

混凝沈澱法去除自然水中與腐植酸錯合之鎘、銀及砷

Removing Humic Acid Complexes of Cd(II)、Ag(I)  
、As(III) and As(V) from Natural Water by Coagulation

黃汝賢\* 吳吉源\*\*

摘要

本研究係藉混凝沈澱處理程序，探討硫酸鋁、氯化鐵及硫酸亞鐵等混凝劑對微量重金屬鎘、銀及砷之去除效果，以及腐植酸對其處理效果之影響。試驗結果發現微量鎘、銀、砷之去除效果隨混凝劑量的增加而增加，其中氯化鐵對上述微量重金屬之去除效果均較硫酸鋁及硫酸亞鐵為佳。鎘之去除率隨 pH 值之增加而升高，去除銀之最佳 pH 值在 6 ~ 8 之間，而砷則在 6 ~ 7 之間。當原水含 10mg/l 腐植酸時，加入的腐植酸有助於鎘之混凝去除，但對銀、砷則有所阻滯。而變化腐植酸含量之試驗時，發現當混凝劑量不足以將腐植酸完全去除時，腐植酸對鎘、銀、砷之去除皆有所阻礙，反之，當混凝劑量足以將多量腐植酸有效去除時，則腐植酸對鎘、銀、砷之去除效果有顯著之增加。在探討濁度之影響時，發現適當濁度之加入，對微量重金屬具吸附作用，且濁度所產生之微小顆粒可作為膠羽之核心，對混凝之去除有所幫助。

---

\* 國立成功大學環境工程研究所教授

\*\* 國立成功大學環境工程研究所碩士

## 一、前言

近年來國內工業進步迅速，各處工廠林立，然為數不少產生重金屬之工廠廢水，因未經妥善處理而逕行排入河川、湖泊等水源地，致使重金屬污染水源之問題日趨嚴重。其中鎘之來源主要係來自煉鋅工廠、電鍍工廠排放之廢水，銀則來自電鍍、手工藝加工廠，而砷則來自礦床溶解、製藥廠、殺蟲劑製造廠等污染源<sup>(1)</sup>。自然水中有機物質濃度若以總有機碳( TOC )表示則約為  $0.1 \sim 10 \text{ mg} / \ell$ <sup>(2)</sup>，大部份為腐植質，腐植質是土壤及自然水中所存在之高分子有機物質，具天然色度並可與重金屬錯合。本研究為能了解腐植酸對重金屬在傳統混凝沈澱處理程序中去除之影響，特選擇了鎘、銀、砷作為研究對象，利用回分式之瓶杯試驗，探討腐植酸與鎘、銀、砷之錯合對該重金屬去除之影響及尋求混凝沈澱之最佳控制條件。

## 二、試驗設備及方法

### (一)人工原水之配製

研究試驗用之模擬原水係人工配製，分別以  $\text{CdCl}_2$ 、 $\text{AgNO}_3$ 、 $\text{As}_2\text{O}_3$  ( $\text{As}^{3+}$ )、 $\text{H}_3\text{AsO}_4$  ( $\text{As}^{5+}$ ) 配製成  $1000 \text{ mg} / \ell$  的儲備溶液；腐植酸以美國 Aldrich 公司出品之腐植酸 (分子量約 20000) 配製成  $2000 \text{ mg} / \ell$  之儲備溶液，並加入 NaOH，使腐植酸儲備溶液之 pH 值大於 12，以免發生沈澱。

### (二)混凝劑

混凝劑採用 Merck 公司出品之  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  及  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，均配製成  $10,000 \text{ mg} / \ell$  之儲備溶液。

### (三)混凝沈澱試驗

於  $1 \ell$  的燒杯內放入重金屬與腐植酸之人工原水後，行回分式瓶杯試驗，其步驟如下：快攪拌 (100 rpm) 10 秒鐘，調整 pH 值，靜置 30 分鐘，然後加入混凝劑 ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )，混合，立即調整 pH 值，接著快混 (100 rpm) 2 分鐘，慢混 (25 rpm) 30 分鐘，靜置 1 小時，再以  $0.45 \mu\text{m}$  的濾紙過濾。最後以原子吸收光譜儀測得各種金屬之濃度。腐植酸含量之測定以 u、v 為之，波長則使用 254 nm，由於腐植酸的吸光度隨 pH 值而變；標準溶液配製在 pH 值為 8，因此混凝後之處理水也調整為 8，才進行測試。

