科技發展觀測平台「2015-2016 年能源議題」年度報告

能源議題編輯小組

引　言

科技發展觀測平台自 104 年 8 月開放，網站以政策動向、資通訊、先進製造、生技醫藥、永續環境及能源為主要觀測議題。能源議題資訊主要來源為國內外政府官方網站、重要國際組織、智庫、知名期刊、主流媒體等所提供的能源相關資訊與消息，例如：經濟合作暨發展組織（OECD）、國際能源總署（IEA）、世界能源理事會（World Energy Council）、亞太能源研究中心（APERC）、國際再生能源總署（IRENA）、歐盟（EU）、美國能源部（DOE）、日本經濟產業省資源能源廳、中國大陸國家能源局、經濟部能源局、原子能委員會核能研究所、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、National Energy Technology Laboratory（NETL）、Engineering and Physical Sciences Research Council（EPSRC）、Israel Oceanographic and Limnological Research（IOLR）等，其中精選文章特委由專家撰寫成摘要，供各界參考。

能源議題蒐集面向包含能源使用、市場發展、相關法規及控管標準、新興研究、能源政策及國家願景等；蒐集重點包含能源概論、化石能源、核能、再生能源、氫能、燃料電池、儲能技術與節能減碳等。從 2015 年至 2016 年 12 月，共計收錄 1,840 筆文獻資料，詳細情況如下：

表一：2015 年至 2016 年 12 月能源議題收錄文獻篇數統計－國家別

亞太地區	澳洲	中國大陸	歐盟	芬蘭	法國	德國	全球	以色列	日本	
68	130	122	112	29	18	56	362	20	56	總計
韓國	荷蘭	新加坡	瑞典	瑞士	臺灣	英國	美國	其他		1,840
16	5	40	29	11	157	212	233	164		

表二：2015 年至 2016 年 12 月能源議題收錄文獻篇數統計－文獻類型別

法規/規範	政策文件	研究/分析報告	研討會論文	專書	期刊論文	新聞/訊息	簡報資料	總計
155	218	765	19	6	100	557	20	1,840

表三：2015 年至 2016 年 12 月能源議題收錄文獻篇數統計－次領域別

能源總論	化石能源	核能	再生能源	氫能	燃料電池	儲能技術	節能減碳	其他
841	210	88	317	8	7	8	378	53

以下 2015-2016 年「科技發展觀測平台」能源議題年度報告，特選擇各國積極發展的再生能源為引介重點，首先綜述世界各國綠色能源的發展情況，如電力生產、產業發展及對整體社會經濟的影響，其次依再生能源種類，包含太陽能、風能、水力、生質能、地熱、智慧電網、氫能及儲能等，對其在電力生產、技術發展的整體情況進行概略介紹。此外，2015-2016 年所有委請專家撰寫中文摘要的文獻均彙整於本報告最後附錄。

一、前言

所有的經濟發展都需要能源的支持，越是生產活動或經濟活動較多的國家就消耗越多的能源，諸如 2014 年總能源消耗，世界各國以中國大陸為首，總計消耗 3,034 Mtoe（Million Tonnes of Oil Equivalent, 百萬噸油當量），美國消耗 2,224 Mtoe 為次[1]，能源一直是各國關注的焦點。

而快速的經濟發展對環境所造成的破壞及影響也漸漸發酵，自工業革命以來，二氧化碳及其他溫室氣體的排放就開始快速增加，諸如甲烷（CH_4）、氮氧化物等。根據 NOAA（National Oceanic and Atmospheric Administration, 美國海洋和大氣總署）的統計，至 2016 年 6 月全球二氧化碳濃度約為 403.57 ppm（parts per million, 百萬分率）[2]，2015 年的二氧化碳增長率高達 3.05 ppm/yr，甲烷濃度則為 1843.2 ppb（parts per billion, 十億分率）[3]。但是二氧化碳等溫室氣體的排放主要都來自電力及熱能生產（例如燃煤發電廠）（參見圖 1），而能源供給又是經濟發展的重要基礎，生產活動或經濟活動愈多的國家二氧化碳排放量往往越大，使得大氣中溫室氣體的比例居高不下，此問題也開始對環境造成劇烈影響。

大氣中溫室氣體濃度逐年提升造成全球溫度的提高，從 1880 年開始，以每十年平均 0.07°C 的速度遞增；到 1990 年之後，則上升到每十年增加 0.17°C[4]。全球暖化帶來海平面上升，使得許多海島國家開始面臨土地被淹沒的問題，美國國家航空暨太空總署（NASA）的調查指出，全球海平面自 1992 年起，平均每年上升 7.62 公分，嚴重地區甚至高達 22.86 公分，預估 21 世紀結束前，海平面至少上升 1 公尺 。

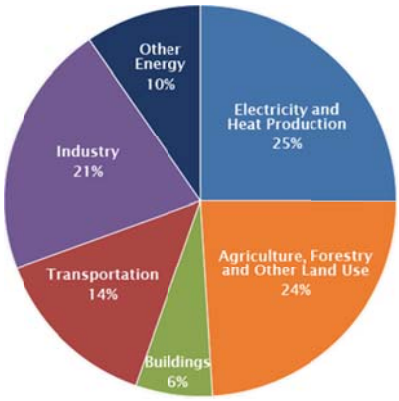


圖 1：2016 年全球各經濟部門的溫室氣體排放比例

資料來源：United States Environmental Protection Agency，取自：http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html。

[1] 資料來源：Global Energy Statistical Yearbook 2015，Enerdata，2016/03/14，https://yearbook.enerdata.net/#energy-consumption-data.html。

[2] 統計至 2016 年 6 月。資料來源：NOAA/ESRL's Global Monitoring Division，取自：http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html。

[3] 統計至 2015 年 12 月，資料來源：NOAA/ESRL's Global Monitoring Division，取自：http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/。

[4] Global Analysis - Annual 2015，National Centers for Environmental Information，取自：https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513#gtemp。

為解決氣候問題，聯合國在 1992 年通過「聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC）」，每年召開締約國大會（COP），作為各國協商平台，但並未對二氧化碳排放（以下簡稱碳排放）做出詳細規定。直到 1997 年在京都召開第三屆締約國大會（COP-3），通過了「京都議定書(Kyoto Protocol)」，正式對二氧化碳、二氧化硫等溫室氣體訂定出具體減量標準以因應氣候變遷，在 2005 年 2 月正式生效[5]。在碳排放的限制之下，使能源使用及發電上面臨很大的挑戰，尤其是燃煤發電，也影響了經濟發展。

到 21 世紀初期，中國大陸經濟崛起，製造業、建築業等快速發展，美國經濟亦逐步復甦，對能源的需求也隨之提高。然而，傳統化石能源並非取之不盡，用之不竭，且亦對生態環境造成汙染及間接助長地球暖化情況。面對傳統化石能源總有消耗殆盡的一天，為避免因此對經濟帶來衝擊，也連帶影響到民生物價穩定，各國紛紛開始進行能源轉型，希望透過多樣類型的能源提供，以逐步降低經濟發展對傳統化石能源的依賴。同時，考量到碳排放、國家安全等因素，各國紛紛開始採取應對措施，積極尋求新的能源，並發展各項再生能源技術。

面對經濟發展、能源安全及氣候變遷的多方影響下，可循環利用、低碳排放、相對安全的能源成為能源選擇的重要特質，也使得再生能源，以及新能源技術如氫能、智慧電網及儲能等獲得高度重視，各國紛紛投入更多的資源進行開發，成為能源發展的新主流。再生能源主要類型可分為太陽能、風能、海洋能、水力、地熱、生質能等。此外，為了可以妥善運用能源，除拓展能源種類多元化外，亦採取諸多政策，像是推廣產業節能、降低汽機車碳排放等，來提高能源使用效率，全力達成節能減碳的目標。而我國近年來，為拓展能源多元化，並朝向發展綠色科技實現低碳永續社會之目標邁進，亦積極發展各項再生能源技術，促進綠色創新與生態環境之連結。此外，亦持續有效率地整合再生能源在住商、產業、運輸等各部門之運用，藉此提升其應用性與可靠性。

鑒於各國及我國對於再生能源議題之重視，本報告將以其重要發展之面向，並搭配本平台聘請專家撰寫的摘要精華，對當前能源趨勢簡單介紹如下。

二、再生能源之發展概要

近年來，再生能源的重要性逐漸提高。依據國際能源總署（IEA）2016 年中期再生能源市場報告指出，2015 年再生能源新增裝置容量合計成長 153 GW(陸域風力與太陽光電分別成長 63 GW 及 49 GW)，占全球總新增裝置容量一半以上，再生能源累計裝置容量首度超過燃煤電廠的裝置量。預測由 2016 年到 2021 年全球再生能源裝置容量成長 42%，達到 825 GW，於全球總發電占比將從 23%提高到 28%。其中 2015 年再生能源實際發電占比，水力發電 71%、生質能 8%、風力 15%、太陽光電 4%、其他 2%，推估 2021 年水力發電占比降至 59%、風力與太陽光電分別提升到 21%與 9%；而再生能源總發電量將超過 7.6 兆度，約等於 2015 年歐盟與美國的發電量總和。[6]

