

目 錄

壹、研究緣起及目的

一、緣起.....2

二、目的.....3

貳、研究原理及方法

一、研究原理導論.....5

二、快濾池現況說明.....10

三、研究方法與過程.....12

參、研究結果與結論建議

一、研究結果分析.....15

二、結論與建議.....19

肆、參考文獻.....21

壹、研究緣起及目的

一、緣起：

由於國民所得增加，生活水準不斷提高，自來水用戶對水質要求也就越來越高，而原水水質由於工業的成長，人口的集中及上游農產畜牧經營，反而每下愈況，導致自來水事業淨水成本增加及淨水作業上的困難。

淨水設施的功能是將水庫原水，經過淨水設施的各項處理過程轉變成符合飲用水水質標準的自來水。淨水操作管理就是為達上述目的而有效運用淨水設施的一種方法或制度。良好的操作管理制度，是使淨水設施在有效運用及配合下，能達到預期的功能。

淨水場之淨水操作管理重點如下：

- (一)原水「質」與「量」的掌握，而後始得正確的操作設備，促使膠凝、沉澱、過濾等處理過程圓滿地進行。
- (二)過濾是淨水處理過程中相當重要階段，過濾效果都達到預期效率，才能生產水質優良的自來水，不因效率不佳而影響清水水質。然而在過濾後的反沖洗過程中，適時維持濾池濾層潔淨及控制反洗水量時間，亦是管理濾池的重點之一。

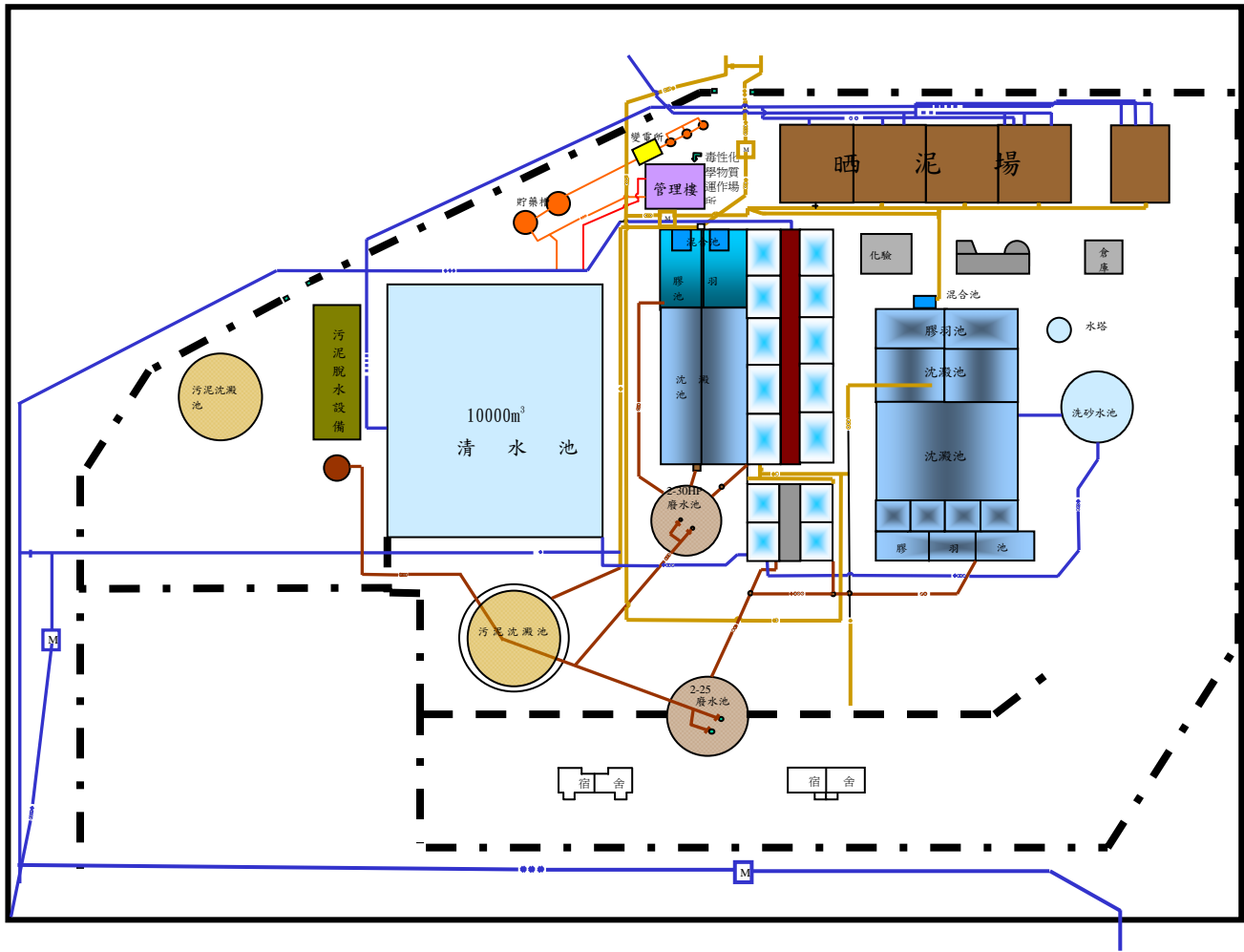
二、目的：

溫室效應影響，國內各水庫存水不足，今夏可能面對限水問題，工業區用水超量的現象勢必對國人用水產生極大的供水壓力，加拿大 Saskatoon 市廢污水廠處理專家黃政平博士指出，台灣水資源有限，加速採用廢污水回收再利用的因應方案，才能解決水源不足的困境。

