

鐵氧化物覆膜石英砂去除水中六價鉻之探討

駱尚廉¹、孫嘉福²、林正芳³、李達源⁴、林萬寅⁵

關鍵詞：鐵氧化物覆膜石英砂、六價鉻、吸附過濾

摘要

本研究探討鐵氧化物覆膜石英砂(IOCS)吸附Cr(VI)之理論與應用，並以連續流管柱試驗、介質再生及重覆使用之處理方式，評估其之實用性。研究結果顯示：在低pH範圍生成之IOCS，覆膜鐵量多且厚，抗酸、鹼之能力佳，吸附Cr(VI)之效率高；水溶液系統pH愈低，IOCS吸附Cr(VI)之效率愈佳，但在pH小於3.0以下，有少量Fe溶出，使吸附效率略降；水溶液中若含有 SO_4^{2-} 離子，因會與Cr(VI)競爭IOCS表面可吸附之位置，所以造成IOCS對Cr(VI)之吸附能力降低；在pH3.0~6.2範圍內，由等溫吸附曲線可知IOCS對Cr(VI)之飽和吸附量約為0.4~0.6 mg-Cr/g-sand。本研究選擇105°C、pH=1.0、熟化時間24 hrs等條件下配製之IOCS進行連續流管柱吸附試驗，得知IOCS約可處理100倍以上濾床體積之含Cr(VI)原水（進流濃度為5.2 mg/l）；以IOCS處理添加Cr(VI)之池水，發現鐵氧化物表面可吸附Cr(VI)離子位址因受到陰、陽離子干擾和SS佔據，以及有機物可能會與Cr(VI)產生錯合或競爭吸附現象，使得IOCS對Cr(VI)之吸附能力略為下降。

Investigating an Iron Oxide Coated Sand for Removing Cr(VI) from Water

Shang-Lien Lo, Jue-Fue Sun, Jeng-Fang Lin, Dar-Yuan Lee, Wann-Yin Lin

Key Words: Iron oxide coated sand (IOCS), Cr(VI), adsorptive filtration

Abstract

Both theory and application of the adsorption of Cr(VI) onto the iron oxide coated sand (IOCS) have been investigated and discussed in this thesis. The continuous column test, regeneration and reuse of the media were employed to assess the utility of IOCS. According

¹國立臺灣大學環境工程學研究所教授

²國立臺灣大學環境工程學研究所碩士

³國立臺灣大學環境工程學研究所副教授

⁴國立臺灣大學農業化學系所副教授

⁵國立臺灣大學化學系所副教授

to the results, the larger quantity of iron coated onto quartz sand was produced in the lower pH range (0.8~ 1.5). These iron oxides would be dissolved more difficulty in acid or base solution. Furthermore, the adsorption efficiencies of Cr(VI) are better than those of IOCS produced in higher pH range (7.5~ 10.0). The removal efficiency of Cr(VI) by IOCS increases as the aqueous pH decreases. Once pH value is lower than 3.0, parts of iron oxides would be dissolved. Therefore, the adsorption efficiency of Cr(VI) on IOCS decreases. When high concentration of SO_4^{2-} presents in aqueous system, SO_4^{2-} would compete with Cr(VI) for the available adsorption sites of IOCS. Thus, the adsorption capacity of Cr(VI) on IOCS decreases.

The results of the adsorption isotherms indicated that the saturated capacity of IOCS for Cr(VI) from pH 3.0 to 6.2 is 0.4~ 0.6 mg-Cr/g-sand. A column packed with IOCS produced at 105°C, pH 1.0 and 24 hours was employed for continuous adsorption test. The concentration of Cr(VI) in influent of synthetic wastewater was around 5.2 mg/l. Nearly complete removals were achieved in treating as many as 100 bed volumes, while no removal of Cr(VI) occurred in a column packed with quartz sand alone. The IOCS was also applied for treating lake water (with Cr(VI) added). Because of higher concentration of cations, anions, SS and organics in both water samples, the removal efficiencies of Cr(VI) were little less than that of synthetic Cr(VI) wastewater.

一、前 言

鉻為一般工業上常使用之原料，如塗料、鞣革、電鍍等之生產製造過程必備之元素。因用途廣泛，故污染途徑亦較多，極可能因處理或處置不當而污染了周遭之環境。而鉻又為具累積性之毒性元素並具致癌性，若因工業製造而污染了環境，則必威脅人健康。

鉻為兩性元素，主要以三價及六價兩種氧化態存在。三價存在之鉻為 Cr^{3+} ，其溶解於酸性溶液中，在鹼性溶液時則生成氫氧化物 $Cr(OH)_3(s)$ 沈澱， Cr^{3+} 於生物系統及環境中表現的卻是非常低的反應性。而六價鉻依溶液內之 pH 而鉻酸氫鹽 ($HCrO_4^-$)，鉻酸鹽 (CrO_4^{2-}) 或重鉻酸鹽 ($Cr_2O_7^{2-}$) 存在。較酸之環境中以 $Cr_2O_7^{2-}$ 為優勢種，較鹼之環境則以 CrO_4^{2-} 為主要成分。當在強的氧化環境中，三價鉻會被氧化成六價鉻，以 CrO_4^{2-} 狀態存在。自然界中鉻酸鹽很少見，所以當水中出現時，表示已受工業廢水污染。但不論六價鉻以鉻酸鹽或重鉻酸鹽存在，因其極強之氧化力及於人體內溶解性及擴散性大於三價鉻，而且可穿透細胞膜，故毒性大於三價鉻。

