

提高水資源有效利用

節水服務團 李東峰

一、前言

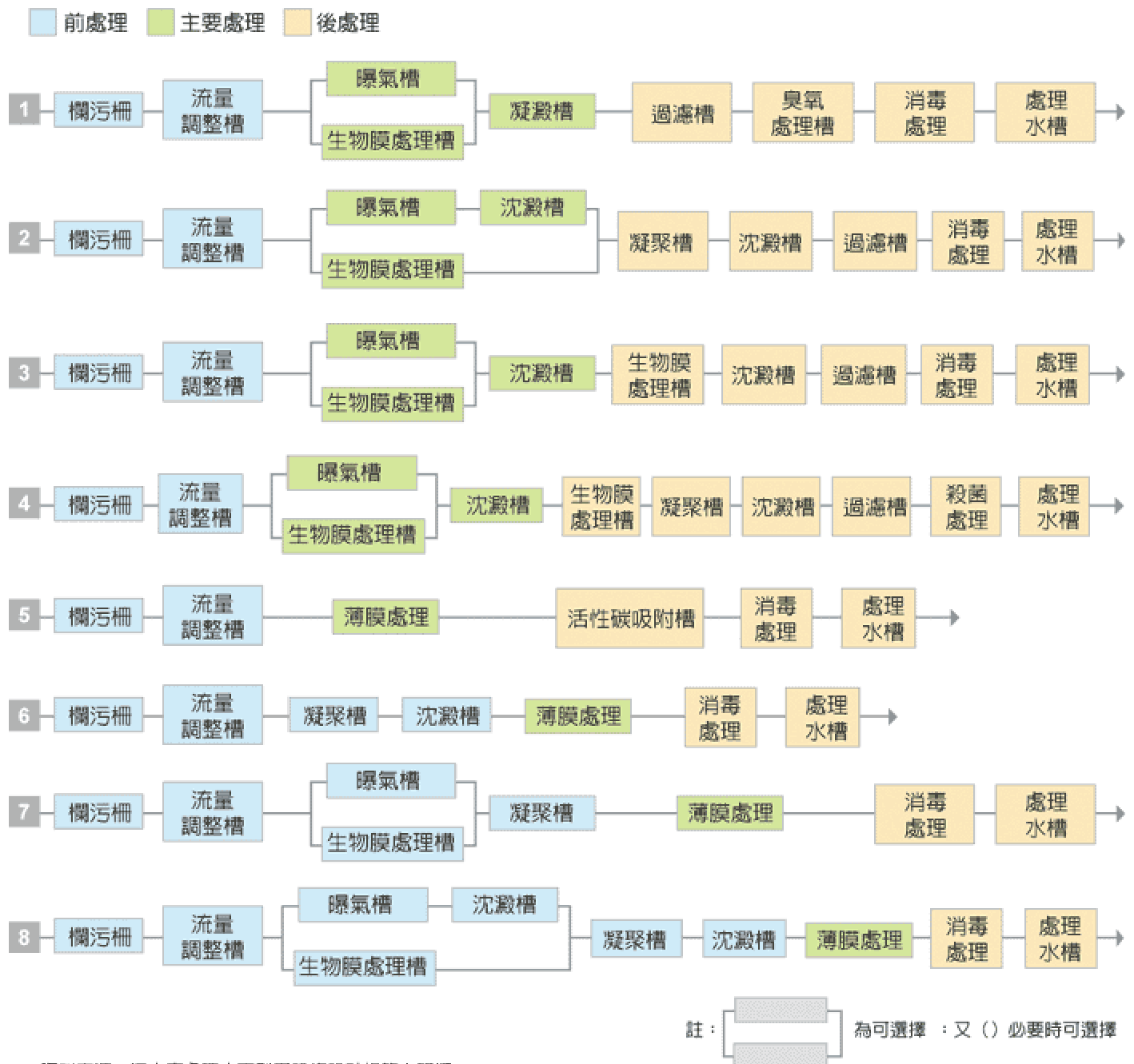
台灣地區水資源貧乏，雖然每年颱風及東北季風會帶來豐沛雨量，但因降雨時間分佈不均、河流短急，再加上水庫增設不易，故台灣地區地面水使用量提升困難。而需水量又因人口增加及工業發展而年年爬升，每當旱季來臨供水更是捉襟見肘，造成民生不便及產業界的重大損失。

為提高水資源的利用效率，協助廠商提高用水回收率，可有效降低因產業發展而形成的用水需求。在民生方面，可以由省水器材的使用及中水系統的設立來著手。在現階段，一般民眾已有使用省水器材的觀念，許多學校機關也多有採用；但是對中水系統卻認知較淺且常有使用錯誤的狀況發生，因而常對中水造成誤解。

