

# 離島地區綠色能源發展現況與展望

陳柏儒 經濟部能源局能源技術組專員

## 摘要

再生能源因具有低排碳、可永續利用等特性，近年發展再生能源已成為國際趨勢。我國發電能源幾乎仰賴進口，且面對國際減碳之趨勢，再生能源已成為我國能源發展之必要選項。本文將透過分析我國離島地區再生能源發展歷程，並參酌國際離島推動再生能源之經驗，期能提出我國離島地區再生能源發展之參考建議。

關鍵字：離島、澎湖、再生能源、珊索島

## 壹、前言

再生能源因具有低排碳、可永續利用等特性，近年發展再生能源已成為國際趨勢。我國發電能源幾乎仰賴進口，且面對國際減碳之趨勢，再生能源已成為我國能源發展之必要選項。故此，我國推動能源轉型，積極發展再生能源，並訂定再生能源發展目標，期於 2025 年再生能源發電量占比達 20%，其中以太陽光電及風力發電為主要推動項目，並同時輔以發展地熱發電、生質能發電、小水力發電等。

我國自 2009 年公布施行「再生能源發展條例」後，以再生能源電能躉購制度作為鼓勵再生能源發展之主要政策工具，藉由長期保障收購電能，降低業者投資再生能源風險，

有效提高自主設置再生能源之誘因，並輔以相關配套措施，建構我國再生能源良好發展環境。

為加速再生能源發展，我國續於 2019 年 5 月完成「再生能源發展條例」修正，修正方向包含明確推廣目標、擴大全民參與、活絡綠電市場、鼓勵小容量再生能源發電設備設置、簡化再生能源發展基金運作、中央地方分級分流審查機制及增加再生能源併網彈性等，以更加全面且多元的角度健全再生能源發展環境。

中央制訂與規劃再生能源發展方向時，亦相當重視澎湖縣等離島地區之再生能源發展。行政院前於 2010 年 3 月 4 日通過節能減碳總計畫，將低碳島計畫列入 35 項標竿型計畫之一，規劃將澎湖打造為低碳示範島，責

成經濟部能源局推動「建置澎湖低碳島專案」計畫，然低碳島推動成功與否，再生能源發展面向實則扮演重中之重的角色。本文將透過分析我國離島地區再生能源發展歷程，並參酌國際離島推動再生能源之經驗，期能提供加速我國離島地區再生能源發展之政策。

## 貳、我國離島地區（澎湖縣地區） 再生能源發展

我國離島地區各有不同的再生能源發展潛力，如太陽光電、風力發電、生質能等，因此各離島地區皆依據在地情形加以擬具再生能源發展策略，以致離島地區之推動方式各有不同，本文將以澎湖縣地區為例，說明該地區推動再生能源歷程。

### 一、澎湖縣地區之電力結構與供需概況

澎湖縣地區屬獨立電網系統，未有電纜與臺灣本島相連接，澎湖本島主要電力來源為位於馬公市的尖山火力發電廠，係澎湖本島地區單一電廠，負責供電及調度，共有 12 部機組，總裝置容量約 129.8MW。澎湖離島地區部分，共有 91 座島嶼，其中有 19 座有人島，如虎井、望安、七美、花嶼、東嶼坪、西嶼坪、東吉等，離島發電情形以燃油發電為主，虎井、望安、七美等三地各有小型火力發電廠，虎井有 2 部柴油發電機組及 1 部緊急供電機組，總裝置容量約 0.92MW、望安有 4 部柴油發電機組，總裝置容量約 4MW、七美有 4 部柴油發電機組，總裝置容量約 4MW，由於澎湖離島以燃油發電方式，其發電成本相當昂貴。

### 二、澎湖縣地區再生能源推動歷程

為建立離島低碳生活圈之示範，行政院於 2010 年 3 月 4 日節能減碳推動會第二次委員會議通過節能減碳總計畫，將低碳島計畫列入 35 項標竿型計畫之一，行政院續於 2011 年核定「建置澎湖低碳島專案計畫」，使澎湖成為我國第一個再生能源生活圈之低碳示範島，其計畫推動時程為 5 年（2011 年至 2015 年），規劃 8 大推動面向，包括再生能源（規劃設置風力機約 96MW、光電指標建築 1.5MW、太陽熱水器 6,400m<sup>2</sup>）、節約能源（設置智慧電錶 2,106 戶，LED 路燈 4,000 盞，節能家電 14,000 臺等）、低碳建築（新建公共建物／民間重大投資案取得綠建築標章 100%）、綠色運輸（推動使用電動機車 6,000 輛，電動車示範、推動 B2 生質柴油，建置自行車路網等）、環境綠化（增加綠地面積 200 公頃）、資源循環（漏水率由 32% 降至 25%、減少自來水供應 2,070 噸／天、垃圾減廢等）、推廣低碳生活及低碳教育（以社區級學校作為推動目標）等。

