

102 年度

重力式快濾池過濾機制及操作參數 之探討

研究單位：第十二區管理處板新給水廠

研究人員：工程員 歐尚鑫

研究期程：102 年 1 月至 102 年 6 月

目錄

一、研究緣起與目的	1
二、研究方法與過程	1
三、研究結果與討論	1
3.1 快濾的機制	1
3.2 快濾池的設計與建造	4
3.2.1 濾材的相關資料	5
3.2.2 濾床底層的排水系統	7
3.2.3 快濾池的規模	9
3.2.4 快濾池的濾速	9
3.2.5 水頭損失、空氣的限制以及負水頭	10
3.2.6 固體的截留	12
3.2.7 流量的控制	13
3.3 快濾池的反洗	15
3.4 快濾池的操作	19
3.5 板新給水廠快濾池的操作	23
四、研究發現與建議	28

參考文獻

重力式快濾池過濾機制及操作參數之探討

歐尚鑫

台灣自來水股份有限公司第十二區管理處板新給水廠

一、研究緣起與目的

板新給水廠淨水處理設備以 120 萬 CMD 出水量設計，為了水資源有效利用及中央政策北水南調之供水需求。面臨未來的用水需求、颱風豪雨天然災害衍生高濁度原水處理難度的增加、淨水設備的維護操作與改善，以及操作人員技術的提升等，各淨水單元的研究亦需要廣泛、持續的進行，以追求更穩定及更高品質的供水，因此本研究針對淨水廠快濾池為主題，進行過濾機制及操作參數進行探討。

二、研究方法與過程

快濾池為淨水處理程序中的心臟，過濾水產出的水質好壞直接影響到供水的品質及安全，因此，本研究先針對文獻中快濾池的過濾機制及濾池操作參數的關係進行討論，接著再以目前板新給水廠的操作條件加以描述及比較。

三、研究結果與討論

3.1 快濾的機制

在淨水處理的程序中，快濾於進行固液分離的階段，一般設置於沉澱(含/不含化學混凝)的單元之後，以下將針對以過濾來達到顆粒的去除的基本原理進行討論。

相較於化學處理，快濾法一般為淨水處理中較優先選擇的方法；不採用化學處理的快濾於處理水量較小的水源可達到有效的處理效果，而設置於慢濾的單元之前之快濾，一般稱做為一級過濾(primary filtration)。

雖然過濾的過程可能也伴隨其他物化反應，但快濾的設計原理主要利用物理作用來達到水中顆粒的去除。濾料的材質一般為砂，粒徑大小介於 0.4~1.5mm 之間，藉由不同濾床率料的過濾，其可去除的顆粒粒徑亦介於此範圍。而濾料的選擇，還有無機顆粒(mineral particles)或矽藻土(diatoms)等，其粒徑約小於砂質濾料 20 倍以上。實際上，部分小於濾料粒徑大小百倍以上的顆粒也會在過濾的過程中被去除掉。雖然原水中懸浮顆粒可能仍小於濾料或濾材的單位尺寸。為了達到有效去除水中的細小粒狀物，在快濾的單元前往往添加形成膠羽所需的混凝劑，如氫氧化鋁或氫氧化鐵等。因此，即使是簡單的過濾，但過濾器的形態也不盡相同，如微過濾器(microstrainer)等。在許多的例子中，某些濾出的行為只是由於在過濾器的表面加上一道濾層，但一般的過濾作用仍以具有一定深度的濾材來達到過濾的目的。在水的過濾中，濾床中的流動為層流，流經濾材的水頭損失也與水的流速成比例關係。

很明顯地，對於以簡單過濾來去除極小的顆粒，需要考慮其過濾的機制。而近年來，已有數量相當可觀的研究在此一領域

中發表。其中一部分的研究已被發表並歸納在 Ives [1] 等人的研究中。所得到的結論也成為現今簡易過濾的主要的機制，包括重力沉澱(gravity or sedimentation)、截取(interception)、流體動力(hydro-dynamic)以及擴散(diffusion)等作用。

有關過濾機制的研究，主要針對顆粒及濾料間的相互吸引或排斥作用，對於無相互吸引的顆粒大多著重於脫附的研究。然而，考慮太過複雜的因素或任何明確的結論往往使得在研究上受到許多限制。凡德瓦力(Van der Waals forces)為目前最廣為人知用以描述分子之間相互吸引的作用力，且幾乎適用於所有水中各種物質，只是其作用的範圍通常只局限於小於 0.05 μm 的微小距離。

值得一提的是，某些水處理程序中的濾料都同時有物理或化學反應伴隨其中。例如水中含有過飽和的正電碳酸鈣會產生其沉澱物，或是鐵及鈣化合物的氧化、沉澱。當這些反應產生時，這些產物開始覆蓋在濾料表層形成一層活性界面並持續的反應。少部分的案例中，由於濾料上的有機物為細菌生長需要，水中的氨被氧化成為硝酸鹽或是其他的生化作用可能在流經濾層的時候就立即反應完成。目前生物反應的原理亦被應用在飲用水的處理中，包括利用濾砂表面上的生成的微生物來減少硝酸鹽、氨、鐵及鎂的濃度至可接受的程度。

3.2 快濾池的設計與建造

重力式快濾其實際產生過濾的效果或是從進流水中去除固體的區域主要發生在濾料放置的所在，一般所使用的材料為濾砂。如同前一節討論過的，過濾的過程有許多不同的機制(沉澱、截留、擴散、吸附等)，各種機制作用的程度也影響到濾層的去除率。但根據處理水的特性，往往會以特定一、二種過濾機制扮演最主要的顆粒去除角色，並以化學處理一起做為水處理程序的前處理階段。對於飲用水的生產，重力式快濾通常配置於固液分離程序的最末端，且濾液的固體濃度，一般普遍要求至少要小於濁度 0.5NTU 的標準。然而，近年來為了有效去除水中之梨形孢子蟲 (*Giardic cysts*) 以及隱孢子蟲 (*Cryptosporidium oocysts*)，過濾水的要求已逐漸朝向以濁度小於 0.1NTU 做為基準。

為了滿足這些淨化水質的基準，在重力式的快濾(特別是砂濾)的基本設計都有一些限制，例如濾砂粒徑也必須為同一種級配的範圍(monograde)；濾砂的配置必須由細到粗、濾砂於濾床的配置深度及寬度，或是進流水的過濾方向(向上流、向下流或雙向流)等。濾料的設計相當多樣，例如利用砂、礫石或其他的濾材(如無煙煤(*anthracite*)或石榴石(*garnet*))等，依不同的濾料大小及相對密度來配置成雙層或多層的濾層。多重濾料的濾

