

水處理技術

海水淡化技術 MSF 之研究

賴逸嵩*

摘 要

海水淡化(Seawater Desalination)為水資源調配之重要一環，在缺水國家甚至將其視為國家永續發展之方針並列為重要政策之一。在眾多海水淡化處理方式中，以熱處理技術因受限於工程經費過高、能量耗損大及技術資料之取得不易等因素，國內少有探討；惟其具備技術成熟、產水量大、對水源水質要求不高及產水品質優良等之優點，值得引入國內參考。本文謹就中東地區廣為使用之熱處理海水淡化技術-多段閃燃蒸餾系統(Multi-Stage Flash, MSF)做一介紹，並對其設計原理及要點予以說明，以供海水淡化方面的規劃設計參考。

【關鍵字】海水淡化、多段閃燃蒸餾系統、鹵水加熱區、熱回收區、熱廢棄區、真空系統、起端鹵水溫度、終端鹵水溫度、非冷凝性氣體、線上管壁清洗系統

*星能股份有限公司專業經理、土木技師、環工技師

一、前言

台灣雨季多集中於豐水期，且 80%之雨水量均流入海洋，一旦遇乾旱即面臨缺水危機。此外，台灣自來水水源多取自河川上游，夏季暴雨時河流湍急常挾帶大量泥沙，一旦濁度過高即無法順利產水及供水。因此要確保飲用水供應無虞，除了興建水庫、自來水場外，有必要尋求其他替代來源。海水淡化是取得安全飲用水之主要方式之一，為水資源調配之可靠方式之一；而台灣四週環海，更是有取之不竭之海水。因此無論是就策略考量或是地理條件考量，台灣皆具備有發展海水淡化之條件。

海水淡化技術主要可以分成薄膜、熱處理及其他(冷凍、太陽能等)，其中薄膜及熱處理技術更佔有全世界海水淡化產水量之 80%以上。本文僅針對熱處理技術之 MSF 程序之原理及設計理論做一說明，至於對各海水淡化技術之比較或研究、MSF 處理水之再礦物化(Remineralization)及再碳化(Recarbonization)等細節則不論述。

二、MSF 系統介紹

多段閃燃蒸餾系統(Multistage Flash, MSF)應用於海水淡化方面已有多年歷史，為一相當成熟之熱處理技術，其商業化之產品起於 1950 年。MSF 程序為熱力學第一定律之應用，其基本原理為加熱鹵水至沸點使成為水蒸汽，再予以冷凝收集；其特點在於加熱後之鹵水流入多階段所構成之密閉箱室，在每一階段逐漸降低室內蒸汽壓以達成逐段降低沸點之目的，並逐階段使流入之鹵水部份閃燃沸騰並逐階段收集冷凝水。在 MSF 每一階段箱室中鹵水沸騰產生蒸汽，即向上方冷處流動，經網篩狀除霧器(Demister)去除所夾帶之海水滴後，流至具熱交換功能之冷凝管，並將潛熱移轉給冷凝管內鹵水後即於外表面冷凝並收集至冷凝水槽盤；每一階段密閉箱所產生冷凝水並匯流於設於箱外之蒸餾管，並留待進一步處理以提高蒸餾水之口感。一般海水之總溶解性固體物(Total Dissolved Solid, TDS)約為 45,000mg/L，經 MSF 海水淡化廠處理後 TDS 約為 5~25 mg/L，顯示其除礦效果相當好。

MSF 構造主要由四部分所組成，包括鹵水加熱區、熱回收區、熱廢棄區及真

空系統。就材質而言，密閉箱材料通常由 Duplex 不銹鋼所構成，外層並以碳鋼梁強化；每一階段密閉箱隔牆亦由 Duplex 不銹鋼所構成。熱交換管以 CuNi70/30 及 CuNi90/10 管為主，少部份為 Ti 金屬管。

典型 MSF 海水淡化廠如 Taweelah A2 MSF 廠，其單元設施一景如圖 1 所示。處理流程如圖 2 所示。典型橫向管式 MSF 設施平面及斷面圖如圖 3~圖 4 所示。

由於多段閃燃蒸餾技術用於海水淡化產水必須耗費很多能量，因此就能源有效利用之考量下，通常都與蒸汽渦輪或是氣體渦輪發電廠相連結，形成水電共生廠 (Dual-Purpose Power Desalting Plants)；其中 MSF 廠所使用之能源即來自渦輪機之低壓蒸汽及中壓蒸汽。目前 MSF 海水淡化廠亦有結合 RO 海水淡化廠形成 RO/MSF 之合併式雙生廠之設計，藉混合 RO 過濾水及 MSF 蒸餾水以降低其成本；惟較複雜之設計代表較複雜之操作維修，此部份有待後續之研發來克服。



資料來源：Doosan Heavy Industries & Construction

圖 1 Taweelah A2 MSF 單元設施一景

2.1 鹵水加熱區

鹵水加熱區係提供來自鍋爐或渦輪機之高溫低壓蒸汽與海水進行熱交換之區域；其中蒸汽冷凝後經冷凝水泵回收供發電廠使用，而經加熱後之海水則流至熱回收區。

設計 MSF 廠在熱質方面之重要參數包括：起端鹵水溫度：係指鹵水經蒸汽加熱後進入第一階段箱室之溫度；2.終端鹵水溫度：係指鹵水於最後階段箱室經混合

34 海水淡化技術 MSF 之研究

新鮮海水後迴流進入熱回收區之溫度。此二者之差值亦稱為閃燃溫度範圍，為蒸餾程序之驅動力。

鹵水中固體物沉降於管壁上即形成結垢，由於其熱傳導性遠較管壁金屬為低會降低整體之熱傳效率，因此必須妥為控制及去除。MSF 廠管線結垢種類主要包括 CaSO_4 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 及 CaCO_3 3 種，其中 CaSO_4 之溶解度隨溫度上升而下降且為非鹼性結垢無法以酸液溶解處理，因此 TBT 一般控制在 114°C 以下，以避免熱交換管過高之結垢潛能。