[5] 規範 38 個國家及歐盟，必須在 2008-2012 年間將該國溫室氣體排放量降至 1990 年水準平均再減 5.2%。資料來源：台灣因應氣候變化綱要公約資訊網，〈京都議定書〉，取自：http://www.tri.org.tw/unfccc/Unfccc/UNFCCC02.htm。

[6] 資料來源：經濟部能源局能源知識庫，取自

再生能源之所以能夠快速成長的原因，除了化石燃料價格起落、節能減碳等外在環境因素外，最主要還是在於技術的創新導致成本快速下降，能夠與其他能源相互競爭，使得再生能源在市場中獲得利基。市場有利可圖，便會吸引更多投資的進入，轉而又帶動技術更進一步的創新，進而促進能源經濟發展、提供就業機會，再加上政府政策支持，形成一個正向循環，使再生能源持續發展。如 2014 年，全球總計在再生能源上投入超過 2,700 億美元，比起 2013 年增長超過 15%，比 10 年前高出 5 倍之多，其中美國就投入 130 億美元，增長幅度高達 25%。國際再生能源總署（International Renewable Energy Agency, IRENA）更指出再生能源的生產成本將會持續下降，目前再生能源中，主要以太陽光電與陸上風力發電發展較為快速，在技術創新後，亦提升了水力發電、生質能及地熱的成本競爭力[7]。此外，再生能源產業也成為許多國家經濟發展與就業機會的主要來源之一。

有關再生能源的發展，以下特摘錄 3 篇報告供參：

❖ **Renewables 2016-Global Status Report（2016 年再生能源全球現況報告）**

本報告係由 REN21 出版。報告內容提到，截至 2015 年底全球至少有 173 個國家訂有再生能源發展目標，146 個國家設有國家層級或州/省級的再生能源支持政策，其中又以再生能源發電（尤其是太陽光電與風力發電）最受各區域政府重視，而電力收購制度（feed-in tariffs policy）是各政府最青睞的扶植措施，其他像是優惠貸款、稅收減免的傳統財政措施也都是政府推動再生能源發展所使用的政策手段。相對來說，各國政府對加熱與冷卻部門的政策支持嚴重不足，且僅偏重再生能源加熱技術，卻未在冷卻部門提供相對應的措施；其次，相關政策也僅著重在住宅與商業大樓所適用的小規模太陽能發電領域，如太陽能熱水器等；另各國政府於此部門的主要政策措施則以傳統財政手段為主。

就運輸燃料部分，近幾年各國政府於此領域所推出的相關再生能源政策皆以陸運為核心，政策發展重點以生質燃料之生產與使用為主，其他如整合電動車與再生能源，以及航空、鐵路與海運再生燃料的使用等領域，其相關政策的進展則相對較慢。另一方面，透過融合政府既有政策、城市自主倡議與直接購買等方式，各城市對推廣再生能源使用的影響力也持續增強。舉例來說，荷蘭阿姆斯特丹與奧地利 Graz 相繼承諾要發展各自的再生能源加熱部門；南非 Cape Town 與加拿大 Banff 則自訂規範措施來推廣再生能源發電的使用；肯亞、墨西哥與越南等國則在主要城市導入再生燃料作為測試推廣手段。

在產業趨勢發展部分，全球生質能源在 2015 年繼續成長，但低油價與政策不確定性之因素仍對其發展帶來阻礙。將生質能源運用於加熱部門在東歐一帶出現可觀

http://km.twenergy.org.tw/DocumentFree/reference_more?id=155。

[7] 參考資料：IRENA，〈IRENA 2014-2015: At A Glance〉，2016 年。
IEA，〈World Energy Outlook 2015〉，2015 年 11 月。
BP Global，〈BP Energy Outlook 2035〉，2015 年 1 月。

成長，中國大陸、日本、德國與英國則是在利用生質能發電領域取得相當進展；另一方面，受惠於巴西與美國產量刷新歷史紀錄，2015 年全球生質乙醇產量年增約 4%，但生質柴油的產量卻因低油價衝擊而出現萎縮，連帶也打擊到業者對新增產能的投資意願。而地熱能方面，2015 年約有 315 MW 之新增地熱發電容量開始運轉，其中有近半係由土耳其所貢獻，但低油價與高投資風險仍是這個產業最嚴峻的挑戰；至於直接利用地熱加熱的消費年增率則略高於 3%。

水力發電方面，其發電容量（不包括抽水蓄能）在 2015 年約增加 28 GW，主要來自中國大陸、巴西、土耳其、印度、越南、馬來西亞、加拿大、哥倫比亞與寮國等地，但嚴重的乾旱情況卻對美洲與東南亞等地的水力發電能力帶來沉重的負面衝擊，連帶也促使各界增加對抽水蓄能與融合水力、太陽能與風力的發電模式的重視。海洋能方面，目前發展主力還是在潮汐與浪潮發電，2015 年歐洲地區有幾項發展計畫都獲得不錯進展，但在融資管道受限等市場條件下，至少有 1 家公司於 2015 年宣告破產。

太陽能方面，在成本優勢提升與市場需求強勁支撐下，2015 年全球新增約 50 GW 之太陽光電發電容量，是過去 10 年累積新增發電容量的 10 倍之多，已使得約 22 個國家可支應自身超過 1%之電力需求。聚光太陽能發電（CSP）在 2015 年新增了約 10%之發電容量，且發展重心逐漸由西班牙與美國等傳統市場移往摩洛哥、沙烏地阿拉伯、中國大陸、以色列、南非與印度等發展中國家，現階段研發重點則為降低成本與提升熱效率等領域。

在風力發電方面，2015 年歐洲、美國及中國大陸之新增發電容量是最主要貢獻來源。總計 2015 年全球新增了約 63 GW 之風力發電容量，至於離岸風力發電市場也有亮眼表現，2015 年已為聯合電網增加約 3.4 GW 之發電容量，全球總新增發電容量則超過 12 GW。

❖ **REthinking Energy: Renewable Energy and Climate Change（能源策略的反思：再生能源與氣候變遷）**

本報告係由國際再生能源總署（IRENA）出版。依據該署預測，再生能源提供全球能源結構一個直接脫碳（Decarbonize）的方式，在 2030 年之前可提高 2 倍的再生能源比例，可減少一半的碳排放量，提高兩倍的能源效率，讓全球的平均溫度成長保持在 2℃以下，防止可怕的氣候變遷。

除了提供安全與乾淨的能源，再生能源同時也支持GDP的成長，改善貿易平衡，創造地方性價值與工作機會。例如太陽能發電的配置，比起煤炭或天然氣可創造出多一倍的電力。IRENA 分析顯示，若有良善的政策，再生能源在 2030 年之前可在全球創造超過 2,400 萬個工作機會。如果環境和人類健康的外部經濟效果（Externalities）在全球能源結構中被價格化，隨著時間的推移，再生能源的轉變將成為淨儲蓄。

隨著再生能源技術成本的下降，特別是太陽能與風能，相對於傳統燃料而言提高了更多的競爭性。例如現今的太陽能發電相較於 2009 年的成本減少了四分之三，風能的成本也下降了三分之一。自 2011 年開始，再生能源成本的下降與可負擔的價格，也代表其會超越核能與化石燃料在電力產業的地位。這顯著的成長已逐漸全球化，在未來的十年，許多國家與地區都要在能源系統轉變上有更進一步的投資。

此外，IRENA 的分析顯示，全球每年在再生能源的投資到 2030 年之前可達到 9,000 億美元。為了避免受到無法持續的能源系統限制，在現今與到 2020 年前每年的投資應達到 5,000 億美元，也幾乎是目前投資的兩倍。為了達到成功的氣候行動，再生能源在發電、大眾運輸、供熱與冷卻中的比例，必須要持續增加。

最後，本報告提出在未來永續性能源的五項行動包括：

1. 加強政策對再生能源的承諾：確保政策與規範性的框架可以創造穩定與可預測的投資環境，協助克服障礙，確保對計畫而言可預測的收入；制定再生能源的目標與制定專門的政策，用以實現提供強而有力的市場訊號，對產業的發展反映出政府的承諾；根據國家環境背景，配套措施可透過提出相應的能源價格結構來平衡再生能源的競爭環境。

