



清水中殘餘鋁含量調查與改善措施之研究

甘其銓^{a*}、楊惠玲^b、王書斌^c

^a 嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所 副教授

^b 嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所 博士後研究

^c 嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所 副研究員

摘要

近年來鋁與中樞神經系統病變間的相關性陸續被報導，世界各國也相繼訂定飲用水中鋁含量標準或建議值。行政院環保署於 103 年 1 月修正的「飲用水水質標準第 3 條-增列鹵乙酸類及修訂戴奧辛等共 10 項管制標準」之中，已將「鋁」管制標準增列，將於 108 年施行 0.2 毫克／公升的管制標準。本研究調查淨水場的清水殘餘鋁現況，並於實驗室利用瓶杯試驗研析殘餘鋁減量策略，再研擬實場的改善對策，期提供作為淨水場操作人員於殘餘鋁減量的策略考量之參考。

關鍵字：殘餘鋁、pH 調整、鋁系混凝劑、鐵系混凝劑

*通訊作者：甘其銓

E-mail：cckanev@mail.cnu.edu.tw



壹、前言

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報導，世界各國也相繼訂定飲用水中鋁含量標準或建議值。行政院環保署於 103 年 1 月修正的「飲用水水質標準第 3 條-增列鹵乙酸類及修訂戴奧辛等共 10 項管制標準」之中，已將「鋁」管制標準增列，其文摘要如下：「考量自來水事業需增加設備、變更處理程序，甚至需擴充場址，故分階段實施。標準 0.4 毫克／公升，自 103 年 7 月 1 日施行；標準 0.3 毫克／公升，自 104 年 7 月 1 日施行；標準 0.2 毫克／公升，自 108 年 7 月 1 日施行。另為因應供水需求及我國特殊氣候水文環境，陸上颱風警報及其後最多 3 日內之濁度影響期間，鋁標準不適用」。

其實基於健康或是美學觀點，世界衛生組織與美國環保署亦相繼訂定飲用水中鋁含量標準，確保飲用水水質安全[1,2,3]。飲用水的鋁含量主要因淨水程序使用之鋁鹽混凝劑殘留而存在，由於混凝效率會直接影響到水中殘餘鋁濃度值，即水中殘餘鋁的改善對策會和所使用之混凝劑及其混凝效率有關。鋁鹽混凝劑廣泛應用於淨水工程，藉由添加混凝劑可以將水中的微小顆粒聚集沉澱、去除色度及濁度等。淨水場最佳混凝劑量一般都是以傳統瓶杯試驗之劑量與殘餘濁度之關係決定，混凝試驗中通常以膠羽生成粒徑和密度越大，越能減少水中的濁度。

而根據 Letterman 等人調查美國使用明礬(Alum)混凝劑淨水場最常用來降低殘餘鋁的方法，最常使用的方法有(1)調整 pH；(2)減少 Alum 混凝劑添加量(最適化混膠凝)；(3)鐵鹽混凝劑之使用；(4)高聚合度 PACl 之使用；(5)提高顆粒去除率；(6)避免使用高鋁含量的石灰[4,5,6,7]。Ohno 等人藉由統計分析認為水中殘餘鋁主要和淨水場操作方式以及原水水質有關[8]。台灣自來水公司在民國 98 年度對使用混凝劑之淨水場檢測總鋁濃度，建立淨水場清、配水之總鋁含量資料，根據研究成果指出台灣部分的淨水場於清水與配水之中的總鋁濃度超出 0.2 mg/L，且形態大都屬溶解鋁的物種居多[9]。於本篇文章中，筆者以鋁鹽在水中的物化原理、殘餘鋁型態與淨水場的殘餘鋁調查資料為基礎，首先於實驗室利用瓶杯研析殘餘鋁減量策略，再將現場的改善經驗進行整理與分析，期能給予淨水場操作人員於殘餘鋁減量的策略考量有所參考。

貳、研究方法

本研究主要配合 2012 及 2013 年台灣自來水公司之淨水場清水鋁含量改善對策計畫，調查各淨水場之殘餘鋁現況，並提出改善方案。試驗內容包含實驗室瓶杯試驗分析與實場驗證試驗。其中實驗室瓶杯試驗分析之試驗條件乃以各場執行例行瓶杯試驗之條件為主，實場驗證則就實驗室瓶杯試驗結果及與實場人員討論後所挑選出二個較為可行之改善方案進行。

