

# 陶瓷平板 MBR 國內外應用廢水回收之實廠案例

林正祥\*、李岳翰\*\*、黃鈺婷\*\*、周伯堦\*\*

## 摘 要

薄膜生物反應器(Membrane Bio-Reactors, MBR)目前在歐美與日本等國家已廣泛運用於廢(污)水的處理及水回收應用技術上，國內也有多家工廠，如製藥、TFT-LCD 工廠等有採用此項技術。MBR 利用置於生物槽中做薄膜之固液分離，因而具有占地面積小、高效率等優點，以及其薄膜之技術逐漸成熟，使得膜成本有逐年降低之趨勢，預測未來將有更大的市場競爭力。

過去使用之膜基材大部分為有機成分之 PVDF 等，應用在工業廢水使用時，經常發生抗油力不足、阻塞、高溫劣化及反洗不易之狀況，這幾年在新加坡已有大型石化工業區污水處理廠，運用陶瓷基材之平板陶瓷膜，進行廢水處理及水回收之成功案例，國內也已有電路板及造紙廢水回收之現場模場試驗，且有一石化廠廢水回收之實廠案例。

本文介紹過去陶瓷 MBR 運用於新加坡裕廊島 (Jurong) 石化工業區污水處理實廠、國內特用化學品工廠及食品工廠實廠污水處理廢水回收之實廠案例。

**【關鍵詞】**陶瓷平板 MBR 膜、石化廢水、特用化學品、食品廠、水回收

---

\*祥泰綠色科技有限公司 環工技師

\*\*祥泰綠色科技有限公司 工程師

# 一、前言

## 1. MBR 設備及發展

將薄膜的使用與傳統生物處理結合而成的薄膜生物反應器(membrane bioreactor, MBR)，一般MBR膜之孔隙約介於0.04至1.0 $\mu\text{m}$ ，因可提高過濾及分離的效率，極被視為是最具前瞻性的新一代處理技術。與傳統活性污泥程序相比，MBR 技術的處理水質較佳、操作彈性大、佔地小、污泥量少，又具備消毒及除臭能力等優勢，同時能承受高污染物負荷與尖峰負荷的變動，故具有替代活性污泥程序的潛力。另外，因薄膜的緣故，MBR 的SRT長、MLSS 高，不但能使微生物適應期增長而促進分解微量或難分解污染物的能力，同時非常適合應用於營養鹽去除與生物厭氧處理，在水回收再利用方面亦具有潛力。MBR之特點歸納如下(經濟部工業局，2006)：

- 出水水質良好，出水中無固體物存在。
- 可過濾細菌，後消毒加藥劑量降至最低。
- 污泥齡長，較其他好氧處理污泥產量少。
- 生物濃度高，反應池體積可大幅縮小，佔地面積少。
- 可快速馴化出降解難生物分解之微生物，提高系統穩定性。
- 具有處理高污染濃度廢水之能力。

近年MBR 技術發展迅速，目前世界上有超過2,200 座MBR 已設置運轉或陸續興建當中(Yang, W., Cicek, N. and Ilg J., 2006)。根據調查，現今全球的MBR 市場約21,600萬美元，每年平均以10.9%的速度成長，預估在2010年，市場將達到36,300萬美元(Atkinson, S., 2006)。MBR市場的年平均成長速度遠大於高級處理設備市場的5.5%，亦較其他類型薄膜系統市場的8~10%高(Ben Aim R. M. and Semmens M. J., 2003)。此趨勢除顯示MBR 技術成本逐年降低而逐漸邁向成熟期外，亦顯示在放流水法令趨嚴及水資源需求日增的環境下，能提供高品質放流水水質和增加水回收再利用潛力的MBR 技術，是一項關鍵的選擇。

