

沖繩縣北谷海水淡化 設施介紹

The Desalination Process of Sea Water

工研院節水團 - 陳仁
仲、溫子文

前言

1. 從台灣到日本

九州之間約有 1,600
個成彎弓狀相連的島
嶼群，沖繩縣諸島就
存在於其中。沖繩縣



總面積為 2,265k m²，相當於日本總面積的 0.6%，為日本的第四小縣東西 1000 公里，南北 400 公里，在周圍廣大海域中共有小島 160 個（0.01 平方公里以上者），其中有人島約為 50 個；諸島中可大分為沖繩諸島、宮古諸島及八崇山諸島等，以沖繩島為最大。人口約為 130 萬人，百分之九十居住於沖繩本島，人口密度為每平方公里 566 人。

沖繩縣所有市町村均設有自來水系統，其普及率達 99.8%，高過日本全國平均值的 95.5%(1996 年 3 月底)。沖繩縣內自來水事業包括原水供給事業體一處，自來水配水系統 31 處，簡易自來水系統 56 處。沖繩自來水設施，因水資源缺乏而以小規模設施者為多，特別在較小離島則以海底水管送水，計有 16 處，海水淡化設施則有 5 處。

沖繩縣為日本離島的縣市，由於地理、地形條件嚴苛，自古以來用水便是一個頭痛的問題；沖繩縣約有大小河川 300 多條，但是多屬短急河川，水量保存不易，水庫的開發也受到限制；沖繩縣年降雨量 2037mm，由於人口密度偏高，使得每人年水資源賦存量僅為

此外更由於自 1972 年 5 月沖繩併入本土以來，在 24 年間旱災頻傳，實施了包括斷水措施的供水限制，累計日數竟達 1,130 日。種種狀況已使得水資源的供應無法取得平衡，為因應如上所述的問題，在多元化水資源開發的策略下，所採取的缺水對策中，有一環為建設「海水淡化設施」。此舉可從無盡藏的海水中，絲毫不受缺水影響而能安定地確保自來水源。沖繩縣於西元 1992 年取得國家補助，正式導入海水淡化，本文乃敘述其海水淡化設施設置狀況，以作為國內推動海淡之參考。

海水淡化設施採用之緣由

充分供應縣內本島及其周邊離島 300 市町村(約 115 萬人)自來水為沖繩縣企業局所擔負之首要任務。

企業局在 1972 年 5 月回歸本土時，每日平均給水量約為 21 萬 m^3 ，到 1999 年度則約達 52 萬 m^3 ，27 年間增加到大約 2.5 倍。將來的計劃以 2001 年為計劃目標年度時，預測 1 日最大給水量為 583,000 m^3 ，所需水源量為 610,000 m^3 ；現有之水源系統勢必無法滿足需求，乃就今後長期需水計劃加以檢討，預料：(1) 人口增加、生活水準的提高、觀光客增加將使水



的需求今後更將增加。(2) 曾經因缺水頻發而致使限水措施多次發生，預料今後仍將繼續發生。(3) 由於地理地形的限制，只靠陸水系統的水源開發，已遭受無法突破之瓶頸。

(4) 與沖繩縣長年調查評估之同時，日本的海水淡化技術亦在研發進步中，長壽命、節能

上述理由促使海水淡化措施之採用獲得認同。

1992 年 4 月，日本水道法施行令進行部份修正，海水淡化設施乃受定位為水源開發設施，而能列入國家補助預算中。沖繩的海水淡化設施也就成為第一件補助對象，於同年著手建設。1996 年 2 月，設施的一部份開始供水，至 1997 年 3 月，4 萬 m³/日的整體設施乃告完成。

