

九十七年度

濾砂膨脹率量測器之可行性研究

研究單位： 第六區管理處烏山頭給水廠
研究人員： 工程師兼廠長 吳 富 祥
 工程師兼股長 杜 方 裕
 技 術 士 陳 志 男
研究期程： 中華民國九十六年十月至九十七年五月

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.....12

參、研究結果與建議

一、研究結果分析.....15

二、結論與建議.....20

肆、參考文獻.....22

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原本不符合飲用水條件的水，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。

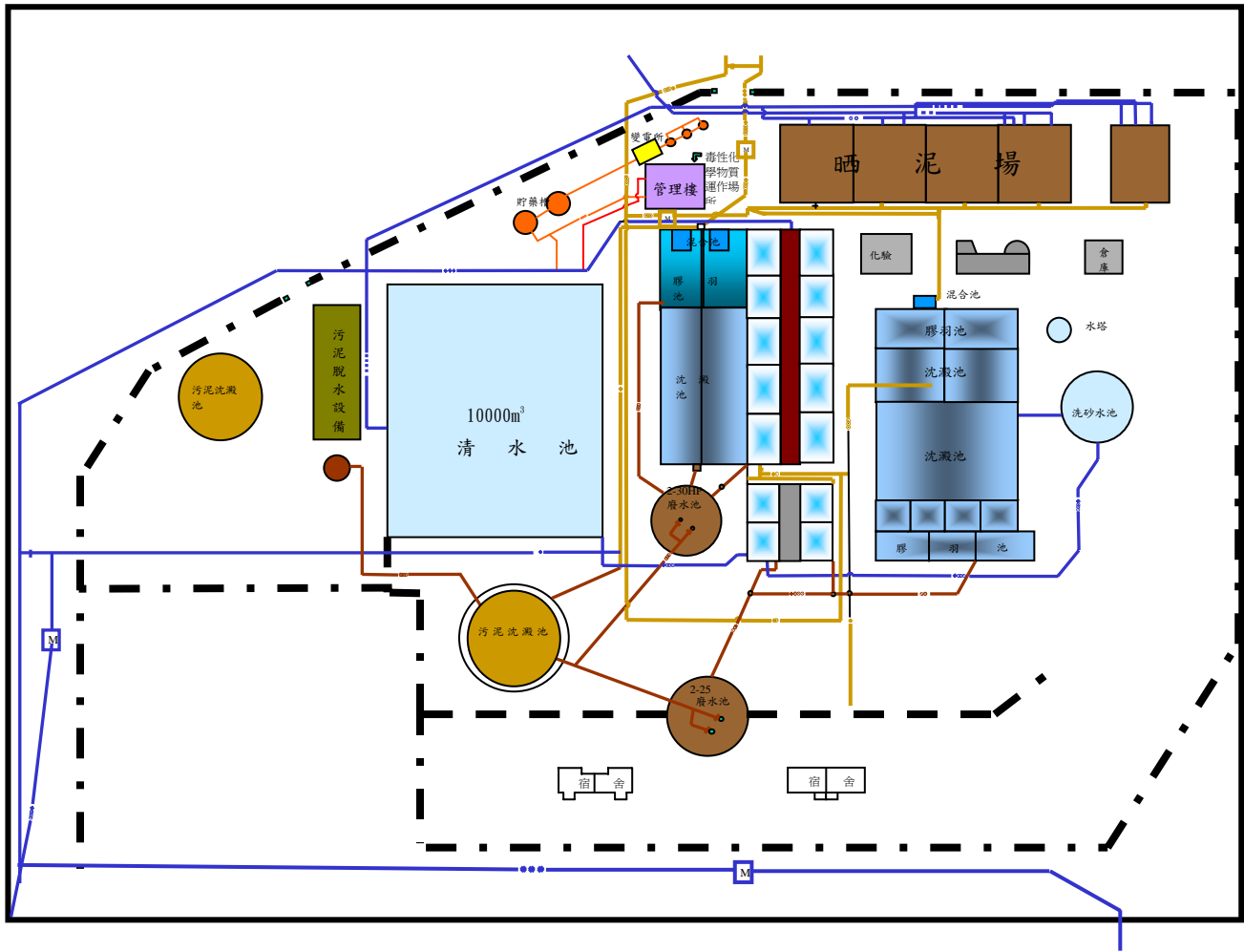
淨水場之淨水操作管理重點如下：

- (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，亦是淨水管理的重點之一。

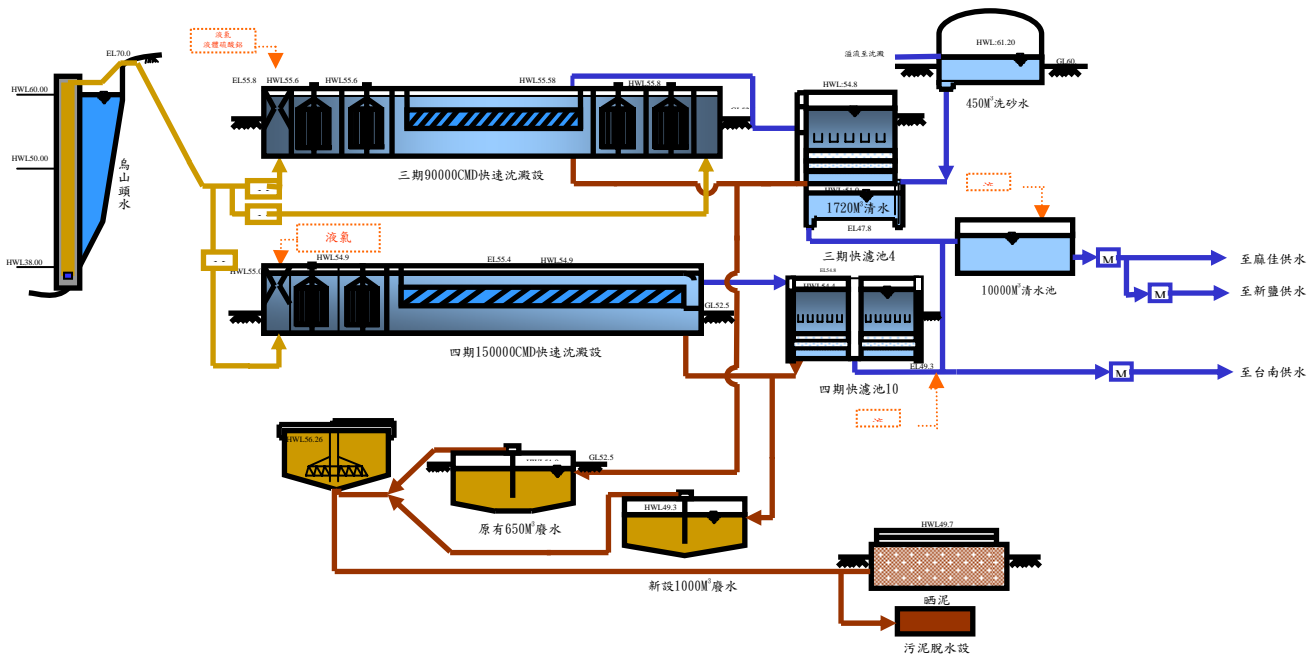
二、目的：

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、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，其中快濾池是否正常運轉操作或維持一定範圍之操作效率，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量測其濾砂膨脹率結果並統計之，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，先行針對自行設計之膨脹率量測器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。

(一)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駛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。本場之快濾池為韋勒式及綠葉式之轉動式表洗的反沖洗操作。

(二)砂層之膨脹(Expansion of Sand Bed)

