



海水淡化廠管理設計與應用分享



張振章 博士

艾奕康工程顧問(股)公司 高級顧問

水礦科技(股)公司 技術總監

2016/07/01



海水淡化常被提及的問題

- 耗能? 能量回收?
- 與電廠共構?
- 水質不好口感不佳?
- EIA不容易過關?
- 取排水管路長度與維護?
- 濃縮液污染海域? 回抽?
- 膜更換費用太高?
- 硼含量太高? Two pass?
- 營運風險? 人事費率?
- 不用加藥? 砂濾? SDI?
- 傳統前處理與UF?
- UF與RO品牌?
- 8吋? 16吋?
- LSI太低? 礦化處理?
- 噪音? 泵的選用?
- 赤潮處理?
- 冬天水量不足?
- 水質愈操愈差?
- 膜堵塞與產水量下降?
- CIP程序?
- 加藥封管程序?
- 長期喝海淡水的風險?
- 替代能源? MD比較便宜?
- 價格太高? BTO? BOT?
- Just for the 1st year?
- 為何需要海淡水?

保命戰略用水?

簡報大綱

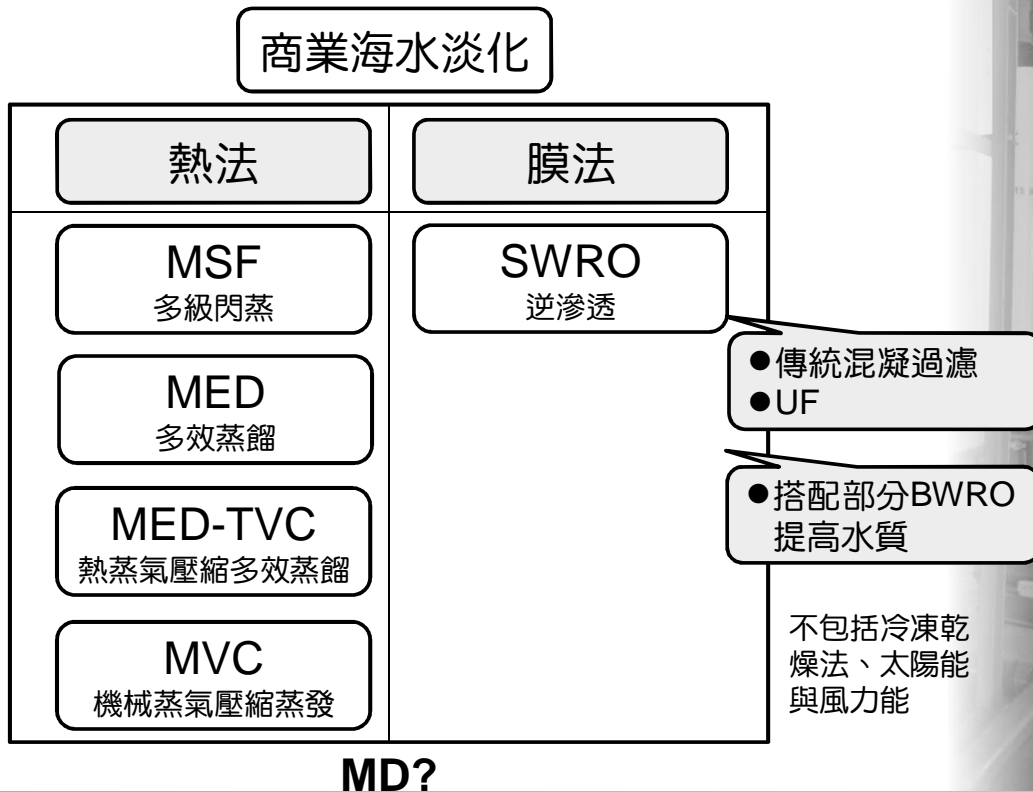
- 一、海淡處理技術
- 二、壓力能回收裝置
- 三、案例討論
- 四、結論

壹、

海淡處理技術



海水淡化方法



5



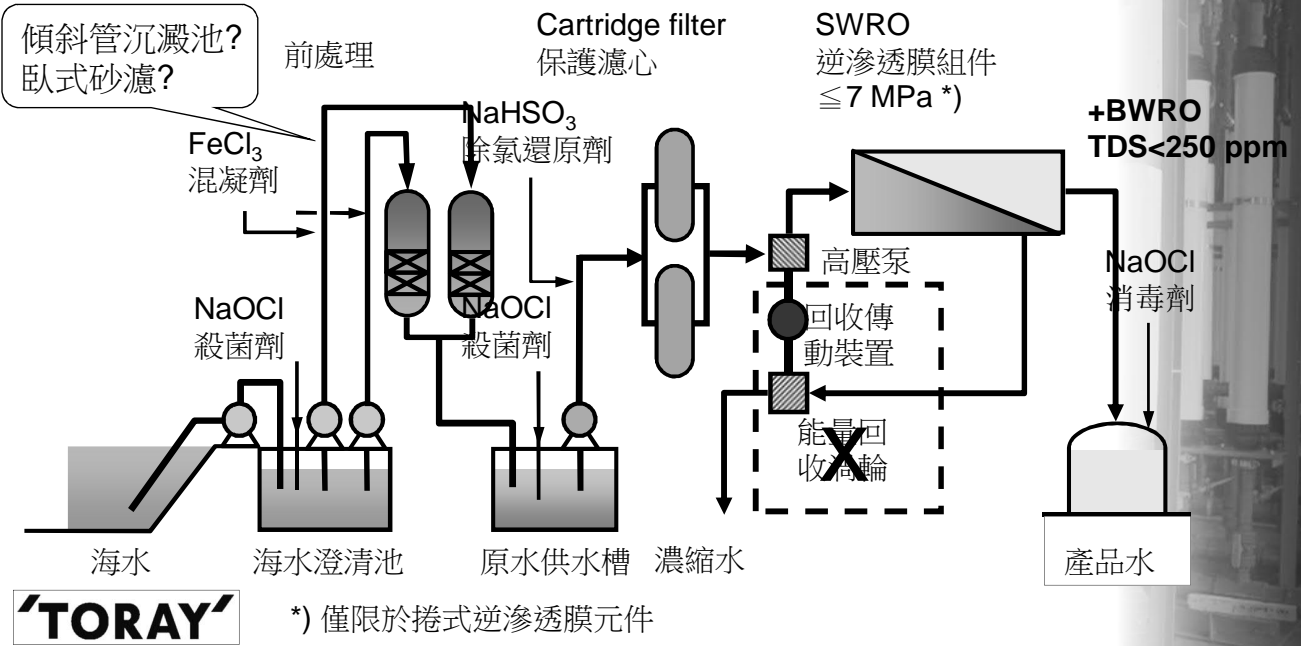
海水淡化規劃課題_SWRO

- 區域用水供需分析
- 背景水質分析調查
- 設計基準
- 取排水規劃
- 擴散模式模擬
- 前處理_沉砂排砂
- 前處理_混凝膠凝
- 前處理_UF
- SWRO設計
- 污水處理與後處理
- 供水管線
- 操作維護營運管理
- 濃縮液零排放與資源化
- 發包模式與營運財務分析

