

# 低溫處理對污泥脫水特性之影響

## Effect of Low-Temperature Treatment on Sludge Dewatering Characteristics

計畫編號：NSC-88-2218-E-009-030

執行期間：87/08/01 - 88/07/31

主持人：黃志彬 交通大學環境工程研究所教授

一、中文摘要（關鍵字：低溫、聚電解質、污泥調理）

台灣每年淨水廠產生之污泥約有 40-85 萬公噸，此一龐大的數量是由於對水質的要求與日趨嚴格的法律，如何有效地作污泥調理以減少污泥體積及符合最終處置之要求，將成為許多研究之焦點。傳統上污泥之化學調理是添加高分子聚合物，但現行法律對高分子聚合物的種類及用量均有限制，再加上昂貴的費用及安全上的顧慮，所以必須尋求其他方式來調理污泥。本研究中，將評估低溫處理的適用性，配合陽離子聚電解質使用，期望求得一最經濟合宜之調理方式。實驗結果指出，單獨使用低溫處理的效能端看結冰程度，在凍融階段之後，污泥之脫水性、過濾性及沉降特性均有大幅改善。若溫度不足以結冰，則脫水特性無明顯之改變。在低溫處理配合聚電解質調理時可達到較佳之脫水速率，因此以低溫處理以降低高分子聚合物之用量似為一可行之方法。

英文摘要 (keyword: Low-Temperature, polyelectrolyte, sludge conditioning)

Approximately six hundred thousand tons of sludge is produced annually from the water treatment plants in Taiwan. This amount is expected to increase astronomically due to the increasing demand for more quality water and the more stringent regulations regarding wastewater treatments implemented by the Government. How to minimize the sludge volume and optimize the sludge

condition for final disposal in an efficient way has become the focus of many studies. Traditionally, sludge is conditioned chemically by using polymers. The current law forbids the discharge of wastewater containing certain types of polymers into water bodies, which limits the use of polymers. Other disadvantages of using polyelectrolytes include their significant cost and safety concerns. Therefore, it is necessary to search for other options for sludge conditioning. In this study, the feasibility of low-temperature treatment was evaluated. Cationic polyelectrolyte was also applied with the low-temperature treatment to search for alternative for efficient conditioning.

Experimental results indicate that the success of low-temperature treatment relies on the degree of freezing. After the freezing/thawing stage, the dewaterability, filterability and settling properties were all improved greatly. If the temperature was not low enough to freeze the sludge, no significant change in dewatering characteristics was observed. When low-temperature treatment was combined with polyelectrolyte conditioning, the improvement in dewatering rate was better than chemical conditioning alone, suggesting that low-temperature treatment may replace the use of polymer to some extent.

二、計畫緣由與目的

污泥的性質深受其來源之影響，污泥調理之效能，也因污泥之特性而異。傳統上污泥之調理是以加入聚電解質之化學凝聚為主，近來由於台灣政府法令對聚電解質種類及劑量之限制，物理調理遂逐漸成為研究之焦點。其中凍融調理已廣泛被應用於一些寒冷的地區。Wilhelm 及 Silverblatt (1976) 提出了低溫處理的幾個主要優點：(1)受污泥本身之性質影響較少，可適合各種類型的污泥。(2)處理時較不會產生異味等。(3)由於沒有添加其它化學成份，處理後之污泥除可作焚化外，還可以用作填土或土地改良劑。(4)能有效的抑制微生物的生長，使污泥處理產生的廢水較易後續的處理。

一般而言，低溫處理法在高緯度國家較易被接受，原因是其地理氣候條件足以提供低溫條件而不用外加能量來使污泥系統降溫，達到所謂天然處理的效果(natural treatment)。若要在台灣亞熱帶地區使用，則必須提供能量使污泥溫度降低以達冷凍之效果，因此調理成本則成為使用低溫處理最重要考量因素。國外於五十多年前，已有多位學者對低溫調理有相當的研究；Wilhelm 及 Silverblatt 在 1976 年亦提出若以污泥加入石灰作化學調理時，當石灰之加藥量超過 30%~40%，所需之成本超過冷凍處理能量消耗之費用；且低溫調理所需之操作人力較少。Khan (1986) 曾比較低溫處理與傳統之化學加藥調理，指出兩者之調理及最終處理之成本相仿，可見低溫處理對傳統之調理方法已具有一定之競爭潛力。

