

2016 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100006
參展科別 工程學
作品名稱 環保綠能太陽能板冷卻及熱能回收系統設計實測與優化分析
得獎獎項 大會獎：二等獎

就讀學校 彰化縣立陽明國民中學
指導教師 黃淑菁、蔡名峯
作者姓名 陳柏驊

關鍵字 太陽能板散熱、熱能回收、水強制對流

作者簡介



大家好，我是就讀於彰化縣陽明國中三年級的陳柏驊。我從小就對科學很有興趣，國一和國二都有參加科展，這次有機會可以參加台灣國際科展，我覺得是一次很棒的體驗。

在這次科展過程中假日常常要不斷地做實驗和進行模擬，經常做到晚上10點，全校都沒半個人了，只剩我獨自默默地進行實驗。在研究的過程中首先要感謝家人的陪伴，還要感謝指導老師的訓練與協助。一路走來，刻苦銘心，讓我領悟到『付出也許不會馬上有成效，但有一天必會開花結果』。

摘要

本研究提出一套太陽能板冷卻與熱能回收系統，透過在太陽能板背面裝設一水冷板，以散熱鰭片搭配水強制對流來增加散熱的效率，並利用水塔的位能來提供冷卻水流的動力，在降低太陽能板溫度提升發電效率的同時，也可把熱能回收利用。本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效率；戶外日照實驗顯示，太陽能板輸出功率增加約 12%，回收熱水效率約 32.2%。藉由熱流分析軟體模擬優化水冷板模組後，太陽能板表面溫度及回收熱水效率可獲得進一步的改善。實用上，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，將可達到提升發電量、回收熱水及屋頂隔熱的功效。

Abstract

This study proposes a set of solar panel cooling and heat recovery system. A water cooling module with fins and flow channel was fabricated and installed on the back of the solar panels to improve its cooling. The potential energy of the cooling water in the upper tank to the module was used to flow the water to attain forced convection. This cooling module was proven to effectively lower the solar panel temperature which leads to enhanced solar panel efficiency. At the same time, the heat dissipated from the solar panel can be recycled and stored by the cooling water. Water cooling of the front surface of the solar panel was also tested. Experimental results showed that the front surface cooling can clean the dust on the panel surface and thus improves the solar panel efficiency. With the back side cooling configuration, experimental results showed that the output electrical power of the solar panel increased by 12%, and the hot water recovery efficiency is about 32.2%. A thermo-fluid simulation for the water cooling module was also conducted. With preliminary optimization of the module, it shows solar panel surface temperature and the hot water recovery efficiency can be further improved. In conclusion, a temperature-controlled, intermittent thin water cooling plate with large in-plane surface area in conjunction with front surface cleaning system should be a better design for installing on the roof which will improve efficiency of energy conversion as well as hot water recycling and roof insulation.

一、前言

(一) 研究動機

近年來由於全球經濟發展，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。但太陽能板的光電轉換效率易受各種因素的影響，尤其在土地資源昂貴的都市中，提升太陽能板發電效率更為重要。

太陽光照射到太陽能板上只有約 15% 可以轉換成電能，大部分都會轉換成熱能。在一次科學研習活動中，我得知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，於是我展開了一連串關於太陽能板效能的研究。

(二) 研究目的

1. 探討太陽能板表面溫度變化對輸出功率的影響
2. 探討有無灰塵下，溫度對太陽能板輸出功率的影響
3. 探討仰角對太陽能板溫度及輸出功率的影響
4. 探討空氣冷卻方式對太陽能板發電效能之影響
5. 探討水冷方式對太陽能板發電效能之影響
6. 不同太陽能光熱模組效能之比較與戶外實作驗證
7. 水冷板模組優化之熱流模擬分析
8. 新型太陽能板冷卻與熱能回收系統之設計與效益分析

二、研究方法或過程

(一) 研究器材、儀器與軟體

1. 器材

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

註：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 °C~+85 °C。

2. 測量儀器

		
圖 1-17 紅外線溫度計	圖 1-18 三用電表	圖 1-19 照度計

3. 軟體： (1) SolidWorks 3D CAD 設計軟體 (2) ANSYS 熱流分析軟體

(二) 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 1.7×10^{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°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°C ，同時發現太陽能模組每上升 1°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。Sayran

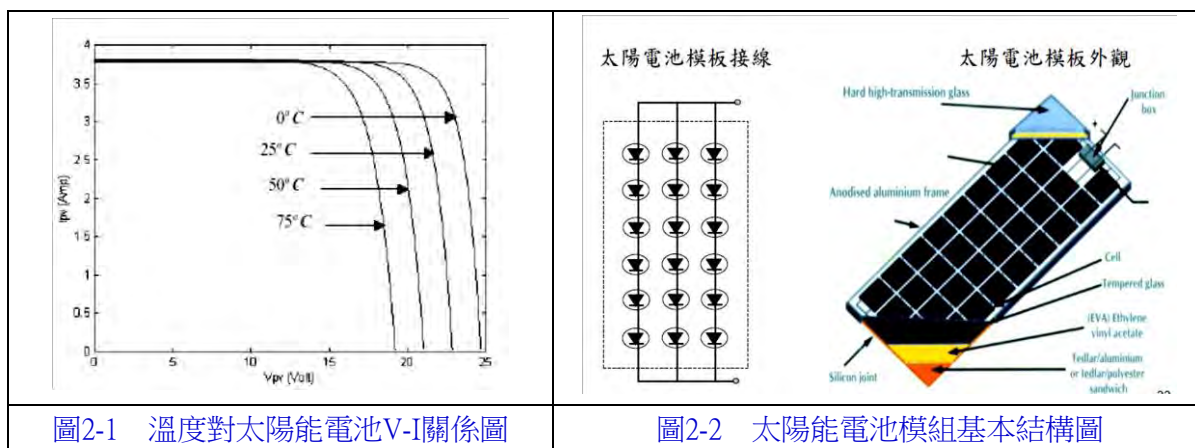
A. Abdulgafar , Omar S. Omar ,Kamil M.Yousif. (2014)提出透過水浸法改善太陽能板的效率，水深 6cm 時，太陽能板輸出效率可增加約 11%；M Mohamed Musthafa . (2015)藉由水冷卻提升太陽能板光電轉換效率，使用海綿安裝於太陽能板背面，滴水維持海綿濕潤，最高可降低溫度約 4°C，發電效率由 9% 上升至 12%；Peter Atkin, Mohammed M. Farid (2015)使用混和石墨相變化材料，外加散熱鰭片，可以改善太陽能電池轉換效率。

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。

(三) 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2-1 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2-2 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，

$$\text{即 } H = M * S * \Delta T。$$

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

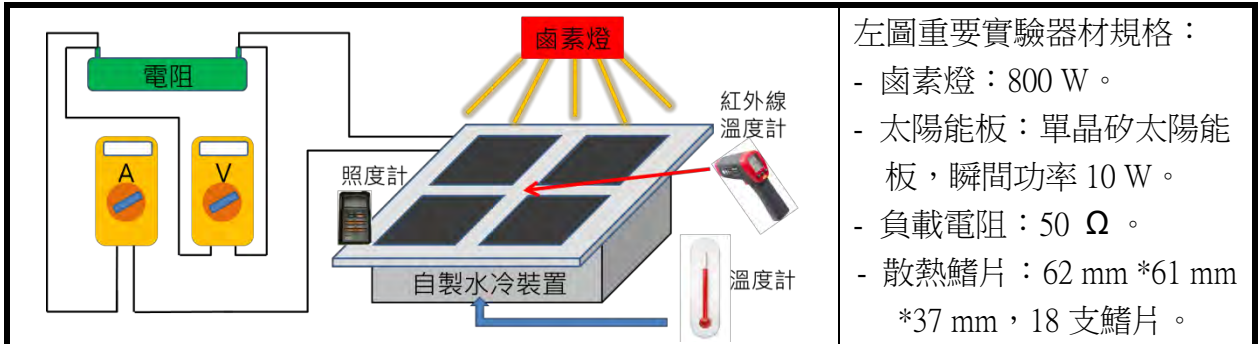
單位轉換 $1 \text{ cal} (\text{卡}) = 4.18 \text{ J} (\text{焦耳})$ ； $1 \text{ W} (\text{瓦特}) = 1 \text{ J} / \text{s} (\text{焦耳/秒})$ 。

本研究中定義了，

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

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

(四) 實驗裝置



左圖重要實驗器材規格：

- 鹵素燈：800 W。
- 太陽能板：單晶矽太陽能板，瞬間功率 10 W。
- 負載電阻：50 Ω。
- 散熱鰭片：62 mm * 61 mm * 37 mm，18 支鰭片。

自製水冷裝置的製作步驟：

<p>Step.1</p>	<p>Step.2</p>	<p>Step.3</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>Step.4</p>	<p>Step.5</p>	<p>Step.6</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>Step.7</p>	<p>Step.8</p>	<p>Step.9</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>Step.10</p>	<p>Step.11</p>	<p>Step.12</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>

(五) 研究方法

1. 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 Ω 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 50cm 處照射，並手動調整變壓器電壓，使照度調整到 950W/m²。
- (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。

2. 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

3. 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 3-1 量角器

4. 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 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。

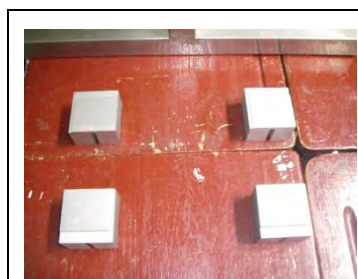


圖 3-2 散熱鰭片 4 片



圖 3-3 散熱鰭片 6 片



圖 3-4 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 3-5 在散熱鰭片上導熱膏



圖 3-6 塗 8 片備用

5. 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 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 3-7 正面水冷裝置

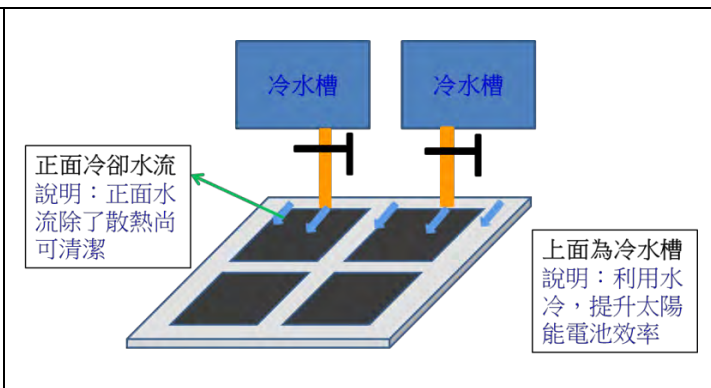
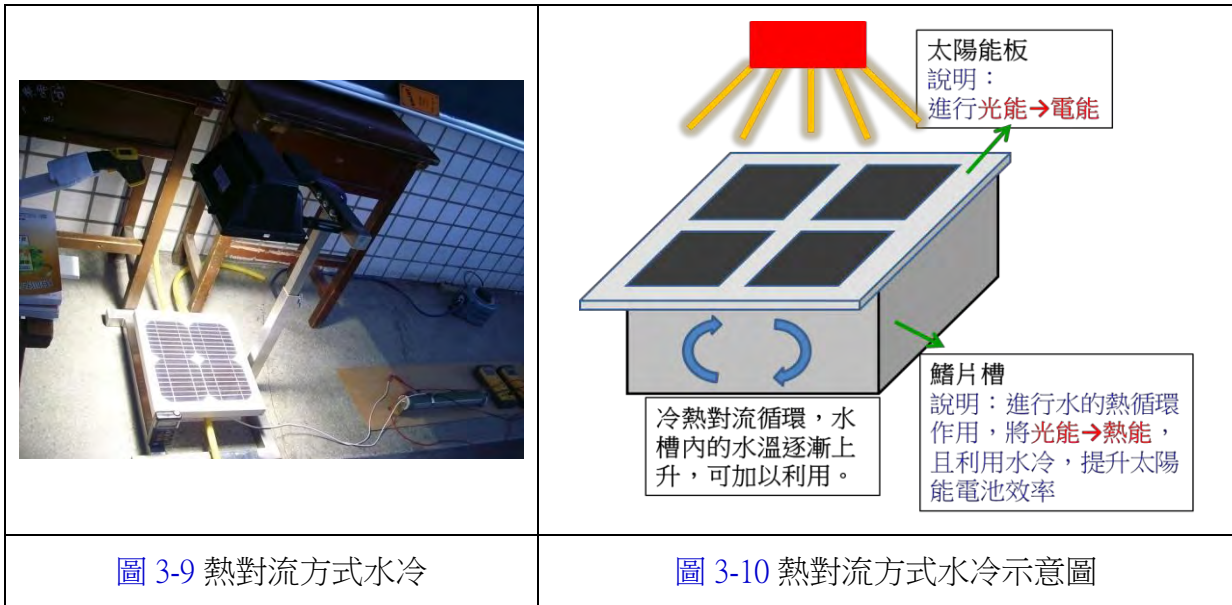


