

# 帶狀壓濾機用於淨水場污泥脫水之研究

## Study on Belt Filter for Waterworks Sludge Dewatering

黃世宏 \* 李爵好\*\* 葉宜顯 \*\*\*

### 一、前言

公共給水淨水場污泥之脫水法有重力式及機械式兩大類，前者主要為污泥砂床法，雖有操作費低、操作簡單等優點，但處理單位體積污泥所需土地面積相當大。台灣地區地狹人稠，土地價格昂貴，有時甚至取得有困難；且在雨季時，原水濁度常因暴雨而驟增，污泥量也因而大增，再加上天候多雨，使得污泥砂床往往不敷使用；因此有些情況下不得不考慮採用佔地較省、且不受天候影響之機械式脫水法。

帶狀壓濾法為較新發展之機械脫水法，1970年代才開始應用於都市污泥處理，該法可產生高固體物含量之泥餅，但和另一種亦可產生高固體物含量泥餅之加壓過濾法相較，帶狀壓濾法所需之初設費、動力費及空間均較低，再者帶狀壓濾法亦有可連續操作及低噪音、低震動等優點，故近年來在美、日等國都市污水及工業廢水污泥之脫水研究上，頗受重視。以日本為例，1980年以來污水廠所新增之污泥脫水機均以帶狀壓濾機佔多數，且所佔比例逐年增加[1]，可見帶狀壓濾法為目前機械式脫水法之主流。然本法之主要缺點在於對飼入污泥性質相當敏感，亦即意謂脫水前之化學調理非常重要。帶狀壓濾法在淨水場污泥脫水之應用，剛剛開始，文獻尚不多見，工程設計及操作之規範均有待建立。

本研究乃以模型帶狀壓濾機進行該法用於淨水場污泥脫水可行性之研究，以得到有關污泥性質、濾前調理狀況、帶狀壓濾機操作參數等與脫水效率間之關係，俾供實廠設計與操作之參考。

### 二、試驗程序、設備與方法

#### 2-1、模型帶狀壓濾脫水機試驗設備簡介

本試驗之模型廠設於烏山頭淨水場內，該廠之原水取自烏山頭水庫，處理程序為傳統之預氯、混凝、沉澱、過濾、消毒。污泥主要來自沉澱池之底泥及快濾池反沖洗砂水，現經污泥濃縮槽濃縮後，排往三座污泥砂床。因目前該廠出水量常超出設計容量，故污泥砂床亦常不敷使用。

模型帶狀壓濾機為一小型雙濾布帶狀壓濾脫水機，其外觀大小為長2.42m，寬0.87m，高1.69m，濾布有效寬度為0.3m，總長度為19.5m（包括上濾布9.25m，下濾布10.25m）。圖1為模型機之大略構造圖，其中A部份為化學調理槽（30×30×40cm），內置一長24cm，寬13cm之中空槳葉一片，其攪拌動力為可提供出力1/4馬力，轉速為1800 rpm之馬達，經1:30之減速機

- |               |            |
|---------------|------------|
| A 化學調理槽和攪拌之槳葉 | D 額外增壓區    |
| B 重力脫水區       | E 濾布清洗裝置   |
| C 滾輪壓膠區       | F 濾布蛇行修正裝置 |

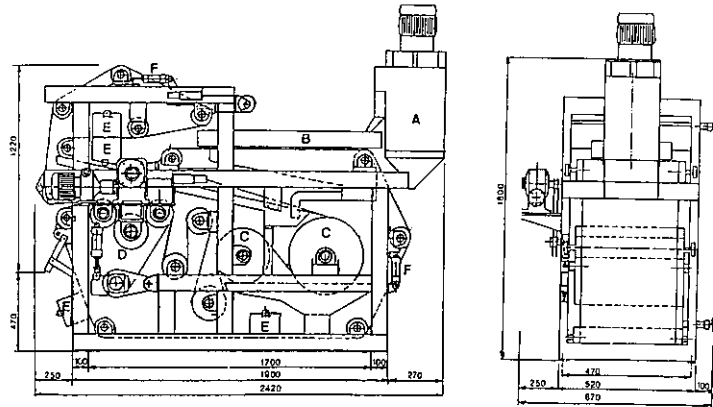


圖1、帶狀壓濾脫水機之設備圖

使其轉速降至55 rpm(提供之攪拌強度G值約為 $107\text{sec}^{-1}$ )。另為配合試驗需要，於本研究之下半年將模型帶狀壓濾機之化學調理槽做一修改；其中調理槽槳板轉速之改變方面，以原來之驅動馬達經 1:10之減速機，並配合變頻器(住友牌，AF502-A04，日本)之使用，可使槳板轉速在30~200 rpm之間調整。調理槽容積則利用導流管、制水閥及溢流堰，可分別調整為20、25、30、35及40 L等五種不同容積，藉以改變攪拌延時。脫水機之驅動動力為藉一1/2馬力，轉速為1800 rpm之馬達，經一1:6之可調變速機和一1:60之轉速機(太元牌，台北踐力公司)帶動滾輪。整個機械包括直徑大小不同滾輪共20根，但實際有壓榨效果之滾輪數目為8根，分別為C部份預壓階段之直徑40cm和30cm之大中滾輪各一根，C部份高壓階段之小滾輪直徑20cm一支和15cm二支，此外本試驗機又額外增加一可調整皮帶張力之高壓剪力階段(D部份)，含直徑為20cm和15cm之滾輪各一及二支。為防止污泥阻塞濾布，機械本身於上下濾布均裝設有一清洗裝置(E部份)，清洗方式為利用一加壓抽水機，經一可調整流量之閥和可讀出水壓力之壓力計，經鑽有小孔之噴嘴與濾布約呈 $15^\circ$ 傾斜清洗。為防止上下濾布在行走時，因偏移而未能重疊，設一蛇行修正器(F部份)。

