

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030822

銀鐘罩、水布衫之房子的退熱貼

學校名稱：國立南科國際實驗高級中學(國中)

作者： 國二 王芊惠 國二 蕭欣瑜 國二 林修毅	指導老師： 蔡汶鴻
---	------------------

關鍵詞：綠建築、太陽能、隔熱裝置

銀鐘罩、水布衫之房子的退熱貼

摘要

全球暖化日趨嚴重，環保意識抬頭，越來越多人實行節能減碳運動，以期拯救地球。夏日炎熱，室內外溫差大，室外熱量不斷移進室內。若要降低室內溫度，開冷氣不僅增加巨額電費，且排放的二氧化碳還會在不知不覺中扼殺環境。

太陽的熱輻射大多集中在屋頂，若能有效的降低屋頂溫度，使屋頂和室內溫差小，使用冷氣的次數和時間也會減少許多。我們比較各種屋頂降溫的方法，並研究出簡易實用環保的方法—「屋頂退熱貼」，使用日常生活中隨手可得的材料：夾鏈袋與銀色噴漆，材料全部不到 1000 塊，就能大幅減少熱能傳進室內。若人們都採用房屋退熱貼降溫，以本實驗的研究結果顯示，能幫全台每年減少約 11 萬噸二氧化碳排放，對地球的環境保護，我們盡了最大的努力。

壹、研究動機

地球上大氣層原本就有溫室氣體，這些氣體可使地球維持一定溫度，但自工業革命後，大氣中溫室氣體快速增加(例如：二氧化碳、氟氯碳化物、甲烷等)，造成溫度每年持續上升，這就是目前舉世矚目的氣候變遷議題—全球暖化。但是，氣候炎熱導致冷氣使用時間越來越長，用電量也隨之增加，發電廠排放大量的二氧化碳成了惡性循環。

溫度是由高溫傳向低溫，若室內外溫差大，那熱量就會源源不絕傳入室內。我們觀察許多建築物受熱面大多是在屋頂，因此我們想讓頂樓降溫、減少溫差，降低冷氣的使用率，達到節能減碳的目標。

一開始的構想是：能因應溫度而自動灑水的太陽能灑水器，但減熱成效都不盡理想。我們實際勘查某戶在屋頂設置灑水器的人家，可是此住宅還加裝兩台冷氣，經訪談結果發現：若頂樓水分蒸發後，就無法繼續維持低溫，特別是在水泥地板，正午時蒸發旺盛流失大量水分，更浪費不少資源，無法達到節約能源的目的。

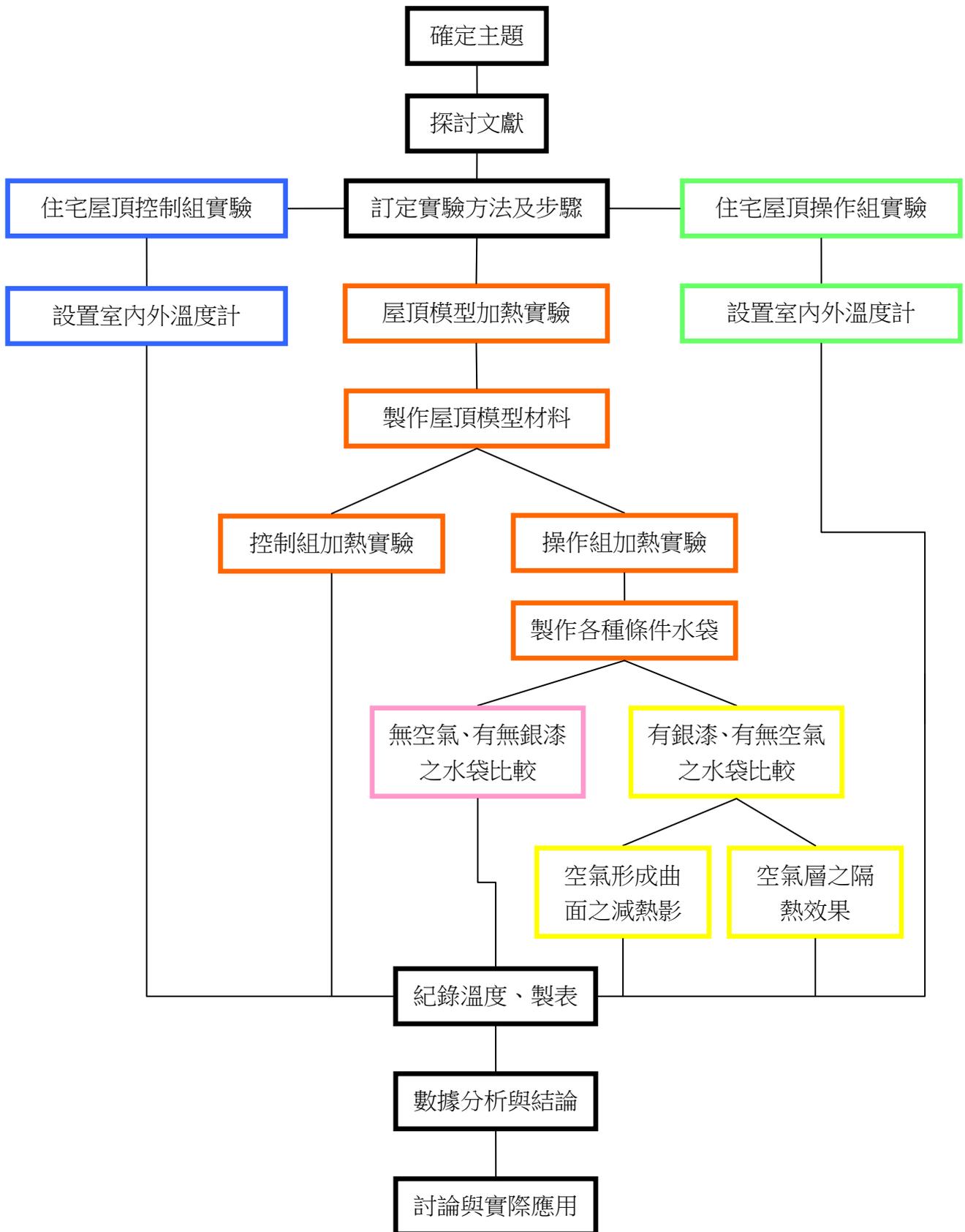
若在屋頂種滿植物，可利用光合作用吸熱的特性，降低室內溫度。但這需要花很多時間照顧植物，而植物枯萎會喪失降溫的效果，枯枝落葉甚至會堵塞排水孔，導致頂樓排水系統故障；維持植物生長的用水量也很驚人……這些方法對於水資源缺乏的台灣，會有用水的壓力。

小時候發燒時，大人總用毛巾或退熱貼幫我們退燒。如果房子發燒了怎麼辦？那就幫他放上退熱貼吧！因此我們想到以水袋製作房子的退熱貼，減少屋頂吸收的太陽熱輻射傳入室內。

貳、研究目的

- 一、了解各種使屋頂降溫的辦法
- 二、了解室內外溫度升降之熱傳播關係
- 三、了解有無塗銀漆及內部有無空氣之水袋的溫度變化比較
- 四、了解有無房屋退熱貼之屋頂溫度變化及曲線
- 五、了解冷氣耗電程度及排放二氧化碳量

肆、研究流程



伍、研究設備及器材

實驗一：住宅控制組實驗-屋頂熱輻射及室內天花板空氣溫度變化

地點:新營市某住宅

器材：酒精溫度計、水泥磚、電鑽



圖 5.1 頂樓環境



圖 5.2 室內環境

實驗二：屋頂模型控制組實驗

地點:學校實驗室

器材：木製燈泡加熱架 x2、spark 觸控式圖形介面溫度紀錄儀 x4、空心水泥磚 x2、100 瓦燈泡 x2



圖 5.3 實驗裝置-輻射加熱

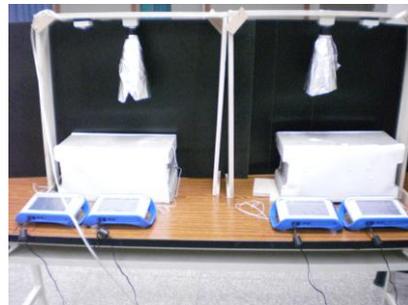


圖 5.4 實驗裝置-輻射冷卻

實驗三：屋頂模型操作組實驗-無空氣有銀漆和無空氣無銀漆水袋加熱

地點:學校實驗室

器材：木製燈泡加熱架 x2、spark 觸控式圖形介面溫度紀錄儀 x4、空心水泥磚 x2、100 瓦燈泡 x2、夾鏈袋 x8、銀色噴漆

實驗四：屋頂模型操作組實驗-有銀漆無空氣和有銀漆有空氣水袋加熱

地點:學校實驗室

器材：木製燈泡加熱架 x2、spark 觸控式圖形介面溫度紀錄儀 x4、空心水泥磚 x2、100 瓦燈泡

x2、夾鏈袋 x8、銀色噴漆

實驗五：住宅操作組實驗-屋頂減熱設置後之戶外熱輻射及室內天花板空氣溫度變化

地點:新營市某住宅

器材:水泥磚、spark 觸控式圖形介面溫度紀錄儀 x4、房屋退熱貼(12 號夾鏈袋+1.8kg 水+2860c.c. 空氣)x159

實驗六：屋頂模型操作組實驗-有無空氣層對溫度變化之影響

地點:學校實驗室

器材：木製燈泡加熱架 x1、空心水泥磚 x1、100 瓦燈泡 x1、壓克力架 x2(18x38cm，高:1cm、3cm)、塑膠袋 x3、封膜機



圖 5.5 壓克力架(1cm)



