

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫一：太陽能儲冰式冷氣機之整體系統之研發

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2218-E-002-026-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：陳希立

計畫參與人員：謝振傑、江沅晉、劉啟熾

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 23 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

太陽能儲冰式冷氣機之整體系統之研發

計畫編號：NSC 91-2218-E-002-026

執行期限：91年08月01日至92年07月31日

主持人：陳希立 國立台灣大學機械工程學系暨研究所 教授

計畫參與人員：謝振傑、江沅晉、劉啟熾

一、中文摘要

太陽能儲冰式冷氣機為具超薄型儲冰槽、被動式的融冰、儲冰效率佳及儲冰與融冰能同時進行之儲冰式空調，其架構為於傳統的空調系統中多加一儲冰槽與太陽能電池驅動的風扇，於離峰用電時將多餘的冷能予以儲存；於尖峰時而冷房需要空調降溫時，僅需利用太陽能電池驅動風扇而提供空調，同時當冷房空調負荷太大時，儲冰槽釋冷仍可提供傳統空調系統不足的部分空調加速達到設定溫度。本計畫在開發太陽能儲冰式冷氣機的儲能系統暨整體系統，而於第一年先建立其理論模式，由實驗結果得知儲能系統於儲冷過程時，其熱管內冷媒之熱傳機制由核沸騰、間歇性沸騰演變為自然對流，並建立以知識庫為基的智慧型能量管理系統架構，由模擬結果顯示不需甚大的儲冰槽下，可使冷房於不同的情境下迅速達到舒適溫度。

關鍵詞：太陽能儲冰式冷氣機、儲能系統、智慧型能量管理系統

Abstract

Solar cold-storage air conditioner incorporates with a super-thin high-efficiency cold-storage tank, which can passively melt and solidify in storage apparatus and simultaneously operate in charge and discharge process. It stores cold energy from the peak hour and drives fan by solar cells to provide air conditioning when the loads are needed. Cold-storage air conditioner can increase the cooling down rate of load and decreases the cooling capacity of traditional air conditioning systems, which provide an effective method to save energy.

This subproject intends to develop a new cold-storage system associated with

control strategy of solar cold-storage air conditioner, which can incorporate with other subprojects. In the first year of three years' project, a theoretical model of each subsystem is established, which has been verified by an experimental investigation. It is found that the heat transfer mechanism of the refrigerant inside heat pipes during cold storage stage contains nuclear boiling, geyser boiling, and natural convection. Control strategy with intelligent energy management is build based on knowledge implements. The simulation results show that solar cold-storage air conditioner with small ice storage tank can achieve comfortable room temperature under the intelligent energy management.

二、緣由與目的

儲冰式空調能有效抑低夏季尖峰用電的方法，其利用離峰用電時的便宜電量製冰儲能，在尖峰用電時融冰作為空調冷能，但缺點為儲冰槽所佔體積過大且昂貴，主動式融冰增加所需的動件過多，及儲冰效率低，儲冰與融冰不能同時進行，造成不易推廣。雖近來另有研究開發的太陽能冷氣機，但限於太陽能電板效率有限，需要極大量太陽能光電板來驅動冷氣壓縮機，所佔的面積大，造成經濟效益低且不易推廣。因此本總計畫開發的太陽能儲冰式冷氣機改善上述缺失，其於傳統的空調系統中多加一儲冰槽與太陽能電池驅動的風扇，於離峰用電時將多餘的冷能予以儲存；於尖峰時而冷房需要空調降溫時，僅需利用太陽能電池驅動風扇而提供空調，同時當冷房空調負荷太大時，儲冰槽釋冷仍可提供傳統空調系統不足的部分加速達到設定溫度，其操作模式如表 1 所示。

三、結果與討論

3-1 太陽能冷氣機之儲能系統

實驗系統如圖 1 所示，其包含儲冰槽、多迴路熱管與殼管式熱交換器，分別探討能量儲能槽中熱管內的冷媒液面高度分別為 30cm、40cm、50cm，對下列各參數之影響：R134a 冷媒的熱傳量、儲冰槽累積儲冷量、熱管內工作流體的溫度及儲冰情形。而整個儲冷過程分為儲能時不受冰層熱阻之影響與儲能時已受冰層熱阻之影響來探討。