有鑑於此，本文主要針對一般民生用水回收再利用系統的設計與規劃要點進行說明，幫助釐清中水使用觀念，並在規劃設計上提出建議，以供參考。

二、中水系統處理技術介紹

水的再生利用，從處理的機能加以分類則可分成前處理、主要處理及後續處理。依據文獻，所採用之處理流程彙整如表 2-1，處理流程上各單元之功能說明如下。



資料來源：污水廠處理水再利用設施設計規範之研擬

▲ 表 2-1

前處理中包括攔篩、混凝沉澱、過濾等單元，主要是將原水中的不溶性固體物加以分離；而流量調整槽的作用是將進流的水量及水質加以調勻，一般稱為初級處理。

污水中溶解性有機物主要由生物處理去除，而混凝沉澱則以去除懸浮固體物(SS)及分子量較大的有機物為主，以上可說是二級處理。接下來的是三級處

理，採用砂濾處理或膜處理，用以去除生物處理後水中的 SS；活性炭則以去除色度、臭氣、有機物等。臭氧處理則為去除色度、臭氣、有機物、細菌。氯消毒則為抑制產生軟泥等目的。

前述各處理目的之代表流程組合如表 2-1，但在流程選擇上，必須同時考慮下列 4 項條件：

1. 可承受水質、水量之負荷變動。
2. 操作管理容易。
3. 設備容量適當。
4. 符合經濟效益。

台灣由於廚房排水與廁所排水混流，若能預先規劃將污水予以分流排放，則再生水之原水水質應可獲得改善，因而降低處理成本，建議之處理流程與用途如下：

二級處理 砂濾 or 膜處理 氯消毒 沖廁用水、灑水用水。

二級處理 砂濾 or 膜處理 UV 消毒（氯消毒） 澆灌用水。

由於一般二級處理技術已相當成熟且熟為人知，故在此針對三級處理的單元進行討論，說明其功能並探討出水是否可達回用標準。

2-1 快砂濾系統介紹

2-1-1 原理

快砂濾法的去除機構主要分為傳送(Transport Mechanism)及吸著(Attachment Mechanism)，將懸浮物質加以補捉，使自水中分離之。傳送機構包括截留作用、重力沉降及布朗擴散運動等物理性的去除機制為主；而吸著機構則指因電雙層、化學架橋等物理-化學作用造成的吸附而去除。

快濾中，當雜質粒徑大於 $1\ \mu\text{m}$ ，其截留或重力沉降之作用強，當雜質粒徑小於 $1\ \mu\text{m}$ 時，布朗擴散運動作用提高；所以粒徑在 $1\ \mu\text{m}$ 左右的懸浮性物質去除率最差。而一般二級污水處理流程處理後放流水中所含之懸浮性物質(SS)，其大多為微生物膠羽，大小約在數mm至數百 μm 之間。故經快濾後，殘留於放流水中之懸浮性物質大多可去除。

2-1-2 形式

一般而言，快濾池主要有重力式與壓力式兩大類；重力式採自然流下過濾，大多無蓋；而壓力式多採密閉桶槽的設計。如以過濾方向區分有向上、向下、水平及上下流等形式；而濾層的設計上又有固定床及移動床的區別。如原水濁度過高，可以在快濾槽前搭配化學混凝沉澱處理之；否則會造成濾層堵塞、降低過濾效率等問題。

