

中華民國第 55 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

第三名

030813

「增」光「擠」熱拚綠能

——探討太陽能板發電效能提升及應用

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者：  國二 陳柏驊	指導老師：  黃淑菁  蔡名峯
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：太陽能板發電效能、熱能回收、光電熱水器

## 摘要

為提高太陽能板使用效能，本研究探討溫度、灰塵、仰角對太陽能板發電效能的影響，並比較不同散熱方式的差異。利用空氣冷卻方式，在不同數量的散熱片及導熱膏下，得知散熱面積對發電效能影響最大；有灰塵或仰角變化時，太陽能板的輸出功率仍然隨溫度升高而降低；自製簡易水冷裝置，以改善太陽能板因溫升而效能降低的問題，研究顯示正面水冷方式兼具清洗灰塵及散熱功效，背面水冷方式有效提升太陽能板發電效能及回收熱水，戶外日照實驗，太陽能板輸出功率增加約 12%，回收熱水效率約 32.2%。薄型大面積的水冷板，搭配溫控型的間歇性強制水冷及軌道式清潔系統，會是較佳設計組合，應用在屋頂太陽能板，可達到提升發電量、回收熱水及屋頂隔熱的功效。

## 壹、研究動機

自然課程三上 3-4 再生能源(史家瑩，2013) 中提到，由於全球經濟發展，石化燃料日益減少，發展再生能源是現今最熱門的議題，其中太陽能取之不盡，用之不竭，是最乾淨的能源。而市面上太陽能板最高轉換效率約 15~18%，究竟哪些因素影響太陽能板的效率呢？在一次科學研習活動中，發現溫度上升會造成太陽能板效率下降。到底有什麼方式可以改善太陽能板溫度上升的問題呢？我突發奇想，如果可以降低太陽能板的溫度，又能將熱能回收再利用，豈不是一舉兩得，於是激起了我強烈的好奇心，在老師的協助下，我展開了一連串關於太陽能板效能的研究。

## 貳、研究目的

- 一、 探討太陽能板表面溫度變化對輸出功率的影響
- 二、 探討有無灰塵下，溫度對太陽能板輸出功率的影響
- 三、 探討仰角對太陽能板溫度及輸出功率的影響
- 四、 探討空氣冷卻方式對太陽能板發電效能之影響
- 五、 探討水冷方式對太陽能板發電效能之影響
- 六、 自製的太陽能光熱模組效能之比較與戶外實作驗證
- 七、 不同水冷方式的太陽能光電熱水器之設計探討
- 八、 具表面清洗功能及熱水回收之太陽能光熱模組設計

『增』光『擠』熱拚綠能---探討太陽能板發電效能提升及應用

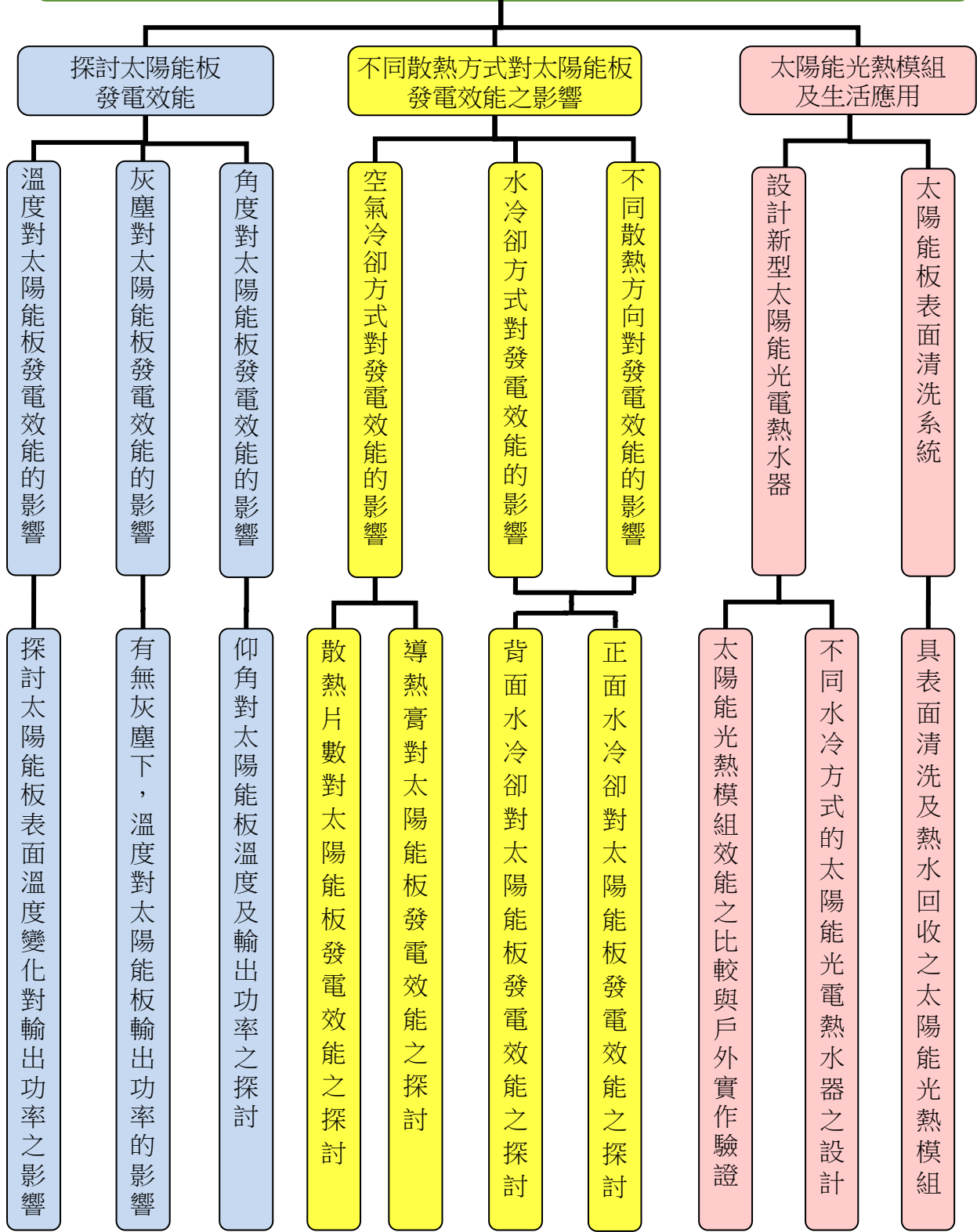


圖 1 概念架構圖

## 參、研究設備及器材

### 一、器材

			
圖 2-1 太陽能板	圖 2-2 鹵素燈	圖 2-3 變壓器	圖 2-4 可變電阻
			
圖 2-5 散熱鰭片	圖 2-6 角度板	圖 2-7 導熱膏	圖 2-8 粉筆灰
			
圖 2-9 冷水槽	圖 2-10 保麗龍箱	圖 2-11 水管	圖 2-12 鐵盒
			
圖 2-13 水閥開關	圖 2-14 矽利康	圖 2-15 剪刀	圖 2-16 風扇

### 二、測量儀器

		
圖 2-17 紅外線溫度計	圖 2-18 三用電表	圖 2-19 照度計

### 三、太陽能板規格

單晶矽太陽能板，瞬間功率：10 W；開路電壓  $V_{oc}$ ：21.6 V；短路電流  $I_{sc}$ ：0.61 A；  
最大功率電壓  $V_{mp}$ ：17.6 V；最大功率電流  $I_{mp}$ ：0.56 A；工作溫度  $-45^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ 。

## 肆、研究過程或方法

### 一、文獻探討

太陽能即地球接收到太陽能的輻射能，地球與大氣圈不斷自太陽獲得  $1.7 \times 10^{17}$  W 的輻射能，假設每個人平均需要  $10^3$  W，則一百億人不過需要  $10^{13}$  W，因此只需要將抵達地表太陽能的 1% 轉換成可用的能源，則滿足全球能源需求已是綽綽有餘。

太陽能的發電的方法有三種：一是利用光電池直接將日光轉換成電流；二是利用集熱板將水加熱，產生蒸氣以推動汽輪機及發電機；三是利用太陽光將水分解成氫氣與氧氣，再用氫氣作為發電的燃料。

影響太陽能板發電效率主要因素有二，一為太陽能板可吸收的日照強度，包括太陽輻射強度、灰塵、仰角、方位角、太陽能板的表面反射與折射；二為溫度對太陽能板效率的影響；過去有許多關於太陽能板使用效率的研究，蕭德仁 (2005) 發現調整太陽能板傾斜角度可有效提升發電效率，太陽能板發電量與太陽能板溫度成反比，利用灑水不僅降溫也可清除灰塵，因而達到提高發電量之效果。由藍乙庭、藍喬譯 (2008) 將可調式太陽能板結合放大鏡聚光及增加反射，可提升 16%~29% 的發電效率。Wu, J.P., Tsai, F.C., Wang, W.H., Hsueh, Y.L., and Liu, T.C. (2011) 的研究指出同樣的輻射量，傾斜角越大，產生的短路電流有下降趨勢，而傾斜角上升，效率會下降，溫度也有下降的趨勢，且輻射量越大，短路電流上升，效率也會上升。蔡豐欽、吳正鵬 (2013) 提出將光電板表面高溫予以冷卻，並加以廢熱回收，利用太陽能光電板下方裝置一冷卻系統，形成太能光電/熱水混合系統，來探討其傾斜度之影響及其整體效益。蕭宏搖 (2013) 研究熱傳對太陽能板發電效率的影響，太陽能板底部加裝空氣導流板及空冷式流道，能有效降低太陽能模組溫度約  $2^\circ\text{C}$ ，提升 1 W 的發電量，搭配風扇，太陽能模組溫度能降低約  $5\sim 7^\circ\text{C}$ ，發電量約提升 2~3 W。使用相變化材料，太陽能板能降低約  $2.2^\circ\text{C}$ ，同時發現太陽能模組每上升  $1^\circ\text{C}$ ，效率會降低 0.25%，研究也使用 COMSOL 軟體進行熱傳分析，分析不同風速及不同流體對太陽能模組的熱傳影響。程達隆、許玉晶 (2008) 研究聚光型太陽能電池模組於聚光後，太陽能板溫度急速上升，影響發電效率，藉由散熱鰭片傳導散熱，並利用溫差發電組件搭配風扇的強制對流，將散熱片的溫度快速降低，提升太陽能板的發電效

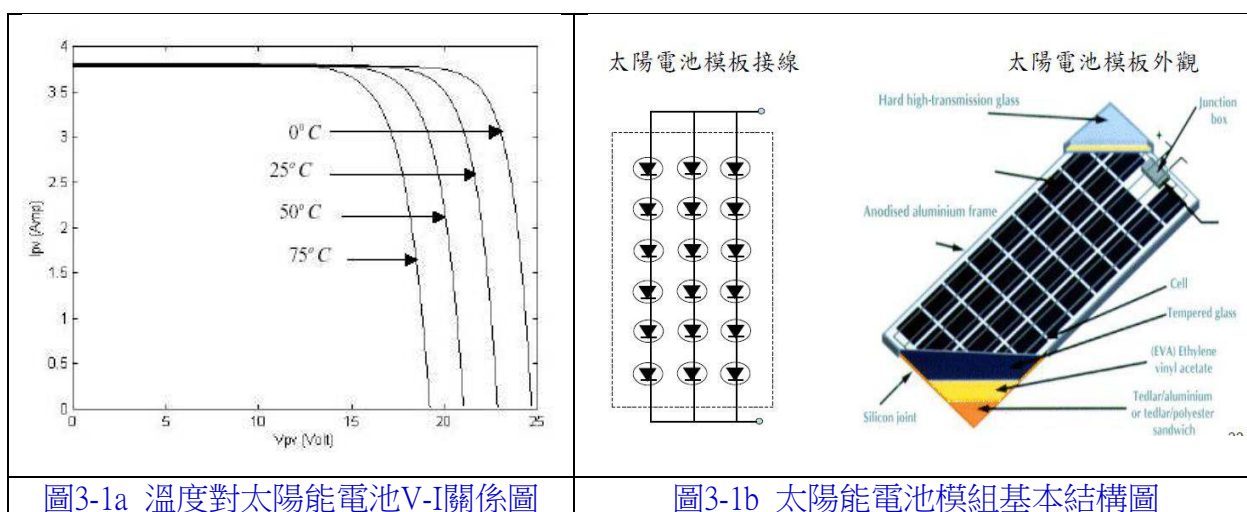
率，透過課堂上的示範，讓學生瞭解菲涅爾透鏡、太陽能電池模組及熱電轉換等物理概念。

根據過去文獻，可以發現提升太陽能板效率的方法，逐漸受到許多專家學者重視而加以研究，過去的科展，也有不少學生研究過類似的問題；本研究提出以**水冷散熱**為基礎，來解決太陽能板因溫度上升而造成發電效率降低的問題，並比較**不同散熱方法的差異及熱能回收的效果**。

