

澎湖海水淡化可行性之研究

Feasibility Study of Seawater Desalination for Penghu Area

陳志晴
王金田

壹、引言

爲了徹底解決澎湖地區因天候與地形的影響所造成供水不足的問題，乃著手進行各種增闢水源方案之可行性研究與評估，以便尋找出較爲經濟、實用且可靠的水源方案，以作爲未來開發澎湖水資源時的參考方針。

歸納各界意見，擬定被列入評估的增闢水源方案將包括下列六種方式：

- 興建水庫
- 開發地下水源
- 廢水回收再利用
- 海水沖洗廁所之複式供水
- 由台灣本島以海底管線送水
- 海水淡化或鹹井水淡化

評估以上各種增闢水源的方式將著重於比較分析各種增闢水源在經濟性，可行性與環保方面之間的差異。

經濟性方面的評估，將著重各種增闢水源方案的單位供水成本之計算，其中所考慮的事項不但包涵設備投資、施工、工程管理、運轉與維修、能源、人事等費用外，還考慮折舊與使用年限等因素，以便了解各種增闢水源之供水成本之差異。

可行性研究方面，將評估研究各種增闢水源之施行技術，其中包括能源的利用，土地的取得以及考慮規劃時程、製程、施工與未來維修運轉技術等方面的難易度。同時對澎湖地區之天然環境、地理因素與民意可能對各種增闢水源方案所造成的影響，亦予以分析比較。

至於環保方面，評估各種增闢水源在施工期間或商業運轉後，可能對週遭環境帶來的某些衝擊，予以分析。

根據歷年來澎湖地區用水的情況缺水量與人口的變化，進而推估澎湖地區在民國 100 年時的缺水量爲 8000 噸 / 日，爲配合用水供需之平衡，將分兩階段來進行水源的增闢工作，因此評估各種增闢水源之出水量將以每天 4000 噸作爲評估的參考值。

* 陳志晴 泰興工程顧問股份有限公司電廠運轉服務經理
王金田 泰興工程顧問股份有限公司環工部專案經理

貳、澎湖地區水文、水質供需水量分析

一、自然環境

- 1.雨量：年平均降雨量900公厘，夏季降雨量佔全年雨量之82%。
- 2.季風：年平均風速4.8公尺/秒，十月至翌年三月平均風速達每6公尺/秒。
- 3.蒸發量：1600公厘。
- 4.年平均溫度：23℃。

二、水質

水庫水質詳表一
地下水水質詳表二
海水水質詳表三

三、供水現況

民國八十年供水，地下深井供水每日11,588噸，水庫（含地面及地下）供水每日3640噸，軍方支援每日231噸，合計供應每日15,459噸。

四、需水量現況

民國八十年需水量約為每日16,872噸，故現況缺水量約為每日1400噸。但因澎湖人口大都集中在馬公市，實際缺水亦集中在馬公地區，估計馬公地區平均缺水量約為每日2000~4000噸。

五、目標年人口推估

1.當地居民

	馬公市	湖西鄉	白沙鄉	西嶼鄉
民國90年	53,335	14,430	10,027	10,069
民國100年	53,348	14,426	10,127	10,170
推估方法	算術平均法	飽和曲線	幾何平均	幾何平均

2.旅遊人口

民國90年旅遊人口約為100萬人次

表一 水庫水質分析

項 目 單 位	成功水庫	興仁水庫	東衛水庫
濁度	1.4-53	1.6-36	2.4-12
色度 鉑鈷單位	2-150	1-45	1-20
臭度 初嗅數	2-12	1-12	1-15
PH	7.4-8.7	7.7-8.9	7.8-8.7
氯鹽 CL^{-1} 毫克/公升	115-479	109-506	103-635
硫酸鹽 SO^{-2}_4	27-120	81-136	82-176
氟鹽 F^{-1}	0.21-0.47	0.21-0.47	0.22-0.47
游離氨氮 NH_3-N	0-1.15	0-1.0	0-0.61
亞硝酸鹽氮 NO_2-N	0-0.13	0-0.075	0-0.043
硝酸鹽氮 NO_3-N	0.05-0.95	0.02-1.02	0.02-1.1
溶解固體量 NO_3-N	531-1800	680-2040	640-2105
總硬度 NO_3-N	152-344	144-600	176-600
鈣 NO_3-N	32-92	38-104	27.2-96
鎂 NO_3-N	5.8-60.9	4.9-95	16.6-85.3
鐵 NO_3-N	0.02-2.0	0.01-1.4	0.02-1.7
懸浮固體量 NO_3-N	198-492	90-392	152-385
比導電度	735-2250	817-2330	888-2387
BOD 毫克/公升	1.5-6.6	0.7-4.5	0.4-2.6
COD 毫克/公升	5.7-30	7.2-50	4.7-16
DO 毫克/公升	4.6-10.3	5.4-10.5	4.8-6.7

表二 井水水質分析

項 目 單 位	地下水庫 (#3~#7)	湖西 (#8~#11)	#54
濁度	0.17-1.7	0.6-3.7	3.0-7.6
色度 鉑鈷單位	0-2	0-4	0-4
臭度 初嗅數	0-2	0-1	0
PH	7.4-8.4	8.1-8.5	8.1-8.2
氯鹽 CL^{-1} 毫克/公升	163-2135	60.5-496	179-186
硫酸鹽 SO^{-2}_4	15.5-160	54-74	124
氟鹽 F^{-1}	0.16-0.55	0.24-0.28	0.27
游離氨氮 (NH_3-N)	0-0.22	0.04-0.27	0
亞硝酸鹽氮 (NO_2-N)	0-0.025	0-0.012	0
硝酸鹽氮 (NO_3-N)	0.1-3.64	0.2-1.1	0.45
溶解固體量 (NO_3-N)	780-5045	496-760	912
總硬度 (NO_3-N)	164-960	52-80	156
鈣 (NO_3-N)	24-248	12.8-19.2	33.6
鎂 (NO_3-N)	9.8-97.5	4.9-11.7	17.6
鐵 (NO_3-N)	0.01-0.26	0.01-0.15	0.02-0.32
懸浮固體量 (NO_3-N)			
比導電度	966-8045	534-1077	1083
BOD 毫克/公升			
COD 毫克/公升			
DO 毫克/公升			

表三 標準海水水質分析表

項 目	數 值 (PPM)
CL	19350
Na	10750
SO	2700
Mg	1290
Ca	410
K	380
HCO ₃	140
Br	65
Sr	13
Al	1.9
Si	1.1
F	0.8
NO ₃	0.8
B	0.4
Ba	0.2
Fe	0.2
Mn	0.2
Cu	0.1
Li	0.1
P	0.06
I	0.04
Ag	0.02
As	<0.01
NO ₂	<0.01
Zn	<0.01
Total dissolved Solids	35000
pH	8.26