以標準反沖洗水流速度 0.6 立方公尺/分鐘/平方公尺(15 加侖/分鐘/平方公尺)(自來水工程設施標準解說規定每日 1000 至 1500 公尺)反沖洗時，有效粒徑較大時，反沖洗速度應加大，雖然有時其膨脹率較 30% 為小，但仍可得滿意之洗砂效果。

依 Sank(1978)論述，最大之濾床膨脹率為濾砂 40%，無煙煤 25%，而最好達到之目標則為濾砂 20%，無煙煤 25%。

依“FILTER Troubleshooting and Design Handbook”（參考文獻 5.）說明：濾床之膨脹率受有效粒徑、均勻係數、比重、水溫、濾料形狀等因素影響，大多之流體化濾料之膨脹率在 22~30% 之間。

另依 Filter Evaluation Procedures for Granular Media（參考文獻 4.）文中亦說明濾料粒徑(粒徑分佈)、濾料形狀及密度均為影響濾床膨脹率之因素，再加上水的黏滯度、密度及水溫之變化(季節變化)亦屬重要之影響，濾床之膨脹率亦會隨著其物性不同而變動。

砂層膨脹之目的是為使砂粒互相摩擦，以洗去附著在砂粒表面上之污物。如膨脹率過大，砂粒間隙太大而無法得到摩擦之效果。砂層膨脹率隨水之黏滯係數及水之上升速度而異，又因水之黏滯係數隨水溫而變，故要保持一定之膨脹率，需根據溫度來調整反沖速度。

$$\text{膨脹率}\% = \frac{(\text{反沖洗時膨脹後砂層厚度}) - (\text{平時砂層厚度})}{(\text{平時砂層厚度})} \times 100\%$$

近年的設計，以每分鐘 100 公分之反沖速度，可使有效粒徑為 0.55 公厘之砂層達到 50% 之膨脹率。最常用者，在有效粒徑為 0.50 公厘或以上時，上升速度為每分鐘 70~75 公分，並配合表面沖洗。需要之

洗砂水量約為濾水量之1~5%，平均約為2%。洗砂時間不一定，在沖洗過程中，觀察沖洗之廢水澄清時，即算完成。因洗砂而中斷過濾之時間約為10~15分鐘。過濾池之濾程隨水之濁度而異，約自24~72小時，有時更短。洗砂後2~4分鐘內所過濾之水中常含有雜質，故多排放不用。

(三)快濾池之操作障礙

快濾池操作上，會因工程設計不良、操作不當或沉澱水水質不良而導致效率不佳，其濾池會反映出許多狀況，而出現操作障礙，供操作人員或管理人員判斷濾池之現況，進而修正操作方式或條件，甚至改變設備以使濾池保持最佳操作狀態。