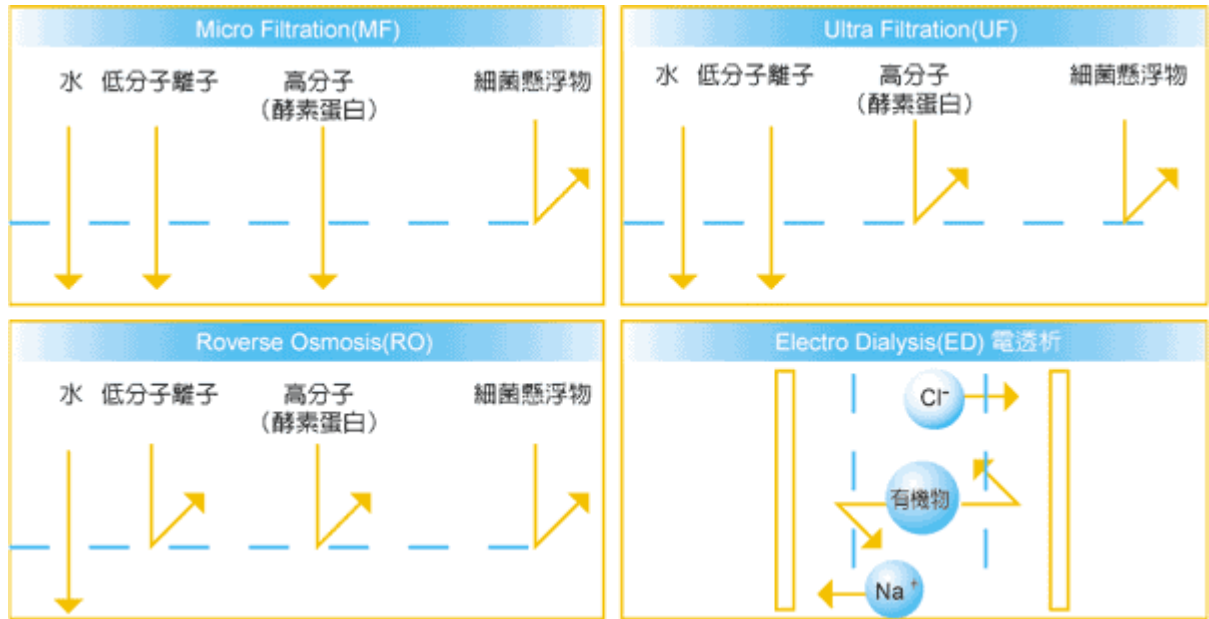
2-1-3 效果

快濾除了可去除二級處理後放流中殘留之 SS，並可同時去除其中所含之有機物、氮、磷等。除了水質上的實質效果外，SS 去除後可以提高水的清澈度，減少消毒藥劑量並提昇消毒效果，除了增加使用接受度外，亦可提昇中水安全性。

2-2 膜處理系統介紹

2-2-1 形式與原理

在薄膜分離技術的持續發展下，薄膜系統的造水率、分離效率、初設成本、操作成本、保養與維護費用等使用門檻一直在下降。針對不同的水質條件與不同的處理目的，也發展出適用於各種用途的膜管，包括了 MF(Microfiltration)、UF(Ultrafiltration)、NF(Nanofiltration)、RO(Reverse Osmosis)、ED(Electrodialysis)等等。而膜式處理的去除機制，主要是以壓力讓水強行通過膜，利用膜的微小孔徑去處污染物而達到淨化的目的。如下圖 2-2-1，隨著不同孔徑的差異，膜的去處效果也不同。MF 膜的孔徑約在 10~0.1 μm 之間，可以去除細菌、懸浮物等。而 UF 約在 1~10nm 左右，除細菌、懸浮物外亦可分離高分子酵素蛋白。RO 則在 0.1~1nm，除細菌、懸浮物及高分子酵素蛋白外，對於低分子離子同樣具去處效果。ED 膜則是以陰、陽電極通電後，驅動離子透過膜而造成去鹽作用，但是有機物會被截留於膜管間。



▲ ▲ 圖 2-2-1 膜式處理去除機制

2-2-2 效果

由上可知，以孔徑 $0.4\ \mu\text{m}$ 以下的 MF 膜來處理二級處理系統的出流水，對其中大多為微生物膠羽，大小約在數mm至數百 μm 之間的 SS 可以達到相當好的去除效果，故殘留於二級出流水中之懸浮性物質大多可被去除。如果以 RO 膜來處理，可以得到非常高品質的中水，但是相對的成本也會提高許多。現階段的應用實例以 MF 膜及 UF 膜為主。

2-3 消毒系統介紹

再生水的使用，安全為一最大考量，一般採用氯、紫外線(UV)或臭氧消毒，後者由於成本較高，在此不予討論。

2-3-1 氯消毒

再生水於台灣氣溫下貯存，其餘氯量在最終使用前尚能保有 0.4mg/l as Cl 以上，才能確保沒有大腸菌類及其他病原菌產生。在貯存日數(0、1、3、5、7、10 天)對水質之影響，顯示當貯存水中餘氯量降低至 0.1mg/l 以下時，大腸菌數即開始快速增加。起始第 0 天餘氯量 1.0mg/l 約可保存 3 天；而初始餘氯量 2.0mg/l 約為保存 5 天以上，之後餘氯濃度降低，大腸菌便開始繁殖生長。

2-3-2UV 消毒

氯消毒與 UV 消毒程序之比較，在第 0 天時兩者的消毒效果大致相當，唯 UV 消毒由於沒有持續性，再生水於貯存隔日起大腸菌即明顯開始大量繁殖；而氯消毒則因能保有餘氯，故較能延緩大腸菌的繁殖。