## 二、實驗原理

太陽能電池能將光能轉換成電能的原理是應用半導體的**光伏效應**(photovoltaic effect)。  
。光伏效應一般是指當光子射入具有PN接面(pn junction)的二極體元件後，會在二極體的兩端電極可以產生輸出功率的電壓值，這個過程主要包含的是光子射到半導體內產生**電子-電洞對**(electron-hole pair)、電子與電洞因為PN接面所形成的內建電場(built-in electric field)作用下而分離、電子與電洞各自朝著相反方向運動，並且由兩端電極來輸出至負載，在迴路上形成光電流。

太陽能板在接收日光時，表面的溫度也會隨之升高，在溫度的影響下，太陽能板的效率將會下降，由圖3-1a 太陽能電池V-I關係圖(張忠謀，2012，輔大演講稿)，說明了溫度對太陽能板電流及電壓的影響。



由圖3-1b 太陽能電池模組基本結構(張忠謀，2012，輔大演講稿)，可清楚的了解到太陽能電池模組的接線及外觀，對於我研究太陽能板，在原理上有一定的幫助；其中溫

度上升造成太陽能板發電效率降低，可透過散熱的方式達到一定的成效。而熱傳機制包括有**導熱熱傳**、**對流熱傳**、及**輻射熱傳**；其中導熱(Conduction) 定義為在固體或靜止流體(液體或氣體)中，熱傳導是由於物體內分子、原子或電子之無規則運動所造成；對流(Convection)定義為熱傳是由於流體在固體表面整體與不規則運動所造成；輻射(Radiation) 定義為當物質內原子或分子中之電子組成改變時，能量以電磁波electromagnetic waves (或稱為光子 photons) 傳輸。而對流熱傳可由流體之形式又分為**強迫對流**(forced convection)、**自然對流**(natural or free convection)、**沸騰**(boiling)、及**凝結**(condensation)。水冷方式主要是藉由傳導與對流來達到散熱的效果。

另外，太陽能熱水器是指利用陽光中蘊含的能量將水加溫的設備，屬於再生能源技術的一種。可分為**主動型**與**被動型**，被動型通常包含儲水槽與集熱器，主動型還包括讓水循環的泵及控制溫度的功能。水槽與集熱器有可能結合成一體，也有可能分離。在現存的再生能源設備當中，能量轉換效率最高，也較為經久耐用。

太陽能板的能量轉換中，利用電壓與電流的量測，計算電功率，公式如下：

電功率(P)為每秒所消耗的電能

$$P = E / t = I * V \quad \text{其中 } I \text{ 為電流，} V \text{ 為電壓}$$

陽光將水加溫，根據水的比熱等於  $1 \text{ cal} / (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

水加熱所需要的熱量公式如下：吸收(放出)的熱量=質量\*比熱\*上升(下降)的溫度差，

$$\text{即 } H = M * S * \Delta T \text{ (郭重吉，2014)。}$$

其中 H 為熱量；M 為水的質量；S 為水的比熱； $\Delta T$  為冷卻水在冷卻時間內的溫差。


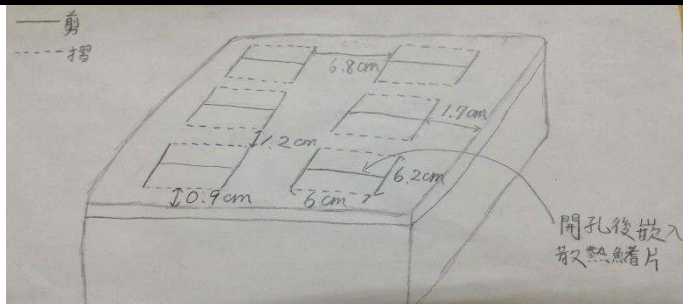



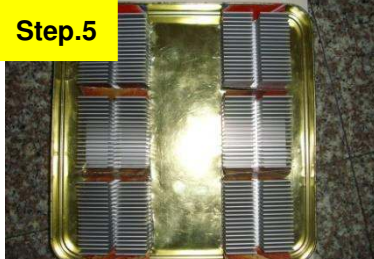



單位轉換  $1 \text{ cal (卡)} = 4.18 \text{ J (焦耳)}$ ； $1 \text{ W (瓦特)} = 1 \text{ J/s (焦耳/秒)}$ 。

本研究中定義了，

$$\text{發電效能提升率(\%)} = \frac{(\text{有散熱太陽能板電功率} - \text{無散熱太陽能板電功率})}{\text{無散熱太陽能板電功率}} * 100\%$$

$$\text{回收熱水效率(\%)} = \frac{\text{回收熱水功率}}{(\text{太陽能板的照射面積} * \text{輻射照度})} * 100\%$$

### 三、自製水冷裝置

<p>設計草圖 </p>		
<p>製作步驟：</p>		
<p><b>Step.1</b></p> 	<p><b>Step.2</b></p> 	<p><b>Step.3</b></p> 
<p>準備一廢棄蛋捲鐵盒。</p>	<p>在盒蓋畫出六個 6 cm × 6.2 cm 可置放鰭片的開孔。</p>	<p>用切割刀劃出開孔線，以方便剪開。</p>
<p><b>Step.4</b></p> 	<p><b>Step.5</b></p> 	<p><b>Step.6</b></p> 
<p>用剪刀剪出散熱片的孔洞。</p>	<p>將散熱鰭片嵌入孔洞。</p>	<p>在正面再一次鋪整壓平。</p>
<p><b>Step.7</b></p> 	<p><b>Step.8</b></p> 	<p><b>Step.9</b></p> 
<p>用矽利康將散熱鰭片四周密封。</p>	<p>底盒開三個孔插入水管並用矽利康密封固定。</p>	<p>在底盒四周塗上矽利康。</p>
<p><b>Step.10</b></p> 	<p><b>Step.11</b></p> 	<p><b>Step.12</b></p> 
<p>將兩個部份結合封口，以防漏水。</p>	<p>用矽利康將水閥開關與出水管連結。</p>	<p>完成自製水冷裝置模型，灌水即可使用。</p>



#### 四、研究方法

##### (一)探討太陽能板表面溫度變化對輸出功率的影響

**實驗一：**探討溫度與太陽能板輸出電壓、輸出電流及輸出電功率的關係

控制的變因	操縱的變因	應變的變因
鹵素燈照射瓦數(照度) 鹵素燈與太陽能板距離	溫度	電壓 電流 電功率

1. 將太陽能板接上 50  $\Omega$  的電阻，準備兩台三用電表，一台與太陽能板並聯，用以量測電壓，另一台與太陽能板串聯，用以量測電流。
2. 安裝鹵素燈於太陽能板上方 50 cm 處照射，並手動調整變壓器電壓，使照度調整到 950 W/m<sup>2</sup>。
3. 用紅外線溫度計測量太陽能板表面溫度。
4. 記錄溫度與太陽能板輸出電壓、輸出電流之間的關係。
5. 將電壓及電流數據相乘求得電功率，分析溫度與太陽能板輸出功率之間的關係。
6. 啟動風扇讓太陽能板散熱降溫，觀察溫度降低對太陽能板輸出功率的變化情形。
7. 量測太陽能板背面溫度與正面溫度，比較其差異。

##### (二)探討有無灰塵下，溫度對太陽能板輸出功率的影響

**實驗二：**探討有無灰塵下，溫度對太陽能板輸出功率的影響

控制的變因	操縱的變因	應變的變因
鹵素燈照射瓦數(照度) 鹵素燈與太陽能板距離	有無灰塵	溫度 電功率

1. 在太陽能板表面撒上粉筆灰，並計算粉筆灰所占面積。
2. 同實驗一中 1 至 3 步驟。
3. 記錄太陽能板輸出的電流、電壓值、表面溫度變化情形。
4. 計算太陽能板輸出功率，比較有無灰塵下，溫度對太陽能板輸出功率的差異。

### (三)探討仰角對太陽能板溫度及輸出功率的影響

**實驗三：**探討仰角對太陽能板溫度及輸出功率的影響

控制的變因	操縱的變因	應變的變因
鹵素燈照射瓦數(照度) 鹵素燈與太陽能板距離	仰角	溫度 電功率

1. 將太陽能板傾斜角度 0 度、15 度和 30 度。
2. 同實驗一中 1 至 3 步驟。
3. 記錄太陽能板輸出的電流、電壓值、表面溫度變化情形。
4. 計算太陽能板輸出功率，分析不同仰角下，太陽能板溫度及輸出功率的變化情形。



圖 3-2 量角器

### (四)探討空氣冷卻方式對太陽能板發電效能之影響

**實驗四：**探討散熱鰭片的數量對太陽能板溫升及輸出功率的變化情形。

控制的變因	操縱的變因	應變的變因
鹵素燈照射瓦數(照度) 鹵素燈與太陽能板距離	散熱鰭片的數量	溫度 電功率

1. 將散熱鰭片分別以 4、6、8 片不同數量置於太陽能板背面。
2. 同實驗一中 1 至 3 步驟，照度調整到  $1000 \text{ W/m}^2$ 。
3. 記錄不同散熱鰭片數量對太陽能板溫度變化的情形、電壓及電流值。
4. 計算太陽能板輸出功率，分析不同數量的散熱鰭片下，太陽能板溫度及輸出功率的變化情形。



圖 3-3 散熱鰭片 4 片



圖 3-4 散熱鰭片 6 片



圖 3-5 散熱鰭片 8 片

**實驗五：探討導熱膏對太陽能板發電效能之影響**

控制的變因	操縱的變因	應變的變因
鹵素燈照射瓦數(照度) 鹵素燈與太陽能板距離	有無導熱膏	溫度 電功率

1. 取 8 片散熱鰭片，在散熱鰭片上塗抹導熱膏。
2. 重複實驗四中步驟。
3. 分析散熱鰭片有無塗抹導熱膏，太陽能板溫度及輸出功率的變化情形之差異。



圖 3-6 在散熱鰭片上導熱膏



圖 3-7 塗 8 片備用

**(五)探討水冷方式對太陽能板發電效能之影響**

**實驗六：探討正面水冷方式對太陽能板發電效能的影響**

1. 同實驗一中 1 至 3 步驟，照度調整到  $1000 \text{ W/m}^2$ 。
2. 使用冷水由太陽能板正面直接淋水降溫，觀察太陽能板溫度變化情形及太陽能板輸出功率的變化情形。



圖 3-8 正面水冷裝置

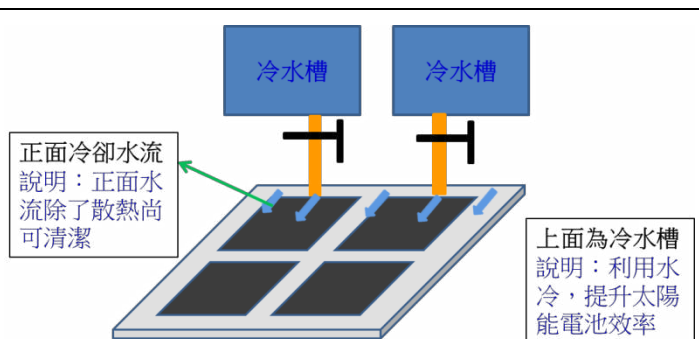
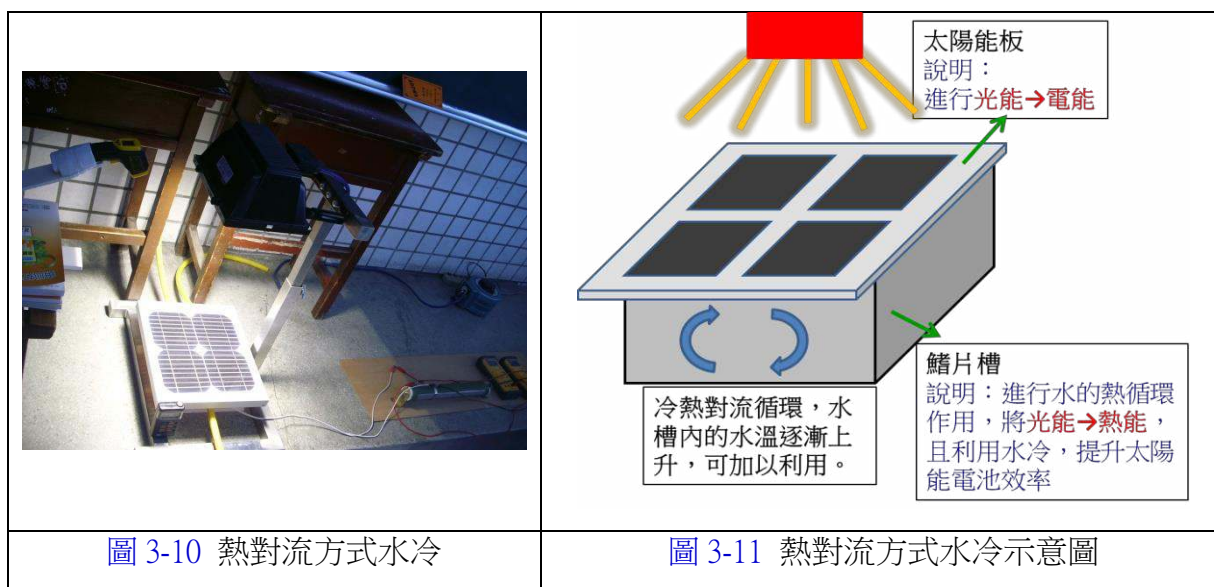


