



Water Works Association
of the Republic of
China (Taiwan)

自來水

165

WATER SUPPLY QUARTERLY

Volume 42 NO.1 FEB 2023

第42卷 第1期
2023年2月

中華民國自來水協會會刊



本期專題：工程技術

供水管網的韌性評估方法-WNTR

淺談RC 水池結構伸縮縫之耐震性

衛星定位測量之不確定度估算方式-「北水試驗」探討與分析

台灣地區重大震災對台水配水管材耐震之探討

自來水會刊第 42 卷第 1 期(165)目錄



實務研究

- 新建案全面安裝智慧水表建置問題研析與執行成效……………邵功賢、陳正宗、陳煥文… 1
- 國內自來水事業導入OSG初步評估……………蔣承廷、張光翹、李丁來… 8
- 以快濾池濾料吸附催化氧化法去除水中二價錳研究……………
……………薛志宏、張美惠、周宗毅、張美鳳、張凱迪、李佳陵… 15

本期專題 工程技術

- 供水管網的韌性評估方法—WNTR……………羅健成… 25
- 淺談RC水池結構伸縮縫之耐震性……………張民崑、王傳政… 31
- 衛星定位測量之不確定度估算方式—「北水試驗」探討與分析……………
……………黃欽稜、邱子雯、詹士旻、吳順德… 39
- 台灣地區重大震災對台水配水管材耐震之探討……………林子立… 49

一般論述

- 高架水塔改建計畫之研討……………曾浩雄… 54
- 北投行義路溫泉區取供系統建設及臺北自來水事業附業發展研討……………
……………周璟璇、陳昭明、陳維政… 60
- 2022年池上地震台水公司九區處搶修紀實……………蔡政翰、林武榮… 66

法規櫥窗

- 自來水工程辦理採購應注意事項—契約變更研析……………謝彥安… 74

他山之石

- 赴日本熊本參加「2023年第12屆台美日水系統耐震研討會」出國報告……………吳陽龍… 80

協會與你

- 協會訊息……………自來水協會會務組… 87
- 歡迎投稿 111年「每期專題」…………… 73
- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 38

封面照片：自來水公司提供

以快濾池濾料吸附催化氧化法去除水中二價錳研究

文/薛志宏、張美惠、周宗毅、張美鳳、張凱迪、李佳陵

摘要

採取直潭淨水場實廠快濾池濾料，以實驗室管柱試驗，進行濾料披覆吸附催化氧化法去除二價錳研究，結果顯示，水中二價錳之去除與濾料表面自然錳披覆質量呈正相關；進流水自由餘氯濃度越高或濾速越低，去除效果越佳；反洗操作不影響濾料之二價錳去除；單一濾料濾床去除二價錳主要發生於表層濾料，去除效果隨濾料縱深遞減。本法可用於淨水場實際去除原水溶解錳應變操作，為一價廉及操作簡易之有效方法。

關鍵字：濾料披覆(Filter Media Coating)、吸附催化氧化法(Sorption & Catalytic Oxidation)、二價錳去除

一、研究緣起

110 年 1 月北水處發生用戶端自來水水黃事件，發生原因為當時寒流來襲，淨水場上游北勢溪水庫水體發生翻混現象，放流水含高濃度還原性二價錳，加以降雨量少，南勢溪流量低，稀釋度不足，致原水含高濃度溶解性二價錳，淨水場無法有效予以去除，清水錳超出飲用水水質標準。

經此，北水處淨水場除增設線上水中錳偵測設備，以即時監測原水及清水水質外，並希就既有傳統淨水處理程序，不額外添加其他化學藥劑或增設設備下，能否有效去除水中溶解性錳進行研究，以為萬一含溶解錳原水不慎進入淨水場後緊急因應處理之準備。

二、文獻探討

(一)飲用水除錳方法

Tobiason 等人(2016)對飲用水去除錳之方法進行完整文獻回顧，歸納如圖 1 所示，去除錳之方法，須依原水中錳存在的型態決定，若原水中存在顆粒錳，以固液分離程序，如沉澱及過濾，即可有效予以去除；但若原水中存在溶解錳，處理去除難度相對提高。

傳統淨水程序淨水場在不另添加其他強氧化劑(如高錳酸鉀)等化學物質狀況下，利用既有程序進行溶解錳去除，有 2 種途徑，分別為利用提高前氯氧化溶解錳續以沉澱過濾去除，及利用天然或人工產生披覆層(Coating)之過濾池濾料，進行吸附與催化氧化法(Sorption & Catalytic Oxidation)反應去除之。

薛等(2011)以杯瓶試驗研究發現，在北水處既有淨水場混凝中性 pH 下，由於氯之氧化速率很慢，及添加高濃度氯會導致出水超過飲用水水質標準自由餘限值等限制，並非一個有效的處理方法。以降低處理水量，增加接觸氧化時間，亦無法克服此問題，亦非一有效處理策略。