圖 3-8 正面水冷裝置示意圖

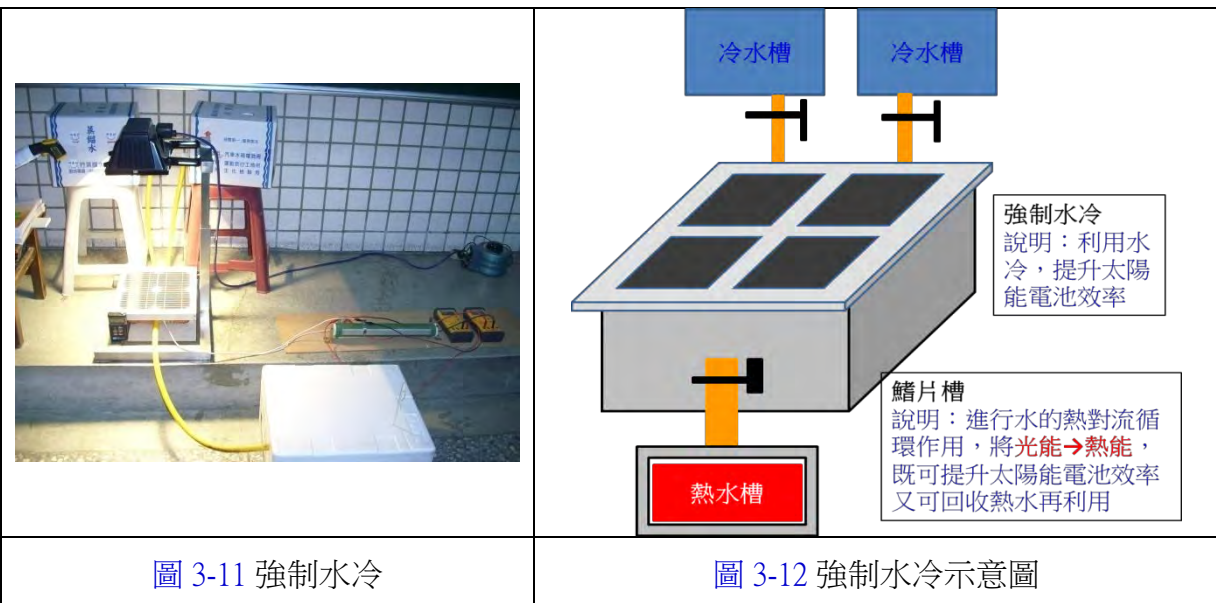
實驗七：利用水的熱對流方式，探討背面水冷方式對太陽能板發電效能的影響

- (1) 同實驗一中 1 至 3 步驟，照度調整到 1000 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 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，讓冷水流過散熱鱗片，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。



6. 不同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 3-13 戶外實作照片(背面水熱對流)

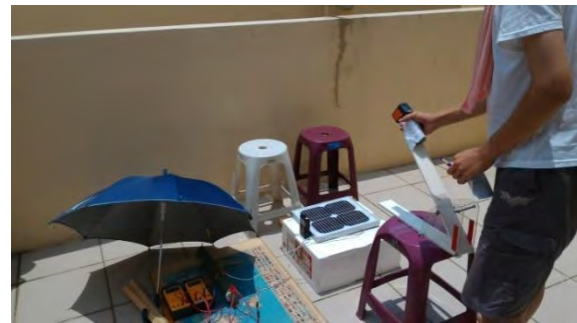


圖 3-14 讀溫度值照片(無冷卻實驗)



圖 3-15 量測水流量照片



圖 3-16 電壓電流量測照片

7. 水冷板模組優化之熱流模擬分析

以先前實際實驗的條件，利用繪圖軟體 SolidWorks 繪製水冷板的幾何尺寸，再放入熱流分析軟體 ANSYS 模擬，建立基準模型，並設定適當參數條件，並反覆修正基準模型，使基準模型與實際狀況盡量吻合。

透過改變水冷板的幾何尺寸和散熱鰭片的位置，利用軟體分析優化水冷板模組，使水冷板模組成本更低、重量更輕、體積更小、散熱效果更佳及回收熱水溫度更高。

模擬分析一：改變水冷板的厚度，探討厚度縮減對散熱效果的影響

(1) 將水冷板的厚度分別設為 97 mm(原尺寸)、71 mm、45 mm。

- (2) 將修改後的模型放入 ANSYS 模擬分析，入口流量設定為 $2.5 \text{ cm}^3/\text{s}$ ，初始水溫為 $26.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ，比較其太陽能板表面溫度及回收熱水溫度。

模擬分析二：將散熱鰭片移往出水口，探討流道對散熱效果的影響

- (1) 選用厚度 45 mm 水冷板的模型進行修改，將靠近入水口的鰭片往出水口移動 45 mm 。
- (2) 將修改後的模型放入 ANSYS 模擬分析，入口流量設定為 $2.5 \text{ cm}^3/\text{s}$ ，初始水溫為 $26.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ，比較其太陽能板表面溫度及回收熱水溫度。

模擬分析三：以較佳散熱效果的水冷板模型，探討入口流量對回收熱水溫度的影響

- (1) 選用厚度 45 mm ，鰭片未移動及移動 45 mm 的水冷板作為分析模型。
- (2) 入口流量調整為 $0.83 \text{ cm}^3/\text{s}$ ，初始水溫為 $26.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ，將修改後的模型放入 ANSYS 模擬分析，比較其太陽能板表面溫度及回收熱水溫度。

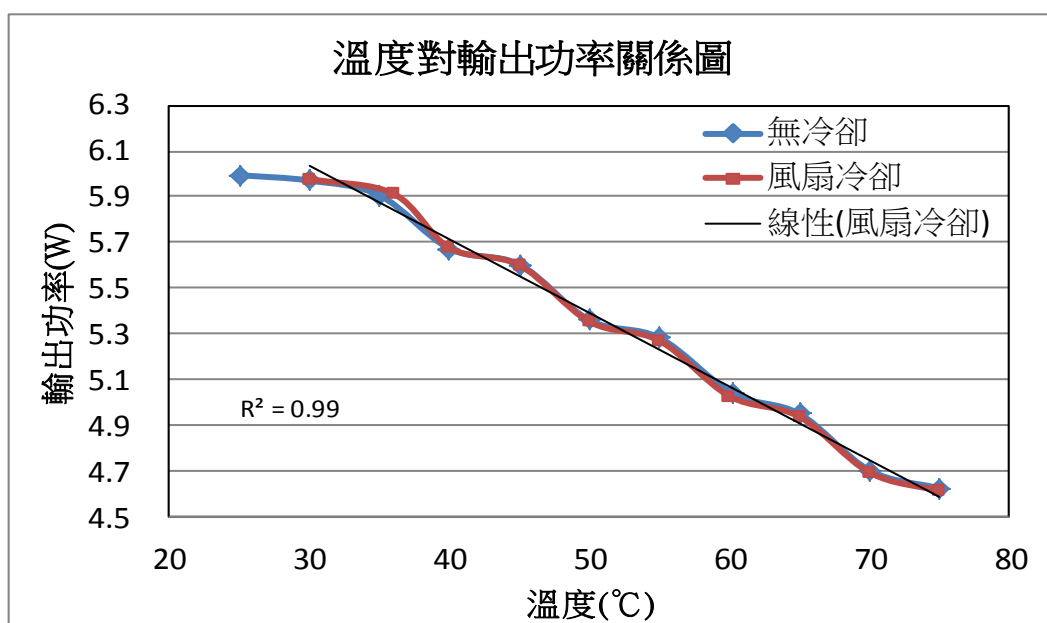
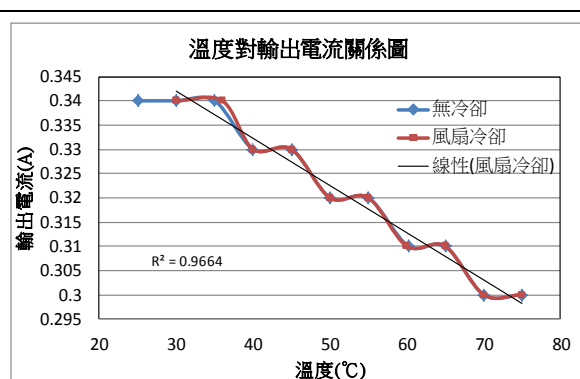
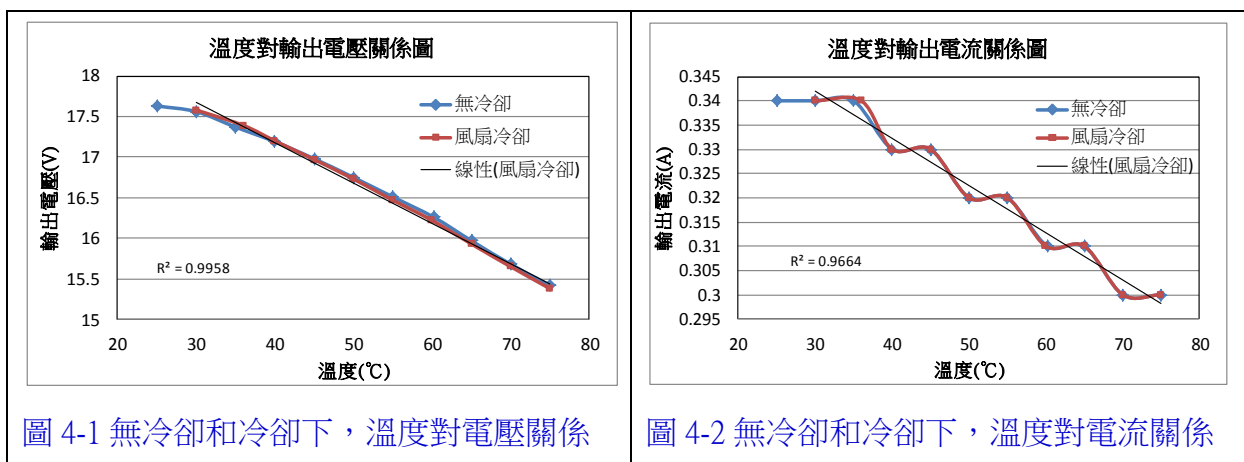
8. 新型太陽能板冷卻與熱能回收系統之設計與效益分析

- (1) 設計一新型太陽能光電熱水器，應用於屋頂上達到提升太陽能板發電量、回收熱水及屋頂隔熱的功效；薄型水冷板裝設於太陽能板背面進行散熱，提升發電效率，同時把熱水回收再利用；正面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；利用水塔的位能來提供冷卻水流的動力，可降低額外能量的消耗，搭配溫控型的間歇性水強制對流，達到回收熱水溫度提升及回收熱水水量控制的目的。
- (2) 針對新型的太陽能光電熱水器，以本研究的實驗的數據及模擬分析結果，進行效益分析。

三、研究結果與討論

(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、輸出電流及輸出電功率的關係



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，輸出電壓、電流和功率又會隨溫度下降而升高。
2. 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。
3. 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

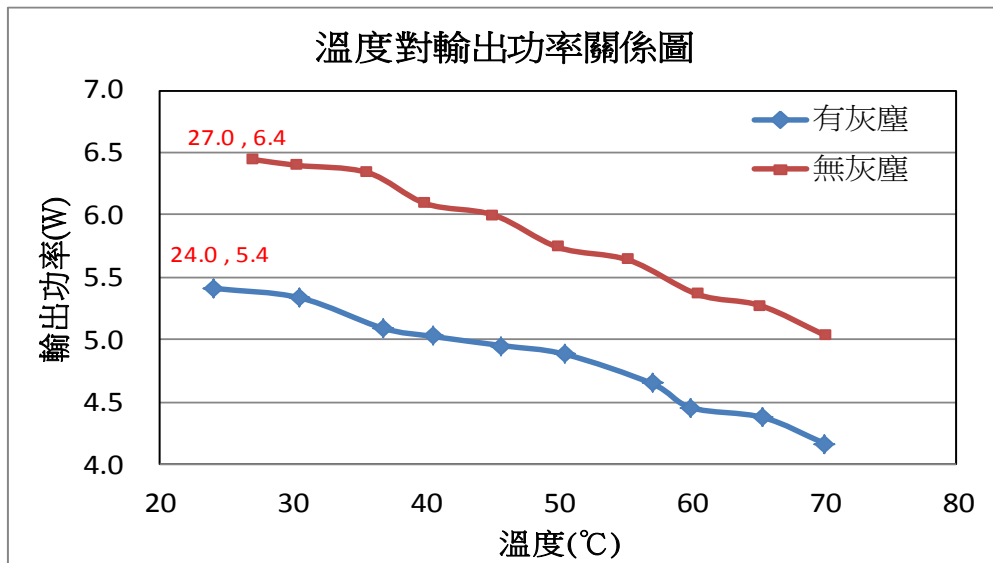


圖 4-4 有無灰塵下，溫度對太陽能板輸出功率關係圖

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，太陽能板的輸出功率隨灰塵所在位置及面積而不同。
4. 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)，推測是太陽能板表面狀況，產生反射、局部溫度變化等原因所造成。

(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

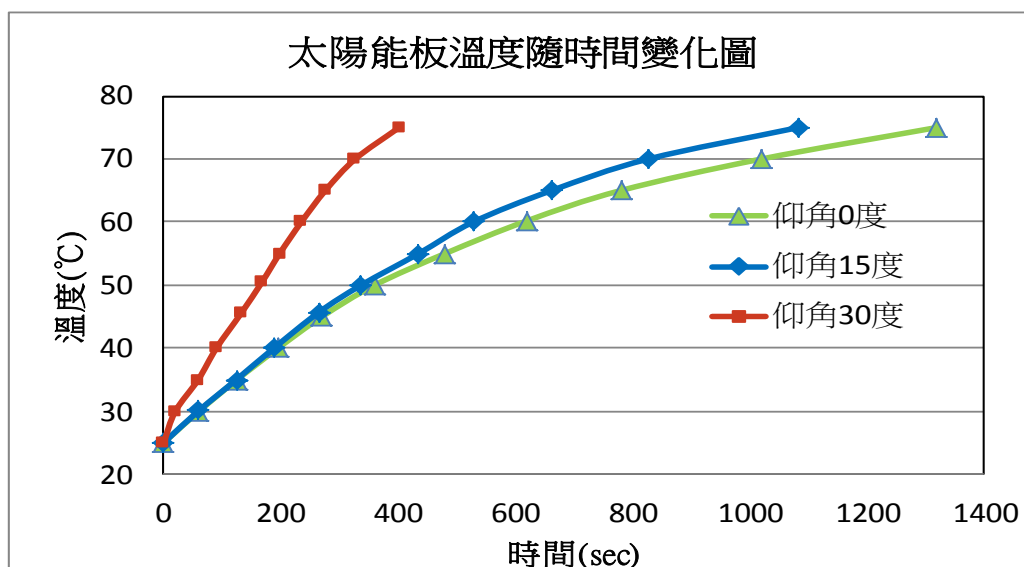


圖 4-5 不同仰角下，太陽能板溫度隨時間變化圖

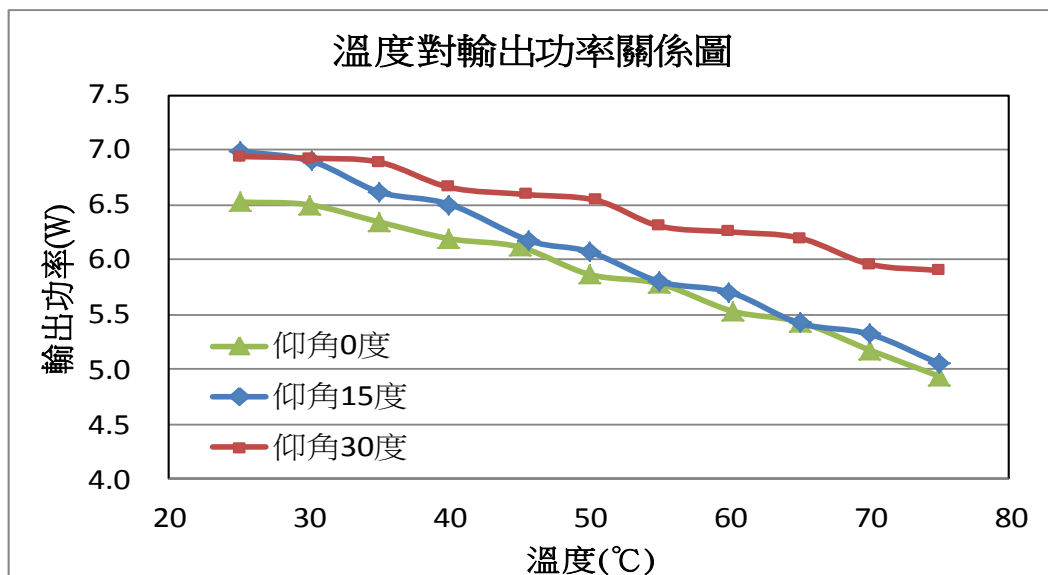


圖 4-6 不同仰角下，溫度對太陽能板輸出功率關係圖

1. 由圖 4-5 得知，太陽能板的仰角 30°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，實際日照下，這樣的現象應該可以改善。
2. 由圖 4-6 得知，不同仰角下，太陽能板的輸出功率，依序為仰角 30° > 15° > 0°，仰角 30°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