2. 動員再生能源的投資：公共資金仍將會是一個重要的催化劑，未來也需要增加，但在再生能源投資中最大的比例將會來自於私部門的投資。要動員私部門的投資，訴求的策略必須著重於提供減輕風險的工具與結構化的財政工具，建立一個強大的項目，還有解除計畫經費與再融資的機會。要提升在發展中國家的投資，致力於減輕風險措施，需要同時使用氣候經費與傳統發展經費兩種管道。

3. 建構制度性、技術性與人力等能力來支持再生能源的配置：藉由透明化與簡化的程序來釐清制度性的角色，可以減少轉移成本，也能使計畫更具吸引力。從政策與規範設計到項目的準備、評估、發展與經費，需要在政府的行政部門、財政制度與規範機構中，建立出整套廣泛的技能。不同利害關係人間的協調也十分重要，例如確保基礎設施與補充規範，像是電網規範，以保持再生能源加速發展的速度。

4. 在可持續的發展上利用再生能源的交叉影響：達到能源的永續發展目標（Sustainable Development Goal, SDG），將會轉變能源系統，同時協助達到其他 SDGs，像是健康、緩和貧窮、水與城市等目標，並提供可靠、具成本效益與環境永續發展的現代能源服務。尤其是再生能源的解決方案可擴展到電力的使用、增加生產力、創造工作機會、改善水供應安全性，還有支持在濟弱扶傾上的努力。這廣泛的再生能源永續發展影響，必須是當 SDGs 實施策略發展後才會出現的。

5. 增加再生能源配置的地方性參與和國際性的協作：區域性的方式與共同的行動可以減少成本、增加經濟規模、吸引投資、促進經濟能力、促進雙邊貿易與加速全球再生能源配置的共同配置進程。為了要達成國家性的目標，國家可以從具體的

區域與國際性協調行動中受益，各國政府應在再生能源與減緩氣候變遷中積極尋求參與和共同協作的機會。

❖ The Power of Transformation: Summary（轉型的力量：概要）

本報告係由國際能源總署出版。報告指出風電與太陽光電（PV）被預期在安全與可持續性的能源系統上將產生重大貢獻，但這兩種發電方式分別會受到風及太陽光的多樣限制，也使得它們在持續性這個面向遭遇極大的挑戰，進而使得考慮多變性再生能源（Variable Renewable Energy, VRE）成本效益分析成為一個重要議題。

根據目前對 VRE 彈性選項的評估，可以發現最大的 VRE[8]長遠來看可以被整合，而不會顯著提高電力成本，但需經由有效的經濟整合來達成系統性的改造，且每一個國家面臨的系統整合可能都不相同。目前有四種靈活資源可協助 VRE 的整合，包含彈性發電站、電網基礎設施、電力儲存及需求整合，可用於評估技術、經濟上的績效。VRE 和其他系統的交互作用，決定了整合上會出現的問題與難度，主要取決於兩個因素：第一、風力發電跟太陽光發電的特性，尤其是天氣與日照情況決定了生產的地區跟時間；第二、VRE 整合時，電力系統的靈活性與系統電力需求的特性。兩個因素的交互作用會因為系統的差異而有所變化，成本會影響不同的系統如何完美搭配，也造成 VRE 的經濟影響還取決於特殊的從屬關係。

然就 VRE 的低占有率[9]而言，系統整合看起來也並非太困難，根據 IEA 的 FAST2 評估，假設以目前的系統靈活性來看，在技術層面，可以達成 25～40%的 VRE 電力分享。系統改造有三個部分需要處理：第一、VRE 友善的系統配置，以期最小化整個系統的成本，需要考慮到時間、位置與技術的結合、技術能力、設計友善系統的發電站及縮短生產時間等 5 個要素。第二、改善系統與市場營運，關鍵是改善短期的電力市場，讓市場操作來決定電力的供需配對。第三、投資更多彈性資源，在長期整合過程中，需要彈性投資來協助所遇到的多樣難題，值得注意的是並非是所有電力生產都需要嚴格遵守低碳目標，尤其是二氧化碳密集的類型。重點是如何彈性調配發電供應來源，並透過市場、規範讓高碳排的發電廠逐步退出市場。

三、再生能源重要的發展面向

綠色能源是目前能源發展的核心，除了本身為低碳電力外，也可經由多種來源和型態來生產，目前全球綠色能源可供能源生產及應用的類型，包含太陽能、風力、水力、地熱、智慧電網、生質能、氫能等。此外，由於部分再生能源，會受到氣候、區域所帶來的不穩定性影響，需要儲能技術來維持供電安全，也成為關注的重點。因此本報告特別針對上述綠色能源技術就平台所收錄之研究報告摘要引介如下。

[8] 最多占 45%的年發電量。
[9] 一般電力生產中，產出比例為 5~10%。

(一)太陽能

太陽能發電在近幾年因為技術的進步使得生產成本大幅下降，加上電網連結的協助，在全球大幅成長，裝置容量在 2014 年增加 40.2 GW（Gigawatt），全球裝置容量提高到 180 GW，比起 2013 年成長 38%，是目前全球市場占有率最高的再生能源之一。IEA 認為太陽能發電有巨大的潛力，可在 2050 年占全球發電量的 20%～25%。太陽能發電共可分成兩種形式，包含太陽光能發電（Solar Photovoltaic, PV，以下簡稱太陽光電）跟太陽熱能發電（Solar Thermal Electricity, STE，以下簡稱太陽熱電）兩種：

1. 太陽光電

以矽晶體為基礎的太陽光電系統，屬於技術成熟的再生能源類型。光電模板可以在工廠大量生產，達到規模經濟，還是個已標準化的技術，所需要的規模彈性很大，可以小如計算機，也可大到發電廠，且可以快速完成安裝。比起太陽熱電，光電透過直接的陽光來發電，連周邊游移的光線也可納入，即便在天空不是很晴朗時也可以發電，算是相當有效率的發電技術，唯一的缺點就是太陽落下後便無法發電。

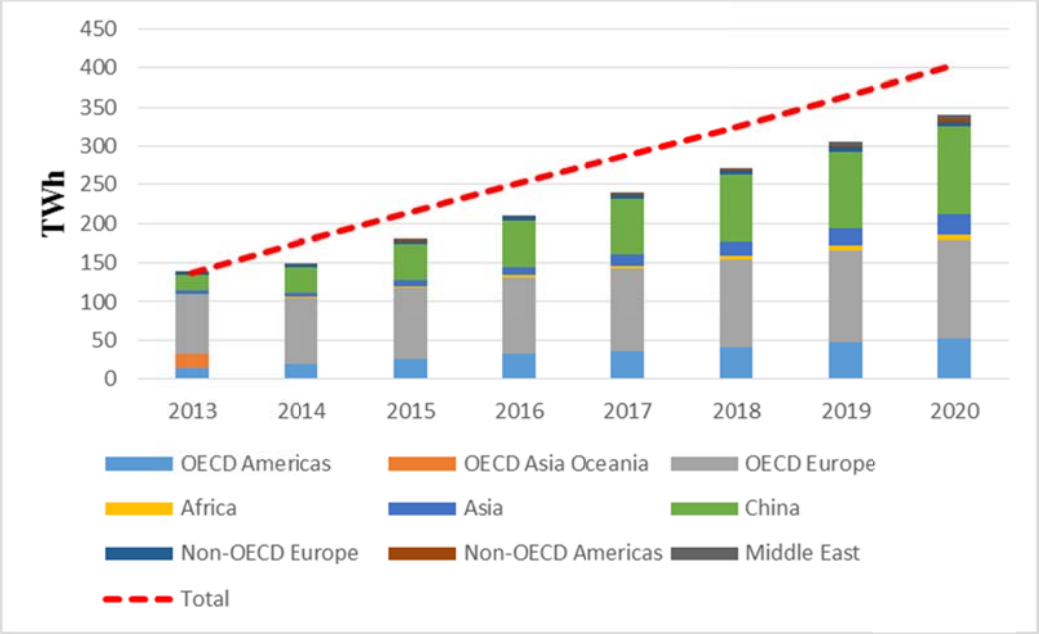


圖 2：太陽光電發電量及區域預測

資料來源：IEA，Medium Term Renewable Energy Market Report 2014，P167，本報告繪製。

2. 太陽熱電

太陽熱電是將太陽光帶來的熱量轉化為電力，比起太陽光電而言，發展較慢、市場占有率也較低。通常太陽熱電都必須結合聚光太陽電力（Concentrating Solar Power, CSP，以下簡稱 CSP）技術，CSP 電廠經由太陽能集熱器，搭配儲熱系統來進行發電。對比太陽光電在太陽落下後無法發電，太陽熱電的儲熱系統可以調節用電的高峰期，不致發生缺電問題，但其較容易受到氣候的影響，發展較不易。但太陽光電、熱電兩者具互補性；熱電可以儲蓄、調節電能，因此，目前已有國家著手將太陽光電、熱電合併使用，以增進能源生產的效率。