自然界中含有豐富的金屬氧化物，因其具有極大之比表面積及表面電性之分佈，故對陰、陽離子在特定之環境中均有吸附作用。在土壤中，氧化鐵能以極細之顆粒、不同之礦物型態及濃度存在，又其具有極強之染色作用，故即使是極微小之濃度就能決定土

壤之顏色。氧化鐵藉其化學特性及高的比表面積使其成爲有效之吸附劑，對土壤中之有機性及無機性之陰離子，如 citrate、fulvic acids 及 phosphate、silicate 以及陽離子，如 Al、Cr、Cu、Pb、V、Zn 等都有特定之吸附作用。近年來國內外已有若干研究將鐵氧化物應用於淨水或廢水處理技術上。

本研究利用表面覆膜原理，將石英砂表面包覆上一層氧化鐵，藉以改變被覆物之表面性質，使其具有吸附重金屬離子之功能。期望能將之應用於受重金屬污染之水源處理並達成經濟有效之處理目的。

二、實驗設備、材料與方法

1. 覆膜程序

(1) 石英砂處理

以標準篩分析篩取 16~25 mesh (0.67~0.99mm) 範圍之石英砂 (quartz sand)，於 pH=1 之 HCl 酸洗液中浸泡 24 hrs，再以去離子水洗淨 (水量約 5ℓ)，置於 105°C 烘箱烘乾，然後保存於乾燥箱中。

(2) 氧化鐵膠羽製備

取 100 ml 0.5M 硝酸鐵 ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$) 以 3N 之 NaOH 調整至所需之 pH 值，並以磁石攪拌器攪拌約 5~10 min，使氧化鐵膠羽均勻懸浮。

(3) 覆膜方法

秤取洗淨烘乾之石英砂 200g，置於 1ℓ 燒杯 (pyrex) 內，將氧化鐵膠羽倒入燒杯，且將燒杯置入烘箱中進行攪拌加熱。覆膜完畢，以去離子水 (體積約 5ℓ) 淋洗覆膜石英砂，去除未附著於石英砂表面之氧化鐵膠體及鹽類，再置於烘箱烘乾，此合成之吸附劑稱爲 Iron Oxide Coated Sand (簡稱 IOCS)，最後以塑膠瓶 (polystyrene) 密封保存。

2. 覆膜表面性質之測定

(1) 石英砂表面覆膜鐵量測定

利用長時間暴露於強酸之條件下，將覆膜石英砂上之氧化鐵完全溶出，使成爲鐵離子狀態，用以估算覆膜砂表面之總鐵量。實驗方法爲取 5g 覆膜石英砂置於 50ml, 6N 之 HCl 中，浸泡 24 hrs 後，覆膜石英砂表面氧化鐵已完全溶於 HCl 溶液，以 0.2 μm 之濾膜過濾，再將濾液進行原子吸收光譜儀分析。

(2) 覆膜石英砂表面氧化鐵抗酸、鹼性試驗

氧化鐵在強酸環境中，可能會有部分溶解為鐵離子狀態之傾向，秤取5g之覆膜石英砂，置於50ml pH=2.0及pH=12.0之 HCl及NaOH中，探討覆膜石英砂表面氧化鐵之抗酸、鹼能力。

3. 重金屬Cr(VI)之吸附特性試驗

(1) 鐵鹽覆膜石英砂吸附Cr(VI)研究

利用批式試驗，取5g之吸附劑，加入Cr(VI)離子溶液50ml，以 $\mu=0.1$ M為背景離子強度，反應在25°C下進行，溶液之pH隨時由0.1 M HNO_3 及NaOH控制調整，吸附作用時間為3 hrs，後以0.2 μm 之濾膜過濾，再將濾液進行AA分析。

$$\text{吸附百分率 (\%)} = \text{Cr adsorbed (\%)} = \frac{[Cr]_{init} - [Cr]_{eq}}{[Cr]_{int}} \times 100\% \quad (1)$$

式中， $[Cr]_{init}$ 水溶液初始鉻濃度(M)

$[Cr]_{eq}$ 吸附平衡後，水溶液殘留鉻濃度(M)

(2) 飽和吸附曲線

由等溫分批吸附實驗，可以決定利用吸附劑處理某種廢水之可行性。試驗程序如下：取十個燒杯，每一燒杯中加入5g之吸附劑，然後加入一定量(50ml)不同濃度之鉻溶液於各燒杯中，濃度範圍為5.2 mg/l至52 mg/l之間，並置燒杯於攪拌器上。開動攪拌器，反應溫度維持25°C，隨時監測溶液pH且調整之，直至吸附完成，約3 hr即可。攪拌完畢後，將水樣過濾除去吸附劑，然後分析濾液中去除物之殘留量，固相所吸附之雜質乃可決定。等溫吸附試驗所得數據乃氧化鐵覆膜石英砂(Iron Oxide Coated Sand)吸附容量之一種描述。在應用上可將吸附等溫線繪出，可得知固相與液相之溶質平衡分佈。

4. 鐵氧化物覆膜石英砂之管柱實驗

管柱係由壓克力(arclyic)材質製成，內徑2.6 cm，長度為30 cm，實驗原水是利用定量幫浦抽至定水頭水槽，再以管線連接至吸附床之進水口，水流方向採向上流。填充時應小心避免空氣進入，以免水流發生槽化現象，而造成短流及減少Cr(VI)與吸附劑之接觸機會。

