

全國高級中等學校專業群科 111 年專題及創意製作競賽

「專題組」作品說明書



群別：電機電子群

作品名稱：太陽能結合熱泵系統

關鍵字：熱泵、太陽能、廢熱回收

指導老師：呂頌恩、歐鎮寬老師

組員：洪承佑、劉郁辰、鄭尊仁

目錄

壹、摘要	2
貳、研究動機	2
參、主題與課程之相關性或教學單元之說明	3
一、熱泵系統	3
二、冷凍空調原理	3
三、電腦繪圖	3
肆、研究方法	4
一、研究流程	4
二、使用材料及工具	5
伍、研究結果	9
一、製作過程	10
二、操作流程	14
三、無載時溫度與發電量的關係.....	14
四、負載電壓、電流與時間的關係.....	15
五、廢熱回收	16
陸、討論	17
一、太陽能板的選用	17
表二：太陽能板材質比較	18
二、啟動電容的選用	18
三、專題底座規格選用	18
柒、結論	18
捌、參考資料及其他	19

壹、摘要

綠色能源是 21 世紀全球社會、環境與經濟發展不可或缺的關鍵項目，又被稱做可再生能源，其特性就是善用所在地區源源不絕、可再生的天然資源，轉化為因地制宜的能源，主要目的是減少對石化能源與核能的依賴。

太陽能是地球上可利用的綠色能源之一，能夠在不汙染環境下，使用太陽能板產生電能，但是隨著氣溫升高，電子—電洞對的復合速度會增加，因此太陽能轉換效率就會降低，進而影響發電量，於是我們設計了一套太陽能結合熱泵的系統，以熱泵為主體，在蒸發器上利用銅片連接太陽能板，讓熱泵系統內的冷媒吸收太陽能板產生的廢熱，轉移到熱水槽中，加熱水達到熱泵的作用，並提升太陽能板的發電效率。

貳、研究動機

由於臺灣位處亞熱帶，太陽能資源豐富，特別是中南部的日照時數每年可高達 2000 小時，因此發展太陽能再適合不過了。加上臺灣具有半導體與電力電子產業技術健全、與政府極力推廣綠能建設等優厚條件，且符合當前國際趨勢——能源危機與環保意識的抬頭，太陽能發電事業在臺灣確實有非常大的發展空間。

太陽能發電技術是最安全可靠也是能量來源最充足的，但是由於太陽光廣泛分布在地球上，所以我們需要以最低成本來生產出最大效益的電能；我們知道影響發電量最主要的因素有遮陰、環境溫度，於是想到可以利用冷卻太陽能板來提高發電效率，進而讓太陽能發電成為主要的永續能源，所以我們決定進行發電時冷卻太陽能板改善轉換效率的數據探討。

我們在 2021 年 5 月開始專題分組與搜尋資料，2021 年 7 月決定製作太陽能熱泵相關方面，並開始搜尋資料、諮詢老師、設計結構、歸納材料。首先我們先取得學長同意，拆除可用的零件，完成四大元件，接著測量尺寸與製作外框架，最後將所有元件固定並進行數據測試。

參、主題與課程之相關性或教學單元之說明

一、熱泵系統

在高二的能源與空調實習中，我們學會焊接與冷凍系統的操作及理論，有了這樣的實際經驗，讓我們在做專題時，更能夠事半功倍地達成目標。起初我們先設計冷凝器與蒸發器盤管，再使用 2 分銅管進行彎製，接下來選取適當功率的交流壓縮機進行匹配，隨後將四大元件組合起來，最後進行探漏、抽真空、灌冷媒等步驟，確保系統能正常運作後即完成熱泵系統。

二、冷凍空調原理

高一的冷凍空調原理課程中，我們學了冷凍四大元件的功能、莫利爾線圖的應用，在這次的專題實作中，我們利用這些學過的知識使用莫利爾線圖，依照需求設定蒸發溫度、冷凝溫度、計算系統冷媒量，有了這些基礎能力，我們才得以讓系統運作在穩定且預設的狀態中運作。

