

調理對污泥水份分佈及乾燥率之影響 (2/2)

期末報告

國科會計劃編號：NSC 89-2211-E-002-104

執行期限：89/08/01 ~ 89/10/31

主持人：李篤中 國立臺灣大學化學工程學系 教授

一、中文摘要 (關鍵詞: 污泥、熱乾燥、絮凝調理、凍融調理、表面型態)

在本研究中將試圖對污泥床乾燥過程中表面型態的變化進行深入探討。在恆濕空氣乾燥設備中的泥餅在乾燥過程中發生明顯型態變化；電子顯微鏡的照片顯示表面生成巨大的孔洞而有利於水份逸散。

Abstract (**Keywords**: sludge, thermal drying, flocculation, freeze/thaw treatment, surface morphology)

Thermal drying of sludge has been widely utilized in practical operation for sludge disposal. In this research we will deeply investigate the heat and mass transfer behavior in the drying bed. We have set up the air-drying device and tested the original, flocculated and frozen/thawed sludge samples. The cake morphology was observed by SEM pictures and CCD-camera *in situ* monitoring.

二、計劃緣由與目的

乾燥已是一門發展許久的技術，實際應用相當的廣泛 (Coulson and Richardson, 1991)，然而實際的運作機制仍有許多不清楚之處，需以耦合的熱傳/質傳模型進行描述。Keey (1986) 曾以 “It dries in practice, but does it dry in theory?” 一語描述目前乾燥研究上的困難處。一般而言乾燥機制包含以下幾項：

1. 液態水的擴散；
2. 液態水的毛細流動；

3. 水蒸汽之內部蒸發；
4. 水蒸汽之擴散；
5. 蒸發與冷凝。

Forte and Oko (1980) 曾指出這類模型的應用其實有很大的限制，無法對整體的乾燥程序作完整描述，特別是對於複雜的生物性物質。之後也有許多研究基於更複雜的潮濕性多孔體輸送模型進行探討 (Stanish et al., 1986; Zahed and Epstein, 1992; Kiranoudis et al., 1995; Fyhr and Rasmuson, 1996)。Lewis et al. (1980) 則探討乾燥過程中因皺縮所產生的應力。而近期對於污泥乾燥程序的研究也非常的多，包括對於過程中有機物的揮發與破壞 (Bandyopadhyay et al., 1995)、污泥乾燥床的設計參數 (Marklund, 1990)、乾燥床與焚化爐之結合 (Sakai et al., 1989)、乾燥床與冷凍床的結合 (Hellstrom and Kvarnstrom, 1997a, b) 等等。

在另一方面，長久以來乾燥曲線就被用來作為一種描述污泥內水份分佈的方式，若假設結合水以物理鍵結的方式鄰接於污泥顆粒表面，其蒸發速率較自由水與間隙水低。故由乾燥曲線求取定速期 (constant-rate period) 與減速期 (falling-rate period) 之轉折點，此點所對應之水含量即為結合水 (Smollen, 1990; Tsang and Vesilind, 1990; Robinson and Knocke, 1992)。在定量描述上，Tsang and Vesilind (1990) 曾以污泥的乾燥速率曲線去測量污泥中的水份分佈：在恆速期內，水份自固體內部迅速供給至污泥表面，以補足表

面蒸發的水份，故乾燥速率可以保持一定，此時期內所移除的水份可視為自由水。在第一減速期由於污泥顆粒表面蒸發速率已大於內部供給至表面的速率，因而造成乾燥速率下降，在此時期內所蒸發的水份可視為污泥餅形成時存在於毛細間的水，因而定義為間隙水。在第二減速期污泥的水份變成自表面以下蒸發，質傳與熱傳均需透過一層逐漸加厚的半乾固體，蒸發速率也逐漸下降，直至為零，此一時期所移除的水份為以物理吸附方式附著於固體表面的水，故將之定義為表面水。在減速第二期之後尚未被移除的水份，為以化學鍵結在固體顆粒上，故相當於化學結合水。Chu and Lee (1999) 在使用 TGA 測定污泥內水份分佈時，也採用了此一觀念，將測試中污泥樣品水份因受 80°C 氫氣氣流所蒸散的過程視為乾燥，並將定速區結束時所對應的水量稱之為乾燥結合水 ($W_{w,DRY}$)。