膜式海水淡化處理技術概述

全球淡化水之日產量已達 2,500 萬噸以上，主要用途為民生用水與工業用水，產業年成長率介於 10~30 %，除鹽淨水技術其主要目的是要去除水中的溶解性物質，即所謂的鹽類離子。這些鹽類離子在水質分析中通常以總溶解固體（TDS）或是導電度(Conductivity)來表示。一般而言，去除鹽類的水源包含了海水、半鹹水、廢水、鹵水、河水等，而以海水中所含的鹽類濃度最高，其 TDS 可達 40,000ppm 以上；而半鹹水或是工廠的排放廢水，其 TDS 則通常介於 500ppm 到 20,000ppm 之間。

海水淡化技術包括了蒸餾法(Multi-Stage Flash, MSF、Multi-effect Distillation, MSD、Vapor Compression, VC)、薄膜法(Reverse Osmosis, RO、Electrodialysis, ED、Nanofiltration, NF) 與離子交換法(Ion Ex-change, IE)。

海水淡化技術在市場的佔有率上，目前仍以 MSF 所佔的比率最高，佔了 42.4%，其次是 RO，其佔有率為 41.1%。但 MSF 主要應用於中東產油國家，通常與火力發電廠互相配合運轉，利用火力發電廠汽輪機所使用過的低壓廢蒸汽，作為淡化過程中加熱海水的熱源。由近十年來各種海水淡化法產水量的成長已可看出，逆滲透法（RO）已逐漸趕上 MSF 法。主要原因是雖然 RO 開發較晚（1960 年），但在薄膜材質及能源回收改良技術已達成熟階段，不但使淡化成本降低且造水率提高，除鹽率高達 99.5 %，而膜管平均使用壽命延長至 5 年左