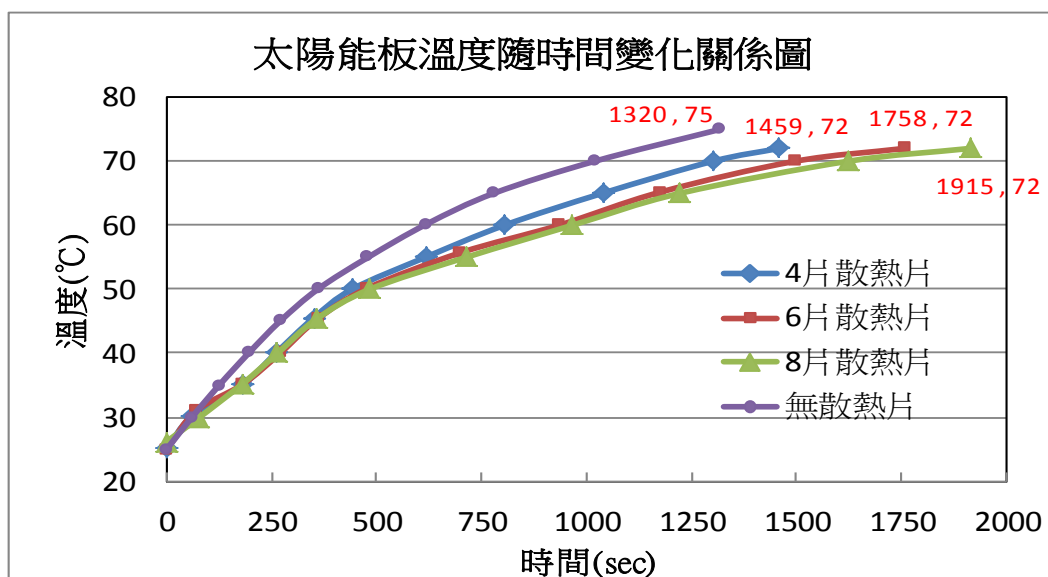


圖 4-7 不同數量的散熱鰭片下，太陽能板溫度隨時間變化圖

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。

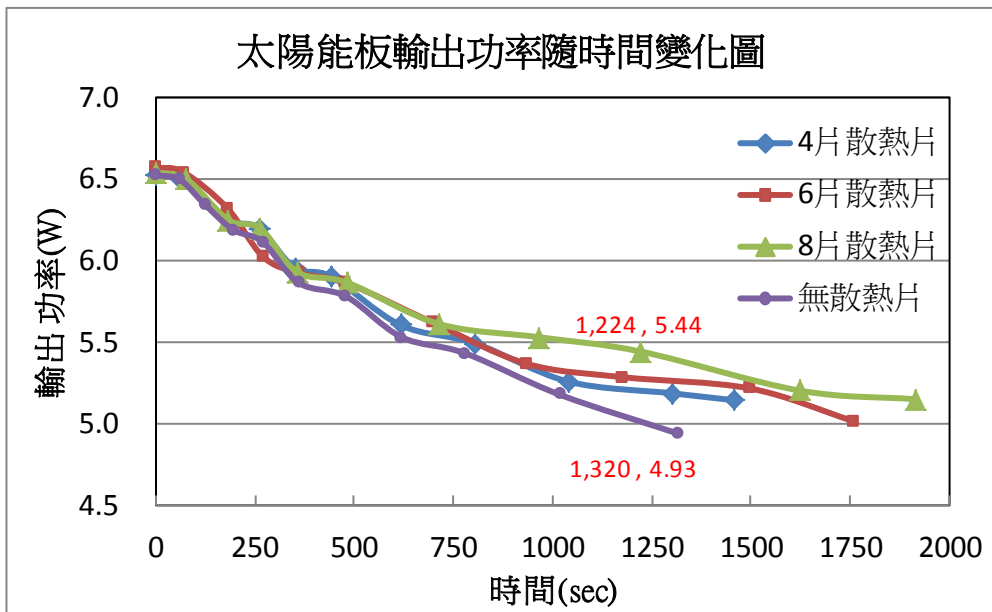


圖 4-8 不同數量散熱鰭片下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

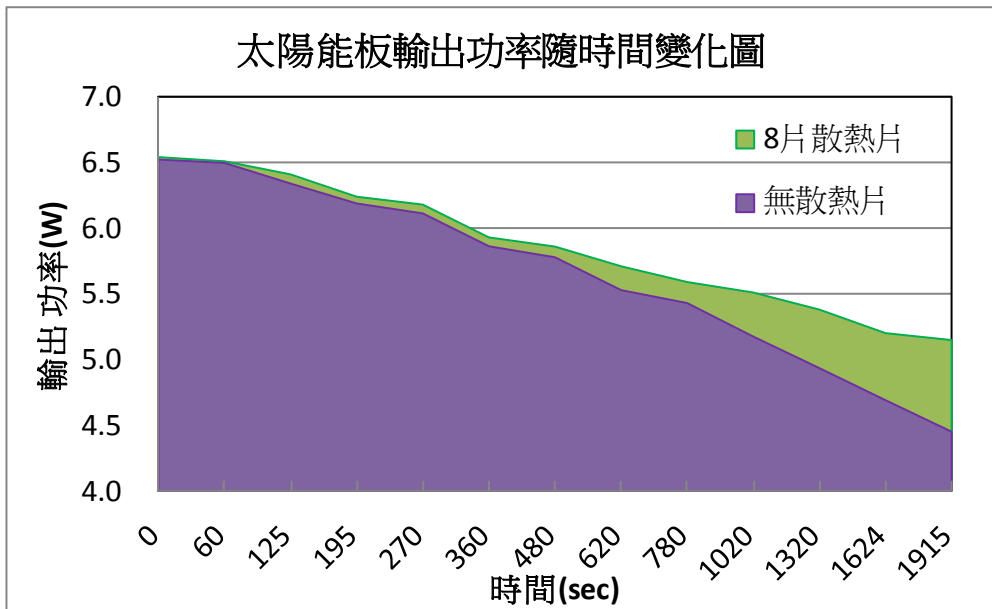


圖 4-9 有無散熱鰭片下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

1. 由圖 4-8 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. 由圖 4-9 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。
3. 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 0.3W，發電效能提升率約 5.6%。
4. 若只考慮 1020~1915 秒這段時間內，則平均增加功率為 0.49W，且發電效能提升

率約 10.2%；在高溫的日照下，如果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

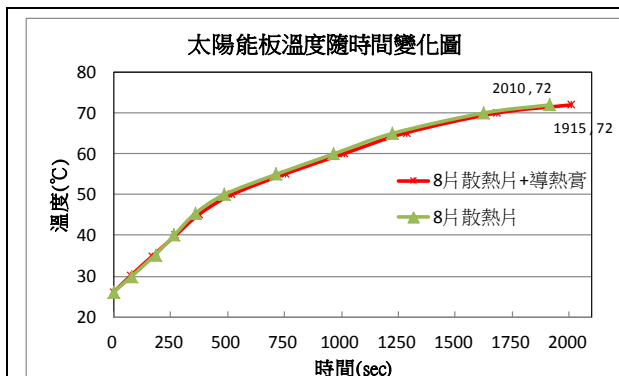


圖 4-10 有無塗導熱膏下，太陽能板溫度隨時間變化圖

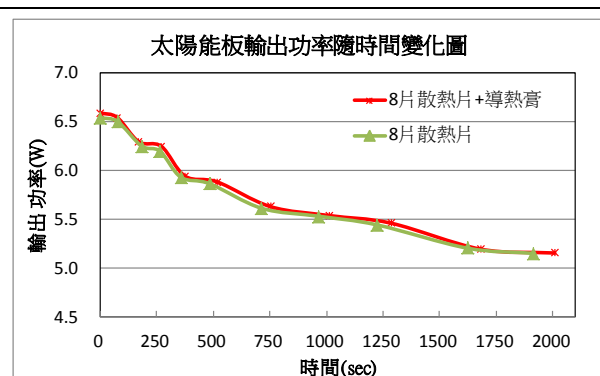


圖 4-11 有無塗導熱膏下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

1. 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。
2. 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 4-12)，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圖圖 4-13、圖 4-14，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 4-12 太陽能板背面