三、中水系統規劃設計要點

3-1. 設計水量

中水之用水量，為再生處理設施、輸、配水設施及用控水設備等設計的基本依據，故必須適當的設定，各種設施之設計水量如下表 3-1。

設施名稱	設計水量
再生處理設施	最大日用水量
輸水設施	最大日用水量
配水設施	最大小時用水量
用水設備	最大瞬時用水量
受水槽	依最大小時用水量

資料來源：污水廠處理水再利用設施設計規範之研擬

▲ 表 3-1 中水系統水量設計說明

3-2. 要求水質

雖然就技術而言，再生水可以處理至非常乾淨；但為求經濟性與安全性，

項目	用途	散水用水	景觀用水	廁所沖洗用水
大腸菌數(個/ml)		不能檢出	不能檢出	10以下
BOD(mg/l)		10以下	10以下	10以下
pH		6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
濁度(JTU)		10以下	5以下	
臭氣		無不舒適	無不舒適	無不舒適
外觀		無不舒適	無不舒適	無不舒適
色度(度)		40以下	10以下	40以下
餘氯(mg/l)		0.4以上	臭氧消毒	保有餘氯
說明		不與人體接觸為原則	不與人體接觸為原則	

■ 散水用水包括：灑水用水、澆灌用水。

資料來源：污水廠處理水再利用設施設計規範之研擬

▲ 表 3-2 再生水水質要求

再生水仍以不與人體接觸為原則，至於水質之要求請參考表 3-2。

3-3. 中水管線配置要點

中水管線係指輸送再生水至用水點之管路而言，中水水管與

自來水管應分開設置，並應以顏色（中水管為綠色）作為區隔，以防止錯接。而貯槽則為貯存待處理之排水與處理後之再生水的槽體，材質上可有混凝土、FRP 及不銹鋼槽之區分。業主最應關注的是管路與貯槽的標示問題，以免誤接或誤用，防止對策如表 3-3 所示。

項目	用途	散水用水	景觀用水	廁所沖洗用水
大腸菌數(個/ml)		不能檢出	不能檢出	10以下
BOD(mg/l)		10以下	10以下	10以下
pH		6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
濁度(JTU)		10以下	5以下	
臭氣		無不舒適	無不舒適	無不舒適
外觀		無不舒適	無不舒適	無不舒適
色度(度)		40以下	10以下	40以下
餘氯(mg/l)		0.4以上	臭氧消毒	保有餘氯
說明		不與人體接觸為原則	不與人體接觸為原則	

■ 散水用水包括：灑水用水、澆灌用水。

資料來源：污水廠處理水再利用設施設計規範之研擬

▲ 表 3-3 再生用水系統誤接，誤使用防止對策

3-4. 中水系統之安全管理

因中水系統的出水是使用於日常生活，故水質安全性是系統設計成敗的關鍵之一，藉由管理面的加強可以確保中水水質穩定。在此提出之建議如下：

1. 當中水系統產水的水質水量無法達到設計要求時，應立即檢查系統是否發生故障並加以排除。
2. 若中水系統進水水質高於設計條件，而使再生處理能力降低時，可由提升二級處理設施之效率來解決。
3. 遇有停電或維修，而需停止供應再生水時，需可自動或手動切換至自來水，避免造成民眾使用上的不便。
4. 需避免再生水在管內停留時間過長，如遇長時間不使用，應排空儲槽置換儲水，以防止水質的惡化。