三、實驗方法

樣品

在採用的污泥樣品為廢棄活性污泥，取自內壢統一麵包廠之迴流污泥口，粒徑 103 μm ，乾固體密度為 1450 kg/m^3 ，固體重量濃度 1.0%。

調理方式

在此我們採用絮凝調理，所採用的陽離子型高分子絮凝劑為由台灣開廣公司所提供的 T-3052，主成份為陽離子型聚丙烯醯胺，平均分子量 10^7 g/mole ，電荷密度 20%。調理方式為先將絮凝劑配成溶液，再以適當比例加入污泥中，以達到所需之絮凝劑劑量。之後以 200 rpm 快混 5 分鐘，將絮凝劑分散於污泥中，接著用 50 rpm 慢混 20 分鐘，使絮凝劑與污泥膠羽間充份作用並產生絮凝。

乾燥測試

調理後的污泥先予以初步真空過濾，

透過與電腦聯線的天平求得濾液重量，再將球土泥漿與活性污泥之固體濃度分別提高到 8% 與 3%，以做為乾燥用之污泥餅，重量均為 100 g。空氣乾燥設備如圖一所示，乾燥室 (drying chamber) 主體以透明壓克力所製，入口與出口處之管徑為 10 cm，而乾燥室主體部份之管徑為 20 cm。風扇 (blower) 所送出的氣流經於加熱器 (heater) 提高溫度，再送入乾燥室。氣流流量乃藉由變壓器調整風扇送風量而調整，並以乾燥室末端之流量計量測之；氣流溫度同樣可藉變壓器改變加熱器之溫度而調整，並經由溫度計與濕度計去量測。

污泥床為以 10 cm * 10 cm 之正方形不鏽鋼板做為基底；因樣品型態的不同，100 g 的污泥在其上約可形成 0.7 ~ 1.1 cm 厚的污泥餅。其中的水份在熱風吹拂下逐漸被蒸發脫除，其重量可由與個人電腦聯線之電子天平即時測得，換算可得單位重量固體所含水量 (W_w)，再對時間微分可以算得重量流率 (dW_w/dt)。污泥床內溫度亦可由插在其中的熱電偶線而測得。

表面型態觀察

水份自污泥床的脫除與其表面特徵有明顯的關係，包括表面裂痕 (cracks) 以及皺縮 (shrinkage)。在此我們以配有顯微鏡頭 (MML2-120, Moritex) 之 CCD 數位攝影機 (JAI 950 1/3 inch, Denmark) 在污泥床上方直接拍攝乾燥過程中濾餅表面型態的變化，攝得影像可藉由界面卡 (Meteor PCI Bus, Matrox) 輸入個人電腦，由軟體 *Inspector* (Matrox) 進行處理。同時並使用掃瞄式電子顯微鏡 (JEOL, Japan) 觀察乾燥泥餅局部型態。

四、結果與討論

在以溫度 40°C、相對濕度 0.1 m/s 的空氣流速，對三種黏土泥漿進行乾燥測試，分別是原始球土泥漿、絮凝球土泥漿

(劑量 2 g/kg DS)、凍融後之球土泥漿 (冷凍時間 24 小時)，結果如圖二所示。可以明顯地發現在調理之後，污泥之乾燥水份脫除速率明顯增加，最終殘餘之水份也隨之而降低，而絮凝調理的效果又較凍融處理為更好。如前所述，曲線可分成三區，分別一開始的預熱區 (preheated period)、中間的定速區與末端的減速區 (Coulson and Richardson, 1991)。

在表面型態上，則可以觀察到絮凝後之球土泥漿出現明顯的裂痕 (圖三 a 至 f)，而原始與凍融處理後污泥的污泥則較無差別；裂痕的存在可以幫助水份快速自表面蒸散排出 (Hellstrom and Kvarnstrom, 1997a)。另一個值得注意的部份是，進入減速區後，三種樣品都出現明顯的皺縮現象，使得蒸散表面積減少。如前 Tsang and Vesilind (1990) 所提出之模型，定速乾燥區代表自由水含量，但我們在這裡求取定速區在整個乾燥區線中之比例，發現分別為：原始球土泥漿—49%、絮凝球土泥漿—61%、凍融後之球土泥漿—39%，這與先前所認知的，也就是結合水量在調理後會大幅下降，自由水比例大幅增加的認知有所出入。

五、結論

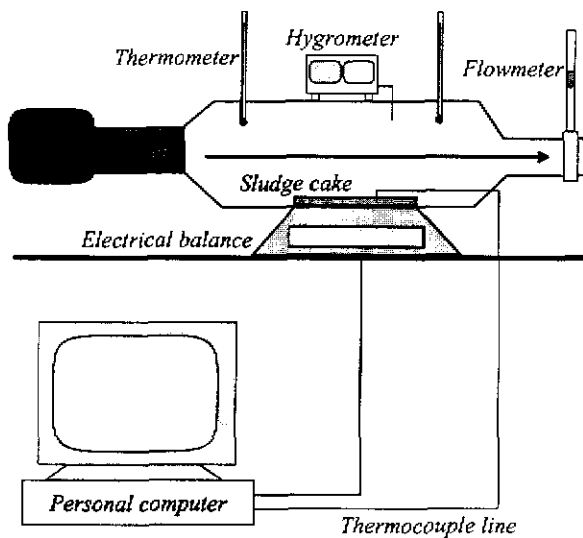
以絮凝調理前後之污泥進行乾燥測試，結果可以看到數個不同的蒸散速度區，然而污泥餅的厚度與表面特徵會對蒸散速率造成影響。

