

新竹市第四十四屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：地球科學

組 別：國小組

作品名稱：我來「把風」，你涼一「夏」

關 鍵 詞：捕風塔、降溫、熱對流

編 號：

作品名稱：我來「把風」，你涼一「夏」

摘要

本研究是探討涼風經由不同捕風塔型式流入屋內的降溫效果；利用牛奶盒+紙箱來模擬捕風塔+房屋，以捕風塔不同開口方向、高度、面積、相距遠近、結構體積、在屋頂的位置為研究變因，發現降溫效果佳的型式：

一、單面迎風：

(一)雙塔>單塔，雙塔克服風直接貫出的問題，有助於氣流一進一出。

(二)開口：前塔面向迎風面、後塔面向背風面。開口高度愈高且開口面積(正方形)愈大，能快速接收冷空氣、排出熱空氣，加速對流循環。

(三)捕風塔結構體積要小。

(四)雙塔相距愈近、位置愈接近迎風口，愈有助於屋內降溫。

(五)柵欄 1357 開口要交錯設計，又可防塵、防蚊蟲。

二、多面迎風：開口四面全開、避免開口相通，主要迎風面開口與背風面開口距離要近。

壹、前言

一、研究動機

全球暖化一直是我們不容忽視的議題，暑假為了躲避酷熱的天氣，我在家吹著冷氣看電視，剛好在大愛新聞看到伊朗古城雅茲德的傳統建築——「捕風塔」報導，它是在屋頂上方建置四面鏤空的高塔，捕捉來自屋頂四面八方的風，將涼風引進塔內，讓氣流一路往下導引，達到氣流冷卻效果並將屋內的熱空氣排出，而且完全不需要電力，就像一個天然的空調系統。

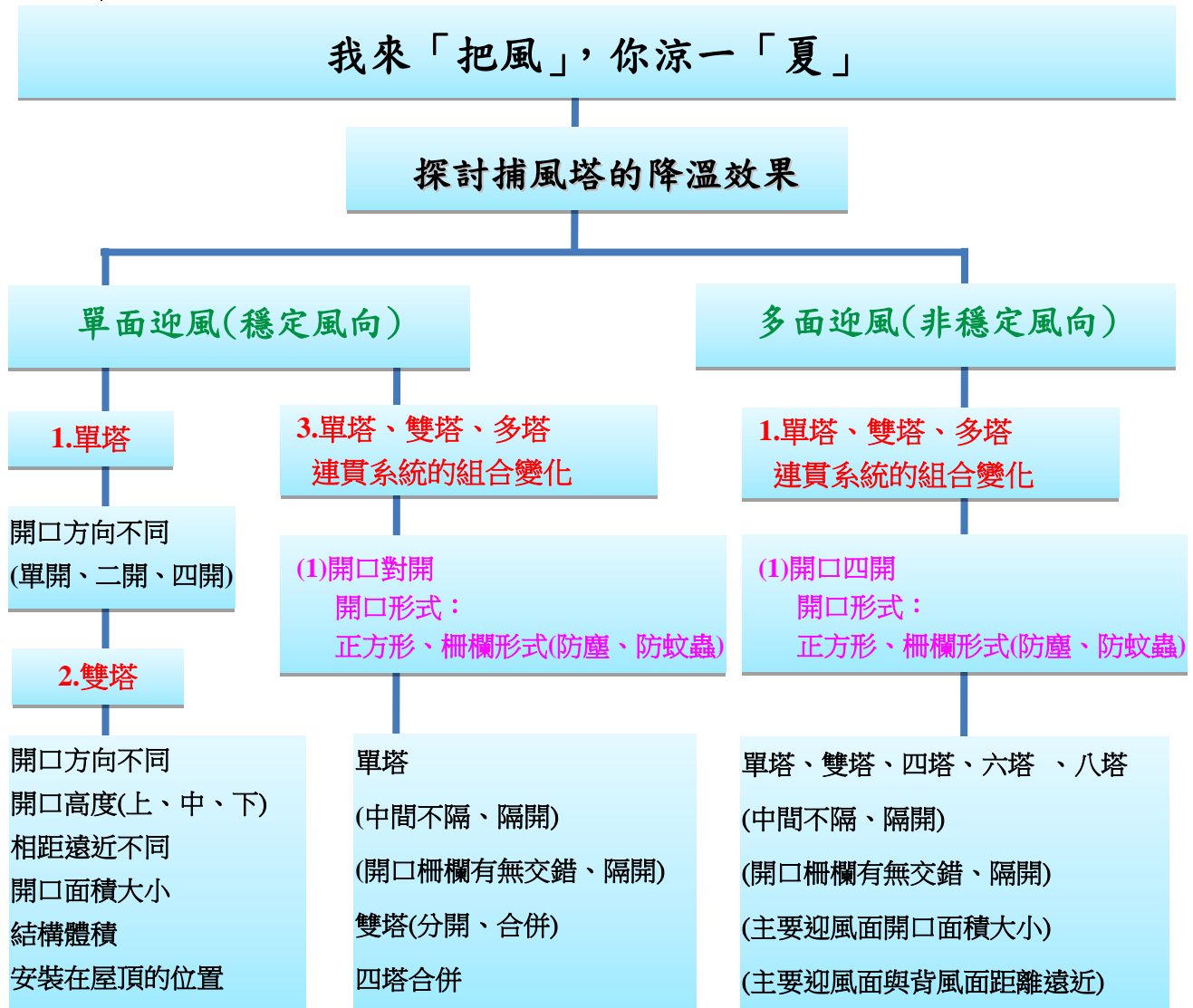
捕風塔在炎熱夏季時，冷卻系統依然能在建築裡運作；在冬季時，建築也能保持溫暖和舒適。

看到這蘊藏了古老高深智慧的設計——「捕風塔」，能以自然的方式幫建築物降溫散熱，引起了我的好奇與研究興趣。台灣地狹人稠，加上夏季高溫挑戰，冷氣空調已成為生活必備的解熱電器產品，但往往也引發夏天缺電的危機。於是我們開始在想——如果能在居住的建築物裡結合捕風塔的設置，是否能縮減使用冷氣的時間，減少電能的消耗？加上疫情之後，我們更重視居住環境的空氣品質，捕風塔如果能增加空氣循環，就能減少病菌的傳染；所以這啟發了我們科展的研究動機——想找出捕風塔不同的開口方向、開口高度、開口面積、開口形式、相距遠近、結構體積大小差異、設置在屋頂的位置，以及塔的組合(單塔、雙塔、多塔)……，哪一種捕風塔的裝置設計能有效提升對流循環與降溫效果，更能幫助屋內通風涼爽與節能減碳。



圖 1-1-1 捕風塔(畫面擷取：YouTube 大愛新聞)

二、研究目的



(自行繪製)

三、名詞解釋

(一)捕風塔

捕風塔，也叫風塔，是一種廣泛見於北非、西亞和印度的傳統建築元素，用於給建築通風、製冷。不同地區形制差異很大，這主要取決於當地的盛行風風向。(資料取自：維基百科)

(二)對流傳熱

又稱熱對流，是傳熱的三種方式之一，是指由於流體的宏觀運動而引起的流體各部分之間發生相對位移（對流），冷熱流體相互摻混所引起的熱量傳遞過程。

對流傳熱可分為強迫對流和自然對流。強迫對流，是由於外界作用推動下產生的流體循環流動。自然對流是由於溫度不同密度梯度變化，重力作用引起低溫高密度流體自上而下流動，高溫低密度流體自下而上流動。(資料取自：維基百科)

四、文獻回顧

現在環保議題愈來愈受到關注，我們查閱發現捕風塔不只使用在國外的傳統建築上，在台灣也有運用捕風塔的現代建築，藉由在建築物的高處開口，讓冷熱空氣對流，以自然通風方式來提升環境的舒適涼爽，減少冷氣空調的使用。以下是相關的建築設計：

(一)「綠色魔法學校」

2011 年落成於台南成功大學力行校區，是一棟平價綠建築，為世界第一節能的超級綠建築。它採用了 13 種綠建築設計手法，達到節能 65%，包括五種建築本體與自然通風的軟性節能手法、兩種設備減量的方法，五種設備節能技術以及再生能源技術；其中一項即是屋頂設置捕風塔，來輔助空調節能省電的效果。顯示不論是傳統古屋的改造或是現代的建築工法，如果能同時採用捕風塔設計，將能減少室內冷氣空調的使用。(資料取自：綠色魔法學校網站)



圖 1-4-1-1 綠色魔法學校捕風塔設置(自行拍攝)

(二)新竹市「教室群落、教學大樓」

為了讓學生可以在舒適的溫度下，擁有良好的學習環境，現在已經班班有冷氣，但也造成了用電量的快速成長，而且冷氣運轉釋放的高溫熱氣，也會使周遭環境更加悶熱。捕風塔的設置可以藉由自然的方式，將涼風引入、熱風引出，能夠有效改良空間的通風對流，輔助調節降低教室內的溫度，減少使用冷氣的時間，達到節能省電與環境保護。



圖 1-4-2-1 教學大樓中庭挑空，頂蓋挑高設計、二面開口，增加採光通風
(自行拍攝)



圖 1-4-2-2 教室群落式建築，設置捕風塔，讓建築「呼吸」(自行拍攝)

(三)相關研究

在實驗前，我們上網查閱捕風塔相關研究資料，發現以下研究：

表 1-4-3-1(自行繪製)

文獻	科別	作品名稱	研究主題
第一篇	第 51 屆科展 高職組 土木科	中古屋改建成綠建築之研究	改善房屋通風不良 及室內舒適度

文獻一「中古屋改建成綠建築之研究」：是研究傳統雙拼之中古屋、增建雙層牆、增建通風塔、含雙層牆以及通風塔等，進而找出最佳之改善建築物室內環境舒適度的方式。探討通風塔(單塔)的不同形狀、厚度、高度、開口斷面積、開口方向(單開、四開)的降溫效果。

而我們想研究的方向是：

- 1.文獻一通風塔是以玻璃材質製成、房屋模型是以矽酸鈣板材質組合而成；但我們的研究是以牛奶盒來模擬捕風塔、紙箱模擬房屋模型。
- 2.通風塔除了以單塔設置，增加設置雙塔、多塔組合，以及開口方向除了以單開、四開，加入二開的實驗設計，探討是否能增加風的循環對流，讓屋內空間降溫效果更好？
- 3.捕風塔開口形式：為了避免風直接從迎風面開口進、背風面開口出，而降低流入屋內的比例；加入了以開口中間隔開、交錯設計（柵欄形式交錯），探討是否能藉以提升風流入屋內的比例，影響降溫效果的表現？
- 4.捕風塔的結構體積大小與安裝在屋頂的位置，是否能讓屋內空間降溫效果更好？
- 5.台灣雖然夏季盛行西南季風，但有些房屋因受限於鄰近建築物的阻隔，風向來源不穩定，所以本研究也以多面迎風的捕風塔開口設計為考量，來探討降溫效果？

貳、研究設備及器材

捕風塔機構	A3 紙箱(42*29.7*24cm)、牛奶盒(7*7*19.7cm)、電風扇、鹵素燈管探照燈(J118mm*300W)、可再貼隱形膠帶(19mm *32.9m)
測量設備	計時器、溫度感測器、風速計、風向計(圖 2-1~2-6)

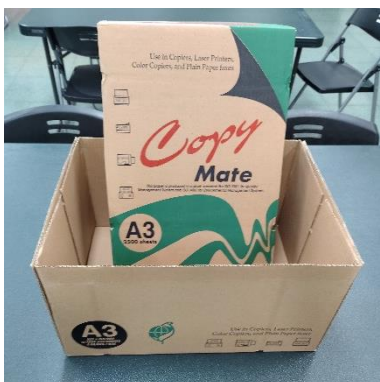


圖 2-1 A3 紙箱
(42*29.7*24cm)(自行拍攝)