圖 5.6 壓克力架(3cm)

陸、研究過程與方法

實驗一：住宅控制組實驗-屋頂熱輻射及室內天花板空氣溫度變化

為了瞭解一般住宅在一日當中頂樓溫度變化，我們找一天在新營某住宅頂樓六處設置溫度計(圖 6.1)，並測量當日溫度變化。由於此住宅已裝置隔熱天花板，而空氣是熱的不良導體，可使頂樓溫度不易經天花板內的空氣傳進室內，因此我們也在天花板內四個角落與室內設置溫度計(圖 6.2)，測量未隔熱的實際溫度，並關上門窗以減少空氣對流對室溫的影響。我們想藉此實驗，觀察頂樓傳熱情形及隔熱天花板的實際功效。

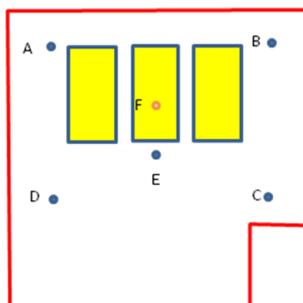


圖 6.1 頂樓溫度計位置示意圖

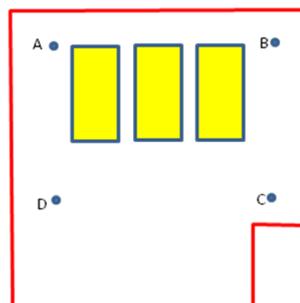


圖 6.2 室內溫度計位置示意圖

我們找了一些和地板材料相似的水泥磚鑽洞(圖 6.3)，以放置溫度計。但是以水泥磚代替頂樓地板加熱，有兩個缺點：一是磚頭面積小，相較頂樓面積差很多，溫度升降較直接測量地板溫度劇烈；一是磚頭其餘五面皆與空氣接觸，水泥磚便散熱較快。所以我們測得的溫度頂樓曲線代表實驗當天太陽對頂樓熱輻射加溫及頂樓冷卻情況。



圖 6.3 室外溫度計設置情形

【實驗步驟】

Step 1.先將水泥磚鑽洞，使溫度計底部完全沒入磚頭，以求更精準的測量結果。

Step 2.將各個水泥磚做上記號，以便觀察。

Step 3.把水泥磚放置在頂樓各角落，分別在頂樓、室內與天花板的四個角落放置數支溫度計，每三十分鐘紀錄一次溫度，觀察其溫度變化。

水的比熱大不易升降溫，如果屋頂上有水，頂樓溫度便能維持穩定的相對低溫。在屋頂灑水不失為一個好方法，但白日太陽熱輻射，使水泥地板溫度升高，使水蒸發旺盛，若想維持穩定低溫，就要持續噴水，一天下來的用水量十分驚人，且非常沒效率。台灣是個水資源缺乏的國家，利用水的蒸發來降溫，會影響水資源的利用。

於是我們構思一種環保省水的減熱裝置：**房屋退熱貼**。假設此裝置的最佳減熱效果是：使用夾鏈袋裝水和空氣，水比熱大使頂樓地板不易升降溫，而空氣在高溫時能膨脹形成曲面，利用光的反射原理，反射掉部分陽光，空氣層也能減緩熱傳播的速率；並在夾鏈袋表面噴塗銀漆，銀漆具有鏡子的功能，可反射掉更多陽光。

為了找到最佳降溫效果的水袋狀態，我們使用空心磚模擬頂樓地板，並做燈泡加熱架，用 100 瓦的燈泡在上方加熱，設計各種實驗來比較成效。

實驗二：屋頂模型控制組實驗-測試兩塊空心磚加熱結果異同

為了講求實驗的準確性，我們必須先確認這兩塊空心磚的吸、散熱程度是否一致，操作組的實驗結果才能與控制組相互比較。(圖 6.4)



圖 6.4 屋頂模型控制組加熱實驗

【實驗步驟】

Step 1.取兩塊空心磚並在磚頭上方鑽洞。

Step 2.在磚頭上方及其一面挖小洞放置 spark 的溫度探測線，確認探測線在兩空心磚內部的位置一致，再用不透明膠帶貼住。

Step 3.用白紙封住空心磚另一側面，防止空氣對流影響內部空氣溫度變化。

Step 4.在上方開燈加熱，輻射加熱及冷卻各紀錄 40 分鐘。

Step 5.每兩分鐘紀錄一次溫度，製作表格。

實驗三：屋頂模型操作組實驗-無空氣，有、無銀漆差別之水袋加熱比較

確認了空心磚 A、B 性質相同後，我們想要證明一開始的假設是否正確，把全部沒有空氣的水袋，分成有、無銀漆兩組(圖 6.5)，進行實驗求證。



圖 6.5 無空氣，有、無銀漆之水袋

【實驗步驟】

Step 1.用針筒裝 180c.c.的水在夾鏈袋中，並把空氣擠出。

Step 2.在實驗二的空心磚 A 上擺放無銀漆水袋；空心磚 B 上放置有銀漆水袋。

Step 3.在上方開燈(100 瓦燈泡)加熱，輻射加熱及冷卻各紀錄 40 分鐘。

Step 4.每兩分鐘紀錄一次溫度，製作表格。

實驗四：屋頂模型操作組實驗-有銀漆，有、無空氣水袋加熱比較

由實驗三結果得知，銀漆可有效反射部分熱能，使溫度較控制組低。此實驗要檢驗夾鏈袋裡有無空氣對溫度變化的影響。



圖 6.6 有銀漆，無空氣之水袋



圖 6.7 有銀漆，有空氣之水袋

【實驗步驟】

Step 1.用針筒裝 180c.c.的水在夾鏈袋中，並把空氣擠出。(圖 6.6)

Step 2.在四個夾鏈袋中用針筒擠入 30c.c.的空氣，並把全部水袋噴上銀漆。(圖 6.7)

Step 3.在實驗二的空心磚 A 上擺放有空氣水袋；空心磚 B 上放置無空氣水袋。

Step 4.在上方開燈(100 瓦燈泡)加熱，輻射加熱及冷卻各紀錄 40 分鐘。

Step 5.每兩分鐘紀錄一次溫度，製作表格。

實驗五：住宅操作組實驗-屋頂減熱設置後室內外溫度變化

用以上幾個模擬實驗的最佳結果——有空氣、有銀漆的水袋，在屋頂上設置 159 個此減熱裝置，觀察放置房屋退熱貼後室內外溫度變化，比較控制組及操作組溫差，並計算出相較控制組可節省的電費及二氧化碳排放量。



圖 6.8 夾鍊袋裝入 1800c.c.水

【實驗步驟】

Step 1.在夾鏈袋中用 600c.c.的保特瓶，裝 1.8 公斤的水(共三罐)與定量空氣，因為用針筒擠入空氣太沒效率，因此我們利用水的重量，使夾鏈袋形成固定夾角，可裝入較相同的空氣量(圖 6.8)。後來，我們利用排水集氣法測得：空氣量為 2860c.c.。



圖 6.9 房屋退熱貼佈置

Step 2.用房屋退熱貼把頂樓鋪滿，並全數噴上銀漆。(圖 6.9)

