

## 迴路型熱管式蓄熱能電池之研發(I)

### A new energy storage thermal battery with a looped heat pipe

計畫編號：NSC89-2212-E-002-044

執行期限：民國88年8月1日 至 89年7月31日

主持研究：陳希立 國立台灣大學機械工程研究所

研究助理：謝振傑 林茂青 陳文亮 國立台灣大學機械工程研究所

#### 一、摘要

本計劃擬研發一種新型的迴路型熱管之蓄熱能電池(Thermal Battery)，如圖一，尤指熱能儲存、釋放與利用的蓄熱或蓄冷電池，其包括了一能量儲存槽，其內部儲存相變介質，藉著固、液體間凝固與融化相變化，儲存或釋放熱能；迴路式並聯熱管，其內部裝有工作流體，藉著工作流體於液、汽間進行冷凝和沸騰之相變化以傳遞能量；高溫熱源(Heat-Source)之熱交換器與低溫熱源(Heat-Sink)之熱交換器，藉著熱交換器內流動流體的流動，將熱能由高溫熱交換器經迴路式並聯熱交換器儲存於能量儲存槽或由能量儲存槽內釋放能量經由迴路式並聯熱管傳給低溫熱交換器。如此，在毫無動力的需求下，藉著熱管優越的熱傳特性，有效地自動操作將能量儲存或釋放，其功能有如電池一般，能夠將熱能有效的利用。本計劃執行程序如下(1)建立迴路型熱管蓄電池的理論模式與設計方法(2)建立迴路型熱管蓄電池與測試設備，(3)針對迴路型熱管式蓄熱能電池作實際場合應用之研究分析。

關鍵詞：熱電池、能量儲存槽、熱交換器、

#### Abstract

The objective of this project is to research and develop a new energy storage thermal battery with a looped heat pipe, which can be used to conduct the storage or release of thermal energy. This apparatus contains a energy storage tank, a parallel looped heat pipe, a heat exchanger as high temperature heat source and a heat

exchanger as low temperature heat sink.

The energy storage tank is used to store the thermal energy of phase change material during the phase change process between solid and liquid state. The parallel looped heat pipe, which comprises the work fluid, transfers energy by the phase change the work fluid between the liquid and vapor state of. By the fluid circulated within it, the heat exchangers store the thermal energy into the energy storage tank from the high temperature heat exchanger through the parallel looped heat pipes or transfer energy released from the energy storage tank into the low temperature heat exchanger through the parallel looped heat pipe. Therefore, under no power need the apparatus can automatically performs the storage of release of the energy, which can make good use of the thermal energy like a battery.

We construct the test equipment of the thermal battery and analyze its performance. Comparison between the experimental data and the analysis result is performed and the characteristic of the phase change working material is discussed under various performing temperature. Finally we investigate the commercial application of the thermal battery.

Keywords:thermal battery,energy storage tank,heat exchanger

## 二、計畫緣由

本計畫係擬開發一種新型的迴路型熱管之蓄熱能電池，係提供熱能(或冷能)儲存與釋放的蓄熱(或蓄冷)電池設備，其功能有如電池一般，將熱能(或冷能)儲存於蓄熱電池中，待需要時，再釋放出能量予以利用，亦可於熱能(或冷能)利用中，當熱能(或冷能)提供過多時，將多餘的熱能(或冷能)儲存於蓄熱電池(或蓄冷電池)中，或當提供熱能(或冷能)不足時，部分熱量可由蓄熱電池(或蓄冷電池)提供利用，達到充分利用能源的目的。

一般為了將熱能(或冷能)儲存與利用，均採用主動式控制的設計，及於蓄熱器之系統設計時，藉著泵將熱能由高溫熱源處藉著工作流體的流動傳至蓄熱器內，當利用時，由電磁閥的控制改變工作流體的流動路徑，將蓄熱器的能量釋放至低溫的熱涵利用。這種蓄熱的方式有兩項缺點，一是需要藉著泵的運轉來傳送工作流體，藉著電磁閥的控制來改變工作流體儲能或釋能特性，由於使用了泵與電磁閥增加了操作費用與電力，當系統一旦故障，則蓄熱器無法操作；第二個缺點是藉著系統管路的設計，改變儲能與釋能的功能，因此操作模式上僅有儲能與釋能兩種功能，當熱能利用時，同時熱能供應側與熱能利用側同時操作時，則無法進行。

