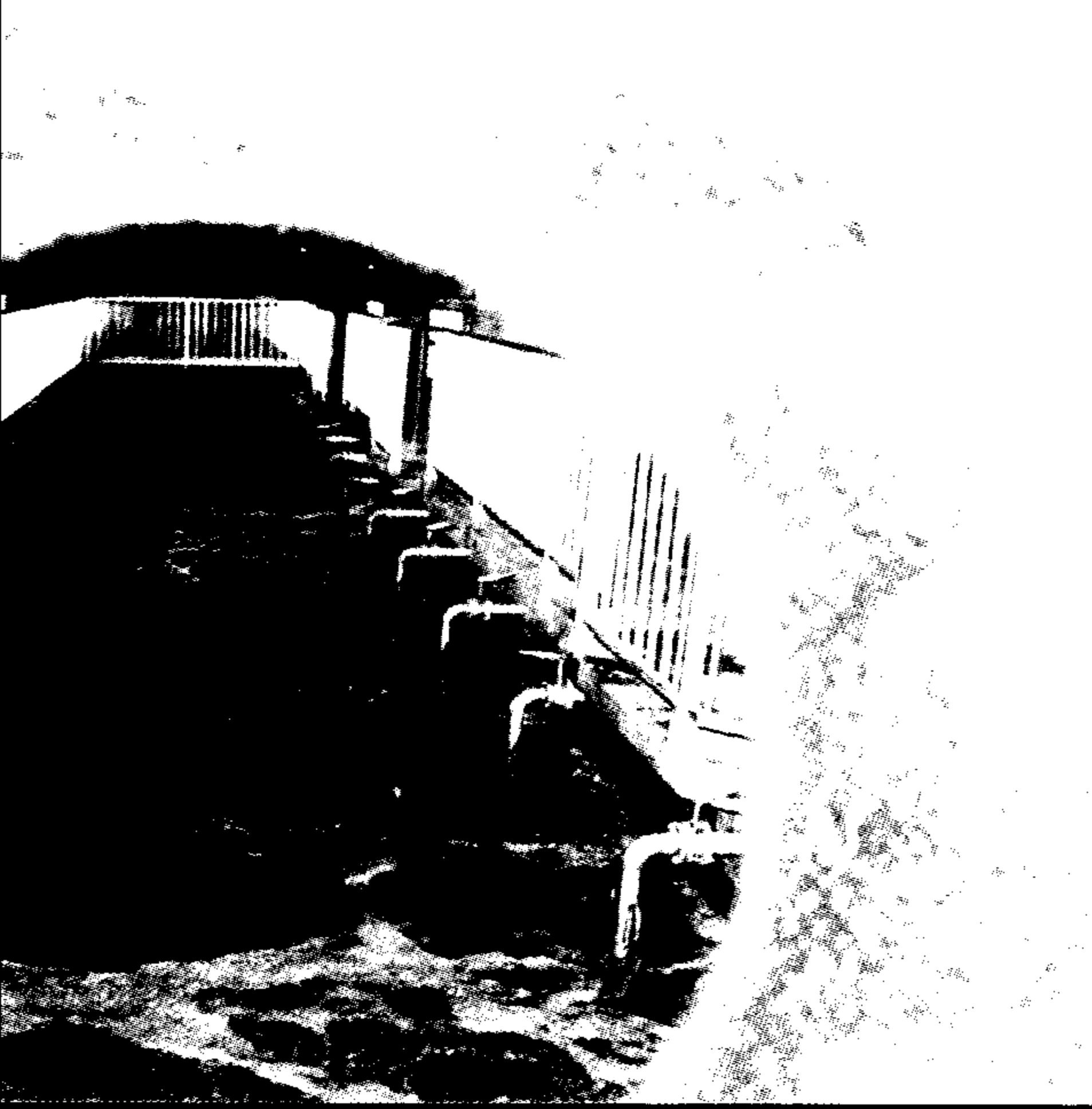


# 沉浸式生物 濾膜廢水處 理系統及其 應用實例

◎執筆 林家禾、林奇剛

## 前言

薄膜處理技術具高處理效率、操作簡易、用地面積小與可穩定出流水水質等優點，近年來應用於水處理如工業製程用水、工業廢水與水回收再利用等領域漸受重視。薄膜分離技術依薄膜孔隙、水質條件與用途而不異，商品化薄膜種類包含微過濾 (Microfiltration, MF)、超過濾 (Ultrafiltration, UF)、精密過濾 NF (Nanofiltration, NF) 與逆滲透 (Reverse osmosis, RO)，這些薄膜技術於水處理或工業製程之應用主要作為物理過濾單元。為提高生物活性污泥法去除有機物效率與克服用地面積問題，活性污泥法曝氣槽內裝置微過濾膜 (MF) 形成生物濾膜反應槽 (membrane bioreactors, MBR)，可省略終沉池及避免活性污泥法膨化 (bulking) 問題<sup>[1]</sup><sup>[2]</sup>。歐、美、日本等先進國積極發展 MBR 處理系統並應用於有機性廢水處理及水回收再利用，鄰國日本已超過五百家工廠應用 MBR 系統於製程用水與廢水處理<sup>[1]</sup><sup>[3]</sup>，本文乃介紹 SMBR 系統原理及其應用實例。





