

DT  
446.7  
4483  
100  
225259

國立勤益科技大學  
冷凍空調與能源系碩士在職專班  
碩士論文

台灣住宅風光併網系統用電特性探討

**Analyzing of Wind-Solar Grid Power System  
Housing in Taiwan**

研究生：林益進  
指導教授：李靖男



中華民國一〇〇年七月

國立勤益科技大學圖書館



225259

台灣住宅風光併網系統用電特性探討

Analyzing of Wind-Solar Grid Power  
System Housing in Taiwan

研究生：林益進

指導教授：李靖男

國立勤益科技大學  
冷凍空調與能源系碩士在職專班  
碩士論文

A Thesis  
Submitted to  
Department of Refrigeration,  
Air Conditioning and Energy Engineering  
National Chin-Yi University of Technology  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master  
of Design  
In  
Refrigeration, Air Conditioning  
and Energy Engineering

July 2011

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇〇年七月

# 國立勤益科技大學

## 博碩士論文全文上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學  
冷凍空調系 \_\_\_\_\_ 組 99 學年度第 2 學期取得碩士學位之  
論文。

論文題目：台灣住宅風光併網系統用電特性探討  
指導教授：李靖男

### ■ 同意

本人具有著作權之論文全文資料，非專屬、無償授予本人畢業學校圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化等各種方式重製與利用，提供讀者基於著作權法合理使用範圍內之線上檢索、閱覽、下載及列印。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：

校內區域網路	■ 中華民國 101 年 8 月 1 日公開
校外網際網路	■ 中華民國 101 年 8 月 1 日公開

授權人：林益進

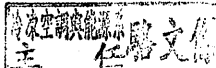
簽名：\_\_\_\_\_

中華民國 100 年 8 月 1 日

林益進

國立勤益科技大學  
冷凍空調與能源系碩士班  
論文口試委員會審定書

本校 國立勤益科技大學 碩士班 林益進 君  
所提論文 台灣住宅風光併網系統用電特性探討  
合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：莊嘉琛  
趙育光  
李靖男  
指導教授：李靖男  
系（所）主管：

中華民國 100 年 7 月 5 日

## 摘要

隨著九十八年七月「再生能源發展條例」公告實施之後，有關再生能源的併網發電系統技術及躉購費率的問題更顯重要，本論文主要藉由美國國家再生能源實驗室(NREL)開發的 HOMER V2.68 應用程式，對風光併網系統的可行性評估。分別以鹽寮、大潭、香山及中工等不同地區實際氣象資料完成探討。

本論文探討台灣高、低耗電量住宅的用電特性受地區性風光併網系統的影響。結果顯示，高低耗電量住宅風光併網發電系統，在夏季及非夏季的發電方式分別以太陽光電及風力發電為主，此舉可兼顧節約能源及台電夏季尖離峰負載的差距。同時，提出不同地區風光併網發電系統的容量配置、用電特性、購售電及可行性評估供小型風光併網發電系統的參考依據。

關鍵字：併網系統、HOMER、PV、風力發電

## **Abstract**

With issuance and implementation of “Statute for Renewable Energy Development” in July, 2009, the issues in respect of Grid Power System with renewable energy and wholesale buy rate have become more and more important. This thesis mainly assesses the feasibility of Wind-Solar Grid Connected Systems by way of the application HOMER V2.68 developed by National Renewable Energy Laboratory(NREL), This study was accomplished with actual meteorological data acquired in Yanliu, Datan, Xiangshan and Jhong gong respectively.

This thesis discusses the electrical characteristics of high/low electricity-consuming housing in Taiwan influenced by regional Wind Solar Grid Connected Systems and the finding indicates that the power generation modes of Wind-Solar Grid Connected Systems with high/low electricity-consuming housing are through Photovoltaic (PV) and wind-power generation respectively, which considers not only energy conservation, but also huge gap between peak load and off-peak load of electricity in summer in Taiwan Power Company (Taipower). At the mean time, materials of capacity configuration in different regions, electrical characteristic, purchase/sale of electricity and feasibility assessment are provided as references for mini-type Wind-Solar Grid Connected Systems.

**Keyword :** Grid Connected Systems 、 HOMER 、 PV 、 WTG

## 誌謝

能夠完成本論文，首先必須感謝恩師李靖男教授，兩年來除了在課業的指導外，在論文寫作諄諄教誨與悉心指導，謹記心存感激之意，並獻上衷心敬意與謝忱。此外，更感謝莊嘉琛教授與趙有光教授於百忙中撥冗評議並不吝指教，使本論文能夠從集思廣益的指正與建議中成長茁壯，更加盡善盡美。

研究所過程中，特別感謝同窗好友孟成、學弟則昊、家龍、忠義的幫忙與協助，好友順鐘、均銘對於論文方向的建議，同時感謝台電公司的同仁鼎力協助及提供相關資訊，及研究所求學階段中給予幫助與建議的人不勝枚舉，無法一一詳述，由衷的感激在我研究的路上給予學術與實務的專業知識的協助，使得研究工作更加順暢。另外，感謝美國國家再生能源實驗室提供的軟體及台電公司再生能源網站的氣象資料。

最終感謝我敬愛的家人所給予之支持、關懷與鼓勵，在無憂無慮的環境中專心研究，謹以此論文成果獻給我的父母、摯愛的太太及小孩家萱、佳諒、金平與其他關心我的人，一起分享這份喜悅。

後學

益進于 勤益

2011年7月

謹誌

# 目 錄

摘 要 .....	i
Abstract .....	ii
誌 謝 .....	iii
目 錄 .....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	ix
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 文獻回顧.....	5
1.3 研究內容與架構.....	7
第二章 風光併網系統探討.....	9
2.1 併網系統.....	10
2.2 風力發電.....	12
2.2.1 風力發電機的原理.....	13
2.2.2 風力發電的應用.....	15
2.3 太陽光電.....	17
2.3.1 太陽光電的原理.....	17
2.3.2 太陽光電的應用.....	19
2.4 換流器.....	20



第三章 風光併網系統建構.....	21
3.1 台灣住宅高低耗電量用電特性.....	23
3.2 風光併網系統概述.....	26
3.2.1 負載模型.....	27
3.2.2 風機模型.....	30
3.2.3 太陽光電模型.....	33
3.2.4 經濟模型.....	34
3.2.5 換流器.....	35
3.3 氣象資料.....	37
3.3.1 風速資料.....	39
3.3.2 日射量.....	41
第四章 結果與討論.....	42
4.1 風光併網發電系統容量分析.....	42
4.2 風光併網發電特性.....	47
4.3 風光併網供電特性分析.....	51
4.4 風光系統可行性分析.....	58
4.4.1 成本分析.....	58
4.4.2 商業電力之比較.....	61
第五章 結論與建議.....	67
參考文獻.....	69

## 圖目錄

圖 1.1 我國能源供給結構(能源別) .....	2
圖 1.2 我國能源最終消費結構(部門別).....	2
圖 1.3 我國能源供給比率 .....	3
圖 1.4 本論文研究流程 .....	8
圖 2.1 能源類型.....	9
圖 2.2 獨立型混合發電系統.....	11
圖 2.3 併網型混合發電系統.....	11
圖 2.4 水平式風車運轉示意圖 .....	12
圖 2.5 全球風力發電總裝機容量.....	16
圖 2.6 太陽光電等效電路.....	18
圖 2.7 國內太陽光電系統設置推動方案.....	19
圖 3.1 透天住宅屋頂面積 .....	22
圖 3.2 風光併網發電系統示意圖.....	22
圖 3.3 住宅逐時耗電量變化.....	25
圖 3.4 風光併網系統模型架構.....	27
圖 3.5 高耗電住宅每月耗電量 .....	29
圖 3.6 低耗電住宅每月耗電量 .....	29

圖 3.7 風力發電機風速與發電功率的特性曲線 .....	30
圖 3.8 風力發電機輸出功率曲線.....	32
圖 3.9 台灣香山地區風力發電機 1kW 一年發電變化情形 .....	32
圖 3.10 台灣中工地區太陽光電 1kW 一個月發電變化情形 .....	33
圖 3.11 台灣 10 公尺高之年平均風速.....	37
圖 3.12 台灣 10 公尺高之年平均風能密度.....	38
圖 3.13 台電氣象觀測位置 .....	39
圖 4.1 風光系統每 kW 全年發電量 .....	49
圖 4.2 風光系統每 kW 夏季發電量 .....	49
圖 4.3 低耗電住宅全年太陽光電發電情形 .....	50
圖 4.4 低耗電住宅全年風力發電情形 .....	50
圖 4.5 台電歷年備用容量率.....	51
圖 4.6 低耗電量住宅夏季日逐時用電分析 .....	53
圖 4.7 高耗電量住宅夏季日逐時用電分析 .....	53
圖 4.8 低耗電量住宅非夏季日逐時用電分析.....	54
圖 4.9 高耗電量住宅非夏季日逐時用電分析.....	54
圖 4.10 中工地區住宅風光併網系統全年發電量 .....	55
圖 4.11 不同容量之換流器運轉情形 .....	57
圖 4.12 低耗電住宅風光系統各組件成本 .....	59

圖 4.13 高、低耗電住宅購、售電情形 .....	60
圖 4.14 高耗電住宅風光系統各組件成本 .....	60
圖 4.15 風光系統每 kWh 發電成本 .....	61
圖 4.16 低耗電住宅發電成本 .....	62
圖 4.17 高耗電住宅發電成本 .....	62
圖 4.18 各國電價比較 .....	66



## 表目錄

表 2.1 全球風力發電機組總裝置容量前 10 名國家 .....	16
表 3.1 歷年電燈用電成長率 .....	24
表 3.2 住宅全年平均負載分析 .....	29
表 3.3 風光併網系統各項成本及使用年限 .....	36
表 3.4 表燈戶夏季及非夏季時間電價 .....	36
表 3.5 各地區月平均風速一覽表 .....	40
表 3.6 各地區月平均日射量一覽表 .....	41
表 4.1 低耗電量住宅發電系統最佳容量 .....	43
表 4.2 高耗電量住宅發電系統最佳容量 .....	43
表 4.3 低耗電量住宅風光併網發電系統最佳容量配置成本 .....	46
表 4.4 高耗電量住宅風光併網發電系統最佳容量配置成本 .....	46
表 4.5 中工地區夏季及非夏季日購、售電量 .....	52
表 4.6 中工地區各類住宅風光併網系統購、售電量 .....	56
表 4.7 中工地區高耗電住宅不同容量換流器的比較 .....	57
表 4.8 併網電價(購、售電)的發電成本比較 .....	64
表 4.9 高、低耗電量住宅 20 年用電電費及設置風光系統成本 .....	66

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與目的

本世紀由於全球工業化的快速發展，石化燃料的大量使用，導致全球二氧化碳排放量逐年增加，溫室效應造成生態環境遭受破壞；同時，也引起極端氣候在全球各地肆虐，地球暖化問題逐漸受到世界各國的重視，紛紛投入節能減碳及再生能源的開發，以改善全球的氣候，身為地球村的一員，對地球生態環境更應奉獻一己之力。根據經濟部能源局統計，我國能源供給結構及國內各部門的電力消耗情形(參圖 1.1 及圖 1.2 所示)得知台灣目前能源的來源比例與消耗趨勢，對於未來能源使用成長幅度可以有所掌握，有助於我國發展再生能源之參考。

現階段各國均強調再生能源的研發及政策，使得再生能源發電技術的不斷提高及設備成本的降低，促使近年來再生能源高度成長。目前風力發電和太陽光電發電為再生能源發展主流，採用風光混合發電系統具有互補的特性，風光混合發電系統逐漸從偏遠地區向城市延伸，由獨立型發展成併網型，從補充能源成為替代能源，風光混合發電系統將在主要能源結構中佔有重要的地位，本論文將針對風光混合網發電系統做深入探討。

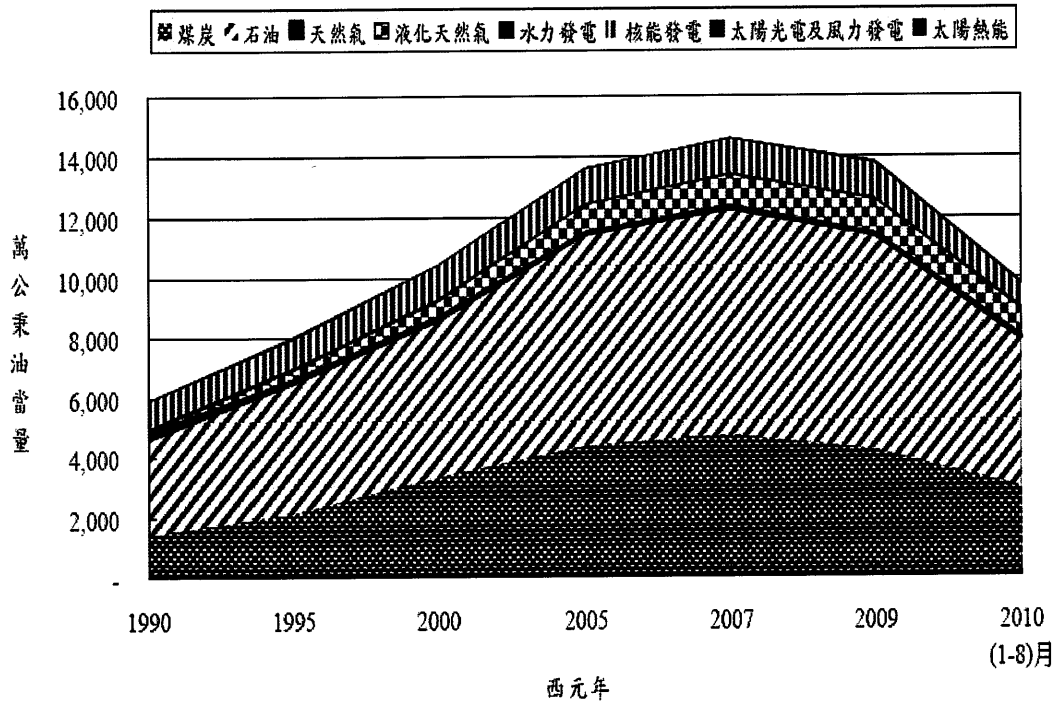


圖 1.1 我國能源供給結構(能源別) [1]

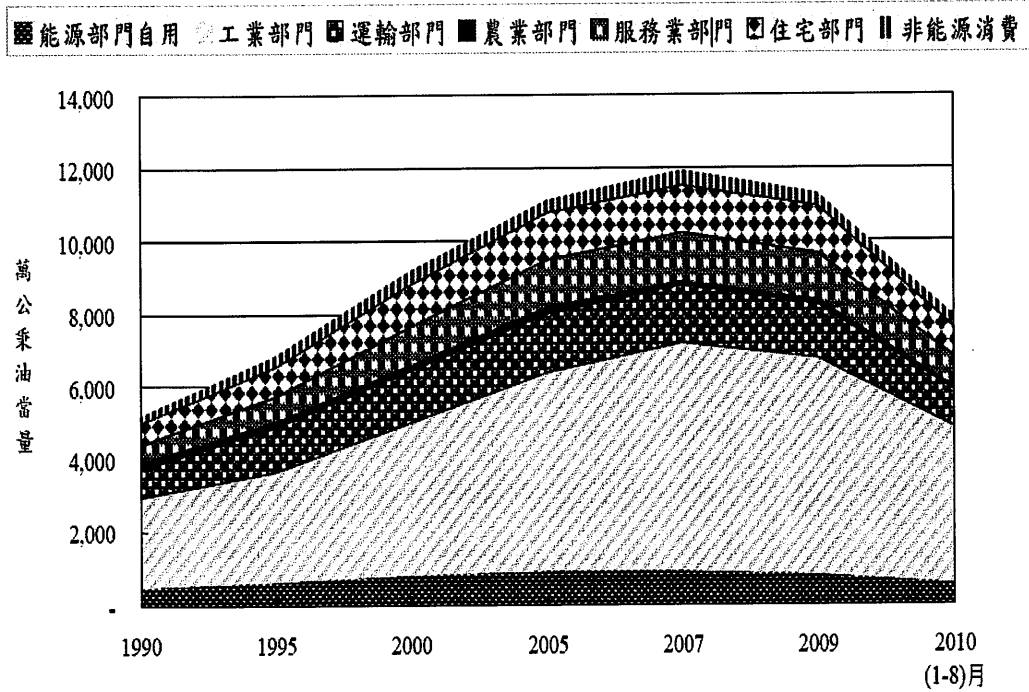


圖 1.2 我國能源最終消費結構(部門別)[1]

圖1.3所示說明現階段我國能源約99%以上均需要仰賴進口的窘境[2]，造成國內油、電價格易受國際能源市場影響，因此對我國而言，新能源的開發與研究更顯迫切。再生能源的廣泛應用除了可以達到節能減碳的目的外，更可降低對進口能源的依賴，為目前我國能源發展的重要方向。行政院於98年全國能源會議中，提出「低碳施政」方向、「確保我國能源供應安全」、「善盡地球村公民責任及因應氣候變遷危機」，並在「產業結構調整」的共識下，確立我國未來政策朝建構低碳社會與低碳經濟的方向發展[3]。