右，
較能
被一
般中
東之
外的
非產

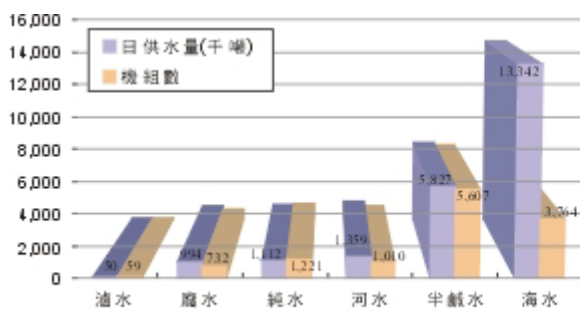


圖1 全球海水淡化廠的原水來源

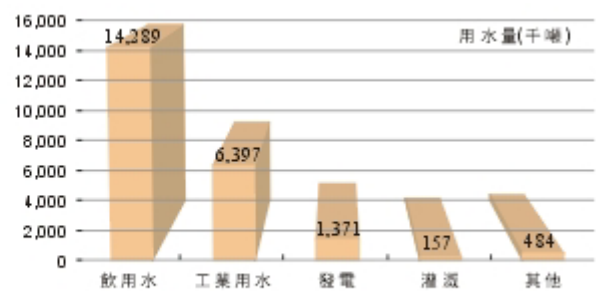


圖2 全球海(半鹹)水淡化廠淨化水的使用情形

油國家接受。而電透析法（ED）由於在處理高鹽度原水時所需的用電量大，相對成本也提高，因此較少被利用於海水淡化上。（圖 1~圖 4）

膜
式處
理方
式主
要乃
利用
不同

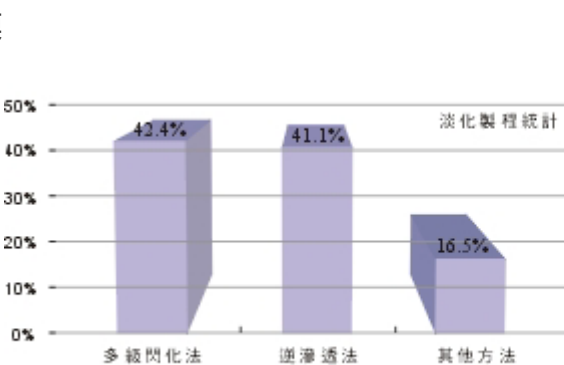


圖3 海淡技術應用分析

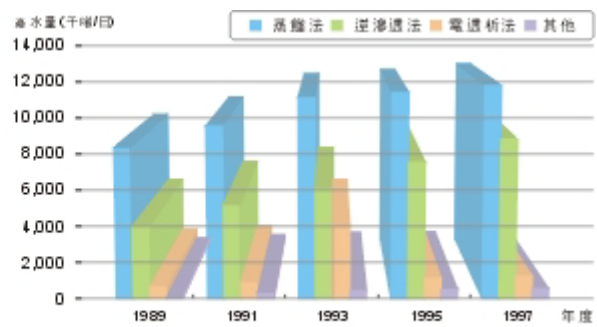


圖4 海淡技術發展趨勢

孔徑各式薄膜之滲透、過濾效果，以達到分離、去除不純物之目的，膜之種類與分離能力如（表 1）所示，可分離之對象依目的而異，可參考（圖 5）。

典型之海水淡化設施的主要設備，除逆滲透設備外尚有海水取水設備及前處理設備、生產水之後處理設備、排水處理設備、污泥處理設備、膜組洗淨設備等。(參圖 6) 逆滲透法海水淡化最須留意之點為防止逆滲透膜的污染、堵塞與劣化，故首先必須考慮的為

表1膜之種類與分離能力

名稱	分離媒體、膜	分離粒徑、分子量	操作壓力
過濾	濾紙、濾布、過濾助劑	~1 μm	<2 X 10 ² kPa
精密過濾 (Microfiltration Membrane : MF膜)	超過濾膜	0.025~10 μm	< 2 X 10 ² kPa
超過濾 (Ultrafiltration Membrane : UF膜)	奈米過濾膜	分子量 1,000~3,000,000	<10 X 10 ² kPa
奈米過濾 (Nanofiltration Membrane : NF膜)	逆滲透膜	分子量 350~1,000	1~15X10 ² kPa
逆滲透 (Reverse Osmosis Membrane : RO膜)	精密過濾膜	分子量 350左右	海水:50~75 X 10 ² kPa 半鹹水: 4~40 X 10 ² kPa

取得清澄的海水，其次為將取得的海水，利用前處理使其水質能為逆滲透膜所負荷，前處理包括濁質的去除與水質調整。

海水取水因受海域環境所左右之處甚多，一般所採行者為深層取水，海岸水井之取水因有砂層之過濾效果可取得清澄海水，但是並不容易找到不受結垢成份或重金屬類影響，而且可長期提供充分水量海水之地層，因此以海洋水井取水並非隨處都可採用。

