

# 家庭用太陽能熱水系統之能源經濟分析

## The Economic Analysis of the Operating Performance of the Family Used Solar Water Heater

國立台灣大學農業工程學系學士      國立台灣大學農業工程學系副教授

譚元弘  
Yuan-Hung Tan

譚義績  
Yih-Chi Tan

### 摘 要

本文之主要目的是對採用平板式收集器的家庭用太陽能熱水系統做經濟分析，評估家庭裝設太陽能熱水系統是否具有經濟效益。本文是將用於模擬平板式收集器太陽能熱水系統的f-chart模式寫成電腦軟體來模擬家庭用太陽能熱水系統，便於選用適合的家庭用太陽能熱水系統。因此，本文期望能使f-chart模式的應用更為方便，對家庭用太陽能熱水系統的操作有更進一步的認識，有助於對家庭用太陽能熱水系統的推廣。

本文結論指出利用f-chart模式，對於家庭用太陽能熱水系統操作模擬及選擇上助益良多。本文建議推廣太陽能系統應以家庭為單位，不僅可減少家庭的開支，同時減低對傳統能源的需求，對國家的經濟發展貢獻卓著。因此，太陽能系統是否能廣泛使用，將是人類歷史延續的關鍵因素。

關鍵詞：太陽能，平板收集器，經濟分析。

### ABSTRACT

The main purpose of this paper is to make an economic analysis based on the operating performance of the flat-plate-collector solar water heater for a family, and to criticize the economic benefits of a family which installs the flat-plate-collector solar water heater. In this paper, a software of the f-chart model has been designed for the liquid based flat-plate-collector solar system that can simulate the operating process of the flat-plate-collector and make an economic analysis in order to choose a suitable solar heater. Therefore, this paper can make the achievement of the operating performance of the solar heater more precisely and help us to develop the solar heater to each family.

The conclusion of this paper points out that it is helpful when the f-chart model is utilized to simulate the operating performance of the flat-plate-collector solar water heater and assists us to choose an appropriate solar energy system. The conclusion of this paper proposes that the solar energy system be developed each fam-

ily as a unit. Using the solar system can not only lessen the expense of a family, but also reduce the dependence of the traditional energy. Furthermore, it is beneficial to the economic development for our country. The more popular the solar energy system, the longer the continuance of the human life.

Keywords: Solar energy, Flat-plate-collector, Economic analysis.

## 一、前 言

台灣天然資源貧瘠，主要資源（煤炭、石油、天然氣、鈾）依賴進口的比例達九成之多；由於地處亞熱帶，年均溫在攝氏20度以上；晝夜長短相近，不因季節更替而有顯著的差異；這樣的自然條件，非常適合太陽能系統的操作。縱觀先進國家中，地處高緯度的日本，太陽能系統的普及率近20%；以色列則有40%的普及率。反觀台灣地區，太陽能系統的普及率約1%而以。因此，太陽能系統的推廣，將有助於減低對進口能源的依賴；家庭用太陽能熱水器系統是一運用實例。

人類發展及應用太陽能的歷程可以下表示之：

年 代	人 物	貢 獻
215-212B.C.	ARCHIMEDES	發明反射鏡，將太陽能運用於戰爭上
1600'S A.D.	E.V. TSCHIRNHAUS	設計一直徑76公分的透鏡，利用太陽能聚焦來熔化金屬
1700'S A.D.	ANTOINE LAVOISIER	一雙凸透鏡，中間以酒精灌入，利用太陽能聚熱達攝氏1760度
1864-1878 A.D.	AUGUST MOUCHOT	設計多種太陽能蒸汽機
1907 A.D.	FRANK SHUMAN	使用110平方公尺平板式收集器的太陽能裝置，功率可達2.6KW
1911 A.D.	FRANK SHUMAN	使用960平方公尺收集器的太陽能裝置，功率為32KW
1935 A.D.	M. HOTTINGER	首先完成將太陽能運用於家庭的實驗