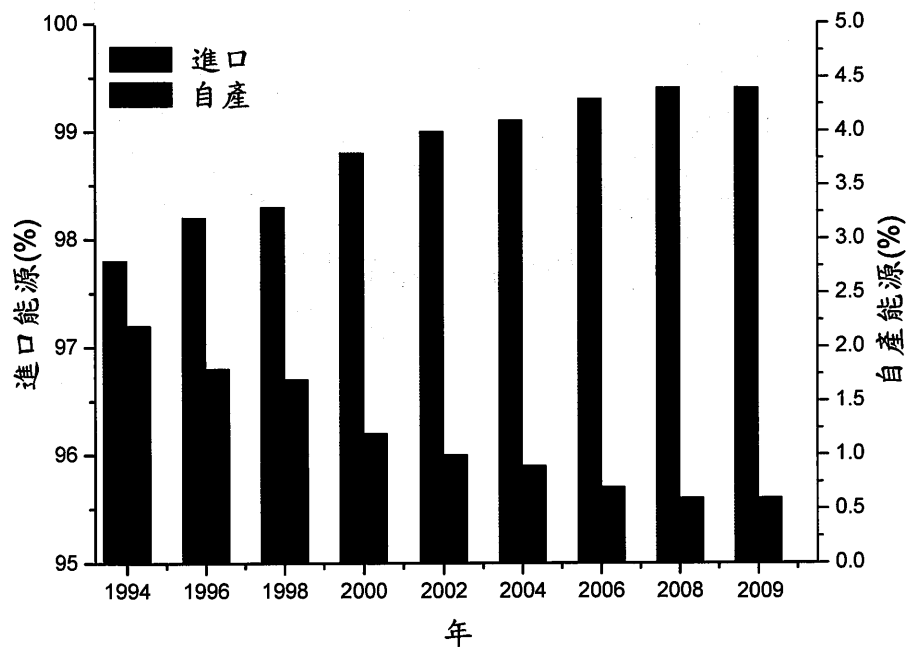


圖1.3 我國能源供給比率



目前世界各先進國家皆積極發展住宅用太陽能發電系統，如日本、德國等皆推動屋頂太陽光電，我國屬地狹人稠，土地難求之國家，對於國土的利用，更應注重其效益，故在能源政策上，推動十萬屋頂計畫，希望借由住宅屋頂能有效利用再生能源發電，以達節能減碳之效益。一般屋頂太陽能發電為 3kW 至 5kW 的發電量，剛好滿足一般家庭所需之電力[4]。若能輔以風力發電，便可以提供更可靠的供電。對於台灣住宅採用風光併網發電系統，可以利用太陽能和風能的天然互補性，減少發電設備的設置容量，而併網型式又可免除儲能電池的成本，及電池對環境的污染，對市電而言又可提供尖峰時的補助電力。本論文針對台灣住宅之用電特性，考慮隨時間變動的負載下，就鹽寮、大潭、香山、中工等四個地區之氣象資料，提出適合風光併網發電系統的容量配置及成本效益，希望提供我國發展住宅再生能源之參考。

## 1.2 文獻回顧

目前針對風光混合系統的研究，較少以併網方式探討，相關參考文獻歸納如下：

1999 年 A. G. Bhave[5]以印度西海岸設計風光混合發電系統，搭配蓄電池供應家庭用電，最佳化設計能提供全年 84.16%的電力需求，但設置成本過高而無經濟競爭力。

2003 年 B. Ai 等人[6]採用光伏/風力/蓄電池混合發電系統，結合香港地區每小時實測氣象數據及負載資料，探討負載缺電率(loss of power supply probability, LPSP)與蓄電池及太陽光電容量的協調曲線，由此求出最佳配置。

2005 年林俊宏[7]以台灣地區的氣象站資料，利用國外風機、PV、柴油發電機、蓄電池等組成獨立型模型，模擬台北地區工業區的負載，因採用國外風機與價格，對台灣地區適用性須再進一步探討。

2005 年 M. J. Khan 等人[8]對紐芬蘭小島進行獨立混合發電系統可行性研究，使用 HOMER 應用程式建構風力機、太陽光電、燃料電池、柴油機、蓄電池等發電系統，分析結果以風力/柴油/蓄電池混合發電系統是最適合的方案，燃料電池必須降至市場價格的 15%，風力/燃料電池混合發電系統才有其經濟效益。

2007 年 Z. Simic 等人[9]以離網系統對於風力機的功率曲線進行優化分析，針對五組不同系統的風力發電機組功率曲線進行探討，主要搭配柴油發電機、光伏電池、蓄電池、充電器及換流器等組件，分析風力發電機組功率曲線、能源成本與系統配置的最優化。

2009 年劉家彥[10]利用 HOMER 針對內建小型風力發電機的風機資料，選取台灣地區八座氣象站的資料進行該地區氣候最適合的風機模擬探討，得知容量因數較高的風機，也不一定是適合當地的風機，此乃各風機成本、發電功率以及蓄電池的搭配均不同所致。同時，發現風機成本差異很大，經濟效益評估亦深受影響。若採用併網系統，可減少蓄電池的成本，對容量因數高的風機亦有較佳的表現。

2010 年 A. Rohani 等人[11]利用 HOMER 應用程式對混合電力系統的經濟分析與環境影響評估。

2010 年 G. N. Prodromidis 等人[12]以希臘四個島嶼的環境模擬三個負載的可行性研究，發現風光混合系統是最佳的組合，且併網在經濟效益上是最佳的。

2011 年 A. M. A. Haidar 等人[13]利用光伏/風力/柴油/發電機混合動力系統，分析可再生能源的優化配置，並在馬來西亞的四個不同區域分析混合電力系統，光伏/柴油發電機混合電力系統在經濟方面和污染的表現是最合適的解決方案。

### 1.3 研究內容與架構

本論文共分為五章(參圖1.4所示),第一章為緒論,包含研究動機、目的、流程與文獻回顧。第二章敘述風光併網系統探討,包括併網系統、風力發電及太陽光電的類型、原理及應用簡述。第三章利用 HOMER 應用程式進行風光併網系統建構及數學模式說明。並對台灣住宅特性的探討,及氣象資料的收集整理。第四章對於風光併網系統之容量配置、併網特性、供電特性及可行性分析等進行結果與討論,最後在第五章對本論文的研究進行結論與建議。



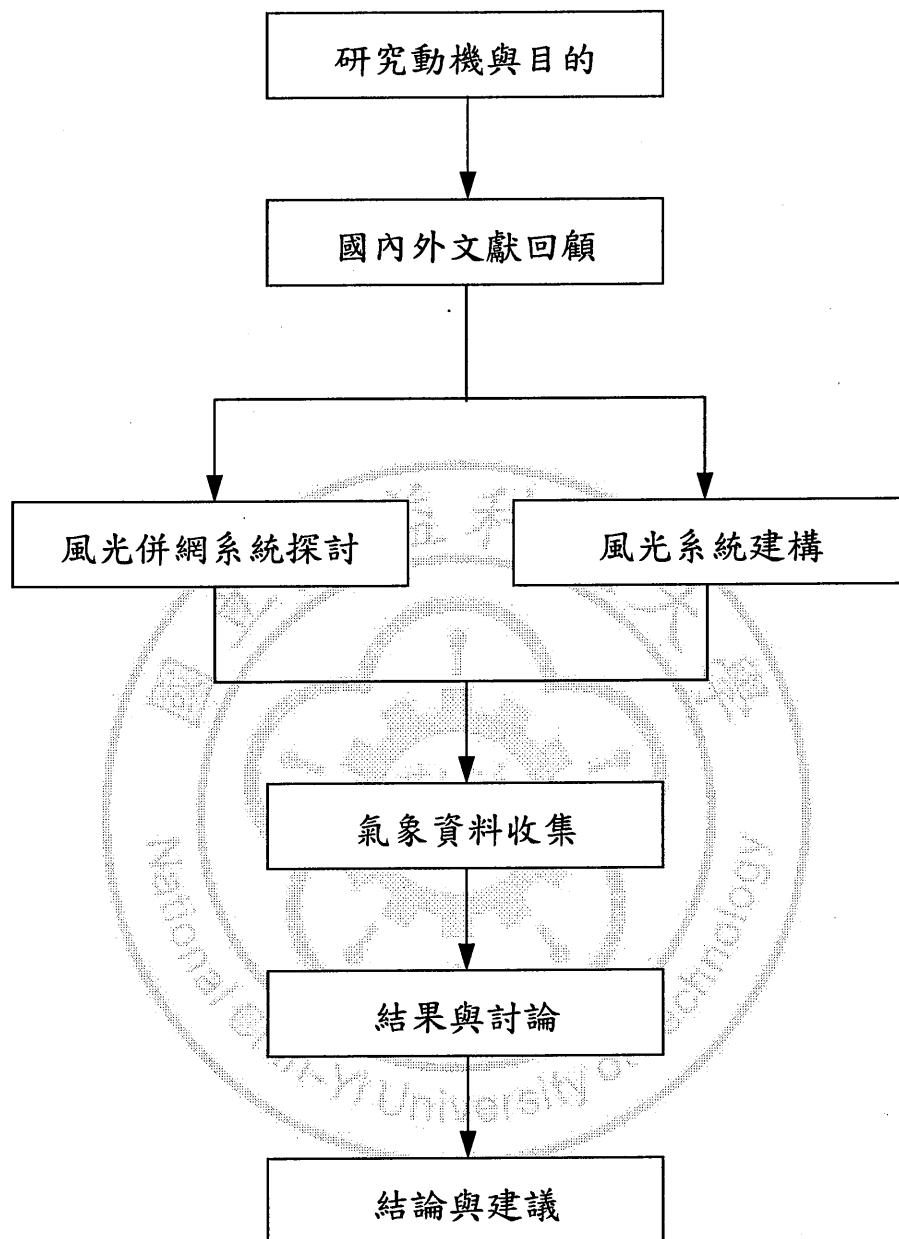


圖1.4 本論文研究流程

## 第二章 風光併網系統探討

能源主要分為一次能源及二次能源，一次能源係指由自然界直接獲取的能源，又可分為再生能源和非再生能源兩者。再生能源包括風能、太陽能、水能、生物能、地熱能、海洋能等，可從自然界中循環再生的能源；非再生能源如煤炭、石油和天然氣等傳統石化燃料，是經過非常久的時間形成的，由於人類大量的開發，儲量愈來愈少，將有枯竭之時；二次能源係指須經一次能源的消耗才能獲得的能源，如目前所使用的電力及熱能[14]，能源類型如圖 2.1 所示。我國再生能源開發目標，至民國 108 年預定再生能源裝置容量將可達 534.1 萬瓩，占全國總裝置容量則為 8.8%[1]。

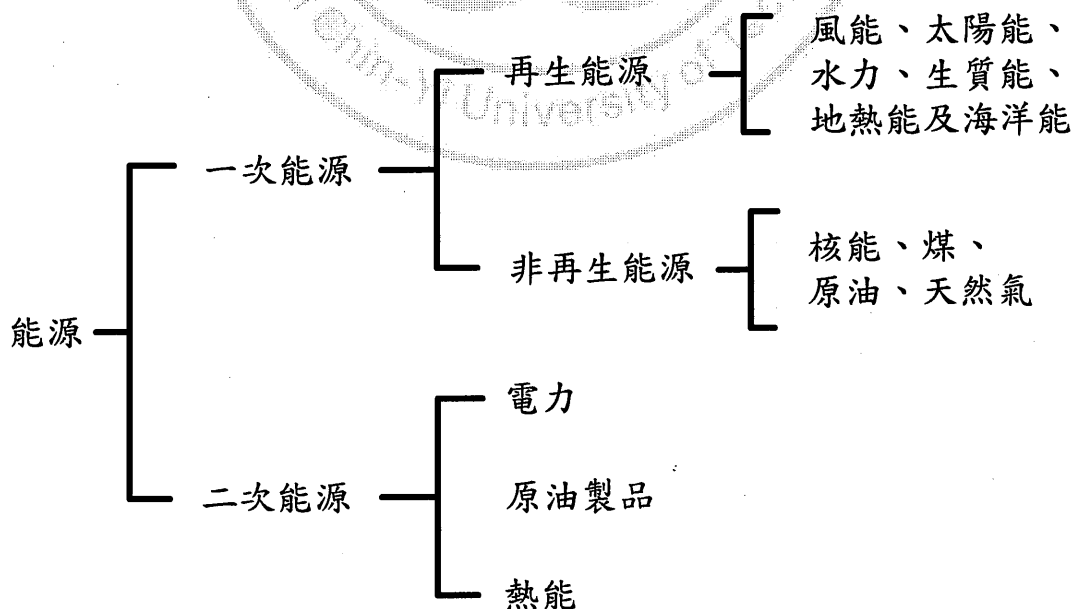


圖 2.1 能源類型

## 2.1 併網系統

再生能源包含風力發電(Wind Turbine Generator, WTG)及太陽光電發電(Photovoltaic, PV)，可以單獨發電或混合發電，利用風力和太陽能互補性組合的發電系統，稱為風光混合發電系統，風光混合發電系統的運轉方式可分獨立型及併網型，分別由圖 2.2 及圖 2.3 所示，獨立型的發電系統主要係利用蓄電池儲存電能，可以自給自足，不需要借助市電的協助，電池電力不足時，再利用柴油引擎獨立運轉，使用在市電無法到達的偏遠地區，早期再生能源大多使用此系統。至於，併網型系統連接市電，適合在都市等電力電網易到達的地方，可利用電網進行電力調度。然而，目前換流器及併網的技術相當成熟，再加上政府積極推行各種再生能源獎勵措施及實行「再生能源發展條例」，併網型發電系統已逐漸成為再生能源主流。

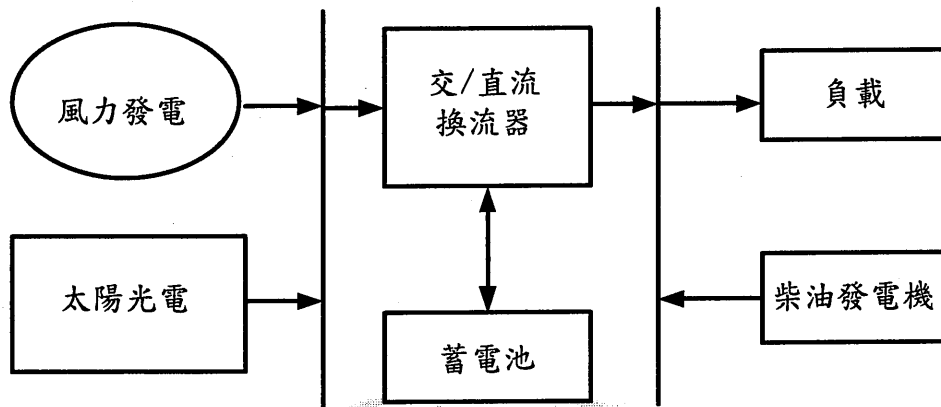


圖2.2 獨立型混合發電系統

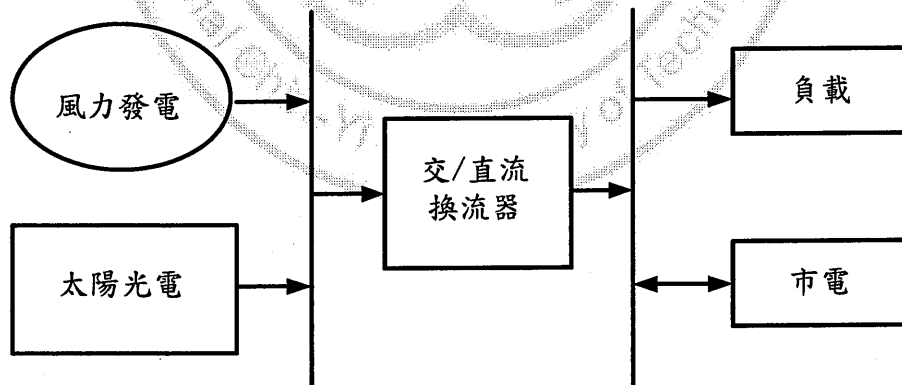


圖2.3 併網型混合發電系統



## 2.2 風力發電

由於地球自轉及太陽輻照地球表面受熱不均，使得大氣層產生壓力差，而形成空氣流動產生風。空氣流動所具備的動能就稱為風能。風力發電的原理藉由空氣氣流帶動葉片擷取風能來驅動發電機旋轉，進而產生電力如圖2.4所示。風機依旋轉軸與地面的方向可分為垂直軸式與水平軸式，依受風面方向可分上風型與下風型，依扇葉轉速可分為變轉速與定轉速，依扇葉受力情形可分為阻力式(Drag type)與升力式(Lift type)，目前全球市場上之風力發電機仍以水平軸式、上風型、三葉片機翼型、變轉速、升力式為主流[15]。