去除濁質的前處理方法，在比較容易取得清澄海水時，可採用直接混凝過濾

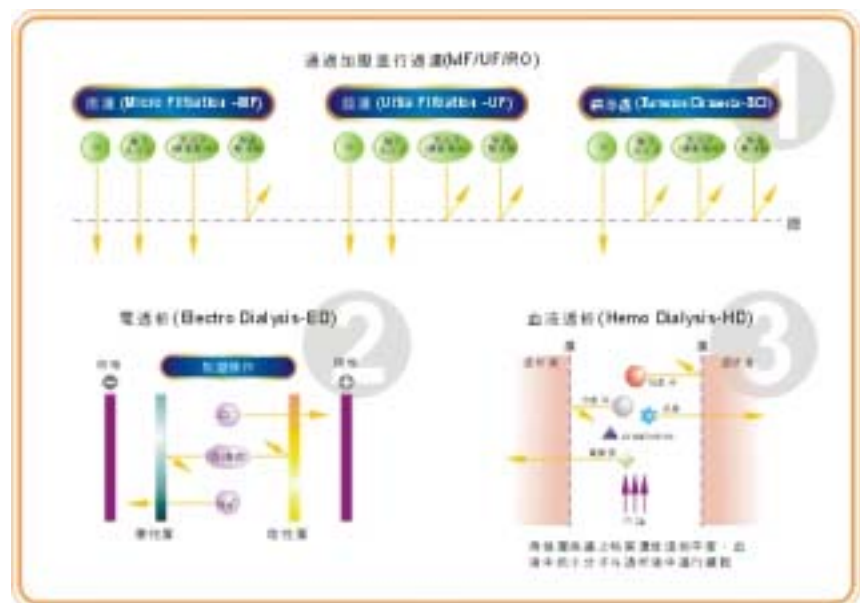


圖6 各式分離能力概要

方式，不過多數以海洋水井取水者，幾乎未作任何前處理。海水淡化設備一般以設置於需水很多的大都市周邊較為理想，所以考量的重點應在於如何在優養化或受污染的灣內或沿岸取得澄清海水並評估適當之前處理流程，目前利用微濾膜（MF）或超濾膜（UF）的前處理系統技術已逐漸成為趨勢。

1.取水設備

海水中含有微生物、微細砂、膠質 (colloid) 狀物質等濁質成份，這些濁質造成逆滲透膜的污染或阻塞，對滲透元件 (Element) 的壽命及性能有很大的影響。

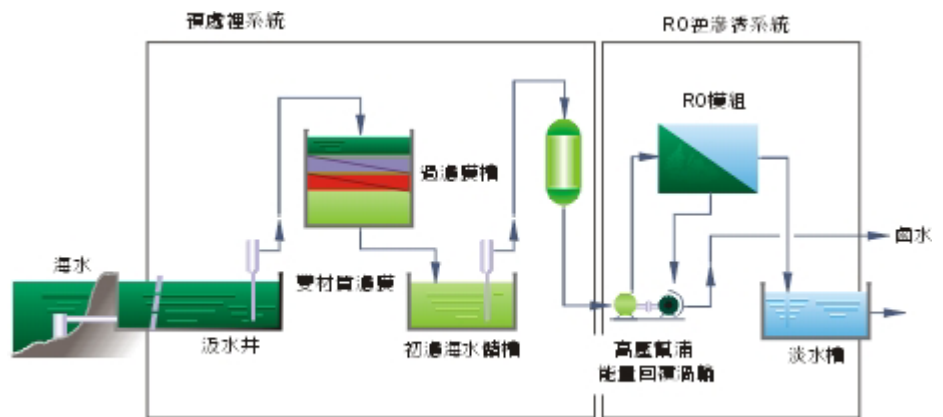


圖6 典型海水淡化處理流程

於選定海水淡化廠

建廠地點時，海水取水條件之良否成為最重要因素之一，取得既清澄且水質安定的海水，意味著前處理可簡略化以及逆滲透裝置可安定運轉。

海水的取水方法有表層取水方式、深層取水方式(取水管式及帷幕式 Curtain wall)以及海岸取水方式；海水取水於水深 5~10m 時，最不易受到季節性水溫、浮遊物或波浪等之影響且水質變動亦少，為最適當之取水水深。

2.前處理設備

海水淡化廠所遭遇過之困擾，以前處理不適當者最多；前處理技術係逆滲透裝置運轉之最重要技術，也是從設備的設計到操作運轉最應留意之處。

$$\text{SDI值} = \frac{(t_2 - t_1)/t_2}{15} \times 100 = \frac{(t_1/t_2)}{15} \times 100$$

化學性質能相容、(3)防止結垢及軟泥產生等三項。

3.前處理水質(逆滲膜模組進水水質)

逆滲透膜組之進流海水水質，所要求的是幾乎無法測出濁度的清澄海水，濁度由SDI 值(Silt Density Index)或 FI 值(Fouling Index)作為指標予以評價。

SDI 值的測定方法於 ASTM 中有所規定，係使用孔徑 0.45 μm 之 Millipore 公司所製之膜濾器(微濾膜)在 2.1×10²kPa 加壓下，先測定將試驗水 500ml 以過濾所需的時間 t₁(秒)然後，開始加壓過濾後經過 15 分鐘過濾後膜式濾器有些阻塞時，再測定試驗水 500ml 過濾所需的時間 t₂(秒)，所得二項數據以下列公式予以算出 SDI 值。

