



逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：Filter-to-waste optimization

作者：陳冠憶、林靖琦、洪詩怡、王文美、林明欣

系級：環境工程與科學學系三年乙班

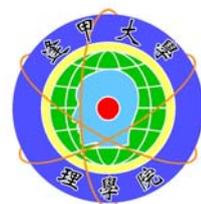
學號：D9421928、D9478096、D9477817、D9421651、D9422015

開課老師：黃東池

課程名稱：給水工程 Water Supply Engineering

開課系所：環境工程與科學學系

開課學年：九十六 學年度 第一 學期



中文摘要

人的日常生活中，最不可獲缺的就是水資源了，現今各個國家幾乎都有辦法將我們得到的水資源，處理為一般民生用水，而如何降低成本且快速獲得這些水資源，就是大家所思考的。此篇報告，主要在討論 JOURNAL AWWA MAY 2007 期刊中 Filter-to-waste optimization(洗砂廢水掃流之最佳化研究) 的內容。

此篇期刊主要探討，一個位於湖邊的研究單位(CLCJAWA)，目前是以 FTW 的方法進行濾床的反沖洗，現今想改用 ETSW 的方法來進行濾床的反沖洗，測試是否能節省反沖洗時間和效率。而 FTW 和 ETSW 兩種方法，在反沖洗過程中，最大的不同，就是 ETSW 少了洗砂廢水掃流的步驟。經過 CLCJAWA 研究後，使用 ETSW 的方法進行濾床的反沖洗，發現洗砂廢水的濁度由 0.13ntu 減少到 0.08ntu，反沖洗時間也減少了 14%，所以使用 ETSW 進行濾床反沖洗的方法，比使用 FTW 進行濾床反沖洗的方法，更能節省反沖洗時間，以提高濾床過濾水的效率。不過 CLCJAWA 認為還需再做進一步的評估。

關鍵字：

Backwash (反沖洗)

Extended terminal subfluidization wash(ETSW)

Filter to waste (FTW)

JOURNAL AWWA MAY 2007

目 錄

中文摘要.....	1
目 錄.....	2
圖目錄.....	3
表目錄.....	3
第一章 目標.....	4
第二章 CLCJAWA 反沖洗回顧.....	5
2-1 水位降低量.....	5
2-2 空氣洗.....	5
2-3 空氣/水淋洗.....	5
2-4 第一次低流量沖洗.....	6
2-5 高流量沖洗	6
2-6 第二次低流量沖洗.....	6
2-7 洗砂廢水掃流.....	6
第三章 CLCJAWA 處理過程回顧.....	7
3-1 來源水.....	7
3-2 水處理過程.....	7
3-3 過濾描述.....	7
3-4 過濾操作.....	7
第四章 方法.....	9
第五章 結果.....	10
5-1 濾床再生剖面.....	10
5-2 反沖洗水消耗量.....	11
5-3 過濾池離線時間.....	11
5-4 FTW 濁度.....	12
5-5 過濾池指標.....	13
第六章 討論和結果.....	14
參考文獻.....	15

圖目錄

FIGURE 1 在 HPC 期間使用氣反沖洗之表示圖.....	8
FIGURE 2 使用 ETSW 方法反沖洗對於濁度等條件隨時間改變圖.....	10
FIGURE 3 使用 FTW 方法反沖洗對於濁度等條件隨時間改變圖.....	10
FIGURE 4 裝有 ETSW 的三個特定過濾池的改善圖.....	11
FIGURE 5 比較每個過濾器的平均 FTW 高峰渾濁度圖.....	12

表目錄

TABLE 1 反沖洗步驟沖洗速率.....	5
TABLE 2 反沖洗水質.....	5
TABLE 3 不同月份每一反沖洗步驟被使用的時間.....	9
TABLE 4 使用不同方法反沖洗水的消耗量.....	11
TABLE 5 反沖洗發生在 FTW 期間的最大渾濁度之分析.....	12
TABLE 6 測試和控制濾池的各項差異.....	13