層亦有藉由前述的濾材與商業化的濾材共同使用組成，而且這樣的濾層組合部分都具有專利設計。以粒徑較小的濾砂而言，由於可以攔截較大量的固體顆粒，但會產生較大的水頭損失，因此通常被置於濾層的上部。相對的，使用粒徑較大的濾砂，使得固體顆粒容易穿透到濾層較深的位置，因此在濾床的底部仍建議再針對固體顆粒進行一道措施以達到去除的目的。通常濾床底部要能持續地有效的將固體顆粒攔截，防止其穿透整個濾層，在反洗的過程還必須確保累積在濾層下層的污泥能夠在下一個操作循環前能完全去除，才能提升過濾的效能。理論上將同種濾砂的粒徑以隨著處理水流動的方向遞減的方式配置在濾層中，也就是進行級配的排列(grading arrangement)，可以使濾層對固體顆粒達到較好的截留效果。

3.2.1 濾材的相關資料

在歐洲，濾層不是用有經過級配的濾砂(由細到粗；均勻度低)，否則就是使用單一等級較粗的濾砂(單一粒徑大小；均勻度高)來做設計。通常沒有單一濾材且特定的粒徑大小及濾層深度可以用來處理所有不同特性的水源。設計的條件取決於待處理水的水質以及前段的處理程序、過濾後水質的要求、濾床清洗的方法、過濾速率以及過濾的時間等。在使用有經過級配的濾砂時，濾床理論上為 0.7 公尺 0.6-1.18mm 的細砂(有效粒徑

0.75mm)、0.1 公尺 1.18-2.8mm 的粗砂，0.1 公尺 2.36-4.75mm 的細礫石以及 0.15 公尺 6.7-13.2mm 的粗礫石組成。在實際應用上，在上層的細砂一般為 0.7 公尺 0.5-1.0mm 的細砂(有效粒徑 0.55mm)、0.1 公尺 1.0-2.0mm 的粗砂，礫石層則大致相同。一般濾石層底部的濾嘴(nozzles)外觀較為狹長，因此通常忽略其在濾層中佔據的體積，並緊鄰著濾材配置。而使用單一粒徑大小濾砂的濾層，一般則在底部以 50mm 厚 4-8mm 的礫石層上配置 0.9-1 公尺深且 0.8-2mm 的細砂(有效粒徑 0.9mm)來組成。砂及礫石顆粒大小的差異一般分別以 5%以及 95%為允許範圍，對於濾砂的配置深度則一般大約為濾砂有效粒徑的 1000 倍[2]。某些濾層的設計者會使用水力尺寸(hydraulic size)來取代有效粒徑[3]。水力粒徑的定義為，等同所有大小不一的顆粒的表面積，轉換為同一大小顆粒的粒徑大小。

適合作為濾砂的材質應為石英等級，且比重須介於 2.6-2.7。均勻係數則須小於 1.6，一般介於 1.3-1.4 之間。在 450 度的灼燒減率必須小於 2%，同時在 20 度下，以 20%鹽酸酸洗 24 小時其重量的損失亦必須在 2%以下。濾砂的脆性亦不能太高，避免在反洗的過程中產生細小的碎粒，因此大多需要進行脆性的強度測試方可使用[4]。

3.2.2 濾床底層的排水系統

濾床的下方設置有一管網系統。其主要用以收集濾床底部的過濾水，並且在反洗的過程中能夠均勻的進行氣洗及水洗。根據設計的不同，如圖 1 的方式，其濾嘴接在橫向的 PVC 管端，並且保持固定的間距以混凝土固定填滿。由於反洗的期間可以分別進行氣洗或水洗，因此適合應用在雙層或三層濾料及使用粒狀活性炭之濾層。另一種設計則是將濾嘴設置在強化的混凝土地板中，同時下方仍保留有一定大小的空間，如圖 2。濾床的底板一般以塑膠或是預鑄的混凝土平板的構造組成，下層則仍為混凝土的基礎。這樣的設計可使氣洗及水洗在操作上可分別或同時進行，且較 PVC 管的設計方式更能使空氣及水均勻的分布。但無論是何種設計，在一般濾嘴上其縫隙為 0.3-0.5mm 寬，以減少濾砂可能會穿透到濾嘴內部的風險。濾嘴在濾床底部配置的密度一般約為 40 nozzles/m²。另外，世界上仍有其他的型式設計，而大多是都具有專利且已被廣泛的應用中。

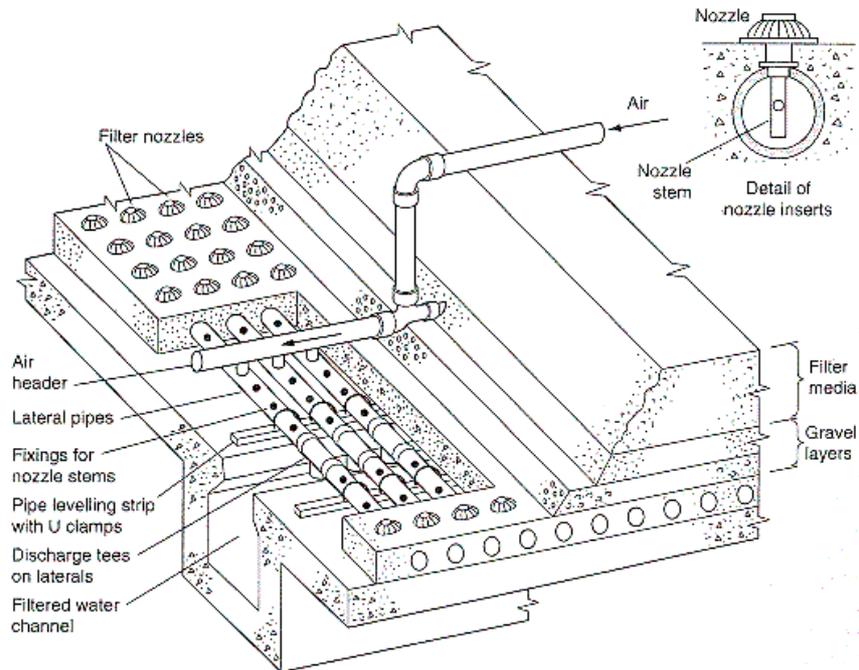


圖 1 側向管渠濾床之平面配置示意圖(Paterson Candy Ltd , South Africa)

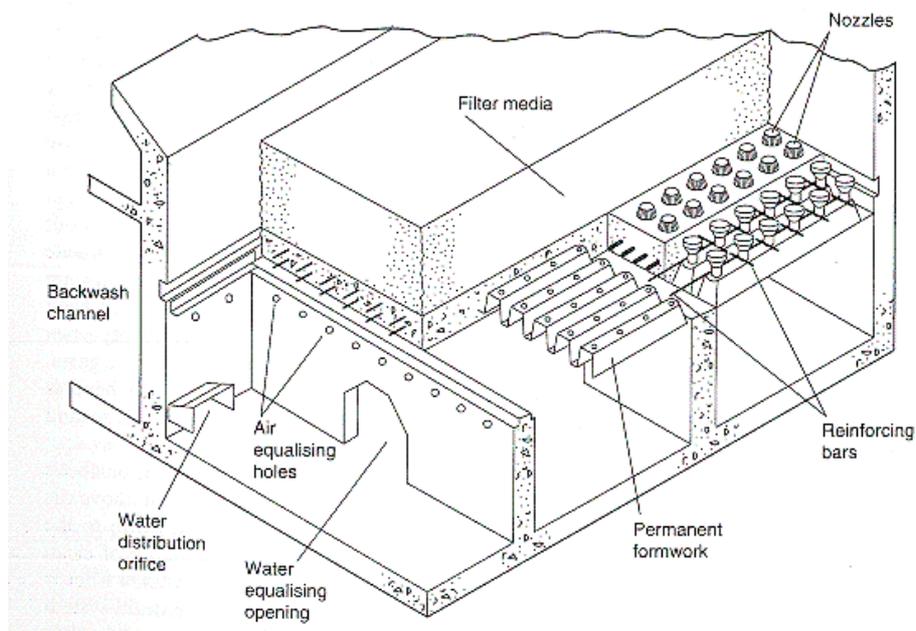


圖 2 匯流孔渠濾床之平面配置示意圖(Paterson Candy Ltd , South Africa)