由於經濟的因素，使得家庭用太陽能系統在1970年以前沒有廣泛的推廣，直到能源危機發生之後，現有能源（煤、石油）日漸短少之下，家庭用太陽能系統才被普遍的使用。

近年以來，國內對太陽能系統應用的研究，大致可歸納入下表：

年 代	作 者	研 究 主 題
1977	張漢聖	太陽能烤煙（稻）系統之研究實驗
1978	李庭槐，張漢聖	太陽能溫室乾燥系統之熱傳分析
1979	吳中興，張漢聖	太陽能空氣加熱器之熱傳模擬分析
1980	張經正，馮丁樹，張漢聖	太陽能應用於循環式乾燥機之研究
1981	張漢聖，顏欽崇	圓筒式太陽能乾燥機之研究
1983	馮丁樹	小型稻穀乾燥機之改善及太陽能源之利用研究
1987	黃山樵，馮丁樹	屋脊式太陽能集熱器性能之模擬與研究
1987	張漢聖，蕭介宗	鋼皮圓筒倉頂太陽能收集裝置之設計研究
1988	張輝光，蕭介宗	圓筒倉頂太陽能收集器之性能分析

從上表得知，國內對太陽能系統的研究已有近十五年的歷史。

同樣將近年來國外的研究表列如下：

年 代	作 者	研 究 主 題
1959	R.J. Pelletier	太陽能今日及未來運用提出觀點
1963	B.Y.H. Liu & R.C. Jordan	對平板式收集器長時期使用的成效提出一合理的評估方法
1963	A. Whiller	對收集器的塑膠蓋之研究
1965	K.G.T. Hollands	加裝蜂巢式結構在平板式收集器內的研究
1965	A.F. Souka	對雙層曝露式平板式收集器的研究
1967	C.L. Gupta & M.P. Gang	對太陽能空氣熱機效用之研究
1971	K. Seluck	重疊玻璃平板式收集器的太陽能空氣熱機的熱能及經濟分析
1975	S.A. Klein	對平板式收集器損失係數的計算
1977	K.V. Chau & S.M. Handerson	對柵網收集器用於加熱空氣的效用之研究

由上表知國外對收集器 (Collector) 性能的研究相當多，有助於太陽能系統的發展與運用。

將太陽能運用於熱水系統及發電，有下列二優點：

- 1.無污染，對環境造成的破壞小。
- 2.以太陽做為能量來源，操作成本低廉。

比較台灣今日三種主要發電方式：水力，核能，火力（煤、石油、天然氣），都有其缺點，分述如下：

- 1.水力發電雖然污染少，不過水庫造成正常流量減少而使得的生態環境改變（如回流性魚類等）。
- 2.核能發電雖然效率高，不過產生的高放射性廢料及低放射性廢料終極處理及堆放場的設置規劃所費不貲。
- 3.火力發電中，燃煤電廠所產生的煤灰不易處置；燃油電廠及燃煤電廠所排放的廢氣中含大量二氧化硫，是酸雨的來源之一。天然氣發電雖然乾淨，不過單位發電成本高，較不合於經濟效益。

以歷年的資料評估，台灣水力發電佔總發電量的8.2%，燃煤火力佔29.9%，燃油火力佔20.9%，核能佔41.0%。煤炭93.4%需依賴進口，48.5%的煤炭總供應量用於發電；石油99.3%需依賴進口，16.6%的石油總供應量用於發電。由此得知，台灣九成以上的能源依賴進口，能源總供應量近三成用於發電。近年政府已成功的分散進口來源；但是隨著生活品質日益提高，用電不可缺少一日；如何減低對進口能源的依賴，是政府有關單位應正視的課題。本文所討論的，即是以太陽能熱水系統來取代傳統熱水系統（電、瓦斯）將有經濟上的利益；若可大量推廣，能減輕自國外進口能源的壓力。

## 二、f-chart 模式分析及使用

太陽能熱水系統主要元件包括收集器，儲存槽及循環管路三部分，此外，可能還有輔助熱源以供應無日照時使用，另外可能有強制循環用之幫浦，以控制水位或控制電動部分或溫度之裝置以及接到負擔之管路。太陽能系統的良好在於能否大量吸收太陽能及減少轉換過程中能量的損失；因此，收集器的效能便是決定太陽能系統性能的決定因素。

由於輻射量因季節不同，在經濟的考量下，合理的設計基準是以夏季的平均日輻射量；因此，在冬季時使用輔助熱源即可。月需求可以如此計算：

$$D = N_{\text{days}} N_{\text{persons}} V_{\text{persons}} \rho C_p (T_w - T_m)$$

