

中空圓筒型濾料過濾去除濁度之研究

康世芳* 許聖哲* 林政紀** 吳家榮**

摘要

本研究採用孔隙率 50.3 % 之聚丙烯製中空圓筒型濾料為新型濾料，於實驗室及淨水場設置小型過濾模型廠，探討原水濁度、濾料填充厚度及過濾速度等因素，對新型濾料去除濁度之影響，並評估其應用於淨水固液分離程序之可行性。含高嶺土濁度人工原水之實驗結果顯示，原水濁度 50 NTU 以下時，新型濾料於濾程 24 小時，濾速 75 m/d 以下，且濾層厚度 150 cm 以上時，過濾出流水濁度低於 3.5 NTU 以下，濁度去除率達 85 % 以上，且損失水頭僅低於 5 cm；新型濾料單位損失水頭之濁度抑留量為傳統雙層濾料之 40 倍，顯示新型濾料過濾取代普通化學沉澱池（20-40 m/d 溢流率）可作為快濾之前處理預濾（prefiltration）。人工原水濁度於 500 NTU 時，濾速 50 m/d 且濾程 16 小時，過濾出流水濁度可達 10 NTU 以下。

以淨水場沉澱水（快濾池入流水）之結果，顯示新型濾料厚度 150-180 cm 雖然損失水頭低，但當沉澱水濁度 10-20 NTU 且濾速 100-200 m/d（一般快濾濾速）時，過濾出流水濁度皆大於 2.0 NTU（2.0-7.0 NTU），故新型濾料過濾無法取代快濾池。相對地，淨水場膠凝水（沉澱池入流水）濁度 20-30 NTU，濾層厚度 150-180 cm 且濾速降至 50-70 m/d，濾程 48 小時之結果顯示，濁度皆可維持於 5.0 NTU 以下，尤其濾程 12-48 小時，因濾層成熟，濁度皆維持於 2.5 NTU 以下。綜合實驗室與淨水場之實驗結果，新型濾料於填充厚度 150-180 cm 且濾速 50-75 m/d，可取代普通化學沉澱池，且溢流率為普通化學沉澱池 2 倍，可節省佔地面積。

*淡江大學水資源及環境工程研究所副教授

**淡江大學水資源及環境工程研究所研究生

一、前言

混凝、沉澱與過濾單元為淨水處理程序中普遍採用的固液分離單元，為減輕過濾池內濁度負荷，一般淨水場操作重點乃強化過濾前處理之混凝、沉澱單元去除濁度效果。為提高沉澱池去除濁度效果，混凝單元中生成的膠羽密度與膠羽粒徑愈大，則後續沉澱池去除濁度效果愈佳(Gregory, 1977; O'Melia et al., 1997)。影響沉澱池固液分離效果之主要因素為溢流率及水力停留時間，高速膠凝沉澱池之溢流率 60-90 m/d，約為普通化學沉澱池 20-40 m/d 之 3-5 倍(Kawamura, 1996)。過濾池濾層孔隙類似許多小型沉澱池，過濾去除濁度於傳輸階段主要為沉澱作用，於附著階段去除濁度原理則與混凝原理相似(Yao et al., 1971; Beller, 1993)，故混凝單元同時影響沉澱與過濾單元去除濁度的效果(Tobiason and O'Melia, 1988)。

過濾為淨水程序中控制濁度之最後固液分離單元，過濾採用之濾料以石英砂、無煙煤及石榴石為主，組成單層濾料或多層濾料。傳統濾料粒徑小且孔隙率低於 40%，隨過濾時間增加，濁度被抑留於濾層內，因孔隙率減少，損失水頭快速增加，致使濾程縮短，故過濾進流水濁度不能太高。為改善傳統濾料因孔隙率低及損失水頭快速發展之缺點，高孔隙率、低損失水頭及單位損失水頭濁度高去除量之新型濾料，應用於淨水固液分離之研究漸受重視(Tambo, 1984; Hunter, 1987; Ngo and Vigneswaran, 1995)。新型濾料材質乃以高分子材料聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)為主，做成粒狀、中空圓筒狀(Raschig)、纖維長條狀之濾料，材質密度小於 1.0 時亦可成為浮體濾料(Visvanathan, 1996)。新型濾料於淨水固液分離之應用，則可分為(1)前處理(Visvanathan, 1996)、(2)取代沉澱池形成過濾沉澱槽(Tambo, 1984; Schulz et al., 1994)、(3)取代傳統快濾池之傳統濾料(宮下, 1995)。

二、實驗材料與方法

1. 濾料

本研究使用之濾料如表 1 所示四種濾料，石英砂與無煙煤為傳統濾料，其

有效粒徑及孔隙率分別為 0.60 mm 及 35.0 % 與 1.1 mm 及 40.2 %；新型濾料為塑膠聚丙烯(PP)製中空圓筒型(raschig rings)，其尺寸如圖 1 所示內徑、外徑與長度、孔隙率分別為 3 mm、5 mm、5 mm 與 50.3 %。中空圓筒型濾料比重小於 1.0 者可形成浮體濾料，直接購自某玩具製造工廠，比重大於 1.0 者則購自市售透明 PP 塑膠管（內徑 3 mm、外徑 5 mm），自行裁剪成約 5 mm 長度。