澎湖低碳島的示範建置，將技術、設備、服務及研發成果全面導入綠色能源，以全島能源供應 56% 來自再生能源為目標，打造潔淨生活低碳島，推動澎湖為世界級低碳島嶼之標竿。

計畫中，再生能源推動以太陽光電及風力發電為主，期至 2015 年新增太陽光電裝置容量 1.5MW 及風力發電裝置容量 96MW，以下就太陽光電及風力發電部分來進行說明。

推動太陽光電部分，在「建置澎湖低碳島專案計畫」推動前，澎湖本島僅有太陽光

電裝置容量 68.1kW，考量澎湖當地民眾對太陽光電設置意願不高，爰規劃藉由公家機關與學校率先設置太陽光電系統之方式示範推動，因此由經濟部能源局推動「公共建築太陽光電示範計畫」，補助澎湖縣政府設置太陽光電設施，並協助澎湖縣政府相關推動事宜，至 2012 年完成設置 20 處太陽光電示範場域，包括馬公機場之公共藝術機車停車棚、馬公機場之公車車棚、馬公機場之機場計程車車棚、第一漁港戶外休憩光廊、南海遊客中心遮陽廊道、虎井嶼活動中心、虎井嶼虎井國小、東吉嶼發電機房、車船管理處、車船處調度場、中正國小、文光國中、文化局表演場觀賞臺遮陽棚、馬公國中、後寮國小、七美島漁具整補場、七美島體育館、馬公高中、國立澎湖科技大學體育館暨學生活動中心、澎湖國家風景區管理處廣場木架迴廊等，總裝置容量達 1,560kW。

其中馬公機場公共藝術機車停車棚與第一漁港造型，最可突顯太陽光電的觀光休憩與建築的結合。馬公機場太陽光電機車停車棚與中央廊道以海浪與飛翔之意象設計的指標建築物，共設置 9 座停車棚，除提供民眾機車遮陽避雨外，其龐大的建築量體與優美造型，吸引到訪馬公機場的觀光客駐足欣賞，榮獲 2013 年國家卓越建設獎之最佳規劃設計類金質獎。另第一漁港太陽光電戶外休憩光廊則是裝置容量 306kW 之建築整合太陽光電系統，以太陽光電造街，配合澎湖縣政府後續推出的商店街新建工程後，提供民眾悠閒享用美食及欣賞漁港風光，呈現漁港生活的優雅慢活，榮獲 2014 年國家卓越建設獎之最佳規劃設計類特別獎。

透過建置上述太陽光電指標建築，及搭配澎湖縣政府於 2014 年執行「澎湖縣政府經管



圖 1 馬公機場太陽光電設施

資料來源：經濟部能源局「建置澎湖低碳島專案計畫」結案報告



圖 2 第一漁港太陽光電設施

資料來源：經濟部能源局「建置澎湖低碳島專案計畫」結案報告

縣有房舍設置太陽光電發電系統標租作業」，共整合 28 處澎湖縣公有建築物屋頂建置太陽光電系統（總裝置容量約 3MW），讓澎湖在地民眾能瞭解太陽光電，並成功帶動廠商於澎湖設置太陽光電之意願，同時也帶動當地太陽光電發展，統計 2013 至 2015 年間成功帶動建置太陽光電系統 7.21MW，大幅超過澎湖低碳島計畫所規劃 1.56 MW 之目標。

由於澎湖秋季易受強勁的東北季風吹襲，雖然不會對太陽光電模組造成損壞，但系統支撐架恐因長期受海風吹襲關係，而因鹽害因素導致其腐蝕。因此澎湖縣政府要求承包廠商以效果更好的防鏽鍍鋅技術來進行支撐架設置，並加強太陽光電相關防鹽害措施，強化在地民眾對太陽光電系統安全之信心。

