

熱泵與熱回收的有效應用

高中教師組應用科學科第二名

省立員林崇實高級工業職業學校

作者：翁國亮

一、研究動機及目的

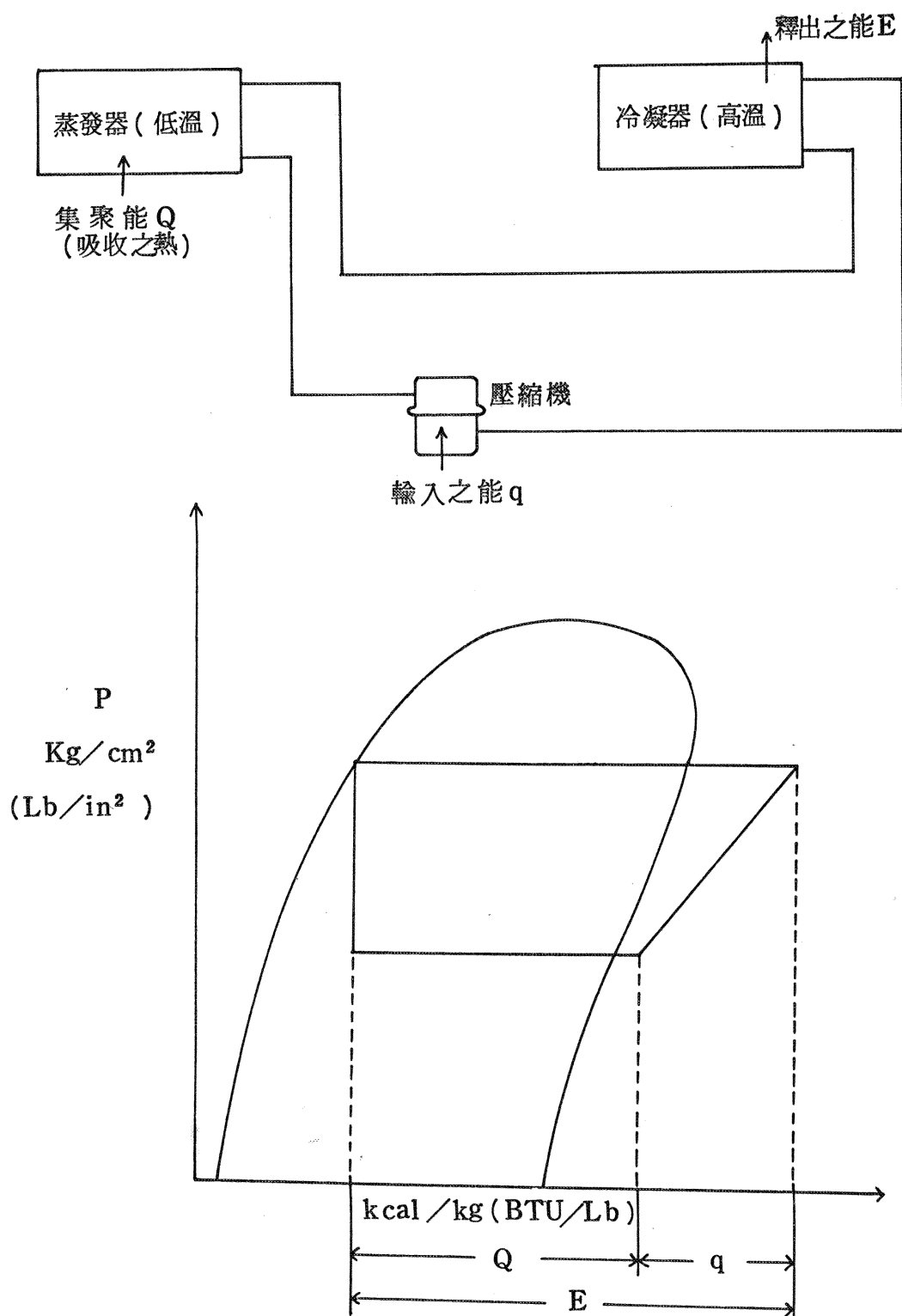
- (一)由於國際市場競爭益趨激烈，而我國能源供應完全依賴進口，爲求我國經濟持續成長，開發替代能源及有效節約能源，實爲當務之急。
- (二)在替代能源（太陽能、地熱、風能）尚未能有效取代傳統能源的今日，節約能源是贏取國際市場競爭的最佳利器，因此每一個國民皆應確立節約能源人人有責的觀念。
- (三)冷凍或空調過程中，龐大的冷凝熱常被廢棄於大氣之中，這些熱值得我們回收，善加利用。
- (四)從理論上分析，及世界各地發展的實例，熱泵系統值得在台灣推廣，並且應該能作得較其它區更好。
- (五)在節約能源人人有責的聲浪中，著手進行本專題研究，深盼能有所收穫，以貢獻社會大眾，並滿足自己好勝、好奇之心。
- (六)希望專家學者及同好，能不吝加以評估指正。