2. 人工原水

以市售高嶺土(Kaolin, Nacalai Tesque)模擬過濾進流水中的濁度，配製原水濁度 10、20、50 及 500 NTU，以模擬低、中、高濁度原水，500 NTU 原水乃模擬暴雨情況下之原水濁度，探討新型濾料取代沉澱池去除不同原水濁度之能力。

3. 淨水場膠凝水與沉澱水

為檢討新型濾料過濾取代沉澱池與快濾去除濁度之能力，以台灣省自來水公司板新淨水場第一期工程之膠凝水及第三期工程之沉澱水為過濾實驗進流水，實驗期間膠凝水與沉澱水濁度變化範圍分別為 13.9~46.6 NTU 與 11.8~12.1 NTU。

4. 直接過濾

實驗室規模直接過濾設備之流程如圖 2 所示，含化學混凝（快混）及過濾單元。快混槽之水力停留時間為 10 分鐘，攪拌轉速為 100 rpm；過濾筒為透明壓克力製，內徑 10 公分且高度為 3 m，過濾筒側面設有接頭連結水管至損失水頭板，以測定各濾層深度損失水頭，濾層填充之濾料種類、厚度依實驗條件而定。混凝劑使用多元氯化鋁(PAC)，人工原水濁度 10、20、50 及 500 NTU 之最適 PAC 加藥量，以瓶杯試驗機預先檢討結果為 20、20、30 及 150 mg/L。過濾方式採直接過濾，實驗室自來水及高嶺土配製之高濁度人工原水，以定量泵浦抽送至快混槽稀釋至實驗條件所定之濁度，同時亦以定量泵浦將 PAC 抽送至快混槽進行快混，經快混之人工原水以定量泵浦抽送至過濾筒內進行過濾。過濾濾速控制採自然平衡法 (inlet split-rising heads method) (AWWA, 1990)，每隔 0.5 小時採樣，以濁度計(HACH 2100N)分析過濾出流水濁度，損失水頭則每 2 小時記錄 1 次，過濾時間為 24 小時，然後以自來水進行反沖洗。

同圖 2 所示過濾單元設置於板新淨水場水質實驗室旁之本研究過濾實驗

室，板新淨水場三期工程沉澱水或一期工程膠凝水，由泵浦直攙抽送至過濾實驗室，貯留槽以 40 rpm 攪拌，以防止濁度沉澱，經貯留槽後以定量泵浦抽送至過濾筒，實驗條件檢討濾料種類、厚度及濾速對過濾去除濁度之影響。過濾原水及出流水以泵浦直接抽送至濁度連續監測器(HACH 1720C)測定之，並將測定直接線上記錄於電腦上。

表 1 濾料規格

濾料	尺寸	有效粒徑 (mm)	均勻係數	孔隙率 (%)	比重 (g/cm ³)
中空圓筒型	內徑 3mm 外徑 5mm 長 5mm	—	1	50.3	>1.0
浮體中空圓筒型	內徑 3mm 外徑 5mm 長 5mm	—	1	50.3	<1.0
石英砂	—	0.6	1.36	35.0	2.86
無煙煤	—	1.1	1.6	40.2	1.98

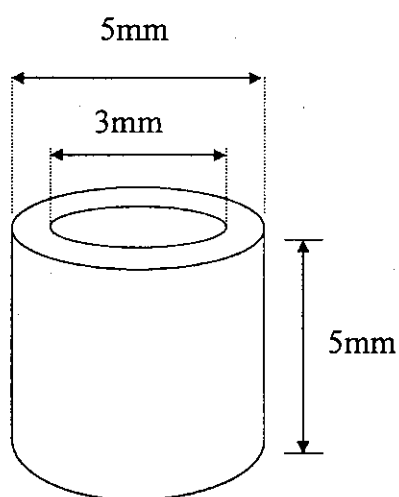


圖 1 中空圓筒型濾料尺寸

三、結果與討論

3-1 新型濾料與傳統濾料過濾性能之比較

1. 去除濁度能力之比較

原水濁度 50 NTU、混凝劑 PAC 加藥量 50 mg/L 及濾速 100 m/d 之操作條件下，五種濾層結構分別如下：石英砂 90 cm、石英砂 60 cm 搭配無煙煤 30 cm 之傳統濾料及中空圓筒型濾料 90 cm 及 120 cm、浮體中空圓筒型濾料 120 cm，於濾程 24 小時濁度去除率變化之比較如圖 3 所示。傳統濾料無論於單層濾料或雙層濾料過濾時間 7 小時濁度去除率皆大於 98%，然而中空圓筒型濾料厚度 90 cm 於濾程 9 小時後，濁度去除率隨過濾時間增加至 24 小時，濁度去除率由 86.8% 降為 50.9%。中空圓筒型濾料厚度 120 cm 時，於濾程 24 小時濁度去除率並未隨過濾時間增加而減少，且皆保持於 85-90% 以上。浮體中空圓筒型濾料平均濁度去除率為 81.7%，於濾程 24 小時之濁度去除率於 70-90% 之間變化。新型濾料在相同操作條件下，顯示中空圓筒濾料濁度去除率較浮體中空圓筒型濾料穩定且良好。