6

6

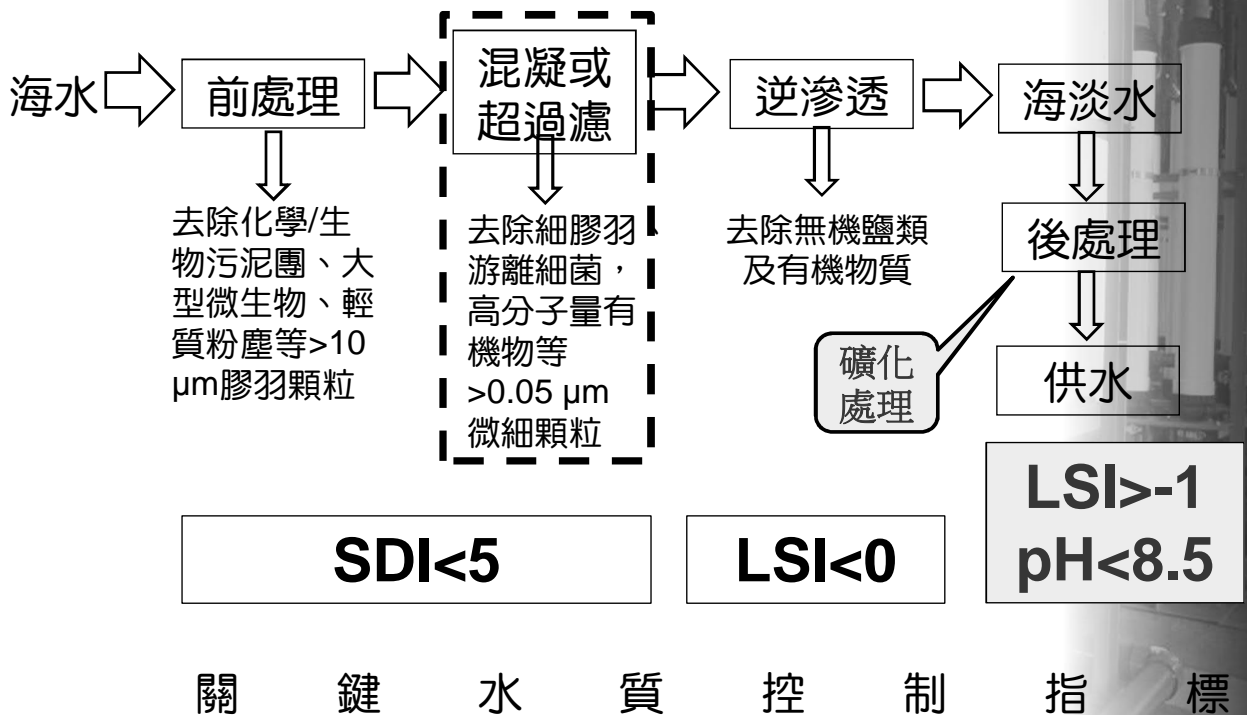
海水淡化處理流程_SWRO



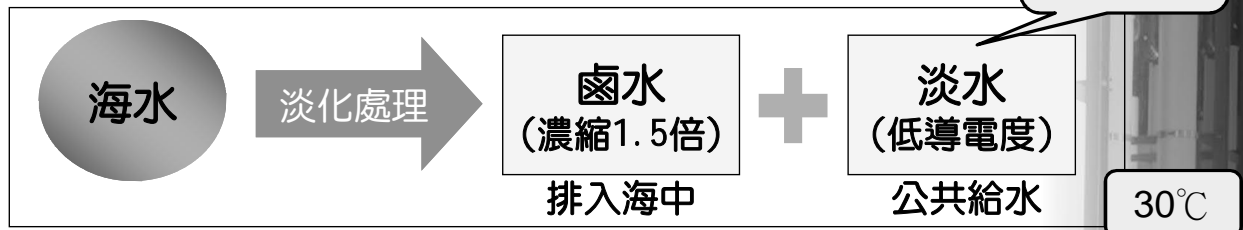
傳統前處理逆滲透處理流程圖

- 前處理可採用傳統FeCl₃混凝沉澱方式或超過濾 (UF) 過濾方式，兩者各有優缺點，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。

海水淡化處理技術_SWRO



海水淡化處理水質情境_SWRO



範例一：2,000 CMD, SWRO, 40% recovery, 2 years, no chemicals dose

項目	單位	海水	淡水	項目	單位	海水	淡水
TDS	mg/L	33,759	89	TDS	mg/L	33,759	200
Na	mg/L	10,669	32	Na	mg/L	10,669	73
Ca	mg/L	191	0.12	Ca	mg/L	191	0.27
Mg	mg/L	1,200	0.76	Mg	mg/L	1,200	1.70
SO4	mg/L	2,500	1.73	SO4	mg/L	2,500	3.89
Cl	mg/L	18,704	52	Cl	mg/L	18,704	116
B	mg/L	4.0	0.28	B	mg/L	4.0	0.70
SiO2	mg/L	2.6	0.01	SiO2	mg/L	2.6	0.01

9

LSI飽和指數與硼

範例：25°C，前加酸/後加鹼

- 海淡水LSI = -0.9
自來水LSI = -0.3
- 混合水LSI = -0.3，對管材造成風險很低
- WHO(2011)及歐盟飲用水硼濃度標準分為2.4 mg/L及1.0 mg/L
- 海淡混合水符合上述健康標準
- 工業用戶若未來必須使用海淡水且需要硼濃度低於50 ppb，建議廠商使用前，自行以除硼樹脂部分摻配處理

項目	單位	海水	海淡水	自來水	海淡水/自來水1:1混合
pH	--	8.2	8.5*	7.6	7.9
TDS	mg/L	33,752	200	240	220
Cl ⁻	mg/L	20,000	67	5.3	36
NH ₄ ⁺	mg/L	0.05	ND	ND	ND
NO ₃ ⁻	mg/L	ND	ND	0.19	0.10
SO ₄ ²⁻	mg/L	2,490	2.2	44.6	23.4
Ca ²⁺	mg/L as CaCO ₃	478	3.0	110	57
HCO ₃ ⁻	mg/L as CaCO ₃	114	95	80	85
Sr	mg/L	6.7	0.004	ND	ND
Ba	mg/L	<0.02	ND	0.02	0.01
B	mg/L	4.2	0.40	<0.10	0.23
LSI	--	0.9**	-0.9	-0.3	-0.3

