

蘭潭淨水場快濾池清洗之研究

A Study of the Cleansing of Fast Filtering
Facilities of Lantan Water-purifying System

指導研究：蔡其昌☆ 蘇嘉慶☆

盧俊明撰☆

本研究緣於謝副總工程師蒞臨蘭潭淨水場淨水操作及設備維護檢討會提示：為節省水量求最佳反沖組合及反沖水最後濁度偏高所作之操作探討。

蘭潭淨水場（以下簡稱本場）於59年委由省公共工程局規劃設計，61年開始興建，于63年完成開始營運，迄今已逾十年，濾池均按規定設計操作清洗，但近年來有關濾池清洗之各項研究，理論及方法日新月異，本場為達上級要求並針對經營管理需要，努力改善各項操作技術，期使本場濾池清洗達於最佳成效。

一、研究內容：

過濾與清洗應為兩面一體，清洗方式有反沖洗；空氣洗刷、混合式沖洗及表面輔洗，近年研究於反沖洗中加聚合物以減少過濾初期濁度貫穿時間及濁度高峯，若配合操作確保水質良好，可免排放初期過濾清水，以節省水量，無論何種方式清洗，無非是恢復過濾最佳功能。因此清洗操作良窳影響過濾至鉅。

本場設計濾率 150 M/D ，當水頭損失 2.5 M 或清水濁度 1 NTU ，濾程 72 小時以內（因水頭及水質雖未超限，但濾程過長，濾床細菌繁殖，影響水質）則反沖洗砂，操作平均濾程 48 小時，反沖率設計 1200 CMD/M^2 ，反沖前以旋轉式表面洗沖刷濾池表面污泥，而在濁度、水量、溫度等季節性變化時，反沖率、反沖速度、膨脹率等均需做一合適之調整，務使清洗達於過濾要求。以下各項為本研究之重點。

- (一) 濾池污泥球問題：有關泥球生長因素及防治對策，對濾池清洗之影響。
- (二) 反沖洗基本理論與本場實際操作，依據自來水專刊第十期王啟明節譯之高濾速濾池的設計與操作計算本場適當之反沖速度，及在濾料不致流失下顆粒之終極速度（terminal velocity）求出，以實測期得最佳之反沖操作技術。
- (三) 最佳反沖組合：原設計 1200 CMD/M^2 之反洗率，水量 350 M^3 。現場以第二池做為實驗基準，求最佳反洗率。

☆蔡其昌：自來水公司第五區管理處嘉義給水廠廠長

☆蘇嘉慶：自來水公司第五區管理處工程師

☆盧俊明：自來水公司第五區管理處技術士

四反冲速度與膨脹率之關係：實測上昇速度與膨脹率相互之關係，以觀反冲效果。

五季節性反冲速度之調整。

二、污泥球問題：

本場為重力式直接過濾，採用韋氏濾床，濾速控制系統為定速過濾，計四池，每池面積 89 M^2 ，濾池總面積 356 M^2 設計最大濾水量 $52,000 \text{ CMD}$ ，但目前供水普及率提高，用水量增加，本場在豐水期最大濾水量曾提高至 $80,000 \text{ CMD}$ ，平均約 $72,000 \text{ CMD}$ ，操作盤超出限值，儀表產生誤差，因此維護檢修均需格外謹慎，但濾池也產生一些問題。(79)年七月九日總管理處淨水操作及設備維護檢討決議案追蹤表提示本場反冲最後濁度偏高 ($60 \sim 120 \text{ NTU}$)，本場自七月十二日開始採取連續反冲洗，促使濁度下降，濾程由原 48 小時變更為 12 小時反冲一次。由第一池試驗時，當水位降至濾煤表面 $5 \sim 10 \text{ CM}$ 準備表洗檢查濾床，發現角落隆起，並有裂痕縱深 $1 \sim 2 \text{ M}$ (如照片(一))，操作員即下池挖掘檢查濾層，於 40 CM 砂層部份結有泥團，體積約 0.5 M^3 (如照片(二))，內含煤粒及砂粒 (含泥量 7%) 將之擊碎，具有腐臭味濾床角落遍佈或大或小之泥球，經一一搗碎加以清洗，隔日，濾面浮現許多 3 至 6 CM 之泥球 (如照片(三))，乃下池檢取，將之剝開內包煤粒 (含泥量 90%)，而四池角落均有此現象，經一一下池挖掘處理，再也未見裂痕及隆起，自七月十二日至八月廿日止，均以 $1,200 \text{ CMD} / \text{M}^2$ ， $350 \sim 400 \text{ M}^3$ 水量反洗，其濁度下降情形如表(一)，反冲次數計 40 次反冲最後濁度 20 NTU ，初濾水頭損失 0 至 0.2 M 表示濾床已潔淨，濾池已無泥團，濁度降至合理點，尤其濾水量增加，濾率提高，逢豐水期易於調節出水量，又可正確測出反冲組合，助益頗大。