可供給逆滲透膜的前處理海水水質，視膜組而稍有不同，雖然 FI 值達 5 左右亦不會產生實質問題，但一般均要求 FI 值需在 4 以下，由算定公式可知 FI 值的最大值為 6.66。

取水海域概要

1.取水海域因鄰接於東中國海，黑潮海流約略與沿岸平行呈往復流，其流速約為 5-10cm/秒。夏季流速稍較冬季快些，海流上下層之流速差別則很小。

海淡廠所處海域整年間的水溫約為 20~30°C，鹽分濃度在 3.46~3.49%之間，整年濃度約呈一定狀態。上述兩者均成為沖繩沿岸的標準值。

2.海底地形在珊瑚礁海域呈複雜起伏。由護岸處到離岸 100m 處成緩傾斜，但由 100m 到 200m 則有急峻凹凸反復出現。離岸 200m 以後的海底就成砂礫的平坦地形。

珊瑚的分佈狀況為非造礁珊瑚(Soft coral)的被覆程度相當高，造礁珊瑚的被覆程度只有 5%以下，海生生物方面沒見到貴重種類的出現，與縣內其他海域相比較，並無必須特別考量之處。

污染；至於海底底質方面也未檢測到特別異常物質。

整體而言，沖繩海淡廠之取水水域水質穩定、良好，為前處理設計及操作運轉奠定了好的基礎。

設施概要

設施概要

建設地點：北谷町字宮城 1-27

(參圖 7)

建築面積：約 9,000 m²

房屋：RC 及 PC 建造，地下 1 層，地上 4 層

設施規模：40,000m³/日(生產水量)

淡化方式：逆滲透法(RO 法)

回收率：40%

調整設備：直接混凝 2 段過濾

高壓泵：水平分割多段式渦流水泵

滲透膜種類：螺旋型、架橋芳香族系複合膜

噸組：5,000 3/日 0 套



排水處理：沈澱分離放流

脫水方式：無加藥加壓脫水

取水方式：海底取水管

放流方式：水中擴散放流

總事業費：約 347 億日圓

設施特點

沖繩企業局的海水淡化設施可大分為取水設備、原水設備、調整設備、逆滲透設備、放流設備、加藥設備、受變電設備及電氣儀錶設備等八大部份。這些設備在設計時所特別考慮的各點如下：

1.海水取水管

因取水管內常有海中微生物或貝類等附著並繁殖，一般所採取的防止對策為在取水口注入氯氣。但是本工程考慮到氯氣注入設備的保養、檢查、維護、管理以及設備的破損或腐蝕等，且為了避免於海中洩漏氯氣之危險，決定不採用上述方式。不過取水管內貝類等之附著難免，為提升維護管理之簡易性，乃將取水管的管徑由 1,100mm 增加到 1,200mm，此項數據係參考發電廠冷卻用海水取水設備所得。

2. 過濾設備

為了確保水質安定以及考量設置面積與濾器構造等條件，採用了橫型壓力式二段過濾方式。

3.能源回收裝置

成本之影響非常大。

海水經高壓泵加壓再經逆滲透設備收得淡水後，所殘餘的海水尚不能原樣放流，乃將所殘存的壓力以能源回收置裝置將能量予以回收，供作驅動高壓泵的補助能源。能源回收率一般視渦輪機的效率而異，本設備所選用的是逆轉水泵型(法蘭西斯型)渦輪，可達到的能源回收率約為 30%。

4.排水處理設備

處理對象以過濾器的洗淨排水等為主。由於排放水的色度及濁度相當高，特別考慮到防止排放水對環境之污染，乃加以沈澱濃縮處理。處理後的上澄水與其他放流水一起放流，處理過程所產生的沈澱污泥，經加淡水稀釋使鹽分濃度減低並以不加藥加壓脫水成為脫水泥餅後再予處理。

