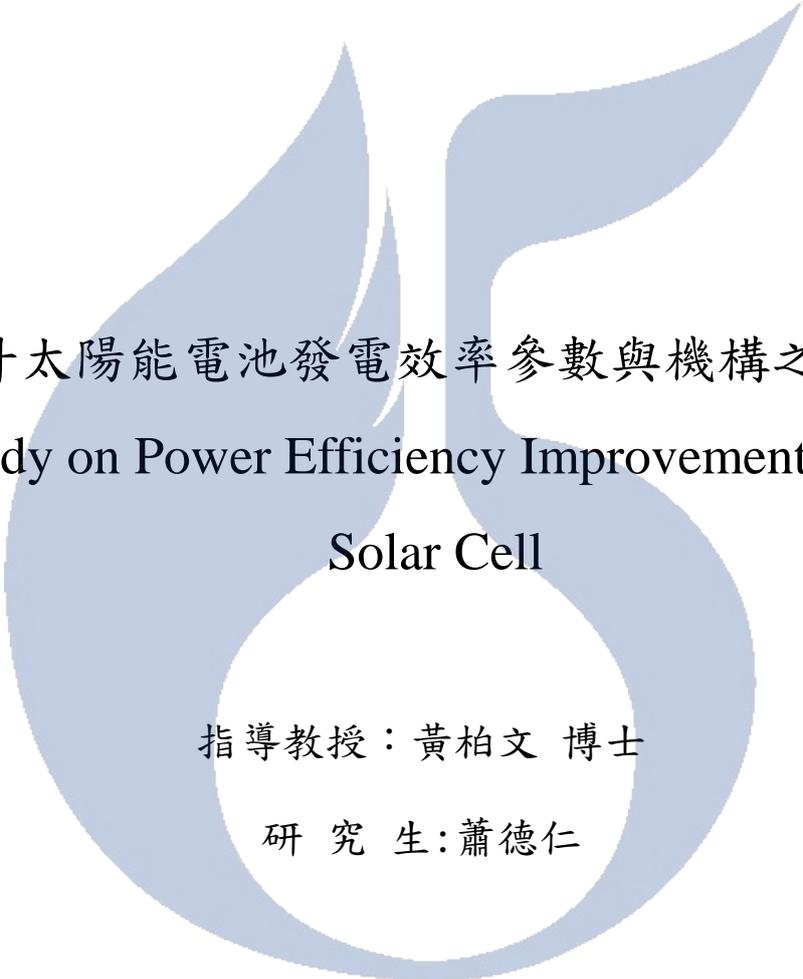


正修科技大學  
機電工程研究所  
碩士論文



提升太陽能電池發電效率參數與機構之研究  
A Study on Power Efficiency Improvement for the  
Solar Cell

指導教授：黃柏文 博士

研究生：蕭德仁

中華民國九十四年六月

## 摘要

近些年來由於能源問題與耗能產生之環境污染，在國際間日益受到重視，而太陽能是一種乾淨、無污染且又取之不盡、用之不竭，可以利用光伏效應轉變成電能的一種免費能源。我國是十分仰賴能源進口的國家，若以太陽能來取代現有的煤、石油、天然氣、核能等能源，不僅環境污染的問題可以大大地改善，同時也是我國未來減少能源進口依賴，推動能源自主政策的關鍵。但太陽能照射在地表面積的能量密度很低，會受到氣候、晝夜及季節的變化，而影響日照量，再加上目前太陽能電池（Solar cells）在傳統上均以矽材料為主，不僅價格貴，而且太陽能電池將光能轉化成電能的效率仍然偏低，大約只維持在 10% 至 24% 之間，所以用以製造太陽能電池來發電，在其發電成本上比一般傳統使用化石燃料來發電的成本高出許多，因此太陽能電力在發電成本上難與傳統化石燃料能源電力相競爭，所以要提升太陽能電池的發電效率，才能創造其經濟效益，普及使用。

太陽能電池的電力輸出，受模組溫度與日照強度等因素的影響很大，當模組溫度愈高時電力輸出愈小，日照強度愈大時電力輸出愈大。籍著良好的散熱及通風設施，可以降低模組的溫度，提高太陽能電池的

電力輸出。而太陽運行軌跡一年四季多在變動，欲增加日照強度,則需將太陽能電池板的板面垂直太陽，也就是需要隨著太陽的移動而調整其太陽能電池板的傾斜角度，才會達到最佳的日照強度。鑑於此，本研究藉由「10 kWp市電併聯形太陽光電發電系統」及仰角方位可調式之「太陽能光電教具」來探究高雄地區之日照量與發電量之關係，並且量測太陽能陣列在不同的仰角角度，其發電量為多少？而找出太陽能板最佳安裝位置的軌跡，使其發電效率達到最大。除此之外，降低模組溫度及清洗太陽能電池之灰塵，對太陽能電池發電效率的差異做一分析，並設計水冷式機構，一方面清洗太陽能板之灰塵，另一方面也能降低太陽能板面之溫度，使太陽能電池提升其發電效率，與能源的再生利用，也將會有很大的幫助。

關鍵詞：太陽能光電發電系統、太陽能電池、光伏效應、日照強度。

# Abstract

To improve the energy problems and environmental pollutions , the solar energy is valuable to investigate. Taiwan relies much on the energies imported , so the other energy studied is very important. Solar energy is a clean, contamination-free resource which can be inexhaustible, hence, it is focused to study in this article. However, due to the low density of the solar energy spread on the surface of the globe, it inevitably suffers from the influences of different climates, the shift of day and night, and the different degrees of intensity of the heat with every changing season. In addition, solar cells are traditionally made mainly from silica, they are usually expensive, and the converted rate of solar into electric power remains low, which ranges from 10% to 24%. In this light, using solar energy to generate electricity is much more expensive than producing power by using fossil fuels. In the article, The effects of module temperature, Sunny angle and cleaning dust on efficiency of power gendered is considered. Besides, a water-cooling system designed to increase the efficiency of solar power is also investigated.

Keyword : Solar, Photo, Voltaic effect, Water-cooling system.

## 誌謝

衷心的感謝指導教授 黃柏文 老師這兩年來的悉心指導與諄諄教誨，無論在學業上或是待人處事方面均受益良多，使得論文得以順利完成，在此獻上最大的敬意與謝忱。並且也衷心感謝中山大學 光灼華 教授、正修科技大學 林阿德 教授對本論文提供寶貴意見與指正，使本論文更臻完善。

本論文得以如期完成，首先要特別感謝茂迪公司經理胡根地、蕭世一 先生及我的好友潘金吉 先生，除了在專業問題上的解答與資料的提供之外，更感謝他們對我長期的支接。其次要感謝關心我的同學及朋友，以及諸學弟在課業上的協助，在此一併致謝。

最後，更要感謝我的父母親、家人的支持、關懷與鼓勵，尤其是吾妻梅桂，在這段期間對於家庭的照顧、奉獻，讓我無後顧之憂，得以專心學習，並順利地完成學業。僅將此論文成果獻給所有關心我的人，希望大家與我分享這份喜悅。

# 目錄

摘要.....	I
Abstract .....	III
致謝.....	IV
目錄.....	V
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	IX
符號表.....	XII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機與目的.....	3
1.3 論文架構.....	9
第二章 太陽能電池的原理及特性.....	10
2.1 太陽能電池光電轉換的原理.....	12
2.2 太陽能電池的電氣特性.....	16
2.3 太陽能電池的種類.....	22
2.3.1 單晶矽太陽能電池.....	23
2.3.2 多結晶矽太陽光電池.....	25

2.3.3 非晶矽太陽能電池 .....	26
2.3.4 III-V族化合物半導體 .....	27
2.3.5 II-VI族薄膜型太陽能電池 .....	28
第三章 太陽能光電發電系統 .....	29
3.1 無逆送電功能系統 .....	29
3.1.1 獨立型(Stand Alone)系統 .....	29
3.1.2 混合型(Hybrid)系統 .....	32
3.2 有逆送電功能系統 .....	33
3.2.1 併聯型(Grid Connected)系統 .....	33
3.2.2 防災型混合型系統 .....	34
3.3 太陽能系統基本組件及應用 .....	35
3.3.1 太陽能電池 .....	35
3.3.2 充電控制器 .....	37
3.3.3 蓄電池 .....	38
3.3.4 電源轉換器 .....	40
3.3.5 太陽能發電之應用 .....	42
第四章 太陽能電池板最佳傾斜度分析 .....	45
4.1 太陽運行的軌跡 .....	45
4.2 台灣四季太陽之位置分析 .....	47

第五章 太陽能光電發電特性分析.....	50
5.1 設備分析.....	50
5.2 高雄地區太陽能發電量分析.....	62
5.3 日照量與電壓、電流及發電量之分析.....	68
5.4 不同傾斜度的發電效益分析.....	81
5.5 太陽能電池的安裝軌跡及方向之分析.....	86
5.6 溫度對太陽能電池發電量影響之分析.....	97
5.7 灰塵對太陽能電池發電量影響之分析.....	101
5.8 水冷式清洗機構之探討.....	104
5.8.1 水冷式清洗機構的功能.....	104
5.8.2 清洗後發電量差異之分析.....	108
第六章 結論與未來展望.....	111
6.1 結論.....	111
6.2 未來展望.....	113
參考文獻.....	114

## 表目錄

表 1-1 世界各地太陽能平均年日照量.....	8
表 2-1 太陽能電池的種類.....	22
表 2-2 單晶矽太陽能電池之特徵.....	24
表 4-1 台南、恆春地區四季太陽仰角資料... ..	48
表 5-1 2005年高雄農場1-5月日射量及10KWp太陽能光電系統..... 推估之發電量.....	64
表 5-2 1-6月各月之發電量.....	66
表 5-3 10KWp 推算發電量與實測發電量之比較表.....	67
表 5-4 不同時間、仰角及方向之發電量比較表.....	83
表 5-5 高雄地區春分時最佳發電太陽與太陽能板之仰角關係.....	85
表 5-6 高雄地區四季最佳發電太陽與太陽能板仰角之關係... ..	89
表 5-7 4 月不同時間及仰角之發電量.....	91
表 5-8 5 月不同時間及仰角之發電量.....	93
表 5-9 4、5 月與春分、夏至太陽能板仰角之關係.....	95
表 5-10 溫度對發電量之影響.....	99
表 5-11 灰塵重量對發電量之影響表.....	102
表 5-12 水冷式機冷卻前後發電量差異之分析表.....	109

# 圖目錄

圖 2-1 太陽電池發電原理架構圖.....	11
圖 2-2 PN 接面二極體之 V-I 特性.....	12
圖 2-3 太陽光照射在太陽能電池上之示意圖.....	14
圖 2-4 太陽能電池等效電路.....	16
圖 2-5 不同溫度下太陽能電池模組特性.....	20
圖 2-6 不同日照量太陽能電池模組特性(25°C).....	21
圖 3-1 獨立型太陽能光電發電系統架構圖.....	31
圖 3-2 混合型太陽能光電發電系統架構圖.....	33
圖 3-3 併聯型系統太陽能光電發電系統架構圖.....	34
圖 3-4 防災型混合型太陽能光電發電系統架構圖.....	35
圖 3-5 各種電力波形示意圖.....	41
圖 4-1 太陽運行軌跡示意圖.....	46
圖 4-2 高雄地區四季之太陽仰角變化曲線圖.....	49
圖 5-1 10kWp 太陽能光電發電系統架構圖.....	51
圖 5-2 10kWp 太陽能光電發電系統方塊圖.....	52
圖 5-3 10kWp 太陽能電池之模組及陣列.....	56
圖 5-4 15kVA 直流交流電轉換器.....	57

圖 5-5 10KWp 太陽能光電發電系統即時顯示板.....	58
圖 5-6 50W 太陽能光電教具.....	60
圖 5-7 50W 太陽能光電教具之構造圖.....	61
圖 5-8 2 月 4 日日照強度曲線圖.....	69
圖 5-9 2 月 4 日電流曲線圖.....	70
圖 5-10 2 月 4 日發電量曲線圖.....	71
圖 5-11 2 月 4 日電壓曲線圖.....	72
圖 5-12 2 月 4 日日照量-發電量關係曲線圖.....	73
圖 5-13 2 月 4 日日照量-電壓關係曲線圖.....	74
圖 5-14 3 月 20 日日照強度曲線圖.....	75
圖 5-15 3 月 20 日電壓曲線圖.....	76
圖 5-16 3 月 20 日電流曲線圖.....	77
圖 5-17 3 月 20 日發電量曲線圖.....	78
圖 5-18 3 月 20 日日照量-發電量關係曲線圖.....	79
圖 5-19 3 月 20 日日照量-電壓關係曲線圖.....	80
圖 5-20 太陽與太陽能板之關係圖.....	86
圖 5-21 高雄地區四季太陽能板最佳發電仰角曲線圖.....	90
圖 5-22 高雄地區春分至夏至間最佳發電量之太陽能板仰角曲線圖...	96
圖 5-23 太陽能電池之溫度-電壓曲線圖.....	98

圖 5-24 溫度-功率之曲線圖歐.....	100
圖 5-25 灰塵對發電量影響之曲線圖.....	103
圖 5-26 水冷式清洗機構架構.....	106
圖 5-27 水冷式清洗機構器材.....	107
圖 5-28 應用水冷式機構於各系統所能提升之功率.....	110



## 符號表

$A$	理想因數(1~5)
$C$	光速( $3 \times 10^8$ m/s)
$D_j$	表示一 P-N 接面二極體
$E_{Gap}$	太陽能電池材料跨越能帶間隙時所需的能量(eV)
$h$	普朗克常數( $4.14 \times 10^{-15}$ eV.s)
$I_{pn}$	PN 接面二極體之電流(A)
$I_{rr}$	太陽能電池在溫度 $T_r$ 時之反向保飽和電流 (A)
$I_s$	二極體之逆向飽和電流(A)
$I_{sat}$	反向保飽和電流(A)
$I_{sso}$	短路電流值(A)
$K$	波茲曼常數(Boltzmann Constant: $1.38 \times 10^{-23}$ J/°k)
$K_i$	太陽光電池的短路電流溫度係數
$n_p$	太陽能電池模組的並聯個數
$n_s$	太陽能電池模組的串聯個數
$Q$	電子電荷量(庫倫)
$R_j$	表示 P-N 接面的非線性阻抗(歐姆)
$R_s$	材料內部的等效串聯電阻(歐姆)

$R_{sh}$	材料內部的等效並聯電阻(歐姆)
$S_i$	太陽的日照強度(KW/m <sup>2</sup> )
$T$	絕對溫度 (°k)
$T_r$	太陽能電池的參考溫度 (°k)
$V_{oc}$	太陽能電池的開路電壓(V)
$V_{pn}$	PN 接面二極體之電壓(V)
$V_T$	熱電壓(mV)
$\lambda$	光子波長( $\mu\text{m}$ )
$\theta$	太陽之仰角(度)
$\Phi$	太陽能電池板之仰角(度)

# 第一章緒論

## 1.1 研究背景

從 1970 年代隨著石油危機的開始，石油發電的成本就不斷攀升，而核能發電投資成本亦龐大，而且發電後所產生的各種廢料的污染及造成生態環境之影響也相當大。根據估計，到公元 2025 年，全球燃油成長率為 30%，電力需求成長率為 265%。這麼龐大的電力需求，將對傳統化石能源的供應造成相關大的壓力。因此如何有效利用太陽能，不但是解決能源需求的迫切問題，而乾淨無污染的太陽能更可以減少環境污染，並防止全球的溫室效應的升高。

目前全球太陽能發電尚不及全球發電總量的 0.4%，全球太陽能發電以日本領先，其次為德國、美國、西班牙等。目前西班牙使用的太陽能電池板數量約為 58 萬 1 千平方公尺，到 2010 年將增加為當前的 10 倍。在歐洲國家中，德國當前使用太陽能電池板數的總量領先各國，約為 540 萬平方公尺，西班牙雖然落後甚多，但它卻是全球太陽能源板最大生產國。根據西班牙官方統計，過去 5 年中西班牙新建的 350 萬戶住居單位裝設有太陽能源板，替西班牙國家節省燃料成本高達 2 億 4 千 5 百萬歐元。由以上數據可知，全世界雖然以每年超過 15% 的速度成長開發使用太陽能電力，但距離真正具經濟效益且廣泛應用仍有一大段路要走【1】。

至於台灣，本身的化石及核燃料等天然能源極度匱乏，95%以上的能源都是仰賴進口，再加上人口稠密，工商業高度發展，民生及工業用電愈來愈吃緊，而各種的環保議題與抗爭也層出不窮，更顯現出開發新能源的必要與迫切。經濟部能源局也表示：我國是十分仰賴能源進口的國家，開發自產再生能源不僅是我國因應「京都議定書」溫室氣體減量的無悔策略，同時也是我國未來降低能源進口依賴，推動能源自主政策的一環，經濟部並已規劃於民國 99 年底前將再生能源發電裝置容量配比提高達總發電系統裝置容量的 10%。為達成再生能源發展目標，除研訂設置誘因、輔導地方政府及台電公司設置示範系統外，並積極協調各權責相關單位，排除設置障礙。預期在民國 99 年底再生能源發電裝置容量配比達總發電裝置容量 10%的目標達成後，估計在經濟效益方面，因為二氧化碳排放量的減少，將可節省二氧化碳處理成本 2,285 億元；因為進口能源的減少，將可節省外匯支出 1,130 億元；因為產業增加再生能源機組設置，將可帶動國內相關產值 440 億元。總體而言，開發國內自產再生能源不但兼顧了國內環境保護，同時亦可帶動相關產業之發展【2】。

再生能源基本上是指煤、石油、天然氣、核能以外的能源，目前被發現較具有發展替代能源有：風、太陽、地熱、海水溫差、波浪、潮汐、黑潮、生質能等之電源。其中以太陽能及風能的利用與研究最受重視，但由於地理環境限制及首次投資的高昂，風力與太陽能的使用在國內一

直相當有限，不過由於目前石化能源日益昂貴及蘊藏量日減少，又加上京都議定書於94年2月生效，使得再生能源的使用成為必要的選擇，再生能源的研究與發展成為重要的課題。鑑於風力裝置需要大面積土地，且容易造成噪音環境問題，且在台灣風力較強的季節與尖峰用電季節不相符，無法滿足尖峰時刻的用電量。因此太陽能發電的可行性應較高，且近年來太陽能電池的發電效率及技術一直在提高，而價格也越來越便宜，設置也相對較容易【3、4】。

## 1.2 研究動機與目的

從工業革命以來，人類大量使用化石能源，造成全球環境生態與氣候產生莫大的變化，同時大氣中的溫室氣體濃度大幅提高，造成氣溫逐漸升高、海平面上升等溫室效應的現象，威脅了我們的生存的環境。所以環境生態保護及溫室氣體排放的減量受到全球高度的重視，各國紛紛研究、推廣使用過程中不致造成環境污染的能源。目前認為所有取之不盡、用之不竭的能源為大自然中的太陽能、風力、地熱、生質及海洋等再生能源，其中最穩定，取得最容易莫過於我們每日接觸的太陽能。

地球源源不絕接收來自太陽所放射的輻射能，帶給地球上絕大部分的能源。太陽所放射的輻射能，能提供給地球一個非常巨大的能量來源，從太陽投射到地球表面的能量每天截取 $1.7 \times 10^{11}$  kWh的太陽能，相當

於一億桶石油的能源，由此可知太陽光是一個不可輕忽的能源。而且太陽能不會像煤和石油一樣在燃燒時產生廢氣來污染環境，也不會像煤和石油有耗盡的一天，更不會有像核能發電所帶來的危險性和核廢料的後遺症。所以如果以太陽能來取代現有的煤，石油，天然氣等能源，環境污染的問題便可大大地減少【5-7】。

在台灣方面，根據經濟部能源局的資料顯示，1990 年台灣地區能源供給結構中，含碳高的能源如煤炭與石油的總耗用量高達 78%，無碳能源如核能與再生能源(包括水力與新能源)則僅占 14%及 4%。展望公元 2000 年，煤炭與石油的消耗量仍將占總能源供給的 74%、核能與再生能源則分別佔占 12%與 3%。其中含碳量最高的煤炭所占比例不降反增；自 1990 年的 23.6%提升至 2000 年的 29.2%。此意味著台灣地區在未來能源整體供給規劃上，勢將無法有效抑低二氧化碳的排放數量【8】。而且台灣每年到了夏季常會面臨到電力不足的危機,其夏天尖峰負載用電量與系統之總發電容量相差不大，導致每天中午用電尖峰時刻都有限電的情況發生，若一直開發新電廠以滿足尖峰時刻的用電量，則又可能不符合經濟效益與成本考量。所以若能有效的抑低尖峰用電量，或以分散型再生能源發電替代供給，或許可擺脫限電的夢魘，以及減少對自然環境所造成的污染。再生能源是利用太陽、風力、地熱、生質、海洋等所產生的天然能源，此類能源與化石能源（煤、天然氣、石油）相較，具有低環

境污染、可循環利用等優點。而台灣位居亞熱帶地區並且較靠近赤道，太陽的日照量非常的充足，太陽能之應用具有相當發展的潛力。而且就以太陽能發展條件而言，遠比日本與美國大部份地區為佳，如表 1-1 為世界各地太陽能平均年日照量【7、9】。況且台灣目前的電力系統有南電北送之缺點，電力需要長距離傳輸至其他需求地，不僅增加傳輸之線路損失，同時對於電力調度之掌握亦頗為困難。在台灣由於傳統能源匱乏，大部份需仰賴進口，因此更應極力推廣太陽能的使用，以彌補化石能源的不足。

雖然太陽能有許多的優點，但目前太陽能電池（Solar cells）在傳統上均以矽材料為主，與製造電腦晶片的矽材料相同，價格昂貴，用來製造太陽能電池來發電，其發電成本要比一般傳統上應用化石燃料來發電的成本貴出許多，因此太陽能電力在發電成本上難與傳統化石燃料能源電力相互競爭，此外；由於太陽能的能量密度低、日照時間變化大，一定規模的發電量必需要有廣大的土地面積，來設置太陽能電池板（Solar panels）吸收太陽能。所以要達到一定規模以上之發電量，除了需要相當大的土地空間設置外，並且要有充足日照量，況且太陽能電池將光能轉化成電能的效率仍然偏低，所以要提升太陽能電池發電量，才能創造其經濟效益，普及使用。

目前關於太陽能光電發電的研究，在國外學者Walraven.R【10】曾

以數學模式計算太陽位置軌跡的方法，提出在北半球太陽能板的安裝角度；Balenzategui J.L. and Chenlo F.【11】以實驗理論分析光線入射的角度會影響開路電壓及短路電流的大小，也會影響功率的輸出。國內學者在太陽能的研究也有相當不錯的成果，像包濬偉【7】曾研究中壢地區最佳發電量之太陽能板的仰角；沈仲晃【12】也利用數學模式計算太陽位置軌跡的方法研究台北地區的最佳發電之太陽能板的傾斜角度；而林萬成【13】則研究以致冷器降低太陽能板的溫度，來提升太陽能電池的電力輸出。在文獻的探討中，我們可以發現太陽運行軌跡會隨四季變化，以致每國家每區域會有不同的最佳太陽能板的仰角角度，在文獻中也沒有發現有針對高雄地區及灰塵之影響的深入研究的論文。所以本研究針對南台灣地區實際量測、研究、整理出太陽能板之最佳安裝仰角並研製實際可應用，提升系統發電量之冷卻機構。基於上述的動機，本文研究之目的可分為：

- (1) 日照強度、環境溫度及灰塵均會影響太陽能電池之發電效益，設置太陽能電池板時，如何克服這些因素，才能使太陽能電池達到最大之發電效率。
- (2) 太陽會隨著四季變化而使太陽會向南或向北迴歸線偏移，也就是介於冬至與夏至之間軌跡運行，若太陽能電池如能一年裡都對著太陽時，其接收日照強度是最好、發電量也會最大。所以欲要提升太陽能

電池之發電量,其所應安裝之最佳位置之研究。

- (3) 搜集分析高雄地區之日照量與發電量，作為南部地區研究、建造太陽能光電發電系統之參考數據。
- (4) 研究設計水冷式清洗機構，一方面清洗太陽能板之灰塵，另一方面也能降低太陽能板面之溫度，提昇太陽能電池模組之發電效率。



表1-1世界各地太陽能平均年日照量【7】

國家	地區	平均年日照 KWh/m <sup>2</sup>	備 註
台灣	恆春	65.54	1996-1999
	台南	58.34	
	台北	46.25	
美國	Albuquerque	77.78	海拔 1620m
	Elpaso	75.54	海拔 1194m
	加州	65.54	
	邁阿密	60.14	
	波士頓	45.01	
	西雅圖	42.85	
澳洲	坎培拉	63.73	
日本	東京	39.25	
瑞典	斯德哥爾摩	36.37	

### 1.3 論文架構

本文之研究重點在於提升太陽能電池發電量的方法、太陽能陣列最佳安裝之位置，以及環境溫度、灰塵對太陽能板發電量有何影響影響，並設計水冷式清洗機構提升太陽能電池之發電量，研究內容將分成六章，說明如下：

第一章：研究背景、研究動機、相關研究及論文之架構。

第二章：太陽能電池的原理及特性研究。

第三章：太陽能光電發電系統。

其中包含了獨立型系統、併聯型系統、防災混合型系統之架構，太陽能系統基本組件，太陽能光電的應用範圍。

第四章：太陽能電池板最佳安裝傾斜度之探討。

其中包含了太陽運行軌跡之介紹、台灣四季太陽運行位置之情形、太陽能板在不同仰角下的發電量之比較，以及在南台灣安裝太陽能板時最佳位置之探討。

第五章：太陽能發電系統之發電特性。

包含了在高雄地區日照量與發電量的特性分析，以及能有效提升功率水冷式清洗機構的架構及實驗數據之探討。

第六章：結論與未來展望。

## 第二章太陽能電池的原理及特性

太陽能電池是由半導體製作的元件，其發電原理是當太陽光照射在太陽能電池上，讓半導體材料吸收  $0.2\sim 2.4\mu\text{m}$  波長的太陽光，產生電子-電洞對，同時電子(負極)-電洞(正極)對因 p-n 接面之電場而分離形成光電壓，再經由導線傳輸至負載使用如圖 2-1【14】由於太陽電池產生的電是直流電，因此若需提供電力給家電用品或各式電器使用，則需加裝直/交流轉換器，將直流電轉換成交流電，才能供應家庭用電或工業用電【2】。以下第二節針對太陽能電池的原理做一簡單的說明。第三節為說明太陽能電池的種類。第四節則說明太陽能電池的電氣特性，以作為後續發展之基礎。

