

污泥調理及高分子藥劑之選擇

黃志彬* 張敏超**

摘要

污泥調理(sludge conditioning)為一重要污泥處理程序，而調理劑的使用與劑量的添加更是其主要關鍵，因此如何選擇一合適之調理劑，為處理廠所應重視之問題。本文分成六章節，分別說明調理劑選擇的重要性、調理策略、形式以及調理對脫水行為的影響，此外針對各種調理劑性質作一整理，並提供選擇調理劑時的考量步驟及相關檢測技術，最後再經由各項檢測技術結果分析（濃縮沈澱試驗、浮除試驗、毛細汲取時間試驗、過濾時間試驗、過濾葉試驗…等），以提供處理場在面對選擇調理劑時之參考依據。

【關鍵字】

1. 污泥調理(sludge conditioning)
2. 高分子聚合物(polymer)
3. 脫水(dewatering)

* 國立交通大學環境工程研究所教授

** 工業技術研究院化學工業研究所研究員

一、前　　言

經濟部工業局有鑑於所輔導之工業區廢水處理已日有績效，但對於其後續污泥的處理及處置並未有效管理，遂於民國86年專案補助各工業區興建污泥脫水設備，以減少工業區廢棄污泥的產量。但一般工業區廢水處理廠的污泥操作人員對於污泥處理中藥劑的選擇及加藥量的判定，均來自藥品供應商所提供的資訊，如此未能有效的考慮實廠操作中的情形，易造成脫水效果不良、增加操作及污泥處置之成本，因此建議實廠操作人員應自行建立加藥藥劑的選擇及加藥劑量的評估技術，以提高污泥處理及脫水的效率。

一般說來，處理廠產生之污泥特性有二：體積大及固含量低，因此為了減少污泥之體積，同時提高其固含量，污泥則需經脫水處理，而要得到良好的污泥脫水處理效果，則需針對不同污泥之特性進行調理(conditioning)，以改變污泥性質，使之易於脫水；整體而言，污泥調理方法包括化學方法、物理方法及生物方法，其中以化學方法的使用最廣。污泥化學調理乃利用添加化學藥品來改變污泥性質（表面性質、結構等），以達到利於污泥脫水的條件，因此化學調理是一種比較經濟的污泥調理方法。

然而，化學處理程序上所面臨的首要問題即是化學調理劑的選擇，因為要從市面上種類繁多的調理商品中找出調理效果佳且符合實廠操作的藥劑不容易，本文即針對此一問題，初步介紹各式調理劑，此外並提供一選擇調理劑的方法，藉由透過化學調理常用之檢測指標，包括布氏漏斗試驗、毛細汲取時間試驗、濃縮沈澱試驗、浮除試驗、過濾葉試驗、瓶杯試驗等結果，來評估調理劑的效能，進而提昇脫水之效能。

二、調理策略及形式

2.1 污泥調理策略

污泥調理策略一般可分為三項，首先經由物理化學方法以改變污泥溶液性質，如增高溫度，可使其溶液黏度降低，有助於減少後續脫水處理時流體流動之阻力；其次，可改變污泥中固體物的性質，藉由加入高分子聚合物或其他化學藥品來中和

污泥顆粒所帶電荷，以達到混凝、膠凝效果，產生較易移除之膠體，或是經由不同的調理條件來改變所形成膠羽顆粒的壓縮性及滲透性，以利過濾；最後，調理亦可改變固體顆粒與溶液水分子間界面上的反應，如膠羽間不同程度的凝聚，而直接影響污泥顆粒上水份分佈的情形。此外，污泥顆粒中生物細胞經由調理後，可能藉由不同機制釋放出部份的鍵結水，如此亦可造成污泥顆粒表面水份的降低，利於後續的脫水。

以上污泥調理的策略其目的就是要改變污泥性質，使污泥的脫水效率達到極限，以達到落實污泥處理減量、減積之目標。另外，經由調理過程亦會使污泥中一些病原體被分解及達到臭味減少、外觀性質改善的要求，使污泥更趨安定化。經濟成本角度評估污泥處理，相較於環境衝擊及經濟利益，調理污泥所花費的成本是值得的，如更能進一步藉由調理處理而將污泥資源化，則污泥處理事業將是未來一新興市場。

2.2 污泥調理形式

污泥調理的型式，可依其處理方法區分為：化學性調理(chemical condition)、物理性調理（physical condition）、生物性調理（biological condition）三種，化學性調理即是於污泥處理過程中加入無機或有機化學添加劑，其中以添加無機性調理劑最為廣被利用，國內現幾乎採用此種調理方法；物理性調理一般說來為熱處理（thermal treatment）及凍融處理（freeze/thaw treatment），在高緯度國家中凍融處理被視為一經濟有效的污泥處理技術，而國內在此凍融處理技術之研究，在國際上已相當領先⁽⁴⁾⁽⁵⁾；生物性的處理，通常是藉由生物生長過程時養分所需，而改變污泥性質，通常生物處理後的污泥其脫水性有明顯的改善。

三、污泥化學調理對其脫水性之影響

3.1 污泥化學調理原理⁽⁷⁾⁽⁸⁾

化學調理劑在污泥調理之反應機制主要為電性中和(charge neutralization)及顆粒間之架橋作用(interparticle bridging)。其中帶正電荷之高分子調理劑吸附在帶負電荷之無機性膠羽上，使膠羽電性中和而達到去穩定(destabilization)狀態，此為電性中和；不帶電之膠羽與中性高分子調理劑則藉凡得瓦爾力結合，而使膠羽呈聚集

狀態，此為顆粒間的架橋作用。與化學調理劑結合後之去穩定狀態膠羽可藉多顆粒間之架橋作用(multiparticle bridging)凝聚在一起，並可再藉由上述兩個主要混凝機制，使小顆粒膠羽，在沈降過程中經碰撞原理或物理、化學吸附過程，相互凝聚成大膠羽，此時亦有拌除作用(enmeshment)產生，再藉沈降效應，達到去除水中固體顆粒的目的。

3.2 污泥中水分分佈

污泥中之水分多寡，一直是污泥處理過程中重要的參數，大部份未經處理的污泥，其含水率約有90%以上，而此高含水量則直接影響其所形成之體積，致使污泥在處理及處置上必須耗用相當成本來進行減積。然而，有關污泥中水分存在型態的研究已有30年歷史，期間提出相當多種之型態定義與分類，如1990年Tsang以乾燥法將污泥區分為以下(圖1)四種型態的水分佈⁽³⁾：

