

臺灣二〇〇八年國際科學展覽會

科 別：工程學

作 品 名 稱：仿生智慧型熱控制系統

學 校 / 作 者：臺北市立大直高級中學

蕭季威

作者簡介



我是蕭季威，臺北市大直高中國中部八年級，我從小就對數理科學有興趣，每年都找機會參加各種科學體驗營和科學競賽，從其中我學到了很多物理、化學、航太、地球科學等知識。國小時曾經以淨水的研究得到全國科展第三名，上了國中後除了在學校的數理資優班吸收更多元的數理知識外，也一直持續在做科展研究，享受做實驗的甘苦滋味。

經過這些歷練，我現在有能力解決自己實驗中所遇到的問題，還能自己設計一個完整的實驗程序，並耐心的做完整個實驗和分析。其實科學實驗只要有耐心，持之以恆，用心去體會過程，科學實驗其實是很有趣的。

目錄

摘要.....	1
壹、研究動機.....	2
貳、研究目的.....	3
參、研究設備及器材.....	4
肆、研究過程及方法.....	5
研究一 如何測量物體的傳熱？.....	5
研究二 不同材料和內部構造的傳熱特性.....	10
研究三 替換式自動熱控制系統之設計.....	13
研究四 熱柵式自動熱控制系統之設計.....	15
研究五 智慧型熱管熱控制系統之設計.....	18
研究六 何種熱管型式傳熱效果較好？.....	25
研究七 如何設計智慧型熱控制系統？.....	29
伍、研究結果與討論.....	31
陸、結論與應用.....	33
柒、參考資料及其他.....	34

摘要

通常使用隔熱材料可以降低熱量傳遞，而使用風扇、散熱片、熱導管等用來單向散熱。但如何在一個系統上同時滿足隔熱和雙向傳熱的需求呢？因此我研究設計了仿生智慧型熱控制系統，能隨環境改變而快速轉變成隔熱或轉變成雙向傳熱並控制熱傳遞的方向及大小，這可以應用在房屋、汽車、恆溫系統等。

我先自製了自動傳熱量測系統，測試並找出好的隔熱和傳熱材料及構造。爲了能快速控制熱的方向及大小，我又發展了第一代替換式、第二代熱柵式和第三代熱管式熱控制系統；經過多次實驗，利用低沸點有機溶劑和控制系統，我成功地完成仿生智慧型熱控制系統，讓熱隔絕或快速流進流出，比傳統的方法改進很多，也達到節約能源的目的。

Abstract

Insulation materials are usually used to reduce heat transfer rate, while fans, radiators and heat pipes are applied to increase heat transfer rate and bring heat away. But is it possible to have both functions of insulation and heat transfer together in a single system? This research is to design and develop an intelligent heat control system, with both function of insulation and function of transferring heat together. Besides, this system can control the direction and amount of heat transferred. Such a system can be applied in house walls, cars, thermostatic system, etc.

I developed an automatic heat measurement system which was used to test the properties of heat transfer for different materials and structures. Three generations of intelligent bi-directional automatic heat control system were then developed to get fast heat transfer and function of heat control. They were phase 1 replacing-type system, phase 2 heat-grating system, and phase 3 heat-pipe system. After tens of experiments, I successfully control the amount and rate of heat transfer via low-boiling-point organic solutions and controller. The designed system is bi-directional, and is more innovative and efficient than conventional uni-directional heat control methods. Besides, this system also has huge contribution in reducing energy consumption.

壹、研究動機

通常在需要隔熱時，會使用隔熱材料滿足隔熱的需要；若要散熱，則使用風扇、散熱片、熱導管等傳熱材料。但有時候我卻希望同一個材料能夠有時隔熱，而有時傳熱，但如何在一個系統上同時滿足隔熱和傳熱的需求呢？例如夏天時會希望熱不要透過房屋牆壁或屋頂傳進家裡，所以希望房屋牆壁或屋頂的隔熱性要很好。但在秋末冬初時，又會希望太陽的熱能透過房屋牆壁或屋頂傳進家裡，讓家裡暖和一些。因此設計一個能隨環境改變而控制隔熱或雙向傳熱的系統有很大的重要性，又可減少冷氣暖氣的使用，達到節約能源的目的。

事實上，大自然界包括人類在內，有許多動物就具備能隨環境控制隔熱或傳熱的能力。自然與生活科技課本上提到內溫動物在環境改變時，會靠體內微血管面積的變化來控制體溫。所以我應該也可以依照這個仿生原理，讓牆壁材料也能隨時改變隔熱和傳熱性質來控制熱量的散失，達到冬暖夏涼並減少能源消耗。

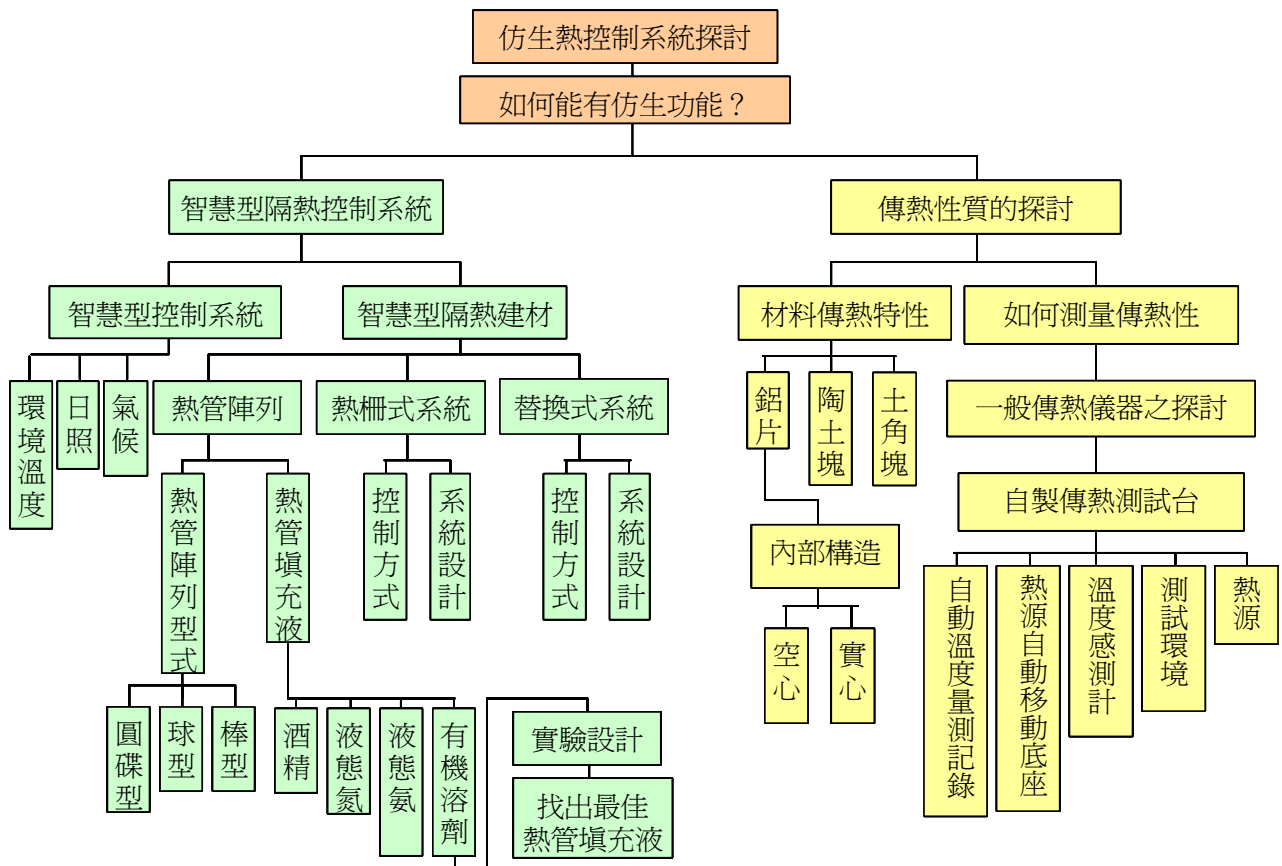
貳、研究目的

這個研究是想從內溫動物控制體溫的觀念，設計出仿生材料，讓材料具備有時隔熱有時傳熱的能力，能隨環境改變而快速轉變成隔熱或轉變成雙向傳熱並控制熱傳遞的方向及大小。

透過自然與生活科技的教材，並請教老師，也尋找相關的歷屆科展作品和網站資料後，經過一段時間的思考和討論，才對解決這個問題有了較完整的想法。

這個研究的研究工作有三大項：

1. 自製傳熱測試系統，並測試不同材料和內部構造的傳熱特性。
2. 設計不同的仿生智慧型熱控制元件，具有控制隔熱或傳熱方向大小的功能。
3. 設計“仿生智慧型熱控制系統”，達到節約能源和冬暖夏涼的目的。



研究探討分項工作如下：

研究目的		研究項目
研究一	如何測量物體的傳熱？	(一) 一般測量傳熱的儀器探討 (二) 製作傳熱測試台 (三) 自動溫度量測及記錄
研究二	不同材料和內部構造的傳熱特性	(一) 比較金屬和非金屬等不同材料的傳熱特性 (二) 比較實心鋁片和空心鋁片傳熱特性的不同
研究三	替換式自動熱控制系統之設計	(一) 使用高隔熱材、高傳熱材
研究四	熱柵式自動熱控制系統之設計	(一) 使用高隔熱材、高傳熱材
研究五	智慧型熱管熱控制系統之設計	(一) 智慧型熱管熱控制系統 (二) 有機溶劑的性質測試和分析
研究六	何種熱管型式傳熱效果較好？	(一) 快速傳熱元件
研究七	如何設計智慧型熱控制系統？	(一) 氣候、日照、環境溫度的影響 (二) 製作智慧型熱控制系統

參、研究設備及器材

研究項目	研究設備與器材	研究設備與器材內容
自製傳熱測試台	熱源	熱風機、絕熱材料、木板
	溫度計	自製溫度計、熱電偶溫度計、溫度讀表
	自動記錄器	個人電腦、電腦接線、電腦軟體 Lutron801、DL2005
	熱源自動移動底座	樂高積木、馬達、電腦軟體 ROBOLAB、RCX(機器人指令瀏覽器)、IR(紅外線傳輸器)
傳熱效果實驗	測試材料	土角厝土塊、鋁片
	自製傳熱測試台	含熱源、自製溫度計、自動記錄器、自動移動底座、個人電腦等
智慧型熱控制系統	替換式系統	高隔熱材、高傳熱材
	熱管填充液	甲醇、乙醇、異丙醇、丙酮、正己烷、正戊烷、乙酸乙酯、乙醚
	填充液性質測試	移動底座、熱風機、通風櫥、試管、抽氣筒、護目鏡、單孔塞、橡膠軟管、量筒、滴管、鐵架
	熱管	不銹鋼管、銅片
	轉向裝置	9V 馬達、電池
	熱控制系統	電腦軟體 ROBOLAB、RCX

肆、研究過程及方法

研究一、如何測量物體的傳熱？

我分下列三項探討：

- (一) 測量傳熱的儀器之探討
- (二) 製作傳熱測試台
- (三) 自動溫度量測及記錄

(一) 測量傳熱的儀器之探討

在建立這個研究使用的測量傳熱儀器的工作上，我認爲我有四部分要去探討，這四部分包括：1. 一般測量傳熱儀器之探討；2. 熱源之探討；3. 測試環境之探討；4. 感測器之探討。下列是這四部分之探討過程。

1. 研究過程

閱讀相關科展作品及網頁資料。

(1) 一般測量傳熱儀器之探討

陳勁帆等[1]使用恆溫箱及酒精溫度計，固定時間人工讀取溫度；但這種方法容易有溫度誤差，不易觀察及記錄溫度變化，也不適合堅硬的待測物，因此不適合我的研究。蕭宇翔等[2]則使用恆溫循環水槽，插入熱傳計，使用自動記錄系統；但是設備大且昂貴，也不適合我使用。在網站資料中的熱傳導測試儀[3]使用雷射脈衝加熱樣品正面，再以紅外線溫度檢測器測量溫度。此研究的設備太昂貴，但是用單面加熱的方法倒是值得採用。

這些方法的優缺點整理如表 1.1。我發現要解決的問題是設備費用和溫度變化記錄，所以我自己設計製作傳熱測量系統，用熱源從前面加溫，在待測物前後兩側設置溫度計，自動量測和記錄溫度。