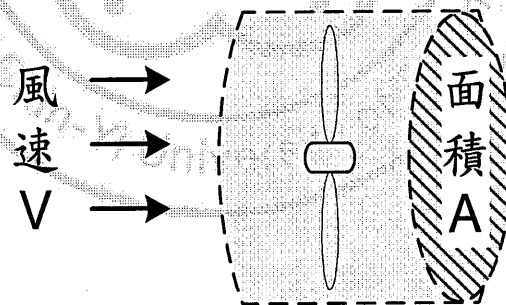


圖2.4 水平式風車運轉示意圖

## 2.2.1 風力發電機的原理

風力發電的發電量由風力發電機葉輪高度的平均風速和風力發電機的輸出特性決定，產生的功率以 2-1 式表示：

$$P = 0.5 \rho A V^3 \quad 2-1$$

式中

$P$ ：輸出功率

$\rho$ ：空氣密度

$V$ ：風速

$A$ ：氣流流經的面積

由 2-1 式得知氣流所產生的功率與風速的三次方成正比關係，因此風速對風力發電具有決定性的影響。大氣中的風場因為屬於非穩態的紊流流場，必須藉由該地區長時間觀測之風速資料作為樣本，由樣本的隨機變數分析其風場的特性，進而預測未來風速的發生機率。風場特性可用機率密度函數(Probability Density Function, P.D.F)及累積分佈函數(Cumulative Distribution Function, C.D.F)表示。莊月璇[16]以台灣 25 個地面氣象站 1961 至 1999 年之間的風速資料，探討其適用之機率分佈函數，研究中並比較 3 種推求機率函數參數之方法(迴歸法、動差法、最大概似法)，結果顯示平時風速風場適用韋伯分佈函數來描述。陳卿翊[17]利用韋伯、伽瑪(Gamma)、瑞拉

(Rayleigh)及對數常態(Lognormal)等四種分佈函數分析台灣八個地面氣象站六年風速資料，結果顯示最能代表年風速特性的各年份幾乎都是韋伯分佈函數。本論文採用韋伯 (Weibull) 分佈函數如式 2-2 所示：

$$f(x) = \left(\frac{a}{b}\right) \left(\frac{x-c}{b}\right)^{a-1} \exp\left[-\left(\frac{x-c}{b}\right)^a\right] \quad 2-2$$

式中

$a$  : 形狀參數

$b$  : 尺度參數

$c$  : 位置參數

累積機率函數如式 2-3 所示：

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right] \quad 2-3$$

在計算風力發電機的輸出時，必須將測得的平均風速換算為風力發電機葉輪相同的高度，即在不同高度的同一台發電機，輸出的發電量也不相同，這是因為大氣中的風切變(Wind Shear)現象，最常用的指數公式如 2-4 所示：

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^\alpha \quad 2-4$$

式中

$v_1$  : 在  $Z_1$  高度的風速

$v_2$  : 在  $Z_2$  高度的風速

$\alpha$  : 地面粗糙因子

## 2.2.2 風力發電的應用

風力發電在再生能源中是除了水力以外技術最成熟，價格最具競爭力之一種，且風力發電具有潔淨、低溫室氣體排放的特性。台灣所處地理位置四面環海，屬季風氣候，蘊藏著豐富的風力資源是發展風力發電最佳條件，台電公司與民間力量相結合，共同配合政府推展綠色能源政策，至 98 年底台電與民間已完成 227 座風力發電機的設置，總裝置容量約 43.61 萬瓩，每年可產出 10.9 億度電，可供 27 萬戶家庭一年的用電量[1]。

根據世界風能協會(WWEA)的統計報告[18]，2010 年全球風機總裝機容量達 196.63GW(如圖 25 所示)，表 2.1 說明風力發電裝置容量的前 10 名國家，因容量總計為 170.2GW，已佔全世界風力發電機組裝置容量之 86.7%，全球新裝機容量一半以上來自亞洲，中國大陸成為世界裝機容量最大的國家，並成為國際風能產業的中心。2010 年共有 83 個國家利用風能發電作為電力供電，世界風能協會(WWEA)預測到 2015 年，全球總裝機容量將達 600GW，到 2020 年，全球總裝機容量將不低於 1500GW。

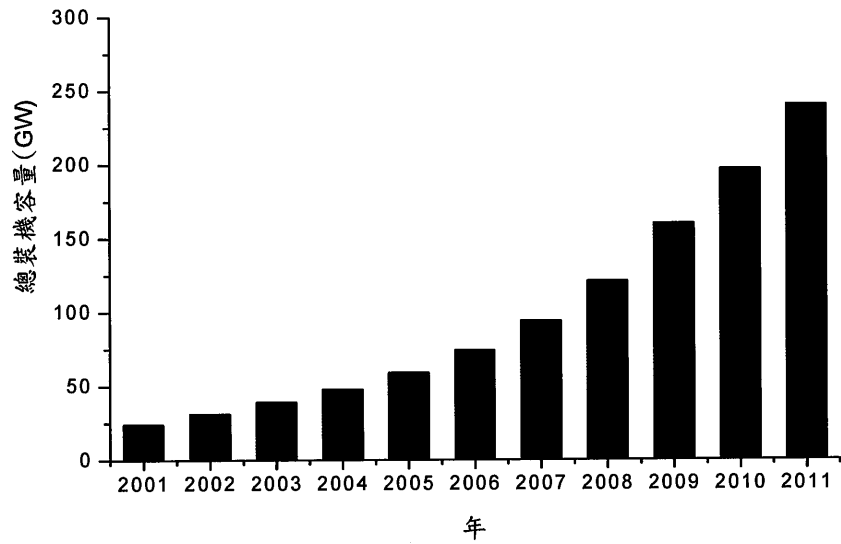


圖 2.5 全球風力發電總裝機容量

表 2.1 全球風力發電機組總裝置容量前 10 名國家

2010 年排名	國家	2009(GW)	2010(GW)	年增率(%)
1	中國	25.8	44.7	73.3
2	美國	35.2	40.2	15.9
3	德國	25.8	27.2	6.0
4	西班牙	19.1	20.6	8.0
5	印度	11.8	13.1	10.7
6	意大利	4.9	5.8	19.6
7	法國	4.6	5.7	23.7
8	英國	4.1	5.2	27.2
9	加拿大	3.3	4.0	20.8
10	丹麥	3.5	3.7	8.9

## 2.3 太陽光電

太陽是一個巨大的能源，它以光輻射的型式每秒向太空發射約  $3.8 \times 10^{23}$  kW 能量，經過  $1.495 \times 10^8$  km 的距離，有 22 億分之一投射到地球上，到達地球的總輻射量大約為  $177 \times 10^{12}$  kW，約有 30% 的輻射量被大氣分子和塵粒反射回太空，其餘的 70% 投射到地面，其中 47% 直接變成熱，使地球保持溫度，23% 則蓄積在海水或冰中。儘管如此，與人類生活有直接關係之風、波浪與對流等所用之能量僅佔 0.2%，約  $0.37 \times 10^{12}$  kW[19]。

### 2.3.1 太陽光電的原理

太陽光能發電是利用太陽光電池吸收  $0.2 \mu\text{m} \sim 0.4 \mu\text{m}$  波長的太陽光，將光能轉換成電能的一種發電方式。太陽光電材料係為光電半導體，當太陽光電板受到太陽光照射後，透過 N 型及 P 型半導體界面電子電洞位移產生電子流供給負載使用。圖 26 為太陽光電的等效電路，而理想的太陽能電池電流與電壓(I-V)的關係以 2-5 式表示[19]。

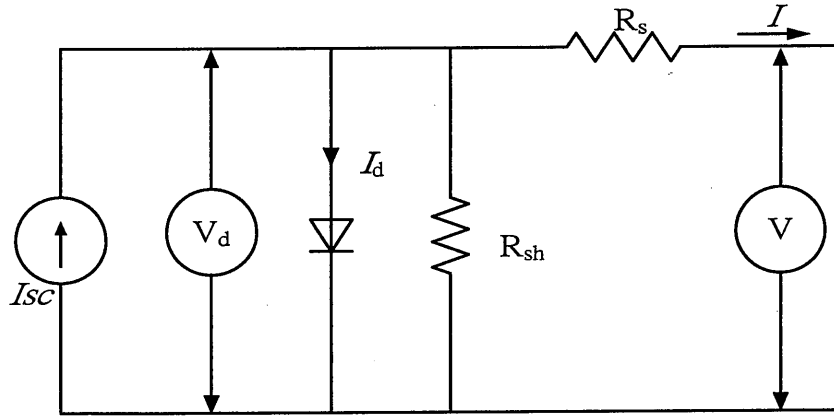


圖2.6 太陽光電等效電路

$$I = I_{sc} - I_0 \left[ \exp \frac{q(V+R_s I)}{nkT} - 1 \right] - \frac{V+R_s I}{R_{sh}}$$

2-5

式中

$V$  : 輸出電壓

$I$  : 輸出電流

$I_{sc}$  : 短路電流

$I_0$  : 逆飽和電流

$R_s$  : 串聯等效電阻

$R_{sh}$  : 並聯等效電阻

$n$  : 半導體的理想因數,  $1 \leq n \leq 2$

$k$  : 波爾茲曼常數

$T$  : 絕對溫度

$q$  : 電子的電荷量

## 2.3.2 太陽光電的應用

太陽光電是一種潔淨的能源，其特點為低污染、無噪音、安全性高、操作簡單，而且也是一種取之不竭、用之不盡的能源。太陽光電可以獨立使用，也可以併網使用，對於抑制尖峰用電及環境保護有極大的助益。目前全球約有 46 個國家推動太陽光電發展，我國因電子產業的興盛，帶動太陽光電相關產業蓬勃發展，且因地理環境優越，日照充沛，高於德、日等國，從 2000 年起推行陽光屋頂、2004 年推出光電城市、緊急防災系統、光電建築經典示範、陽光校園、目前更將推廣陽光社區、農林應用以及政策推動公共工程有義務設置太陽光電系統，2009 年在「振興經濟擴大投資—太陽光電示範設置」如圖 2.7 所示[20]。

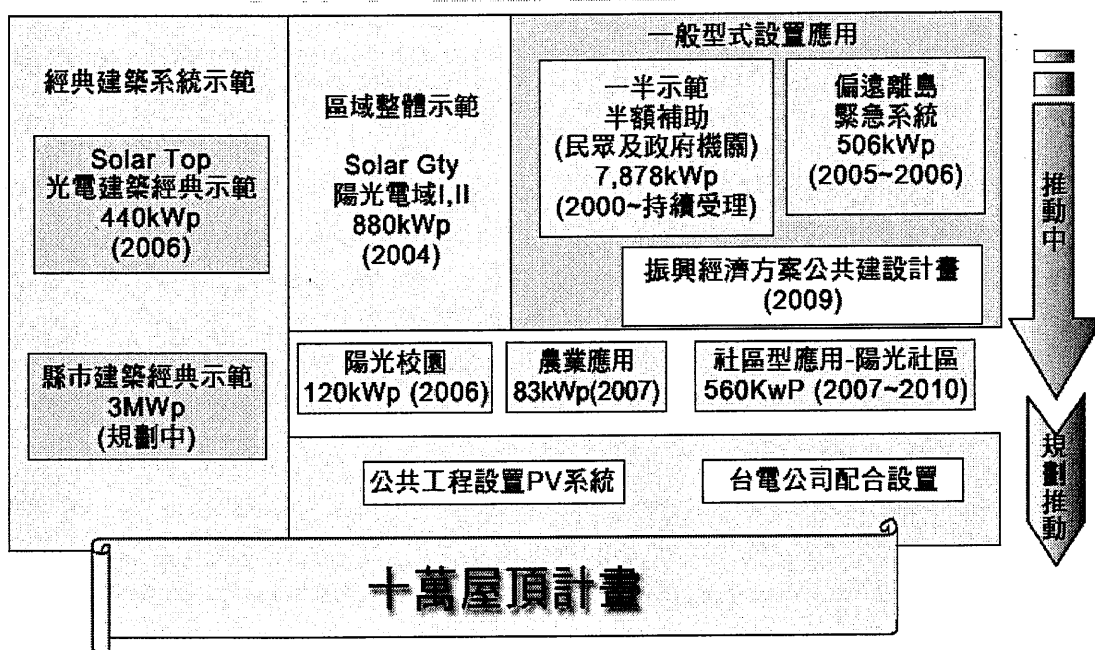


圖2.7 國內太陽光電系統設置推動方案



## 2.4 換流器

換流器(Inverter)主要提供直流電源轉換為交流電源以供應負載及併網使用，並可作為設備保護之用。由於微處理器技術成熟，使得脈寬調變較易控制，目前轉換效率已達 95%以上，並利用最大功率點追蹤控制方式，使風機及太陽光電達到最大功率輸出。

由於風力和太陽能為一個不穩定之能源，使得風力發電及太陽光電的發功率隨時在變化，為求最大發電量，必須利用換流器等電力控制，使其風光系統達最大功率輸出。目前換流器最常用的控制方式有擾動與觀察法(Perturb And Observe)、增量電導法(Incremental Conductance)、定電壓法(Constant Voltage)等幾種方法。

### 第三章 風光併網系統建構

台灣的經濟在穩定發展下，國民所得提高後，開始重視生活品質，要求更大的居住空間，住宅面積由 1983 年的 25.59 (坪/戶) 增加到 1995 年的 34.23 (坪/戶) [21]，一般透天住宅屋頂如圖 3.1 所示，若以太陽光電板 1 kW 約 9m<sup>2</sup> 計算，減去遮蔭部份，約可裝設 2~4 kW 的太陽光電。若加上風力發電，則足以供應一般住宅用電，故本論文建議採用風光併網系統，除了其風光之互補性外，對於一般住宅所需的發電容量，有足夠的面積設置風光系統。

風光併網系統結合風力發電機及太陽光電，經換流器將直流電源轉換成交流電源以提供負載使用，當風力及太陽光電發電量不足時，可由市電補充，若電力過剩時，可將多餘電力供給市電，圖 3.2 說明風光併網發電系統的概述。

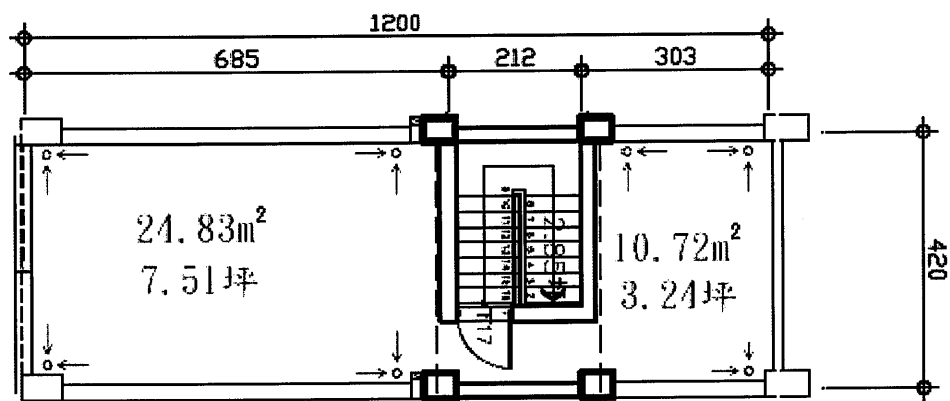


圖3.1 透天住宅屋頂面積

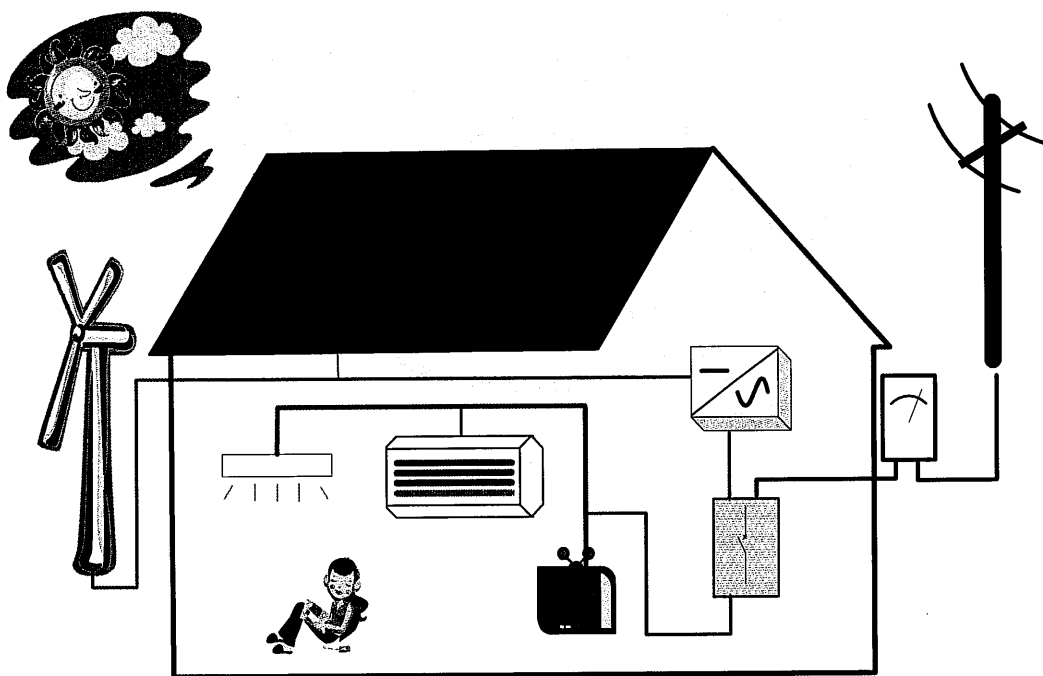


圖3.2 風光併網發電系統示意圖

### 3.1 台灣住宅高低耗電量用電特性

依據台電歷年統計資料，98年電燈用戶為12110千戶，佔用戶數的97.5%，電燈用戶的用電結構比約為32%，且逐年增加，由於住宅大部分屬於電燈用戶，已成為台灣能源結構中不可忽視的重點。台灣住宅在夏季以空調用電量最高，非夏季以照明設備用電最高，其次是電腦、電冰箱及電熱水器。能源需求因受人口統計、經濟因素、個人因素、生活型態、文化、結構、技術、氣候、政策等因素影響[22]。根據台灣住宅電力消費特性調查，就地區性而言，北部人口集中及生活水準較高，住宅用電比例佔全省一半；就季節性而言，夏季高於冬季；以用電時段而言，尖峰用電集中在夜間；以電器用電比例而言，空調佔全年最高比例，以每戶用電量而言，每戶每月平均用電313度[23]。電燈用電量隨著人口及經濟的成長而增加，從民國40年代主要以照明、電扇及收音機用電為主，到50年代以後電器逐漸普及，電鍋、電冰箱、電視機、洗衣機及冷氣機開始進入家庭，到80年代以後，隨著電腦資訊的普及，用電需求持續增加，至民國98年已增加為578.9億度，58年間增加了近231倍。表3.1為台灣電燈用電成長情形[24]。