其障礙包含空氣閉塞(Air Binding)、泥球(Mud Ball)、砂垢(Sand Incrustation)、噴流和濾砂的翻騰(Jetting and Sand Boils)及漏砂(Sand Leakage)。以針對因洗砂時砂層膨脹不均或不良所致之影響程度不等，以影響甚多者作為說明如下：

1. 泥球

泥球係膠羽、細泥及其他固體雜物結成球形者，其大小自有如大豆至直徑達20~50公厘者、泥球之比重較砂為小者積於砂層之上，較砂為大者則散佈於砂層或濾石層中。泥球多聚在反沖洗速度較慢之處，因此更使洗砂不完全。產生泥球之原因為砂層發生裂隙，膠狀泥由裂隙穿入砂層，當反沖洗時，上沖的水將這些膠泥壓成泥球。洗砂不完全、砂粒徑0.4公厘以下或水中含有微生物或錳時可促進泥球之形成。泥球濃度之測定系將已知體積之砂徑10號篩(10-mesh sieve)

篩過，留於篩上之泥球裝入已有水的量筒內，以增加之水量表示。在設計上與操作均良好的濾池其泥球量不得超過砂面下 15 公分濾砂體積之 0.1%。

防止生成泥球之方法為洗砂時將砂層之膨脹率提高至 150%，但並無法完全防止。最有效得方法為控制進入濾池之水質，亦即提高混凝池之效率。

2. 噴流和濾砂的翻騰

砂或濾石層中其孔隙率或滲透係數不均勻時，反沖洗水必流向阻力最小之通路並衝出砂面。經過阻力最小的通路之水流速度高於平均反沖洗流速，砂粒隨水流上衝，其他水流速度較低處砂粒下降。無論如何選擇和安置濾石，反沖洗時，濾石必有擾動現象，此現象即引起砂-石交接面之噴流。有時後幾個相鄰的噴流可匯聚成一注較大而流速高的水流，造成濾料的翻騰，其範圍可達直徑 30 公分或更大。此現象令作為支撐砂層的濾石受攪亂而失卻其作用。