其中

- $N_{\text{days}}$  = 每月天數
- $N_{\text{persons}}$  = 每一家庭成員數
- $V_{\text{person}}$  = 每一成員熱水需求量
- $\rho$  = 水的密度
- $C_p$  = 水的比熱
- $T_w$  = 熱水溫
- $T_m$  = 平均冷水溫

一般家庭用太陽能熱水系統，所使用的收集器絕大多數是平板式收集器；由吸收輻射量及出入水溫差可推導出熱效率方程式。再將前面計算出的總熱載帶入，可進一步推導出f-factor。推導平板式收集器的熱效率方程式及f-factor的詳細過程，請參考J.S. Hsieh著 "Solar Energy Engineering" P.130-138, 208-216。其中

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215$$

$$Y \text{ 當 } 0 < X < 3$$

$$0 < Y < 18$$

X, Y的物理意義為：

$$X = \frac{A_c F_R U_c (T_{\text{ref}} - \bar{T}_a) \Delta t}{D} = \frac{\text{總熱損失}}{\text{總熱載}}$$

$$Y = \frac{A_c F_R (\bar{\tau} \alpha) \bar{H}_t}{D} = \frac{\text{總吸收能}}{\text{總熱載}}$$

f-factor及X, Y的關係圖，稱為f-chart；並更進一步將f-chart作為模擬平板式收集器太陽操作的數學模式，即是f-chart模式。在本文中，採用f-chart模式來模擬家庭用太陽能熱水系統的操作。由於f-chart模式為美國所發展，因此相關數據皆採用英制單位，這是在運用f-chart模式需注意處。

為要設計一適當的太陽能熱系統，必先預測此系統的表現是否合於要求。因此，電腦模擬 (COMPUTER SIMULATION) 是將太陽能系統的適當數學模式撰寫成電腦程式來預測此太陽能系統的表現。所以，將f-chart模式寫成電腦程式使分析過程更為便捷。

f-chart模式的運用是基於不同的收集器面積，

以一年的熱載量來作分析。設計者可依下此來決定最適當的收集器面積大小，在經濟的考量下，使太陽能系統的運作最有效率。不過，在使用f-chart模式時，需注意下列3點：

- 1.f-chart模式不適用於單月的分析，僅適合於以年為單位的分析。
- 2.f-chart模式適用於單一家庭及小地區的熱水系統。除此之外，尚有其它的模式運用於不同的情況。
- 3.f-chart模式所運用的系統，最低操作溫度為20°C (68°F)；換句話說，需高於20°C (68°F)，系統才能運作。同時，需有英制單位的資料，f-chart模式才能操作。

在本文中，所討論的是平板式收集器家庭用太陽能熱水系統；因此，就可利用f-chart模式來分析。

現在，引用一個範例，某家有成員五人，每人每日平均使用30加侖的熱水，在設計上，增加20%的用量，應付冬季熱水較多的需要，輸入系統的水溫為50°F，系統輸出的熱水溫為140°F。由平板式收集器的構造知，透明蓋片數多寡影響太陽能的吸收，直接影響熱水系統的性能。因此，本範例選用二片透明蓋的平板式收集器。其中

$$F_R U_c = 1.04$$

$$F_R (\bar{\tau} \alpha) = 0.75$$

同時

$$\dot{m} = 16 \text{ lb/hr.sqft}$$

$$C_p = 0.7 \text{ Btu/lb.F}$$

$$\epsilon_c = 0.7$$

$$T_{\text{ref}} = 212^\circ\text{F}$$

此外

$$\bar{\tau} \alpha = 0.93 \sim 0.95$$

得到

$$F_R U_c = 1.01$$

$$F_R (\bar{\tau} \alpha) = 0.68$$

本範例中，收集器一片的面積大小是19平方英尺，以1至10片來計算那一種片數最適合。收集器每平方英尺可容納2加侖的水，輔助熱源每度2.2元。系統的費用是

8000元，每一片板子

16000元，幫浦，管，控制裝置

25元，一加侖儲存槽所需

使用20年，10%為每年操作及維護所需。本例中，所在地的基本資料為：

月	日射量 (Btu/sqft)	室外溫度 (°F)
1月	21890	42.4
2月	28770	52.3
3月	38681	64.5
4月	41325	66.9
5月	45690	75.7
6月	48204	84.7
7月	53632	94.9
8月	56983	92.1
9月	48657	86.3
10月	42672	74.2
11月	35723	62.1
12月	20567	51.9