表 1.1 各種測量傳熱儀器的優缺點

	恆溫箱及酒精溫度計	恆溫循環水槽及熱傳計	雷射脈衝及紅外線溫度檢測器
優點	成本低 操作方便	自動記錄 易觀察及記錄溫度變化 可以知道溫度的瞬間變化 可以直接知道熱傳導係數	自動記錄 易觀察及記錄溫度變化 單面加熱的方法爲非破壞性 非接觸性 可以知道溫度的瞬間變化
缺點	不易觀察及記錄溫度變化 無法知道溫度的瞬間變化 破壞待測物質 無法用於堅硬的待測物質	恆溫循環水槽及熱傳計均昂貴 操作使用不易 破壞待測物質 無法用於堅硬的待測物質	非常昂貴 操作使用不易

(2) 熱源之探討

而加熱的方式有以下幾種熱源，基於成本考量，我決定採用熱風機當作熱源。

表 1.2 各種熱源的優缺點

	恆溫箱	鹵素燈	熱風機	雷射	氙燈
優點	易控制溫度	成本較低	成本低	加熱迅速 易控制溫度	加熱迅速
缺點	成本稍高 雙面同時加熱使 溫度量測不準確	熱量不易集中 溫度不容易控制	溫度不容易固定	昂貴 取得不易	昂貴 取得不易

(3) 測試環境之探討

測試環境的優缺點研究分析如表 1.3。討論後，我決定使用自製絕熱管。

表 1.3 各種測試環境的優缺點

	烘碗機	烤箱	恆溫箱	恆溫循環水槽	自製絕熱管
優點	成本低	成本低	可保持穩定溫度	可保持穩定溫度	成本低
缺點	溫度不高 無法設定溫度 溫度不穩定	溫度不穩定 容易把待測物烤焦	成本稍高 溫度量測不準確	設備體積大 成本高 溫度量測不準確	須自己控制穩定 溫度

(4) 感測器之探討

溫度感測器的優缺點我整理如表 1.4，我決定使用優點最多的熱電偶。

表 1.4 各種溫度感測器的優缺點

	酒精/水銀溫度計	熱電偶	紅外線溫度計	電阻式溫度計
優點	成本低 操作容易	成本低 溫度測量準確 可配合自動讀取及記錄 溫度測量範圍寬 些微溫度變化亦可測定 測定時反應快	可配合自動讀取及記錄 非接觸式 溫度測量範圍寬	成本低 溫度測量準確 可配合自動讀取及記錄 溫度測量範圍寬
缺點	易打破 須接觸待測物 溫度測量範圍窄 須人工讀取及記錄 不易連續快速量取溫度	需溫度讀表	需溫度讀表 成本較高	需溫度讀表 需供應電源

2. 研究結果

經過上述四項探究與分析後，我決定設計以下自製傳熱測量系統作為後續的研究使用：

表 1.5 自製傳熱測量系統

自製傳熱 測量系統	測試環境	熱源	感測器	測試系統
	測試物放在自製絕 熱管中	熱風機 (110V, 功率 350W)	在待測物兩側以熱電 偶溫度計量測溫度	溫度自動量測 溫度自動記錄

(二) 製作傳熱測試台

瞭解了不同測量傳熱特性的方法後，接下來我要自製一個傳熱測試台來測試物體傳熱特性。

1. 研究過程

自製絕熱管的要求是導熱性要差且容易製作，所以我決定使用木材材質。在形狀方面，雖然圓管的形狀對稱對實驗較方便，但因為中空的木頭圓管不容易做，所以我使用方型絕熱管，完成的方型絕熱管如圖 1.1。各種絕熱管的優缺點整理如表 1.6。

表 1.6 各種絕熱管的優缺點

討論項目	類別	優點	缺點
絕熱管材料	壓克力	易加工、透明可觀察內部	價錢高、不耐熱
	木材	易加工、價錢低、耐熱、隔熱性好	不透明無法觀察內部
	PVC	不易加工	價錢高、不耐熱、不透明無法觀察內部
絕熱管形狀	圓管	形狀對稱、配合熱風機較理想	不容易找到夠大的圓管、試片裁切困難
	方型	各種大小容易製作、方便測量、試片裁切容易	有凹角
絕熱管方向	水平	易設計熱風機自動底座	
	垂直		很難設計熱風機自動底座
試片放入並固定	從管後推入	不須製作	試片不容易放入、試片跟管子有空隙時很難堵住
	分成兩截管子	不好製作	須裝鉸鍊，試片不容易固定
	作 L 形開口	還容易製作，試片容易放入固定	須裝鉸鍊

接下來爲了讓熱源端溫度維持固定(約 70°C)，我設計製作了溫度控制自動移動底座(圖 1.2)，並寫一個小程式(圖 1.3)，可以隨待測物熱源端的溫度變化，自動控制直流馬達轉動，配合齒輪減速比 1:40，使熱風機自動移動底座自動前進後退，讓熱源端溫度穩定維持 70°C。

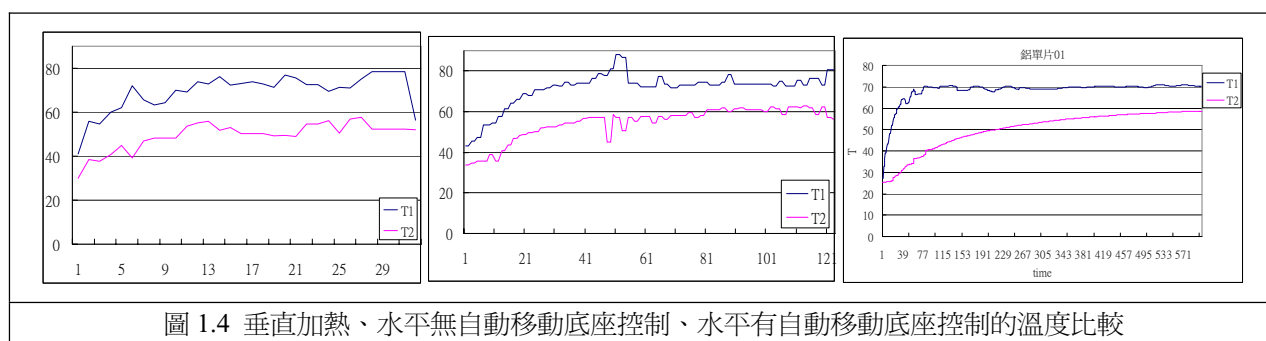
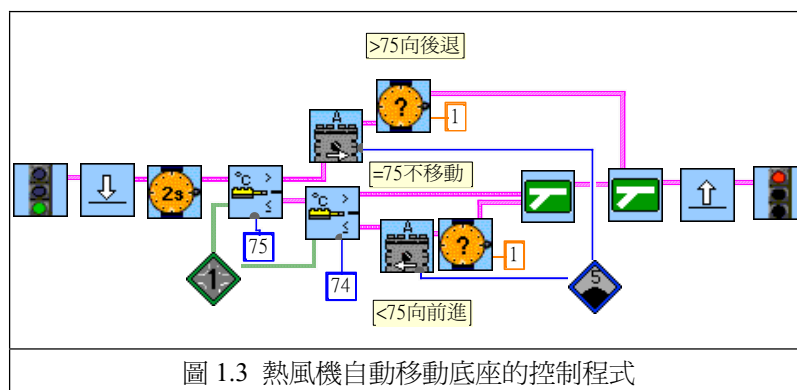
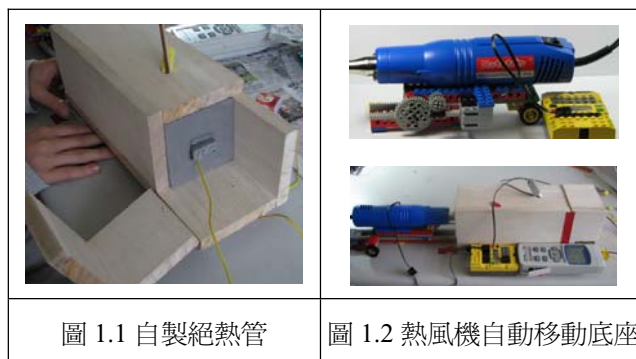
2. 研究結果

(1). 我自製了一個水平的方型木材絕熱管，它的規格如表 1.7，可以作爲很好的傳熱測試台。

表 1.7 絕熱管

自製絕熱管	材料	形狀	方向	厚度	內部尺寸	長度
	木板	方型	水平	8mm	7cm x 7 cm	30cm
熱風機裝置在方形絕熱管開口處，試片放在離開口約 23cm 處。						
溫度感測計由方形絕熱管側面伸入接觸試片表面，量測試片兩端的溫度						
爲了方便放試片在絕熱管內，作了 L 形開口，並裝了四個小木片防止試片倒下						

(2). 完成熱風機自動移動底座，可以平穩地控制待測物熱源端的溫度保持固定。圖 1.4 我比較了熱風機垂直加熱、熱風機水平手動控制加熱、以及熱風機水平加熱但有自動移動底座控制的三種方法量到的溫度之比較，有自動移動底座控制能讓熱源端的溫度保持平穩。因此自製傳熱測試台完成，可以用來測試物體傳熱。



(三) 自動溫度量測及記錄

在實驗過程中，若用人工觀察記錄溫度不但速度慢、不方便、易出錯，也無法知道溫度的變化趨勢，所以我找出自動溫度記錄的方法。

1. 研究過程

我使用的溫度讀表有兩種自動記錄方式：

- (1) 每隔 1 秒量測一次，先存在溫度讀表內，等量測結束後，再將溫度數據讀入電腦；
- (2) 溫度讀表和電腦連線，將溫度數據直接傳送給電腦，溫度記錄軟體自動記錄溫度。

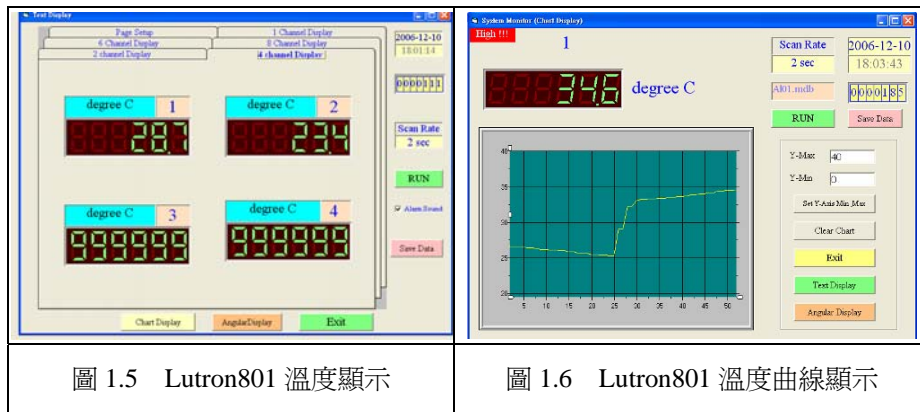


圖 1.5 Lutron801 溫度顯示

圖 1.6 Lutron801 溫度曲線顯示

因為第二種方式最快只能 2 秒量測一次，所以採用第一種方法來自動記錄溫度。

2. 研究結果

藉由溫度讀表的自動量取和記錄功能，可以 1 秒一次記錄待測物兩端的溫度，來瞭解其溫度變化的情形(如圖 1.6)。

(四) 研究一之結論

1. 我完成了測量傳熱儀器之四項測試儀器和方法的分析，並依據分析，製作出自製熱傳導測量系統。
2. 我完成了絕熱管之六項規格分析，並依據分析，製作出自製絕熱管，也做出熱風機自動移動底座，讓熱源端的溫度保持平穩固定。
3. 完成了溫度自動記錄的研究，可自動取得並記錄各種溫度。
4. 整個自製傳熱測試系統完成，可以成功地用來測試物體傳熱，作為研究物體傳熱特性的儀器。

研究二、不同材料和內部構造的傳熱特性

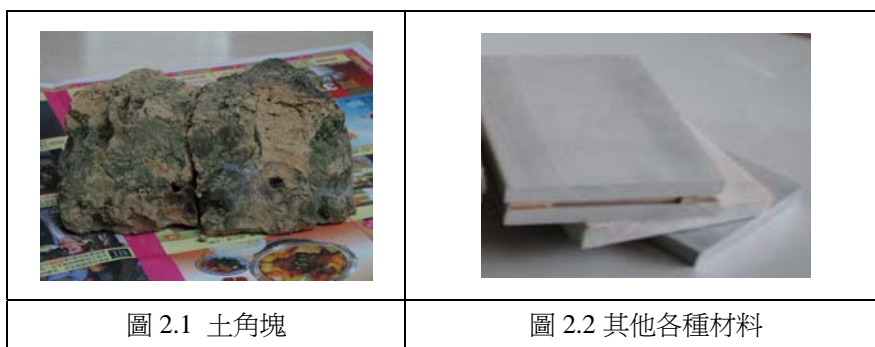
在研究一我已經完成了自製傳熱測試系統，接下來就要使用這個系統進行下列二項探討：

- (一) 比較金屬和非金屬等不同材料的傳熱特性；
- (二) 比較實心鋁片和空心鋁片傳熱特性的不同；

(一) 比較金屬和非金屬等不同材料的傳熱特性

1. 研究過程

這一部分的研究我測試了幾種常見又容易取得的材料，金屬材料使用鋁片，非金屬則使用土角塊(圖 2.1)和陶土塊。我將各種材料(圖 2.2)作成 7.5cm x 7.5cm 的大小，並放在自製傳熱測試系統上測試，同時自動記錄溫度，再從每個材料的溫度曲線上，來比較它們的傳熱特性。



