

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高職組 土木科

佳作

091204

地下冷泵應用於調節建築室內熱環境之可行性  
研究

學校名稱：高雄市立中正高級工業職業學校

作者：  職二 杜明洋  職二 黃祥瑋	指導老師：  張簡宏裕  劉叔松
---------------------------------	------------------------------

關鍵詞：冷泵、建築室內熱環境

# 地下冷泵應用於調節建築室內熱環境之可行性研究

## 摘要

本研究將建置一地下通風管，使大氣空氣送入地下通風管後，空氣與土壤進行熱交換，產生冷泵運作。其研究目的有三，一為通風方式的冷泵效益比較，比較被動式風力通風及浮力通風對冷泵系統之效益，二為鐵管與 PVC 管冷泵效益比較，比較鐵管與 PVC 管之熱傳導率的不同，其冷泵效果之差異性，三為建築模型冷泵效益研究，實際建造模型以觀測冷泵系統在建築模型所發揮之成效。綜合以上研究結果可歸納三點，一為被動式通風較浮力通風冷泵效益佳，二為鐵管較 PVC 管冷泵效益佳，三為冷泵系統可有效降低建築室內環境溫度。

關鍵字：冷泵、建築室內熱環境

## 壹、研究動機

台灣為位屬於亞熱帶氣候的地區，在如此高熱高濕的環境下，造成建築居住環境的不舒適，為創造適合人生活的居住環境，人們大量使用空調設備控制室內之生活舒適度，空調設備的使用會排放大量的二氧化碳，形成熱島效應，亦會造成能源的消耗，造成自然環境的惡化。

為了改善空調設備造成環境惡化的問題，本小組在閱讀相關建築學與環境學時，發現在夏天炎炎日照下，土壤在某一深度時，其土壤層具有恆溫性，若能應用地底恆溫性，透過地下通風管的建置，製造地下冷泵，做為建築物理熱環境的控制，用以創造低耗能之綠建築。

## 貳、研究目的

為響應全球對地球環境的議程與公約，目前建築設計朝向環境永續之綠建築發展目標，國內綠建築亦訂定九大指標供設計者參考，目前綠建築設計之九大指標有：「生物多樣性指標、綠化指標、基地保水指標、日常節能指標、二氧化碳減量指標、廢棄物減量指標、水資源指標、污水與垃圾改善指標、室內健康與環境指標」。



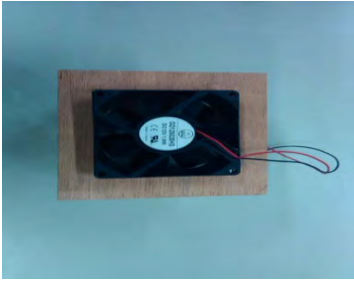
本研究主要在探討地下冷泵應用於建築熱環境控制之可行性，並應用通風原理評估浮力通風與被動式通風之冷泵效果之比較，進而比較通風管材質冷泵效益，以建置更具實用之建築熱環境控制新技術，以降低空調設備的使用，減少二氧化碳之排放，創造舒適之建築居住環境，達成建築與環境之永續發展目標。

## 參、研究設備及器材

本研究所使用之相關器材如下所列，其各項設備之用途如表一所示。

- 一、通風管(口徑 7.62cm 厚度 4mm)與鐵鏟
- 二、溫度計
- 三、抽風器
- 四、溫度感測器 YOKOGAWADS600
- 五、資料收集器 YOKOGAWADC-100
- 六、Notebook
- 七、T type 熱偶線
- 八、PVC 塑膠管口徑 10.16cm 管厚 4mm
- 九、鐵管口徑 10.16cm 管厚 4mm
- 十、輕鋼架
- 十一、石膏板


表一 研究設備與器材

階段	地下冷泵初探試驗設備	
設備名稱	圖片	用途
通風管 (口徑 7.62cm 厚度 4mm)與 鐵鏟		通風管:埋於地底，並於出風口與入風口鑽洞，以便溫度計放入量測其溫度改變。 鐵鏟:用於挖洞，將通風管埋入(地下冷泵初探試驗用管)
溫度計		放入預先於出風口與入風口鑽好的小洞，以便量測其溫度改變。
抽風器		裝設於出風口，以增加其空氣流通量。

表一 研究設備與器材(續)

階段	地下冷泵之主體試驗設備	
試驗項目	一、鐵管與 PVC 管冷泵效益比較設備	
設備名稱	圖片	用途
溫度感測器 YOKOGAWA DS600		<p>熱偶線感測溫度</p> <p>↓ 傳送</p> <p>溫度感測器</p> <p>↓ 傳送</p> <p>資料收集器</p> <p>↓ 傳送</p> <p>Notebook</p>
資料收集器 YOKOGAWA DC-100		
Notebook		