## 三、結果與討論

### (一)腐植酸對混凝去除鎘之影響

為了解 Cd(II) 以混凝去除之可能性，將 0、20、40、60、80 及  $100 \text{ mg} / \ell$  之混

凝劑硫酸鋁分別加入配製有  $0.1\text{mg}/\ell$   $\text{Cd}(\text{II})$ ，之原水中，一組不含腐植酸，另一組含  $10\text{mg}/\ell$  腐植酸，調整 pH 值為 8.0，進行瓶杯試驗，以探討原水中不含及含腐植酸的情況下對  $\text{Cd}(\text{II})$  混凝去除之影響。試驗結果如圖一所示， $\text{Cd}(\text{II})$  之去除率隨硫酸鋁加量的增加而增加，此乃因鏷被去除之主要機制為絆除沈澱，即鏷化物可能成為混凝劑形成氫氧沈澱物之核心而去除，或鏷化物吸附於混凝劑所形成的膠羽上而隨之沈澱，此種機制之明顯現象即混凝劑劑量愈多其去除率愈高。圖一亦顯示含腐植酸的原水，其  $\text{Cd}(\text{II})$  之去除率較不含腐植酸的原水佳，而腐植酸與  $\text{Cd}(\text{II})$  的錯合，使得腐植酸被硫酸鋁混凝去除，也連帶地把  $\text{Cd}(\text{II})$  去除，故腐植酸之加入有助於  $\text{Cd}(\text{II})$  之混凝去除。再探討混凝劑種類之影響，圖二顯示，鐵塩去除  $\text{Cd}(\text{II})$  之混凝效果較鋁塩為佳，因為在 pH8 時，鐵塩比鋁塩之溶解度低甚多（如圖三所示）<sup>(9)(4)</sup>，亦即較易形成金屬氫氧化物的固體物，且鐵塩所形成之膠羽顆粒及比重均較大，故  $\text{Cd}(\text{II})$  較易被其混凝去除。

由於鐵塩之去除效果佳，且為能了解 pH 值變化對  $\text{Cd}(\text{II})$  去除之影響，因此選擇氯化鐵為混凝劑，繼續探討 pH 值之影響，將原水之 pH 控制在 5 ~ 10 的範圍內，並加入  $50\text{mg}/\ell$  之氯化鐵，且使原水中腐植酸含量為 0 及  $10\text{mg}/\ell$ ，試驗結果如圖四所示。 $\text{Cd}(\text{II})$  去除效果隨 pH 值之升高而增加，含腐植酸之原水去除率亦比不含的佳。因在低 pH 值時，溶解性之  $\text{Cd}(\text{II})$  佔優勢，去除效果自然不佳，隨著 pH 值升高， $\text{Cd}(\text{II})$  之溶解度漸小，亦即  $\text{CdCO}_3(s)$  及  $\text{Cd}(\text{OH})_2(s)$  固體微膠羽量增加，很容易就被混凝去除。而在  $\text{pH} > 10$  之後  $\text{Cd}(\text{II})$  本身之溶解度成為影響去除率之最主要原因，使得混凝劑及腐植酸之影響遂變小。

為能進一步了解腐植酸對  $\text{Cd}(\text{II})$  去除之影響，乃配製原水中之腐植酸含量分別為 0、10、20、30、40 及  $50\text{mg}/\ell$ ，pH 值調整為 8.0，再分為兩組進行瓶杯試驗，第一組加入  $33\text{mg}/\ell$  之氯化鐵，第二組則加入  $116\text{mg}/\ell$  之氯化鐵，試驗結果如圖五所示。由第一組氯化鐵加量  $33\text{mg}/\ell$  的結果發現腐植酸含量增加，而使得  $\text{Cd}(\text{II})$  之去除效果變差，此乃因腐植酸含量增加，微膠羽之數量亦隨之增加，故必須加入更多之混凝劑才足夠將腐植酸去除。而氯化鐵  $116\text{mg}/\ell$  加量之第二組試驗中，在適當之腐植酸加量（ $10 \sim 40\text{mg}/\ell$ ）時，皆可將  $\text{Cd}(\text{II})$  去除至  $0.01\text{mg}/\ell$ （台灣省自來水水質標準）以下，但隨著腐植酸加量更多時，去除效果就略有影響。而繼續對殘餘之鏷做滲析錯合試驗，結果發現滲析袋內含微量自由態之鏷，可顯示所殘餘之鏷大都以錯合態形式存在，故可知腐植酸之去除與否，關係著鏷混凝去除之效果，而圖六顯示腐植酸之殘餘量也隨腐植酸加量之增加而增大。由此可知混凝劑之加量足夠將腐植酸去除至最佳情況時，對  $\text{Cd}(\text{II})$  之去除有所幫助；反之，若混凝劑加量不足將腐植酸去除時，對  $\text{Cd}(\text{II})$  之去除就有阻滯。