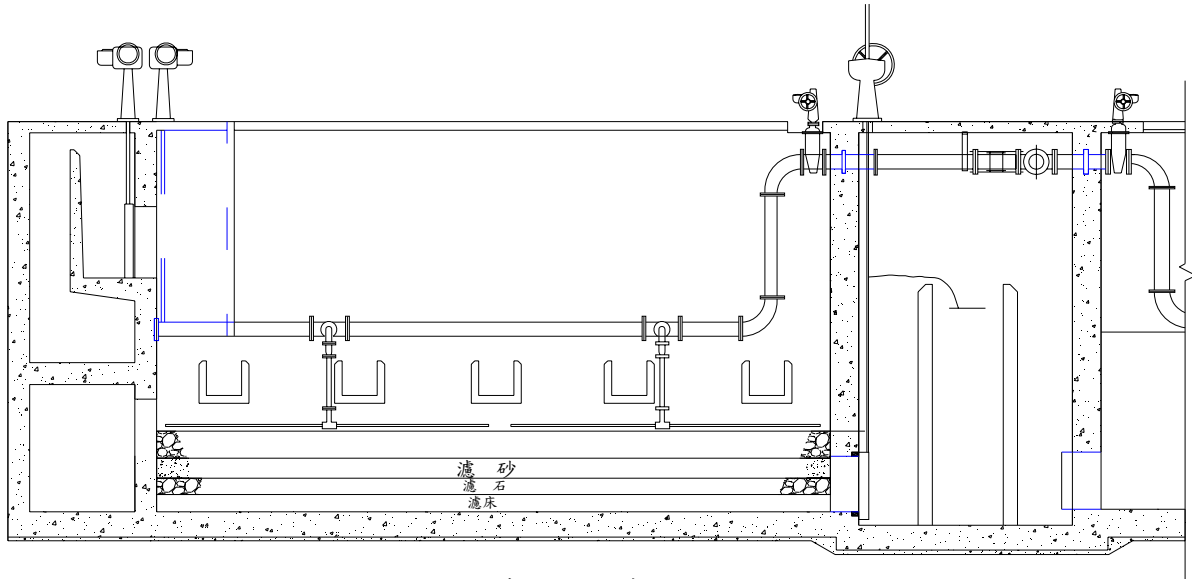
二、快濾池現況說明

本廠之快濾池分為三期(韋勒式)4池及四期(綠葉式)10池，本研究將以三期部分為測試主體，討論其結果(如圖三、表三)及其詳細快濾池本體設計資訊如表二所示。

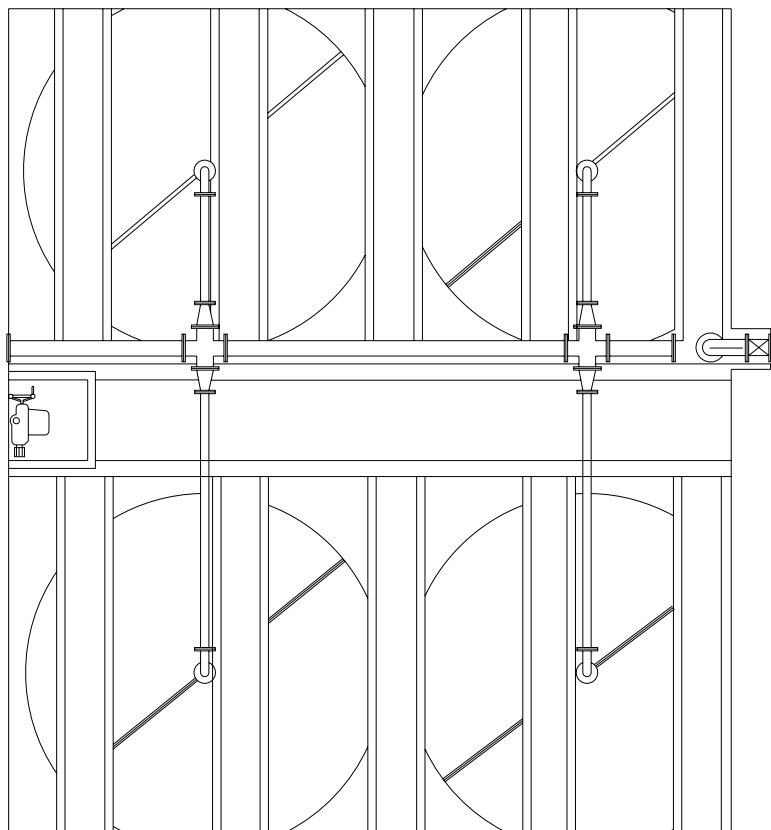
表二 烏山頭給水廠快濾池本體設計資訊

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，本廠操作程序



快濾池剖面示意圖 S=1:50



快濾池平面示意圖 S=1:50

圖三 快濾池結構設計及濾料配置示意圖

界面，如圖四。

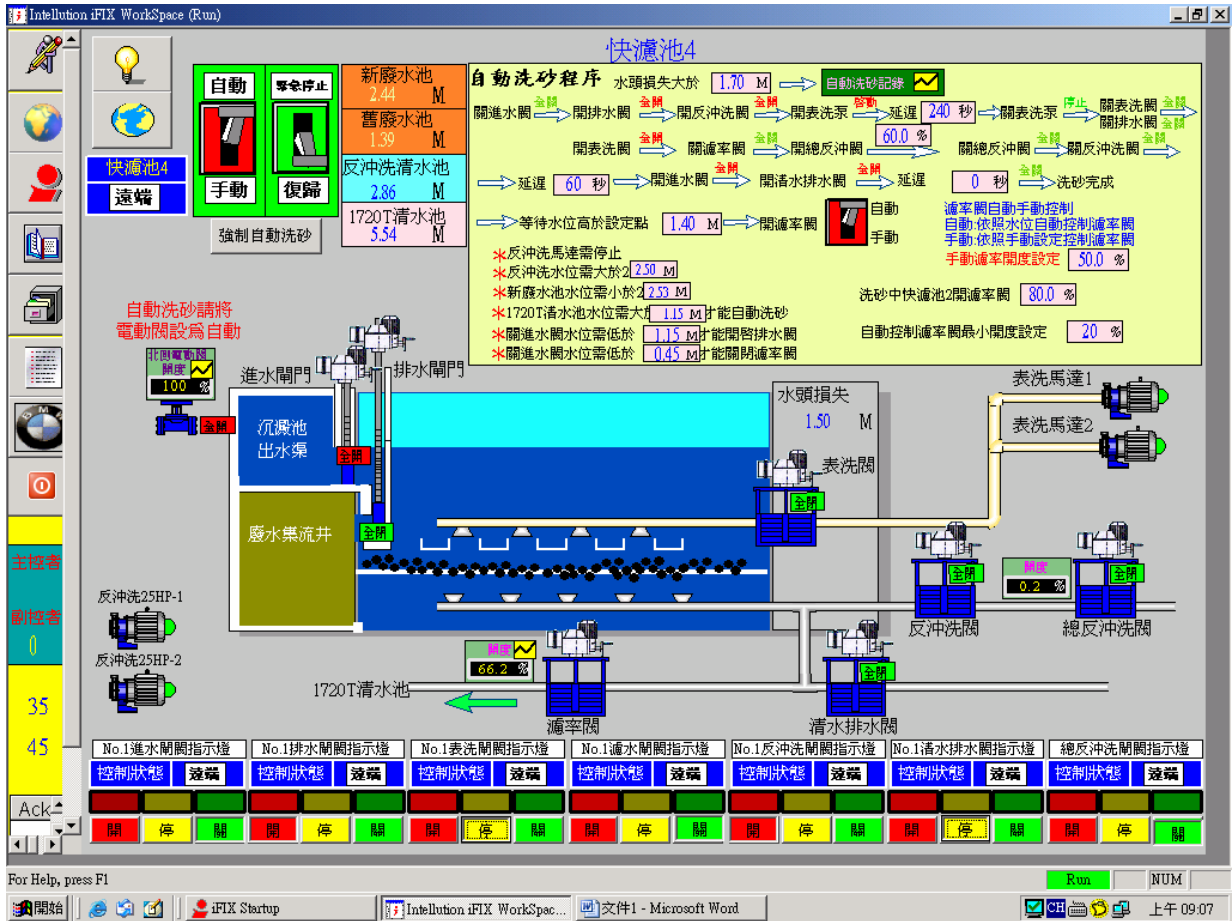
三、研究方法：

本次研究使用本廠杜股長方裕研發之階層式濾砂膨脹量測器(如圖五)做量測器量測膨脹率測試。每池之量測位置固定，以作比較，其研究實驗方法說明如后。再篩選膨脹率較佳之一池與其他量測器之量測結果做重複分析比較。