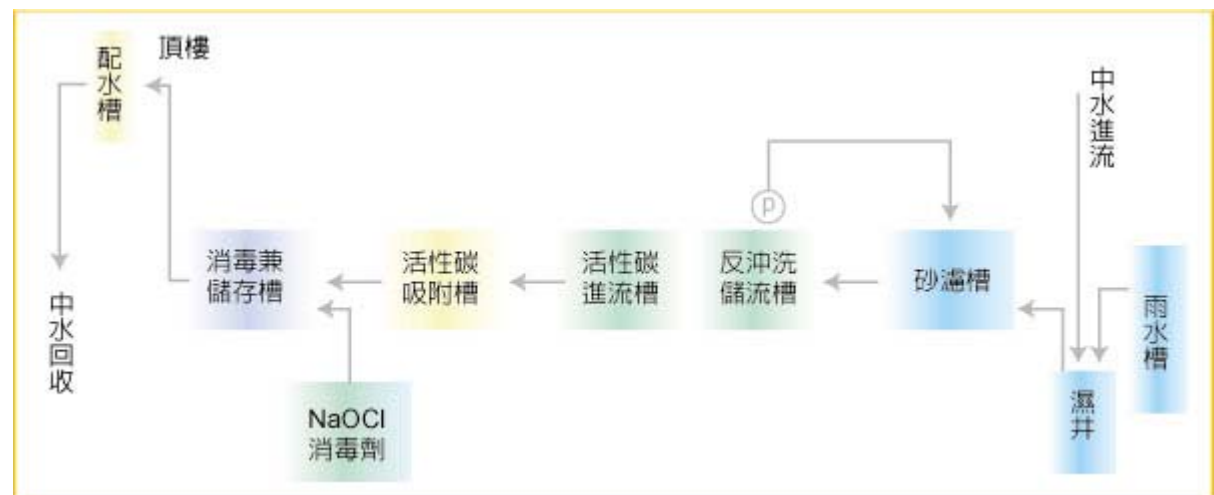
▲ 照片 4-1

5. 為防止發生誤接、誤飲，中水管線、儲槽及用水點應確實做好標示之工作。又如裝置於室外之散水栓，為防止誤接或錯誤使用，除使用時以外應切斷水源，以策安全。
6. 一定規模以上之中水系統，建議裝設遠端監控系統，以即時監測水質變化，可提高中水使用上的安全性且降低操作維護成本。

四、中水系統規劃實例

1. 砂濾、活性碳之中水系統

此系統為本單位設置於澎湖縣馬公市公所的雨中水合併回用系統(如照片 4-1)，主要設備及流程如圖 4-1，設計處理量為 5m³/day，系統中各單元及功能如表 4-1。



▲ 圖 4-1 雨中水整合系統示意圖

此套系統的出水水質如表 4-2 所示，除色度、濁度及 BOD 之外，其餘的水質項目皆可完全符合中水使用標準；尤其大腸桿菌及餘氯皆於標準範圍內，可確保使用安全。本套設備最大的特色有二：

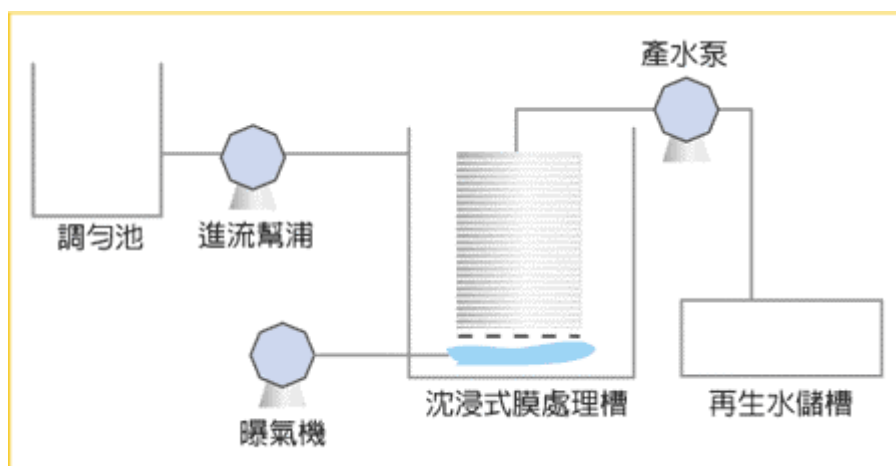
1. 收集水質較為乾淨的男女廁洗手台的排水及沖洗地板的排水，處理後做為沖廁用水。
2. 整合雨水儲留系統。

2. 二級處理加 MF 過濾

除了以砂濾及活性碳為處理系統之外，本單位另外針對日本在 90 年代初期所發展出來之改良式 MF 薄膜分離系統（稱之為沉浸式膜處理系統）進行測

試，作為再生水的主要處理程序，將民生污水淨化達自來水水質。

傳統之生活污水處理方法是將廢水打入好氧槽中，槽內之好氧菌將廢水中的 BOD 氧化分解掉。之後廢水再打入沉澱槽中，藉著重力分離作用將產水與生物污泥分開。這種方式在控制操作上容易發生：真菌繁殖所產生的污泥膨鬆，使污泥漂浮在水中而無法藉著重力沉澱分離，進而造成處理水水質下降；而且其處理效率不夠高，雖然在正常操作下可以達到放流水水質要求，但是並無法直接作為民生用水的補水水源。



▲ 圖 4-2 沈浸式膜再生水處理系統流程圖

水質	項目	變化範圍		去除率(%)	合格率(%)	中水回收 水質要求
		進流水	回收水			
界面活性劑(mg/L)		0.25~3.82	ND~0.14	68~100	---	---
色度(鉑鈷)		79~550	20~248	1~90	29	<40
SS(mg/L)		10~100	1~35	5~100	---	---
濁度(mg/L)		15~109	4~47	0~99	43	<10
BOD5(mg/L)		11.9~82.4	1.5~42.5	20~91	57	<10
大腸桿菌群(CFU/100ml)		9.5×10 ⁶ ~300	8.9×10 ² ~ND	67~100	100	<1000
PH		6.49~8.64	6.5~8.26	---	100	6~8.5
餘氯		ND~1.5	0.01~1.25	---	100	保有餘氯
外觀		暗棕色	無色~淺黃色	---	合格	無不舒適
臭氣		有異味	無異味	---	合格	無不舒適
NH3-N(mg/L)		0.51~29.2	0.29~29.2	0~88	---	---

