



薄膜製程 成果競賽

以 COMSOL 模擬化學藥品純化過濾桶槽 之兩相流場與壓力分布

胡仁聚、胡昱安、許昱璋、戴瑜萱
指導教授：黃宗鈺 副教授
明志科技大學 材料工程系

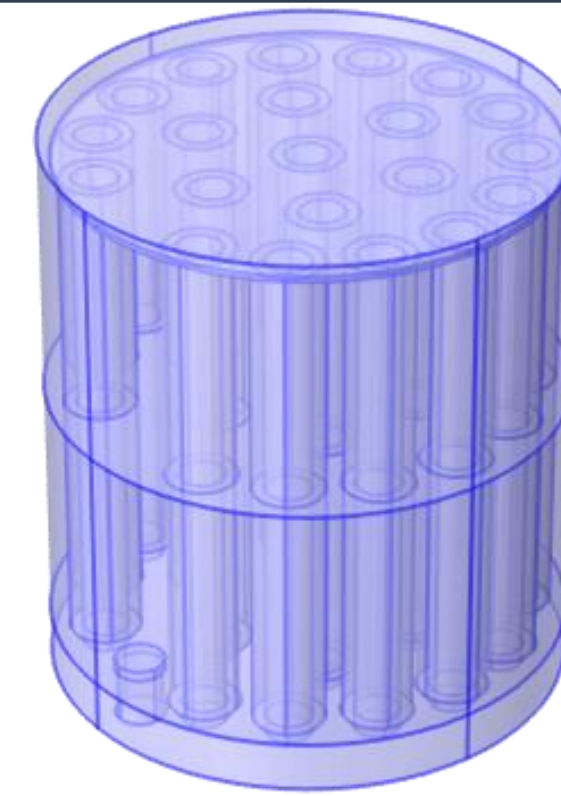
研究背景與目的 Introduction

研究背景

工業製程中，化學藥品之純度直接影響產品品質與製程穩定性，過濾為不可或缺之環節。過濾桶槽以多根濾心管收集並過濾藥液，其內部流場與壓力分布影響整體運作效能。然而桶槽內部為封閉、不透明之環境，實驗上難以直接觀察其流動行為。

解決方案

藉由計算流體力學(CFD)數值模擬，將桶槽內部之流場與壓力分布可視化，作為設備設計與評估之依據。



3D 過濾桶槽 (21 根濾心管陣列)

模型建立 Model & Methods

幾何模型

桶槽直徑	250 mm
桶槽高度	560 mm
濾心管數量	21根
濾心管外徑	34.25 mm
液體通道內徑	22 mm
過濾層厚度	約 6.1 mm

數值方法

層流模組 (Laminar Flow)

求解連續與動量方程，描述桶內不可壓縮自由流動。

等位函數法 (Level Set)

追蹤空氣與化學藥品兩相介面 ($\phi = 0$ 氣相、 $\phi = 1$ 液相)。

達西定律 (Darcy's Law)

描述濾心多孔過濾層流動，滲透率以 Kozeny-Carman 模型計算。

邊界條件與材料參數

進料口：速度入口

出料口：壓力出口 (大氣壓)

