

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

難濾性泥漿之微過濾機構 (2/2)

Mechanism of Microfiltration of Hard to Filter Slurries (2/2)

計劃編號：NSC 90-2214-E-032-002

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：黃國楨 教授

執行機構：淡江大學 化學工程學系

一、中文摘要：

為了將過濾技術有效率地應用於精密化工程中，本研究擬針對高黏性懸浮液之難濾泥漿的微過濾機構進行微觀解析。將 PMMA 粒子懸浮於高分子(PAA)溶液中作為難濾泥漿樣品。藉由改變掃流速度、高分子濃度等，探討操作條件對掃流微過濾的影響。實驗結果發現，濾液中高分子溶液之濃度與過濾前之懸浮液有明顯的差異。藉由動態膜之理論模式，探討 PMMA 濾餅對高分子濃度衰減的影響。結果顯示：濾餅對高分子具有捕集作用與排拒效應。此外，引入深床過濾的機構與理論模式，藉由實驗數據估算出其篩析係數，進而構架出濾餅厚度與高分子排拒率的關係。為了將實驗結果進行定量分析，並配合力平衡模式，估算輸送至濾材表面的粒子通量，並了解粒子恰可附著之臨界條件，探討 PMMA 粒子之濾餅成長機構及濾餅性質，以估計操作條件對高分子排拒率的影響。

關鍵詞：掃流微過濾、高黏性懸浮液、濾餅性質、黏彈性流體、膜過濾

ABSTRACT

This study presents a task to attack the fundamentals and technologies involved in microfiltration of hard to filter slurries. PMMA submicron particles were suspended in polyacrylamide (PAA) aqueous solution to prepare highly viscous slurry. The effect of operating conditions, such as the cross-flow velocity and polymer concentration, on the performance of cross-flow microfiltration and the rejection of polymeric molecules are discussed. It can be found that the

concentration of polymer in the filtrate is quite different to that in the suspension. It is because the filter cake formed by PMMA particles will catch and reject most polymeric molecules. Based on the deep-bed filtration theory, a screen parameter is estimated using experimental data. The rejection of polymeric molecules can then be related to the thickness or the mass of the filter cake. The cake formation in the cross-flow microfiltration is simulated based on the force analysis and polymer adsorption. An increase in the cross-flow velocity or the PAA concentration causes the cake mass as well as the rejection of PAA molecules to increase.

Keywords: cross-flow microfiltration, highly viscous slurry, cake properties, membrane filtration, non-Newtonian slurry

二、緣由與目的

近年來由於生化技術的不斷進步，對於養菌過程中發酵液濃縮或菌體的清洗均可採用微過濾的方式來進行。然而，菌體大多屬於可變形粒子，這類型的粒子會在過濾的進行中受力產生形變，並在濾面上形成一表皮層導致濾速急遽衰減。本研究第一年針對軟膠體粒子在過濾時的濾餅成長機構進行研究，以期將產生形變之粒子的過濾行為做一完整探討。此外，高分子黏彈性泥漿在化工程中常常遇到，不管是石化業、紡織業或是食品加工業，都可能遇到熔融態的高分子或是其懸浮液之固液分離的操作。故在第二年針對高黏性懸浮液之難濾泥漿的微過濾機構進行微觀解析。

三、實驗方法

1. 實驗物料

高分子溶液

將聚丙烯酸 Polyacrylamide (PAA) (分子量為 200,000) 加入去離子水中。

懸浮固體

聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 粉體，球形，平均粒徑為 $0.4 \mu\text{m}$ 。

濾材

材質為 Mixed cellulose ester，平均孔徑為 $0.1 \mu\text{m}$ 。

2. 實驗步驟

過濾實驗使用之平板式過濾器為 Millpore company 製造之 Minitan-S Ultrafiltration System，如 Fig.1 所示。由上下兩片壓克力製成之平板組成，模組中的渠道高度為 $1 \times 10^{-3} \text{m}$ ，長度及寬度分別為 $5.7 \times 10^{-2} \text{m}$ 及 $2 \times 10^{-2} \text{m}$ ，因此實際總過濾面積為 $1.14 \times 10^{-3} \text{m}^2$ 。

四、結果與討論

高分子懸浮液之掃流過濾特性

Fig. 2則操作在壓差50kPa下，探討穩定濾速分別對掃流速度或高分子濃度的關係圖，可發現隨著高分子濃度增加，穩定濾速的值會下降，500 ppm為1500 ppm的穩定濾速值約兩倍大之多；而掃流速度對濾速亦有一定的影響，穩定濾速隨掃流速度增加而增加。壓差的增加，使得整個操作過程的濾速增大，壓差的達問動時的濾速亦增大，亦即，壓差的增大對於過濾的效率有一提昇。

