

# 探討快濾池膨脹率量測技術及實作

\*\*賴重榮，\*陳文祥，\*\*\*林清鑫

\*工程員，\*\*工程師，\*\*\*工程師兼課長

\*,\*\*\*台灣省自來水公司第四區管理處，\*\*總管理處供水處

## 摘要

不足之膨脹率將導致濾池之過濾效能與濾水水質不佳。一般而言若濾池反沖洗時濾床膨脹不足，濾床反沖洗後之濾料將不會乾淨。如此將會引致如一濾後水水質不佳、濾程縮短、泥球形成等問題，進而增加水生致病有機物穿透濾層之機會。因此膨脹率是否足夠，是操作快濾池必須考量之重要指標。以本公司淨水場進行快濾池膨脹率量測，並行反洗效率評估。

**關鍵字：**快濾池、濾池膨脹率、膨脹率量測

## 前言

當過濾的效率漸差，也就是過濾水的水質（如濁度）變差，或負水頭（negative head）出現，濾床產生氣泡的時候，過濾池操作即應停止，接著進行反沖洗操作以期恢復濾床的過濾能力。當反沖洗操作水流沖向濾床的同時，將造成濾床的鬆動、流動現象，此時的濾床稱為膨脹床（expanded bed），而膨脹率是指膨脹床高度除以未反沖洗操作時可膨脹濾床（Media Depth）高度。

根據文獻記載不足之膨脹率將導致濾池之過濾效能與濾水水質不佳。

一般而言若濾池反沖洗時濾床膨脹不足，濾床反沖洗後之濾料不會乾淨。如此將會引致如一濾後水水質不佳、濾程縮短、泥球形成等問題，進而增加水生致病有機物穿透濾層之機會。因此膨脹率是否足夠，是操作快濾池必須考量之重要指標。

不幸的是蠻重要之濾床膨脹率被輕忽，係因為操作人員僅倚賴肉眼觀察反沖洗終了排水之清澈度，作為反沖洗程序效能之判定。雖然此為很好之方法，但僅倚賴肉眼觀察尚不能得到濾床反沖洗時完整之畫面。

假如反沖洗流速不足則濾層膨脹不夠，致使反沖洗水於部分濾層造成短流或由部分濾層繞流而將髒物蓄留於濾床內，蓄留髒物之地區稱為死端（dead spot）。死端之形成係由於膨脹率不足，濾料無法上浮（fluidize）所致。上浮使濾料顆粒移動互相撞擊與互相磨擦，將髒物由濾料中釋放。假如濾層膨脹不足，濾料無法上浮，將使髒物留在濾層中並不會使髒物浮出濾層之上。在此種情況下，操作人員認為濾層已經反沖洗乾淨，是錯誤的想法。足夠之膨脹率加上肉眼之觀察應可避免濾層反沖洗不乾淨之情形。肉眼與膨脹率量測所得之資訊，可以給濾池反沖洗之效率有較佳之想法。

而本報告最主要目的在了解探討「快濾池濾料膨脹率量測技術及實作」以作為日後各淨水廠量測快濾池膨脹率標準作業程序(Standard Operation Procedure，簡稱 SOP)之參考，預計未來將對自來水事業機構帶來以下效益：

1. 經由繪製濾池「溫度&反沖洗流速&膨脹率」之關係圖，操作人員可以為操作依據。
2. 探討季節溫度變化，調整反沖洗流速以達足夠之膨脹率，如此濾層將整年維持乾淨。操作人員可以藉由定期量測膨脹率，調整反沖洗流速。

例行量測膨脹率藉以調整反沖洗流速，對淨水場將是非常重要的工作，以本研究就各種膨脹率量測設備之實際操作，以提供適當之膨脹率量測技術及輔助設備，並檢討標準操作程序的訂定。

快濾池是淨水處理單元最後一道關卡，其效能的好壞直接影響供水品質，當快濾池操作一段時間後，依其壓損、水位、濁度等控制因子之設定，必須進行反洗，以確保設備之妥善，目前快濾池的反洗方式有水洗、氣洗及表面洗，這三者互相配合使用。若反洗效果不佳將會引致如一濾後水水質不佳、濾程縮短、泥球形成等問題，進而增加水生致病有機物穿透濾層之機會。因此反洗效率，是操作快濾池必須考量之重要指標。本研究將檢討不同反洗程序的時間及操作條件，利用反洗水濁度及清水濁度之關係，建立最佳化操作參數。以本公司實作淨水場進行快濾池反洗程序探討，並進行效率評估。

### **試驗淨水場概述**

本公司第四區管理處所屬鯉魚潭給水廠位於台中縣后里鄉，為本公司

大型給水廠之一（設計出水量 110 萬 CMD），其水源來自苗栗縣三義鄉鯉魚潭水庫，因鯉魚潭水庫屬離槽式水庫故水源水質穩定，年平均濁度約 5NTU 以下，故鯉魚潭給水廠水源特性為低濁度適合原水直接過濾，故其淨水處理設備操作重點在過濾池，所以本研究計劃選定鯉魚潭給水廠為主要對象。

