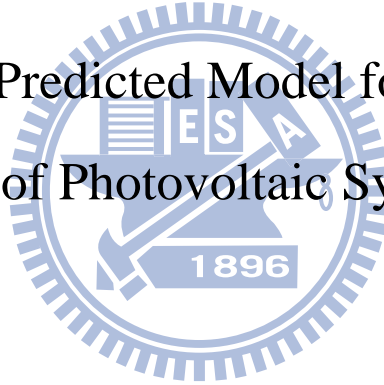


國立交通大學
工業工程與管理學系

碩士論文

建構台灣地區太陽能發電系統之
發電量預測模型

Constructing a Predicted Model for the Generated
Electric Energy of Photovoltaic Systems in Taiwan



研究生：高翊倫

指導教授：唐麗英 博士

梁高榮 博士

中華民國九十八年六月

建構台灣地區太陽能發電系統之發電量預測模型

Constructing a Predicted Model for the Generated
Electric Energy of Photovoltaic Systems in Taiwan

研究生：高翊倫

Student : Yee-Lun Kao

指導教授：唐麗英 博士

Advisor : Lee-Ing Tong

梁高榮 博士

Gau-Rong Liang

國立交通大學

工業工程與管理學系



Submitted to Department of Industrial Engineering and Management
College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Industrial Engineering and Management

June 2009

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

建構台灣地區太陽能發電系統之發電量預測模型

學生：高翊倫

指導教授：唐麗英、梁高榮

國立交通大學工業工程與管理學系碩士班

摘 要

電在人類生活中扮演著不可或缺的角色，而電能大多必須藉由化石燃料或鈾礦進行能量轉換所產生，這些資源在地球上的蘊藏量有限且分佈不均，且能源轉換為電力的過程中，會對於地球環境造成不少負面影響，有鑑於上述能源短缺與環保問題，太陽能、風力等再生能源發電的重要性逐漸提高，許多國家皆積極的推廣設置太陽能發電系統。然而，太陽能發電系統之轉換效率始終存在技術瓶頸，台灣雖位於太陽光能輻射豐富的地區，實際投入太陽能發電市場的廠商卻不如預期，主要的原因就是發電轉售的盈收不敷高昂的設置成本。因此，本研究分析台灣地區現有的太陽能發電系統資料，並建構一套發電量之預測模型，由於系統實際輸出的發電量，牽涉到地表日照量與系統轉換效率兩個因素，故本研究實際上是分別針對此兩因素建構預測模型，在系統轉換效率的部份，以各種系統規格做為解釋變數，應用遺傳規劃法（Genetic Programming, GP）進行預測；在地表日照量的部份，本研究搜集中央氣象局出版的氣候年報，以時間序列分析（Time Series Analysis）之成份分解法預測台灣各地區未來的地表日照量，最後整合地表日照量預測值、系統模組面積與轉換效率預測值，即可預測系統的發電量，且預測模型可程式化，只要輸入發電系統的關鍵變數與設置地區，即可得知系統在未來某一段時間內，正常運作下可輸出的發電量，一旦產、官、學各界對於太陽能發電系統輸出的發電量能有更準確的預估，對於投資、政策制定及相關學術研究皆能有不小的幫助。

【關鍵詞】 太陽能發電系統、地表日照量、發電量預測、遺傳規劃法、時間序列分析

Constructing a Predicted Model for the Generated Electric Energy of Photovoltaic Systems in Taiwan

Student : Yee-Lun Kao

Advisor : Lee-Ing Tong

Gau-Rong Liang

Department of Industrial Engineering and Management

National Chiao Tung University

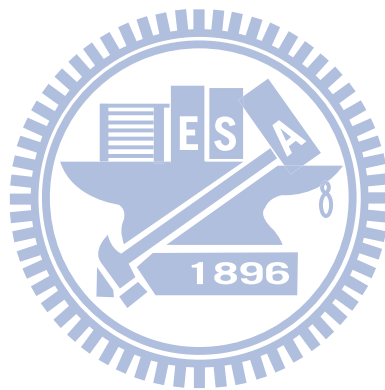
Taiwan

Abstract

Electricity plays an important role in civilized life, but most of the electricity must be generated from Fossil fuels and Uranium, these resources in the surface of the earth are limited and unevenly distributed. In addition, the process of electricity generated will cause a lot of negative impact on earth's environment. Considering the crisis of energy shortage and environmental protection, the importance of renewable energy, such as solar energy and wind power, are increasing gradually, that is why many countries are actively setting up the photovoltaic (PV) system. However, the conversion efficiency of PV system is limited to Engineering technique, although Taiwan is located in a region of abundant solar radiation, the actual investment of PV system market is not as good as expected, the main reason is that the benefit of electricity resale is inadequate for the high set-up cost. Therefore, this study analyze the PV system data now in Taiwan to constructs a predicted model for its electricity, but generated electric energy involves two factors – solar radiation and conversion efficiency, so this study actually constructs a predicted model for these two factors respectively, we apply Genetic Programming (GP) for the conversion efficiency predicted model, system specifications means the explanatory variables and conversion efficiency is the response variable; in the solar radiation predicted model, we collected the solar radiation data from annual report which published by central weather bureau (CWB), and then construct a Time-Series predicted model for the solar radiation around Taiwan by using component decomposition method. Finally, by integrating the predicted value of solar radiation, the size of PV module and the predicted value of conversion efficiency, we could evaluate the electric power which PV system can generate. In this study, the predicted model is programmable, enters

the key variables of PV system and where is the site of system, and you will get the estimated value of electricity. Once the industry, the official and academics can evaluate the generated electric energy of PV system more precisely, it will be helpful for investment, policy development and related researches.

Key words : Photovoltaic (PV) system, Solar radiation, Prediction of generated electric energy, Genetic Programming, Time Series analysis.



誌謝

花費不少時間與心血撰寫的論文總算是大功告成了，也象徵我在交大兩年的日子接近了尾聲，這兩年間認識了很多好朋友，也發生了許多的事情，酸甜苦辣的種種一言難盡，或許以論文來畫下句點也是不錯。

首先感謝兩位指導教授—唐麗英教授與梁高榮教授，一篇論文從構思、雛型到誕生，兩位教授無疑是最重要的推手，唐教授有如我的另一位母親一般，除了在課業上給予指導，也在點點滴滴的研究所生涯中，不時的給予溫暖；而若非梁教授在論文計畫書審核時給予的寶貴意見，這篇論文恐怕會因為結構不夠完整而變得一文不值。

感謝我的父母及家人，我從小就是個調皮搗蛋的小孩，總是要父母親不時叮嚀我在課業與生活上的表現，多年來他們不知為了我許多不上進的表現，生了多少氣、流了多少淚，辛辛苦苦的拉拔我直到完成碩士學位，而小時候總是喜歡與我拌嘴吵架的姐姐，卻也是陪伴我走過年少輕狂歲月的最大支柱，沒有家人全力的支持，讓我無後顧之憂的完成學業，我相信我不會有今天的成就，謝謝你們，真的。

感謝學士與碩士就讀的兩間大學—成功大學與交通大學，這兩所學校永遠我心目中最頂尖的大學。感謝成功大學統計系的各位教授，如果不是你們對於學生素質的嚴格把關，我無法在大學四年受到最紮實的統計相關訓練，進而有幸考取理想的研究所，繼續奉獻我的統計專長；感謝交通大學工工所，在短短的兩年中，讓我感受到全體教授們對於理想的堅持、對於學術研究的熱情，以及對於教學的認真態度。

感謝所有研究所同學、學長姐弟妹，以及唐老師碩士與博士班的好伙伴，包括一起為了太陽能專案而努力的宜憲學長、逸暉、邵殷，一起宅研究室的唐媽幫，一起經歷迎新、新生盃、實驗室競賽、出遊、火鍋會、跨年、夜烤、無數次的慶生....等各種活動的玩樂幫，這些點點滴滴構成了我

研究所時代最難忘的回憶，無論未來是否有緣再相見，希望畢業後大家都
能珍惜學生時代的情誼，繼續在人生的道路上互相扶持。

感謝陪伴我走過這兩年歲月的老朋友、新朋友、所有的好朋友，包含
早已是多年摯交，又有幸當了兩年室友，就讀於清大化工所的王同學欽
世，感謝每當我煩惱困惑時，替我分勞解憂的曉華，充當臨時心理諮詢師
的高中同學奕德與汶諭，以及大學好友蔡敏與彩榕，感謝大學曾師出同門
又在交大異地相逢的哲嘉、永裕、宗汶、思如與詩婷，感謝每次南下就診
提供我住宿的明政學弟，以及一張嘴走天下，教導我類神經網路方法，就
讀於成大測量所的邱同學冠維，感謝在最後一學期兼任交大傳科系助教
時，共同打拼奮鬥的黃靜蓉教授、助教夥伴家欣與韻姿、所有參與媒體實
習課程的學生，以及因課程相關活動而認識的所有好朋友，利用這個機
會，我真的要好好說一聲，謝謝你們這一路來的陪伴與照顧。

陳之藩曾言：「因為要感謝的人太多了，就感謝天吧。」的確，人生
二十多年來，一路上有形、無形，甚至是不知名而使我受惠的人、事、物
何其多，深深的感謝又豈是短短的字句所能表達，最應該要感謝的，或許
是給了我這樣美好人生的上天吧？所以我想說：「多謝老天爺，你是公平
的，這樣小人物的心願，距離這麼遠，你還是聽得見。」

最後，寫致謝詞的此刻，台灣正逢莫拉克颱風的侵襲，南部地區經歷
五十年來災情最慘重的水災，如果真有上天的話，希望老天爺再聽我一
句，願所有同胞平安，天佑台灣。

高翊倫 謹誌於
交通大學工業工程與管理研究所
新竹，台灣
2009.8.9

目錄

摘要	I
英文摘要	II
誌謝	IV
目錄	VI
表目錄	VIII
圖目錄	IX
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	4
1.3 研究方法	4
1.4 研究假設	5
1.5 研究架構	7
第二章 文獻探討	8
2.1 太陽能電池簡介	8
2.2 太陽能發電系統簡介	10
2.2.1 太陽能發電系統相關名詞簡介	11
2.2.2 太陽能發電系統種類介紹	11
2.3 日照條件介紹	13
2.3.1 日照強度與日照量	13
2.3.2 日照時數與日照率	14
2.4 發電量與轉換效率	14
2.5 遺傳規劃法	17
2.5.1 遺傳演算法與遺傳規劃法之比較	18
2.5.2 遺傳規劃法之前置條件	19
2.5.3 遺傳規劃法之運算方式	19
2.5.4 遺傳規劃法之相關應用	21
2.6 時間序列分析	21
2.6.1 時間序列之平穩性與獨立性檢定	22
2.6.2 時間序列的成份	24
2.6.3 時間序列之成份分析	26

2.6.4 時間序列成份之組合模型.....	27
2.6.5 時間序列分析之相關應用.....	27
2.7 總結.....	28
第三章 研究方法.....	30
3.1 研究架構.....	30
3.2 資料搜集與整理.....	32
3.3 建立轉換效率預測模型.....	34
3.3.1 使用遺傳規劃法軟體的執行步驟.....	34
3.3.2 模型驗證.....	35
3.4 建立日照量預測模型.....	37
第四章 實例說明.....	38
4.1 資料搜集與整理.....	38
4.1.1 太陽能發電系統資料.....	38
4.1.2 日照量資料.....	39
4.2 預測系統轉換效率.....	39
4.2.1 以遺傳規劃法建立預測模型.....	39
4.2.2 以統計方法建立預測模型.....	40
4.2.3 驗證過去工學實驗結果.....	42
4.2.4 模型驗證與準確性比較.....	43
4.3 預測各地區之日照量.....	45
4.3.1 單根檢定與 D-W 檢定.....	45
4.3.2 建模預測與準確性評估.....	46
4.4 預測未來各系統之發電量.....	49
第五章 結論與建議.....	50
5.1 研究貢獻.....	50
5.2 後續研究之建議.....	51
參考文獻.....	52

表目錄

表 2-1	以矽為原料之太陽能電池種類比較表.....	10
表 2-2	太陽能發電系統相關設備介紹.....	11
表 2-3	GA 與 GP 之比較表.....	20
表 2-4	太陽能發電系統之發電量相關研究類型.....	29
表 3-1	太陽能發電系統變數.....	32
表 3-2	發電量資料的解釋變數與反應變數.....	33
表 4-1	太陽能發電系統原始資料整理.....	39
表 4-2	篩選變數之範圍.....	40
表 4-3	顯著變數篩選結果.....	41
表 4-4	2008 年上半年度各系統日平均發電量預測結果(節錄).....	43
表 4-5	預測模型之準確評估.....	44
表 4-6	MAPE 之評比準則.....	44
表 4-7	單根檢定結果.....	45
表 4-8	D-W 檢定結果.....	46
表 4-9	各主要地區日照量預測 (以 kwh/m^2 為單位).....	47
表 4-10	各地區日照量預測之準確性評估.....	48
表 4-11	時間序列預測與歷史平均之準確性評估.....	48
表 4-12	2009 年度各系統發電量預測結果 (節錄).....	49

圖目錄

圖 1-1	近年來我國太陽能發電系統設置容量成長趨勢圖.....	3
圖 2-1	太陽能電池發電原理.....	8
圖 2-2	太陽能電池材料種類圖.....	9
圖 2-3	晶體結構之比較圖.....	9
圖 2-4	太陽能電池組裝示意圖.....	10
圖 2-5	獨立型太陽能蓄電系統.....	11
圖 2-6	反饋式太陽能發電系統.....	12
圖 2-7	市電併聯型太陽能發電系統.....	12
圖 2-8	地表水平面之太陽輻射量示意圖.....	13
圖 2-9	功率與能量關係圖.....	15
圖 2-10	影響發電量的因素結構關係圖.....	17
圖 2-11	利用遺傳規劃法的樹枝結構圖表示 $9y+x/y$	18
圖 2-11	交配示意圖.....	20
圖 2-12	突變示意圖.....	20
圖 2-13	時間序列的四種成份.....	25
圖 3-1	研究流程圖.....	31
圖 3-2	全台各地氣象觀測站地理位置圖.....	34
圖 3-3	遺傳規劃法之運算機制.....	36

第一章 緒論

本章首先敘述本研究之背景與動機，而後說明研究目的，簡述研究所採用的分析方法，並解釋研究的假設與限制，最後則介紹各章節之架構。

1.1 研究背景與動機

自工業革命以來，由於人類生活型態的轉變，使得「電」成為了文明世界中不可或缺的能源，充足的電力是工商經濟發展的後盾。然而我們日常生活所需的電能，必須透過煤、石油、天然氣等化石燃料或鈾礦來進行轉換，而這些蘊藏在地球上的資源是有限的，根據過去的研究顯示，在技術與成本的限制下，石油可開採年數剩下約 40 年，天然氣約 60 年，即使蘊藏量相對較多的煤炭，開採年數也不及 230 年[12][15]，且化石燃料蘊藏的地點也集中在少數地區，顯示了能源的有限性及易受控制性，一旦國家的能源的供應出現危機，工商業、經濟、交通、民生等許多層面的問題都會受到連帶影響[6]。

除了能源短缺的危機之外，無論利用化石能源或是鈾礦進行發電，對於地球的生態環境都有其潛在的不良影響，化石能源燃燒時所產生的大量二氧化碳使地球逐漸暖化，形成溫室效應，燃燒後產生的硫、氮等氧化物不僅污染空氣，溶於大氣層中的水氣後，形成的酸雨（Acid Rain）更造成熱帶雨林的面積不斷減少，間接加速了生態環境的惡化；而鈾礦進行的核能發電，至今仍存在許多安全上的疑慮，包括輻射外洩造成的災難以及核廢料處理的問題。

上述能源短缺以及環境保護的兩大問題，會隨著科技與文明不斷進步而日益嚴重，故近年來許多國家致力於開發風力、潮汐、太陽能等污染較低且可重複循環的再生能源（Renewable Energy），其中太陽能相較於其他再生能源，在取得上較不易受到地理環境因素所限制[6][9]，因此美、日

與歐洲各國政府近年來皆大力的推廣設置太陽能發電系統。

根據 2008 年經濟部能源局的最新統計顯示，我國有 99.35% 的能源必須仰賴進口，容易受到能源短缺及價格波動的影響，高度依賴進口能源將是國家發展的一大隱憂，因此推動太陽能發電系統的設置，以太陽光能取代化石燃料作為發電的來源，是一項不錯的選擇。

