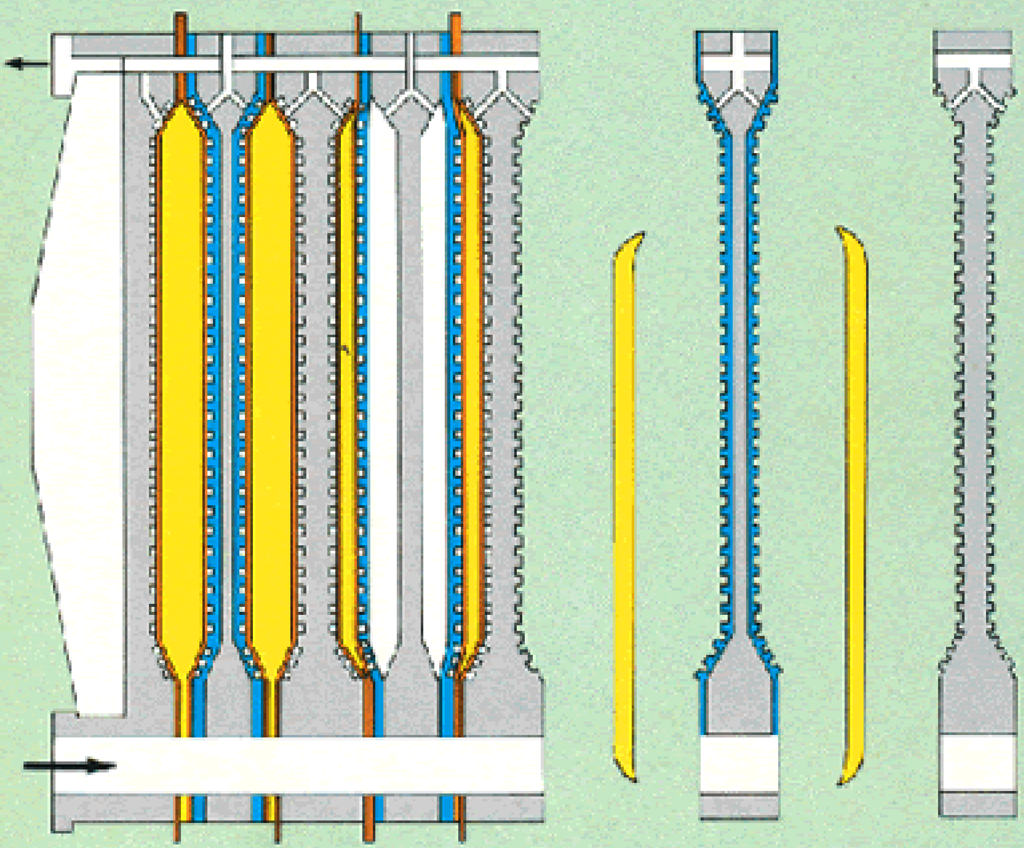
14

工業污染防治技術手冊

污泥脫水處理



經濟部工業局工業污染防治技術服務團・財團法人中國技術服務社　編印

序

防治工業污染，乃當前工業發展重點工作之一。本團自民國七十二年成立以來，即積極展開輔導國內污染性工廠有關防治污染之技術。在輔導工作進行期間，深覺工業污染防治範疇內之技術資料頗爲缺乏，且多爲英文，其實用性甚難爲國內業者普遍接受。

本團有鑑於此，乃自七十三年起，陸續準備各類有關資料，於輔導工廠時提供其參考；由於此等技術性資料深具實用性，的確有助於污染防治之改善，頗爲業者所喜愛。七十五年開始，本團更進一步，有系統地將各類處理技術，分門別類，陸續延聘國內知名專家學者撰寫成冊，予以編印，免費提供各界參考，期能加速業界對污染防治技術之普遍提昇，從而達成發展工業兼顧環境保護之目的。

本手冊爲曾迪華教授所撰寫，曾教授目前任教於國立中央大學環境工程學研究所，作育英才，原極忙碌，爲協助本團推動防治工業污染工作，特抽空就所專精撰寫專文，除敬表欽佩外，並致誠摯的謝忱。

工業污染防治技術服務團

楊萬發

中華民國八十二年五月

目　　錄

頁　次

圖 目 錄

頁 次

頁　次

表 目 錄

頁 次

第一章　前言

人類現代化的發展及工業成長的結果，使環境品質日益惡化，為防患環境之污染，廢水在排放前之處理實有其必要，而廢水之處理無可避免地產生污泥問題，隨著廢水量之增加，污泥量亦隨著增加，若不加以處理而任意棄置於環境中勢必造成二次污染，為利於污泥之最終處置，污泥之處理更形重要，而污泥處理之主要目的有下列幾點：

1.減量化：經處理後污泥之體積減少，相對地減少最終處置之費用，如搬運費、焚化或土地掩埋之費用。

2.安定化：處理後污泥之性質安定可避免再污染之二次公害。

3.有用物質之回收再利用。

污泥之如何處理端視其最終處置而定，大體而言，就各種不同之最終處置來說，以污泥脫水處理之減量化最為重要，且為常用的前處理方式。

本文有鑑於此，特將作者近年來從事污泥脫水處理相關研究期間，所蒐集的國內外資料加以整理，分別就污泥脫水處理的目的、原理、方法，和操作技術等方面加以敘述說明，供國內相關業界之參考。

第二章　污泥中之水份

廢水處理所產生之污泥，一般偏親水性，故含有大量水份。通常污泥水份含量，以含水率(%)表示之，而[100%-含水率%]，即為污泥中固體物含有率(%)。污泥含水率依1.排泥方式。2.剩餘污泥混合率。3.污泥固體物之粒徑分佈。4.固體物之有機成份比等而不同。一般而言，污泥顆粒粒徑小，有機成份高者，含水率亦高。通常初沈污泥含水率約96～99%，剩餘生物污泥含水率99～99.5%，混合污泥含水率則為97～99%。

污泥中水份的形態有下列四種：

1.間隙水(自由水)：不以任何形態與污泥固體物附著或結合之水。

2.毛細管結合水：污泥固體物間因毛細管現象所保有之水，如圖2.1 所示之結合水有間隙水、楔狀及裂隙等毛細管結合水。

3.表面附著水：為附著於膠羽狀及生物處理所產生之污泥上的水分，一般活性污泥比其他污泥有較多的附著水。

4.內部水：一部份污泥被微生物之細胞所包圍，其內部水含有細胞液，內部水與固體物堅強的結合著。

上述之間隙水可藉重力分離，毛細管結合水須賴離心、真空壓等機械力，使顆粒變形、壓縮後始可以分離，表面附著水可藉凝聚及機械脫水分離，但內部水則不易藉機械分離，須藉好氧或厭氧消化或熱處理等將細胞膜破壞。污泥顆粒與水之結合力約以內部水、毛細管結合水之序降低，而其分離性則隨之愈易。

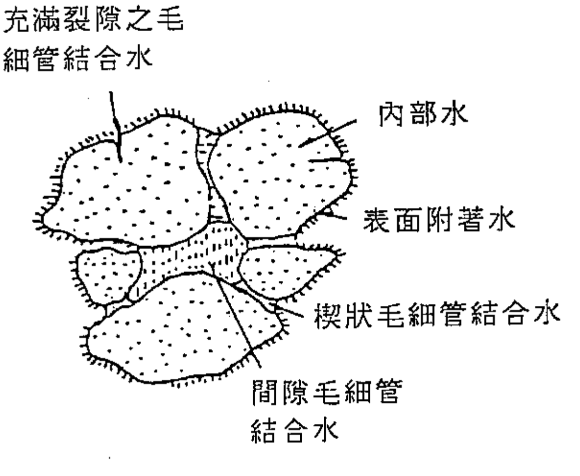


圖2.1　污泥中水之存在狀態

典型的活性污泥，其水份的分佈如表2.1 所示，由表中資料可知，污泥經重力濃縮可去除大約75%體積的自由水份，若再經機械脫水方式可去除約20%體積的毛細管結合水份，因此污泥若經適當的濃縮和脫水處理，不但可減少污泥體積量，同時可提高污泥餅總固體物含量。

表2.1 活性污泥中水份分佈

水 份 形 態	體 積 百 分 比，%
自由水	75
毛細結合水	20
表面附著水	2
內部水	2.5
固體物	0.5

第三章　污泥脫水處理的目的和影響因素

3.1 污泥脫水的目的

污泥脫水主要就是要去除水份以減少污泥的體積，產生的污泥餅類似固體而不再是液體，如此有助於污泥的最終處置，由於污泥體積的減少，更能使得污泥脫水後的處理及處置成本降低。

一般而言，污泥脫水處理的主要目的可歸納如下：

1.減少污泥的體積。

2.減少污泥的含水量，如此才可以減少污泥焚化所需的燃料成本。

3.增加污泥的固體物含量，使得污泥更方便處理及處置，例如：搬運、輸送、掩埋等。

3.2 污泥特性對污泥脫水之影響

影響污泥脫水能力的因素很多，其中包括污泥的種類與來源，及污泥脫水前之前處理。換句話說，即是污泥的特性，根據文獻指出，影響污泥脫水能力的污泥特性有以下七點：

一、顆粒的表面電荷與水和作用(particle surface charge and hydration)。

污泥顆粒的表面帶有負電荷，當顆粒接近時，會彼此排斥，這種排斥力隨著彼此間的距離而改變，距離愈近排斥力愈大。另外，污泥顆粒對於水分子有微弱的吸引力，可以藉著吸附(adsorption)或是顆粒間的毛細管作用(capillary action)，將水分子吸引到其表面上。雖然水分子只是被微弱的束縛在顆粒表面，但是卻足夠妨礙脫水。

化學調理劑的使用，能克服表面電荷與表面水和作用的效應。典型使用的調理劑包括有機聚合物、石灰及氯化鐵。一般，調理劑的作用是減少或消除顆粒間的排斥力，如此顆粒才能夠膠凝在一起，使得而後在機械脫水中，水份能快速地被去除，藉以提高脫水的效率。

二、顆粒大小(particle size)

影響污泥脫水能力的因素中，顆粒大小可說是最重要的因素。顆粒的尺寸減少，相對地每單位質量所擁有的顆粒表面積就增加，表面積增加所產生的影響包括：

(一)污泥顆粒間的排斥力變大，這是因為帶負電的表面積增加的緣故。

(二)水分子移動的摩擦阻力也增大。

(三)較多的水分子被吸附到顆粒表面，這是因為有較多的吸附位置的緣故。

顆粒大小受到污泥來源及前處理兩者的影響。一般而言，初沈污泥的平均顆粒大小較二次沈澱污泥大。污泥脫水的前處理中，尤其是厭氧或好氧消化，也使得平均顆粒大小減小，這也就是消化污泥比生污泥更難脫水的最主要原因。

三、可壓縮性(compressibility)

由於污泥顆粒具有可壓縮性，使得在脫水的過程中，顆粒受到壓力應力的作用而產生變形，導致顆粒間孔隙面積的減少。孔隙面積的減少將抑制水在污泥餅被壓縮的部份移動，因而減少了脫水的速率。

四、污泥的溫度

當污泥的溫度增加時，污泥中所含水份的黏滯性(viscosity)就減少，如表3.1所示。因此，污泥的溫度昇高，有助於脫水效率的提高，尤其對於離心脫水法，溫度的影響更為顯著。

五、污泥的pH值

污泥的pH值影響污泥顆粒的表面電荷(surface charge)，以及影響污泥調理時所用聚合物的種類。一般而言，陰離子聚合物大都使用在高pH值時，而陽離子聚合物大都使用在中性範圍的pH值時。

表 3.1 水的黏滯性(viscosity)與溫度的關係

溫　　度(℃)	黏滯性(Centipoises)
10	1.308
15	1.140
20	1.005
25	0.894
30	0.800
35	0.723

六、腐化程度(septicity)

假設其他的條件相同時，腐敗的污泥比新鮮的污泥更難於脫水，而且化學調理劑的需要量也較多。這可能是因為腐敗後的污泥，其顆粒變小，而且產生氣體殘留在污泥內的緣故。

七、揮發性固體物與不揮發性固體物的比值

當不揮發性固體物的含量百分比增加時，污泥的脫水效果比較好。

第四章　污泥脫水之前處理—污泥調理

大部份的污泥在脫水操作時，為了得到良好的脫水效果，必須將污泥先行調理，以改變污泥的特性，而有利於脫水操作。本節以下將就污泥調理的目的，影響調理的因素，和污泥調理的方法等，加以敘述說明。

4.1 污泥調理的目的

污泥調理的目的，主要是要將污泥藉著化學或物理的方法，改變其結構(structure)，使此結構有足夠的剛性(rigidity)能允許污泥中的水份，以過濾或其他的脫水方法而快速地被去除。因此，污泥的調理是為著改善其脫水性質，降低其比抗係數，同時增加固體物的回收量(solids recovery)，及增加污泥的顆粒大小。

4.2 影響污泥調理的因素

影響污泥調理的因素可分為污泥特性及物理因素兩方面來說明。影響污泥調理的污泥特性有：

一、顆粒大小及分佈

顆粒大小影響污泥的脫水能力，已於3.2 節中討論過。當平均的顆粒大小減小時，則表面積／體積的比值就成指數增加。表面積增加則水和作用增大，化學藥品的需求量增多，並且脫水的阻力也增加。生物污泥，尤其是活性污泥，因其顆粒較小，所以脫水也較困難，並且化學調理劑的需要量也較多。因此，調理的主要目的就是要將小顆粒結合成為較大的凝聚體，增加其顆粒大小，使有助於脫水。

二、表面電荷及水和程度

大部份的污泥，顆粒之間的排斥力大於吸引力，這種排斥力，可能是由顆粒的水和作用或表面電荷所引起。水和作用使得顆粒表面被水分子所包圍，產生緩衝的作用(buffer)，阻止顆粒的更加接近。另外污泥固體物的表面帶有負電荷，因同性電之互相排斥，使得顆粒間所受的排斥力隨距離的縮小而增大。調理主要就是要克服

水和作用和靜電排斥力的影響。

調理分成兩個程序，首先將顆粒的穩定性破壞，然後將不穩定(destabilization)的顆粒膠凝在一起。在破壞顆粒的穩定性時，顆粒的表面性質被改變，使得它們能彼此附著。膠凝程序是提供接觸的機會，主要是藉著緩慢的攪拌，使不穩定的顆粒，能膠凝在一起。

三、顆粒間的相互作用力

廢水污泥中含有大量的膠質體及凝聚體(agglomerate) ，它們具有大量的比表面積。最初，這些顆粒是以單顆粒型式 (discrete manner) 存在，因而幾乎沒有相互作用力。但是，當污泥的濃度增加時，相互作用力也隨著增加。

調理劑有中和或克服表面電荷的能力，如此顆粒間相互作用的靜電排斥力減少，因此顆粒能藉凡得瓦爾吸引力互相凝聚在一起。

影響污泥調理的物理因素有：

一、調理前之處理程序的影響

污泥過度的攪拌或儲存，將使水和作用的程度與較細顆粒含量增加，如此將使污泥脫水時所必須的化學調理劑增加。

二、調理劑的加藥順序

當使用兩種以上的調理劑時，加入調理劑的最佳順序必須利用試誤法(trial and error) 加以決定；例如以氯化鐵和石灰當做調理劑時，正常而言必須先加入氯化鐵，然後再加入石灰。

4.3 污泥調理的方法

污泥調理的方法種類很多，包括淘洗(elutriation) 、熱處理、化學調理和添加飛灰等。其中以化學調理為最普遍使用的方法。

一、淘洗

高鹼度污泥(例如厭氧消化污泥)脫水時，會消耗多量凝聚劑，

甚不經濟。污泥淘洗即利用鹼度較低的水或處理水洗滌以降低鹼度，藉以洗除容易造成脫水障礙之膠狀物質，以削減凝聚劑之使用量，防止濾布阻塞，並提高過濾效率。

一般淘洗操作多採用多段反流向洗滌，洗滌水量與污泥量比大約2：1，洗滌槽的設計與一般污泥濃縮槽相同，當淘洗消化污泥時，其固體負荷率約為$2kg/hr/m^2$ 。

淘洗最主要的缺點是其洗滌廢水含有大量固體物，當洗滌廢水迴流至處理程序時，將增加處理廠的負荷。另外淘洗亦會將污泥中的氮洗出，減少污泥的肥料成份，而使得污泥不適合做為土壤改良劑(soil conditioner)。

二、熱處理

污泥熱處理為將污泥加熱至高溫(180℃～200℃)，停留時間20～30分鐘，使污泥中之膠狀性或膠凝性質的本質發生變化，成為易於過濾及濃縮的污泥，以提高污泥的脫水性。

污泥熱處理的主要缺點為污泥脫水處理後之分離液BOD和COD濃度都很高，若直接迴流至最初沈澱池，將增加處理廠之有機物負荷，故一般不宜直接迴流，而須另行分離處理，此外，污泥加熱處理易產生臭味問題，須加以注意控制。不過熱處理，將使污泥在脫水時，完全不需或可減少化學藥劑量，同時所產生脫水污泥體積小，且脫水泥餅也較為穩定、衛生。

三、化學調理

污泥化學調理主要包括兩個反應機構，一是電價中和，另一是架橋作用(bridging)。傳統上，電雙層(electric double-layer)理論可用來解釋電價中和的現象，圖4.1 所示為一帶負電荷的顆粒，其周圍將吸引帶正電荷的離子至其表面上，因而形成一帶正電荷的固定層；在固定層的四周，帶正電荷與帶負電荷的離子將隨距離顆粒表面遠近，形成不等量的分佈，在此範圍為擴散層；而在擴散層外之水溶體，正電荷與負電荷的離子成均勻分佈。根據圖4.1 顯示，有兩種力量將影響顆粒的穩定性，一是同電荷間所引起的排斥

力，另一是凡得瓦爾吸引力，當排斥力大於吸引力時，兩力的合力會產生一能量障礙(energy barrier)，阻止顆粒的接近與凝結，一般為了克服此能量障礙，可藉加入鋁鹽或鐵鹽混凝劑，利用Al^{+3}或Fe^{+3}離子來中和顆粒所帶的負電荷，如此將使得帶負電荷顆粒間的淨排斥力減少，進而使得被中和後的顆粒能彼此互相吸引，使凝聚成為較大的顆粒。

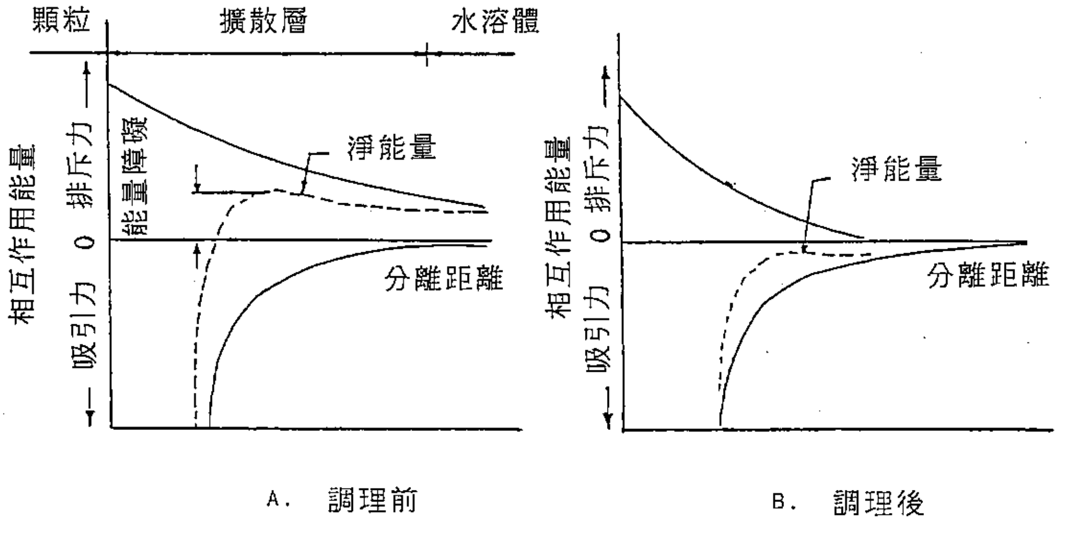


圖4.1　顆粒混凝的電雙層理論

電雙層理論無法完全解釋化學調理污泥所發生的現象，因而發展出架橋模式理論。此模式說明了膠凝劑，如金屬氫氧化物和高分子聚合物，其形成的長分子將吸附污泥中的顆粒，並且在顆粒間產生架橋作用，此結果將產生結構較強的膠羽，因而有助於污泥的脫水。

一般，污泥的調理常用的化學藥劑包括：氯化鐵、氯化鐵加石灰、氯化鐵加明礬或只用石灰來調理。石灰幾乎很少單獨使用，而都是與金屬鹽一起使用，雖然石灰具有一些脫水性質，但石灰主要是用來控制pH值、臭氣的減少、消毒以及當做助濾劑。

表 4.1 各種脫水程序最經常使用的化學調理劑

脫 水 程 序	石 灰*	氯化鐵*	聚合物
籃狀型離心機			C
固體物承杯離心機			C
帶壓式過濾脫水機			C
真空過濾脫水機	C	C	C
加壓過濾脫水機	C	C	P
乾燥床			P

說明：C表示普遍使用。
P表示在某些情況可能需要使用。
*石灰和氯化鐵通常同時使用。

表 4.2 各種脫水程序的典型加藥量

脫水程序／加藥種類	生初沈污泥 (1b/ton)(3)	生(初沈污泥+活性污泥) (1b/ton)	厭氧消化(初沈污泥+活性污泥) (1b/ton)
籃狀型離心機			
聚 合 物	0-4	1-5	2-6
固體物承杯離心機			
聚 合 物	2-5	4-10	6-10
帶壓式過濾脫水機			
聚 合 物	4-8	4-10	8-15
真空過濾脫水機			
聚 合 物(1)	4-10	6-12	--
石 灰(2)	160-200	180-320	300-420
氯 化 鐵(2)	40-80	50-120	60-120
加壓過濾脫水機			
石 灰(2)	200-280	220-320	220-600
氯 化 鐵(2)	80-120	80-140	80-200

說明：(1) 對於真空過濾，聚合物有時可以用石灰及氯化鐵取代，以調理生污泥。
(2) 此使用量是石灰與氯化鐵一起使用時的加藥量。
(3) 1 1b/ton = 0.45 kg/ton

表4.1 概略敘述了各種脫水程序，最經常使用的化學調理劑，並且於表4.2 中列舉其典型的加藥量。

近幾年來，以有機高分子凝聚劑當作調理劑，有逐漸增加的趨勢，因此瞭解其對污泥調理的功能是非常重要的。高分子聚合物是長鏈能溶於水的有機化合物，一般有機性污泥大都使用陽離子性之polyacrylamide及polyamide 系者。無機性污泥則用陰離子性acrylate ester。

高分子聚合物在水溶液中的作用主要是將它的官能基(function group)附著到污泥顆粒的表面，如此產生：

(一)將束縛在顆粒表面上水的吸附力去除。

(二)電價中和。

(三)藉著顆粒間的架橋作用使小顆粒凝聚在一起。

此結果形成具有滲透性的污泥餅，使水份易於排出。圖4.2 說明了高分子聚合物與固體顆粒結合的反應機構。在圖4.2 中，前兩個反應是一般所期望得到的反應，其餘的四個反應代表的是超藥量或受到的剪力(shear) 太大時所發生的情形。

在以各種脫水方法脫水之前，污泥調理所需的高分子聚合物之典型加藥量，如表4.3 所示。

表 4.3 廢水污泥調理高分子聚合物之典型的加藥量

污泥類別	kg/ton dry solids		
	真空過濾	帶壓式過濾	固體物承杯離心機
生初沈污泥	0.2-0.4	2-4	1-2.5
生(初沈+活性)污泥	2-5	2-5	2-5
生(初沈+腐植土)污泥	1-2	1-4	--
生活性污泥	4-7	4-5	--
消化初沈污泥	1-2	1-3	3-5
消化(初沈+活性)污泥	2-5	1-4	3.5-5

