

太陽光電年發電量預測模型建置及策略研究

蕭子訓^{1*} 黃孔良¹ 張耀仁²

摘要

本研究透過線性規劃的數學方法，建構太陽光電的年發電量預測模型，結合情境的設計與分析，探討太陽光電於2025年的年發電量機率分布曲線，並進一步針對年發電量預測模型的各項參數，包含效能遞減率、整體的影響與損失係數、各區全天空日射量的相關程度、土地來源、各年度裝置量策略及不同目標式等，進行敏感度分析，探討各個參數對於年發電量機率分布曲線的影響。研究分析成果發現，效能遞減率及整體的影響與損失係數對於發電量期望值有較高的影響，因此，建議政府後續可透過獎勵或加嚴相關規範，來督促廠商選用較佳的太陽光電產品，其將有助於協助政府更好的達成能源轉型，此外，亦建議政府須將太陽光電盡量集中架設於陽光較佳的區域，以提升太陽光電年發電量的期望值，其有助於達成再生能源的政策目標。另外，若調整各年度裝置量策略及各地區的裝置順序，可在犧牲少數的2025年發電量期望值，進而有效的提升2016年至2025年整體太陽光電的發電量，進而對於解決全球暖化的問題盡更大的心力。

關鍵詞：太陽光電，年發電量，日射量，預測模型，策略研究

1. 緒 論

根據世界經濟論壇(World Economic Forum, WEF)所刊登之「The Global Risks Report 2016」(WEF, 2016)，「減緩和調適氣候變遷行動的失敗」在2013年至2016年已成為具有高衝擊性的風險事件，同時，「社會動盪」在近年來已重新成為重要的風險事件。為因應氣候變遷對於地球、自然生態、人類健康所帶來的各種重大威脅(IPCC, 2014、葉俊榮等, 2014)，1992年聯合國通過「聯合國氣候變化綱要公約」(United Nations Framework Convention on Climate Change)，而國際上後續的協議如1997年「京都議定書」、2009年的「哥本哈根協定」、2010年的「坎昆協議」等國際規範，而

於2014年在利馬召開的「聯合國氣候變化綱要公約」第20次締約方會議(COP20)，全球190多個國家達成提出溫室氣體減量排放目標基本規則的協議，並提出一份巴黎協議草案，2015年12月12日的聯合國氣候峰會中，更是通過了巴黎協議，並於2016年4月22日世界地球日時，171國代表在聯合國總部簽署巴黎協議。雖然於2017年6月1日，美國新任總統唐納·川普宣布美國將會退出巴黎協議，然而，包含中國在內的諸多國家，均表示會履行巴黎協議的相關承諾。

臺灣自主能源極其缺乏，過去大量仰賴化石能源的使用，根據經濟部能源局於2017年所出版之能源統計手冊(經濟部能源局, 2017)，我國2016年的進口能源依存度仍高達97.64%。

¹行政院原子能委員會核能研究所技術員

²行政院原子能委員會核能研究所副工程師

*通訊作者, 電話: 03-4711400#2727, E-mail: skyschin0908@iner.gov.tw

收到日期: 2017年08月31日

修正日期: 2017年10月23日

接受日期: 2017年11月02日

為抑制溫室效應的影響，國際能源署所出版的《世界能源展望2016》(IEA, 2016)提及，電力部門中，主要通過部署可再生能源、核能及碳捕存技術，降低全球的碳排放，若觀2016年我國各電力來源實際發電裝置容量及發電量，可以發現傳統火力發電裝置容量之比例高達75.04%，核能為10.31%，再生能源占9.43%，其中風力及太陽光電占總裝置容量的4.80%；但從發電量可以發現，傳統火力發電量之比例高達81.99% (其中燃煤發電45.44%、天然氣發電32.41%)，核能為11.99%，而再生能源僅占4.77%，其中風力及太陽光電占總發電量的0.98%。

為響應國際上對於氣候變遷影響的重視，並著手改善我國的能源系統，自1998年起迄今，我國共召開了四次全國能源會議(梁啟源，2014、胡瑋元，2014、經濟部，2009a、經濟部，2009b、行政院國家科學委員會，2008、經濟部能源局，2015)，會議中主要聚焦於二氧化碳減量的探討及電力結構的比例，其中又以再生能源、核電與天然氣發電的討論最為聚焦。爾後，為邁向2025年非核家園的目標，蔡英文總統在競選期間，就已經提出了：「2025非核家園是我們不變的主張，透過提出穩健的能源轉型計畫並加以落實，就能將臺灣打造成一個就算沒有核電也不會缺電的非核家園。」而其競選期間具體的能源政策包含(1)確保台電現有的電源開發方案都能如期完成、(2)落實「時間電價」、「需量競價」，並搭配「儲能設備」的尖峰管理政策及(3)發展綠能產業¹。而其能源智囊團更是提出了太陽光電裝置量達20 GW的宏大目標，以作為核電的替代品。

我國太陽能電池(Cells)產量，為全球市占第二大，若以太陽能產能單位GW來看，全球的市占率約一成五，於2016年，臺灣廠商包含茂迪+聯景、新日光、昱晶、元晶、昇陽科及英穩達等產能排名世界前20大的結晶矽太陽能

電池公司，其產能已達10.55 GW/年。另外，臺灣海峽擁有世界一級的離岸風場，長遠來看應能提供相當可觀的電力²。雖然臺灣地狹人稠，但若在不考量核能發電的情況下，且考量技術成熟度及天然資源稟賦後，短、中期內二氧化碳減排將主要依賴太陽光電及風力等再生能源的使用。

從目前政府所提出之新能源政策的規劃中可以發現，其政策規劃的主要目的為(1)能源轉型、(2)電業改革及(3)帶動自主綠能產業發展。針對其能源轉型的部分，更於新能源政策中提出擴大再生能源發展於2025年達發電量20%的目標。結合近月來政府部門多次的宣示，目前政府對於2025年電力配比的規劃為50%天然氣發電、30%燃煤發電及20%再生能源發電。相較於目前的發電結構，其明顯是利用再生能源替代核能發電，並利用部分天然氣發電替代燃煤發電，這也是其能源轉型主要的目標。為了達到非核家園及再生能源占總發電量比例20%的能源轉型目標，能源局提出了再生能源發展目標，如表1所示，太陽光電於2025年的裝置目標為20 GW，其占再生能源發展目標總裝置量的72.9%，預估發電量為250億度，占再生能源發電量的48.5%，若考量目前各再生能源發電裝置的比例，可以發現太陽光電將是我國達成2025年再生能源達發電量20%目標的主要核心。

從表2中2004年至2016年的整體太陽光電發電量之資料來看(經濟部能源局，2017)，太陽光電的容量因數介於0.068至0.133之間，單位裝置容量的發電量介於0.006至0.012億度/MW之間，若根據2004年至2016年的數據，可以計算其單位裝置容量的發電量之標準差為0.0014億度/MW。若假設達成20 GW的太陽光電發展目標後，預期可產生之太陽光電發電量達250億度，且發電量的變異程度與裝置量成正比時，根據歷史數據可推估2025年太陽光電發電量之

¹ 《英派革新》蔡英文的永續能源政策 <http://iing.tw/videos/72>

² 英國4C offshore, <http://www.4coffshore.com/offshorewind/>

表1 再生能源發展目標

	2015年		2020年		2025年	
	裝置容量 (MW)	發電量 (億度)	裝置容量 (MW)	發電量 (億度)	裝置容量 (MW)	發電量 (億度)
太陽光電	842	11	6,500	110	20,000	250
陸域風力	647	16	800	19	1,200	29
離岸風力	0	0	520	19	3,000	111
地熱能	0	0	150	10	200	13
生質能	741	54	768	56	813	59
水力	2,089	46	2,100	47	2,150	48
燃料電池	0	0	22.5	2	60	5
總計	4,319	127	10,861	263	27,423	515

資料來源：本研究整理

表2 太陽光電歷史績效評估

年度	太陽光電裝置容量 (MW)	太陽光電發電量 (億度)	太陽光電發電 容量因數	太陽光電單位裝置 容量的年發電量 (億度/MW)
2004	0.6	0.006	0.114	0.010
2005	1.0	0.010	0.114	0.010
2006	1.4	0.015	0.122	0.011
2007	2.4	0.022	0.105	0.009
2008	5.6	0.046	0.094	0.008
2009	9.5	0.092	0.111	0.010
2010	22.0	0.256	0.133	0.012
2011	117.9	0.703	0.068	0.006
2012	222.5	1.731	0.089	0.008
2013	392.0	3.379	0.098	0.009
2014	620.1	5.517	0.102	0.009
2015	842.0	8.755	0.119	0.010
2016	1210.31	11.322	0.107	0.009
2020	8,776	110 (預估值)	0.143 (預估值)	
2025	20,000	250 (預估值)	0.143 (預估值)	

資料來源：本研究整理

標準差為28.90億度。另一方面，若以歷史數據進行預估，由於2004年至2016年的平均單位裝置容量的年發電量為0.009億度/MW，故可預估2025年若已完成20 GW太陽光電廠的建設，太陽光電的預估發電量為185.3億度。

目前，國內政策及策略研究多以固定的容量因數進行太陽光電的發電量評估，以我國再生能源發展目標為例，由2020年及2025年太陽

能的裝置量及發電量目標來計算，其所使用之容量因數約為0.143。從表2中可以看到，2004年至2016年太陽光電的容量因數介於0.068至0.133之間，再生能源發展目標的太陽能容量因數預估值高於2004年迄今的歷史數據，故政府在太陽光電發電量的預估上較為樂觀。若從陽光屋頂百萬座所提供的公開資訊來看³，於2014年中，彰化、雲林、臺南太陽光電發電量的容

³ 陽光屋頂百萬座 http://mrpv2.mynet.com.tw/information.php?sort_id=31

量因數超過能源局所使用之預估值0.143，其餘地區則低於該值，若僅以目前的數據評估，未來欲達到太陽光電發電量的目標，將需要在彰化、雲林、臺南等陽光較佳的區域有較大量的太陽光電廠的建設，才有較高達到目標的機會。

可以發現，能源局所評估之太陽光電的預估發電量與用歷史值之預估有所差異，這可能源於太陽光電板的技術近幾年才趨於成熟，未來所建設之太陽能板預期有更佳の效能，且許多相關の性能測試亦在近幾年方訂定較合適の標準，如我國能源局於102年起辦理「優質太陽光電產品評選活動」，其所設置の「金能獎」依據IEC (International Electrotechnical Commission, 國際電工委員會)國際太陽光電最新、最高標準，並配合產業發展與市場需求，每年制訂新的評選標準與加嚴測試條件，透過公平公正の審查機制，以期選出最具代表性の臺灣優質太陽光電產品。技術未成熟の因素，可能是歷史發電量低於能源局所評估の原因。

但由於太陽光電對於天氣の高度依賴，與傳統能源較為不同的是，其對於發電量較難以預估，從表2中2004年至2016年の容量因數來看，其平均容量因數為0.106，容量因數の標準差為0.016，其變異係數為15.59%，相較之下，同期の燃煤發電變異係數僅2.36%。從以上結果可以發現，太陽光電發電量の變異程度較傳統能源較高，若僅以單一容量因數進行發電量の預測，將有較大の不確定性，因此，本研究假設長期而言，太陽光電發電量の機率分布為高斯分布，透過太陽光電年發電量模型の建構，進而描繪太陽光電未來可能的發電機率分布。

2. 太陽光電年發電量預測模型

2.1 太陽光電年發電量評估

太陽光電單位裝置量の年發電量與其廠址所在關係密切，此外，發電量尚會受到「天氣の高度依賴」及「設備老化或耗損等設備因素」の影響，故在考量以上因素後，若要進行太陽光電發電量の預測，無論是僅透過我國既有の太陽光電廠之歷史發電量進行評估，抑或者使用固定容量因數計算，可能均有所偏頗，故有必要重新建立進行發電量預估の方法。

太陽光電發電量の多寡，除了本身の光電轉換效率及當地の全天空日射量影響外，尚受到陽光日射角、光譜變化、日照量變化、陽光遮陰、模組溫度、模組年固定衰退率、線路耗損、直流轉交流之逆變器損耗等因素所影響，然若要進行如此較為詳細の評估，需要有較多細部の數據，但目前我國實際安裝の太陽光電板較少，故難以進行深入の探討。

