

# 海水淡化技術發展、經濟性及開發利用問題和對策

引言人 張振章

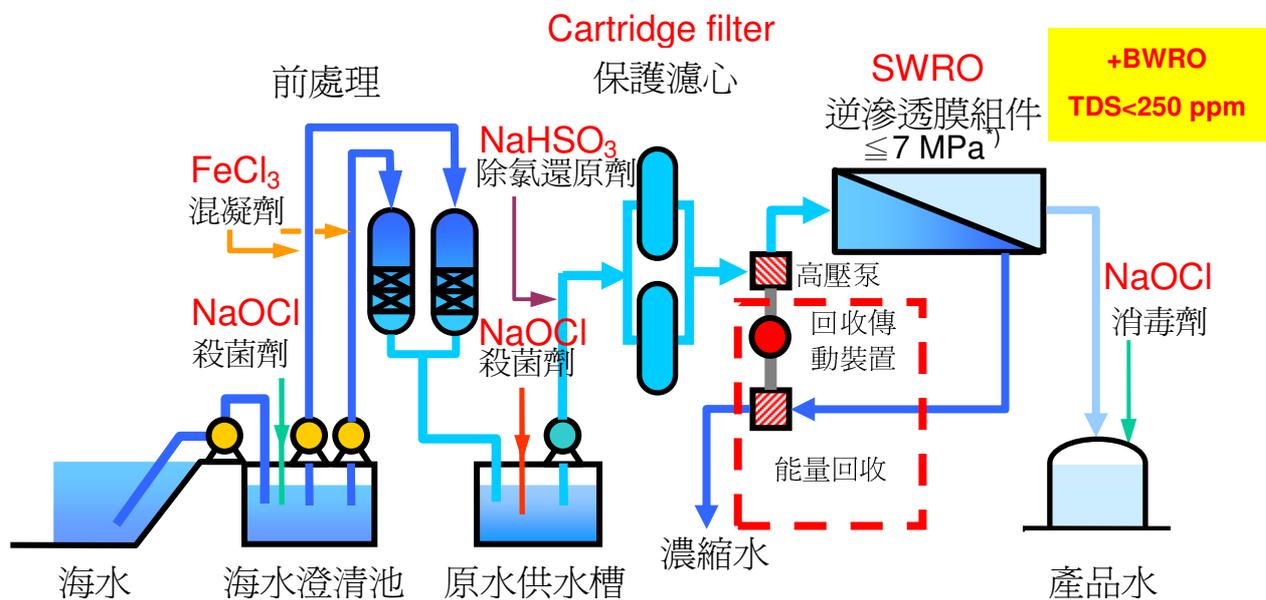
京華工程顧問股份有限公司

## 前言

海水淡化技術發展已超過 40 年，早期以多級閃蒸法 (MSF) 為主，之後採用逆滲透法 (RO) 逐漸增加，後者已成為目前主要工法。轉變之關鍵主要為壓力能量回收技術自早期「踩水車同軸傳送」之觀念進化為極高效率「精密陶瓷直接接觸回收」所致，因此操作營運造水成本大幅降低，也促成近幾年來海水淡化廠設置量成指數成長的熱絡現象。台灣因為土地與能源成本較高，因此除了少數電廠有餘熱可以自足而採用加熱工法 (thermal process) 之外，大部份已設置之海水淡化廠皆採用逆滲透工法。

## 一、海水淡化逆滲透處理工法

圖 1 為目前傳統前處理逆滲透工法之典型處理流程圖，前處理採用傳統  $\text{FeCl}_3$  混凝沉澱方式，另外還有一種前處理方法是採用超過濾 (UF) 過濾方式，兩者各有優缺點，不過採用後者有愈來愈多的趨勢，尤其是超過萬噸級以上大規模 BOT 海水淡化廠。



\*)僅限於捲式逆滲透膜元件

**TORAY**

圖 1 傳統前處理逆滲透處理流程圖 (Toray 公司提供)

## 二、國際城市水價比較

表 1 為 2006 年幾個國際城市水價比較表，右側是以 US\$ 1.0 = NT\$ 32 估算之數值。由表中數字可以瞭解，絕大多數的國家城市 2006 年水價都比我國高，只有大陸天津水價與我國相當。