第一章 目標

CLCJAWA 的尼爾水處理設備是第一個使用傳統處理過程，而獲得安全水之友協會的“卓越水處理”獎。此處理廠目標是，水過濾後流出的濁度在 95% 的時間裡會小於 0.10 ntu。為了保證這些目標達成，CLCJAWA 設定目標為過濾後濁度皆要小於 0.10 ntu。

這更嚴格目標在現今的反沖洗方法中，更具有挑戰性。這也使 FTW 在 CLCJAWA 處理消耗的水更多，並且增加反沖洗時間。

第二章 CLCJAWA 反沖洗回顧

2-1 水位降低量

在自動的反沖洗開始後，將過濾時的進流水閥門關閉。此時，池中待過濾的進流水將繼續過濾，直到進流水降落至大約高於濾砂 6in(15 厘米)的地方。此時將進流水過濾後流出的閥門關閉，接下來即可開始進行反沖洗，在反沖洗開始後，注意需立即將進流水過濾後流出的閥門在打開。

2-2 空氣洗(Air)

在空氣洗期間，空氣經由池底的排水管之孔洞，向上排出。在這步驟裡，過濾池中的水，會在表面積極地沸騰，目的是要將生物膜和附著的污泥打散。不過空氣洗會造成濾砂的磨損。所以 CLCJAWA，在前 5 年會損失 12.5%的碳。

2-3 空氣/水淋洗(Air and water)

進入此步驟後，空氣洗還是在相同的速率繼續進行(每個反沖洗步驟沖洗速率請參閱 TABLE 1)，再將過濾後的乾淨水，透過過濾排水管流入池中，增加低洗流率(反沖洗水質請參閱 TABLE 2)。反沖洗繼續，直到在濾床的水準面接近水淋槽的底部。連續形成的空氣曲道在池內反覆流動，此時會造成激烈的沙粒摩擦，這樣的摩擦會讓污泥脫離。在水淋洗期間，結合的空氣/水淋洗被認為是濾料清洗的最好的方法。然而對生物膜沒有那麼有效。

TABLE 1 Set-point backwash step rates*

Step	Rate
Air— $cu\ ft/min\text{-}sq\ ft\ (L/s\text{-}m^2)$	4.4 (22)
Air and water	5.2 (3.5)
First low wash	6.8 (4.6)
High wash	18.0 (12.3)
Second low wash	5.8 (4.0)
FTW	1.1 (0.75)

FTW—filter to waste

*Units are in $gpm/sq\ ft\ (mm/s)$ unless otherwise specified.

TABLE 2 2005 Backwash water quality

Analyte—units	Concentration Range
Alkalinity— $mg/L\ as\ CaCO_3$	96–111
Chlorine (free)— mg/L	0.5–0.9
Conductivity— $\mu S/cm$	289–365
Dissolved oxygen— mg/L	7.5–14.9
Hardness— $mg/L\ as\ CaCO_3$	110–136
pH	7.6–8.5
Temperature— $^{\circ}C$	0.6–24
Turbidity— ntu	0.02–0.06

2-4 第一次低流量沖洗(First low wash)

前一步驟是空氣和水淋洗，所以當進入此步驟時，空氣流動開始停止。在這個時候，殘餘的空氣會從濾料間的空隙中離開池中，然後濾料會落回底床，體積變化可用管理標準規則方法測得膨脹率小於 2%

2-5 高流量沖洗(High wash)

反沖洗由低流量沖洗速率的流動增加到高流量的沖洗速率。使得雙濾料床(BAC/sand)變成次流體，體積變化可用管理標準規則方法測得膨脹率擴大到 25-30%。砂緩慢地從碳分開並且回到濾床底部的地方，而碳床也會自動分層。更大更多有稜有角的碳顆粒沉降到碳床的底部，當小的、圓的、腐蝕碳顆粒在反沖洗過程中輕輕漂流到濾床的頂部。高流量沖洗進行當時，前面的乾淨水連續在過濾床替代充滿渾濁粒子的水，向上形成明顯乾淨的界線。在這個步驟裡，清潔的濾料和生物量的移除是極少的，而且是依賴流體的剪力比在空氣期間發生磨擦來的重要。