檢討本場發生泥球及反冲濁度偏高，據事實研判：

(一)表面洗砂機噴射時留有死角 (如圖(一))，當原水濁度較高時，污泥大部阻留於無煙煤層，而旋轉桿的噴孔沖出之水柱無法達到濾池四周之角落，以致形成表洗之死角，未能充分洗去濾煤之附着物；或表洗噴孔部份阻塞，反冲洗時，其剪力無法將污泥搓散，導致污泥與無煙煤粘結，因此重關係，乃沉降至濾層底部。依日本京都研究人員報告指出「如無有效的表面洗砂或其輔助設備像空氣沖刷等設備；微量的煤砂可形成污泥球之核心，而後迅速成為大的泥球或泥團」，而影響反冲水均勻分配，反冲最後濁度偏高 (如圖(二))，無法一次洗淨。

(二)在夏季濾池藻類繁殖迅速，池壁成長青苔，吸附懸浮物，經日光照射，厚至某限度則行剝落，或開動 20 HP 抽水機以 $8 \text{ KG} / \text{CM}^2$ 之清水用水龍頭衝刷池壁，表洗時未予沖碎，反冲後，沉於濾層底，乃形成泥球之先聲。

(三)反冲率及反冲水量未配合季節性加以調整，或因水頭損失超限，反冲速度未能視原水濁度加以調節，均助泥球之形成。

四原水濁度變動時使用膠凝劑量不當，對泥球生長或多或少均有關係。

以上因素經本場尋其對策：

1 製作搗泥棒如圖(三)，定期於反冲前將濾池四角生長之泥球或泥團搗碎，並用網撈取浮上濾層面之小泥球。假如能在上述死角裝設固定式表洗機，使濾床面積完全沖刷，則更為

理想。

2. 夏季池壁應於每次反沖洗前刷洗，以防止藻類繁殖形成青苔導致沖刷時大片剝落，或以黑色塑膠片覆蓋濾池，免因日光照射，易滋藻類繁殖之困擾。
3. 反沖速度，反沖水量及反沖率均應適時調整，操作人員應全盤瞭解反沖原理配合經驗才能靈活運用。
4. 膠凝劑應加以適量控制，避免水頭損失超限，或提前洗砂。操作時應先加大反洗率使濾層提前散落，再調至設定值，以防濾層污泥與濾料因剪力不足而凝結，提高泥球之生長率。

三、反沖洗基本理論與本場實際配合：

一般濾料最佳的清洗方法是用水反沖，而反沖水之速度要充分使濾料「流體化」(Fluidization)，不致發生濾層凝結，因孔隙率不均勻使反沖水分配不均，且反沖水速度必需小於濾料有效粒徑的終極速度 (terminal velocity) — 濾料顆粒自由沉降狀態下，以避免反沖時濾料自排水槽流失。依河村進原所著王啟明節譯「高濾速濾池的設計與操作」中實驗公式 (P. 82)

(一) 顆粒之終極速度：

$$U_t = \left[0.08 \frac{(\rho_s - \rho)^2 g^2}{\rho u} \right]^{1/3} d \quad (\text{kg} - \text{m} - \text{s})$$

U_t = 顆粒之終極速度。

ρ_s = 顆粒比重 (經本場採樣實測煤 14.7 砂 2.5)