▲ 表 4-2 中水水質變化範圍及去除率

而沈浸式膜處理系統（圖 4-2）屬於 MF 的一種，可分離水中粒徑在 0.4 μm 以上的固體微粒，整個系統在設計上之主要目的是為了處理含高濃度生化需氧量（BOD）及懸浮固體微粒（SS）之原水，適合應用於工業或是民生污

水之處理與回收。此系統將 MF 模組浸入好氧活性污泥槽中，污水先在槽內與活性污泥進行生物反應，再以吸引幫浦(Suction Pump)將廢水吸入中空式纖維膜內過濾。此系統不但可以解決傳統方法所可能產生的污泥膨化問題，同時也提高了對廢水水質變化度的容忍性。此外，所佔用的體積也是傳統方式的 50%。沉浸式膜與傳統標準活性污泥處理設備之比較如表 4-3 所示。

項目	沉浸式膜法	傳統活性污泥法
流程	原水→沉砂過濾→均勻調整槽→ 內含沉浸式膜之曝氣活性污泥槽→產水	原水→沉砂過濾→均勻調整槽→曝氣活性 污泥槽→沉降槽→砂濾槽→產水
設備使用空間	50%	100%
設備成本	80%	100%
操作成本	80%	100%
產水水質	膜處理之產水水質穩定	需控制污泥條件
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

原水：20 CMD,BOD 2000ppm 產水:BOD 20ppm

▲ 表 4-3 沉浸式膜與傳統標準活性污泥處理設備之比較

此模廠設計處理量為 2CMD，系統槽體外型是 pvc 材質、長寬皆為 1 米、高約 2 米(照片 4-2)。沉浸式膜模組置於槽體之中，如照片 4-3 所示，膜組是中空纖維式，原水由外向內的方式進入膜管而得到產水。為了防止膜表面的污染阻塞，因此在槽體底部以大量曝氣使的膜組能保持震動狀態，如照片 4-4 所示。此套測試用之沉浸式膜系統設備規格所表 4-4 所示。

設備名稱	規格	數量
沉浸式MF膜	三菱HFL934，孔徑為0.4 μm	1組
生物處理水槽	2噸，1M(L)*1M(W)*2M(H)	1台
原水幫浦	1/2 HP	1台
進水幫浦	1/2 HP	1台
吸引幫浦	1/2 HP	1台
曝氣機	125w	1台
產水流量計	50~300 L/hr	1台
空氣流量計	5~23 m3/hr	1台

▲ 表 4-4 沉浸式膜系統設備規格

沉浸式膜中水系統在有機物的去除上，發揮了相當明確的效果。雖然進流水的 COD 變化相當大，但是出流的 COD 濃度則大多穩定維持在 100mg/L 以下。由此發現，沉浸式膜系統可以有效的去除廢水中的有機物質，維持穩定的出水水質。



▲ 照片 4-3 沈浸式膜外觀

另外一個重要水質指標為水中的懸浮固體物(SS)，沉浸式膜最重要的功能就是有效的將生物污泥截留於反應槽中，避免因生物污泥膨化流失造成的效率降低，甚至當機的情況發生。由圖 4-4 發現，不管進流水中的懸浮固體物濃度如何改變，出流水中的懸浮固體物幾乎都低於監測極限。由此可以證明沉浸式膜對於水中的懸浮固體物有將近 100% 的去除效率，也就是說可以完全將



▲ 照片 4-2 沈浸式膜再生水處理系統外觀

微生物污泥截留在反應槽中。在此同時因為水中包含生物不可分解的無機污泥也完全截留在反應槽中，隔一段時間需將其與過多的生物污泥排出槽外。

還有兩個相當重要的水質指標，分別為水中的濁度及色度。這兩個水質項目在再生水回用中顯得相當重要，因為其直接影響到居民對於再生水回用的意願。雖然再生水的利用並不鼓勵與人體直接接觸，但是外觀就顯的污濁，且帶有顏色會讓人感覺不適。這也是傳統處理方式很難達到回用水標準的主要原因。操作結果顯示雖然進流水中的濁度約介於 100~400NTU 之間，但是出流水中的濁度穩定維持在 10 以下。在色度這方面，出流水中的色度也都穩定維持在 50UNIT 以下。在照片 4-5 中可以明顯比較出進出流水在外觀上有極大差異，出流水的外觀已經與自來水相去不遠，相信已可以讓民眾放心使用。