Step 3.把 spark 溫度探測線埋進測量點，紀錄溫度並繪製圖表。

Step 4.比較操作組與控制組的溫差。

Step 5.計算這些房屋退熱貼共可吸收多少卡的熱量 (表示水泥地板可減少多少熱量)。

Step 6.計算操作組比控制組省多少電費及減少多少二氧化碳排放量。

實驗六：屋頂模型操作組實驗-有無空氣層對溫度變化之影響

為了得知空氣層的功用，我們訂做了兩個相同面積、不同高度的壓克力架，用相同水量、相同曲面，觀察熱的不良導體—空氣的隔熱效果。

【實驗步驟】

Step 1.用保鮮膜封住空心磚，防止水袋漏水時使磚頭潮濕，影響加熱結果。

Step 2.用封膜機把塑膠袋封成壓克力架的大小，留一小孔裝入 684ml(1x18x38)的水，把袋內空氣全部擠出後，再將水袋密封。

Step 3.有空氣的實驗：將 3cm 的壓克力架之加熱面封上塑膠袋，並用膠帶貼牢縫隙，避免空氣逸出，最後噴上銀漆。把水袋放置空心磚上，在將壓克力架罩在水袋上，使架子內有 2x18x38ml 的空氣(圖 6.10)。

Step 4.無空氣的實驗：水袋噴上銀漆，放入高為 1cm 的壓克力架內，固定架子於磚上，並用膠帶使水袋邊緣和架子齊高，使其表面與有空氣之實驗水袋裝置曲面相同(圖 6.11)，再把空心磚墊高 2cm，使兩實驗的受熱面與加熱源距離相同。

Step 5.相同曲面及水量、有無空氣層之兩個實驗裝置皆依序放置在磚上加熱。



圖 6.10 壓克力(3cm)-有空氣有銀漆裝置



圖 6.11 壓克力(1cm)-無空氣有銀漆裝置

柒、研究結果

實驗一：住宅控制組實驗-屋頂熱輻射及室內天花板空氣溫度變化

觀察一天測量的溫度曲線(圖 7.1)，A、B 測點分別被陰影擋住，因此溫度比曝露在陽光下的其他點還低溫。當兩測點照射到陽光，漸漸與測點 C、D、E 點曲線一致，突顯水泥地板的日溫差極大。測點 C、D、E 點在一開始測量時，就已在陽光加溫範圍內，加熱情況多半穩定，是最能代表屋頂日照溫度升降的三條線。午後太陽漸行漸遠，約莫下午四、五點時，這三點都在影子下了，溫度也平穩的下降；F 測點因設置在太陽能板之陰影下，所以從頭到尾都不受日曬，我們在實驗中發現，太陽能板不僅可吸熱，轉換成熱水，還能增加陰影面積，讓部分頂樓地板形成相對低溫。F 點可用來比較其他測量點的溫度差異，且其白天溫度與室內天花板溫度大致相同，而日落後所有測量點的溫度都即將趨於一致。

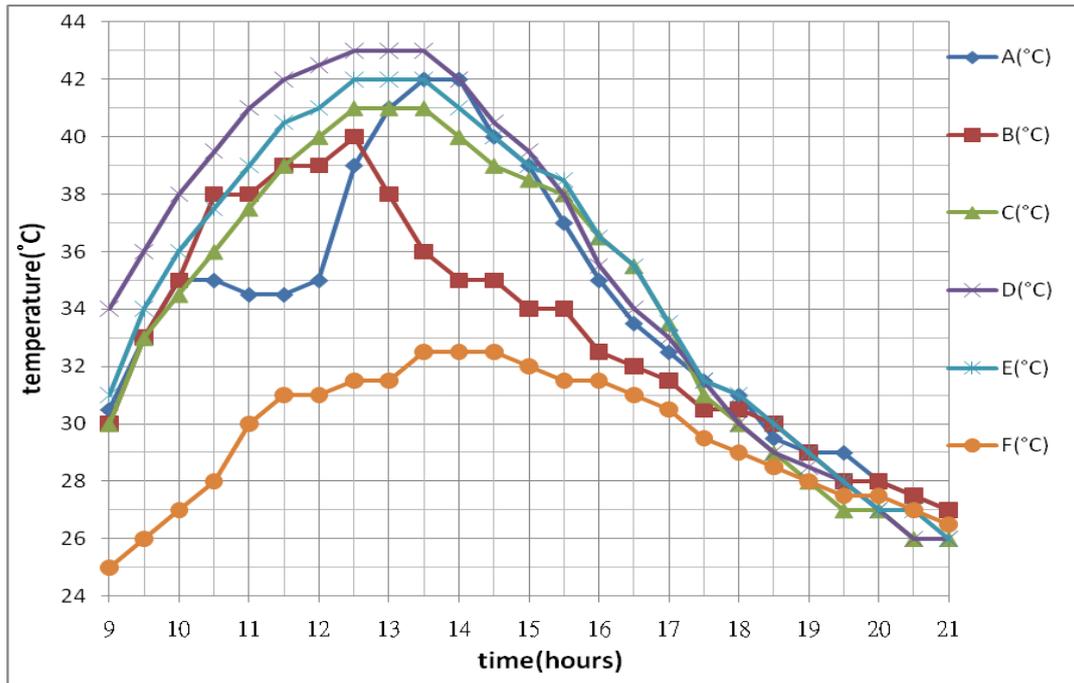


圖 7.1 頂樓溫度在一日當中各時刻的變化情況

午後的室內溫度開始增加，可能是因為上午頂樓吸收的熱能開始往下傳導，雖然日落後屋頂溫度持續下降，溫度仍比室內高，熱仍然持續傳導至室內，導致天花板內溫度和室溫都居高不下，一路持平到晚上七八點，才有些微下降的趨勢。(圖 7.2)

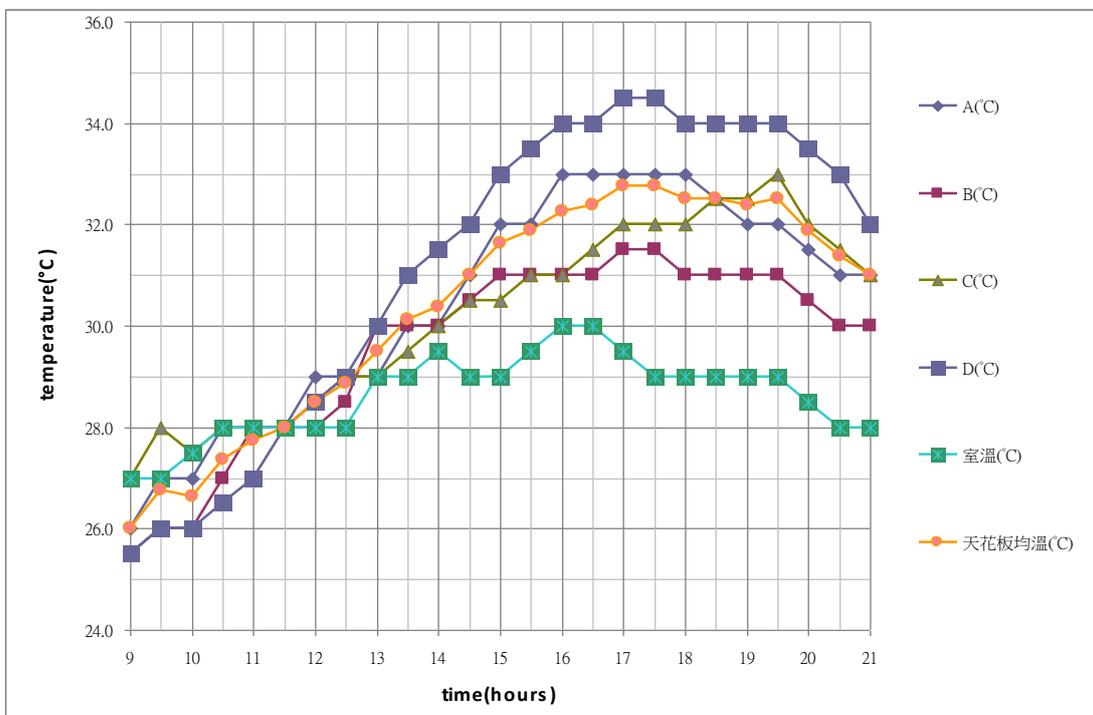


圖 7.2 室內溫度在一日當中各時刻的變化情況

從以上觀察可以看見屋外樓頂最高溫發生在下點 1 點，隨後開始下降，但是室內溫度仍持續加溫至下午 5 點，約有 4 小時的時間，熱仍然持續傳入室內，我們推測這與頂樓地板的厚度與面積有關，但非本次實驗研究的項目，故未針對此項因素持續研究。可以列入未來研究的方向。