三、電腦繪圖

高一的空調電腦繪圖實習中，我們學會利用 Inventor 繪製 3D 設計圖，來呈現我們設計的立體圖形，有了 Inventor，我們能夠繪製出各個零件，並透過 Inventor 的內建功能，將各個零件組合的過程，製作成動畫，使我們的專題展現的更加淺顯易懂。

肆、研究方法

一、研究流程

(一)、研究步驟

最初，我們決定「太陽能結合熱泵系統」為主題，將專題大致分為五個階段，並透過以「分工合作」為綱旨，分配每個成員適當的工作，達到人盡其才的目的，以下為我們的製作流程圖與時間分配圖。



圖 1：製作流程圖



圖 2：時間分配圖

二、使用材料及工具

(一)、零件介紹

1、壓縮機

壓縮機 (Compressor) 在冷凍循環系統中具有舉足輕重的地位，把在蒸發器所吸收的熱量，藉由常溫低壓的氣態冷媒帶回壓縮機，壓縮成為高溫高壓的氣態冷媒，再送到冷凝器並經由水或空氣冷卻排出熱量，且將冷媒凝結為液態。依照驅動馬達與壓縮機的關係位置可分類為：開放式、全密閉式、半密閉式。而我們這次專題使用的壓縮機是全密閉式，它具有體積小、噪音小的優點，適合應用在家用電冰箱、窗型冷氣機、小型冰櫃等小馬力的冷凍系統。

產品尺寸	長：22cm、寬：18cm、高：17.5cm
功率	150W
冷媒系統	R-134a



圖 3：壓縮機

2、冷凝器

冷凝器在冷凍循環系統中的功能，是將壓縮機內高溫高壓的氣態冷媒冷卻成常溫高壓液態冷媒，依照冷卻介質及冷卻方式不同可分類為：水冷式、氣冷式、蒸發式。我們這次專題使用的冷凝器是水冷式，它是利用水為介質，冷卻高溫氣態冷媒使之液化。水冷式冷凝器具有熱傳效率高、散熱面積小、耗能低的優點。

產品尺寸	長：28cm、寬：18cm、高：9cm
產品規格	2 分銅管，繞製 3 層



圖 4：冷凝器

3、冷媒控制器

冷媒控制器在冷凍循環系統中的功能，是將高壓液態冷媒在進入蒸發器之前完成降壓，成為低壓液態冷媒進入蒸發器，在環境中吸收熱量；同時為了配合冷凍負載的變化，還需控制冷媒的蒸發量，因此它還具備調節冷媒量量的功能。依照其構造及應用的原理可分類為：手動、自動、感溫式、低壓端浮球控制、高壓端浮球控制、毛細管、熱電式。我們這次專題使用的冷媒控制器是毛細管，它具有構造簡單、價廉經濟、不易故障、保養容易的優點。

產品規格	毛細管長度：70cm
------	------------



圖 5：毛細管

4、蒸發器

蒸發器在冷凍循環系統中的功能，是利用低壓低溫的液態冷媒吸收環境中的熱量，而蒸發成為氣態冷媒，它是冷凍系統中唯一可以製冷的元件。依構造可分類為：裸管式、板式、鰭片式、二重管式、殼管式、殼圈式。我們這次專題使用的蒸發器是裸管式，它具有構造簡單、製作成本低的優點。

產品規格	2 分銅管
------	-------



圖 6：蒸發器

5、抽水馬達

抽水馬達接上 9V 電池後，能夠使水一端吸入，一端排出，我們就是利用此特性來讓水流動，使水箱裡的水溫度平均，降低水溫量測的誤差。



圖 7：抽水馬達

6、啟動電容

啟動電容主要是用在單相感應電動機，功能為產生相角差，幫助啟動，這個原理也能應用在壓縮機，能夠幫助壓縮機啟動，使壓縮機帶動四大循環運作，我們使用的電容規格為 12 μ F 及 20 μ F。



圖 8：啟動電容

(二)、軟體介紹

1、Autodesk Inventor

Autodesk Inventor 是一個計算機輔助設計的應用程式，用來進行 3D 機械的設計與模擬。Inventor 允許使用者在單一環境中，整合 2D 和 3D 數據，創建一個虛擬的模型，讓使用者能夠在模型製造前，能夠先預覽並且調整。本專題運用了此軟體完成所有結構的模型圖，並以此為參照做出實品。