太陽能發電系統 (Photovoltaic system) 是由多個太陽能電池配上輸電相關設備所組成，太陽能電池透過光生伏特效應 (Photovoltaic effect) 將太陽輻射光能轉換為電能，當日光照射到電池表面時，並非所有入射的光能皆能轉為電能，日光是由多種頻率的光所組成，其中約 50% 的光由於頻率較低，無法使太陽能電池進行光生伏特效應，剩下 50% 的光能雖能作用，但在轉換的過程中又有一半以上的能量會以熱的形式釋放，最後只有不到 25% 的光可以轉換成電能[23]，而這樣的轉換效率也只不過是理論上的最大值，目前以矽為電池材料的太陽能發電系統，模組實際的轉換效率約在 6% 至 19% 之間。

我國位於太陽輻射能豐富的副熱帶地區，根據全球能源網路協會 (GENI) 資料顯示，台灣地區的太陽能資源被劃分在每年 1050~1350 kwh/m^2 的區域範圍，理論上是太陽能發電系統理想的設置地區，然而根據經濟部能委會的資料顯示，近年來我國太陽能發電系統的設置容量雖然逐年提高 (如圖 1-1)，至 2008 年底總計約四百萬瓦 (0.4 萬瓩)，但以太陽能提供的電力卻僅占所有電力供應的比重不到 0.1%，無法普及的主要原因是設置成本過高。由於太陽能發電系統的轉換效率相較於其他發電系統來的低，且設置太陽能發電系統需要廣大的土地，我國地狹人稠，土地成本高，一座與核四供電量相當的太陽能電廠，設置面積約為核四廠目前的 160 倍，若無法提高太陽能發電系統的轉換效率，發電系統實際運作後，電力轉售的盈收相對於高昂的設置成本，將是未來在推廣太陽能發電系統時，廠商望之卻步的一大阻礙。

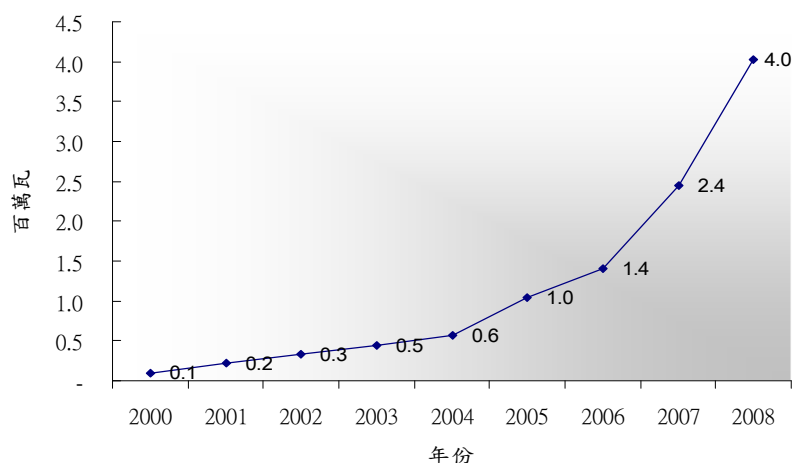


圖 1-1 近年來我國太陽能發電系統設置容量成長趨勢圖（經濟部能委會）

過去國內外探討太陽能發電系統的相關研究，大多是以電子、機械或材料等工程學的觀點切入，分析太陽能發電系統中，各零組件的物理特性，透過技術上的突破提昇發電系統的轉換效率，進而增加系統輸出發電量，然而此類型研究無法避免的問題是：系統轉換效率從控制許多環境條件的實驗室，到戶外設置，再到實際運作後的落差。實驗階段所宣稱轉換效率的技術突破，未必能在實際運作時達到當初預期的目標，戶外存在的各種環境因子，包括氣候或地理條件等，亦有可能影響太陽能發電系統輸出的發電量。另一種工程實驗研究則是針對系統的傾斜角、方位角等單一系統因子進行實驗，找出該因子的最佳值[2][13]，這類研究的資料來源，大多是研究者利用個人或所屬研究機構設置的發電系統進行實驗所得的數據，因此研究結果是否能推廣到其他不同廠牌、不同運作方式的太陽能發電系統，仍有待後續進一步研究的証實。

因此，本研究不同於過去多以工程觀點的研究，針對目前已實際運作的太陽能發電系統進行資料分析，歸納出影響發電量的重要因子，一方面希望給開發太陽能系統的技術人員一個參考的方向，另一方面則對於過去以各種工程科學所研究得出的結論進行驗證，最後透過研究所建構的模型，預測未來太陽能發電系統的發電量。

1.2 研究目的

延續前述，本研究之主要目的歸納為以下兩點：

1. 找尋影響太陽能發電系統輸出發電量之關鍵因子

對於一套太陽能發電系統而言，影響輸出發電量因素可分為氣候與系統兩項因素，氣候因素指的是系統設置所在地的氣候狀況，包括地表日照量與氣溫等；而系統因素則探討不同發電系統中，各設備或零組件的差異。本研究透過找出影響系統發電量的關鍵因子，驗證過去相關研究所得到的結論，並利用這些關鍵因子進行後續預測模型建構之工作。

2. 建立發電量預測模型

找出影響發電量的關鍵因子後，便可以其建立發電量的預測模型，往後廠商在投資設置一套太陽能發電系統前，只要掌握關鍵變數的各項數據，便可利用本研究建立的預測模型，來預測系統實際運作後可能輸出的發電量，作為投資前成本分析的考量依據，而政府單位亦能以此制定合理的電價回收價格與相關補助政策，有利於太陽能光電產業的發展。

1.3 研究方法

本研究分別針對太陽能發電系統資料以及氣候資料，利用以下兩種方法分別建立預測模型。

1. 遺傳規劃法 (Genetic Programming, GP)

遺傳規劃法是由美國史丹福大學 Koza [24] 教授於 1992 年提出，目的是希望在不提供詳細程式指令的情況下，電腦能自發性學習解決問題。遺傳規劃法的基本概念是沿襲基因演算法(Genetic Algorithms, GA)而來，與 GA 同樣具有染色體 (Chromosome)、適合度函數 (Fitness function)，以及複製 (Reproduction)、交配 (Crossover) 及突變 (Mutation) 等運作機制，與 GA 不同之處在於，GA 以 0 和 1 的字串代表基因樣式，GP 的基因樣式則以樹狀結構表示，每個演化的子代皆為一組電腦程式，這些程式

碼就如同基因一樣，經由演化過程的物競天擇，能產生出最佳的程式碼。

遺傳規劃法對於輸入資料沒有統計假設的要求，通常以原始資料的形式輸入即可，而相較於基因演算法，遺傳規劃法的結果可進一步得出預測的方程式，因此能容易的解讀數據所代表的意義。本研究將利用遺傳規劃法建立太陽能發電系統之轉換效率預測模型。

2. 時間序列分析 (Time Series Analysis)

時間序列分析是一種統計的預測方法，針對具有時間先後順序的資料進行分析，時間序列分析的目的是解析資料依循時間的變動趨勢，並推估未來時間點可能的發展趨勢。時間序列分析的優點是只要有過去一段時間的資料，即可對變數進行描述與預測，缺點是當預測變數並不單受時間影響而變動時，預測準確性會大幅降低。

國內應用時間序列分析於金融、經濟等領域之研究早已行之有年，亦有不少大氣科學、地球科學等領域的學者用來預測未來的地質或氣候變化，因此本研究採用時間序列分析，來進行未來氣候因子的推估。

1.4 研究假設

本研究受限於氣候與太陽能發電系統資料的完整性，有以下假設：

1. 氣候資料部份：

(1) 無法取得即時氣象資料

天氣的變化是動態的，因此使用越即時的氣象資料建構預測模型，準確性就會越高。在本研究中，太陽能發電系統所接收的日照，會隨著時間不斷在變化，因此發電系統進行能量轉換的效率亦會隨時間呈現動態的變化，然而本研究中所使用的資料，是以年、月等較長時間之累積資料，故無法深入探討逐時甚至更小時距之變動，因此本研究選定的時間單位為年、月，當預測較小之時間單位時，僅能以平均值表示，例如：推估來年之日平均發電量，則以年總發電量除以 365 天計算，若推估來年一月份日平均

發電量，則以一月份預測發電量除以 31 天計算。

(2) 僅針對地表日照量因子進行研究

影響太陽能系統發電量的氣候因素中，最重要的因子就是地表日照量，地表日照量所指的是在某一地區，地表水平面所測得的累積太陽光輻射能量，地表日照量的多寡決定了系統可接收光能的大小。其次是氣溫，日本學者芦村昌士[4]發現當氣溫高出一臨界值時，會造成系統轉換效率降低，兩者呈現線性反比關係，莊嘉琛[11]則進一步說明當太陽能電池表面溫度上升時，其短路電流（short-circuit，簡稱 I_{sc} ）亦會隨著上升，而開路電壓（open circuit voltage，簡稱 V_{oc} ）隨之降低，造成整體發電量的降低。張子文[13]研究顯示，逐時氣溫的變化確實會造成系統發電量的降低，相較於不考慮氣溫影響所預測的發電量，相差最多不超過 10%，而差距最大時間點發生在下午一時。然而，欲細究溫度變化與發電量之間的關係，必須有逐時記錄的溫度變化資料，本研究使用之氣象年報，僅有日平均氣溫的資料，並無逐時氣溫變化的紀錄，因此本研究未將氣溫列入氣候因素進行考量。

至於溼度、雲層遮蔽、風速等因子對於發電量之影響程度，在過去的研究中皆被視為是可以忽略的[11][13]。綜合以上論述，本研究在影響系統發電量之氣候因素上，僅選擇地表日照量因子進行研究。

2. 太陽能發電系統資料部份：

(1) 模組傾斜角與方位角

傾斜角指的是模組與地面的夾角，0 度或 180 度表示水平設置，過去許多文獻皆顯示傾斜角是太陽能發電系統輸出發電量的一個影響因子 [21][23]，並探討最佳的設置角度 [1] [2]，理論上接收光能最佳的傾斜角為設置地點所在的緯度，例如：北迴歸線通過台灣南部，通過地區之緯度為北緯 23.5 度，因此台灣地區設置太陽能發電系統理想的傾斜角約在 23.5 度上下，然而太陽光入射角度會隨季節變動，李建興等[2]利用基因演算法

模擬發電系統的最佳傾斜角，結果顯示若模組為固定式，即傾斜角無法隨季節調整的情況下，全年最佳的「平均」傾斜角會略小於設置地點之緯度。

而方位角則是模組接收日照時所朝向的方位，一般以面向太陽的方位為主，因此北半球的太陽能發電系統，理想的方位角應朝向南[23]。

在本研究使用的資料中，各地的太陽能發電系統大多已經過最佳設計，固定式系統之傾斜角均設為 23.5 度，方位角朝向南，若要研究傾斜角與方位角的最佳設計，應於固定其它影響因子之下，進行傾斜角與方位角之兩因子實驗設計，以本研究的資料型態而言並不適合，因此無法考慮此兩因子對於發電量的影響。

(2) 系統設置地點

進行太陽能發電資料分析時，必須使用太陽能發電系統設置地點的地表日照量資料，方能評估系統所接收的光能，然而目前台灣地區僅有少數較先進之發電系統，設有計算接收光能的日照計，因此本研究在計算系統所接收的日照光能時，是以地理位置距該發電系統最近，且有地表日照量資料的氣象站為主。

1.5 研究架構

本論文共分五章，第一章為緒論，說明本研究之背景與動機、研究目的、研究架構，以及研究可能受到哪些假設條件的限制；第二章為文獻探討，簡介太陽能發電系統、日照量、遺傳規劃法與時間序列分析，並探討過去針對太陽能發電系統之發電量進行的相關研究；第三章為研究方法，詳述本研究進行模型建構的流程；第四章為實例驗證，以台灣某太陽能研究中心提供之全台太陽能發電系統資料，建構台灣地區發電系統之發電量預測模型，並與其他方法建構之模型進行評比，證實本研究所提出之方法與流程確實可行與有效；第五章為結論與建議，簡述本研究的貢獻並提供未來相關研究的延伸方向與建議。

第二章 文獻探討

本章第 2.1 與 2.2 節首先簡介太陽能電池與太陽能發電系統；2.3 節則介紹日照條件之相關名詞；2.4 節定義太陽能發電系統中，轉換效率的計算公式，並以資料分析的觀點說明轉換效率的重要性；2.5 與 2.6 則分別介紹建模所使用的遺傳規劃法與時間序列分析，並針對過去相關文獻進行回顧；2.7 節整理過去太陽能發電之相關研究，並與本研究比較。

2.1 太陽能電池簡介[3][11][14][23]

太陽能電池（Solar cell）亦稱作太陽能晶片，是一種以太陽光為能量來源的光電半導體薄片，在高純度的矽基材中，摻入部分 3A 與 5A 族元素，便形成 P 型與 N 型半導體。當受到日光中某些波長的光照射時，會產生光生伏特效應（Photovoltaic effect）使得電池內部產生電位差，驅使電池內的電子移動而產生電流。

太陽能電池發電原理

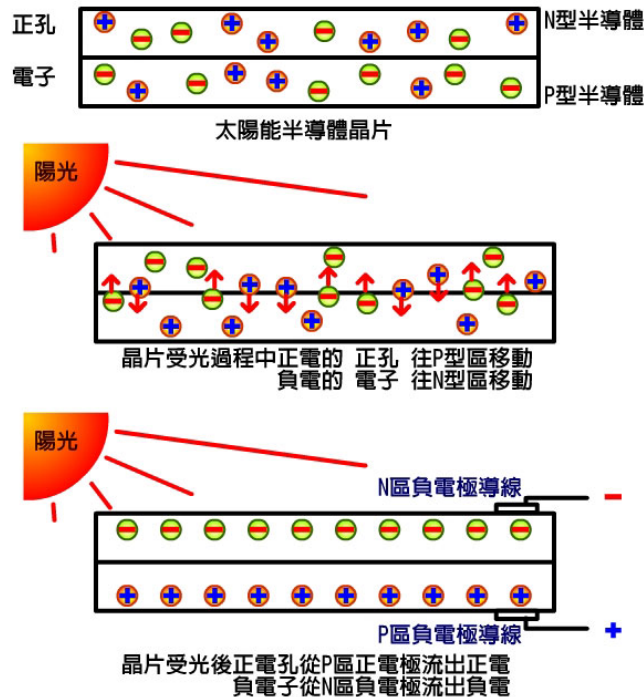


圖 2-1 太陽能電池發電原理[32]

太陽能電池可用多種材料製成(圖 2-2),最主要的材料是矽 (silicon),佔有約 96%以上的市場,矽電池分為三種,按照其轉換效率由大至小依序是單晶(Mono-crystalline)、多晶(Multi-crystalline) 與非晶(Amorphous),差別在於矽原料內部晶體排列形式的不同(如圖 2-3 所示),三種不同矽電池的比較如表 2-1 所示。而在本研究所使用的資料中,所有的太陽能發電系統皆以矽作為太陽電池的材料。

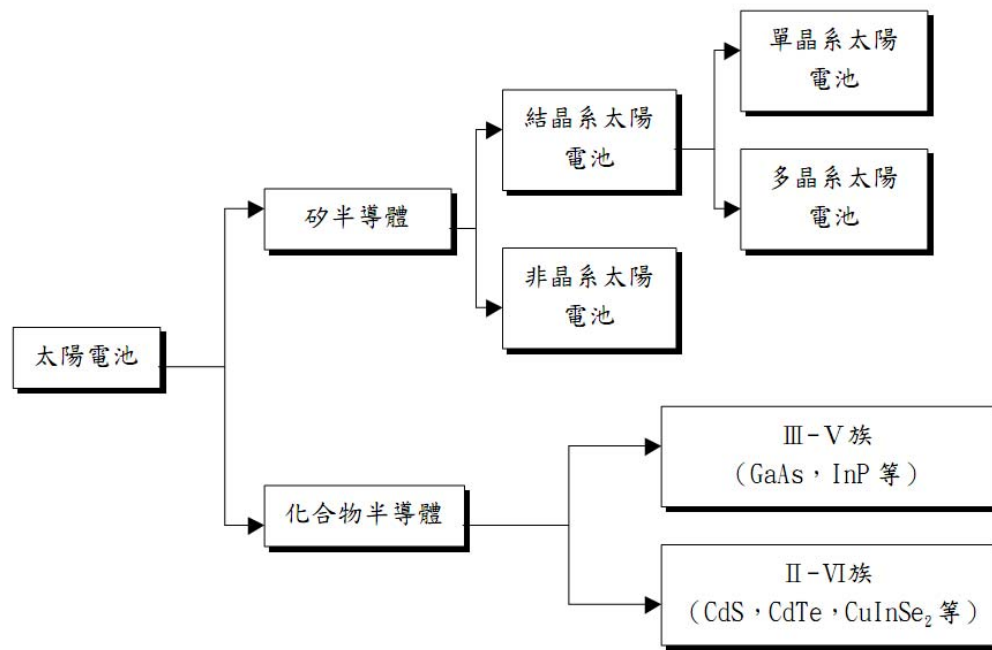


圖 2-2 太陽能電池材料種類圖[13]