2. 損失水頭發展之比較

不同濾料種類損失水頭發展之比較如圖 4 所示，傳統濾料之初期損失水頭約 38-42 cm，中空圓筒型濾料填充 90-120 cm 之初期損失水頭約 4-6 cm，顯示中空圓筒型濾料可填充較厚的濾床且不影響過濾池可利用水頭。傳統濾料之石英砂單層 90 cm 於過濾時間 7 小時其損失水頭為 56.7 cm；石英砂與無煙煤雙層濾料過濾則為 18.9 cm。相對的中空圓筒型濾料厚度 90 cm 及 120 cm，濾程 24 小時之損失水頭僅為 1.5 cm 及 1.6 cm，此低損失水頭之現象與 Tambo 氏研究結果一致(Tambo and Matsui, 1984)，傳統濾料損失水頭的發展呈現指數型發展(Shea et al., 1971)，相較於傳統濾料，新型濾料具低損失水頭的特性。

新型濾料與傳統濾料過濾能力之比較如表 2 所示，傳統濾料平均出流水濁度皆低於 1 NTU，但損失水頭快速發展，造成單層濾料及雙層濾料之單位損失水頭濁度抑留量分別僅為 199 及 597 NTU/cm。中空圓筒型濾料濾層厚度 90 cm、120 cm 與浮體中空圓筒型濾料濾層厚度 120 cm 之單位損失水頭濁度抑留量分別為 20557、21999 與 21367 NTU/cm，約為石英砂與無煙煤雙層濾料之 40 倍。

Visvanathan 氏指出單位損失水頭濁度物質拌留量大表示其濾床的利用較佳 (Visvanathan et al, 1996)，因此新型濾料之濾床利用較傳統濾料為佳。同時中空圓筒型濾料較浮體中空圓筒型濾料之濁度去除率及單位損失水頭濁度拌留量為高，故本研究之後續實驗以中空圓筒型濾料為主。同表 2 所示濾料厚度 90 cm 時，中空圓筒型濾料之初期損失水頭為 4.2 cm，較傳統濾料 38.4-42.1 cm 約低 34-38 cm，意謂著中空圓筒型濾料可填充較高厚度。

綜合上述，傳統濾料因損失水頭發展快速造成濾程縮短，不適用於直接過濾 50 NTU 之高濁度，Kawamura 指出直接過濾較適用於低濁度 (10 NTU 以下) (Kawamura, 1996)，因此傳統濾料亦不適用為預濾 (perfiltration) 或取代沉澱池，相反地，中空圓筒型濾料因濁度去除率可達 85-90 % 以上，可應用於預濾或取代沉澱池，且因損失水頭低，損失水頭不影響其處理功能，最重要的乃是濁度去除率與濾程。

表 2 新型濾料與傳統濾料過濾能力比較

項目 \ 濾層	石英砂 90cm	石英砂 60cm + 無煙煤 30cm	中空圓筒 90cm	中空圓筒 120cm	浮體中空圓筒 120cm
平均出流水 濁度(NTU)	0.60	0.67	10.71	5.15	9.16
過濾時間(hr)	7	7	24	24	24
初期損失水頭 (cm)	42.1	38.4	4.2	5.2	6.2
淨損失水頭 (cm)	56.7	18.9	1.5	1.6	1.5
總濁度拌留量 (NTU)	11308	11292	30835	35198	32051
單位損失水頭 濁度拌留量 (NTU/cm)	199	597	20557	21999	21367

*註:原水濁度 50 NTU，PAC 加藥量 50 mg/L，濾速 100 m/d

3-2 過濾操作因子對新型濾料去除濁度的影響

1. 濾層厚度對新型濾料去除濁度的影響

當原水濁度 50NTU、PAC 加藥量為 50 mg/L 及濾層厚度 90、120 及 150 cm 時，於濾速 100 m/d 及 200 m/d 之結果如圖 5 所示。濾速 100 m/d 濾層厚度分別為 90、120 及 150 cm 時之平均濁度去除率分別為 77.6%、90.6% 及 92.9%；濾速 200 m/d 時平均濁度去除率則分別為 60.7%、72.4% 及 77.8%。顯示增加中空圓筒型濾料填充厚度能提高濁度去除率，且濾層厚度在 120 cm 以上於濾速 100 m/d 時，濁度去除率可達 90 % 以上。相對於圖 5 濾速 100 m/d 及 200 m/d 條件下濾層厚度 90、150 cm 的損失水頭分別僅為 1.5-1.6 及 1.5-4.3 cm，顯示損失水頭並未因濾層厚度增加而顯著增加，乃因於中空圓筒型濾料能提供更多抑留濁度的空間。