屋頂日溫差高達 7 度，而室溫溫差最多只有 3 度(表 7.1)，顯示屋內裝置隔熱天花板有其成效。不過日落後頂樓餘溫仍持續傳給室內天花板，使其高溫長久持平，反而入夜後的室內較正午更為悶熱。由此可見隔熱天花板雖能阻絕部分熱傳導，但經過一段時間，熱仍會傳入室內，無法達到完全隔熱。

項目	時間	溫度(°C)
頂樓最高溫	12:30~13:30	43.0
頂樓最低溫	20:30~21:00	26.0
室內天花板最高溫	17:00~17:30	34.5
室內天花板最低溫	9:00	25.5
最高室溫	16:00~16:30	30.0
最低室溫	9:00~9:30	27.0

表 7.1 室內外溫度差異概況

頂樓的日溫極大，長久日曬也有水泥龜裂的疑慮。要改善這些問題，治本的方法就是直接減緩頂樓水泥地板的溫差，讓水泥維持在一定範圍之低溫，頂樓與室內溫差不大，熱傳導相對緩慢，如此一來就可以減少吹冷氣的頻率了。因為此項數據的支持，讓我們決定要以高比熱的水作為熱量緩衝的物質，來減少熱量傳入室內。

實驗二：屋頂模型控制組實驗-測試兩塊空心磚加熱結果異同

本實驗是要驗證我們對實驗一的實際狀況所將採用的減熱策略是否可行？我們利用空心磚的幾何結構接近房間的結構，再用燈泡加熱代替太陽熱源進行實驗。空心磚開始輻射加熱，兩磚外側皆因受到燈泡輻射熱，溫度迅速竄升，內部則相對緩慢爬升。直到第 40 分鐘關燈以後，空心磚開始輻射冷卻，外部因沒有持續供應熱能而迅速跌落，反觀內部受到外部持續熱傳導，而先持平後才緩慢降溫。

空心磚 A 無論內外側都較 B 磚稍高 (表 7.2), 雖然溫度上有些微的差距, 但是比較兩圖表(圖 7.3、7.4), 我們發現空心磚 A、B 的溫度變化曲線極為相似, 由此可確認這兩塊空心磚的性質相同。此外, 從第 40 分停止加熱後, 雖然外側加熱面的溫度已開始下降, 但是空心磚內部的空氣仍持續加溫至第 48 分鐘, 這個特徵與實驗一在住宅實際上測量到室內外溫度變化曲線的延後加溫特徵相似, 也能證實此模擬實驗, 可預測操作組實驗結果能應用於實際住宅。

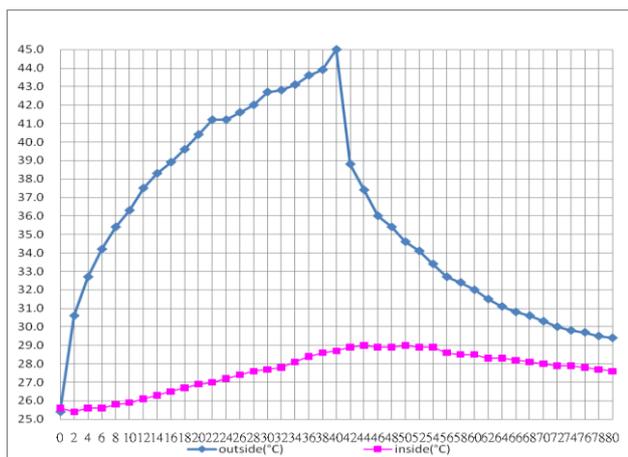


圖 7.3 空心磚 A 加熱實驗

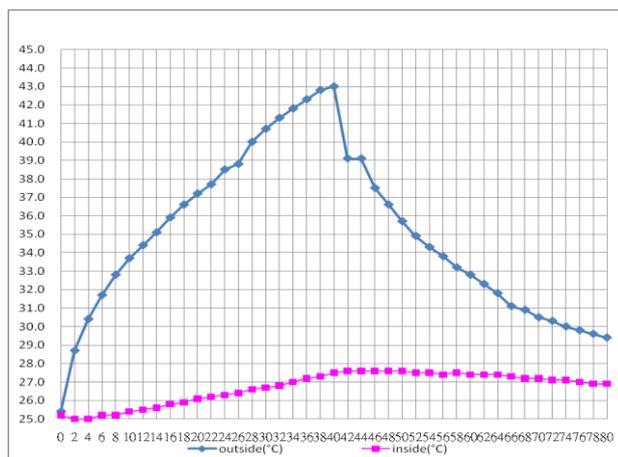


圖 7.4 空心磚 B 加熱實驗

項目	時間(min.)	溫度(°C)
A 外側最高溫	40	45.0
B 外側最高溫	40	43.0
A 內部最高溫	40	29.0
B 內部最高溫	40	27.6
A 外側最低溫	1	25.6
B 外側最低溫	1	25.2
A 內部最低溫	2	25.6
B 內部最低溫	2~4	25.0

表 7.2 控制組-空心磚 A、B 溫度比較

實驗三：屋頂模型操作組實驗-無空氣，有、無銀漆差別之水袋加熱比較

在 A 磚上放置無空氣無銀漆的水袋, 其內外溫度皆高於放置無空氣、有銀漆水袋的 B 磚 (圖 7.5)。A、B 磚外側最大溫差為 3.6 度; 內側最大溫差則為 1.4 度。由上述事實可知, 沒有銀漆比有噴銀漆的水袋溫度還高。

而且夾鏈袋裝好水後，經過一段時間，原本沒空氣的水袋會漸漸冒出氣泡。一開始以為是夾鏈袋沒封好，但反覆試了幾次後，每個水袋仍有氣泡產生，因此我們推論：也許是室溫上升，使融入水中的空氣逐漸冒出，產生此現象。

不過有不少夾鏈袋發生漏水的情形，而且都是從封口處溢出。即使把袋口向上貼牢，防漏效果也只有稍微改進。我們推斷可能是人為因素或密封材質不佳，導致水袋不牢固。

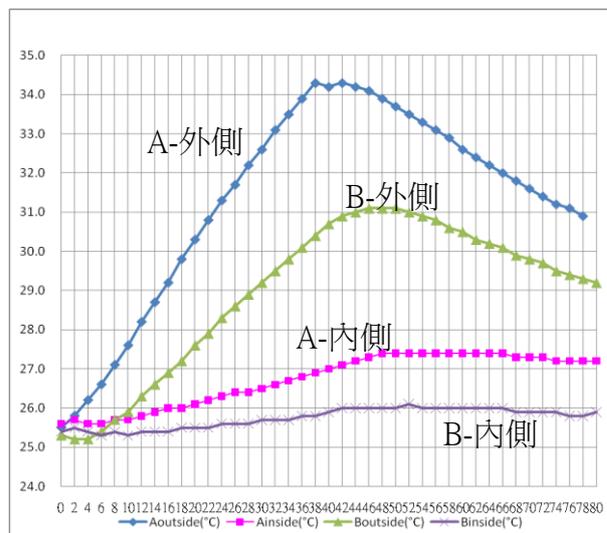


圖 7.5 無空氣、有無銀漆加熱實驗

實驗四：屋頂模型操作組實驗-有銀漆，有、無空氣水袋加熱比較

測試完無空氣無銀漆的水袋實驗，再來比較塗漆水袋中有無空氣的差別。放上有空氣水袋之 A 磚外側溫度，較放上沒空氣水袋之 B 磚略低；而 A 磚內部雖不比 B 磚內部溫度低，但因為上面有空氣膨脹而形成曲面，反射部分熱能的水袋，讓 A 磚內側溫度較 B 磚穩定。(圖 7.6)