2.2 熱回收區

熱回收區由數個階段箱室所構成，其中自鹵水加熱區加熱後之海水所進入之箱室即為第一個階段箱室；在此箱室控制壓力較鹵水加熱區稍低，因此原先已達飽和溫度之海水立即達到超熱(Superheated)狀態並釋出蒸汽。同理，海水在流到緊鄰之第二階段箱室時，雖然海水因熱量損耗而溫度有所折減，因適當降低壓力而得以進行該區之海水閃燃並釋出蒸汽。

每一階段箱室主要可以分成 2 部份，上下層以除霧器分隔，下層為濃鹵水閃燃產生蒸汽之區域，上層則設有熱交換管線及蒸餾水收集槽盤。熱交換管線在階段箱室配置方式，主要可以分成縱向管式(Long Tube)及橫向管式(Cross Tube)；其中熱交換管線走向與鹵水流向一致者為縱向管式，與鹵水流向垂直者為橫向管式。由於縱向管式所須之階段箱室通常較橫向管式者為多，處理量大時則較不經濟；此外橫向管式對於各階段箱室之進出維修相當方便，因此橫向管式已成為大型 MSF 廠之設計主流。

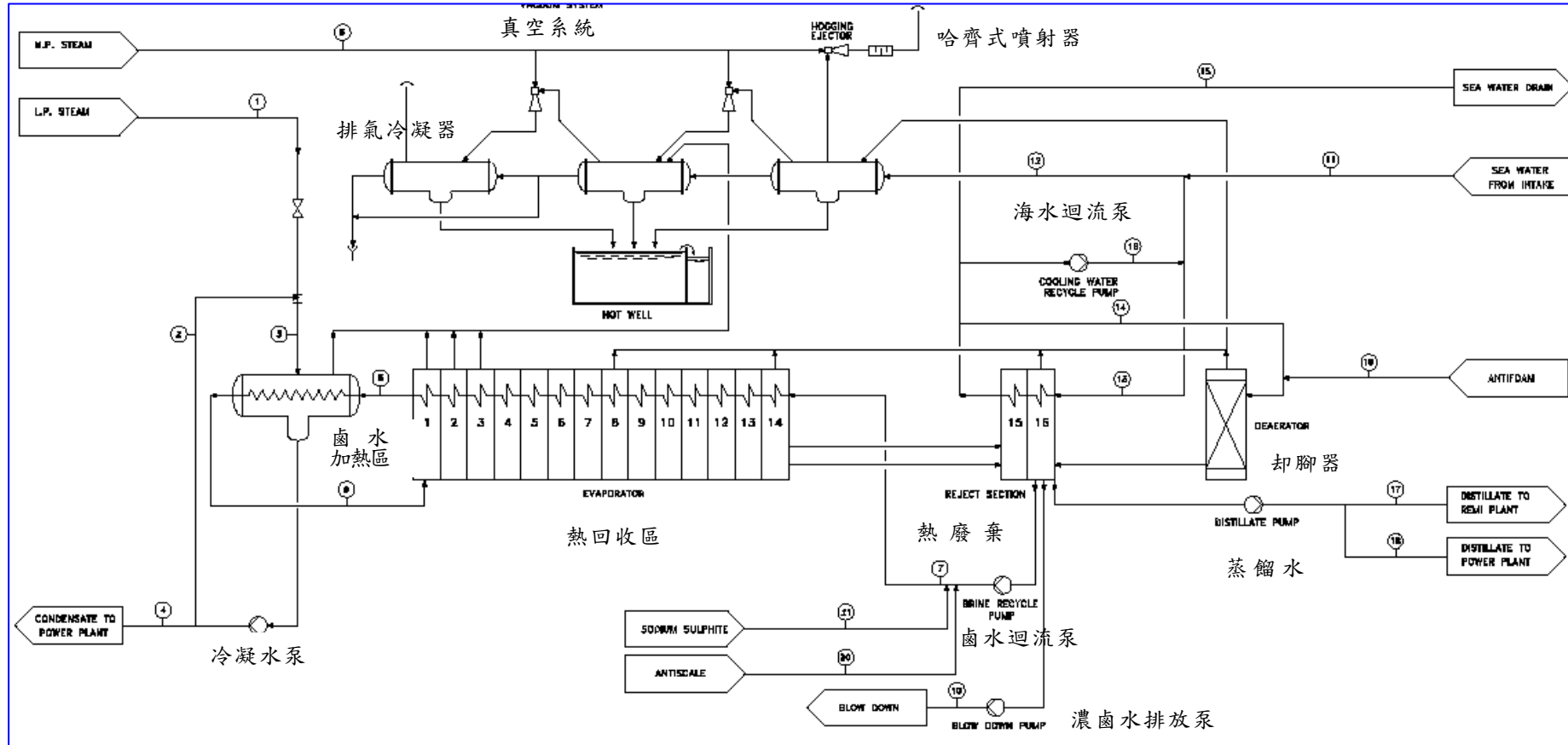


圖 2 MSF 處理流程圖

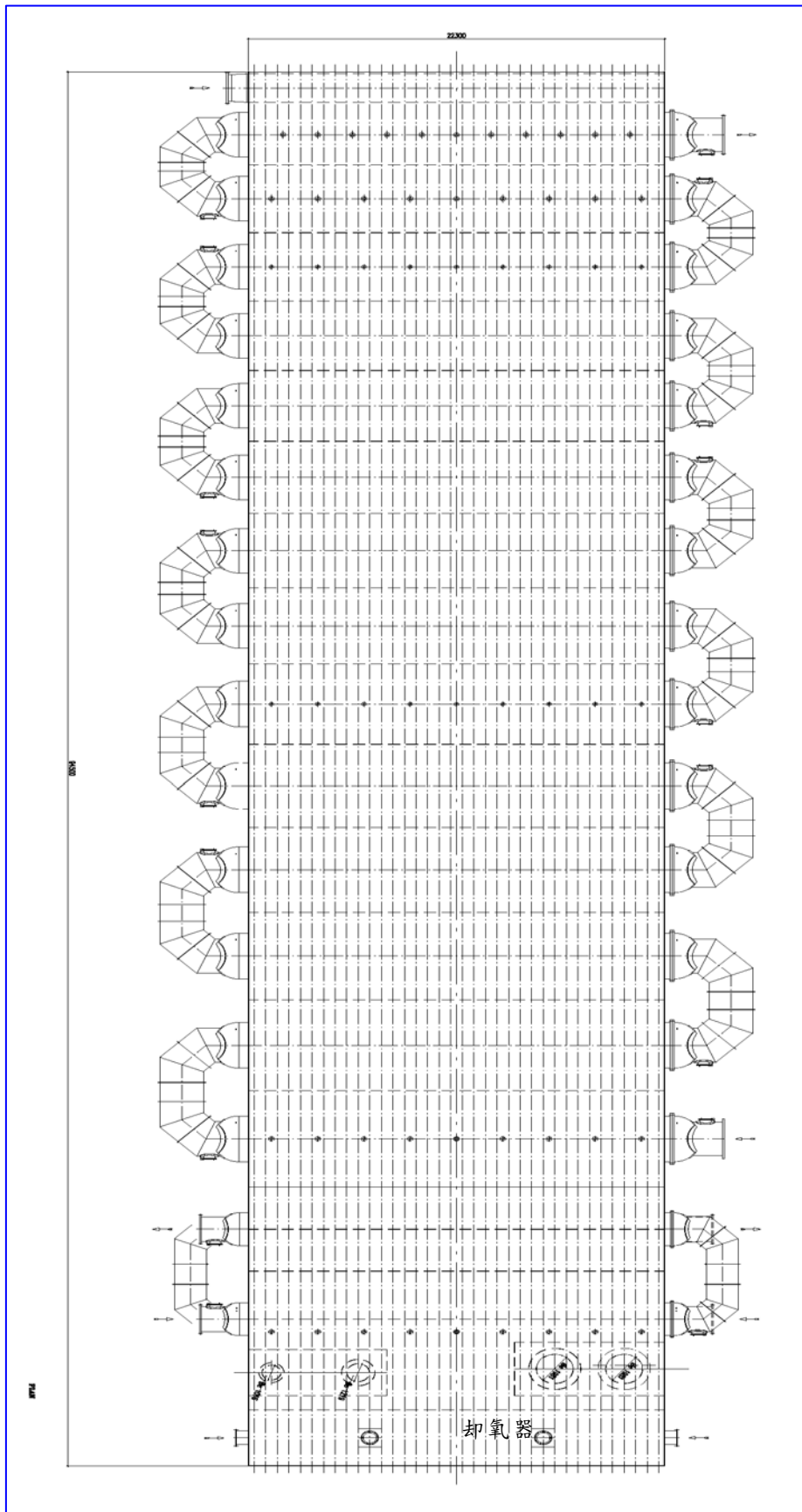
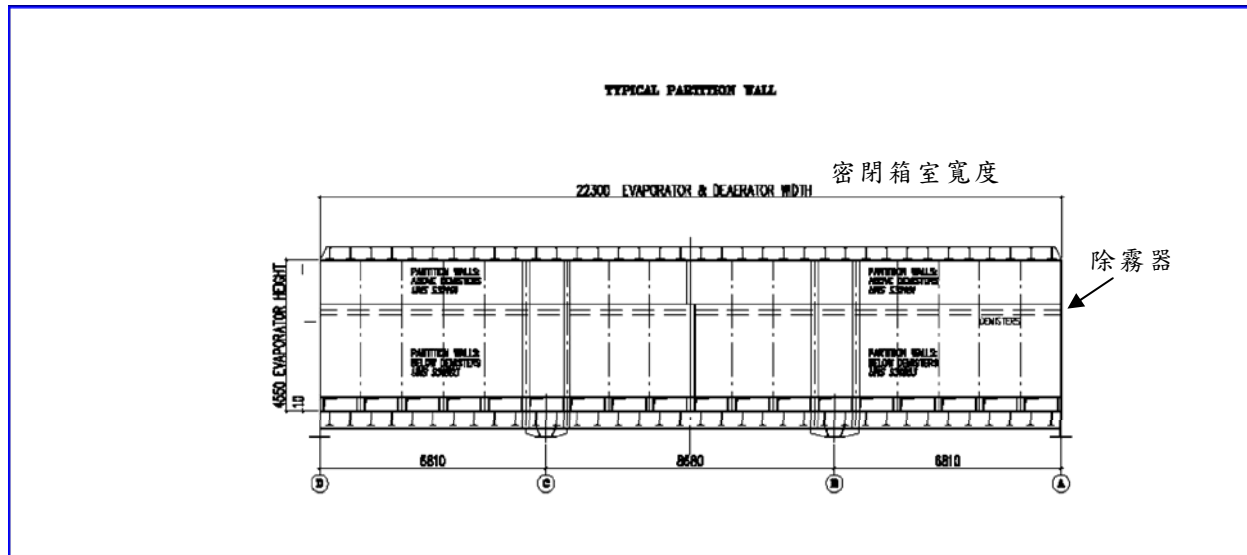
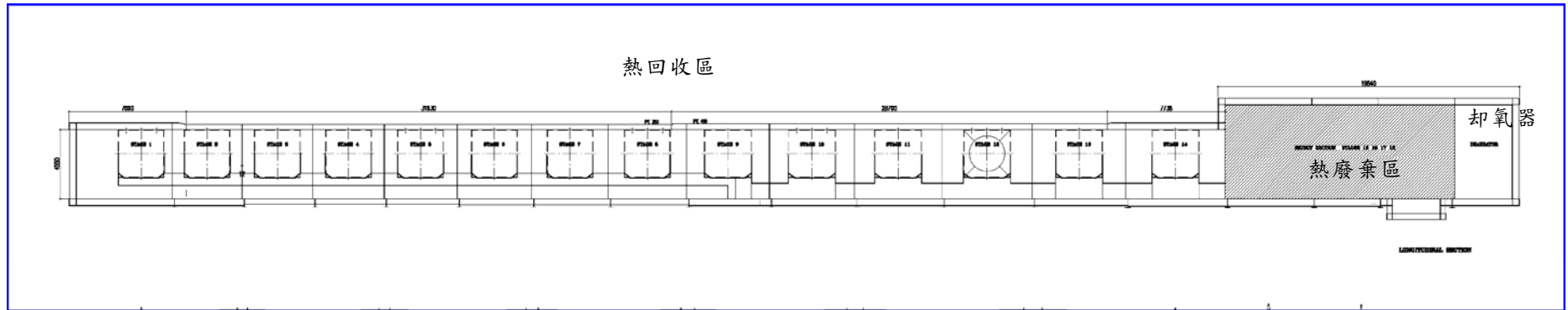