## 浸水式生物濾膜反應槽 構造與原理

### 1. 浸水式生物濾膜反應槽構造

MBR 依濾膜是否置入生物反應槽，可分為管式 MBR (Tubular MBR) 及浸水式 MBR (Submerged MBR, SMBR) 兩種形式。管式 MBR 系統具有高處理流量之優點，但因流速較高，故所需抽水壓力高，消耗能量較多；相對地，SMBR 具消耗能量少、不需污泥迴流且可省略終沉池等優點<sup>[1][2]</sup>。SMBR 採用中空纖維濾膜之構造如圖 1 所示<sup>[3]</sup>，係將濾膜置入生物反應槽內，水流穿入中空纖維濾膜，再由幫浦將入流水自兩側之管柱抽

離。典型活性污泥槽中污泥顆粒之粒徑分佈以粒徑  $0.5\text{--}15\ \mu\text{m}$  之顆粒為主，粒徑  $0.1\ \mu\text{m}$  以下的顆粒數僅約佔總顆粒數之  $0.3\%$ ，某商品化 SMBR 設計之濾膜分離孔徑大小分為  $0.1\ \mu\text{m}$  與  $0.4\ \mu\text{m}$  兩種。由於生物污泥以細菌為主，蛋白質為細菌主要成份之一，因蛋白質具有親油性特質，聚乙烯 (PE) 具疏水性特性，濾膜材質為若採用 PE 時，則會吸附有機物，因此不經處理之 PE 膜在經過一段時間操作後，會因為濾膜表面阻塞而造成過濾通量明顯減少。濾膜材質之選擇極為重要，某商品化中空纖維濾膜材質為 PE，其表面經過『永久親水性