鯉魚潭淨水場淨水處理設備設計出水量分別為第一期每日五十萬立方公尺，第二期每日六十萬立方公尺，合計為每日一一〇萬立方公尺。其中第一期屬高速膠沉設備，設備處理流程約 1.25 小時，第二期則為傳統傾斜管設備處理流程約 1 小時。本研究採用第二期淨水場之快濾池，最為試驗場，其淨水處理流程為，取水（水庫）→減壓→分水井→快混池（前加氣及膠凝劑加入）→膠羽池→沉澱池（沉澱污泥排出）→快濾池（濾後再加氣消毒殺菌）→清水池（儲）→用戶。流程示意如圖 1。二期快濾池各項規格及操作參數以表 1 說明。

## 研究方法

隨著國民生活水準及環保意識之提升，民眾對於自來水品質之要求與日俱增，而自來水水質之良窳，不僅攸關公共衛生，更與民眾生活品質息息相關。為確保用戶能享用高品質之自來水，除維護水源潔淨外，有效提升淨水處理效能、降低成本亦是不容忽視之重要課題。

而過濾池為淨水廠操作單元最後一道之物理性防線，如何操作過濾池？以便找出最佳化之操作模式，以作為持續提供良好之過濾處理，有效

提升淨水處理效能、降低成本，是淨水場管理、操作重要工作。

有關如何提升過濾池處理效能，除淨水場管理、操作者平時用心觀查外，且必須透過各項過濾池評估試驗功能，例如：反洗水量（反洗率）檢測、反洗水濁度歷線、濾料膨脹試驗、反洗之目視觀察、濾石高程繪製與濾砂深度之量測、濾料取樣與試驗、膠羽貯留分析、濾料開挖等等科學方法。

至於何謂膨脹率%（Expansion）？為何需要量測膨脹率？說明如下：

#### 1、何謂膨脹率%（Expansion）？

當過濾的效率漸差，也就是過濾水的水質（如濁度）變差，或負水頭（negative head）出現，濾床產生氣泡的時候，過濾池操作即應停止，接著進行反沖洗操作以期恢復濾床的過濾能力。當反沖洗操作水流沖向濾床的同時，將造成濾床的鬆動、流動現象，此時的濾床稱為膨脹床（expanded bed），而膨脹率是指膨脹床高度除以未反沖洗操作時可膨脹濾床（Media Depth）高度。

濾料膨脹率定義如圖 2：

$$\text{膨脹率 (Expansion) \%} = \frac{\text{膨脹增加之濾料厚度}}{\text{濾料原厚度}} \times 100 \%$$

膨脹率（Expansion）%是指，當反沖洗操作水流沖向濾床時造成濾床的鬆動、流動現象，此時的濾床稱為膨脹床（expanded bed）；而

膨脹率是指在最大反沖洗水流時膨脹床高度（膨脹之濾料），除以未反沖洗操作時可膨脹濾床（Media Depth）（可膨脹之濾料）高度。

## 2、為何需要量測膨脹率？

根據文獻記載不足之膨脹率將導致濾池之過濾效能與濾水水質不佳。一般而言若濾池反沖洗時濾床膨脹不足，濾床反沖洗後之濾料不會乾淨。如此將會引致如一濾後水水質不佳、濾程縮短、泥球形成等問題，進而增加水生致病有機物穿透濾層之機會。因此膨脹率是否足夠，是操作快濾池必須考量之重要指標。

假如反沖洗流速不足則濾層膨脹不夠，致使反沖洗水於部分濾層造成短流或由部分濾層繞流而將髒物蓄留於濾床內，蓄留髒物之地區稱為死端（dead spot）。死端之形成係由於膨脹率不足，濾料無法上浮（fluidize）所致。上浮使濾料顆粒移動互相撞擊與互相磨擦，將髒物由濾料中釋放。假如濾層膨脹不足，濾料無法上浮，將使髒物留在濾層中並不會使髒物浮出濾層之上。在此種情況下，操作人員認為濾層已經反沖洗乾淨，是錯誤的想法。足夠之膨脹率加上肉眼之觀察應可避免濾層反沖洗不乾淨之情形。肉眼與膨脹率量測所得之資訊，可以給濾池反沖洗之效率有較佳之想法。