*礦化處理 **直接以LSI公式計算



海淡所需能耗

自來水 < 1.0
再生水 1.5

項目 \ 淡化技術	逆滲透法 (RO)	多級瞬間蒸發法 (MSF)	多效蒸餾蒸氣壓縮法 (TVC-MED)
電能 (kW _e h/m ³)	3.3-4.2	3.0-3.5	1.0-1.3
熱能電當量 (kWh/m ³)	None	10-15	7-8
總消耗能量 (kWh/m ³)	3.3-4.2	7.0-9.5	3.8-4.5*
單位建設成本 (USD/m ³ /day)	800-1,300	1,100-1,200	800-1,000*
運轉故障時耐受性	低	中	高
海水成份改變或受污染時之承受性	最低	高	高
設備維護之需求	中	低	低
零件備用或更換之需求	中 (需大型之Pumps、 每2-4年需更換薄膜)	低 (需特殊大型Pumps)	低 (需加裝真空壓縮機)
占地面積	中	高	低
當腐蝕發生時失敗之可能性	低	中	低
生命週期 (年)	12-15	25-30	25-30
產水TDS (ppm)	<500	<10	<10
LSI	-0.86 (經礦化)	<-5	<-5
鹵水再利用性	低	高	高
產水用途	民生、一般工業用水	純水、鍋爐用水	純水、鍋爐用水

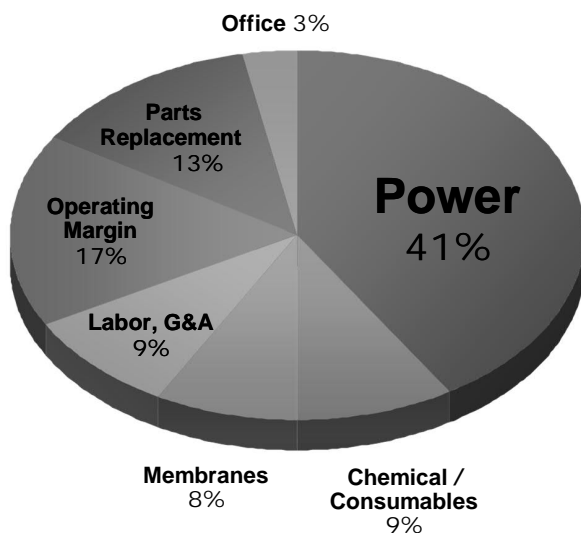
資料來源：IDE Technologies Ltd., AECOM整理，2013.

*需要熱源配合情況下

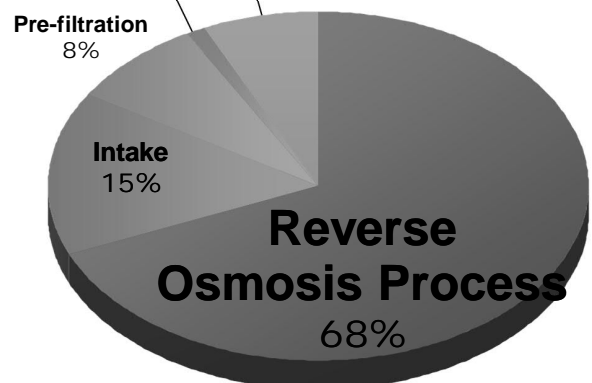


海淡所需能耗_SWRO

Operating Expenses - Breakdown (Seawater RO)



Power Use - Breakdown (Seawater RO)



Source: Affordable Desalination Collaboration, 2008

Power Use - Breakdown (Seawater RO)

RO power consumption is approximately 30% of the total Operating Cost of the Plant

資料來源: Energy Recovery Inc.

綠能與節能發展

節能與減碳

	UF	RO	取排水	輸水	其他	合計
單位供水耗能 (度/m ³)	0.30	4.50	0.58	0.22	0.40	6.00
加裝節能設備		↓ 2.40				↓ 3.90
		↓ 1.58				↓ <3.00

採用能源回收裝置，10萬CMD海淡廠，每年減少4.8萬公噸二氧化碳排放量

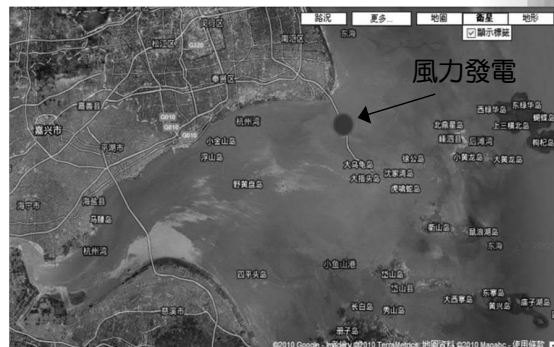
基準點？

美國於2005/5/11在加州聖塔巴巴拉郡 (Santa Barbara County) 懷尼米港 (Port Hueneme) 海軍海水淡化實驗基地配合新技術之開發設置320 CMD測試示範廠，推動海水淡化合理價格 (Affordable Desalination Collaboration, ADC) 驗證計畫，該計畫採用市場可購得現成新技術產品 (off-the-shelf technology)，期初測試條件為：傳統混凝沉澱與多介質砂濾、42.5% recovery、6 GFD、96%壓力能回收率，測試結果每噸產水RO耗電量最低可達1.58 kWh/m³，其他數據也都低於2 kWh/m³，整廠則低於3 kWh/m³

綠能與節能發展

結合風力發電海淡廠

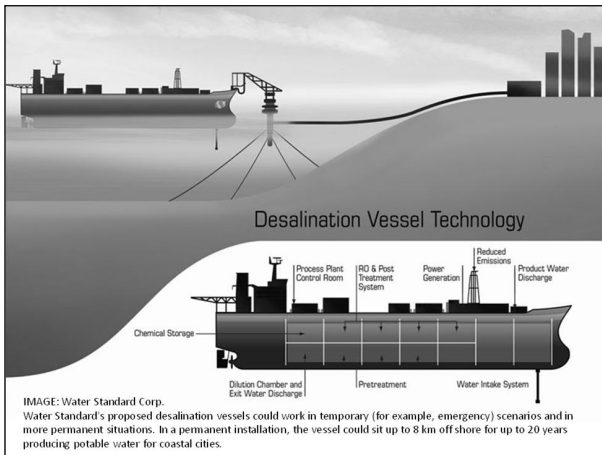
- 西澳Perth伯斯14萬噸/日海水淡化廠結合Emu Downs風力發電機組
- 東澳Capital風力發電場部份供應雪梨南方25萬噸/日Kurnell海水淡化廠