U : 水之黏滯係數 20°C : $10^{-2} \text{ g} / \text{CMS}$

ρ : 液體比重 (水在 20°C 為 $1.0 \text{ g} / \text{CM}^3$)

g : 重力加速度、 d : 有效粒徑。

$$\text{則本場之 } U_t \text{ 在 } 20^\circ \text{C} \text{ 時} = \left[0.018 \frac{(2.5 - 1.0)^2 980^2}{1.0 \times 10^{-2}} \right]^{1/3} d$$

U_t 如在 M/S 時顆粒直徑以公尺計則砂 = $157.3 \text{ dM} / \text{S}$ ，煤 = $72.55 \text{ dM} / \text{S}$

本場砂 d : 0.00045 M

煤 d' : 0.0009 M

則砂 $U_t = 157.3 \times 0.00045 \times 60$ (秒) = $4.26 \text{ M} / \text{Min}$

煤 $U_t' = 72.55 \times 0.0009 \times 60$ (秒) = $3.97 \text{ M} / \text{Min}$

(二) 濾床之流體化速度：

「反沖洗砂過程中，當濾料大小不規律而分層之濾床反沖阻力拖曳 (drag) 與顆粒自重相同時可完全流體化」，其公式如下：

$$U_f \geq U_{tf}^{4.5}$$

U_f : 流體化速度

U_t : 顆粒之終極速度

f : 濾床空隙比 (砂約 0.45 煤約 0.5)

依前述本場砂 $U_t : 4.26 \text{ M / Min}$

煤 $U' : 3.97 \text{ M / Min}$

則砂 $U_f : 4.26 \times 0.45^{1.5} = 0.12 \text{ M / Min}^{**}$

煤 $U_f' : 3.97 \times 0.5^{1.5} = 0.17 \text{ M / Min}^{**}$

(三) 摩擦力：

選擇本場之反冲速度，除考慮上兩項限值外，並須以摩擦力作為濾床清洗主要力量，其公式：

砂 $Vb' = d'$ 、煤 $Vb'' = 0.47 d''$

Vb' ：砂之反冲速度 M / Min d' ：砂徑 0.45 MM

Vb'' ：煤之反冲速度 M / Min d'' ：煤徑 0.9 MM

則 $Vb' = 0.45 \text{ M / Min}^{**}$ $Vb'' = 0.9 \times 0.47 = 0.423 \text{ M / Min}^{**}$

表面洗砂裝置與砂層較無關係，僅與煤層刷洗有關，因此砂層之洗淨需全藉反冲洗之速度為其摩擦力量，而懸浮物及明礬膠羽的終極速度，依實驗數據範圍 $2.5 \sim 25 \text{ CM / Min}$ ，故以砂 $Vb' = 0.45 \text{ M / Min}$ 為理論上適當反冲速度（ 20°C ），不僅能將懸浮物及明礬膠羽排出濾池，若排水槽高度適當或無其他因素，因 0.45 M / Min 小於砂煤之終極速度可避免濾料流失，而大於砂煤之流體化速度，不致發生濾層凝滯現象，影響洗淨效果，經本場實測，在相同條件反冲洗上昇速度與反冲率曲線（如圖伍），圖中 0.45 M / Min 之反冲率 480 CMD / M^2 ，實際依此速度反洗，可能因濾料有效粒徑、大小、比重，均等係數選擇不夠嚴格致濾層孔隙率關係而有部份濾料凝滯，使反冲洗易流之處滙集成水柱，致使濾料於該處隨水排出水槽，若以反冲速度 0.7 M / Min 以上試驗則無此現象，而試以 1.2 M / Min 反洗，則因排水槽高度關係，濾煤有流失現象，而在 1.1 M / Min 之速度反洗，則無此情形。因此，若以目前本場反冲洗速度範圍應在 0.7 M / Min 至 1.1 M / Min 之間，由圖伍查知反冲率在 700 CMD / M^2 至 1100 CMD / M^2 。