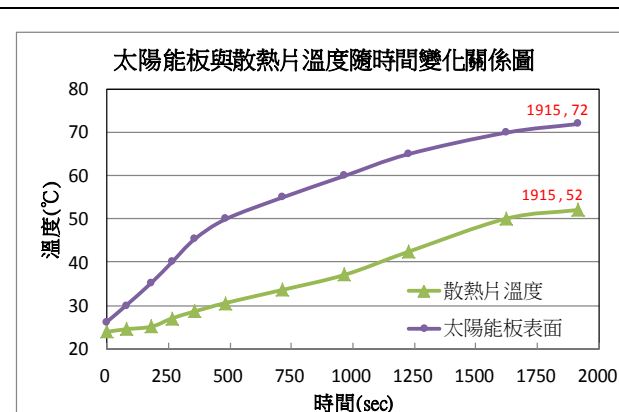


圖 4-13 太陽能板表面溫度與散熱片溫度隨時間變化圖

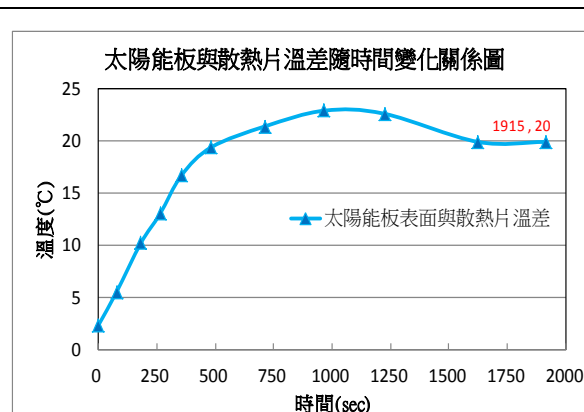


圖 4-14 太陽能板表面與散熱片溫差隨時間變化圖

(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

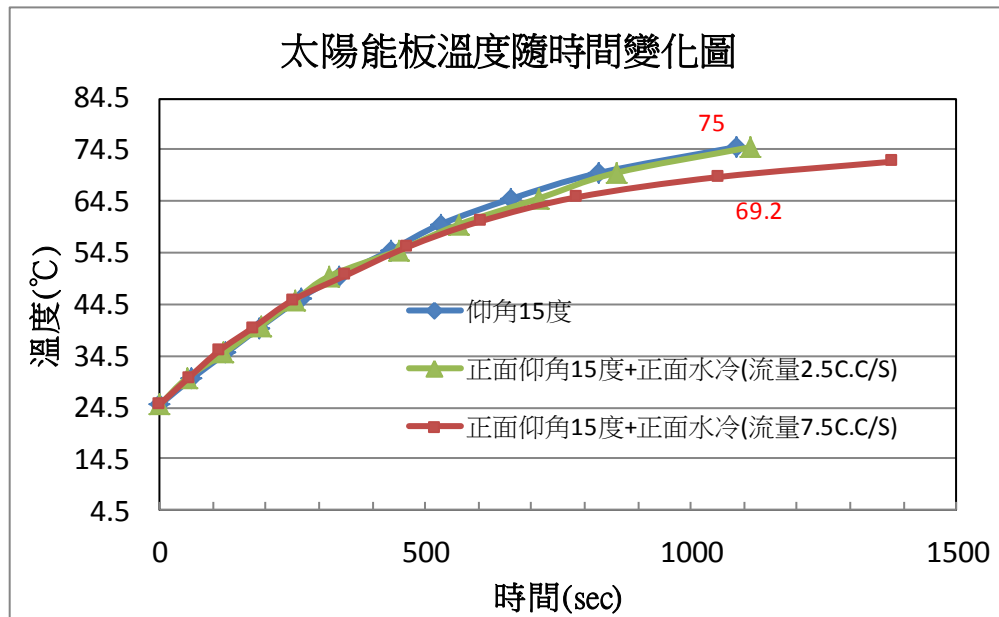


圖 4-15 正面強制水冷，太陽能板溫度隨時間變化圖

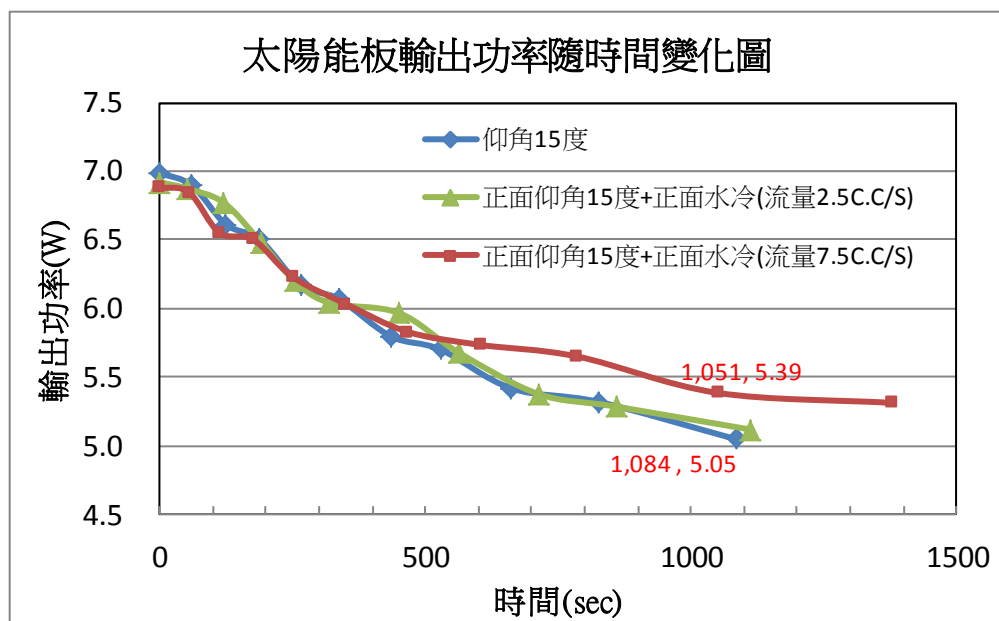


圖 4-16 正面強制水冷，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

1. 由圖 4-15 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。
2. 由圖 4-16 得知，進行正面強制水冷時，流量 2.5c.c./s 下，太陽能板的輸出功率變化幾乎與沒有水冷的情況差不多；流量 7.5c.c./s 下，隨時間的增加，有較大的輸

出功率，約提升 0.34W 的輸出功率。

3. 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

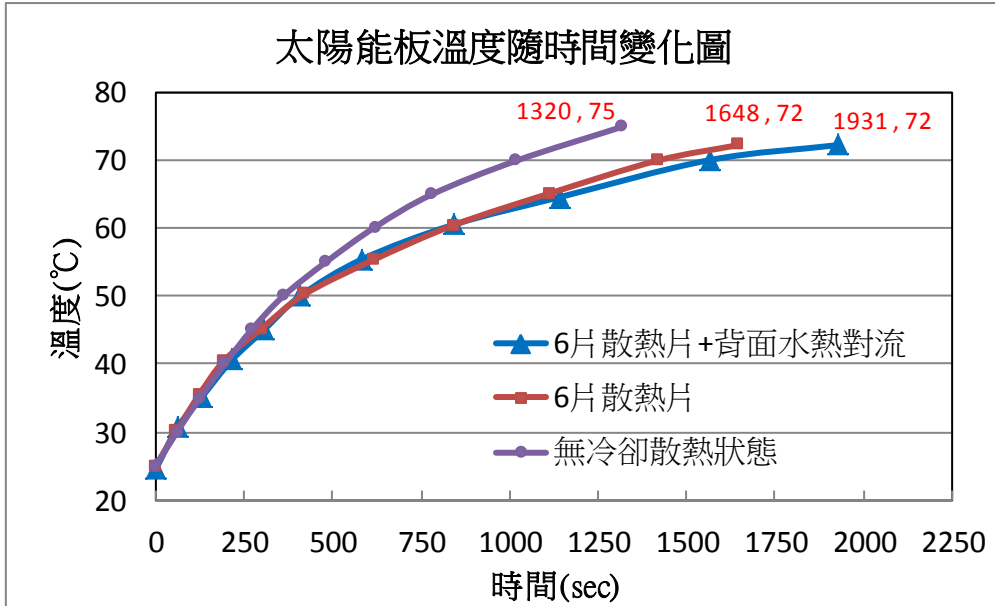


圖 4-17 背面水熱對流下，太陽能板溫度隨時間變化圖

由圖 4-17 得知，進行背面水熱對流時，溫度上升由快到慢，依序為：
無冷卻散熱>6 片散熱片>(6 片散熱片+背面水熱對流)

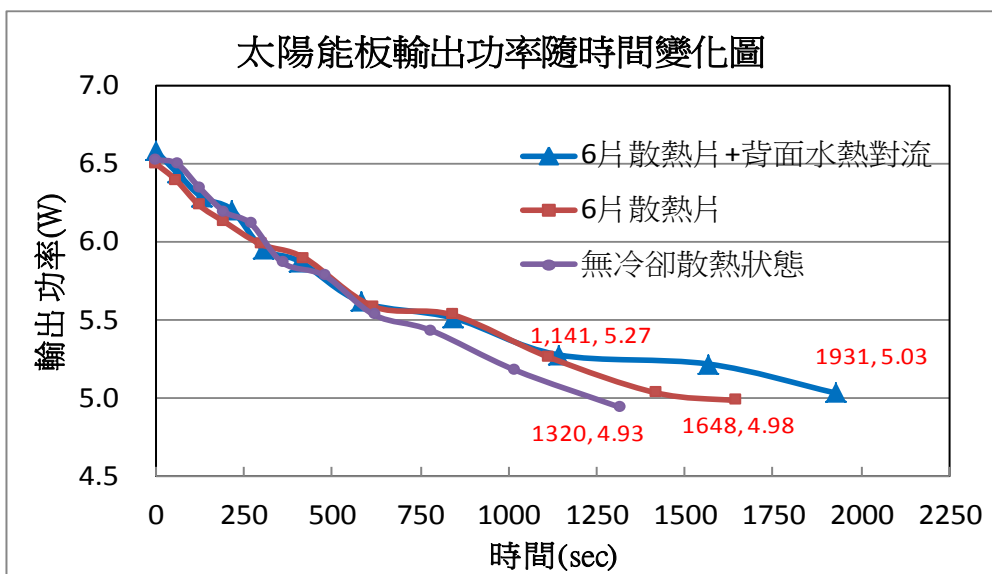


圖 4-18 背面水熱對流下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

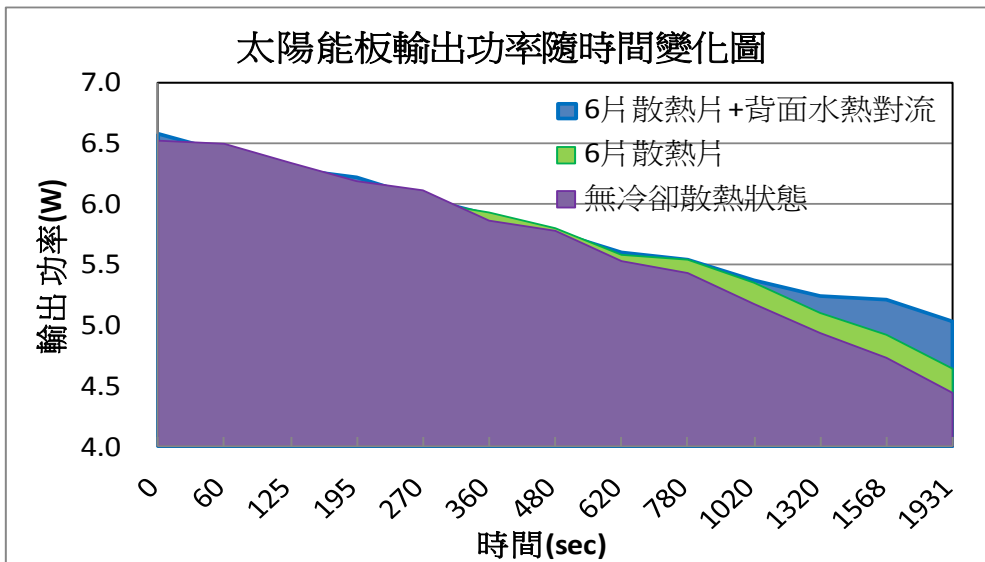


圖 4-19 不同散熱情況下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

1. 由圖 4-18 得知，6 片散熱片加上背面水熱對流的散熱方式有較高的輸出功率。
2. 由圖 4-19 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。
3. 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 0.22W，發電效能提升率約 4.1%。
4. 若考慮 1020~1931 秒這段時間內，則平均增加功率為 0.4W，發電效能提升率約 8.4%。

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

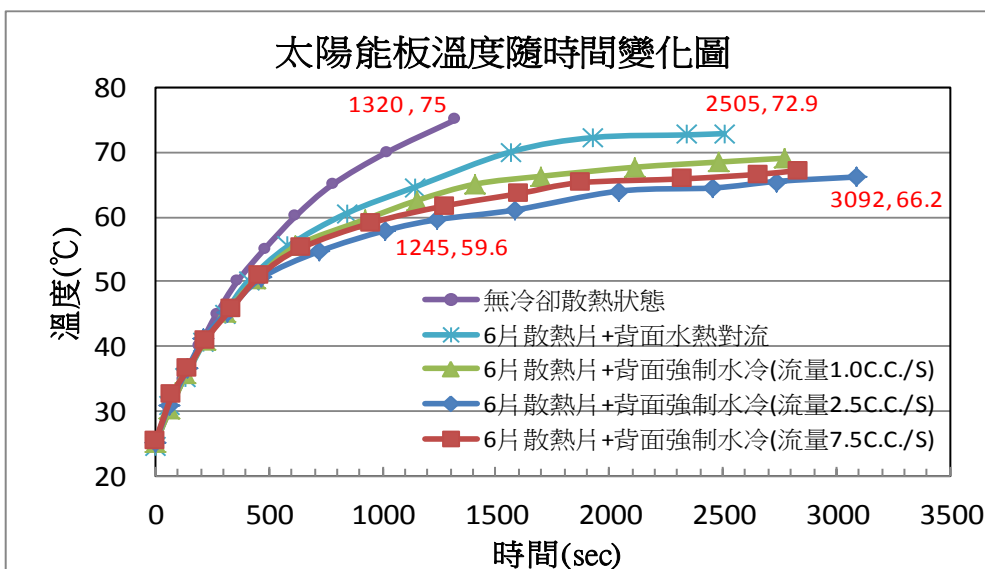


圖 4-20 背面強制水冷下，太陽能板溫度隨時間變化圖

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 1c.c./s) > (背面強制水冷,流量 7.5c.c./s) > (背面強制水冷,流量 2.5c.c./s)；1320 秒時，**水冷約可降低表面溫度約 15°C**。
2. 流量 2.5c.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 2.5c.c./s。

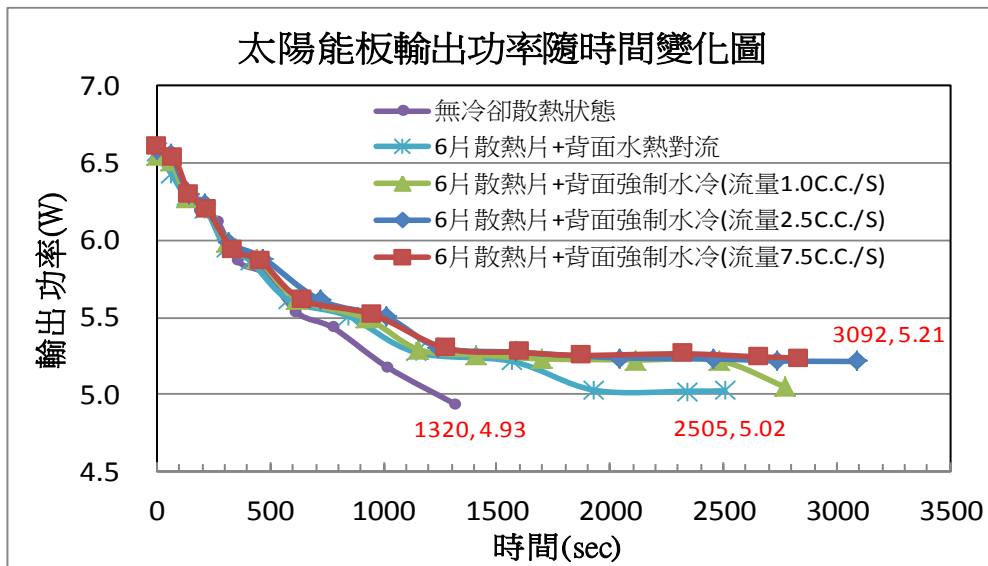


圖 4-21 背面強制水冷下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

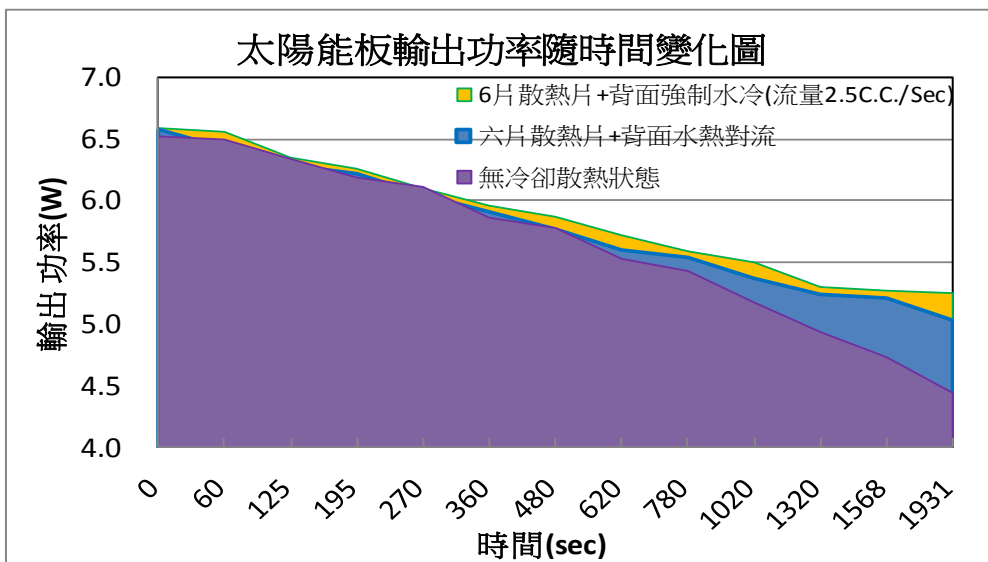


圖 4-22 不同散熱情況下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

1. 由圖 4-21 得知，流量 2.5c.c./s 的背面強制水冷，太陽能板的輸出功率約平衡在 5.21W，無冷卻狀態在 1320 秒(22 分) 只有 4.93W 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。