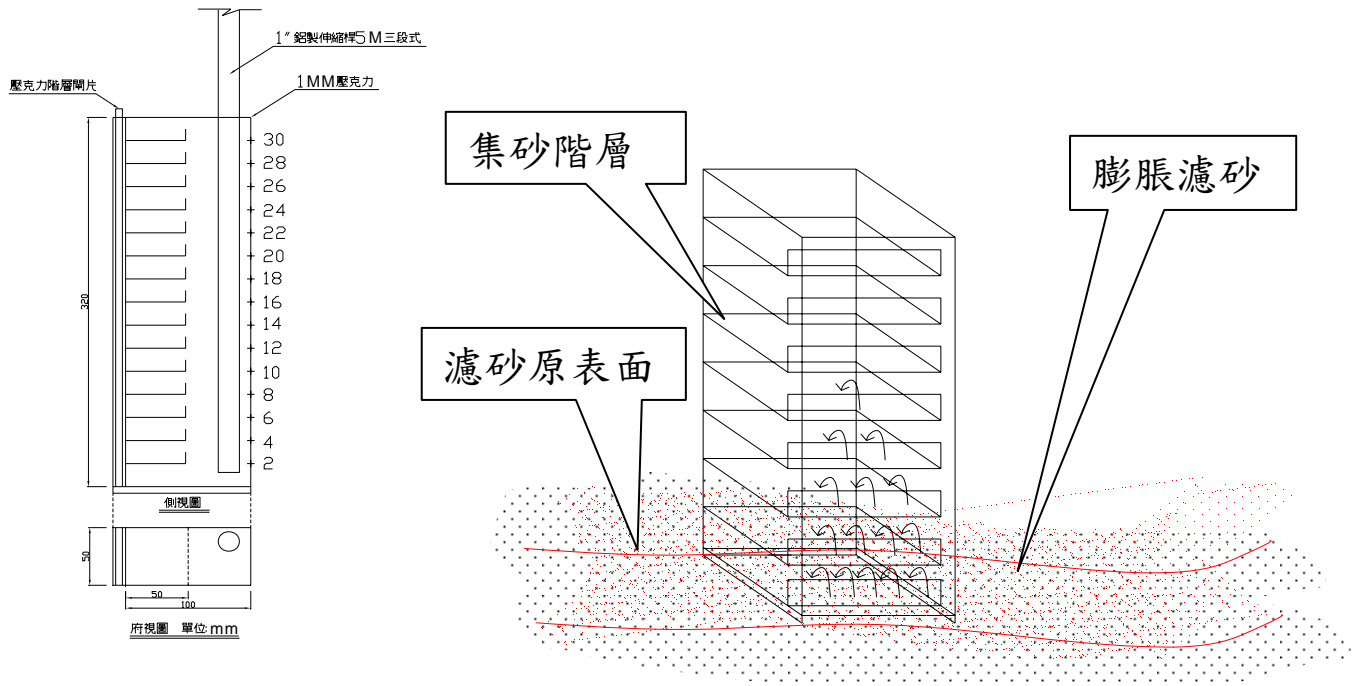
研究量測方法為：

1. 使用階層式濾砂膨脹量測器垂直置入反沖洗前之濾砂表面，為0公分。
2. 排水後，於固定之剩餘池面水深(固定水頭)反沖洗。
3. 過程中停止啟動表面沖洗。
4. 膨脹之濾砂由量測器中空部分上浮而流入階層中集砂處，致使而得濾砂膨脹高度，即公式中之(反沖洗時膨脹後砂層厚度)-(平時砂層厚度)，如圖六。
5. 再以前述公式由膨脹高度求得各池膨脹率結果。

為求實驗結果可靠性，將於重複量測分析時結合南化廠之風琴管之測值及本公司四區鯉魚潭給水廠超音波量測膨脹儀，比較其三種結果之相關性。了解是否可利用本廠自行研發之階層式濾砂膨脹量測器的結果來判定快濾池效率而據以執行汰換濾砂、清洗重組濾床之參考。



圖四 本廠自動反沖洗操作程序界面圖

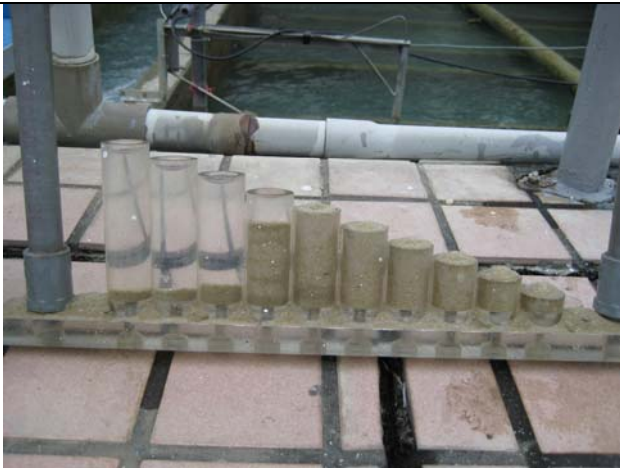


圖五 階層式濾砂膨脹量測器設計圖及濾砂分布示意圖



階層集砂完成情形

階層式濾砂膨脹量測器



風琴管濾砂膨脹量測器

現場重複分析量測情形

圖六 各式濾砂膨脹量測器實體及量測情形

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

本廠所自行研發階層式濾砂膨脹量測器所量測之結果，詳如表三。三期以固定位置量測所得之膨脹率為 16.7%~18.3%。

另以篩選其膨脹率結果較為平均的三期四號濾池，作為比較之標的。同時以南化廠之風琴管及借調四區鯉魚潭給水廠超音波量測膨脹儀結果作為比較(成果如表三、表四、表五及圖七)。