將鐵鹽覆膜石英砂合成之吸附劑(IOCS)應用於實際吸附床上，水流採向上流方式，管柱內徑2.6cm，填充高度20cm，孔隙率約0.44，相當於160 g吸附劑，真密度3.657 g/cm³，假密度為1.479 g/cm³，空床總體積106 cm³ (本文後稱之濾床體積)。流量Q由定量幫浦控制，水力停留時間 $t = \frac{V}{Q}$ ，記錄整個操作過程放流水污染物濃度，且每隔一

段時間採樣一次，並立即分析pH及Cr。水溶液Cr(VI)濃度之分析，則將待測水溶液適當調整至濃度小於 $10^{-4}M$ (5.2 mg/l)後，利用原子吸光譜儀(Perkin-Elmer 4000)分析之。

管柱試驗之操作包含三個不同階段，吸附(Adsorption)、脫附再生(Desorption)和再平衡(Reequilibrium)。處理流程詳如圖1所示，首先廢水藉由蠕動幫浦流入IOCS填充之管柱中，控制管柱內溶液pH值為小於4.5，以進行吸附處理單元。當IOCS飽和吸附後，耗竭的管柱必須加以再生。至於再生過程之鹼劑與pH值將由批次脫附實驗決定，本研究以0.01M NaOH為再生液。而鹼液採向下流方式吸入管柱中，調整pH值大於11，將可使Cr(VI)濃縮回收，直至顏色由黃變淡、無色。然後再利用去離子水洗淨IOCS表面沒有被吸附之Cr和多餘的 OH^- 離子。最後再平衡單元添加強酸活化IOCS介質，繼續下一次循環操作，並經由重覆循環的去離子水調整pH值為3.5，以維持每次實驗狀況均相同。

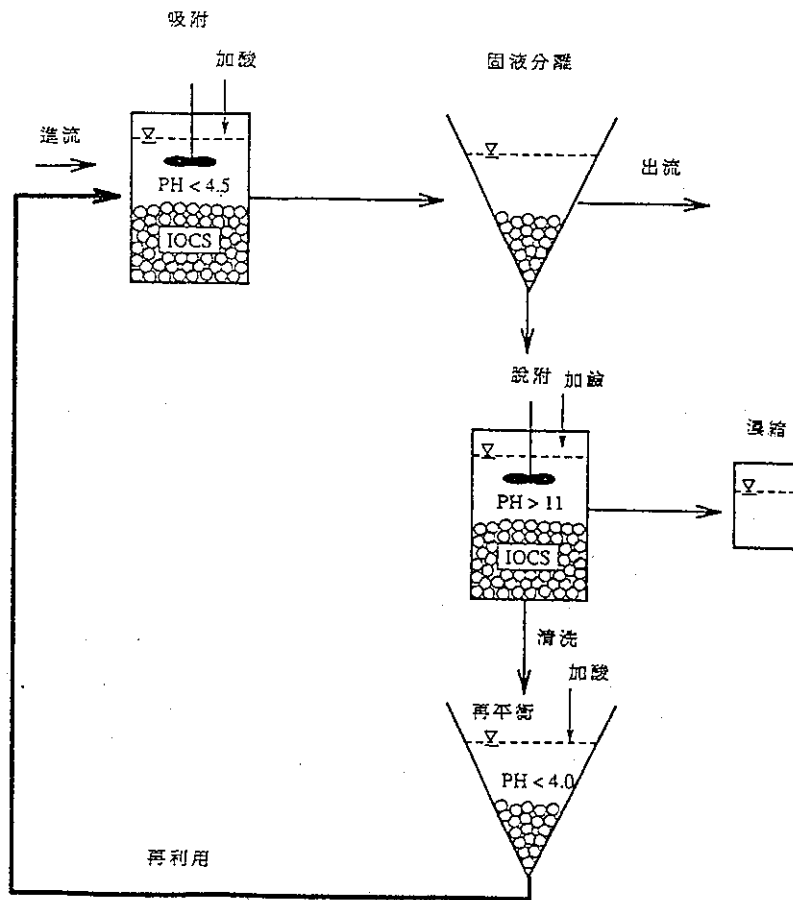


圖1 利用IOCS處理水中Cr(VI)之流程圖

三、結果與討論

1. 覆膜方法之評估

合成氧化鐵膠羽之pH值範圍為0.5~10.0，覆膜溫度105°C及200°C以提供鍵結所需能量。IOCS經試驗結果如下：

(1) 表面鐵量之測定

利用6N HCl和足夠的作用時間24小時，將IOCS表面之氧化鐵完全溶出。(Chao *et al.*, 1964)[1]用來測定氧化鐵覆膜石英砂之表面鐵量。如圖2所示，就合成時之加熱溫度(105°C、200°C)而言，其對石英砂表面覆膜鐵量多寡並無明顯差異；反觀覆膜時之pH值則有較大之影響，pH值小於1.5表面覆膜的鐵量較高，而pH值在7.5~10.0間則相對較低。主要是因pH值小於1.5時，覆膜前配製之鐵溶液，大多以溶解態之 Fe^{3+} 存在，僅有微量之懸浮細膠羽，所以覆膜的鐵量較多且厚；而pH值在7.5~8.0間，配製的鐵溶液，大多以沈澱態之 $Fe(OH)_3$ 存在，此泥漿狀的沈積物較不易覆膜且易流失，僅部分覆膜在石英砂上，因此覆膜的鐵量較少且薄。但pH值大於9時，由於少量已沈澱之 $Fe(OH)_3$ 再溶解成 $Fe(OH)_4^-$ ，此溶解態之 $Fe(OH)_4^-$ 亦較易覆膜，使得此狀況覆膜的鐵量又略微增加。