風力發電推動部分，台電公司分別於 2001 年及 2005 年完成設置澎湖中屯風場，

計 8 座風機，總裝置容量約 4.8MW；於 2010 年完成澎湖湖西風場，計 6 座風機，總裝置容量約 5.4MW。於「建置澎湖低碳島專案計畫」中，台電公司規劃再設置 32MW，並責成澎湖縣政府推動由民間業者設置 64MW，合計總裝置容量達 96MW。惟由於澎湖地區離峰時間再生能源發電占總發電比例過高，需將部分電力轉輸至臺灣本島，以提高輸配電系統穩定性，後續將透過建置臺澎海底電纜解決此問題，以擴大澎湖風力發電設置，甚至澎湖多餘的風力發電還能透過臺澎海底電纜挹注臺灣本島用電。

另澎湖縣政府為加速再生能源發展，同時於 2017 年起配合經濟部能源局參與「直轄市及縣（市）政府推廣再生能源補助作業要點」執行，持續盤點澎湖地區再生能源資源潛力，並成立再生能源專責單位整合澎湖縣



再生能源推動，整合澎湖縣再生能源推動策略規劃，包含再生能源法制研擬及規劃廠商促進地方共榮機制等，同時擬定相關推廣策略，結合在地資源及特色，以提升再生能源發電占比，推動澎湖地區再生能源多元發展。透過執行本要點，澎湖縣政府已擬定「澎湖縣再生能源自治條例（草案）」及廠商促進地方共榮機制，期推動再生能源發展同時，可由澎湖地區居民共享成果。

為提高澎湖離島的電力可靠度，台電公司與科技部投入能源國家型科技計畫（NEP-II），合作在澎湖七美鄉建置離島微電網，規劃第一期計畫建置 155kW 太陽光電系統，第二期再增置 200kW 太陽光電系統及 300kWh 的儲能系統，並搭配既有柴油發電機組，建構全台首座離島大型微電網，並已於 2018 年 5 月 15 日正式啟用，未來更規劃增設 600kW 風力發電系統、擴增太陽光電系統至 1,200kW 及儲能系統至 2,000kWh，且透過此微電網系統，能有效降低柴油發電成本，最終目標是系統在離峰時段可達 100% 綠能發電，未來可再逐步推展至我國其他離島，進而擴展到臺灣本島運用。

綜上，透過「建置澎湖低碳島專案計畫」建立之基礎，並由中央及地方政府共同努力推動相關措施，強化澎湖地區再生能源發展，澎湖地區再生能源發展已有初步成果，且俟臺澎海底電纜建置完成後，更可以擴大推動，如目前已有風力發電廠商洽詢澎湖縣政府簽訂合作備忘錄、太陽光電業者已向澎湖縣政府申請地面型太陽光電設置容許已達約 60 筆土地等。統計至 2019 年 12 月底，澎湖縣再生能源累計裝置容量約 26MW，其中太陽光電約 16MW，風力發電約 10.2MW，占澎湖

總發電裝置總容量 16% 以上；再生能源年發電量約為 5,200 萬度，約占島內整體用電量的 12.9%（2019 年澎湖地區用電量為 4.03 億度）。

## 參、國際離島發展再生能源經驗

觀察國際上離島推動再生能源之成功案例，以丹麥珊索島較為知名，因此本文將以丹麥珊索島推動再生能源之經驗為例，進行丹麥珊索島推動再生能源歷程之說明，並從中檢視其成功推動之原因。

丹麥珊索島面積約 114 平方公里，南北長約 28 公里，東西寬約 7 公里，位於丹麥地理中心，人口數約 4,000 人，主要產業為「農業」與「旅遊業」。目前珊索島的電力供應 100% 來自風力發電，包含 11 座陸域風力發電機及 10 座離岸風力發電機，其多餘電力可回售丹麥本島；島上住家熱能是利用生質燃料或太陽能。珊索島已經完成百分之百使用再生能源，成為世界上第一個再生能源島，達到能源自給自足與碳中和的目標。

丹麥珊索島再生能源推動，始於 1997 年丹麥能源部（The Ministry of Energy）辦理「永續能源島」計畫（Sustainable Energy Island），由各島嶼或半島自行提出能百分之百利用再生能源轉之能源自給自足計畫，並由丹麥能源局提供相關補助經費，計畫最終由珊索島從報名的 5 個競爭者（萊斯 Læsø、珊索、艾爾 Ærø、默恩 Møn 和蒂霍爾姆半島 Thyholm）中脫穎而出，成為丹麥「再生能源島」（Renewable Energy Island）的示範點，目標於 2008 年完成百分之百使用再生能源。

