

台灣地區有所謂的豐水期與枯水期，且工業及民生用水的需求量日增，爲了因應目前及未來的用水需求，除了進行水資源開發建設以增加供水量外，也可利用海水淡化技術進行水源開發。竹科及南科是高科技產業的主要聚集地，對於用水需求的穩定性要求高，傳統水資源開發容易受到經濟、社會及環境影響，使得開發日益困難且成本日益升高，而產生缺限水的問題，海水淡化的主要優點在於供水穩定，不受豐水及枯水期影響，同時對於整體環境的影響也較水資源開發小，但由於海水淡化成本目前仍高於傳統水資源，目前台灣本島的海水淡化供水對象仍以高科技產業爲主。

近年來海水淡化的技術日漸成熟，針對產水率、耗能率、結垢及薄膜壽命等都有突破性的發展，伴隨著產水規模變大，海水淡化的成本逐漸降低，以台灣未來的政策發展及用水需求而言，在未來多元化水源開發中值得推動淡化技術。薄膜技術爲海水淡化未來的發展方向，由於近年來薄膜技術的發展迅速，針對傳統的逆滲透膜與電透析膜進行研發，除了提高薄膜應用性外，更進一步降低成本。目前台灣對於薄膜分離系統已經具備組裝以及架設能力，但對於使用薄膜的材料、分離原理與特性及海水水質分析等知識必須加以建立，才能確實發揮薄膜除鹽的功能。

### 海水淡化技術剖析

#### (1) 多級閃化法 (Multi-stage flash, MSF)

多級閃化法是利用蒸餾的原理，先以減壓方式來降低沸點，當液體在沸點時產生蒸汽而與溶解於溶液中的鹽份分離，再冷凝後即可製得淡水，由於產能大，爲中東產油國所採用，目前仍是全世界最主要的海水淡化技術之一。多級閃化法主要分成兩個區域，包括加熱區(Heating section)及閃化與熱回收區(Flash and heat recovery section)，其中加熱區爲進料海水之預熱使用，而閃化與熱回收區則爲閃化與熱回收之用，熱交換後冷凝成爲淡水，而未蒸發的鹽水，繼續經過蒸發室後變成鹽度很高的鹵水(Brine)。

多級閃化法優點在於淡水產能較高、使用範圍廣泛、淡化技術成熟及系統運轉容易，且較不易受進料

海水水質影響，同時可以改善一般蒸餾法產生的積垢現象，倘若產生積垢時，可以利用減少淡水產能或增加熱量等方式處理。缺點則溫度受到限制，且因爲熱傳係數較低，所以比多效蒸餾法需要較大的熱傳表面積，同時系統運轉所耗用的能源較大，以單位淡水回收率14%~18%而言，需要較多的海水量。

#### (2) 多效蒸餾法 (Multi-effect distillation, MED)

多效蒸餾法是利用高溫蒸汽與海水之溫差進行熱交換後，將受熱沸騰而蒸發的海水經由冷凝後收集而得到淡水，但由於沸騰而造成管線容易結垢，目前使用多效蒸餾法原理的設備包括了沉管式蒸發器(Submerged tube evaporator, STE)與管殼式蒸發器(Shell and tube evaporator)。

多效蒸餾法優點在於系統熱傳係數比多級閃化法高，所以需要的熱傳表面積較多級閃化蒸餾法小，且運轉及維護成本較多級閃化法低。缺點則在於單位淡水回收率較其它的處理方法低，只有8.5%~14%，同時因爲操作溫度較高，所以容易結垢(Scale formation)，而排放出的鹵水溫度高，對於環境的衝突較大。

#### (3) 蒸汽壓縮法 (Vapor compression, VC)

蒸汽壓縮法是利用蒸汽壓縮，不需要大量蒸汽作爲熱能，而是藉由蒸汽之壓力與溫度的提高，作爲蒸發海水的熱源，壓縮蒸發管束中在冷凝時會釋出潛熱，加熱海水可得到更多的蒸汽，可分爲機械壓縮法(Mechanical compression, MC)與熱壓縮法(Thermo compression, TC)。

蒸汽壓縮法優點在於不需要大量蒸汽作爲熱能，可節省能源費用，且熱效率佳，前處理及維護需求不高，具有易組裝、低設置成本及不需要冷卻水等，單位淡水回收率38%~42%，較其它的處理方法高。缺點爲壓縮機易受到鹽類侵蝕，低操作溫度時，壓縮機負荷增加；高操作溫度時，則積垢增加。

