

快濾法去除地下水中二價鐵之影響因素探討

薛振達*

謝永旭**

摘 要

本研究係針對地下水的重要水質參數以連續流的模廠試驗分別進行探討，觀測其膠體顆粒的粒徑分佈，以分析相對於不同地下水水質條件下，濾前處理的最佳設計，配合後段濾床的設計參數，評估濾床的去除效率與整體功能。由實驗的結果顯示，在僅含二價鐵的水質條件下，pH控制在7.5的中性範圍內，可得到最佳的凝聚效果，膠羽在接觸停留15分鐘左右，即可達到顆粒凝聚成長的穩定狀態。在二價鐵存在的條件下，添加不同濃度的二價錳、溶解矽或腐植酸，發現鐵、錳共存時，顆粒的凝聚速率受到明顯的抑制。至於含溶解矽或腐植酸的水質條件，則因其與二價鐵的錯合作用之影響，使得溶解矽濃度高於25 mg/L的水質條件或腐植酸濃度高於2mg/L的地下水源，運用目前的處理程序，尚無法達到需要的處理效果。

一、前言

隨著臺灣的經濟快速成長與社會高度發展，水資源的重要性已日漸受到眾人的重視，隨著地表水源日漸匱乏的情況下，地下水資源的保護與妥善利用更可以用來調節本土水資源先天上的缺點。

鐵、錳為地殼中常見的元素，經常存在於地下水當中，此兩種元素為人體所必需的元素，但在飲用水或產業用水的利用上，過量之鐵、錳含量的存在，易造成色度問題與管線阻塞，造成利用上的不便，因此在世界各國的自來水水質標準中，將其歸屬於影響飲用水適飲性的物質，而非有毒物質或可能影響健康的物質，並對其採一定限值的規定。

而地下水資源主要涵養於地層的孔隙中，與地層中的土壤或岩石接觸最完全，因此各種地質的特性亦相當程度地反應於流過其中的地下水溶液中，在各種不同的水質條件干擾下，以傳統的硬體處理設備用以去除地下水中的鐵、錳化合物，可能造成部分淨水場的淨水設施處理過的水質仍無法達到規定限值的情形發生，此實為目前硬體設施設計的盲點所在。

本研究擬針對地下水水質條件的影響程度併同後段的曝氣、pH值控制、停留膠凝等處理程序，觀測其處理後的鐵、錳膠羽的顆粒粒徑分佈，以分析其

* 國立中興大學環境工程研究所碩士

** 國立中興大學環境工程研究所教授

相對於不同地下水水質條件的最佳處理設計，再經粒狀層以快濾法濾除鐵、錳氧化物的膠羽，分析鐵、錳氧化物的顆粒粒徑分佈對濾床的水頭損失影響與去除效率，以做為濾床設計時之參考依據。

二、實驗設備與方法

1. 實驗設備

本研究是以模廠方式進行實驗，以人工原水模擬實際地下水源之水質參數，模廠設備裝置如圖1所示。

2. 實驗方法

本研究實驗方法均先以逆滲透水注入1000L之PE桶內，密封此貯水設備，以厭氧曝氣裝置持續曝以氮氣約4小時左右，此時PE桶內的溶液之溶氧值可降到0.2mg/L以下，以模擬自然環境中地下水的厭氧還原條件，再依所需研究探討的水質條件變因，添加氯化亞鐵與其他造成該水質條件的藥劑至目標值，然後以氮氣持續曝氣，並以循環馬達迴流攪拌來維持溶液的均勻狀態，再藉硝酸的酸化，使桶內溶液保持在 $\text{pH}=6.5$ ，且在實驗操作期間，須不斷監測與調整使溶液維持在 $\text{DO}=0.2\text{mg/L}$ 、 $\text{pH}=6.5$ 的水質條件。至於實驗期間溫度不另行調整，大致在 $19\sim 26^{\circ}\text{C}$ 之間。

配製完成的人工原水以蠕動馬達定量抽送至3.5m高的氣曝塔，以曝氣氧化的方式，氧化溶液中的二價鐵，藉 pH 控制器的調整，控制溶液的 pH 值，以利於三價鐵的凝集，溶液在停留槽內經設定的停留時間後，以溢流方式進入過濾管柱，在過濾管柱內以定速率方式過濾，水位保持在濾料表面以上90公分處，溶液經粒狀層的過濾後，由集水渠收集再經流量控制器後放流。

在過濾實驗操作時，每間隔1小時由放流水處取樣，監測隨過濾時間的改變，出流中殘留鐵含量之總量鐵與溶解量鐵的變化，同時並記錄濾床的總水頭損失的變化情形，大致上以總水頭損失達1.5m或出流水中殘留鐵、錳的濃度高於目前台灣省的飲用水水質限值時，則停止過濾操作，而在實驗結束的同時，在停留槽溢流口處取樣，以雷射粒徑分析儀分析溶液中鐵顆粒的粒徑分佈狀況，以便判讀在不同水質參數的影響下，前處理的最佳操作條件與濾床的過濾效率。

本研究實驗控制因子係先以僅含二價鐵存在的水質條件下，就模廠的各操作條件如 pH 控制、停留時間的設計、濾料的平均粒徑，做單因子的變化試驗探討，然後選擇重要的水質參數如鐵、錳共存、溶解矽或腐植酸等物質存在時，就影響較顯著的操作條件做試驗探討。

三、結果與討論

1. pH值控制對快濾處理二價鐵的影響試驗

在pH值控制因子對快濾法去除地下水之二價鐵的研究中，選擇pH條件為7.5、9.0及10.5三個pH值，控制誤差為 ± 0.25 間，人工原水的水質條件為pH=6.5、溶氧為0.2mg/L及 $[\text{Fe}^{2+}] = 4\text{mg/L}$ ，經曝氣塔曝氣後，在停留槽測得的溶氧值約在 $7.0 \pm 0.5\text{mg/L}$ 左右，溶液在停留槽的平均停留時間為30min，以溢流方式進入快濾設備中，濾床結構由下而上為30公分厚的濾石支撐層與70公分厚的石英砂組合而成，濾砂的有效粒徑 $ES = 0.5\text{mm}$ ，均勻係數1.5，孔隙率為0.46~0.48，以200m/d的速度過濾之。