表 3.1 歷年電燈用電成長率

民國(年)	項目 經濟平均 成長率(%)	電燈用電量(GW) 平均成長率(%)	電燈用電 結構比(%)
40~49	8.0	5.9 (9.4)	18.8
50~59	9.4	27.2 (16.5)	22.8
60~69	9.7	91.3 (12.9)	24.1
70~79	7.6	225.0 (9.4)	30.3
80~89	6.2	476.5 (7.8)	33.5
90~98	3.1	578.9 (2.2)	32.3

以台灣的住宅而言，尖峰用電時間明顯集中在晚上 6:00 至隔日凌晨 2:00 間，這是因為台灣社會生活形態的改變，大部分的人白天都在上班或上學，照明設備使用較少，晚上返家後才進入用電的高峰。郭柏巖[21]對住宅耗電採用「能源實測」與「問卷統計」方式，對台灣公寓及透天式住宅進行耗電量解析，並將住戶全年的耗電量區分為高、中、低三個等級，透天式住宅全年平均耗電量為公寓式的 1.55 倍，中南部單位面積耗電量為北部的 1.43~1.66 倍。

台灣不同耗電類型的住戶在單日內逐時的耗電比例與耗電量變化，發現無論是高耗電或低耗電住宅的用電模式當類似，本論文採用全年耗電量為 8,000kWh 以上及 5,000kWh 以下之高、低耗電型住宅逐時耗電量，如圖3.3所示，作為本論文用電負載的依據[21]。

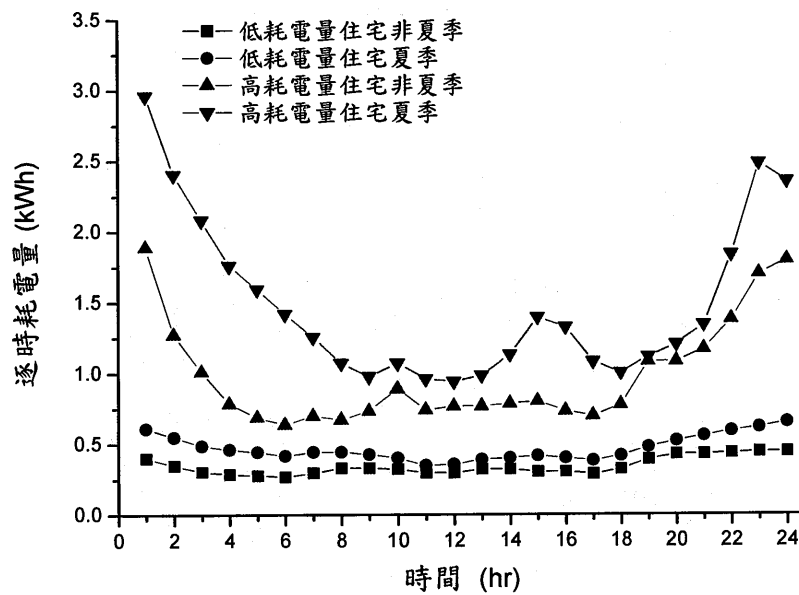


圖3.3 住宅逐時耗電量變化

### 3.2 風光併網系統概述

HOMER 應用程式可對風能、太陽能、川流式水力發電機、生物物能、燃料電池等再生能源及傳統柴油發電機結合成混合發電系統進行模擬及優化，混合發電系統可以與電池成為獨立系統，或連接市電成為併網系統。對於各種發電模型的選擇及系統各組件的成本和資源應用，利用應用程式進行不同系統的配置模擬。並利用淨現值(NPC)列出可行性配置，及提供運算結果圖形化，清楚顯示各種混合發電系統的優缺點。HOMER 應用程式也可以對各種組件、數量、成本進行變量的靈敏度分析，模擬不同配置的最佳化的結果，以獲得更好的經濟性能和技術性能。

本論文的模型架構如圖 3.4 所示，其中包含太陽光電系統(PV)、風力發電系統 (WTG)，併網系統 (Grid)、換流器 (Inverter) 等模型，並配合負載、日照、風速等資料，進行風光併網發電系統的優化容量分析、發電特性、供電特性及可行性分析。

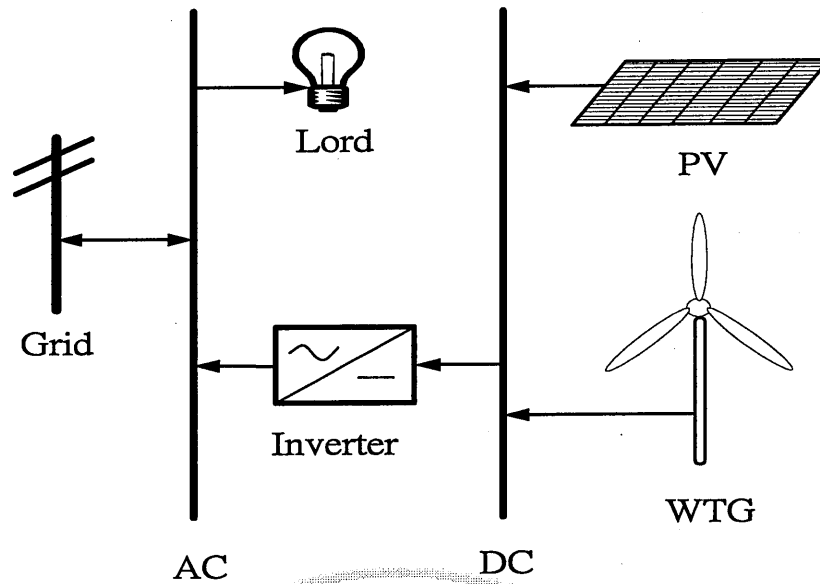


圖 3.4 風光併網系統模型架構

### 3.2.1 負載模型

由於再生能源為一不穩定的發電系統，輸出功率隨時在變化，若要滿足負載，則必須考慮其負載的變化。HOMER 應用程式可以輸入一年十二個月中每月週一至週五(Weekday)整日 24 小時負載資料及假日(Weekend) 整日 24 小時負載資料，亦可增加每日及每小時的干擾(Noise)，以產生接近真實的整年逐時負載資料[7]，每小時的負載資料計算如 3-1 式。

$$L_i = L_{pi} (1 + \delta_d + \delta_h) \quad 3-1$$

式中

$L_{pi}$  : 每小時標準負載量

$\delta_d$  : 每日擾動因素

$\delta_h$  : 每小時擾動因數



對於獨立系統的供電可靠性，通常採用負載缺電率(LPSP) [25] 來定義。LPSP 定義為系統停電時間與供電時間的比值，數值介於 0~1 間，其值為 0 時可靠性最高，一般小型風光互補系統只要滿足 LPSP=0.01。影響住宅負載的變化因素，除了每天的用電習慣，以及負載的同時使用率，對於計算每天最大負載的耗電量如 3-2 式。

$$P_T = \sum_i P_i N_i C_i \quad 3-2$$

式中

- $P_T$  : 系統最大負載估算值
- $P_i$  : 每一類相同用電電器的額定功率
- $N_i$  : 該類用電電器的數量
- $C_i$  : 同步系數
- $i$  : 不同類用電電器的數量

本論文負載數據採用高低耗電量住宅逐時資料，如圖 3.3 所示，分別輸入全年高低耗電量逐時資料結果如圖 3.5 及圖 3.6 所示。以全年資料計算出低耗電量住宅每日平均用電量為 9.21kWh，高耗電量每日平均為 27.6kWh，負載因數分別為 0.587 及 0.388 如表 3.2 所示。

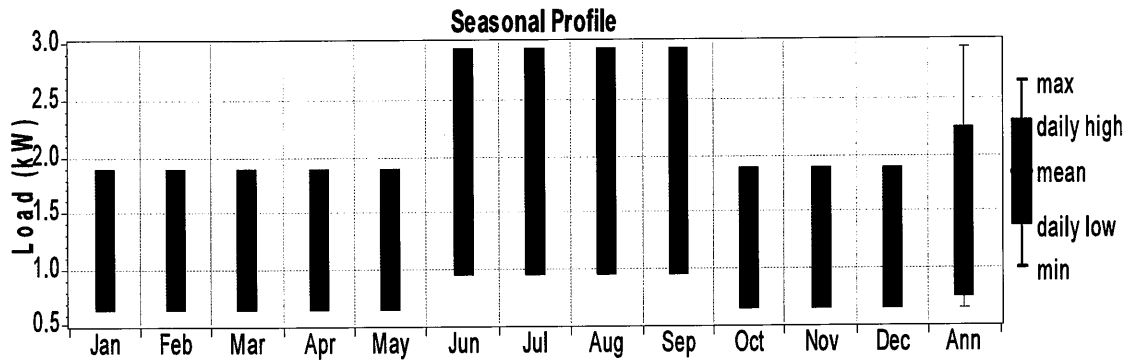


圖 3.5 高耗電住宅每月耗電量

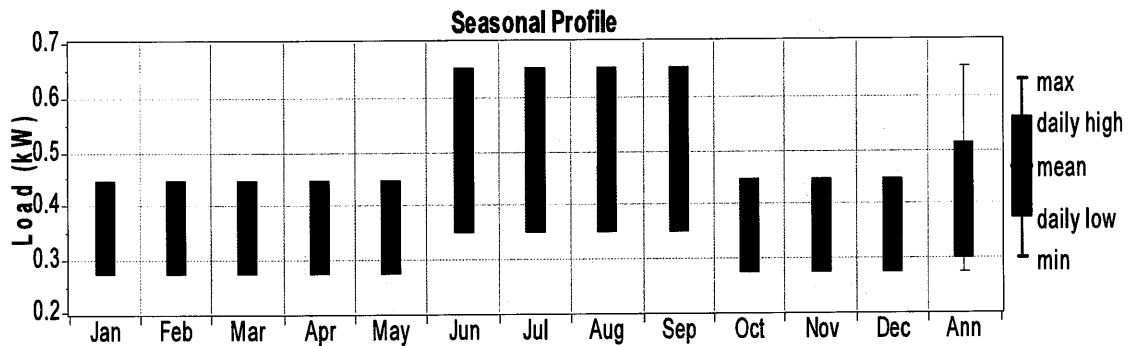


圖 3.6 低耗電住宅每月耗電量

表 3.2 住宅全年平均負載分析

類 型	低耗電量住宅	高耗電量住宅
平均日負載 (kWh/d)	9.21	27.6
平均負載 (kW)	0.384	1.15
最大負載 (kW)	0.653	2.96
負載因數	0.587	0.388

### 3.2.2 風機模型

圖 3.7 是典型的風力發電機功率曲線，當風速大於切入風速時 (Cut-in wind speed,  $V_C$ )，風力發電機開始發電，然後隨著風速的增大，發電功率也逐漸增加，當風速大於額定風速 (Rated wind speed,  $V_R$ ) 時，發電功率到達額定值，最後風速再加強到風力發電機快無法承受的風力時，此時稱為停機風速 (Cut-out wind speed,  $V_F$ )，系統在此情況下開始自動煞車，以維護風力機結構的安全。

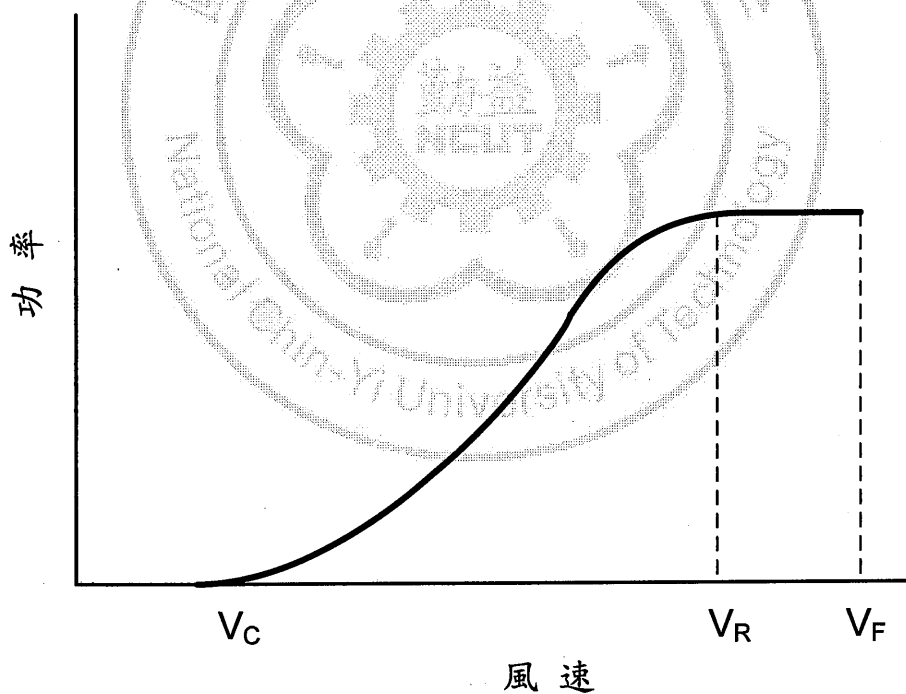


圖 3.7 風力發電機風速與發電功率的特性曲線

不同型式的發電機有不同的功率曲線，雖然額定功率相同，所發出的電力也不一定相同，風力發電機的輸出功率，是根據當地的風速資料和風力發電機的功率曲線，計算出風力發電機的發電量，發電機的輸出功率的計算如式 3-3[25]。

$$P_W(v) = \begin{cases} P_R \left( \frac{v - v_c}{v_R - v_c} \right) & (v_c \leq v \leq v_R) \\ P_R & (v_R \leq v \leq v_F) \\ 0 & (v \leq v_c \text{ 和 } v \geq v_F) \end{cases} \quad 3-3$$

式中

$P_R$  : 額定功率

$v_c$  : 切入風速

$v_R$  : 額定風速

$v_F$  : 截斷風速

本論文採用國內容量為 1kW 小型風力發電機，以求較適合國內氣候條件。並假設風機安裝高度為 10m，輸出功率曲線如圖 3.8 所示。經計算全年 8760 小時的發電量結果如圖 3.9 所示。

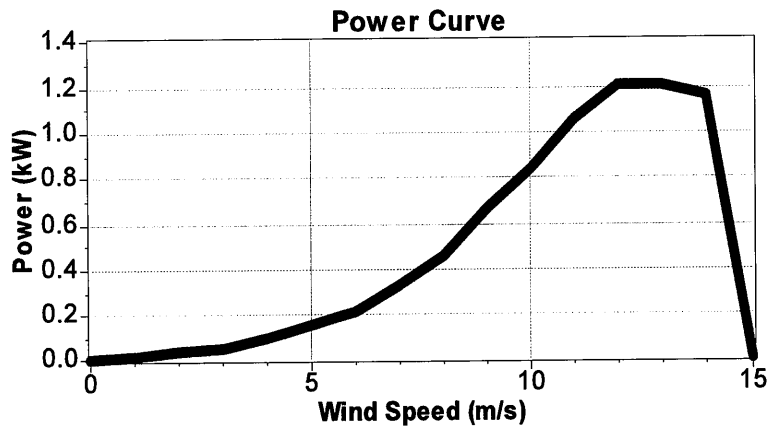


圖 3.8 風力發電機輸出功率曲線

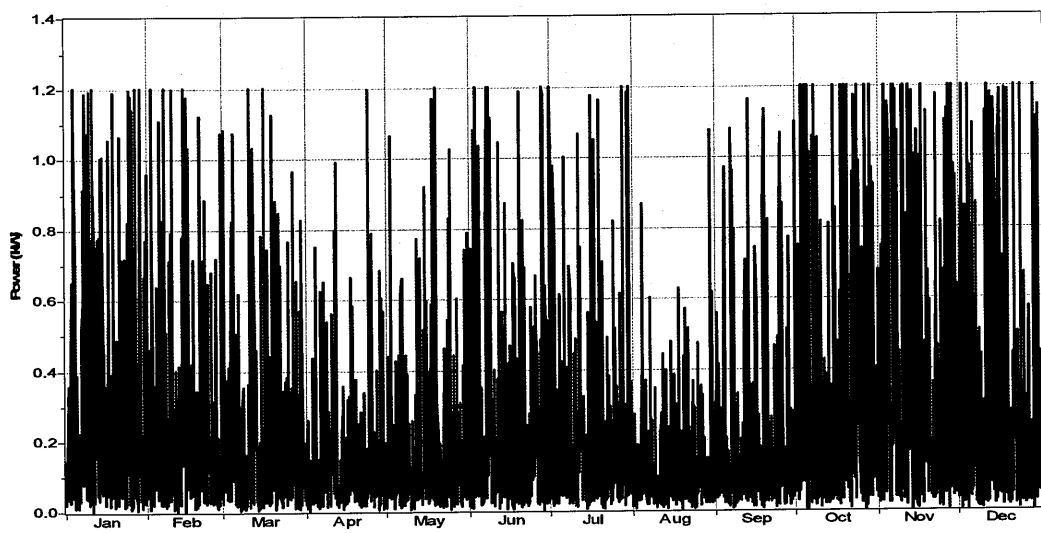


圖 3.9 台灣香山地區風力發電機 1kW 一年發電變化情形

### 3.2.3 太陽光電模型

太陽光電的輸出功率受日照、溫度、光線入射角及太陽光電表面的損失，輸出功率如式 3-4 [26]：

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{pv} \left( \frac{I_T}{I_S} \right) \quad 3-4$$

