

回收廢水如何再生飲用——新生水(NEWater)

相信大家都知道水是人體的重要物質，不論是家庭中飲用、炊煮、洗滌、清潔之用，或是農業灌溉、工業製造的用途，生活處處都需要用水。然而世界上各國所擁有的水資源並不平均，臺灣由於地狹人稠、加上自然環境的限制，水資源並不充足，有時因為降水不足，常常會有乾旱缺水的現象。本篇文章介紹新加坡再生水資源的系統，利用先進的污水處理技術，將家用污水及工業廢水回收再利用，而能得到可達飲用標準的用水。看看別人、想想自己，我們除了學習有關水資源利用的情形，更應該節約用水，並維護我們環境中寶貴的水資源。

再生水資源的動機

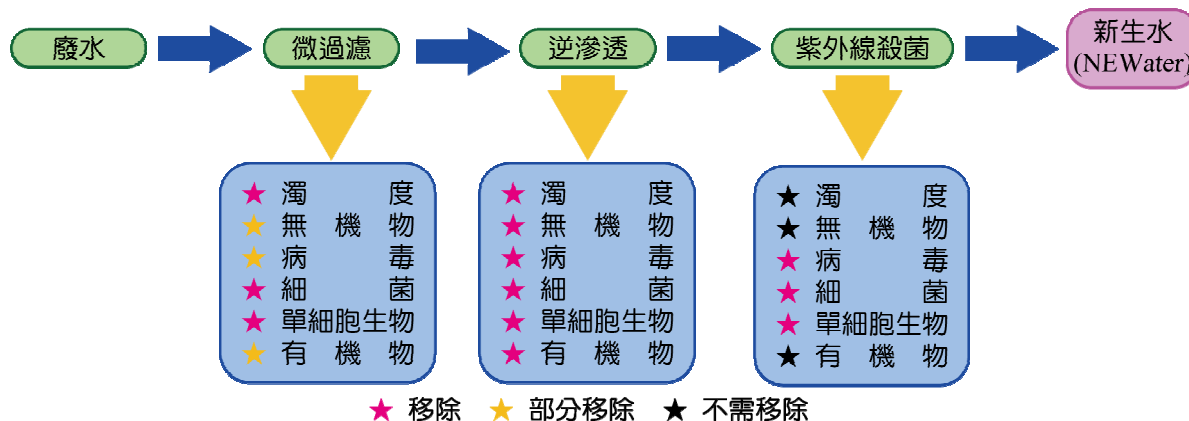
新加坡位於臺灣的西南方，北臨馬來西亞，南面為新加坡海峽，新加坡總土地面積為 707.1 平方公里（相當於臺灣的五十分之一），身處於熱帶地區，常年受赤道低壓帶影響為赤道多雨的氣候，降雨充足年均降雨量在 2400 毫米左右，因缺乏大型縱深的河流，故縱使新加坡政府蓋了十多個蓄水池，仍無法滿足新加坡的用水需求，目前仍近 50% 的用水是向馬來西亞購買。新加坡與馬來西亞長期因水價談不攏，迫使新加坡計畫開發海水淡化及污水回收再利用等供水來源，並於西元 2008 年 3 月已完成四座新生水廠，這些新生水廠所產生之再生水則稱之為「新生水(NEWater)」，在西元 2011 年預計總供水量可滿足新加坡總用水量的 15% 以上。



▲圖 1：新加坡地理位置圖
(取自維基百科其圖片歷屬於公共領域)

再生水資源的過程

新加坡目前所使用的四座新生水廠，這些新生水廠中水的來源為一般家用污水及工業廢水，將這些廢水再變成新生水前需經由三個複雜的過程（圖 2）。



▲圖 2：多層過濾流程概念圖

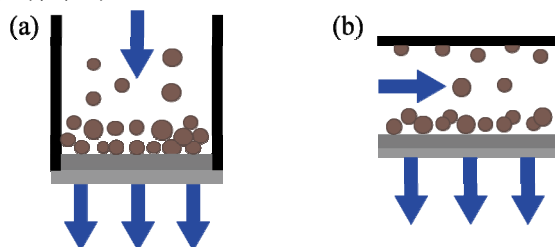
第一階段：微過濾(Microfiltration, MF)