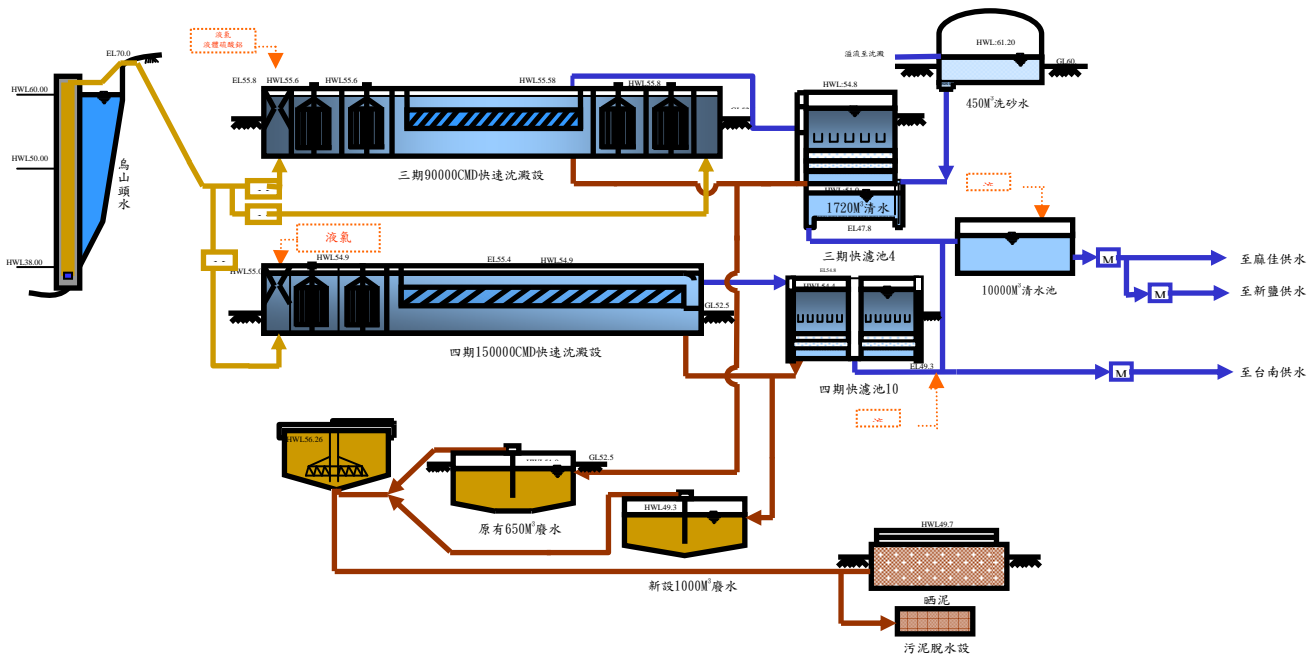
目前，淨水廠面臨許多挑戰，例如：維持出水的高品質，達到對配水系統的高要求，將資源的使用如金錢、時間、物料等減到最少。所以各淨水廠無不竭力尋求改進淨水廠操作效率的方法，而讓淨水廠處理過程自動化，便成為必須實施之策略

烏山頭給水廠(以下簡稱本廠)之原水由烏山頭水庫經取水站加壓導水、分為三期及四期同時進水經化學加藥(前加氯、液體硫酸鋁)、快混池、膠羽池、沈澱池、快濾池、清水渠、後加氯，配送至配水管線系統。其中四期處理設備係於 73 年間擴建完成，分南、北兩套之傳統處理設備，平面示意圖，如圖一。

本廠之淨水程序，如圖二，其中快濾池反洗時廢水量多寡將影響運轉操作成本，亦於淨水流程中佔相當重要之淨水成敗關鍵，故其利用快濾池反沖洗操作時之濁度控制結果並統計之，作為其快濾池是否仍維持其過濾效率及反沖洗效益之評估因素之一，並可列為改善順序之重要參考，因此本廠提出此本計畫，先行針對快濾池反洗程序廢水減量可行性提出探討研究。



圖一 烏山頭給水廠平面示意圖



圖二 本場淨水程序流程圖

貳、研究原理及方法

一、研究原理導論：

過濾(filtration)在淨水過程中廣為應用，並為淨水設備的主體。快濾池係在美國開發成功，故亦稱為美國式過濾法，第一座相當規模的都市自來水快濾水場建在美國紐澤西州小瀑布(Little fall)，由 George W. Fuller 於 1909 年設計完成。

快濾池的設計原理、分類、構造、特性及其開發，學理界有相當多之介紹(參考文獻 2.)，本研究在此僅針對快濾池之反沖洗作為介紹。

1. 快濾池之反沖洗

粒徑濾料之濾池其操作並非連續的，當濾床阻塞，水頭損失達一定程度或過濾水質惡化時，濾池須徹底反沖洗才能使用。反沖洗的機制為將濾床內之濾料造成浮游狀及於濾料之間形成通路以令膠羽或其他阻塞於濾床內之雜物得以隨反沖洗水流出。

快濾池損失水頭或過濾水之濁度達到規定限度或經一定間隔時間或由其他原因而洗砂。過濾損失水頭達 2.0~2.5 公尺時，中止過濾後開始洗滌砂層，其洗砂方法約分為：(一)反沖洗與機械攪拌法(Back-washing and Mechanical Raking)；(二)反沖洗與壓縮空氣法(Back-washing and Compress Air)；(三)反沖洗與表面沖洗法(Back-washing and Surface washing)；(四)反沖洗。本場採用第三類反沖洗方法，其原理詳述如下：