依表三之量測結果，顯示四號快濾池膨脹率為最高 18.3%，且因三期韋勒式濾池之反沖洗程序，如反沖水頭控制(閘門)、固定水量、時間、濾率調整及池深較利於本次研究方法條件之準確性；另目前風琴管及本公司四區鯉魚潭給水廠超音波量測膨脹儀，均較適合設置於三期四號濾池做為量測，故選擇此池為重複比較分析。


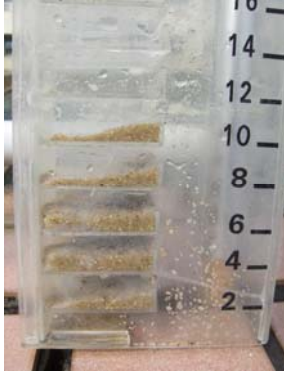

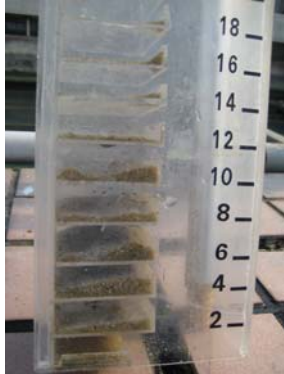

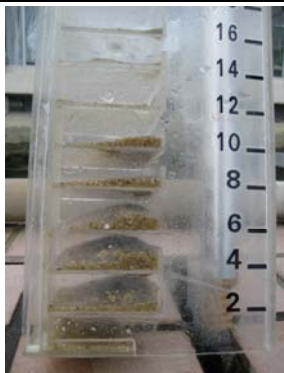

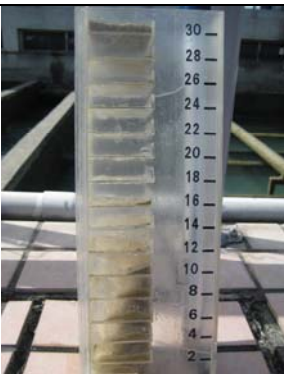
本次採用之各式膨脹率量測器測量方式詳如后說明：

1. 風琴管之觀測依 Filter Evaluation Procedures for Granular Media 中之” Tube Sampler Calculation” 說明：「風琴管最終膨脹砂層高度為滿管之高度。」，故其他未滿管不算。
2. 另本廠之階層式濾砂膨脹量測器則以砂層分佈完整之最上層處計算，例如 12 公分處砂層分佈完整，取 13 公分，因濾砂要堆積 12 公分處需溢滿 13 公分處。
3. 超音波測量砂層膨脹高度則依實測反沖洗前後相減取得。

以四號快濾池作定點分析，劃分為 A、B、C 及 D，共 4 點，量測






結果如表五，歸納各式膨脹率量測器測得之膨脹高度(cm)中，階層式膨脹率量測器第一次與第二次各點誤差範圍為 0~2 公分，風琴管為 0~2 公分，超音波式為 0~1.02 公分。

表三 三期快濾池反沖洗時現場量測結果

池號	膨脹高度	實測照片		膨脹率
1 號	約 10 公分			$(10 \div 60) * 100 = 16.7\%$
2 號	約 11 公分			$(11 \div 60) * 100 = 18.3\%$
3 號	約 11 公分			$(11 \div 60) * 100 = 18.3\%$
4 號	約 11 公分			$(11 \div 60) * 100 = 18.3\%$