### **研究架構**

參考「濾池評估手冊」〈Filter Assessment Manual〉對各種不同快濾池膨脹率量測技術、設備及實作進行實場試驗之探討。本次量測濾料膨脹

率使用之工具及方法：

### 一、圓盤量測法：1.

1. 工具製作：量測膨脹率之前需要有量測之工具，組裝量測工具所需之零件如下：

件如下：

a. 可伸縮之竿子（4~6 尺長），如：釣魚之網撈柄〈需自標尺寸〉。標尺寸之尼龍繩。

b. 白色壓克力碟直徑 30—50 公分。

c. 高亮度之潛水探照燈。

d. 五金零件：金屬墊圈、螺絲、不銹鋼棒等等

e. 組裝量測工具圖示如後。

2. 量測程序：

a. 尋找一處安全具代表性位置，測量人員將標尺寸之量測竿拉開，直到足夠且容易觸及濾料上部之長度，並安全地握住。

b. 量測並記錄尚未反沖洗前濾層上部之高程。將測竿下降至圓盤底部觸及濾層上方，從某一固定處紀錄讀數，最好找直線邊緣讀數。

c. 在同一固定處於反沖洗最大流速時，量測濾層上方之膨脹量；將量測工具緩慢下降，到剛好可以看到濾料進入白色圓盤，穩定地執著工具並讀取標尺寸之量測竿在固定處之讀數。

d. 經由步驟 B. C 之讀值相減，即為膨脹量。

3. 量測時注意事項及實做記錄照片：

- a. 濾池設有表面沖洗設施者，請勿於表洗臂旋轉或表洗啟動時量測。
- b. 應於反沖洗最大流速時量測，通常最容易觀察圓盤之時間為最大反沖洗流速最後之數分鐘。
- c. 膨脹量隨溫度變化而不同，因此應每季溫度變化時量測膨脹量。
- d. 當量測膨脹量時，可使用高亮度之潛水探照燈輔助，以容易觀察圓盤之濾料。
- e. 從固定位置到量測竿間用直線邊量測，濾料靜止與上浮時皆由固定處量測。
- f. 在濾料靜止與上浮量測間，勿讓量測工具跌落，此將嚴重影響量測值。
- g. 在濾池不同地點量測，如此可更了解反沖洗水之分布與效率。
- h. 可膨脹之濾層深度（厚度），包括粒狀活性碳（GAC）、無煙煤、砂、高密度砂（如 garnet）等，但不含礫石。
- i. 建議慢慢地調整反沖洗流速。
- j. 當反沖洗水排入廢水收集渠時，操作人員可以經由廢水流經白色圓盤檢查濾料流失之情形。
- k. 實做記錄照片如圖 3、4。

## 二、風琴管量測法

1. 工具製作：組裝量測工具所需之零件如下：
  - a. 可伸縮之竿子（4~6 尺長），如：釣魚之網撈柄〈需自標尺寸〉。

- b. L 型角鋼：長度 100 公分。
- c. 透明壓克力管：外徑 2—3 公分，厚度 0.5 公分，高度 3、6、9、12、15、18、21、24、27、30 公分等各一個；透明壓克力管底部鑽 1 分半圓孔〈固定用〉。
- d. 固定透明壓克力管底座：厚度 1.5 公分，長度 30 公分、寬度 3 公分；透明壓克力管底座左右各鑽 2 分圓孔 2 個〈固定伸縮竿子或 L 型角鋼用〉。
- e. 五金零件：金屬墊圈、不銹鋼螺絲、不銹鋼棒等等
- f. 組裝量測工具圖示如後。以透明壓克力管組合而成之管風琴，每一個管之高度相差 2—3 公分，像教堂之管風琴〈管風琴設計如圖 5〉。

## 2. 風琴管組裝：

### 第一代（圖 6）

- a. 風琴管底座：透明壓克力條（L80cm × W4.0cm × H1.5cm）。
- b. 風琴管：透明壓克力管（H3-30cm × 外徑 5cm × 10 個；底部鑽 2 分孔）。
- c. L 型角鋼支架 2 個（L 100cm）、不鏽鋼管 1 支（L 180cm）。
- d. 其他另件：不鏽鋼螺絲（2 分）。

### 第二代（圖 7）

- a. 風琴管底座：透明壓克力條（L40cm × W4.0cm × H1.5cm）。
- b. 風琴管：透明壓克力管（H 2-20cm × 外徑 3cm × 10 個；底部鑽 1.5 分孔）。

- c. 伸縮竿子釣魚之網撈柄 1 支 (L240cm) 、。
  - d. 其他另件：不鏽鋼螺絲 (2 分) 。
3. 量測時注意事項及實做記錄照片：
- a. 尋找一處安全具代表性位置，測量人員將以透明壓克力管組合而成之管風琴標尺寸之量測竿拉開，直到風琴管底座足夠且容易觸及濾料上部之長度，並安全地握住。
  - b. 如為固定式風琴管組，將不鏽鋼管固定在安全處，並需記錄濾層上部之高程至風琴管組底座之距離。
  - c. 量測並記錄尚未反沖洗前濾層上部之高程。將風琴管底座下降至濾層表面，從某一固定處記錄讀數。
  - d. 在同一固定處於反沖洗最大流速時，量測濾層上方之膨脹量；直到表洗啟動時，立即將風琴管組穩定地提出水面
  - e. 風琴管組提出水面後，找一處平坦處將風琴管組平放，觀察濾料在風琴管的那一個高度，當高管子充滿濾料時，此即為濾料膨脹高度。
  - f. 量測每池具代表性的各點，測量所得之濾料膨脹高度平均後，計算該池之膨脹率。