2. 研究結果

圖 2.3~2.5 是各種材料兩端的溫度變化曲線。這些材料在相似的加熱條件下，每種材料的溫度變化曲線都不同，表 2.1 則是各種材料溫度變化曲線整理後的結果，對它們傳熱特性有清楚的比較。

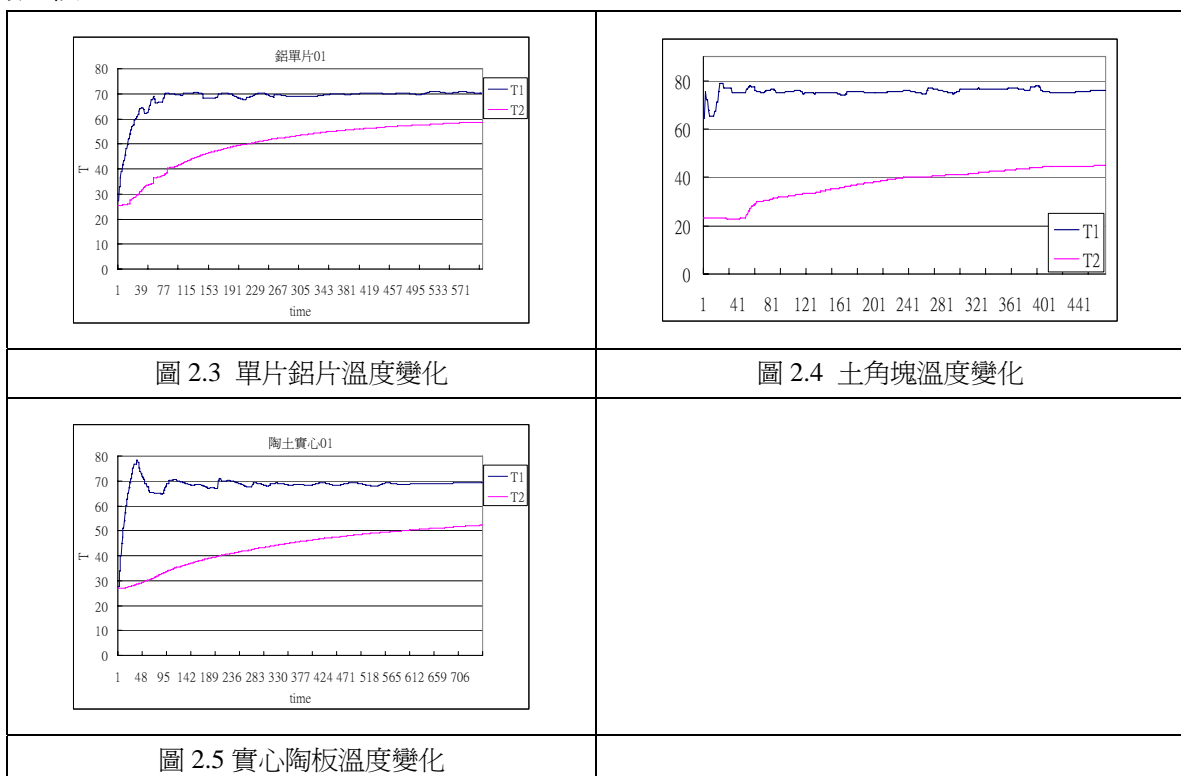


表 2.1 各種材料的傳熱特性

材 料	開始溫度	最後溫度	溫度差	溫度上升時間(秒) ($t_{95\%}-t_{5\%}$)
單片鋁片	25.5	58.6	33.1	427
土角塊	23.2	45.1	21.9	340
實心陶板	26.9	52.2	25.3	607

(二) 比較實心鋁片和空心鋁片傳熱特性的不同；

1. 研究過程

上面所測試的都是實心的材料，如果材料是中空含有空氣層，那傳熱特性會如何改變呢？所以這一部分的研究我測試了同樣厚度的實心鋁片和空心鋁片，來比較實心和空心兩種不同內部構造的傳熱特性。

2. 研究結果

圖 2.6~2.7 是實心鋁片和空心鋁片兩端的溫度變化曲線，這兩種不同內部構造材料的溫度變化可以看出空氣層對傳熱特性的影響，表 2.2 則是他們的溫度變化曲線的整理結果。

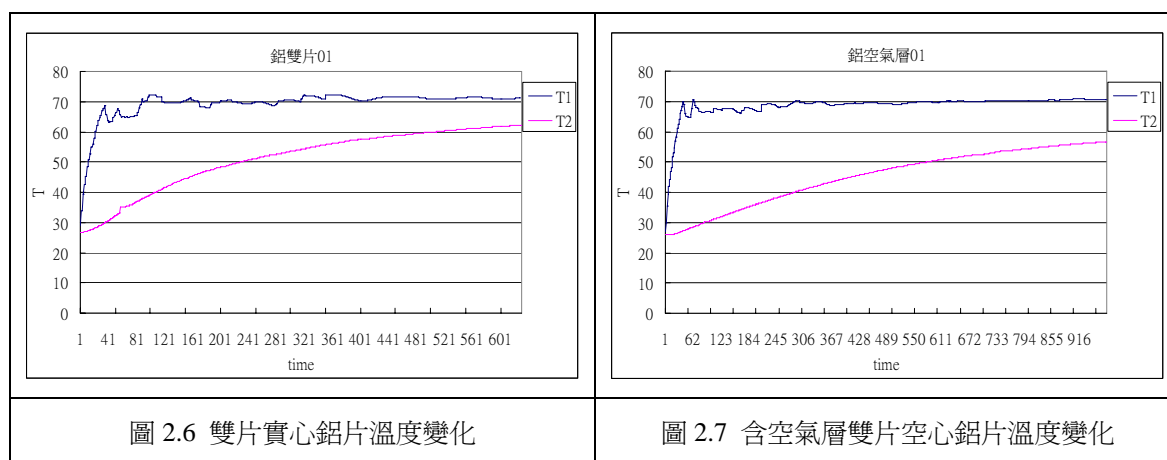


表 2.2 實心鋁片和空心鋁片的傳熱特性

材 料	開始溫度	最後溫度	溫度差	溫度上升時間(秒) ($t_{95\%}-t_{5\%}$)
雙片鋁片	26.8	62.1	35.3	494
含空氣層雙片鋁片	25.9	56.7	30.8	803

(三) 研究二之結論

- (1) 以上各種材料的溫度變化情形，整理如圖 2.8 及 2.9。
- (2) 由圖 2.8 可看出，穩定溫度由高排到低分別是鋁片、陶板、和土角塊。所以可知道鋁片的

穩定溫度最高，表示熱容易穿透，所以金屬的傳熱性好。而土角塊的穩定溫度最低，表示熱不容易透過土角塊，所以它的隔熱效果很好。

- (3) 由圖 2.9 可看出，溫度上升時間由高排到低分別是空氣層鋁片、陶板、鋁片、和土角塊；溫度上升時間愈短，表示材料吸熱快，但不代表傳熱性比較好。所以土角塊和鋁片都容易吸熱，而陶板則不容易吸熱。
- (4) 中空鋁片中含有空氣層，加熱後溫度上升慢，且最後溫度低，表示傳熱性不好。
- (5) 相同材料間厚度愈厚，溫度上升時間愈長，但穩定溫度相近，表示厚度影響溫度上升時間，但對穩定溫度影響較小。
- (6) 最好各種材料能用相同厚度來比較，結論會較正確(但是同樣厚度的不同材料不好找)。

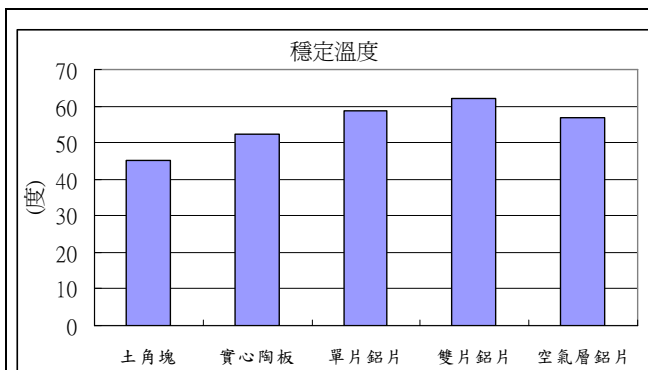


圖 2.8 各種材料穩定溫度之比較

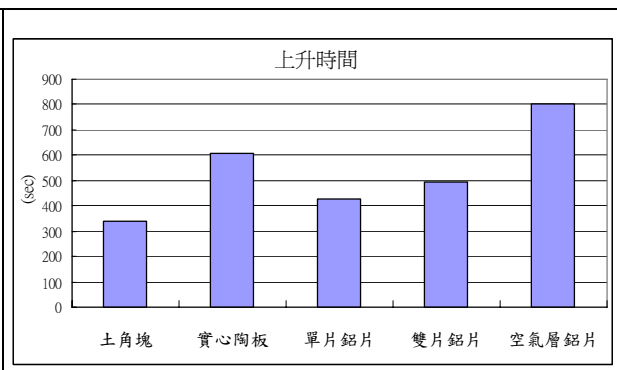


圖 2.9 各種材料溫度上升時間之比較

研究三、替換式自動熱控制系統之設計

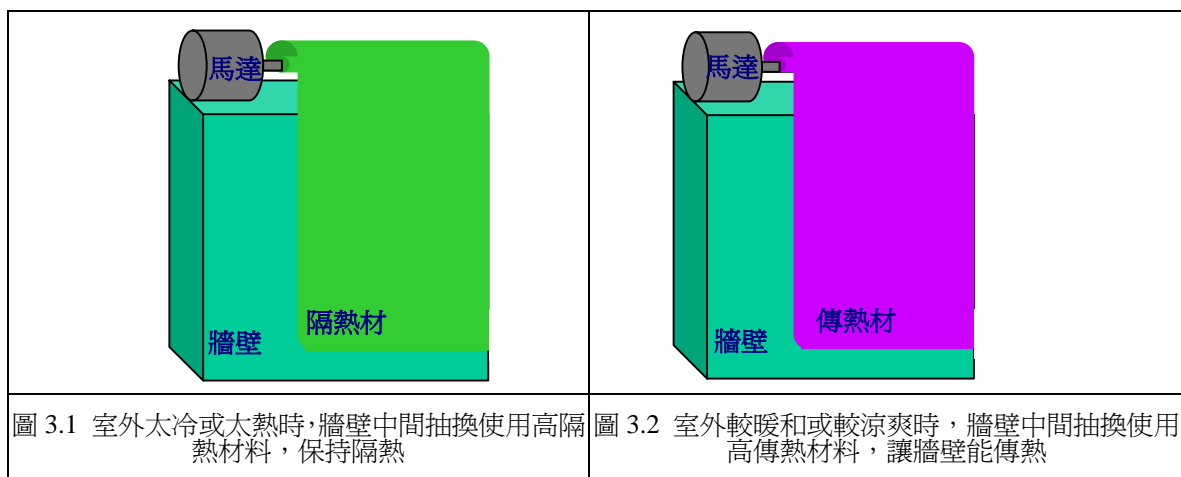
經過研究二的實驗，瞭解了材料的傳熱隔熱性質，也確定金屬材料的傳熱性遠比土磚類材料的傳熱性好很多，而空心材質則具有隔熱效果。但是牆壁若是隔熱性很好，就無法在必要時傳熱；若傳熱性很好，就沒辦法在大熱天時隔熱。可是傳熱特性一定要固定嗎？如何能仿生學習內溫動物可以控制熱量的進出。因此我設計了第一代替換式自動熱控制系統，能控制材料隨著環境溫度的變化有時隔熱性很好，但有時傳熱性很好。

(一) 使用高隔熱材、高傳熱材

1. 研究過程

(1) 設計替換式自動熱控制系統

這個替換式自動熱控制系統可以應用在許多地方，其中一種應用是用在房屋牆壁。我設計的替換式自動熱控制系統如圖 3.1 和 3.2，牆壁中間留有 2 cm 寬的空隙，可以依照環境的變化來自動抽換隔熱材或傳熱材，在同一道牆壁中，可以得到不同的傳熱效果，因此就能仿生。當室外太冷或太熱時，牆壁中間抽換使用高隔熱材料，保持隔熱；當室外較暖和或較涼爽時，牆壁中間抽換使用高傳熱材料，讓牆壁能傳熱。