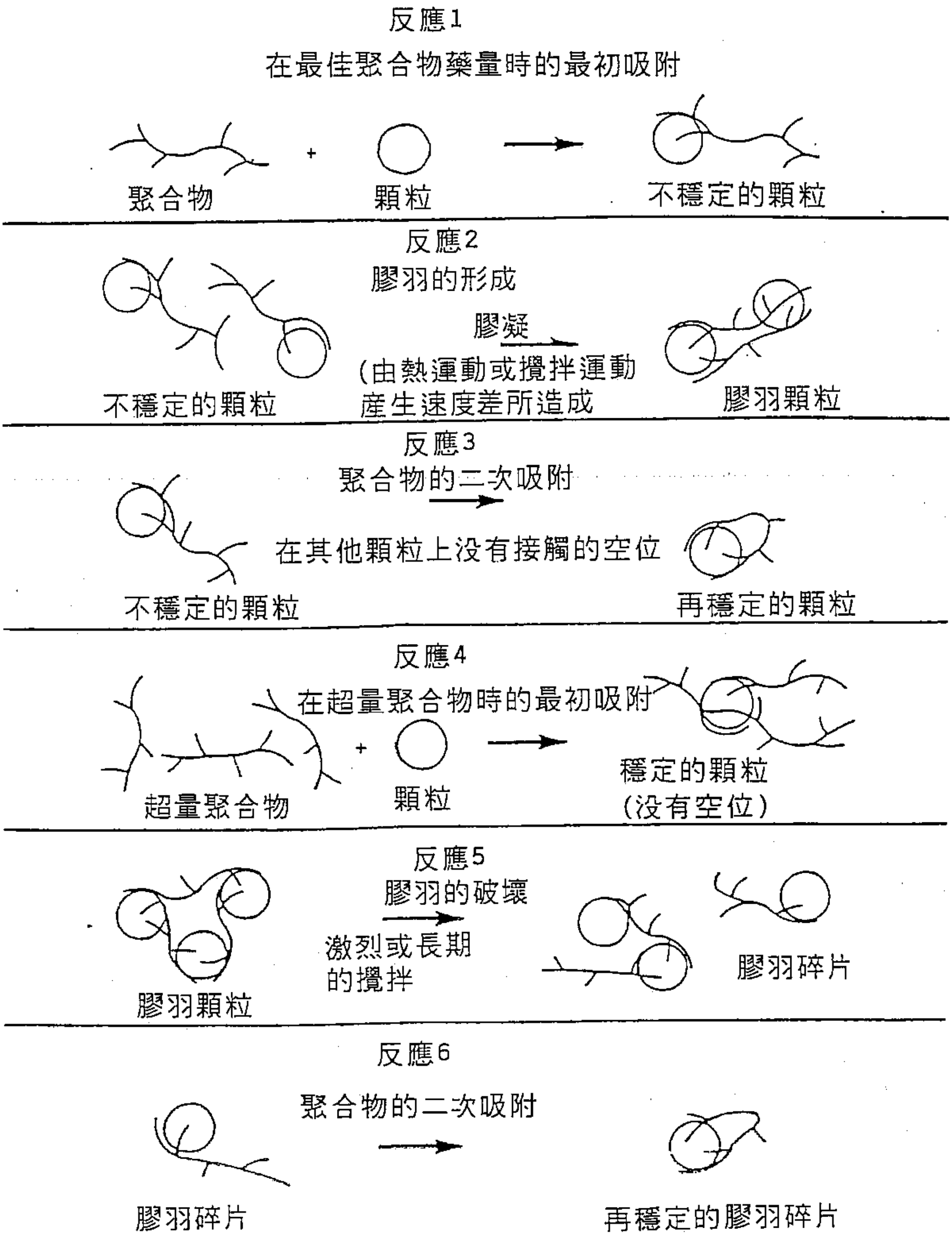


圖4.2　利用高分子聚合物破壞膠質體穩定性的架橋模式
反應機構圖

四、助濾劑(filter aids)

發電廠或污泥焚化爐所產生的灰燼(ash) ，已經成功地被用來改善真空過濾及加壓過濾等機械脫水的操作效果。能改善污泥脫水的灰燼特性包括其金屬成份的不溶解性，不可壓縮性及其不規則的顆粒大小。污泥脫水中加入灰燼，則污泥中的固體物與灰燼混合將形成具有滲透性、多孔的而且剛性的結構，此結構將使液體易於通過，如此灰燼減少了污泥的可壓縮能力，因而改善了污泥的脫水性。污泥脫水中加入灰燼的優點及缺點，如表4.4 所示。

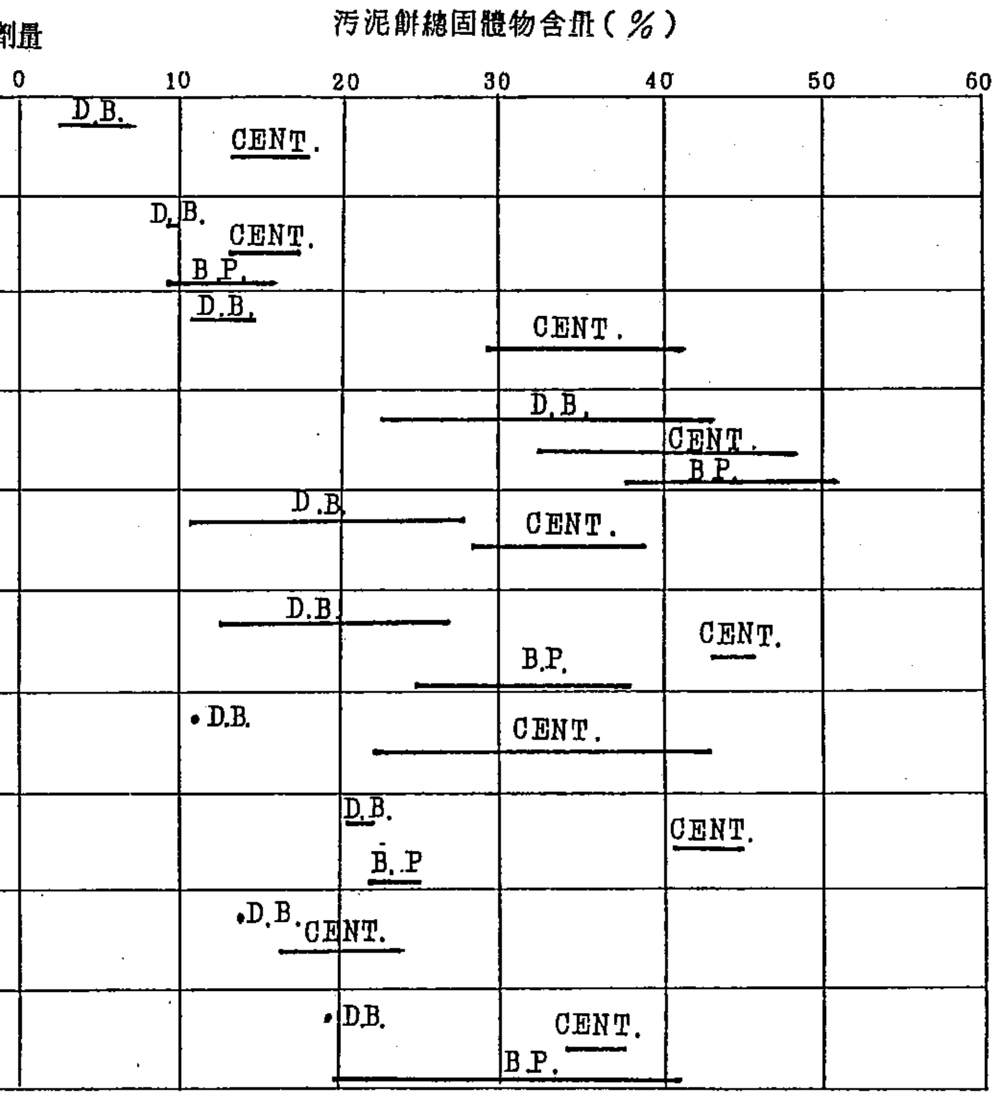
表 4.4　以灰燼來調理污泥的優點及缺點

優　　點	缺　　點
1.污泥餅的總固體物含量增加。 2.能改善濾液的水質。 3.使污泥餅較易從過濾介質上剝離。 4.其他化學調理劑的用量可以大量減少，甚至不需要。	1.會產生為數可觀的灰塵。 2.可能會產生設備磨損的問題。 3.增加物質處理的問題。 4.由於添加灰燼，使得污泥餅中所含的揮發性固體物的百分比降低，因而焚化時，可能需要增加燃料用量。

由上述可知以灰燼來調理污泥，雖可改善污泥的脫水性，但所產生的污泥餅因熱值(heating value) 太低，而不適以焚化做為最終處置。近些年來，有多位學者曾研究以可燃性物質如碳粉(pulverized coal)、木屑等調理污泥，其結果發現，碳粉或本屑不但可改良污泥的脫水性，使所產生的污泥餅固體物含量增加，同時可提

高污泥的熱值，達到自生燃燒(autogenous combustion) 的程度，減少污泥焚化處置時所需添加輔助燃料的費用。圖4.3 所示為本文作者研究的結果，其顯示對於難脫水的生物污泥(終沈污泥)，若添加可燃性助濾劑調理，在各種不同脫水方式的情況下，均可顯著地提高其污泥餅固體物含量，其中仍以碳粉和木屑的效果最為顯著。

有機物調理劑 種類	粒徑(mesh)	劑量(Kg/Kg DS)	Polymer劑量 g/Kg DS
—	—	—	—
			5.0
碳粉	40×60	1.8	—
			5.0
木屑	原始狀態	2.4	—
			3.0
稻殼	原始狀態	2.4	—
			2.0
蔗渣	原始狀態	1.5	—
			2.0



D.B.：自然乾燥床　CENT：離心脫水機　B.P.：帶壓式脫水機

圖4.3　終沈污泥以可燃性助濾劑調理在各種脫水方式時之脫水效果

五、泥餅過濾原理

污泥脫水性質的難易，一般可用物理方法加以量測。傳統上，污泥脫水時，需藉助外力(加壓壓力、離心力等)，使污泥中的水份容易脫除。但污泥中水份因受到內在和外來阻力的影響，其從污泥中脫除的速率會逐漸受到限制，而影響污泥的脫水量。一般在描述污泥脫水的難易時，常用比抗係數(specific resistance) 的大小來說明其脫水性質，本節以下將以泥餅過濾原理解釋此種現象。

泥餅過濾(cake filtration) 脫水的原理，主要是利用泥漿入口(slurry inlet)與濾液出口(filtrate outlet)之間有一壓力差存在，流入的泥漿因壓力差的作用，而使水份能逐漸通過過濾介質(filter medium)與已形成的顆粒床(bed of particles)。如此，泥漿中的固體物就被截留下來，最後形成污泥餅，通過的濾液則被迴流到處理廠的處理設施再加以處理。

在脫水過程，濾液必須流經三種不同的阻抗(resistance)，並且總壓力落差(total pressure drop) 就等於個別的壓力落差的和。這三種阻抗分別是：

一、渠道的阻抗(resistances of the channels)：

此渠道乃是導引泥漿到污泥餅的上流面以及將濾液從過濾介質排開。這種阻抗和另外兩種阻抗比較起來是相當小，以致於可以被忽略不計。

二、泥餅的阻抗(resistances of the cake)：

此種阻抗為對水流之最主要阻抗，它將隨著濾程(filter run)而改變。在過濾開始時，它等於零，隨後因著固體物連續地在介質上堆積(deposition) ，使得這種阻抗隨過濾的時間而穩定地增加。

三、過濾介質的阻抗(resistances of the filter medium)：

由於顆粒被埋入(imbedded)於過濾介質中，故嶄新的介質與使用過之介質其阻抗將有所不同。通常介質阻抗於開始操作後一段時間即

變成一定值，故介質阻抗將僅在濾程開始初期一小段時間是很重要的，此後介質阻抗與污泥餅阻抗相比較將是很小。

因為渠道抵抗可以被忽略不計，所以，在任何時間的總壓力落差(overall pressure drop)等於污泥餅與過濾介質的壓力落差之和，以數學式表示如下：

$$-\Delta P = P_a - P_b = (P_a - P') + (P' - P_b) = -\Delta P_c - \Delta P_m \quad \cdots\cdots(5\text{-}1)$$

其中：

P_a=入口處的壓力，如圖 5.1所示。

P_b=出口處的壓力，如圖5.1所示。

P' =污泥餅與介質間之邊界層上的壓力，如圖5.1所示。

$-\Delta P$=總壓力落差。

$-\Delta P_c$=污泥餅的壓力落差。

$-\Delta P_m$=介質的壓力落差。

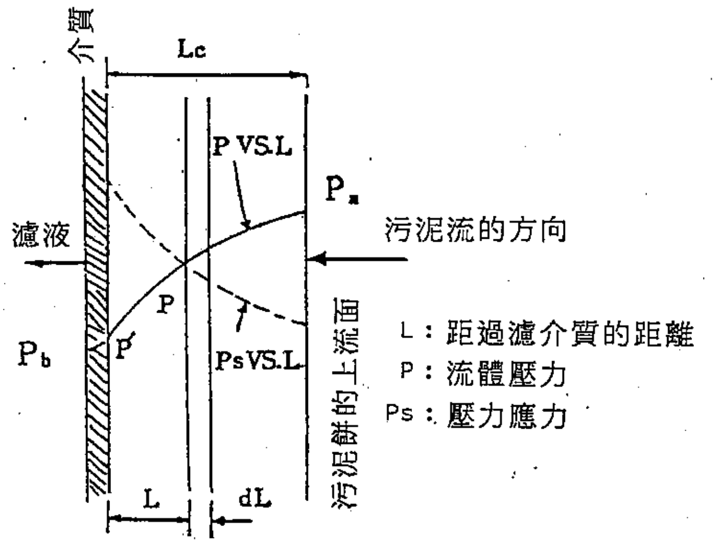


圖5.1　過濾介質與污泥餅的斷面圖

圖5.1代表的是在開始過濾後某一時間t，過濾介質與污泥餅的斷面圖，此時，污泥餅的厚度為L_c，過濾面積為A。考慮圖5.1中污泥餅的某一小厚度dL，其距介質的距離為L，此點上的壓力P。由於在一個過濾床內(filter bed)，其流速一般較低，故可考慮為平行流 (laminar flow)，因此可利用Carman-Kozeny方程式來說明流經污泥餅的壓力落差的情形：

$$\frac{-dP}{dL} = \frac{k_1 \mu \bar{u} (S_p/V_p)^2}{g_c} \left[\frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \right] \cdots\cdots\cdots\cdots(5\text{-}2)$$

其中：

$\frac{dP}{dL}$=在厚度為L處的壓力坡降(pressure gradient), (lbf/ft2)/ft。

μ=濾液的黏滯度(viscosity), lb/ft-ses。

$\bar{u}$=濾液的線性速度(linear velocity), ft/sec。

S_p=單一顆粒的表面積。

V_p=單一顆粒的體積。

ε=污泥餅的孔隙率(porosity)。

K_1=常數。

g_c=32.174 ft-lb/lbf-sec^2。

線性速度$\bar{u}$可以下式表之：

$$\bar{u}=\frac{dV/dt}{A} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5\text{-}3)$$

其中：

V=從過濾開始到時間為t時所收集的濾液體積。

A=過濾面積。

在污泥層內固體物的體積可用來消除dL項，如此壓力的改變可與在污泥餅內固體物的累積成關係。因固體物的體積等於A(1-ε)dL，並且假如ρ_p是固體物的密度，則污泥層中固體物的質量dm為：

$$dm=\rho_p(1-\varepsilon)AdL \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5\text{-}4)$$

將(5-4)式代入(5-2)式中，可得

$$-dp=\left[\frac{K_1(S_p/V_p)^2(1-\varepsilon)}{\rho_p\varepsilon^3}\right]\frac{\mu\bar{u}}{g_cA}dm \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5\text{-}5)$$

對於不可壓縮的固體物(incompressible solids)而言，在(5-5)式中除了m以外，右邊的各項均與L無關，如此，(5-5) 式可直接積分求得，假若m_c是泥餅中固體物的總質量，則可得

$$-\int_{P_a}^{P'} dp = \frac{K_1\mu\bar{u}(S_p/V_p)^2(1-\varepsilon)}{g_c\rho_pA\varepsilon^3}\int_o^{m_c}dm$$

$$P_a-P' = \frac{K_1\mu\bar{u}(S_p/V_p)^2(1-\varepsilon)m_c}{g_c\rho_pA\varepsilon^3} = -\Delta P_c \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(5\text{-}6)$$

然而大部分的污泥均屬於凝聚的團塊(agglomerates)或是膠羽(flocs

）的混合體。此為由非常小的顆粒，鬆散組合而成，因而很容易受到污泥餅中的壓力應力的作用而變形，如圖 5.2所示，故污泥是大大地可壓縮的。假如顆粒被壓縮變形，則 ε ，S_p，V_p，及k 全部都變成是作用壓力(applied pressure)的函數，並且從一層變化到另一層 (vary from layer to layer)。因此，(5-5)式中右邊括弧內的項就和作用於污泥餅上的局部壓力(local pressure)有關，使得 (5-5)式不能利用直接積分的方法求得。然而，假若一個平均項被使用，那麼(5-5)式將可用來推導出可壓縮污泥的經驗關係式。

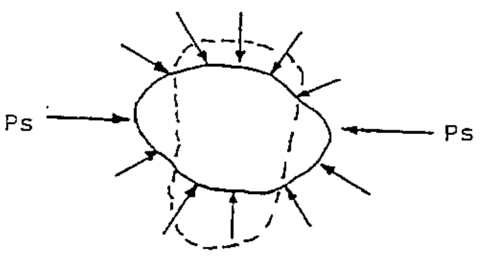


圖5.2 受到壓力應力的作用而變形的顆粒

(5-5) 式中右邊括號內之項，若總合起來以一單一數量 α_L表示，此稱為局部泥餅比阻抗(local specific cake resistance)，其值隨圖5.1中P_a-P值變化。事實上，泥餅對流體流動所產生的阻抗，在泥餅的自由表面處最小，而在鄰接過濾介質處最大。然而在實際上這種局部的變化一般均被簡化，並且以一個平均的量α來代替，此一平均量稱為平均泥餅阻抗 (average cake resistance) ，被定義如下：

$$\alpha=\frac{K_1(S_p/V_p)^2(1-\bar{\varepsilon})}{\varepsilon^3\rho_p} \quad \cdots\cdots(5\text{-}7)$$

將(5-7)式代入(5-6)式，可得

$$P_a-P'=-\triangle Pc=\frac{\mu\,\bar{u}m_c\alpha}{g_cA} \quad \cdots\cdots(5\text{-}8)$$

(5-8)式即是通過一泥餅(filter cake)所產生的壓力落差之基本方程式。泥餅阻抗係數α，是一個平均量，並且必須以實驗的方法來量測，對於一種已知的污泥，α值只與通過污泥餅的壓力落差有關，且其因次單位(dimension)為 LM^{-1}。對於不可壓縮的污泥，α值與壓力落差的大小無關。

過濾介質的阻抗 (filter-medium resistance)，R_m，其定義與(5-8)

式類似，即

$$P' - P_b = -\Delta P_m = R_m \frac{\mu \bar{u}}{g_c} \quad \cdots\cdots (5\text{-}9)$$

其因次單位是L^{-1}。

因為介質抵抗一般只是在過濾的初期才比較重要，所以我們可以假設R_m是一定值，並且能以實驗的方法決定R_m的大小。

將(5-8)、(5-9)兩式代入(5-1)式中，可得

$$-\Delta P = -\Delta P_c - \Delta P_m = \frac{\mu \bar{u}}{g_c}\left(\frac{m_c \alpha}{A} + R_m\right) \quad \cdots\cdots (5\text{-}10)$$

為了方便起見，(5-10)式中$\bar{u}$及m_c一般均以濾液的收集時間t及所收集的濾液體積V的函數來表示，即

$$\bar{u} = \frac{dV/dt}{A} \quad \cdots\cdots (5\text{-}3)$$

$$m_c = VC \quad \cdots\cdots (5\text{-}11)$$

$$C = \frac{C_s}{1 - [(m_f/m_c) - 1] \cdot \dfrac{C_s}{\rho}} \quad \cdots\cdots (5\text{-}12)$$

其中：

V=從過濾開始到時間為t時所收集的濾液體積

A=過濾面積

m_c=乾污泥餅的質量

m_f=溼污泥餅的質量

C_s=泥漿(slurry)的固體物濃度，ML^{-3}

ρ=濾液的密度

C=每產生單位體積濾液，固體物在過濾介質上所沈澱的質量

$\bar{u}$=濾液的線性速度

將(5-3)、(5-11)兩式代入(5-10)式中，可得

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{Ag_c(-\Delta P)}\left(\frac{\alpha CV}{A} + R_m\right) \quad \text{..................(5-13)}$$

在定壓過濾中(constant-pressure filteration)，ΔP保持定值，則(5-13)式中的變數只有V和t，如此，(5-13)式能被積分如下：

$$\int_0^t dt = \frac{\mu}{Ag_c(-\Delta P)}\left(\frac{C\alpha}{A}\int_0^V VdV + R_m\int_0^V dV\right)$$

$$t = \frac{\mu}{g_c(-\Delta P)}\left[\frac{C\alpha}{2}\left(\frac{V}{A}\right)^2 + R_m\frac{V}{A}\right] \quad \text{..............(5-14)}$$

此處，V表示在時間為t時所收集到的濾液總體積，假設時間是從收集到第一滴濾液的瞬間開始計算，因此當t=0時，V=0。

將(5-14)式重新整理，可得

$$\frac{t}{V} = \left[\frac{\mu C\alpha}{2A^2g_c(-\Delta P)}\right]V + \left[\frac{\mu}{Ag_c(-\Delta P)}\right]R_m \quad \text{............(5-15)}$$

或是

$$\frac{t}{V} = bV + a \quad \text{.................................(5-16)}$$

其中

$$b = \frac{\mu C\alpha}{2A^2g_c(-\Delta P)} \quad \text{.................................(5-17)}$$

$$a = \frac{\mu Rm}{Ag_c(-\Delta P)} \quad \text{.................................(5-18)}$$

因為(5-16)式是一個直線方程式，其橫座標軸為V，縱座標軸為t/V，假若由Buchner漏斗試驗(此實驗將於 6.1節中詳細討論)獲得t和V 的一些資料，那麼就可計算t/V值，然後將 V和t/V值點繪於座標紙上，經過這些資料點，可以繪得最佳的直線，此直線的斜率等於 b值，其在縱座標軸的截距等於a值，當b及a值求得之後，就可以利用 (5-17)式求得α值，利用(5-18)式求得R_m值了。

平均泥餅阻抗，α 值與通過污泥餅的壓力落差有關，已於前述。一般而言，α 值隨著作用壓力的增加而增加。表示 α 值與 ΔP 之間的關係，最常使用的經驗方程式是

$$\alpha=\alpha_0(-\Delta P)^s \quad \cdots\cdots(5\text{-}19)$$

其中

α_0=泥餅常數(cake constant)

s=泥餅的可壓縮係數(compressibility coefficient)

對於不可壓縮的污泥而言，s 等於0，此亦表示了 α 值與 ΔP 值無關，對於可壓縮的污泥而言，s 值一般在0.1到1.0之間，其值愈大，表示污泥愈可壓縮。

將(5-19)式重新整理，可得

$$\log\alpha=\log\alpha_0+s\log(-\Delta P) \quad \cdots\cdots(5\text{-}20)$$

此方程式為一直線方程式，其橫座標軸為log(-ΔP)，縱座標軸為 $\log\alpha$，假若已由實驗獲得-ΔP與 α 的一些資料，就可將其分別點繪於前述的座標中，經過這些點，可以繪得最佳的直線，此直線的斜率等於 s值，當求得 s值之後，利用(5-19)式就可以求得 α_0值了。

在環境工程的實際應用上，(5-14)式通常以下列形式表示：

$$t=\frac{\mu}{(-\Delta P)}\left[\frac{R_sW}{2}\left(\frac{V}{A}\right)^2+R_m\frac{V}{A}\right] \quad \cdots\cdots(5\text{-}21$$