於原水中加入不同劑量之高嶺土，使濁度分別為 0、10、20、50、100、200 NTU，探求濁度對  $\text{Cd}(\text{II})$  混凝去除之影響，結果如圖七所示。濁度越高， $\text{Cd}(\text{II})$  之去除效果越佳。Slavek<sup>(6)</sup>認為  $\text{Cd}(\text{II})$  會吸附於黏土上，黏土愈多時，其去除量愈大，此機構可能是黏土上之陽離子與  $\text{Cd}(\text{II})$  進行陽離子交換，使得  $\text{Cd}(\text{II})$  吸附於黏土表面上。高嶺土與黏土極為類似，因此  $\text{Cd}(\text{II})$  可能是吸附在高嶺土上，而在混凝時被去除。

#### (二) 腐植酸對混凝去除銀之影響

圖八為不同混凝劑及其加量對Ag(I)去除之影響，因原水係由自來水配製而成的，水中約含20~30mg/l之氯離子，當加入1.0mg/l的Ag(I)，且不加入混凝劑時，Ag(I)即和氯離子產生AgCl(s)的沈澱物，故水中之Ag(I)濃度降至約0.12mg/l。探討腐植酸對Ag(I)混凝去除之影響，以氯化鐵為混凝劑時，不含腐植酸較含腐植酸者之去除效果為佳，足見腐植酸會阻礙Ag(I)之混凝去除。此乃因腐植酸之加入將使微膠羽增加，導致需要更多之混凝劑量才足以去除至不加腐植酸所能達到的效果。而且Ag(I)與腐植酸錯合能力較差，另外水中氯離子亦干擾腐植酸與Ag(I)之錯合，致使腐植酸之加入所造成之影響為消耗混凝劑，故對混凝去除Ag(I)之效果有所阻礙，但其去除效果亦隨著混凝劑之增加而增加。而硫酸鋁、氯化鐵及硫酸亞鐵等三種混凝劑中，以氯化鐵之去除效果較佳，可能是因氯化鐵除了會產生鐵的氫氧化物之微膠羽並吸附Ag(I)之外，尚會解離一些氯離子而與Ag(I)產生沈澱，致有助於Ag(I)之去除。

pH值對Ag(I)之影響如圖九所示，所得之最佳pH在6~8之間，pH小於5及pH大於9時，其去除效果皆不佳，此乃因pH值對銀之溶解度影響不大，而鐵鹽在pH7~8之間溶解度最低，在此pH值範圍內，很容易形成金屬氫氧化物之微膠羽，Ag(I)易吸附在膠羽上而被混凝去除。Sorg等指出<sup>(6)</sup>，Ag(I)之混凝去除在pH值6~8之間，對鐵鹽、鋁鹽混凝去除Ag(I)較無影響，而在pH大於8時，Ag(I)之去除效果就急劇下降，可能是因膠羽生成不良所造成的。而腐植酸同樣對Ag(I)之混凝去除造成干擾。

在探討腐植酸對Ag(I)去除之影響，分別做了兩組試驗，一組是在pH8.0之原水中，加入0、10、20、30、40、50mg/l之腐植酸，以33mg/l之氯化鐵混凝；另一組則以116mg/l之氯化鐵混凝，試驗結果如圖十所示。當混凝劑加量為33mg/l時，Ag(I)之去除效果隨著腐植酸之增加而減小，亦即腐植酸阻礙了Ag(I)之去除效果。但混凝劑加量為116mg/l時且腐植酸含量在30mg/l以下時，皆能將Ag(I)去除至小於0.05mg/l之台灣省自來水水質標準以下，已較圖八中之去除效果為佳，而腐植酸含量大於40mg/l時，其去除效果就略降。由此可知，混凝劑量足以將腐植酸完全去除時，腐植酸確有助於Ag(I)之去除，反之腐植酸將會阻滯Ag(I)之混凝去除。換言之，腐植酸的加入將增加Ag(I)之最佳去除效果所需之混凝劑量，但當腐植酸去除效果甚佳時，則有助於Ag(I)之去除。