低溫調理 1963 年在英國第一次被成功地使用於水處理廠之污泥調理 (張添晉, 1997)。Rush 及 Stickney 在 1979 年曾以天然凍融法技術處理生活污水，發現脫水後泥餅含水率為原來之 1/3 至 1/5。Knocke and Trahern (1989) 所發表的研究報告中則指出凍融處理法所產生之污泥含水率可有效降低至 60% 左右，鐵鹽及鋁鹽污泥更可達 53.3% 及 54.4%。而 Lee

(1994)、Lee 及 Lee (1995) 研究結果同樣指出經凍融調理後，能大幅減少污泥中結合水之含量，而有效地降低污泥含水率。除此以外，Hung *et al.* (1996) 及 Chen *et al.* (1996) 的研究中亦指出凍融調理可以大幅的改善污泥沉降性及降低 CST 值。

本研究嘗試以接近零度之溫度進行低溫處理，並以低溫配合高分子聚合物作調理，觀察低溫處理對於高分子調理劑在污泥系統中作用機制的影響，藉以評估以物理配合化學調理之可行性。

### 三、實驗方法

原始污泥採自新竹第一淨水廠之濃縮池，該淨水廠使用多元氯化鋁(PAC)當作混凝劑。在實驗前將原始污泥調整至 pH 7.5 及離子強度 0.01M，以減少 pH 及電荷之影響。表 1 是典型的污泥特性，871020 號污泥是使用低溫調理，871130 號污泥則是綜合低溫調理與聚電解質調理。

陽離子聚電解質(PC-325)為台灣聚合公司之產品。PC-325 為一由 acrylamide 及 diallyldimethyl-amonium chloride 所組成之共聚合物，其平均分子量為  $1.1 \times 10^7 \sim 1.2 \times 10^7$  g/mole，電荷密度 25%，聚電解質溶液(0.1% w/w)之配置遵照台灣聚合公司所提供之方法。

將取得之污泥放入 4入入-4入之冰箱內進行調理，控制降溫速率約在兩個小時內使污泥之溫度從室溫降至 4入，約至小時降至-4入，並分別在六小時、一天入兩天後取出，放在水槽中待污泥回溫至室溫(水槽中之水溫回 25入)後，進行調理回水實驗。

將不同劑量之 PC-325 量入 1 公升之污泥樣品中，以 100rpm 攪拌 1 分拌。

以自由沈降實驗量測污泥膠羽之顆粒大小與有效密度，沈降過程中污泥在一靜止的圓柱中凝集，並由可特寫鏡頭之攝影機記錄。此圓柱為壓克力材質(直徑 10 公分，高 60 公分)，並有一玻璃平面正對攝

影機。污泥的上層液充當沈降介質，污泥膠羽以定量吸管小心的收集並緩慢的置入沈降筒中，膠羽之粒徑與終端速度在影帶重播時量測。量測得之膠羽終端速度與粒徑，可透過 Stock's 公式計算出膠羽密度。

Vesilind (1988)建議污泥之脫水性可由毛細汲取時間(CST)得到之過濾係數( $\chi$ )來表示，Triton-200 型 CST 測定儀以一直徑 1.8cm 之污泥貯積筒及 Whatman No. 17 濾紙來量測 CST 值，其計算公式如下：

$$\chi = \phi \left[ \frac{\mu C}{t} \right]$$

其中  $\chi$  為過濾係數( $\text{kg}^2 \text{s}^{-2} \text{m}^{-4}$ )， $\mu$  為濾液黏度( $\text{Nsm}^{-2}$ )， $\phi$  為一係數， $C$  為固含量( $\text{mg L}^{-1}$ )， $t$  為 CST 值(sec)