(2) 替換式自動熱控制系統的控制方式

表 3.1 是應用替換式自動熱控制系統在房屋牆壁時，我想出的各種狀況及我想要控制的方式。

表 3.1 替換式熱控制系統的控制方式

季節	春	夏	秋	冬
天氣形式	晴天時室外較暖和	室外酷熱	有時室外較涼爽	室外寒冷
希望的效果	室外傳熱到室內	隔熱 防止室外熱氣進入	室內傳熱到室外	隔熱 防止室內暖氣流出
控制方式	用傳熱材	用隔熱材	用傳熱材	用隔熱材

2. 研究結果

- (1) 我設計完成替換式自動熱控制系統，可以經由電腦控制，改變牆壁的傳熱性質。
- (2) 材料可隨環境改變成傳熱或隔熱，達到仿生的效果。

3. 替換式熱控制系統的熱量傳遞計算

替換式熱控制系統到底在轉換成隔熱和傳熱的效果上，是不是有很大的效果？所以我要計算替換式熱控制系統的熱量傳遞。如果將中間的隔熱材/傳熱材與兩側的牆壁間的空隙忽略，所以熱量會從左邊的牆壁透過隔熱材/傳熱材，再傳過右邊的牆壁，如圖 3.3。如果兩邊的牆壁一樣厚，材質為水泥，傳熱材用銅片，根據熱傳導公式[7]：

$$q = K A \Delta T / \Delta x = \Delta T / \Sigma R$$

則整個牆壁的總熱阻 ΣR 就像電阻一樣是串聯， $\Sigma R = R_A + R_B + R_A$

如果兩端的室內室外溫度差為 5°C (或 5°K)，家裡牆壁總厚度 0.14m ，水泥和銅片的熱傳導係數由參考資料查到[7]。表 3.2 是個別材料的厚度和熱阻的計算，表 3.3 是整個材料的總熱傳量計算。

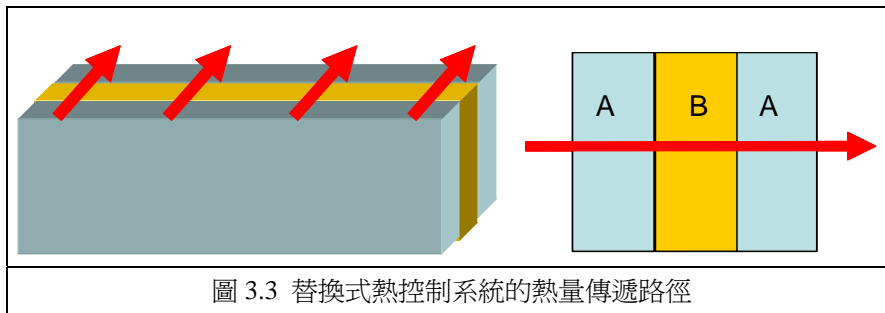


圖 3.3 替換式熱控制系統的熱量傳遞路徑

表 3.2 材料的厚度、熱傳導係數、熱傳導面積、熱阻

	厚度 L (m)	熱傳導係 數 K	熱傳導面 積 A (m^2)	熱阻 R (L/KA)
水泥	0.06	1.4	1	4.286E-02
銅片	0.02	401	1	4.988E-05

表 3.3 整個材料的總熱傳量

	熱阻 R_A	熱阻 R_B	熱阻 R_A	總熱阻 ΣR	溫度差 ΔT	熱傳量 q (W)
傳熱	4.29E-02	4.988E-05	4.29E-02	0.08576	5	58.299
隔熱	4.29E-02	1.52E+00	4.29E-02	1.60663	5	3.112

(二). 研究三之結論

- (1) 可以解決材料兼具傳熱和隔熱的問題。
- (2) 替換式熱控制系統在轉換成傳熱系統時，熱傳量為 58.299 W ；若轉換成隔熱系統，則熱傳量為 3.112 W ；兩個系統相差將近 19 倍(18.701 倍)。證明這個替換式熱控制系統可以同時兼具隔熱和傳熱的效果。
- (3) 但是這個系統必須中間空出來層來抽換隔熱或傳熱材，太佔空間，而且要有大功率的馬達來替換。因此缺點太多，變得不實用，我需要更好的解決方法。

研究四、熱柵式自動熱控制系統之設計

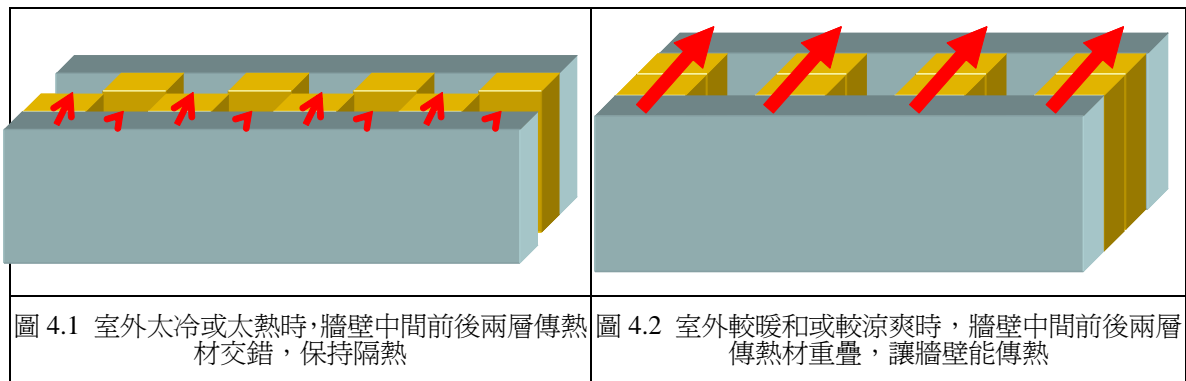
雖然替換式自動熱控制系統可以仿生，解決了在同一個材料中同時具備傳熱和隔熱性質。但是替換式自動熱控制系統使用不方便，馬達功率大又耗電，不是一個很理想的仿生熱控制系統。因此我改良了替換式自動熱控制系統，設計出第二代熱柵式自動熱控制系統，來降低使用的空間、減少使用的能源、提高使用的方便性。

(一) 使用高隔熱材 / 高傳熱材的熱柵式自動熱控制系統

1. 研究過程

(1) 設計熱柵式自動熱控制系統

這個熱柵式自動熱控制系統同樣可以應用在許多地方，包括房屋牆壁。我設計的熱柵式自動熱控制系統如圖 4.1 和 4.2，牆壁中間留有 2 cm 寬的空隙，可以依照環境的變化來自動轉換成隔熱或傳熱的功能，所以在同一道牆壁中，可以就像內溫動物一般，得到不同的傳熱或隔熱效果。



(2) 熱柵式自動熱控制系統的控制方式

表 4.1 是熱柵式自動熱控制系統應用在房屋牆壁時，我想出的各種狀況及我想要控制的方式。

表 4.1 熱柵式熱控制系統的控制方式

季節	春	夏	秋	冬
天氣形式	晴天時室外較暖和	室外酷熱	有時室外較涼爽	室外寒冷
希望的效果	室外傳熱到室內	隔熱 防止室外熱氣進入	室內傳熱到室外	隔熱 防止室內暖氣流出
控制方式	前後兩層傳熱材重疊	前後兩層傳熱材交錯	前後兩層傳熱材重疊	前後兩層傳熱材交錯

2. 研究結果

(1) 我設計完成熱柵式自動熱控制系統，可以經由電腦控制，藉由前後兩層傳熱材的重疊與

交錯，而改變牆壁的傳熱性質。

(2) 材料可隨環境改變成傳熱或隔熱，達到仿生的效果。

3. 熱柵式熱控制系統的熱量傳遞計算

熱柵式熱控制系統在轉換隔熱和傳熱的效果上，是不是也有很大的效果？所以我也要計算熱柵式熱控制系統的熱量傳遞。如果將兩層重疊的傳熱材中間的空隙忽略，熱量傳遞的方式會像圖 4.3 和 4.4，從左邊的牆壁透過傳熱材，再透過空氣(圖 4.3)或傳熱材(圖 4.4)，再傳過右邊的牆壁。如果兩邊的牆壁一樣厚，材質為水泥，傳熱材用銅片，根據熱傳導公式[7]：

$$q = K A \Delta T / \Delta x = \Delta T / \Sigma R$$

但是熱柵式熱控制系統的總熱阻 ΣR 像電阻一樣有串聯有並聯，在隔熱時整個熱阻的串並聯如圖 4.5，總熱阻

$$\Sigma R = R_A + (R_B + R_C) / 2 + R_A$$

傳熱時總熱阻如圖 4.6，總熱阻

$$\Sigma R = R_A + 2R_B R_C / (R_B + R_C) + R_A$$

如果兩端的室內室外溫度差為 5°C (或 5°K)，家裡牆壁總厚度 0.14m，傳熱銅片厚度 0.02m, 水泥、銅片和空氣的熱傳導係數由參考資料查到[7]。表 4.2 是個別材料的厚度和熱阻的計算，表 4.3 是整個材料的總熱傳量計算。

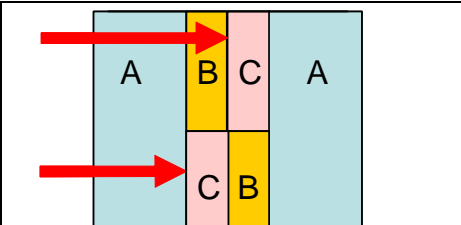
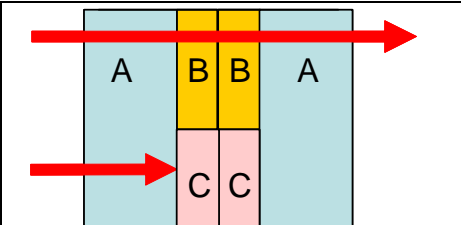
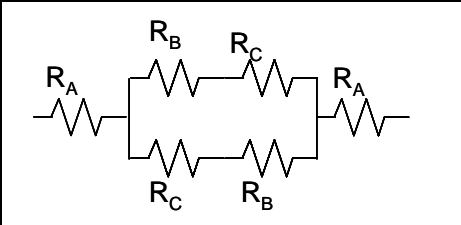
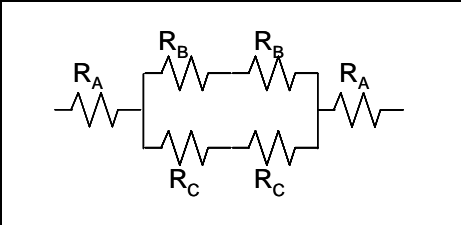
	
<p>圖 4.3 熱柵式熱控制系統隔熱時的熱量傳遞路徑(A:水泥, B:銅片, C:空氣)</p>	<p>圖 4.4 熱柵式熱控制系統傳熱時的熱量傳遞路徑(A:水泥, B:銅片, C:空氣)</p>
	
<p>圖 4.5 熱柵式系統隔熱時的熱阻</p>	<p>圖 4.6 熱柵式系統傳熱時的熱阻</p>

表 4.2 材料的厚度、熱傳導係數、熱傳導面積、熱阻

	厚度 L (m)	熱傳導係 數 K	熱傳導面 積 A (m ²)	熱阻 R (L/KA)
水泥	0.06	1.4	1	4.286E-02
銅片	0.01	401	0.5	4.988E-05
空氣	0.01	0.0263	0.5	7.605E-01

表 4.3 整個材料的總熱傳量

	熱阻 R _A	等效熱阻 R _B	熱阻 R _A	總熱阻 ΣR	溫度差 ΔT	熱傳量 q (W)
傳熱	4.29E-02	9.97E-05	4.29E-02	0.08581	5	58.266
隔熱	4.29E-02	3.80E-01	4.29E-02	0.46597	5	10.730

(二) 研究四之結論

- (1) 熱柵式自動熱控制系統可以解決材料兼具傳熱和隔熱的問題。
- (2) 熱柵式熱控制系統在轉換成傳熱系統時，熱傳量為 58.266 W；若轉換成隔熱系統，則熱傳量為 10.730 W；兩個系統相差將近 5 倍(5.43 倍)。證明這個熱柵式熱控制系統可以同時兼具隔熱和傳熱的效果。
- (3) 但是這個系統必須中間空出夾層來讓材料移動，太佔空間，而且傳熱面積只有整個面積的一半。因此雖然移動傳熱材時所使用的能源比替換式消耗的能源少許多，但缺點還是太多，要實用化比較困難，我需要找到更好的解決方法。
- (4) 若將替換式熱控制系統和熱柵式熱控制系統互相比較，兩者的熱傳量比較在表 4.4。在傳熱方面的比較，熱柵式因為用兩層傳熱材重疊，傳熱的面積只有替換式的一半，因此熱傳量低了 0.58% ((58.299-58.266)/58.299 = 0.000581)，但兩者傳熱能力差不多。然而熱柵式所需的傳熱材的量只有替換式的一半，可以節省很多成本。所以就傳熱方面，熱柵式是優於替換式。
- (5) 在隔熱方面的比較，熱柵式因為用兩層傳熱材交錯，因此隔熱層的厚度只有替換式的一半，所以熱傳量為替換式的 3.45 倍，即隔熱能力只有替換式的 29% (= 3.112 / 10.73)，所以熱柵式隔熱能力不好。