表面洗砂設備有轉動式(filter-sweep type)及固定式(fixed jet type)兩種，其所需水量、水壓、洗砂時間之操作條件範圍約整理

如下表一，本場採用轉動式表面洗砂。

表一 洗砂水壓、水量與時間

洗砂方法 項 目	僅反沖洗者	反沖洗與表面沖洗並用	
		轉動式	固定式
表面噴射水壓 (公 尺)		30~40	15~20
表面噴射水量 (立方公尺)		0.05~0.10	0.15~0.20
表面噴射時間 (分 鐘)		4~6	4~6
反沖洗洗淨水壓 (公 尺)	2.5~5.0	2.5~5.0	2.5~5.0
反沖洗洗淨水量 (立方公尺)	0.6~0.9	0.4~0.6	0.4~0.6
反沖洗時間 (分 鐘)	4~6	4~6	4~6

表註：水量係指過濾面積 1 平方公尺每分鐘之水量。

表面沖洗乃是反沖洗之前將濾池表面之泥土等堆積物(未沉降膠羽及其他雜質濁度)經由噴嘴噴出高壓水沖散。轉動式表面沖洗設備應在砂面上五公分處設有每分鐘能轉 7 至 10 圈之水平水管，並於管之側面及末端設噴嘴。垂直固定式表面沖洗設備為 25 公厘之垂直管排列成 60 及 90 公分間隔，末端設有噴嘴，離砂面約 10 公分。如係水平管固定式，則水平管應排列在砂面上 5 至 10 公分之高度，間隔約 60 公分，並在其兩側每隔約 30 公分開一孔口，孔口之數量及大小應使出水量與水壓合乎標準，同時，孔口需成適當角度，使沖洗水均勻分布。本廠之快濾池為韋勒式及綠葉式之轉動式表洗的反沖洗操作。

2. 決定反沖洗時機

適度過濾池反洗對淨水廠來說是一項挑戰，過度反洗會直接造成

過濾池效果不佳並減少其操作壽命；而不足之過濾池反洗則會對人體健康產生影響。

決定何時停止反洗的方法有三種：第一、依據操作人員經驗；第二、根據反洗用水量；第三、以反洗水之濁度來做判斷。由操作人員經驗去判別何時停止反洗，比較主觀。一般由操作人員目視判斷的方式非常仰賴操作人員的經驗，因為操作人員是以目視方式觀測快濾池上層液是否清澈，通常都會造成過度反洗，因而反洗廢水的濁度都會低於工業建議標準值 10~20NTU。另一種常用方式是使用一定水量的水作快濾池反洗。這種方法通常容易造成反洗時間過度或不足，對濾料成熟產生負面作用，使得反洗後之過濾效果變差並造成濾料損失。

第三種方式是利用線上型濁度計做反洗水濁度之量測。儀器最好置放於快濾池水面下，量測快濾池上層反洗水的濁度。要得到可信的測量結果當然得視儀器是否能即時快速回報讀值，並去除如顏色、氣泡、週遭光等因素的干擾。

目前淨水廠最常使用決定反洗時機的方式仍是依靠操作人員經驗或使用一定水量，因為一些干擾因素使得使用線上型濁度計作量測不易實行，也因此結果不甚準確。

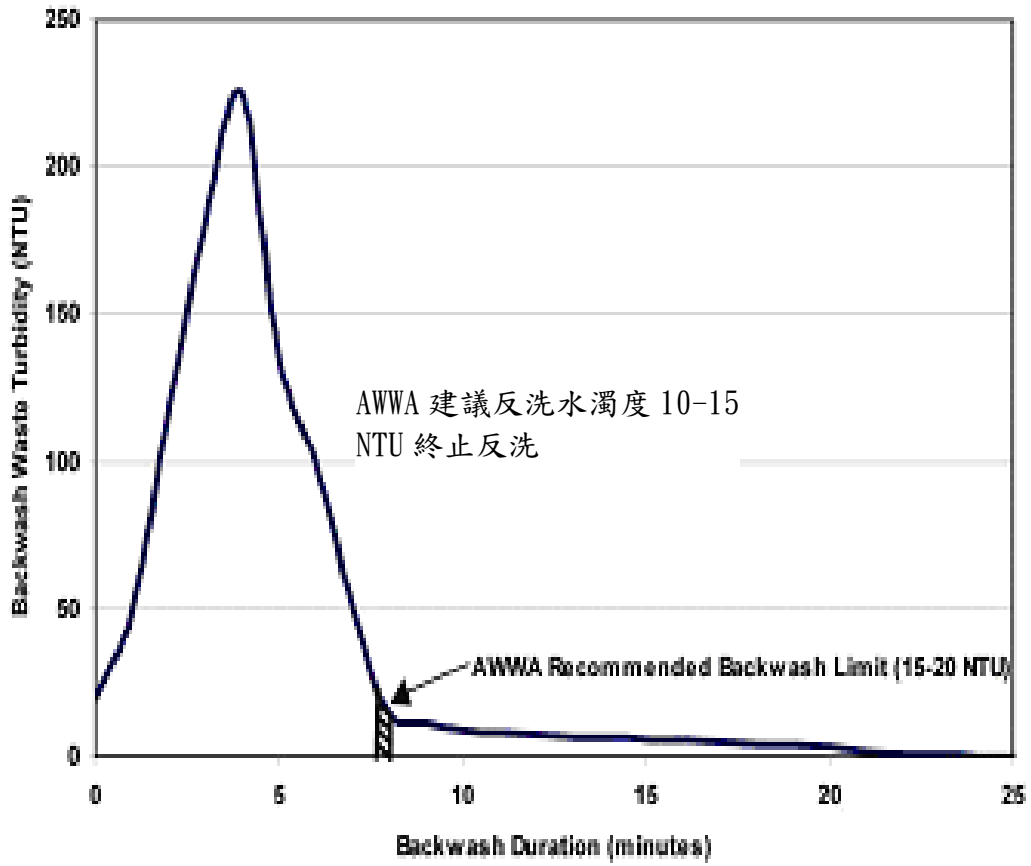
過濾池之反洗對傳統之淨水場而言是一項挑戰。適當之反洗操作可防止過度反洗、濾料損失、浪費反洗水、浪費反洗動力（電）、反洗後之過濾效率打折扣、或產生穿透現象。