圖 3-9 正面水冷裝置示意圖

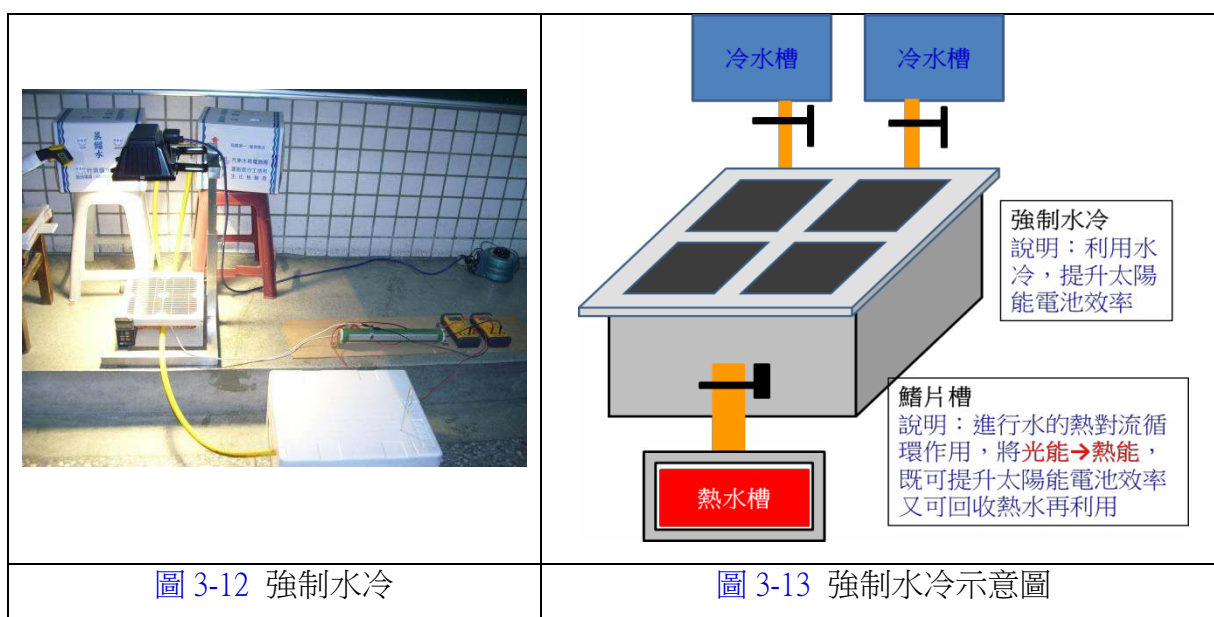
**實驗七：**利用水的熱對流方式，探討背面水冷方式對太陽能板發電效能的影響

1. 同實驗一中 1 至 3 步驟，照度調整到  $1000 \text{ W/m}^2$ 。
2. 將太陽能板背面直接接觸自製水冷裝置的散熱片，利用水冷裝置內水的熱對流方式幫助太陽能板散熱，觀察太陽能板溫度變化情形及輸出功率的變化情形。



**實驗八：**利用強制水冷方式，探討背面水冷方式對太陽能板發電效能的影響

1. 同實驗一中 1 至 3 步驟，照度調整到  $1000 \text{ W/m}^2$ 。
2. 利用強制水冷方式，將太陽能板背面安裝水冷裝置，並準備兩個儲水槽，冷水槽在高處，熱水槽在低處，利用水的位能，讓冷水流過散熱鰭片，並收集在熱水槽內，觀察太陽能板溫度及輸出功率的變化情形；同時記錄冷水及熱水槽的溫度。



## (六)自製的太陽能光熱模組效能之比較與戶外實作驗證

**分析比較：**分析空氣冷卻與水冷卻方式下，太陽能光熱模組效能的比較

將實驗五、實驗六、實驗七及實驗八的實驗數據進行分析比較，了解各種不同散熱方式下，太陽能板輸出功率的變化情形及回收熱功率的差異。

**戶外實作驗證：**實際使用太陽光進行實驗，比較水冷卻裝置的有無，太陽能板表面溫度及輸出功率的差異，並計算回收熱水的能量；室內模擬光源與戶外太陽光源兩種不同實驗環境下，分析實驗效果的差異。



圖 3-14 戶外實作照片(背面水熱對流)



圖 3-15 讀溫度值照片(無冷卻實驗)



圖 3-16 量測水流量照片



圖 3-17 電壓電流量測照片

## (七)不同水冷方式的太陽能光電熱水器之設計探討

1. 利用實驗六、實驗七、實驗八的數據，分析新型太陽能光電熱水器，可提升多少輸出功率，並增加多少能量的熱水。
2. 設計一新型太陽能光電熱水器，**集熱板換成太陽能板**，**既可發電又可將水加熱**。

## (八)具表面清洗功能及熱水回收之太陽能光熱模組設計

1. 利用正面水冷，加上軌道式清潔機構，可清洗太陽能板表面髒污，提升發電效能。
2. 設計一新型具表面清洗功能及熱水回收之太陽能光熱模組。

## 伍、研究結果

### 一、探討太陽能板表面溫度變化對輸出功率的影響

實驗一：探討溫度與太陽能板輸出電壓、輸出電流及輸出電功率的關係

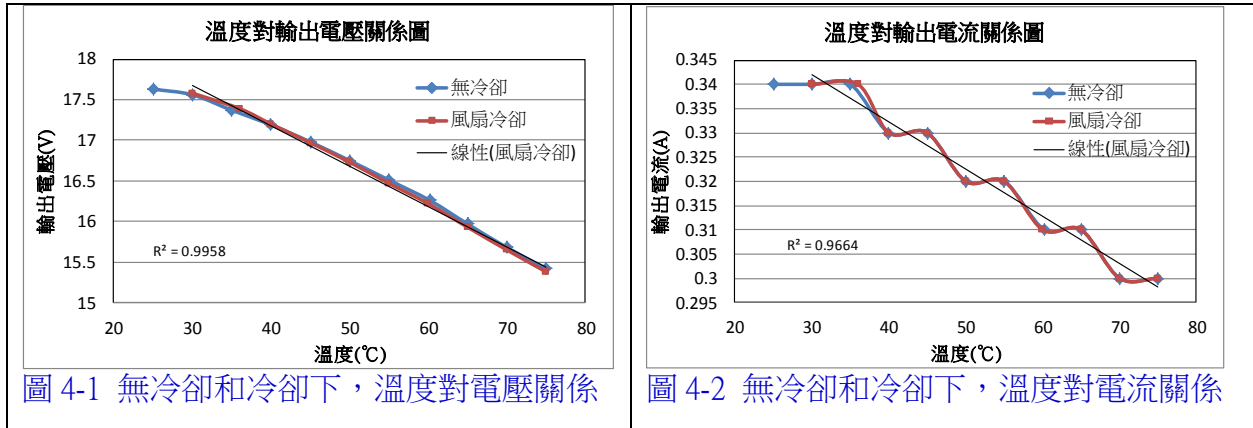


圖 4-1 無冷卻和冷卻下，溫度對電壓關係

圖 4-2 無冷卻和冷卻下，溫度對電流關係

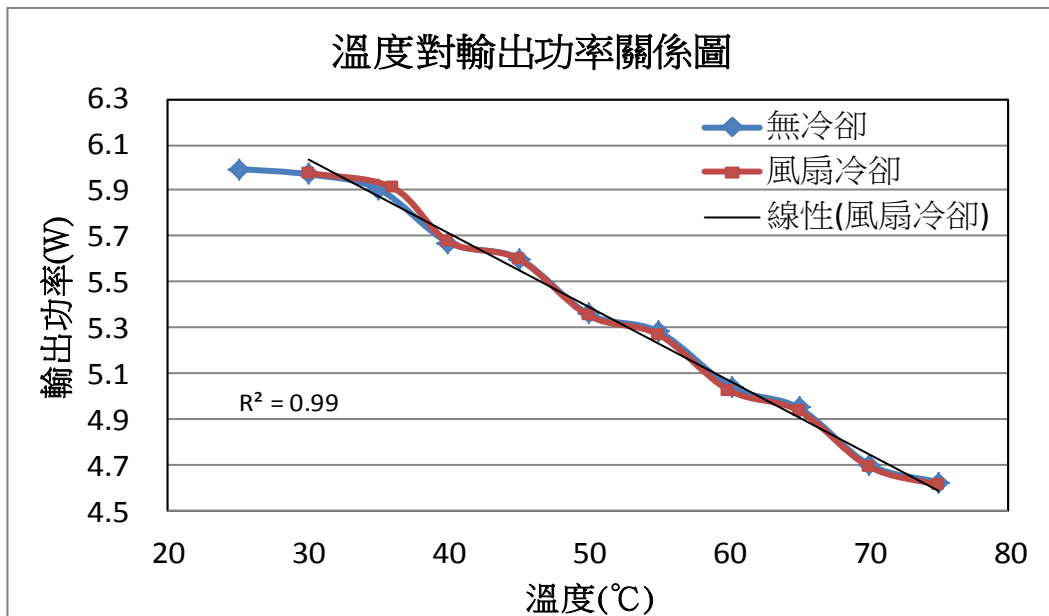


圖 4-3 無冷卻和冷卻下，溫度對太陽能板輸出功率關係圖

- 說明：
- 1.由圖 4-1、圖 4-2 及圖 4-3 得知，在無風扇作用下，太陽能板的輸出電壓、電流和功率隨溫度升高而下降；但風扇冷卻下，太陽能板的輸出電壓、電流和功率又會隨溫度下降而升高。電流曲線呈鋸齒狀，較不接近直線，主要是三用電表的顯示只有小數第二位，若使用較精確的電流計，就較接近直線了。
  - 2.紅色與藍色曲線幾乎重疊，確認電壓、電流及輸出功率隨溫度變化的一致性。
  - 3.當正面溫度為 50 °C 時，量測太陽能板背面溫度約 57~58 °C，約增加 7~8 °C。

## 二、探討有無灰塵下，溫度對太陽能板輸出功率的影響

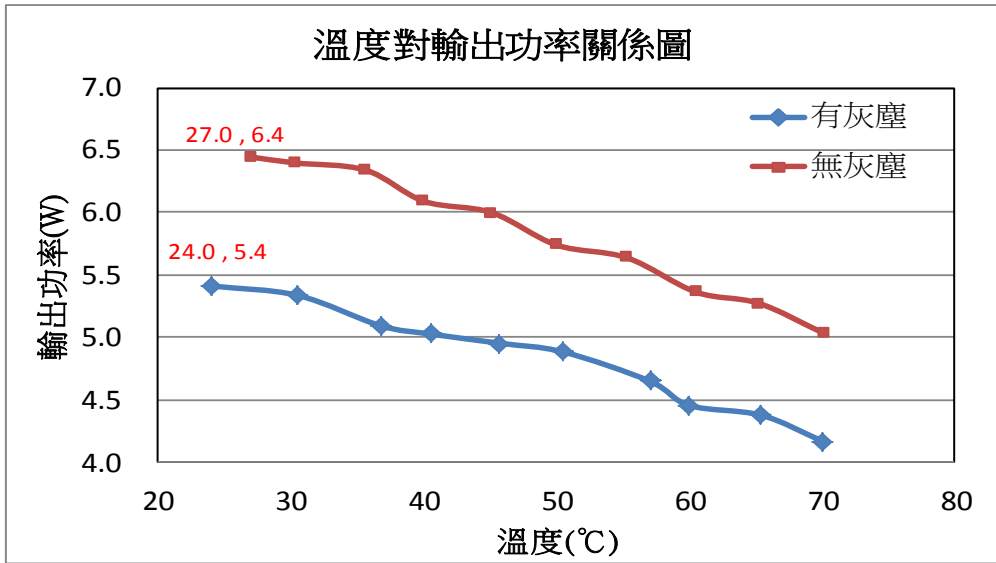


圖 4-4 有無灰塵下，溫度對太陽能板輸出功率關係圖

- 說明：**
1. 無論有無灰塵下，太陽能板的輸出功率隨溫度升高而下降。
  2. 有灰塵的情況下，太陽能板的輸出功率比起無灰塵的情況下都要來的低，在低溫的情況下，輸出功率相差約 1.0 W，大約少了約 15.6%。
  3. 實驗也發現，灰塵所在位置及面積不同，均會影響太陽能板的輸出功率。