MBR 發展至今，仍有許多挑戰，包含如何長期操作而不致顯著造成薄膜積垢問題，以及對生物處理行為、薄膜積垢速率、薄膜通量與操作條件之間的交互關係，都需要更清楚的了解，才能達到最佳化的操作(Judd S., 2006)。此外，相對於國外成熟的市場現況，國內MBR 的商業化應用仍屬於新興的市場，雖在2000 年後開始設置營運廠(Stephenson T., Judd S., Jefferson B., and Brindle K., 2002)，但仍需要累積更多實務與操作經驗，並對影響效能與積垢的基礎原理能夠掌握，才能進一步拓展MBR 技術的適用性與應用

性。

## 2. 有機薄膜模組優缺點探討

常見之商業化與非商業化薄膜模組有 4 種型式：(1)平板式，(2)管式，(3)螺旋式及(4)中空纖維式。另外，薄膜材質一般則為有機聚合物，包含 PVDF(聚偏二氟乙烯，polyvinylidene difluoride)、PE(聚乙烯，polyethylene)、PES(聚乙烯磺，polyethylsulfone)、PS(聚磺，polysulfone)與 PAN(聚丙烯腈，polyacrylonitrile)等。有機材質平板式模組每層薄膜均需個別之支撐層，致使填充密度及固體物攔截能力均中等，薄膜不易清洗或更換且易破損。管式模組填充密度最低，但攔截固體物的能力最佳，可在高壓下操作及以物理性方式清洗，不過其單位面積薄膜所需空間高，且壓力損失大，致操作成本相對提高。螺旋式模組有較高之填充密度、構造簡單、製造費用低，但固體物攔截能力最差，且對濃度極化之控制較困難，可能不易於清洗(Fan, A., 2002)。中空纖維式模組的特點是填充密度高，可反沖洗，且製作費用與耗能較有機平板式低，但水力動力環境不易控制，易產生積垢，使薄膜清洗頻率頻繁(Judd, S., 2002)。

## 3. 陶瓷平板 MBR 膜之優勢特點

將陶瓷平板膜與不同之 MBR，如中空絲膜(PVDF 材質)、平板膜(PVDF、PE 材質)分析比較分析如下：

表1 陶瓷平板 MBR 膜與有機膜之特性比較

膜型式 材質	中空絲膜	平板膜	
	合成樹脂 (PVDF)	合成樹脂 (PVDF、PE)	陶瓷
膜總表面積	++	+	+
耐酸鹼及 耐強氧化劑	+	+	++
耐溫性	+(50°C以上容易 出現問題)	+(50°C以上容易 出現問題)	+++ (可達 80°C)
除油能力	+	+	++
壽命、保固年限	3 至 5 年	5 至 7 年	10~15 年
過濾性能	++	++	++
阻塞狀況	膜管接縫及內緣 位置容易 阻塞及斷絲	逆洗壓力小 阻塞容易	有逆洗壓力 不易阻塞
回收再利用	不易回收利用	不易回收利用	可回收再利用

備註：+號越多，顯示功能越佳

表2 陶瓷平板MBR膜與有機膜之成本效益比較

規格	中空絲膜	平板膜	陶瓷平板膜
1.孔隙( $\mu\text{m}$ )	0.1	0.4	0.10
2.材質	PVDF	PVDF	Ceramic
3.模型式	MF	MF	MF
4.膜表面積	25 m <sup>2</sup> /模組	0.8 m <sup>2</sup> /平板	0.5 m <sup>2</sup> /平板
5.標準通量 Flux	0.4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -day (16LmH)	0.4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -day (16LmH)	0.8 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -day (32 LmH)
設計通量 Flux	0.4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -day	0.4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -day	0.8 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -day
初設成本 (%)	82	79	100
操作成本/年 (%)	190	260	100
總成本/10年 (%)	120	140	100

備註：本案例是以工業廢水回收實際處理量：120 m<sup>3</sup>/day 作比較基礎

資料來源：2015 日本明電舍資料

由表1所示，可瞭解陶瓷平板MBR膜之特性比現有PVDF材質之中空絲膜及平板膜，優點較多，處理穩定性高出甚多。

根據日本長期成本效益比較，顯示陶瓷平板MBR膜初設成本確實高出20%，但10年長期之總成本，陶瓷平板膜約比中空絲膜及PVDF平板膜降低20至40%成本，如表2所示(日本明電舍，2015)。