至於脫水機之週邊設備則配置如圖2所示，主要設備包括容積為1000 L之污泥儲存槽和濾布清洗用水儲存槽各一個，及容積35 L之高分子凝集劑儲存槽4個，為使污泥攪拌均勻，在污泥儲存槽中架有一1/2馬力之攪拌器。污泥之進料方式為藉一可變速之軟管式幫浦(Hose pump, SP-32, Bredel, 荷蘭)，於常溫出口壓力為 $1\text{ kg/cm}^2$ ，操作之流量範圍約在1,000~4,000 L/hr左右。而高分子凝集劑之添加，則利用一本身附有刻劃0~100，流量範圍為350~2,100 ml/min之可調式軟管幫浦(M-200G, TTC株式會社，日本)。至於濾布之清洗則藉一出力為2馬力之定量泵，經一手動閥加以控制流量，並於其管線上裝一最小刻劃為 $0.1\text{ kg/cm}^2$ 之壓力錶及最小刻劃為1 L/min之流量計各一個。濾液收集裝置乃將壓濾機所產生之濾液藉由管線匯集到一60 L容積之塑膠筒中，再藉一1/2馬力之沉水式泵抽到一500 L之濾液儲存槽中。

## 2-2、污泥帶狀壓濾脫水機試驗步驟

模型廠位於烏山頭淨水場內污泥砂床旁，試驗污泥取自砂床污泥排入口。整個帶狀壓濾脫水試驗之詳細步驟如下：

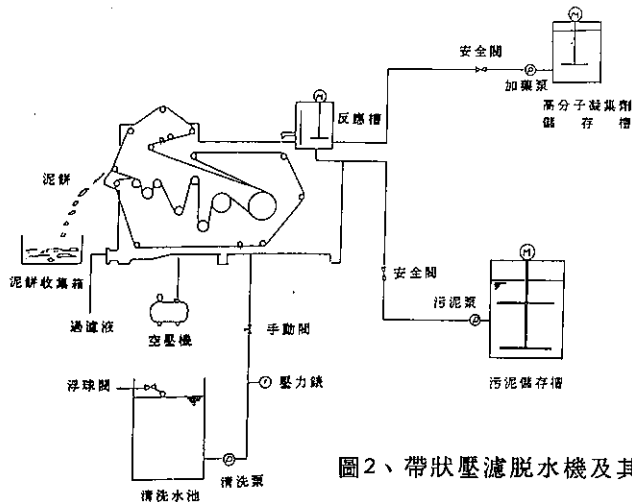


圖2、帶狀壓濾脫水機及其附屬設備配置圖

- (1) 打開淨水場污泥濃縮槽之刮泥機開關，約15分鐘後待濃縮槽之污泥刮淨後，打開污泥砂床之進流閥。
- (2) 以一1/2 馬力之沉水式泵沉入污泥砂床之進流區，將污泥抽入污泥儲存槽。
- (3) 啟動污泥攪拌機，待攪拌均勻後，取樣量測污泥之固體物含量。
- (4) 先利用一公升之瓶杯試驗壓克力容器，自污泥儲留槽中取出定量之污泥，利用瓶杯試驗機(Phipps & Bird, Richmond, Virginia, U.S.A.)，控制其攪拌強度，並於不同加藥狀況下，藉由毛細汲取時間(Capillary Suction Time, 簡稱CST)試驗決定其最佳加藥量範圍。本試驗所用以測定污泥毛細汲取時間之儀器為英國 Triton公司製造之Capillary Suction Time Filterability Test ( Model 2000, Triton Electronics Ltd, Gt. Dunmon, Essex, England)。
- (5) 利用定量量筒和計時器，調整污泥泵使進流污泥流量控制於預定之負荷率下。
- (6) 利用定量量筒和計時器，根據步驟(4) 所計算之加藥量，調整加藥泵之流量。
- (7) 打開空氣壓縮機，使其壓力升至3~4 kg/cm<sup>2</sup>，以提供帶狀壓濾機自動蛇形調整裝置所需之動力。
- (8) 打開濾布清洗抽水機
- (9) 開啓帶狀壓濾機之驅動馬達，先使用較低之驅動速度，讓濾布先空轉1周，並藉清洗水使濾布潤濕，以避免污泥貫穿，造成往後清洗之困擾。隨即打開污泥泵、加藥泵和化學調理攪拌機進行脫水試驗。由所得泥餅含水率及固體物回收率等來判斷脫水效率之好壞。

各項影響壓濾機脫水效率好壞之參數試驗，則如下各小節所述。

### 2-3、污泥脫水前化學調理之攪拌需求試驗

本部分試驗乃在尋找帶狀壓濾機化學調理之最佳攪拌條件，其中包括攪拌強度及攪拌延時。攪拌強度係以平均速度坡降(Mean Velocity Gradient) G值表之，

其中

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (1/\text{sec})$$

P= 攪拌之功率

$\mu$  = 污泥之黏滯係數 (g/cm-sec)

V= 調理槽容積 (L)

以本模型機之條件，則

$$G = \sqrt{\frac{106.8 \times N^3}{0.08937 \times v \times 10^3}}$$

其中N為漿葉轉速 (rpm)

試驗時攪拌強度G值與攪拌延時T值之選定原則，依Werle[2]之建議，使G/T值落在0.5到60之間，試驗時並以GT值為改變化學調理槽攪拌試驗之操作參數，配合不同加藥量，而改變不同GT值，用以試驗最佳之化學調理條件。

#### 2-4、污泥負荷率對脫水效率影響之試驗

本部分試驗主要在觀察帶狀壓濾機在不同污泥負荷率下之脫水效率。試驗前先固定一污泥之固體物濃度，再依加藥量試驗之結果選定加藥量，固定加藥量佔固體物濃度之比例後，改變污泥進流量，並觀察重力脫水後污泥含水率、最終泥餅含水率及固體物回收率等與負荷率之關係。

#### 2-5、濾布行走速度及張力對脫水效率影響之試驗

濾布行走速度之調整，乃藉調整驅動馬達之轉速而改變不同之行走速度。張力之量測乃將濾布繞過游星張力輪，並由氣壓系統控制張力之改變，氣壓控制值則可由壓力錶讀出，所得之壓力值依機械製造廠所提供之換算圖，將壓力值換算成濾布所受之張力。藉由量測張力值及滾輪直徑大小，利用 $P(\text{壓力}) = 2T(\text{張力})/D(\text{直徑})$ 之公式，則可求得各滾輪所受之壓力值。試驗時在固定之化學調理條件及污泥負荷率下，改變不同張力值，量測重力脫水後污泥含水率、泥餅含水率及固體物回收率等參數。