泥餅含水率由比阻抗實驗(SRF)求得，使用標準的布氏漏斗，取 100 ml 污泥樣品在 15 cm-Hg 壓力下進行實驗。

脫水速率以垂直壓榨試驗量測在不同時間時污泥脫出之水份量作為指標。壓濾試驗是將污泥樣本 150 ml 置入一高壓的鋼筒內(內室內徑為 7.5 cm，深 20 cm，為不鏽鋼材質)，透過  $5 \text{ kg/cm}^2$  之壓力活塞的向下壓縮，將污泥中的水分移除。

#### 四、結果討論

##### 1. 冷藏時間及溫度對污泥過濾性及脫水速率之影響

此部分實驗以編號為 871020 之污泥為研究對象，分別在  $25^\circ\text{C}$ 、 $4^\circ\text{C}$ 、 $0^\circ\text{C}$ 、 $-4^\circ\text{C}$  及  $-8^\circ\text{C}$  溫度下冷藏一天後，進行 CST 試驗及垂直壓榨試驗。圖 1 為不同溫度下過濾係數及脫水速率之變化趨勢，實驗結果顯示在冷藏溫度為  $4^\circ\text{C}$  及  $0^\circ\text{C}$  時污泥皆不曾結冰，此時污泥之過濾係數並無任何之改變，即脫水性並無改善；當溫度降至  $-4^\circ\text{C}$ ，則有部分污泥結冰，而過濾係數亦開始有改善效果，溫度降至  $-8^\circ\text{C}$  時，污泥已完全結冰，過濾係數也從  $0.56 \text{ kg}^2 \text{ s}^{-2} \text{ m}^{-4}$

增加至  $5.54 \text{ kg}^2 \text{ s}^{-2} \text{ m}^{-4}$ ，增加約十倍之多。脫水速率則以脫出過濾污泥 85% 含水量所需之時間( $T_{85\%}$ )作為指標時，經  $4^\circ\text{C}$  及  $0^\circ\text{C}$  低溫處理後，不但可脫出 85% 之含水量，且  $T_{85\%}$  分別需 1382 秒及 1540 秒，就脫水速率而言，低溫未結冰狀況下仍可改善污泥脫水速率；當溫度降至  $-4^\circ\text{C}$  後，脫水速率有較明顯之改善效果；而溫度再降至  $-8^\circ\text{C}$ ，脫水速率有大幅度之改善， $T_{85\%}$  僅為 24 秒，與原污泥 1800 秒只脫水 83.6% 之脫水速率相差甚遠。

由過濾係數及脫水速率之結果顯示，冷藏溫度是否足夠令污泥結冰對低溫處理之調理效果有著重要之影響，在未結冰之調理下，污泥只有對脫水速率略有改善效果；但只要污泥經結冰之過程，無論脫水性或脫水速率皆有顯著之改善。

##### 2. 以低溫配合高分子調理對污泥粒徑及有效密度之影響

表 2 及 3 分別為低溫處理後搭配高分子聚合物對污泥進行調理後，平均顆粒直徑及膠羽有效密度之變化情形。實驗結果指出在未加入高分子聚合物時，平均顆粒直徑大小順序為經  $-4^\circ\text{C}$  調理之污泥最大， $4^\circ\text{C}$  調理者次之，而原污泥之粒徑最小；而膠羽之有效密度大小順序則與粒徑大小剛好相反。隨著加藥量之增加，平均顆粒直徑呈現逐漸增加的趨勢，經高分子聚合物調理後之污泥，仍以先以  $-4^\circ\text{C}$  低溫調理之污泥其顆粒直徑最大而有效密度最小。由此實驗結果可推論隨著高分子聚合物之加入，膠羽之平均顆粒直徑會增加而有效密度則減少。

雖在進行低溫處理時，若冷藏溫度不致使污泥結冰則沒有顯著之調理效果，但污泥之顆粒直徑及膠羽之有效密度在低溫處理後有明顯之改變，而污泥之粒徑及有效密度會影響高分子聚合物之調理效果，因此針對配合低溫及高分子調理對污泥脫水性影響作一探討。