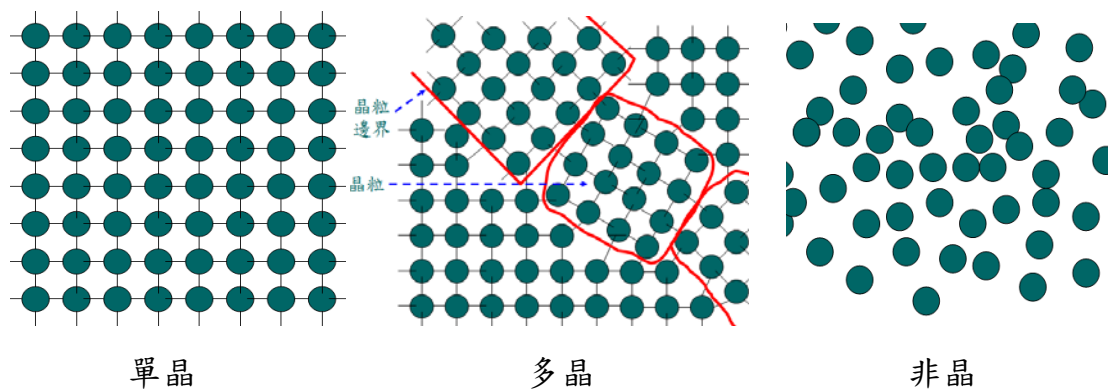


圖 2-3 晶體結構之比較圖

表 2-1 以矽為原料之太陽能電池種類比較表（整理自經濟部能委會）

電池種類	實際運作轉換效率	耐用性	成本	主要用途
單晶	14 ~ 17%	最高	高	太空電力系統、太陽能發電系統、獨立電源供應系統
多晶	11 ~ 14%	次高	中	太陽能發電系統、獨立電源供應系統、民生用消費性電子產品
非晶	6 ~ 9%	較低	低	民生用消費性電子產品

2.2 太陽能發電系統簡介

單一太陽能電池所輸出的發電量畢竟有限，為了提高發電量，將許多太陽能電池經過串並聯組合封裝後，就成了太陽能電池模組（Solar module），再將多個太陽能電池組合而成更大的方陣或列陣（array）（如圖 2-4），配上蓄電池、變壓器、控制器與換流器等設備，即形成一套太陽能發電系統（Photovoltaic system, PV system），又稱光伏打系統。

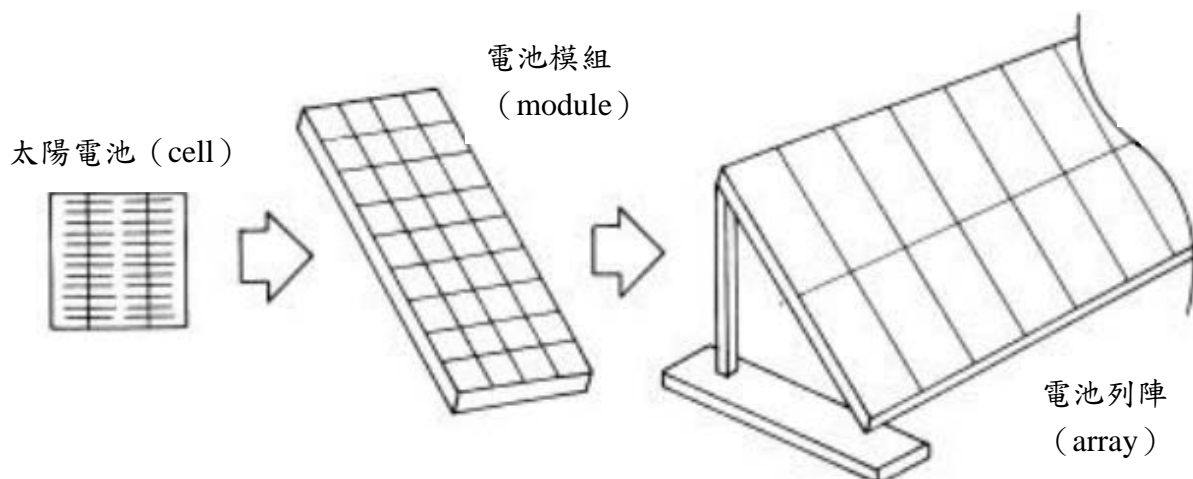


圖 2-4 太陽能電池組裝示意圖[13]

2.2.1 太陽能發電系統相關名詞簡介

以下簡介幾個太陽能發電系統之相關設備，將名稱與功能整理如下：

表 2-2 太陽能發電系統相關設備介紹

設備名稱	功用
換流器 (inverter)	又稱為換流器或逆變流器，將太陽能電池模組產生之直流電轉換為交流電，以供一般家庭使用。
變壓器 (transformer)	在輸送電力的過程中，若電壓過低則容易造成能量的損失，因此裝設變壓器可減少電力輸送時的耗損，提高太陽能發電的轉換效率。
蓄電池 (battery)	當太陽能發電系統之電力供過於求時，蓄電池可儲存多餘的電力，以便不時之需。
配電盤 (distribution panel)	又稱分電盤，通常設置於住宅內部，目的是將接收的電力分流到各個樓層或電器。

2.2.2 太陽能發電系統種類介紹

目前台灣地區常見的太陽能發電系統有以下三種：

1. 獨立型太陽能蓄電系統 (圖 2-5)

顧名思義為單一獨立發電系統，未與其他電力系統聯結，將太陽光產生的電力經由控制電路，儲存到聯結蓄電池組內，再視需要經由逆轉變流器，將蓄電池內的直流電轉變為交流電，通常設置於市電不易運輸的偏遠地區。

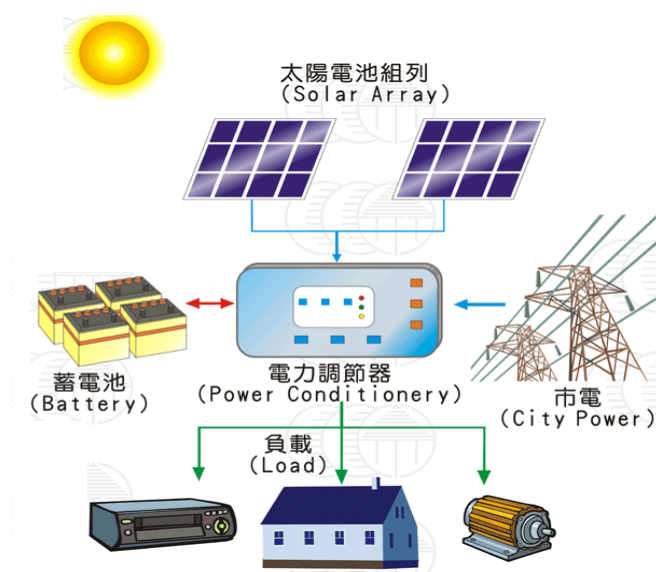


圖 2-5 獨立型太陽能蓄電系統[33]

2. 反饋式太陽能發電系統（圖 2-6）

概念上是一種電力輸送為雙向的發電系統，當用電負載較大，太陽能供應的電力不足時，就向電力公司（市電）購買電力，而負載較小或不使用電器時，可以將多餘的電力賣回給電力公司。

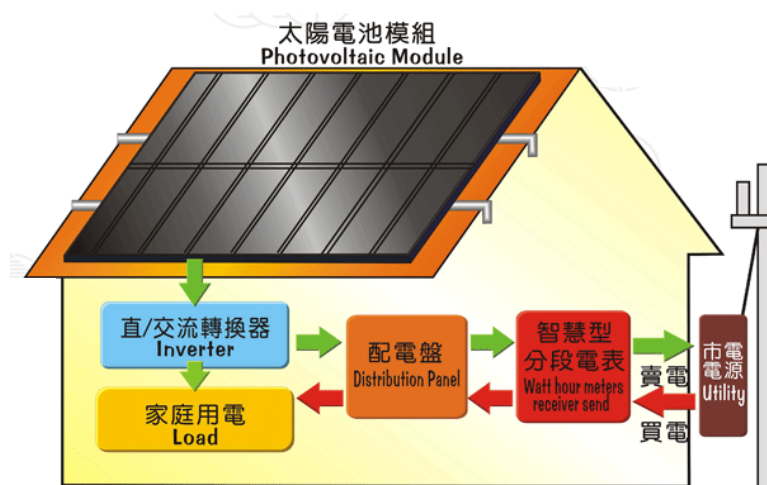


圖 2-6 反饋式太陽能發電系統[33]

3. 市電併聯型太陽能發電系統（圖 2-7）

此類型的發電系統特色是，透過換流器將發電系統輸出的直流電轉為交流電，並與市電系統互接使用，太陽能充足時使用太陽能發電系統輸出的電力供應，在太陽能電力不足時，瞬間改由市電供應，因此不會影響一般電器的正常使用，並可達到節約用市電的目的。

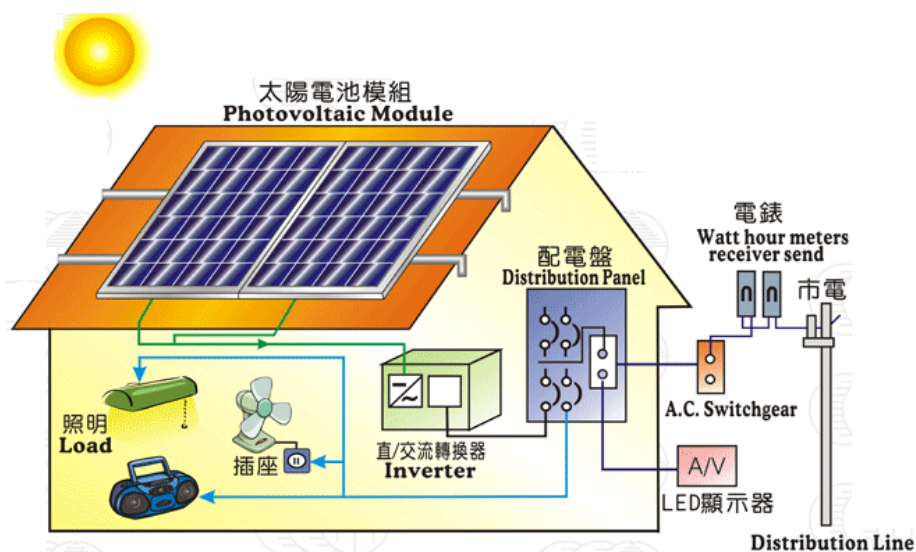


圖 2-7 市電併聯型太陽能發電系統[33]

2.3 日照條件介紹

2.3.1 日照強度與日照量

日照強度指的是單位面積上，太陽輻射的瞬時強度，以功率/單位面積為單位，而日照量（或日射量）則計算為單位時間內，單位面積上所接收之累積太陽能輻射量，以能量/單位面積為單位。太陽輻射(Solar radiation)係指太陽進行核融合反應所產生的能量，經由電磁波傳遞到地球，而地表所接受的太陽輻射可分為直達輻射（direct radiation）、漫射輻射（diffuse radiation）與反射輻射（reflected radiation）。

其中，直達輻射是當太陽直接穿越大氣層後抵達地表的輻射，通過大氣層時，會被大氣層中的雲層或水氣所吸收或反射，因此受大氣透射率與太陽高度角所影響；漫射輻射是經由大氣中的水氣質點所形成的散射；反射輻射則是太陽光能照射到地表上的覆蓋物後再反射出的輻射。地表接收的太陽輻射如下圖2-8所示，能量僅約進入大氣層前的一半左右，而本研究所使用的日照量資料，是中央氣象局所提供之全天空日照量（Global solar radiation），又稱水平輻射總量（Total horizontal radiation），係指各氣象觀測站以儀器所測得之地表日照量，即水平面上接受各類型輻射之累積總合，故本文後續皆以「地表日照量」一詞表示之。

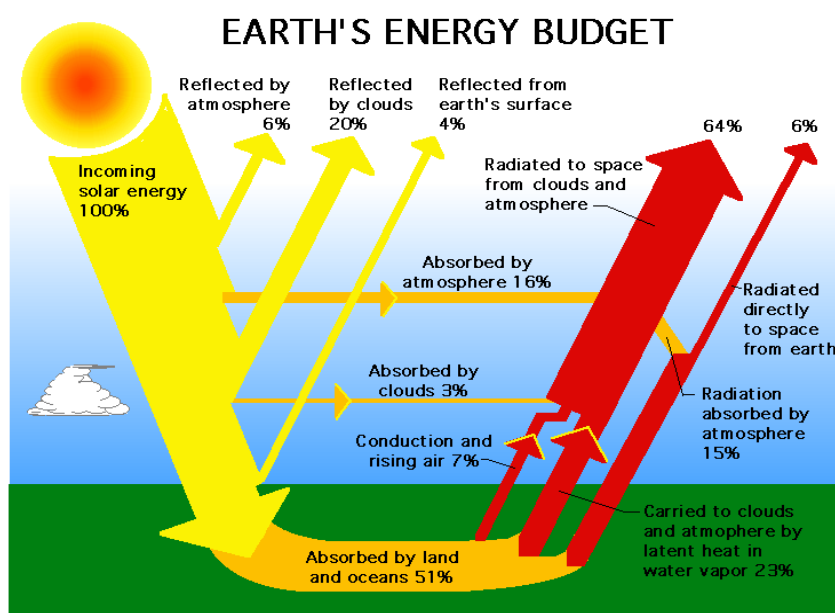


圖2-8 地表水平面之太陽輻射量示意圖 [資料來源：NASA]

2.3.2 日照時數與日照率

在中央氣象局所提供的日照資料中，日照時數 (Duration of Sunshine) 定義為觀測地點日照強度 $\geq 120 \text{ w/m}^2$ 的日照時間，計算至小數點第一位，若一小時內僅有 30 分鐘日照強度 $\geq 120 \text{ w/m}^2$ ，則日照時數計為 0.5 小時。因此，若某一時段太陽光受到雲層遮蔽或其他氣候因素影響，導致日照強度未達 120 w/m^2 ，日照量仍可能會增加，但日照時數為 0。而日照率 (Rate of sunshine) 則表示實際日照時數與天文日照時數的百分比值。實際日照時數的計算方式則如前所述，而天文日照時數則表示一天中從日出至日落的時距，以台灣地區全年日照率而言，西南部的日照率最大。

對於太陽能發電系統的相關研究而言，日照資料的建立是一項非常重要的工作，因為系統設立位置的日照條件，對於發電量的影響重大，而日照條件又受到地區氣候的影響，問題牽涉層面複雜且廣大，因此本研究以過去歷史資料建立時間序列的預測模型，推估未來台灣各地區的地表日照量，做為預測系統之發電量時，重要的參考數據。另一方面，將各系統發電量資料中，因日照條件不同產生的影響去除後，方能反應系統真實的效能，即系統之轉換效率 (Conversion efficiency)，下一節將詳述發電量與轉換效率之間的關係。

2.4 發電量與轉換效率

照射到太陽能發電系統模組 (即太陽能板) 上的太陽光能，經由發電系統將光能轉換成電能，因此系統的轉換效率定義為輸入太陽能與輸出電能之比，即

$$\text{轉換效率 } (\eta) (\%) = \frac{\text{系統最大輸出功率 } P_{\max} (kW)}{\text{日照強度 } E \left(\frac{kW}{m^2} \right) \times \text{模組總面積 } A (m^2)} \times 100\% \quad (2-1)$$

功率的定義是每單位時間內可輸出或轉移的能量 ($P = E/t$)，即能量轉移

的速度，因此相同時間內，功率較高的系統可轉移較多的能量，然而功率為一瞬時物理量，會隨著時間不斷的改變，根據功率的定義可知

$$\text{能量}(E) = \text{功率}(P) \times \text{時間}(t) = \int_t p(w) dt \quad (2-1.1)$$