式中

$f_{PV}$  : 太陽光電的衰減損失常數

$Y_{pv}$  : 太陽光電板的容量

$I_T$  : 太陽光電板上的太陽輻射量

$I_S$  : 標準的太陽輻射量

HOMER 應用程式依據日射量計算出每小時的發電量，圖3.10為中工地區八月份的發電情形。

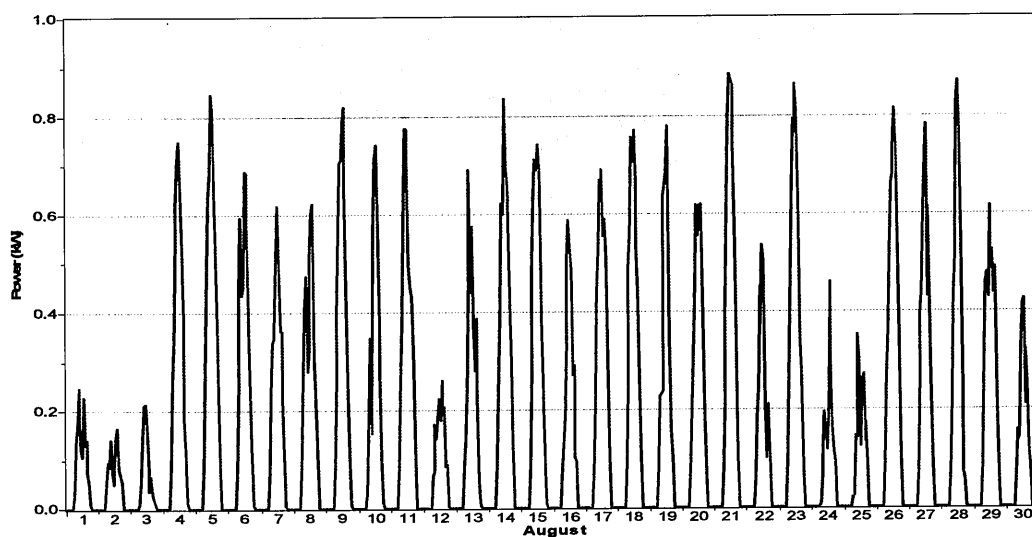


圖 3.10 台灣中工地區太陽光電 1kW 一個月發電變化情形

### 3.2.4 經濟模型

HOMER 應用程式執行最佳化是依據最小淨現值(Net Present Cost, NPC)作為經濟評價，輸出的所有系統都按最低的淨現值排列，其他的經濟變量也是以淨現值來計算，其方程式如 3-5 所示：

$$C_{NPC} = \frac{C_{\text{總量}}}{CRF(i, R_{\text{組件}})} \quad 3-5$$

式中

$C_{\text{總量}}$ ：整年度總成本

$CRF()$ ：資本回收因子

$i$ ：貸款利率

$R_{\text{組件}}$ ：組件壽命

能源成本 (Cost Of Energy, COE) 是將整年度總成本除以可利用之總電量，方程式如 3-6 所示：

$$COE = \frac{C_{\text{年總量}}}{E_{AC} + E_{DC} + E_{\text{可延期}} + E_{\text{銷售}}} \quad 3-6$$

式中

$E_{AC}$ ：交流負載

$E_{DC}$ ：直流負載

$E_{\text{可延期}}$ ：可延期的負載

$E_{\text{銷售}}$ ：供給電網的電力

### 3.2.5 換流器

換流器的轉換效率如式 3-7 所示：

$$I_i = I_L V_{ac} / (V_{dc} \cdot \eta) \quad 3-7$$

式中

$I_i$ ：換流器的輸入電流。

$I_L$ ：交流負載電流。

$V_{ac}$ ：交流端電壓。

$V_{dc}$ ：直流端電壓。

$\eta$ ：換流器轉換效率。

再根據經濟部再生能源發展條例之 100 年再生能源躉購費率計算公式及使用參數，太陽光電初設成本約為 14.5 萬元/ kW，國內風機初設成本約為 16 萬元/ kW，價格整理如表 3.3。併網電費價格參考台電表燈用戶時間電價，購電及售電以相同的價格計算，由於 HOMER 程式僅區分假日及非假日，故本文將週六及週日以假日計價，時間電價表 3.4 所示[24]。



表 3.3 風光併網系統各項成本(NT\$/kW)及使用年限

系統元件	初設成本	重置成本	維護成本	使用年限
風機	160,000	134,400	1,600	20 年
PV	145,000	98,600	752	20 年
換流器	15,000	15,000	x	15 年

表 3.4 表燈戶夏季及非夏季時間電價(NT\$/kWh)

分 類		夏季	非夏季
週一   週五	尖峰時間 07:00~22:00	3.22	3.13
	離峰時間 00:00~07:00 22:00~24:00	1.52	1.42
週六   週日	半尖峰時間 07:00~22:00	2.26	2.16
	離峰時間 00:00~07:00 22:00~24:00	1.52	1.42

### 3.3 氣象資料

經濟部能源局委託工研院及中央大學合作共同研究之台灣平均風速與風能分佈如圖 3.11 及圖 3.12 所示[27]，結果顯示台灣蘊藏著豐富之風力資源，主要風場分佈於西部沿海附近，以桃園至台南一帶風能蘊藏較高，年平均風速約為 4~6m/s。

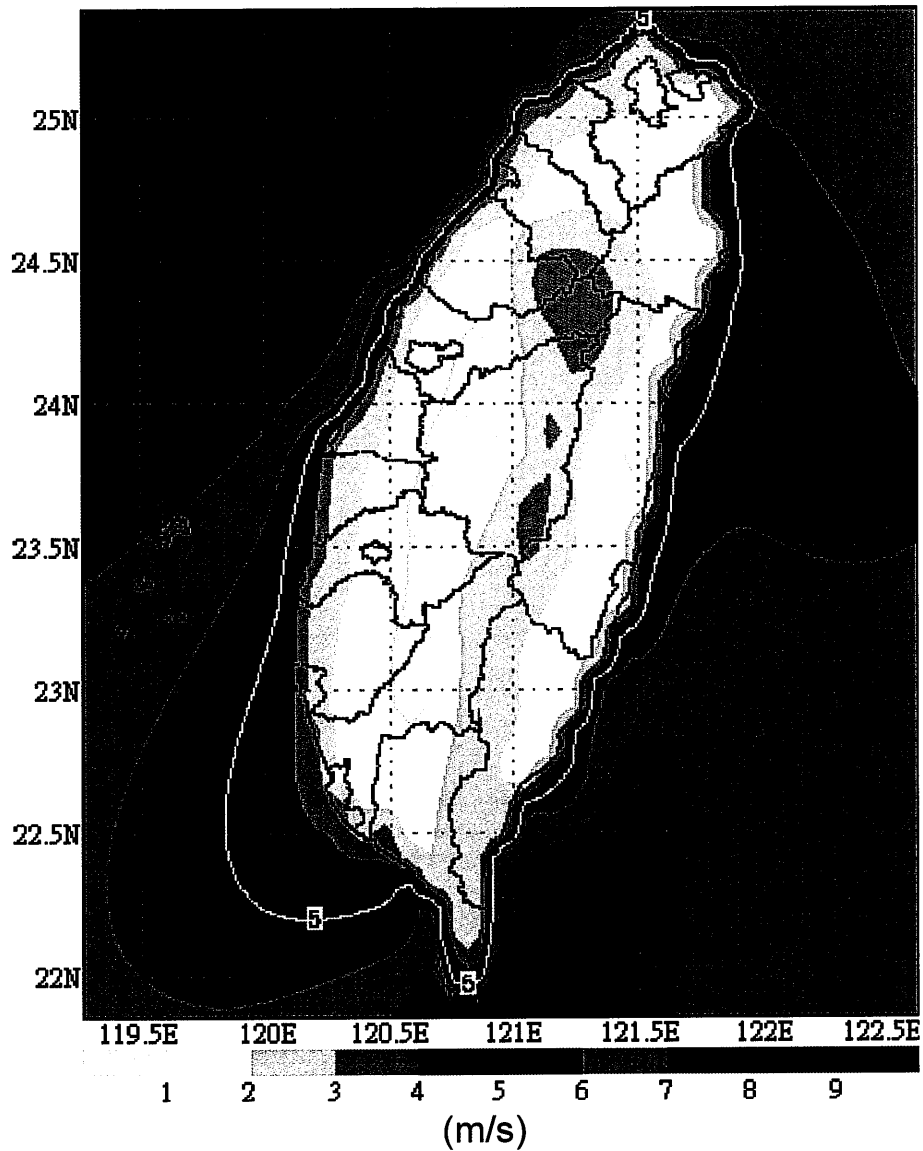


圖 3.11 台灣 10 公尺高之年平均風速

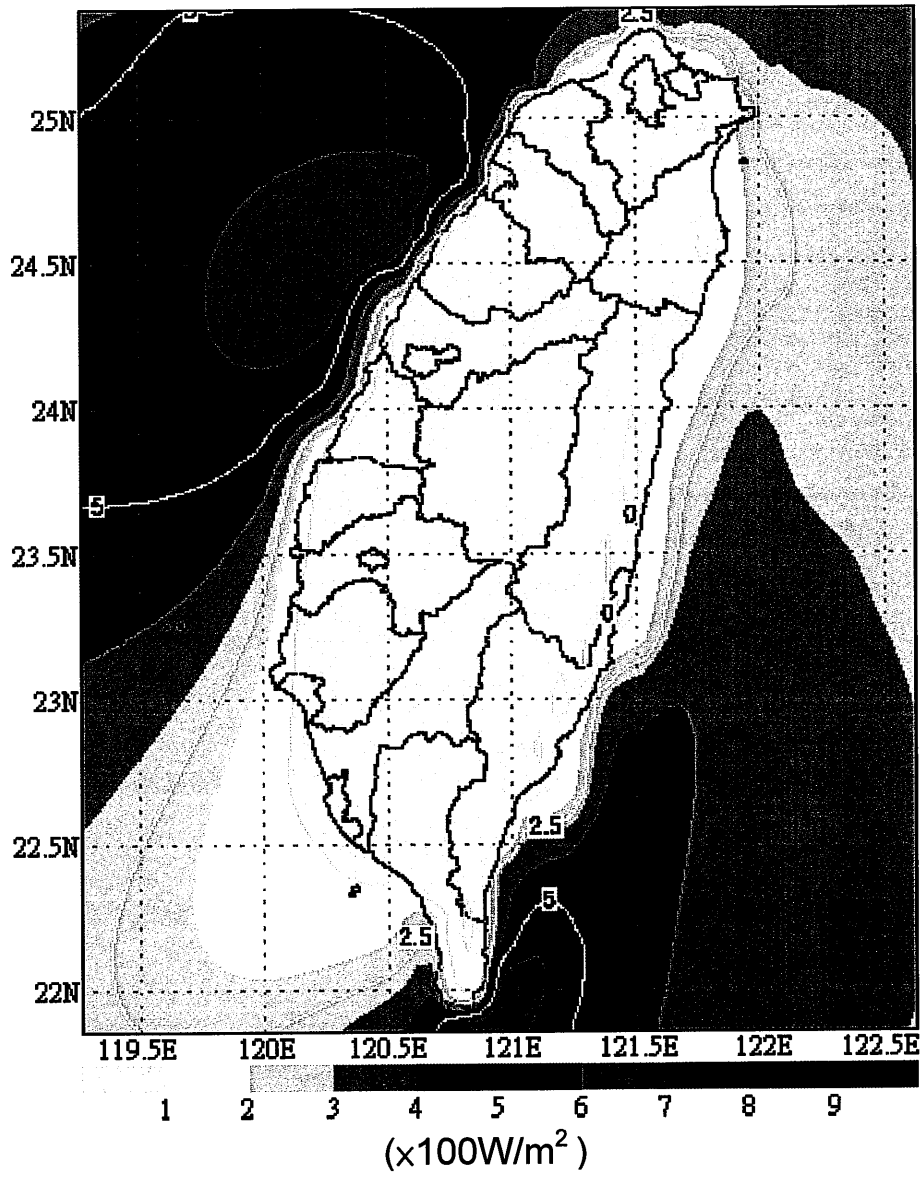


圖 3.12 台灣 10 公尺高之年平均風能密度

### 3.3.1 風速資料

本論文收集台電氣象觀測站鹽寮、大潭、香山及中工四個地區的氣象資料如圖3.13，中工是指台中電廠太陽光電的日射量及彰工的風速資料。



圖 3.13 台電氣象觀測位置

平均風速資料如表 3.5 所示，其中鹽寮地區的風速計高度為 21m，其他三個地區的風速計高度為 10m。其中鹽寮地區年平均風速最小，中工的年平均風速最大。另外設定風力的四種參數，韋伯 K 值為 2、自我相關因數為 0.82、每小時最大風速為 0.306、每日的型態強度為 13。

表 3.5 各地區月平均風速一覽表

平均風速 月份	地區			
	鹽寮 高度(m)	大潭	香山	中工
1月	3.1	5.7	5.8	7.5
2月	3	5.6	5.4	7.6
3月	2.5	4.7	4.8	5.5
4月	2.3	4	4.2	4.9
5月	2.1	3.7	4.4	4.2
6月	2.1	4.2	5.1	4
7月	2.6	3.9	4.9	4
8月	2.7	3.3	3.9	3.1
9月	3	4.4	4.4	4.2
10月	3.1	6.2	6.2	6.9
11月	3.2	6.3	6.1	7.8
12月	3.2	6.5	5.9	6.7
年平均	2.8	4.9	5.1	5.5

### 3.3.2 日射量

太陽光電的發電量受日射量大小及表面溫度影響，所以溫度效應以固定的衰減損失常數(Derating factor)來代替，另外並可考慮是否是追日系統(Tracking systems)、PV 板傾斜角(Slope)、地面反射率(Ground reflectance)、及方位角(Azimuth)等來計算到達傾斜 PV 板的真正日射量[7]。本論文設定衰減損失常數為 80%，PV 傾斜角為 23.5 度，太陽光電壽命為 20 年，四個地區の日射量如表 3.6 所示。

表 3.6 各地區月平均日射量一覽表

日射量(kWh 月份) / 地區 (m <sup>2</sup> -d)	鹽寮	大潭	香山	中工
1 月	1.436	2.250	2.297	3.501
2 月	1.682	2.521	2.621	3.302
3 月	2.303	2.923	3.121	4.680
4 月	2.967	3.711	3.910	4.164
5 月	3.558	4.508	4.831	4.594
6 月	4.275	5.151	5.049	3.636
7 月	5.495	5.872	6.124	5.569
8 月	5.106	5.484	5.478	5.523
9 月	3.824	4.700	4.472	5.166
10 月	2.587	3.783	4.234	4.108
11 月	1.769	2.998	3.417	3.736
12 月	1.398	2.421	3.002	3.966
年平均	3.044	3.860	4.076	4.339

## 第四章 結果與討論

本文根據鹽寮、大潭、香山及中工等地區之氣象資料，再利用 HOMER 應用程式對台灣住宅用電特性進行風光混合發電系統之可行性探討，主要結果詳述如下：

### 4.1 風光併網發電系統容量分析

各發電系統在低耗電量住宅的容量比較如表 4.1 所示，由於每小時最大負載皆不超過 0.7kW 之因素，換流器的容量以風力及太陽光電的發電量為優先考量，容量皆在 2kW 以內無法有效的做最佳配置，故成本類型較無規則性。表 4.2 說明各發電系統在高耗電量住宅的容量比較，就風力併網發電系統而言，中工地區能源成本最低，依序是香山、大潭，至於鹽寮地區為滿足全年耗電的風力發電容量，已超過小型風力機容量(10kW)以上，故不予考慮。以太陽光電併網發電系統來說，亦以中工地區能源成本最低，然後依序是香山、大潭，而鹽寮地區超過小型太陽光電容量(10kW)以上，此順序與平均日射量排序相同，因此風光併網系統的能源成本與風力及太陽光電單獨發電系統的排序相同。

由此得知，在高耗電量住宅發電系統中，風光併網系統能源成本介於風力併網系統及太陽能併網系統之間。無論風力發電或太陽光電單獨併網系統或風光混合併網系統，皆呈現愈往北部愈貴的趨勢。

表 4.1 低耗電量住宅發電系統最佳容量

kW 類型	鹽寮			大潭			香山			中工		
	PV	5	4	-	-	2	4	-	3	2	1	-
WTG	-	1	9	2	1	-	2	-	1	1	2	-
換流器	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2

表 4.2 高耗電量住宅發電系統最佳容量

kW 類型	鹽寮			大潭			香山			中工		
	PV	13	10	-	-	3	10	-	4	9	-	3
WTG	-	5	26	6	4	-	6	3	-	5	3	-
換流器	7	7	5	6	5	6	4	4	6	4	4	6



