

## 平底式污泥毯澄清池處理低濁度原水之膠羽特性

陳兩全<sup>1</sup>，宋尚軒<sup>1</sup>，鍾瀚億<sup>1</sup>，王之仲<sup>1</sup>，林文煒<sup>1</sup>，吳容銘<sup>1</sup>，

李篤中<sup>1\*</sup>，李坤峰<sup>2</sup>，莊瑞鑫<sup>3</sup>，張嬉麗<sup>4</sup>

1：國立臺灣大學化學工程學研究所

2：臺灣省自來水公司二區管理處平鎮給水廠

3：私立元智大學化學工程學研究所

4：臺灣省自來水公司二區管理處檢驗室

\*：聯絡作者，Tel：(02)23625632，E-mail：djlee@ccms.ntu.edu.tw

### 摘要

臺灣省自來水公司採用許多座高速膠凝池設備，其優點為佔地面積小，相對處理水量大，但缺點為污泥毯易淘析造成過濾效果減低，且造成下游快濾池負擔。本研究由臺灣省自來水公司平鎮給水廠之高速膠凝池採取水樣，測量其毛細吸引時間、粒徑、界達電位及重量百分率等性質，結果顯示在原水濁度低時，加入較多的 PAC 可形成良好之污泥毯。由顯微(200X)照片中觀察到原水中之顆粒為緻密的結構，大小約 10 $\mu\text{m}$ ，當污泥毯中形成大型、充分絮凝膠羽(300-500 $\mu\text{m}$ )時可穩定存在，其形成機制與電性中和無關。

## 背景

平鎮給水廠位於桃園縣楊梅鎮埔心火車站北方約 1 公里山麓，東鄰縱貫公路、西鄰高速公路，於 1995 年元月興建完成。設計處理水量為 300,000CMD，供水轄區包括中壢、內壢、平鎮、楊梅、埔心、富岡、新屋、湖口、老湖口、觀音、大園、八德等社區，及中壢、平鎮、幼獅、觀音四大工業區。

平鎮淨水場除颱風季節外水質濁度穩定，但流量則變化甚大。圖 1 為淨水場 1999 年 5 月至 2000 年 5 月原水水量及水質歷史記錄，以添加聚氯化鋁(PAC)進行凝聚操作，其原水濁度與加藥量之經驗關係如圖 2 所示。由圖中顯示平鎮淨水場 PAC 加藥量隨原水濁度變化而作調整，用以控制清水平均濁度在 4NTU 以下，以符合飲用水水質標準。從圖中可看到除了高原水濁度或極低的原水濁度下，一般 PAC 加藥量都在 20ppm 左右。但在極低之原水濁度下(<10NTU)，PAC 加藥量推薦值為 25ppm。

平鎮淨水場之膠沉池採用平板式污泥毯澄清池(flat bottom type-sludge blanket clarifier)設備，膠凝水流入入口後經分配管注入池底，其水流向上通過污泥毯過濾掉小粒子而澄清，清水則溢流進入快濾池。池中污泥毯厚度由污泥斗高度控制，一段時間後污泥斗進行排泥以維持污泥毯的高度(如圖 3 所示)。