圖 2-2 牛奶盒(7*7*19.7cm)
(自行拍攝)



圖 2-3 電風扇(自行拍攝)

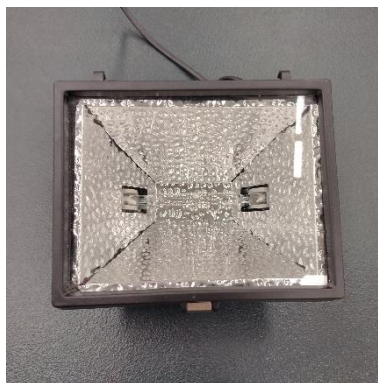


圖 2-4 鹵素燈管探照
(J118mm*300W)
(自行拍攝)



圖 2-5 可再貼隱形膠帶
(19mm*32.9m)、
計時器、溫度感測器
(自行拍攝)



圖 2-6 風速計、風向計
(自行拍攝)

參、研究過程及研究方法

一、研究過程

(一)動手製作捕風塔模型



圖 3-1-1-1 從牛奶盒 7*7*19.7cm 側面 1、6、7、12、13、18cm 處做標記(自行拍攝)



圖 3-1-1-2 上下都標記後，再用尺連接畫出水平線(自行拍攝)



圖 3-1-1-3 在每條水平線上的 1、6cm 處做標記，再用尺連接畫出垂直線(自行拍攝)

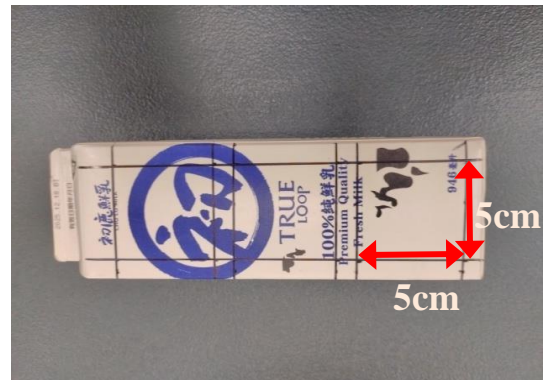


圖 3-1-1-4 側面形成 5*5cm 正方形*3，每個正方形相距 1cm(自行拍攝)



圖 3-1-1-5 用美工刀將開口位置「上」的正方形和瓶口去除(自行拍攝)



圖 3-1-1-6 捕風塔模型製作完成(自行拍攝)

(二)動手製作房屋模型



圖 3-1-2-1 準備紙箱 42*29.7*24cm
(自行拍攝)



圖 3-1-2-2 從紙蓋長邊每 2cm 處做標記
(自行拍攝)

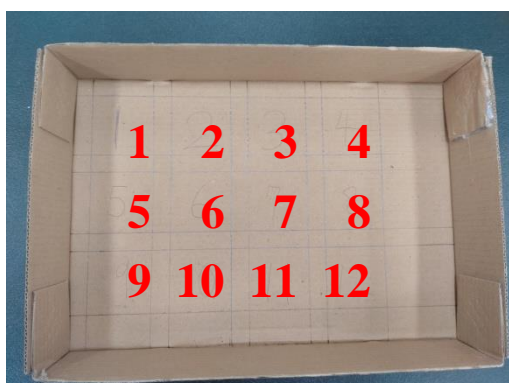


圖 3-1-2-3 從長邊依序畫出 5*5cm 正方形*12, 每個正方形相距 2cm、加上編號 1~12
(自行拍攝)

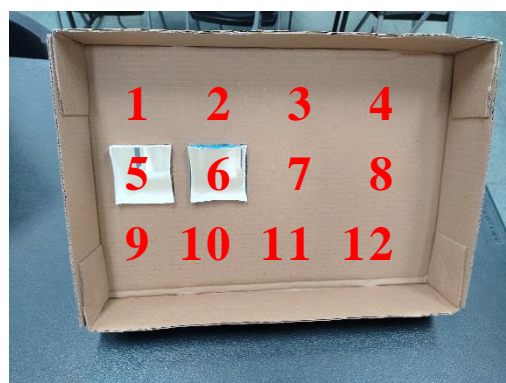


圖 3-1-2-4 用美工刀去除編號 5、6 位置形成缺口, 將牛奶盒插入缺口處(自行拍攝)



圖 3-1-2-5 牛奶盒突出高度 18cm
(自行拍攝)



圖 3-1-2-6 將紙蓋覆蓋在紙箱上, 房屋模型製作完成(自行拍攝)

二、研究方法



圖 3-2-1 以紙箱模擬房屋室內空間，將探照燈放置於 A3 紙箱 (42*29.7*24cm)，並將溫度感測器測溫探頭用膠帶貼於紙箱內(自行拍攝)

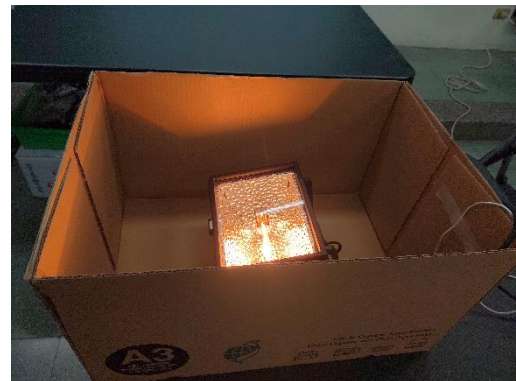


圖 3-2-2 打開探照燈，模擬房屋內部室溫(自行拍攝)



圖 3-2-3 以牛奶盒模擬捕風塔，將它插入紙箱蓋子缺口處，並以隱形膠帶黏貼接縫處，防止溫度的散失(自行拍攝)



圖 3-2-4 在捕風塔上再用紙箱覆蓋，隔絕外界溫度(自行拍攝)

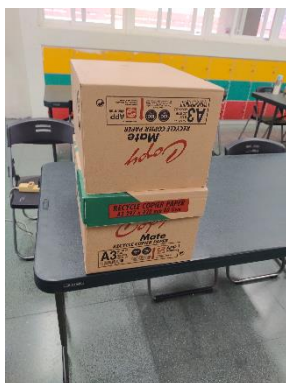


圖 3-2-5 利用燈光熱度調溫，當紙箱內部溫度達到 30°C，即關掉探照燈(自行拍攝)



圖 3-2-6 移開覆蓋的紙箱，以電扇模擬風吹，測量吹風 5 分鐘前後紙箱內部的溫度變化(自行拍攝)

肆、研究結果

一、資料取得

(一)前導實驗

我們是以牛奶盒模擬捕風塔、紙箱模擬房屋室內空間，將溫度感測器測溫探頭用膠帶貼於紙箱內，實驗地點是在校園操場空曠的地方，將不同的捕風塔裝置設計，同時放在迎風面，實測 30 分鐘後觀察紙箱內部的溫度變化，探討各組捕風塔裝置機構調節溫度的優劣。但因紙箱太輕、新竹風又大，即使用椅子加強固定紙箱，有時忽然一陣強風吹來，常把整組捕風塔吹得散落四處；又或是實測中遇到下雨天，實驗只好中斷。因在天候狀況不易掌控，導致實驗難以進行的考量之下，為求實驗順暢，於是我們決定改在室內環境進行模擬實驗。



圖 4-1-1-1 捕風塔裝置因風大而吹得散落四處(自行拍攝)



圖 4-1-1-2 遇到下雨天，實驗被迫中斷(自行拍攝)

(二)正式實驗

本研究是以牛奶盒(7*7*19.7cm)模擬捕風塔，A3 紙箱(42*29.7*24cm)模擬房屋室內空間，將牛奶盒插入紙箱蓋子上的缺口處，捕風塔裝置機構即完成。研究設計是將紙箱內部溫度固定(30°C)，利用電扇模擬戶外環境風吹(註 1)，探討風經由不同型式的捕風塔裝置流入紙箱內，是否能調節紙箱內部溫度，達到降溫效果？

為了讓每次實驗能固定紙箱內部的溫度，我們將探照燈放置於紙箱內，利用燈光熱度調溫來模擬房屋內部溫度，並將溫度感測器測溫探頭用膠帶貼於紙箱內；以捕風塔的開口方向(A、B、C、D)、開口高度(上、中、下)、開口面積(3*3、4*4、5*5cm)、開口形式(正方形、柵欄)、相距遠近、結構體積、連貫系統(單塔、雙塔、多塔)等變因，做為本研究的實驗組，並以屋頂不安裝捕風塔為對照組。

當紙箱內部的溫度達到 30°C 即關掉探照燈，立刻打開電扇吹風並記錄溫度，每隔 1 分鐘記錄一次以觀察降溫趨勢；每項變因實驗共 5 分鐘、再計算吹風 5 分鐘前後的溫度差異，分析不同變因對調節降低紙箱內部溫度的效果(註 2)。溫度下降幅度愈大，表示降溫效果愈好。

註 1：電扇風速：4.9 m/s

註 2：模擬實驗在密閉教室內進行，以冷氣設定 22°C、強度 5 來控制教室溫度；但因我們的研究時程長，經歷秋冬，有時遇到冷氣團或寒流來襲，雖然冷氣定溫 22°C，教室仍會低於 22°C，為求實驗結果的差異性分析更為精準，同一項變因都在同一天實驗以做為比較。

→ 首先我們想探討在單面迎風(穩定風向)下，屋頂有無安裝捕風塔機構及捕風塔的不同開口方向(A、B、C、D)，哪一種裝置設計對屋內的降溫效果較好？

二、單面迎風(穩定風向)

(一)比較屋頂有無安裝捕風塔對屋內的降溫效果



圖 4-2-1-1 捕風塔的不同開口方向(A、B、C、D)(自行拍攝)

表 4-2-1-1(自行繪製)

捕風塔型式	無安裝	有安裝				
	不裝塔	開口 A	開口 AB	開口 AC	開口 AD	開口 ABCD
吹風 5 分鐘後 降溫(°C)	1.1	7.2	6.6	3.9	6.3	4.7
降溫效果排名	6	1	2	5	3	4

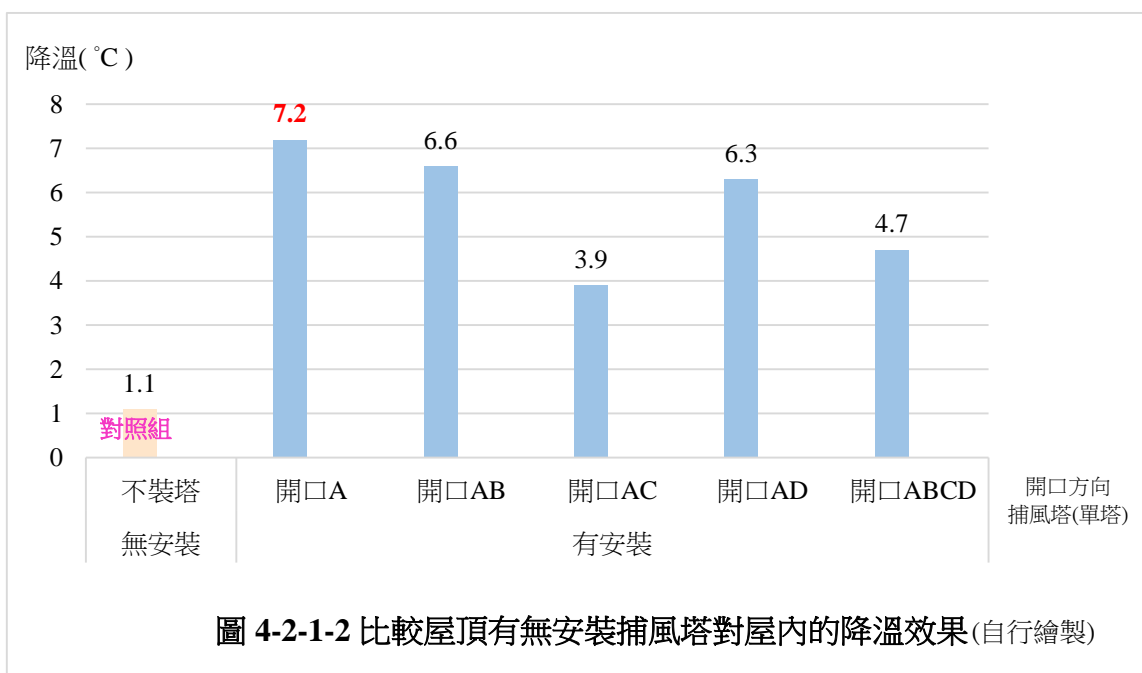


圖 4-2-1-2 比較屋頂有無安裝捕風塔對屋內的降溫效果(自行繪製)