表 4.3 說明在低耗電量住宅時的風光併網發電系統，在鹽寮、大潭、香山及中工等四不同地區的最佳化配置，以能源成本為考量依據，顯示中工地區的能源成本最低，再依序以香山、大潭及鹽寮地區遞增，前述乃因中工地區的風速及太陽輻射量皆充足所致，太陽光電及風力發電的容量分別選用 1kW 的容量，再搭配 2kW 的換流器，就可有效將風力及太陽光電所產生之直流電轉換成交流電。然而，鹽寮地區的年平均風速約為中工的一半，每 kW 全年風力發電量僅為 419 kWh，較西岸地區平均年發電 2000 kWh 相差甚遠，再加上鹽寮地區年平均日輻射量為 3 kWh/m<sup>2</sup>-d，太陽光電全年發電量為 881 kWh，在風光併網發電系統的容量選擇上，就必須優先考慮以太陽光電為主。至於，風力發電的容量越小對成本越有利。目前，鹽寮地區風光併網發電系統的最佳容量配置為 4/1/2 kW (PV/WTG/換流器)。至於香山及大潭的風力每年發電量分別為 750 kWh 及 639 kWh，皆大於太陽光電發電量，以太陽光電發電容量使用最低 1 kW 時，風力僅使用 2 kW 即可供應該系統。

同理，表 4.4 說明高耗電量住宅最佳容量配置，根據 HOMER 應用程式詳細分析全年 8760 小時的用電負載變化量與風光併網發電系統間的關係，得知風光併網發電系統最佳容量配置並非依用電負載倍數增加 3 倍。雖然，中工地區的風光併網發電容量剛好為低耗電量的

3 倍；但在鹽寮地區則不然，主要是高耗電量住宅太陽能發電容量限制為 10kW，在太陽光電僅能選擇 10kW，其餘不足電力由風力發電彌補。香山地區的配置容量為 4/3/4 kW(PV/WTG/換流器)為最佳，風光總容量並未達低耗電量住宅的 3 倍。大潭全年發電量雖然與香山相近，但由於夏季時總發電量較香山少，在相同容量配置時，無法滿足高耗電量住宅的需求。須將太陽光電或風力發電容量提升為 5/3/4 kW(PV/WTG/換流器)或 4/4/4 kW(PV/WTG/換流器)等方式，但成本均高於表 4.4 所示的 3/4/5 kW (PV/WTG/換流器)的配置方式。

綜合上述，不論高、低耗電量住宅風光併網發電系統容量配置及能源成本愈往北部愈貴的趨勢，結果呈現越往北部總裝置容量越大，能源成本也越高。

表 4.3 低耗電量住宅風光併網發電系統最佳容量配置成本

地區	PV (kW)	WTG (kW)	換流器 (kW)	初設成本 (NT\$)	NPC (NT\$)	COE (NT\$/kW)
鹽寮	4	1	2	770,000	808,185	19.702
大潭	2	1	1	465,000	490,458	11.957
香山	2	1	2	480,000	481,146	11.730
中工	1	1	2	335,000	353,645	8.621

表 4.4 高耗電量住宅風光併網發電系統最佳容量配置成本

地區	PV (kW)	WTG (kW)	換流器 (kW)	初設成本 (NT\$)	NPC (NT\$)	COE (NT\$/kW)
鹽寮	10	5	7	2,355,000	2,491,224	20.269
大潭	3	4	5	1,150,000	1,218,543	9.914
香山	4	3	4	1,120,000	1,170,659	9.525
中工	3	3	4	975,000	1,016,846	8.273

## 4.2 風光併網發電特性

圖 4.1 及圖 4.2 說明風光併網發電系統分別在全年及夏季時每 kW 的發電量。就太陽光電而言，大潭、香山、中工等地區每 kW 之全年發電量均大於 1000kWh，尤其，中工地區全年發電量高達 1355kWh，大潭和香山也分別有 1164 kWh 及 1233 kWh 的發電量，僅以北部的鹽寮地區發電量較差，須以中工的四倍容量足以供應低耗電量住宅。至於夏季(6~9 月)的發電量而言，由圖 4.2 得知除了香山之外，各地區太陽光電的發電量均在 436 kWh 以上，發電量皆高於風力發電。因此，夏季適於利用太陽光電，此時段為供電系統之尖峰用電季節，故太陽光電做為夏季併網使用，可以減少市電的備載容量，避免限電及對傳統石化能源的依賴。

就風力發電而言，由於台灣東北季風強勁，風能充足，因此全年風力發電量比較，大潭、香山及中工地區風力發電約為太陽光電的 1.55 倍以上(如圖 4.1 所示)，而鹽寮地區呈相反的趨勢。圖 4.3 及圖 4.4 顯示，太陽光電每月發電量較風力發電為平均，而風力發電最大發電量集中在 10 月至次年的 2 月，因此全年發電量仍以風力發電為主。然而，風力發電深受風速地形、季節及環境影響，造成供電品質不穩定，若能搭配併網系統，可增加供電品質的可靠性。就鹽寮地區，年平均風速僅達 2.741m/s，全年發電量未達 420kWh，就經濟效益考

量，並不適合投資風力發電。

在全年中，無論風力發電、太陽光電或風光混合發電，皆以中工地區發電量最大，其次依序為香山、大潭、鹽寮。在夏季季節中，風力發電以香山最佳，其次依序為大潭、香山及鹽寮，太陽光電發電量以大潭及香山相近，其次依序為中工及鹽寮。



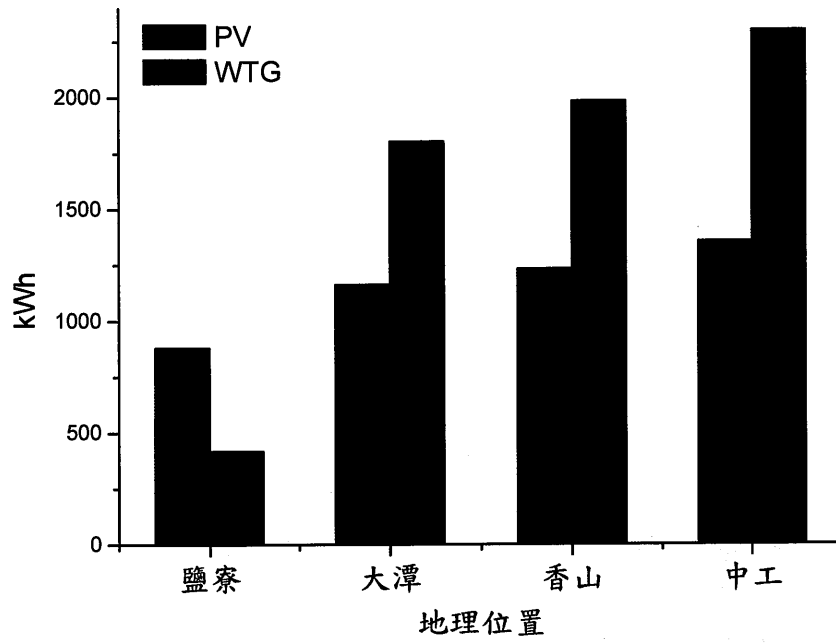


圖 4.1 風光系統每 kW 全年發電量

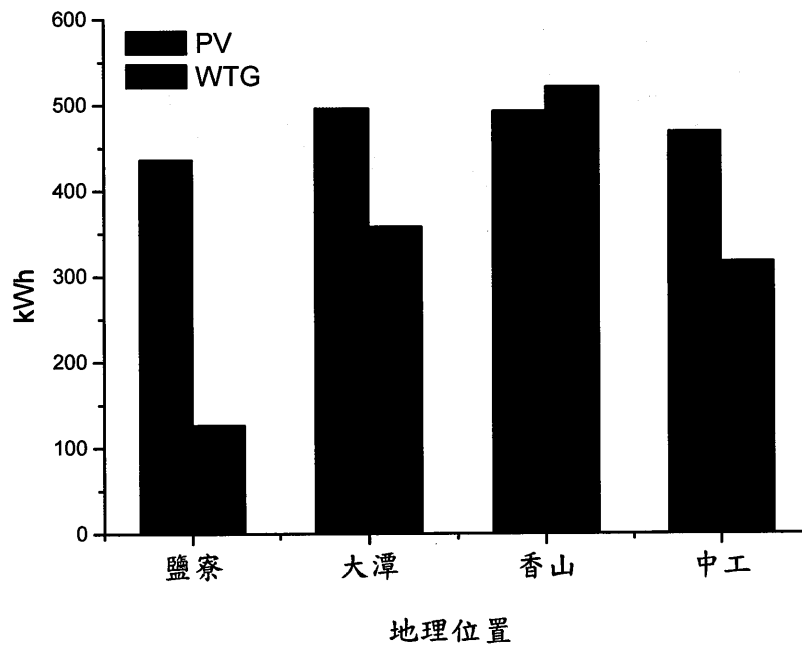


圖 4.2 風光系統每 kW 夏季發電量

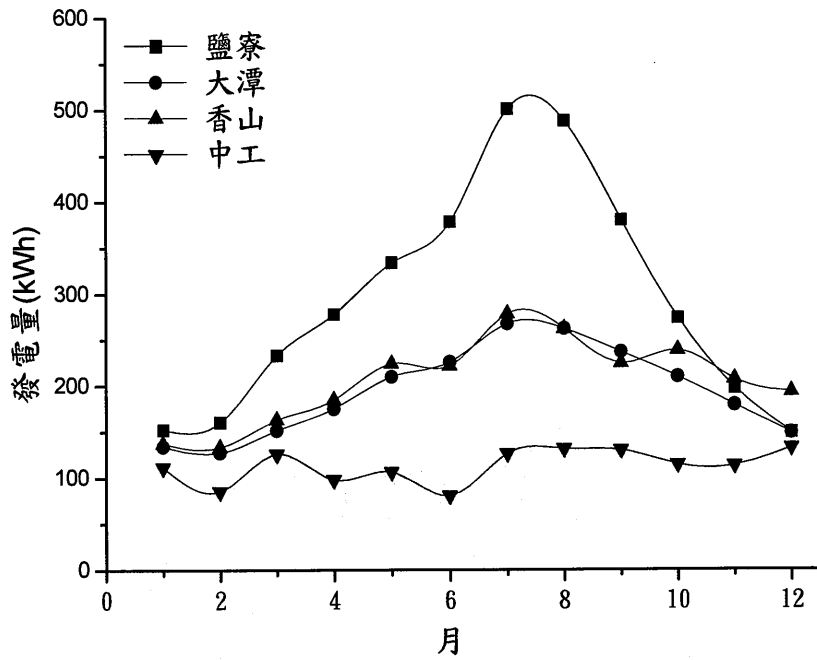


圖 4.3 低耗電住宅全年太陽光電發電情形

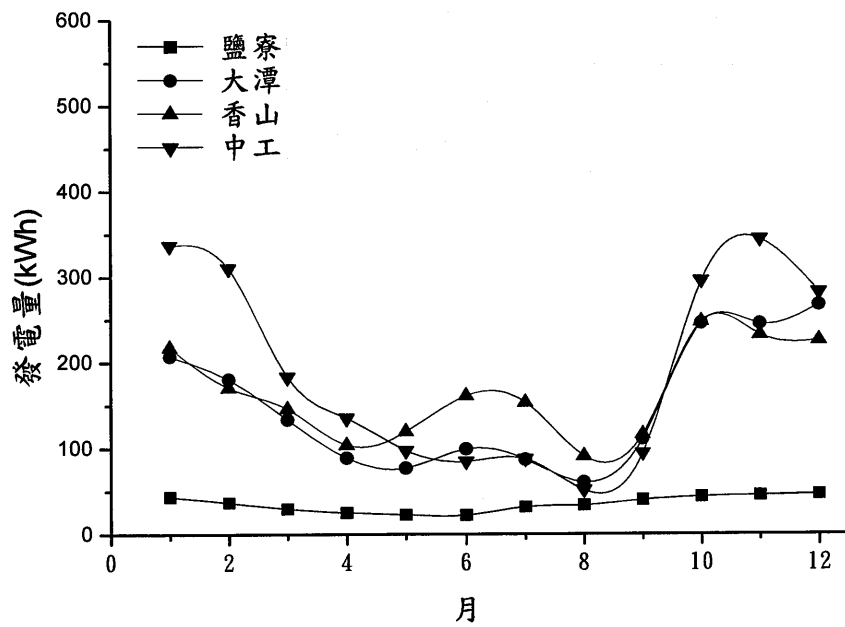


圖 4.4 低耗電住宅全年風力發電情形

### 4.3 風光併網供電特性分析

由於經濟持續成長及生活水準提高，用電需求殷切，導致歷年來系統尖峰負載持續成長。當尖、離峰差距大時，為了確保供電的可靠度，備用容量必須相對提高，因而造成電力浪費。目前台電備用容量以 16% 為目標值，若利用風光併網策略可改善住宅的負載型態，均衡電力系統負載，提高能源使用效率，縮短系統尖、離峰差距。政府除了倡導節能減碳措施外，發展再生能源亦可降低系統尖、離峰差距，減少備用容量率[28]，如圖 4.5 所示。

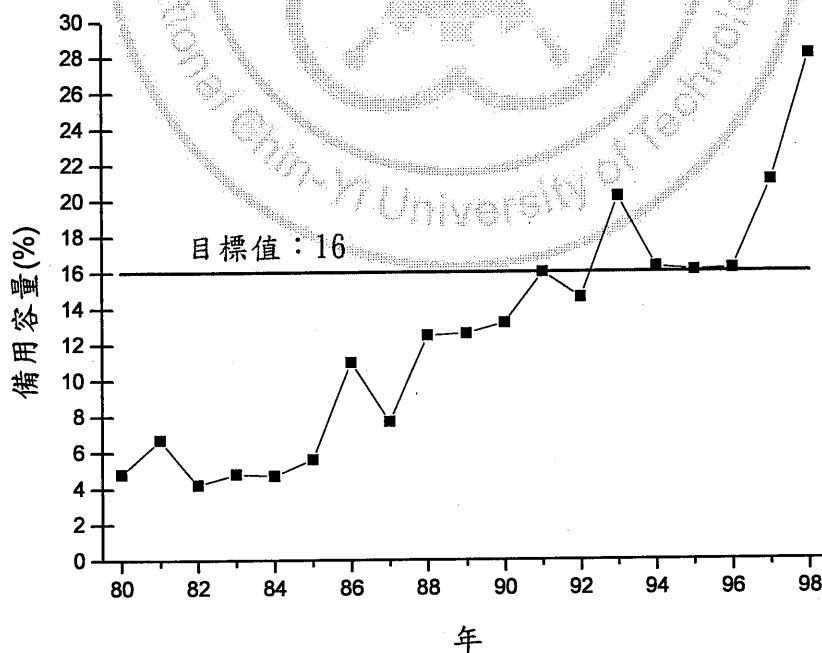


圖 4.5 台電歷年備用容量率



由於併網系統會牽涉到與台電間的購電及售電關係，及影響供電系統的尖離峰，如表 4.5 為中工地區夏季八月十日及非夏季一月十日之購、售電量。然而，整體耗電量、購電量、售電量及換流器均會影響風光併網系統的用電特性。由圖 4.6 及圖 4.7 得知風光併網系統發電量集中在白天，此時除了滿足住宅負載外，在 12:00~16:00 仍可售電，由於時間電價的因素，夜間採取購電的策略，除獲得時間電價的優惠外，仍可穩定台電發電的備用容量率。而非夏季用電由圖 4.8 及圖 4.9 所示，可售電力在 8:00 到 21:00 左右，由於風速充足，故缺電時數僅在夜間部份時間。

表 4.5 中工地區夏季及非夏季日購、售電量

季節	購電/售電	住宅型態	
		低耗電量	高耗電量
夏季	購電量(kWh)	6.85	23.15
	售電量(kWh)	1.32	4.51
非夏季	購電量(kWh)	0.89	3.84
	售電量(kWh)	8.69	28.23

