

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

「應用在 HCPV 系統之自動環路監控技術及降低 HCPV 佈建遮蔽效應研究」

A study of automatic data acquisition technology and its application to
reduce the shadowing effect for HCPV

計畫編號：1012001INER027

受委託機關(構)：萬能科技大學

計畫主持人：李國路

聯絡電話：0911185978

E-mail address：glee@mail.vnu.edu.tw

核研所聯絡人員：林宏儒

報告日期：101 年 11 月 30 日

目錄

中文摘要.....	1
ABSTRACT	2
作者及所屬單位.....	4
壹、計畫緣起與目的.....	5
一、緣起.....	5
二、目的.....	6
貳、研究方法與過程.....	8
一、收集資料.....	8
二、理論探討及資料分析.....	8
(一)有關應用啟發式演算法改善 HCPV 佈建遮蔽效應之部 分：.....	8
(二) 有關以 HCPV 系統監控資料探討系統異常失效原因診 斷分析之部分：.....	14
(三) 有關探討分析 HCPV 系統成本模式之部分：.....	18
(四) 有關分析 HCPV 系統之自動環路監控技術及架構建立 之部分：.....	24
參、主要發現與結論.....	31
一、應用啟發式演算法改善 HCPV 佈建遮蔽效應之研究.....	31
二、以 HCPV 系統監控資料探討系統異常失效原因診斷分析之 研究.....	39
(一)各機座相互間的每日平均發電效率差異分析.....	40
(二)各機座資料相關係數比較分析.....	41
(三)各機座資料之迴歸分析.....	43

(四) 各機座資料之迴歸分析與預測	45
(五) 各機座資料清洗前後之效率差異分析	47
(六) 迴歸分析與預測修正探討	49
(七) 差異性分析小結	52
三、探討分析 HCPV 系統成本模式之研究.....	52
(一) 期初成本(CI)的估算.....	53
(二) 置換成本(CR)的估算	55
(三) 操作支援維護成本(Co)的估算	56
(四) 系統殘值(CS)的估算.....	57
四、分析 HCPV 系統之自動環路監控技術及架構建立之研究..	58
(一) 自動環路架構與標準及發展趨勢	58
(二) 巨量資料分析	61
五、太陽光發電系統技術發展資料收集之彙整	65
(一) 聚光型太陽光發電 CPV 的污漬(soiling)效應.....	65
(二) 大型光伏發電站能源生產受污染的影響。	68
(三) 在戶外的 CPV 額定功率的變異最小化的問題.....	71
六、程式撰寫.....	74
七、論文發表準備與投寄(含 SCI 期刊乙篇).....	75
肆、參考文獻.....	76
一、有關計畫緣起與目的參考資料：	76
二、有關研究方法與過程的參考資料：	76
三、有關主要發現與結論的參考資料：	80
伍、附件.....	83
附件一：國際研討會論文一.....	83

附件二：國際研討會論文二.....	87
附件三：投稿 RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY 原文	94

中文摘要

本計畫「應用在 HCPV 系統之自動環路監控技術及降低 HCPV 佈建遮蔽效應研究」(A study of automatic data acquisition technology and its application to reduce the shadowing effect for HCPV)，計畫編號 1012001INER027，由萬能科技大學接受委託研究。在國內，聚光太陽光發電系統也隨著「再生能源發展條例」的頒布，吸引民間廠商的大筆投入，並在研發單位的努力之下，經歷系統整合及驗證階段，正以前瞻的視野來探討與未來營運相關的議題。本計畫即為配合核能研究所進行太陽光發電系統之技術發展相關研究之一，工作重點為應用自動環路監控技術，使用委託單位提供的資料，結合啟發式(Heuristic)演算法，考量直接日照(Direct Normal Irradiance, DNI)的變化影響，探討降低 HCPV 佈建遮蔽效應，以提升發電效能。另外，進行 HCPV 系統發電異常情形分析，確認系統診斷偵錯與失效原因，以提昇系統使用度，以及透過成本模式分析，提供系統維修與支援策略精進之參考，以提升 HCPV 系統操作與維修成本效益，優化系統建置目標。

本計畫完成(一) HCPV 佈建遮蔽效應之分析與計算模式、(二) HCPV 系統異常之失效原因診斷分析、(三)對 HCPV 系統成本模式分析之研究探討、(四) HCPV 系統之自動環路監控技術及架構建立探討、(五)對太陽光發電系統技術發展資料之蒐集、(六)報告及論文投稿，含研討會論文二篇，SCI 期刊論文一篇。本計畫成果可提供太陽光發電系統整合及監控技術精進的參考。

關鍵詞：聚光太陽光發電系統、無線感測器網路、遮蔽效應、線上診斷、成本模式。

Abstract

This project “A study of automatic data acquisition technology and its application to reduce the shadowing effect for HCPV”, Project No. 1012001INER027, is conducted by Vanung University. In our country, with the promulgation of “Renewable Energy Development Act”, private companies are attracted to invest in HCPV system. Through the efforts of the research and development units, the HCPV system has undergone system integration and validation phases. And now the issues associated with operations are vigorous development and most attention. This project is exactly around one of the related research topics on the techniques of the photovoltaic system of the institute of nuclear energy research (INER). In this project, the automatic data acquisition technology and the heuristic algorithm with the collected data are used to realize the influence of the DNI (Direct Normal Irradiance) to explore and lower environmental impacts in order to improve power generation efficiency. Besides, authors analyze the abnormal power generation to improve the utilization of the HCPV system by identifying and diagnosing the causes of failures as well as establishing the system maintenance and support strategies through the cost model analysis to enhance the cost-effectiveness of HCPV system maintenance.

Tasks have been accomplished in this project include: (1) To study the shadowing effect and its calculating model of the HCPV system allocation, (2) To diagnose the abnormal differences of the HCPV system, (3) To explore the life cycle cost model of the HCPV system, (4) To discuss automatically loop monitoring technology and architecture of the HCPV system, (5) To collect the relevant latest technical development materials of the HCPV system, (6) To fulfill the final report of the project with two conference papers and one submitted SCI journal

paper. The research results in this project could be good integration and monitoring references for HCPV system operation.

Key words: HCPV System, Wireless Sensor Network, Shadowing Effect, Online Diagnosis, Cost Model

作者及所屬單位

計畫主持人：李國路副教授萬能科技大學管理與資訊系

共同主持人：林宏志副教授萬能科技大學電子工程系

共同主持人：王金印副教授萬能科技大學資訊管理系

壹、計畫緣起與目的

一、緣起

日本福島核災事件後，世界科技先進國家無不重新評估核能發電的潛在災害衝擊，紛紛考量暫緩增建，甚至廢除現有核能發電而謀求能源替代方案。而在目前再生能源電力的尋求中，普遍皆認為太陽光伏電力(Photovoltaic Electricity)是最為成熟、值得發展，且已商業化的技術，其發展及普及的速度遠較其他形式的再生能源為快，Displaybank 預估 2009 年到 2013 年全球太陽能市場的年複合成長率將達 45%，而 Yole Development 也預估太陽能模組市場將於 2012 年達到 40GW。其中，HCPV (High Concentrated Photovoltaic, 高聚光型太陽能)的轉換效率高達 41.6%，且具有節省電池材料、降低發電成本等優點，成為全球太陽能建廠的新選擇。

事實上 HCPV 發展的最大阻礙一直是發電成本仍高，但也被普遍認為是最有可能達到最低發電成本的經濟綠色能源。何況在全球環保意識高漲下，發電成本除產品本身外，未來還必須考量產品在生產過程中的碳稅成本。為因應此一問題，HCPV 發電系統藉由高轉換效率與低碳排放量等優勢，可真正實現再生能源應用於大型發電廠中的願景。將來若能大量興建 HCPV 電廠，除可減少台灣對核能發電的過度依賴，讓非核家園早日實現外，更重要的是，對台灣電子與其他工業產品而言，由於「碳足跡」的減量，在未來被歐盟與其他國家課的碳關稅也會相對較低，進而使台灣的加工出口業更具競爭力[1]。

而國內隨著「再生能源發展條例」的頒布，聚光太陽光發電系統也吸引民間廠商的積極投入，並在核能研究所的研發帶

領下，歷經系統整合及驗證階段，已完成諸如設在高雄縣路竹鄉示範場，總發電量 100 萬瓦的之大型高聚光太陽光電系統，同時更以前瞻的視野來探討與未來營運相關的各項議題。本計畫即為配合核能研究所進行太陽光發電系統之技術發展與營運相關研究之一，工作重點為應用自動環路監控技術，使用委託單位提供的資料，結合啟發式(Heuristic)演算法，考量直接日照(Direct Normal Irradiance, DNI)的變化影響，探討降低 HCPV 佈建遮蔽效應，以提升發電效能。另外，透過統計檢定方法，進行 HCPV 系統發電異常情形分析，確認系統診斷偵錯與失效原因，以提昇系統使用度，以及透過成本模式分析，提供系統維修與支援策略精進之參考，以提升 HCPV 系統操作與維修成本效益，優化系統建置目標。

二、目的

台灣雖然已具備先進的 HCPV 技術、模組和完整的產業鏈，以及諸如自己擁有人才與專利等領先的優勢[2, 3]，然而在這太陽光電產業旭升的同時，仍有許多議題深值重視，例如如何在實務上考量系統建置時太陽能面板相互遮蔽的效應之降低？如何考量系統建置後之操作及維護成本問題，提供系統維修與支援上預算之參考應用？如何建立監控技術獲取發電相關資料？如何以監控資料為基礎，建立系統之異常診斷分析？等等問題都是現階段如何讓 HCPV 產業拓展市場、進入成熟期的關鍵。因此，本研究團隊以 HCPV 系統在操作上及維護上的工作實務之所需，持續規劃進行研究，並以太陽光發電系統的技術發展為主軸，彙整國內外相關文獻及案例，希望藉以了解各先進國家與機構在高聚光太陽光發電系統操作與維修策略上的

作為，提供委託研究單位在 HCPV 系統效能整合上之建議，並在技術發展與系統運作、監控、維護的精進上能有所貢獻。

整體而言，國內在太陽能電力系統故障分析與及時監控方面，其理論與實務研究均尚待加強與努力，尤其在高聚光太陽光發電系統的操作與維護方面，學術單位與原能會核能研究所的密切合作更是當務之急。其中，如何降低 HCPV 佈建遮蔽效應，及配合自動環路監控技術，透過故障資料的搜集與分析以提升發電效能，是保護系統設計的基礎，也是制定良好工程標準及安全規範的先導性研究，可因此而建立良好的操作程序與維修精進作為，不論是提供太陽光電系統設計實務的參考價值、還是在其銷售後或建置後的永續服務，都具有基本的重要性。

為配合核能研究所進行太陽光發電系統之技術發展研究，以及預作未來系統營運之準備，在前述的背景下，本計畫以以下方向進行相關研究：

- (一) 應用啟發式演算法，透過地區性直接日照資料分析，改善 HCPV 佈建遮蔽效應，以降低發電量損失，提昇系統效能。
- (二) 以 HCPV 系統監控資料為基礎，建立系統異常之失效原因診斷分析。
- (三) 探討分析 HCPV 系統成本模式，提供系統維修與支援策略精進之參考。
- (四) 探討 HCPV 系統之自動環路監控技術及架構建立，獲取發電相關資料，分析強化系統效能。

貳、研究方法與過程

本計畫之研究方法，主要區分為收集資料與理論探討及資料分析兩部分：

一、收集資料

以案例彙集為重點，搜尋國內、外相關書籍、期刊，涵蓋太陽光發電的技術發展、額定功率與統計迴歸法等；另外包含：無線網路傳輸、無線通訊協定、ZigBee 標準、壽期成本分析模式及異常之失效原因診斷分析等之研究。

二、理論探討及資料分析

(一)有關應用啟發式演算法改善 HCPV 佈建遮蔽效應之部分：

啟發式演算法是一種新興的最佳演算法，其概念通常是經由觀察自然界所獲得的靈感，例如基因演算法（Genetic Algorithm，簡稱 GA）是源自於生物演化，此由密西根大學之 John Holland 教授於 1975 根據達爾文「物競天擇、適者生存」自然界理論所提出來解決數學搜尋問題之一種演算法則。此演算法是將問題參數編碼為染色體(Chromosome)，代表解空間中的一點，透過同時以多組的染色體在解空間中搜尋最佳解，演化過程中，利用迭代的方式執行選擇(Selection)、交配(Crossover)及突變(Mutation)運算來交換族群中染色體的資訊，藉此能夠避免在最佳化過程中陷入區域最佳解中及相對地加強搜尋全域最佳解的能力，此可應用於最佳化問題之工程運算，以隨機方式同時產生多組解，較佳的解被留下運算，經多次疊代即可求出最佳解，就如同模擬生物間之競爭，不適合之物種會被自然環境所淘汰，而適合自然生存環境的倖存者得以繁衍下一代的觀念，可以幫助我們

從很大的問題空間中找出最適合的解答。

基因演算法之優點為

1. 基因演算法可同時多點搜尋，對於多峰或多谷之函數而言，其較傳統以點對點搜尋之演算法更有能力求得整體最佳解(Global Optimum)。
2. 先以編碼後再行運算，而不是以變數直接進行演算，所已對於是否連續或可否微分之限制及跳脫搜尋空間限制的能力極強。
3. 透過輪盤法選擇、交配及突變，因此得到整體最佳解的機會，比一般傳統演算法要大上許多。
4. 基因演算法之搜尋方向乃根據適應函數隨時調整，雖為隨機取樣，也非盲目搜尋。
5. 因演算法易於程式之開發。
6. 即使暫行解落入非可行解區域，基因演算法亦有能力求得接近之最佳解(Near-optimal Solution)。

首先來定義演算法中基本運算元之意義，將最基本的一個位元 (bit) 稱為基因(Gene)。染色體 (Chromosome) 為位元所組成之字串定義為染色體。若搜尋變數以字串方式表示時，此字串即稱為染色體。而個體 (Phenotype) 是生物學中為一群染色體之組合，數學上的解釋為方程式解的組合。族群 (Population) 是許多個體的組合。因基因演算法是利用許多生物一同競爭之觀念，故產生大量不同之個體代入方程式，藉由競爭以獲得最好的解。世代 (Generation) 為運算次數，即疊代次數。新世代 (Offspring) 是指父代經過基因演算後所產生之子代。在進行基因演算法運算之前，必須先隨

機地產生 S 個染色體，這 S 個染色體稱為初始族群(Initial Population)。族群中每個染色體亦稱為一個個體(Individual)，族群的大小則可依據問題的複雜程度而定，初始族群的意義就是在基因演算法的運算之初，利用隨機的選擇讓族群中體的基因能具有多樣性，同時使得搜尋能具有隨機和多點的特性。圖 2.1 所示為基因演算法流程圖。

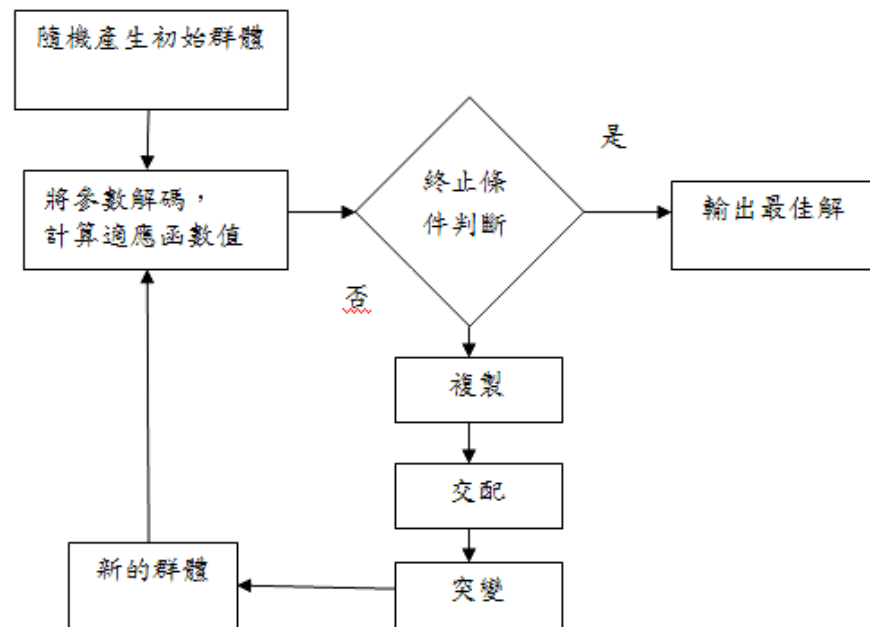


圖 2.1 基因演算法流程圖

茲將基因演算法的步驟簡述下：

(1) 基因編碼(Gene Encoding)與基因解碼(Gene Decoding)

在執行基因演算法時，必先將問題之決策變數編碼成字串(String)，例如將十進位之決策變數轉換成 0 或 1 所組成的二元字串。此字串的意義類似生物學上之染色體，而字串中的 0 或 1 即代表染色體中的基因。反之，解碼是將二元字串換回十進位之數值。

(2) 初始族群 (Initial Population)

一般而言，在開始進行基因演算法之前，初始族群中的個體（位元字串），都是以隨機設定的方式而得到。初始族群的性能指標一般都可能很低（非最佳解），因此需要透過複製、交配、突變三個階段之運算，使其性能指標達到最佳狀況。族群大小一般是由問題的複雜程度而定，而愈複雜的問題則需要愈大的族群規模求解，如果初始族群數太少時，則會造成其最後結果無法達到最佳解，因此適當的初始族群規模將有助於整體的運算。

(3) 適應函數 (Fitness Function)

基因演算法中，適應函數為評估族群中每一個字串（即每一個解）優劣的依據。透過適應函數之運算可得適應程度值，當適應程度值愈佳者愈有被選取的機會；反之適應程度值愈低者的字串愈容易被淘汰。在基因演算法中，若為無限制（Unconstraint）條件之最佳化問題時，一般皆以目標函數為適應函數求解；若為有限制條件（constraint）條件之最佳化問題時，則將目標函數結合處罰函數，來定義適應函數。

(4) 複製 (Reproduction)

複製是指字串中的染色體依據適應程度值大小，來決定該染色體生存至下一子代中的機率，類似生物中的無性生殖。因此適應程度高的染色體將有較高之機率被大量複製為下一代的新染色體，而適應程度低的染色體可能遭受被淘汰。複製的過程可採用輪盤式選擇，這是在每一代的演算過程中，先依其染色體之適應程度高低

來決定其在輪盤上之大小，適應程度越高者其在輪盤上所佔之面積亦較大，反之則所佔之面積較小。此面積大小之比率即代表染色體被挑選至下一代的機率，將此機率乘以族群大小取整數即為該染色體被複製的個數。被複製之染色體將被置於配對池（Mating Pool）中以進行交配（Crossover）之程序。複製的過程亦可採用競爭式選擇，即在每一代的演化過程中，首先隨機地選取兩個或更多個物種(字串)，具有最大適應函數值的物種即被選中送至交配池中。競爭式選擇所需的計算量較少、且可以藉由一次選取物種個數的多寡來控制競爭的速度。

(5) 交配（Crossover）

經過複製過程後之染色體會被送至交配池內進行交配的程序，在交配池中，是以隨機方式選擇兩個不同之染色體及一或多個交配點來進行配對，藉由交換彼此基因位元值，而產生兩個新的染色體。因此新的染色體在下一次的複製過程中，再將適應程度高的染色體大量複製到配對池，如此反覆以累積上一代優秀的位元資訊，用以產生越來越優質的下一代。交配過程發生的機率由交配率來控制。一般而言交配率（Crossover Rate）通常介於 0.1 至 1 之間，交配過程常見有三種型式 (a)單點交配 (Single Point Crossover) (b)雙點交配 (Double Point Crossover) (c)字罩交配 (Uniform Crossover)。

(6) 突變（Mutation）

自然界的生物有時會突變一小部分的基因，藉此突變機制來增加族群成員對所生存環境產生急遽變化時的

適應能力，則在求解最佳化問題的過程中，為了避免太相近的兩個字串所交配出來的下一代相似度太高，而侷限於某一個範圍，以致於無法跳脫而漏失了其他可能較佳的染色體，導致過早收斂於次佳解或陷入局部最佳解。因此，可經由突變運算子來增加個體的變化性。突變過程是在隨機選取的任一染色體中，隨機選取突變點或突變區間，然後改變此位置上之位元值，對於二元字串而言即為將突變處之位元作 $0 \rightarrow 1$ 及 $1 \rightarrow 0$ 之轉換。突變過程之發生機率由突變率所控制。一般而言，突變率設定在 $0.01 \sim 0.1$ 之間，當設定為 0 時則基因演算法得不到全域最佳解，設太大則無法收斂。如假設突變率設定為 0.09 ，而個別基因字元以隨機亂數 ($0 \sim 1$) 的方式產生一個數值，若此數值小於 0.09 ，則進行突變，反之則繼續檢查下一個位元。

(7) 終止演算

因為基因演算法是不斷的競爭繁衍，若沒有設定終止運算之條件，演算將一直持續，故當適應方程式運算達到所設定之標準時，即可停止運算；反之若未達到標準，則繼續運算。而設定停止標準原則尤為當每一代最佳解變化十分微小或連續幾代之最佳解沒有變化，便可達到標準可停止運算。

本研究是應用啟發式演算法改善 HCPV 佈建遮蔽效應，這裡的啟發式演算法將採用基因演算法。接著來探討太陽光電追日系統和陣列相互遮蔽等問題，關於太陽光電追日系統

的研究已經有許多相當不錯的研究成果，Walranven 所提出以數學模式計算太陽位置的方法，但是須透過時區等各種換算，顯得較為麻煩，且其提出之方法僅適用於北半球而已；Braun 和 Mitchell 等人所提出的方法則著重於推導出不同追日模式的方位角及仰角，但卻不適用於熱帶地區；Cucumo 則修正成可以適用於任何緯度的公式。林俊銘等將多篇論文的符號加以統一，並省略一些在台灣地區不必考慮的特殊情況，整理歸納成淺顯易懂的簡單公式，再經由實測驗證其準確性，以便供後續研究者參考使用。綜觀上述研究，當太陽的行進軌跡可被確實掌握後，便可得知在任何地點、任何瞬間、應該如何調整太陽能系統，使其準確對準太陽日照角度，發揮最高之效能。

(二) 有關以 HCPV 系統監控資料探討系統異常失效原因診斷分析之部分：

有人誤以為 PV 技術建置的設施可操作 30 年而無故障 [18]，但由於環境氣候的影響，及本身模組、元件的壽命長短各異，甚至操作上的不良情形，都會造成系統失效發生的可能性。失效的發生，若能及時得到監控與判別，進而確認系統異常的類型與可能的後果，將可判斷是否須進行迅速而得當的處置，以使系統的損失降至最低，而且不致讓損失繼續擴大。

本研究的目的是在於建立一套異常資料的收集與分析機制，以作為系統操作效能變異之監控與失效原因判別之用，使能即時有效地掌握所建置之聚光太陽光發電系統的動態資

訊，作為後續系統品質掌控之參考。本研究延伸「HCPV 系統整合及監控技術精進」[19]計畫，及「資料探勘技術在 HCPV 系統上之應用」[20]計畫，進一步探討太陽光電發電系統的差異性分析問題，結合已完成之管制圖分析、變異性分析與失效分析，希望呈現 HCPV 系統之資料分析、監控、與判別之完整機制(參考圖 2.2)。

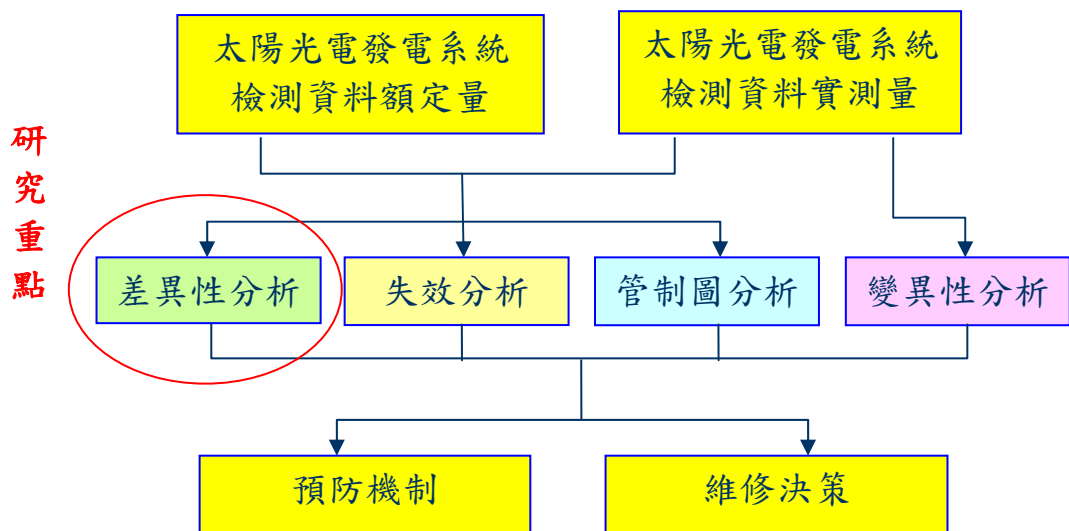


圖 2.2 HCPV 系統資料之分析、監控、與判別流程圖

圖 2.2 中的四項分析進一步說明如下，本研究的重點則在差異性分析上：

- (1) 差異性分析：是利用太陽光電發電系統檢測資料的額定量與實測量之間的差異進行探討，其主要目標為：
 - A. 檢討太陽光電發電系統檢測資料額定量的正確性。
 - B. 檢討太陽光電發電系統檢測資料實測量獲得的正確性。
 - C. 預先了解上述額定量與實測量之間的差異原因，提

供操作分析進一步變異探討之依據。

D. 須結合事前與事後分析。

(2)失效分析：是指蒐集失效資料所進行的各類分析，現階段(操作初期，失效資料有限)失效分析的主要目標為：

A. 記錄失效設備、失效時間、失效代號、失效恢復時間等資料，以供系統故障分析探討，及進一步作為可靠度分析之用。

B. 適時提供設備警訊予維護人員進行維修之判別。

C. 提供各類管理報表予設備管理人員參考，以作為維護策略改善之依據。

D. 可於事前或事後分析。

(3)管制圖分析：當 MW 級 HCPV(百萬瓦級的聚光型太陽能發電)系統運作時，可視為上百座陣列的同時運作，由於每座發電陣列均受到許多機遇因素及非機遇因素的影響，這些影響有些只針對各自，有些則遍及整體，因而造成每座發電陣列的效能也都產生變異而有所不同。管制圖分析的主要目標為：

A. 發現每座陣列各自的異常情形(於不同時間的自我比較)，及時解決非機遇原因，恢復發電效能。

B. 屬於事中(線上)分析。

(4)變異性分析：由於每座發電陣列均受到許多機遇因素及非機遇因素的影響，這些影響有些只針對各自，有些則遍及整體，因而造成每座發電陣列的效能也都產生變異而有所不同。變異性分析的主要目標為：

A. 發現每座陣列間的異常情形(於相同時間的相互比

較)，及時解決非機遇原因，提升發電效能。

B. 屬於事後(線外)分析。

對一個已經部署服役的聚光太陽光發電系統而言，這些異常或失效的資料可能來自於系統設備本身(包括：太陽光電池或模組、追蹤系統、電力系統元件)的使用故障、環境因素的改變、操作上的失誤、甚至替換零件不良...等等。當系統在一個健全的監控系統下，各類系統特性的正常和不正常資料都可以隨時觀察與搜集，我們就可以運用各種分析概念，對系統進行品質控管，以維持系統的正常運作，或當判別出異常發生時，能及時進行得當的處置，以掌控系統效能。

當 HCPV 系統的相應輸出不能達到期望值，或系統功能低於規定的水準，這種不正常的運行狀態即是故障發生的徵兆或現象。而線上診斷偵錯機制就是要用來即時的檢查出系統功能失效的原因，判斷其功能失效的具體位置，並通過經驗或知識的累積以預測故障可能產生的影響與發展的趨勢等，進而採取可行的因應決策。

一般的 HCPV 系統常因龐大、複雜與設置地點的偏遠，若無適當的監測管理機制，將很難保持正常的營運與充足的效能，故如何建立即時與完整的診斷偵錯機制，便成為重要的議題之一。本研究係利用線上診斷偵錯機制，進行系統裝備預測及現況判斷，有別於上述文獻之探討，未來有助於 HCPV 系統之運轉，加速診斷偵錯時效、增加系統可用度、縮短維護人力及時間成本。

監控系統目的在於掌控、瞭解、記錄系統運轉及裝備現況。由即時及歷史監測資料，可預測及判斷系統裝備現況，

此乃線上診斷偵錯機制之精神，可作為廣泛失效模式之探討與問題解決之依據。如上所敘述，大部分文獻所提到的系統監控資料探討，也都集中在資料蒐集的軟硬體設施與架構設置方法上[21~25]，本研究將以 Silvano Vergura 等[26]所提出的監控與管理 PV 工廠的統計方法為藍本，主要以離線(Offline)的方式，結合線上(Online)的方法，利用統計上的敘述與推論程序來評估系統功效的好壞，再以各種統計推論演算法進行分析，希望透過這種線上與線外的監督方法，可以辨識操作失效發生的地方，而遂行即時診斷及偵錯的功效。整個程序將如圖 2.3 之離線的監控與管理流程圖所述。