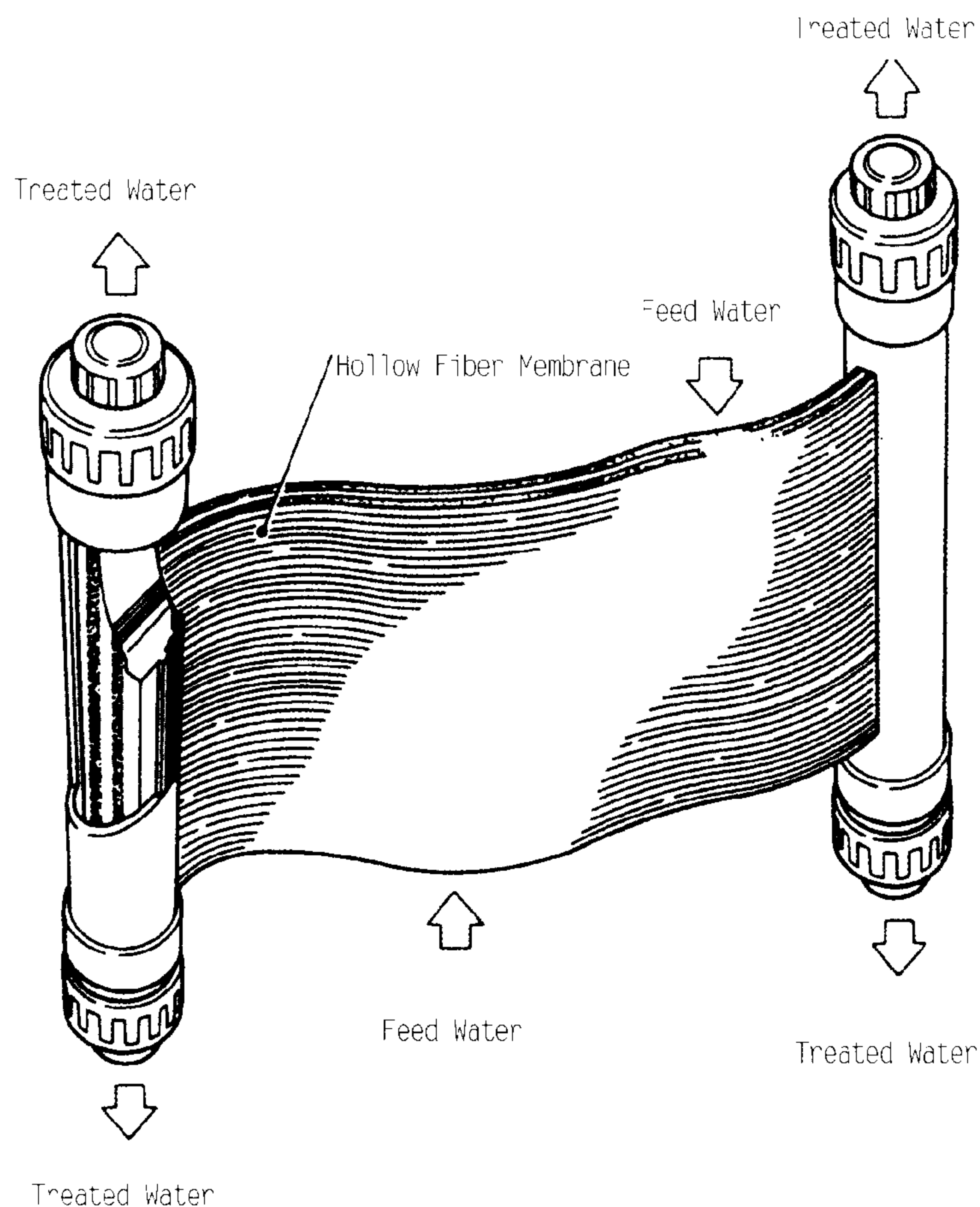


圖 1 中空纖維濾膜模組構造<sup>[3]</sup>



表 1 SMBR 與傳統標準活性污泥處理設備之比較

| 項目     | SMBR 處理系統                                       | 傳統活性污泥法                                                 |
|--------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 處理流程   | 進流水→初沉池→調勻池→曝氣池(含<br>沉浸式中空纖維絲膜)→出流水(可直<br>接再利用) | 進流水→初沉池→調勻池→曝氣池→終沉池<br>→出流水(三級處理視用水需求而定)<br>迴流污泥← →廢棄污泥 |
| 設備使用空間 | 50%，因省卻終沉池及三級處理且曝氣<br>池之容積減少                    | 100%                                                    |
| 設備成本   | 80%，因設備減少                                       | 100%                                                    |
| 操作成本   | 80%，減少三級處理設備                                    | 動力費用及廢棄污泥處置費用                                           |
| 出流水水質  | 膜處理之出流水水質穩定                                     | 視污泥操作情況而定                                               |
| 維護費用   | 主要為設備維護                                         | 包括設備維護與每日污泥之控制                                          |