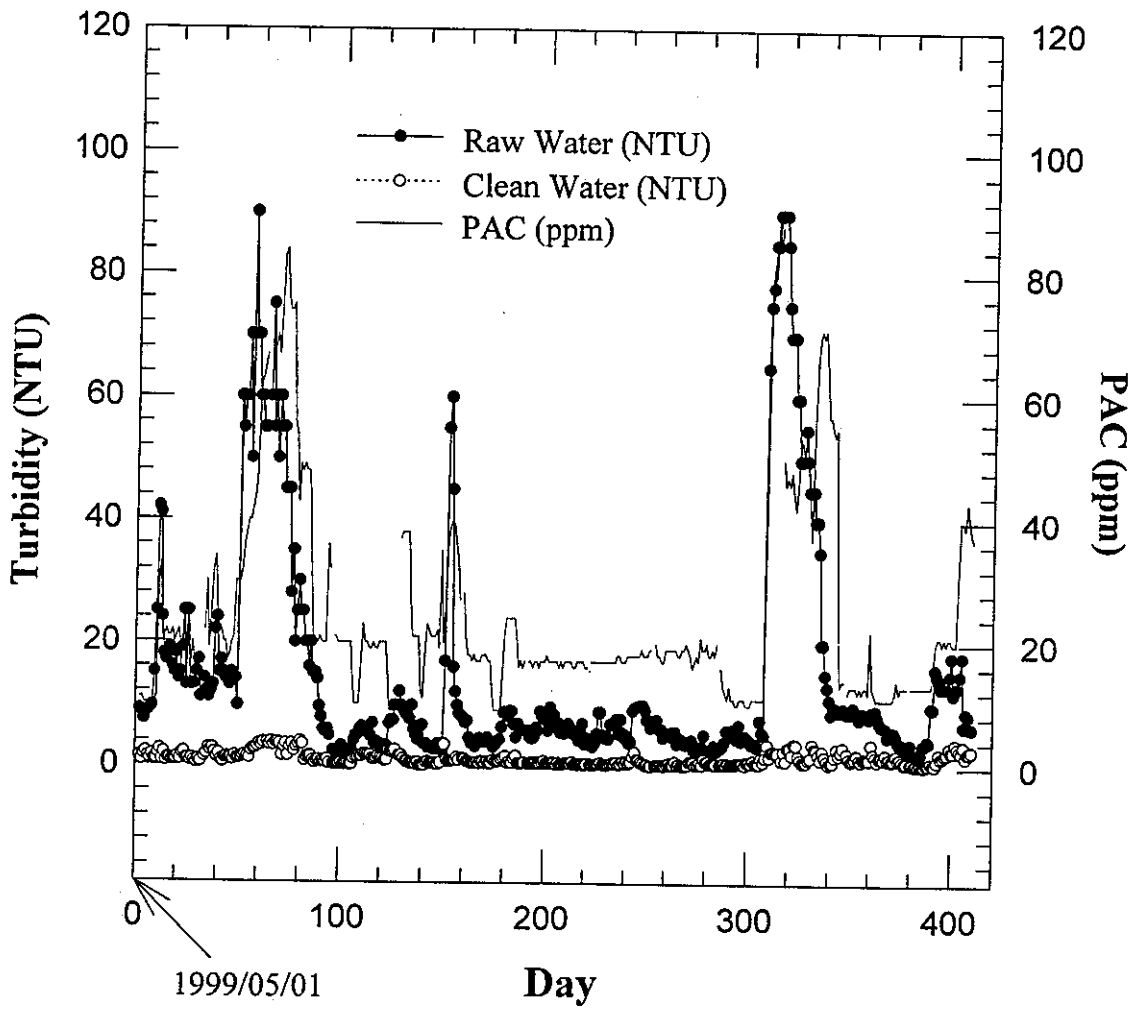


圖 1 平鎮淨水場 1999 年 5 月至 2000 年 5 月水質記錄

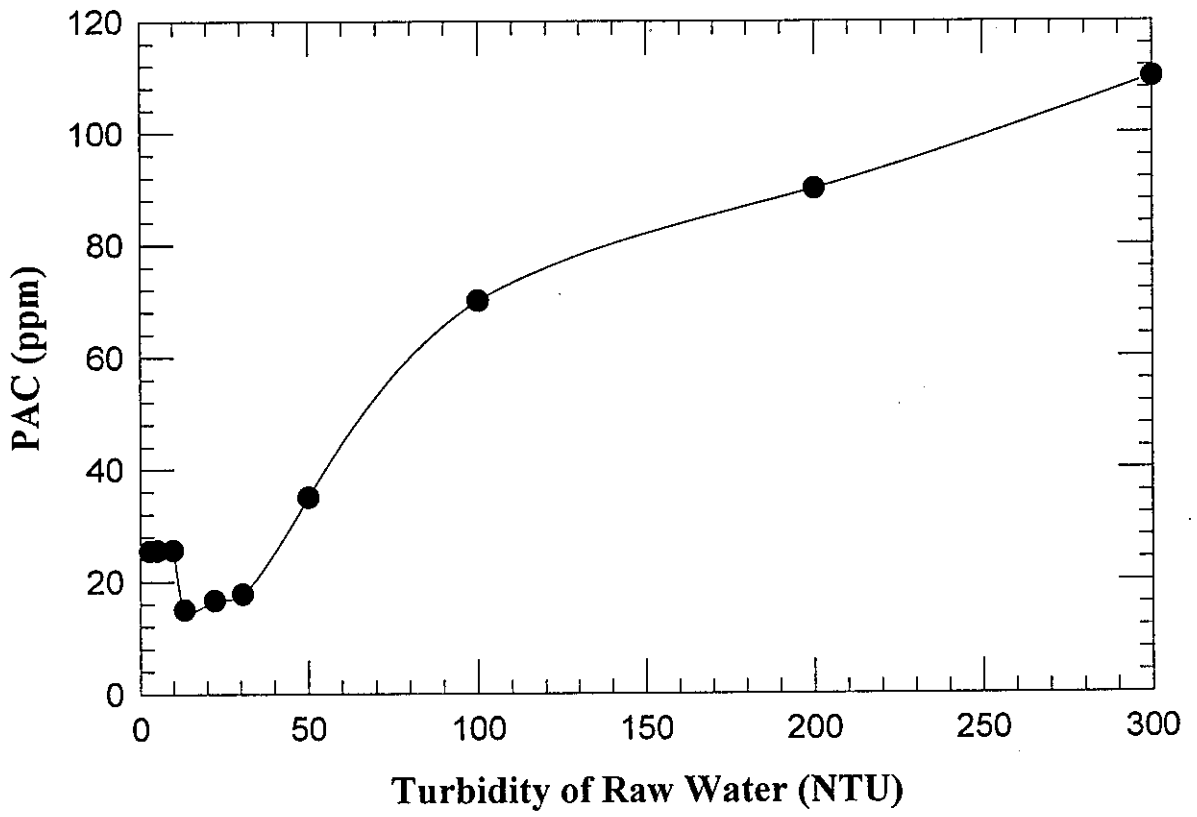


圖 2 平鎮淨水場原水濁度與加藥量經驗關係圖



圖 3 平鎮淨水場之平板式污泥毯澄清池  
(箭頭處即為污泥斗)

## 研究目的

現有文獻中對高速膠凝沉澱池之相關研究並不多，且各設計型式多屬各公司之專利技術，其內部設計資料甚難取得。目前台灣省自來水公司現有淨水場內裝設高速膠凝沉澱池設備之場數不少，其出水濁度因原水水質變化大，致淨水操控不易，沉澱池出水濁度偏高，增加過濾池負荷，而導致不易符合八十九年度第二階段飲用水水質標準之要求，亟待探討原因以求改善。同時由圖 1 可知，在一年內大部份時間原水濁度皆低於 20NTU，此時泥毯較不穩定而易流失。

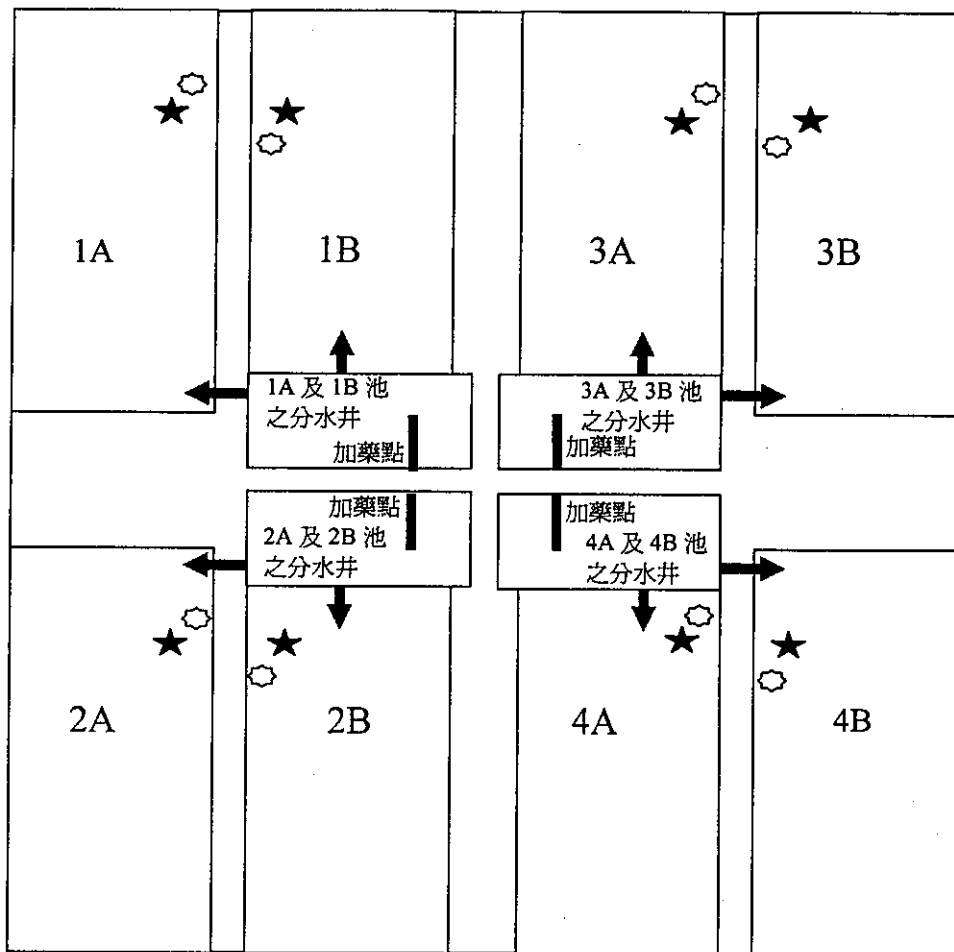
本次研究以平鎮淨水場一期淨水設備(使用平底式污泥毯澄清池)為研究對象，監控此場中高速膠凝池處理低濁度原水時污泥毯之特性變化。