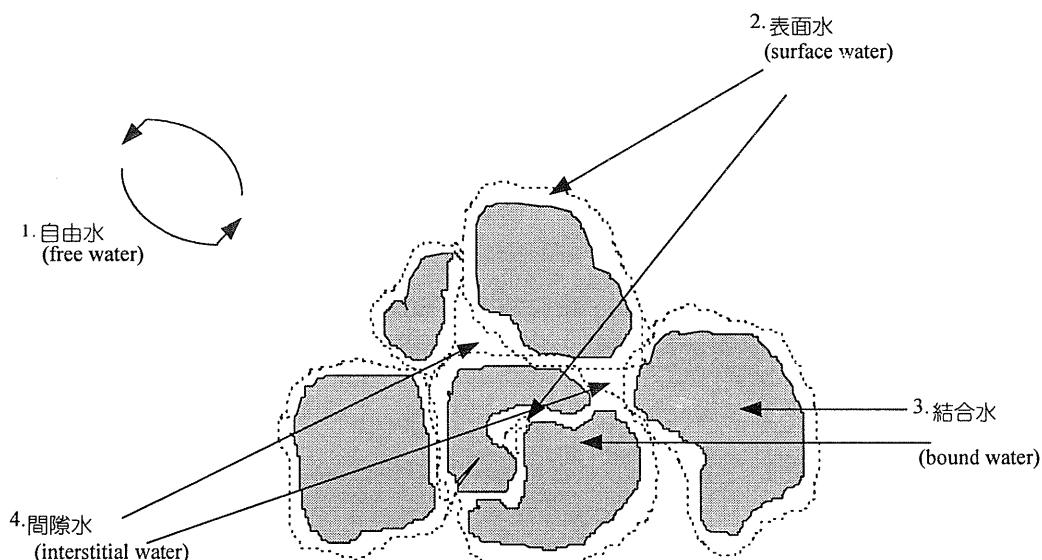


圖1 四種型態的水分佈示意圖

一般較簡單之區分水分方式則是將污泥中之含水分大體上分為結合水(bound water)與自由水(free water)兩種⁽⁶⁾。前者乃指污泥顆粒間與顆粒本身，因物理吸附或化學鍵結，甚至污泥中存在之生物體體液等水分子其活動力較低，需藉由機械力或化學反應移出之水稱為結合水，而所謂自由水則是指結合水以外可自由流動並可

以重力方式引出等易移除之水。由此分類亦可以簡單瞭解污泥中結合水所佔比例關係著污泥脫水的難易。Visilind 1994年更是提出結合水含量一般即可視為機械脫水的上限，用此來說明污泥中水分分佈與脫水效率的關係。

3.3 化學調理與脫水性關係

污泥調理成效的好壞，主要乃在於其水分移除的多寡或移除之快慢。一般大多以所謂“脫水性”(dewaterability)來作為其績效指標，最常作為此項指標為：比阻抗(specific filtration resistance, SFR)及毛細汲取時間(capillary suction time, CST)。經由化學調理過後，存在於污泥中之固體顆粒會因前述的作用機制，而造成小顆粒的聚集，形成容易沈降的大顆粒膠羽，使固液分離的效果更趨明顯，此結果直接影響到污泥的脫水速率。此外污泥顆粒因凝結而增大，當沈降於濾床時，所形成的濾率床孔隙會較細顆粒沈積所形成的濾床為大，可減小過濾液體流過的阻力，增加脫水速度。除此之外，在脫水的影響因子上，固體的壓縮性也是一重要考量因素，經調理後的污泥膠羽顆粒，會因其調理時選用的調理劑種類劑量及其作用機制的不同，產生不同緻密程度的膠羽，此膠羽結構對於污泥的脫水性有決定性的影響。

當調理條件控制於最佳加藥量點下，所產生的膠羽顆粒密度最大，即其結構最緻密時，膠羽顆粒沈降速率會最快，產生的顆粒所形成的濾床有較小的穿透阻力，且固體可壓縮性最小，則其過濾脫水所花的時間最短，亦即有較佳的脫水性。因此化學調理成效的良窳，與後續脫水能力有密不可分的關係。

四、影響化學調理效率之因素

當高分子化學調理劑加入污泥樣品中，會因調理環境的因子或是污泥本身性質的不同，造成調理效果上的差異。影響調理效果的主要因素如下：

4.1 水溫

在較低水溫（如冬天寒流來襲時）時，高分子調理劑需較長時間才能完全展開，且高分子鏈與污泥膠羽的碰撞接觸頻率亦較低，因此以稀釋法配置調理劑時要花較長的攪拌時間，且欲達相同調理效果以較低溫時需較高之添加量。

4.2 pH值

化學混凝中，調pH值的小動作，對混凝結果影響很大。pH高低除影響懸浮粒子和膠羽的表面電性外，亦會改變高分子調理劑的電性強度，如圖2所示，偏酸性pH操作條件適合用低陰離子及非離子性，弱酸至近中性pH範圍則適合選用高陰離子性。高分子調理劑對pH敏感度高，如陰離子性高分子調理劑於pH值小於5的稀釋水中，分子鏈無法充分張開，陰電性強度亦會減弱，快混後廢水之pH若偏低，水中之氫離子會先中和掉部份陰離子基，而致凝結效果明顯變差。陽離子性高分子調理劑稀釋液若pH高於10，因氫氧根離子會造成陽離子官能基水解，稀釋液黏度可能數小時後即消失。

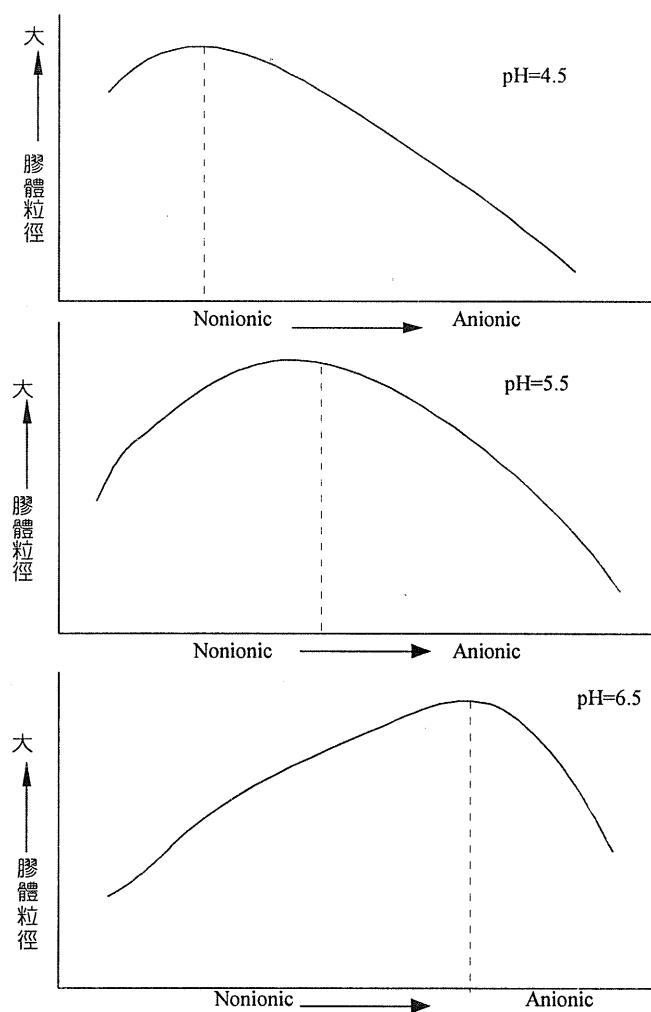


圖2 pH值與離子性關係圖

4.3 鹽類

鹽類的影響如同pH一樣，高分子調理劑在含鹽分的水中，分子鏈會受到金屬離子作用而無法充分展開，而降低高分子鏈與懸浮粒子作用的有效體積。高分子調理劑應避免以含高價離子的水來稀釋，如常見之鈣、鐵離子會影響陰離子性高分子，而硫酸根、磷酸根離子則會影響陽離子性高分子。