上海東海大橋海上風電場

- 位於上海市臨港新城至洋山深水港的東海大橋兩側1,000 m以外沿線。風電場在東海大橋東側佈置4排35台風機；西側佈置2排15台風機，共安裝風機50台，總裝機規模10萬kW，預計年上網電量25,851萬kWh
- 發電機出口電力經過風電機組自帶的升壓後由風電場電氣接線接入岸上升壓站和控制室，電力升壓至110 kV後就近接入220 kV變電站並升壓納入上海市電網
- 工程施工主要分為陸上變電站部分和海上風電場兩部分

綠能與節能發展



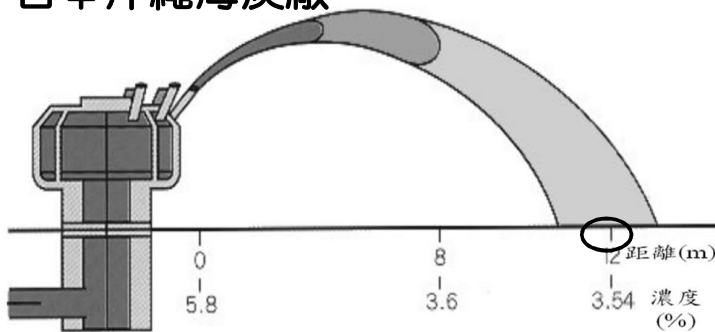
資料來源：
<http://spectrum.ieee.org/energy/environment/water-ship-up-firm-gets-250-million-to-make-oceangoing-desalination-vessels/brocksb01>

資料來源：<http://seawaterpower.com/desal-water-craft.html>

離岸/綠能海淡船示意圖

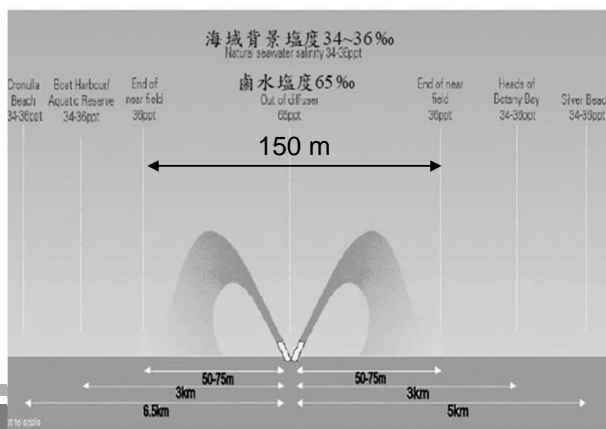
環境影響

日本沖繩海淡廠



- 射流方式排放鹵水，加速鹵水稀釋速度，減少珊瑚礁生態影響
- 鹵水排放量8萬CMD
- 結果顯示鹽度超過39‰的海水環境可能會影響珊瑚礁的生長能力，為減少鹵水對於環境影響，鹵水排放設計很重要

澳洲雪梨海淡廠



- 射流方式排放鹵水
- 規劃以250公尺排放管線
- 鹵水排放量93萬CMD
- 經數值模式模擬結果，距離排放口50~75公尺，鹽度增加比例小於3%，已相當接近海域水質

貳、

壓力能回收裝置



Seawater Desalination Power Consumption

White Paper
November 2011

壓力能回收節能裝置發展歷史



1980 1990 2000 2010

Francis Turbine

Dyplex

Turbocharger

Pelton Turbine

Rotary Exchanger

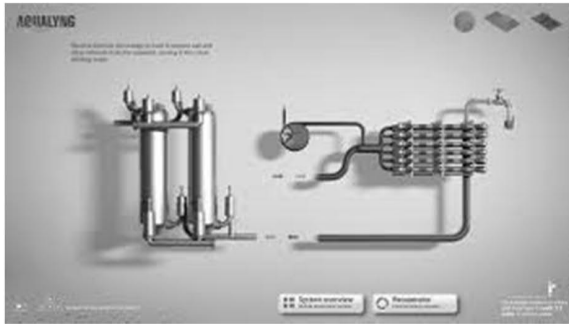
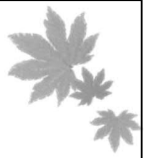
Piston Exchanger

**Pelton Turbine
Turbocharger
Rotary Exchanger
Piston Exchanger**

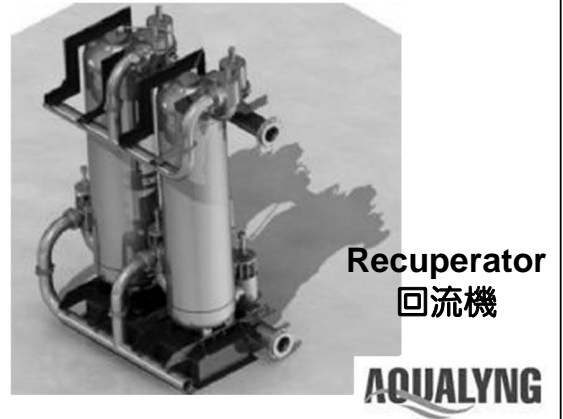
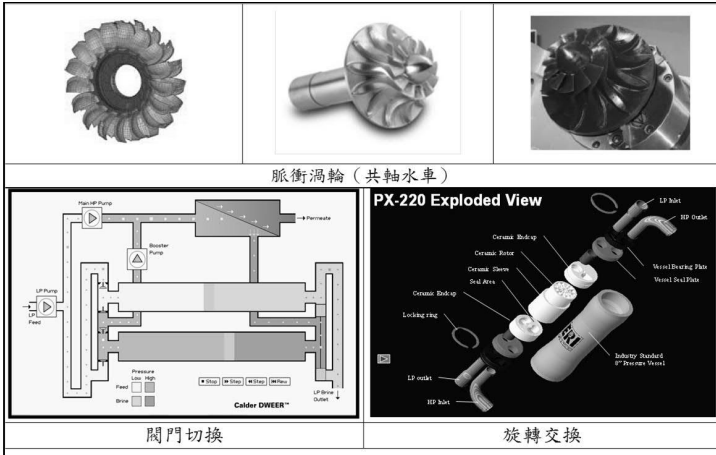