實際上較常用の發電量評估方式，為透過觀察一段時間の日照強度，換算相當於ASTM (American Society for Testing and Materials, 美國材料和測試協會) E1036標準の等效日照小時 (Equivalent Sunshine Hours, ESH)，以進行太陽光電年發電量計算，ESHの換算方程式如下：

$$ESH = \frac{\text{逐年累積全天空日射量(MJ/m}^2\text{)}}{\div 365\text{天}} \quad (1)$$

而1 kWの太陽光電模組組列年發電量可用以下方程式預估：

$$1\text{ kW組列年發電量} = 1 \times ESH \times 365\text{天} \quad (2)$$

但如前述，太陽光電板發電量の多寡尚受到諸多因素の影響，若考量此影響後，1 kWの太陽光電模組組列年發電量可修訂如下：

$$\text{修正後}1\text{ kW組列年發電量} = 1 \times ESH \times (1 - F_{\text{loss}}) \times 365\text{天} \quad (3)$$

其中 F_{loss} 為整體の影響與損失係數，根據臺灣廠商の實際經驗，整體の影響與損失約為15%~25%⁴。而將方程式(1)代入方程式(3)後可

⁴聚恆科技 <http://www.hengs.com/solarcase%20qa.html>

發現，主要影響修正後1 kW組列年發電量的變數為逐年累積全天空日射量(MJ/m^2)及整體的影響與損失⁵。

2.2 逐年累積全天空日射量之資料分析

全天空日射量的資料主要透過中央氣象局取得，然林博雄(2003)發現中央氣象局轄下觀測站於1990年代開始使用之全日空日射計，未經仔細校驗之參數設定值對於每日累積量數據低估了15.2%到32.6%不等。因此，中央氣象局自2002年7月至2003年4月對其麾下的所有一級氣象觀測站所使用之全日空日射計，進行操作參數的校驗與修訂(張克勤等，2016)，故自2003年5月後所提供之日射量當較為準確。即使透過數據的修正，但修正過後的數據本身的不確定性就較高，若要將其用於本研究進行不確定性的探討，將會導致結果更加的不準確，另由於本研究所探討之太陽光電發電量聚焦於年發電量，故本研究所用於分析的歷史數據將聚焦於2004年迄今。

本研究後續進行太陽光電發電量之評估，預計將臺灣分成基隆市、臺北市、新北市、桃園市、新竹縣、新竹市、苗栗縣、臺中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義縣、嘉義市、臺南市、高雄市、屏東縣、臺東縣、花蓮縣、宜蘭縣、澎湖縣、金門縣、連江縣共22個區域，各縣市之逐年累積全天空日射量資料，其所使用的代表測站或詳細的評估方式可見表3。

目前，中央氣象局共有29個一級測站，然而由於新竹市、苗栗縣、彰化縣及雲林縣並無一級測站，故陳家榮(2015)在進行之臺灣屋頂型太陽光電潛力之研究時，新竹市、苗栗縣鄰近於新竹縣，以新竹縣資料代替，彰化縣鄰近於臺中市，以臺中市資料代替，雲林縣鄰近於嘉義縣，以嘉義縣資料代替。本研究認為，苗

栗縣位於新竹與臺中之中，故改為使用該兩縣市測站資料的平均進行評估，彰化縣及雲林縣因為鄰近，則沿用陳家榮(2015)的評估方式。

另外，如表4的資料所顯示，從新北市的板橋測站及淡水測站、臺中市的臺中測站及梧棲測站、及宜蘭縣的宜蘭測站與蘇澳測站的逐年累積全天空日射量資料可以發現，同一縣市中，較為靠近海邊的淡水測站、梧棲測站及蘇澳測站，其逐年累積全天空日射量的標準差較高，約為遠離海邊測站的2~3倍，然若比較其他測站的資料，遠離海邊測站的資料較為一致，故本研究在該三個縣市中，選用遠離海邊測站的資料作為該縣市逐年累積全天空日射量評估之代表測站。

最後，桃園市已於2013年建立了新屋測站，但由於本研究的分析年度為2004年至2016年，故其資料有所缺乏，另外，比較其逐年累積全天空日射量的資料與鄰近的新竹縣及新北市可以發現，其逐年累積全天空日射量的數值異常偏高，故本研究使用板橋及新竹測得的資料平均進行評估。

由於我國政府已提出2025年綠能發電佔比將達20%之目標，且規劃2025年將裝設20 GW的太陽光電板，故可預期未來太陽光電將為臺灣重要的電力來源，然如先前所述，影響太陽光電發電量的因素眾多，故相關的天氣資料對於太陽光電的評估至關重要，然從表3可以看到，苗栗、彰化、雲林並無一級測站，依據陽光屋頂百萬座的公開資料顯示，該三縣市在2014年太陽光電的發電量的效能相較其他縣市為佳，故建議氣象局能即早於該三縣市建立一級測站，以供未來相關研究者進行運用。

經資料彙整後，各縣市於2004年至2016年間的逐年累積全天空日射量的平均值及標準差的資料分析結果可見表5。可以發現我國日照最好的區域為雲林、嘉義、臺南、高雄及屏東，

⁵陽光日射量是以單位面積在單位時間內獲得的光能量，逐年累積全天空日射量基於中央氣象局的氣象資料，以每平方米在一年為單位時間之日射量，單位為百萬焦耳/平方米(MJ/m^2)，1焦耳相當於1瓦特電功率在1秒鐘累積電能，因此由其可換算成相對應的電功率。

表3 評估臺灣各縣市逐年累積全天空日射量之代表測站或評估方式

縣市	代表測站名	站碼	備註
基隆市	基隆	466940	彭佳嶼測站非在本島，故選用基隆測站。
臺北市	臺北	466920	臺北測站相較於鞍部及竹子湖測站的海拔較低，故選用之。
新北市	板橋	466880	淡水測站較靠近海岸，故選用板橋測站。
桃園市	板橋 新竹	466880 467571	桃園雖有新屋測站，但其2013年7月才開始觀測，數據較少，且全天空日射量異常偏高，故本研究使用板橋及新竹測得的資料平均進行評估。
新竹縣	新竹	467571	新竹縣僅有此測站。
新竹市	新竹	467571	新竹市無測站，故選用新竹縣的新竹測站。
苗栗縣	新竹 臺中	467571 467490	苗栗縣並無一級測站，故本研究透過使用鄰近縣市的新竹及臺中測站之資料進行平均評估。
臺中市	臺中	467490	梧棲測站較靠近海岸，故選用臺中測站。
彰化縣	臺中	467490	彰化縣無一級測站，故彰化縣使用鄰近的臺中測站資料進行評估。
南投縣	日月潭	467650	相較於玉山測站，日月潭測站海拔較低，故選用之，然其海拔仍有1017.5公尺。
雲林縣	嘉義	467480	雲林縣無一級測站，故雲林縣使用鄰近的嘉義測站資料進行評估。
嘉義縣	嘉義	467480	嘉義縣雖有阿里山測站，但其海拔較高，故選用嘉義市的嘉義測站作為代表。
嘉義市	嘉義	467480	嘉義市僅有此測站。
臺南市	臺南	467410	臺南市僅有此測站。
高雄市	高雄	467440	高雄市僅有此測站。
屏東縣	恆春	467590	屏東縣僅有此測站。
臺東縣	臺東 成功 大武	467660 467610 467540	臺東共有三個測站，分別位於臺東縣的北、中、南部，且其地理位置等資訊及海拔高度並無明顯之差異，故本研究將三測站的資料平均進行評估。
花蓮縣	花蓮	466990	花蓮縣僅有此測站。
宜蘭縣	宜蘭	467080	蘇澳測站較靠近海岸，故選用宜蘭測站。
澎湖縣	澎湖	467350	東吉島測站不在澎湖本島上，故選用澎湖測站。
金門縣	金門	467110	金門縣僅有此測站。
連江縣	馬祖	467990	連江縣僅有此測站。

資料來源：本研究整理

表4 2004年至2016年間，近海及近陸測站的逐年累積全天空日射量資料比較

縣市	站碼	站名	逐年累積全天空日射量	
			平均值(MJ/m ²)	標準差(MJ/m ²)
新北市	466880	板橋 (近陸)	4,222.5	318.3
	466900	淡水 (近海)	4,249.3	524.2
臺中市	467490	臺中 (近陸)	5,238.2	192.8
	467770	梧棲 (近海)	4,985.1	546.0
宜蘭縣	467080	宜蘭 (近陸)	4,003.1	186.0
	467060	蘇澳 (近海)	3,880.5	526.0

資料來源：本研究整理

表5 2004年至2016年間，各縣市的逐年累積全天空日射量數據資料

縣市	逐年累積全天空日射量		
	平均值(MJ/m ²)	標準差(MJ/m ²)	變異係數*
基隆市	3,788.9	419.6	11.1%
臺北市	3,988.1	370.6	9.3%
新北市	4,222.5	318.3	7.5%
桃園市	4,340.0	249.1	5.7%
新竹縣	4,457.5	179.8	4.0%
新竹市	4,457.5	179.8	4.0%
苗栗縣	4,847.8	186.3	3.8%
臺中市	5,238.2	192.8	3.7%
彰化縣	5,238.2	192.8	3.7%
南投縣**	4,330.7	134.1	3.1%
雲林縣	5,573.4	494.6	8.9%
嘉義縣	5,573.4	494.6	8.9%
嘉義市	5,573.4	494.6	8.9%
臺南市	5,610.0	553.3	9.9%
高雄市	5,403.0	318.2	5.9%
屏東縣	5,564.8	482.0	8.7%
臺東縣	5,080.9	412.3	8.1%
花蓮縣	4,340.8	562.1	12.9%
宜蘭縣	4,003.1	186.0	4.6%
澎湖縣	4,594.2	827.9	18.0%
金門縣	5,019.0	395.7	7.9%
連江縣	4,190.2	455.8	10.9%

*變異係數的定義為標準差除以平均數

**南投日月潭測站由於2016年6至8月並無資料，故其僅使用2004至2015年數據進行分析

資料來源：本研究整理

臺灣本島的太陽光電發電量之變異係數約在3.1%至12.9%之間，澎湖的變異係數則相對較高，其為18.0%。其中，全天空日射量相對較高的雲林、嘉義、臺南、高雄及屏東中，除高雄變異係數為5.9%相對較低，其餘地區的變異係數均介於8.1%至9.9%之間；金門、馬祖及花東地區的變異係數相對較高；北部及中部除基隆、臺北、新北的變異係數相對偏高外，其餘的變異係數均相對不高。

2.3 太陽能發電量之標準差

在傳統能源中，容量因數的波動主要來自於機組老化帶來的影響以及實際操作時由於背景環境溫度的不同所帶來的影響，雖然機組

偶會遭遇臨時的故障，然而由於備援機組的存在，實際上對於發電量的波動影響將不大，故其整體的變異係數不大，如2004年至2016年燃煤發電變異係數僅2.36%。然而，太陽光電的情況大有不同，除了固有的來自於機組老化帶來的影響，由於太陽光電的能量源自於太陽，故太陽的日射量波動將會造成發電量的波動，如表5所示，我國各地區的日射量變異係數約在3%至18%不等，此外，周圍環境的溫度及溼度等性質的改變，亦會造成太陽能發電量的波動，且太陽能與傳統能源不同，並無備援的太陽能板存在，故太陽能板若出現故障，但裝置容量在評估時若無進行修正，則會導致容量因數的波動。此外，裝設同樣容量的太陽能板，

年初安裝或者年底安裝對於年發電量的貢獻亦不相同，然其亦會導致容量因數的波動，因此，如台電的統計年報則透過月平均裝置容量的評估，來避免其影響。

本研究將透過年發電量的平均數及標準差描繪太陽光電發電量的機率分布，如表6所示，從歷史數值來看，若包含2000年及2001年的數據，太陽光電的變異係數較高，而若看近幾年的數據，其變異係數明顯降低；陸域風力的變異係數有類似的情況，若包含2000年的資料，其變異係數高達27.7%，近幾年的資料明顯降低，而若僅考量2006年或2007年至2015年的資料，其變異係數進一步降低至約10%。從陸域風力的資料來看，由於2006年陸域風力裝置量有明顯大量的增加，且之後其變異係數約維持於10%，這可能是由於當裝置量增加時，故障及損壞所導致容量因數的波動將維持一固定的比例，而每年該比例的變化不大，故對於容量因數的波動影響不大。太陽光電雖於2002年之後的資料分析有明顯的下降，然其與陸域風力早期的資料一樣，其變異係數很大程度的來源可能是統計的誤差，故太陽能的變異係數目前約為14.6%至17.0%之間，若參照陸域風力的經驗，太陽光電當裝設的容量更多時，可能有進一步降低變異係數的空間，誠然，目前太陽光電的裝置量已超過陸域風力，但太陽光電的容量因數較低，因此，其可能需要更大的裝設量才能對於變異係數的波動有明顯的影響。此