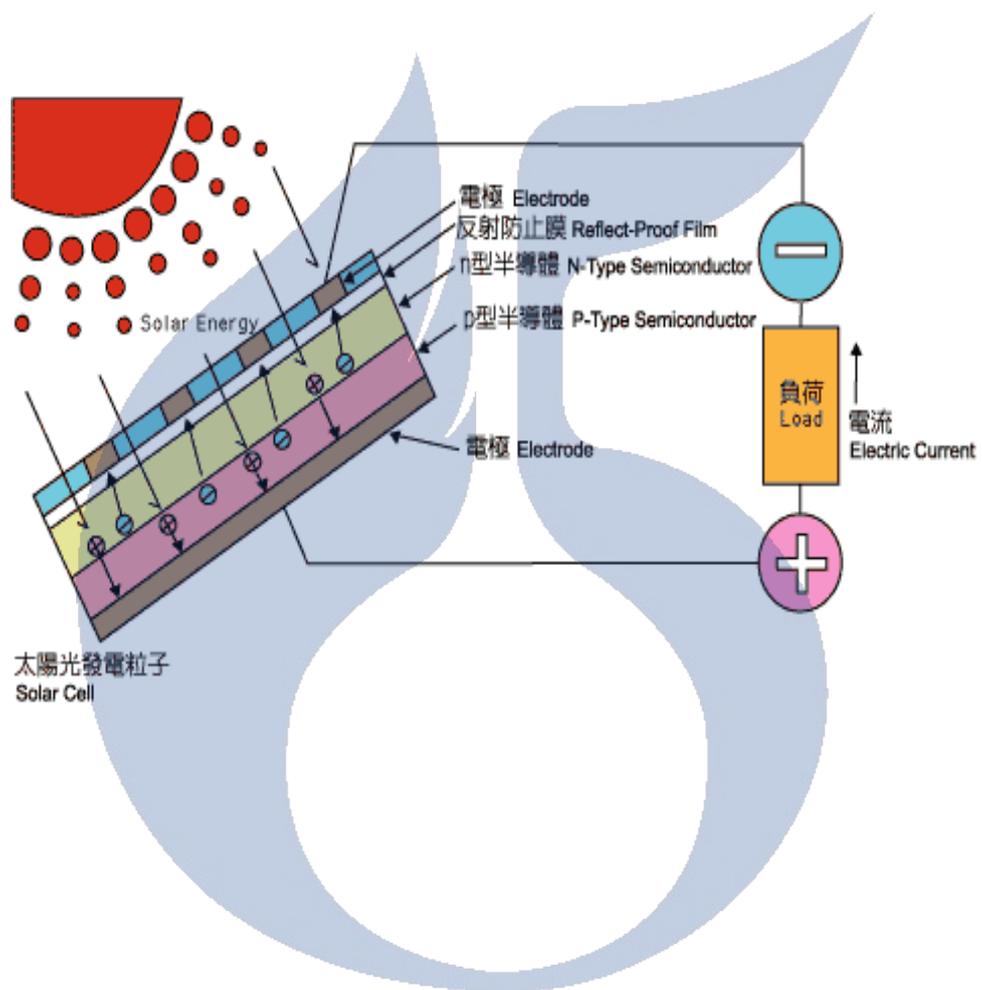


圖2-1太陽電池發電原理架構圖【2】

## 2.1 太陽能電池光電轉換的原理

太陽能電池係一種利用太陽光直接發電的光電半導體，經光照射，瞬間就可以輸出電能，其電能轉換是應用 PN 接面之光伏效應 (Photovoltaic Effect)。

首先針對PN接面二極體做一說明，如圖2-2所示，為一個理想PN接面二極體之電壓-電流(V-I)特性圖，其方程式如下【7】：

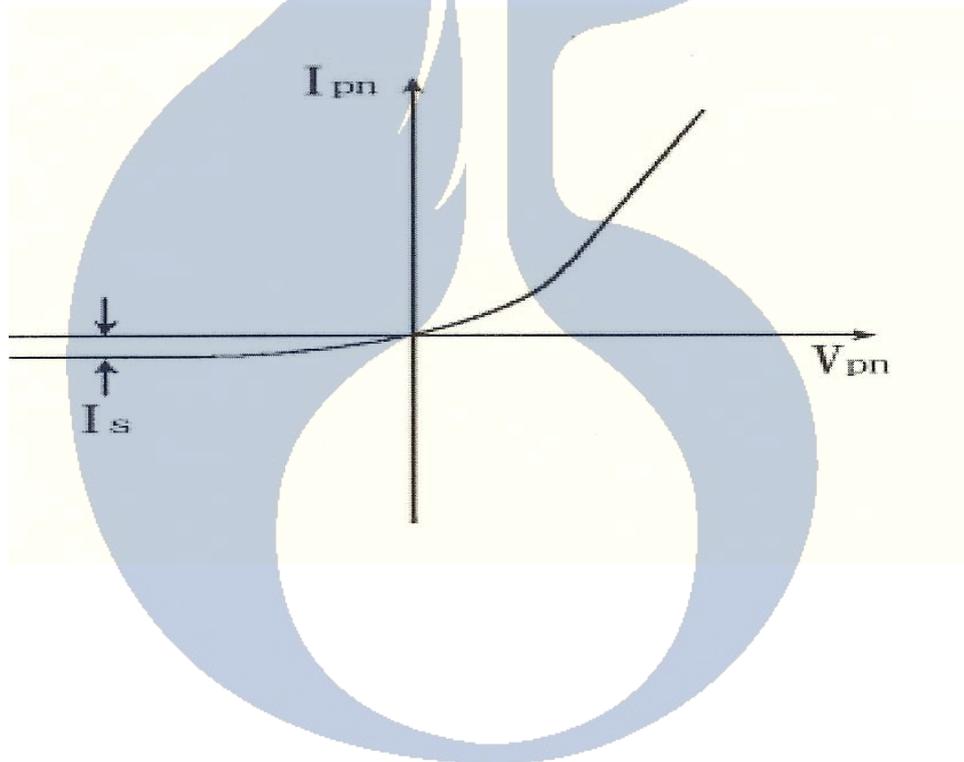


圖2. 2PN接面二極體之V-I特性【7】

$$\begin{aligned}
 I_{pn} &= I_s \left[ \exp\left(\frac{q V_{pn}}{nkT}\right) - 1 \right] \\
 &= I_s \left[ \exp\left(\frac{V_{pn}}{nV_T}\right) - 1 \right]
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

其中

$V_{pn}$  : PN 接面二極體之電壓

$I_{pn}$  : PN 接面二極體之電流

$K$ : 波茲曼常數 (Boltzmann Constant:  $1.38 \times 10^{-23} \text{J/}^\circ\text{k}$ )

$q$ : 電子電荷量 ( $1.602 \times 10^{-19}$  庫倫)

$T$ : 絕對溫度 ( $^\circ\text{k} = ^\circ\text{C} + 273$ )

$I_s$  : 二極體之逆向飽和電流

$V_T$ : 熱電壓 (Thermal Voltage : 25.68mV)

太陽能電池將太陽光能轉變為電能是依據太陽光中的量子-光子 (Photons)，而每個光子所攜帶的能量  $E_{ph}$  為：

$$E_{ph} = hc/\lambda \tag{2.2}$$

其中

$h$  : 普朗克常數 (Planck Constant :  $4.14 \times 10^{-15} \text{ev.s}$ )

$c$  : 光速 ( $3 \times 10^8 \text{m/s}$ )

$\lambda$  : 光子波長

但並非所有光子都能順利地藉由太陽能電池將光能轉變為電能，因為在不同的光譜中光子所攜帶的能量不一樣。

PN接面二極體能量轉換過程說明如下：

- (1) 當外加能量大於能隙(Band Gap)時，電子會由價電帶(Valence Band)跳到導電帶(Conduction Band)而產生電流，所以當光子所攜帶的能量，假若大於能隙時，便可以藉由光伏效應轉變成電能，如圖2-3 所示。
- (2) 假使光子所攜帶得能量小於能隙時，那對太陽能電池而言就沒有什麼作用，不會產生任何的電流。但在太陽光照射到太陽能電池產生電子-電洞對(Electro-Hole Pair) 的同時，也有一部份的能量以熱能的形式散逸，而不能有效的利用的情形產生。

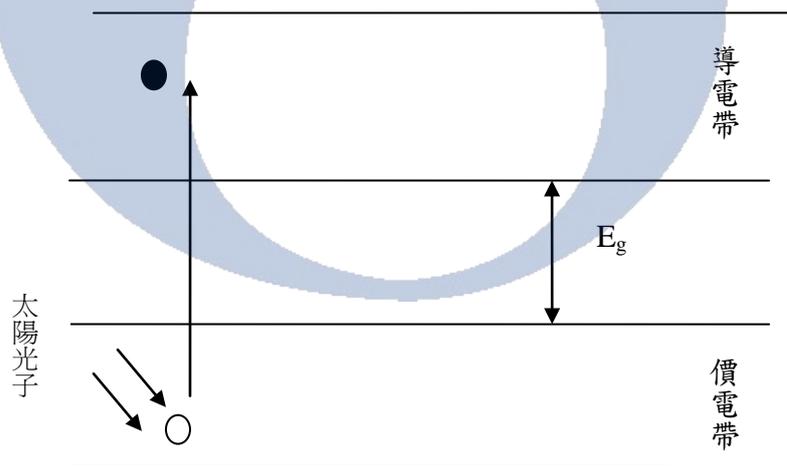


圖 2-3 太陽光照射在太陽能電池上之示意圖

總而言之，當電子從外界獲得能量時，將會跳到較高的能階，而且獲得的能量越多跳的能階也越高，但電子處在較高的能階時並不穩定，很快就會把所獲得的能量釋放出來，而回到原來的能階。如果電子獲得的能量夠高時，就能擺脫原子核的束縛，而成為自由電子，此時，電子空出來的位置則稱為電洞。自由電子可能會因為摩擦或碰撞等因素損失能量，最後受到電洞的吸引而復合。例如，矽的最外層電子要成為自由電子需要吸收1.1eV的能量，當矽最外層子吸收到的光能量超過1.1eV時將會產生自由電子及電洞，稱之為光生電子-電洞對( light-generated electron-hole pairs )。電子-電洞對的數目越多導電的效果也越好，因為光使得導電效果變好的現象稱之為光導效應( photo conductive effect )。

如果有自由電子或電洞在電場內產生，則會因為受到電場的作用而移動，使自由電子向N型半導體移動，而電洞向P型半導體移動，結果會使N層帶負電P層帶正電，而在PN兩端之費米能階 (Fermi Level)，則會產生電位差 $V_{oc}$  ( $V_{oc}$  乃是太陽光照射時之開路電壓 )。這即是所謂的光電效應，也是太陽能電池的光電轉換的原理【15-18】。

## 2.2 太陽能電池的電氣特性

太陽能電池相當於具有與受光面平行之大面積薄PN接面的等效二極體，因此可以假設太陽能電池是相當於一個二極體與太陽能電流之發生源所併聯之等效電路，如圖2-4 所示。

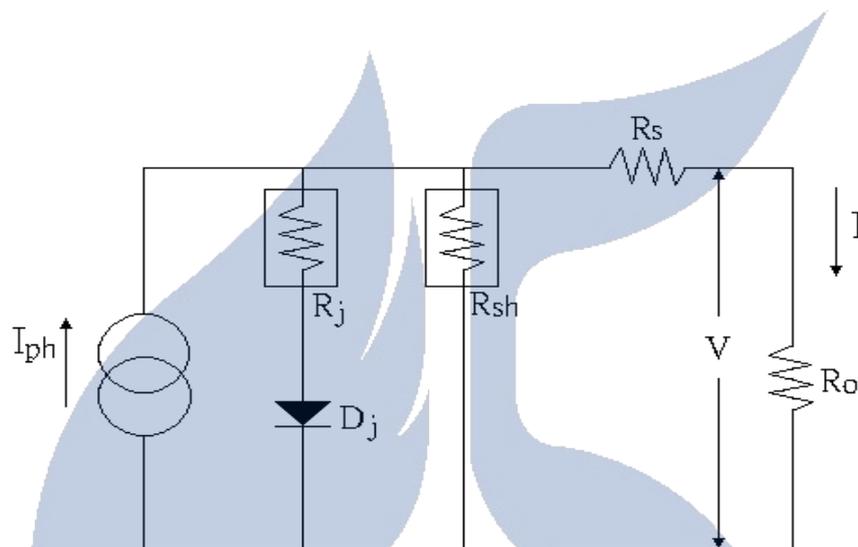


圖 2-4 太陽能電池等效電路

其中

$I_{ph}$ ：電流源表示太陽能電池所產生的電流。

$R_j$ ：表示 P-N 接面的非線性阻抗。

$D_j$ ：表示一 P-N 接面二極體。

$R_{sh}$ ：代表材料內部的等效並聯電阻。

$R_s$ ：代表材料內部的等效串聯電阻。

(通常分析時  $R_{sh}$  的值很大而  $R_s$  很小, 因此為簡化過程常忽略不計)。

$R_o$  : 表外接負載。

$I$  : 輸出電流。

$V$  : 輸出電壓。

此外

$$I_{ph} = S_i [I_{ss0} + K_i(T - T_r)] \quad (2.3)$$

$I_{ss0}$  : 太陽光電池在參考溫度  $T_r(298K)$  與參考日照條件 ( $1kW/m^2$ ) 下, 所量測到的短路電流值。

$K_i$  : 太陽光電池的短路電流溫度係數。

$S_i$  : 太陽的日照強度 ( $kW/m^2$ ),

$$I_{sat} = I_{rr} \left( \frac{T}{T_r} \right)^3 \cdot \exp \left[ \frac{qE_{Gap}}{kA} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.4)$$

其中

$I_{sat}$  : 反向保飽和電流。

$I_{rr}$  : 為太陽能電池在溫度  $T_r$  時之反向保飽和電流。

$E_{Gap}$  : 太陽能電池材料跨越能帶間隙時所需的能量 (矽  $E_{Gap}$  為  $1.1eV$ )。

因由圖 2-4 可知當:  $I=0$  時, 太陽能電池之開路電壓( $V_{OC}$ )為:

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \left[ \exp\left(\frac{I_{ph}}{I_{sat}} + 1\right) \right] \quad (2.5)$$

太陽能電池模組串並聯整理後之方程式：

$$I = n_p I_{ph} - n_p I_{sat} \left[ \exp\left(\frac{q}{kTA} \frac{V}{n_s}\right) - 1 \right] \quad (2.6)$$

$$P = IV = n_p I_{ph} V - n_p I_{sat} V \left[ \exp\left(\frac{q}{kTA} \frac{V}{n_s}\right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

其中

$n_p$ ：太陽能電池模組的並聯個數。

$n_s$ ：太陽能電池模組的串聯個數。

$k$ ：波茲曼常數， $1.38 \times 10^{-23}$  J/K。

$T$ ：太陽光電池的溫度(K)。

$A$ ：理想因數 1~5，與理想 P-N 接面半導體間的差異。

採用 Solarex MSX60 的太陽能電池，規格為：W=60、開路電壓 ( $V_{OC}$ ) =21.1 V、短路電流 ( $I_{SO}$ ) =3.8A、工作電壓=17.1、工作電流=3.5A、溫度係數=-73 mV/° C。藉著改變日照強度和環境溫度等條件，聯立(2-3)、(2-4)、(2-5)、(2-6)及(2-7)等數學關係式，我們可以清楚的得知：太陽能電池的電壓、電流、功率與日照強度和環境溫度變化的關係圖，如圖 2-5 與圖 2-6。

由圖2.5可知,在固定日照強度下,當溫度升高時，太陽能電池的閉路

電壓 ( $V_{OC}$ ) 降低, 短路電流 ( $I_{SO}$ ) 會略微上升, 整體而言太陽能電池的額定輸出功率會下降, 而所能輸出的最大功率也會隨著溫度的遞增而呈現遞減的狀態, 由此可見工作環境溫度的高低將會直接影響到太陽能電池的最大輸出功率。此外, 圖 2.6 中可知: 太陽能電池在固定環境溫度 ( $25^{\circ}\text{C}$ ) 下, 當日照強度變化時, 對太陽能電池的閉路電壓並不會有太大的影響, 但其所能提供的最大電流便有相當大的變化; 由此可知: 太陽能電池的輸出電流功率會日照強度遞增時遞增太陽能電池的輸出功率, 會隨日照強度的遞增而遞增, 而這個關係也可以由 (2.3) 式看出: 當日照強度 ( $S_i$ ) 愈高時, 太陽能電池將產生較大的電流值 ( $I_{ph}$ ), 相對地將可提供較高的輸出電流及額定功率, 所以日照強度的強弱亦是影響太陽能電池輸出電力大小的重要因素。

經由以上這些模擬結果, 我們可以深深地瞭解工作環境的溫度以及日照強度是影響太陽光電池特性的兩個重要參數。當太陽能電池在瞬息萬變的大氣環境下運轉時, 溫度與照度量時時刻刻都在改變, 因此其外接負載必須適當的加以控制, 才能獲得最大的轉移功率, 否則太陽能電池將可能因大氣環境變化而無法提供足夠的電力給負載, 因而導致電壓崩潰而無法運轉的缺失【15、19】。

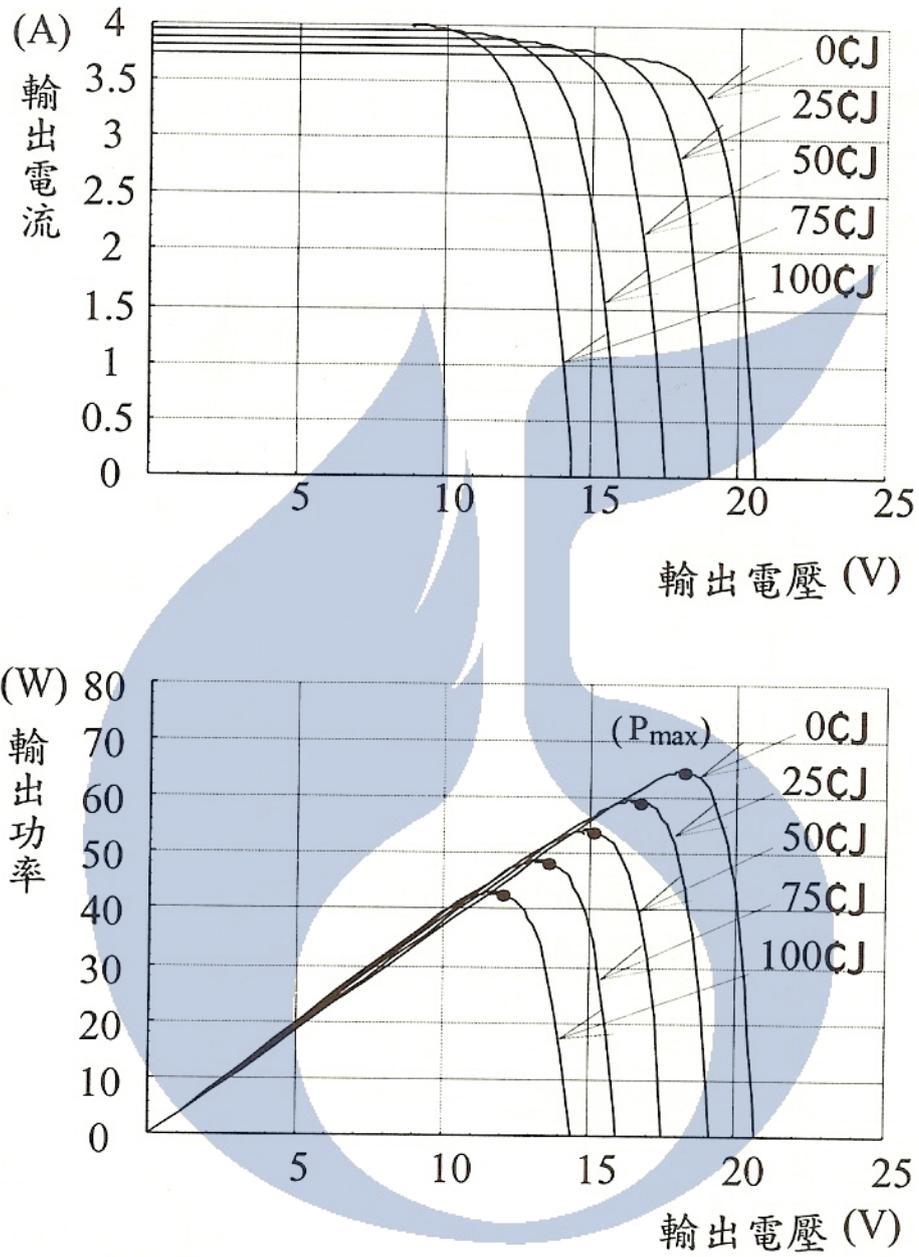


圖2-5不同溫度下太陽能電池模組特性【15】

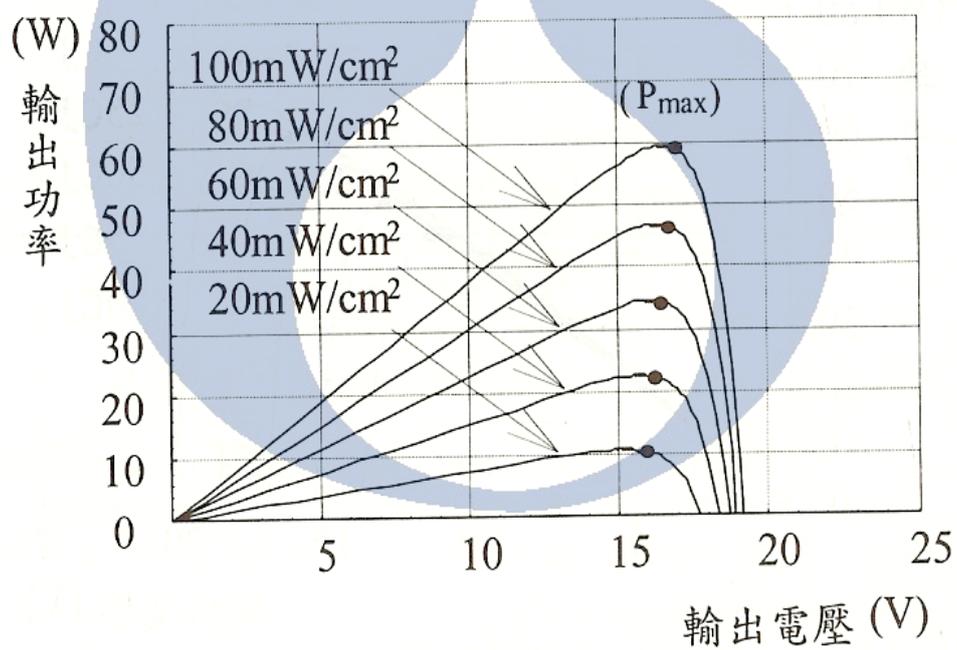
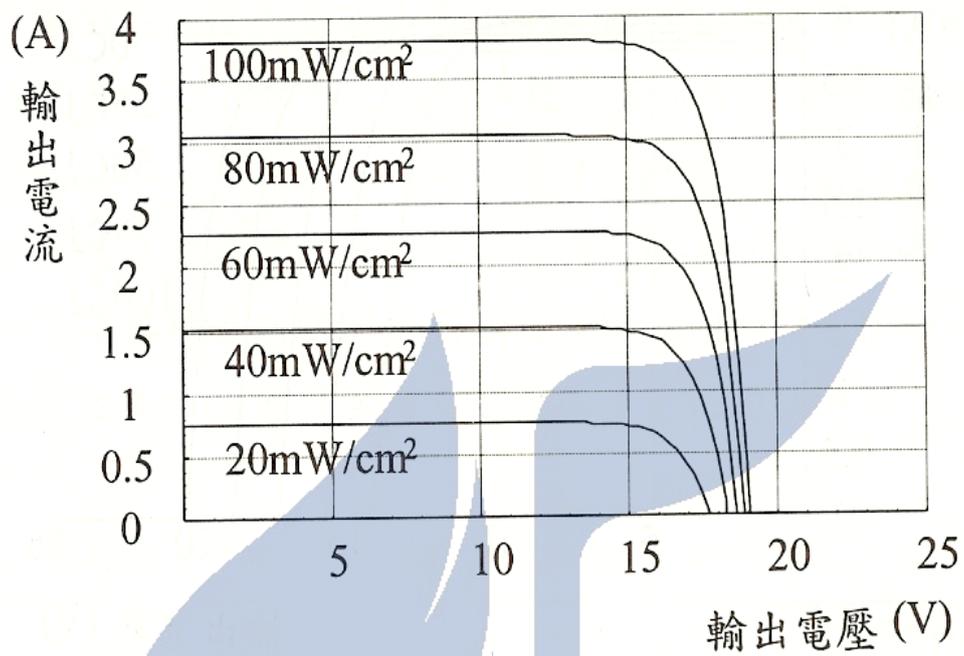


圖2-6不同日照量下太陽能電池模組特性(25°C)【15】

## 2.3 太陽能電池的種類

太陽能電池的種類繁多，若依材料的種類來區分，可分為單晶矽(single crystal silicon)、多晶矽(polycrystal silicon)、非晶矽(amorphous silicon，簡稱 a-Si)、III-V 族[包括：砷化鎵(GaAs)、磷化銦(InP)、磷化鎵銦(InGaP)]、II-VI 族[包括：碲化鎘(CdTe)、硒化銦銅(CuInSe<sub>2</sub>)]等，如表 2-1【20】。

表2-1太陽能電池的種類【20】

太陽能電池種類	半導體材料	轉換效率	模組轉換效率	
矽	單結晶(晶圓型)	15~24%	10~14%	
	結晶矽 多結晶 (晶圓型、薄膜型)	10~17%	9~12%	
	非晶矽	a-Si、a-Si <sub>0</sub> 、a-SiGe	8~13%	6~9%
化合物半導體	III-V 族	GaAs、InP (晶圓型)	18~30%	
	II-VI 族	CdTe、CuInSe <sub>2</sub> (薄膜型)	17~18%	

### 2.3.1 單晶矽太陽能電池：

單晶矽太陽光電池的結晶十分完整，自由電子與電洞在內部的移動不會受到阻礙，較不容易發生自由電子與電洞復合的情況，所以單晶矽太陽能電池之轉換效率較高約為15-24%，而模組(Module)化後其轉換效率約為10-14%。此外完整的結晶使得矽原子與矽原子之間的化學鍵非常堅固，不容易因為紫外線破壞化學鍵而產生懸浮鍵(dangling bond)，懸浮鍵的存在會阻礙自由電子的移動，甚至捕捉自由電子造成電流下降【15】。因此完整的結晶不但使單晶矽太陽光電池能夠達到高效率，同時也使得光電轉換效率不易隨時間衰退，這就是單晶矽太陽光電池最大的優點，而其缺點是價格昂貴，其特徵整理如表2-2【21、22】。

表 2-2 單晶矽太陽能電池之特徵

種類	單晶矽太陽能電池
特徵	<p>(1)矽原料之藏量豐富由於，故實用上需要大面積的太陽能電池（太陽光之密度低），因此在原材料之供給充足，而且對環境影響較低。</p> <p>(2)由單晶矽製造技術，隨著技術成熟度增加而快速發展。</p> <p>(3)雖然矽之密度低材料也輕，但應力相當強，即使厚度在50 <math>\mu\text{m}</math>以下之薄板，強度也足夠。</p> <p>(4)轉換效率比多晶矽及非晶矽太陽能電池來的高。</p> <p>(5)發電特性極為安定，使用年限長，約有 20 年耐久性。</p> <p>(6)由於能階構造屬於間接遷移型，在太陽光譜之主區域上，光吸收係數只有<math>10^3\text{cm}^{-1}</math>，程度相當小。</p>
缺點	作成本較高，及製作時間冗長。

### 2.3.2 多結晶矽太陽光電池

單晶矽太陽能電池雖轉換效率較高,但因價格昂貴,使得單晶矽太陽能電池在其價格的考量之下,市場上的發展備受阻礙。而多晶矽太陽能電池則是以降低成本為優先考量,其次才是效率。多晶矽太陽光電池降低成本的方式主要可分成三類:一是純化的過程沒有將雜質完全去除。二是使用較快速的方式讓矽結晶,三是避免切片造成的浪費。因為這三個原因使得多結晶矽太陽光電池在製造成本及時間上都比單晶矽太陽光電池少,但也因此使得多晶矽太陽光電池的結晶構造較差。多晶矽太陽光電池與單晶矽太陽光電池雖然結晶構造不一樣但發電原理一樣。