珊索島規劃相關策略包含以風能作為主要電力基礎推動項目、地區供熱系統以生質能、太陽能為主、降低未來能源消耗、提高電力和交通運輸的效率、運輸部門由使用汽油和機油逐漸轉換為使用電力等。

在計畫啟動之前，珊索島並沒有自己的傳統能源，所有化石燃料都必須通過油輪運輸，並透過連接內陸電網進行電力運輸。觀察珊索島能夠成功之因素，主要是建立了在地民眾之共同意識。在計畫規劃之初始階段，民眾即被邀請參與規劃及發展工作小組，透過不斷地召開相關會議及舉辦多場次活動，不僅讓民眾瞭解再生能源技術的知識，更讓民眾可自願參與各項再生能源推動計畫。如珊索島上風機以開放認股方式讓島上民眾認購，並共同分享發電收益，因此大幅提高民眾之接納程度，進而還會提出相關可讓風機運行更有效率之建議。此外，再生能源推動計畫及完整性低碳措施規劃除引領改變珊索島上居民生活習慣外，同時也帶來了生態旅遊的發展契機。該島亦針對再生能源教育部分加強推動，提供大學生研究再生能源最佳場所，也讓中低年級學生瞭解何謂再生能源，並提供相關課程及展覽吸引更多遊客或國外團體參訪及學習，除讓參觀者瞭解其開發的經驗，以及再生能源於當地社區的實行成效，亦同時促進該島觀光產業的發展。

珊索島雖然已成為世界上第一個再生能源島，但該島仍持續進一步發展再生能源與優化能源系統，並希冀島上所有運輸燃料皆使用再生能源，規劃在 2020 年的珊索島車輛的電動汽車占比提升為 50%，剩餘 50% 則使用生質燃料，至 2030 年更提高至 80%，於 2050 年則提升至 100%。從丹麥本島至珊索

島上的渡輪，規劃在 2020 年使用天然氣為動力，至 2030 年改以電力為動力源，其電力來源為島上自行生產的電力。

## 肆、我國離島綠能推動可借鏡之處

藉由前述丹麥珊索島推動再生能源歷程，可觀察到其成功成為再生能源島之重要因素有 3 點：民眾參與及溝通、建立民眾再生能源認知、政府推動決心，此可作為我國離島地區推動再生能源時之參考，分別就此 3 個因素說明如下：

### 一、民眾參與及溝通

政府推動相關公共政策時，在規劃階段之民眾參與程度將影響該政策執行之成功與否，因為民眾對於公共政策之理解與認知是相當核心且重要的，一旦民眾認為此政策是不具實質效益或無涉於自身利益，便可能不會去支持或關心此政策，而當公共政策失去了民眾的支持，自然難以順利推動執行。

完善的民眾參與及溝通機制對於再生能源政策推動更是必要的，透過與民眾溝通之過程，可瞭解民眾的考量與需求，逐步化解民眾對於發展再生能源之疑慮，且推動政策應與民眾之生活作連結，讓民眾也可參與推動再生能源政策之討論，進而自發性地協助再生能源發展，更甚至自行投資或設置再生能源發電設備。

如珊索島推動再生能源計畫，一開始即由當地民眾、政府及廠商共同參與規劃，甚至讓後續執行再生能源推動業務時，讓民眾也可共同參與，如珊索島上風機開放民眾認股即為一個經典例子。

我國離島地區推動再生能源部分，澎湖縣政府過去亦曾參考上述方式，以「住民入股、利益全民共享」方式，成立全臺首座全民入股的「澎湖開發能源股份有限公司」，該公司實收資本總額為 1,400 萬元，以澎湖縣民 30%、澎湖縣政府 25%、台灣汽電共生股份有限公司 25% 及中興電工機械股份有限公司 20% 股份成立，並以開發風力發電為最主要營業項目。

澎湖縣民部分，原定縣民每人認購股數固定為 1 萬股，每股新臺幣 10 元，應繳現金股款金額為新臺幣 10 萬元，總計 1,469 人回復認股意願書，超過原定 810 位名額，由此觀察可知澎湖縣民認同且看好全民入股的商業模式，惟由於當時技術廠商評估投資報酬率過低及增資不到位而宣布破局，不過已驗證社區民眾參與是再生能源能否成功推動之重要關鍵。

另澎湖縣政府推動再生能源發展之過程中，亦瞭解與民眾溝通的重要性，於 2016 年 1 月訂定「澎湖縣協助發展再生能源作業要點」，透過此要點要求有意於澎湖縣地區開發再生能源的廠商，應先與設置再生能源發電設備場址之附近居民溝通，透過辦理相關說明會等方式取得當地民眾共識後，才得依循法定申請程序辦理環境影響評估及申請籌設，進而設置再生能源發電設備。