圖 9：Autodesk Inventor Logo

(三)、實驗設備清單

名稱	數量	名稱	數量
太陽能板	1 片	壓縮機	1 台
鹵素燈	1 展	水槽	1 個
溫度計	1 個	蒸發器	1 個
冷凝器	1 個		

(四)、實驗材料清單

名稱	數量	名稱	數量
銅管	1 捲	毛細管	1 段
木板底座	1 片	木頭柱條	4 條
角鐵	12 入	內角鐵	8 入
銅螺帽	4 個	螺絲	數個
銀焊條	數條	R-134a 冷媒	1 瓶
散熱膏	1 條	散熱片	1 片
矽利康	1 條	啟動電容	2 個
輪子	4 個		

(五)、工具清單

名稱	數量	名稱	數量
乙炔+氧氣	1 套	氮氣	1 瓶
焊槍	1 支	銅管處理工具	1 套
電鑽	1 支	鋸子	1 把
直尺	1 把	線鋸機	1 台
砂輪機	1 台	鐵鎚	1 把
彎管器	1 支		

伍、研究結果

太陽能結合熱泵系統的構造分為兩個部分，分別為支撐主體的木框架與熱泵系統。

一、製作過程

(一) 框架製作

這個木頭框架是我們考量系統大小後，設計出適當的規格與尺寸，再使用螺絲、內角鐵來固定與加強木頭的結構強度，組合過程中我們發現有兩邊的木頭過長，於是我們利用線鋸機進行裁切，外框架構完成後，我們接著鎖上鹵素燈與太陽能板，最後使用矽利康加強固定水箱與太陽能板。



圖 10：使用線鋸機裁切木頭



圖 11：使用電鑽鎖緊螺絲



圖 12：固定太陽能板



圖 13：固定鹵素燈



圖 14：使用矽利康加固太陽能板

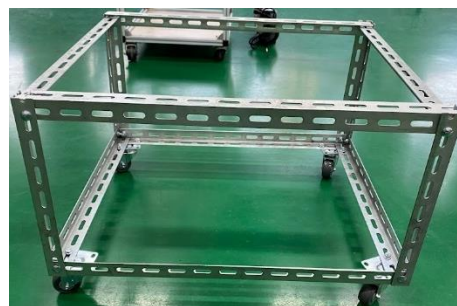


圖 15：角鐵架

(二) 熱泵系統

我們先設計冷凝器與蒸發器盤管的系統大小，再使用 2 分銅管進行彎製，接下來依照我們系統容量選取適當功率的交流壓縮機進行匹配，隨後將冷凍四大元件組合起來，最後進行探漏、抽真空、灌冷媒等步驟，確認系統能正常運作後即完成熱泵系統。