2. 濾速對新型濾料去除濁度的影響

原水濁度 50 NTU、PAC 加藥量 50 mg/L 及濾層厚度分別為 120、150cm 時，濾速對新型濾料去除濁度的影響如圖 6 所示，濾層厚度 120 cm 與 150 cm 時，濾速 50、100 及 200 m/d 之平均出流水濁度分別為 3.46、5.15 及 13.57 NTU 與 3.14、3.66 及 10.92 NTU。當濾速提高至 200 m/d 時，濾層厚度 120 cm 及 150 cm 的平均出流水濁度分別增加 8.42 NTU 及 7.26 NTU，其原因乃濾速愈大濾層中抑留之膠羽受剪力增加而自濾層中剝落，以致出流水濁度貫穿且上升，因此中空圓筒型濾料濾速宜控制於 100 m/d 以下及濾料厚度 120 cm 以上，其出流水濁度較低且較穩定。

3. 新型濾料處理低濁度原水

台灣省自來水公司以地表水為水源之淨水場，在正常情況下原水平均濁度約 5-30 NTU(台灣省自來水公司，1995)，本研究乃探討中空圓筒型濾料應用於原水低濁度 10 NTU 及 20 NTU 之去除效果。原水濁度 10 NTU、PAC 加藥量 20 mg/L 及濾速 100 m/d 時，濾層厚度 120 cm 及 150 cm 出流水濁度如圖 7 所示，平均出流水濁度分別為 1.63、1.53 NTU；原水濁度 20 NTU 之平均出流水濁度為 5.25、4.88 NTU。

原水濁度 10、20 NTU 於濾速 50-100 m/d 及濾層厚度 150 cm 之平均濁度去除率如表 3 所示，濾速於 50-75 m/d 時，平均出流水濁度去除率僅相差 0.3-1.6

%，無顯著差別，若濾速提高至 100 m/d，則平均濁度去除率相差約 5-13 %。同時如圖 6 所示，原水濁度 50 NTU 於濾速 75 m/d 時，平均出流水濁度為 3.2 NTU（去除率 94.6 %）。綜合表 3 及圖 6 結果，中空圓筒型濾料厚度 150 cm 時，於濾速 75 m/d，對原水濁度 10-50 NTU，濾程 24 小時，平均出流水濁度可維持於 3.2 NTU 以下，故可取代沉澱池減輕快濾池濁度負荷。

表 3 中空圓筒型濾料處理低濁度原水

濁度(NTU)	濾速(m/d)	平均出流水濁度(NTU)
10	50	1.18 (88.2 %)
	75	1.02 (89.8 %)
	100	1.53 (84.7 %)
20	50	2.19 (89.0 %)
	75	2.25 (88.7%)
	100	4.88 (75.6 %)

註:PAC 加藥量 20 mg/L，濾料厚度 150 cm，濾程 24 小時

4. 新型濾料處理高濁度原水

台灣地區於颱風季節，暴雨導致淨水場原水濁度增加，同時亦增加淨水場的操作負荷或縮短濾程。Shih 氏指出 1994 年颱風造成原水高濁度期間，長興淨水場過濾池最短濾程甚至為平常操作的 1/5 約為 6 小時(Shih and Chiang, 1998)。中空圓筒型濾料厚度 150 cm、原水濁度 500 NTU 及濾速為 50 及 100 m/d 條件下如圖 8 所示，平均濁度去除率分別為 93.3% 及 55.9%。濾速為 50 m/d 時過濾時間前 16 小時濁度去除率皆在 95% 以上，100 m/d 時僅於過濾時間前 5.5 小時濁度去除率保持 87% 以上外，5.5 小時以後，隨過濾時間增加而濁度去除率持續下降至 24.2%。中空圓筒型濾料對於高濁度原水 500 NTU 時，若濾速控制於 50 m/d，濾程 16 小時之出流水濁度低於 10 NTU。

3-3 新型濾料應用於板新淨水場取代沉澱池之過濾評估實驗

過濾進流水為板新淨水場一期工程膠凝水（一期膠凝水時），中空圓筒型濾料分別填充 120、150 及 180 cm、濾速為 100 m/d 操作下結果如圖 9 所示。實

驗期間一期膠凝水平均濁度為 13.87 NTU，濾層厚度為 120、150 及 180 cm 之平均出流水濁度分別為 5.88、4.95 及 4.09 NTU。各濾層厚度條件下於濾程前 10 小時之出流水濁度皆低於 3 NTU，而後隨著過濾時間增加出流水濁度亦隨之上升，在過濾時間超過 24 小時後各濾層厚度之出流水濁度則呈現較穩定的出流水濁度約保持在 4-8 NTU 之間。