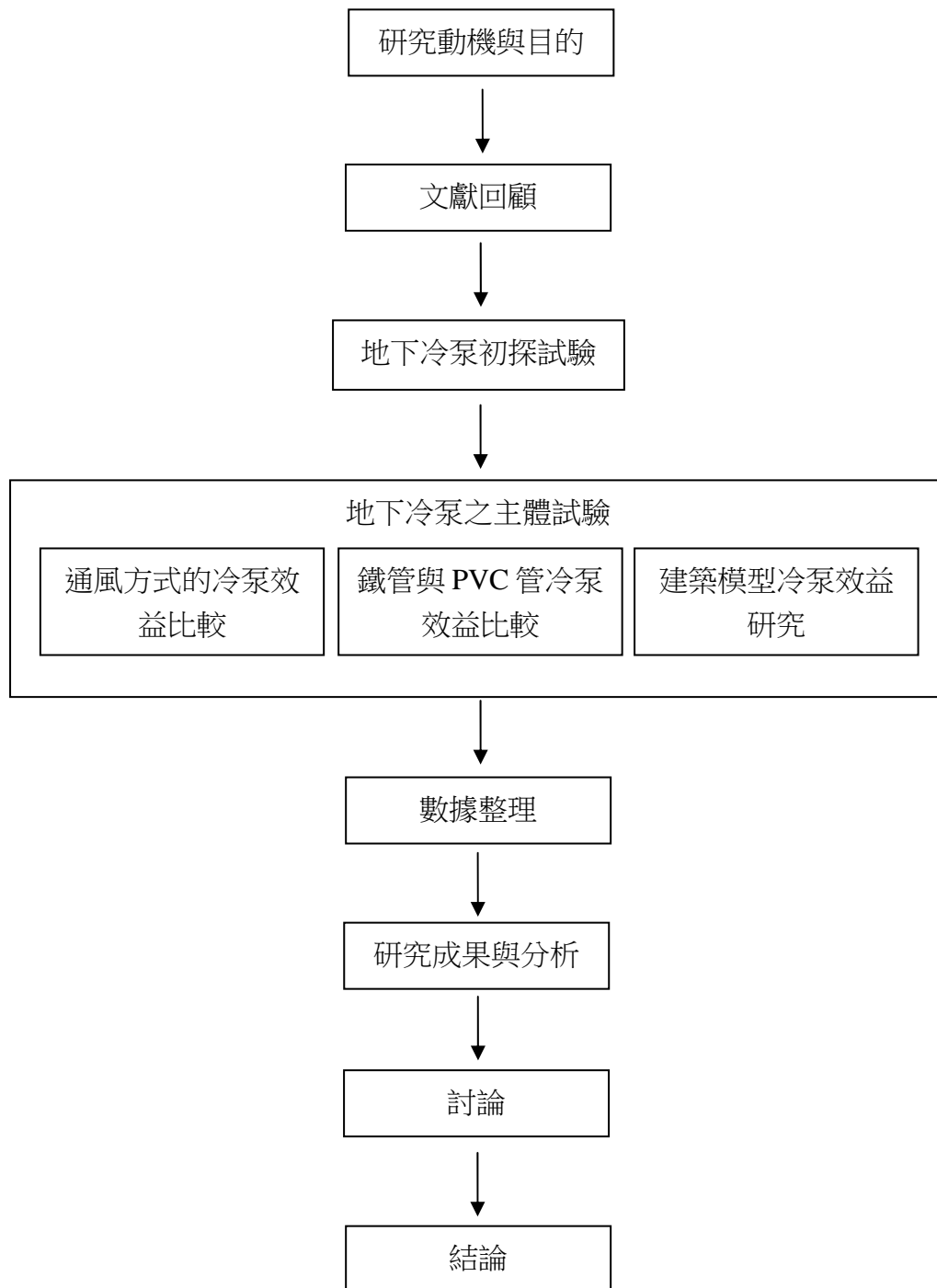
表一 研究設備與器材(續)

階段	地下冷泵之主體試驗設備(續)	
試驗項目	一、鐵管與 PVC 管冷泵效益比較設備	
設備名稱	圖片	用途
T type 熱偶線		傳輸偵測到的數據
PVC 塑膠管 口徑 10.16cm 管厚 4mm		與鐵管比較冷卻效益的不同。
鐵管 口徑 10.16cm 管厚 4mm		與 PVC 塑膠管比較冷卻效益的不同
試驗項目	二、建築模型冷泵效益研究設備	
輕鋼架		與石膏板結合，主要是作為骨架的部分，而後將石膏板釘上。
石膏板		與輕鋼架結合，釘於輕鋼架上，搭乘 1.8m*1.8m 的正方形模擬建築物。

## 肆、研究過程或方法

### 一、研究流程

本研究之目標方向確立後，透過文獻之回顧，了解目前國內外地下冷泵應用之概況、收集相關文獻、確立試驗性之研究，主要重點在於試驗後的數據，及數據的分析，其研究詳細流程及相關的作業內容如圖一所述。



圖一 研究流程圖

## 二、文獻回顧

因為本試驗牽涉到土壤熱交換及溫度變化，因此有必要了解國內外相關的研究，以目前相關研究之基礎，作為本研究之發展參考，以下為本研究相關文獻摘錄之要點如下所列。

### (一) 地下冷熱泵之應用

地下冷泵及熱泵從許多文獻中可知其應用層面甚廣，對於冷泵可用於冷房使用，對於熱泵可使為暖房使用，其用途視其建築設計之需求而定，對於各方面之研究，吾人將整理如表二國內地下冷泵及熱泵研究文獻，其相關研究整理如下所列。

表二 國內地下冷源及熱源研究文獻

論文名稱	作者	研究結果	文獻來源
小型地源熱泵於空調冷房應用之初探 <sup>(1)</sup>	彭善玉	研究透過對台灣科技大學 2007 年 8 月至 2008 年 5 月間的地底溫度量測與分析，紀錄其溫度及水位的變化；再利用 TRNSYS 電腦模擬解析方法，對空調散熱系統進行研究及分析，以了解其最佳熱交換器的設計；最後再將模擬延伸至位於台北地區地源熱泵系統的應用。研究中所測得的數據以 G.L. -2m 處的溫度最為穩定，平均溫度為 23.8℃，而越往地底溫度的年變化則越大。	國立台灣科技大學碩士論文 (民 96 年)
太陽能地下熱循環室內溫控系統開發與應用研究 <sup>(2)</sup>	施明祥 博士	地下水體的溫度一年四季相對穩定，其波動變化之範圍遠小於空氣溫度，特別是地下水溫度保持常年恆定，是很好的空氣冷源和冬天可應用之調節熱源。若能使用適當的介質系統與地下水層進行熱交換，再引入室內，即可降低室溫，達到熱環境舒適度之要求。	「前瞻優質生活環境」科技跨領域專案計畫 (民 97 年)
變頻控制應用於循環式地下水冷卻系統之節能研究 <sup>(3)</sup>	王晨昕	將變頻控制結合循環式地下水冷卻系統，並應用於冷凍空調上，藉此來取代現今常用之冷卻水塔系統，透過實際應用測試來探討以循環式地下水冷卻系統取代冷卻水塔可行性研究。運轉試驗結果顯示，運用了變頻控制器後能替代水泵浦省下45.4%以上的耗電量，此外本系統與傳統冷卻水塔系統相比下，在相同揚程下且室外溫度高達35℃以上時，泵浦能減少21.6% 的電力消耗，空調機也能減少2.5% 的電力消耗。	台灣科技大學碩士論文 (民 98 年)



目前中國亦積極開發地下熱泵之應用，其中包含了地下水之冷泵應用，其工程實例亦不勝枚舉，例如北京友誼醫院座落於北京市宣武區之三級甲等醫院，如圖二北京友誼醫院所示，原為燃煤鍋爐供暖及分離式冷氣空調，現改採用富爾達地溫中央空調機組，其成效良好。

