

原水有機物含量對污泥毯穩定性之影響

林文煒¹、宋尙軒²、李坤峰³、李篤中^{4*}、張嬉麗⁵、及莊瑞鑫⁶

¹ 台灣大學化工系博士後研究員

² 台灣大學化工系碩士研究生

³ 台灣自來水公司平鎮淨水廠工程員

⁴ 台灣大學化工系教授

⁵ 台灣自來水公司第二區管理處主任

⁶ 元智大學化工系教授

*聯絡作者，Tel：(02)2362-5632，E-mail：djlee@ccms.ntu.edu.tw

摘要

高速膠凝沉澱池中污泥毯易受流力淘漸而造成膠羽粒子之上浮，進而使整個污泥毯流失。此結果不但使沉澱池喪失過濾原水小粒子之能力，同時大量淘漸之膠羽粒子亦會造成快濾池之負擔。本研究於平鎮淨水廠建立一套模廠實驗裝置探討原水有機物含量對污泥毯穩定性之影響，以加入 7ppm 腐植酸和未加入腐植酸之原水進行實驗，操作流量為 300ml/min、PAC 加藥量為 50ppm、快混池轉速 600rpm、慢混池轉速 60rpm。實驗結果發現加入 7ppm 腐植酸之原水外觀明顯呈黃褐色，但原水濁度並無明顯增加，原水有機物含量愈多混凝後之膠羽所形成之污泥毯較容易發生淘漸，即泥毯較不穩定。對 PAC 加藥量改變(50ppm 降為 15ppm 再升回 50ppm)，原水有機物含量愈多所造成泥毯擾動愈大，當 PAC 加藥量從 50ppm 降為 15ppm 後，原水有機物含量愈多，上澄液濁度變得愈大(7ppm 腐植酸上澄液濁度為 3.9 NTU；0ppm 腐植酸上澄液濁度為 1.1 NTU)。原水有機物含量愈多泥毯穩定性愈差，也愈容易產生淘漸，不利於高速膠凝沉澱池之操作，所以降低原水有機物含量將可使泥毯較不易產生淘漸，不但降低出水濁度，並減少快濾池負擔和鋁鹽過量之問題。

一、前言

淨水工程(Purification engineering)為自原水取水後，經由導水管渠送至淨水處理廠淨化原水，以改變水質使適合各種用水標的之需求。通常原水中須淨化的污染物質按其尺寸和存在的形態可大略分為溶解物質(Dissolved matter)，膠體物質(Colloidal matter)及懸浮物質(Suspended matter)。水中懸浮物質主要由黏土、砂土、原生動物、藻類、細菌等所組成，由於顆粒較大，能夠藉由自然重力沉澱作用去除之。水中膠體物質主要由黏土微粒和大分子有機化合物等組成，黏土微粒大都為二氧化矽、氧化鋁，大分子有機化合物主要為腐植質、腐植酸及黃酸等，為水中色度之主要來源；膠體物質無法藉由重力作用去除，淨水處理常於水中添加混凝劑去除之。溶解性物質主要為鹽類，其次是氣體和其他有機物。

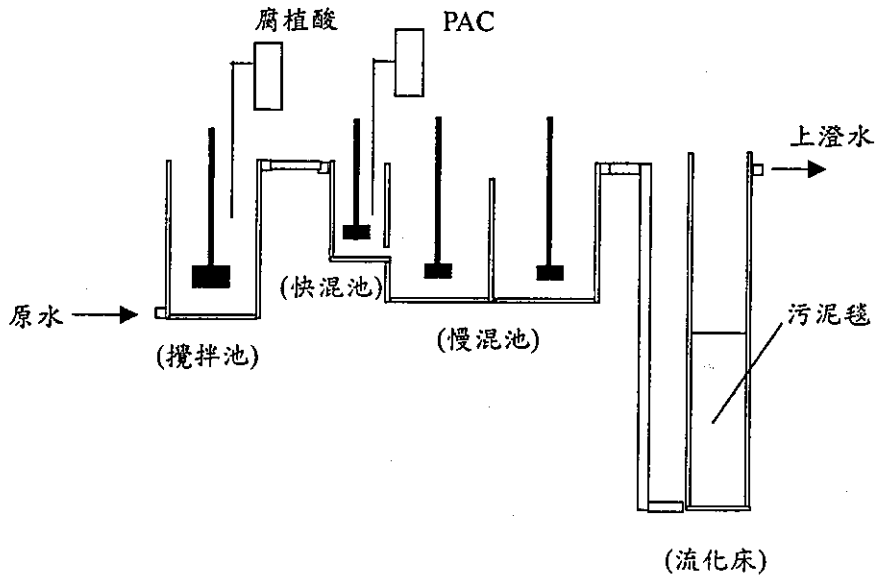
為淨化以上所述之污染物質，淨水處理一般淨水流程包含有混凝與膠凝、沉澱、過濾、消毒及其他特殊處理等單元。長久以來，混凝/膠凝程序一直是淨水處理過程中最重要的單元，其操作的良窳關係到後續處理單元的操作負荷及處理水水質，眾多淨水場使用高速膠凝沈澱池增加單位面積水處理能力，高速膠凝沈澱池操控不易，污泥毯易受流力淘漸而造成泥毯流失。本研究於平鎮淨水廠建立一套模廠實驗裝置，以加入腐植酸和未加入腐植酸之原水進行實驗，探討原水中有機物含量對污泥毯穩定性之影響。