表 1 2006 年國際城市水價比較表

城市/國家		2006 水價	
Paris	巴黎/法國	US\$ 2.09	NT\$ 66.9
London	倫敦/英國	US\$ 2.01	NT\$ 64.3
Berlin	德國/柏林	US\$ 1.97	NT\$ 63.0
Frankfurt	法蘭克福/德國	US\$ 1.90	NT\$ 60.8
Tokyo	東京/日本	US\$ 1.86	NT\$ 59.5
Amsterdam	阿姆斯特丹/荷蘭	US\$ 1.79	NT\$ 57.3
San Diego	聖地牙哥/美國	US\$ 1.67	NT\$ 53.4
Doha, Qatar	多哈/卡達	US\$ 1.38	NT\$ 44.2
San Antonio	聖安東尼奧/美國	US\$ 1.29	NT\$ 41.3
Orange County	橘縣/美國	US\$ 1.22	NT\$ 39.0
Barcelona	巴塞隆納/西班牙	US\$ 1.22	NT\$ 39.0
Kuwait	科威特/科威特	US\$ 1.21	NT\$ 38.7
Dubai	杜拜/阿拉伯聯合大公國	US\$ 1.20	NT\$ 38.4
Melbourne	墨爾本/澳大利亞	US\$ 1.06	NT\$ 33.9
Perth	柏斯/澳大利亞	US\$ 1.00	NT\$ 32.0
Phoenix AZ	鳳凰城/美國	US\$ 1.00	NT\$ 32.0
Sydney	雪梨/澳大利亞	US\$ 0.94	NT\$ 30.1
Malaga Spain	馬拉加/西班牙	US\$ 0.94	NT\$ 30.1
Cape Town	開普敦/南非	US\$ 0.91	NT\$ 29.1
Singapore	新加坡	US\$ 0.90	NT\$ 28.8
Tel Aviv	台拉維夫/以色列	US\$ 0.90	NT\$ 28.8
Honk Kong	香港	US\$ 0.83	NT\$ 26.6
Los Angeles	洛杉磯/美國	US\$ 0.77	NT\$ 24.6
San Francisco	舊金山/美國	US\$ 0.70	NT\$ 22.4
Muscat	馬斯喀特/阿曼	US\$ 0.52	NT\$ 16.6
Tianjin, China	天津/中國	US\$ 0.33	NT\$ 10.6

資料來源: Global Water Intelligence October 2006 Update

表 2 為 2008 年幾個國際城市水價比較表，右側也是以 US\$ 1.0 = NT\$ 32 估算之數值。由表中數字可以瞭解，經過兩年，水價漲了許多，巴黎漲了一倍，雪梨從不到 1 美元/m<sup>3</sup> 漲了將近 4 倍，因為那兩年澳洲大旱所致。就連天津也漲了五成，比台灣水價還高。

**表 2 2008 年國際城市水價比較表**

城市/國家		2008 水價	
Paris	巴黎/法國	US\$ 4.08	NT\$ 130.6
Sydney	雪梨/澳大利亞	US\$ 3.87	NT\$ 123.8
Berlin	德國/柏林	US\$ 3.00	NT\$ 96.0
San Diego	聖地牙哥/美國	US\$ 2.90	NT\$ 92.8
Amsterdam	阿姆斯特丹/荷蘭	US\$ 2.66	NT\$ 85.1
Perth	柏斯/澳大利亞	US\$ 2.62	NT\$ 83.8
Las Vegas	拉斯維加斯/美國	US\$ 2.50	NT\$ 80.0
San Jose	聖荷西/美國	US\$ 2.30	NT\$ 73.6
Dubai	杜拜/阿拉伯聯合大公國	US\$ 2.16	NT\$ 69.1
Barcelona	巴塞隆納/西班牙	US\$ 2.15	NT\$ 68.8
Melbourne	墨爾本/澳大利亞	US\$ 2.10	NT\$ 67.2
Houston	休斯頓/美國	US\$ 2.02	NT\$ 64.6
Frankfurt	法蘭克福/德國	US\$ 1.90	NT\$ 60.8
Tokyo	東京/日本	US\$ 1.81	NT\$ 57.9
London	倫敦/英國	US\$ 1.80	NT\$ 57.6
Muscat	馬斯喀特/阿曼	US\$ 1.53	NT\$ 49.0
Tel Aviv	台拉維夫/以色列	US\$ 1.30	NT\$ 41.6
Orange County	橘縣/美國	US\$ 1.22	NT\$ 39.0
Kuwait	科威特/科威特	US\$ 1.21	NT\$ 38.7
Doha, Qatar	多哈/卡達	US\$ 1.21	NT\$ 38.7
Singapore	新加坡	US\$ 1.20	NT\$ 38.4
Cape Town	開普敦/南非	US\$ 1.11	NT\$ 35.5
San Francisco	舊金山/美國	US\$ 1.10	NT\$ 35.2
San Antonio	聖安東尼奧/美國	US\$ 1.10	NT\$ 35.2
Phoenix AZ	鳳凰城/美國	US\$ 1.10	NT\$ 35.2
Los Angeles	洛杉磯/美國	US\$ 1.10	NT\$ 35.2
Malaga Spain	馬拉加/西班牙	US\$ 0.85	NT\$ 27.2
Honk Kong	香港	US\$ 0.83	NT\$ 26.6
Tianjin, China	天津/中國	US\$ 0.50	NT\$ 16.0