## 研究方法

本研究主要目的在於監測平鎮淨水場高速膠凝沉澱池中污泥毯之變化情形。研究方法包括：

- (1)於平鎮淨水場進行觀察與記錄；
- (2)於平鎮淨水場進行進流水、膠凝水、清水及污泥毯採樣，並分析樣品之膠羽特性；包含其大小、沉降性、結構等性質；
- (3)實施現場連續監測，了解加藥量改變對污泥毯特性變化之關連性。

如圖 4 所示，平鎮淨水場之高速膠凝沉澱池共有 8 池，代號分別



★ 採樣點：沉澱池下 4.3m 位置

○ 採樣點：沉澱池排水口位置

圖 4 平鎮淨水場膠沉池及採樣位置圖

為沉澱池 1A、沉澱池 1B、沉澱池 2A、沉澱池 2B 等，以此類推，採樣位置亦標註於圖中。膠凝水之採樣位置分為水平及垂直兩部份，水平採樣是為了解各池間之關連性，而垂直採樣則是為了解單池之水質與污泥毯高度之關連性。在本研究中★號位置(如圖 4 所示)代表水樣採自水面下 4m 處，○號位置則代表水樣採自水面處。採樣時間為 2000 年 5 月 22 日至 2000 年 6 月 23 日。

圖五所示為 5 月 22 日至 6 月 23 日平鎮場淨水場之水質記錄。圖中顯示原水濁度由 5 月 22 日之 12NTU 逐漸上升至 26 日之 18NTU，然後隨之下降至低於 5NTU，自 6 月 1 日至 19 日之間皆為極低濁度原水之狀態。圖五(b)為處理水量(Q 值)紀錄，由圖可知出水量皆大於設計水量值 ( $3 \times 10^5$  CMD)，其中自 5 月 22 日起水量由 34 萬噸上昇至 37 萬噸左右，至 30 日再變化至近每天 40 萬噸出水量。Q 值自 6 月 6 日起逐步下降至 12 日之 33 萬噸，14 日起出水量在 33 至 36 萬噸間變動。圖五(c)為 PAC 用量。5 月 22、23 日 PAC 加藥量為 20ppm，在 25 日至 31 日則增加至約 40ppm，此值在 6 月 1 日至 11 日降回 20ppm，在 13 至 18 日更進一步降至 9ppm；自 19 日起 PAC 增加至 20ppm 水準。

肉眼觀察發現 5 月 22 日至 6 月 9 日間各地多有污泥毯存在，而自 6 月 13 日至 6 月 18 日各地污泥毯皆完全流失，6 月 19 日以後污泥毯則再度形成。

對平鎮淨水場水樣所做採樣皆在水面下 4m 處。樣品分析包括毛

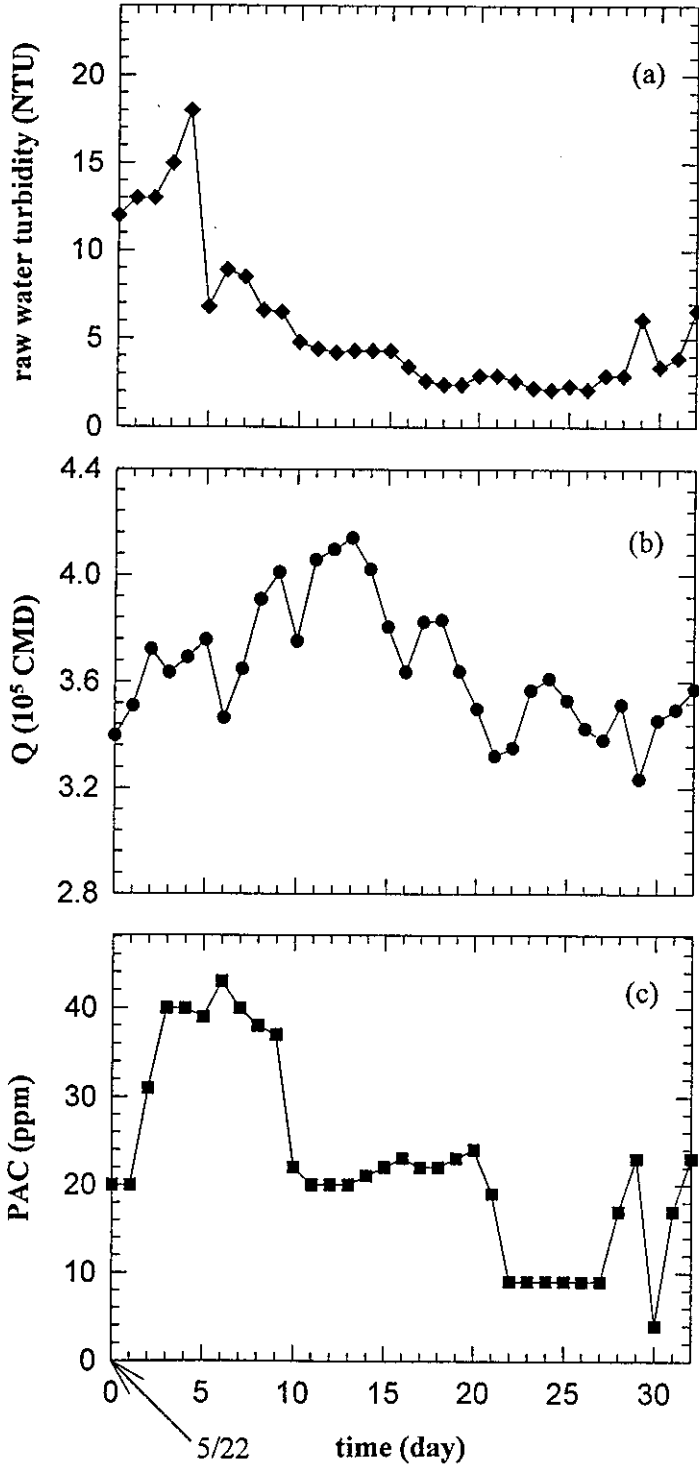


圖 5 5 月 22 日至 6 月 23 日平鎮場淨水場之水質記錄

毛細吸引時間(capillary suction time, CST)、重量百分濃度(wt%)、界達電位(zeta potential)、粒徑分析(particle size)、以及顯微照相等。以下分別介紹各項分析之方法。