#### (4) 逆滲透法 (Reverse osmosis, RO)

逆滲透法是利用半滲透膜將兩種不同溶質濃度的溶液(如純水與鹽水)加以隔開，由於半透膜兩側的化

學勢能不同而產生滲透壓，在自然的狀態下水分子是由純水側通過半滲透膜流向鹽水側，若在鹽水側施加大於滲透壓的外壓力時，則水分子改變自鹽水側流向純水側，目前的除鹽率可達99.5%以上，單位淡水回收率有30%以上。

逆滲透法的優點在於技術成熟且設備成本較低，在興建時程較短，所佔面積較小，並具有擴建的彈性。缺點爲對於海水水質要求較嚴格，同時處理程序較複雜，且薄膜成本高且使用壽命有限，較MSF法及MED法耗電。

#### (5) 超微濾法 (Nanofiltration, NF)

超微濾法是利用薄膜孔隙介於逆滲透膜與超過濾膜(Ultrafiltration, UF)之間的薄膜除鹽方式進行海水淡化，其膜管組成結構與逆滲透非常相近，以螺旋捲式與中空纖維式爲主，可去除大分子無機離子、小分子染料、有機物質及鹽類等。

#### (6) 電透析法 (Electrodialysis, ED)

電透析法是使用電力將海水淡化及濃縮的製程，會將海水分離成帶正電(Positively charged ions)和帶負電的離子(Negatively charged ions)，裝置中有半滲透障礙物(Semi-permeable barrier)，如離子交換(Ion-exchange)、離子選擇(Ion-selective)或電透析膜(Electrodialysis membrane)等。經過電透析法分離後，可分別將高TDS及低TDS的溶液從不同的管線輸出，再經後處理，獲得淡水。電透析法的優點在於技術成熟，有相當廣泛的應用，但因海水所含的TDS較高，所以電透析法較少用在海水之淡化，因爲所消耗的每噸水耗電量將較逆滲透法高，不符合經濟效益。

#### (7) 冷凍法 (Freezing)

冷凍法是將海水冷卻至凝固點並產生冰結晶，使冰結晶與其他液態物質或雜質分離，將冰結晶清洗及融化即可得淡水，可以利用冷媒、減壓或用不溶性冷媒進行冷卻結冰，但此法目前尚未普遍，主要礙於分離技術尚未突破、乳化現象未克服，同時有爆炸的潛在危險性。

#### (8) 太陽能蒸發法 (Solar still)

太陽能蒸發法是係利用太陽能熱能做海水加熱的熱源，將海水蒸發後再冷凝成淡水，需要具備太陽輻射、從海水蒸發的水蒸汽、水蒸汽冷凝及冷凝水的收集等能量及設備才能進行海水淡化，海水經太陽照射後，水份轉變爲水蒸汽而蒸發，與溫度較低的玻璃接觸，即凝結成水滴，而沿著玻璃內緣流向集水池。太陽能蒸發法尚無法應用在產量大的商業用途上，因爲容易受天候影響、空間需求大及土地資本過高等，但相對的，太陽能蒸發法利用天然的能源，幾乎不會對環境造成傷害，是值得開發的新技術。

### 海水淡化處理成本

海水淡化處理過程中最重要的成本因素是所需的能量，目前最先進的海淡技術所需的能量占了總成本的30%~40%左右，一般的技術則佔了40~75%，也就是說，海水淡化廠之產水成本大部份花費在電力，如表1所示。

海水淡化成本逐年降低，比較多級閃化法、多效蒸餾法及逆滲透法等淡化方式後發現，以逆滲透法的單位興建成本及單位淡化水成本最低，顯示逆滲透法較其他淡化技術具有較佳的可行性。近年來新的薄膜材質及回收技術達商業化水準，除了可使產水率提高外，更可以降低淡化成本，除鹽率高達99.5%，且隨著膜管平均使用壽命的增加，使得中東以外非產油國家的海水淡化廠大都採用薄膜技術。

以蒸汽來源作爲海水淡化成本考量，若蒸汽爲自行產生，則各技術成本爲多級閃化法>多效蒸餾法>蒸

能源種類 淡化方式	用電量	蒸汽耗費量
逆滲透法(R.O.) (能量回收)	8.5kwhr	-
	5.0~6.0kwhr	-
多級閃化法(M.S.F.)	3.1kwhr	0.1噸
多效蒸餾法(M.E.D.)	1.6kwhr	0.083噸
蒸汽壓縮法(V.C.)	8.5~10kwhr	-
電析互換法	7.8~12kwhr	-

註：實際耗電量將受海水溫度影響而有所變動，以上所提供的數據爲一般平均值。

表1 各種海水淡化製程能源消耗比較