二、研究問題及理論基礎

(一)冷凍機、熱泵、熱回收的基本認識：

1. 冷凍機：使用蒸發器將欲冷空間的熱量吸取，由壓縮機送至凝結器排出。
2. 熱 泵：利用蒸發器吸取低溫的熱源，由壓縮機承送至凝結器，轉變爲高溫有效的能源，以資各種程序的應用。
3. 熱回收：將冷凍機的凝結熱，或工業程序中任何冷却過程產生

的熱，回收做有效的運用。



Q：冷凍循環中，蒸發器（低溫熱交換器）吸收之熱量。

q：冷凍循環中，輸入之能。

E：冷凍循環中，冷凝器（高溫熱交換器）釋出之熱量。

cop（性能係數）：輸出與輸入之比值。

冷凍機之 cop 值 = $\frac{Q}{q}$, 熱泵之 cop 值 = $\frac{E}{q} = 1 + \frac{Q}{q}$

熱回收之 cop 值 = $\frac{Q}{q} + \frac{E}{q} = 1 + 2 \frac{Q}{q}$

(二)熱泵發展簡史：

早在一八五二年，即由湯姆生教授首次發表，但一直到一九五〇年代間，雖有不少有心人士激烈的研究，由於當時能源價格便宜，無法激起大眾的重視，一九六〇年代僅有小型家庭用單元，作商業性的販售，隨著一九七〇年代石油價格上漲，熱泵才在節約能源方面，顯露出其無比的優越性，即使是應用在並不需要冷卻或冷凍的場合，亦十分經濟而引人注意，乃漸漸開發到工業上的應用。

(三)熱源：

系統的效率及其再生熱能溫度的高低與熱源的品質，有極密切的關係，所以在設計系統時，熱源的種類必須謹慎選擇，方能達到最優的匹配，得到最高的效率。

1. 空氣：

優點：最容易取得。

缺點：(1)熱容量小，僅適於小型的運用。

(2)在 0°C 以下熱交換器容易結霜效率降低。

2. 水：

優點：(1)熱容量大。

(2)傳導性良好。

缺點：(1)僅能使用在 0°C 以上的場合。

(2)必需防止水在系統管路中凍結。

3. 地熱：僅有少數地區擁有。

4. 土壤：

優點：(1)具有相當穩定的溫度。

(2)不必考慮除霜。

(3)不需送風機或水泵無噪音。

缺點：需要相當大的土地面積。

5. 廢熱：任何必須使用冷却或冷凍的程序中，一定有熱被棄於外，這些熱可能對某些必須扣熱的程序，尚有利用的價值，若溫度足夠可直接使用。若溫度不夠則可做為熱泵的熱源，經熱泵再生的熱源提高溫度後，再供應需加熱的程序使用。

(四)台灣地處亞熱帶最適合本系統（熱回收與熱泵結合的系統）的發展，由於能源危機，熱泵系統在寒帶國家已廣泛的使用，在家庭取暖，及其它工業上的應用，因為在台灣需要使用到暖氣的時間不長，以致於熱泵在我們這裡較鮮為人知，而致到現在尚未見於我國有效的發展。由台灣地區空調之設計乾球溫度和相對濕度表，及台灣地區冷氣使用的時間（四月至十月）約7個月來看，在我們台灣若僅發展熱泵系統實也是一種浪費，若我們能讓系統在夏天，作冷氣的運轉，同時將廢熱回收做有效的應用，在冬天我們能利用同一系統作熱泵的運轉，供應暖氣，並供應熱水，如此不但能提高設備的使用率，而且能讓系統的效益提到最高。