圖 3 典型橫向管式 MSF 設施平面圖



典型之除霧器

資料來源: Koch-OttoYork

圖 4 典型 MSF 設施斷面圖

為確保 MSF 廠有良好之處理效率，在鹵水加熱區及熱回收區熱交換管線內通常設有線上管壁清洗系統，以橡皮海綿球每日多循環之頻率進行管壁軟泥之清洗。此外為控制此二區 $Mg(OH)_2$ 及 $CaCO_3$ 之鹼性結垢問題，一般 MSF 廠採酸清洗系統設計，並配合海水迴流泵進行逆流清洗。

2.3 熱廢棄區

熱廢棄區通常由 2~3 段階段箱室所構成，為階段閃燃之後段。其中最後一階段密閉箱室設有海水取水口、鹵水迴流泵、濃鹵水排放泵及蒸餾水排放泵。

經取水及前處理設施處理後之海水，分別供應製程及真空系統，其中大部份新鮮之海水先流經熱廢棄區熱交換管稍提高水溫後，即排至却氧器，以排除氧化分子如 O_2 及 CO_2 ，降低海水中之溶氧量以避免熱交換管產生腐蝕問題。經却氧後之海水與濃鹵水於最後一階段密閉箱混合，再經鹵水迴流泵經加高壓後排至熱回收區；加高壓可確保迴流鹵水在到達鹵水加熱區前不會有沸騰現象。少部份新鮮之海水則流至真空系統，供作為熱蒸汽冷卻水使用。在熱廢棄區最後階段箱室設有水槽，除供鹵水迴流泵使用外亦供濃鹵水排放泵使用，以確保蒸餾水水質達到設計 TDS 及避免過高 TDS 之濃鹵水排放影響海域生態；一般濃鹵水排放之設計 TDS 約為 62,000mg/L。

早期 MSF 廠却氧器多採分離式設計，近期則採緊鄰最後一階段密閉箱整合式設計。整合式却氧器採矩形斷面設計，其中却氧器上方設有特殊設計之噴灑管，供海水均勻流出且閃燃作用只發生於噴灑管管端；却氧器下方由成堆之爪式環所組成，為氣提作用所在，能有效進行氣液分離。却氧器內之蒸汽及氣提出之氧氣將經由真空系統一併排出。

在化學藥劑系統方面，却氧器之設計有時會併同硫酸氫鈉($NaHSO_4$) 却氧劑之使用，以確保海水中之溶氧能低於 0.05mg/L；另為避免微量有機物及細顆粒物質所形成之泡沫，造成鹽溢出而污染蒸餾水，在進入却氧器之前通常會加入非離子性界面活性劑以作為抑泡劑。