發現：1.房屋有安裝捕風塔，不論開口方向 A、AB、AC、AD、ABCD，吹風 5 分鐘後的降溫效果都優於無安裝；可知**有安裝捕風塔**可以有效調節降低房屋內部的溫度(最高相差 6.1°C)。

2.再比較捕風塔不同開口方向：開口 A 的降溫效果最好(7.2°C)，可知捕風塔**單一開口、且方向在迎風面**，最有效於屋內空間降溫。我們原本推測如果開口 AC(對開)，風可以從迎風面 A 開口進入屋內，再從背風面 C 開口出去，有助於屋內氣流的一進一出，達到較佳的降溫效果，但實驗結果不符推測。

➡ 於是我們在想會不會是單塔對開型式，可能會讓有些風直接從開口貫穿出去，反而不容易流入屋內進行溫度調節？因此我們以開口 A、AC 為研究對象，加入了雙塔(前塔+後塔)型式來研究探討：



圖 4-2-1-3 單塔對開型式(開口 AC)，風可能直接貫出(自行拍攝)

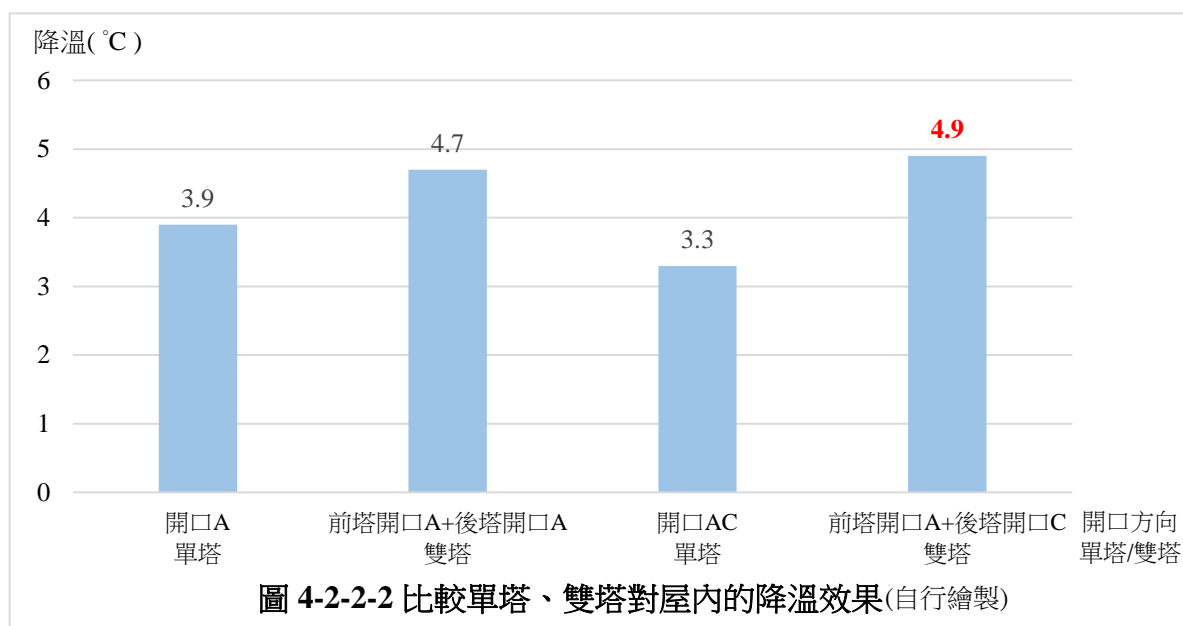
(二)比較單塔、雙塔對屋內的降溫效果



圖 4-2-2-1 單塔、雙塔(自行拍攝)

表 4-2-2-1(自行繪製)

捕風塔型式	單塔 開口 A	雙塔 前塔開口 A+後塔開口 A	單塔 開口 AC	雙塔 前塔開口 A+後塔開口 C
吹風 5 分鐘後 降溫(°C)	3.9	4.7	3.3	4.9
降溫效果	差	優	差	優



發現：在開口方向同為 A 或 AC 的條件下，比較單塔、雙塔，吹風 5 分鐘的降溫效果：

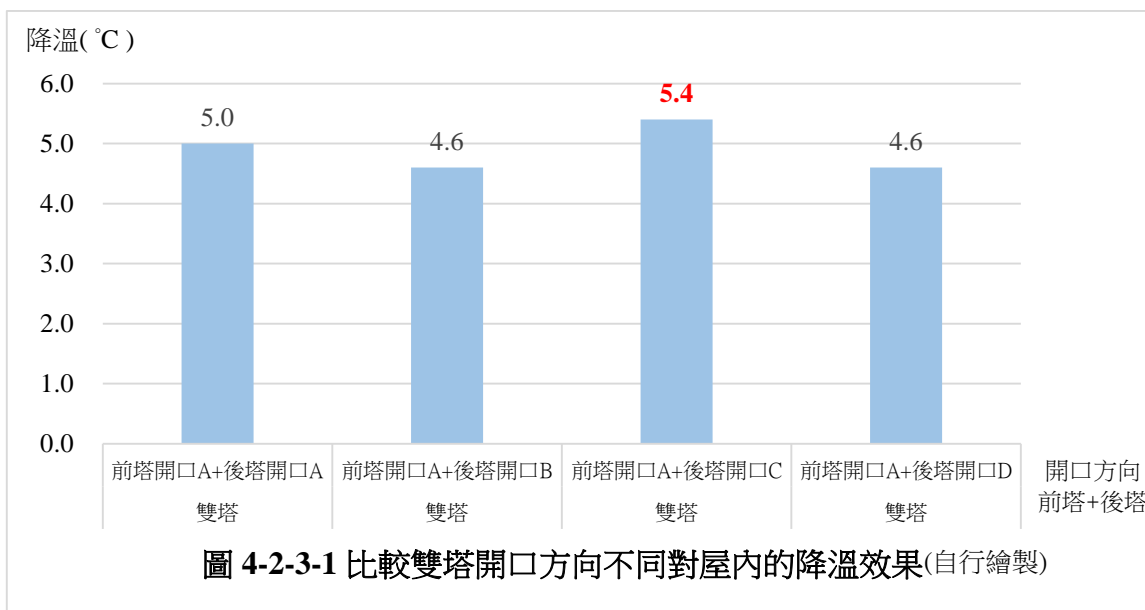
雙塔優於單塔。而且可知雙塔的裝置機構克服了風直接貫出的問題，可以幫助屋內氣流的一進一出，降溫效果佳。

➔ 於是我們接下來以雙塔為研究對象，延續實驗一的研究結果，想了解前塔開口在迎風面(開口 A)+後塔哪一種開口方向的降溫效果較好？

(三)比較雙塔開口方向不同對屋內的降溫效果

表 4-2-3-1(自行繪製)

捕風塔 開口方向	雙塔 前塔開口 A+後塔開口 A	雙塔 前塔開口 A+後塔開口 B	雙塔 前塔開口 A+後塔開口 C	雙塔 前塔開口 A+後塔開口 D
吹風 5 分鐘後 降溫(°C)	5	4.6	5.4	4.6
降溫效果排名	2	3	1	3



發現：在雙塔的條件下，比較前塔開口在迎風面(開口 A)+後塔開口方向不同，吹風 5 分鐘的降溫效果：前塔開口 A+後塔開口 C 的降溫效果最好(5.4°C)；可知捕風塔前塔開口面向迎風面+後塔開口面向背風面，有助於屋內空間降溫。

→ 接下來以前塔開口 A+後塔開口 C 為研究對象，比較前塔+後塔不同開口高度，如何影響降溫效果？

(四)比較雙塔開口高度不同對屋內的降溫效果

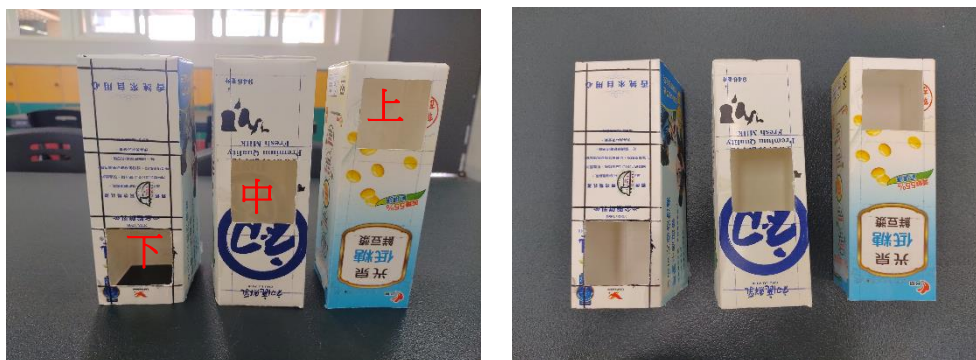
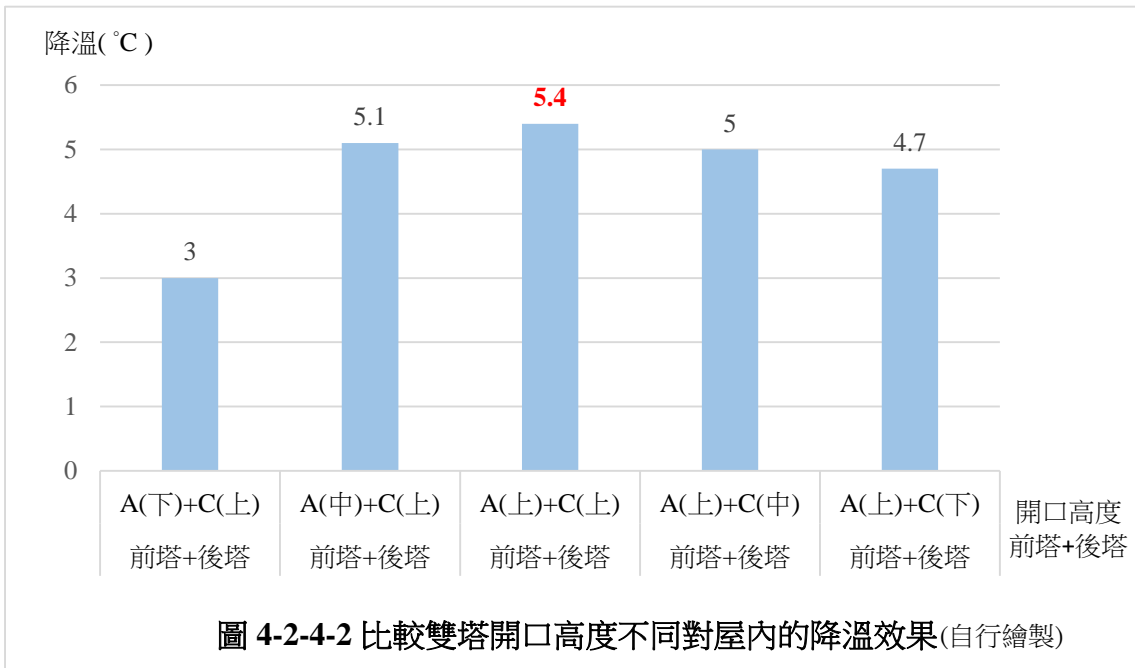