二、實驗

模型槽規格及水力參數

本研究於平鎮淨水場水質化驗室之室內設計一組淨水流程設備模廠(Pilot plant)，模廠的大小依據平鎮淨水廠實際比例縮小(Scale down)，根據實廠水力參數規格，快混池與慢混池(膠凝池)的速度坡降(Velocity gradient) G 值分別為 315 sec^{-1} 及 27.6 sec^{-1} ，整個模廠設備及處理流程如圖一所示，在連續流試驗中的模型槽材質是以壓克力所製成，主要由攪拌

池、快混池、慢混池及流化床沈澱池等單元組成。



圖一 模型廠設備構造圖

各個單元構造尺寸如下：

攪拌池—尺寸：長 × 寬 × 高 = 17 cm × 17 cm × 20 cm 體積 5780 cm³

快混池—尺寸：長 × 寬 × 高 = 6 cm × 6 cm × 12 cm 體積 432 cm³

轉速：600 rpm

G 值：315 sec⁻¹。

慢混池—尺寸：長 × 寬 × 高 = 17 cm × 17 cm × 20 cm 體積 5780 cm³

轉速：60 rpm

G 值：27.6 sec⁻¹。

流化床—尺寸：直徑 × 高度：10 cm × 100 cm，體積 7854 cm³。

另外有蠕動定量幫浦 2 台(一台為添加 PAC 混凝劑而另一台為添加腐植酸溶液)及攪拌器 4

組（攪拌葉尺寸：長 ×寬=4 cm ×1 cm）。

模廠實驗流程

原水由分水井以幫浦抽至模型槽之攪拌槽中(Q=300ml/min)，以蠕動定量幫浦將腐植酸溶液(0 或 7ppm)添加至槽中攪拌均勻，然後送至快混槽中，同時並將混凝劑(PAC)以蠕動定量幫浦抽入快混槽中(50ppm)進行快混。快混槽中之水樣則以重力流的方式流入慢混槽，再至流化床沈澱槽，清澈之上澄液則由床頂端流出。本研究之實驗程序共分兩種：(1) 泥毯建立實驗，主要是觀測流化床沈澱槽之泥毯從無到所需之高度(h=30cm)之動態特性，包括上澄液及池中不同位置之相關物性；(2) PAC 加藥量改變之擾動實驗，主要是探討泥毯受擾動之情況，實驗程序為當流化床沈澱槽之泥毯達到一定高度(h=30cm)後，將 PAC 加藥量作一個階段性的改變由 50ppm 降至 15ppm，經過 6 小時後再昇至 50ppm，觀測 PAC 加藥量改變對泥毯所造成擾動之時間動態特性。本研究所使用腐植酸溶液將固態腐植酸 1.4 g 加入 1 L 去離子水澄成，因腐植酸只溶於強鹼所以以 NaOH 調整至 pH 12，再以 0.45 μm 濾紙過濾雜質(主要為腐植質)，最後以 HClO₄ 調整回至 pH 7 備用。

性質分析方法及設備

本研究性質分析採樣點共有攪拌槽之原水、快混槽、慢混槽(一)、慢混槽(二)、上澄液及流化床縱向各位置(如離上澄液出口處 20cm、40cm、60cm、80cm、及 100cm 之位置水樣)。分析項目共有重量百分濃度(wt %)、界達電位(Zeta potential)、粒徑分析(Particle size)、濁度 (Turbidity)、pH 值、顯微照相、鋁鹽含量測量及 UV₂₅₄ 吸光度，分述如下：

(I)重量百分濃度(wt %)

取 50 ml 之水樣稱重為 W_1 ，以 105 °C 烘乾後，再稱重為 W_2 ， $W_2/ W_1 \times 100 \%$ 即為重量百分濃度。

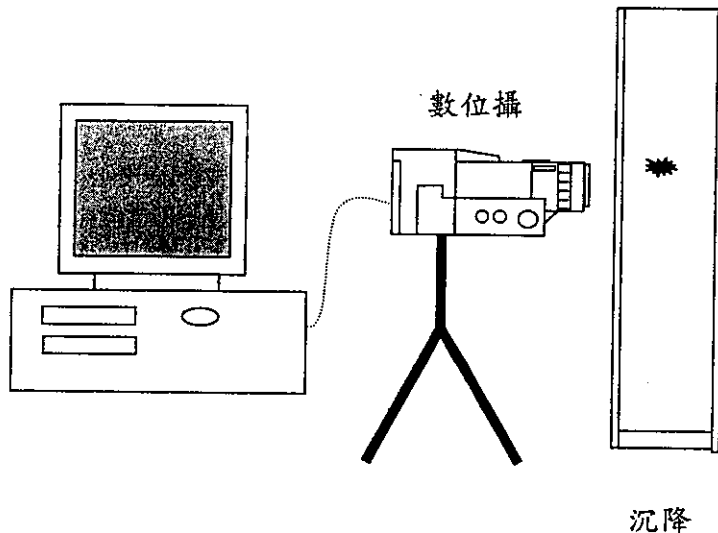
$$wt \% = \frac{W_2}{W_1} \times 100\%$$