另一去除錳的方法為吸附與催化氧化法，此係利用快濾池濾料(無煙煤及(或)石英砂)表面自然累積之錳氧化物披覆層，吸附水中二價錳後，在自由餘氯存在狀況下，濾料

表面錳氧化物持續催化(Catalyzes)被吸附二價錳與氯之氧化反應，此反應通常極為快速，發生在數秒至數分鐘之間，反應後續產生新的可吸附二價錳之錳氧化物(MnOx)表面，又會產生持續再生(Continuous Regeneration Process)之溶解錳去除能力。Knocke 等人(1988)稱此程序為「天然綠砂效應」(Natural Greensand Effect)，Kohl 及 Medlar(2006)稱為「誘發性氧化物披覆濾料效應」(Induced Oxide-coated Media Effect (IOCME))。此程序其實在很多淨水場操作及管理人員並不瞭解的狀況下，默默自發性的發生並持續維持反應。

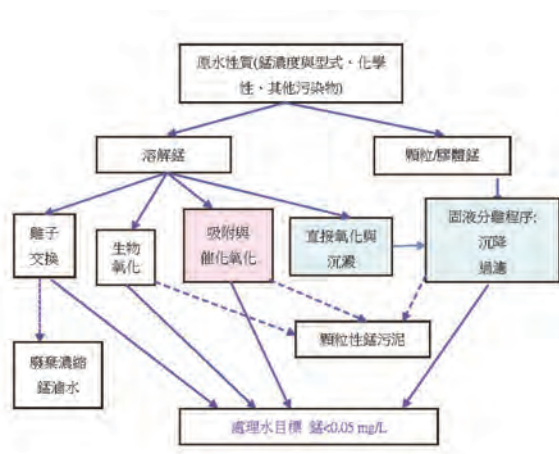


圖 1 淨水場錳去除程序概要(摘譯自^[2])

影響吸附與催化氧化法去除二價錳之因子如下：

1. pH 值

快濾池濾料表面披覆 MnOx 層，在水中無氧化劑(如氯)狀況下，去除二價錳之機制為「吸附」，吸附去除能力和水之 pH 值有關，pH 越高，吸附去除能力越強；反之越低^[1]，但吸附和 MnOx 披覆層具微孔及較高表面積相關，會因吸附位址有限而達飽和。若水中

存在如氯之氧化劑，因會將被吸附之二價錳氧化，形成新的 MnO₂ 層，並持續產生再生除錳效果，而不受 pH 影響^[1]。

2. 濾料表面錳氧化物質量

濾料溶解錳去除能力，不論加氯否，與濾料表面披覆錳質量有關，大致而言，濾料表面披覆錳質量越高，去除錳能力越高，但過高之披覆錳質量(>5~10 mg Mn/g)，並不會產生正比例的除錳能力^[1]。

3. 濾料外觀與表層錳氧化物特性

濾砂顆粒產生錳氧化物披覆時，會產生外觀變黑現象，稱之為老化(Aging 或 Seasoning)。瞭解濾料表面披覆層性質，有助於探究其去除二價錳之機制。濾料表面形成金屬披覆層，在微觀性質上，表面積和微孔均會增加，此將有助於吸附二價錳離子；存在餘氯以有效去除二價錳狀態下，表層 MnOx 固體氧化態以 4 價錳(Mn(IV))為主，顯示披覆層吸附二價錳，再因加氯氧化生成二氧化錳(MnO₂)，為持續去除二價錳主要機制。

4. 濾料表面錳氧化物內含其他金屬(如鋁)之影響

淨水處理常用鋁劑進行混凝，Andrew Jones(2012)研究顯示，鋁同錳一樣，會慢慢累積於濾料表面披覆層中，但鋁的存在不會影響披覆層中的錳對水中二價錳之去除。

5. 餘氯濃度與中斷(恢復)加氯

Goodwill(2006)透過實驗室及實廠實驗研究發現，濾床濾料一旦形成披覆層，加氯即可發揮有效去除二價錳效果。加氯中斷，除錳效果下降，加氯再恢復，除錳效果又恢復，反應極為快速。Isam 等人(2010)研究實際案例亦發現，停止濾前加氯之濾床，會失

去除錳能力，但一旦恢復加氯，仍可再生而產生除錳能力。

6.反應時間與濾速影響

Knocke(1991)以實場濾料研究發現，以濾床濾料表面披覆去除溶解錳，只要自由餘氯足夠(>1.0mg/L)，即使在高濾速 5.1 gpm/ft²(約 300m/d)下，都能產生快速有效率且長期之除錳效果，不受濾速過快之影響。

7.濾床濾料種類與深度影響

Islam 等人 2010 年研究發現，濾床採雙層濾料(無煙煤+石英砂)，濾料披覆層主要累積於上層無煙煤部份，越往底部越少；而單層濾料(石英砂)，由於水洗加氯洗反洗較徹底，濾料披覆層則分佈較均勻。披覆錳質量較高(約數十毫克錳/g 濾料)之濾料試驗結果顯示，濾料除錳主要發生在濾床頂部 15~20 公分濾料。