因此，有了這些資料後，就可使用f-chart模式來求出最符合經濟效益的裝置。

### 三、分析與討論

本文軟體是配合LOTUS 123而設計出來的軟體，因為LOTUS 123具備有功能完整及使用方便的優點。f-chart模式的程式軟體作業流程是：輸入計算月熱需求及熱效率的資料來求出收集器面積不同時每月的f-factor。f-factor求出後，乘上月需求，逐月累加後換成公制，再乘上一度的單價，即得到年收益。再將年收益減去系統年還本及操作維護費後，就可得出年淨收益 (YEARLY NET SAVINGS)。表1~4表示本範例不同面積的月f-factor，年收益，系統成本，年還本及操作維護

率，年淨收益。圖1~4表示10，15，20，25四個不同使用年限的年淨收益圖。

由程式中得到的計算結果是收集器面積為114平方英尺時，淨收益最大 (圖3)，就是使用6片板子的情形下。不過，有幾點是必須注意：

- 1.這是沒有考慮通貨膨脹，利率，輔助熱源燃料上漲所得的簡易分析結果。若將上述加入計算後，將有不同的結果。
- 2.本範例是以20年為始用期間。若以15年，結果是使用6片板子 (圖2)。若以10年，淨收益為負值 (圖1)；這個結果的產生，是因為系統費用，維護及操作，輔助熱源燃料費用所至。若以25年，結果是7片板子 (圖4)，淨收益較20年為大；不過，使用時間愈久，系統故障率愈高，維護及操作費用增加，不符合效益。
- 3.計算中沒有考慮政府補助，若有，結果必然不同。
- 4.計算時，當f值出現大於1時，自動以1來處理。不過系統實際運作時，則不是模擬時所能掌握的。
- 5.輻射量資料的收集與儀器的架設有絕對的關係。系統實際運作時所得到輻射量與裝設的方向，角度有絕對的關係；因此，系統與儀器所得不相等的可能很大。

程式的最後一部分，將粗略計算得到的結果作詳細的分析，即是將利率，通貨膨脹併入處理，分析淨收益有多少。結果是系統裝置費用總支出的20%左右。當然，這個結果也將利率及通貨膨脹不同而有變化。不過，這樣的分析結果，顯示裝設太陽能熱水系統將帶來經濟上的利益可以大量推廣。

### 四、結論與建議

從前面的分析中，可得到下面五點結論：

1. f-chart模式為選擇家庭用太陽能系統上主要的模式，可模擬出近似實際的系統操作，為選擇家庭用太陽能熱水系統的重要輔助工具。
2. f-chart模式僅適用於平板式收集器；若使用其他型式的收集器，就必須改用該型式收集器的模式。
3. 家庭用太陽能熱水系統的使用確實可減少家庭對電，燃料的需求。在經濟分析中、使用太陽

表1. 各收集器面積之每月f-factor

收集器面積：單位

平方英尺

月份	19	38	57	76	95
一月	0.04422	0.08649	0.12691	0.16560	0.20268
二月	0.08977	0.17248	0.24848	0.31812	0.38176
三月	0.12212	0.23258	0.33201	0.42105	0.50033
四月	0.13952	0.26445	0.37562	0.47391	0.56015
五月	0.15450	0.29187	0.41318	0.51945	0.61174
六月	0.17407	0.32740	0.46135	0.57727	0.67652
七月	0.19266	0.36096	0.50660	0.63127	0.73665
八月	0.20525	0.38304	0.53539	0.66432	0.77186
九月	0.17646	0.33174	0.46724	0.58435	0.68446
十月	0.14162	0.26849	0.38146	0.48137	0.56908
十一月	0.11402	0.21762	0.31135	0.39576	0.47141
十二月	0.04138	0.08104	0.11909	0.15561	0.19070

