

利用太陽能淡化海水之可行性研究

A Feasibility Study on Solar Distillation

國立台灣大學農業工程學系講師

陳 增 壽

Tzen-Show Chen

摘 要

台灣雖然為雨量豐沛之海島，但因降雨分佈不均勻，部份離島地區仍有缺水之情形，為這些地區尋求經濟可靠之水源，實為一急待解決之問題。上述地區均有充分之海水，良好之日照及較廉價之土地可供利用，具有利用太陽能淡化海水之條件，本研究乃嘗試探討利用太陽能淡化海水以供一般需水之可行性，主要目的在收集各種基本資料，以供日後設計或推廣之參考。研究中採用以不同材料製成之小型盆式太陽能蒸餾器做試驗，記錄各蒸餾器在不同水濃度下之實際產水情形，並將產水量數據與同時收集之氣象資料作統計迴歸分析，供作日後可行性分析時預測產水量之依據。同時亦將試驗進行所遭遇的問題列舉討論，作為日後設計及運作之改進參考。

關鍵詞：太陽能，海水淡化，水資源。

ABSTRACT

The precipitation of Taiwan is quite abundant. But rainfall distribution is neither uniform in time nor homogeneous in space. Some isolated islands experience water shortage from time to time. Thus, finding enough water supply for public uses is of great necessity. These regions usually have good climate: high temperature and strong solar radiation, and also have lots of cheap land available. These conditions meet the requirement for using solar distillers to supply fresh water in small scale. This research tries to do some pilot study to investigate the flexibility of using solar distiller to relax the urgent needs of fresh water in the regions mentioned above.

Small basin-type solar distillers made of different materials are for experiment. Water of different concentrations are used for test. The water yield data are collected and analyzed to get regressive functions for future prediction of water yields under different weather conditions and/or at different sites.

Keywords : Solar energy, Distillation. Water resources.

一、前言

台灣雖為海島且雨量豐沛，但因降雨在時間及地理上分佈不均勻，部份地區如離島及偏遠之濱海地區仍有缺水的現象；另有部份沿海區域，由於地下水含有超量的重金屬而不適於飲用，也造成供水之問題，故尋求一可靠且經濟的方法來供應生活所需之用水，實為一值得探討之問題。

一般而言，由遠處輸水供應或利用目前一般之海水淡化機均需要較高的成本，如輸水管系統之埋設及長期操作之沉重能源消耗等。若利用太陽能來淡化海水（或其他必須處理方可使用之污染水），則除了初期的設備投資外，幾乎不需要操作成本。使用此種方法必須要有下列之條件配合：

1. 缺水地區，但有海水或污染水可資利用者。
2. 良好的氣候條件，如高溫、日照良好等。
3. 需水量少。
4. 有足夠之廉價土地或荒地可供使用。

本省所處緯度低屬於亞熱帶及熱帶型氣候，終年高溫且日照良好，而且上述之缺水地區（如離島或沿海區域）均有較多可利用之荒地，所以利用太陽能來淡化海水或蒸餾污染水，以供應區域性之飲用水需求，應為一可以考慮之方法。

不論用何種方法來解決供水問題，產水之可靠性及經濟性乃是首要條件。本研究之目的在從事以太陽能淡化海水之先驅研究，收集基本的文獻及資料，並作產水量分析及經濟可行性之探討，以供日後設計或推廣之參考。

目前之文獻內可以找到許多有關利用太陽能來淡化海水之設計資料，其中以盆式海水淡化器（Basin Distiller）最為經濟適用，故本文主要係針對此類型之淡化器加以研討。

二、太陽能淡化海水之原理

太陽能海水淡化器，一般又稱為太陽能蒸餾器，其基本的結構如圖 1 所示，包括蒸餾盤（池），透明覆蓋面、集水溝、淨化吸收槽及排水溝等部份。來自太陽的輻射能透過覆蓋的透光面被蒸發盤內的水吸收，水吸熱後蒸發成水汽再和蒸餾器內的空氣一齊對流，當水汽接觸到溫度較低的透光面時會凝結成水滴，而後沿著傾斜的透

光面進入集水槽而流入淨水集中槽內。太陽能蒸餾器產水量的多少和下列因子有關：

1. 氣候：溫度、風速、雲量、日照時數及入射量等。
2. 蒸餾器使用之材料及面積。
3. 蒸餾器之結構設計：密閉性、隔熱性等。
4. 蒸餾器之操作及維護。

理論上，一組蒸餾器之產水量可以由熱平衡推導出來，其方法詳見於現有的許多文獻上，但因其涉及的因子如熱傳導係數，覆蓋面之反射損失，蒸餾器之接縫及邊緣的熱傳導損失率等均不易實測，故本文中不擬採用此種方法，而改以實際實驗測得實驗數據，經過統計分析，求出一迴歸方程式，作為推估產水量之依據。

三、太陽能蒸餾器之結構及設計

盆式太陽能蒸餾器（Basin-Type Solar Distiller）之結構概略如圖 1 所示，包含了下列各部份：

1. 蒸餾盤（又稱蒸發池）

一般以金屬、木材、塑膠、混凝土或其他之合成材料製成，表面塗成黑色以增加對太陽輻射之熱吸收率，接縫以瀝青或砂填充劑粘合，必須做到水密，並於其外層包以隔熱材料以降低因熱傳導所造成的熱量損失。