8.濾料表面發展對濾床水損影響及反洗影響

Hargette 等人(2001)以模廠試驗實場濾料，結果顯示經一段時間(1 週)加氯除錳，對濾料有效粒徑及均勻係數等基本性質影響極微，對濁度去除及水損等操作效能亦幾無影響。濾床反洗，會洗掉一小部份表層錳披覆，但反洗後仍保有一定充裕的 MnOx 披覆物質，可維持持續之去除錳效能。

(二)濾料錳氧化物披覆去除溶解錳反應機制

淨水場加氯有助於快濾池具錳氧化物披覆表層濾料，吸附溶解錳之催化氧化反應，連續再生產生新的溶解錳吸附表面，而將溶解錳有效去除。去除機制如圖 2 所示。研究及處理實際經驗顯示，於濾前加氯，使快濾池出水含 0.5~1.0 mg/L 自由餘氯，pH 在 6.0 以上，即可將約 0.2mg/L 溶解錳，穩定去

除至小於 0.02 mg/L。

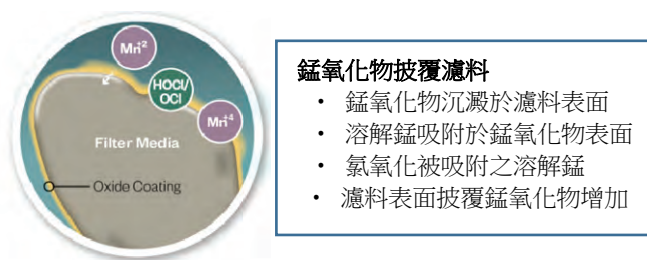


圖 2 氧化物披覆濾料去除溶解錳機制圖(摘譯自^[6])

三、研究方法

本研究以直潭淨水場為對象，採取該場各期代表性快濾池濾料，以實驗室管柱試驗進行測試與溶解錳去除研究。

(一)濾料表面披覆質量決定

濾料樣品以實驗室純水潤洗乾淨，於烘箱 105°C 乾燥 24 小時，放入乾燥箱冷卻，稱重 1 g 乾燥濾料，置入錐形中，加入 250 ml 1% 硝酸溶液，及約 1g Hydro-xylamine sulfate(HAS)，加蓋搖動至少 6 小時充分反應，以 0.45 μm 玻璃纖維濾紙過濾，檢測濾液中鐵、鋁、錳等各項金屬。結果以 mg-金屬/g 濾料表示。

(二)試驗設備

單層濾料試驗設備如圖 3，濾料測試管柱為長 40 公分內徑 3 公分玻璃管柱，管柱底部具多孔玻璃篩，以防止濾料流失，試驗時管柱各填充約 30 公分表層濾料，以定量蠕動幫浦，將配置之不同濃度錳試驗原水，經不同濃度加氯後，由儲槽引入管柱，以設定定量蠕動幫浦刻度及管柱下方塑膠活栓開度，控制管柱過濾出流流速，測試時濾料上需有水頭，控制流出流量達 100 mL/min，以模擬直潭淨水場快濾池實際濾速 200 m/d。

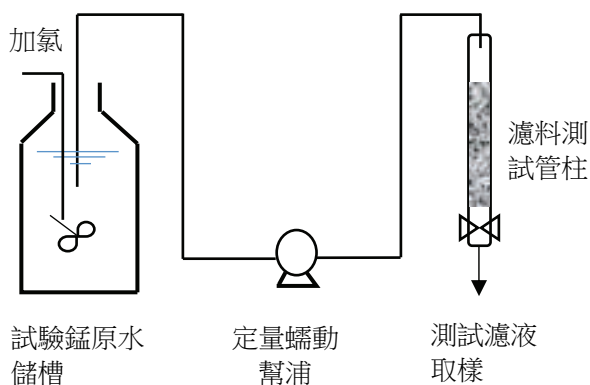


圖 3 單層濾料管柱試驗設備

多層濾料管柱試驗設備如圖 4 所示，管柱加長為 120 公分，由下而上可依序填充下層、中層及表層濾料各 30 公分，除管柱底部設有出水取樣閥外，於管柱側距濾料頂部 30 公分及 60 公分處，各設有 1 出水取樣閥。流速控制以管柱底部出水閥之出水流速為準。

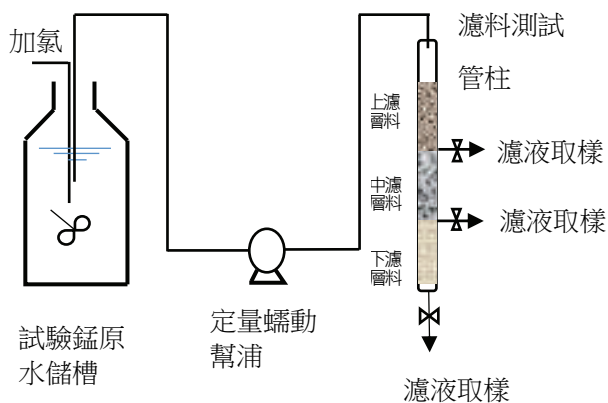


圖 4 多層濾料管柱試驗設備

(三)試驗步驟

1.配製含溶解錳濃度 0.3mg/L 測試原水 10 公升，分別加氯約 0.5 及 1.0mg/L，攪拌均勻，先取樣測溶解錳、自由餘氯、pH 值。不同濾料管柱過濾試驗 1.5 小時，由濾液產生時間起，過程每 10 分鐘濾液取樣 1 次，測自由餘氯、溶解錳、pH 值。以瞭解加氯濃度對濾料去除溶解錳效果之影響及濾料去除