三、研究經過

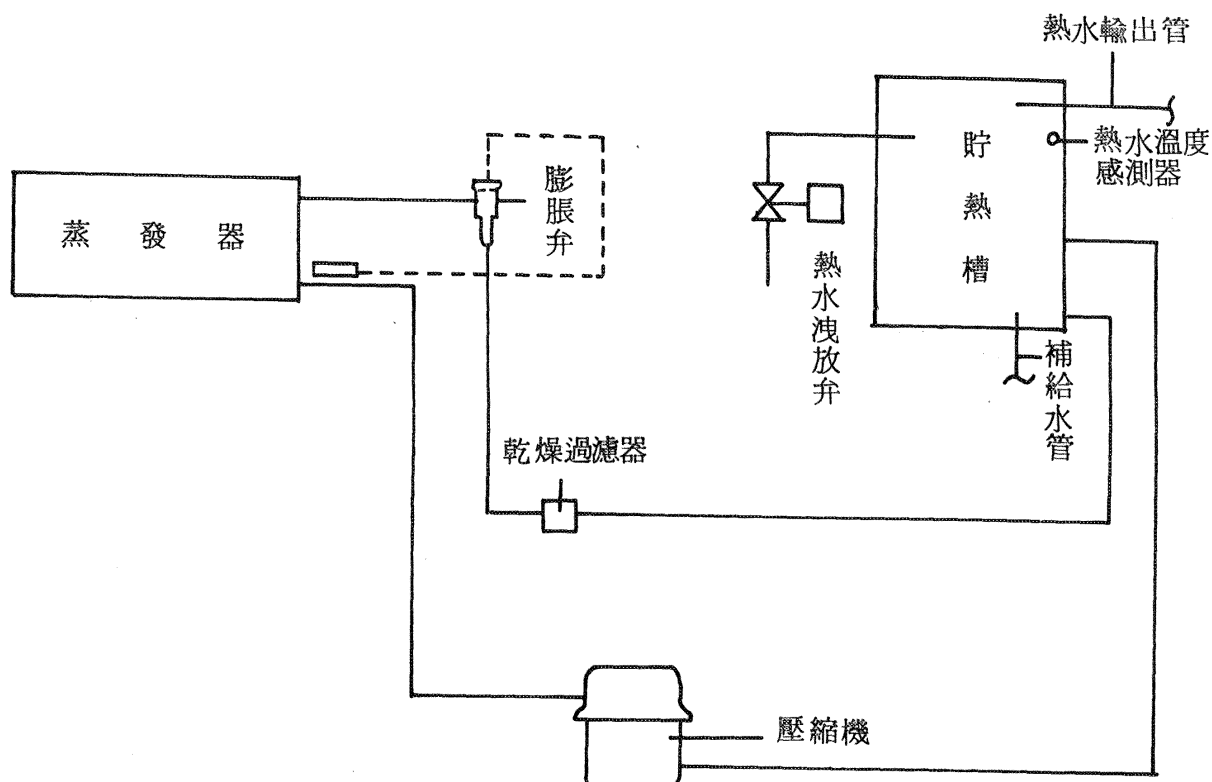
由熱回收的 $\text{cop} = 2 \frac{Q}{q} + 1$ （2倍冷氣機的cop加1）這誘人的效能，使我第一步的研究即朝向熱回收的應用。

(一)實驗系統(一)：

1. 使用設備器材：

- (1)壓縮機（鐵甲武士AB 5522G。
- (2)貯熱槽：200 ℓ。
- (3)蒸發器：2RT。
- (4)熱水溫度開關40°C～80°C。
- (5)綜合壓力錶組。
- (6)數位溫度計。
- (7)瓦時計。

2. 系統圖：



圖一

3. 實驗數計：

$$\begin{aligned}
 \text{EER} &= \frac{\text{冷氣機每小時的吸熱能力}}{\text{消耗電力}} \\
 &= \frac{\text{BTU/H 或 Kcal/H}}{\text{W}}
 \end{aligned}$$