濁度對混凝去除Ag(I)之影響如圖十一所示，適當之濁度有助於Ag(I)之去除，當濁度為20NTU時，其去除效果最佳，可能是因Ag(I)吸附在高嶺土上，且高嶺土之微小顆粒，亦可作為膠羽之核心，促使膠羽成長，造成更佳之混凝效果。而若濁度繼續增加，水中微膠體量亦隨之增加，致混凝劑量不足，致使Ag(I)之去除效果下降。

### (三) 腐植酸對混凝去除砷之影響

比較腐植酸對As(III)及As(V)混凝去除之影響，如圖十二及十三所示，10mg/l腐植酸之加入對As(III)及As(V)之去除效果皆略有阻礙。而去除之趨勢皆隨混凝劑之增加而增加，但混凝劑加量在50mg/l之後，趨勢皆趨於平緩。而鐵鹽較鋁鹽之去除效果為佳，且As(V)很明顯的較As(III)容易被混凝去除。Ferguson<sup>(7)</sup>指出，水中如有氫氧化鐵存

在時，As(V) 很容易形成砷酸鐵而沈澱。而 Lapeinter<sup>(6)</sup> 亦指出，As(V) 可吸附在氧化鐵之水合物上 (hydrous iron oxides)。

由於鐵鹽對砷之去除效果較佳，為了解 pH 值變化對砷去除效果的影響，故選擇了氯化鐵為混凝劑做進一步 pH 影響之試驗。pH 值對砷去除之影響如圖十四及十五所示，其最佳 pH 值，As(III) 及 As(V) 皆在 6~7 之間，而當 pH 大於 9 時，去除效果則大為降低。此可能是因 pH 值在 6~7 之間時，水中鐵之溶解度較低，較易形成氫氧化鐵之膠羽，砷可能吸附在膠羽上或形成砷酸鐵而遭混凝去除；而 pH 大於 9 時，由於鐵鹽形成膠羽不易，遂使砷之去除效果不佳。而含腐植酸之去除效果皆比不含腐植酸之效果差，顯示腐植酸對砷之混凝去除效果有阻礙的影響，其原因可能與銀相同，腐植酸之加入，微膠體增加，致消耗混凝劑，使得去除效果降低。

在進一步探討腐植酸對砷去除之影響，同樣的分別對 As(III) 及 As(V) 各做二組試驗，一組在 pH 8.0 之原水中，加入 0、10、20、30、40、50 mg/l 之腐植酸，以 50 mg/l 之氯化鐵混凝，另一組則以 116 mg/l 之氯化鐵混凝。試驗結果如圖十六及十七所示。As(III) 及 As(V) 在氯化鐵加量 50 mg/l 時，其去除效果隨腐植酸加量之增加而減少，但加量為 116 mg/l 時，其去除效果則隨腐植酸加量之增加而增加，尤其是 As(V) 在腐植酸加量超過 50 mg/l 時，116 mg/l 之氯化鐵就幾乎可將 0.3 mg/l 之 As(V) 完全去除。上述結果主要係因混凝劑量不足時，不能將腐植酸完全去除，腐植酸就會對混凝有所阻滯，而混凝劑量足夠將腐植酸完全去除時，由於部份砷與腐植酸錯合，故在混凝去除腐植酸時，錯合之砷亦跟著被去除，使得砷之去除效果增加。

濁度對混凝去除砷之影響如圖十八及十九所示，其情形與銀相同，即適當之濁度有助於砷之去除。當濁度為 20 NTU 時，有最佳之去除效果，因此適當之濁度，可視為助凝劑，有助於砷之混凝去除效果。

#### (四) 原水中鎘、銀、砷濃度對混凝去除效果之影響

以硫酸鋁及氯化鐵為混凝劑加量約為 30 及 25 mg/l，此為一般淨水廠混凝劑加量，且改變原水中鎘、銀、砷之濃度，來探討金屬濃度之變化對其去除效果之影響，結果如圖二十至圖廿七所示。去除效果隨原水中鎘、銀、砷濃度之增加而降低，由圖廿及圖廿一可知，當硫酸鋁加量為 30 mg/l 時，可將原水中 0.035 mg/l 之 Cd(II) 去除至低於台灣省自來水水質標準 0.01 mg/l 以下。氯化鐵 25 mg/l 則可將原水中 0.055 mg/l 之 Cd(II) 去除至低於台灣省自來水水質標準，意即淨水廠在正常操作條件之下，對 Cd(II) 污染之容許濃度，鋁鹽及鐵鹽分別為 0.035 及 0.055 mg/l。而水中含 10 mg/l 腐植酸之原水，將有助於 Cd(II) 之去除效果，分別將鎘之容許濃度提高至 0.05 mg/l (鋁鹽) 及 0.08 mg/l (鐵鹽)。

