

離子競爭對電磁場輔助奈米級零價鐵反應系統處理高濃度含砷廢水之影響

摘要

許多現今的高科技產業製程中產生的高濃度含砷廢水，因廢水中同時含各種陰、陽離子，導致去除水中砷離子過程中尚存許多尚未被釐清的離子競爭現象，進而影響水中砷的去除效果。本研究探討電磁場輔助奈米級零價鐵處理高濃度之含砷廢水，研究過程分別以批次實驗進行單一離子對砷離子去除之影響，另一併觀察水中pH、D0、ORP、 Fe^{2+} 、總鐵濃度等參數的變化情形。另外並以 2^{7-3} 部分因子實驗設計(2^{7-3} Fractional Factorial Design； 2^{7-3} FFD)探討去除砷過程中之複合離子對砷離子去除之競爭情形。

實驗結果發現，於起始pH=4 單一離子系統中，具負面影響之競爭性陰離子依序為： $\text{PO}_4^{3-} > \text{Br}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ ，而系統中 Ca^{2+} 與 F^- 可提昇砷離子去除之效率。於複合離子之FFD實驗中，由所得效應估計值與離子交互作用推估結果，發現 PO_4^{3-} ， SO_4^{2-} ， F^- 與 Ca^{2+} 為去除砷重要之影響因子，另外 Cl^- 、 Br^- 、 NO_3^- 及 Ca^{2+} 則為As去除之促進因子。此複合離子系統中之FFD實驗結果顯示，各離子對As去除之競爭性強弱依序為： $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Br}^- > \text{F}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{PO}_4^{3-}$ 。

比較單一離子及混和離子兩系統研究結果，發現於單一離子系統中各離子之去除率多高於複合離子系統，且可知複合離子的影響並不等於所有離子的加總，此表示離子之間複雜的交互作用確實存在於系統中。

關鍵字：奈米級零價鐵、砷離子、離子競爭、部分因子實驗設計

一、前言

近幾年隨著科技的發展與需求，所使用的材料也有更多的變化，以往以矽為主的半導體元件，漸漸無法符合通訊等相關產業的需求，因此具有高工作頻率、高電子遷移率、低耗電量、低噪音等優點的砷化鎵得以脫穎而出，高科技產業所使用的砷化鎵亦會造成含砷廢水的排放，砷系廢水主要來源為砷化鎵晶片製程中的蝕刻程序的洗滌水。。。砷系廢水主要特性為低流量(10–100 CMD)，具有高濃度砷(500– 2000mg/Las As) (邱誌忠，2004)

傳統的淨水程序中用以去除水中砷離子的技術主要為混凝配合沈澱和過濾及其衍生方法。在(Forstner, 1998)的論文中則指出混凝法所產生的污泥，砷的含量約為1000–10000 mg/kg 污泥，所產生的污泥之處理可能又是個難題。逆滲透、

離子交換樹脂及活性氧化鋁等高級淨水程序已被應用於去除原水中之砷離子，學者(Beolchini, 2007) 利用微泡薄膜程序(MEUF)處理砷離子，以高分子薄膜法來濃縮砷離子達到去除的目的，As(V)濃度為6~10 mg/L 時添表面活性劑(CPC)1~3Mm 作為調配比例，方法中發現As(V)滲透過薄膜的比例很低，可見濃縮效率極佳，此實驗方式下有93~95%的去除率。發現逆滲透雖能達到一定的去除率，但成本過高，水中總溶解固體(TDS)的含量也會影響濾程長短，增加反沖洗頻率，往往無法實現商業化實廠運作。

複雜的高科技廢水中含有許多陰、陽離子的存在，在處理砷離子的過程中存在著陰、陽離子的干擾及競爭行為，影響處理砷離子的效果。在(Zawaideh, 1998)的論文中指出磷酸鹽、矽酸鹽和聚磷酸鹽在中性或鹼性的條件下此三種鹽類反而會促使鈍化膜生成，進一步抑制鐵粉的腐蝕行為，間接影響鐵對汙染物的去除率。奈米級零價鐵去除水中砷離子支管柱試驗，發現在高濃度的硼離子及有機物的存在，會減少反應中砷的去除(Biterna, 2007)。模擬孟加拉地下水，含有矽酸鹽(Na_2SiO_3)、碳酸鹽(NaHCO_3)、磷酸鹽(NaH_2PO_4)對砷去除的競爭實驗，結果發現，添加矽酸鹽及磷酸鹽總砷的去除率下降，而添加碳酸鹽對 As^{5+} 的去除率無明顯影響， As^{3+} 去除率下降(Meng, 2002)。(Zhu, 2002)之研究中水中陰離子中 PO_4^{3-} 、 SiO_4^{4-} 的存在會導致砷的去除率明顯降低；然而溶液中 SO_4^{2-} 與HA的存在，砷的去除率影響不顯著；陽離子中 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 的存在，將提升砷離子的去除。