參、研究結果與討論

一、淨水場的殘餘鋁背景分析

表 1 為調查得台灣各水場溶解鋁占總鋁濃度比例，可見溶解鋁在清水中的鋁含量所占比例為 52~99%，顯示這些淨水場清水總鋁主要由溶解鋁所貢獻，傳統淨水處理程序大都為混凝、沉澱與過濾，無法有效去除水中溶解鋁(表 1)。



表 1 各水場清水中溶解鋁占總鋁濃度比例

區處	淨水場	溶解鋁含量	區處	淨水場	溶解鋁含量
五	LN	78-95%	六	NY	75-99%
	SK	80-92%		CM	57-88%
	TC	90-91%		TD	52-92%
	LT	75-89%		SC	64-88%
	KY	65-95%		WST	52-87%
	SS	77-94%		NH	94-98%

102 年水公司亦針對 12 座計畫目標淨水場進行採樣分析(表 2)，清水殘餘鋁分析結果整理如表 2，本次採樣僅 NY 之清水總鋁含量較低，其餘皆大於 0.2 mg/L。再度確認各場具有清水殘餘鋁改善之需求。其中，SS 場有採集到總鋁含量大於 0.9 mg/L 之情形，而該情形並非常態，且異常高之鋁含量主要表現於顆粒鋁，顯示此可能導因於系統池壁或管線中持累積之鋁因採樣之擾動而釋放出。各場之鋁型態分析結果顯示，除前述場因顆粒鋁含量異常偏高外，僅 SS 與 CM 淨水場之顆粒鋁含量較溶解鋁高。其餘各場之清水總鋁含量中，溶解鋁占 58~99%之多。

表 2 102 年各水場清水中鋁含量及溶解鋁所占比例

	淨水場	總鋁(mg/L)	溶解鋁(mg/L)	顆粒鋁(mg/L)	溶解鋁百分比(%)
第五區處	KY	0.328	0.306	0.022	93
	LT	0.241	0.210	0.031	87
	SS	0.958	0.299	0.659	31
	LN	0.311	0.179	0.132	58
	SK	0.454	0.332	0.122	73
第六區處	TD	0.407	0.380	0.027	93
	CM	0.485	0.172	0.313	35
	WST	0.429	0.377	0.052	88
	NY	0.197	0.171	0.026	87
	NH	0.233	0.231	0.002	99
	SC	0.517	0.464	0.053	90
第十區處	CK	0.216	0.212	0.013	98

而根據台灣自來水公司 102 年度的計畫調查，亦發現由於「廢水零排放」政策的推行，所以目前多將汙泥濃縮池的上層液再回流至原水端再進行處理，但回流水中的含有高濃度的殘餘鋁，據調查結果顯示出回流水中含有可高達 0.5~3.0mg/L 的總鋁，其中溶解鋁更可高達 0.5~2.5 mg/L，甚者，更含有大量的有機物，此一水質亦影響了整個淨水流程中的殘餘鋁濃度[10]。以 WST 淨水場為例，圖 4 為淨水場的處理流程，圖 5 則為淨水場內各主要單元總鋁、溶解鋁以及顆粒鋁的變化[10]，可以發現在原水階段，總鋁大都為顆粒鋁的型態，



但於沉澱池、過濾與清水池內則以溶解鋁為主要來源，其主要原因有二：其一為鋁鹽混凝劑的添加，其二則為廢水的迴流帶回了高濃度的鋁含量，迴流水的來源來自於汙泥濃縮池及曬泥場的上澄液，且其中含有高濃度的溶解鋁 1.0~2.5mg/L 回流至淨水流程中。