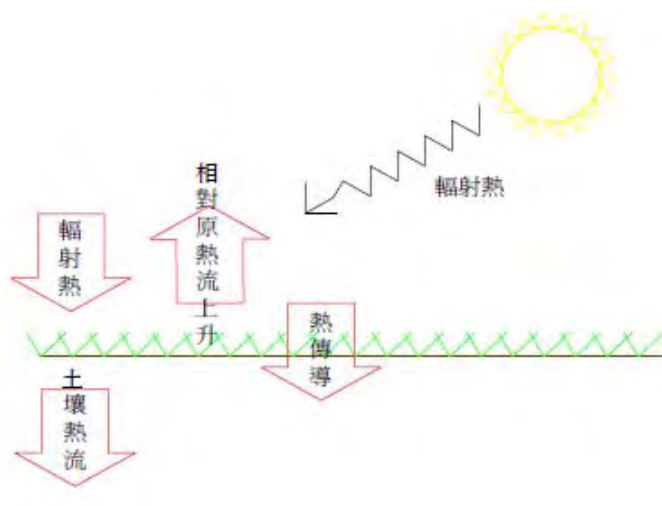


圖二 北京友誼醫院<sup>(4)</sup>

## (二) 土壤熱傳概況<sup>(5)(6)</sup>

如圖三土壤傳熱示意圖所示，太陽熱能照射於地平面上，其熱能會透過之熱輻射將熱能傳遞給予土壤層，藉由土壤再傳導給予地下深層土壤，由於土壤層具有一定隔熱性質，因此熱能無法短時間內傳導進入地底深層，因此地底層深處會維持一定溫度，此為其恆溫性，通常會比大氣溫度低。

相反的，晚上時，因大氣溫度較大氣溫度低，土層中熱能會透過對流及傳導將熱釋放於空氣中，由於其白天蘊藏了大量熱能，使得熱能不易在短時間內對流及傳導回大氣中，造成地下溫度比地平面的氣溫高。熱照到土層中，會有一股熱是往下的，使得原在土壤中的熱被擠壓到更深處，造成土壤上半部是較常溫低。晚上，因氣溫較上午低，使得上午吸收的熱釋放於大氣中，原來在土層中的熱又回到了一開始的地方。



圖三 土壤傳熱示意圖

在文獻「小型地源熱泵用於空調冷房應用之初探」<sup>[1]</sup>中提到，地層溫度依溫度變化可分為下列三種。

1. 0~1m 地底溫度隨著室外氣溫變化
2. 1m~20m 或 1m~8m 不管是否為潮濕土壤，對溫度影響都不大
3. 20m 以下之後溫度恐會受到地心熱的影響而增高

### (三) 地下通風原理<sup>[7]</sup>

建築通風是建築環境很重要的條件，通風量適當才可使建築得到適足的換氣量，因此建築常藉由開窗達到自然通風換氣，一般而言，建築通風原理可分為風力通風有及浮力通風，其通風原理概述如下。

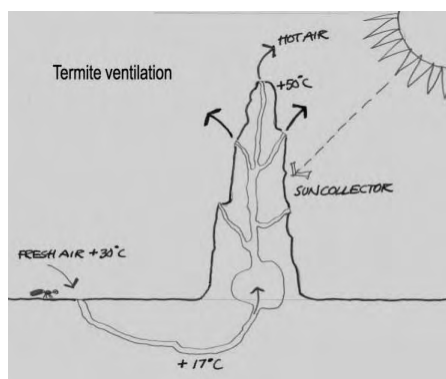
#### 1. 浮力通風

是利用熱空氣上升、冷空氣下降之熱浮力原理來進行換氣之行為，只要有氣溫差即可產生對流之空氣，這樣的通風方式我們又稱為「煙囪效應」。

#### 2. 風力通風

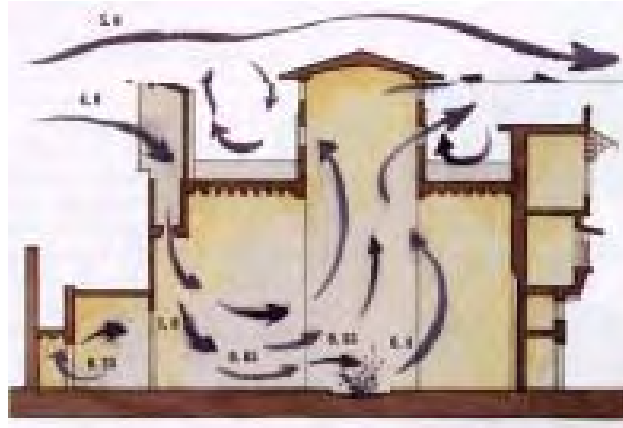
是利用進風口及出風口之風力壓差進行空氣流通進行換氣之行為，這樣的通風方式必須藉由具有風速之氣流才可使空氣流動進行換氣。

自然中昆蟲生態居住構造中，白蟻窩構造是由無數細小的地下隧道來連接周遭環境，其通風原理為「浮力原理」，如圖四白蟻窩自然通風原理示意圖，當大氣溫度變高時，熱空氣上升，和下方的白蟻穴產生對流，外頭的空氣自然流入巢內平衡氣壓；因為蟻穴位於深層土壤的關係，溫度會維持一定不會變化太大，並且透過氣流平衡，外部的溫度、濕度會決定流進蟻穴的空氣中保留多少水分。使的幾千、萬隻白蟻的窩，能夠在維持常溫下。上述說明，在 1950 年，已經由瑞典建築師本特·沃恩(Bengt Warne)發現<sup>[8]</sup>，並發布氣流圖，後來另一位建築師安德斯·尼奎斯特(Anders Nyquist)，透過一套數學式子，將沃因的卓見模式化，其通風效能遠遠超越了現有的自動溫控系統。



圖四 白蟻窩自然通風原理示意圖

通風不僅可降低室內之溫度亦可調節室內之濕度，以通風文化而言，高溫乾熱的地理環境下，不需太大的開口進行換氣，避免室內過於乾燥，如圖五所示埃及附通風塔和中庭噴泉的建築，它是利用水蒸發原理來創造浮力對流<sup>[4]</sup>，1973 年英國倫敦建築學會，曾就該類建築進行通風實測，發現即使在乾熱的強風氣候下，其居住空間的風速及溫濕度環境仍十分舒適。