## 三、探討仰角對太陽能板溫度及輸出功率的影響

**實驗三：**探討仰角對太陽能板溫度及輸出功率的影響

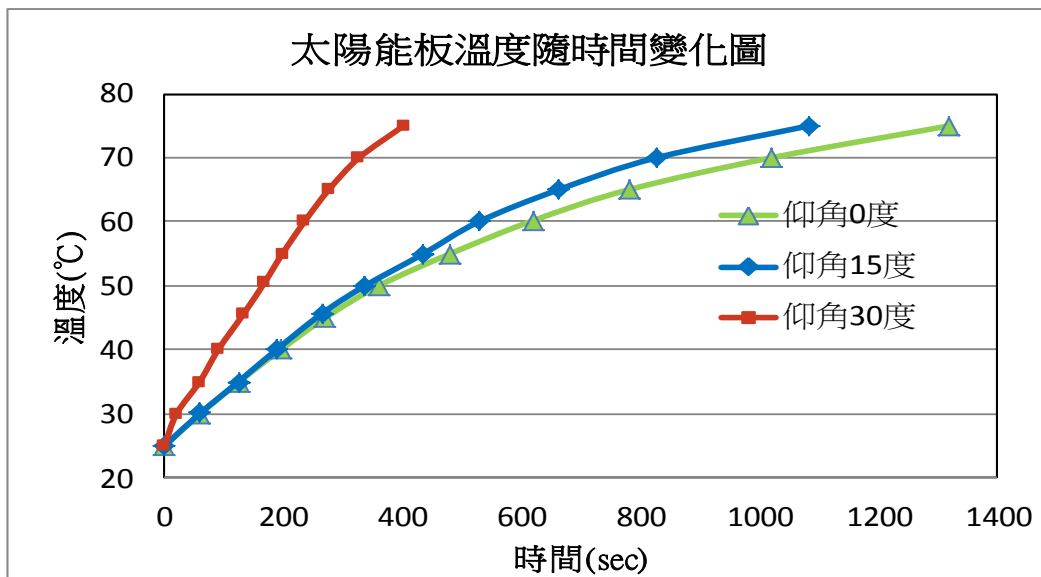


圖 4-5 不同仰角下，太陽能板溫度隨時間變化圖

**說明：**不同仰角下，太陽能板的仰角 30° 時，溫升最快；仰角 0° 時，溫升最慢。

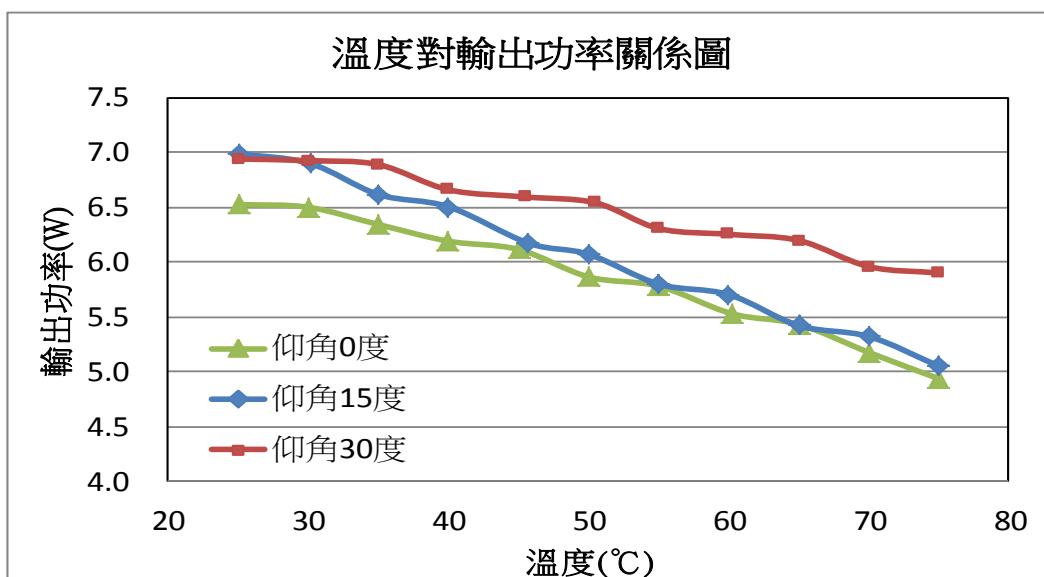


圖 4-6 不同仰角下，溫度對太陽能板輸出功率關係圖

說明：不同仰角下，太陽能板的輸出功率，依序為仰角  $30^\circ > 15^\circ > 0^\circ$ 。

#### 四、探討空氣冷卻方式對太陽能板發電效能之影響

實驗四：探討散熱鰭片的數量對太陽能板溫升及輸出功率的變化情形

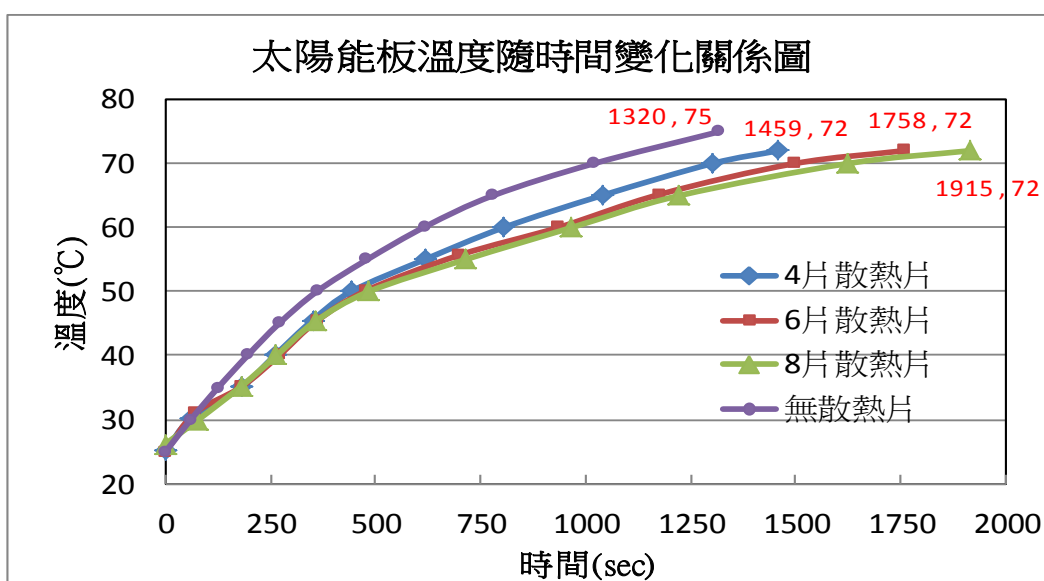


圖 4-7 不同數量的散熱鰭片下，太陽能板溫度隨時間變化圖

說明：1. 由圖 4-7 得知，不同數量散熱鰭片的實驗中，8 片散熱鰭片時，太陽能板的溫升最慢；無散熱鰭片時，太陽能板的溫升最快。

2. 8 片散熱鰭片時，需要 1915 秒（31 分 55 秒），太陽板表面約達到  $72^\circ\text{C}$ ，漸漸趨於平衡；無散熱鰭片時，只需要 1320 秒（22 分），太陽板表面約達到  $75^\circ\text{C}$ ，且溫度持續上升。



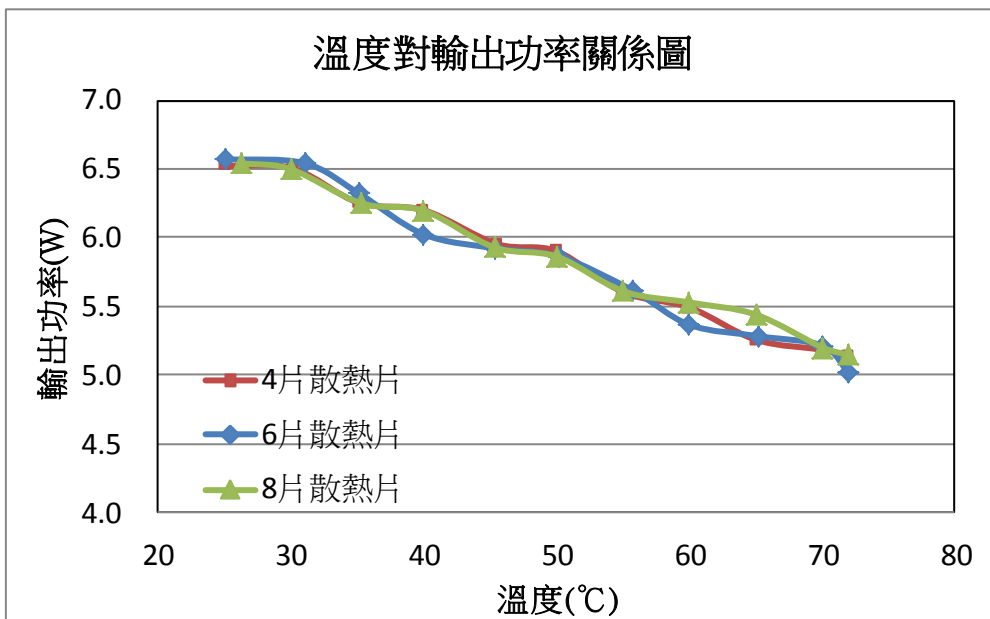


圖 4-8 不同數量的散熱鰭片下，溫度對太陽能板輸出功率關係圖

說明：由圖 4-8 得知，無論散熱鰭片的多寡，太陽能板的輸出功率隨溫度變化情形幾乎是一致的，太陽能板輸出功率與溫度成反比關係。

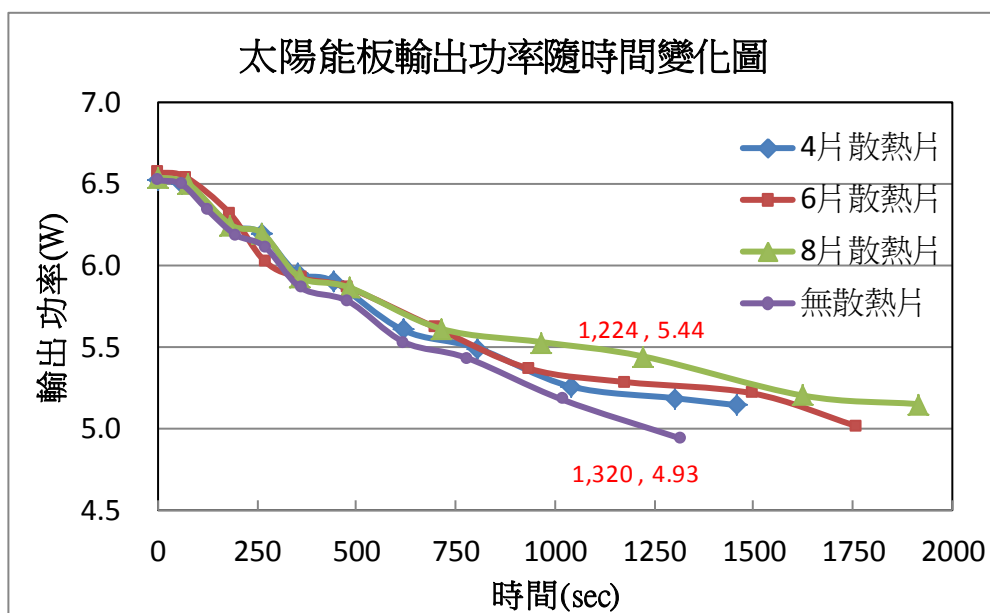


圖 4-9 不同數量散熱鰭片下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

說明：1. 由圖 4-9 得知，不同數量散熱鰭片，8 片散熱鰭片時，可以維持較高的輸出功率；無散熱鰭片時，會有較低的輸出功率。

2. 8 片散熱鰭片下，1224 秒（20 分 24 秒）時有 5.44 W 輸出，無散熱鰭片下，1320 秒（22 分）時只有 4.93 W 輸出，相差約 0.5 W。