民國100年旅遊人口約為125萬人次

六、目標年需水量推估

目標年需水量約為8,003,900噸

七、目標年供水量推估

1.地面水庫：28,536 噸（十年頻率枯水年）

2.地下水庫：1,078,663 噸（十年頻率枯水年）

3.地下水：4,229,658 噸

合計目標年供水量約為 5,336,857 噸。

參、興建水庫方案

- 平均降雨量 900公厘，蒸發量 1600 公厘，氣候因素降低水庫的供水效率。
- 可建壩之優良壩址少，建壩成本將更高。
- 對於環境影響的衝擊較大。

地面水庫

	出水成本(元/立方公尺)
西安水庫	102
小池水庫	37

地下水庫

	出水成本(元/立方公尺)
烏崁地下水庫	33.1
隘門地下水庫	26.8

* 註：水庫平均使用 50 年，利率 6%

肆、地下水方案

- 淺井受鹽類入滲影響氯鹽高，水量不穩定。
- 主要含水層深度約在地面下100-150公尺間，部份可能達300公尺。
- 目前地下水抽取量已近飽和，根據馬公營運所開鑿經驗，部份深井已有抽不到水的現象。
- 地下水超抽造成地層下降，海水入侵，社會成本高。
- 開發地下水為水源不甚可靠。

伍、污水回收方案

一、生活廢水水質

澎湖馬公地區污水水質，平均 BOD 98 PPM SS 23 PPM。

二、污水三級處理後水質

污水經過三級處理後放流水可達世界衛生組織之飲用水標準，表四為污水經三級處理後水質。

三、污水水量

目標年馬公地區可收集之污水量約為每日 5000 立方公尺。

四、污水回收之工程費及出水成本

污水回收處理使用方案工程費及出水成本概估：

不計投資利息	32.3 ~ 33.5 元/立方公尺
6%投資利息	43.6 ~ 43.9 元/立方公尺
10%投資利息	50.8 ~ 51.1 元/立方公尺

五、回收污水作為飲用水源應考慮

- 應先作模型試驗，瞭解處理效果，並求出設計參數。
- 調查使用者之意願，並加強宣傳。
- 應對處理水之有害物質作健康影響評估，以免長期飲用導致疾病。
- 應注意處理廠之操作水準，提高操作人員素質，加強操作維護管理。

陸、利用海水沖洗廁所方案

規劃原則 - ● 供水區域以人口集中之馬公市為範圍。
● 以減少沖洗廁所用之水之自來水供水量為原則。

節省水量 - 平均每日 1400 立方公尺。

成本概估 - 不計投資利息 22.7 元/立方公尺
6% 利息 37.5 元/立方公尺
10% 利息 47.4 元/立方公尺

問題探討：- 複式供水有發生管線錯接之可能。
- 海水具侵蝕性，對用戶沖洗設備造成損害。
- 海水對化糞池及污水處理有影響。
- 節省水量有限。

柒、台灣本島送水

送水量 - 分別就 8000 立方公尺/日及 4000 立方公尺/日探討。

送水距離 - 陸上淺灘部份長度約 8 公里。
海底部份長度約 40 公里。

出水成本 - ● 8000 立方公尺/日之出水成本

不計投資利息	43 - 56 元/立方公尺
6% 投資利息	108 - 121 元/立方公尺
10% 投資利息	143 - 170 元/立方公尺

● 4000 立方公尺/日之出水成本

不計投資利息	50 - 95 元/立方公尺
6% 投資利息	131 - 185 元/立方公尺
10% 投資利息	185 - 245 元/立方公尺

問題探討 - ● 台灣本島自來水調配。
● 技術上可行，但費用甚高。

捌、海水淡化與鹹井水淡化方案

一、淡化技術之應用過程與發展趨勢

A. 淡化技術之應用

海水淡化與鹹井水淡化可以歸屬為水處理方面的專業技術，這種技術在世界各地已被廣泛應用在供應民生用水方面。除此之外；這些淡化製程還可被應用在下列各種不同的行業與用途：

- 食品工業 — 例如應用製鹽工廠、奶粉工廠與果汁濃縮製造廠，以分離產品中之水份。
- 廢水處理 — 處理工廠所排放之廢水，使其達到環保法規所訂定的排放標準。
- 廢水回收 — 處理工廠所排放之廢水，並予以回收利用，使其達到節約用水的目的。
- 工業用水之純化 — 將原水處理至純化水，使其符合機械設備用水之水質標準，以取代傳統式的樹脂處理方式。
- 飲用水之純化 — 改善飲用水之水質，促使飲用水更為純化。
- 石化工業 — 分離化學原料中之水份或濃縮化學藥品，以促使化學類物質純化或產生沈澱結晶。

B. 台灣淡化技術之評估

目前國內對海水淡化廠的規劃、興建、操作與維修方面的技術，應可以獨立作業，唯有某些主體設備仍需仰賴進口，若海水淡化廠的興建能普遍化，則相關設備之製作技術將隨之在台灣生根，它不僅能帶動一般性之製造業對硬體設備製作的技術提昇，亦可帶動水化學方面的軟體技術之發展。

C. 歷年世界各地應用淡化廠之發展過程與原因

目前世界上各國在淡化廠之興建數均逐年增加，造成這種現象的最主要原因是：

- 人口增加。
- 工業發展迅速，工廠用水量增加。
- 各地水源的污染情況嚴重，可利用的水資源日形下降。
- 人類生活水準提昇，用水量增加。
- 天候的變化，自然水資源不易掌握。
- 淡化技術提升，製水成本下降，自然水資源之開發成本上升。

由於以上各種因素在短期內無法消除，才促使各先進國家積極參與淡化製程的研究發展與設備製作技術之提升。

世界上現有淡化機組每天可坐產13,000,000噸以上之淡化水，其中海水淡化的部份約佔有65.3%之比率。

二、淡化製程與能源消耗

A. 淡化製程

目前世界已商業化的海水淡化製程有逆向滲透式、多級閃化式、多級效應式、蒸汽壓縮式等四種。常被應用在鹹井水淡化或地下水處理之製程有電析式與逆向滲透式等兩種。其原理說明如下：

1. 逆向滲透式淡化廠

逆向滲透式淡化廠最主要的元件為逆向滲透膜，簡稱反滲透膜 (Reverse Osmosis module)；它是由微細化學纖維薄膜所組合成的元件，它是利用海水滲透壓 (Osmotic Pressure) 之原理，來處理高雜質含量的水，以獲得淨化水。其操作原理是將高雜質含量的水經高壓水泵加壓處理，使其壓力高於滲透膜的滲透壓，則淡化水透過滲透膜而反滲出來，未滲透的水，即是濃鹽水，則由滲透膜的另一端排出，其原理如圖 (一) 所示。