壓力能回收節能裝置發展歷史



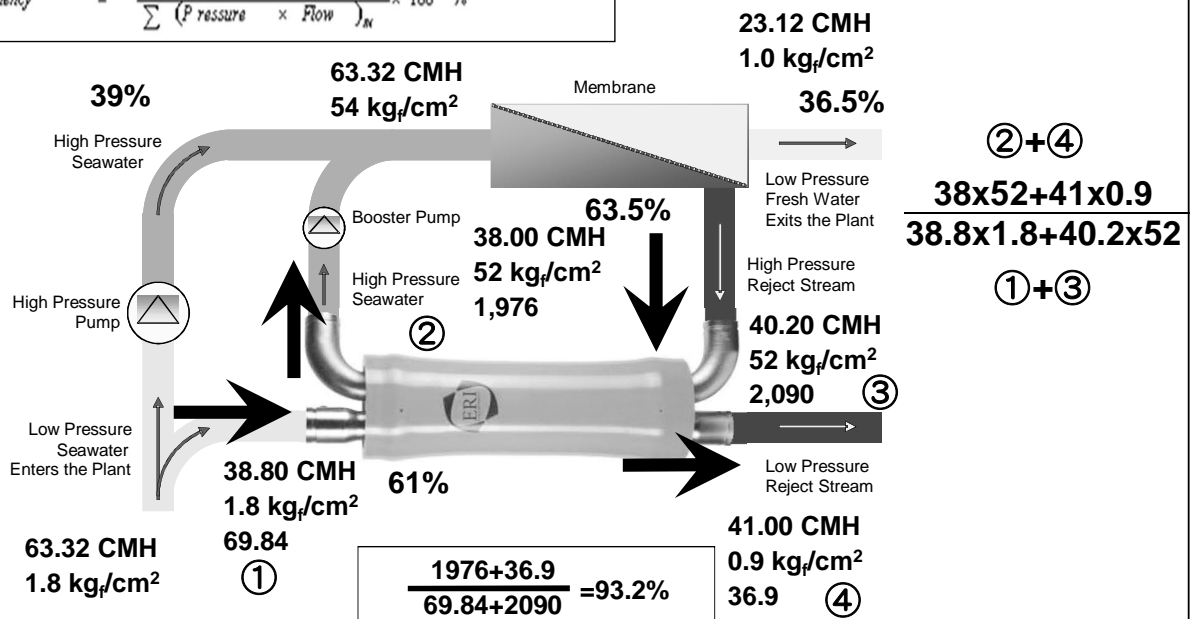
Pelton Turbine
Turbocharger
Rotary Exchanger / ERI
Piston Exchanger / DWEER
Recuperator / Aqualyng



壓力能回收節能裝置_ERI

Efficiency: Energy transfer efficiency in the Pressure Exchanger as calculated with the following equation:

$$\text{Efficiency} = \frac{\sum (P_{\text{pressure}} \times \text{Flow})_{\text{out}}}{\sum (P_{\text{pressure}} \times \text{Flow})_{\text{in}}} \times 100 \%$$

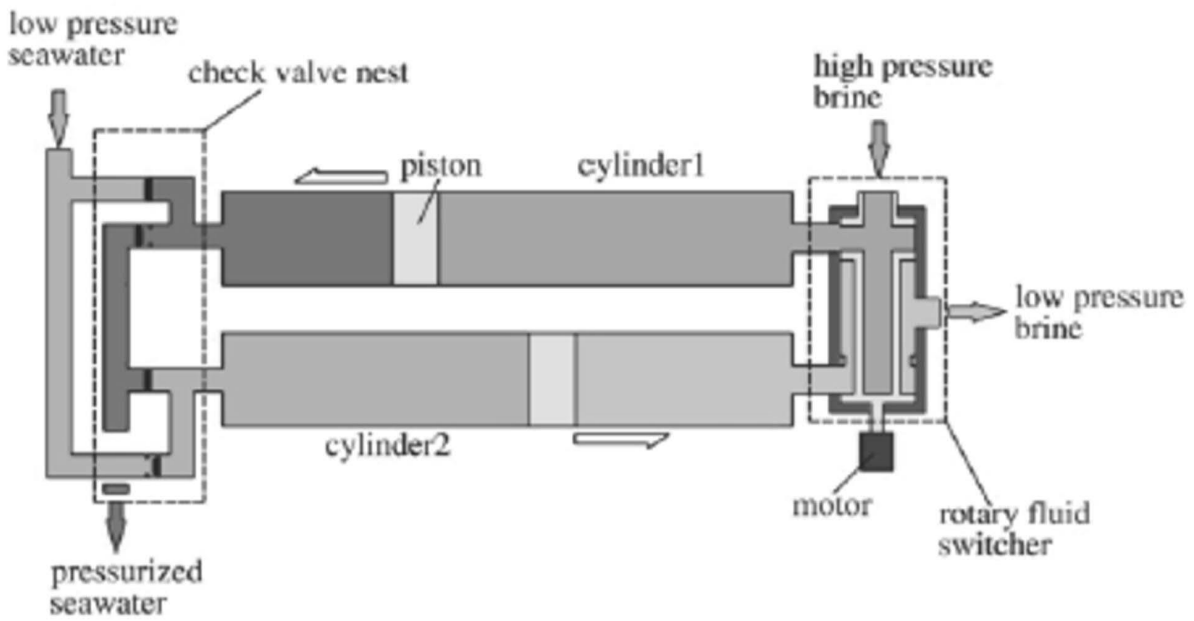
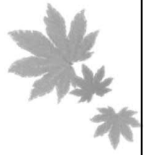


...Reducing energy consumption by 60%

資料來源: Energy Recovery Inc.



