

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

軟膠體粒子之掃流過濾

Cross-Flow Filtration of Soft Colloids

計劃編號：NSC 89-2214-E-O32-004

執行期限：88年8月1日至89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：

本研究以 Blue Dextran 2000 水溶液為樣品，探討軟膠體粒子之掃流微過濾機構。實驗結果發現掃流過濾之操作壓差愈大，則其濾速反而會愈低，掃流速度愈大則濾速會跟著提高，懸浮液之濃度愈高則濾速會較低。Blue Dextran 2000 為受壓縮後可變形、可變體積之微粒子，所以其在過濾中所形成極為緻密的表皮層是造成濾速衰減的主因。為了探求其過濾理論，因此對濾餅內之局部性質進行動態解析。此解析方式考慮粒子間的面接觸及其變形，可獲得濾餅內局部孔隙度、過濾比阻、及固體壓縮壓力之分佈。而結果顯示：於濾材上形成極為緻密之表皮層雖只佔濾餅不到一成的厚度，卻是過濾阻力之主要來源；且增大壓差將導致表皮層更為緊密，以致濾阻變大，降低濾速。

關鍵詞：掃流微過濾、軟粒子、膠體、膜過濾

ABSTRACT

The mechanism of cross-flow filtration of deformable submicron particles is studied using blue Dextran 2000. The effect of operating conditions, such as cross-flow velocity, filtration pressure, and suspension concentration, on the filtration performance are discussed. The results show that the filtration rates increase with the increase of cross-flow velocity, decrease of filtration pressure, and decrease of suspension concentration. The experimental results

show that a compact skin layer due to the deformation and compression of particles will form next to the membrane surface in cross-flow filtration of soft colloids. This layer plays the major role on the filtration resistance. A dynamic analysis method based on material balance and theory is developed for estimating the local porosity, filtration resistance, and solid compressive pressure in a filter cake. The variation of specific surface area due to area contact between particles and the creeping effect of cake compression during a filtration are taken into account. The thickness and porosity of the skin layer can be obtained to explain the performance of a cross-flow filtration.

Keywords : cross-flow microfiltration, soft colloids , deformable particles, membrane filtration

二、緣由與目的

軟膠體所形成的濾餅具有極高的壓縮性，使得傳統的過濾理論容易產生偏差。為了將過濾技術有效率地應用於精密化工程中，本研究針對含軟膠體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，使研究成果能應用至需求日殷之精密分離。

三、實驗方法

1. 實驗物料

所使用之粉體為 Blue Dextran 2000 ,

其外觀為藍色粉體。使用時將粉體懸浮於去離子水中，平均粒徑為 $0.627\mu\text{m}$ 。使用之薄膜分別為孔徑 $0.1\mu\text{m}$ 的 MF-Millipore (Mixed cellulose esters) 及阻隔分子量為三十萬的 Minitan-S ultrafiltration Sheets (regenerated cellulose) 兩種薄膜加以實驗，以不同掃流速度及不同過濾壓差進行掃流微過濾。

2. 實驗步驟

掃流過濾實驗裝置如 Fig.1 所示。其中利用循環式恆溫槽，將恆溫後的水連續傳送至可容納約 30 公升之水槽中，以保持實驗中泥漿溶液之溫度恆定。實驗時將配置好的泥漿，先經由超音波振盪器均勻振盪約二十分鐘左右，再由循環泵輸送經由浮子流量計測量流速後進入掃流過濾器中。過濾之後，濃縮的泥漿被循環送回泥漿槽，而濾液則經由濾液收集瓶予以收集，此濾液收集瓶放置於電子秤上，所以濾液之收集量可經由電子秤直接讀取，或傳送至個人電腦作自動取樣及數據處理。

四、結果與討論

軟膠體粒子之掃流過濾特性

1. 操作壓力的影響：

圖 5-1 為 Blue Dextran 在不同壓差下的濾速衰減圖。由圖可知：濾速是隨著壓差增加而遞減的。另外，對於軟膠體次微米粒子 (Blue Dextran 2000)、可變形次微米粒子 (pseudomas) 與剛體粒子 (PMMA) 之濾速比較繪於圖 5-2。其中軟膠體粒子與可變形粒子的濾速衰減趨勢類似，而由實驗數據可歸納出軟膠體粒子的濾速介於剛體粒子與可變形次微米粒子之間。

2. 掃流速度的影響：

掃流速度對於過濾之影響如圖 5-3 所示，掃流速度越高 (雷諾數為 95~1200 皆為層流範圍內) 可以得到越高的濾速，這是因為掃流速度越高，掃流剪切力增加，使得濾餅與濃度邊界層不易生成，濾速自然也會較高，這也證明了掃流過濾能抑制