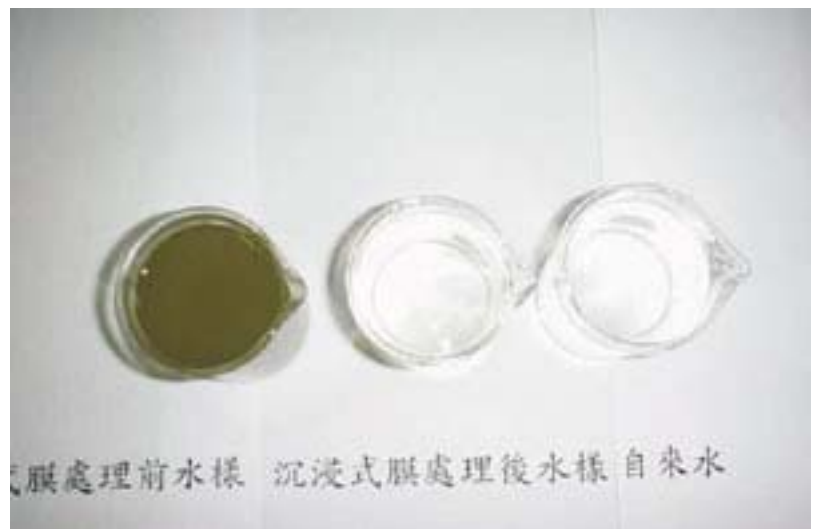
五、結論與建議

1. 中水系統的設置須先考量用水點、用水量及需求水質，依此規劃處理流程並評估設備及操作維護費用。

2. 目前的中水回收處理技術以二級處理搭配砂濾、活性炭或膜處理設備並加以消毒為主要流程。
3. 中水管線與自來水管應分開設置，並應以顏色（中水道為綠色）作為區隔，以防止錯接。
4. 為防止發生誤接、誤飲，中水管線、儲槽及用水點應確實做好標示之工作。又如裝置於室外之散水栓，為防止誤接或錯誤使用，除使用時以外應切斷水源，以策安全。
5. 為提高中水使用上的安全性，裝設遠端監控系統可以即時監測水質變化，並且降低操作維護成本。



