

山上淨水場清水殘餘鋁改善之研究

甘其銓^{1*} 林景哲² 林秀雄² 陳煜斌² 謝國鎔² 萬孟璋²

¹ 嘉南藥理大學溫泉產業研究所

² 嘉南藥理大學環境工程與科學系

摘要

近年來飲用水中鋁含量與中樞神經系統病變間的相關性陸續被證實，世界各國也相繼訂定飲用水中鋁含量標準或建議值。雖然臺灣飲用水水質標準目前未訂定鋁含量限值，行政院環保署已將其列入飲用水水質列管污染物篩選目標之一。「山上淨水場」位於台南市山上區山上里，原水取自於曾文溪水，濁度經常偏高。淨水場之主要淨水單元包括水躍快混池、初步膠凝池、一次沉澱池、二次膠凝池、二次沉澱池、快濾池及清水池，處理單元流程。原水進入場內後，於水躍池中加入硫酸鋁及次氯酸鈉，原系統設計為分段加藥，而目前二次膠凝池前僅於特殊原水水質狀況，如原水濁度過高時方進行藥劑之添加。

本研究主要目的在於改善山上淨水場清水殘餘鋁，首先針對山上淨水場各單元基本水質進行調查分析，會先以瓶杯試驗建立硫酸鋁混凝劑和氯化鐵混凝劑之加藥曲線，而後評估原水場使用硫酸鋁混凝劑之殘餘鋁狀況，山上淨水場原添加硫酸鋁混凝劑，無法藉由降低加藥量來降低清水殘餘鋁，所以接續以實場混凝劑替換測試，將硫酸鋁混凝劑替換成氯化鐵混凝劑進行測試，評估各單元殘餘鋁改善效果及水中殘餘鐵，最後評估二種混凝劑之所需藥劑成本差異。

根據本試驗顯示將硫酸鋁混凝劑替換成氯化鐵混凝劑，無論沉澱水、過濾水、及清水，鋁含量皆有下降之趨勢，鋁含量為0.15~0.10 mg/L、清水濁度降為1 NTU 以下，總鐵濃度為0.02 mg/L，都可達飲用水水質標準，結果顯示混凝劑替換為氯化鐵是可有效減少水中殘餘鋁。

關鍵字：混凝劑、硫酸鋁、氯化鐵、殘餘鋁

*通訊作者：嘉南藥理大學溫泉產業研究所

Tel:+886-6-3662006

Fax:+886-6-3662668

E-mail:cckanev@mail.chna.edu.tw

壹、前言

目前我國自來水淨水場多以硫酸鋁與多元氯化鋁作為混凝劑。然而有研究報告指出攝取過多鋁含量時，可能會對人體健康造成傷害，如阿茲海默症、帕金森氏症、透析性腦病候群等(Alfrey, 1993; Martyn et. al., 1997; WHO, 2010; Wettstein et. al., 1991)。因此促使目前許多先進國家除立法限制

飲用水鋁含量值外，另外有些淨水場直接採用鐵鹽混凝劑以避免飲用水殘留鋁量過高(Letterman et. al., 1994; Tetsuji et. al., 2004; Qureshi et. al., 1985; 郭輔仁, 1992; 劉嘉宏, 2007)。雖然臺灣飲用水水質標準目前未訂定鋁含量限值，行政院環保署已將其列入飲用水水質列管污染物篩選目標之一，台灣自來水公司對使用混凝劑之淨水場檢測清、配水之總鋁含量建立基本資料，並針對未使用混凝劑之淨

水場檢測清水中總鋁含量，對供水中鋁之含量實應建立基本資料，作為自來水事業單位參考。

山上淨水場為初期被檢測得清水殘餘的濃度超過 0.2 mg/L 之水場之一。故本研究以山上淨水場為對象，進行實場各淨水單元殘餘鋁分布，並研擬該場改善清水殘餘鋁之方案。