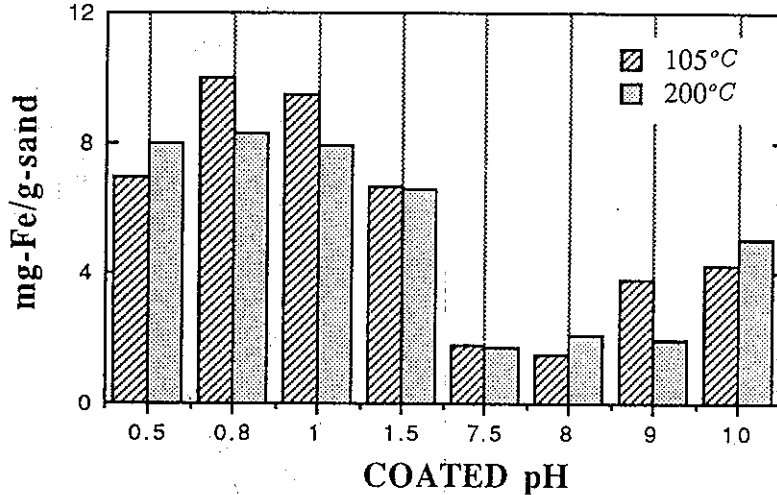


圖2 氧化鐵覆膜石英砂表面鐵量之測定結果

(2) 抗酸、鹼強度

在 pH 值小於 1.5 合成之 IOCS 抗酸性較性；反之 pH 值大於 7.5 合成之 IOCS，由於表面大部分以固形沈澱物存在，氧化鐵較易溶出（圖 3，4）。整體而言，高 pH (coating) 下之覆膜表面較低 pH (coating) 之覆膜物溶出的鐵量要高。

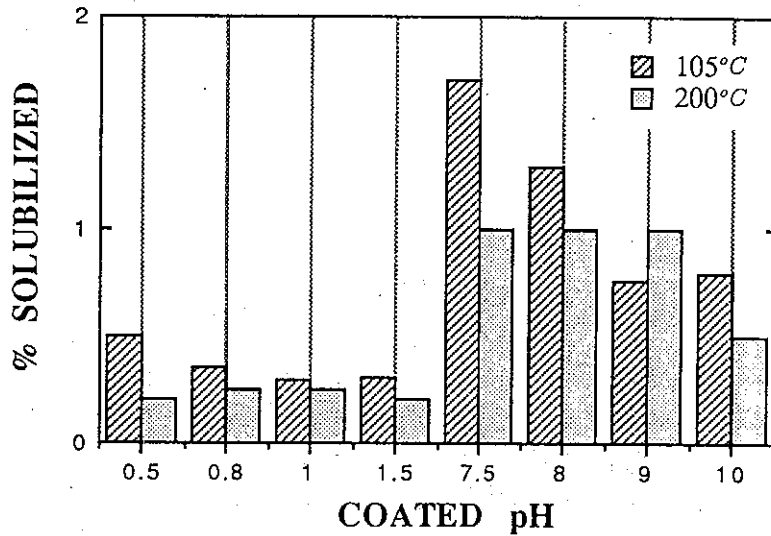


圖 3 IOCS 於 HCl 溶液 (pH 2.0) 3 小時之鐵溶出比

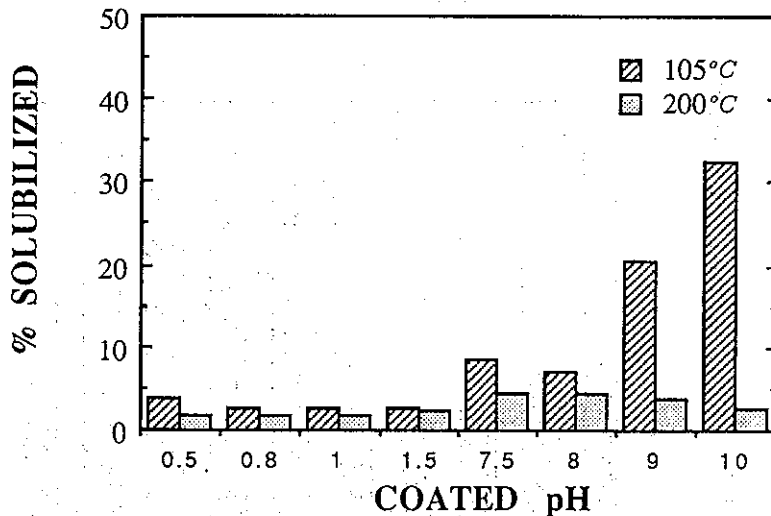


圖 4 IOCS 於 NaOH 溶液 (pH 12.0) 3 小時之鐵溶出比

(3) 合成pH值對IOCS吸附Cr(VI)之影響

以 105°C 及 200°C 兩組在不同覆膜 pH 條件下生成之 IOCS，於室溫，背景電解質 0.1 N NaNO_3 ，水溶液 pH 值為 4.7 進行批式吸附實驗。在低 pH 值 (0.5~1.5)，105°C 合成之 IOCS，可得到最佳處理效果 (圖 5)，若以每單位之吸附劑對 Cr(VI) 吸附表示，為 0.25 (mg-Cr/g-sand)，相當於 30 (mg-Cr/g-Fe) (圖 6)。顯然地，不同溫度、pH 合成之氧化鐵，就有不同之吸附特性。