將功率函數 $p(w)$ 對時間 t 積分，則為時間 t 內所轉移的能量，如圖 2-9 曲線下的面積，因此將(2-1)式中，分子和分母同時對時間 t 積分，可分別得出單位時間 t 內的電能輸入與光能輸入，即

$$\text{轉換效率}(\eta)(\%) = \frac{\text{電能輸出}}{\text{光能輸入}} \times 100\% \quad (2-1.2)$$

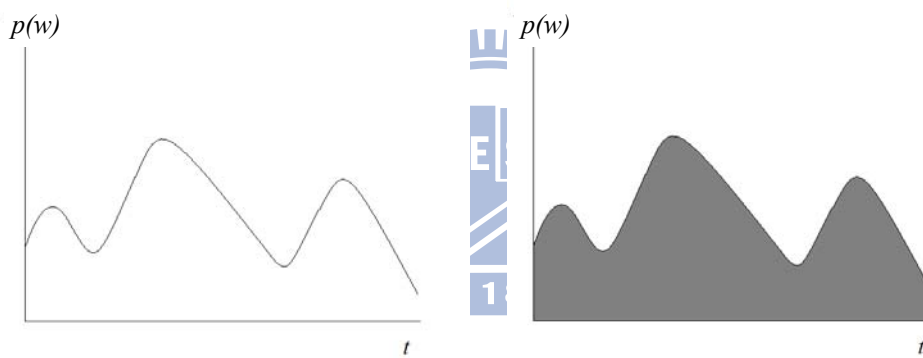


圖 2-9 功率與能量關係圖

又光能輸入為太陽能發電系統模組面積與地表日照量的乘積，因此

$$\text{平均轉換效率}(\bar{\eta})(\%) = \frac{\text{系統發電量}(kWh)}{\text{日照量}(\frac{kWh}{m^2}) \times \text{模組總面積}(m^2)} \times 100\% \quad (2-2)$$

事實上，(2-2)式得出的轉換效率是一種平均的概念，因為功率是瞬時物理量，故轉換效率一樣會隨時間而改變，計算單位時間內的平均轉換效率，對於發電系統的研究而言較有實質上的意涵。在本研究中，計算轉換效率是以月或年為時間單位，因此本文後續提及之「轉換效率」一詞，皆是以(2-2)式計算某段時間內，系統之「平均」轉換效率，而非(2-1)式定義的系統「瞬時」轉換效率，並以符號 $(\bar{\eta})$ 做為與 (η) 之區隔。

建立發電量的預測模型是本研究最終目的，因此將發電量定義為反應變數 (y)，而可能影響發電量的因子則為模型的解釋變數 (x_i)，在緒論中提到，氣候與系統是影響發電量的兩大因素，若將(2-1.2)式改寫如下：

$$\text{電能輸出(發電量)} = \text{光能輸入(日照量} \times \text{模組總面積)} \times \text{系統轉換效率}(\bar{\eta}) \quad (2-3)$$

即可發現系統發電量是由兩項變數相乘而得，前項的光能輸入，是由氣候因素中的地表日照量，與模組的總面積相乘所得；而後項的系統轉換效率 ($\bar{\eta}$)，則會因為系統內部各零組件規格上差異而有所不同。

回顧過去對於系統發電量的研究，張子文[13]將氣候與系統因素分兩階段進行討論，先假設發電系統的模組設定在最佳傾斜角時，利用氣象模擬計算各地區可接收的最大地表日照量，乘上15%的轉換效率後，根據太陽電池的物理特性，對於輸電過程中可能的耗損進行修正，計算最大可能發電量。徐翠華[10]以地區劃分的角度切入，先以台灣地區過去各地日照量的歷史資料為依據，依日照資源的多寡進行分區劃分，再將地表日照量資料結合當時技術上轉換效率的最大值 (15%)，推估適合設置太陽能發電系統的地區。

馮堉生[14]探討太陽能電池的發電原理時，以電子學的觀點說明，根據電流—電壓曲線 (I-V Curve) 顯示，只要太陽光譜不變，日照強度並不會影響轉換效率，因此轉換效率可做為衡量系統效能優劣之指標。

綜合上述可知，(2-3)式中的地表日照量與轉換效率，分別對應氣候因素與系統因素，因此本研究在建立發電量預測模型時，將氣候因素與系統因素分別以不同方法建立預測模型，將系統因素中的多個變數，輸入到遺傳規劃法建立轉換效率的預測模型，並以時間序列分析預測地表日照量，兩者分別得出預測值之後，再相乘得到最終的發電量預測值。(如下頁圖 2-10)

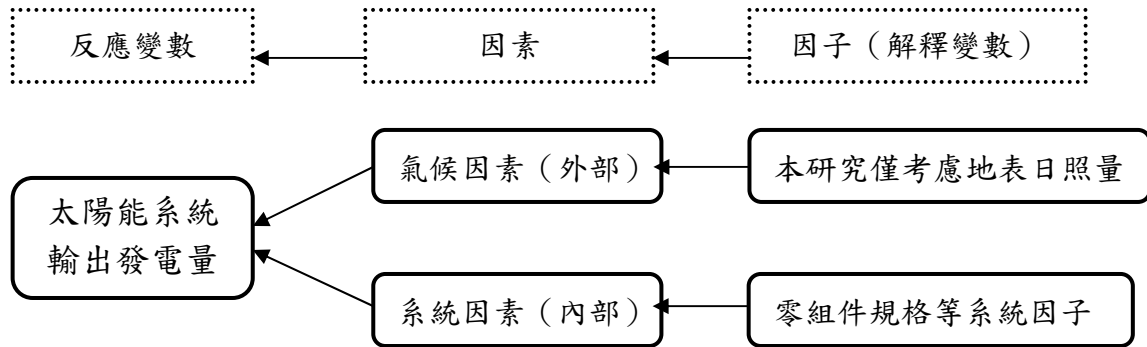


圖 2-10 影響發電量的因素結構關係圖

將氣候因素與系統因素分開討論，不僅符合(2-3)式代表的物理涵義，若以統計學的觀點而言，系統因素所影響系統轉換效率，可經由技術上的突破或系統設計的改進提高或控制，屬於人為可控的因素，然而包含地表日照量在內的任何氣候因素，皆無法由人為進行控制，僅能根據過去歷史資料進行推測，故分別建模確實是一個合理的做法，接下來分別介紹轉換效率及地表日照量之預測模型所使用的方法。

2.5 遺傳規劃法

遺傳規劃法[24]，是由美國史丹福大學 Koza 教授於 1992 年提出，主要的目的是希望在不提供詳細程式指令的情況下，電腦能透過自發性學習去解決問題，遺傳規劃法的基本概念是沿襲遺傳演算法（或稱基因演算法）而來，因此也具有染色體、適合度函數與複製、交配及突變等運作機制，與遺傳演算法不同的是，遺傳演算法是用二進位 0 與 1 的序列來表示染色體的排列方式，而遺傳規劃法則將染色體排列方式用語法樹（tree）來表示，每一個語法樹表示一組方程式，例如方程式 $9y + x/y$ 之樹狀結構如下頁圖 2-11 所示，各分支交會的節點代表一種運算方式，例如 2-10 圖中 9 與 y 交會的節點為乘號，即表示 $9 \times y$ 的運算式。

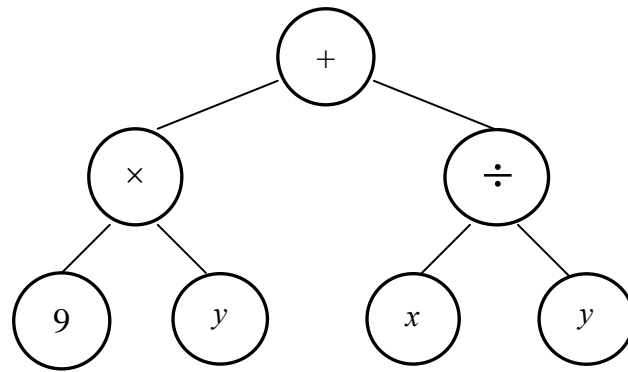


圖 2-11 利用遺傳規劃法的樹枝結構圖表示 $9y + x/y$

以語法樹對應一個將進行演化的個體，在演化的過程中，會不斷的改變樹狀結構（染色體的排列方式），直到產生最佳的語法樹，即最佳的規劃方程式。

遺傳規劃法是結合機器學習（machine learning）與啟發式樹狀結構（evolved tree structure）的演算法則，特色是可透過自發性學習，設計一個存在有最佳解的演算法，因此，使用者無須自行設計複雜的演算法，能節省撰寫程式的時間。遺傳規劃法可在定義的問題中，自動產生最佳解之「規劃」，因此適用領域相當廣，應用彈性也相當大，特別是應用在不容易以數學或統計方法求解的問題。

2.5.1 遺傳演算法與遺傳規劃法之比較

遺傳演算法（GA）與遺傳規劃法（GP）在演化的機制上有許多相似的行為，但概念上主要有以下的差異：

表 2-3 GA 與 GP 之比較表

概念差異	遺傳演算法	遺傳規劃法
染色體表示法	二進位字串	樹狀結構，並對應方程式
模式之結構與最佳參數	固定結構下，尋找最佳參數	同時尋找模式之最佳結構與最佳參數
解的呈現方式	編碼方式呈現	數學方程式

2.5.2 遺傳規劃法之前置條件[8] [24]

遺傳規劃法在進行運算前，必須先設定下列前置參數：

1. 終端集合 (Terminal set)

輸入遺傳規劃法的數值所形成的集合，可為常數或變數，由於是樹狀結構的終端葉片部分，因此被稱為終端集合。

2. 函數集合 (Function set)

根據問題特性定義的函數集合，依據不同領域或不同問題可為算數函數 (+, -, ×, ÷)、布林函數 (and, or, not)、邏輯函數 (if, then, else...)、比較函數 (>, <, ≥, ≤, =) 甚至是使用者自行定義的函數。

3. 適應函數 (Fitness function)

用來計算並評估個體好壞的函數，由於個體中的染色體，每經過一次演化就會重新排列，造成個體對於環境的適應能力變好或是變壞，函數值越大表示此個體適應力強，越不容易被淘汰，有較大的機會存活並進行下一次的演化，適應函數的計算方式會隨著問題的不同而有所調整。

4. 演化參數

包括母體的大小 (population size)、交配的機率 (crossover probability) 以及突變機率 (mutation probability)

5. 中止條件

可設定演化在進行多少世代後停止，或當誤差值小於多少時停止運算。

2.5.3 遺傳規劃法之運算方式

遺傳規劃法的運算機制仿照生物的演化過程，其中包括：

1. 選擇 (Selection)

選擇的機制乃基於達爾文進化論提出的適者生存、物競天擇等遺傳學中的概念，在進行交配與突變前，必須先選擇適合繼續演化的個體，常見的選擇方法有：

(1) 輪盤法

以每次演化後的適應函數值為基礎，當母體大小為 N 時，個體 i 可

能被選取的機率為

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^N f_i}, f_i \text{ 為個體 } i \text{ 的適應函數值}$$

(2) 競賽法

隨機選取數個個體，選擇其中適應值最大的留下，其餘淘汰。

(3) 依適應值排序

將所有個體依照適應值排序，選擇適應值最大的前兩名。

2. 複製

形成子代最基本的方式，目的是希望將最優個體（適應值最高）的染色體直接複製到下一代。

3. 交配

經選擇後存活下來的個體，透過交配的方式互換部分的染色體（部分樹狀結構），以產生新的下一代，如圖 2-12 所示。

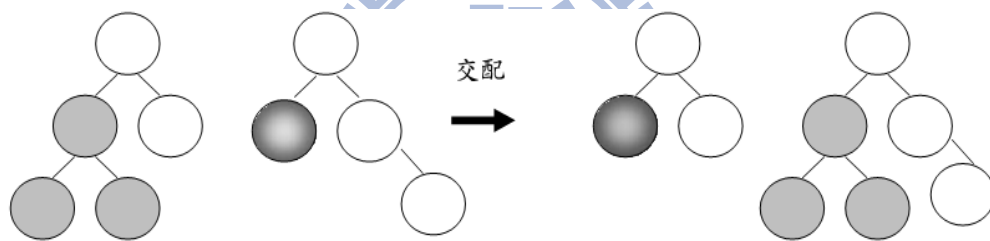


圖 2-12 交配示意圖

4. 突變

為了避免演化過程可能落入局部最佳解（local optimal），或避免染色體的樹狀結構無限的擴張，必須存在突變的可能性。一般的運作方式是隨機選取一個子代的突變節點，在正常演化情況下，該節點連結的樹狀結構將被刪除，而直接從親代隨機取下一段樹狀結構接上，如圖 2-13。

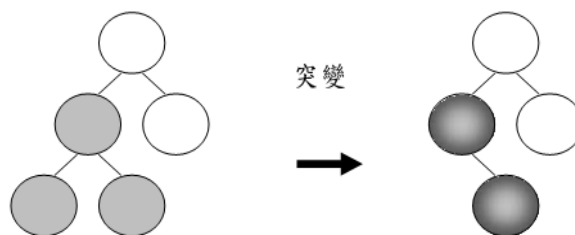


圖 2-13 突變示意圖

2.5.4 遺傳規劃法之相關應用

自 Koza 於 1992 年提出遺傳規劃法的概念後，多年來國內外有不少的學者應用遺傳規劃法於各種領域的研究，其中應用最多的是金融、經濟等相關商學領域。由於本研究以遺傳規劃法建立預測模型，並解析原本工程學上的技術問題，因此以下介紹相關概念之文獻。

蕭德勇[17]應用了遺傳規劃法在核能電廠爐心設計，由於換填爐心的時間點必需考慮許多電廠的重要參數，且爐心更換時產生事故的機率始終存在，因此以遺傳規劃法分析爐心設計的各種系統參數，並利用電廠過去實際的資料作為驗證，確認以遺傳規劃法進行爐心設計的分析是可行的。

林嘉宏[5]在研究建材的表面紋理對於摩擦力的影響時，以遺傳規劃法建立數個表面紋理的參數對於摩擦力的預測模型，並同時與線性的多元迴歸模型進行比較，結果顯示遺傳規劃法的預測準確性較高。

2.6 時間序列分析

時間序列 (Time Series) 資料的分析概念，早在 1920 年代就由 Yule 提出[29]，直到 1970 年始由 Box 與 Jenkins 兩位教授大力推廣並發展出自我迴歸與移動平均的整合模式，(Autoregressive integrated moving average model, ARIMA) [18]。時間序列 (又稱時間數列) 是一種以時間先後依序收集而來的資料型態，因此在時間序列的資料中，解釋變數為時間 (t)，反應變數 (x_t) (或稱觀測值) 則是隨時間而改變的變數，也就是研究中的預測變數。與迴歸分析最大的不同在於，迴歸分析中的反應變數，可能受到不同的解釋變數的影響，而時間序列則假設反應變數只受到時間改變的影響，而不會受到其他解釋變數的影響。

時間序列的概念是，根據過去的歷史資料，找出觀測值依時間而變化的型態 (Pattern)，再對於未來時間點的觀測值進行預測 (Forecasting)，相較於其他分析方法，時間序列分析的優點是只要有過去歷史資料，不須

再考慮其他變數即可進行預測；缺點是當觀測值並非單純的依循時間而變化，仍有其他變數造成影響時，預測會變得較不準確。

2.6.1 時間序列之平穩性與獨立性檢定

具有時間序列的資料可視為一隨機過程，進行分析前必須先判斷資料是否為平穩型 (Stationary)，且各期殘差之間為獨立，方能進行後續分析。

1. 判斷時間序列是否平穩

在平穩型時間序列資料中，觀測值對於外在的衝擊僅具暫時性的影響，受到短暫的波動干擾後又會返回其平均值，而非平穩型 (Non-Stationary) 資料所受之外在衝擊對於時間序列會有累積的效果，使觀測值逐漸偏離平均值，必須經由差分轉換變為平穩型時間序列，欲判斷時間序列是否為平穩型態，可使用單根檢定 (Unit-root Test)，以下介紹目前常見單根檢定：

(1) D-F 檢定 (Dickey-Fuller Test)