通常逆向滲透式海水淡化廠，基本上是由四個系統所組成，如圖 (二) 所示：

- a. 原水供應系統
- b. 前段化學藥品處理與過濾系統
- c. 高壓泵與滲透膜組合單元
- d. 後段穩定水質處理系統。

2. 多級閃化式 (Multistage Flash) 淡化廠

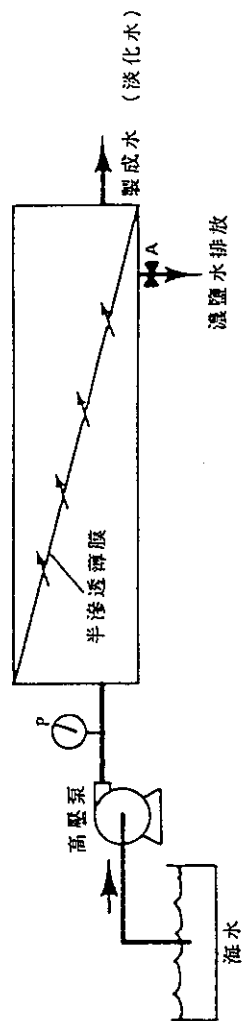
多級閃化法，簡稱 M.S.F.，技術可靠，有量產能力；目前，全世界已商業運轉中的海淡廠，採用此法製造淡水所佔的比率極高。圖 (三)。所示為多級閃化海水淡化廠流程。其流程如下：抽取海水，過濾魚類及雜物，加氯抑制微生物生長，加酸控制結垢形成，去氧防止腐蝕後，依序泵入各級的熱交換器的冷凝管束內側；海水在各級吸收冷凝潛熱，直到通過第一級後，海水被送至主加熱器內，並由外部供給的蒸汽作進一步的增溫，然後這些海水被送回第一級槽內，則部份海水將閃化成蒸汽，這些蒸汽在冷凝管外側凝結成淡水，餘下的海水再進入第二級槽進行閃化。如此依序減壓，蒸發，冷凝，收集淡水的過程在每個槽內不斷重覆進行；直到最後階段，將濃鹽水送入熱移除槽，並利用再循環泵排出部份之濃鹽水，而剩餘的濃鹽水再與新飼入的海水混合後，再循環使用，而淡化水則予以收集儲存。典型的多級閃化海水淡化廠，每組設備由許多級的加熱器所組成，其級數的多寡完全依設計者所設計的效率值而定。

3. 多級效應式淡化廠

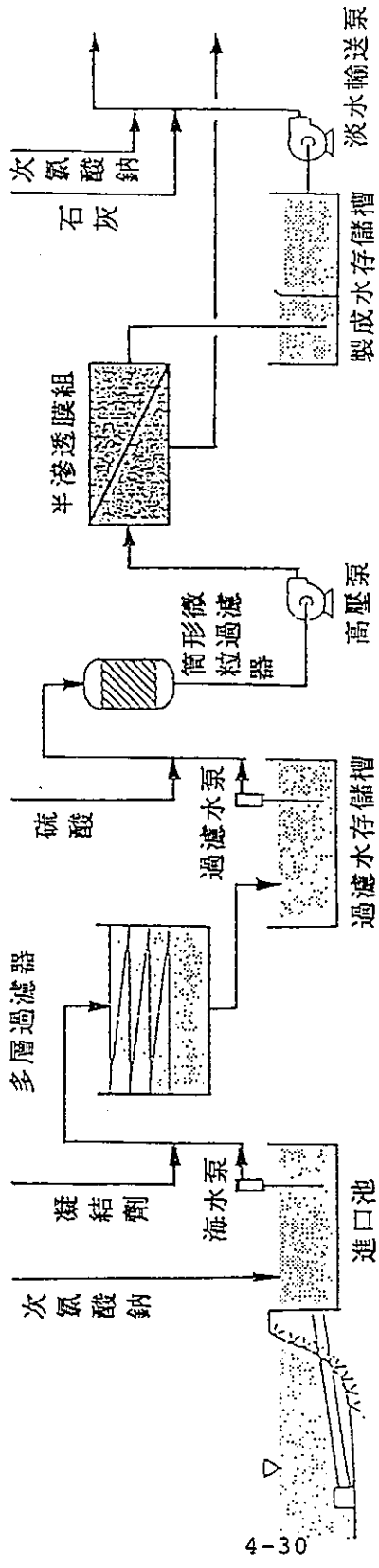
圖 (四) 是水平管多效蒸餾式海水淡化廠概要圖。其流程如下：飼水流經第一級效應的熱傳導面，由主蒸汽加熱，將部份的飼水，蒸發成蒸汽，然後進入第二級效應並且在蒸發管內凝結成水，將冷凝潛熱釋出，由蒸發管外壁的鹽水吸收，經過此種熱交換後，鹽水被蒸發成蒸汽，再進入第三級，重覆此步驟，並逐級抽真空降壓，使蒸發易於進行。如此，利用主蒸汽熱能的轉移，潛熱的重覆交換使用，壓力及溫度的逐級降低，達到淡化海水的目的。

4. 蒸汽壓縮式淡化廠

蒸汽壓縮蒸發 (又稱蒸汽再壓縮) 淡化方式，與其他蒸餾法最大的差異在於此方式不需由外部提供熱源 (僅在起動階段需要利用外來的蒸汽預熱海水)；爾後主要加熱的能源為蒸汽壓縮機之電能轉換，所以當蒸汽被加壓後，被壓縮蒸汽的溫度提升，則整個淡化步驟即能進行。