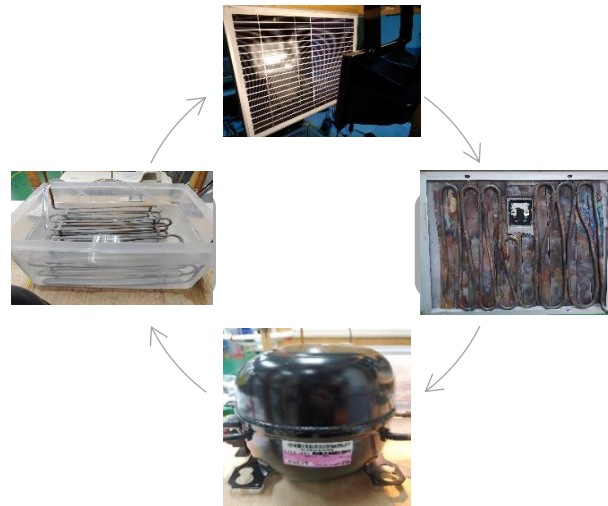


圖 16：熱泵系統循環圖



圖 17：焊接冷凝器

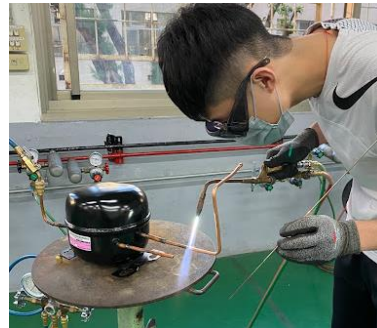


圖 18：焊接壓縮機



圖 19：加壓探漏

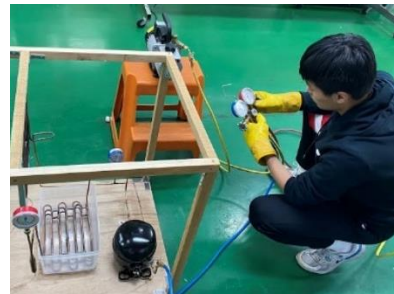


圖 20：灌冷媒

1、製作散熱銅片

為了符合經濟效益、熱傳效率等各種考量，我們依照太陽能板背面的面積大小進行設計，先將銅管廢料裁切成長度齊一的尺寸，接著使用鐵鎚將銅管廢料敲扁，最後進行焊接的步驟，製作散熱片的目的是為了增加蒸發器的有效吸熱面積，達到效率提升的目標，完成散熱銅片做為太陽能板與蒸發器之間熱傳導的媒介。

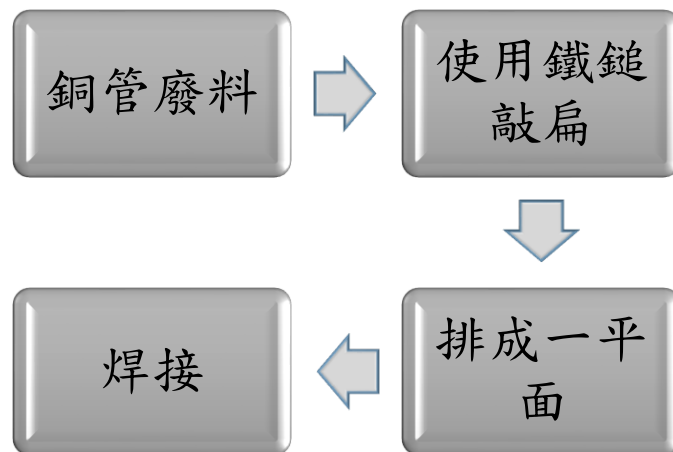


圖 21：散熱銅片製作流程圖



圖 22：散熱銅片製作示意圖

2、製作冷凝器系統

我們依照水箱的容積大小，使用彎管器將冷凝盤管均勻地繞製在有限的空間中，成功彎製 3 層的冷凝盤管，並且使用 2cm 長的銅管垂直連接每層冷凝盤管，加強層與層之間的結構強度，最後放置在水箱內，並且與壓縮機、毛細管連接。

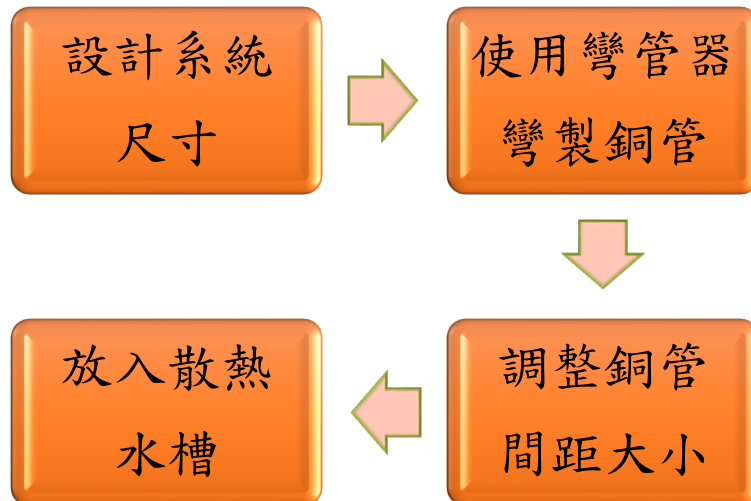


圖 23：冷凝器製作流程圖



圖 24：冷凝器製作流程圖

3、製作蒸發器系統

我們依照太陽能板背面的有效面積設計尺寸合適的蒸發器，使用彎管器將蒸發盤管均勻地繞製在有限的空間中，其中還須考量太陽能板的背面有配線盒，所以在繞製蒸發盤時需要避開此區域，接著在散熱銅片與太陽能板之間貼上一層散熱片，目的是為了增加太陽能板的散熱效率。