表 4.4 替換式系統和熱柵式系統兩者的熱傳量比較

型式	模式	總熱阻 ΣR	熱傳量 q (W)
替換式	傳熱	0.08576	58.299
	隔熱	0.84617	3.112
熱柵式	傳熱	0.08581	58.266
	隔熱	0.46597	10.730
傳統牆壁	隔熱	0.10	50
整片銅牆	傳熱	0.00035	14321

研究五、智慧型熱管熱控制系統之設計

(一) 智慧型熱管熱控制系統

替換式和熱柵式自動熱控制系統使用不方便、佔用空間大、需要耗費很多能源來驅動，所以我一直在找更有效的熱控制辦法。剛好這時候報章報導中國青藏鐵路通車[5]，建造過程中曾解決了很多工程技術問題，包括如何避免鐵路經過的凍土區地下土壤中的冰塊融化使鐵路沉陷。他們使用通風管、熱管(圖 5.1)、和遮光板三項技術解決，其中熱管技術可以讓熱量只往一個方向傳熱；這跟我的研究有點相關，是不是就是我需要的方法？



1. 研究過程

我要建立的“智慧型熱控制系統”必須讓材料可以隨環境變化來控制牆壁傳熱性的高低，同時解決替換式和熱柵式自動熱控制系統空間大、消耗功率大及傳熱效果低的缺點。而熱管可以讓熱量只往一個方向傳熱的原理，可以解決我研究的需要。經過蒐集資料、討論後，我發覺熱管是可行的方法，因此我開始建立“智慧型熱管熱控制系統”

「熱管制冷技術是一種利用液氣轉換對流和循環來實現熱量傳輸的系統，是無源冷卻系統中熱量傳輸效率最高的裝置。具有傳熱能力大、傳熱溫差小、啓動溫度低、均溫性能好以及單向傳熱和安全經濟等特點」[5]。青藏鐵路使用液態氮或液態氨，由於熱管是靠液體沸騰的蒸氣將熱量帶到上面，再靠冷凝降下來，所以傳熱會比固體(試管(圖 5.20)、鐵粉(圖 5.45)、鐵棒(圖 5.46)、或液體水(圖 5.21)要快很多。

但我的研究是要將仿生熱控制系統應用在我們的生活中，與青藏鐵路的環境有非常大的差別，所以我必須自己設計一個新的熱管式系統，找出適用於台灣氣候的熱管填充液和控制方式。另外青藏鐵路熱管只能由下往上單向傳熱，我必須改良成傳熱可以從左到右，也能從右到左，再加裝自動控制馬達，可自動控制熱管傳熱方向。

2. 研究結果

(1) 在表 5.1 我比較了替換式、熱柵式、和熱管式三種熱控制系統的優缺點；

表 5.1 三種熱控制系統的優缺點

	替換式、熱柵式熱控制系統	熱管式熱控制系統
優點	隔熱傳熱材容易取得 系統簡單	容易改變牆壁傳熱性質，傳熱快速 傳熱溫差小 體積小，操作方便，成本極低 系統驅動功率小 經濟又安全，有非常高之應用價值
缺點	只能有兩種傳熱速度，傳熱慢 牆壁要留夾層，使強度變弱 系統佔空間 需大量傳熱材，成本高 系統驅動功率極大	系統較複雜 須測試適當的熱管填充液 熱管要抽氣成負壓，製作技術高

根據上面的比較，我確定熱管式熱控制系統可以解決我想了很久的仿生熱控制的問題。然而我有很多問題必須要去解決，包括：

- 我找到的參考資料中的熱管使用方式都是固定方向傳熱；
- 參考資料的熱管傳熱端都用在極低溫(青藏鐵路凍土層)或高溫(電腦 CPU)，很少在室溫使用；
- 參考資料的熱管填充液沸點都比生活環境溫度高(如：水)或是低很多(如：液態氮、液態氫)，不適用於房屋等傳熱上。
- 沒有用在房屋、車子上的資料；

因此我必須作實驗找出適合的熱管，同時要測試找到適當的熱管填充液。

(二) 有機溶劑的性質測試和分析

我的熱管熱控制系統需要的熱管填充液，必須沸點接近室溫，但是有哪些液體適合呢？表 5.2 是一般資料中所用的熱管填充液。但是他們都有沸點太高或太低的問題，所以都不適合作為我的研究中的熱管填充液。

表 5.2 常用的熱管填充液

	液態氮	液態氫	水	乾冰
優點	工業上常使用	工業上常使用	安全，易取得	工業上常使用
缺點	沸點太低 不容易取得 不容易實驗	沸點太低 不容易實驗	沸點高於室溫太多	沸點太低 不容易取得 不容易實驗

1. 合適的有機溶劑的調查

我請教了學校物理和化學老師們，老師們建議我用酒精或乙醚。因為這兩種都是有機溶劑，所以我在低沸點和安全的兩項考慮下，整理出各種可能的有機溶劑，並找出它們的物質安全數據表[6]，整理如表 5.3。

表 5.3 可能作為熱管填充液的有機溶劑的物質安全數據

名稱	名稱	化學式	沸點 °C	熔點°C	比重	閃火 點°C	外觀及氣味
甲醇	Methyl Alcohol	CH ₃ OH	64.7	-97.8	0.79	12	透明、無色流動液体 輕微酒精味
乙醇	Ethanol	C ₂ H ₆ O	78.4	-	0.789	13	透明無色，揮發性
異丙醇	Isopropyl Alcohol	C ₃ H ₈ O	82	-86	0.785	12	無色，橡膠酒精味
異戊醇	Isoamyl Alcohol	C ₅ H ₁₂ O	130.5	-117.2	0.812	43	無色，令人不悅味
丁醇	1-Butanol	C ₄ H ₉ OH	117	-90	0.81	37	無色，腐臭味
丙酮	Acetone	(CH ₃) ₂ CO	56.2	-95.4	0.791	-18	無色、揮發性 特殊甜味，薄荷味
丁酮	Methyl Ethyl Ketone	C ₄ H ₈ O	79.6	-86.3	0.805	-6	無色透明，丙酮味
甲基異 丁酮	Methyl Isobutyl Ketone	(CH ₃) ₂ CHC H ₂ COCH ₃	116.8	-84.7	0.8	18	無色，濃甜味
正戊烷	n-Pentane	C ₅ H ₁₂	36	-129	0.63	-49	無色液體，類似汽油味
正己烷	n-Hexane	C ₆ H ₁₄	69	-95	0.66	-21.7	無色汽油味
乙酸乙 酯	Ethyl Acetate	CH ₃ COOC ₂ H ₅	77	-83	0.902	-4.4	無色水果味
乙酸正 丁酯	N-Butyl Acetate	C ₆ H ₁₂ O ₂	126.3	-77	0.883	22	無色，水果味
乙醚	Ethyl Ether	C ₄ H ₁₀ O	35	-116	0.713	-45	透明無色，特殊甜刺激味
甲醚	Dimethyl Ether	CH ₃ OCH ₃	-24.8	-141.5	0.66	-41.1	無色，輕微醚味

這些溶劑若要使用在熱控制系統中，必須符合沸點接近室溫及安全無毒的兩項要求，因此我由表 5.3，找出下列 8 種可能的有機溶劑作實驗(表 5.4)。

表 5.4 用於熱管填充液實驗的有機溶劑

溶劑類別	乙醚	正戊烷	丙酮	甲醇	正己烷	乙酸乙酯	乙醇	異丙醇
沸點°C	35	36	56.2	64.7	69	77	78.4	82
註：乙醚因為吸入後對人體不好，所以後來不進行實驗。								

2. 研究過程

- (1) 有機溶劑有很強的揮發性，吸入太多對身體不好，所以要在通風櫥中進行實驗(圖 5.9)
- (2) 經過討論後，訂出實驗步驟如表 5.5 (已經根據最初幾次實驗過程中發現的問題修正過)；
- (3) 七種溶劑分別加入試管內，根據實驗步驟進行實驗；
- (4) 自動量測和記錄溫度；
- (5) 觀察溫度上升的時間，分析特性。

			
圖 5.2 使用的有機溶劑	圖 5.3 使用的熱電偶溫度計	圖 5.4 試管及抽氣裝置	圖 5.5 使用熱風機加熱
			
圖 5.6 上中下各貼溫度計	圖 5.7 加熱前要先抽出試管內空氣	圖 5.8 開始實驗,木板是防止熱氣直接影響上面的溫度	圖 5.9 實驗在通風櫥內進行,避免危險
			
圖 5.10 溶劑開始沸騰,上端溫度快速上升	圖 5.11 有機溶劑讓橡膠單孔塞褪色	圖 5.12 試管內壓力過大時,單孔塞會被衝出	

表 5.5 熱管填充液實驗設計

熱管填充液實驗設計	
實驗目的	測試何種有機溶劑適合當作熱管填充液
實驗器材	移動底座、熱風機、通風櫥、木板 試管、抽氣筒、護目鏡、單孔塞、橡膠軟管、量筒、滴管、試管架 有機溶劑(甲醇、乙醇、異丙醇、丙酮、正戊烷、正己烷、乙酸乙酯) 溫度感測系統：熱電偶 4 支、溫度讀表、RS232 連接線、筆記型電腦記錄表和相機
實驗步驟	<ol style="list-style-type: none"> 1. 架設移動底座、熱風機及木板、溫度感測系統跟電腦連線 2. 熱風機熱機,手動調整距離為 2cm, 4cm, 6cm 3. 填充有機溶劑 1/4 (7 ml), 用單孔塞塞緊, 接上玻璃管、橡膠軟管和抽氣筒 4. 抽氣 3/4 (21ml), 用夾子夾緊橡膠軟管 5. 把試管放在單孔木板上, 頂端離試管架台 18.7 cm, 3 支熱電偶分別以電氣膠帶貼在距試管頂端 2cm (T_3)、6cm (T_2)、及 14cm (T_1)處, 放進通風櫥 6. 熱風機開始加熱, 溫度感測系統開始測量並自動記錄 7. 實驗至頂端溫度(T_3)溫度穩定 8. 上傳記錄溫度到電腦, 將數據存在電腦中 9. 同一溶劑重覆 3 次以上步驟。 10. 結束後, 有機溶劑倒在回收瓶, 清洗滴乾, 再換另一溶劑。

3. 研究結果

(1) 表 5.6 是實驗中遇到的問題及解決方法。

表 5.6 實驗中遇到的問題及解決方法

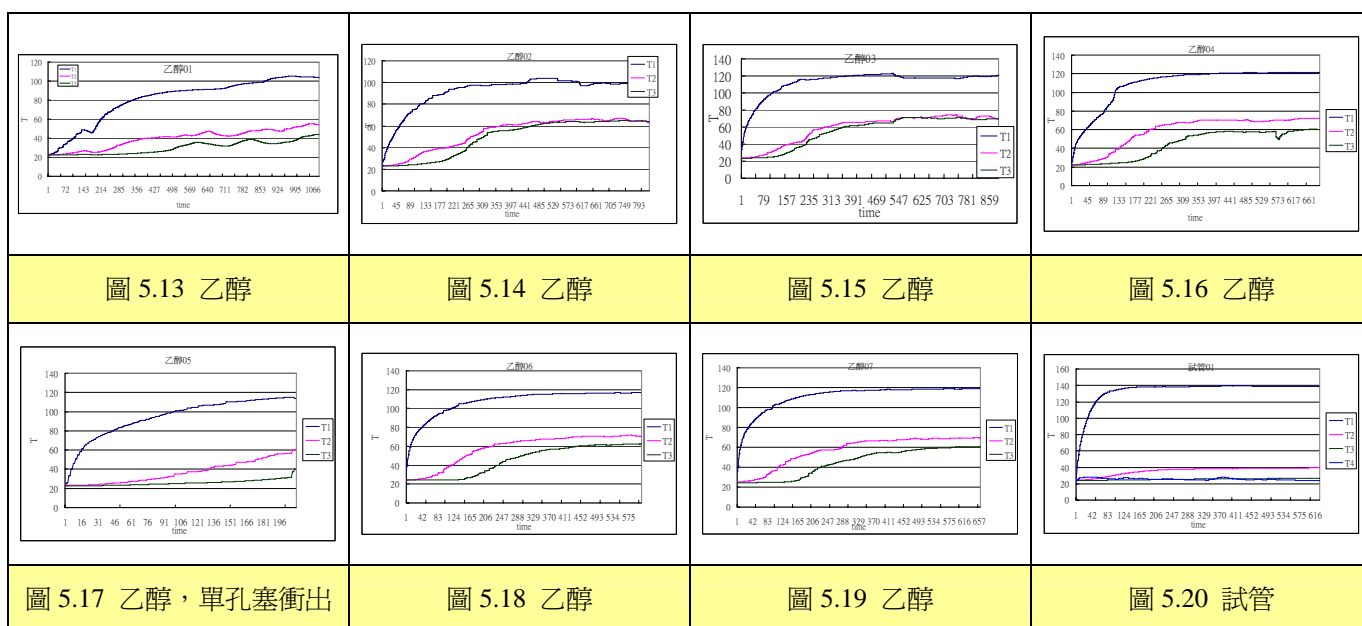
問題	解決方法
溫度計容易從試管上脫落	順著試管方向，用電氣膠帶黏貼
橡皮單孔塞被有機溶劑侵蝕褪色，污染溶劑	改用矽單孔塞
抽氣玻璃筒易漏氣	改用塑膠針筒
矽塞破裂	重製作 5 個矽塞，每次作 8 次實驗後換新矽塞
矽塞被衝開	塞緊矽塞，若不行熱風機退後 2cm