薄膜種類繁多若依孔徑大小可分為逆滲透(Reverse Osmosis, RO)、奈米過濾(Nanofiltration, NF)、超過濾(Ultrafiltration, UF)及微過濾(Microfiltration, MF)。微過濾以多孔隙的薄膜作為分離的材料，其薄膜孔徑約在 0.1 μ m 到 5 μ m，當廢水流經時，則可去除水中的細小懸浮物、膠體粒子、細菌、單細胞動物及直徑較小的病毒（表 1）。

▼表 1：不同種類之直徑大小

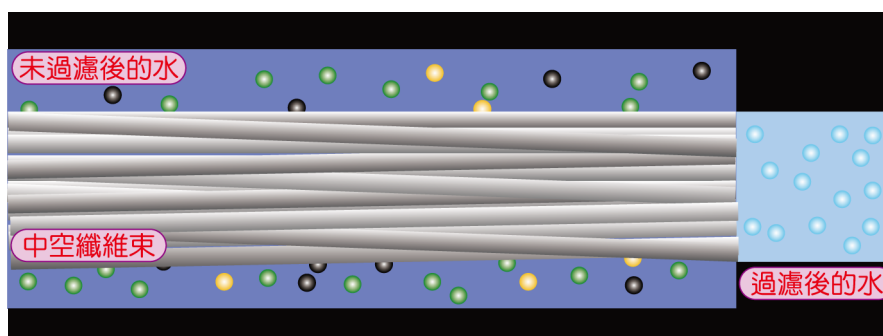
種類	細小懸浮物	膠體粒子	細菌	病毒
直徑大小	>1000nm	2~1000nm	>200nm	20~400nm

廢水經過微過濾後，可將水的濁度降低由原先 3~6NTU 降至小於 0.1NTU（濁度單位，Nephelometric turbidity unit, NTU）。一般微過濾的過濾方式可分為垂直式(Dead-end-filtration)或掃流式(Cross-flow-filtration)（圖 3）。



▲圖 3：過濾方式：(a)垂直式：其水流方向與膜面成垂直，濾液可藉由壓力驅動而經由薄膜滲透出來，懸浮微粒等則累積在薄膜表面；(b)掃流式：其水流方向與膜面平行，濾液藉由壓力驅動而穿過薄膜，水流與膜面可產生剪力及亂流，因此懸浮微粒可被水流帶走，降低懸浮微粒的沉積

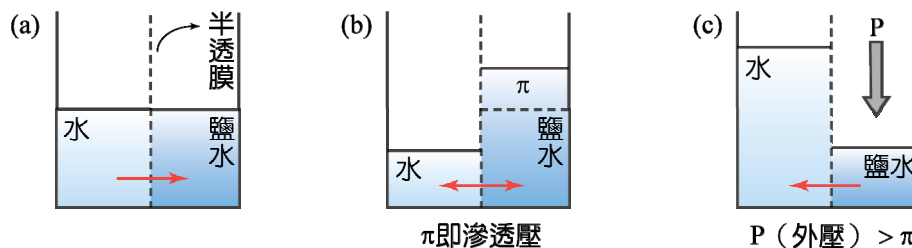
一般工業上模組可分為平板、管狀、螺捲與中空纖維，新加坡的新生水廠則使用中空纖維式膜組，中空纖維式膜組則將內徑 40-80 μ m 之中空纖維束，裝入圓管狀容器，此模組其單位膜面積較大，造水率高。微過濾器為雙層，外層用中空纖維束用來廢水過濾，當廢水從最外層流經時，廢水會經過中空纖維束一層一層將雜質給過濾掉，濾液則由中心內層濾出。



▲圖 4：微過濾示意圖

第二階段：逆滲透 (Reverse Osmosis, RO)

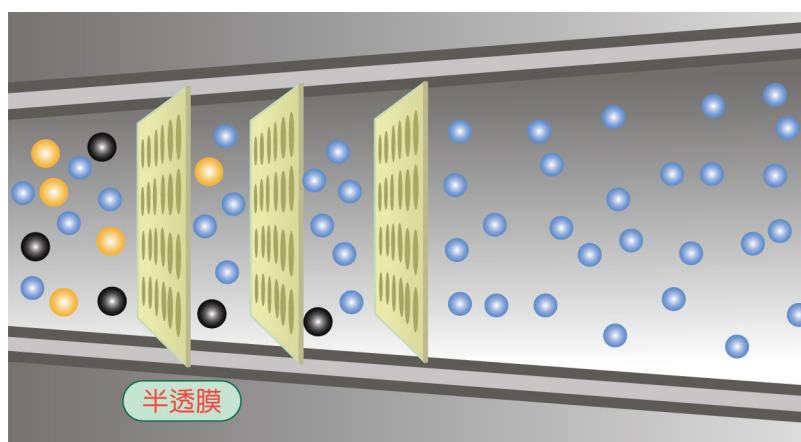
在第一階段所產生的水須再透過逆滲透的方式去除在微過濾過程中無法完全去除的無機物，如：重金屬，硝酸鹽，氯化物，硫酸鹽等，以及有機物，如：多環芳烴，農藥等，當然也能去除在微過濾過程中無法完全去除的病毒，因此利用逆滲透可將 95%的雜質去除。