表6 各年度至2016年間，太陽光電及陸域風力容量因數之變異係數

使用的資料年度	太陽光電	陸域風力
2000~2016	19.2%	27.2%
2001~2016	19.9%	18.1%
2002~2016	14.6%	18.7%
2003~2016	15.0%	17.5%
2004~2016	15.6%	18.2%
2005~2016	16.2%	18.6%
2006~2016	16.9%	10.2%
2007~2016	17.0%	10.0%

資料來源：本研究整理

外，由於本研究的資料源自於能源統計手冊，其裝置容量的統計並非月平均裝置容量，故其亦會造成容量因數的波動。

為考量機組老化帶來的影響，本研究所使用的發電量預測方程式將納入效能遞減率的影響，故在評估2025年的發電量不確定性時可忽略效能遞減率的影響，故太陽能發電量的標準差可表示如下：

$$\sigma(E_{\text{solar}, 2025}) = \sqrt{\sigma_{\text{weather}}^2 + \sigma_{\text{nonweather}}^2 + 2\rho \sigma_{\text{weather}} \sigma_{\text{nonweather}}} \quad (4)$$

其中，發電量的不確定性將源於日射量所導致的不確定性 σ_{weather} 及其他因素所導致的不確定性 $\sigma_{\text{nonweather}}$ ， ρ 為兩不確定性來源之相關係數，本研究假設其為無相關，故其值為0。

若以各縣市逐年累積全天空日射量變異係數平均值7.5%來評估，目前太陽光電的總不確定性以2002年至2007年為起始年度至2016年的平均值15.9%來預估，由於其他因素所導致的不確定性約為14.0%，其值約為逐年累積全天空日射量變異係數平均值的1.87倍。然從目前的數據來看，僅有源於日射量所導致的不確定性能夠進行預測，其餘的數值有所困難，故本研究將假設數個可能情境，來進行太陽能發電量總不確定性的評估，並假設方程式4可以表示為：

$$\sigma(E_{\text{solar}, 2025}) = \alpha \sigma_{\text{weather}} \quad (5)$$

其中 α 為發電量不確定性的調整係數，依據不同的假設將呈現不同的數值，其假設如下：

1. 源於日射量所導致的不確定性主導太陽能發電量總不確定性，其他因素所導致的不確定性假設為0%，其發電量不確定性的調整係數 α 為1。
2. 其他因素所導致的不確定性於2025年將有明顯降低，其值約與日射量所導致的不確定性相當，故其太陽能發電量的標準差為1.414 σ_{weather} ，其發電量不確定性的調整係數 α 為1.414。
3. 其他因素所導致的不確定性於2025年並無明

顯降低，其仍約為日射量所導致的不確定性的1.87倍，故其太陽能發電量的標準差為 $2.118\sigma_{\text{weather}}$ ，其發電量不確定性的調整係數 α 為2.118。

而源於日射量所導致的不確定性 σ_{weather} ($E_{\text{solar}, 2025}$)可進一步表示為：

$$\sigma_{\text{weather}}(E_{\text{solar}, 2025}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j \quad (6)$$

其中， σ_i 及 σ_j 為個別太陽能電廠的年發電量標準差， ρ_{ij} 為兩太陽能電廠間年發電量之相關係數，而為簡化問題，本研究將各縣市之太陽光電視為一電廠，進而進行發電量標準差的評估。因此，於方程式(6)可以看到，欲要進行太陽能總發電量標準差的評估，需先得知個別太陽能電廠年發電量間的相關係數及個別太陽能發電廠的年發電量標準差，以下將分別探討。

1. 太陽能電廠年發電量間的相關係數

太陽能電廠年發電量間的相關係數有兩種取得之途徑，分別可由實際天氣數據及實績發電量進行相關性的分析。如方程式(1)及(3)所示，太陽能廠發電量的評估主要透過逐年累積全天空日射量的數據進行評估，因此，各區域間逐年累積全天空日射量的相關性將會對於太陽能發電量標準差的評估有重要的影響，目前全臺29個一級氣象觀測站至2004年至2016年間，其逐年累積全天空日射量的相關性約有七成的數值呈現正相關，平均的相關係數值約為0.3，故從數據上可以發現，全臺各地的日照量間的相關性雖為正相關，但其相關程度有限。

另分析臺灣電力公司所建置之中火、金門、興達、民雄、永安鹽灘、中部儲運、新伯公、澎湖、路北、卓蘭、中大、核三廠、大潭、七美、后里及龍井共16個太陽能電廠的數據(台灣電力公司，2017)，其太陽光電數據的時間範圍如下：中火為2008年至2015年；金門、興達、民雄為2010年至2015年；永安鹽灘、中部儲運、新伯公、澎湖為2011年至2015年；路北、卓蘭、中大、核三廠、大潭、七美

為2012年至2015年；后里及龍井為2013年至2015年。其中，各電廠間太陽光電發電量的相關性約有八成五的數據呈現正相關，平均的相關係數值約為0.5至0.6。故從數據上可以發現，實績的發電量的相關性當為正相關，且其相關性亦高。

從以上資料分析可以發現，若從逐年累積全天空日射量的資料來看，臺灣各縣市的逐年累積全天空日射量間為低度相關，但若探討台電近年的實績運維資料，其各電廠的發電量相關性為中度相關。而從方程式(6)可以知道，當兩太陽能電廠的相關係數越高時，其總發電量的標準差越高，故本研究經研擬後決議，將分別探討三種情況如下：

(1) 完全正相關($\rho_{ij} = 1$)

(2) 中度正相關($\rho_{ij} = 0.5$)

(3) 低度正相關($\rho_{ij} = 0.3$)

2. 個別太陽能發電廠的年發電量標準差

同樣的，太陽能電廠年發電量間的標準差也有兩種取得之途徑，分別可由實際天氣數據模擬或實績發電量進行年發電量標準差的分析。

然而，若欲使用台電實績發電量的數據，臺灣本島僅桃園、苗栗、臺中、嘉義、高雄及屏東有太陽能電廠的實績數據資料，且其資料的範圍僅有近3至8年不等，因此，由於數據資料較少，且分布區域較少，其資料較難以進行全臺太陽能廠年發電量之模擬分析。基於以上考量，本研究將以逐年累積全天空日射量的實際天氣數據，進行年發電量標準差的分析。

2.4 效能遞減率(模組年固定衰退率)

一般而言，進行太陽能財務分析的模型，大都將每年的發電效率遞減設定為0.7%至1%之間，這也是目前市面上品質較優之太陽能板的效能遞減率。但是，根據元晶廖董事長國榮於2016太陽能與儲能科技應用論壇暨期末成果展所述，從營運績效顯示，部分品質較差之模組，其實績模組效能遞減率高達3%至5%，其

不但嚴重影響了電廠的投資報酬，亦會對於太陽光電的預期發電量產生巨大的衝擊，進而加劇電力規劃之風險，而當太陽光電在發電量所占比率較高時，該資訊在電力規劃的重要性不言而喻。

因此，為進行太陽光電年發電量的評估，本研究預計探討不同發電效率遞減的情況下，對於太陽光電年發電量的影響，將分別探討三種情況如下：

1. 高效能：發電效率遞減為0.7%
2. 中低效能：發電效率遞減為3.0%
3. 低效能：發電效率遞減為5.0%

2.5 太陽光電模組裝設面積分析

我國政府規劃於2025年完成20 GW太陽能板的裝設，其中3 GW為屋頂型太陽光電，另17 GW為地面型太陽光電。根據經濟部能源局的陽光屋頂百萬座網站資料顯示⁶，一般而言，每1 kW屋頂型太陽光電模組所需裝設面積約為10平方公尺，若屋頂是斜的，所需的面積則為7至8平方公尺；而根據經濟部能源局所提出之太陽光電2年推動計畫資料顯示，經濟部能源局盤點可設置地面型太陽光電土地包含：鹽業用地排除濕地後有803公頃，具535 MW的設置潛能、掩埋場及已受汙染土地共有1,633.8公頃，具1,755 MW的設置潛能、農委會開放嚴重地層下陷不利耕作18區共1,253公頃，具835 MW設置潛能、高鐵沿線雲彰地區嚴重地層下陷不利耕作區1,266公頃，具844 MW潛能、水域設施(包含水庫、滯洪池、埤塘)約2,721公頃，潛能約1,814 MW，以上資料顯示，經濟部能源局所估算之1 kW地面型太陽光電所需裝設面積為15平方公尺；實際上，1 kW太陽能板的模組面積約為10平方公尺，實際尺寸則看其效能優劣而略有不同，地面型太陽能板之間通常會有一段間隙，其主要是為了降低太陽能板間的遮蔭效應，同時考量各項成本及投資報酬後，所進行的最佳設置規劃。

由於本研究的成果主要是希望透過太陽光電年發電量的評估，協助政府更好的達成其政策目標，因此，考量各方資訊後，本研究依據經濟部能源局的資料，將1 kW屋頂型太陽光電模組所需裝設面積假設為10平方公尺，1 kW地面型太陽光電裝設面積則假設為15平方公尺，以進行後續的分析。

2.6 太陽光電廠土地來源分析

我國政府規劃於2025年完成20 GW太陽能板的裝設，其中3 GW為屋頂型太陽光電，另17 GW為地面型太陽光電。若將1 kW屋頂型太陽光電模組所需裝設面積假設為10平方公尺，1 kW地面型太陽光電所需裝設面積假設為15平方公尺，則需30平方公里的屋頂面積及255平方公里的土地面積以用於建設太陽能電廠。如此龐大的土地面積，在地狹人稠的臺灣並不易輕易獲得，因此，無論是政府機關、國內各大研究機構及太陽光電廠商，均提出了各種獲得土地的方案(馬維揚等，2014、陳家榮，2015、洪慧芬，2016、韓佳佑，2016、工業技術研究院，2014)，望能協助政府順利的推動其綠能政策，然而，短時間內要找齊合適的土地是相當有難度的。

本研究整理相關研究報告所提可能使用之太陽光電用地來源，排除無法取得統計資料之用地，初步篩選出本研究擬彙整之用地，包含屋頂型用地(中央公有屋頂、工廠屋頂、其他屋頂)，地面型用地：地層持續下陷區域、受汙染土地、農業用地(含長期休耕地)、魚塢、鹽業用地、水庫、埤塘、滯洪池、掩埋場、交通用地(國道、臺鐵、高鐵)、閒置漁港，另加入閒置機場。相關用地擬依能源局屋頂型及地面型分類，彙整各縣市別可供使用之太陽光電用地面積。而為進行太陽光電未來年發電量的預估，以下將分項討論屋頂型太陽光電及地面型太陽光電的土地來源。

1. 屋頂型太陽光電土地來源分析

⁶陽光屋頂百萬座網站 <http://mrpv.org.tw/page/f80b9aa7>

馬維揚等(2014)提出，由於鋼筋混凝土建築物之平均使用年限為50年，太陽光電系統目前的保固期限多為25年，後續將可能調整至30年，故若建置太陽能板的建築物本身較為古老，其投資報酬率將會較差，因此，本研究評估可用於建置屋頂型太陽光電廠的最大可能屋頂為20年內新建案屋頂面積，雖然未來將會有新的建案陸續提出，然而屋齡較老的屋頂亦

會退出該統計的數值，故本研究假設其增加與減少的數量相差不遠，以進行後續的評估。根據營建署民國104年營建統計年報資料顯示，臺灣20年內新建案屋頂面積如表7所示，而依據能源局太陽光電二年推動計畫資料顯示，在臺灣可建構屋頂型太陽能板的地點中，主要可分類為公有屋頂、工廠屋頂、農業設施屋頂及包含住宅和商用等其他屋頂四個大類，其中又以公