Dickey與Fuller [20]所提出的單根檢定法，稱之為D-F檢定，依照有無常數項與時間趨勢，D-F檢定可分為以下三種的模型：

i. $\Delta Y_t = \phi Y_{t-1} + a_t$,

$$H_0 : \phi = 1$$

$$H_a : |\phi| < 1$$

ii. $\Delta Y_t = \alpha + \phi Y_{t-1} + a_t$

$$H_0 : \phi = 1, \alpha = 0$$

$$H_a : |\phi| < 1, \alpha \neq 0$$

iii. $\Delta Y_t = \alpha + \phi Y_{t-1} + \beta(t-1 - \frac{1}{2}n)a_t$

$$H_0 : \phi = 1, \beta = 0$$

$$H_a : |\phi| < 1, \beta \neq 0$$

其中 α 為截距項， t 為定態時間趨勢， ϕ 為自我迴歸係數， a_t 表白噪音 (white noise)，且 $\{a_t\}_{t=1}^{\infty} i.i.d \sim N(0, \sigma_a^2)$ ，統計檢定之臨界值可查閱 Dickey-Fuller

檢定表[20]，當檢定統計量的值大於臨界值，表示無法拒絕虛無假設，即該模式存有單根現象，屬於不平穩模式。

(2) ADF 檢定 (Augmented Dickey-Fuller Test)

Said 與 Dickey[28]延伸 Dickey-Fuller 之模型，將檢定之假設限制條件放寬，發展另一套單根檢定，由於 Dickey-Fuller 檢定方法僅針對 AR(1)模式，實際上反應變數可能呈現較高階的自我迴歸 AR(p)，故 Said 與 Dickey 提出適用於高階自我迴歸 AR(p) 模式之 ADF 檢定，透過迴歸式中增加反應變數落後項，消除殘差項的序列相關 (serial correlation)，使殘差恢復為白噪音，而可以使用檢定統計量表，ADF 檢定之模型如下：

$$i. \Delta Y_t = \phi Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-1} + a_t$$

$$H_0 : \phi = 0$$

$$H_a : |\phi| \neq 0$$

$$ii. \Delta Y_t = \alpha + \phi Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-1} + a_t$$

$$H_0 : \phi = 0 \quad H_0 : (\alpha, \phi) = (0, 0)$$

$$H_a : |\phi| \neq 0 \quad H_a : (\alpha, \phi) = (0, 0)$$

$$iii. \Delta Y_t = \alpha + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 t + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-1} + a_t$$

$$H_0 : \phi = 0 \quad H_0 : (\alpha, \phi_1) = (0, 0) \quad \text{and} \quad H_0 : (\alpha, \phi_1, \phi_2) = (0, 0, 0)$$

$$H_a : |\phi| \neq 0 \quad H_a : (\alpha, \phi_1) = (0, 0) \quad \text{and} \quad H_a : (\alpha, \phi_1, \phi_2) = (0, 0, 0)$$

其中 $\{a_t\}_{t=1}^{\infty} i.i.d \sim N(0, \sigma_a^2)$ ， t 表定態時間趨勢， p 表使誤差項達到白噪音的最適落遲期數，當 $p=0$ 即為 D-F 檢定，而在 D-F 迴歸式的等式右邊加入變數的落後項，目的是使 ARMA 形式的誤差項為定態，而 ADF 檢定之臨界值與 D-F 檢定之臨界值相同。

(3) P-P 檢定 (Philips-Perron Test)

Phillips 與 Perron [27]為解決 D-F 檢定誤差可能存在序列相關，與變異數異質性的問題，放寬了 D-F 檢定方法的基本假設(即變異數具有同質性)而發展出 P-P 檢定法。

P-P 檢定之模型如下：

$$\nabla Y_t = \alpha + \beta t + \phi Y_{t-1} + a_t$$

再利用無母數 (non-parametric) 方法針對 D-F 值進行調整轉換以得到 P-P 值，而 P-P 統計量之臨界值與 D-F 統計量的臨界值相同。

2. 殘差獨立性檢定

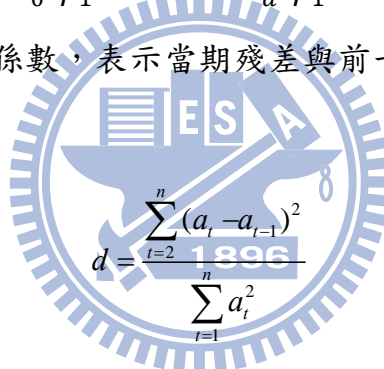
分析時間序列資料前，必須先判斷資料是否具有順序上的相關性，可由 D-W 檢定 (Durbin Watson Test) 檢查殘差項是否存有自我相關特性，若各期殘差之間存在自我相關，則顯示時間序列中各期並非獨立，觀測值可能處於不平穩狀態，D-W 假設檢定以及統計量如下：

(1) 假設檢定

$$H_0: \rho_1 = 0 \text{ v.s. } H_a: \rho_1 \neq 0$$

其中 ρ_1 為一階自我相關係數，表示當期殘差與前一期的相關性

(2) 檢定統計量


$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (a_t - a_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n a_t^2}$$

其中， a_t 為迴歸模式之殘差項，判斷方式為：

若 $d < d_{L,a/2}$ 或 $(4 - d) < d_{L,a/2}$ 則拒絕 H_0 ，表示各期殘差之間沒有自我相關性；若 $d > d_{U,a/2}$ 或 $(4 - d) > d_{U,a/2}$ ，則拒絕 H_0 ，表示各期殘差之間存有自我相關性；若 $d_{L,a/2} \leq d \leq d_{U,a/2}$ 或 $d_{L,a/2} \leq (4 - d) \leq d_{U,a/2}$ ，則無法判別，而各臨界值可查閱 D-W 統計量表得知。

2.6.2 時間序列的成份

影響時間序列變動的因素很多，在預測之前必須先了解這些因素，才能客觀的進行後續分析，時間序列的影響因素，被稱為時間數列的組成份，一般皆將時間數列的成份歸納為下列四個：

1. 長期趨勢 (Secular trend)

時間數列依時間進行，而逐漸增加或減少的長期性變化趨勢，一般以 T 表示，如圖 2-14 (a) 所示

2. 季節變動 (Seasonality variation)

季節變動係指一年中，呈現固定週期的規則變動。季節變動又稱作季節性，若觀測值在每年的某些固定時段，呈現比其他時段來的大或小，極有可能存在季節性。例如零售業常見的所謂大月、小月等名詞，就是代表銷售量可能存在有季節性。一般以 S 表示，如圖 2-14 (b) 所示。

3. 循環變動 (Cyclical variation)

沿著長期趨勢線，每隔一段時間作周而復始的上下變動。循環變動亦為一週期性變動，其週期短則二至三年，長也有可能十至二十年，每次循環所歷經的週期長短並不固定，且波動幅度亦不一致。一般以 C 表示，如圖 2-14 (c) 所示。

4. 不規則變動 (Irregular movement)

時間序列在去除趨勢、季節與循環等變動成份後，仍可能存在一些不規則或偶然的變動，概念上類似線性模型中除去模型效應後，所剩餘的誤差部分。因此，一般皆將不規則變動視為一種殘差項來處理。一般而言，長期趨勢、季節變動及循環變動皆受到規則性因素的影響，只有不規則變動是隨機的，因此也稱作隨機變動 (Random variation)，也由於不規則變動的隨機性，使得它難以衡量及預測。一般以 I 表示，如圖 2-14 (d) 所示。

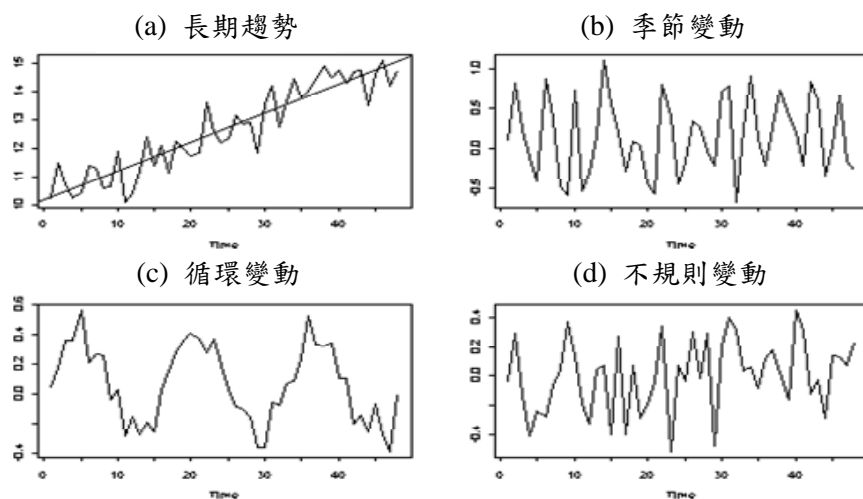


圖 2-14 時間序列的四種成份

2.6.3 時間序列之成份分析

成份分析的目的在於分離各種影響時間序列的因子，以便了解各成份對於時間序列影響的程度，理論上分析的順序並無固定的先後次序，然而為求方便起見，一般大多都按照長期趨勢、季節變動、循環變動的順序進行分析。

1. 長期趨勢

長期趨勢是最容易判斷的影響成份，可使用的分析方法有：

(1) 隨手畫法

又稱塗鴉法，以觀察的方式畫出一條可能的趨勢線

(2) 移動平均法

以前 k 期的平均作為下一期的預測值，稱作 k 其移動平均法

(3) 數學曲線適配法

利用數學函數適配資料，包括線性、多次拋物線、指數等函數

2. 季節變動

季節變動可經由簡單平均法或移動平均法 (Moving average, MA) 計算出季節因子，在後續的分析中，便可運用季節因子對於預測進行季節性的調整。

3. 循環變動

某些經濟方面的指標常具有循環變動的成份，然而當循環的週期長，而資料蒐集所涵蓋的時間卻太短，就容易忽略循環變動。分析循環變動的方法包括：自我迴歸模式 (Autoregressive, AR) 模型、移動平均模型、以及結合前述兩者的 ARIMA 模型。

4. 不規則變動

時間序列中，長期趨勢、季節變動與循環變動皆屬於系統性的概念，可用數學方式或模型解釋，然而不規則變動屬於非系統性的部份，造成不規則變動的因素很多，且發生的時間可能很短，例如地震、海嘯或聖嬰現象等，這些無法預期的因素會造成時間序列短暫的異常變化，且無法透過

數學方法去解釋或預測，但去除前述三項因子所剩餘的殘差，正常情況下應呈現隨機性，因此不規則變動可用來檢驗模式的正確性。

2.6.4 時間序列成份之組合模型

將時間序列的成份依序分離，得出成份因子後，再將成份組合成最終的預測模型，常見的模型有：

1. 加法模型

假設時間數列是由四種成分相加所形成的，在加法模型中，各成份彼此相互獨立，無交互影響；若以 x_t 表示時間數列，則其數學方程式為：

$$x_t = T_t + S_t + C_t + I_t \quad (2-4)$$

2. 乘法模型

假設時間數列係基於四種成分相乘之結果，在乘法模型中，各成分之間明顯地存在相互依存的關係，以數學方程式可表示為：

$$x_t = T_t \times S_t \times C_t \times I_t \quad (2-5)$$

一般而言，在時間數列分析中，乘法模型的假設會比較符合實際情況，因為成份之間完全獨立的情況較為少見，各種成份之間多少都存有相互依存的關係，故選擇使用乘法模型的相關研究較為普遍[16]。

2.6.5 時間序列分析之相關應用

時間數列分析的概念提出以來，各領域的相關應用不勝枚舉，其中最普遍的應用在於經濟、金融等資料分析，由於本研究將運用時間序列分析於地表日照量的預測，因此僅針對運用時間序列在氣候及太陽能領域的相關研究進行文獻回顧。

Wilks[30]在研究溫室效應對於北美洲農作物生長的影響時，以降雨量及溫度為觀測值，使用時間序列分析建立預測模型，建立自1850年以來的氣溫資料，證實了地球暖化的現象。Gordon與Reddy[22]使用AR模型，建立逐時的地表水平面日照量預測模型。Beyer等人[19]以移動平均法推估月平均地表日照量，並探討太陽能發電系統中，對應於系統功率大小的最

佳模組尺寸。Markvart等人[26]延續了Beyer等人對於地表日照量進行時間序列預測的研究，更進一步以氣候因素當作限制式，以線性規劃求得系統模組尺寸的最佳解。Zaharim等人[31]認為進行太陽能發電系統相關研究前，必須先分析地表日照量資料，因此使用了Box-Jenkins以及ARMR模型進行地表日照量的預測，並進行模型評估。

2.7 總結

回顧過去對於太陽能發電系統輸出發電量之相關研究，可將前述的介紹歸納為三種類型（下表 2-4），以下分別針對這三種類型的研究做進一步的說明：

類型 I 的研究是以物理學和相關科學的理論為依據，輔以實驗結果，探討各項系統因素，例如 1.4 節所提到的模組傾斜角與方位角，以及氣溫可能對於系統發電量的影響。

類型 II 則多半以大氣或地球科學的角度切入研究，以各種預測方法推估地表日照量，包括時間序列、類神經網路及各種啟發式演算法，此類型的研究大多未深入探討轉換效率，通常是以一定值計算，再乘以地表日照量後得到系統發電量之預測值，其中以前一節所提及 Zaharim 的研究為代表。另一種情況則是以地表日照量做為資源限制條件，探討太陽能發電系統的某一因子應如何進行最佳化設計，例如前一節所提到的 Bohlen 等學者，在給定日照條件下，探討系統模組的尺寸大小為何。

類型 III 則是目前國內外鮮少有相關研究的形式，搜集地表日照量之歷史數據，以及實際運作的發電系統相關資料，將氣候與系統因素各自以不同模型進行預測，最後再整合為發電量的預測值，此即為本研究嘗試進行的方向，而詳細的研究架構與流程會在下一章進一步說明。

表 2-4 太陽能發電系統之發電量相關研究類型

層面與 類型	氣候因素 (地表日照量)	系統因素 (轉換效率)	文獻回顧
類型 I	未深入探討氣候預測的議題，或僅以氣象歷史資料平均值概估	以工程實驗的觀點切入研究，而非以資料分析的方式進行建模預測	物理、電子、材料、機械等相關領域之研究
類型 II	以模型預測	1. 未深入探討 2. 僅探討單一因子	1. Zaharim [31] 2. Beyer et al. [19]
類型 III	以模型預測	以模型預測	目前罕有相關研究



第三章 研究方法

太陽能已成為本世紀最重要再生能源之一，歐美、日本等先進國家無不積極的推動太陽能發電，以減少其他能源的消耗，然而設置一套太陽能系統所費不貲，但發電所轉售的獲利不敷昂貴的設置成本，是許多廠商投資太陽能產業時裹足不前的原因，因此一套發電系統在實際運作後，能輸出多少電能？將是所有相關產業的廠商或投資者有興趣的議題。

誠如 2.7 節所述，過去針對發電量的相關研究中，同時考慮氣候與系統因素的研究較為罕見，因此本研究不僅同時考慮兩種因素，更進一步的分別建構轉換效率與地表日照量之預測模型，往後只要了解某一套太陽能發電系統的內部規格，以及系統設置地點，便能預估未來一段時間內系統輸出的發電量。

本章 3.1 節說明本研究之研究架構與流程，3.2 節說明如何搜集與整理系統與氣候資料，第 3.3 節詳述如何利用遺傳規劃法建立轉換效率預測模型，並說明遺傳規劃法的執行步驟，第 3.4 節則詳述如何以時間序列分析建立地表日照量預測模型，並說明執行步驟。

3.1 研究架構

本研究將依循以下敘述的流程建構之發電量預測模型，分別搜集並整理太陽能發電系統與地表日照量資料。在發電系統的資料部份，利用(2-2)式計算出各系統轉換效率，將有缺漏或異常的資料先行去除後，以遺傳規劃法建立系統轉換效率的預測模型，為了探討模型的準確性，會將預測結果與多元迴歸（Multiple Regression）建構的預測模型進行比較。

在地表日照量資料的部份，先搜集中央氣象局發行的氣候資料年報中，各地區之地表日照量資料，以時間序列分析建構地表日照量的預測模型，並預測未來各地區的地表日照量。

最後整合氣候與系統因素的預測結果，將系統設置地區的地表日照量預測值，乘以系統模組之總面積，可得到此系統可接收的光能，再乘上轉換效率即可得出最終發電量之預測值，作為評估之用。圖 3-1 為本研究之流程架構圖。

