

清水中殘餘鋁含量調查及控制試驗研究

洪武雄・林秀局撰

第一章緒論

目前本公司採用地面水源之淨水場，大都以混凝劑做為去除水中懸浮固體物之藥劑，而含鋁鹽類則為最常用的混凝劑或助凝劑，近幾年來，用水量激增，地下水源難以大量取得，故大力開發地面水資源已成為公司營運重點。現今各區處之大型淨水場其水源幾乎全面為地面水，因此鋁鹽用量快速增加，然而以鋁鹽為混凝劑極易造成供水中鋁含量增加，依據美國環保署（VSEPA）調查全美 186 個淨水場（1980～1981 年），結果顯示在水源方面地面水含鋁機率大於地下水源，而使用硫酸鋁做為混凝劑之淨水場，有 43 % 的清水比原水鋁含量較高^(1,2,3)。

根據中華民國老人醫學會老人健康初步調查結果，顯示國內 65 歲以上老人腦神經障礙發生率為一年內每十萬人中有 1928 名病例，不僅超過日本的 1300 名病例，更把歐美國家的 120 至 130 名病例遠拋在後，雖然造成老人腦神經障礙的危險因素現在還不很清楚，但依據醫學上的報告，鋁的攝取可能與人體中樞神經系統病變有關，如鋁在人腦中之積蓄，可能導致 Alzheimer's Disease（一種漸進性的腦部致命疾病，發生於年逾四十歲者，通常以 CT 掃描紀錄可確認，主要症狀為行為異常，記憶力喪失，失去方向感及辨識能力，語言困難等。）之老人癡呆症^(1,2,4)，在此患者的老人斑及神經中樞纖維檢出鋁成分^(1,4)，由此可顯示鋁與老人癡呆症有因果關係。英國醫學週刊 Lancet 在 1989 年 1 月亦提出報告指出飲用水中鋁會引起 Alzheimer's disease，英國政府比較 88 個發生此病地區的飲水鋁含量，發現當鋁濃度大於 110ug/l 時，則致病之可能性較高^(1,5)，但 Alzheimer's Disease 協會認為上述英國醫學研究缺乏可接受之因果關係之證據，不足以證明飲用水鋁和 Alzheimer's disease 有直接關係^(1,6)，因此飲用水中之鋁是否引起老人癡呆症尚未定論⁽²⁾。

淨水處理中之殘留鋁，除會影響人體健康外，未被去除的微細膠羽，可能包藏著細菌，影響消毒效果，清水中所含的鋁可能在配水系統中以水合氫氧化鋁的懸浮固體存在，使濁度上升，亦可能在配水管內再凝集，附着在管壁，阻塞水流，降低配水管送水能力，並於水壓增加時將管內的附着物沖入配水中，造成短時間的水質惡化^(1,2,7)。這些亦是美國自來水協會（A.W.W.A）把清水濁度的終極目標訂在 0.1NTU 的原因⁽¹⁾，自來水公司目前亦極力要求各場站操作人員勿將本省之濁度標準 4 NTU 作為平日淨水處理的目標，應盡力利用現有設備降低清水濁度，減少因濁度問題而產生上述之後遺症。

目前世界各國在飲用水水質管理上對鋁所作的規定如表一所示^(1,2,8)。

表一：

管制值及建議值	鉛濃度($\mu\text{g/L}$)
1968 AWWA 政策宣示 (Policy statement)	50
1985 USEPA 建議值 (Guidance level)	50
世界衛生組織建議值 (WHO guideline)	200
歐洲共同市場規定 (EEC regulations)	
建議值 (Guidance level)	50
最大允許值 (Maximum permissible level)	200
1986 美國伊利諾州建議管制值 (Proposed regulation)	100
美國紐約州建議值 (Guidelines)	
記錄值之最小百分比 (Minimum percent of recorded values)	
95	≤ 150
75	≤ 90
50	≤ 50

我國環保署於 1990 年發佈“建議飲用水水質標準修正時間”⁽⁹⁾對鉛所做的規定如表(二)

表二：

1.建議值頒佈時間 (Proposed regulations)	1990 年
2.定案值時間 (Final regulations)	1992 年
3.法規完成時間 (Regulations effective)	1993 年
鉛濃度標準：200 $\mu\text{g/L}$	

鉛對生物之毒性，除受濃度影響外，水中所含的化合物種類 (Species)，亦是一重要因素，目前僅知對魚類而言無機錯合鉛毒性大於有機錯合鉛鹽，至於對人類，那一類之鉛化合物較易殘害人體，則有待研究。

自來水殘餘鉛含量資料，在國內我們所做的研究非常少，目前僅知行政院環保署委託成大進行與此有關之研究其研究對象亦僅限於南部三個淨水場，該項研究結果顯示淨水程序之操作參數對清水中鉛含量有很大的影響⁽¹⁾，而本公司一般淨水場經常使用之硫酸鋁及聚氯化鋁 (PAC) 混凝劑，其殘留之溶解性鉛均深受水體 PH 值影響，如欲減少溶解鉛，混凝後之 PH 值，宜控制在適當的範圍內約 5.8 至 7.5 之間。

行政院環保署既已於民國79年建議自來水中鋁濃度標準為200ug/l，並將於82年以前完成立法，本次研究試驗目的，除了調查工作以了解本公司由南至北之大淨水場水中殘餘鋁量外，並利用杯瓶試驗，比較各種條件下清水中殘餘溶解鋁含量，以作為控制清水中鋁含量方法之基礎，供本公司各淨水場民國82年以前能及時因應，控制水中鋁殘餘量，提昇供水品質，保障用戶健康。

第二章文獻回顧

(一) 鋁混凝劑之特性

一般淨水使用的含鋁鹽類有固體硫酸鋁 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ [Al_2O_3 含量約15.%)， $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ [Al_2O_3 含量約17.%)，液體硫酸鋁 $Al_2(SO_4)_3$ 溶液 [Al_2O_3 含量約7.5%)，聚氯化鋁 [$Al_2(OH)_mCl_{6-m}$]_n $m = 2 \sim 4$ ， [Al_2O_3 含量約10.~11.%)，以及國內較少使用的銨明礬 $Al_2(SO_4)_3(NH_4)_2 \cdot SO_4 \cdot 24H_2O$ ，鉀明礬 $Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$ ⁽¹¹⁾，茲將現行國內淨水使用之鋁鹽特性簡介如下：

(1) 硫酸鋁：明礬為硫酸鋁之俗稱通常有4.~18個結晶水，化學式一般寫為 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ 或 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ，本公司所使用的固體硫酸鋁為 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ，因固體硫酸鋁的溶解度為65.3%~78.8% (10-30 °C)，較之液體硫酸鋁為低，且久儲後易結成硬塊，使用時亦須以人力搬運，造成操作上的不便，目前大都改為液體硫酸鋁，液體硫酸鋁當其濃度超過8.3%時 (以 Al_2O_3 計) 容易析出結晶而阻塞加藥設備，硫酸鋁混凝所產生的膠羽較輕，若水中含有多量的鈉或鉀時，膠羽易被破壞為極小粒子而穿過濾池流出，一般而言硫酸鋁因具價廉無毒，可以大量使用，並適合各種原水水質，不增加色度尚有脫色作用，為淨水中最普遍使用之混凝劑⁽¹²⁾。

(2) 聚氯化鋁 (PAC) 其化學式為 [$Al_2(OH)_mCl_{6-m}$]_n $m = 2 - 4$ ，是一種無機高分子聚合物，存在有幾個高陽離子聚合物種 (Highly Cationic Polymeric Species)，可達+7價，可以 [$Al_{13}(OH)_{24}O_4 \cdot 12H_2O$]⁷⁺ 表之，另一常見之化合物係以+3價 [$Al_{13}(OH)_{28}O_4 \cdot 8H_2O$]³⁺ 型式存在⁽²⁾。

P.A.C. 為具強塩基性及高正電荷之聚合物，其混凝作用強，且具安定性，主要凝集機構為 P.A.C. 之陽電荷可中和水中產生濁度膠體之陰電荷，同時亦可經由吸附及架橋作用，使得膠羽顆粒碩大，並縮短沈降時間，較硫酸鋁更具凝集效果，尤其對高濁度的原水去濁效果明顯，達3-4倍之鉅，尤適合原水濁度變化較大之河川水處理，P.A.C. 因可快速生成大膠羽故可減少加藥混合及降沈時間，亦可大量增加現有處理設備之負荷量，或縮小新設沈澱池之面積^(2, 12, 13) P.A.C. 為預行加水分解而作成電中和能力高之溶解性聚合鋁，因此混凝作用必要的鋁加水分解已預行大部份 (預與碱作用)，填加於水時，幾不消耗碱度⁽¹¹⁾，且具較高之貯存安定性長期貯存乃可保持高效力，在低水溫內亦不減其混凝效果膠羽漏出濾砂層之機會很少，但易增加水頭損失^(11, 12)，不過使用 P.A.C. 時仍應注意下列數點^(2, 14)：

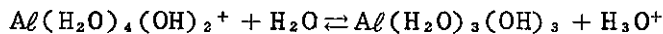
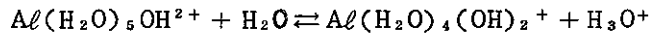
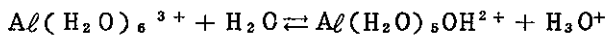
① P.A.C. 在稀釋至濃度小於30% (Al_2O_3) 時，經過一段時間後易產生白色濁度同時降低效力，最好稀釋後能一次用完。

② P. A. C. 的腐蝕力比鋁鹽更高，所採用之加藥設施須具耐高腐蝕材料。

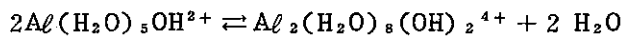
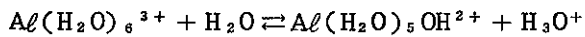
③在溫度高於 40 °C 時，液體 P. A. C. 較不安定，於運輸或貯藏時應加以注意。

(二)水中鋁化學

強酸性狀態的鋁為 3 價單純離子 (Al^{3+}) 當溶解於水中時立即與水化合成六分子的水合離子 [$Al(H_2O)_6$] $^{3+}$ ，在酸性的水中，與水中之氫氧離子 (OH^-) 結合行加水分解聚合，成為多價正電荷的溶解性聚合離子，其反應式如下^(1,2)：

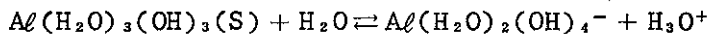


在近中性時單一鋁聚合物會水解縮聚 (Condensation) 成多鋁氫氧化物，其反應式如下：



諸如此類之化合物如 $Al_7(OH)_{17}^{4+}$ ， $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$ ， $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ ， $Al_6(OH)_{15}^{3+}$