表7 屋頂型太陽光電土地來源之潛力評估

	推估20年內新建公有機關屋頂面積(km ²)	推估20年內新建公有機關屋頂裝設潛力(km ²)	20年內新建案屋頂面積(km ²)	20年內新建案屋頂裝設潛力(km ²)
基隆市	0.0285	0.0142	1.13	0.29
臺北市	0.0629	0.0315	5.09	1.29
新北市	0.0223	0.0111	10.43	2.61
桃園市	0.1883	0.0942	20.46	5.16
新竹縣	0.0578	0.0289	5.75	1.45
新竹市	0.0070	0.0035	2.48	0.62
苗栗縣	0.0209	0.0104	5.24	1.32
臺中市	0.1372	0.0686	20.92	5.26
彰化縣	0.4461	0.2230	9.14	2.40
南投縣	0.0870	0.0435	3.86	0.99
雲林縣	0.0696	0.0348	13.50	3.39
嘉義縣	0.1454	0.0727	8.37	2.13
嘉義市	0.0632	0.0316	1.84	0.48
臺南市	0.3335	0.1667	18.08	4.60
高雄市	0.6144	0.3072	17.51	4.53
屏東縣	0.0872	0.0436	7.36	1.86
臺東縣	0.0473	0.0236	1.92	0.49
花蓮縣	0.0403	0.0202	4.36	1.10
宜蘭縣	0.0484	0.0242	4.30	1.09
澎湖縣	0.0096	0.0048	0.94	0.24
金門縣	0.0157	0.0078	0.12	0.03 (修訂為0.05)*
連江縣	0.0129	0.0064	0.03	0.01
總計	2.5455	1.2725	162.83	41.34

註1：本研究利用20年內新建案屋頂裝設潛力作為屋頂型太陽光電潛力之評估，然而，金門縣屋頂型太陽光電的潛力根據該評估方式將小於其目前所裝設之屋頂型太陽光電裝置量，因此，本研究根據2016年金門縣既有屋頂型太陽光電版的裝置量作為其20年內新建案屋頂裝設潛力。

註2：本研究中，20年內新建案屋頂面積乃是根據營建署核發建物使用執照資料中彙整而得，然由於其中並無公有機關於各縣市屋頂面積的詳細資料，因此，本研究透過分析營建署104年統計年報中，公有機關用地(機關用地、郵政、電信用地)佔目前都市計畫「公有設施及特定專用區等」項目中面積的比例，並假設新建案中公有機關屋頂面積於營建署核發建物使用執照資料相應的「其他」項目中將維持該比例進行估算，據以推估20年內新建案屋頂面積中公有機關屋頂面積。

資料來源：本研究整理

有屋頂由於為中央政府所持有，故本研究認為其在屋頂取得的難度相對較低，特別是機關用地、電力用地、郵政及電信用地等項目，如表7所示，20年內新建公有機關屋頂(僅包含機關用地、電力用地、郵政及電信用地)共有2.5平方公里的面積，實際上，因營建署統計年報的縣市建築執照並未統計公有機關建築面積，故本研究透過縣市建築執照之其他區地面層面積與公有機關比例的乘積進行估算。

然而，一般住宅的屋頂上尚有女兒牆、逃生設施、水塔等設施，而工廠尚需考量通風設備的安裝，且安裝太陽能設備時須考量周圍環境所導致的遮蔭效應，故一般在估算能夠安裝太陽能板的屋頂面積時，會將原始的面積大小乘上一個使用的比率，本研究所使用的使用比率為50%。此外，在推廣太陽能設施時，亦並非所有的住戶均願意安裝，因此，在評估時尚會透過假設一普及率，據此評估最大可能的裝設面積，本研究假設裝設太陽能板的屋頂的普及率為50%，然普及率通常是在推廣時可能遭遇屋頂所有人有其他的規劃或想法導致不願安裝太陽能設施所導致，而公有機關屋頂的所有權歸政府機構所有，故其不會遭遇到此情境，故假設公有機關的普及率為100%，因此，如表7所示，可發現我國具有41.34平方公里的太陽能屋頂的裝設潛力，若以每kW太陽能設施需10平方公尺的屋頂面積預估，最多將可安裝約4.1 GW的屋頂型太陽能板。

2. 地面型太陽光電土地來源分析

本研究彙整過去研究者的文獻資料，蒐集國內相關單位最新的土地盤點資訊，並結合能源局公告的相關資料，盤點地面型太陽光電可用土地如表8。本研究所盤點的土地包含農業用地(長期耕作地、長期休閒地及陸上盜濫採土石坑洞善後處理計畫列管地)、地層下陷地區、汙染土地、掩埋場、鹽業用地、休養中內陸養殖地、水域空間(水庫、內陸養殖地、滯洪池、蓄水池)、交通用地(國道、臺鐵、高鐵及閒置用地)等。然而，本研究依據過去研究者的文獻

資料，所探討之交通用地主要為包含國道、臺鐵、高鐵等交通用地的延伸，然而交通用地延伸將會受到鄰近的地形及建築的限制，如東半部的交通用地通常鄰近山地，而西半部則鄰近住宅，其要延伸在交通用地的周圍興建太陽光電廠將有所限制，而高架化的交通用地在延伸上則更加困難。另外，鑒於社會輿論對於農地上建構太陽能存有疑慮，其主要肇因於我國糧食自給率不高，且考量長期耕作地的機會成本所導致，故研究於表9進行地面型太陽光電土地來源潛力評估時，將長期耕作地及包含國道、臺鐵、高鐵等交通用地單獨列出，可提供政府做為長期太陽光電開發的潛力評估參考，例如長期可針對長期閒置休耕地做適度開放，在不妨害作物生長情形下，於農地上架設覆蓋率20%的太陽能板，此部分可先請農委會農試所建立示範農場試行後，再研擬開放農業耕作用地。

於表9進行地面型太陽光電土地來源潛力評估時，可以發現其中部分土地來源其所有權歸屬於政府，其在能源局所提出之太陽光電2年推動計畫的資料中也可以看到，能源局在評估時普及率均設定為100%，故本研究延續其假設，在附表3的鹽業用地、水庫、滯洪池、蓄水池及掩埋場等國有土地，其普及率均設定為100%，其餘土地的普及率則設定為50%，長期耕作地由於考量前述因素，設定結合農業的使用率為20%，並據此評估最大可能的裝設面積，其結果如表9所示。結合先前所假設之1 kW地面型太陽光電所需裝設面積為15平方公尺，可評估地面型太陽光電潛力為26.43 GW，其當可滿足17 GW地面型太陽光電板之土地需求。

另外，根據能源局所提出之太陽光電2年推動計畫，其主要盤點地面型太陽光電土地來源包含鹽業用地、掩埋場、汙染土地、嚴重地層下陷區、水庫、滯洪池、埤塘共5.783 GW的潛力，然而，根據本研究與國內各政府機關的接觸與了解，原規劃部分土地的可供太陽光

表8 地面型太陽光電可用土地盤點表(單位：km²)

用地名稱 縣市別	農業用地 (長期耕作地)	農業用地 (長期休閒地)	陸上盜採土石坑洞善後處理計畫列管國有農業用地	嚴重地層下陷地區不利耕作得設置綠能設施範圍	汙染土地	掩埋場	鹽業用地 (能源局規劃)	水產養殖用地(內陸養殖休養)	水庫面積	水產養殖用地(內陸養殖)	滯洪池面積	埤塘、池、溜等蓄水池	交通用地 (國道)	交通用地 (台鐵)	交通用地 (高鐵)	閒置交通用地
基隆市	0.34	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.10	0.68	0.00	0.00
台北市	2.78	0.52	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.24	0.00	0.44	0.00
新北市	12.65	76.78	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.51	0.03	0.00	0.17	0.55	2.56	0.43	0.00
桃園市	6.53	29.48	0.00	0.00	0.00	1.23	0.07	0.00	0.43	5.37	0.00	0.58	0.57	1.32	1.70	0.00
新竹縣	9.47	14.70	0.00	0.00	0.00	0.04	0.06	0.00	0.16	1.48	0.00	0.18	0.28	1.64	1.05	0.00
新竹市	0.38	1.31	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.11	0.00	0.02	0.10	0.92	0.05	0.00
苗栗縣	18.35	24.27	0.00	0.00	0.00	0.29	0.01	0.00	0.39	0.16	0.00	0.33	0.54	3.54	2.00	0.00
台中市	44.34	18.87	0.01	0.00	0.00	0.22	0.04	0.00	0.25	0.14	0.00	0.11	0.53	3.20	1.39	0.00
彰化縣	29.89	23.70	0.00	0.28	0.50	1.47	0.05	0.00	0.00	9.54	0.00	0.24	0.33	2.05	1.72	0.00
南投縣	75.18	62.74	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.61	0.02	0.00	0.06	0.38	0.94	0.00	0.00
雲林縣	29.95	13.84	0.00	20.98	6.18	0.42	0.20	0.00	0.00	20.83	0.66	0.29	0.27	1.11	1.26	0.00
嘉義縣	62.30	2.89	0.00	0.00	0.84	0.83	0.02	3.66	1.03	28.52	2.04	0.19	0.26	0.90	0.90	0.00
嘉義市	1.21	0.85	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.30	0.00	0.00
台南市	62.94	58.73	0.00	0.00	0.00	0.45	0.45	4.37	0.94	54.63	0.09	1.10	0.78	2.89	2.40	0.00
高雄市	42.63	9.44	0.00	0.00	0.00	3.92	0.01	0.00	0.29	18.43	0.09	0.30	0.48	2.08	1.21	0.06
屏東縣	74.28	10.27	0.06	0.00	0.00	0.23	0.05	0.00	0.13	14.42	0.06	0.20	0.29	2.61	0.00	1.19
台東縣	28.20	69.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.05	0.00	3.42	0.00	0.00
花蓮縣	21.52	14.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.45	3.43	0.00	0.12	0.00	5.46	0.00	0.00
宜蘭縣	5.57	24.13	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.60	1.77	0.00	0.13	0.16	2.78	0.00	0.00
澎湖縣	0.99	42.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
金門縣	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	24.50	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
連江縣	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
本島總計	528.52	458.22	0.07	21.26	7.52	10.00	1.31	8.03	4.82	159.11	2.95	4.11	5.88	38.41	14.55	1.25

資料來源：本研究整理

表9 地面型太陽光電土地來源之潛力評估

	能源局既有規劃(km ²)	地面型太陽光電潛力(km ²)	長期耕作地(km ²)	交通用地(km ²)
基隆市	0.17	0.69	0.034	0.39
臺北市	0.05	0.31	0.278	0.34
新北市	1.06	39.46	1.265	1.77
桃園市	1.70	21.06	0.653	1.79
新竹縣	0.43	8.51	0.947	1.49
新竹市	0.09	0.83	0.038	0.53
苗栗縣	0.87	13.08	1.835	3.04
臺中市	0.51	10.02	4.434	2.56
彰化縣	1.28	19.18	2.989	2.05
南投縣	0.70	32.09	7.518	0.66
雲林縣	4.45	33.74	2.995	1.32
嘉義縣	7.78	24.11	6.230	1.04
嘉義市	0.05	0.48	0.121	0.17
臺南市	7.17	70.37	6.294	3.04
高雄市	2.66	17.28	4.263	1.89
屏東縣	0.56	13.54	7.428	1.45
臺東縣	0.05	35.17	2.820	1.71
花蓮縣	0.20	9.47	2.152	2.73
宜蘭縣	0.20	13.45	0.557	1.47
澎湖縣	0.04	21.18	0.099	0.00
金門縣	0.10	12.35	0.000	0.00
連江縣	0.01	0.01	0.000	0.00
總計	30.13	396.39	52.95	29.42

資料來源：本研究整理

電板架設的面積已經調整，如已公告不利耕地層下陷區、受汙染土地綠能設施面積限制，採農委會公告修法草案，最高面積擬修改為不超過原土地面積60%，且高鐵沿線雲彰地區嚴重地層下陷不利耕作區亦不列入規劃範圍。另外，汙染土地及嚴重地層下陷區並非國有，本研究採用普及率的假設為50%，因此，經盤點後，實際目前的規劃當只有2.01GW的設置土地潛力。