- 由圖 4-22 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 2.5c.c./s)散熱後，又增加了黃色區塊面積的發電量。
- 背面強制水冷(流量 2.5 c.c./s)，可增加功率平均為 0.31W，發電效能提升率約 5.8%。
- 只考慮 1020~1931 秒這段時間內，則平均增加功率 0.51W，發電效能提升率約 10.5%。

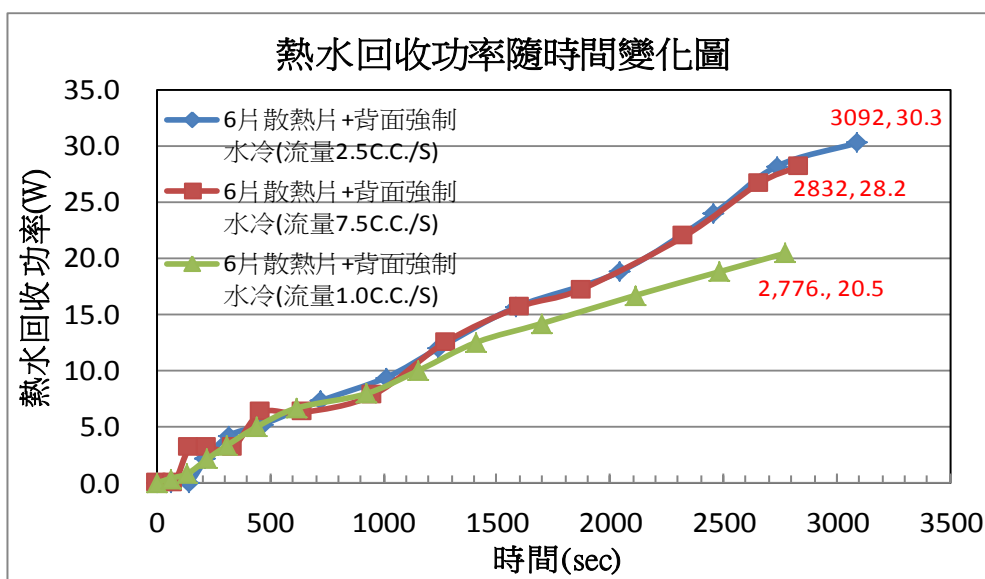


圖 4-23 背面強制水冷下，回收熱水功率隨時間變化圖

- 由圖 4-23 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 2.5c.c./s 與流量 7.5c.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。
- 經過 2750 秒(45 分 50 秒)後，流量 1.0c.c./s、2.5c.c./s 與 7.5c.c./s 可回收之熱量分別約為 20 W、28 W、28 W。
- 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。
- 太陽能板面積為 $31 \text{ cm} \times 35.6 \text{ cm} = 0.110 \text{ m}^2$ ，照度 1000 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) 不同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
	7.5C.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 1000W/m²；

2.太陽能板的功率為 10W；

3. 負載電阻為 50Ω；

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) 。

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。

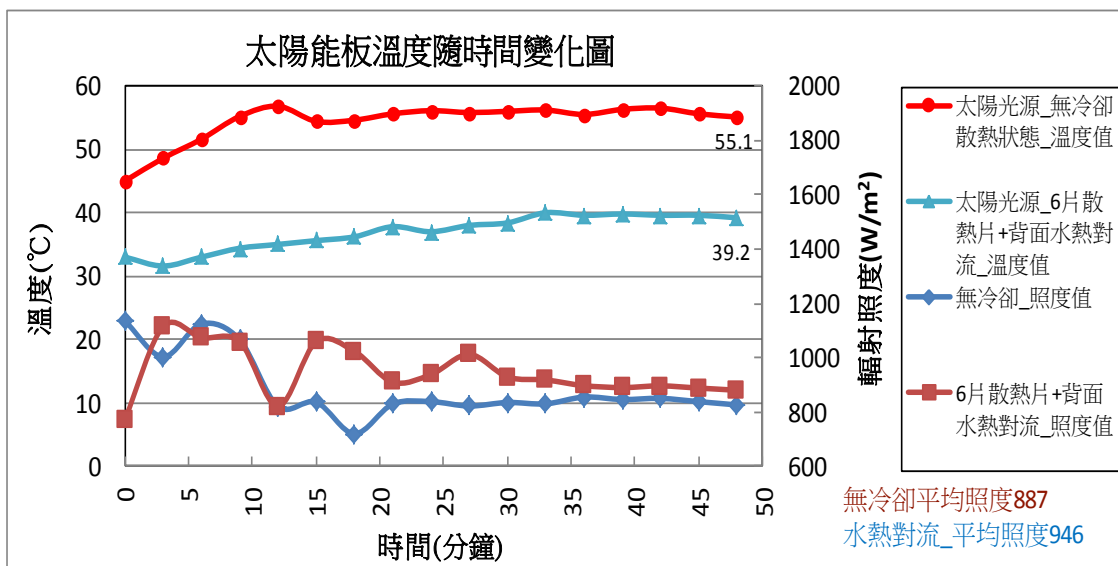


圖 4-24 戶外太陽光源照射下，太陽能板表面溫度隨時間變化圖

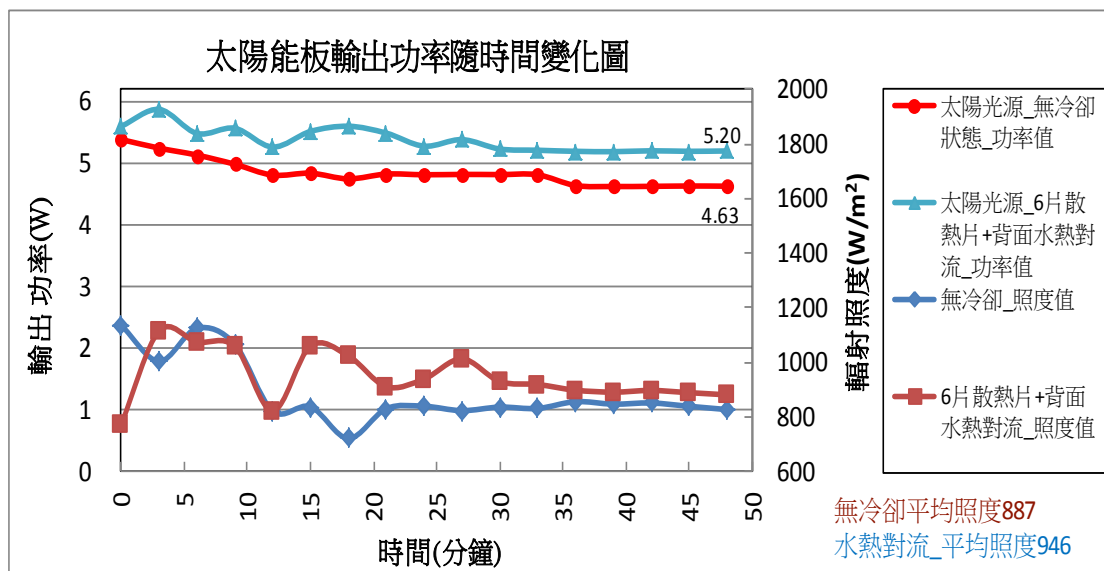


圖 4-25 戶外太陽光源照射下，太陽能板輸出功率隨時間變化圖

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 4-24 可知，溫度變化起伏較小。
3. 太陽光照射下，使用水冷裝置散熱，增加電功率平均約 0.56W，提升約 12%。
4. 由圖 4-25 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)。
5. 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，

$$\text{回收熱水熱量} = 4200 \times 1 \times 5.5 = 23100 \text{ cal} = 23100 \times 4.18 = 96558 \text{ J}$$

回收熱水平均功率=96558/(48*60)=33.5W

平均輻射照度 946W/m²，太陽能板面積 為 31 cm × 35.6 cm=0.110 m²，計算得太陽能板可吸收的功率為 946*0.11=104W，因此，

回收熱水效率=33.5W/104W=32.2%

6. 研究證實太陽光源與模擬光源，所得到的結論一致性很高，由圖 4-26、圖 4-27 可知發電效能提升率最高可達 18%，表面溫度最多可降低 21.8℃。

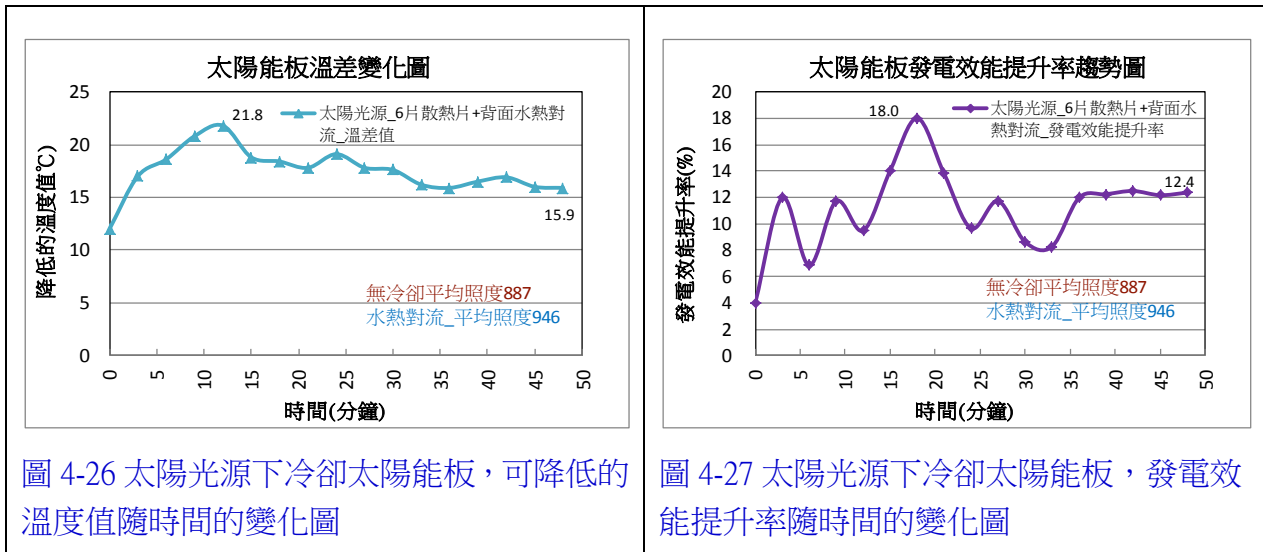


圖 4-26 太陽光源下冷卻太陽能板，可降低的溫度值隨時間的變化圖

圖 4-27 太陽光源下冷卻太陽能板，發電效能提升率隨時間的變化圖

7. 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，主要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。
8. 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%。

(七) 水冷板模組優化之熱流模擬分析

基準模型之確認：

1. 圖 4-28、圖 4-29 為不同分析模型的太陽能板表面溫度分佈狀況。
2. 太陽能板上方的玻璃及下方的塑膠膜，都當成矽晶圓，一起設成發熱源，模擬結果顯

示的溫度比實際實驗的情況低很多，大約只有 43°C，而且太陽能板分別靠近入水口與出水口的溫差並不大，與矽的熱傳導係數高有關，熱很快就導入水中，這與實際情況並不相符。

- 將玻璃、太陽能板背面的矽晶圓塑膠膜分開設定邊界條件，將發熱源設在厚度 500um 的矽晶圓上，我們可以看到模擬結果就較為合理，最高溫約 65°C，接近實驗的量測結果，而太陽能板的溫差也較合理。

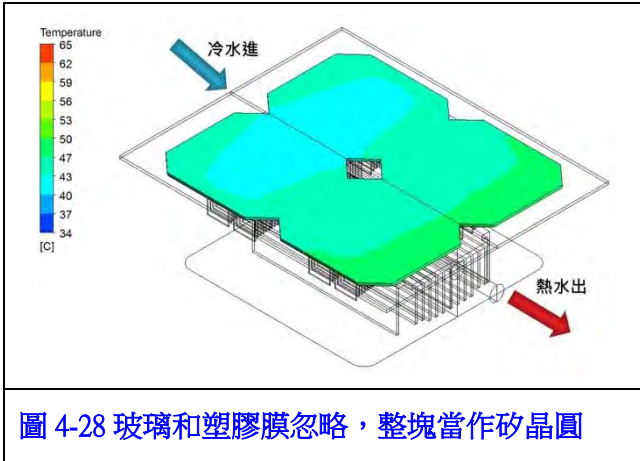


圖 4-28 玻璃和塑膠膜忽略，整塊當作矽晶圓

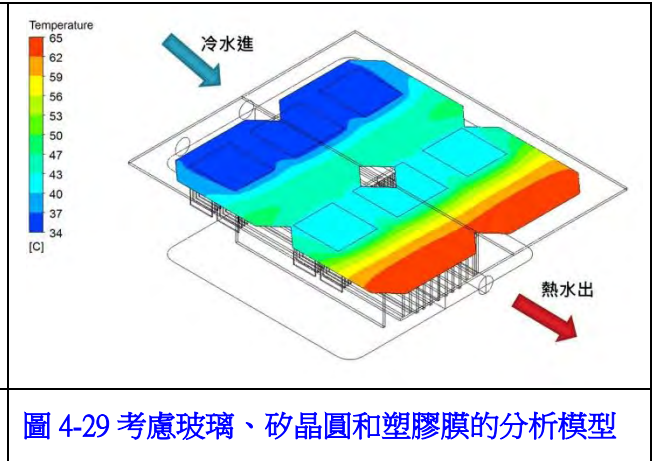


圖 4-29 考慮玻璃、矽晶圓和塑膠膜的分析模型

模擬分析一：改變水冷板的厚度，探討厚度縮減對散熱效果的影響

自製的水冷裝置，使用較薄的蛋捲盒當成外殼，在盒子上蓋嵌入散熱鰭片時，會有下凹陷的情形，如此將無法與太陽能板背面貼合進行散熱，為了改善這個情況，製作水冷裝置時，在蛋捲盒中置入一穩固結構的大鰭片，防止因盒蓋凹陷，散熱鰭片無法與太陽能板緊密接觸。未來可使用結構較堅硬的材料，將不會有此問題，為了進行水冷板模組的優化，將大鰭片移除，使水冷板重量減輕，並分析其散熱效果的差異。