(1)毛細吸引時間(CST)：

在 7cm×9cm 濾紙(Whatman, No.17)上畫兩個同心圓，半徑分別為 1.5 及 2.5cm，在同心圓圓心上放一個鋼製圓管，直徑 1.5cm，高 5cm，然後將 10ml 之水樣倒入鋼製圓管中，水中顆粒會留在鋼製圓管中之濾紙表面上形成濾餅，而水則會滲入濾紙中。觀察水沾濕區域在濾紙上之前緣，通過 1.5cm 至 2.5cm 之同心圓所需之時間，即為毛細吸引時間。CST 愈短表示過濾性愈好。

(2)重量百分濃度(wt%)：

取 50ml 之水樣稱重為  $W_1$ ，以 104°C 烘乾後(約 1 天)再稱重為  $W_2$ ， $W_2/W_1 \times 100\%$  即為重量百分濃度。

(3)界達電位(zeta potential)：

以 Malvern Master Sizer 2000 測得膠羽粒子剪切面之電位值。電位愈高的膠羽其膠凝能力愈低。

(4)粒徑分析(particle size)：

對每一瓶水樣，將液滴灑進一自由沉降管中，以數位攝影機(CV 950)拍攝超過 250 顆膠羽顆粒，然後以電腦軟體(Inspector 2.2)分析每一顆膠羽之粒徑。

(5)顯微照相：

以顯微照相機(Projectina, Heerbrugg/Switzerland)拍攝水樣中之粒子(放大 200 倍) , 觀察其外觀。

## 結果與討論

### (一)污泥毯中之膠羽特性

圖 6 為採取水樣中小粒子之界達電位測試結果，橫軸為採樣時間而縱軸為界達電位，圖中參數 1A-4B 分別為淨水場 8 個膠沉池所採集之水樣，PAC 加藥分別由 4 個分水井加入，從圖中我們可看出相同分水井供應之 A 池與 B 池曲線趨勢差不多，這是由於 A 池與 B 池的進水特性相似所致(如圖 4 所示)。左上圖中可發現原水粒子之界達電位約為-14 至-26mV，表示原水中有許多帶負電的粒子存在，而原水粒子電位在 6 月 19 日以後則接近中和，8 個膠沉池所採集之泥毯樣品其界達電位在 5 月 22 日至 30 日間介於-4 至 0mV 之間，這是由於加入 PAC 凝聚膠羽產生電性中和的現象。5 月 30 日至 6 月 1 日間各池同時發生電性反轉，此現象只與圖 5 中之處理水量忽然上昇有顯著的關連性。6 月 1 日以後各池污泥毯中之微粒電位逐漸變負，而在污泥毯消失期間水中微粒皆可達電性中和，泥毯於 6 月 19 日再度形成後電性再度轉負。由此可知，水中微粒之電位與泥毯之穩定性關係不大。

圖 7 為泥毯粒徑分析結果。8 個膠沉池的平均粒徑在 20 $\mu$ m 至 100 $\mu$ m 之間，大多數時間內膠羽直徑約維持在 40-80 $\mu$ m 的區間內。由圖中也可看出在觀察期間內，膠羽粒徑變動甚大，且分別在 5 月 23 日、25

日及 30 日左右發生局部最大粒徑值(如箭頭所示)相對應圖 5 之操作條件可知分別對應於較高濁度下出水量上昇前(23 日)、高加藥量(40ppm, 25 日)、及低濁度高加藥量下處理水量上昇處(30 日)。即不論處理水量、PAC 用量及原水濁度上昇的泥毯之顆粒皆可顯著增加。但在 6 月 13 日泥毯消失前膠羽粒徑並無明顯變化,且在 13~18 日間取水樣中之膠羽數量雖較少,但平均尺寸大小則與泥毯存在時相仿(50 $\mu$ m),甚至在 19 日以後泥毯再出現後粒徑反而下降。因此平均粒徑並非決定泥毯穩定性之最重要參數。圖 8 為樣品之重量百分率測試結果,為 8 個膠沉池的水樣中固體的含量。從圖中可發現與粒徑分析結果相仿,在 5 月 23、25 及 30 日左右出現峰值,其固體分率到達 0.8% 之水準,最高可至 0.9%,但變動極大,一天以內亦可驟降至 0.6% 的低值。自 5 月 31 日起泥毯濃度穩定下降至 0.1% 左右,終而消失。而 6 月 9 日起污泥毯雖再度出現,但污泥毯固含量皆維持在低於 0.1% 的低值。圖 9 為泥毯之 CST 結果,趨勢與粒徑及重量分率變化相仿。

## (二)膠羽特性相關性

圖 10(a)-(f)為測量膠羽 4 種特性之相關性做圖。由圖可知僅 CST 與重量分率呈現正相關,其他變數間關連性皆不強。因此在此程序中,膠羽粒徑及界達電位皆非主要控制變因。但觀察圖 7 及圖 8 可知,污泥毯之消失與粒徑關係不大,因此這些膠羽特性並無法適切描述污泥毯之穩定性。