過度反洗會對濾料之成熟相（RIPENING PHASE）產生負面作用，使反洗後之過濾效率變差，也可能使反洗後之下一次過濾操作濾程（RUN TIME）降低，並容易產生穿透現象（BREAKTHROUGH）。

過濾池反洗需要大量的清水，過度反洗會相當程度的降低清水出水量。部分淨水場用於反洗之水量約佔出水量之 3~5%，如此高比例之水量用於反洗，將降低出水量，相對提高操作費用並將低售水量與售水利潤。一般反洗之起始時機是由過濾池水頭損失、過濾水濁度、過濾水顆粒計數、或過濾濾程（RUN TIME）加以判斷，而反洗之終止是由操作人員經驗目視判斷、或以反洗用水量、或以反洗時間長短、或以反洗水之濁度判斷之。

以連續監測反洗水濁度之變化來判定反洗終止與否，是一種理想之反洗判定方法，也可將反洗水濁度訊號與反洗水幫浦加以連線做自動控制。實廠研究發現，反洗終止時之濁度與反洗後之快濾池過濾功能與濾程息息相關。依 Filter Evaluation Procedures for Granular Meada 中之” Backwash Water Turbidity Analysis” 研究中提出及美國自來水協會（AWWA）建議，當反洗水之濁度降低至 10~15 NTU 時，即可終止反洗。在此濁度範圍終止反洗，讓快濾池濾料上方之殘存反洗水仍有足夠之顆粒物質，這些顆粒物質會形成適當環境條件，使濾料之成熟相（RIPENING PHASE）更易形成，對反洗後之快濾池過濾效率大有助益，濾程也可以更長。