同時亦將整個系統分為多迴路熱管與管外儲冰兩部分部分建立理論模式，於多迴路熱管部分如圖 2.a 則利用 Manlio and Jai [1] 單迴路熱管的統御方程式推導多迴路熱管之統御方程式，其理念為視多迴路熱管於蒸發部的單一垂直熱管與冷凝部的熱管為一單一迴路，故同 Manlio 單迴路熱管模式可得四個能量及動量守衡之統御方程式。另外管外儲冰部分則利用 Bogdan Horbaniuc [2] 模式如圖 2.b 討論蒸發部熱管外部的相變材料固化情形，將上述理論模式透過數值方法則可求得儲能系統理論模式中各參數之解。

冷媒液面高度對冷媒溫度之影響

首先於圖 3a~c 為充填液面高度對蒸發部下端液態與上端蒸汽溫度的影響，由圖中可以瞭解於所有的操作狀態時，迴路熱管於高充填液面圖 3.a 下，全程儲冷過程的熱傳機制皆為核沸騰，因此蒸汽溫度的實驗數據與模擬結果呈現不錯的一致性。而充填高度較低時如圖 3b~c 所示，熱傳機制由核沸騰改變為間歇性沸騰，也因此解釋了迴路式熱管之理論模式僅適用於核沸騰成長期。

冷媒液面高度對累積儲冷量之影響

圖 4 則為充填液面高度對儲冷率的影響，由圖中明顯發現隨著儲冷過程進行，無論儲充填液面高度如何下儲冷率的實驗數據與模擬結果皆一開始迅速下降然後逐漸緩和。但接下來實驗數據與模擬結果的趨勢則不同，隨著冰層厚度達某一厚度後儲冷率開始變動穩定，而此轉折時間 (turning time) 於充填高度為 30, 40 與

50 cm 時分別為 800, 1,300 與 1,700 秒。同時由圖中可以發現充填高度越高儲冷率越緩達平緩，且於低充填液面高度時最後階段之實驗數據會越易降低至近零，但模擬結果卻始終保持穩定，此乃因為迴路式熱管之理論模式僅考量核沸騰熱傳機制的儲冷過程。

冷媒液面高度對累積儲冷量之影響

圖 5 為充填液面高度對累積儲冷量的影響，由圖中明顯發現無論實驗數據與模擬結果皆呈現具斜率急劇的初期與逐漸平坦的後期，而這轉折點隨充填高度為 30, 40 and 50 cm 時於 800, 1,300 and 1,700 秒，且於實驗終止發現模擬結果皆比實驗數據來的大，且誤差比例隨充填液面高度越低則越大，此乃因為充填液面高度若越低則間歇性沸騰成長期佔儲冷過程的比例越長，且模擬結果所使用的理論為假設於核沸騰機制的操作情況，因此儲冷率數值上會較間歇性沸騰機制的熱傳量來的大，故導致最後模擬的累積儲冷量比實驗數據來得大。

3-2 太陽能冷氣機之能量管理系統

本系統是採專家系統的黑板模型建立的以知識庫為基之智慧型能量管理，並以 Matlab 模擬比對實際數據，共有可四個知識庫、一個共用資料庫與一排序者。其架構如圖 6。並分別透過冷房實驗與 Matlab 軟體模擬汽車於夏季豔陽下不同的情境，探討冷房溫度、釋能風扇的正週期變動、電能消耗量及儲冷量的消耗，以確認所設計的知識庫和能量管理決策是否適當，與硬體實現上是否能落實能量管理而達到節能目的。

Case1 停機模式的討論

定義此情境為於冷房無啟動空調提供冷氣造成冷房溫度上升，且因溫室效應造成冷房溫度更高於外氣溫度，本模式將驗證在考量能量經濟性下，透過釋放儲冰槽冷能達到冷卻冷房溫度，使人員於設定時間或附近回到冷房不會感受到熱衝擊，即使提早返回也會也減小熱衝擊且啟動傳統空調後較快進入舒適溫度。