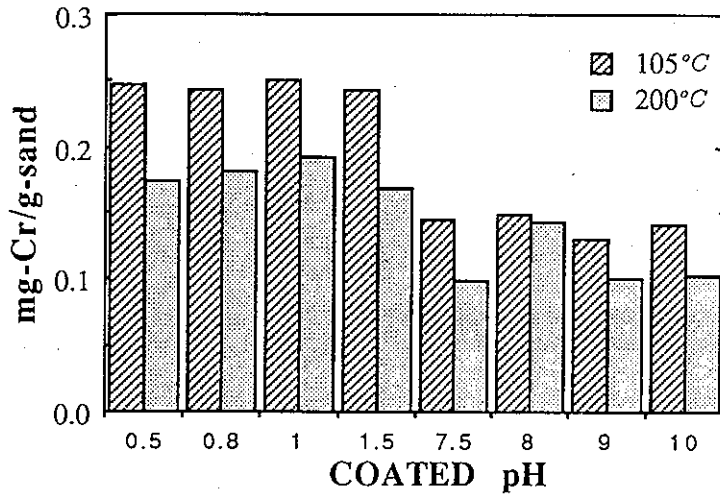


圖 5 合成 pH 值對 IOCS 吸附 Cr(VI) 之影響

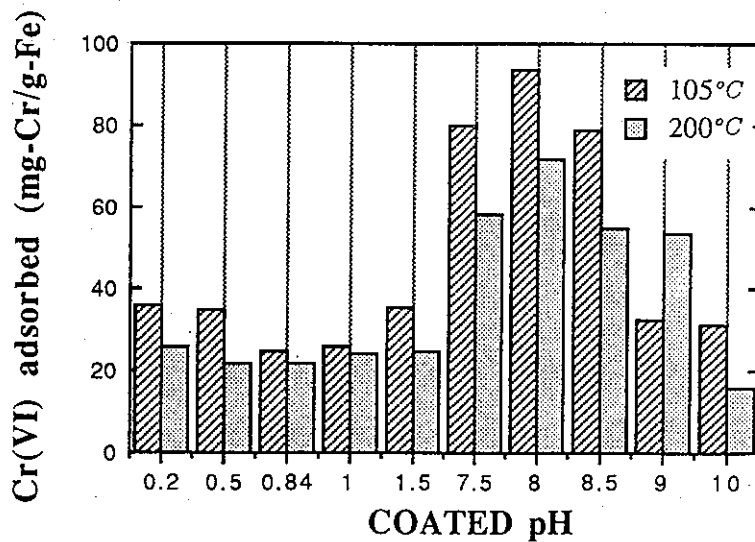


圖 6 合成 pH 值對單位鐵量吸附值之影響

由上述實驗綜而言之，IOCS在愈低pH值生成，覆膜的氧化鐵多且厚，抗酸、鹼能力佳，吸附Cr(VI)效率高。若IOCS欲能實用，處理成本考量和影響因子須加以評估，方能建立經濟之氧化鐵覆膜技術。為配合進行連續式管柱吸附實驗，並考慮以單位體積吸附劑具有較大處理能力的原則，選擇pH=1.0合成氧化鐵膠羽，溫度105°C覆膜石英砂來形成IOCS。且本條件下鐵鹽和氫氧化鈉添加量較少，將可使成本降低。

2. 吸附重金屬Cr(VI)之結果

(1) 水溶液pH值對Cr(VI)吸附之影響

於實驗pH範圍內，pH值愈低，吸附百分比愈大（圖7），由於鐵氧化物表面淨正電荷愈高，增強對陰離子的吸引力[2]；在高pH情況下，鐵氧化物表面帶淨負電荷對Cr(VI)離子產生排斥，而使得吸附量減少但pH值小於3.0時，有部分Fe溶出，使吸附百分比略為降低。當水溶液pH值高於5.0時，吸附百分率在三種鈉鹽溶液中，隨著pH上升而下降，這個趨勢和理論計算Cr(VI)物種濃度分率作比較，可以發現 $HCrO_4^-$ 為六價鉻之主要被吸附物種。從圖看出三種用來調整離子強度的鈉鹽之吸附百分率曲線有明顯差異。若水溶液含有 SO_4^{2-} 時，Cr(VI)之吸附受到影響，Aoki (1982)[3]指出 SO_4^{2-} 會與 $HCrO_4^-$ 競爭鐵氧化物表面可交換陰離子的位置，而造成IOCS對Cr(VI)之吸附能力降低，但pH 5~6正常操作下，仍有80%之吸附百分比。