本研究主要目的在於改善山上淨水場清水中的殘餘鋁，首先針對山上淨水場各單元基本水質進行調查分析，會先以瓶杯試驗建立硫酸鋁混凝劑和氯化鐵混凝劑之加藥曲線，而後評估原水場使用硫酸鋁混凝劑之殘餘鋁狀況，山上淨水場原添加硫酸鋁混凝劑，無法藉由降低加藥量來降低清水殘餘鋁，所以接續以實場混凝劑替換測試，將硫酸鋁混凝劑替換成氯化鐵混凝劑進行測試，評估各單元殘餘鋁改善效果及水中殘餘鐵，最後評估二種混凝劑之所需藥劑成本差異。

貳、材料及方法

一、研究方法

本研究首先針對實場之背景資料及操作條件進行調查，淨水場之主要淨水單元包括水躍快混池、初步膠凝池、一次沉澱池、二次膠凝池、二次沉澱池、快濾池及清水池，處理單元流程。原水進入場內後，於水躍池中加入硫酸鋁及次氯酸鈉，原系統設計為分段加藥，而目前二次膠凝池前僅於特殊原水水質狀況，如原水濁度過高時方進行藥劑之添加。並取樣分析各單元水殘餘鋁含量，並探討所存在之鋁型態(顆粒鋁或溶解鋁)。其次利用山上淨水場原水於實驗室進行瓶杯試驗，藉由瓶杯試驗獲得不同混凝劑的最適加藥量及加藥曲線，以作為實場試驗加藥量之決定依據。試驗使用的硫酸鋁和氯化鐵混凝劑取至山上淨水場，並依照現場的操作條件進行試驗，實場不同混凝劑之添加試驗及比較原硫酸鋁添加與變更為氯化鐵添加對清水殘餘鋁之改善，試驗期間持續分析水中殘餘鋁、殘餘鐵及色度等水質項目。

二、實驗材料

硫酸鋁($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)、氯化鐵($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、氫氧化鈉(NaOH)、鋁標準液(Aluminum standard solution)、ICP標準液(ICP multi-element standard solution)、硝酸(65% HNO_3)、去離子水(Deionized water)、氯鉀酸鉀(K_2PtCl_6)、晶狀的氯化亞鈷($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、鹽酸(HCl)。

三、實驗設備

瓶杯試驗機(Model CG-1277, Cherng Huei Corporation Ltd. Taiwan.)、濁度計(Model 2100P, Hach Company, USA.)、界達電位儀(90Plus Zeta Plus BROOKHAVEN / U.S.A.)、感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP, Vista - MPX, Varian Inc., USA.)、水質多參數分析儀(可分析導電度/電阻/TDS/鹼度/硬度/LSI/ORP/餘氯/pH/溫度, Myron L Ultrameter, HACH Inc., MODEL 9PTK)。

參、結果與討論

本研究主要目的在於改善山上淨水場清水殘餘鋁，首先針對山上淨水場的原水及使用硫酸鋁混沉後各單元中的鋁含量進行調查分析，而後評估淨水場使用氯化鐵混凝劑的各單元的pH值、殘餘鋁、殘餘鐵以及所導致之色度之情況，最後評估二種混凝劑之所需藥劑成本差異，如以下探討。

一、加藥曲線之建立

為利於決定實場混凝劑之添加量，並計算所需藥劑成本，逐進行硫酸鋁及氯化鐵之加藥曲線建立。先以硫酸鋁混凝劑添加至山上淨水場不同濁度的原水進行瓶杯試驗，由瓶杯試驗結果找出不同濁度(212 NTU、126 NTU、100 NTU、70 NTU、38 NTU、30 NTU、15 NTU、10 NTU)的最適加藥量，如表 3.1 所示，藉此可決定某原水濁度下所須添加之最適硫酸鋁加藥量。