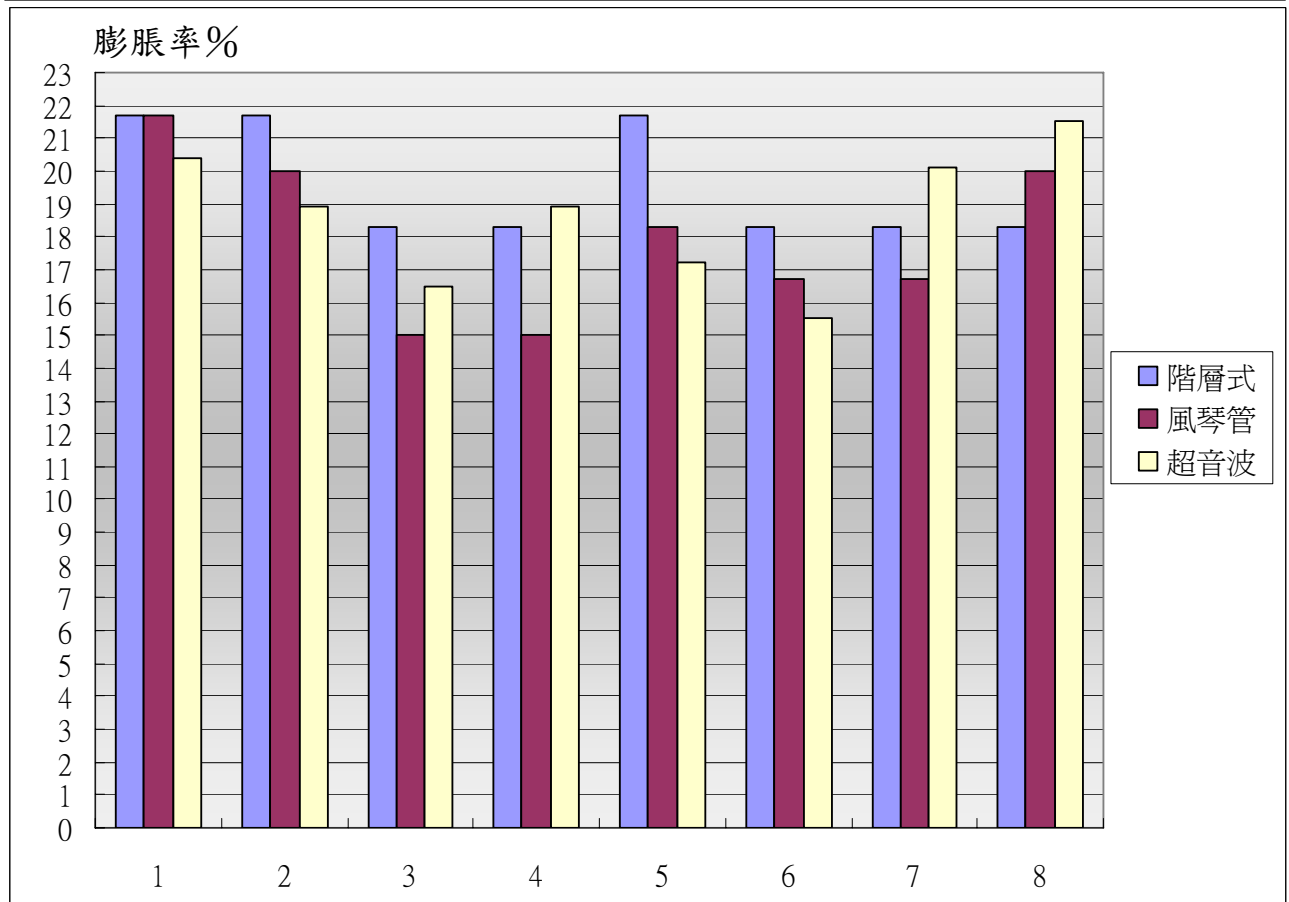
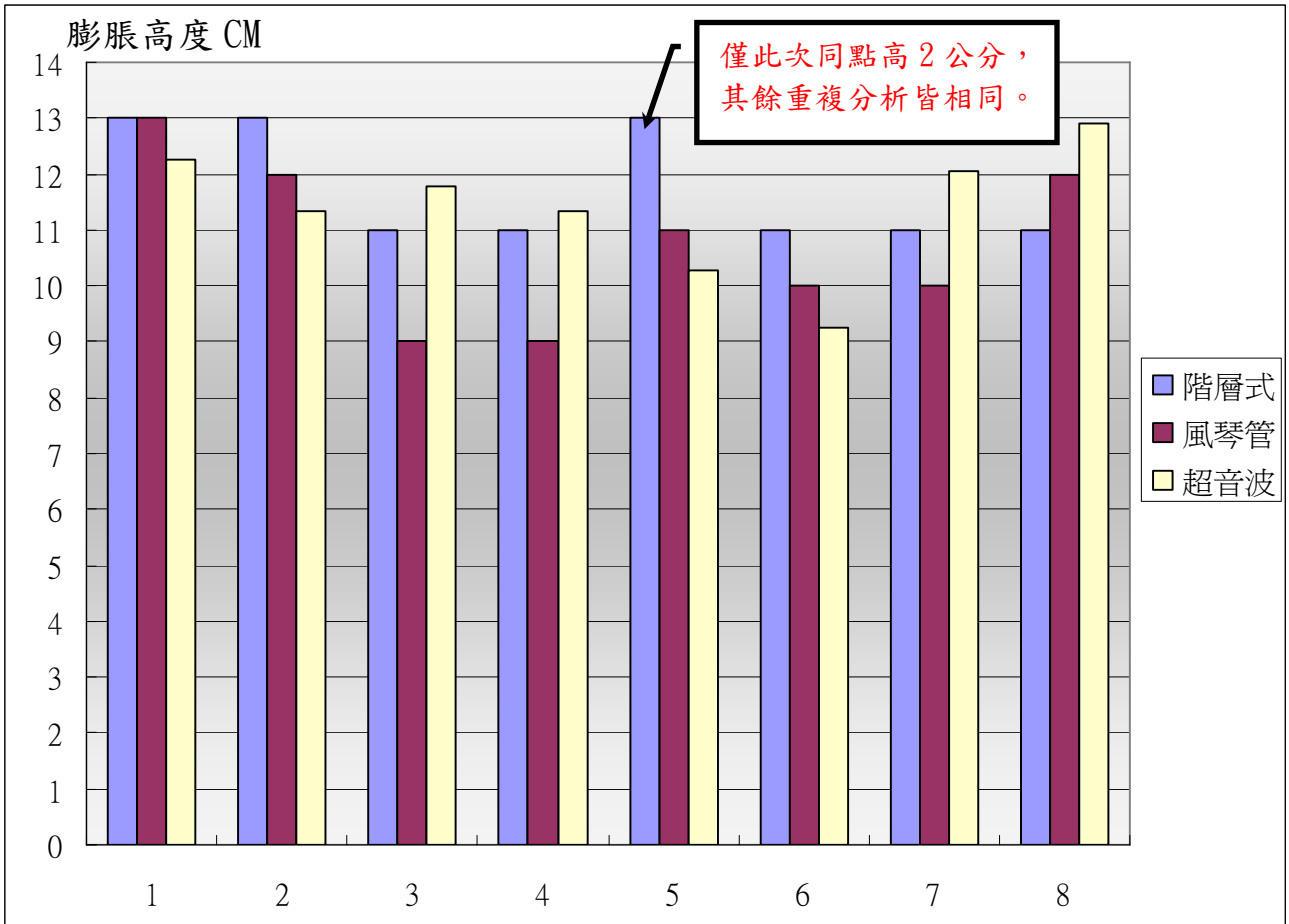
表四 四號快濾池對照實驗參考照片