(^{1,2,15})，一般 PH 在約為中性時，與水中之 OH^- 離子結合的比率增加，鋁較易成為電中性，而形成不溶化的氫氧化鋁 $Al(OH)_3$ 沈澱物，PH 更高時， OH^- 離子增加，鋁成為負電荷之氫氧水合物 $Al(H_2O)_2(OH)_4^-$ ，化學反應式如下：



鋁鹽對淨水處理最主要的功能為去除濁度 (附帶可除色) 濁度之主體為粘土膠質，在 PH 7 附近最能充分去除濁度，此可由圖 (2-1) 知 PH 7 時鋁鹽主要化合物 $Al(OH)_3(S)$ 為沈澱之非結晶固體，溶解性鋁較少，由圖 (2-2) 觀其 δ 電位變化，知在 PH 約為 7 處， δ 電位在等電位 (0mv)，這表示在 PH 7 時，中和電荷，同時藉著中性附近的不溶化鋁架橋，待混凝攪拌，生成可迅速沈澱的大膠羽，PH 4 時， δ 電位亦為等電點，但在此 PH，因鋁為溶解性 (由圖 2-1 可知)，並無架橋能力或不了良好的膠羽，在 PH 5 附近，鋁的正電荷過多，包覆粘土表面，大部份反成正膠質，而互斥，成為再安定化 (Restabilization) 的狀態，若為減低電荷而減少鋁注入量，電荷於等電位附近，呈架橋作用之不溶性鋁不足，不能形成良好的膠羽，所以凝集原水濁度時，良好的混凝條件應是有充分的架橋物質—鋁，硫酸鋁 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 應在 10P.P.M. 以上，而且電荷不在正電荷過剩之中性附近⁽¹¹⁾，(液體硫酸鋁約為 20P.P.M.，P.A.C. 約為 15P.P.M.)。

鋁鹽混凝作用主要的反應係利用混凝劑使帶電粒子中和之去安定作用 (destabilization)。主要反應機構 (Mechanisms) 有二^(1,16) ① 吸附及電性中和 (Adsorptions and charge Neutralization): 即在鋁混凝劑加入量較少時水中鋁鹽 (三價) 濃度小於其各種金屬鋁之氫氧水合離子之最大溶解度，全部鋁鹽為溶解性化合物，吸附於水中帶電之懸浮膠體顆粒，中和顆粒之電性而達去安定作用。② 沈澱絆除 (Enmeshment in a Precipitate) : 若鋁鹽之加入量較多，超過鋁鹽氫氧水合離子之最大溶解度，一般鋁鹽加入夠多時，會生成 $Al(OH)_3(S)$ 沈澱物，此沈澱物在降沈的過程中，可同時去除水中之雜質，使達到固液分離的效果。一般水處理過程中，PH 值，混凝劑及膠體型態及濃度 (如濁度及色度膠體形態及濃度

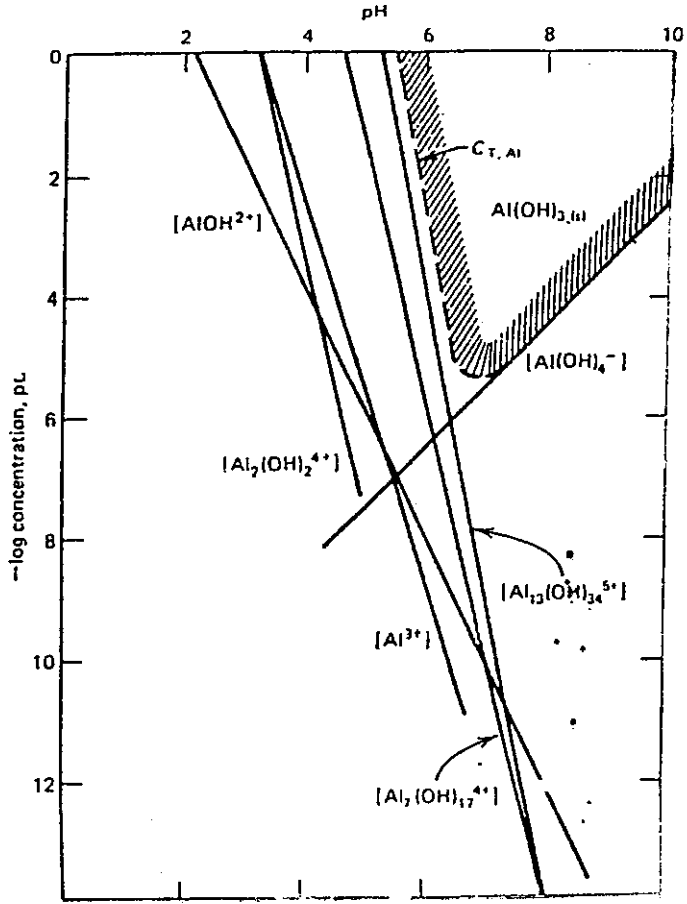
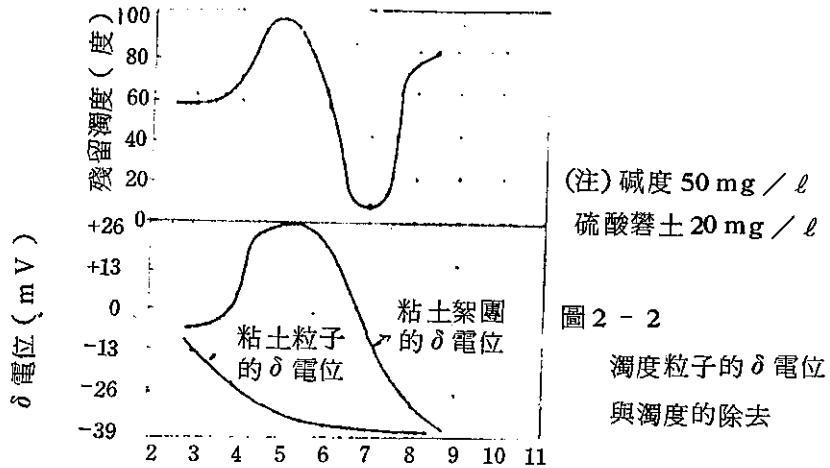


圖 2-1 25 °C 時 $Al(OH)_3(s)$ 與溶液中氫氧基鋁 (III) 錯鹽的平衡濃度 pC - pH 圖

(摘自文獻 15)



不同)等決定主要混凝機構,實際上大部份的處理場利用絆除沈澱較能達到良好的混凝效果。

第三章實驗設備、材料與方法

(一)實驗器材及清洗法

本次實驗所採用的器材大都是塑膠製品,僅硫酸稀釋液置於美製(Pyrex)玻璃,杯瓶試驗則採用壓克力方形杯(16 cm × 12 cm × 12 cm),吸水口在中間位置距底部10 cm處),量取水樣及配製藥劑的量瓶、量筒、燒杯,取樣瓶均採用聚丙烯塑膠(P.P),試劑之取用則使P.P材質之有刻度吸管,在實驗過程中配藥及清洗所用的純水係採用經陰、陽離子交換樹脂處理之純水,並裝於蒸餾水貯筒(PE 塑膠筒)內備用。

除杯瓶試驗所使用之壓克力方形杯,在試驗後以自來水刷洗乾淨後,再以純水沖洗數次後晾乾,待下次實驗使用外,水質分析檢驗使用之吸管、燒杯、量筒、量瓶、取樣瓶,P.P 過濾器等器皿在使用後,以純水略加沖洗,即放入10%之硝酸中浸泡隔夜,再取出,以純水沖洗多次後,置於防塵櫥罩內,以備下次使用,稱取鋁分析所用之試劑,則採P.P質之稱盤、棒子及匙子。

(二)混凝試驗

1. 試驗用混凝劑之配製:

本次試驗所採用的混凝劑為本公司最常使用之液體硫酸鋁(Alum)及聚氯化鋁(P.A.C),杯瓶試驗用配製藥劑方法如下

(1)液態硫酸鋁溶液(Al_2O_3 : 7.5%) : 稱取5.0g Alum,以純水稀釋500 ml,以備杯瓶試驗使用。1ml = 10mg 硫酸鋁溶液,加於1 l 之原水中,相當於硫酸鋁濃度10 mg/l。

(2)聚氯化鋁(Al_2O_3 : 10%) : 稱取5.0g P.A.C以純水稀釋至500ml 備杯瓶試驗使用,1ml = 10mg P.A.C. 此溶液加1ml於1 l 之原水中,相當於10mg/l 之P.A.C. 加入濃度,因P.A.C. 溶液低於30%時,隔夜會生成沈澱物,故以每日配製使用。

2. 杯瓶試驗:

程序如下:在六個方形壓克力杯中各加入2 l 之蘭潭淨水場當日處理原水,各加入不等濃度的混凝劑,將六個壓克力杯置於試驗機上(Iwaki Tar Tester)先以150r.p.m快混1分鐘,再以慢混30r.p.m. 15分鐘後靜置15分鐘,於慢混過程中觀察膠羽出現的情形,靜置沈澱後,分別由壓克力杯之側邊取口處取水,以避免取到液面的浮渣及沈澱的膠羽。

3. 水中鋁含量分析法:

本次實驗之鋁分析法捨美國水及廢水水質分析標準法(APHA,AWWA,WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 16th. ed.)之E.C.R. 法,而採英國環境部分析師常設委員會(Standing Committee of Analysis Department of the Environment, 1979)所公布之P.C.A. 法,係因P.C.A. 法較E.C.R. 法有以下優點:①最佳波長較長(P.C.V.:585nm, E.C.R.:535nm)②試劑空白(Reagent Blank)的吸光值較低(1 cm clee, P.V.C.:0.08~0.06,

E.C.R.: 0.15 ~ 0.10) ③莫耳吸光係數較大(表示歸敏度較高)(P.C.V.: $6.94 \times 10^4 \sim 6.3 \times 10^4$ L/mole-cm E.C.R.: $6.7 \times 10^4 \sim 6.2 \times 10^4$ L/mole-cm) ④精密度與準確度較大 ⑤最小檢測值(M.D.L.)較低 ⑥操作較簡單、迅速。其主要原理係利用鋁和 Pyrocatechol Violet 形成錯合物, 在適當的緩衝液內顏色由黃變藍, 其中鐵的干擾以 1,10-Phenanthroline 加以去除⁽¹⁾。