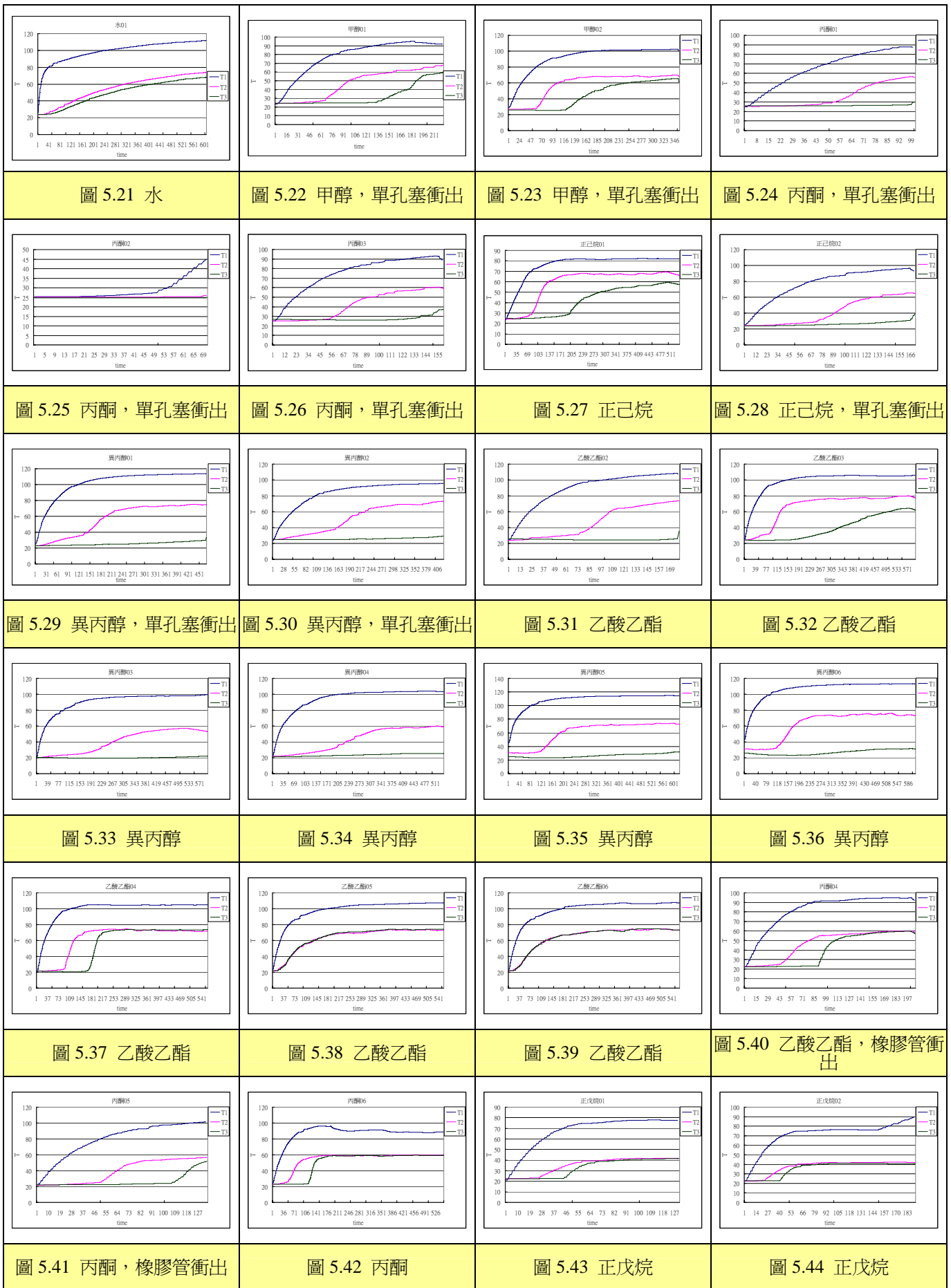
(2) 各次實驗的溫度變化如圖 5.13 到 5.46，其中包含四次對水、試管、鐵粉、鐵棒的測試。

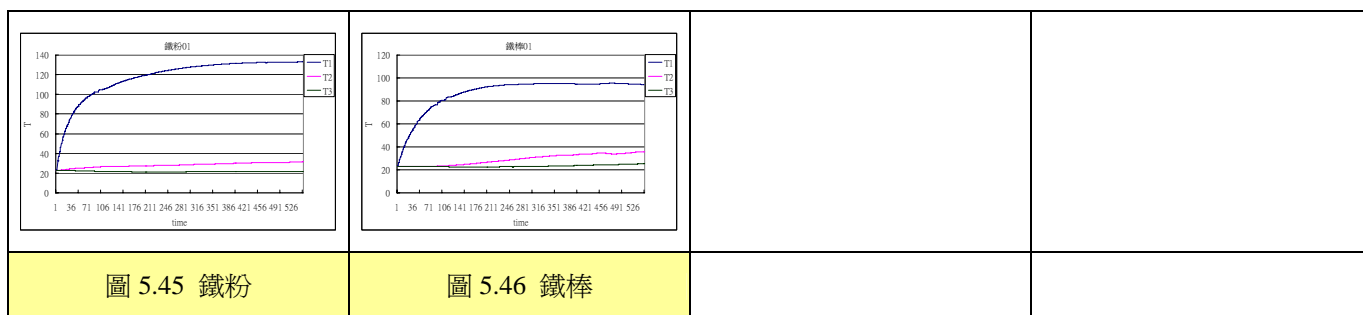
(3) 找出部份實驗數據整理各溶劑的特性，如表 5.7 及圖 5.47 和 5.48。

表 5.7 使用不同溶劑的熱管之 T_3 溫度及時間特性

溶劑類別	開始溫度 (°C)	穩定溫度 (°C)	上升時間 (sec)	溫度穩定時間 (sec)
甲醇	25.1	62.5	95.5	258.5
乙醇	23.4	63.6	277.0	530.6
丙酮	25.1	45.3	35.3	132.1
乙酸乙酯	24.7	48.2	65.7	205.6
正戊烷	22.7	40.9	31.0	85.5
正己烷	24.5	45.0	158.0	321.5







* 溫度由下而上分別是 T_1 、 T_2 、 T_3 ，距試管頂端距離分別是 14cm、6cm、2cm。熱風機加熱處溫度為 T_1 。

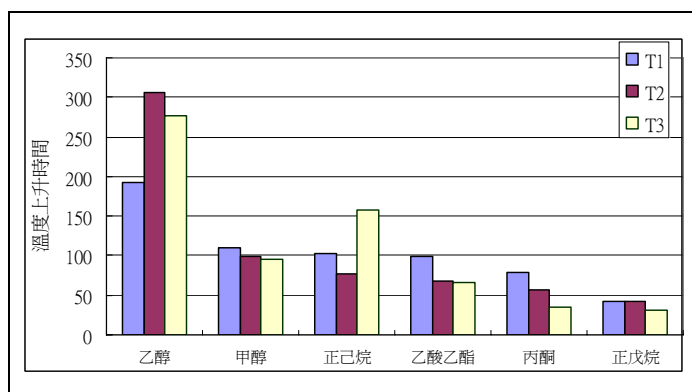


圖 5.47 不同溶劑的溫度上升時間

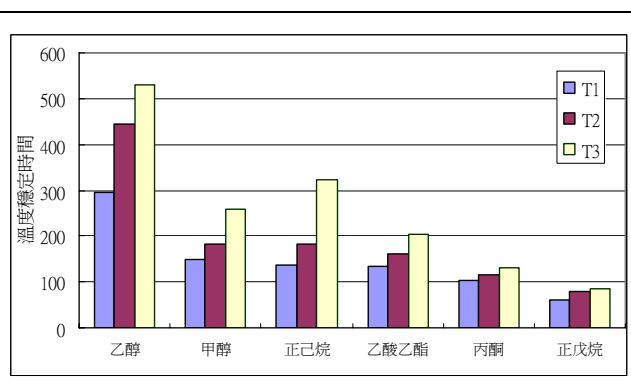


圖 5.48 不同溶劑的溫度穩定時間

(三). 研究五之結論

- (1) 實驗時因為用熱風機加熱，熱氣會影響到上面 T_2 和 T_3 的溫度，所以在中間要用木板隔離熱氣，確保實驗結果準確 (圖 5.8)。
- (2) 試管內壓力太高會把單孔塞衝開，使實驗中斷，表示裡面的蒸氣壓力太大。未來熱管若是可以用金屬並且密封良好，則可以解決這個問題。
- (3) 由於熱管是靠液體沸騰的蒸氣將熱量帶到上面，再靠冷凝降下來，所以傳熱會比固體像是試管(圖 5.20)、鐵粉(圖 5.45)、鐵棒(圖 5.46)或液體水(圖 5.21)要快很多。
- (4) 熱管的頂端溫度 T_3 上升時間愈短表示熱量傳遞愈快，比較圖 5.47 和 5.48，可知道乙酸乙酯、丙酮、正戊烷是比較好的熱管填充液。
- (5) 這三種溶劑的特性如表 5.8。
- (6) 根據圖 5.47 和 5.48，正戊烷的 T_3 溫度上升最快，代表正戊烷可以快速傳熱，因此最適合作為熱管填充液。但因為我自己作的熱管密封性和安全性不夠，所以在後續的熱控制系統上測試時，沒有用正戊烷，而改用沸點較高的乙酸乙酯用在後續的測試。

表 5.8 三種適用於熱管的有機溶劑的特性

溶劑類別	正戊烷	丙酮	乙酸乙酯
沸點 $^{\circ}\text{C}$	36	56.2	77
適用的溫度範圍 $^{\circ}\text{C}$	30~40	50~60	70~80

研究六、何種熱管型式傳熱效果較好？

熱管要設計成適合熱控制系統的“快速傳熱元件”，目的是安裝在材料內(如牆壁中或車身中)時，可以讓熱量由熱管的一端，透過熱管快速地傳遞到熱管的另一端。我的設計有棒型、球型、和圓碟型。

(一) 快速傳熱元件

1. 研究過程

熱管是靠液體沸騰的蒸氣將熱量帶到上面，再靠冷凝降下來(圖 6.1)，所以傳熱快速，比一般使用熱傳導或熱對流的速度快很多。而且使用熱管是利用溶劑沸騰再冷凝來傳遞熱量，所以兩端溫度差可以很小，傳熱效果遠比須要很大溫差的熱傳導或熱對流好很多。

熱管在整個熱控制系統中的角色是”快速傳熱元件”，負責把熱快速地由一端傳到另一端；整個熱控制系統的構造如圖 6.2。熱管的兩端連接導熱銅片，再固定在導熱控制盤上。而整個材料的兩側也安裝導熱銅片(如圖 6.2)。