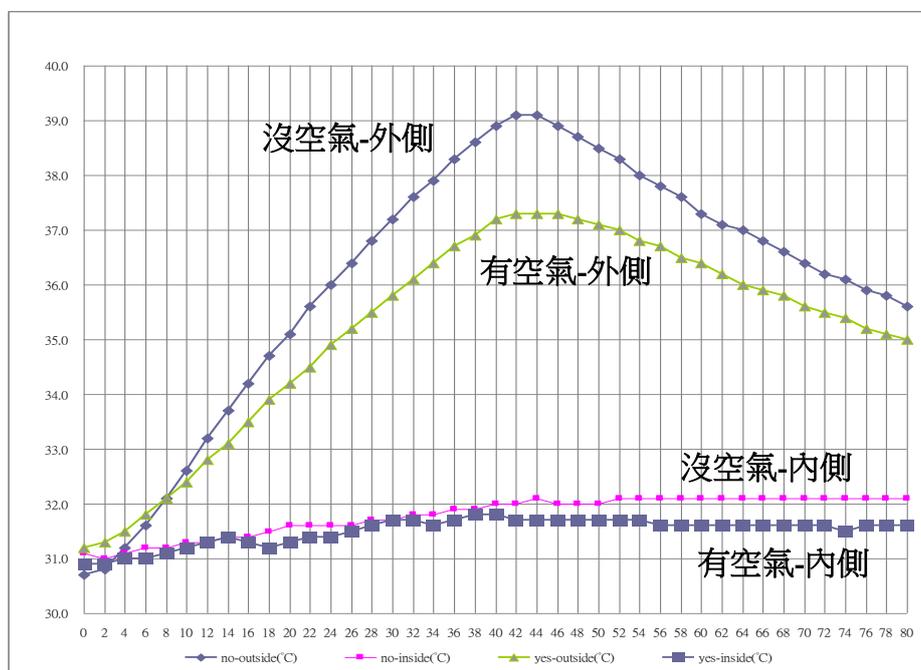


圖 7.6 有漆、有無空氣加熱實驗

此實驗結果顯示，在水袋中加入空氣與反射曲面的確能幫助受熱面降低溫度，加熱面的溫度差異有很好的減熱效果，所以我們決定以噴銀漆的夾鏈袋充入水及空氣，作為最佳的減熱方法，我們稱它為**房屋退熱貼**。

實驗五：屋頂模型操作組實驗-有無空氣層對溫度變化之影響

在實驗四做過有銀漆、有無空氣的加熱實驗，我們知道空氣製造的曲面，能讓直射區較小，吸收的熱量相對減少。但我們還想知道，空氣除了製造曲面外，是否還有其他隔熱效果？

所以我們利用不同高度的壓克力架，放置同體積水袋。有空氣層實驗：若直接用水袋裝入空氣，會形成曲面，造成受熱表面之控制變因不一致。於是我們在 3cm 架子受熱面包覆塑膠袋，可形成平面。加熱時因為受熱面積大，所以空氣膨脹不明顯(圖 7.7)。無空氣層實驗：因兩壓克力架與燈泡距離有差異，所以在此實驗的空心磚底下墊高 2cm，使加熱距離相同。

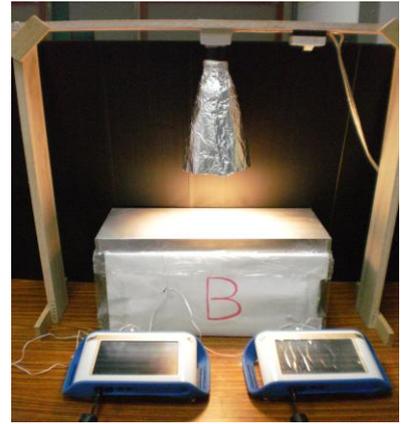


圖 7.7 空氣層對隔熱效果之影響

觀察圖 7.8 發現，沒空氣的壓克力裝置外側溫度，明顯高於有空氣的外側；而內側雖然溫度相差不大，且變化都很平穩，但仍可比較兩者溫差。

由實驗結果得知，空氣層還有阻絕熱傳導的效果(隔熱天花板也是利用此原理設計)。此外，我們還發現：覆蓋面積大的水袋比面積小的夾鏈袋組合，有更佳的減熱效果。因此可設計更大受熱面積的房屋退熱貼，使發揮其最大效用。

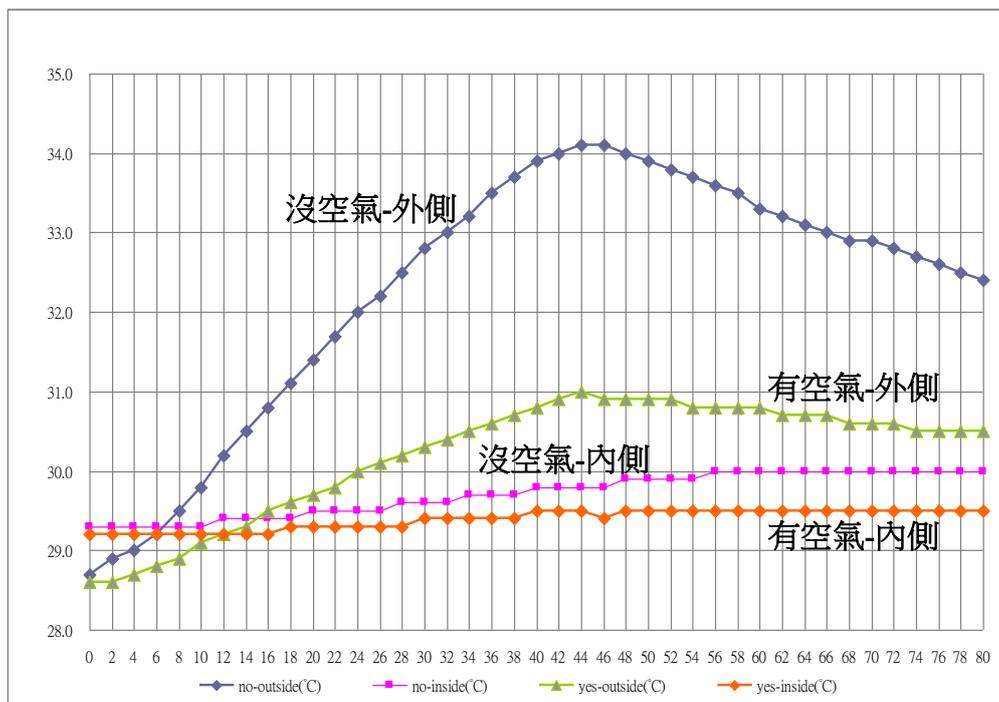


圖 7.8 空氣層對隔熱效果之影響

實驗六：住宅操作組實驗-屋頂減熱設置後室內外溫度變化

在 E 點設置溫度探測線，比較操作組與控制組的天氣狀況(圖 7.9)，由於進行操作組實驗的前幾天，都有下雨，使得當日水氣稀薄，陽光沒有水氣阻擋，更能把光與熱傳播到地表，導致操作組溫度較控制組稍高，不過兩者曲線十分相似，能證實兩天的天氣狀態幾乎相同。

綜合模擬實驗的結果，發現有空氣、有噴銀漆的水袋，減熱效果最好。我們便使用這個結果進行住宅操作組的實驗。

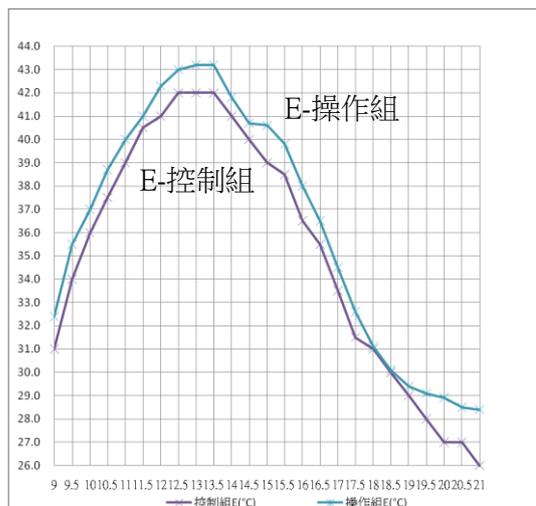


圖 7.9 控制組與操作組室外 E 點比較

我們在製作房屋退熱貼時，也遇到了水袋漏水的問題，看來不論是袋子規格多大，廠牌不同，水和空氣都會從封口處緩緩洩出。會有這樣的問題，可能是因為人為疏失或品質差，或是水會由封口縫隙，產生毛細現象；密封口材質密度比空氣大，空氣自然會從袋中逐漸消失。因此找到堅固耐用的材料，加以改善這種狀況，就是後續研究的方向之一。

接下來比較的是天花板內空氣和室溫的差別，未經過隔熱天花板的空氣，還是和室溫有些微差距，由此可知隔熱天花板還是有其功效，讓室內溫度更低。(圖 7.10)