四、最佳反冲率：

由於本場裝設表面冲洗設備，因此反冲水量比未用表面冲洗節省，原操作反冲率均以 1200 CMD / M^2 為依據，水量約 350 M^3 ，反冲洗時間約 5 分鐘，在反冲開始時表洗機即關閉，以致反冲後表洗噴孔因濾層膨脹，濾料擠入噴孔造成阻塞，嚴重影響冲洗效果，據本場表洗機改進之研究報告指出，反冲洗時以 3 HP 抽水機繼續壓送噴水，未發生阻塞，後經本場再研究改進於反冲時讓表洗機於濾層膨脹中刷洗，且反冲時間加以延長，使之如淘米般慢慢洗滌，操作時反冲初期以 1.4 M / Min 之反冲速度提前攪散濾層，可免因濾料孔隙率不均或他項因素如污泥特性、微生物等致砂煤凝滯使反冲水分配不均，而在反冲水排出水槽前調至設定值，經以上述方法操作得如圖六之最佳反冲率，圖七為其濁度與時間之關係圖，據此實驗反冲率 800 CMD / M^2 為最節省水量，其反冲速度則為 0.85 M / Min （在 24°C 時）。

五、膨脹率：

理論上煤砂適當膨脹率在 20°C 下公式：

$$\text{膨脹率} : \frac{0.6 - f}{0.4}, \quad f : \text{孔隙率}$$

$$\text{砂 } f : 0.45 : \text{則 } \frac{0.6 - 0.45}{0.4} = 37.5\%$$

$$\text{煤 } f' : 0.5 \text{ 則 } \frac{0.6 - 0.5}{0.4} = 25\%$$

本場在挖勘濾層時，檢查剖面，煤砂間有混合層 40 公分厚，若取砂煤 f 之平均值其膨脹率應為 32.5%。在反沖洗時若膨脹率過大濾料顆粒搓洗次數減少，過小則摩擦力不足以洗淨污泥，因此反沖時選擇適當的膨脹率乃屬必需。依經驗「砂床膨脹率 40%，煤 25% 一般都視為合理的膨脹，但假如反沖有輔洗時最適當的膨脹可減低 10%」，本場砂層厚度 40 CM，煤層 30 CM，而以混合層 40 CM 基準則砂層約 15 CM，煤層 15 CM，佔砂層及煤層之比例混合層約 55%，因此以混合層做為膨脹率較為合理，在實測時本場以

$\frac{\text{總膨脹厚度} - \text{未膨脹厚度}}{\text{未膨脹厚度}} \times 100\%$ 為反沖洗砂之膨脹率，按圖(四)之方法插入反沖時濾池中，在第 2 ~ 4 分鐘提起，由沉於杯內之濾料量測其高度而得，因濾層膨脹率隨水之黏滯係數及反沖洗上升速度而有不同，因此以反沖速度與濾層膨脹率為其關係如圖(四)，據前述最節省水量之反沖速度為 0.85 M / Min，其總膨脹率則為 23%，因本場有表洗設備，故理論上 32.5% - 10% = 22.5% 之膨脹率與實測 23%，頗為吻合，事實上 23% 之膨脹率，其沖洗已潔淨，由初濾水頭及濁度下降情形可予觀察出，應可視為本場適當之膨脹率。（條件相同時）。

六、溫度與反沖速度之關係：

本場 72 年 1 月至 12 月水溫變化 13.5°C ~ 30.1°C，本場適當之反沖速度 0.85 M / Min 實測當時之溫度 11 月 5 日 ~ 11 月 29 日 21°C ~ 27°C，其平均值為 24.7°C，則在 24°C，2.85 M / Min 之反沖速度為基準所繪製之反沖速度改正係數如圖(四)，其公式：

$$V_b \sim 20^\circ\text{C} \cdot U^{-\frac{1}{3}} = V_{bu}$$

$V_b \sim 20^\circ\text{C}$: 20°C 時之反沖速度（依前述 0.85 M / Min 24°C 時反算 20°C）

V_{bu} : 任何溫度之反沖速度由表(二)及圖(五)所見，在 12.5°C 其反沖率為 790 CMD / M²，30.5°C 為 920 CMD / M²

七、經濟效益及成效分析：

(一) 濾程：比較反沖最後濁度（60 NTU ~ 120 NTU）與降至 20 NTU，濾程相差兩倍以上，以第 2 池七月十二日之操作記錄及十一月五日以後之比較如圖(十)可觀察其差異，在提高濾水量方面於相同濾程與不同濾率之比較如圖(十)，其效果可提高 20% 在水質方面，七月份清水濁度平均 1.09 NTU，濾池促降濁度及反沖操作技術之改進九月份平均濁度 0.54 NTU，十月份則降至 0.47 NTU，其成效今非昔比。