圖 4-2-4-1 開口高度：下、中、上(自行拍攝)

表 4-2-4-1(自行繪製)

捕風塔開口高度	前塔+後塔 A(下)+C(上)	前塔+後塔 A(中)+C(上)	前塔+後塔 A(上)+C(上)	前塔+後塔 A(上)+C(中)	前塔+後塔 A(上)+C(下)
吹風 5 分鐘後降溫(°C)	3	5.1	5.4	5	4.7
降溫效果排名	5	2	1	3	4



發現：在前塔開口 A+後塔開口 C 的條件下，比較前塔+後塔開口高度不同，吹風 5 分鐘的降溫效果：前塔開口 A(上)+後塔開口 C(上)的降溫效果最好(5.4°C)，不論是前塔或後塔，開口高度愈高，愈有助於屋內空間降溫。

我們原本推測——因為冷空氣密度較大會向下移動，如果前塔開口(下)能接收更多冷空氣；熱空氣密度較小而會上升，後塔開口(上)能排出更多熱空氣，對流循環較快，降溫會較多；但實驗發現前塔開口(上)更有效於降溫，推測前塔開口(上)能更快接收冷空氣，更能加速對流循環，降溫效果會更顯著。

→ 接下來以前塔開口 A(上)+後塔開口 C(上)為研究對象，探討前後塔相距遠近，如何影響降溫效果？

(五)比較雙塔相距遠近不同對屋內的降溫效果

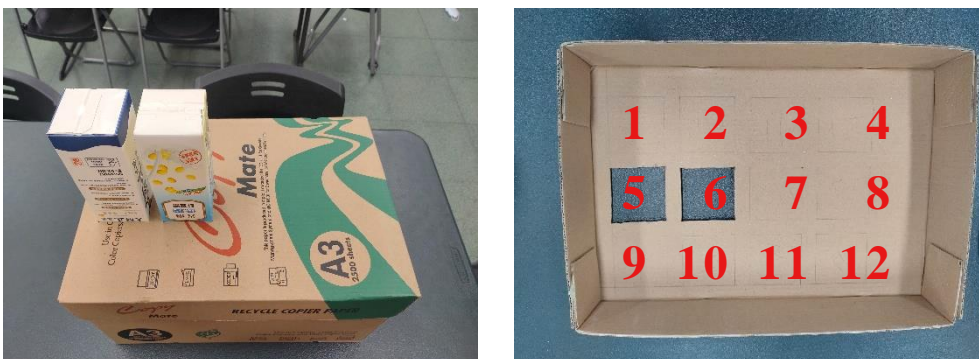
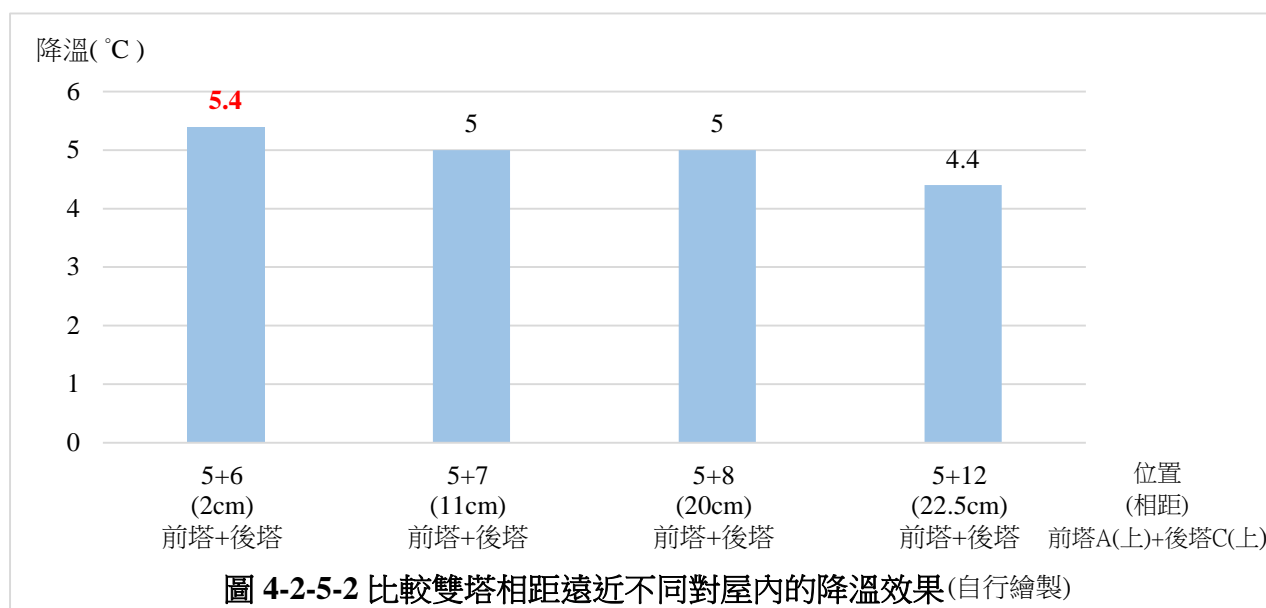


圖 4-2-5-1 前塔+後塔位置(自行拍攝)

表 4-2-5-1(自行繪製)

捕風塔位置(相距)	前塔 A(上)+後塔 C(上) 5+6 (2cm)	前塔 A(上)+後塔 C(上) 5+7 (11cm)	前塔 A(上)+後塔 C(上) 5+8 (20cm)	前塔 A(上)+後塔 C(上) 5+12 (22.5cm)
吹風 5 分鐘後降溫(°C)	5.4	5	5	4.4
降溫效果排名	1	2	2	3



發現：在前塔開口 A(上)+後塔開口 C(上)的條件下，比較前塔+後塔相距遠近不同，吹風 5 分鐘的降溫效果：前塔位置 5+後塔位置 6(相距 2cm)的降溫效果最好(5.4°C)，可知捕風塔前塔+後塔相距愈近，愈可看見有助於屋內空間降溫的趨勢。

➡ 接下來以前塔 5A(上)+後塔 6C(上)、相距 2cm 為研究對象，探討捕風塔的開口面積大小不同，如何影響降溫效果？

(六)比較捕風塔的開口面積大小不同對屋內的降溫效果

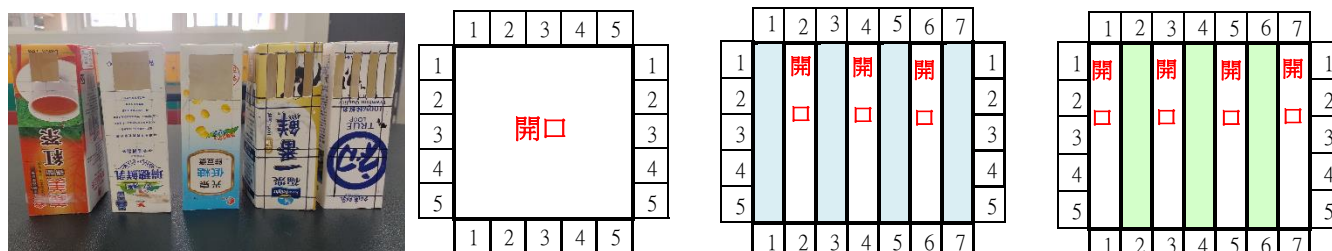
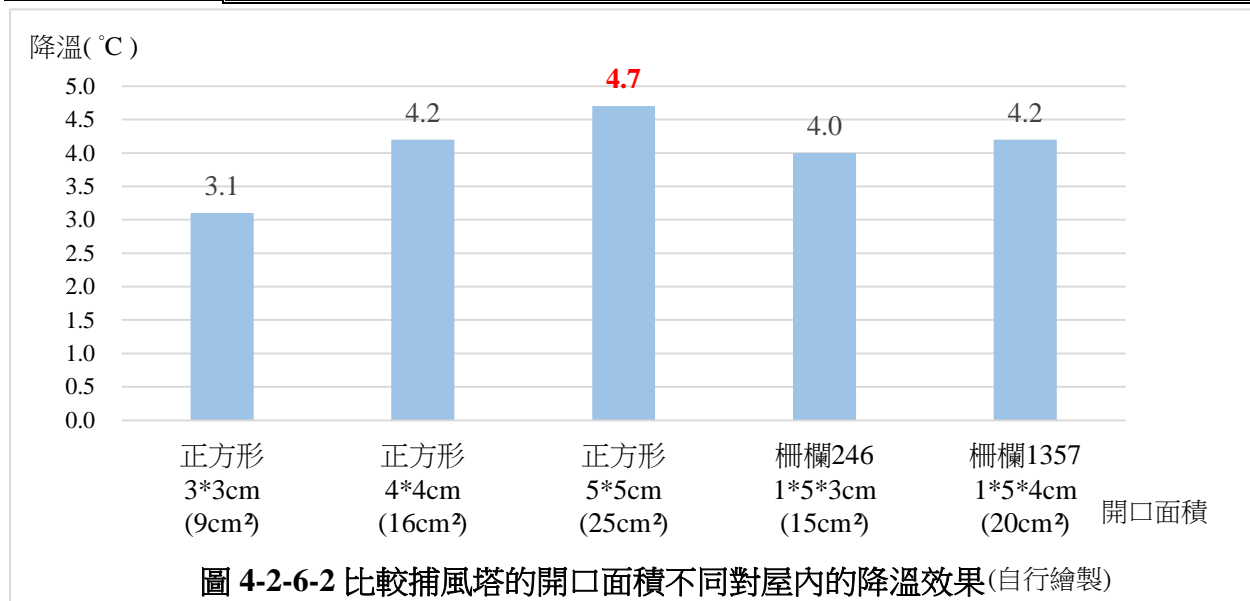


圖 4-2-6-1 開口面積形式——正方形、柵欄 246、柵欄 1357(自行拍攝、繪製)

表 4-2-6-1(自行繪製)

捕風塔 開口面積	正方形 3*3cm (9cm ²)	正方形 4*4cm (16cm ²)	正方形 5*5cm (25cm ²)	柵欄 246 1*5*3cm (15cm ²)	柵欄 1357 1*5*4cm (20cm ²)
吹風 5 分鐘後 降溫(°C)	3.1	4.2	4.7	4	4.2
降溫效果排名	差	中	優	差	優



發現：在前塔 5A(上)+後塔 6C(上)的條件下，比較開口面積大小，吹風 5 分鐘的降溫效果：開口正方形形式：5*5cm 最好(4.7°C)。開口柵欄形式：1357 (1*5*4 cm)最好(4.2°C)。可知捕風塔迎風面開口面積愈大，愈有助於屋內空間降溫。

——>接下來以前塔 5A(上)+後塔 6C(上)、相距 2cm、開口面積 5*5cm 為研究對象，探討捕風塔的結構體積大小，如何影響降溫效果？

(七)比較捕風塔的結構體積不同對屋內的降溫效果

表 4-2-7-1(自行繪製)