由停留槽溢流口所得溶液分析其鐵顆粒粒徑成長的情形，當pH操作條件在7.5時，大部分的顆粒粒徑分佈在 $32\mu\text{m} \sim 133\mu\text{m}$ 之間，顆粒累積體積之50% (D50) 為 $76\mu\text{m}$ ；將pH值控制在9.0時，其顆粒粒徑累積分佈曲線往左移動，D50為 $3.6\mu\text{m}$ ，大部分顆粒粒徑分佈在 $3 \sim 4\mu\text{m}$ 間；將pH值提高至10.5時，溶液呈黃色及澄清狀，粒徑分佈已遠低於儀器的偵測範圍。濾床的總水頭損失在pH值為9.0以上時，隨時間改變即無明顯增加的趨勢；從圖2來看，對總量鐵的去除效率而言，亦隨著pH值的上升，而有明顯下降的趨勢；而由表1發現，隨著pH值的增加，出流水中鐵的殘留量由先前以不溶性的鐵顆粒為主，在pH=10.5時，即轉變為以可穿透 $0.45\mu\text{m}$ 之濾紙的溶解性鐵為主。

綜合上述實驗結果分析，就理論而言，欲去除地下水之二價鐵，首先須將二價鐵氧化，使其形成溶解度較低的三價鐵氫氧化物，再凝聚成足以濾除的顆粒而去除，由於鐵(II)的氧化速率與 $[\text{OH}^-]$ 的平方根成正比，再由表1發現在pH=7.5時，出流水中總量鐵與溶解量鐵之濃度已幾乎接近於零，因此可確知在此操作條件下，pH值在7.5時即足以將大部分的Fe(II)氧化為Fe(III)，使其形成不溶性的三價鐵氫氧化物。且由文獻顯示，三價鐵所形成的氫氧化物，其等電位點(pH_{zpc})主要位於6.7~8.5之間。

故為何隨pH值的增加，其顆粒粒徑卻有明顯下降的情形發生，因為在此實驗條件下，鐵的氫氧化物應以難溶性固體物為主，而在pH=7.5時，由於接近三價鐵氫氧化物的等電位點，其膠體表面的電荷斥力最小，因此凝聚效果最佳，可在停留時間30min內，形成的鐵顆粒粒徑之D50即可達 $76\mu\text{m}$ ，當pH值不斷地增加，隨著膠體顆粒表面電性的增加，膠體間的斥力亦隨之增加，使得顆粒間的凝聚性降低，而無法在此停留時間內達到凝集之效果，致使形成的鐵顆粒過於微細而無法被濾床所濾除，因此從出流水的鐵殘留量監測中亦可發現隨著pH值的增加，鐵顆粒粒徑的減小，濾床對總量鐵的去除效率由99%以上，依序遞減為40%與20%附近，且溶解性之鐵含量的比例亦隨pH值的增加而增加，在穩定狀況下隨著過濾操作時間的延續，去除效率並無明顯差異發生（初始點之異常主要受濾床操作前留存在濾層中的純水之稀釋干擾所致）。

2. 二價鐵初始濃度對快濾處理二價鐵的影響試驗

本項實驗以探討不同二價鐵初始濃度在快濾處理中的影響，在人工原水的條件維持在 $DO=0.2\text{mg/L}$ 、 $\text{pH}=6.5$ ；基本實驗操作條件為曝氣停留後 $DO=7.5\pm 0.5\text{mg/L}$ ， $\text{pH}=7.5\pm 0.25$ ，平均停留時間 30min ，以 200m/d 的速度通過有效粒徑 0.5mm 、均勻係數 1.5 、濾砂深 70cm 的粒狀層。選擇二價鐵初始濃度為 1 、 2 、 4mg/L 為研究因子。

在溢流口所得前處理水樣，分析其鐵顆粒粒徑分佈狀況，二價鐵初始濃度為 1mg/L 時， D_{50} 為 $46.7\mu\text{m}$ ，鐵顆粒粒徑大部分分佈於 $9\sim 101\mu\text{m}$ ； $\text{Fe}=2\text{mg/L}$ 時， $D_{50}=47.5\mu\text{m}$ ，整個粒徑分佈與 1mg/L 時並無明顯區別；當濃度升至 4mg/L 時，鐵顆粒的粒徑才有明顯增加。而過濾阻力則隨著原水含鐵量的增加其增加的斜率呈現明顯上升，但對二價鐵的去除效率，則不隨其初始濃度的改變與過濾時間的延續而有所差異（見圖3）。

綜上結果分析，二價鐵在此實驗操作下，大部分已被氧化為三價鐵，形成不溶性的懸浮微粒，而在懸浮微粒成長的過程中，若大量提高懸浮微粒的濃度，則有助於顆粒間的有效碰撞機會，而使膠體顆粒較易成長。根據McDowell-Boyer等學者依 dm/dp 的比值，此三種初始濃度所形成的鐵顆粒之粒徑分佈主要是以表面濾除的方式所去除，因此其過濾阻力增加相當迅速，三者濾程的差異主要受流體中懸浮顆粒的濃度與粒徑所影響；而總量鐵的去除效率亦因此過濾機制而使結果不因初始濃度而異。

3. 停留時間對快濾處理二價鐵的影響試驗

本項實驗係以 $[\text{Fe}^{2+}]=4\text{mg/L}$ 、 $DO=0.2\text{mg/L}$ 、 $\text{pH}=6.5$ 為人工原水水質條件，選擇停留槽的平均停留時間為 0 、 15 、 30 、 60 分鐘為研究因子，基本操作條件控制如下：曝氣停留後溶氧達 $7.0\pm 0.5\text{mg/L}$ ， pH 控制在 7.5 ± 0.25 ，以 200m/d 的過濾速度通過 $ES=0.5\text{mm}$ 、 $UC=1.5$ 、濾砂深 70cm 的濾床。