(2) 界達電位(Zeta potential)

以 Zetasizer 2000 (MARLVERN) 進行量測，在進行量測前，先將樣品靜置一段時間待其沈降，取出上澄液另外裝瓶，並且從沈積層中抽取微量的固體注入取出的上澄液中，並均勻攪拌，再注入量測。

(3) 粒徑分析(Particle size)

對每一瓶水樣，以數位攝影機(CV 950)拍攝超過 250 顆水中粒子，然後以電腦分析每一顆粒子之粒徑(其構造圖如圖二所示)，再以軟體(Matrox Inspector V2.2)進行粒徑之量測及分佈圖之建立，由之可求出平均粒徑值。



圖二 粒徑分析實驗構造圖

(4) 濁度之測定(Turbidity)

濁度是依環保署 NIEA W219.50T 之濁度計法測定。濁度計 (Model 2100A, Hach, U.S.A.) 每隔一段時間 (視儀器狀況)，需以原廠所附之 4000 NTU 濁度標準液 分別稀釋為 1, 10, 100 及 800 NTU 等四種標準液作為濁度計之一級校正。再以儀器所附之二級標準品之矽膠標準液，放入水樣槽內讀值，並將讀值記錄於貼紙上，貼於矽膠標準液上。儀器使

用前則以矽膠標準液校正後，即可將水樣置入水樣槽內讀值，水樣之濁度單位 NTU (Nephelometric turbidity unit)。

(5)pH 值

以 pH Meter (Suntex, Taiwan) 測定水樣之 pH 值，每次測定前，需以緩衝溶液 (pH 7 及 10 at 25 °C) 先行校正。

(6)顯微照相

以顯微照相機 Projection Microscopes 4013 (Projection)觀察粒子的結構，並使用 Polaroid 進行攝影，所使用的放大倍率為 200 倍 (目鏡 10 x 物鏡 20 x)。

(7)鋁鹽含量測量

以感應耦合電漿原子放射光譜儀 (Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry, ICP/AES)，法國 JY 公司 JY-38S 型)進行測試。先於程式中設定欲測之金屬種類，並於進行樣品之量測前，先將標準液稀釋成三種以上之比例，再注入 ICP/AES，以取得濃度校正曲線，再將欲測水樣注入，求得欲測金屬元素含量。

(8)UV₂₅₄ 吸光度

以 SPECTRONIC GENESYS 5 量測，選定波長 254 nm 進行腐植酸吸光度分析。以背景水歸零校正，取適量的水樣置入 1 cm 光徑的石英樣品槽內，讀取吸光值即為 UV₂₅₄。

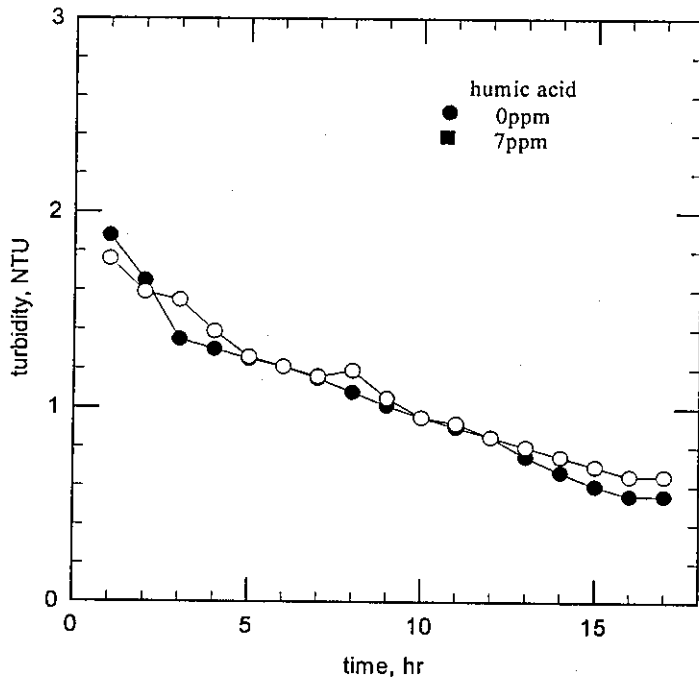
三、結果與討論

自然水體中存在許多有機物，尤其對高度優氧化水體中有機物含量相對地較高，有機物不但影響混凝/絮凝效率，同樣地也影響膠羽性質及泥毯特性。為了解有機物含量對泥毯特性之影響，所以在本研究中以模廠實驗探究不同條件下(添加腐植酸濃度分別為 0 和 7