(三) 有關探討分析 HCPV 系統成本模式之部分：

成本是太陽能發電最重要的採用與考量因素。但長久以來，傳統太陽能業者卻一直面臨無法有效提升多晶矽原料轉換效率的困境，故太陽能發電成本因此無法明顯降低，無法成為廉價電力來源，然而此趨勢與龐大潛在商機確實存在，目前發展的新太陽能技術主要將太陽能發電的成本能降到火力發電的水平，因此各國各廠仍競相投入，冀望透過新技術研發，能及早降低發電成本、提升普及率。而在諸多的太陽光伏發電方式中，HCPV 的轉換效率高達 41.6%，且具有節省電池材料、降低發電成本等優點，成為全球太陽能建廠的新選擇。根據美國 HCPV 大廠 Amonix 發起人 Vahan Garboushian 認為，HCPV 最有可能達到美國能源部(DOE)每度發電成本 0.06~0.07 美元的目標[27~29]。

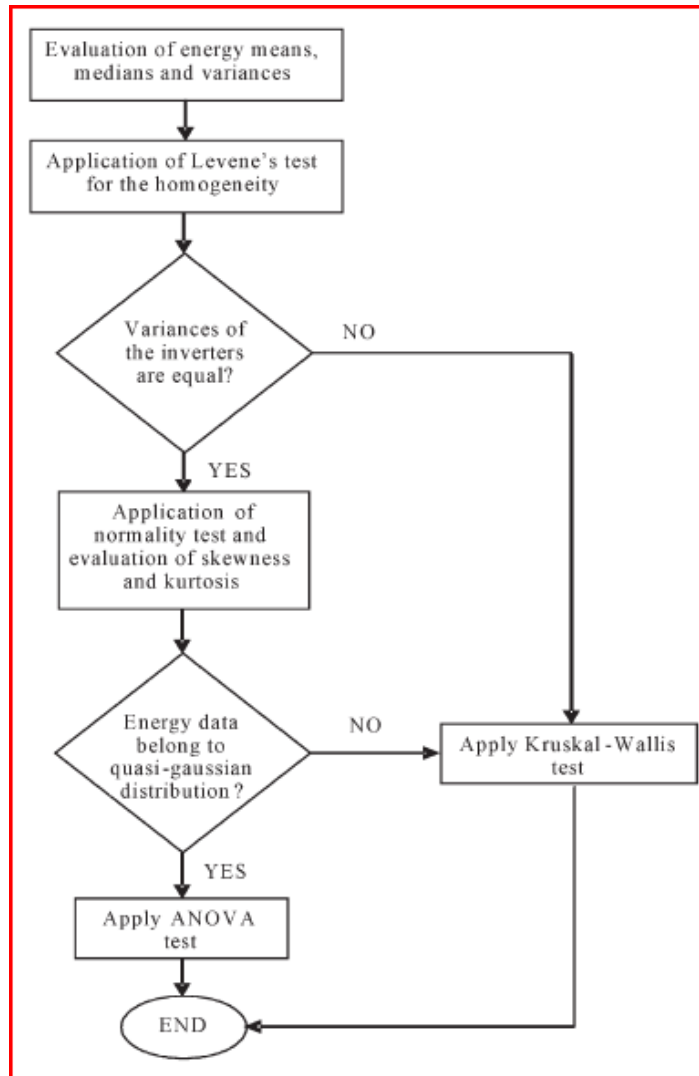


圖2.3 離線監控與管理流程圖

在全球環保意識高漲下，發電成本除產品本身外，未來還必須考量產品在生產過程中的碳稅成本。現行的燃煤、核能、地熱等發電技術，不僅對環境破壞較大，且加入碳稅評估後，每度發電成本皆大幅提升，然而若用排碳量較低的風力、水力與太陽能等再生能源發電，卻又往往有發電效率不足以及無法在用電尖峰提供穩定供電等缺陷。為因應此一問題，HCPV 發電系統藉由高轉換效率與低碳排放量等優勢，可真正實現再生能源應用於大型發電廠中的願景。事實上，若能大量興建

HCPV 電廠，除可減少台灣對核能發電的過度依賴，讓非核家園早日實現外，更重要的是，對台灣電子與其他工業產品而言，由於「碳足跡」的減量，在未來被歐盟與其他國家課的碳關稅也會相對較低，進而使台灣的加工出口業更具競爭力[30]。

一般，對於一複雜系統或產品的成本分析，往往需要考量到壽命週期成本(Life Cycle Cost, LCC)的概念。而 HCPV 系統基本上都屬大型系統或產品，故有必要引進壽命成本分析之研究。傳統的壽命週期成本結構解析圖如圖 2.4，系統壽命週期與壽命成本之關係則如圖 2.5 所示。其中可看出系統的主要成本是發生在操作支援與維護成本上，而非獲得(投資)成本的成本(參表 2.1)。若進一步考慮操作成本部份，則其主要項目可再概分為操作員訓練費、操作員人事費、操作設施費、與支援及搬運設施等費用等。若進一步考慮維護成本部份，則其主要項目可再概分為維護保養訓練、維護保養設施、維護人員人事費及行政支援、備份料件成本、測試支援裝備維護、運輸搬運處理、與技術資料等費用等[31~35]。

成本是太陽能發電最重要的採用與考量因素。如何能降低發電成本，便有賴於對系統整體成本結構的理解、掌控與管理。目前，HCPV 雖具有高轉換效率(達 41.6%)與節省電池材料的優勢，降低發電成本等優點，使得新太陽能技術能將太陽能發電的成本降到火力發電的水平，但要達到全面取代核能發電，成為主流電源或基礎電源則仍有很長的路要走。因之，對於 HCPV 系統成本模式之研究實有其必要性。

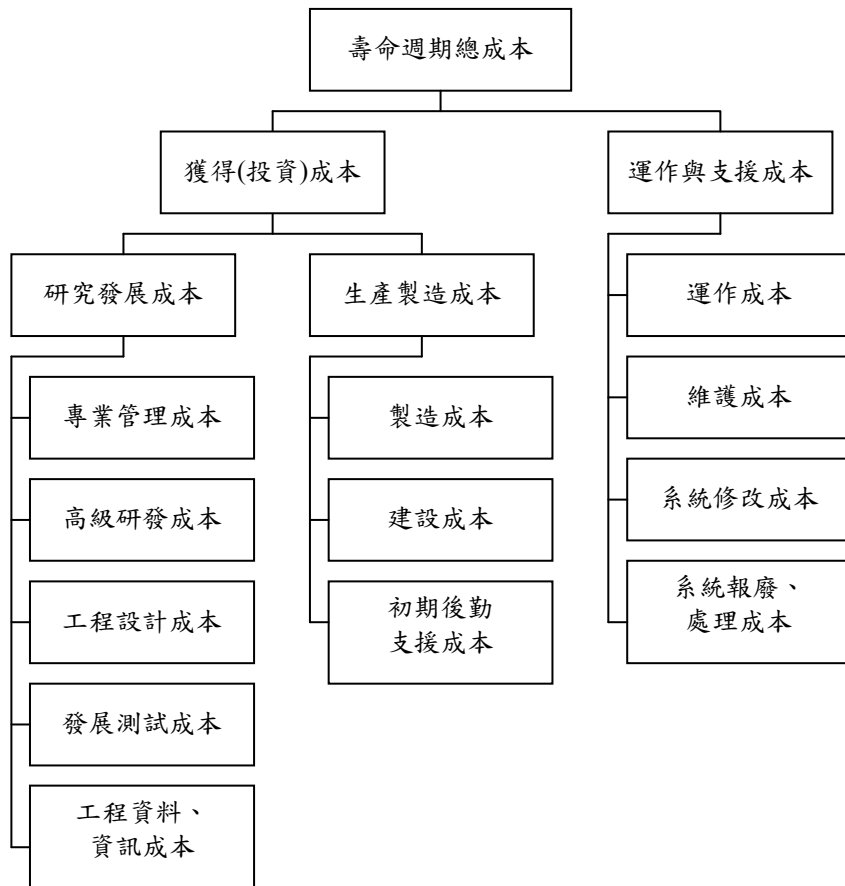


圖2.4 壽命週期成本結構解析圖[31]

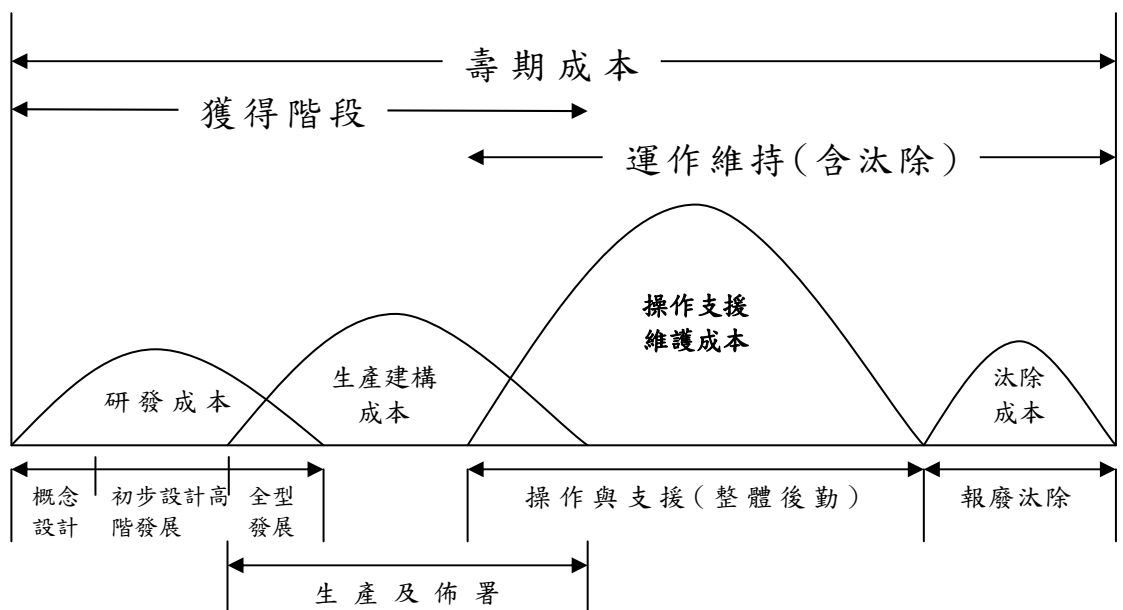


圖2.5 系統壽命週期與壽命成本基本觀念圖[33, 34]

表 2.1 壽期成本比例表[35]

成本項目	比例
研發成本	10%
生產建構成本	30%
操作支援維護成本	60%
系統汰除成本	—
合計	100%

HCPV 系統是種具有壽命長、龐大複雜、且高成本特性的產品，因此，如何掌握並估算分析其「壽命週期成本」(Life Cycle Cost, LCC)是非常關鍵的議題。LCC 係系統(產品)在整個研製開發、採購獲得、持續擁有(包括使用及維持)，直到報廢除役的壽命週期中，所有花費的直接與間接成本的總和。它可以用來檢測系統功能參數之設計，適時予以變更改進，以增進系統的運作與成本效益。所以，HCPV 系統在研發製造或採購獲得時，必須以整個壽命週期的觀點來進行考量、選擇和評估，才能確保其在最符合經濟效益下，可以維持有效的運作與維護，並產生最大的電能。

在前述相關文獻分析中，已知系統的使用階段用在操作、支援與維護上的成本佔了壽期成本的半數以上[36]，顯見其重要性。而運作維持成本方面，主要包括：人力資源、人員及訓練 (Manpower, Personnel and Training, MPT) 成本、物料 (Material) 成本、設備 (Facilities) 成本[37, 38]，這些成本花費，主要在支援系統軟、硬體設備的運作、管理、維護與更新，必要時，亦可延長系統/產品的使用壽命。事實上，運作維持成本在壽期成本的估計中，扮演了直接而明顯的角色，也最值得加以重視。若能在系統運作達到滿足需求的效能下，將操

作支援成本降至最低，則必能有效降低整個系統的壽期成本，而所省下之經費便可用來研發或採購新式的裝備或料件，增加壽命的使用年限與效益，這也是壽期成本理論特別強調系統運作維持階段重要的原因之一。

壽期成本分析模式的實施與其他的分析工具一樣有一定的程序。一般壽期成本分析實施的步驟為：(1)確定分析目標、(2)設置限制條件、(3)建立成本結構解析圖 (Cost Breakdown Structure, CBS)、(4)選擇成本模式、(5)取得成本數據資料、以及(6)發展成本估計關係式 (Cost Estimating Relationship, CER)，最後得到系統的總壽期成本[39]。其中，總壽期成本係依據系統壽期區分各階段，並將各階段所產生的成本項目由上到下逐次展開，以便能夠將所有構成系統壽期成本的成本項目都考慮到，不致有任何的遺漏與重覆。另外，在展開成本細分架構時，分析人員需要將其細分至足夠的層級，使其能夠提供系統壽期成本評估所必要的資訊，並且要能夠分辨出佔有高成本比例的成本項目以及其中的因果關係，以及說明構成各種成本的參數及它們在分析過程中的功能。因此，在發展成本結構解析圖時，必須符合以下幾個特性[40]：

- A.所有在系統壽命週期內之成本項目都應該被考慮到，並且辨識出來，這包括系統的研發成本、生產建構成本、操作支援成本及汰除成本。
- B.在成本細分架構中的成本項目必須要有良好的定義，使相關人員對某項特定的成本項目有相同的認知，以避免成本的遺漏與重覆計算。
- C.成本必須被細分至所需要的層級，使得管理階層在評估不同

層面的系統設計與發展、生產與建構、及操作使用時有足夠的洞察力，同時也能從中分辨出在系統總成本中佔有較高比例的成本項目，及彼此之間的因果關係。

- D. 成本細分架構與被定義的成本項目應該以一種可以幫助分析人員對其所感興趣的領域進行分析的態度編成。例如，分析者希望以工程設計的功能來研究補給支援成本（Supply Support Cost），則其將與系統的其他部份無關。
- E. 成本細分架構與被定義的成本項目應該以一種可以將其迅速區分為生產者成本、供應者成本、或消費者成本的態度編成。
- F. 成本細分架構中被定義的成本項目應該與各種不同的管理資訊系統報告中可與其進行比較的成本項目相容而且一致。

(四) 有關分析 HCPV 系統之自動環路監控技術及架構建立之部分：

無線感測器網路 (Wireless Sensor Networks, WSN) 的發展，是由美國國防部(DARPA)資助給加州柏克萊大學(UC Berkeley)的一項研究計劃，原先的構想是應用在軍事上。例如在戰場上，使用無人駕駛的小飛機，帶著數以百萬的無線感測器，灑在監控敵軍的區域進行蒐集資料任務，一段時間之後，同樣派遣無人駕駛的小飛機，將感測器蒐集到的資料透過無線網路傳回小飛機上，並帶回基地加以分析。如此就不需要冒著極大的危險派遣兵力深入敵方，便可完成蒐集敵軍情報的任務。研究人員利用微機電系統(MEMS)技術，開發出一種體積與普通阿斯匹靈藥片大小相似的感測器，稱為智慧灰塵(Smart

Dust)。所以，WSN 是由一到數個無線資料收集器以及為數眾多的感測器(sensors)所構成的網路系統，而元件之間的溝通則是採用無線的通訊方式，其網路拓撲動態變化，具有自組織、自治、自適應等智慧屬性。WSN 所包含的技術則是整合了下列五種重要的技術：(1)感測技術 (2)微機電系統(MEMS)技術 (3)無線通訊技術 (4)嵌入式運算技術 (5)分散式資訊管理技術。WSN 在環境、軍事、氣候預測、醫療、智慧家庭以及外層空間探索等許多方面都具有廣泛的應用前景。

為了達到大量佈建的目的，無線感測網路必須具備低成本、低耗電、體積小、容易佈建，並具有感應環境裝置，可程式化、可動態組成等特性。ZigBee 技術的出現解決了無線傳感器網路發展的難題。ZigBee 技術彌補了低成本、低功耗和低速率無線通信市場的空缺。ZigBee 的命名源自於蜜蜂在發現花粉時，展現如同 ZigZag 形狀的舞蹈，看似隨意在跳的字形舞，實際上是將有花和蜂蜜的地方，正確地傳達給其他蜜蜂同伴。ZigBee 主要是由 IEEE 802.15.4 小組與 ZigBee Alliance 組織，分別制訂硬體與軟體標準，它是一種低傳輸速率(250kbps)、短距離、低消耗功率、架構簡單的技術，一般約為 50-100 公尺，依耗電量之不同，可提昇至 300 公尺。目前制定的頻段為全球的 2.4GHz ISM 頻段、美國的 915MHz 頻段，以及歐洲的 868MHz 頻段。在 2.4GHz 的 ISM 頻段，可使用的通道數為 16 個；在 915MHz 的 ISM 頻段，可使用的通道數為 10 個；在歐洲的 868MHz 頻段，可使用的通道數為 1 個。

ZigBee 在台灣地區適用的就是 2.4GHz 頻段，其底層使用的調變編碼模式為 DSSS 直接序列展頻技術，對於充斥於

2.4GHz 頻段的各種無線訊號，例如 WiFi、藍牙(Bluetooth)、家用無線電話等具有良好的抗干擾能力。ZigBee 技術具有很強的實際應用價值，能夠在任何時間，任何地點來有效地獲取和發送數據，是無線自動數據採集和監控系統的一種非常靈活的解決方案。ZigBee 採用較慢的傳輸速率，2.4GHz 頻段的實體層頻寬為 250kbit/s。同時 ZigBee 使用的無線電波功率較低，只有 1 毫瓦(大約是 802.11b 的 1%)。一般 ZigBee 傳輸晶片的接收解析度為-95dB，實際使用時傳輸的距離大約是 30~100 公尺，視布建環境狀況而定；依照不同需要，部分模組廠商也提供加強傳輸功率的版本，此功率加強版本的傳輸距離可達數百公尺。ZigBee 是一種開放式的基於 IEEE 802.15.4 協定的無線個人區域網 (Wireless Personal Area Networks) 標準。IEEE 802.15.4 定義了物理層和媒體接入控制層，而 ZigBee 則定義了更高層如網路層及應用層等。

ZigBee 產品已經在小區電力抄表、配變監控與聯網、高壓電力線監控、開關監控、智慧交控中得到應用。ZigBee 支援主從式或點對點方式運作，同時最多可有 255 個裝置鏈結，具有高擴充性。主要應用的方向在於家庭裝置自動化、環境安全與控制，以及個人醫療照護等功能，逐漸成為產業共通的短距離無線通訊技術之一。在 ZigBee 聯盟的推動下，ZigBee 技術結合其他無線技術，將可以實現無所不在的網路，非常適合用於需要傳輸周期性的數據、間歇性數據的場合。表 2.2 為 Zigbee 對其他無線通訊協定的比較。

ZigBee 本身會構成一個多節點網路，並會自動搜尋最佳化的路由路徑。這些節點的集合，就稱為一個 ZigBee 網路。ZigBee

網路是由三種不同角色的節點所構成，三種角色負責工作不同，對於硬體資源需求也不同。(1)第一種裝置稱為根節點 (Coordinator)，整個網路中只需要一個。Coordinator 負責的工作是起始建立一個網路，同時也是整個網路安全認證的中樞。

表 2.2 Zigbee 對其他無線通訊協定的比較

Features	ZigBee	802.11 (Wi-Fi)	Bluetooth	UWB (Ultra Wide Band)	Wireless USB	IR Wireless
<i>Data Rate</i>	20, 40, and 250 Kbits/s	11 & 54 Mbits/sec	1 Mbits/s	100-500 Mbits/s	62.5 Kbits/s	20-40 Kbits/s 115 Kbits/s 4 & 16 Mbits/s
<i>Range</i>	10-100 meters	50-100 meters	10 meters	<10 meters	10 meters	<10 meters (line of sight)
<i>Networking Topology</i>	Ad-hoc, peer to peer, star, or mesh	Point to hub	Ad-hoc, very small networks	Point to point	Point to point	Point to point
<i>Operating Frequency</i>	868 MHz (Europe) 900-928 MHz (NA), 2.4 GHz (worldwide)	2.4 and 5 GHz	2.4 GHz	3.1-10.6 GHz	2.4 GHz	800-900 nm
<i>Power Consumption</i>	Very low (low power is a design goal)	High	Medium	Low	Low	Low
<i>Security</i>	128 AES plus		64&128 bit encryption			
<i>Other Information</i>	Devices can join an existing network in under 30ms	Device connection requires 3-5 seconds	Device connection requires up to 10 seconds			
<i>Typical Applications</i>	Industrial control and monitoring, sensor networks, building automation, home control and automation, toys, games	Wireless LAN connectivity, broadband Internet access	Wireless connectivity between devices such as phones, PDA, laptops, headsets	Streaming video, home entertainment applications	PC peripheral connections	Remote controls, PC, PDA, phone, laptop links

除此之外，多數應用程式也都選擇以 Coordinator 為主要控制節點，負責蒐集整個網路的資料，同時派發控制命令等，所以 Coordinator 裝置通常都必須具備比較高的運算能力。(2)第二種裝置稱為路由器(Router)，亦即之前所提到的 Repeater。Router 節點本身具備主動探知路由路徑的能力，在整個網路中 Router 構成傳遞資料的主要通道。依據不同的使用情境，Router 可以是一個單純的轉送節點，也可以具備某些應用情境需要的功能，例如蒐集環境監控資料等。(3)第三種裝置稱為終端節點(End Device)。終端節點本身不具備主動探知路由路徑的能力，無論是發送或接收，都必須依靠 Router 或 Coordinator 節點才能進行。這種裝置的硬體資源需求最低，通常用來執行某些固定的工作，例如感測器、開關等。

ZigBee 通訊協定本身具備自動組織成一個網路的能力，這種功能在某些情境很便利，但是同時也會造成一些限制與困擾。在 ZigBee 通訊協定中，雖然封包的通訊允許無限制任意傳輸，但是網路的構成本身還是必須依循一個樹狀的拓撲結構，從樹根(Root，亦即 Coordinator)開始往外生長。裝置的網路位址，是在裝置加入時，由裝置在整體網路拓撲架構中的相對位置所計算得來。ZigBee 網路位址是一個 16 位元的數字，受限於整個網路位址數量，拓撲的廣度與深度也會受到限制。現行的 Zig-Bee 標準中，網路最深可以達到十五個階層，然而每個階層能夠允許的拓撲連線數量就會很少。亦即如果須要布建一個涵蓋範圍相當廣的網路時，就必須考慮使用叢集式(Cluster)的網路架構，並且混合 TCP/IP 網路來擴展整體涵蓋範圍。

ZigBee 網路的架構依據使用情境的不同，大致可以分成小型網路與大型網路兩種。這兩種網路形態的差異，不只是節點數量的多寡，更重要的是網路的深度與叢集(Cluster)的分布。當一個網路中的叢集數量不多，網路延伸層級不超過七階層的網路，就屬於小型 ZigBee 網路。相較於小型 ZigBee 網路，一個大型 ZigBee 網路則須跨越多個叢集，網路延伸層級超過十階層以上的複雜環境。大型 ZigBee 網路常見於醫院、教學機構等公共空間，以及工廠、跨越多樓層的大型辦公室等場所。大型 ZigBee 網路由於布建的環境複雜，因此在布建時須要經過詳細的規畫。同時因為網路的縱深長，單一節點能接受的連線數量(廣度)較小，因此須要布建較多的路由器節點，才足以支援連線的需求，整體來說成本比較高。圖 2.6 為 Zigbee 網路叢集式連線架構圖。

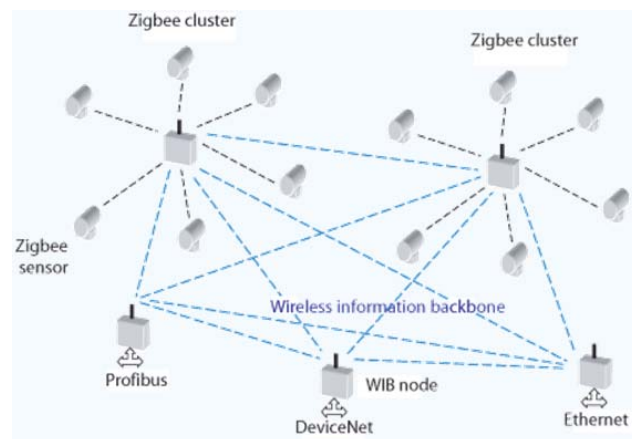


圖2.6 Zigbee網路叢集式連線架構

一個 ZigBee 的網路最多包括有 255 個 ZigBee 網路節點，其中一個是主控 (Master) 設備，其餘則是從屬 (Slave) 設備。若是通過協調器，整個網路最多可以支援超過 65000 個

ZigBee 網路節點。ZigBee 一共支援三種不同的網路拓撲結構，分別是星形，樹形和網狀結構。每種結構都有其自身的優點並能應用到不同的方案中。星形結構是最常用和最簡單的，它是由若干節點連接到一個中心節點。網狀結構能夠提供更高程度的可靠性。它由許多各種各樣的節點組成複雜的網狀結構，節點間可以互相通信，資訊可以通過不同的路徑達到指定節點，當某條路徑被干擾時，資訊還可以通過其他可用的路徑進行傳輸。樹形結構從本質上來說是星形結構和網狀結構的一種結合。Zigbee 的星狀圖、網狀圖和樹狀圖，如圖 2.7 所示：

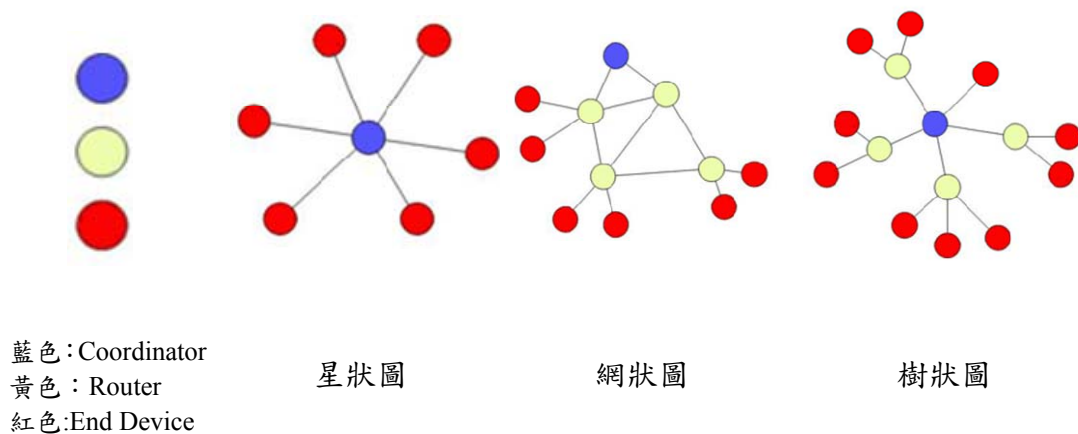


圖2.7 Zigbee星狀圖、網狀圖和樹狀圖

參、主要發現與結論

一、應用啟發式演算法改善 HCPV 佈建遮蔽效應之研究

地球繞著太陽公轉的平面(黃道面)與地球自轉的平面並非平行，其間有 ± 23.45 度範圍的差異，再加上地球繞太陽公轉的軌道(黃道面)是橢圓形而非正圓形，所以會產生磁偏角 δ (Solar Declination)或稱為赤緯角，其計算公式為(3.1)所示：

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\frac{360(284+n)}{365} \right] \quad (3.1)$$

實際上是地球繞著太陽公轉，但是以觀測者的立場來看，將自己所站的地球視為固定不動，而將太陽看成是繞著地球轉動的方式，這樣比較容易理解與接受，以利後續相關日照陰影的計算，如圖 3.1 所示為地平座標系統，其中觀測者位於座標的原點 O。

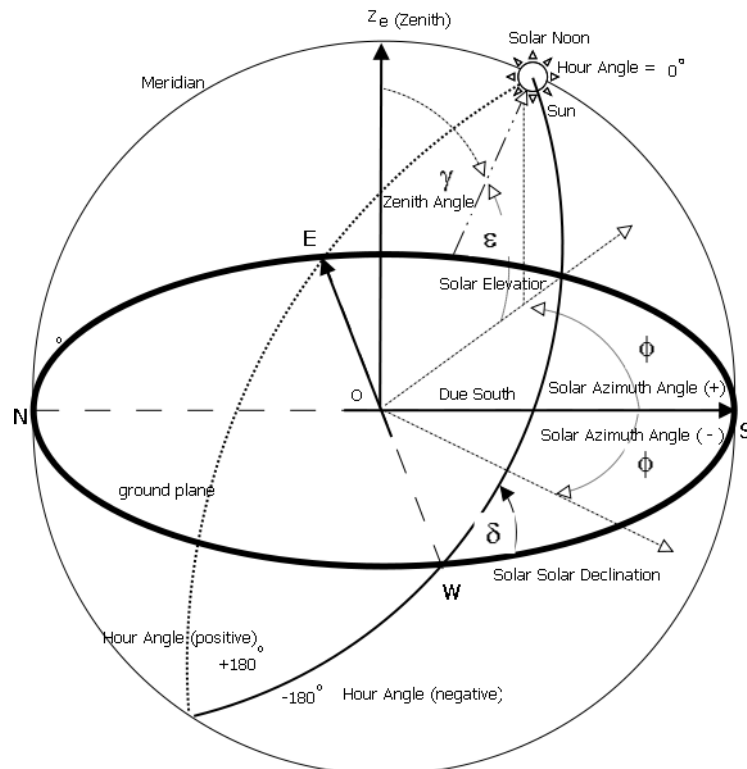


圖3.1 地平座標系統(太陽方位角 ϕ - 太陽仰角 ϵ)