Ag(I) 濃度之影響則由圖廿二及廿三可知，硫酸鋁及氯化鐵對 Ag(I) 之容許濃度分別為 0.65 及 0.9 mg/l，即在低於此二濃度，鋁鹽及鐵鹽才能將 Ag(I) 去除至低於台灣省自來水水質標準。而腐植酸之加入，將會降低淨水廠對銀之容許濃度，分別使其降至 0.35 及 0.5 mg/l。

砷之濃度對混凝去除之影響如圖廿四至圖廿七所示，淨水廠對 As(V) 之容許濃度較 As(III) 為高，硫酸鋁之容許濃度，As(III) 及 As(V) 分別為 0.15 及 0.27 mg/l，氯化鐵則為 0.17 及 0.32 mg/l。腐植酸之加入，同樣對砷之去除造成負面之影響，使得硫酸鋁對 As(III) 及 As(V) 之負荷能力分別降至 0.12 及 0.18 mg/l，而氯化鐵則降至 0.15 及 0.20 mg/l。由於 As(V) 比 As(III) 容易被混凝去除，故當原水中所含砷主要以 As(III) 存在時，可先用氧化劑將 As(III) 氧化成 As(V)，則有助於提高其混凝去除效果<sup>(7)(8)(9)</sup>。

#### 四、結 論

本文主要係探討自然水中微量重金屬鎘、銀、砷以混凝沈澱程序利用硫酸鋁、氯化鐵、硫酸亞鐵等混凝劑之去除效果，及自然水中腐植酸對微量重金屬鎘、銀、砷之混凝沈澱去除之影響。以下便是本研究以回分式瓶杯試驗所得之結論：

- (1) 以混凝去除鎘、銀、砷時，其去除效果隨混凝劑量增加而增加，而氯化鐵之去除效果較硫酸鋁為佳。
- (2) pH 值的變化對含及不含腐植酸之鎘有顯著的影響，當 pH 值越大時，其去除效果越佳。而 pH 值對銀、砷之影響不若鎘明顯，混凝去除銀之最佳 pH 值約在 6~8 之間，而砷則在 6~7 之間。
- (3) 腐植酸對鎘之混凝去除有所助益，但對銀、砷則有所阻滯，意即腐植酸將增加銀、砷達到最佳去除效果之混凝劑量。
- (4) 當混凝劑量足以將多量之腐植酸有效去除時，腐植酸對鎘、銀、砷之去除效果均有顯著的增加。
- (5) 適當濁度之加入，對鎘、銀、砷具吸附作用，可增加其去除效果。

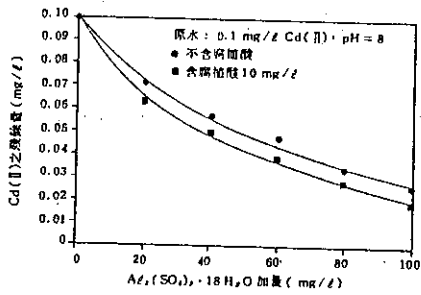
#### 五、參考文獻

1. 經濟部工業局，"工業廢水的成分，"工業廢水污染的防治，p.p. 13~26, (1975).
2. Stumm, W. and Morgan, J.J., "Aquatic Chemistry," Wiley-Interscience, (1981).
3. Sill'én, L.G. and Martell, A.E., "Stability Constants of Metal-Ion Complexes, Special Publication No.17, "The Chemical Society, London, (1964).
4. Perrin, "Stability Constants of Metal-Ion Complexes," (1979).
5. Slavek, J. & Pickering, W.F., "The Effect of pH on the Retention of Cu, Pb and Zn by Clay-Fulvic Acid Mixture," Water, Air, Soil Pollution, 17:4:423, (1983).

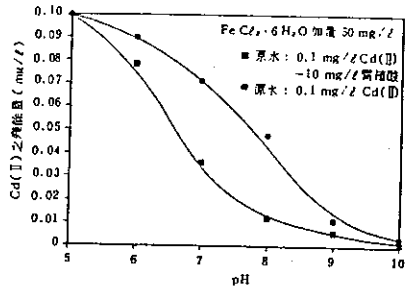
6. Sorg, T.J., Csanady, M. & Logsdon, G.S., "Treatment Technology to Meet the Interim Primary Drinking Water Regulations for Inorganic: Part 3," J.AWWA, 68:12:680, (1978).
7. Ferguson, J.F., & Gavis, J., "A Review of the Arsenic Cycle in Natural Water," Water Research, 6:11:1259, (1972).
8. Sorg, T.J., & Logsdon, G.S., "Treatment Technology to Meet the Interim Primary Drinking Water Regulations for Inorganic: Part 2," J.AWWA, pp.379-393, (July 1978).
9. Shen, Y.S., "Study of Arsenic Removal from Drinking Water", J.AWWA, 65:8:543, (1973).