2-6 第二次低流量沖洗(Second low wash)

在第二次低流量的沖洗期間，會使在高流量沖洗時分層好的濾料緩慢沉降回到原來位置。在這期間濾料運動極少，體積變化恢復可用管理標準規則方法測得膨脹率小於 2%。

2-7 洗砂廢水掃流(FTW)

FTW 會在一個固定的流動速度下，自動發生大約 30 分鐘，這個反應，會使濾床再生，因為在反沖洗期間，由池中釋放的固體轉向流到洗砂廢水槽。在這個時候，FTW 的水流濁度會持續監控。在 30 分之後 FTW 濁度尖峰原則上已經通過，然後當過濾排放的濁度降低到 0.10 ntu 後，達成反沖洗的目的，濾池就會自動開始過濾。

第三章 CLCJAWA 處理過程回顧

3-1 來源水

CLCJAWA 的源水來自美國最大的湖，Lake Bluff 湖。由於 Lake Bluff 湖擁有大約 1.3×10^{15} 加侖 (4.9×10^{15} 升) 的水，而且沒有逕流在這地方流域內，所以原水的品質相當的穩定。只有兩個影響最大的過濾因子，那就是水溫和濁度。

在 CLCJAWA 水溫數據資料收集，自從 1992 年說明引入水的溫度變化。日常處理廠流入的水，濁度允許監控從 1993 年到 1995 年，顯示平均夏季(5 月-10 月) 源水濁度值 2.7 ntu，而冬季(11 月 4 月)濁度平均為 13.9 ntu。不過留有記錄中，單一天最大的濁度是 336ntu。而處理後的水，濁度平均夏季是 0.7ntu，而冬季是 2.0ntu。冬天濁度增加，也許是由 Lake Bluff 湖水的翻轉和季節性風變動造成，因為此種情況會促進沉澱物懸浮。

3-2 水處理過程

在一平均天，在 0.8 mg/L 的劑量和 13 分鐘的滯留時間(T_{10})中，有 23mgd (87ML/d) 的水被臭氧消毒。

3-3 過濾描述

在 CLCJAWA 有 4 種一連串處理系列，每一系列有三個 640 平方英尺的 (59 m^2) 雙層濾料的過濾床。過濾床 1-9 的池子是相同的，池中濾料包含少量的 4 英尺 (1.2m) BAC(由凝聚瀝青的活性碳組成)、1 英尺 (0.3m) 的沙子和 1 英尺的礫石。過濾床 10-12 池子也被在這項研究期間被評價。不過，因為他們在物理方面還有些微的不同於其它過濾，結果在這裡沒被報告。

3-4 過濾操作

在 2004 到 2005 年間，過濾廢水經由連續檢測，發現濁度是 0.3ntu。定期會進行反沖洗，平均每年是 77 次，造成約 2.4 公尺的水頭損失。而在過濾期間，如果有任何濁度升高的指示時，也會進行反沖洗，不過此種情況很少見。

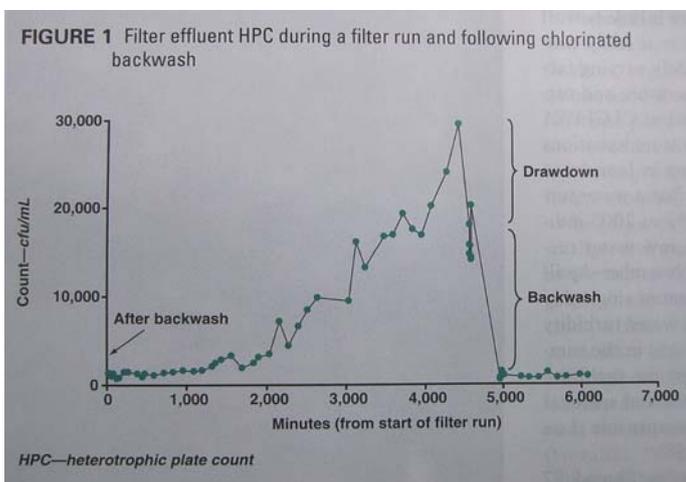
在三月時，平均 155 個小時，進行一次反沖洗(過濾速度 1.6gpm/sq ft [1.11 mm/s]，水溫 3°C ，濁度穩定在 1.26ntu)，而在八月時，平均 70 個小時，進行一