如圖 10 所示實驗期間一期膠凝水平均濁度為 23.59 NTU，濾層厚度 150 cm 及 180 cm、濾速 50 m/d 及 75m/d 操作條件下平均出流水濁度分別為 2.16、2.12 及 2.30 NTU。過濾初期 12 小時出流水濁度皆在 5-7 NTU 左右，此乃因濾層尚未成熟；濾程於 12-48 小時，出流水濁度皆維持於 2 NTU 以下，顯示中空圓筒型濾料濾層厚度 180 cm 時，過濾出流水濁度皆可低於 5 NTU。Kawamura 氏指出沉澱水濁度宜控制於 5 NTU 以下，故中空圓筒型濾料可作為預濾取代化學沉澱池。濾速 75 m/d 或 50 m/d，皆大於板新淨水場一期工程普通化學沉澱池溢流率操作值 35.4 m/d，亦符合自來水工程設施標準普通化學沉澱池溢流率設計值 20-40 m/d 及高速膠凝沉澱池設計值 60-90 m/d。因此由一期膠凝水過濾實驗結果顯示中空圓筒型濾料可取代普通化學沉澱池形成過濾沉澱池，且佔地面積小。

3-4 取代過濾池之過濾實驗

板新淨水場三期工程沉澱水(三期沉澱水)乃為高速膠凝沉澱池之出流水，以三期沉澱水為過濾進流水，中空圓筒型濾料分別填充 120、150 及 180 cm。板新淨水場三期過濾池濾速設計及操作值分別為 200 m/d 及 129 m/d，本實驗濾速 100 及 200m/d 的結果如圖 11 及圖 12 所示。濾速 100 m/d 操作條件下實驗期間三期沉澱水濁度範圍為 7.7-18.3 NTU，流經濾層厚度 120、150 及 180 cm 之平均出流水濁度分別為 2.18、1.87 及 1.36 NTU。濾速 200 m/d 操作條件下實驗期間三期沉澱水濁度範圍為 10.3-16.7 NTU，流經濾層厚度 120、150 及 180 cm 之平均出流水濁度分別為 4.89、4.19 及 3.50 NTU。濾速 100 m/d 時各濾層厚度於過濾時間 48 小時中之出流水濁度皆能保持在 0.97-2.80 NTU 之間穩定狀態，但濾速 200 m/d 各濾層厚度之出流水濁度變化乃隨著過濾進流水(三期沉澱水)的影響，出流水濁度則在 2.39-7.02 NTU 之間。

三期沉澱水過濾實驗僅有濾層厚度 150 cm 及 180 cm、濾速 100 m/d 操作

時出流水濁度低於 2 NTU。淨水場未來面臨日趨嚴格飲用水濁度標準 2 NTU 以下，淨水場過濾出流水或清水管理目標濁度宜降至 1 NTU 以下，顯然中空圓筒型濾料出流水濁度控制 2 NTU 以下須在低濾速操作，且因而造成淨水場出水量降低；因此三期沈澱水過濾實驗結果，顯示中空圓筒型濾料不適取代過濾池。

四、結論

1. 中空圓筒型濾料損失水頭低且單位損失水頭濁度抑留量約為傳統濾料之 40 倍。
2. 中空圓筒型濾料濾速控制在 75 m/d 以下且濾層厚度 150 cm 以上時，平均濁度去除率可達 85 % 以上。
3. 中空圓筒型濾料應用於板新淨水場一期膠凝水，濾速控制在 50 m/d 及 75 m/d 操作下，在濾床成熟期間其出流水濁度皆保持在 2 NTU 以下，故中空圓筒型濾料過濾可取代普通化學沈澱池。
4. 中空圓筒型濾料應用於板新淨水場三期沈澱水，出流水濁度 2 NTU 以下須於控制低濾速 100 m/d 操作條件，故中空圓筒型濾料不適取代過濾池。

誌謝

本研究承蒙國科會(NSC-87-2211-E-032-002)，於研究經費之贊助，並感謝台灣省自來水公司板新淨水場廖世宗場長及杭子樵主任於實驗期間之協助。

參考文獻

- America Water Work Association, "Water Treatment Plant Design", 2nd, Ed. (1990)
- Gregory J., "The Density of Particle Aggregates", Water Science & Technology, Vol.36, No.4, pp.1-13 (1997)
- Hunter J. S., "Recent Developments in Buoyant Media Liquid Filtration", Filtration & Separation, Vol. 24, No. 6, pp.399-404(1987)