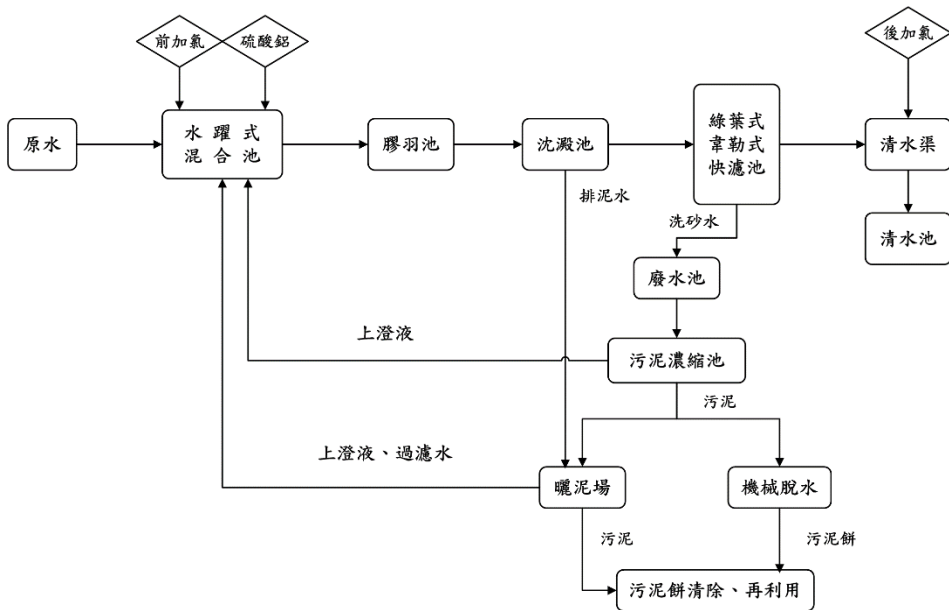


圖 1 WST 淨水場處理單元流程示意

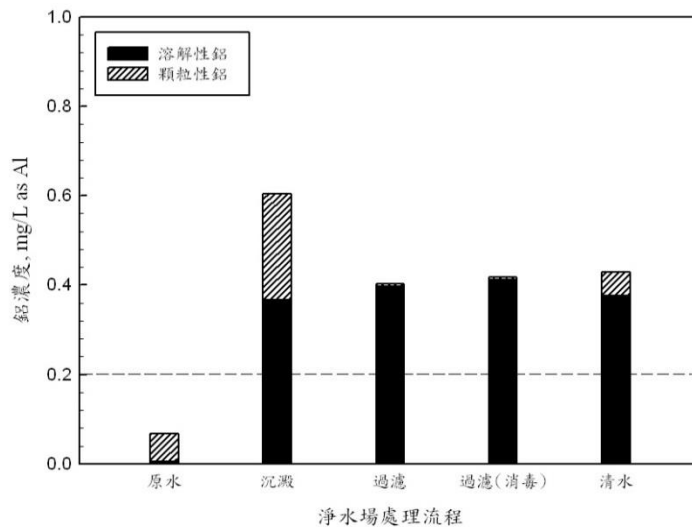


圖 2 WST 淨水場各單元之殘餘鋁分析結果

二、殘餘鋁改善策略之瓶杯試驗評估

飲用水的鋁含量主要因淨水程序使用之鋁鹽混凝劑殘留而存在，由於混凝效率會直接影響到水中殘餘鋁濃度值，即水中殘餘鋁的改善對策會和所使用之混凝劑及其混凝效率有關。鋁鹽混凝劑廣泛應用於淨水工程，藉由添加混凝劑可以將水中的微小顆粒聚集沉澱、去除色度及濁度等。淨水場最佳混凝劑量一般都是以傳統瓶杯試驗之劑量與殘餘濁度之關係決定，透過實驗室的瓶杯試驗，本文之中評估了數項改善策略，其評估成果如表 3 所示。