2.7 太陽光電發電量預測模型建構

太陽光電於2025年的總發電量可表示為：

$$E_{\text{solar}, 2025} = \sum_{\text{location}} \sum_{\text{year}} \left[P_{\text{solar plant location, year}} \times \frac{ESH_{\text{location}}}{24} \times 24 \times 365 \div 100000 \times (1 - F_{\text{loss}}) \right] \times \eta_{\text{loss}}^{2025-\text{year}} \quad (7)$$

其中，相關參數詳述如下：

$E_{\text{solar}, 2025}$ ：太陽光電於2025年的總發電量，單位是億度電。

$P_{\text{solar plant location, year}}$ ：太陽光電廠的新增裝置容量，單位為MW，下標solar plant location為太陽光電廠的建造地點，本研究共區分基隆市、臺北市、新北市、桃園市、新竹縣、新竹市、苗栗縣、臺中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義縣、嘉義市、臺南市、高雄市、屏東縣、臺東縣、花蓮縣、宜蘭縣、澎湖縣、金門縣、連江縣等22個區域，下標year為該區域太陽光電廠完成建置的年度，其中下標2016年為我國至2016年已完成建置之所有太陽能電廠裝置容量，2017年至2025年則為該年度完成建置之所有太陽能電廠裝置容量。此外，本研究假設所有的太陽能電廠均為當年1月1日完成建造並商

轉發電。

$ESH_{location}$ ：等效日照小時，單位為小時，下標 $location$ 為太陽光電廠的建造地點，區域同 P_{solar} $plant\ location, year$ 。

η_{loss} ：太陽能電廠的效能遞減率。

F_{loss} ：整體的影響與損失係數。

本研究利用線性規劃的分析方法，探討在各種情境模擬假設下，最大化太陽光電發電量的布建策略，以下詳述本研究進行太陽光電發電量預測的變數、初始條件、限制條件(邊界條件)及目標式：

1. 模型變數

如方程式(7)所示，2017年至2025年新完成建置之所有太陽能電廠裝置容量為本研究主要分析之變數，其中22個縣市及9個年度，共198個變數。

2. 目標式

本研究的成果主要希望能夠協助政府更好的訂定其能源策略，而我國目前主要的能源政策目標為2025年再生能源發電量達20%以上，因此，在模型建構中，一個可能的目標式為最大化2025年太陽光電廠的發電量期望值，其數學式表示如下：

$$\max E_{solar, 2025} \quad (8)$$

然若是從更為宏觀的角度來看，為了更好的抑制二氧化碳的排放，另一個可能的目標式則為最大化整體太陽光電廠的發電量期望值，其數學式表示如下：

$$\max \sum_{year}^{2016 \sim 2025} E_{solar, year} \quad (9)$$

3. 條件及相關參數設定

(1) 各地區逐年全天空日射量或太陽光電發電量間的相關程度

如先前所述，將有(a)完全正相關、(b)中度正相關($\rho_{ij} = 0.5$)、(c)低度正相關($\rho_{ij} = 0.3$)三種，將視情境的設定及欲討論的議題挑選。

(2) 效能遞減率(模組年固定衰退率)

如先前所述，將有(a)高效能：發電效率

遞減為0.7%、(b)中低效能：發電效率遞減為3.0%、(c)低效能：發電效率遞減為5.0%三種，同樣將視情境的設定及欲討論的議題挑選。

(3) 裝置量及發電量的初始值

根據能源統計年報的資料顯示，至2016年為止，我國太陽能總裝置容量為1,210.31 MW，其當(2016)年度的發電量為11.322億度，相關資料一般由能源局能源資訊與統計科負責彙整，然而根據本研究與能源局能源資訊與統計科的接觸，其並無具體各縣市逐年太陽光電設備的裝置量及發電量之資料。能源局再生能源發電設備認定及查核辦公室雖有逐年太陽光電設備的裝置量的資料，然其資訊僅針對第三型再生能源發電設備做申請審查及認定，其核定的資料內容包含第三型太陽光電躉售及非躉售部分，然而其資料並不包含第一型及第二型併聯之太陽光電設備的資訊，故其太陽能總裝置容量相較於統計手冊為少，至2016年為止，第三型太陽光電設備總裝置量為914.59 MW。而台電的統計年報資料，則將太陽光電廠分為台電自家經營的發電廠及民營發電廠，其中民營發電廠謹記載總裝置量及總發電量，因此並無法得知各縣市之資料，另外，台電統計的資料並不包含第三型太陽光電非躉售部分，因此，其與能源局統計的資料尚有部分落差。

此外，即使能夠獲得各縣市逐年太陽光電廠的裝置量及發電量之資料，其勢必與透過逐年全天空日射量的評估值有所落差，屆時勢必會面臨需要假設其發電量與變異程度之間的關係，畢竟太陽光電實際營運的年限均不長，難以獲得可靠的分析數據，更遑論目前並無可靠的相關資訊來源。因此，本研究透過等比例的放大第三型太陽光電的數據，假設至2016年為止，太陽光電的裝置容量如表10所示，其屋頂型太陽光電的裝置量為1,148.25 MW，地面型太陽光電的裝置量為62.06 MW，總裝置量為1,210.31 MW，並假設同地區屋頂型及地面型太陽光電的容量因數數值相同，其至2016年為止，屋頂型太陽光電廠在0.7%、3%、5%的效

表10 本研究預估目前太陽光電各縣市裝置容量(單位：MW)

縣市別	屋頂型太陽光電(MW)	地面型太陽光電(MW)
基隆市	0.12	0.00
臺北市	2.29	0.03
新北市	14.19	0.01
桃園市	21.48	0.09
新竹縣	10.26	0.00
新竹市	2.08	0.00
苗栗縣	8.01	0.00
臺中市	41.70	0.01
彰化縣	144.65	0.81
南投縣	25.30	0.00
雲林縣	269.71	5.41
嘉義縣	115.40	2.08
嘉義市	7.19	0.00
臺南市	203.86	2.37
高雄市	129.11	10.34
屏東縣	117.12	39.50
臺東縣	13.50	0.00
花蓮縣	0.52	0.00
宜蘭縣	6.78	0.00
澎湖縣	10.01	1.28
金門縣	4.96	0.12
連江縣	0.03	0.00
總計	1,148.25	62.06

資料來源：本研究整理

能遞減率下，其發電量將為9.99、8.09、6.70億度，其標準差將為1.56、1.26、1.05億度，地面型太陽光電廠在0.7%、3%、5%的效能遞減率下，其發電量將為0.54、0.44、0.36億度，其標準差將為0.08、0.07、0.06億度。此外，也由於實績的發電量勢必與透過逐年全天空日射量的評估值有所落差，故在進行不確定性計算時亦需要進行修正，故本研究進行太陽能總發電量不確定性時，假設歷史值的數據為一獨立的電廠，而各縣市的太陽光電亦分別視為獨立的電廠，利用方程式(6)進行太陽能總發電量不確定性運算。

(4) 發電量不確定性的調整係數

如先前所述，將有(a) 1、(b) 1.414、(c)

2.118三種數值，同樣將視情境的設定及欲討論的議題挑選。

(5) 土地參數設定：屋頂型太陽能廠

關於屋頂型太陽能廠土地來源的限制，如表7所示，可看到臺灣目前約有4.1 GW的屋頂型太陽能設施裝設潛力，臺灣政府於2025年太陽能發展目標包含了3 GW的屋頂型太陽能版，扣除既有的1,148.25 MW裝置，尚須安裝1,851.73 MW的裝置量。而在本研究中，該項參數將以限制式的方式建置於模型中，其包含了土地來源的下限及上限兩個參數，以下將分段討論。

土地來源的下限有兩種設定的方式，首先，最為簡易的設定為所有的土地來源的下限均設定為0，在此設定下，模型的成果將會呈現最優化的配置，然而，發電效能較差的區域將可能完全沒有太陽能板設置，這將與實際的情況有所落差，另外一種做法是設定各縣市最低的裝置量，而由於目前有部分的屋頂為政府機構所有，其在推動太陽能板建置較為容易，故本研究提出可將其設置為土地來源的下限，不同的設定將於不同的情境中使用。

土地來源的上限設定主要則是依據最大可裝設潛力，如表7所示，我國約有4.1 GW屋頂型太陽能版的裝設潛力，故可將其各區域的面積設置為上限，然而，由於目前已裝設1,148.25 MW屋頂型太陽能裝置，然目前並無可靠資料來用以分辨已安裝太陽能板的屋頂其房子的屋齡，另外考量未來十年內亦將有新建案的屋頂可加入太陽能裝置潛力的範圍，因此，本研究將以表7中20年內新建案屋頂裝設潛力的資料，作為土地來源上限的設定值。

(6) 土地參數設定：地面型太陽能廠

關於地面型太陽能廠土地來源的限制，如表9所示，可看到臺灣目前有26.43 GW的地面型太陽能設施裝設潛力，臺灣政府於2025年太陽能發展目標包含了17 GW的地面型太陽能版，沿用先前的假設，可估計目前地面型太陽光電的裝置量僅62.06 MW，相較於17 GW的裝

置目標相差甚遠。而在本研究中，該項參數將以限制式的方式建置於模型中，同樣包含了土地來源的下限及上限兩個參數，以下將分段討論。

與屋頂型太陽光電的設定相同，土地來源的下限亦有兩種設定的方式，簡易的設定為所有的土地來源的下限均設定為0，另外一種做法是設定各縣市最低的裝置量，而由於目前能源局已規劃太陽光電2年推動計畫，已經規劃確定要推行的部分，故可將其設置為土地來源的下限，不同的設定將於不同的情境中使用。

土地來源的上限設定主要則是依據最大可裝設潛力，如表9所示，不包含長期耕作地及交通用地時，本研究估計可用於興建地面型太陽光電的潛在土地為396.38 km²，其裝設潛力為26.43 GW；若包含長期耕作地及交通用地，用於興建地面型太陽光電的潛在土地為478.77 km²，其裝設潛力為31.92 GW，若使用較大的土地潛力時，為達到目標式的結果，將可預期會更多的使用日射量較佳區域的土地，其分析結果將會較為樂觀，不同的設定將於不同的情境中使用。

(7) 各年度裝置量限制

在本研究所使用之太陽光電發電量評估模型中，各年度的太陽光電裝置量將以限制式的方式呈現，各年度中，太陽光電裝置量需等於當年度該情境的安裝量，而不同的政策背景下，可能會有不同的達成過程。

目前政府雖已推出2020年及2025年太陽光

電的發展目標，然其官方資訊並未展現其逐年的目標，而在2016年中時，能源局於民國106年度6月綱要計畫審查會議所進行之簡報資料顯示，其當時規劃太陽光電的逐年目標如表11所示，本研究則依據太陽光電2年推動計畫並結合政府先屋頂後地面的政策規劃，假設屋頂型及地面型的逐年設置目標。可以發現其推行策略除了前兩年較少外，於2017年至2025年每年將穩定地建置2.2 GW的太陽光電，以達成2025年20 GW太陽光電的發展目標，在此，本研究命名該策略執行目標為「穩健推廣」，以利後續的利用與描述。

而於2016年9月經濟部能源局所提出之太陽光電2年推動計畫時，其2020年的太陽光電發展目標降低為6.5 GW，其中民國105年7月至民國107年6月的目標為新設910 MW的屋頂型太陽光電及610 MW的地面型太陽光電，然並未提供逐年裝置量的目標。根據能源統計月報的資料顯示，目前於2016年下半年度已新增368 MW的太陽光電廠，距離2年目標尚有1,152 MW，假設2017年初至2018年中平均的裝設太陽光電廠，故2017年預估將裝設768 MW，2018年上半年則裝設384 MW，而2018年下半年度至2,020年則亦假設平均安裝至6.5 GW，而2020年至2025年亦假設平均安裝至20 GW，其詳細的逐年安裝目標如表12所示，整體而言，可以發現於2015年至2020年的裝置量低於2020年至2025年的裝置量，故於本研究命名該策略執行目標為「先緩後快」，以利後續的利用與

表11 「穩健推廣」的太陽光電逐年裝置量

年度	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
裝置容量(MW)	1,210*	2,042	4,287	6,532	8,776	11,021	13,266	15,511	17,755	20,000
當年增加量(MW)		832	2,245	2,245	2,244	2,245	2,245	2,245	2,244	2,245
屋頂型增量(MW)	1,148	455	465	466	466	0	0	0	0	0
地面型增量(MW)	62	377	1,779	1,779	1,778	2,245	2,245	2,245	2,244	2,245
發電量(億度)	17	26	54	82	110	138	166	194	222	250