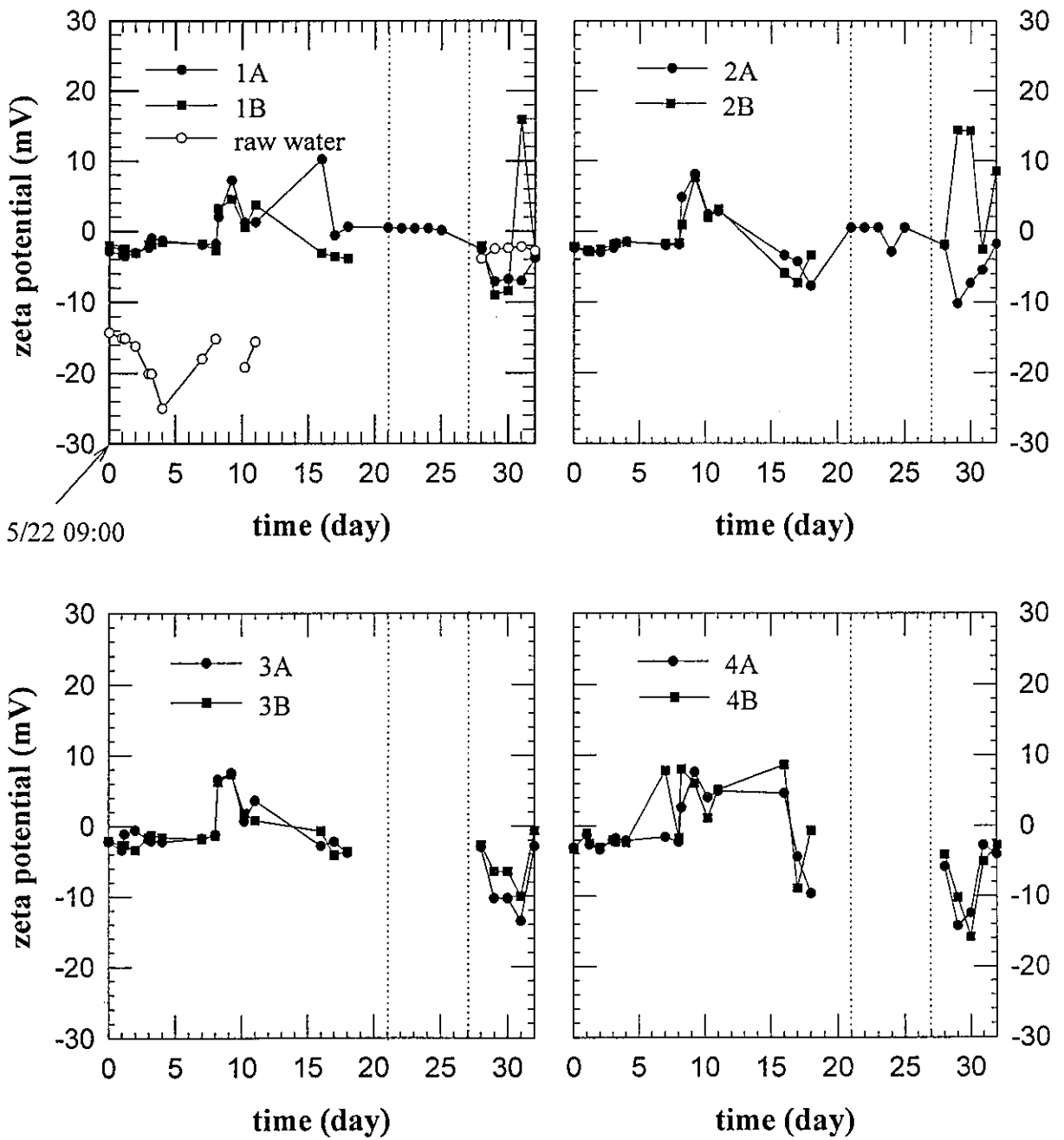


圖 6 2000 年 5 月 22 日至 2000 年 6 月 23 日

污泥毯粒子之界達電位測試結果

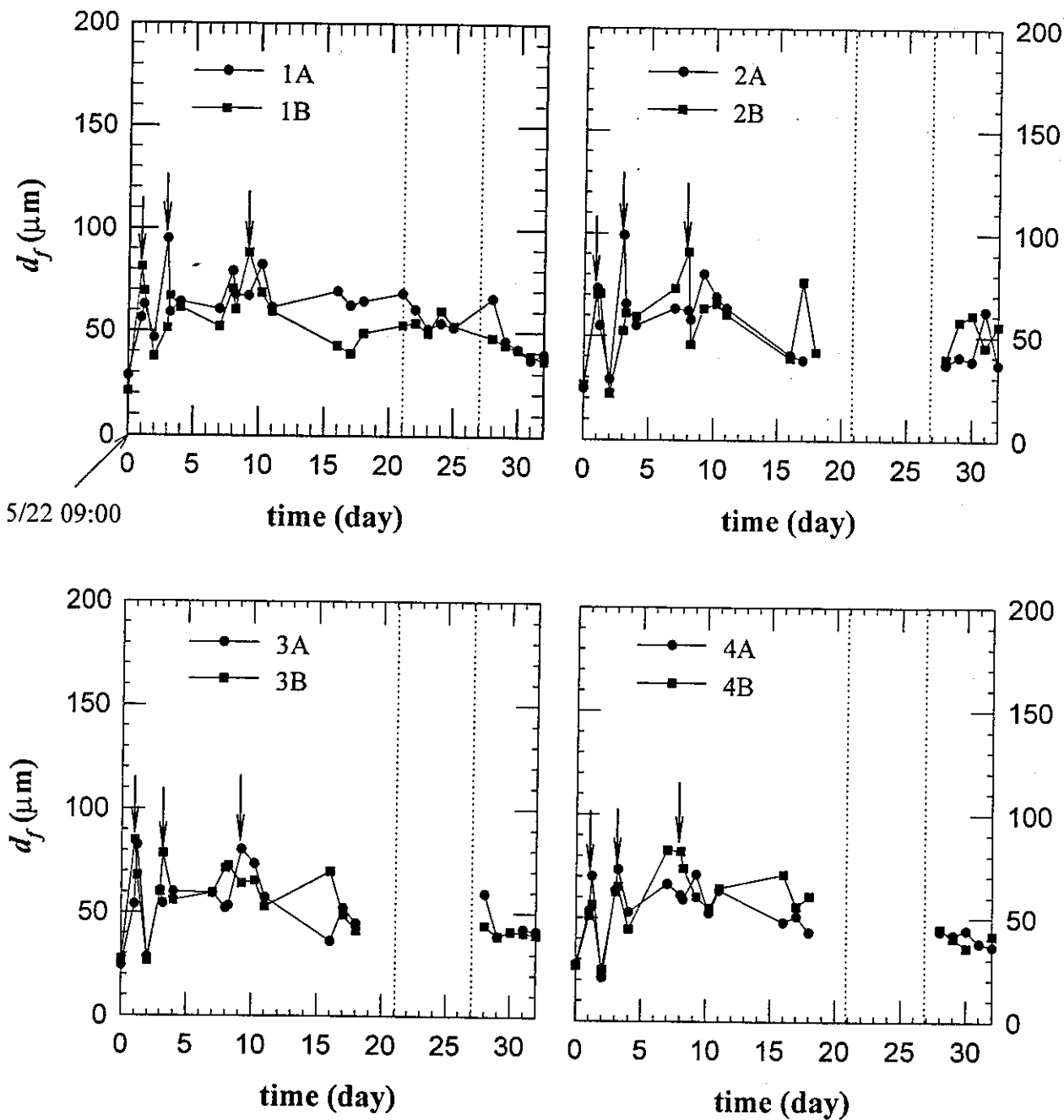


圖 7 2000 年 5 月 22 日至 2000 年 6 月 23 日平均粒徑測試結果

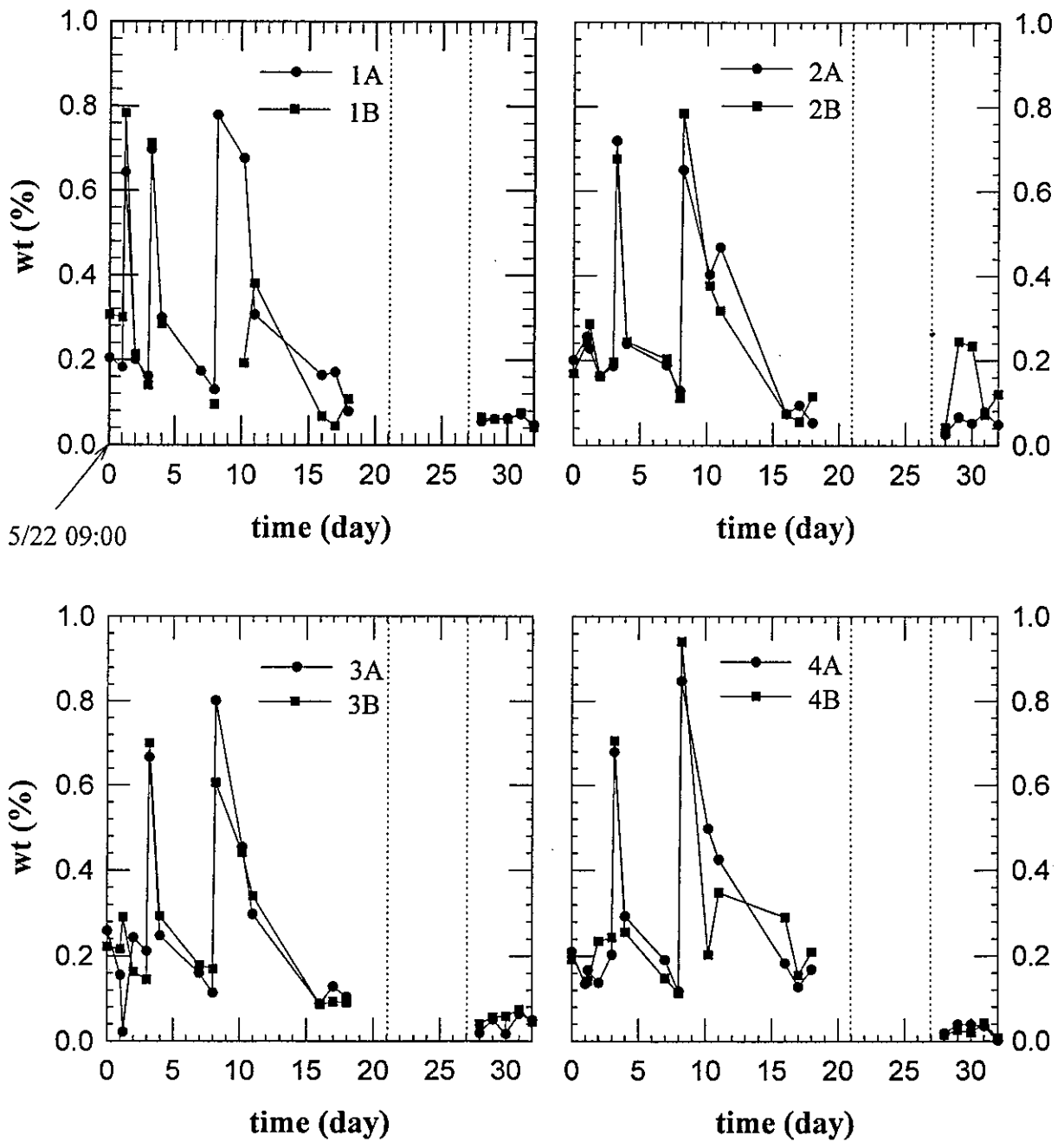


圖 8 2000 年 5 月 22 日至 2000 年 6 月 23 日重量百分率測試結果

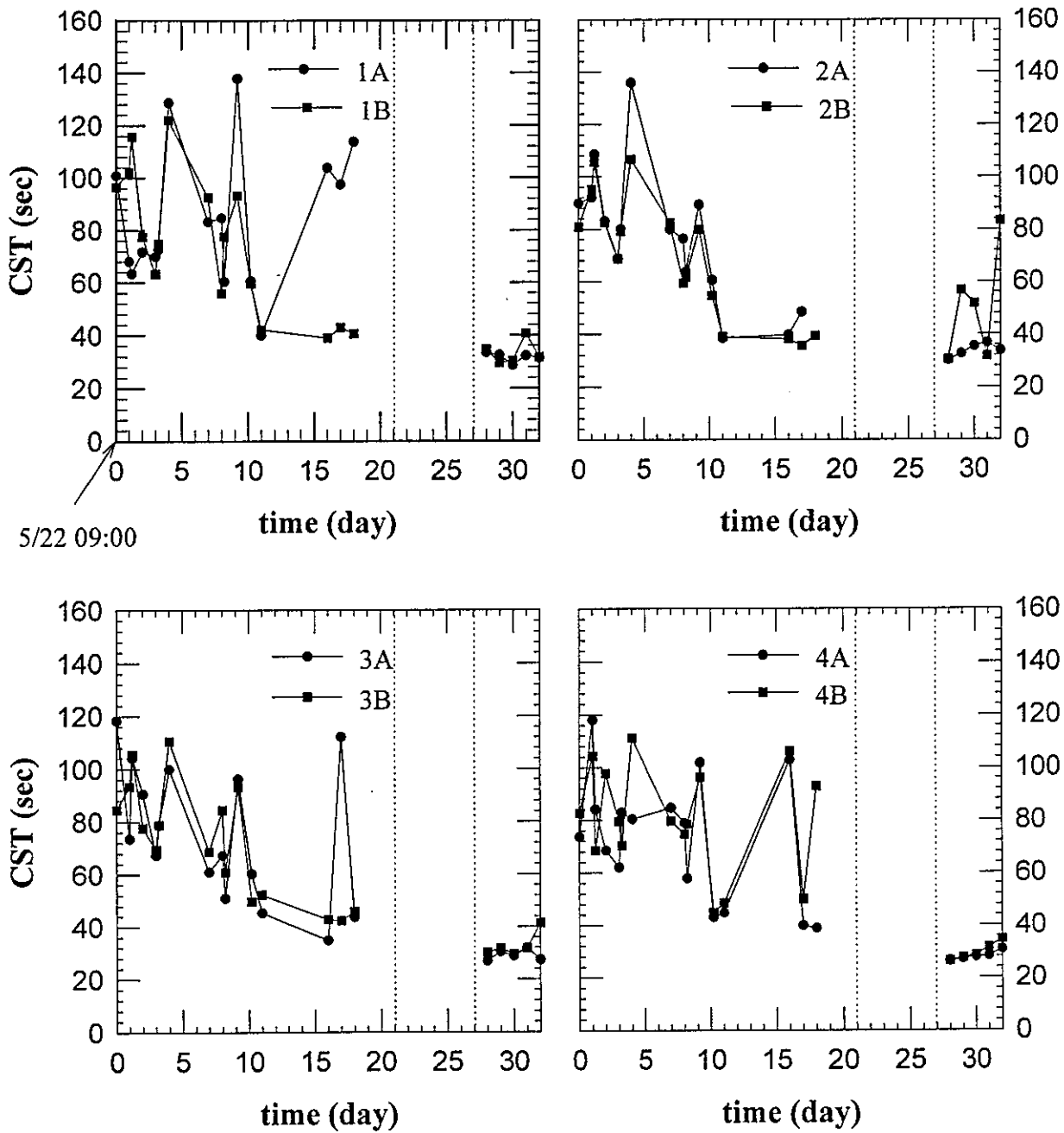


圖 9 2000 年 5 月 22 日至 2000 年 6 月 23 日

泥毯採樣之 CST 測試結果

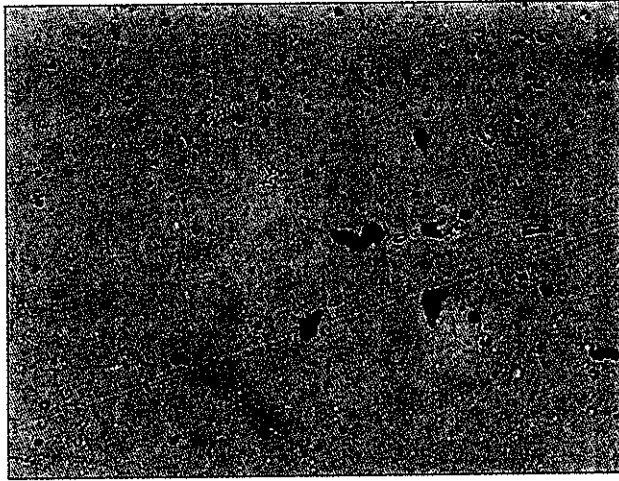