濾餅生長的優點。

3. 懸浮液濃度之影響：

圖 5-4 是對於不同操作之懸浮液濃度的濾速衰減圖。由圖我們可得知濃度愈高，則濾速愈低。

濾餅性質之動態解析

1. 濾餅之局部性質

圖 5-9 是不同時間時局部濾餅孔隙度之分布圖。由圖可知當 $t=5300\text{s}$ 時在靠近濾膜表面處即有顯著之壓密現象，而濾餅表面附近則大部分為鬆散的結構。時間越久，則其壓密之相對位置會越靠近濾材表面，當 $t>10000\text{s}$ 之後，則變化已不大，表示壓密情形已趨近於極限。

圖 5-11 為局部過濾比阻在濾餅內之分布圖。圖中可發現時間愈長，濾餅之壓縮愈顯著，過濾比阻也愈高。結果與濾餅之孔隙度分布可互相對應。

2. 濾餅之平均性質

圖 5-12 則是不同壓差下濾餅平均孔隙度對時間的關係圖，由此我們可知壓差越大，其平均孔隙度反而會越大。這主要是因為壓差越大其對表皮層的壓縮效應越明顯，使得後來成長之濾餅幾乎未受到壓縮，是故其平均之孔隙度將會較大。圖 5-13 則是平均過濾比阻於不同壓差下對時間的關係圖，由圖上可知壓差愈大則其比阻也會愈高，這是因為壓力大造成表皮層之壓密行為更為明顯，而形成過濾的阻力也因而較高，過濾也就更加的困難。此外，平均過濾比阻會隨著時間而減小，這主要是因為過濾經過一段時間之後，新形成之濾餅層較為鬆散，也因此整體平均下來，平均過濾比阻也會跟著降低。

五、結論

1. 在軟膠體次微米粒子之掃流過濾中，操作壓差愈大，濾速就愈低，這是因為濾餅被壓縮得更緻密的緣故。
2. 掃流速度愈大，粒子愈不易附著，因此過濾阻力較小，濾速也會較高。
3. 濃度愈高則濾面上粒子之附著通量大，濾

速自然也較低。

4. 粒子間的交互作用力, 在粒子床的堆積結構上佔有很重要的地位。當粒子間的交互作用力值小於流體拉曳力時, 其交互作用力越大, 粒子床的堆積結構就會越來越緊密; 當其值與流體拉曳力值越接近時, 粒子床的堆積結構就會最緊密; 而當粒子間的交互作用力值大於流體拉曳力時, 則此交互作用力值越大, 粒子床的堆積結構就會越鬆散。
5. 由臨界摩擦角及附著機率之分析也發現掃流速度愈大其臨界摩擦角愈小, 附著機率愈低, 故與實驗中掃流速度高會抑制濾餅成長, 提高濾速之結果相符。
6. 藉由動態模擬解析可更了濾餅局部之性質。若壓差較大, 則濃度邊界層被壓縮的愈緊密, 故此為主導濾速衰減的主要原因。另外隨著過濾時間增加濾餅成長率趨於平緩, 顯示掃流過濾隨著濾餅成長而粒子附著機率會降低, 濾餅成長因此會受抑制。而掃流速度大其平均孔隙度較小, 亦即其整體濾餅會堆積的較緊密。

六、計劃成果自評

本研究針對含軟膠體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殷之精密分離程序中。

七、參考文獻

- Hwang, K. J. and W. M. Lu, "A Simple Model for Estimating Surface Porosity of Cake in Cake Filtration of Submicron Particles", *J. Chin. I. Ch. E.*, **28**, 2, 121 (1997).
- Hwang, K. J., M.C. Yu, and W. M. Lu, "Migration and Deposition of Submicron Particles in Cross-Flow Microfiltration", *Separation Sci. Technol.*, **32**, 17, 2723 (1997).
- Lu, W. M. and K. J. Hwang, "Mechanism of Cake Formation in Constant Pressure Filtration", *Sep. Technol.*, **3**, 122 (1993).
- Lu, W. M. and K. J. Hwang, "Cake Formation in 2-D Crossflow Filtration",

A.I.Ch.E. J., 41, 1443 (1995)

McDonogh, R. M., A.G. Fane, and C.J.D. Fell, "Charge Effects in Crossflow Filtration of Colloids and Particulates", *J. Membrane Sci.*, **43**, 69 (1989).