資料來源：20160615 NEP-II 106年度綱要計畫審查會議 各部會簡報檔，<https://goo.gl/XmiYC9>

*能源局原先的規劃目標為1,342 MW，然而2016年實際裝設量為1,210.31 MW，故修訂之。

資料來源：本研究整理

表12 「先緩後快」策略的太陽光電逐年裝置量

年度	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
裝置容量(MW)	1,210	1,978	3,190	4,845	6,500	9,200	11,900	14,600	17,300	20,000
當年增加量(MW)		768	1,212	1,655	1,655	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700
屋頂型增量(MW)	1,148	455	466	466	466	0	0	0	0	0
地面型增量(MW)	62	313	746	1,189	1,189	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700
發電量(億度)	17	26	54	82	110	138	166	194	222	250

資料來源：本研究整理

描述。

3. 情境結果分析與討論

2.8 太陽光電模型情境建構

由於不同的參數設定將會產生不同的分析結果，因此，本研究預計規劃包含樂觀情境、擬真情境及悲觀情境三種不同的情境如表13所示，並與歷史值的分析進行比較，分別探討根據歷史值、極端及貼近現實的可能分析結果，再透過敏感度分析，探討各個變數對於分析成果的影響。

透過線性規劃的數學方法，以最大化2025年太陽光電發電量或最大化2016年至2025年太陽光電發電量為目標式，進行各情境分析後，其分析結果如表14及圖1所示，可以看到當太陽光電的裝設量為20 GW時，在不同情境參數的設定下，其發電量的期望值差異甚大，若以固定容量因數進行估算的結果，其與樂觀情境的發電量期望值較為接近；若以歷史情境進行評估，其發電量的期望值與悲觀情境較為接近；

表13 各情境相關參數設定表

	樂觀情境	擬真情境	悲觀情境
η_{loss} (效能遞減率)	0.7%	3%	5%
F_{loss} (整體的影響與損失係數)	15%	20%	25%
目標式	$\max E_{solar, 2025}$	$\max \sum_{year}^{2016 \sim 2025} E_{solar, year}$	$\max \sum_{year}^{2016 \sim 2025} E_{solar, year}$
各區全天空日射量的相關程度	低度正相關	中度正相關	完全正相關
發電量不確定性的調整係數 α	1	1.414	2.118
各縣市屋頂型太陽能電廠土地來源下限	0	推估20年內新建公有機關屋頂面積	推估20年內新建公有機關屋頂面積
各縣市屋頂型太陽能電廠土地來源上限	20年內新建案屋頂面積	20年內新建案屋頂面積	20年內新建案屋頂面積
各縣市地面型太陽能電廠土地來源下限	0	能源局既有規劃(本研究更新)	能源局既有規劃(本研究更新)
各縣市地面型太陽能電廠土地來源上限	地面型太陽光電潛力、長期耕作地及交通用地總和	地面型太陽光電潛力	地面型太陽光電潛力
各年度裝置量策略	先緩後快	先緩後快	穩健推廣

資料來源：本研究整理

表14 各情境太陽光電發電機率分布分析結果

	樂觀情境	擬真情境	悲觀情境	歷史情境
2025年太陽光電發電量期望值 (億度電)	251.2	213.1	181.7	185.1
2025年太陽光電發電量標準差 (億度電)	12.3	17.8	31.3	28.9
95.4%信心程度的發電量分布 (億度電)	226.6 ~ 275.8	177.5 ~ 248.7	119.2 ~ 244.2	127.5 ~ 243.1
2016至2025太陽光電總發電量 (億度電)	1,133.4	1,022.9	997.8	840.4 (先緩後快策略)

資料來源：本研究整理

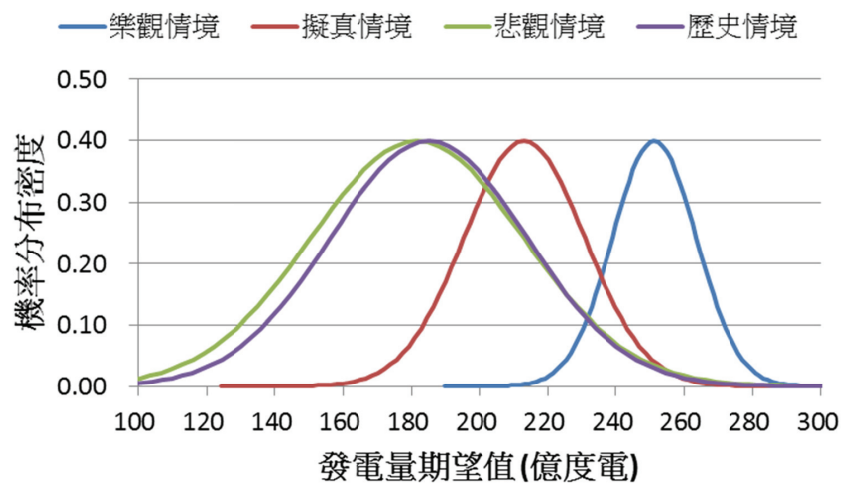


圖1 各情境發電量機率分布

資料來源：本研究整理

擬真情境則盡可能的模擬實際上可能的情况，其發電量的期望值為213.1億度，低於以固定容量因數評估的結果。另外，各縣市不同情境下之容量因數如表15所示，可以發現由於樂觀情境的發電量較多，因此，其容量因數也相對較高，擬真情境次之，悲觀情境的容量因數則相對較低。

若考量太陽光電發電量的標準差，可以發現樂觀情境的數值相對較低，這是由於模型假設其不確定性主要源自於日射量的波動，在過去，使用的太陽光電板的技術相對較不成熟，且安裝廠商的在地經驗相對不足，因此，部分在地化的影響在裝設之初並未考量到，然而，近年由於裝設後實際遇到的問題進而累積的經驗，許多相關的性能測試亦陸續訂定合適的評

估標準，如我國能源局於民國102年起辦理「優質太陽光電產品評選活動」，其所設置的「金能獎」，因此，未來可能再生能源發電量的不確定性將可能會有降低。但另一方面，如先前所述，影響太陽光電發電量的因素眾多，且目前我國並無實際的數據可供評估，若其他原因亦導致逐年發電量有較大的改變，將會需要納入考量，若其與日射量所帶來的影響為正相關，本研究所評估的不確定性將有所低估，反之，若其餘不確定性的來源與全天空日射量的相關性為負相關，則有可能進而降低發電量的不確定性。

表16至表18為各情境中逐年於各地區安裝的太陽光電裝置量，比較表15及表16可以發現，容量因數越高的縣市，如雲林縣、嘉義

表15 各縣市不同情境下之容量因數

	樂觀情境	擬真情境	悲觀情境
基隆市	0.102	0.096	0.090
臺北市	0.107	0.101	0.095
新北市	0.114	0.107	0.100
桃園市	0.117	0.110	0.103
新竹縣	0.120	0.113	0.106
新竹市	0.120	0.113	0.106
苗栗縣	0.131	0.123	0.115
臺中市	0.141	0.133	0.125
彰化縣	0.141	0.133	0.125
南投縣	0.117	0.110	0.103
雲林縣	0.150	0.141	0.133
嘉義縣	0.150	0.141	0.133
嘉義市	0.150	0.141	0.133
臺南市	0.151	0.142	0.133
高雄市	0.146	0.137	0.128
屏東縣	0.150	0.141	0.132
臺東縣	0.137	0.129	0.121
花蓮縣	0.117	0.110	0.103
宜蘭縣	0.108	0.102	0.095
澎湖縣	0.124	0.117	0.109
金門縣	0.135	0.127	0.119
連江縣	0.113	0.106	0.100

資料來源：本研究整理

縣、嘉義市及臺南市等，會在較晚的年度進行較大量的太陽光電板安裝，由於本研究設定屋頂型太陽能板於2020年完成所有的裝置目標(表11及表12)，故從表16可發現容量因數越高的縣市，均集中在2020年進行屋頂型太陽能板的安裝，並於接近2025年完成地面型太陽能板的裝設，這主要是因為本研究考量了效能遞減率這個參數，因此，同樣時點安裝的太陽光電板，經過同樣年限後，容量因數較佳的地區，雖發的電量較多，但其整體實際降低的發電量也較多，也因此，進行線性規劃的模擬分析時，為了最大化2025年的發電量，將會建議容量因數越好的地區，應該要越晚安裝太陽光電板，然而，若以廠商投資的角度來看，在同樣的成本考量下，當然是應該優先安裝投資報酬率較佳的區域。

相較之下，比較表15、表17及表18可以發現，雖然本研究考量了效能遞減率這個參數，但由於在擬真情境及悲觀情境的目標式設定為最大化2016年至2025年太陽光電的總發電量，故容量因數越高的縣市，如雲林縣、嘉義縣、嘉義市及臺南市等，將在較早的年度進行較大量的太陽光電板安裝，雖然會降低2025年當年的發電量，但相較之下會增加2016年至2025年太陽光電的總發電量，故從表17及表18可以發現，模型分析的結果顯示，陽光條件較好的區域會優先裝設太陽能板，相較於表16樂觀情境的結果，從投資者的角度來看，這是比較符合現實的情況。然而，實際上，太陽能板的裝設不全然僅考量陽光條件及發電量，尚有其他投資者各自的考量，故不會全然於早期均集中於陽光條件較好的區域，然這也是使用線性規劃模型分析的限制所在，其可透過進一步限制式的設定來進行改善分析結果。

另外，樂觀情境較為不同的地方，則是由於其地面型太陽光電的潛力額外考量了長期耕作地及交通用地，因此，該情境於各縣市能夠安裝太陽光電的量較高，但也因此從表16可以看到，陽光較不充足的區域如基隆市、臺北市、新北市、桃園市、南投縣、宜蘭縣、金門縣及連江縣其均無太陽光電板的安裝。最後，由於目前部分區域並無一級氣象觀測站，因此，如(a)新竹市與新竹縣；(b)臺中市與彰化縣；(c)雲林縣、嘉義縣及嘉義市等，這三個縣市的分別組合中，由於其使用的全天空日射量的數據是一致的，因此，應當被視為同樣的區域，其建設的先後順序當可隨意調動，其將不影響模型分析的結果。

目前政府規劃之太陽光電目標，其裝設20 GW時預期發電量為250億度，而從表14的各情境分析結果可以看到，若針對發電量期望值來看，僅有樂觀情境的發電量期望值略為高於政府太陽光電目標，其餘情境的期望值均低於目標35億度以上，從各情境的設計來看，主要影響發電量期望值的參數為土地來源、效能遞減

表16 樂觀情境各年度太陽光電於各地區新增裝置量(單位：MW)

年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
基隆市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
臺北市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
新北市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
桃園市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
新竹縣	134.7 (134.7)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
新竹市	59.9 (59.9)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
苗栗縣	124.0 (124.0)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
臺中市	18.7 (18.7)	558.2 (465.6)	1041.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
彰化縣	20.8 (20.8)	63.2	74.6 (74.6)	1041.6	509.0	0.0	0.0	0.0	0.0
南投縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
雲林縣	0.0	0.0	0.0	69.3 (69.3)	0.0	2531.6	0.0	0.0	0.0
嘉義縣	0.0	0.0	0.0	97.6 (97.6)	0.0	168.4	1832.8	88.7	0.0
嘉義市	0.0	0.0	0.0	40.8 (40.8)	0.0	0.0	51.4	0.0	0.0
臺南市	0.0	0.0	0.0	256.1 (256.1)	0.0	0.0	0.0	2611.3	2700.0
高雄市	0.0	0.0	323.9 (323.9)	0.0	1551.9	0.0	0.0	0.0	0.0
屏東縣	0.0	0.0	67.1 (67.1)	1.7 (1.7)	639.2	0.0	815.8	0.0	0.0
臺東縣	348.5 (35.5)	885.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
花蓮縣	47.3 (47.3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
宜蘭縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
澎湖縣	14.0 (14.0)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
金門縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
連江縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