從鐵顆粒粒徑分佈的分析來看，平均停留時間為 15 、 30 、 60 分鐘者，其顆粒粒徑分佈均相當接近， D_{50} 在 $75\mu\text{m}$ 附近，而平均停留時間 0 分鐘時，其形成的膠羽顆粒粒徑即遠小於另外三組實驗所觀察到者， D_{50} 落於 $9.6\mu\text{m}$ ，整體顆粒分佈於 $3\sim 21\mu\text{m}$ 間。而由圖4可得知，當停留時間為 0 分鐘時，在過濾操作的前二小時以內，粒狀層對鐵顆粒的去除效率功能不彰，其出流水的總鐵含量遠高於目前飲用水水質標準對鐵的限值。

由鐵顆粒粒徑分佈的狀況，可確知在此實驗操作條件下，停留槽的平均停留時間只需 15 分鐘，即可使鐵顆粒凝聚到足以濾除的大小，且在 15 分鐘至 60 分鐘間，其粒徑並無明顯的區別，亦即其顆粒凝聚的現象在 15 分鐘後已達到一穩定狀態。而平均停留時間 0 分鐘者，因其形成的膠體顆粒尚不及凝聚，因此顆粒

遠小於其他三組實驗，由於溶液中的膠體顆粒部份過於微細而無法為實驗中所採用的濾料完全濾除，所以造成過濾初期去除效率不佳的情形發生，但在過濾連續操作兩小時後，因濾層中先前去除的膠羽參與拌除較小的粒子而得到較有效的過濾效果，因此濾床的去除效率再度提高到99%以上。

4. 濾料粒徑對快濾處理二價鐵的影響試驗

本項實驗選擇濾砂有效粒徑 $ES=0.5\text{mm}$ 、 $ES=0.64\text{mm}$ 、 $ES=0.75\text{mm}$ 、 $ES=1.0\text{mm}$ 四組不同濾料粒徑做為研究探討因子，原水水質控制為 $[\text{Fe}^{2+}]=4\text{mg/L}$ ， $\text{DO}=0.2\text{mg/L}$ ， $\text{pH}=6.5$ ，基本實驗操作條件控制如下：曝氣停留後 $\text{DO}=7.0\pm 0.5\text{mg/L}$ ， $\text{pH}=7.5\pm 0.25$ ，平均停留時間30min，以濾率200m/d的速度通過70cm厚的濾砂層。

圖5與圖6分別為不同濾料粒徑下，濾床隨時間變化的過濾阻力與去除效率，從圖5可以看出，過濾阻力的變化隨濾料粒徑的增加而有減緩的趨勢，就理論而言，若使用的濾料粒徑較大，則 dm/dp 比值便增加，使水中懸浮顆粒更易深入濾層中，較不易形成濾餅，故可減緩過濾阻力的增加率以提高濾程。而由圖6顯示，有效粒徑 $ES=0.5\text{mm}$ 至 1.0mm 濾砂皆可有效濾除水中懸浮性鐵顆粒，但對於有效粒徑大於 0.75mm 、濾砂深70cm者在實驗總水頭損失未達1.5m時，濾床即因超負荷而致使原先濾除的鐵顆粒再度脫附，使去除效率迅速降低。

5. 鐵錳共存之原水，鐵錳濃度比對快濾處理二價鐵、錳的影響試驗

本項實驗係模擬地下水質中二價鐵、錳共同存在的水質條件下，選擇二價鐵、錳濃度比為 $(\text{Fe}:\text{Mn})=4:0$ 、 $4:0.2$ 、 $4:1$ 三組水質條件，控制人工原水之 $\text{DO}=0.2\text{mg/L}$ ， $\text{pH}=6.5$ ，實驗操作條件如下：曝氣停留後 $\text{DO}=7.0\pm 0.5\text{mg/L}$ ， $\text{pH}=7.5\pm 0.25$ ，平均停留時間30min，以200m/d之濾速通過有效粒徑 $ES=0.5\text{mm}$ 、濾砂深70cm之粒狀層。

由停留槽溢流口取得的水樣中發現鐵、錳顆粒粒徑的成長隨著原水中二價錳濃度的增加，溶液中形成的顆粒粒徑 D_{50} 由 $76\mu\text{m}$ 下降到 $43.7\mu\text{m}$ ，整體粒徑分佈有明顯遞減的趨勢。而且過濾阻力亦以 $(\text{Fe}:\text{Mn})=(4:1)$ 這一組實驗的增加率最小，再從圖7及圖8其鐵、錳的去除效率來看，總量鐵的去除率皆可達99%以上，符合要求之限值，但錳的去除則相當不佳，在此 pH 值操作下，以 $(\text{Fe}:\text{Mn})=(4:1)$ 較佳，但亦僅在10%附近而已。

就理論觀點而言，由於二價錳的氧化遠較二價鐵不易，因此在 $\text{pH}=7.5$ 時，大部分的二價錳仍無法氧化為四價的難溶性固體物，因此在出流水中便可偵測到大量溶解性的錳離子存在，但由於錳離子的存在，使三價鐵在結晶凝聚過程中，錳離子可能吸附在鐵顆粒表面或進一步嵌入晶體格子內，產生共沈澱現象

，因而影響與抑制了鐵顆粒的成長，故粒徑分佈曲線隨著錳濃度的增加而左移。也因為整體顆粒粒徑的減小，所以膠羽較易深入濾層中，致使過濾阻力的增加率減緩。

6. 含溶解矽原水，溶解矽濃度對快濾處理二價鐵的影響試驗

本項實驗為探討地下水中溶解矽含量對快濾法去除二價鐵的影響，選擇溶解矽濃度為0、10、25、50mg/L等四組不同溶解矽濃度做為研究因子。以 $[Fe^{2+}] = 4mg/L$ 、 $DO = 0.2mg/L$ 、 $pH = 6.5$ 為人工原水水質條件，基本實驗操作條件如下：曝氣停留後 $DO = 7.0 \pm 0.5mg/L$ 、 $pH = 7.5 \pm 0.25$ ，平均停留時間30min，以200m/d之濾速通過有效粒徑 $ES = 0.5mm$ 、濾砂深70cm之粒狀層。