壁面：無滑移

求解：暫態 0.2 s

液相 DMF：949 kg/m³

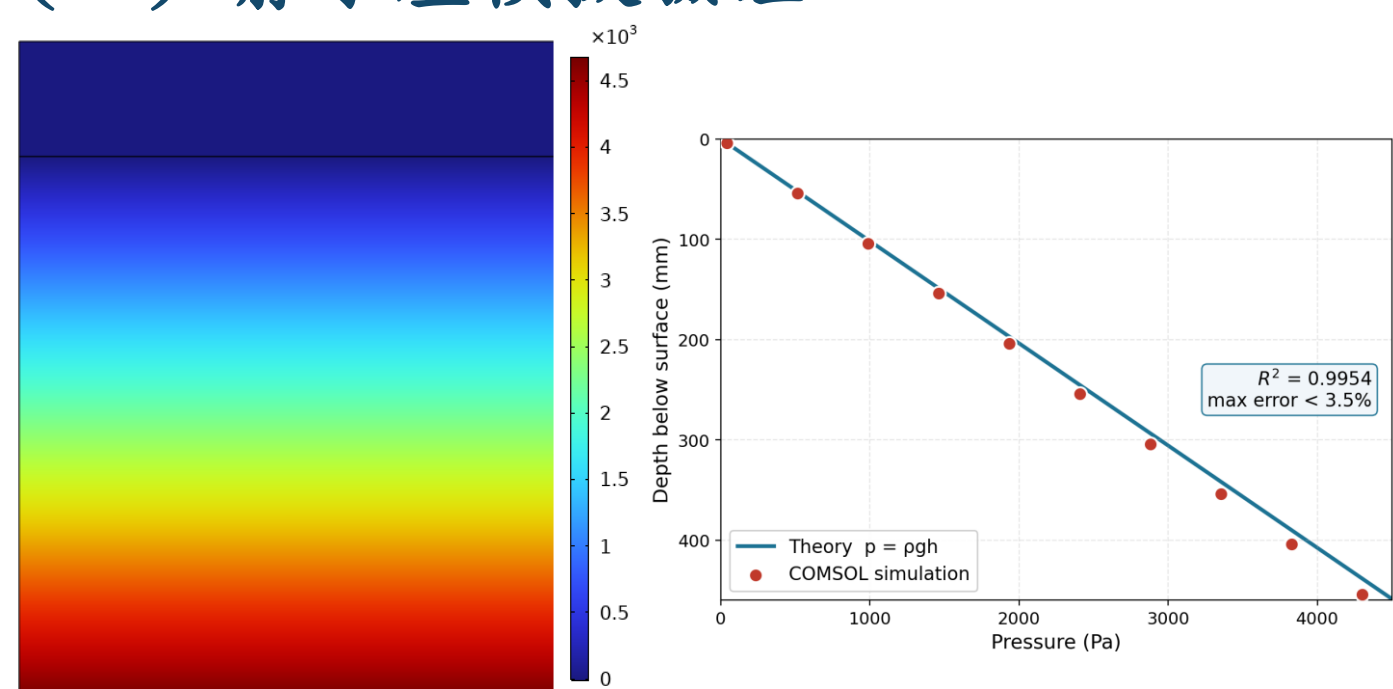
黏度：8.02×10⁻⁴ Pa·s

孔隙率 ϵ_p ：0.5

粒徑 d_p ：1 nm

模擬結果 Results

(一) 靜水壓模擬驗證



壓力雲圖 (由上至下遞增)

模擬值 vs 理論值 $p=\rho gh$

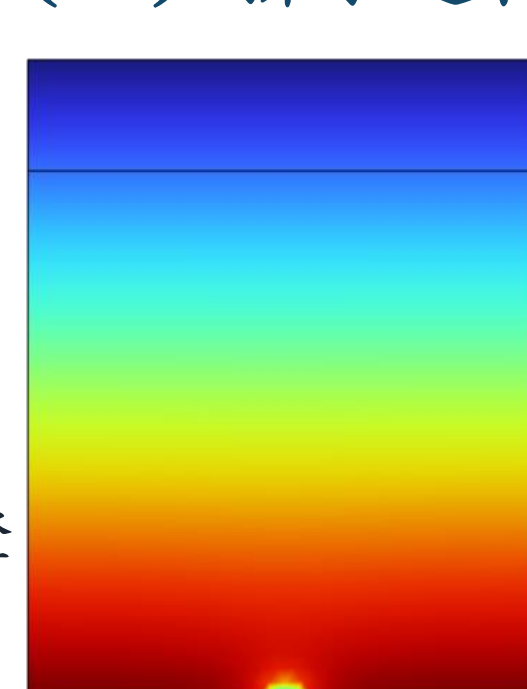
$$R^2 = 0.9954$$

最大誤差 < 3.5%

關鍵發現

- 壓力沿深度線性遞增，相鄰量測點壓差固定約 473 Pa。
 - 與理論 $p=\rho gh$ 高度吻合，證明 COMSOL 壓力計算可信。
- 為後續壓力分析奠定基礎。