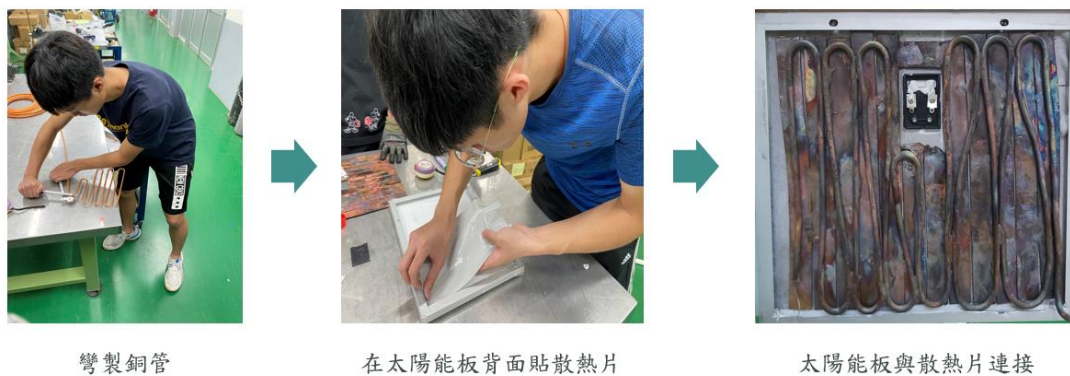
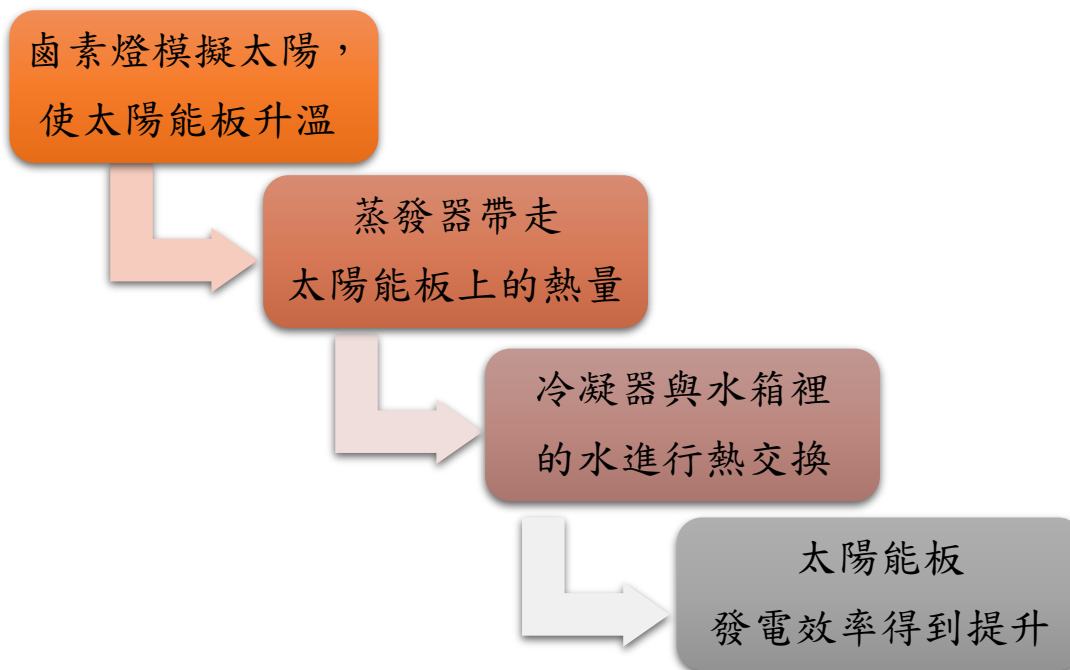