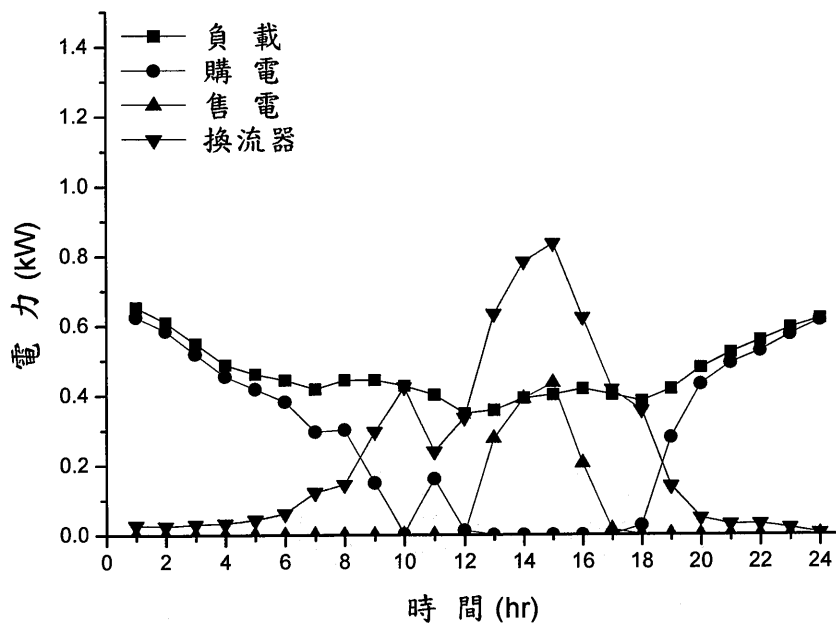


圖 4.6 低耗電量住宅夏季日逐時用電分析

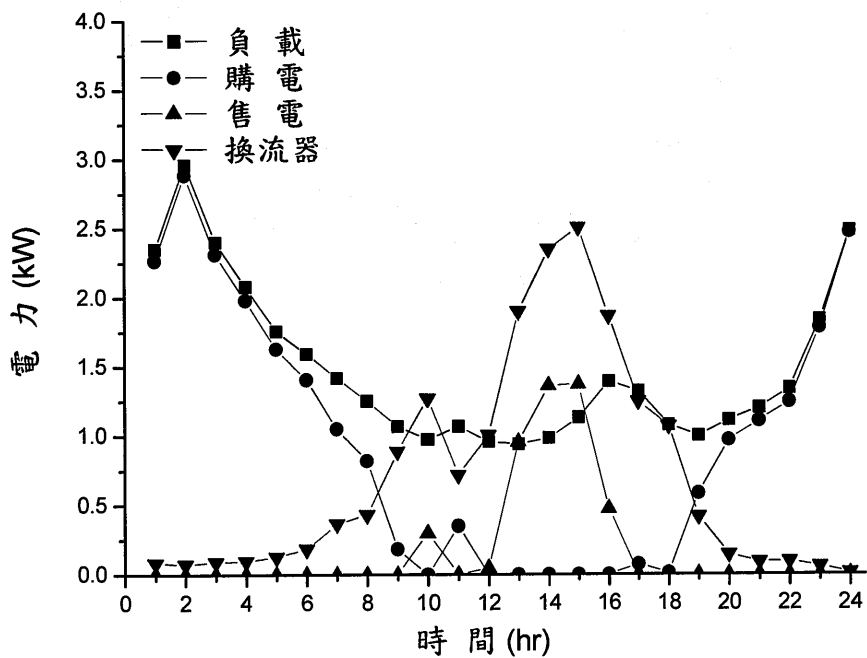


圖 4.7 高耗電量住宅夏季日逐時用電分析

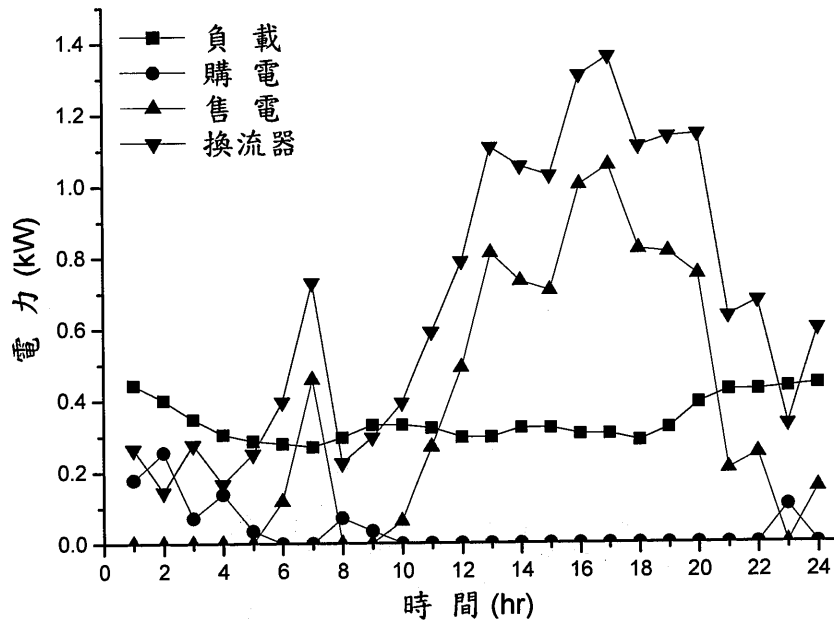


圖 4.8 低耗電量住宅非夏季日逐時用電分析

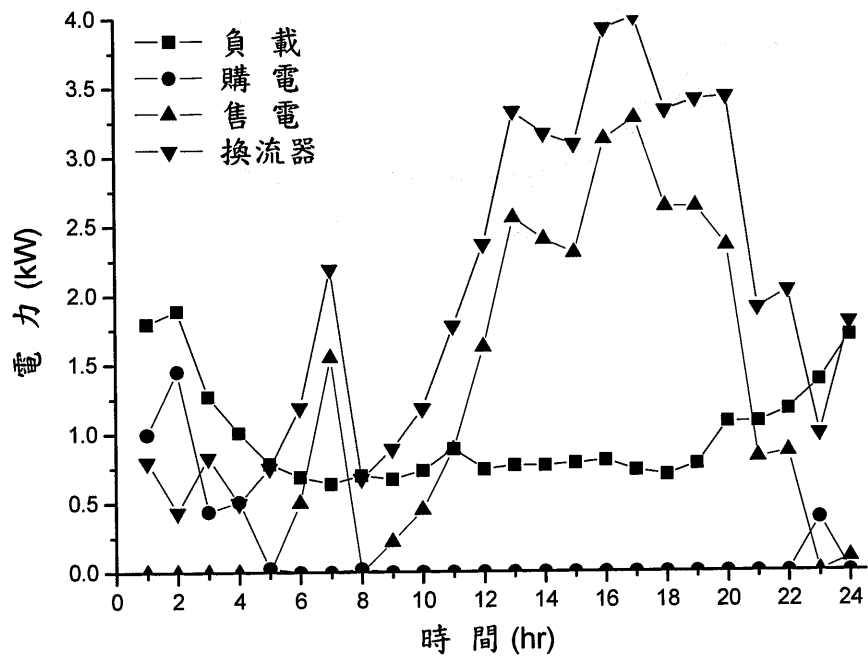


圖 4.9 高耗電量住宅非夏季日逐時用電分析

由圖 4.10 得知 1kW 的太陽光電及 1kW 的風力發電搭配 2kW 的換流器時的低耗電量住宅，每年太陽光電及風力發電分別產生電力為 1355 kWh 及 2298 kWh，後者約為太陽光電的 1.7 倍，每年需由市電供應 1476 kWh，多餘 1587 kWh 可售台電。另外供應高耗電住宅的系統則需 3 kW 的太陽光電及 3 kW 的風力發電搭配 4 kW 的換流器組成，每年太陽光電及風力發電分別有 4065kWh 及 6895kWh 的發電量。需購電 4929 kWh 及售電 5066kWh。表 4.6 說明風光併網系統在高、低耗電量下，在夏季及非夏季時段之購、售電情形。高、低耗電量住宅夏季購售電比例分別為 4.29 及 4.24，而在非夏季則均為 0.47。

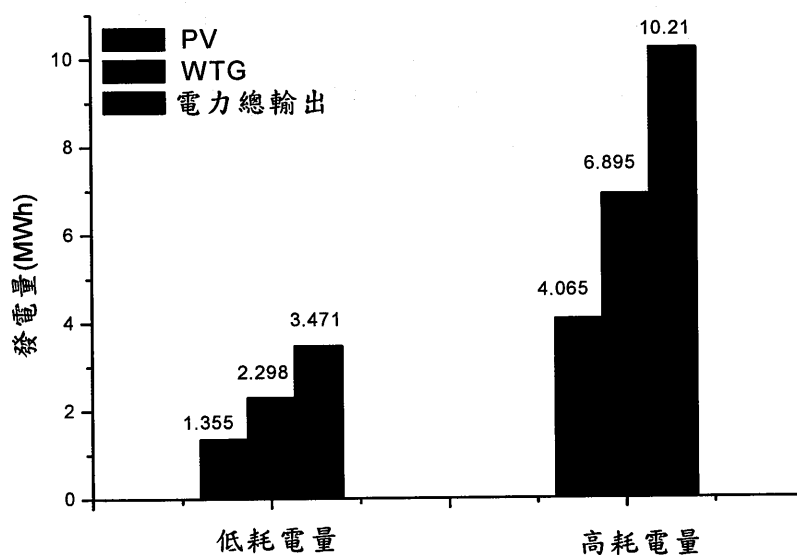


圖 4.10 中工地區住宅風光併網系統全年發電量

表 4.6 中工地區各類住宅風光併網系統購、售電量

季節	購電/售電	低耗電量住宅	高耗電量住宅
夏季	購電量(kWh)	815	2766
	售電量(kWh)	192	644
非夏季	購電量(kWh)	661	2163
	售電量(kWh)	1395	4625

由於高耗電住宅於夜間夏季與非夏季差異較大，雖然負載增加將近三倍，太陽光電及風力發電也增加三倍，故所需購電與售電的比值與低耗電住宅相近，而換流器選用 4kW，並未達到三倍容量，主要係考量初設成本。如圖 4.11 為中工地區高耗電量住宅之風光混合系統，換流器選用 4kW、5kW、6kW 之運轉情形，台灣冬季風力發電量較大，若風力發電加上太陽光電發電量超過換流器容量，則超過部份將會損失，但是要加大換流器之容量相對也會增加設備成本如表 4.7 所示。由於 HOMER 是逐時計算個相關組件的變化量，故可精確的計算運轉情形，做為最佳經濟效益評估。

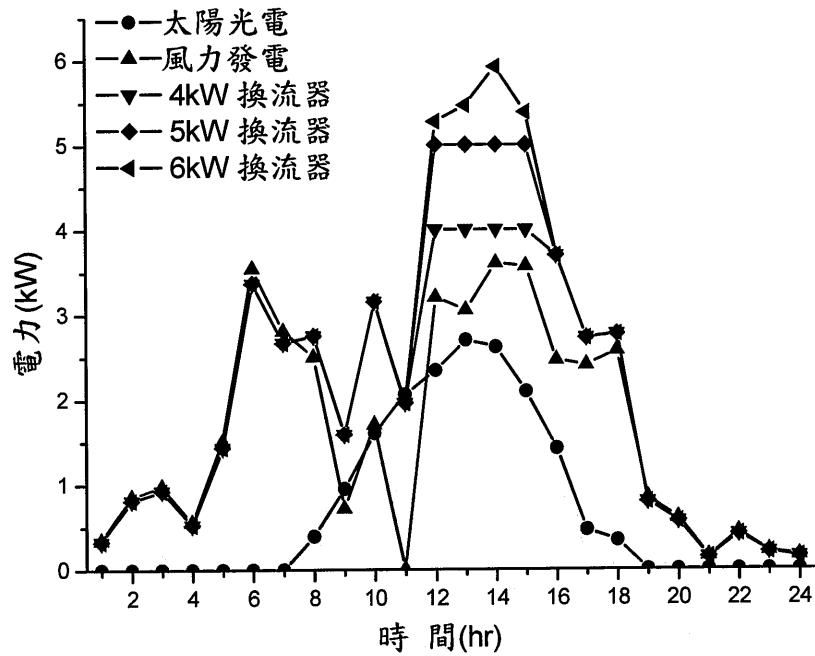


圖 4.11 不同容量之換流器運轉情形

表 4.7 中工地區高耗電住宅不同容量換流器的比較

換流器容量(kW)	損失電力(kWh/yr)	初設成本(NT\$)
4	214	975,000
5	34.8	990,000
6	0	1,005,000

## 4.4 風光系統可行性分析

### 4.4.1 成本分析

風光併網系統係由太陽光電、風力發電機、換流器及聯結供電網路組成，該組元件價格關係到整個系統的初設成本，再考慮系統折舊率、重置成本、維修運轉費用、投資利率及併網購售電價等因素，可以系統淨現值方式分析其經濟效益。

圖4.12說明在低耗電量住宅的風光併網系統的成本，就太陽光電而言，鹽寮地區的成本分別高出大潭及香山一倍，中工地區的成本為最低，風力成本大致相同，併網成本係以購電及售電的總和為主，地點以香山的獲利最大，而換流器則以大潭地區的成本最少。淨現值(NPC)為四個元件的成本合計，可看出鹽寮地區的成本高出其他三個地區的成本最多，不適合發展風光併網系統，而中工地區的成本最低，即為最佳的風光併網系統。圖4.13明確指出，在四個地區的低耗電量住宅中，以香山的售電高出購電最多。

在高耗電量住宅的風光併網系統成本如圖4.14所示，在太陽光電成本中，鹽寮的成本分別高達大潭及中工的三倍，香山略高於其他二個地區，在風力發電中，鹽寮成本最大，其次為大潭，香山在風力和太陽光電總成本合計小於大潭地區，中工最小。併網的購、售電情形

如圖4.13，鹽寮的購、售電量皆最大，因其以太陽光電為主，夜間須由電網供電，日間再由大容量來回售不足電力。而換流器以中工及香山成本最低，由總淨現值來比較成本，鹽寮地區成本高出其他三個地區一倍以上，以大潭、香山及中工三個地區較適合投資風光併網系統。綜合上述得知，決定風光併網系統成本的最大因素為太陽光電及風力發電，併網的供需及換流器的成本僅佔總成本的一小部分。

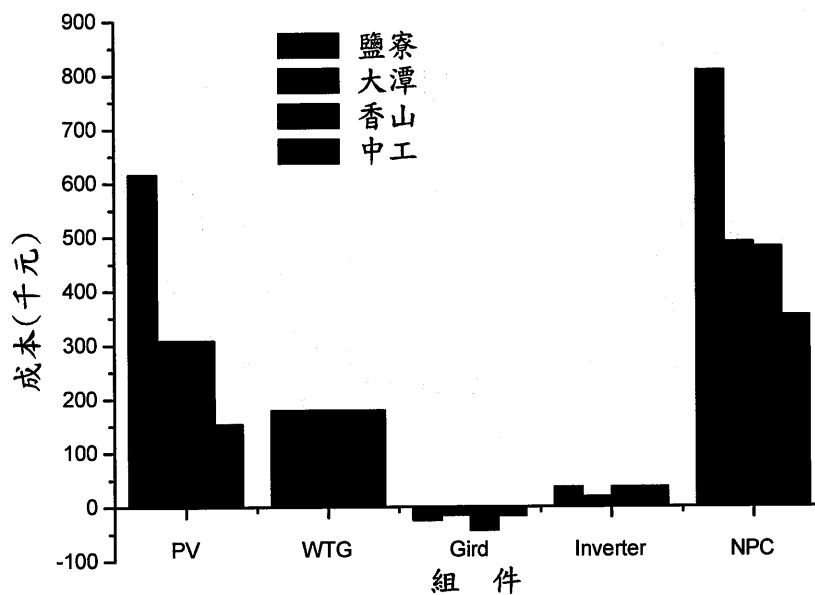


圖 4.12 低耗電住宅風光系統各組件成本



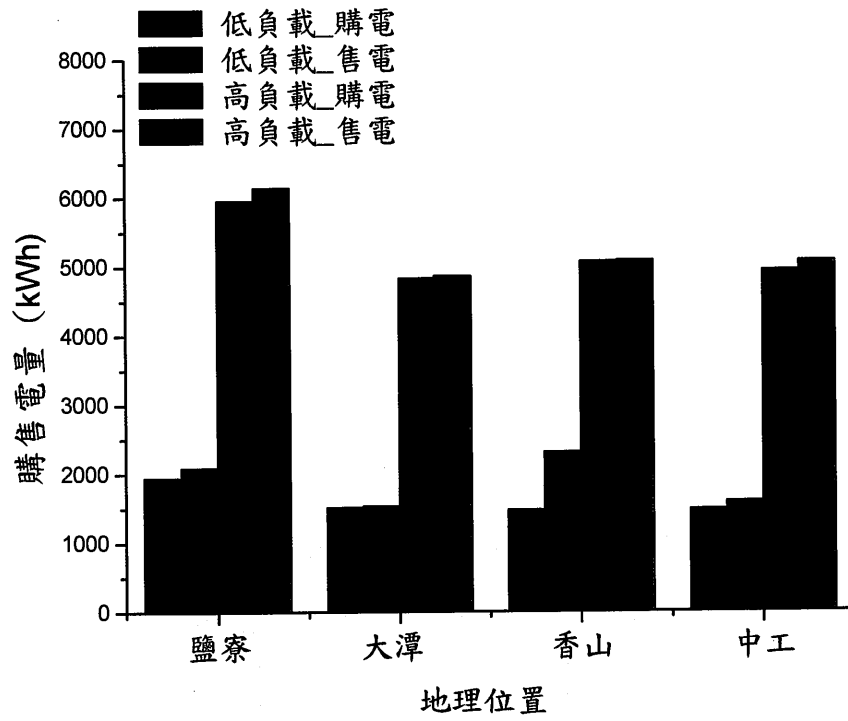


圖 4.13 高、低耗電住宅購、售電情形

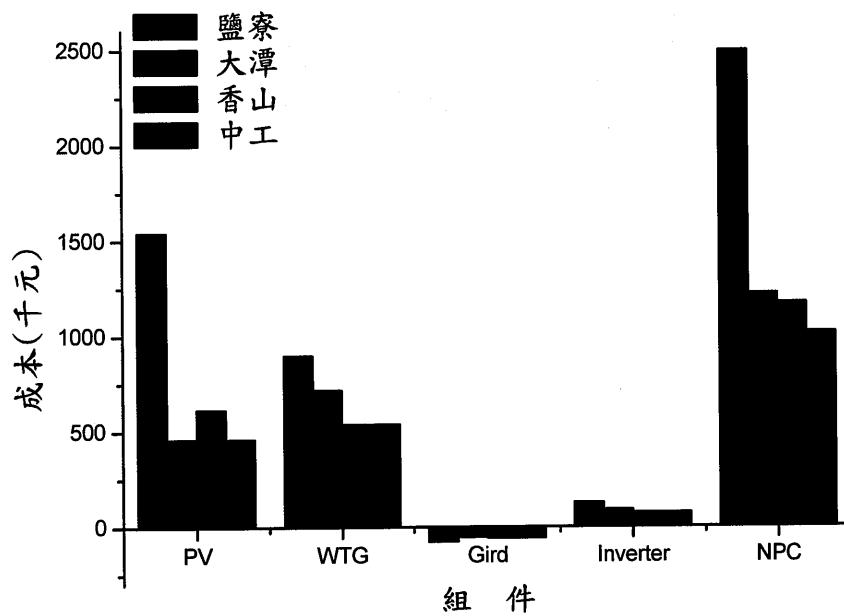


圖 4.14 高耗電住宅風光系統各組件成本

#### 4.4.2 商業電力之比較

本節售電及購電價格均以台電表燈用戶兩段式電價計價為依據，得知圖4.15所示各地風光系統每 kWh 的成本(COE)，除鹽寮地區外，以高耗電量住宅能源成本低於低耗電量住宅能源成本，又以中工每 kWh 成本最低。各地區發電成本如圖4.16及圖4.17，在低耗電住宅時，鹽寮地區發電成以太陽光電最佳，風力發電最差，風光併網系統介於兩者之間。在高耗電住宅時，風力發電或太陽能發電單獨併網系統之容量分別為 26 kW 及 13kW，超過小型發電容量(10kW)，並不適用於一般住宅屋頂，故鹽寮地區風光併網系統受限於發電容量，高耗電量住宅成本會高於低耗電量住宅成本，而其他地區最佳發電成本依序為風力併網系統、風光混合併網系統、太陽光電併網系統。