隨著溶解矽濃度的增加，溶液中形成的顆粒粒徑逐漸減小，溶解矽濃度達25mg/L以上，溶液中可被偵測到的懸浮膠體大部分分佈於3~4 μm 之間。由圖9總量鐵的去除效率來看，在本實驗控制條件之下，溶解矽濃度在不超過10mg/L時，溶液中總量鐵的去除率尚可在95%以上，但溶解矽濃度增加到25mg/L時，濾床過濾效果即隨溶解矽濃度的增加而遞減，且無法達到需要的水質標準。在此實驗過程中濾床的過濾阻力隨時間的變化，與溶解矽的濃度及形成顆粒的粒徑大致上有相符的趨勢，當溶解矽濃度愈大則生成的Fe粒徑愈小，且因Fe之去除效率減少，故水頭損失的增加亦減少。

就上述實驗結果而言，理論上由於溶解矽的存在，其具有催化氧化二價鐵的能力，並且與氧化形成的三價鐵發生錯合反應。因此隨著溶解矽濃度的增加，溶液中原本易於凝聚的鐵顆粒，因部分三價鐵與溶解矽發生錯合作用，所以對顆粒的成長造成抑制效果，故顆粒粒徑隨著溶解矽濃度的增加而逐漸減小。

因此就總量鐵的去除效率而言，由於在此實驗條件下，溶解矽濃度達25mg/L時，錯合作用的影響已漸顯著，造成溶液中顆粒的穩定而無法再凝聚成較大的膠羽，過於微細的膠羽大量貫穿濾床，因此去除效率開始隨溶解矽濃度的增加而降低，但隨過濾時間的變化去除率有逐漸增加的趨勢，主要原因在於溶解矽存在時，錯合的鐵無法被濾床所去除，因而造成貫穿的情形，而使去除率下降，但隨著過濾時間的延長，濾床中先前被濾除的鐵膠羽，亦參與拌除水中的鐵顆粒，而使去除率有逐漸上升的趨勢。且隨著溶解矽濃度的增加，與之錯合的三價鐵比例增加，因此殘留鐵含量中溶解性鐵的比例亦隨之提高。

7. 含腐植酸原水，腐植酸濃度對快濾處理二價鐵的影響試驗

本項實驗為探討水體中腐植酸的存在對快濾法去除水中二價鐵的影響。以 $[Fe^{2+}] = 4mg/L$ 、 $pH = 6.5$ 、 $DO = 0.2mg/L$ 為人工原水基本條件，選擇腐植酸濃度0、0.5、2、5mg/L等四組不同腐植酸濃度做為研究因子，基本實驗操作條件如

下：曝氣停留後溶氧可提高至 $7.0 \pm 0.5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{pH} = 7.5 \pm 0.25$ ，平均停留時間30 min，以濾率200m/d的速度通過有效粒徑 $\text{ES} = 0.5 \text{ mm}$ 、深70cm的濾砂層。

由溶液中形成的顆粒粒徑分佈可以發現隨著腐植酸濃度的增加，其形成的顆粒粒徑D50依序由 $76.3 \mu\text{m}$ 遞減為 $37.3 \mu\text{m}$ 、 $3.54 \mu\text{m}$ 及 $3.44 \mu\text{m}$ ，而腐植酸濃度高於 2 mg/L 時，溶液中可偵測到的顆粒大部分皆分佈於 $3 \sim 4 \mu\text{m}$ 間。由圖10得知對於總量鐵的去除效率，在腐植酸 0.5 mg/L 時仍可達97.5%，但腐植酸濃度高於 2 mg/L 時，去除率便急劇依序下降，殘留鐵含量中以溶解性鐵為主，腐植酸濃度為2及 5 mg/L 時，溶解性鐵含量幾乎佔殘留鐵含量的90%以上。

就理論而言，高pH值的條件下有利於腐植酸的羧基(Carboxyl)解離出氫離子，而與鐵形成錯合作用，因此本實驗以 $\text{pH} = 7.5$ 做為pH值控制條件；由於在腐植酸存在的情形下，二價鐵很難被氧化，所以腐植酸的濃度提高，錯合效應明顯增加，鐵顆粒的凝聚明顯受到抑制，當腐植酸濃度增加至 2 mg/L 時，溶液中可偵測到的顆粒粒徑大部分分佈於 $3 \sim 4 \mu\text{m}$ 間，且隨著錯合量的增加，溶液中二價鐵的氧化愈困難，顆粒的凝聚愈不易，因此造成總量鐵的去除效率依序遞減，溶解性含鐵量的比例逐漸增加，在腐植酸濃度為 2 mg/L 時，溶解性含鐵量的比例已高達90%以上，所以在腐植酸存在的條件下，錯合鐵的穩定性使二價鐵的氧化凝聚受到極大的影響。

四、結論與建議

1. 在僅含二價鐵存在的水質條件下，pH值控制在7.5的中性範圍內，可獲得最佳的凝聚效果，且在停留時間15分鐘左右即可達到顆粒凝聚成長的穩定狀態，而此時增加停留時間對顆粒的成長與去除效率並無明顯的助益，且提高pH值反而不利於鐵顆粒的成長與去除。
2. 在鐵、錳共存的水質條件下，由於錳離子的存在，抑制整體顆粒的成長速率，因此隨著錳濃度比的增加，增加停留時間的操作條件對於顆粒的成長，與二價錳的去除率，相對有明顯的助益。
3. 在溶解矽存在的水質條件下，隨著溶解矽濃度的增加，與鐵的錯合愈趨顯著，所以去除效率逐漸下降；溶解矽濃度較低時（約 10 mg/L 左右），鐵顆粒的形成較小，但大部份仍可被濾床濾除，故去除效率良好，且有助於濾程的增加；當濃度高於 25 mg/L 時，則因形成的膠體過於微細，而造成貫穿的情形發生。
4. 在腐植酸存在的水質條件下，當腐植酸濃度高於 2 mg/L 時，去除效率即明顯下降，且殘留鐵含量以溶解性為主。