- Kawamura S., "Optimisation of Basic Water-Treatment Processes—Design and Operation: Sedimentation and Filtration" , Jour. Water SRT-Aqua, Vol.45, No.3, pp.130-142 (1996)
- Ngo H. H. and Vigneswaran, "Application of Floating Media Filter in Water and Waetewater Treatment with Contact Flocculation Filtration Arrangement" , Water Research, Vol.29, No.9, pp.2211-2213 (1995)
- O'Melia C. R., Hahn M. and Chen C. T., "Some Effect of Particle Size in Separation Process Involving Colloids" , Water Science & Technology, Vol.36, No.4, pp.119-126 (1997)
- Schulz C. R., Singer P. C., Gandley R. and Nix J. E., "Evaluating Buoyant Coarse Media Flocculation" , Jour. AWWA, Vol.86, No.8, pp.50-63 (1994)
- Shea T. C., Gates W. E. and Argaman Y. A., "Experimental Evaluation of Operating Variables in Contact Flocculation Filtration" , Jour. AWWA, Vol.63, No.1, pp.41-48 (1971)
- Shih W. K. and Chiang C. L., "Treatment of High Turbidity Water" , 4th International Workshop on Drinking Water Quality Management and Treatment Technology, pp.197-209 (1998)
- Tambo N. and Matsui Y., "Performance of High Capacity Depth Filter" , Jour. Water SRT-Aqua, Vol.33, No.2, pp.96-101 (1984)
- Tobiason J. E. and O'Melia C. R., "Physicochemical Aspects of Particle Removal in Depth Filtration" , Jour. AWWA, Vol.80, No.12, pp.54-64 (1988)
- Visvanathan C., Werellagama D. R. I. B. and Aim R. B., "Surface Water Pretreatment Using Floating Media Filter" , Jour. Environmental Engineering, ASCE, Vol.122, No.1, pp.25-33 (1996)
- Yao K. M, Habibian M. T. and. O'Melia C. R., "Water and Wastewater Filtration: Concepts and Applications" , Environment Science & Technology, Vol. 5, No.11, pp.1105-1112 (1971)
- 內政部營建署，自來水工程設計設施標準，民國 83 年 (1994)
- 宮下友明，"以充填材長纖維濾料用高速過濾除濁度之研究"，第 46 回全國水道研究發表演講集，pp.94-95(1995)