Filter-to-waste optimization

次反沖洗(過濾速度 2.4gpm/sq ft [1.65 mm/s]，水溫 19°C，濁度穩定在 0.73ntu)。我們發現八月過濾的能力比三月的過濾能力低(1.26>0.73)，這也可以部份解釋為什麼八月的水頭損失會比較高的原因了。而主要的原因是因為夏天水溫升高，使生物量成長(變多)，所引起的。生物量成長，會非常顯著的發現，在過濾頂端有大量的生物出現。生物量的增加，就抑制過濾床捕捉固體的能力，因為過濾的能力變差，所以水頭損失就會變高。而海藻的阻塞也會影響過濾的能力。Barbiero 和 Tuchman 在 6 月時，他們去收集 Lake Michigan water 的岸邊和湖中的湖水，兩者做海藻對過濾影響的比較，發現岸邊的藻類濃度高於湖中的。

因為臭氧不會有殘餘量，所以天然的細菌就可以在過濾池中生長。這是在 CLCJAWA 合乎需求的狀態下，因為未經處理過的水在臭氧消毒(Ozonation)增加後，能夠同化有機碳(AOC)，而且在生物過濾清潔後也會再降低。在 1997 到 2005 年間，都有收集樣本並用實驗分析 22 個樣本，發現未經處理的水之有機碳再臭氧消毒後，AOC 從 90 μ g/L 醋酸鹽之當量(ACE)增加到 160 μ g/L ACE。在生物過濾清潔之後 AOC 是減少到 80 μ g/L ACE 在 CLCJAWA。生物過濾也可以分解臭氧消毒時所產生的副產物。在 2000 到 2005 年間，都有收集樣品並用實驗分析 14 個樣本，裡頭包含了甲醛 16 μ g/L 和乙二醛 11 μ g/L，在檢測的時候，分別發現有下降的趨勢。在過濾的期間，用氯來消毒也是可以減少生物量。在 CLCJAWA，HPC(異養培養基計數)，細菌在一個典型過濾的過濾污水裡，在氯反沖洗中是顯著減少的，這可由 FIGURE 1

中看出。樣品分析由於 HPC 的細菌 27°C 下七天被孵化。HPC 標準反沖洗之前會達到 30000cfu/mL，之後就會減少到 1000cfu/mL。然而，反沖洗的負面影響，在 AOC 和乙二醛的植物移除影響未被觀察。



第四章 方法

這項研究期間包括 2004 年 7 月到 2004 年 10 月和 2005 年 2 月到 2005 年 5 月。這研究期間，超過了 400 個過濾反沖洗，在分析 1-9 的過濾池中發生 447 反沖洗。反沖洗如果是用人工紀錄缺漏數據或是因機器故障產生問題的話，這些數據將會被排除，那這些情況下，反沖洗的耗水量數據，也要從數據中被扣除。剩餘的其他數據，被存放於一個被監督控制和校準完的處理儀器(SCADA)系統中。在 SCADA 對數據(全部數據)做了統計分析，以下是全部的反沖洗收集的數據：過濾流出水閥門關閉的天數、過濾流出水閥門打開的天數、FTW(洗沙廢水濃度)渾濁程度的最大值、過濾再生的天數、再生時水頭損失和流量、最後是過濾的時間和過濾流出水的混濁度。發生在 FTW 的最大渾濁程度(再生過濾期間)，這裡被定義作為高峰渾濁。一個再生的過濾是被定義在過濾後流出的水，濁度要下降到 0.054nut 以下。在 CLCJAWA，這樣就回覆到一個令人滿意的性能了。