4.4 稀釋條件

高分子調理劑是極高分子量的丙烯醯胺共聚合物，機械剪力會切斷高分子鏈，導致分子量下降，因此稀釋液配置時攪拌速度不宜過快，熟成後即停止攪拌。為達致高分子調理劑最佳效果（即高分子鏈完全展開），粉粒型樣品需約一小時，乳化型樣品需十分鐘，水溶液型樣品則只需一至二分鐘。

4.5 稀釋液之儲存

高分子調理劑濃度越低化學安定性越差，國外常建議採兩階段稀釋（詳見本文6.2.1），但國內的習慣是直接加足量水稀釋成使用濃度，因此稀釋液最好能在安全儲存期限內用完，以避免高分子的變質，稀釋液變質會由原先之透明變成白色且無黏性。陰離子性高分子調理劑通常稀釋成0.1%，稀釋液在正常狀況下可維持一週而不變質，陽離子性高分子調理劑一般是0.2%，但安定性差，通常隔日黏度即會大幅下降。

4.6 添加點之選擇

影響高分子調理劑效果的另一項因素是添加點的選擇是否正確。在化學混凝中慢混池是採開放式，若改變高分子調理劑添加位置以提高或改變凝集效果是較容易的。但在污泥調理脫水程序中，一般是採用管路加藥方式，若原設計添加點位置不良，而要改變其位置則較困難。在國內對廢水處理先期的評估做的並不很理想，通常會在設備完工後，發現實際處理量超過設計量，或廢水和污泥的性質與設計時有差異，因此可由更改污泥與高分子調理劑的混合速度，或稀釋高分子濃度來改善脫水效率。

4.7 分子量高低選擇之影響

就化學混凝觀點來看，高分子調理劑之分子量越高，凝集成的通膠羽顆粒越大，沈降速度也會越快。但對污泥調理脫水而言，脫水效率和調理劑分子量的關係

就沒此規則性，而是與污泥性質及脫水機種類有關。如圖3，消化程度較好的污泥可選用分子量較低的高分子調理劑。適用於各型脫水設備之高分子調理劑之建議分子量範圍如圖4所示。

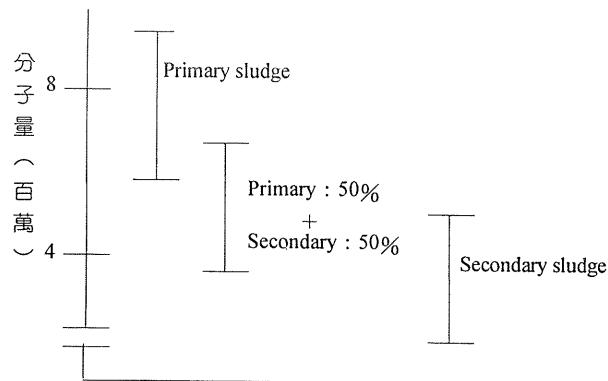


圖3 高分子調理劑分子量與污泥種類關連性

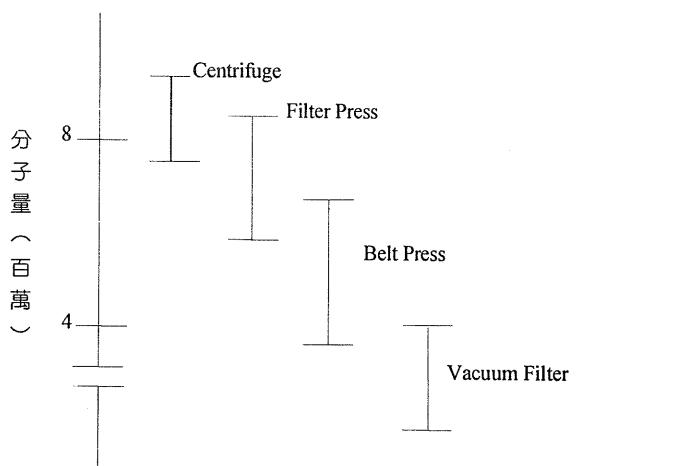


圖4 各型脫水設備之高分子調理劑分子量之建議範圍

五、高分子調理劑之介紹

5.1 有機高分子調理劑

有機高分子調理劑的使用，很久以前就已經開始，最早是採用天然的水溶性高分子。1950年代美國首先出現合成有機高分子調理劑的商業化生產，由於具有比天然高分子更高的分子量，凝結效果顯著，因此，發展十分迅速。

5.1.1 有機高分子調理劑之種類⁽⁸⁾

5.1.1.1 天然的有機高分子調理劑

主要是一些天然的多醣類，如海藻酸鈉。合成的有機高分子調理劑則包括聚丙烯醯胺系(polyacrylamide)、聚丙烯酸系(polyacrylic acid)、聚胺系(polyamine)、四級胺系…等，如表1。其中以聚丙烯醯胺系、聚胺系及聚四級胺系為目前市場上之主要產品，而純聚丙烯酸目前多做分散劑用。

表1 有機高分子調理劑之種類

a. 陽離子型高分子

型式	高 分 子	電荷	分子量	製品型態
聚 合 系	polyamino alkyl - (meth) acrylate	小 大	數萬 數百萬	粉 (液)
	polyvinyl pyridinium halide			
	polydiallyl ammonium halide			
高 分 子 反 應 系	polyamino methyl acrylamide	小 大	數萬 數百萬	粉 (液)
	polyvinyl imidazole			
	Chitosan			
縮 合 系	四級胺系	大	數千 數萬	粉 (液)
	epoxy amine系			

b. 陰離子型高分子

型式	高分子名	電荷	分子量	製品型態
聚合系	polyacrylate(或 acrylamide與 acrylate的共聚合物)	小一大	數萬—數百萬	粉(液)
高分子反應系	polyacrylamide部份水解產物	小一大	數萬—數百萬	粉(液)
	polysulfomethyl polyacrylamide			

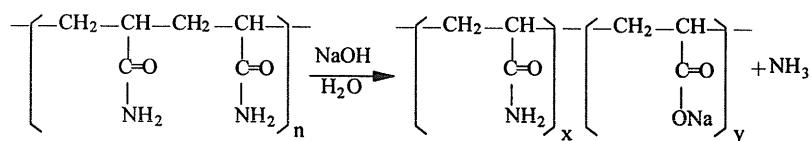
c. 非離子型高分子

型式	高分子名	電荷	分子量	製品型態
聚合系	polyacrylamide		數百萬—一千萬	粉(液)
	polyethyleneoxide		數百萬	粉
縮合系	尿素—甲醛樹脂		數千	液

為了因應各種不同水質的處理，高分子調理劑在構造上必須多元化，以產生不同的分子量、帶電性及電荷密度。事實上，單純 acrylamide的均聚產物(homopolymer)並不具離子性，需藉共聚合或化學改質的技術來賦予各種不同之性質。依帶電性，可將高分子調理劑分為以下三種：