(二) 排水過程之壓力分布



排水時桶內壓力分布

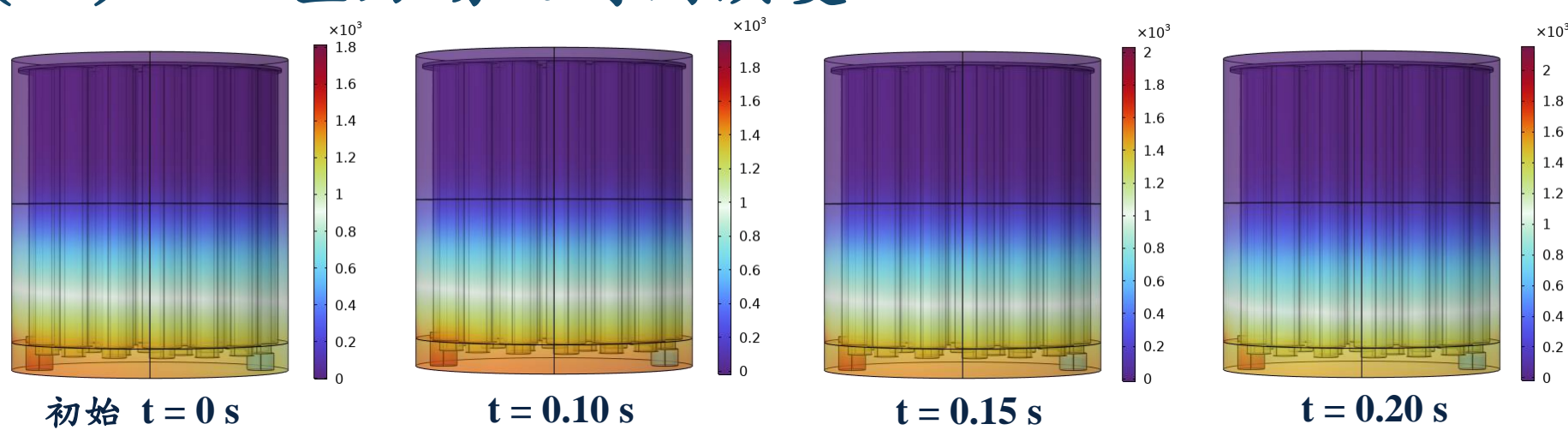
靜水壓主導

桶內排水時，壓力仍主要遵循靜水壓 $p = \rho gh$ 沿高度分層，越接近桶底壓力越大，呈現由上而下遞增之清晰梯度。

出口局部偏離

僅在底部出口附近，因排水流動造成局部流速增加，壓力略微偏離理論值；其餘區域與 $p = \rho gh$ 高度吻合。

(二) 3D 壓力場之時間演變



初始 t = 0 s

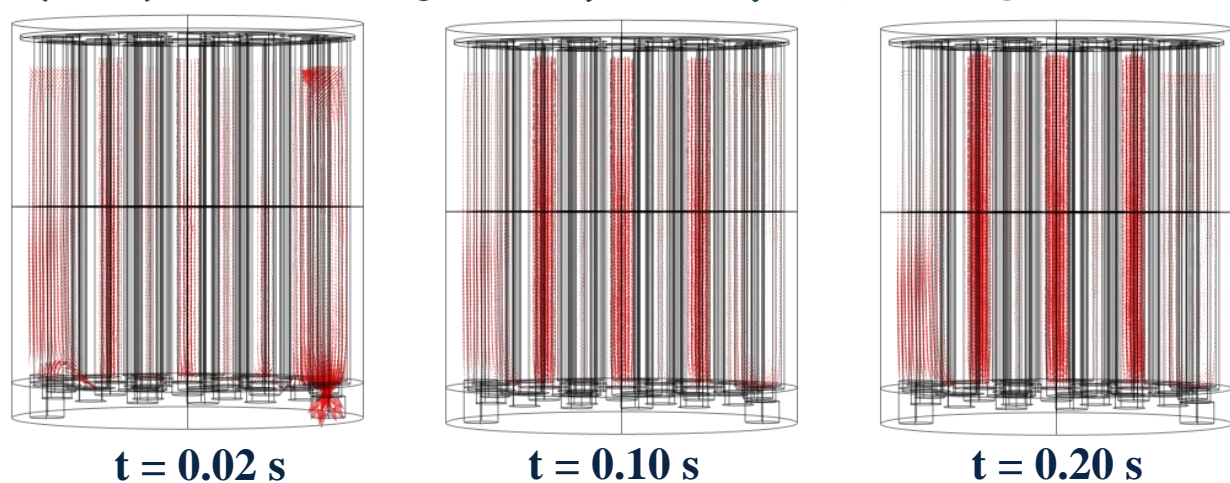
t = 0.10 s

t = 0.15 s

t = 0.20 s

觀察：隨模擬時間增加，桶槽底部之高壓區 (暖色) 逐漸往上發展並加深，呈現由下而上之壓力梯度。相對壓力範圍約 0 ~ 2157 Pa，上半部為接近大氣壓之空氣區。21根濾心管使壓力於水平截面分布大致均勻。

(三) 3D 速度場之時間演變



t = 0.02 s

t = 0.10 s

t = 0.20 s

觀察：速度場 (紅色) 主要集中於濾心管內，顯示藥液沿濾心管軸向流動。隨時間演進，流動逐漸集中於部分管路，反映多管之間存在流量分配不均之現象，可作為後續濾心配置與流場優化之依據。

結論 Conclusion

- 以靜水壓案例驗證 COMSOL 壓力場計算，模擬與理論 $p = \rho gh$ 之誤差小於 3.5% ($R^2 = 0.9954$)，確立模型可信度。
- 建立含 21 根濾心管之 3D 圓柱過濾桶槽暫態模型，結合層流、等位函數法與 Darcy 定律模擬空氣 - 藥品兩相流。
- 3D 壓力場顯示桶內高壓區隨時間由底部向上發展；速度場顯示藥液沿濾心管軸向流動，可作為設備設計優化之基礎。