5. 由模廠的試驗發現，溶解矽與腐植酸等物質對地下水去除二價鐵的快濾操作之成功與否，具有相當的影響程度，因此建議在以地下水為水源時，應一併考量此兩種物質的水質背景資料，以做為硬體設計的依據。

五、參考文獻

1. Robinson, R.B., Dark, F.J., Pisarczyk, K., Singer, P.C. and Sung, W., "Research Needs for the Treatment of Iron and Manganese", Jour. AWWA, 79:9:119 (1987).
2. 葉宣顯, "調查地下水源含砷、氟、鐵、錳等污染成份及處理效率之研究", 國立成功大學環境工程研究所 (1983).
3. 洪世政, "去除原水中二價鐵、錳時其生成顆粒粒徑的影響與控制研究", 碩士論文, 國立中興大學環境工程研究所 (1993).
4. Stumm, W. and Lee, G.F., "Oxygenation of Ferrous Iron", Ind. Eng. Chem., 53:143 (1961).
5. Mouchet, P., "From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France", Jour. AWWA, 84:4:158 (1992).
6. 黃國林, "低濁度地表原水直接過濾之研究" 碩士論文, 國立成功大學環境工程研究所 (1985).
7. 駱尚廉, "水平流式過濾池之可行性研究", 國立台灣大學環境工程研究所 (1988).
8. O'Melia, C.R., et al., "Theory of Water Filtration", Jour. AWWA, 59:11:1393 (1967).
9. Sarah, C.C., Lawler, D.F. and Cushing, R.S., "Contact Filtration: Particle Size and Ripening" Jour. AWWA, 84:12:61 (1992).
10. Mackie, R.I. and Renbi, B., "Suspended Particle Size Distribution and the Performance of Deep Bed Filters", Wat. Res., 26:12:1571 (1992).

11. McDowell-Boyer, L.M., Hunt, J.R., and Sitar, N., "Particle Transport Through Porous Media", UC Berkeley, UCB-SEHRL Report NO. 85-12 (1985).
12. George, P., "The Isoelectric Points of Solid Oxides, Solid Hydroxides, and Aqueous Hydroxo Complex Systems", Department of Mineral Engineering, Stanford University, Stanford, California (1964).

表 1 : 含二價鐵原水, pH值影響出流水殘留鐵含量

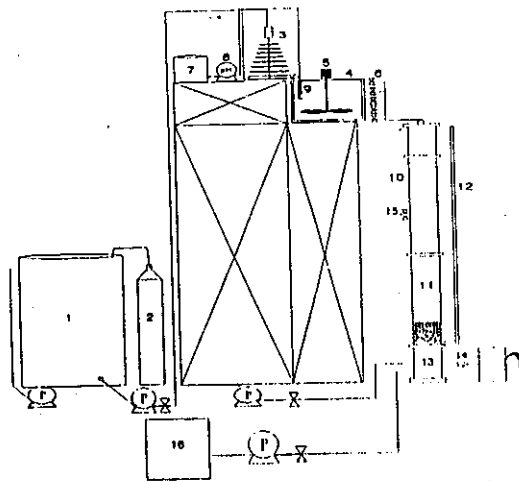
($[Fe^{2+}] = 4 \text{ mg/L}$, $DO = 7.0 \text{ mg/L}$, 停留時間 30 min, 濾率 200 m/d, 濾料粒徑 $ES = 0.5 \text{ mm}$)

類別 時間	pH= 7.5		pH= 9.0		pH= 10.5	
	總量	溶解量	總量	溶解量	總量	溶解量
0 hr	0.04	N.D.	0.19	N.D.	1.99	N.D.
1 hr	N.D.	N.D.	2.34	N.D.	3.36	2.88
2 hr	N.D.	N.D.	2.18	0.05	3.33	3.09
3 hr	N.D.	N.D.	2.15	0.07	3.27	3.09
4 hr	N.D.	N.D.	2.08	0.08	3.30	3.20
5 hr	0.01	0.01				

註: 1 單位 mg/L

2 溶解量係以 0.45 μm 濾紙過濾的水樣測得

3 檢測值 N.D. 者表示含量低於儀器偵測極限 0.01 mg/L



- | | |
|----------------|------------|
| 1 1000L-PE 鍋水鍋 | 9 pH meter |
| 2 藥液罐 | 10 過濾管柱 |
| 3 曝氣塔 | 11 濾料層 |
| 4 攪拌器 | 12 水頭損失計量器 |
| 5 攪拌馬達 | 13 安全閥 |
| 6 過濾裝置 | 14 流量控制器 |
| 7 缺液儲存罐 | 15 水位調整閥 |
| 8 pH 控制器 | 16 反沖洗裝置 |

圖 1 模型系統結構圖

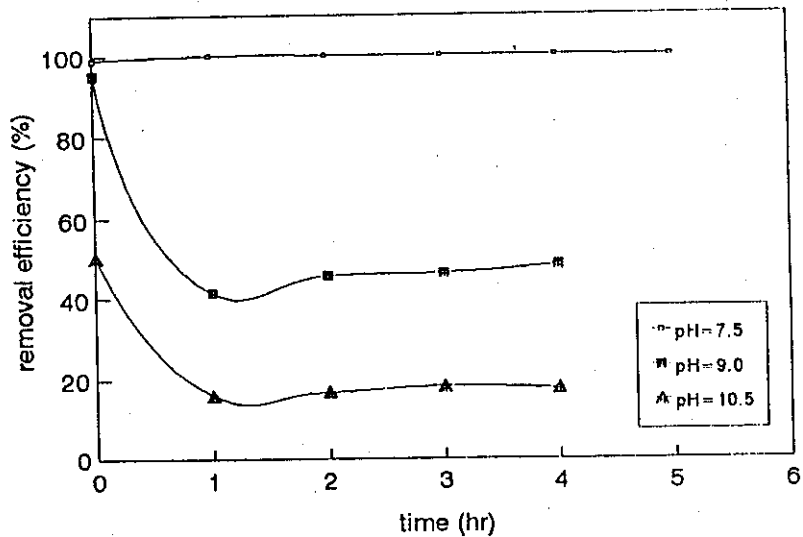


圖 2 : 含二價鐵原水, pH 值影響總量鐵的去除效率試驗
 ($[Fe^{2+}] = 4 \text{ mg/L}$, $DO = 7.0 \text{ mg/L}$, 停留時間 30 min, 濾率 200 m/d,
 濾料粒徑 $ES = 0.5 \text{ mm}$)