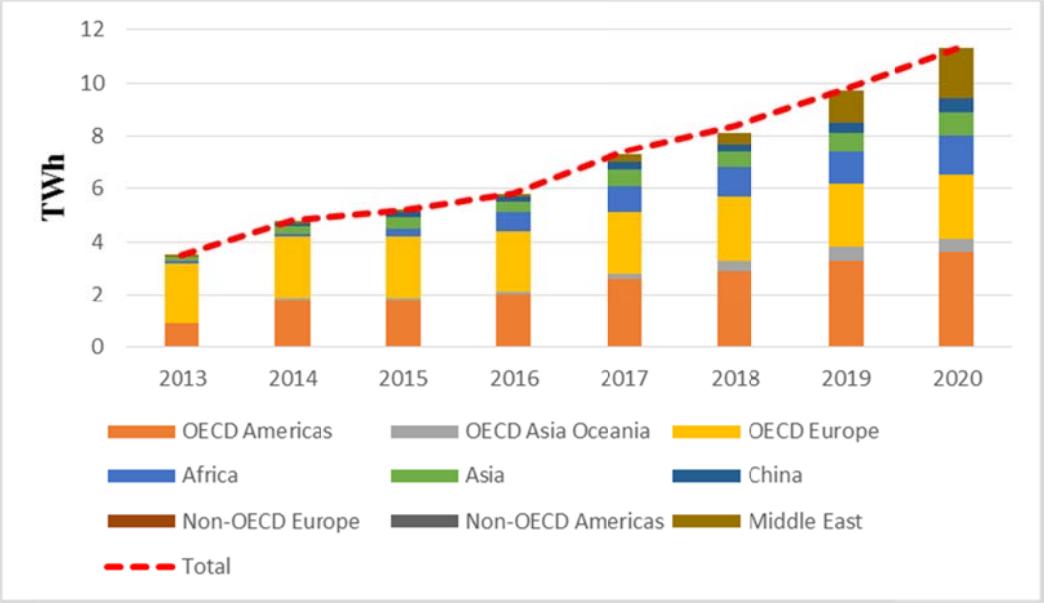


圖 3：太陽熱電發電量及區域預測

資料來源：IEA，Medium Term Renewable Energy Market Report 2014，P193，本報告重製。

有關太陽能的發展，本報告摘錄國際能源總署(IEA)的 2 份研究報告內容如下：

❖ **IEA Technology Roadmaps: Solar Photovoltaic Energy(國際能源總署技術路線圖：太陽光發電)**

從 2010 年開始，全球太陽光電裝置較過去四十年增加更多容量，2013 年所設置的新系統平均每天增加 100 MW 的容量；2014 年初，全球容量已超過 150 GW。根據 IEA 路線圖推估，太陽光電的比重將在 2035 年提升到 11%，若在 2050 年達成路線圖中 4,600 GW 光電容量的願景，就可以節省每年 4 億噸的碳排放量。除了容量提升外，安裝、使用太陽能光電的地區也逐步擴散，從原先以歐洲國家為首，如德國、西班牙，擴大到其他陽光充沛的地方，自 2013 年起，改由中國大陸帶動全球光電市場，其次分別為日本與美國。過去幾年，光電產業的發展主要集中在亞洲，諸如中國大陸跟台灣有新的大型生產設備投產，未來則是以技術創新為主要發展，如能加入國際協作，便可以增加全球化配置與生產製造的可能性。

在市場上，太陽光電可概分為三種價格、五種模組，視不同的太陽能源形式、規模、系統成本、市場成熟度與資本成本，價格從 90～300 美元/MWh（每一千度電）不等。依據 IEA 路線圖的假定，在 2020 年前光電的平均成本將減少 25%，2030 年前減少 45%，2050 年前降低 65%，最後成本會固定在 8%，也就是 40 美元/MWh 左右。目前公用事業體系跟屋頂系統大約佔了一半的市場，其中屋頂系統是最昂貴的，但在傳送到使用端的應用上卻很有價值。

太陽光電最主要的成本集中在興建電廠的資本投入，之後維護成本不高，但是也存在著很大的問題，也就是許多再生能源都存在的「不穩定性」，發電量會經常性受到氣候的影響。另外，還有電網的連結如何將太陽光電的電量從發電位置連結到消費者，如何透過技術或制度來克服這些障礙，是太陽光電成功的要件。

❖ **IEA Technology Roadmap: Solar Thermal Electricity(IEA 技術藍圖：太陽熱能發電)**

2010 年以來，太陽熱能發電與 CSP 技術在全球快速成長[10]，但比起預期還是慢很多，美國是最早發展的，但受到低價的非常規天然氣（此指頁岩氣）以及成本快速下降的太陽光電影響，進展仍相當緩慢，其他地區則是最近才開始發展。2014 年全球太陽熱電裝置量約 4 GW，相比太陽光電的 150 GW 就相形見絀了。雖然太陽熱電的成本有所下降，比起太陽光電仍然較高，然而新的 CSP 零件與系統已經在商業化的發展上有一定的能力與成效，透過持續提高電力調度[11]以及提升保溫率來降低成本。新的市場開始浮現，多半都是設置在炎熱的沙漠地區，所以投入的國家多半是幅員廣大的，像是美國、澳大利亞、中國大陸、印度、中東及非洲的北非和南非。

依據路線圖的設想，太陽熱電在 2050 年將占全球電力市場的 11%，這其實跟 2010 年路線圖所設定的目標幾近相似，也表明了長期而言太陽熱電並未因太陽光電的成長而減低其發展。將太陽熱電加上太陽光電，太陽能發電足以因應 27%的全球電力需求，如在 2040 年 CSP 的容量能達到路線圖所設定的 1,000 GW，將可減少每年 2.1 億噸的碳排放。就系統的角度來看，太陽熱電其實能夠提供比太陽光電發展更多的優勢，雖然太陽熱電具有很多優點，但是市場架構與監管框架未能提供健全的、長期的價格誘因，難以吸引投資者，也使得太陽熱電發展緩慢且不如預期。

(二)風力

風力發電(以下簡稱風電)如太陽能發電一樣，於再生能源中受到相當廣泛的使用。因風力發電具有低污染、未排放溫室氣體、無須燃料的特質，於全球市場持續增長中，2014 年成長 16.2%，產能由 52 GW，到 2014 年提升到 373 GW，占全球發電裝置量的 3%，大約等於德國與荷蘭兩國的總發電裝置量。風力發電是歐洲主要的再生能源發電來源，而亞洲也快速成長中，2014 年亞洲的裝置量已超過歐洲。IEA 預測到 2050 年，風力發電在全球發電裝置量的比例，可望從目前的 2.6%成長到 18%，投資也將從 780 億成長到 1,500 億美元。然風力發電仍存在部分限制，容易受到氣候、地區的影響，亦有不穩定性，必須搭配儲能系統，另外可能有噪音污染的疑慮。風能主要發電方式是透過風力帶動渦輪機來發電，可分成兩種類型，包含陸上風電跟離岸風電。

[10] 太陽熱電需要採用高溫集熱器(Solar Thermal Collectors)來聚光產生熱能，高溫集熱器則要利用聚光太陽電力(Concentrating Solar Power)技術，CSP 利用透鏡等聚光設備匯聚陽光以提昇高溫，啟動蒸汽渦輪機(Steam Turbines)發電。
資料來源：鍾玉峰，太陽熱能(Solar Thermal Energy)，「科學 Online」科技部高瞻自然科學教學資源平台，取自：http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=5140。

[11] 也就是太陽熱能中所謂的「發送能力」，表示可將儲存的能量用來發電，而這些電力可販售給公共設備業者在電網達到高峰負載時使用。相較於必須隨取隨用的光電轉換能量，對於發電廠而言，這個方法賦予太陽熱能更高的價值。資料來源：EET 電子工程專輯，〈尋找替代能源 「太陽熱能」脫穎而出〉http://m.eettaiwan.com/ART_8800536915_480702_NT_067ff855.HTM#.VvznQPl95hE。

1. 陸上風電

是指設置在陸地上的風力發電渦輪機，透過風力帶動高聳直立的扇葉渦輪機，將風力的動能經由傳輸系統帶動發電機轉化為電力，主流的風力渦輪機發電機組容量已可達 9 MW，具有相當成熟的技術。自 2004 年以來，累計裝置容量有年均 24%的成長率，全球陸上及離岸風力裝置容量共計 282 GW，2012 年新增投資 766 億美元。目前仍投入資金持續研究更小型但更有效能的渦輪機，以增加成本競爭力。