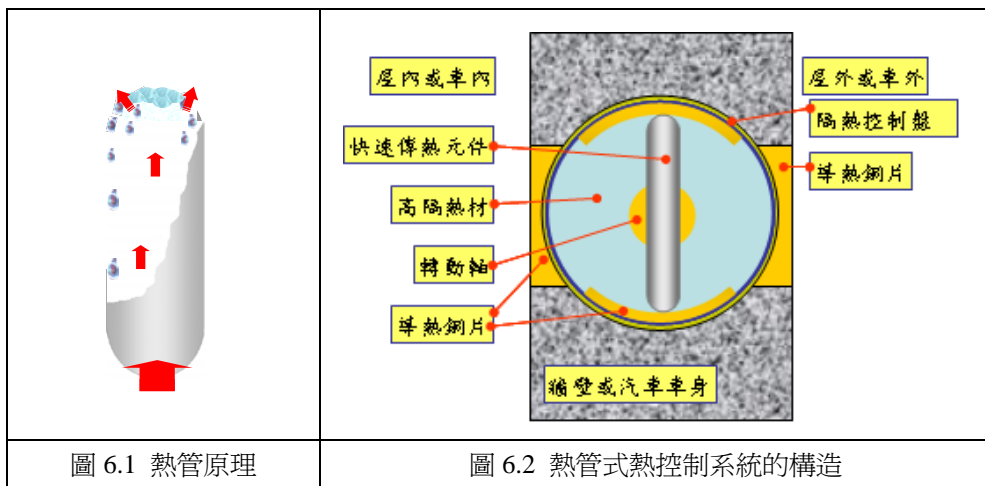
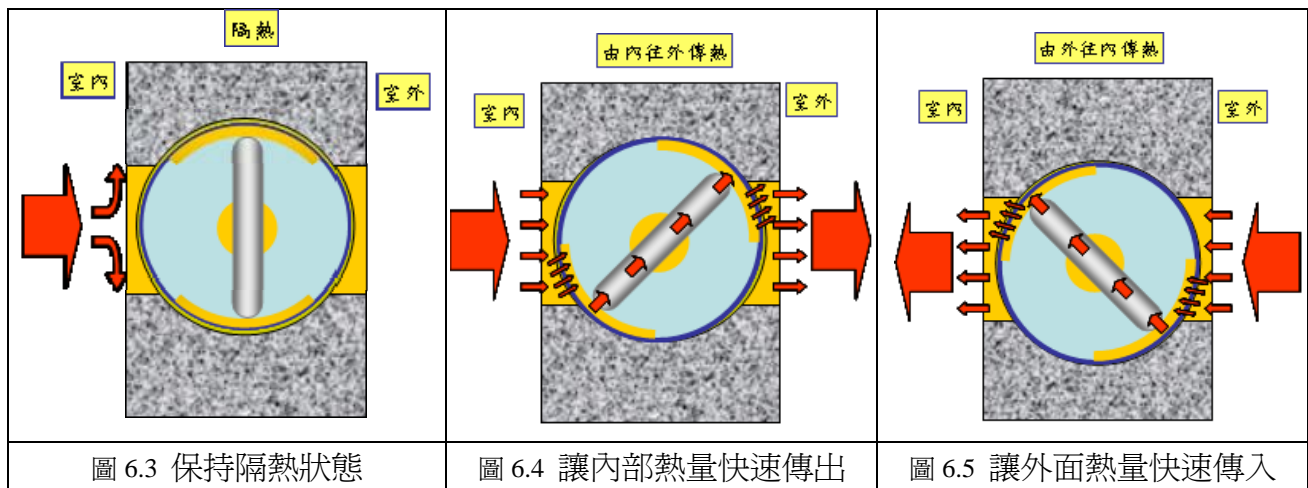


圖 6.1 熱管原理

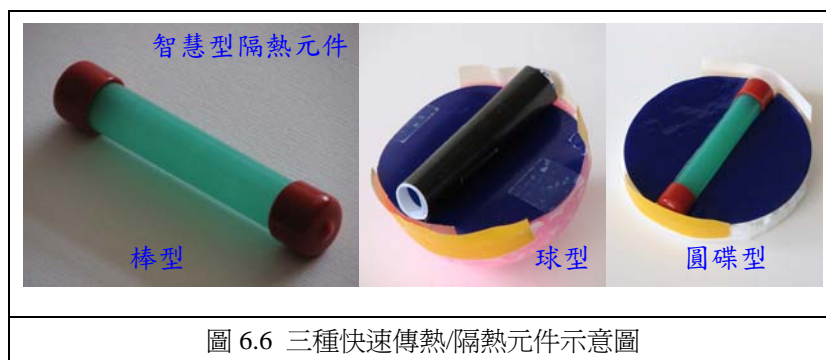
圖 6.2 熱管式熱控制系統的構造

熱管式熱控制系統的操作原理說明如下：

- (1) 當需要隔熱時，熱管保持垂直，這時熱量就被阻擋住無法傳遞。
- (2) 當需要讓內部熱量快速傳出時，熱管向外傾斜(如圖 6.4)，這時熱量快速由左側的內部透過導熱銅片→熱管→導熱銅片而傳遞到右側的外部。
- (3) 當需要讓外部熱量快速傳入時，熱管向內傾斜(如圖 6.5)，這時熱量快速由右側的外部透過導熱銅片→熱管→導熱銅片而傳遞到左側的內部。



所以根據我設計的這個熱管式熱控制系統的操作原理，我先設計導熱控制盤。我想到的三種導熱控制盤的設計的示意圖如圖 6.6。



2. 研究結果

三種導熱控制盤設計的優缺點如表 6.1。

表 6.1 三種導熱控制盤的優缺點比較

類別	棒型	球型	圓碟型
優點	簡單 牆壁內部挖成圓管即可	旁邊有隔熱材，可在需要時提供隔熱功能	大小合適 牆壁內部挖成圓管即可 旁邊有隔熱材，可在需要時提供隔熱功能
缺點	馬達不容易連接 其它空間為中空，不但無法在需要隔熱，且讓牆壁內部強度降低。	太厚佔空間 牆壁內部要挖成球狀，不容易製作	

3. 熱管式熱控制系統的熱量傳遞計算

熱管式熱控制系統在隔熱和傳熱的效果上，是不是有很大的效果？所以我要計算熱管式熱控制系統的熱量傳遞。

熱管式熱控制系統的熱量是從左邊的導熱銅片，再透過熱管，再透過右邊的導熱銅片把熱傳到右側，如圖 6.4。而隔熱時的熱傳遞則是從左邊的導熱銅片，再透過控制盤的高隔熱材，

再透過右邊的導熱銅片把熱傳到右側，如圖 6.3。

如果兩邊的傳熱材用銅片，隔熱材用高隔熱材(熱傳導係數 = 0.1)，根據熱傳導公式[7]：

$$q = K A \Delta T / \Delta x = \Delta T / \Sigma R$$

在隔熱時總熱阻 (如圖 6.3)

$$\Sigma R = R_{\text{銅片}} + R_{\text{高隔熱材}} + R_{\text{銅片}}$$

傳熱時總熱阻(如圖 6.4)

$$\Sigma R = R_{\text{銅片}} + R_{\text{熱管等效}} + R_{\text{銅片}}$$

如果兩端的室內室外溫度差為 5°C (或 5°K)，家裡牆壁總厚度 0.14m，熱管填充液使用乙醇做為計算的例子，乙醇的性質由參考資料查到[9]。表 6.2 是個別材料的厚度和熱阻的計算，還有熱管傳遞熱量的資料，經過計算，熱管可傳遞熱量為 2095.652 W，相當於有熱阻 0.002386。表 6.3 是熱管的總熱傳量計算結果。

表 6.2 熱管材料的厚度、熱傳導係數、熱傳導面積、熱阻

	厚度 L (m)	熱傳導係 數 K	熱傳導面 積 A (m ²)	熱阻 R (L/KA)
導熱銅片	0.01	401	1	4.988E-05
高隔熱材	0.12	0.1	1	1.2
熱管	填充液	分子量	蒸發熱 KJ / mol	蒸發率 g/s
	乙醇	46	38.56	2.5

表 6.3 熱管的總熱傳量

	熱阻 R _A	等效熱阻 R _B	熱阻 R _A	總熱阻 ΣR	溫度差 ΔT	熱傳量 q (W)
傳熱	2.49E-05	2.39E-03	2.49E-05	0.00244	5	2052.65
隔熱	2.49E-05	1.20E+00	2.49E-05	1.20005	5	4.166

(二). 研究六之結論

- (1) 根據表 6.1 的優缺點比較，導熱控制盤以圓碟型設計較理想。
- (2) 完整設計及模型如圖 6.7
- (3) 這個熱控制系統可以把熱快速地由一端傳到另一端，也可以造成隔熱的效果，完全達到我當初設計的兼具隔熱和雙向快速傳熱的目的。
- (4) 熱管式熱控制系統在轉換成傳熱系統時，熱傳量高達為 2052.65 W；若轉換成隔熱系統，則熱傳量僅有 4.166 W；兩個系統相差高達 493 倍，證明了這個熱管式熱控制系統有非常

優越的仿生熱控制性能，可以同時兼具很好的隔熱性和很好的傳熱效果。

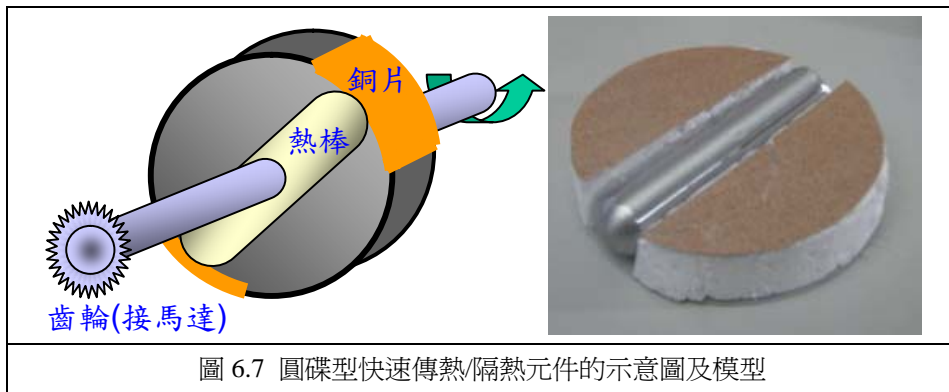


表 6.4 各種熱控制系統的傳熱和隔熱能力比較

模式	傳熱				隔熱				
	型式	替換式	熱柵式	熱管式	整片銅牆	替換式	熱柵式	熱管式	傳統牆壁
熱傳量 q (W)		58.299	58.266	2052.65	14321	3.112	10.730	4.166	50

研究七、如何設計智慧型熱控制系統？

(一) 氣候、日照、環境溫度的影響

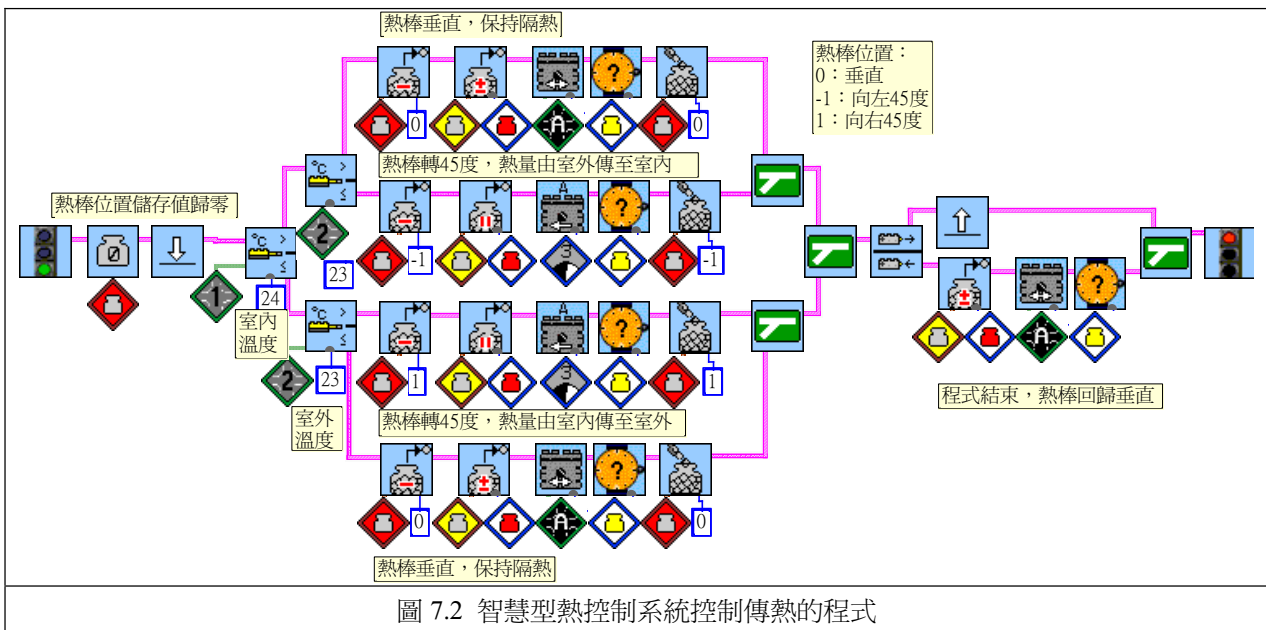
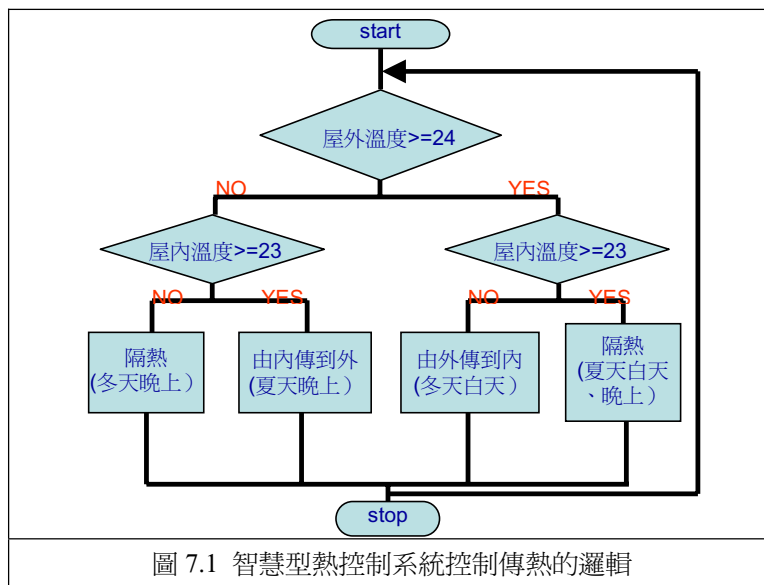
考慮氣候、日照、溫度來設計智慧型熱控制系統的控制邏輯。