### 實驗五：探討導熱膏對太陽能板發電效能之影響

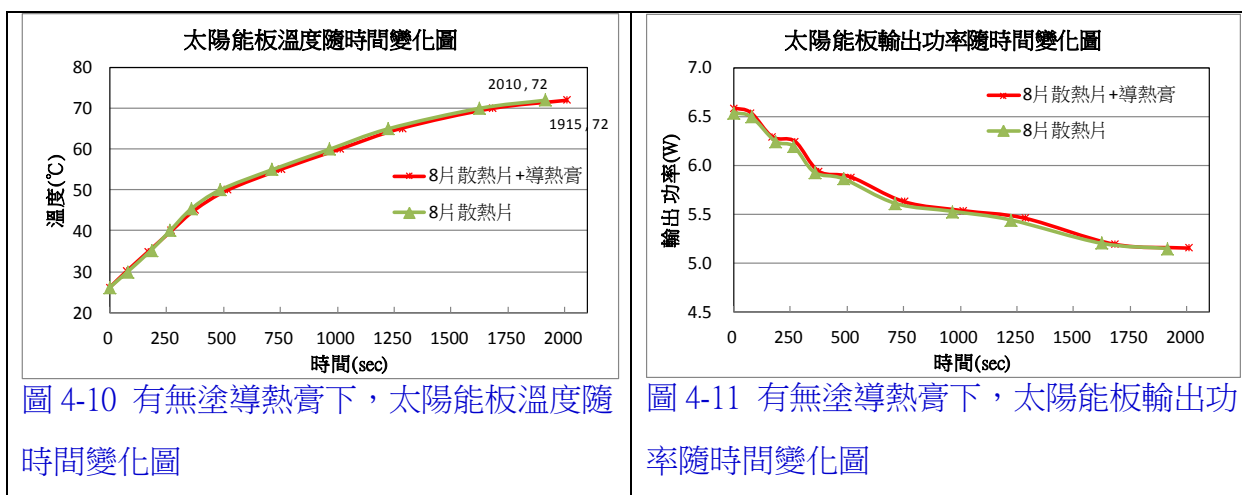


圖 4-10 有無塗導熱膏下，太陽能板溫度隨時間變化圖

圖 4-11 有無塗導熱膏下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

說明：由圖 4-10、圖 4-11 得知，有塗導熱膏下，太陽能板的溫升較慢，太陽能板的輸出功率略為增加。

### 五、探討水冷方式對太陽能板發電效能之影響

#### 實驗六：探討正面水冷方式對太陽能板發電效能的影響

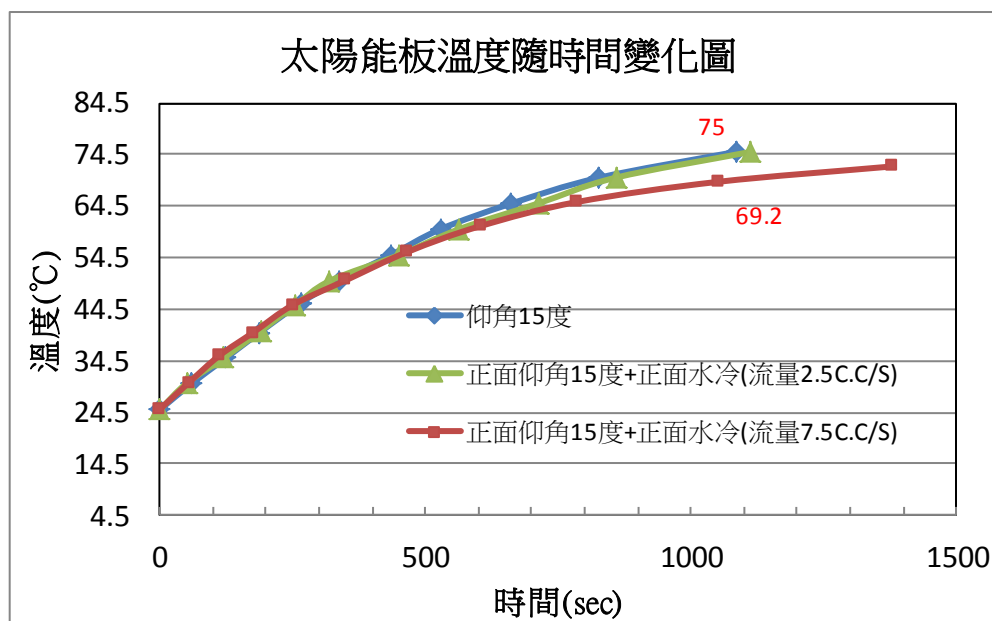


圖 4-12 正面強制水冷，太陽能板溫度隨時間變化圖

說明：由圖 4-12 得知，進行正面強制水冷時，流量 2.5 c.c./s 下，溫度變化幾乎與沒有水冷的情況差不多；流量 7.5 c.c./s 下，隨時間的增加，太陽能板的溫度相對較低，約可降低 5.8 °C。

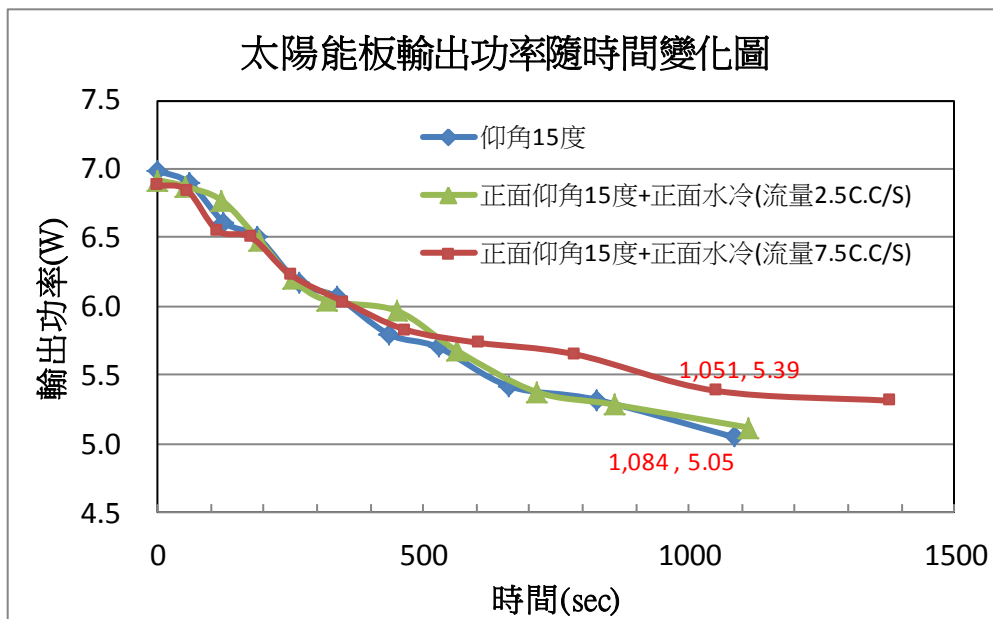


圖 4-13 正面強制水冷，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

說明：由圖 4-12 及圖 4-13 得知，進行正面強制水冷時，流量 2.5 c.c./s 下，太陽能板的輸出功率變化幾乎與沒有水冷的情况差不多；流量 7.5 c.c./s 下，隨時間的增加，有較大的輸出功率，約提升 0.34 W 的輸出功率。

實驗七：利用水的熱對流方式，探討背面水冷方式對太陽能板發電效能的影響

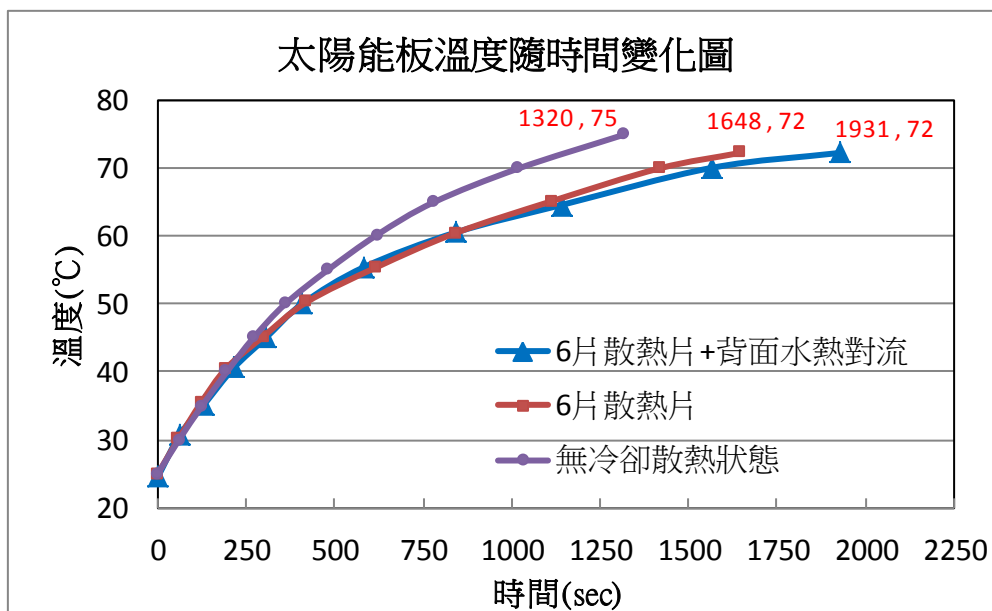


圖 4-14 背面水熱對流下，太陽能板溫度隨時間變化圖

說明：由圖 4-14 得知，進行背面水熱對流時，溫度上升由快到慢，依序為：  
 (6片散熱片+背面水熱對流) > 6片散熱片 > 無冷卻散熱

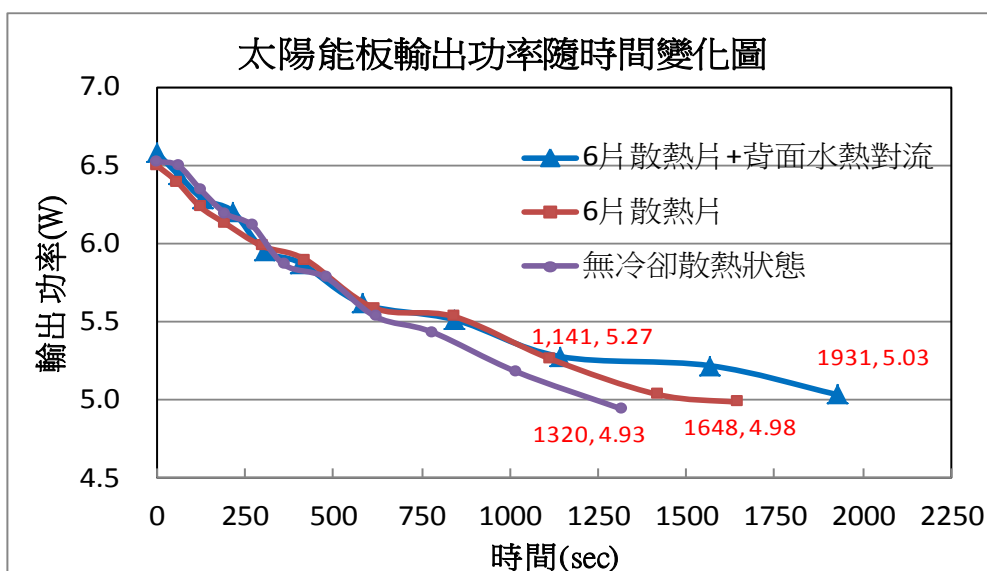


圖 4-15 背面水熱對流下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

說明：由圖 4-15 得知，利用散熱片進行背面水熱對流時，太陽能板的輸出功率比無冷卻散熱狀態時還大；在 1320 秒（22 分）時，約提升了 0.3 W 的輸出。

實驗八：利用強制水冷方式，探討背面水冷方式對太陽能板發電效能的影響

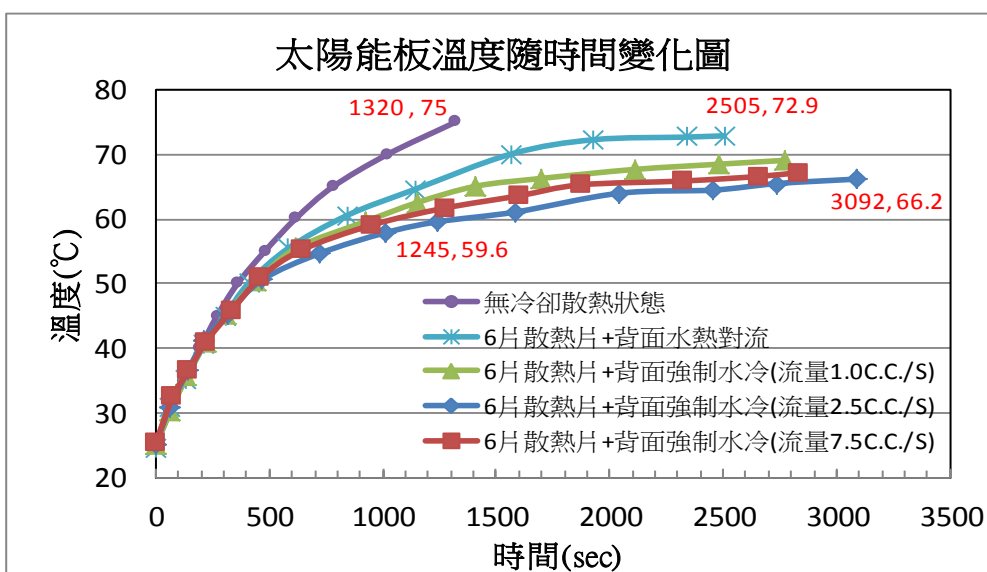


圖 4-16 背面強制水冷下，太陽能板溫度隨時間變化圖

說明：1.比較不同散熱方式，太陽能板的溫升速率由快到慢依序為(無冷卻散熱狀態) > (背面水熱對流) > (背面強制水冷,流量 1 c.c./s) > (背面強制水冷,流量 7.5 c.c./s) > (背面強制水冷,流量 2.5 c.c./s)；1320 秒時，水冷約可降低表面溫度約 15 °C。

2.流量 2.5 c.c./s 時，有較佳的散熱效果，幾乎已達到溫度平衡(66.2 °C)；流量 7.5 c.c./s 效果接近流量 2.5 c.c./s，推測散熱效果已達到飽和，過大的流量，反

