

難濾性泥漿之固液分離>子計畫六：次微米軟粒子懸浮液之薄膜超過濾(2/2)

Solid/Liquid Separation of Hard to Filter Slurries – project 6: Membrane Ultrafiltration for Suspension solutions of Submicro soft Particles (2/2)

計畫編號：NSC 90-2214-E-032-003

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：鄭東文 淡江大學化學工程學系

E-mail: twcheng@mail.tku.edu.tw

計畫參與人員：李力男 淡江大學化學工程學系

林世龍 淡江大學化學工程學系

一、中文摘要

本研究探討氣體流速及薄膜傾斜角度對次微米軟粒子溶液掃流超過濾之影響，實驗系統包括有平板型式及管型薄膜模組。實驗結果顯示，平板系統中，薄膜傾斜180度時濾速最高，傾斜0度時最低。渠道高度小時，氣體的通入在各個傾斜角度下皆有明顯的濾速提昇；但渠道高度大時，氣體的通入只在傾斜180度下才有較佳之效果；在管式系統中時，發現薄膜傾斜角度從0度改變至50度時，濾速提昇1.5倍以上。本文中也提出最佳操作傾斜角度之計算式，並比較其在不同管式薄膜之適用性，發現其預測值和實驗值吻合，管式系統之最佳操作傾斜角度約為50度。

關鍵詞：掃流超過濾、平板式薄膜、管式薄膜、傾斜、濾速

Abstract

Influences of gas velocity and membrane inclination on gas-liquid two-phase cross-flow ultrafiltration of submicro soft-particle solution were investigated in this work. The experiments were carried out in flat-membrane and tubular membrane modules, respectively. In flat-membrane system, the flux of 180° membrane inclination is the highest while the flux of 0° inclination is the lowest. In a thin channel, the addition of gas slugs has a significant effect on flux enhancement no matter of the membrane inclination. However, in a wide channel, the effect of gas slugs is significant

only at 180° inclination. The flux is enhanced more than 1.5 times when the membrane is inclined from 0° to 50° in the tubular membrane system. The equation for determining the optimal inclination angle was also proposed. The calculated result agrees well with the experimental data for the two tubular membranes used in this work. The optimal membrane inclination angle of tubular membrane is near to 50°.

Keywords: Cross-Flow Ultrafiltration, Flat Membrane, Tubular Membrane, Inclination, flux

二、計劃緣由與目的

超過濾在工業程序的最初發展，是為了處理廢水的問題。傳統之廢水處理，大多以物理、化學或生物法，其原理是將污染物分解或吸除，處理費用隨污染物量的增加而增加。今日超過濾程序，不僅可將廢水中有用物質回收，降低原料成本，同時處理後之水可循環使用，減少廢水量，達到減廢之效果。發展至今，超過濾應用的範圍已相當廣泛，如食品工業，製藥工業、生物技術及生醫工程等。在超過濾進行中，溶液中的溶劑能透過薄膜，而溶質則被薄膜阻隔而在薄膜表面上累積，靠近薄膜表面處之濃度必然高於整體濃度，此現象即濃度極化。濃度極化會造成濾速的降低，影響過濾的進行。為減少溶質之累積，最直接的方法是促使溶質擴散回整體溶液處的速率增加。由於通入氣體能使得濾速有明顯的提昇效果，於是近年來，有學者[1-4]便針對此氣液兩相超過濾系統加

以探討。本研究將以可旋轉角度的掃流薄膜超過濾實驗裝置，探討氣體速度及薄膜傾斜角度對濾速的影響，並將討論最佳薄膜傾斜角度。

三、研究方法

圖一所示為掃流式薄膜超過濾之實驗裝置圖，其薄膜模組可調整傾斜角度。測試溶液置於恆溫水浴中，利用幫浦將溶液送入薄膜模組中，經由壓力閥之調節，可調整流體進料速度與進口壓力，流量可從校正過之液體流量計上觀察。壓力之偵測是利用壓力傳送計測量，濾液之流量以數位電子秤連接數據處理系統得之，濃縮液回流至進料槽。因溶液量不大，故假設進料濃度固定。

在平板系統中，使用的薄膜為平板式高分子薄膜（SPECTRUM, Cellulose Ester, MWCO為10 kDa），渠道高度分別為2 mm及10 mm，測試溶質分別為軟粒子dextran T500（Pharmacia Co., Mw = 464000, Mw/Mn = 2.9, $\bar{n}_s = 1007 \text{ kg/m}^3$ ）與dextran T70（Pharmacia Co., Mw = 69000, Mw/Mn = 1.6, $\bar{n}_s = 1014 \text{ kg/m}^3$ ）及粉體粒徑分別為0.15 μm 及0.8 μm 的聚甲基丙烯酸甲酯（Polymethyl methacrylate, PMMA）。配製溶液之溶劑為蒸餾水。