(二)在各項條件配合，其反沖洗可綜合如圖(二)所示，其反沖速度 $0.85\text{M}/\text{Min}$ 時，總膨脹率 23% ，反沖率 $800\text{CMD}/\text{M}^2$ 反沖水量 300M^3 ，而與未改進前比較。

未改前：每日洗 2 池，反洗率 $1200\text{CMD}/\text{M}^2$

350M^3 水量，其每日消耗水量 $350 \times 2 = 700\text{M}^3$

改進後：每日洗一池，反沖水量 $310 \sim 320\text{M}^3$

每日節省： $700 - 320 = 380\text{M}^3$

每 1M^3 之淨水成本 1.75 元， $1.75 \times 380 = 665$ 元—每日節省金額

以試行低濁度期間(約六個月)每月可節省： $665 \times 30 = 19950$ (元)

(三)白濾料減少補充：據八月廿日操作 $1150\text{CMD}/\text{M}^2$ 時第二池濾煤有流失現象，若據此前 $1200\text{CMD}/\text{M}^2$ 濾煤流失量可觀，需時常補充濾煤，增加淨水成本，若以本廠研究基準 $800\text{CMD}/\text{M}^2 \sim 1100\text{CMD}/\text{M}^2$ 反沖率及前述操作技術，濾料較不會流失。

(四)其最大成效，乃在於濾池操作臻於完善，無論出水水質，及延長濾池壽命均有很好的預期成果，不僅在低濁度時如此，濁度較高時均可參考圖(二)之操作基準加以運用，使反沖效果完全發揮。

八、結 論：

(一)濾床若有隆起或裂痕，濾層定有泥球或大泥團，終將導致原水直接貫入清水池，使清水水質不佳，尤其在四個角落為然，操作員在反沖前應先檢查濾層面是否有異狀，再行清洗較為適當。

(二)若欲防止泥球發生，不但要注意反沖前，表面洗必做到完全有效的沖刷，池壁保持清潔勿使生長青苔，對損失水頭應避免過大，注意原水水質及水溫變化以調整反沖速度。

(三)應定期測試反沖最後濁度及濾層含泥量之分析，並注意初濾水頭損失 $0 \sim 0.2\text{M}$ ，否則下次反沖時寧可增加反沖水量以保濾料清潔。

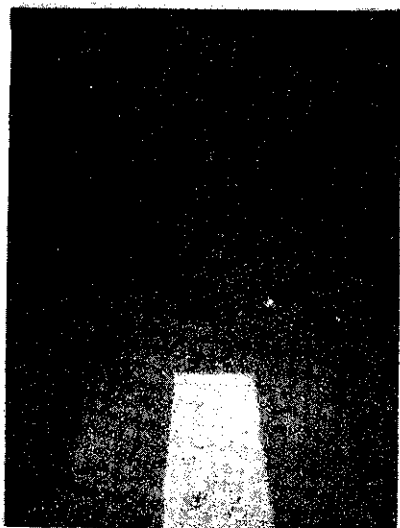
(四)反沖速度大於流體化速度並小於顆粒之終極速度應大於摩擦力而不可小於膠羽之終極速度，操作時需先以 $1350\text{CMD}/\text{M}^2$ 較大之反沖速度 ($1.4\text{M}/\text{Min}$) 將濾層提早散落，以免因剪力不足(孔隙率或其他因素)使反沖水分配不均，然後再調至設定值 ($800 \sim 1100\text{CMD}/\text{M}^2$) 使反沖效果完全發揮。

(五)表洗機於反沖時繼續操作至反沖廢水停止外洩排水槽為止，除可加強濾料之沖刷，並避免噴嘴阻塞，在反沖洗各項條件配合下更趨完美。

(六)反沖率、反沖水量、反沖速度、膨脹率應相互配合，並隨季節性予以調整，可節省電力及水量，提高反洗效果。

(七)經本次反覆操作研究結果，反沖最後濁度已可降低至 20NTU ，水質由 1.09NTU 降至 0.47NTU 顯見已改善，濾程增長，濾率提高，反沖速度定在 $0.85\text{M}/\text{Min} \sim 1.1\text{M}/\text{Min}$ 之間，可降低淨水成本，且延長濾池壽命，濾料流失可予避免。