月份	114	133	152	171	190
一月	0.23826	0.27245	0.30538	0.33715	0.36788
二月	0.43975	0.49245	0.54020	0.58337	0.62230
三月	0.57047	0.63213	0.68592	0.73249	0.77246
四月	0.63520	0.69991	0.75514	0.80173	0.84054
五月	0.69109	0.75854	0.81514	0.86192	0.89994
六月	0.76044	0.83038	0.88771	0.93377	0.96992
七月	0.82443	0.89630	0.95395	0.99906	1.00000
八月	0.86003	0.93087	0.98639	1.00000	1.00000
九月	0.76896	0.83924	0.89669	0.94271	0.97868
十月	0.64545	0.71131	0.76752	0.81493	0.85439
十一月	0.53883	0.59859	0.65124	0.69732	0.73738
十二月	0.22446	0.25698	0.28836	0.31869	0.34807

表2. 熱水系統年需求熱量及收益

收集器面積：單位		平方英尺				
月份	19	38	57	76	95	
一月	0.130	0.254	0.372	0.486	0.594	
二月	0.238	0.457	0.658	0.842	1.011	
三月	0.358	0.682	0.973	1.234	1.467	
四月	0.396	0.750	1.066	1.345	1.589	
五月	0.453	0.856	1.211	1.523	1.794	
六月	0.494	0.929	1.309	1.638	1.919	
七月	0.565	1.058	1.485	1.851	2.160	
八月	0.602	1.123	1.570	1.948	2.263	
九月	0.501	0.941	1.326	1.658	1.942	
十月	0.415	0.787	1.118	1.411	1.668	
十一月	0.324	0.617	0.883	1.123	1.338	
十二月	0.121	0.238	0.349	0.456	0.559	
年需求(MBtu)	4.595	8.692	12.321	15.515	18.304	
年收益(元)	2,963	5,604	7,944	10,003	11,802	

月份	114	133	152	171	190
一月	0.699	0.799	0.895	0.988	1.079
二月	1.165	1.304	1.431	1.545	1.648
三月	1.673	1.853	2.011	2.148	2.265
四月	1.802	1.986	2.143	2.275	2.385
五月	2.026	2.224	2.390	2.527	2.638
六月	2.158	2.356	2.519	2.649	2.752
七月	2.417	2.628	2.797	2.929	2.932
八月	2.521	2.729	2.892	2.932	2.777
九月	2.182	2.381	2.544	2.675	2.505
十月	1.892	2.085	2.250	2.389	2.092
十一月	1.529	1.698	1.848	1.978	1.020
十二月	0.658	0.753	0.845	0.934	1.020
年需求(MBtu)	20.721	22.797	24.564	25.970	27.025
年收益(元)	13,360	14,699	15,838	16,744	17,424

表3. 系統年支出及淨收益

收集器面積：單位	平方英尺				
收集器面積	19	38	57	76	95
收集器價格	8000	16000	24000	32000	40000
儲存槽體積	38	76	114	152	190
儲存槽價格	950	1900	2850	3800	4750
幫浦，管，控制器等	16000	16000	16000	16000	16000
總價	24950	33900	42850	51800	60750
年支出	3743	5085	6428	7770	9113

收集器面積	114	133	152	171	190
收集器價格	48000	56000	64000	72000	80000
儲存槽體積	228	266	304	342	380
儲存槽價格	5700	6650	7600	8550	9500
幫浦，管，控制器等	16000	16000	16000	16000	16000
總價	69700	78650	87600	96550	105500
年支出	10455	11798	13140	14483	15825

年支出率：0.050  
 年操作及維護支出率：0.100

表4 淨收益

收集器面積	支出	收益	淨收益
19	3743	2963	-780
38	5085	5604	519
57	6428	7944	1517
76	7770	10003	2233
95	9113	11802	2689
114	10455	13360	2905
133	11798	14699	2901
152	13140	15838	2698
171	14483	16744	2262
190	15825	17424	1599