曲線方程式為 $D_{\text{Al}}=48.7633*(1-\exp(-0.0168*X))$

D_{Al} ：硫酸鋁加藥量

X：原水濁度

表 3.1 不同濁度添加硫酸鋁的最適加藥量

原水濁度(NTU)	最適加藥量(mg/L)
0	16
15	10
30	23
3	18
70	31
100	36
126	51
212	45

氯化鐵混凝劑添加至不同濁度原水所進行之瓶杯試驗，由瓶杯試驗結果找出不同濁度(11 NTU、27 NTU、32 NTU、69 NTU、112 NTU、183 NTU、730 NTU、615 NTU)的最適加藥量，如表 3.2 所示，藉此可決定某原水濁度下所須添加之最適氯化鐵加藥量。

曲線方程式為 $D_{Fe}=28.8363*(1-\exp(-0.0065*X))$

D_{Fe} ：氯化鐵加藥量

X：原水濁度

表 3.2 不同濁度添加氯化鐵的最適加藥量

原水濁度(NTU)	最適加藥量(mg/L)
11	5
27	4
32	5
69	10
112	10
183	25
615	28
730	28

二、實場添加硫酸鋁、氯化鐵試驗

山上淨水場原本所添加的混凝劑即為硫酸鋁，故本研究選擇常態水質狀況(非特殊水質)，進行現場試驗，實場當日的原水濁度約 25 NTU，現場硫酸鋁加藥量為 22 mg/L，圖 3.1 為淨水場各單元之殘餘鋁分析結果，顯示原水的總鋁含量為 1.63mg/L，沉澱水為 0.869 mg/L，過濾水為 0.604 mg/L，清水為 0.517mg/L，總鋁濃度隨著淨水的處

理程序呈現濃度降低的趨勢。然而，溶解鋁方面，原水檢測不出沉澱水為 0.526 mg/L，過濾水為 0.500 mg/L，清水為 0.464 mg/L，顯示原水中的總鋁都以顆粒性鋁為主，最值得注意的是，溶解鋁在添加混凝劑後的處理流程才表現出來，而過濾水及清水之中更是以”溶解鋁”為主，是導致清水總鋁含量超過 0.2 mg/L 的主要原因。

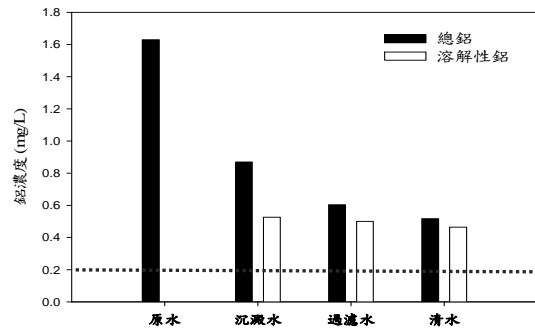


圖 3.1 山上淨水場各單元之殘餘鋁分析結果

本研究於2012年9月11日至9月13日進行山上淨水場現場更換氯化鐵混凝劑加藥試驗。試驗期間由原水pH值大約介於8~8.3之間，混沉後的 pH值介於8~8.2之間，過濾水與清水的pH值稍微揚升至8~8.8之間，可能是後加氯(次氯酸鈉)導致pH值升高。

試驗期間原水濁度變化如圖3.2所示，原水的濁度於進場後6小時內已從60NTU降為10~15 NTU，之後於試驗期間其變化不大，呈現穩定濁度。試驗期間沉澱水濁度都低於5 NTU以下，二次沉澱水皆較一次沉澱水濁度來的低。二套系統混合之過濾水經過濾單元後濁度明顯降低為1.5~3.0 NTU，經過濾後清水濁度為0.1~0.5 NTU，如圖3.3所示。