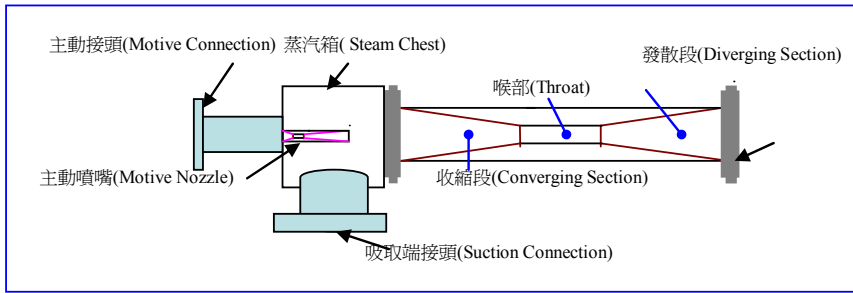
2.4 真空系統

真空系統負責維持蒸餾器及却氧器之真空，目的在排除蒸餾過程產生之非冷凝性氣體，包括 CO_2 、 N_2 及 O_2 。非冷凝性氣體對於蒸餾器就像形成一屏障，會降低密閉箱內之蒸汽壓力及溫度而影響熱傳效果；經排除之非冷凝性氣體通常會直接排到大氣中或配合特殊設計之回收系統將 CO_2 氣體予以收集，以供作蒸餾水再碳化及再礦物化之後段處理使用。

真空系統通常由啓動噴射器、階段蒸汽噴射器及排氣冷凝器所構成。其中哈齊式噴射器屬系統噴射器並為啓動噴射器之一種，必須經由來自鍋爐或渦輪機之中壓蒸汽所驅動；通常需具備在 0.5~1 小時之短時間，即達成蒸餾器真空之功能。噴射器主要在提供位能及熱能轉換為機械能之功能，其主要構造包括蒸汽箱及擴散器；擴散器依其構造型式可再分成收縮段、喉部及發散段 3 部份。

來自鍋爐之中壓蒸汽經噴射器主動接頭而進入蒸汽箱，經蒸汽箱設有之主動噴嘴以超音速之高速噴出將壓力劇降，並形成低壓區，以抽取並混合來自吸取端接頭之非冷凝性氣體。此混合氣體隨即進入噴射器擴散器，在此設施將高速機械能轉成壓力能。噴射器簡單示意圖如圖 5 所示。

廣義而言，真空系統應包括前述之却氧器，因為却氧器之氣液分離作用已排除大部份之非冷凝性氣體，真正由 MSF 密閉箱室所排出之非冷凝性氣體比例遠較却氧器為少；此種現象對應到氣體收集系統，代表却氧器有較大管徑之氣體收集管。由多數 MSF 廠之氣體收集系統設計資料顯示，通常再礦物化所需之 CO_2 只由中間段密閉箱室所供應，其餘則排到大氣中。



典型之啓動噴射器

資料來源：A B Progetti



典型之真空系統冷凝器

資料來源：A B Progetti

圖 5 噴射器簡單示意圖

三、MSF 主要設計參數評估

MSF 海水淡化廠之設計是相當獨特的，通常是由設備供應商依其經驗公式或程式模擬所設計得出；然而對其設計參數進行評估，則有利於設備之最佳化設計。MSF 設計方程式始於階段密閉箱室產生蒸汽量之理論分析，並推演出處理效率之熱平衡公式。茲彙列 MSF 廠主要設計參數、經驗公式並說明如下：

3.1 處理效率

處理效率(Performance Ratio ,PR)為衡量 MSF 廠之能量損耗狀況，定義為每單位輸入乾飽和熱蒸汽重所能產生之蒸餾水重，其單位為 Kg/Kg；若考慮蒸汽之潛熱 2,326KJ/Kg，其單位為 Kg/ 2,326KJ。其關係式如下所示：

$$PR = \frac{\text{Distillate water production} \times 2,326}{\text{Rate of heat added to brine heater}} \quad (1)$$

3.2 密閉箱室階段數

依據 Fisia Italmimpianti 公司之設計經驗值顯示^[1]，熱回收區密閉箱室階段數與處理效率 PR 有密切關係，其中， $N_{opt}(\text{熱回收區密閉箱室階段數})=2PR-1$ ；由於此經驗值係由材料成本推估而得，設計者宜對材料之市場價格有所掌握並做適當之校核。

3.3 鹵水迴流量

由每階段密閉箱室產生蒸汽量之關係，可得鹵水迴流量之概估公式：

$$\left(\frac{Mr}{Md}\right)^2 - \left(\frac{L}{Cp\Delta T} * \frac{(PR+1)}{PR} + \frac{1}{2}\right) * \left(\frac{Mr}{Md}\right) + \frac{L}{2PRCp\Delta T} = 0 \quad (2)$$

M：鹵水設計迴流量(Design Brine Recycle Flow Rate)(Kg/hr)

M_d ：蒸餾水設計產量(Design Production Rate)(Kg/hr)

C_p ：鹵水比熱(Specific Heat at Average Temperature)(KJ/Kg.°C)

ΔT ：設計閃燃溫度範圍(Flash Range)(°C)

$$\Delta T = TBT - BBT(°C) \quad (3)$$

L：蒸汽潛熱(Latent Heat at Average Temperature)(KJ/Kg.°C)

3.4 密閉箱室寬度

密閉箱室寬度係由鹵水迴流量 Mr 及鹵水單位負載(Shell Load, SL)所計算得，其關係式如下所示：

$$W = \frac{Mr}{SL} \quad (4)$$

其中鹵水單位負載 S_L 定義為單位密閉箱室寬度之閃燃鹵水流量，可參考 Osman A^[2]於 2002 年所提出之經驗公式進行估算：

$$SL = 457,200 + 53,430Q_d \text{ (Kg/hr.m)}; Q_d \text{ 為 MIGD 單位之數值} \quad (5)$$