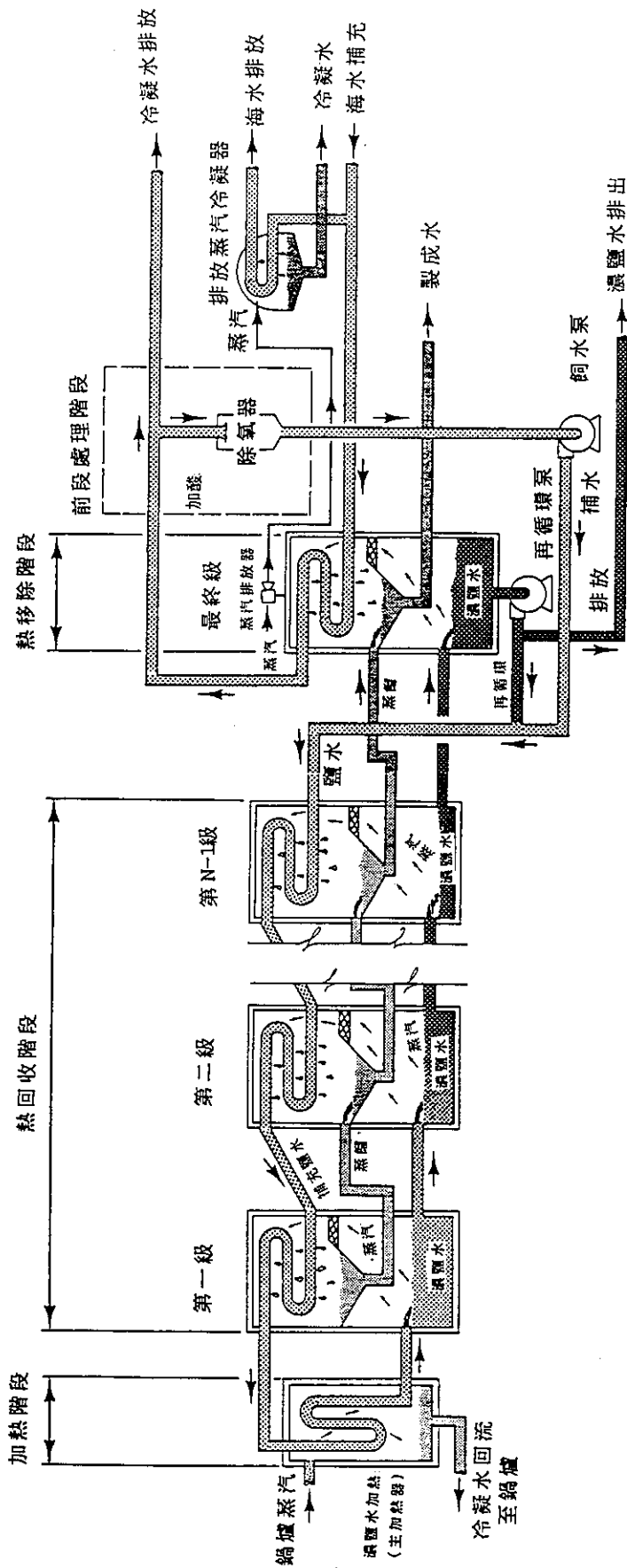


圖(一) 逆向滲透製水原理

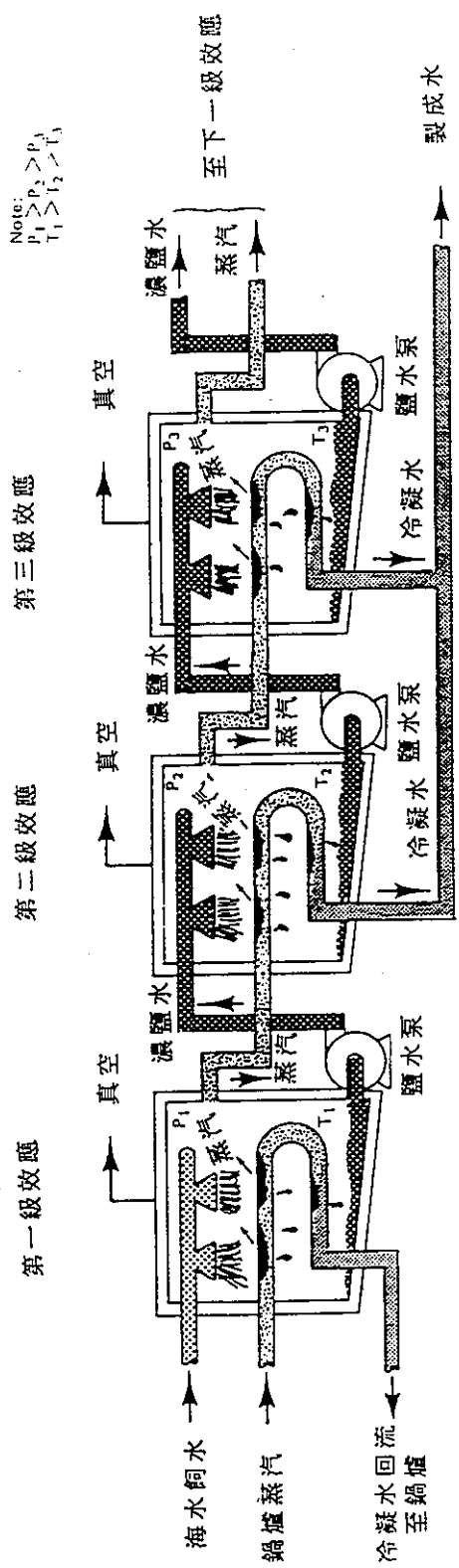


圖(二) 逆向滲透式海水淡化系統流程圖

4-30



圖(三) "濃鹽水再循環"式多級閃化海水淡化廠流程圖



圖(四) 水平管蒸發器多效蒸餾海水淡化廠概念圖

蒸汽壓縮蒸發式海水淡化廠是根據熱交換的原理來設計。圖(五)為蒸汽壓縮式淡化廠操作說明圖；首先被加壓的蒸汽，在蒸發管內冷凝後，釋出冷凝潛熱，再利用蒸發管壁作為熱傳導面，再由管壁外側的濃鹽水噴灑薄膜吸收潛熱，則濃鹽水被加熱蒸發成蒸汽，這些蒸汽被加壓後再送回冷凝管內側冷凝成淡水。

VCE 法僅需利用電能驅動壓縮機，一方面壓縮蒸汽，提高其凝結點；另一方面，同時降低蒸發器內的壓力，以降低濃鹽水的沸點，使其易於蒸發，再冷凝，如此不斷地在熱傳導面循環進行熱交換，以產生淡化水。

5. 電析互換式淡化廠

通常電析互換式很少被應用在海水淡化方面，但是它常被應用在鹹井水淡化方面。

電析互換式之原理與構造如圖(六)所示，它乃是利用直流電將水中所含的正負離子驅動至電極之兩端，並藉用陽離子選擇膜與陰離子選擇膜的特性，以達到離子予以分離之效果；亦即是陽離子選擇膜只能讓陽離子通過，陰離子選擇膜只能讓陰離子通過，由於膜的兩面並無壓力差，因此水無法穿透這些離子選擇膜，因此當被處理水在電析機組內經過電析之過程後，則被處理水在膜組內形成交互濃縮區間與純化區間，將純化區間的水收集後，即獲得去離子效果之純化水。為了防止陽極（正電極板）長時間的吸引陰離子造成產生腐蝕之現象，或陰極（負電極板）長時間的吸引陽離子而產生結垢之現象，電極在設計上均採可逆互換式；亦即是在操作一段時間後必須改變極性，這就是互換的原理。

電析互換式之裝置構造是由陽極板，陰極板以及許多陰陽離子選擇膜所組合成的裝置。

簡易電析互換式之流程圖如圖(七)所示；鹹井水經過軟化與去碳氣之處理後，將經由飼水泵加壓並通過微粒過濾器，以去除水中所含之細小顆粒雜質，最後這些過濾水被泵入EDR系統，這些水將被電析裝置純化，純化後的水被送入儲存槽，濃鹽水則被排放出去。這些淨化水將經由製成水傳送泵至供水系統。