5.後處理設備

通常將海水淡化設施所生產的淡水直接供為飲料用時，為了增加口感須另加設一段 PH 或硬度成份調整設備。但是沖繩海淡廠因將所生產淡水(硬度 10mg/l 以下)每日 4 萬 m³ 送到鄰接的北谷淨水廠與硬度較高(150~200mg/l)的 21 萬 m³/日自來水系統淨水混合，故無特別裝設後處理設備的必要。以前對陸水系統的高硬度自來水，經常受到各市町村用水的抱怨，然而經此混合後，不但配水的管路問題解決了，更由於硬度減低，水質也獲得了改善。

6.電氣儀錶設備

將從來慣用的圖表式 (Graphic) 監視盤改採用由計算機、工程工作站 (Engineering workstation)、ITV 等所達資訊轉換成映像媒體映出於大型銀幕 (110 英吋三面)。停電對策則引用 AC 控制電源、DC 控制電源的雙重化、高度



可靠性的無停電電源裝置。特別在自動化、省力化觀點上對控制方式採用了集中監視、分散控制方式，盡量減輕操作員的負擔。(圖 8)

7.腐蝕對策

幾乎所有的設備因與海水有所接觸，長期處在極容易發生腐蝕的環境中，故所有設施及配件均採用耐腐蝕之高級材質。

8.放流設備

因顧慮到淡水回收後向海中放流每日水量 6 萬 m³，鹽分濃度約 5.8%的濃縮海水對周邊海域海生生物等所致影響，乃預先實施模型實驗與模擬操作，依據其所得結果，於海中設置放流塔並在其先端部分裝設噴嘴，以向上 45 度角度予以水中噴射，結果證實以此方法擴散稀釋時，可得最佳效果，並對海生生物的影響可減至最少。

造水成本

造水成本的試算因設施規模、裝機地點條件(水質、用地、取水、排水、配水等問

通用的基準實在有所因難。

沖繩縣北谷海淡場於計算造水成本時所開出試算條件中所設定數據有總建設費用 356 億日圓、設施規模 4 萬 m³/日、運轉率 90%、回收率 40%、設施使用年限 20 年、國庫補助率 85%。經此所算出的 1m³ 單位成本約為 160 日圓。本計劃若無補助金時，其成本約估為 344 日圓。在 160 日圓成本中較為顯著的是動力費，佔總體操作成本的 40%左右，但本計算並未包含設備折舊、利息等資本支出，圖 9 為海水淡化成本分析架構圖，乃分析海淡成本應考量之重要因子。

生產水質

日本厚生省於 1992 年 12 月公佈了新的水道水質基準，新訂基準包括了水質基準項目 46 項、快適水質項目 13 項、監視項目 26 項等合計達 85 項目，較先前大幅度的增加，其內容也更加嚴謹，故海水淡化之生產水是否能符合新訂的水質基準，理應慎重檢討。

海水中約含有 75 種類以上的元素，其中主要成份為鹽類，有 Cl、Na、SO₄、Mg、Ca、K 等約 10 種。這些成份以逆滲透膜去除可達 99%以上，去除率非常高，此外，有機物或細菌等，也能有效的被去除。

透過逆滲透膜的透過水，其水質中的硬度成份低，約為 10mg/l 以下，PH 也低到 5.5 左右，氯成份則不致被殘留。此項特點如前所述，與陸水系統的淨水滲混，並經水質調整後供應給用水戶，不但可符合新規之水質基準，且有改善水質之特色。

一般海水淡化設施為防止生物障礙而注入些許氯氣，此項氯氣與海水中存在的 Br 作用後會生成以三溴甲烷(溴仿)為主體的三鹵甲烷(THM)。因此於選擇滲透膜時採用了阻擋 THM 能力較高的聚胺(Polyamide)膜，如此才符合了水質基準。

營運管理



1.由 1995 年 12 月下旬起，經一個多月綜合試車及調整，於 1996 年 2 月開始 1 萬 m³/日規模的實機運轉；1996 年 8 月起以 2.5 萬 m³/日規模進行實機運轉，1997 年 3 月開始全量能 4.0 萬 m³/日規模進入實機運轉，結果證實全機運轉所生產海淡水的水質、水量均能符合計劃的要求。