誌 謝

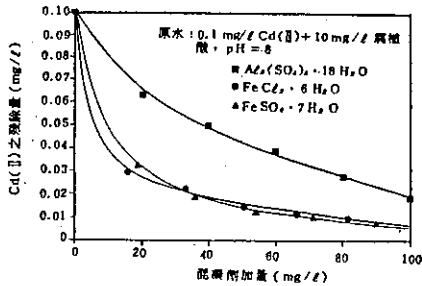
本研究承蒙國科會提供計劃經費( NSC 76-0410-E006-06 )始得以順利完成, 謹此致由衷之謝忱。



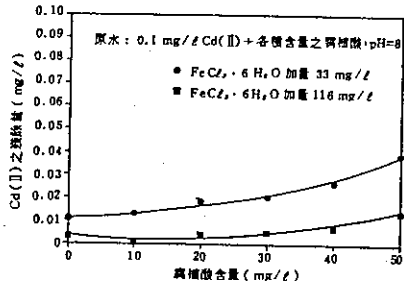
圖一 腐植酸對Cd(II) 混凝去除之影響



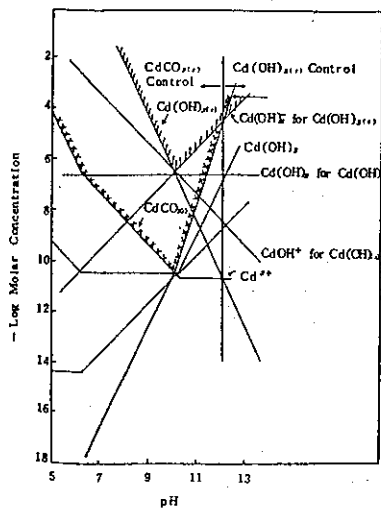
圖四 不同pH 值對Cd(II) 去除之影響



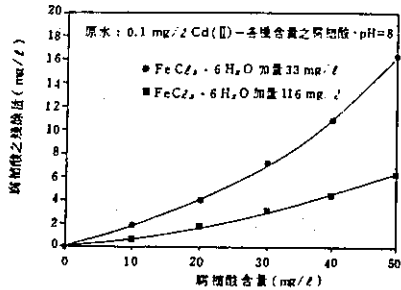
圖二 不同混凝劑及加量對Cd(II) 去除之影響



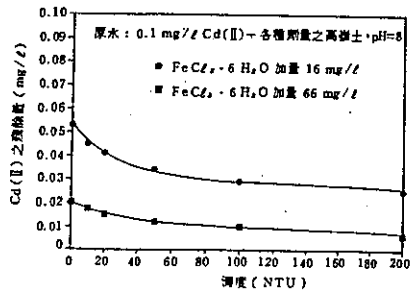
圖五 同一混凝劑量，不同腐植酸含量對Cd(II) 去除之影響



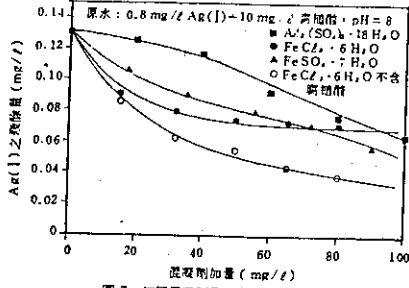
圖三 Cd(II)之溶解度圖



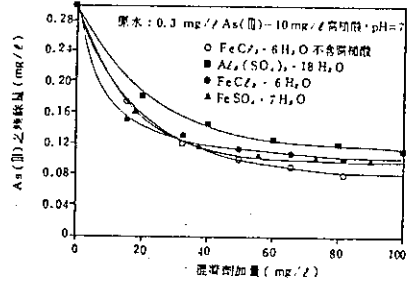
圖六 同一混凝劑量，原水腐植酸含量與混凝去除量之關係



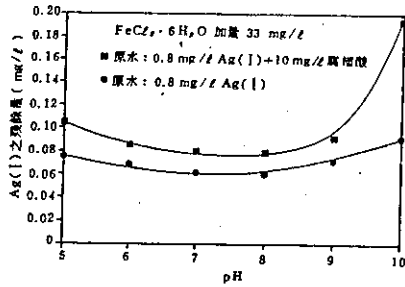
圖七 原水濁度對混凝去除Cd(II)之影響



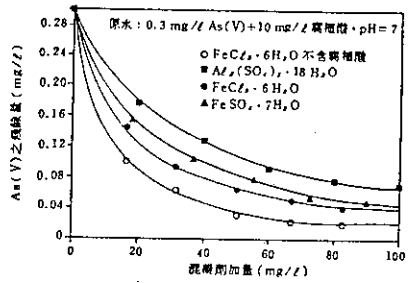
圖八 不同沉澱劑及加量對Ag(I)去除之影響