## 二、陶瓷 MBR 運用於國內外實廠案例

### 1.新加坡裕廊島 ( Jurong ) 石化工業園區石化污水處理及水回收運用案例

新加坡為嚴重缺水之國家，因此水回收為其國家重要政策。由於石化業廢水特性複雜，處理困難度非常高，更遑論廢水處理後再回收，裕廊島 ( Jurong ) 石化工業園區地處填海及串島之型態，水的需求更迫切，海水淡化又成本過高，有鑑於此，新加坡政府之公共設施委員會(Public Utilities Board·PLB)廣邀世界各水回收技術大廠針對Jurong石化工業區污水處理廠廢水進行模場 ( pilot ) 現地測試，經嚴格審查，最後確立陶瓷平板MBR膜之技術適用性，而於2014年完成4,600CMD之廢水處理與水回收實廠之試車運轉。處理水質如表3所示，水回收後直接供應區內工廠進入製程RO系統，不必有UF超濾膜系統，大幅節省成本。

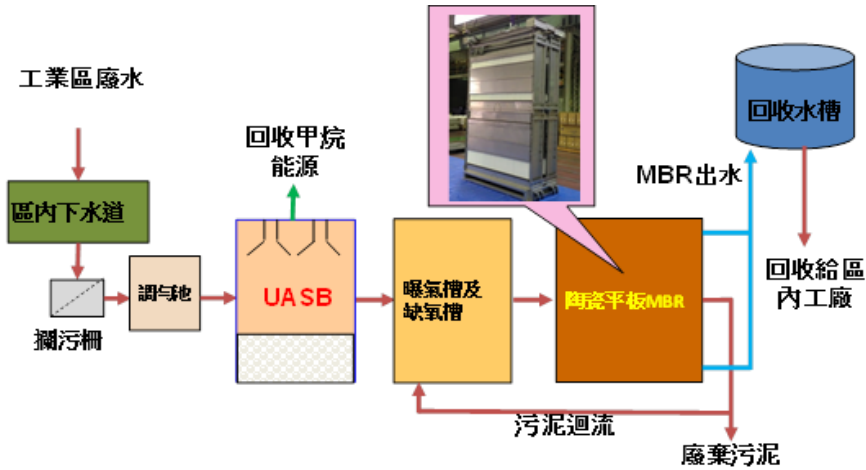


圖 1 新加坡裕廊石化污水處理及水回收流程圖

表 3 裕廊石化污水處理及水回收處理成效表

水質檢測項目	廢水處理成效	
	原水	處理後出流水
pH	6.8	7.2
COD (mg/L)	2,202	37
BOD (mg/L)	858	5
總懸浮物 TSS (mg/L)	555	< 1
油脂 Oil&G (mg/L)	89	< 0.5
總氮 T-N (mg/L)	85	17
總磷 T-P (mg/L)	25	14

由於石化廢水之複雜度高，此通量 ( $0.47 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ ) 確實會比一般設計值 ( $0.8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ ) 為低，所以前置之模場 (pilot) 試驗確認通量設計參數值就非常重要了(SIWW,2015)。

## 2. 國內特用化學品工廠廢水實廠應用

此特用化學品工廠廢水之處理流程分為生物處理、化學處理及陶瓷 MBR，如圖 2 所示。

經實際採樣分析檢測，成效良好，COD 由  $4,130 \text{ mg/L}$  可降至  $55.2 \text{ mg/L}$ ，SS 由  $30 \text{ mg/L}$  降至  $0.5 \text{ mg/L}$  以下，如表 4 所示。不過，由顯微相觀察(如圖 3 所示)，MBR 槽內有很多良好指標微生物：吸管蟲及鐘形蟲，且活性良好，顯示陶瓷 MBR 槽內生物功能良好，惟細菌量仍稍多，只要將 MLSS 再增加，仍有提升改善，出流水質將更為良好。