最大淨收益：2095

最大淨收益的收集器面積：114



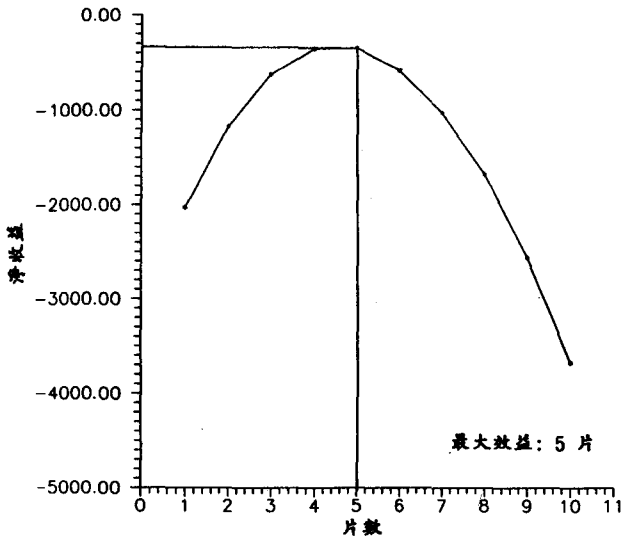


圖1. 10年分析結果圖 (淨收益v.s.片數)

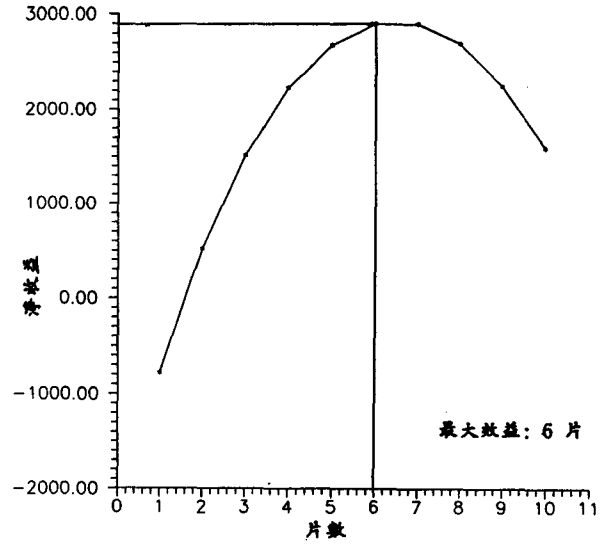


圖3. 20年分析結果圖 (淨收益v.s.片數)

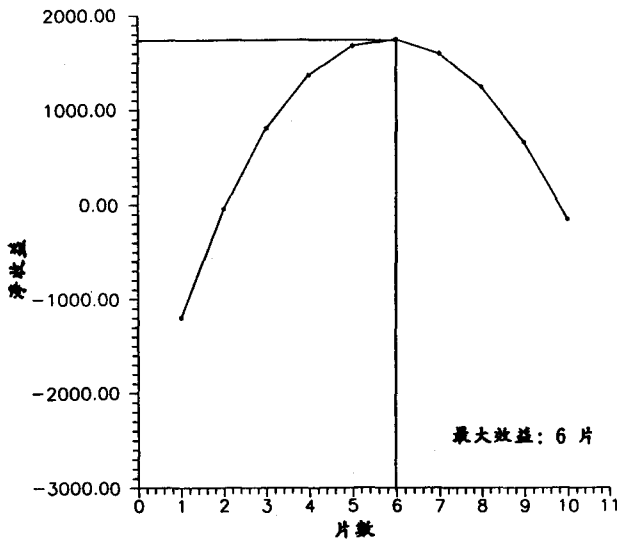


圖2. 15年分析結果圖 (淨收益v.s.片數)

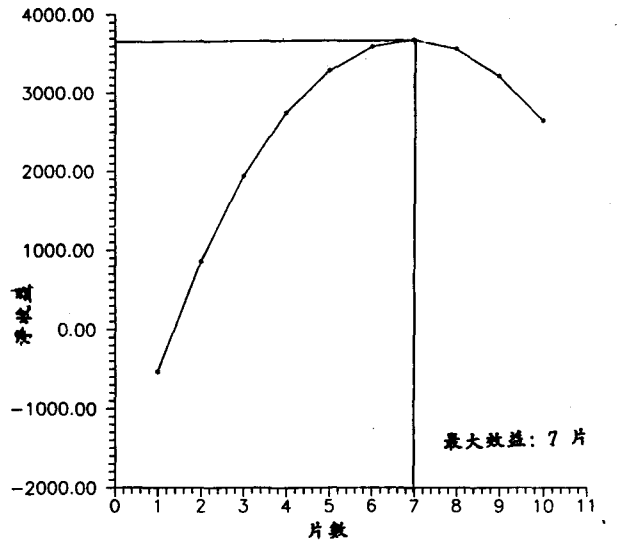


圖4. 25年分析結果圖 (淨收益v.s.片數)