下圖顯示反洗水之濁度變化大又快，反洗時間也不需太長。此淨水廠是遵照美國自來水協會（AWWA）建議，反洗水之濁度降至 10~15 NTU 時，即終止反洗。



圖三 反洗水濁度判斷反洗終止時機

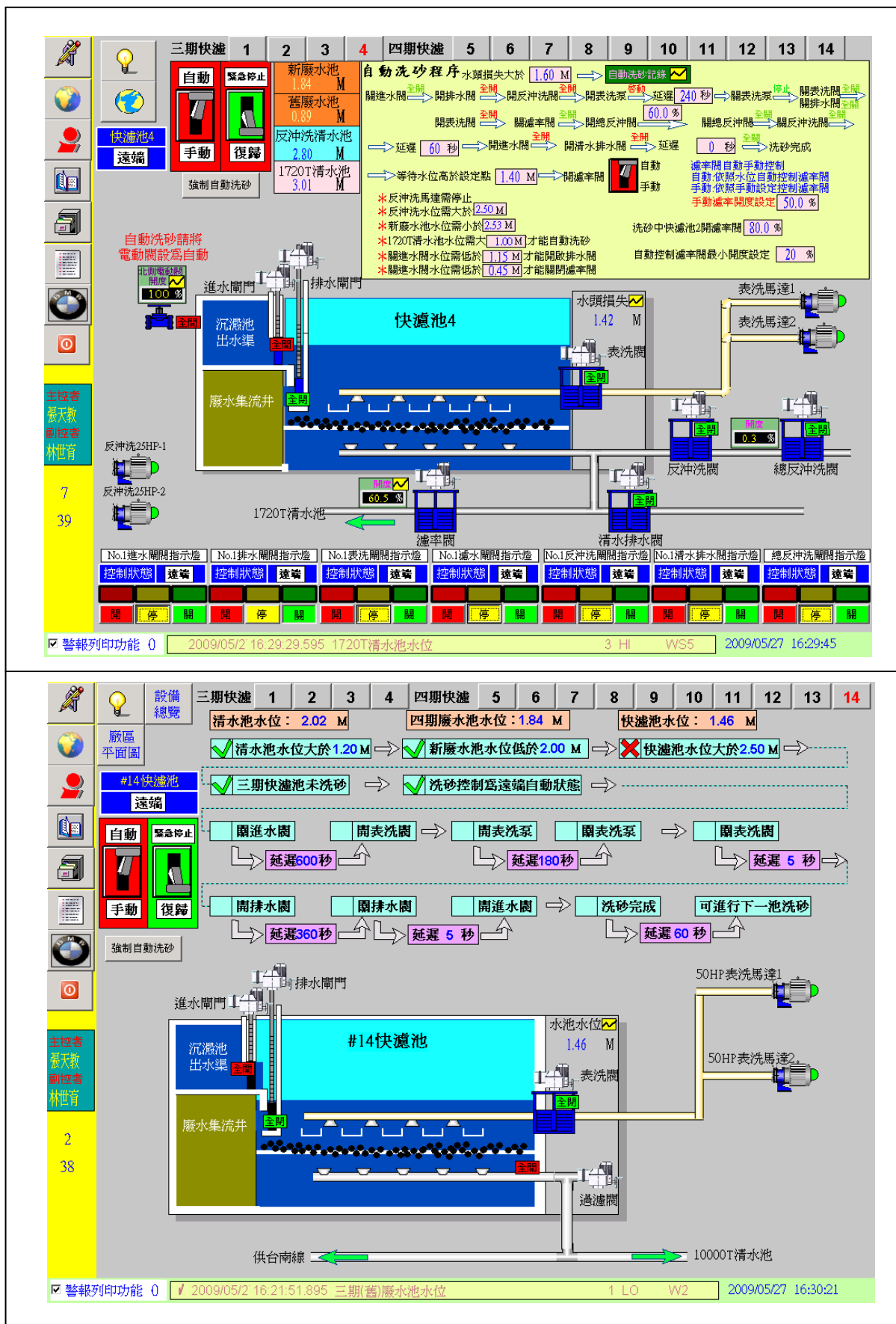
二、快濾池現況說明

本廠之快濾池分為三期(韋勒式)4池及四期(綠葉式)10池，本研究將以三期4號四期14號為測試主體，討論探討其研究結果，其詳細快濾池本體設計資訊，如表二所示。

表二 烏山頭給水廠快濾池本體設計資訊

主題		資訊							
		三期				四期			
形式(單一/多重濾料)		二層				二層			
池數		4				10			
尺寸	長度(m)	9.14				9.6			
	寬度(m)	4.87				4.8			
	總表面積 (m ²)	353.9				921.6			
控制方式(定率/定壓)		定濾率				變濾率			
濾率	設計值 (m/d)	252.8				162.8			
	操作值 (m/d)	280.8				217			
表面沖洗	形式	水壓力旋轉式表面洗砂器							
	表面沖洗速 (m/d)	72				144			
	沖洗時間 (min)	4				6			
反沖洗速率	操作值 (m/d)	864~1296				1080			
	操作時間(min)	6~8				10~12			
濾料									
濾料種類	深度 (cm)		均勻係數		有效尺寸		比重		
	三期	四期	三期	四期	三期	四期	三期	四期	
無煙煤	—	10	—	1.5 以下	—	1	—	1.4 以上	
石英砂	60	50	1.5 以下	1.65 以下	0.5	0.45	2.6 以上	2.6 以上	
濾石	30	20	—	—	—	—	—	—	

三期為韋勒式快濾池，反沖洗時水頭較高，故現場濾砂表面泥球情形較少，但部份噴流及翻騰之情形較為明顯。目前之反沖洗操作約略一次/每天-每池，以維持濾池之效率及供水品質，本廠自動反沖