註：括號內數值為屋頂型太陽能板的新增裝置量

資料來源：本研究整理

率、整體的影響與損失係數及全天空日射量的相關程度，其中全天空日射量的相關程度乃是客觀的條件，而土地來源、效能遞減率及整體的影響與損失係數是較有機會透過政策的訂定來進行規範，因此，本研究建議後續政府可透過獎勵或加嚴相關規範，來督促廠商選用較佳

的太陽光電產品，並將太陽光電盡量集中架設於陽光較佳的區域，以提升太陽光電發電量的期望值。另一方面，若再提升太陽光電的裝設目標，或者將更多的裝設量集中在後期安裝以降低2025年時的效能遞減，亦可提升達成再生能源發電量目標的可能性。

表17 擬真情境各年度太陽光電於各地區新增裝置量(單位：MW)

年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
基隆市	0.0	0.0	0.0	1.3(1.3)	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3
臺北市	0.0	0.0	0.0	0.9(0.9)	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3
新北市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.7
桃園市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.2
新竹縣	0.0	0.0	0.0	134.7 (134.7)	0.0	0.0	0.0	0.0	28.7
新竹市	0.0	0.0	0.0	59.9 (59.9)	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0
苗栗縣	0.0	0.0	0.0	124.0 (124.0)	0.0	0.0	0.0	0.0	872.0
臺中市	0.0	0.0	434.2 (434.2)	50.1 (50.1)	0.0	0.0	0.0	668.0	0.0
彰化縣	0.0	64.0 (64.0)	31.4 (31.4)	0.0	0.0	0.0	963.0	314.9	0.0
南投縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.7
雲林縣	60.4 (60.4)	8.8 (8.8)	0.0	0.0	1417.0	826.9	0.0	0.0	0.0
嘉義縣	97.6 (97.6)	0.0	0.0	0.0	0.0	1605.3	0.0	0.0	0.0
嘉義市	40.8 (40.8)	0.0	0.0	0.0	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0
臺南市	569.1 (256.1)	1,041.6	1,041.6	1,041.6	1,251.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高雄市	0.0	323.9 (323.9)	0.0	0.0	0.0	0.0	1,141.7	0.0	0.0
屏東縣	0.0	68.9 (68.9)	0.0	0.0	0.0	267.8	595.4	0.0	0.0
臺東縣	0.0	0.0	0.0	35.5 (35.5)	0.0	0.0	0.0	1,717.1	627.5
花蓮縣	0.0	0.0	0.0	44.6 (44.6)	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3
宜蘭縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3
澎湖縣	0.0	0.0	0.0	14.0 (14.0)	0.0	0.0	0.0	0.0	886.7
金門縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5
連江縣	0.0	0.0	0.0	0.6 (0.6)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7

註：括號內數值為屋頂型太陽能板的新增裝置量
資料來源：本研究整理

此外，由於期望值就機率分布而言，可視為50%機率的最低保證發電量，但也可以視為有50%的機率，實際的發電量將小於該值，因此，若政府將其2025年再生能源發電量達20%的目標極為重視，並認為其是一定需要達

到的重要里程碑時，可能需要更保守的評估。若以距離平均值兩個標準差的數值來看，其有97.7%的機率實際太陽光電的發電量將高於該值，然而，若以該數值來看，樂觀情境之值僅226.6億度電，尚低於政策目標23.4億度電，其

表18 悲觀情境各年度太陽光電於各地區新增裝置量(單位：MW)

年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
基隆市	0.0	0.0	0.0	1.3 (1.3)	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3
臺北市	0.0	0.0	0.0	0.9 (0.9)	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3
新北市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.7
桃園市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.2
新竹縣	0.0	0.0	0.0	134.7 (134.7)	0.0	0.0	0.0	0.0	28.7
新竹市	0.0	0.0	0.0	59.9 (59.9)	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0
苗栗縣	0.0	0.0	0.0	124.0 (124.0)	0.0	0.0	0.0	0.0	872.0
臺中市	0.0	0.0	434.2 (434.2)	50.1 (50.1)	0.0	0.0	668.0	0.0	0.0
彰化縣	0.0	64.0 (64.0)	31.4 (31.4)	0.0	0.0	0.0	1206.0	71.9	0.0
南投縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.7
雲林縣	69.3 (69.3)	0.0	0.0	0.0	2243.9	0.0	0.0	0.0	0.0
嘉義縣	88.8 (88.8)	8.8 (8.8)	0.0	994.1	0.0	611.2	0.0	0.0	0.0
嘉義市	40.8 (40.8)	0.0	0.0	30.9	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
臺南市	633.1 (256.1)	1779.0	1779.0	754.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高雄市	0.0	323.9 (323.9)	0.0	0.0	0.0	770.6	371.0	0.0	0.0
屏東縣	0.0	68.9 (68.9)	0.0	0.0	0.0	863.2	0.0	0.0	0.0
臺東縣	0.0	0.0	0.0	35.5 (35.5)	0.0	0.0	0.0	2172.1	172.5
花蓮縣	0.0	0.0	0.0	44.6 (44.6)	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3
宜蘭縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3
澎湖縣	0.0	0.0	0.0	14.0 (14.0)	0.0	0.0	0.0	0.0	886.7
金門縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5
連江縣	0.0	0.0	0.0	0.6 (0.6)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7

註：括號內數值為屋頂型太陽能板的新增裝置量
資料來源：本研究整理

餘情境更低於政策目標70億度電以上。因此，從更保守的評估來看，以20 GW的裝設目標要達到2025年的發電量目標將頗有挑戰。

4. 情境參數敏感度分析

以下將以擬真情境的分析結果為基礎，

探討調整模型參數對於分析結果的影響，以下將分別探討效能遞減率、整體的影響與損失係數、各區全天空日射量的相關程度、土地來源、各年度裝置量策略及不同目標式對於分析結果的影響。

4.1 效能遞減率

本節探討效能遞減率分別為0.7%、1%、3%及5%對於太陽光電發電量的衝擊，如表19所示，可以發現效能遞減率越高的情況下，其無論是2025年發電量的期望值，亦或者2016年至2025年太陽光電總發電量均隨之降低。平均來說，改善1%的效能遞減率，可以提高3.7% (7.9億度電)的2025年發電量，並提高5.2% (52.7億度)的2016年至2025年太陽光電總發電量，而效能遞減率的增加，雖然略為降低發電量的標準差，然其相較於期望值的變化相當有限。在本研究中，主要探討的目標年為2025年，由

於目前政府規劃的太陽能板裝設目標多集中在接近2025年的時期，也因此導致效能遞減率對於發電量期望值結果的衝擊並非十分劇烈，然而，效能遞減率過高將對於長期的發電量及太陽能板成本回收影響甚鉅。整體而言，效能遞減率目前主要是端看選用廠牌的太陽能光電板，其不同的製程水準所導致，政府後續可透過修訂相關的採購辦法，或者推廣相關的政策，以促進廠商使用更優質的太陽能板，並進而提高太陽光電發電量的期望值，然而，須留意的是，更為優質的太陽能板其實際的製作成本亦較高。

4.2 整體的影響與損失係數

本節探討整體的影響與損失係數分別為15%、20%及25%對於太陽光電發電量的衝擊，如表20所示，同樣地，可以發現整體的影響與損失係數越高的情況下，其無論是2025年發電

表19 效能遞減率對於太陽光電發電機率分布分析結果的影響

η_{loss} (效能遞減率)	0.7%	1%	3%	5%
2025年太陽光電發電量期望值 (億度電)	231.4	228.9	213.1	198.6
2025年太陽光電發電量標準差 (億度電)	19.3	19.1	17.8	16.6
95.4%信心程度的發電量分布 (億度電)	192.7 ~ 270.1	190.6 ~ 267.2	177.5 ~ 248.7	165.5 ~ 231.8
2016至2025太陽光電總發電量 (億度電)	1,083.9	1,075.6	1,022.9	973.7

資料來源：本研究整理

表20 整體的影響與損失係數對於太陽光電發電機率分布分析結果的影響

F_{loss} (整體的影響與損失係數)	15%	20%	25%
2025年太陽光電發電量期望值 (億度電)	226.4	213.1	199.8
2025年太陽光電發電量標準差 (億度電)	18.9	17.8	16.7
95.4%信心程度的發電量分布 (億度電)	188.6 ~ 264.2	177.5 ~ 248.7	166.4 ~ 233.1
2016至2025太陽光電總發電量 (億度電)	1,086.8	1,022.9	958.9

資料來源：本研究整理

量的期望值，亦或者2016年至2025年太陽光電總發電量均隨之降低。平均來說，改善5%的整體的影響與損失係數，可以提高6.2% (13.3億度電)的2025年發電量，並提高6.2% (63.9億度)的2016年至2025年太陽光電總發電量，而整體的影響與損失係數的增加，雖然略為降低發電量的標準差，然其相較於期望值的變化相當有限。整體而言，整體的影響與損失係數除了與其本身的製程技術有關外，亦受到電網傳輸過程中的損失所影響，其能夠調整的空間相對應當較小，然而，相較於改善1%的效能遞減率，改善5%之整體的影響與損失係數對於發電量的效益相對較高，後續政府若欲從該兩個參數訂定相關規範時，尚須更深入地進行相關的成本效益分析，並透過政策引導廠商，進而提高太陽光電發電量的期望值。

4.3 各區全天空日射量的相關程度

以下探討不同全天空日射量相關程度的設定值對於分析結果的影響，從表21可以看到，由於本研究中，不確定性並未設定為目標式抑或是限制式，因此，其並不會改變線性規劃的結果，故可以看到在不同的全天空日射量設定值下對於2025年發電量的期望值及2016年至2025年太陽光電總發電量並無影響，然而，相關程度越高的情況下，其發電量的變異程度將相對較高，其主要是由於相關程度較高時，其兩個太陽能電廠實際發電量的曲線越為類同，

因此，其較無法降低發電量的不確定性。從表21可以看到，當相關性的設定不同時，對於太陽光電發電量標準差有明顯的影響，相較於中度正相關，若是低度正相關，約可降低17.4%的標準差，但若是完全正相關，標準差將會上升37.6%。而由於擬真情境之發電量不確定性的調整係數設定為1.414，故若非日射量的不確定性來源影響與本研究預估有所差異時，亦會影響其評估結果。但並非有其他的的不確定性來源就會造成較大的發電量不確定性，其尚須考量不確定來源間的相關性。然整體而言，此部分乃是受限於實際的天氣情況，非人力所能控制，然不確定性將會是政策達成的風險來源，故建議後續政府檢視相關政策目標時，需考量發電量不確定性的影響。

4.4 土地來源

本節探討於地面型太陽光電的土地來源上限不同設置時，對於分析結果的影響，如表22所示，可以發現若考量使用長期耕作地及交通用地時，2025年太陽光電發電量的期望值將會提高1.9% (4.1億度電)，2016年至2025年太陽光電總發電量亦會隨之提高，其主要的原因为在於，長期耕作地及交通用地將會增加陽光較為充足區域可布建太陽光電的上限，因此，可進而提升太陽光電發電量的期望值。依本研究分析結果而言，土地來源對於發電量期望值的影響不大，這主要是因為樂觀情境額外增加考

表21 全天空日射量之相關程度設定值對於太陽光電發電機率分布分析結果的影響

各區全天空日射量的相關程度	低度正相關	中度正相關	完全正相關
2025年太陽光電發電量期望值 (億度電)	213.1	213.1	213.1
2025年太陽光電發電量標準差 (億度電)	14.7	17.8	24.5
95.4%信心程度的發電量分布 (億度電)	183.7 ~ 242.5	177.5 ~ 248.7	164.0 ~ 262.1
2016至2025太陽光電總發電量 (億度電)	1,022.9	1,022.9	1,022.9

資料來源：本研究整理

表22 地面型太陽光電土地來源對於太陽光電發電機率分布分析結果的影響

地面型太陽光電土地來源設定	地面型太陽光電潛力、長期耕作地及交通用地總和	僅考量地面型太陽光電潛力
2025年太陽光電發電量期望值(億度電)	217.2	213.1
2025年太陽光電發電量標準差(億度電)	17.5	17.8
95.4%信心程度的發電量分布(億度電)	182.1 ~ 252.2	177.5 ~ 248.7
2016至2025太陽光電總發電量(億度電)	1,030.5	1,022.9