由結果顯示無論於何種冷房負載，冷

房溫度初期因採外氣冷卻故在上升達高溫後就開始穩定，然而在穩定一段時間後開始逐漸降低而後迅速下降至設定溫度圖 7，這是因為於冷房溫度降低前的時期皆屬溫室效應知識庫掌控而後期為舒適知識庫掌控，而兩知識庫交接處無不連續，乃因已就節約能量的觀點於兩知識庫的切換處加入更嚴苛的判別式，在切換到舒適知識庫後不會因演算出來的冷能反較小，而使溫度升高達到反效果。因此兩知識庫切換準則是相當值得討論，如因用電量不足而儲冷量仍很多，相反地會很快切換知識庫而使高溫穩定期較短。

Case2 開機模式 B 的討論

定義傳統空調的冷凍能力小於冷房負載的情境，造成冷房溫度無法達設定溫度，而透過太陽能儲冰式冷氣機釋冷的方式輔助傳統空調達到設定的冷房溫度。

由圖 8 顯示於大冷房負載下，只使用傳統空調的冷房溫度無法將冷房溫度將低到設定溫度 23 度，最低只能冷卻到約 27 度，但若採用太陽能儲冰式冷氣機釋冷方式時可見冷房溫度可分成兩階段變化，初期依然仍僅啟動傳統汽車空調，但當冷房溫度穩定於 27 度一陣後，啟動太陽能儲冰式冷氣機再加入冷卻，使冷房溫度更快速達到設定溫度。而這種太陽能儲冰式冷氣機開啟的時機可不必限定一定待感測冷房溫度無法降低時才釋放，因此自動調整方式為根據能量經濟性的觀點，使用者亦可依個人意願一開始就強迫啟動，可更快讓冷房溫度達設定溫度。

Case3 開機模式 A 的討論

定義傳統空調的冷凍能力大於冷房負載的情境，當車子行駛於夏季日照較小時，傳統汽車空調因行車狀況如高速行駛使提供的冷氣足夠負荷小的冷房負荷，但還需以外在控制方式控制釋冷率以使冷房溫度達設定溫度，雖達到冷房溫度控制但浪費不少冷能，而透過汽車自然空調儲冷的方式將傳統汽車空調原製冷能力不以外在控制方式去節制，但控制釋冷率以達設定的冷房溫度，並將所需冷能以外多餘的冷能儲存於儲冰槽，待如上述案例需要時

才釋放出來。

結果顯示於小冷房負載下，只使用傳統空調即可很快將冷房溫度將低到設定溫度 23 度，同時傳統汽車空調隨著冷房溫度使得釋放的釋冷率逐漸減少，而假設其製冷能力可一直維持，故多餘的冷能即可儲存於汽車自然空調的儲冰槽中，使得儲冷率隨著釋冷率遞減而漸增，導致儲冰槽中的儲冷量漸增，儲冷量百分比圖 9 由 0 漸增至 0.2。

3-3 太陽能電池的性能測試

太陽能電池的輸出功率受照度、溫度、負載的影響，因此於某一溫度與照度下，會有一當時的最大功率狀態，然而此最大功率點亦會隨照度或溫度改變且非線性，因此需設計一系統 (MPPT) 以追蹤最大功率點，使太陽能電池隨環境條件改變時能提供最大功率輸出。因此本計畫先以實驗方式，分析所使用太陽能電池特性，並參考文獻而架設太陽能電池與設計功率模組進行量測，其原理為利用太陽能電池的電性受到負載條件而改變工作點特性求取其特性曲線。而在量測上所採的步驟分別簡述如下：

1. 太陽能陣列的製作：

每一太陽能電池模組開路電壓約為 0.5 伏特，因此如串聯太陽能電池模組可調整太陽能陣列的電壓大小，如並聯太陽能電池模組可調整太陽能陣列的電流大小。然而在串並聯太陽能電池模組時仍有以下幾點需考量：

- (1) 由於製程複雜使每一太陽能電池模組特性很難一致，加上灰塵、雲等阻礙的環境因素，使得每一太陽能電池模組所產生的電壓、電流都不會相同，因而產生了有些太陽能電池模組可能成為其他太陽能電池模組的負載，能量無法散逸並使溫度升高，當太陽能電池內部超過極限溫度 85 -100 時即可能造成損壞。
- (2) 當太陽能陣列中有太陽能電池模組損壞時，可能造成所有的電壓降都落到損壞的太陽能電池模組上。