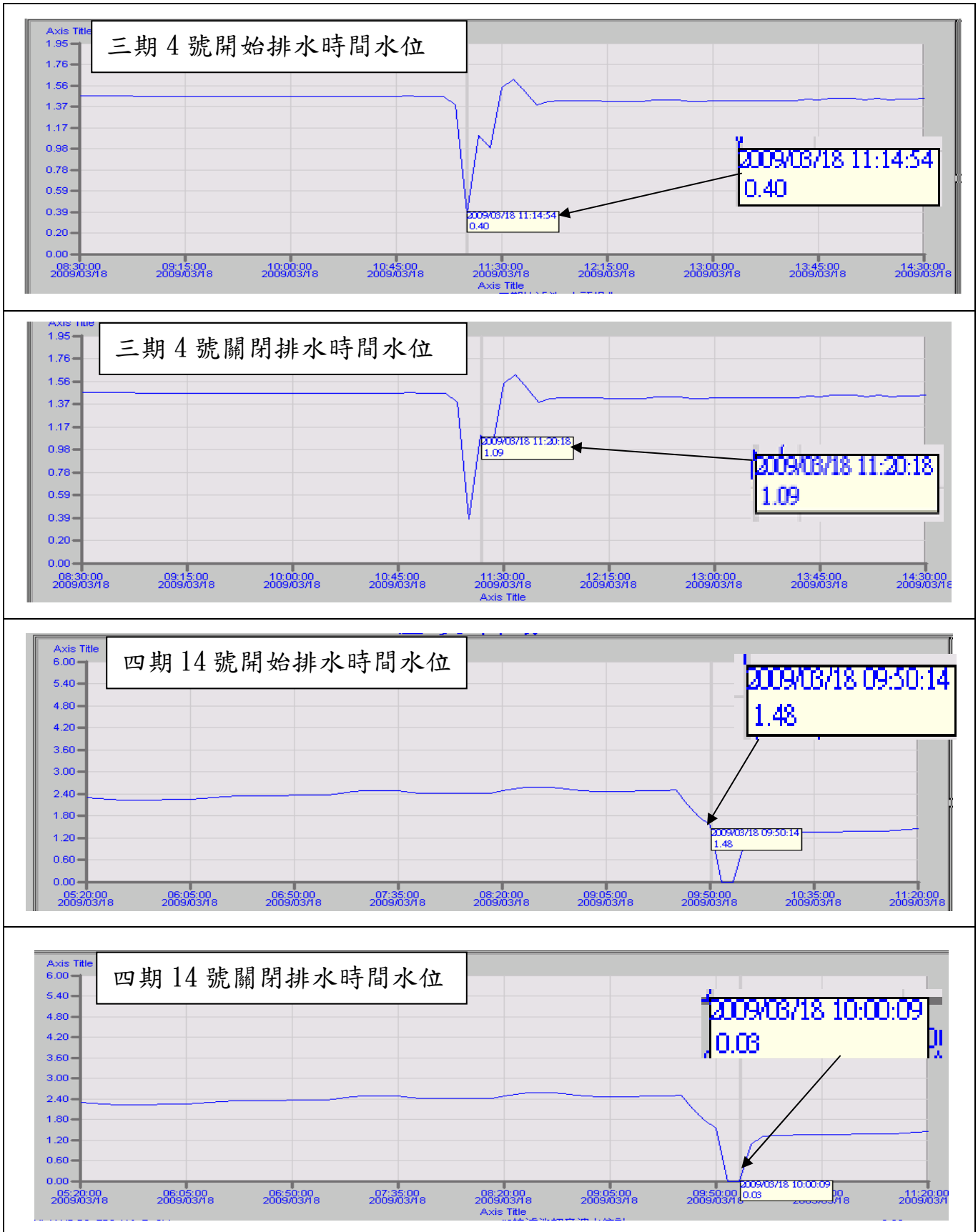
圖四 三期及四期濾池控制反洗條件操作界面

洗操作控制程序界面，如圖四。

三、研究方法與過程

1. 控制反洗時間:因本廠三期(韋勒式)快濾池使用水塔反洗，每次反洗都是固定水量(時間)。而本廠四期(綠葉式)10池快濾池都依照操作人員之操作經驗來設定自動控制反洗時間。
2. 分別於三期4號及四期14號快濾池裝設反洗水濁度監測器一套，監測其反洗濁度變化，並同時於使用前以標準品20NTU校正監測儀器，監測反洗濁度曲線變化結果，如圖七及圖八。監測結果數據紀錄，如表三及表四。
4. 目前本廠內各濾池並無裝設反洗廢水流量計，故無法得知其實際各池廢水流量，但由總廢水流量及三期固定反洗廢水量 $450\text{M}^3/\text{池}$ 推算四期反洗廢水量為 $550\text{M}^3/\text{池}$ 。

綜合以上之實驗數據及所推算之各池反洗廢水，再依圖五之圖控紀錄，由水位判定反洗排水時間，得知若在監控反洗濁度狀況下，能使濾池反洗維持在反洗最佳效率下，而節省反洗廢水量，當然，欲維持反沖洗最佳化必須考慮相當多之條件，但在此，本研究只對當反洗水之濁度降低至 $10\sim 15\text{NTU}$ 時，即可終止反洗，避免因過度反洗而造成淨水成本提高並減量反洗廢水。



圖五 三期 4 號及四期 14 號反洗排水時間變化圖

	
<p>四期濾池裝置濁度監測器</p>	<p>四期濾池關排水後</p>
	
<p>三期濾池裝置濁度監測器</p>	<p>三期濾池裝置濁度監測器</p>

圖六 濁度監測器現場裝置量測情形

參、研究結果與結論建議

針對前述研究方法執行整理後，提出下列研究結果探討：

一、研究結果分析

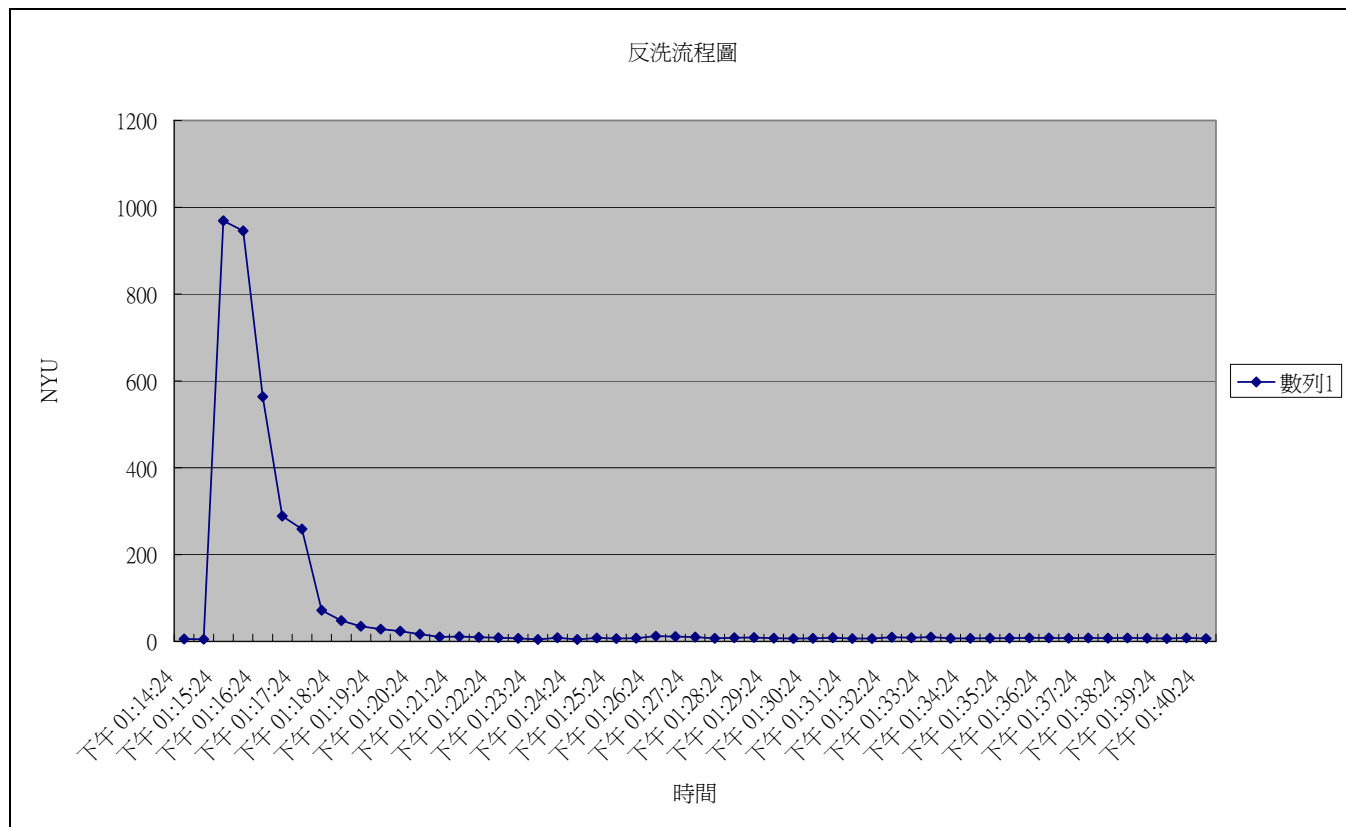
若反洗之終止是由操作人員判斷，其前提是假設操作人員能很精確的以目視方式判定觀察快濾池上層液是否已經清澈來決定反洗終止。若是以反洗用水量或反洗時間長短加以判定，操作人員為操作上之安全起見，一般都會以超水量過度反洗之方式操作，常常因人而異而造成過度反洗或反洗不足。