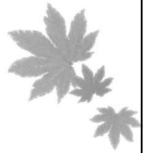
壓力能回收節能裝置_DWEER



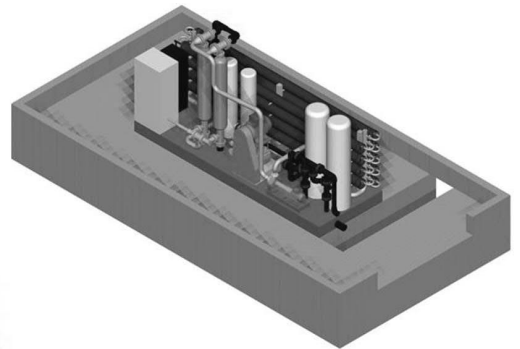
21



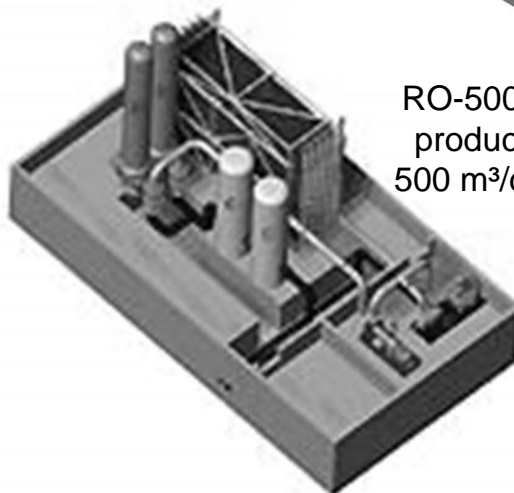
壓力能回收節能裝置_Aqualyng



PRO

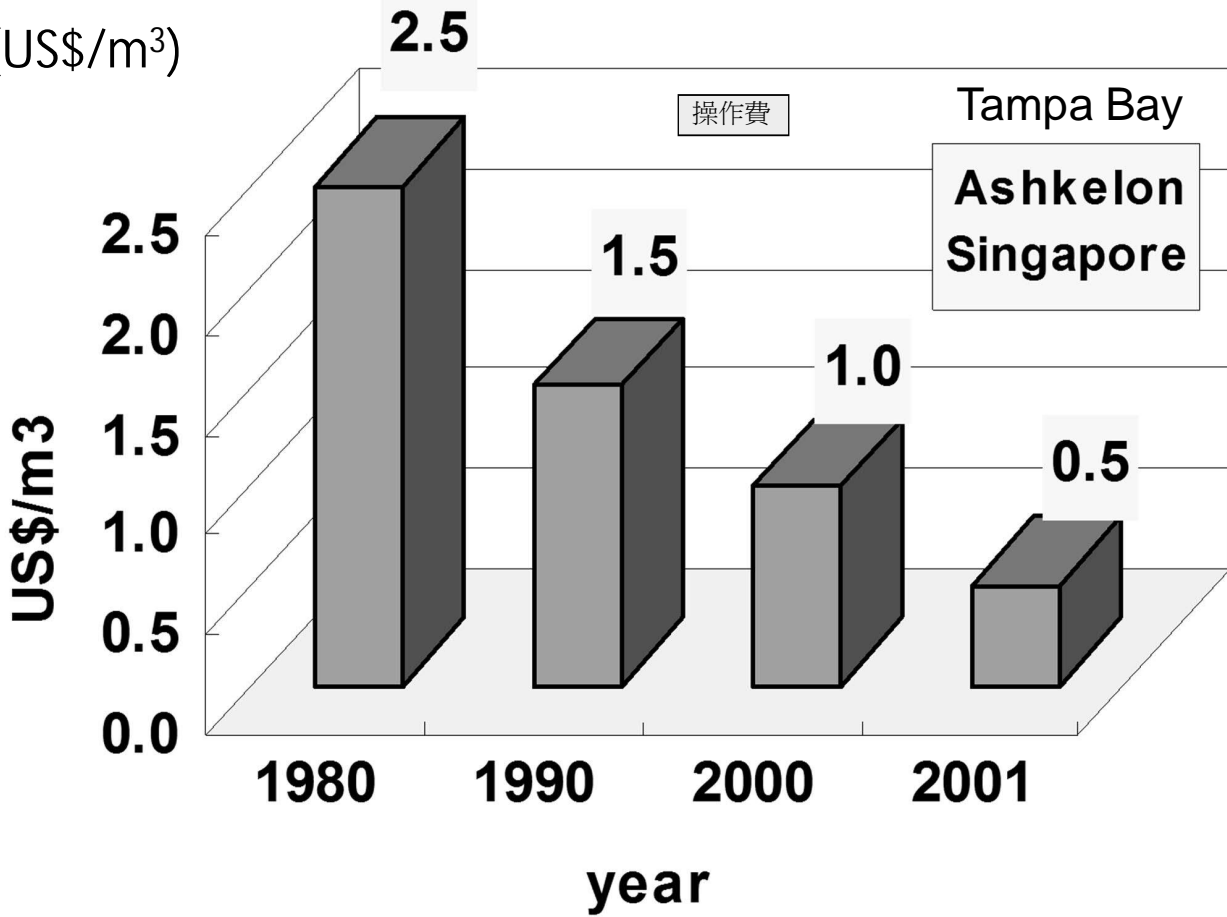


RO-500 - Fresh water production capacity: 500 m³/day (132 mgd).



22

(US\$/m³)



海淡成本分析

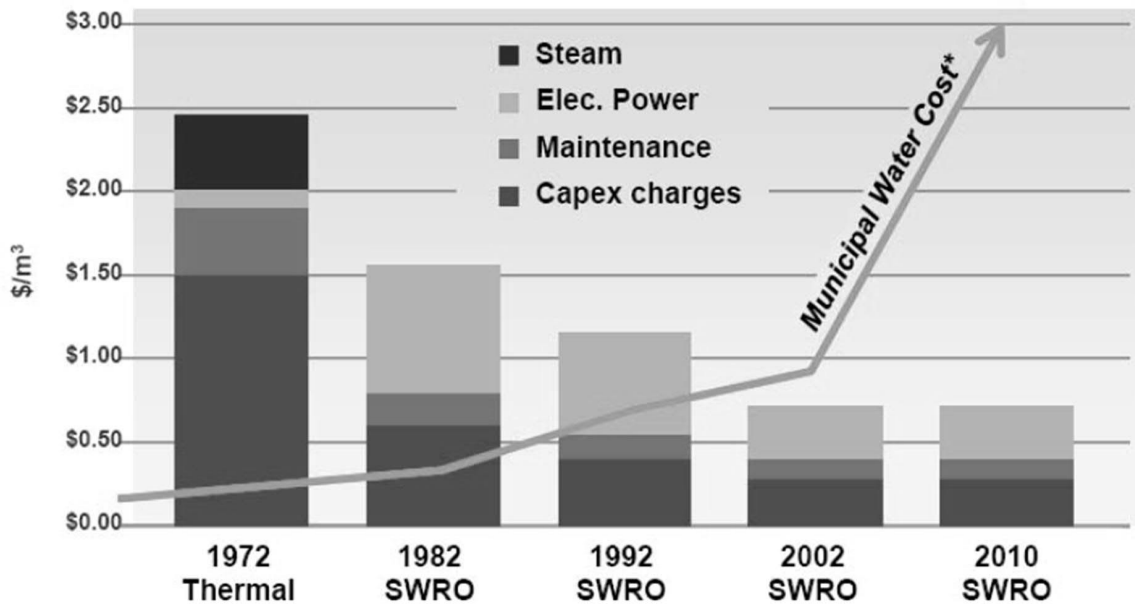
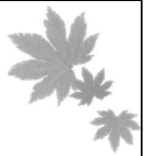