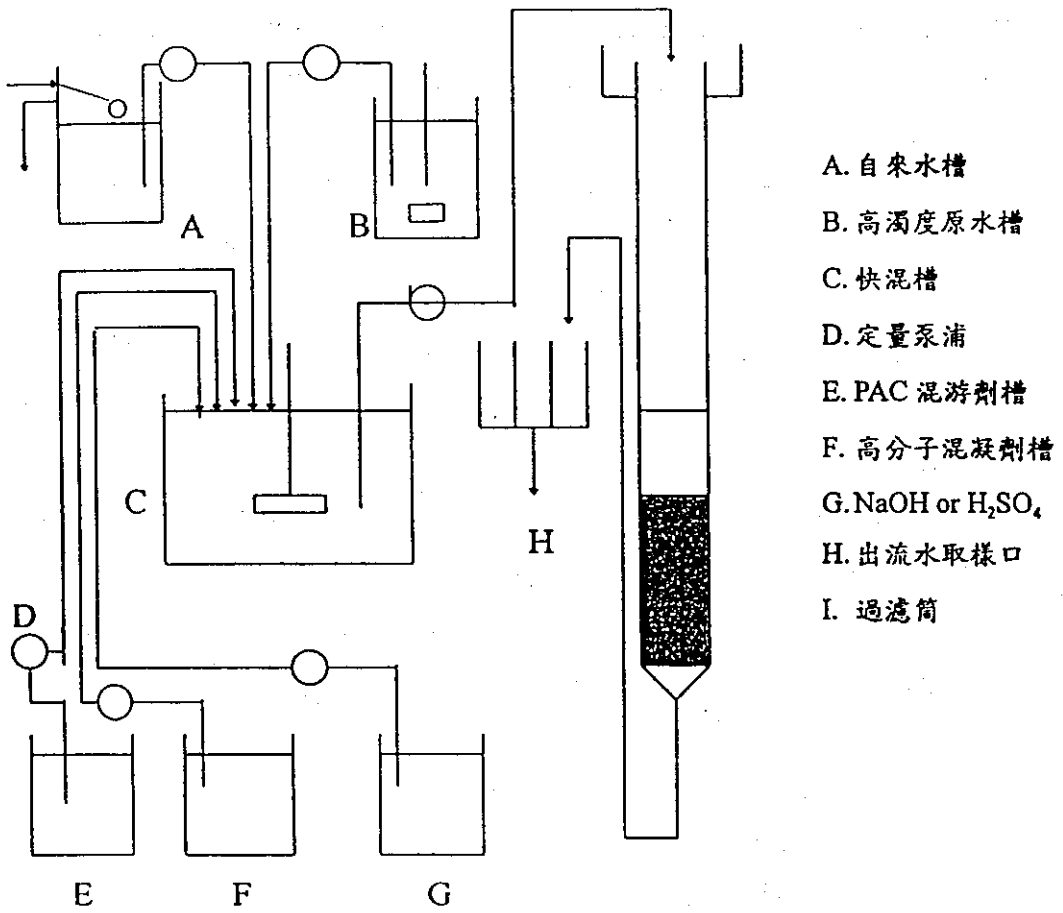


圖 2 直接過濾設備實驗流程圖

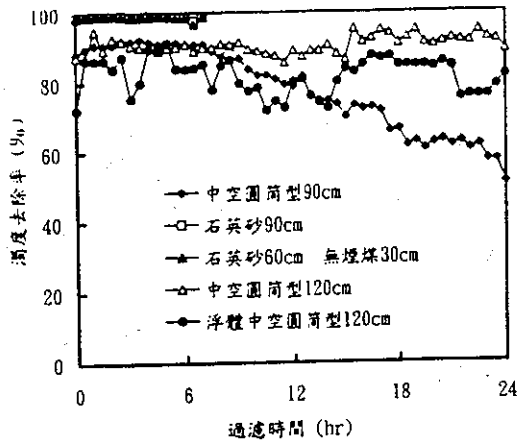


圖3 過濾時間與濁度去除率之關係
(Influent=50NTU, PAC=50mg/L, v=100m/d)

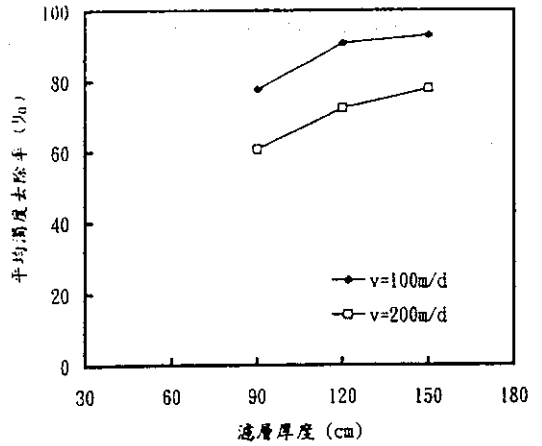


圖4 過濾時間與平均濁度去除率之關係
(Influent=50NTU, PAC=50mg/L)

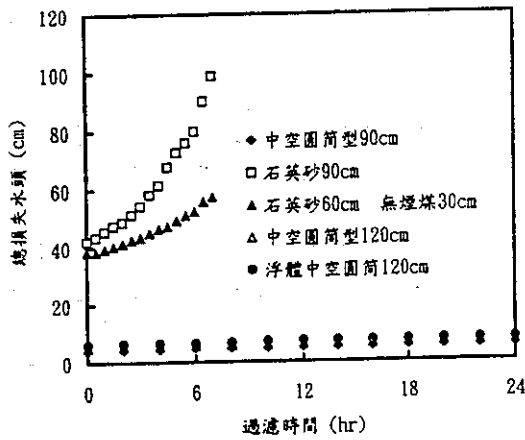


圖5 過濾時間與總損失水頭發展之關係
(Influent=50NTU, PAC=50mg/L, v=100m/d)

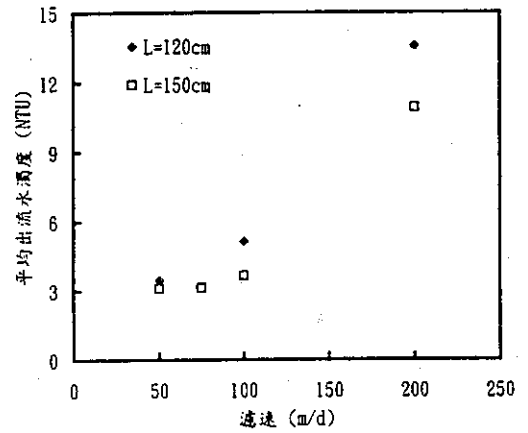


圖6 流速與平均出流水濁度之關係
(Influent=50NTU, PAC=50mg/L)

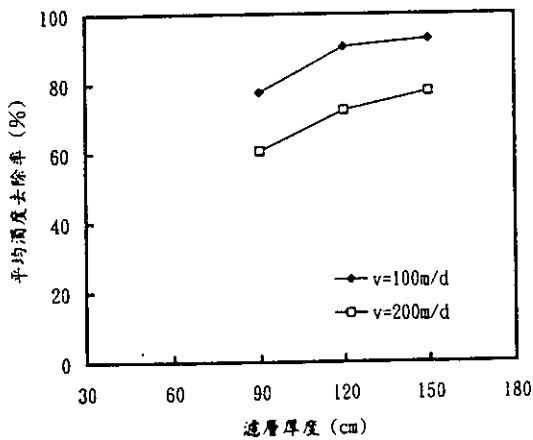


圖7 過濾時間與平均濁度去除率之關係
(Influent=50NTU, PAC=50mg/L)