我們將整個天空視為一個天體圓，則可看出，站在地球上的觀測者，其頭頂正上方與天體圓的交點為 Ze 點，即所謂的天頂(Zenith)，觀測者所看到太陽(Sun 點)與天頂(Ze 點)之間的夾角 γ 就是入射角，也稱為天頂角，其公式為(3.2)所示：

$$\gamma = \cos^{-1} [\sin \delta \sin \theta + \cos \delta \cos \theta \cos \omega] \quad (3.2)$$

這裡的 δ 為赤緯角， θ 為觀測者所在的緯度(Latitude)， ω 稱為時角(Hour Angle)。因為地球自轉一周約為 24 小時，所以太陽每小時大約自東往西移動 15 度(360o/24)。假如將正午(Solar Noon) 的時角定義為 0o，現以 24 小時制的時間 H(太陽時間：Solar Time)，故時角 ω 的計算公式為(3.3)所示， ω 為正數時，表是偏東方這邊，而 ω 為負數時，表是偏西方那邊。

$$\omega = 15^\circ \times (12 - H) \quad (3.3)$$

這裡的太陽仰角 ε 可以求得： $\varepsilon = 90o - \gamma$ ，而太陽方位角 ϕ (Solar Azimuth Angle)如公式(3.4)所示。方位角的值 0o 表示正南方，求出之值為正數，必須對於正負方位加以修正，上午採用正值表示偏東，下午需用負值表示偏西。

$$|\phi| = \cos^{-1} \left[\frac{\sin \varepsilon \sin \theta - \sin \delta}{\cos \varepsilon \cos \theta} \right] \quad (3.4)$$

為了研究太陽能面板相互遮蔽的效應，我們先用一根柱子立於觀測點 O，其高度為 H，如圖 3.2 所示，則其陰影的長度可以由式(3.5)獲得：

$$\tan \gamma = \frac{S}{H}, \quad S = H \tan \gamma \quad (3.5)$$

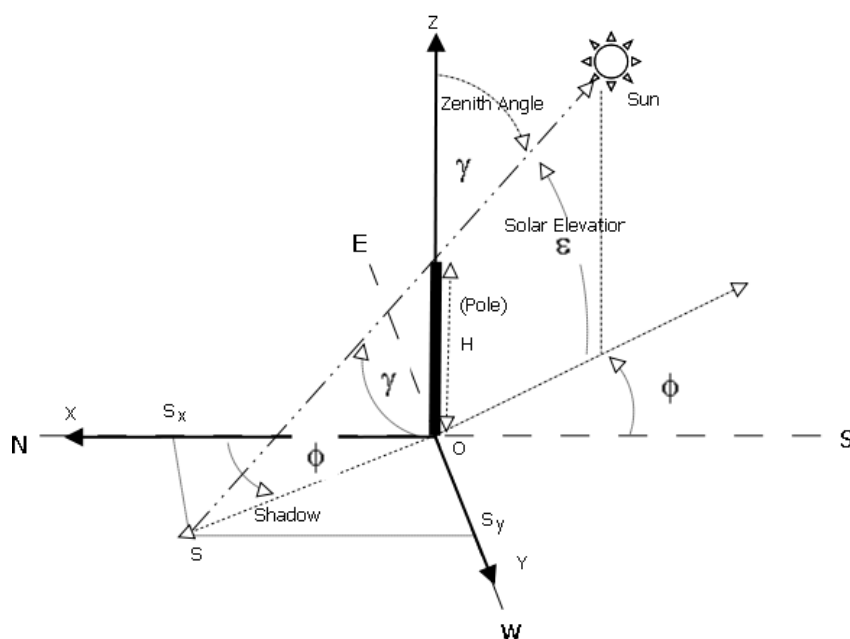


圖3.2 計算一根柱子的陰影

當求得陰影長度時，可進一步求得其在 X 和 Y 軸的分量，

如式(3.6)和 (3.7)所示：

$$S_x = H \tan \gamma \sin \phi = H \frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} \sin \phi = H \frac{\sqrt{(1 - \cos^2 \gamma)}}{\cos \gamma} \sin \phi \quad (3.6)$$

$$= H \frac{\sqrt{(1 - (\sin \delta \sin \theta + \cos \delta \cos \theta \cos \omega))^2}}{\sin \delta \sin \theta + \cos \delta \cos \theta \cos \omega} \sin \phi$$

$$S_y = H \frac{\sqrt{(1 - (\sin \delta \sin \theta + \cos \delta \cos \theta \cos \omega))^2}}{\sin \delta \sin \theta + \cos \delta \cos \theta \cos \omega} \cos \phi \quad (3.7)$$

這裡的 δ 為赤緯角， θ 為觀測者所在的緯度(Latitude)， ω 稱為時角(Hour Angle)，而 ϕ 為太陽的方位角 (Solar Azimuth Angle)。只要這些角度已知，則可求得其陰影的 X 和 Y 的長度分量。

因為受到太陽光電模組陣列佈建區域的限制，後排的陣列會受到前排陣列陰影的遮蔽，尤其是在日出和日落時的影響甚鉅。為了探究陰影遮蔽的影響範圍，必須應用相關於太陽和地

球的參數與方程式，計算出太陽方位角和仰角。太陽光電池模組陣列受到天空雲系對地面所產生短暫的陰影遮蔽效應，造成其輸出彙整後三相電壓不平衡的現象，導致電力的損失。由於天空雲系形成的大小、雲系移動的方向和雲系移動的速度等，變化極大，增加預測的困難度。同時，由於一年之中的太陽運行軌跡處於變動狀態，太陽光電陣列密集排列，相互之間的遮蔽效應將影響輸出發電，尤其是早晚時段，我們將從陰影遮蔽中獲取些許動態變化軌跡，建立特徵圖型，再應用影像處理和基因演算法來計算太陽光電陣列最佳的布建方式，亦即最佳的前後排距離 D 值，期望在有限面積的環境之下，獲得最大的總發電效能，如圖 3.3 所示。

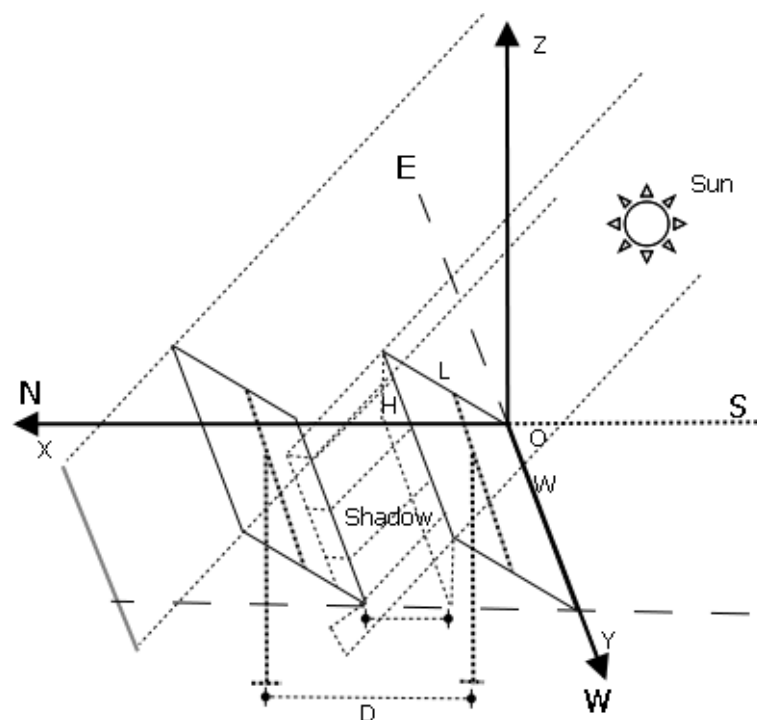
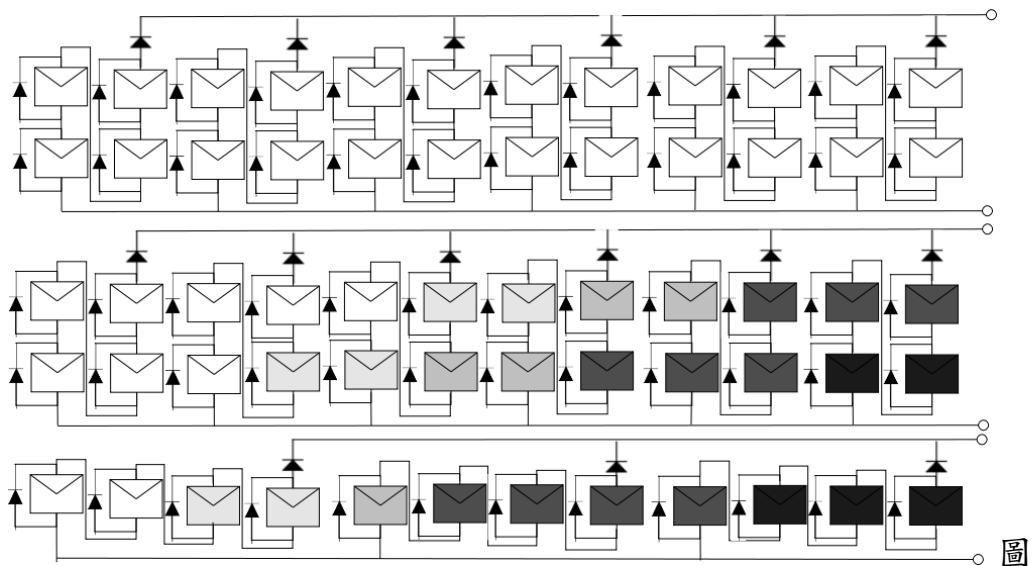


圖3.3 太陽光電陣列最佳的布建方式

太陽能電池模組是由許多太陽能電池所組成，當單一或少數電池因為老化、損壞或被樹葉、積雪所遮蔽，或是被雲朵遮

蔽，或是模組面板相互間發生部份遮蔽的情形時，對於單一太陽能電池模組或是多個模組串並聯時將產生重大影響。經由美國國家半導體實驗室測試和現場測試中收集到的結果發現，因為陰影或其他因素所造成的電池面板不匹配可能會導致太陽能電池面板產生不平衡的電量損失。研究發現電池面板只要有10%的陰影就會產生50%的能源損失。在太陽能光電陣列中可能有部分的電池板會受到不同形式遮蔽的影響，如圖3.4所示。當部分陰影的情況發生時，則電池面板不匹配就會是最嚴重的問題。這些因素在陣列中或太陽光電電池面板的串列中會造成重大的變化，因為缺乏統一的參數，電池面板陣列中不同的面板就會產生不同的MPP (Maximum Power Point)，這將導致面板陣列產生多重MPP，其結果將會造成電池面板不匹配並使得效能降低。簡而言之，就是實際的效能將會與預期的效能有極大的差異。



3.4 太陽能光電陣列之部分遮蔽

為了計算總體發電效能與在部分遮蔽下的發電效能，並簡

化計算的複雜度，我們以計算每個模組(Module)的能量輸出為基本單元。假設某一個模組是由 N_s 個太陽電池(Cells)串聯而成，且由 N_p 個太陽電池(Cells)並聯而成的。則其模組參數如式(3.8)所示：

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad I_m &= N_p I & I_{scm} &= N_p I_{sc} ; \\
 \bullet \quad V_m &= N_s V & V_{ocm} &= N_s V_{oc} ; \\
 \bullet \quad I_{phm} &= N_p I_{ph} & R_{sm} &= (N_s / N_p) R_s
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

這裡的模組電流為(3.9) ~ (3.12)式：

$$I = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT_k}} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \tag{3.9}$$

$$\frac{I_m}{N_p} = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{q\left(\frac{V_m}{N_s} + \frac{I_m}{N_p} \frac{N_p R_{sm}}{N_s}\right)}{nkT_k}} - 1 \right] \quad R_{sh} = \infty \tag{3.10}$$

$$I_m = N_p I_{ph} - N_p I_s \left[e^{\frac{q\left(\frac{V_m}{N_s} + \frac{I_m R_{sm}}{N_s}\right)}{nkT_k}} - 1 \right] \tag{3.11}$$

$$I_m = N_p I_{ph} - N_p I_s \left[e^{\frac{q(V_m + I_m R_{sm})}{nkT_k N_s}} - 1 \right] \tag{3.12}$$

現在求解模組的開路參數如(3.13) ~ (3.14)式，這裡的 $I_{ph} \approx I_{sc}$ 和 $I_{phm} \approx I_{scm}$ 。

$$I_m = I_{phm} - N_p I_s \left[e^{\frac{q(V_m + I_m R_{sm})}{nkT_k N_s}} - 1 \right] \tag{3.13}$$

$$0 = I_{scm} - N_p I_s \left[e^{\frac{qV_{ocm}}{nkT_k N_s}} - 1 \right] \tag{3.14}$$

$$I_s = \frac{I_{scm}}{N_p \left[e^{\frac{qV_{ocm}}{nkT_k N_s}} - 1 \right]} \tag{3.15}$$

最後求解模組電流(Module Current)如(3.15) ~ (3.19)式：

$$I_m = I_{scm} - I_{scm} \left[\frac{e^{\frac{q(V_m + I_m R_{sm})}{nkT_k N_s}} - 1}{e^{\frac{qV_{ocm}}{nkT_k N_s}} - 1} \right] \quad (3.16)$$

$$I_m \approx I_{scm} - I_{scm} e^{\frac{q(V_m + I_m R_{sm} - V_{ocm})}{nkT_k N_s}} \quad (3.17)$$

$$I_m \approx N_p I_{sc} - N_p I_{sc} e^{\frac{q(V_m + I_m R_{sm} - V_{ocm})}{nkT_k N_s}} \quad (3.18)$$

$$I_m \approx N_p I_{sc} - N_p I_{sc} e^{\frac{q(V_m - V_{ocm})}{nkT_k N_s}}, \quad R_{sm} = 0 \quad (3.19)$$

本研究之雲層遮蔽的模擬與呈現是假設影像圖 W 為 $M \times N$ 像素的平面灰階影像，如(3.20)式：

$$W = \{W(x_i, y_j) \mid 0 \leq x_i < M, 0 \leq y_j < N, W(x_i, y_j) \in \{0, 1, 2, \dots, g\}\} \quad (3.20)$$

其中 x 代表影像的列， y 代表影像的行，這裡採用 8 位元灰階影像，所以 g 值為 255。當雲層慢慢通過太陽能光電陣列時，被雲層遮蔽的模板陣列將會產生陰影，導致影像強度的改變(減弱)，此改變的數值可以計算出雲層移動的軌跡。令 W_t 為在單位 t 時間內所擷取到的影像序列，此影像序列數目的多寡隨著雲層移動的速度而改變，當雲層移動速度很慢時，單位時間的間隔變長，反之則變短。在本模擬研究採取 t 為一分鐘的間隔，亦即每隔一分鐘才取樣一次，當雲層在 $T = 10$ 分鐘內通過太陽能光電陣列時，則擷取遮蔽樣本為十張影像，所獲得的影像序列 W_t , $t = 0, 1, \dots, T$ 。另一模擬雲層遮蔽也採取 t 為一分鐘的間隔，亦即每隔一分鐘才取樣一次，當雲層在 $T = 15$ 分鐘內通過太陽能光電陣列時，則擷取遮蔽樣本為十五張影像，所獲得的影像序列 W_t , $t = 0, 1, \dots, T$ 。

本研究是在固定面積之下所佈建的太陽光電陣列之發電總量達到最大值，首先必須計算出每座太陽光電陣列在全年各個季節的發電量，當逐次增加太陽光電陣列時，如果要減少相互遮蔽的效應，必須增加每座之間的距離，然而會降低總發電量。相反的，如果拉近每座彼此之間的距離，雖然總座數增加，應可增加發電總量，但是每座之間相互遮蔽的影響嚴重，尤其是在日出後和日落前數小時之間。由於遮蔽效應的因素複雜，隨著不同的時間與地點而變化，相關影響因素眾多，本研究將採用基因演算法來求得最佳解。一般而言，基因演算法的數學模型可以表示為： $GA=F(C,E,P_0,M,\Phi,\Gamma,\Psi,T)$ ，式中的 C：個體之編碼方法、E：個體適應度評價函數、 P_0 ：初始族群、M：族群大小、 Φ ：複製運算子、 Γ ：交配運算子、 Ψ ：突變運算子、T：基因演算法終止條件。基因演算法的過程可概略說明如下：假設某一參數之數值範圍為(L,U)，我們使用長度為 K 的二進位編碼符號來表示該參數，則他產生 2^k 種不同編碼，其所代表的間距為(3.21)：

$$\delta = \frac{U-L}{2^k-1} \quad (3.21)$$

對於解碼方面，假設某一個體之編碼為 $b_k b_{k-1} b_{k-2} \cdots b_3 b_2 b_1$ ，則對應之解碼公式為(3.22)：

$$x = L + \left(\sum_{i=1}^k b_i 2^{i-1} \right) \frac{U-L}{2^k-1} \quad (3.22)$$

對於複製則是利用各個個體適應度的機率，來決定其子孫遺傳可能性。若設族群數為 M，個體 i 的適應度為 f_i ，則個體 i 被選取的機率為 p_i ，如公式(3.23)：

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{k=1}^M f_k} \quad (3.23)$$

當個體複製的機率決定後，再以亂數產生[0,1]之間的均勻隨機亂數，來決定哪個個體參加交配。若個體的複製機率大，則能被多次選中，它的遺傳基因就會在族群中擴大；若個體的複製機率小，則會被淘汰。對一個染色體字串的適應度評價由下列三個步驟組成(1)將染色體串進行反編碼(解碼)，轉換成真實值，例如 $x_k=(x_1^k, x_2^k)$ ， $k=1,2,3\cdots$ (2)評價目標函數 $f(x^k)$ (3) 將目標函數值轉為適應度。對於極大值問題，適應度就等於目標函數值，即 $\text{eval}(U_k)=f(x^k)$ ， $k=1,2,3\cdots$ 。

二、以 HCPV 系統監控資料探討系統異常失效原因診斷分析之研究

當 HCPV 系統運作時，由於均受到許多機遇因素(如：輻射、灰塵、遮蔽等外在環境因素)及非機遇因素(如：操作不當、機件不良、故障、或維修不力等人為或內在設備因素)的影響，因而會造成發電效能異常的現象。

當系統在一個健全的監控系統下，各類系統特性的正常和不正常資料都可以隨時觀察與搜集，我們就可以進行分析與判別，進而監控與維持系統的正常運作，或當判別出異常發生時，能及時進行得當的處置，以維持系統發電效能。經初步分析，目前的可行作法為：

- (1) 將太陽光電發電系統上所有的物理量（包括電壓、電流、頻率、功率及功率因數等）與環境資訊，透過感測器轉換為直流電流信號或直流電壓信號傳送。再透過資料擷取介面卡將所需的信號取至個人電腦。

- (2) 使用適用軟體程式將所擷取之信號還原成實際的數值，並計算各項發電量。
- (3) 進行資料儲存、即時顯示、並繪製動態曲線及歷史曲線。
- (4) 進行資料之統計分析、故障分類、與關連性探討，作為異常偵測之參考，即時提供維修資訊，確定故障的方位與解決對策，或預示故障的發生。

進一步將 HCPV 系統資料之分析、監控、與判別流程分成差異性分析、失效分析、管制圖分析、及變異性分析等四類，本期研究則置重點於差異性分析的部分。目前由計畫委託單位提供隨機抽取的四座 HCPV 系統機座之發電與環境資料提供本研究分析使用。原始資料分別命名為 C25~C28，資料蒐集期間為 101 年 2 月 7 日至 3 月 29 日。每座約含 17000 筆資料，資料項目包括日期時間、直流電、交流電、風速、最大風速、風向、溫度(大氣)、相對溼度、直射日照、全日照、與紫外線等 11 項。透過單因子變異數分析、相關係數比較分析、迴歸分析、預測方法與檢定方法等統計方法運用，分析與結果彙整如后。

(一) 各機座相互間的每日平均發電效率差異分析

為了解各機座相互間的每日平均發電效率(定義為：直流電/直接日照)差異，初步篩選掉部分功能性過小的值，篩選條件為：直流電 <1000 ，直射日照 <0.2 ，並以每日平均發電效率進行單因子變異數分析，結果(如圖 3.5)顯示四機座有顯著性差異。除可進一步探求差異的原因之外，亦可以目前的每日平均直流電產生值與其變異數作為觀察各機座每日的基準估計，以發現過大差異發生時之判別與監控依據。

摘要				
組	個數	總和	平均	變異數
C25	44	208955.8	4748.996	849686
C26	44	234355.1	5326.252	344378.7
C27	44	218700.7	4970.47	355145.4
C28	44	201440	4578.182	316079.8

ANOVA						
變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	13766862	3	4588954	9.840731	5.04E-06	2.65714
組內	80207466	172	466322.5			
總和	93974328	175				

圖 3.5 各機座相互間的每日平均發電效率差異分析

(二) 各機座資料相關係數比較分析

為了解各機座之直流電、交流電、風速、最大風速、風向、溫度(大氣)、相對溼度、直射日照、全日照、與紫外線等因素之間的相互關係，透過各機座原始資料之相關係數比較分析，結果如圖 3.6~3.9 所示。初步可發現四機座各自之相關係數趨勢一致：直、交流電均有接近 100%的相關，當作為迴歸分析之相依變數時，可擇一為主即可；風速與最大風速均有 92%以上之相關，當作為迴歸分析之獨立變數時，可擇一為主即可；全日照與紫外線均有 96%以上之相關，當作為迴歸分析之獨立變數時，可擇一為主即可；直接日照與全日照有約 60%之相關，當作為迴歸分析之獨立變數時，可擇一為主即可。

C25	直流電	交流電	風速	最大風速	風向	大氣溫度	相對溼度	直射日照	全日照	紫外線
直流電	1.0000									
交流電	0.9999	1.0000								
風速	0.2455	0.2449	1.0000							
最大風速	0.2500	0.2491	0.9289	1.0000						
風向	0.0575	0.0587	0.3235	0.1967	1.0000					
大氣溫度	0.3660	0.3647	0.1630	0.1225	0.2073	1.0000				
相對溼度	-0.3125	-0.3130	-0.2160	-0.2033	-0.2866	-0.3637	1.0000			
直射日照	0.8774	0.8779	0.2096	0.2099	0.0290	0.3641	-0.3112	1.0000		
全日照	0.6658	0.6670	0.2917	0.2882	0.1764	0.2551	-0.3288	0.5879	1.0000	
紫外線	0.6333	0.6339	0.2887	0.2937	0.1663	0.2760	-0.2801	0.4940	0.9715	1.0000

圖 3.6 C25 機座原始資料之相關係數比較分析

C26	直流電	交流電	風速	最大風速	風向	大氣溫度	相對溼度	直射日照	全日照	紫外線
直流電	1.0000									
交流電	0.9999	1.0000								
風速	0.2751	0.2735	1.0000							
最大風速	0.2855	0.2836	0.9291	1.0000						
風向	0.0356	0.0370	0.3237	0.1977	1.0000					
大氣溫度	0.3361	0.3331	0.1578	0.1181	0.2019	1.0000				
相對溼度	-0.3379	-0.3387	-0.2191	-0.2061	-0.2890	-0.3637	1.0000			
直射日照	0.8840	0.8846	0.2049	0.2050	0.0215	0.3625	-0.3124	1.0000		
全日照	0.6501	0.6510	0.2901	0.2865	0.1683	0.2522	-0.3321	0.5895	1.0000	
紫外線	0.6028	0.6028	0.2873	0.2922	0.1586	0.2722	-0.2833	0.4962	0.9721	1.0000

圖 3.7 C26 機座原始資料之相關係數比較分析

C27	直流電	交流電	風速	最大風速	風向	溫度大氣	相對溼度	直射日照	全日照	紫外線
直流電	1.0000									
交流電	0.9999	1.0000								
風速	0.2483	0.2478	1.0000							
最大風速	0.2583	0.2577	0.9254	1.0000						
風向	0.0201	0.0212	0.3037	0.1711	1.0000					
溫度大氣	0.3421	0.3406	0.1633	0.1222	0.1953	1.0000				
相對溼度	-0.3119	-0.3114	-0.1803	-0.1682	-0.2556	-0.3578	1.0000			
直射日照	0.8968	0.8971	0.2019	0.2030	0.0164	0.3655	-0.3106	1.0000		
全日照	0.6654	0.6664	0.2547	0.2520	0.1485	0.2517	-0.2958	0.6010	1.0000	
紫外線	0.6178	0.6184	0.2536	0.2604	0.1390	0.2733	-0.2423	0.5005	0.9679	1.0000

圖 3.8 C27 機座原始資料之相關係數比較分析

C28	直流電	交流電	風速	最大風速	風向	溫度大氣	相對溼度	直射日照	全日照	紫外線
直流電	1.0000									
交流電	0.9999	1.0000								
風速	0.2577	0.2560	1.0000							
最大風速	0.2714	0.2695	0.9265	1.0000						
風向	0.0465	0.0473	0.3102	0.1805	1.0000					
溫度大氣	0.2938	0.2913	0.1635	0.1238	0.1958	1.0000				
相對溼度	-0.3377	-0.3393	-0.1874	-0.1765	-0.2631	-0.3565	1.0000			
直射日照	0.8586	0.8589	0.2041	0.2051	0.0177	0.3608	-0.3080	1.0000		
全日照	0.6255	0.6264	0.2629	0.2603	0.1547	0.2487	-0.2987	0.5951	1.0000	
紫外線	0.5781	0.5784	0.2614	0.2680	0.1446	0.2711	-0.2468	0.4978	0.9692	1.0000

圖 3.9 C28 機座原始資料之相關係數比較分析

(三) 各機座資料之迴歸分析

為了解各機座之發電受不同環境因素影響之程度，先經上一節相關分析之結果，選取直流電為相依變數，再依直流電與各因素之相關係數高低，綜合考量各獨立變數間的可取代性，初步剔除了交流電、風速、全日照、紫外線等因數資料；其次，透過剩餘之各機座原始資料進行迴歸分析，結果如圖 3.10~3.13 所示。分析後可發現各機座全部實測量之直流電與其篩選後之因子間迴歸的調整 R2 值平均有 0.8 左右，代表迴歸模式均可接受。

迴歸統計	
R 的倍數	0.881417
R 平方	0.776895
調整的 R 平方	0.77683
標準誤	699.9594
觀察值個數	17101

ANOVA					
	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	5	2.92E+10	5.83E+09	11905.65	0
殘差	17095	8.38E+09	489943.2		
總和	17100	3.75E+10			

	係數	標準誤	t 統計	P-值	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
截距	-1019.54	69.84974	-14.5961	5.78E-48	-1156.45	-882.623	-1156.45	-882.623
最大風速	58.13931	3.513364	16.54805	4.93E-61	51.25275	65.02586	51.25275	65.02586
風向	0.11045	0.071498	1.544795	0.122414	-0.02969	0.250593	-0.02969	0.250593
溫度(大氣)	17.48287	1.659918	10.53237	7.35E-26	14.22926	20.73648	14.22926	20.73648
相對溼度	-3.27039	0.65849	-4.96649	6.88E-07	-4.56109	-1.97968	-4.56109	-1.97968
直射日照	5814.969	27.91126	208.3377	0	5760.26	5869.678	5760.26	5869.678

圖 3.10 C25 機座之迴歸分析

迴歸統計	
R 的倍數	0.891991
R 平方	0.795647
調整的 R 平方	0.795588
標準誤	664.6202
觀察值個數	17275

ANOVA					
	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	5	2.97E+10	5.94E+09	13447.36	0
殘差	17269	7.63E+09	441720		
總和	17274	3.73E+10			

	係數	標準誤	t 統計	P-值	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
截距	1.504037	66.17097	0.02273	0.981866	-128.198	131.2058	-128.198	131.2058
最大風速	95.91978	3.313633	28.94702	5.9E-180	89.42473	102.4148	89.42473	102.4148
風向	-0.36789	0.067654	-5.43781	5.47E-08	-0.5005	-0.23528	-0.5005	-0.23528
溫度(大氣)	0.167977	1.568271	0.10711	0.914703	-2.90599	3.241948	-2.90599	3.241948
相對溼度	-9.21472	0.621402	-14.8289	1.92E-49	-10.4327	-7.99671	-10.4327	-7.99671
直射日照	5771.142	26.29098	219.5103	0	5719.609	5822.675	5719.609	5822.675

圖 3.11 C26 機座之迴歸分析

迴歸統計	
R 的倍數	0.900719
R 平方	0.811294
調整的 R 平方	0.811237
標準誤	613.0705
觀察值個數	16663

ANOVA

	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	5	2.69E+10	5.38E+09	14322.52	0
殘差	16657	6.26E+09	375855.5		
總和	16662	3.32E+10			

	係數	標準誤	t 統計	P-值	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
截距	-352.941	61.99747	-5.69284	1.27E-08	-474.463	-231.42	-474.463	-231.42
最大風速	70.68355	3.136732	22.53414	8.7E-111	64.53523	76.83188	64.53523	76.83188
風向	-0.30071	0.063639	-4.72527	2.32E-06	-0.42545	-0.17597	-0.42545	-0.17597
溫度(大氣)	2.788132	1.475704	1.889358	0.058861	-0.1044	5.680668	-0.1044	5.680668
相對溼度	-4.77984	0.593422	-8.05471	8.5E-16	-5.94301	-3.61667	-5.94301	-3.61667
直射日照	5626.119	24.3972	230.6051	0	5578.298	5673.941	5578.298	5673.941