本次所檢測的鋁成分共分三種: 總鋁、溶解鋁及顆粒狀鋁, 總鋁之分析於採樣後取 30ml 加入 5 M 之 HCl 0.6ml, 使保持約 0.1 M HCl 狀態, 靜置 24 小時後再分析, 溶解性鋁則將水樣以 0.45 μ m 濾膜 (Sterilized membrane, pore size: 0.45 μ m, diameter 47mm Gelman Science) 過濾後, 取 30ml 過濾液, 加入 5 M HCl 0.6ml, 立即分析鋁含量, 顆粒狀鋁則為總鋁減去溶解鋁而得。

(二) P.V.C. 法之分析步驟

1. 試劑配製⁽²⁾

- (1) 標準鋁溶液 A: 溶解 6.3295 g 硫酸鋁鉀 $Al_k(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 於純水中稀釋到 1000ml, 即是 1ml, 即是 1ml 含有 360 μ g Al。
- (2) 標準鋁溶液 B: 取標準鋁溶液 A 5ml 加入 20 ml 5M HCl 然後稀釋到 1000ml, 即是 1 ml 含有 1.8 μ g Al。
- (3) 1-10 Phenanthroline / hydroxyammonium chloric reagent: 溶解 50.0 \pm 0.5g Hydroxylammonium chlorid 於約 400 ml 的純水中, 再加入 0.500 \pm 0.005 g 的 1-10 Phenanthroline hydrate, 再稀釋到 500ml。
- (4) P.C.V. 溶液: 溶解 0.187 \pm 0.001g 的 Pyrocatechol violet 於約 40ml 的純水中再定量稀釋到 500ml。
- (5) Hexamine buffer solution: 溶解 150.0 \pm 0.5g Hexamine 於約 350ml 純水中, 冷卻之, 若不澄清則以孔隙大小為 1.2 μ m 玻璃纖維濾膜過濾之, 在澄清液中緩緩加入 1.70 \pm 0.2ml 新配 50% v/v ammonium hydroxide 溶液後, 再稀釋到 500ml。
- (6) 5M Hydrochloric acid: 取 445 \pm 5ml ($d_{20}, 1.18$) 加入內裝有約 400ml 純水之 1 公升量瓶內待冷卻後, 稀釋至刻劃處。
- (7) 0.1M HCl: 取 20.0 \pm 0.1ml 5M HCl 溶液以純水稀釋到 1000ml。

2. P.V.C. 法之分析步驟: 於採樣後馬上取 30ml 水樣置於 50ml 的定量瓶中加入 0.6ml 之 5M HCl, 放置 24hr, 可檢出總鋁量, 檢測溶解性鋁則於取樣後馬上以孔隙 0.45 μ m 濾膜過濾(因寄送之水樣於現場無法過濾, 故於寄達後即過濾), 取 30ml 之濾液置於 50 ml 之定量瓶中加入 0.6ml 之 5M HCl。

P.C.V. 法測鋁的步驟⁽²⁾:

- (1) 試劑的添加及吸光值之測定: 取酸化後的水樣, 30ml 於 50ml 的 P.P. 定量瓶內, 再加入 1.0 \pm 0.1ml 1-10 Phenanthroline, 2.00 \pm 0.05ml Pyrocatechol violet solution 和 10.0 \pm 0.1ml hexamine / ammonia buffer solution 再以純水稀釋至 50ml, 搖晃均勻, 靜置 15-20 分鐘取少量於 1 cm 石英 cell 內, 以分光

光度計在585nm波長空白試劑 (Reagent Blank) 作儀器歸零下讀取其吸光值。

(2)檢量曲線的製備；先取六支50ml P.P 定量瓶，各自加入30.0、29.0、28.0、27.0、26.0、25.0 (± 0.5ml) 0.1M HCl 溶液，然後各別加入鋁標準溶液 B 0.0、1.0、2.0、3.0、4.0 和 5.0ml，混合均勻後，即成 0、60、120、180、240、300 μg/l Al。依(1)之步驟測其吸光度，最後將所得的吸光度和濃度作圖即可得一檢量曲線。

(四)最小偵測極限值 (Minimum Detection Limit) 之求取

測定方法：首先以純水將分光光度計歸零，再測試劑空白 (以去離子之純水加各種試劑即為試劑空白) 之吸光值，於非連續之數日內測定，最好為24次，並求24次測定吸光值之標準偏差 (Standard Deviation) σ_b ，資料之建立必須在分析開始的30天內完成，且每3個月必須重測一次。

吸光值之最小偵測極限 $MLD = K_d \times \sigma_b$

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

X_i ：為每次試劑空白之吸光值

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

N ：為空白檢出次數

K_d 為 Blank 的反應值之統計分析常數，根據 American chemical society's Subcommittee on Environment chemistry 建議採用 K_d 值為 3^(1, 2, 18) 經對照檢量曲線即可求出最小偵測極限值。

(五)樣品回收率試驗

本試驗係於蘭潭淨水場的清水中加入已知量的鋁，再以 P.C.V. 法測定添加前後之鋁含量，並計算回收率以瞭解樣品是否含干擾物，及檢測分析者之檢驗技術，其詳細步驟如下：取蘭潭淨水場之清水，以 5M HCl 酸化，使成 0.1M HCl 之濃度，每次取 4 個水樣，分別以鋁標準溶液加入 20 μg/l，40 μg/l，60 μg/l，80 μg/l 之濃度，然後以 P.C.V. 法測定原水樣及添加後水樣之鋁含量，如此重覆 6 次，再計算個別樣品回收率，全部試驗之平均回收率，標準偏差及相對偏差。

(六)其他水質分析

本項試驗除作鋁含量之檢測外，亦分析總鹼度，濁度 PH 值，其測定方法均參照美國水及廢水標準檢驗法 (Standard Method 16th ed) 所採用之方法及儀器如下表：

項 目	單 位	分 析 方 法	使 用 儀 器
濁 度	N . T . U	Nephelometric 法	濁 度 計
pH 值		電極直測法	pH meter
總 鹼 度	mg / L asCaCO ₃	滴 定 法 (甲 基 橙 指 示 劑)	滴 定 管

濁度計：Hach Turbidimeter, Model 2100 A, Hach Company
Loveland CO. USA PH meter

PH meter: T.O.A. MODEL HM-5ES T. O. A. Electronics L. td.

第四章試驗結果與討論

(一)檢量曲綫：

依前述 P.C.V. 分析法，以波長 585nm 所得之檢量資料如圖 4 - 1 之檢量圖

Regression Output:			
X	Y		
(P.P.b)	(ABS)		
		Constant	-0.00142
0	0	Std Err of Y Est	0.011548
60	0.068	R Squared	0.995612
120	0.171	NO. of Observations	6
180	0.26	Degrees of Freedom	4
240	0.337	X Coefficient(s)	0.001386
300	0.403	Std Err of Coef.	0.000046
Y = 0.001386 X - 0.00142			

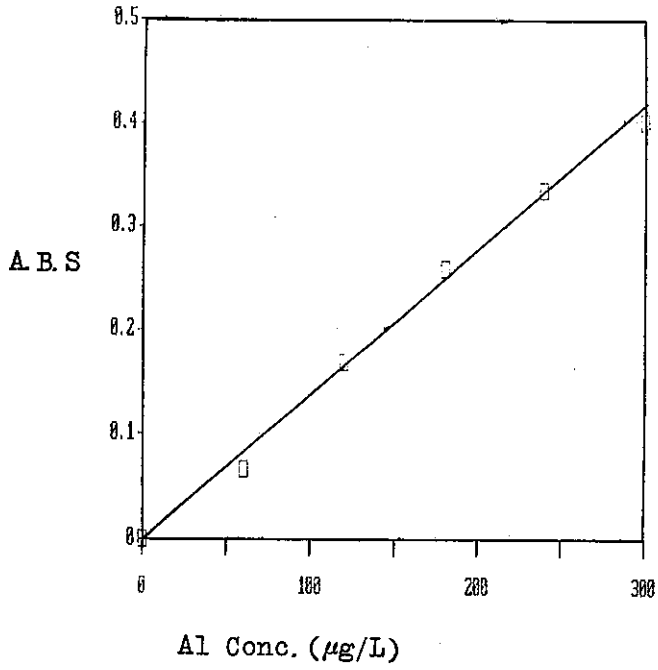
X (鋁 含 量 : P.P.b) Y (吸 光 值)

相 關 係 數 R = 99.78% ， 鋁 含 量 與 吸 光 值 間 之 判 定 係 數

R² = 99.56% ， 係 屬 高 度 相 關 。

圖 4-1

鋁含量之檢量曲綫圖



莫耳吸光係數：

$\epsilon = A/bc$ A 為吸光度值

b 為 cell 寬度 (1 cm)

C 為鋁濃度

以斜率 0.0014 換算 $\Sigma = 3.78 \times 10^4 \text{ L/mole-cm}$

(二) 最小偵測值：

以純水為絕對空白，以下為24組試劑空白求得之最小偵測極限值為 $8.14 \mu\text{g/L}$ ，小於英國環境部份分析師常設委員會 (Standing Committee of Analysts of the Dept of the Emironment) 所規定 $13 \mu\text{g/L}$ 最小偵測限值。顯示本次所測者相當精細表 (4-1)

Absorbance of Reagent Blank	0.066 , 0.063 , 0.068 , 0.063
	0.068 , 0.068 , 0.061 , 0.061
	0.061 , 0.068 , 0.058 , 0.056
	0.061 , 0.061 , 0.056 , 0.068
	0.063 , 0.061 , 0.058 , 0.068
	0.063 , 0.061 , 0.066 , 0.061
Average	0.0628
(\bar{b}) Standard Deviation	0.0038
$\text{MDL} = 3 \times \bar{b}$	0.011
換算成濃度 (P.P.b)	8.14

(三) 樣品回收率：

為瞭解所用 P.C.V. 法分析殘餘鋁是否適用於真實水樣，並探討水樣中是否含有某些物質足以干擾其測定，須進行樣品回收率試驗，茲以蘭潭水樣進行回收率試驗，其24組數據如表 (4-2) 所示，其回收率分別在 92.1 ~ 110.6 % 之間，平均值為 101.0 %，標準偏差 (S.D) 為 5.84 %，相對標準偏差 (R.S.D.) 為 5.78 %，顯示其準確性皆為可接受者 (回收率小於 60 % 者其準確性為不可信賴。)

表(4-2)

Recovery	108.6 , 106.4 , 110.6 , 102.3 , 96.4
	102.3 , 96.4 , 97.2 , 97.6 , 108.3
	106.1 , 92.7 , 106.8 , 96.2 , 104.6
	107.2 , 93.4 , 108.0 , 98.6 , 92.1
	101.3 , 103.2 , 95.4 , 92.3
Average	101.0
S D	5.84
R. S. D	5.78