資料來源: Global Water Intelligence Sep 2008 Update

### 三、國外海淡廠設置現況

表 3 為 2008 年海水淡化廠依照產水量大小排序的統計結果，前幾名都在中東，採用 thermal process。北非阿爾及利亞是全世界最積極建置海水淡化廠的國家，預估將建置 20 幾座，目前正陸續發包興建中，第五名即為阿爾及利亞 Mactaa，規模 50 萬噸/天，2005 年於 Hamma 興建 20 萬噸/天海水淡化廠是由 GE 以 BOT 方式建置。

我們從表三中亦可發現新加坡 Tuas 海水淡化廠的操作營運費用於 2008 年修正為 US\$ 0.57，不過此一數據可能偏低。當年號稱“half dollar”的海水淡化廠還有 Tampa Bay 9.5 萬噸/天，該廠已於 2006 年重整，營運費用由 US\$ 0.55 調高為 US\$ 0.84。至於以色列 Ashkelon 32.6 萬噸/天，2008 年營運費用也由 US\$ 0.52 調高為 US\$ 0.78。因此推估 10 萬噸級海水淡化廠合理營運費用約 US\$ 0.8 左右。其中日本 Fukuoka 5 萬噸/天，營運費用高達 US\$ 1.84，據瞭解是因為採用包括 UF 等多種設備所致。

表 3 國外海淡廠設置現況

	Process	Water Cost (\$/m <sup>3</sup> )	Capacity (m <sup>3</sup> /d)	Date of Estimate
Ras Azzour, Saudi Arabia (bid avg)	Hybrid	1.09	1,000,000	2008
Shoaiba, 3 Saudi Arabia	MSF	0.57	881,150	2005
Marafiq	MED	0.83	758,516	2006
Fujairah 2, UAE	Hybrid	0.85	590,000	2007
Mactaa, Algeria (bid)	SWRO	0.56	500,000	2008
Shuweihat 2, Abu Dhabi	MSF	1.13	454,610	2008
Hidd, UAE	MSF	0.69	400,000	2008
Hadera, Israel	SWRO	0.60	330,000	2007
Ashkelon, Israel (update)	SWRO	0.78	326,144	2008
Ashkelon, Israel	SWRO	0.52	326,144	2001
Taweelah C, UAE (est)	SWRO	0.72	325,000	2000
Ras Laffan B	MSF	0.80	272,520	2008
Taweelah A1, UAE	MED	0.70	236,185	2001
Ad Dur, Bahrain	SWRO	0.93	218,000	2008
Shuqaiq, Saudi Arabia	SWRO	1.03	213,475	2006
Tenes, Algeria	SWRO	0.59	200,000	2008
Hamma, Algeria	SWRO	0.82	200,000	2005
Carlsbad (est)	SWRO	0.77	189,250	2007
Tianjin, China	SWRO	0.95	150,000	2007
Beni Saf, Algeria	SWRO	0.70	150,000	2005
Perth	SWRO	0.75	143,700	2006
Tuas, Singapore (update)	SWRO	0.57	136,360	2008
Tuas, Singapore	SWRO	0.48	136,360	2003
Gold Coast	SWRO	1.09	133,000	2007
Douaouda, Algeria	SWRO	0.75	120,000	2005
Carboneras, Spain	SWRO	0.57	120,000	2002