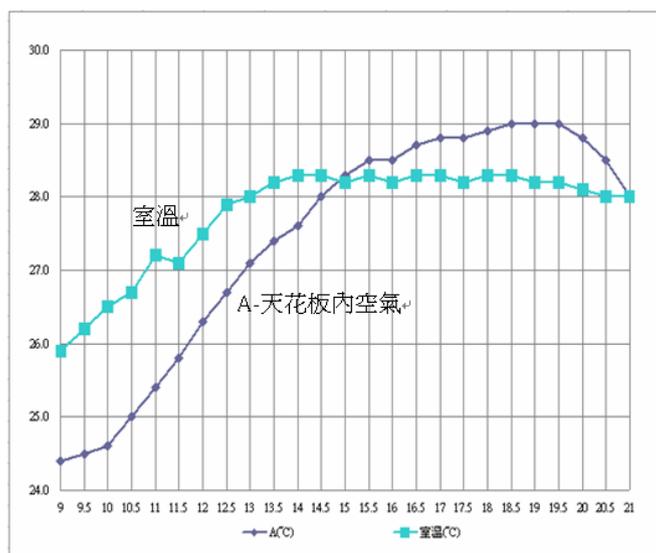


圖 7.10 操作組室溫及室內 A 點比較

比較兩天花板溫度曲線(圖 7.11)，控制組天花板的溫度明顯高於操作組溫度，操作組平均溫度較控制組低 3 度(表 7.3)，若不裝隔熱天花板，並開冷氣維持室溫 27 度，操作組就比控制組省電許多。

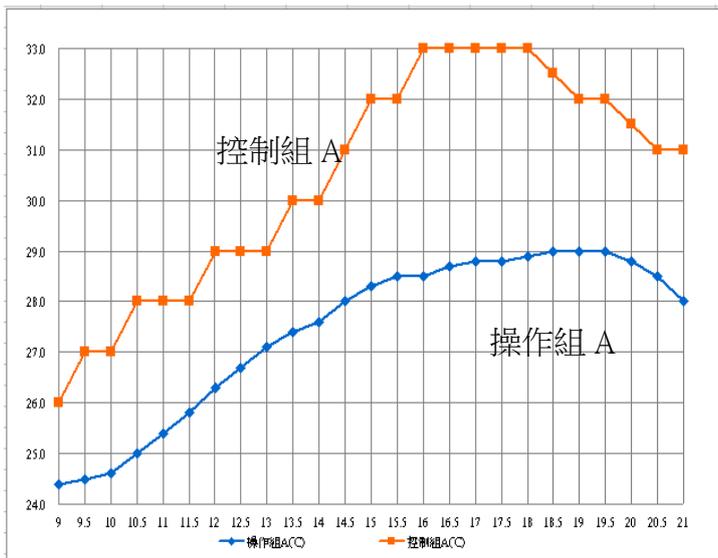


圖 7.11 控制組與操作組 A 點-天花板內空氣溫度比較

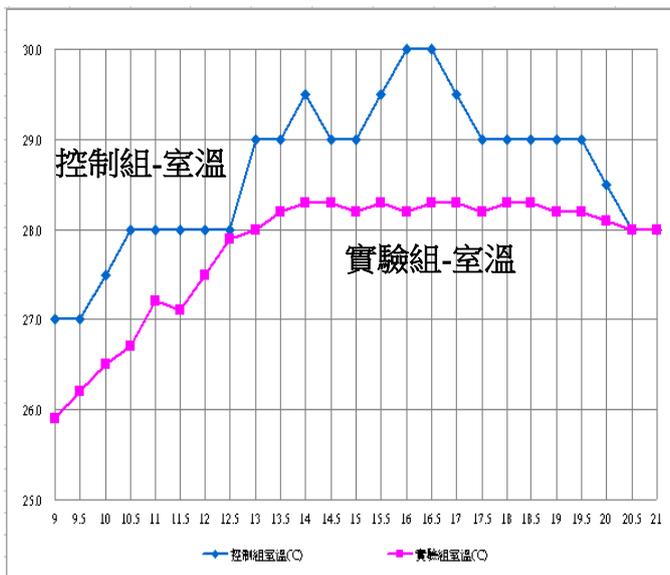
表 7.3 操作組與控制組天花板內溫度比較→

時間 (hours)	控制組溫度 (°C)	操作組溫度 (°C)	溫差 (°C)
9	26.0	24.4	-1.6
9.5	27.0	24.5	-2.5
10	27.0	24.6	-2.4
10.5	28.0	25.0	-3.0
11	28.0	25.4	-2.6
11.5	28.0	25.8	-2.2
12	29.0	26.3	-2.7
12.5	29.0	26.7	-2.3
13	29.0	27.1	-1.9
13.5	30.0	27.4	-2.6
14	30.0	27.6	-2.4
14.5	31.0	28.0	-3.0
15	32.0	28.3	-3.7
15.5	32.0	28.5	-3.5
16	33.0	28.5	-4.5
16.5	33.0	28.7	-4.3
17	33.0	28.8	-4.2
17.5	33.0	28.8	-4.2
18	33.0	28.9	-4.1
18.5	32.5	29.0	-3.5
19	32.0	29.0	-3.0
19.5	32.0	29.0	-3.0
20	31.5	28.8	-2.7
20.5	31.0	28.5	-2.5
21	31.0	28.0	-3.0

觀察控制組與操作組室溫曲線(圖 7.12)，操作組的室均溫比控制組溫度低約 0.8°C(表 7.4)，因為頂樓放置了有噴銀漆、裝空氣的水袋，水袋裡的空氣受熱膨脹，在表面形成一曲面，陽光照射時，銀漆又能反射大部分的光，再加上水一直都存在頂樓地板吸熱，不會因蒸發而消失或者浪費水資源，能有效的降低頂樓溫度。由於頂樓溫度下降，熱能也減少許多，傳到頂樓天花板的溫度也就相較低溫。

時間(hours)	控制組室溫(°C)	操作組室溫(°C)	溫差(°C)
9	27.0	25.9	1.1
9.5	27.0	26.2	0.8
10	27.5	26.5	1.0
10.5	28.0	26.7	1.3
11	28.0	27.2	0.8
11.5	28.0	27.1	0.9
12	28.0	27.5	0.5
12.5	28.0	27.9	0.1
13	29.0	28.0	1.0
13.5	29.0	28.2	0.8
14	29.5	28.3	1.2
14.5	29.0	28.3	0.7
15	29.0	28.2	0.8
15.5	29.5	28.3	1.2
16	30.0	28.2	1.8
16.5	30.0	28.3	1.7
17	29.5	28.3	1.2
17.5	29.0	28.2	0.8
18	29.0	28.3	0.7
18.5	29.0	28.3	0.7
19	29.0	28.2	0.8
19.5	29.0	28.2	0.8
20	28.5	28.1	0.4
20.5	28.0	28.0	0.0
21	28.0	28.0	0.0

↑表 7.4 控制組與操作組室溫溫差



←圖 7.12 控制組與操作組室溫比較

捌、結論

住宅操作組實驗的所有數據結果都顯示，裝置有銀漆、有空氣的水袋—屋頂退熱貼，的確能有效且直接讓頂樓地板減熱、降低室溫，操作組比控制組天花板內平均溫度降低 3°C，室內平均溫差降低 0.8°C。依據理想氣體方程式 $PM=DRT$ ，(P：大氣壓力 atm，M：空氣平均分子量 28.8，D：氣體密度 g/L，R：理想氣體常數 0.082atm.L/mol.K，T：氣體溫度 K)，可以算出空氣平均密度為 1.17g/L，實驗中住宅體積為 5 坪 x3 公尺樓高=5 坪 x3.3m²/坪 x3m=49.5m³=49500L，空氣質量=49500Lx1.17g/L=57915g，熱量計算公式： $H=M*S*\Delta T=57915g*0.117cal/g^{\circ}C*x0.8^{\circ}C=5.4Kcal$ 。

根據上式計算，經由房屋退熱貼的設置，從早上 9 點至晚上 9 點期間，每小時大約可以減少 5.4Kcal 熱量進入室內空間，也就是代表冷氣機可以減少移出 48.6Kcal 的熱量，於本實驗住宅中的冷氣之冷房能力為 1.0 噸=8000BTU/hr=2000Kcal/hr，EER 值為 1.67 Kcal/Hw，一間房間 12 小時內約可減少 0.03 度電的用量，若以家庭平均房間數為 4 間計算，一戶家庭每天約可減少 0.12 度電的用量，一個月可以減少 3.6 度電。若以一年平均冷氣用電月數 8 個月計算，一戶家庭每年約可減少 28.8 度電，約減少 18.3 公斤的二氧化碳排放量(2008 年台電公告之 CO₂ 電力排放係數=0.636kgCO_{2e}/度)。以全台有 597 萬戶裝置冷氣(節約能源園區公告數值)估算，本實驗的貢獻可以讓**全台每年減少約 11 萬噸二氧化碳的排放量**。

實驗結果亦顯示，樓頂裝置太陽能板，可以有效阻隔陽光直射地面，對於頂樓的地面減溫有很好的效果，而且太陽能熱水器將熱能轉換成熱水，可以提供家庭熱水需求，減少對電能的使用需求。對於二氧化碳的減少排放也有很大的幫助。