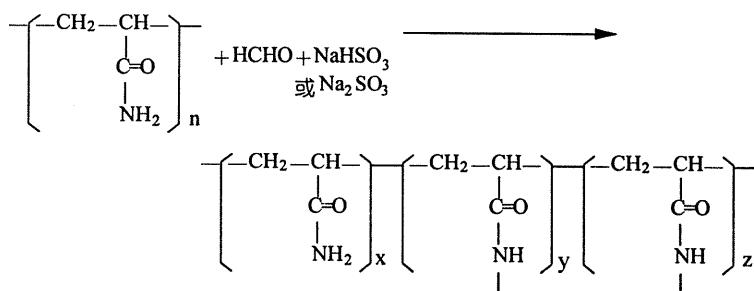
(1) 陰離子型 — 帶負電荷之聚合物，其製造方法有三：

a. 將丙烯醯胺之均聚合物經過部分水解，反應式如下：



聚丙烯醯酸在鹼性下加熱，即行部份水解，一部份的醯胺酸變羧基(carboxyl group)，實質上則變為丙烯醯胺與丙烯酸之共聚合物。

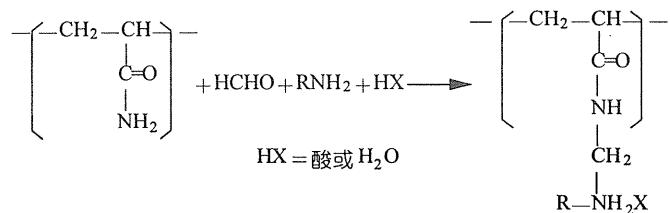
b. 將丙烯醯胺之均聚合物甲基磺化(sulfomethylation)，在甲醛及酸性亞硫酸鈉中反應，可生成陰離子性之聚合物。



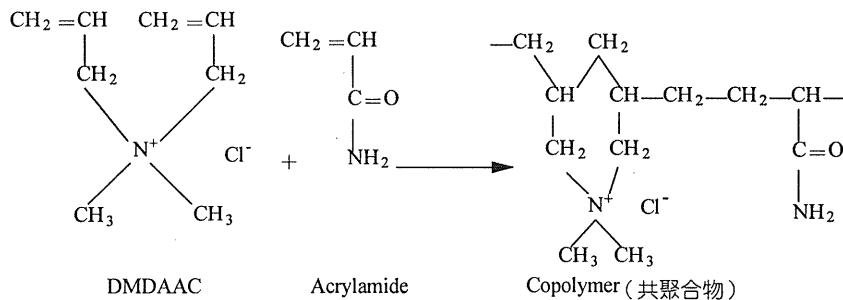
c. 將丙烯醯胺單體與丙烯酸(acrylic acid)或無水馬林酸(maleic anhydride)或甲基丙烯酸(methylacrylic acid)進行共聚合反應。

(2) 陽離子型 — 帶正電荷之聚合物，其製備方法有：

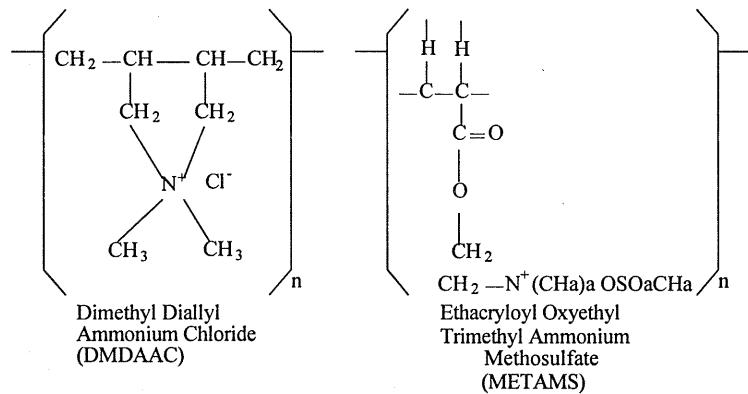
a. 與胺及甲醛進行Mannich反應。



b. 將丙烯醯胺單體與四級胺如 Dimethyl Diallyl Ammonium Chloride (DMAAC)或 Methacryloyl Oxyethyl Trimethyl Ammonium Methosulfate (METAMS)進行共聚合反應。



另外，也有單純四級胺之均聚合物：

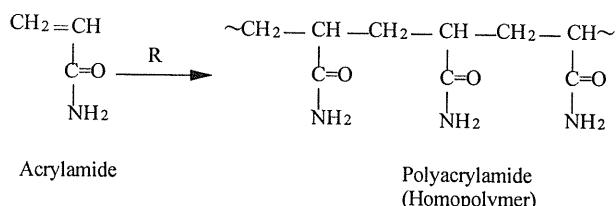


(3)非離子型 — 非離子型的主要產品為丙烯醯胺之均聚合物，也有與methylacrylamide、N-methylolacrylamide、N-N'-bisacrylamide或diacetone acrylamide之共聚合物。在產品的型態上則可分為：

粉狀：有效含量100%

乳化型：有效含量25~60%

水溶液型：有效含量6~30%



5.2 國內產銷現況

5.2.1 生產廠家

國內Polyacrylamide系高分子調理劑的製造廠家不多，但技術皆為自行發展。最早為立圓化學，於7~8年前開始生產乳化型Polyacrylamide；之後分別有台灣聚合及長春化學兩家加入，產品形式主要為乳化型。另外，Polyamine系則有台灣氯胺及長春生產。

5.2.2 供需狀況

5.2.2.1 生產

雖然國內廠商在數年以前就已有能力生產，但由於市場上對乳化型產品之接受性不好，因此並未大量生產，長春公司於77年初開始生產乳化型產品，產能為200ton/月；而2~3年前就已有生產的台灣聚合則於最近重新對外推出粉狀、液狀及乳化型三種產品，再做衝刺。其主要原料(acrylamide單體)，有些自國外進口，有些是長春公司的產品。台灣氯胺的Polyamine年產能10,000公噸，但由於市場仍小，產量很少，其產品主要供給石化業使用。

5.2.2.2 進出口

由於高分子調理劑並無單一C.C.C. code，因此進口量只能由廠商訪問得來，根據工研院化工所調查的結果，民國84年高分子調理劑之進口量約1,500噸，進口之廠

商很多，而且不斷增加中，來源國歐、美、日皆有，國內主要之代理商及銷售品牌示於表2。為了運輸及貯存方便，進口者多屬粉狀高分子。

5.3 價格

高分子調理劑的售價因產品種類而有不同，幾年前每公斤約四、五百元，最高還曾到一千元，但這一、二年來，由於貨量大增而激烈削價競爭，使得價格迅速下降，目前售價每公斤一百多到三、四百元不等。

表2 國內主要高分子調理劑之代理商

代理 商 名 稱	進 口 國	廠 牌
台納化學股份有限公司	美國、法國	NELW
台灣培芝股份有限公司	美國	BETZ-DEARDORN
台灣開廣股份有限公司	美國	Calgon
台灣鉅邁股份有限公司	美國	FMC
台灣栗田股份有限公司	日本	KURITA
聖益貿易股份有限公司	日本	DIAFLOC
台灣福盈股份有限公司	日本	SANFLOC(三洋化成)
星南貿易股份有限公司	日本	東亞合成化工
奎山股份有限公司	美國 英國	MAZER ALIED
華禹股份有限公司	美國	CALGON
保利鐵股份有限公司	日本	新日鐵
六和化工股份有限公司	西德	STOCK HAUSEN
敬業行股份有限公司	日本	HIMOLOC(協立有機)
四達化學股份有限公司	英國	ALLIED COLLOID
台灣氰胺股份有限公司	日本	日本氰胺
公良興業（申強）股份有限公司	美國	KNOWFLOC