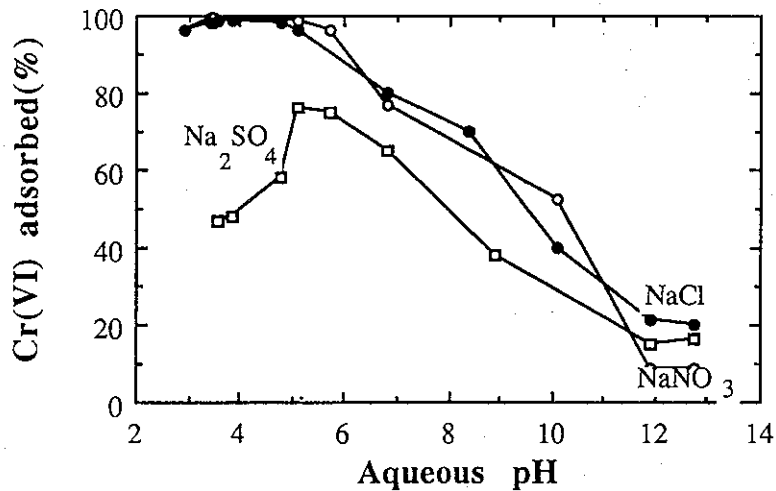


圖7 水溶液pH值對吸附Cr(VI)之影響

(2) 飽和吸附曲線

吸附試驗之數據，表示水溶液各pH操作狀況下IOCS吸附Cr(VI)之能力。當水溶液pH值控制在3.0~6.2，IOCS處理Cr(VI)之最大吸附量為0.4~0.6 mg-Cr/g-sand，如圖8所示。實驗結果顯示pH值愈低，飽和吸附量愈大，但pH值在3.0時因有部分Fe溶出，使得飽和吸附量降低；當pH值維持在4.5時，水溶液中Cr(VI)平衡濃度之影響，為剛開始飽和吸附曲線變化很大，但大於25 mg/l時則趨於緩和。若整個吸附試驗採用Freundlich等溫吸附方程式

$$\Gamma = K_F C^{1/n}$$

表示，式中 Γ ：飽和吸附量(mg-Cr/g-sand)。

C ：水溶液中Cr(VI)之平衡濃度(mg/l)。

K_F, n ：Freundlich等溫吸附方程式之參數。

經由線性化可得到良好之相關性，如表一所示。

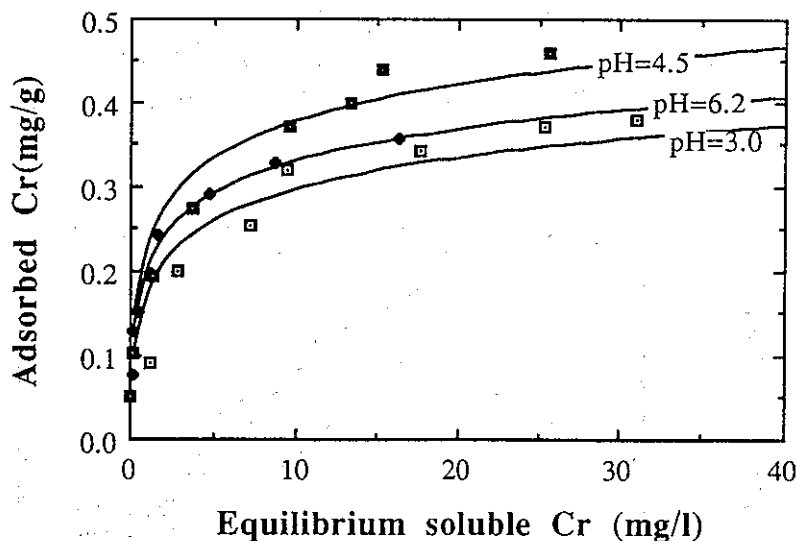


圖8 IOCS對Cr(VI)之吸附等溫曲線

表一 不同水溶液pH值狀況下，IOCS對Cr(VI)之Freundlich等溫吸附方程式參數

pH	K_F	n
3.0	0.12694	3.0072
4.5	0.17191	3.071
6.2	0.17894	3.1688

3. 管柱試驗結果

研究主要目的是將覆膜石英砂應用於實際連續流式吸附系統，實驗初期以溶解性之Cr離子溶液進行管柱吸附實驗，IOCS填充於2.6cm直徑管柱中，吸附劑填充高度約20cm，以定量幫浦控制流量。當管柱吸附Cr離子達飽和後，以pH=12之NaOH溶液再生，可得減量之濃縮Cr液，並經由清洗、再平衡繼續下次之操作。

(1) IOCS與石英砂對重金屬去除之比較

Gasca (1989)[4]研究提出石英砂和鐵鹽的表面吸附位址密度 (Surface binding site densities)為 $2 \times 10^{-5} \text{ mole/g}$ 和 $1.33 \times 10^{-3} \text{ mole/g}$ ，而合成之IOCS表面吸附位址密度 (Surface binding site densities)為 $1.39 \times 10^{-4} \text{ mole/g}$ ，幾乎遠比石英砂增加6倍。圖9可看出IOCS較石英砂具有更高吸附能力，此乃氧化鐵覆膜在砂表面，改變化學特性而增強吸附位址密度[5, 6]。從實驗結果發現IOCS約可處理100倍以上濾床體積的含Cr(VI)原水。