溶解錳之耗氯狀況。

- 2.五快二濾料以降低濾速至 50ml/min，於原水溶解錳配製濃度 0.3 mg/L，分別加氯 0.5 mg/L 及 1.0 mg/L 進行試驗，以瞭解降低濾速對錳去除效果之影響。
- 3.擇一披覆質量較高之濾料，於原水溶解錳配製濃度 0.5mg/L，分別加氯 0.5 mg/L 及 1.0 mg/L 進行試驗，以瞭解披覆質量較高之濾料有否較高之錳去除能力。
- 4.以多層濾料管柱，由下至上各填充 30 公分五快二下層、中層及上層濾料，於原水溶解錳配製濃度 0.3mg/L，加氯 1.0 mg/L，管柱底部出流速度為約每分鐘 100mL(相當於濾速每天 200m)下進行管柱試驗，除底部出水閥每 10 分鐘取樣檢測外，另於管柱側出水閥取樣，以瞭解快濾池不同濾料深度之錳去除能力。

四、結果與討論

(一)濾料表面披覆質量

直潭淨水場各期代表性快濾池濾料表面披覆質量狀況測試結果如表 1，濾料披覆質量顯示較文獻記載為低，原因可能為該場平日原水中溶解錳濃度較低，及淨水程序過濾水餘氯濃度維持較低(通常維持 0.1 mg/L)，致濾料表面累積生成 MnO_x 質量較少。五快二反洗前後表面各金屬含量測試結果幾乎不變；濾料披覆表面錳與鋁及錳與鐵質量均呈線性相關，鐵遠低於錳，與原水中溶解鐵較易氧化有關，鋁則高於錳，與使用鋁混凝劑有關；快濾池表層、中層及下層濾料之披覆金屬質量分析(如圖 5)顯示，濾池縱深濾料表面披覆呈現均勻狀態，即任何深度濾料披覆狀況均約略相同。

(二)各期濾料管柱試驗溶解錳去除結果

五快二濾料表面披覆質量 0.236 mg-Mn/g-濾料，於進流水二價錳濃度 0.30 mg/L，加氯 1.0 mg/L，pH 值 7.6，濾速 200 m/d 下進行管柱試驗，結果如圖 6 所示，進流水加氯後隨即有錳去除反應，初期去除效果極佳，濾液二價錳可低於 0.05 mg/L，隨著過濾時間之增加，二價錳濃度逐漸爬升至穩定之 0.15 mg/L；餘氯則從完全消耗，逐漸爬升至

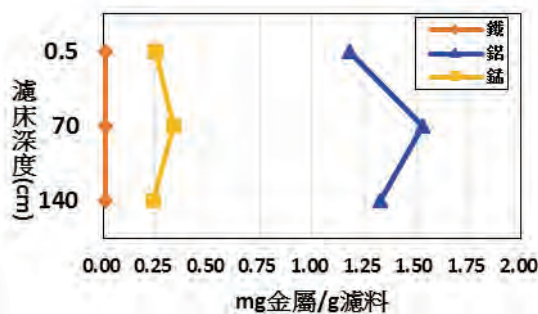


圖 5 五快二濾床不同深度濾料金屬披覆狀況

表 1 直潭淨水場各期代表性快濾池濾料表面披覆質量

濾料別	濾砂表面錳含量 (mg-Mn/g-濾砂)	濾砂表面鐵含量 (mg-Fe/g-濾砂)	濾砂表面鋁含量 (mg-Al/g-濾砂)
一期	0.074	0.0077	0.288
二期	4.42	0.098	13.3
三期	0.044	0.0070	0.196
四期	2.69	0.068	9.26
五期(一)	0.793	0.021	3.09
五(二)反洗前	0.236	0.011	1.27
五(二)反洗後	0.216	0.010	1.33
五(二)中層	0.336	0.013	1.53
五(二)下層	0.249	0.013	1.18
六期	0.183	0.046	0.856

0.80 mg/L。此濾料初始養成期反應可能為，濾料披覆表面活化址進行吸附及初期氧化，隨過濾時間增加，氯逐漸用於表面氧化反應(使氧化態增高)後，催化氧化反應始能持續穩定進行。此測試 30 公分濾料穩定去除二價錳約 0.15 mg/L，耗氯約 0.15 mg/L(過濾水餘氯 0.85 mg/L)。