六、選擇調理劑之實驗室分析方法及步驟

6.1 選擇調理劑之依據及其複雜性

調理劑在選擇時，因市場中有許多種類聚合物可以取得，且不同的聚合物有不同的特性(如帶電荷性、電荷密度及分子量等，再加上所處理的污泥特性的多變性，因此增加了選擇調理劑之複雜性。

此外，如果以實廠規模來測試聚合物的調理效果，其評估程序不但費時且昂貴，因此藉在實驗室先行評估各調理劑之功能，再從中篩選效果較佳的幾種調理劑來進行『以全規模測試』，為現階段較可行之方式。

一般而言，聚合物之選擇乃根據下列三種方式進行的：(1)不同聚合物經由生產公司以廠內實驗室規模來試驗其聚合物的效果，並推薦其效果最好的產品給業者；(2)業者以實廠規模試驗各方面推薦之調理劑，而各生產公司可從該試驗結果得知其推薦之調理劑是否較別家佳，測試結果較好之產品，在市場上易被接受；(3)生產公司提出具競爭力產品，而業者是以成本價格為選取此產品之基本考慮因素。

然而，這些經生產公司初篩之調理劑，並不一定適用於實廠操作，其原因為大部份的生產公司在選擇判定調理劑效能時，只是透過觀察污泥形成膠羽的程度，並未將加藥劑量的因子考量進去。另外，不同生產公司所推出的產品，在作評鑑產品功能時，未能使用相同之污泥來源或在相同調理條件下調理，因此不同公司的產品並不能相互比較。還有當實廠操作時的一些處理條件（如季節變化、過濾前的固體物濃度……等），廠商在評估測試時都未能加以考慮進去。此外，對於一些小型的處理廠而言，廠商因不會重視其所需，相對的所提供的調理劑資料則較不完全，這些現象值得現場操作人員注意。

針對以上的幾項現象及其造成之問題，建議處理廠的操作人員在選擇調理劑前應先自行進行小型的評估試驗，將實廠調理時的操作條件，如pH、助凝劑的加入或其他化學添加劑的加入……等條件考慮進去。此外，加入藥劑的先後次序之安排、操作時的攪拌強度和時間、調理劑經管線傳送的耗損情形，都是在評估時不可忽略的。有鑑於此，本文在此推薦十四種檢測調理及脫水性之分析步驟，以提供處理廠操作人員在選擇調理劑的參考依據。

6.2 十四種檢測調理及脫水特性之方法及項目⁽⁷⁾⁽⁹⁾

6.2.1 準備調理劑溶液和污泥樣品

進行污泥脫水特性分析前，準備配置高分子調理溶劑，一般建議聚合物儲備溶液濃度為 0.5% (即 5 g/L)。首先將粉狀或粒狀高分子於分析天秤稱重後，徐徐地將其加入至急速混合渦流之燒杯中，攪拌至少一小時，並儘可能減少高分子聚合物微小團塊的產生，此溶液在 4°C 下的保存期限約為 5 天。於實驗前將儲備溶液稀釋成為試驗溶液，濃度為 0.1% 或 0.2% (參見 4.5 節)，其稀釋攪拌過程同儲備溶液之製備，試驗溶液必須每天準備。

若產品供應商有建議特定聚合物的稀釋濃度或過程，則以其建議方法進行。此外，若在配製調理劑時有難溶解現象發生時，則可使用溫水 (約 70°C)。

污泥樣品量應足夠供應在同一批次的所有試驗，並於分裝燒杯前適度的攪拌均勻，儘量避免因污泥中明顯之生物存在而造成各污泥樣品間的差異。

6.2.2 調理產品用之一般篩選程序

調理產品用之一般篩選程序亦稱作 “澆倒測試” (pour test)，是將 500 毫升污泥裝入一公升燒杯之內，加入聚合物調理後，將此燒杯內污泥倒入另一燒杯，重複相同步驟至少十次 (當超過 50 次以上時，可視為模擬強攪拌離心操作)，並經由實驗過程中觀察顆粒膠凝現象和膠羽破碎情形，最後讓污泥樣品沈降約 10 分鐘，觀察膠羽大小，沈降速度和上層液澄清度。

6.2.3 污泥杯瓶試驗(jar tests)

將同一批次的污泥樣品置於杯瓶攪拌設施下 (一種具多測試功能的實驗室型攪拌器)，使用一連串設計好的混合速度 (快混、慢混)，並計時攪拌時間、次數及記錄攪拌強度，實驗過程中儘可能的模擬實場操作的條件。污泥經杯瓶試驗後，要對所要污泥性質 (沈降性，浮除效益，脫水性) 進行適當測量並記錄。

污泥杯瓶試驗實驗步驟：

- 1.根據 6.2.1 方法配置調理藥劑。
- 2.選擇最適切的高分子調理劑量：將配置好的 0.1% 工作溶液，設計成五至六個劑量 (需包含無添加狀況及較低、較高之加藥情形)。
- 3.取定量之污泥樣品 (約 500mL) 置入 1L 燒杯中。

4. 估算高分子藥劑加量及其他化的學添加劑的加量（包括pH調整劑、離子強度控制劑及其他為模擬實場所添加的化學物質）。
5. 攪拌調理加藥後之污泥：將設計好之調理狀況（依據6.2.4步驟，例如：攪拌轉速為200rpm、攪拌時間為3min等），需注意槳葉必須離杯底有一定距離（約2~3公分，但應依槳葉大小而定）。
6. 攪拌調理後，將污泥樣品依6.2.5至6.2.9的測試方法，量測在不同劑量下之脫水性。
7. 分析各加藥量的結果並試繪出圖形。

6.2.4 選擇污泥杯瓶試驗條件以模擬實場操作

先進行實場中不同污泥樣品的取得，透過實驗室中杯瓶試驗操作條件的控制，來模擬實場中污泥調理的情形，以求取最佳化的操作條件。其實場中初步試驗及實驗室中杯瓶試驗步驟如下：

1. 實場中的初步試驗：

- (1) 調整入流原水的流速，使系統穩定。
- (2) 調整並控制加藥機的加藥量。
- (3) 改變加藥劑量，並使其穩定（可能需10~15min的攪拌及30min的重力分離）。
- (4) 將經調理及重力分離的污泥取出，依照6.2.3的實驗步驟進行污泥杯瓶試驗，求取各項測試結果。
- (5) 重複上述步驟，改變加藥劑量，求取在不同操作條件下所產生污泥的參數。
- (6) 收集所有不同調理情形下產生的污泥及其泥餅樣本，並使用標準方法測試其固含量。
- (7) 繪出在不同加藥情形下固含量的變化。
- (8) 繪出在不同加藥情形下各種測試結果的比較。