在 CLCJAWA 同一處理線有三個過濾池(共有 4 條處理線)。各處理線上的其中一個過濾池，是使用傳統的反沖洗方式(FTW)，而另外二個過濾池，是使用 ETSW 的反沖洗方式，用此方法來比較 FTW 和 ETSW。從 1991 年反沖洗的流量就被設定了，而各反沖洗的時間根據 Aamburger 等人在 2003 年所發表的文章被建議設定。在此篇文章中，Amburgey 等人評估了，兩個水處理廠使用 ETSW 的情形，其中一個水處理廠是使用 48 寸(1.2 公尺)生物活性煤和 12 吋(0.3 公尺)的沙子，而另一個是使用 18 吋(0.45 公尺)氯化煤和 12 吋(0.3 公尺)的沙子。兩個廠都使用 3 分鐘的 air/wash 步驟、5 到 7 分鐘的 High wash 步驟和最後的 ETSW 步驟。CLCJAWA 建議，使用 12 分鐘的 ETSW，這樣會充分的把濾料以外的固體清除，補償增加的水消耗量。TABLE 3 為設置點在各月份中，每一反沖洗步驟被使用的時間。

TABLE 3 Backwash step set-point duration*

Season	Filters	Air Wash	Air and Water	First Low Wash	High Wash	Second Low Wash
July-October	Control filters	3	2	2	6	3
	Test filters	3	3	0	4	12
February-April	Control filters	3	2	2	8	3
	Test filters	3	3	0	7	12
April-May	All filters	3	3	0	4	12

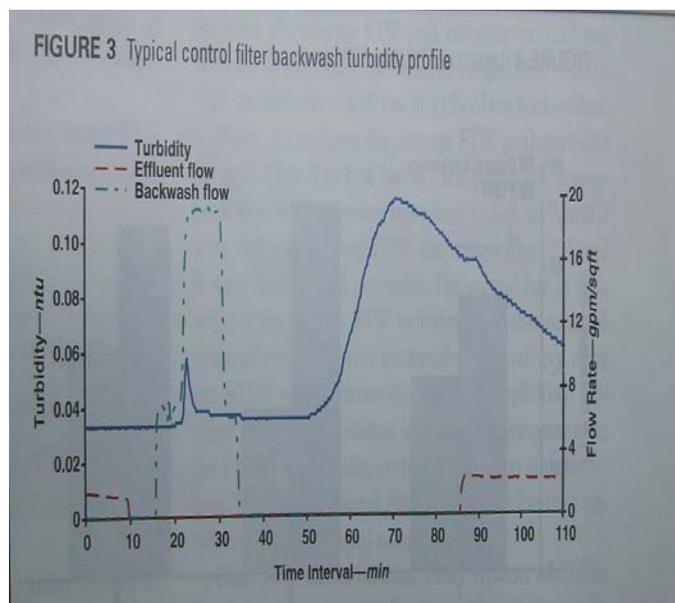
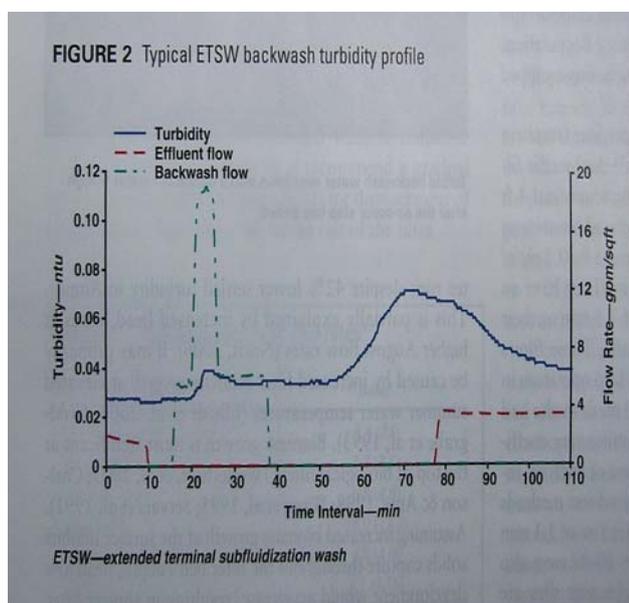
*All values are in minutes.