3.5 密閉箱室面積

密閉箱室面積係由箱室內蒸汽之流量及階段鹵水蒸發速度(Vapor Release Velocity, v)所計算得，其關係式如下所示：

$$A = \frac{\text{Stage Vapor Flowrate} \left(\text{m}^3/\text{s} \right)}{\text{Vapor Release Velocity at Brine Surface} \left(\text{m/s} \right)} \quad (6)$$

鹵水蒸發速度之設計值必須有所限制，過高之速度可能挾帶較大量之鹵水固體顆粒；鹵水蒸發速度在各階段密閉箱室並非固定不變，通常越後段之密閉箱室具備較高之鹵水蒸發速度。鹵水蒸發速度係由 Souders & Brown 公式所計算得，其關係式如下所示：

$$v = K \sqrt{\frac{\rho_b - \rho_v}{\rho_v}} \quad (7)$$

K ：實驗常數，取 0.107

ρ_b ：鹵水密度(Density of Brine)(Kg/m^3)

ρ_v ：蒸汽密度(Density of Vapor)(Kg/m^3)

3.6 密閉箱室長度

如同階段密閉箱室之蒸汽產量與時間是息息相關的，必須提供足夠之停留時間以供鹵水絕熱閃燃成蒸汽，亦即密閉箱室長度取決於鹵水之停留時間；一般密閉箱室設計長度係由密閉箱室面積及密閉箱室寬度所計算得。

3.7 密閉箱室高度

密閉箱室高度係由箱室內鹵水深度、鹵水上除霧器高及除霧器上高三者所計算得。其中鹵水深度必須低於 60cm，以避免氣液介面過高之非平衡損失；除霧器上高則取決於冷凝管線之配置狀況。

鹵水在蒸發成蒸汽時會挾帶粒徑大小不一之固體顆粒，較大固體顆粒可能在離開鹵水表面不久隨即落回鹵水；至於如何之粒徑尺寸會隨蒸汽一起上升，則取決於閃燃之激烈程度及鹵水蒸發速度。當大量之固體顆粒附著於除霧器上，其功能很快

即喪失；因此鹵水上除霧器高需具備足夠之高度，以避免鹵水溢流入蒸餾水收集槽盤而污染蒸餾水水質，其關係式如下所示：

$$\text{Mesh Height above Brine Jet} = 0.1776 * e^{0.0054 * K_h} \quad (8)$$

$$K_h = \frac{3.281G}{\rho_v \sqrt{\frac{\rho_b}{\rho_v} - 1}} \quad (9)$$

K_h ：高度常數

G ：蒸氣質量流率(Vapor Mass Rate)(Kg/hr · m²)

3.8 GOR

輸出比(Gained Output Ratio, GOR) 亦用以衡量 MSF 廠之能量損耗狀況，定義為每單位輸入蒸汽量所能產生之蒸餾水量，其單位為 Kg/Kg。一般 MSF 廠 GOR 設計數值在 1~10 間，最大設計值為 18。

3.9 管內流速

由熱力學之理論來說，提高熱交換管之管內流速可以增加其熱傳係數(Heat Transfer Coefficient)，相對可以減少所需之熱傳表面積；然而管內流速太高則易產生過度之沖刷，反而減損管線之使用壽命。因此容許設計流速會依據不同管材而有不同之建議值，一般 Al-Brass 管最大流速為 2.3m/s，CuNi 管最大流速為 2.1m/s，Ti 管最大流速為 2.9m/s。

3.10 熱交換器

MSF 海水淡化廠之熱交換器一般採管式設計，其整體熱傳導係數之設計主要考量 4 項因素，包括管內熱傳導阻力、管外熱傳導阻力、管壁熱傳導阻力及污垢熱傳導阻力。就 MSF 廠滿足快速達成非絕熱冷凝蒸汽以生成蒸餾水之需求，則需依上述設計選定之參數取得經濟且足夠之熱傳面積。

熱交換管在製程使用一定時間後，會有雜質附著管壁形成熱傳導係度低之污垢，會降低熱交換之能力；因此熱交換管必須定期清洗或更新。在設計 MSF 熱交換器時即須將此污垢因子(Fouling Factor)納入考量，此數值即為前述之污垢熱傳導

44 海水淡化技術 MSF 之研究

阻力，並且取決於管材、有無酸洗及是否設置線上管壁清洗系統等。

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} * \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{h_o} + r_w + r_f} \quad (10)$$

U：整體熱傳遞係數(Overall Heat Transfer Coefficient) (W/m²°K)

h_i：管內熱交換係數(Internal Heat Exchange Coefficient) (W/m²°K)

d_o：熱交換管外徑

d_i：熱交換管內徑

h_o：管外熱交換係數(External Heat Exchange Coefficient) (W/m²°K)

r_w：污垢熱傳導阻力(Fouling Resistance) (m²°K/W)

$$r_w = \frac{d_o}{2k_w} * \ln \frac{d_o}{d_i} \quad (11)$$

k_w：管壁熱傳遞係數(Wall Thermal Conductivity) (W/m°K)

r_f：管壁熱傳導阻力(Tube Wall Resistance) (m²°K/W)

由於 MSF 技術為中東地區海水淡化廠所廣為應用，因此其設計參數具備相當之代表性，茲列出沙烏地阿拉伯 SWCC(Saline Water Conversion Corporation)主要之 MSF 海水淡化廠設計參數供參，如表 1~3 所示；顯示設計 TBT 多控制在 114°C 以下，處理效率多在 7 以上，PR 值主要分佈在 7~9 之範圍，鹵水加熱區及熱廢棄區採較高 FF 設計值等。典型海域水質資料茲以沙烏地阿拉伯之波斯灣區域為例，如表 4 所示。典型海水淡化飲用水水質資料，如表 5 所示；顯示 MSF 廠處理水之高品質。一般由 MSF 廠所產出之處理水其 TDS 多在 25mg/L 以下，以致為提高口感，在實務上必須再礦物化增加其硬度。