(一)



隆起及裂痕

污泥團 (二)



濾面之泥球 (三)

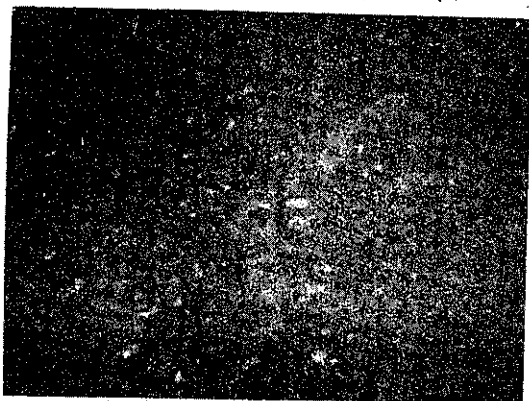
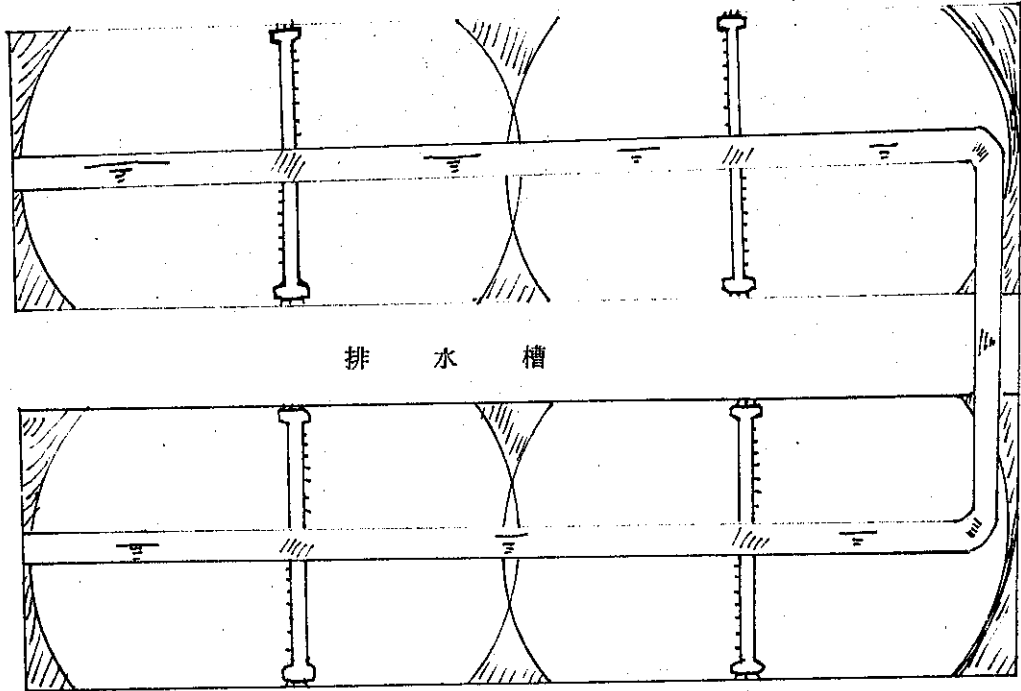


圖 (一)

表洗冲刷面積圖



※斜線部份為未能冲刷面積

圖 (二)

泥球阻塞

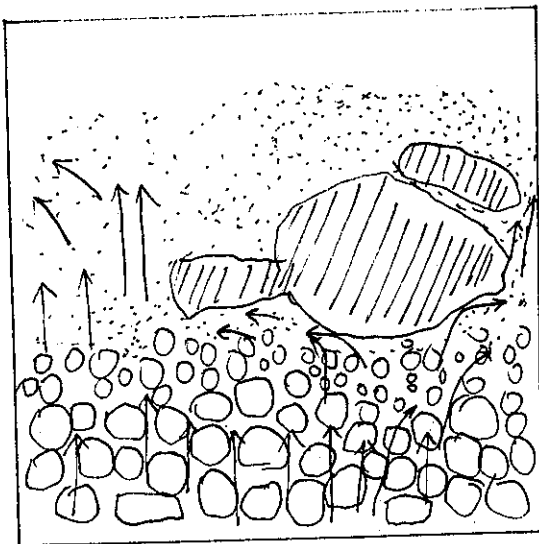


圖 (三)