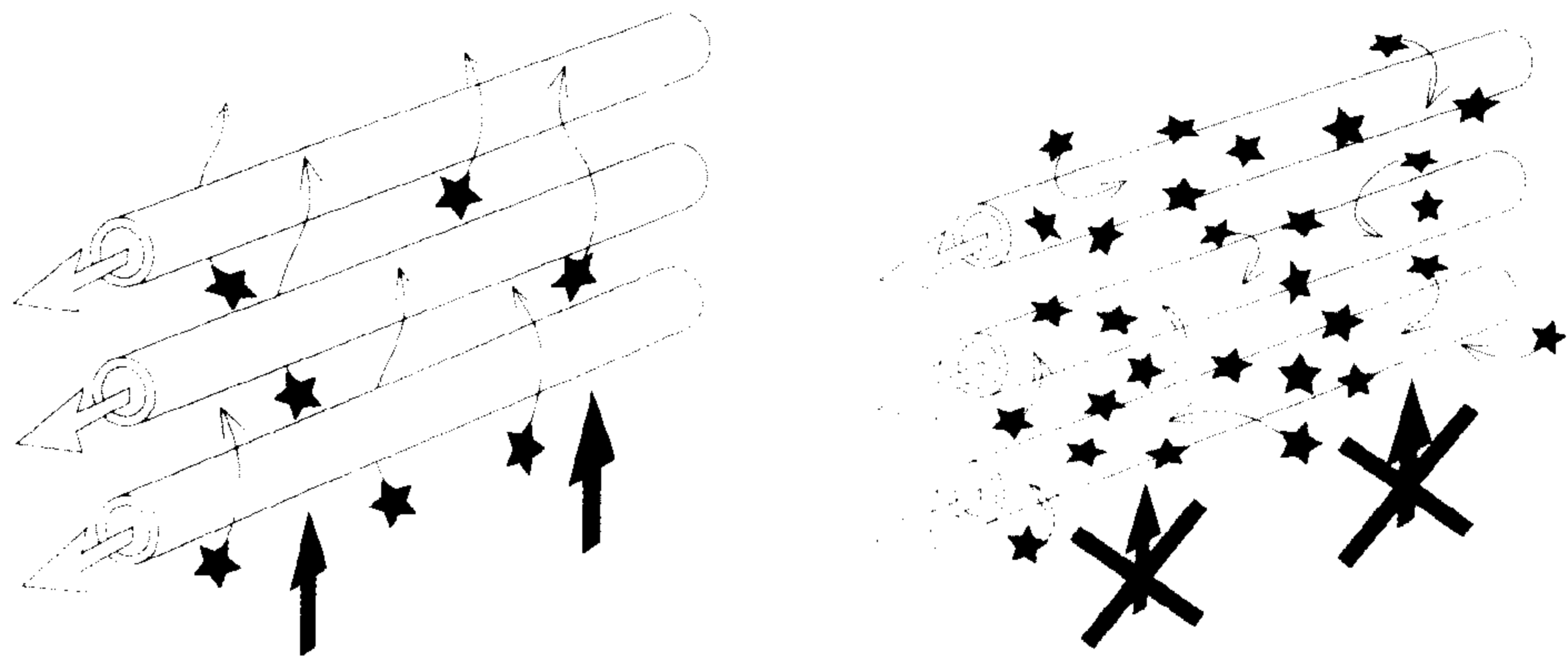


圖 2 中空纖維濾膜上流式處理模組構造<sup>[3]</sup>

(Hydrophilic permanently)』處理，具有不會吸附有機物之特性<sup>[3]</sup>。

### 2. 浸水式生物濾膜反應槽原理

傳統的廢水生物處理方法大多採用活性污泥法，此法於操作控制上容易發生真菌繁殖產生污泥膨化現象，使污泥懸浮在水中而無法藉著重力沈澱分離，致使出流水水質不佳，SMBR 系統與活性污泥法之比較如表 1 所示。SMBR 系統於設計上與傳統 MF 膜最大差異乃是濾膜管直接置入欲處理的廢水槽中，如

圖 2 所示利用系統底部空壓機供給空氣，產生氣泡帶動廢水往上流動，經過膜管時水分子穿透薄膜，再用抽氣幫浦將淨水抽出，其餘廢水則繼續在廢水槽中循環處理，此種『上流式槽體』主要優點是控制水流的方向一定，使水流在流過濾膜管時，除進行過濾外，水流本身也可在濾膜表面產生剪力作用以沖刷膜面，降低污染物阻塞膜管的機會。