表 1 SWCC MSF 海水淡化廠設計參數(一)

	海水淡化廠名稱	產水量(CMD)	TBT(°C)	BBT(°C)	SWT(°C)	組數	每組階段數	GOR
1	Al-Jubail I	22,867	90.6	41	35	6	19+3=22	7.87
2	Al-Jubail II C2	28,595	112.8	43.3	35	10	19+3=22	9
3	Al-Jubail II C3	28,595	112.8	43.3	35	10	19+3=22	9
4	Al-Jubail II C4	28,595	112.8	45.2	35	10	17+2=19	9
5	Al-Jubail II C5	27,777	112.8	42.8	35	10	19+3=22	9
6	Jeddah II	11,365	115	40	31	4	31+3=34	9.28
7	Jeddah III	22,730	108	40	31	4	13+3=16	7.07
8	Jeddah IV	22,730	110	39.5	31	10	21+3=24	7.02
9	Al-Khobar II	30,050	115	43	35	10	13+3=16	6.5
10	Yanbu I	22,730	121	40	30	5	21+3=24	10
11	Shugayg I	22,730	90	39.5	33	4	16+3=19	8
12	Al-Shoaiba I	26,550	90			10	16+3=19	
13	Al-Khafji II	11,365	112.8	43.5	35	2	19+3=22	9.5

資料來源: Modeling and simulation of multistage flash distillation process, Osman Ahmed Hamed, 1999^[3]

表 2 SWCC MSF 海水淡化廠設計參數(二)

	海水淡化廠名稱	處理效率 (Kg/ 2,326KJ)	Mr/Md 迴流比	密閉箱室寬度(m)	密閉箱室長度(m)	密閉箱室高度(m)
1	Al-Jubail I	8.02	12.64	14	2.8~3.2	3.9
2	Al-Jubail II C2	9.51	11.32	19.4	2.8~3.2	3.8
3	Al-Jubail II C3	9.51	11.32	19.4	2.8~3.2	3.8
4	Al-Jubail II C4	9.51	11.52	19.3	3.35~3.59	4.4
5	Al-Jubail II C5	9.51	10.92	19.6	2.51~3.03	4.2
6	Jeddah II	9.26	3.63	3~4	18.1~23.8*	3.15~3.3
7	Jeddah III	7.09	8.58	11.95	2.5~5.03	4.2
8	Jeddah IV	7.02	8.40	8.5~9	25.1*	4.8
9	Al-Khobar II	5.56	11.59	13.2	3.0~3.65	5.2
10	Yanbu I	10.63	7.48	10.2	2.5~3.2	3.73
11	Shugayg I	8.26	13.64	17.42	3.59~3.60	3.9~4.05
12	Shoaiba I	-	12.34	14.1	2.85~3.45	3.8
13	Al-Khafji II	8.19	5.55	-	-	-

資料來源: Overview of design features and performance characteristics of saline water conversion corporation(swcc) MSF plants , Osman Ahmed Hamed, 2001^[4]

表 3 SWCC MSF 海水淡化廠設計參數(三)

	海水淡化廠名稱	化學處理		HTC 熱傳 導係數(W/m ² °K)			FF 污垢因子(m ² °K/KW)		
		酸清洗	抑垢劑	鹵水加熱區	熱回收區	熱廢棄區	鹵水加熱區	熱回收區	熱廢棄區
1	Al-Jubail I	x	V	2,650	2,650		0.264	0.176	0.200
2	Al-Jubail II C2	x	V	2,182	2,650	2,350	0.176	0.176	0.176
3	Al-Jubail II C3	x	V	2,258			0.176	0.176	0.176
4	Al-Jubail II C4	x	V	2,505			0.176	0.176	0.176
5	Al-Jubail II C5	x	V	2,483			0.176	0.176	0.176
6	Jeddah II	V	x	4,035	3,468	2,743	0.086	0.086	0.132
7	Jeddah III	V	V	1,999	2,800	1,886	0.325	0.178	0.344
8	Jeddah IV	V	V	1,994	2,770	1,839	0.325	0.176	0.299
9	Al-Khobar II		V	2,568	2,868	2,037	0.160	0.120	0.200
10	Yanbu I	V	x	3,253	3,390		0.120	0.150	0.176
11	Shugayg I	x	V	1,885	2,539	2,219	0.300	0.170	0.200
12	Al-Shoaiba I						0.300	0.170	
13	Al-Khafji II		V	2,049	2,800	2,300	0.279	0.279	0.279

資料來源: Modeling and simulation of multistage flash distillation process, Osman Ahmed Hamed, 1999^[3]