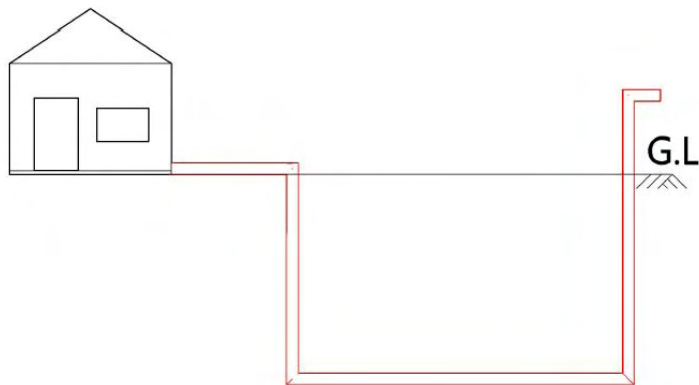


圖五 埃及-附通風塔的建築通風

#### (四) 國外冷熱泵系統的主要形式<sup>[1]</sup>

##### 1. 開放式系統：

通常是將室外的空氣導入管路，再利用地下水或是地底土壤中之恆溫性，直接與管路中的空氣作熱交換，如圖六，但開放式系統上有許多因素須考量，如水質、回灌等問題，因此在開放式系統施工前，須先作相關之探測，如水土保持、土壤性質等，並擬定管路預埋之深度及長度。

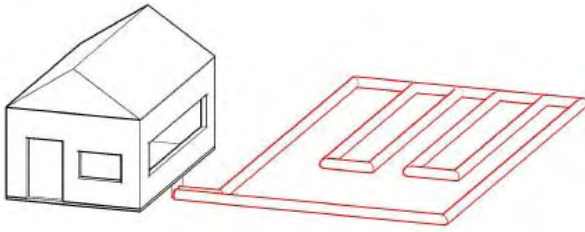
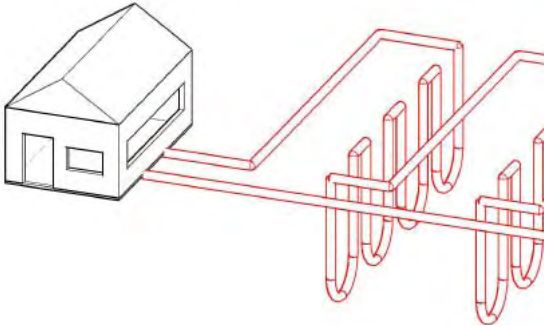


圖六 開放式系統示意圖

## 2. 封閉式系統：

指透過水或加了防凍劑的液體，在預埋之管路中循環流動，經由管壁與液體碰觸傳遞熱能，由於為封閉系統，水質較容易控制，但因為只依靠管壁作熱交換，因此需要較長的管路才能達到較佳效果。依照管路長度及埋管深度又可分為兩形式，一為水平式迴路通常埋於地下深 1~2 公尺處，管長為 120~200 公尺之間，在國外大約能提供 3.5kw 的冷卻或暖房的效益；二為垂直式迴路，其安裝經費較高，埋深於 50~150 公尺深，管長大約 45~60 公尺就能達到一個冷噸的效果，不過此種形式在國外大多用在暖房系統。其差異如下表三封閉式系統示意圖所示：

表三 封閉式系統示意圖

名稱	水平式迴路	垂直式迴路
示意圖		
管長	120~200 公尺	45~60 公尺
埋深	1~2 公尺	50~150 公尺
經費	較低	較高

### 三、地下冷泵初探研究

#### (一) 研究目的

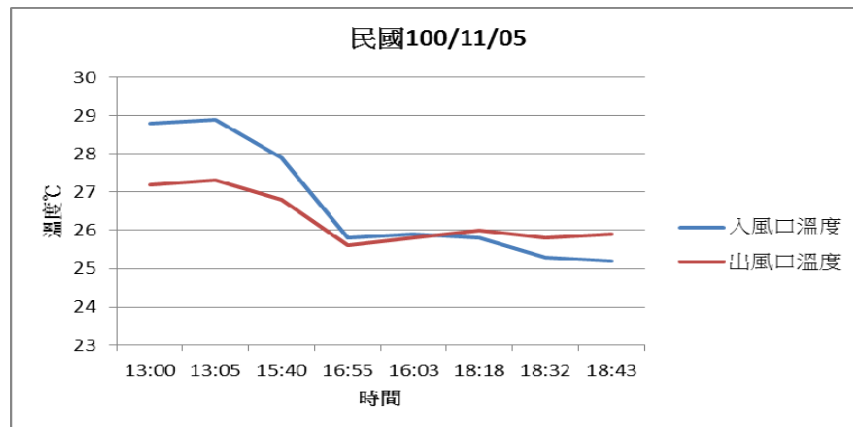
此試驗主要目地為使用地下冷泵應用於室內熱環境控制之可行性評估，以作為往後研究之參考，初步了解熱空氣於地底熱交換的效果。

#### (二) 研究方法

採用塑膠管，埋入地下，使空氣導入地平面深一公尺處，並使用溫度計進行量測入風口及出風口之溫度變化。

#### (三) 可行性評估結論

通風管之熱交換效果可由入風口及出風口之溫度差得到，根據圖七所示，白天空氣經由入風口進入，導入地下 1m 後，由出風口送出，空氣溫度下降約 1 度，因此判定本試驗具有更深入探討及研究之價值，據以設計地下冷泵之立體研究內容。