### 3. 以低溫配合高分子調理對污泥脫水特性之影響

圖 2 為低溫搭配高分子聚合物作污泥調理時 SVI 值之變化情形，結果顯示，原污泥 (25°C) 及經 4°C 低溫調理後之污泥若未經高分子聚合物調理之 SVI 值約 13 ml/g，經 -4°C 調理後之污泥則顯著的降至 2.51 ml/g。隨著高分子調理劑之加入至 8 mg/l，原污泥及經 4°C 冷藏後之污泥其 SVI 值迅速降低，當加藥量持續增加時，其 SVI 值則並無明顯之改變。但經 -4°C 低溫處理後之污泥隨高分子調理劑之加入，其 SVI 不但沒有減少，且出現微幅增加之趨勢，因經 -4°C 低溫調理後之污泥其粒徑顯著增大，因此沉降性已大為改善，加入高分子調理劑雖顆粒直徑持續增加，但造成污泥之有效密度從 0.44 g/cm<sup>3</sup> 降至 0.13 g/cm<sup>3</sup>，反而降低污泥之沉降能力。因此若以 SVI 值之變化代表污泥之沉降性，低溫處理之調理效果遠大於加入高分子調理劑之調理效果。

低溫搭配加入高分子聚合物作污泥調理時，由布氏漏斗試驗中所得之比阻抗值變化情形如圖 3 所示，結果顯示若在未經高分子聚合物之調理，原污泥、經 4°C 及 -4°C 低溫調理後污泥之比阻抗值分別為 0.1877 Tm/kg、0.1881 Tm/kg 及 0.021 Tm/kg，原污泥及經 4°C 冷藏之污泥隨高分子調理劑之加入比阻抗值迅速降低，直至加藥量超過 20 mg/l 時出現過量之情形，使得比阻抗值逐漸增加。經 -4°C 低溫調理後之污泥已形成過濾性很好之膠羽，加入高分子調理劑反而使污泥之密度減少而壓縮性增加，故在過濾時易造成濾床之堵塞而使比阻抗值增加。由實驗結果顯示比阻抗值之變化情形與 SVI 有相同之趨勢，因此可推估兩者間有一定的相關性。

### 4. 以低溫配合高分子調理對污泥脫水速率及泥餅含水率之影響

有關經低溫搭配高分子調理劑調理污泥對脫水速率之影響，本研究中以垂直壓

榨試驗中脫出過濾污泥 85% 含水量所需之時間作為其脫水速率快慢之指標，實驗結果如圖 4 所示，在未加入高分子調理劑之情形下，發現以 -4°C 調理後之污泥脫水速率最快，原污泥次之，經 4°C 調理過之污泥反而最慢。隨著高分子調理劑之加入，經 -4°C 調理過之污泥在加藥量為 8 mg/l 時便從未加藥時之 43.6 秒降至 23.4 秒，當加藥量繼續之增加，脫水速率則無顯著之變化。而先經 4°C 低溫調理之污泥雖在未加藥前其脫水速率較原污泥為慢，但隨高分子調理劑之加藥量增加至 15 mg/l 時，先經 4°C 低溫調理之污泥脫水 85% 含水量所需之時間已從 413 秒降為 156 秒，較原污泥從 360 秒降至 180 秒為快，且隨加藥量之持續增加至 40 mg/l 時，經 4°C 調理後之污泥所需的時間可降至 28 秒，達到與凍融處理接近之調理效果，而未經低溫處理之原污泥在高分子調理劑之最佳加藥量時，脫出 85% 含水量仍需 95 秒。由此結果可得 4°C 之低溫處理有助於後續高分子調理時對脫水速率之提昇。

圖 5 為低溫搭配高分子聚合物調理之污泥，經布氏漏斗試驗所得泥餅含水量之變化情形。研究指出原污泥及經 4°C 調理後之污泥隨著高分子調理劑之加入，其泥餅含水量有下降之趨勢，從 52.23% 及 53.57% 降至 48% 左右。而經 -4°C 調理後之污泥在未加入高分子調理劑前已降為 43.7%，因污泥經 -4°C 調理後可降低污泥中結合水之含量而使泥餅含水量降低，此與 Knocke and Trahern (1989) 所得之研究結果相吻合，高分子調理劑之加入，對其泥餅含水量則無顯著之改進。