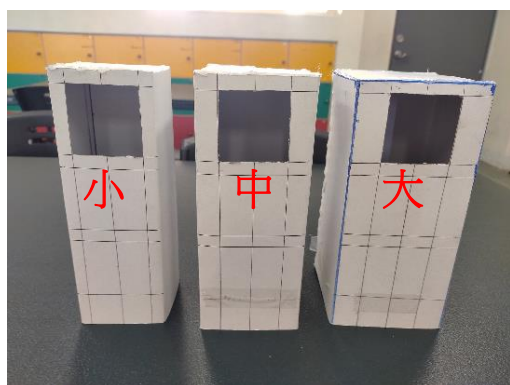
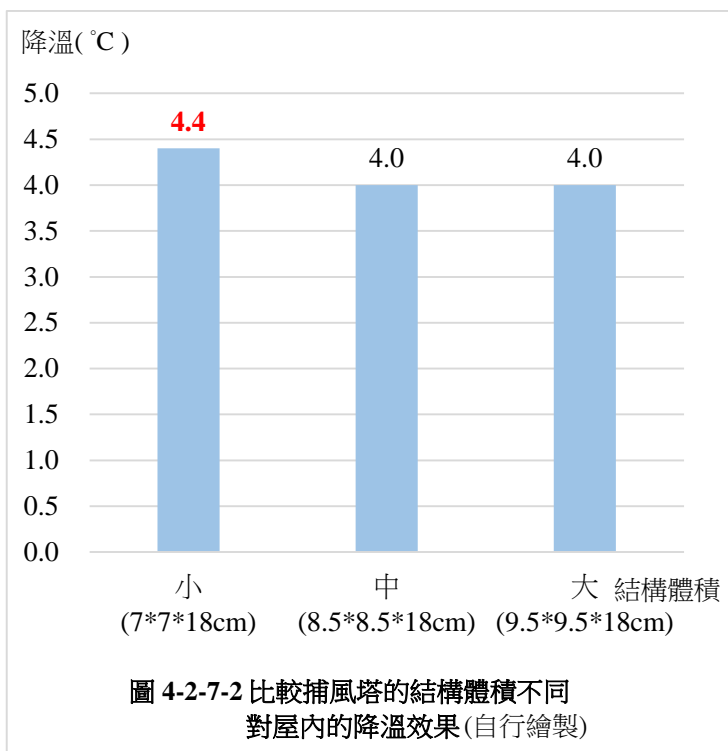


圖 4-2-7-1 捕風塔的結構體積(自行拍攝)

捕風塔 結構體積	小 (7*7*18cm)	中 (8.5*8.5*18cm)	大 (9.5*9.5*18cm)
比例 (捕風塔體積：房屋體積)	1：34	1：23	1：18
吹風 5 分鐘後 降溫(°C)	4.4	4	4
降溫效果排名	1	2	2



發現：在捕風塔 5A(上)+6C(上)、開口面積 5*5cm 的條件下，比較捕風塔結構體積不同，吹風 5 分鐘的降溫效果：體積小 7*7*18cm 較優，體積中、大的降溫效果相同。我們原本推測捕風塔體積較大，能夠吹入塔內的風較多，產生的對流循環較強，調節屋內溫度較顯著；但實驗發現體積小調節屋內溫度表現效果較好，可知捕風塔結構體積大小與房屋空間須具有一定比例(註 3)，才能更有助於屋內空間降溫。

註 3：本研究實驗最佳比例 = 1 : 34

→ 在實驗五研究結果得知——前塔+後塔相距愈近、降溫效果愈好。接下來我們想延續探討，在前塔+後塔相距的距離相同，捕風塔安裝在屋頂的位置不同，如何影響降溫效果？

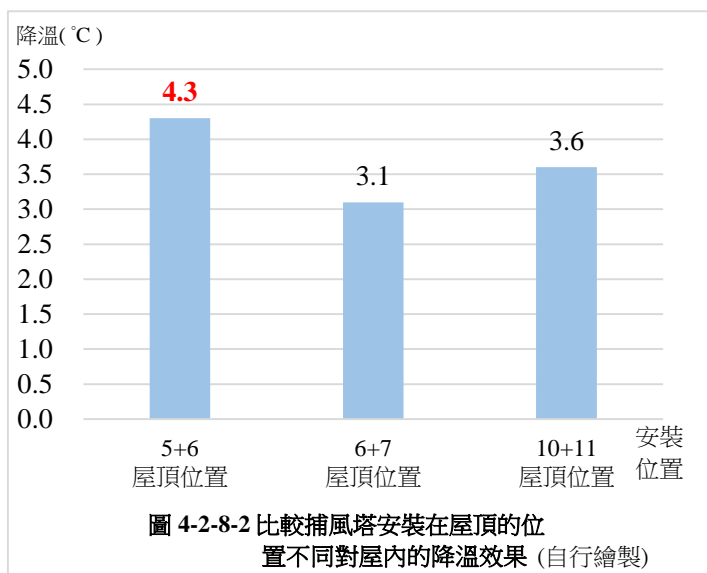
(八)比較捕風塔安裝在屋頂的位置不同對屋內的降溫效果



圖 4-2-8-1 安裝在屋頂的位置(自行拍攝)

表 4-2-8-1(自行繪製)

安裝在屋頂的位置	5+6	6+7	10+11
吹風 5 分鐘後降溫(°C)	4.3	3.1	3.6
降溫效果排名	1	3	2



發現：在捕風塔前塔 A(上)+後塔 C(上)距離相同的條件下，比較捕風塔安裝在屋頂的位置不同，吹風 5 分鐘的降溫效果：屋頂位置 5+6 最好(4.3°C)，可知捕風塔安裝在屋頂的位置愈接近迎風口，且雙塔相距愈近，愈有助於屋內空間降溫。

即 5A(上)+6C(上)、相距 2cm、開口面積大 5*5cm、結構體積小 7*7*18cm、降溫效果最優，且雙塔優於單塔。

→ 綜合以上研究結果，我們也想進一步探討：

- 1.單塔開口 AC(上)會有風直接貫出的問題，於是我們在單塔加入了中間隔開的設計以減低風會貫出的可能來探討比較？
- 2.前塔+後塔相距愈近(相距 2cm)，降溫效果愈好。於是也加入了前塔+後塔合併(雙塔合併、相距 0cm)的設計來探討比較？
- 3.雙塔降溫效果優於單塔。如果安裝愈多支捕風塔形成通風對流連貫系統，降溫效果是否也會隨著塔的數量增加而更顯著？

(九)比較單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化對屋內的降溫效果

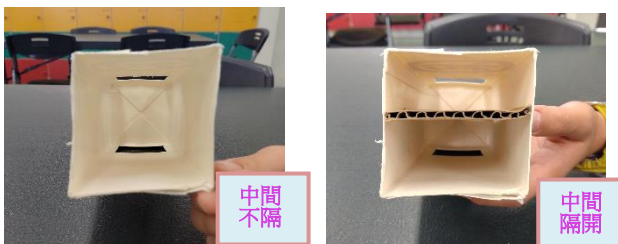


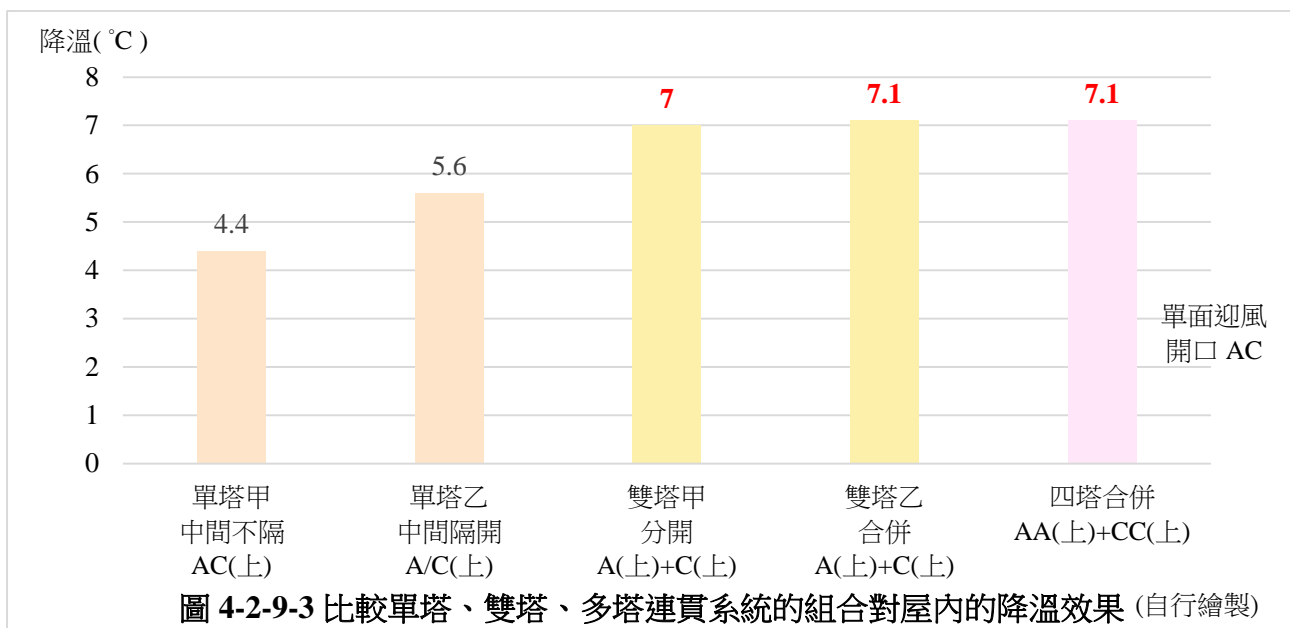
圖 4-2-9-1 單塔：中間不隔、中間隔開
(自行拍攝)



圖 4-2-9-2 雙塔：分開、合併(自行拍攝)

表 4-2-9-1(自行繪製)

捕風塔型式	單塔甲 中間不隔 AC(上)	單塔乙 中間隔開 A/C(上)	雙塔甲 分開 A(上)+C(上)	雙塔乙 合併 A(上)+C(上)	四塔合併 AA(上)+CC(上)
圖示 → 開口 迎風面 A D — B C 背風面					
吹風 5 分鐘後 降溫(°C)	4.4	5.6	7	7.1	7.1
降溫效果排名	單 2	單 1	雙 2	雙 1	



發現：在捕風塔開口 AC (上)的條件下，吹風 5 分鐘的降溫效果：

- 1.單塔：乙優於甲，乙中間隔開能大幅減少風直接從開口處貫出的現象，有效調降屋內溫度。因此如果房屋空間大小有限，只能安裝單支捕風塔，單塔乙中間隔開 5A(上)/C(上)型式為最佳選擇。
- 2.四塔合併和雙塔甲、乙的降溫效果都優於單塔，但三者的降溫效果差異極小(相差 $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$)；可知以連貫系統整體來看，並不是隨著捕風塔的數量增加，降溫效果就更顯著。因此想要降溫效果好，雙塔乙合併 5A(上)+6C(上)型式為最佳選擇，又可以節省安裝空間與工法，落實環保節能。

小結一：在單面迎風(穩定風向)的情況下，捕風塔裝置設計——前塔開口面向迎風面+後塔開口面向背風面、開口高度在上方、開口面積大(5*5cm)、安裝在屋頂的位置愈接近迎風口，雙塔乙合併 5A(上)+6C(上)為最佳裝置機構。

——因現在都市地區大樓林立，有些房屋因受限於鄰近建築物的阻隔，除了主要風向，風向可能來自多面，所以我們也以多面迎風的情況為考量，將捕風塔設計為四面開口迎風，來探討降溫效果？

三、多面迎風 (非穩定風向)