有無大鰭片分析結果：

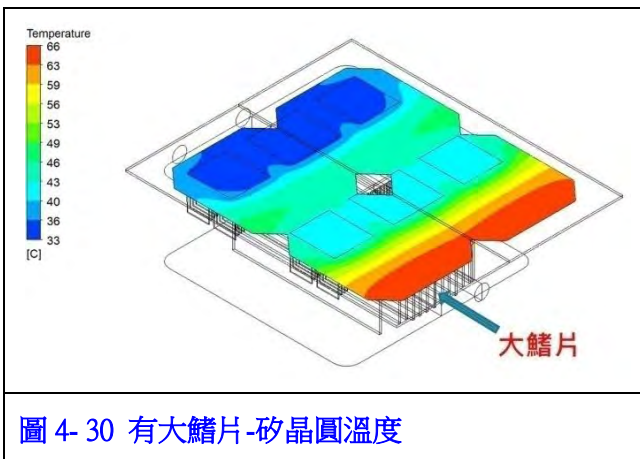


圖 4-30 有大鰭片-矽晶圓溫度

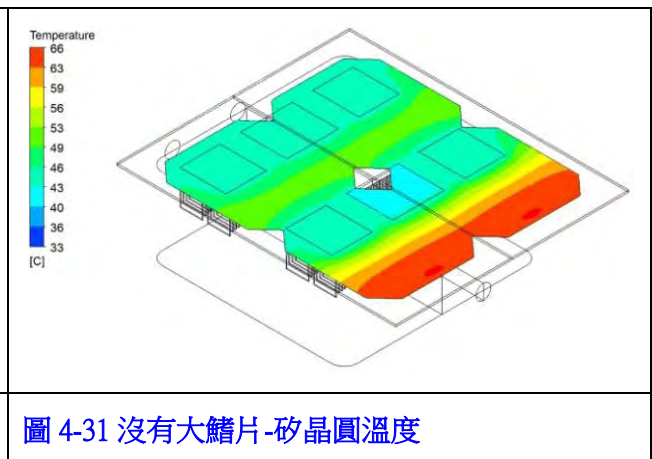
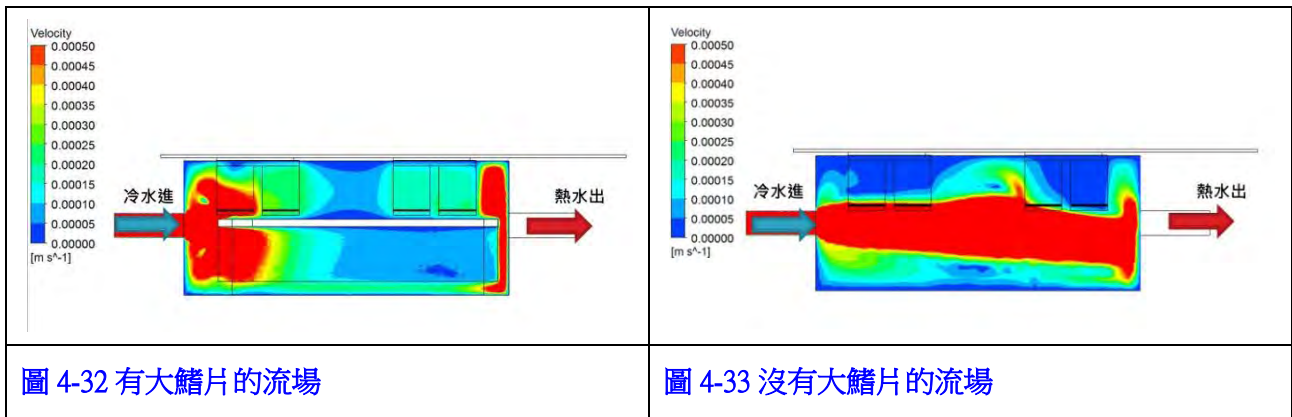


圖 4-31 沒有大鰭片-矽晶圓溫度



1. 由圖 4-30、圖 4-31 可知移除大鰭片後的模擬顯示太陽能板的溫度升高。
2. 由圖 4-32、圖 4-33 觀察內部流場後，我發現大鰭片會造成流場擠壓的效果，使更多水會流往原本不太會流的鰭片處，達到散熱效果的提升，而沒有大鰭片的設置，水幾乎都流往水冷板內部下方空間較大、流阻較小的地方。