#### 2-6、模型帶狀壓濾機清洗水需求及其回收使用試驗

本部份試驗乃在探討如何在帶狀壓濾機操作過程中以最少水量達成清洗濾布之目的；模型帶狀壓濾機原設計之濾布清洗裝置僅作單面清洗，且清洗之一面係未接觸污泥之面，故清洗效果不佳；後來才將濾布清洗裝置改為雙面清洗。試驗時則從與污泥接觸面之單面清洗開始，藉由流量之控制，依次減低清洗水流量，由目測觀察濾布之洗淨狀況及量測重力脫水後污泥含水率，以決定可用之最低清洗水流量。

回收試驗乃在試驗以使用過之清洗液及壓榨後濾液當作清洗水之可行性，試驗時先以淨水場清水當做清洗水，並以上述清洗水量試驗所得之較適清洗水流量清洗濾布，操作帶狀壓濾機一定時間後，將所得之廢棄清洗液及濾液收集到一500 L之塑膠桶，並分析其水質，然後以此當清洗水，試驗全部以其當清洗水，或混合一半清水後，當作清洗水之濾布清洗效果。

### 三、結果與討論

#### 3-1、高分子凝集劑加藥量對脫水效率之影響

高分子凝集劑加量之多寡，直接影響調理後之重力脫水區污泥之脫水性及流動性，間接影響後續正向及剪力壓榨之脫水效率。太少的加藥量將使得污泥調理不足，使重力脫水區污泥之流動性過大；而過高的加藥量亦將使高分子凝集劑調理之作用失效，並溶出於自由水中，兩者均可使重力脫水區排水困難[3]。

根據以往之試驗[4]，選擇對烏山頭淨水場污泥調理效果最好之高分子凝集劑Betz 1660P為調理劑，Betz 1660P屬弱陽電性。在進行模型壓濾機試驗之前，首先進行CST試驗，以為預測模型壓濾機所需加藥量之依據。圖3為污泥濃度TS=4.2%之CST試驗結果，可見其最佳加藥量約佔污泥總固體物(TS)之0.12%，但實際以此些值作為帶狀壓濾機之操作加藥量時，卻無法得到預期之結果；表1為模型壓濾機化學調理劑加藥量之試驗結果。顯示在該操作條件下，當加藥量達0.29%TS時，仍無法減少調理後之污泥在重力脫水區之流動性，即污泥經重力脫水區後就往兩側流失，顯示調理不夠，污泥無法在重力脫水區將自由水排至半乾狀，而造成流失。提高加藥量至0.34%TS時，情況已漸改善，泥餅含水率低至41%左右，而固體物回收率則高達98.9%，顯示脫水效果良好。如將加藥量再提高至0.5%TS，泥餅含水率再降低，固體物回收率亦見提高；然如將加藥量再提高至0.65%TS，則調理後之污泥在重力脫水後再度流失，由實驗觀察知其經重力所排出之水具黏性，顯示高分子凝集劑之加量已過高；此結果顯示適當之加藥量對污泥帶式壓濾脫水之效率甚為重要，適當之化學調理可打破膠體之穩定性，使形成較大之膠羽，如此使自由水得以迅速排出；然過高之加藥量，亦可使污泥發生再穩定作用，使污泥膠體再成分散狀，而影響重力排水。表2為其他四種不同高分子調理劑之模廠試驗結果，除了Calgon之R-150B無法形成良好之膠羽而在重力脫水區排除自由水外，其餘四種皆有不錯之調理效果，在重力脫水後污泥含水率、泥餅含水率、固體物回收率甚或壓榨後濾液COD值等方面均相差不大；以上結果顯示，由實驗室瓶杯試驗機配合CST值測定，可初步篩選適合之高分子凝集劑種類。

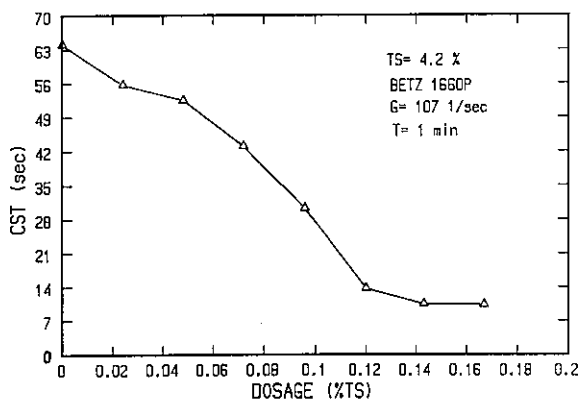


圖3、高分子凝集劑(BETZ 1660P)  
之調理試驗 (TS=4.2%)

表1、高分子凝集劑加藥量對脫水效率之影響 (TS=4.2 %)

TS= 4.2 %  
 污泥負荷率= 121.5 kg/m-hr  
 操作時間= 17 min/次

調理劑: BETZ 1660P  
 濾布行走速度= 0.684 m/min  
 重力脫水時間= 85 sec

加藥量 (%TS)	泥餅含水率 (%)	固體物回收率 (%)	說明
0.29	——	——	加藥量不足而流失
0.34	41.2	98.9	操作良好
0.5	38.9	99.2	操作良好
0.65	——	——	加藥量過高而流失

表2、不同高分子調理劑對脫水效率之影響

調理劑種類	帶電性	平均加藥量(%TS)		重力脫水後 含水率 (%)	泥餅 含水率 (%)	調理後 CST (sec)	壓榨後濾液 COD (mg/L)	固體物 回收率 (%)
		預測值	*實際值**					
BETZ 2763	弱陰電	0.14	0.33	85.7	48.3	8.8	107	90 % 以上
BETZ 2776	強陽電	0.14	0.28	87.4	49.4	7.3	115	90 % 以上
Calgon K150B	中陽電	0.28	0.33	86.3	50.5	19.7	107	90 % 以上
Calgon R150B	中陰電	——	——	——	——	40	——	——