表 3 殘餘鋁實驗室改善策略之評估

改善策略	瓶杯試驗評估之初步結果	注意事項	備註
減少混凝劑劑量	須減量至少 30% 以上的原劑量，部份水場更需減量至 80% 以上，殘餘鋁才能控制於 0.2 mg/L 以下。	減少加藥量會導致沉澱出流水濁度升高，增加濾池負荷。	可減少混凝劑的支出 (硫酸鋁:2~3 元/公斤)
加強前氧化	原水於前加氯後，經 1 分鐘的充分的攪拌混合反應，依殘餘濁度評估，可減少最適混凝劑量 20~50%。	前加氯可能會導致 DBP 的生成。	可減少混凝劑的支出
分段(鋁鹽)混凝加藥	水中殘餘總鋁並無明顯減少	無	無
改變慢混操作	水中殘餘總鋁些微下降，但溶解鋁並無下降，研判為膠羽形成較佳，顆粒鋁移除較佳	各淨水場之慢混操作進行調整。	無
高聚合度 PACl 的使用	較高聚合度之 PACl (13%) 可減少約 25% 之殘餘鋁。	需搭配良好的快混，較不適用低濁度之原水。PACl 藥劑保存不易。	PACl(10%):3~4 元/公斤 PACl(13%):5~6 元/公斤
pH 值調整	使用硫酸進行調整，將處理水的 pH 值控制於 6.8~7.2，可將殘餘鋁的溶解鋁控制在 0.2 mg/L 以下。	須注意顆粒鋁貫穿透濾池，濾水濁度須控制在 0.2 NTU 以下(文獻建議值，可因應各場而異)。	硫酸:4~9(離島)元/公斤
加強過濾操作	水中殘餘總鋁些微下降，但溶解鋁並無下降，研判為過濾操作只對顆粒鋁移除有效	可搭配 pH 值調整進行殘餘鋁控制。	濾料增加或改變
鐵鹽混凝劑的使用	利用氯化鐵進行混凝，可有效減少原水中的顆粒鋁，並且於濾水中無溶解鋁被量測到。	須注意濾水的色度，現場可搭配聚矽化鐵 (PSI)，或於濾池填補錳砂，可加強處理水中鐵的捕集。	氯化鐵:7~15 元/公斤 PSI:100~150 元/公斤
鋁鹽搭配鐵鹽雙重加藥	利用鋁鹽搭配氯化鐵進行混凝，須固定鋁鹽之加藥量，不足的混凝劑量再由氯化鐵補足，可有效減少原水中的總鋁。	須注意原水濁度之變化調整混凝加藥量，加藥順序建議為鐵鹽在前，鋁鹽在後。	氯化鐵:7~15 元/公斤 PSI:100~150 元/公斤



(一)殘餘鋁改善策略之現場評估

就淨水場操作而言，以往只需達到內控沉澱與過濾的出水濁度水質即可；但未來，更須達到混凝單元能生成膠羽顆粒且溶解鋁生成少之目標，因此如何達到處理水內控濁度標準並降低清水中殘餘鋁含量的為目前的挑戰。在混凝程序的影響因子中，包括原水水質、濁度、pH、混凝劑種類及劑量、水溫、膠體特性、攪拌程度等；考量目前所調查之淨水場其清水中的殘餘鋁大都為溶解鋁，再考慮目前淨水操作的經濟性與穩定性，欲達到淨水清水減量及濁度達標之策略，建議可由 pH 調整以及改用非鋁鹽混凝劑兩主要方向著手，並整理相關文獻，如下所述。

1.pH 調整(控制溶解鋁含量)

調整溶液的 pH 值不但會改變鋁氧化物的溶解度，也會影響膠羽形成的動力。鋁離子在不同 pH 值條件下會形成不同種類的水合物種，在高 pH 值下鋁型態是以溶解鋁物種($\text{Al}(\text{OH})_4^-$)為主。在高 pH 值條件下，所添加的鋁鹽混凝劑有相當程度的量會以溶解鋁物種存在，也就是會減少混凝所必要的鋁離子濃度。為增加高 pH 值原水的混膠凝效率，可藉由調整 pH 值將使鋁離子形成易沉降之 $\text{Al}(\text{OH})_3(s)$ ，降低溶解鋁物種的濃度。以 Amirtharajah and Mills 彙整的不同 pH 值鋁優勢物種之圖形資料為判定，水體 pH 7 的鋁溶解度為 0.05 mg/L；當水體 pH 升高到 8 時，鋁溶解度增高為 0.64 mg/L，兩者差距高達 13 倍。

郭氏以烏山頭淨水場之原水為處理對象[6]，藉由實驗室和模場試驗探討淨水程序中之殘餘鋁含量。考量清水濁度、殘餘鋁含量及水質穩定等項目，發現無論以 Alum 或 PACl 進行混凝程序，控制水中殘餘鋁的主要參數是 pH。低殘餘鋁含量的 pH 落在 6.8–7.5 之間，當 pH 值低於或超過此範圍，水中鋁含量即超過警戒值 0.16 mg/L。Qureshi and Malmberg 針對美國 Minneapolis 的淨水場進行模場和實場試驗，指出高 pH 值之原水當作水源的淨水場當操作落在硫酸鋁混膠凝與 pH 值操作模式為沉澱掃除(sweep coagulation)區域時，增加快混的強度並不能有效減少鋁含量；雖然藉由添加強酸降低 pH 值可有效控制水中殘餘的鋁含量並增加混凝效率，但必須在後面程序額外添加 lime 以穩定水質。然而，添加強酸和石灰卻會額外增加設備和操作/維護成本，並增加清水的硬度。文獻中指出控制水中 pH 值所呈現的水中殘餘鋁濃度值，顯示 pH 值控制在 5.45 – 7.5 間，可以有效地將鋁濃度降到 0.2 mg/L 以下[12]，並建議具有高緩衝能力和水質 pH 值大於 8 的混凝池，在混凝系統添加酸溶液以降低水中的殘餘鋁濃度。