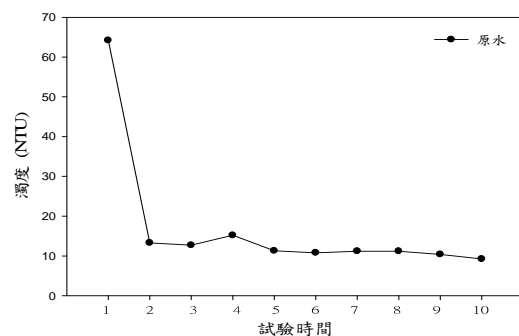


圖3.2 氯化鐵試驗期間原水濁度變化

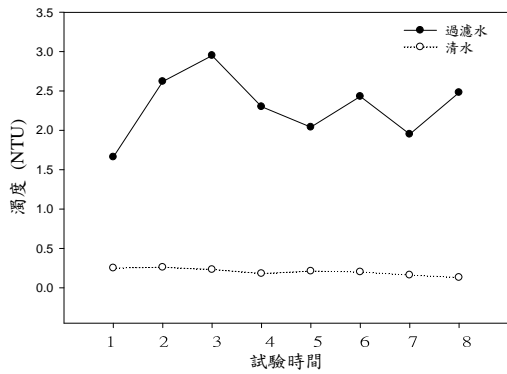


圖 3.3 氯化鐵試驗期間過濾水和清水濁度變化

試驗期間各單元鋁含量變化如圖3.4~圖3.6所示。由圖3.4可見得原水總鋁除首日較高外，其餘皆分布於0.2~0.4 mg/L，且以顆粒鋁為主，溶解鋁濃度僅約為 0.01 mg/L。圖3.5與圖3.6顯示系統之過濾水與清水於同一時段則出現殘餘鋁較沉澱水高之情形，研判為先前硫酸鋁之添加，系統中存留之鋁尚未被完全排除所致，但隨時間鋁含量降低的趨勢仍相當明顯，顯示鐵鹽混凝劑之更換已使得淨水流程中的殘餘鋁漸漸被帶出，圖3.6則顯示試驗期間清水中鋁含量約0.15~0.10 mg/L，低於標準限值0.2 mg/L。

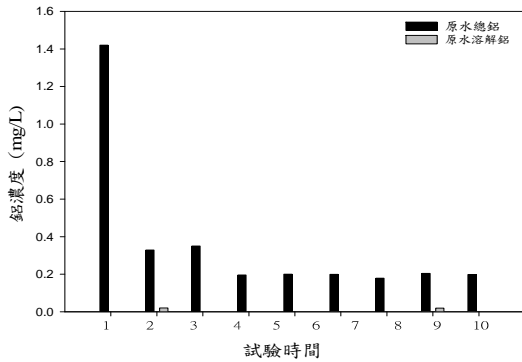


圖 3.4 氯化鐵試驗期間原水的鋁含量變化

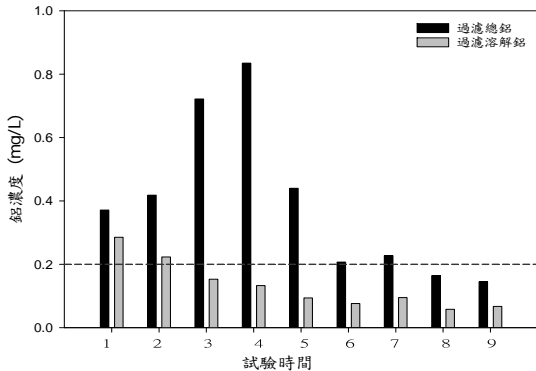


圖 3.5 氯化鐵試驗期間過濾水鋁含量變化

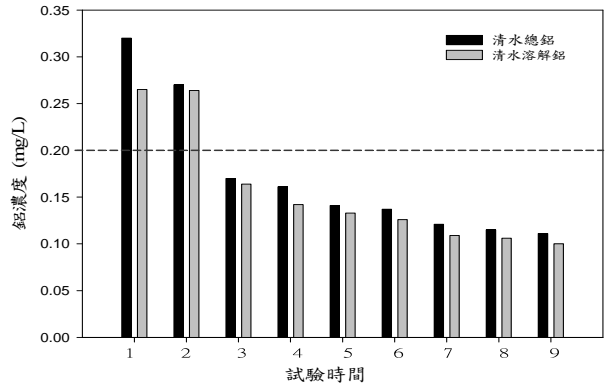


圖 3.6 氯化鐵試驗期間清水鋁含量變化

根據飲用水水質標準，總鐵濃度標準限值為 0.3 mg/L。為確保水質符合標準，遂分析各單元之殘餘鐵濃度變化。結果發現所示原水所含總鐵含量約在 0.05~0.1 mg/L之間，但沉澱後的總鐵含量為 0.1~0.3 mg/L，主要因加入氯化鐵混凝劑之關係，使得總鐵含量升高，然而，在經過過濾單元後，總鐵含量降低至0~0.02 mg/L，由此可知沉澱後水中之殘餘鐵，是以顆粒性形態存在，可經由過濾池的處理而去除。