註：用 Calgon R150B 調理後,污泥無法在重力脫水區脫水而造成流失

\*: 以實驗室瓶杯試驗預測之結果

\*\*: 實廠操作所需之加藥量

至於前述Betz 1660P及表2所述之試驗結果,均顯示壓濾脫水模廠試驗所需之高分子凝集劑加藥量較CST 試驗所預測值為高;其原因可能是CST測定儀無法模擬帶狀壓濾機之連續操作及污泥流動之情形,且為減少調理後之污泥在重力脫水區之流動性,亦可能需提高加藥量以使自由水得以迅速排出。另根據Novak & Bandak[5]以攪拌強度G值來模擬污泥脫水過程中所受剪力之研究指出,隨著G 值之增加,所需之加藥量亦隨之增加,亦即有較高剪力作用之污泥脫水方式,需要較高之高分子凝集劑加藥量,本試驗所得模廠實際操作所需之加藥量比CST 所預測值為高之結果與其相符。

### 3-2、化學調理槽攪拌狀況對脫水效率之影響

化學調理的目的,不僅是在使污泥藉攪拌作用形成較大之膠羽以利脫水,且也使膠羽強度增強而不易於脫水過程中破碎[5];化學調理之操作參數,一般以平均流速坡降G (Mean Velocity Gradient)及攪拌延時T來表示,G 值與調理槽容積、漿葉大小、攪拌轉速及污泥之黏滯度有關,攪拌延時T 則與污泥進流量與調理槽容積有關。如前述Novak[5]在以攪拌G值來模擬污泥脫水過程中所受之剪力的研究中指出,對於不同剪力作用之脫水程序而言,污泥所受剪力較高之脫水設備,所需調理劑量亦較高,且以一般之瓶杯試驗機是無法預測具高剪力作用之脫水程序。有文獻[2] 指出,調理劑加量和攪拌總能量(GT值)是控制具高剪力作用之污泥機械脫水程序的兩個重要參數。對於攪拌G值與調理延時之關係,Werle[2]根據其對明礬污泥和活性污泥脫水之研究,指出當G值與T值之比值在0.5~60之間時,相同的GT值在不同的

G與T之組合下，會有相同之脫水效果；且調理劑之加藥量亦會隨著攪拌GT值之增加而增加。

為瞭解攪拌狀況對污泥調理之影響，先於實驗室以瓶杯試驗機及CST測定儀為工具，試驗改變加藥量及攪拌狀況(以GT值表之)對污泥脫水性(以CST值表之)之影響。圖4為不同加藥量下，攪拌狀況對CST值之影響，圖中所示為三組加藥量(0.14%、0.19%、0.24%TS)下，不同GT值所對應之CST值，可見較高之加藥量下，可達到較低之CST值之GT值範圍亦較大，另由該圖亦可看出，較高之攪拌能量，所需之最佳加藥量亦較高。

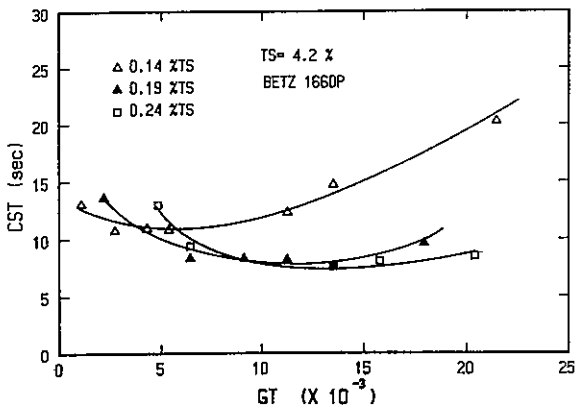


圖4、不同加藥量下，攪拌GT值與CST之關係圖(TS=4.2%)

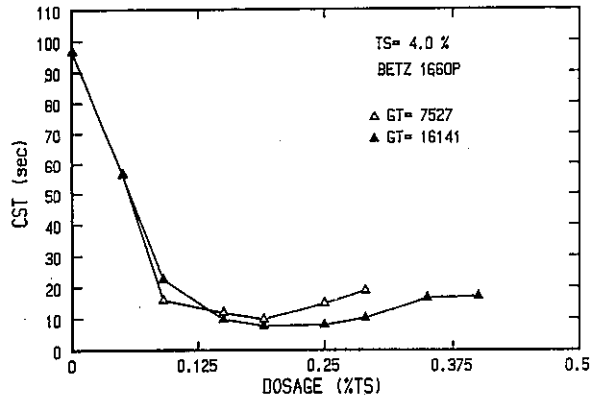


圖5、不同GT值(GT=7527,GT=16141)下，加藥量與CST之關係圖(TS=4.0%)

圖5為兩攪拌狀況(GT值分別為7,527及16,141)下，加藥量與CST值之關係，由該圖亦可發現較高之GT值下，所需之最佳加藥量亦較高，然而由CST值作比較，兩種高低不同之攪拌狀況，在其個別的較佳之加藥量下，其CST值相差並不明顯。由圖4亦可發現此現象，在加藥量為0.14%TS時，CST值較高且隨攪拌狀況之變化而有較大之變動，而加藥量在0.19%TS及0.24%TS時，CST值較低，表示較接近最佳加藥量，而此時CST值與攪拌狀況GT值之關係曲線較為平緩，顯示在較佳化學調理劑加藥量下，污泥脫水性所受攪拌狀況之影響較小。也由此推知調理劑加藥量之影響大於攪拌狀況。

由實驗室所得之結果，繼續由操作模型機來加以驗證，並藉模廠操作求取較佳攪拌狀況之範圍。如前所述，攪拌狀況包括攪拌強度及延時，攪拌強度通常以平均速度坡降G值來表示。不同之G值可藉由改變調理槽內槳板之轉速而達成，而藉調整調理槽容積可改變攪拌延時。