圖 3.12 C27 機座之迴歸分析

迴歸統計	
R 的倍數	0.867602
R 平方	0.752733
調整的 R	0.752659
標準誤	615.7833
觀察值個	16706

ANOVA

	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	5	1.93E+10	3.86E+09	10167.67	0
殘差	16700	6.33E+09	379189.1		
總和	16705	2.56E+10			

	係數	標準誤	t 統計	P-值	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
截距	562.0541	62.18611	9.038257	1.76E-19	440.1627	683.9454	440.1627	683.9454
最大風速	71.81652	3.136596	22.89632	2.9E-114	65.66846	77.96458	65.66846	77.96458
風向	0.047206	0.063816	0.739728	0.459476	-0.07788	0.172292	-0.07788	0.172292
溫度(大氣)	-16.1491	1.482303	-10.8946	1.51E-27	-19.0546	-13.2437	-19.0546	-13.2437
相對溼度	-11.128	0.592235	-18.7899	5.81E-78	-12.2889	-9.9672	-12.2889	-9.9672
直射日照	4769.713	24.65563	193.4533	0	4721.385	4818.04	4721.385	4818.04

圖 3.13 C28 機座之迴歸分析

(四) 各機座資料之迴歸分析與預測

為了解各機座發電之迴歸模式是否可作為預測之用，本節

中取各機座發電資料之直流電 >1000 、最大風速 <7 、直射日照 >0.2 、及時間：10:00~14:00 為條件值，將 0229 至 0326 等清洗後日期之資料為迴歸分析依據，來預測 0327 之直流電值，並與實測值相比較。結果如圖 3.14~3.17 所示，可發現四機座之直流電預測值與實測值在時間軸上的走勢一致，但透過 t 檢定進行差異分析(例如圖 3.18 所示)，可發現兩值之間均有顯著性(顯著不同)，代表隨時間之變化，尚有某種潛在因素存在，初步分析，最可能是來自空污、灰塵等累積遮蔽之影響。

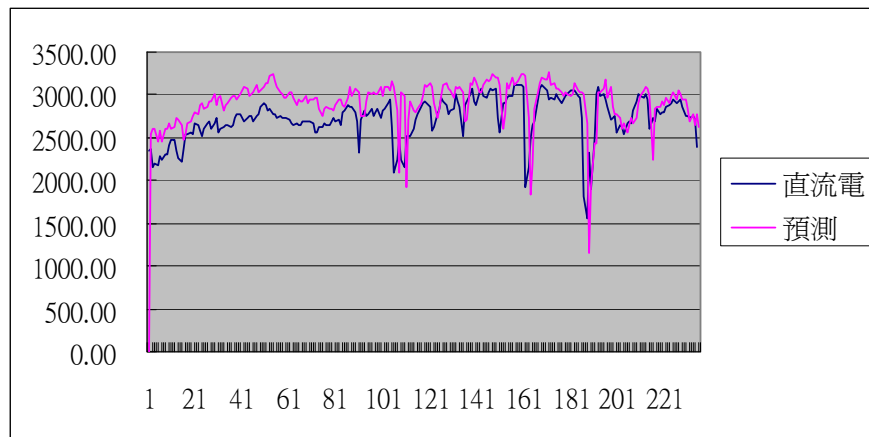


圖 3.14 C25 機座之直流電預測值與實測值比較

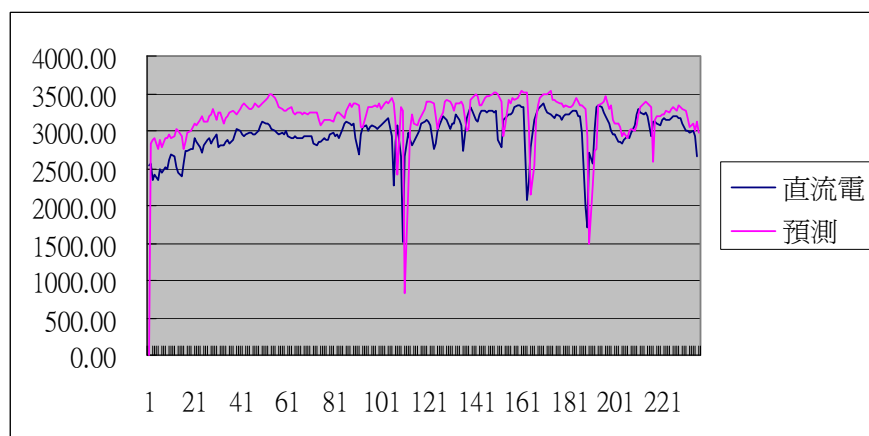


圖 3.15 C26 機座之直流電預測值與實測值比較

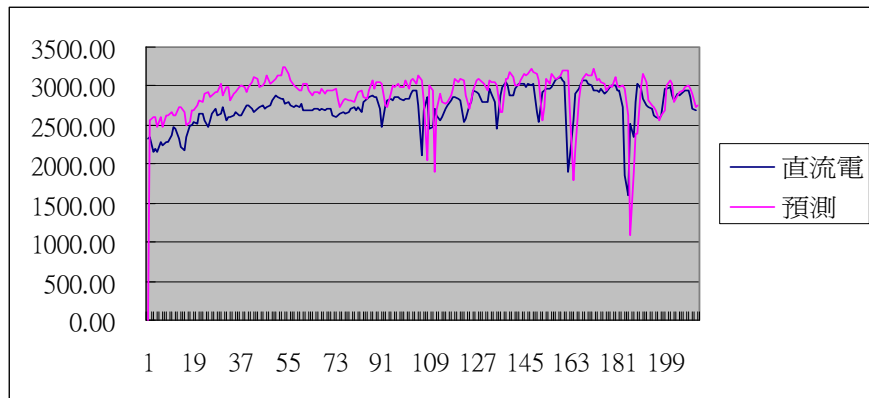


圖 3.16 C27 機座之直流電預測值與實測值比較

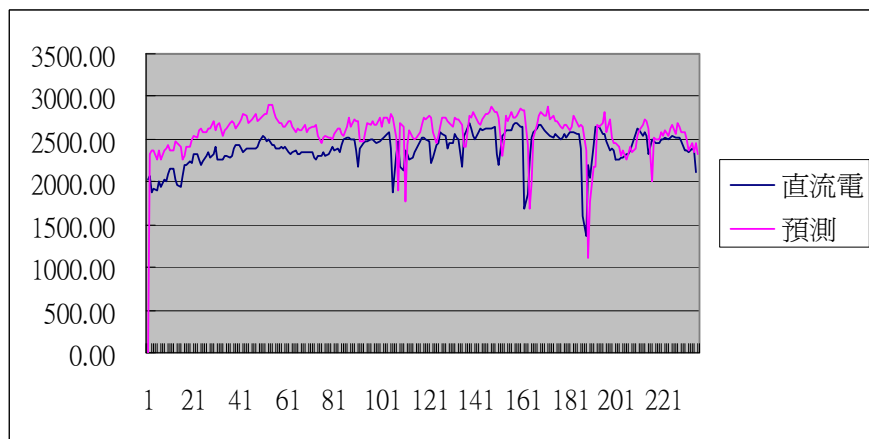


圖 3.17 C28 機座之直流電預測值與實測值比較

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數相等

	直流電	預測
平均數	2716.003	2958.361
變異數	90100.19	93226.97
觀察值個數	240	240
Pooled 變異數	91663.58	
假設的均數差	0	
自由度	478	
t 統計	-8.76898	
P(T<=t) 單尾	1.59E-17	
臨界值：單尾	1.648048	
P(T<=t) 雙尾	3.18E-17	
臨界值：雙尾	1.964939	

圖 3.18 C25 機座之直流電預測值與實測值之差異分析

(五) 各機座資料清洗前後之效率差異分析

為了解各機座之發電除受上述不同環境因素之影響外，是

否仍有其他不易測量之外在因素未納入考量。依委託單位之經驗，得知灰塵、空污也是可能影響的潛在因素。研究透過各機座清洗前後各兩日之發電效率(定義為：直流電/直接日照)資料為比較基礎，為增強有效性，設直流電>1000 為條件值，透過 t 檢定進行差異分析，結果如圖 3.19~3.22 所示。分析後可發現各機座清洗前後效率差異分析均有顯著性(顯著增加)，代表清洗之有效性(或確實存在灰塵等遮蔽之影響性)。

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數相等		
	清洗前	清洗後
平均數	4782.879859	6169.333677
變異數	768567.5656	1465985.515
觀察值個數	190	495
Pooled 變異數	1272995.775	
假設的均數差	0	
自由度	683	
t 統計	-14.39879144	
P(T<=t) 單尾	1.51959E-41	
臨界值：單尾	1.647087669	
P(T<=t) 雙尾	3.03918E-41	
臨界值：雙尾	1.963443314	

圖 3.19 C25 機座之清洗前後效率差異分析

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數相等		
	清洗前	清洗後
平均數	5267.676842	6470.351395
變異數	1211255.211	1217262.434
觀察值個數	219	534
Pooled 變異數	1215518.66	
假設的均數差	0	
自由度	751	
t 統計	-13.59447702	
P(T<=t) 單尾	4.31241E-38	
臨界值：單尾	1.646885135	
P(T<=t) 雙尾	8.62481E-38	
臨界值：雙尾	1.96312777	

圖 3.20 C26 機座之清洗前後效率差異分析

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數相等		
	清洗前	清洗後
平均數	4706.129981	6065.767143
變異數	616463.2593	796278.0556
觀察值個數	210	481
Pooled 變異數	741733.3641	
假設的均數差	0	
自由度	689	
t 統計	-19.08720249	
P(T<=t) 單尾	8.04089E-66	
臨界值：單尾	1.647068188	
P(T<=t) 雙尾	1.60818E-65	
臨界值：雙尾	1.963412962	

圖 3.21 C27 機座之清洗前後效率差異分析

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數相等		
	清洗前	清洗後
平均數	4537.820181	5634.765658
變異數	624257.2476	608615.6134
觀察值個數	211	507
Pooled 變異數	613203.2435	
假設的均數差	0	
自由度	716	
t 統計	-17.09880682	
P(T<=t) 單尾	1.59858E-55	
臨界值：單尾	1.64698457	
P(T<=t) 雙尾	3.19715E-55	
臨界值：雙尾	1.963282684	

圖 3.22 C28 機座之清洗前後效率差異分析

(六) 迴歸分析與預測修正探討

由前兩節所述可知，四機座之直流電預測值與實測值在時間軸上的走勢一致，但兩值之間均有顯著性差異，而透過清洗前後的資料分析，也發現確有空污、灰塵等累積遮蔽之影響。因此，可預期剛完成清洗的後幾日，迴歸模式的預測值與實測

值比較，將呈現低估現象，因此有必要昇高修正；而當清洗一段時日之後，受物染遮蔽影響，迴歸模式的預測值與實測值比較，將呈現高估現象，因此有必要降低修正。本節中以 C25 機座為例，分析做法如下：

(1) 取 C25 機座發電資料之直流電 >1000 、最大風速 <7 、直射日照 >0.2 、及時間：10:00~14:00 為條件值，將 0229 至 0326 等清洗後日期之資料為建立迴歸模式依據，昇高修正直流電值(+500)來預測 0301 之直流電值，並與實測值相比較，結果如圖 3.23 所示。並透過 t 檢定進行差異分析(如圖 3.24 所示)，可發現兩值之間已無顯著性，代表迴歸模式預測之可行性。

(2) 運用同(1)一樣的迴歸模式依據，但降低修正直流電值(-200)來預測 0327 之直流電值，並與實測值相比較，結果如圖 3.25 所示。並透過 t 檢定進行差異分析(如圖 3.26 所示)，可發現兩值之間已無顯著性，代表迴歸模式預測之可行性。

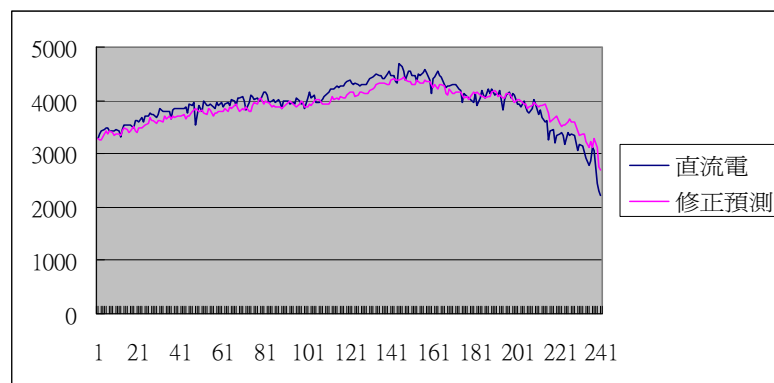


圖 3.23 C25 機座 0301 之直流電預測值+500 與實測值比較

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數相等

	直流電	修正預測
平均數	3926.559	3880.521
變異數	174169.4	102632.9
觀察值個數	241	241
Pooled 變異數	138401.2	
假設的均數差	0	
自由度	480	
t 統計	1.358454	
P(T<=t) 單尾	0.087479	
臨界值：單尾	1.648034	
P(T<=t) 雙尾	0.174958	
臨界值：雙尾	1.964918	

圖 3.24 C25 機座 0301 之直流電預測值+500 與實測值之差異分析

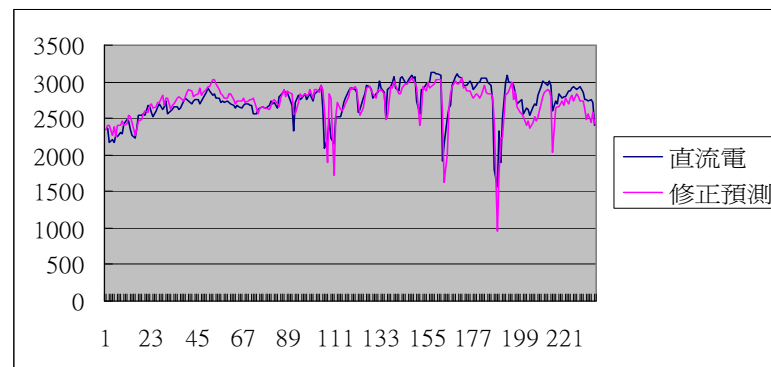


圖 3.25 C25 機座 0327 之直流電預測值-200 與實測值比較

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數相等

	直流電	修正預測
平均數	2730.165	2709.985
變異數	63735.82	66494.96
觀察值個數	235	235
Pooled 變異數	65115.39	
假設的均數差	0	
自由度	468	
t 統計	0.857263	
P(T<=t) 單尾	0.195869	
臨界值：單尾	1.648116	
P(T<=t) 雙尾	0.391738	
臨界值：雙尾	1.965046	

圖 3.26 C25 機座 0327 之直流電預測值-200 與實測值之差異分析

(七) 差異性分析小結

由前節之分析可以彙整結果如下：

1. 各機座相互間的每日平均發電效率有顯著差異。
2. 各機座資料相關係數比較分析後，可剔除交流電、風速、全日照、紫外線等共線性因數資料。
3. 實測量(全)之直流電與其他因子間迴歸的調整 R2 值平均有 0.8 左右，代表迴歸模式可接受。實測量(清洗後)迴歸分析之的調整 R2 值平均超過 0.8，代表迴歸模式更可接受。
4. 各機座清洗前後效率差異分析均有顯著性(顯著增加)，代表清洗之有效性(或灰塵等遮蔽之影響性)。
5. 迴規模式應用於預測驗證時，仍有顯著差異性，經過修正後，可發現預測的可接受性。修正量似乎有時間性，似乎也隱藏清洗之有效性(或灰塵等遮蔽之影響性)。
6. 未來研究可繼續朝灰塵、髒污隨時間變化之影響性，及清洗之功效與最佳時間間隔等作進一步分析與建議。

三、探討分析 HCPV 系統成本模式之研究

壽命週期成本(Life Cycle Cost, LCC)係系統(產品)在整個研製開發、採購獲得、持續擁有(包括使用及維持)，直到報廢除役的壽命週期中，所有花費的直接與間接成本的總和。它可以用來檢測系統功能參數之設計，適時予以變更改進，以增進系統的運作與成本效益。所以，HCPV 系統在研發製造或採購獲得時，必須以整個壽命週期的觀點來進行考量、選擇和評估，才

能確保其最符合經濟效益下，可以維持有效的運作與維護，並產生最大的電能。透過文獻的綜合研析，可將 HCPV 系統的壽命週期成本以(3.24)式表示[8~10]：

$$LCC = CI + CR + Co - CS \quad (3.24)$$

其中，

LCC=壽命週期成本

CI=期初成本，包括研製或購置成本與生產建構成本

CR=零配件或組件(定期)置換成本

Co=操作支援維護成本

CS=系統殘值(Salvage Value)或汰除成本(Disposal Cost)

對 HCPV 系統全壽命週期成本之計算過程，首先須將系統分解成「組成總費用」的各單元費用，將全部單元費用加總之後，才能算出該系統之「總費用值」；其次，運用各種費用評估方法，判斷費用單元；最後，根據各類費用發生的時間，考量時間價值的問題，全部轉成現值(Present Value)的形式加總而成。以下分項說明之：

(一) 期初成本(CI)的估算

HCPV 系統全壽命週期的「期初成本」包括研製或購置成本與生產建構成本，此成本會因使用技術的不同而變化，也可預期隨著科技的進步，而持續降低。

期初成本(CI) 的估計尚須透過 HCPV 系統的主要架構圖(如圖 3.27)的成本分析，分別估算出各項設備費與建置費，加總後得出。初步可分為：

$$CI = C_{AR} + C_{BO} \quad (3.25)$$

其中，

C_{AR} 為陣列(Array, 主要為光伏發電板陣列)成本；

C_{BO} 為系統平衡(Balance of System, 如其他之監控系統、逆變器、追蹤器、接線和短路裝置、與機械部分等)成本。

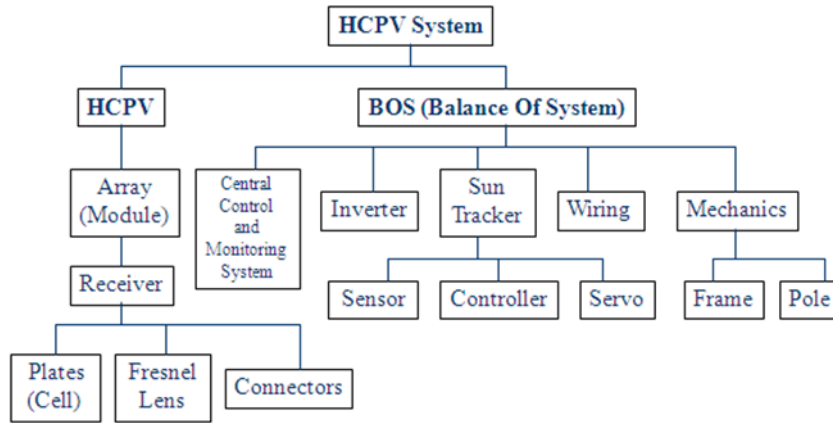


圖 3.27 HCPV 系統的主要架構圖

1. 估算 HCPV 的陣列成本(CAR)時，其過程將涵蓋陣列大小需求估算(公式 3.26)與模組數估算(公式 3.27)，最後再透過每陣列大小的單位成本估算值(公式 3.28)才能獲得，說明如下：

(1)對於陣列大小需求 W_S 之估算：

$$W_S = \frac{E_D}{H_S} \quad (3.26)$$

其中，

E_D 為設計的負荷量(Wh/day)

H_S 為每天的日照小時(h/day)

(2)對於模組數 N_M 之估算：

$$N_M = \frac{W_S}{W_p} \quad (3.27)$$

其中，

W_P 為每一個模組的峰瓦數(W)

(3)對於陣列成本 CAR 之估算：

$$C_{AR} = N_M \times W_P \times C_{WP} \quad (3.28)$$

其中，

C_{WP} 為每單位峰瓦的成本。

2.估算 HCPV 的系統平衡成本(CBO)時，須將組成之監控系統、逆變器、追蹤器、接線和短路裝置、與機械部分等成本一一計算加總，簡述如下：

$$C_{BO} = C_{CC} + C_{IN} + C_{ST} + C_{WI} + C_{ME} \quad (3.29)$$

其中，

C_{CC} 為中央監控系統的成本

C_{IN} 為逆變器的成本

C_{ST} 為追蹤器的成本

C_{WI} 為線路的成本

C_{ME} 為機械部分的成本。

(二) 置換成本(CR)的估算

對於零配件或組件(定期)置換成本 CR 的估算，可透過需要定期置換的零配件或組件項次、平均需要置換的期間與每次該項次置換所需的成本計算如下：

$$C_R = \sum_{k=1}^{N_{PM}} \sum_{j=1}^N C_{PM_k} \left(\frac{1+r}{1+i} \right)^{Y_{PM_j} - Y_0} \quad (3.30)$$

其中，

N_{PM} 為需要定期置換的零配件或組件項次

C_{PMk} 為第 k 類需要定期置換的零配件或組件的年度成本

Y_{PMj} 為第 k 類需要定期置換的零配件或組件的發生年度

(三) 操作支援維護成本(C_0)的估算

HCPV 系統全壽命週期的「操作支援維護成本」可以「年」為計算單位。維護成本費用可分為三種類型：(1)一次支付性成本，包括初始的陣列建置費、保障設備與設施費；(2)不定期支付的費用，包括不定期故障損壞的維修費用；(3)按年度支付的費用，包括人員工資、訓練費、差旅費、定期維修費、其他雜費等。這些費用成本也會受到利率與物價指數之影響。

「操作支援維護成本」的估算方式又可分為：

1. 人員成本費用 CP 之估算

人員使用成本大都是以年度計算，即使不是以年度計算，也可以調整成以年度為單位計算，其費用估算式如下：

$$C_P = N_p \sum_{j=1}^N (C_{WS} + C_{DE} + C_{TE} + C_{MF}) \left(\frac{1+r}{1+i} \right)^{Y_j - Y_0} \quad (3.31)$$

其中，

N_p 為系統使用人員數；

N 為系統使用年限；

C_{WS} 為人均年工資；

C_{DE} 為人均年訓練費用；

C_{TE} 為人均年差旅費；

C_{MF} 為人均年雜費；

Y_j 為第 j 項目的年度；

Y_0 為現值的所在年度；

r 為年平均物價上漲率；

i 為年平均利率。

2. 維修成本費用 C_M 之估算

維修費用中的小維修費是以年度方式支付的；而大維修費用項目則是以不定期方式支付的，則總維修費用估算式如下：

$$C_M = N_{SM} \sum_{j=1}^N C_{SM} \left(\frac{1+r}{1+i} \right)^{Y_j - Y_0} + \sum_{j=1}^{N_{LM}} C_{LM} \left(\frac{1+r}{1+i} \right)^{Y_{LMj} - Y_0} \quad (3.32)$$

其中，

N_{SM} 為年小維修次數；

N_{LM} 為大維修次數；

C_{SM} 為年平均小維修費；

C_{LM} 為平均大維修費；

Y_{LMj} 為第 j 次大維修的年度。

3. 保障成本費用 C_U 之估算

保障成本費用為年度支付的費用(如設備、施之保養費)，其費用估算式如下：

$$C_U = \sum_{j=1}^N (C_{YF}) \left(\frac{1+r}{1+i} \right)^{Y_j - Y_0} \quad (3.33)$$

其中，

C_{YF} 為年度支付各類保養、消耗性費用。

綜合以上可得： $C_O = C_P + C_M + C_U$ 。

(四) 系統殘值(CS)的估算

系統殘值(Salvage Value) 或汰除成本(Disposal Cost)是指系統報廢時回收的殘料價值，但這價值也可能因為需要報廢的處理花費而成為成本(負的價值)。一般經估算後的殘值，只需

透過年平均物價上漲率(r)與年平均利率(i)的調整成現值即可，算式如下：

$$C_S = C_{SN} \left(\frac{1+r}{1+i} \right)^{N-Y_0} \quad (3.34)$$

其中，

C_{SN} 為系統壽命周期結束後的估計回收殘料價值

因此，HCPV 系統全壽命週期成本可計算為 $LCC = C_1 + C_R + C_O - C_S$ 。

如同上述，HCPV 系統是種具有壽命長、龐大複雜、且高成本特性的產品。本研究將依此特性，透過時間價值(Time Value)的概念，來探討其壽命週期中主要的使用階段之操作與維護成本，希望藉此了解 HCPV 的成本架構模式，進而有效管控成本，達到降低成本的目標。

四、分析 HCPV 系統之自動環路監控技術及架構建立之研究

(一) 自動環路架構與標準及發展趨勢

無線網路發展的過程所訂出的標準如圖 3.28 所示，根據傳輸的距離可歸納為四大類，分別是無線廣域網路(Wireless Wide Area Network, WWAN)、無線都會網路(Wireless Metropolitan Area Network, WMAN)、無線區域網路(Wireless Local Area Network, WLAN) 和無線個人網路(Wireless Personal Area Network, WPAN)等。

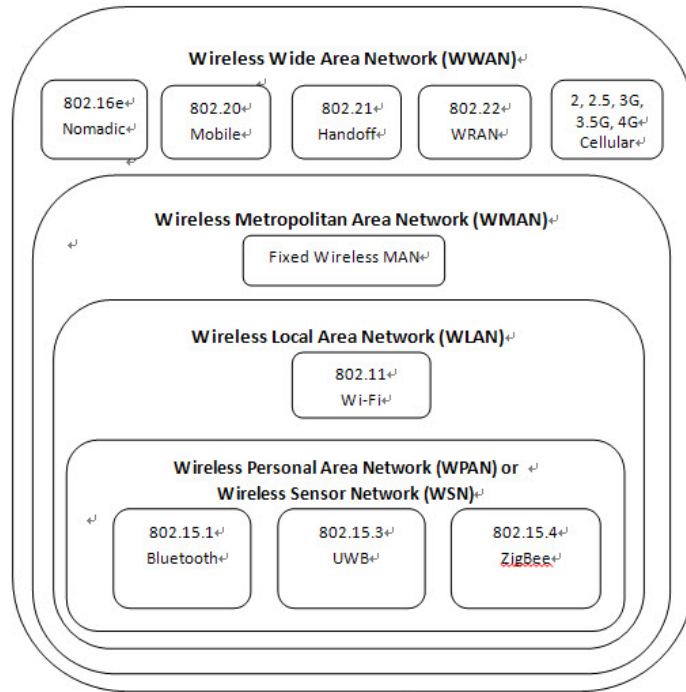


圖3.28 無線網路標準

由於無線網路元件消耗的能量是重要的考量，圖 3.29 為 IEEE802 系列無線網路傳輸速率與能源消耗對比。其中 IEEE 802.15.4 的消耗能量最低，但是傳輸的速率也是最少，所以，當以消耗能量為重要考量時，ZigBee 就是其中之一。更進一步分析，無線網路每 MB 之 RF 能源消耗如表 3.1 所示。

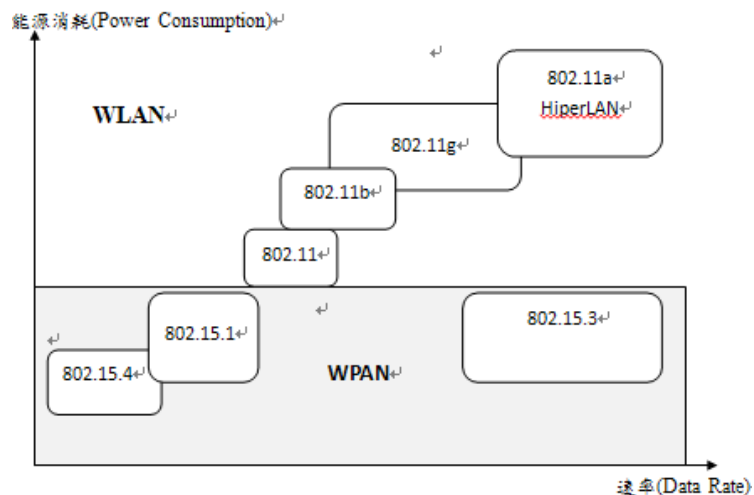


圖3.29 IEEE802系列無線網路傳輸速率與能源消耗對比

表 3.1 無線網路每 MB 之 RF 能源消耗

Type	Bit rate	TX Power	μ J/MB
802.11b (WiFi)	11MB	50mW	36,400
802.11a (WiFi)	54MB	200mW	29,600
802.11g (WiFi)	54MB	50mW	7,400
802.15.1 (Bluetooth)	1MB	1mW	8,000
802.15.3 (UWB / WiMedia)	55MB	0.2mW	30

ZigBee Smart Energy 2.0 在 2009 年由美國能源部 (Department of Energy)和美國國家技術標準局 (NIST)，選定為無線家庭區域網路(HAN)設備的初步互通標準。ZigBee Alliance 預計於 2012 年底發佈新一代 ZigBee Smart Energy 2.0 的 Smart IP 規範。ZigBee Smart Energy 2.0 的 Smart IP 規範最大的改變在於網路層與傳輸層改用網際網路的 TCP /IP 協定如圖 3.30 所示。