(5-14)式與(5-21)式最主要的不同乃在於量測污泥濃度時所使用的單位不同，(5-14)式中 C為每產生單位體積濾液，固體物在過濾介質上所沈積的質量，而(5-21)式中 W為每產生單位體積濾液，固體物在過濾介質上所沈積的重量。比較(5-14)與(5-21)式得

$$R_s=\left(\frac{C}{Wg_c}\right)\alpha \quad \cdots\cdots(5\text{-}22)$$

其中R_s和 α 的不同，依其定義分別為

R_s=污泥的比抗係數(specific resistance of sludge)，T^2M^{-1}

α=平均泥餅阻抗(average cake resistance)，LM^{-1}

又因

$$W=C(g/g_c) \quad\cdots\cdots(5\text{-}23)$$

故

$$R_s=\frac{\alpha}{g} \quad\cdots\cdots(5\text{-}24)$$

將(5-17)式代入(5-22)式，可得

$$R_S=\frac{2A^2b(-\Delta P)}{\mu W} \quad\cdots\cdots(5\text{-}25)$$

同樣地，比較(5-14)與(5-21)式，可得

$$R_m' = \frac{R_m}{g_c} \quad\cdots\cdots(5\text{-}26)$$

其中

R_m=過濾介質的阻抗(filter-medium resistance)，L^{-1}

R_m'=過濾介質的比抗係數，$L^{-2}T^2$

在使用(5-25)式計算污泥的比抗係數值(Rs)時，必須先求得W，而W可以下式計算：

$$W = \frac{\rho(g/g_c)}{\frac{1}{X}-\frac{1}{X_c}} \quad\cdots\cdots(5\text{-}27)$$

其中

W=每產生單位體積濾液，固體物在過濾介質上所沈澱的重量

ρ=濾液的密度

$$X=\frac{固體物的乾重}{污泥的總重}$$

$$X_c=\frac{固體物的乾重}{污泥餅的溼重}$$

根據上述原理可以瞭解，當污泥的比抗係數值愈大，污泥愈難脫水，亦即污泥的脫水性差，反之，比抗係數值愈小，污泥愈容易脫水，表 5.1 所示為文獻中各種污泥的脫水特性，雖然表中資料並不能代表各不同來源

污泥之實際脫水特性，但明顯地可知有機性污泥較無機性污泥難脫水，未調理之污泥亦較調理過之污泥難脫水。

表 5.1 文獻中各種污泥的脫水特性

污泥類別	比抗係數 (sec^2/g)	壓力(lb/in^2)	可壓縮係數
活性污泥	2.88×10^{10}	7.4	0.81
消化過的家庭污水的污泥	1.42×10^{10}	7.4	0.74
生的家庭污水的污泥	4.7×10^{9}	7.4	0.54
明礬混凝污泥	5.3×10^{9}	14.5	——
給水混凝污泥	5.1×10^{8}	10	——
調理過的活性污泥	1.65×10^{8}	7.4	0.80
調理過的消化初沈及活性污泥	1.46×10^{8}	7.4	1.10
調理過的消化污泥	1.05×10^{8}	7.4	1.19
調理過的家庭污水生污泥	3.1×10^{7}	7.4	1.00
凝膠狀的$Al(OH)_3$	2.2×10^{9}	51	——
凝膠狀的$Fe(OH)_3$	1.5×10^{9}	51	——
凝膠狀的$Mg(OH)_2$	3×10^{8}	51	——
$CaCO_3$	2×10^{7}	51	——
Fe_2O_3	8×10^{7}	51	——

第六章　污泥脫水性質之實驗分析方法

污泥的脫水性質可在實驗室中依各種實驗方法決定之，而此等實驗方法，其主要可提供下列資料：

1.實廠或模廠設備之設計準則。

2.瞭解污泥調理對脫水性的影響。

3.做為操作控制的依據。

一般而言，污泥脫水性質之主要實驗分析方法包括:布氏(Buchner)漏斗試驗，毛細汲取時間(CST)試驗，過濾葉片試驗(filter leaf test)，小型脫水機模型試驗(例如，離心脫水、壓濾脫水)等。過濾葉片試驗非常類似布氏漏斗試驗，但其操作完全模擬真空過濾脫水，故其結果可做為真空過濾脫水機設計和操作的依據。而其他小型脫水機試驗，其結果亦可做為該型脫水機設計和操作的參考。本文以下將僅就布氏漏斗試驗和 CST試驗加以說明。

6.1 布氏(Buchner)漏斗試驗

布氏漏斗試驗又稱為比抗係數試驗，最主要是用來決定污泥的脫水性質。一般布氏漏斗試驗的設備裝置如圖6.1所示，包括一內徑9公分的布氏漏斗(Buchner Funnel)，具有穿孔的濾網，其上可置濾紙(通常採用 Whatman No.42濾紙)，濾液承接器為一250毫升的量筒，其上部有一側管可以接到真空瓶，真空抽氣機(vaccum pump)上有真空壓力計，可用以量測系統中的壓力。

布氏漏斗試驗的試驗步驟一般如下：

一、量測污泥的初始固體物含量。

二、依圖6.1 所示裝置試驗設備，將濾紙置入漏斗中，以少量水將濾紙潤溼，並用真空抽氣，使濾紙與漏斗緊密結合。

三、挾緊夾頭，調整真空抽氣機之壓力至15到20英吋汞柱。

四、將200毫升(ml)污泥置入400毫升燒杯中，並加入適量的污泥調理劑。假如氯化鐵($FeCl_3$) 和石灰同時使用，則先加入氯化鐵與污泥混合大約30秒後，再加入石灰。然後充分混合2分鐘。

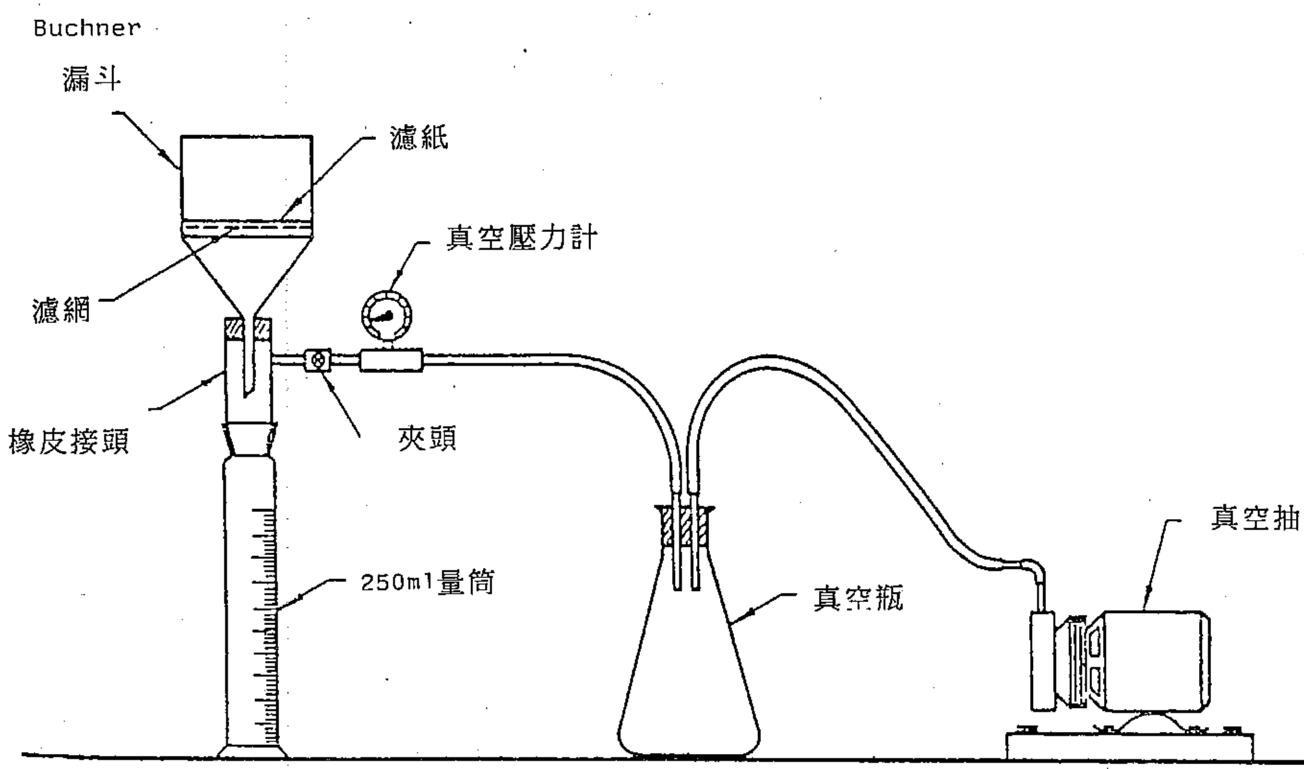


圖6.1　布氏(Buchner)漏斗試驗裝置

五、將200毫升的污泥倒入布氏漏斗，並允許有足夠的時間使泥餅形成(通常大約10秒)。

六、放開夾頭。

七、隨時間記錄濾液體積，直至真空中止或濾液收集速率降至大約每分鐘1毫升。

八、變化混凝劑或高分子調理劑的濃度，重覆1至7的試驗步驟。一般依污泥的性質，氯化鐵和石灰劑量變化範圍大約為 2至10%污泥重，而高分子調理劑劑量為0.1至1.5%。

九、決定各試驗結果的比抗係數值，並決定最佳的污泥調理狀況。其例題如下所述。

比抗係數的計算實例：

一、每一個布氏漏斗試驗的資料，可記錄如表6.1 所示，其中第三列的數據為經過時間除以濾液體積。

表6.1 布氏漏斗試驗結果

時間(sec)	濾液體積(ml)	t/V(SEC/ML)
14.5	66	0.22
29.5	92	0.31
45	112	0.40
59	129	0.46
70	134	0.52
89	156	0.57
105	167	0.63
120	174	0.69

二、將t/V對應於V的資料繪如圖6.2所示。

三、圖6-2中之直線的斜率，即相當於式(5-17)中之b

$b=0.004\ sec/cm^6$

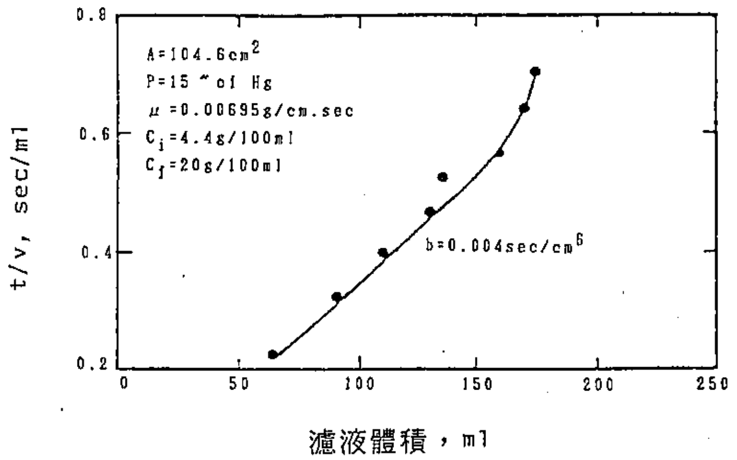


圖6.2　布氏漏斗試驗之t/v與V的關係

四、試驗的操作條件如下：

濾紙面積，A	$=104.6cm^2$
真空壓力，$-\Delta P$	=15英吋汞柱$=526g/cm^2$
初始污泥固體物濃度，X	=4.4%
最終污泥餅固體物濃度，X_c	=20%
濾液黏滯係數，μ	=0.00895 poises

五、計算每單位體積濾液，固體物在過濾介質上所沈積的重量，根據(5-27)式

$$W=\frac{\rho\,(g/g_c)}{\frac{1}{X}-\frac{1}{X_c}}=\frac{1}{\frac{1}{4.4}-\frac{1}{20}}=5.6\%$$

六、計算比抗係數值，Rs，根據(5-25)式

$$R_s=\frac{2A^2b(-\Delta P)}{\mu\ W}=\frac{2(104.6)^2(0.004)(526)}{(0.00895)(0.056)}$$

$$=9.2\times10^7\ sec^2/g$$

七、計算在各不同高分子調理劑量時之比抗係數值，並將其結果繪如圖6.3所示，由此結果可知最佳的調理劑量為 6 lb/ton，其比抗係數

值最小。

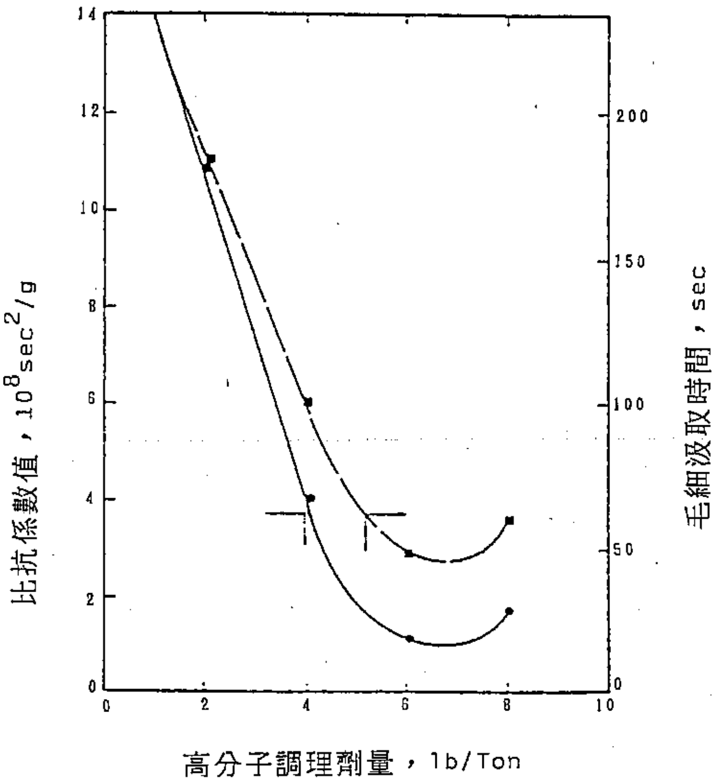


圖6.3　調理劑量對污泥比抗係數值和毛細汲取時間的影響

6.2 毛細汲取時間試驗

毛細汲取時間(capillary suction time, CST) 試驗，為一新近發展出來測定污泥脫水性質的試驗方法，其具有迅速、簡單和可靠性等特點。圖 6.4所示為-CST測儀的主要構造，試驗時將調理後之污泥(大約3ml)倒入污泥容斗，污泥中滲出之水份，當與濾紙(chromatography paper)接觸後，在濾紙上藉毛細汲取作用逐漸擴散，水份擴散至探針1A和1B時，計時器開始計時，而水份擴散至探針2 時，計時器停止計時，從1A和1B擴散至2 所花費時間即為毛細汲取時間。若污泥脫水性佳，則濾液水份在濾紙上移動一定距離所需時間較短，即 CST值較小，反之，脫水性差之污泥，則所測得的CST較大。

CST 試驗的結果可用來篩選調理劑和評估調理劑加量對污泥脫水

性效果的影響。此外，一般而言，污泥的CST 值與污泥的比抗係數值有良好的線性關係，亦即污泥比抗係數值大者，CST 值大，污泥比抗係數值小的，CST值亦小，如圖6.3所示，故可用較為簡單的CST 試驗來取代比抗係數值的測定，以瞭解污泥的脫水性質。

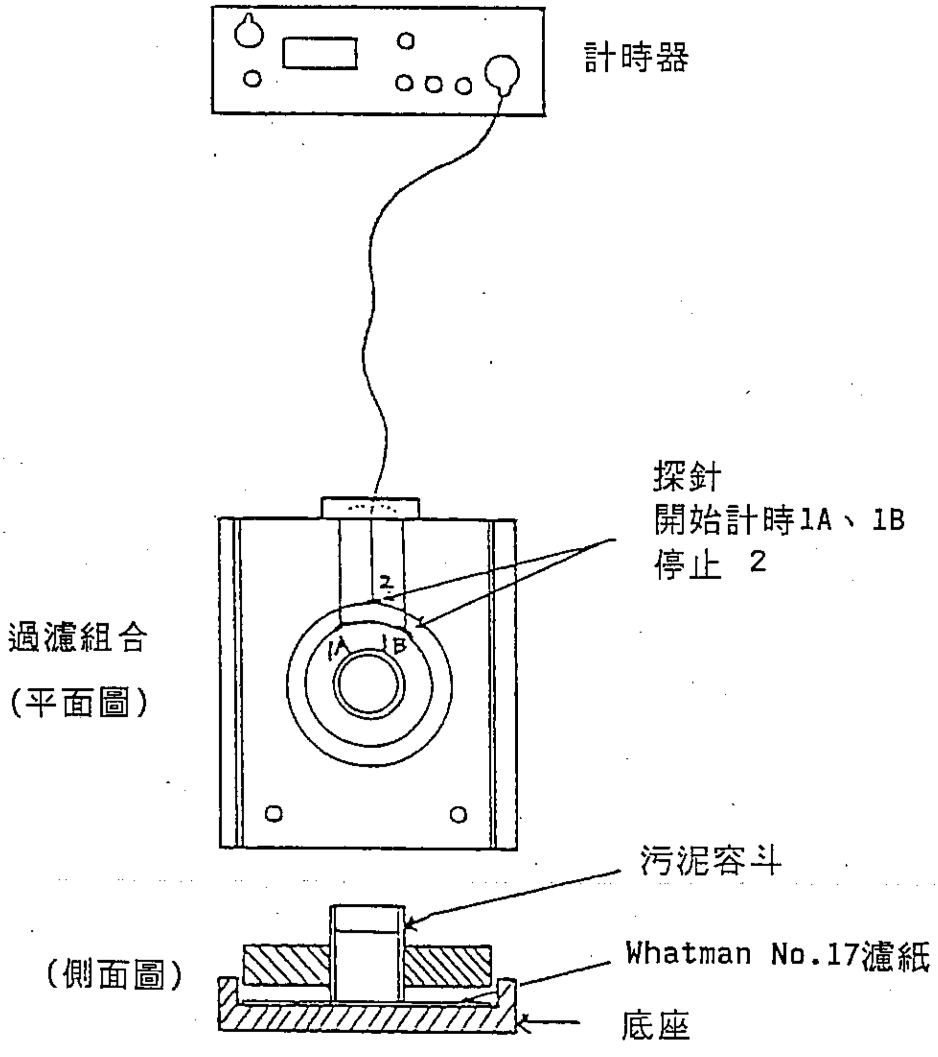


圖6.4 毛細汲取時間(CST)試驗設備

第七章　污泥脫水之各種方法

污泥脫水較常使用的操作方式有機械式的真空過濾法(vacuum filtration)、加壓過濾法(pressure filtration)、帶壓過濾法(belt press filtration)、離心法 (centrifugation)等和自然乾燥的晒乾床法 (sludge drying bed)。本節將就各種脫水方法的特性及優缺點做一綜合討論。

7.1 晒乾床法

較小型的廢水處理廠，最普遍使用之污泥脫水方法是利用晒乾床法。污泥在晒乾床上之乾燥過程包括：水份經由砂床之滲濾作用(percolation)，和在污泥表面之蒸發作用(evaporation)，經由滲濾作用所排除之水份為20～55%，花費時間1～3天，產生之污泥固體含量在15～25%，其去除率視原污泥固體物含量及其特性而定。水份之蒸發通常較慢，蒸發率與氣溫、相對濕度、風速有關，根據經驗濕污泥水份蒸發率為清水蒸發率之75%，開始時污泥以定率蒸發，蒸發至臨界水份含量後，遞減其蒸發率至平衡為止。定率蒸發時，污泥表面為潤濕狀態，此時之蒸發率與污泥性質無關；臨界水份含量為水份從污泥內毛細上升至表面之速率等於蒸發率；當污泥表面到達平衡時，污泥因乾燥皺縮而破裂，開始次表層之蒸發乾燥。

晒乾床之設計與應用受氣候影響很大，特別是降雨和蒸發。污泥之乾燥天數依當地之天氣、氣溫、相對濕度、污泥性質、污泥濃度、污泥散積厚度而異，一般設計之乾燥時間為1～3星期。

晒乾床的構造示如圖7.1 ，一般為四方型，寬15至60呎(4.5～18 m)長50至150呎(15～45m)，並有垂直邊牆。通常最上層舖置4至9英吋(10～23cm)厚之砂層，其下為 8至18英吋(20～46cm)厚之礫石層。砂之有效粒徑為0.012至0.05英吋(0.3～1.2mm)，均勻係數小於5；礫石之有效粒徑介於1/8至1.0英吋(0.3～2.5cm)。底部排水管一般為陶管，但塑膠管亦有採用，管徑不能小於4 英吋(10cm)，管與管間距相隔8至20呎(2.4～6.0m)，最小坡度為1%。

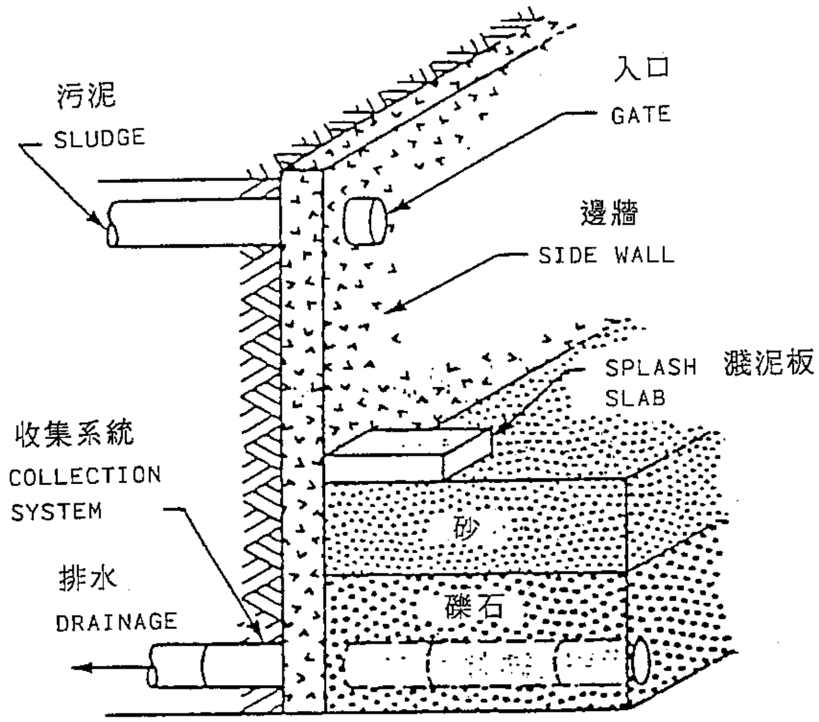


圖7.1　典型晒乾床構造圖

晒乾後污泥，其固體含量可大於50～60%，乾燥的良否，依污泥之種類及消化程度等而異，消化程度不良時，不僅乾燥慢也易腐敗而發惡臭，經常需於晒乾床中之污泥表面，定時散播殺蟲劑，以防止蚊、昆蟲等發生，一般晒乾床之操作步驟如下：

一、抽送8至12英吋(20～30cm)厚之穩定污泥於晒乾床表面。

二、若需加入污泥調理劑，則於抽送污泥至晒乾床時，連續地將化學調理劑注入污泥內。

三、當晒乾床充滿污泥後，允許污泥乾燥至所期望的最終固體物濃度。一般，當污泥固體物濃度達到35～40%時，則形成污泥餅和龜裂(caking and cracking)。

四、以機械或人工方法移除脫水污泥。

五、重覆1～4之步驟而循環操作使用。

因為投資小而又無需昂貴的維持費，因此對一般無土地限制之處的廢水處理設施而言，大都採行晒乾床的脫水方式，不過晒乾床法亦有其缺點，例如易受氣候影響其效應，影響觀瞻，產生臭味等。表7.1列舉了晒乾床法的優點和缺點。