### 五、結論

純粹以低溫處理污泥，其成功之關鍵在於污泥結冰與否，在非結冰之情況下，其過濾係數及脫水速率皆無改善效果，當溫度降低足以使污泥經結冰時，則有顯著之調理效果。低溫配合高分子調理後，在 -4°C (已結冰) 下冷藏，脫水性及沉降性反而

較單獨低溫調理之效果差，而脫水速率則仍有其調理效果；在 4°C(非結冰)冷藏下，對脫水性、沉降性及最終泥餅含水率與原污泥直接以高分子調理之調理效果相仿，但對於脫水速率而言，則有明顯之改善，因此污泥若先以 4°C 低溫處理，可減少後續高分子調理時之加藥量，在足夠之加藥量下，且能達到與凍融調理接近之調理效果。

參考文獻

Chen, G. W., Chang, I. L., Hung, W. T. and Lee, D. J. "Effects of Freeze/thaw Treatment on Zone Settling for Waste Activated Sludge," *J. Envir. Sci. Health A* 1996; **31**, 621-632.

Hung, W. T., Chang, I. L., Lee, D. J. and Hong, S. G. "Sludge chemical composition changes under unidirectional freezing," *Wat. Sci. Tech.* 1996; **34**, 525-531.

Khan M. Z. A. (1986) Conditioning of Pulp and Paper Sludge Using Direct Slurry Freezing. *Proceedings of the 41st Purdue Industrial Waste Conference, West Lafayette, Ind.*

Knocke W. R. and Trahern P. (1987) Freeze-thaw conditioning of chemical and biological sludge. *Wat. Res.* **23**, 35-42.

Lee D. J. (1994) Measurement of Bound Water in Waste Activated Sludges: The Use of Centrifugal Settling Method. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* **61**, 139-144.

Lee D. J. and Lee S. F. (1995) Measurement of Bound Water in Sludge: The Use of Differential Scanning Calorimetry (DSC). *J. Chem. Tech. Biotechnol.* **62**, 359-364.

Rush R. J. and Stickney A. R. (1979) Natural freeze-thaw sludge conditioning and dewatering Report EPS 4-WP-79-1, Environment Canada, Ottawa, Ontario,

Canada.

Vesilind P.A. (1988). Capillary Suction Time as a Fundamental measure of sludge dewaterability. *J. Water Pollut. Control Fed.*, **60**, 215.

Wihelm J. H. and Silverblatt C. E. (1976) Freeze Treatment of Alum Sludge. *J. AWWA* **68**, 312-314.

張添晉，淨水處理廠廢污處理技術之研究，中華民國自來水協會技術委員會，民國八十六年。

Minyih Cherng, Chihpin Huang and Jill Rushing Pan, (1999) Effect of Solid/Liquid Separation Processes on Sludge Conditioning - Settling vs. Flotation

圖表

表 1 新竹淨水廠無機污泥基本特性分析結果

No.	ISS (mg/L)	VSS (mg/L)	pH	D (cm)	Zeta potential (mV)	$\rho_{eff}$ ( $g/cm^3$ )
871020	80556	1243.8	7.06	0.0256	-6.69	0.3076
871130	43820	665.4	7.50	0.0133	-13.0	0.8189

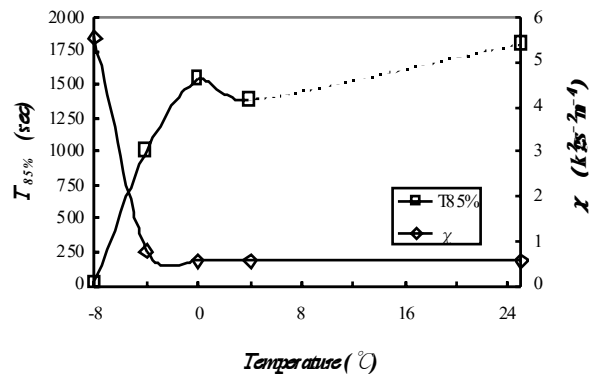


圖 1 不同溫度下過濾係數及脫水速率之變化趨勢

表 2 低溫搭配高分子聚合物調理後之污泥粒徑大小

Polymer Dose (mg/l)	平均顆粒直徑		
	原污泥	4°C	-4°C
0	0.1329	0.2004	0.4097
8	0.2778	0.2689	0.4484