4. 討論：

優點：(1)回收熱水溫度可達 50°C。

(2)EER 值較同容量窗型冷氣機高。一般窗冷機之 EER 值約為 8.5 BTU/w-h，本系統可達 11BTU/w-h 以上。

(3)不必使用冷凝風扇無噪音。

(4)系統簡單。

缺點：(1)熱水溫度僅能達 50°C（為防止凝結壓力過高，熱水達 50°C 時，即由熱水洩放弁，洩放熱水，並補給冷水。）

(2)熱水達 50°C 時，消耗水量大。

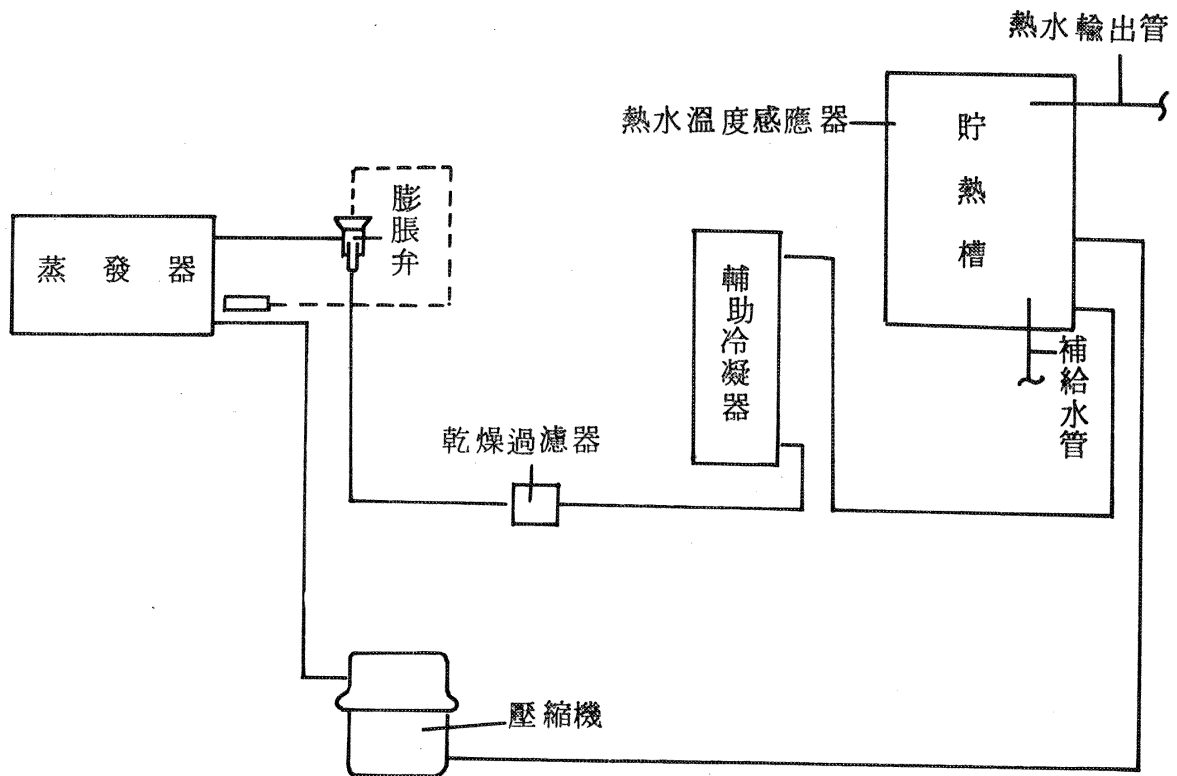
(3)系統只能在夏天供應熱水。

由於第(1)(2)項缺點使本系統僅能適用於熱水消耗量大的場合，如美容院、餐廳等。

(二)實驗系統(一)：

針對實驗(一)第(1)(2)項缺點改良設計。

1. 使用設備器材：增加輔助冷凝器 (1 ¾ RT) 。



圖二

2. 討論：

優點：(1)回收熱水溫度可達 60°C 以上（水溫達 50°C 時，由熱水溫度控制器，啟動輔助冷凝器運轉，防止系統凝結壓力過高，此時可繼續回收超過 50°C 部份的熱，所以溫度能夠持續升高）。