移除大鰭片，並縮減水冷板的空間分析結果：

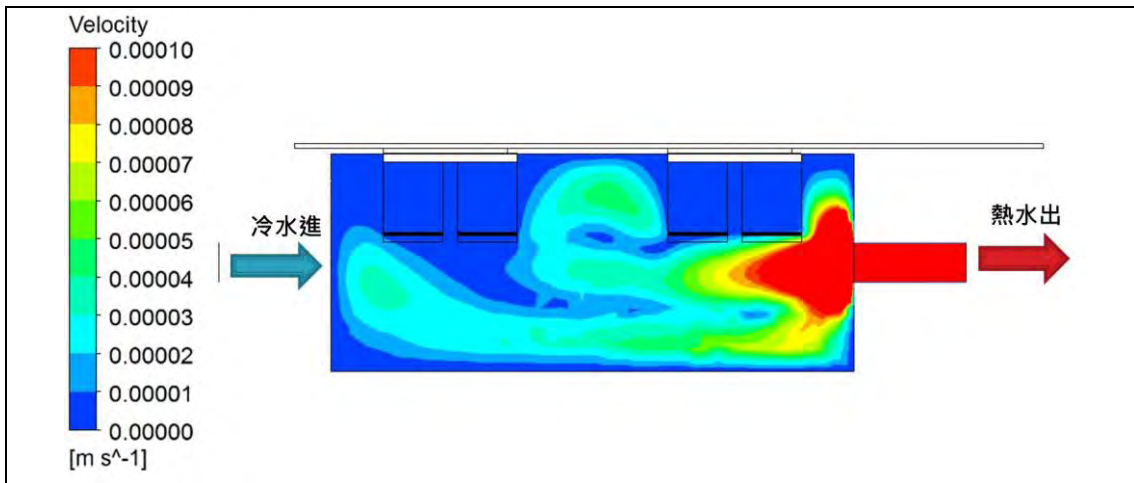


圖 4-34 厚度 97 mm 流場一側視圖

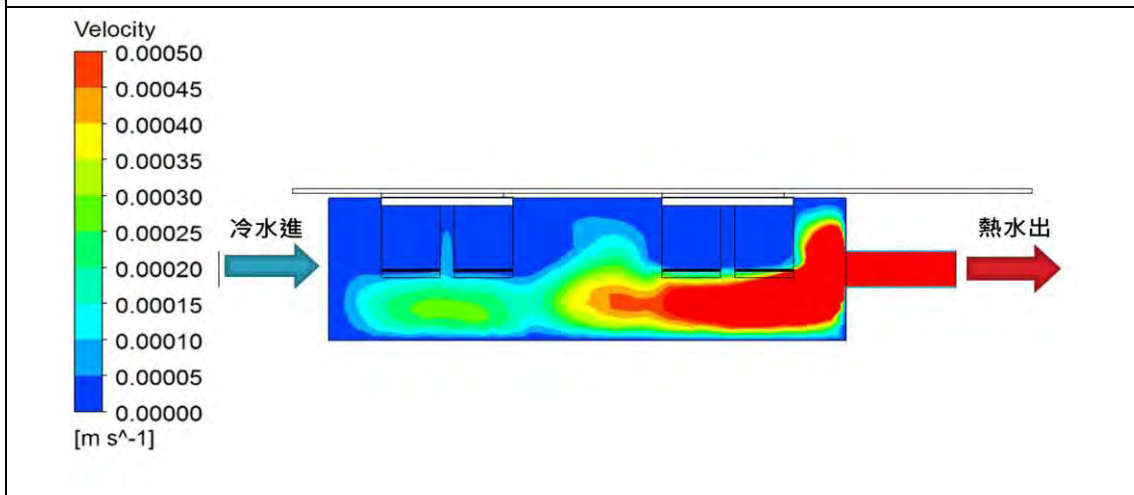


圖 4-35 厚度 71 mm 流場一側視圖

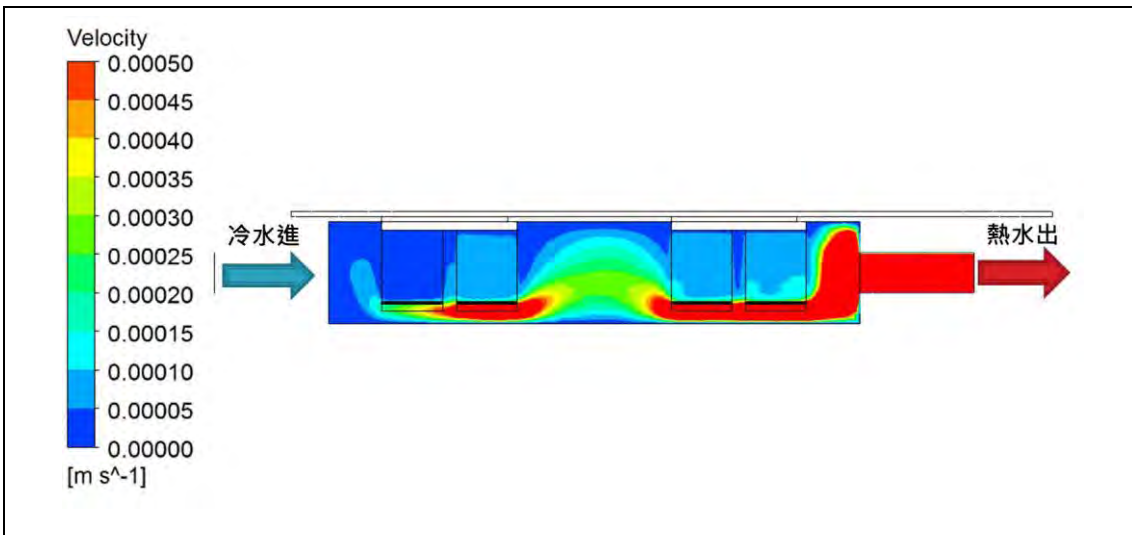


圖 4-36 厚度 45 mm 流場一側視圖

由圖 4-34、圖 4-35、圖 4-36 可知厚度愈縮愈小，鰭片周圍的流速有增快的趨勢，代表水冷裝置的厚度縮減，有機會增加散熱的效果。

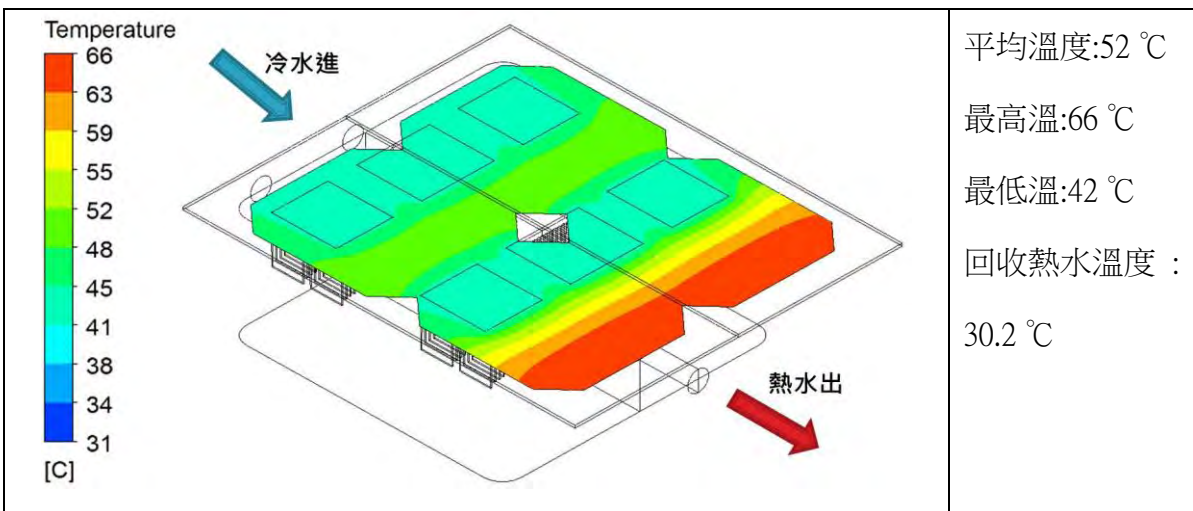


圖 4-37 厚度 97 mm 矽晶圓溫度分布圖

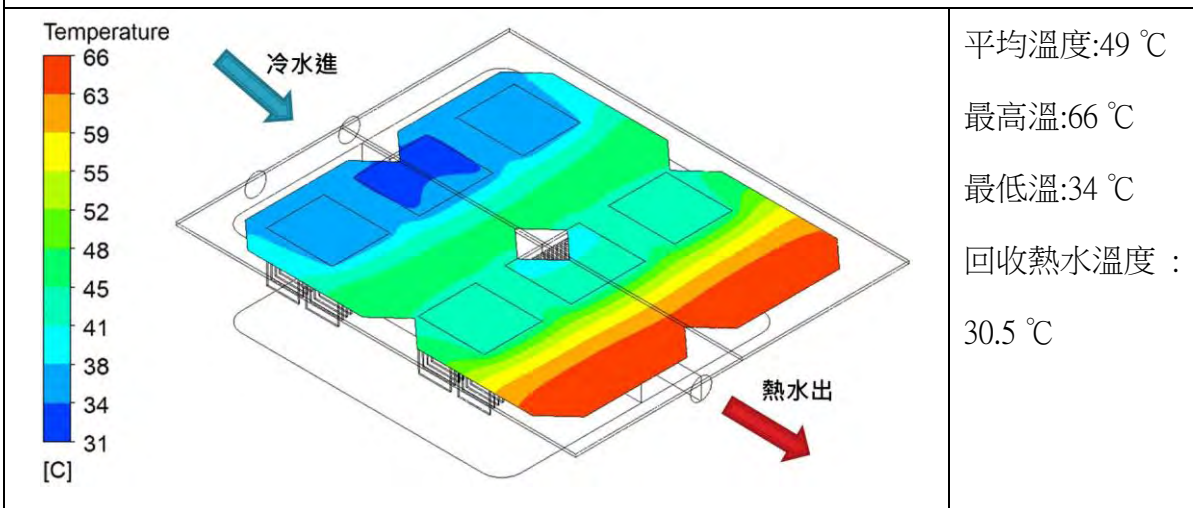
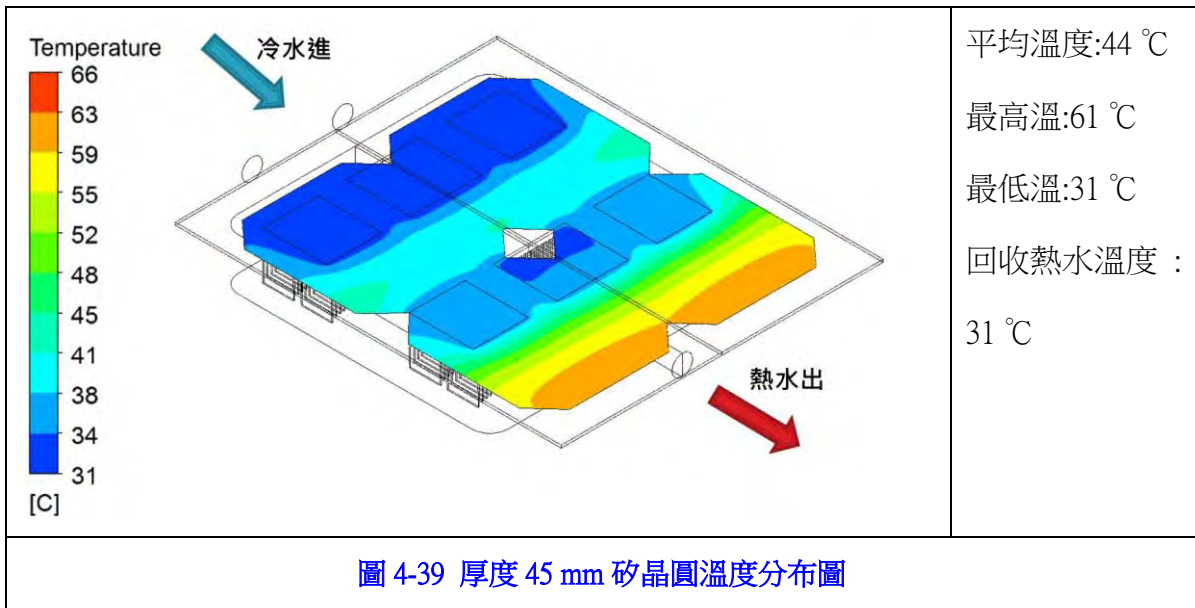


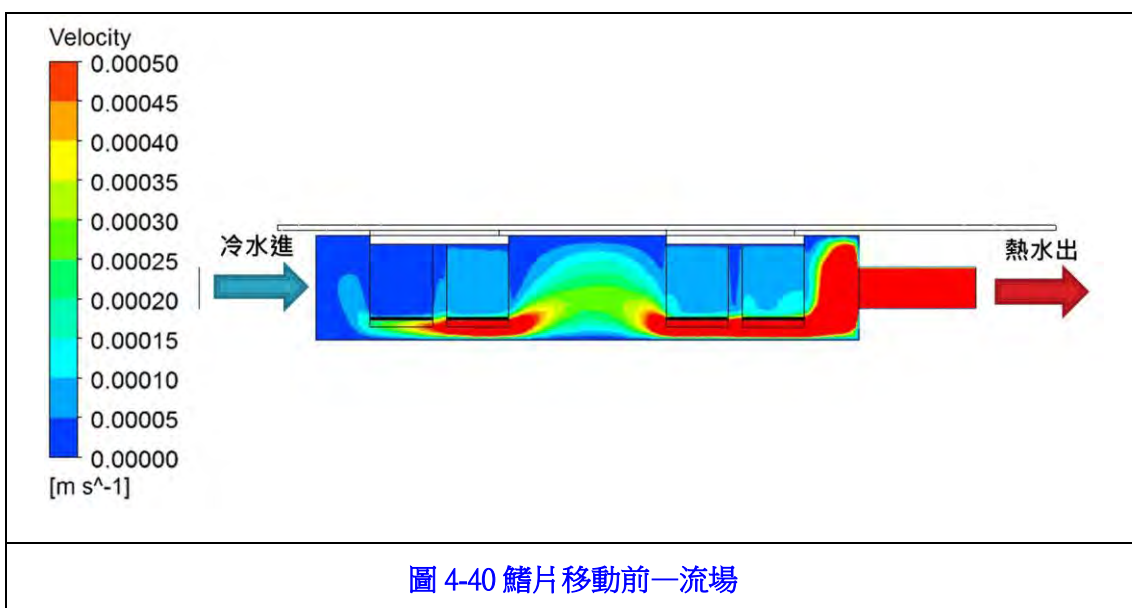
圖 4-38 厚度 71 mm 矽晶圓溫度分布圖



1. 由圖 4-37、圖 4-38、圖 4-39 厚度愈縮愈小，太陽能板的平均溫度愈降愈低，模擬顯示水冷板厚度縮減可以增加散熱的效果。
2. 厚度縮至 45mm 時，太陽能板的平均溫度由 52°C 降至 44°C；水溫上升由 3.8°C 提升至 4.6°C。

模擬分析二：將散熱鰭片移往出水口，探討流道對散熱效果的影響

藉由水冷板厚度縮減的模擬後，發現入水口處的太陽能板表面呈現較低溫的狀態，對鰭片的散熱作用相對較差，所以決定將鰭片移往出水口處進行散熱，有較高太陽能板表面溫度，預期會有較佳的散熱效果。



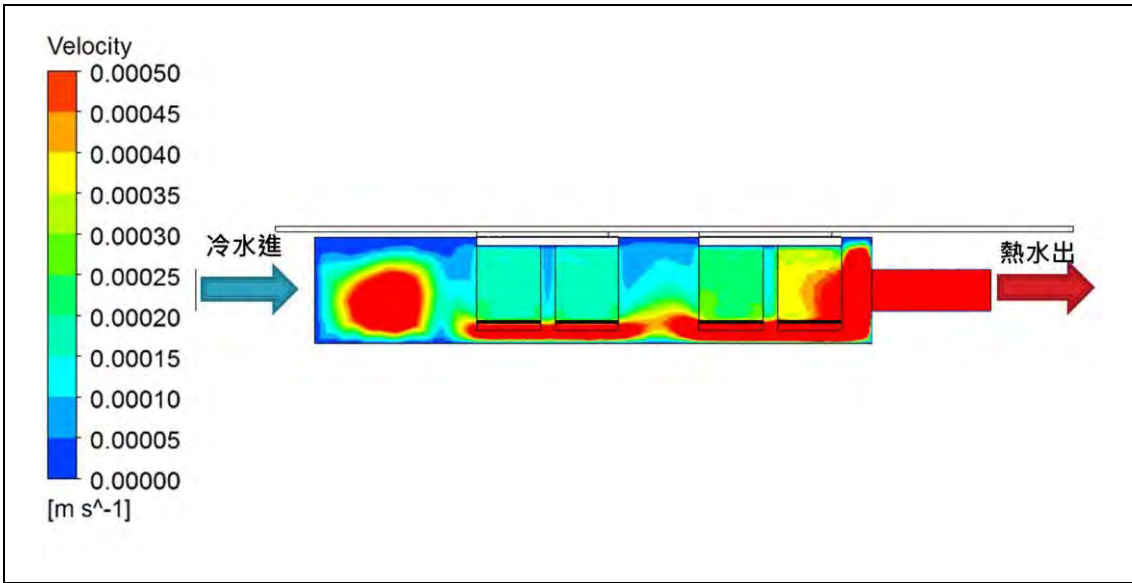
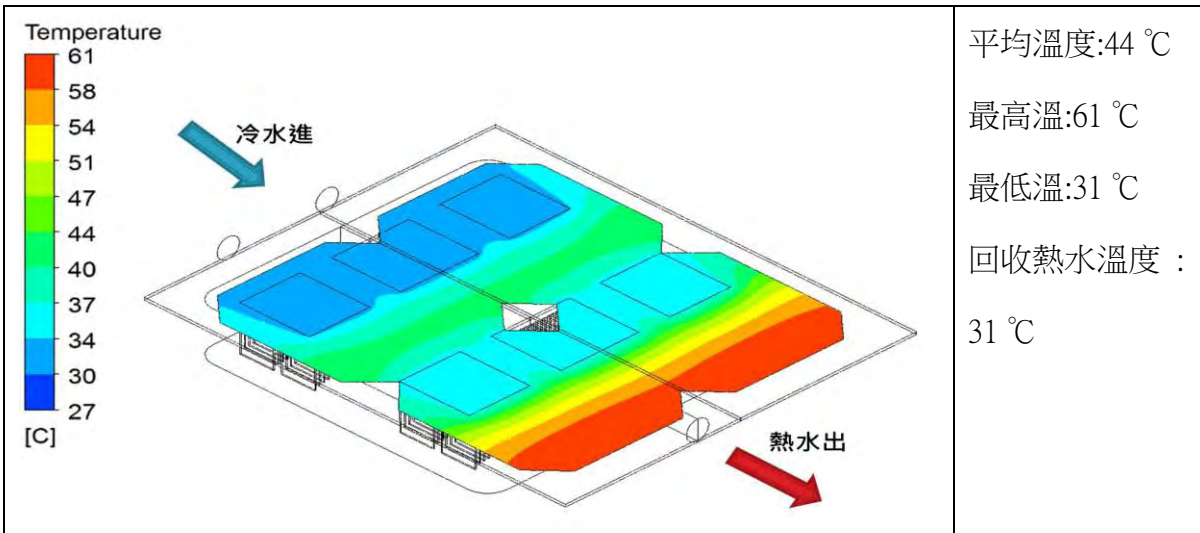


圖 4-41 鰭片移動後一流場



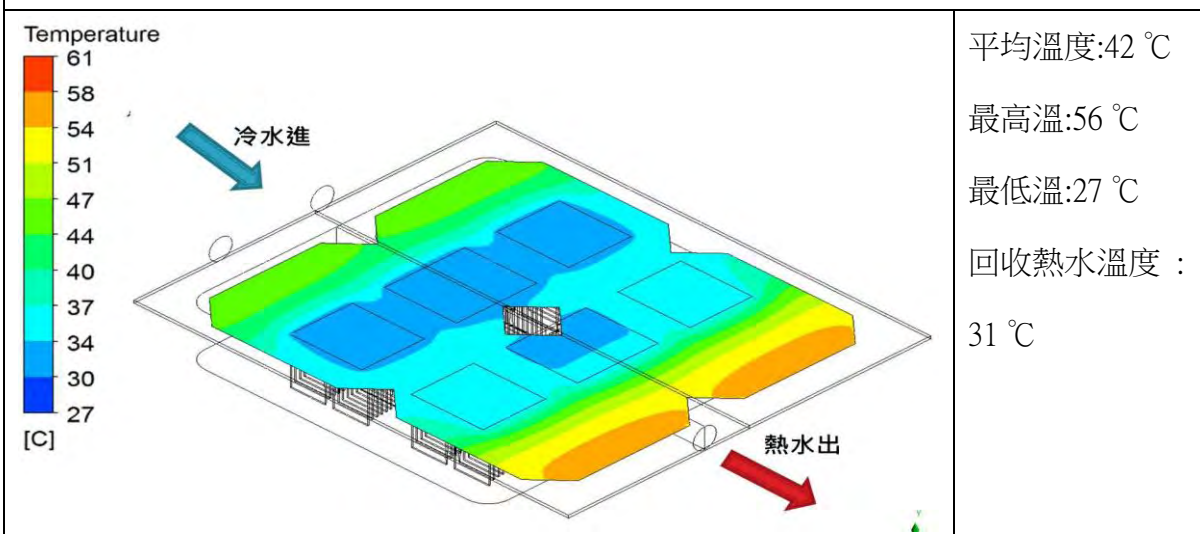
平均溫度:44 °C

最高溫:61 °C

最低溫:31 °C

回收熱水溫度 :
31 °C

圖 4-42 鰭片移動前(流量 2.5 cm³/s)--矽晶圓溫度分布圖



平均溫度:42 °C

最高溫:56 °C

最低溫:27 °C

回收熱水溫度 :
31 °C

圖 4-43 鰭片移動後(流量 2.5 cm³/s)--矽晶圓溫度分布圖

1. 由圖 4-40、圖 4-41 可知鰭片移動後，流經鰭片的流速有增加的現象。
2. 由圖 4-42、圖 4-43 可知鰭片移動後，太陽能板的平均溫度由 44℃ 降至 42℃，最高溫度由 61℃ 降至 56℃，模擬顯示鰭片移動後，散熱效果提升。

模擬分析三：以較佳散熱效果的水冷板模型，探討入口流量對回收熱水溫度的影響

一般人沐浴時感覺舒服的熱水溫度約為 40 °C，為了提高回收熱水溫度，達到實用的需求，將入口流量由 2.5 c.c./s 降低至 0.83 c.c./s，分別對模擬分析二的模型，再進行分析。