(一)比較單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化對屋內的降溫效果

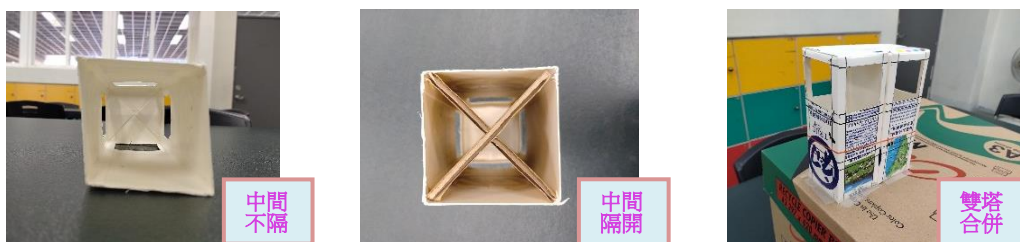


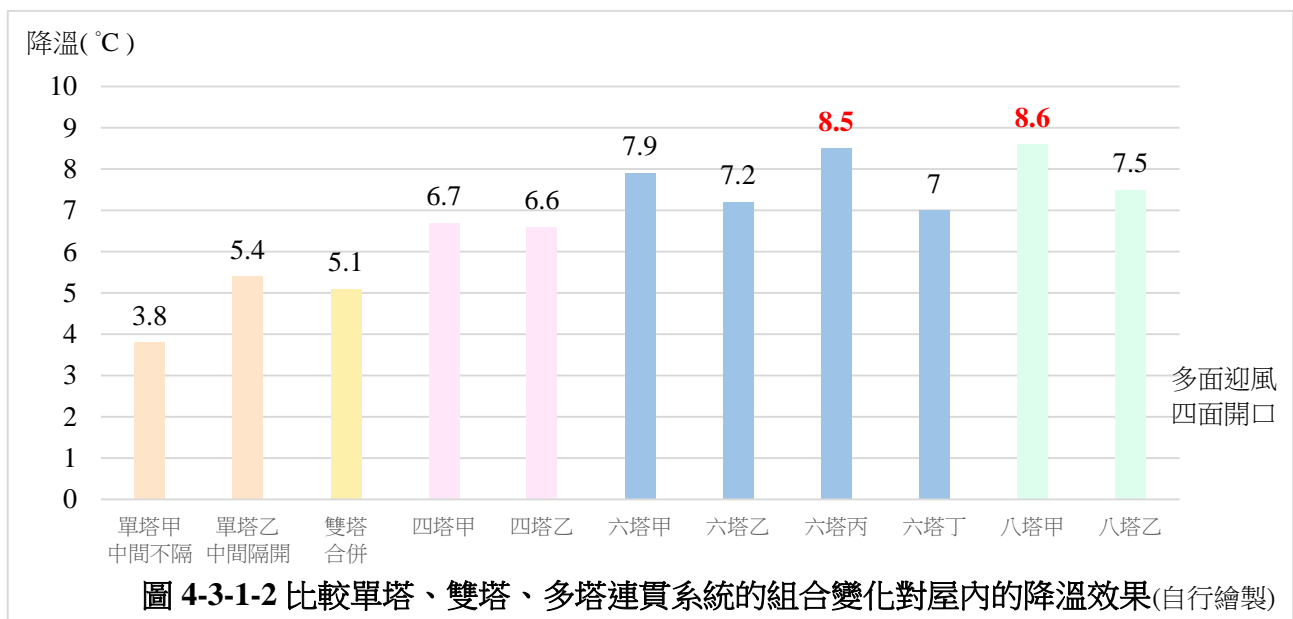
圖 4-3-1-1 四面開口(單塔中間不隔、單塔中間隔開、雙塔合併)(自行拍攝)

表 4-3-1-1(自行繪製)

捕風塔型式	單塔甲中間不隔 ABCD (上)	單塔乙中間隔開 A/B/C/D (上)	雙塔合併 ABBCDD(上)	四塔甲 ABCD(上)	四塔乙 AABBCCDD(上)
圖示 → 開口 迎風面 A D — B C 背風面					
吹風 5 分鐘後 降溫(°C)	3.8	5.4	5.1	6.7	6.6
降溫效果排名	單 2	單 1		四 1	四 2

表 4-3-1-2(自行繪製)

捕風塔型式	六塔甲 AABCCD(上)	六塔乙 ABBCDD(上)	六塔丙 AABCCD (上)	六塔丁 ABBCDD (上)	八塔甲 AABBCCDD (上)	八塔乙 ABBBCDDD (上)
圖示 → 開口 迎風面 A D — B C 背風面						
吹風 5 分鐘後 降溫(°C)	7.9	7.2	8.5	7	8.6	7.5
降溫效果排名	六 2	六 3	六 1	六 4	八 1	八 2



發現：在捕風塔四面開口的條件下，吹風 5 分鐘的降溫效果：

1.單塔、雙塔：單塔乙中間隔開優於單塔甲中間不隔，二者降溫效果差異明顯(相差 1.6°C)，推測中間不隔因結構體有開口相通，導致風可能會從其它開口貫出，減低涼風流入屋內的的比例；中間隔開則克服了這個現象，能有效調降屋內溫度。雙塔合併也比單塔乙中間隔開的降溫效果差，雙塔合併雖然是二個結構體合併，但在單一個結構體也有開口相通。因此如果房屋空間大小有限，單塔乙中間隔開 5A/B/C/D (上)型式為最佳選擇。

2.四塔：甲、乙的降溫效果很接近(相差 0.1°C)，雖然乙的主要迎風面開口面積比甲大(甲 25cm²、乙 50cm²)，降溫表現應該會較好，但因乙在單一個結構體也有開口相通，同樣容易形成風可能從其它開口貫出的現象，顯示捕風塔的連貫系統，應避免開口相通的设计。六塔和八塔即避免了這樣的裝置。

3.六塔：甲、丙優於乙、丁，可知甲、丙的主要迎風面開口面積大有助於降溫；其中又以六塔丙表現最優，推測應是主要迎風面開口與背風面開口距離較近的原因(甲 21cm、丙 14cm)。

4.八塔：甲優於乙，二者降溫效果差異明顯(相差 1.1°C)，可知八塔甲主要迎風面開口面積大有助於降溫。

再者，八塔甲與六塔丙的降溫效果很接近(相差 0.1°C)，二者主要迎風面開口面積相同，但六塔丙主要迎風面與背風面距離較近(六塔丙 14cm、八塔甲 28cm)，所以降溫表現突出。雖然以連貫系統整體來看，塔數愈多、降溫效果愈好(八塔 > 六塔 > 四塔)。但若考量節省安裝空間與工法，六塔丙 AABCCD 型式為最佳選擇，降溫效果好且環保節能。

小結二：在多面迎風(非穩定風向)的情況下，捕風塔裝置設計——開口四面全開、開口高度在上方、主要迎風面開口面積大、避免開口相通、主要迎風面開口與背風面開口距離近，六塔丙 AABCCD 為最佳裝置機構。



圖 4-3-1-3 開口相通(自行拍攝)



圖 4-3-1-4 六塔丙
(自行拍攝)

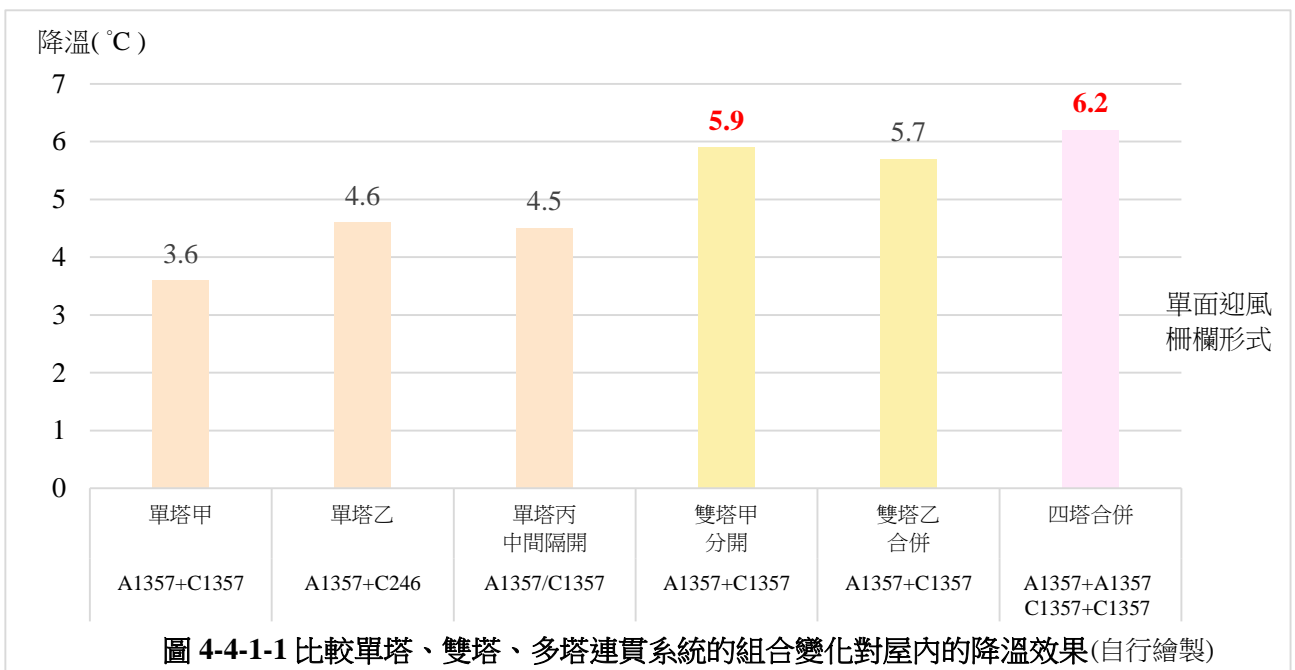
在實驗六研究結果得知——開口面積大可以達到較佳的降溫效果，但因考量現實環境灰塵多、夏季蚊蟲頻頻出沒，開口大可能帶來較多的灰塵、蚊蟲進入屋內，因此我們將正方形開口改變設計為柵欄形式，藉以兼顧防塵、防蚊蟲的功能，並以單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化，探討降溫效果？

四、開口柵欄形式(單面迎風)

(一)比較單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化對屋內的降溫效果

表 4-4-1-1(自行繪製)

捕風塔型式	單塔甲 A1357+C1357	單塔乙 A1357+C246	單塔丙 中間隔開 A1357/C1357	雙塔甲分開 A1357+C1357	雙塔乙合併 A1357+C1357	四塔合併 A1357+A1357 C1357+C1357
圖示 → 開口迎風面 A D ——— B C 背風面						
吹風 5 分鐘後降溫(°C)	3.6	4.6	4.5	5.9	5.7	6.2
降溫效果排名	單 3	單 1	單 2	雙 1	雙 2	



發現：在捕風塔開口柵欄形式、開口 A、C(上)的條件下，吹風 5 分鐘的降溫效果：

1. 整體來看：四塔 > 雙塔 > 單塔，隨著塔的數量增加，降溫效果更顯著，四塔合併降溫效果最優，可知迎風面開口面積大有助於降溫。
2. 單塔：乙、丙降溫效果很接近(相差 0.1°C)、且都明顯優於甲，可知乙將迎風面、背風面以開口交錯設計，就能有效減低風直接貫出的現象，不須採用丙中間隔開的工法。因此如果房屋空間大小有限，只能安裝單支捕風塔，單塔乙 5A1357(上)+C246(上)型式為最佳選擇，工法簡單又有效。

3.雙塔、四塔：四塔合併>雙塔甲>雙塔乙、四塔合併為二組雙塔甲結構的組合，但二者降溫效果差異不大(相差 0.3°C)，雙塔甲又比四塔合併較節省安裝空間與工法，因此**雙塔甲**分開 5A1357(上)+6C1357(上)型式為最佳選擇、環保又節能。

小結三：在單面迎風(穩定風向)的情況下，捕風塔兼顧防塵、防蚊蟲的裝置設計——前塔開口面向迎風面+後塔開口面向背風面、開口高度在上方、開口面積大(柵欄 1357 形式)、安裝在屋頂的位置愈接近迎風口，雙塔甲分開 5A1357(上)+6C1357(上)為最佳裝置機構。



圖 4-4-1-2 雙塔甲分開
(自行拍攝)

五、開口柵欄形式(多面迎風)

(一)比較單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化對屋內的降溫效果

表 4-5-1-1(自行繪製)

捕風塔型式	單塔甲 A1357+B1357 C246+D246	單塔乙 A1357+B246 C246+D1357	單塔丙 A1357+B1357 C1357+D1357	單塔丁 中間隔開 A1357/B1357 C1357/D1357	雙塔甲合併 A1357+B2461357 C1357+D1357246	雙塔乙合併 A1357+B1357246 C1357+D2461357
圖示 → 開口 迎風面 A D — B C 背風面						
吹風 5 分鐘後 降溫(°C)	2.9	2.5	2.6	3.6	3.6	4
降溫效果排名	單 2	單 4	單 3	單 1	雙 2	雙 1