表 4 典型沙烏地阿拉伯波斯灣海域水質資料

檢驗參數	樣品 1	樣品 2	樣品 3	樣品 4
1.取樣時間	27-Mar-07	27-Mar-07	27-Mar-07	27-Mar-07
2.水溫, °C	22	21	20	20
3.濁度, NTU	12	10	5	5
4.總鹼度 CaCO ₃ , mg/L	32	60	55	50
5.pH	7.2	7.3	7.3	7.3
6.電導度, μS/cm	47,700	50,100	50,600	51,400
7.鹽度, %	2.3	2.9	3.3	3.4
8.總溶解固體物, TDS,mg/L	23,255	29,310	33,264	33,716
9.氯化物, mg/L	12,770	16,155	18,338	18,560
10.鈣, mg/L	283	351	396	341
11.鎂, mg/L	860	1,088	1,221	1,241
12.鈉, mg/L	7,075	8,980	10,205	10,319
13.HCO ₃ ⁻ , mg/L	96	122	134	136
14.CO ₃ ²⁻ , mg/L	0.9	0.4	0.5	0.3
15.SO ₄ ²⁻ , mg/L	1,758	2,263	2,560	2,590
16.鐵,mg/L	2.0	0.2	0.3	0.1
17.矽, mg/ L	16	15	17	15
18.硼, mg/ L	3	4	5	5
19.鉀, mg/ L	258	326	365	377
20.氟化物, mg/L	0.7	0.8	0.8	0.9
21.溴化物, mg/L	44	57	65	64

資料來源: Ras Az Zawr IWPP Request for Proposal , Kingdom of Saudi Arabia, 2007

表 5 典型 SWCC MSF 海水淡化飲用水水質資料

檢驗參數	樣品 1	樣品 2	樣品 3	樣品 4	樣品 5	樣品 6	樣品 7	樣品 8	樣品 9	WHO 標準
1.色度, Color	0.3	ND	ND	ND	5	5	ND	ND	ND	15
2.濁度, FTU	0.5	ND	ND	1	ND	1.3	ND	ND	ND	5
3.總硬度, CaCO ₃ ,mg/L	151	127	74	108	56	158	ND	ND	123	500
4.Ph	7.9	8.3	8.5	8.5	9.0	8.1	5.7	6.3	8.3	6.5~8.5
5.電導度, μS/cm	553	512	-	561	283	696	3	32	357	-
6.總溶解固體物, TDS,mg/L	298	350	201	308	308	410	ND	<10	221	1,000
7.氟化物, mg/L	100	99	100	131	68	149	ND	ND	43	250
8.SO ₄ ²⁻ , mg/L	60	58	21	35	11	70	ND	5	69	400
9.鈣, mg/L	40	32	20	27	13	40	ND	2	37	-
10.鎂, mg/L	12	13	7	10	6	14	ND	ND	7	-
11.鈉, mg/L	46	41	47	63	34	75	ND	ND	22	200
12.鋁, mg/L	4	ND	0.06	0.40	1.30	0.09	ND	1.76	ND	200
13.銅, mg/L	11	6.7	12	27	11	13.4	40.1	17.3	7.9	1,000
14.鐵, mg/L	43	69	24	22	7.6	14.5	11.1	59.0	19.0	300
15.錳, mg/L	1.7	1.5	1.4	0.56	0.43	0.82	0.74	1.00	0.50	100
16.鋅, mg/L	1.75	ND	0.5	0.8	17.0	ND	2.0	1.5	ND	5,000

1.資料來源：P.C.Mayan Kutty ,Quality Control of potable water supplies from SWCC's Multi Stage Flash evaporation plants in the Eastern province and Riyadh area.

2.取樣時間：April~Aug.1989

3.樣品：No.1Jubai I,No.2Jubai

II,No.3Dammam,No.4Khobar,No.5Rastanura,No.6Qatif,No.7Khafji(SWCC),No.8Khafji(City), No.9Riyadh

四、結論與建議

- 1.台灣為缺水國家之一，顯然取得充份且可靠之飲用水來源是需正視之課題。目前海水淡化處理已成為鄰海國家永續發展之策略之一，因此適當發展海水淡化計畫，將是台灣水資源調配之重要一環。
- 2.MSF 海水淡化程序對於原水水質之要求並不高，却能獲得相當高品質之處理水，為一可靠之處理技術。
- 3.就能源充份利用及四周鄰海之地理條件考量，台灣有發展水電共生廠之潛力；尤其台灣可能面臨缺水缺電之危機，適當整合電力公司及自來水公司資源，則具備相當之契機。

五、參考文獻

- 1.Salah Al-Hengari , A new design approach to reduce water cost in MSF evaporators , 2002
- 2.Osman Ahmed Hamed , SWCC MSF desalination plants-current status and future prospects , 2002
- 3.Osman Ahmed Hamed , Modeling and simulation of multistage flash distillation process , 1999
- 4.Osman Ahmed Hamed , Overview of design feature and performance characteristics of saline water conversion corporation (SWCC) MSF plants , 2001
- 5.Osman Ahmed Hamed , Assessment of the major design features of SWCC MSF desalination plants , 2004
- 6.Salah Al-Hengari , Performance analysis of a MSF desalination unit , 2005
- 7.Buros, O.K. , The Desalting ABC's for International Desalination Association , 1990
- 8.Monazir Imam , Antifoaming agents performance evaluation , 1997
- 9.Mohammad Abdul , Fouling Phenomena in Multi Stage Flash(MSF) Distillers , 1999
10. Neil Wade , The Taweelah A2 independent water and power project , 1999
- 11.台汽電等 , Ras Az Zawr independent water and power project 備標資料 , 2008
- 12.Ras Az Zawr IWPP Request for Proposal , Kingdom of Saudi Arabia , 2007
- 13.P.C.Mayan Kutty , Quality Control of potable water supplies from SWCC's Multi Stage Flash evaporation plants in the Eastern province and Riyadh area , 1990
- 14.Corrado Sommariva , Cost reduction and design lifetime increase in thermal desalination plants: thermodynamic and corrosion resistance combined analysis for heat exchange tubes material selection , 2003