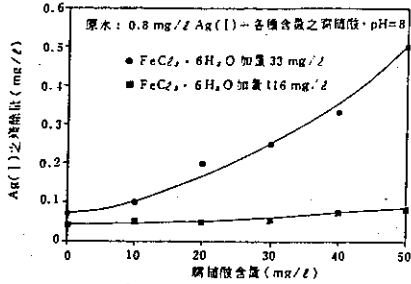
圖十二 不同沉澱劑及加量對As(III)去除之影響



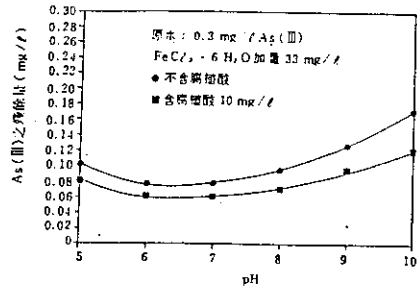
圖九 不同pH值對Ag(I)去除之影響



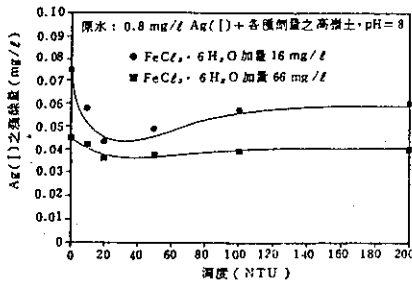
圖十三 不同沉澱劑及加量對As(V)去除之影響



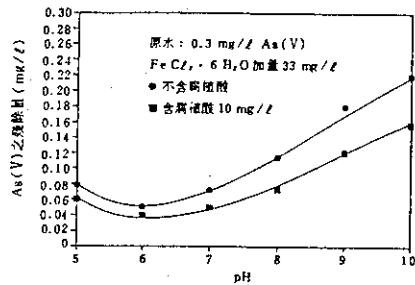
圖十 同一沉澱劑量，不同沉澱劑含量對Ag(I)去除之影響



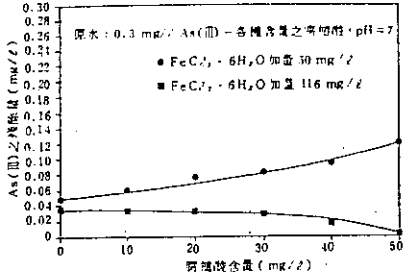
圖十四 不同pH值對As(III)去除之影響



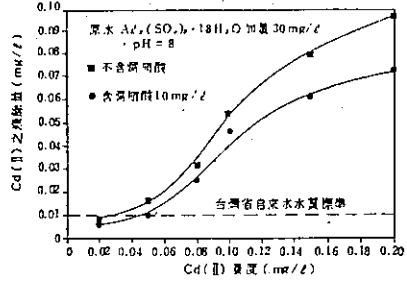
圖十一 原水濁度對沉澱去除Ag(I)之影響



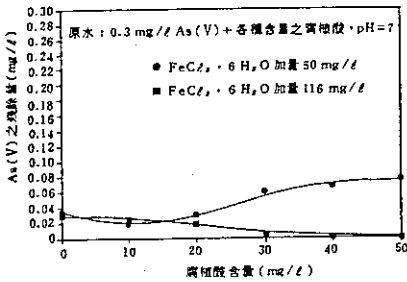
圖十五 不同pH值對As(V)去除之影響



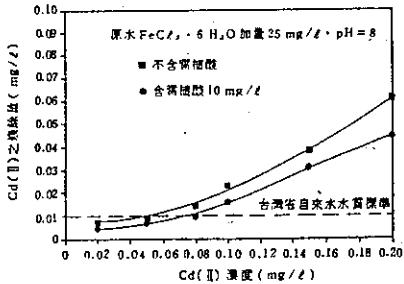
圖十六 同一混凝劑量，不同腐植酸含量對As(III)去除之影響



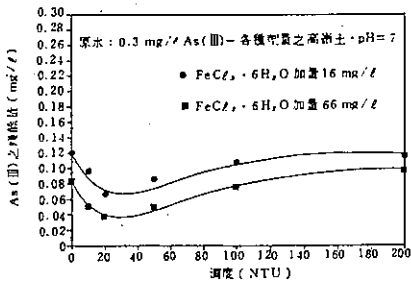
圖十七 原水Cd(II)濃度對 $Al_2(SO_4)_3$ 去除Cd(II)之影響