### 三、膨脹率分析儀量測法：

1. 儀器儀器型式：美國 Entech Design Inc. 公司出產的 Expansion Pro Analyzer - EPA2000。如圖 8
2. 量測方法過程：現場架設 4 組膨脹率分析儀感測器，並連接至膨脹率

分析儀主機，再將感測器信號傳至分析儀主機後自動換算為膨脹率。

## 結果與討論

本次研究選定過濾池池號為第 1、13 池，成果如下：

### 一、圓盤量測法：

以圓盤量測法量測快濾池膨脹率，發現反沖洗時反洗水濁度過高，由反洗水濁度歷線發現反洗水濁度由 500—50NTU，因此無法由圓盤觀測到濾料膨脹至圓盤情形，如圖 9。結果發現當圓盤下降至水面 30CM 以下時，即發現因反洗水濁度過高無法觀測。

### 二、管風琴量測法：

#### (一) 第 1 池

1. 膨脹率紀錄（水洗 1 分鐘起至表洗之間共計 6 分；反沖洗速率：0.35

$\text{m}^3/\text{Min}-\text{m}^2$ ）如圖 10

2. 第 1 支 4 公分，每隔 1 支加 2 公分高度約 12-14cm，膨脹率約 17-20%

（計算如下）：

a. 可膨脹濾料高度：68 公分

b. 濾料膨脹高度：12-14 公分

c. 膨脹率 =  $12/68 \times 100\% = 17\%$

#### (一) 第 13 池

1. 膨脹率紀錄（水洗 1 分鐘起至表洗之間共計 6 分；反沖洗速率：0.35

$\text{m}^3/\text{Min}-\text{m}^2$ ) 如圖 11

2. 第 1 支 4 公分，每隔 1 支加 2 公分、高度約 12-14cm，膨脹率約 17-20

% (計算如下)：

a. 可膨脹濾料高度：68 公分

b. 濾料膨脹高度：12-14 公分

c. 膨脹率 =  $12/68 \times 100\% = 17\%$

三、膨脹率分析儀量測法：

快濾池膨脹率分析儀量測第 1 池、第 13 池成果如表 2、表 3，以四點量測之結果，濾池膨脹率在 2-7 % 間，平均 4%，相較於以管風琴量測誤差約 12%。

四、膨脹率量測各種試驗方法成果比較如表 4，反沖洗速率在  $0.24\text{m}^3/\text{Min}-\text{m}^2$  以下時，利用膨脹率分析儀量測不到膨脹率，經了解膨脹率分析儀，係以 90% 以上濾料膨脹之高度作為超音波密度反射點，因此當有局部膨脹率較高時（如突沸），則無法抓取的訊號，後續將繼續針對風琴管及膨脹率分析儀之量測進行相關性之探討，以確實了解其間之關係。

五、本研究為日後各淨水廠量測快濾池膨脹率標準作業程序(Standard Operation Procedure，簡稱 SOP)之前置作業，以找出符合方便、低成本及準確之膨脹率量測設備及方法，根據文獻資料及本公司實場驗證之結果將其優缺點歸納於表 5 中，作為日後實廠選擇快濾池膨脹率量測之參考。

## 結論及建議

- 一、以圓盤量測快濾池膨脹率，發現反沖洗時反洗水濁度過高，無法進行觀察，且以繩索掛圓盤方式穩定性更差，難以控制濾層膨脹後之穩定性。
- 二、以管風琴量測觀察第 1 池及第 13 池之膨脹率皆為 17%-20%間，且經觀察有不錯的再現性
- 三、膨脹率分析儀量測發現律持膨脹率在 2-7 %間，平均 4%，與管風琴量測差異甚大。
- 四、在比較各種試驗方法成果時發現，反沖洗速率在  $0.24\text{m}^3 / \text{Min-m}^2$  以下時，利用膨脹率分析儀已量測不到膨脹率，因此有必要對於膨脹率分析儀之敏感度進行了解，以調整於較適之感度。
- 五、圓盤量測（繩索）約 1200 元/組，圓盤量測（桿）約 6300 元/組，管風琴量測法（固定式）4500 元/組，管風琴量測法（移動式）4000 元/組，膨脹率分析儀 20,000 元/組，以經濟性及量測便利性而言，管風琴量測法（固定式）有較佳組合表現。
- 六、後續將續針對風琴管及膨脹率分析儀之量測進行相關性之探討，以確實了解其間之關係。