而容易形成擾流，不利冷卻散熱。

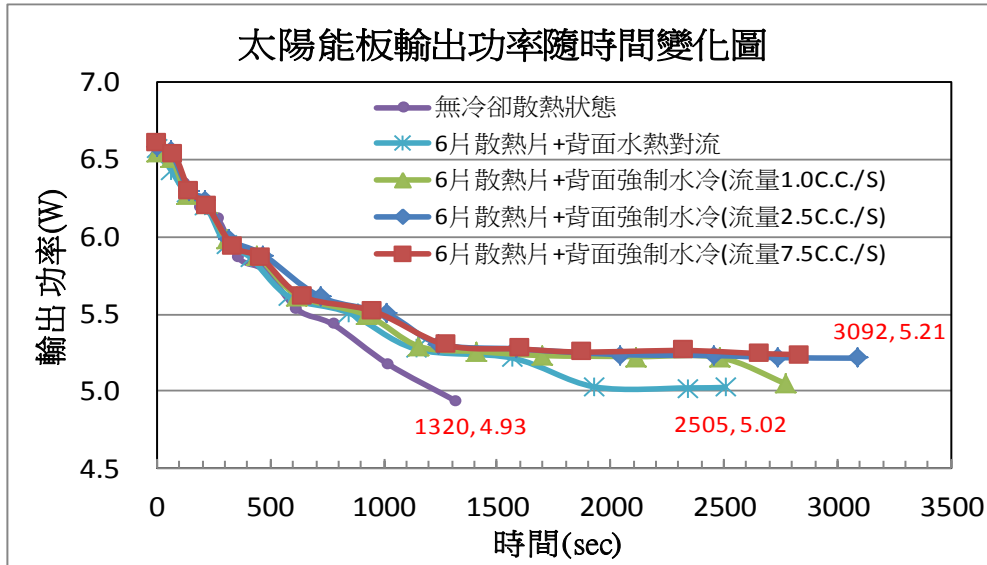


圖 4-17 背面強制水冷下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

說明：由圖 4-17 得知，流量 2.5 c.c./s 的背面強制水冷，太陽能板的輸出功率約平衡在 5.21 W，無冷卻狀態在 1320 秒（22 分）只有 4.93 W 輸出，且溫度還持續上升，輸出功率持續下降，顯示背面強制水冷對提升太陽能板輸出功率效果顯著。

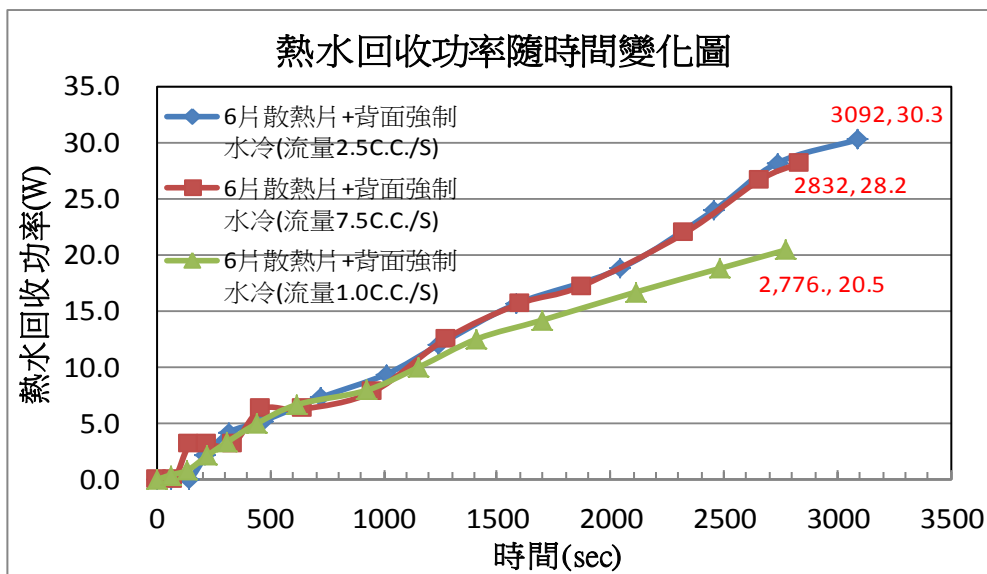


圖 4-18 背面強制水冷下，回收熱水功率隨時間變化圖

說明：1. 由圖 4-18 得知，利用背面強制水冷時，太陽能板的回收熱水功率隨時間而遞增；流量 2.5 c.c./s 與流量 7.5 c.c./s 比較，回收熱水功率差異並不大，顯然可回收的熱量已達飽和，再大的流量，也不會增加回收熱水功率。

2. 經過 2750 秒（45 分 50 秒）後，流量 1.0 c.c./s、2.5 c.c./s 與 7.5 c.c./s 可回收之

熱量分別約為 20 W、28 W、28 W。

3. 圖 4-18 背面強制水冷下，可回收之熱能尚未包含水冷裝置中的熱水，若將此部分也計算在內，可回收的熱能就更加可觀了。

## 六、自製的太陽能光熱模組效能之比較與戶外實作驗證

**效能之比較：**各種不同散熱方式下，太陽能板發電效能及回收熱能整理如表 1。

**表 1** 空氣冷卻與水冷卻方式，太陽能板發電效能的比較

冷卻方式		功率種類	輸出電 功率(W)	增加電 功率(W)	回收熱 功率(W)	總增加 功率(W)	熱電 合計功率
無冷卻狀態			4.93	0	0	0	4.93
空氣冷卻(背面 散熱鰭片)	4 片		5.18	0.25	0	0.25	5.18
	6 片		5.25	0.32	0	0.32	5.25
	8 片		5.38	0.45	0	0.45	5.38
正面強制水冷	2.5 C.C./S		4.98	0.05	0	0.05	4.98
	7.5 C.C./S		5.32	0.39	0	0.39	5.32
背面水熱對流	0 C.C./S		5.24	0.31	0 (18.1)*	0.31 (18.4)*	5.24 (23.3)*
背面強制水冷	1.0 C.C./S		5.27	0.34	11.6	11.94	16.87
	2.5 C.C./S		5.3	0.37	12.81	13.18	18.11
	7.5 C.C./S		5.29	0.36	12.96	13.32	18.25

註：1.太陽能板中心位置的照度約為 1000 W/m<sup>2</sup>； 2.太陽能板的功率為 10 W；  
3. 負載電阻為 50 Ω； 4.上述功率值為鹵素燈啟動後 1320 秒 (22 分) 實測值或以內插法、外插法方式計算而得； 5.\*內的數值為水冷裝置內所含的平均熱水功率； 6. 總增加功率 = 增加電功率(W) + 回收熱功率(W)； 7. 熱電合計功率 = 輸出電功率(W) + 回收熱功率(W)。

**說明：**1.由表 1 可知，各實驗中可獲得之熱電總功率由高到低依序為：

背面強制水冷 > 背面水熱對流 > 正面強制水冷 > 背面散熱鰭片空氣冷卻 > 無冷卻狀態。(不包含水冷裝置內的熱水)

- 2.若只針對太陽能板輸出電功率比較，8 片散熱鰭片空氣冷卻有最佳的效能表現，由此可見，散熱片位置及散熱面積對太陽能板發電效能的影響也非常重要。

**戶外實作驗證：**實驗結果如下。

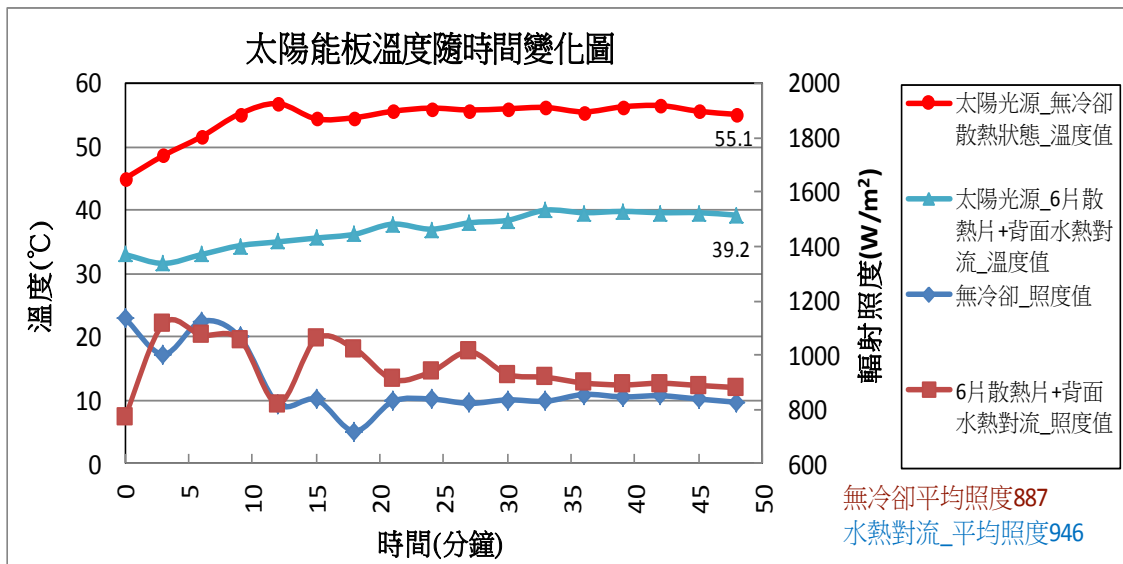


圖 4-19 戶外太陽光源照射下，太陽能板表面溫度隨時間變化圖

- 說明：
- 1.太陽光照射下，使用水冷裝置散熱，降低表面溫度平均約 17 °C。
  - 2.太陽光的照度雖有起伏(當日天氣有雲)，由圖 4-19 可知，溫度變化起伏較小。

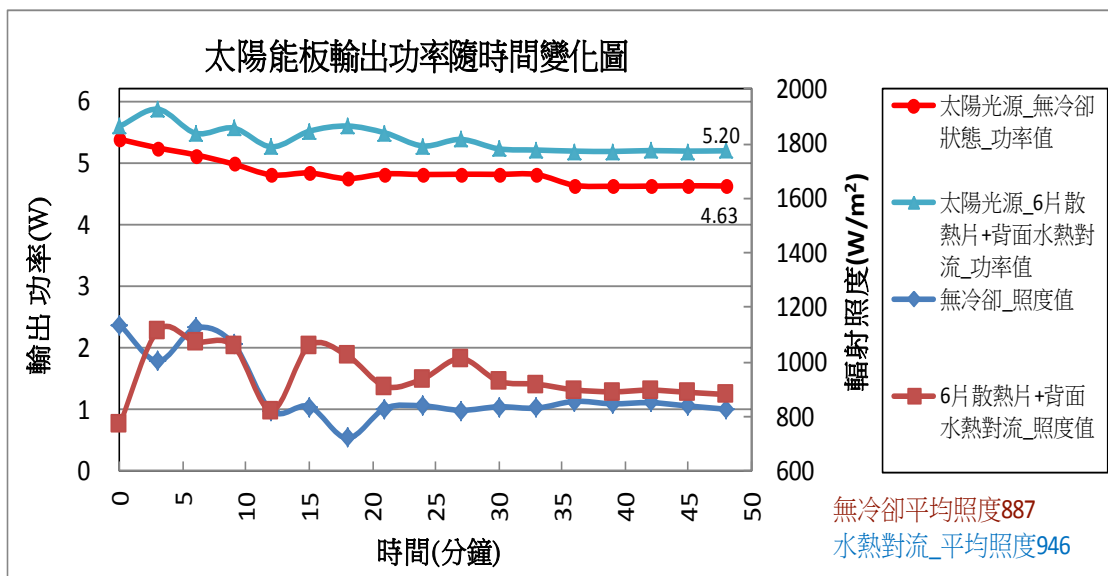


圖 4-20 戶外太陽光源照射下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

- 說明：
- 1.太陽光照射下，使用水冷裝置散熱，增加電功率平均約 0.56 W，提升約 12%。
  - 2.由圖 4-20 可知，照度雖有變化起伏，但冷卻狀態下，有較高的電功率輸出，無冷卻下，功率衰減較多，有較低的電功率輸出(實驗使用的負載電阻為 62.5Ω)。

回收熱水能量計算：量測冷卻水的溫差 $\Delta T=36.5-31=5.5^{\circ}\text{C}$ ，水的質量為=4200g，冷卻總時間為 48 分鐘，計算可得，回收熱水熱量 =  $4200 \times 1 \times 5.5 = 23100 \text{ cal} = 23100 \times 4.18 = 96558 \text{ J}$

$$\text{回收熱水平均功率} = 96558 / (48 \times 60) = 33.5 \text{ W}$$

平均輻射照度  $946\text{W/m}^2$ ，太陽能板面積為  $31\text{ cm} \times 35.6\text{ cm} = 0.110\text{ m}^2$ ，計算得太陽能板可吸收的功率為  $946 * 0.11 = 104\text{ W}$ ，因此，回收熱水效率 =  $33.5\text{ W} / 104\text{ W} = 32.2\%$