資料來源：本研究整理

量的用地有限，但由於各縣市的容量因子相差甚大，因此，將太陽光電設置在陽光較佳的區域，對於達成再生能源發電量的目標，將有顯著的幫助。然而，目前對於耕作用地布建太陽光電的詳細規範尚在訂定中，故建議政府須盡速訂定相關規範，其勢必對於達到再生能源發電量目標有所貢獻。

4.5 各年度裝置量策略

從表23並結合各年度裝置量可以看到，若在2020年前少設置2.3 GW，於2025年能提升3.1億度電的發電量期望值，約佔太陽光電發電量規劃目標的1.5%，然而，從表23可以看到，為了提升2025年發電量期望值的1.5%，卻要犧牲2016年至2025年太陽光電9.7% (99.0億度電)的總發電量，因此，若是以十年的整體發電量來做考量，或許犧牲部分目標值的達成率，對

於全球抗暖來說更有意義。此外，本研究僅考量前政府及目前政府的相關規劃，若實務上能夠更為加快早期建設的腳步，又或者將更為推延再生能源建設的期程，將有使目標達成機率更高或者更為提高未來十年再生能源發電量的可能性。然而，先緩後快的政策尚有科技層面的考量，除了技術的演進導致成本降低外，效能的提升亦會減少所需的土地面積，且我國於太陽光電運轉維護的人才目前較為稀缺，亦須時間培養，因此，若政府後續有調整策略的考量，尚須更為全面的思考。

4.6 不同目標式

本節探討不同目標式對於分析結果的影響，其分別探討 (1) 最大化2025年太陽光電發電量及 (2) 最大化2016年至2025年太陽光電總發電量等兩個目標式的設定下，對於分析結果

表23 各年度裝置量策略對於太陽光電發電機率分布分析結果的影響

各區全天空日射量的相關程度	先緩後快	穩健推廣
2025年太陽光電發電量期望值(億度電)	213.1	210.0
2025年太陽光電發電量標準差(億度電)	17.8	17.5
95.4%信心程度的發電量分布(億度電)	177.5 ~ 248.7	175.0 ~ 245.0
2016至2025太陽光電總發電量(億度電)	1,022.9	1,121.9

資料來源：本研究整理

表24 不同目標式對於太陽光電發電機率分布分析結果的影響

目標式	$\max E_{\text{solar}, 2025}$	$\max \sum_{\text{year}}^{2016 \sim 2025} E_{\text{solar}, \text{year}}$
2025年太陽光電發電量期望值 (億度電)	214.4	213.1
2025年太陽光電發電量標準差 (億度電)	18.3	17.8
95.4%信心程度的發電量分布 (億度電)	177.9 ~ 250.9	177.5 ~ 248.7
2016至2025太陽光電總發電量 (億度電)	979.3	1,022.9

資料來源：本研究整理

的影響，如表24所示，可以發現當目標式調整為最大化2025年太陽光電總發電量時，其2025年太陽光電發電量的期望值略微提升0.61% (1.3億度)，然而，2016年至2025年太陽光電總發電量確有明顯的下降4.3% (43.6億度)，且2025年發電量的變異程度亦有些許的下降，此外，比較表16及表25可以發現，當目標式改為最大化2025年太陽光電總發電量時，容量因數越高的地區，其模型分析的結果將會建議越晚裝設太陽光電板，其主要是因為，雖然越晚裝設容量因數越高的區域，其發電量受到效能遞減率的影響越小，進而稍微提升2025年太陽光電發電量的期望值，然而同時卻會大幅降低2016年至2025年太陽光電總發電量。然而，若將目標式設定為最大化2016年至2025年太陽光電總發電量，其各區布建的順序，亦較為符合人性追逐利益的思維，然而，如前所述，太陽能板的裝設不全然僅考量陽光條件及發電量，尚有其他投資者各自的考量，故不會全然於早期均集中於陽光條件較好的區域，然這也是使用線性規劃模型分析的限制所在，其可透過進一步限制式的設定來進行改善。

4.7 小結

整體而言，從本研究的分析結果可以發現，即使以最為樂觀的情境作為考量，其2025年的發電量期望值僅略微高於我國太陽光電發電量的目標，且從各個參數的敏感度分析可以

發現，效能遞減率、整體的影響與損失係數對於發電量期望值有較高的影響，土地來源及裝置策略的調整則較易透過政策手段達成，因此，建議政府後續可透過獎勵或加嚴相關規範，來督促廠商選用較佳的太陽光電產品，並將太陽光電盡量集中架設於陽光較佳的區域，以提升太陽光電發電量的期望值。另外，各年度裝置量策略及不同目標式的考量分析可以發現，透過不同的策略，可犧牲少數的2025年發電量期望值，進而有效的提升2016年至2025年整體太陽光電的發電量，使我國在全球抗暖的道路上奉獻更大的心力。

5. 結 論

能源轉型乃是我國至2025年重要的能源策略，其中，再生能源裝置量比例及發電量的增加，更是其中的關鍵所在，而在目前政府規劃，太陽光電的預期發電量占再生能源發電量的近50%，可以預期的是，太陽光電將是我國能源轉型的核心所在。

然而，與傳統能源較為不同的是，由於太陽光電對於天氣的高度依賴，其對於發電量較難以預估，從2004年至2016年的歷史容量因數來看，其變異係數為15.59%，相較之下，同期的燃煤發電變異係數僅2.36%。因此，若與傳統能源一般，僅利用固定的容量因數進行太陽光電未來發電量期望值的評估，其實際情況可

表25 擬真情境目標式改為最大化2025年發電量之各年度太陽光電新增裝置量(單位：MW)

年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
基隆市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
臺北市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
新北市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
桃園市	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
新竹縣	134.7 (134.7)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
新竹市	59.9 (59.9)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
苗栗縣	124.0 (124.0)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
臺中市	18.7 (18.7)	558.2 (465.6)	1041.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
彰化縣	20.8 (20.8)	63.2	74.6 (74.6)	1,041.6	509.0	0.0	0.0	0.0	0.0
南投縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
雲林縣	0.0	0.0	0.0	69.3 (69.3)	0.0	2531.6	0.0	0.0	0.0
嘉義縣	0.0	0.0	0.0	97.6 (97.6)	0.0	168.4	1832.8	88.7	0.0
嘉義市	0.0	0.0	0.0	40.8 (40.8)	0.0	0.0	51.4	0.0	0.0
臺南市	0.0	0.0	0.0	256.1 (256.1)	0.0	0.0	0.0	2611.3	2700.0
高雄市	0.0	0.0	323.9 (323.9)	0.0	1,551.9	0.0	0.0	0.0	0.0
屏東縣	0.0	0.0	67.1 (67.1)	1.7 (1.7)	639.2	0.0	815.8	0.0	0.0
臺東縣	348.5 (35.5)	885.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
花蓮縣	47.3 (47.3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
宜蘭縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
澎湖縣	14.0 (14.0)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
金門縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
連江縣	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

註：括號內數值為屋頂型太陽能板的新增裝置量
資料來源：本研究整理

能與分析結果會有相當大的落差，因此，本研究認為透過機率分布曲線的描繪，對於評估太陽光電的發電量將更為妥適。此外，若加以考量不同政策推廣下的情況，對於發電量的期望值亦會有一定的衝擊。

援此，本研究透過線性規劃的數學方法，

建構一太陽光電的發電量預測模型，並探討在樂觀情境、擬真情境及悲觀情境下，對於太陽光電發電量的期望值、發電量的機率分布曲線、2016年至2025年太陽光電總發電量及各年度的各縣市新增裝置量規劃等結果的影響。分析結果顯示，從2025年發電量的期望值來看，

僅有樂觀情境的分析結果略高於政府所預計之太陽光電發電量，擬真情境及悲觀情境分別比目標值低36.9億度電及68.3億度電；若以機率分布曲線來看，以距離平均值兩個標準差的數值來看，其有97.7%的機率實際太陽光電的發電量將高於該值，然而，若以該數值來看，樂觀情境之值僅226.6億度電，尚低於政策目標23.4億度電，其餘情境更低於政策目標70億度電以上。為了更好的達成再生能源發電量20%的目標，本研究建議後續政府可透過獎勵或加嚴相關規範，來督促廠商選用較佳的太陽光電產品，並將太陽光電盡量集中架設於陽光較佳的區域，以提升太陽光電發電量的期望值。另一方面，若再提升太陽光電的裝設目標，或者將更多的裝設量集中在後期安裝以降低2025年時的效能遞減，亦可提升達成太陽光電目標的可能性。此外，從各個參數的敏感度分析可以發現，效能遞減率、整體的影響與損失係數對於發電量期望值有較高的影響，因此，建議政府後續可透過獎勵或加嚴相關規範，來督促廠商選用較佳的太陽光電產品，以提升太陽光電發電量的期望值。另外，各年度裝置量策略及不同目標式的考量分析可以發現，透過不同的策略，可犧牲少數的2025年發電量期望值，進而有效的提升2016年至2025年整體太陽光電的發電量，使我國在全球抗暖的道路上奉獻更大的心力。

參考文獻

- 工業技術研究院(2014)，臺灣2050能源供需狀態模擬器，<http://my2050.twenergy.org.tw/>。
- 台灣電力公司企劃處(2017)，105年統計年報。
- 行政院國家科學委員會(2008)，98年全國能源會議總結報告。
- 林博雄(2003)，中央氣象局測站之地表全天空輻射量的效驗與分析。
- 洪慧芬(2016)，臺灣架設20GW太陽能系統土地取得評估建議。
- 胡瑋元(2014)，《我國能源政策之回顧與展望》，核能研究所。
- 馬維揚、辛華煜、郭成聰(2014)，臺灣太陽能蘊藏量之計算與評估。
- 張克勤、嚴偉倫、劉家維(2016)，國內2004-2013年間經典氣象年之日射量調查分析，臺灣能源期刊，第三卷(第一期)：89-101頁。
- 梁啟源(2014)，《全國能源會議的回顧與展望》，臺北，中華經濟研究院。
- 陳家榮(2015)，臺灣屋頂型太陽光電潛力之研究。
- 經濟部(2009a)，87年全國能源會議結論-執行成效與檢討。
- 經濟部(2009b)，94年全國能源會議結論-執行成效與檢討。
- 經濟部能源局(2015)，全國能源會議全體大會總結報告。
- 經濟部能源局(2017)，中華民國105年能源統計手冊。
- 葉俊榮、張文貞、施文真、許耀明、汪信君、林春元(2014)，《氣候變遷的制度因應-決策、財務與規範》，國立臺灣大學出版中心，臺北。
- 韓佳佑(2016)，我國地面型太陽光電蘊藏量評估及用地建議。
- IEA (2016), World Energy Outlook 2016.
- IPCC (2014), Climate change 2014: synthesis report: summary for policymakers.
- WEF (2016), Global Risks Report 2016.

A Model for Forecasting of Solar Power Annual Electricity and Its Strategy Application

Tzu-Hsun Hsiao^{1*} Kong-Liang Huang¹ Yao-Jen Chang²

ABSTRACT

The paper utilized linear programming to develop a model for forecasting of solar power annual generation. The probability distribution of solar power annual generation is analyzed and compared during four scenarios. Several parameters including degradation rates, total effect and loss coefficient, correlation of solar insolation between regions, land source, deployment strategy, and object function are analyzed in this article. Through sensitivity analysis, each parameter can be analyzed the influence for the probability distribution of solar power. The research result reveals the apparent influence of expected value of solar power annual generation is from degradation rates and total effect and loss coefficient. Hence, the government can promote the high performance solar photovoltaic products through incentives and harder regulations. Accordingly, the goal of energy transformation can be achieved more successfully. Furthermore, setting solar photovoltaic in solar-rich regions could increase the expected value of solar power annual generation and achieve the renewable energy policy objectives. If the current PV deployment strategy were modified, the expected value of total solar generation from 2016 to 2025 could be increased obviously as a consequence of decreasing some 2025 solar power annual generation expected value, and it can contribute more effort to global warming.

Keywords: Solar power, annual generation, insolation, forecasting, strategy

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

²Associate Engineer, INER, Atomic Energy Council, R.O.C.

*Corresponding Author, Phone: +886-3-4711400#2727, E-mail: skyschin0908@iner.gov.tw

Received Date: August 31, 2017

Revised Date: October 23, 2017

Accepted Date: November 2, 2017