搗泥棒

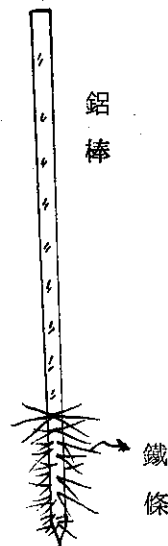
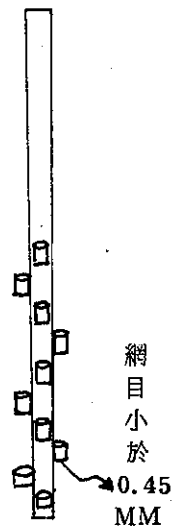


圖 (四)

測濾層膨脹率



反冲最後濁度下降情形

濁 度 次 數	池 號				備 註
	1	2	3	4	
1	120	105	120	118	(一)反冲率1200 CMD 水量350~400 M ³ (二)每日反冲二次，最後濁度20 NTU以下即 完成清洗，正常操作。 (三)※未予記錄。 (四)濁度單位 NTU。
2	105	85	※	105	
3	95	60	110	100	
4	90	45	105	95	
5	80	28	90	80	
6	※	18	90	75	
7	※		※	45	
8	※		※	27	
9	60		65	19	
10	45		54		
11	32		50		
12	21		35		
13			18		

實測反冲速度與反冲率關係圖

圖 (五)

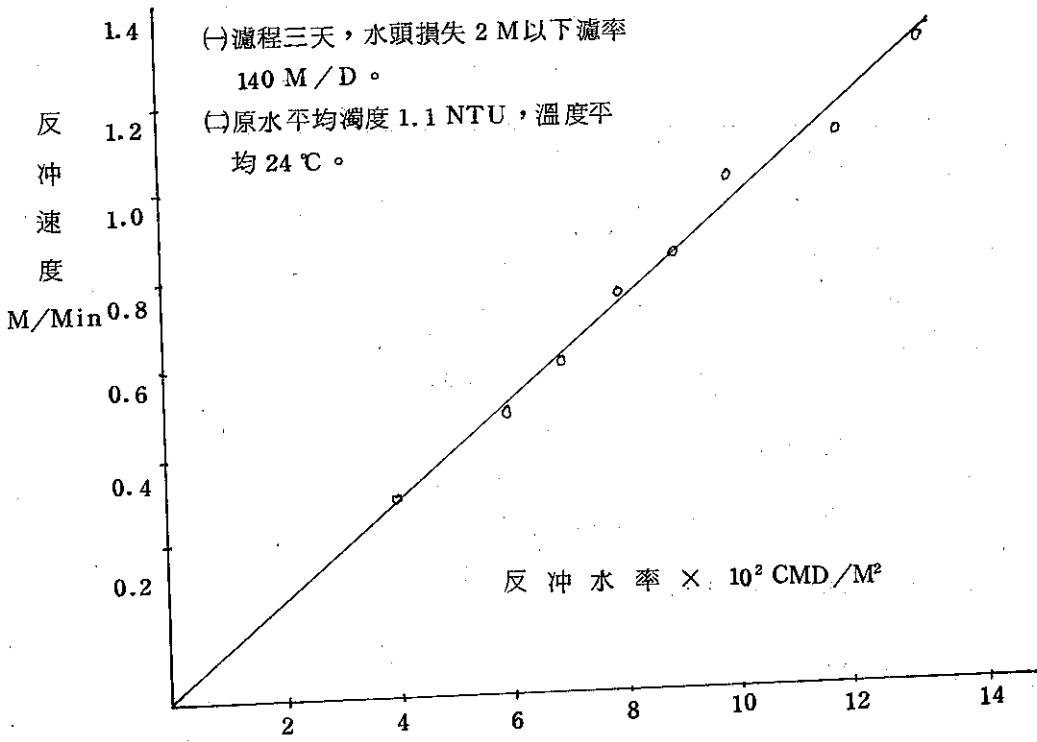


圖 (六)