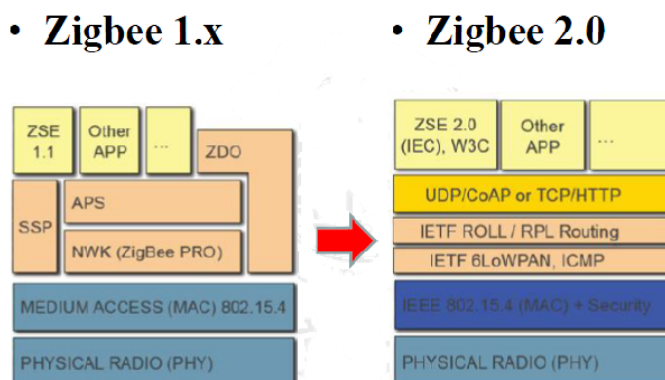


圖3.30 Zigbee 的演進

新的 Zigbee2.0 將整合異質網路於 Internet 架構下如圖 3.31

所示，更符合開放架構的世界潮流趨勢，同時在資料連結層中加入安全機制，滿足市場實際應用的需求，有利於產業的發展。

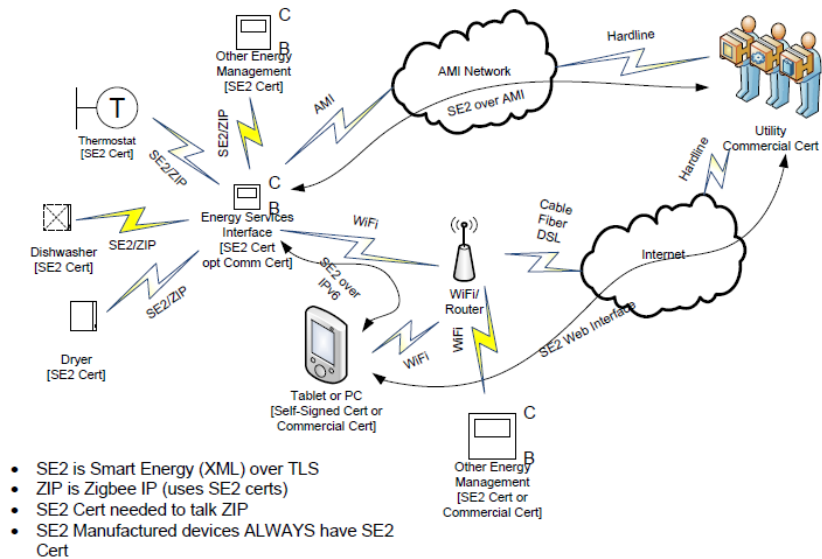


圖3.31 Zigbee2.0整合應用

(二) 巨量資料分析

高聚光太陽能發電 (HCPV) 系統在佈建完成及相關設定與校正後，通常能夠達到最佳的輸出發電量，然而隨著環境因素的改變，對於發電效能有極大的影響作用，有些環境因素是不能改變，例如風載效應等。然而有些是可以改善的，例如面板上面有灰塵的累積、飛鳥排泄物等，使得發電的效率與建置之初比較，逐漸降低。

本研究論文即是從輸出的發電量之變化和環境影響因素等巨量資料之中，以差異性分析(Variation Analysis)和資料探勘(Data Mining)等的技術，計算獲得 HCPV 系統效能降低的趨勢線，提供維護人員為面板清洗工作排定最佳的時程或其他改善措施的決策參考。這些分析可以降低在巨量發電資料中尋找問題線索。

在此論文裡就發電效益做了較精確的定義，並提出計算公式。但是本研究的之目標在於從 HCPV 的實際資料中計算而獲取其發電效能的衰減趨勢，以作為清洗面板的依據，所以不需要非常精確的計算公式，況且因為環境因數變化萬千，如果要求太精確，反而不實用。我們所使用簡易的計算方式(3.35)和(3.36)如下：

$$\eta = P_{\text{kwh}} / (G_{\text{DNI}} * A) \quad (3.35)$$

$$Ra = \eta / \text{Max}(\eta) \quad (3.36)$$

Where:

P_{kwh} : total measured AC energy production (kWh)

A : total module area (m^2)

G_{DNI} : Direct Normal Irradiance on the plane of the array (kWh/m^2)

Ra : normalized of η

本研究是將 G_{DNI} (x 軸) 對 Ra (y 軸)繪製座標點，並用簡單線性迴歸(Simple Linear Regression)來求出一條迴歸線。圖 3.32 所示的符號說明如下：Clean-25 表示第 25 座 HCPV 面板在最乾淨狀況下(剛剛清洗過面板)所得的迴歸線，Dirty-25 表示第 25 座(Base 25) HCPV 面板在最髒狀況下(準備清洗之前)所得的迴歸線，至於中間很多虛線是介於前述兩者狀況之間。

我們定義清洗指標(Clean Index, CI)百分比 CI 如式(3.37)，使得當 $CI = 0$ 時表示 HCPV 面板最乾淨，當 $CI = 100$ 時表示 HCPV 面板最髒，這些指標是根據前後兩次清洗之間而訂定的。

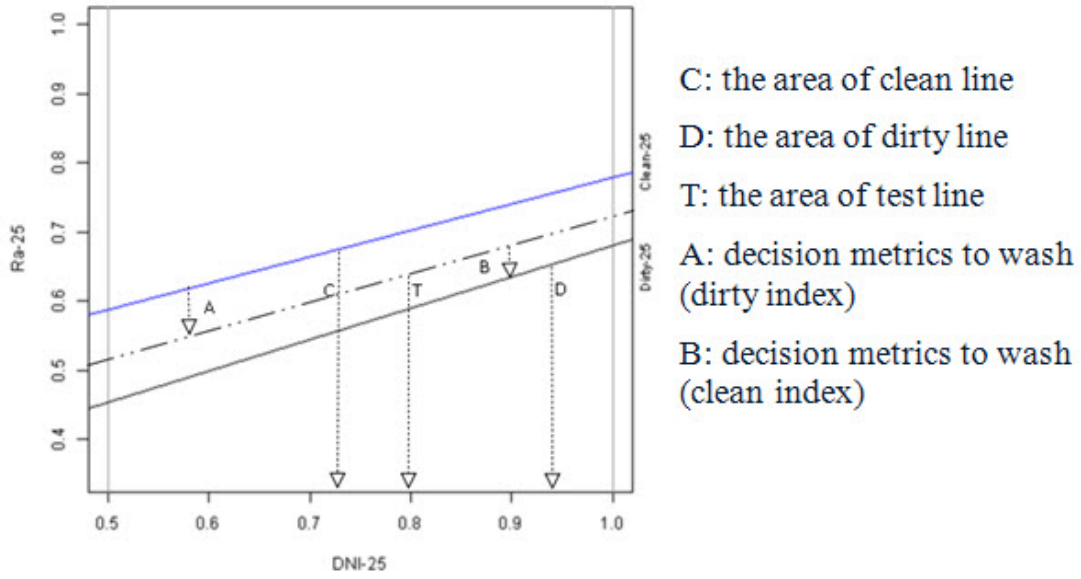


圖3.32 HCPV面板在清洗後到下一輪清洗前的迴歸線

$$C_I = \frac{A}{A+B} * 100\% \quad (3.37)$$

根據圖示，這裡的面積 $A = C - T$ ，而面積 $B = T - D$ ， C 為最乾淨迴歸線段下的面積， D 為最髒迴歸線段下的面積， T 為測試資料的迴歸線下的面積。從(3)式中可以獲得(3.38)式，假如 $T = D$ 則 $CI = 100\%$ ；假如 $T = C$ 則 $C_I = 0\%$ 。

$$C_I = \frac{C-T}{C-T+T-D} * 100\% = \frac{C-T}{C-D} * 100\% \quad (3.38)$$

進一步求得迴歸線下的面積，分別如(3.39)式、(3.40)式和(3.41)式，最後可得到 (3.42)式。

$$C = \int_a^b (c_0 + c_1 i) di \quad (3.39)$$

$$D = \int_a^b (d_0 + d_1 i) di \quad (3.40)$$

$$T = \int_a^b (t_0 + t_1 i) di \quad (3.41)$$

$$C_I = \frac{\int_a^b (c_0 + c_1 i) di - \int_a^b (t_0 + t_1 i) di}{\int_a^b (c_0 + c_1 i) di - \int_a^b (d_0 + d_1 i) di} * 100\% \quad (3.42)$$

我們運用前述式(3.35)和式(3.36) 分別對 Base 26 和 Base 27 所得到的原始資料做簡單線性迴歸計算，如圖 3.33，可獲得 HCPV 面板在最乾淨狀況下(剛剛清洗過)的迴歸線，其標示為 Clean-26 (or Clean-27)和在最髒狀況下(準備清洗之前)的迴歸線，其標示為 Dirty-26 (or Dirty-27)。

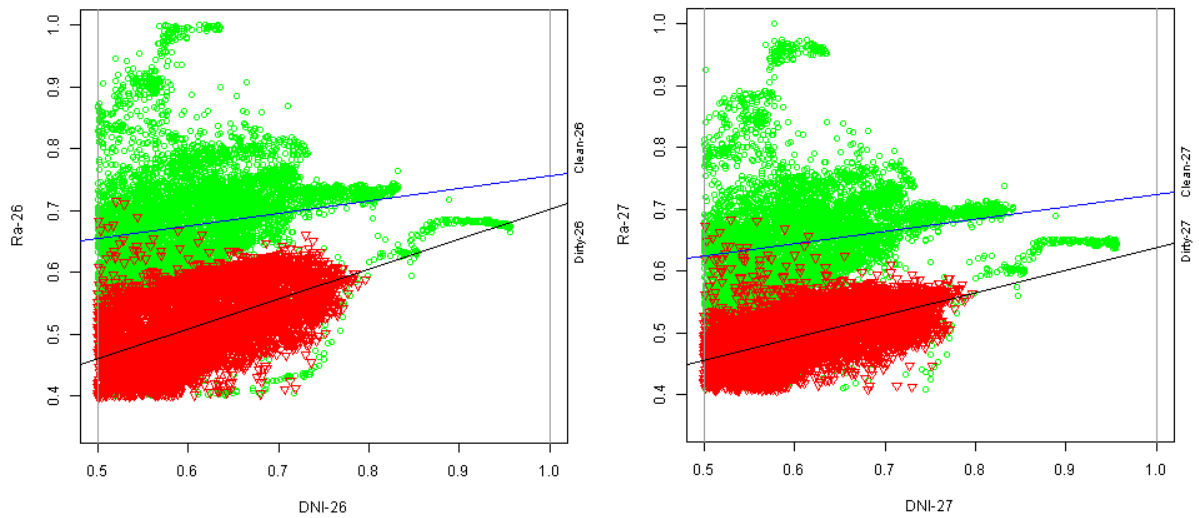


圖3.33 HCPV面板在最乾淨(最上面)和在最髒(最下面)狀況下的迴歸線

將 HCPV 面板受到灰塵等外在因素影響而降低發電效能轉換成清洗指標 C_I 如圖 3.34 所示，我們定義在剛剛清洗過之時(即在 Clean Line)，則 C_I 指標為 0%，在最髒的時候(即在 Dirty Line)將 C_I 指標訂為 100%。當 C_I 指標超過 50%時，更應注意安排時間清洗。特別注意的是，此 C_I 指標因為面板受到下雨清洗的影響，有時會下滑。

經過差異性分析之後，各機座清洗前後效率差異分析均有顯著性，代表清洗之有效性。為了監測灰塵等環境因素對 HCPV 系統發電的影響，將巨量的發電資料和環境參數等轉化為清洗指標，作為排定清洗面板時程的參考依據。此方法經過實際資料的測試與驗證，獲得不錯的成果。

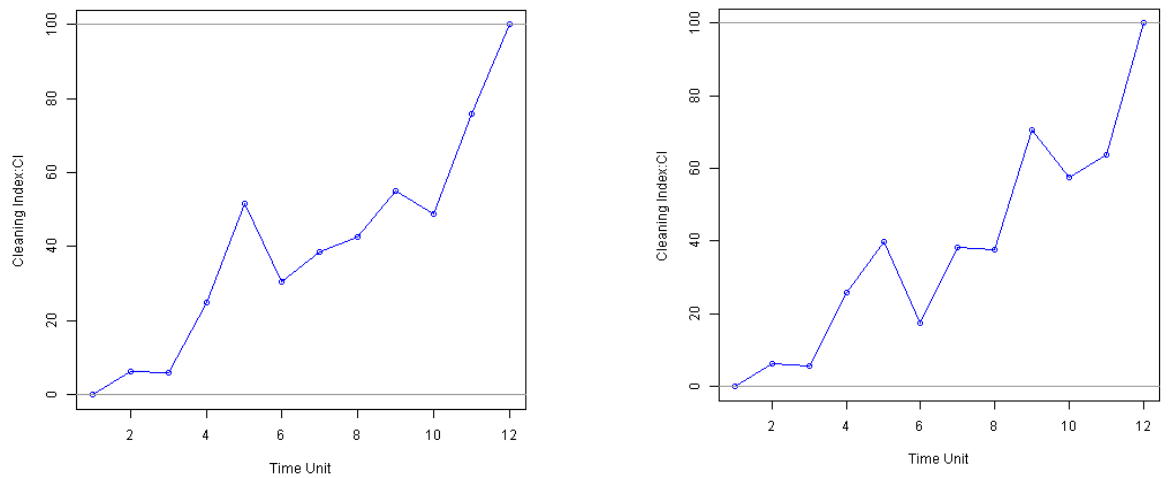


圖3.34 第C26座和C27座的清洗指標線

五、太陽光發電系統技術發展資料收集之彙整

(一) 聚光型太陽光發電 CPV 的污漬(Soiling)效應

在平面 PV 模組的污漬(Soiling)影響發電量的效應已經被研究，會導致減少平均 4%的輸出，測試結果表明[11]，在一般情況下，由於污漬導致光線散射，影響聚光，因此，CPV 系統比平板的 PV 對污染或弄髒更為敏感，在馬德里（西班牙）和堪培拉（澳大利亞）三個不同的測試地點，4 個月的觀察時間，平均的損失約 14%，某些 CPV 模組的損失則高達 26%。理論性地探討污漬是困難的，因為污漬是非常地依賴地理位置、氣候、PV 陣列的傾斜程度和其他變數（如清潔制度等），也許在實際的 CPV 場上的監控較可能是一個更好的方法，探討的問題大致上在於：污漬影響 PV 及 CPV 在程度上的比較，以及污漬的影響與 CPV 的聚光率有無關聯。

1974 年 GARG 研究了污物在不同方向角度（0-90 度）對於玻璃的透射率的影響效果，這些樣品在 2 個月期間暴露而且

不清洗，結果顯示：在傾斜 45 度的方向，30 天之後，透射率損失 8%，GARG 也測試塑膠薄膜，因為其靜電特性，易粘附灰塵，測試結果更糟。

1986 年 Deffenbaugh 建議根據當地的條件，尋找一個最佳的清洗模式，典型的清洗頻率例如（埃爾帕索）為 45 天和（Lovington）的 20 天，在這些清洗頻率之下，全年損失總額與完全清潔的理想性能比率分別為 5% 和 12%。1997 年哈蒙德研究在亞利桑那州公共服務（APS）及太陽能中心（STAR）的 PV 面板安裝受灰塵的影響，量測短路電流，顯示退化的損失約 2% 和 8% 之間。同時，在這項工作中有一項因素被確定：因為鳥糞污染所引起的退化效果是比灰塵和污垢的污染更嚴重，根據觀察，降雨超過 5 毫米，可以使發電損失降低約 5%。這項工作的作者也認為，清潔 PV 模組是符合成本效益的，對 CPV 也是符合成本效益的。

2004 年 Stone 等人，研究 Amonix 的 CPV，這個聚光的系統使用菲涅耳透鏡，聚光比為 300X，測試的系統位於亞利桑那州的坦佩。被確認的是產能量下降的主要因素是由於污染、地面地形條件、包括灰塵，沙子，草，花粉和其他因素，如多風多雨季節。弄髒的系統，一個月之間沒有清洗，經由從地面上以高壓水霧清洗後，串電流增加約 15%。基本的認知，污漬（弄髒）造成的損失將因為場地而不同，很難一概而論，應對每個系統作有關的研究，而清潔 CPV 模組是符合成本效益的，而每一位置的特定特徵可能會決定適當的清洗模式。

大型併網 PV 電廠的污漬(Soiling)效應[12]，是電廠營運後面臨的重大問題，積累的灰塵“污染”的太陽能電池板，對 PV

系統的性能有明顯的衝擊，尤其在每年數月的旱季的地區，例如美國加州的西南地區，更有顯著的影響，因此，相關單位企圖開發預測污染損失的模型，是一項有意義的想法[12]。雖然系統的所有者和經營者，對於被污漬 PV 系統的能量損失有極大興趣，但目前關於污漬影響的信息仍然很少，所得到的信息只適用於進行測試的特定地理位置，因此有必要發展模式以更一般性的方式表現弄髒的特徵。

PowerLight 每天監控超過 250 個 PV 系統，每 15 分鐘的遠程監控數據，是提供探討有關污漬影響的主要信息，目前大多數現有的模擬程序，假設 PV 模塊的污漬損失，對所經歷時間是恆定的，然而，實際的觀察顯示，系統污漬的性能損失對經歷時間是不恆定的，反而與雨水降在該系統的數量和頻率有很大關係。發展模式時，有若干典型的問題：多長時間後的降雨可使 PV 模塊保持相對清潔？灰塵會以多快的速率積聚在 PV 模組表面，這一比率如何因地區而異？徹底清潔 PV 系統需要多少雨量？

經觀測十個測試站，使用線性擬合曲線 (Linear Curve Fit, R^2) 的統計方法，作線性趨近，如圖 3.35 顯示在美國西南地區，對單軸追蹤系統的迴歸特性， $Y=0.0002x + 7.83941$, $R^2 = 0.91768$ ，根據對於所有地區有效降雨（至少每月一次），使用上面所討論的線性方法，並沒有量測出性能的降低。在這些地區的系統的性能水準在一年時間內保持相對穩定，這些地區包含德國、夏威夷及美國的中大西洋地區。以前的研究已經發現，5 毫米(0.2 吋)的降雨是足夠的清潔 PV 發電系統，但我們的系統的分析表明，有些系統需要更多的降雨以完全清理模

組，圖 3.36 顯示測量的 PV 發電系統的效率 and 降雨的關係，秋季幾次大於 5 毫米的降雨事件中未能完全清潔系統，使發電效率持續下降，直到 12 月 1 日的降雨 20 毫米，清洗系統，提高工作效率，從 7.5 到 12.5。

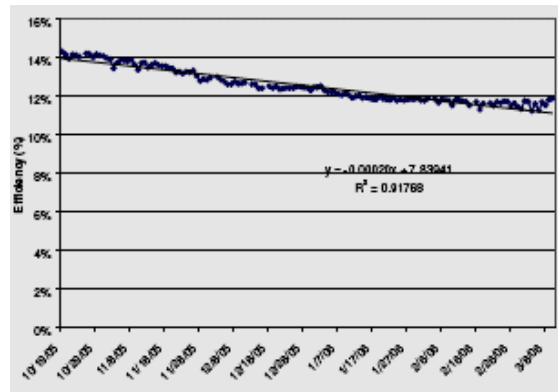


圖 3.35 美國西南沙漠區旱季的發電性能

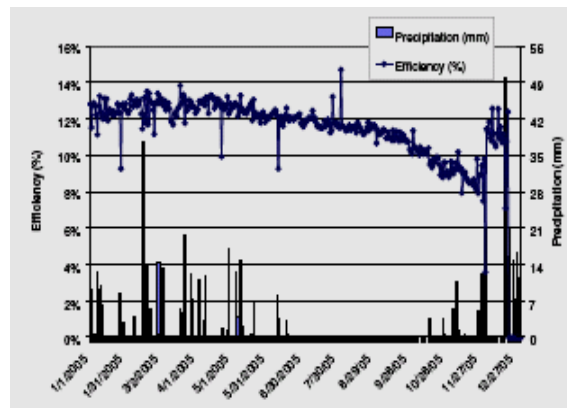


圖 3.36 2005 年北加州每日發電效率與降雨量

本研究提出了一種統計模型式，用以預測 PV 模組，因為灰塵和顆粒物的積累的發電量損失。這種模式由經驗得出，並納入每小時能量的模擬程序，使用 TMY2 數據文件和典型的雨量數據，以預測發電性能。

(二) 大型光伏發電站能源生產受污染的影響。

在義大利南部的鄉村，進行一項調查工作[13-16]，其目的是評估污染對大型地面安裝的使用多結晶矽模組的光伏發電

站的影響，由於污染效果會嚴重損害的太陽能工業園區間(發電廠)的產量，在這項研究中所取得的成果可以幫助操作和維護的公司，選擇合適的清洗週期和方法，為他們的工廠，避免花冤枉錢。為了確定光伏模組，在標準測試條件下的性能上積累的污垢造成的損失，比較兩個 1MW 電廠在清洗之前和之後的發電性能，在進行清理之前，模組已經工作了大約一年，以 3 個月週期測量數據。在標準測試條件(STC)的兩電廠的性能已經確定，通過使用一個回歸模型，輸入為兩個氣候數據（在平面內的全球輻照度和光伏模組的溫度），而生產的電力為輸出結果。因為季節性溫度變化的影響和環境的不確定影響因素，人們偏好使用迴歸模型，在這項工作的結果，發現了土壤類型和清洗技術的影響，建在沙質土壤的電廠損失 6.9%，建在堅硬土壤的電廠損失 1.1%。

所使用的模式(Model)

$$P = A + B \cdot T_{\text{mod}} \cdot H_i + C \cdot H_i + D \cdot H_i^2 \quad (3.43)$$

其中，

P: Power

T_{mod} : module temperature

H_i : global irradiance

A, B, C, D: coefficients

清潔之前的發電功率量測值與預測值，如圖 3.37，清潔之後的發電功率量測值與預測值，如圖 3.38。圖 3.37 為第一座發電廠的清潔之前的量測值與預測值，圖 3.38 為同一座發電廠的清潔之後的量測值與預測值，顯示以迴歸技術得到的模型很有效，同時，可確定清洗是一項極具成本效益的方法，可用來提高電廠的性能。圖 3.39 為清洗作業的例子。

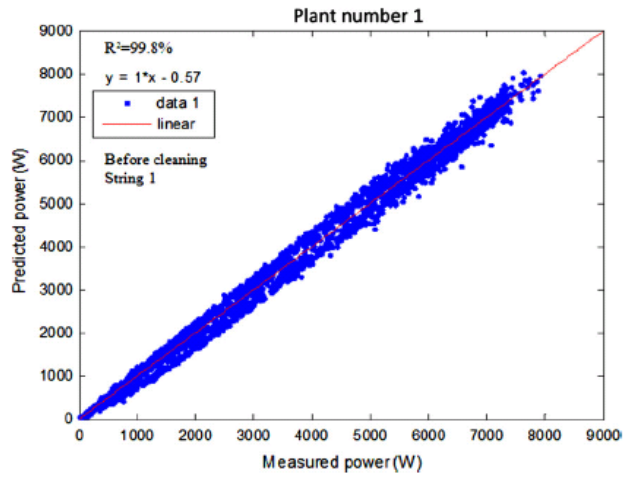


圖 3.37 清潔之前的發電功率量測值與預測值

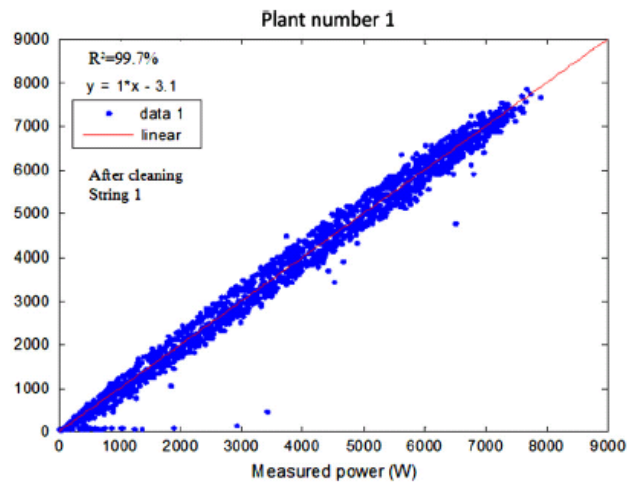


圖 3.38 清潔之後的發電功率量測值與預測值



圖 3.39 清洗作業

(來源：www.pvtrackers.com/gallery-video.aspx)

另外，值得提出作為比較的是文件[14]：

ASTM E2527-09 Standard Test Method for Electrical Performance of Concentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Systems Under Natural Sunlight

所使用的迴歸方程式

$$P = E (a_1 + a_2 E + a_3 T_a + a_4 v) \quad (3.44)$$

其中，

P: Power, W

E: DNI, W/m²

T_a: ambient temperature. °C

v: wind speed, m/sec.

方程式(3.43)運用於 PV，方程式(3.44)運用於 CPV，兩者有很高的相似度，上述的例子說明大型光伏發電廠產出受污染的影響，以統計方法迴歸，可以得到很好的預期值。

(三)在戶外的 CPV 額定功率的變異最小化的問題

CPV 的相關產學界，已同意模組的室內額定功率及室外額定功率[17-20]，室內額定功率提供可重覆的量測，室外額定功率則提供在實際陽光下的量測，對室外額定功率而言，最大挑戰是環境的衝擊，例如：光譜、溫度、風速等，美國 NREL 探討室外額定功率在降低變異的方法，量測流程如圖 3.40。

通常必須考慮的問題有：

環境因素與量測的一致性(鄰近溫度、氣凝膠、水氣、Air Mass)，對月份資料使用統計迴歸與量測的一致性，以及是否存在其他統計方法(使用於月份資料)，可以使額定功率減少變異量，針對這一項，NREL 一共檢視八種方法。首先，設定基礎過濾條件如表 3.2。

IEC 62670 and Outdoor CPV Power Ratings

Concentrator Standard Operating Condition (CSOC)
 Tambient (20C), DNI (900W/m2), Wind speed (2m/s) G173/AM 1.5 Spectrum

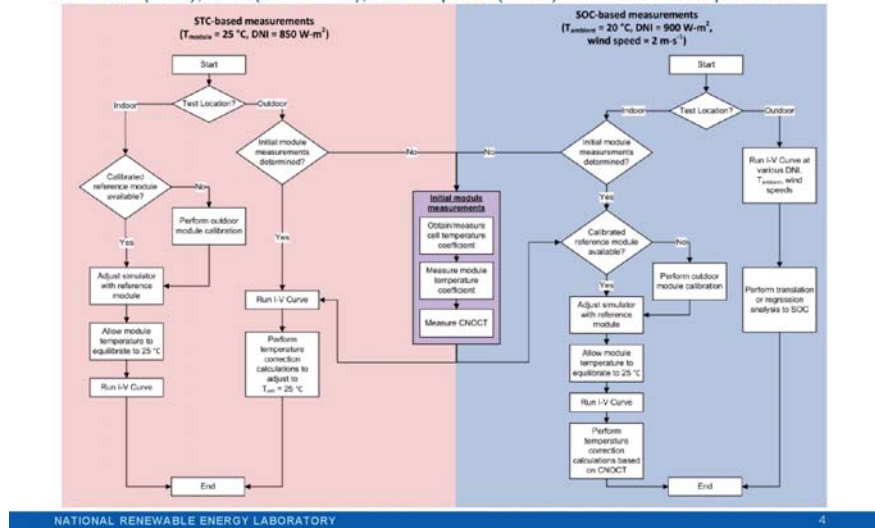


圖 3.40 量測流程

表 3.2 基礎過濾條件

Direct Normal Irradiance $DNI \geq 750 \text{ W/m}^2$
Diffuse Irradiance $\leq 140 \text{ W/m}^2$
$10\text{oC} \leq \text{Ambient Temperature} \leq 30\text{oC}$
5 minute DNI deviation $\leq 2\%$
Tracking Error $\leq 0.15 \text{ degree}$
Instantaneous Wind Speed $\leq 5\text{m/s}$
5 minute average Wind Speed $\leq 5\text{m/s}$

使用 ASTM E2527-06，

$$P_{\max} = DNI (a_1 + a_2 DNI + a_3 T_{\text{ambient}} + a_4 \text{Wind}) \quad (3.45)$$

P_{\max} , W

DNI, W/m^2

T_{ambient} : ambient temperature. $^{\circ}\text{C}$

Wind: wind speed, m/sec.

a_1, a_2, a_3, a_4 : coefficient

得到變異的百分比如圖 3.41。

ASTM 的額定顯示在冬天的月份變化較大，這是因為迴歸

時，未考量光譜的變化或透鏡造成的溫度變化。

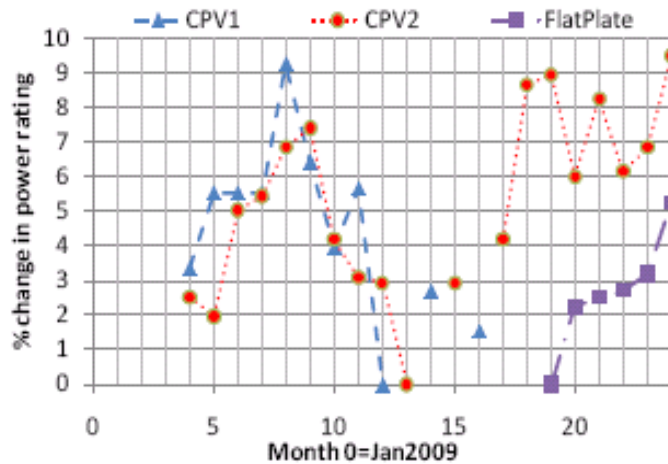


圖 3.41 額定功率變異百分比(ASTM)