圖表

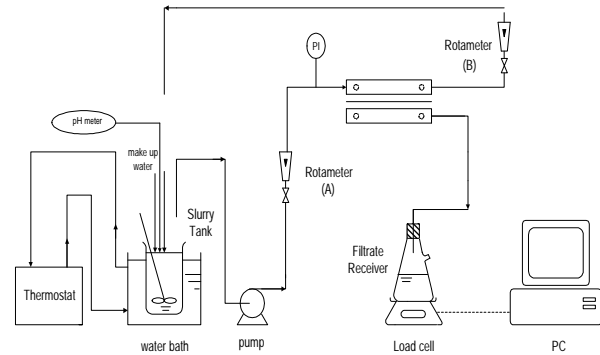


Fig.1 A schematic diagram of cross-flow filtration system.

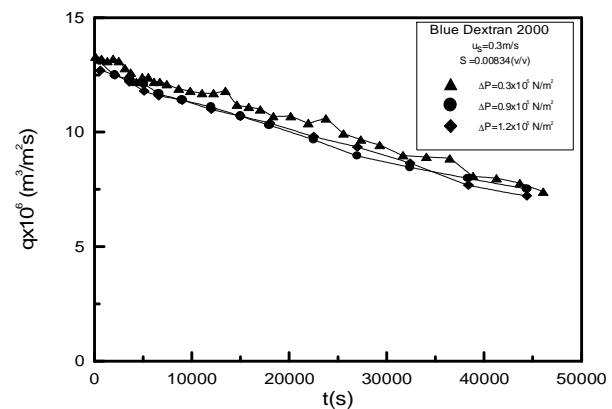


Fig.5-1 Decay of filtration rate during crossflow filtration under different filtration pressure

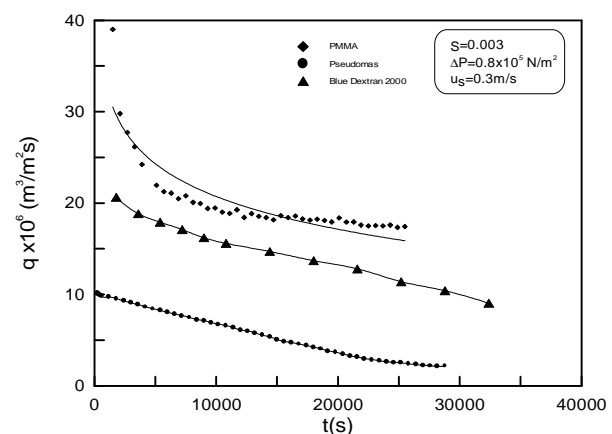


Fig.5-2 A comparison of filtration rate between a crossflow filtration of rigid and deformable submicron particles and soft colloid.

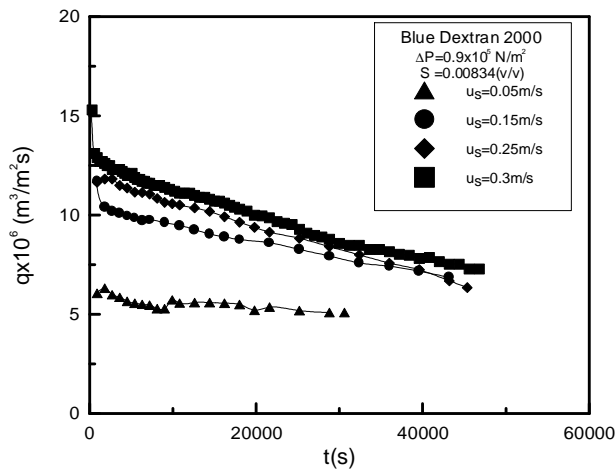


Fig.5-3 Decay of filtration rate during crossflow filtration under different crossflow velocities.

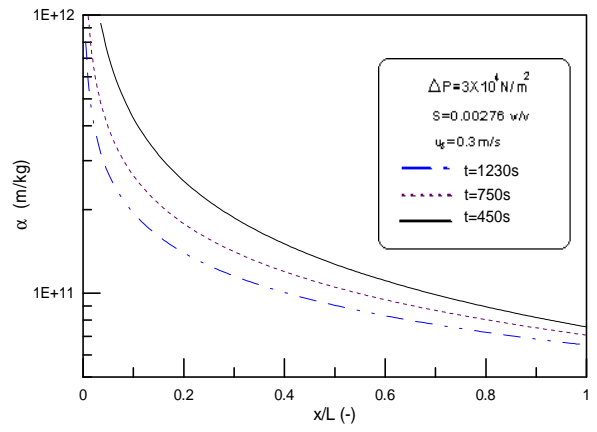


Fig.5-11 Distribution of specific filtration resistance in cake during cross-flow filtration