Figure 1
SWRO Cost Trend⁵

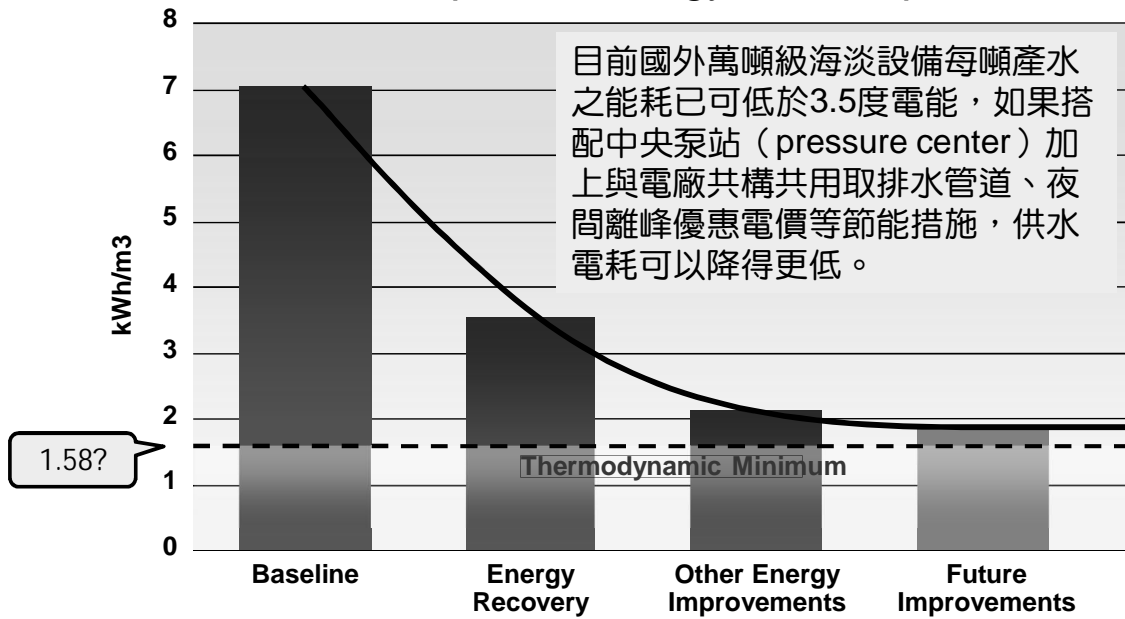
* Water costs for San Diego, Monterey, Perth, Sydney, and Barcelona



壓力能回收節能裝置 SEC極限值



SEC: specific energy consumption

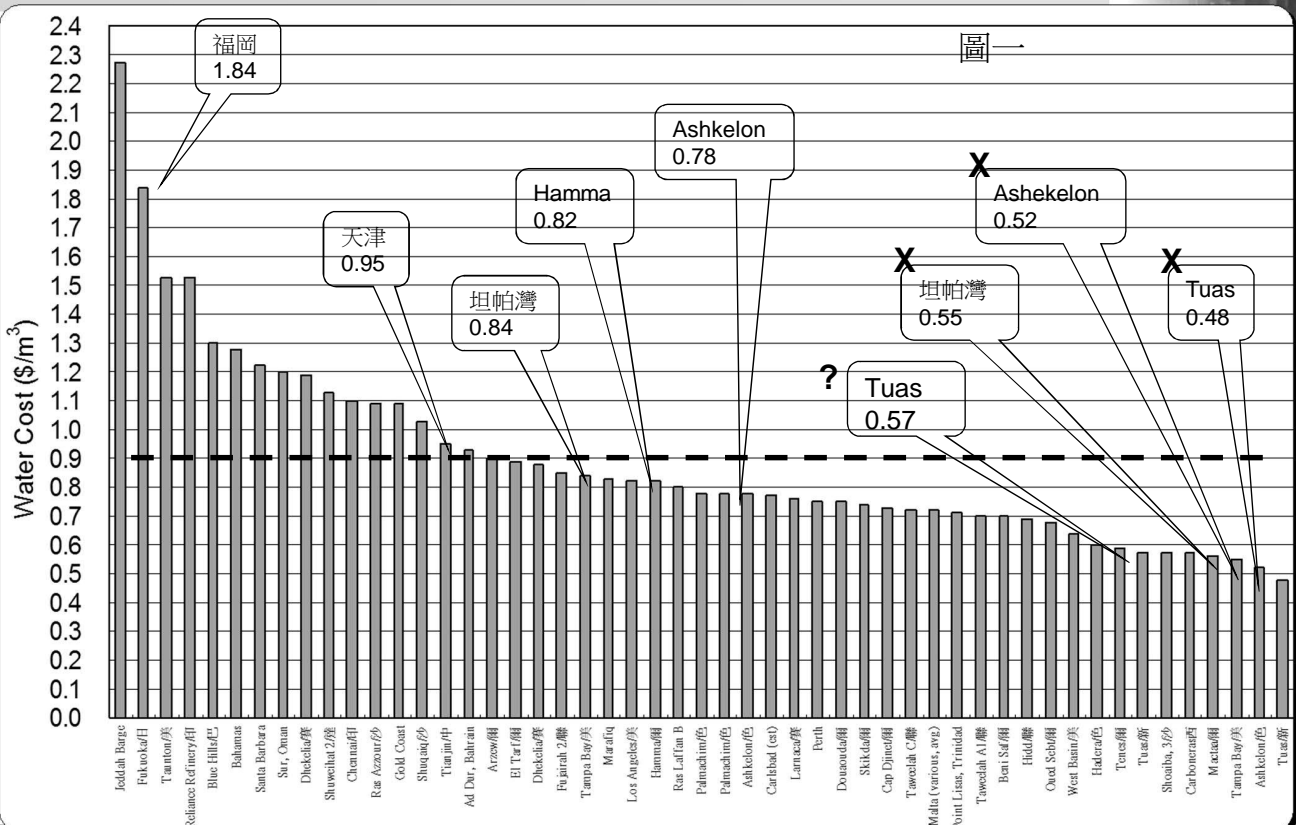


Fuente: "Evolution of Energy Consumption in Seawater Reverse Osmosis" Richard L. Stover, PhD. Published in Desalination and Water Reuse, Volume 19, N^o2. AUG/ SEP 2009

資料來源: ERI



國外海淡廠設置現況-造水費用





參、 案例討論

The Singapore Water Story



Meeting demand for water

2060 targets

Singapore lacks natural freshwater lakes, and currently relies on four water sources or "taps" to meet its water demand

10% Seawater desalination

20% Rainfall collected in reservoirs or water catchment areas

30% Reclaimed water by NEWater

40% Imported water from Malaysia

30% Seawater desalination

20% Rainfall collected in reservoirs or water catchment areas

50% Reclaimed water by NEWater

"Our combined efforts to deal with the water challenge have **turned our vulnerability into a strength**. Over the years, our water industry has grown into a dynamic and vibrant part of the Singapore economy".