符號說明

$A_c$  = 板面積  
 $U_c$  = 熱損失係數  
 $F_R$  = 收集器熱轉移因子  
 $F_R'$  = 收集器效率因子  
 $t\alpha$  = 穿透-吸收乘積  
 $\dot{m}$  = 流體質量流率  
 $C_p$  = 水的比熱

$\epsilon_c$  = 熱交換有效率  
 $T_{ref}$  = 參考溫度  
 $\bar{T}_a$  = 室外溫度  
 $\Delta_t$  = 月小時數  
 $\bar{H}_t$  = 日射量  
 $\bar{r\alpha}$  = 月平均之  $r\alpha$

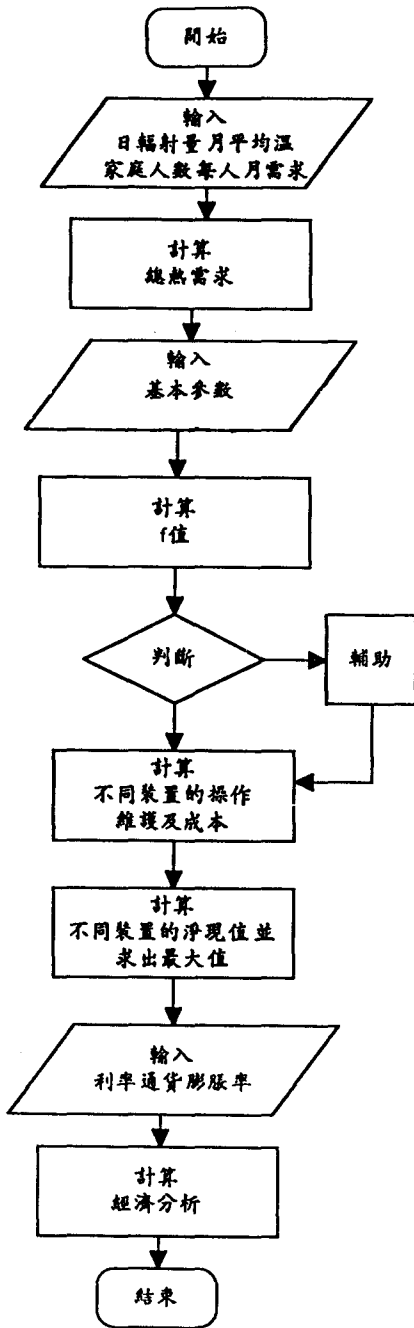


圖5. 計算流程圖

能熱水系統可節省家庭的開支，有其經濟上的利益。

4. f-chart模式的運用是以淨收益最大為最佳選擇；不過在實際情形中，這樣的選擇可能超過實際需求，形成浪費。因此減少1至2片收集器，可節省系統費用上的開支。

5. f-chart模式中，摒除儲存槽，管路中的熱損失；因此，操作及維護的開支可能較系統支出的10%為多。f-chart模式的使用是模擬系統的操作並求出最佳選擇；不過，這個結果僅提供為選用上的參考；因經濟情況，可採用其他的片數。f-chart式是輔助選用適合的裝置，不是絕對的結果。

台灣地處北緯22~25度間，年最冷月的平均溫也在攝氏10度以上，晝夜長短不因季節更替而有明顯的差異；北迴歸線以南的縣分冬季陽光充足，非常適合太陽能系統的操作。但是，台灣地區太陽能系統使用率不到1%，比起中高緯度的日本低很多；除了政府需檢討外，民間的認同不夠也是不能廣泛推展的原因之一。在此提出2點建議：

1. 政府有關單位因投入人力物力，一方面作太陽能系統的開發，一方面建立設置太陽能系統所需的資料，如輻射量，日照時數等；這樣，太陽能系統的科技才能提升，更為實用。
2. 政府要訂定獎勵措施，並有計劃的來推廣，太陽能系統才能普及；此外，政府也要協助及輔導廠商，生產高品質，低價格的系統，提高購買意願，太陽能系統才能普遍。