四、送樣之各大淨水場含鋁量調查及檢討

除本處淨水場採樣後，立即進行檢驗外，其他區處之水樣係郵寄至本處（時差約1-2日），採樣時原水及清水立即加濃鹽酸使成0.1M鹽酸含量，於加酸前由各場人員先檢驗PH值鹼度，另一清水水樣則不加酸，送達本處後立即檢驗鋁含量，詳細結果如表(4-3)所列。原水方面除板新與山上淨水場檢出較高值外，其餘淨水場處低濁度原水時，其鋁含量均不高，僅潭頂於較高濁度時鋁含量亦較高，綜合十個淨水場濁度與鋁含量關係如圖(4-2)相關方程式為：

$$\text{總鋁量} (\mu\text{g/L}) = 4.4995 \times \text{濁度} (\text{N.T.U.}) + 40.08$$

相關係數 $R = 74.03\%$ ，判定係數 $R^2 = 54.18\%$ ，兩者判定關係性不高，因水源來源不同，造成濁度之懸浮顆粒性質不一，且彈佈於各水體的鋁含量並不相同，故相關雖不低，但僅有54.18%可由濁度決定，其他46%則受其他因素影響，濁度與顆粒鋁含量關係如圖(4-3)所示，相關方程式為：

$$\text{顆粒鋁量} (\mu\text{g/L}) = 12.40 \times \text{濁度} (\text{N.T.U.}) - 6.67$$

相關係數 $R = 69.26\%$ ，判定係數 $R^2 = 47.97\%$ ，與總鋁相似相關性不低，但僅約48%可由濁度判定顆粒鋁含量，其低於總鋁之原因可能係取樣數較少，由表4-3可知本公司十大水庫或川流取水而以明礬或P.A.C.等為混凝劑之處理場，其清水的含鋁量有85%之機率

表(4-3)

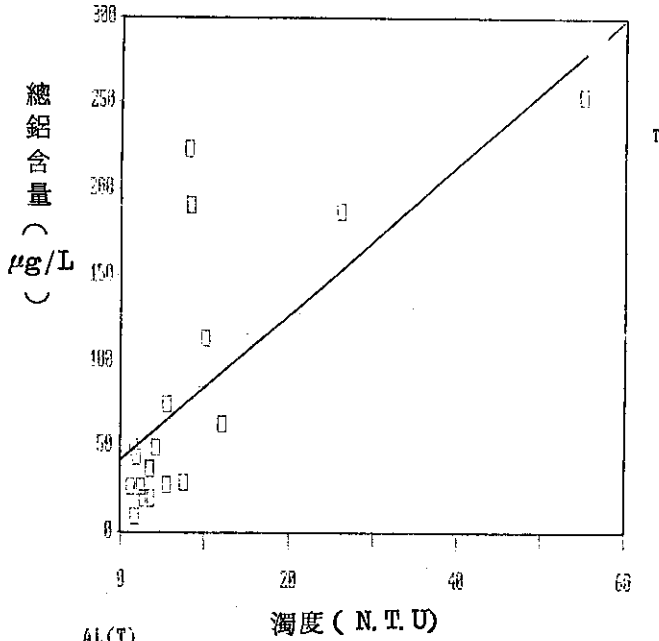
mg/L as CaCO₃

Alum為液態硫酸鋁

日期	淨水場	水 樣 別	PH	濁 度 (N.T.U)	鹼 度 mg/L as CaCO ₃	加 藥 量 (mg/L)	總 鋁 (μg/L)	顆 粒 鋁 (μg/L)	溶 解 鋁 (μg/L)
4.1.	板 新	原	7.7	8.0	81.4	PAC: 8	223		
		清	7.4	2.2	77	Alum: 3	347	334	13.5
5.29.	淨水場	原	7.9	26		PAC: 11	187		
		清	7.4	0.7			114	64.2	49.6
4.1.	東 興	原	7.5	1.9	76	PAC: 9	43.5	33.0	10.5
		清	7.4	0.48	72		141	34.5	106.5
5.27.	淨水場	原	7.7	1.6	76	PAC: 9	49.6	33.5	16.1
		清	7.6	0.64	72		245	141	104
4.1.	朴子口	原	7.9	3.4	64.6	PAC: 18	19.5		
		清	7.6	0.72	62.0		197	55.5	141
5.28.	淨水場	原	8.0	4.2	65.4	PAC: 19	49.6		
		清	7.6	0.46	63.0		218	126	92
4.29.	水 上	原(一期)	8.4	2.4		PAC: 8	26.3	26.3	N.D
		清(")	8.2	1.4			288	19.0	2
4.29.	淨水場	原(二期)	8.6	8.2			191	191	N.D
		清(")	8.1	0.80			254	19.0	235
元14.	公 園	原	8.1	3.5	118	Alum: 20	36.4	10.7	25.7
		清	7.8	0.40	108		177	6	171
4.29.	淨水場	原	8.3	5.5	112	Alum: 30	74.5	64.3	10.2
		清	8.0	0.65	104		264	69.0	195
元25.	蘭 潭	原	8.3	1.7	124	Alum: 15	9.3	9.3	N.D
		清	7.9	0.65	120		221	19.0	202
4.16.	淨水場	原	8.5	2.8	122	Alum: 22	19.0	19.0	N.D
		清	8.0	1.2	119		277	86	191
3.26.	烏山頭	原	8.0	2.8	118	Alum: 8	N.D		
		清	7.8	0.80	114		291		
4.16.	淨水場	原	8.0	1.2	120	未 加 藥	26.3	13.1	13.2
		清	7.8	0.6	116		23.4	4.4	19.0
3.26.	潭 頂	原	7.6	5.5	102	Alum: 20.7	27.6		
		清	7.4	2.2	96		375		
4.16.	淨水場	原	7.9	7.5	116	Alum: 7	29.3	19.1	10.2
		清	7.7	0.80	106		380	18.0	362
5.31.		原	8.2	55	128	Alum: 23	254		
		清	7.6	2.0	118		477	171	306
3.26.	山 上	原	7.9		138	Alum: 102	183		
		清	7.4		120		479		
4.16.	淨水場	原	8.5	10	140	Alum: 110	114	95.0	19.0
		清	7.4	0.50	122		200	93.0	107
4.1.	澄清湖	原	8.9	12	98	Alum: 60	63.2		
		清	7.0	1.1	90		51.0	10.5	40.5
5.12.	淨水場	原(湖水)	9.2	9.8		Alum: 130	74.5	32.2	42.3
		原(伏流水)	7.5	0.71			81.8	14.6	67.2
		清(快濾)	6.9	1.1			99.3	67.3	32.0
		清(混合)	7.2	0.81			67.2	27.8	39.4

圖 4 - 2

綜合原水總鋁含量與濁度關係圖



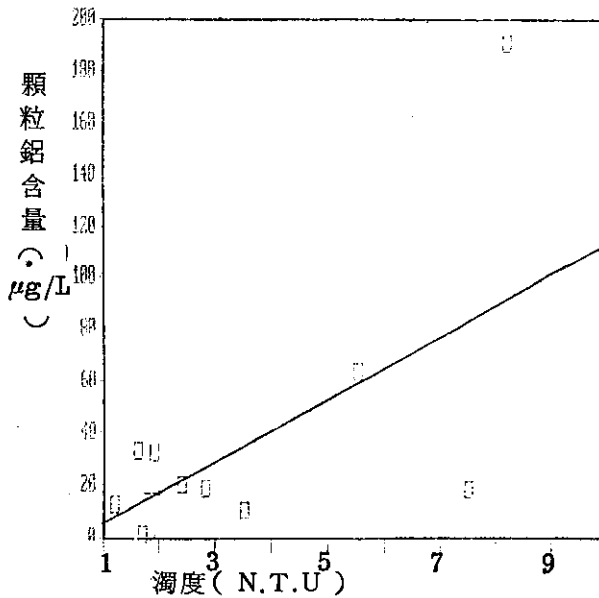
AL(T)	濁度 (N.T.U)
8	223
26	187
1.9	43.5
1.6	49.6
3.4	19.5
4.2	49.6
2.4	26.3
8.2	191
3.5	36.4
5.5	74.5
1.7	9.3
2.8	19
1.2	26.3
5.5	27.6
7.5	29.3
55	254
10	114
12	63.2

濁度 (N. T. U)

Regression Output:
 Constant 40.07661
 Std Err of Y Est 54.33067
 R Squared 0.548080
 No. of Observations 18
 Degrees of Freedom 16
 X Coefficient(s) 4.499507
 Std Err of Coef. 1.021441

圖 4-3

綜合原水顆粒鋁與濁度關係圖



T. AL(P)

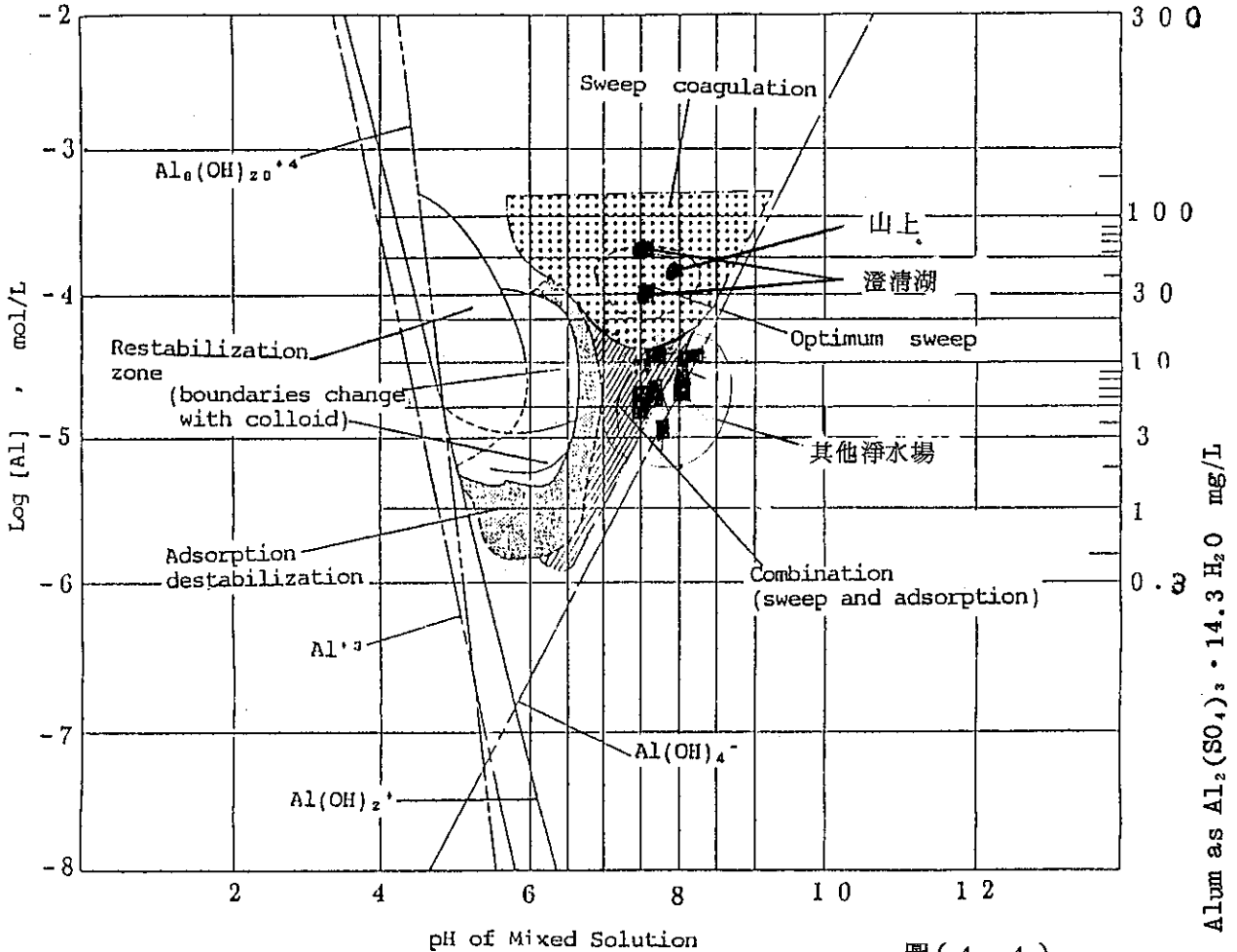
1.9	33
1.6	33.5
2.4	20.5
6.2	191
3.5	10.7
5.5	64.3
1.7	1.4
2.8	19
1.2	13.1
7.5	19.1
10	95