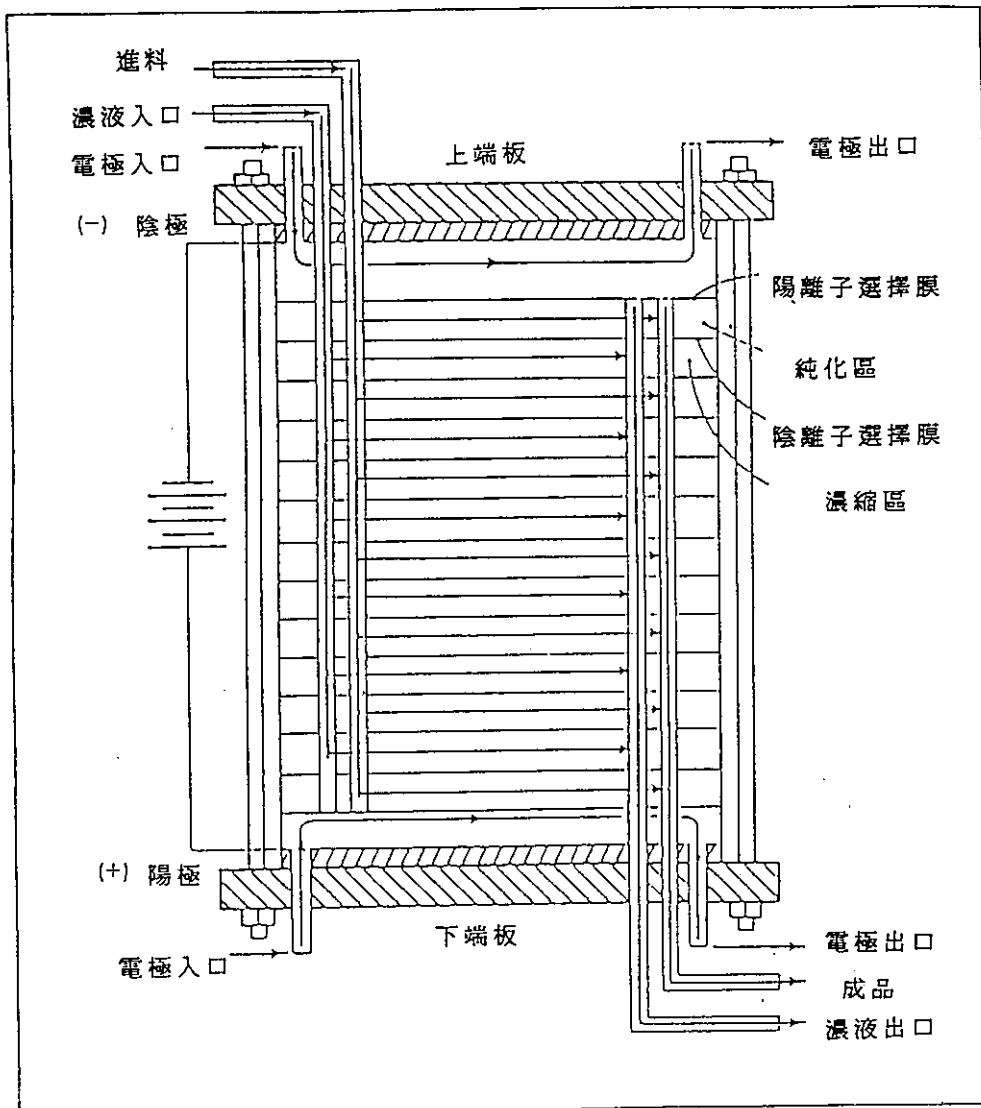
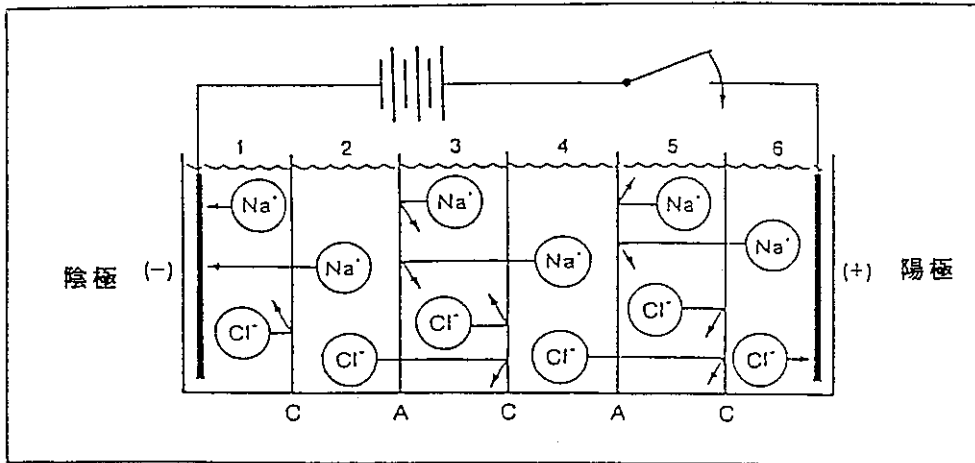
B. 能源消耗量

由於能源費用在淡化水製水成本中佔有極大的比率，所以在選擇淡化製程時必須對未來所能使用的能源方式進與能源消耗量行更審慎的評估，這樣才能規劃出製水成本為最低廉的淡化製程。