多晶矽太陽光電池結晶構造較差主要的原因有兩種:一是本身含有雜質,二是矽在結晶的時候速度較快。矽原子沒有足夠的時間形成單一晶格,而形成多結晶顆粒。結晶顆粒愈大則效率愈好,結晶顆粒愈小則效率愈差。效率差的原因是顆粒與顆粒間存在著結晶邊界,結晶邊界存在許多的懸浮鍵,懸浮鍵會與自由電子復合而使電流減少,而且結晶邊界的矽原子鍵結晶的情況較差,容易受紫外線破壞而產生更多的懸浮鍵,隨著使用時間的增加,懸浮鍵的數目也會隨著增加,光電轉換效率因而逐漸衰退。此外,雜質多半聚集在結晶邊界,雜質的存在會使自由電子與電洞不易移動。所以多晶矽太陽能電池的主要兩個缺點:一是結晶邊界的存在使得多晶矽太陽光電池的效率降低,二是懸浮鍵的增加使得光電

轉換效率衰退。而成本低（較單晶矽太陽能電池低約便宜20%）及製程步驟較簡單則是多晶矽太陽能電池主要的優點【15】。

### 2.3.3 非晶矽太陽能電池

非晶矽太陽能電池與單晶矽太陽能電池或多晶矽太陽能電池有些差異，最主要的差異就是材料不同，單晶矽太陽能電池或多晶矽太陽能電池的材料都是矽，而非晶矽太陽能電池的材料則是SiH<sub>4</sub>，因為材料的不同而使非晶矽太陽能電池的構造與晶矽太陽能電池稍有不同。

SiH<sub>4</sub>最大的優點為吸光效果及光導效果都很好，但電氣特性類似絕緣體，與矽的半導體特性相差甚遠。但在1970年代科學家克服了這個問題，不久後美國的RCA製造出第一個非晶矽太陽光電池。由於其結晶構造比多晶矽太陽能電池差，所以懸浮鍵的問題比多晶矽太陽能電池還嚴重，自由電子與電洞復合的速率非常快，而且SiH<sub>4</sub>的結晶構造不規則會阻礙電子與電洞的移動，使得擴散範圍變短。基於以上兩個原因，因此當光照射在SiH<sub>4</sub>上產生電子電洞對後，必須儘快將電子與電洞分離，才能有效產生光電效應。所以非晶矽太陽能電池大多做的很薄，以減少自由電子與電洞復合。由於SiH<sub>4</sub>的吸光效果很好，雖然非晶矽太陽能電池做得很薄，仍然可以吸收大部份的光。非晶矽太陽光電池最大的優點為成本低，而缺點則是效率低及光電轉換效率隨才更用時間衰退的問

題。因此非晶矽太陽光電池在小電力市場上被廣泛使用，但在發電市場上則較不具競爭力【7、15】。

#### 2.3.4 III-V族化合物半導體

III-V族化合物半導體太陽能電池特徵如下【7、21】：

- (1) 具有高效率之特性：太陽能電池之光電轉換理論效率，與半導體之能帶間隙有關。若與能帶間隙為1.1eV之矽、1.41eV之GaAs、1.35eV之InP，或與1.44eV之CdTe之比較，III-V族化合物半導體太陽能電池有1.4~1.5eV左右能帶間隙之半導體，較適合製作高效率太陽能電池材料。
- (2) 適合薄膜化，節省製作之材料：III-V族化合物半導體多為直接遷移型，光吸收係數大，有數 $\mu\text{m}$ 以上之厚度，即可以充分的達到轉換之效率。（矽為間接遷移型能階構造，光吸收係數較小，為了充份吸收太陽光，則需要100 $\mu\text{m}$ 以上之厚度）。
- (3) 可耐放射線損傷，適合在太空上用途：一般動作領域與直接遷移型之故，少數單體擴散長度也短，耐放射線較佳。因此III-V族化合物太陽能電池。
- (4) 高集光特性：比矽之能帶間隙還要寬之化合物的半導體，在高溫動作時，暗電流之變化較小，衰減率低。因此，集光動作時溫度之

影響較小，可以比矽結晶之太陽能電池有1000倍以上之高集光動作。

III-V族化合物太陽能電池,可以達到30%以的效率，這種太陽能電池的第二代有較小單位面積，但卻擁有超高效率的特性，已在專業實驗室中獲得證實，例如砷化鎵(GaAs)、磷化鎵銦(InGaP)已可得到將近30%的效率。而就所知利用聚光方式可再提昇太陽能電池的轉換效率。例如把砷化鎵(GaAs)、錫化鎵 (GaSn) 層層疊起來，太陽能電池在聚光下的轉換效率也可高達35.8%【7、21、22】。

#### 2.3.5 II-VI族薄膜型太陽能電池

碲化鎘(CdTe)、硒化銦銅(CuInSe<sub>2</sub>)薄膜型太陽能電池，因它有非晶矽薄膜型太陽能電池所不能達到的高效率與可靠度。就效率而言，它在很小的單位面積上已經可達到16%以上，且沒有可靠度方面的問題，但目前量產技術尚未完全成熟，特別在大面積基板上形成的場合中，各元素比例的均一性等問題，都是今後發展研究的課題【7】。

## 第三章 太陽能光電發電系統

太陽能光電發電系統的型式,基本上可區分為兩類：一是無逆送電功能系統，二是有逆送電功能系統兩種。無逆送電功能系統所產生之電力無返饋至電力公司，而有逆送電功能系統所產生多餘的電力返饋至電力公司，所以須申請台電併聯引接同意書。返饋式電力系統亦即在負載較大，太陽能電力不足時，可由電力公司供給不足部分的電力，而負載較小或無負載時，可將多餘的電力返饋至電力公司【23】。

### 3.1 無逆送電功能系統

無逆送電功能系統可概分為獨立型(Stand Alone)系統及混合型(Hybrid)系統。

#### 3.1.1 獨立型(Stand Alone)系統

獨立型太陽能光電發電系統即白天將太陽能電池產生的電力,經由控制電路儲存到蓄電池組內，再由換流器將蓄電池內的直流電轉換成交流電,供電器使用。一般獨立型系統設置在高山、離島、基地台....等市電無法送達處，而產生之電力，通常直接供應負載使用，平常不與市電聯結，故為了確保持續供電，該系統必須搭配足夠容量之蓄電池，系統架構如

圖 3-1 (a)【20】。有些獨立型太陽能光電發電系統為了提升用電負載之供電品質，亦可申請市電作為備用電力，以便獨立型系統無法供電時，透過自動切換開關（Auto Transfer Switch 簡稱 ATS）改由市電供應，系統架構如圖 3-1 (b)【20、24】。獨立型系統雖然架構簡單，但其缺點可歸納分析如下【20、23】：

- (1) 系統設計考慮因素多(組列、蓄電池容量、負載與陰天日數等安全係數，最佳化設計很複雜)。
- (2) 搭配蓄電池使發電效能損失，也無最大功率追蹤裝置。
- (3) 轉換器（Inverter）一般多使用低壓型（小於 48V），轉換效率低。
- (4) 太陽能發電量與負載需求不搭配，發電效率偏低。
- (5) 蓄電池建置複雜，而且成本很高、壽命很短。

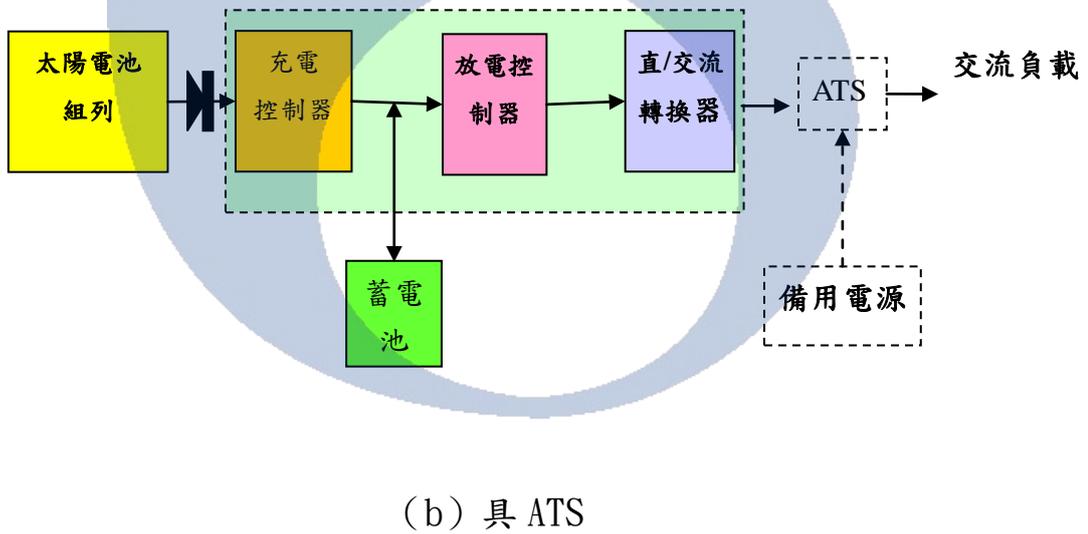
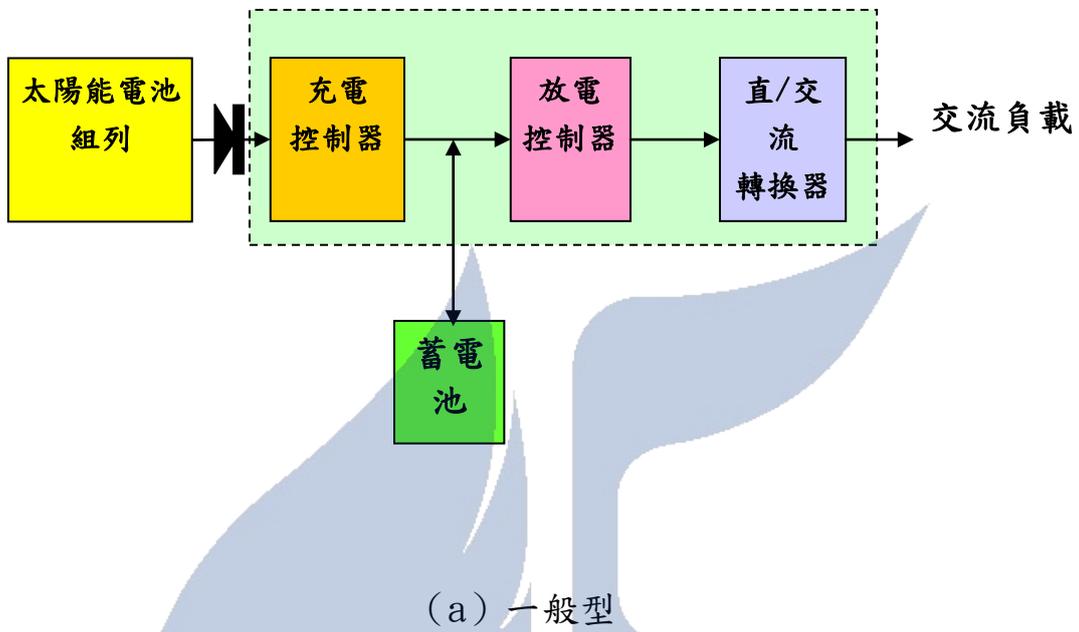


圖 3-1：獨立型太陽能光電發電系統架構圖【20】

### 3.1.2 混合型(Hybrid)系統

混合型太陽能光電系統，一般用於離島或偏遠地區，搭配小型風力發電機，不分晝夜皆有風力發電產生，可與太陽能電池模組相互補，可共用同一組電力系統，此混合電力系統可產生雙倍以上之電力，可延長照明點燈時間或提高照明亮度。混合型系統一般搭配柴油發電機，於太陽光、風力與蓄電池都不足時，啟動柴油發電機，以確保負載用電不中斷，如圖 3-2【20】。

其特點有：

- (1) 利用地區性太陽能發電與風力發電時段互補之特性，可減少太陽能電池組列、風力發電機與蓄電池設置容量之投資。
- (2) 混合型系統搭配柴油發電機，於太陽光、風力與蓄電池都不足時，啟動柴油發電機，以確保負載用電不中斷。
- (3) 搭配柴油發電機混合型太陽能光電系統，可使柴油發電機之發電效能提高，並延長補給、維護間隔。

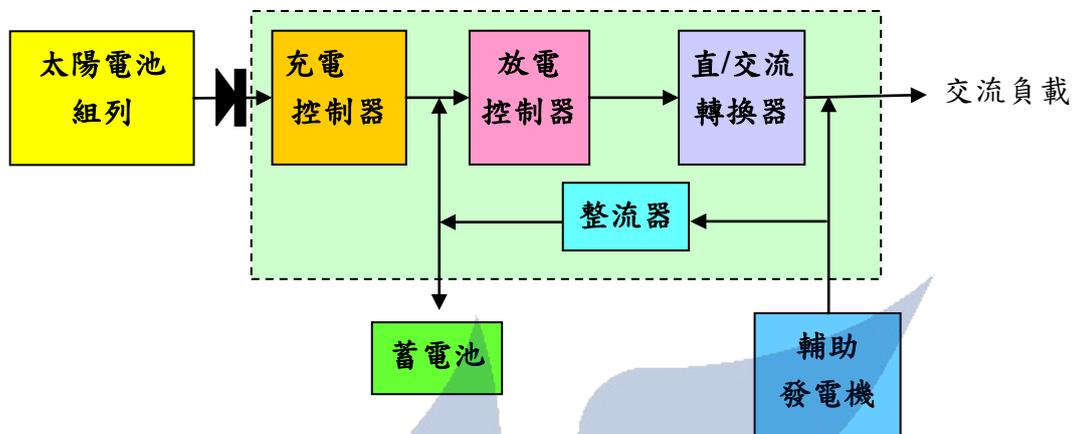


圖 3-2: 混合型太陽能光電發電系統架構圖【20】

### 3.2 有逆送電功能系統

有逆送電功能系統其產生之電力除了自用外，並透過計費電表流入市電供給其他用戶使用，所以系統不一定需要配備蓄電池，但因與台電有供、售電及電路保護協調上的問題，故必須申請台電併聯引接同意書，以確保彼此權力與系統運轉之安全，系統可概分為：併聯型(Grid Connected)系統及防災型(併聯、獨立混合型)系統【24-28】。

#### 3.2.1 併聯型(Grid Connected)系統

併聯型系統通常適用安裝於電力能正常送達之地點，及較大容量的太陽能光電發電系統。白天系統併聯發電直接供應負載，夜間則由市電

供應負載，所以系統不一定需要配備蓄電池，而是將市電電力系統當作一個無限大、無窮壽命的蓄電池，如圖 3-3【20】。

優點分析：

- (1) 系統簡單、不需安全係數設計(依預算設計)、不需要專人維護等。
- (2) 太陽能光電發電利用率高、效率高。

缺點分析：

- (1) 市電停電時無電可用的情形發生。
- (2) 孤島效應之疑慮，雖目前技術上已解決，但需慎選 Inverter。
- (3) 併聯法規已開放，需申請引接同意書，但購售電條款的立法尚未成。

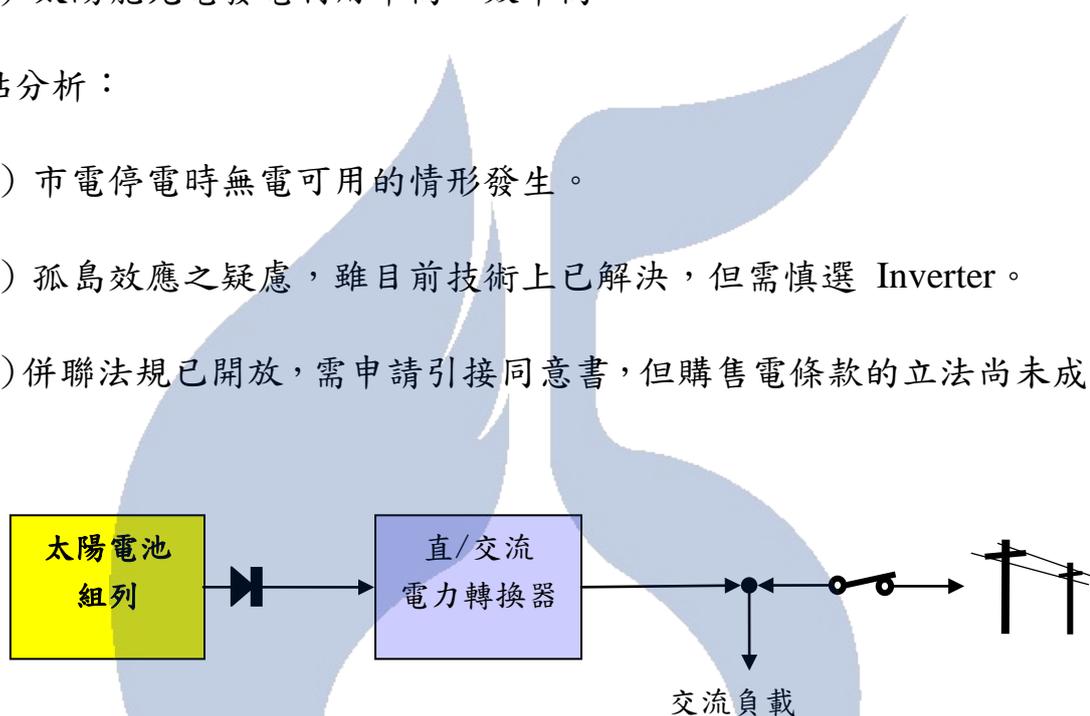


圖 3-3 併聯型系統太陽能光電發電系統架構圖【20】

### 3.2.2 防災型混合型系統

防災型混合型系統不僅和市電併聯使用，同時也配備了蓄電池和充、放電控制器，如圖 3-4【20】。防災份混合型系統在把蓄電池充飽電力之後，直/交流轉換器（DC/AC inverter）會切換成市電併聯，便可以發

揮與市電併聯型系統相同之功能，一但發生災難事故，太陽日照又不足或夜間的時候，便可以自動切換使用蓄電池中的電力，這種系統之設計在有防災需之公共設施或無法停電之醫療院所就很適合，在重大危難發生時可以產生即時的功效。不過，這種系統有系統較複雜及電池定期淘汰之缺點。

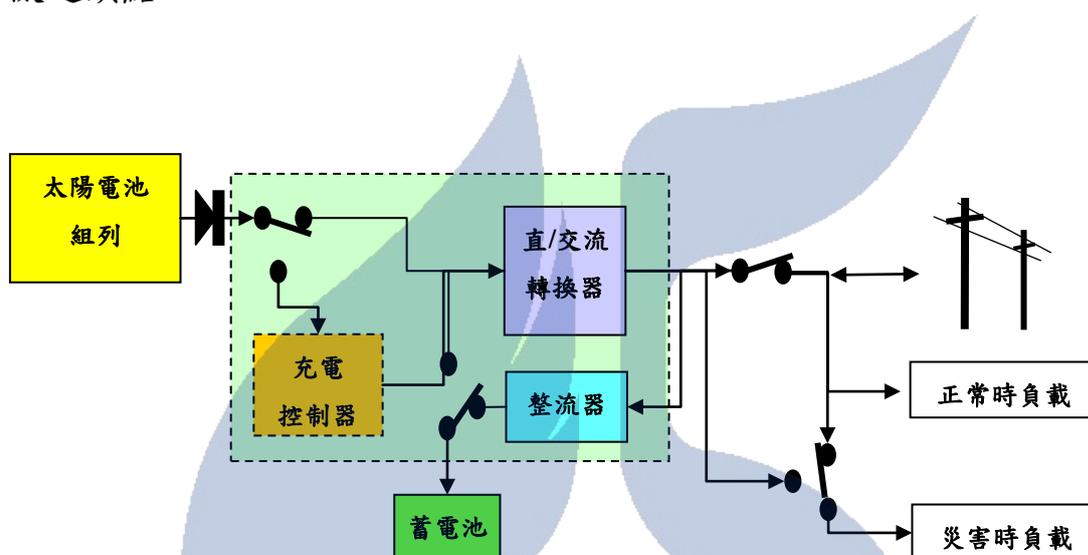


圖 3-4 防災型混合型太陽能光電發電系統架構圖【20】

### 3.3 太陽能系統基本組件及應用

#### 3.3.1 太陽能電池

太陽能電池模板扮演著將光能轉換為電能的角色，在實用上太陽能電池模板的太陽能電池晶片，其串接數與串接方式的不同，而有不同的輸出特性，且其電力輸出特性，並不像一般電源穩定，通常在各種不同的環境溫度下其輸出特性會產生極大變化，隨著日照強度不同，太陽能模板

輸出的電壓電流特性亦不同。

太陽電池模板的開路電壓( $V_{oc}$ )、最大輸出功率( $P_m$ )的輸出特性，會隨著太陽照度增強而升高，但當環境溫度上昇時其短路電流( $I_{sc}$ )隨之增加，但開路電壓與最大輸出功率的確有減少的趨勢。

太陽電池材料的種類主要可分為：矽、化合物半導體及有機半導體。一般市售太陽能電池是以矽晶片為主，分為單晶式(Single-crystal silicon)以及多晶式 (Multicrystalline silicon) 兩類，單晶式效能較佳，實驗室單晶片轉換效率可達 25% 以上，一般市售模組單晶大約在 10~14% 間；多晶大約 9~12%；非晶約 6~9%。

太陽能電池的發電量大小與安裝正確與否有絕對關係，一般注要注意的重點為【27-29】：

(1) 避開陰影：

陰影影響發電量極大，安裝時應避開可能之陰影，特別是 10:00AM~4:00PM 的時候，即使是只有一點點的陰影，都會對此系統的發電量產生很大的影響，例如：周遭環境、建築物、灰塵等所造成之陰影，會造成每一個相同之太陽能電池模組所產生的電壓及電流會不相同，而造成某些太陽能電池模組成為其他太陽能電池模組的負載的情況發生，因而造成能量的耗損而使太陽能電池模組的溫度上升，當溫度超過 75 度~85 度時，即可能會造成太陽能電池模

組之損毀。所以太陽能電池模組的安裝方位要適當，根據台灣的緯度，安裝模組要面向南邊，並且讓它傾斜約 23.5 度，以抓住太陽光和避免產生陰影【28、29】。

(2) 面向正南：

台灣位於北半球，面向正南可以接受最大的陽光照射。

(3) 傾斜角度：

緯度越大，陽光越在南邊，太陽能板安裝應有傾斜角度，讓太陽能電池板垂直著太陽光時，才能接收最多的太陽能。一般而言，要吸收全年最大能量時，直接以安裝地點緯度作為傾斜角度即可；但需要在冬天取的較多能量的獨立型系統，則將當地緯度加上 10~15 度作為適當傾斜角，例如在台灣位於地球之北半球，約在北緯 23 度的位置，則需冬季傾斜約為 33~38 度左右。

(4) 選用適當的電力線：

適當電力線能傳導最佳電力，才不至於電力線的壓降損失過大而影響效率，所以配線時應注意太陽能電池板與線徑大小要能匹配。

### 3.3.2 充電控制器

充電控制器，扮演能源供需平衡之管理與電力轉換(直流→交流)的主要功能，另外亦替系統的安全性把關，防止過充電與過放電或防範雷擊

等功能。充電控制器本身雖具管理之必要功能，但亦同時在消耗太陽光電所轉換之能源，故在整體效能表現上亦被要求高效率低耗能，因此其設計發展方向就朝向整合光源之點燈迴路同步考量，以減少轉換損失。

在獨立型太陽能發電系統中，為了保護蓄電池、防止過份的充放電，均包含有充電控制器，當蓄電池飽滿或電量不足時，切斷充放電電流，由於不同型式的蓄電池有不同的充電特性，應依據電池型式慎選適用的充電器。例如設計作為鉛酸電池(lead-acid)的充電控制器，就不能使用於鎳鎘電池(NiCd)使用的充電控制器。

除了蓄電池的型式外，選購充電控制器之基本條件為有要注意操作電壓及充電電流，所以系統在設計前應先確認發電之最大電流及操作電壓，而選擇適用的充電控制器，以確保蓄電池的壽命。一些特殊設計的充電控制器還會具有防逆充、電力量測、溫度補償及低壓斷電功能(LDV)等功能，可依使用者的用途選用【29】。

### 3.3.3 蓄電池

太陽能發電系統電力儲存電力時，均儲存在蓄電池中，最主要的功用在於能將太陽能產生的電力供給負載後，將多餘之電力儲存，而在夜間或陰雨天日照不足時，將電力由蓄電池輸出供應負載使用。若系統採用獨立型，則蓄電容量約為發電容量的 10 倍；若是系統採用混合型獨立

式，則蓄電容量約為發電容量四倍。一般常見運用的蓄電池分為鉛酸(lead-acid)及鹼性(alkaline)電池兩種，其中鹼性電池相對於鉛酸電池價格偏高，且有環保處理問題，因此除非有特殊需求否則並不建議使用在太陽能發電系統中。鉛酸電池(Lead-Acid Batteries)是最常應用在太陽能發電系統中儲存電力的電池，利用氧化鋁材為正電極，鋁材為負電極，可分為淺循環式(Shallow cycle)及深循環式(deep cycle)兩種。淺循環式鉛酸電池設計，是給在短時間內需要大電流的設備使用，像是馬達的設備，但是這種電池在使用超過額定容量 20%的電力而無法補充電力時，壽命將會縮短，因此比較不適合作為太陽能發電系統儲存電力用。深循環式則適合經常充、放電，能用電力可達到額定容量之 80%，比較適用於太陽能發電系統使用，其循環次數一般約可達 700 次以上，在藉由充電控制器之運作下，實際使用壽命亦可達五年以上。太陽能電池模板在光強度照射能量低於 100w/m 以下時，其所產生電流較弱無法完全充入電池內，故要提昇此部份之效能則可利用電容之儲電功能補強之，約可提高 3%~7%之儲存效能，而電池經常過充(over charge)或者使用電力之後長時間不充電容易損壞的問題，可加裝充電控制器以防止過充來解決。現在也有許多電池設計成密封式，因為它們不需要保養、不會溢出及結凍，又能放置在各種位置，如果你的太陽能發電系統要放置在野外或者不常去維護的地方，也可選用密封式電池【29】。

蓄電池尺寸及個數取決於所要求的蓄電容量、充電電流、最大負載電流以及最小溫度等。溫度對於蓄電池蓄電容量有顯著影響，各種不同溫度下的放電率需參考各廠商的率定曲線。通常電池蓄電容量以安培-小時(Amp-Hours, A-H)表示，而接線方式一般有三種方式：分別為串聯、並聯及串並聯。

### 3.3.4 電源轉換器

電源轉換器可將直流電轉換成交流電，目前可分為三幾種型式

【27-29】：

#### (1) 單體式(stand-alone)轉換器：

單體式轉換器轉換來自蓄電池的 DC 電力，蓄電池輸出之電力轉換成交流電力供電力設備使用。選擇單體式轉換器是依據系統之最大負載、輸入電壓(DC)及輸出電壓(AC)等為參考數據。目前單體式轉換器的容量，從 100W 手提電腦到足夠讓 8,000W 以上負載使用使用的產品皆有。如果要讓單體式轉換器使用在馬達、洗衣機等發動怎則需要瞬間大電流的設施，那麼轉換器容量也要大於此瞬間電流。單體式轉換器的設計方法及轉換效率可分為三種基本波形：方波、修正正弦波以及正弦波分析（電力波形參考如圖 3-5）。單純輸出方波的轉換器價格最低，但轉換效率也最低，並不適用在太陽能