表3為較佳之調理範圍，由表中可知，調理槽容積在20 L、25 L及30 L時，較佳之調理範圍GT值在10,000至20,000之間，當調理槽容積變大為35 L及40 L時，較佳之攪拌能量則為15,000至20,000之間。而重力脫水後污泥之含水率相差並不明顯，至於調理槽容積為30及40 L時，所須GT值所以較高，主要因此時調理槽深度較深，而槳板位置固定，故需較強之攪拌，以避免污泥膠羽迅速沉降於調理槽底。故綜合言之，壓濾機化學調理所需之攪拌GT值以10000~20,000之間為宜。

表3、不同調理槽體積下，較佳之 GT 值範圍

調理槽容積 (L)	轉速範圍 (r.p.m)	較佳之GT 值範圍	G/T 值範圍	重力脫水後含水率(%)
20	70 ~ 100	11847 ~ 20229	1.7 ~ 3.0	86.0
25	60 ~ 100	10511 ~ 22617	1.0 ~ 2.1	86.0
30	55 ~ 95	10618 ~ 24105	0.6 ~ 1.4	86.0
35	70 ~ 85	16468 ~ 22035	0.7 ~ 1.0	84.3
40	85	23557	0.8	85.4

註：

調理槽容積為 20, 25 L 時，試驗之污泥為同一批 (TS=3.7 %，加藥量=0.386 %TS)

調理槽容積為 30, 35, 40 L 時，試驗之污泥則為同一批 (TS=5.2 %，加藥量=0.285 %TS)

表4所示為進流污泥濃度TS=4.4%，污泥負荷率126 kg/m-hr，在 高分子凝集劑(Betz 1660P)兩種不同加藥量下(分別為0.32及0.21%TS)，及在前述較佳之GT值範圍內(所用GT值分別為11,651及17,938)進行脫水試驗之結果。由實驗上之觀察，可見在0.32%TS之凝集劑加量下，膠羽形成良好，經帶狀壓濾機脫水後，亦有良好之結果；但在較低之加藥量(0.21%TS)下，則在GT= 11,65之試程中，發現在經重力脫水後，污泥仍具相當流動性，但勉強仍可壓榨，然由表4可見其泥餅含水率已升高，而固體物回收率降低。如將GT提高至17,938則膠羽生成不良，經重力脫水後，往兩側流失，已無法操作。由本試驗可知在帶狀壓濾前之化學調理上，調理劑加藥量之重要性顯然超過攪拌之GT值。

表4、加藥量對不同 GT 值之影響

污泥濃度：4.4 %

BETZ 1660P

污泥負荷率：126 kg/m-hr

濾布行走速度：0.684 m/min

調理槽容積：30 L

攪拌延時：126 sec

加藥量 (%TS)	槳葉轉速 (r.p.m)	G 值 (1/sec)	GT	重力脫水後 含水率(%)	泥 餅 含水率(%)	固體物 回收率 (%)	說明
0.32	60	92.4	11651	83.5	50.97	92.47	A
	80	142.3	17938	83.1	50.66	91.75	A
0.21	60	92.4	11651	85.9	53.77	87.05	B
	80	142.3	17938	——	——	——	C

註：

A：膠羽形成良好，適合後續之壓榨

B：加藥量不足，重力脫水後污泥仍具流動性

C：加藥量不足，重力脫水後污泥往兩側流失

表5為固定加藥量下，不同GT值對脫水效率之影響，由表中可看出，在足夠的加藥量(0.32%TS)下，改變三組GT值，所得之重力脫水後污泥含水率及最終泥餅含水率極為接近。值得注意的是，經較大之GT值調理後之污泥，在重力脫水區所得濾液，其COD 值有較高之趨勢

，可能是因較強之攪拌，使膠羽變得較細，有較多之固體物會通過濾布孔隙，造成濾液COD值升高。

表5、固定加藥量下，不同 GT 值對脫水效率之影響

污泥濃度：3.22 %                      BETZ 1660P                      濾布行走速度：0.634 m/min  
 加藥量：0.32 %TS                      污泥負荷率：90 kg/m-hr  
 調理槽容積：25 L                      攪拌延時：110 sec

GT 值	CST (sec)	重力脫水後 含水率(%)	泥 餅 含水率(%)	重力脫水所得 濾液 COD (mg/L)
14490	15.2	85.3	50.6	74
17483	16.9	85.1	50.6	104
20657	15.3	85.4	50.3	119

### 3-3、污泥負荷率對脫水效率之影響

為能適當表示帶狀壓濾機之處理量，大部份文獻以單位時間、單位濾布寬度所處理固體物的乾量(kg/m-hr)來表示帶狀壓濾機之污泥負荷率，亦即污泥進流體積(L/min)和污泥濃度之乘積再除以濾布之有效寬度。文獻顯示，以污水場污泥為例，日本方面要求之負荷率為120 kg/m-hr以上，一般操作範圍為120~180 kg/m-hr[6]，而美國方面之統計資料則以200~300 kg/m-hr之間者佔大部份[7]。

表6為在最佳高分子凝集劑加藥量下，改變污泥進流量，以觀察變化污泥負荷率，對脫水效率之影響所得之結果。由表中可見污泥負荷率愈低，則重力脫水後污泥含水率愈低，但並非一直低下去，負荷率低於80kg/m-hr以下時，其重力脫水後污泥之含水率變化甚微，顯示負荷率高於此值時，方能使重力脫水區發揮最大效用，再降低負荷率亦不會降低含水率。然重力脫水後之固體物含率在負荷率達160 kg/m-hr時，仍可達11%左右，與文獻[8]所提之6~10%甚為接近。至於泥餅含水率方面，受污泥負荷率之影響甚小，且本試驗所得泥餅含水率遠低於文獻上所報導污水污泥之60~80%，顯示淨水污泥頗宜以帶狀壓濾法脫水之。由同表亦可看出最終泥餅厚度隨負荷率之增加而變厚，固體物回收率則在負荷率86 kg/m-hr時最大，降低或提高負荷率均使固體物回收率降低。

表6、改變污泥負荷率對脫水效率之影響 (TS=4.66 %)

TS= 4.66 %                      調理劑: BETZ 1660P  
 濾布行走速度= 0.684 m/min                      加藥量= 0.5 %TS