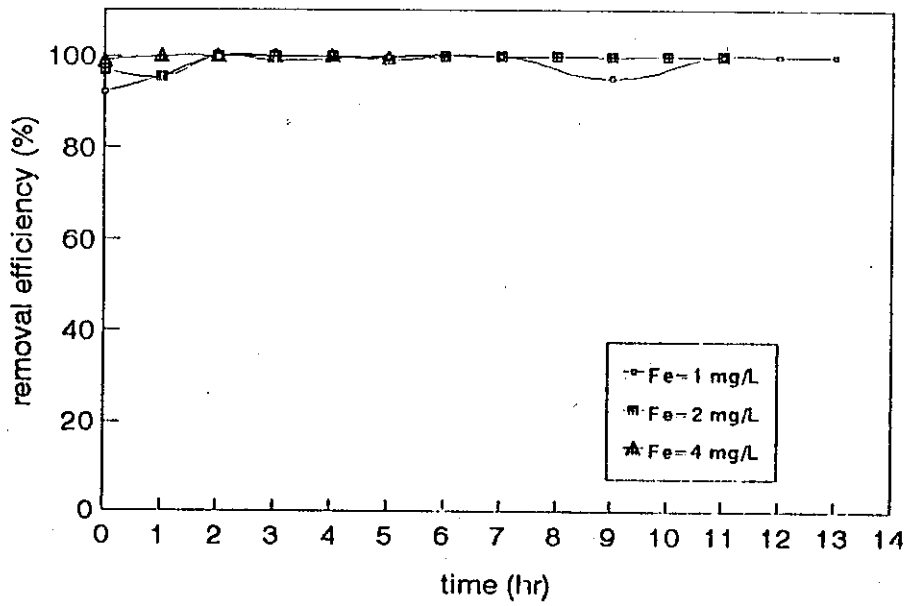


圖 3：含二價鐵原水，二價鐵濃度影響總量鐵的去除效率試驗
 (DO=7.0 mg/L, pH=7.5, 停留時間30 min, 濾率200 m/d, 濾料粒徑
 ES=0.5 mm)

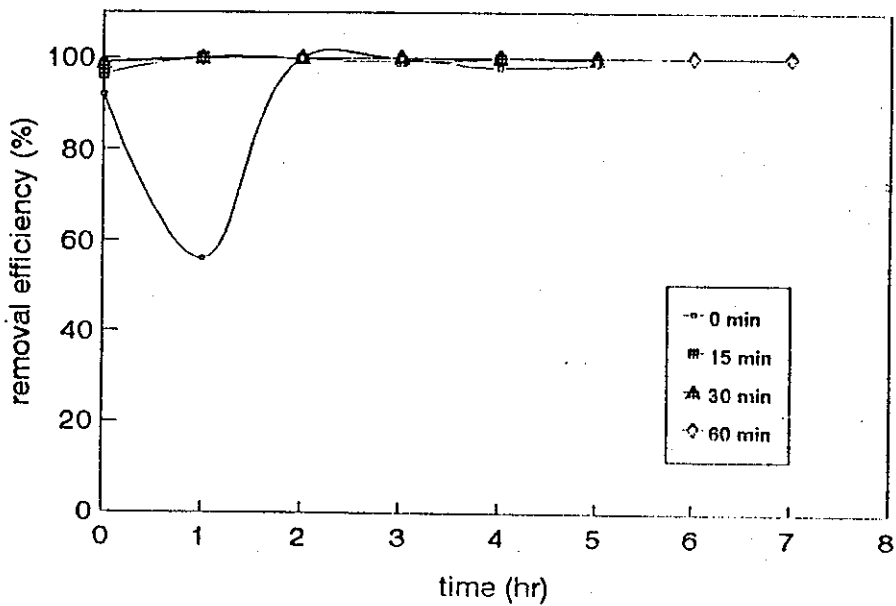


圖 4：含二價鐵原水，停留時間影響總量鐵的去除效率試驗
 ([Fe²⁺]=4 mg/L, DO=7.0 mg/L, pH=7.5, 濾率200 m/d, 濾料粒徑
 ES=0.5 mm)