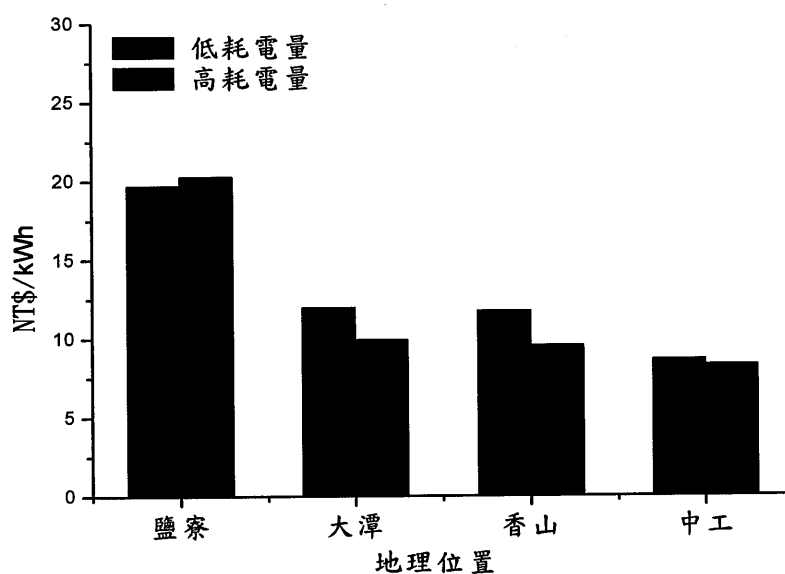


圖 4.15 風光系統每 kWh 發電成本

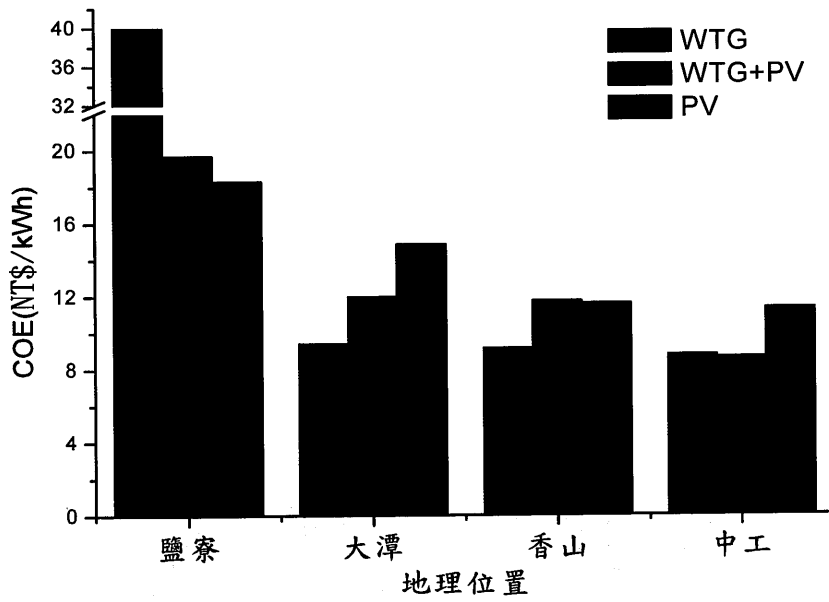


圖 4.16 低耗電住宅發電成本

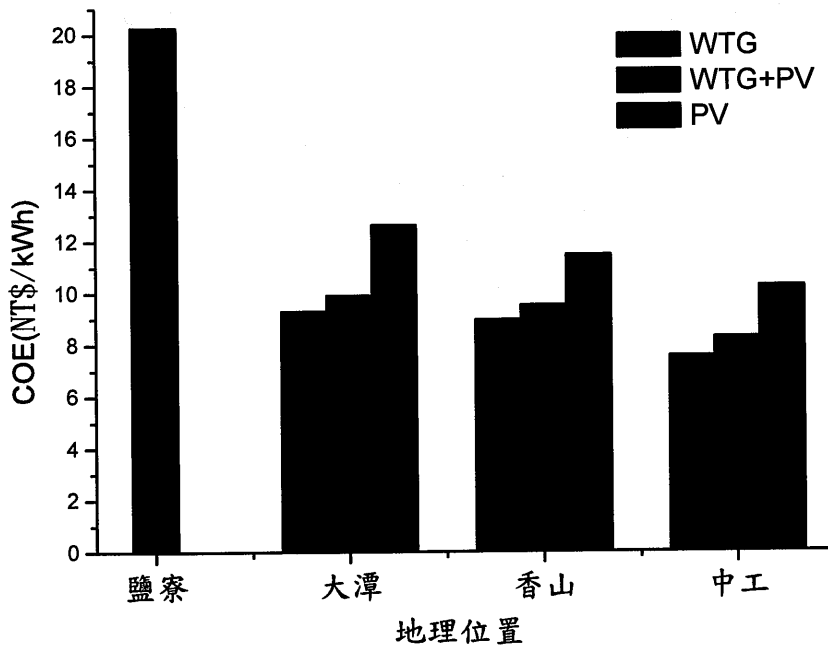


圖 4.17 高耗電住宅發電成本

若以固定電價做為併網的購、售電價，則較不利於再生能源的投資，尤其太陽光電的發電量在於供電系統尖峰用電時最高，以台電尖峰發電成本原本就較高，若在在不同的購、售電價中每 kW 的成本如表 4.8 所示，其中以台灣平均電價為 2.6 元/kWh 及日本電價 5.42 元/kWh，計算出高、低耗電量住宅型態的發電成本，結果顯示較佳併網系統購、售電價依序為時間電價、5.42 元/kWh 及 2.6 元/kWh。



表 4.8 併網電價(購、售電)的發電成本比較

併網電價	地區	高耗電 (NT\$/kWh)	低耗電 (NT\$/kWh)
2.60(NT\$/kWh)	鹽寮	20.195	20.845
	大潭	12.326	10.346
	香山	12.147	9.993
	中工	8.946	8.708
5.42(NT\$/kWh)	鹽寮	20.075	20.793
	大潭	11.671	10.286
	香山	11.073	9.794
	中工	8.855	8.479
時間電價	鹽寮	19.702	20.269
	大潭	11.957	9.914
	香山	11.73	9.525
	中工	8.621	8.273

表4.9及圖4.18所示，以台電98年度平均電價為2.6元計算，高耗電住宅每年用電量為10073kWh，20年電費總共為523796元，低耗電住宅每年用電量為3360kWh，20年電費總共為174720元，如前所示，中工地區之淨現值仍分別為1016846元及353645元，相差一倍以上，對於台灣低電價而言，使得投資再生能源毫無誘因。若台電電費調至與日本電價5.42元相同，則20年的電費與風光併網設置的成本相近，發展風光併網系統才能有其誘因。

再者，我國99年度電力排放係數為 $0.612\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ [24]，以高、低耗電量住宅20年的用電量計算，使用再生能源發電可以減少二氧化碳排放分別約為123公噸及41公噸，對於地球環境的貢獻遠大於經濟效益。

表 4.9 高、低耗電量住宅 20 年用電電費及設置風光系統成本

電費(元) / 成本 / 用電類型	台電電價	日本電價	風光成本
高耗電量住宅	523,796	1,091,913	1,016,846
低耗電量住宅	174,720	364,224	353,645

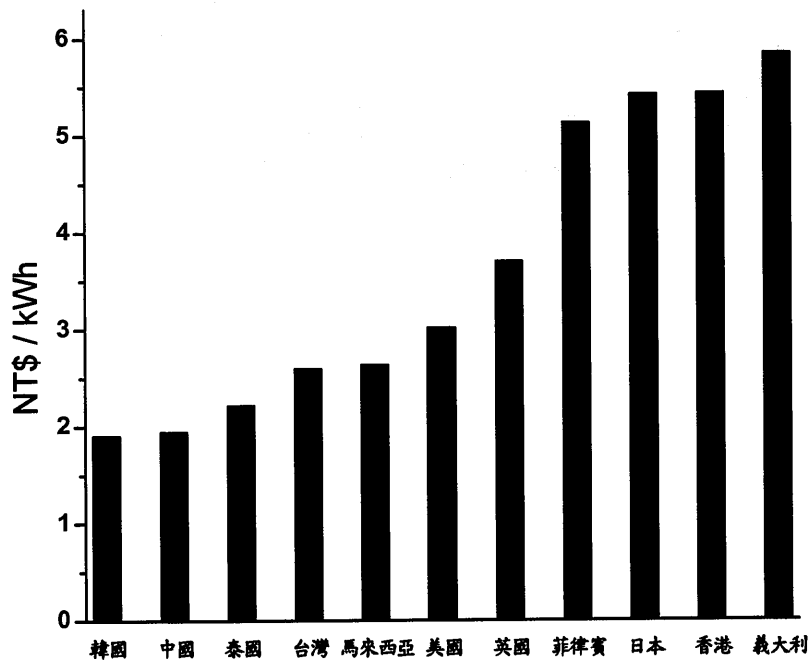


圖 4.18 各國電價比較[29]

## 第五章 結論與建議

一般太陽光電及風力發電容量設計皆採經驗值設計，即為負載容量的 5 倍，然而本論文針對台灣住宅用電特性進行全年 8760 小時的分析，及風光併網系統的經濟效益評估，提供再生能源設置的參考依據。同時，完成建構台灣住宅高、低耗電量用電特性的風光併網系統的發電、購電及售電間的特性探討，其結果如下所述：

1. 以台灣中工、香山、大潭及鹽寮四個地區而言，無論高、低耗電量住宅，採用風光併網系統時，經濟效益呈現由北往南的越佳的趨勢。
2. 台灣中部地區無論是高、低耗電量的住宅型式，採用風光併網系統時，風機與 PV 的裝置容量成等比例(1:1)的關係。
3. 台灣中工、香山、大潭三個地區，在風力及光電各類型的發電系統中，其高耗電量住宅的發電成本皆低於低耗電量住宅，即對併網系統而言，用電負載越高每 kW 發電成本越低。
4. 台灣地區在高耗電住宅型態中，除鹽寮地區外，其併網發電效益的優劣依序為風力發電、風光發電、太陽光電發電。
5. 發展住宅型風光併網系統，對高、低耗電量住宅而言，整個系統可減少碳排放分別約為 123 公噸及 41 公噸，以台灣電燈戶佔用電結構之 32% 而言，對環境節能減碳有莫大的貢獻。



本論文建議台灣電力公司可將每度電 2.6 元提高至 5.42 元，以提高用戶節能減碳及投資再生能源的誘因。本論文雖僅就地屬中、北部地區的鹽寮、大潭、香山及中工等四個地區進行風光併網系統的探討外，建議後續工作將持續針對其他地區利用中央氣象局的氣象資料進行模擬分析，以提供再生能源投資的依據。



## 參考文獻

- [1] 經濟部能源局，長期負載預測與電源開發規劃摘要報告(99-108年)，2011。
- [2] 經濟部能源局，98年能源統計，<http://web2.moeaboe.gov.tw>
- [3] 經濟部能源局，98年年報，<http://web2.moeaboe.gov.tw>
- [4] 洪國強，住宅用市電並聯型太陽能電力轉換器，國立台灣大學電機工程研究所，博士論文，2002。
- [5] A. G. Bhave, "Hybrid solar-wind domestic power generating system-a case study," *Renewable Energy*, Vol.17, pp.355-358, 1999.
- [6] B. Ai, H. Yang, H. Shen and X. Liao, "Computer-aided design of PV/wind hybrid system," *Renewable Energy*, Vol.28, pp.1491-1512, 2003.
- [7] 林俊宏，太陽能-風力混合發電系統之可用度及成本/效益評估，清雲科技大學電機工程研究所，碩士論文，2005。
- [8] M.J. Khan and M.T. Iqbal, "Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland," *Renewable Energy*, Vol.30, pp.835-854, 2005.
- [9] Z. Simic and V. Mikulicic, "Small wind off-grid system optimization regarding wind turbine power curve," *IEEE AFRICON*, 2007.
- [10] 劉家彥，台灣地小型風力發電機組之容量規劃，南台科技大學電機工程研究所，碩士論文，2009。
- [11] A. Rohani, K. Mazlumi and H. Kord, "Modeling of a hybrid power system for economic analysis and environmental Impact in HOMER," *Electrical Engineering*, 18th Iranian Conference, pp.819-823, 2010.
- [12] G. N. Prodromidis and F. A. Coutelieris, "A comparative feasibility study of stand-alone and grid connected RES- based systems in several Greek Islands," *Renewable Energy*, Vol.36, pp.1957-1963, 2011.

- [13] Ahmed M. A. Haidar, Priscilla N. John and Mohd Shawal, "Optimal configuration assessment of renewable energy in Malaysia," *Renewable Energy*, Vol.36, pp.881-888, 2011.
- [14] 都志杰、馬麗娜，風力發電，化學工業出版社，2009。
- [15] 朱佳仁，風工程概論，科技圖書，2006
- [16] 莊月璇，台灣地區風速機率分佈之研究，國立中山大學土木工程研究所，碩士論文，2001。
- [17] 陳卿翊，台灣地區風速特性與風力發電量之統計推估，南台科技大學電機工程研究所，碩士論文，2009。
- [18] 世界風能協會(WWEA)，2010 world wind energy report, <http://www.wwindea.org>。
- [19] 莊嘉琛，太能工程-太陽電池篇，全華圖書公司，2008。
- [20] 經濟部能源局，2010 年能源產業技術白皮書，<http://web2.moeaboe.gov.tw>
- [21] 郭柏巖，住宅耗電實測解析與評估系統之研究，國立成功大學建築學系，博士論文，2005。
- [22] 邱淑月等，97 年度家用電器普及狀況調查，台電工程月刊，Vol.743，pp62-80，JULY，2010。
- [23] 顧孝偉，住宅用電量監測與解析之研究，國立成功大學建築學系，碩士論文，2003。
- [24] 台電公司 <http://www.taipower.com.tw>
- [25] B. S. Borowy and Z. M. Salameh, "Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol.11, pp.367-375, 1996.
- [26] 胡三高，風光互補利用的分布式能量系統可行性分析，華北電力大學熱能工程，碩士論文，2008。
- [27] 國立中央大學大氣物理研究所，<http://www.atm.ncu.edu.tw/93/wind>
- [28] 台電公司，98 年負載管理年報，<http://www.taipower.com.tw>
- [29] 經濟部能源局，<http://web2.moeaboe.gov.tw>

- [30] R. Chedid and S. Rahman, "Unit sizing and control of hybrid wind-solar power systems," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol.12, pp.79-85, 1997.
- [31] R. Chedid, H. Akiki and S. Rahman, "A decision support technique for the design of hybrid solar-wind power systems," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol.13, pp.76-83, 1998.
- [32] 張荐理，混元型發電系統在零能源化住宅技術應用研究，國立台北科技大學冷凍空調工程系，碩士論文，2005。
- [33] 陳均銘，台灣中部沿海地區風力發電機運轉效益之分析，國立彰化師範大學電機工程學系，碩士論文，2009。
- [34] G. J. Dalton, D. A. Lockington and T. E. Baldock, "Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel," *Renewable Energy*, Vol.34, pp.955-964, 2009.
- [35] M. Beccali, S. Brunone, M. Cellura and V. Franzitta, "Energy, economic and environmental analysis on RET-hydrogen systems in residential buildings," *Renewable Energy*, Vol.33, pp.366-382, 2008.