第五章 結果

5-1 濾床再生剖面

代表性 FTW 再生剖面為控制和測試過濾池在 FIGURE 2 和 FIGURE 3 被顯示。FIGURE 2 是使用 ETSW 方法反沖洗對於濁度等條件隨時間改變的表示圖：關閉進水閘門後，由圖中紅色的虛線，可知前 10 分鐘，過濾池的水位會因水的流出，而越來越少，直到水位達濾料上方大約 6 寸(15 cm)的地方，之後就關閉流出閘門，此時濁度是 0.03 ntu。幾分鐘後，空氣洗開始(此項沒被圖顯示)。水加進去反沖洗在第 15 分鐘出現(綠色虛線)。反沖洗繼續，直到空氣中斷，並且反沖洗流程增加到高流量沖洗(約發生在第 20 分鐘)，然後回到 ETSW 為 12 分鐘。

FIGURE 3 是使用 FTW 方法反沖洗對於濁度等條件隨時間改變的表示圖，這裡 ETSW 不被使用(傳統方法)。由兩張圖可發現 ETSW 和 FTW 兩者方法的差別只有幾個：第一次的低流量沖洗步驟、高流量沖洗步驟和第二次低流量沖洗步驟的時間長短。雖然只是步驟時間長短的不同，但是經由測量，FTW 的濁度比 ETSW 的濁度大約多 42%，並且 FTW 使用的時間也比 ETSW 多約 25%。



5-2 反沖洗水消耗量

TABLE 4 為使用不同方法反沖洗水的消耗量。值在表中不包括水消耗量在 FTW 期間。測試過濾池(ETSW)平均多消耗了 5% 或 7000 加侖(26000 L)的水。

Statistic	Test Filter	Control Filter	All Filters ETSW
Backwashes analyzed—N	235	120	78
Average backwash water consumed	0.135 (0.511)	0.128 (0.484)	0.131 (0.496)
Standard deviation	0.016 (0.061)	0.012 (0.045)	0.013 (0.049)
Minimum	0.112 (0.424)	0.118 (0.447)	0.123 (0.466)
Maximum	0.164 (0.621)	0.161 (0.609)	0.164 (0.621)
Median	0.125 (0.473)	0.122 (0.462)	0.125 (0.473)

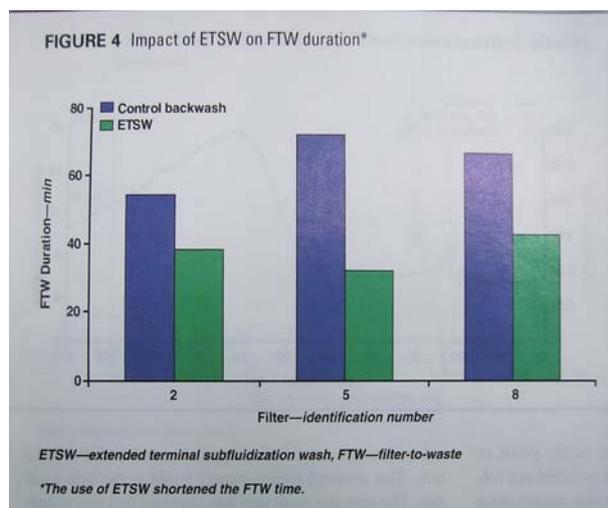
*Values are in mgd (ML/d) unless otherwise specified.
ETSW—extended terminal subfluidization, N—number