## 誌謝

承蒙台灣省自來水公司提供本研究計畫所需經費。另總工程師室饒欽良工程師提供資料及技術協助在此致上謝意。

## 參考文獻

1. 給水工程(衛生工程·自來水篇), 高肇藩編著。
2. *FILTER ASSESSMENT MANUAL*. South Carolina Department Health and Environmental Control. Third Edition, December 2003
3. *FILTER TROUBLESHOOTING AND DESIGN HANDBOOK*. AWWA. First Edition 2005.
4. *Using Baseline Monitoring Techniques to Assess Filter Run Performance and Predict Filter Breakthrough*. Michael J. Sadar. Application Scientist Hach Company Loveland Colorado. 2000.
5. *Incorporation filter bed expansion measurements into your backwashing routine*. by Kevin Anderson & ED Chescattie
6. 自來水設施操作維護手冊—自來水協會
7. 水及廢水處理理論與實務—原著 Ronald L. Droste.

處理量 Q = 60,000 CMD

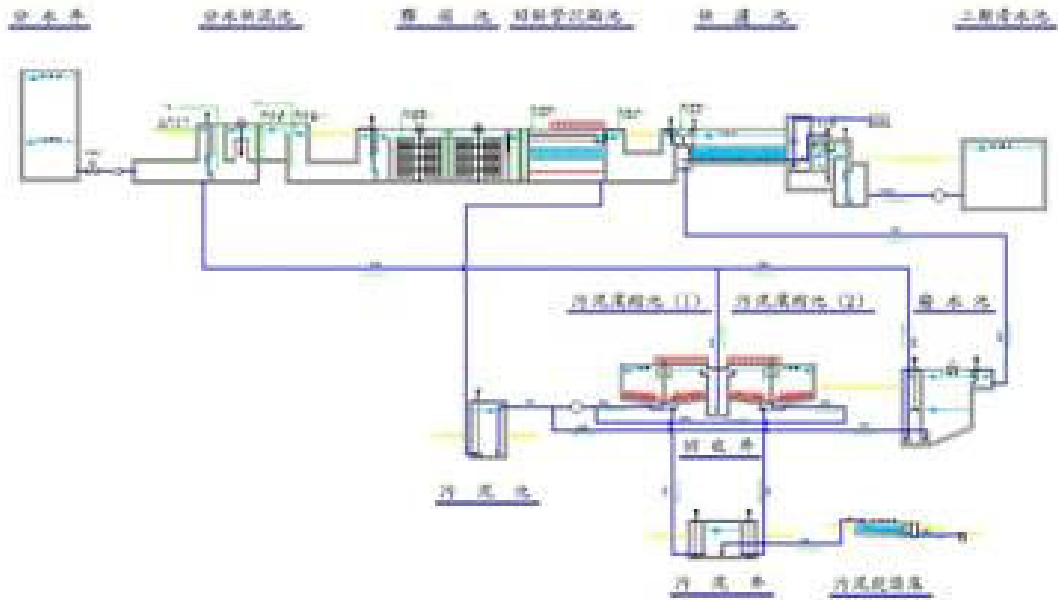


圖 1 鯉魚潭淨水場二期淨水處理設備流程示意圖

廢水渠高度

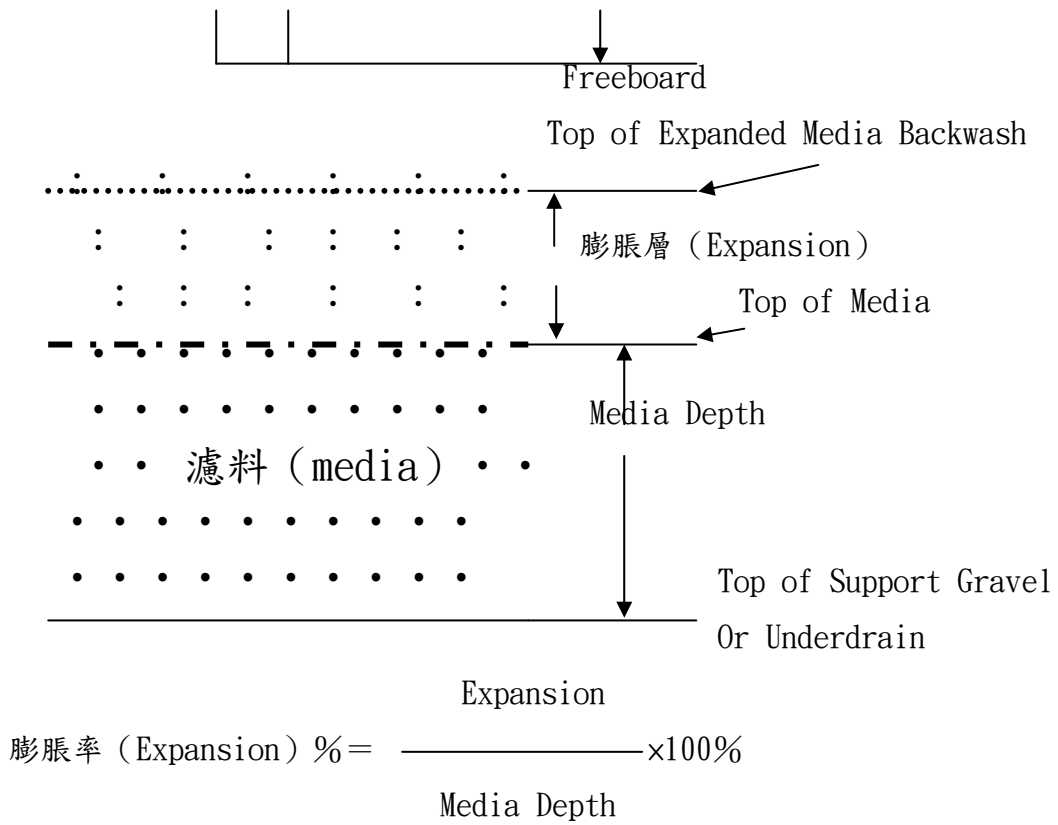


圖 2 快濾池膨脹率示意圖



圖 3 圓盤量測法實做記錄照片 (一)



圖 4 圓盤量測法實做記錄照片 (一)

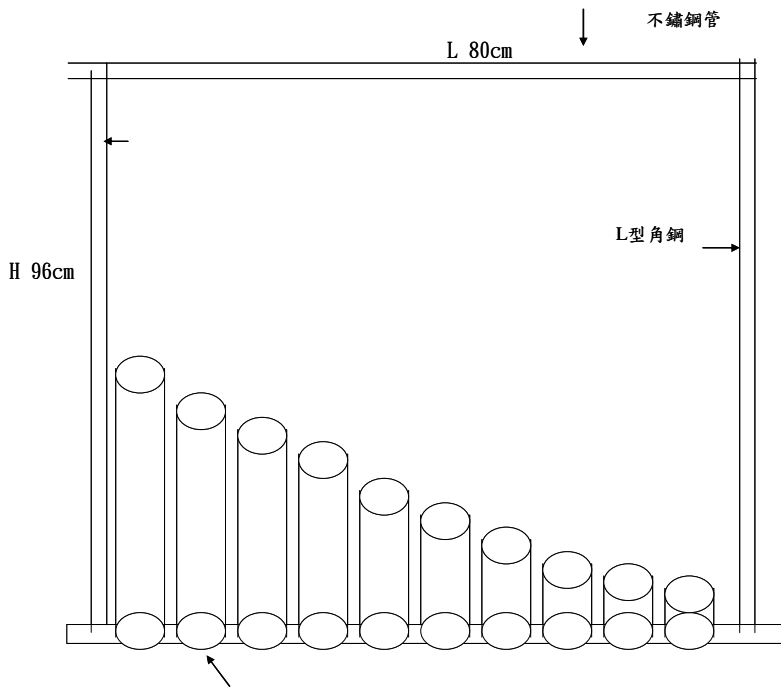


圖 5 風琴管膨脹率量測儀(第一代)

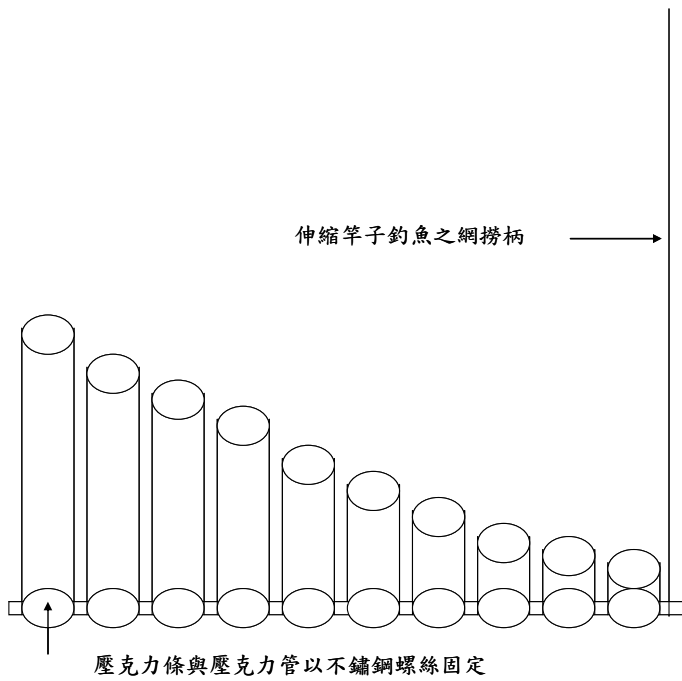


圖 6 風琴管膨脹率量測儀(第二代)