2. 實驗室杯瓶試驗模擬實場：

- (1) 依實場中的初步試驗，計算推估出每升污泥可能需要的調理劑量。
- (2) 將實場中得污泥樣品依6.2.3方法進行污泥杯瓶試驗。
- (3) 考慮實場的操作條件，並將攪拌強度及脫水過程中管路可能之水頭損失一併考慮。
- (4) 設計杯瓶試驗，固定時間或轉速，以求得不同操作下各調理劑量的變化。

- (5)繪出在不同轉速或攪拌時間下脫水效率的結果。
- (6)整理實驗室杯瓶試驗資料，以模擬出實場中最適操作條件。

6.2.5 濃縮之沈降試驗

將調理後污泥於設計的控制條件下，置於沈澱筒中沈澱濃縮，可量測污泥體積指數(SVI)：

$$SVI = 1 / \text{沈降30分鐘後之污泥密度}$$

其中污泥密度可由污泥初始懸浮固體量(SS)和其最終沈澱體積計算求得。

此外，可量測沈降層的沈降高度與時間的關係，進而求得沈降高度與時間的函數，再透過公式推導，可預測全規模之沈降時間及其規模。

6.2.6 浮除測試

此程序使用於實驗室規模，浮除研究之測試設備包括一壓力槽，其功能乃將空氣加壓，而受壓空氣經管線導入污泥槽中與調理後污泥混合，當高壓空氣解壓後會形成小氣泡吸附在污泥顆粒上，進而使污泥顆粒上浮，達到浮除濃縮的目的。實驗中可量測之項目包括固體上升速度、上浮固體濃度及殘留之固體物濃度。

6.2.7 毛細汲取時間測試

此測試方法為一簡單迅速的污泥測試方法，可用來量測污泥的脫水性，將調理過污泥樣品(約3~5毫升)置入小型圓形套環裝置中，套環下有一標準濾紙，藉由毛細活動及擴散現象，可量得污泥因重力所排出的水量與時間的關係，當污泥汲取水分越久(即所花的時間越多)，則代表此污泥脫水性越差。因此，毛細汲取時間值與加藥量關係曲線的最低點，代表著最易脫水之污泥或調理狀況的最佳加藥點。

毛細汲取時間試驗(CST)實驗步驟與裝置：

利用Triton -200型CST測定儀來量測，其設備與裝置如圖5所示，使用之污泥貯積筒直徑則為10mm。

- 1.將烘乾後的Whatman No 17濾紙，置於底座壓在探針下。
- 2.取定量之污泥樣本(約3mL)置入污泥貯積筒中。
- 3.污泥中滲出之水分，當與濾紙接觸後，藉由毛細作用，使得水分由濾紙中間逐漸向外以同心圓的軌跡擴散。
- 4.水分擴散至探針1A與1B時，計時器被啟動，而水分擴散至探針2時，計時器則停止計時。

5.水分由內圈感應器擴充到外圈感應器所需之時間，即稱為毛細汲取時間(CST)。

6.同一樣品進行三次實驗，平均之。

6.2.8 過濾測試時間

此測試也稱為“布氏漏斗試驗(buchner funnel test)”，主要的脫水過程為重力脫水。此試驗操作主要乃依據Christensen等1985年之研究，其實驗步驟如下：

- 1.依圖6所示裝置試驗設備，將Whatman No.42置入布氏漏斗中，先以少量的水將濾紙潤濕，打開釋壓閥，開啟真空抽氣機，使濾紙與漏斗緊密結合，關閉真空抽氣機。
- 2.關閉釋壓閥，調壓力，閥到所需壓力，取150毫升污泥樣品快速倒入漏斗中，打開釋壓閥，開啟真空抽氣機。
- 3.當濾液進入收集管時，電子天秤開始計重，同時啟動電腦同步記錄時間，並換算讀出時間。
- 4.過濾至濾餅乾裂為止，電腦停止記錄。

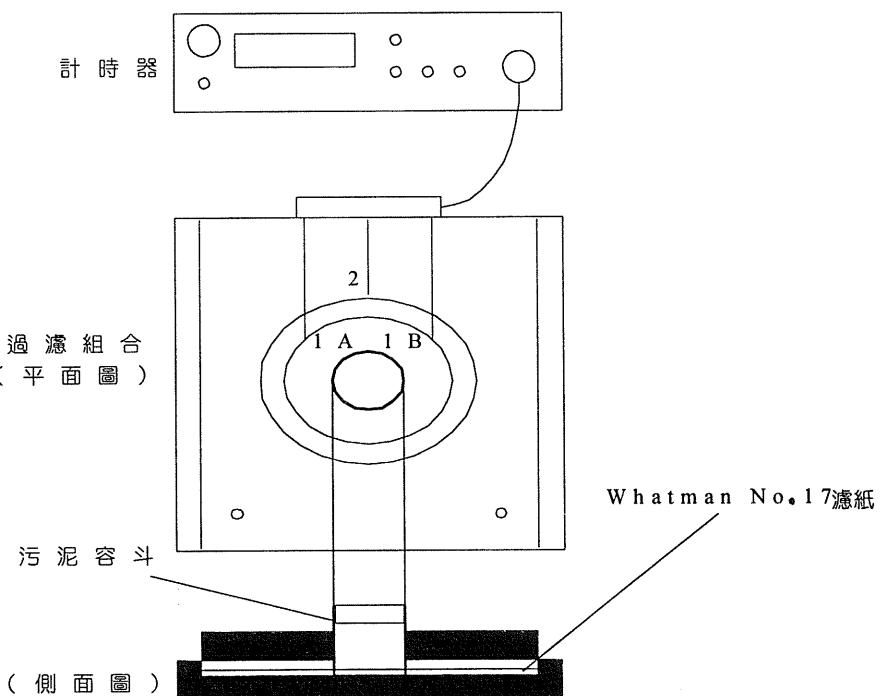


圖5 CST裝置圖

5. 將濾餅取出後，置於烘箱內乾燥，待其完全乾燥後，稱其重量，計算濾餅固含量。

比阻抗值則可藉由實際之過濾實驗中監測其過濾時間(t)及濾液體積(V)，以 t/V 對 V 作圖，以求得斜率 b ，進而求得比阻抗值(α)：

$$\alpha = \frac{2\Delta P \cdot A^2 \cdot b}{\mu \cdot c}$$

α ：濾餅比阻抗(m/kg)

A：有效過濾面積(m^2)

ΔP ：作用之壓力差(Nt/m^2)

μ ：濾液黏滯係數($Nt \cdot sec/m^2$)

c：單位體積過濾液之固體重量(kg/m^3)

先前所測之原污泥固含量，與污泥餅中固含量，經由下式可求得每單位體積污泥之固體重：

$$C = \frac{r}{\left(\frac{1-X}{X}\right) - \left(\frac{1-X_c}{X_c}\right)}$$

C：每單位體積污泥之固體重量

r：水的比重

X：原污泥之固含量

X_c ：污泥餅中之固含量

6.2.9 過濾葉測試

此測試類似過濾時間測試，但設計得更接近真空過濾操作，其因此包括一浸洗時間，真空時間和過濾物質乾固體之去除時間。但真空過濾設備在美國大部分水廠已荒舊，此測試使用不普遍。