ppm)泥毯建立機制及其泥毯穩定性。

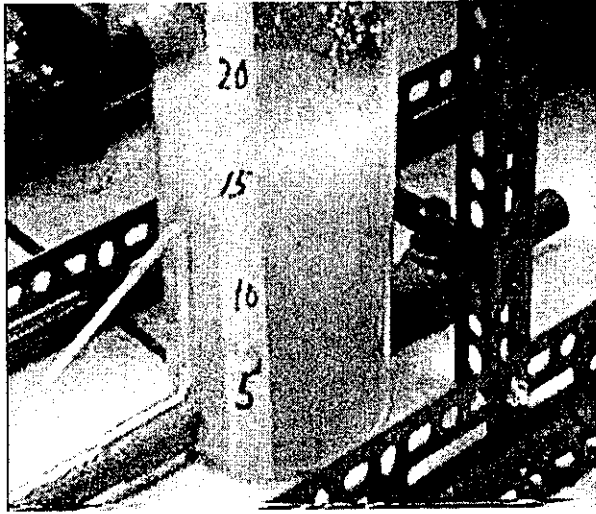
泥毯建立

模廠的操作條件如下所述：原水條件為濁度 2.43 NTU、pH 7.7、水溫 23.5 °C。圖三為流化床沉澱池上澄液濁度隨泥毯建立之動態變化圖。可發現在無泥毯存在時上澄液濁度非常大，隨時間增加泥毯成長上澄液濁度降低，即建立之泥毯會抓取在這流速下本來會淘漸之膠羽粒子，在泥毯在建立一段時間(t=16hr)後上澄液濁度達到穩定狀態，表示此泥毯已達抓取膠羽之最大量，泥毯高度再增加也不會增加其抓取效率，對於添加 7ppm 腐植酸或原始原水其泥毯高度約為 28 公分，而上澄液穩定濁度值分別為 0.55、0.65NTU，相對之去除效率為 77 %及 73 %，表示原水中之有機物含量愈高其泥毯抓取膠羽粒子能力愈差。

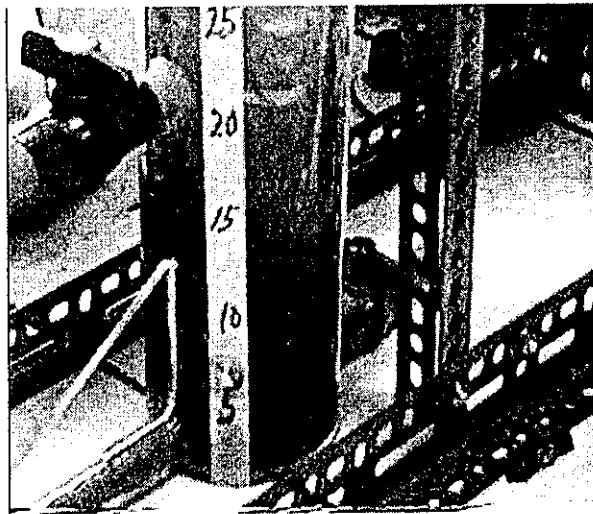


圖三 流化床沉澱池上澄液濁度隨泥毯建立之動態變化圖

圖四分別為此二組試驗條件下污泥毯生長的實際外觀情形。從外觀明顯可看出未添加腐植酸之泥毯顏色為黃色，但是添加 7 ppm 腐植酸後泥毯顏色變成為紅褐色，原水中腐植酸含量愈高所形成之泥毯顏色愈明顯。