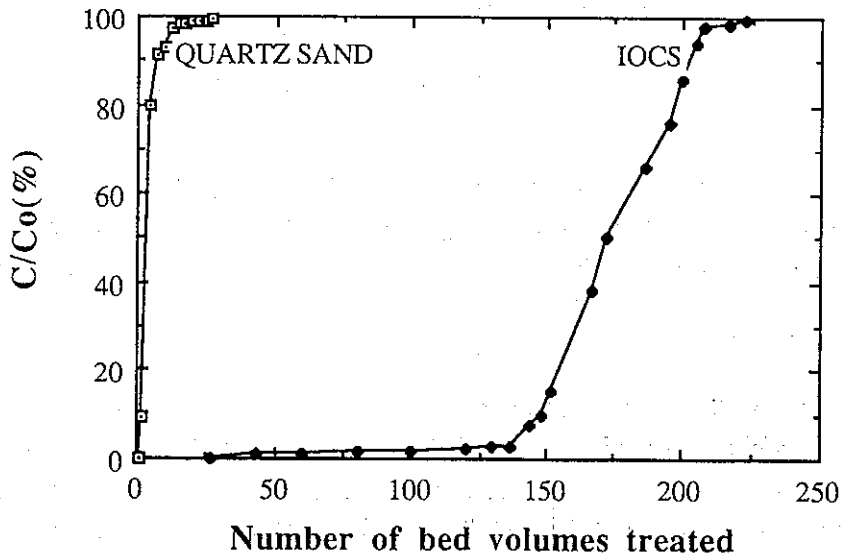


圖9 IOCS與石英砂對Cr(VI)之去除比較

(2) 循環操作

IOCS對於某些重金屬離子具有特殊吸附現象，陽離子之吸附量隨pH之增加而增加，而通常約在2個pH內，吸附率由0至100%；另一方面，陰離子表現之吸附行為剛好相反。IOCS經由逆向脫附或再生，並利用去離水清洗及酸液再平衡，可重覆循環操作。如圖10所示，第一次操作約可處理100倍以上床體積之水量，第二次操作情形類似，第三次操作時由於脫附未完全，使得氧化鐵之吸附位址減少。而在第四、五次時特別注意脫附

操作，延長鹼劑在管柱中之停留時間，則貫穿曲線又恢復與第一、二次結果者吻合。

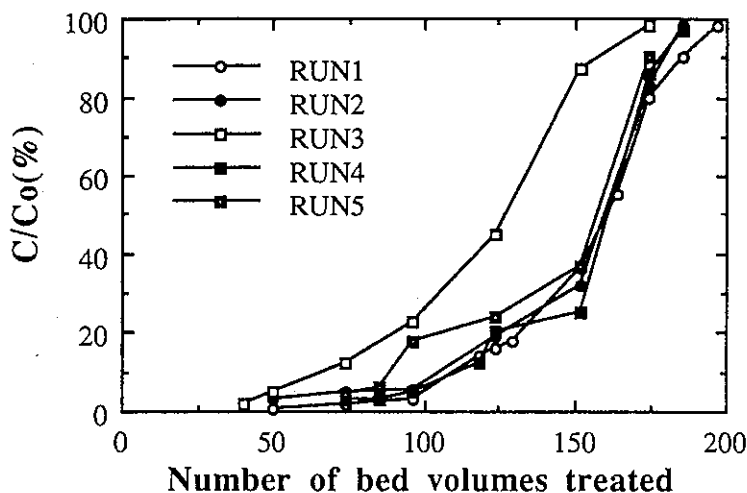


圖 10 IOCS重覆使用對Cr(VI)之去除效果

至於脫附過程之進行，採0.01MNaOH以向下流方式再生吸附劑，從表二發現IOCS在6次循環操作後，仍能維持50%貫穿時可處理100倍以上床體積之Cr(VI)廢水，Cr(VI)回收率在78%以上，而再生液中分析的Cr(VI)濃度最高可達原來進流濃度的15倍。[7]

4. IOCS管柱試驗處理含Cr(VI)之廢水

為瞭解IOCS對實際原水之過濾吸附效果，採台大環工所池水進行管柱實驗，實驗期間進流水質尚稱穩定，pH=7.21、懸浮微粒120 mg/l、Fe濃度為0.064 mg/l、Cr濃度以人工添加方式控制在5.2 mg/l。原水進流前，先加酸調整pH值，水流於管柱中流動，通過鐵氧化物覆膜石英砂顆粒，儘量維持管柱內pH值小於4.5，以增加陰離子之吸附量；每隔一段時間，收集與分析放流水之Cr(VI)及SS。由實驗結果發現，處理Cr(VI)可達50倍床體積，且殘餘濃度非常低，均在0.05 mg/l以下；由於天然水中含有許多雜質，如Cu、Ni、Cd、Pb、Zn、As、Se、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、organic皆會被吸附[8, 9]，使得含Cr(VI)池水之處理能力較第4節所得者為低。另外，就IOCS過濾水中懸浮微粒而言，吸附劑能將120 mg/l截留至5~20 mg/l，經多次循環操作，效率仍高。整體而言，放流水中污染物濃度皆非常低（如表三），對於台灣日益嚴苛的飲用水標準，仍可作為良好解決途徑之一。

表二 IOCS操作時之吸附和脫附特性 (再生液選擇0.01M NaOH)

操作次數	50%貫穿點 處理床體積	Cr(VI)回收率(%)	再生液中最大 Cr(VI)濃度(mg/l)
1	153	84	83.2
3	125	80	78
6	130	78	78

表三 IOCS管柱處理人工添加Cr之池水
(pH=4.0操作, 停留時間4.67min)

mg/l	pH	SS	temp	Cr	Fe	Na
原水	7.21	120	24.2	5.2	0.064	13.0
正常放流	3.52	6	25.3	<0.05	0.034	13.3
濃縮液	10.48	30	25.4	>> 5.2	0.35	220