### (三)顯微照相

圖 11 為平鎮淨水場原水之顯微照片(200X)，由照片中觀察可發現原水中之顆粒為小而緻密的結構，尺寸多小於  $10\mu\text{m}$ 。圖 12 及圖 13 分別為不同情況下膠凝池內上層液(水面處)取樣之顯微照片，圖 12 為有污泥毯存在之情況，從圖中可看出 PAC 顆粒聚集原水之微粒子，粒徑較大，可達  $300\text{-}500\mu\text{m}$ ，絮凝效果明顯，但大顆粒數量不多，與其他未絮凝之粒子數相比，數量約在 1:100 左右。即雖然平均粒徑仍然維持在  $30\text{-}50\mu\text{m}$ ，但其中包含極大之充份絮凝膠羽及很小的原水微粒。

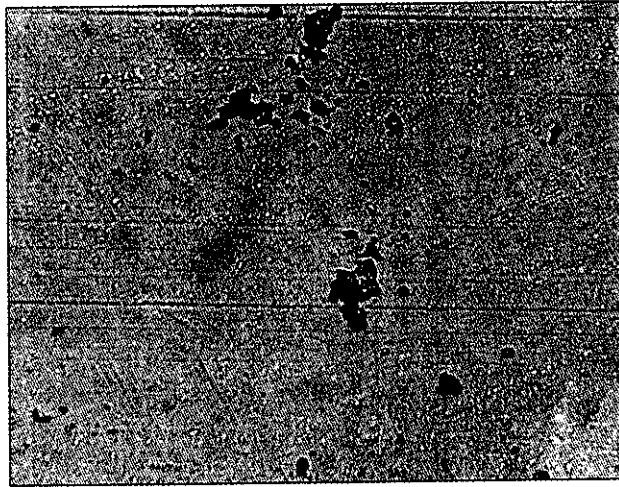
圖 13 為無污泥毯存在之情況，可看到上層液顆粒小而稀疏，且外觀顏色較淺，可知上層液中之粒子多為如原水中之未絮凝之小粒子及一些僅捕捉少數粒子之 PAC 膠羽，粒徑約為  $60\text{-}80\mu\text{m}$ ，即僅部份達到絮凝之效果。可見加藥量對污泥毯存在與否，顆粒之外觀、大小、緻密程度皆有顯著影響。

由圖 12 及 13 可知，低濁度原水下加入足量 PAC 後可形成大型充份絮凝之膠羽，雖然水中仍存在許多未絮凝粒子，但大膠羽之存在可形成穩定之污泥毯。而大型膠羽流失後泥毯亦隨之消失。

圖 14 為下層液(4m 處)取樣之顯微照片，可看出其中未絮凝之顆粒為原水中之大顆粒，而絮凝膠羽則為 PAC 充分捕捉原水之微粒子之大型膠羽，所以這類污泥膠羽所形成之污泥毯不具捕捉原水微粒子之功用，且因膠羽較緻密所以易沉入膠沉池底部，一般稱之為「底泥」，因會佔據膠沉池可用空間，所以在操作一段時間後需將其排出。



(a)