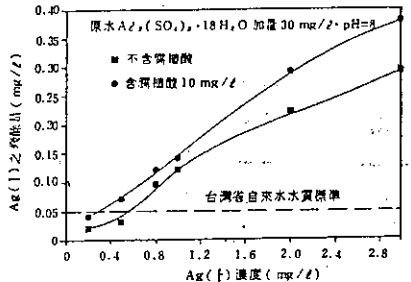
圖十八 同一混凝劑量，不同腐植酸含量對As(V)去除之影響



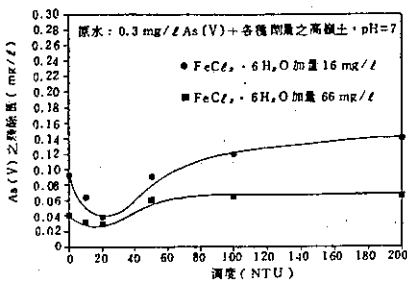
圖十九 原水Cd(II)濃度對 $FeCl_2$ 去除Cd(II)之影響



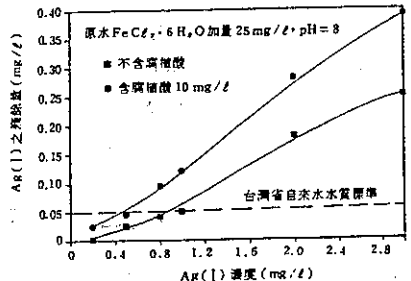
圖二十 原水濁度對混凝去除As(III)之影響



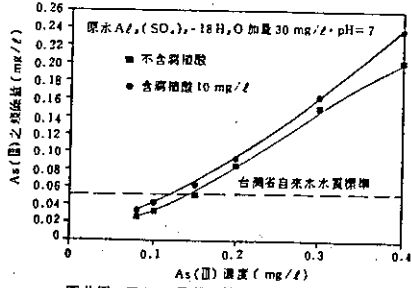
圖二十一 原水Ag(I)濃度對 $Al_2(SO_4)_3$ 去除Ag(I)之影響



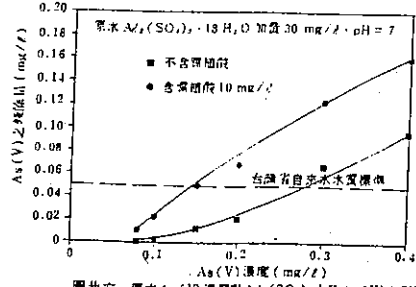
圖二十二 原水濁度對混凝去除As(V)之影響



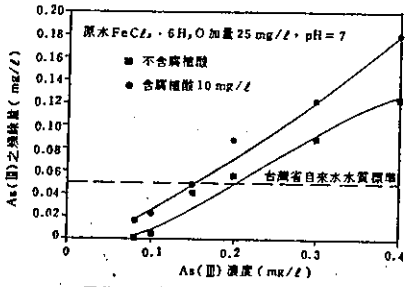
圖二十三 原水Ag(I)濃度對 $FeCl_2$ 去除Ag(I)之影響



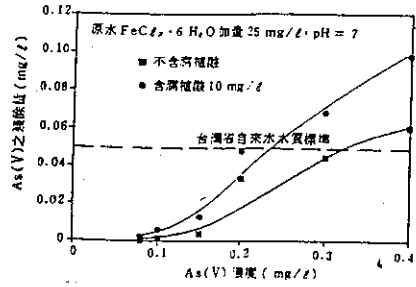
圖廿四 原水As(III)濃度對As<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>去除As(III)之影響



圖廿六 原水As(V)濃度對As<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>去除As(V)之影響



圖廿五 原水As(III)濃度對FeCl<sub>2</sub>去除As(III)之影響



圖廿七 原水As(V)濃度對FeCl<sub>2</sub>去除As(V)之影響