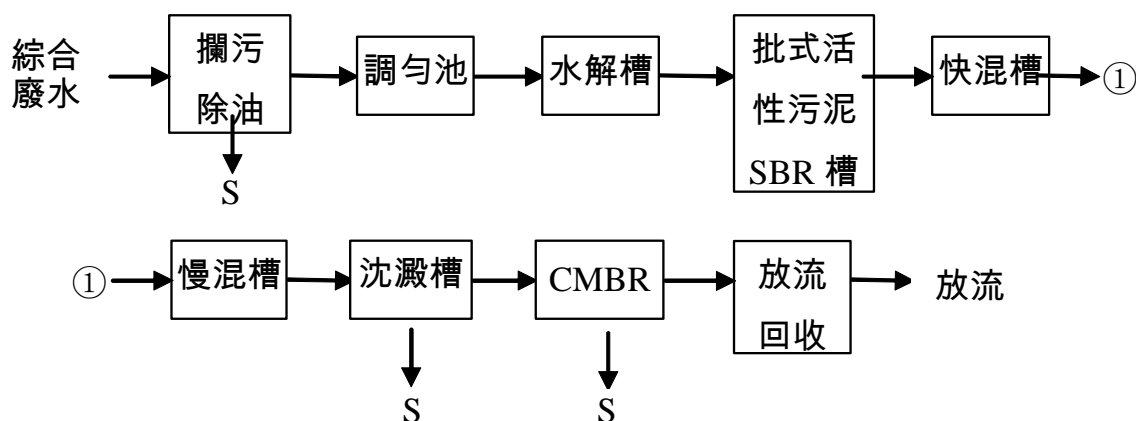
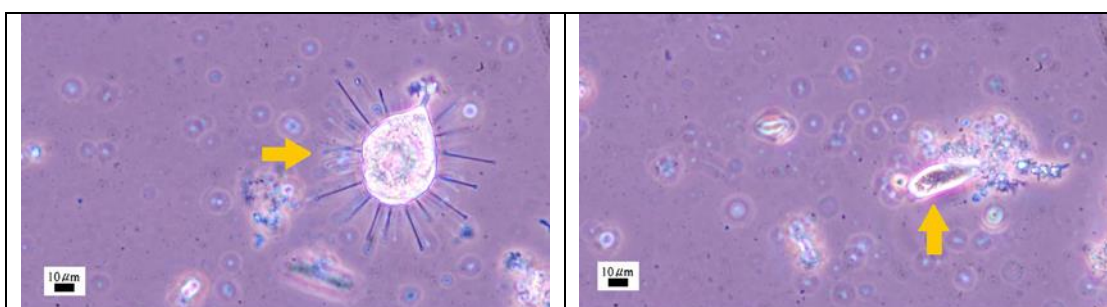


圖 2 特用化學品工廠陶瓷平板 MBR 廢水回收處理流程圖

表 4 特用化學品工廠廢水回收處理處理成效

	綜合廢水	放流水
COD (mg/L)	4,130	55.2
BOD (mg/L)	1,180	22.1
SS (mg/L)	30	< 0.5
氨氮 (mg/L)	10.9	0.09
油脂 (mg/L)	6.6	0.5
總酚 (mg/L)	0.0664	0.0022
正磷酸鹽 (mg/L)	12.2	0.201



照片 1 良好指標微生物：吸管蟲（照片左）及鐘形蟲（照片右），數量很多，且活性良好，顯示陶瓷 MBR 槽內生物功能良好，惟細菌量仍稍多，只要將 MLSS 再增加，仍有提升改善，出流水質將更為良好。 200X

### 3. 國內食品工廠廢水處理及水回收實廠

此食品工廠廢水之處理流程分為厭氧、缺氧及陶瓷 MBR，如圖 3 所

示。設備安裝如照片 2；各單元水質外觀比較如照片 3；經現場顯微觀察，如照片 4 及照片 5，輪蟲、鐘形蟲、游仆蟲數量多；均為生物功能良好之指標微生物。且分散狀細菌很少，由表 5 可確認出水水質非常好。