15	0.2798	0.3115	1.1052
20	0.4633	0.4306	0.5972
30	0.4454	0.5278	0.8075
40	0.6746	0.5625	0.8175

D: 平均粒徑 (cm)

表 3 低溫搭配高分子聚合物調理後污泥之有效密度

Polymer Dose (mg/l)	有效密度		
	原污泥	4°C	-4°C
0	0.8191	0.4239	0.4415
8	0.2678	0.2356	0.1822
15	0.3024	0.2709	0.0700
20	0.2479	0.1962	0.1232
30	0.2485	0.1172	0.1414
40	0.1557	0.1140	0.1341

$\rho_{eff}$ : 有效密度 ( $g/cm^3$ )

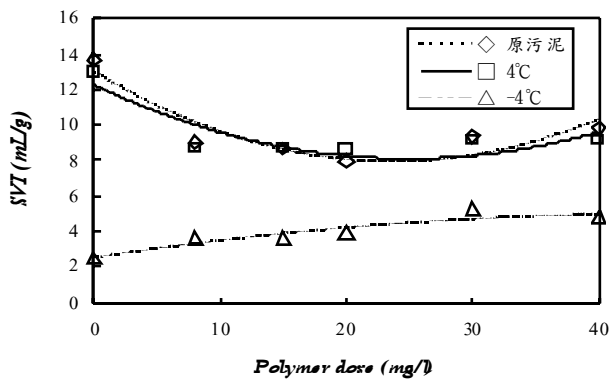


圖 2 低溫搭配高分子聚合物調理對污泥體積指數之影響

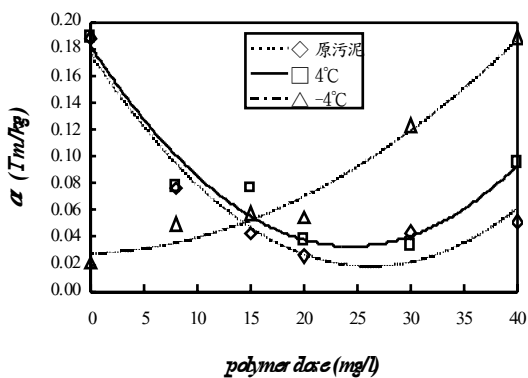


圖 3 低溫搭配高分子聚合物調理對比阻抗值之影響

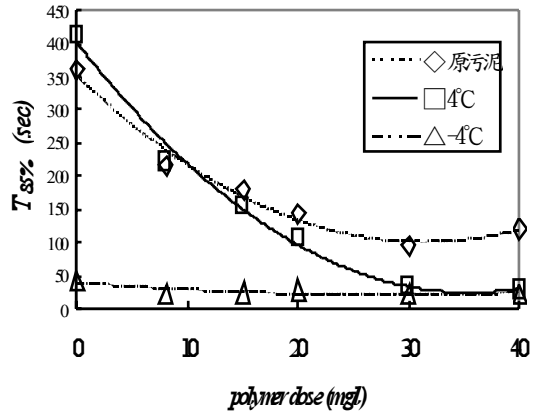


圖 4 低溫搭配高分子聚合物調理對脫水速率之影響

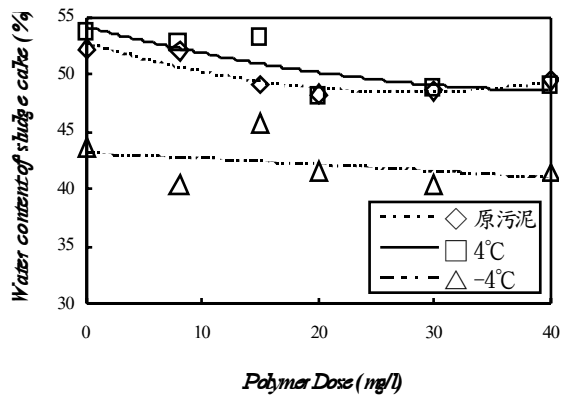


圖 5 低溫搭配加入高分子聚合物調理泥餅含水量之變化