本研究利用電磁場輔助奈米級零價鐵及部分因子實驗設計(2^{7-3} fractional factorial experiments ,FFD)，於pH=4時，不同離子及不同濃度，探討砷與其他單一離子及於複合離子中的交互作用與離子間的交互作用。

二、 實驗材料與方法

2.1 研究材料

本研究零價鐵為市售奈米級零價鐵。以市售砷酸鈉($\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)調配砷酸鈉溶液(500mg/L)，以及氯化鈉(NaCl)、磷酸鈉($\text{Na}_2\text{O}_4\text{P} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)、溴化鉀(KBr)、硫酸鈉(Na_2SO_4)、硝酸鉀(KNO_3)、氟化鈉(NaF)、氯化鈣(CaCl_2)，模擬高科技產業中含不同濃度之陰、陽離子的人工合成砷廢水。

2.2 實驗設備及方法

本實驗所使用之實驗裝備，電磁場輔助奈米級元素鐵反應系統如圖 1 所示。反應槽體積為 0.5 L，奈米級零價鐵添加量為1克，砷離子(As^{5+})溶液儲存槽體積為 1 L，以蠕動馬達將含砷溶液注入反應槽中、控制起始pH=4，轉速為 300 rpm之漿板進行攪拌，另外，採樣使用電磁鐵輔助吸附反應槽中奈米鐵，減少採樣造成奈米鐵的損失，本系統每一離子之濃度各反應一次(表1)，每批次反應時間為60 分鐘，並監測

分析溶液中之ORP、DO、pH、亞鐵濃度。 Fe^{2+} 生成濃度之分析使用

1,10-phenanthroline (OSAKA)酸性溶液，與 Fe^{2+} 生成橘紅色之錯合物，利用分光光度計於510 nm 測其吸收度。以離子層析儀(Ion Chromatograph，Dionex-120)進行溶液中的 Cl^- 、 Br^- 、 F^- 、 PO_4^{3-} 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 分析。感應耦合式電漿光譜分析儀(Perkin Elemer 公司，ICP-OES，型號 Optima 2000 DV)以進行水中總砷鈣離子之分析。

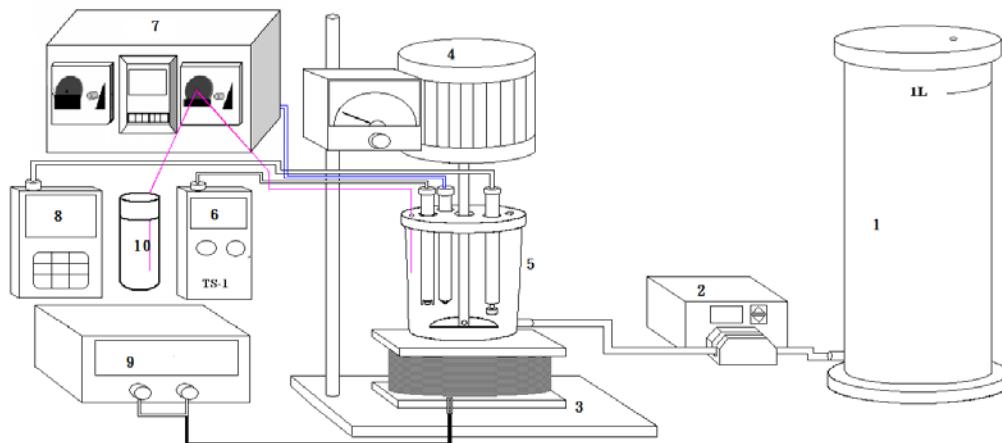


圖1 電磁場輔助奈米級零價鐵反應系統(砷廢液儲存槽 2. 蠕動馬達 3. 電磁場 4. 攪拌器 5. 反應槽500ml 6. DO meter 7. pH監控器 8. ORP meter 9. 電源供應器 10. 2N鹽酸)

2.2.1 單一離子批次試驗

於實廠廢水中含有的離子濃度分布廣泛，故本研究設計每單一離子分別以五種濃度形式存在，再加上沒有添加離子的存在如表 1，比較其研究結果。單一離子批次實驗主要的目的是要了解奈米級零價鐵與砷反應時，單一離子存在對反應溶液裡所可能產生的影響。

表 1 單一離子競爭之設定改變濃度

Competitive ions	Concentrations (mg l^{-1})
Cl^-	0, 4600, 9200, 13800, 18400, 23000
PO_4^{3-}	0, 1520, 3040, 4560, 6080, 7600
Br^-	0, 400, 800, 1200, 1600, 2000
NO_3^-	0, 360, 720, 1080, 1440, 1800
F^-	0, 150, 300, 450, 600, 750
SO_4^{2-}	0, 80, 160, 240, 320, 400