因此，本計畫的主要目的在於改進上述蓄熱器的缺失，利用被動式控制的設計，不需泵和電磁閥組件，且操作模式，除了儲能與釋能兩種外，在熱能供應側與熱能利用側同時進行下，亦可操作；即當於熱能利用中，當供應側提供過多熱能時，除了提供給熱能利用側外，多餘的能量尚可儲存於蓄熱電池中；當供應側提供之熱能不足時，蓄熱電池可提供不足的能量給利用側，充分的發揮本計畫蓄熱電池的功能，當其所應用的場合為冷能需求時，其則可為蓄冷電池。

## 三、研究方法

本研究方法是應用熱管之優越熱傳特性，以傳遞熱能或冷能的原理，建構一蓄熱能或蓄冷能電池。以在毫無動力需求下，有效地自動操作將能量儲存或釋放，並對其功能、構造與應用進行研究分析。以期藉由此一系列的研發，設計出高性能，高效率的省能系統。本計畫執行程序如下：

### (一)建立迴路型熱管蓄電池的理論模式與設計方法

建立分別僅有低溫傳動流體將能量儲存於蓄熱電池中，如圖二，儲能模式與高溫傳動流體將蓄熱電池內之能量利用，如圖三，釋能模式。及當高溫傳動流體於儲能模式下同時操作，將可分為高溫傳動流體所提供的能量多於、少於或等於低溫傳動流體所欲帶走的能量三種狀況下之模式。

### (二)建立迴路型熱管蓄電池與測試設備

本計畫之蓄熱電池剖視示意圖，如圖一。元件包括能量儲存槽，迴路式並聯熱管，壓力限制安全槽，高溫熱交換器與低溫熱交換器，而在高溫與低溫之熱交換器內設有短翅片或螺旋槽紋管，用以加強當傳動流體為氣體(空氣)或汽態或液體(水或液態冷煤)之熱傳性能。：

測試實驗機組包括了一冷凍主機設備，蓄熱能電池與熱泵機組。冷凍主機設備由一全密閉往復式壓縮機、平鰭片氣冷式冷凝器、感溫式膨脹閥與內置蒸發盤管之低溫熱交換器所組成，為儲存過量之液態冷煤及回油順利，所以系統分別加裝一儲液器及油分離器。另外，在高溫熱交換器設備方面，使用一具熱泵(Heat Pump)提供所需能量。利用冷凍主機和熱泵之操作，分別代表熱管蓄熱電池之高溫熱源與低溫熱涵。

### (三)針對迴路型熱管式蓄熱能電池作實際場合應用之研究分析

利用迴路型熱管蓄熱電池與蓄冷電池應用到實際場合，依次分別為應用迴路型熱管式蓄熱能電池應用於儲冰空調系統、

同時應用蓄熱電池與蓄冷電池、利用優態鹽作為蓄冷電池內相變介質、鍋爐熱管廢熱回收分析以及儲冰式空調系統等。

#### 四、計畫執行情形

##### (一)建立迴路型熱管式蓄熱能電池之理論模式

圖三為熱能電池的釋冷模式(蓄熱模式),我們把在儲能槽中的多根熱管簡化為一根等效長度的熱管,並依據循環系統中各部份的工作情況分為加熱部份、上半部份、冷卻部份、下半部份和絕熱部份,而釋熱模式(蓄冷模式),如圖二,與釋冷模式(蓄熱模式)的理論相同,我們只列出釋熱模式(蓄冷模式)的分析如下:

根據能量守恆,我們建立系統各部份的統御方程式如下:

##### (1)加熱部份( $l_c \leq x \leq l_b$ ),工作流體為液相

$$T_{wb}(t) - T_{fb}(x, t) = f_f \left[ \frac{\partial T_{fb}(x, t)}{\partial t} + V(t) \frac{\partial T_{fb}(x, t)}{\partial x} \right]$$

$$T_{fb}(x, t) - (u+1)T_{wb}(t) + uT_a(x, t) = f_w \frac{\partial T_{wb}(t)}{\partial t}$$

$$\tau_f = \frac{\rho_f C_f A_f}{h_i P_i}, \tau_w = \frac{\rho_w C_w A_w}{h_i P_i}, P_o \text{ 為外徑, } P_i \text{ 為內徑,}$$

$$u = \frac{h_a P_o}{h_i P_i}, h_a \text{ 為空氣的熱傳係數, } \rho_f \text{ 為液體密度,}$$

$$h_i \text{ 為液體的熱傳係數, } \rho_w \text{ 為管壁密度, } C_f \text{ 為液體比熱}$$

$$C_w \text{ 為管壁比熱, } A_f \text{ 為液體截面積, } A_w \text{ 為管壁截面積}$$

##### (2)上半部份( $l_h \leq x \leq l_u$ ),工作流體為氣相

$$-[T_{fu}(x, t) - T_{wu}(t)] = f_f \left[ \frac{\partial T_{fu}(x, t)}{\partial t} + V(t) \frac{\partial T_{fu}(x, t)}{\partial x} \right]$$

$$T_{fu}(x, t) - (u+1)T_{wu}(t) + uT_a(x, t) = f_w \frac{\partial T_{wu}(t)}{\partial t}$$

$$\rho_f \text{ 為氣體密度, } h_i \text{ 為氣體的熱傳係數, } C_f \text{ 為氣體比熱, } A_f \text{ 為氣體截面積}$$

##### (3)冷卻部份( $l_c \leq x \leq l_d$ ),工作流體為氣相

$$-[T_{fb}(x, t) - T_{wb}(t)] = f_f \left[ \frac{\partial T_{fb}(x, t)}{\partial t} + V(t) \frac{\partial T_{fb}(x, t)}{\partial x} \right]$$

$$T_{fb}(x, t) - (H_0+1)T_{wb}(t) + H_0 T_c(x, t) = f_w \frac{\partial T_{wb}(t)}{\partial t}$$

$$H_0 = \frac{U_c P_o}{h_i P_i}, U_c \text{ 為儲存槽的熱傳係數, } \rho_f \text{ 為氣體}$$

$$\text{密度, } h_i \text{ 為氣體的熱傳係數, } C_f \text{ 為氣體比熱, } A_f \text{ 為氣體截面積}$$

##### (4)冷卻部份( $l_c \leq x \leq l_d$ ),工作流體為液相

$$-[T_{fc}(x, t) - T_{wc}(t)] = f_f \left[ \frac{\partial T_{fc}(x, t)}{\partial t} + V(t) \frac{\partial T_{fc}(x, t)}{\partial x} \right]$$

$$T_{fc}(x, t) - (H_0+1)T_{wc}(t) + H_0 T_c(x, t) = f_w \frac{\partial T_{wc}(t)}{\partial t}$$

$\rho_f$  為液體密度,  $h_i$  為液體的熱傳係數,  $C_f$  為液體比熱,  $A_f$  為液體截面積

又系統整體遵守動量守恆,可以得到如下:

$$\frac{N}{r} \frac{1}{Lec} \bar{V}^{2b} = \int_0^{l_b} T_m dx + \int_{l_h}^{l_u} T_m dx - \int_{l_c}^{l_d} T_m dx - \int_{l_c}^{l_b} T_m dx$$

$$\text{其中 } N = \frac{4a}{DI} \left( \frac{\rho_f D}{\mu_f} \right)^b, r = \frac{g\beta}{1}, Lec = 1 + l_e$$

##### (5)能量儲存槽之熱傳分析

$$Q_s = (mC_p)_s (UT)_s$$

其中:  $Q_s$  為儲熱量,  $m_s$  為儲存槽內儲存介質的質量,  $C_p$  為儲存介質的比熱,  $(UT)_s$  為儲存槽內溫度變化量,下標s表示能量儲存系統。

##### (二)建立迴路型熱管式蓄熱能電池之實驗設備與性能測試系統

我們依據理論模式建立第一代的蓄熱能電池(如圖四),實驗顯示因單排結構的熱傳面積不夠而性能不佳, EER約1.5,因此在增加管排(如圖五)後的第二代蓄熱能電池,性能大大的提升, EER約1.9,但實驗過程發現在第二代蓄熱能電池一味增加排數並不見得提升性能,這使得我們修正更精準的理論模式,探討上管排的熱傳長度與下管排的熱傳長度,並建立第三代的蓄熱能電池(如圖六),經由實驗證實性能大大提升, EER約2.1,確定理論模式的正確性。