電力系統中。現在有許多的正弦波轉換器的價格亦趨合理、技術成熟，如 Trace 公司的 700/800series, DR series, UX series 等轉換器均為輸出修正方波的轉換器，轉換的電力適用於電腦、照明、電視、馬達等設備，但不適用於雷射印表機、影印機及一些充電設備，使用在音響設備也可能產生干擾噪音。而目前能產生正弦波形電力的單體式轉換器提供的電力能讓各項設備使用但是價格比較昂貴，如 Trace SW Sinewave 轉換器。

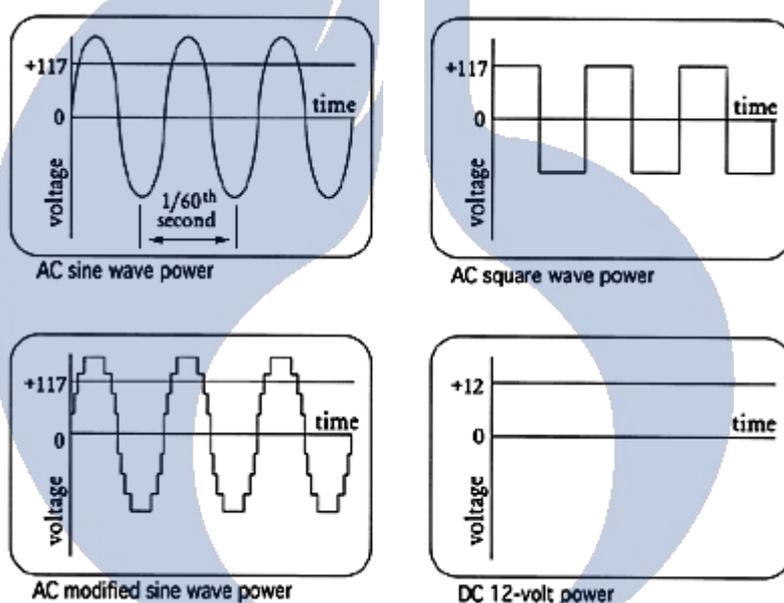


圖 3-5 各種電力波形示意圖 [ 29 ]

(2) 同步式(synchronous)轉換器：

同步式轉換器能將太陽能、風力發電機輸出之 DC 電力直接轉換成

AC 電力，並能電力公司之電力線併聯使用，所以轉換器輸出電力須與市電同步，即頻率、電流、甚至於相位都須與市電相同。同步式轉換器的系統，係將電力公司當成備用系統，當陽光足夠時，電力來自太陽能發電系統，太陽能發電之電力超過負載所需甚多時，可回售給電力公司(視當地電力法規而定)。目前 Xantrex Company 生產的 STXR、GT 與 PV 等系列產品均屬於同步型轉換器之商品，使用者可據系統的電氣特性及規格運用在各種不同場所之系統。

(3) 多功能式(multifunction)轉換器：

多功能式轉換器則兼具以上兩者之功能，這種轉換器可併聯蓄電池、電力公司電力及發電機等各種電力來源，當蓄電池處於充電狀態時，轉換器會從蓄電池轉換出 AC 電力提供使用，蓄電池不充電時，轉換器直接提供電力公司之電力使用。當電力公司停電，或者蓄電池有足夠電力時，轉換器均會自動從蓄電池轉換供電，這將使整個供電系統不會有停電情況。

### 3.3.5 太陽能發電之應用

太陽能的應用範圍非常廣泛，我們把他分成主要三大類【29、30】：

(1) 家庭及商業用發電系統

家庭及商業用發電系統為目前太陽能產品銷售大宗，依照與市售電

力(台灣電力公司)是否並聯使用而分為獨立型及併聯型兩大類：獨立型發電系統不與市售電力併聯使用，必須具有蓄電池組儲存電力，在夜間也可以提供穩定足夠的電力供應負載；併聯型發電系統與市售電力並聯使用，具備蓄電池組系統者只在蓄電量不足時使用市售電力，不具備蓄電池組系統者則於白天由太陽能發電供電，夜間則自動切換改由市售電力供電。在美國，政府非常鼓勵使用潔淨能源，除了安裝系統有補助經費外，使用者可以安裝切換電表，在白天把太陽能發電系統多餘的電力回售給電力公司，投資成本可以比較快回收。

主要應用範圍整理如下【20】：

- 民生：收音機、測電表、手錶、計算機、太陽能照相機、手電筒、電池充電器、野營燈等。
- 建築物：住宅用供電系統、緊急照明系統、緊急供電系統、遮陽棚、帷幕牆、採光罩、屋瓦等。
- 農業：灌溉及抽水等動力系統等。
- 交通：路燈、交通號誌、道路指示牌、標誌燈、太陽能電動車充電站、高速公路緊急電話、偏遠道路緊急電話、停車計時器、停車場控制門系統、高速公路防音壁系統、太陽能車、平交道指示燈、電子式公車站牌等。

- 通訊：無線通信用、中繼站基地台、緊急電話中繼站、電話通信系統、微波中繼站。
- 緊急防災：勤務指揮中心、緊急避難所、避難指示燈、醫療院所、公園、學校、地震觀測站、森林瞭望台、氣象觀測所、水位警報 PV 系統、河川安全燈等。

## (2) 特殊用途發電系統

特殊用途發電系統安裝地點通常是市售電力不能到達或者是不容易到達的地方，例如太空、海洋及高山、沙漠等，用電又必須持續，備用電力無法長期使用。這些地方別無選擇，也只能使用太陽能取得電力，使用用途像是太空中的衛星、海洋中的資料浮標觀測站、海象觀測樁、高山上的氣象站、林務工作站、沙漠以及冰原中的各種調查站、實驗室等。

## (3) 消費性及替代性產品

有些設備因為用電量不大，為了輕便性的考量，就有許多的太陽能供電的產品問世；另外像是電力線布設成本高，有些產品直接就使用太陽能供電，除了省掉長期的電費外，電力管線的布設費用也可大幅降低。

## 第四章太陽能電池板最佳傾斜度分析

由於太陽能光電發電系統的發電效益與太陽能電池模組所接收到的日照強度有很大的關係，而太陽運行軌跡一年之中會有向南或向北偏移的情形，所以會導致太陽仰角與方位會有所變化。當太陽角度方位變化時，如能把太陽能電池陣列隨著太陽運行的角度方位調整時，其所收到的日照強度會相對的升高，而其發電效益也會增加。所以本章以下會針對太陽運行的軌跡及台灣四季太陽之位置分析，並進一步研究如何調整太陽能電池陣列位置，才能抓住最大的日照量，以提高發電量。

### 4.1 太陽運行的軌跡

我們每天會看到太陽會東昇西落是地球自轉所引起，而地球公轉會引起每天太陽高度及方位的改變，吾人已知地球由西向東繞日公轉，但由於相對運動的關係在地球上看到太陽，會覺得太陽在天球上是由東向西運行，其運行天球一周的軌跡，叫做「黃道」。又因地軸的傾斜，使黃道和天球赤道相交 23.5 度，使得每年春、秋分時，太陽會經過黃道和赤道的交點，這時太陽由正東方昇，於正西方落下，春分過後太陽沿著黃道漸漸北移，到達夏至時，會達黃道最北方+23.5 度(北迴歸線)，這時太陽由東北東方升起，由西北西方落下。秋分過後，太陽沿黃道漸漸南移，

直到冬至時，會到達黃道最南方- 23.5 度(南迴歸線)，這時太陽由東南東升起，於西南西方落下，太陽這樣南來北往一回復，就是一年，叫「回歸年」，如此也就造成每天太陽東昇西落的位置改變，而天空中的高度和方位也就隨之改變了，其運行。台灣一年中，夏至正午時分，太陽仰角最高；冬至正午時分，太陽仰角最低，如圖 4-1【32】。

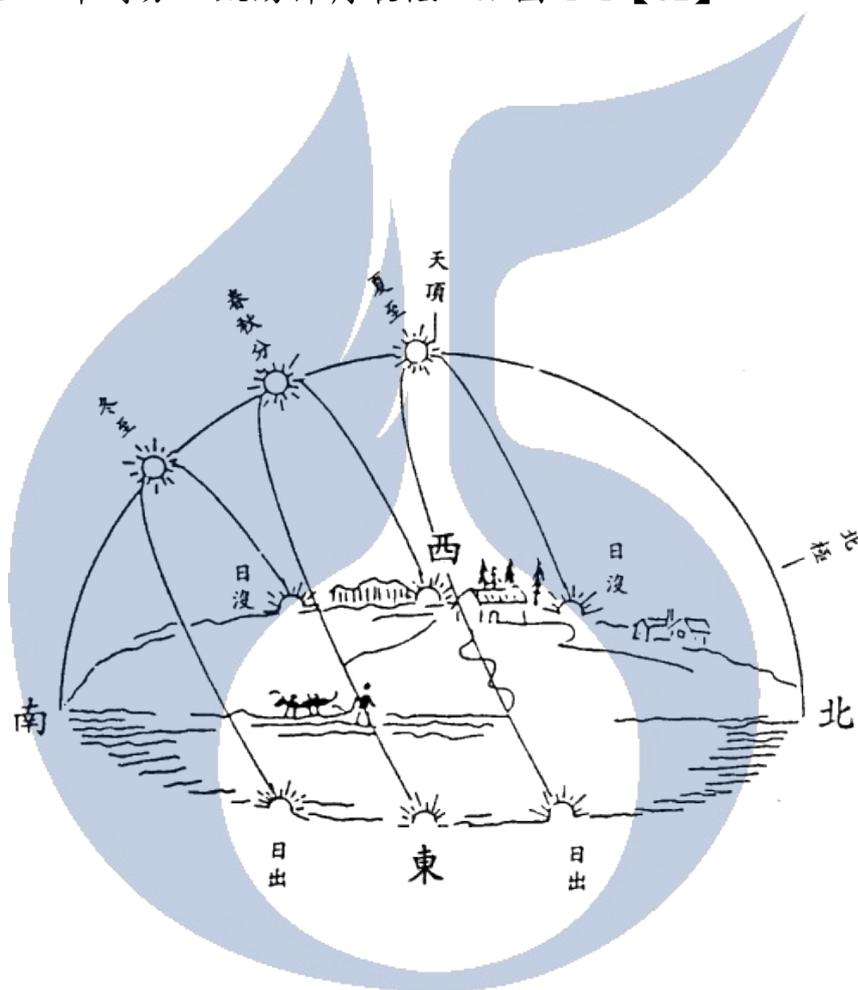


圖 4-1 太陽運行軌跡示意圖【32】

## 4.2 台灣四季太陽之位置分析

由上節之分析，在台灣太陽運行的軌跡介於冬至與夏至之間，春分、秋分於赤道 0 度，夏至 23.5 度、冬至-23.5 度【12】。並由中央氣象局所測得台南、恆春太陽四季之仰角，如表 4-1 可知：夏天太陽仰角高，冬天太陽仰角低，早上太陽仰角低，中午太陽仰角上升到最高，下午以後太陽仰角又慢慢的降低，其運行軌跡如同拋物線，詳如圖 4-2 所示。

由以上分析可知：太陽運行軌跡一年四季多在變動，日照強度與氣溫也是隨時在改變。所以在市場上所標示太陽能電池如： $100\text{mW}/\text{cm}^2$ （太陽能電池的發電量在中午天空無雲之晴天，氣溫攝氏 25 度、照度 12 Lux 之條件下，該晶片每平方公分的面積可產生 100 毫瓦的電力），實際上之應用所達到的機率並不高。現在一般大型太陽能光電發電系統安裝仰角，都面向中央點春秋分的角度（23.5 度），是否適當？以下將做實驗分析。

表 4-1 台南、恆春地區四季太陽仰角資料【32】

台 南 (北緯23.00度, 東經120.2度)															
季節	時	6	7	8	9	10	11	中天	12	13	14	15	16	17	18
夏至	仰角	09.4	22.4	35.7	49.2	62.9	76.6	89.5	89.4	75.8	62.1	48.4	34.9	21.6	08.7
	方位	068.3	072.9	076.8	080.1	083.0	085.0	0	218.7	264.9	277.1	280.0	283.4	287.3	292.0
春分	仰角	00.9	14.2	27.8	41.0	53.2	63.0	67.0	67.0	62.5	52.5	40.2	27.0	13.4	00.1
	方位	090.2	096.2	102.9	111.7	124.6	146.4	180.0	181.2	215.3	236.4	249.0	257.5	264.2	269.8
冬至	仰角		04.1	15.8	26.5	35.3	41.4	43.5	43.5	41.1	34.9	25.9	15.1	03.5	
	方位		117.6	124.7	134.0	146.3	162.1	180.0	180.5	198.9	214.5	226.6	235.7	242.7	
恆 春 (北緯22.00度, 東經120.73度)															
季節	時	6	7	8	9	10	11	中天	12	13	14	15	16	17	18
夏至	仰角	09.5	22.5	35.9	49.5	63.2	77.0	88.5	88.3	75.2	61.5	47.8	34.2	20.8	07.9
	方位	068.4	072.7	076.2	079.1	081.1	080.7	0	329.4	278.9	279.0	281.2	284.2	287.8	292.3
春分	仰角	01.3	14.8	28.5	41.8	54.2	64.1	68.0	68.0	63.0	52.6	40.1	26.7	13.1	
	方位	090.4	096.1	102.7	111.2	124.0	146.3	180.0	182.6	217.4	238.0	250.1	258.3	264.7	
冬至	仰角		05.0	16.7	27.5	36.4	42.5	44.5	44.5	41.9	35.4	26.2	15.3	03.5	
	方位		117.8	124.8	134.0	146.4	162.4	180.0	181.2	199.8	215.4	227.3	236.2	243.0	

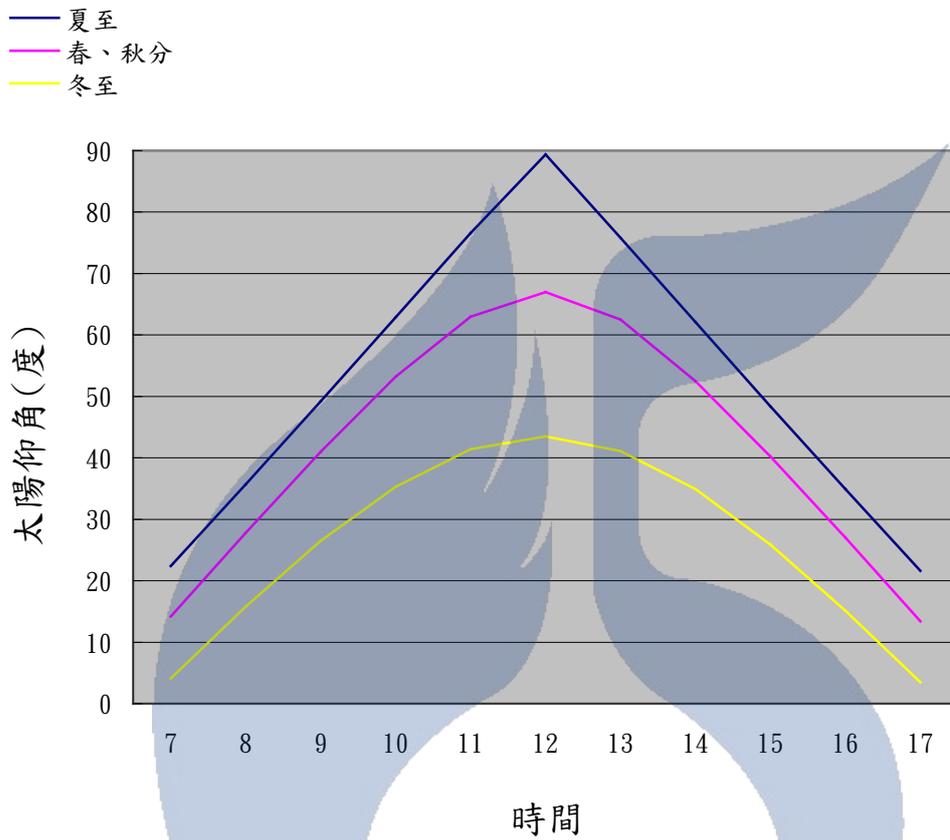


圖 4-2 高雄地區四季之太陽仰角變化曲線圖

(資料來源：中央氣象局)

## 第五章太陽能光電發電特性分析

本研究所採用之設備為：10 kWp 市電併聯型系統及 50W 太陽能光電教具。系統整體設備、規格及特性分析如下：

### 5.1 設備分析

10 kWp 市電併聯型系統（以後簡稱：本系統）設置在國立科學工藝博物館內，為仰角固定式系統。本系統由 4 組 27 片 75W 多晶太陽能電池模及 1 組；27 片 80W 建材一體型太陽能電池模組(Building-integrated Photovoltaic, 簡稱 BIPV)共構而成 5 並 27 串陣列之 10 kWp 太陽能光電發電系統（於 25°C，1000W/m<sup>2</sup>，AM1.5 條件下，開路電壓：590Vdc 最大工作電壓：486Vdc），並以 1 組具有最大功率追蹤（MPPT）15kWA 直交流轉換器變流器，把太陽能電池產生之直流電變成 3 相 220V 之交流電力，再經變壓器升壓至 380V 後與市電並聯，提供負載使用，其整體架構如圖 5-1 及圖 5-2 所示，

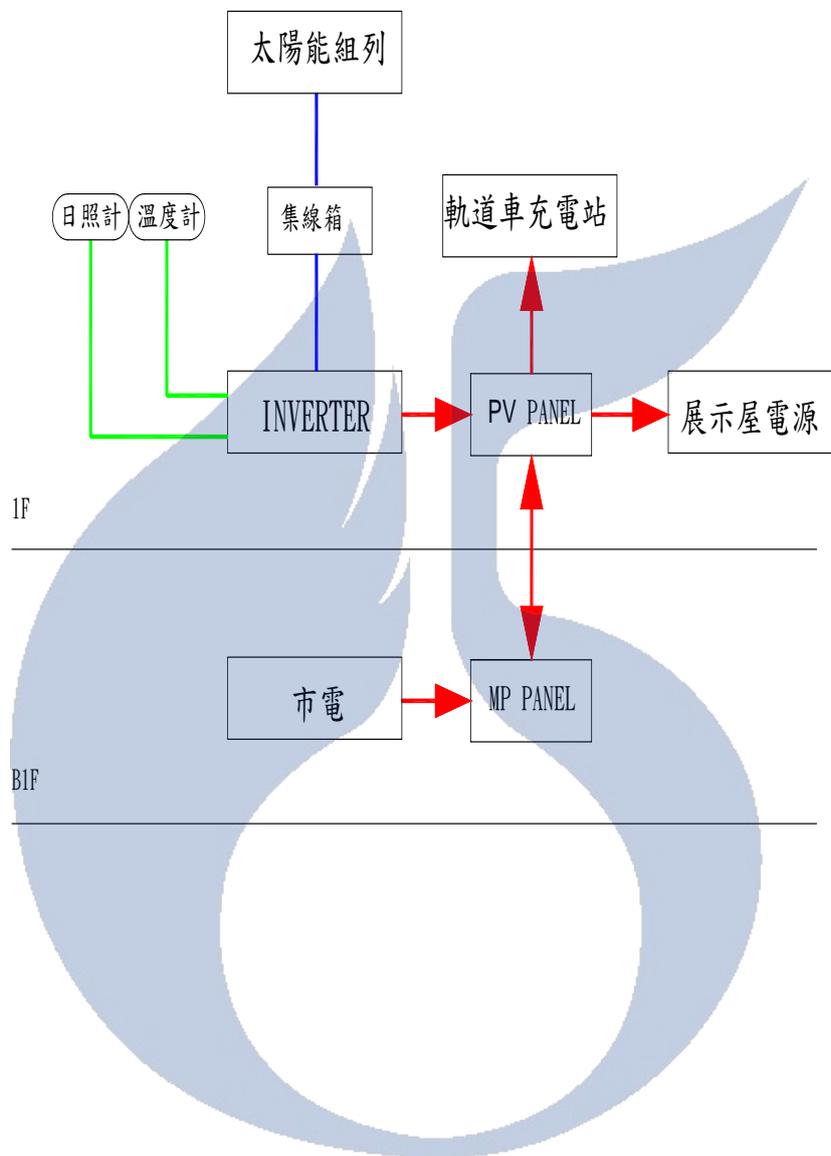


圖 5-1 10kWp 太陽能光電發電系統架構圖【33】

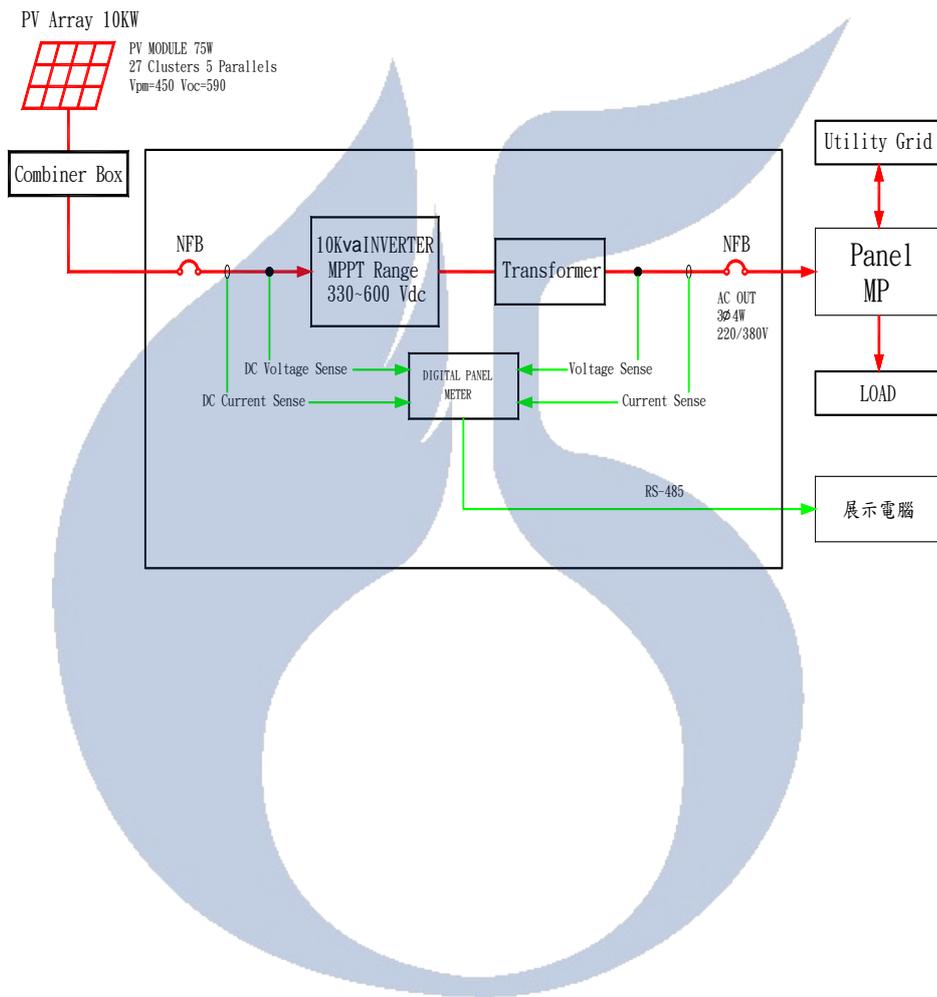


圖 5-2、10kWp 太陽能光電發電系統方塊圖【33】

主要的設備及規格如下所示：

1. 太陽電池模組（如圖 5-3）：

（1）模組材質：

- MJ-75W/M125-T1：多晶矽
- ME-80W/M125-M5B：多晶矽（建材一體型）

（2）太陽電池組列總輸出功率：

- 75W\*108 片=8.1kWp
- 80W\*27 片=2.16kWp
- 8.1K+2.16K=10.26kWp

（3）模組規格

- Max Power：75Wp±10%
- Max Power Voltage：17.2V±10%
- Max power current：4.5A±10%
- Open circuit voltage：22V±10%
- Short circuit current：5.0A±10%

2. 直流交流電轉換器(DC/AC Inverter)，如圖 5-4：

- （1）額定最大輸出功率：15 kva(無蓄電池形式)。
- （2）輸出電壓：220Y/380V AC60Hz。
- （3）輸出頻率：50 or 60 Hz。
- （4）交流波型：正弦波。

- (5) 最大轉換效率：Maximum 97% ( transformerless ),95% with transformer 。
- (6) 具有 MPPT 功能。
- (7) 包括電力系統低電壓、過電壓、低頻、過頻、溫度過熱及預防孤島效應之檢出能力等連線保護裝置。
- (8) 可顯示電壓與電力等電氣信號及各項異常訊息。
- (9) LCD 指示器：LCD 顯示板顯示螢幕能顯示四行 40 個英文文字。至少可顯示電壓與電流-電氣信號及各項異常訊息。
- (10) 可透過網路提供發電資訊至電腦。
- (11) 可提供手動設定：如 MPPT sampling rate、GRID over frequency、GRID over voltage 等。
- (12) 可提供手動設定密碼保護。

### 3. 日照計：

- (1) 偵測器：SKS 1110
- (2) 靈敏度：至少  $1\text{mv} / 100\text{W}/\text{m}^2$ ； $5\mu\text{A} / 100\text{W}/\text{m}^2$ ；最大  $5000\text{W}/\text{m}^2$ (誤差  $\pm 1\%$ )。
- (3) 反應時間：10ns
- (4) 溫度效應： $0.2\%^\circ\text{C}$ 。
- (5) 精確度： $\pm 0.2\%$ 。

(6) 外殼：防水外殼。

(7) 裝置角度、方位：與太陽光電池相同。

4. 溫度計：-40°C ~ +100°C (附於 AES 內)