污泥進流量 (l/min)	污泥負荷率 (kg/m-hr)	重力脫水後 含水率 (%)	泥餅含水率 (%)	固體物 回收率(%)	泥餅厚度 (mm)
5.29	49.4	86.7	47.9	87.6	2
9.24	86.2	86.7	48.6	96.9	4
14.24	132.9	87.5	49.5	94.3	5
17.40	162.4	88.9	49.0	93.6	6

綜合以上之實驗結果，可知當污泥負荷率提高時，因單位濾布面積上所負擔之固體物量

升高，故經重力排水後之污泥含水率可能較高，但經多層滾輪擠壓脫水後，所得泥餅含水率之差異甚小。然就固體物回收率而言，因高負荷率時，污泥過厚，擠壓脫水時可能被擠出於濾布之外，而低負荷率時，因泥餅較薄，黏在濾布上之固體物佔全體固體物之比例較高，均可能造成固體物漏失，回收率降低。就本試驗至目前所得結果，雖在污泥負荷率80kg/m-hr時有最高之回收率，然在160 kg/m-hr 之高負荷率時，仍有94% 左右之固體物回收率，就操作成本而言，也許在較高負荷率下操作較為經濟。

### 3-4、濾布行走速度及濾布張力對脫水效率之影響

濾布行走速度之快慢，直接影響重力脫水區及壓榨區之停留時間；理論上，重力脫水階段之停留時間愈長，愈能確保獲得較高之污泥濃度及減少污泥之流動性，然因可藉重力排除的水份有限，且自由水的排除往往可於瞬間完成，故有些機械製造者對延長重力脫水時間，以提高壓榨前污泥固體物濃度之看法表示懷疑[9]。美國環保署建議之停留時間為1~2 min，而該時間則可由濾布行走速度控制，實廠機械之一般操作範圍為 0.5~6 m/min[3]。

表7為濾布行走速度試驗結果，圖6為濾布行走速度對泥餅含水率及固體物回收率之關係圖。由圖6可知濾布行走速度變大時，會使泥餅含水率稍為變高，但影響不大。然行走速度變快時，卻會使固體物回收率大幅下降。由實驗上之觀察，可見濾布行走速度太快時，除了會使泥餅變薄之外，亦使刮刀刮除不乾淨，兩者均可造成殘留在濾布上之污泥固體物量佔總污泥固體物之比例提高，造成回收率之降低。濾布行走速度太快，除了有上述缺點外，亦會使濾布清洗較為困難；因此本研究大多以0.684 m/min 為濾布行走速度操作模型機。

表7、濾布行走速度對脫水效率之影響

污泥濃度：3.25 %      BETZ 1660P  
 加藥量：0.25 %TS      污泥負荷率：93 kg/m-hr      污泥上澄液 COD：140 mg/L  
 調理槽容積：25 L      攪拌延時：105 sec      重力脫水後濾液上澄液 COD：88 mg/L

濾布行走速度(m/min)	重力脫水後含水率(%)	泥餅含水率(%)	固體物回收率(%)
0.684	87.0	51.7	98.2
0.876	86.5	52.4	89.9
1.344	87.4	52.7	79.9

再者，濾布張力之大小亦會影響最終泥餅的固體物含量及固體物回收率。圖7為改變濾布張力對泥餅含水率及固體物回收率之影響關係圖，由圖中可見，濾布張力對泥餅含水率並無太大之影響；但濾布張力愈大，則固體物回收率降低，其原因乃在於太大之張力會將污泥擠出濾布，造成固體物之漏失。由以上結果知，太大之張力對於降低泥餅含水率並無助益，反而會降低固體物之回收率，且為了延長濾布壽命及節約能源起見，以較低之濾布張力(4 kgf/cm)操作模型機。

### 3-5、濾布清洗水量及濾液回收為清洗水對帶式壓濾機操作之影響

由於污泥經壓榨脫水後而在濾布上形成之泥餅，經刮板清除後，或多或少未完全刮除乾淨而有殘留，有時因調理不良致有部份污泥黏著於濾布上，為避免再次過濾脫水時造成阻塞

，濾布之清洗絕對必要。至於清洗方式，最常使用者為藉由加壓抽水機將加壓水經噴嘴沖洗，其清洗之水壓力和水量得視整個操作情況（如黏著程度、濾布孔徑等）而調整，文獻中有以  $2.6\text{kg}/\text{cm}^2$  甚至更高者作為清洗水之壓力[10]，然究竟需多大之水壓力和水量方能將濾布完全洗淨，則需視操作情況作調整。