#### 五、工作績效

本計畫目前已完成進度之建立初步的迴路型熱管蓄熱能電池實驗設備與性能測試系統,並建立系統理論模式。希望藉由理論模式的建立,能和實驗設備與性能測試系統作個相驗證,已達理論與實務並重,輔助設計上的修正。在初步的實驗結果出來,經多方面討論與更改,如今新的整體系統所需之硬體設施已完成圖面之規劃與設計,並應用於迴路型熱管式蓄熱能電池應用於汽車自然空調系統、過冷式儲冰空調機、新型太陽能儲能集熱管、儲能式熱水器等。

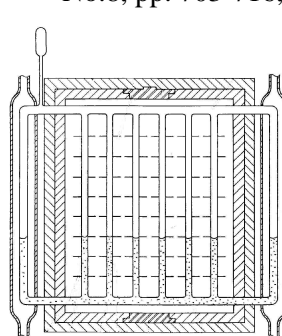
## 六、結論與檢討

根據目前所作之結果，整體上都相當符合原先預期的結果。無論是迴路型熱管式蓄熱能電池之實驗設備與性能測試系統或是理論模式的建立上，均達成時效性應有的成果。藉由目前的成果得知其缺點，進而對迴路型熱管式之蓄熱能電池實驗設備、相關性能測試數據以及儲能模式與釋能模式進行修正。以藉此對迴路型熱管式之蓄熱能電池在性能量測上，有更高的精準度以及提昇其可靠度。然因修正後的實驗硬體設施尚未完整建立與實測，因此理論模式所需驗證處，仍須搭配未來實驗過程而加以修正，以使能有嚴謹性及可靠性。

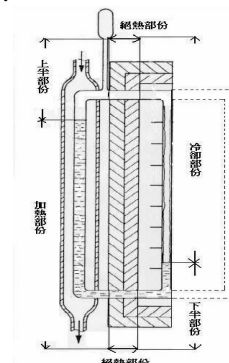
## 七、文獻

- [1] Imura, H., Kusonda, H., Ogata, J., Miyazald, T., and Sakamoto, N., "Heat Transfer in the Two-Phase Closed Thermo-syphon ", *Trans. JSME*, Vol. 45, pp. 712-722, 1979.
- [2] Seki, N., Fukusako, S., and Koguchi, K., " An Experimental Investigation of Boiling Heat Transfer of Fluorocaibon R11 Refrigerant for Concentric-Tube Thermo-syphon ", *J. Heat Transfer*, Vol. 103, pp. 472-477, 1981.
- [3] M. Shiraishi, K. Kiloichi and T. Yamanishi, "Investigation of Heat Transfer Characteristics of a Two-Phase Closed Thermo-syphon ", *J. Heat Recovery Systems*, Vol. 1, pp. 287-297, 1981.
- [4] C.Casarsosa and E. Latrofa, " The Gerser Effect in a Two-Phase Thermo-syphon", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 26, 6, 933-941, 1983.
- [5] P. D. Dunn and D. A. Reay, *Heat Pipes*, Fourth Edition, 1994.

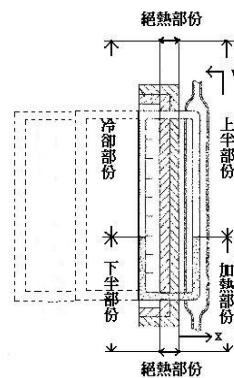
- [6] Khanh Dinh, *Passive Defrost System Using Waste Heat*, U.S.Pat.No.5269151, (1993)
- [7] Lacroix, M., and Duong, T., "Experimental Improvements of Heat Transfer in a Latent Heat Thermal Energy Storage Unit with Embedded Heat Source," *Energy Conversion and Management*, Vol. 39, No.8, pp. 703-716, 1998.



圖一 迴路型熱管之蓄熱能



圖二 蓄冷(釋熱)模式



圖三 釋冷(蓄熱)模式



圖四 第一代蓄熱能電池



圖五 第二代蓄熱能電池



圖六 第三代蓄熱能電池