▲ 照片 4-4 沉浸式膜槽曝氣狀況

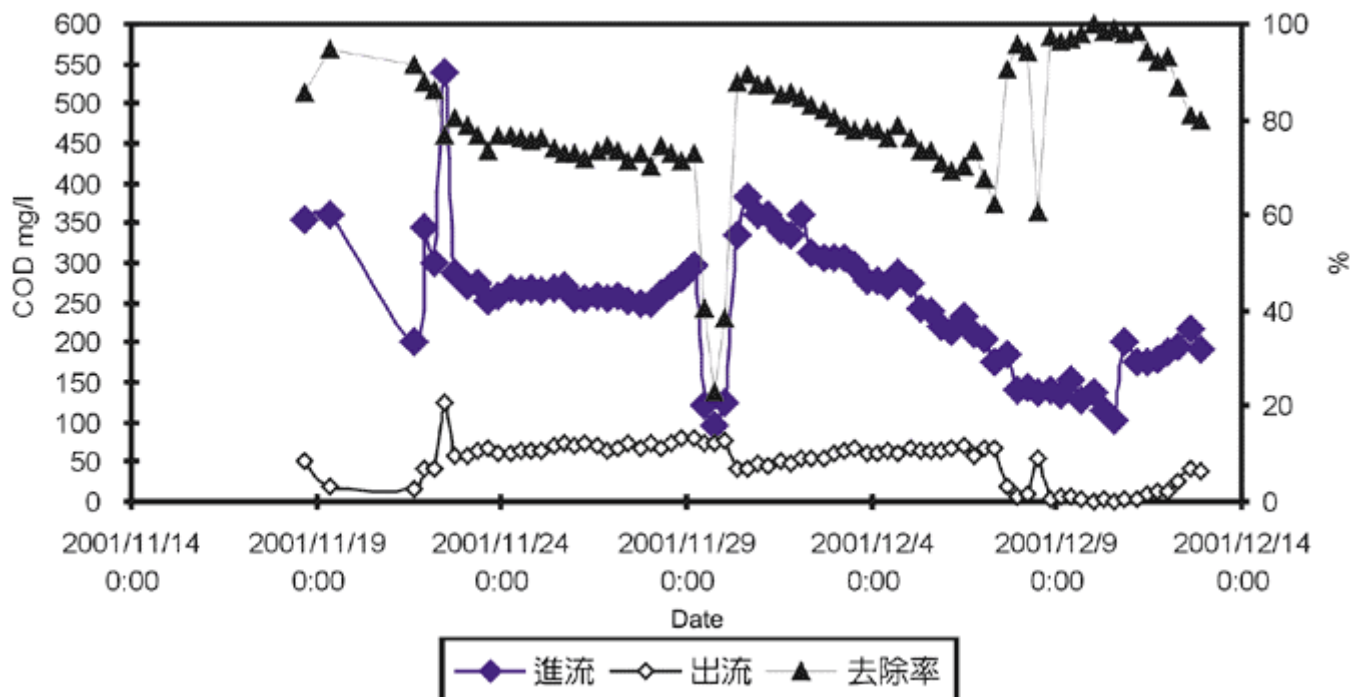


▲ 照片 4-5 沉浸式膜系統進出流水外觀照片

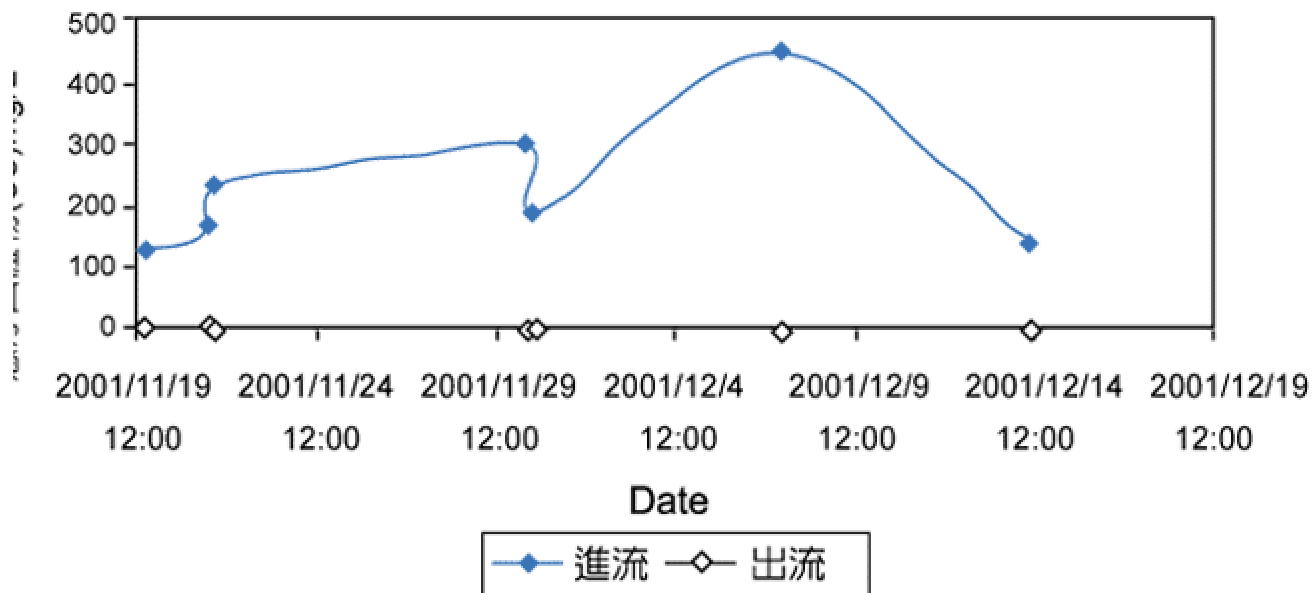
六、參考文獻

1. 工研院能資所節水團，“推動澎湖縣馬公市光華里飲用水分離措施示範計劃90年度執行報告”，澎湖縣政府委辦，2001/12。
2. 工研院能資所節水團“節約用水措施推動計劃—中雨水合併設計暨雨水儲流整合設計技術之研究”，經濟部水資源局委辦，2000/12。
3. 高肇潘，“給水工程（衛生工程、自來水篇）”，1990。
4. 中央大學環工所，“污水廠處理水再利用設施設計規範之研擬”，經濟部水資源局委辦，1997/06。
5. 工研院能資所節水團，“膜系統技術應用研討會論文集”，經濟部水資源局委辦，1999/01/26。
6. 日本下水道協會，下水處理水循環利用技術指南。

7. 工研院能資所節水團，“雨水/中水利用規劃設計訓練班講義”，經濟部水資源局委辦，1990/02。



▲ 圖 4-3 進出流水 COD 水質變化圖



▲ 圖 4-4 進出流水懸浮固體物濃度水質變化圖