5. 電力監視系統：

(1) 直流多功能電表：

(2) 交流多功能三相電表：

(3) 支援 RS485 或 RS232 或其他電腦通用通信介面，以利直接將

上述資料匯入電腦。

(4) 資料伺服器

- Pentium 4 2.8GHz。

- 網路界面：G310：10/100Mbps/7600GT：有線及無線網卡。

- 硬碟：IDE 80GB。

- 監視器：15 吋 TFT LCD 監視器。

- 作業系統及應用軟體。

- 能擷取各項電力及日照量資料。

- 具有足夠的 RS485 或 RS232 數位通

(5) 太陽光電發電系統內各項數位電力資訊，並驅動 LED 顯示板

顯示各項資訊，如圖 5-5。

6. 不銹鋼模板固定框架：平台固定式，坐北朝南，傾斜角度為 10 度。

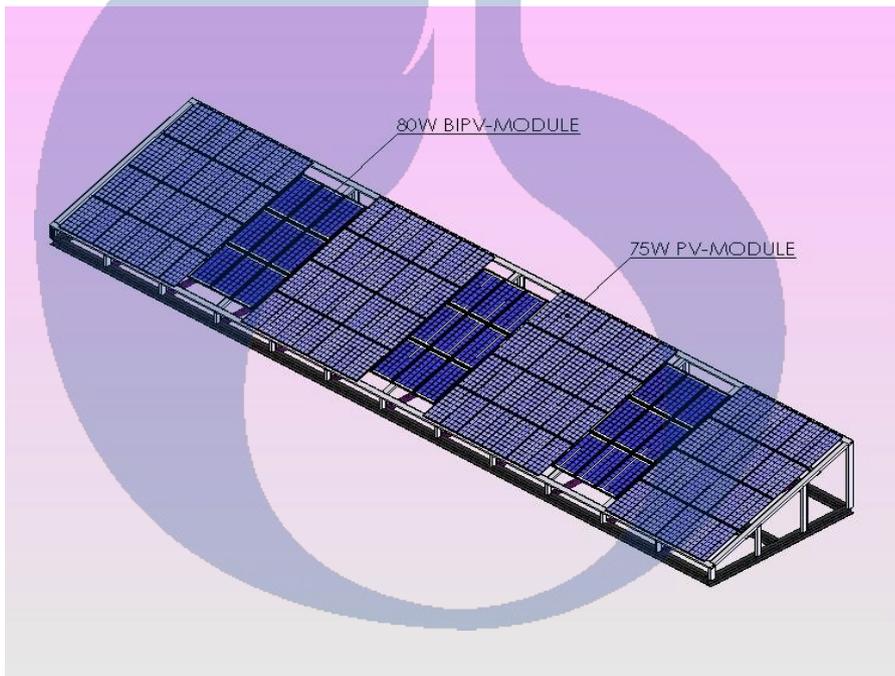


圖 5-3 10kWp 太陽能電池模組及陣列



圖 5-4 15kVA 直流交流電轉換器



圖 5-5 10kWp 太陽能光電發電系統即時顯示板

另一研究設備為 50W 太陽能光電教具（以後簡稱：本教具），能隨意轉動、調整、改變太陽能電池板的角度與方向（如圖 5-6），並且在顯示器直接觀察到太陽能發電電壓電流的變化，而可一目了然的瞭解太陽能板的發電量與太陽的方位、揚角、日照強度及溫度有絕對的相關。也附有電壓、電流表，能觀太陽能電池發電之電壓及電流的變化，為獨立型系統（開路電壓( $V_{oc}$ )=20V、短路電流( $I_s$ )=3.5A、工作電壓=16.8 V、工作電流=3A、額定功率=50 W），其設施及結構圖，如圖 5-6 及圖 5-7。





圖 5-6 50W 太陽能光電教具

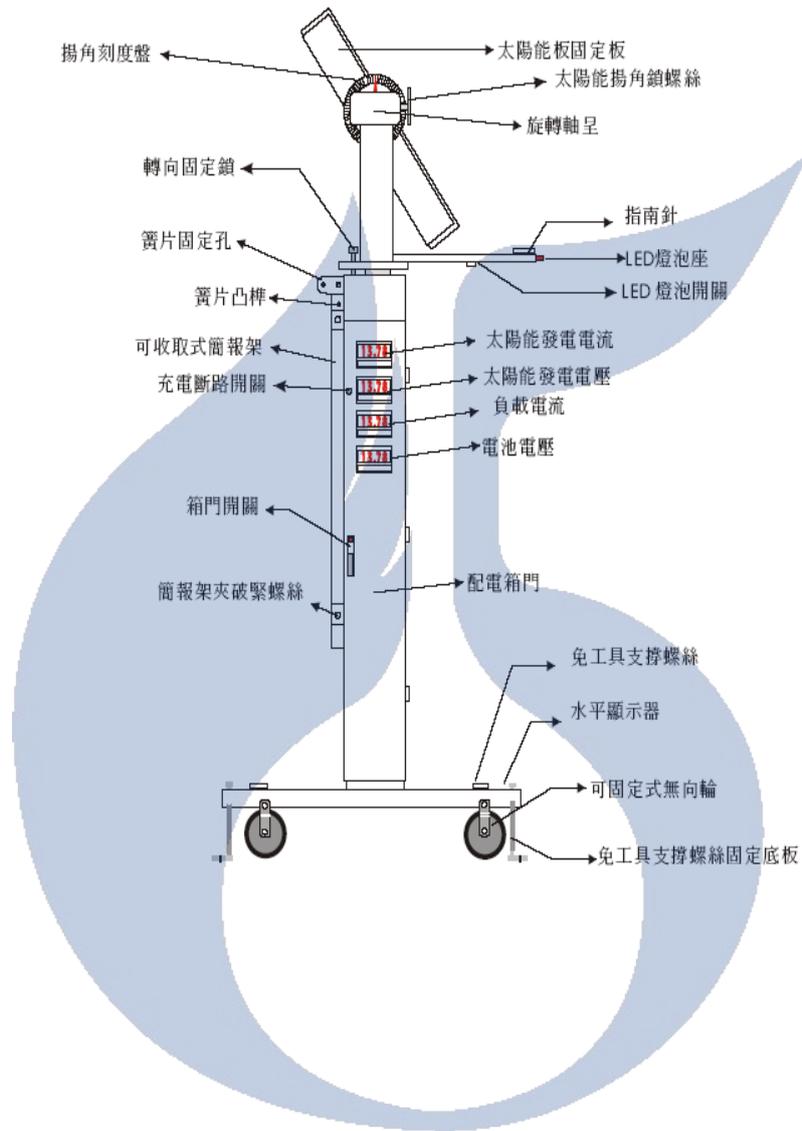


圖 5-7 50W 太陽能光電教具之構造圖

## 5.2 高雄地區太陽能發電量分析

一般太陽能電池額定功率計算是依據 ASTM E1036 的標準，在 25 °C、1kW/ m<sup>2</sup> 標準實驗條件下所測得。而太陽輻射之日射量與發電量之關係式為： $3.6 \text{ MJ/m}^2 = 1\text{kW/ m}^2$ ，例如，以一片 100W 太陽能電池於 1 月份在高雄農場(日射量為 248MJ/m<sup>2</sup>)總發電量為： $248/3.6 \times 100/1000 = 6.9 \text{ kWh(度)}$ 。不過太陽能電池之發電量隨著日射量大小隨時多在改變，通常不會逐日、逐時計算發電量，而是觀察一段時間後之總值(例如一個月計)，然後再換算相當於 ASTM E1036 標準的等校日照小時(Equivalent Sunshine Hours, ESH)以簡化計算。以下根據中央氣象局農業氣象在高雄農場測得每月總日射量值，推估在高雄農場附近設置 10kWp 太陽能光電系統各月之發電量，整理如表 5-1【23、29】。

1 月份發電推估：

(1) 1 月份等校小時  $\text{ESH} = 248.98 / 3.6 / 31 \text{ 天} = 2.231\text{h}$

(2) 推算 1 月份發電量  $10\text{kW} \times 2.231\text{h} \times 31 \text{ 天} = 691.61 \text{ kWh(度)}$

2 月份發電推估：

(1) 2 月份等校小時  $\text{ESH} = 230.71 / 3.6 / 28 \text{ 天} = 2.289\text{h}$

(2) 推算 2 月份發電量  $10\text{kW} \times 2.289\text{h} \times 28 \text{ 天} = 640.92 \text{ kWh(度)}$

3 月份發電推估：

(1) 3 月份等校小時  $\text{ESH} = 287.43 / 3.6 / 31 \text{ 天} = 2.576\text{h}$

(2) 推算 3 月份發電量  $10\text{kW} \times 2.576\text{h} \times 31 \text{ 天} = 798.56 \text{ kWh(度)}$

4月份發電推估：

(1) 4 月份等校小時  $\text{ESH} = 341.95 / 3.6 / 30 \text{ 天} = 3.167\text{h}$

(2) 推算 4 月份發電量  $10\text{kW} \times 3.167\text{h} \times 30 \text{ 天} = 950.1 \text{ kWh(度)}$

5月份發電推估：

(1) 5 月份等校小時  $\text{ESH} = 383.28 / 3.6 / 31 \text{ 天} = 3.434\text{h}$

(2) 推算 5 月份發電量  $10\text{kW} \times 3.434\text{h} \times 31 \text{ 天} = 1064.5 \text{ kWh(度)}$

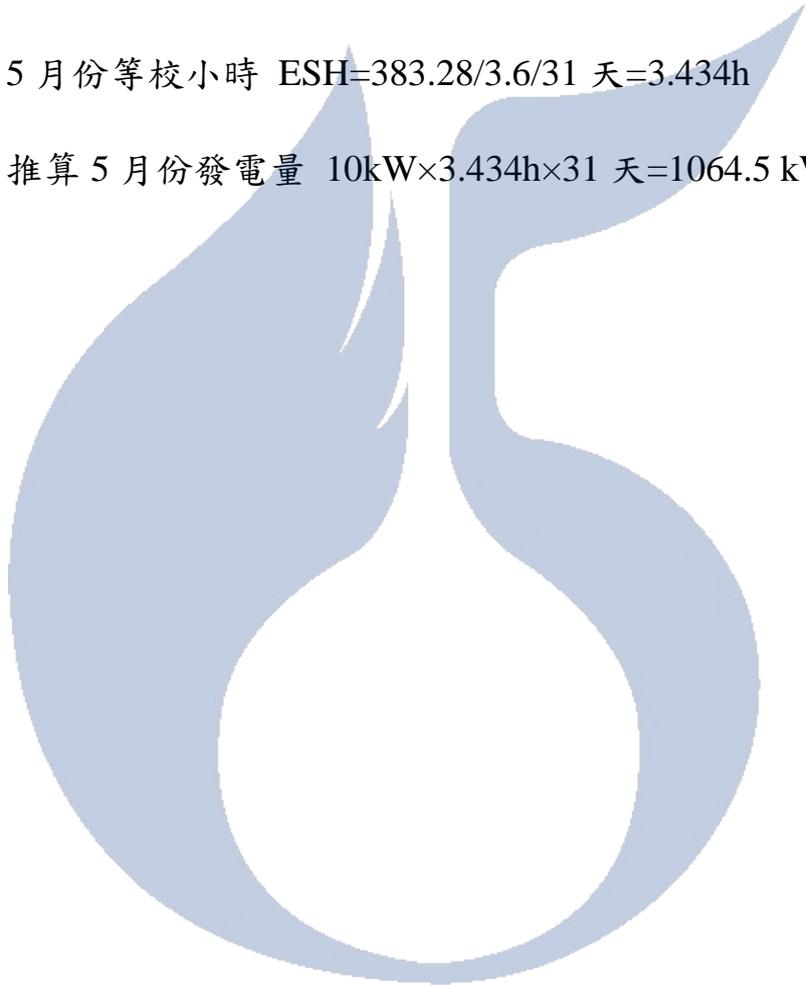


表5-1 2005年高雄農場1-5月日射量及10KWp太陽能光電系統推估之發電量

月份	日射量 (MJ/m <sup>2</sup> )	推估10KWp發電量kWh(度)
1月	248.98	691.61
2月	230.71	640.92
3月	287.43	798.56
4月	341.95	950.1
5月	383.28	1064.5

表5-2為本系統在2005年1至6月高雄地區（工博館）實際測得之發電量。由表5-1及表5-2可彙整成表5-3之10KWp 推算發電量與實測發電量之比較表。由表5-3之資料及根據工研院網站統計【23】台灣地區年平均1kW發電系統每天發電大約2.5~3.3度電(kWh)、每月發電量約75~99度電(依地區日照量不同)，10KW系統每月可發電 750~990度(KWh)來看，本系統2、3、4、5月之發電量不在平均值內（1月雖然在平均值內，但系統於94年12月完成，94年1月處於測試階段，系統並不穩定，其值恐有誤差之虞；94年6月為梅雨季節，高雄當月有一半多在下雨，日照量低，不適合與其他月份比較），可見本系統之發電效率並不好。究其原因除了溫環溫度、灰塵造成發電量的損失外，主要還是太陽能電池之裝置角度不理想。

在上節之太陽的運行軌跡及表4-1之對照，可以得知冬季時太陽仰角較低，太陽能電池之傾斜度應要大於平均角度23.5度；夏季時太陽仰角較高，太陽能電池之傾斜度應要小於平均角度23.5度，才能使太陽能電池板的法線漸漸朝向太陽，抓取較佳的日照量。所以本系統太陽能電池板的裝置角度為10度，在冬季發電效益會較差，在夏季發電效益會較好，且傾斜角度不夠，太陽能電池上容易附著灰塵，也會降低發電量。

表 5-2 1-6 月各月之發電量

月份	實測直流發電量kWh(度)
1月	989
2月	558
3月	624
4月	711
5月	758
6月	303

表5-3 10KWp 推算發電量與實測發電量之比較表

月份	推算發電量kWh(度)	實測發電量kWh(度)
1月	691.61	989
2月	640.92	558
3月	798.56	624
4月	950.1	711
5月	1064.5	758

### 5.3 日照量與電壓、電流及發電量之分析

本論文之研究設備為市電併聯型太陽能光電發電系統，所產生的電力直接供給負載使用，也因負載之容量遠大於系統產生的電力，故太陽能產生的電力會完全消耗，不會過量剩餘之情形產生。

為了研究日照量與電壓、電流及發電量之關係，在本系統 2 至 3 月中所測得的數據中，各月取一天觀測日照強度變動下之發電情形，並彙整如圖 5-8 至圖 5-19 (2 月 4 日日照量之變動大，為晴時多雲的天氣；3 月 20 日日照量之變動平穩，為晴朗的天氣)。由圖 5-8 至 5-19 的曲線比較後，可明顯的看出：在不同的日照量下，雖其電壓變化不大，但是其電流及發電量會隨日照量的增減而增減，且呈現正比的關係。」

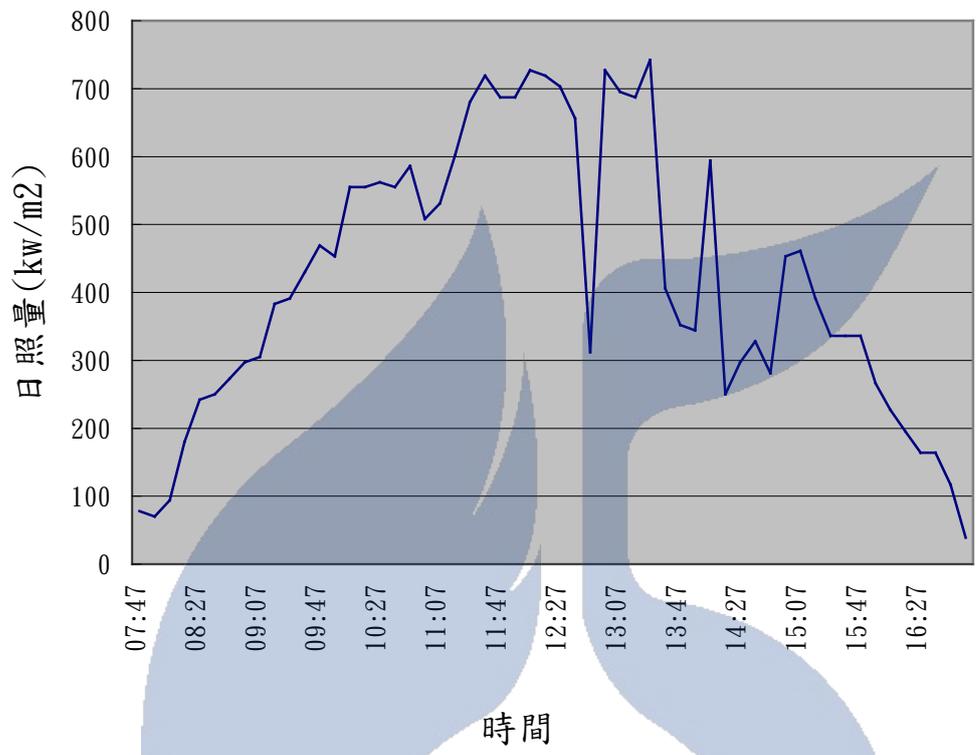


圖 5-8 2 月 4 日日照強度曲線圖

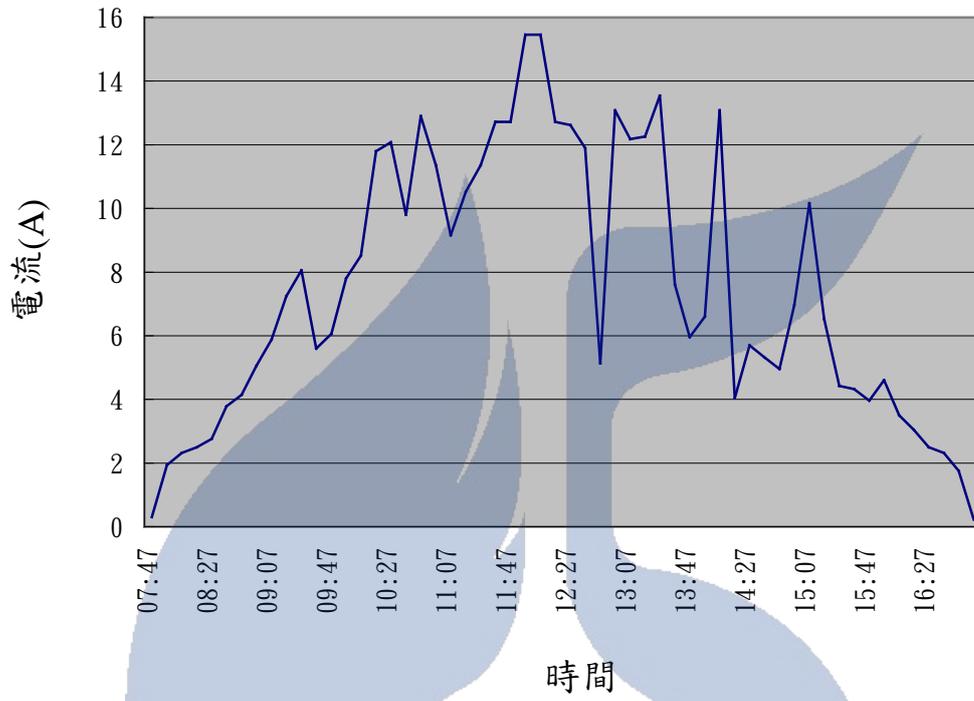


圖 5-9 2月4日電流曲線圖

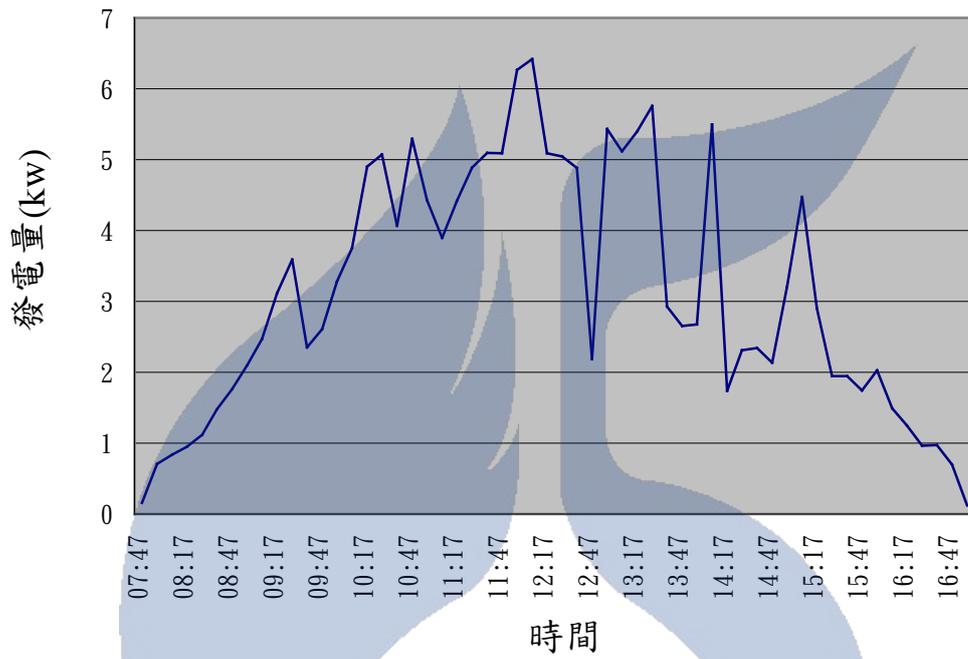


圖 5-10 2月4日 發電量曲線圖

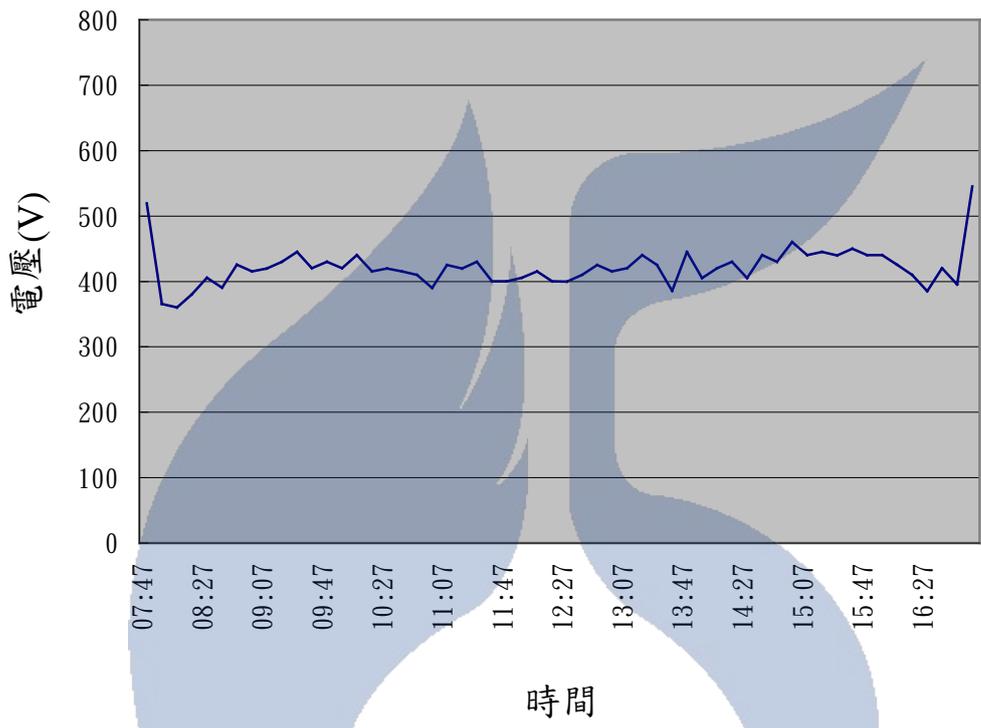


圖 5-11 2月4日電壓曲線圖

— 日照強度(KW/m<sup>2</sup>)  
 — 直流即時發電量(KW)

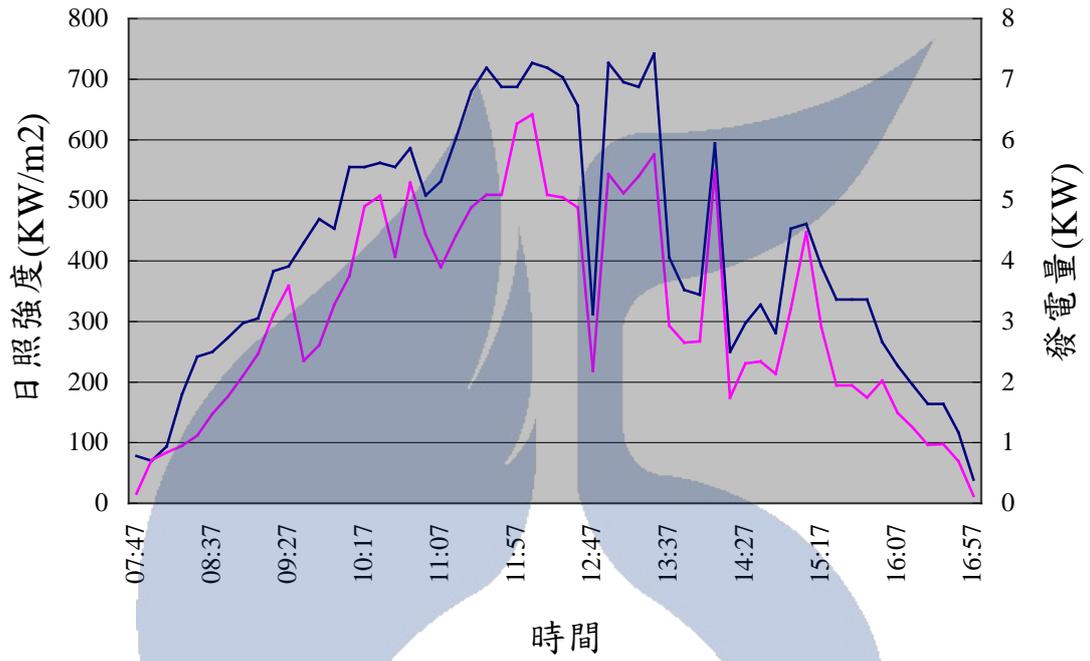


圖 5-12 2 月 4 日 日照量-發電量關係曲線圖

— 日照強度(KW/m2)  
 — 太陽能板電壓(V)