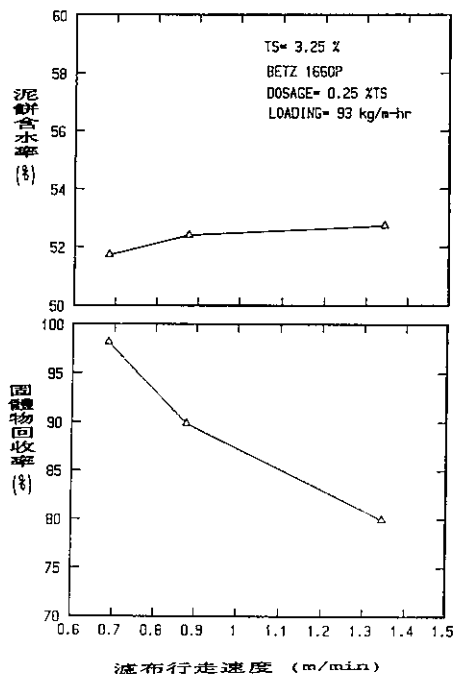


圖6、濾布行走速度與泥餅含水率及固體物回收率之關係圖

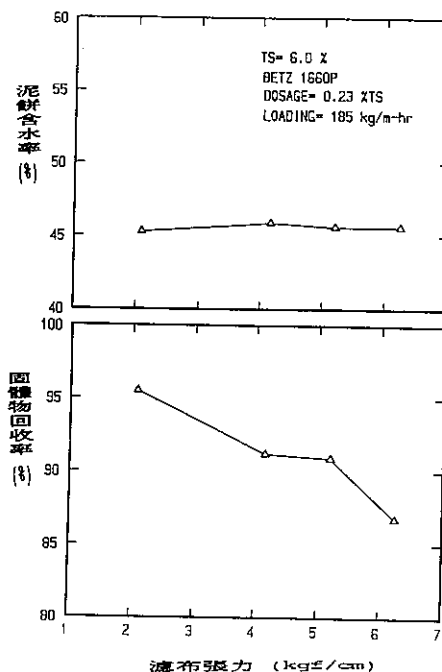


圖7、濾布張力與泥餅含水率及固體物回收率之關係圖

表8為以清水為濾布清洗水，並採與污泥接觸面濾布單面清洗之方式，所做之濾布清洗水需求試驗。依現場肉眼觀察，亦可見清洗水流量必須在  $10\text{ L}/\text{min}$  以上方能使濾布達到適當之清潔度，此時清洗水流量約為進流污泥流量之  $70\%$ 。與Eckenfelder[11]所報告污水污泥利用帶狀壓濾機脫水，清洗水流量約為進流污泥流量之  $100\%$  略低。以流量  $10\text{ L}/\text{min}$  清洗水就足以洗淨上下濾布，平均每塊濾布需  $5\text{ L}/\text{min}$  之清洗水流量，以濾布寬度  $0.3\text{m}$  換算，則為每公尺寬濾布每秒鐘需  $0.27$  公升之清洗水。

表8、濾布清洗水量試驗

污泥濃度：  $4.0\%$       BETZ 1660P      加藥量：  $0.27\%$  TS  
 濾布行走速度：  $0.684\text{ m}/\text{min}$       污泥負荷率：  $112\text{ kg}/\text{m-hr}$

清洗水流量(L/min)	重力脫水後含水率(%)	目視濾布清潔度
12	86.3	良好
10	86.6	良好
8	86.7	不佳

註：單面清洗濾布

由於大部分原本在濾布上之固體物經清洗水噴洗後，掉到模型機之底盤，很容易即沉澱在底盤上，而流到濾液收集桶之懸浮固體物(SS)變得較少，且SS又很容易沉澱，故濾液除了有些許浮渣無法沉澱外，經短暫靜置沉澱後，上澄液中SS幾乎為零，所以濾液上澄液之COD值亦可符合放流水標準。如此乃考慮利用部份濾液上澄液為清洗水。

表9為濾液回收為清洗水試驗結果：當以COD為63 mg/L之濾液為清洗水，所得之濾液上澄液COD值為141 mg/L；若以一半清水混合一半COD為63 mg/L之濾液為清洗水清洗濾布，所得濾液上澄液之COD值則減為78 mg/L。以上之結果顯示，以淨水廠清水為清洗水所得濾液之上澄液，其SS值及COD值均能符合環保署民國87年之放流水標準，若以一半清水混合一半濾液為清洗水，所得之濾液上澄液水質亦還能符合放流水標準，若全以濾液為清洗水，所得之濾液上澄液水質則較差。

表9、濾液回收為清洗水試驗

試驗名稱	污泥濃度 (%)	加藥量 (%TS)	原污泥上澄液 COD (mg/L)	重力脫水所得 濾液 COD(mg/L)	以10 L/min 清水清洗所得 濾液上澄液 COD (mg/L)
收集濾液	3.22	0.24	188	133	63
濾液回收 為清洗水	2.96	0.26	220	125	141

註：

\*: 以流量為 10 L/min，COD 為 63 mg/L 之濾液為清洗水所得之濾液上澄液 COD 值

\*\*：以 1/2 COD 為 63 mg/L之濾液及 1/2 清水混合為清洗水所得之濾液上澄液COD值

由以上之討論，可知將帶濾機之濾液及清洗水收集後，經簡單之沉澱及刮除浮渣後，部份收回與乾淨之清洗水混合後，作為濾布清洗用，應有可行性。然就回收次數及操作上之方便著眼，以淨水廠污泥之機械脫水特性而言，若全以清水為清洗水，再將濾液回收與原水混合，也是另一種較為簡便之操作方式。

### 3-6、多元氯化鋁(PAC)污泥之脫水試驗結果

因為多元氯化鋁亦係國內淨水廠常用之混凝劑為了試驗淨水程序中以PAC為混凝劑，所產生的污泥利用帶狀壓濾機脫水之效果如何？特別前往豐原之朴子口淨水場採集污泥進行脫水試驗，該場之處理程序為混凝—沉澱—過濾—消毒，以多元氯化鋁(PAC)為混凝劑，加藥量為18~20 mg/L，其污泥之排放方式，係將廢水池之廢水抽往污泥濃縮槽，濃縮後藉水頭差將污泥排往三座污泥砂床。圖8為比較以PAC污泥與明礬污泥做瓶杯試驗所得之加藥量與CST之關係圖，在該試驗過程中，發現PAC污泥調理後之膠羽較大且形狀不規則，而CST值隨著加藥量之增加而有明顯之下降趨勢，且可降到 8.1 sec，表示此種調理劑(Betz 1660P)對PAC污泥亦有良好調理效果；而PAC污泥之最佳加藥量比烏山頭淨水場明礬污泥所需加藥量要高。

表10為模型機上之脫水試驗結果，由該表及圖8即可知：PAC污泥之CST試驗所得之最佳加藥量較能預測模型機上之所需加藥量；而在操作表現上，因PAC污泥調理後膠羽較大，在相同濾布行走速度及相同負荷率下，在重力脫水區所形成之半固體物厚度較厚，其厚度約為相同濃度之烏山頭污泥之兩倍；重力脫水後污泥含水率超過90%，較烏山頭污泥之86%為高，泥