表 4-5-1-2(自行繪製)

捕風塔型式	四塔甲 A1357+ B1357+ C1357+ D1357	四塔乙 A13571357+ B13571357+ C13571357+ D13571357	六塔甲 A13571357+ B1357+ C13571357+ D1357	六塔乙 A1357+ B13571357+ C1357+ D13571357	六塔丙 A13571357+ B1357+ C13571357+ D1357	六塔丁 A1357+ B13571357+ C1357+ D13571357
圖示 → 開口 迎風面 A D — B C 背風面						
吹風 5 分鐘後 降溫(°C)	6.4	5.5	7	6.1	7	4.9
降溫效果排名	四 1	四 2	六 1	六 2	六 1	六 3

表 4-5-1-3(自行繪製)

捕風塔型式	八塔甲 A13571357+ B13571357+ C13571357+ D13571357	八塔乙 A1357+ B135713571357+ C1357+ D135713571357
圖示 → 開口迎風面 A D — B C 背風面		
吹風 5 分鐘後降溫(°C)	7.2	6.6
降溫效果排名	八 1	八 2

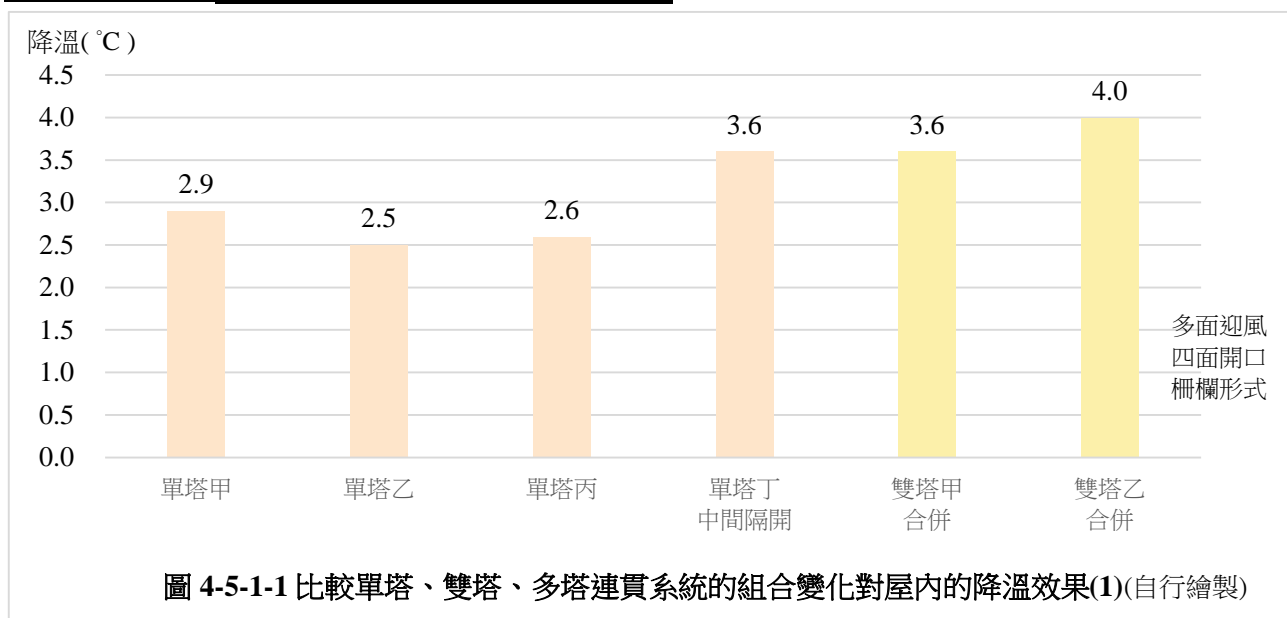


圖 4-5-1-1 比較單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化對屋內的降溫效果(1)(自行繪製)

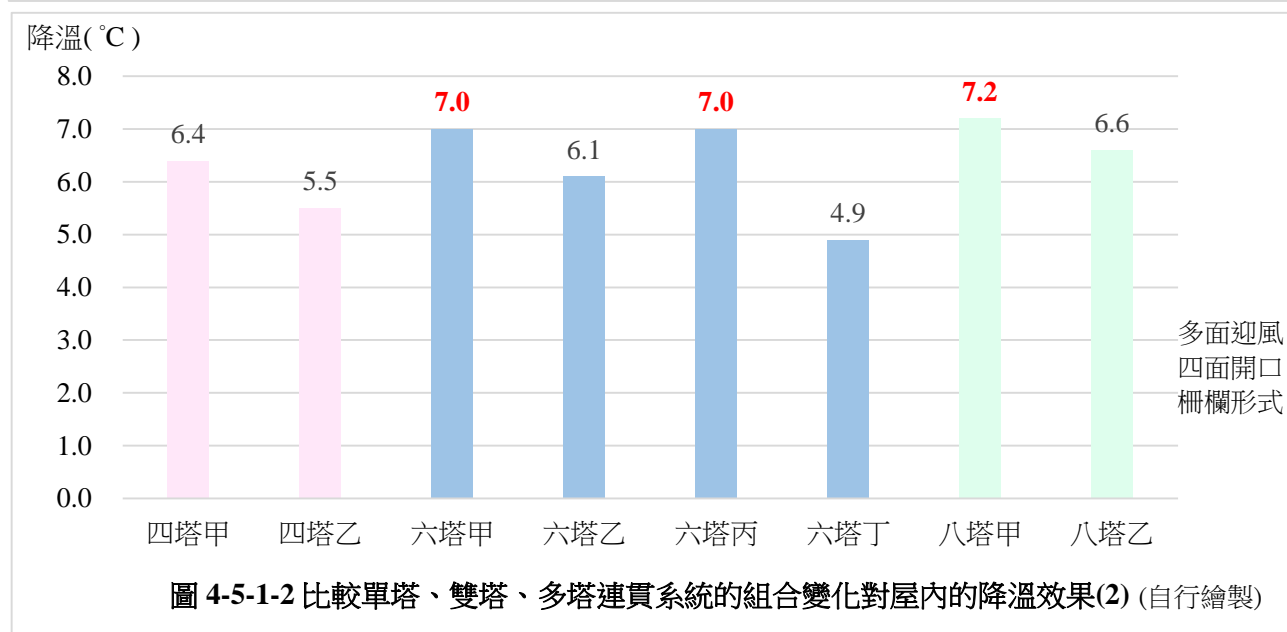


圖 4-5-1-2 比較單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化對屋內的降溫效果(2)(自行繪製)

發現：在捕風塔開口柵欄形式、四面開口的條件下，吹風 5 分鐘的降溫效果：

- 1.單塔：丁最優(3.6°C)，可知雖然甲、乙已經採用四面開口交錯設計，以減低因結構體有開口相通，風可能會從其它開口貫出的現象，但丁利用中間隔開的設計，成功解決了風會貫出的問題，降溫效果顯著。因此如果房屋空間大小有限，只能安裝單支捕風塔，單塔丁中間隔開 5A1357(上)/B1357(上)/C1357(上)/D1357(上)型式為最佳選擇。
- 2.雙塔：乙優於甲。二者在單一結構體都有開口相通，容易形成風可能從其它開口貫出的現象。
- 3.四塔：甲優於乙，雖然乙的主要迎風面開口面積比較大(甲 20cm²、乙 40cm²)，降溫表現應該會較好，但因乙在單一個結構體也有開口相通，同樣容易形成風可能從其它開口貫出的現象，顯示捕風塔的連貫系統，應避免開口相通的設計。六塔和八塔即避免了這樣的裝置。
- 4.六塔：甲、丙優於乙、丁，可知主要迎風面開口面積大有助於降溫。
- 5.八塔：甲優於乙，同樣可知主要迎風面開口面積大有助於降溫。

再者，六塔甲、丙與八塔甲主要迎風面開口面積相同，三者降溫效果相近(相差 0.2°C)，所以如果考量節省安裝空間與工法，六塔甲或丙型式為最佳選擇，降溫效果好且環保節能，二種型式可依房屋的面寬來選擇採用。

小結四：在多面迎風(非穩定風向)的情況下，捕風塔兼顧防塵、防蚊蟲的裝置設計——開口四面全開、開口高度在上方、主要迎風面開口面積大(柵欄 1357 形式)、避免開口相通的设计，六塔甲(A13571357+B1357+C13571357+D1357)、

六塔丙(A13571357+B1357+C13571357+D1357)為最佳裝置機構。



圖 4-5-1-3 六塔甲(自行拍攝)



圖 4-5-1-4 六塔丙(自行拍攝)

伍、討論

一、研究結果在生活中的應用

- (一)台灣夏季炎熱，透天宅或老街屋會使用天井來增加採光效果，如果能同時結合「捕風塔」的設置，引入涼風、排出熱風，將更能調節屋內空間的溫度。
- (二)社區大樓的地下室進氣口，可以設置捕風塔引風循環對流，讓潔淨的空氣進入、汙濁的空氣排出，也能為悶熱的地下室提供了降溫通風，減少抽風機的使用。
- (三)學校建築或商業大樓的中庭廊道，加入「捕風塔」的設置，善用自然通風原理，不過度依賴機械通風或冷氣空調，達到節能減碳的效益。

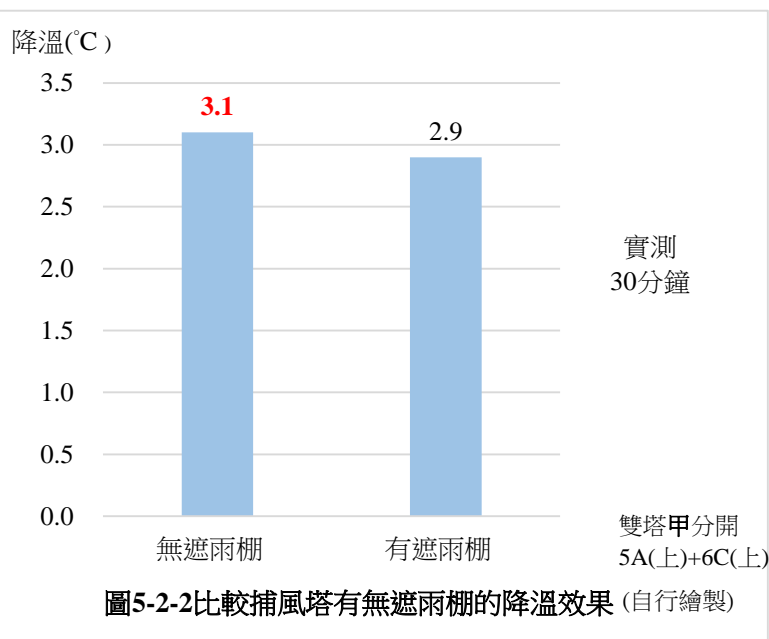
二、捕風塔如何防雨又降溫？

因台灣夏季多雨，可能會有雨水從捕風塔開口流入屋內而產生漏雨的困擾。我們的研究除了考量捕風塔防塵、防蚊蟲的柵欄開口設計，如何防雨也是我們想去探討的面向。以「綠色魔法學校」為例，它的通風塔內有遮雨頂與百葉板，外包保護板的設計，可把風雨阻擋於外。(資料取自：玄明節能科技網)

但捕風塔加裝遮雨裝置後，會不會影響降溫效果？於是我們在捕風塔上加裝遮雨棚的設計、並在戶外實測 30 分鐘研究。



圖 5-2-1 捕風塔上加裝遮雨棚，戶外實測 30 分鐘(自行拍攝)



發現：

有無加裝遮雨棚降溫效果相近(相差 0.2°C)，因此如果想要兼顧防雨又降溫，在捕風塔上加裝遮雨棚是可考慮的方式。

陸、結論

一、單面迎風(穩定風向)