圖七 入風口與出風口溫度比較圖

### 四、地下冷泵之主體研究

#### (一) 研究目的

確認本研究之可行性評估之後，本小組為了更加深入研究地下冷源實際應用效果，對於本研究之目的可分為三個部分探討，其目的如下所述。

##### 1. 通風方式的冷泵效益比較

為使地下冷泵通風管能實際應用於建築之熱環境控制，並能採用自然冷泵之方式使得地下冷泵系統得以使用，比較浮力通風方式與被動式風力通風之冷泵差異。

##### 2. 鐵管與 PVC 管之冷泵效益

由上述 1.通風方式的冷泵效益比較試驗後，選擇較佳之通風方式，比鐵管與塑膠管的冷泵效益，判斷不同材質的通風管路對熱交換之影響

##### 3. 建築物縮小模擬成效

為了更了解此系統用於一般室內之成效，本小組將此系統實際應用於建築物，了解其冷泵效益。

## (二) 研究方法

### 1. 通風方式的冷泵效益比較

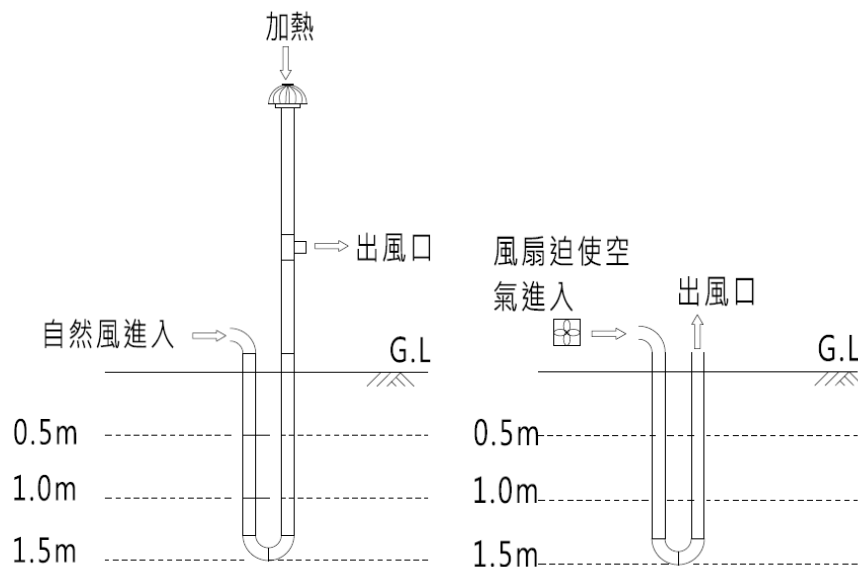
根據相關之研究<sup>[1]</sup>，在地表層-0m~-1.5m 土層溫度仍會受大氣溫度變化而影響，在地下層-1.5m 以後溫度較具恆溫性，因此在試驗中將通風管埋入-1.5m 之地下作為實驗對象，而本研究通風方式於初期分為兩種試驗方式探討。

#### (1) 浮力通風原理應用試驗

如圖八所示，使用文獻中所提到的浮力通風原理，於通風管最頂端設置一鐵製自然通風器，利用太陽照射所形成的高溫與地底的低溫產生溫差，進而產生浮力通風。

#### (2) 風力通風原理應用試驗

如圖九所示，使用 14" 風扇，功率 35W 造成風壓，迫使空氣從入風口處通過管路迴路中進行熱空氣熱交換，測試被動通風之冷泵效益。



圖八 浮力通風

圖九 被動式風力通風

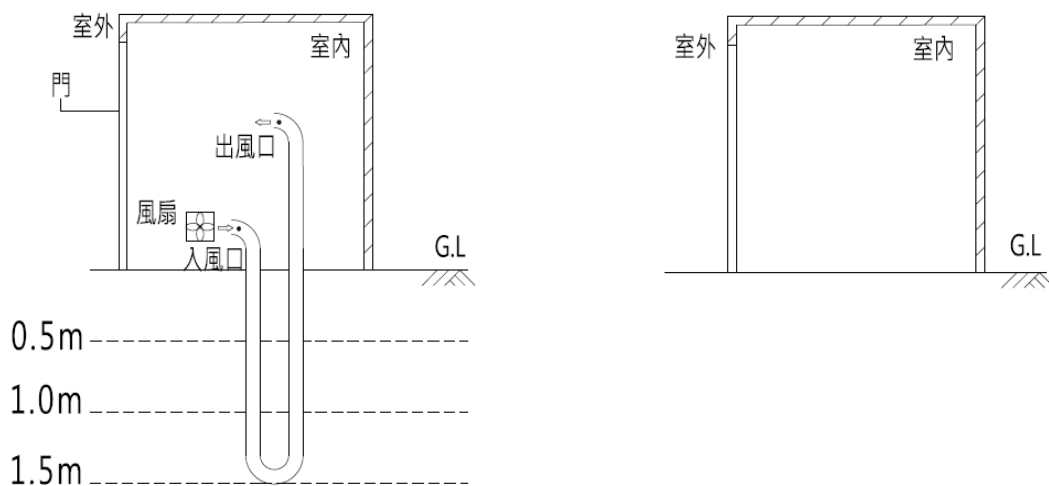
### 2. 鐵管與 PVC 管冷卻效益比較

根據通風方式的冷泵效益比較，選擇較好的通風方式，於同深度埋設 PVC 管以及鐵管，相隔約 3m 避免熱交換互相影響，量測其出風口與入風口之溫度，比較冷泵效益。

### 3. 建築模型冷泵效益研究

為探討本研究冷泵系統於建築室溫調節效能，根據通風方式的冷泵效益比較、鐵管與 PVC 冷泵效益比較後，本小組將搭建了兩個模型建築，兩組為長、寬、高 1.8m\*1.8m\*1.8m 以輕鋼架石膏板搭成的模型如圖十所示，兩組互相對照，了解冷泵系統對建築室內溫度調節之效益，進而計算其冷泵效益，並計算其能源效率比值 EER(Energy Efficiency Ratio)，其計算方式如下。

$$EER = \frac{\text{冷房之吸熱能力}}{\text{消耗電力}} = \frac{\text{Kcal/h}}{\text{HW}}$$



圖十 建築模型之剖面圖

### (三) 主體研究流程





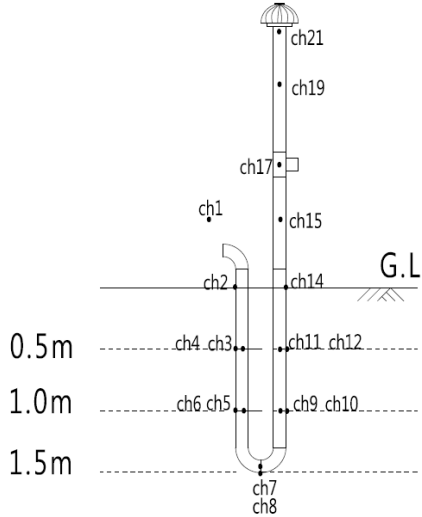
本研究之流程如下表四所示

表四 主體研究之流程表

主體研究流程		
一、鐵管與 PVC 管冷卻效益比較		
進度	工作概況圖	工作內容
挖掘		為了測試此地下冷泵用於建築之效果，以及土壤各點位溫度變化，挑選定點後，挖掘口徑約 1m 深度約 1.5m 之洞兩口，為了減少兩洞之影響，故使兩洞相距約 5m。第一個坑埋設為鐵管，第二個坑埋設 PVC 管。



表四 主體研究之流程表(續)