2.改用非鋁鹽混凝劑

Qureshi and Malmberg 針對美國 Minneapolis 的淨水場進行模場和實場試驗[11]，結果顯示使用氯化鐵(ferric chloride)取代 Alum 可以有效降低高 pH 原水中殘餘鋁濃度，且延長過濾池之濾程(幾乎是使用 PACl 混凝劑的兩倍長)。實場試驗顯示，氯化鐵混凝劑的添加劑量(也就是藥劑成本)不到原來施用 PACl 劑量的一半，可大幅度降低淨水場混凝劑的藥劑成本。氯化鐵形成的膠羽密度會大於使用 PACl 所形成的膠羽，也就是氯化鐵之膠羽會比 PACl 更容易沉降。此外，在高 pH 原水條件下，氯化鐵所形成的膠羽並不會有溶解作用產生，氯化鐵適合用在處理高 pH 值的原水。劉氏研究探討鐵鹽(氯化鐵)和鋁鹽混凝劑對低濁度原水(烏山頭水庫原水)和殘餘鋁含量之影響[13]，發現鐵鹽的濁度去除效果較佳，且在低添加劑量和高 pH 值條件下，具有相當的效果。然而，氯化鐵腐蝕性強，加上對使用設備的要求高且可能會有色度問題產生，目前台水公司只有在第五區處少數幾座淨水場(如新興、麥寮第二、水林、拔仔腳、三條崙、四湖、北港第二)使用。



除了傳統的鐵鹽混凝劑之外，無機高分子混凝劑-聚矽酸鐵(polysilicate iron, PSI)也已經證實對於低濁度原水具有良好處理效果，尤其是小顆粒聚集及藻類移除且具有降低過濾後水體中鋁的含量等優點[14]；此一混凝劑相對於其他高分子凝聚劑，聚矽酸鐵對人體無毒且具環境友善優點，可避免有機高分子可能對人體健康和自然環境構成威脅的問題，目前環保署已經在民國 99 年 3 月公告聚矽酸鐵為飲用水水質處理藥劑[15]，使用範圍與劑量並沒有法規上的限制，但相對於氯化鐵混凝劑，聚矽酸鐵藥劑製作及採購成本較高。

而針對殘餘鋁減量的策略，亦有文獻提出改用高聚合度之多元氯化鋁(Polymeric aluminum chloride, PACl)，PACl 混凝劑成分特性，因其水解聚合型態之單體鋁(Al_a)、聚合鋁(Al_b)、膠體鋁(Al_c)的比例，影響混凝效能。文獻指出 Al_b 含量愈高，對混凝成效有提升作用。 Al_a 對於天然有機質(Natural Organic Matters, NOMs)有高穩定性並可促進 NOMs 的去除，但其形成之膠羽顆粒細小且沉降性較差，而 Al_b 對 NOMs 及顆粒則以去穩定形成膠羽沉澱為主要去除機制， Al_c 去除 NOMs 及顆粒之機制則為吸附作用，三者相較之下以 Al_b 、 Al_c 對混凝沉澱效率最有助益[16,17]。另有學者探討在不同鹽基比($B = [OH^-] / [Al^{3+}]$)下 PACl 混沉後的殘餘鋁量，發現 $B = 2.0$ 及 2.3 時對於 NOMs 的去除效果佳，混沉後上澄液中具較低的殘餘鋁量[18]。此外，由混凝反應觀察殘餘鋁量， $B = 1.5$ 的 $PACl_{15}$ 所含 Al_a 占 55% 以上，對於混凝沉澱成效較差，易因反應不足造成殘餘鋁生成，相較之下 $PACl_{20}$ 所含之 Al_b 、 Al_c 具有較大分子量及聚合度，於水中充分反應後殘餘鋁量最低。而 $PACl_{23}$ 的混沉後殘餘溶解鋁及溶解性單體鋁主要來源為 Al_a ，因其含 Al_b 、 Al_c 比例較高且為主要反應的物種，相較之下 Al_a 較為穩定而造成殘留，即 $[OH^-] / [Al^{3+}]$ 莫耳比高者，在加藥之後會殘留較多的單體鋁物種[19]。因此於現場操作時，如何保存讓 PACl 能維持其高聚合度之特性，將會是一大挑戰。