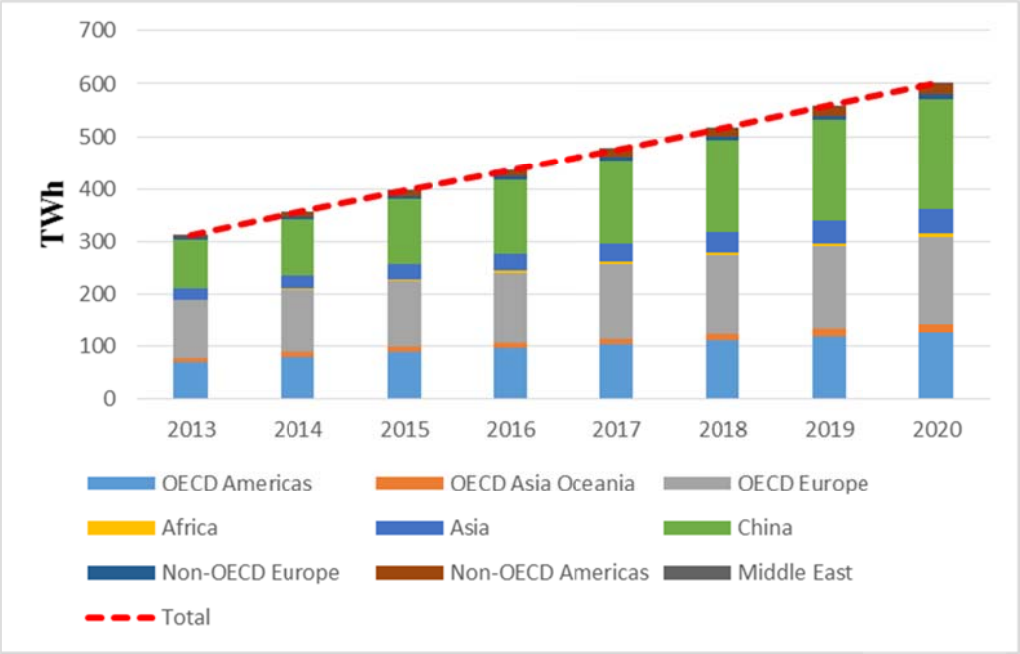


圖 4：陸上風電發電量及區域預測

資料來源：IEA，Medium Term Renewable Energy Market Report 2014，P165，本報告重製。

2. 離岸風電

離岸風電與陸上風電不同之處，是將風力渦輪機設置在海上，發電量主要取決於海上風力資源量及發電機組容量。雖然海上擁有的風力資源遠較陸地上高出許多，但由於將電力傳送至陸上相對不易，所以發展也較緩慢。大規模的離岸風電主要以歐洲為主，像是英國（3 GW）、丹麥（1 GW）等。IEA 針對離岸風電發電量及區域之預測如圖五。

有關風能的發展，本報告另摘錄來自國際能源總署（IEA）及美國能源部的 2 份研究報告如下：

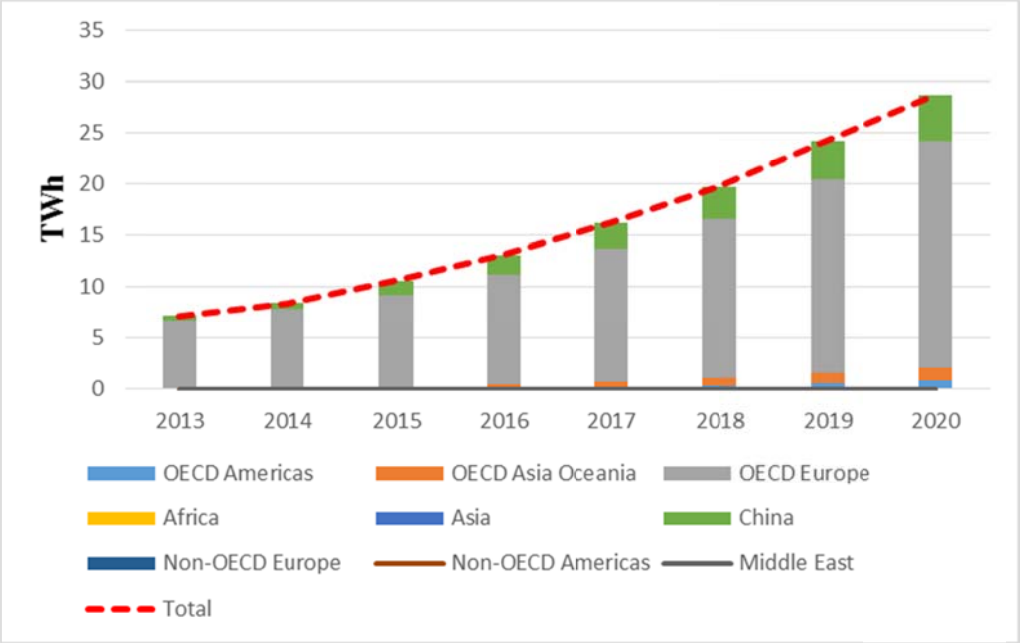


圖 5：離岸風電發電量及區域預測

資料來源：IEA，Medium Term Renewable Energy Market Report 2014，P160，本報告重製。

❖ IEA Technology Roadmaps: Wind Energy

自 2008 年起，風力發電的設置就呈現倍速發展，裝置的容量已累積接近超過 300 GW，其中以中國大陸的 75 GW 為首，其次是美國（60 GW），第三則是德國（31 GW）。整體而言，風力發電共提供全球約 2.5%的電力需求，丹麥、葡萄牙及西班牙等三個國家風力發電供給該國電力需求則為 30%、20%及 18%，目前各國都以政策來支持風力發電的巨大成長。早期風力發電主要以 OECD 國家為主，目前已有很大轉變，預計到 2030 年後，非 OECD 成員國將會擁有超過全球一半的風力發電配置容量。

在過去五年的發展，已帶動產量的增加（尤在低風速資源地點）及操作、維護成本的降低，目前普遍的成本約為 60~130 美元/MWh，已具市場競爭力，但大多數國家仍需要政策支持。此外，海上風力發電的成本已趨於穩定，但仍高於陸上風電的成本。

雖然目前風力發電已有快速發展，但仍存在一些問題，例如發電成本、電網連結與授權困難等問題，然就有力的研究顯示，若能改善設計、材料、製造技術和可靠性，並提升效率與減少產出的不確定性，風電的成本將能在 2050 年出現下降趨勢，如陸上風電下降 25%，離岸風電下降 45%，可惜的是，目前僅有 2%的公共研發經費投入，不足以激發全部的潛力。就當前實際發展來看，風力發電要能夠穩定在全球發電站穩腳步，還有賴於各國政府透過電力市場、制度的設計或政策支持來加以協助。

❖ **Wind Vision: A New Era for Wind Power in the United States**

風力發電是美國在 2000 年以來成長最快速的再生能源之一。透過美國能源部（DOE）在 2008 年的分析，風力發電到 2050 年可滿足 35%的用電需求，對美國而言是國內自產的低碳、低污染、可行且經濟的發電方案，但仍需要中央政府付出許多努力，包含降低成本、提高轉換效率、選址及法律規範等。

就市場層面來看，美國平均風力發電成本快速逼近競爭成本的價格，但因缺乏誘因，使得 2013 年風力發電平均成本仍高出天然氣及煤炭發電的成本。然隨著風電成本的逐步下降，像是在科技層面的持續投資及可信賴度更高、更經濟的轉換系統等，可以預測到 20 年後，風電成本將遠低於目前或是未來的天然氣及煤炭發電的成本。根據美國能源局的情境推測，風力發電將會為美國帶來更多正面的經濟效益，諸如：在 2030 年雖然會有 1%發電成本的上升，但長期而言，將節省 2%成本，總計 1,490 億美元；到 2050 年可減少 12 億 3,000 萬噸溫室氣體排放，累積效益為 4,000 億美元[12]，也可減少懸浮微粒、氮氧化物及二氧化硫的排放，效益約相當 1,080 億美元；降低天然氣相關支出，節省消費者成本為 2,800 億美元；電力部門用水量消耗下降 23%，對受限於水資源利用的地區有重大價值；而風力發電使用之渦輪機、道路及設備僅占 0.04%的美國土地。美國能源局指出，未來如欲強化風力發電的發展，仍需朝降低風電成本、擴展風電範疇及有效提升風力發電的經濟效益，包含就業跟製造等面向持續努力。