3.2.3 快濾池的規模

快濾池規模及數量的設置不盡相同，快濾池設置的池數以部分池槽進行反洗時，以不影響剩餘池槽的操作為原則。以快濾池的操作而言，快濾池的池槽可能在同一時間分別進行正在排水、反洗以及維修保養，同一時間有三座池槽無法進行出水亦很常見，因此在快濾的階段一般至少需要有三池較對於操作者來說越易於調節。而許多出水量較小的場址，可藉由縮短濾池維修保養的時間，而僅設置四池。對於池槽的設計大小，與穩定出水的水量有關，其他如反洗的水量及空氣量、以及進行水洗時反洗水量在渠道中的停留時間亦為需要考慮的因子。一般常見的濾池大小為 25-100m²，長度為 8-20m，寬度為 3-5m。反洗水的匯流渠道則通常沿著池槽的長邊設置在固定一側。而濾床的設計，若大於前述的尺寸 2 倍以上，則可在同一個池槽中將反洗水的匯流渠道設置於中央而將濾床分為左右兩側，因此反洗水的匯流則仍可維持在 5m。亦有些特別的設計，則是將反洗水的匯流渠道設計在整個濾床的上方，一般這樣的設計在美國較為常見。

3.2.4 快濾池的濾速

快濾池的濾速為最基本的設計參數。以使用單一粗砂作為濾材的深層濾床來說，針對鐵的去除濾速大多操作在 6-7.5

$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ，針對鎂的去除則大約操作在 $15-18 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ；在有添加混凝劑及高分子的情況下，向下流式的濾液速控制在 $15-18 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ，向上流則約操作在 $7.5-10 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ 的範圍。不過，當濾速大於 $15 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ 以上，一般會導致過濾水水質的惡化，而濾速超過 $20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ 則水頭損失的程度則亦會隨濾速增加而越大。相較於深層、單一粗砂的濾床，使用較狹窄、具有級配濾砂的濾床，其濾速約降為 75%，多重濾層的濾床其濾速則不會變化太大。當考慮到原水中的梨形孢子蟲(*Giardic cysts*)以及隱孢子蟲(*Cryptosporidium oocysts*) 的去除時，一般濾速則控制在 $6-7 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ，以避免有細小顆粒穿透濾層的可能。

3.2.5 水頭損失、空氣的限制以及負水頭

對於向上反洗、濾液向下流的濾床，快濾池操作的水位大約在濾床以上 1-2m 的地方。然而，某些專利的設計則可操作在相當低的水位(約 0.5m)，甚至產生負水頭的情況。但後者並不被視為是很好的操作方式，因為可能會遇到濾床有開裂和泥塊結球，以及氣洗受到限制的問題，特別是濾速較高的情況下。而濾床中壓力的分布如圖 3，當水頭損失(總水頭損失小於濾材單獨的水頭損失)在任何濾床的深度都超出了特定位置的靜水頭(static head; water depth)時，就會有負水頭發生。濾層中發

生負水頭的位置與濾材的選擇有關，級配過的濾砂負水頭則會發生在接近濾料表面的地方；單一級配的粗砂則約發生在濾層向下 1/3 的位置；雙層濾材的濾床則一般發生在無煙煤濾料下方。在有負水頭發生的條件操作下，水中的溶解氣體容易釋放到砂礫的空隙間，並影響水的流線、增加水頭損失、以及使濾床的操作周期縮短。由於負水頭使釋出氣體逸散的軌跡，影響氣洗的效果時，也會導致產生水質較差的濾液，因為在低溫的操作下氣體的溶解度較大，因此對於處理冷水、表面水或曝氣充足之地面水，其負水頭的問題較大。

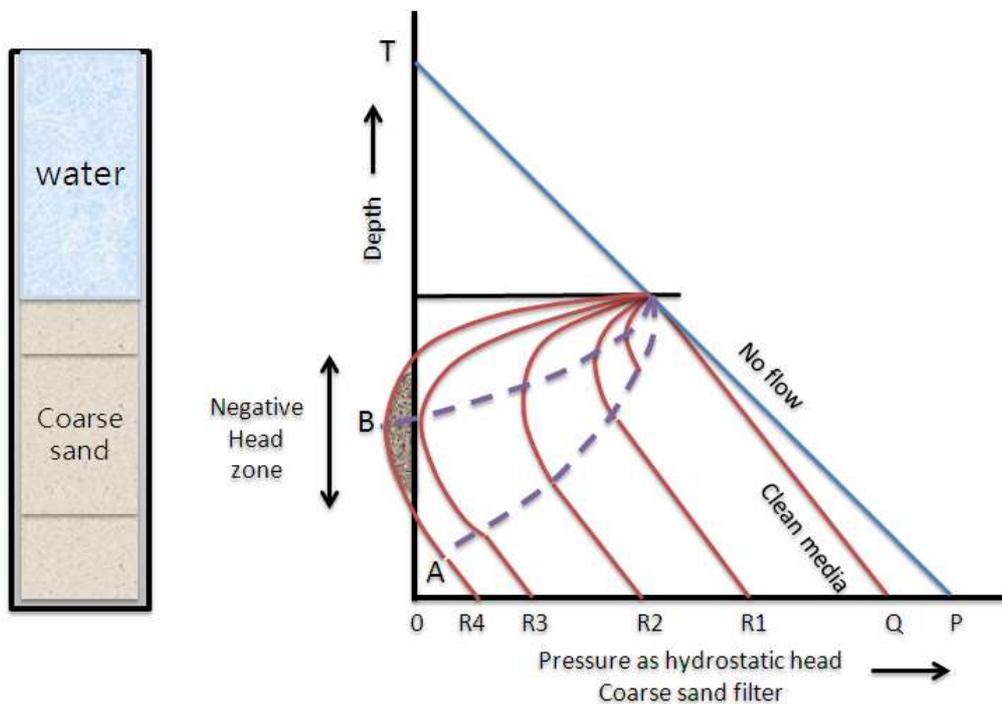


圖 3 重力式快濾床的壓力分佈圖。(X 與 Y 周的尺度相同，因此 TO 與 OP 距離相同。A 點-壓力曲線的斜率即為乾淨濾料的壓力斜率；B 點-過濾時發生最

低水壓處；IR₁₋₄ 阻塞發生時的壓力曲線；PQ-剛開始過濾的水頭損失；PR₃- 可允許水頭損失的最大值)