(一)比較屋頂有無安裝捕風塔對屋內的降溫效果

- 1.房屋有安裝捕風塔，不論開口方向 A、AB、AC、AD、ABCD，吹風 5 分鐘後的降溫效果都優於無安裝；可知**有安裝捕風塔**可以有效調節降低房屋內部的溫度(最高相差 6.1°C)。
- 2.再比較捕風塔不同開口方向：捕風塔**單一開口、且方向在迎風面(開口 A)**，最有效於屋內空間降溫。

(二)比較單塔、雙塔對屋內的降溫效果

在開口方向同為 A 或 AC 的條件下，比較單塔、雙塔，吹風 5 分鐘的降溫效果：雙塔優於單塔。可知**雙塔**的裝置機構克服了風直接貫出的問題，可以幫助屋內氣流的一進一出，降溫效果佳。

(三)比較雙塔開口方向不同對屋內的降溫效果

在雙塔的條件下，比較前塔開口在迎風面(開口 A)+後塔開口方向不同，吹風 5 分鐘的降溫效果：前塔開口 A+後塔開口 C 的降溫效果最好；可知捕風塔**前塔開口面向迎風面+後塔開口面向背風面**，有助於屋內空間降溫。

(四)比較雙塔開口高度不同對屋內的降溫效果

在前塔開口 A+後塔開口 C 的條件下，比較前塔+後塔開口高度不同，吹風 5 分鐘的降溫效果：前塔開口 A(上)+後塔開口 C(上)的降溫效果最好，不論是前塔或後塔，開口高度愈高，愈有助於屋內空間降溫。

我們原本推測——因為冷空氣密度較大會向下移動，如果**前塔開口(下)能接收更多冷空氣**；熱空氣密度較小而會上升，後塔開口(上)能排出更多熱空氣，對流循環較快，降溫會較多；但實驗發現前塔開口(上)更有效於降溫，推測**前塔開口(上)能更快接收冷空氣**，更能加速對流循環，降溫效果會更顯著。

(五)比較雙塔相距遠近不同對屋內的降溫效果

在前塔開口 A(上)+後塔開口 C(上)的條件下，比較前塔+後塔相距遠近不同，吹風 5 分鐘的降溫效果：前塔位置 5+後塔位置 6(相距 2cm)的降溫效果最好，可知捕風塔**前塔+後塔相距愈近**，愈可看見有助於屋內空間降溫的趨勢。

(六)比較捕風塔的開口面積大小不同對屋內的降溫效果

在前塔 5A(上)+後塔 6C(上)的條件下，比較開口面積大小，吹風 5 分鐘的降溫效果：開口正方形形式：5*5cm 最好。開口柵欄形式：1357 (1*5*4cm)最好。可知**捕風塔迎風面開口面積愈大**，愈有助於屋內空間降溫。

(七)比較捕風塔的結構體積不同對屋內的降溫效果

在捕風塔 5A(上)+6C(上)、開口面積 5*5cm 的條件下，比較捕風塔結構體積不同，吹風 5 分鐘的降溫效果：體積小 7*7*18cm 較優，體積中、大的降溫效果相同；我們原本推測捕風塔體積較大，能夠吹入塔內的風較多，產生的對流循環較強，調節屋內溫度較顯著；但實驗發現體積小調節屋內溫度表現效果較好，捕風塔結構體積大小與房屋空間須具有一定比例，才能更有助於屋內空間降溫(本研究結果——捕風塔體積：房屋體積最佳比例=1：34)。

(八)比較捕風塔安裝在屋頂的位置不同對屋內的降溫效果

在捕風塔前塔 A(上)+後塔 C(上)距離相同的條件下，比較捕風塔安裝在屋頂的位置不同，吹風 5 分鐘的降溫效果：屋頂位置 5+6 最好，可知捕風塔安裝在屋頂的位置愈接近迎風口，且雙塔相距愈近，愈有助於屋內空間降溫。

即 5A(上)+6C(上)、相距 2cm、開口面積大 5*5cm、結構體積小 7*7*18cm、降溫效果最優，且雙塔優於單塔。

(九)比較單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化對屋內的降溫效果

在捕風塔開口 AC(上)的條件下，吹風 5 分鐘的降溫效果：

- 1.單塔乙中間隔開優於單塔甲中間不隔，乙中間隔開能大幅減少風直接從開口處貫出的現象，有效調降屋內溫度。因此如果房屋空間大小有限，只能安裝單支捕風塔，單塔乙中間隔開 5A(上)/C(上)型式為最佳選擇。
- 2.四塔合併和雙塔甲分開、乙合併的降溫效果都優於單塔，但三者的降溫效果差異極小；以連貫系統整體來看，並不是隨著捕風塔的數量增加，降溫效果就更顯著。因此想要降溫效果好，雙塔乙合併 5A(上)+6C(上)型式為最佳選擇，又可以節省安裝空間與工法，落實環保節能。

小結一：在單面迎風(穩定風向)的情況下，捕風塔裝置設計——前塔開口面向迎風面+後塔開口面向背風面、開口高度在上方、開口面積大(5*5cm)、安裝在屋頂的位置愈接近迎風口，雙塔乙合併 5A(上)+6C(上)為最佳裝置機構。

二、多面迎風 (非穩定風向)

(一)比較單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化對屋內的降溫效果

在捕風塔四面開口的條件下，吹風 5 分鐘的降溫效果：

- 1.單塔、雙塔：單塔乙中間隔開優於單塔甲中間不隔，二者降溫效果差異明顯，推測中間不隔因結構體有開口相通，導致風可能會從其它開口貫出，減低涼風流入屋內的比率；中間隔開則克服了這個現象，能有效調降屋內溫度。雙塔合併也比單塔乙中間隔開的降溫效果差，雙塔合併雖然是二個結構體合併，但在單一個結構體也有開口相通。因此如果房屋空間大小有限，單塔乙中間隔開 5A/B/C/D(上)型式為最佳選擇。

2.四塔：甲、乙的降溫效果很接近，雖然乙的主要迎風面開口面積比甲大，降溫表現應該會較好，但因乙在單一個結構體也有開口相通，同樣容易形成風可能從其它開口貫出的現象，顯示捕風塔的連貫系統，應避免開口相通的設計。

3.六塔：甲、丙優於乙、丁，甲、丙的主要迎風面開口面積大有助於降溫；其中又以六塔丙表現最優，應是主要迎風面開口與背風面開口距離較近的原因。

4.八塔：甲優於乙，二者降溫效果差異明顯，八塔甲主要迎風面開口面積大有助於降溫。再者，八塔甲與六塔丙的降溫效果很接近，二者主要迎風面開口面積相同，但六塔丙主要迎風面與背風面距離較近，所以降溫表現突出。雖然以連貫系統整體來看，塔數愈多、降溫效果愈好(八塔>六塔>四塔)。但若考量節省安裝空間與工法，六塔丙 AABCCD 型式為最佳選擇，降溫效果好且環保節能。

小結二：在多面迎風(非穩定風向)的情況下，捕風塔裝置設計——開口四面全開、開口高度在上方、主要迎風面開口面積大、避免開口相通、主要迎風面開口與背風面開口距離近，六塔丙 AABCCD 為最佳裝置機構。

三、開口柵欄形式(單面迎風)

(一)比較單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化對屋內的降溫效果

在捕風塔開口柵欄形式、開口 A、C(上)的條件下，吹風 5 分鐘的降溫效果：

1.整體來看：四塔>雙塔>單塔，隨著塔的數量增加，降溫效果更顯著，四塔合併降溫效果最優，可知迎風面開口面積大有助於降溫。

2.單塔：乙、丙降溫效果很接近、且都明顯優於甲，可知乙將迎風面、背風面以開口交錯設計，就能有效減低風直接貫出的現象，不須採用丙中間隔開的工法。因此如果房屋空間大小有限，只能安裝單支捕風塔，單塔乙 5A1357(上)+C246(上)型式為最佳選擇，工法簡單又有效。

3.雙塔、四塔：四塔合併>雙塔甲>雙塔乙、四塔合併為二組雙塔甲結構的組合，但二者降溫效果差異不大，雙塔甲又比四塔合併較節省安裝空間與工法，因此雙塔甲分開 5A1357(上)+6C1357(上)型式為最佳選擇、環保又節能。

小結三：在單面迎風(穩定風向)的情況下，捕風塔兼顧防塵、防蚊蟲的裝置設計——前塔開口面向迎風面+後塔開口面向背風面、開口高度在上方、開口面積大(柵欄 1357 形式)、安裝在屋頂的位置愈接近迎風口，雙塔甲分開 5A1357(上)+6C1357(上)為最佳裝置機構。

四、開口柵欄形式(多面迎風)

(一)比較單塔、雙塔、多塔連貫系統的組合變化對屋內的降溫效果

在捕風塔開口柵欄形式、四面開口的條件下，吹風 5 分鐘的降溫效果：

1.單塔：丁最優，可知雖然甲、乙已經採用四面開口交錯設計，以減低因結構體有開口相通，風可能會從其它開口貫出的現象，但丁利用中間隔開的設計，成功解決了風會貫出的問題，降溫效果顯著。因此如果房屋空間大小有限，只能安裝單支捕風塔，單塔丁中間隔開 5A1357(上)/B1357(上)/C1357(上)/D1357(上)型式為最佳選擇。

2.雙塔：乙優於甲。二者在單一結構體都有開口相通，容易形成風可能從其它開口貫出的現象。

3.四塔：甲優於乙，雖然乙的主要迎風面開口面積比較大，降溫表現應該會較好，但因乙在單一個結構體也有開口相通，同樣容易形成風可能從其它開口貫出的現象，顯示捕風塔的連貫系統，應避免開口相通的设计。

4.六塔：甲、丙優於乙、丁，可知主要迎風面開口面積大有助於降溫。

5.八塔：甲優於乙，可知主要迎風面開口面積大有助於降溫。

再者，六塔甲、丙與八塔甲主要迎風面開口面積相同，三者降溫效果相近，所以如果考量節省安裝空間與工法，六塔甲或丙型式為最佳選擇，降溫效果好且環保節能，二種型式可依房屋的面寬來選擇採用。

小結四：在多面迎風(非穩定風向)的情況下，捕風塔兼顧防塵、防蚊蟲的裝置設計——開口四面全開、開口高度在上方、主要迎風面開口面積大(柵欄 1357 形式)、避免開口相通的设计，六塔甲(A13571357+B1357+C13571357+D1357)、六塔丙(A13571357+B1357+C13571357+D1357)為最佳裝置機構。

柒、參考文獻資料

〈古代沒有冷氣怎麼辦 他們創造了捕風塔〉。《大愛新聞》。

<https://youtu.be/GeKIGYnQC14?si=-pqXdpD0NQ55Bz1S>

〈捕風塔〉。《維基百科》。<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8D%95%E9%A3%8E%E5%A1%94>

〈對流傳熱〉。《維基百科》。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%AF%B9%E6%B5%81%E4%BC%A0%E7%83%AD>

〈中古屋改建成綠建築之研究〉。

<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=8932&sid=9257&print=1>

〈專訪 半畝塘創辦人江文淵： 走訪都市造山計畫，讓自然回到都市，讓人走進自然〉。《Shopping Design》。<https://www.shoppingdesign.com.tw/post/view/6707?>

〈螢火蟲飛進 8 樓住家！他設計的都市房屋，像山一樣綠〉。《未來城市@天下》。

https://futurecity.cw.com.tw/article/1523?rec=i2i&from_id=782&from_index=6

〈建築研究簡訊第 104 期〉。《中華民國內政部建築研究所》。

<https://www.abri.gov.tw/PeriodicalDetail.aspx?n=861&s=2207&key=83&isShowAll=false>

〈綠色魔法學校〉。<https://www.msgt.org.tw/>

〈專題報導〉。《玄明節能科技網》。<https://ta-yang.com.tw/page5/page5.html>

〈關埔國小綠建築 創竹科美感空間〉。《住展》。

<https://www.myhousing.com.tw/n/n01/north-taiwan/hsinchu-estate/9529/>