(2)EER 值為 9.5 ~ 11 BTU/w-h 。

(3)不耗水。

缺點：只能供夏天運轉。

雖然多一部冷凝風扇，但其功率甚小（約為壓縮機 1/20），且僅在水溫超過 50°C 時才運轉，省下的水費足可抵補它的消耗，以一台 2 RT 的系統來比較若進出水溫差為 10°C，則每小時消耗水量 = $3320 \text{ (Kcal/hr)} \times 1.2 \div 10(^{\circ}\text{C}) = 398 \text{ (ℓ)}$ 。水費價格表如下：

單位	1	2	3	4	5	6
m ³	10 以下	11 ~ 30	31 ~ 50	51 ~ 200	201 ~ 2000	2001 以上
元	5	6.5	8	10	8.5	7

每小時需要消耗水費 = $0.398 \times 5 \div 2 \text{ 元}$

若使用冷凝風扇其功率約 100 W

每小時消耗電 = 0.1 kw/h

電費價格表如下：

家庭用	營業用	工業用
100 度以下：2.4 元	300 度以下：5.9 元	低壓供電：1.82 元
300 度以下：3.1 元	300 度以上：6.7 元	低壓供電：1.75 元
300 度以上：4.1 元		特高壓電：1.69 元

每小時電費（以營業計） = $0.1 \times 6.7 = 0.67 \text{ 元}$

經過改良後的系統，即可廣泛的應用到各行業。

本系統的經濟效益：

由各廠商銷售資料顯示，本省現已安裝使用之窗型冷氣機，估計約六十萬台以上，每台平均以 18,000 BTU/hr 計，EER 值平均以 8 BTU/w-h 計，本系統之 EER 值平均以 10 計則：

窗型冷氣機每台耗電量 = $18,000/8 = 2,250 \text{ W}$

本系統 (同容量) 每台耗電量 = $18,000/10 = 1,800 \text{ W}$

每台每小時可節省 $2,250 - 1,800 = 450 \text{ W}$

六十萬台冷氣機若改採用本系統之型式，則一年可節省電力：

$$0.45 \times 8 \times 30 \times 6 \times 600,000 = 3.88 \times 10^8 \text{ KWH}$$

↓	↓	↓	↓	↓	↓
每	每	每	每	總	節
台	日	月	年	共	省
節	使	使	使	台	電
省	用	用	用	數	力
電	時	日	月		
力	間	數	數		

以家庭用電 3.1 元/度計算電費：

$$3.88 \times 10^8 \times 3.1 = 1.2028 \times 10^9 \text{ 元}$$

$$\begin{aligned} \text{同時可回收：} & 18,000 + (18,000/10) = 18,000 + 1,800 \\ & = 19,800 \text{ BTU/h-台} \end{aligned}$$

若熱水回收使用率為 60 %，則每年實際可資利用的熱有：

$$19,800 \times 0.6 \times 8 \times 30 \times 6 \times 600,000 = 1.02643 \times 10^{13}$$

↓	↓	↓	↓	↓	↓	
每	回	每	每	每	總	BTU
台	收	日	月	年	供	
實	使	使	使	使	台	
際	用	用	用	用	數	
有	率	時	日	月		
效		間	數	數		
熱						

$$= 2.586 \times 10^{12} \text{ Kcal}$$

這些熱若用天然瓦斯來供應需： $2,586 \times 10^{12} \div 8,900 = 2.9 \times 10^8 \text{ (m}^3 \text{) 瓦斯。}$

一般瓦斯爐燃燒效率以 65 % 計則需：

$$(2.9 \times 10^8 \div 0.65) \times 12.24 = 5.46 \times 10^9 \text{ 元}$$

$$\text{每年可節省 } 1.2028 \times 10^9 + 5.46 \times 10^9 = 6.6628 \times 10^9 \text{ 元}$$