六、參考文獻

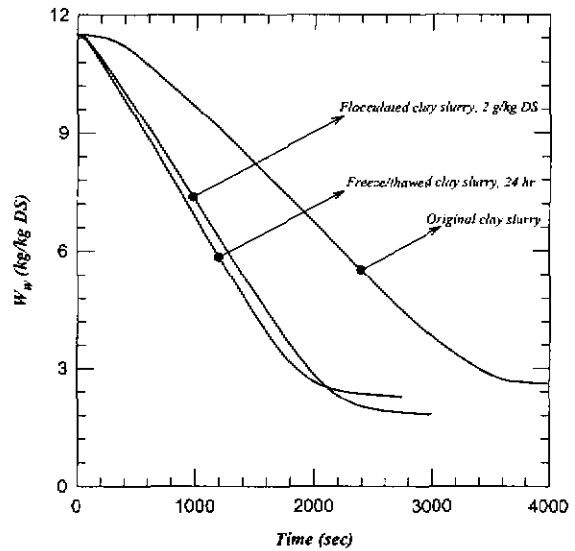
- Bandyopadhyay, S., Bhattacharya, S. K., and Farrell, J. B. (1995) Fate of semivolatile organic compounds during heat drying of mixed primary and waste-activated sludge. *Wat. Env. Res.*, **67**(1), 57-65.
- Chu, C. P. and Lee, D. J. (1999) Moisture distributions in sludges: effects of cationic polymer conditioning. *J. Envir. Eng. ASCE*, **125**, 340-345.
- Coulson, J. M. and Richardson, J. F. (1991) *Chemical Engineering*, Vol. 2, Ed. 4th, Chapter 16, Drying. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
- Fortes, M. and Okos, M. R. (1980) *Advances in Drying*, Vol. 1, p. 119, Hemi-sphere, Washington D. C., USA.
- Fyhr, C. and Rasmuson, A. (1996) Mathematical model of steam drying of wood chips and other hygroscopic porous media. *AIChE J.*, **42**(9), 2491-2502.
- Hellstrom, D. and Kvarnstrom, E. (1997a) National sludge dewatering, I: Combination of freezing, thawing, and drying as dewatering methods. *J. Cold Region Eng., ASCE*, **11**, 1.
- Hellstrom, D. and Kvarnstrom, E. (1997b) National sludge dewatering, II: Thawing-drying in full-scale sludge freezing ditches. *J. Cold Region Eng., ASCE*, **11**, 15.
- Keey, R. B. (1986) Recent progress in solids processing: some current developments in drying. *Chem. Eng. Res. Des.*, **64**, 83-88.
- Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B. and Marinos-Kouris, D. (1995) Heat and mass transfer model building in drying with multiresponse data. *Int. J. Heat Mass Transfer*, **38**(3), 463-480.
- Lewis, R. W., Morgan, K. and Thomas, H. R. (1980) *Advances in Drying*, Vol. 2, p. 233, Hemi-sphere, Washington D. C., USA.
- Marklund, S. (1990) Dewatering of sludge by natural methods. *Wat. Sci. Tech.*, **22**(3/4), Brighton, 239-246.
- Robinson, J and Knocke, W. R. (1992) Use of dilatometric and drying techniques for assessing sludge dewatering characteristics. *Water Environ. Res.*, **64**(1), 60.
- Sakai, S., Hiraoka, M., Takeda, N. and Ohhama, I. (1989) System design and

full-scale plant study on a drying-incineration system for sewage sludge. *Wat. Sci. Tech.*, **21**, Brighton, 1453-1466.