主體研究流程		
項目	一、鐵管與 PVC 管冷卻效益比較	
進度	工作概況圖	工作內容
鐵管訂製與組裝		由於鐵管熱傳導系數較塑膠管高很多，因此決定使用鐵管進行實體測試，管子總長 1.5m、總寬 0.41m、口徑為 10.16cm，厚度 4mm 並在接縫處上 Silicon 防止水滲入。
		浮力通風管採用 PVC 管，管長 2m，口徑 10.16cm，厚度 4mm 經由計算後進行裁切與組合，利用浮力管產生煙囪效應，熱空氣往上流動，帶動管底空氣上升至出風口再傳至室內。
管子置入		將鐵管置入定點後，使用水準尺量測是否垂直，以及調整入風口及、出風口方向。
熱偶線置入		<p>在鐵管相對地表、地下 0.5m、地下 1m、地下 1.5m 標記位子，填土時逐步設置熱偶線，管內之各點則以小石網綁在熱偶線上以便垂直進入管內，確保位置正確，並進行編號以及記錄，以下為各點編號圖示。</p> 



表四 主體研究之流程表(續)

主體研究流程		
項目	一、鐵管與 PVC 管冷卻效益比較	
進度	工作概況圖	工作內容
溫度感測器檢測		儀器使用前之檢測，使用溫水及土壤進行檢測，搭配水銀溫度計核對數據之正確性。
實地熱偶線安裝		將現場所埋設好之熱偶線整理並按照編號鎖進讀取器中。
實地測量		實地測量，每 2 小時重新啟動溫度感測器，並將各次紀錄編號。

表四 主體研究之流程表(續)

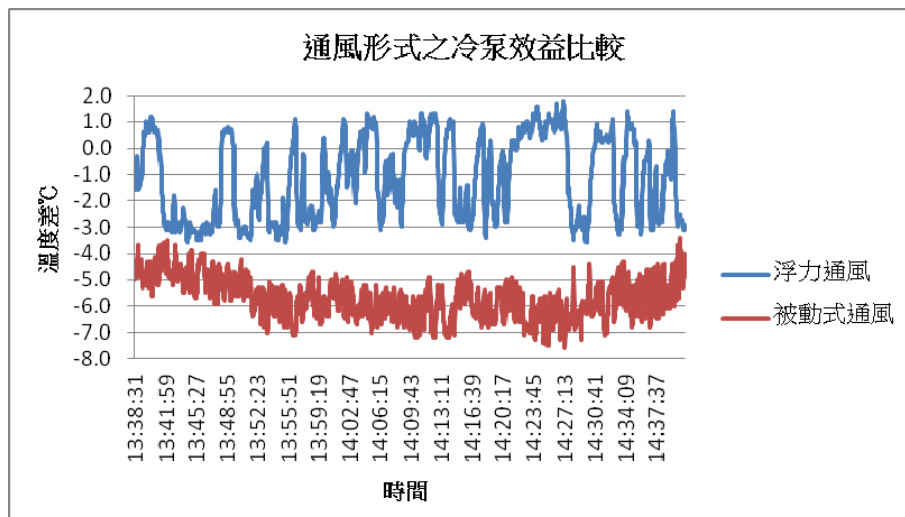
主體研究流程		
項目	二、建築物縮小模擬之設備	
進度	工作概況圖	工作內容
切石膏板		裁切石膏板，建構一組模擬建築要用 10 片石膏，其長度為 1.8m*0.9m。
組裝輕鋼架		組裝輕鋼架，圖片中為四面牆中的一片，長度 1.8m*1.8m，可將兩片石膏板鎖在上。
鎖上螺絲釘接合		將石膏板鎖上，東、南、西、北四面，每一面各鎖上兩片石膏板，加上屋頂兩片，總共 10 片。
完成		總共兩組，一組為沒有通風管的純粹為密閉的空間，另一組為使用通風管調節室內，比較兩組，便可得知通風管的冷泵效果。

## 伍、研究結果

經由實驗測得數據後，分析其結果如下所列。

### 一、通風方式的冷泵效益比較

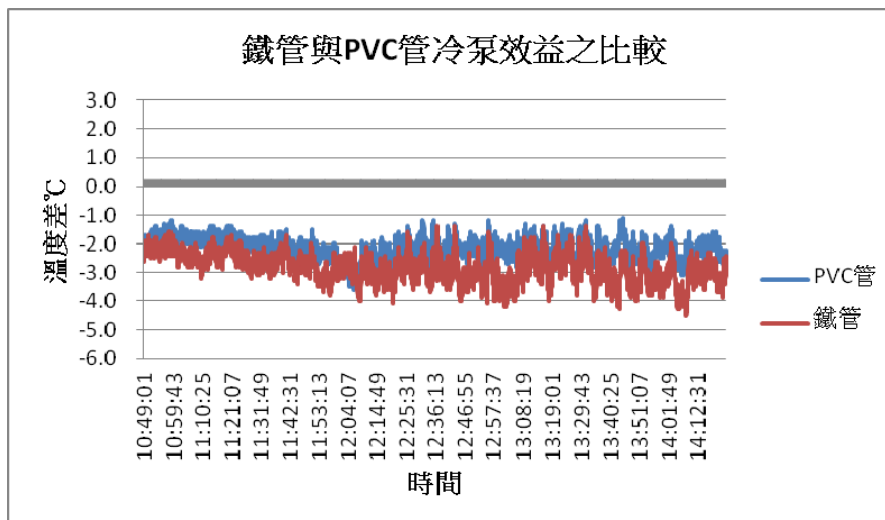
浮力通風方式雖然不需額外能源供給，但其產生之冷泵效益不顯著，而被動式風力通風方式其冷泵效益較為顯著，如圖十一，大氣經由兩種不同通風方式導入地下通風管後，比較兩者入風口及出風口溫度差(出風口溫度-入風口溫度)，浮力通風平均溫度差為-1.1度，而被動式風力通風平均溫度差為-5.7度，證明被動式風力通風之冷泵效益較優於浮力通風的冷泵效益。



圖十一 浮力通風管冷泵效果圖

### 二、鐵管與 PVC 管冷泵效益比較

於 4 月 10 日進行鐵管與 PVC 管冷泵效益之試驗，由兩種材質管路之入風口及出風口溫度差計算統計結果(出風口溫度-入風口溫度)，如圖十二鐵管與 PVC 管冷泵效益比較圖所示，PVC 管平均溫度差為-1.7度，鐵管平均溫度差為-2.1度，因鐵管之熱傳導率比 PVC 管之熱傳導率高，大氣導入地下通風管後，溫度變化較大，其鐵管冷泵效益較 PVC 管佳。



圖十二 4月10日鐵管與PVC管冷泵效益比較圖

### 三、建築模型冷泵效益研究

綜合通風形式冷泵效益比較及 PVC 管與鐵管之冷泵效益比較後，由其結果判定被動式通風冷泵效果較佳，另一方面鐵管之冷泵效益比較好，將空氣導入地下進行熱交換後再送至模型室內，並進行溫度之量測，其分析結果如下所列。