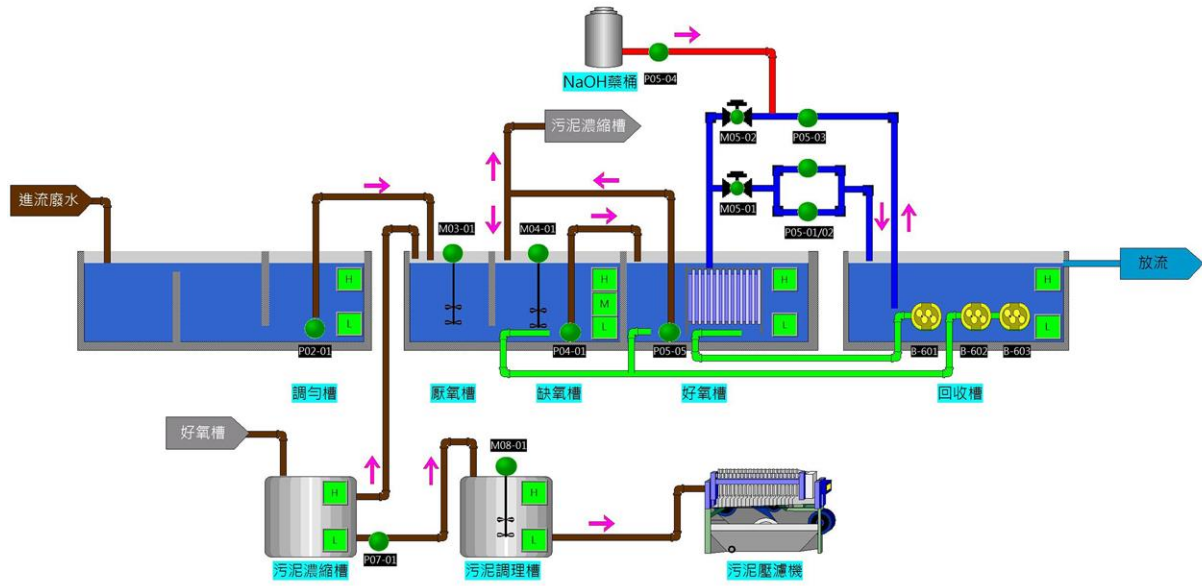
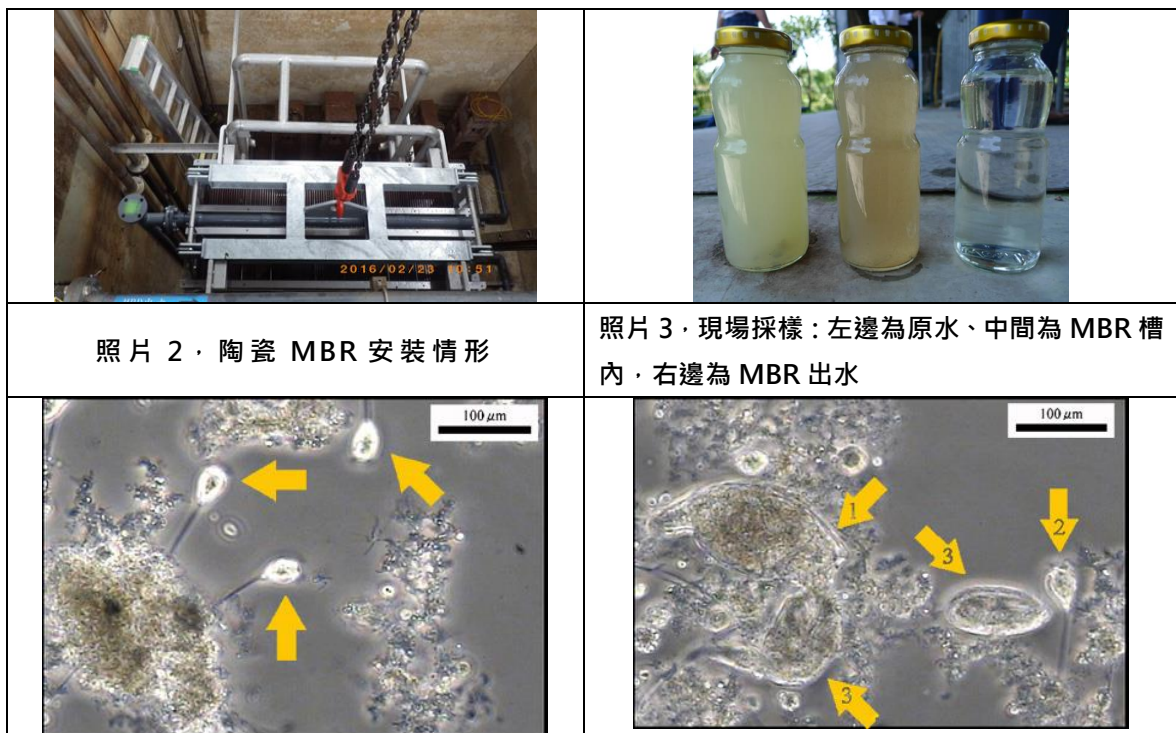