以 A 點第二次實驗為例

							
<p>同步量測</p>	<p>量測結果比較</p>	<p>圖中突峰為砂面升高</p>					
		<p>備註：4 號濾池量測位置說明。</p>					
<p>12 公分(風琴管 13 公分處未滿管)</p>	<p>13 公分</p>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>D</td></tr> <tr><td>C</td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td>B</td></tr> <tr><td>A</td></tr> </table>	D	C		B	A
D							
C							
B							
A							

表五 各型量測器實驗對照量測結果

採樣位置		A 點		B 點		C 點		D 點		誤差範圍
		第一次 1	第二次 2	第一次 3	第二次 4	第一次 5	第二次 6	第一次 7	第二次 8	
膨脹高度 (CM)	階	13	13	11	11	13	11	11	11	0~2
	風	13	12	9	9	11	10	10	12	0~2
	超	12.26	11.33	11.77	11.32	10.29	9.27	12.06	12.92	0~1.02
膨脹率(%)	階	21.7	21.7	18.3	18.3	21.7	18.3	18.3	18.3	0~3.4
	風	21.7	20.0	15.0	15.0	18.3	16.7	16.7	20.0	0~3.3
	超	20.4	18.9	16.5	18.9	17.2	15.5	20.1	21.5	0~2.4



圖七 各型膨脹量測器量測結果比較分析圖

二、 結論與建議

1. 結論：

- (1)由本研究之結果顯示，依理論可知欲維持濾池反沖洗效率之膨脹率約為 20~30%。本次測試之三期韋勒式快濾池(4 號)結果顯示，該池膨脹率為 18.3%，雖為僅接近 20%，惟以目前操作上，尚可得滿意洗淨效果。
- (2)比較各式量測方式之膨脹高度(cm)後，階層式膨脹率量測器雖每層誤差判定為 2 公分，結果卻僅一處誤差 2 公分，其餘結果為相同；而風琴管每管誤差判定為 1 公分，但重複分析滿砂管卻僅一處數值相同，其餘則略有不同，可見階層式膨脹率量測器精確度頗佳；另超音波式因其為電子式，數據變動較大且測量方式與其它直接量測方式不同，故難以直接比較。
- (3)超音波測量砂層膨脹高度時，因為較高技術之電子式測量，故現場裝設或量測時所影響結果之因子甚多，所得數據起伏大辨識不易，若實際需運用其數據仍需要尚多之較高技術及現場確定條件，如反沖洗水位、壓力、流量及確實濾池各部位砂層高度等等。
- (4)經濟效益上，自行研發之階層式膨脹率量測器與風琴管雖為傳統人工式，但硬體成本約為 1,500 元，較為經濟；而超音波式膨脹率量測器雖較精密，但其硬體及安裝成本卻高達數萬元以上，且安裝技術高不易掌握。
- (5)若能將階層式濾砂膨脹率量測器之結果，結合其他對於快濾池健檢的條件控制，應該更能確定當下快濾池效率之優劣，而決定是否

重建、改變反沖洗操作程序條件甚或須改善沉澱水水質。

2. 建議：

本研究之自行研發階層式濾砂膨脹率量測器所量測研究方法，尚有可檢討改進之處，說明如下：

- (1)如量測時因為人手握桿之固定，故定位上為一不確定因素，可增加活動固定桿。
- (2)測定桿為伸縮桿，量測時固定不易，遇硬部濾砂面時會鬆脫而影響量測高度，可改變為鋼製接管型態。
- (3)膨脹砂流入階層內時之空間有限，故使收集砂量有限，無法充分分辨其膨脹高度，故是否可擴大其量測收集面積，如固定量測器高度並旋轉量測而加大收集面積或加大量測器主體並增加一支測定桿固定。
- (4)每次均在池邊作單點測定，無法量測，濾池中間部位，可考慮研製固定於池面之橫桿，移動至中間部位量測。

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