要解決負水頭的問題，可藉由調整濾層出口至濾材頂端或是上方的位置進行排水即可。其他如提供濾材上方足夠的水位高度，或是清洗濾床時水頭損失控制在小於靜水頭的位置，以避免負水頭的產生。乾淨濾床的水頭損失總合為乾淨濾材以及過濾的水頭損失累加在一起，通常小於 0.25m。而當濾層經過反洗後再進行過濾時，其水頭損失總和應該小於 0.3m。水頭損失的速率跟濾床過濾固體的負荷成函數關係，且一般單一粗砂的濾床水頭損失速率較級配濾砂的濾床低。濾床的水頭損失有一部分也由停留在濾床中懸浮固體產生的水頭損失(clogging head)貢獻而來，一般為 1.5-1.8m。因此整體而言，濾床大多允許水頭損失為 1.8-2.0 的狀態下操作。

3.2.6 固體的截留

濾床攔截固體的容量與濾床的空隙成函數關係，一般為空隙的 45%。但實際上濾床攔截固體的容量大約僅占空隙的 1/4 體積。某些文獻顯示，在重力式濾床中，當水源中含有較小氫氧化合物的膠羽或懸浮固體時，大約每公升的空隙分別可截留 10 以及 35g 的固體量[5]。舉例來說，含有 0.9m 高濾砂、濾速為 7.5 m³/h · m² 以及每 24 小時進行反洗的濾床操作中，在單一個濾程內其進流水最多不能含有微小氫氧化合物的膠羽 5mg/l

或懸浮固體濁度為 17.5mg/l 以上的固體量。經計算後，其允許的過濾負荷應為 900 以及 3150g/m²，也符合 Cleasby 所提出的建議操作範圍(550-5500 g/m²)中[6]。

3.2.7 流量的控制

當濾床產生阻塞時，透過濾床的水頭損失就會開始增加，並導致過濾速度的降低。因此，要達到最好的濾床過濾效能，必須要使過濾的速度或是濾速的改變保持一定，例如進行反洗時，濾床的變動必須盡可能的使其和緩。因此，利用控制系統將水流平均的流入濾層，並使過濾速率保持穩定無劇烈變化，則成為保持良好的過濾效果不可或缺的條件。過濾時藉由堰體的結構來要調整進流的比例可使其均勻地流入濾層，另外在濾床出口端也可以利用管線以及閘類等來限制過濾的流速或水力行為。採用這類的操作方式，當濾層進行反洗之後，由於出水口端設置的位置，可使當濾層內的水位上升時馬上透過此出口排出過濾水，因此可有效克服乾淨濾床以及排水系統導致的水頭損失。當濾砂在操作的循環中逐漸的產生阻塞時，因為濾層的水頭損失逐漸增加，導致濾床內的水位會持續地上升。所以，將濾層的高度增加的作法，因為較為簡單，且具有許多優點而受到歡迎[7]，但在濾床清洗之後啟動閘門時，水流的控制可能較為不易。此時，就需要減少濾速，以避免在下一個濾程初期

容易因為濾速不均而有暫時性濁度穿透(breakthrough of turbidity)的情況發生。

另外，在出水端設置整流器，可使出水的控制閥維持一定的流量，避免超過設定最大的允許值。濾床阻塞以及水頭損失增加時，整流器即可開啟閥門並使出水量保持一定值。一般以機械式、電動式、電子式以及氣動式的連動裝置，來保持濾程中濾床水位高度的恆定較為常見。設置出水端整流器的理由在於，可在不同的水頭損失情況下都能預先保持出水的穩定，使處理廠中每一個池槽都可以控制在相同的處理水量。而在進水的堰體就將水流分流的話，缺點在於分流時的高程差會使部分易碎的膠羽在自由落下的過程中形成的小碎片，堆積在濾床中的小碎片則將更難以去除。在出水端來做分流的量測，則可以克服一般進水端在所有濾層的水位之下而難以測量的問題。此外，在每一濾層出水端所設置的流量計可以監控處理的流量以及進行出水閥的調整，以確保總處理量可以平均分配到滿足每一道操作中的濾層。濾池操作時所需保持的水位高可以根據進水端的水位來推估，一般而言，所有濾池的水位高都應該保持一樣。保持過濾速度穩定的操作，雖然可以避免濾程初期有濁度穿透的現象產生，但發生的時間點卻可能出現在接近濾程結束的時候。因此少部分的操作會在濾程的操作過程中當水頭損失增加時，便逐漸降低濾速避免濁度穿透發生。

濾速漸減的操作方式乃基於簡單的設計原理[8-10]，一般適用於 6 池以上的濾池進行操作，因此當其中一座濾池進行反洗時也不至於對操作有太大的影響。通常在最大流量的操作下，處理水經過每一池的平均濾速，其濾速變動 $\pm 35\%$ 尚屬合理範圍。平均濾速的計算可由總出水量除以總濾床的表面積求得。由於每一座濾池的進水閘或閘門通常都沉浸在水中，因此為了要限制濾速的大小，有必要的在出水端出口安裝某種形式的限制節流孔或閘類。濾床通常以固定的頻率進行反洗的作業，並且針對水頭的損失及濾液的水質，都必須在每座濾池裝設有獨立的設備進行監控，如濁度可用來評估濾池的狀態是否因為某些原因而需要暫停出水的指標。針對濁度進行監控時，除了優點在於相關的硬體操作系統較為簡單，且可以能降低水頭損失、延長濾池的濾程、提高濾液的水質。與其他系統相比，建置成本也較為低廉。但濁度所代表的意義都還是需要審慎研究，且在實際的應用上也最常被受到質疑。有關重力式快濾池以及相關的水力分析在 Stevenson [11]的著作中有更詳細的分析可供參考。

3.3 快濾池的反洗

使用級配砂的重力式快濾池，乃藉由空氣以及清水由過濾方向相反進行濾床洗淨的作業。在反洗的操作，首先先將濾池的

水位降到濾床上方數公分的位置，接著由氣洗管以 6.5-7.5mm/s 的速率由集水裝置導入空氣。此時，濾砂因為附著在由砂層中冒出的氣泡表面而被帶起呈現一介面。但由於受到空氣攪拌的濾砂其表面的浮渣以及污垢逐漸脫落至水體，濾池中的水很快就因此呈現混濁的狀態。緊接者，將向上流的反洗水以一定的流速(不使濾砂被洗出濾池)使濾料層體積膨脹且呈現類似液化的狀態，在這樣的操作下砂粒與砂粒之間的空隙會增加且砂粒亦會受到擾動而旋轉，進而顆粒與顆粒間在表面相互產生刷洗作用(scouring action)去除掉附著於表面的沉積物。但一般反洗的速率，只需操作在足夠使濾料層呈現流體化的流速以及產生較小的膨脹率即可，因為增加反洗的流速將使顆粒間的距離過大而降低刷洗的作用。過高的反洗速率也可能導致濾砂的流失，以及能源和反洗水量的浪費。