在管式系統中，使用之薄膜組為管型無機陶瓷薄膜（Techsep, ZrO₂/Carbon），MWCO分別為10k Da (M2 type)及15k Da (M2 type)，內徑為0.6cm，管長為40cm，其質傳總面積為75.4cm²。用以測試之溶液為Dextran T500之水溶液。

四、討論與結論

4.1 平板式薄膜超過濾系統

圖二為薄膜傾斜角0度（即薄膜在下側），各個溶質溶液之濾速隨氣體流速之改變而變化的情形。由圖中可以看出0.8 μm PMMA的濾速最高，dextran T500的濾速最低。在此操作壓力及掃流速度下，0.8 μm PMMA無法在薄膜表面形成穩定之濾餅，加上其為剛性粒子，粒子的堆積情形

較為鬆散，因此濾速較大；也由於濃度極化層阻力不大，氣體的加入對於0.8 μm PMMA系統之濾速提昇不是很明顯。0.15 μm PMMA的濾速較0.8 μm PMMA的濾速低，實驗結束後觀察薄膜表面發現0.15 μm PMMA系統有濾餅產生，而且氣體的通入也無法有效移除0.15 μm PMMA所形成的濾餅，因此隨操作時間的增長其濾速有漸降之趨勢。對於dextran T70溶液系統而言，氣體的加入可以有效的去除濃度極化層阻力而提昇濾速，隨著氣體流入的增加濾速也隨之增加。但對dextran T500溶液系統所形成之濃度極化層較為特殊，氣體的加入無法提昇濾速，當氣體流速小時，濾速反而下降，此原因可能因為薄膜傾斜角0度時，薄膜在渠道下方，氣體於渠道上方流動，其剪應力無法有效掃除薄膜表面附近形成的dextran T500極化層，同時氣體的加入造成的壓力損耗也會使透膜壓差降低，因此濾速下降。圖三為薄膜傾斜角180度（即薄膜在上側），各個溶質溶液之濾速隨氣體流速之改變而變化的情形。此時通入氣體之流動較接近於薄膜表面，對於去除薄膜表面的濃度極化層有較好的效果，因此對於各個溶質系統而言皆有提昇的效果且穩定濾速也差不多；因0.8 μm PMMA系統之濃度極化層阻力不大，改變傾斜角度對濾速並沒有太大的影響。

圖四為傾斜角0度及在不同渠道高度下，dextran T500溶液之濾速隨氣體流速之增加而變化的情形。氣體流過2 mm的渠道時，氣泡於渠道中會有被擠壓的情形，因此氣體離薄膜會較近，其剪應力也較大，對於濾速的提昇有較好的效果；但在10 mm渠道的系統時，氣體離薄膜較遠，對於薄膜表面的影響較小，然而氣體的加入卻降低了透膜壓差，因此氣體的通入使得濾速下降，除非通入氣體量很大。圖五則為傾斜角90度時的結果，對於2 mm渠道系統而言，氣體的加入跟傾斜角0度時一樣，皆能有效的提昇濾速；而對10 mm渠道系統而言，此時氣泡流動於渠道的中間，對薄膜表面會有較大的剪應力，因此可以看出氣體加入對濾速有所提昇，但仍小於2 mm渠

道系統。圖六則為傾斜角180時之濾速變化情況，此時氣體的加入對10 mm渠道系統而言，氣泡會流動於薄膜的表面，對於薄膜表面阻力的去除有較好的效果，因此濾速已和2 mm渠道系統較為相近。由傾斜角0度及90度到180度，可以看出傾斜角的改變，對於10 mm渠道的影響較大，而2 mm渠道系統則較不明顯。因此我們可以知道氣體的加入雖會增加系統的擾流及薄膜表面的剪應力，但仍需考慮氣體在系統中的流態，以10 mm及2 mm渠道空間為例，在相同的傾斜角度及氣液流速下，由於氣體在渠道中流態的不同，使得2 mm渠道空間的系統有較好的濾速提昇。

4.2 管式薄膜超過濾系統

圖七及圖八分別為管式15K及10K薄膜，當液體流速為0.17m/s，氣體流速為0.12 m/s時，在不同透膜壓差下所得濾速實驗值與傾斜角度關係圖，發現在傾斜角度在50度時的濾速也最大，依次為45度以及60度。從這些結果發現，即使在不同薄膜下，傾斜角度約為50度時濾速值皆為最高。