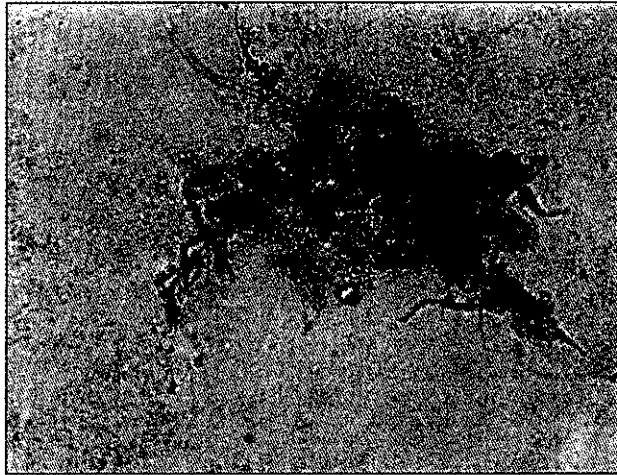


(b)

圖 11 平鎮淨水場原水之顯微照片(200X)

(a)取樣時間：2000年5月26日

(b)取樣時間：2000年5月30日



(a)

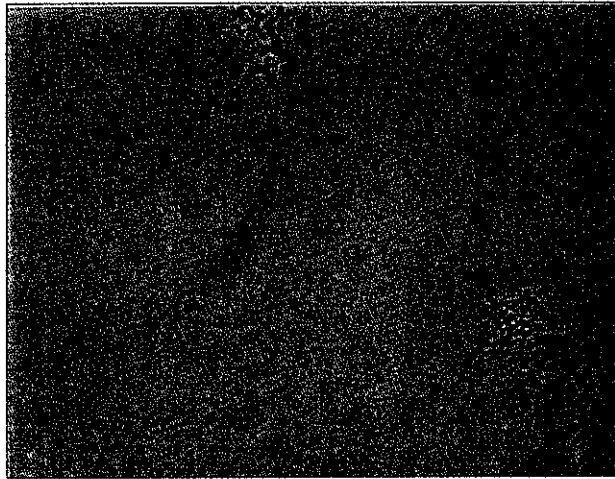


(b)

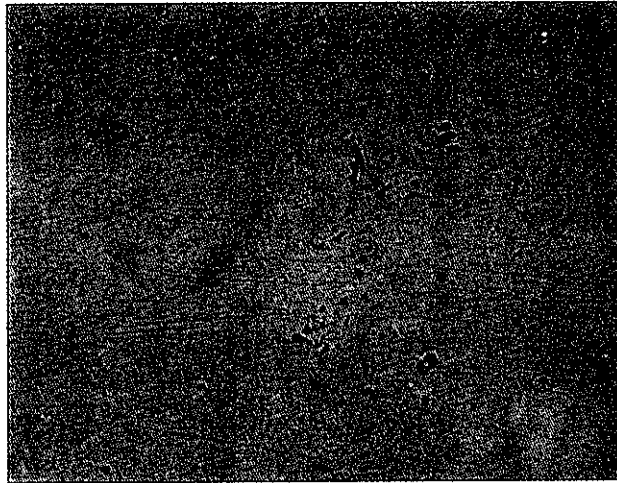
圖 12 污泥毯存在情況下上層液之顯微照片

(a)取樣時間：2000 年 5 月 22 日；取樣地點：3A 池

(b)取樣時間：2000 年 5 月 29 日；取樣地點：1A 池



(a)



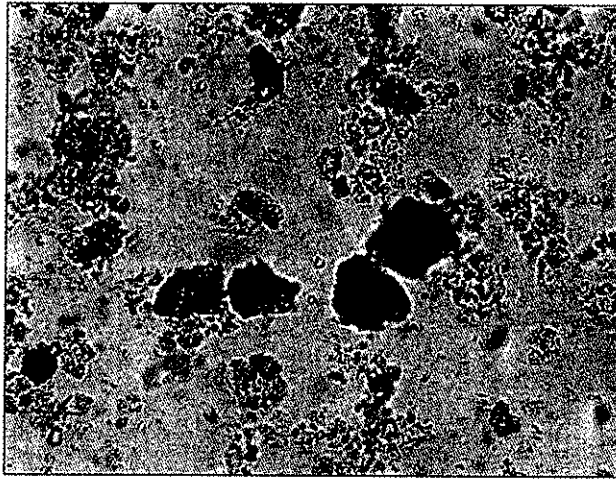
(b)

圖 13 污泥毯不存在情況下上層液之顯微照片

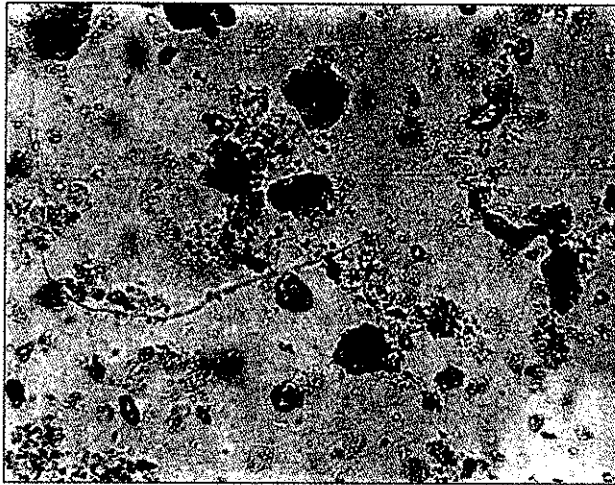
(取樣時間：2000 年 5 月 19 日)

(a)未完全絮凝之膠羽粒子

(b)未絮凝之小粒子



(a)



(b)

圖 14 平鎮淨水場下層液(4m)之顯微照片

(a)取樣時間：2000年6月1日；取樣地點：1A池

(b)取樣時間：2000年6月2日；取樣地點：3A池

## 結論

臺灣省自來水公司多數自來水廠採用高速膠凝池設備，其優點為佔地面積小，相對處理水量大，但缺點為污泥毯易淘析造成過濾效果減低，且造成下游快濾池負擔。

本研究對臺灣省自來水公司平鎮給水廠之高速膠凝池所採取之水樣進行分析，由膠羽特性可看出 PAC 加藥量對低濁度原水情況下污泥毯的形成有重大的影響。在原水濁度低時，加入較多的 PAC 可形成良好之污泥毯，此機制與電性中和無關，PAC 加入量過少，會造成原水中顆粒較小之膠羽因無法絮凝而上浮至膠凝池水面，再溢流至快濾池造成其負荷；加入足量 PAC 後將形成大型充分絮凝膠羽，此類膠羽可於低濁度原水下形成穩定之污泥毯。