根據英國的統計，反洗的速率控制在可使濾料層體積膨脹約 1-3%的比例。由於流速與隨水溫變化的黏度相關，因此一般較溫暖的水溫則可進行較高流速的操作。在濾砂的反洗作業中，典型的反洗速率在不同的水溫以及預期達到 2%濾料層膨脹率的操作參考如表 1。

目前對於有級配濾料濾床進行反洗時，部分學者也已研究出來水溫及膨脹率之間的經驗式[12]，一般膨脹率在由 T 度至 20 度的比值為 $1.57\exp(-0.023T) : 1$ 。若將此經驗式套用在英國，

當以夏天反洗的速率作為全年的操作條件，大約會相較於冬天增加 40%的膨脹率，且將使得水量過度的浪費以及造成濾砂的流失。所以，因為各國的氣溫條件不同，一般建議與控制反洗的速率相關的設備需要作季節性的調整。

表 1 各種水溫下反洗至濾料層膨脹率 2%之反洗水流速

濾砂粒徑 (mm)	有效粒徑 (mm)	水溫(°C)					
		5	10	15	20	25	30
0.5-1.0	0.55	3.1	3.5	4	4.5	5	5.5
0.6-1.18	0.75	4.4	5.0	5.6	6.3	6.9	7.5

由深層單一粗砂組成的濾床一般在反洗時需要氣洗及水洗同時進行，之後再進行單獨的水洗。當同時進行氣洗、水洗時，最好將反洗的流速操作在低於使濾床產生流體化的速度下，以避免濾層的膨脹。這是為了避免因為過大的反洗速率造成濾砂受到水力作用產生自然的級配，破壞了濾床的均勻度。一般單獨氣洗的速率以 16mm/s 為宜；水洗時則為 2mm/s，排除廢水時的水洗則提高到 4mm/s。有些設計者則在反洗以及排除廢水時均將水洗的流速均控制在 4-5mm/s。當氣洗及水洗同時進行時，反洗的速率較不受溫度的影響，水洗的時間則與水洗的方

法以及濾池進流水的水質有關。針對氣洗與水洗分開進行的設計而言，氣洗一般維持 3-4 分鐘，水洗約 4-6 分鐘。對於氣洗、水洗同時進行的操作而言，一般先導入氣洗約 1.5-2 分鐘後，再同時進行氣、水洗 4-6 分鐘，接著停止氣洗，僅進行水洗約 8-10 分鐘。然而，由於整個反洗所需的時間大約為 30-45 分鐘，且約有 15-30 分鐘濾床仍在排水，因此一個反洗週期約需消耗相當於濾床體積 2.5 倍的水量。

有時候為了要去除反洗過程中在濾床上層堆積的污物是相當困難的，為了解決這個問題，當反洗作業快要結束時，這時可允許將濾池的進流水(經沉澱池的上澄液)引入濾池，使其沖走濾床上層的污水，亦稱為漂洗 (surface-flush or cross-wash)，通常這樣的做法會使消耗的水量達到大約 3 個濾床的體積。但這樣的設計可以使濾床如同往常進行相同的反洗程序，且由於濾床上方的水位提高，廢水不但可較快速的排出濾池，亦可避免濾料容易因為反洗而有流失的問題。無論是同時或是各自應用在反洗的作業中，一般典型的氣洗(單獨進行下)以及水洗的速率分別為 14-22mm/s 以及 10-18mm/s，反洗水的使用約佔過濾水的 1-2.5%。

當濾床經過洗淨後，大約有 15-60 分鐘的時間其產生的濾液仍含有相當高的濁度。這是由於反洗的時候有一部分的廢水仍舊存在於較為鬆軟的濾層中，且對於剛進行完反洗的濾料其

固體顆粒的去除效率較低。因此，建議將新的濾程前 15-60 分鐘的濾液作為廢水排掉(或是再回流作為濾池的進流)，或是使濾池靜置約 30 分鐘在進行過濾(delayed start)，或是先以較低的流速進行過濾一段時間(ripen)，或同時採取前面幾種作法等，可得到水質較佳的濾液。只要經過適當的設計，也可直接將這些程序直接加入在反洗的階段後進行濾池的操作。

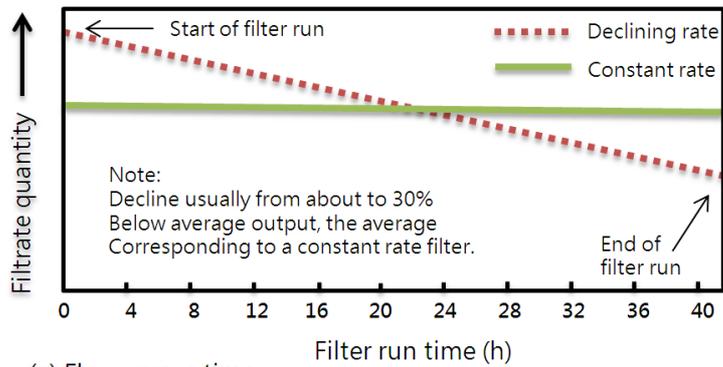
作為反洗的用水應該先經過適度的過濾或是最好經過加氯處理。因此在有使用鋁鹽混凝劑的淨水程序，無論任何 pH 值的條件下最好都可以在前端先拿掉鋁鹽的含量，以減少氫氧化鋁膠羽溶解到濾床中的可能。廢水的產量對於水處理費用也是一筆不可忽視的花費，特別是其水量與產水的成本有直接的關係。一般而言廢水的產量不應超出處理水產量的 2%，且最好能越低越好。

3.4 快濾池的操作

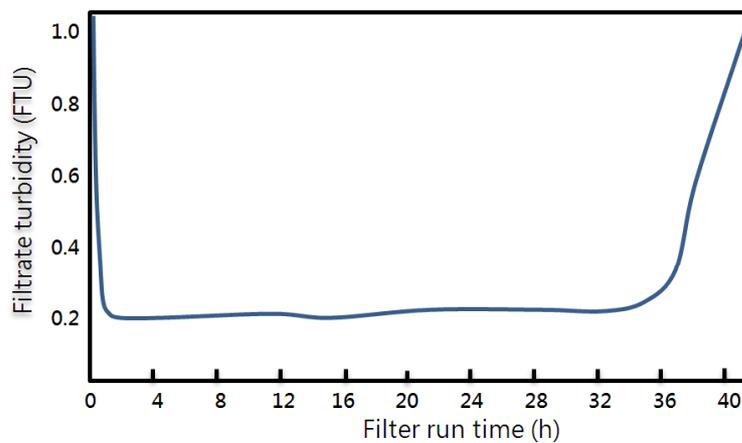
圖 4 為濾池的產水量、過濾時間、出流水的濁度，以及定流量或是漸減流量操作下濾程的水頭損失等之間的關係。一般來說，濁度穿透在濾床的操作初期是很常見的，即使以 slow start 的方式操作濾池仍舊可能發生。濾程的長短通常取決於水頭損失發生的情況。圖 4(C)顯示，在含有砂及無煙煤的濾床操