圖 25：蒸發器製作流程圖

二、操作流程

表一：功能流程圖



三、無載時溫度與發電量的關係

我們以太陽能板中間含或不含銅片的區域作為數據測量參考點，進而探討溫度與發電量的關係。比較圖 26 與圖 27 後，可以看到未啟動熱泵系統時，溫度上升地非常快速導致發電效率降低；然而啟動熱泵系統後，可以發現溫度下降了，發電效率也提高了，故可得知熱泵系統確實有不錯的熱交換效果。

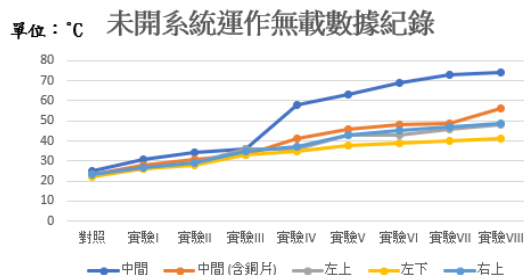


圖 26：未開系統無載數據

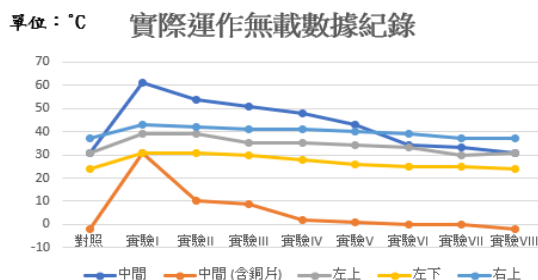


圖 27：有開系統無載數據

四、負載電壓、電流與時間的關係

我們使用一顆30歐姆20W的水泥電阻，模擬家中的小電器，分別測量未開啟熱泵系統以及開啟熱泵系統的負載電壓、電流，比較熱泵系統對負載的影響，可以從數據中發現，未開啟熱泵系統時，負載電壓、電流都隨著時間逐漸降低，而開啟熱泵系統後，負載電壓、電流逐漸升高，輸出功率也趨近穩定，這種穩定的電壓及電流正是家中電器所需要的。

表二：未開系統的負載數據

未開系統	電壓	電流	輸出功率
對照	20.2V	651mA	13.15w
實驗 I	20.2V	651mA	13.15w
實驗 II	19.9V	642mA	12.77w
實驗 III	19.7V	635mA	12.5w
實驗 IV	19.4V	626mA	12.14w
實驗 V	19.1V	616mA	11.76w
實驗 VI	18.3V	590mA	10.79w
實驗 VII	18.1V	583mA	10.55w
實驗 VIII	18V	580mA	10.44w

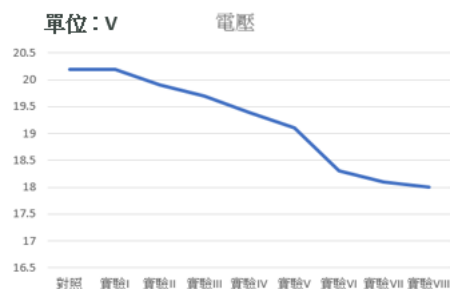


圖 28：未開系統的電壓變化

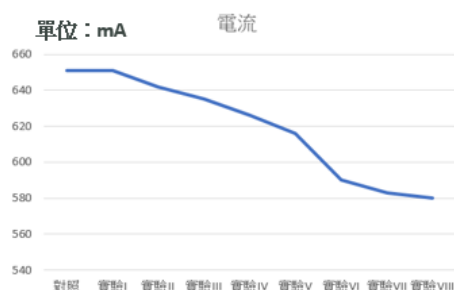


圖 29：未開系統的電流變化

表三：開啟系統的負載數據

開系統	電壓	電流	輸出功率
對照	20.1V	648mA	13.15w
實驗 I	20.1V	648mA	13.15w
實驗 II	19.9V	643mA	12.77w
實驗 III	19.8V	638mA	12.63w
實驗 IV	19.7V	635mA	12.5w
實驗 V	19.7V	638mA	12.5w
實驗 VI	19.8V	637mA	12.6w
實驗 VII	19.7V	636mA	12.52w
實驗 VIII	19.8V	639mA	12.65w