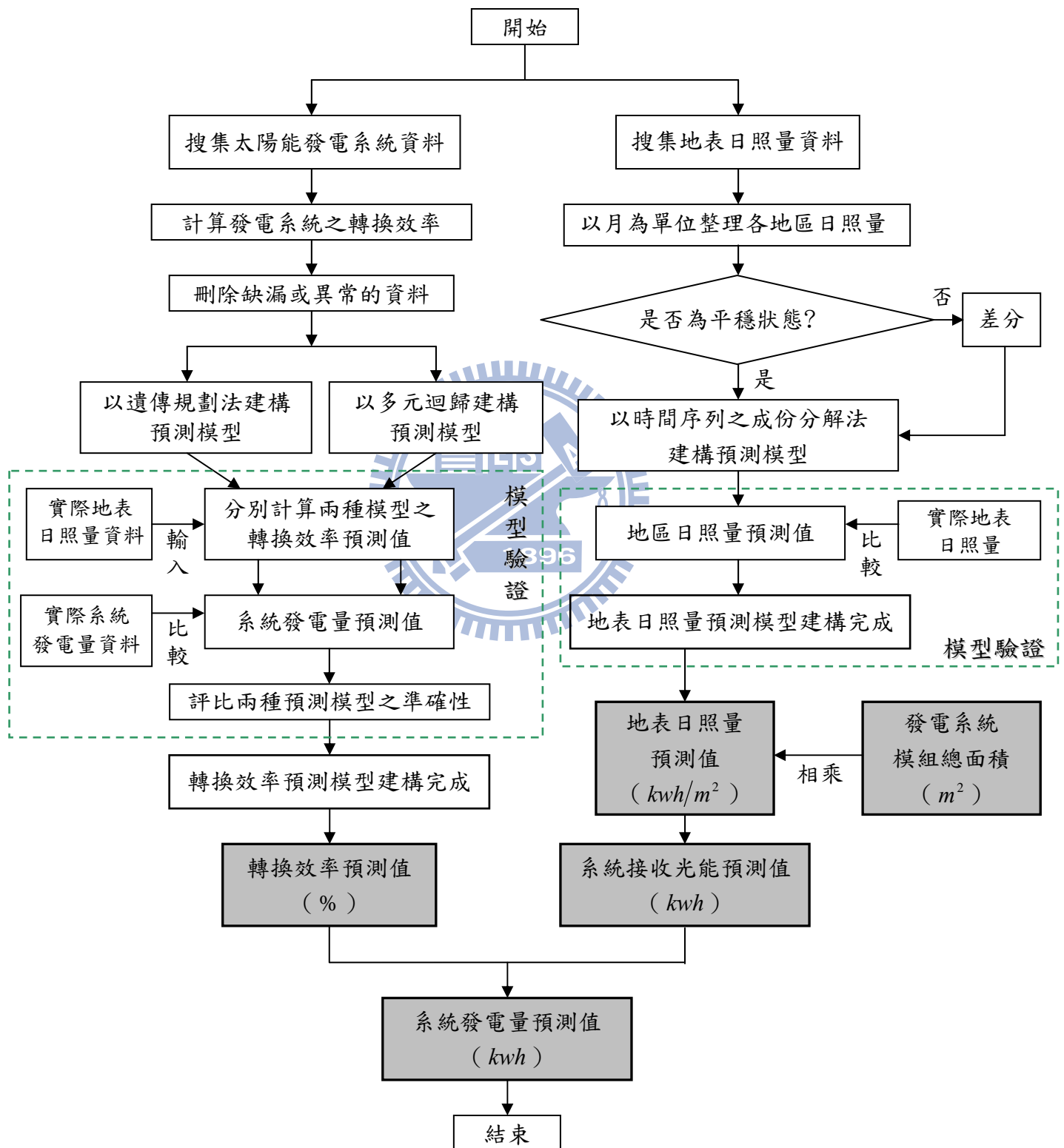


圖 3-1 研究流程圖

3.2 資料搜集與整理

由於本研究分別建構系統因素之轉換效率模型，與氣候因素之地表日照量預測模型，且分析所使用的資料來源與型態不同，因此分別說明此兩類資料的搜集與整理方式如下：

1. 太陽能發電系統資料

本研究以台灣某太陽能光電研究單位提供之 2005 年至 2008 年間，由政府補助設立的太陽能發電系統發電量資料進行分析，每一套系統共計有 15 項系統變數，由於**模組型號**與**換流器型號**較無分析上實質意義，扣除此兩變數後剩餘 13 項，分別與系統模組、換流器與變壓器相關，分三類整理如下：

表 3-1 太陽能發電系統變數

種類	變數	變數屬性
系統模組	模組廠牌	類別
	模組生產國家	類別
	模組種類	類別
	模組單片面積 (m^2)	連續
	模組裝設片數	類別，計數
	模組單片容量 (w)	連續
	系統設置總容量 (kw)	連續
換流器	換流器組數	類別，計數
	換流器廠牌	類別
	換流器輸出容量 (w)	連續
變壓器	有無變壓器	類別，二元
	變壓器容量	連續
	變壓器輸出規格	類別

各系統變數即預測模型的解釋變數 (x_i)，若以變數的屬性可分為類別型

(含離散計數型與二元型)與連續型變數，而預測(反應)變數則為每套系統的轉換效率 (η)，如表 3-2 所示。

表 3-2 發電量資料的解釋變數與反應變數

種類	解釋變數 (x_i)	反應變數 (y)
類別型	模組廠牌 (x_1) 模組生產國家 (x_2) 模組種類 (x_3) 模組裝設片數 (x_4) 換流器組數 (x_5) 換流器廠牌 (x_6) 有無變壓器 (x_7) 變壓器輸出規格 (x_8)	系統 轉換效率 ($\bar{\eta}$)
連續型	模組單片面積 (x_9) 模組單片容量 (x_{10}) 系統設置總容量 (x_{11}) 換流器輸出容量 (x_{12}) 變壓器容量 (x_{13})	

將變數分類後，利用 (2-2) 式計算發電系統之轉換效率 ($\bar{\eta}$)，由於計算公式中包含模組面積與發電量，因此缺少此兩項數據的資料將無法計算轉換效率，予以刪除。另一方面，計算出轉換效率後必須先考慮其合理性，若計算後某系統之轉換效率超出現有技術門檻，則判定該資料為異常。就目前業界技術而言，最先進的太陽能發電系統，模組的實際轉換效率僅略高於 19% [34]，因此將資料中轉換效率高於 19% 的資料視為異常，同樣予以刪除。

綜合上述，先行計算原始資料中各系統之轉換效率，刪除缺漏與異常的資料後，再繼續建構預測模型。

2. 地表日照量資料

本研究所使用的地表日照量資料，數據皆以中央氣象局出版的氣象年報為主，整理 1997 至 2007 年各地氣象觀測站之地表日照量資料，並以月為最小單位計算累積地表日照量，各測站位置資料詳見圖 3-2。

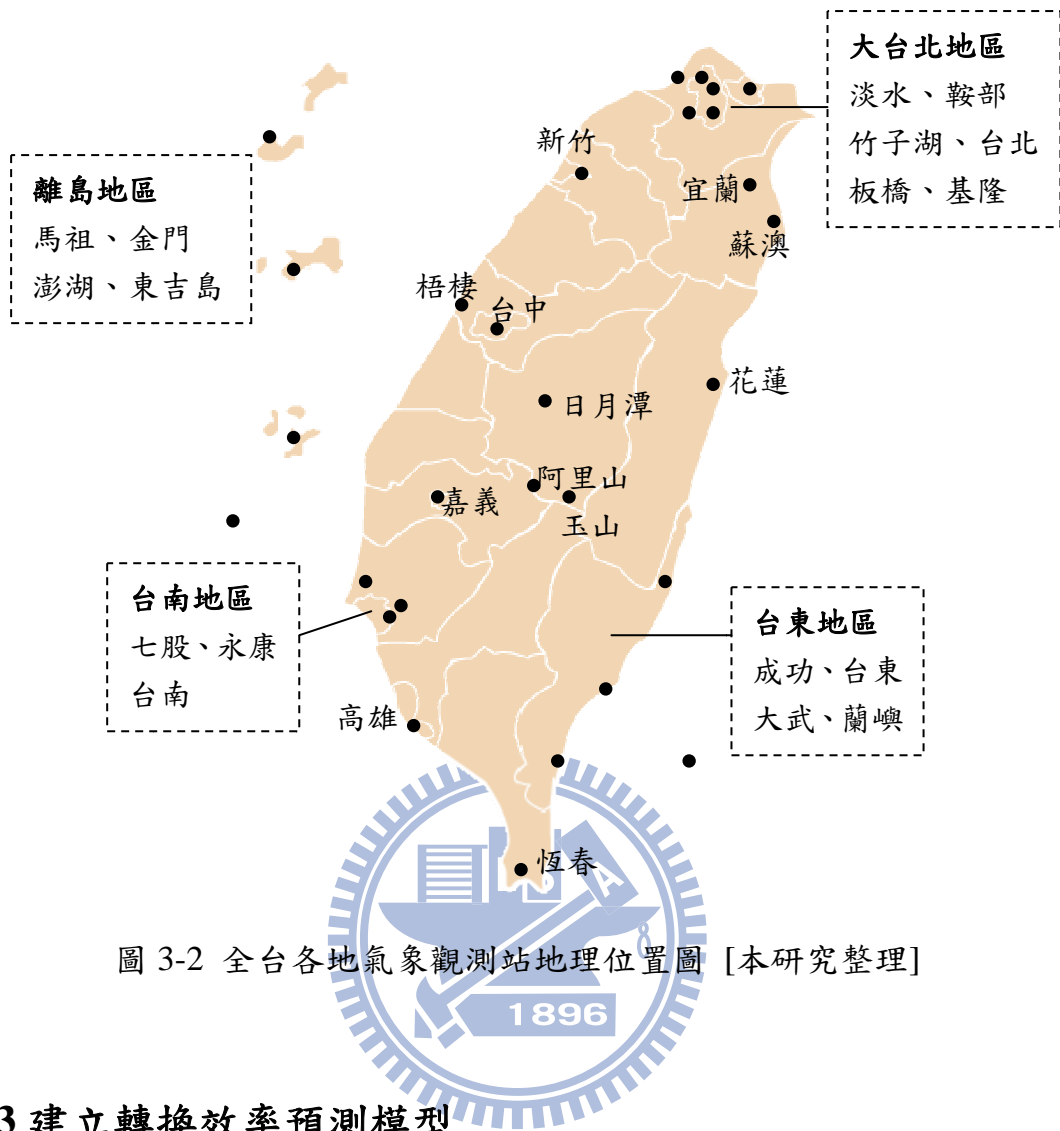


圖 3-2 全台各地氣象觀測站地理位置圖 [本研究整理]

3.3 建立轉換效率預測模型

本研究執行遺傳規劃法時所使用的軟體是「GP 3.0 遺傳規劃法軟體」，此軟體為套裝形式，因此免去自行撰寫程式的繁雜過程，只須先行設定遺傳規劃法的參數，軟體會依照遺傳規劃法的運算機制自動進行，

遺傳規劃法的運算機制如 2.4 節所述，是 Koza 改良遺傳演算法而得，詳細的流程如圖 3-3 所示。當程式執行結束後，藉由輸出報表中的預測方程式，可解讀系統轉換效率與解釋變數之間的函數關係。

3.3.1 使用遺傳規劃法軟體的執行步驟

使用套裝軟體執行遺傳規劃法的流程大致有下列三個步驟：

步驟一 輸入資料並設定參數

將所有系統解釋變數當作遺傳規劃法之輸入變數，並設定遺傳規劃法的參數值，包含演化次數、交配率、突變率、運算符號及模擬次數等。

步驟二 進行演化

透過選擇、複製、交配與突變等演化機制，產生子代並計算其適應函數值，再經過演算到達設定的迭代次數後，判別模型是否已經收斂，若有則代表找到近似最佳解；若無則考慮更多的迭代次數，或重新設定遺傳規劃法的參數。

步驟三 透過模擬選擇最佳的預測模型

模擬多次後，選擇其中誤差最小的近似最佳預測方程式，並將各系統的解釋變數輸入到預測方程式中，得出各系統之轉換效率預測值。

3.3.2 模型驗證

為了探討遺傳規劃法相較於傳統的統計方法，是否能有更好的預測準確性，因此同時以多元迴歸分析建立預測模型，並將實際的地表日照量資料分別輸入到兩個預測模型，得出兩模型個別的發電量預測值，再與同一時期的實際發電量相比較，計算平均絕對百分比差（Mean Absolute Percentage Error, MAPE），公式如下：

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - E_i}{O_i} \right|}{N} \times 100\% \quad (3-2)$$

其中 N 表資料筆數； O_i 表示實際發電量； E_i 表示預測之發電量。

MAPE 指標可用來評估預測模型的準確性，指標值越小表示誤差越小，預測越準確，本研究將驗證遺傳規劃法所建立之模型，在預測發電量的準確性上，是否較傳統統計方法之多元迴歸分析來的準確。

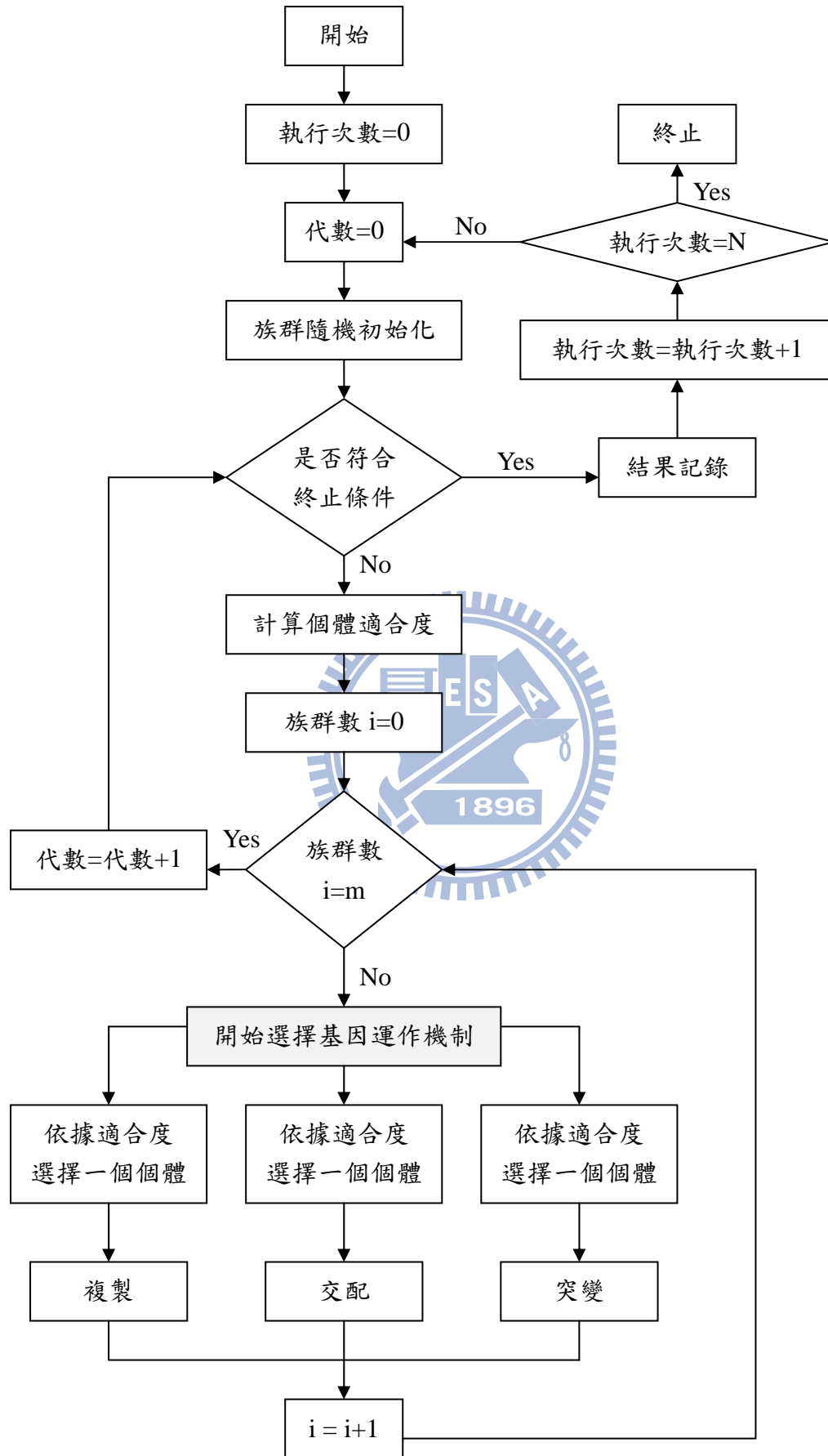


圖 3-3 遺傳規劃法之運算機制[16]