圖 7 風琴管組現場實測之照片

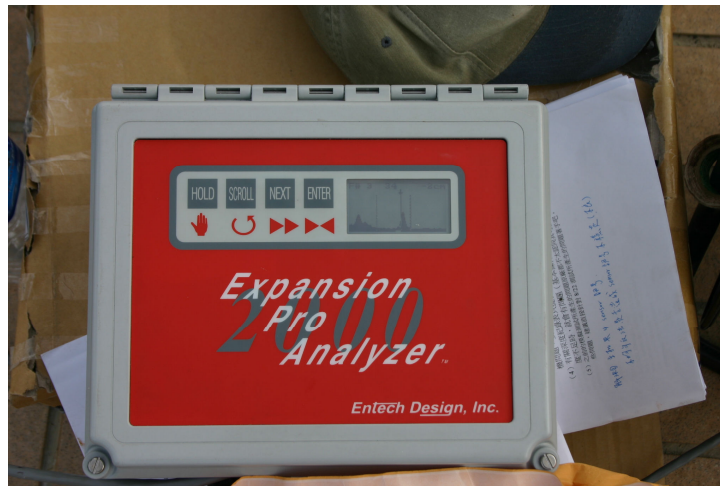


圖 8 膨脹率分析儀



圖 9 以圓盤觀測濾料膨脹情形

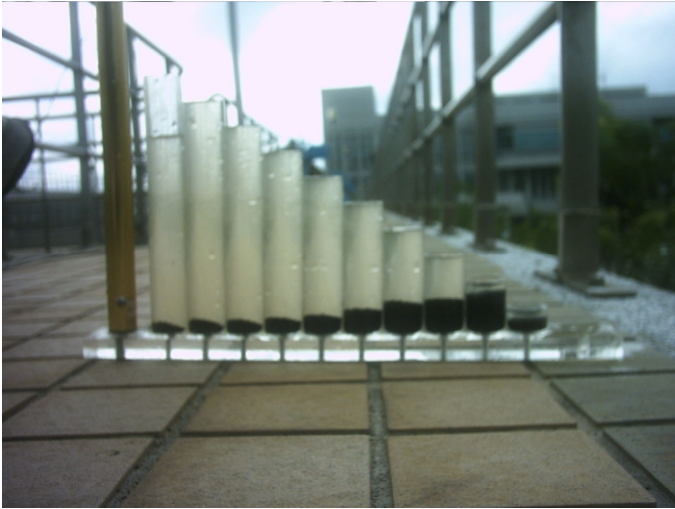


圖 10 第 1 池膨脹率照片 A

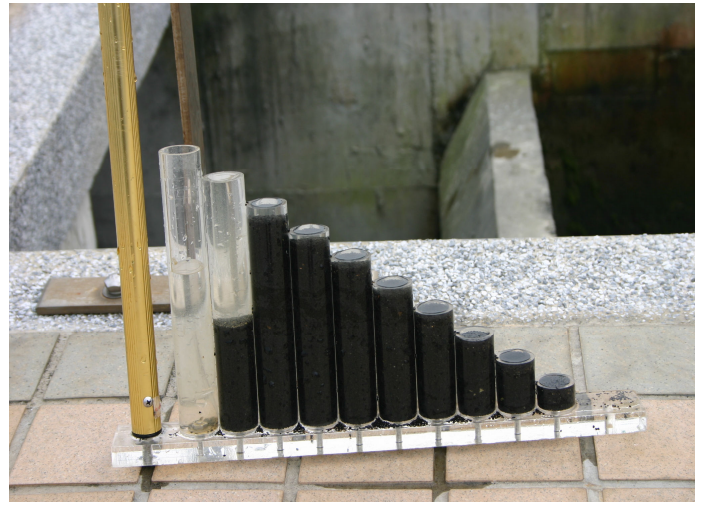


圖 10 第 13 池膨脹率照片 B

表 1 鯉魚潭淨水場二期快濾池各項規格

形式 (單一/多重濾料)		多重濾料		
池數		18		
尺寸 (每池)	長度(m)	14.4		
	寬度(m)	5×2(池)		
	總表面積(m <sup>2</sup> )	2,592		
濾速控制方式		變水頭過濾法		
濾率	設計值(m/day)	230 (60 萬 CMD)		
	操作值(m/day)	120 (30 萬 CMD) —200 (50 萬 CMD)		
濾料	種類	無煙煤	石英砂	濾石
	深度(cm)	40	25-30(93 年填補濾砂 5CM)	10
	均勻係數	<1.7	<1.5	-
	有效粒徑	0.8-1.0	0.45-0.55	1.8-5.0
	比重	1.4	2.6	-
反沖洗描述 (程序/濁度變化)		本過濾池使用阿卡諾式反沖洗程序，當濾料間之空隙受細微膠羽等異物堵塞，造成過濾池水位上升至某水位時即啟動反沖洗裝置。由預先設定高水位之液位訊號或設定之定時訊號運轉，先以空氣沖洗，接著以加壓水反洗，洗後砂層仍能保持原位，過濾水濁度約可降低至 0.5 NTU 以下。		
表面沖洗		有		
反沖洗 速率	設計值(m/day)	0.35M <sup>3</sup> /min/M <sup>2</sup> ；504m/d		
	操作值(m/day)	504m/d		
	操作時間 (min)	6 (每池)		
反沖洗 水量	操作值 (m <sup>3</sup> /池)	14.4M×5M×2×0.35M <sup>3</sup> /min/M <sup>2</sup> ×6min = 302.4M <sup>3</sup> 。(以濾程 30 hr 計算、或水頭 2.95M 計算)		
空氣沖 洗速率	設計值 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /min)	806.4		
	操作值 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /min)	806.4		
水頭損失(m)		0.559-0.873		
操作問題		過濾池反沖洗時濾料(無煙煤)流失過多		

表 2 第 1 池以膨脹率分析儀量測結果

測試對象：第1池 測試日期：2006/9/12 測試時間：下午14：20								
輸入參數	感測器1		感測器2		感測器3		感測器4	
濾料深度 (cm)	71 cm		76cm		72cm		67 cm	
感測器與濾料層高度差 (cm)	64 cm		63cm		64 cm		65cm	