1. 研究過程

- (1) 依氣候、日照情形及屋外屋內氣溫，訂出傳熱的方向和大小。
- (2) 畫出流程圖。
- (3) 寫出程式

2. 研究結果

完成流程圖如圖 7.1 及程式圖 7.2。



(二) 製作智慧型熱控制系統

我設計一個小屋，牆壁內埋設“仿生智慧型熱控制系統”，並用熱風機模擬屋內屋外的溫度和環境，來展示“仿生智慧型熱控制系統”的神奇隔熱/傳熱效能。

1. 設備器材

RCX、馬達、自製溫度計兩個、快速傳熱元件

2. 研究過程

使用壓克力板作小屋，保麗龍製作牆壁，再安裝上馬達及快速傳熱元件，以 RCX 裡的程式控制快速傳熱元件的傳熱方向及大小。

3. 研究結果

完成仿生智慧型熱控制系統，模擬整個“仿生智慧型熱控制系統”應用在小屋時(如圖 7.3)，可按照屋內屋外不同的溫度差來控制傳熱的方向。仿生智慧型熱控制系統的功能則如表 7.1。

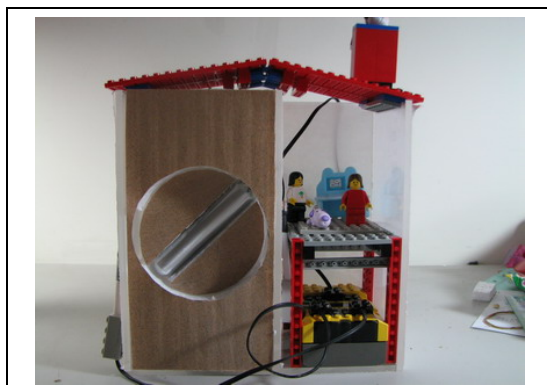


圖 7.3 模擬仿生智慧型熱控制系統的小屋

表 7.1 仿生智慧型熱控制系統的功能

環境狀況	傳熱元件動作	效果
室外太熱或太冷	傳熱元件垂直	傳熱元件沒有左右傳熱的能力，傳熱元件兩側為和牆壁相同的隔熱材，可達到良好隔熱效果
室外較溫暖	傳熱元件向室內旋轉 (10 度 ~ 45 度)	熱由室外透過傳熱元件快速傳入室內 旋轉角度愈多，傳熱愈快
室外較涼爽	傳熱元件向室外旋轉 (-10 度 ~ -45 度)	熱由室內透過傳熱元件快速傳入室外 旋轉角度愈多，傳熱愈快

(三) 研究七之結論

- (1) 所設計出的控制方法，讓熱管式熱控制系統變成仿生智慧型熱控制系統，可依氣候、日照情形及屋外屋內氣溫，決定出傳熱的方向和大小，讓內部得到理想的溫度。
- (2) 仿生智慧型熱控制系統只靠沸騰和冷凝便可快速傳遞熱量。

伍、研究結果與討論

一、在研究一所建立的傳熱測試台，使用了低成本的構造。在用來測試各種材料時，是否可以有正確的結果呢？

在自己設計的傳熱測試台，使用熱風機當熱源，底下裝有自動移動底座，控制受熱端的溫度維持在 70 度，所以可以看成受熱端的溫度是固定。試片裝在自製的絕熱管內，所以熱風機的熱量僅能透過試片傳遞到另一端，因此只要測量另一端的溫度，就可以判斷熱量傳導的程度。另一端溫度有兩個特點要注意，一個是溫度開始上升的速度，一個是穩定的溫度。前者我量測穩定溫度的 10% 到 90% 所花的時間，這個代表試片的吸熱能力。後者穩定溫度則代表了試片傳熱的能力，溫度愈低，表示熱量透過來愈少，所以試片的傳熱性就不好。

由實驗結果表 2.1 和表 2.2 顯示，顯示土角塊和鋁片的溫度上升時間都小，都容易吸熱，而陶板則不容易吸熱。

而鋁片的穩定溫度最高，表示熱容易穿透，所以金屬的傳熱性好。而土角塊的穩定溫度最低，表示熱不容易透過土角塊，所以它的隔熱效果很好。這些實驗的結果都與預期的結果相符合。

二、在研究三和研究四中，建立了替換式和熱柵式兩種熱控制系統，這兩種是否可以當作兼具隔熱性和傳熱性的智慧型熱控制系統？

由表 4.4 的傳熱量可以知道，一般水泥牆壁在兩端溫度為 5°C 時，傳熱 50W，而替換式和熱柵式在隔熱模式下，熱量僅傳過 3.1W 和 10.7W，證明這兩個系統比起一般水泥牆有更好的隔熱性。

而在傳熱模式下，兩個系統都可傳熱約 58.2W，和隔熱模式下的傳熱量有很大的差距，顯示傳熱和隔熱兩種模式熱量差距大，兼具隔熱性和傳熱性。

只是這兩種的傳熱量 58.2W 和一般水泥牆的傳熱量 50W 相比，雖然有較好的傳熱性，但是和理想中整片銅牆的傳熱 14321W 相比，顯然傳熱性不太好。分析原因，應該是傳熱性差的水泥牆就有 0.12m 厚度，而當作傳熱材的銅片才只有 0.02m，熱量大部分都被水泥牆阻擋住，因此傳熱性不會太好。除非水泥牆的厚度減為一半 0.06m，則這兩種系統的傳熱量可以增加到 116W。

三、在研究五有機溶劑作為熱管填充液的實驗中，試管頂端的溫度 T_3 的意義是代表底端的溶劑沸騰蒸發後，蒸氣上升到頂端，把蒸發熱傳到頂端後，再被冷凝滴回底端過程中，傳遞出來的熱量產生的溫度。因此我推論 T_3 的穩定溫度應該和熱管填充液的沸點接近。我也推論 T_3 的穩定溫度應會略低於沸點，原因是溫度感測器是貼在試管外面，熱量透過試管玻璃傳遞時會減少，因此溫度會略為降低。

表 8.1 為各有機溶劑的沸點和 T_3 的穩定溫度比較。比較的結果，果然各溶劑的 T_3 穩定溫度都略低於沸點，證明了我的推論。

表 8.1 熱管填充液的沸點和 T₃ 的穩定溫度比較

溶劑類別	正戊烷	丙酮	甲醇	正己烷	乙酸乙酯	乙醇
沸點°C (1atm)	36	56.2	64.7	69	77	78.4
穩定溫度(°C)	40.9	45.3	62.5	45.0	48.2	63.6

四、如何觀察到熱管內壓力的改變和沸點的改變？實驗用的熱管是否完全密閉？

由於沸點會隨壓力而改變，在實驗前進行抽氣時，會讓試管內的壓力降低，所以沸點會比一大氣壓下的沸點降低很多，確實的沸點可由 Antoine Equation [8,9]中查到。因為 T₂ 溫度計貼在中間，距離加熱端的溫度 T₁ 較近，如果 T₂ 的溫度開始上升，表示溶劑已經蒸發到達 T₂ 溫度計的位置，因此比較 T₂ 溫度開始上升的 T₁ 溫度，就可以知道沸點大約是改變成多少。比較表 8.2，可以知道初始的沸點都比一大氣壓的沸點低，代表此時試管內是負壓狀態。

表 8.2 熱管填充液的初始 (溫度 T₂ 開始上升時 T₁ 之溫度) (°C)

溶劑類別	正戊烷	丙酮	甲醇	正己烷	乙酸乙酯	乙醇
沸點°C (1atm)	36	56.2	64.7	69	77	78.4
T ₂ 開始時 T ₁ 之溫度(°C)	48.7	47.5	61.3	49.7	54	75.1

根據 Antoine Equation [9]，溶劑的壓力為

$$\log_{10}(p) = A - B / (C+T)$$

以乙醇為例，當熱管內的 T₁ 溫度為 75.1°C 時，由 Antoine Equation 可計算出壓力為 0.89 bar，比一大氣壓 1.013 bar 要低，所以可以確定試管內抽氣後，壓力下降，也使沸點降低。

陸、結論與應用

- 一、我使用自製傳熱測試台，不但成本低，也可以達到很好的傳熱量測。而且增加了自動移動底座的設計，可以穩定地控制熱源溫度。
- 二、絕熱管使用木材，雖然隔熱性好，但少部分熱量仍然會從木材傳出，影響了實驗的正確性。改善的方法是用泡棉完全包住木材絕熱管的周圍，讓熱量不會從這些方向散出。
- 三、使用替換式或熱柵式仍然是傳統的材料熱傳導，所以兩端溫度差不大時，傳熱效果低。
- 四、使用熱管式是將溶劑沸騰再冷凝來傳遞熱量，所以兩端溫度差可以很小，傳熱效果好。
- 五、試管內壓力太高會把單孔塞衝開，使實驗中斷，表示裡面的蒸氣壓力太大。未來熱管若是可以用金屬並且密封良好，則可以解決這個問題。
- 六、熱管一般須抽真空，如果考量沸點會隨壓力下降而降低的因素，只要 0.6 大氣壓即可；但若考慮到增加的蒸氣壓力，熱管的材質能抵抗高壓的能力要好。
- 七、因為熱管內溶劑的沸點會隨熱管內的壓力而改變，因此實驗開始時的溶劑和抽氣量，都會對熱管熱量的傳遞有很大的影響，而影響的程度如何，以後有機會可以逐一控制變因，來瞭解他們的關係。
- 八、經過實驗，乙酸乙酯、丙酮和正戊烷是很合適的熱管填充液。
- 九、完成仿生智慧型熱控制系統，可隨環境溫度改變材料的傳熱性質，又節省能源。
- 十、系統的應用：完成的熱管式仿生智慧型熱控制系統，由於可以自動改變其隔熱或傳熱特性，且隔熱性好、傳熱性也非常高，而且所需要的驅動功率很小，很適合用在有時需要傳熱、有時需要隔熱的場合，例如：
 - 房屋牆壁(夏天隔熱，秋天將太陽曬在外牆的熱引進)；
 - 汽車車身(車內開冷氣時隔熱，夏天停放在太陽下時將車內高熱導到車側外)；
 - 恆溫系統(內部溫度太高就自動導熱出去，內部溫度太低就自動導熱進來，若溫度正常時，就保持隔熱)；

柒、參考資料及其他

- [1] 陳勁帆、林建文、陳德廉，“禦寒衣物填充料之研究”，台北市中小學科學展覽國中組應用科學科第三名作品。
- [2] 蕭宇翔，2006，“含水率對熱傳效應的研究”，淡江大學研究專題報告
- [3] 全拓科技，<http://www.trendtop.com.tw/products/product031.asp>
- [4] 力行國小，“熱到最高點—談校舍建築防熱之研究”，第 39 屆全國科展優勝作品
- [5] 李名揚，2006，“青藏鐵路》插熱棒 埋保溫板 青鐵保凍之道”，聯合報新聞報導
- [6] 物質安全數據表
- [7] F.P. Incropera and D. P. DeWitt, Introduction to Heat Transfer, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., 1990
- [8] D.M. Himmelblau, Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 4th ed., Prentice-Hall, Inc., 1982
- [9] B.E. Poling, J.M. Prausnitz and J.P. O'Connell, The Properties of Gases and Liquids, 5th ed., McGraw-Hill Company, 2001.

評語

- 1) 本作品由動物內溫控制的理念，發展出仿生材料之類智慧型熱控系統的構思，並透過簡單模型的建構說明了熱管系統的採用，模組串並聯之可能效益。
- 2) 本文入能作出實驗室可行的 **prototype** 並能實作量測，且在熱管轉子之介面圓盤縫細及潤滑導熱機制的設計上再多加努力，這個作品是頗具潛力的。