Regression Output:

Constant	-6.66977
Std Err of Y Est	41.99528
R Squared	0.479660
No. of Observations	11
Degrees of Freedom	9
X Coefficient(s)	12.39670
Std Err of Coef.	4.303891

高於原水，比美國調查186個淨水場清水含鋁量有43%之機率高於原水之結果，高出甚多。以民國82年預定之鋁含量標準 $200\mu\text{g/L}$ 觀之，則十個淨水場中約有70%之清水超出標準值，因此降低清水中殘餘鋁量，對本公司之淨水處理已是刻不容緩，影響鋁殘存量的因素很複雜，其中由Amirtharajah, A and Mills, K.M.歸納出加鋁劑之操作經驗圖如圖(4-4)若以各淨水場清水相對值代入，僅澄清湖及山上淨水場列為最適當的掃曳降沈，即利用混凝劑產生較大的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，將水中的其他懸浮固體掃曳降沈，達到去除水中濁度的作用，澄清湖淨水場在此次調查中清水殘存鋁量最低，而其他淨水場皆因不落於掃曳混凝區，故有較高之殘餘鋁，唯山上淨水場，其混凝作用屬於掃曳混凝，但清水殘餘鋁仍高，探究原因始發現為二段加藥，第一段加藥約為 $\text{Alum}: 80\text{ mg/L}$ ，第二段加藥約為 20 mg/L ，因此造成後段加藥不符Sweep Coagulation(掃曳混凝)。

圖4-4



圖(4-4)

以硫酸鋁混凝時不同加藥量、不同 pH 下
之作用機制 (摘自文獻(19))

除混凝條件影響殘餘鋁外，清水濁度亦造成清水中顆粒狀鋁的增加，其中以板新、潭頂兩淨水場最明顯，其清水濁度分別為 2.2 及 2.0 N.T.U.，顆粒狀鋁為 334 及 171 $\mu\text{g}/\ell$ ，板新廠顆粒鋁幾佔清水總鋁量之 96%，經與該淨水場連繫，係因清水抽水馬達故障，大部份濁度來源為水管管壁剝落物，此亦證明清水之殘餘鋁會沈積於配水管，當配水系統壓力不穩定時易使配水管沈澱物脫落，不但濁度增加，亦使殘餘鋁含量增加，潭頂清水顆粒及溶解鋁均高居不下，可能與平日膠凝劑劑量太少有關，依丹保憲仁、小笠原絃一所著之淨水技術實務中，提出良好的膠凝條件應有充足的架橋物質，而硫酸鋁的加入量最少應在 20 mg/L (以液體硫酸鋁計)，潭頂淨水場原水處於低濁度時間相當長，加 Alam 量大都在 7.0 mg/L (以液體硫酸鋁計)，呈架橋作用的不溶性鋁不足，不形成良好的膠羽，經向該場聯繫，發現低濁

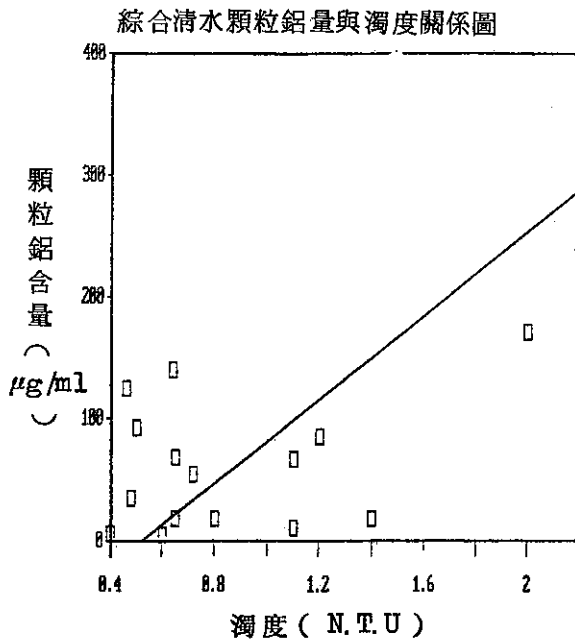
度，低劑量加藥時，經膠凝作用後沈澱效果較差，大部份係無法沈澱的微細膠羽，因此快濾池須負擔涵容這些微細膠羽，易造成濾池阻塞，濾池縮短，而反沖洗砂時對於附着於砂層外表之膠羽不易洗淨，這可能是79年成大為作研究而取樣時曾發現沈澱水總鋁少於濾水之主要因素，若欲探討過濾砂是否附着大量鋁膠羽，可中斷加藥，再檢測濾水含鋁量。

綜合十個淨水場清水濁度與顆粒鋁的關係如圖(4-5)所示相關方程式

$$\text{顆粒鋁量 } \mu\text{g/L} = 103 \times \text{濁度 (N.T.U.)} - 20.9737$$

相關性 $R = 65.15\%$ 相關性不低，但判定性 $R^2 = 42.44\%$ ，難以濁度來推估顆粒鋁含量，主要乃因個別淨水場混凝條件不同，一般屬於 Sweep Coagulation 之機構者，清水濁度雖可降低，但因顆粒較大濁度雖低但仍可能有較高的鋁含量，故對於此類的混凝作用須嚴格控制沈澱水及濾水濁度，使鋁顆粒不易進入配水系統，反之若顆粒較細，濁度對鋁含量之影響不若前者。

圖 4-5



T AL(P)

2.2	334
0.48	34.5
0.64	141
0.72	55.5
0.46	126
1.4	19
0.8	19
0.4	6
0.65	69
0.65	19
1.2	86
0.6	4.4
0.8	18
2	171
0.5	93
1.1	10.5
1.1	67.3

Regression Output:

Constant	-20.9737
Std Err of Y Est	65.67014
R Squared	0.424362
No. of Observations	17
Degrees of Freedom	15
X Coefficient(s)	103.8059
Std Err of Coef.	31.21637

(五) 蘭潭淨水場清水濁度與顆粒鋁之關係

以上為十個淨水場綜合數據討論，現以五區處蘭潭淨水場之清水探討其濁度與顆粒鋁的關係，試驗時間為80年元月至四月，原水水質為低濁度的穩定狀態，各項數據如表(4-4)，清水濁度與顆粒鋁之關係如圖(4-6)所示，相關方程式為：顆粒鋁量($\mu\text{g}/\text{L}$) =

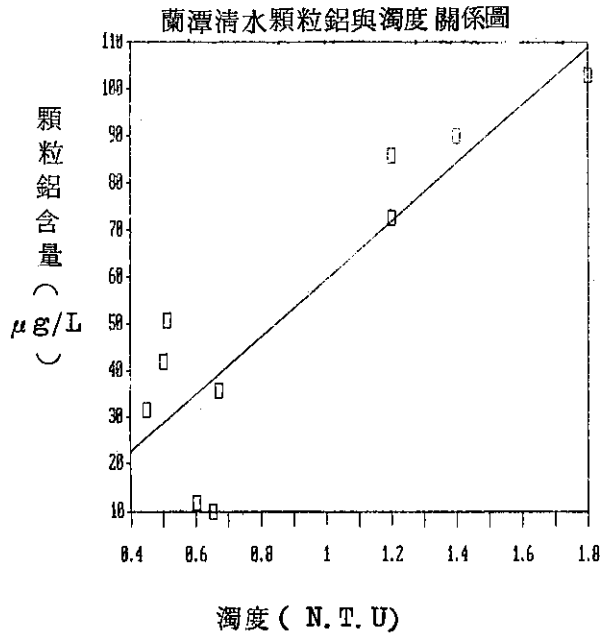
$$61.72 \times \text{濁度}(\text{N.T.U.}) - 1.92$$

相關性 $R = 87.59\%$ ，判定係數 $R^2 = 76.72\%$ ，因同一淨水場在原水水質穩定，加藥量變化不大下，混凝機構相同，故清水濁度與顆粒性鋁之互判性較綜合性清水為高，故建立各淨水場清水濁度與顆粒性鋁含量關係資料，對每一淨水場頗具參考價值。

表 4-4

日期	總 鋁 ($\mu\text{g}/\text{l}$)	溶解 鋁 ($\mu\text{g}/\text{l}$)	顆 粒 鋁 ($\mu\text{g}/\text{l}$)	加 藥 率 ($\text{Alum}; \text{mg}/\text{l}$)	pH	碱 度 mg/l as CaCO_3	濁 度 (N. T. U)
80.元 / 4.	91.4	79.3	12.1	20	7.9	111	0.60
元 / 25.	212	202	10.0	15	7.8	116	0.65
元 / 26.	197	161	36.0	15	7.9	116	0.67
元 / 29.	166	124	42.0	24	7.8	117	0.50
3. / 5.	173	141	32.0	20	7.7	117	0.45
3. / 13.	209	158	51.0	20	7.8	119	0.51
4. / 12.	380	277	103	20	7.9	117	1.8
4. / 15.	277	187	90.0	14	8.0	118	1.4
4. / 15.	273	200	73.0	14	8.0	118	1.2
4. / 16.	277	191	86.0	22	8.0	117	1.2