本廠目前操作之反洗動作在當下不明確濁度變化條件時，每次反沖洗所產生之廢水量並非為實際反洗所需水量。若經本次實驗結果得知實際反洗動作在監測當下之濁度變化時，則將可以更精準控制時間，可更利於操作人員監控反洗終止時間點。

由三期 4 號濾池實驗結果數據，表三，因排水閥全開時間為 1 分鐘左右，故濁度升高時間點須再往前推一分鐘為開始反洗 14(分):24(秒)至 20(分):54(秒)共 6 分 30 秒後達 10.7NTU，符合建議停止反洗濁度 15NTU 以下，與圖五之三期每池反洗約為 6 分 30 秒相吻合，故依推算之每池反洗產生之廢水量 $450\text{M}^3/\text{池}$ 估算瞬間廢水流量為 $69.2\text{M}^3/\text{min}$ 。本廠三期(韋勒式：固定水量)可達反洗標準，因遷就於固定水塔水量之操作模式，故尚不需改善。

另由四期 14 號濾池實驗結果數據，表四，開始反洗時間 07(分):27(秒)至 15(分):57(秒)共 8 分 30 秒後達 13.4NTU，符合建議停止反洗濁度 15NTU 以下，與圖五之目前四期每池操作反洗時間約為 10 分鐘

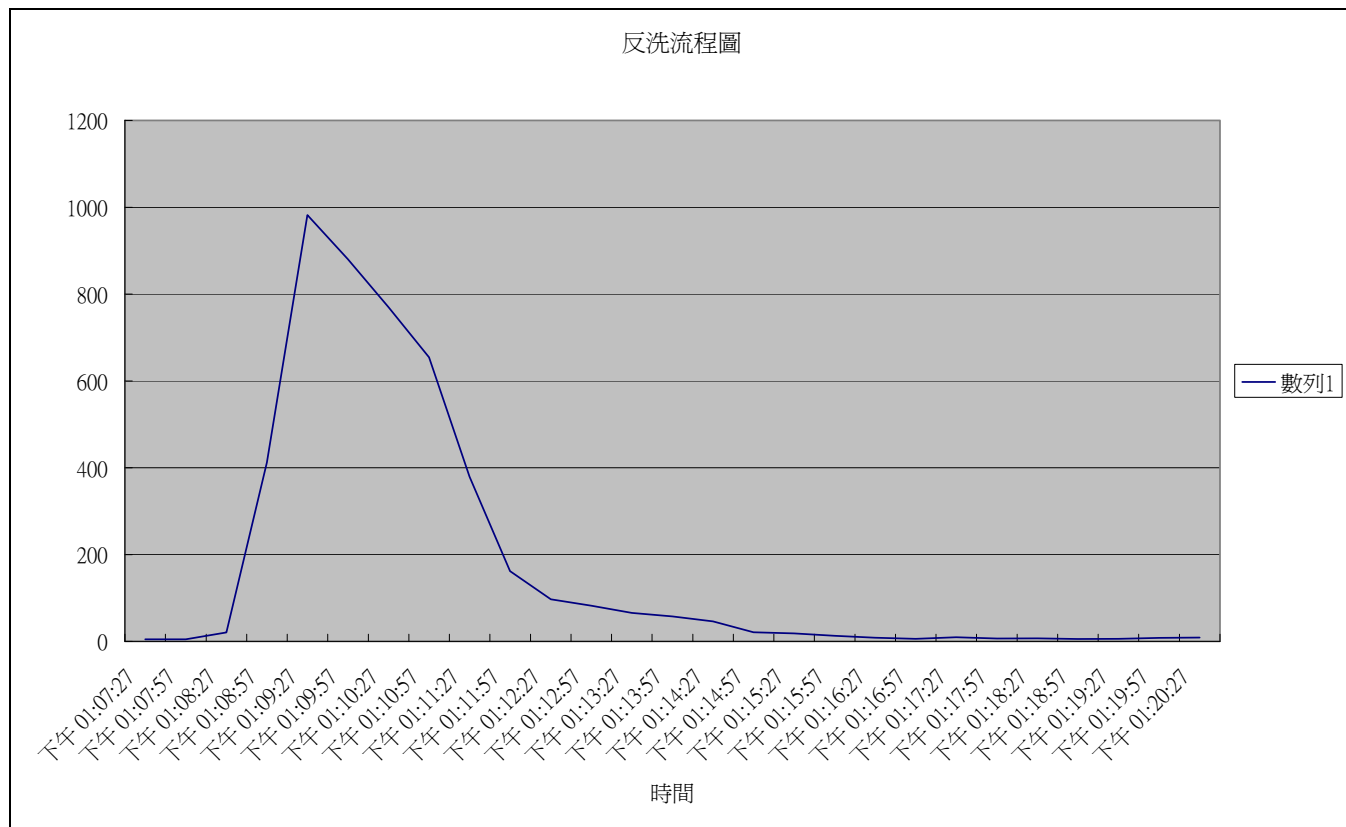
相差 1.5 分鐘，故依推算之每池反洗產生之廢水量 $550\text{M}^3/\text{池}$ 估算瞬間廢水流量為 $55\text{M}^3/\text{min}$ ，得知可再減少反洗水量約 $1.5\text{min} * 55\text{M}^3/\text{min} = 82.5\text{M}^3/\text{池}$ ， $825\text{M}^3/10$ 池(四期)(天)， $301,125\text{M}^3/\text{年}$ 。



