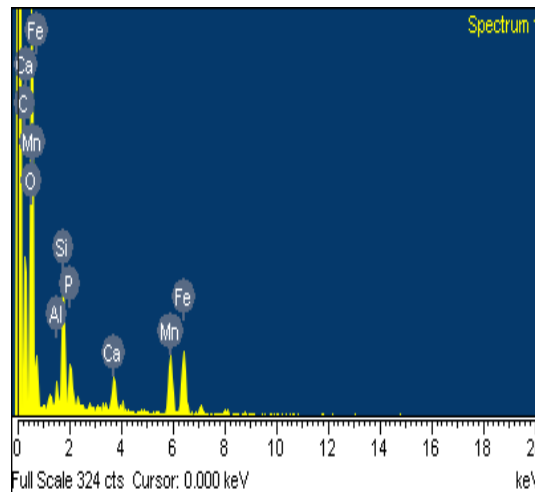


圖 4 淨水場實場污泥 EDS 分析結果



表 2 淨水場實場污泥各元素成分含量

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

## 2. 硝酸溶出成份分析

表 3 成份確定之前置試驗污泥製備六價鐵之首要步驟及以硝酸溶解  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  生成較利於反應的  $\text{Fe}(\text{NO})_3$ ，如反應式(6)所示，為了解硝酸浸漬同時所溶出其他離子對六價鐵產量之影響，本研究以不同的硝酸濃度 0.5M、1.0M、2.0M、3.0M、4.0M 以 50ml 浸漬 25g 污泥，探討污泥釋出鐵與溶出各金屬濃度，如表 3 顯示除鐵與錳釋出量隨硝酸濃度有極大改變外，其餘金屬之洗出量差異不大，其中硝酸濃度在 2.0M 時酸洗出的總鐵量與錳為最高，總鐵達 24750mg/L、錳達 6500 mg/L。由於鈣、鎂之氧化價態較不受氧化劑之影響，而鋁被洗出量極低，本研究將溶解態的錳列入主要探討對象之一。



表 3 不同硝酸濃度萃取污泥所得之總鐵及錳濃度

硝酸 Conc.(M)	0.5M	1.0M	2.0M	3.0M	4.0M
總鐵 (mg/L)	8350	11100	24750	10000	9200
錳(mg/L)	500	1500	6500	1750	1500

## 3. 淨水場鐵錳污泥製備六價鐵之結果

由基本特性得知污泥主要成分是  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，利用  $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO})_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  模擬污泥酸洗後形成硝酸鐵進行六價鐵製備，並與淨水場鐵錳污泥產量作比較轉換率，結果如表 4，明顯可見以硝酸鐵製備六價鐵的轉換率遠較污泥低，結果顯示實場污泥合成出的六價鐵轉換率為 65.027%，而試藥級硝酸鐵所合成的六價鐵轉換率為 28.109%可知污泥中存在  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  以外，還有其他成分對六價鐵產量造成正面的影響，亦為本研究之主要探討目的。





表 4 實場與合成汙泥之鐵成分轉換六價鐵之轉換率

	淨水場鐵錳汙泥	試藥級硝酸鐵
總鐵 (mg/L)	27450	3025
錳 (mg/L)	6500	0
六價鐵	17850	850.3
轉換率%	65.027	28.109

#### 4. 硝酸鐵添加四種不同型態錳之製備六價鐵試驗

為探討  $Mn^{2+}$  對六價鐵製備產量之影響，本研究以硝酸浸漬實廠汙泥之 Mn 溶出量為 6500ppm，鐵與錳的比例高達四比一，故使硝酸錳溶解於 50mL 3000ppm 硝酸鐵中進行 3000ppm、2000ppm、1000ppm 的添加量，由結果可知六價鐵的產量會隨著錳的增加而提升如表 5。

表 5 不同硝酸鐵與硝酸錳( $Mn^{2+}$ )添加比例下之六價鐵的產量

硝酸鐵:硝酸錳( $Mn^{2+}$ ) (mg/L)	3000:3000	3000:2000	3000:1000
Fe (g)	1.085	1.085	1.085
Mn (g)	0.6853	0.4569	0.2284
六價鐵 (mg/L)	1544	1422.5	991
轉換率 (%)	51.47	47.42	33.03

為探討  $MnO_2$  對六價鐵製備之影響，由 FTIR 光譜分析得知鐵錳汙泥的主成分為氧化錳，本研究以硝酸鐵添加  $MnO_2$  進行六價鐵製備，使氧化錳溶解於 50mL 3000ppm 硝酸鐵中進行 3000ppm、2000ppm、1000ppm 的添加量，由結果可知不添加氧化錳比添加  $MnO_2$  的產量高出許多，結果顯示含有  $MnO_2$  會影響六價鐵的產量，而  $MnO_2$  在許多研究中扮演了催化劑的角色，可見汙泥中有  $MnO_2$  之存在，為造成對六價鐵製備有正面幫助之可能主因。

表 6 不同硝酸鐵與氧化錳添加比例下之六價鐵的產量

硝酸鐵:氧化錳 (mg/L)	3000:3000	3000:2000	3000:1000
Fe (g)	1.085	1.085	1.085
Mn (g)	0.2374	0.1583	0.0791
六價鐵 (mg/L)	849.5	827.6	769.8
轉換率 (%)	28.32	27.59	25.66

為探討汙泥主成分內未含有之元素對六價鐵製備之影響，以常見的含錳化合物，氮





化錳及高錳酸鉀作為探討的對象使氯化錳及高錳酸鉀溶解於 50mL 3000ppm 硝酸鐵中進行 3000ppm、2000ppm、1000ppm 的添加量，由結果可知含錳化合物中所含有的氯離子及鉀離子的多寡對於六價鐵的產量提升是有正面的幫助。