圖 4 - 6



T	AL(P)	Regression Output:	
0.6	12.1	Constant	-1.91523
0.65	10	Std Err of Y Est	16.82942
0.67	36	R Squared	0.767181
0.5	42	No. of Observations	10
0.45	32	Degrees of Freedom	8
0.51	51	X Coefficient(s)	61.72074
1.8	103	Std Err of Coef.	12.02114
1.4	90		
1.2	73		
1.2	86		

(六) 杯瓶試驗中溶解鋁與 PH 之關係

在淨水處理過程中大部份顆粒鋁須以沈澱過濾程序去除，而水中溶解鋁依目前淨水設備則無法去除，故有效的方法為過濾前減輕溶解鋁的濃度，依圖(2-1)知 PH 於 7 附近溶解性鋁較少，本次杯瓶試驗以蘭潭原水作為該驗水樣，分別加入不同濃度的液態硫酸鋁 (Al_2O_3 : 7.5%)，P.A.C. (Al_2O_3 : 10%)，以 H_2SO_4 (5% v/v) 調整 PH，攪拌條件為快混 (160 r.p.m.) 一分鐘，慢混 (30 r.p.m.) 15 分鐘，靜置 15 分鐘，再取樣過濾後取濾液檢測，結果如下：Test(1) 加入不同濃度 Al am (原水 PH: 8.4, 濁度 2.4 N.T.U.) 結果如表(4-5) 所示，PH 與溶解性鋁的關係圖如圖(4-7)。

Test(2) 固定液態硫酸鋁劑量為 20mg/L，加入不同劑量的硫酸溶液 (5%)，得試驗數據如表(4-6)，(原水 PH: 8.3, 濁度 2.1 N.T.U.)，PH 與溶解性鋁之關係圖如圖(4-8) 所示。

Test(3) 固定液態硫酸鋁劑量為 30mg/L ，再加入不同劑量的硫酸溶液(5%)，得試驗數據如表(4-7)(原水 PH:8.4，濁度 2.6N.T.U)，PH 與溶解鋁關係圖如圖(4-9)。

Test(4) 加入不同濃度 P.A.C. 得數據表(4-8)(原水 PH:8.4，濁度：2.2N.T.U.)，PH 與溶解鋁關係圖如圖(4-10)所示。

Test(5) 固定 P.A.C. 劑量 20mg/L ，加入不同劑量之硫酸溶液(5%)得數據表(4-9)，PH 與溶解鋁關係圖如圖(4-11)所示(原水 PH:8.3，濁度 2.4N.T.U.)

Test(6) 固定 P.A.C. 劑量為 30mg/L ，加入不同劑量之硫酸溶液(5%)得數據表(4-10)，PH 與溶解鋁關係圖如圖(4-12)所示，原水 PH:8.3，濁度 2.4N.T.U.)。由以上六組杯瓶試驗可知鋁鹽劑量的多寡，並非決定清水中溶解鋁含量的因素，影響溶解鋁的重要因子是水中的 PH 值，由圖(2-1)可了解太低的 PH 值，易產生溶解性帶正電荷的氫氧基鋁化物，PH 值太高則易生成溶解性帶負電荷的氫氧基鋁化物，而 PH 接近中性時，可大量生成非結晶性的金屬氫氧化物沈澱 $Al(OH)_3$ ，含相同的溶解性鋁試驗顯示 P.A.C. 的加藥量須大於 Alum，其主要原因為 P.A.C. 對原水 PH 影響較 Alum 小，故欲降至相同的 PH 值，P.A.C. 須投入較多的藥劑，澄清湖淨水場的處理情況與杯瓶試驗結果很類似，澄清湖原水係由 PH 為 9.2 的湖水及 PH 為 7.5 的伏流水以相同的水量混合，混合後 PH 約為 8.4，加入劑量 130mg/L 之 Alum 濾水 PH 降為 6.9，溶解性鋁為 $32\mu\text{g/L}$ ，主要原因為 PH 降至 $Al(OH)_3$ 大量生成的狀態，促使溶解性鋁較其他淨水場低，一般來說在高 PH 值時，杯瓶試驗之溶解性鋁較實際處理場高，在低 PH 值，杯瓶試驗值又低於實際處理清水。

杯瓶 (Test 1)
表 4-5

Alum 加量 (mg/L)	PH	溶解鋁 ($\mu\text{g/L}$)
10	8.21	391
20	8.12	235
30	8.02	195
40	7.90	186
50	7.72	173
60	7.65	118
70	7.60	81.8
80	7.57	52.6
90	7.53	52.6
100	7.50	49.6*
110	7.42	32.1
120	7.35	29.2
130	7.30	26.3
140	7.22	26.3

(Test 2)
表 4-6(Alum 20mg/L)

H ₂ SO ₄ % 加量 (ml/L)	PH	溶解鋁 ($\mu\text{g/L}$)
0.05	7.75	89.1
0.10	7.43	49.6
0.15	7.32	32.1
0.20	7.21	26.3
0.25	7.10	23.4
0.30	7.05	23.4
0.35	6.98	23.4
0.40	6.92	23.4
0.45	6.78	26.3
0.50	6.70	26.3
0.55	6.42	26.3
0.65	6.38	26.3
0.75	6.25	103.7
0.85	5.90	403
0.95	4.60	536

(Test 3)
表 4-7 (Alum 30mg/L)

H ₂ SO ₄ 5% 加量 (ml/L)	PH	溶解鋁 ($\mu\text{g/L}$)
0.02	7.64	67.2
0.04	7.61	59.9
0.06	7.57	52.3
0.08	7.50	39.4
0.10	7.12	10.2
0.20	6.93	10.2
0.30	6.70	10.2
0.40	6.31	13.1
0.50	6.13	59.9

(Test 4)

表4-8

P. A. C 加量 (mg/L)	PH	溶解鋁 ($\mu\text{g/L}$)
10	8.30	453
20	8.22	409
30	8.11	346
40	8.03	324
50	7.85	254
60	7.75	191
70	7.65	200
80	7.58	173
90	7.54	153
100	7.52	123
110	7.34	84.7
120	7.32	67.2
130	7.18	59.9
140	7.16	49.6

(Test 5)

表4-9 (PAC 20mg/L)

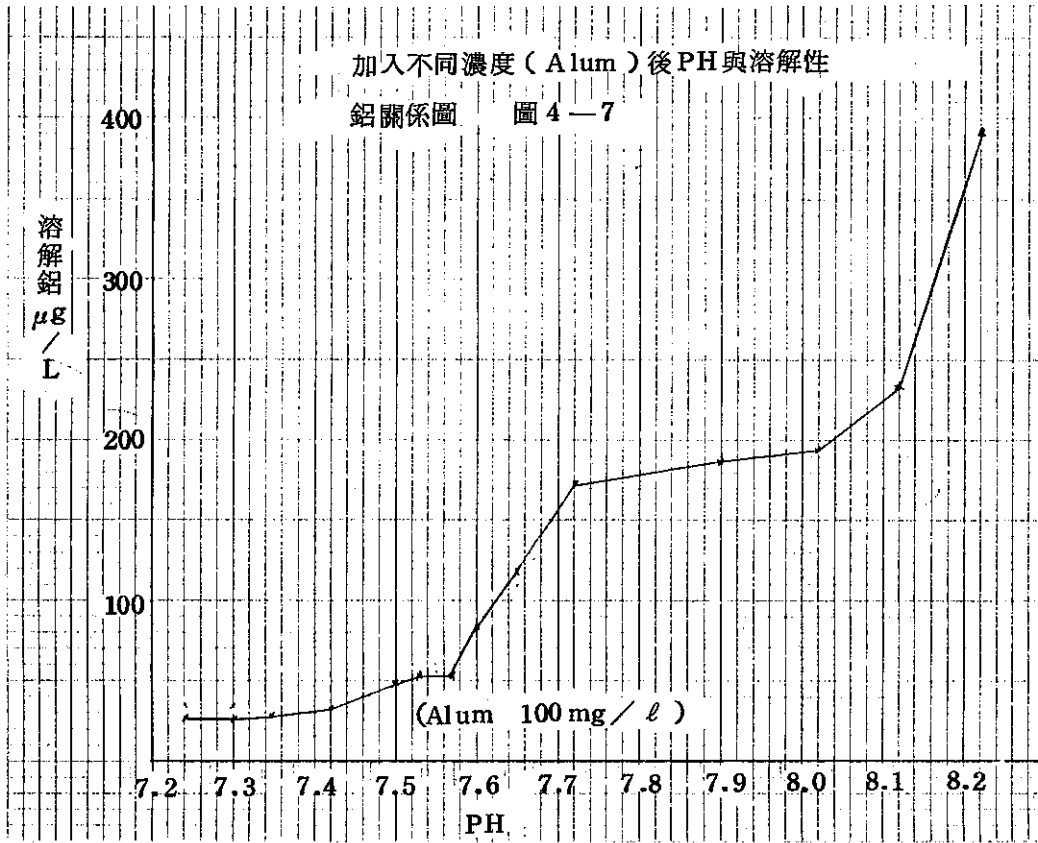
H ₂ SO ₄ 5% 加量 (ml/L)	PH	溶解鋁 ($\mu\text{g/L}$)
0.05	7.55	123
0.10	7.44	123
0.15	7.30	39.4
0.20	7.13	36.5
0.25	6.96	23.4

(Test 6) 表4-10

(PAC 30mg/L)

H ₂ SO ₄ 5% 加量 (ml/L)	PH	溶解鋁 ($\mu\text{g/L}$)
0.05	7.50	166
0.10	7.35	96.4
0.15	7.20	36.5
0.20	7.02	23.4
0.25	6.85	39.4