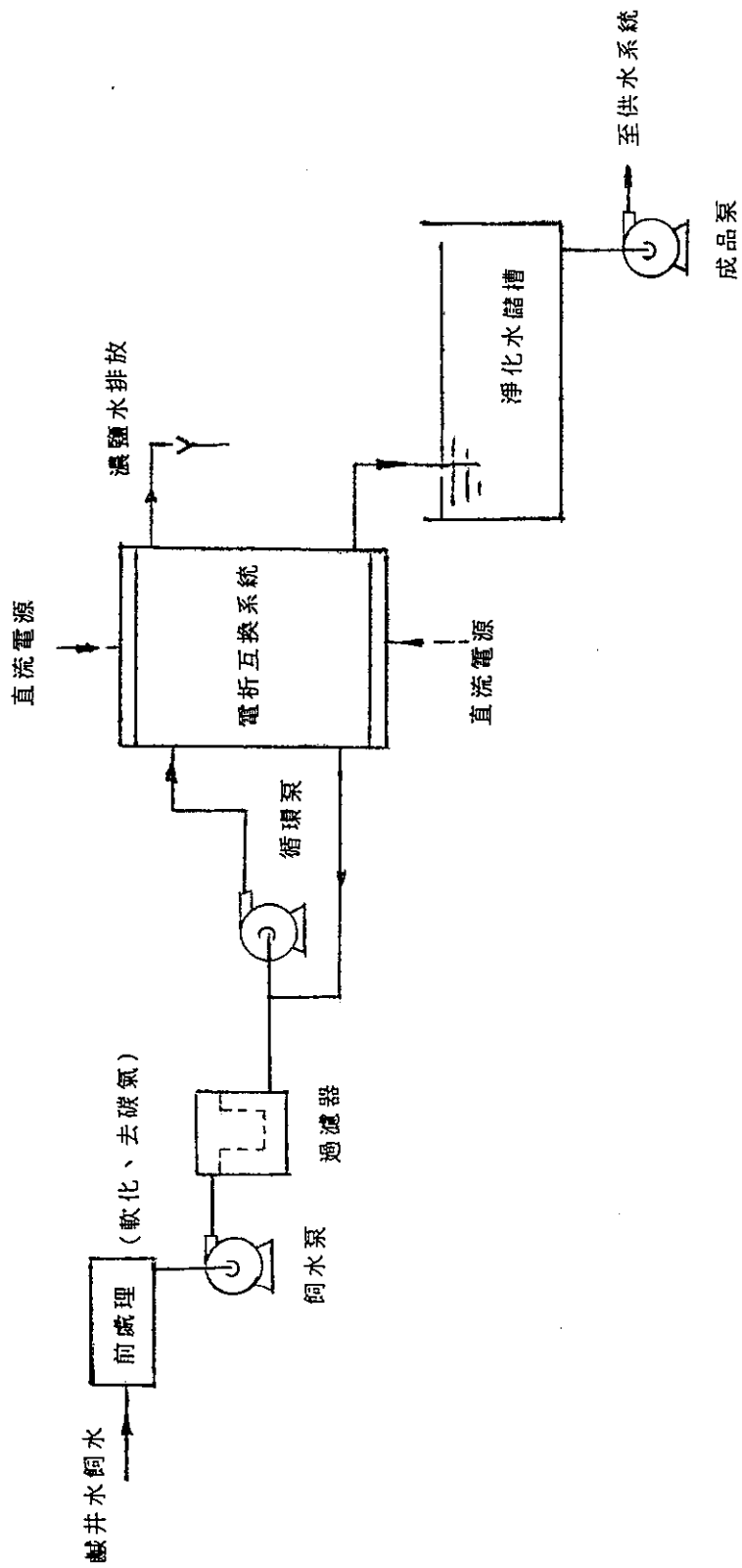
表四 為各種海水淡化製程生產每噸淡化水所消耗之能源

表五 為各種鹹井水淡化製程生產每噸淡化水所消耗之能源

表六 為各種不同製程日產量4000噸淡化廠之電力裝置容量需求



圖(六) 電析膜組構造圖



圖(七) 簡易電析互換式流程圖

表四 各種海水淡化製程生產每噸淡化水的能源耗廢比較表

能源種類 淡化方式	用 電 量	蒸汽耗廢量
1. 逆向滲透式 (R.O.) (能量回收)	8.5 kwhr (5.0 kwhr)	----- -----
2. 多級閃化式 (M.S.F.)	3.1 kwhr	0.1 噸
3. 多級效應式 (M.E.D.)	1.6 kwhr	0.083 噸
4. 蒸汽壓縮式 (V.C.)	8.5 kwhr ~ 10 kwhr	-----
5. 電析互換式	7.8 kwhr ~ 12 kwhr	-----

註：實際耗電量將受海水溫度影響而有所變動，以上所提供的數據為一般平均值。

表五 鹹井水淡化製程生產每噸淡化水時所須之電力耗電量

型 式	用 電 量
1. 逆向滲透式	1.5 ~ 2.3 kwhr
2. 電析互換式	1.7 kwhr

表六 為興建一座日產量 4000 噸淡化水之海水淡化廠或鹹井水淡化廠所需之電力裝量容量

型 式	電力裝置容量
A. 海水淡化	
1. 逆向滲透式	
a. 有能量回收	1 MW
b. 無能量回收	1.5 MW
2. 多級閃化式	0.5 MW
3. 多級效應式	0.27 MW
4. 蒸汽壓縮式	1.7 MW
5. 電析互換式	2 MW
B. 鹹井水淡化	
1. 逆向滲透式	0.25 ~ 0.4 MW
2. 電析互換式	0.3 MW

三、澎湖海水淡化廠或鹹井水淡化廠之供電方式

根據澎湖供電現況之評估結果；澎湖現有實際之供電容量為 26MW 左右，雖然目前還有些微的餘裕可供給淡化廠所需之電力，如果這些電力餘裕被淡化廠佔用，則它很可能促使台電公司澎湖發電廠的營運更形艱困。為了防止澎湖海水淡化廠併入營運後，而造成現有供電系統不穩定現象，仍進行 2 MW 自備發電機組之可行評估，其評估的自備發電方式涵蓋了下列幾種類型以尋找出最經濟實惠與可靠性之發電方式。

- 柴油引擎發電機組
- 燃氣渦輪發電機組
- 鍋爐與蒸汽渦輪機發電機組
- 太陽能發電機組
- 風力發電機組
- 波能發電機組

表七 為各種自備發電方式之綜合評估結果：

表七 2 MW 發電機組之綜合評估表

評估項目 發電方式	燃料或能源 方式	燃料或能源 條件需求	發電成本	結 論
1. 柴油引擎 發電機組	a. No.2 輕柴油 b. No.6 重油	450 ℓ/hr —	4.2 元/kwhr —	1. 雖適合作為海水淡化之供電系統，但成本太貴。 2. 無法連續運轉，潤滑油系統須作定期保養，因此海水淡化廠之連續運轉率低。 3. 所排放廢氣，無法達到環保要求。
2. 燃氣渦輪 發電機組	a. No.2 輕柴油 b. 天然氣	670 ℓ/hr (熱效率30%) —	4.6 元/kwhr —	單位發電成本高，除非採用複雜循環式之組合，才能降低發電成本。
3. 鍋爐與蒸汽 渦輪發電機組	a. 煤 b. No.6 重油 c. 石油焦 d. 廢料	— 1400~1750 kg/hr — —	— 3.3元~3.7元 per kwhr — —	1. 單位發電成本較便宜，如發電容量加大，其單位發電成本更低，這樣可以減少台電公司的虧損。 2. 發電機組穩定性較高。

表七 2 MW 發電機組之綜合評估表 (續)

評估項目 發電方式	燃料或能源 方式	燃料或能源 條件需求	發電成本	結 論
4. 太陽發電 機組	太陽能	4萬5仟塊~6萬塊 光電板(每塊光電 板為25.5"X50.7")	31 元 / kwhr ——	1. 佔地面積太大 (35000 平方 公尺以上) 2. 設備成本過高。
5. 風力發電 機組	風力	風速：25里/時 (11.1公尺/秒) 可發100 Kw電力之	5.1 元 / kwhr ——	1. 澎湖只有冬季風力稍強，夏 季幾乎無法產生電力，因此 並不適合做為澎湖海水淡化 廠之能源。 2. 風力不足的時間太長時，供 電能力受影響。
6. 波能發電 機組	海洋潮汐位差 所產生之動能	波高：0.7 m 波浪週期： 6~7秒 / cycle	——	待波能發電方面的經濟效益被 肯定，並求出實際發電之然 成本後，海水淡化廠自然會 會利用這種發電方式作為能源。

四、澎湖地區興建海水淡化廠與鹹井水淡化廠之可行性

A. 興建海水淡化方面之可行性

1. 澎湖地區因受天候或地理因素的影響，可供開發的水資源不多，所以該地區是適合興建海水淡化廠之地點，其原因如下：

- a) 海岸線長，海水的取得容易。
- b) 澎湖海域的海水純淨未受工業廢水的污染。
- c) 海水淡化後的水質純度高，可以與現有供水混合，以降低氯鹽含量。
- d) 供水可靠度高，不受天候乾旱影響。
- e) 澎湖海域海流通暢，濃鹽水排放之稀釋效果良好。
- f) 海水淡化設備集中，維修與操作易於管理，供水調度易於掌握。
- g) 海水淡化廠也可當作一種觀光據點。
- h) 建廠用地不大，約 0.5公頃之佔地面積。興建各種海水淡化廠所需之佔地面積大小如表八所示。

表八 建廠之佔地面積

製程種類	面積 (平方公尺)	安置方式
1. 逆向滲透式	3,000	滲透膜按裝於室內
2. 蒸汽壓縮式	2,800	屋內型或屋外型
3. 多級閃化式	2,000	屋外型
4. 多級效應式		
a. 水平式	2,500	屋外型
b. 直立式	1,800	屋外型
5. 電析互換式	3,500	電析裝置按裝於室內

若考慮海水淡化廠與2MW之自備發電設備須安置於同一地點時，則自備發電設備的最小佔地面積如表九所示，其中包括油槽所需的佔地面積。

表九 發電機佔地面積

發電方式	面積大小(平方公尺)	安置方式
1.柴油引擎	450	屋內式
2.蒸汽渦輪+鍋爐	1,000	屋內式
3.燃汽渦輪機+廢熱鍋爐+蒸汽渦輪機	1,200	屋內式