除了 ASTM-2527 以外，其他的方法如表 3.3，

表 3.3 其他選項方法

ASTM	E-2527
ASTM1	Added filtering $1.3 \leq AM \leq 1.7$
ASTM2	Using Eq.1 with a5AM term added
Regression1	$PT = a1DNI + a2DNI2 + a3AM$
Regression2	$PT.AM.PWV = a1DNI + a2DNI2$
ISFOC	Power translation used by ISFOC
ISFOC1	Translation with added filtering $1.3 \leq AM \leq 1.7$
ISFOC2	Translation with correction for AM and PWV

經檢視，兩個發電廠的每月最大變異如表 3.4，

表 3.4 發電廠的每月最大變異

Method	CPV1	CPV2
ASTM	7.6%	6.8%
ASTM1	8.7%	8.1%
ASTM2	8.0%	7.3%
Regression1	5.4%	6.7%
Regression2	4.2%	5.7%
ISFOC	6.9%	6.2%
ISFOC1	6.2%	6.1%
ISFOC2	2.9%	5.5%

以整年資料計算，最佳的迴歸為

$$P_T = a_1DNI + a_2DNI^2 + a_3AM + a_4PWV \quad (3.46)$$

經由這些測試，NREL 的建議事項如下：

排除 $AM > 2$ 或 $PWV < 0.5$ ，排除未發生 $AM < 1.5$ 的月份，不宜省略 PWV 及 AM 兩項。

六、程式撰寫

巨量資料分析程式如附檔，使用 R 軟體語言。R 語言是主要用於統計分析、繪圖的語言和操作環境。R 本來是由來自紐西蘭奧克蘭大學的 Ross Ihaka 和 Robert Gentleman 開發。（也因此稱為 R）現在由「R 開發核心團隊」負責開發。R 是基於 S 語言的一個 GNU 項目，所以也可以當作 S 語言的一種實作，通常用 S 語言編寫的代碼都可以不作修改的在 R 環境下執行。R 的原始碼可自由下載使用，亦有已編譯的執行檔版本可以下載，可在多種平台下執行，包括 UNIX（也包括 FreeBSD 和 Linux）、Windows 和 MacOS。R 主要是以命令列操作，同時有人開發了幾種圖形用戶介面。CRAN 為 Comprehensive R Archive Network（R 綜合典藏網）的簡稱。它除了收藏了 R 的執行檔下載版、原始碼和說明檔案，也收錄了各種用戶撰寫的軟體包。目前，全球有超過一百個 CRAN 鏡像站。

本研究使用 R 語言撰寫程式，其中相關程式檔案說明如下：

- (1) Read_data_and_subset_data.R : 讀取檔案和篩選資料
- (2) Plot_data.R: 繪製資料圖
- (3) Plot_regression.R : 繪製迴歸線
- (4) Computer_area_under_curve.R : 計算面積

以上程式將附於結案光碟片中呈計畫委託單位存參。

七、論文發表準備與投寄(含 SCI 期刊乙篇)

(一)工作報告

研究團隊分別於 101 年 3 月 15 日、101 年 6 月 29 日、101 年 10 月 16 日、與 101 年 11 月 8 日在萬能科技大學管理與資訊系執行工作進度報告，簡報資料存放在所附 CD 之「簡報檔案」目錄中。

(二)研討會論文

於 101 年 6 月與 7 月各投稿 Proceedings of 2012 National Symposium on System Science and Engineering 與 2012 International Conference on Business and Information (BAI2012) 國際研討會論文一篇，資料如附件一與附件二。

(三)期刊論文

於 101 年 10 月投稿 Reliability Engineering & System Safety (SCI 期刊)論文一篇，資料如附件三。

肆、參考文獻

一、有關計畫緣起與目的參考資料：

- [1] 陳昱翔，2011/12/6，取代核電廠有望 HCPV發電系統受矚目，新電子，
http://www.mem.com.tw/article_content.asp?sn=1112050012
- [2] 台灣具備發展HCPV的優勢，
http://www.digitimes.com.tw/tw/dt/n/shwnws.asp?id=0000146773_80U8SV826R7SZC4N7OMVA
- [3] http://www.pvtaiwan.com/zh_TW/news/info.html?id=CC1AF60EAC460A8B

二、有關研究方法與過程的參考資料：

- [1] PV Trackers Inc. (PVT) announced (October 27, 2010):
www.pvtrackers.com
- [2] A. Pavan, Massi, Mellit, A., Pieri, D. De., “The effect of soiling on energy production for large-scale photovoltaic plants,” *Solar Energy* 85 (2011) , pp. 1128–1136.
- [3] Monto Mani, Rohit Pillai, “Impact of soiling on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010), pp. 3124–3131.
- [4] M. Vivar, R. Herrero, et al., “Effect of soiling in CPV systems,” *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Solar Energy* 84 (2010), pp. 1327–1335.
- [5] J. C. Wu, K. H. Lin, and C. K. Lin, “Wind Load Analysis of A Solar Tracker For Concentrator Photovoltaics”, 6th international conference on concentrating photovoltaic systems, 2010, Volume 1277, pp. 145-148.
- [6] C. Cancro, G. Graditi, G. Leanza, F. Pascarella, A. Sarno, and D. Mancini, “Field Testing of the PhoCUS Solar Tracker by Means of a Novel Optoelectronic Device,” in *Proceeding of the 4th International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, Spain, 2007*.
- [7] J. A. Peterka, Z. Tan, J. E. Cermak, and B. Bienkiewicz, “Mean and Peak Wind Loads on Heliostats,” *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, Vol. 111, 1989, pp.

158-164.

- [8] H. Lerchenmuller , A. Hakenjos , I. Heile, B. Burger, O. Stalter, “From FLATCONR Pilot Systems to the first Power Plant”, 2007 International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, Spain, pp 1-4.
- [9] N Naeeni and M. Yaghoubi, “Analysis of Wind Flow Around a Parabolic collector (1) Fluid Flow,” Renewable Energy, Vol. 32, 2007, pp. 1898-1916.
- [10] F. R. Rubio, M. G. Ortega, F. Gordillo, and M. Lopez-Martinez, “Application of New Control Strategy for Sun Tracking,” Energy Conversion and Management, Vol. 48, 2007, pp. 2174-2184.
- [11] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", Information and Control, vol. 8, 1965, pp338-353.
- [12] Braun, J. E.and Mitchell, J.C ., ”Solar Geometry for Fixed and Tracking Surfaces”, Solar Energy,31, pp. 439-444, 1983.
- [13] M.Cucuno , D. Kaliakatsos ,and V. Marinelli, “General Calculation Methods for Sorlar Trajectories”, Renewable Energy , Vol. 11,No.2,pp.223-234,1997.
- [14] 李昌庭，「應用基因演算法進行獨立電力系統短期發電排程」，碩士論文，中原大學，民國94年6月。
- [15] 林俊銘、李明博等 “太陽能追日系統之研究：第一篇：公式的準確性” 中華民國第25屆電力研討會, pp. 2148-2153, 2004.
- [16] 劉永之 “挾低功率/大量布建優勢-ZigBee適用WSN建構: 建構無線感知網路環境系列-從計畫到實作” , Micro-Electronics, 2008/10。
- [17] Jianliang Zheng, and Myung J. Lee, Will IEEE 802.15.4 Make Ubiquitous Networking a Reality: A Discussion on a Potential Low Power Low Bit Rate Standard IEEE Communications magazine, pp. 140-146, June 2004.
- [18] Bryan Banke, Solar Electric Facility O&M: Now Comes the Hard Part, Part 3, <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2010/02/solar-electric-facility-o-m-now-comes-the-hard-part-part-3>, 2010-02-25.
- [19] 李國路、林宏志、王金印，「HCPV系統整合及監控技術精進」，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告，99年，(計畫編

號：992001INER041)。

- [20] 李國路、林宏志、王金印，「資料探勘技術在HCPV系統上之應用」，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告，100年，(計畫編號：1002001INER045)。
- [21] Y. Yagi, H. Kishi, R. Hagihara, T. Tanaka, S. Kozuma, T. Ishida, M. Waki, M. Tanaka and S. Kiyama, 2003, Diagnostic technology and an expert system for photovoltaic systems using the learning method, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 75, Issues 3-4, pp. 655-663.
- [22] S.K. Firth, K.J. Lomas and S.J. Rees, 2010, A simple model of PV system performance and its use in fault detection, *Solar Energy*, Vol. 84, pp.624–635.
- [23] Xu Xiaoli and Qiao Daoe, Remote Monitoring and Control of Photovoltaic System Using Wireless Sensor Network, 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering (ICEICE), pp. 633 ~ 638。
- [24] C.B. Yahya, 2010, Performance Monitoring of Solar Stand Alone Power Systems, IEEE International Energy Conference, pp. 412-416.
- [25] C.H. Chang, J.J. Zhu, and H.L. Tsai, 2010, Model-Based Performance Diagnosis for PV Systems, SICE Annual Conference, pp. 2139-2145.
- [26] S. Vergura, G. Acciani, V. Amoruso, G.E. Patrono, and F. Vacca, 2009, Descriptive and Inferential Statistics for Supervising and Monitoring the Operation of PV Plants, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 56, No. 11, pp. 4456-4464.
- [27] 高效能聚光追日太陽能光電廠系統 (HCPV)，
<http://www.abada.com.tw/>
- [28] 台灣國際太陽光電展覽會(PV Taiwan 2011)，
http://www.pvtaiwan.com/zh_TW/show/info.html?id=C42B66BBACA98B51D0636733C6861689
- [29] Amonix founder sees CPV finally make its mark, 03 Aug 2011,
<http://optics.org/indepth/2/8/1>
- [30] 陳昱翔，2011/12/6，取代核電廠有望 HCPV發電系統受矚目，新電子，
http://www.mem.com.tw/article_content.asp?sn=1112050012

- [31] 國防部，國軍主要武器系統整體後勤支援教則，民國89年1月。
- [32] James, V.J., *Integrated Logistics Support Handbook*, McGraw-Hill, United State, pp.15.1~15.16, 1995.
- [33] 劉豪輝，大型系統/產品引進之壽期成本分析研究，大葉大學資訊管理研究所，碩士論文，2000。
- [34] McArthur, C.J. and Snyder, H.M., “Life cycle cost-the logistics support analysis connection”, *Aerospace and Electronics Conference*, Vol.3, 1989, pp.1206-1209。
- [35] Joel M. Manary, “Cost Analysis Strategy Assessment Module” (CASA User’s Manual), Version 3.01, DSMC Logistics Support Department, 1995。
- [36] Blanchard B. S. and Fabrycky W. J., “Systems Engineering and Analysis”, 2nd, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1990。
- [37] 薄喬萍、危永中，因應敵軍威脅我國建構地面防空武器系統之成本效益分析，國防部委託計畫，民國98年。
- [38] Pintelon, L., Gelder, L. F., “Maintenance Management Decision Making,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 58, pp. 301-317, 1992.
- [39] Benjamin, S. Blanchard, *Logistics Engineering and Management*, Prentice-Hal l International , Inc. pp. 28, 1998.
- [40] Herb Hayden, Peter Johnston, Vahan Garboushian, and David Roubideaux, *APS Installation and Operation Of 300 KW of Amonix High Concentration PV Systems*, 2002.
- [41] Holland, J. H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1975.
- [42] David E. Goldberg, “Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning,” Addison-Wesley, 1989.
- [43] Mistsuo Gen and Runwei Cheng, “Genetic Algorithms and Engineering Design,” John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [44] Walraven,R.,” Calculation the Position of the Sun ”, *Solar Energy*.20,pp.393-397,1978.
- [45] D. Shmilovitz, “On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters, *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 152, No. 2., 2005.
- [46] Abdulaziz M. S. Aldobhani, R. John, “Maximum Power Point

Tracking of PV System Using ANFIS Prediction and Fuzzy Logic Tracking”, 2008 Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists ,Vol II, IMECS , pp.19-21 .

- [47] A. B. G. Bahgat, N. H. Helwa, G. E. Ahmad, and E. T. El Shenawy, ”Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks”, *Renew. Energy*, vol. 30, 2005, 1257–1268.
- [48] Mummadi Veerachary ,Tomonobu Senjyuand Katsumi Uezato, ”Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV Systems Using Fuzzy Controller”, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, VOL. 38, NO. 3, 2002, pp.969-981.
- [49] N. Patcharaprakiti, S. Premrudeepreechacharn., “Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system”, *IEEE Power Engineering Winter Meeting. 2002*, Vol. 1, pp.372 – 377.
- [50] A. Pandey, N. Dasgupta, A. K. Mukerjee, “A Simple Single-Sensor MPPT Solution”, *IEEE Trans. Power Electron*, Volume 22, Issue 2 , 2007, pp. 698 - 700.

三、有關主要發現與結論的參考資料：

- [1] J.-S. R. Jang, “ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems,” *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, pp. 665-685, May 1993.
- [2] T. TAKAGI and M. SUGENO, “Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control,”*IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, vol. 15, no. 1, pp. 116 - 132, 1985.
- [3] A. Mellit, S. A.Kalogirou, S. Shaari, H. Salhi, A. Hadj, A methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas: Application for sizing a stand-alone PV system. *Renewable Energy*, Vol. 33(2008) , pp. 1570-1590.
- [4] A. Mellit, A.M. Pavan, A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy. *Solar Energy*, Vol. 84, No. 5(2010), pp. 807-821.
- [5] M. Chaabene, & M.B. Ammar, Neuro-fuzzy dynamic model with

- Kalman filter to forecast irradiance and temperature for solar energy systems. *Renewable Energy*, Vol. 33 (2008), pp. 1435–1443.
- [6] A. Moghaddamnia, R. Remesan, M.H. Kashani, M. Mohammadi, D. Han, & J. Piri, Comparison of LLR, MLP, Elman, NNARX and ANFIS Models-with a case study in solar radiation estimation. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 71(2009), pp. 975–982.
- [7] A. Kimber, S. Nogradi, et al., “The effect of soiling on large grid-connected Photovoltaic systems in California and the southwest region of the United States,” 4th World PVSEC, Hawaii, May 2006.
- [8] Arvind Chel *, G.N. Tiwari, Avinash Chandra, “Simplified method of sizing and life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic system,” *Energy and Buildings*, Vol. 41 (2009), pp. 1172-1180.
- [9] Basant Agrawal, G.N. Tiwari, “Life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems” *Energy and Buildings*, Vol. 42 (2010), pp. 1472-1481.
- [10] 薄喬萍、危永中，因應敵軍威脅我國建構地面防空武器系統之成本效益分析，國防部委託計畫，民國98年。
- [11] M.Vivar, “Effect of soiling in CPV systems”, *Solar Energy* V.84, 2010, pp.1327-1335.
- [12] A.Kimber, “The effect of soiling on large grid connected photovoltaic systems in California and southwest region of the United States “, 2006 IEEE World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 7p.
- [13] A.Massi.Pavan, “The effect of soiling on energy production for large-scale photovoltaic plants”, *Solar Energy* V.85, 2011, pp.1128-1136.
- [14] ASTM E2527-09, “ASTM E2527-09 Standard Test Method for Electrical Performance of Concentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Systems Under Natural Sunlight”, ASTM, 2009, 3p.
- [15] Monto Mani, “Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations”, *Renewable and Sustainable Energy Review* 14 (2010), pp. 3124-3131
- [16] F.C.Christo. “Numerical modeling of wind and dust patterns

around a full-scale paraboloidal solar dish', Renewable Energy 39(2002), pp.356-366.

[17] Minimizing Variation in Outdoor CPV Power Ratings(7th international conference on Concentrating Photovoltaic Systems (CPV-7), 2011, (NREL/CP-5200-51339)

[18] M.Martinez "CPV systems Rating, Results and Lessons learned at ISFOC",

http://www.cpvconsortium.org/Portals/0/Papers_Presos/CPV_Systems_Rating.pdf, 5p.

[19] S.Kurtz, " Considerations for How to Rate CPV",NREL/CP-5200-47127, 2011, 8p.

[20] M.Muller, "Development of an Outdoor Concentrating Photovoltaic Module Testbed, Module Handlinf and Testing Procedures, and Initial Energy Production Results, NREL/TP-520-46569, 2009, 29p.

伍、附件

附件一：國際研討會論文一

降低風載效應對高聚光太陽能發電影響之研究

王金印^{a*}、林宏志^b、李國路^c

萬能科技大學 資訊管理系暨研究所^a

萬能科技大學 電子工程系^b

萬能科技大學 管理與資訊系^c

摘要 — 高聚光太陽能發電 (high concentration photovoltaic: HCPV) 系統之面板的面積龐大，其追日系統受到陣風吹襲的影響力甚鉅。為了避免損壞系統的關鍵組件，在風速大於臨界點(threshold value)時將每座 HCPV 面板平放，並且設定停止啟動運轉。但是在風速處於臨界點時將產生開關動作頻繁的問題，在日經月累後，會降低發電效能與追日系統的精密度等。本研究應用調適性類神經模糊推論系統(Adaptive Neural Fuzzy Inference System, ANFIS) 來解決此問題，減少過度的機械反應，此系統具有三個輸入變數，分別是風速、風向、和最大風速的變化率，而系統的輸出如果落入啟動區，則啟動追日系統的馬達，反之，則停止馬達運轉功能且平放著。此 ANFIS 系統經過實際數據的訓練與測試後，對於降低風載(wind loads)效應的影響有顯著的成果。

關鍵詞：高聚光太陽光發電、調適性類神經模糊推論系統、風載。

研究背景

本研究的高聚光太陽光發電 (High Concentration Photovoltaic: HCPV) 系統是由多座太陽光電面板所組成，而影響太陽光發電效能的因素包括：日照時間、追蹤太陽的準確性、聚光器及相關使用裝置的擺設方式、風力對面板的衝擊、空氣污染的影響、散熱的影響、...等。其中風力對面板陣列衝擊影響之研究如 Wu et al. [1]等對於風載效應下，提出發電面板結構變形的分析報告，發現風載對於追蹤器的底座影響最大。Cancro et al. [2]等使用 finite element analysis (FEA) 模擬，發現太陽光發電面板陣列的重量加上風載效應的影響，使追日系統變得不準確。Peterka et al. [3]計算平均風速和瞬間最大風速對於方形和圓形碟盤的影響，當紊流強度(turbulence intensity)增加 10%的時候，風力對於面板陣列的壓力將突然增大。Lerchenmüller [4]的研究指出，當風速小於(7 公尺/秒)時，追蹤器的高度角震盪將有小於 0.1° 的標準偏差。Naeeni et al. [5]對於拋物線面板陣列完成二維數值模擬計算，當風載擾動時，風力對於面板影響快速增大，尤其是風向垂直著

大型面板陣列時，其影響程度急遽增加。Rubio et al. [6]提出一個混和追蹤系統，結合開路和閉路的追蹤策略，避免把發電的結果被追蹤馬達給過度消耗掉。

本研究主要是針對風力的影響提出改善方法，有別於前述學者專家對於 CPV 追日系統的研究改進，這個方法是基於模糊控制理論的應用，並且運用實際的風載(wind loads) 資料來訓練類神經網路(neural network)，在訓練過程中調整模糊歸屬函數(fuzzy membership functions)的相關參數，使輸出的結果和目標值的誤差達到最小為止。模糊理論也經常用在太陽能光電系統的最大功率追蹤控制器(maximum power point tracking :MPPT)[7-12]上。

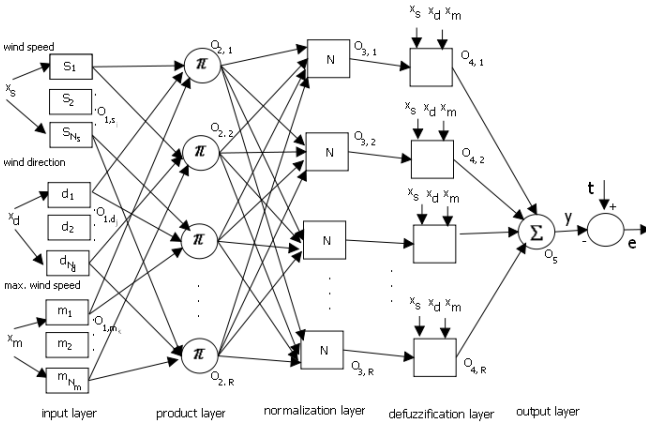
由於 HCPV 每一座的面積龐大，對於陣風的影響極為敏感。為了避免損壞模組馬達，特訂定運轉規則為當風速儀偵測到風速大於每秒 K 公尺(命名為臨界點方法)時，即停止追日系統馬達的運轉功能，此方式雖然可保護 HCPV 模組和馬達裝置，但是也影響發電效能至鉅。研究發現，當風向並非正面吹向 HCPV 面板時，縱使其風速超過臨界點之外，但是其垂直分量卻有可能落在臨界點之內。此外，當風速正處於臨界點正負範圍之內時，此一分為二的決策，將因 HCPV 需要進行安全保護措施，導致追日系統馬達啟動或停止之變動頻繁而損壞。

除了風速大小因素外，風向也應列入考慮，例如，在風速超過臨界點時，但是風的方面並非正面吹向太陽光電面板，而是與面板的法向量產生一個 λ 角度。令 $\theta = 90^\circ - \lambda$ ，經過計算其垂直分量 $\sin(\theta)$ 結果小於臨界點 K 公尺/每秒，此時太陽光電面板仍能運轉，以發揮最大的發電效能。所以，其影響的程度決定於風向與太陽光電面板法向量的夾角，其夾角越小，風的垂直分量越大，對於太陽光電面板的危害程度則顯著地增加。反之，其夾角越大，則風的垂直分量越小，對於太陽光電面板的危害程度則顯著地降低。例如當 $\theta = 0^\circ$ 時，風向與陣列面板是處於平行狀態，風速的垂直分量對於面板之衝擊力最小。但是，當風向與陣列面板是處於垂直狀態，風速的垂直分量對於面板之衝擊

力最大。除了風速和風向之外，參考最大風速的正負變化率，對於在決策臨界點附近之風速提供一個前置的資訊，以作為即時預測風速是增強或是減弱趨勢的依據。

研究方法

本研究運用調適性類神經模糊推論系統(Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems, ANFIS)[13]於 Sugeno 模糊模型[14]，此使其具有自我學習的能力，採用多因子的模糊輸入決策，以風速、風的方向和最大風速變化率等為影響決策的輸入因子，在訓練過程中調整模糊歸屬函數(fuzzy membership functions)的相關參數，使輸出的結果和目標值的誤差達到最小為止。ANFIS 將模糊推論系統與類神經網路兩種演算法結合，也就是將模糊推論系統架構於類神經網路上，使其充分發揮模式對於系統不確定性與不精確性的處理能力，同時具有自我學習與組織能力，能夠調整模式的參數。一個具有三個輸入變數和一個輸出變數 y 的 ANFIS 架構如圖一所示，此 ANFIS 共有五層，其輸入變數分別是風速(s)、風的方向(d)和最大風速變化率(m)。輸出變數 y 再與目標值 t 作比較，所產生的誤差往後回饋至 ANFIS 相關各層作為調整參數之依據。



圖一：調適性類神經模糊推論系統(ANFIS)架構

第一層為輸入層(Input layer)

首先，在輸入層的輸入資料 x_s 為風速樣本(Samples)、 x_d 為風的方向樣本、 x_m 為最大風速變化率樣本。方程式(1)所示為高斯歸屬函數及其輸出值分為 $O_{1,s}$ 、 $O_{1,d}$ 、 $O_{1,m}$ 。可以觀察出此層的模糊歸屬函數是由非線性參數所組成。

$$O_{1,s_i} = \mu_i(x_s) = e^{-\left(\frac{x_{s_i} - \theta_{s_i}}{\sigma_{s_i}}\right)^2} \quad \text{for } i = 1, 2, N_s$$

$$O_{1,d_j} = \mu_j(x_d) = e^{-\left(\frac{x_{d_j} - \theta_{d_j}}{\sigma_{d_j}}\right)^2} \quad \text{for } j = 1, 2, N_d$$

$$O_{1,m_k} = \mu_k(x_m) = e^{-\left(\frac{x_{m_k} - \theta_{m_k}}{\sigma_{m_k}}\right)^2} \quad \text{for } k = 1, 2, N_m$$

(1)

第二層為規則層(Production layer)

此層是將各輸入變數間的模糊集合進行排列組合之配對後，進行模糊邏輯運算，亦即進行模糊 AND 運算或乘積運算。此層是由非線性參數的模糊歸屬函數所組成，請參考本文(2)式。

$$O_{2,r} = w_r = \prod_{i,j,k} \mu_i(x_s) \mu_j(x_d) \mu_k(x_m) \quad \text{for } r=1, \dots, R; R=N_s \times N_d \times N_m$$

$$i=1, \dots, N_s; j=1, \dots, N_d; k=1, \dots, N_m \quad (2)$$

第三層為正規化層(Normalization layer)

將上一層各節點所得的結果正規化，亦即將第 i 條模糊規則的輸出結果除以所有模糊規則之輸出結果，使其輸出值介於 0 到 1 之間，請參考本文(3)式。

$$\bar{O}_{3,r} = \bar{w}_r = \frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \quad \text{for } r=1, \dots, R \quad (3)$$

第四層為推論層(Defuzzification layer)

將第三層獲得之正規化結果與 Sugeno 模糊模式相乘，這裡使用一階 Sugeno 的模糊模式之相關係數，請參考本文(4)式。

$$y = o_{4,r} = w_r f_r = \bar{w}_r [\alpha x_s + \beta x_d + \gamma x_m + \delta_r] \quad \text{for } r=1, \dots, R$$

(4)

第五層為輸出層(Output layer)

最後一層是總和上層各節點的輸出結果，請參考本文(5)式。

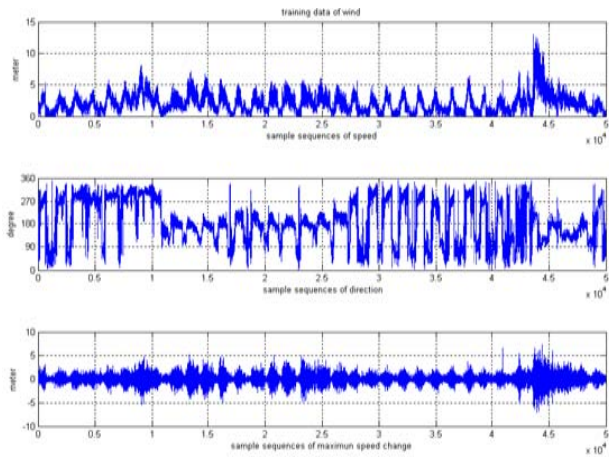
$$Y = o_5 = \sum_{r=1}^R o_{4,r} = \sum_{r=1}^R \bar{w}_r f_r = \sum_{r=1}^R \frac{w_r f_r}{\sum_{r=1}^R w_r}$$

(5)

我們運用複合型學習演算法(Hybrid learning algorithm)來作為學習的依據，將參數的集合分為線性與非線性集合，第一層輸入層的歸屬函數即為非線性集合；另一組為第四層推論層的一階 Sugeno 模型之參數，此為線性集合。利用最小平方估計法(Least Squares Estimate, LSE)來調整線性參數集合，以最陡坡降法調整非線性參數集合，將可以有效地搜尋參數的最佳解，同時其收斂速度也大大地獲得改善。

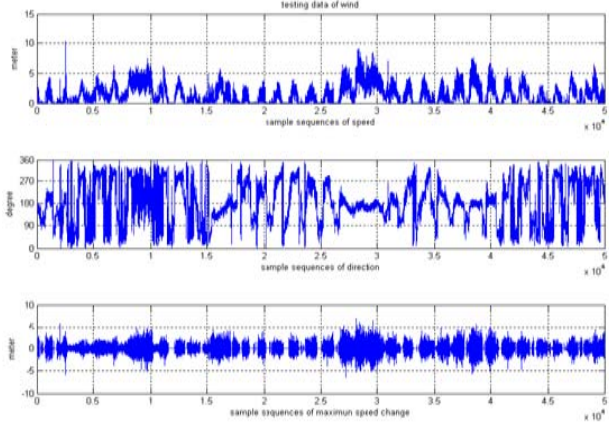
實驗結果

本研究所使用的風載數據是來自國內的 HCPV 佈建環境裡的風速計(anemometers)所測得之結果。此數據取得時間是從 2011/5 月至 2011/7 月，共有 5 萬筆資料(包括風速、風向和最大風速變化率)作為 ANFIS 訓練用(training data)，如圖二所示。



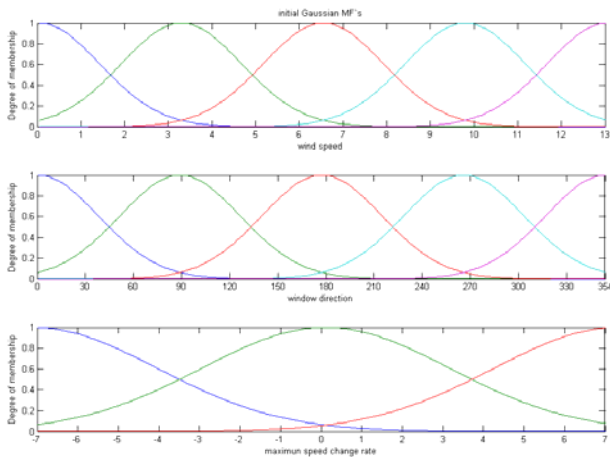
圖二：風速、風向和最大風速變化率(訓練用)