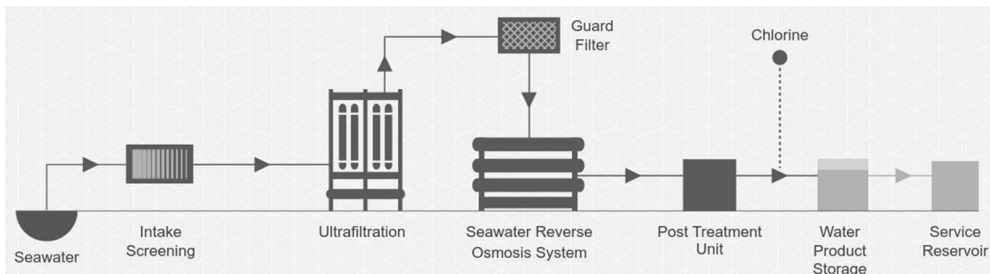
- PRIME MINISTER LEE HSIEN LOONG

Source: Green Purchasing Asia

Data: PUB

21 November, 2013

#9



SINGSPRING DESALINATION PLANT



Client PUB, the national water agency
Location Singapore
Project Design, construct, finance and maintain a seawater reverse osmosis desalination plant on 20 years' concession
Capacity 136,380 m³/day
Online 2005
Award Global Water Awards 2006 – Distinction, Desalination Plant of the Year



29

TUASPRING DESALINATION PLANT



S\$0.45/m³
US\$0.36/m³

Client PUB, the national water agency
Location Singapore
Project Design, build, own and operate a seawater reverse osmosis desalination plant on 25 years' concession **DBOO**
Capacity 318,500 m³/day 70 MIGD
Online 2013 2013/09/18完工運轉

Tuaspring Desalination Plant is Singapore's second desalination plant. With a designed capacity of 318,500 m³/day of desalinated water, it is the largest desalination plant in South East Asia.

The plant utilises Hyflux's proprietary Kristal® ultrafiltration (UF) membrane technology for the pre-treatment process and a double pass reverse osmosis (RO) process to produce water for domestic and industrial use. This is one of the world's largest UF installations in a desalination plant.

大泉海水淡化廠係由新加坡水務公司凱發集團 (Hyflux) 標得，負責設計、建造並擁有未來25年經營權。該海水淡化廠將同時建造自給電力之發電廠，合計總建造成本達10億500萬星元。大泉海水淡化廠將採用逆向滲透技術 (reverse osmosis)，淨水後再以每立方米0.45星元賣給新加坡公用事業局。

Yet another innovative solution to enhance the operational efficiency of the plant is the integration of a 411 MW on-site combined cycle gas turbine power plant with the desalination plant. The power plant will supply electricity to the desalination plant.

This landmark desalination project is sited some 250 m away from SingSpring Desalination Plant. It marks Hyflux's entry into the integrated water and power project market.

30



CAPACITY

318,500 m³/day [84 mgd]

INSTALLED UNITS

17 trains of R80S 8" Series

SWRO Pressure vessels

216 units per train [total 3,672]

9 trains of R80S 8" Series

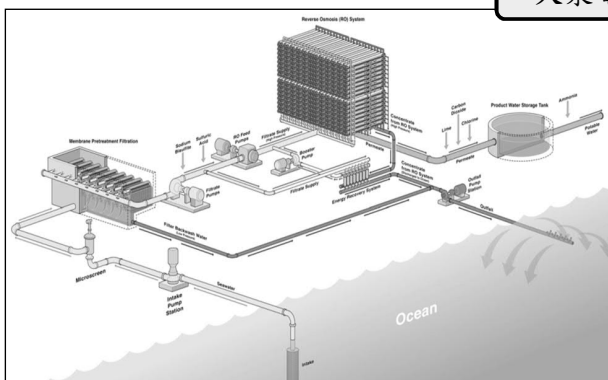
LPRO Pressure vessels

132 units per train [total 1,188]

START-UP DATE 2013

- ? SWRO/BWRO品牌, flux: 14~15 LMH
- ? SWRO 16 on duty, 1 spare, 45% recovery
- ? SWRO 25,704支
- ? BWRO, 8,316支, 8+1, 90% recovery
- ? Duty ? Spare
- ? ERD品牌是DWEER
- ? UF品牌Hyflux, 88+4, flux
- ? (NH₄)₂SO₄, Lime, Na₂SiF₆, CO₂
- ? 節能操作模式

 **大泉海淡廠_320,000 CMD**



大泉電廠

海水淡化廠



17套SWRO分三層
每套6x4x3x3=216殼



UF: Hyflux
KRISTALTM K600



肆、

結論

33



海水淡化常被提及的問題

- 耗能? 能量回收?
- 與電廠共構?
- 水質不好口感不佳?
- **EIA**不容易過關?
- 取排水管路長度與維護?
- 濃縮液污染海域? 回抽?
- 膜更換費用太高?
- 硼含量太高? **Two pass**?
- 營運風險? 人事費率?
- 不用加藥? 砂濾? **SDI**?
- 傳統前處理與**UF**?
- **UF**與**RO**品牌?
- 8吋? 16吋?
- **LSI**太低? 礦化處理?
- 噪音? 泵的選用?
- 赤潮處理?
- 冬天水量不足?
- 水質愈操愈差?
- 膜堵塞與產水量下降?
- **CIP**程序?
- 加藥封管程序?
- 長期喝海淡水的風險?
- 替代能源? **MD**比較便宜?
- 價格太高? **BTO**? **BOT**?
- **Just for the 1st year**?
- 為何需要海淡水?

保命戰略用水?

34

- 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，目前有許多大型海淡廠（包括：新加坡、以色列、阿爾及利亞、澳洲、中國及中東等地區）已完工順利運轉中。
- 新加坡/日本/韓國各基於自身需求，積極投入相關研究，也獲得可觀成果，值得國內深入學習。
- 桃科工海淡廠PFI比較分析研究計畫，釐清過去在低自償率下政府自辦/民間參與之比較基準與價值差異爭議，在持續延用促參法下，給予有償BOT合法位階。未來此一模式在財政部主導下，將有利於推動下水道、海淡廠與再生水廠之建置與營運。
- 台灣海水淡化廠早期的設置與操作雖然並不順利，但是只要回歸客觀技術層面，引進國外完整經驗，整合專業的工程師與設計加上細膩的操作與維護保養，即可有效提升相關技能，解決過去的問題。
- 台灣現階段因為綠能成本仍較高不易推動，但在離島發電成本不便宜情形下，離島海淡廠採用陸域風力發電或離岸風力發電方式，未來將頗有潛力。
- 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，如果定位明確為保命戰略用水，預期未來海淡水將成為台灣多元水資源開發之重要角色。



Thank You for Your Attention!

0936-355690
ben3811@ms76.hinet.net