除了混凝藥劑成分對殘餘鋁的影響，原水水質亦是可能造成清水中殘餘鋁生成的原因之一。研究曾將烏山頭原水低濁度(<10 NTU)和高 pH 值(>8)進行混凝試驗，當以鋁鹽混凝時，低原水濁度，且低混凝劑量，不僅殘餘濁度高，溶解鋁濃度也較高[13]。由此可知低濁原水以硫酸鋁低劑量混凝，不僅濁度無法降至清水濁度限值，且溶解鋁也較高，不適用低劑量硫酸鋁混凝。因此處理低濁度原水，當混凝操作使用鋁鹽混凝劑時必須添加足夠劑量，以確保膠羽沉澱性良好；鋁鹽混凝劑添加劑量不足時，不僅溶解鋁濃度增加，還可能因膠羽過小，不易沉澱，增加過濾池的負荷或貫穿濾床，進而導致清水中顆粒鋁增加，總鋁含量亦隨之上升。

由上述可知，不同原水條件造成淨水操作水中殘餘鋁的生成原因，其實除了低原水濁度造成加藥劑量調控的困難，當處理高濁原水易因加藥量過高致使水中 pH 降低，進而使鋁在水中的溶解度增加而使得殘餘溶解鋁濃度升高[11]。而原水中若存在天然有機物，因易與鋁鹽混凝劑進行錯合反應，當水中 NOMs 濃度增加時，殘餘溶解鋁及總鋁含量皆隨之增加。

而本研究亦整理 pH 調整以及改用非鋁鹽混凝劑於幾個淨水場於實場與單元操作影響評估之初步結果，如下表 4 所示，結果亦顯示 pH 調整以及改用非鋁鹽混凝劑皆可有效地將低清水中的殘餘鋁並維持內控的濁度水質。但特別需要注意的是，無論 pH 調整以及改用非鋁鹽混凝劑皆會產生顆粒性的膠羽，一為溶解鋁轉為顆粒鋁，另一為生成顆粒鐵(如使用氯化鐵為混凝劑)，因此提高過濾效率，由於水中殘餘的顆粒鋁會直接影響過濾池的堵塞程度及過濾效率，顆粒鋁去除可藉由提高淨水處理的過濾操作效率而改善。

由此可知，控制顆粒鋁及顆粒鐵變成另一要務，研究指出於美國使用 Alum 混凝劑的 194 個淨水場過濾池出水的總鋁調查結果，發現過濾池的顆粒物質和水中的總鋁濃度成正相關；





也就是濁度越低時，水中的總鋁濃度越少。另外，文獻亦指出水中殘餘鋁濃度小於 0.1 mg/L 的必要條件是過濾水的濁度控制在小於 0.2 NTU 且混凝程序的 pH 維持在 6.5 至 8.0 之間 [20]。亦有文獻指出，當過濾池的出流水濁度小於 0.2 NTU 時，過濾水中的顆粒鋁可視為大部分被攔截去除 [21]，當然此一濁度值為文獻所提，筆者強烈建議各淨水場亦應建置「不同 pH 值下清水鋁與濁度的關係圖」，應可訂定出適合各淨水場的內控水質標準。