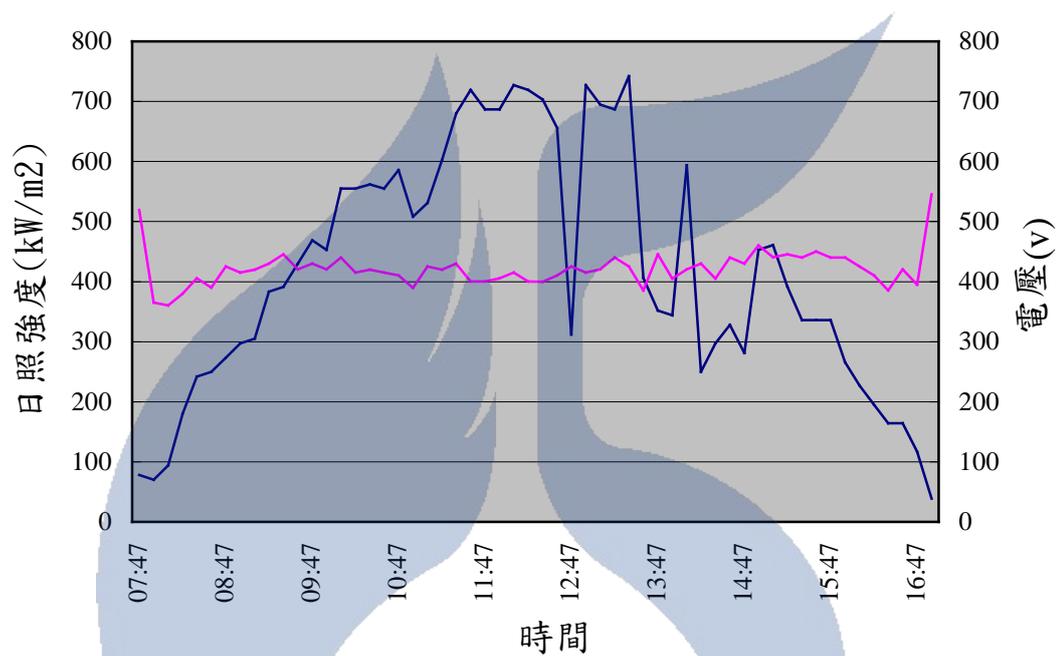


圖 5-13 2 月 4 日 日照量-電壓關係曲線圖

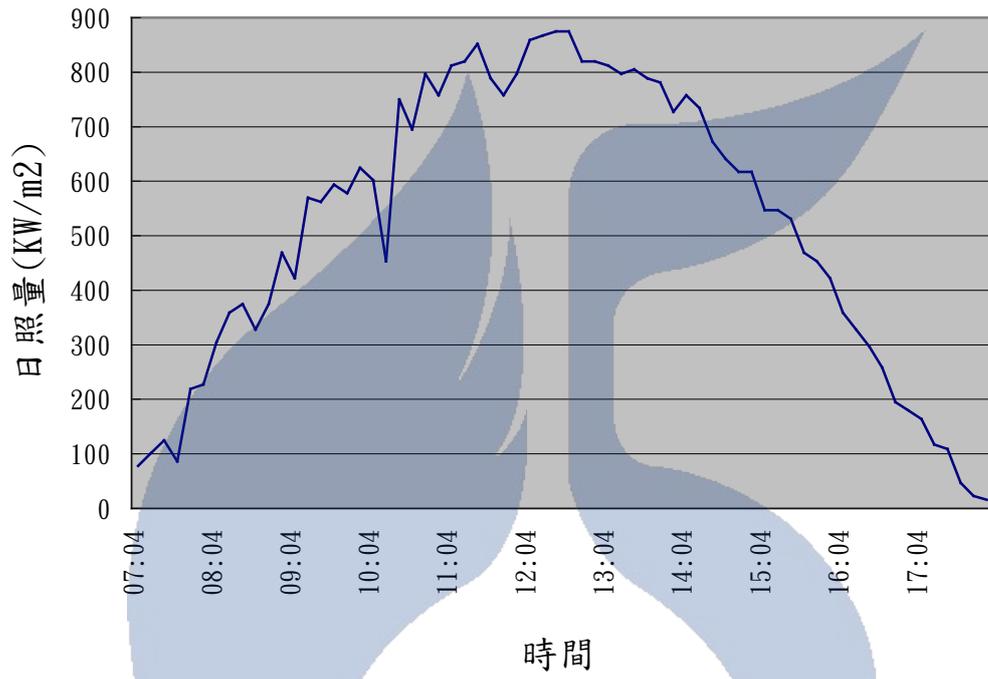


圖 5-14 3 月 20 日照強度曲線圖

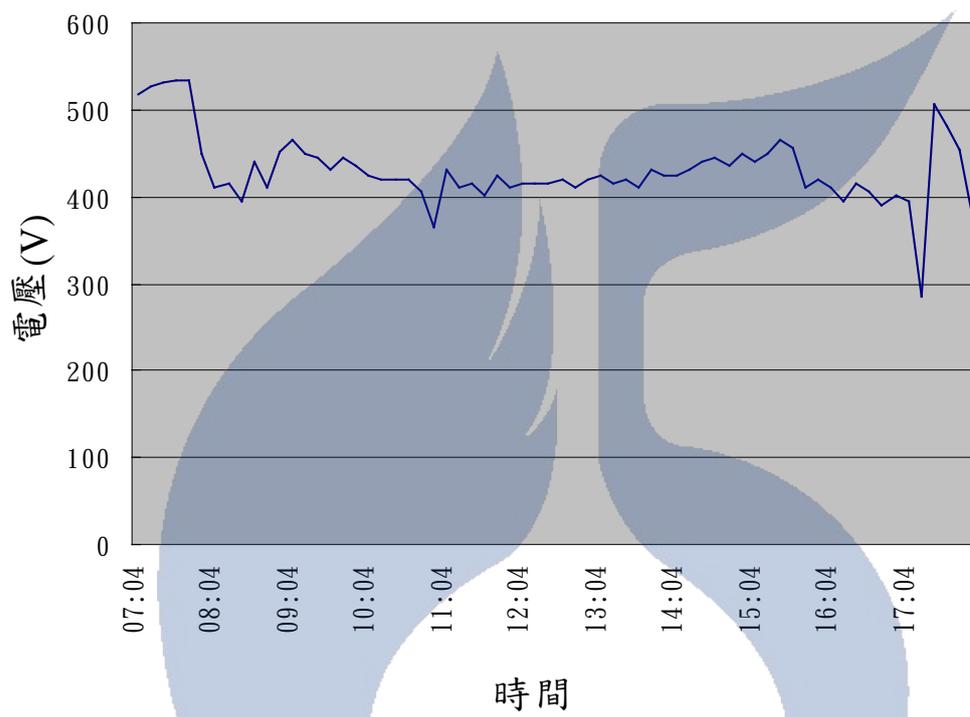


圖 5-15 3月20 電壓曲線圖

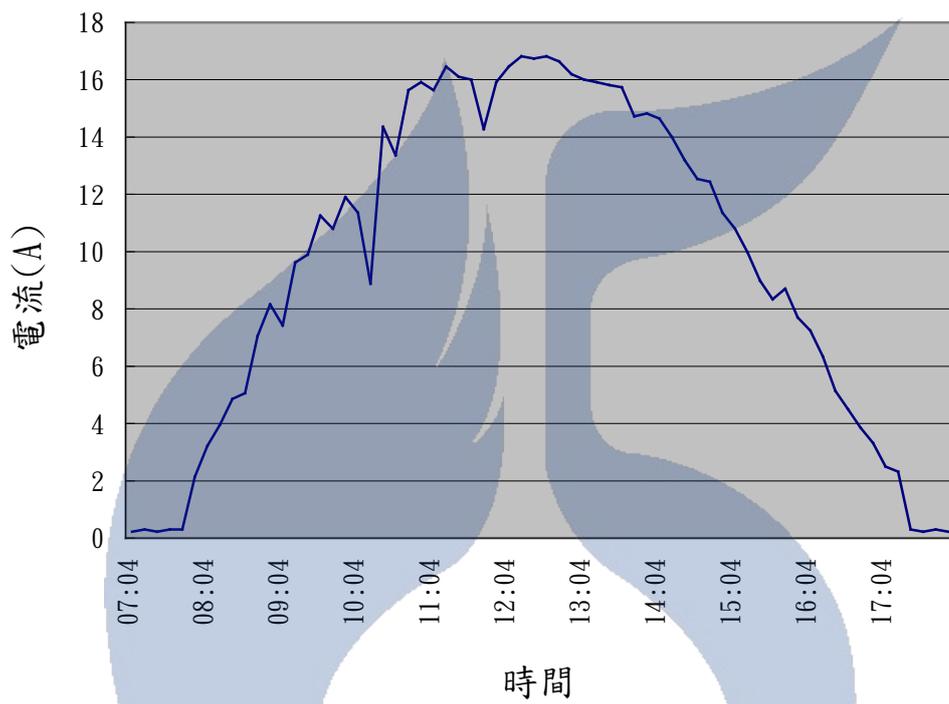


圖 5-16 3 月 20 電流曲線圖

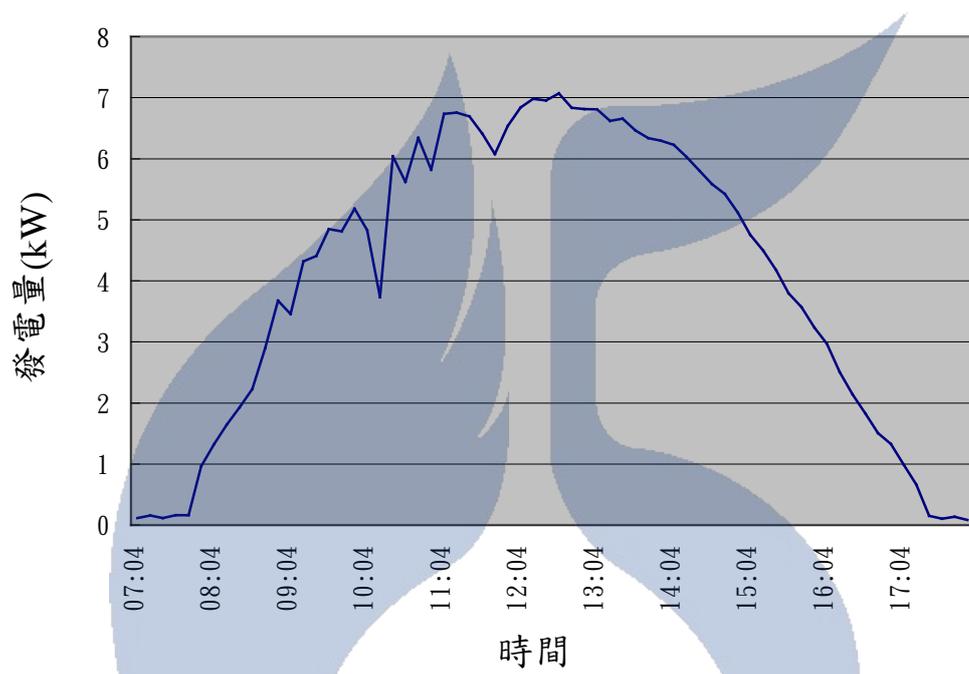


圖 5-17 3 月 20 發電量曲線圖

— 日照強度(KW/m<sup>2</sup>)  
 — 直流即時發電量(KW)

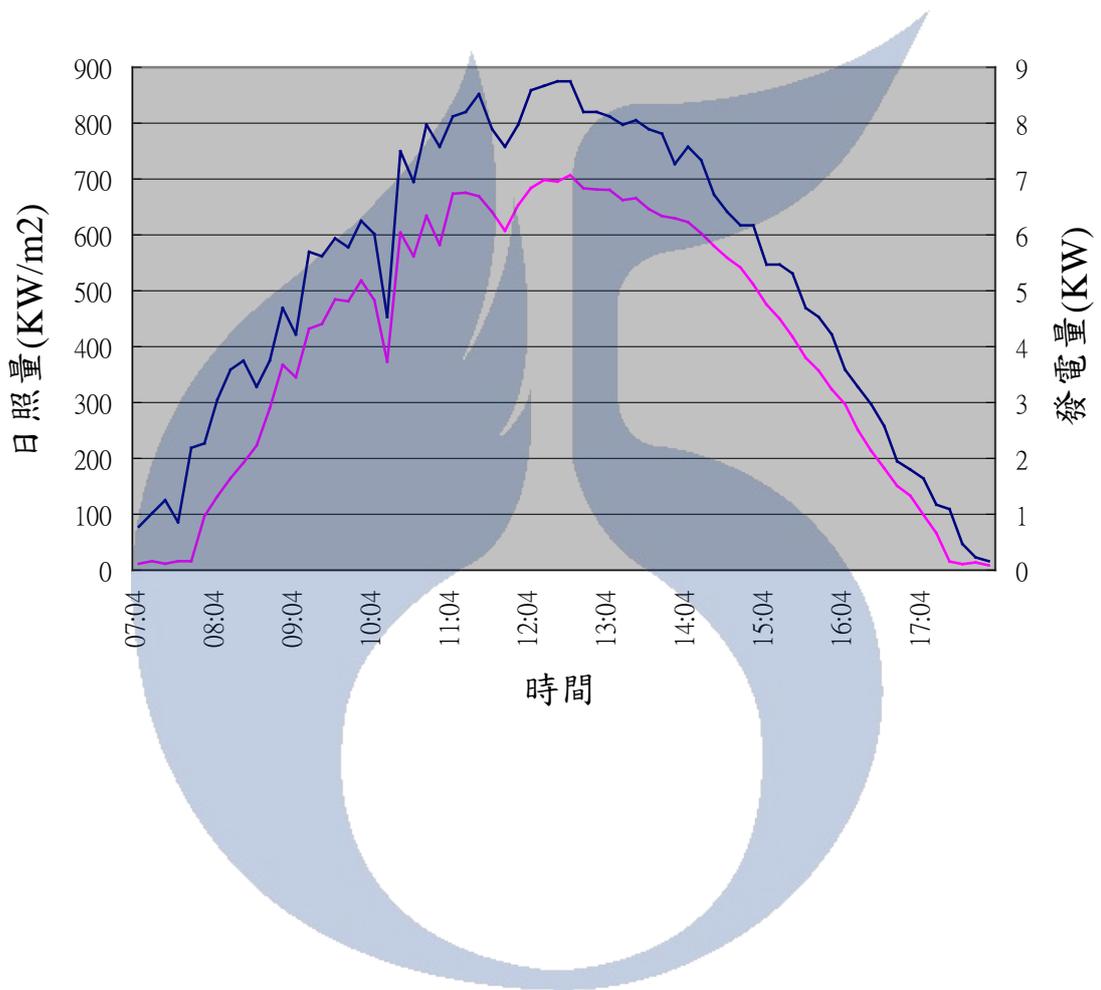


圖 5-18 3 月 20 日照量-發電量關係曲線圖

— 日照強度(KW/m<sup>2</sup>)  
 — 太陽能板電壓(V)

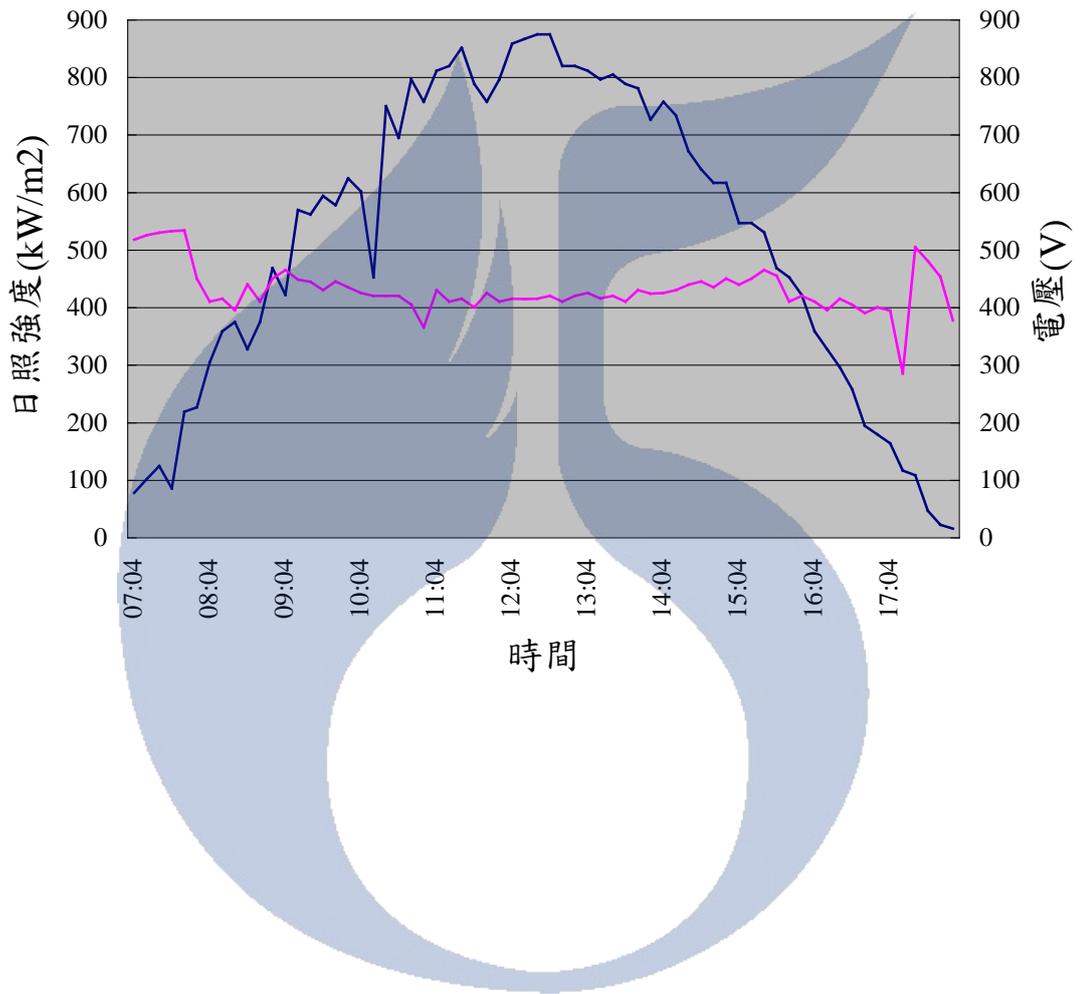


圖 5-19 3 月 20 日照量-電壓關係曲線圖

## 5.4 不同傾斜度的發電效益分析

表5-4 (a) - (d) 是3月16日在高雄地區(工博館)不同時間所量測到的資料，由表中的數據顯示：太陽能電池板(簡稱：太陽能板)之發電效益最好之仰角，在不同的時間，會有不同的角度，也就是說：太陽的運行軌跡隨時多在變化，若太陽能板之仰角不隨太陽的運行軌跡調整，勢必發電效益會降低。這也就可以證明太陽能電池的發電效率與太陽能板所接收日照量有很大的關係，若能調整其太陽能板的傾斜角度，其所接收到的日照量會升高，發電效率也會增加。

表5-4中可整理出在春分時最佳發電太陽能板仰角角度(94年春分在3月20日，天氣不佳，選擇3月16日之資料比較)，與表4-1之太陽仰角度(取台南春分之太陽仰角度，因高雄地區與台南地理位置相似，取台南太陽仰角資料為參考。)彙整後，可整理出表5-5，在春分時太陽仰角與最佳發電太陽能板仰角的關係有：「 $\theta(\text{太陽角仰}) + \Phi(\text{太陽能板仰角}) \cong 90^\circ$ 」，由此關係可證明：「太陽能板的法線與太陽成一直線時，是發電效率最好的傾斜角度」。

另外，從表5-4之功率欄可知：9點時之最佳發電方位角度，大約在東方，仰角為45度；10時之最佳發電方位角度，大約在東南方，仰角為35度；13時之最佳發電方位角度，大約在南方與西南方之間約30度；15點時之最佳發電方位角度，大約在西南方，仰角為45度。所以要提升

太陽能電池之發電量，早上時太陽能板之仰角要較高，中午時仰角要降低，到中午以後到下午之間仰角又要漸漸升高，以倒拋物線方式調整太陽能板之仰角，會有較佳之發電量。

另外，在表5-4 (a) - (d) 中之資料：太陽能板的法線若偏離太陽45度時，最佳發電角度會比向日時下降約5~10度(例如表5-4中：9點時太陽大約在東方，若太陽能板面朝東時，則傾斜角度在45度時，會有最佳發電功率為21.84W；同時間若偏離太陽45度，太陽能板面朝東南方時，則最佳功率角會在35度，功率為19.032W。)，而且太陽能板面偏離太陽越多，傾斜角就要越低，才有較佳之發電量。

表 5-4 不同時間、仰角及方向之發電量比較表(地點：高雄)

(a) 9 點

角度	東方			東南方			南方		
	電壓	電流	功率	電壓	電流	功率	電壓	電流	功率
60	10.5	1.98	20.79	10.4	1.77	18.408	10.1	0.98	9.898
55	10.5	2.02	21.21	10.4	1.8	18.72	10.1	1.08	10.908
50	10.5	2.05	21.525	10.4	1.81	18.824	10.1	1.17	11.817
45	10.5	2.08	21.84	10.4	1.81	18.924	10.2	1.25	12.75
40	10.5	2.07	21.735	10.4	1.82	18.928	10.2	1.32	13.464
35	10.5	2.06	21.63	10.4	1.83	19.032	10.2	1.37	13.974
30	10.5	2.04	21.42	10.4	1.8	18.72	10.2	1.43	14.586
25	10.5	2.01	21.105	10.4	1.77	18.408	10.2	1.49	15.198
20	10.4	1.94	20.176	10.4	1.72	17.888	10.3	1.53	15.759
15	10.4	1.85	19.24	10.4	1.67	17.368	10.3	1.56	16.068
備註	日期：3月16日 時間：09：00 天氣：多雲								

(b) 10 點

角度	東方			東南方			南方		
	電壓	電流	功率	電壓	電流	功率	電壓	電流	功率
60	11.2	2.35	26.32	11.3	2.52	28.476	11	1.98	21.78
55	11.3	2.5	28.25	11.3	2.6	29.38	11	2	22
50	11.3	2.65	29.945	11.3	2.71	30.623	11	2.1	23.1
45	11.3	2.7	30.51	11.4	2.8	31.92	11.1	2.32	25.752
40	11.4	2.85	32.49	11.4	2.9	33.06	11.1	2.4	26.64
35	11.4	2.88	32.832	11.4	2.95	33.63	11.1	2.5	27.75
30	11.4	2.91	33.174	11.4	2.94	33.516	11.1	2.51	27.861
25	11.4	2.9	33.06	11.4	2.94	33.516	11.1	2.47	27.417
20	11.4	2.87	32.718	11.3	2.89	32.657	11.1	2.42	26.862
15	11.3	2.59	29.267	11.3	2.56	28.928	11	2.3	25.3
備註	日期：3月16日 時間：10：00 天氣：晴								

## (c) 13 點

角度	東南方			南方			西南方		
	電壓	電流	功率	電壓	電流	功率	電壓	電流	功率
60	11.4	2.42	27.588	11.6	2.87	33.292	11.8	2.66	31.388
55	11.4	2.64	30.096	11.6	3.07	35.612	11.8	2.8	33.04
50	11.5	2.8	32.2	11.7	3.2	37.44	11.9	3.01	35.819
45	11.5	2.92	33.58	11.8	3.3	38.94	12.1	3.01	36.421
40	11.6	3.03	35.148	11.9	3.36	39.984	12.3	3.18	39.114
35	11.7	3.15	36.855	12.1	3.38	40.898	13.3	3.2	43.2
30	11.7	3.22	37.674	12.1	3.40	41.14	13.3	3.3	43.89
25	11.8	3.28	38.704	12.1	3.41	42.284	13.3	3.4	45.224
20	11.9	3.27	38.913	11.7	3.4	39.78	12.6	3.2	40.32
15	12	3.28	39.36	11.7	3.2	37.44	12.6	3.15	39.69
備註	日期：3月16日 時間：13：00 天氣：晴								

## (d) 15 點

角度	東南方			南方			西南方		
	電壓	電流	功率	電壓	電流	功率	電壓	電流	功率
60	11	0.91	10.01	11.3	2.12	23.956	11.8	2.58	30.444
55	11	1.09	11.99	11.4	2.22	25.308	11.8	2.66	31.388
50	11.1	1.25	13.875	11.4	2.31	26.334	11.8	2.68	31.624
45	11.1	1.42	15.762	11.5	2.35	27.025	11.8	2.72	32.096
40	11.2	1.53	17.136	11.5	2.38	27.37	11.8	2.68	31.624
35	11.2	1.62	18.144	11.5	2.39	27.485	11.8	2.67	31.506
30	11.3	1.75	19.775	11.5	2.38	27.37	11.7	2.64	30.888
25	11.3	1.84	20.792	11.5	2.37	27.255	11.7	2.59	30.303
20	11.4	1.94	22.116	11.5	2.32	26.68	11.7	2.53	29.601
15	11.4	1.99	22.686	11.5	2.27	26.105	11.6	2.43	28.188
備註	日期：3月16日 時間：15：00 天氣：晴								

表 5-5 高雄地區春分時最佳發電太陽與太陽能板之仰角關係

太陽仰角												
季	時	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
春	仰	14.2	27.8	41.0	53.2	63.0	67	62.5	52.5	40.2	27.0	13.4
分	角											
太陽能板角度												
時間	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
實測最 佳角			45	35	25		25		45			
備 註	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 因高雄地區與台南地理位置相似，取中央氣象局之台南太陽仰角資料為參考。</li> <li>● 3月16日接近春分（春分為3月20日）</li> </ul>											

## 5-5 太陽能電池的安裝軌跡及方向之分析

太陽能電池最佳發電之傾斜角不僅會隨四季會變化，而且一天之中也會隨每時間變化而變化。如何找出太陽能板之安裝軌跡及方向，才能在某個時間點得到較佳的發電量。以下本文將研究探討高雄地區太陽能電池板安裝軌跡：

(1) 由上節之分別：「當太陽能板之法線與太陽成一線時，可得到最大量的日照量」，其關係圖如圖 5-20 所示：

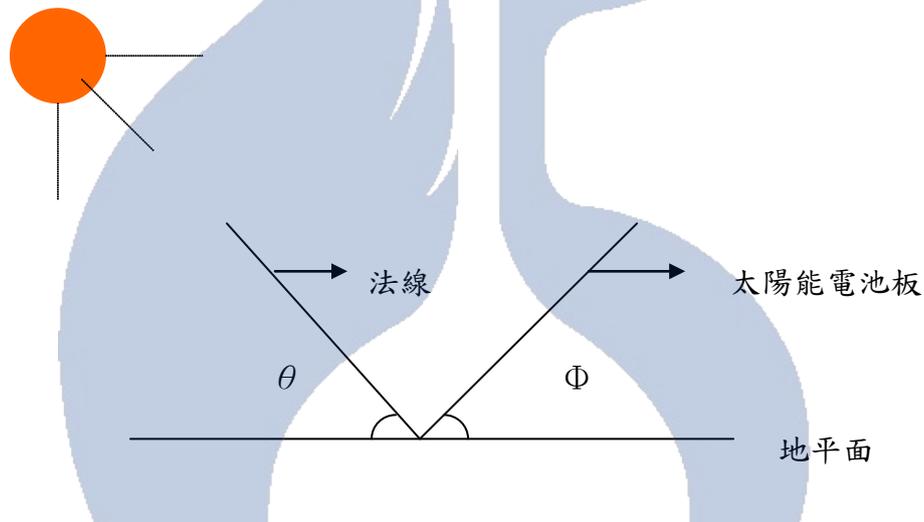


圖 5-20 太陽與太陽能板之關係圖

其中

$\theta$ ：太陽之仰角

$\Phi$ ：太陽能電池板之仰角

$$\Phi = 90 - \theta$$

- (2) 由表 4-1 中取台南地區之太陽四季之仰角為參考(因高雄之北緯為：22 度，東經為：120.75 度，和台南之北緯 23 度，東經 120.2 度的地理位置相似)，和依據太陽與太陽能板的關係後，換算出太陽能板安裝角度，再彙整出高雄地區四季太陽能板最佳發電仰角表及曲線圖，如表 5-6 及圖 5-21。
- (3) 太陽運行軌跡介於南北回歸線之間，春分、秋分於赤道 0 度，冬至 -23.5 度、夏至 23.5 度【12】。2005 年之春分在 3 月 20 日、夏至在 6 月 21 日、秋分在 9 月 23 日、冬至為 12 月 22 日。所以過了 3 月 20 日春分後，太陽運行軌跡會向北回歸線偏移，到 6 月 21 日夏至時會移到最北邊的北回歸線上，過了 6 月 21 日夏至之後太陽又會慢慢的往南移動，到 9 月 23 日秋分時回到赤道，之後在 12 月 22 日冬至時會南偏到最南邊的南回歸線上，週而復始介於南北回歸線移動。所以太陽能電池若要在某個季節、時間上有較大電力輸出，可按照表 5-6 及圖 5-21 之軌跡推估其安裝位置。
- (4) 為了模擬春分到夏至期間之太陽能電池最佳發電量的安裝位置軌跡及驗證表 5-6 及圖 5-21 之可靠性，選定 4 月 22 至 4 月 25 日及 5 月 20-5 月 23 日（因有時整點之日照量不理想，所以取三天之中較理想之數值。）晴朗穩定的天氣，在高雄工博館內，測得上午 7 點到下午五點，整點時太陽能板面正對太陽時，在不同仰角下之 4、5 月份的

發電情形，整理如表 5-7 (a) - (b) 及表 5-8 (a) - (b)。由表 5-7 (a) - (b) 及表 5-8 (a) - (b) 中彙整出最大發電量之時間及仰角，詳如表 5-9，及圖 5-22。在圖 5-22 曲線軌跡可知：「4、5 月份最佳太陽能板安裝仰角軌跡，位於春分及夏至之間」。所以春分過後，越接近夏至，安裝曲線就會越趨近夏至安裝曲線；相同的推估，冬季時春分過後，安裝曲線就會越趨近冬至安裝曲線，才会有較大的電力輸出。由以上的實驗證明：4、5 月份仰角軌跡曲線不僅位於春分及夏至仰角軌跡曲線之間，而且呈現太陽能板之仰角軌跡有：春分>4 月>5 月>夏至，與圖 5-21 非常吻合，也證明圖 5-21 及 5-22 之實用性。