## 二、建立民眾再生能源認知

政府政策推動，除前述讓民眾參與及溝通外，民眾對於政策推動之相關認知亦是至關重要，因為政府推動再生能源政策前，如果民眾對再生能源有相關誤解，將導致政策

難以推動及執行，因此建立民眾再生能源認知可說是相當必要的。

如珊索島民眾在推動再生能源計畫前，對再生能源相關知識及技術並不瞭解，不過透過舉辦多場次說明會，讓民眾瞭解再生能源的優點，並討論推動再生能源過程中所有可能遭遇之困境，推動再生能源相關計畫前亦和民眾溝通，並經由溝通的過程中，瞭解民情民隱，建立民眾再生能源認知，藉此才能制定與民眾切身相關的政策，來解決民眾的問題或滿足民眾的需求，最後獲得一致的執行步調，讓珊索島可順利推動再生能源，此亦是我國離島推動再生能源中可學習的部分。

觀察我國離島地區推動再生能源歷程，亦透過不同方式來建立民眾再生能源認知，如澎湖地區透過興建指標性的太陽光電設施，讓民眾能瞭解太陽光電設備在澎湖氣候環境下仍能正常運轉，且搭配景觀設計更可成為新的觀光景點，此舉除建立民眾太陽光電認知外，亦強化民眾設置太陽光電發電設備之信心。經濟部能源局推動「直轄市及縣（市）政府推廣再生能源補助作業要點」，協助澎湖縣政府建立單一服務窗口、建立再生能源培力團隊等，並搭配建構有效資訊交流平臺，亦是協助民眾建立再生能源認知之措施，可使民眾即時獲取相關訊息。

## 三、政府推動決心

觀察珊索島案例，其成功關鍵除建立民眾共識外，丹麥政府透過法規之訂定，展現其推動決心亦是相關重要，如推動「永續能源島」計畫、訂定風力發電之躉購制度、開放民眾擁有風力發電機之股份等，提供民眾參與再生能源推動之機會。

我國於 2017 年 1 月 26 日修訂公布「電業法」，使我國電業自由化、電力民主化，修正方向包括放寬再生能源發電業之組織形態（如開放合作社），也放寬再生能源發電業售電條件，允許透過代輸或直接供電予用戶，及審查程序與要件之簡化措施等，鼓勵再生能源廣設，期能達「在地發電、在地用電」。

我國續於 2019 年完成「再生能源發展條例」修正，明確訂定我國再生能源推廣目標，擴大民眾參與，提供再生能源多元發展的重要方向，並訂定各類再生能源推動策略，期於 2025 年再生能源發電占比達 20%，亦展現我國政府推動再生能源決心。

## 伍、未來展望

我國推動再生能源時，過去通常習慣採取由上而下、由政府至民間的方式，認為這

樣規劃執行起來比較有效率。然而，隨著世界扁平化的來臨、資源多元整合、以及科學技術的進步，另一種由下而上、由民間至政府的推動再生能源政策方向，已然逐漸展現功效，此是未來我國離島地區推動再生能源之另一種思維。

我國澎湖縣等離島地區皆具備太陽光電及風力等再生能源之天然條件，惟目前未有海底電纜與臺灣本島相連接，離島獨立電網之特性使再生能源可併網之裝置容量受到限制，因此於離島地區建置儲能系統應是其中一種解決方案，儲能系統可用於電力穩定調節及因應未來離島地區再生能源的擴建需求。

未來離島地區透過建置智慧電網，除可同時兼顧區域的能源、經濟與環境發展，亦可將創能、節能和儲能整合起來，有助於離島地區之再生能源發展，進而實現低碳島之願景。

---

### 參考文獻

1. 台電月刊 634 期。2015。航向低碳島。
2. 台電月刊 680 期。2019。迎接低碳島電力新時代 強化電網系統 離島穩供再升級。
3. 黃麟傑、周承志、鄭孟寧。2015。澎湖低碳島推動問題研究及執行成效探討：第 37 屆海洋工程研討會。
4. 經濟部能源局。2010。「建置澎湖低碳島專案計畫」核定本。
5. 經濟部能源局。2016。「建置澎湖低碳島專案計畫」結案報告。
6. 鄭孟寧。2009。邁向永續能源之路 借鏡丹麥 Samsø Island。能源報導 4 月號：11。