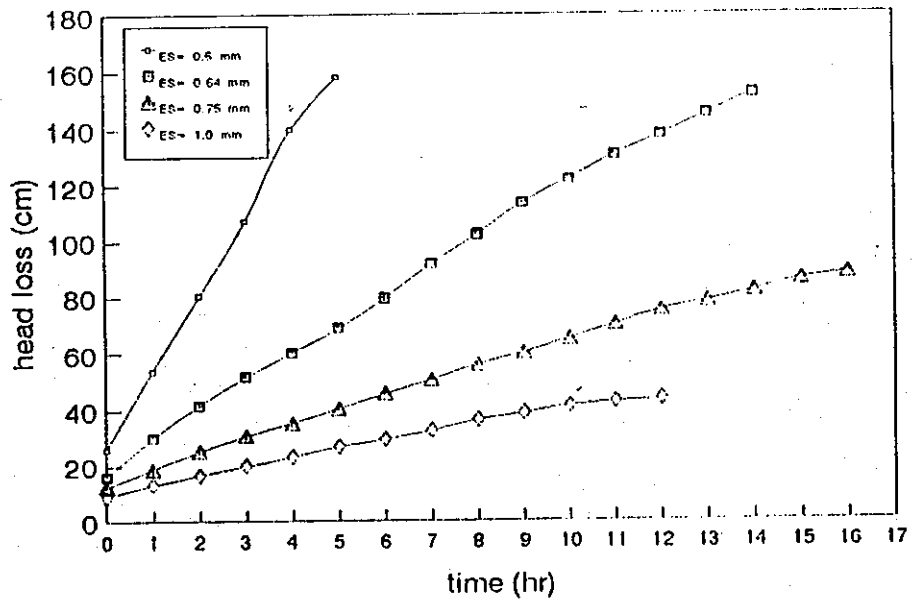


圖 5 : 含二價鐵原水, 濾料粒徑影響水頭損失試驗
 ($[Fe^{2+}] = 4 \text{ mg/L}$, $DO = 7.0 \text{ mg/L}$, $pH = 7.5$, 停留時間 30 min, 濾率 200 m/d)

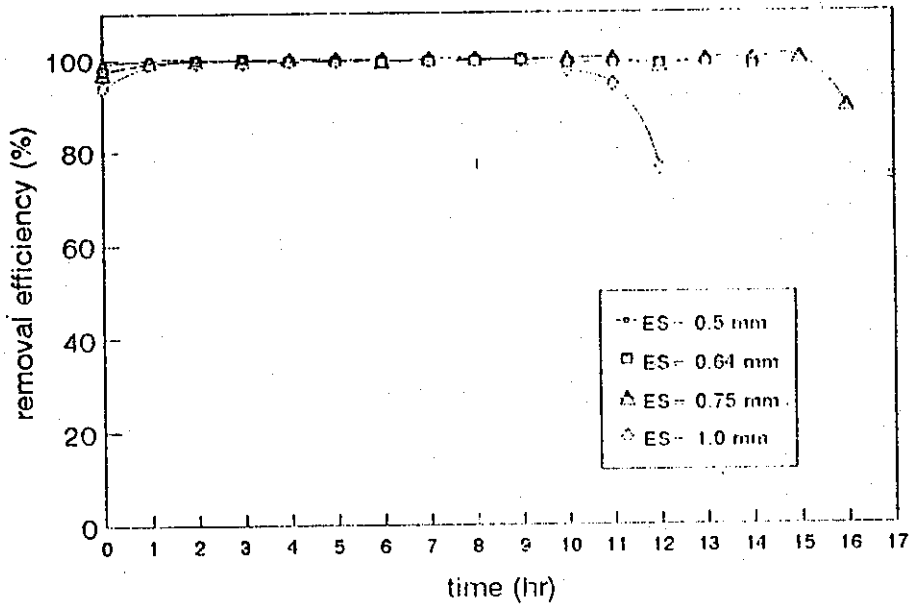


圖 6 : 含二價鐵原水, 濾料粒徑影響總量鐵的去除效率試驗
 ($[Fe^{2+}] = 4 \text{ mg/L}$, $DO = 7.0 \text{ mg/L}$, $pH = 7.5$, 停留時間 30 min, 濾率 200 m/d)

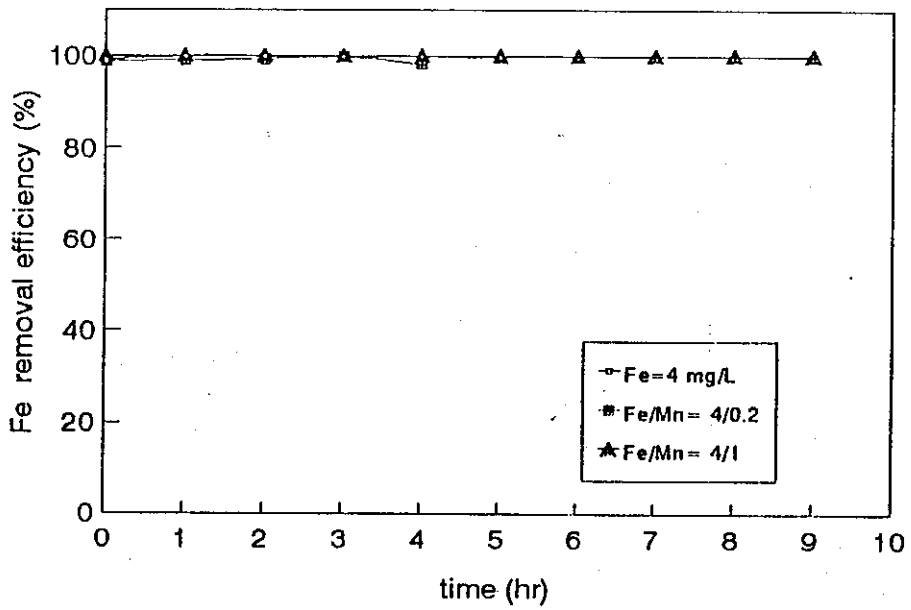


圖 7 : 鐵錳共存時,鐵錳濃度比影響總量鐵的去除效率試驗
 ($[Fe^{2+}] = 4 \text{ mg/L}$, $DO = 7.0 \text{ mg/L}$, $pH = 7.5$, 停留時間 30 min, 濾率
 200 m/d, 濾料粒徑 $ES = 0.5 \text{ mm}$)