2. 透明覆蓋面

在蒸發盤上覆蓋由玻璃、塑膠等材料構築之透光面，以阻絕蒸餾器內高溫高濕度之空氣和環境產生對流，並充作蒸餾器內之凝結面，故覆蓋面必須透光良好，折射反射少，並且需要完全氣密，防止水汽及熱量逸失。

3. 集水系統

包括集水溝及淨水吸收槽，以吸收凝結之淡化水。

由於產水是太陽能蒸餾器的最大目的，故有關蒸餾器之設計均以增加產水量為基礎，一般需考慮下列因子：

（一）氣候因素

氣候因素對太陽能蒸餾器產水量有直接的影響，一般須考慮下列各氣象因子：

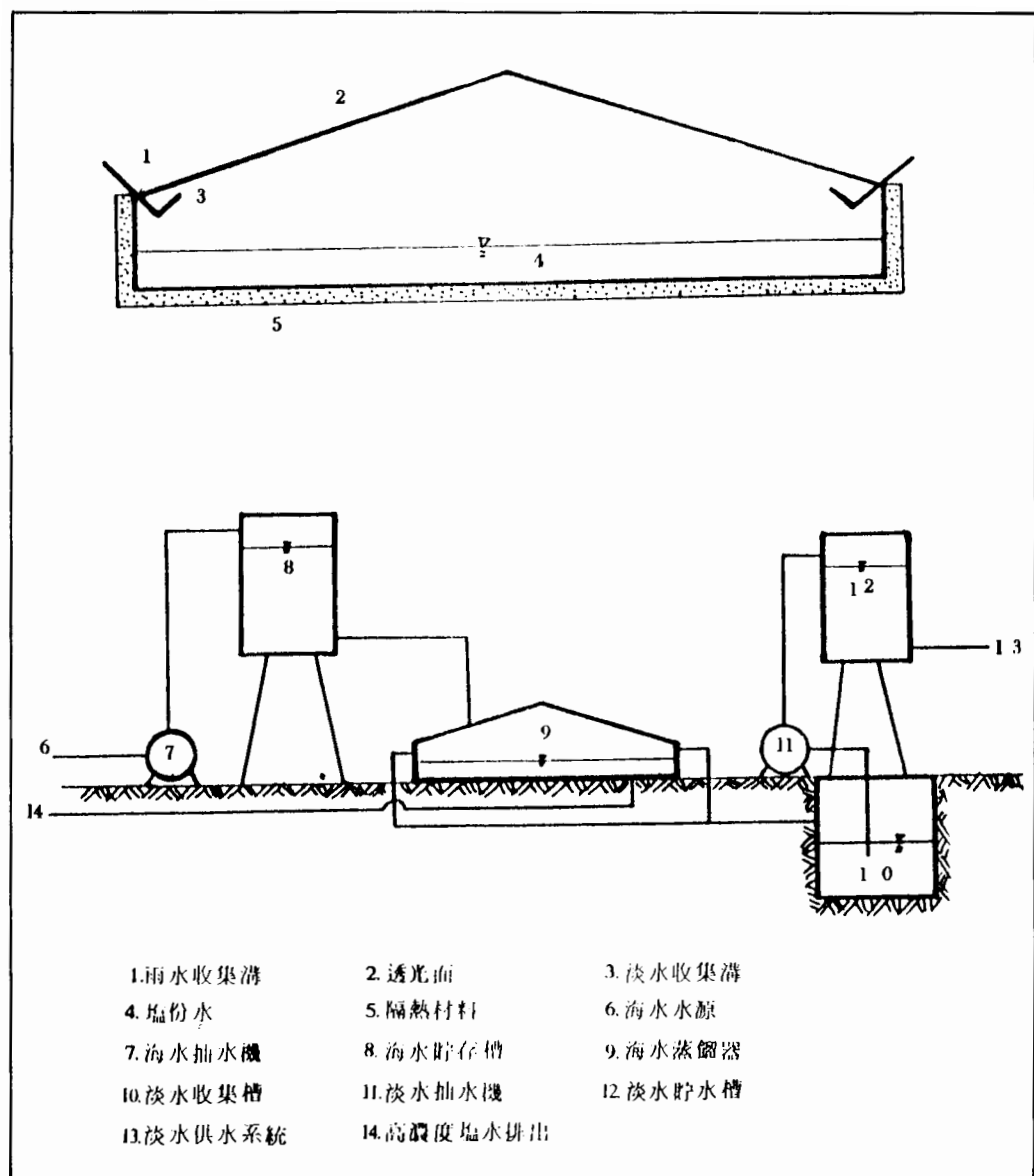


圖 1. 太陽能蒸餾器之基本結構

1. 太陽入射量：由於太陽能是進行蒸餾之唯一能源，故入射量和產水量有直接之關係。由文獻以及本研究之實驗數據顯示，入射量和產水量呈直線之相關。

2. 空氣溫度：氣溫影響透光面和蒸餾器內濕熱空氣之溫差，故和水器之凝結速率及蒸餾器對環境之熱損失有關。

3. 風速：風會降低凝結面之溫度，增加水汽之凝結速率，但亦同時增加蒸餾器對環境之熱損失率，故也會影響產水量。

4. 降雨：因蒸餾器亦可經由其覆蓋面收集雨水並加儲存以供使用，故降雨之強度，雨量及頻率均影響蒸餾器之設計。

(一)設計面積及儲水量

利用太陽能必須考慮其能量並非恆定供應的特性，太陽能蒸餾器之產水量亦因此項特性而隨時間分佈有很大的變化。例如陰雨天之產水量較晴天低，而冬季之平均產水量又較夏季少，冬季之產水量可能低至僅有夏季平均產水量的 20 % ~ 30 %，甚至會有幾乎沒有任何產水量之情形。一般之設計是以每單位蒸餾面積之年總產水量為依據，將應供應之總產水量除以單位面積之產水量而推估出蒸餾器之設計面積。又由於產水量隨時間分佈之不同而有變異，故應就產水量及需水量以時間作基礎加以分析，以決定是否需要設置儲水設備及儲水量之多少。