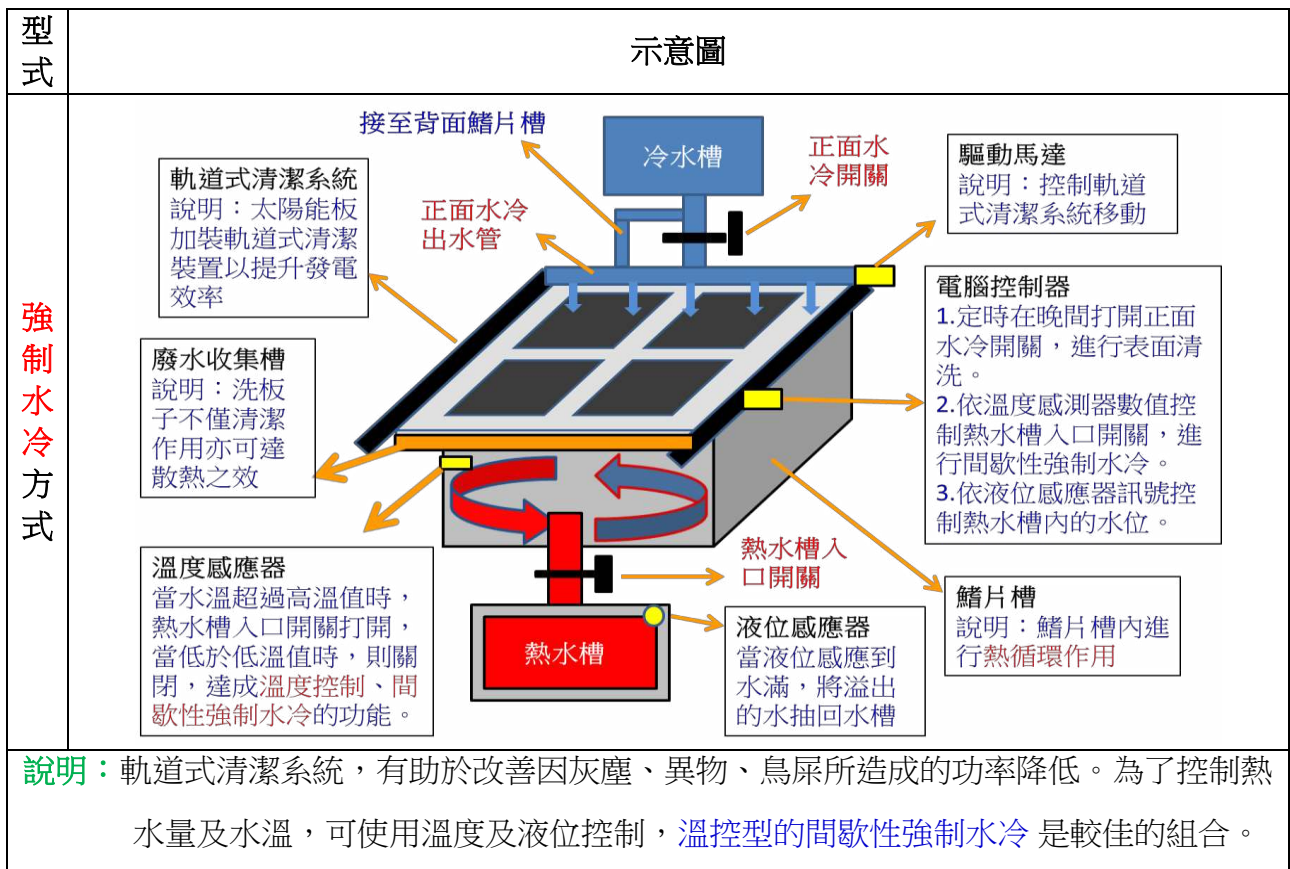
### 七、不同水冷方式的太陽能光電熱水器之設計探討

不同的兩種太陽能光電熱水器的形式，分別為**熱對流型**及**強制水冷型**，前者較為簡單，成本較低，冷熱水槽共用；後者較為複雜，冷水及熱水槽分離，可正面及背面同時冷卻，冷水槽的位能提供水流的動力，設計示意圖如下。

型式	示意圖	說明
<p>水的熱對流方式</p>		<p>左圖裝置雖然效果不是最佳，但本研究顯示仍可有效提高輸出功率及回收熱能，但裝置較為簡單，成本也會較低。</p>
<p>強制水冷方式</p>		<p>左圖裝置，研究顯示效果最佳，可有效提高輸出功率及回收熱能，但裝置較為複雜，成本也會較高。</p>



## 八、具表面清洗功能及熱水回收之太陽能光熱模組設計



## 陸、討論

### 一、探討太陽能板表面溫度變化對輸出功率的影響

**實驗一：**探討溫度與太陽能板輸出電壓、輸出電流及輸出功率的關係

1. 溫度與太陽能板輸出電壓、電流及功率均呈現**線性**關係，且為高度**負相關**， $R^2$  係數分別為 0.996、0.966、0.99，也就溫度越高，輸出電壓、電流及功率呈線性遞減。
2. 經過風扇對太陽能板表面冷卻後，相同的溫度下所對應到的輸出電壓、電流及功率幾乎回復到冷卻前的狀態，更加驗證實驗的可信度，也奠定了本研究的實驗基礎。

### 二、探討有無灰塵下，溫度對太陽能板輸出功率的影響

**實驗二：**探討有無灰塵下，溫度對太陽能板輸出功率的影響

有灰塵的情況下，因為可接受光照的面積減少了，所以太陽能板的輸出功率明顯下降；但太陽能板的輸出功率與溫度的線性比率關係略有不同(斜率不同)，這其中的原因為何？由於我們量測的溫度僅為太陽能板的中心位置，推測是表面狀況，產生反射、局部溫度變化等原因所造成，若未來可使用紅外線溫度熱像儀，將可進行更深入的研究。

### 三、探討仰角對太陽能板溫度及輸出功率的影響

實驗三：探討仰角對太陽能板溫度及輸出功率的影響

1. 太陽能板的仰角  $30^\circ$  時，溫升最快，顯示太陽能板局部面積，距離鹵素燈較近，溫度上升也就越快，未來可針對實際日照下，是否也存在這樣的現象進行探討。
2. 不同仰角下，太陽能板的輸出功率，依序為仰角  $30^\circ > 15^\circ > 0^\circ$ ，仰角  $30^\circ$  在相同溫度下有較大的輸出功率，推測是太陽能板局部面積所接受到的照度較大的關係。

### 四、探討空氣冷卻方式對太陽能板發電效能之影響

實驗四：探討散熱鰭片的數量對太陽能板溫升及輸出功率的變化情形。

綠色部分的面積除以經過的總時間，即可得到量測時間內的平均增加功率。

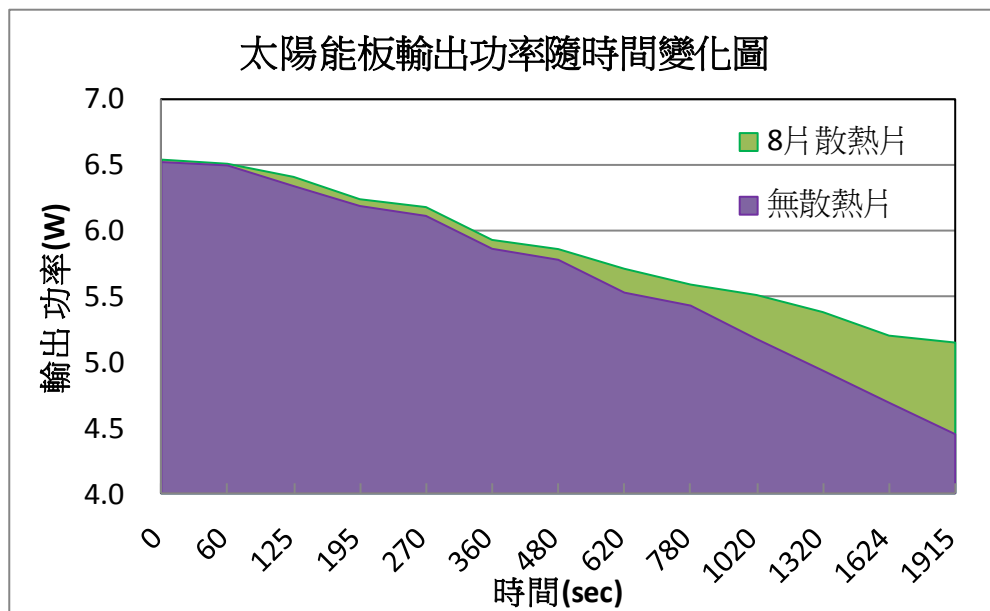


圖 5-1 有無散熱鰭片下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

1. 由圖 5-1 得知，未使用散熱片時的太陽能板發電量為紫色區塊面積，而加了 8 片散熱片後，又增加了綠色區塊面積的發電量。
2. 為了計算量測時間內的平均增加功率，使用梯形面積相加求出曲線下面積的近似值，可得到平均增加功率為 0.3 W，發電效能提升率約 5.6%。
3. 若只考慮 1020~1915 秒這段時間內，則平均增加功率為 0.49 W，且發電效能提升率約 10.2%；這樣的結果令人興奮，推測在高溫的日照下，如果可以使用散熱的技術將太陽能板維持在較低的溫度，太陽能板就可以保持在高效率的發電狀態。

### 實驗五：探討導熱膏對太陽能板發電效能之影響

有塗導熱膏情況下，太陽能板的輸出功率略為增加，實驗過程中發現，太陽能板背面封裝有一層絕緣防水的塑膠材質(如圖)，將可能影響熱傳導，在 8 片散熱片實驗中，鰭片溫度與太陽能板表面中心溫度的差異如下圖，溫差約可達到 20 °C；若接觸熱阻可以降低，溫差必能減少，散熱效果將可以提高，太陽能的輸出功率也會增加。

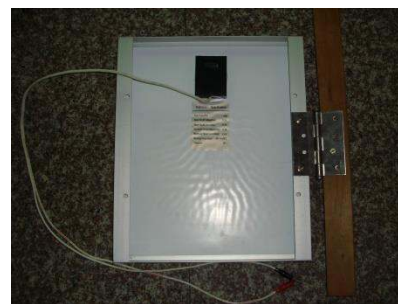
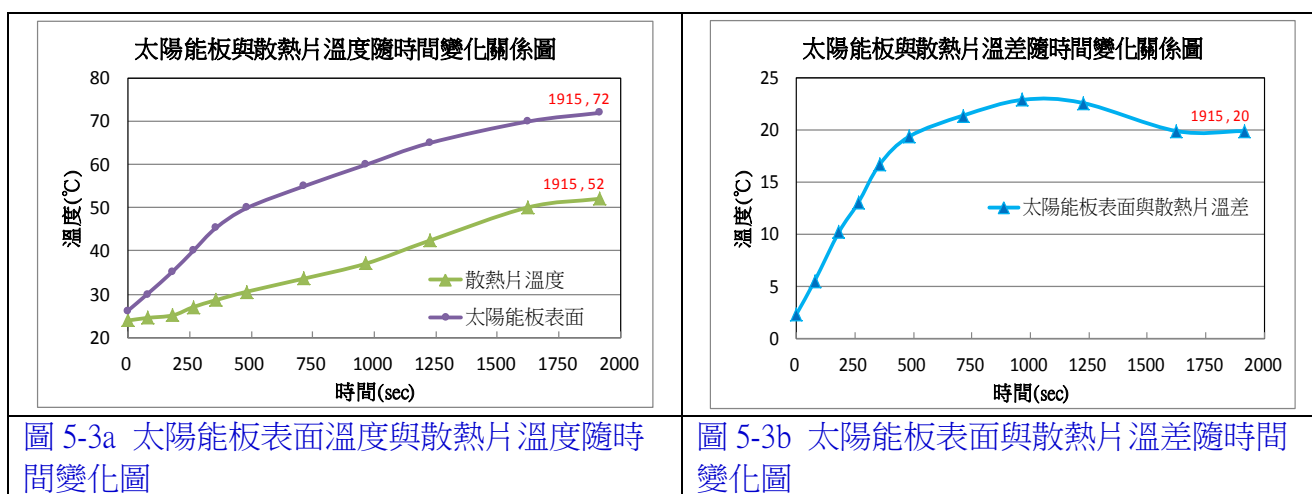


圖 5-2 太陽能板背面



## 五、探討水冷方式對太陽能板發電效能之影響

### 實驗六：探討正面水冷方式對太陽能板發電效能的影響

原以為太陽能板表面的水會造成光線的反射，而影響發電效能，但實驗顯示，水流量較大時能提高太陽能板的輸出功率，水流量較小時則影響有限。

### 實驗七：利用水的熱對流方式，探討背面水冷方式對太陽能板發電效能的影響

1. 由圖 5-4 得知，無散熱時的太陽能板發電量為紫色區塊面積，而加了 6 片散熱片後，太陽能板發電量增加了綠色區塊面積的發電量；冷水注入鰭片槽內，又增加了藍色區塊面積的發電量。
2. 計算量測時間內的平均增加功率，背面水熱對流方式 可得到平均增加功率為 0.22 W，發電效能提升率約 4.1%。
3. 若考慮 1020~1931 秒這段時間內，則平均增加功率為 0.4 W，發電效能提升率約 8.4%。