如能尋覓一塊面積0.5~0.7公頃的地，應足以用來規劃安置海水淡化廠及其相關設施，若考慮未來擴建用地以及其他週邊設施，則需1.5公頃的用地。

2.興建澎湖海水淡化廠可能面臨的問題如下：

a)電力的供應

由於台灣電力公司在澎湖地區之發電系統之餘裕電力容量不大，且單位發電成本過於昂貴，每年均呈現虧損狀態，所以由台電公司提供澎湖海水淡化廠所需電力之可行性不高，如要在短期之內完成海水淡化廠之興建，唯有進行自備發電機組之規劃。才能解決供電的問題。

b)土地的取得

雖然海水淡化廠之興建地點可以順利的定案，但是如因地權的問題，則會影響廠址的決定，所以澎湖縣政府必須協調建廠用地之取得，以免影響規劃進度。

c)建廠投資與未來營運費用

自來水公司在澎湖地區的營運已非常艱困，政府將來若未對澎湖海水淡化廠擬定政策性的補貼方式或者對自來水售價做適當的調整，則將對自來水公司在該地區的營運造成更嚴重的虧損。

根據初步估算；如設備投資成本由政府專案撥款；則自來水公司每年在經營澎湖海水淡化廠的營運損失將高達壹仟柒佰萬元折台幣以上，若再考慮自備發電機組的單位發電成本與現行每 kwhr 之售價之差異，則政府每年至少總共需補貼參仟伍佰萬元新台幣。若政府以國家整體利益考量為前題，並改變澎湖現行的發電系統，以降低發電成本，則減少台電公司的營運損失，然後以節省的經費補貼自來水公司，則對國家的整體利益仍能維持平衡，甚至還具有正面效益。

3.海水淡化廠之廠址選定目前暫時選定可供興建海水淡化廠的地點如下：

選擇廠址	優點	缺點
• 成功水庫淨水廠	1.節省土地購置成本。 2.淡化水易於調度。	飼入海水之規劃較為困難。
• 龍門與烏泥附近	可與台電新電廠一併規劃，能源的使用方便。	時程無法自行控制。
• 馬公市公車調度中心後面	離缺水地區近，可以減少淡化水輸送成本，可利的週邊設施多，可以節省工程預算。	近市區，土地的取得較困難。
• 隘門式山水附近	遠離市區，對都市的衝擊較小。	淡化水輸送至馬公地區的工程費用龐大。

至於海水淡化廠進水口之方式，將待地點選定後，並依該地點之潮汐，地質結構、海流、海水水質等情況，該地點的環境因素與經濟效益，才能在下列各種進水口方式中選擇其一，以作為澎湖海水淡化廠之進水口。

- 表面取水式
- 地下埋管式
- 虹吸方式
- 海水滲透式
- 離岸泵浦抽水式
- 進水渠道碎石埋設式

4. 淡化水水質

海水淡化後的淡化水質總固體溶解度 (TDS) 約在 100 ppm 以下，該水質將比目前澎湖之供水水質總固體溶解度 875 ppm 為低；經混合後，將可改善當地水質條件，對民衆之健康將有所助益。

表十為澎湖地區供水水質分析表，表十一為世界衛生組織與台灣省之用水水質分析表，由此確定民衆可以安心飲用淡化水。

B. 鹹井水淡化方面

由於鹹井水分佈過於遼闊，加上每口鹹井水之出水量很有限（約 200 噸／日），爲了要達到日產量 4000 噸之淡化水，至少須要 30 口鹹井來提供 6000 噸／日之鹹井水，因此很可能產生鹹井水供應量不足的現象，而造成淡化設備無法運作。

表十 澎湖地區供水水質分析表

項 目	含 量
1. 色度	0
2. 總溶解固體量	875 MG/l
3. 濁度	0.87 NTU
4. PH 值	8.0
5. 氯鹽	243.1 MG/l
6. 硫酸鹽	71.2 MG/l
7. 鐵	0.03 MG/l
8. 錳	0 MG/l
9. 氟	---
10. 鉛	---
11. 銅	---
12. 鋅	0 MG/l
13. 鈣	40.4 MG/l AS Ca.
14. 鎂	24.77 MH/l AS Mg
15. 導電度	1207 MNHO/cm

表十一 用水水質分析表

項 目	世界衛生組織	台 灣 省
1. 色度	5~15	15
2. 總溶解固體量 (ppm)	500~1500	1000
3. 濁度 (NTU)	5	5
4. PH 值	7.0~8.5	6.0~9.0
5. 氯鹽 (MG/l)	200~600	300
6. 硫酸鹽 (MG/l)	200~400	250
7. 鐵 (MG/l)	0.3	0.3
8. 錳 (MG/l)	0.1~0.5	0.3
9. 氟 (MG/l)	1.0~1.5	0.8
10. 鉛 (MG/l)	0.05	0.1
11. 銅 (MG/l)	1.0~1.5	1.0
12. 鋅 (MG/l)	5~15	5.0
13. 鈣 (MG/l)	75	---
14. 鎂 (MG/l)	50	---

五、澎湖海水淡化廠環境影響

A. 陸上景觀

待澎湖海水淡化廠廠址決定後，將以廠址附近的地形地物之情況來規劃海水淡化廠之外型與廠房色彩，使其儘量配合廠址附近之現有景觀造型，同時對總體環境產生協調感，以免造成陸地景觀之衝擊。

B. 濃鹽水排放

海水淡化廠所排放的濃鹽水為一般人所擔心是：其高濃度的排放水將造成附近海域生態之影響；事實上澎湖海水淡化廠所排放濃鹽水的TDS約為原海水之1.6倍左右，所以產量4000噸/天之海水淡化廠所排放的濃鹽水量約6000 噸/天，只要排放點半徑10公尺的範圍內，海流速度能達到 8公分/秒(4.8公尺/分)，則在此範圍外的海水濃鹽度能被稀釋成原海水水質。

目前世界上海水之 TDS含量最高的海域是紅海，其海水之 TDS含量約為 42,000 ppm 左右，比台灣附近海水之TDS 約高出1.2 倍左右，加上紅海沿岸設置了許多大型之海水淡化廠，每天釋出之濃鹽水高達 250萬噸以上，如此大量的濃鹽水排放並未影響附近海域生態，因此海水淡化廠之濃鹽水排放口的位置只要設置在海流通暢之地點，就不致於造成海水濃鹽度之沉積現象。

C. 施工期間之影響

由於海水淡化廠之興建，必須涉及進水口工程施工，濃鹽水排放管線之埋設與整地工程等，或多或少會暫時影響附近的現有狀態，這是進行任何工程均會遭遇到的問題，只要施工期間的廢棄物能妥善的處理，待施工完畢，一切均可恢復正常。事實上海水淡化廠對陸地環境之影響程度較興建水庫為小，最主要原因是海水淡化廠之佔地面積較少之故。

D. 噪音問題

海水淡化廠對噪音的管制必須符合環保規定，所以在規劃設計時，必須要求廠商所提供之設備，其允許在廠區內所產生之噪音程度不得超過85分貝，在廠區外之噪音不得超過55分貝。