另外數據取得時間是從 2011/8 月至 2011/9 月，共有 5 萬筆資料作為 ANFIS 測試用(testing data)，如圖三所示。

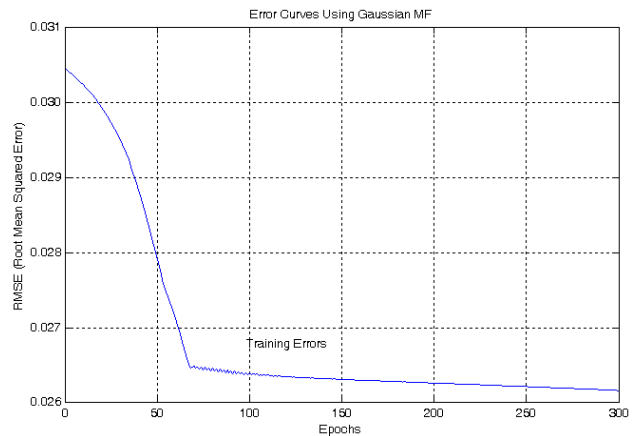


圖三：風速、風向和最大風速變化率(測試用)

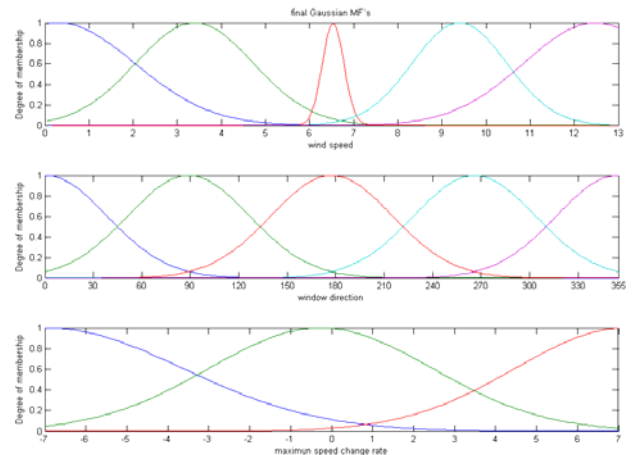
在輸入層中初始假設的高斯歸屬函數(Gaussian membership functions)分佈如圖四所示，此 ANFIS 訓練的終止條件是達到預設的 300 回合(300 epoch) 或者是預設的誤差已到達為止，訓練過程的誤差曲線為圖五所示。而訓練後的歸屬函數如圖六所示，比較圖四和圖六兩個圖，可以發現有明顯的變化。



圖四：初始狀態的高斯歸屬函數



圖五：高斯歸屬函數訓練誤差值分布



圖六：訓練後的高斯歸屬函數

從表 I 裡可以得知當 HCPV system 採用臨界點方法時，分別有 1,644 次(training data)和 1,262 次(testing data)是處於關閉的 OFF 狀態；另外，使用了 ANFIS 方法後，則分別有 362 次和 13 次是處於 OFF 狀態。將兩個方法做比較後，可發現 ANFIS 方法分別有 77.98%和 98.97%的改善。

表 I：實驗結果與改善 OFF 次數的百分比

HCPV 處於 OFF 次數	Train Set	Test Set
臨界點方法:C	1,644	1,262
ANFIS 方法:A	362	13
改善效能 (C-A)/C	77.98%	98.97%

結論

本研究是在改善 HCPV 系統適應環境(風載效應)的應變能力，提升其穩定度，同時增加發電的工作時間。

從本研究之測試資料的實驗結果得知，HCPV 系統面對風載衝擊的適應能力顯著增強，這是因為測試資料的風速強度位於臨界點(threshold value)附近時，恰

巧風向角度與 HCPV 面板大都處於接近平行的狀態，所以在系統的穩定度與發電的時間上有顯著的提升。

參考資料

- [1] J. C. Wu, K. H. Lin,^b and C. K. Lin, “Wind Load Analysis of A Solar Tracker For Concentrator Photovoltaics”, 6th international conference on concentrating photovoltaic systems, 2010, Volume 1277, pp. 145-148.
- [2] C. Cancro, G. Graditi, G. Leanza, F. Pasarella, A. Sarno, and D. Mancini, “Field Testing of the PhoCUS Solar Tracker by Means of a Novel Optoelectronic Device,” in Proceeding of the 4th International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, Spain, 2007.
- [3] J. A. Peterka, Z. Tan, J. E. Cermak, and B. Bienkiewicz, “Mean and Peak Wind Loads on Heliostats,” Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME, Vol. 111, 1989, pp. 158-164.
- [4] H. Lerchenmüller , A. Hakenjos , I. Heile, B. Burger, O. Stalter, “From FLATCON® Pilot Systems to the first Power Plant”, 2007 International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, Spain, pp 1-4.
- [5] N Naeeni and M. Yaghoubi, “Analysis of Wind Flow Around a Parabolic collector (1) Fluid Flow,” Renewable Energy, Vol. 32, 2007, pp. 1898-1916.
- [6] F. R. Rubio, M. G. Ortega, F. Gordillo, and M. Lopez-Martinez, “Application of New Control Strategy for Sun Tracking,” Energy Conversion and Management, Vol. 48, 2007, pp. 2174-2184.
- [7] D. Shmilovitz, “On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters, IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 152, No. 2., 2005.
- [8] Abdulaziz M. S. Aldobhani, R. John, “Maximum Power Point Tracking of PV System Using ANFIS Prediction and Fuzzy Logic Tracking”, 2008 Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists ,Vol II, IMECS , pp.19-21 .
- [9] A. B. G. Bahgat, N. H. Helwa, G. E. Ahmad, and E. T. El Shenawy, ”Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks”, Renew. Energy, vol. 30, 2005, 1257–1268.
- [10] Mummadi Veerachary ,Tomonobu Senjyuand Katsumi Uezato,”Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV Systems Using Fuzzy Controller”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, VOL. 38, NO. 3, 2002, pp.969-981.
- [11] N. Patcharaprakiti, S. Premrudeepreechacharn., “Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system”, IEEE Power Engineering Winter Meeting. 2002, Vol. 1, pp.372 – 377.
- [12] A. Pandey, N. Dasgupta, A. K. Mukerjee, “A Simple Single-Sensor MPPT Solution”, IEEE Trans. Power Electron, Volume 22, Issue 2 , 2007, pp. 698 - 700.
- [13] J.-S. R. Jang, “ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems,” IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 23, pp. 665-685, May 1993.
- [14] T. TAKAGI and M. SUGENO, “Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control,”IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, vol. 15, no. 1, pp. 116 - 132, 1985.

附件二：國際研討會論文二

A STUDY OF ON-LINE DIAGNOSTIC TECHNOLOGY ON HCPV SYSTEM USING FUZZY FMEA

Shang-Lee Chyou¹, Gwo-Luh Lee^{2}, Chih-Chieh Ma¹,*

I-Tao Lung¹, Horng-Jyh Lin², Jin-Yinn Wang²

¹Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council, Taiwan, R.O.C.

²Vanung University

1, Vanung Rd, Chung-Li City, Tao-Yuan 32061, Taiwan ROC

glee@vnu.edu.tw

ABSTRACT

Maintenance could take a lot of system operational cost after HCPV system established. To reduce the maintenance cost and foster system availability, on-line diagnostic technology with Fuzzy FMEA counts. The spirit of ad hoc technology depends on real time and historical data. FMEA takes those data to predict failure modes, analyze causes of failed components in order for management level to schedule a maintenance plan in advance. In this study, authors worked the technology on the 100 kW HCPV system established by INER in 2007, and created a method for the subject title study.

Keyword: On-line Diagnostic Technology; Fuzzy FMEA; HCPV System

INTRODUCTION

HCPV technologies have been studied by Institute of Nuclear Energy Research (INER) of Taiwan since 2003, including technologies of III-V solar cell, concentration solar module, solar tracker, central control and monitoring system, and solar module qualification, etc.

Diagnostic technology mechanism is scarcely used on HCPV system even though literature showcases on PV system as follows: Yagi et al. [1] uses diagnostic criteria database to provide an agile and proper maintenance suggestion by forming an expert system with continuously improving criteria. Firth, Lomas and Rees [2] study on the various failure modes causing solar energy loss of PV system for improving future system designs. Through the description or inference statistics data and online or offline monitoring methods, Vergura et al. [3] seek a way to identify the place of failed operation. Yahya [4] collects the real time data of reference cells and combines the intellectual PV modules to process the performance monitor. Chang Zhu, and Tsai [5] develop the PV online diagnosis mechanism by using LabVIEW.

In this study, authors take advantage of the online diagnosis and fuzzy FMEA for the purpose of predicting the systems status and failure equipment in order to help system operation, expediting diagnosis speed, nurturing system availability, and shortening maintenance manpower and cost.

ON-LINE DIAGNOSIS PROCESS

The necessities of triggering the diagnostic algorithm used for the HCPV systems debug are: firstly, the direct normal irradiance (DNI) should be great than the predetermined value; otherwise, the inverter will not start. Secondly, the wind protection cannot be ignited, i.e., wind speed should not exceed the predetermined value; otherwise, the wind protection will prohibit the solar tracker to follow the sun trajectory.

HCPV differs from the conventional PV system for it must have an accurate tracking system, causing the maintenance of HCPV system to take more time and cost. According to experiences of 100 kW HCPV system established by INER in 2007, authors categorize the online diagnosis mechanism with Fuzzy FMEA as shown in Figure 1, including module, inverter, tracking system, central control and monitoring system (CCMS), and miscellaneous, such as frame, pole, transformer, wiring, connector, etc. Fuzzy FMEA collects relevant information to seek the latent problem, provides the analyzed data, emerges the key failure modes, and make suggestions of the to-be-checked components to the management level.

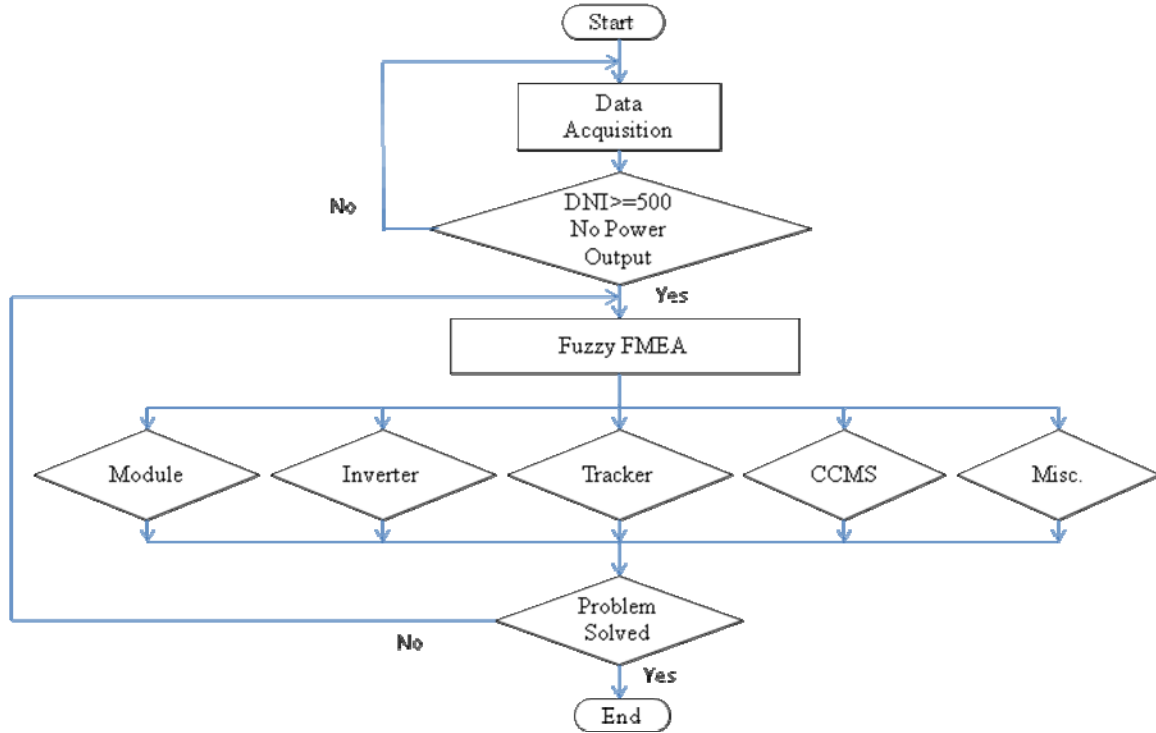


Fig.1 HCPV On-line Diagnosis Mechanism with Fuzzy FMEA

THE METHODOLOGY

For evaluation, Traditional FMEA puts 1 to 10 to Severity, Occurrence and Detection. However, there exists some rooms for uncertainty when the cognition of semantic converting to the numeric. That is the reason for combining the Fuzzy theory with FMEA, which allows the inter-media state of either crisp membership or non-membership in order to establish the membership function to represent set and depict the relation between elements and set. Meanwhile, through this relationship and transforming the semantic or colloquial narrative into fuzzy sets, the systematic fuzzy FMEA could help convert the description of semantic or colloquial to useful information. [3]

There are two steps for the fuzzy theory to measure the process of the subjective judgment, as follows:

- (1) First, transforms the linguistic terms of linguistic variables into fuzzy numbers;
- (2) Second, by computing to transform fuzzy numbers into specific values.

At step (1), all these information in FMEA are represented by the triangular membership function, because it is simple to calculate and easy to understand. The illustration (refer to Fig. 2) and equations of definition of fuzzy set are shown as follows:

$$\mu_{\tilde{A}}(r) = \begin{cases} 0 & r < a \text{ or } r > b \\ \frac{r-a}{m-a} & a < r < m \\ \frac{r-b}{m-b} & m < r < b \end{cases}$$

Where $\tilde{A} = (a, m, b)$ and $a < m < b$.

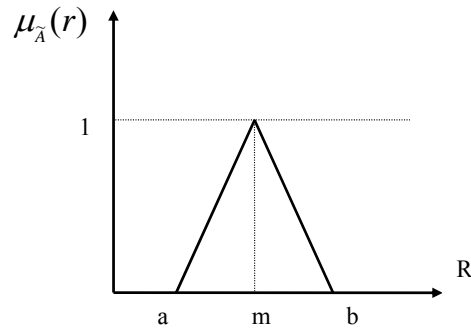


Fig.2 Triangular Membership Function

At step (2), this study uses Maximizing Set and Minimizing Set method [6] to defuzzify the fuzzy function. The illustration diagram is shown in Fig. 3 and the basic calculation is shown as follows:

$$U_R(i) = \frac{(b_i - x_1)}{(x_2 - x_1) + (b_i - m_i)}$$

$$U_L(i) = \frac{(b_i - x_1)}{(x_2 - x_1) + (b_i - m_i)}$$

$$U_T(i) = \frac{[U_R(i) + 1 - U_L(i)]}{2}$$

$$= \frac{0.5 * (b_i - x_1)}{(x_2 - x_1) + (b_i - m_i)} + \frac{0.5 * (m_i - x_1)}{(x_2 - x_1) + (m_i - a_i)}$$

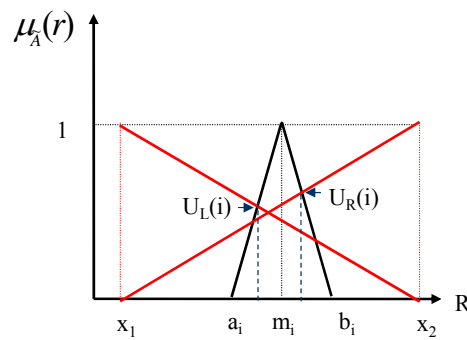


Fig.3 Maximizing Set and Minimizing Set Diagram

CASE STUDY

To put FMEA into practice, it must examine the relation between cause and effect of each item in detail. For an HCPV system, the failure mode and effect analysis of each sub-system from top to bottom of the main structure diagram are shown in Fig. 4 in order to find the most effective preventive and corrective measures. The main FMEA elements are established as in Table 1.

In this study, we applied five-level triangular membership function to Severity, Occurrence and Detection as shown in Fig. 5. Through the dismantling fuzzy process, the total preference value of each level was shown in Table 2.

Fuzzy theory can improve the difficulties of transforming traditional FMEA decision factors to numeric. The priority of corrective action after FMEA evaluation can be consolidated by using grey relational analysis model.

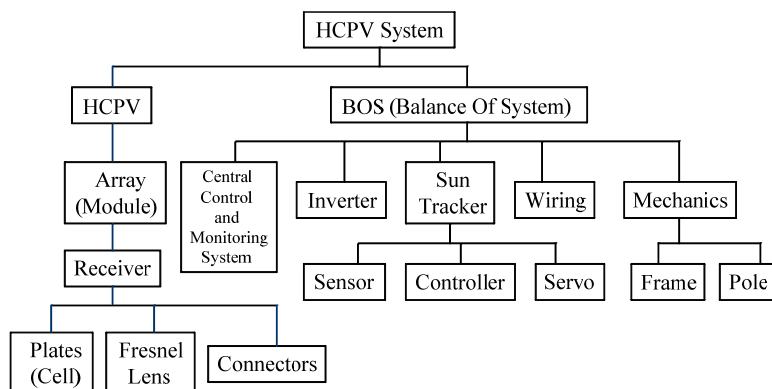


Fig.4 Main Structure Diagram of HCPV System

Table 1 Main FMEA Table of HCPV System

No.	Failure Mode	Failure Cause	Failure Result	Recommended Action	S	O	D
1	No current from array	Circuit breakers open; Module output connectors open, or wiring broken	No current flow from array	Reset circuit breakers; repair or replace damaged wiring or module output connectors	VH	L	L
2	Array current low	Some modules shaded	Drop in output current	Remove source of shading	M	M	VL
3		Some modules interconnections broken		Repair interconnections	M	L	M
4		MPPT misaligned		Align MPPT	M	M	H
5		Some modules damaged or defective		Replace affected modules	M	L	M
6		Modules dirty		Wash modules	M	M	VL
7		Some modules tilt or orientation incorrect		Correct tilt and/or orientation	M	L	M
8	No voltage from array	Circuit breakers open; All modules connectors open or wiring broken	No power from array	Reset circuit breakers, repair or replace damaged connector or wiring	VH	L	M
9	Array voltage low	Interconnection wiring defective or broken, or bypass diodes defective	Drop in array voltage	Connections, or interconnection wiring	H	L	L
10		Cell defective or damaged		Replace cell	H	L	VL
11	Module leakage	Module grounding	Drop in current	Replace module	H	M	VL
12	No output from inverter	Circuit breaker open; connectors or wiring broken	No power can move through inverter	Reset circuit breaker, or repair or connectors or wiring	VH	L	M
13		Inverter failure	No power available to inverter	Replace inverter	VH	L	M
14		Time delay on inverter startup from idle	A few seconds delay after starting load	Wait a few seconds after starting loads	L	VL	M
15	Motors failure	Motor components fatigue	No power output	Replace motor	M	L	L
16	Loads operating improperly	Wiring grounding	No power output	Repair wiring	M	L	M
17		Grid abnormal		Repair grid	M	VL	L
18		Defective inverter		Replace inverter	M	H	L
19	Motors operating improperly	Limit switch failure	No power output	Replace limit switch	H	M	L
20	Tracker's position bias	Sun position sensor abnormal	Drop in output current	Check and adjust sun sensor	M	M	H
21		Controller abnormal		Check and adjust controller	M	H	H

22	Tracker does not operate at all	Defective motors	No power output	Repair or replace damaged motors	VH	L	VL
23	Load does not operate at all	Switches in the system turned off or in the wrong position	No power output	Put all switches in correct position.	H	L	L
24		System circuit breakers blown		Replace circuit breakers	H	M	VL
25	Equipment breakdown	Frame or Pole damaged	Main structure toppled	Repair or maintain the structure	VH	VL	VL

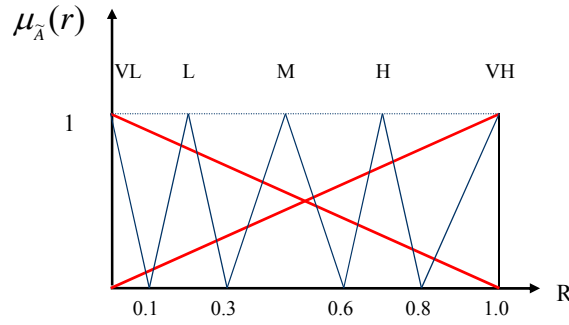


Fig.5 Five-level Triangular Membership Function Diagram

Table 2 Parameters and Defuzzifications

Grade	$x1$	$x2$	a	m	b	U_T
VL	0	1	0	0	0.1	0.05
L	0	1	0.1	0.2	0.3	0.23
M	0	1	0.3	0.45	0.6	0.46
H	0	1	0.6	0.7	0.8	0.68
VH	0	1	0.8	1	1	0.92

Grey relational analysis is a method which can evaluate the relevance of discrete sequences by using the feature of grey theory which deals with uncertainty and incomplete information of the systems model. Under a variety of properties, grey relational analysis can schedule the sequence of different discrete, and offer different weight to each factor, which reinforce the weakness of the traditional FMEA.

The failure mode diagnosis method of Grey relational analysis in this study differs from the literature methods [7, 8] is here authors established the standard sequence first and then compared the sequence, as follows:

(i) Establish the standard sequence:

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)) \in X$$

(ii) Establish the comparing sequence:

(iii) Find the difference of the standard sequence and comparing sequence:

$$X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n))$$

$$\Delta_{oi}(k) = \|x_0(k) - x_i(k)\|$$

(iv) Calculate the Grey relational coefficient:

$$r(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \Delta_{\max}}$$

$i=1, \dots, m$; $k=1, \dots, n$; $x_0(k)$: comparing sequence, $x_i(k)$: standard sequence;

$$\Delta_{\min} = \min_{\forall i} \min_{\forall k} \|x_0(k) - x_i(k)\|$$

$$\Delta_{\max} = \max_{\forall i} \max_{\forall k} \|x_0(k) - x_i(k)\|$$

$\zeta \in (0,1)$: cognitive coefficient, nominal 0.5

(v) Find the grey relational grade:

$$\Gamma(X_0, X_i) = \sum_{k=1}^n \beta_k r(x_0(k), x_i(k))$$

where $\sum_{k=1}^n \beta_k = 1$

(vi) Find the sequence order.

After calculating, the results are shown as in Table 3.

The final result shows that the most noticeable HCPV failure modes are as follows: No voltage from array, No output from inverter, No current from array and Motors operating improperly. There related failure causes are as follows: Circuit breakers open, All modules connectors open or wiring broken; Circuit breaker open, connectors or wiring broken; Inverter failure; Circuit breakers open, Module output connectors open, or Wiring broken; and Limit switch failure. Among those, there are three key failure causes: connector, wiring, and circuit breaker, which ignite the common failure of HCPV system.

Table 3 Corrective and New Corrective Order

No.	Fuzzy Inference			Defuzzification			Grey Relational Grade	Corrective Order	Weighted Grey Relational Grade	New Corrective Order
	S	O	D	S	O	D			(S , O , D) Respectively is (.7 , 0.2 , 0.1)	
1	VH	L	L	0.92	0.23	0.23	0.616	9	0.480	4
2	M	M	VL	0.46	0.46	0.05	0.703	19	0.599	21
3	M	L	M	0.46	0.23	0.46	0.616	10	0.591	17
4	M	M	H	0.46	0.46	0.68	0.519	2	0.544	12
5	M	L	M	0.46	0.23	0.46	0.616	11	0.591	18
6	M	M	VL	0.46	0.46	0.05	0.703	20	0.599	22
7	M	L	M	0.46	0.23	0.46	0.616	12	0.591	19
8	VH	L	M	0.92	0.23	0.46	0.554	4	0.462	1
9	H	L	L	0.68	0.23	0.23	0.642	14	0.535	10
10	H	L	VL	0.68	0.23	0.05	0.729	22	0.561	16
11	H	M	VL	0.68	0.46	0.05	0.667	16	0.524	8
12	VH	L	M	0.92	0.23	0.46	0.554	5	0.462	2
13	VH	L	M	0.92	0.23	0.46	0.554	6	0.462	3
14	L	VL	M	0.23	0.05	0.46	0.764	23	0.773	25
15	M	L	L	0.46	0.23	0.23	0.678	18	0.610	23
16	M	L	M	0.46	0.23	0.46	0.616	13	0.591	20
17	M	VL	L	0.46	0.05	0.23	0.764	24	0.662	24
18	M	H	L	0.46	0.68	0.23	0.580	7	0.551	14
19	H	M	L	0.68	0.46	0.23	0.580	8	0.498	5
20	M	M	H	0.46	0.46	0.68	0.519	3	0.544	13
21	M	H	H	0.46	0.68	0.68	0.483	1	0.522	7
22	VH	L	VL	0.92	0.23	0.05	0.703	21	0.507	6
23	H	L	L	0.68	0.23	0.23	0.642	15	0.535	11
24	H	M	VL	0.68	0.46	0.05	0.667	17	0.524	9
25	VH	VL	VL	0.92	0.05	0.05	0.790	25	0.559	15

CONCLUDES

A remote, complex or a large scale system without a proper managing and maintenance mechanism is difficult to keep the anticipated performance. On-line diagnostic technology using fuzzy FMEA with grey relational analysis in this study predicts failure modes, analyzes causes of components and systems, and helps the management level to schedule a maintenance plan in advance.

In this study, authors collect the 25 failure modes of 100 kW HCPV systems components, and inferred 5 types failure modes to highlight the key parameters, using fuzzy FMEA and grey relational analysis helps conduct the online diagnosis process. Hence, it holds the fort of the mechanism.

The above-mentioned technology has been proved on the 100 kW HCPV system, and showcased the process of fuzzy FMEA is feasible for the online diagnosis for the HCPV system. To better the online diagnosis mechanism, authors will combine neural network training methodology to adjust the parameters of fuzzy membership function.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to Mr. Cheng-Dar Lee for providing the informative data of the failure components of HCPV system and advices for this paper, and authors also would like to thank Mr. Ming-Hui Su for his assistance of processing this paper.

REFERENCES

- [1] Y. Yagi, H. Kishi, R. Hagihara, T. Tanaka, S. Kozuma, T. Ishida, M. Waki, M. Tanaka and S. Kiyama, 2003, Diagnostic technology and an expert system for photovoltaic systems using the learning method, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 75, Issues 3-4, pp. 655-663.
- [2] S.K. Firth, K.J. Lomas and S.J. Rees, 2010, A simple model of PV system performance and its use in fault detection, *Solar Energy*, Vol. 84, pp.624–635.
- [3] S. Vergura, G. Acciani, V. Amoruso, G.E. Patrono, and F. Vacca, 2009, Descriptive and Inferential Statistics for Supervising and Monitoring the Operation of PV Plants, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 56, No. 11, pp. 4456-4464.
- [4] C.B. Yahya, 2010, Performance Monitoring of Solar Stand Alone Power Systems, *IEEE International Energy Conference*, pp. 412-416.
- [5] C.H. Chang, J.J. Zhu, and H.L. Tsai, 2010, Model-Based Performance Diagnosis for PV Systems, *SICE Annual Conference*, pp. 2139-2145.
- [6] Chen S.H., 1985, "Ranking Fuzzy Numbers with Maximizing Set and Minimizing Set", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.17, pp.113-130.
- [7] H.C. Liu, L. Liu, Q.H. Bian, Q.L. Lin, N. Dong, and P.C. Xu, 2011, Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory, *Expert Systems with Applications*, Vol.38, pp.4403-4415.
- [8] K. Xu, L.C. Tang, M. Xie, S.L. Ho, M.L. Zhu, 2002, Fuzzy assessment of FMEA for engine systems, *Reliability Engineering and System Safety*, 75, pp.17-29.

附件三：投稿 Reliability Engineering & System Safety 原文

Supervision of Environmental Impacts on HCPV Performance Based on Power Losses Analysis

Jin-Yinn Wang^{1*}, Gwo-Luh Lee¹, Horng-Jyh Lin¹
¹Vanung University, Taiwan

I-Tao Lung², Chih-Chieh Ma², Shang-Lee Chyou²
²Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council, Taiwan

Abstract

The high concentration photovoltaic (HCPV) system, after the completion of deployment, the related parameter settings and calibration, can usually achieve the optimum capacity of power generation. The change of environment, however, has a great impact on the power generation performance. Some environmental factors are hard to be changed, such as the wind effect. On the other hand, other environmental factors can be improved, such as the accumulated soiling on a panel, bird droppings, acid rain, etc. With all the mentioned factors compared with the very beginning operation, the power generation and efficiency will be gradually reduced.

In this research, based on the variation of the power output and environmental impact factors, authors utilize the techniques of the variation analysis and data mining to evaluate the trend of performance reduction of the HCPV system, which will assist maintenance personnel to make a decision when is the proper time to clean the panels and how to prevent power loss from the wind effect. This analysis has reduced manpower to seek clues of bad system performances among tremendous collected data.

Keywords: High Concentration Photovoltaic (HCPV); Soiling Impacts; Power Losses Analysis;

1. Introduction

Along with the development of hi-technology, industrial development, energy demand is increasing and the rate of consumption is also more and more rapid. Among the available energy resources, the fossil energy that human being has been most depended not only can be used up, but also causes environmental pollution, carbon dioxide emissions and global warming, all of which makes us to think about the solution. Henceforth, development of new alternative energy sources, especially green energy, is an important issue. In a variety of alternative energy technologies, inexhaustible solar energy chosen to be transferred into electrical energy is the most natural and sustainable thinking. Around the world can be used fairly and no problems of reserves and the monopoly, no doubt that solar energy is the most potential energy; all these features make solar power industry become the most eye-catching Tomorrow's Star.

However, HCPV panel that must be long-term exposure outdoors is significantly affected by the external environment, such as soiling, bird droppings, and acid rain, which makes the power generation efficiency reduced. If such a situation can be ruled out timely, the function of HCPV system power generation will be completely performed. That is why regular cleaning HCPV panel is one of the important maintenance items.