表 7.1 晒乾床法之優點與缺點

優　　　　點	缺　　　　點
1.當土地容易獲得時，這種方法的投資成本最低。	1.缺乏理論的設計方法，無法做合理的工程經濟性分析。
2.操作人員不需太多的技術及時間。	2.需要較多的土地面積。
3.能量消耗低。	3.需要安定化的污泥(stabilized sludge)。
4.對於污泥改變的敏感度較低。	4.設計時，必須仔細地考慮氣候因素的影響。
5.化學藥品的消耗量較低。	5.影響觀瞻，且對於較不安定的污泥易發生臭氣問題。
6.污泥餅固體物含量比利用機械脫水所獲得的污泥餅高。	6.污泥去除時需要較多的勞力。

7.2 真空過濾法

廢水污泥脫水最普遍使用的方法為真空過濾法。此法乃藉多孔性介質截住污泥中的固體物於介質上，而過濾液由介質流過，過濾的過程係在真空壓力下進行，其基本原理已如第五節所述。

真空脫水機為在溝式及多孔式之圓筒(drum)上套以濾布，開始迴轉，內側以真空泵浦減壓，當迴轉的圓筒通過污泥漿槽時，固體物由

於真空的作用便附著於濾布面，圓筒沈潛入污泥漿槽的面積可為全面積的百分之十至四十。圓筒在通過污泥漿時可在濾布面上形成污泥餅，水份則經過沈積於濾布面上的固體，再通過濾布而去除，當圓筒離開污泥時，污泥餅曝露於空氣中，可將一部份的水份移入空氣中，使污泥餅更易乾燥，在乾燥的後期，可利用刮刀刮去濾布面上的污泥餅到輸送器，過濾介質再度沈入污泥漿槽前，通常用水噴洗之。典型的真空過濾機為圓筒式真空過濾機，如圖7.2 所示。新近，另一種型式之真空過濾機，稱之為帶狀式迴轉真空過濾機(belt-type rotary vacuum filter)，甚為普遍，其主要的不同是濾帶於乾燥區後離開圓筒，將污泥餅舉起而易於排放。此型之過濾機示如圖7.3。

上述帶式真空過濾機與圓筒式過濾機相比較具有下列特性：

一、濾布可連續自動沖洗，阻塞較少，需要酸洗之期間可較長。

二、不需要脫水泥餅剝離用的空氣壓縮機。

三、必須有濾布清洗用水。

四、濾布的更換容易，但亦易發生蛇行。

五、脫水泥餅剝離不良時，泥餅會由濾布的水洗而流出，致SS濃度偏高。

在設計真空過濾脫水機時，可根據污泥比抗係數值的理論，計算真空過濾脫水的污泥餅產量(filter yield)，Y ，此值為單位時間單位面積之污泥餅產量(通常為$kg/m^2.hr$)，亦為每單位面積單位時間之濾液體積產生量與每單位濾液體積之污泥餅在濾布上之堆積量(W) 的乘積。

由(5-21)式，若濾布所造成的阻抗(R_m')很小而忽略不計，則：

$$\frac{V}{A} = \left(\frac{2(-\triangle P)t}{\mu R_s W}\right)^{1/2}$$

此處，t相當於污泥餅在真空過濾機上之形成時間，其僅佔圓筒(或濾帶)一循環的部份時間，故

$t=kt_c$

k=污泥餅形成時間所佔百分率

t_c=一循環的總時間

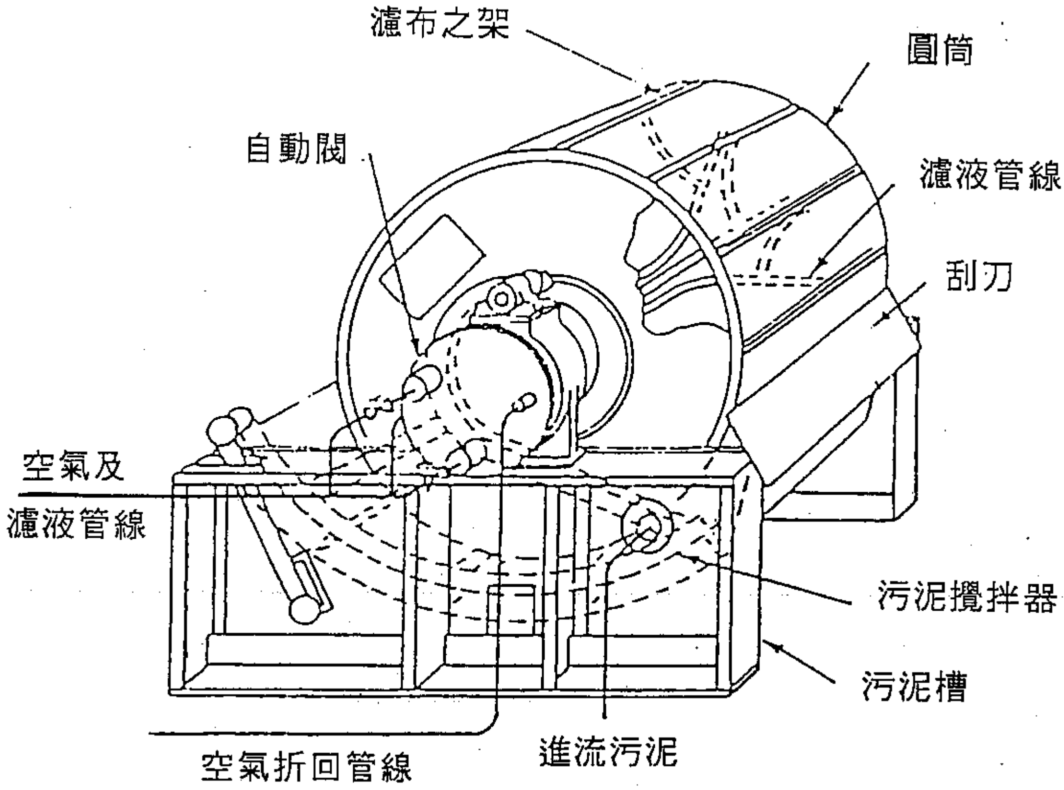


圖7.2　典型之真空過濾機

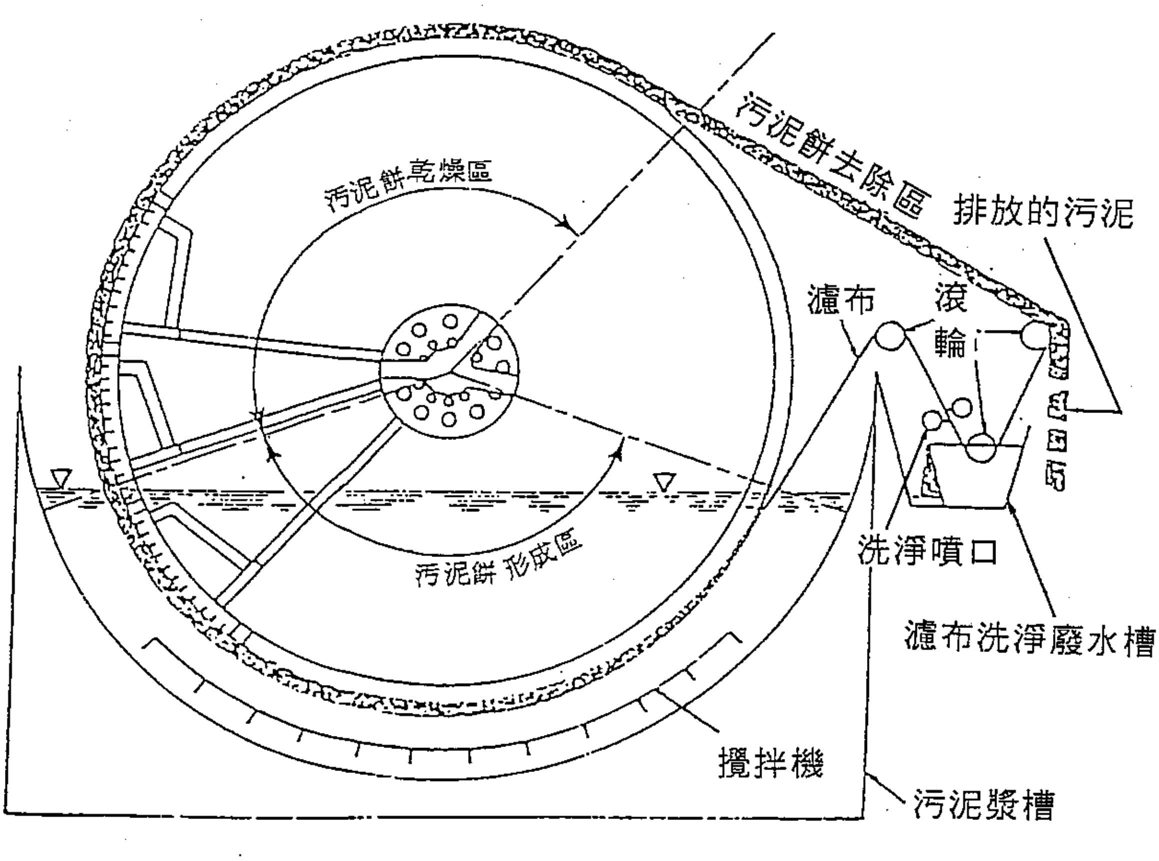


圖7.3　帶狀式迴轉真空過濾機

進一步由污泥餅產生的定義，則

$$Y=\left(\frac{V}{A}\right)\left(\frac{W}{t_c}\right)=\left(\frac{2(-\Delta P)Wk}{\mu\ R_s\ t_c}\right)^{1/2}$$

根據上式的關係顯示，下列變數會影響真空過濾脫水的操作效果：

一、壓力差愈大，污泥餅產量愈大。不過此種效果，對於可壓縮性大的污泥，並不顯著。

二、減小旋轉筒的循環時間，可增加污泥餅產量。但循環時間減少的程度，受限於必須提供足夠的乾燥時間(drying time)。

三、污泥餅形成時間佔整個循環時間的百分率愈大，則污泥餅的產量愈大。不過，同樣地，亦因必須提供足夠的乾燥時間，而不能注意增加污泥餅形成時間。

四、投入污泥之固體物濃度愈大，則污泥餅產量愈大。此可由(5-12)式得知，投入污泥漿之固體物含量愈大，則每產生單位體積濾液，污泥餅在濾布上之沈積量愈大。

五、污泥比抗係數值愈小，污泥餅產量愈大，而適當的化學調理污泥能減小污泥比抗係數值。

六、濾液的黏滯性愈小，則污泥餅的產量愈大。由此可知，若在較高的溫度情況下操作，則可改善效果。

真空過濾脫水機操作較複雜，多用於規模較大者，可連續操作致污泥貯存槽可縮小，適用於懸浮物濃度高或鹼性高粘性高之污泥，其污泥餅不直接投入焚化爐焚燒。圖7.4 所示為一完整的真空過濾脫水系統。而真空過濾法與其他脫水方法比較時的一些優點與缺點，則列於表7.2所示。

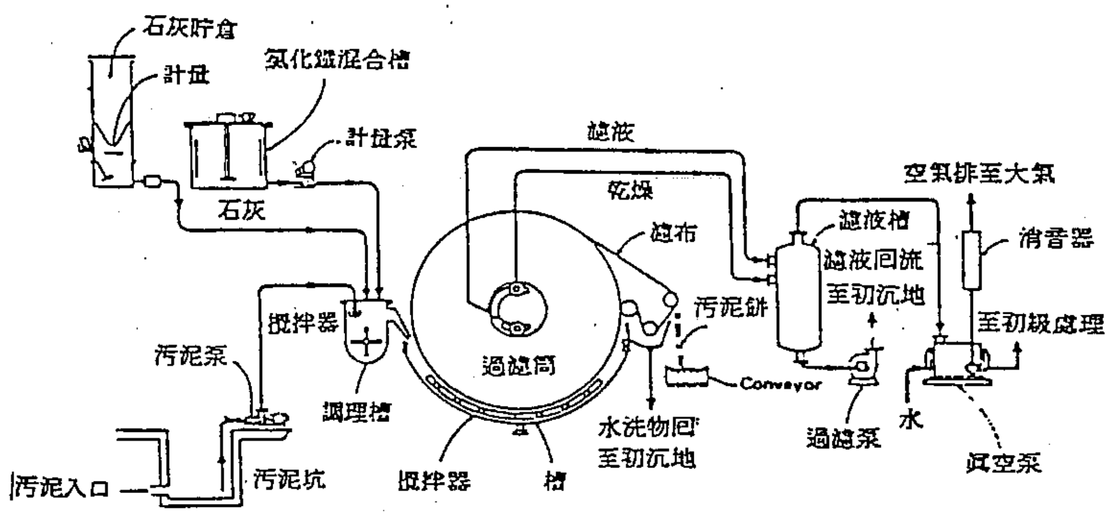


圖7.4　真空過濾系統

表 7.2　真空過濾法的優點與缺點

優　　　　　　　　　點	缺　　　　　　　　　點
1.操作易於瞭解，因為污泥餅的形成及排放可以看到。 2.連續式的操作。 3.即使化學調理劑的藥量不是很理想，亦能繼續操作。 4.捲彈簧介質(coil spring media)的使用期限較長。 5.對於連續式操作的維護較低。	1.每單位重脫水污泥所消耗的能大。 2.真空泵浦的噪音問題。 3.假若污泥的安定性不好，會發出很強的臭氣。 4.用石灰或氯化鐵調理時，清洗維護費是一個問題。 5.進流污泥的固體物濃度至少須在 3%以上，才能得到良好的污泥餅形成及排放。

7.3 加壓過濾法

典型的加壓過濾脫水機其橫斷面如圖7.5 所示。當加壓過濾操作時，全部濾板利用手壓、油壓或電動式予以閉合，污泥經由濾板上所開設之孔，藉高壓泵浦(壓力為100～225psi) 送入各濾室，當全部濾室充滿污泥(大約20～30分鐘)，繼續加壓(此時壓力達到最高點)1至4小時，污泥中水份因被擠壓而從濾布滲出，達到固液分離的脫水效果，最後開啓濾板，所形成污泥餅藉重力落下，完成一操作循環。

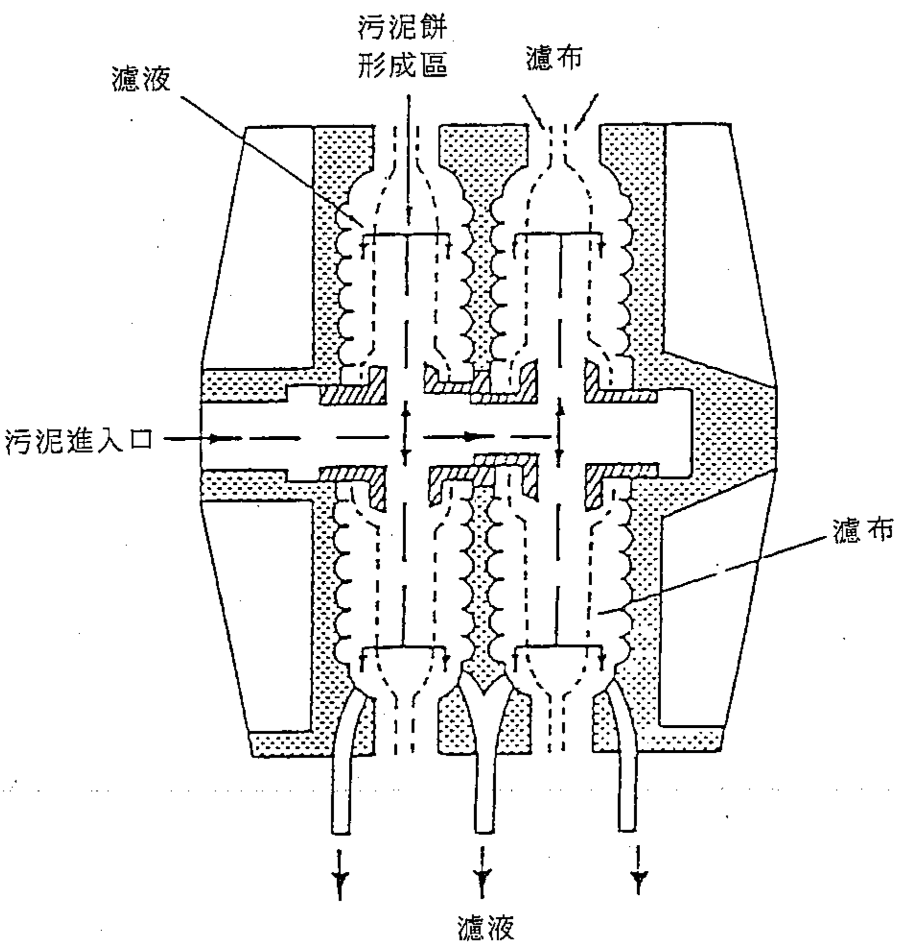


圖7.5　加壓脫水機橫斷面圖

此外，近年來有另一種新型的加壓過濾脫水機，稱為隔膜式加壓過濾機(diaphragm filter press)，其特點是濾布可移動，濾室體積因隔膜的擠壓而改變。此種加壓過濾機的操作程序如圖7.6 所示，首

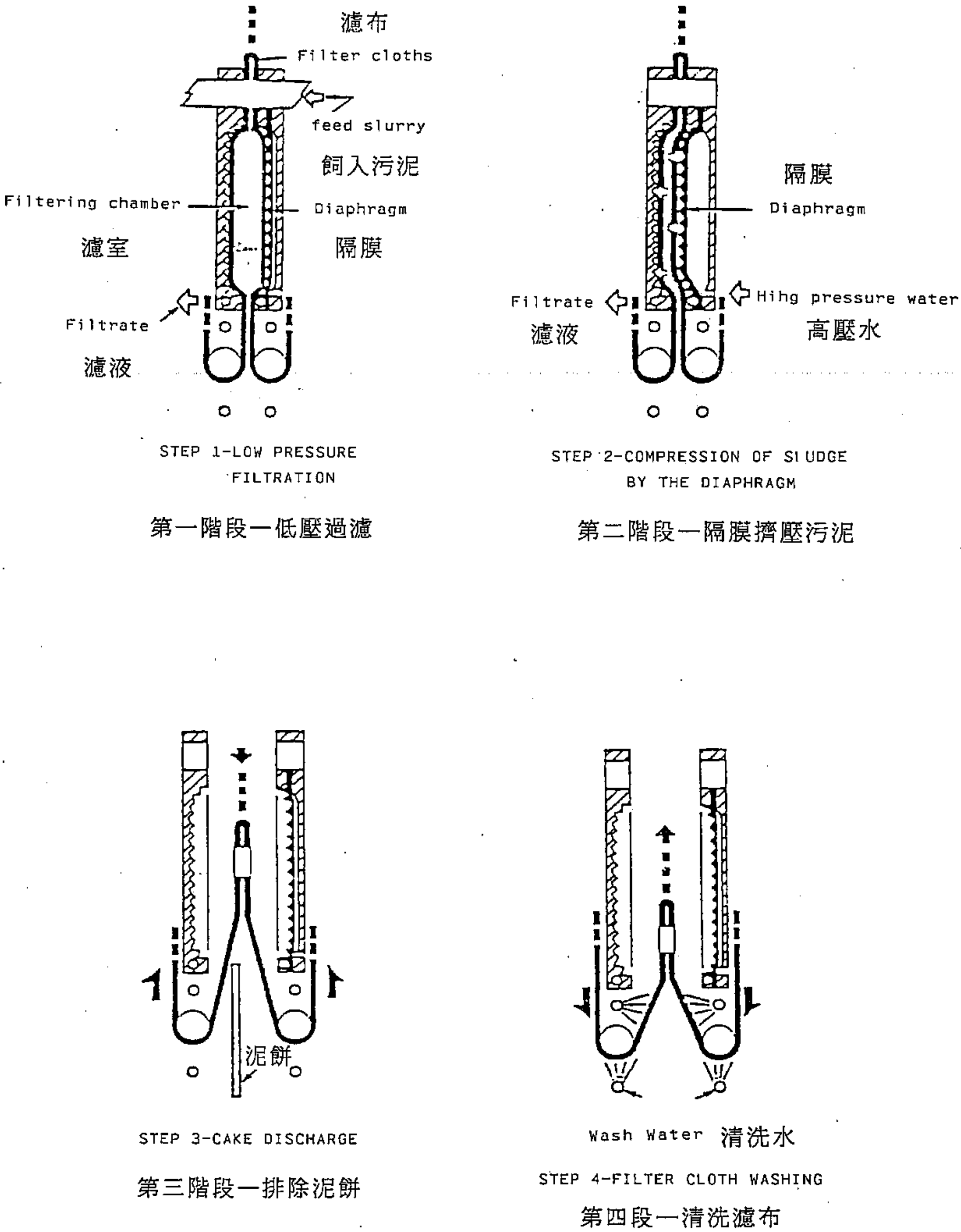


圖7.6 隔膜式壓濾機之操作循環

先污泥以壓力泵浦(壓力為100psi)送入濾室，其加壓過濾的情形與典型的加壓過濾機相同，但當濾室充滿污泥並開始形成污泥餅時，則以壓縮空氣或水，在高壓的情況下(壓力為220～285psi)，推擠隔膜，濾室內之污泥餅因隔膜的擠壓，而增加脫水速率，進而獲得更乾燥的污泥餅，上述程序經過大約15至30分鐘後，放鬆隔膜，打開濾室，使污泥餅墜落，並每隔一定期間，以噴嘴清洗濾布。

比較隔膜式加壓過濾和傳統式加壓過濾，一般有下列優點：

一、可獲得更乾燥且水份分佈均勻的污泥餅。

二、可縮短操作循環時間，因而可增加單位時間污泥餅產量。

三、污泥飼入泵浦的操作維護要求較低。

四、污泥調理情況在最佳邊緣時，仍可脫水至高固體物含量。

五、可不需預覆(precoat)。

雖然比抗係數值的理論可用來設計加壓過濾脫水機，但因標準布氏漏斗實驗係採用真空壓力，此與實際加壓過濾情形不同。不過近來Wilhelm 的報告指出，以布氏漏斗實驗的結果，可有效的用來計算加壓過濾脫水一操作循環的時間，其計算公式如下：

$$T=b\left(\frac{C_k\ \rho_s\ A\ L}{2\ C_F}\right)^2$$

此處

T=循環時間，sec

C_k=污泥餅固體物濃度，重量百分比

ρ_s=固體物密度，g/cm^3

A=過濾面積，cm^2

L=污泥餅厚度，cm

C_F=飼入污泥固體物濃度，g/cm^3

b=布氏漏斗試驗所繪得之t/V對應於V圖形中直線的坡度，sec/ml^2

上式兩邊同時取log，則

$$\log T=\log b\left(\frac{A^2 C_k{}^2}{C_F{}^2}\right)+\log(L\rho_s)^2$$

因此，若將試驗的結果，依T對應於 $b[(AC_k)/(C_F)]^2$繪於一全對數座標紙上，則可推估在各種不同飼入污泥和產生污泥餅固體物濃度時，其所需操作循環時間。

影響壓濾操作之因素主要有壓力、過濾時間、預覆與調理劑之型態及劑量、濾布種類等。污泥之調理通常以石灰、氯化鐵為主，預覆採用飛灰，而高分子調理劑可能因其膠凝之性質，無法承受較大壓力而不適用。

一般而言，壓濾機之特徵可得低含水率之污泥餅，泥餅固體物含量約在30～50%，對脫水性困難之活性污泥或期望污泥能脫水至固體含量大於30%以上時，加壓過濾法特別有效，此外本法對含水分高及纖維素之紙漿廠污泥的脫水特別有效，同時對含有油脂之工業廢水之脫水，也非常有效。

早年板框式的壓濾機由於耗費大量人工、動力而沒落，近年來壓濾機已有大大的改進，如自動化操作，增加濾室，改進污泥及濾液之排放，使大宗的工資成本大大地減少。雖然此法仍為分批式操作，但因為較真空過濾法可得更高的固體含量之泥餅，再配合自動化的推行，此法已為漸趨流行，當然其亦有某些方面的缺點，例如：分批式的操作，需要專人維護，濾布的使用期限，操作上的不能配合等。表7.3所示為加壓過濾法與其他脫水方法比較之優缺點。