(二)蒸餾器之密閉性

太陽能蒸餾器是靠透明之覆蓋面來隔絕蒸餾器內之空氣和外界對流，藉以累積來自太陽輻射之熱能以達到蒸餾之目的。故蒸餾器若沒有完全氣密，則會因器內水汽及熱量逸出而顯著的降低產水量，因此蒸餾器之各處接縫均應以瀝青或矽膠粘劑密封，以提高產水效率。

(三)蒸餾池之隔熱絕緣及防漏

蒸餾池 (Basin) 必須施工良好，不可有漏水之情形，其外應包以隔熱材料，降低因熱傳導而產生之熱量損失。另外因蒸發池內盛放的為鹽份水，故其結構材料之選用亦應注意，宜採用耐酸鹼並可抗腐蝕之材料，如不銹鋼或 FRP 等，並在其表面塗以黑色塗料以增加熱吸收率。

(四)淡化收集裝置

水汽在凝結面上凝結後，若凝結面之傾斜度不夠，則凝結於其上之水滴可能受重力影響再滴回蒸發池而降低產水率，故凝結面應保持 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 之傾斜，使凝結的水滴可以順利的沿著斜面流入收集溝內，但傾斜的角度也不宜太大，以降低透光面之面積，減少蒸餾器的重量及成本。另外淡水收集溝的坡度及斷面也應注意，使流入其內的水得以迅速排入集水槽，而不至外溢又再流入蒸發池內。

(五)透光覆蓋面

透明覆蓋面在於防止蒸餾器內高溫的空氣及水汽外溢，且提供一累積熱量之環境，故應具有高透明度，減少熱反射，並且應該有合適之強度

及良好的耐候性，且需注意清洗維護之方便性。

(六)雨水收集裝置

降雨時落在蒸餾器覆蓋面之雨水亦可收集以供利用，就一定之蒸餾器面積而言，可以認為是產水量之增加，而對一固定之設計供水量而言，則可減少蒸餾器之設計面積，不論由那一個觀點來看，均可降低供水的成本。由於實際降水之頻率及雨量並不穩定，下雨時之太陽入射量會明顯降低，產水量亦隨之減少，故在推估此部份之供水時宜採保守之估計。此外，雨水之水質不一定純淨，應考慮是否需和淡化水分開儲存，經簡易的處理後再供應使用。

四、太陽能蒸餾器的操作及維護

太陽能蒸餾器之操作及維護對其產水效率及使用年限有相當大的影響，分述於下：

(一)水之預前處理

由於蒸餾器採密閉式設計清理不易，且蒸發池內之水幾乎呈靜止狀態，所以當蒸餾的水在進入蒸餾器之前，應先經沈澱或簡易過濾等處理，以防止產生雜物或浮游物在蒸餾器內沉積或阻塞排水口等問題。如有必要，並須加入硫酸銅等殺藻劑以防止藻類之生長。

(二)換水及操作水深

蒸發池內的水會因蒸發而增加其濃度，因而降低蒸發速率減少產水量，並且可能形成結晶而腐蝕容器，故應經常換水以維持池內合理之鹽份濃度。但不適當之換水也會將儲存於水內的熱量帶走而降低產水率，一般均在鹽份濃度較原來濃度加倍時換水，而換水時間大都選在清晨，因在清晨時水中所儲存的熱量最少。換水的頻率亦和氣候及池內之水深有關，若蒸發池內的水深小，則在午後輻射最強時之最高水溫會較水深大的情況高，因而提高產水量，但因水深小，水量少，故儲存於水中的熱量少，太陽下山後水冷卻較快，所以在傍晚或入夜之初，產水量會較水深大之蒸餾器少，一般設計之操作均定在水深 $2'' \sim 4''$ 左右。