四期代表性快濾池，濾料表面披覆質量 2.69 mg-Mn/g-濾料，於相同條件下進行測試，結果如圖 7，相較於五快二濾料去除錳之效果極佳，過濾水二價錳可達 0.005 mg/L 以下。穩定耗氯約 0.25 mg/L，較披覆較低之五快二濾料略高。

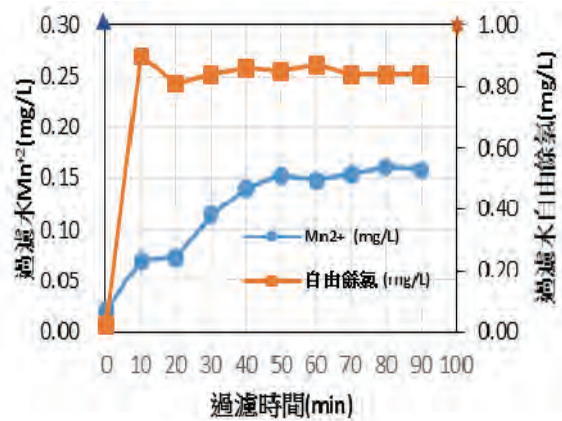


圖 6 五快二濾料管柱試驗結果(二價錳 0.3mg/L、氯 1.0mg/L、濾速 200m/d)

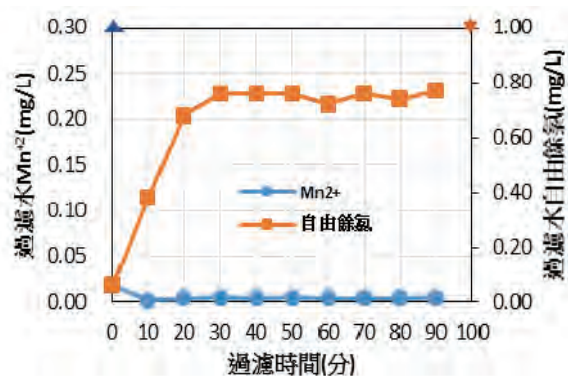


圖 7 四快濾料管柱試驗結果(二價錳 0.3mg/L、氯 1.0mg/L、濾速 200m/d)

直潭淨水場各期不同快濾池濾料，於入流水二價錳 0.3mg/L 及相同加氯及濾速條件下，不同過濾時間過濾水溶解錳濃度，如圖 8 所示，不同濾料披覆質量對二價錳去除有明顯之影響，大致而言，濾料表面披覆質量越高，二價錳去除效果越佳。披覆約 0.8 mg-Mn/g-濾料以上，具極佳且極穩定之除錳效果，除錳效果約 0.25 至 0.30mg/L 以上。披覆 0.2 mg-Mn/g-濾料~0.8 mg-Mn，除錳效果略差，或過濾後期除錳有後繼不足，過濾水二價錳略增現象，除錳效果約 0.15~0.25mg/L。披覆 0.1 mg-Mn/g-濾料以下，除錳效果相當有限，低於 0.1mg/L。再比較過濾水餘氯狀況，如圖 9 所示，可以發現在相同的加氯濃度與濾速下，耗氯濃度與濾料表面披覆錳氧化物質量成正比，表面披覆錳質量越高，過濾達穩定耗氯濃度越高；反之，耗氯濃度越低，此可能係因加氯於濾料披覆表面，會發生再生作用，提升錳之氧化態，使利於產生催化氧化反應，披覆錳質量越高，披覆表面微孔及表面積越增，所需耗以提升錳氧化態之氯質量越高所致。

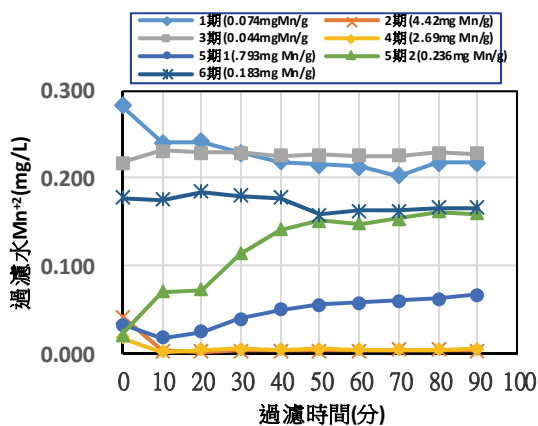


圖 8 不同披覆質量濾料過濾水二價錳濃度變化 (二價錳 0.3 mg/L、氯 1.0 mg/L、濾速 200 m/d)

(三)加氯濃度及濾速對濾料去除二價錳之影響

以五快二濾料於不同加氯濃度及濾速下，分別進行管柱試驗，二價錳去除及耗氯結果，如圖 10 及圖 11 所示。圖 10 可看出，加氯濃度由 0.5mg/L 提升至 1.0mg/L，及濾速由 200m/d 降至 100m/d，皆有助於二價錳之去除，惟二者均僅提升錳去除濃度約 0.05 mg/L。圖 11 則顯示，於此披覆略低濾料，耗氯濃度與加氯濃度無關，但與濾速有關，濾速越低，耗氯濃度越高。