表 5-6 高雄地區四季最佳發電太陽與太陽能板仰角之關係

太陽仰角												
季節	時	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
夏至	仰角	22.4	35.7	49.2	62.9	76.6	89.4	75.8	62.1	48.4	34.9	21.6
春分	仰角	14.2	27.8	41.0	53.2	63.0	67	62.5	52.5	40.2	27.0	13.4
秋分	仰角	14.2	27.8	41.0	53.2	63.0	67	62.5	52.5	40.2	27.0	13.4
冬至	仰角	4.1	15.8	26.5	35.3	41.4	43.5	41.1	34.9	25.9	15.1	3.5
太陽能板角度												
季節	時	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
夏至	仰角	67.6	54.3	40.8	27.1	13.4	0.6	14.2	27.9	41.6	55.1	68.4
春分	仰角	75.8	62.2	49	36.8	27	23	27.5	37.5	49.8	63	76.6
秋分	仰角	75.8	62.2	49	36.8	27	23	27.5	37.5	49.8	63	76.6
冬至	仰角	85.9	74.2	63.5	54.7	48.6	46.5	48.9	55.1	64.1	74.9	86.5

※資料來源：中央氣象局（因高雄地區與台南地理位置相似，取中央氣象局之台南太陽仰角資料為參考。）

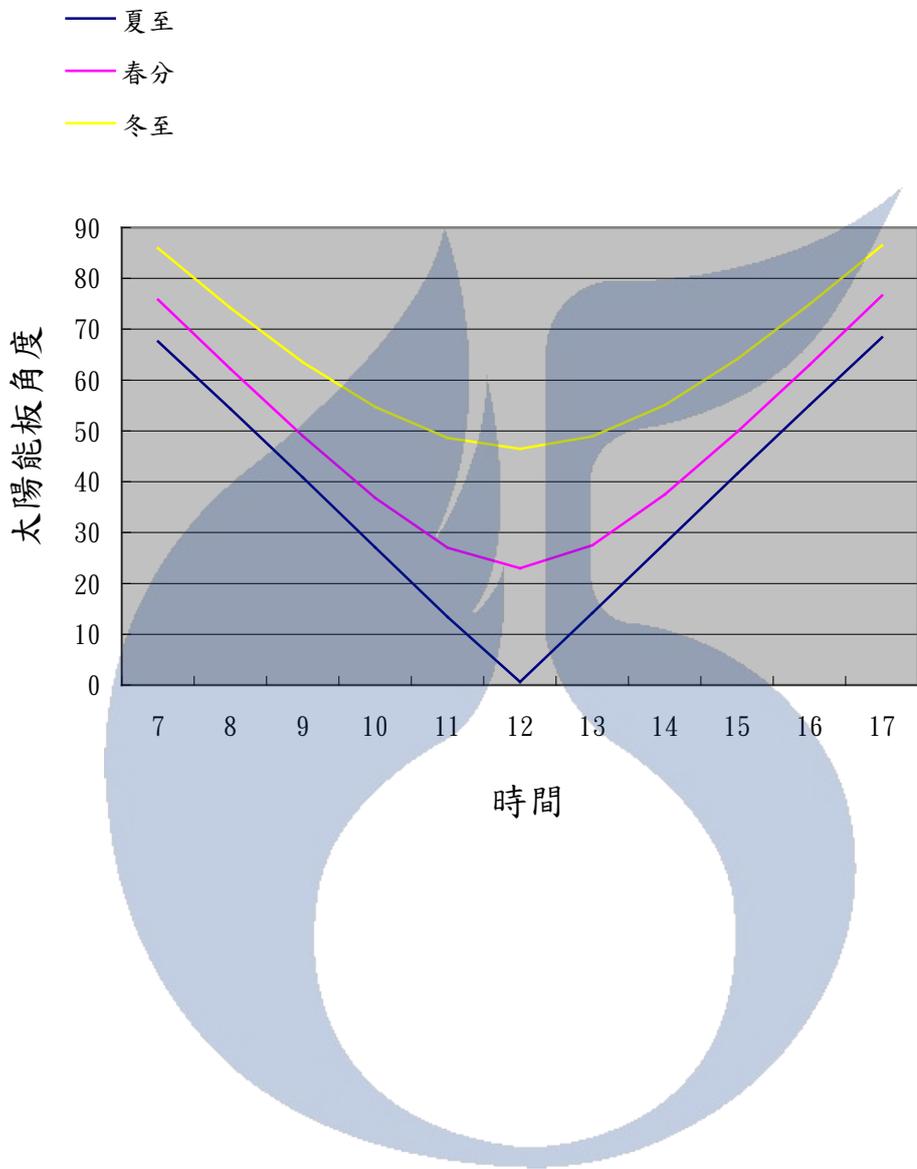


圖 5-21 高雄地區四季太陽能板最佳發電仰角曲線圖

表 5-7 4 月不同時間及仰角之發電量(地點：高雄)

(a)7-12 時

日期	4 月 22 — 4 月 25 日								
時間	7			8			9		
角度	電壓(V)	電流(A)	功率 (W)	電壓(V)	電流(A)	功率 (W)	電壓(V)	電流(A)	功率 (W)
70	10.8	2	21.6	10.7	1.95	20.865	11	1.98	21.78
55	10.8	1.98	21.384	10.8	2.08	22.464	11.1	2.1	23.31
60	10.8	1.97	21.276	10.8	2.25	24.3	11.1	2.18	24.198
55	10.8	1.92	20.736	10.8	2.1	22.68	11.1	2.23	24.753
50	10.8	1.9	20.52	10.8	2.09	22.572	11.1	2.28	25.308
45	10.8	1.8	19.44	10.8	2.07	22.356	11.1	2.32	25.752
40	10.8	1.7	18.36	10.8	2.06	22.248	11.1	2.3	25.53
35	10.7	1.62	17.334	10.7	2.04	21.828	11.1	2.28	25.308
30	10.7	1.5	16.05	10.7	2.02	21.614	11.1	2.26	25.086
25	10.7	1.2	12.84	10.7	2	21.4	11.1	2.25	24.975
20	10.7	1	10.7	10.7	1.93	20.651	11.1	2.21	24.531
15	10.7	0.98	10.486	10.7	1.82	19.474	11.1	2.19	24.309
10	10.6	0.9	9.54	10.6	1.8	19.08	11	2.1	23.1
5	10.6	0.75	7.95	10.6	1.62	17.172	11	1.8	19.8
時間	10			11			12		
角度	電壓(V)	電流(A)	功率	電壓(V)	電流(A)	功率	電壓(V)	電流(A)	功率
70	11	2	22	11.1	1.98	21.978	11.5	1.6	18.4
65	11.1	2.2	24.42	11.1	2.02	22.422	11.5	1.72	19.78
60	11.1	2.4	26.64	11.1	2.05	22.755	11.7	1.9	22.23
55	11.1	2.45	27.195	11.1	2.16	23.976	12	2.1	25.2
50	11.2	2.5	28	11.2	2.29	25.648	12	2.31	27.72
45	11.2	2.51	28.112	11.3	2.4	27.12	12.1	2.52	30.492
40	11.2	2.54	28.448	11.3	2.57	29.041	12.2	2.7	32.94
35	11.2	2.58	28.896	11.4	2.63	29.982	12.3	2.84	34.932
30	11.2	2.6	29.12	11.4	2.65	30.21	12.3	2.91	35.793
25	11.2	2.58	28.896	11.4	2.68	30.552	12.5	3.02	37.75
20	11.2	2.5	28	11.4	2.7	30.78	12.5	3.07	38.375
15	11	2.4	26.4	11.4	2.72	31.008	12.6	3.1	39.06
10	11	2.3	25.3	11.4	2.6	29.64	12.6	3.2	40.32
5	11	2.1	23.1	11.3	2.56	28.928	12.6	3.2	40.32

## (b)13-17 時

日期	4 月 22—4 月 25 日								
時間	13			14			15		
角度	電壓(V)	電流(A)	功率 (W)	電壓(V)	電流(A)	功率 (W)	電壓(V)	電流(A)	功率 (W)
70	10	1.8	18	11.1	2.15	23.865	11.1	2.24	24.864
65	10	2.1	21	11.1	2.46	27.306	11.1	2.35	26.085
60	10	2.28	22.8	11.1	2.57	28.527	11.2	2.45	27.44
55	11	2.45	26.95	11.2	2.66	29.792	11.2	2.5	28
50	11	2.59	28.49	11.3	2.76	31.188	11.2	2.51	28.112
45	11.1	2.7	29.97	11.3	2.85	32.205	11.2	2.52	28.224
40	11.1	2.83	31.413	11.3	2.88	32.544	11.2	2.51	28.112
35	11.1	2.91	32.301	11.3	2.9	32.77	11.2	2.5	28
30	11.2	2.97	33.264	11.3	2.92	32.996	11.2	2.43	27.216
25	11.2	3.02	33.824	11.3	2.9	32.77	11.2	2.4	26.88
20	11.2	3.04	34.048	11.2	2.86	32.032	11.2	2.33	26.096
15	11.2	3.06	34.272	11.2	2.84	31.808	11.1	2.22	24.642
10	11.2	3.04	34.048	11.2	2.79	31.248	11.1	2.09	23.199
5	11.2	2.98	33.376	11.2	2.67	29.904	11	1.85	20.35
時間	16			17					
角度	電壓(V)	電流(A)	功率(w)	電壓(V)	電流(A)	功率(W)			
70	10.8	1.5	16.2	10.8	1.7	18.36			
65	10.8	1.68	18.144	10.8	1.62	17.496			
60	10.8	1.71	18.468	10.7	1.5	16.05			
55	10.8	1.68	18.144	10.7	1.36	14.552			
50	10.8	1.64	17.712	10.7	1.26	13.482			
45	10.8	1.59	17.172	10.7	1.2	12.84			
40	10.8	1.57	16.956	10.7	1	10.7			
35	10.8	1.56	16.848	10.7	0.98	10.486			
30	10.8	1.53	16.524	10.7	0.9	9.63			
25	10.8	1.49	16.092	10.7	0.75	8.025			
20	10.8	1.45	15.66	10.7	0.62	6.634			
15	10.8	1.38	14.904	10.6	0.53	6.634			
10	10.7	1.3	13.91	10.6	0.50	5.3			
5	10.7	1.26	13.482	10.5	0.45	4.725			

表 5-8 5 月不同時間及仰角之發電量

(a)7-12 時

日期	5 月 20—5 月 23 日								
時間	7			8			9		
角度	電壓(V)	電流(A)	功率(W)	電壓(V)	電流(A)	功率(W)	電壓(V)	電流(A)	功率 (W)
70	10.8	1.98	21.384	10.9	2.1	22.89	11	2.26	24.86
65	10.8	1.98	21.384	10.9	2.35	25.615	11.1	2.35	26.085
60	10.8	1.93	20.844	10.9	2.44	26.596	11.1	2.41	26.751
55	10.8	1.91	20.628	10.9	2.44	26.596	11.1	2.5	27.75
50	10.8	1.9	20.52	10.9	2.42	26.378	11.2	2.65	29.68
45	10.8	1.82	19.656	10.8	2.4	25.92	11.2	2.76	30.912
40	10.8	1.7	18.36	10.8	2.39	25.812	11.2	2.76	30.912
35	10.7	1.6	17.12	10.8	2.37	25.596	11.2	2.75	30.8
30	10.7	1.53	16.371	10.8	2.29	24.732	11.2	2.74	30.688
25	10.7	1.23	13.161	10.8	2.23	24.084	11.2	2.72	30.464
20	10.7	1.1	11.77	10.7	2	21.4	11.2	2.64	29.568
15	10.7	0.96	10.272	10.6	1.98	20.988	11.1	2.55	28.305
10	10.6	0.9	9.54	10.6	1.86	19.716	11.1	2.45	27.195
5	10.6	0.73	7.738	10.5	1.72	18.06	11	2.36	25.96
時間	10			11			12		
角度	電壓(V)	電流(A)	功率	電壓(V)	電流(A)	功率	電壓(V)	電流(A)	功率
70	11.4	2.36	26.904	11.1	1.98	21.978	11.8	1.63	19.234
65	11.4	2.45	27.93	11.1	2.02	22.422	11.8	1.75	20.65
60	11.4	2.58	29.412	11.1	2.05	22.755	11.9	1.95	23.205
55	11.4	2.74	31.236	11.1	2.16	23.976	12.1	2.19	26.499
50	11.5	2.88	33.12	11.2	2.29	25.648	12.2	2.38	29.036
45	11.5	2.99	34.385	11.3	2.4	27.12	12.3	2.57	31.611
40	11.5	3.1	35.65	11.3	2.57	29.041	12.4	2.73	33.852
35	11.6	3.2	37.12	11.4	2.63	29.982	12.5	2.87	35.875
30	11.6	3.27	37.932	11.4	2.65	30.21	12.6	2.99	37.674
25	11.6	3.26	37.816	11.4	2.68	30.552	12.7	3.05	38.735
20	11.6	3.25	37.7	11.4	2.7	30.78	12.8	3.15	40.32
15	11.5	3.18	36.57	11.4	2.72	31.008	12.8	3.2	40.96
10	11.5	3.1	35.65	11.4	2.6	29.64	12.8	3.25	41.6
5	11.5	2.95	33.925	11.3	2.56	28.928	12.8	3.26	41.728

## (b)13-17 時

日期	5月20—5月23日								
時間	13			14			15		
角度	電壓(V)	電流(A)	功率(W)	電壓(V)	電流(A)	功率(W)	電壓(V)	電流(A)	功率(W)
70	12	2	24	12.7	2.63	33.401	12.7	2.65	33.655
65	12	2.13	25.56	12.7	2.7	34.29	12.7	2.8	35.56
60	12	2.25	27	12.7	2.82	35.814	12.8	2.98	38.144
55	12.1	2.46	29.766	12.9	2.91	37.539	12.8	3	38.4
50	12.2	2.61	31.842	13.1	3	39.3	12.8	3.02	38.656
45	12.3	2.74	33.702	13.1	3.07	40.217	12.8	3.03	38.784
40	12.5	2.87	35.875	13.2	3.12	41.184	12.8	3.03	38.784
35	12.6	2.98	37.548	13.3	3.16	42.028	12.7	2.94	37.338
30	12.7	3.09	39.243	13.3	3.17	42.161	12.6	2.93	36.918
25	12.8	3.15	40.32	13.3	3.16	42.028	12.5	2.81	35.125
20	12.9	3.18	41.022	13.1	3.12	40.872	12.4	2.75	34.1
15	12.9	3.2	41.28	13	3.04	39.52	12.3	2.62	32.226
10	12.9	3.18	41.022	13	3	39	12.3	2.56	31.488
5	12.9	3.16	40.764	13	2.96	38.48	12.2	2.43	29.646
時間	16			17					
角度	電壓(V)	電流(A)	功率(W)	電壓(V)	電流(A)	功率(W)			
70	11.2	2.7	30.24	11.2	2.78	31.136			
65	11.2	2.73	30.576	11.2	2.78	31.136			
60	11.2	2.78	31.136	11.2	2.75	30.8			
55	11.2	2.78	31.136	11.2	2.73	30.576			
50	11.2	2.7	30.24	11.1	2.7	29.97			
45	11.2	2.68	30.016	11.1	2.62	29.082			
40	11.2	2.63	29.456	11.1	2.6	28.86			
35	11.1	2.57	28.527	11.1	2.53	28.083			
30	11.1	2.51	27.861	11	2.5	27.5			
25	11.1	2.46	27.306	11	2.43	26.73			
20	11	2.41	26.51	10.9	2.2	23.98			
15	11	2.34	25.74	10.9	2.1	22.89			
10	10.9	2.1	22.89	10.9	1.98	21.582			
5	10.9	1.92	20.928	10.8	1.82	19.656			

表 5-9 高雄地區 4、5 月與春分、夏至太陽能板仰角之關係

太陽能板仰角												
季節	時	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
夏至	仰角	67.6	54.3	40.8	27.1	13.4	0.6	14.2	27.9	41.6	55.1	68.4
春分	仰角	75.8	62.2	49	36.8	27	23	27.5	37.5	49.8	63	76.6
秋分	仰角	75.8	62.2	49	36.8	27	23	27.5	37.5	49.8	63	76.6
冬至	仰角	85.9	74.2	63.5	54.7	48.6	46.5	48.9	55.1	64.1	74.9	86.5
4 月	仰角	70	60	45	30	15	7	15	30	45	60	70
5 月	仰角	67	57	43	30	15	5	15	30	43	57	67
備註	4 月：4 月 22-25 日實測太陽能板最佳發電量之仰角 5 月：5 月 20-23 日實測太陽能板最佳發電量之仰角											

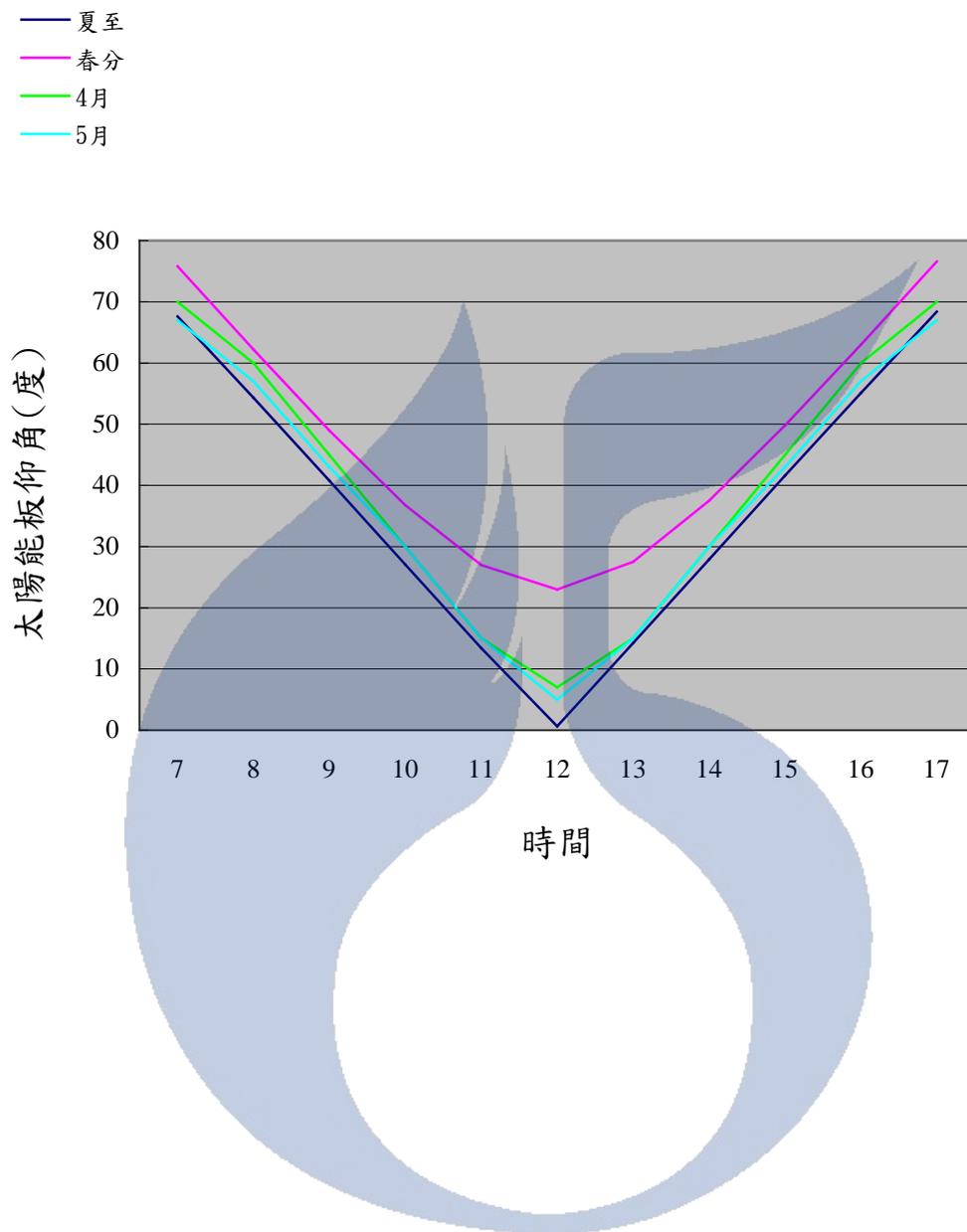
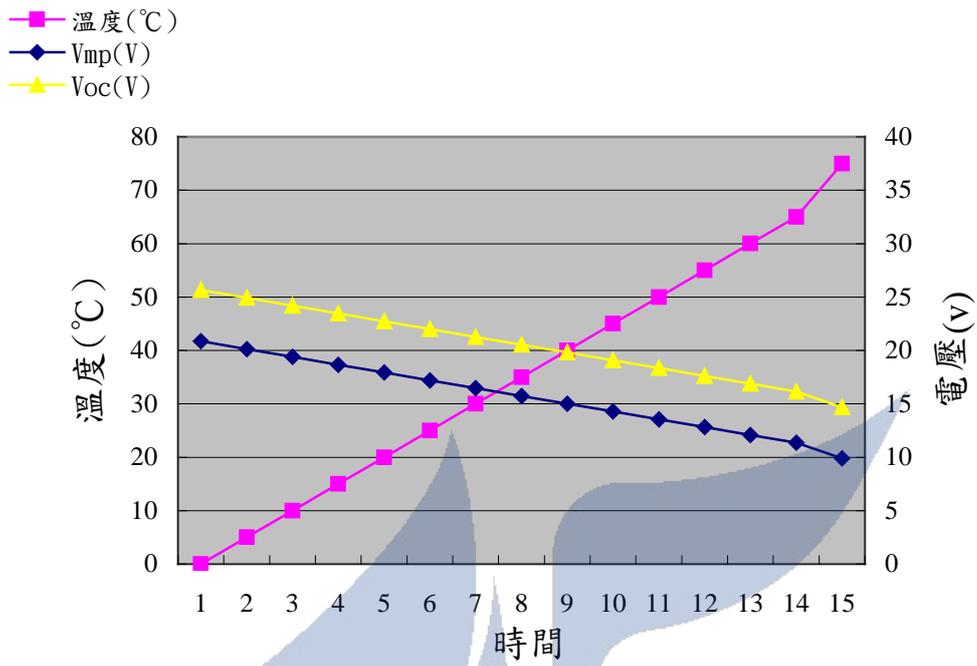


圖 5-22 高雄地區春分至夏至間最佳發電量之太陽能板仰角曲線圖

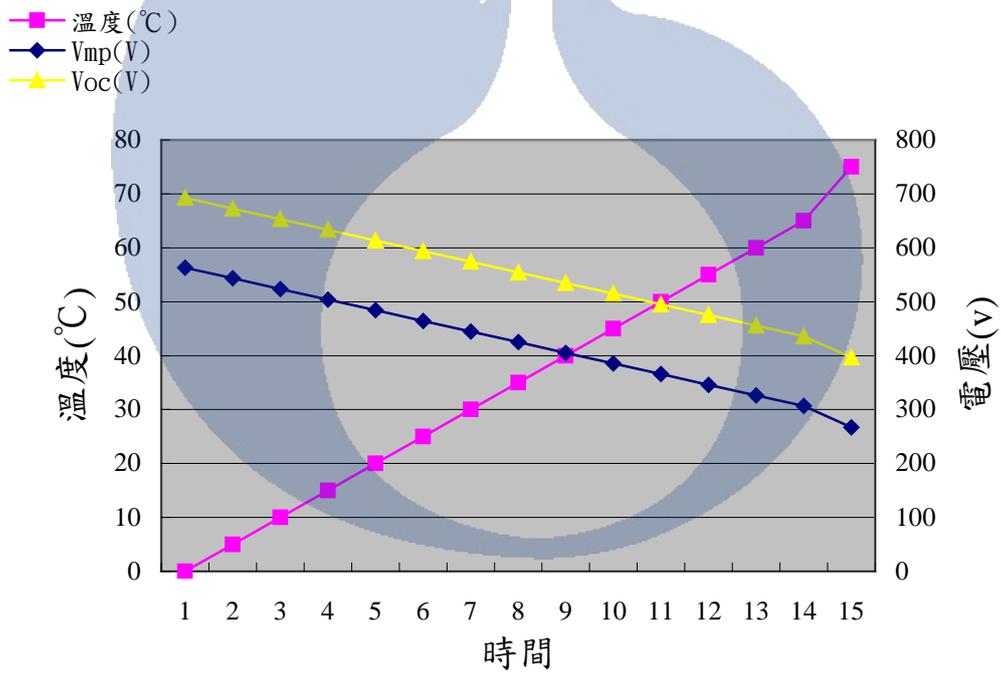
## 5.6 溫度對太陽能電池發電量影響之分析

本系統75W(茂迪, MJ-75W/M125-T1, 25°C  $V_{OC}=22V$   $V_{mp}=17.2V$ ) 太陽能電池模組之實驗溫度係數是 $-0.14619 (V/^{\circ}C)$ , 所以可以得到如圖5-23(a)之溫度與電壓的模擬曲線圖。而由圖5-23(a)的曲線可知: 在固定日照強度下, 當溫度升高時, 太陽能電池的閉路電壓及工作電壓均會降低, 而所能輸出的最大功率也會隨著溫度的遞增而遞減。接著再模擬本系統之陣列(由27個75W之太陽能電池模組串接成一個回路), 當溫度升高時之系統之壓降情形, 如圖5-23(b)所示。由於多模組串聯之因素, 溫度從0度上升到75度時, 會造成整個系統之電壓下降( $V_{OC}$ )約300V, 而且對系統功率的輸出也會大幅的下降。由此可見, 工作環境溫度的高低將會直接影響到太陽能電池之最大輸出功率。

另外, 再以小型太陽能電池晶片(規格為3V 800mA)以500W鹵素燈加熱, 在加熱的過程並記錄其發電量, 其值如表5-10。由表5-10可知: 溫度上升時開路電壓下降, 短路電流微幅上升(詳如圖5-24), 所以整體而言: 溫度上升, 功率會下降。綜合以上的研究分析: 當太陽能電池溫升高時, 功率、閉路電壓( $V_{OC}$ )及工作電壓( $V_{mp}$ )均會降低, 此時外接負載必須適當的加以控制, 才不至於因系統無法提供足夠的電力給負載而導致其崩潰, 使系統無法運轉的缺失。



(a) 單片75W



(b) 27個75W串聯

圖 5-23 太陽能電池之溫度-電壓曲線圖

表 5-10 溫度對發電量之影響

溫度(°C)	開路電壓(V)	短路電流(A)	功率 (W)
35	3.45	0.53	1.8285
39.9	3.4	0.54	1.836
44.2	3.35	0.54	1.809
49.3	3.3	0.55	1.815
49.8	3.25	0.55	1.7875
56	3.2	0.55	1.76
57.2	3.15	0.55	1.7325
65.5	3.1	0.56	1.736
69	3.05	0.56	1.708
72	3	0.57	1.71
75	2.95	0.57	1.6815
82.3	2.9	0.57	1.653
85.7	2.85	0.57	1.6245
88.5	2.8	0.57	1.596