此外，濾膜管本身暴露在外，因此沈浸式濾膜清洗時簡易，由於這種設計對顆粒的容忍度比一般 MF 膜高，較不



容易因生物或有機物微粒造成生物沈積堵塞，所以可處理含高濃度混合液懸浮固體量 (MLSS) 的廢水，其處理上限可高達 15,000 mg- MLSS /L，操作壓力則只需 0.4 kg/cm<sup>2</sup><sup>[1][3]</sup>。SMBR 系統中使用之薄膜屬於 MF 膜，兼具生物分解與濾膜過濾分離兩種處理功能，能處理含高濃度生化需氧量 (BOD) 及懸浮固體物 (SS) 之廢水，適合應用於工業廢水、生活污水之處理與回收再利用<sup>[1][4]</sup>。SMBR 系統於實際應用設計時，須注意濾膜在廢水槽中的配置與供給空氣的流速，因為不當的配置與空氣流速會造成水往上流動，破壞再循環時之流場致使失去沖洗膜管的效果。此外，廢水中若含有油脂類物質超過 100 mg/L 時，須先去除以避免濾膜管堵塞。

### 3. 浸水式生物濾膜反應槽操作特性<sup>[5]</sup>

#### (1) 吸引幫浦之間歇性操作

SMBR 系統中吸引幫浦之操作採用間歇性操作方式，目的是為防止 SS 累積在濾膜管孔隙中，因此吸引幫浦停止運轉時，可利用空氣振動以清除濾膜管表面之污泥膠羽與 SS，減少化學清洗頻率。

#### (2) 好氧槽之設計

好氧槽設計重點主要是能提供槽內廢水形成一向上流場，利用水中曝氣清洗膜管表面。理想流場之線性流量在膜管表面必須大於 40 cm/sec。因此，設計上槽體必須在沈浸式濾膜組單元四周提供足夠的空間。

#### (3) 化學清洗

SMBR 系統長期操作後，濾膜管表面附著之 SS 與有機物不易以空氣振動去除時，須利用化學清洗方式。一般而

言，當操作壓力與初始操作壓力相差達 30 KPa 時，為須進行化學清洗之時機，但通常操作壓力差達 20 KPa 即進行化學清洗，可得到較佳之濾膜管效率恢復比。正常情況下沈浸式濾膜系統之化學清洗約每 6 個月進行一次。通常只使用次氯酸鈉進行殺菌，但若有有機物污染情形嚴重，則須使用氫氧化鈉清洗。若膜管表面的污染物屬於無機性物質（如鐵鏽），則可使用鹽酸清洗<sup>[3][5]</sup>。

## 應用實例介紹

### 1. 麵食工廠廢水處理

此工廠原有廢水處理設備位於廠房地下，廢水處理量為 480 CMD，但因工廠增加產量使廢水量增至 750 CMD 時，為解決受限於用地問題，將原有好氧生物處理槽增加沈浸式濾膜組，即改為 SMBR 處理系統，其操作條件為 8000 mg-MLSS /L (MLVSS 為 6000 mg/L)、溶氧 0.5 mg/L 與水力停留時間 (HRT) 則為 12 小時。處理流程如圖 3 所示，且處理效率如表 2 所示，對 BOD、COD<sub>mn</sub>、總磷 (T-P)、總氮 (T-N) 與 SS 去除率皆可達 95 % 以上，出流水 BOD 僅有 2 mg/L。

### 2 糕餅工廠廢水處理

此工廠用地不足，將沈浸式濾膜安裝於原有活性污泥槽中，改變為 SMBR 處理系統，廢水處理量由 600 CMD 提昇至 1000 CMD。由於糕餅工廠廢水含有高濃度油脂，因此以加壓浮除為前處理去除油脂。SMBR 處理系統操作條件為 10,000 mg-MLSS /L，溶氧 0.2-0.8 mg/L 與 HRT 為 36 小時，處理效果與前述麵食工廠廢水相似，BOD、COD<sub>mn</sub>、總磷 (T-P)、總氮 (T-N) 與 SS 去除率皆可