作過程中，有相當大的水頭損失產生，值得注意的有大部分的污垢被濾床攔截且甚至已經穿過無煙煤及濾砂之間的介面。

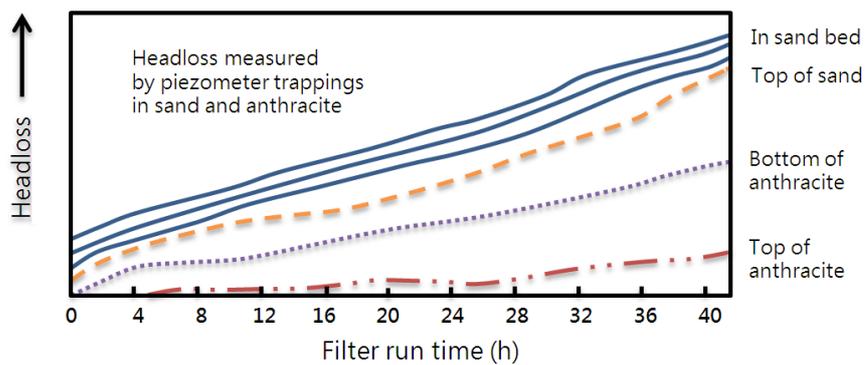
當水頭損失達到允許的最大值時，亦也代表濾程結束的階段。通常濾程的設定主要取決於反洗的頻率，而非每 24 小時進行一次反洗來決定。濾程的時間大約介於 24-60 小時之間，較長的濾程可節省反洗的水量，但如果進流水中含有較多的有機物且在前端沒有經過消毒的程序，可能使濾床內的細菌有足夠的時間孳生。所以，通常會限制濾程的期程，在水溫較暖的條件下濾程可以 48 小時為一個循環；水溫較冷的條件下則可以 60 小時來操作。另外，一般以每一濾床每 6 個小時進行一次以上的反洗，往往會使得濾池很難維持初始的設計產水量。當濾床進行包含排除廢水的反洗作業時，需要花費的時間約為 30-45 分鐘，因此，當只要一座濾床的濾程低於 24 小時且正在進行反洗的同時，就需要有另一座完成反洗的濾床進行供水的作業。但在一些比較操作吃緊的情況下，濾程可能縮短至 6-12 個小時之間，且通常實際的操作則是完全排掉濾床內的所有東西，以加速反洗的循環，這樣的作法通常被稱為濾床的丟棄 (dumping)。



(a) Flow versus time



(b) Filtrate quality versus time



(c) Headloss versus time in anthracite-sand filter

圖 4 重力式快濾池操作特性

濁度穿透為衡量濾程長短的另一項標準。一般濾床反洗時濾程的長短、水頭損失、或是濾液水質的降低等，都可用濁度來

進行評估。濾池大部分的操作都會針對前述三項參數進行監測，且作為自動進行反洗、或是使濾床再次進行過濾的指標，有時候則只取一至兩項來進行設定。不過，通常監測由每一座濾池(或是所有濾池)濾液的濁度是相當有用的，通常可以做為水質預警的參考指標。雖然對於單一濾床，在濾液的出水端設置粒徑分析儀可能較為恰當，但濾液的濁度仍可用來鑑別是否有濁度穿透的現象發生，及水中有隱孢子蟲存在的早期預警。在進行自動過濾的水處理廠中，當需要進行特別的洗淨作業時，以手動方式控制反洗的操作仍有其必要性。

對於氣洗來說，結合包括氣體貯存鋼瓶或是地下型容積式鼓風機等，進行壓縮空氣的工作是需要的。一般氣體進氣閥門所提供的壓力為 0.35 bar。利用相對來說較小的泵浦將濾液不斷地打到較高的反洗水貯槽中，再藉由高程的落差以重力流的方式來進行槽內水提供反洗的速率較大、需要的電力較小，且較為經濟，因此這樣的反洗方式相當常見。反洗水貯槽通常分為兩半，其中一半空間的貯水量至少須可供應一個濾池進行反洗。但反洗水貯槽的缺點在於，除非加裝流速控制器，否則反洗水的流速將隨著水槽中的水位降低而降低。泵浦一般用來將水直接導入濾層的形式為離心式(centrifugal type)，而其進水閥的揚程一般要求為 5m。

反洗水流量計的設置相當重要，且同時控制著最佳的反洗速率，以及反洗與排水時流速的改變，甚至用來調整冬夏季節的流速差異。在較大型的濾池，或設計以自動化進行反洗的濾池，都需要藉由動力驅動的操作機來協助閥門開閉。一般操作機均以電力作為驅動，部分的濾池使用氣動操作機亦可正常操作。在室溫或較為溫暖的氣候中，對於重力式的濾池是不需要加蓋的，但對於寒帶的氣候，為了避免結冰則需要在濾池上加蓋。一旦經過過濾，濾液就不應該暴露在開放空間以避免汙染，因此，所有貯存濾液的槽體以及管渠都必須為密閉式。而自快濾池產出的濾液亦並不完全是無菌的，因此當濾液用於供水時，需再進行加氯或是其他的殺菌劑進行消毒，才能達到供水的水質安全標準。

3.5 板新給水廠快濾池的操作

目前板新給水廠快濾池的設計為，一期 10 池，面積 1340m^2 ，操作濾速 $7.8\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ($186.3\text{m}/\text{day}$)；二期 8 池，面積 1296m^2 ，操作濾速 $7.1\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ($169.8\text{m}/\text{day}$)；三期 16 池，面積 3110.4m^2 ，操作濾速 $5.4\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ($128.6\text{m}/\text{day}$)，如表 2 所示。有關濾池的濾速與文獻的比較如圖 5 所示，本廠目前濾池的操作尚符合鐵及孢子蟲的去除功能，濾速的操作雖低於針對鎂的去除，但過濾水的濁度廠內自訂的標準為

0.5NTU，且目前在經過加氯程序後均可符合飲用水水質的標準。

表 2 板新廠快濾池設計資料

項目	一期快濾池	二期快濾池		三期快濾池
		單號*	雙號**	
池數	10	4	4	16
長度(m)	11	12		16.2
尺寸 寬度(m)	2×6.1	2×6.75		2×6
總表面積(m ²)	1342	1296		3110.4
濾率	設計值(m/d)	223.55	231.48	192.9
	操作值(m/d)	186.29	169.75	128.6
反沖洗速率	設計值(m/d)	1300	1100	33.6
	操作值(m/d)	1300	1100	33.6
	操作時間(min)	5	8	7
空氣洗速率	設計值(m/d)	-	-	1.22
	操作值(m/d)	-	-	1.22

*單號-11、13、15、17 號快濾池；**雙號-12、14、16、18 號快濾池

在使用的濾材方面，本廠一、二期以石英砂(0.6mm)及無煙煤雙層濾料進行配置，三期則僅以石英砂(0.9mm)配置，並於底部鋪設礫石作為濾床支撐如圖 6 所示。二期 14、16 號快濾池則經改善後，以石英砂(0.6mm)配合雙通道導水框進行濾後出水。