圖 30：開啟系統的電壓變化

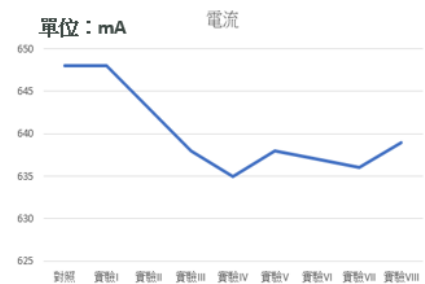


圖 31：開啟系統的電流變化

五、廢熱回收

一般的分離式冷氣機能夠讓室內空間降溫，但也會將廢熱排放到空氣中，這將會加快全球暖化的速度，而廢熱回收能夠避免將熱排放到空氣中，是節省能源的辦法之一。我們使用鹵素燈模擬太陽光，照射太陽能板使表面的溫度上升，這時啟動熱泵系統，四大循環中的蒸發器能夠通過低溫低壓的液態冷媒，帶走太陽能板的熱源，將太陽能板降溫，冷凝器能夠通過高溫高壓的氣態冷媒，將得到的廢熱與水箱裡的水進行熱交換，產生一般家庭中能夠使用的熱水，達到廢熱回收的效果，表四、圖 32 為隨著時間變化的水溫。

表四：水溫變化表

時間	水溫
0min	26°C
5min	30°C
10min	32°C
15min	35°C
20min	38°C
25min	39°C
30min	41°C
35min	42°C

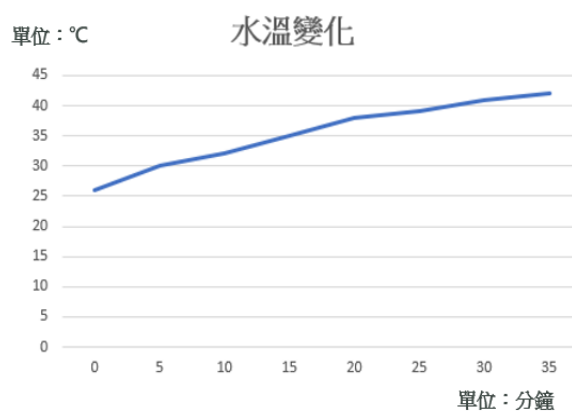


圖 32：水溫變化曲線

陸、討論

一、太陽能板的選用

從本質上講，太陽能板的效率取決於其可以將多少入射陽光轉化為可用電力。但是影響最終轉化率的因素是什麼？太陽能板研究人員與製造商在設計和生產高效太陽能電池板時會考慮以下幾個方面：

- (一) 材料：(單晶矽、多晶矽、碲化鎘等) 會影響光轉換為電的方式。
- (二) 佈線和匯流排：太陽能電池板上的電線和匯流條的組織，實際捕獲和傳輸電力會影響效率。
- (三) 反射：如果光從太陽能電池板反射出去，它的效率可能會降低。這就是矽太陽能電池頂部的玻璃層如此重要的原因。
- (四) 絕緣：因為溫度升高會導致效率降低，從而導致太陽能電池板輸出降低。此外，例如能夠吸收電池兩側的光（雙面太陽能電池板）與能夠吸收可變波長光（多結太陽能電池板）等因素改變了太陽能電池板的效率方程。總而言之，在致力於提高太陽能電池板效率時，科學家和研究人員可以利用多種槓桿。歸根結底，這一切都是為了將更多的陽光轉化為電能。

表五：太陽能板材質比較

	價格	效率	純度	外觀	材料	市佔率
單晶	高	較高 15-24%	高	深紫色	矽結晶半導體	約 90%
多晶	中	較低 10-17%	中	藍色雪花般的色差	矽結晶半導體	
非晶	低	約 8-13%	低	深灰色	矽化合物 (SiH4)	約 10%

二、啟動電容的選用

為什麼要加裝啟動電容呢？單相感應電動機中的啟動電容串聯在啟動繞組上，其用途為改變電流的相位角，讓啟動繞組的電流超前行駛繞組的電流 90° ，達到分相的效果，幫助單相感應電動機啟動，而這個原理也能運用在壓縮機，所以裝設啟動電容是相當重要的。啟動電容的電容值要如何選擇呢？ C （運行電容值） $= 1100 \times I$ （額定電流）/ U （額定電壓） $\times \cos \theta$ （功率因數），啟動電容約為運行電容的 3.75 倍，我們利用運轉電容的計算公式，推算出合適的啟動電容值，解決了原先壓縮機無法啟動的問題。