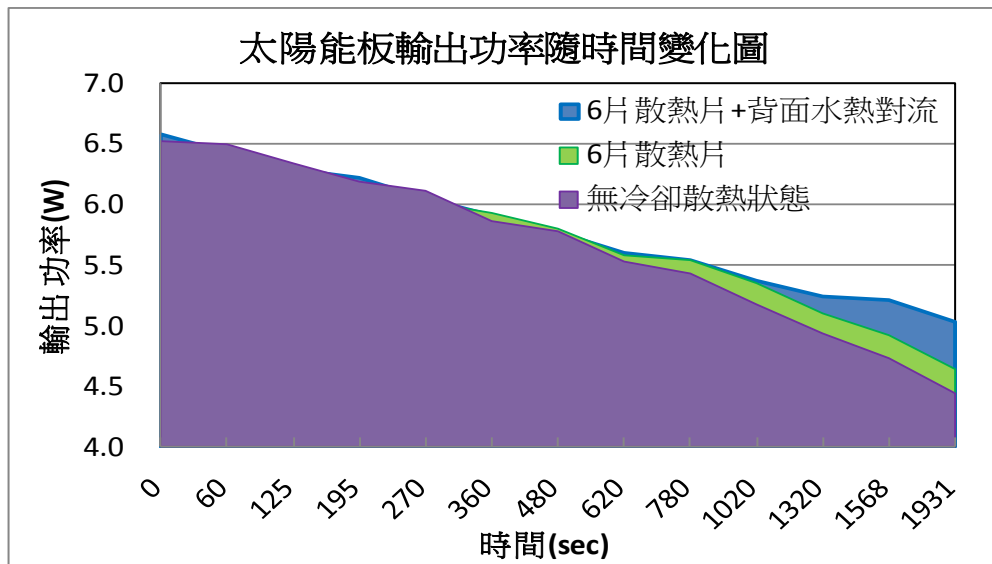


圖 5-4 不同散熱情況下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

實驗八：利用強制水冷方式，探討背面水冷方式對太陽能板發電效能的影響

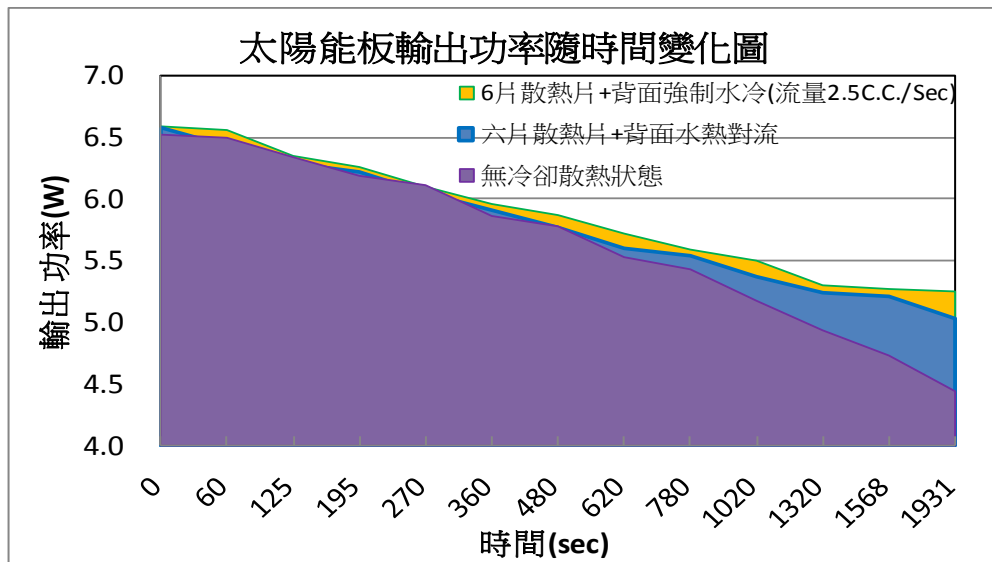


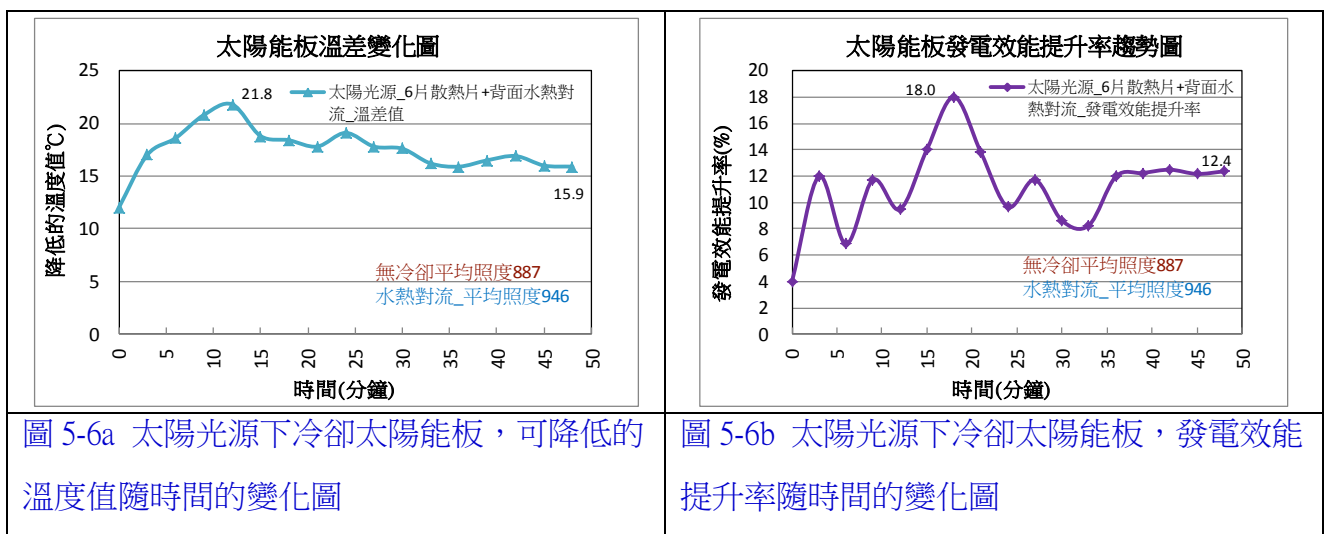
圖 5-5 不同散熱情況下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

1. 由圖 5-5 得知，無冷卻散熱時的太陽能板發電量為紫色區塊面積，使用背面水熱對流方式散熱後，增加了藍色區塊面積的發電量；使用背面強制水冷(流量 2.5 c.c./s)散熱後，又增加了黃色區塊面積的發電量。
2. 背面強制水冷 (流量 2.5 c.c./s)，可增加功率平均為 0.31 W，發電效能提升率約 5.8%。
3. 只考慮 1020~1931 秒這段時間內，則平均增加功率 0.51 W，發電效能提升率約 10.5%。
4. 太陽能板面積為  $31 \text{ cm} \times 35.6 \text{ cm} = 0.110 \text{ m}^2$ ，照度  $1000 \text{ W/m}^2$  情況下，計算得太陽能板可吸收的功率為  $110 \text{ W} (=1000 \times 0.11)$ ，因此，回收熱水效率為 25.4% ( $= 28 \text{ W} / 110 \text{ W}$ )。

## 六、自製的太陽能光熱模組效能之比較與戶外實作驗證

**分析比較：**本研究顯示，背面強制水冷不僅可以提升輸出電功率，還能將熱水回收再利用，實驗過程也發現較多的鰭片面積將有助於溫度的降低與效能的提升，因受限於實驗裝置，本研究水冷裝置只能容納六片散熱片，未來可針對散熱鰭片面積、材質、高度等因素，對散熱效果、電功率提升及熱水回收能量的影響，進行深入的研究。

**戶外實作驗證：**太陽光源與模擬光源，所得到的結論一致性很高，提高了本研究的實用性，如何將水冷裝置薄型化、降低成本，未來可使用熱流分析軟體，來達到產品最適化的目標。



因為沒有足夠的太陽能板，在不同照度的狀況下進行實驗，無冷卻時的實驗，平均照度  $887 \text{ W/m}^2$ ，有背面水熱對流的實驗，平均照度為  $946 \text{ W/m}^2$ ，進行散熱前後，太陽能板溫度及輸出功率的比較，由圖 5-6 可知，呈現相當不錯的效果。發電效能提升率最大可達 18%，表面溫度最高可降  $21.8^\circ\text{C}$ 。

針對 Wu, J.P. et al. (2011) 提出的研究報告，依照圖表的結果，傾斜角上升，太陽能板效率會下降，且傾斜角越高，溫度有下降的趨勢，這樣容易得到錯誤的推論：傾斜角上升，溫度下降，效率就下降，本研究發現這樣的錯誤，來自實驗裝置傾斜角上升時，遠離了光源，則照度下降，溫度就降低，效率也下降，這主要是照度不固定所導致的。

與蕭宏搖 (2013) 的研究相比，本研究的方法大幅提升了發電效能，發電效能提升率由 2% 提升至 12%；而和蕭德仁(2005) 的研究比較，在降低太陽能板溫度方面，發電效能提升率由 3.9% 提升至 12%；本研究中，回收熱水效率可達 32.2%。

## 柒、結論

- 一、太陽能板的輸出功率隨表面溫度升高而下降，且呈高度負相關；降低太陽能板表面溫度，能提升發電效能；背面強制水冷約可降低太陽能板表面溫度約  $15^{\circ}\text{C}$ 。
- 二、灰塵會降低太陽能板的輸出功率，太陽能板安裝正面強制水冷，不僅可以降低表面溫度約  $5.8^{\circ}\text{C}$ ，亦可達表面清潔效果，一個裝置兩種用途，能全面提升太陽能板輸出功率。
- 三、不同仰角下，太陽能板的輸出功率，依序為仰角  $30^{\circ} > 15^{\circ} > 0^{\circ}$ ，可提供未來安裝太陽能板時，太陽能板傾斜一定仰角下，傾斜面提供正面水冷時水流的動力，並且傾斜角度也有助於熱對流形式之太陽能光電熱水器的熱對流效果(冷水下降熱水上升)。
- 四、散熱鰭片面積越大，太陽能板的輸出功率越高；導熱膏會降低接觸熱阻，可提高散熱效果；太陽能板的封裝，若能讓背面的導熱效果進一步改善，將可降低水冷裝置的成本。
- 五、背面強制水冷對提升輸出功率效果最為顯著；增加電功率平均為  $0.51\text{ W}$ ，約提升  $10.5\%$ ；且回收熱水功率約  $28\text{ W}$ ，回收熱水效率約為  $25.4\%$ 。無論是電功率輸出或回收熱水功率均呈現：流量  $2.5\text{ c.c./s} \approx \text{流量 } 7.5\text{ c.c./s} > \text{流量 } 1.0\text{ c.c./s}$ ；流量較大時，散熱效果已達到飽和，再大的流量，也不會提升電功率的輸出及回收熱水功率。
- 六、強制水冷的方向對太陽能板發電效能呈現不同的效果，背面強制水冷比正面水冷效果好，歸究於太陽能板的背面溫度高於正面溫度  $7\sim 8^{\circ}\text{C}$ ，且散熱鰭片增加了散熱面積。
- 七、本研究中，太陽能光熱模組效能之比較，可獲得之熱電總功率由高到低依序為：背面強制水冷>背面水熱對流>正面強制水冷>背面散熱鰭片空氣冷卻>無冷卻狀態；但是背面 8 片散熱鰭片空氣冷卻時，卻有最佳的輸出電功率效能表現，由此可見，散熱面積對太陽能板發電效能的影響顯著。
- 八、戶外太陽光源實作驗證結果與室內模擬光源的結論一致，且效果更佳；太陽能板表面溫度約降低  $17^{\circ}\text{C}$ ，增加電功率平均為  $0.56\text{ W}$ ，約提升  $12\%$ ，回收熱水功率約  $33.5\text{ W}$ ，水溫約提升  $5.5^{\circ}\text{C}$ ，回收熱水效率約  $32.2\%$ ；若同時考量發電的效能及回收熱水的溫度，薄型大面積的水冷板，搭配溫控型的間歇性強制水冷，將會是一種較佳的組合，未來可進一步探討。
- 九、本研究提出兩種不同形式的太陽能光電熱水器之設計，及一款具軌道式清洗功能的太陽

能光電熱水器之設計，可應用在屋頂上，不僅可以用來發電，也可以產生熱水供家庭使用，甚至屋頂可因熱能回收而降溫，同時能達到屋頂隔熱的功效，將使屋內的溫度跟著降低，可謂一舉數得。

## 捌、參考資料與其他

- 一、張忠謀 (2012) · 太陽能電池 · 輔大演講稿。取自 <http://www.vr.ncue.edu.tw/esa/a1013/ch07.pdf>。
- 二、蕭德仁 (2005) · *提升太陽能電池發電效率參數與機構之研究* (碩士論文) · 高雄市：正修科技大學。
- 三、藍乙廷、藍喬譯 (2008) · *提升太陽能電池效率的方法* · 中華民國第四十八屆中小學科學展覽會 · 台北市：東湖國中。取自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/high/030813.pdf>。
- 四、蔡豐欽、吳正鵬、許柏偉、許翔(2013) · 太陽能光電/熱水混合系統對於傾斜角度之影響及其整體效益分析 · *中華科技大學學報*，55，11-24。
- 五、蕭宏搖 (2013) · *熱傳影響太陽能模組發電效率之研究* (碩士論文) · 台南市：崑山科技大學。
- 六、程達隆、許玉晶 (2008) · 太陽能及溫差發電示範實驗裝置 · *物理教育月刊*，9(2)，27-34。
- 七、郭重吉(主編)(2014) · 自然與生活科技(二上) · 台南市 · 南一書局。
- 八、史家瑩(主編)(2013) · 自然與生活科技(三上) · 台南市 · 翰林出版社。
- 九、Wu, J.P., Tsai, F.C., Wang, W.H., Hsueh, Y.L., & Liu, T.C. (2011). The Inclination of Effect of the PV Panel Efficiency and its Analysis. *Journal of China University of Science and Technology*, 46.

## 【評語】 030813

以程控軟體加上感溫裝置，以分離冷熱水，以應用於節水上，是可以深究的主題。如能對節水的效益做一整體的評估，或應用於不同領域上或會較好。