5-3 過濾池離線時間

在這項研究期間，控制流出閥門被關閉了平均 81 分鐘(標準差[SD]=12 分鐘) 為反沖洗和 FTW 序列。測試過濾池(ETSW)的離線時間平均 70 分鐘 (SD=8 分鐘)，兩者相差了 11 分鐘，約減少 14% 的時間。

為了濾床再生和流出濁度下降到小於 0.10ntu，作了 31 種控制和測試 FTW 曲線的比較，顯現出 FTW 時間在使用 ETSW 下，濾池反沖洗從 63 分鐘(SD=13min)變為 35 分鐘(SD=9min)，減少了 44%。FIGURE 4 為裝有 ETSW 的三個特定過濾池的改善圖。

反沖洗的設計是可控制的(設計最小掃流 30 分鐘)。歷史上，使用 30 分鐘以內時間長度的 FTW 渾濁度總是超出 0.10 ntu。而在 30 分鐘以後，FTW 渾濁度就會小於 0.10 ntu。當渾濁度下降到 0.10 ntu 以下時， FTW 步驟結束，此時過濾池就會重新開始過濾。



5-4 FTW 濁度

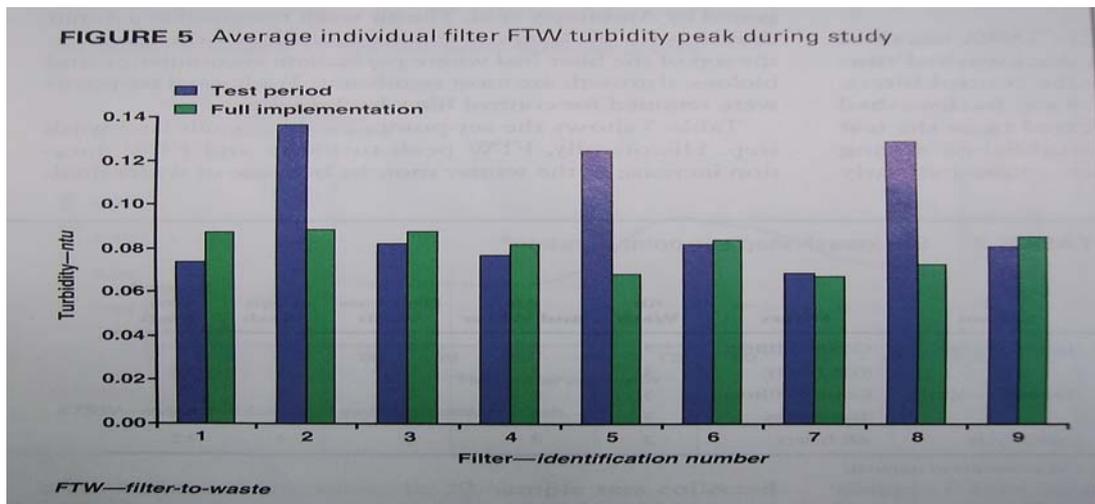
每反沖洗發生在 FTW 期間的最大渾濁度之分析，其結果總結在 TABLE 5。平均高峰渾濁度在控制過濾池為 0.13 ntu，而使用 ETSW 計劃反沖洗的測試過濾池從為 0.08 ntu，減少了 38%。另外，95%控制過濾池 FTW 尖峰濁度超出了 0.10 ntu，而測試過濾池只有 4% FTW 尖峰濁度超出了 0.10 ntu。

TABLE 5 FTW turbidity peaks*

Statistic	Test Filters	Control Filters
Backwashes analyzed— <i>N</i>	219	117
Average FTW peak	0.08	0.13
Standard deviation	0.01	0.02
Minimum	0.05	0.08
Maximum	0.12	0.20
Median	0.08	0.12
95th percentile	0.10	0.18
Peaks > 0.10 ntu—%	4	95