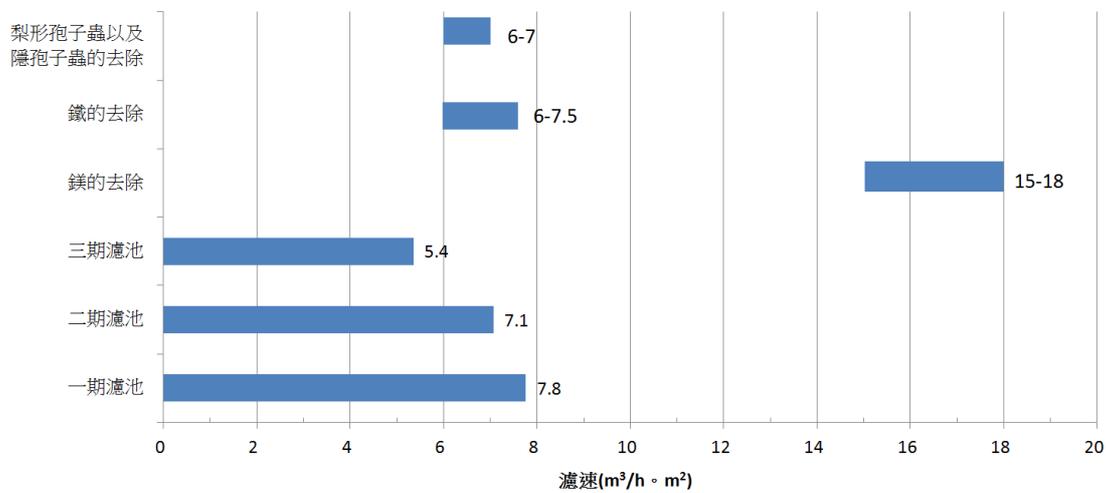


圖 5 板新廠操作之濾速與文獻之比較圖

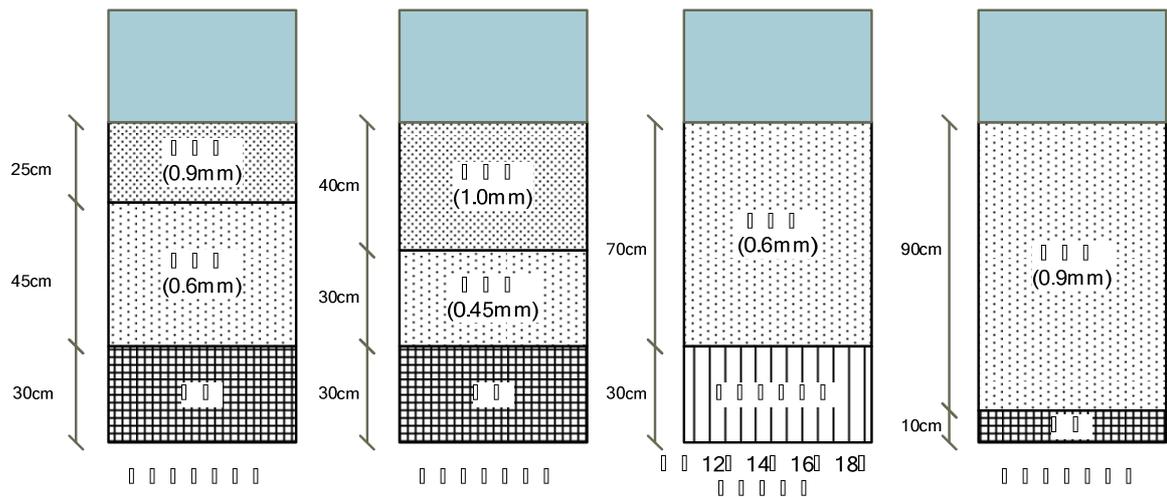


圖 6 板新廠快濾池濾層濾料配置圖

92年起由於飲用水水質標準提高，將濁度標準 4NTU 降至 2NTU 以下，目前一、二期快濾池的濾程已由當初設計時的 48 小時縮短至以 24 小時來進行操作；三期則同樣以 24 小時為一個濾程，並依過濾水濁度及操作水頭隨時修正濾程，且均可自動及手動切換進行濾池反洗。由於各期濾層的組成不同，因此反洗的速率亦略為不同，如圖 7。

本廠各期濾池反洗作業程序如圖 8。一期及二期單號之快濾池僅以水洗方式進行反洗作業，二期雙號之快濾池經改善後目前與三期快濾池以氣洗及水洗方式進行反洗。由於二期雙號快濾池改善後操作良好，因此計畫亦將二期單號快濾池逐步改善，以提升過濾水水質，並增加濾程及提高出水量。

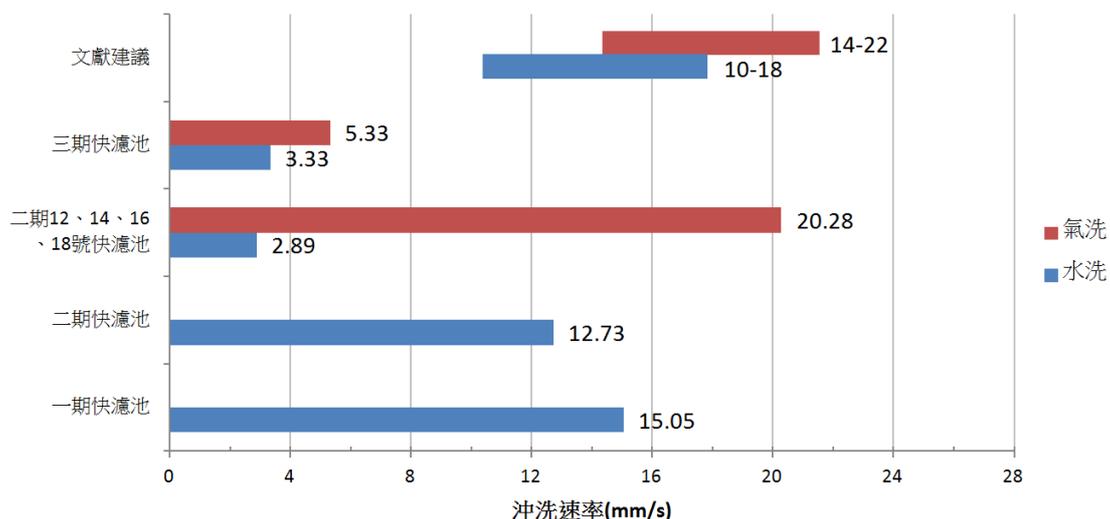
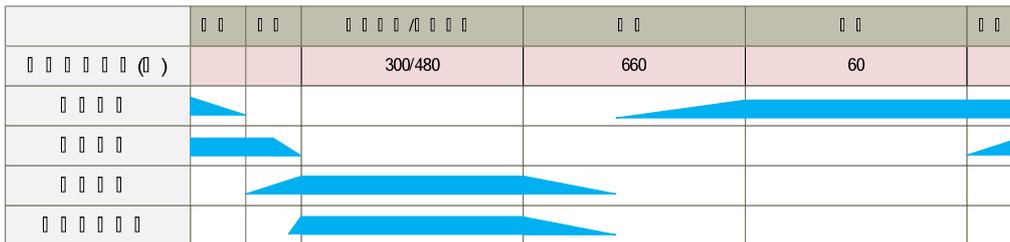
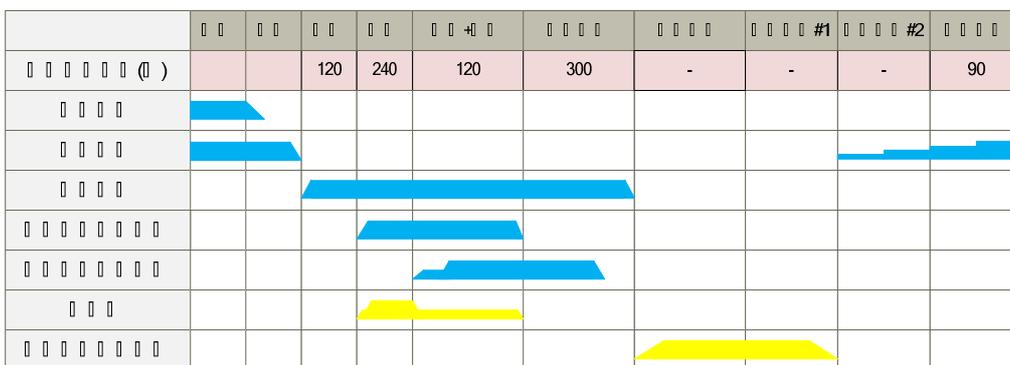