Ca^{2+} 0,0.8,1.2,1.6,2.0,2.5 Ca/As 莫耳比

2.2.2 複合離子批次實驗

複合離子之競爭實驗，是以 2^{7-3} 部分因子實驗方式進行(2^{7-3} fractional factorial experiments ,FFD)。主要是透過此設計法了解奈米級零價鐵去除砷離子的反應過程中，因子與因子之間的交互作用。本研究之影響因子有 7 個，若要進行全部的因子實驗，需要進行 128 組實驗，因此採取部分因子實驗只需進行 16 組實驗。此實驗進行如表 2 所示之 2^{7-3} FFD 矩陣列表。實驗進行系以表 2 所列之高濃度(+)、低濃度(-)進行之。

表 2 2^{7-3} 部分因子矩陣表

試驗因子與對應代號							
	Cl^-	PO_4^{3-}	Br^-	NO_3^-	F	SO_4^{2-}	Ca^{2+}
Run No.	A	B	C	D	E=ABC	F=BCD	G=ACD
1	-	-	-	-	-	-	-
2	+	-	-	-	+	-	+
3	-	+	-	-	+	+	-
4	+	+	-	-	-	+	+
5	-	-	+	-	+	+	+
6	+	-	+	-	-	+	-
7	-	+	+	-	-	-	+
8	+	+	+	-	+	-	-
9	-	-	-	+	-	+	+
10	+	-	-	+	+	+	-
11	-	+	-	+	+	-	+
12	+	+	-	+	-	-	-
13	-	-	+	+	+	-	-
14	+	-	+	+	-	-	+
15	-	+	+	+	-	+	-
16	+	+	+	+	+	+	+

表 3 2⁷⁻³部分因子實驗之濃度

試驗離子	代號	低濃度(-)	高濃度(+)
Cl ⁻	A	4600	23000
PO ₄ ³⁻	B	1520	7600
Br ⁻	C	400	2000
NO ₃ ⁻	D	360	1800
F ⁻	E	150	750
SO ₄ ²⁻	F	80	400
Ca ²⁺	G	478	1337

三、結果與討論

3.1 單一離子對奈米鐵去除水中砷離子之競爭性評估

圖 2(a) 為不同氯離子濃度對奈米級零價鐵去除砷離子反應過程中砷離子之變動趨勢。研究顯示添加不同濃度的氯離子，反應 60 分鐘後，砷的去除率分別為：56.9%、54.9%、57.3%、60%、54.7%，其殘餘砷濃度皆為 210mg/L 左右。此結果與無添加氯離子反應條件比較，發現砷去除效果相近，顯示不同濃度之氯離子試驗條件下，氯離子的存在並未對砷的去除率造成顯著的影響。(b) 為不同磷酸鹽濃度對奈米級零價鐵去除砷離子反應過程中砷離子之變動趨勢。經實驗反應後添加磷酸鹽砷的去除率分別為：23.3%、18%、13.7%、16.8%、5.6%，其反應溶液中砷之殘餘濃度分別為 383mg/L、410 mg/L、431 mg/L、416 mg/L、472 mg/L，由殘餘濃度可明顯的看出添加磷酸鹽的批次砷的去除率較差。當溶液的磷酸鹽濃度由 0mg/L 增加至 1520mg/L 時，砷的殘餘濃度由 205ppm 增加至 384ppm，而當磷酸鹽濃度再增加至 7600mg/L 時，砷的殘餘濃度增加至 472ppm。本研究之最終 pH 值為中性，此條件下磷酸鹽會在鐵粉的表面形成鈍化膜，使鐵粉表面無法有效的進行腐蝕作用，以致砷的去除率降低。

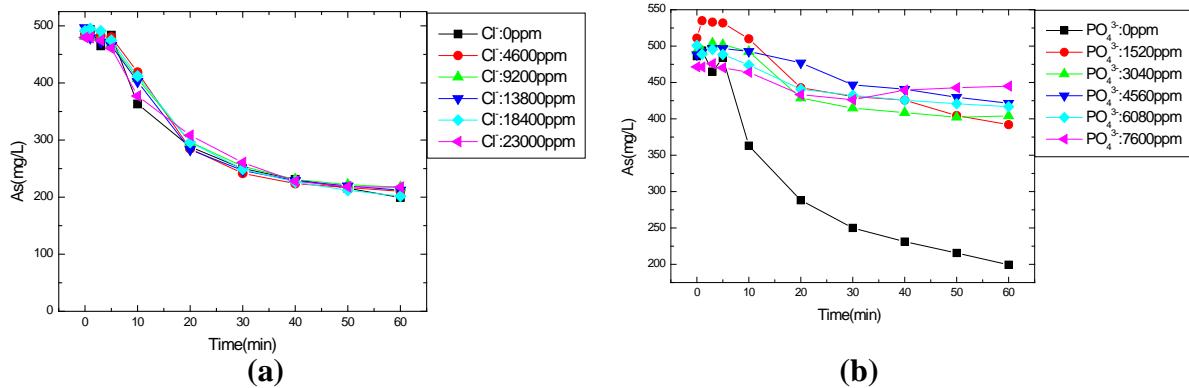


圖 2 不同濃度之離子條件下對奈米級零價鐵反應系統處理含砷離子廢水過程中砷離子濃度之變動趨勢((a)氯離子(b)磷酸鹽)