對於目前全球關注的焦點—全球暖化，期望能用房屋退熱貼，降低冷氣用電量，盡我們最大的努力，為地球出一份心力。

玖、討論與未來展望

本實驗製作的房屋退熱貼設置使用固定量的空氣和水，使空氣受熱膨脹時產生表面曲率變大，增加陽光的斜射面積，可以減緩熱量傳入樓頂的速率，對樓頂降溫很有幫助。我們期望能製作可以代替市售夾鏈袋的產品，具有密合性佳、表面能有效反射光線、耐用而且便宜的特性，使得人人可以自行用來佈置房屋退熱貼，家家努力做到節能省碳。

從實驗結果也可以發現，房屋退熱貼讓頂樓溫度升降相對緩慢，使其延緩經久曬造成的龜裂情形，進而延長房屋的壽命。但樓頂的水雖然可以把熱留在屋外，晚上卻會對室內持續加熱，這對高緯度國家入夜後室內溫度急降有幫助；入夜後溫度下降時，可利用白天吸收熱輻射的熱水維持頂樓溫度，達到保溫效果。

但對於像台灣這樣的低緯度國家，雖然白天的室內溫度不易升高，但是晚上屋頂高的水溫會讓室內溫度也不易下降。因此我們另外設計一套冷熱水循環迴路系統，利用寶特瓶緊密排列成 S 狀的冷熱水循環模型(圖 9.1)，白天加熱，晚上則把系統內的熱水連接到浴室，在洗澡時可開啟使用，若感到水溫降低，表示當日的熱水已回收完畢，即可關閉水閥。若在設計建築物時，能將這個模型的構想納入工程考量，更加落實綠建築的概念。這很像太陽能熱水器的原理，但其最大差異是這個模組造價較低廉，可以平鋪在任何主要的受熱面上，使房子好像穿上水布衫，且冷熱水循環系統可與室內熱水器並聯使用，節省電熱水器能源消耗；還可讓屋頂冷水重新注入，使頂樓在入夜後



圖 9.1 冷熱水循環系統

也能維持相對低溫。冬天使用時可以維持屋內溫度不易下降，具有自行調整的特性。

甚至可用比熱更大的物質，製作面積大、體積小的片狀減熱設置，鋪在房子的不規則表面，像一件為房子訂做的活動式隔熱衫，輕便又美觀。

拾、參考資料及其他

許晃雄(1998)。人為的全球暖化與氣候變遷。The 4th International Conference of Atmospheric Action Network East Asia, Taipei, 19998/9/26-27

賴昭正(1981)。EER 與冷氣機的效率。大家談科學。0138。

台灣電力公司。2008 年我國電力排放係數報告。http://www.taipower.com.tw

節約能源園區。新聞公告。http://www.energypark.org.tw/

經濟部能源局網站。節約能源。http://www.moeaboe.gov.tw/

維基百科。全球暖化。

http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%A8%E7%90%83%E6%9A%96%E5%8C%96

拾壹、實驗觀察紀錄

頂樓溫度各測量點在一日當中各時刻的變化情況-控制組

時間 (hours)	A(°C)	B(°C)	C(°C)	D(°C)	E(°C)	F(°C)
9	30.5	30.0	30.0	34.0	31.0	25.0
9.5	33.0	33.0	33.0	36.0	34.0	26.0
10	35.0	35.0	34.5	38.0	36.0	27.0
10.5	35.0	38.0	36.0	39.5	37.5	28.0
11	34.5	38.0	37.5	41.0	39.0	30.0
11.5	34.5	39.0	39.0	42.0	40.5	31.0
12	35.0	39.0	40.0	42.5	41.0	31.0
12.5	39.0	40.0	41.0	43.0	42.0	31.5
13	41.0	38.0	41.0	43.0	42.0	31.5
13.5	42.0	36.0	41.0	43.0	42.0	32.5
14	42.0	35.0	40.0	42.0	41.0	32.5
14.5	40.0	35.0	39.0	40.5	40.0	32.5
15	39.0	34.0	38.5	39.5	39.0	32.0
15.5	37.0	34.0	38.0	38.0	38.5	31.5
16	35.0	32.5	36.5	35.5	36.5	31.5
16.5	33.5	32.0	35.5	34.0	35.5	31.0
17	32.5	31.5	33.5	33.0	33.5	30.5
17.5	31.5	30.5	31.0	31.5	31.5	29.5
18	31.0	30.5	30.0	30.0	31.0	29.0
18.5	29.5	30.0	29.0	29.0	30.0	28.5
19	29.0	29.0	28.0	28.5	29.0	28.0
19.5	29.0	28.0	27.0	28.0	28.0	27.5
20	28.0	28.0	27.0	27.0	27.0	27.5
20.5	27.5	27.5	26.0	26.0	27.0	27.0
21	27.0	27.0	26.0	26.0	26.0	26.5

室內溫度各測量點在一日當中各時刻的變化情況

時間(hours)	A(°C)	B(°C)	C(°C)	D(°C)	室溫(°C)	天花板均溫(°C)
9	26.0	25.5	27.0	25.5	27.0	26.0
9.5	27.0	26.0	28.0	26.0	27.0	26.8
10	27.0	26.0	27.5	26.0	27.5	26.6
10.5	28.0	27.0	28.0	26.5	28.0	27.4
11	28.0	28.0	28.0	27.0	28.0	27.8
11.5	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
12	29.0	28.0	28.5	28.5	28.0	28.5
12.5	29.0	28.5	29.0	29.0	28.0	28.9
13	29.0	30.0	29.0	30.0	29.0	29.5
13.5	30.0	30.0	29.5	31.0	29.0	30.1
14	30.0	30.0	30.0	31.5	29.5	30.4
14.5	31.0	30.5	30.5	32.0	29.0	31.0
15	32.0	31.0	30.5	33.0	29.0	31.6
15.5	32.0	31.0	31.0	33.5	29.5	31.9
16	33.0	31.0	31.0	34.0	30.0	32.3
16.5	33.0	31.0	31.5	34.0	30.0	32.4
17	33.0	31.5	32.0	34.5	29.5	32.8
17.5	33.0	31.5	32.0	34.5	29.0	32.8
18	33.0	31.0	32.0	34.0	29.0	32.5
18.5	32.5	31.0	32.5	34.0	29.0	32.5
19	32.0	31.0	32.5	34.0	29.0	32.4
19.5	32.0	31.0	33.0	34.0	29.0	32.5
20	31.5	30.5	32.0	33.5	28.5	31.9
20.5	31.0	30.0	31.5	33.0	28.0	31.4
21	31.0	30.0	31.0	32.0	28.0	31.0

屋頂模型控制組實驗-A、B 空心磚

時間(minutes)	A-outside(°C)	A-inside(°C)	B-outside(°C)	B-inside(°C)
0	25.4	25.6	25.4	25.2
2	30.6	25.4	28.7	25.0
4	32.7	25.6	30.4	25.0
6	34.2	25.6	31.7	25.2
8	35.4	25.8	32.8	25.2
10	36.3	25.9	33.7	25.4
12	37.5	26.1	34.4	25.5
14	38.3	26.3	35.1	25.6
16	38.9	26.5	35.9	25.8
18	39.6	26.7	36.6	25.9
20	40.4	26.9	37.2	26.1
22	41.2	27.0	37.7	26.2
24	41.2	27.2	38.5	26.3
26	41.6	27.4	38.8	26.4
28	42.0	27.6	40.0	26.6
30	42.7	27.7	40.7	26.7
32	42.8	27.8	41.3	26.8
34	43.1	28.1	41.8	27.0
36	43.6	28.4	42.3	27.2
38	43.9	28.6	42.8	27.3
40	45.0	28.7	43.0	27.5
42	38.8	28.9	39.1	27.6
44	37.4	29.0	39.1	27.6
46	36.0	28.9	37.5	27.6
48	35.4	28.9	36.6	27.6
50	34.6	29.0	35.7	27.6
52	34.1	28.9	34.9	27.5
54	33.4	28.9	34.3	27.5
56	32.7	28.6	33.8	27.4
58	32.4	28.5	33.2	27.5
60	32.0	28.5	32.8	27.4
62	31.5	28.3	32.3	27.4
64	31.1	28.3	31.8	27.4
66	30.8	28.2	31.1	27.3
68	30.6	28.1	30.9	27.2
70	30.3	28.0	30.5	27.2
72	30.0	27.9	30.3	27.1
74	29.8	27.9	30.0	27.1
76	29.7	27.8	29.8	27.0
78	29.5	27.7	29.6	26.9
80	29.4	27.6	29.4	26.9