Fig. 3 是平均孔隙度與掃流速度、高分子濃度與壓差變化之間的關係，孔隙度會隨掃流速度增加而增加，這是可以預知的；隨著壓差增加，孔隙度下降，這是由於壓力的增加使得濾餅堆積叫緊密的緣故。另外可發現濃度增加亦造成增大平均孔隙度的關係。隨著高分子濃度上升，平均孔隙度會隨之增加，這是由於剪應力為濃度的函數，高分子濃度較高時，高分子

的數量愈多，愈容易糾結，使得粒子因流體流動所造成的剪應力的影響愈明顯，進而粒子較易被流體掃走，不易堆積在濾材上，濾餅層自然較為鬆散。

Fig.4為平均過濾比阻隨掃流速度、高分子濃度與壓差之間的關係，結果發現：掃流速度愈快，平均過濾比阻增加並不是很明顯；而隨著濃度增加，平均過濾比阻亦會增加。這是可以預測的，由於高分子濃度增加，使得濾餅吸附層濃度增加，進而增加了過濾時的阻力；而相同的情形也發生在掃流速度的改變，壓差的影響並不是很明顯。

動態膜對高分子溶液過濾的影響

Fig.5為高分子斥回率與掃流速度的關係。同一濃度下，隨掃流速度增加，斥回率會逐漸下降，其中500 ppm下降的趨勢較為明顯。掃流速度增加使得高分子通過濾材的量增加，造成斥回率的下降；然而，隨著高分子溶液濃度的增加，斥回率亦增加，且1500 ppm的斥回率較高，因為高分子濃度愈高，高分子間的糾結亦愈嚴重，易被濾餅補集阻擋；另外，掃流速度的改變對高分子之斥回率影響較不明顯；因此可以說，高分子溶液的過濾其高分子濃度對過濾的影響較為重要 (Davis,1987)。另外，由於篩析參數約為一定值 (Fig.6)，因此可估算濾餅厚度對高分子濃度改變量的影響。

在確定過濾系統中之高分子排拒現象後，粒子表面效應的影響將是一個關鍵；表面效應包含有粒子的吸附與高分子的滑動。由實驗結果，觀察到在 $N=1$ 時， J_{R1} 遠大於 1，因此，在此操作系統中，粒子表面的吸附現象所產生之效應較為明顯也較為重要 (Kozicki,1990)。

在 Fig.7 粒子有效粒徑 (D_{pe}) 隨掃流速度改變的關係圖。由於掃流速度增加，造成濾材表面粒子附著量減少，粒子間的孔隙度亦隨之增加，因此，高分子吸附層便隨之增厚，使得粒子表面之高分子吸附厚度較低掃流速度時來的厚 (Davis,1987)。

濾面上之粒子堆積

以高分子懸浮液進行恆壓過濾時，由過濾阻力隨時間變化關係可發現彈性的展現並不明顯；因此，本研究忽略高分子懸浮液進行過濾操作時，溶液之彈性對過濾特性的影響。於是，可藉由粒子在幕次流體中過濾的受力解析，探討粒子交互作用力對粒子堆積附著的影響。由於粒子屬次微米粒子因此粒子間的交互作用力便不可忽略，由圖中可知，改變高分子濃度並不會造成 F_i 與 t_w 間的線性關係偏離，因此可迴歸出一關係式為 (Hwang and Lu, 1997)：

$$F_i = 6.40379 \times 10^{-9} t_w - 2.2171 \times 10^{-11} \quad (1)$$

進而觀察濾餅隨時間的成長量 (Fig.8)，隨濃度增加而減少。

五、結論

1. 在掃流過濾的操作中，濾速隨高分子濃度增加而有較大或較快的衰減，且穩定濾速值也較低濃度時來得小。孔隙度則隨掃流速度增加而增加。
2. 藉由修正係數項 J_{RN} 的探討，得知整個操作過濾中，高分子吸附扮演重要的一個角色，亦即表面現象中，高分子吸附較滑動現象的影響來得大。
3. 藉由動態膜（第二層膜）的模擬，可將高分子吸附在粒子表面的現象，以深床過濾的數學模式套入；經由實驗數據，可估算出篩析參數， ϕ ，進而獲得參數值對高分子排拒率的影響。
4. 濾餅成長量隨濃度增加而減少，亦隨掃流速度增加而增加。