圖 7 板新廠快濾池反洗的速率之比較

一、二期快濾池濾層



二期12、14、16、18號快濾池濾層



三期快濾池濾層

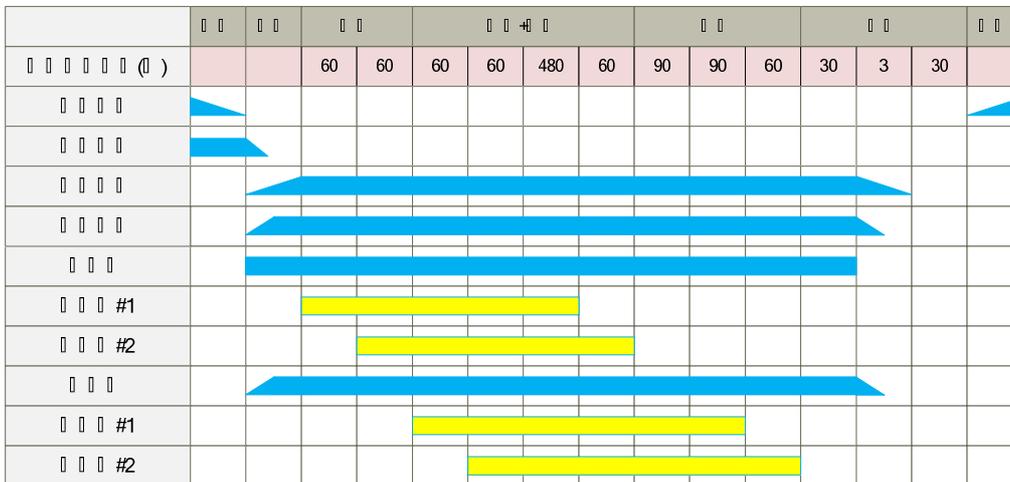


圖 8 板新廠一、二、三期快濾池反洗作業程序

另外，本廠配置一洗砂水塔用以供應一期及二期快濾池反沖洗用水，三期快濾池反沖洗水源則利用抽水馬達直接抽取水管廊內清水進行反洗。目前洗砂水塔儲水量為 1000 噸的容量，可

提供一期快濾池進行水洗 8.25 分鐘，或是二期快濾池進行水洗 8.08 分鐘。因此，以目前一、二期進行水洗時間各自為 5 及 8 分鐘水洗時間長度的設定，可滿足每池反沖洗水量；惟當有濾池反洗後，須待洗砂水塔再補足水量後方可有足夠的水量進行下一座濾池的反洗作業。本廠已增設抽水機提升洗砂水塔進流量，然減少之總濾水量，可由清水池容量調配，不致影響轄區需水量。目前快濾池反沖洗砂時間，仍以離峰用水時段進行，除降低動力費用，亦可暫時克服尖峰時段清水池容量(有效容量約 4 萬立方公尺)不足之難題。

四、研究發現與建議

板新給水廠快濾池現仍以穩定供水及符合水質標準為首要目標，反洗的條件設定為影響過濾水水質以及操作成本的主要因素，目前，洗砂水塔無節流閥控制反洗水流速，反洗時間之長短，難以用來調控濾床反洗的效果，因此建議於洗砂水塔底部增設一節流閥。另外，由於本廠進流原水水質易受氣候及降雨量影響，沉澱池出水水質變化大時，以及季節性溫度變化，影響反洗速率，建議適時調控反洗條件，才能確保過濾後的水質符合內控標準。因此，針對不同反洗條件對於濾床過濾效能的研究需要廣泛、持續的進行，以追求更穩定及更高品質的供水。

參考文獻

1. Ives K. J. and Gregory J. Basic concepts of filtration. *JSWTE*, 16(2), 1967, P. 147. And Ives K.J. Theory of Filtration. Proc IWSA Congress, 1, p. K.1, 1969, also Filtration: The Significance of Theory. *JIWE*, **25**(1), February 1971, p.13.
2. McLaughlin R.T. The Settling Properties of Suspension. *JASCE*, HY12, Paper 2311, December 1959.
3. Stevenson D.G. The Specification of Filtering Materials for Rapid Gravity Filtration. *JIWEM*, **8**(5), 1994, pp. 527-533.
4. British Water. The Specification Approval and Testing of Granular Filtering Material and Code of Practice for the Installation of Filtering Material. BW:P.18.96R, June 1996.
5. Degremont *Water Treatment Handbook*, Vol. 1, 6th edn. Lavoisier Publishing, Paris, 1991.
6. Pontius F.W. (ed.). *Water Quality and Treatment*, 4th edn. AWWA, McGraw Hill, New York, 1990.
7. Cleasby J.L. Filter Rate Control Without Controllers. *JAWWA*, **61**(4), 1969, pp. 181-185.
8. Hudson Jr H.E. *Water Clarification Processes*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1981, P.123.
9. Cleasby J.L. Declining Rate Filtration. *Water Science Technology*, **27**(7-8), 1993, pp. 11-18.
10. Cleasby J.L. Status of Declining Rate Filtration Design. *Water Science Technology*, **27**(10), 1993, pp. 151-164.
11. Stevenson D.G. *Water Treatment Unit Processes*. Imperial College Press, London, 1998.
12. Tebbutt T.H.Y. and Shackelton R.C. Temperature Effects in Filter Backwashing. *Public Health Engineering* **12**(3), July 1984, pp. 174-178.
13. 板新給水廠 100 年度，期末營運成果報告書，2011。