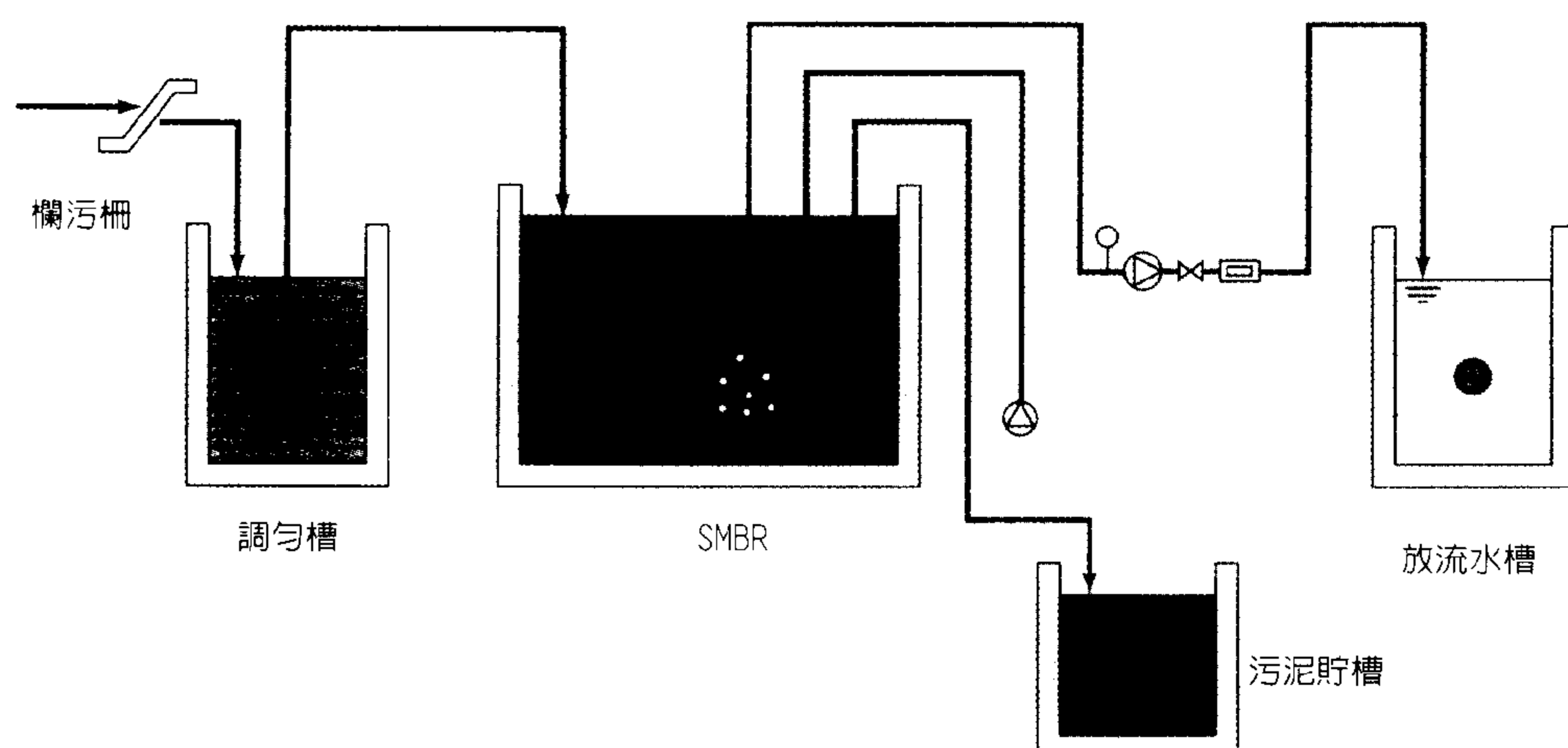


圖 3 麵食工廠廢水 SMBR 處理系統流程

達 95 % 以上，進流水之 BOD 與  $COD_{Mn}$  分別 2,000 與 600 mg/L，出流水之 BOD 與  $COD_{Mn}$  分別為 3 與 12 mg/L。

### 3. 養豬場廢水處理與回收再利用

此養豬廠廢水量雖然只有 60 CMD，但如表 3 所示廢水 BOD 高達 18,000 mg/L，SS 為 12,000 mg/L，總氮與總磷也分別為 3,100 mg/L 與 370 mg/L。採用 SMBR 處理系統其操作條件為 8,000-12,000 mg-MLSS/L 與 HRT 為 20 小時。

廢水回收再利用採逆滲透處理系統，回收率為 80 %，即回收水量 48

CMD，20% 的逆滲透濃縮廢液 (12 CMD) 則作為堆肥使用，使處理系統達到零排放目標。此外，於廢水高濃度情況下，從 1997 年 5 月至 2000 年 3 月約 3 年操作時間，尚未更換過 SMBR 處理系統之濾膜組。SMBR 與逆滲透系統處理養豬廢水之效果如表 3 所示：