六、計劃成果自評

本研究針對含軟膠體及高分子懸浮液之難濾泥漿之掃流過濾機構進行微觀解析，並對濾餅之成長及其局部性質進行詳盡之探討。除達成計劃之原訂目標外，研究成果並能發表在學術性期刊及應用至需求日般之精密分離程序中。

七、參考文獻

- Davis, R. H. and D. T. Leighton, "Shear-Induced Transport of a Particle Layer along a Porous Wall," *Chem. Eng. Sci.*, **42**(2), 275-289 (1987).
- Kozicki, W., "Factors Affecting Cake Resistance in Non-Newtonian Filtration," *The Canadian J. of Chem. Eng.*, **68**, 69-80 (1990).
- Hwang, K. J. and W. M. Lu, "Particle Deposition in Laminar Crossflow Filtration of Power Law Slurry," *Sep. Sci. Technol.*, **32**(8), 1315-1334 (1997).

圖表

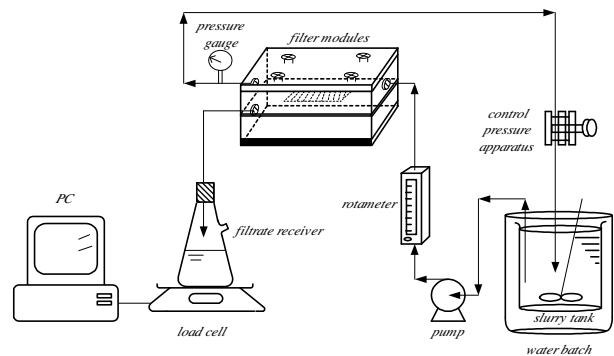


Fig.1 A schematic diagram of cross-flow filtration system.

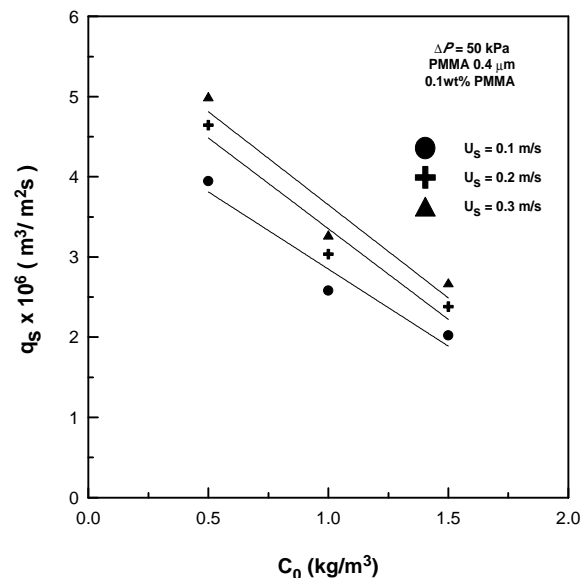


Fig.2 Effects of polymeric concentration and cross-flow velocity on the pseudo-steady flux under $\Delta P=50$ kPa.

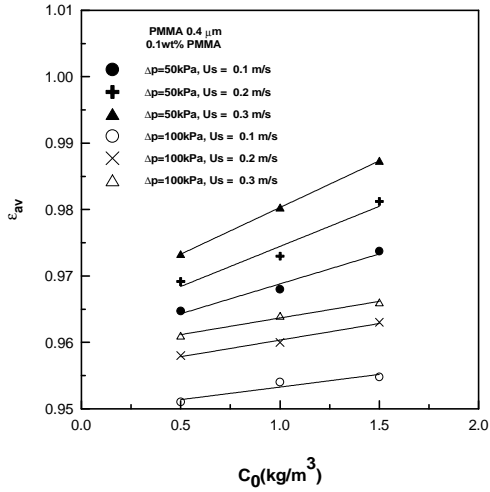


Fig.3 Effects of polymer concentration and cross-flow velocity on the average porosity of cake.

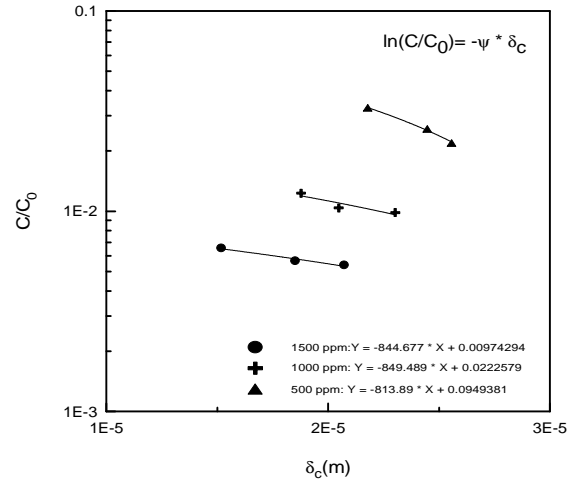


Fig.6 Relationship between C/C_0 and the thickness of cake under three polymer concentrations.