各種燃料熱值與費用參考表

名 稱	單 位	熱 值	熱效率	燃料單位價格	燃料單位成本 (元/仟卡)	每公升加熱 50°C 之 燃 料 費
電 能	1 kw-h(度)	860仟卡	70 %	3.1 元	0.0036	0.257 元
天然瓦斯	1 度 (m)	8,900仟卡	65 %	12.24 元	0.00138	0.106 元
液體瓦斯	1 公斤 (kg)	12,000仟卡	65 %	28.0 元	0.00233	0.170 元
普通柴油	1 公升 (ℓ)	8,576仟卡	55 %	13.5 元	0.00157	0.142 元
高級柴油	1 公升 (ℓ)	8,319仟卡	60 %	14.5 元	0.00174	0.145 元
鍋 爐 油	1 公升 (ℓ)	9,300仟卡	60 %	10.0 元	0.00107	0.089 元
本 系 統	(使用電能) 1 kw-h (1 度)	3,600仟卡	60 %	3.1 元	0.00086	0.072 元

這只是家庭用系統的效益，商業上以及工業上的數值當不只是這些。

系統增加成本：熱回收系統必須增加的設備為貯熱槽，以一個 200 ℓ 貯熱槽而言，若能大量生產售價應在 4,500 元以下。

如此初設時只需要增加一點費用，即可達到長期節約能源的效果。

(三)實驗系統(三)：

實驗(三)的系統雖已達到實用的價值，但只能在夏天運轉，一到冬天則棄之不用，就以維護的觀點來看這也是不好的，所以我非常希望能有一套冬夏皆能使用的系統，經過多次的實驗，檢討與修正，終於完成如圖(三)的系統。

1. 使用設備器材：

(1)將系統(二)之輔助冷凝器改為室外熱交換器。

(2)增加一個儲液器、逆止弁、膨脹弁、4 個電磁弁、2 個液氣分離器。

(3)水系統管路如全水式系統同。

(4)其餘設備如系統(二)。

2. 系統圖：

(請參見次頁)

3. 討論：

本系統最初設計時，沒有液氣分離器，EER 值僅達 9.3 BTU/w-h，以為室外熱交換器過小，但經更換結果還是一樣，經過多次改良，發現冷媒經貯熱槽後，部份冷媒已完全液化，在管路造成摩擦降，造成壓縮機負荷增加，同時在以熱泵方式（冬天）運轉時，水溫達 50°C 以後，冷凝壓力即超過 250 psig，EER 值顯著下降。

增加液氣分離器(1)後夏天運轉的性能提高 EER 值可達 11 BTU/w-h，但冬天的運轉狀況却不見改善，經過分析、探討後，再加裝液氣分離器(2)並將系統修改為如圖(三)系統，則夏天 EER 值可達 11 BTU/w-h，冬天熱泵的 EER 值可達 10 BTU

編號	名稱
1	壓縮機
2	貯熱槽
3	液氣分離器(1)
4	液氣分離器(2)
5	貯液器
6	室外熱交換器
7	冰水器
8	室內送風機
9	膨脹水箱
10	水泵
11	電磁弁(1)
12	電磁弁(2)
13	電磁弁(3)
14	電磁弁(4)
15	逆止弁
16	過濾乾燥器
17	室外溫度膨脹弁
18	室內溫度膨脹弁
19	三通電磁弁
20	三通電磁弁
21	三通電磁弁
22	熱水溫度感測器
23	冷媒溫度感測器
24	室內溫度感測器
25	冰水溫度感測器
26	熱水補給水管
27	熱水供應管
28	冰水補給水管