2. 太陽能陣列的架設：

- (1) 實際日照測試

為了求得較好的效率，在太陽能陣列的架設上文獻提供一些太陽能電池板架設準則。首先是太陽能陣列的傾斜角，其建議採太陽能陣列所處緯度再加上 15 度如圖 10.a，以利日照與雨淋清洗太陽能陣列。再來是太陽能陣列的方位，若太陽能陣列位於北半球則建議將太陽能陣列面向南方，若太陽能陣列位於南半球則建議將太陽能陣列面向北方，除此之外，太陽能陣列裝置需盡量於日光不受遮蔽處。本實驗之太陽能陣列架設如圖 10.b。

(2) 人工日照測試

因量測系統無輻射照度計情況下，欲於實際太陽光下控制相同日照量而量測溫度影響相當困難，故十分需要一人工日照系統將太陽能陣列置於人工測試光源下。除此之外，北部冬季多陰雨，為使實驗能不礙於氣候影響，我們建立一人工日照系統。該人工測試系統如圖 10.c。於一木造冷房內上方置入日光燈泡 12 顆共 1200w，可依不同日照度的需求控制燈泡開啟的個數。雖正常光型人工光源使用 Xe 短弧燈泡作為光源，其特色為 (i) 色溫度 6000K，靠近太陽之溫度 (5762K)，以得到與基準太陽光靠近之分光放射；(ii) 亮度高，使用光學系統以得到光束，但是必須以補正過濾器抑制近紅光部 (800~1000nm) 的 Xe 強光束，以得到等價之，因此礙於經費與本次實驗需求性，仍採較經濟普遍性的日光燈泡。而冷房旁開以入風口與回風口，接自由管通以 1 噸冷氣機控制冷房溫度，進而達到控制太陽能陣列的測試溫度。

3. 太陽能電池特性的量測系統：

由於太陽能電池並非定電壓源亦非定電流源，因此利用功率電阻模組內各電阻並聯組合的改變，以產生一系列等效電阻以當作太陽能電池的負載。其系統架構如圖 11，由個人電腦透過平行阜同時輸出 8 個位元的資料訊號，所以最多可同時驅動 8 個

繼電器。藉由一系列的 TTL 訊號可直接控制各電晶體的開關動作。其中量測系統為使用 Textronic 示波器量取太陽能電池之電壓與電流訊號，HR1300 量取太陽能陣列的溫度。而監控系統為 Labview 人機畫面。其中特別要注意的是功率模組的切換速度，必須儘快完成所有電阻切換動作以達到固定日照條件下之負載影響，但切換速度過快很可能會激發太陽能電池其他動態特性切換速度，且本量測系統的取樣頻率 (Sample Rate) 為 1/sec，故本量測實驗採切換速度為 1.5sec，其完成所有 TTL 訊號的一週期小於 1min。較文獻上的 1min/一週期甚快些。第二個要注意的是功率模組的切換順序，必須由大電阻至小電阻以避免激發太陽能電池其他動態特性，故 TTL 訊號必須符合此原則。

4. 功率電阻模組：

由個人電腦透過平行阜輸出 TTL 的訊號無法直接驅動繼電器，必須先經過電晶體 BJT 做電流放大，才能達到電阻切換。

由上述實驗步驟暨上述的太陽能電池特性方程式，依據不同條件如日照度和溫度分別於戶外暨人工冷房進行分析太陽能電池的工作電壓、電流及輸出功率與日照強度和溫度的關係，並討論結果與說明如下。

(1) 日照量影響：

由於本量測系統無輻射照度計可供使用，故以夏季某天 (2002 年 8 月 26 日) 不同時間下，明顯可感受日照量不同的情況下進行實驗，進以時間點做為日照量的區別，而當日以 13:00 時日照量最大，隨著太陽逐漸西移，14:00，15:00 時日照量逐漸減少。而圖 12.a 可以看出，當日照量越大，其曲線之開路電壓與短路電流越大，因此於圖 12.b 中可看出日照量越大時最大功率點往右上方移動，結論為當日照量越大則太陽能電池的輸出電壓、電流與功率皆會明顯增大。