無空氣、有無銀漆加熱實驗-A、B 空心磚

時間(minutes)	A-outside(°C)	A-inside(°C)	B-outside(°C)	B-inside(°C)
0	25.0	25.6	25.3	25.4
2	25.5	25.7	25.2	25.5
4	25.8	25.6	25.2	25.4
6	26.2	25.6	25.4	25.3
8	26.6	25.7	25.7	25.4
10	27.1	25.7	25.9	25.3
12	27.6	25.8	26.3	25.4
14	28.2	25.9	26.6	25.4
16	28.7	26.0	26.9	25.4
18	29.2	26.0	27.2	25.5
20	29.8	26.1	27.6	25.5
22	30.3	26.2	27.9	25.5
24	30.8	26.3	28.3	25.6
26	31.3	26.4	28.6	25.6
28	31.7	26.4	28.9	25.6
30	32.2	26.5	29.2	25.7
32	32.6	26.6	29.5	25.7
34	33.1	26.7	29.8	25.7
36	33.5	26.8	30.1	25.8
38	33.9	26.9	30.4	25.8
40	34.3	27.0	30.7	25.9
42	34.2	27.1	30.9	26.0
44	34.3	27.2	31.0	26.0
46	34.2	27.3	31.1	26.0
48	34.1	27.4	31.1	26.0
50	33.9	27.4	31.1	26.0
52	33.7	27.4	31.0	26.1
54	33.5	27.4	30.9	26.0
56	33.3	27.4	30.8	26.0
58	33.1	27.4	30.6	26.0
60	32.9	27.4	30.5	26.0
62	32.6	27.4	30.3	26.0
64	32.4	27.4	30.2	26.0
66	32.2	27.4	30.1	26.0
68	32.0	27.3	29.9	25.9
70	31.8	27.3	29.8	25.9
72	31.6	27.3	29.7	25.9
74	31.4	27.2	29.5	25.9
76	31.2	27.2	29.4	25.8
78	31.1	27.2	29.3	25.8
80	30.9	27.2	29.2	25.9

有銀漆、有無空氣加熱實驗-A、B 空心磚

時間(minutes)	No-outside(°C)	No-inside(°C)	Yes-outside(°C)	Yes-inside(°C)
0	30.7	31.1	31.2	30.9
2	30.8	31.0	31.3	30.9
4	31.2	31.1	31.5	31.0
6	31.6	31.2	31.8	31.0
8	32.1	31.2	32.1	31.1
10	32.6	31.3	32.4	31.2
12	33.2	31.3	32.8	31.3
14	33.7	31.4	33.1	31.4
16	34.2	31.4	33.5	31.3
18	34.7	31.5	33.9	31.2
20	35.1	31.6	34.2	31.3
22	35.6	31.6	34.5	31.4
24	36.0	31.6	34.9	31.4
26	36.4	31.6	35.2	31.5
28	36.8	31.7	35.5	31.6
30	37.2	31.7	35.8	31.7
32	37.6	31.8	36.1	31.7
34	37.9	31.8	36.4	31.6
36	38.3	31.9	36.7	31.7
38	38.6	31.9	36.9	31.8
40	38.9	32.0	37.2	31.8
42	39.1	32.0	37.3	31.7
44	39.1	32.1	37.3	31.7
46	38.9	32.0	37.3	31.7
48	38.7	32.0	37.2	31.7
50	38.5	32.0	37.1	31.7
52	38.3	32.1	37.0	31.7
54	38.0	32.1	36.8	31.7
56	37.8	32.1	36.7	31.6
58	37.6	32.1	36.5	31.6
60	37.3	32.1	36.4	31.6
62	37.1	32.1	36.2	31.6
64	37.0	32.1	36.0	31.6
66	36.8	32.1	35.9	31.6
68	36.6	32.1	35.8	31.6
70	36.4	32.1	35.6	31.6
72	36.2	32.1	35.5	31.6
74	36.1	32.1	35.4	31.5
76	35.9	32.1	35.2	31.6
78	35.8	32.1	35.1	31.6
80	35.6	32.1	35.0	31.6

住宅控制組與操作組室外 E 點比較

時間(hours)	控制組 E(°C)	操作組 E(°C)
9	31.0	32.4
9.5	34.0	35.5
10	36.0	37.0
10.5	37.5	38.7
11	39.0	40.0
11.5	40.5	41.0
12	41.0	42.3
12.5	42.0	43.0
13	42.0	43.2
13.5	42.0	43.2
14	41.0	41.8
14.5	40.0	40.7
15	39.0	40.6
15.5	38.5	39.8
16	36.5	38.0
16.5	35.5	36.5
17	33.5	34.5
17.5	31.5	32.6
18	31.0	31.1
18.5	30.0	30.1
19	29.0	29.4
19.5	28.0	29.1
20	27.0	28.9
20.5	27.0	28.5
21	26.0	28.4

頂樓溫度各測量點在一日當中各時刻的變化情況-操作組

時間(hours)	A 天花板內溫度(°C)	室溫(°C)	E 頂樓溫度(°C)	水溫(°C)
9	24.4	25.9	32.4	26.3
9.5	24.5	26.2	35.5	27.9
10	24.6	26.5	37.0	29.6
10.5	25.0	26.7	38.7	31.2
11	25.4	27.2	40.0	32.8
11.5	25.8	27.1	41.0	33.0
12	26.3	27.5	42.3	33.3
12.5	26.7	27.9	43.0	34.3
13	27.1	28.0	43.2	34.5
13.5	27.4	28.2	43.2	34.9
14	27.6	28.3	41.8	35.7
14.5	28.0	28.3	40.7	36.0
15	28.3	28.2	40.6	36.2
15.5	28.5	28.3	39.8	36.1
16	28.5	28.2	38.0	35.5
16.5	28.7	28.3	36.5	35.0
17	28.8	28.3	34.5	34.1
17.5	28.8	28.2	32.6	33.3
18	28.9	28.3	31.1	32.5
18.5	29.0	28.3	30.1	32.0
19	29.0	28.2	29.4	31.5
19.5	29.0	28.2	29.1	31.2
20	28.8	28.1	28.9	31.0
20.5	28.5	28.0	28.5	30.8
21	28.0	28.0	28.4	30.6

空氣層對隔熱效果之影響

時間(minutes)	no-outside(°C)	no-inside(°C)	yes-outside(°C)	yes-inside(°C)
0	28.7	29.3	28.6	29.2
2	28.9	29.3	28.6	29.2
4	29.0	29.3	28.7	29.2
6	29.2	29.3	28.8	29.2
8	29.5	29.3	28.9	29.2
10	29.8	29.3	29.1	29.2
12	30.2	29.4	29.2	29.2
14	30.5	29.4	29.3	29.2
16	30.8	29.4	29.5	29.2
18	31.1	29.4	29.6	29.3
20	31.4	29.5	29.7	29.3
22	31.7	29.5	29.8	29.3
24	32.0	29.5	30.0	29.3
26	32.2	29.5	30.1	29.3
28	32.5	29.6	30.2	29.3
30	32.8	29.6	30.3	29.4
32	33.0	29.6	30.4	29.4
34	33.2	29.7	30.5	29.4
36	33.5	29.7	30.6	29.4
38	33.7	29.7	30.7	29.4
40	33.9	29.8	30.8	29.5
42	34.0	29.8	30.9	29.5
44	34.1	29.8	31.0	29.5
46	34.1	29.8	30.9	29.4
48	34.0	29.9	30.9	29.5
50	33.9	29.9	30.9	29.5
52	33.8	29.9	30.9	29.5
54	33.7	29.9	30.8	29.5
56	33.6	30.0	30.8	29.5
58	33.5	30.0	30.8	29.5
60	33.3	30.0	30.8	29.5
62	33.2	30.0	30.7	29.5
64	33.1	30.0	30.7	29.5
66	33.0	30.0	30.7	29.5
68	32.9	30.0	30.6	29.5
70	32.9	30.0	30.6	29.5
72	32.8	30.0	30.6	29.5
74	32.7	30.0	30.5	29.5
76	32.6	30.0	30.5	29.5
78	32.5	30.0	30.5	29.5
80	32.4	30.0	30.5	29.5

【評語】 030822

- 1.本計畫探討屋頂降溫法，採屋頂退熱貼，使用日常材料，方法簡單，構思良好。
- 2.若能與屋頂綠色植作做比較客觀之優劣比對，並採用無接觸式反射冷卻空氣空心致冷磚塊模組，則冷卻效果將更可觀。