7.4 離心法

在廢水污泥的脫水方法中，由於高分子混凝劑之開發以及離心機之改良，使得離心脫水法已逐漸廣泛地應用於實際工程上。污泥離心脫水為藉轉子(rotor) 之高速旋轉，造成污泥中固體顆粒與周圍液體產生不同的離心力，使固體顆粒與水份分離，以達脫水目的。

到目前為止已有三種型式的離心機使用在廢水污泥的脫水上，這三種離心機分別是籃狀型離心機(basket centrifuge)如圖7.7所示，盤狀型離心機(disc-type centrifuge)，及固體物承杯輸送器離心機

表 7.3 加壓過濾法的優點與缺點

優　　點	缺　　點
1.可得高固體物含量之污泥餅。 2.對於難脫水的污泥亦能脫水。 3.非常高的固體物回收率(recovery)。 4.機械脫水中，唯一能產生乾污泥餅適合於某些地點之填土要求。	1.通常需要大量的無機化學調理劑。 2.聚合物一般不能單獨使用為調理劑，此乃由於污泥餅剝除和附著於濾布等問題存在。 3.高投資成本。 4.若污泥沒有適當調理和非自動化操作，則勞力成本可能很高。 5.濾布之更換是昂貴且耗時的。 6.污泥之加壓泵浦會產生很高噪音。 7.污泥流入濾室之前需要先經研磨或篩除。 8.如果用石灰當調理劑，可能經常須要用酸洗來去除石灰質的沈澱物，且相當耗時。 9.分批式操作。

(solid bowl conveyor centrifuge)如圖7.8 所示。籃狀型離心機可以得到脫水良好的污泥餅，但是分離液的澄清效果較差，因而沒有廣泛地被採用。盤狀型離心機雖然克服了分離液的澄清問題，但是由於操作的問題以及脫水的能力有限，因而很少被採用。固體物承杯離心機具有良好的分離液澄清效果與脫水能力，因而被廣泛採用。表 7.4 所示為此三型離心機於污泥脫水之適用範圍。

上述三種離心機中，固體物承杯離心機為使用最廣泛之離心機，它包含三種主要部份：一為迴轉的固體物承杯，二為與固體物承杯同軸在承杯內部迴轉之渦卷輸送器(rotating scroll conveyor)，三為差速傳動之齒輪組合及其驅動設備。當離心脫水機起動旋轉後，即自污泥進口自動連續汲入定量污泥與高分子混凝劑，污泥中固體藉著物理沈澱作用和離心力從液體中分離出來，比重較大的固體受離心力作用被壓實在承杯之壁上，再由迴轉之渦卷輸送器輸送至乾燥處或承杯之擱泥處，承杯在擱泥處呈往上傾斜，可進一步進行脫水，最後污泥餅越過承杯出口之調節堰而排出，離心液亦由另一調節堰排出，如圖 7.8所示。

籃狀型離心機的操作為半連續性的(semi-continuous) ，當污泥飼入離心機底部後，離心機內部之離心碗對應於一垂直軸，開始加速迴轉，此時污泥在碗壁上逐斷形成污泥餅，而離心液則由上部的緩衝板(baffle)或堰(weir)溢出，污泥的飼入連續一預定時間或直至離心液的懸浮固體物達到一預定濃度，在污泥飼入停止後，離心機開始減速，同時一特別的撇清噴嘴(skimmer nozzle)，移入適當的位置將污泥體內周附近之鬆軟且固體物含量低的污泥撇清，此被撇清的污泥迴流至處理廠之前面處理單元(例如初沈池)或污泥消化槽。在撇清操作完成後，離心機之轉速進一步降低至70rpm 左右，同時一刮刀(plowing knife)移入適當的位置，將污泥餅從碗壁上刮下，並由籃底的開口掉出。刮除完成後，離心機又開始加速同時再飼入污泥。圖7.9 所示為一籃狀型離心機之典型的操作循環，事實上，在整個循環中，離心機始終保持著轉動，而沒有一刻是停止迴轉。

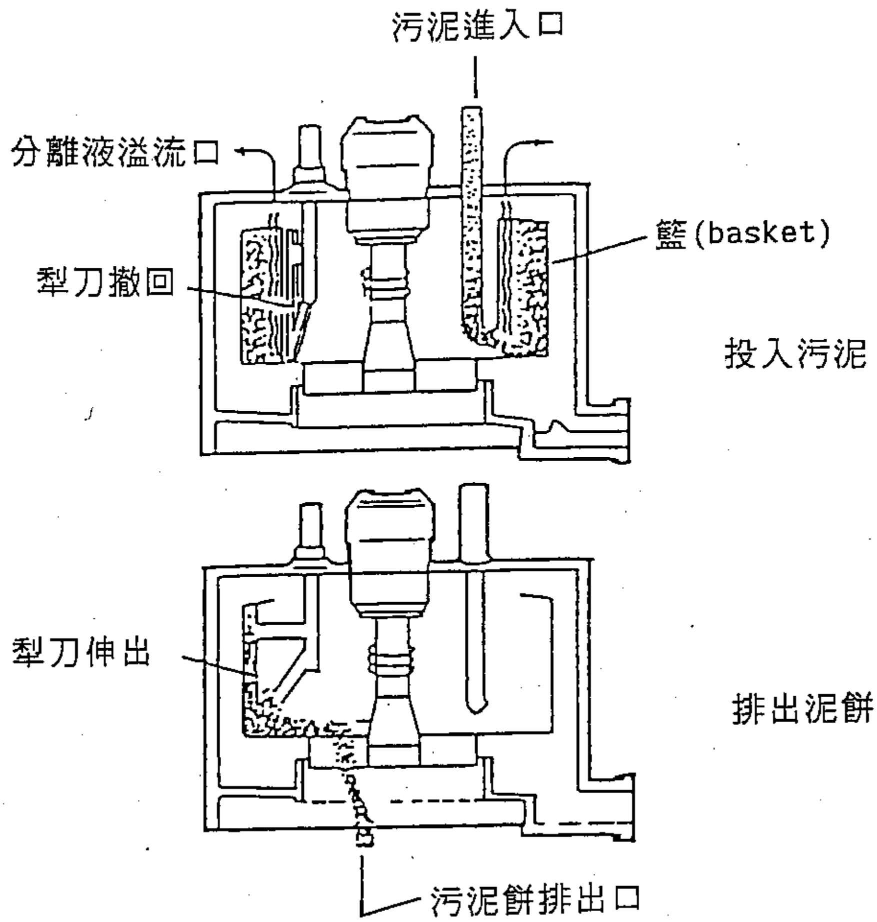


圖7.7　籃狀型離心機

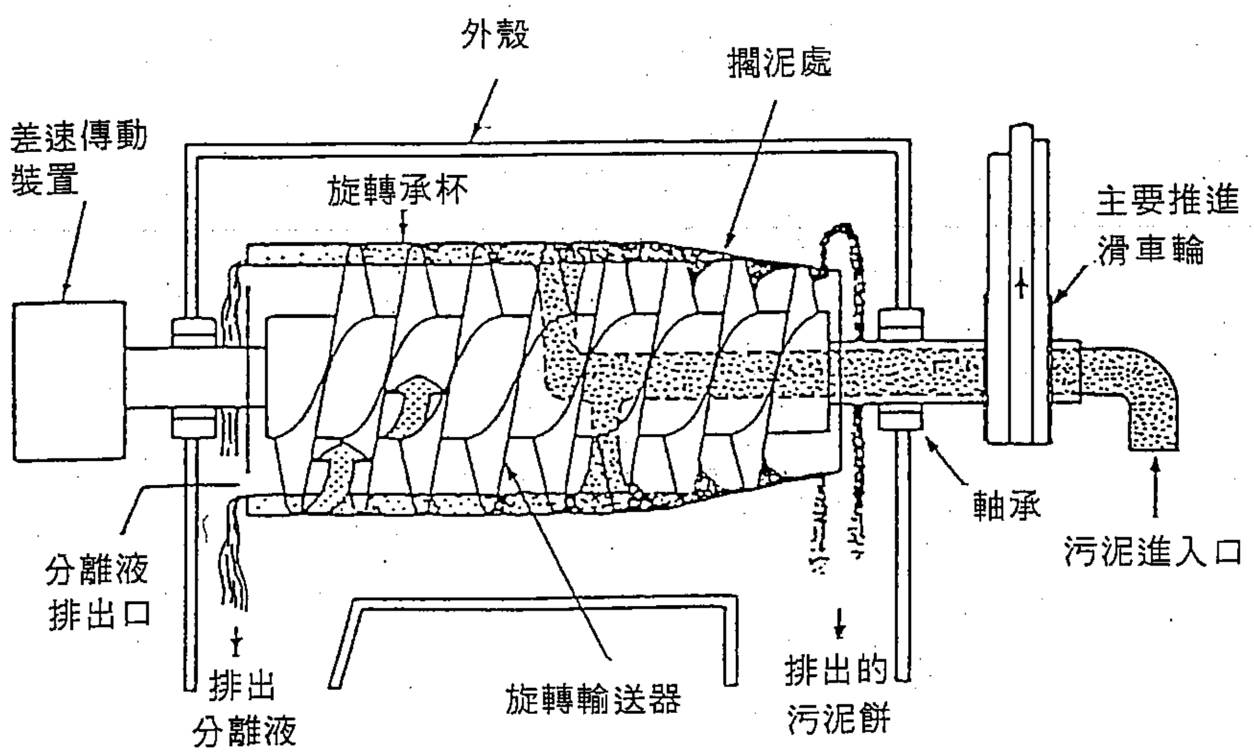


圖7.8　固體物承杯離心機

表 7.4 離心機於污泥脫水之應用

Type of Sludge or Waste	Suitability of Centrifuges by Type			Capacity Range			Discharged Cake Concentration		
	Good	Fair	No	High	Medium	Low	High	Medium	Low
Sewage, primary raw	C		D	C		B	C	B	
Sewage, primary aerobic digested	B	C	D		B,C			B,C	
Sewage, secondary biological (activated and humus)	B,D			D	B	C	B	C,D	
Sewage, secondary biological (activated with alum)	B,D	C		D	B,C		B	C,D	
Sewage, primary and secondary biological, cosettled	B	C	D		B,C			C	B
Sewage, whole, aerobic digested	B	C		D	B,C			B,C	D
Sewage, primary, heat-treated raw	B,C		D	C	B		C	B	
Sewage, primary and secondary biological, heat-treated raw	B,C		D	C	B		C	B	
Industrial, coarse solids	C	B	D	C		B	C	B	
Industrial, clean biological	B,D			B,D	C			B,C	D
Industrial, hydrous or flocculant solids	B	C,D		B,D	C			B,C	D
Industrial, oil-water emulsion	D	B	C		D	B			
Industrial, fine solids	B,D	C		B	D	C		B,C	D
Water treatment, alum	B,D	C		D	B,C			B,C	D

Key: B=basket centrifuge; C=conveyor centrifgue (solid bowl); D=disc centrifuge

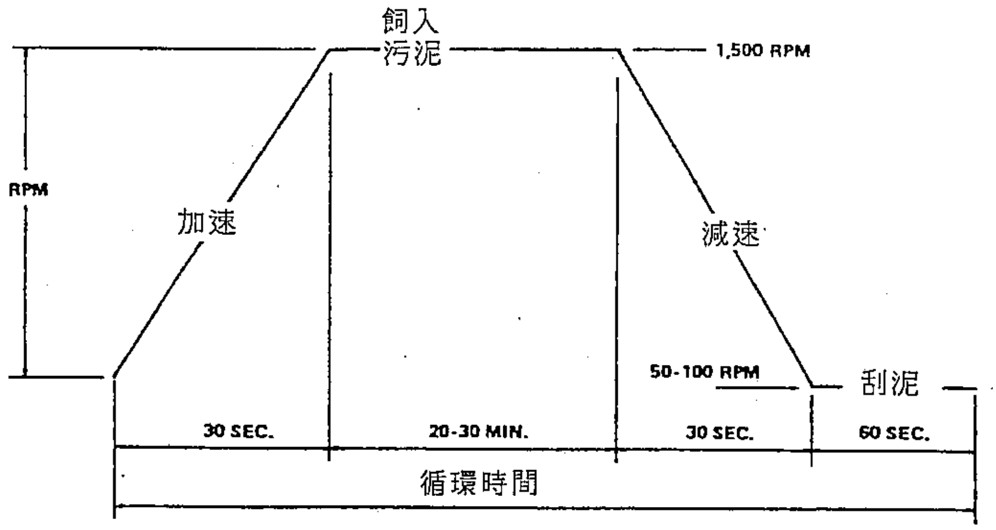


圖7.9　籃狀型離心機典型的操作循環

籃狀型離心機脫水所產生的污泥餅，其固體物含量較固體物承杯離心機的為小，但對於生物污泥或脫水性困難的污泥效果很好。不過一般而言，籃狀型離心機大都用於濃縮過剩廢棄生物污泥(WAS)　，如用於污泥脫水，則較常用於廢水量在1至2 MGD(4000至8000M^3/d)以下的小型廢水處理廠。

一般而言，離心脫水機設備體積小，本體外有覆蓋較為衛生，裝置面積小，不必有洗淨水，但操作費用較高，產生噪音，機器磨損較大，修理費龐大。又本法所產生污泥餅含水率比其他脫水機為低，常有僅被用為濃縮之目的。表7.5與表7.6分別列出籃式與固體物承杯兩種離心機與其他脫水機比較之優缺點。

7.5 帶壓式過濾法

帶壓式過濾機是由單一或兩片粗網目濾布經滾筒轉動而達到過濾脫水效果的機器，由於性能優良之高分子混凝劑之開發，加上操作費、電力消耗低，而且產生之泥餅固體物含量較過去使用之真空脫水、

表 7.5 籃式離心脫水機之優點與缺點

優　　　點	缺　　　點
1.同一脫水機可兼作脫水及濃縮之用。 2.污泥可以不需化學調理。 3.潔淨之外觀，幾乎沒有臭味問題，具有快速啓動及停機之能力。 4.具有很大的彈性應付處理程序之需要。 5.不受砂礫之影響。 6.能處理較難脫水之污泥。 7.操作維護費低。 8.操作人員不須連續監視。	1.脫水機房須加強結構。 2.單位處理量所需動力消耗僅次於真空過濾。 3.浮渣之撇除增加迴流相當大之固體負荷。 4.脫水容量有限。 5.對容易脫水之污泥，單位量污泥餅之資本額最高。 6.產生污泥餅TS最低。

表 7.6 固體物承杯離心機之優點與缺點

優　　　點	缺　　　點
1.潔淨的外觀，幾乎沒有臭味問題，具快速啓動及停機的能力。 2.容易裝置，佔地面積小。 3.操作人員不須連續地監視。 4.對於多種型式污泥，其飼入固體物濃度變化大時，仍可操作。 5.可作為濃縮或脫水的操作。 6.每機可採用高污泥進流率，如此可減少所需設備的數量。 7.聚合物的加藥量較其他脫水方法少。 8.當負荷大於設計負荷時，增加聚合物加藥量，則仍可操作，雖然污泥餅固體物含量會減少。	1.螺旋器的磨損 (scroll wear)可能是一項高維護項目，因此使用表面堅硬和不易磨損的物質保護是非常重要的。 2.進流污泥需預篩除或研磨。 3.大廠須要熟練的維護人員維護螺旋器。 4.噪音非常顯著，特別是在高速離心時。 5.在設計電子控制和結構組件時，必須考慮震動問題。 6.高速離心時動力消耗大。 7.離心液水質不佳時不易察覺，因整個設備是密封的。 8.必須廣泛地預先測試，以選擇正確的機組於正常操作。

離心脫水之泥餅為高，因此本機型迅速被推廣使用，有替代舊式的離心脫水機與真空脫水機之趨勢。

任何型式之帶壓式脫水包括三個基本的操作步驟：(1) 污泥之化學調理(2)重力排水及(3)壓濾。圖7.10所示為一簡單之帶壓式過濾機，和其三個操作步驟之位置。

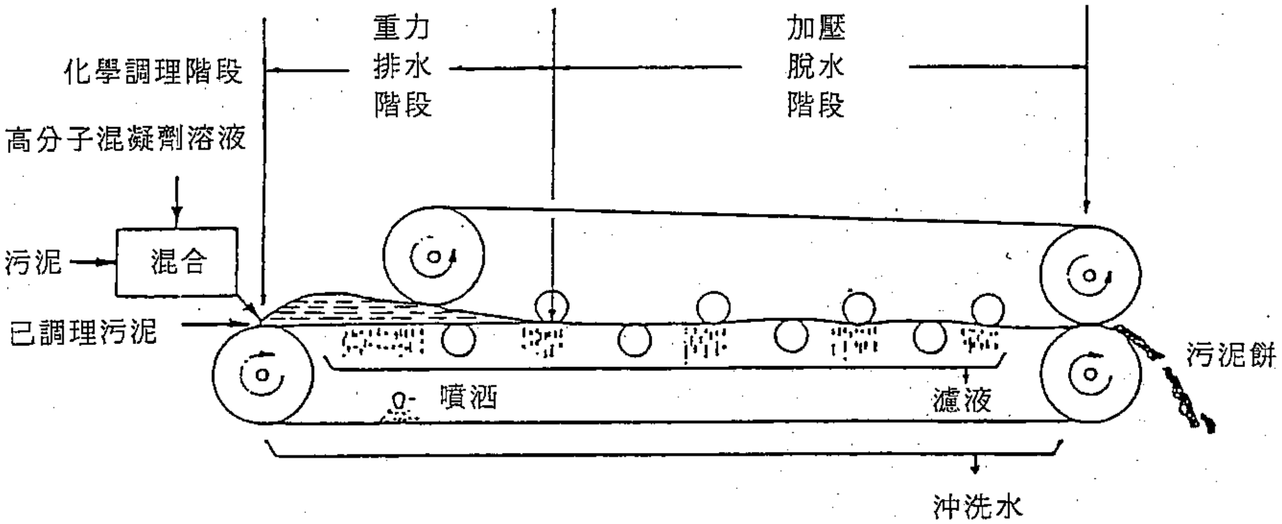


圖7.10　帶壓式過濾法之三個基本步驟

污泥調理之良窳為帶壓過濾脫水成功與否之關鍵，此也是帶壓過濾脫水需比其他脫水方法要較多高分子混凝劑的原因。經過良好調理的污泥能在重力脫水階段，在移動濾布上，因重力作用而迅速地產生固液分離，並排出自由水份，此階段通常需要1～2分鐘完成。污泥因重力排水能夠減少50%之體積，並使污泥固體物含量達到6～10% 左右。重力脫水後之泥餅能具有平坦一致之表面，可避免濾布承受扭力及不均之張力造成濾布之蛇行或減短濾布之壽命。在第三階段，污泥承受來自滾筒漸增之壓力而壓縮排出污泥中孔隙水及附著水，最後污泥因承受剪力而碎裂並自濾布上剝離出來。一般脫水後泥餅固體物含量在20～30%左右。

影響帶壓式過濾脫水性能之因素有污泥調理方法、高分子混凝劑劑量、滾壓壓力、滾筒之佈置及數目。調理劑量之不足或過量為造成

處理失敗之主要因素，劑量不足使污泥在重力脫水或壓縮時被擠出濾布，產生濕濘之泥餅，過量之調理劑使膠凝之污泥在濾布上分佈不均，造成濾布之扭曲、蛇行，並堵塞濾布，污泥餅很難自濾布上剝離。過濾液及濾布沖洗水之懸浮固體物SS通常在100～1000mg/l，必須迴流至初沈池或終沈池再處理。由於本機型之軸承、滾筒等可動部份很多，需要儲備較多之零件，可能提高維護費用。本機型雖有上述缺點，其主要特徵為無急劇之外在力，污泥脫水效果可達良好狀況，生成安定之污泥餅，仍不失為良好之脫水機械。表7.7 所示為帶壓式過濾法之優缺點。

表 7.7　帶壓式過濾法的優點與缺點

優　　點	缺　　點
1.除了加壓過濾法外，能較其他機械脫水法產生較乾的污泥餅。 2.所需動力低。 3.低噪音和震盪。 4.對於無經驗之操作員而言，易於瞭解其操作，因所有零件皆可看見且操作結果有變化時很容易馬上覺察。 5.連續式操作。 6.當使用低皮帶張力時，濾帶壽命可以延長（一般都市污泥皆如此操作）。	1.對於飼入污泥性質和化學調理相當敏感。 2.機器水力地受限於產量(through-put)。 3.濾帶壽命較其他使用濾布的設備為短。 4.濾帶噴灑所需沖洗水量相當大。 5.須要經常清洗加壓帶。 6.須要篩除或研磨污泥以去除大塊物質和纖維物質。 7.假如污泥沒有適當穩定，會產生惡臭。 8.較離心法操作員須付出較多注意力。 9.刮刀之調整是相當重要，且要經常檢視。 10.較離心法須要較大的聚合物加藥量。

第八章　各種污泥脫水方法之脫水效果和操作變數

8.1 脫水效果的比較

前面第三節已說明了污泥特性對污泥脫水效果的影響，本節將進一步比較各種脫水方法之脫水效果。當然，各種污泥脫水方法，其脫水的能力受到許多因素的影響，其可能包括：

一、污泥來源—都市廢水

—工業廢水

—都市廢水和不同百分比的工業廢水混合

二、污泥種類—初沈污泥

—生物污泥(活性污泥WAS，滴濾污泥TF，生物旋轉盤污泥RBC)

—混合污泥(初沈+生物污泥)

—化學污泥

三、污泥固體物濃度

四、污泥之前處理方式—濃縮

—穩定

—貯存

—輸送

五、程序設計—污泥調理與否

—操作彈性

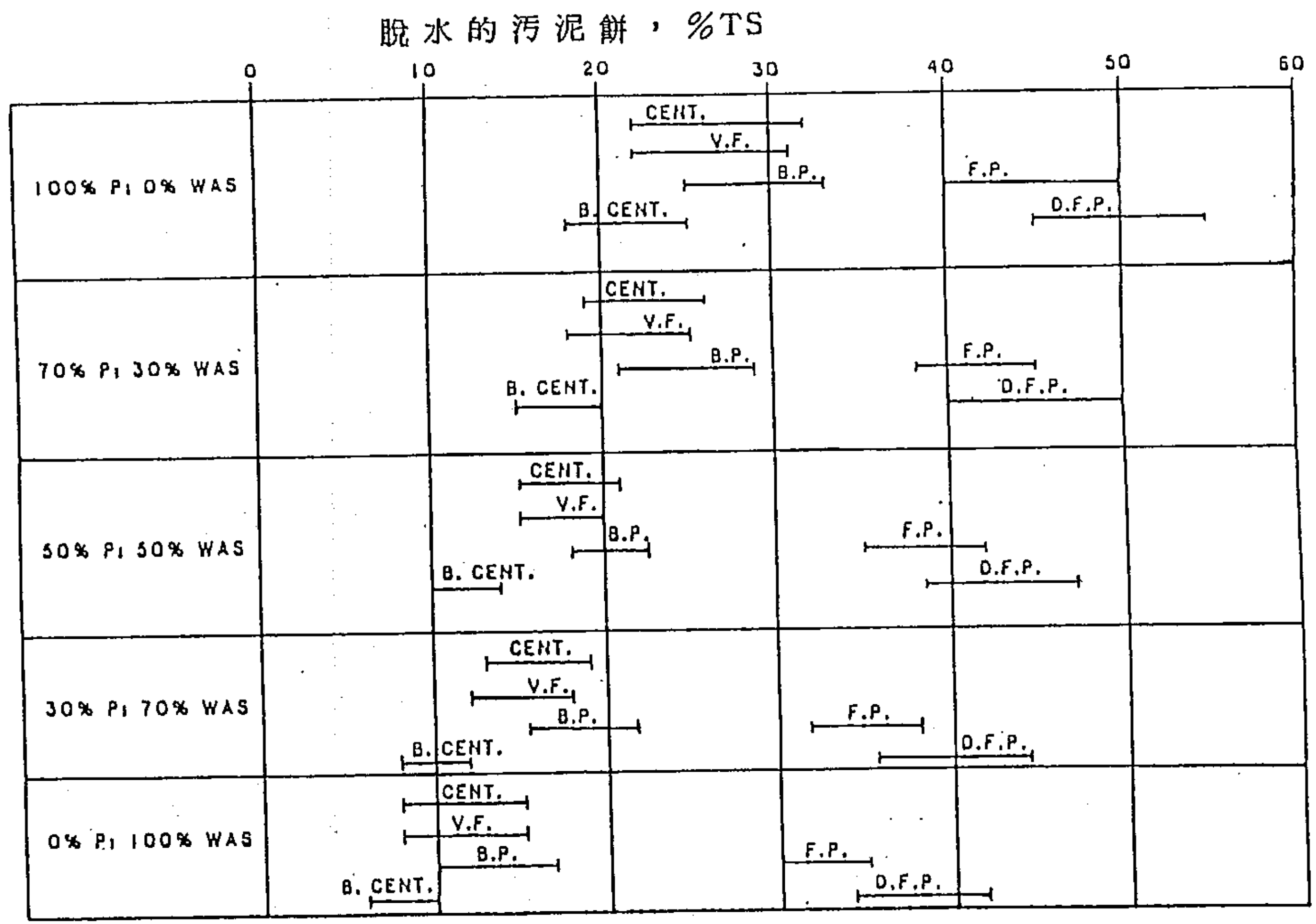
根據國外實廠的操作經驗和操作效果，各種機械脫水方法對於不同種類之污泥所能獲得的脫水效果分別示如圖8.1至圖8.4。圖中資料顯示每一脫水方法所獲得的污泥餅固體物濃度均有一變化範圍，影響此變化的原因很多，但其中主要的原因有三：