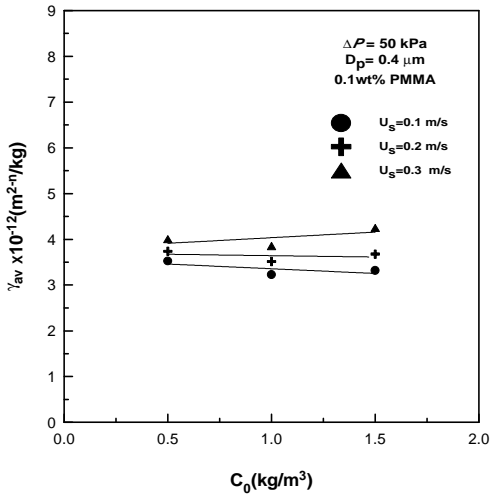


Fig.4 Average specific resistance of cake under various operating conditions.

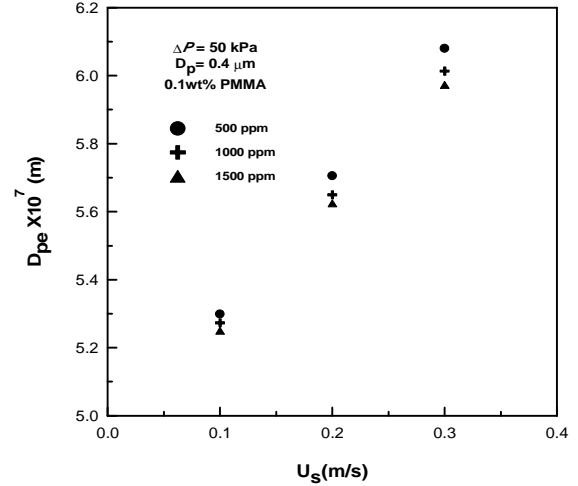


Fig.7 The effective diameters of particles under various operating conditions.

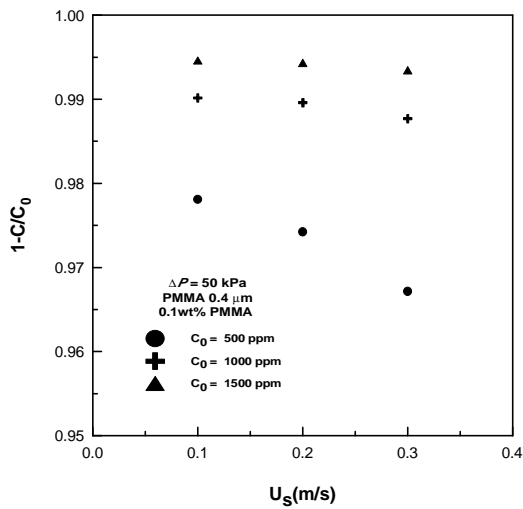


Fig.5 Effects of cross-flow velocity and polymer concentration on the rejections of polymeric molecules.

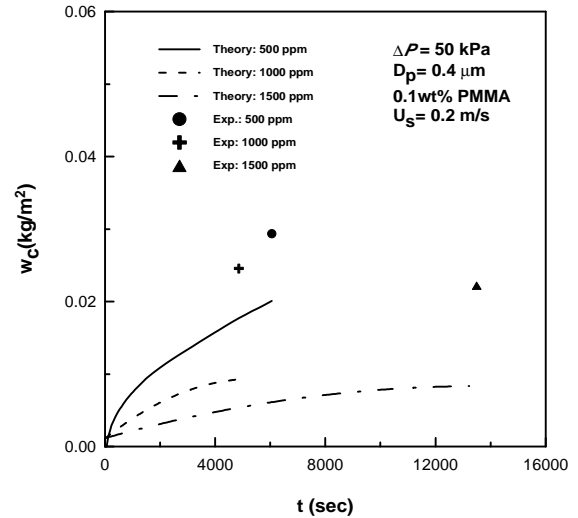


Fig.8 The time course of cake mass during cross-flow filtration under various polymer concentrations.