#### (一) 冷泵系統之冷卻效益

建築模型冷泵效益試驗結果如圖十三建築模型冷泵效益研究之溫度分佈圖所示，在正午 12 點半至下午 4 點多可看出有設置冷泵系統之模型室內溫度在較無系統之室內溫度低，最高溫度差可達到約 3 度。

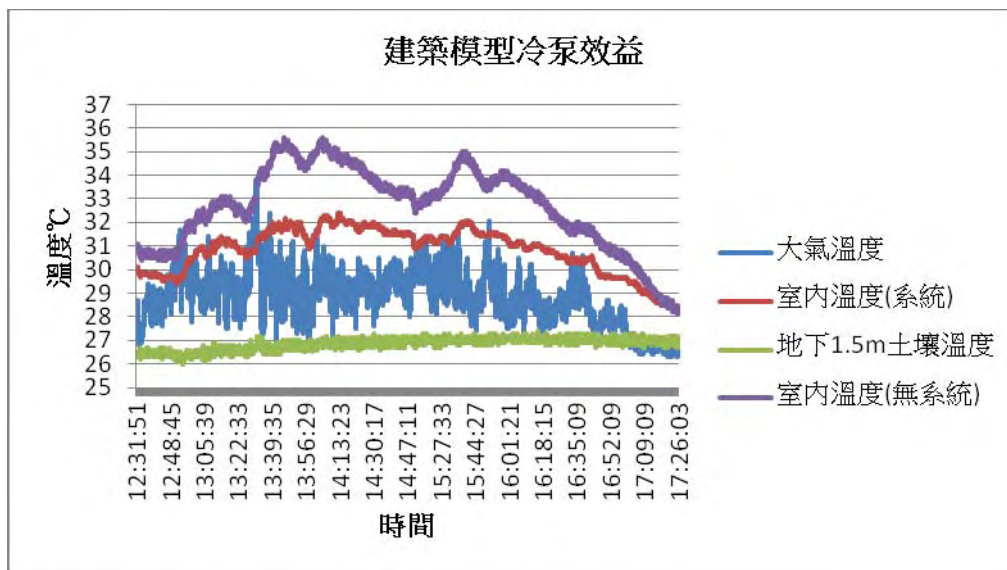
本試驗所用之風扇功率為 35W/hr，經測得其冷泵通風管之風速為 2.93 m/sec，通風管口徑為 10.16cm，以溫差平均為 2°C 計算，其冷泵效應移除之顯熱為 16.811 Kcal/hr，其  $EER=16.811/35=0.48$ 。

#### (二) 傍晚效果較差

由於傍晚缺少太陽輻射之熱能，使大氣溫度與地底溫度差異不大，造成系統效益降低，如圖十三所示，下午 5 點左右，有冷泵系統及無冷泵系統之建築模型室內溫度逐漸相同。

#### (三) 地底之恆溫性

如圖十三所示，地下-1.5m 之溫度，從中午 12 點至下午 5 點之溫度差異不大，均約為 26~27 度，而大氣溫度則容易隨外日照輻射量不同而變化不定，由此可證明地下具有恆溫之特性，可做為冷泵系統之空氣熱交換條件。