一、污泥進流率和操作參數變化的影響。

二、所加入之化學調理劑的種類和數量不同。

三、各廠污泥性質不一，故脫水特性不同。

圖8.1 說明了消化過的初沈污泥與消化過的活性污泥利用各種機



說　　明

CENT.-SOLID BOWL CENTRIFUGE (固體物承杯離心機)
V.F. -VACUUM FILTER(真空過濾)
B.P. -BELT PRESS(帶壓過濾機)
B.CENT.-BASKET CENTRIFUGE(籃狀式離心機)
F.P. -FILTER PRESS(加壓過濾)
D.F.P -DIAPHRAGM FILTER PRESS(隔膜加壓過濾)

圖8.1 消化過的初沉污泥(P)與消化過的活性污泥(WAS)
脫水後其污泥餅固體物的濃度範圍

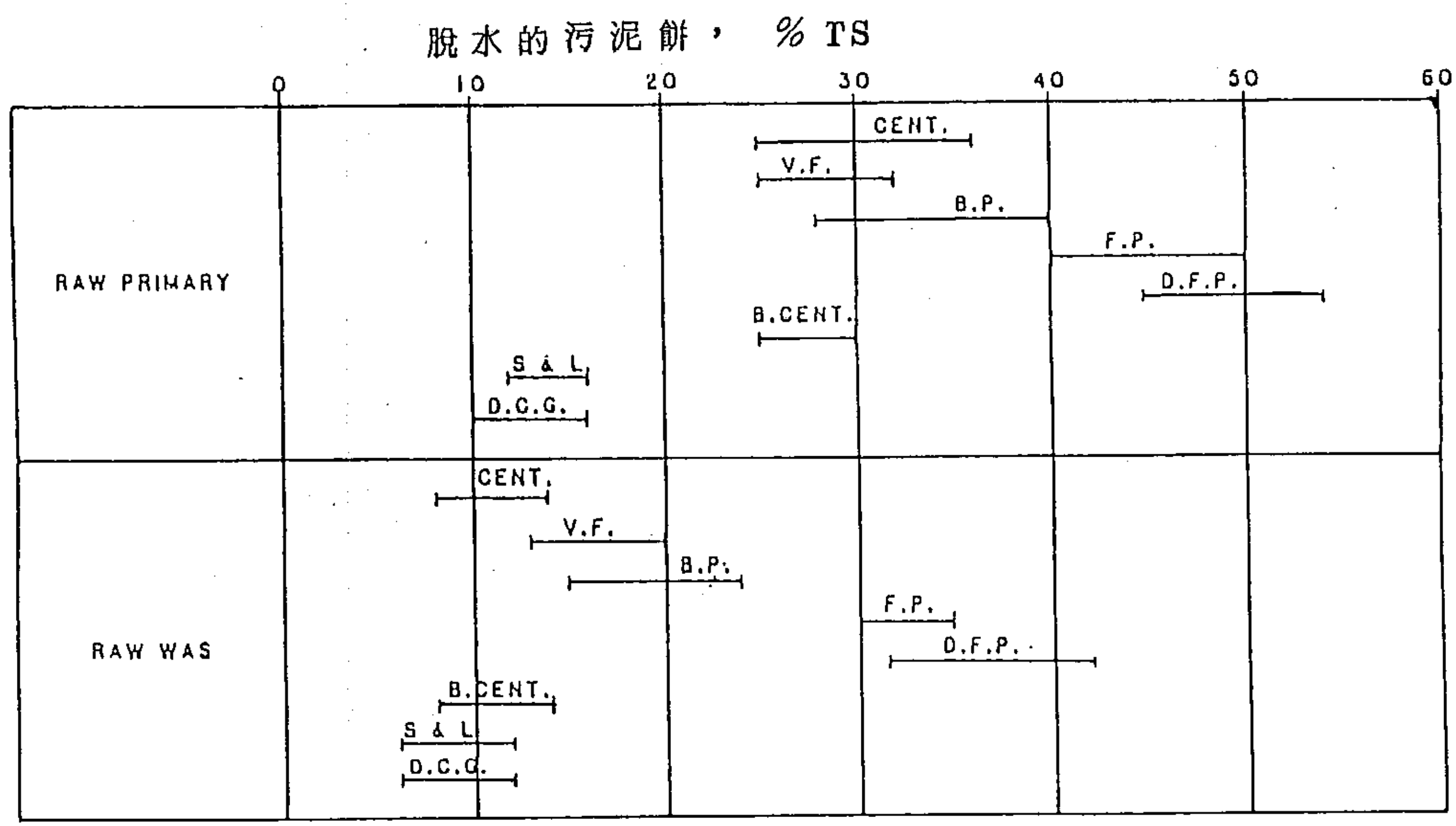
械脫水的方法脫水時，所得污泥餅固體物濃度的範圍。從這個圖，可以明顯地看到活性污泥所佔的百分比愈多，污泥餅中的固體物質含量就愈少，亦即脫水效果愈差。由此圖亦可看出各種機械脫水其脫水能力的差別，隔膜式加壓過濾(diaphragm filter press)的脫水能力最好，而籃狀式離心機的脫水能力最差，固體物承杯離心機、真空過濾及滾壓過濾三者的脫水能力相近。

圖8.2 說明了初沈生污泥(raw primary sludge)與活性生污泥(raw WAS)利用各種機械脫水的方法脫水時，所得污泥餅固體物濃度的範圍。從這個圖可以明顯地看到活性生污泥的脫水比初沈生污泥要困難得多，而且比較圖8.1及圖8.2，可以發現，生污泥的脫水效果比消化污泥好。一般而言，大約增加2到5%的固體物濃度，這種差異主要是和污泥中的顆粒大小有關。

圖8.3 說明了初沈生污泥加活性生污泥，滴濾池(T.F.)生污泥，初沈生污泥加滴濾池生污泥，以及初沈生污泥加旋轉生物圓板法(RBC) 生污泥，利用各種機械脫水的方法脫水時，所得污泥餅固體物濃度的範圍。將初沈生污泥加活性生污泥與初沈生污泥加滴濾池生污泥的兩種混合污泥作一比較，可以發現滴濾池污泥一般而言比活性污泥更易脫水。同樣地，也可以發現初沈生污泥加RBC 生污泥的混合污泥比初沈生污泥加活性生污泥的混合污泥更易脫水，這些的差異，主要是因為附著生長T.F.及RBC 污泥的濃度特性，而懸浮生長的活性污泥則含有比較細的物質的緣故。

圖8.4 說明了消化過的T.F.污泥，消化過的初沈污泥加消化過的T.F.污泥，熱調理的初沈污泥加熱調理的活性污泥，以及熱調理的初沈污泥加熱調理的T.F.污泥，利用各種機械脫水的方法脫水時，所得污泥餅固體物濃度的範圍。比較圖8.3及圖8.4中的T.F.污泥及T.F.污泥加初沈污泥的混合污泥，可以再次證明消化污泥比生污泥更難於脫水，由圖中8-4亦可以發現經過加熱調理(thermal conditioning) 之後的污泥，其脫水性相當良好，這是因為細胞固體物(cellular solids)已經被破壞，並且細胞間的液體被排出的緣故。

綜合比較圖8.1至圖8.4的資料，可以得到如下之結論：



說　　明

CENT. -SOLID BOWL CENTRIFUGE(固體物承杯離心機)

V.F. -VACUUM FILTER (真空過濾)

B.P. -BELT PRESS (帶壓過濾機)

B.CENT.-BASKET CENTRIFUGE(籃狀分離心機)

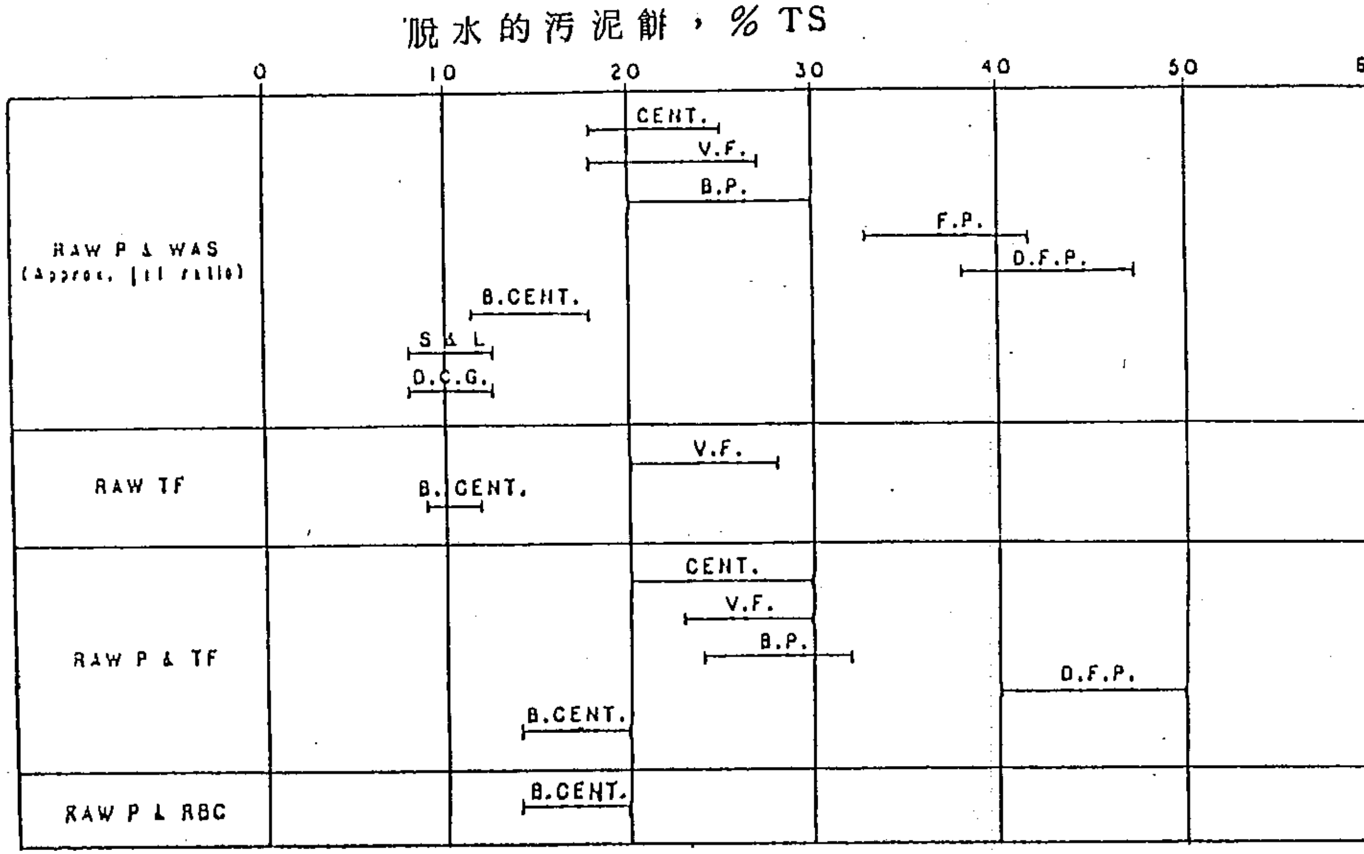
F.P. -FILTER PRESS(加壓過濾)

D.F.P -DIAPHRAGM FILTER PRESS(隔膜加壓過濾)

S & L -SMITH & LOVELESS SLUDGE CONCENTRATOR (S & L 污泥濃縮槽)

D.C.G.-PERMUTIT DUAL CELL GRAVITY UNIT

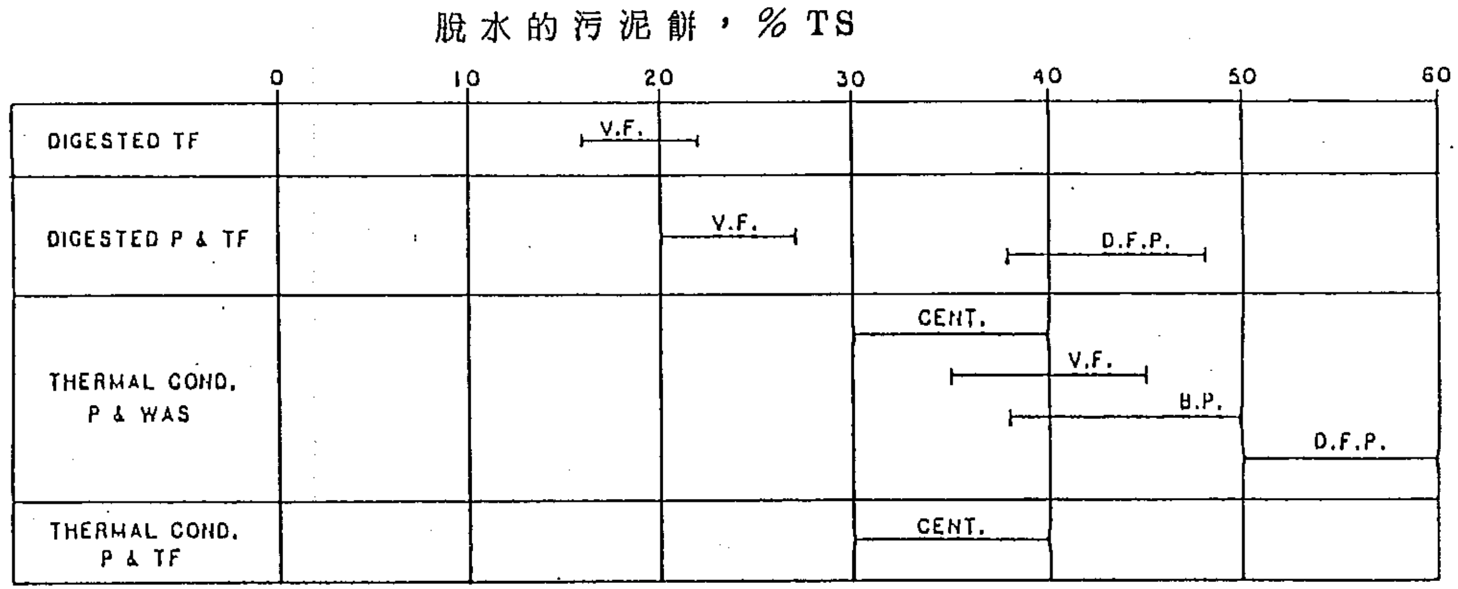
圖8.2 初沉生污泥(raw primary sludge) 與活性生污泥(raw WAS)脫水後其污泥餅固體物的濃度範圍



說　　明

CENT. -SOLID BOWL CENTRIFUGE (固體物承杯離心機)
V.F. -VACUUM FILTER(真空過濾)
B.P. -BELT PRESS (帶壓過濾機)
B.CENT.-BASKET CENTRIFUGE(籃狀式離心機)
F.P. -FILTER PRESS (加壓過濾)
D.F.P. -DIAPHRAGM FILTER PRESS (隔膜加壓過濾)
S & L -SMITH & LOVELESS SLUDGE CONCENTRATOR (S & L 污泥濃縮槽)
D.C.G.-PERMUTIT DUAL CELL GRAVITY UNIT
R.B.C.-ROTATING BIOLOGICAL CONTACTOR
P. -PRIMARY(初沉)
WAS -WASTE ACTIVATED SLUDGE(活性污泥)
TF -TRICKLING FILTER(滴濾池)

圖8.3 初沉生污泥加二次沉澱生污泥的混合污泥脫水後其污泥餅固體物的濃度範圍



說　　明

CENT.-SOLID BOWL CENTRIFUGE(固體物承杯離心機)
V.F. -VACUUM FILTER (真空過濾)
B.P. -BELT PRESS (帶壓過濾機)
P. -PRIMARY (初沉污泥)
F.P. -FILTER PRESS (加壓過濾)
D.F.P.-DIAPHRAGM FILTER PRESS(隔膜加壓過濾)
TF -TRICKLING FILTER(滴濾池)
WAS -WASTE ACTIVATED SLUDGE(活性污泥)

圖8.4 消化過的初沉及二次沉澱污泥與加熱調理過的初沉及二次沉澱污泥脫水後其污泥餅固體物的濃度範圍

1.固體承杯型離心機與真空過濾機可得到同等的污泥餅固體濃度。

2.帶壓過濾機較固體承杯型離心機或真空過濾機可獲得大於數個百分比固體濃度的污泥餅。

3.隔膜加壓過濾機所產生污泥餅之固體物濃度較一般加壓過濾機所產生者大2～6%。

4.消化後初級污泥之脫水可較消化後活性污泥之脫水獲得顯著地較高之固體含量，而其變化程度依脫水方法而異。

5.生污泥之脫水效果較消化後污泥之脫水，可獲得大於2～4%的固體物含量。

6.TF和RBC 污泥，不論原污泥或消化後污泥，其脫水後均較活性污泥有較高的固體物含量。

8.2 影響脫水效果的操作變數

前節資料已顯示，各種機械脫水方法，其所能獲得的污泥餅固體物濃度均有一變化範圍，此主要是因各脫水方法的操作變數(operational variable)，被設定在不同的操作範圍所致。此外，一般在評估污泥的脫水效果時，其評估的指標，除了考慮所產生污泥餅的固體物含量外，尚包括固體物截獲率(percent solid capture) ，污泥餅產量(process throughput)，和化學調理劑的需要量(conditioning chemical requirement) 等。事實上，在實際操作時，並無法藉改變操作變數，使得上述四種操作評估指標同時達到最佳的結果。例如，在不改變調理劑加藥量的情況下，變化操作變數以增加產生污泥餅的固體物含量。相對地，將可能減小單位時間污泥餅產量和固體物截獲量。因此操作人員在操作污泥脫水之前，應先決定那一個操作效果評估指標最為重要，然後藉適當的控制操作變數，以達到預期的脫水效果。

本文，所述之各種污泥脫水方法的主要操作變數綜合示如表 8.1，而各操作變數對污泥脫水效果的影響分別說明如下：

一、籃狀式離心脫水機

增加離心碗轉速(bowl speed)和全轉速(full speed)時之離心時間，將增加污泥餅固體物含量和固體物截獲量，不過增加全轉速時之離心時間，將減小單位時間之污泥餅產量。增加撇清的深度(depth of skimming)，將產生較乾燥的污泥餅，但此將使得更多的固體物，必須迴流至廢水處理單元之再處理。增加高分子調劑量，將會增加所產生污泥餅固體物含量和固體物截獲率至某一程度。增加污泥飼入率(sludge feed rate)將增加單位時間之污泥餅產量，但此將需要更多的高分子調理劑，同時將會降低污泥餅固體物含量和固體物截獲量。

二、固體物承杯離心脫水機

增加承杯轉速，理論上將增加污泥餅乾燥程度，此乃因離心力使得污泥顆粒的重力沈降速度增加，然而在有些情況，此將會使得

表 8.1 各種脫水方法之操作變數

1.籃式離心機
 A.離心碗轉速
 B.全轉速時之時間
 C.撇清深度
 D.污泥飼入率
 E.高分子調理劑
  . 使用劑量
  . 加入點
2.固體物承杯離心機
 A.離心碗/輸送帶之差速
 B.池深
 C.污泥飼入率
 D.高分子調理劑
  . 使用劑量
  . 加入點
3.帶壓式過濾脫水機
 A.濾帶速度
 B.濾帶張力
 C.沖洗水流量和壓力
 D.濾帶型式
 E.污泥飼入率
 F.高分子調理劑
  . 使用量
  . 加入點
  . 接觸時間
  . 攪拌程度
4.真空過濾脫水機
 A.清洗水量
 B.圓筒轉速
 C.真空壓力程度
 D.調理劑種類和加量
 E.圓筒浸沈率
 F.污泥槽之攪動程度
 G.過濾介質型式
5.加壓過濾脫水機
 A.飼入污泥之壓力
 B.過濾時間
 C.使用預覆
 D.調理劑種類和加量
 E.濾布清洗頻率
 F.濾布型式
6.隔膜式加壓過濾脫水機
 A.飼入污泥之壓力
 B.過濾時間
 C.隔膜壓力
 D.隔膜擠壓時間
 E.化學調理劑
  . 種類和加量
  . 加入點
 F.濾布型式
 G.濾布清洗頻率
7.晒乾床
 A.施加污泥深度
 B.污泥調理
 C.污泥乾燥期間之時間
 D.污泥餅移除方式

飼入污泥顆粒承受較大的剪力，而減小了增加承杯轉速所達到的效益。不過若飼入污泥與加入離心機內部的高分子調理劑，在到達離心機最高轉速之同時，形成良好的污泥顆粒，則此種由於增加重力而對污泥顆粒產生剪力的影響，將不會造成問題。當承杯和輸送器的差速增加時，固體物從離心機中移出的速度轉快，此將增加離心機的處理容量，但產生的污泥餅將較溼。又增加池深(pool depth)將增加固體顆粒的截獲量，但通常產生的污泥餅較溼。此外，增加高分子調理劑量一般能增加污泥餅的乾燥程度和固體物截獲量。

三、帶壓式過濾脫水機

濾帶移動的速度增加，可增加脫水機的操作容量，但通常產生的污泥餅固體物較小，因為重力排水和擠壓的時間都縮短了。增加濾帶的張力(belt tension)，將產生較乾的污泥餅，但通常固體物的截獲率將減小，同時濾帶的磨損將增加。假如沖洗水不能充分地清洗濾帶，則增加沖洗水的流量和壓力，將會增加污泥餅的固體含量。此外，濾帶孔隙愈多，產生污泥餅愈乾燥，但固體物截獲率愈低。假若濾帶移動速度足以移動污泥，同時高分子調理劑量足以維持固體物截獲，則增加污泥飼入率將增加脫水機單位時間之處理容量。增加高分子調理劑量能同時增加污泥餅固體物含量和固體物截獲量至某一上限值。最後，調理劑之加入點，必須允許調理污泥在進入脫水機之前要有充分的接觸時間。

四、真空過濾脫水機

在濾布清洗不足的情況下，增加濾布的清洗水量，將增加脫水機的處理容量，同時也有助於產生較乾燥的污泥。圓筒(drum)的轉速高，將增加脫水機的處理容量，但將減小污泥餅的固體物含量。真空壓力程度愈高，將增加污泥餅固體物含量，但將消耗更多的能量。增加圓筒浸沈在污泥槽中深度，將增加脫水機的處理容量，但將減少乾燥時間和可能減低污泥餅固體物含量。為了形成適當的污泥餅，攪動污泥槽是必須的，但過度的攪動將造成污泥顆粒的破裂和不佳的固體截獲率。此外，為了使污泥餅能容易地從濾布上剝落