(三)水力

水力發電係透過水流動的動能來加以發電，通常是裝置在河流或人造裝置，利用高低落差的動能來進行發電。在再生能源中屬於成熟且具競爭力的發電類型，貢獻全球發電量的 16%以及再生能源發電量的 85%以上。再者，水力發電具有穩定供電的特質，可以成為其他不穩定性高的再生能源，如太陽能、風能等的電力調節。此外，水力發電還具備低污染、低碳排放、可防洪抗旱及促進航運、旅遊業等功能。唯一的缺點在於強加人工裝置可能會為環境帶來破壞，如中國大陸的長江三峽大壩。

有關水力發電的發展，本報告另摘錄來自 DNV GL Company 的研究報告如下：

[12] 2013-2050 年之淨現值估算。

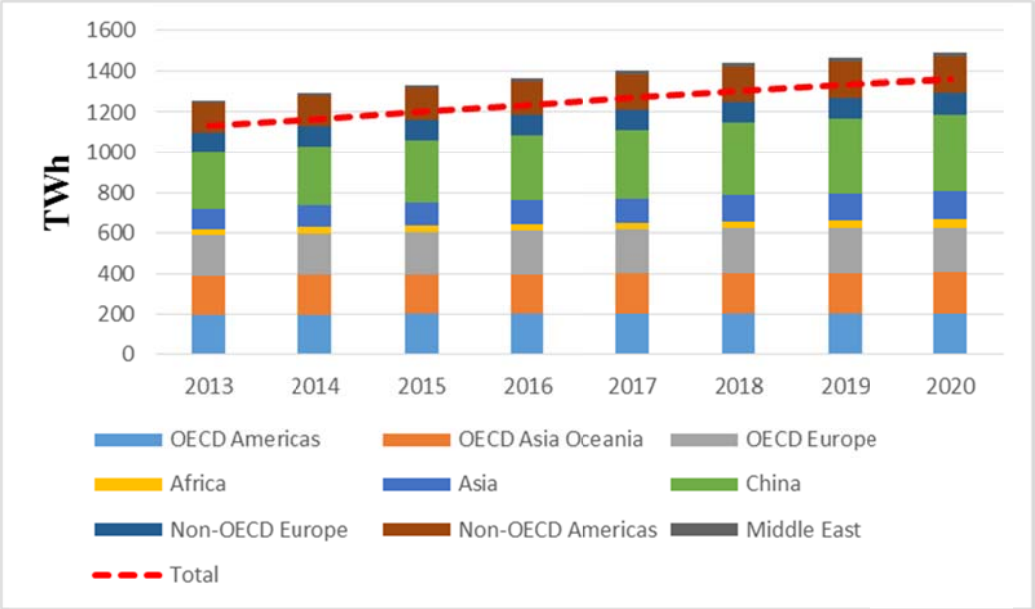


圖 6：水力發電發電量和中期區域預測

資料來源：IEA，Medium Term Renewable Energy Market Report 2014，P153，本報告重製。

❖ Macroeconomic Effects Of Hydropower In Europe（歐洲水力發電的宏觀經濟效益）

水力發電不僅是一種低碳排放量、符合經濟效益的發電來源，同時也能對歐洲電力系統帶來其他效益、促進經濟發展，並透過水力發電的靈活性及儲存能力，也促進了不同類型再生能源的整合。

在經濟層面，水力發電至 2015 年的年產值約 380 億歐元，預估至 2030 年，可達 750～900 億歐元；目前水力發電及製造公司年均投資約 80 到 120 億歐元，延伸到 2030 年止，水力發電產業本身的投資額總計可高達 1,800 億歐元，而且水力發電設備的壽命遠高於其他類型的發電資源，歐洲未來將可持續受益。其次，水力發電產業直接或間接地確保超過十萬個全職工作機會(約相當於歐洲鋁工業的就業情況)，並且每一個全職人力工時，每年平均創造 650,000 歐元的產值，大約是歐洲製造業平均生產力的八倍之多。這些經濟效益將同時對各國帶來每年約 150 億歐元的稅收，是國家、地方政府的主要收入來源之一。最特別的是，水力發電還具備除了發電外的多功能特質，包含防洪減災、飲用水供應、農業灌溉及工業用水需求、旅遊業與航運等，概略估計約為每年 100 到 200 億歐元的經濟價值，而這些功能在近年的氣候變化下，效益有持續增加的空間。

水力發電在歐盟的減碳目標中扮演了關鍵角色，非常適合用來支持歐盟的約束性指標政策，因為它為歐洲能源系統傳遞了三個目標：

- 可持續發展：水力發電代表可持續發展電力產業的基礎，2013 年水力發電分別占 EU-28 與歐洲[13]總產電量的 13%與 18%；在再生能源體系（Renewable Energy Systems, RES），則分別占 EU-28 與歐洲的 49%與 59%。

- 合理的價格、具有競爭力：水力發電可提供經濟實惠的電力，同時因水力電廠的韌性，也可避免價格暴漲。

- 供應安全：經由提供靈活、可靠的儲存能力，水力發電促進了歐洲電力系統的可靠性。歐洲水電廠總共提供 220 TWh 的儲電量，約等於歐洲 25 天的平均用電量。這個特性，將有助於整合其他不穩定的再生能源發電資源，如風力及太陽能，進而促進再生能源的發展。

  水力發電被歐洲視作發展低碳電力的重要資源，預估到 2030 年總發電量可達 700 TWh。目前已被幾個國家當作實現多種再生能源整合的工具，如丹麥、德國、西班牙等。

(四)生質能

生質能係指傳統透過生物質燃燒產生熱能，或是經由生物質分解轉換成生物能源。生質能大約占全球初級能源的 10%，主要是發展中國家採用傳統生質能方式，但傳統方式的轉換效率非常低，還會造成空氣污染及環境破壞[14]。現在各國使用的生質能多半是採用生物能源的方式來進行，對比傳統燃燒方式，比例相對小很多，到近幾年也是穩定成長中，2012 年時，生質能發電達 370 TWh，占全球總電力生產量的 1.5%。

當前生質能係透過與其他產業聯產的方式來進行，像是結合造紙產生的熱能、建築物沼氣發電等，更多部分是與燃煤發電混合，以增加能源的使用彈性，同時減少碳排放。在上述有利的情勢下，使得生質能能夠達到量產並具有成本競爭力。唯應特別注意糧食作物轉化為生質能的使用與規範，以免出現與人爭糧或是土地不敷使用的問題。

有關生質能的發展，本報告摘錄來自中國能源基金會、歐盟（EU）、國際再生能源總署（IRENA）及國際能源總署（IEA）等研究報告如下：

[13] 「EU-28」指的是歐盟（除馬耳他和塞浦路斯之外）的 28 個會員國，「Europe」是指 EU-28 加上挪威、瑞士和土耳其。
[14] 例如：伐樹、毀林等。

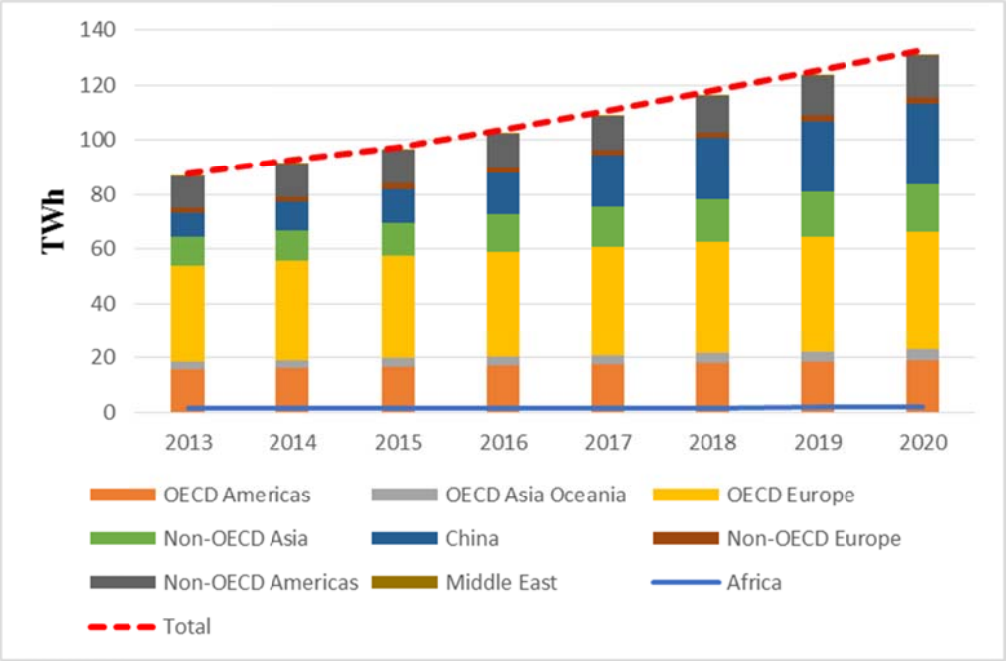


圖 7：生質能發電量與區域預測

資料來源：IEA，Medium Term Renewable Energy Market Report 2014，P148，本報告重製。

❖ 世界主要國家生物液體燃料政策研究報告

全球的生物燃料產業發展以生質乙醇與生質柴油最為普及，其中 2013 年全球生質乙醇產量達 234.29 億加侖，約占生質燃料總產量的 80%，主要生產國家以美國、巴西為首，兩國生產量總和約占世界生質乙醇產量的 80%；而生質柴油部分，2011 年全球產量約為 61.9 億加侖，以歐盟產量最高，占全球產量的 44.1%，其次為美國、阿根廷及巴西。值得注意的是，前述國家之所以能成功發展高產量的生質能，主要原因在於政策的支持。目前採用的生質燃料政策主要有以下三種類型：