3.4 建立地表日照量預測模型

時間序列分析中，四個成份已於 2.6 節介紹，本節將敘述應用時間序列分析進行地表日照量預測的步驟。

步驟一 檢驗資料是否為平穩型與隨機序列

時間序列為一隨機過程，可分為平穩型 (Stationary) 與非平穩型 (Non-Stationary)，平穩型時間序列對於外在的衝擊僅具暫時性的影響，受到短暫的波動干擾後又會返回其平均值，而外在衝擊對於時間序列會造成累積的效果則為非平穩型 (或稱非定態)，使觀測值隨著時間逐漸偏離平均值，必須經由差分轉換變為平穩型時間序列。判斷時間序列是否為穩態可使用單根檢定 (Unit-root Test)，目前較常被學者使用的有 ADF 檢定 (Augmented Dickey-Fuller Test) 與 PP 檢定 (Phillips-Perron Test) [7]，本研究在建模前，先以單根檢定判斷資料是否需要進行差分轉換，並判斷資料是否具有順序上的相關性，檢查誤差項是否存有序列相關，使用的方式為 D-W 檢定 (Durbin-Watson Test)。

步驟二 選定模型進行預測

在 2.6 節中介紹過以成份來分解時間序列的假設模型，其中加法模型假設成份間互相獨立，而乘法模型則假設成份間存在交互作用，考慮實際情況後選擇乘法模型作為地表日照量資料的假設模型。建立模型後，先以長期趨勢方程式預測，再使用季節與循環因子作為調整，最後得出地表日照量的預測值，在本研究中使用 Minitab 統計軟體進行成份分解的預測。

步驟三 模型評估

一般常用的評估指標是 MSE (Mean Square Error)、MAD (Mean Absolute Deviation) 與 MAPE (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)，本研究將以此三項指標來評估預測模型的準確性，最後以 MAPE 值比較時間序列預測模型與歷史數據平均值之預測準確性孰優孰劣。

第四章 實例驗證

本章將說明利用發電量資料與地表日照量資料分別建立預測模型的結果，4.1 節敘述資料搜集與整理的結果；4.2 節分別以兩種不同方法建立轉換效率預測模型再進行比較；4.3 節以成份分解法預測 2008 與 2009 年各地區的地表日照量，4.4 節則進行最終發電量的預測，估計發電量資料中，各發電系統在 2009 年可能輸出的發電量。

4.1 資料搜集與整理

以下分別詳述太陽能系統發電量資料與地表日照量資料，進行搜集與整理的過程和結果。

4.1.1 太陽能系統發電量資料

本研究以台灣某太陽能光電研究單位所提供之 2005 至 2008 年政府補助之太陽能發電系統進行資料分析，共計 126 筆，其中 2005 至 2007 年資料用以建構預測模型，而 2008 年之發電量資料則用以驗證。首先以 (2-2) 式計算各系統在 2005 至 2007 年，三年間的平均轉換效率 ($\bar{\eta}$)。

計算結果發現有 3 筆資料因無模組面積數據，故無法計算轉換效率，予以刪除後尚餘 123 筆。進一步考慮轉換效率的合理性，由於目前實際運作的太陽能發電系統，即使是單晶矽模組，轉換效率也僅略高於 19% [34]，因此在可計算轉換效率的 123 筆資料中，進一步刪除 10 筆轉換效率大於 19% 的資料，最後實際可進行分析的資料共有 113 筆。

進一步細究該 10 筆轉換效率異常的資料，其中 2 筆的解釋變數中，單片模組尺寸分別為 166mm×100mm、165mm×125mm，明顯小於其他系統之單片尺寸，初步判斷可能是尺寸數據錯誤，導致高估轉換效率。其 8 筆則判斷為發電量的回報資料有誤，導致轉換效率高估，由於各系統之發電量資料尚未全面電子化，部分較先進的系統可透過電腦連線監控，即時

回傳系統端資料至控制中心的電腦資料庫中，但多數系統之發電量仍必須由人工抄寫紀錄，因此可能發生人為疏失，經核對後發現此 8 筆發電量異常的資料，該系統確為以人工的方式進行電錶抄寫。表 4-1 列出太陽能發電系統原始資料的整理過程。

表 4-1 太陽能發電系統原始資料整理

所有資料 總計	無法計算 轉換效率	轉換效率 異常 (>19%)	有效資料 合計
126	3	10	113

4.1.2 地表日照量資料

本研究所分析的地表日照量資料，是以中央氣象局所出版之氣候資料年報為主，蒐集 1997 年至 2007 年台灣各地氣象觀測站所回報的地表日照量資料，本研究以月份做為時間序列分析的最小單位，故將每日的地表日照量以月為單位加總，計算各月份之累積地表日照量，每一個地區各有 132 筆數據，由於各測站偶有幾天會發生儀器故障，若因故障而缺少觀測值，則以該月份剩餘觀時間之日平均值，乘上該月份的天數，來推估該月份的累積地表日照量。

4.2 預測系統轉換效率

誠如 3.3 節所述，本研究以遺傳規劃法建立轉換效率預測模型，並同時以統計方法建立預測模型，驗證並比較預測模型的準確性。

4.2.1 以遺傳規劃法建立預測模型

1. 參數設定

使用模擬程式執行遺傳規劃法之參數設定如下：

- (1) 解釋變數（自變數）個數為 13。（表 3-2）
- (2) 解釋變數之間由於單位不同，造成數值大小落差甚大，故先將資料進行標準化。

- (3) 演化次數設定一極大值，確保演算結果達到收斂。
- (4) 繁殖比例設定為 0.8，選取 80% 的親代進行染色體之交配。
- (5) 突變比例設定為 0.2，選取 20% 之子代進行染色體突變避免落入局部最佳解。
- (6) 未加入 exp、log 兩運算元。
- (7) 模擬 50 次，擇最優者為模型之近似最佳解。

2. 建立預測模型

模擬結果所得出之近似最佳解函數（預測方程式）為：

$$\hat{y} = 0.584 - 0.742 \times (x_9 - x_{10}) - 0.374 \times (x_3 + 1.374) \times (x_9 - x_{10} + 0.674) \times \left(\frac{0.674 - x_7}{0.584} \right) \quad (4-1)$$

其中 \hat{y} 表示轉換效率之估計值（以百分比值表示），透過程式演算模擬後篩選出的 4 個變數為— x_9 : 模組單片面積， x_{10} : 模組單片容量， x_7 : 變壓器， x_3 : 模組種類，而各變數的輸入範圍如下表 4-2 所示：

表 4-2 篩選變數之範圍

篩選變數	名稱	範圍
x_9	模組單片面積	0.6324 ~ 2.0625 (m ² , 平方公尺)
x_{10}	模組單片容量	75 ~ 210 (w, 瓦)
x_7	變壓器	0: 無變壓器, 1: 有變壓器
x_3	模組種類	0: 非晶矽, 1: 單晶矽, 2: 多晶矽

4.2.2 以統計方法建立預測模型

1. 篩選顯著變數

由於資料中的解釋變數高達 13 個（表 3-2），因此考慮先行篩選對於轉換效率有顯著影響的變數，再將其建構多元迴歸建立模型。由於解釋變

數分為連續型和類別型，故採用不同的方法分別處理，連續型變數利用相關分析，選取與轉換效率有顯著相關的變數；類別型則以變異數分析探討是否因為各群之間的轉換效率是否有顯著差異，若有，則視為顯著變數。分別進行相關分析與變異數分析後，將挑選過後的四個顯著變數整理如表 4-3 所示，可發現與利用遺傳規劃法所篩選的結果相同。

表 4-3 顯著變數篩選結果

解釋變數類型	使用方法	變數篩選結果
連續型變數	相關分析	模組單片面積 (x_9)、模組單片容量 (x_{10})
類別型變數	變異數分析	變壓器 (x_7)、模組種類 (x_3)

2. 建立多元迴歸預測模型

將挑選過的顯著變數，利用 Minitab、SPSS、Eviews 等統計軟體進行各種分析的結果整理如下：

Predictor	Coefficient	SE Coef	T	P-value	VIF
模組單片面積 (m^2)	5.189	1.138	4.56	0.000*	3.931
模組單片容量 (w)	0.008	0.001	8.11	0.000*	4.823
有無變壓器	1.447	0.214	6.77	0.000*	1.067
模組種類	2.177	0.232	9.37	0.000*	1.640

ANOVA TABLE						Residual Analysis	P-value
Source	DF	SS	MS	F	P		
Regression	4	470.710	117.678	27.809	0.000*	K-S test	0.720
Error	108	457.018	4.232			White's test	0.076
Total	112	927.728				D-W test	0.842
R-Sq = 0.507 R-Sq(adj) = 0.489						Run test	0.924

以多元迴歸分析建立的方程式為：

$$\hat{y} = 5.189 * \text{模組單片面積}(x_9) + 0.008 * \text{模組單片容量}(x_{10}) + 1.447 * \text{變壓器}(x_7) + 2.177 * \text{模組種類}(x_3)$$

(4-2)

由於多元迴歸分析與遺傳規劃法篩選出的顯著變數相同，故各變數範圍如同表 4-2，R-square 約 50%，顯示以多元迴歸建構的預測模型解釋能力並非十分理想，而 VIF 值皆小於 5 顯示變數之間共線性問題不大。經由迴歸方程式中的係數可知，對於轉換效率影響最大的變數是模組的單片面積（以 m^2 為單位），其次依序為模組種類、變壓器與模組單片容量。連續型變數部份，太陽能電池之單片面積越大，容量（瓦數）愈大，轉換效率越高；類別型變數部分，有變壓器之太陽能發電系統轉換效率較高，而模組的晶體種類亦影響轉換效率，模組轉換效率由高至低依序為多晶矽、單晶矽與非晶矽。

殘差分析則判斷迴歸模型是否符合常態、同質、獨立三大假設，而對應之 K-S 檢定、White's 檢定、D-W 檢定與連檢定，結果均為不顯著，因此判定本研究所使用之資料並無違反任何基本假設。

4.2.3 驗證過去工學實驗結果

誠如第一章研究目的所述，本研究是以資料分析的方式，驗證過去以工程實驗所得的結果，Gregg 等人[21] 探討過去針對發電量影響因子之相關研究，其中與系統變數有關的有模組面積、模組容量、模組種類、變壓器與換流器，除了換流器以外，無論是以遺傳規劃法或多元迴歸分析，所篩選出來的顯著變數皆與工學領域的研究不謀而合。換流器的功用是將輸出的直流電轉為交流電，理論上應該是影響轉換效率之顯著變數，然而本研究在進行資料分析時，換流器此一變數卻不顯著，原因是本研究是以台灣地區所實際運行的太陽能發電系統為資料背景，而台灣地區目前現有的發電系統皆已設有換流器，故資料中各系統的差異僅為換流器組數的多寡，而非有無設置換流器，因此就分析的結果僅能證實：換流器組數的多寡對於轉換效率並無顯著的影響，並非否定換流器設置與否對於轉換效率的影響，與過去工學領域研究認定換流器為關鍵因子的觀念並無矛盾。

4.2.4 模型驗證與準確性比較

前面說明了如何以多元迴歸分析和遺傳規劃法，建構兩種不同預測模型，透過模型計算出的轉換效率預測值，將 2008 年上半年度的各系統所在地區之地表日照量資料，乘上各系統的模組總面積，以及兩種模型分別預測的轉換效率，可得到同一時期各系統的發電量預測值，與該時期實際發電量比較，計算 MAPE 值來進行兩模型之評比，以了解遺傳規劃法的預測準確性是否優於傳統的統計方法。

由於各系統模組總容量大小（瓦數）不同，各系統之間比較時，會以每單位容量可輸出的電量作為基準，下表 4-4 展示兩個不同模式對於 2008 年上半年度的「每日平均」預測發電量以及實際發電量的節錄結果。

表 4-4 2008 上半年度各系統日平均發電量預測結果（節錄）

單位名稱	實際發電量	多元迴歸模型 預測值	遺傳規劃模型 預測值
TP Co., Ltd (TPE)	1.945	2.593	2.092
KY TECH SCHOOL	合約到期	2.759	3.162
NSC MUSM	2.858	3.369	2.928
TC-CD SCHOOL	2.863	3.537	3.067
LY	1.934	1.874	1.876
TNCC	1.491	1.348	1.402
TN-AS SCHOOL	2.653	3.533	3.063
PTSDM	故障	3.741	2.652
.....
TYDH SCHOOL	1.120	1.495	0.846
KS-KR SCHOOL	2.450	2.856	3.113
DF-E Co., Ltd	2.829	2.254	2.423
KC-B Co., Ltd	3.015	2.607	2.872
IN-D Co., Ltd (1)	1.969	2.289	1.950
IN-D Co., Ltd (2)	3.006	2.177	2.710
IN-D Co., Ltd (3)	2.643	3.277	1.935
IN-D Co., Ltd (4)	2.548	2.210	2.362
IN-D Co., Ltd (5)	2.409	1.951	2.249

為了能證實遺傳規劃法的預測準確性優於傳統統計模型，因此以 MAPE 來評估預測模型的準確性，藉由模型本身所預測的轉換效率，輸入 2008 上半年度地區實際地表日照量資料，分別透過公式 (2-2) 計算出單位設置容量之日平均預測發電量，再與同一時期的實際日平均發電量相比，最後計算 MAPE 如下表 4-5 所示

表 4-5 預測模型之準確性評估

預測模型	MAPE
遺傳規劃模型	12.95%
多元迴歸模型	19.56%

根據 Lewis[25]於 1982 年提出的 MAPE 評估準則 (見下表 4-6)，顯示遺傳規劃法屬於優良的預測，而多元迴歸分析亦屬優良預測，但準確性較接近次一等級，而由上表 4-5 可知，遺傳規劃模型之 MAPE 百分比值小於多元迴歸模型，因此可證實其預測準確性較高。可能的原因是：發電量的資料中，系統變數與轉換效率之間的關係，可能存在非線性或複雜的交互作用，傳統統計之多元迴歸分析屬於線性預測方式，因此所建立的預測模型，預測準確性不如遺傳規劃法來的好，是可以理解的。

表 4-6 MAPE 之評比準則[25]

MAPE (%)	準確性評比
< 10	高準確性預測
$10 \leq MAPE < 20$	優良的預測
$20 \leq MAPE < 50$	合理的預測
> 50	不準確的預測

4.3 預測各地區之地表日照量

誠如 3.4 節所述，依照地區搜集完逐月的地表日照量資料後，先進行單根檢定及 D-W 檢定判斷資料是否符合平穩性與隨機性，再以成份分解法建立預測模型，最後比較使用模型預測與使用歷史平均值估計的準確性。台灣地區目前有進行地表日照量觀測的測站分佈如圖 3.3 所示，由於本研究進行系統接收光能之預測時，是以距離系統設置地區最近的氣象測站為地表日照量的參考依據，部份測站所在的區域，附近並無設置太陽能發電系統，因此僅針對設有發電系統的鄰近地區，進行地表日照量資料分析。

4.3.1 單根檢定與 D-W 檢定

以 Eviews 軟體執行 ADF 與 P-P 檢定，判斷資料是否有單根現象，兩檢定之虛無假設均表示資料有單根現象，若檢定達顯著水準則顯示無單根現象，屬於平穩型時間序列，檢定結果整理如下表 4-7 所示

表 4-7 單根檢定結果

地區	ADF Test P-value	P-P Test P-value
台北	0.000*	0.000*
新竹	0.000*	0.003*
台中	0.000*	0.000*
南投	0.009*	0.000*
嘉義	0.001*	0.007*
台南	0.005*	0.004*
高雄	0.000*	0.000*
恆春	0.000*	0.000*
基隆	0.000*	0.000*
宜蘭	0.000*	0.004*
花蓮	0.000*	0.006*
台東	0.000*	0.001*
蘭嶼	0.000*	0.000*

表 4-7 顯示各地區地表日照量資料均無單根現象，屬於平穩型時間序列，

故無需經由差分轉換，即可進行後續流程。

D-W 檢定則用以判斷時間序列是否存在序列相關，以程式計算 D-W 統計量值，並參照樣本數對應的 D-W 臨界值，若大於臨界值則表示顯著，拒絕序列相關的虛無假設，檢定結果整理如表 4-8 所示

表 4-8 D-W 檢定結果

地區	D-W 統計量	DW > D_U
台北	1.957	是
新竹	1.885	是
台中	2.075	是
南投	2.322	是
嘉義	2.153	是
台南	2.151	是
高雄	2.116	是
恆春	2.017	是
基隆	1.782	是
宜蘭	1.769	是
花蓮	1.760	是
台東	1.774	是
蘭嶼	1.892	是