，增添刮刀，使用超量化學調理劑，或添加飛灰有時必須的，特別是污泥性質的油膩性或污泥中含有大量廢棄活性污泥。

五、加壓過濾脫水機

使用較大的壓力和較長的循環時間，將增加污泥餅固體物含量，不過後者會減小脫水機的處理容量。使用預覆(precoat) 能改善固體物截獲率，減少過濾時間，和維持過濾介質的效率。預覆操作通常使用於消化污泥(digested sludge)的脫水因其污泥顆粒非常細小・或用於為了達到良好的污泥餅剝離的情況。對於黏稠性(sticky) 的污泥，使用預覆操作，可節省操作時間，因其可減少清洗濾布的頻率。污泥調理對於加壓過濾脫水而言是一相當重要的因素，通常為了達到良好的泥餅剝離和合理的過濾時間，石灰和氯化鐵為較常使用的調理劑。正確的化學調理劑量，將產生乾燥的污泥餅，而不正確的劑量，將可能因使用超量的化學藥劑而減小了脫水機的處理容量，或將產生較溼的污泥餅。另外，增加清洗濾布的頻率，將會增加脫水機的處理容量，污泥餅的乾燥程度，和濾布的壽命，而使用適當的濾布，可增加固體物截獲和脫水機的容量。

六、隔膜式加壓過濾脫水機

飼入污泥的壓力和抽送時間(pumping time)對於產生泥餅的影響有限，而真正重要的影響因素為隔膜的壓力和隔膜的擠壓時間，當此兩者增加時，皆能增加污泥餅乾燥的程度。其他操作變數的影響，則和典型的加壓過濾脫水機相同。至於所使用濾布的型式，必須要能抵抗磨損，泥餅易於剝離，和濾液水質佳(固體物截獲率高)。

七、晒乾床

污泥在晒乾床上的深度愈淺，並且使用高分子調理劑調理污泥，能使得晒乾床的處理容量愈大。自然地，污泥乾燥的時間愈長，所產生的污泥餅，其固體物含量愈大，然而，假若污泥餅已乾燥至可用機械設備從晒乾床上移除，或因晒乾床容量有限必須飼入新的

溼污泥，或是可能因氣候關係有大雨來臨，則污泥餅可能必須在達到最佳的乾燥程度之前從晒乾床上移除。

8.3 污泥脫水處理對污泥體積量的影響

當污泥餅固體物含量增加時，污泥的體積量將顯著地減少，其關係如圖8.5 所示。然而當污泥餅固體物濃度愈高，污泥體積的減少百分率將不再很大，例如，污泥脫水，其固體物濃度從10%增至15%，可減少污泥體積35%，但污泥固體物濃度從20%增至25%，污泥體積量僅減少21%，換句話說，當最終脫水泥餅的固體物濃度，從一較低的程度增至一較高的程度時，所增加的污泥體積減少量將愈來愈小。

上述的關係在選擇污泥脫水方法時，為一相當重要的因素。有時，以較便宜的脫水技術，例如重力低壓設備(gravity/low pressure devices)，雖其僅能將污泥從3%固體物濃度脫水至含8%到12%固體物，但從整體經濟觀點而言，可能較為經濟，即使其最終的污泥處置和運輸費用會較高，此乃因在此情況，污泥的體積減少量已可達70至80%。另一方面，若以較貴的脫水技術，將污泥脫水至固體物含量在20%以上，從整體的污泥處理和處置之經濟觀點而言，所減少的污泥體積量和重量，並不一定是最經濟的。雖然圖8.5 的關係，並不能用來決定污泥脫水處理的經濟性，但此污泥體積量和脫水泥餅固體物含量的關係，可用來做為初步篩選脫水方法時，評估其可能達到的脫水要求和程度。

污泥固體物濃度和污泥體積量除了有上述的關係外，另一個評估不同泥餅固體物濃度的方式，乃是考慮污泥餅水份含量，亦即單位質量固體物所含水份質量，例如，加壓過濾脫水所產生的泥餅，其固體物含量為40%，此相當於1公斤固體物含有1.5公斤水份，然而，真空過濾脫水其泥餅固體物含量約在15至20%間，此相當於1 公斤固體物含有4至5.7公斤水份。因此，假若以焚化方式處理污泥餅，則真空過濾泥餅將較加壓過濾泥餅多出3至4倍的水份必須被加熱和蒸發。

使用無機性化學調理劑調理污泥，將增加污泥固體物的質量，亦即可能同時增加總污泥質量和體積量，此種影響示如圖8.6 。圖中曲

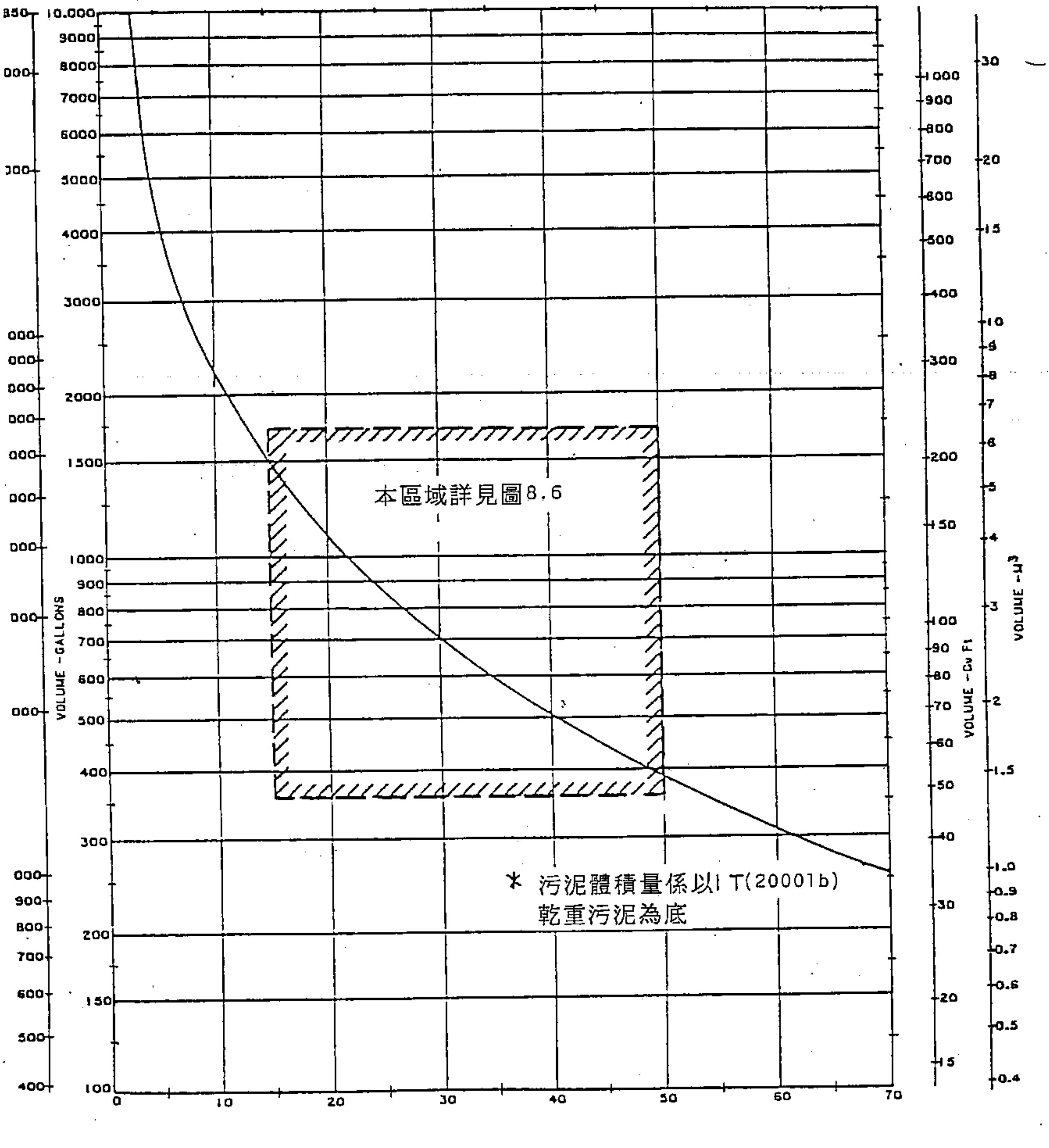


圖8.5　污泥固體物百分比對污泥體積量的影響

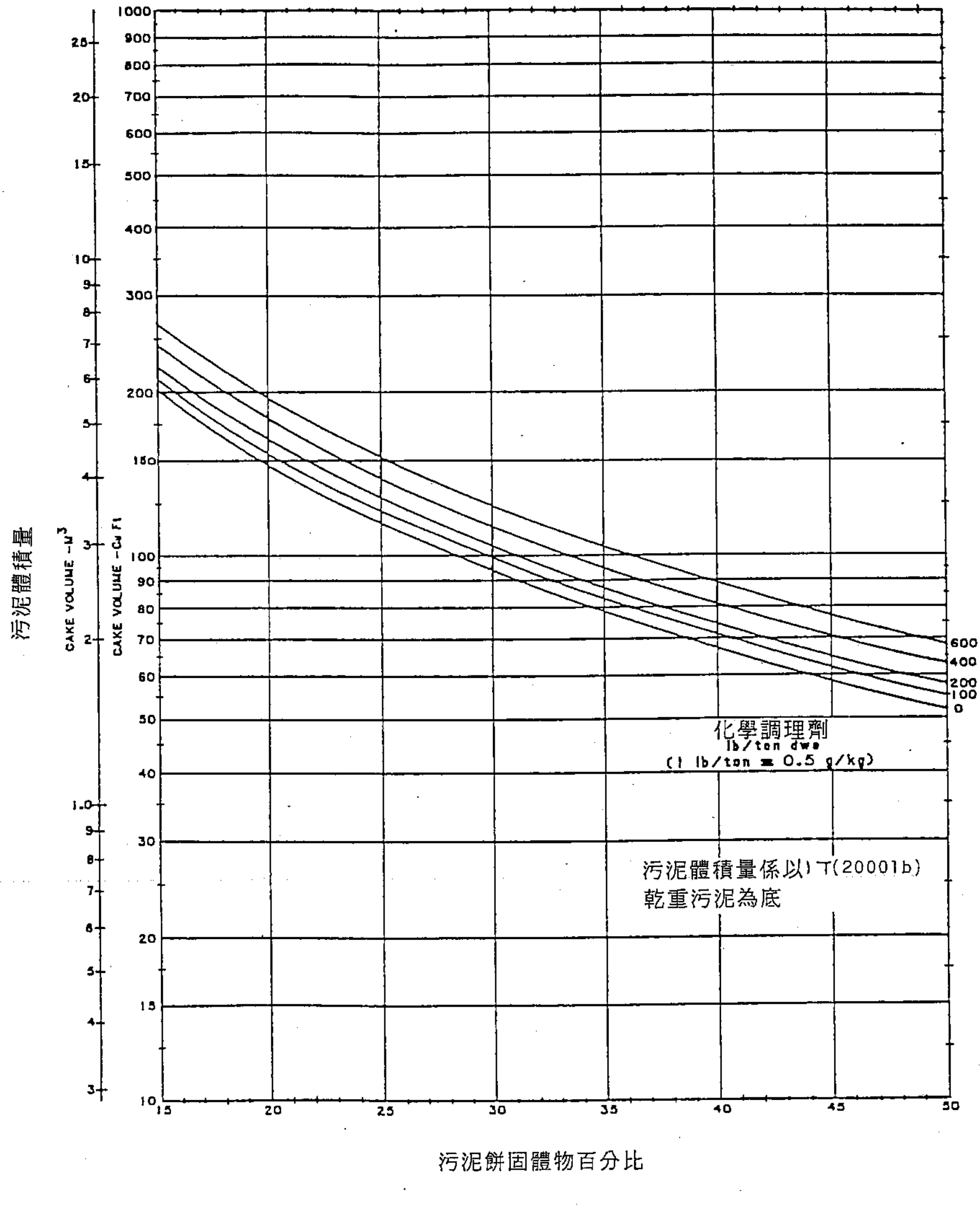


圖8.6 無機化學調理劑量對脫水污泥積量之影響

線分別表示調理量為0，50，100，200，和300g/kg(0,100,200,400和600 lb/ton)乾重固體物。由此圖顯示，假若所加入之化學調理劑大約相當於20%污泥重量，則當污泥餅固體物濃度一定時，污泥體積量將增加20%。

不過，使用無機性化學調理劑，仍可能減少所產生污泥餅的體積量，例如，一初沈污泥以高分子調理劑調理，經真空過濾脫水後，所產生的污泥餅，其固體物含量為15%，由圖8.6 可知，污泥餅體積為5.6 M^3/ton (200 ft^3/ton)；但同一污泥以100g/kg (200 lb/ton)無機性化學調理劑量調理，污泥餅固體物含量可增至25%，此時污泥餅體積量減至3.7 M^3/ton (130ft^3/ton) ，相當於減少了35%的污泥餅體積。

第九章　污泥脫水操作之異常原因及對策

如前所述，污泥脫水操作受到許多操作變數影響其脫水效果，此外，除了晒乾床法外，大多數污泥脫水操作皆採用機械脫水方式，因此正確的設計和適當的維護，將可確保污泥脫水機維持於正常的運轉操作狀況，且可避免設置和操作成本的浪費。更進一步的，當污泥脫水操作發生或可能發生異常現象時，操作人員如何克服其問題，乃成為一相當重要的課題。

最近國內楊萬發及歐陽嶠暉兩位教授，曾將污泥脫水操作可能發生異常原因及其對策，分別做過整理，本節將其結果摘錄於表9.1至9.13 ，以供相關從業操作人員之參考。

表 9.1　真空過濾設計上常見之缺失

問　　題	對　　策
1.濾材不適當	1.做濾葉試驗求最佳濾布材料
2.化學調理系統不適當	2.濾葉試驗求最佳化學調理劑及其劑量
3.濾液管線無清理設施之考慮	3.濾液管線裝置清理T管
4.帶式過濾時濾餅脫落不良	4.加裝泥餅刮板
5.濾液抽水機易於氣結	5.在受器高處至抽水機殼頂點安裝整壓水管

* 資料來源：楊萬發教授

表 9.2 真空過濾操作問題

問　　題	可能原因	檢視重點	對　　策
1.濾液多固體	1a. 混凝劑量不當 1b. 濾材蔽塞	1a. 混凝劑量 1b. 混凝劑加藥量檢定 1c. 檢視濾材	1a. 改變混凝劑劑量 1b. 加藥機檢定 1c. 濾布情況或更換
2.脫水效果不良	2a. 濾材 2b. 化學劑量不當 2c. 真空度不足 2d. 濾鼓轉速太高 2e. 濾鼓浸水太少	2a. 檢視濾材 2b. 同1a. 2c. 真空量，真空系統漏氣 2d. 濾鼓轉速 2e. 濾鼓浸水深度	2a. 同1b. 2b. 同1a. 2c. 修理真空系統 2d.濾鼓轉速減慢 2e. 增加濾鼓浸水深度
3.真空泵停機	3a. 動力中斷 3b. 封水不足 3c. V 型皮帶斷裂	3a. 加熱器跳開 3b. 封水水源 3c. V 型皮帶	3a. 再設定真空泵開關 3b. 封水開啓 3c. 更換V 型皮帶
4.濾鼓停止回轉	4a. 動力中斷	4a. 加熱器跳開	4a. 重新設定濾鼓迴轉開關
5.受器振動	5a. 濾液抽水機阻塞 5b. 檢視板螺栓及墊片鬆動 5c. 濾液泵球式逆止閥磨損 5d. 吸管漏氣 5e. 濾鼓表面污損 5f. 分隔板失落	5a. 濾液抽水機出水 5b. 檢視板 5c. 球式逆止閥 5d. 吸管 5e. 濾鼓表面 5f. 濾鼓	5a. 停機清理 5b. 螺栓旋緊墊片定位 5c. 更換逆止閥 5d. 補漏 5e. 用壓力水管沖洗表面 5f. 更換分隔板
6.污泥槽高位	6a. 化學調理不當 6b. 進料速率太高 6c. 濾鼓轉速太慢 6d. 濾液泵停機或阻塞 6e. 排水管線阻塞 6f. 真空泵停機 6g. 分隔板失落	6a. 混凝劑量 6b. 進料速率及固體產量 6c. 濾鼓轉速 6d. 濾液泵 6e. 排水管 6f. 同第3項 6g. 濾鼓	6a. 改變混凝劑量 6b. 減小進料速率 6c. 增加濾鼓轉速 6d. 開啓抽水機或清理 6e. 清理排水管線 6f. 同第3項 6g. 更換分隔板

表 9.2 (續)真空過濾操作問題

問　　題	可 能 原 因	檢 視 重 點	對　　策
7.污泥漕低位	7a. 進料速度太低 7b. 開啓污泥槽水閥	7a. 進料速率 7b. 污泥槽排水閥	7a. 增加進料速率 7b. 關閉污泥槽排水閥
8.真空泵耗電量高	8a. 濾液泵阻塞 8b. 化學調理不當 8c. 污泥槽中水位高 8d. 大量冷卻水溶入真空泵	8a. 濾液泵出水 8b. 混凝劑量 8c. 同第6項 8d. 冷卻水量	8a. 濾液泵停機並清理 8b. 改變混凝劑量 8c. 同第6項 8d. 減少冷卻水量
9.真空泵水封處生水垢	9a. 硬水，水質不穩定	9a. 真空泵水封	9a. 加水垢抑制劑

* 資料來源：楊萬發教授

表 9.3 帶式真空過濾機主要異常原因及對策

異 常 內 容	原　　因	對　　策
脫水泥餅厚度過薄或剝離不良	1.真空度不適當	
	(1) 濾布未緊密附著於胴體	修正
	(2) 濾布呈蛇行	修正
	2.濾布發生阻塞	
	(1) 清洗水之水壓及水量不適當	檢查泵及配管
	(2) 濾布清洗水噴射噴嘴阻塞	清理

* 資料來源：歐陽嶠暉教授

表 9.4 圓筒式真空過濾機異常原因及對策

異常內容	原　　因	對　　策
1.發生異音	1.驅動部之主軸上未注潤滑油 2.潤滑油品質劣化 3.旋轉部與其他相接觸	檢查及補油 更換 接觸部修理
2.轉軸部溫度上升	1.軸承部未注潤滑油 2.潤滑油品質劣化	檢查及補油 更換
3.脫水泥餅厚度過薄或剝離不良	1.濾布速度過快 2.真空度不正常 (1)濾布縐折 (2)真空泵的能力降低 (3)風量調節閥開口度不正確 (4)排氣管系統阻塞 (5)自動閥閥座摩擦受損 3.操作時間過長致濾布阻塞 4.污泥濃度偏低 5.液槽內之污泥量不適合操作需要 6.搖泥機不良 7.藥劑添加量不適當 8.凝聚混合不適當 9.污泥之粒子微小	調整 修正 分解，調整或更換零件 調整 清理 調整閥座或更換 清理、清洗或更換 濃度之調整 液位計之檢查及調整 調整 調整適當量 藥劑之濃度檢查及調整 添加率控制裝置之檢查及調整 檢查藥槽攪拌裝置 變更濾布規格 變更藥物種類、添加率

* 資料來源：歐陽嶠暉教授

表9.5 壓濾機設計上常見之缺失

問　　題	對　　策
1.重力式加藥機灰塵飛揚	1.安裝容積加藥機
2.泥餅輸送系統容量不足	2.安裝耐用梯式輸送機
3.機械式輸送機噪音及維護問題	3.安裝氣動式輸送系統
4.濾材不當、泥餅多水、不易清理	4.改變濾材

* 資料來源：楊萬發教授

表 9.6 壓濾脫水操作問題

問　　題	可能原因	檢視重點	對　　策
1.板框封閉不密	1a. 定位不良	1a. 定位	1a. 板框重新定位
2.泥餅排出困難	2a. 預敷不足 2b. 調理不當	2a. 妨礙添加 2b. 調理劑種類及劑量	2a. 增加預敷量，進料壓力 2b. 濾葉試驗決定調理劑及劑量
3.過濾周期太長	3a. 調理不當 3b. 進料固體濃度太低	3a. 化學劑量 3b. 濃縮操作	3a. 改變化學劑量 3b. 改善濃縮操作，提高固體濃度
4.濾餅黏著輸送設備	4a. 改變化學調理，多用無機化學品	4a. 調理劑量	4a. 減少加壓，增加無機調理劑
5.預敷壓力增高緩慢	5a. 污泥調理不當 5b. 預敷不當 5c. 濾材阻塞 5d. 濾材有鈣垢	5a. 調理劑量 5b. 預敷進料 5c. 濾材	5a. 改變化學劑量 5b. 前幾周期減少預敷量 5c. 沖洗材料 5d. 酸洗濾材
6.濾材易阻塞	6a. 預敷不足 6a. 初期進料速率太高	6a. 預敷進料	6a. 增加預敷量 6b. 初期濾餅緩慢形成
7.濾餅多水	7a. 調理不當 7b. 過濾周期太短	7a. 調理劑量 7b. 濾液溶量與濾餅含水量關係	7a. 改變化學劑量 7b. 加長過濾周期
8.污泥擠出壓濾機	8a. 壓板有障礙，如破布		8a. 進料停機，敲出閉合驅動壓板，重新開機，周期終了時，清理板框進料孔。
9.板框下部滲漏	9a. 泥餅過多水份，下面濾材多泥。	9a. 泥餅含水量	9a.同第7項

* 資料來源：楊萬發教授

表 9.7 加壓過濾機異常主要原因及對策

異常內容	原因	對策
1.污泥自濾板漏出	1.緊閉壓力不足	調查油壓裝置的壓力並調整之
	2.襯墊損傷	更換襯墊
	3.濾布折疊或破損	修正濾布或更換
	4.濾板間被異物夾住	去除異物
2.脫水泥餅不形成	1.污泥壓入泵阻塞	清理污泥壓入泵
	2.供泥給管阻塞	清理供給管
	3.管內有空氣混入	排除空氣
3.脫水泥餅過薄	1.污泥壓入泵之壓力降低	修理污泥壓入泵
	2.濾布阻塞	清理濾布或更換
	3.濾液管阻塞	清洗濾板或濾液管
	4.供給污泥之性質惡化	調查供給污泥濃度及注藥劑並調整之
	5.過濾時間不足	增長過濾時間
4.部份濾室形成軟弱泥餅	壓榨紋齒破損	更換紋齒
5.脫水泥餅含水率過高	1.壓榨壓力下降	調查壓入泵、管之漏失、閥並補修
	2.供給壓力降低	調查空氣壓並調整之
	3.閥類操作不良	補修閥或更換
	4.濾布阻塞	清洗濾布或更換
	5.供給污泥的性質惡化	調整供給污泥濃度及注藥率

* 資料來源：歐陽嶠暉教授

表 9.8 離心機設計上常見之缺失

問題	對策
1.零件腐蝕，尤其迴轉輸送機	1.更換適當材質
2.沖洗水無濾器，噴嘴阻塞	2.加裝濾器
3.無胴體拆卸吊裝設備	3.裝置起吊設備或活動吊架
4.剛性連接，管線振動大	4.安裝撓性管線
5.沈砂不良，易於磨損	5.控制沈砂

* 資料來源：楊萬發教授

表 9.9 離心脫水操作問題

問題	可能原因	檢視重點	對策
1.離心液澄清度不足	1a. 進流量太高	1a. 流量記錄	1a. 減低進流量
	1b. 池深不足	1b. 堰高設定	1b. 增加池深
	1c. 螺旋輸送機磨損	1c. 振動、機內固體累積過量	1c. 修理或更換輸送機
	1d. 轉速太高	1d. 齒輪設定	1d. 改變齒輪設定
	1e. 進流固定太高	1e. 迴轉試驗進流污泥濃度	1e. 稀釋進流污泥
	1f. 化學調理不當	1f. 化學劑添加量	1f. 改變化學劑量
2.泥餅太濕	2a. 進流量太高	2a. 流量記錄	2a. 減低進流量
	2b. 池深太大	2b. 堰高設定	2b. 降低池深
	2c. 轉速太低	2c. 齒輪設定	2c. 改變齒輪設定
	2d. 化學劑量過多	2d. 化學劑添加量	2d. 減少化學劑量
3.離心機扭力控制缺失	3a. 進流速率太高	3a. 流量記錄	3a. 減低進流量
	3b. 進流固體太高	3b. 校核進流固體	3b. 稀釋進流污泥
	3c. 機中有異物	3c. 檢查內部	3c. 卸下輸送機清理異物
	3d. 齒輪軸線	3d. 振動	3d. 校正軸線
	3e. 軸承、齒輪	3e. 檢查	3e. 更換損壞部分