圖 3(a) 為不同溴離子濃度對奈米級零價鐵去除砷離子反應過程中砷離子變動趨勢。溶液中溴離子的存在，砷的去除效果較差。當無添加溴離子時，砷的去除率為 58. 9%，添加溴離子時砷的去除率分別為 53. 8%、55. 1%、51. 4%、54. 8%、54. 7%，其殘餘濃度為 231mg/L、225 mg/L、243 mg/L、226 mg/L、226 mg/L。由砷之殘餘濃度發現，溴離子之添加不利於 As 之去除，有輕微抑制的現象。(b) 為不同硝酸鹽濃度對奈米級零價鐵去除砷離子反應過程中砷離子變動趨勢。添加硝酸鹽，對砷的去除效果與無添加硝酸鹽較無添加硝酸鹽略低，當無添加硝酸鹽時，砷的去除率為 58. 9%，在有添加硝酸鹽時砷的去除率分別為：52. 2%、53. 7%、53. 5%、55. 2%、55. 3%，其添加硝酸鹽殘餘之砷濃度分別 239mg/L、231 mg/L、232 mg/L、224 mg/L、224 mg/L。結果顯示，溶液中添加硝酸鹽會使砷之去除率降低，因硝酸鹽會與砷離子競爭鐵在水中釋放出的電子，以至降低砷離子之去除率。其硝酸鹽的濃度繼續增加砷離子之去除率也增加，推測硝酸鹽會促進鐵腐蝕，形成鐵氧化物，提高砷離子的去除效率。

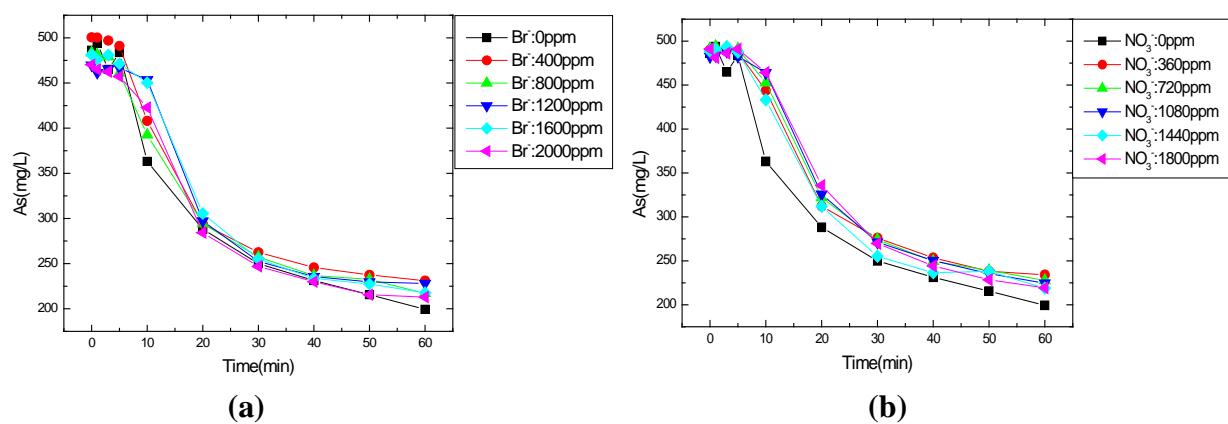


圖 3 不同濃度之離子條件下對奈米級零價鐵反應系統處理含砷離子廢水過程中砷離子濃度之變動趨勢((a)溴離子(b)硝酸鹽)