表 3 海淡廠設置現況 (續)

	Process	Water Cost (\$/m <sup>3</sup> )	Capacity (m <sup>3</sup> /d)	Date of Estimate
Point Lisas, Trinidad	SWRO	0.71	119,000	2002
Palmachim, Israel	SWRO	0.78	110,000	2005
Oued Sebt, Algeria	SWRO	0.68	100,000	2008
Chennai, India	SWRO	1.10	100,000	2007
Skikda, Algeria	SWRO	0.74	100,000	2005
Cap Djinet, Algeria	SWRO	0.73	100,000	2005
Tampa Bay (rehab)	SWRO	0.84	95,000	2006
Tampa Bay	SWRO	0.55	95,000	2004
Los Angeles (est)	SWRO	0.82	94,625	2005
Arzew, Algeria	SWRO	0.90	86,000	2005
Palmachim, Israel (update)	SWRO	0.78	83,270	2008
Sur, Oman	SWRO	1.20	80,200	2007
Larnaca, Cyprus	SWRO	0.76	54,000	1999
Jeddah Barge	SWRO	2.27	52,000	2008
El Tarf, Algeria (bid)	SWRO	0.89	50,000	2008
Fukuoka, Japan	SWRO	1.84	50,000	2005
Dhekelia, Cyprus (rehab)	SWRO	0.88	40,000	2007
Dhekelia, Cyprus	SWRO	1.19	40,000	1997
West Basin, California (est)	SWRO	0.64	37,850	2005
Blue Hills, Bahamas	SWRO	1.30	27,250	2006
Santa Barbara	SWRO	1.22	25,360	1991
Malta (various, avg)	SWRO	0.72	20,000	2007
Taunton, Massachusetts	SWRO	1.53	18,925	2008
Reliance Refinery, India	MED	1.53	14,400	2005
Bahamas	SWRO	1.28	9,840	1996

資料來源: Water Desalination Report, 15 Sep 08-Vol. 44, No. 33

#### 四、國內海淡廠設置現況

台灣推動海水淡化已有多多年，表 4 列出歷年來所設置海水淡化廠名單，其中有一些已經過重建，有的已變更為半鹹水淡化廠，近年來所規劃建置比較大的桃園海水淡化廠，目前已經暫停。

表 4 歷年來台灣所設置海水淡化廠

廠名	淡化水產量(CMD)	淡化技術完工時間	營運管理單位	投資金額(億元)
1. 台電核三廠海淡廠	981 / 1,041	蒸汽壓縮, 78	台灣電力公司	2.06
2. 馬祖南竿海淡廠第一期	500	逆滲透, 86	福建省連江縣政府	0.90
3. 澎湖虎井嶼廠/桶盤嶼廠	200 / 100 → 200 / 200	逆滲透, 88→98	台灣省自來水公司	0.35
4. 馬祖南竿海淡廠第二期	500	逆滲透, 89	福建省連江縣政府	0.69
5. 台電尖山發電廠海淡廠	300	逆滲透, 89	台灣電力公司	0.82
6. 澎湖海淡廠第一期 (成功)	2,500 → 4,000	逆滲透, 89	台灣省自來水公司 (變更為半鹹水廠)	2.00
7. 澎湖海淡廠第二期 (烏坎)	7,000	逆滲透, 89	台灣省自來水公司	3.68
8. 澎湖海淡廠第二期 (烏坎)	5,500 + (7,000 → 4,500)	逆滲透, 98	台灣省自來水公司	6.50
9. 台電塔山發電廠海淡廠	600	逆滲透, 91	台灣電力公司	0.46
10. 澎湖望安海淡廠	400 → 600	逆滲透, 91→98	台灣省自來水公司	0.68
11. 馬祖北竿海淡廠	500	逆滲透, 92	福建省連江縣政府	1.02
12. 馬祖東引海淡廠	500	逆滲透, 92	福建省連江縣政府	1.20
13. 金門海淡廠第一期	2,000	逆滲透, 94	福建省金門縣政府	1.48
14. 馬祖西莒海淡廠	500	逆滲透, → 93	福建省連江縣政府	0.96
15. 澎湖海淡廠第三期 (烏坎)	3,000	逆滲透, 93	台灣省自來水公司	保價保量
16. 西嶼半鹹水淡化廠	720	逆滲透, 93	台灣省自來水公司	
17. 西嶼海水淡化廠	750	逆滲透, 95, BTO	台灣省自來水公司	2.0, 先付設備費
18. 台電珠山發電廠海淡廠	100	Thermal, 98	台灣電力公司	
19. 馬祖南竿海淡廠第三期	950	逆滲透, 99, BTO	水利署十河局 福建省連江縣政府	1.1, 20 年攤提
20. 小金門海淡廠	950	逆滲透, BTO, 招商中	福建省金門縣政府	1.0 20 年攤提
21. 金門海淡廠第一、二期	4,000	逆滲透, BTO	福建省金門縣政府	6.83?
22. 新竹海淡廠	30,000	模廠招標中	水利署北水局	0.5?
23. 桃園海淡廠	30,000	暫停, BTO	水利署北水局 桃園縣政府	12.5 19 年攤提
24. 澎湖海淡廠第四期 (烏坎)	4,000	逆滲透	台灣省自來水公司	