(2) 溫度影響：

因量測系統無輻射照度計情況下，欲於實際太陽光下控制相同日照量而改變溫度影響相當困難，故將太陽能陣列置於人工測試光源下以相同燈泡照度下，溫度量測點設置於太陽能陣列之背面上方處，探討溫度對太陽能電池的影響。由圖 13.a 顯示當太陽能陣列的溫度越高雖短路電流好像小幅增加，且文獻指出約 +0.1~0.2%/1，但是開路電壓卻大幅減少，變化約-5% (近 2mV)/1，以致於圖 13.b 中顯示溫度高的最大功率點往左下移動，結論為當溫度越大則太陽能電池的輸出功率皆會減少。

(3) 陣列並聯：

為加大太陽能電池的輸出功率，串並聯太陽能陣列是需要的，然而在發電系統中，太陽能電池的輸出電壓往往因系統設計上因素不能任意變動，因此並聯是較常採用的方式。圖 14.a 顯示出當四片太陽能陣列並聯時，其開路電壓並不改變，但短路電流卻明顯增大近四倍，因此於圖 14.b 中可以發覺四片太陽能陣列並聯時，其最大輸出功率增大近四倍。此乃因並列聯陣使輸出電流增加而提升輸出功率。

四、計畫成果自評

本研究成果已達計畫第一年的目標，其成果可作為下一年度研究的依據，並與其他子計畫研究成果整合。本研究成果已發表於 *Int. J. of Refrigeration, HVAC&R* 以及 *Solar energy* 等國際期刊。

五、文獻回顧

- [1] Manlio, B. and Jai, P., "Transport of Thermal Energy by a Simple Two-Phase Loop," *Int. J. of Energy Research*, Vol. 12, PP.679-698, 1988.
- [2] Bogdan, H., Gheorghe, D. and Aristotle, P., "Mathematical Models for the Study of Solidification within a Longitudinally Finned Heat Pipe Latent Heat Thermal Storage System", *Energy Conversion &*

Management, Vol.40, PP.1774, 1999.

- [3] Chen, K. S., Shiao, Y. Y. and Wang, P. C., "An Experimental Study on Steady-State Behavior of a Two-Phase Natural Circulation Loop," *Energy Conversion & Management*, Vol.31, No.6, PP. 553-559, 1991.
- [4] Arthur, M. and Ward, J., "Humidity and Predicted-Mean-Vote-Based Comfort Control," *ASHRAE Transactions*, Vol.92, Part 1B, PP.5-17, 1986.
- [5] Scheatzle, D. G., "The Development of PMV-Based Control for a Residence in a Hot Arid Climate," *ASHRAE Transactions*, Vol.97, Part 2, PP.1002-1019, 1991.
- [6] 楊世銘, "以黑板架構為基礎之影像分割系統", 成功大學電機工程研究所碩士論文, 2002.
- [7] 吳益坤, "代理人為基黑板溝通模式系統設計-以軟體品質驗證為例", 國防管理學院國防資訊研究所碩士論文, 2000.
- [8] 曾昶為, "黑板式專家系統在結構設計之應用:知識庫系統與程序性程式之整合", 淡江大學土木工程研究所碩士論文, 1996.

表 1 太陽能儲冰空調機之操作模式

| 操作模式 | 開機模式 A | 開機模式 B | 停機模式 |
|------|--------------|--------------|----------|
| 方式 | 冷房能力大於冷房內的負載 | 冷房能力小於冷房內的負載 | 空調系統無法製冷 |