四、藥劑成本分析

混凝劑之選擇主要考量有混凝效果、藥品安全及穩定性、操作條件、膠體沉降及可濾性、以及價錢等因素，混凝劑為淨水程序中必須且需求量最大之藥劑，其售價將會直接影響淨水成本。表 3.3 為硫酸鋁與氯化鐵混凝劑之參考價格。

表 3.3 混凝劑價格比較

混凝劑	規格	來源	價格
硫酸鋁	符合環保署飲用水處理藥劑規格要求	山上淨水場	3元 /公斤
氯化鐵	符合環保署飲用水處理藥劑規格要求	山上淨水場	9元 /公斤

根據所求得之加藥曲線及曲線方程式，可求得表 3.4 中不同濁度下，所須加藥量進而求得藥劑成

本。顯示雖氯化鐵混凝劑價格較為昂貴，但由於所需加藥量較低而使得單位水處理藥劑成本與硫酸鋁混凝劑相近或較低。因此，再度說明其具有應用價值。

表 3.4 混凝劑處理效果與單位成本關係之比較表

原水濁度 (NTU)	混凝劑		處理每噸水成本	
	最適添加量			
	硫酸鋁 (mg/L)	氯化鐵 (mg/L)	硫酸鋁 (元/M ³)	氯化鐵 (元/M ³)
100	38.5	13.8	0.12	0.12
50	27.0	8.0	0.08	0.07
10	11.1	1.8	0.03	0.02
5	8.5	0.9	0.03	0.01

肆、結論

山上淨水場原本所添加的混凝劑為硫酸鋁，採樣當日實場的硫酸鋁加藥量為 22 mg/L，顯示原水總鋁濃度隨著淨水的處理程序呈現濃度降低的趨勢，溶解性鋁方面原水檢測不出，溶解性鋁濃度在添加混凝劑後的處理流程才顯現出來，整體而言原水中的總鋁都以顆粒性鋁為主，而過濾水及清水則以溶解性鋁為主，總鋁含量階超過標準限值 0.2 mg/L。

以氯化鐵混凝劑試驗可見原水總鋁除首日較高外，其餘皆分布於0.2~0.4 mg/L，且以顆粒鋁為主，沉澱水依然有殘餘鋁，但相較硫酸鋁之添加殘餘鋁減少許多，二次沉澱水皆較一次沉澱水鋁含量低，過濾水則出現殘餘鋁較沉澱水高之情形，主要因先前硫酸鋁之添加，系統中存留之鋁尚未被完全排除所致。然無論沉澱水、過濾水及清水，鋁含量於試驗期間清水中鋁含量約0.1~0.15 mg/L 之間，低於限制值0.2 mg/L。

原水本身鐵含量很低，但沉澱單元的總鐵含量升高，主要因加入氯化鐵混凝劑之關係，在經過過濾單元後總鐵含量明顯降低，由此可知沉澱後水中

之殘餘鐵以顆粒性形態存在，可經過濾去除。

以藥劑成本評估，顯示雖然氯化鐵混凝劑價格較為昂貴，但由於所需加藥量較少而使得單位水處理藥劑成本與硫酸鋁混凝劑相差無幾，因此更換為氯化鐵混凝劑以成本考量仍是可行的。

混凝劑	規格	來源	價格
硫酸鋁	符合環保署飲用水處理藥劑規格要求	山上淨水場	3 元 /公斤
氯化鐵	符合環保署飲用水處理藥劑規格要求	山上淨水場	9 元 /公斤