從表四發現IOCS管柱經過6次循環操作, 仍能維持50倍以上床體積吸附Cr(VI)能力, 再生回收率達79%。圖11顯示, 由於鐵氧化物表面可吸附Cr(VI)之位址因受到陰、陽離子干擾和SS佔據, 以及有機物可能會與之產生錯合或競爭吸附現象, 所以造成IOCS對Cr(VI)之吸附量減少, 而使得重覆操作能力略有下降, 但差距相當有限。

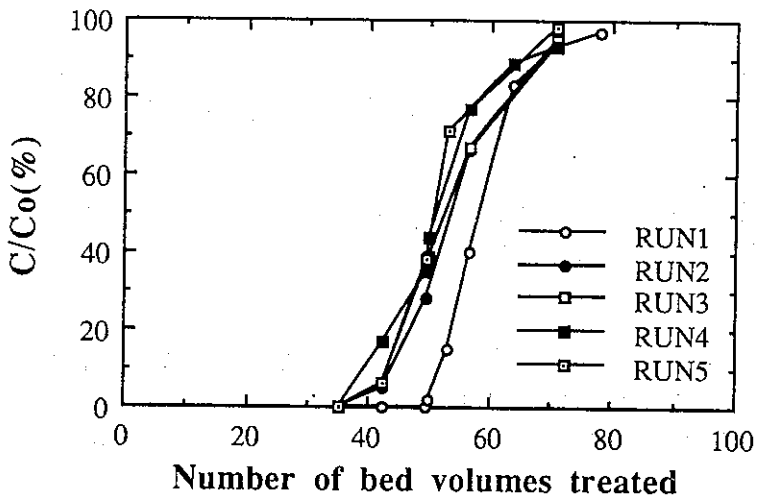


圖11 池水對IOCS吸附Cr(VI)之影響
(Cr(VI): 5.2 mg/l, SS: 120 mg/l, pH: 4.0)

表四 IOCS處理人工添加Cr(VI)池水之吸附和脫附特性，再生液0.01M NaOH

操作次數	50%貫穿點處理床體積	Cr(VI)回收率(%)	再生液中最大Cr(VI)濃度(mg/l)
1	57	85	54
3	52	79	47.7
6	52	79	45

五、結論

- (1) 覆膜技術的影響因子，就合成膠羽之pH值而言，IOCS在pH值小於1.5，表面覆膜的鐵量較多、抗酸、鹼能力強；而合成pH值(0.5~1.5)，105°C形成之IOCS進行批式實驗平衡時，有較大之吸附量為0.25 (mg-Cr/g-sand)。
- (2) 水溶液pH對IOCS處理Cr(VI)之影響，為pH愈低，吸附百分比愈大，此乃正電荷被附著於鐵氧化物表面，氧化鐵所帶正量升高，增強了對陰離子的吸引力，但pH小於3.0，有少量Fe溶出，使吸附能力略為降低，至於當pH高於5時，隨著pH值上升，而吸附能力遞減。
- (3) 從飽和吸附曲線得知當水溶液pH維持在弱酸時，IOCS飽和吸附量為0.4~0.6 mg-Cr/g-sand，且實驗數據採用Freundlich方程式迴歸分析，可得到良好之相關性。
- (4) IOCS具有鐵鹽吸附離子和石英砂過濾SS的雙重特性，比石英砂本身更能去除水中污染物。對於台灣自來水處理廠用地不易取得和飲用水標準日益嚴苛，此新觀念值得開發利用。
- (5) IOCS處理添加Cr(VI)之池水，鐵氧化物表面之吸附位址因受到某些陰、陽離子干擾和SS佔據，以及有機物可能會與之產生錯合或競爭吸附現象，使得吸附能力降低。顯示，IOCS較適合處理低污染負荷之原水，可用於高級處理以提升更佳之出流水品質。

参考文献

1. Chao, T.T., M.E. Harward and S.C. Fang, "Iron or Aluminum Coating in Relation to Sulfate Adsorption Characteristics of Soils", Soil Sci. Soc. Pro., pp. 632-635 (1964).
2. Schwertmann, U. and Taylor, R.M., "Iron oxides" In Minerals in Soil Environments, 2nd ed., Soil, Soc. of America, Madison, Wisconsin (1989).
3. Aoki, T. and M. Munemori, "Recovery of chromium (VI) from wastewaters iron (III) hydroxide-I", Water Res., Vol. 16, pp. 793-796 (1982).
4. Gasca, E. "Characterization and Surface Chemistry Properties of Iron Oxides", Ill. Inst Technol. (1989).
5. Edwards, M. and M.M. Benjamin, "Adsorptive filtration using coated sand: a new approach for treatment of metal-bearing waste", WPCF, Vol. 61, pp. 1523-1533 (1989).
6. Edwards, M. and M.M. Benjmin, "Regeneration and Reuse of Iron Hydroxide Adsorbents in the Treatment of Metal-bearing Wastes", J. Water Pollut. Control Fed., Vol. 61, pp. 481-490 (1989).
7. Bailey, R.P., T. Bennett, and M.M. Benjamin, "Sorption onto and recovery of Cr(VI) using iron-oxide-coated sand", Wat. Sci. Tech., Vol. 17, No. 11, pp. 686-692 (1992).
8. Forbes, E.A., A.M. Posner and J.P. Quirk, "The Specific Adsorption of Divalent Cd, Co, Pb and Zn on Goethite", J. Soil Sci., Vol. 27, pp. 154-166 (1976).
9. Tipping, E., "The Adsorption of Aquatic Humic Substances by Iron Oxides", Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 45, pp. 191-199 (1981b).