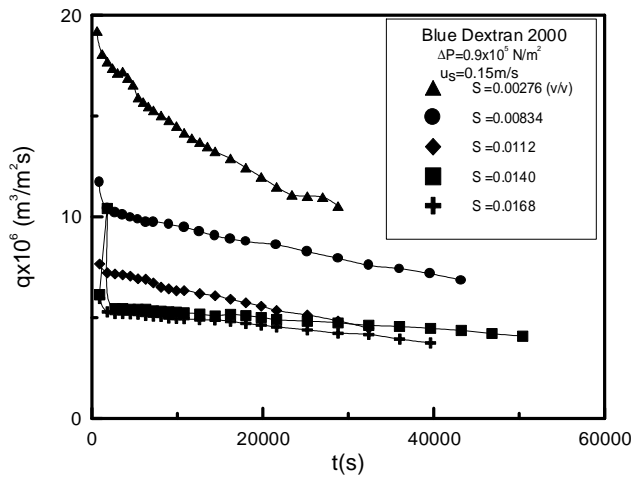


Fig.5-4 Decay of filtration rate during crossflow filtration under different concentrations.

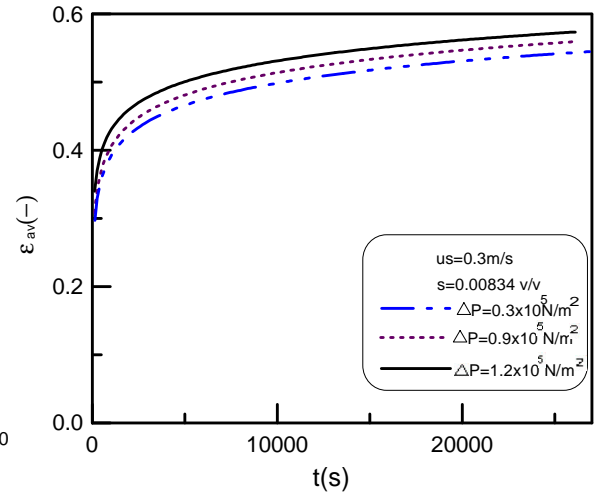


Fig.5-12 Time course of average cake porosity during filtration.

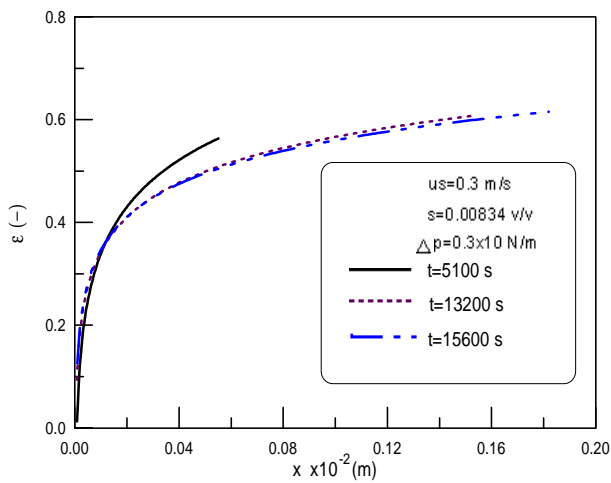


Fig.5-9 Distribution of local cake porosity during a cross-flow filtration.

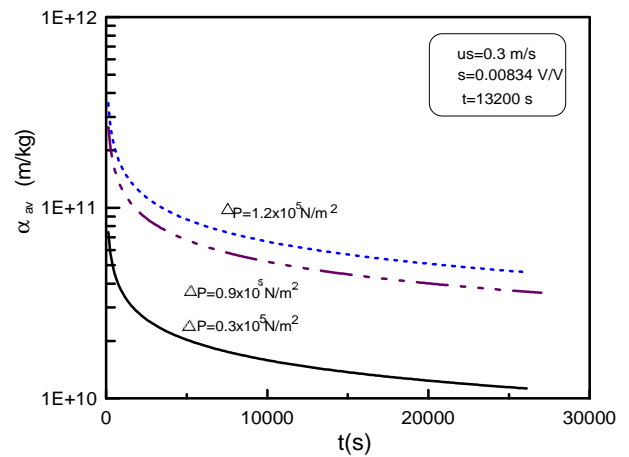


Fig.5-13 Time course of average specific filtration resistance of cake during filtration.