過濾葉測試的設備如圖7所示，其實驗步驟如下：

1. 取Whatman No. 2濾紙置入過濾盤中，滴數滴水於其上，使其濕潤再以抽氣幫浦抽氣數秒，使濾紙完全密合於過濾盤上。
2. 將過濾筒放入調理攪拌槽中，調整過濾盤之位置。

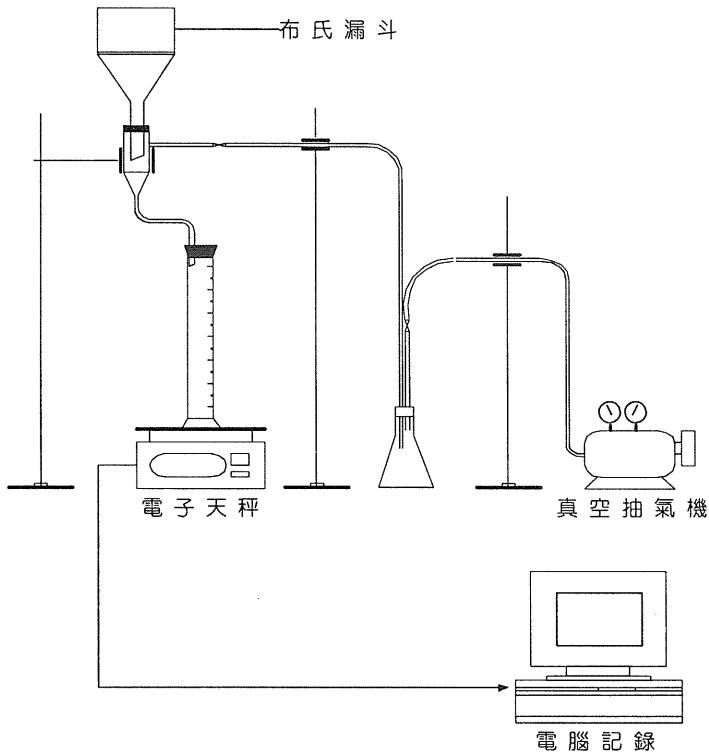


圖6 布氏漏斗裝置圖

- 3.待裝置檢查正確無誤，抽氣幫浦開始抽氣，設定所需壓力。
- 4.當濾液開始流入置於天秤上之200毫升量筒時，同時啟動電腦監控程式，由電腦監測重量及時間。
- 5.待濾液重量穩定後，停止抽氣，取出濾餅於105°C烘箱內烘乾。
- 6.由電腦收集之濾液重換算成體積（V）再與過濾累積時間（t），以t/V對V作圖推求斜率（b）。
- 7.抗值計算同布氏漏斗。

6.2.10 調理劑內聚合物含量之測定

此步驟可分析調理劑產品中具活性之聚合物百分比，聚合物樣品總固體量之測定可提供液體產品內所含聚合物量之估計值；但對乳劑而言，需使用沈澱步驟，在其他有機合成物如礦油和表面劑中，將聚合物分離出來。對乾或液狀產品而言，將

5%聚合物混合95%丙酮，然後再倒出丙酮，其餘的在乾燥($<65^{\circ}\text{C}$)後減掉坩堝而得到具活性之聚合物重量。類似作法但更精確的方式則被用在乳劑，利用丙酮、甲醇和乳劑一起混合然後分離和乾燥。

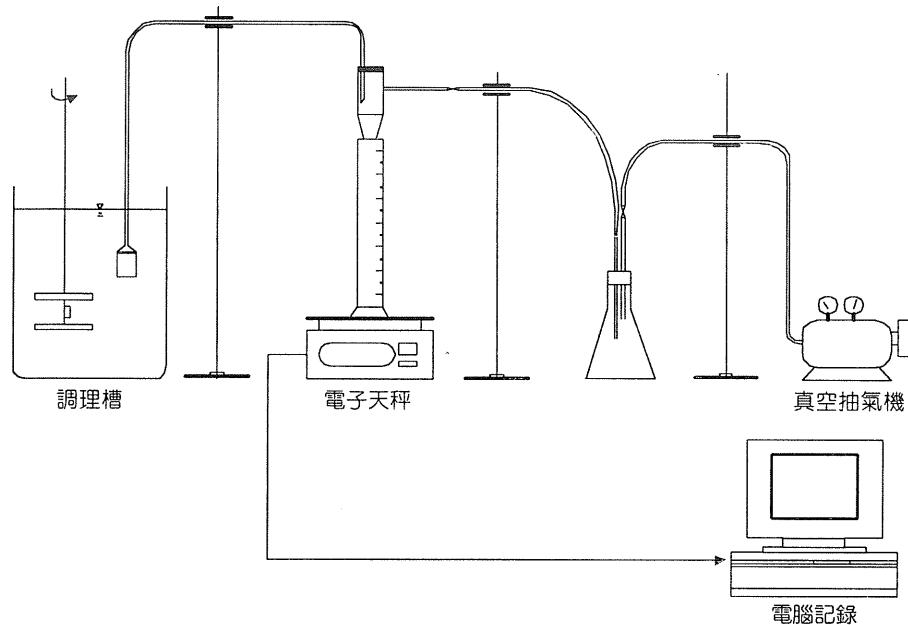


圖7 過濾葉試驗裝置圖

6.2.11 乾性樣品之特性分析

乾性高分子聚合物有粉狀和顆粒狀，對其特性之分析方法包括決定乾性樣品的密度(包括水溶液密度-bulk density及視密度-apparent density)及樣品顆粒粒徑分佈，其方法步驟可參照ASTM（美國測試及材料協會）所規定的標準方法。

6.2.12 標準懸浮液之膠凝

此方法使用20 g/L高嶺土與400 mg/L的氯化鈣(CaCl_2)樣品來評估聚合物的作用情形，樣品中可添加約200 mg/L的鋁鹽混凝劑，來模擬鋁鹽污泥的條件。其操作時使用一特定已知的聚合物，其所生成的污泥層沈降速率可以用來作為其他相同性質聚合物調理時的參考。此外，所加入調理劑劑量的多寡，也可以用來決定當現場污泥調理時，加入藥劑濃度的指標。

6.2.13 滴定量測電荷密度

用來決定一已知定量聚合物的正電荷電量，此方法也稱為『膠體滴定』(colloid titration)，操作步驟為使用依標準的已知相反電荷溶液滴定樣品，並於被滴定樣品中加入指示劑，當樣品變色時，可經計算求得樣品電荷密度，並可藉由連續的批次測試求得平均的電荷密度。

6.2.14 藉旋轉黏度計測定聚合物之黏滯度和分子量

藉旋轉黏度計(Rotational Viscometer)測定含有0.1%聚合物之1 N氯化鈉溶液的黏滯度，可作為估計此聚合物的平均分子量，此一方法也可當作控制聚合物品質之用。