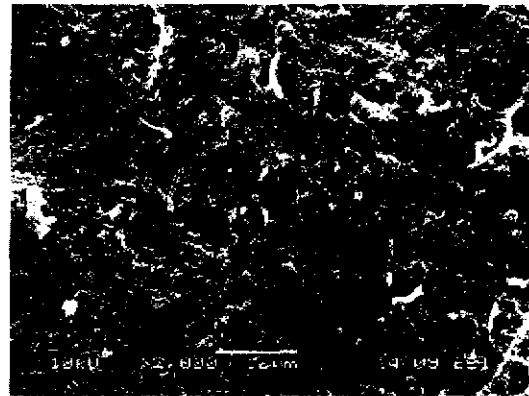
- Schubert, J. (1984) Capillary forces — modeling and application in particulate technology. *Powd. Tech.*, **37**, 105.
- Smollen M. (1990) Evaluation of municipal sludge drying and dewatering with respect to sludge volume reduction. *Wat. Sci. Tech.*, **22**(12), 153.
- Stanish, M. A., Schajer, G. S. and Kayihan, F. (1986) A mathematical model of drying for hygroscopic porous media. *AIChE J.*, **32**(8), 1301-1311.
- Tsang, K. R. and Vesilind, P. A. (1990) Moisture distribution in sludges. *Wat. Sci. Tech.*, **22**(12), 135-142.
- Zahed, A. H. and Epstein, N. (1992) Batch and continuous spouted bed drying of cereal grains: the thermal equilibrium model. *The Canadian J. Chem. Eng.*, **70**, 945-953.



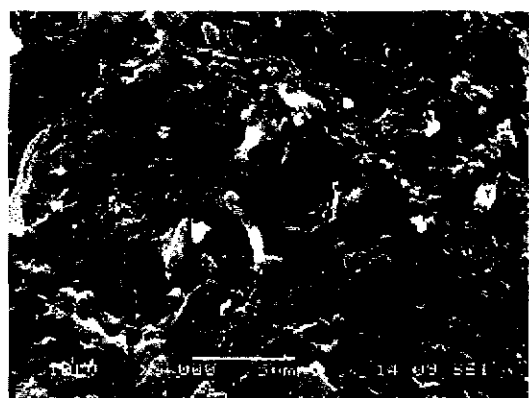
圖一 空氣乾燥設備



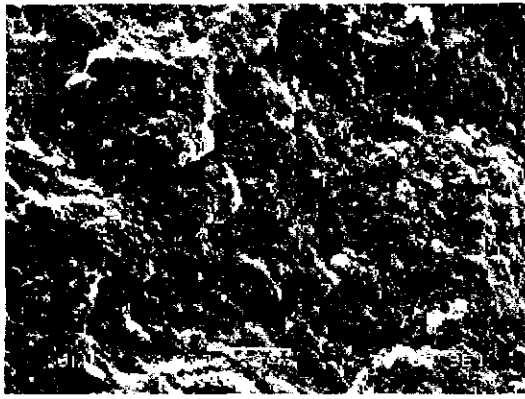
圖二 球土泥漿單位重量乾固體含水量對乾燥時間之變化



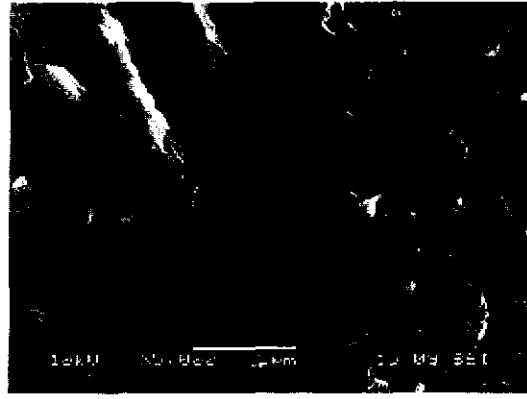
圖三(a) 原始污泥經 80°C 乾燥後的表面型態 (2,000 X)



圖三(b) 原始污泥經 80°C 乾燥後的表面型態 (5,000 X)



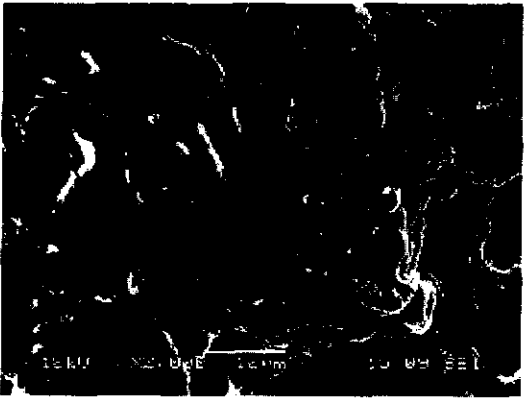
圖三(c) 絮凝污泥 (20 g/kg DS) 經 80°C 乾燥後的表面型態 (2,000 X)



圖三(f) 絮凝污泥 (50 g/kg DS) 經 80°C 乾燥後的表面型態 (5,000 X)



圖三(d) 絮凝污泥 (20 g/kg DS) 經 80°C 乾燥後的表面型態 (5,000 X)



圖三(e) 絮凝污泥 (50 g/kg DS) 經 80°C 乾燥後的表面型態 (2,000 X)