除了上述整批式換水外，亦可採用連續小量供水的方式來換水，即將待蒸餾的水不斷小量的補充進去，多餘的水在鹽水溢流口排出，以維持

固定之水深及濃度。但此種方式會因水的不斷更替而帶走部份熱量，前述之整批式間隔換水則無此缺點，並且可在每次換水時一併沖洗蒸發池。

降低其透光率，減少產水效率。

(二)清潔

除了蒸發池需定期沖洗以防止鹽垢堆積外，覆蓋之透光面亦應定期清洗，避免因灰塵累積而

五、試驗之方法及設備

本研究使用自製之小型盆式蒸餾器做試驗設備，其各部之尺寸如圖 2 所示，並詳述其構造如下：

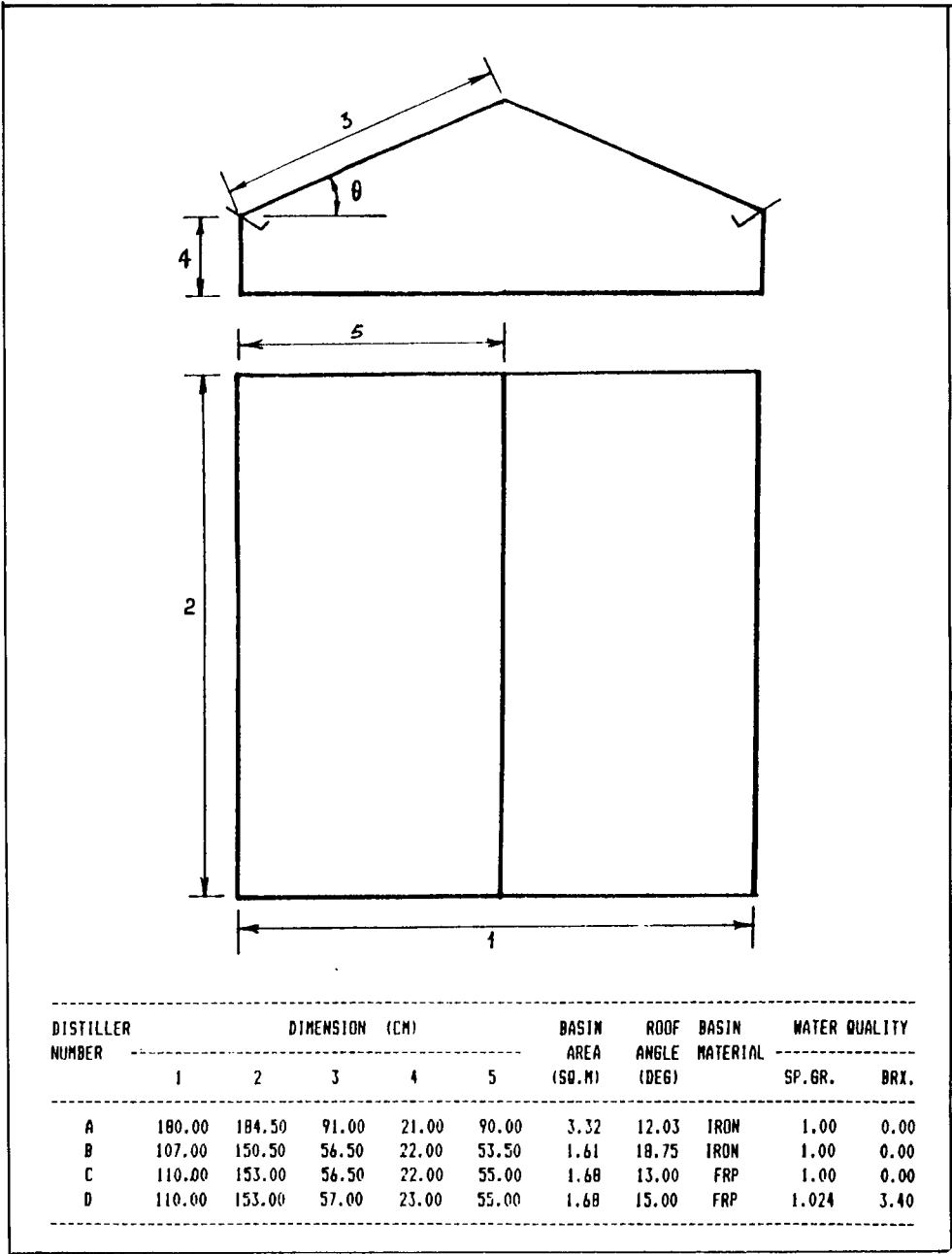


圖 2. 自製試驗用小型盆式蒸餾器之尺寸

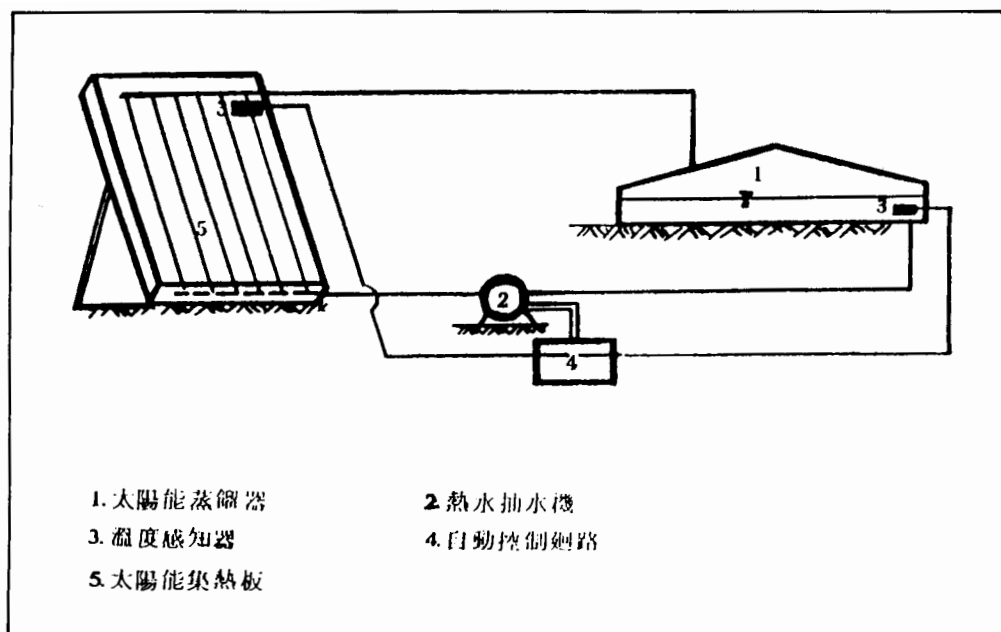


圖 3. 太陽能集熱板安裝示意圖

(一) 蒸發池

採用鐵及 FRP 兩種材料。鐵料厚 2mm，其上塗以防銹塗料，再塗上黑色之油漆，FRP 亦塗成黑色，以增加熱吸收率。蒸發盆外用 2.5cm 之保利龍包覆加以隔熱，以降低由蒸發池向四周環境之熱傳導所引起之熱損失。