(a)未添加腐植酸之污泥毯生長實景



(b)添加 7ppm 腐植酸之污泥毯生長實景

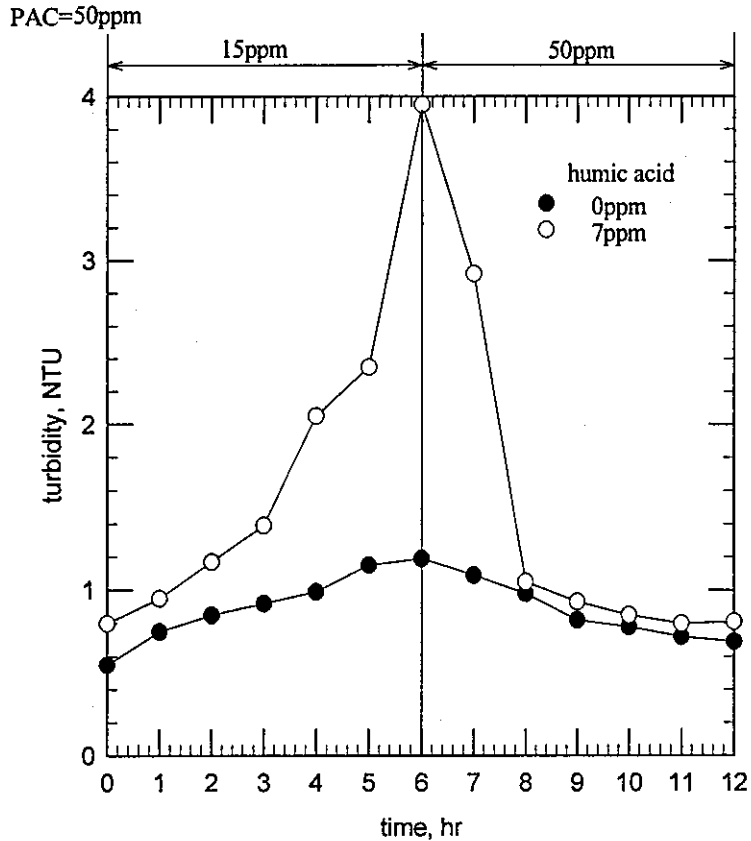
圖四 模廠之污泥毯生長實景

PAC 加藥量改變對泥毯擾動之影響

(1) 上澄液濁度變化

上澄液濁度隨 PAC 加藥量改變之動態特性圖如圖五所示，從圖中可發現無論是否添加腐植酸，在 PAC 加藥量降低(50 ppm→15 ppm)時上澄液濁度上升，主要是 PAC=15 ppm 所凝之膠羽性質與原先 PAC= 50ppm 所凝之膠羽性質不同所造成，PAC=15 ppm 所凝之膠羽進入原先 PAC= 50ppm 所形成之泥毯時，由於膠羽本身性質(包括顆粒大小及緻密性)不同，造成整個泥毯擾動並且進行結構重整，所以上澄液濁度隨時間增加而增加，經過一段時間後泥毯會再度穩定下來。在未添加腐植酸情況下，上澄液濁度值為 1.1 NTU 比原先 PAC=50 ppm 所形成之泥毯(上澄液濁度為 0.6 NTU)淘漸更嚴重，表示此泥毯抓取膠羽粒子能力較差，或是說其泥毯膠羽受流力淘漸較嚴重。在添加 7 ppm 腐植酸情況下，此時上澄液濁度值為 4 NTU，除了比原先 PAC=50 ppm 所形成之泥毯(上澄液濁度為 0.8 NTU)淘漸更嚴重外，其值也比未添加腐植酸情況下嚴重，表示添加 7ppm 腐植酸之泥毯比未添加腐植酸之泥毯更容易受 PAC 加藥量改變之擾動影響，或是說腐植酸含量愈高之泥毯愈不穩定。在 PAC 加藥量恢復原來的用量(50 ppm)後上澄液濁度隨時間增加而下降，PAC 加藥量改變除了對原先之泥毯產生擾動外，並且此時 PAC=50 ppm 形成之膠羽會陸續進入流化床沉澱池形成泥毯，由於 PAC=50 ppm 所形成之泥毯抓取膠羽粒子能力較佳，或是其泥毯膠羽受流力淘漸較小，所以隨時間增加膠羽粒子淘漸情況變得更少，上澄液濁度變低。在添加 7 ppm 腐植酸情況下，此時上澄液濁度再次降為 0.8 NTU，未添加腐植酸之上澄液濁度再次降為 0.6 NTU。

從上面的結果可知添加 7 ppm 腐植酸情況比未添加腐植酸情況所形成之泥毯膠羽粒子更容易產生淘漸，並且受 PAC 加藥量改變之擾動影響更大。PAC= 15ppm 所形成之泥毯比 PAC= 50ppm 所形成之泥毯膠羽粒子淘漸更嚴重。



圖五 上澄液濁度隨 PAC 加藥量改變之動態特性圖

(2) 淘析鋁鹽含量。

表一為時間為 6 小時及 12 小時之上澄液水樣所測得之總鋁含量，從表中之結果可發現在添加 7 ppm 腐植酸情況下 PAC 加藥量降低 (50 ppm→15 ppm) 6 小時後，上澄液的總鋁含量高達 4.82 mg/L，比未添加腐植酸之情況下值 1.86 mg/L 高很多，表示腐植酸含量愈高上澄液鋁鹽含量愈高，對人體健康的危害也愈大。當 PAC 加藥量回復至原來的 50 ppm 六小時後，添加 7 ppm 腐植酸情況下總鋁含量為 3.84 mg/L，而未添加腐植酸之情況下總鋁含量為 1.23 mg/L，如同 PAC=15 ppm 其腐植酸含量愈高、上澄液鋁鹽含量愈高。對於 PAC 加藥量而言，PAC 加藥量更低其總鋁含量愈高，不利泥毯之操作。