圖 4(a)為不同濃度的氟離子對奈米級零價鐵去除砷離子反應過程中砷離子變動趨勢。添加不同氟離子濃度條件下，反應 60 分鐘後砷離子的去除率分別為 59.5%、61.7%、64.9%、68.3%、68%，其反應溶液之殘存砷濃度為 202mg/L、192mg/L、176mg/L、159mg/L、160mg/L；最終的砷濃度比無添加氟離子略低。由結果，氟離子有輕微的促進砷的去除，當氟離子濃度由 150 mg/L增加至 300 mg/L時，砷的去除率增加了 2%；氟離子濃度 450 mg/L增加至 600 mg/L時，砷的去除率增加了 3.4%；但氟離子濃度由 600 mg/L增加至 750 mg/L時，砷的去除率則無增加。由結果顯示，添加愈高濃度的氟離子砷去除效果愈佳。推測氟離子會與水中的氫離子形成HF，HF腐蝕鐵粉的表面，增進鐵的活性，促進砷的去除。(b) 為不同濃度的硫酸鹽對奈米級零價鐵去除砷離子反應過程中砷離子變動趨勢。由圖指出，添加不同條件的硫酸鹽，砷的去除率分別為：55.6%、52%、51.9%、56.1%、53.2%，其砷的殘餘濃度分別為 222mg/L、240mg/L、240mg/L、220mg/L、234mg/L；未添加硫酸鹽之砷去除率為 58.9%。相較之下，未添加硫酸鹽的條件下砷的去除率較好，且硫酸鹽濃度在 240 mg/L時砷離子去除率最低。 SO_4^{2-} 與 AsO_3^- 之間存在著互斥作用，故對砷的去除有輕微的抑制作用。若再增加硫酸鹽的濃度則提高砷的去除率，則會加速 FeAsS 的沉澱。(c) 為不同濃度的鈣離子對奈米級零價鐵去除砷離子反應過程中砷離子變動趨勢。由圖顯示出在有添加鈣離子的溶液中，未添加鈣離子之去除率為 58.9%，當鈣離子濃度 214 mg/L時，砷的去除率最高為 70%。不同條件的鈣離子，砷的去除率分別為 66%、66.2%、67%、65.4%。其殘餘之砷的濃度為 150mg/L、170mg/L、169mg/L、165mg/L、173mg/L。實驗結果顯示，添加鈣離子於反應溶液中，殘餘的砷濃度比未添加鈣離子批次的砷濃度還要低。但，添加濃度越高的鈣離子砷的去除率並無增加的現象，故添加適量的鈣離子有助於砷的去除。

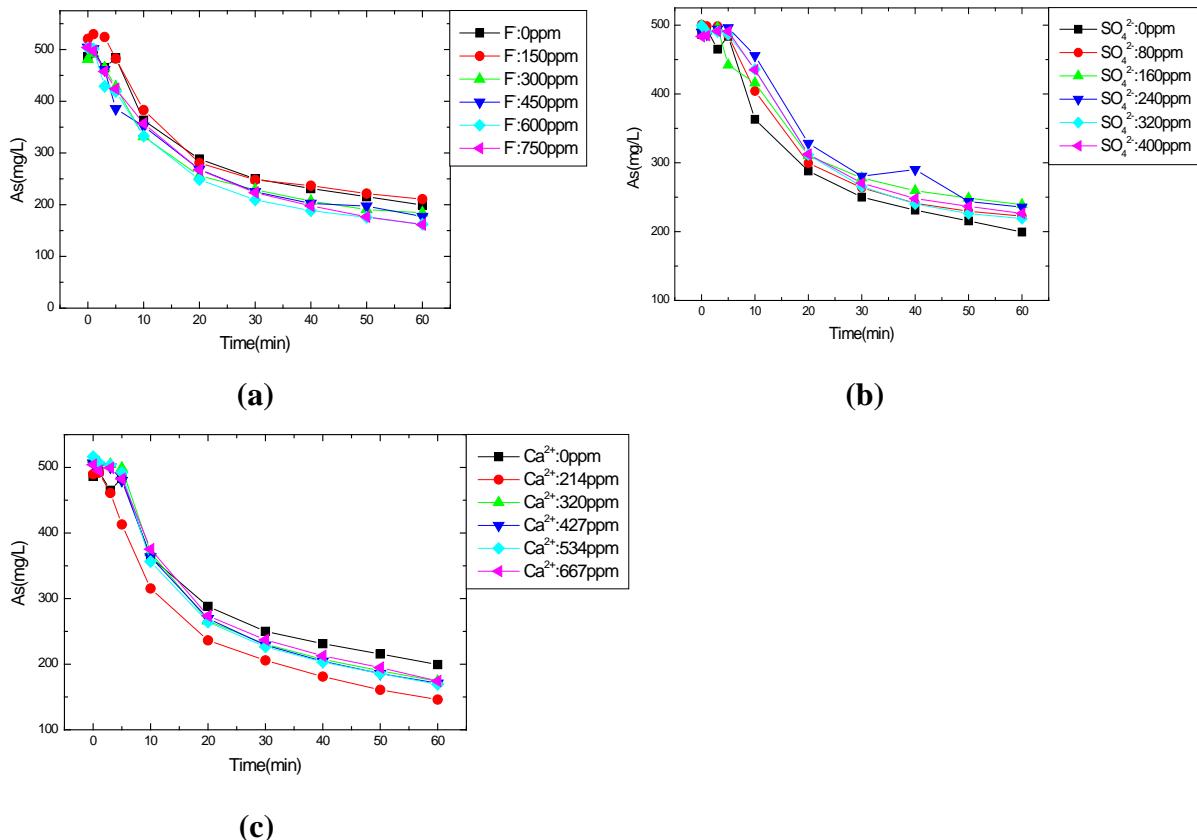


圖 4 不同濃度之離子條件下對奈米級零價鐵反應系統處理含砷離子廢水過程中砷離子濃度之變動趨勢((a)氟離子(b)硫酸鹽(c)鈣離子)