註： $\alpha = 0.05, n = 132 (> 100), d_U = 1.69$

結果顯示各地區之 D-W 統計量皆超過檢定統計量之上界臨界值，可判定各期殘差間並無序列相關的現象。

4.3.2 建模預測與準確性評估

以 1997 至 2007 年各地區地表日照量為建模資料，透過成份分解，再以相乘模式組合為預測模型，進行 2008 與 2009 年地表日照量之預測，估計結果如表 4-9 所示

表 4-9 各主要地區地表日照量預測 (以 kwh/m^2 為單位)

	台北	新竹	台中	南投	嘉義	台南	高雄	恆春	基隆	宜蘭	花蓮	台東	蘭嶼
Jan-08	57.46	57.82	98.89	94.05	104.97	98.75	93.75	102.47	32.62	46.12	45.58	86.30	62.89
Feb-08	69.43	70.78	114.03	102.48	115.21	115.04	113.22	109.58	52.15	59.48	60.12	94.01	68.71
Mar-08	77.22	79.62	116.13	100.40	128.19	124.50	126.10	136.30	62.79	79.56	64.93	108.69	89.47
Apr-08	98.86	101.02	118.60	96.50	140.08	135.11	141.21	150.32	84.04	92.03	80.76	125.31	101.07
May-08	110.88	129.83	146.82	120.70	172.04	155.89	158.19	156.76	98.54	108.86	97.53	154.27	113.40
Jun-08	119.33	140.05	134.28	107.99	161.26	143.00	155.00	155.27	120.84	126.54	113.60	176.74	114.74
Jul-08	150.21	161.67	150.87	128.05	161.39	138.67	144.78	151.96	167.06	169.40	138.29	188.93	120.69
Aug-08	140.91	148.91	147.78	110.84	160.64	142.61	146.07	144.26	147.48	160.92	123.55	180.01	126.16
Sep-08	109.13	125.80	133.55	104.10	151.71	132.94	136.11	135.67	124.70	106.57	84.95	144.56	102.56
Oct-08	100.08	112.90	133.60	103.24	143.24	127.19	124.22	133.34	71.90	80.35	80.54	129.01	96.55
Nov-08	73.08	91.25	108.76	95.75	112.83	99.12	96.45	112.32	54.45	57.51	60.03	101.91	66.76
Dec-08	59.91	66.49	95.03	92.04	101.84	94.83	89.50	97.79	29.64	46.01	55.35	85.90	54.88
08 總計	1166.50	1286.13	1498.36	1256.14	1653.39	1507.65	1524.59	1586.02	1046.22	1133.34	1005.22	1575.64	1117.88
Jan-09	59.15	59.34	102.08	96.44	107.84	101.23	96.30	108.26	33.93	47.29	44.47	87.00	63.91
Feb-09	69.01	70.14	113.64	101.46	114.28	113.86	112.27	111.76	52.37	58.88	56.64	91.52	67.42
Mar-09	79.49	81.71	119.86	102.94	131.68	127.62	129.51	143.94	65.30	81.57	63.35	109.58	90.92
Apr-09	101.76	103.67	122.40	98.94	143.89	138.48	145.02	158.70	87.38	94.35	78.78	126.33	102.70
May-09	114.13	133.23	151.51	123.74	176.71	159.77	162.45	165.47	102.45	111.60	95.14	155.53	115.23
Jun-09	122.81	143.71	138.55	110.71	165.62	146.56	159.16	163.85	125.61	129.72	110.81	178.19	116.59
Jul-09	154.59	165.88	155.66	131.27	165.75	142.11	148.65	160.32	173.64	173.65	134.89	190.47	122.63
Aug-09	145.01	152.78	152.47	113.62	164.97	146.14	149.97	152.16	153.27	164.94	120.50	181.49	128.19
Sep-09	112.30	129.06	137.77	106.70	155.79	136.23	139.74	143.06	129.58	109.23	82.85	145.74	104.21
Oct-09	102.97	115.83	137.81	105.82	147.09	130.32	127.53	140.57	74.70	82.35	78.54	130.07	98.10
Nov-09	75.18	93.61	112.18	98.14	115.86	101.56	99.01	118.39	56.56	58.94	58.55	102.74	67.82
Dec-09	61.64	68.20	98.01	94.33	104.56	97.16	91.87	103.05	30.79	47.15	53.98	86.60	55.76
09 總計	1198.04	1317.17	1541.95	1284.12	1694.04	1541.02	1561.47	1669.52	1085.59	1159.67	978.49	1585.25	1133.48

將 2008 年各地區逐月的地表日照量預測值，與 2008 年氣象測站觀測到逐月的實際地表日照量進行比較，並計算 MSE、MAD 與 MAPE 值，整理如下表 4-10 所示，根據 Lewis[25]提出之 MAPE 的評比標準，所有地區的 MAPE 值均小於 15%，顯示利用時間序列模型所預測的結果屬於優良的預測。

表 4-10 各地區地表日照量預測之準確性評估

地區	MSE	MAD	MAPE (%)
台北	147.87	9.17	10.62
新竹	119.27	8.91	9.46
台中	100.49	6.63	5.79
南投	162.69	10.33	9.26
嘉義	215.19	11.11	7.68
台南	143.47	9.43	8.12
高雄	108.26	7.98	6.73
恆春	280.23	14.49	12.79
基隆	123.52	8.64	14.29
宜蘭	98.87	6.66	9.06
花蓮	374.11	15.33	13.49
台東	70.51	6.32	5.64
蘭嶼	105.20	7.62	11.12

最後將時間序列之成份分解法預測結果，與採用過去（1997 至 2007 年）歷史地表日照量平均進行準確性的比較，兩者的 MAPE 值如下表 4-11，結果顯示以時間序列進行預測，準確性確實比直接採用歷史平均來的好。

表 4-11 時間序列預測與歷史平均之準確性評估

地區	時間序列 MAPE (%)	歷史平均 MAPE (%)
台北	10.62	16.69
新竹	9.46	15.45
台中	7.79	14.11
南投	9.26	16.72
嘉義	7.68	12.88
台南	8.12	14.58
高雄	6.73	11.84
恆春	12.79	20.05
基隆	14.29	22.61
宜蘭	9.06	15.39
花蓮	13.49	21.17
台東	5.64	10.77
蘭嶼	11.12	17.68

4.4 預測未來各系統之發電量

分別建立轉換效率與地表日照量預測模型得出預測值之後，先確定各系統設置所屬的地區，輸入 2009 年地表日照量預測值，乘上系統的模組總面積，預測 2009 年該系統可接收的光能，最後乘以系統的轉換效率預測值，可估計各系統在 2009 年的年發電量，如下表 4-12 所示：

表 4-12 2009 年度各系統發電量預測結果（節錄）

單位名稱	2009 年度 總發電量預測	日平均發電量預測 (每單位容量)
TP Co., Ltd (TPE)	18247.67	2.480
KY TECH SCHOOL	3658.65	3.335
NSC MUSM	13047.99	3.546
TC-CD SCHOOL	10733.49	3.267
LY	8140.69	2.223
TNCC	6774.78	1.494
TN-AS SCHOOL	10727.02	3.265
PTSDM	8494.81	2.797
NNT SCHOOL	11361.08	3.891
TT-LY SCHOOL	8800.08	2.898
TCCC	8951.73	2.433
YC UNIV	9292.07	5.051
TP Co., Ltd (NT)	5901.34	1.614
.....
ML-EN SCHOOL	3540.81	2.772
TY-DH SCHOOL	1298.02	0.988
KS-KR SCHOOL	3774.89	3.283
DF-E Co., Ltd	4295.36	2.829
KC-B Co., Ltd	1166.17	3.060
IN-D Co., Ltd (1)	5234.19	2.276
IN-D Co., Ltd (2)	7274.87	3.164
IN-D Co., Ltd (3)	1484.42	2.259
IN-D Co., Ltd (4)	6672.54	2.757
IN-D Co., Ltd (5)	6114.18	2.626

第五章 結論與建議

太陽能已成為本世紀最受矚目的新興能源之一，在能源危機日益升高的今日，以太陽能發電不失為解決台灣電力供應問題的一帖良方，然而對於有心投入太陽能發電市場的廠商，最關心的議題當然是太陽能系統發電量的多寡。因此本研究以太陽能發電系統之發電量資料進行分析，將系統與氣候因素分別以建立預測模型，整合後即可用以預測系統發電量，提供與太陽能發電相關之產業、政府與學術各界進行後續研究的參考。本章將於 5.1 節說明本研究的貢獻，並於 5.2 節提出後續研究之建議。

5.1 研究貢獻

本研究的貢獻，可由產、官、學三方面說明如下：

1. 產業面

對於有心投資太陽能市場的廠商，發電轉售的收益相較於設置成本是投資評估最重要的一環，由於過去工程界提供的系統轉換效率規格值，多為控制許多變因下的實驗結果，與實際運作後的效能多少有落差，因此透過本研究的預測模型，只要掌握太陽能發電系統的關鍵規格（與轉換效率相關的顯著變數），以及考慮的設置地區，就能推估系統正常運作一段時間後的發電量，進一步計算電力轉售的收益，可作為成本評估時重要的參考依據。

2. 政府政策面

相對於業界廠商，政府在推廣太陽能產業時，相關法令與政策的制定尤其重要，一旦太陽能系統的發電量能夠預估，政府便可建立更完整的配套措施來扶植太陽能產業，例如：根據不同規格的系統，以發電量為分級標準制定不同的政策補助，或制定合理的回收電價，提高廠商對於產業的投資意願。

3. 學術面

誠如 2.7 節文獻回顧之總結所述，過去學界在探討發電系統的轉換效率時，多半以工程實驗的角度切入進行研究，工程實驗雖有其工程學、物理學、化學等理論做為依據，然而實驗往往無法同時考慮多個變數，因此只能在控制某些變數下進行實驗。因此，本研究試圖另闢蹊徑，以新的角度切入此議題，利用現有實際運作的資料進行分析，找尋影響太陽能發電系統輸出發電量的重要因子，除了驗證過去電子、物理、機械、材料等實驗或研究的結果之外，進一步可更全面的考慮多個變數同時存在時，變數之間的關係以及對於轉換效率的影響為何，並以這些變數建立預測模型。

5.2 後續研究之建議

針對本議題後續的相關研究，有以下兩點建議：

1. 以實驗設計尋找最佳的變數組合

針對影響系統轉換效率或光能接收的關鍵變數，未來可將關鍵變數作為實驗設計的因子，利用實驗設計的手法尋找最佳的組合。本研究使用全台灣各地設立的發電系統做為研究資料，雖具有全面性，但在找出系統關鍵變數後，卻無法進一步研究多個變數之間的最佳組合設計，若能以實驗設計手法得出結論，便可在設計太陽能發電系統時加入考量。

2. 以更準確的模型預測

本研究以資料分析的角度切入，並分別針對系統與氣候因素建模預測，是一種較新的嘗試，但由於資料上的侷限，有許多氣候或系統的因子，無法在研究中深入探討，期盼各界先進能延續此一概念，以類似的手法輔以更充裕的資料、更準確的模型，進行進一步的後續研究，使得未來台灣在太陽能發電之相關研究上，能趕上歐美與日本等技術領先國家的之腳步。

參考文獻

- [1] 三木信博（1998），「太陽光發電のための光電池パネルの最適傾斜角」，日本建築學會大會學術演講梗概集 41250。
- [2] 李建興、陳耀銘、吳旭晉（2003），「以遺傳演算法與模擬退火法計算固定式太陽能電池板的最佳安裝角度」，能源季刊，第三十三卷，第三期，第 112-118 頁。
- [3] 李寶珠譯，谷下市松原著（1992），「太陽能概論」，科技圖書出版。
- [4] 芦村昌士、宮川忠明、木田寬治（1996）「噴水に用いた太陽光発電システムの計測評価」，日本建築學會大會學術演講梗概集 41222。
- [5] 林嘉宏（2007），「鋪面紋理與摩擦力關聯性之初步研究」，逢甲大學交通工程研究所碩士論文
- [6] 邵承矩（1993），「能源應用」，東華書局出版。
- [7] 吳柏林（2006），「時間序列分析導論」，華泰圖書出版。
- [8] 吳建陵（2006），「應用遺傳規劃法於水庫入流量預測」，國立中興大學土木工程研究所碩士論文。
- [9] 周一燮（1982），「能源概論」，國立編譯館出版。
- [10] 徐翠華（1997），「台灣地區太陽輻射及太陽能發電潛力之研究」，國立台灣師範大學地理研究所碩士論文。
- [11] 莊嘉琛（1997），「太陽能工程—太陽電池篇」，全華圖書出版。
- [12] 陳野正仁（1997），「日本太陽光發電之現況」，光電與能源及環保專題報導之三，第 68 期，第 15-18 頁。
- [13] 張子文（2000），「太陽電池應用於建築上之研究」，國立成功大學建築研究所碩士論文。
- [14] 馮焯生（2008），「太陽能發電原理與應用」，五南圖書出版。
- [15] 經濟部能源委員會（2007），「中華民國九十六年台灣能源統計年報」，經

濟部能源委員會出版。

- [16] 鄭皆達、洪豪男 (2008) , 「應用時間序列方法分析降雨及地下水位之關係」, 水土保持學報, 第 47-55 頁。
- [17] 蕭德勇 (2004) , 「以遺傳規劃技術應用於核能電廠之爐心燃料設計研究」, 元智大學資訊管理研究所碩士論文。
- [18] Box, G. E. P. and Jenkins, G. M. (1976), Time Series Analysis forecasting and control, *Holden-Day Press*, San Francisco, CA.
- [19] Beyer, H. G., Bohlen M. and Schumacher J. (1996), “Time series analysis of the long term monthly horizontal solar radiation,” *Proc. EuroSun96*, pp. 1053-1057.
- [20] Dickey, D. A. and Fuller W. A. (1979), “Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root,” *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 74, pp. 427-431.
- [21] Gregg, A., Parker, T. and Swenson, R. (2005), “A “real world” examination of PV system design and performance,” Presented at Photovoltaic Specialist Conference and Exhibition, Florida, USA
- [22] Gordon, J. M. and Reddy, T. (1988), “Time series analysis of daily horizontal solar radiation,” *Solar Energy*, Vol. 41, No. 3, pp. 215-226.
- [23] Japan Solar Energy Society (1985), Solar Energy Utilization Handbook, *Japan Solar Energy Society*, Tokyo.
- [24] Koza, J. R. (1992), Genetic Programming, On the Programming of Computers by Means of Natural Selection, *MIT Press*, Cambridge, MA.
- [25] Lewis, C. D. (1982), Industrial and Business Forecasting Methods, *Butterworths*, London.
- [26] Markvart, T., Fragaki, A. and Ross, J. N. (2006), “PV system sizing using observed time series of solar radiation,” *Solar Energy*, Vol.80, No.1, pp. 46-50.
- [27] Perron, P. (1988), “Trends and Random Walks in Macroeconomic Time Series,”

Journal of Economic Dynamics and Control, Vol.12, pp. 297-332.

[28] Said, E. and Dickey, D. A. (1984), "Testing for unit roots in autoregressive moving average models of unknown order," *Biometrika*, Vol. 71, pp. 599-607.

[29] Yule, G. U. (1926), "Why do we Sometimes get Nonsense-Correlations between Time-Series?--A Study in Sampling and the Nature of Time-Series," *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 89, No. 1, pp. 1-63.

[30] Wilks, D.S. (1988), "Estimating the consequences of CO₂ – induced climatic change on North American grain agriculture using general circulation model information," *Climatic Change*, Vol.13, pp.19-42.

[31] Zaharim, A., Razali, A. M., Gim, T.P. and Sopian, K. (2009), "Time series analysis of solar data in the tropics," *European Journal of Scientific Research*, Vol. 25, No. 4, pp. 672-678

網路資料

[32] 國立台灣科學教育館網頁，「太陽電池介紹」，
<<http://activity.ntsec.gov.tw/web/show.asp?ph28>>

[33] 工研院太陽光電資訊網，「太陽能發電系統種類」，
<<http://solarpv.itri.org.tw/aboutus/sense/category.asp>>

[34] PR Newswire, "SunPower Announces the Planet's Most Powerful Solar Panel,"
<<http://news.prnewswire.com/ViewContent.aspx?ACCT=109&STORY=/www/story/05-20-2009/0005029765&EDATE=>>>