## 五、中國海淡廠推行政策

中國國家發展改革委環資司楊尚寶處長於 2010 亞太脫鹽協會發表專文說明中國推動海水淡化產業發展的戰略思考。他認為加快海水淡化產業發展是保障中國沿海地區經濟社會可持續發展的重要措施之一。海水淡化不僅是保障中國水資源持續利用的開源之舉，更是水資源保障的戰略儲備。因此，他提醒必須充分認識海水淡化的重要性和緊迫性，大力發展中國的海水淡化產業。

中國已具有自主研發的膜法和熱法海水淡化技術，並具備生產建設日產淡化水萬噸級的海水淡化工程的能力。浙江舟山六橫島 10 萬立方米/日的反滲透海水淡化工程已開始建設，其中一期工程的日產淡化水 1 萬立方米的海水淡化裝置已建成投產，河北滄州黃驊電廠的 1.25 萬立方米/日的 MED 低溫多效海水淡化工程運行良好。

2005 年中國海水淡化產水能力約為 3 萬立方米/日，2008 年約為 20 萬立方米/日，2009 年超過 40 萬立方米/日。已建成投產的海水淡化裝置，主要分佈在天津、浙江、山東、河北和遼寧等地。

能量回收、變頻控制等技術的應用，使反滲透海水淡化工程能耗大幅降低。中國具有自主知識產權的能量回收技術和裝置已進入開發階段。中國還自行研究和開發了連續微濾或超濾技術用於預處理中；在杭州、貴陽（北京）和葫蘆島等地建立了反滲透複合膜生產線，設計膜生產能力達 300 萬平方米/年；研究開發了海水淡化複合膜組器；海水淡化用膜壓力容器已基本實現國產化；已具有了較強的海水淡化工程設計成套能力。

## 六、台灣供水問題

台灣近年來的問題：

1. 水庫貯水空間急速減少；
2. 新建水庫開發無望；
3. 越域引水停擺，跨區調度不易；
4. 水庫加高，增加風險；
5. 氣候變遷造成旱澇兩極，造成未來水資源供應更不穩定、更困難；
6. 水價偏低，只計算操作營運成本，不計入水源開發、環境保育與功能提昇設備投資費用，長期扭曲水價結構，造成民眾與廠商缺乏節約用水經濟誘因，也不利於相關水利產業之發展。

## 結論

1. 海水淡化廠的設置與操作一路走來雖然並不順利，但是基本上，海水淡化廠算是一座高科技的工廠，需要專業的工程師、專業的設計、細膩的操作與維護保養，過去的問題是可以解決的。
2. 國外海淡技術發展近年來不斷創新與突破，已成功商業化運轉多年，成本也降低許多，市場一片看好，目前有許多大型海淡廠已完工或正在興建中。
3. 台灣四面環海，雖然台灣水價仍然極為低廉，但是基於海淡水是唯一可大量穩定取得之替代水源，而且價格已屬於相對低價，預期未來海淡水將成為台灣多元水資源開發之重要角色。
4. 如果能夠導入正確技術兼具合理利潤的 BTO 或 BOT 制度，將可有效解決台灣水資源開發問題，同時亦將開創龐大新興水利產業商機。