六、海水淡化廠之經濟效益評估

A. 日產量4000噸海水淡化廠之投資額

海水淡化廠因各種製程所使用的設備材質與製水方式不一致，所以其投資費用將有所不同，各種製程之淡化廠投資額如表十二所示。

表十二 各種不同製程海水淡化廠之投資費用

型 式	投 資 額 (新台幣)
逆向滲透式	170,000,000元
蒸汽壓縮式	207,400,000元
多級閃化式	279,000,000元
多級效應式	291,000,000元

- 註：1.投資額包括進水口設備成本、濃鹽水管線材料費用、施工費用、廠房與土木工程費用、工程管理費以及週邊設備費用。
 2.多級效應式海水淡化廠內所使用的蒸發管路如採用鋁合金而非鈦金屬，則由於材料價格的差異，其投資額可減少伍仟萬元新台幣左右。

B.各種淡化製程每噸淡化水成本比較

表十三為各種製程每噸淡化水成本比較，表中所列之各種淡化製程所衍生之每噸製水成本僅具參考價值，其確實的單價將受利率，使用年限，購電成本，能源成本與週遭環境可資利用現有設施之影響而產生變動。

表十三 各種製程每噸淡化水成本比較

製程方式	淡化方式	海水淡化	鹹井水淡化
1.逆向滲透式			
a.無能量回收		38.47NT/噸	----
b.有能量回收		31.12NT/噸	14.57NT/噸
2.蒸汽壓縮式		39.75NT/噸	----
3.多級閃化式			
a.蒸汽成本為365NT/噸		69.7NT/噸	----
b.廢蒸汽成本為65.8NT/噸		39.7NT/噸	----
c.蒸汽不計成本		33.2NT/噸	----
4.多級效應式			
a.蒸汽成本為365NT/噸		61.35NT/噸	
b.廢蒸汽成本為65.8NT/噸		36.52NT/噸	
c.蒸汽不計成本		31.05NT/噸	
5.電析互換式		-----	16.39NT/噸

註：假設使用壽命20年，利率為6%，電價為 NT\$2.1 /kwhr

c. 海水淡化廠之經濟效益

以澎湖地區而言，自來水的每噸售價約新台幣 8元左右，所以一般人均以此售價來做為評估海水淡化廠經濟效益之基準，這是不正確的評估方式；若要給予海水淡化廠經濟效益作適當之定位，則必須以同樣水質為評估基礎，然後再估算其他可行的增闢水源方式之確實單位供水成本（其中必須涵蓋工程設備投資費用、人事費用、維護費用、運轉成本，運轉使用率、使用年限，利率、土地成本與社會成本等項目），這樣才能確實反應出各種增闢水源的實際單位供水成本，因而才能進行海水淡化廠之經濟效益之比較分析。

根據評估結果顯示，澎湖地區其他增闢水源之單位供水成本如表十四所示。

表 十四 其他增闢水源方案之每噸供水成本

西安水庫	小池水庫	烏崁 地下水庫	隘門 地下水庫	污水回收	海水沖 洗廁所	台灣海 底管線
102元	37元	33.1元 *	26.8元 *	43.6元	37.5元	58元左右

註：“*” 未加淨水成本

由表十四得知，海水淡化廠之供水成本並不比其他各種增闢水源之供水成本貴，尤其在澎湖地區常受天候影響而無法截取自然水源的情況下，海水淡化廠的興建是值得考慮的因應措施。

玖、結論

一、最佳海水淡化方案之結論

如以技術層面考慮；則多級閃化式、多級效應式、逆向滲透式與蒸汽壓縮式的海水淡化製程均已被世界各國廣泛使用，所以對未來之規劃設計、施工、操作運轉與維修應毫無疑慮。如加上經濟效益方面的考慮，則最佳的海水淡化製程必須依未來能源使用的方式與廠址而定，茲將應優先考慮的能源方式與最佳海水淡化製程，依次排列如下：

(一) 由台灣電力公司供電

無論如何，自來水公司如能洽商台電公司提供1~2 MW 的電力，則未來澎湖海水淡化廠的規劃運作將趨於簡易，所以只要台電公司願提供澎湖海水淡化廠所需的電力，則自來水公司可考慮採用逆向滲透式或蒸汽壓縮式製程作為規劃的目標。因為單一目的使用性質的多級閃化式、多級效應式海水淡化廠之製水成本較為昂貴。

(二) 自備發電機組

雖然海水淡化廠可以配置自備發電設備；但是自來水公司並不經營發電的業務，若要自來水公司同時運轉海水淡化廠與發電廠，勢必將涉及某些政策性的問題，在此前題之下，泰興公司僅能以技術與經濟的觀點在此建議最適合海水淡化廠之自備發電模式，以作為未來澎湖海水淡化廠與發電廠須一併規劃時的參考。目前每度發電成本較低的發電方式為鍋爐與汽渦輪機之發電機組，所以擬建議採用此發電方式作為海水淡化廠之電源。

本評估案是以解決澎湖地區之供水為主要訴求，所以僅以海水淡化廠之用電需求量作為規劃發電量之依據。在此先決條件下，則下列兩種組合方式之單位製水成本將較為便宜，因此可被列入考慮方案。

1. 抽汽式汽渦輪機與逆向滲透式海水淡化廠之組合方案

說明：R.O.海水淡化廠的每噸製水成本為31.12 NT/噸，若使用自備發電設備，則每度發電成本為3.3元新台幣，因此生產每噸淡化水的電費將增加：

$$(3.3\text{元}-2.1\text{元}) \times 5\text{kwhr} / \text{噸} = 6\text{元} / \text{噸}$$

因此R.O.製程所生產的每噸淡化水之成本將變成37.12元。

2. 背壓式汽渦輪機與多級效應式

說明：多級效應式在不考慮蒸汽成本之每噸製水成本為31.05元新台幣，若用自備發電機組，其生產每噸淡化水的電費將增加：

$$(3.7\text{元}-2.1\text{元}) / \text{kwhr} \times 1.6\text{kwhr} / \text{噸} = 2.56\text{元} / \text{噸}$$

所以自備發電之多級效應式之每噸製水成本為33.41元左右。

由以上之說明，加上剩餘電力的損失，則可以判斷R.O.與MED海水淡化製程之每噸製水成本差異不大，因此這兩種淡化製程在須自備發電設備的情況下，可被考慮選用。若要降低製水成本，除非各相關單位能以整體的經濟效益為前提，著手進行較大發電容量之發電機組的規劃，並配置不同製程的海水淡化廠，以期使能源充分利用。如此的規劃，一方面不但可以同時解決澎湖地區供水與電力的問題，另一方面還可以降低發電成本與製水成本。例如裝設一座12.5MW之抽汽式發電設備，其每度發電成本約為2.5NT左右，無形中它不但降低海水淡化廠的製水成本，同時也降低了澎湖地區之發電成本。

二、其他方案

由自來水公司擬定購水方案；亦即是讓民間企業自行負責投資、規劃設廠的工作，並負責維護往後海水淡化廠之正常運轉與維修工作，以確保海水淡化廠每年可以生產定額之淡化水。而自來水公司則負責收購這些淡化水與監督海水淡化廠之營運績效。