2.本設施的運轉管理體系直接隸屬於沖繩縣企業局，有職員 13 人以三班制輪替執勤；在水質管理方面則另請水質管理事務所代理運作。

3.海域環境監測(Monitoring) 以每年實施一次為目標，依 1996 年所實施的第一次調查結果評估，海淡設施無論對海域水質、海生生物、動植物浮游生物(Plankton)而言、幾乎未見到有何影響；鹽分濃度在 3.5%左右，各測定地點均在一般鹽分濃度範圍內，連最接近放流塔的測點上下層也未看到濃度差；在珊瑚的被覆程度方面，造礁珊瑚的變化很少，只在各測點看到軟珊瑚(soft coral)的被覆程度有所增加；放流海水的水質調查，於放流水貯槽測定 SS、

表-2 運轉管理狀況

項目	單位	96年3月	96年9月	97年4月	備註	
1	產水率	%	39.5	39.6	39.8	設計值40
2	消費電力	Kwh/m ³	5.32	5.34	5.36	
3	能源回收率	%	28.1	27.4	29.5	設計值30
4	海水 PH		8.3	8.3	8.3	
5	海水導電度	μ S/cm	52,000	51,600	51,700	
6	海水SDI		4.18	3.66	4.92	
7	RO供給水PH		6.8	6.9	6.5	
8	RO供給水SDI		2.02	2.17	2.11	污泥密度指數
9	RO處理水PH		5.4	5.6	5.2	
10	RO處理水導電度	μ S/cm	345	323	305	目標值 720以下
11	放流海水PH		7.2	7.3	7.0	
12	放流海水導電度	μ S/cm	78,300	76,200	76,700	
13	脫鹽率	%	99.64	99.66	99.68	

正己烷(n-hexane)萃取物質及 COD，除 SS 有數次稍為超出目標值 2mg/l 外，其餘在目標值以下。

4.運轉管理情形如表-2、表-3 所示。

結語

1.沖繩的日產四萬噸海淡設施，自從 1996 年 2 月開始供水以來已經過六年多，由於規劃過程經過審慎評估及周詳的海域調查，所生產的水量及水質均能達成當初的計劃目標值，其設施已充分發揮了原規劃之預期性能。

2.如何評估取得澄清的水質及設計適當的前處理為膜式海淡『降低成本』及確保『成

表-3 動力及藥品費實績

	項目	96年3月	96年9月	96年4月	計劃值
動力費	使用量 Kwh/m ³	5.32	5.34	5.36	5.47
	費用 日圓/m ³	59.49	65.20	68.49	56.33
藥品費	NaOCl日圓/m ³	0.90	2.10	1.50	2.00
	FeCl ₃ 日圓/m ³	0.90	1.20	1.80	1.30
	SBS日圓/m ³	10.00	11.90	10.10	8.90
	H ₂ SO ₄ 日圓/m ³	3.00	2.10	4.60	6.70
	NaOH日圓/m ³	1.10	0.40	1.20	1.00
	計	15.90	17.70	19.20	20.00

功操作營運轉』之重要關鍵，而國人卻往往忽略這個要項，這或許就是膜式處理在國內許多失敗案例的原因之一。

3.沖繩之海水淡化設施之規劃，並非以替代傳統水資源為目標，而是為了填補水資源之缺口，同時兼具做為乾旱時期之水資源調度應變措失，平常時期運轉率僅為 25%，此亦為維持逆滲透膜海水淡化系統正常運轉之基本需求。

4.海淡今後將朝向更有效率的運轉管理以期降低成本，目前最重要的課題為高效率前處理系統之開發 增長膜的壽命提升膜對水質之負荷能力提升產水率能源之再利用與回收降低膜之生產成本等問題。

5.沖繩的海淡廠的經營規劃十分成功，使居民擺脫了乾旱缺水之苦，足為我國開發海水淡化之參考。