(四)反沖洗對濾料去除二價錳之影響

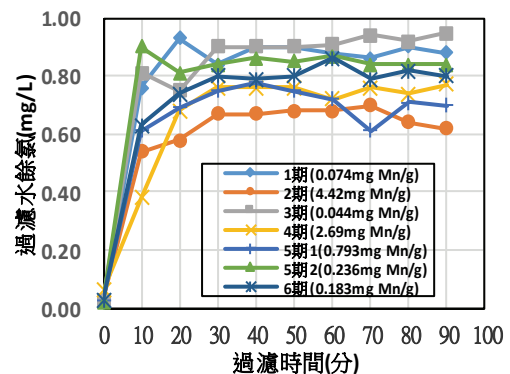


圖 9 不同披覆質量濾料過濾水自由餘氯濃度變化(二價錳 0.3 mg/L、氯 1.0 mg/L、濾速 200 m/d)

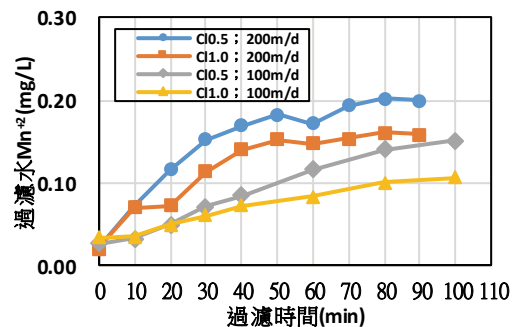


圖 10 五快二濾料加氯濃度及濾速對過濾水二價錳濃度之影響(二價錳.3mg/L)

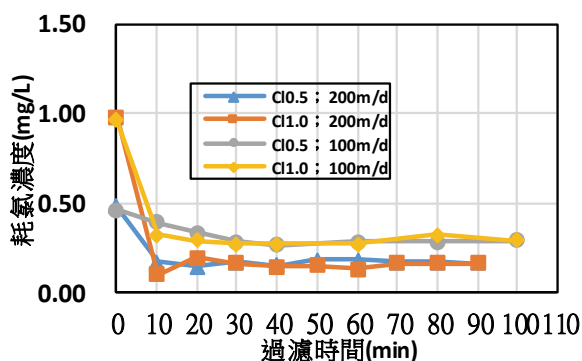


圖 11 五快二濾料加氯濃度及濾速對耗氯濃度之影響(二價錳 0.3mg/L)

以五快二反洗前後濾料，於進流水二價錳濃度 0.30 mg/L，加氯 1.0 mg/L，濾速 200m/d 下進行管柱試驗，結果如圖 12 所示，反洗前濾料達穩定除錳效果所需過濾時間較反洗後濾料長，穩定除錳效果反洗後濾料約比反洗前增約 0.02mg/L，二者幾乎相同。顯示同文獻所述，反洗過程雖會去除少量 MnOx，但並不影響整體二價錳之去除。另反洗後濾料明顯耗氯較高，應與反洗後該披覆表面部份被去除，加氯要重新將原來較深層之 MnOx 披覆，氧化生成 MnO₂，才能持續去除二價錳有關。

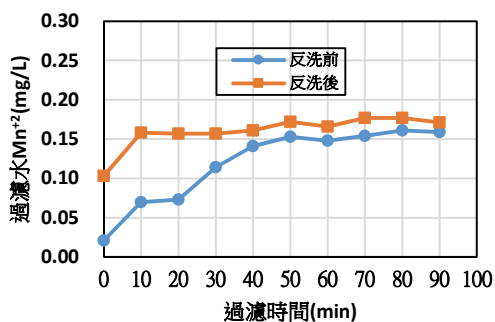


圖 12 反洗對五快二濾料二價錳去除之影響(二價錳 0.3mg/L、氯 1.0mg/L、濾速 200 m/d)

(五)濾料披覆質量對可去除二價錳濃度之影響

選擇表面披覆較高之二期快濾池濾料，披覆質量為 4.42 mg-Mn/g-濾料，於進流水錳濃度 0.3 mg/L 及濾速 200 m/d 下，分別加氯 0.5 及 1.0 mg/L，另於進流水錳濃度 0.5 mg/L 加氯 1.0 mg/L，濾速均保持 200 m/d 下，管柱過濾試驗結果如圖 13 及圖 14 所示。

圖 13 結果顯示，高表面披覆質量濾料，進流水錳濃度 0.3 mg/L，無論加氯 0.5 或 1.0 mg/L，去除錳之效果均佳；且進流水錳濃度達 0.5 mg/L，去除效果亦佳。耗氯結果如圖 14 所示，進流水錳濃度 0.3 mg/L，加氯 0.5 mg/L，穩定耗氯約 0.17 mg/L；加氯 1.0 mg/L，穩定耗氯約 0.36 mg/L；進流水錳濃度 0.5 mg/L，穩定耗氯約 0.35 mg/L。顯示濾料表面披覆質量若夠高，在相同加氯濃度下，有足夠餘裕處理較高濃度之二價錳，且耗氯不會增加。耗氯不增加現象顯示氯係用以氧化固定的吸附二價錳位址，即耗氯與特定濾料披覆狀況及加氯量有關，但與處理進流水中二價錳濃度無關。