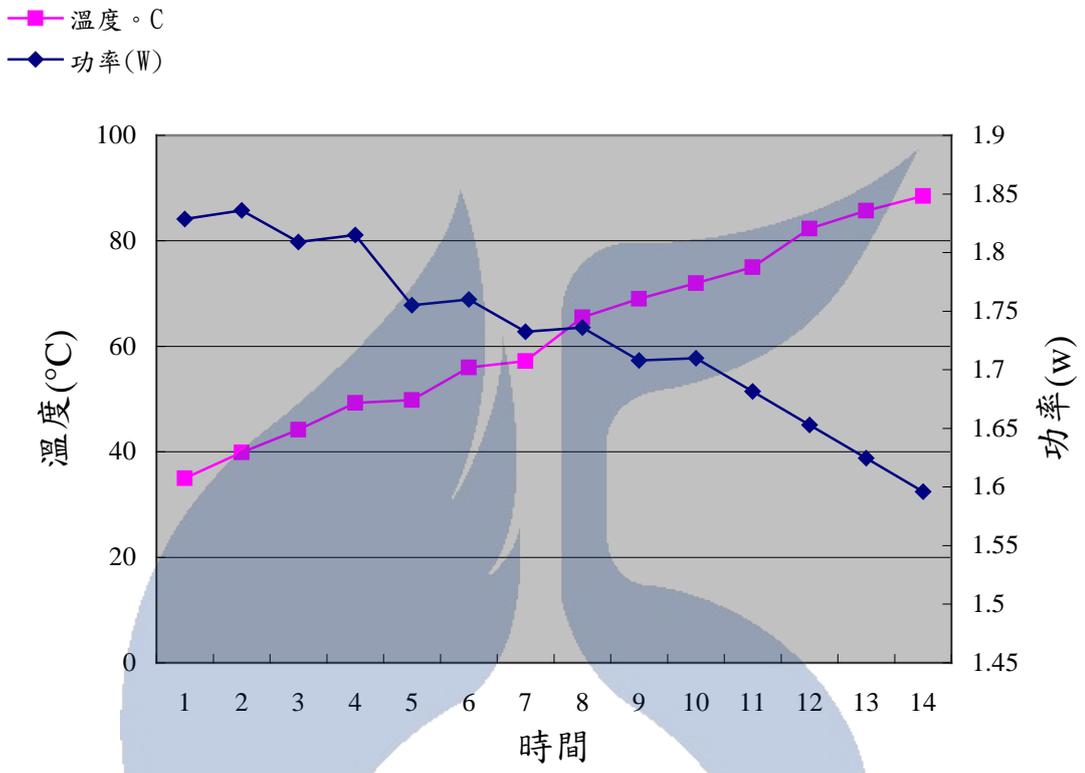


圖 5-24 溫度-功率之曲線圖

## 5.7 灰塵對太陽能電池發電量影響之分析

灰塵不僅會對太陽能電池模組造成陰影，減弱日照強度及發電量外，有些灰塵具有腐蝕性，會減少模組及支撐架之使用年限，也是影響系統發電量及壽命的一大因素。

為了研究灰塵對發電量的影響，分別以細沙粉塵及香灰粉塵，由5克、10克、15克、20克……到50克，均勻撒在表是在50W、面積43cm×97cm的太陽能板面上，測得灰塵量與發電量之關係，如表5-11(a)及(b)。由表5-11(a)及(b)轉換成圖5-25(a)及(b)，可以清楚的瞭解太陽能電池的發電量會隨著灰塵量的遞增，而使發電量遞減的情形，由其是香灰粉塵對發電量的影響會比細沙粉塵為大。由此實驗分析可知：發電量會隨著灰塵量的遞增而呈現衰減的狀態，而且灰塵越細、越黏稠，對發電量的影響也就越大。

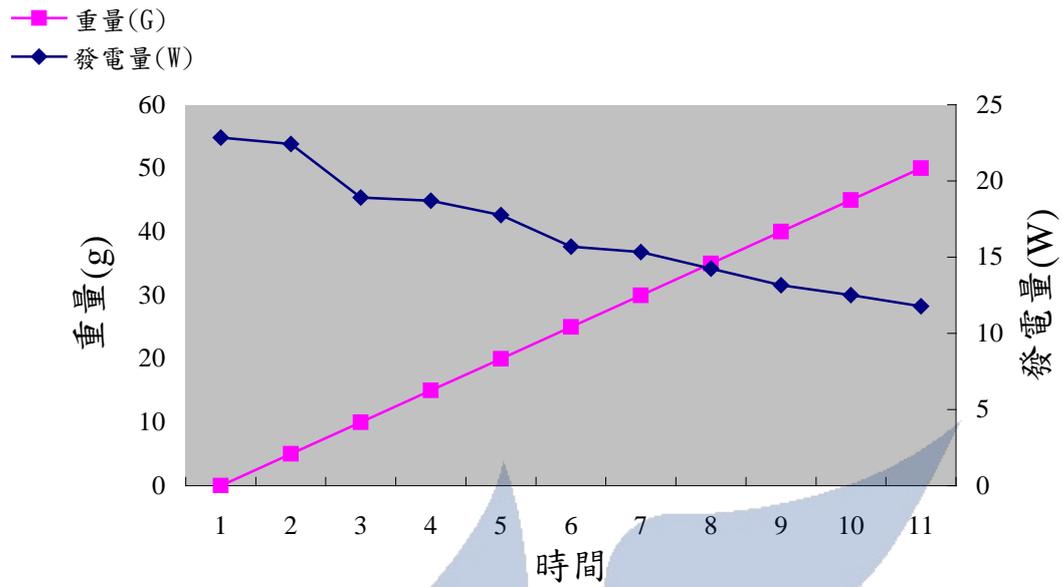
表5-11灰塵重量對發電量之影響表

(a) 細沙粉塵

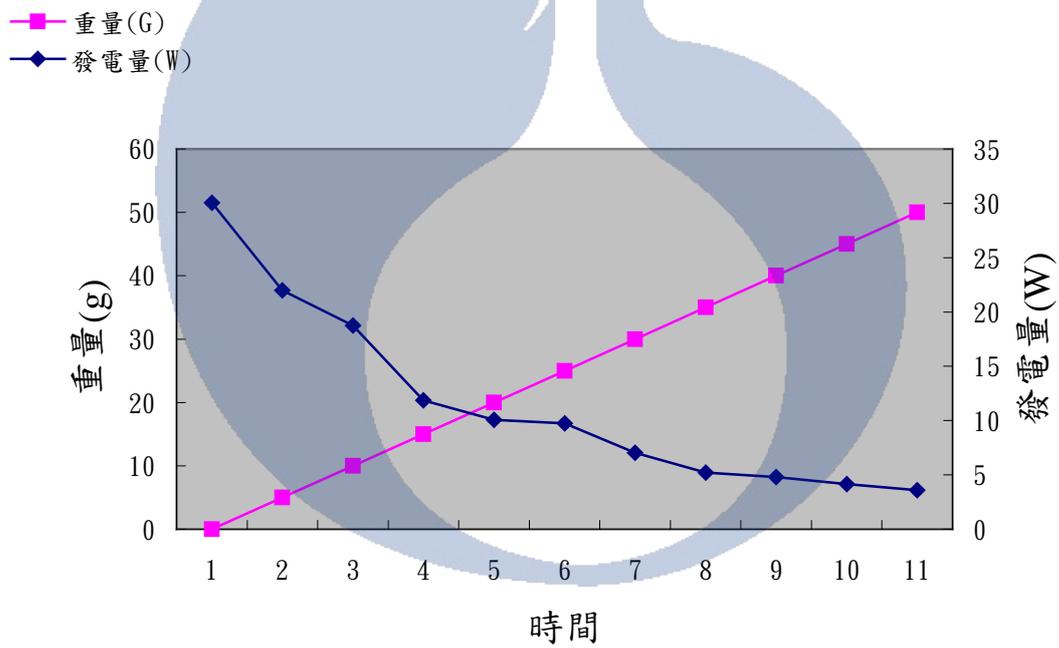
灰塵重量(G)	電壓(V)	電流(A)	發電量(W)
0	11.2	2.04	22.848
5	11.1	2.02	22.422
10	11	1.72	18.92
15	11	1.7	18.7
20	10.9	1.63	17.767
25	10.9	1.44	15.696
30	10.8	1.42	15.336
35	10.8	1.32	14.256
40	10.7	1.23	13.161
45	10.7	1.17	12.519
50	10.7	1.1	11.77
備註	50W、面積 43cm×97cm		

(b) 香灰粉塵

灰塵重量(G)	電壓(V)	電流(A)	發電量(W)
0	11.3	2.66	30.058
5	11	2	22
10	10.9	1.72	18.748
15	10.7	1.11	11.877
20	10.6	0.95	10.07
25	10.6	0.92	9.752
30	10.5	0.67	7.035
35	10.4	0.5	5.2
40	10.4	0.46	4.784
45	10.4	0.4	4.16
50	10.3	0.35	3.605
備註	50W、面積 43cm×97cm		



(a) 細砂粉塵



(b) 香灰粉塵

圖 5-25 灰塵對發電量影響之曲線圖

## 5.8 水冷式清洗機構之探討

目前一般市面上所看到的太陽能電池均以矽材料為主，不僅價格昂貴，而且光電轉換效率仍然偏低，若再加上溫環境溫度及灰塵之影響，將使發電的效率更差，那可產生的電力將大大的減少，使得發電成本相對的提高，在經濟效益考量上，將難以普及使用。

所以要推廣太陽能光電發電系統，除了降低製造成本外，若能適度的提升系統之發電效率，對於推廣太陽能光電發電的利用，會有相當大的助益。所以本論文設計水冷式機構，一方面能清洗太陽能板之灰塵，另一方面也能降低太陽能電池板的溫度，使太陽能電池的發電效率增高。以下將探討水冷式機構的功能及冷卻前後發電量之差異。

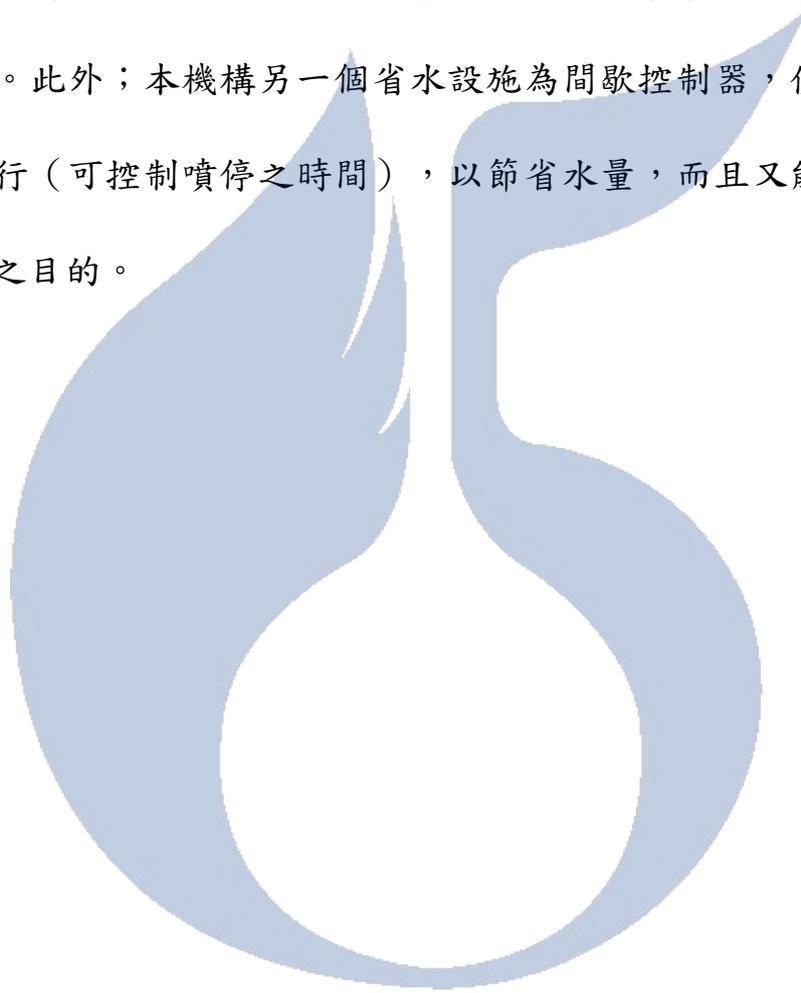
### 5.8.1 水冷式機構的功能

水冷式機構之設計理念，主要是以簡單、實用及省水為考量之重點。而且水容易取得、冷卻效率高、回收處理也容易，在裝置上也不會增加工程費用太多。其架構圖如圖 5-26。

水冷式機構可分為四大部份（如圖 5-27）分別為：溫度控制器、熱敏電阻、間歇控制器及抽水馬達（因本實驗處無自來水供應，則以馬達抽水方式灑水；若有自來水供應或雨水回收系統，則馬達部份可省略，直接用繼電器控制自來水或雨水來灑水，以節省馬達耗電。）等。太陽

能光電發電系統在夜間及陰天裡，因陽光不足無法進行光伏效產生足夠的電力，此時灑水跟本無法發揮任何作用，只會浪費水源，只有在白天晴朗炎熱、氣溫度上升時，灑水降溫才能提升發電量的功效。

水冷式機構以溫度控制器搭配熱敏電阻的方式，就能自動分辨在夜間及陰天不需灑水，在白天溫度上升到設定溫度時（40°C~50°C）才需灑水的功能。此外；本機構另一個省水設施為間歇控制器，使灑水動作以間歇性進行（可控制噴停之時間），以節省水量，而且又能達到清洗、冷卻基板之目的。



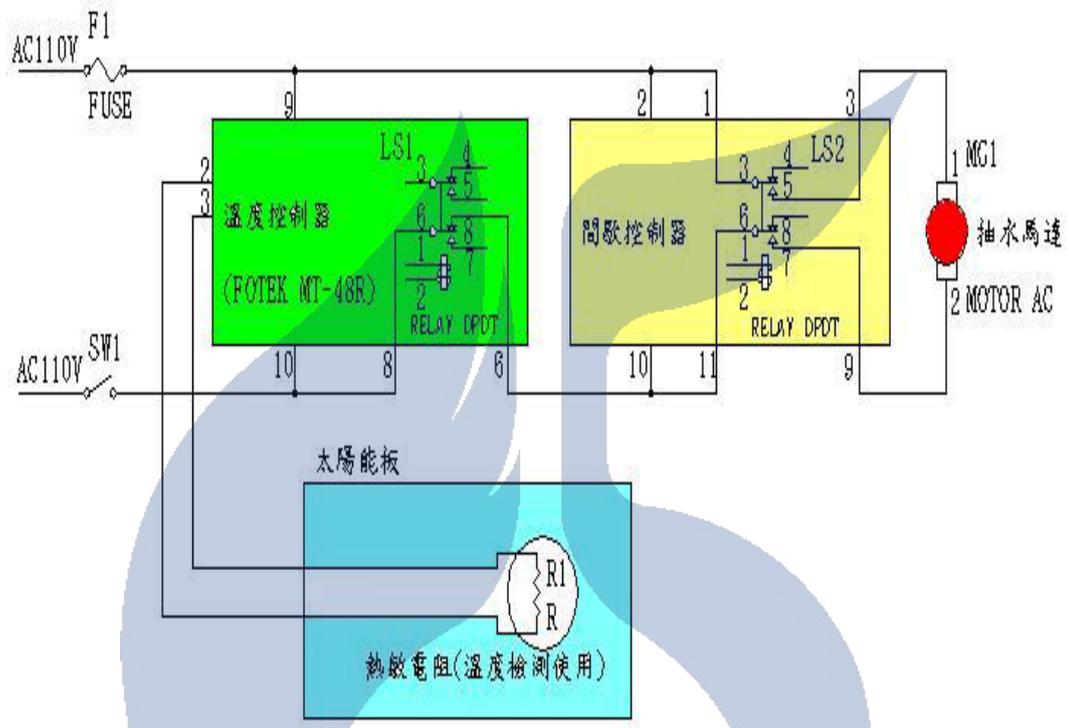


圖 5-26 水冷式清洗機構架構



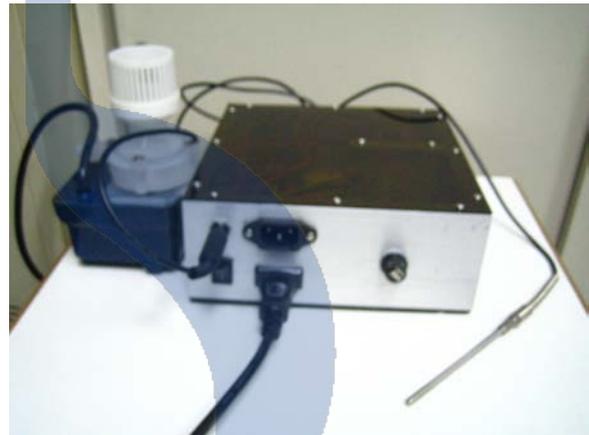
抽水馬達



熱敏電阻



溫度控制器 間歇性控制器



背面連接方式

圖 5-27 水冷式清洗機構器材

### 5.8.2 清洗後發電量差異之分析

表 5-12 是水冷式機構實際日照溫度達到  $50^{\circ}\text{C}$ 、 $45^{\circ}\text{C}$ 、 $42^{\circ}\text{C}$  及  $40^{\circ}\text{C}$  時，以間歇性方式灑水降溫前後，在 50W 太陽能光電教具上測得發電量的變化值（每次實驗均在晴朗、日照強度穩定時測試，實驗時間以不超過 5 分鐘為原則，以求每次實驗之日照量一樣）。由 4 次不同日照量及時間下的實驗測得、整理如表 5-12 資料可知：當溫度達到設定溫度後，機構會以間歇性方式灑水，使溫度下降到設定值以下時，機構會停止灑水。在機構停止灑水後，由於水吸熱蒸發之故，基板的溫度還會再下降約  $3^{\circ}\text{C}$ ，從表之數據中，每次灑水約可降低溫度  $3^{\circ}\text{C}$ ，且隨著基板的冷卻，其開路電壓、工作電壓、工作電流會上升，短路電流雖微微上升，但整體而言，發電量每次灑水約可提升 1W 之功率。

因本論文之實驗設備為 50W 之太陽能光電教具，每次水冷式機構動作冷卻後，平均可提升 1W 之功率；若換成 100W 太陽能電池，每次水冷式機構動作冷卻後，可提升 2W 之功率，以此類推若換成各系統時之提升功率如圖 5-28。由圖 5-28 可知：大型太陽能光電發電系統若使用水冷式機構降溫度，不僅可提升功率、累積可觀的瓦特數外，而且可以防止溫度過高造成壓降太大，使系統電壓崩潰無法運轉的缺失。

表 5-12 水冷式機構冷卻前後發電量差異之分析表

次數	灑水冷卻	基板溫度 (°C)	開路電壓 (V)	短路電流 (A)	工作電壓 (V)	工作電流 (A)	發電量 (W)
1	溫度設定	50	20.1	3.29	11	3.14	34.54
	冷卻後	47	20.4	3.27	11.3	3.18	35.93
2	溫度設定	45	20.1	3.22	11	3.16	34.76
	冷卻後	42	20.6	3.2	11.2	3.18	35.62
3	溫度設定	42	20.7	3.35	11.8	2.82	33.28
	冷卻後	39	20.9	3.32	12	2.84	34.08
4	溫度設定	40	20.5	3.34	11.4	2.42	27.59
	冷卻後	37	20.8	3.31	11.6	2.46	28.54

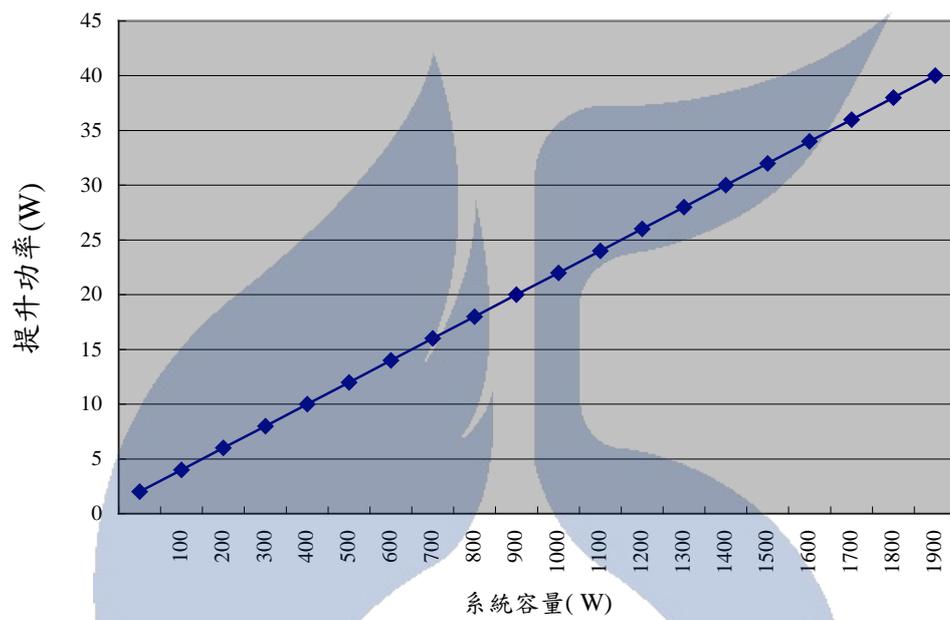


圖 5-28 應用水冷式機構於各系統所能提升之功率

## 第六章 結論與未來展望

### 6.1 結論

太陽能源電發與傳統化石能源發電相較，具有具有低環境污染的優點，因此在傳統能源面臨高環境污染性、資源耗竭及集中於少數國家等問題時，更受到大家的重視。然而，太陽能源電發並未真正普及，究其原因主要在於其應用成本較傳統化石燃料的成本為高，所以要能普及使用太陽能源發電除製程改變、降低成本之外，就是要有效的提升現有系統的發電效率，也就是增加其發電量。

目前市面看到的太陽能電池板大多以矽為材料，而矽晶片之發電特性與日照強度成正比，與太陽能電池模組溫度、灰塵成反比。如何抓住最佳日照量及降低模組溫度和灰塵之附著，提升其發電量，本論文藉由系統實際量測研究，其結論如下：

- (1) 隨太陽運行軌跡調整太陽能板的傾斜角度，可有效提高發電效率，所以追日型機構，將是日後研究的重點之一。
- (2) 太陽能電池的發電量，與太陽能電池模組溫度成反比，欲降低模組溫度，除了使用良好的散熱設施、背部透氣通風等方法外，灑水降溫是不錯的改善方式。

- (3) 灰塵會造成陰影、減弱日照量及發電量，使用灑水清洗，能有效的提升太陽能電池之的發電效益。
- (4) 水冷式機構，不僅可以降低太陽能電池的溫升及灰塵附著等問題，而且構造簡單、造價便宜，有利推廣太陽能光電發電系統。



## 6.2 未來展望

台灣是能源缺乏的國家，如何開發自產再生能源不僅是我國因應「京都議定書」的策略，同時也是我國未來降低能源進口依賴，推動能源自主政策的一環。而南台灣四季陽光充足，是非常適合利用太陽能來發電的區域，而目前太型光電發電系統因調整角度不易，大多採用仰角固定式，其發電效率無法達到最佳的狀態。所以如何發展太型光電發電追日系統，提升發電效率，在未來的研究可分為下列兩項：

### (1) 單軸追日系統：

利用氣體蒸發與凝結原理追蹤太陽位置，以揚角固定(但使用者需可依據季節)，方位追著太陽以移動的被動型追蹤器，因可使發電量大大的提升，是值得研究的一項工作。

### (2) 雙軸追日系統：

因太陽運行軌跡之方位、角度四季均在變化，單軸追日系統只能方位追日，角度之變還是無法達到最佳狀態。若要方位及角度均要追日，則雙軸追日系統是必要研究的主题。

## 參考文獻

- 【1】 蕭灌修，2005， “美國太陽能發電科技發展與政府相關獎勵政策及措施” ， LA Times & The wall Street Journal 。
- 【2】 經濟部能源局， “太陽光電發電示範系統推廣計畫” ，  
<http://www.pvproject.com.tw/>
- 【3】 Benner J.R,1999, “Photovoltaic” ,IEEE Spectrum.
- 【4】 Carlson D.E,1995, “Recent Advances in the Photovoltaic”  
Proceedings of the Intersociety Conference on Energy Conversion.
- 【5】 呂錫民，邱錦松，唐震宸，200，台灣再生能源發展狀況與潛力，  
工程月刊，第七十三卷，第二期，pp.22-31。
- 【6】 呂錫民等，1999，邁向 21 世紀新能源利用展覽會報導，太陽能學  
刊，第四卷，第一期，pp.42-43。
- 【7】 包濬璋，2003，太陽光發電系統運轉性能評，私立中原大學碩士論  
文。
- 【8】 許志義，1997，論全球溫室效應題與因應對策，經濟情勢暨評論季  
刊，第二卷第四期。
- 【9】 黃秉鈞，1997，我國太陽能發展的現況與展望，光訊，第六十八  
期。
- 【10】 Walraven.R,1978, “Calculating the position of the sun” ,Solar  
Energy,20,pp393-397.
- 【11】 Balenzategui J.L. and Chenlo F., 2004, “Measurement and analysis of  
bar and encapsulated silicon solar cells” , Solar Energy Materials &  
Solar Cells 86 ,pp53-83.

- 【12】沈仲晃，2004，太陽能電池模組最佳之方位模擬，能源季刊，34(3)，120-134。
- 【13】林萬成，2004，“擬蜂巢式太陽能電池模組化技術之研究”，國立成功大學碩士論文。
- 【14】熊谷秀，2004，再生能源，科學發展，383期36-41。
- 【15】吳財福，張健軒，陳裕愷，2000，太陽能供電與照明系統綜論，全華科技圖書股份有限公司，。
- 【16】許招埏，1986，光電工學概論，全華科技圖書股份有限公司。
- 【17】余合興，1985，光電子學-原理及應用，中央圖書出版社。
- 【18】張國平，張銘峰，1986，光電工程導論，新科技書局。
- 【19】Hussein.K.H,Muta.I ,Hoshino.T and Osakada.M,1995, “Maximum photovoltaic Power Tracking ” ,IEEE proc.Gener Transm.Distrib,Vol.142 NO1,pp59-64。
- 【20】工業技術研究院，2004，全額補助太陽光電系統設計施工規範研討資料。
- 【21】莊嘉深，1997，太陽能工程 -太陽電池篇，全華圖書。
- 【22】羅光旭，蔡中，1987，太陽電池技術-現況與展望，經濟部能源局。
- 【23】工業技術研究院，太陽光電發電示範系統推廣計畫網站，  
<http://www.pvproject.com.tw/>。
- 【24】邱清泉，2003“臺灣地區推廣太陽能發電系統之研究”，私立大葉大學碩士論文。
- 【25】徐翠華，台灣地區太陽輻射及太陽能發電潛力之研究，國立臺灣師範大學。
- 【26】唐震宸，1998，“工研院能資所太陽能技術開發及推廣簡介”，太陽能學刊，第三卷，第二期，pp.2-3，中華民國太陽能學會。
- 【27】葉淑梅、洪立祥、那毓瀚，1997，太陽電池發電系統之應用市場，太陽能學刊，第二卷第二期。
- 【28】黃文雄，1978，太陽能之應用及理論，協志工業叢書，台北。
- 【29】聚恆科技股份有限公司，<http://www.hengs.com/>。

- 【30】中國電器股份有限公司，<http://www.chinaelectric.com.tw/>。
- 【31】艾和昌，1993，光起電生-太陽光電發電系統，能源報導，pp18-19。
- 【32】中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>。
- 【33】國立科學工藝博物館，2004，太陽能光電發電示範系統技術手冊，高雄。