- 頒布強制使用或添加生質燃料之管制命令：經由立法強制規定化石燃料中需添加的生質燃料比例，或是規定每年需達成的生質燃料使用量，如日本、印度、巴西及歐盟等。另外，生質燃料是目前美國唯一透過立法訂定發展目標的再生能源，並規範國內使用量需達 360 億加侖，同時美國也是全球唯一有訂定先進生質燃料、纖維乙醇等第二代生質燃料使用量的國家。

- 實施經濟激勵政策工具：激勵方式最常採用的是提供稅收減免或取消，以巴西的政策工具最完備。另外就是採用直接補貼的方式，以降低生質燃料的價格，進而提高競爭力，不過補貼經常會伴隨發展情況來調整額度。

- 支持研發投資：在不與人爭糧及提高生質燃料減碳效益的共識下，目前主要集中在鼓勵研發纖維乙醇技術；生質柴油則是以微藻、麻瘋樹等非糧源生質柴油為研發主流。

❖ **From the Sugar Platform to Biofuels and Biochemicals(從糖平台到生物燃料與生化物質)**

藉由糖平台(Sugar Platform)能開發許多有潛力的途徑生產生質燃料(Biofuels)及生物化學品(Biochemicals)，其中最主要的產品是生物乙醇，另外還有木糖醇、山梨醇等，亦可透過糖平台來轉化，而非經由石化品產線。研究中以 94 個糖平台產品來創建生產商資料庫，94 個糖平台產品中，包括部份已於市面流通之產品、多數處於研發或試驗階段之產品及僅有少數正在將理論轉換為實際產品，也點出了糖平台未來的價值定位、市場前景，以及歐盟針對 10 項價值鏈的決策。

雖然糖平台的研究已有重大的進展，但有部份問題對現今的研究發展產生阻礙，如木質纖維素生質原料的分餾(Lignocellulosic Biomass Fractionation)、產品分離能量(Product Separation Energy)、生物抑制(Biological Inhibition)、化學選擇性(Chemical selectivity)和單體純化(Monomer Purity)，以及提高整個供應鏈的整合。除了研發的問題外，糖平台也面臨一些非技術性的障礙，像是需求端政策、大眾的認知與接受度、投融資、原料來源等，尤以政策帶來的問題最為嚴重，另外像是投融資不足也容易使研究力度不夠，進而影響發展。

根據歐盟競爭力的評估報告指出，糖平台在研發部份具有明顯優勢，但卻缺乏強力的商業活動，其原因在於美國、中國大陸和巴西的原料及投資條件更有吸引力，因此歐盟對於未來生物質發展的目標，將以歐洲糖質為基礎以實現更具競爭力的生物質經濟。

❖ **Renewable Energy Progress and Biofuels Sustainability(再生能源的進展與生物燃料的永續發展)**

歐盟依據再生能源系統所訂出的2011/2012年中期目標，25個會員國順利達成，僅法國、馬爾他與荷蘭未完成。透過對各式再生能源系統的分析[15]及國際再生能源計畫目標，可以看出 2012 年歐盟 28 國，在中期運用電力、加熱/冷卻方面的再生能源系統相當穩定，太陽熱電相形落後；整體而言，所有能源中加熱/冷卻有最多的進展。2020 年之前，電力與加熱/冷卻原本是有相當大的差距，但好在歐盟部分國家大量運用太陽能光電，讓再生能源在電力部分比原定目標略為提高。此外，交通運輸為能夠達到目標，還需要更積極運用再生能源。

針對歐盟各國使用再生能源的政策層面進行分析，可以發現部分國家因為未能預期再生能源技術成本的快速降低，尤其是太陽光電，以及國家內部的財政危機，削弱了消費者負擔再生能源技術成本的能力與政治上的接受度，進而使這些國家修正了再生能源系統的支持政策。比較值得慶幸的是，大部分國家修改後，至少還是能完成它們所提出的政策承諾。

[15] 此指電力、加熱/冷卻、太陽熱電。

歐盟對於生質燃料的推動相當積極，已有許多會員國採取眾多措施來維護生質燃料的多樣性及原料生產，亦有 23 國在法律中調整再生能源的永續發展目標。就會員國提出的報告或數據中，都未顯示生質燃料有帶來土地使用、生物多樣性、污染[16]等負面問題，也未影響到糧食價格。當然在開發中國家進行廣泛的整體發展[17]時，生質燃料的確有可能產生正面或負面的影響，但若缺乏足夠的資訊，實難以將這些情況與生質燃料相連接；同樣地，如果有足夠的資訊，也能夠促使各國政府有效兼顧推動生質燃料與國家發展。

❖ **Innovation Outlook: Advanced Liquid Biofuels（創新展望:先進的液態生物燃料）**

國際再生能源總署是為推廣各種型態再生能源運用、擴散、永續利用之國際組織，在其「REmap 2030」計畫下，由約占全球能源總消費 80%之 40 個國家共同合作，欲於 2014 年至 2030 年間，提升再生能源在全球能源之占比翻倍。而「REmap 2030」計畫認為，近代生質能於未來可能占全球最終再生能源消費超過 50%，是最重要的再生能源，且液態生質燃料亦將成為運輸部門中之主要再生能源解決方案。目前從糖、澱粉、油類作物所製造之傳統生質燃料使用量日漸上升，惟因其同時與糧食和飼料作物之耕地互相競爭，且改變現有之土地利用方式而存在問題，先進液態生質燃料（advanced liquid biofuels）係由非與糧食或飼料作物競爭之其他原料（feedstocks）製造而成，從農業與林業殘餘物（如：農作殘渣、鋸屑）、草類、固體生質廢棄物、藻類等不同來源進行轉換，使運輸用生質燃料之原料變得更加廣泛，為未來可替代化石燃料之較永續的解決方案，也是未來生質燃料之發展主力。

為使先進液態生質燃料之發展能維持其快速上升的競爭力，應持續發展先進技術、改善監管架構、建立商業模式及風險評估方法，以及對應不同生質燃料之發展規模而選擇最適合之發展配置。在目前的發展趨勢上，全球均傾力追求低碳經濟，但目前為止仍未在運輸部門有積極行動以促進發展潔淨且具競爭力的替代能源，連帶使產業對進行大規模投資以擴大先進生質燃料之發展，持謹慎態度，除非可尋得具成本效益之生產技術與具吸引力的市場。就技術發展而言，有潛力的先進技術多需要早期資金挹注以為支持，尤其是挹注於建立早期具商業規模的示範專案廠，不僅可於執行專案而進行大規模生產時發現試驗階段所未見的問題，如：原料之供應來源與其選擇或不同之物流條件等，同時亦可因示範專案之運作及嘗試建構商業模式，吸引後續之投資與競爭者，對整個產業帶來貢獻。

❖ **Technology Roadmap: How2Guide for Bioenergy（技術地圖:如何指引生物能源）**

本報告主要探討發展生質能源所面對之技術、政策、規範、財務、市場、組織面等不同發展挑戰，及可能之解決方案，並設法使各參與者最大程度參與其中，以達成發展目標。有鑑於生質能是目前再生能源中來源最廣泛的能源，且在供熱、電力、與運輸燃料等領域均有長期應用，且於順應全球升溫限制之目標下對能源轉型

[16] 對土壤及水質的影響在於耕作、施用農藥；空氣品質則是焚燒耕地、施用農藥。
[17] 農村與社會發展，像是繁榮本地、社會福利及能源取得、生產力成長及技術轉移、性別議題。