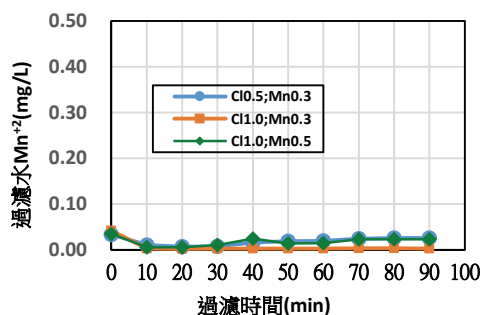


圖 13 二快濾料去除不同濃度二價錳狀況(濾速 200m/d)

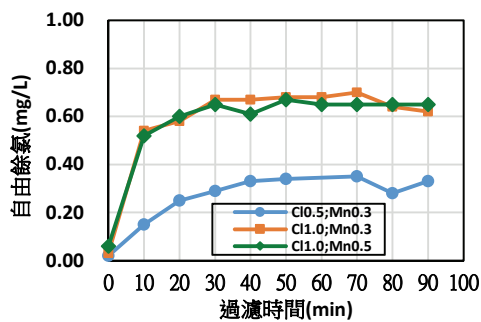


圖 14 二快濾料去除不同濃度二價錳過濾水餘氯狀況(濾速 200m/d)

(六)濾料深度對去除二價錳之影響

圖 3 單層管柱試驗僅採用 30 公分表面濾料進行測試，但由於實廠快濾池具 140 公分深濾料，過濾時理論上有 4 倍以上滯留時間，故採用表層、中層及下層各 30 公分共 90 公分濾料，填充圖 4 多層管柱設備，進行相關測試，以瞭解較深濾料是否有助於二價錳之去除。

測試條件進流水餘氯 0.80mg/L、二價錳 0.3mg/L 及濾速 200m/d，結果如圖 15 及圖 16 所示。圖 15 顯示，管柱最頂部 30 公分濾料可將 0.3mg/L 二價錳去除至 0.20mg/L(去除 0.10mg/L)；60 公分濾料可將 0.3mg/L 二價錳去除至 0.13mg/L(去除 0.17mg/L)，全部 90 公分濾料可將 0.3mg/L 二價錳去除至 0.08mg/L(去除 0.22mg/L)，3 段濾料分別去除掉二價錳 0.10mg/L、0.07 mg/L 及 0.05 mg/L。故不同深度濾料均有去除二價錳之效果，但去除濃度由表層至下層略為遞減，總去除效果並非等於表層濾料去除效果之 3 倍。圖 16 過濾水自由餘氯狀況亦顯示，管柱最頂部 30 公分濾料耗氯 0.20mg/L、中層 30 公分濾料耗氯 0.04 mg/L、下層 30 公分濾料耗氯

0.04mg/L，與圖 15 呼應，氯與濾料表面產生之催化氧化去除二價錳反應，主要發生於表層濾料，中下層濾料貢獻較少。

五、結論與建議

由以上之實驗結果與討論，獲致以下結論與建議：

- 1.直潭淨水場各期快濾池濾料表面錳氧化物披覆質量均不同，與濾料鋪設年代與更換狀況及原水水質有關。濾料表面錳氧化物披覆質量在 0.044 ~4.42mg-錳/g-濾料，較相關文獻所載國外實場濾料披覆質量為低。

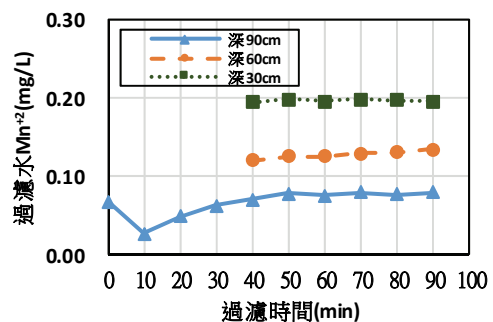


圖 15 五快二濾料濾料深度對去除二價錳之影響(二價錳 0.3mg/L、氯 0.80mg/L、濾速 200m/d)

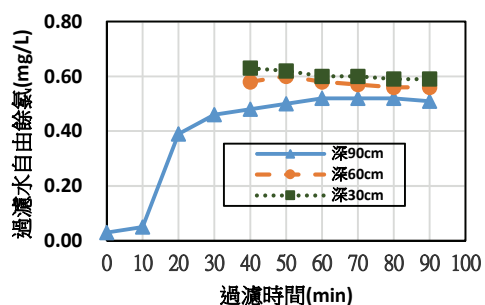


圖 16 五快二濾料濾料深度對過濾水餘氯之影響(二價錳 0.3mg/L、氯 0.80 mg/L、濾速 200m/d)