*Values are in ntu unless otherwise specified.
FTW—filter-to-waste, *N*—number

FIGURE 5 是比較每個過濾器的平均 FTW 高峰渾濁度。藍色表示為平均峰頂(在測試濾池 1、3、4、6、7 和 9 為使用 ETSW，而控制濾池 2,5, 8 為傳統的)。綠色則是當所有過濾池都使用 FTW 高峰渾濁度的平均 FTW 高峰。由此圖可以發現這些控制過濾池，在使用 ETSW 沖洗時，FTW 的峰頂都有顯著的改善。



5-5 過濾池指標

一個成功反沖洗的要求：(1)能清除固體 (2)濾砂能保留(3)清除細菌，還包含，時間和水的有效利用，濾砂還要維持成層，濾床必須沒有泥球，低水頭損失，短反沖洗時間，長過濾時間，出水濁度要低。

1.水乾不乾淨：

固體移除由監測過濾池流出物渾濁作部份估計。如 TABLE 6 所顯示，控制濾池和測試濾池在 FTW 下產生低渾濁水。

2.濾床水頭損失(反沖洗完後)：

污泥的去除也可利用反沖洗後的過濾水頭監督來評估。在過濾器被安置了入服務之後，水頭損失立即被注意。如 TABLE 6 所顯示，測試和控制濾池有幾乎相同的水頭損失。

3.濾程：

執行時間被審查作為第三個方法來估計污泥去除的適當性。平均過濾器使用時間在測試和控制濾池是相似的，建議使用 ESTW 沒有不利的影響。

TABLE 6 Filter performance indexes

Statistic	Test Filters	Control Filters
Filter effluent turbidity— <i>ntu</i>		
99th percentile	0.05	0.05
Clean bed head loss— <i>ft (m)</i>		
Average	0.8 (0.2)	0.8 (0.2)
Standard deviation	0.2 (0.1)	0.3 (0.1)
Median	0.7 (0.2)	0.8 (0.2)
95th percentile	1.0 (0.3)	1.1 (0.3)
Filter run length— <i>min</i>		
Average	99	101
Minimum	50	32
Maximum	224	203
Standard deviation	39	40
Median	82	90
95th percentile	181	177

第六章 討論和結果

CLCJAWA，使用 ESTW 的結果是好的。FTW 洗砂廢水尖峰濁度平均從 0.13 減少到了 0.08 ntu。過濾池使用 ETSW 下，各種反沖洗只有 4%超出了使用 FTW 渾濁峰頂的 0.10 ntu，然而傳統上的濾池有 95%超出了 0.10-ntu。ETSW 洗滌每反沖洗會多消耗了 7000 加侖。然而，在當前最小 FTW 時間 30 min 下，排除 FTW 步驟將於每反沖洗多出 21000 加侖(79000L)已經處理過的水。ETSW 藉由縮短 FTW 期間減少了接近 14%過濾池離線時間。其次，消除了掃流的步驟，濾池可以提前 30 分開始作業。ETSW 計劃沒有很顯著後續衝擊後濾床廢水濁度、水頭損失或者濾程。這項研究的結果不完全支持 FTW 的放棄，因為使用 ETSW 有 4%濁度超出了 0.10 ntu。相反地，建議 FTW 在 96%濾池反沖洗中是不必要的。所以，自動 FTW 應該只有在需要時使用。

延長空氣/水洗滌步驟和把高流量減縮短這兩個長期效應還不清楚，仍待觀察。延長空氣/水洗步驟可能導致工具隨時間的損耗。縮短高鋒流量也許導致更重的物質的累積在清洗床而沖不出去。過濾池指標和週期性的濾砂評估將會被需要，以來決定這個過程長期生存能力。高流量沖洗和 ETSW 步驟也需要進一步評估來確定最適的時間。

參考文獻

- (1) JOURNAL AWWA MAY 2007 148-157 頁
- (2) 給水工程 黃政賢 編著
- (3) 本報告的圖表出處為 JOURNAL AWWA MAY 2007 148-157 頁內