表 4 實場操作策略與影響評估之初步結果

淨水場名稱	清水鋁減量策略	清水鋁濃度範圍 (mg/L)	清水水質 (濁度、pH、鐵、色度)	加藥量初估 (kg/d)	備註
NY	鐵鹽混凝劑的使用	0.05~0.10	濁度：0.4 ~ 0.5 NTU pH：6.5 ~ 7.7 總鐵：0.05 mg/L	硫酸鋁：30 氯化鐵：45	全場共兩期，處理量約 6,000 CMD，目前氯化鐵處理量約占 3,100CMD
SC	鐵鹽混凝劑的使用	0.05~0.16	濁度：0.3 ~ 0.4 NTU pH：7.2 ~ 7.4 總鐵：0.05 mg/L	硫酸鋁： 1,326 氯化鐵：479	全場使用氯化鐵，全場 40,000CMD
CM	pH 調整	0.05 ~ 0.24	濁度：0.3 ~0.5 NTU pH：6.8 ~ 7.6	硫酸(60%)： 75	原水 pH 值 7.5 ~ 7.9 全場處理量約 3,700 CMD，pH 調整至 7.0
TD	鐵鹽混凝劑的使用	0.12 ~ 0.20	濁度：1.6 ~ 5.2 NTU pH：7.0 ~ 8.70 總鐵：0.01 ~ 0.04 mg/L 色度：2 ~ 3 鉑鈷色度單位	硫酸鋁： 2,052 氯化鐵： 1,168	全場共兩期，處理量約 108,000 CMD，目前氯化鐵處理量約 27,000CMD
WST	鐵鹽混凝劑的使用	0.10 ~ 0.22	濁度：0.2 ~ 0.4 NTU 總鐵：0.04 ~ 0.05 mg/L	硫酸鋁： 4,295 氯化鐵：907	全場共四期，處理量約 240,000 CMD，目前氯化鐵處理量約 75,000CMD
CK	pH 調整	0.10~ 0.20	濁度：0.1 ~ 0.5 NTU pH：6.7 ~ 8.3	硫酸(60%)： 200	原水 pH 值 8.1 ~ 8.8， 全場處理量約 2,900 CMD， pH 調整至 6.8~7.0





肆、結論與建議

淨水場現場殘餘鋁減量之研究，仍須強調各淨水場應重新審視原本的混凝加藥經驗曲線，重新透過瓶杯試驗結合殘餘濁度及殘餘鋁的量測，重新繪製出混凝加藥經驗曲線，此為首要之工作，筆者於先前的論述中亦有提及[22]。而當上述的混凝加藥仍無法同時滿足內控濁度值與殘餘鋁標準時，淨水場勢必採取更積極作為。

而根據近兩年之計劃研究，由實驗室到現場的成果顯示 pH 調整以及改用非鋁鹽混凝劑皆可有效地將低清水中的殘餘鋁並維持內控的濁度水質。然而，上述改善策略仍需許多的搭配測施方可畢竟其功，例如各單元水質的量測、濾池的適當操作、藥劑儲存、加藥率定以至於操作人員信心等，皆會影響此一改善工作的成敗。

此外，仍有諸多研究工作建議仍需持需進行，筆者認為有三個面向，一為相關淨水操作的改變，勢必應有相關配套措施，如 pH 調整是否會造成濾池的操作(如顆粒鋁增加濾池負荷及濾料特性的改變)，以及水管內水質的變化(pH 與 LSI 值的變化)；改用氯化鐵是否會造成濾池的操作(如顆粒鐵是否可被濾池移除及污泥特性的改變)，以及水管內水質的變化(pH 與 LSI 值的變化)。其次為特定水質的原水處理應更深入探討，筆者認為低濁高 TOC(建議濁度小於 10NTU，TOC 大於 1mg/L) 以及高濁度高 pH 值(建議濁度高於 200NTU，pH 大於 7.8)的原水於殘餘鋁減量上應進行更進一步的研究。最後，在其他有效措施的研究上應持續推動，如高聚合度 PACl 的使用與保存、PSI 的使用與保存與雙重加藥等，應是值得推動的研究工作。