(二) 覆蓋面

蒸餾器之覆蓋面採用台灣玻璃公司產製的 3mm 透明玻璃，透光面和蒸發池間之接縫以矽膠 (Silicon Sealant) 黏合使其氣密。

(三) 集水溝及集水槽

在蒸發池兩側和透光面接合處安放兩條集水溝 (如圖 1 所示)，以截取凝結於透光面而流下之淡水，並用塑膠導管將淡水立即排出導入淨化收集桶內。

(四) 水之鹽份濃度

供給之待處理水分為淡水及食鹽水兩種，以便找出濃度和產水量的關係。本試驗採用食鹽水模擬海水，食鹽水是依在澎湖地區多處海濱實際量測所得之海水濃度為泡製標準。

(五) 資料之收集

每天固定於晨間 8:00 量測並記錄前一日淡

化器所生產之淡水體積，並在蒸發池內加水以保持固定之水深及濃度。另外，並於距離淡化器約兩公里處之國立屏東農專氣象測站同時收集相關之氣象因子，包括雨量、蒸發量、氣溫、最高及最低溫、相對濕度、雲量、風速、日照時數及入射量等，配合淡化器之產水數據供做分析之基本資料。

六、資料分析

本研究試驗由民國 71 年 3 月至 72 年 3 月共收集 12 個月的蒸餾器產水數據，供作分析之基礎。試驗所得數據經整理後列如表 1，數據共分六組：

第一組：於 73 年 3 月至 10 月及 72 年 1 月至 3 日期間內，由淡化器 A (不附加太陽能集熱板) 收集之產水數據。

第二組：淡化器 A 附加美商 Gruman 所製 332A 型之太陽能集熱板，於民國 71 年 11 月至 12 月間收集之產水數據。附加太陽能集熱板之目的在提高淡化器內之水溫，以期增加單位面積之產水能量。太陽能集熱板之安裝情形如附圖 3，淡化器內的

表 1. 試驗數據摘列表

		MEAN	RELATIVE	WIND	CLOUD	SUNSHINE	SOLAR	MONTHLY	MONTHLY	
MONTH		TEMP. (C)	HUMIDITY	SPEED		HR	RADIATION	RAINFALL	EVAP	
			(%)	(M/HR)	(0-10)		(LNY/DAY)	(MM)	(MM)	
71	3	22.80	79.00	1.20	5.70	296.80	11312.80	0.80	103.00	
	4	23.90	75.00	1.44	6.80	304.10	10797.30	61.90	105.70	
	5	27.10	75.00	1.46	5.60	342.20	12672.80	199.70	132.70	
	6	27.90	77.00	1.22	7.30	330.10	11253.30	439.20	104.90	
	7	28.50	79.00	1.50	5.50	320.20	12783.50	692.80	134.90	
	8	28.10	82.00	1.08	6.10	330.30	10642.30	380.50	102.50	
	9	28.10	78.00	0.94	3.90	318.10	10586.10	179.70	127.70	
	10	26.70	72.00	1.00	3.50	319.30	9668.30	21.90	110.30	
	11	24.30	81.00	0.78	7.60	288.00	7657.80	96.50	75.00	
	12	19.90	80.00	0.70	5.50	297.60	7791.90	7.90	68.90	
	72	1	19.30	86.00	0.83	8.00	285.80	6720.80	16.30	56.70
		2	19.90	87.00	0.73	7.70	264.00	6832.60	93.40	52.90
3		21.80	84.00	1.66	8.00	296.30	8503.90	146.60	82.70	
TOTAL						3992.80	127223.40	2337.20	1257.90	
AVERAGE		24.48	79.62	1.12	6.25		9786.42			

MONTH		WATER			YIELD		(CC/DAY)	
		A	A1	B	C	D	D1	
71	3	5040.30						
	4	5366.30						
	5	6316.00						
	6	5645.00						
	7	6475.20						
	8	5002.20						
	9	6034.00						
	10	4600.00			1726.60	2411.30		
	11		5217.80		1617.60	2280.00		
	12		5227.90		1416.10	1550.00		
	72	1	3565.50		1801.30	1162.30		720.00
		2	2516.80			1253.00		1277.10
3		3440.30			1854.70		1768.60	
TOTAL		54001.60	10445.70	1801.30	9030.30	6241.30	3765.70	
AVERAGE		4909.24	5222.85	1801.30	1505.05	2080.43	1255.23	

NOTE: 1) A1 IS DISTILLER A WITH SOLAR PLATE.
2) D1 IS DISTILLER D WITH SALT SOLUTION.