表一 PAC 加藥量改變後 6 小時上澄液總鋁含量變化表

PAC 加藥量 組別	15 ppm	50 ppm
0 ppm humic acid	1.86	1.23
7 ppm humic acid	4.82	3.84

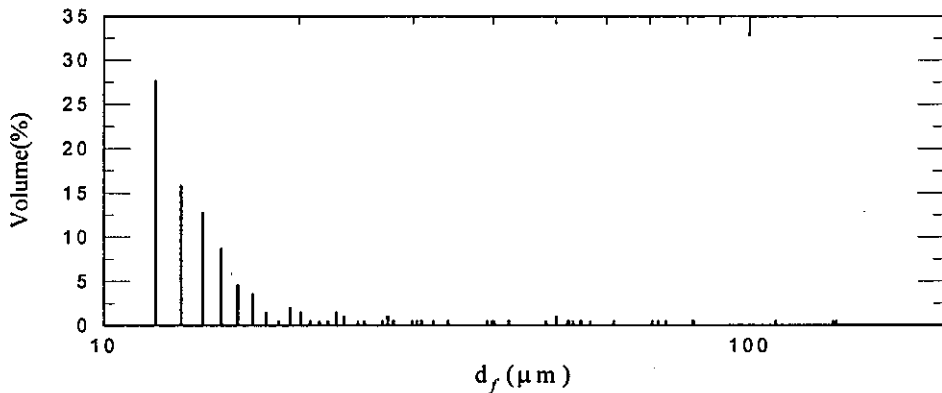
(3)膠羽粒徑分析

表二為模廠實驗各取樣點在時間 6 小時(PAC=15ppm)及 12 小時(PAC=50ppm)之膠羽平均粒徑。從表中可得知原水小粒子平均粒徑約為 16 μm 至 20 μm ，在無添加腐植酸情況下原水經過快混及慢混後膠羽平均粒徑在 PAC=15ppm 分別為 17.79 μm 及 21.01 μm ，而在 PAC=50ppm 分別為 18.16 μm 及 21.37 μm ，即膠羽會在慢混槽繼續成長。添加 7ppm 腐植酸情況下原水經過快混及慢混後膠羽平均粒徑在 PAC=15ppm 分別為 26.29 μm 及 17.19 μm ，而在 PAC=50ppm 分別為 18.51 μm 及 18.06 μm ，表示這種膠羽非常脆弱，容易受流力影響而產生破碎。在無添加腐植酸情況下流化床沉澱池上澄液膠羽平均粒徑與池中 100m 處差不多，但是添加 7ppm 腐植酸情況下則相反，上澄液膠羽平均粒徑較大，表示腐植酸含量愈高其膠羽其淘漸粒子較大。

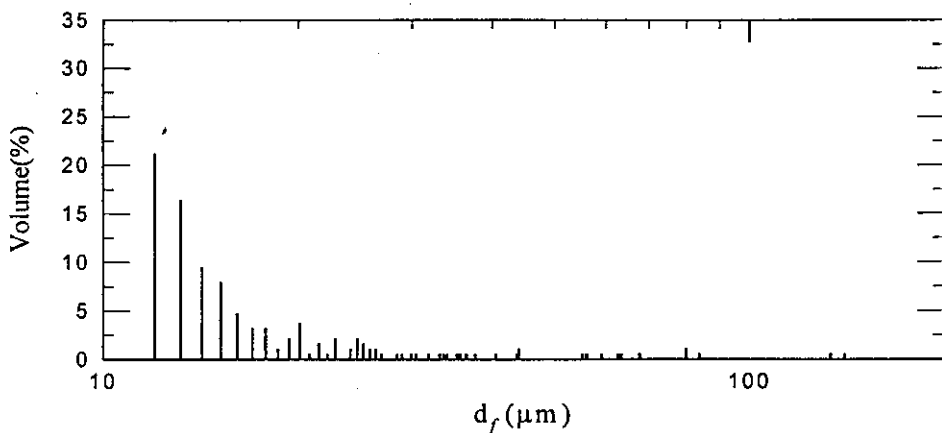
表二 各取樣點之膠羽平均粒徑

0 ppm humic acid			7 ppm humic acid		
PAC	15ppm	50ppm	PAC	15 ppm	50 ppm
原水 (μm)	15.6	18.2	原水 (μm)	20.0	19.2
快混池 (μm)	17.8	18.2	快混池 (μm)	26.2	18.5
慢混池 (μm)	21.0	21.4	慢混池 (μm)	17.2	18.1
流化床(100cm) (μm)	20.1	23.4	流化床(100cm) (μm)	18.3	17.5
上澄液 (μm)	21.9	18.5	上澄液 (μm)	21.3	21.5

圖六為未添加腐植酸下膠羽粒子之粒徑分佈圖，圖六 a 中為 PAC 加藥量為 15 ppm，由圖中結果發現，20-100 μm 粒徑大小分佈約 30 vol%，而圖六 b 中 PAC 加藥量為 50 ppm，由圖中結果發現 20-100 μm 粒徑大小分佈數量較多，約 35 vol%，膠羽粒徑大小後者大於前者。圖七為添加 7 ppm 腐植酸情況下膠羽粒子粒徑分佈圖，圖七 a 為 PAC 加藥量中 15 ppm，由圖中結果發現 20-100 μm 粒徑大小分佈數約 27 vol%，而圖七 b 為 PAC 加藥量中 50 ppm，由圖中結果發現 20-100 μm 粒徑大小分佈數約 28 vol%。