表 2 麵食工廠廢水 SMBR 處理系統水質月平均值<sup>[3]</sup>

| 項 目               | 進流水  | 出流水 | 去除率 (%) |
|-------------------|------|-----|---------|
| pH ( - )          | 4.0  | 7.5 | -       |
| BOD (mg/L)        | 1000 | 2   | 99      |
| $COD_{Mn}$ (mg/L) | 800  | 15  | 98      |
| SS (mg/L)         | 150  | 2   | 98      |
| T-N (mg/L)        | 50   | 1   | 98      |
| T-P (mg/L)        | 5.0  | 0.5 | 95      |

註： $COD_{Mn}$  為以高錳酸鉀為氧化劑之  $COD_{Mn}$

表 3 SMBR 與逆滲透系統於養豬廢水處理與回收再利用之效果<sup>[3]</sup>

| 分析項目              | 原水     | 篩網出流水  | SMBR 出流水 | RO 出流水 |
|-------------------|--------|--------|----------|--------|
| pH ( - )          | 7.6    | 7.2    | 6.3      | 6.7    |
| BOD (mg/L)        | 18,000 | 13,000 | 2        | 1      |
| $COD_{Mn}$ (mg/L) | 4,800  | 3,000  | 130      | 1      |
| SS (mg/L)         | 12,000 | 1,300  | <1       | <1     |
| T-N (mg/L)        | 3,100  | 2,700  | 60       | 0.34   |
| T-P (mg/L)        | 370    | 150    | 120      | 0.05   |



#### 4. 台北市立木柵動物園河馬池 廢水回收再利用之模型廠實驗

台北市立木柵動物園內河馬為園內最大消耗用水量者，約需 3000 噸/月，為回收再利用河馬池廢水，以供給河馬飲用及泡澡用，園區聘請工研院節水團研究河馬池廢水回收再利用之可行性。2000 年 6 月至 12 月於動物園內進行 SBR 處理系統評估，SBR 模型廠廢水處理量為 3-5 CMD，實驗結果如表 4 所示，進流水 BOD、COD 與 SS 分別為 30、80 與 55 mg/L，經 SBR 系統處理後出流水 BOD、COD 與 SS 分別為 2、13 與低於 1 mg/L，大腸菌類亦可有效降低，達到可回收再利用程度。

表 4 台北市立木柵動物園河馬池  
廢水回收再利用之評估

| 分析項目              | 進流水               | 出流水 |
|-------------------|-------------------|-----|
| pH (—)            | 6.8               | 6.9 |
| BOD (mg/L)        | 30                | 2   |
| COD (mg/L)        | 85                | 13  |
| SS (mg/L)         | 55                | <1  |
| Coliform (cfu/mL) | $5.8 \times 10^3$ | <1  |

#### 結 語

SBR 處理系統去除有機物(BOD)、營養源(氮、磷)與 SS 之效果已經過相當多研究與測試，證實具高效率且穩定地去除污染物，SBR 系統設計上的改良使其對處理高濃度廢水時較傳統 MF 膜更具效果。因此在國內除可應用於高濃度 BOD 與高濁度廢水之處理外，也可

考慮應用於改善放流水質及目前政府積極推動的中水道回收系統與水回收再利用。

#### 參考文獻

1. 上原 勝(1995)，「中空系模フィルターを用いた高濃度有機排水處理」，用水と廢水，37-10，45-50
2. Pierre Cote and Doug Thompson (1999) "Wastewater Treatment Using Membranes: The North American Experience", International Specialized Conference on Membrane Technology in Environmental Management, Tokyo, Japan, November 1-4, 46-53
3. Mitsubishi Rayon Co., LTD-Membrane Products Dept (1998) "Wastewater treatment equipment with tank-submerged type filter unit composed of hollow fiber membrane"
4. Jefferson B., Lains A. L., Judd S. J. and Stephenson T. (2000) "Membrane bioreactors and their role in wastewater reuse", Wat. Sci. Tech., 41(1), 197-204
5. Yamamoto K., Hiasa, M., Mahmood, T. and Matsuo, T. (1989) "Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrane in an activated sludge aeration tank", Wat. Sci. Tech., 21, 43-54
6. 佐竹 淳一郎(1999)，「中空系模を用いた産業排水處理」，用水と廢水，41(5)，43-46