表 2. 複迴歸分析結果摘列表

DATA SET	COEFFICIENT OF DETERMINATION	SUM OF ERROR SQUARE										
		DUE TO RESIDUAL	DUE TO REGRESS	DUE TO C1	DUE TO C2	DUE TO C3	DUE TO C4	DUE TO C5	DUE TO C6	DUE TO C7	DUE TO C8	DUE TO C9
1	.889	157900000 (PERCENTAGE):	1.268E9 97.79	1.24E9 0.12	1517000 0.02	234300 1.04	13160000 0.20	2596000 0.01	114000 0.04	470400 0.00	19800 0.80	10150000
2	.883	42360000 (PERCENTAGE):	319400000 84.38	269500000 6.84	21850000 3.01	9627000 2.03	6490000 2.15	6880000 0.00	1257 0.13	418500 0.08	251100 1.38	4398000
3	.769	53070000 (PERCENTAGE):	176900000 92.82	164200000 0.22	389200 0.01	25880 0.01	23320 2.92	5164000 0.01	9708 0.95	86170 0.08	141200 3.90	6907000
4	.79	41340000 (PERCENTAGE):	156000000 89.10	139000000 0.03	42360 2.18	3402000 1.36	2125000 1.29	2015000 0.26	406100 1.24	1934000 0.83	1302000 3.69	5763000
5	.955	2349000 (PERCENTAGE):	49960000 90.65	45290000 1.96	979200 1.56	780700 3.99	1994000 0.91	453700 0.05	25570 0.03	16650 0.32	161600 0.50	251700
6	.969	402300 (PERCENTAGE):	12720000 95.52	12150000 0.35	44330 0.66	83960 1.96	249500 0.05	6915 0.97	123400 0.26	33320 17620	17620 0.14	6953 0.05
		AVERAGE	91.71	1.59	1.24	1.73	1.26	0.22	0.29	0.24	1.72	
NOTE: C1 : SOLAR RADIATION C2 : SUNSHINE HOUR C3 : DAILY TEMPERATURE DIFFERENCE C4 : MEAN DAILY TEMPERATURE C5 : SQUARE OF MEAN DAILY TEMPERATURE C6 : CLOUD C7 : AVERAGE WIND SPEED C8 : RELATIVE HUMIDITY C9 : EVAPORATION *DATA SET 1: DISTILLER A WITHOUT SOLAR PLATE. 2: DISTILLER A WITH SOLAR PLATE. 3: DISTILLER C. 4: DISTILLER D WITHOUT SALT. 5: DISTILLER D WITH SALT SOLUTION. 6: DISTILLER B.												

水經由一熱水抽水機打入集熱板內，吸熱後再回流入淡水器中。熱水抽水機之運轉是經由一電子線路自動控制，當放置於淡化器內之熱感器與放置於集熱板內之熱感器之間產生 5 °C 之溫差時，抽水機即自動開啓，強制水流循環，直到兩個熱感器間之溫差降至 5 °C 以下為止。

第三組：由淡化器 B 所收集之產水數據，此淡化器因為施工不良，觀察一個月之後即行停用。

第四組：71 年 10 月至 72 年 3 月間由淡化器 C 所收集而得之產水數據。

第五組：71 年 10 月至 12 月由淡化器 D 試驗收集所得之數據，此期間內之試驗使用淡水。

第六組：淡化器 D 於 72 年 1 月至 3 月，使用食鹽

泡製模擬海水做淡化試驗，所得之產水數據。

所有試驗數據經整理後輸入電子計算機內，利用由美國賓州大學發展出來之統計套裝程式 MINITAB 做統計迴歸分析，首先以淡化器之產水量做應變數，各種氣象因子做自變數，進行步進複迴歸分析 (Stepwise Multiple Regression Analysis)。採用做自變數之氣象因子包括太陽入射量、日照時數、日均溫、日溫差、雲量、平均風速、相對濕度及蒸發皿之蒸發量等等。在做迴歸分析之前，曾分別將各氣象因子之數據對淡化器之產水數據在直角坐標上做散佈圖 (Scattered Diagram) 觀察，結果發現除了日均溫外，其他各氣象因子均和產水量呈近似直線之關係，故在迴歸分析中，除了日均溫作二次迴歸考慮外，其他各氣象因子均做一次線性迴歸處理，分析所得之結果，摘列於表 2。

由表 2 得知，由六組數據作複迴歸分析後所得之決定係數 R^2 ，其中最低者為 0.77，亦即最低的複相關係數為 $(0.77)^{1/2} = 0.88$ ，結果尚稱良好。由表 2 亦可看出，大部份之資料變異量 (Variances) 均可由入射量因子來解釋，在六組數據內，迴歸所能預測的變異性中，可以由入射量因子解釋之部份所佔的百分比分別為 97.79，84.38，92.82，89.10，90.65 及 95.52，所佔的比例都相當高，由此推論，若僅用入射量為單一自變數和產水量做線性迴歸分析，應該也會有相當良好的效果。

根據上述的推論，將六組資料分別以產水量做應變數，入射量做自變數，進行單變數線性迴歸分析，所得之結果，摘列如表 3。表 3 中列出各組數據經迴歸分析所得迴歸方程式之係數、決定係數、相關係數及以民國 71 年元月至 12 月屏東地區之累積入射量 ($124381.18 \text{ Cal/cm}^2$) 代入迴歸方程式所得之年產水量估計值。