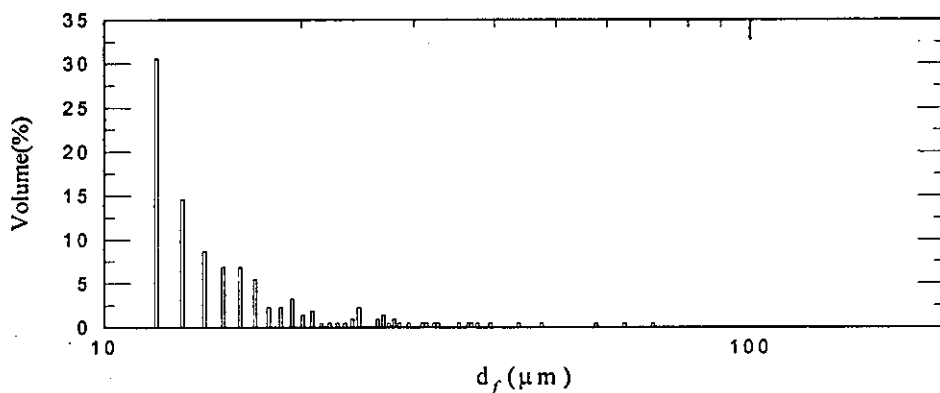


(a) 15 ppm PAC 之膠羽粒子之粒徑分佈圖

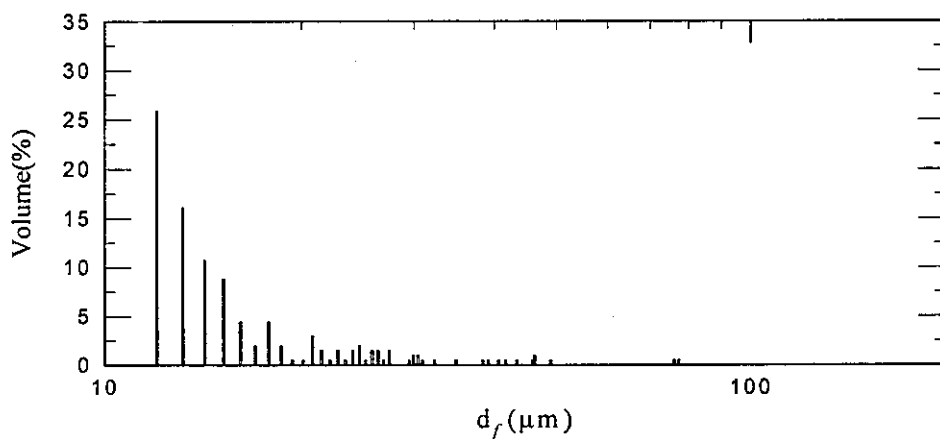


(b) 50 ppm PAC 之膠羽粒子之粒徑分佈圖

圖六 0 ppm humic acid 之膠羽粒子之粒徑分佈圖



(a) 15 ppm PAC 之膠羽粒子之粒徑分佈圖



(b) 50 ppm PAC 之膠羽粒子之粒徑分佈圖

圖七 7 ppm humic acid 之膠羽粒子之粒徑分佈圖

(2) 界達電位分析

表三為模廠實驗各取樣點在時間 6 小時(PAC= 15 ppm)及 12 小時(PAC= 50 ppm)之界達電位結果，從表中可得知原水粒子之界達電位約為 -17~-21 mV，表示原水中有許多帶負電的粒子存在。快混槽、慢混槽所採集之各單元之水樣測出其界達電位值約為 -2~-5 mV 之間。15 ppm PAC 加藥量及 7 ppm 腐植酸情況下其上澄液界達電位達 -9.5 mV，這是因腐

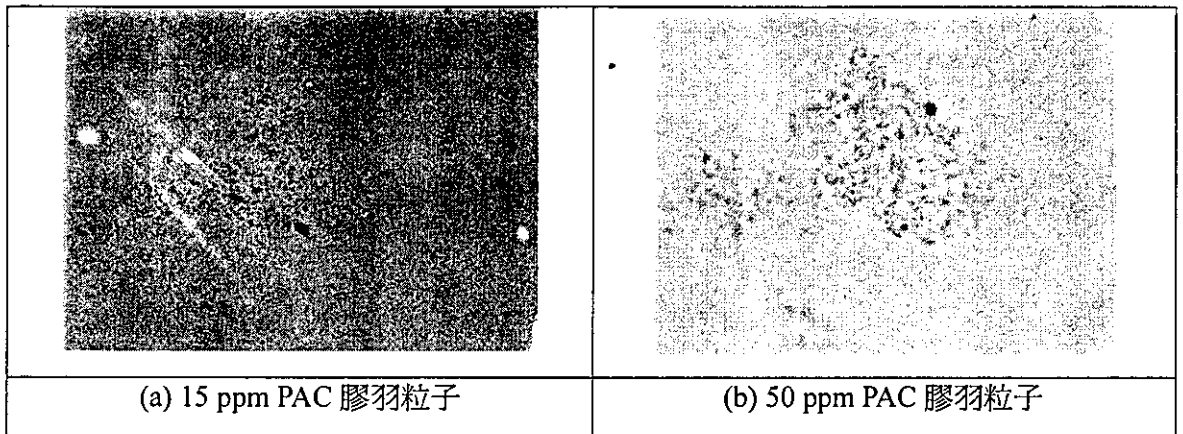
植酸存在之使上澄液含有大量含腐植酸之膠羽，腐植酸帶有高負電性，所以上澄液之界達電位值較負。同樣地在 50 ppm PAC 加藥量及 7 ppm 腐植酸情況下上澄液界達電位值為 -3.7 mV，即雖有腐植酸的存在，由於 PAC 加藥量較高，使膠羽負電性較小。未添加腐植酸之膠羽負電性都比添加 7 ppm 腐植酸之負電性小，且與 PAC 加藥量無關。