表 7 不同硝酸鐵與氯化錳添加比例下之六價鐵的產量

硝酸鐵:氯化錳 (mg/L)	3000:3000	3000:2000	3000:1000
Fe (g)	1.085	1.085	1.085
Mn (g)	0.5404	0.36	0.18
六價鐵 (mg/L)	1585.1	1443	1100.8
轉換率 (%)	52.84	48.1	36.7

表 8 不同硝酸鐵與高錳酸鉀添加比例下之六價鐵的產量

硝酸鐵:高錳酸鉀 (mg/L)	3000:3000	3000:2000	3000:1000
Fe (g)	1.085	1.085	1.085
Mn (g)	0.4315	0.2877	0.1438
六價鐵 (mg/L)	1276.9	998.5	942.8
轉換率 (%)	42.56	33.28	31.43

## 肆、 結論

本研究主要利用實場污泥進行六價鐵製備，分析各污泥主要組成成分對六價鐵產量的影響度，綜合上述討論，結論與建議如下：

1. 在合成六價鐵過程中，硝酸的最佳濃度為 2.0M，可酸洗出之總鐵含量最高，同時洗出的錳因含量高，對六價鐵產量影響很大，經實驗結果可見額外添加適量的錳離子使得總鐵與錳的濃度相同可幫助六價鐵的產量提升。
2. 由基本特性得知淨水場鐵錳污泥主要成分是  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，利用  $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  模擬污泥酸洗後形成硝酸鐵進行六價鐵製備而淨水場鐵錳污泥合成六價鐵的產量比純硝酸鐵合成六價鐵的產量還高，污泥中除了存在  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  以外，有其他成分對六價鐵產量造成正面的影響。
3. 淨水場鐵錳污泥製備六價鐵時，硝酸所溶出之  $\text{Mn}^{2+}$  量對六價鐵產量影響很大，但額外添加適量的 Mn 離子可使總鐵與錳的濃度相當進而幫助六價鐵產量的提升；而硝酸鐵添加模擬實場污泥所存在的氧化錳合成六價鐵比純硝酸鐵的產量低，並無顯著。







## 伍、 謝誌

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 100-2815-C-041-004-E)。

## 參考文獻

1. Delaude, L. & Laszlo P. (1995). Oxidation of organic substrates with potassium ferrate (VI) in the presence of the K10 montmorillonite. *Tetrahedron Lett.*, 36, 8505-8508.
2. Jiang, J. Q. & Lloyd, B. (2002). Progress in the development and use of ferrate (VI) salt as an oxidant and coagulant for water and wastewater treatment. *Water Research*, 36, 1397-1408.
3. Lee, Y., Cho, M., Kim, J. Y. & Yoon, J. (2004) Chemistry of ferrate (Fe(IV)) in aqueous solution and its application as a green chemistry. *Journal Industry Engineers Chemistry*, 10, 161-171.
4. Li, C., Li, X. Z. & Graham, N. (2005) A study of the preparation and reactivity of potassium ferrate. *Chemosphere*, 61, 537-543.
5. Sharma, V. K., Kazama, F., Jiangyong, H. & Ray, A. K. (2005) Ferrates(iron(VI) and iron(V)): Environmentally friendly oxidants and disinfectants. *Journal of Water and Health*, 3, 45-58.
6. Schreyer, J. M. & Ockerman, L. T. (1951) Stability of the ferrate(VI) ion in aqueous solutions. *Analytical Chemistry*, 23, 1313-1318.





## Effects of four Manganese types on ferrate (VI) preparation

Chichuan Kan<sup>\*a</sup>, Zheng-Hong Chen<sup>b</sup>, Hong-Jie Lin<sup>b</sup>, Meng-Wei Wan<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Assistant Professor, Department of Environmental Engineering and Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

<sup>b</sup>Under graduated student, Department of Environmental Engineering and Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

<sup>b</sup>Under graduated student, Department of Environmental Engineering and Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

<sup>c</sup>Associate Professor, Department of Environmental Engineering and Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

### ABSTRACT

The ideas of industry waste reduce and environmental friendly has thought as common sense to date in Taiwan. This point of view also exist in the drinking water treatment plant (WTP). Water treatment plants with ground water to be raw water content iron and manganese ions always produce large amount of metal sludge. Although the sludge is in noxious, it's treatment and disposal still being a high-cost work. Therefore, the purpose of this study is to change the sludge with major content of iron and manganese to be a green chemical, i.e. ferrate, using in water treatment with both coagulation and oxidation effect. Ferrate was product with wet-oxidation method in this study, and the production parameters of ferrate from the sludge were discussed. In addition to the sludge from the WTP, a synthetic sludge using ferric nitrate and adding  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{MnO}_2$ , and  $\text{Mn}^{2+}$ , the common species existing in the WTP sludge, was applied to check the effect of compositions in the sludge on the production of ferrate. The results has shown that the nitrate with concentration of 2 M could obtain the most amount of Fe during the Fe extraction process. The ferrate production from synthetic sludge using ferric nitrate was low, and the addition of  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{MnCl}_2$ , and  $\text{Mn}^{2+}$  could promote the production. However, the increase of production was not significant in the test of  $\text{MnO}_2$  addition. Overall, we could conclude that the existence of some compositions in the WTP sludge could help to increase the product of ferrate.

**Keywords:** ferrate, sludge recycle, water treatment sludge, iron and manganese sludge

---

\* Email : cckanev@mail.chna.edu.tw