圖 5 run5、run6、run14 此三組實驗最終 pH 值幾乎同是落在 5.81–5.98 之間與其他試驗組之最終 pH 相近。推論，於複合離子中，pH 值不是影響去除率的主要參數。在 16 組實驗條件中，最佳之 As 去除率為 run14，去除率為 41.19%，其條件 PO_4^{3-} 、 F^- 、 SO_4^{2-} 控制為低濃度 (low level)， Ca^{2+} 、 Cl^- 、 Br^- 、 NO_3^- 控制為高濃度 (high level)，見表 2；而 run5 所得的 As 去除率為 28.5%，其條件 Br^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 控制為高濃度， Cl^- 、 PO_4^{3-} 、 NO_3^- 控制為低濃度；run6 所得 As 的去除率為 27.35%，其中 Cl^- 、 Br^- 、 SO_4^{2-} 控制為高濃度，其餘的離子控制為低濃度。在上述中，run14、run5、run6 中 Br^- 均為高濃度，藉此可推測 Br^- 在高濃度時也會促進 As 的去除；最差之 As 去除率出現在 run16 時，當所有的離子均控制在高濃度時，As 的去除率降低至 5%。

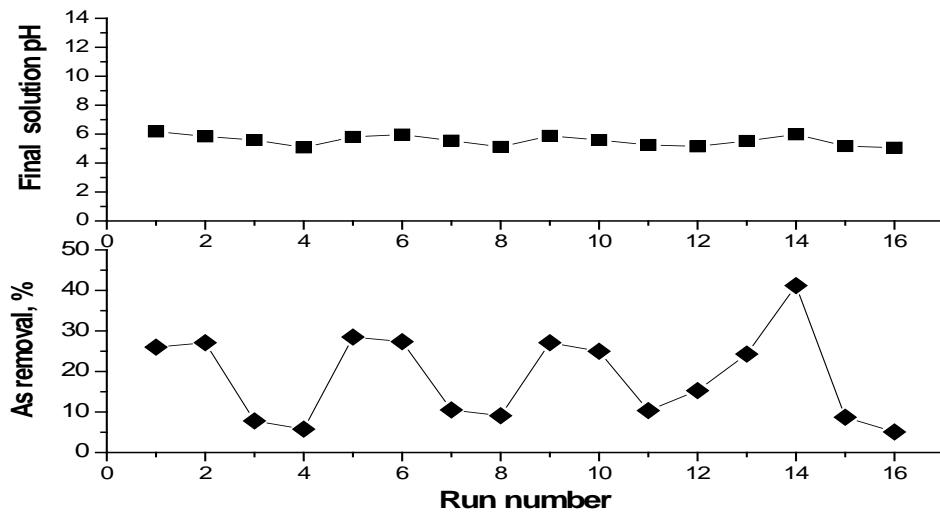


圖 5 FFD 實驗條件中，最終 pH 值及 As 去除變化情形
(奈米鐵添加量 1 g，砷離子濃度 500 mg/L，起始 pH4，反應槽積:500ml，反應時間=1 小時)

表4 據FFD試驗效應估計值顯示， PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 F^- 對本研究所採用之奈米級零價鐵而言，是值得注意之影響As去除效率之因子。當起始pH=4時， PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 F^- 之估計值分別為-19.2、-3.6、-3.1。此負向結果為 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 F^- 於As去除過程中是屬於抑制之影響因子。此外，當實驗中 PO_4^{3-} 之濃度由1520mg/L增加至7600mg/L時，As去除率會出現遞減23.3%-5.6%之趨勢。而 SO_4^{2-} 之濃度由80mg/L增加至400mg/L時，As之去除率則降低了2.8-6.9%。

另於FFD試驗中，因 NO_3^- 對As去除所呈現之正向效應大於其他離子，其估計值為1.9，其餘測試離子則出現較低的促進作用，由所得之效應估計值得知，在初始pH值為4之條件下，各離子對As去除效率之影響依次為： $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Br}^-$ 。

表 4 2⁷⁻³部分因子實驗效應估計值

Variable	pH=4	Confounding pattern
Average	18.7	Average of estimated variances
A (Cl ⁻)	1.6	→A+BCE+DEF+CDG+BFG
B (PO ₄ ³⁻)	-19.2	→B+ACE+CDF+DEG+AFG
C (Br ⁻)	1.3	→C+ABE+BDF+ADG+EFG
D (NO ₃ ⁻)	1.9	→D+BCF+AEF+ACG+BEG
E (F)	-3.1	→E+ABC+ADF+BDG+CFG
F (SO ₄ ²⁻)	-3.6	→F+BCD+ADE+ABG+CEG
G (Ca ²⁺)	1.5	→G+ACD+BDE+ABF+CEF
AB	-2.1	→AB+CE+FG
AC	1.1	→AC+BE+DG
AD	2.5	→AD+EF+CG
AE	-2.7	→AE+BC+DF
AF	-3.8	→AF+DE+BG
AG	-0.9	→AG+CD+BF
BD	-0.3	→BD+CF+EG