▲圖 5：逆滲透原理示意圖：(a)滲透作用；(b)滲透平衡；(c)逆滲透作用

逆滲透主要利用一層半透膜(Semi-permeable Membrane)和靜水壓(hydrostatic pressure)將溶劑分離出，如：(a)圖水分子會由左側的水透過半透膜流向右側的鹽水，此為一般的滲透作用，因兩側含鹽濃度不同，則含較多水分子的左側會經過半透膜擴散至右側並稀釋鹽水濃度（增加鹽水中水分子的數量）；(b)圖當左側的水分子透過半透膜至右側，左側的水下降而右側的鹽水上升，當兩側的壓力差等於滲透壓時，即達滲透平衡，左右兩側的化學勢能相等；(c)若今施一外壓 P 在右側鹽水，當外壓大於滲透壓時即產生右側鹽水中的水分子會透過半透膜流至左側的水，此即為逆滲透作用。

逆滲透與微過濾的薄膜傳輸機制不同，微過濾的傳輸機制為篩除模式，利用分子大小與孔徑大小做篩選，而逆滲透則為界面現象(Interfacial Phenomenon)由於逆滲透薄膜具親水性，對於水中的溶質具有排斥力，因使在膜面會產生一水分子的界面層，在界面層外則為溶質，所以當施加外力時，界面層上的水分子就會透過半透膜至另一側。



▲圖 6：逆滲透示意圖

第三階段：紫外線殺菌(UV)

由於逆滲透膜的孔徑較小，所能去除的種類也較多，但為了飲水安全，仍做紫外線殺菌的步驟，此步驟可將水中剩餘之物種利用紫外線的能量將細菌或病毒的化學鍵結被打斷破壞化學結構或使其性質改變達到殺菌的功能。紫外線為不可見光，波長低於可見光，一般紫外線為統稱依不同的波長可分為三種：UV-A、UV-B、UV-C。其中 UV-A 的波長最長，約 400~320nm；UV-B 的波長其次，約 320~290nm；UV-C 的波長最短，約 290~100nm，但 UV-C 的能量為最強，通常使用 UV-C 來殺菌。

再生水資源的成果及展望

透過三種階段產生的水被稱為新生水(NEWater)，新生水廠一天可生產出 6500 萬加侖以上的新生水，其中約有 1%的新生水則與原水（指雨水等未經使用之水）混合後，再經過自來水處理後成為間接的食用水，其餘用水則用於晶圓製造工廠和其他非飲用水的產業。在西元 2011 年預計總供水量可滿足新加坡總用水量的 3%以上。同樣臺灣為海島型國家水資源同樣缺乏，若未來將家用汙水、工業用水等廢棄水透過處理轉換成可再利用的水，如此水不斷地循環利用，對於環境也是有幫助。

參考資料

1. 維基百科 Wikipedia
<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E9%A6%96%E9%A1%B5&variant=zh-tw>
2. 新生水遊客中心 NEWater Visitor Centre
<http://www.pub.gov.sg/newater/visitors/Pages/default.aspx>
3. 林何印,「超濾與逆滲透薄膜程序處理及回收工業廢水之研究」,國立中央大學環境工程研究所碩士論文(2005)。
4. 廖威智,「薄膜電晶體液晶顯示器(TFT-LCD)製程有機廢水處理與回收再利用之研究」,國立交通大學環境工程研究所碩士論文(2003)。
5. 邱昭源,「海水淡化處理方法規劃之研究——以新竹科學工業園區為例」,國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文(2003)。
6. 駱尚廉,「半導體廠化學機械研磨(CMP)廢水回收再利用可行性評估」,國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文(2001)。
7. 康世芳,「薄膜程序處理染整業放流水回收再利用之研究」,淡江大學水資源及環境工程學系碩士班(2001)。