傾斜式氣液兩相超過濾系統中，濾速與傾斜角度之關係式為[4]

$$J = (J_H^{1.25} \cos \theta + J_V^{1.25} \sin \theta)^{0.8} \quad (1)$$

其中 J_H 和 J_V 為各別在水平和垂直所測量的濾速值。根據式(1)之計算式，在各傾斜角度之濾速計算值亦列於圖八及圖九。由圖中發現實驗值和預測值相當接近。

對於預測氣液兩相超過濾系統最佳傾斜角，由式(1)得知

$$\theta_m = \tan^{-1} \left(\frac{J_V}{J_H} \right)^{1.25} \quad (2)$$

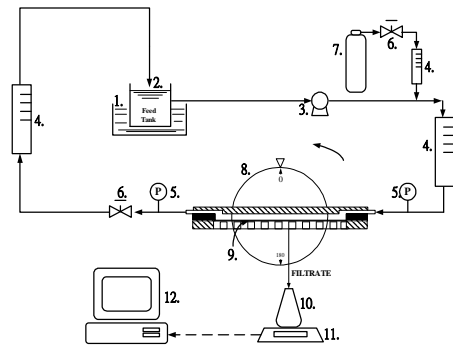
θ_m 可從實驗中 J_V 和 J_H 求得。由式(2)及實驗之 J_V 和 J_H 值得知本氣液兩相超過濾系統之最佳傾斜角度約為50度。

五、參考文獻

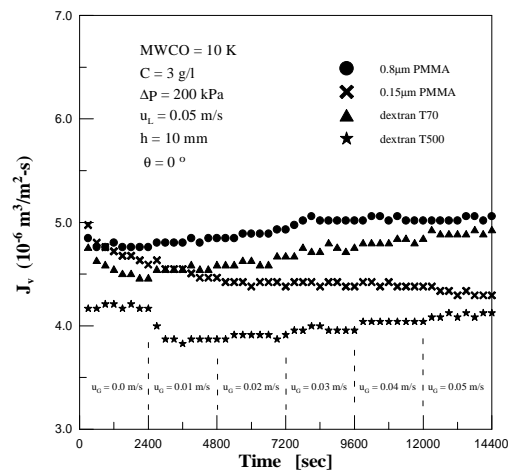
[1] Lee, C. K., W.G. Chang and Y. H. Ju, "Air Slugs Entrapped Cross-Flow Filtration of Bacterial Suspensions," *Biotechnol. Bioeng.*, **41**, 525 (1993).

- [2] Cui, Z. F. and K. I. T. Wright, "Gas-Liquid Two-Phase Crossflow Ultrafiltration of BSA and Dextran Solution," *J. Membrane Sci.*, **90**, 183 (1994).
- [3] Cheng, T. W., H. M. Yeh and J. S. Wu, "Effects of Gas Slugs and Inclination Angle on the Ultrafiltration Flux in Tubular Membrane Module," *J. Membrane Sci.*, **158**, 223 (1999).
- [4] Cheng, T. W., "Influence of Inclination on Gas-sparged Cross-flow Ultrafiltration through an Inorganic Tubular Membrane," *J. Membrane Sci.*, **196**, 103 (2002).

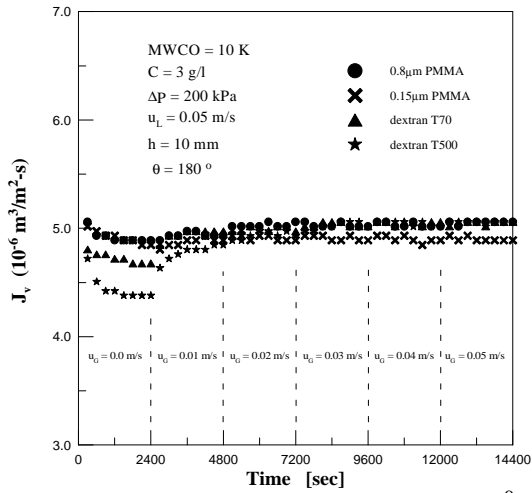
六、圖表



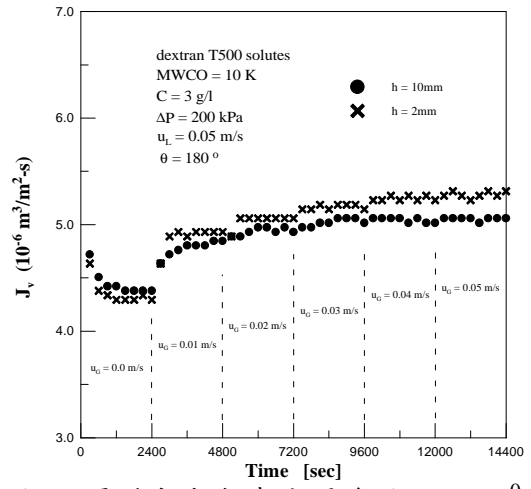
圖一 平板式薄膜裝置圖 (1.恆溫水浴, 2.進料槽, 3.幫浦, 4.流量計, 5.壓力計, 6. 壓力調整閥, 7.氣體鋼瓶, 8.旋轉式模組, 9.平板膜, 10.濾液收集器, 11.數位電子天秤, 12.數據處理器)。