表三 各取樣點之界達電位

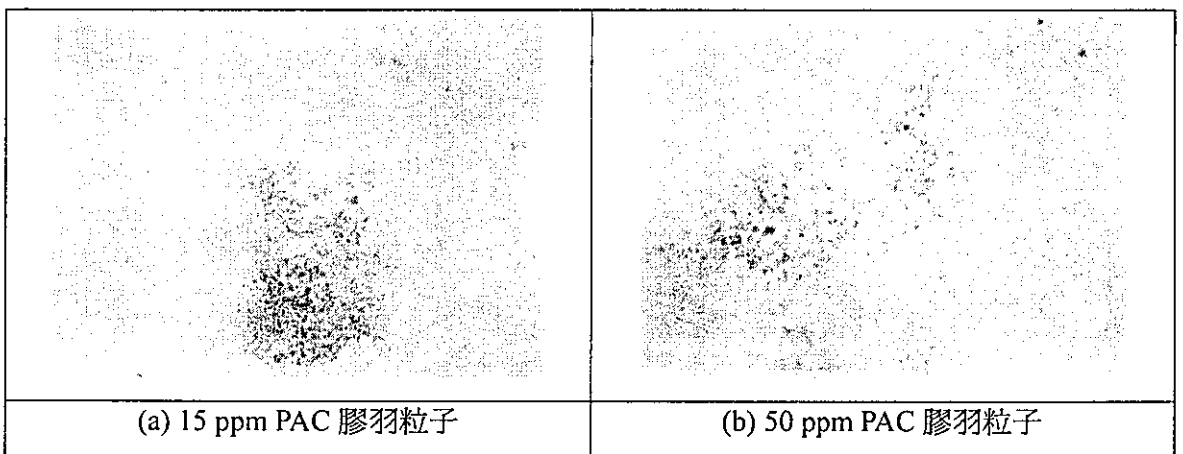
一階段加藥(0 mg/L humic 6 小時)			一階段加藥(7 mg/L humic 6 小時)		
PAC	15 mg/L	50 mg/L	PAC	15 mg/L	50 mg/L
原水(mV)	-17	-18.1	原水(mV)	-20.6	-18.6
快混池(mV)	-2.2	-1.9	快混池(mV)	-3.2	-3.2
慢混池(mV)	-2.9	-1.9	慢混池(mV)	-1.9	-5
流化床(100cm) (mV)	-2.1	-2	流化床(100cm) (mV)	-2	-2.2
上澄液(mV)	-3.2	-3.4	上澄液(mV)	-9.5	-3.7

(3)膠羽外觀結構

圖八為模廠實驗流化床沉澱池深度 100cm 處在時間 6 小時(PAC=15ppm)及 12 小時(PAC= 50 ppm)之膠羽外觀顯微照片。圖八 a 為 15 ppm PAC 加藥量及未添加腐植酸情況下模廠之膠羽粒子顯微照片(200 X)，圖八 b 為 15 ppm PAC 加藥量及未添加腐植酸情況下膠羽相片，從照片中可看到這兩種膠羽非常疏鬆，PAC=15 ppm 絮凝之膠羽比 PAC=50ppm 稍微緻密。圖九 a 為 15 ppm PAC 加藥量及添加 7 ppm 腐植酸情況下模廠之膠羽粒子顯微照片(200 X)，圖九 b 為 15 ppm PAC 加藥量及添加 7 ppm 腐植酸情況下膠羽相片，兩種情況絮凝之膠羽同樣地非常疏鬆，甚至很難找到焦距。



圖八 未添加腐植酸情況膠羽粒子顯微照片(200 X)



圖九 添加 7 ppm 腐植酸情況膠羽粒子顯微照片(200 X)

四、結論

本研究主要目的為建立一套模廠實驗裝置用以探討淨水廠高速膠凝沉澱池之泥毯穩定性，主要是探討原水中有機物含量對污泥毯穩定性之影響。實驗結果發現，原水有機物含量愈多混凝後之膠羽所形成之污泥毯較容易發生淘漸，也就是說泥毯更不穩定。另外發現 PAC 加藥量改變 (50 ppm 降為 15 ppm 再升回 50 ppm)，原水有機物含量愈多所造成泥毯擾

動愈大，當 PAC 加藥量從 50 ppm 降為 15 ppm 後，原水有機物含量愈多上澄液濁度變得愈大 (7 ppm 腐植酸上澄液濁度為 3.9 NTU；0 ppm 腐植酸上澄液濁度為 1.1 NTU)，表示添加 7ppm 腐植酸情況比無添加腐植酸情況所形成之泥毯膠羽粒子更容易產生淘漸，並且受 PAC 加藥量改變之擾動影響更大。原水有機物含量愈多泥毯穩定性愈差，也愈容易產生淘漸，不利於高速膠凝沉澱池之操作。