三、專題底座規格選用

我們模擬整套熱泵系統組裝完成所需佔據的面積大小，發現底座面積相當於一台 2.2KW 的窗型冷氣機大小，於是我們請指導老師帶我們去建築科工廠裁切一塊長：74cm、寬：60cm、厚：1.8cm 的木板來當作熱泵系統的底座。

柒、結論

太陽能板的溫度上升會影響發電量，造成效率不佳，為了提供穩定的電能供給負載使用，我們必須讓太陽能板降溫來維持穩定的效能表現，但是這些會影響發電效率的熱能要如何利用，使它從缺點變成優點達到能源不浪費的目標。

為了解決上述問題、同時又能符合大眾家庭的需求，我們設計了太陽能結合熱泵系統，主要目標為提升太陽能板的發電效率並且利用廢熱進而得到洗澡用的熱水，實驗結果發現，隨著溫度下降，太陽能板的發電效率獲得了提升，水箱裡的水溫也隨著時間升高，發出來的電也能儲存起來，供應家中的小電器，像是門口的照明燈、門鈴等等。

回想起當初參加『臺灣科大北市七星學程』時，選修了「智慧化綠能科技概論」這門課，讓我對於太陽能發電有更深入的了解，也是因為如此我們決定寫一篇太陽能發電相關主題的小論文，從構思、找文獻、設定模擬參數，嘗試並學習多種程式直到完成小論文；從中我們發現太陽能板過熱，會影響發電效率，因此我們想結合冷凍系統四大元件，來冷卻太陽能板來提高發電效率，經過半年的努力，從設計、彎管、焊接、組裝、實驗，一路上遇到了許多阻礙、瓶頸，但我們都挺過來了，經過這次刻骨銘心的經歷，使我們更加成長茁壯。

捌、參考資料及其他

一、教科書

許祺清、陳聰明(2013)編著，弘揚圖書，冷凍空調原理 I

許祺清、陳聰明(2012)編著，弘揚圖書，冷凍空調原理 II

二、網路相關資料

1_109003_電機與電子群_國立苗栗高級農工職業學校_蓄光留電-熱泵系統應用於太陽能板之效率提升

<https://vtedu.mt.ntnu.edu.tw/uploads/16080911097075v4KOaTB.pdf>

如何挑選太陽能模組技術?—有成精密—WINAICO

<https://www.winaico.com/tw/blog/solar-panel-types/>

Best solar panel angle: How do you find it — and does it matter?

<https://www.solarreviews.com/blog/best-solar-panel-angle>

模組效率公式

<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>

真的是 23.5 度嗎?—以天文及氣象資料探討固定型太陽能板最佳架

設傾斜角

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-2/2020/pdf/TISF2020-100013.pdf>

太陽能電池板方位角和傾角與發電量的關係

<https://www.energytrend.com.tw/knowledge/20130318-5872.html>

2021 太陽能趨勢太陽能還有發展性嗎？解析台灣、國際綠能之路

<https://blog.pgesolar.com.tw/2021/02/08/%E5%A4%AA%E9%99%BD%E8%83%BD%E8%B6%A8%E5%8B%A2>

前瞻基礎建設計畫-綠能建設(行政院全球資訊網-重要政策)

<https://reurl.cc/Y96rYx>

台灣電力公司

<https://www.taipower.com.tw/tc/index.aspx>

黃宏欣。太陽光電發電系統模組和變流器設計之最佳化 2020 年 9 月 22 日。

<https://reurl.cc/qgynM3>

電容在壓縮機啟動中起到什麼作用？

<https://www.juduo.cc/club/3851782.html>

太陽能板種類介紹

<https://solarbazaar.pixnet.net/blog/post/38830193>

黃宏欣。太陽光電發電系統模組和變流器設計之最佳化 2020 年 9 月 22 日。

<https://reurl.cc/qgynM3>