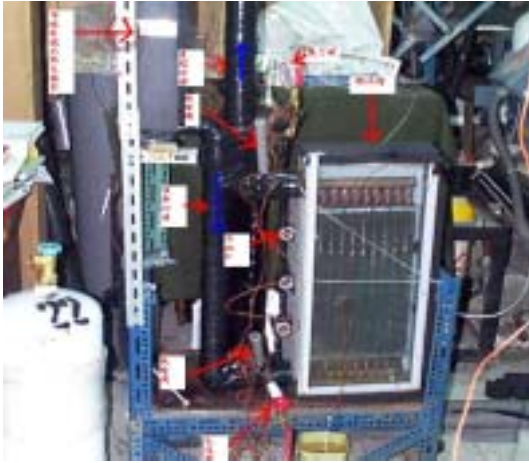


圖 1 儲能系統之實驗設備示意圖

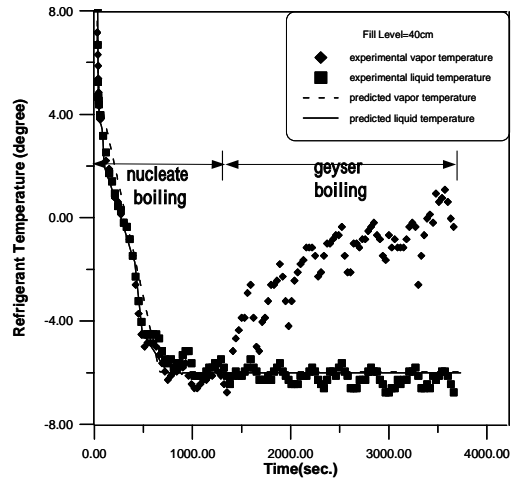


圖 3(b)

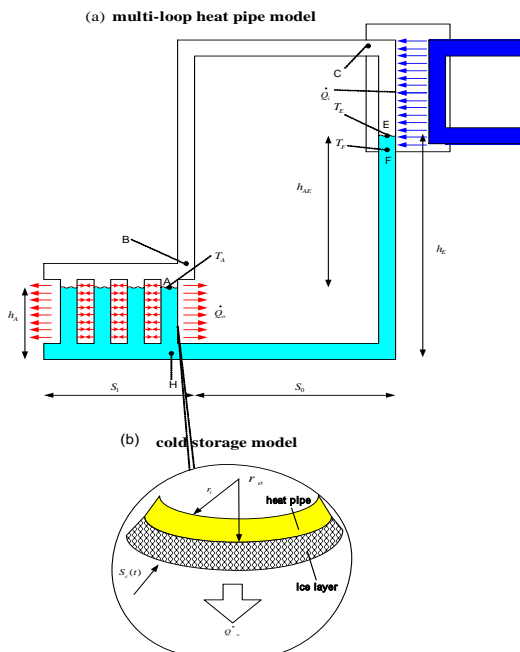


圖 2 儲能系統之理論模式(a)多迴路熱管
(b)管外儲冰

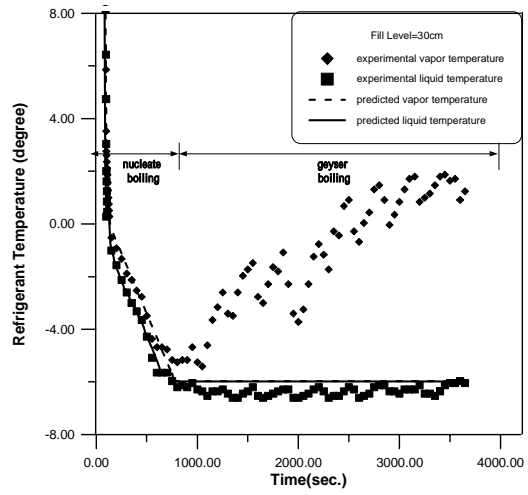


圖 3(c)

圖 3 蒸發部上端的蒸汽溫度與下端的液態溫度變化圖(a)50 cm(b)40 cm(c)30 cm

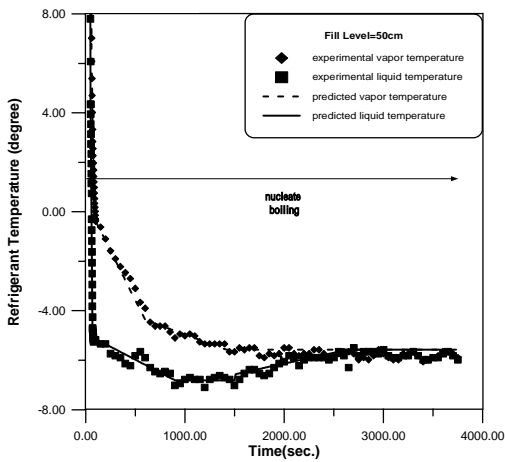


圖 3(a)