以表 3 所列分析結果與表 2 比較，可以發現決定係數值 R^2 並未因減少自變數之個數而明顯降低，相關係數均在 0.84 以上，可知僅採用入射量做單一變數來做迴歸分析，亦可得到相當良好之結果。

比較表 3 中所列利用迴歸方程式預測所得民國 71 年屏東地區之產水量，可以得到下列之推論：

1. 由三、四兩組數據比較。C、D 兩淡化器同是

以 FRP 製成。面積均為 1.68 m^2 。單位面積之年產水量分別為 458969c.c. 及 467308c.c.，十分相近，由此可推論產水量和淡化器之面積呈線性比例關係。

2. 由第一組數據之單位面積年產水量 591842c.c. 超出第三、四組之年產水量甚多 (約 30%)，可以推測鐵製淡化器之產水效果較以 FRP 製成之淡化器良好。
3. 由第四、五兩組數據比較，使用同一淡化器 D，以食鹽水做淡化器水源之年產水量 (422500 c.c.) 雖較以淡水做淡化器水源之年產水量 (467308 c.c.) 要低，但並沒有顯著之差異 (不到 10%)。由此可知淡化器所用水源的濃度對產水量之影響不大。
4. 由第一組和第二組數據比較，在淡化器 A 加裝太陽能集熱板來加熱淡化器內之水，雖然可以提高年產水量 11% 左右，但並沒有產生預期良好之效果。

七、結果及建議

- (一) 由試驗結果顯示，太陽能淡化器之蒸餾池 (Basin) 所用之材料，鐵材較 FRP 為佳，因為鐵盆單位面積之產水量較 FRP 盆為高。但若遇到構築大面積之蒸餾器時，則可考慮改用混凝土、瀝青及磚等較廉價的材料。在使用鐵材製

表 3. 單變數線性迴歸分析結果摘列表

DATA SET	Y = A + B * X		COEFFICIENT OF		STND. DEV. OF Y ABOUT REGRESSION	YIELD ESTIMATE	BASIN AREA	UNIT AREA YIELD
	A	B	DETERM.	CORREL.				
1	-307.55	15.80	0.87	0.93	979.58	1964915	3.32	591842
2	1091.80	17.60	0.75	0.86	1448.34	2190325	3.32	659736
3	-83.02	6.20	0.71	0.85	725.65	771068	1.68	458969
4	356.41	6.31	0.70	0.84	919.39	785077	1.68	467308
5	18.60	5.71	0.87	0.93	367.24	709800	1.68	422500
6	30.72	4.70	0.93	0.96	196.80	585219	1.61	363490
(1982) ANNUAL SOLAR RADIATION : 124381.18 CAL/SQ.CM								

造蒸餾器時，必須考慮防止鏽蝕之問題。本試驗所使用之淡化器 A，製造時雖然塗上一般之防鏽塗料（俗稱紅丹）後再加上一層黑漆，在試驗時使用一般之地下水做淡化水源，但經一年半使用之後，目前盆底已遭鏽蝕，表面黑漆已剝落而變成鏽斑及黃白之晶體，大大降低熱吸收之效果及產水量。由於淡化器為密閉式之結構，不易打開清洗及維護，且又長期浸泡在鹽水之中，故應在防鏽處理上做更完善之考慮。本試驗所使用之淡化器 B，在塗黑漆之前曾上一層「鉻鈉鋅」做防鏽處理，該淡化器後來雖因施工不良而停用，但經泡水 7 個月，至今仍未鏽蝕，防鏽效果相當良好，可以考慮採用。目前已有許多文獻論及塗料之性質、顏色及塗佈層之厚薄對熱吸收效果的關係，市場上亦有專供太陽能收集器使用之工業塗料，但價格均高。

(1) 關於透光面之材料，可利用的有玻璃、太陽玻璃 (Solar Glass)、透明塑膠及壓克力等材料。太陽玻璃雖然透光率高，效果良好，但尚屬於特殊產品，價格高昂。透明塑膠不易因日曬而老化，但一旦變黃變污時則降低透光率，必須經常更換。壓克力之强度高，不易破碎，本應為一理想之透光面材料，但本研究進行之初曾試製一約 1m^2 之小型壓克力淡化器模型，試驗結果發現水對壓克力之附著力很大，水滴凝結後不易流入收集溝內，且因水滴沾附在透光面上使透光率降低，大幅降低產水之效果，並且壓克力亦可能因長期之紫外線照射及冷熱變化而老化致生紋裂，故不適於使用，目前最經濟合用之透光面材料應屬透光玻璃，3mm 厚透光玻璃之透光率可達 91%，且耐候性及耐用性均佳，價格便宜，故建議採用。

(2) 透光面和蒸餾池本體之接縫必須緊密黏結，以防止水汽或熱量散失，本試驗所用之淡化器 A，原先以一般水族箱用之油灰土做接縫填充劑，但經一段期間使用之後，發覺效果不佳，因油灰土經日曬後會產生龜裂，故又採用矽膠填充劑 (Silicon Sealant) 黏接，矽膠填充劑之強度及伸縮性十分良好，耐候性佳，施工容易，為十分理想之接縫填充劑。

四 因為風帶來之砂土以及空氣中自然的落塵，淡化器之透光面十分容易因灰塵之堆積而降低透光率，故應常加擦拭以維持較高之產水率。但對大型之蒸餾器，人工擦拭實在有困難，可考慮抽取海水用噴頭噴灑的方式，淋洗透光面，一面亦可因水的淋洗而降低透光面之溫度，增加水凝結率而提高產水量。但因透光面兼用來做收集雨水之用，故若採用此種方式應注意在雨水收集系統內加上閘閥開關，以免淋洗後之海水流入雨水收集系統內。