- 2.管柱實驗結果顯示，在有濾前加氯狀況下，溶解性二價錳之去除效果與濾料表面錳氧化物披覆質量成正相關；即表面披覆

質量越高者，二價錳之去除效果越佳；反之越差。披覆質量在 0.79 mg-錳/g-濾料以上，濾前餘氯 1.0mg/L，可將原水中溶解性二價錳 0.3mg/L 處理至約 0.05 mg/L(飲用水水質標準限值)以下。直潭淨水場二期及四期等 2.69 mgMn/g 濾料以上濾料，甚至可將水中溶解性二價錳 0.5 mg/L 處理至約 0.005 mg/L 以下。濾前餘氯 1.0 mg/L 較 0.5 mg/L 處理溶解性二價錳效果為佳。

3. 為瞭解實際快濾池濾床濾料縱深約 140 公分之錳去除效果，以上中下層合計 90 公分濾料管柱試驗結果顯示，二價錳去除主要發生於上層 30 公分濾料，中層及下層亦有些微去除能力，但隨濾料深度增加而略降；總去除能力非上層濾料去除能力之 3 倍。
4. 濾料表面錳氧化物披覆質量越高及濾速越低，濾料去除溶解性二價錳之耗氯濃度越高。濾前餘氯 1.0 mg/L，過濾水餘氯可控制在約 0.70~0.90mg/L 間，於飲用水水質標準範圍內。
5. 濾料經反洗後，濾料表面披覆金屬微減，加氯催化氧化法可去除二價錳濃度約略相同，反洗操作並不影響其去除二價錳能力。
6. 現有各快濾池濾料具有天然產生錳氧化物披覆層，可用以去除水中溶解性二價錳，若濾料分析結果於平均粒徑及均勻係數與原濾料差異不大，且操作時濁度去除功能與水頭損失發展，尚不影響淨水濁度去除功能，建議能將老舊濾料予以保留或僅將濾料小於規範部分進行部分更換，以利應變處理不時之需。

六、因應季節性含溶解錳原水淨水場應變操作方案

上游有水庫之淨水場可能遭遇水庫季節性(非常態性)排放含高濃度溶解性二價錳原水狀況，除持續以水庫水體分層採樣檢測及淨水場原水線上監測原水中溶解錳濃度，充分掌握水庫水體層化翻混及原水水質狀況，以避免外部高濃度溶解性二價錳原水進入淨水場外；若高濃度溶解性二價錳原水不慎進入場內，則淨水場應採取緊急應變處理措施，作為第二道防線。

淨水場利用既有處理程序，不另添加處理設備或藥品，處理原水中溶解性錳，第一選擇為利用快濾池濾料之吸附與催化氧化法，它具有低價、操作簡易及去除率佳等優點。利用此法，在平時應先掌握濾料表面錳披覆狀況，若濾料表面錳披覆質量較低者，可去除二價錳濃度較低；較高者，則可處理較高濃度二價錳。

應變處理操作非常簡單，即將前加氯予以提升，使沉澱水(快濾前)餘氯達 1.0mg/L，即可使快濾池濾料發揮去除溶解性二價錳功能，若有不同時期設置之快濾池，可將設置年代較久，濾料表面披覆質量較高之濾床處理水量增加；反之則降低。處理過程隨時監測原水二價錳、沉澱水餘氯及出水二價錳與餘氯。原水二價錳來源排除後，將前加氯調降，應密切監測出水二價錳、餘氯及 pH 值，以免因 pH 值改變，致原被吸附之二價錳釋出。

參考文獻

- 1.薛志宏等，「淨水程序加氯氧化去除原水中溶解錳研究」，中華民國自來水協會會刊，2022年8月。
- 2.Tobiason J.E. et.al, Manganese removal from drinking sources, Current Pollution Report 2(3), 2016. .
- 3.Isam et. al., Characterization of filter media MnOx(s) surfaces and Mnremoval capability 102:9, JAWWA, 2010.
- 4.Knocke William R. et. al., Soluble Manganese Removal on Oxide-Coated Filter Media,80:12, JAWWA,1988.
- 5.Knocke William R. et al., Removal of Soluble Manganese by Oxide-coated Filter Media: Sorption Rate and Removal Mechanism Issues, JAWWA, 83:8, 1991.
- 6.Roger Arnold et. al., Evaluate and Optimize Manganese Treatment. AWWA Opflow, Dec., 2021.

作者簡介

薛志宏先生

現職：臺北自來水事業處水質科科長
專長：淨水處理、水質檢驗、水質管理

張美惠女士

現職：臺北自來水事業處水質科二級工程師
專長：淨水處理、水質檢驗

周宗毅先生

現職：臺北自來水事業處淨水科三級工程師
專長：淨水處理

張美鳳女士

現職：臺北自來水事業處水質科三級工程師
專長：水質檢驗

張凱迪先生

現職：臺北自來水事業處水質科三級工程師
專長：水質檢驗

李佳陵女士

現職：臺北自來水事業處水質科三級工程師
專長：水質檢驗