圖6當溶液起始pH=4時，結果出現較優勢的交互作用為AF(Cl⁻×SO₄²⁻)與AE(Cl⁻×F⁻)兩組。其中A×F所得的估計值，系為AF + DE + BG等此別名結構因子間交互作用之總和。而A×E所得的效應估計值，系為AE + BC + DF等別名結構因子間交互作用之總和。AF與AE所得之效應估計值分別為-3.8與-2.7，其此兩個交互作用高於其他離子間之交互作用。

因子AF與AE其交互作用強弱顯示，並分單獨源自於主效應A、E、F間之作用，其DE + BG與BC + DF間之交互作用亦一併考慮。此表示(Cl⁻×SO₄²⁻，AF)此兩個因子的交互作用是與(NO₃⁻×F⁻，DE)與(PO₄³⁻×Ca²⁺，BG)等兩因子之交互作用互為別名的。而(Cl⁻×F⁻，AE)此兩個因子的交互作用是與(PO₄³⁻×Br⁻，BC)及(NO₃⁻×SO₄²⁻，DF)此兩組兩因子之交互作用互為別名。換句話說，當我們真正在估計(Cl⁻×SO₄²⁻，AF)時，其實是在估計AF+DE+BG等幾組間之交互作用。而估計(Cl⁻×F⁻，AE)時，其實是在估計AE+BC+DF等交互作用總和之估計值。此關係如下二式：

$$(Cl^- \times SO_4^{2-}) = (Cl^- \times SO_4^{2-}) + (NO_3^- \times F^-) + (PO_4^{3-} \times Ca^{2+}) \quad (1)$$

$$(Cl^- \times F^-) = (Cl^- \times F^-) + (PO_4^{3-} \times Br^-) + (NO_3^- \times SO_4^{2-}) \quad (2)$$

由(1)(2)式可見，差異性離子為：式 (1) 中之鈣離子(Ca^{2+})與式 (2) 中之溴離子(Br^-)。如表 4 所式，複合離子系統中以估計值而言 Ca^{2+} 對砷的去除效率大於 Br^- ，因所得的效應估計值分別為 1.5 與 1.3。而當 Ca^{2+} 共存於 AF 系統中時，因 Ca^{2+} 之存在，其與別名結構離子間交互作用之結果，會使 As 之去除率降低，而 Br^- 存在於 AE 系統中所致之影響較無 AF 顯著，因其出現 -2.7 之估計值。故由此結果可得初步推論為：於 As 去除之過程中，AF>AE 之交互影響作用依序為： $(\text{Cl}^- \times \text{SO}_4^{2-}) + (\text{NO}_3^- \times \text{F}^-) + (\text{PO}_4^{3-} \times \text{Ca}^{2+}) > (\text{Cl}^- \times \text{F}^-) + (\text{PO}_4^{3-} \times \text{Br}^-) + (\text{NO}_3^- \times \text{SO}_4^{2-})$ ，亦即交互作用 AF 對於 As 去除效率之影響>AE。

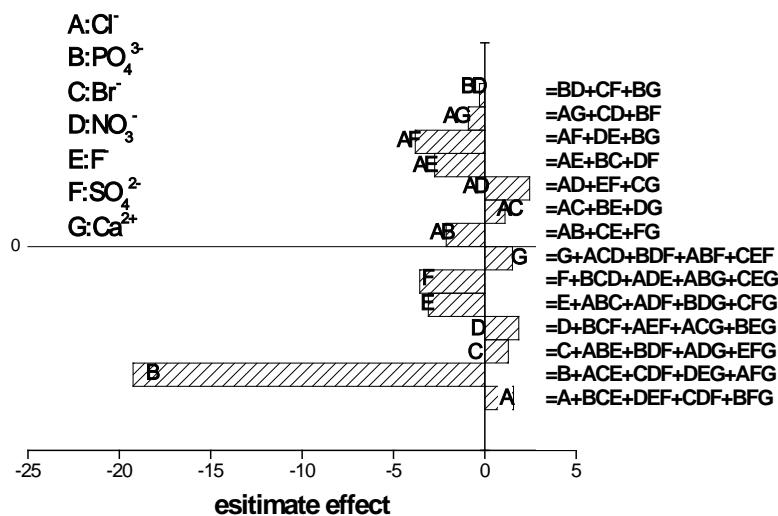


圖 6 As 反應過程中主要影響因子與交互作用之效應估計值
(奈米鐵添加量 1 g，砷離子濃度 500 mg/L，起始 pH4，反應槽積:500ml，反應時間=1 小時)

表 5 單一離子與複合離子對 As 去除效率之影響試驗中，當起始 pH4 時，具負面影響之競爭性陰離子依序為 $\text{PO}_4^{3-} > \text{Br}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ 與 $\text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{F}^-$ 。比較兩系統差異的是，複合離子測試系統中出現 4 個 As 去除之促進因子，其分別為 NO_3^- 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Br^- 。而單一離子系統中 Ca^{2+} 與 F^- 是 As 去除之提昇因子。