加入不同濃度 (Alum) 後 PH 與溶解性
鋁關係圖 圖 4-7



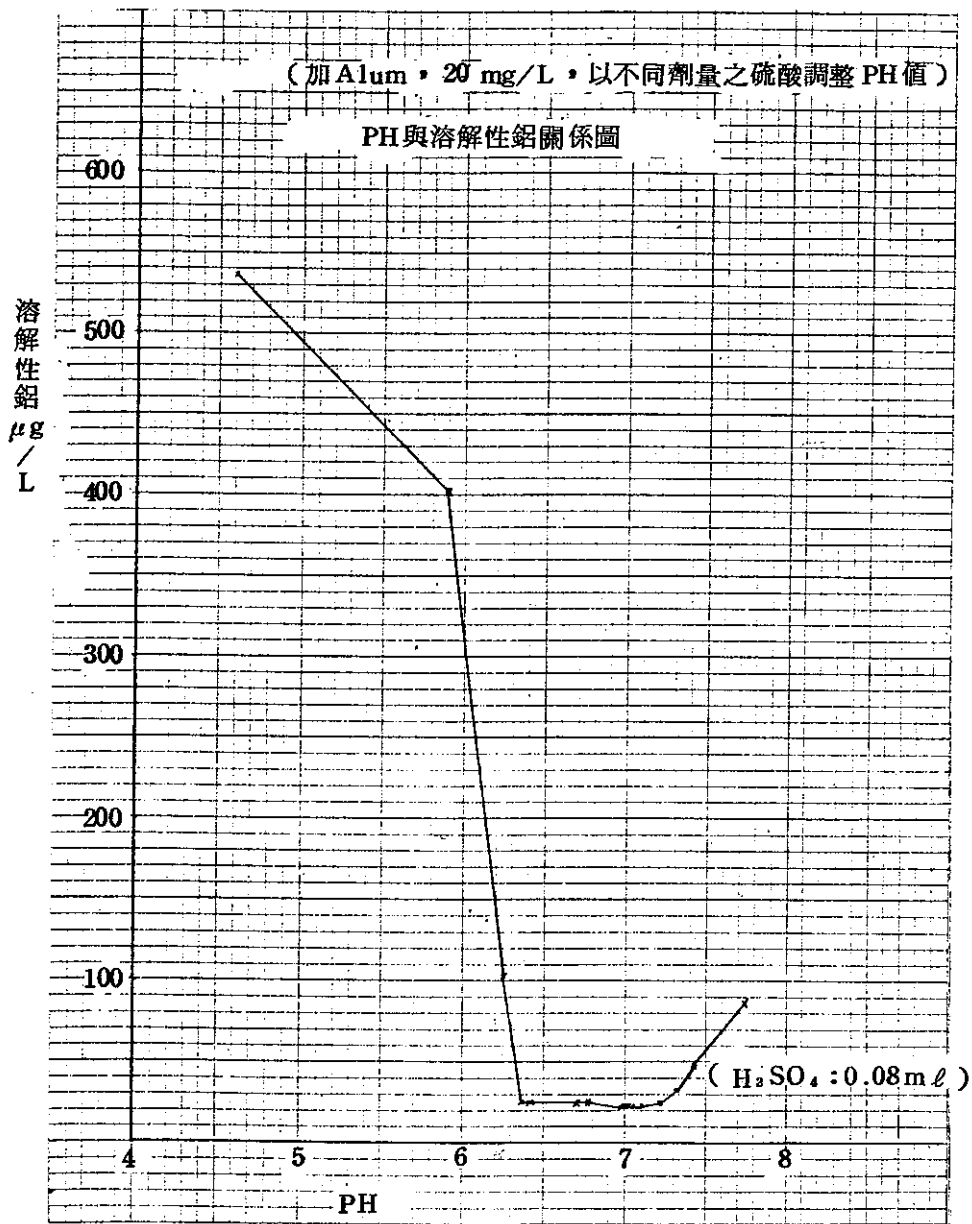
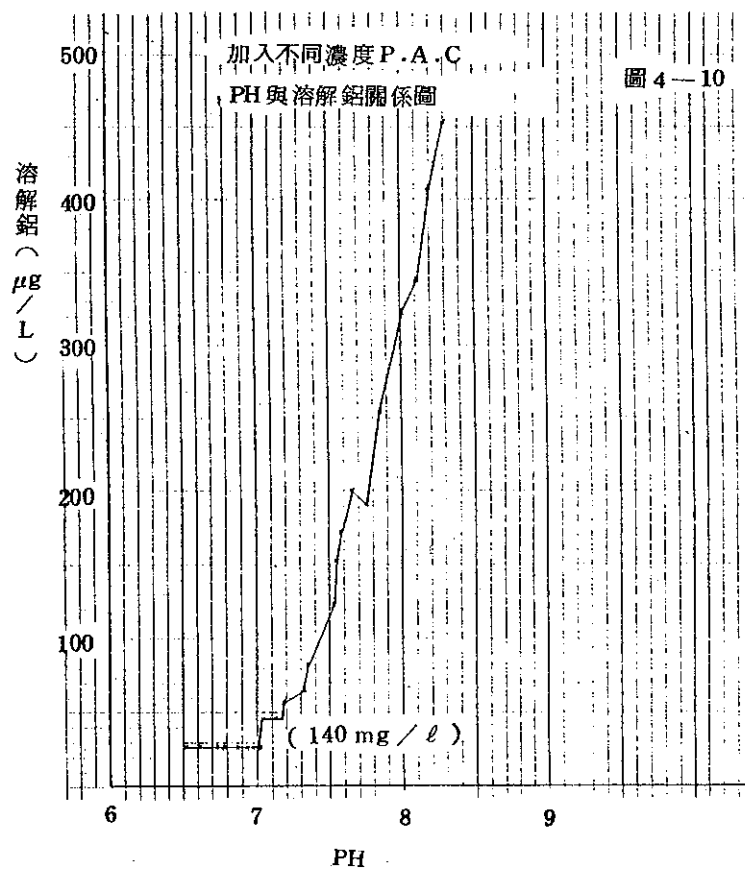
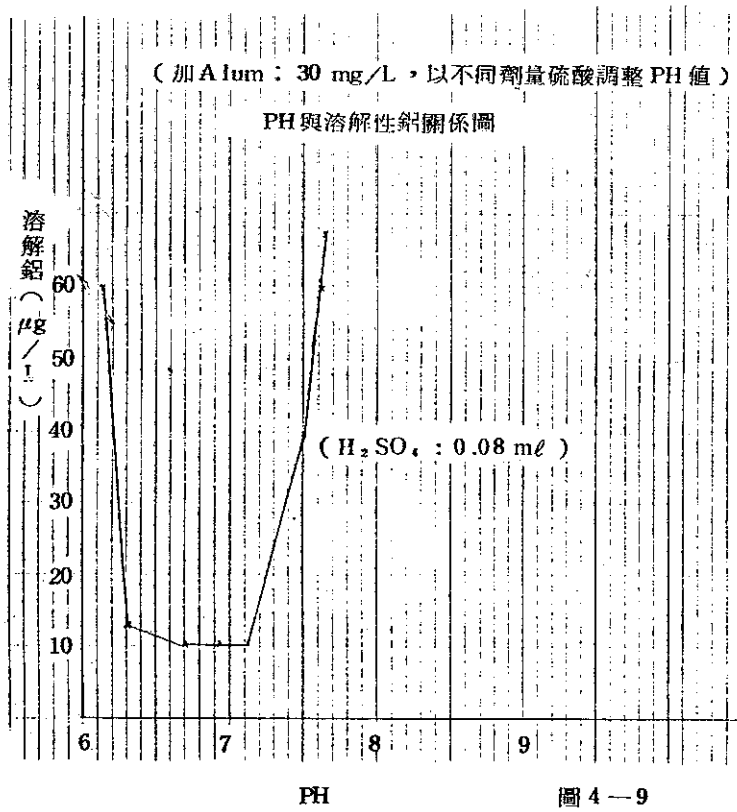
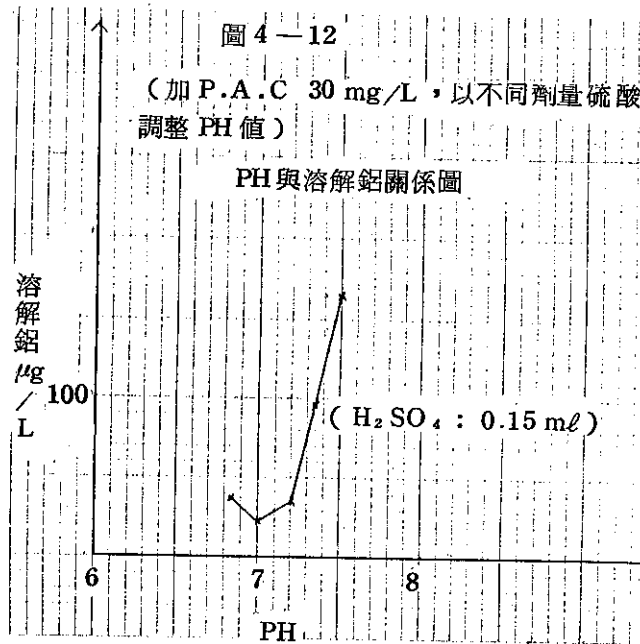
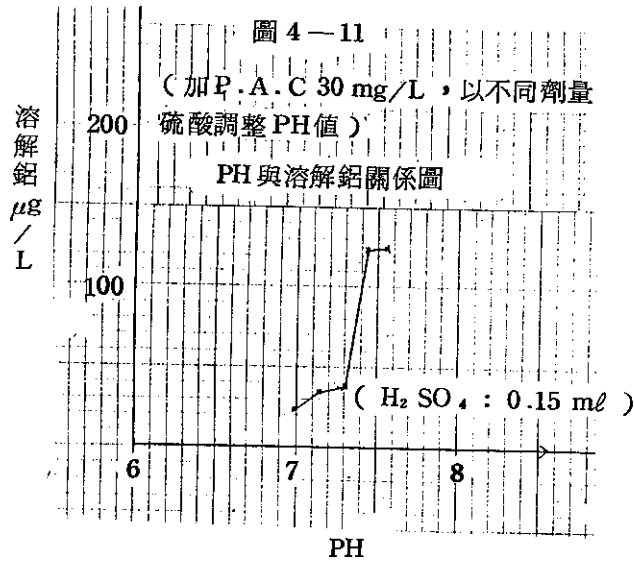


圖 4-8





為產生良好的膠羽，液態硫酸鋁的加添劑量須大於 20 mg/L 以此劑量配合 PH 值的調整，可有效降低溶解鋁含量，對一般淨水場之操作是相當可行的，一方面可節省混凝劑用量，另外亦可減少廢棄物的數量及沈澱池清洗次數。對採直接過濾之無沈澱設施者（如蘭潭淨水場）更能減少因加藥量過多，膠羽過大而阻塞濾池，縮短濾程的困擾。

因自來水標準中 PH 須大於 6.5，故對於地面水源皆可將 PH 值維持於 7.0 左右，使大部份的混凝作用於 $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{S})$ 大量生成的反應機構進行，當可降低混凝劑的用量，但須特別注意碱度不能小於 20 mg/L ，否則易侵蝕混凝土設施⁽²¹⁾。

由上述杯瓶試驗中比較加藥方式的費用（以溶解鋁不超過 50 μg/L 為適當之操作水質），詳列於表（4-11）。

各種不同加藥方式所須費用之比較表

表(4-11)