致謝

本研究感謝台灣自來水公司研究計畫經費支持，以及台水第六區處的人員協助，使得本研究得以順利進行。

參考文獻

- 郭輔仁, "淨水程序操作參數之改變以控制殘餘鋁量之研究", 成功大學環境工程研究所碩士論文 (1992)。
- 劉嘉宏, "混凝劑種類對低濁度原水混凝影響之研究", 成功大學環境工程研究所碩士論文 (2007)。
- Alfrey, A. C., "Aluminum toxicity in patients with chronic renal failure", *Therapeutic Drug Monitoring*, 15(6), 593-597 (1993).
- Letterman, R. D. & Driscoll, Ch. T., "Control of residual aluminum in filtered water", AWWA Research Foundation and American Water Works Association, Denver (1994).
- Martyn, C. N., Coggon, D. N., Inskip, H., Lacey, R. F. & Young, W. F., "Aluminum concentrations in drinking water and risk of Alzheimer's disease",

Epidemiology, 8(3), 281-286 (1997).

Qureshi, N. & Malmberg, R.H., "Reducing aluminum residuals in finished water", Journal of American Water Works Association, 74, 101-108 (1985).

Tetsuji, O., Deevanhxay, P., Takao, H., Wataru, N., Mitsumasa, O., "The Performance of Poly-silicate Iron Coagulant in Conventional Drinking Water Treatment", Journal of Japan Water Works Association, 73(11), 2-10 (2004) (in Japanese).

WHO (World Health Organization), "Aluminium in drinking-water background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality", WHO/HSE/WSH/10.01/13, Geneva, Switzerland (2010).

Wettstein, A., Aeppli, J., Gautschi, K., et al. "Failure to find a relationship between mnestic skills of octogenarians and aluminum in drinking water", Int Arch Occup Environ Healt, 63(2), 97-103 (1991).

Study of Residual Aluminum Reduce on treated water in Shan-Shang Water Treatment Plant

Chi Chuan Kan^{1*} Jing-Zhe Lin² Shiow Shyung Lin² I Pin Chen²
Kuo Jung Hsien² Meng Wei Wan²

¹ Institute of Hot Spring Industry,

² Department of Environmental Engineering & Science,
Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.

Abstract

In recent years, high aluminum content in drinking water has been identified to cause health problems such as damage to the central nervous system. Countries such as Canada have set the drinking water standard for aluminum content. The United States Environmental Protection Agency included aluminum in the list of National Secondary Drinking Water Regulations, of which many states have implemented. Currently, Taiwan still does not include aluminum as a regulated parameter in the drinking water standards.

The Shan-Shang water purification plant treats raw water obtained from Zengwun dam, which usually has high turbidity. The treatment plant is composed of the following process treatment units: an initial coagulation unit, primary sedimentation tank, secondary coagulation unit, secondary sedimentation tank, and filtration system. The framework of the water treatment process includes two-stage dosing, where secondary coagulation is applied only when turbidity of treated water after primary coagulation does not meet water quality standards. Due to the two stages of coagulation, the presence of increased residual alum concentration was observed in treated water.

In this study, the main objective is to determine the efficiency of ferric chloride in the removal of residual alum from treated waters from Shan-Shang treatment plant. Jar tests were used to establish dosing curves of alum and ferric chloride as individual coagulants. The effect of pH and ferric chloride dosage on the removal of residual alum was investigated. In addition, cost analysis of using alum and ferric chloride was also carried out.

Ferric chloride proves to be a better coagulant in comparison to alum. Both alum and ferric chloride can obtain the following water parameters: residual alum content of 0.15 to 0.10 mg /L, turbidity of 1 NTU or less, total iron concentration of 0.02 mg/L, which meets the drinking water quality standards. The results showed that the ferric chloride coagulation can effectively reduce the residual alum in water treatment plant.

Keyword: Coagulant 、 Aluminum Sulfate 、 Ferric Chloride 、 Residual Aluminum

*Correspondence: Institute of Hot Spring Industry, Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.

Tel:+886-6-3662006

Fax:+886-6-3662668

E-mail:cckanev@mail.chna.edu.tw