單一與複合離子，其對 As 去除效率之影響完整列表於 4-3 中。因於 pH4 之條件下，當低濃度溶液中 Cl^- 、 PO_4^{3-} 、 Br^- 、 NO_3^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 與 Ca^{2+} 等離子單獨存在時，分別可得 57.3, 23.3, 53.9, 52.2, 59.5, 55.6, 70.2% 之 As 去除率；高濃度溶液中分別可得 54.7, 5.6, 54.7, 55.3, 68, 53.2, 65.4% 之 As 去除率。但當這些離子皆低濃度共存於溶液中時，As 之去除率便快速的降低至 26% 左右；這些離子皆高濃度共存時，As 之去除率便快速的降低至 5% 左右。此結果證實複合離子共存時對 As 去除效率所致的影響，並不等於單一離子影響之加總。

表 5 低濃度與高濃度測試離子之單一離子與複合離子系統中 As 去除率比較

pH=4				
	低濃度(-)測試	As 去 除 率 (%)	高濃度(+)測試	As 去 除 率 (%)
單一離子	Cl ⁻ (4600mg/L)	57	Cl ⁻ (23000mg/L)	54. 7
	PO ₄ ³⁻ (1520mg/L)	23. 3	PO ₄ ³⁻ (7600mg/L)	5. 6
	Br ⁻ (400mg/L)	53. 9	Br ⁻ (2000mg/L)	54. 7
	NO ₃ ⁻ (360mg/L)	52. 2	NO ₃ ⁻ (1800mg/L)	55. 3
	F ⁻ (150mg/L)	59. 5	F ⁻ (750mg/L)	68
	SO ₄ ²⁻ (80mg/L)	55. 6	SO ₄ ²⁻ (400mg/L)	53. 2
	Ca ²⁺ (0. 8Ca/As)	70. 2	Ca ²⁺ (2. 5Ca/As)	65. 4
複合離子	Cl ⁻ (4600mg/L)+PO ₄ ³⁻ (1520mg/L)+ Br ⁻ (400mg/L)+ NO ₃ ⁻ (360mg/L)+ F ⁻ (150mg/L)+ SO ₄ ²⁻ (80mg/L)+ Ca ²⁺ (0. 8Ca/As)	26	Cl ⁻ (23000mg/L)+PO ₄ ³⁻ (7600mg/L)+ Br ⁻ (2000mg/L)+ NO ₃ ⁻ (1800mg/L)+ F ⁻ (750mg/L)+ SO ₄ ²⁻ (400mg/L)+ Ca ²⁺ (2. 5Ca/As)	5. 0 7

四、結論與建議

由FFD設計的16組實驗估計值得知，於複合離子系統中，影響As去除之重要因素為PO₄³⁻、SO₄²⁻、F⁻與Ca²⁺等因子。

單一與複合離子系統中，結果顯示離子對As去除競爭之負面影響分別為 PO_4^{3-} 、 Br^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 與 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 F^- 。在單一與複合離子中分別為 Ca^{2+} 與 NO_3^- 為最具促進效應的因子。當 7 個受測離子單獨存在於pH=4 之溶液中，低濃度時分別為 57, 23.3, 53.9, 52.2, 59.5, 55.6, 70.2 之As去除率，但當這些離子共存時，As之去除率則驟降至約 26%。由結果可之，離子共存時，並不等於單一離子間影響之加總，此可能與複合離子-As間競爭作用之存在有關。

五、參考文獻

- 邱誌忠，“半導體產業高濃度含砷廢水之處理-化學沈降法與活性炭吸附法之評估”，中興大學環工所碩士論文（2004）。
- Forstner, U., Haase, I., (1998) ,Geochemical Demobilization of Metallic Pollutants in Solid Waste-implications for Arsenic in Waterworks Sludges, J.Geochem. Explor., Vol. 62, pp. 29-36.
- F. Beolchini , F. Pagnanelli , I. De Michelis , F. Veglio(2007) Treatment of concentrated arsenic(V) solutions by micellar enhanced ultrafiltration with high molecular weight cut-off membrane , Journal of Hazardous Materials.
- Zawaideh, L. L., Zhang T. C. (1998), “The Effect of pH and Addition of an Organic Buffer (HEPES) on Nitrate Transformation in Fe^0 -Water System”, Water Science and Technology 38, No. 7 107-115.
- Biterna M., Arditoglou A., Tsikouras E., Voutsas D. (2007), “Arsenate removal by zero valent iron: Batch and column tests” , Journal of Hazardous Materials 149 p5 48–552.
- Meng X., George P. K., Sunbaek Bang, Ki Woong Bang(2002),“Combined effects of anions on arsenic removal by iron hydroxides”, Toxicology Letters 133 103–111.
- Zhu H., Jia Y. , Wu X., Wang H.,(2009) “Removal of arsenic from water by supported nano zero-valentiron on activated carbon” , Journal of Hazardous Materials 172 1591–1596.