(ii) 換水應經常實施，以維持蒸發池內合適之水濃度，換水的時間以清晨最佳，可以減少積存於水內之熱量因換水而流失。

(iii) 本試驗中曾嘗試探討將太陽能集熱板附加於淡化器以增加產水量之可行性，結果並不理想。附加太陽能板後雖可增加 11% 產水量，但和太陽能集熱板之價格比較結果，經濟效益小而不可行。

(iv) 本研究中建議以入射量作為產水量推估之依據，但台灣許多地區之氣象測站並沒有入射量之記錄，為彌補這項缺失，可用日照時數來推估日射量，目前大部份之測站均有日照時數之觀測資料。有關利用日照時數來推估入射量之方法，請參閱黃國禎與徐森雄所著「台灣地區日射與日照關係之初步探討」一文，徐森雄 (1982) 亦發現利用日照時數來推估入射量時，採用傳統感光式日照計所收集之資料較為準確，目前新型之電子式日照計因易受散射光熱量之影響，記錄之資料並不十分可靠，如用以推估入射量，效果並不良好。

(v) 有關太陽能設備之經濟分析，相當複雜，在此僅就試驗中所用之小型盆式淡化器做簡單的成本分析。試驗中所用之淡化器，包括材料、施工、隔熱等之成本，約為 $\text{NT\$}4800/\text{m}^2$ ，此項單價在大量生產時應會降低，在此暫以此項成本作為分析之依據，並以 71 年之估計產水量為基準（每平方公尺蒸餾面積之年產量為 0.59 m^3 ）來計算。

假設投資年利率為 10%（即 $i = 0.1$ ），使用年限為 10 年（ $n = 10$ ），則由投資年還本係數 (Capital

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (1)$$

其中：i = 年利率

n = 使用年限

可求得 $CRF = 0.1627$ ，每年所需之使用成本為(總投資成本 $\times$ CRF)。若不考慮維護等雜項費用，僅就設備之投資成本來分析，可求出每年生產 $1m^3$ 淡化水所需之成本為：

$$\frac{4800}{0.59} \times 0.1627 = NT\$1324$$

此項單價確實太高，若以此種方法供應一般用水，在經濟上實不可行，但若以此種方式供應完全缺水之小型離島居民之飲用水，則為值得考慮之方法。若以每人每日需要 4 公升之食用水(飲用及烹調)做估算標準，則每人所需之淡化器蒸餾面積為：

$$\frac{4 \times 365}{1000} \times \frac{1}{0.59} = 2.47m^2$$

即每人每年需要 $1324 \times 2.47 = 3270$ 元之供水成本(平均每月 272.5 元)，價格雖高，但對沒有其他水源之小型離島應仍為可行。另外，由淡化器產製之淡水，其水質幾近於純水，若有含鹽量較低之鹹水井，則可考慮將鹹水析入淡水內使用。由於淡水器可兼做雨水收集器收集降雨以補充供水需求，故可使上述之成本稍微下降。

00 本試驗研究因為時短暫，僅就太陽能淡化器概略加以探討，並收集相關之文獻及基本資料，希望對日後此方面之深入探討有所助益。有關太陽能淡化器之設計及操作技術，如表面塗料之性質、厚度，蒸餾池之隔熱，淡化器之擺向，蒸餾池及透光面材料之選擇，結構設計在清潔及維護上之考慮等等，仍有多方面亟須探討之處。

參考文獻

1. 林伯信，“太陽能盆式海水蒸餾池產水之原理及估計方法”，土木水利季刊，第三卷第一期，民國 64 年 5 月。
2. 沈鵬，“太陽能的技術應用”，徐氏基金會科學圖書大庫，民國 66 年 11 月。
3. 徐明同、陳正改、林蘭貞，“台灣氣象與太陽能發展之關係”，能源季刊，第六卷第二期，民國 65 年 4 月。
4. 張志純，“太陽能之理論及應用”，徐氏基金會科學圖書大庫，民國 68 年 4 月。
5. 黃文雄，“太陽能之應用及理論”，協志工業叢書，民國 67 年 6 月。
6. 黃國禎、徐森雄，“台灣地區日射與日照關係之初步探討”，中央氣象局氣象學報第 28 卷第一期，民國 71 年 3 月。
7. 賴鵬程，“太陽能系統分析與設計”，全華圖書，民國 71 年 11 月。
8. "Applied regression Analysis", N.R. Draper and H. Smith, 1966. "Corrosion Consideratuin in The Use of Aluminum, Copper and Steel Flat Plate Solar Collectors", J.M. Popplewell, Olin Metal Research Lab., New State University, 1977.
9. "MINITAB Reference Manual", Computer Center, Utah State University, 1977.
10. "MINITAB Student Handbook", T.A. Ryan, B.L. Joiner and B.F. Ryan, Duxbury Press, 1976.
11. "Selective Optical Coating For Solar Collectors", NASA Tech Briefs, Vol. 5, No.2, MFS-23589, 1980.
12. "Solar Distillation", Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York, 1970.

收稿日期：民國 85 年 8 月 14 日

接受日期：民國 85 年 9 月 4 日