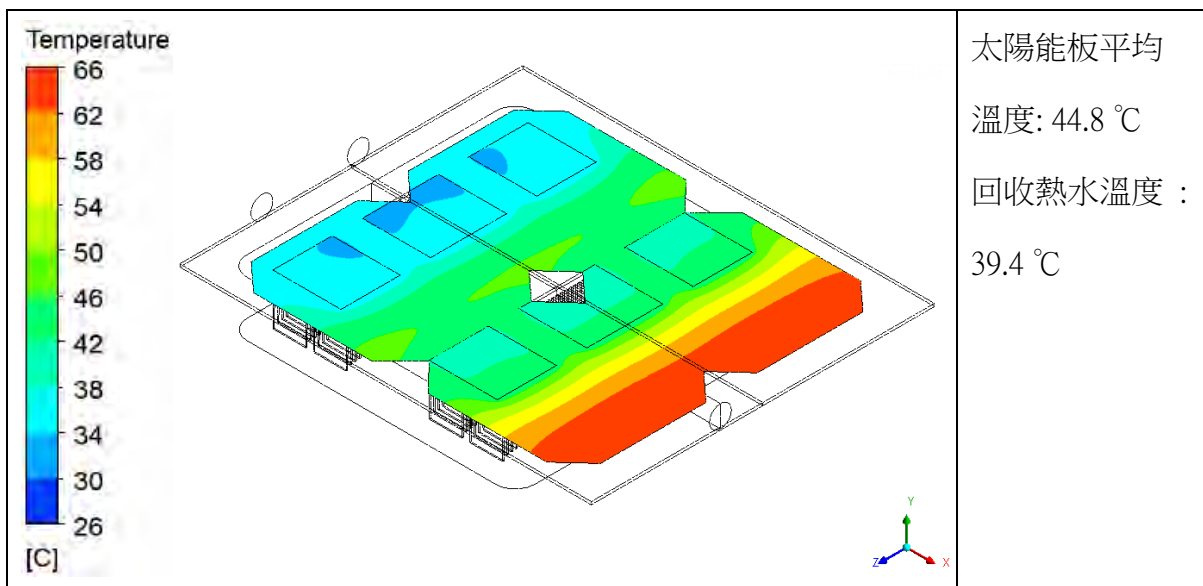


圖 4-44 鰭片移動前(流量 0.83 cm³/s)--矽晶圓溫度分布圖

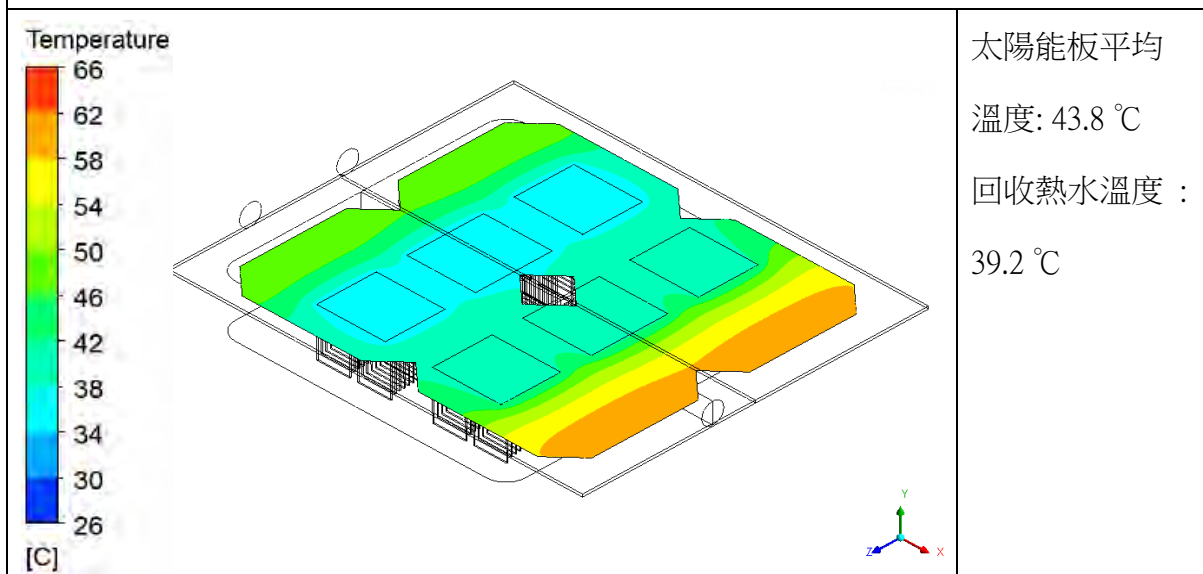


圖 4-45 鰭片移動後(流量 0.83 cm³/s)--矽晶圓溫度分布圖

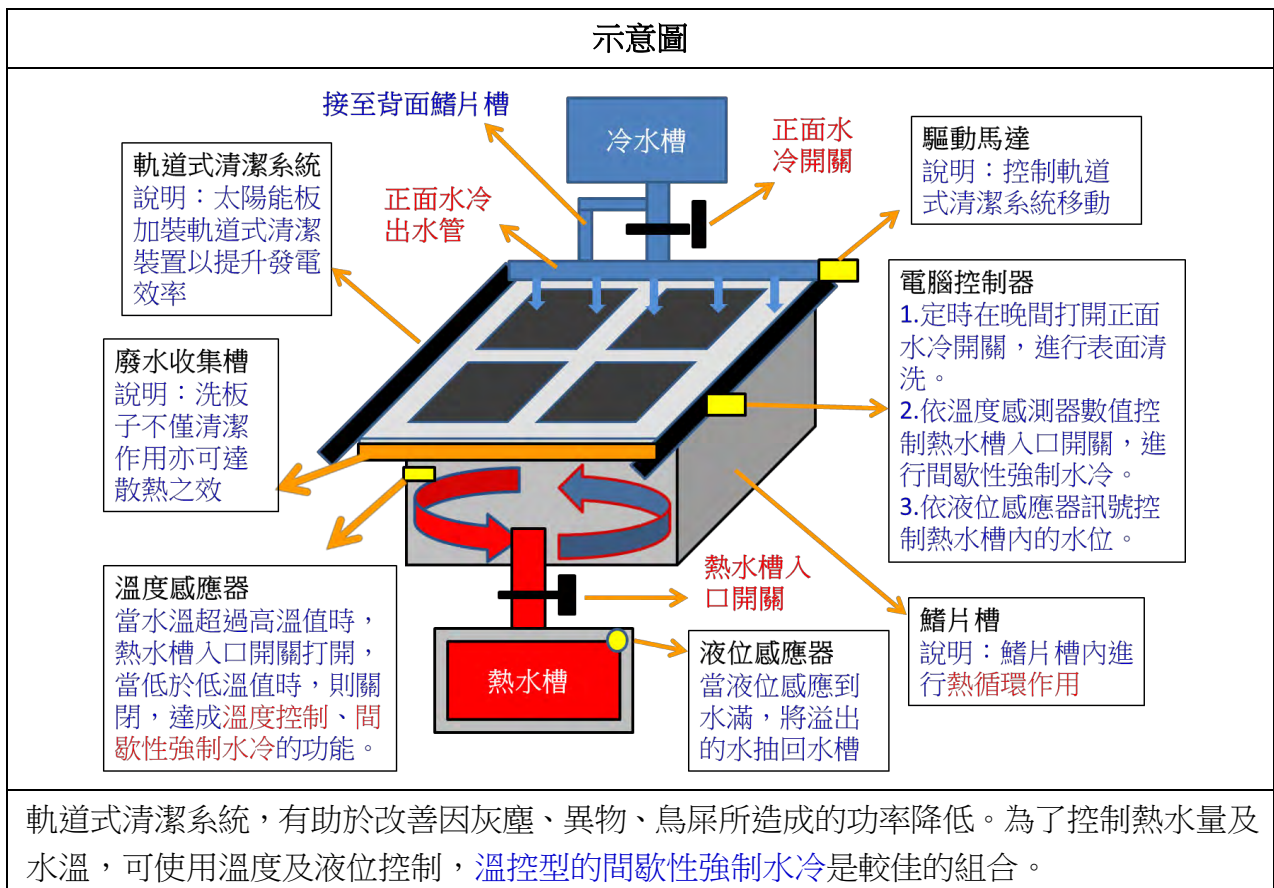
表2 水冷板優化模擬結果比較表

分析模型	水冷板厚度	入口流量	熱水溫度	表面溫度
原鰭片位置	97mm	2.5 cm ³ /s	30.2 °C	52 °C
原鰭片位置	45mm	2.5 cm ³ /s	31 °C	44 °C
原鰭片位置	45mm	0.83 cm ³ /s	39.4 °C	44.8 °C
鰭片移動 45mm	45mm	0.83 cm ³ /s	39.2°C	43.8 °C

1. 由圖 4-44、圖 4-45 調整入口流量為 0.83 cm³/s 後，回收熱水溫度約可提高至 39 °C，已達家庭使用熱水的要求。
2. 由表 2 可知，優化後模型，由減少水冷板厚度，到降低流量 0.83 cm³/s 後，再調整鰭片位置，太陽能板平均溫度由優化前的 52 °C 降為 43.8 °C，水溫由 30.2 °C 升高為 39.2 °C；不僅厚度體積及重量可以減少為原自製水冷裝置的 50%，且太陽能板溫度降低，同時熱水溫度獲得提升。

(八) 新型太陽能板冷卻與熱能回收系統之設計與效益分析

新型太陽能板冷卻與熱能回收系統之設計示意圖



效益分析

位能損失計算：

以實驗數據估算，流量 0.83 c.c./s，冷熱水槽高度差 0.7 m

若每天平均日照 4 hr，總水量為 $0.83 \times 14400 \approx 12000$ c.c.，等於 12kg 的水

冷水與熱水的位能差 = $mgh = 12 \times 9.8 \times 0.7 = 82.32$ J

所以，平均損失功率 = 冷水與熱水的位能差 / 總時間 = $246.96 \text{ J} / 14400 \text{ S} \approx 0.006 \text{ W}$

假設馬達機械效率 50%，若要將熱水槽的水抽回至冷水槽，所需功率 $0.006 / 0.5 = 0.012 \text{ W}$ ，約佔原發電提升功率 0.51 W 的 2.4%。

換句話說，利用自製水冷裝置對太陽能板進行散熱，水箱的位能來提供冷卻水流所損失的能量，應可忽略，以模擬結果來看，如果改良成水冷板效率更佳時，損失效率就會更低。

水量計算：

為控制回收熱水水量及溫度，使用間歇性強制水冷是較佳之選擇。

冷卻時段每日 10:00-14:00 點，實驗用太陽能板面積約為 0.11 m^2

20 分鐘流量 0 c.c. / s，20 分鐘流量 0.83 c.c. / s，反覆循環。

水冷板流量 0.83 c.c. / s，共冷卻 120 分鐘，

總回收熱水量為 $0.83 \times 60 \times 120 = 5976$ c.c. ≈ 6 公升。

假設，屋頂太陽能板面積大約為 15 m^2 ，相當實驗用太陽能板面積的 136 倍，

若以相同的比率加大水冷板，

估算總回收熱水量為 $6 \times 136 = 816$ 公升，

約可供應一個家庭 4 口，每日的用水量(每人平均一天用水量 200 公升)。

未來除了水冷板的鰭片尺寸、材質、流道等可進一步使用模擬軟體繼續優化外，讓體積及成本進一步的改善；在權衡發電量的提升及回收熱水效率下，溫控型的間歇性強制水冷，應該會是一個較好的設計組合，就是透過感測熱水溫度，控制熱水槽入口開關，來達到自動間歇性強制水冷，再搭配流量的調整，可以有效控制回收熱水水量及溫度，值得未來進一步的研究探討。

四、結論與應用

- (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 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- (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 $5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，亦可達表面清潔效果，一個裝置兩種功能，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。
- (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 W ，約提升 10.5% ；且回收熱水功率約 28 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 $2.5\text{ c.c./s} \approx$ 流量 $7.5\text{ c.c./s} >$ 流量 1.0 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 $7\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，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 $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，增加電功率平均為 0.56 W ，約提升 12% ，回收熱水功率約 33.5 W ，水溫約提升 $5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，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) 藉由軟體模擬優化水冷板模型後，厚度、體積及重量約減少原自製水冷裝置的 50% ，太陽能板表面平均溫度較優化前的下降約 $8.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，回收熱水水溫約上升 $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。模擬顯示太

陽能板表面溫度及回收熱水效率可獲得進一步的改善。

(十) 本研究提出一套太陽能板冷卻與熱能回收系統，透過在太陽能板背面裝設一水冷板，以散熱鰭片搭配水強制對流來增加散熱的效率，並利用水塔的位能³提供冷卻水流的動力，降低太陽能板溫度提升發電效率，同時將熱能回收利用，應用在屋頂上，不僅可以發電，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，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。

五、參考文獻

[1] 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> 。

[2] 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。

[3] 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。

[4] 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。

[5] 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。

[6] 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。

[7] 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.

[8] Sayran A. Abdulgafar, Omar S. Omar, Kamil M. Yousif. (2014), Improving The Efficiency Of Polycrystalline Solar Panel Via Water Immersion Method. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3, 8127-8132.

[9] M Mohamed Musthafa. (2015), Enhancing Photoelectric Conversion Efficiency of Solar Panel by Water Cooling. *J Fundam Renewable Energy Appl*, 5,

from:<http://www.omicsonline.com/open-access/enhancing-photoelectric-conversion-efficiency-of-solar-panel-by-watercooling-.pdf>

[10] Peter Atkin, Mohammed M. Farid (2015). Improving the efficiency of photovoltaic cells using PCM infused graphite and aluminium fins. *Solar Energy*, 114, 217–228.

【評語】 100006

1. 利用冷卻系統回收熱能並且提升太陽電池的效率，其創意發想，值得鼓勵。
2. 模擬與實驗能夠兼顧亦值得鼓勵。
3. 建議模擬優化的參數可以與實驗互相比較其相符與否。
4. 建議可以利用模擬優化做為系統大型化(符合實際應用)的推論。