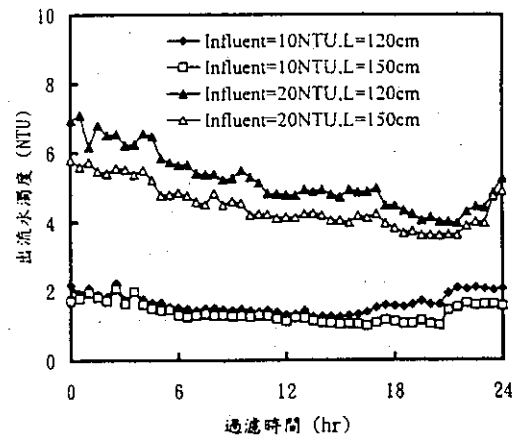


圖8 過濾時間與出流水濁度之關係(v=100m/d)

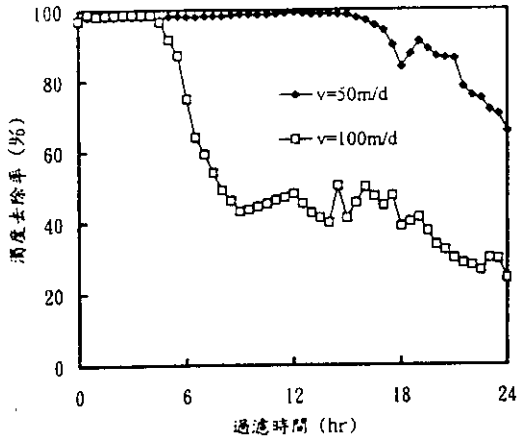


圖8 過濾時間與濁度去除率之關係
(Influent=500NTU, PAC=150mg/L, L=150cm)

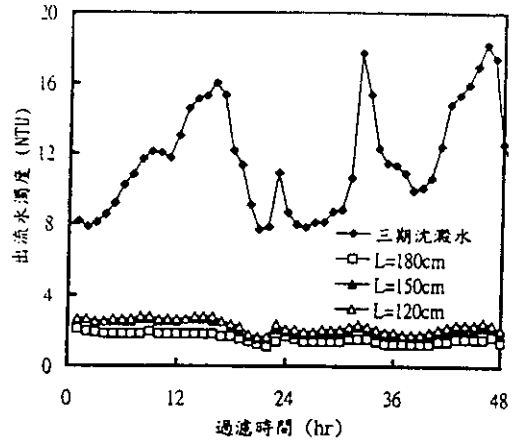


圖11 過濾時間與出流水濁度之關係(v=100m/d)

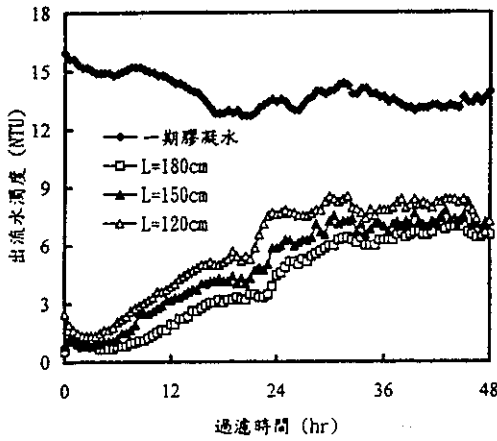


圖9 過濾時間與出流水濁度之關係(v=100m/d)

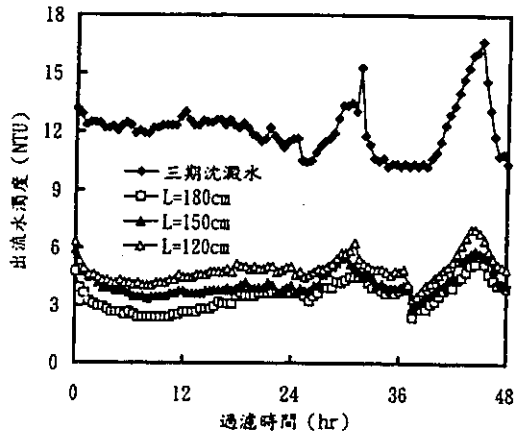


圖12 過濾時間與出流水濁度之關係(v=200m/d)

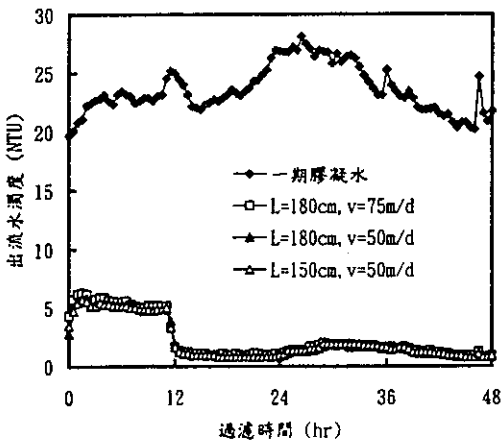


圖10 過濾時間與出流水濁度之關係