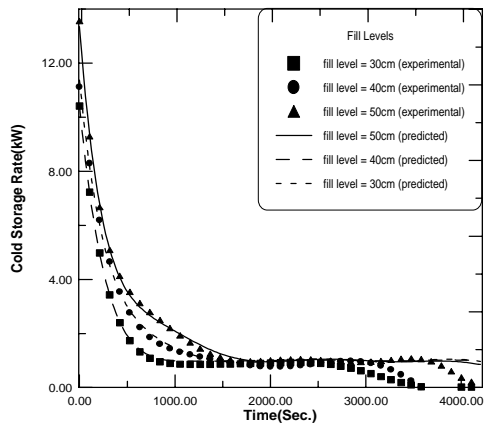


圖 4 冷媒充填高度對儲冷率的影響

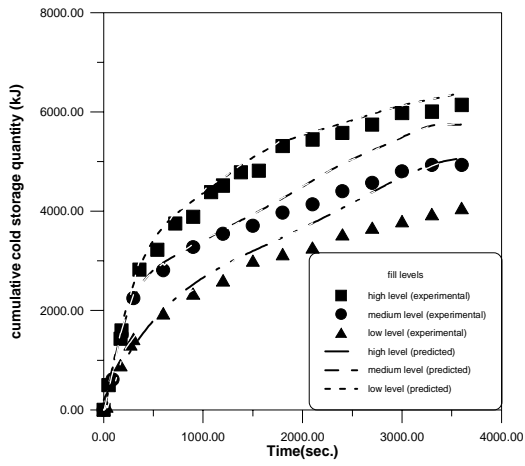


圖 5 冷媒充填高度對累積儲冷量影響

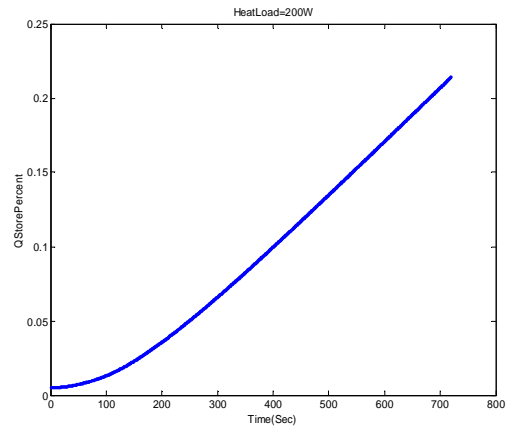


圖 9 開機模式 A 的討論

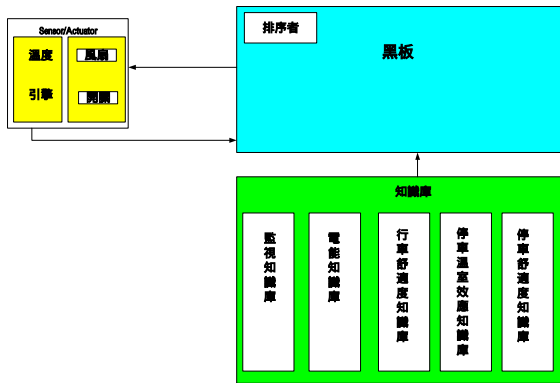


圖 6 智慧型能量管理之架構

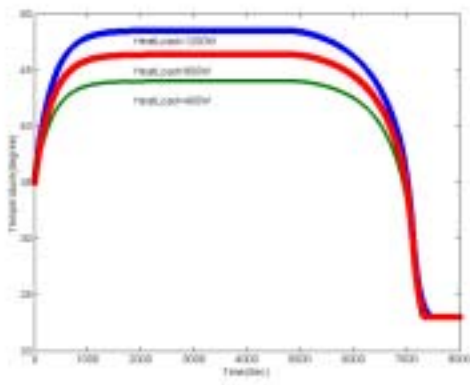
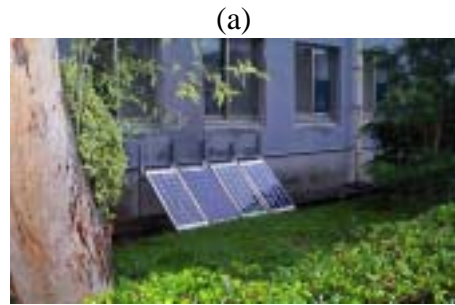