餅含水率達58%，也較烏山頭污泥之52%為高，且因PAC 污泥之固體物粒徑較小，泥餅刮除後部份固體物留在濾布孔隙中，濾布較難清洗乾淨，增加操作上之困難。

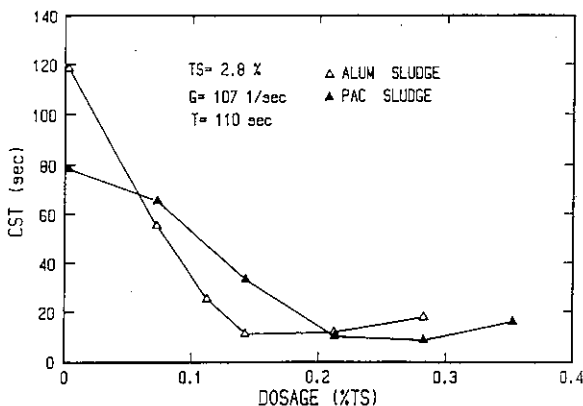


圖8、ALUM 污泥與 PAC 污泥之調理試驗 (TS=2.8%)

表10、PAC 污泥脫水試驗結果

污泥濃度：2.8 %

BETZ 1660P

濾布行走速度：0.684 m/min

污泥負荷率：80 kg/m-hr

加藥量 (%TS)	CST(sec)	重力脫水後含水率 (%)	泥餅含水率 (%)	固體物回收率 (%)
0.3	13	92.7	58.6	93.5
0.4	20	91.1	58.5	92.2

#### 四、結論

本研究主要於淨水廠內進行污泥機械脫水模廠試驗，所使用之模型機係雙濾布、多滾輪帶狀壓濾機，濾布有效寬度0.3m。經由此模型帶狀壓濾機之操作，就污泥性質、調理劑種類、高分子凝集劑加藥量、攪拌狀況、污泥負荷率、濾布行走速度、濾布張力、濾布種類及濾布清洗水量等項目對脫水效率之影響所得之結果，有以下數點之結論與建議：

1. 所試驗之兩種淨水場污泥，分別來自烏山頭及朴子口淨水場，前者以明礬為混凝劑，加量甚低(在原水低濁度時，甚或完全不加藥)，後者以多元氯化鋁(PAC)為混凝劑，加藥量約18-20mg/L；兩者均能利用帶狀壓濾機有效地脫水，使固體物回收率在90%以上，泥餅含水率則低於60%。惟PAC污泥壓濾後，濾布之清洗較為困難。至於本試驗所得泥餅含水率低於文獻上污水污泥所報導之值，其原因可能在於所試驗之淨水污泥以泥砂等無機成份為主，所含有機物較低，故較易脫水。
2. 化學調理對帶狀壓濾法甚為重要，如調理不良時，常造成重力脫水後污泥之流失，根本無法進行壓榨脫水。而進流污泥濃度以4.0%左右為宜。

3. 適於帶狀壓濾機化學調理用之高分子凝集劑種類之初步篩選，可以毛細汲取時間 (CST) 試驗做判斷，一般而言，CST 值能降到 10 sec 左右則可應用於帶狀壓濾機之化學調理劑。但模型壓濾機所需之最佳加藥量 (約 0.5% TS 左右) 通常略高於 CST 值試驗所預測者 (約 0.15% TS 左右)。
4. 化學調理之重要參數，除選用適當之高分子凝集劑外，加藥量最重要，再其次為攪拌狀態，一般而言適當之 GT 值在 10,000 到 20,000 之間，在此範圍內脫水效率相差並不明顯，惟較大之 GT 值其壓榨後濾液水質較差。
5. 污泥負荷率對脫水效率影響並不明顯，在所試驗之 80 到 185 kg/m-hr 之範圍內均有不錯之脫水效率，泥餅含水率約在 50% 左右，固體物回收率亦均在 90% 以上，但在較小及較大之負荷率時，固體物回收率會稍為下降。
6. 濾布行走速度及濾布張力對泥餅含水率之影響不大，但太快的濾布行走速度及過大的濾布張力，將會造成固體物回收率之降低。以本試驗所用之模型機而言，濾布行走速度以控制在 0.7 m/min 左右為宜；濾布張力則控制在 4 kgf/cm 左右。
7. 濾布所需之最低清洗水量約佔進流污泥量之 70%。壓濾後濾液及清洗濾布之廢液混合後，經簡單之沉澱後，水質相當良好，可依各廠操作上之方便，考慮回收為濾布清洗水之部份來源，或將其與原水混合處理。

## 五、誌謝

本研究承台灣省自來水股份有限公司予以經費上之贊助，敬致由衷之謝忱。模型廠試驗工作承烏山頭淨水場諸位先生之通力協助，亦於此一併致謝。

## 六、參考文獻

1. 經濟部工業污染防治技術服務團，污泥脫水處理，工業污染防治手冊之十四，民國七十七年四月。
2. Werle, C.P., and Novak, J.T. et al. (1984) "Mixing Intensity and Polymer Sludge Conditioning" Journal of ASCE, vol. 110, No. 5, pp. 919-934.
3. Austin, E.P., (1978) "The Filtr Belt Press—Application and Design" Filtration & Separation, July/Aug, pp. 320-330.
4. 葉宜顯等，改進污泥砂床脫水效率及實驗室規模污泥機械脫水性之研究，國立成功大學環境工程研究所研究報告 (民國八十年元月)。
5. Novak, J.T., and Bandak, N. et al. (1989) "Chemical Conditioning and the resistance of Sludges to Shear" Journal of WPCF, vol. 61, No. 3, pp. 327-332.

6. 細川和範、加藤隆夫(1987)"汚泥集約処理施設の効率化を目指す横形遠心濃縮機及び高圧ベルトプレス型脱水機のフィールド実験", 下水道協会誌, vol.24, No.277, pp.43-54。
7. Koch, C.M., Chao, A. and Samm, J. (1988) " Belt-Filter Press Dewatering of Wastewater Sludge" Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol.114, No.5, pp.991-1006.
8. Way, C.T. et al., (1983), Sludge Dewatering, Manual of Practice, No.20 WPCF, pp.103-127.
9. Deustsch, N.D., (1987) " Options in Belt Filter Press" Water/Engineering & Management, Vol.134, No.9, pp.34-37.
10. 内田邦夫、嘉藤治、石丸賢(1985)"一液二段薬注による高效率ベルトプレス脱水機の性能" 第22回下水道研究発表会講演集, pp.568-570。
11. Eckenfelder, W.W, and Santhanam C.J. (1981) Sludge Treatment, MARCEL DEKKER, New York, pp.163-167.