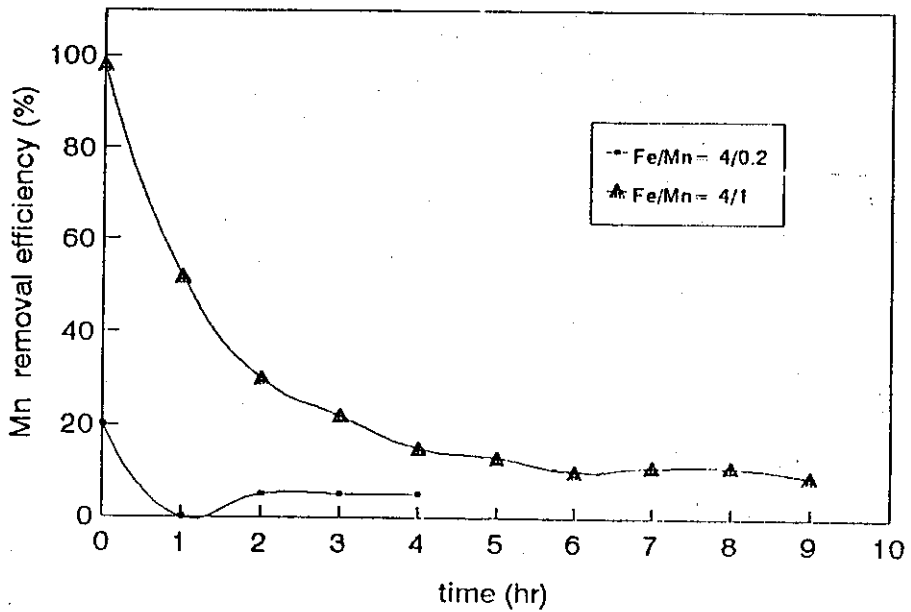


圖 8 : 鐵錳共存時,鐵錳濃度比影響總量錳的去除效率試驗
 ($[Fe^{2+}] = 4 \text{ mg/L}$, $DO = 7.0 \text{ mg/L}$, $pH = 7.5$, 停留時間 30 min, 濾率
 200 m/d, 濾料粒徑 $ES = 0.5 \text{ mm}$)

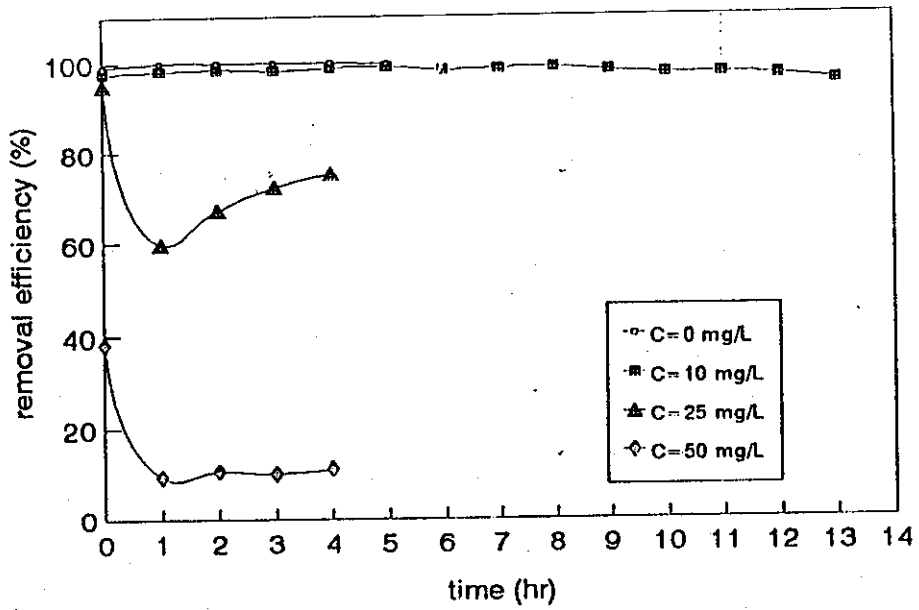


圖 9 : 含溶解砂原水, 溶解砂濃度影響總量鐵的去除效率試驗
 ($[Fe^{2+}] = 4 \text{ mg/L}$, $DO = 7.0 \text{ mg/L}$, $pH = 7.5$, 停留時間 30 min, 濾率
 200 m/d, 濾料粒徑 $ES = 0.5 \text{ mm}$)

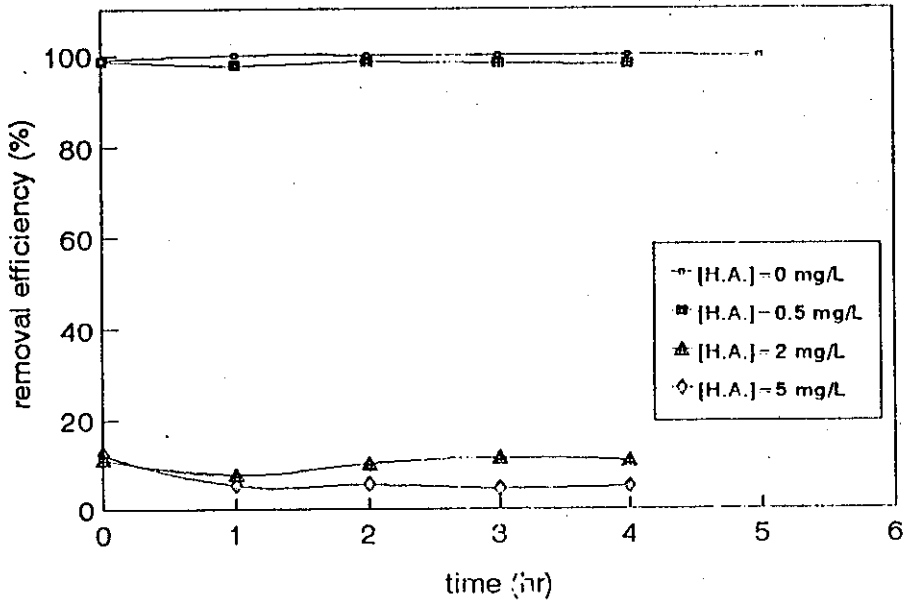


圖 10 : 含腐植酸原水, 腐植酸濃度影響總量鐵的去除效率試驗
 ($[Fe^{2+}] = 4 \text{ mg/L}$, $DO = 7.0 \text{ mg/L}$, $pH = 7.5$, 停留時間 30 min, 濾率
 200 m/d, 濾料粒徑 $ES = 0.5 \text{ mm}$)