膨脹率	高度差 (cm)	膨脹率 (%)	高度差 (cm)	膨脹率 (%)	高度差 (cm)	膨脹率 (%)	高度差 (cm)	膨脹率 (%)
	1-2cm	4-6%	4-5cm	4-6%	2-3cm	2-2%	4-5cm	4-6%

表 3 第 13 池以膨脹率分析儀量測結果

測試對象：第13池 測試日期：2006/9/6 測試時間：上午10：40								
輸入參數	感測器1		感測器2		感測器3		感測器4	
濾料深度 (cm)	73 cm		67 cm		66 cm		66 cm	
感測器與濾料層高度差 (cm)	62 cm		67 cm		68 cm		69 cm	
膨脹率	高度差 (cm)	膨脹率 (%)	高度差 (cm)	膨脹率 (%)	高度差 (cm)	膨脹率 (%)	高度差 (cm)	膨脹率 (%)
	3-4cm	3-4%	3-4cm	4-5%	2-3cm	2-3%	6-8cm	5-7%

表 4 膨脹率量測各種試驗方法成果比較

反沖洗率膨脹率%	管風琴量測法		膨脹分析儀	
	第1池 膨脹率%	第13池 膨脹率%	第1池 膨脹率%	第13池 膨脹率%
0.35m <sup>3</sup> /Min-m <sup>2</sup>	17	27	5	7
0.29m <sup>3</sup> /Min-m <sup>2</sup>	12	18	3	4
0.24m <sup>3</sup> /Min-m <sup>2</sup>	8	12	0	0
0.19m <sup>3</sup> /Min-m <sup>2</sup>	6	9	0	0

表 5 快濾池膨脹率量測各種試驗方法討論比較

試驗工具	現場試驗結果	所需費用 (元)
圓盤量測法 (繩索式)	經現場實際量測發現：1、因圓盤重量輕不穩定。2、下跌至 10 公分以下因距離遠及反沖洗水濁度高，即無法觀測。	壓克力圓盤：600、不銹鋼棒：300、繩索及五金另件：200；合計：1200 元/組
圓盤量測法 (固定桿)	經現場實際量測發現，下跌至 20 公分以下因反沖洗水濁度高，即無法觀測。	壓克力圓盤：600、伸縮桿 (5M)：400、水底型探照燈：5000、五金另件：300；合計：6300 元/組
管風琴量測法 (固定式)	經現場實際量測可行，惟重量太重，操作不易。	透明壓克力管及座：3000 元/組、角鋼：600、不銹鋼棒：300、不銹鋼五金另件：600；合計：4500 元/組
管風琴量測法 (移動式)	經現場實際量測可行，操作者應穩定執掌操作桿或將風琴管固定於牆面上。	透明壓克力管及座：3000 元/組、伸縮桿 (5M)：400、不銹鋼五金另件：600；合計：4000 元/組
膨脹儀 (EPA2000)	靈敏度高故實際量測值偏低，儀器設置費用高。	200,000 元/台 (感測器 1 組)

聯絡人：陳文祥

台灣省自來水股份有限公司總管理處工程師

台中市北區雙十路 2 段 2-1 號

[tchen@mail.water.gov.tw](mailto:tchen@mail.water.gov.tw)

Tel：04-22244191 轉 355

Fax：04-22232932