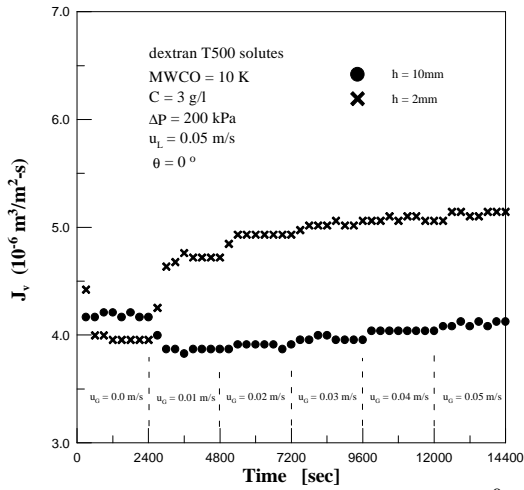
圖二 溶質大小與濾速關係圖($\theta = 0^\circ$)



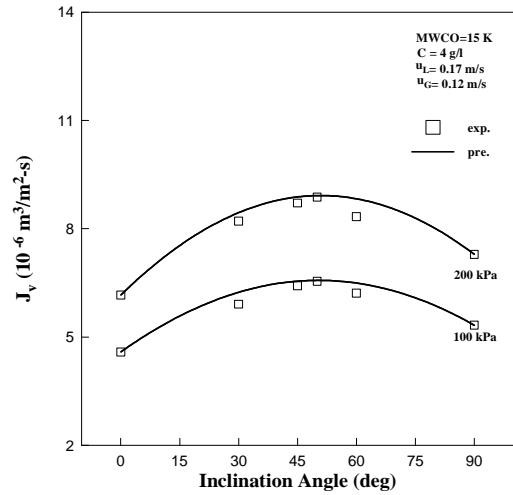
圖三 溶質大小與濾速關係圖($\theta = 180^\circ$)



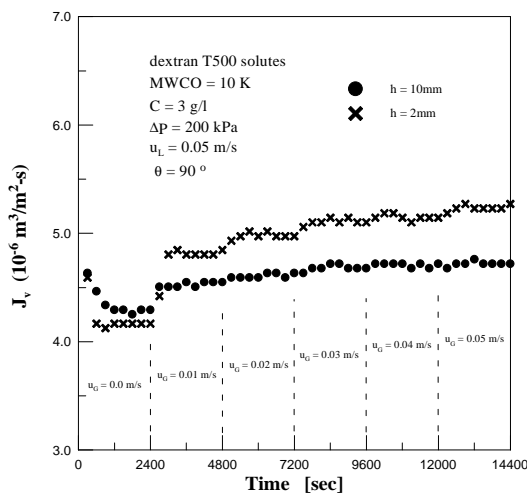
圖六 渠道高度與濾速關係圖($\theta = 180^\circ$)



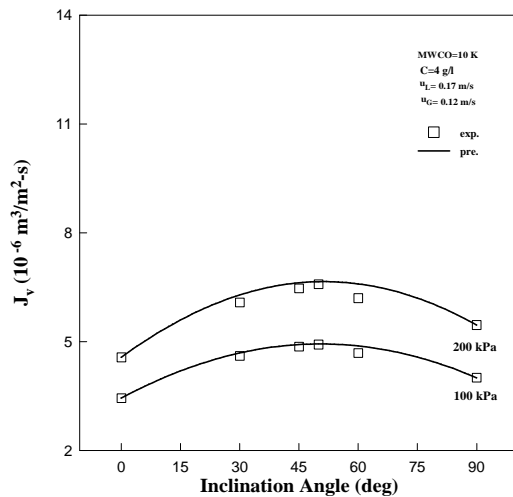
圖四 渠道高度與濾速關係圖($\theta = 0^\circ$)



圖七 濾速與傾斜角度關係圖
(管式 15K 薄膜)



圖五 渠道高度與濾速關係圖($\theta = 90^\circ$)



圖八 濾速與傾斜角度關係圖
(管式 10K 薄膜)