加藥方式	混凝劑使用量 (kg/10 ⁴ M ³)	H ₂ SO ₄ 使用量 (kg/10 ⁴ M ³)	費用 (元/10 ⁴ M ³)
(100 mg/L) Alum	1000	0	2350
H ₂ SO ₄ (5%) 0.1 ml/L + Alum 20 mg/L	200	50	970
H ₂ SO ₄ (5%) 0.08 ml/L + Alum 30 mg/L	300	40	1105
(140 ml/L) P.A.C	1400	0	4410
H ₂ SO ₄ (5%) 0.15 ml/L + P.A.C 20 mg/L	200	75	1380
H ₂ SO ₄ (5%) 0.15 ml/L + P.A.C 30 mg/L	300	75	1695

單價 Alum : 2.35 元/kg

P.A.C : 3.15 元/kg

硫酸 : 10 元/kg

由表知欲有效降低清水中鋁含量以液態硫酸鋁加入硫酸調整 PH 為最經濟之加藥方式，本試驗對象原水為低濁度之混凝處理，對於高濁度原水則須另行測試，但因大部份地面水源，低濁度出現的處理期皆相當長，故本試驗結果適用性亦很高。

(七)無煙煤濾料對濾水鋁含量之影響：

依文獻^(1, 20)指出煤經燃燒後其殘灰含 10 ~ 30 % 的 Al₂O₃，因此無煙煤濾時是否會影響濾水殘留鋁量，本試驗以蘭潭淨水場為對象，該場濾程含無煙煤 25 - 30 cm，試驗方式係加硫酸鋁後經一段時間，停止加藥劑，於每一時段檢測濾水殘存鋁，其結果如表(4-12)所示，並繪出時間與清水及原水總鋁量差之關係圖如圖(4-13)，由圖顯示清水中含鋁量漸降低終至低於原水的含鋁量，故可知中斷加鋁劑後，初期濾水中鋁來源為殘存於濾床之鋁膠體，經過濾水不斷的沖稀及反洗砂後，鋁膠體完全釋出，至此時濾水之鋁含量完全來自原水，故濾床中之無煙煤並未對濾水鋁含量產生影響，由於蘭潭淨水場之無煙煤已使用數年，

對於初期使用的無煙煤是否有不同結果必須再經測試。

表(4-12)

斷藥後所 經時間(小 時)	水樣別	總 鋁 $\mu\text{g/L}$	顆粒狀 鋁 $\mu\text{g/L}$	溶解性鋁 $\mu\text{g/L}$	清水總鋁 減原水總 鋁 $\mu\text{g/L}$
0	原	19.0	5.6	13.4	190
	清	209	51.0	158	
20	原	N.D	N.D	N.D	101
	清	101	3.0	98	
44	原	N.D	N.D	N.D	63.7
	清	63.7	6.2	57.5	
64	原	12.5	1.3	11.2	27.5
	清	40	6.2	33.8	
90	原	12.5	1.3	11.2	-3.2
	清	9.3	0	9.3	
126	原	48.8	37.5	11.3	-11.3
	清	37.5	3.7	33.8	

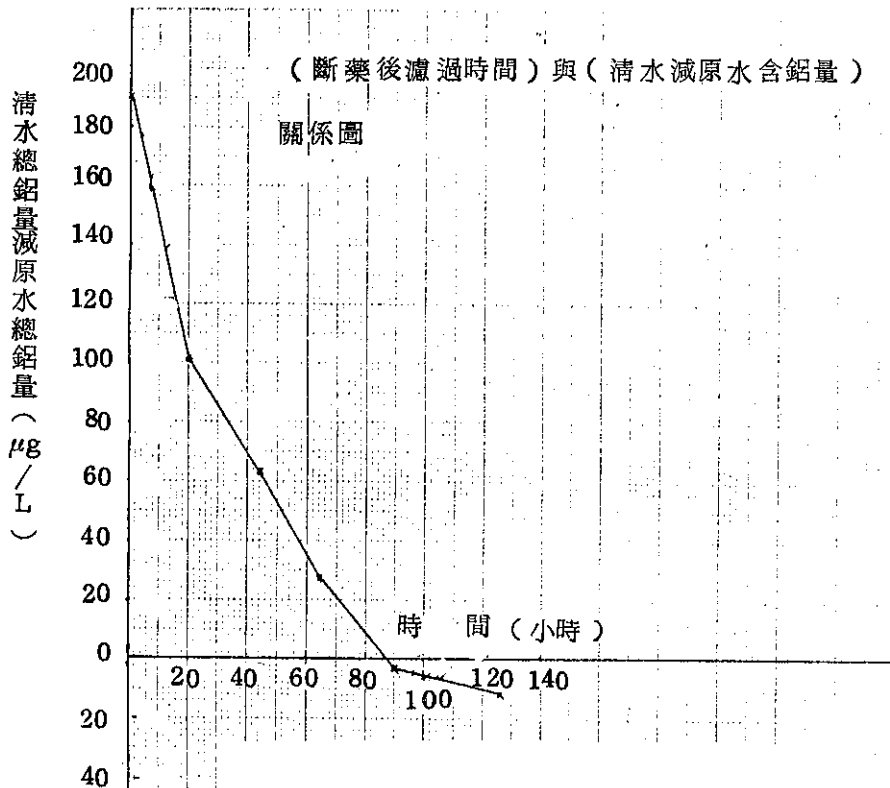


圖 (4 - 13)

第五章結論與展望

- (一) 本次調查對象為本公司十個出水量較大之淨水場，其清水所含殘餘鋁量有 85% 機率高於原水，比美國環保署所調查美國結果 43% 高出甚多，有 70% 超出民國 82 年我國環保署預定之鋁標準量，如此高的不合格率，是我們必須正視的嚴重問題，積極的改善淨水設備及處理方式已是刻不容緩之務。
- (二) 加鋁劑做為混凝處理的場站，清水濁度是影響顆粒鋁含量的重要因素，因此清水濁度應加以控制，若僅以目前自來水濁度標準 4 N.T.U. 為目標，不但清水中鋁含量增高，且易沈積於輸送水管管壁一則會阻塞水管，二則於水壓變化較大時，水中鋁含量會異常增高。
- (三) PH 值為影響清水殘餘溶解性鋁的主要因素，目前地面水源大都以鋁塩為混凝劑，為達最低的溶解鋁，有兩種處理方式一為增加混凝劑量二為增填酸化設備（如硫酸槽）使混凝作用在 PH 約 7.0 時進行，產生較多的 $Al(OH)_3$ ，於沈澱池中，去除水中的懸浮粒子，達成固液分離作用，使溶解鋁及沈澱後之顆粒鋁達最少量。
- (四) 加較多的鋁劑以降低 PH 值抑制清水中殘餘鋁的費用較混合使用硫酸的費用為高，且產生較多污泥。
- (五) 對於採直接過濾的淨水場不適用增加鋁劑作為降低清水殘餘鋁的方式，應以混合使用酸劑或

改用非鋁混凝劑，否則易阻塞濾池降低濾程。

(六) 不足之加藥量易造成不良膠羽，無法產生沈澱作用，使微細膠羽長久積存於濾砂中，洗淨不易，造成濾程縮短及清水中鋁含量增加，操作時應盡量避免此情況發生。

(七) 檢驗鋁的方法，目前各區處檢驗室可採用 E.C.R. 法或 P.C.V. 法，依各種資料顯示

P.C.V. 法優於 E.C.R. 法，本次試驗之檢測亦顯示 P.C.V. 法之適用性及準確性相當高。

(八) 本次調查預定為期一年，目前僅進行半年低濁度之試驗，下半年會出現高濁度原水處理，屆時再就不同原水處理條件作調查，使本項試驗更完整。

誌 謝

本次試驗研究承蒙公司總管理處營運處張組長聯絡各淨水場寄送水樣，水質研究中心唐工程師協助檢驗數據電腦處理，及各淨水場人員協助水樣前處理與寄送水樣，在此一併致最深謝意。

參考文獻

1. 原水水質及淨水場操作狀況對飲用水中含鋁量影響之研究。葉宜顯、莊典謨、薛威震 (1990)
2. 飲用水中殘餘鋁量控制方法之研究。葉宜顯、郭輔仁、陳瑞文 (1990)
3. Miller, R.G. et. al "The Occurrence of Aluminum in Drinking Water" Jour AWWA Vol. 76, NO. 1 (1984)
4. Safe Drinking Water Committee, National Academy of Science, Drinking Water and Health, Vol. 4, National Academy Press, Washington, D.C., (1982)
5. Update, J. AWWA, Vol. 81, No. 2, February 1989
6. Update, J. AWWA, Vol. 81, No. 5, May 1989
7. Costello, J.J. "Postprecipitation in Distribution Systems" Jour. AWWA Vol. 76, No. 11 (1984)
8. Letterman, R.D. & Driscoll, C.T. "Survey of Residual Aluminum in Filtered Water" Jour. AWWA, Vol. 80, No. 4 (1988)
9. 建議飲用水質標準修正草案，行政院環保署 (1990)
10. Driscoll, C.T., et. al, "Effect of Aluminum Speciation on Fish in Dilute Acidified Waters" Nature, Vol. 284 (1980)
11. 淨水技術實務 "丹保憲仁、小笠原絃一 (1986)
12. "衛生工程" 高肇藩
13. "有關凝集劑多元氯化鋁實用化之研究—以淨水場規模進行實用實驗之結果" 日本水道協會第 417 號。小島貞男、渡邊和夫 (1969.6)

14. Wang, L.K., "Poly Iron Chloride and Poly Aluminum Chloride." Technical Rept, Mar, (1987)
15. Snoeyink, V.L., and Jenkins, D., Water Chemistry, John Wiley & Sons, Sons, New York (1982)
16. Stumm, W., and O'Mella, C.R., "Stoichiometry of Coagulation" J.AWWA, Vol. 60, No. 5, (1968)
17. APHA, AWWA, WPCF., Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 16th ed.
18. Kirchner, C.J., "Quality Control in Water Analyses," Environ. Sci & Technol., Vol. 17, No. 4 (1983)
19. Amirtharajah, A., and Mills, K.M., "Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation," J.AWWA, Vol. 74, No. 4 (1982)
20. ASTM, "Standard Test Method for Major and Minor Element in Coal and Cok Ash by Atomic Absorption" Designation D 3682-78, Annual Book of ASTM Standards (1984)
21. "上水道設計指針" 日本水道協會
22. "Unit operations by W. J. Masschelein International Institute for hydrodynamic and Environmental Engineering"
23. "相關與迴歸分析" 蘇芳貴 復漢出版社
24. "Probability and statistics for Engineers and scientists by Walpole Myers" 曉園出版社
25. "Water Treatment handbook by Degremont France."