石油，煤，天然氣，鈾，在未來百年內將被用盡；而太陽的壽命遠超過此。因此，太陽提供的光和熱，是一項永不竭盡的資源。至今，照射到地球上的光和熱鮮少轉化為可用的能源。因此，更有效來運用太陽能，是人類科技發展不可軌避的責任，也是人類歷史延續的關鍵。

## 誌 謝

寫作期間，感謝農工系張主任尊國及劉教授振宇的關懷與鼓勵，更感謝農工系高坂知武教授紀念論文獎的肯定；徐培玠，趙世鶴在軟體使用上的幫助，僅在此表達無限的謝忱！

## 參考文獻

1. 張漢聖，太陽能烤菸（稻）系統之研究實驗，農工學報V.23 No.2，1977。
2. 徐明同，陳正政，林蘭貞，台灣氣象與太陽能發展之關係，能源季刊，6卷2期。
3. 李庭槐，太陽能溫室乾燥系統之熱傳分析，國立台灣大學碩士論文，1978。
4. 吳中興，太陽能加熱器之熱傳模擬分析，國立台灣大學碩士論文，1979。
5. 黃文雄，太陽能之應用及理論，協志工業叢書，1978。
6. 張經正，太陽能應用於循環式乾燥機之研究，國立台灣大學碩士論文，1980。
7. 張漢聖，顏欽崇，圓筒式太陽能乾燥機之研究，農工學報V.27 No.2，1981。
8. 馮丁樹，小型稻穀乾燥機之改善及太陽能源之利用研究，農工學報，V.29 No. 4，1983。
9. 黃山樵，屋脊式太陽能集熱器性能之模擬與研究，國立台灣大學碩士論文，1987。
10. 張漢聖，蕭介宗，鋼皮圓筒頂太陽能收集裝置之設計研究，農工學報，V.33 No.2，1987。
11. 陳輝光，圓筒倉頂鋁管太陽能收集器之性能分析，國立台灣大學碩士論文，1988。
12. 易洪庭，民國77年台灣能源供需概況，能源季刊19期2卷，民國78年4月。
13. 中華民國台灣地區國民經濟動向統計季報，民國81年第3季，民國81年8月。
14. Chau, K.V., C. D. Baird, L. O. Bagnall, Performance of A Plastic Solar Air Heater, ASAE Paper No. 77-4014, 1977.
15. Chau, K. V., s. M. Handerson, Performance of A Matrix Solar Collector for Heating Air, TRAN. of The ASAE 20(3) 558-561, 1977.
16. Gupta, C. L., M. P. Garg, Performance Studies of Solar Air Heater, Solar Energy 11(1) 25-31, 1967.
17. Hshieh, Jui Sheng, Solar Energy Engineering, 中央圖書出版社，1986.
18. Hollands, K. G. T., Honeycomb Devices in Flat Plate Solar Collectors, Solar Energy 9(3) 159-164, 1965.
19. Klein, S.A., Calculation of Flat-Plate Collector Loss Coefficients, Solar Energy 17(1) 79-80, 1975.
20. Liu, B. Y. H., R. C. Jordan, A Rational Procedure for Predicting The Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar Energy Collector, Solar Energy 40(3) 142-151, 1963.
21. Meinel, Aden B. & Marjorie P., Applied Solar Energy, Addison-Wesley Publish Company, 1979.
22. Pelletier, R. J., Solar Energy: Present and Forseeable Uses, Agriculture Engineering 40(3) 142-151, 1959.
23. Seluck, K., Thermal and Economic Analysis of The Overlapped-Glass Plate Solar-Air Heater, Solar Energy 17(1) 165-191, 1971.
24. Souka, A. F., Double Exposure Flat-Plate Collector, Solar Energy 9(3) 117-118, 1965.
25. Whiller, A., Plastic cover for Solar Collector, Solar Energy 7(3) 148-151, 1963.
26. Williams, J.R., Solar Energy, Ann Arbor Science, 1977.

收稿日期：民國82年9月9日

修正日期：民國82年10月9日

接受日期：民國82年10月15日