圖十三 4月9日建築模型冷泵效益研究之溫度分佈圖


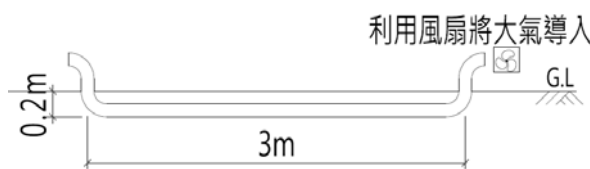



## 陸、討論

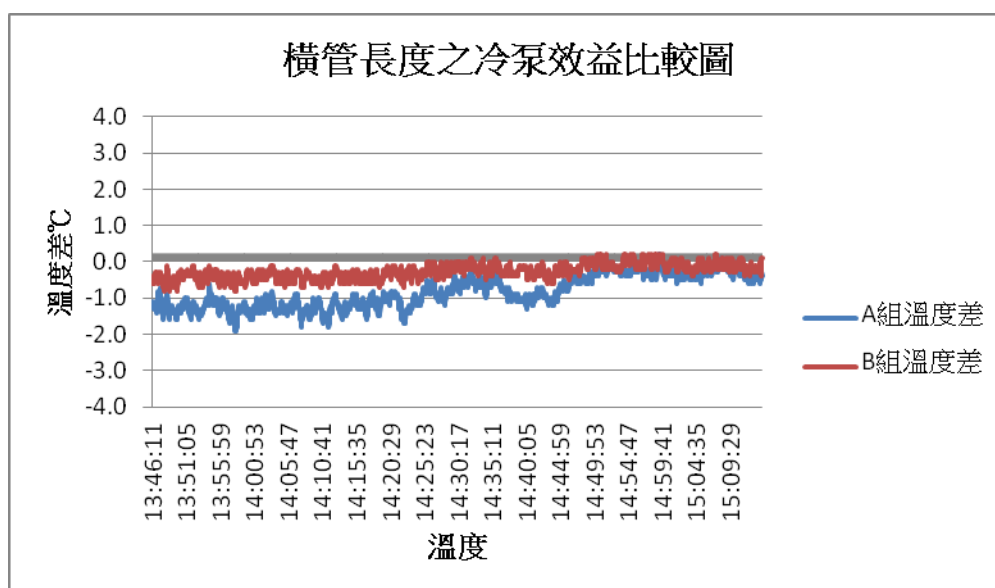
試驗過程遭遇到之問題與解決過程如表五各研究階段問題與討論所示。

表五 各研究階段問題與討論

問題一	Q:出風口與入風口若受到太陽照射會有影響。		
	討論與解決過程: 因可行性實驗使用測溫方式為;溫度計實測,對溫度的影響不易看出,因此在可行性試驗不列入考慮。		
問題二	Q: 根據相關研究中提到,土壤的溫度會隨著深度遞增或遞減?		
	討論與解決過程: 根據本小組在4月9日等日之實驗紀錄,當大氣在31~35℃之間變化時,地下1.5m土壤溫度幾乎維持在26~27℃,因此可證明在地底深度-1~2m之間土壤幾乎維持恆溫狀態。		
問題三	Q:使用電風扇行強制通風,是否有不符合綠建築節能之原本想法?		
	討論與解決過程: 本小組原預計使用浮力原理通風,其效果並不顯著,改採用電池,雖然有用電,但使用電量與冷氣相比卻少很多。		
問題四	Q:Datalogger 所測得之溫度極不合理		
	討論與解決過程: 原儀器乃向台科大建築系所借之 datalogger,由於測試過程中發現極不尋常之溫度改變,對於室內無明顯空氣流通下其溫度改變劇烈,因此展開找尋問題的旅程。經過以下四個假設測試後,發現原來是 datalogger 有問題,再向高苑科技大學建築系借相同的 datalogger 方解決此問題		
	假設 1 是否為熱偶線往地底深埋後造成電位差之影響?	驗證方式: 我們把熱偶線放置高處或者低處。	
	假設 2 是否是因土壤造成資料傳輸阻塞?	驗證方式: 使用溫度計與儀器量測一杯土壤的溫度,看其是否有差異。	
	假設 3 是否是受到外在的影響(風速)	驗證方式: 使用雨衣將儀器蓋住,斷絕風吹到儀器上。	

問題四 (續)	假設 4 是否是受到外在的影響(日照)	驗證方式: 將儀器放置樹下， 阻擋陽光直接照射 到儀器。	
問題五	Q: 浮力通風原理是否可以應用於本研究之冷泵運作？		
	討論與解決過程: 浮力通風的應用於本研究實測過程中，發現浮力通風之冷泵效並不顯著，檢討其原因為地面上通風管受到日照影響，頂端溫度不夠高，不足以造成浮力通風之能力，此為本研究接下來深入探討之目標。		
問題六	Q: 地下水平橫管長對地下冷泵系統之影響？		
	討論與解決過程: 我們建立兩個淺層地下冷泵系統，用以探討地下水平橫管對冷泵效益是否有影響，埋於地下深 0.2m 處，橫管長度分別為 3m(A 組)及 0.3m(B 組)，如下圖十四水平管冷泵效益試驗示意圖所示，將大氣以風扇的方式導入管中，並量測兩管路的入風口及出風口溫度，並計算其溫度差，溫度差=出風口溫度-入風口溫度，如統計圖十五 5 月 30 日橫管長度之冷泵效益比較圖所示，比較橫管長度對冷泵效益的影響，A 組的冷泵效益較 B 組佳，證明橫管的長度確實會影響冷泵效益，另外由圖中可發現到當接近下午三點時，太陽逐漸變小，A 組與 B 組冷泵效益愈來愈接近，論證當大氣較高溫時，其冷泵效益會較好。		
<div><div><p>A 組(水平橫管長 3m，以風扇導入空氣)</p></div><div><p>B 組(水平橫管長 0.3m，以風扇導入空氣)</p></div></div> <p style="text-align: center;">圖十四 水平管冷泵效益試驗示意圖</p>			

問題六  
(續)



圖十五 5 月 30 日橫管長度之冷泵效益比較圖

## 柒、結論

本研究成果經由分析與討論後，整理出以下四點結論，其結論如下所述。

### 一、地下冷泵初探

當大氣溫度低於地底土壤溫度時，空氣進入在地底之通風管進行熱交換時，此時空氣進行加熱反應，提升空氣溫度，此為熱泵運作，使出風口溫度較入風口溫度高。相對在大氣溫度高於地底土壤溫度時，空氣進入在地底之通風管進行熱交換時，進行冷泵運作，出風口溫度較入風口溫度低，證明地下土壤之恆溫性，可置入適當之通風管路，將大氣送入通風管內進行冷泵運作，由此實證本研究應用於一般透天民房之熱環境控制之可行性。

### 二、通風方式的冷泵效益比較

浮力通風不需電力，其原理為熱空氣會上升、冷空氣下降的以進行空氣對流，而這樣的方式須在高溫差下進行，本小組嘗試以高溫差進行浮力通風，其結果顯示熱交換之冷泵效益比起使用電風扇的風力通風來的低。

### 三、鐵管與 PVC 管之冷泵效益

鐵管與 PVC 管因材質不相同，其熱交換亦不相同。因鐵管熱傳導率較大，因此鐵管之冷泵效益較 PVC 管佳，未來使用材質為鐵的地下通風管，用於熱交換之冷泵效果會較好。

### 四、建築模型冷泵效益研究

已有無地下通風管之相同模擬建築比較，有地下通風管系統的建築室內會比無系統室內溫度低，主要是空氣以被動方式進入管中後，高溫之氣體於地下通風管內透過管子與土壤進行熱交換後，將較低溫之空氣供給於建築物，使為室內溫度調節，使室內氣溫降低，證明本冷泵系統確實有助於控制建築室內熱環境之效能。



## 捌、參考資料及其他

- {1} 彭善玉(民96)。小型地源熱泵用於空調冷房應用之初探。國立台灣科技大學建築研究所碩士論文。
- {2} 施明祥(民97)。太陽能地下熱循環室內溫控系統開發與研究應用。「前瞻優質生活環境」科技跨領域專案計畫。
- {3} 王晟昕(民98)。變頻控制應用於循環式地下水冷卻系統之節能研究。台灣科技大學碩士論文。
- {4} 北京友誼醫院使用之空調系統。深圳市华育昌国际科教开发有限公司。民 99 年 7 月 25 日取自<http://www.szhyc.net.cn/chenggonganli103.html>
- {5} OlaLangvall (2000).Interactions between Near-Ground Temperature and Radiation,Silvicultural Treatments andFrost Damage to Norway SpruceSeedlings
- {6} Oke (1990).Energy balance of a clear-cut surface during sunny days (left) andclear and calmnights (right)
- {7} 林憲德(民100)，亞洲觀點的綠色建築，pace pulishing limited
- {8} Gunter Pauli。沒住過白蟻窩，別說你懂綠建築！天下雜誌。民 99 年 7 月 25 日取自：<http://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5005756&page=2>

## 【評語】 091204

1. 研究團隊利用地冷探討室內調溫之應用，符合部分綠建築指標之要求且具環保節能之永續精神。
2. 可利用團隊創意進一步推廣，針對國內較多之集合式社區大樓，利用地下室水塔之蓄水作為穩定地熱或地冷源。
3. 若要實際推廣，進出風口如何與現有建築室內設計規劃整合，以兼具美觀與實用性。
4. 通風管內若溫差過大，達露點溫度時，將會有冷凝結水，應思考管內若積水時如何排除或避免之策略。
5. 建築物室內熱源多因外牆受日照增溫與輻射熱等外部熱源所引致，如何結合地冷應用以阻絕外牆輻射熱應是思考重點。