圖七 三期四號反洗過程時間濁度變化圖

表三 三期反洗過程各時間之濁度

時間 (98/02/18)	濁度 (NTU)	時間 (98/02/18)	濁度 (NTU)	時間 (98/02/18)	濁度 (NTU)
01:13:24(秒)	5.4	01:17:54(秒)	71.6	01:22:24(秒)	8.6
01:13:54(秒)	5.2	01:18:24(秒)	48	01:22:54(秒)	6.9
01:14:24(秒)	5.4	01:18:54(秒)	34.8	01:23:24(秒)	4.6
01:14:54(秒)	5.3	01:19:24(秒)	28.1	01:23:54(秒)	8.6
01:15:24(秒)	968.8	01:19:54(秒)	23.6	以下空白	
01:15:54(秒)	945.5	01:20:24(秒)	16.9		
01:16:24(秒)	563.8	01:20:54(秒)	10.7		
01:16:54(秒)	288.5	01:21:24(秒)	11		
01:17:24(秒)	258.8	01:21:54(秒)	9.5		



圖八 四期反洗過程時間濁度變化圖

表四 四期反洗過程各時間之濁度

時間 (98/02/26)	濁度 (NTU)	時間 (98/02/26)	濁度 (NTU)	時間 (98/02/26)	濁度 (NTU)
01:07:27(秒)	5.1	01:11:57(秒)	162	01:16:27(秒)	8.7
01:07:57(秒)	5.2	01:12:27(秒)	97	01:16:57(秒)	6.3
01:08:27(秒)	20.9	01:12:57(秒)	82.5	01:17:27(秒)	9.4
01:08:57(秒)	412.2	01:13:27(秒)	65.6	01:17:57(秒)	6.8
01:09:27(秒)	981.9	01:13:57(秒)	57.5	01:18:27(秒)	7
01:09:57(秒)	880.6	01:14:27(秒)	46	01:18:57(秒)	5.8
01:10:27(秒)	769.9	01:14:57(秒)	21.4	01:19:27(秒)	6.2
01:10:57(秒)	654.4	01:15:27(秒)	18.6	01:19:57(秒)	7.9
01:11:27(秒)	379.3	01:15:57(秒)	13.4	01:20:27(秒)	8.9

二、 結論與建議

1. 結論：

- (1)三期(韋勒式：固定水量)可達反洗標準，因遷就於操作模式，及本次研究之反沖洗時間(水塔水量全放空)所呈現之結果於 15NTU 以下，故尚不需改善。但若加裝水位計於水塔內，再行接點建入圖控控制反沖洗閥門開啟關閉時間，應亦有改善之可行性。
- (2)依四期實驗結果得知可再減少反洗水量約
 $1.5\text{min} \times 55\text{M}^3/\text{min} = 82.5\text{M}^3/\text{池}$ ， $825\text{M}^3/10\text{池}$ (四期)(天)， $301,125\text{M}^3/\text{年}$ ，由減少反洗之廢水量可再減少廢水處理成本(用電量)及回收水濁度降低，減少原水加藥量，進而減少污泥產生量。
- (3)由參考文獻中提出顯示過度反洗會對濾料之成熟相產生負面作用，使反洗之過濾效率變差，使得過濾濾程縮短，也使得發現穿透現象的機會增加，另外，遭過度反洗的過濾池所出來的水品質可能較不穩定，過度反洗也可能造成濾料流失使得過濾池的效果變差，增加操作成本。
- (4)過濾池反洗需要大量的清水，過度反洗可能會降低清水出水量，由參考文獻顯示用於過濾池反洗之水量最高可佔出水量之 3~5%，如此高比例之水量，對可出水量及操作成本具有相當大的影響。因此淨水廠無不希望能找出不影響過濾效果及出水品質卻又能控制過濾池反洗水量的方法。

2. 建議：

本研究之濾池反沖洗廢水減量之研究方法，尚有可檢討改進之處，說明如下：

- (1)若控制濁度於 10-15 度時是否會因本廠之本身其他操作條件不良，如濾層不平整、濾砂膨脹率不良及不均或濾層泥球之形成，而增加濾池反洗次數或清水水質變化，需再測試實作及更多參考數據作為探討。
- (2)因此反沖洗濁度監測設備初設費高，每池約 20 萬元，以四期先行設置，共約 200 萬元，故初期建議先行以一池先行建置測試，進而收集其他條件，如清水濁度變化、濾池反洗次數是否增加或濾層之變化，綜合各設置後之紀錄進而評估全設置之必要性。
- (3)經濟效益上，若無設置反洗水濁度監測來控制反洗時間而每日增加之廢水量雖皆有回收，但卻造成操作成本之增加。另於節能減碳之角度及根據各文獻是有必要朝此精緻化操作之方向再研究。

肆、參考文獻

- 1.高肇藩，給水工程(衛生工程·自來水篇)，修訂版(1990)
- 2.中華民國自來水協會，自來水設施操作維護手冊，(1993)
- 3.中華民國自來水協會，自來水工程設施標準解說，(2006)
- 4.駱尚廉、楊萬發，環境工程(一)自來水工程，茂昌圖書，第二版 (2000)
- 5.Filter Evaluation Procedures for Granular Media ; Daniel K.nix & John Scott Taylor,P.E.
- 6.FILTER Troubleshooting and Design Handbook ; Richard P.Beverly,P.E.,W.R.E ,W.T. III
7. USEPA. 1999. Guidance Manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule-Turbidity Provisions. EPA-815-R-99-010.