2. Literatures Review

One of the simplest and most cost-effective solutions to maximize energy capture is panel washing. PV Trackers Inc. (PVT) [1] announced that the data proving solar panels cleaning increases energy production by 8-12%. Pavan[2] analyzed the effect of pollution that could seriously compromise the yield of solar parks, the results obtained in their studies can help the operation and maintenance responsible in choosing the proper washing schedule and method for their plants and avoid wasting money. Mani and Pillai [3] provided an appraisal on the current status of research in studying the impact of soiling on PV system performance and identifies challenges to further pertinent researches. Based on the exhaustive literature study a recommendation table has been developed to guide in the identifying appropriate cleaning and maintenance cycle for PV systems in response to the prevalent climatic and environmental conditions. Vivar[4] showed that CPV systems were more sensitive to soiling than flat panels because they couldn't be focused onto the receivers again. Cleaning implemented at an economically optimized frequency is a simple method of improving electricity production by both CPV and non-concentrating systems.

An HCPV system is usually equipped with many concentration modules and the area of the aperture is so large that it might be subjected to wind loads significantly. Thus, wind load is one of the major factors to affect the structural integrity in an HCPV system in addition to the weight of concentration modules. Wu[5] studied the air flow over a two-axis solar tracker with two CPV modules installed, and analyzed the structural deformation of the whole system (CPV modules and tracker). The results showed that the maximum wind load always located on the pedestal of tracker. Cancro[6] analyzed the structural deformation in a CPV system with a two-axis pedestal form through the FEA simulations. The results also showed that the misalignment of solar tracker was mainly caused by the mechanical deformation of the tracking structure due to the structure's weight, the mechanical clearances of the reduction gears, and the wind loads. Peterka [7] measured the mean and peak wind loads on flat rectangular and circular heliostat models. The results showed that wind loads were greater than the predictions for a uniform, low-turbulence flow, due to the presence of turbulence. The force was suddenly increased when the turbulence intensity was greater than 10%. Lerchenmüller [8] paper described that the measured standard deviation for the tracker's elevation oscillation angle is below 0.1° when the solar panel was at a wind speed under 7 m/s. Naeeni et al. [9] performed a two-dimensional numerical simulation about turbulent wind flow around a parabolic through solar collectors in solar power plants. The wind force on the collector structure and mirrors increases sharply when the wind speed increases,

especially for large collector angles against wind direction. Rubio et al. [10] presented a hybrid tracking system that consists of a combination of open loop tracking strategies based on solar movement models and closed loop strategies using a dynamic feedback controller. The sun is not constantly tracked with the same accuracy to prevent energy overconsumption by the motors.

Unlike the other researchers approach about the improvement for CPV solar-tracking system, this research proposes a scheme to enhance system performance which is degraded due to the impact of wind loads. This approach is based on both the applications of Fuzzy control theorem and the real wind loads data to train the neural network. During the training process, the related parameters of fuzzy membership functions are constantly adjusted to minimize the errors between network's outputs and preset values. The basic concept of fuzzy theory was first published in Information and Control in academic journals [11], 1965 by Professor Zadeh of the University of California, Berkeley. Since then, fuzzy has been used in a wide range of areas, such as fuzzy control system, fuzzy classification (fuzzy clustering), pattern recognition, decision analysis and so on. Fuzzy methods are often used in combination with other algorithms, for example, the combination of fuzzy theory and neural networks, the combination of fuzzy theory and genetic algorithms, and the integration of fuzzy theory and ant algorithms. Fuzzy theory has also been used in solar photovoltaic systems, which are mainly confined to dealing with the issues about maximum power point tracking technology (MPPT)[12-17]. However, it is extremely rare to be applied to the study of the effects of wind on HCPV.

3. The definition of problems

During the operation, the HCPV system is subject to a lot of predictable factors (external environmental factors such as: radiation, soiling, shadowing, etc.) and accidental factors (such as: improper operation, parts failure, fault, or inadequate maintenance, etc.), which may result in the power generation abnormality.

When the system is under the supervision of complete monitoring, all kinds of normal and abnormal data can be observed at any time. We can carry out the analysis and decision-making, by which we can then monitor and maintain the normal operation of the system; or when the exception occurs, we can take proper action timely in order to keep the power generation efficiency of the HCPV system.

The hot point in this paper lies in that part of the analysis of the differences, in which the discussion is concentrated on the investigation about the differences between the rated amount and the real measurement. The objectives include: (1) evaluation of the correctness of the rated capacity of the photovoltaic power generation system; (2) evaluation of the correctness of the real measurement of the photovoltaic power generation system; (3) Understanding a priori the reason about the difference between the rated amount and the real measurement, which can be used to as the basis for further exploring the variation; (4) such investigation is a kind of prior analysis.

An HCPV system differs from the conventional PV system for it must have an accurate tracking system, causing the maintenance requirements to take more time and cost. In order to keep the motor in solar tracker working normally and to avoid being damaged, the solar tracker is prohibited to follow the sun trajectory by the wind protection mechanism when the wind velocity is greater than a predetermined threshold value called H (meter/second). It can be expressed as "*If wind speed $s \geq H$, then the solar tracking system is stop and the HCPV panel lay down*". However, such a consideration seems to be reasonable though, there exist two problems. The first lies in that if the wind speed is constantly changing in the vicinity of threshold value, the motor of solar tracker will be forced to switch between on and off frequently. Such a switching operation could damage mechanical parts in solar tracking control system. The second is about serious performance degradation. That is, even in the sunny days, as long as the wind speed is greater than the threshold value, the solar tracking device will be

triggered to stop working to protect the mechanical parts from being damaged, which leads to loss of power generation.

In addition to the wind speed, the wind direction is another interesting factor to this paper. For example, although the wind speed exceeds the value of H (m/s), but the direction of wind (called \mathbf{d}) blowing is *not normal* to the solar panel, instead, with an angle λ to the normal vector of the panel. Let $\theta = (90^\circ - \lambda)$, through the calculation of the vertical component at $\sin(\theta)$, the result is less than the threshold value of H (m/s), consequently, the solar panels at this time are allowed to operate to maximize power generation efficiency. That is to say, the extent of its impact depends on the wind direction and the angle between the normal vector of the solar panel and the wind direction. When $\theta = 0$ degree, for example, the wind direction is parallel to the array panel, the impact of the vertical component of wind speed on the panel is minimum. When $\theta = 90$ degree, however, the wind direction is perpendicular to array panel, the impact of the vertical component of wind speed on the panel is maximum. The third factor discussed is the change rate (called \mathbf{m}) of maximum wind speed, which is used to estimate the tendency of wind velocity being increased (**positive**) or decreased (**negative**).

In response to the variety of wind loads, this paper utilizes adaptive network based fuzzy inference systems (ANFIS)[18] to identify the membership function parameters of single-output, Takagi and Sugeno [19] type fuzzy inference systems through a hybrid learning algorithm, which is a combination of least-squares and back-propagation gradient descent methods that are used for training these membership function parameters to model a given set of input and output data.

The ANFIS strategy is widely used in applications that involve uncertainty or imprecision in the definitions of the variables constituting the system's behavior [20]. Mellit et al. [21-22] proposed a hybrid model for estimating sequences of daily clearness index by using an ANFIS. Chaabene et al. [23] used a neuro-fuzzy dynamic model for forecasting irradiance and ambient temperature. Moghaddamnia et al. [24] used five relevant variables for estimating the daily solar radiation, daily maximum temperature, daily mean temperature, precipitation and wind velocity.

4. The Methodology

Kimber[25] described the effects of soiling on energy production for large grid-connected systems in the US and presents a model for predicting soiling losses. In this paper, the power generation effectiveness is properly defined and the formula is proposed. But the goal of this research is to acquire the attenuation tendency of power generation performance from the actual data of HCPV, which is in turn as a basis for cleaning panel. The formula is not necessary to be highly accurate, because the environmental factors are ever-changing. The simple calculation methods (1) and (2) are as follows:

$$\eta = P_{kwh} / (G_{DNI} * A) \quad (1)$$

$$Ra = \eta / \text{Max}(\eta) \quad (2)$$

Where: P_{kwh} : total measured AC energy production (kWh)

A : total module area (m^2)

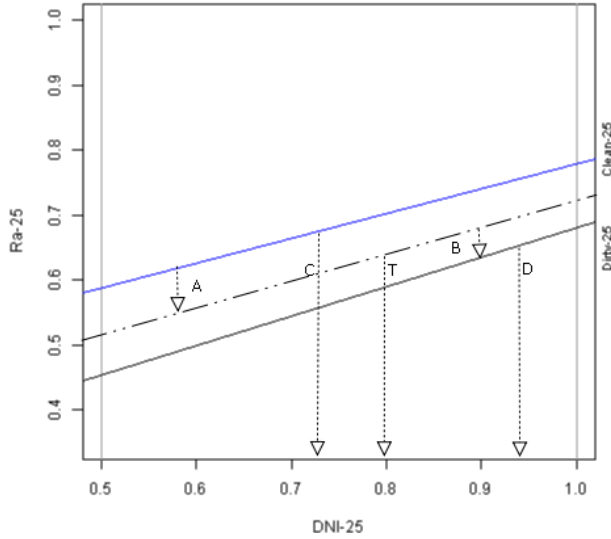
G_{DNI} : Direct Normal Irradiance on the plane of the array (kWh/ m^2)

Ra: normalized of η

In this study, taking data from MW HCPV system built by INER in 2009, G_{DNI} is as X-axis and Ra as Y-axis to plot a regression line by using the simple linear regression technique. The symbols shown in Figure 1 are described as follows: Clean-25 represents the 25th (subsystem no. 25) HCPV panel in the cleanest condition, Dirty-25 stands for the 25th HCPV panels in the dirtiest conditions. The several dotted lines in the middle imply that the cleanness is between the above two conditions.

C: the area of clean line

D: the area of dirty line



T: the area of test line

A: decision metrics to wash (dirty index)

B: decision metrics to wash (clean index)

Figure 1 The regression curves for the cleanest and dirtiest situations on HCPV panel

We define the cleaning index percentage C_I as (3), where $C_I=0$ represents the HCPV panel being the cleanest, and $C_I=100$ the dirtiest. These indices are defined according to the contiguous two cleanings.

$$C_I = \frac{A}{A+B} * 100\% \quad (3)$$

From the Figure, the areas $A=C-T$ and $B=T-D$, where C is the area under the cleanest regression curve, D the area under the dirtiest regression curve, and T is the area under regression curve of test data. From (3) we can obtain (4). If $T=D$ then $C_I = 100\%$; if $T=C$ then $C_I = 0\%$.

$$C_I = \frac{C-T}{C-T+T-D} * 100\% = \frac{C-T}{C-D} * 100\% \quad (4)$$

The area under the regression curve can be further evaluated as (5), (6), and (7), respectively, and finally, (8) can be obtained.

$$C = \int_a^b (c_0 + c_1 i) di \quad (5)$$

$$D = \int_a^b (d_0 + d_1 i) di \quad (6)$$

$$T = \int_a^b (t_0 + t_1 i) di \quad (7)$$

$$C_I = \frac{\int_a^b (c_0 + c_1 i) di - \int_a^b (t_0 + t_1 i) di}{\int_a^b (c_0 + c_1 i) di - \int_a^b (d_0 + d_1 i) di} * 100\% \quad (8)$$

An ANFIS structure of three input variables and a single output variable y is illustrated in Figure 2, in which there are five layers with the input variables being wind speed (s), wind direction (d) and maximal changing rate of wind speed (m). The output y is compared with preset value first, the error is fed back to the related layers of ANFIS for parameter adjustment.

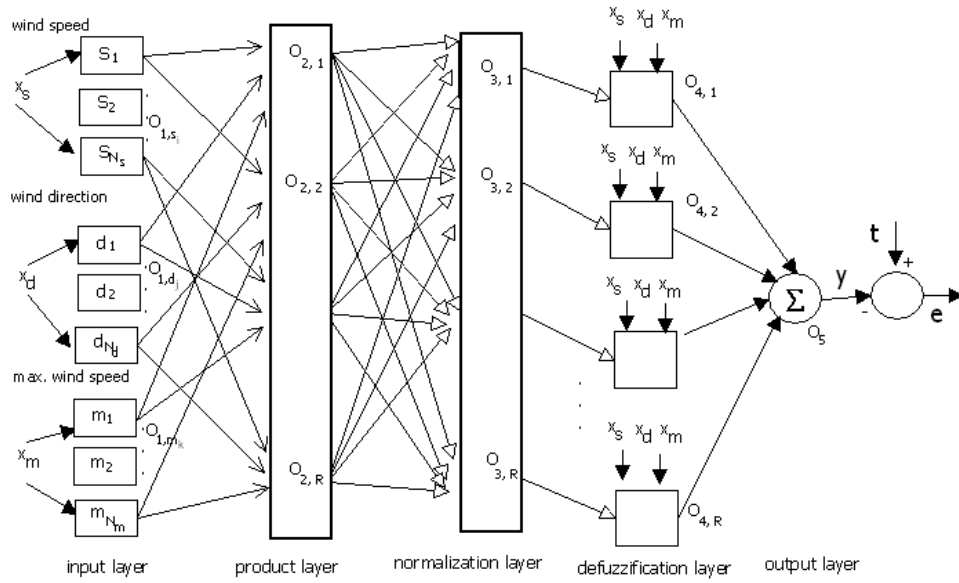


Figure 2 The ANFIS architecture used in this article

First of all, the input data in this layer is wind speed samples (x_s), wind direction samples (x_d), samples of maximal changing rate of wind speed (x_m). The Gaussian membership functions are used as transfer functions. The output of production layer as shown in Equation (9).

$$o_{2,r} = w_r = \prod_{i,j,k} \mu_i(x_s) \mu_j(x_d) \mu_k(x_m) \text{ for } r=1,\dots,R; R=N_s \times N_d \times N_m$$

$$i = 1,\dots,N_s; j = 1,\dots,N_d; k = 1,\dots,N_m$$
(9)

The normalization layer as shown in Equation (10).

$$o_{3,r} = \overline{w_r} = \frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \text{ for } r = 1,\dots,R$$
(10)

The defuzzification layer as shown in Equation (11).

$$y = o_{4,r} = \overline{w_r} f_r = \overline{w_r} [\alpha_r x_s + \beta_r x_d + \gamma_r x_m + \delta_r] \text{ for } r = 1,\dots,R$$
(11)

The output layer as shown in Equation (12).

$$Y = o_5 = \sum_{r=1}^R o_{4,r} = \sum_{r=1}^R \overline{w_r} f_r = \sum_{r=1}^R \frac{w_r f_r}{\sum_{r=1}^R w_r}$$
(12)

We expect to obtain minimum error for whole training data. Usually, the steepest descent method is used to search E value shown in (13), in which the minimization process is analog to Error Back- Propagation (EBP). Assume t_x is the preset output of the x-th training data; y_x is the estimated value of the x-th training data in ANFIS layer; e_x is the square of error between the preset output and the estimated value of the x-th training data. When the x-th training data is inputted, ANFIS is immediately adjusted weights in small size, as shown in (14).

$$E = \sum e_x, \text{ where } e_x = (1/2)(t_x - y_x)^2$$
(13)

$$\Delta P = -\eta \frac{\partial E}{\partial P} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y_x} \frac{\partial y_x}{\partial P} = \eta (t_x - y_x) \frac{\partial y_x}{\partial P}$$
(14)

Here P is the set of parameters, η is the learning rate; however, the drawback of the steepest descent method is its slow

convergence, long computation time, and being apt to fall into local solution.

5. Experimental results

HCPV technologies have been studied by Institute of Nuclear Energy Research (INER) of Taiwan since 2003, including technologies of III-V solar cell, concentration solar module, solar tracker, central control and monitoring system, and solar module qualification, etc. The data in this research is from the measured results of anemometers of the HCPV system built in Luchu, Kaohsiung. These data for the same HCPV panel is obtained between after the current cleaning and before the next cleaning.

It is over 35,000 records (including DC/AC power, DNI, air temperature, wind speed, wind direction, and maximum changing rate of wind speed, etc.) from 2011/12 to 2012/03, and used for C_1 (clean index) computations and ANFIS training purpose. In order to understand the cross correlations among direct current (DC), alternative current (AC), wind speed, maximum wind speed, wind direction, temperature (atmospheric), relative humidity, direct sunshine, daytime sunshine, ultraviolet rays (UV) we has done the correlated coefficient comparison and analysis through the raw data. The results are shown in Figure 3 (Subsystem no. 26 only).

C-26	DC	AC	Wind velocity	Maximum wind speed	Wind direction	Atmospheric temperature	Relative humidity	DNI	Full sun	UV
DC	1.0000									
AC	0.9999	1.0000								
Wind velocity	0.2751	0.2735	1.0000							
Maximum wind speed	0.2855	0.2836	0.9291	1.0000						
Wind direction	0.0356	0.0370	0.3237	0.1977	1.0000					
Atmospheric temp.	0.3361	0.3331	0.1578	0.1181	0.2019	1.0000				
Relative humidity	-0.3379	-0.3387	-0.2191	-0.2061	-0.2890	-0.3637	1.0000			
DNI	0.8840	0.8846	0.2049	0.2050	0.0215	0.3625	-0.3124	1.0000		
Full sun	0.6501	0.6510	0.2901	0.2865	0.1683	0.2522	-0.3321	0.5895	1.0000	
UV	0.6028	0.6028	0.2873	0.2922	0.1586	0.2722	-0.2833	0.4962	0.9721	1.0000

Figure 3 Correlation coefficient analysis of the raw data from Subsystem no. 26

In additional to above different environmental factors which affect power generation, it is necessary to investigate if there are other external factors that are hard to be measured. According to the experience of the fund granted unit, both soiling and air pollution also may be the factors. Through the power generation efficiency before and after the cleaning of each subsystem and setting $DC > 1000$, the results based on the t -test analysis are shown in Figure 4. It can be found that the power generation efficiency in each stand shows to be significantly increased after cleaning, which indicates the cleaning effectiveness (in other words, it does exist the shadowing effect of soiling).

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	Efficiency before cleaning	Efficiency after cleaning
Mean	5267.676842	6470.351395
Variance	1211255.211	1217262.434
Observations	219	534
Pooled Variance	1215518.66	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	751	
t Stat	-13.59447702	
P(T<=t) one-tail	4.31241E-38	
t Critical one-tail	1.646885135	
P(T<=t) two-tail	8.62481E-38	
t Critical two-tail	1.96312777	

Figure 4 Variance analysis of efficiency for cleaning on subsystem no. C26

We use above equations (1) and (2), respectively, to evaluate the regression curves of HCPV panel with raw data from subsystem 26 and 27, shown in Fig. 5. The regression curve for cleanest situation (the panel has just been cleaned) is marked as Clean-26 (or Clean-27), and that for the dirtiest situation is marked as Dirty-26 (or Dirty-27) for dirtiest situation (The panel is about to be cleaned).

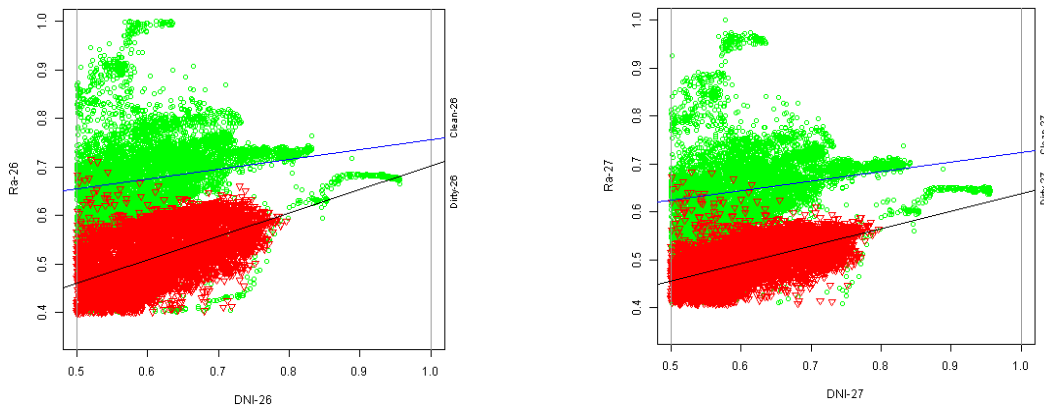


Figure 5 The regression curves for the cleanest (upper one) and dirtiest situations (lower one)

The reduction of power generation performance of HCPV panel affected by external factors such as soiling etc. is converted into a cleaning index C_1 as shown in Figure 6. We define that C_1 is 0% when the panel is just cleaned (i.e., in the Clean line), and C_1 is 100% in the dirtiest status (i.e., in the Dirty line). When C_1 is more than 50%, it should put panel-cleaning in schedule. Of particular attention is that the C_1 index could be declined because of rain washing to the panel.

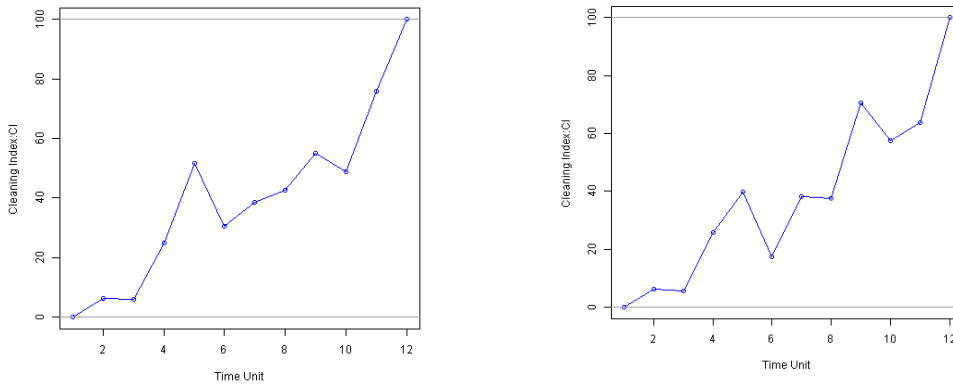


Figure 6 The percentage of clean-index C_1 for subsystem no. C26 and C27 respectively

Besides, the long-term accumulation of soiling is harmful to the power generation performance, momentary gusts can cause damage to the big panel; however, the momentary wind speed and direction are often difficult to predict. In this paper, we integrated the raw data such as: wind speed, wind direction and the change rate of maximum wind speed as multiple input factors, and then we use the adaptive neural fuzzy inference system (ANFIS) to give an intelligent decision making to further improve system power-generation performance.

The training process stops whenever the designated epoch number is reached or the training error goal is achieved. A testing data set is also used to prevent over-fitting of the training data set. The over-fitting can be detected when the testing error (root mean squared errors, RMSE) starts increasing while the training error (RMSE) is still decreasing. The training and testing error curves using Gaussian MF's during 300 epochs is shown in figure 7. It can be obtained from the results that our methods offer 76.68% performance improvements.

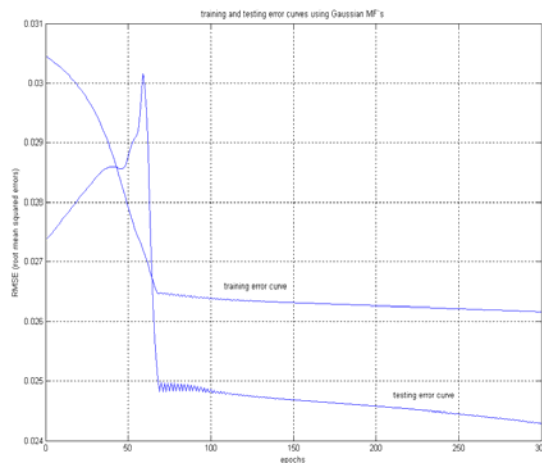


Figure 7 Training and testing error curves using Gaussian MF's during 300 epochs

6. Conclusions

From the variance analysis, we conclude that the effectiveness of the cleanness of HCPV panel to the power generation efficiency is significant. In order to monitor the soiling and wind factors on HCPV system, a large amount of power generation data and environmental parameters is converted into a clean index, which are used as reference for the panel cleaning schedule.

The other proposed approach is to improve stability of HCPV solar-tracking, promote the capability of security, control and system adaptation for environment, and increase time performance of power generation. In this paper, we integrated the raw data such as: wind speed, wind direction and the change rate of maximum wind speed as multiple input factors, and then we use the adaptive neural fuzzy inference system (ANFIS) to give an intelligent decision making to further improve system power-generation performance. From the real data and simulated results indicated that this approach can be greatly improved (over 75% in this research), especially in bigger wind speed. On the other hand, if the wind direction is stable and is nearly parallel to the panel array, the improvement extent is further increased (over 90% in this research). Such method has shown to work very well through field testing. In the near future, an automatic analysis of soiling and wind impacts will be coded to put into daily supervision program in order to improve maintenance efficiency and system performance as well.

7. References

- [1] PV Trackers Inc. (PVT) announced (October 27, 2010): www.pvtrackers.com
- [2] A. Pavan, Massi, Mellit, A., Pieri, D. De., "The effect of soiling on energy production for large-scale photovoltaic plants," *Solar Energy* 85 (2011) , pp. 1128–1136.
- [3] Monto Mani, Rohit Pillai, "Impact of soiling on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010), pp. 3124–3131.
- [4] M. Vivar, R. Herrero, et al., "Effect of soiling in CPV systems," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Solar Energy* 84 (2010), pp. 1327–1335.
- [5] J. C. Wu, K. H. Lin, and C. K. Lin, "Wind Load Analysis of A Solar Tracker For Concentrator Photovoltaics", 6th international conference on concentrating photovoltaic systems, 2010, Volume 1277, pp. 145-148.
- [6] C. Cancro, G. Graditi, G. Leanza, F. Pascarella, A. Sarno, and D. Mancini, "Field Testing of the PhoCUS Solar Tracker by Means of a Novel Optoelectronic Device," in *Proceeding of the 4th International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, Spain, 2007*.
- [7] J. A. Peterka, Z. Tan, J. E. Cermak, and B. Bienkiewicz, "Mean and Peak Wind Loads on Heliostats," *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, Vol. 111, 1989, pp. 158-164.
- [8] H. Lerchenmüller , A. Hakenjos , I. Heile, B. Burger, O. Stalter, "From FLATCON® Pilot Systems to the first Power Plant", 2007 International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, Spain, pp 1-4.
- [9] N Naeeni and M. Yaghoubi, "Analysis of Wind Flow Around a Parabolic collector (1) Fluid Flow," *Renewable Energy*, Vol. 32, 2007, pp. 1898-1916.
- [10] F. R. Rubio, M. G. Ortega, F. Gordillo, and M. Lopez-Martinez, "Application of New Control Strategy for Sun Tracking," *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, 2007, pp. 2174-2184.
- [11] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", *Information and Control*, vol. 8, 1965, pp338-353.
- [12] D. Shmilovitz, "On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters, *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 152, No. 2., 2005.
- [13] Abdulaziz M. S. Aldobhani, R. John, "Maximum Power Point Tracking of PV System Using ANFIS Prediction and Fuzzy Logic Tracking", 2008 Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists ,Vol II, IMECS , pp.19-21 .
- [14] A. B. G. Bahgat, N. H. Helwa, G. E. Ahmad, and E. T. El Shenawy, "Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks", *Renew. Energy*, vol. 30, 2005, 1257–1268.
- [15] Mummadi Veerachary ,Tomonobu Senjuand Katsumi Uezato,"Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV Systems Using Fuzzy Controller", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, VOL. 38, NO. 3, 2002, pp. 969-981.
- [16] N. Patcharaprakiti, S. Premrudeepreechacharn., "Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system", *IEEE Power Engineering Winter*

Meeting, 2002, Vol. 1, pp. 372 – 377.

- [17] A. Pandey, N. Dasgupta, A. K. Mukerjee, “A Simple Single-Sensor MPPT Solution”, IEEE Trans. Power Electron, Volume 22, Issue 2 , 2007, pp. 698 - 700.
- [18] J.-S. R. Jang, “ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems,” IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 23, pp. 665-685, May 1993.
- [19] T. TAKAGI and M. SUGENO, “Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control,”IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, vol. 15, no. 1, pp. 116 - 132, 1985.
- [20] S. Kalogirou and A. Sencan, "Solar Collectors and Panels, Theory and Applications", Artificial Intelligence Techniques in Solar Energy Applications, ISBN 978-953-307-142-8, Edited by: Reccab Manyala, Publisher: InTech, October 2010.
- [21] A. Mellit, S. A.Kalogirou, S. Shaari, H. Salhi, A. Hadj, A.. Methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas: Application for sizing a stand-alone PV system. Renewable Energy, Vol. 33(2008), pp. 1570-1590.
- [22]A. Mellit, A.M. Pavan, A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy. Solar Energy, Vol. 84, No. 5(2010), pp. 807-821.
- [23] M. Chaabene, & M.B. Ammar, Neuro-fuzzy dynamic model with Kalman filter to forecast irradiance and temperature for solar energy systems. Renewable Energy, Vol. 33 (2008), pp. 1435–1443.
- [24] A. Moghaddamnia, R. Remesan, M.H. Kashani, M. Mohammadi, D. Han, & J. Piri, Comparison of LLR, MLP, Elman, NNARX and ANFIS Models-with a case study in solar radiation estimation. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol. 71(2009), pp. 975–982.
- [25] A. Kimber, S. Nogradi, et al., “The effect of soiling on large grid-connected Photovoltaic systems in California and the southwest region of the United States,” 4th World PVSEC, Hawaii, May 2006.