6.3 決定調理劑及其加藥量之考量及步驟

決定調理劑及其加藥量時，需以實驗室規模來模擬實場操作的情形，其考量的項目即是前小節(6.2)所介紹的14種方法步驟，詳細相關的流程圖如圖8所示。

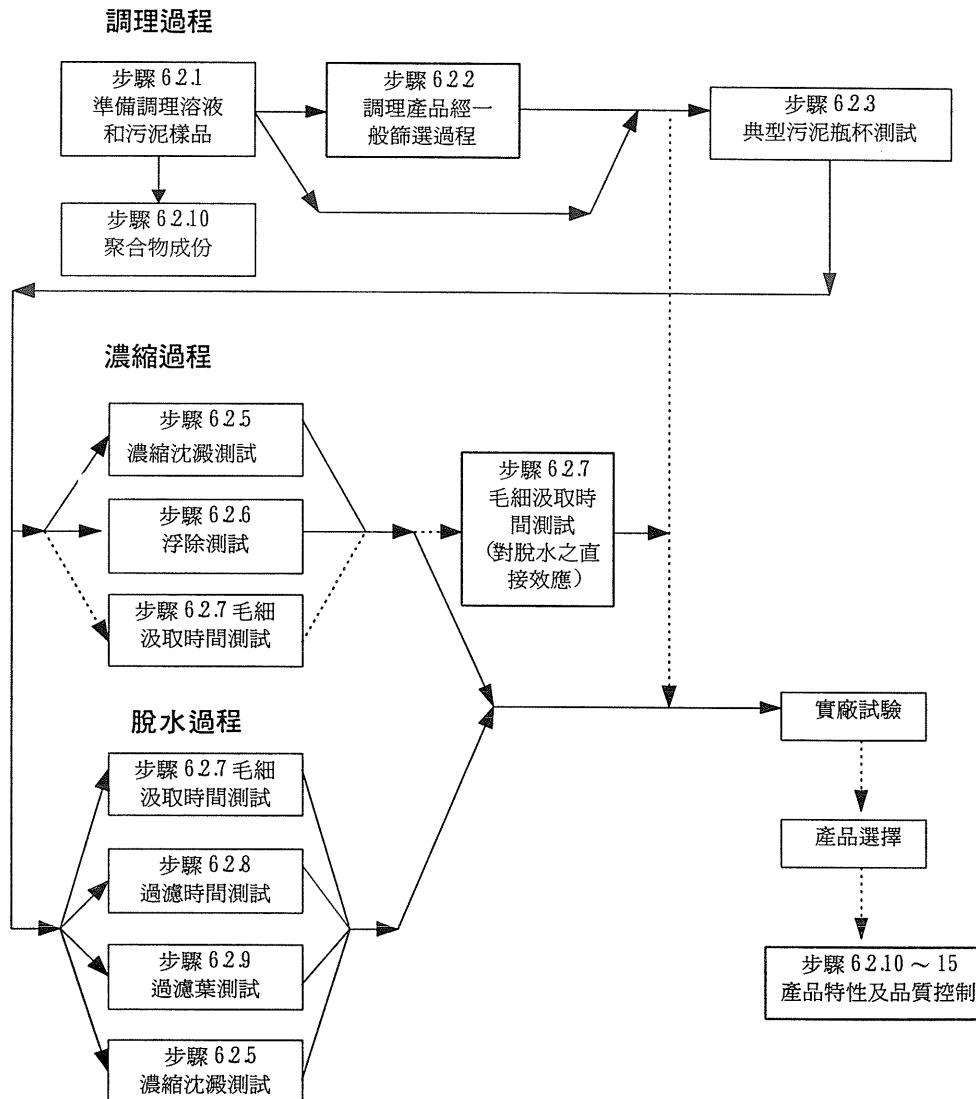
當我們要決定調理劑及其加藥量時，首先必須瞭解此調理劑的基本性質，並可透過杯瓶試驗的結果來判斷調理劑與污泥樣品的作用反應，再經由各項檢測技術（濃縮沈澱試驗、浮除試驗、毛細汲取時間試驗、過濾時間試驗、過濾葉試驗……等），來量化調理的效果。

在比較使用何種調理劑時，需注意要使用相同性質的污泥當作樣品，並於相同的操作條件下進行，如果由藥品廠商所提供的基本資料中，得到有關此一調理藥劑更詳盡的資料，則有助於我們在選擇時的判斷。

如果以杯瓶試驗模擬實廠操作，則必須考量更多的因子（包括特定轉速和混合速度……等），並需重複此一試驗，以求取再現性較高之數據，如此有助於減少實驗誤差及提高實驗室之QA/QC。最後，當選定較佳調理效果的劑量時，還需考慮藥品的經濟成本。總而言之，在考慮調理劑經濟性、安全性及調理效果下，才能判斷出最適之調理劑。

七、結論

污泥經調理過程，有助於降低脫水後污泥餅含水率及後續所需之污泥體積處理等，為一重要處理程序，然而此過程成敗關鍵所在，繫於調理劑的使用與劑量的添加，因此選擇合適之調理劑，乃處理廠對污泥處理成效之重要課題。

圖8 決定調理劑及其加藥量之考量及步驟流程圖⁽¹⁾⁽²⁾

在本文中介紹的選擇調理劑步驟是一種簡易的試驗方式，一旦我們從各種調理劑中進行篩選，或許會發現有一兩個調理劑的結果類似，此時我們先要將調理劑的樣本數縮小，並重複分析樣品，來確認實驗數據的準確度。在我們對於污泥調理、濃縮、脫水有限的知識裡，實驗室規模的試驗只減少我們做一些不必要的浪費及提供我們初步的處理結果，最終最有效的方法還是長時間進行實廠測試以累積經驗。

除此之外，經濟上的考量也是我們在選擇調理劑時不可忽略的因子，因為調理效果較佳的調理劑或許價格上較不易被小型處理廠接受。總而言之，除了透過14種實驗室規模的模擬檢測結果外，污泥實廠調理時，原水性質、處理程序、最佳劑量、處理時間、處理效果、處理成本等因子都是我們在選擇最適調理劑時應於考慮的，如此才能達到選擇『最適』調理劑的目的。

誌謝

本文承本所碩士班研究生傅誠剛先生協助彙集資料，特此誌謝。

參考文獻

- 1.Dentel, S.K., Procedures Manual for Polymer Selection in Water Treatment Plants, American Water Works Association Research Foundation, 1989.
- 2.Dentel, S.K., Guidance Manual for Polymer Selection Wastewater Treatment Plants, Water Environment Research Foundation, 1993.
- 3.Tsang K.R., and Vesilind P.A., Moisture distribution in sludge, Wat. Sci. Tech. pp.135-142, 1990.
- 4.Lee D.J. and Hsu Y.H., Measurement of bound water in sludge. A comparative study, Wat. Env. Res. pp.310-317, 1995.
- 5.Lee D.J. and Hsu, Y.H., Fast freeze/thaw treatment on excess activated sludges: floc structure and sludge dewaterability, Environ. Sci. Technol. pp.1444-1449, 1994.
- 6.Christensen G.L. and Dick R.I., Specific resistance measurement: Non parabolic data, J. Envir. Eng. ASCE pp.243-257, 1985.
- 7.黃志彬，污泥化學調理劑加藥量之控制，污泥脫水之化學調理檢測技術研討會，工業技術研究院化學工業研究所，新竹，1994。
- 8.張敏超，污泥化學調理本質，污泥脫水之化學調理檢測技術研討會，工業技術研究院化學工業研究所，新竹，1994。
- 9.吳志超，以高分子調理鋁鹽污泥對其脫水性影響之研究，國立交通大學土木工程研究所博士論文，新竹，1997。