圖 3 國內食品工廠陶瓷 MBR 廢水回收處理流程圖



照片 4 · 箭頭所指者為鐘形蟲，數量多，活性良好，且分散狀細菌很少，顯示處理效果很好。 100X

照片 5 · 箭頭 1 為輪蟲；箭頭 2 為鐘形蟲；箭頭 3 為游仆蟲；均為生物功能良好之指標微生物。且分散狀細菌很少，可確認出水水質非常好。 100X

表 5，食品廠廢水使用陶瓷 MBR 作水回收之成效

項目	原水	MBR進水	MBR 進水溶解 性水質	MBR 槽內	MBR出水
化學需氧量 COD ( mg/L )	1269	1855	137	X	20
生化需氧量 BOD ( mg/L )	1199	533	62	X	0.45
總懸浮固體量 SS ( mg/L )	572	3090	X	5000	0.806
油脂 ( mg/L )	50.04	1.07	X	X	N.D.( $<0.05$ )

備註：「X」表示“未檢測”

### 三、結果與討論

1. 陶瓷平板 MBR 膜自開發到大型污水處理與回收場之運轉，已屆 8 年，目前已累積 80 餘個案例，在工業界之使用（耐熱、除油、抗阻塞、清洗容易）更有其優勢，國內工業區及難度較高之工業廢水處理與回收，是有參考應用之價值。
2. 國內 2 家案例廠均設有遠端監控及水體顯微診斷功能，將可藉由此 2 家之設置與操作，確實掌握此陶瓷平板 MBR 之設計與使用各項參數，以提升國內此方面之技術。

### 四、參考文獻

李岳翰、黃鈺婷、周伯堯、林正祥(2015)，陶瓷平板MBR應用於電路板及造紙廢水回收之現場模場試驗探討」，第二十五屆下水道與水環境再生研討會。

明電舍 Meiden 株式會社 2015 July 所提供資料。

經濟部工業局(2006)，薄膜生物反應器，廢水處理單元設計及異常對策參考手冊(2006年更新版)。

Atkinson S. (2006), Research Studies Predict Strong Growth for MBR Markets, Membrane Technology, 2006(2): p. 8-10.

Ben Aim R. M. and Semmens M. J. (2003), Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment and Reuse: A Success Story, Water Science and Technology, 47(1): p.1-5.

Fan, A. (2002), Membrane Bioreactors: Design and Operation Options, Filtration



and Separation, 39(5): p. 6-29.

Judd, S. (2002), Submerged Membrane Bioreactors: Flat Plate or Hollow Fibre, Filtration and Separation, 39(5): p. 30-31.

Judd S. (2006), The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment, Elsevier Ltd, USA.

Stephenson T., Judd S., Jefferson B., and Brindle K. (2002), Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, IWA Publishing, UK.

Yang W., Cicek N., and Llg J. (2006), State-of-the-art of Membrane Bioreactors: Worldwide Research and Commercial Applications in North America, Journal of Membrane Science, 270(1~2): p. 201-211.

2014 Singapore International Water Week 會議資料 1 ~ 5 June 2014 °