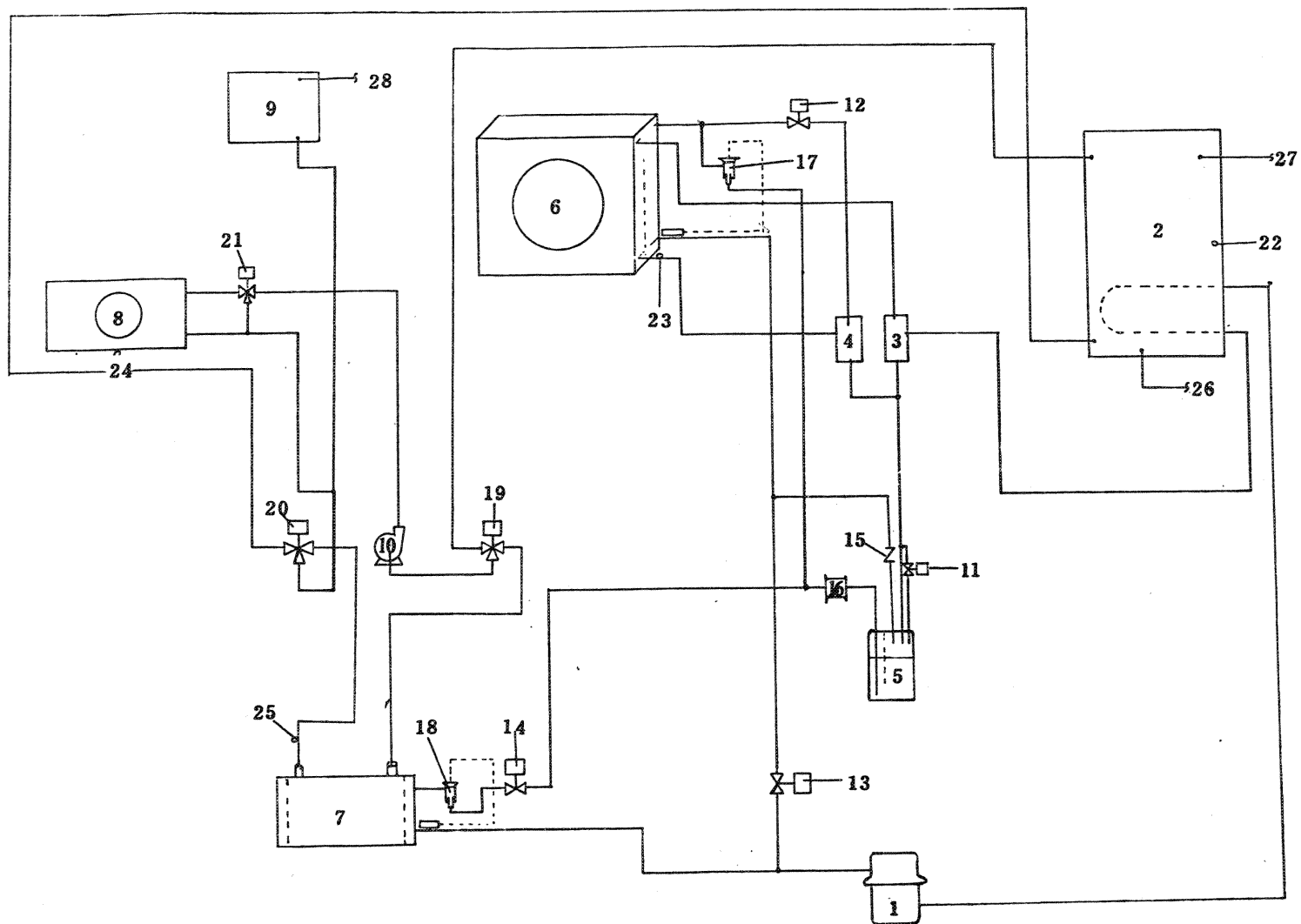


圖 三

/w-h。

本系統的功能等於一部冷氣機+熱水器的結合，由各種燃料熱值與費用參考表，可知本系統運轉耗費的能源，比冷氣機或熱水器單獨運轉耗用的能源來得低。

(四)實驗系統(四)：

系統(三)若運用到工業系統上，如圖(四)：

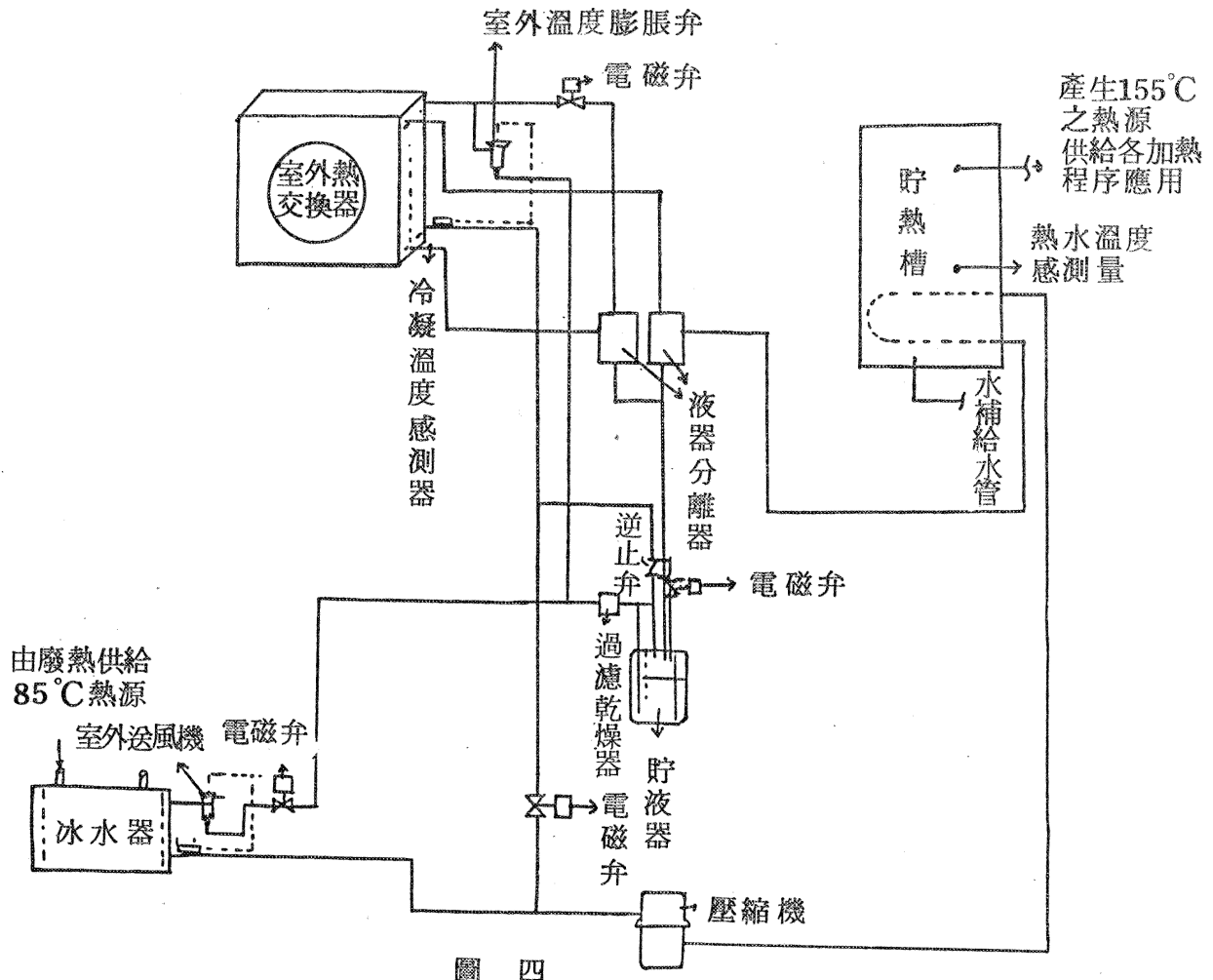


圖 四

視熱源溫度的高低，由系統再生的熱源溫度最高可達 100°C，實驗時曾以 R-113 做熱媒，供給 85°C 的廢熱做熱源，再生熱源溫度達 155°C，但此系統只運轉了二個多月即燒毀，剖開壓縮機發現冷凍油已全部碳化，再將部份系統管路拆下分解，確有油碳化的跡象，請教冷凍油廠商，得知冷凍油在 165°C 時即已碳化，所以本系統在於冷凍油問題尚未解決前，不能再做如此的

實驗，經多次實驗，若再生熱源溫度控制在 100°C 以下，可得良好的運轉。

四、結 論

- (一) 地球上的能源是有限的，節約能源必須從現在馬上進行，本系統在節約能源方面的功能已非常顯明，若能有計劃的推展至各階層使用，如此每年定可替國家節省一大筆購買石油的外匯。
- (二) 若冷凍油的問題（潤滑的問題），能夠得到解決，則利用本系統得到的再生熱源溫度即可高達 155°C ，甚至更高，如此在工業上的運用，將會更廣泛，在同時需要冷卻及加熱的場合，它都可發揮其功能，達到使用者的要求，譬如：乳品製造業、食品加工業、製藥工業、化學工業、……………等等。

評語 能應用已知之原理進行實驗，不斷改進，了解遭遇之困難並加以克服。