致謝

感謝台灣自來水公司補助研究經費，使本研究得以順利進行。





參考文獻

1. 郭輔仁，淨水程序操作參數之改變以控制殘餘鋁量之研究，國立成功大學環境工程研究所碩士論文，1992。
2. 台灣自來水公司，水公司各淨水場清、配水含鋁量分析調查及最適化處理之研究，2010。
3. 台灣自來水公司，淨水場清水鋁含量改善對策(1/2)，2012。
4. 劉嘉宏，混凝劑種類對低濁度原水混凝影響之研究，國立成功大學環境工程學系碩士論文，2007。
5. 行政院環保署，飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫(1/3)，2007
6. 甘其銓、唐俊成、樂育麟，淨水場清水鋁含量改善對策與措施，自來水會刊，31(3)，50-57，2012.
7. Flaten, T.P., (2001) Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease with emphasis on drinking water, *Brain Res. Bull.* 55, 187-196.
8. World Health Organization (2011) Guidelines for drinking water quality.
9. U.S. Environmental Protection Agency (2006) Drinking water standards and health advisories.
10. Gao, Baoyu, Yue, Qinyan, and Wang, Bingjian, (2004) Coagulation efficiency and residual aluminum content of poly-aluminum silicate chloride in water treatment, *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 32 (2), 125-130.
11. Srinivasan P.T., Viraraghavan T., Subramanian K.S., (1999) Aluminium in drinking water: an overview, *Water SA*, 25(1), 47-56.
12. Letterman, R. and C. Driscoll, (1988) Survey of residual aluminum in filtered water. *Journal of the American Water Works Association*, 80, 154-158.
13. Ohno, K., Kadota, E., Matsui, Y., Kondo, Y., Matsushita, T. and Magara, Y., (2009) Plant capacity affects some basic indices of treated water quality: multivariate statistical analysis of drinking water treatment plants in Japan, *Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua*, 58(7), 476-487.
14. Qureshi, N. and Malmberg, R.H., (1985) Reducing aluminum residuals in finished water, *Journal of American Water Works Association*, 74, 101-108.
15. Liesko, I. and Szakal, F., Possibility of lowering the aluminum concentration in drinking water from water works drawing on surface water in Hungary. In: M Astruc and JN Lester (eds.) *Heavy Metal in the Hydrological Cycle*, Selper Ltd., UK. 631-636, 1988.
16. Tetsuji, O., Deevanhxay, P., Takao, H., Wataru, N., Mitsumasa, O., (2004) The Performance of Poly-silicate Iron Coagulant in Conventional Drinking Water Treatment, *Journal of Japan Water Works Association*, 73(11), 2-10. (in Japanese)





17. Yan, M., Wang, D., Qu, J., He, W., Chow, C.W.K., (2007) Relative importance of hydrolyzed Al(III) species (Ala, Alb, and Alc) during coagulation with polyaluminum chloride: a case study with the typical micro-polluted source waters. *Colloid and Interface Science*, 316 (2), 482-489.
18. Yan, M., Wang, D., Ni, J., Qu, J., Chow, C.W.K., Liu, H., (2008) Mechanism of natural organic matter removal by polyaluminum chloride: effect of coagulant particle size and hydrolysis kinetics. *Water Research*, 42, 3361-3370.
19. Yang, Z., Gao, B., Cao, B., Xu, W., Yue, Q., (2011) Effect of $\text{OH}^-/\text{Al}^{3+}$ ratio on the coagulation behavior and residual aluminum speciation of poly-aluminum chloride (PACl) in surface water treatment. *Separation and Purification Technology*, 80(1), 59-66.
20. Masaoki Kimura, Yoshihiko Matsui, Kenta Kondo, Tairyō B. Ishikawa, Taku Matsushita, Nobutaka Shirasaki, (2013) Minimizing residual aluminum concentration in treated water by tailoring properties of polyaluminum coagulants. *Water Research*, 47, 2075-2084.
21. Jekel, M.R. and Heinzmann, B., (1989) Residual aluminum in drinking-water treatment, *Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua*, 38, 281-288.
22. Van Benschoten, J.E. and Edzwald, J.K., (1990) Measuring aluminum during water treatment : methodology and application, *Journal of American Water Works Association*, 82(3), 84-91





Study of Residual Aluminum Content in Drinking Water and It's Improvement

Chi-Chuan Kan^{a*}、Hui-Ling Yang^b、Shu-Pin Wang^c

^aAssistant Professor, Taiwan Hot Spring Research Center, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

^bPostdoctoral Fellow, Taiwan Hot Spring Research Center, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

^cAssociate Research Fellow, Taiwan Hot Spring Research Center, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

ABSTRACT

In recent years, the impacts of aluminum on the nervous system have been studied. Many countries have promulgated aluminum standards of drinking water. The Environmental Protection Administration has also added aluminum limitation in drinking water quality standards in 2014. The aluminum limitation of 0.2 mg/L will be put in practice in 2019. This study discussed the residual aluminum content in produced water of several target water treatment plants. Jar-tests were performed in our laboratory for the study of the residual aluminum reducing strategy. Further, this study provides the recommendations of operating improvement for residual aluminum problem in practice.

Keywords : Residual aluminum, pH adjustment, Al-based coagulants, Fe-based coagulants

* Email : cckanev@mail.cnu.edu.tw