表 9.9 (續)離心脫水機操作問題

問 題	可 能 原 因	檢 視 重 點	對 策
4.劇烈振動	4a. 潤滑 4b. 調節防振失當 4c. 排出漏斗接觸離心機 4d. 部分螺旋輸送機固體阻塞 4e. 齒輪箱軸線安裝欠當 4f. 枕塊軸承損壞 4g. 迴轉機件不平衡 4h. 零件組合不緊 4i. 輸送機不均勻磨損	4a. 潤滑系統 4b. 振動隔離器 4c. 漏斗位置 4d. 檢視機體內部 4e. 齒輪箱軸線 4f. 檢查軸承 4i. 檢視輸送機	4a. 正確潤滑保養 4b. 調節振動隔離器 4c. 調整漏斗銜接滑板 4d. 沖洗 4e. 齒輪箱軸線 4f. 更換軸承 4g. 平衡迴轉機件 4h. 鎖緊零件 4i. 重整表面，調整平衡
5.功率消耗突增	5a. 離心機箱之污泥與胴體接觸 5b. 出水管阻塞	5a. 固體扒開，檢視胴體外部磨光狀況 5b. 固體自由排出狀況	5a. 與水接觸部分表面硬處理 5b. 清理出水管
6.固體排出量湧出	6a. 池深太小 6b. 輸送機螺旋粗糙 6c. 進料管太近胴體 6d. 機械劇烈振動	6a. 堰之位置 6b. 表面硬處理不當或腐蝕	6a. 增加池深 6b. 輸送機螺旋再處理 6c. 將進料管移近出水端
7.離心機停機或無法啓動	7a. 電線或保險絲斷熔 7b. 超載電驛故障 7c. 扭力控制故障 7d. 振動開關故障	7a. 電路 7b. 超載電驛(繼電器) 7c. 同第3項 7d. 同第4項	7a. 改正問題再行啓動 7b. 沖洗機件，重新設定超載電驛

* 資料來源：楊萬發教授

表 9.10 離心分離機異常原因及對策

異常內容	原因	對策
1.不能起動	1.電動機之電源或電動機異常 2.分離機被卡住或與他物接觸 3.計測箱發生振動	電氣線路檢查、調整 調整 電氣線路檢查、調整
2.電流過大	1.旋轉體與其他接觸 2.軸承破損 3.供給污泥量過多 4.電機線路或電動機異常 5.分離機內被污泥阻塞	接觸部調節 更換 適量調節 檢查及調節 清理或去除
3.主軸軸承溫度過高	1.油過多或不足 2.潤滑油劣化，或有水分混入 3.軸承破損 4.主軸不正 5.V 輪帶過緊	適量調節 更換 更換 修正 修正
4.發生異常振動	1.供給污泥量過多，輸送困難 2.旋轉體被一部份污泥阻塞 3.軸承破損 4.減速機破損 5.螺旋器磨損 6.長期操作造成各部磨損，分離胴及螺旋器不平衡 7.旋轉部中心軸不平直 8.防振橡膠墊劣化 9.V 輪帶中心線不平直 10.固定螺栓鬆弛	適量調節 清理及去除 更換 更換 修捕 補修及調整 修整 更換 修整 調整或更換
5.發生異音	1.旋轉部與他部份接觸 2.軸承破損 3.減速機破損	調節 更換 更換

表 9.10 (續)離心分離機異常原因及對策

異常內容	原因	對策
6.分離之旋轉力下降或停止	1.電機線路異常或電源關閉	檢查電機線路及修理
	2.電動機發熱、燒損	修理或更換
	3.控制系統異常，或流量壓力，泵所附設之警報器處於警報狀態	檢查電機線路及調節 檢查檢測裝置及調節
	4.供給污泥過量，安全裝置作動中	適量調節
	5.分離機內被脫水泥餅阻塞	清理及去除
7.分離狀態不佳	1.供給污泥量過多	適量調節
	2.藥物添加量不足	適量調節
	3.所使用藥物不適當	藥劑再選擇
	4.供給污泥之性質變化大	藥劑再選擇
	5.供給污泥濃度變化大	供給污泥量減少，調節分離時間及螺旋
	6.脫水泥餅之移送力及停留時間之選定不適當	減少供給污泥量，增加差速
	7.電動機旋轉數降低，輪帶之傳達力不足致分離機旋轉數降低。	檢查電機線路及調節輪帶

資料來源：歐陽嶠暉教授

表 9.11 帶壓式脫水機主要異常原因及對策

異常內容	原因	對策
1.滾軸旋轉不良	1.軸承磨損 2.給油不充分 3.滾軸彎曲	更換 檢查及補給 更換或修正
2.污泥自兩側溢流	1.供給污泥量過多 2.凝聚混合不良 3.藥劑添加率不適當	調整 檢查藥劑添加裝置 調整添加率、檢查藥劑濃度 檢查藥劑添加裝置並調節
3.濾布蛇行	1.蛇行修正裝置不良 2.污泥未均勻分佈 3.滾軸磨損 4.濾布發生縐折	檢查及調整 檢查污泥分配裝置 更換或修正 更換或修正
4.脫水泥餅剝離不良	1.濾布阻塞 2.刮板磨耗 3.濾布移行速度過快 4.脫水泥餅過薄	清理、清洗或更換 更換 調整 調整污泥濃度及濾布移行速度
5.集水板阻塞	1.脫水泥餅剝離不良；污泥堆積 2.集水板上堆積污泥	同第4項 清理

* 資料來源：歐陽嶠暉教授

表 9.12 砂床乾燥設計上常見之缺失

問題	對策
1.乾燥床面積不足	1a. 配合當地氣候資料及污泥特性 1b. 加建乾燥床 1c. 增加施布污泥之固體濃度 1d. 多雨潮濕地區污泥乾後即予移走
2.排水系統不良	2a. 針對缺失改善
3.乾泥移除無足夠通道	3a. 牆邊開一缺口以便運輸工具進入砂床 3b. 砂面鋪置木板

* 資料來源：楊萬發教授

表 9.13　污泥乾燥操作問題

問　　題	可　能　原　因	檢　視　重　點	對　　　策
1.脫水時間過長	1a. 污泥施布太深	1a. 典型深度為20 cm	1a. 砂床乾時清除污泥，並清理砂床，施布少量污泥量測洩降三天，再施加三天洩降量之二倍污泥。
	1b. 污泥施布於清理不當之砂床	1b. 注意空砂床之清潔狀況	1b. 污泥乾後清除污泥及污砂，補充清潔砂 1.5～3cm
	1c. 洩水系統阻塞，管線破損		1c. 用清水自洩水系統緩慢反沖砂床，必要時換砂，凍冰天氣將砂床水分放空。
	1d. 砂床容量過小	1d. 加高分子之影響	1d. 加陽離子高分子增加脫水性
	1e. 氣候狀況	1e. 氣溫、雨量	1e. 砂床加蓋或覆蓋
2.污泥進流管阻塞	2.管線有砂礫、固體累積		2.開始施布污泥於清潔管線時將閥全開，必要時用水沖刷
3.排入消化污泥太稀	3.消化槽污泥結塊，排出多水分		3.減少消化污泥排出量
4.砂床滋生蒼蠅			4.破碎污泥塊，使用殺蟲劑
5.施布之污泥有臭味	5.污泥消化不良	5.檢查污泥消化操作	5a. 消化操作維持正常 5b. 臨時處置可用不厭，但易使砂床阻塞

* 資料來源：楊萬發教授

第十章　污泥脫水方法的選擇與評估

在評估或選擇污泥脫水方法時，必須同時考慮先前處理方法和後續處置方式的影響，故污泥脫水方法之評估絕不能單獨行之，而必須全盤考慮整個污泥處理系統的所有程序。然而，因污泥之濃縮、穩定、調理、脫水和最終處置有許多種不同單元程序的組合，故使得評估工作更形複雜。不過，一般而言，選擇一污泥脫水方法的策略，包含下列五步驟：

一、初步的篩選脫水方法。

二、初步成本評估。

三、實驗室分析。

四、現場測試。

五、根據詳細的設計參數進行最後評估。

基本上，初步的篩選脫水方法為相當重要的一步驟，其方式乃是根據所考慮的一些因素將不適合者先行排除。通常在初步篩選所需考慮的因素包括：

一、與現有設備之一致性(compatibility)。

二、與處理廠規模之一致性。

三、與最終處置方式之一致性。

四、二級處理和先前污泥處理的影響。

五、化學調理的要求。

六、脫水時之固體截獲量(solid capture)。

七、勞力需求。

八、環境影響的考慮。

九、長程的實用性(utility)。

十、處理廠之位置。

十一、其他處理廠現有相同設備之操作經驗。

十二、個人或主管機關之偏好。

以下將就上列因素中之重要者加以討論。

10.1與處理廠規模之一致性

由於可利用的操作人力和時間隨處理廠規模越小而越少；熟練的操作和維護人員在小廠中也不多；同時愈不複雜的設備愈便宜，也愈能符合小廠購置的能力。基於以上三點理由，通常複雜的設備是不適合小型處理廠。

在選擇污泥脫水方法時，並無特定的規則，指明某種方法必須使用於某一特定的裝置規模，但根據美國的經驗，表10.1所示為各種脫水方法其與各種處理廠規模大小之一致性。由表中資料顯示晒乾床和污泥塘最適合小型處理廠。但這也並不表示晒乾床不能用於大型處理廠，只要氣候條件適合，土地取得容易，晒乾床將是經濟有效的方法。

表 10.1　脫水方法與處理廠規模之一致性

污泥脫水方法	處理廠規模大小		
	<0.04 cu m/s (<1 MGD)	0.4-0.44 cu m/s (1-10 MGD)	>0.44 cu m/s (>10 MGD)
籃式離心脫水機		X	X
固體承杯離心脫水機		X	X
帶壓式過濾脫水機	X[1]	X	X
真空過濾脫水機		X	X
壓濾脫水機		X	X
晒乾床	X	X	
污泥塘	X	X	

註1.：僅低壓脫水機適用於此範圍

10.2與最終處置方式之一致性

在篩選污泥脫水方法時，本點要求最為重要。對於可利用之最終處置方式，和處置時所要求之固體物含量需要特別注意，若所選用脫水方法，其去除水份會大於所選用或可利用處置方式所要求，則將造成浪費。表10.2所示為污泥脫水方法和最終處置間一致性的指標，可供選擇脫水方法之參考。

表 10.2 脫水方法與後續最終處置一致性之關係

脫水方法	最終處置方式			
	焚化[1]	堆肥	農地利用	掩埋[2]
籃式離心脫水機			X	X
固體承杯離心脫水機	X	X[3]	X	X
帶壓式過濾脫水機	X	X[3]	X	X
真空過濾脫水機	X	X[3]	X[4]	X
壓濾脫水機	X	X	X[4]	X
晒乾床		X	X	X
污泥塘			X	X

註1.：污泥自生燃燒所要求固體含量依固體中所佔有機物百分比和有機物之熱值而定。

註2.：某些地方嚴格要求土地掩埋時，污泥須具某一程度固體含量。

註3.：本法之適用性依污泥中有機含量而定。

註4.：土壤特性是非常重要的。例如某些鹼性土壤，污泥土地利用將不適合，因脫水污泥餅含有石灰。然而，土壤若含大量鈉(Na)，加入鈣(Ca)則有助於增加Ca/Na比，而可改善耕作。

10.3環境影響之考慮

在選擇污泥脫水方法時，必須考慮其對環境可能造成之影響，主要包括能量需求，噪音、震動、臭味、景觀和地下水污染。表10.3即為各種脫水方法對環境影響的評估結果。一般而言，機械脫水方法對於能源需求，噪音和震動產生影響較大，而污泥塘和晒乾床等自然方式對臭味、景觀和地下水污染之影響較需注意。

表 10.3　各種脫水方法對環境的影響

脫水方法	與環境有關因素					
	所需能源	噪音	震動	惡臭[1]	視覺影響	對地下污染水之威脅
籃式離心機	高	中等	高	低	無	無
固體承杯離心機	中等至高	中等至高	高	低	無	無
帶壓式脫水機	低	低	低	中等	無	無
真空過濾機	中等至高	中等	低	中等	無	無
壓濾機	中等至高	中等	低	中等	無	無
晒乾床	低[2]	無[3]	無	高	高	高
污泥塘	低2	無3	無	高	高	高

註1.：本項目是以未穩定化處理之污泥為評估標準，若污泥經過預先穩定理，則各脫水方法將不致產生任何顯著惡臭。

註2.：所需能源為抽送污泥之電力和從污泥床移除晒乾污泥之機械設備的柴油。

註3.：當重機械在清除晒乾床和污泥塘時噪音程度可能會很高。

10.4脫水方法之應用趨勢

本文作者曾於民國74年，對國內染整、製革、食品等業別之廢水處理產生污泥的處理與處置方式做過一次問卷調查，其污泥脫水採用方式統計的結果分別示如表10.4至表10.6。由此結果顯示，國內工業廢水處理之污泥脫水方式，以晒乾床法為各業者普遍所採用，將近佔了全部回覆問卷七至九成左右。晒乾床法已如前述為最經濟的污泥脫水處理方法，但它特別需要環境條件的配合，以台灣地區的氣候狀況而言，黃炯昌先生曾以數學模式，推估出各地污泥蒸發至預定水份含量所須之時間，如圖10.1所示，由此可知，台灣南部地區因日照量足，連續不降雨日數長，所以除夏季各月因雨量較多，污泥不易晒乾外，其餘各月份多無問題，再加上如工廠廢水規模不大，土地取得容易，採用晒乾床法處理污泥，尚為適合，唯每年仍有三個月左右的時間，污泥不易乾燥，因此污泥濃縮槽或消化槽必須有足夠的體積，以貯存此期間之污泥量，同時晒乾床面積亦需加大，以備處理貯存污泥。至於陰天及降雨日數多而潮溼的北部地區，則由圖10.1顯示，每年僅有二、三個月污泥可以自然乾燥，其餘時間除非晒乾床加蓋，否則不適採用晒乾床法，而以機械脫水方式較為可行，但上述結果指出，採用機械脫水者所佔比例不多。

根據1975及1984年美國紙漿及造紙工廠，對於其廢水處理後產生污泥之脫水方式調查統計的結果，比較如表10.7所示，由此可知，在此十年間，機械脫水方式所佔的百分比，有很大的變化，目前以真空過濾法和帶壓式過濾法為最普遍採用的方式，而離心法和壓濾法均有逐漸減少和被帶壓式過濾法取代的趨勢。

在日本絕大多數的污水處理廠均採用機械脫水的方式，僅某些鄉村地區採用晒乾床法。表10.8所示為1962至1982年間，污水廠採用機械脫水之脫水機型式變化的趨勢，由此顯示過去大都採用真空過濾法，但最近很多廠有採用帶壓式過濾法的傾向。採用帶壓式過濾法主要是因為所產生污泥餅含熱量較高，有利於污泥焚化處置。另外，表10.9所示為近年來脫水機訂購數目的趨勢，顯然可見，帶壓式過濾機為愈來愈普受歡迎。

表 10.4 染整廢水之污泥脫水方式統計表

污泥脫水方式	直接脫水		濃縮後脫水		總計(%)
	工廠數	百分率(%)	工廠數	百分率(%)	
壓濾法	2	2.9	3	4.3	7.2
離心法	1	1.4	1	1.4	2.8
晒乾床	51	72.9	11	15.7	88.6
其他	1	1.4	-	-	1.4
總計	55	78.6	15	21.4	100

* 總問卷寄發工廠數為123家

表 10.5 製革污泥脫水方式統計表

污泥脫水方式	直接脫水		濃縮後脫水		總計(%)
	工廠數	百分率(%)	工廠數	百分率(%)	
壓濾法	1	4.2	1	4.2	8.4
離心法	1	4.2	-	-	4.2
晒乾床	9	37.4	11	45.8	83.2
其他	1	4.2	-	-	4.2
總計	12	50	12	50	100

* 總問卷寄發工廠數為41家

表 10.6 食品污泥脫水方式之統計表

污泥脫水方式	直接脫水		濃縮後脫水		總計(%)
	工廠數	百分率(%)	工廠數	百分率(%)	
壓濾法	1	4.2	4	16.7	20.9
離心法	1	4.2	1	4.2	8.4
晒乾床	10	41.6	7	29.1	70.0
總計	12	50	12	50	100

* 總問卷寄發工廠數為45家

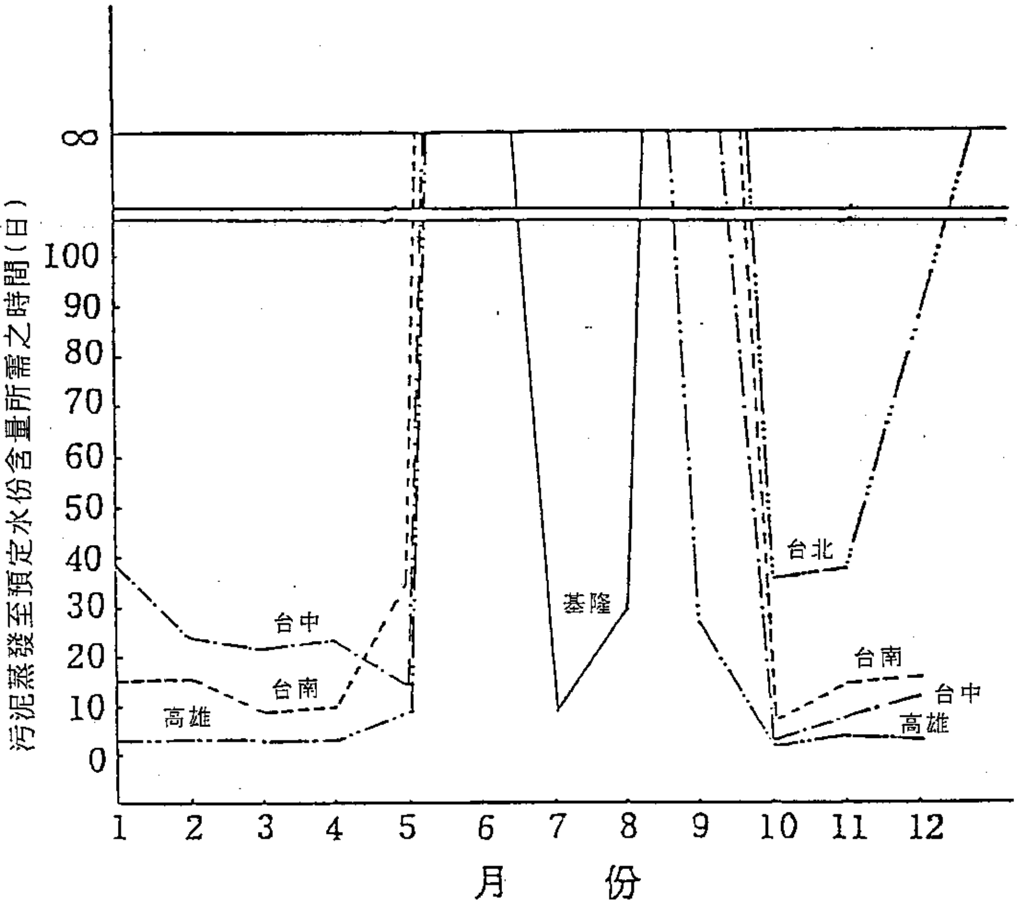


圖10.1 台灣各地污泥蒸發至預定水份含量所需之時間

表10.7　美國紙漿及造紙工業有關廢水處理之污泥脫水方式

脫　水　方　式	1975 年		1984 年	
	工廠數	百分比%	工廠數	百分比%
Centrifuge	25	15.3	23	9.4
Vacuum filter	26	16.0	71	29
Vacuum filter-V press	17	10.4	-	-
Lagoons	24	14.7	67	27.3
V press	3	1.8	8	3.3
fliter press	31	19.0	4	1.6
Screw press	5	3.1	16	6.5
Belt press	-	-	35	14.3
Flotation	-	-	5	2.0
Heat drying	-	-	1	0.4
other	32	19.7	15	6.1
Total	163	100	245	99.9

表10.8　日本污水廠採用各型污泥脫水機之情形

脫水機型式	處理廠數		
	1962	1972	1982
真空過濾脫水機	25	153	176
離心脫水機	6	21	141
壓濾脫水機	0	14	78
帶壓式過濾脫水機	0	0	99
其　　他	1	1	5
總　　數	32	188	499

表 10.9　日本污水廠採購脫水機之趨勢

脫水機型式	脫水機訂購數						
	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
真空過濾脫水機	38	17	22	9	7	2	9
離心脫水機	36	38	43	32	21	19	5
壓濾脫水機	23	22	26	22	19	13	14
帶壓式過濾脫水機	10	52	32	43	35	34	33
其　　他	5	4	13	7	1	6	2
總　　數	112	133	135	113	83	74	62

綜合上述，國內現階段大多數工業廢水之污泥脫水處理，仍以設計操作最為簡單的晒乾床為主，但若考慮未來環保單位嚴格執行污泥最終處置之管理時，並參考目前國外之經驗，機械脫水處理污泥可能為未來發展的趨勢，而其中帶壓式過濾脫水將可能成為主流。不過在此值得注意的，未來亦可能有較新型且脫水效果較佳的脫水機被發展出來。

第十一章　結論

污泥脫水處理為污泥處理與處置程序中之一重要的過程，良好的污泥脫水設計與操作，不但可大量地減少污泥體積量，改善污泥品質，且對於後續污泥的輸送、搬運和最終處置，在成本和操作上均有顯著的正面影響。目前國內污泥脫水處理，特別是工業廢水處理所產生污泥，大多採用簡易的晒乾床法，其處理效果因受天候的影響或操作不當，致效果不佳。未來國內環保單位對於污泥的管制將更趨嚴格，故如何提升污泥脫水處理技術和加強污泥處理與處置的觀念，乃是值得各界共同努力。

第十二章　參考資料

1.曾迪華，"廢水處理產生污泥之最佳處理及處分評估一染整業、製革業、紙漿業、食品業"，國立中央大學土木工程學研究所研究報告，民國74年11月。

2.曾迪華，"都市污水廠污泥脫水性和燃燒值改良之研究"，國科會專題研究計劃成果報告，NSC 74-0410-E008-05，民國74年8月。

3.曾迪華，"以機械脫水和自然乾燥法進行污泥脫水性和燃燒值改良之研究"，國科會專題研究計劃成果報告，NSC 75-0410-E008-03，民國76年2月。

4.楊萬發，"污泥處理問題與對策"，民國76年。

5.歐陽嶠暉，"廢水處理廠操作管理(+)一污泥脫水，乾燥"，工業污染防治，第四卷，第二期，民國74年4月。

6. U.S.EPA, "Process Design Manual for Dewatering Municipal Wastewater Sludges" , EPA-62511-82-014, Oct.1982.

7. Vesilind, P.A., "Treatment and Disposal of Wastewater Sludges" , Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, MI., 1979.

8. Eckenfelder, W.W, Jr. and Santhanam, C.J., "Sludge Treatment " , Marcel Dekker, Inc., 1981.

9. "Sludge Dewatering", Manual of Practice No.20, WPCF, 1983.

10. U.S. EPA, "Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal", EPA 62511-79-001, Sept. 1979.

11. Adams, C.E.Jr., Ford,D.L., and Eckenfelder, W.W.Jr., "Development of Design and Operational Criteria for Wastewater Treatment", Enviro Press, Inc., 1981.