圖 7 停機模式的討論



(a)



(b)



(c)

圖 10 太陽能陣列的架設

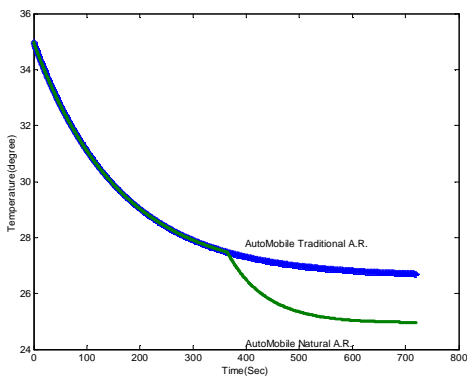


圖 8 開機模式 B 的討論

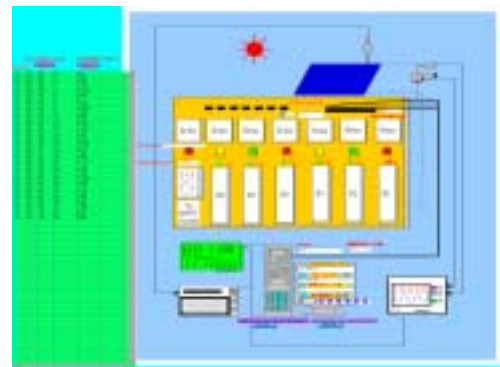


圖 11 太陽能電池監控程式

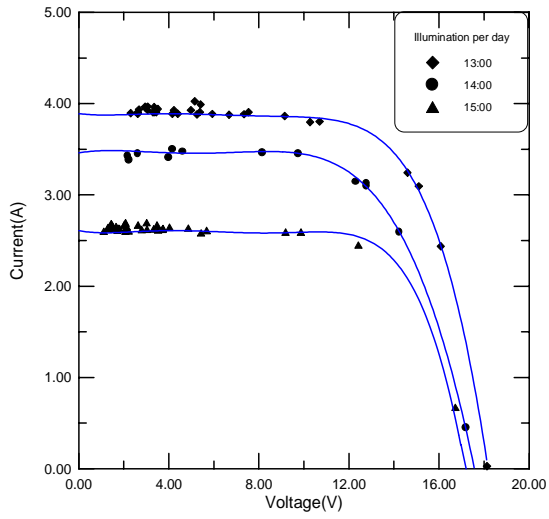


圖 12.a 日照量對太陽能電池的影響

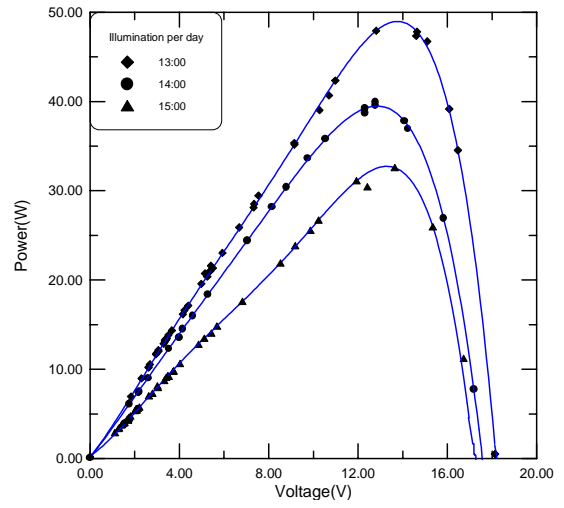


圖 12.b 日照量對太陽能電池的影響

圖 13.a 溫度對太陽能電池的影響

圖 13.b 溫度對太陽能電池的影響

圖 14.a 太陽能電池陣列並聯的影響

圖 14.b 太陽能電池陣列並聯的影響