有重要的發展潛力，國際能源總署（International Energy Agency, IEA）及聯合國糧食暨農業組織（Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）共同提出本報告，為政策制定者（policy makers）提供概念架構與規劃工具，協助達成其生質能源發展目標，並對來自產業及金融部門的相關參與者（stakeholders）提供訊息，協助其進行決策，以促進生質能源發展。

生質能源在供熱領域方面，傳統上被用於明火或效率較低的傳統爐具，以及耗熱與產出生質殘餘物較多之產業，如紙與紙漿業、食品與化學業及水泥業等，前者因對健康與環境之負面影響，朝向汰換至高效率爐具邁進，後者則朝向最經濟利用發展。在發電部分，固態或氣態之生質能源均能用於發電，在小規模的電站中，部分生質燃料亦可取代液態化石燃料作發電使用，目前固態生質燃料與傳統化石燃料（按：如煤）混燒的汽電廠也是在大規模電站的應用之一。生質能源用作發電將有資源來源多樣化、負擔基載的特性，沼氣與混燒為目前二大重點發展方向；運輸領域中，傳統生質燃料為由糖或澱粉類原料轉製成之生質乙醇，或是油料作物轉製成之生質柴油，而另外基於對農糧問題的關注，替代性的先進生質燃料有植物油料、木質、生質原料製備之合成氣、藻類與微藻類等運用。

(五)地熱

雖然地底溫泉很早就為人所知，但地熱的工業運用到 19 世紀才開始，而地熱發電則是到 20 世紀初才成功實踐，持續到 2013 年已生產超過 75 TWh。發電方式是透過萃取地球內部的熱能來進行，不會受到氣候、季節影響，能夠穩定產生電力。2012 年，全球地熱裝置容量為 11.4 GW，發電量約為 72 TWh。主要生產國家為冰島（25%）、薩爾瓦多（22%）、肯尼亞和菲律賓（各 17%）及哥斯達黎加（13%）。因為地熱發電受制於地理環境的限制，發展比較緩慢。

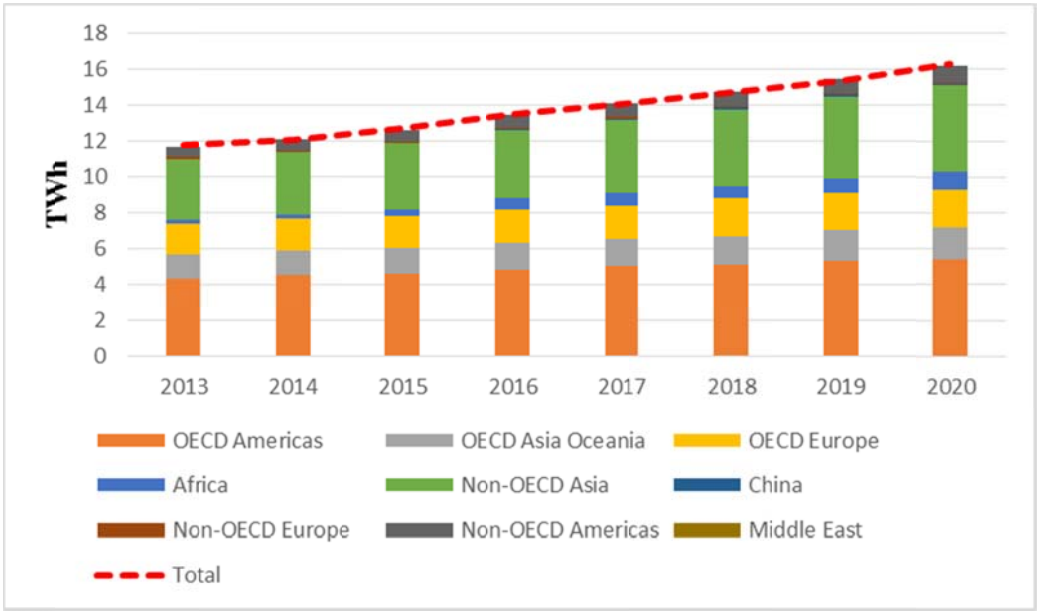


圖 8：地熱發電量及區域預測

資料來源： IEA，Medium Term Renewable Energy Market Report 2014，P149，本報告重製。

有關地熱的發展，本報告摘錄中國能源基金會、European Union 的研究報告如下：

❖ **JRC Geothermal Energy Status Report（歐洲委員會聯合研究中心地熱能源現狀報告）**

由於地熱發電無須使用任何化石燃料，地熱發電所產生的溫室氣體比天然氣或燃煤要少很多，地熱發電廠約排放 5%的二氧化碳，1%油當量的二氧化硫以及低於 1%的相同規模燃煤電廠所排放的氧化亞氮，大概只有高焓發電廠所產生的硫化氫可能會對環境產生重大威脅。此外，鑽井作業也可能造成部分碳排放，而且 EGS（Enhanced Geothermal Systems, 增強型地熱系統）電廠在進行儲層改造過程也可能誘發地震，這個部分需要政府的管理來加以規範。

地熱發電的容量裝置總額約為 60 GW，占全球 18%，其中用於發電約 26%，直接利用或利用地熱熱泵（Ground Source Heat Pumps, GSHP）合計為 56%。地熱發電的領導市場（Lead Markets for Geothermal Energy）主要是美洲、歐洲及亞洲。地熱發電產業目前規模還是很小，大概只有幾家公司活躍於供應鏈上。市場主要以探勘、鑽井、工程、施工及工廠營運等連續性的活動為主，也使得大部分的公司都以追求垂直整合為目標。市場發展則有區域性的差異，像是歐洲市場已從小公司林立，發展至由供應暖氣、空調的大公司主導，市場具競爭力的公司主要在德國、瑞典，但在亞洲有一些大公司亦準備加入地熱發電的市場中。地熱資源的蘊藏量很可觀，但開採不易，又受到場址限制甚多，因此目前市場規模不大。想發展大規模的地熱發電還需有賴於 EGS 技術及設備的持續研發、高效率岩層熱能轉換、更便宜的鑽井技術及降低可能帶來的環境風險。

三、新能源技術

(一)智慧電網

智慧電網係指傳統電網從發電端到用電端的所有設備利用感測和通訊技術建立起一套完整資訊系統，藉由資訊科技的整合分析，可達到電網即時監控功能，資源最佳利用配置，提升供電品質與可靠度。智慧型電網為整合發電、輸電、配電及用戶的先進電網系統，兼具自動化及資訊化的優勢，具備自我檢視、診斷及修復等功能，提供具高可靠度、高品質、高效率及潔淨之電力，可滿足世界各國能源政策發展方向與因應社會對供電可靠度與供電品質提高的要求。另一方面，可以導入大量再生能源併網發電、結合智慧型電表進行需求面管理，減少二氧化碳排放、抑制尖峰負載及節約能源。

有關智慧電網的發展，本報告特摘錄國際再生能源總署（IRENA）的研究報告如下：

❖ **Policies and Regulations for Private Sector Renewable Energy Mini-Grids（私部門再生能源微型電網之政策與法規）**

本篇報告係國際再生能源總署針對非洲及東南亞等國家的再生能源微型電網發展狀況提出說明。報告中提到這些國家藉由單一能資源如：日照、風力、水力、生質能，或混合多種能資源如：結合日照與柴油發電，而提供不同的電力服務水準。隨技術成本快速降低、可靠性增加、且裝置容量正在成長，加速採用獨立且離網的解決方案。

估計離網解決方案可再供給近 60%之額外電力，而對能源普及作出貢獻，其中微型電網（minigrids）占大多數。傳統上，非洲及東南亞等國家透過政府機構、國營企業、社區團體、非政府組織及部分由當地私人公司進行之專案，推動微電網蓬勃發展。但即使成功地使電力得以在許多區域普及，有限的經濟永續性及可擴展性，仍是欲發展微電網的主要挑戰。為克服相關挑戰，私部門之參與對發展微電網至關重要。透過私部門的參與將加速微電網發展，藉由結合技術與新的財務與商業模式，能經由不同的融資方式發展微電網解決方案。

基於對成本回收的期望各有不同，一般來說，以補貼為基礎的財務支持機制，必須在電費監管上至少能支應管理、運維成本，以及在私部門參與的情況下，必須能使其回收成本，亦加上與所承擔風險等價之合理利潤。以成本回收為導向進行電費之監管，是確保私部門參與之微型電網具經濟上可靠性的一種途徑。微電網之電價通常與集中式的電網相較來得高，尤其在某些情況下，此種電價差距常被用以檢視對城鄉差距之公平性；於是，部分國家是以統一電費的方式作管理，或是使微型電網的價格與集中電網的價格相近，通常價格均低於微電網之建置與營運成本，故在全無政策介入的情況下不具經濟上可行性。而政策介入亦將增加財政負擔。

此外，對於發展微電網而制定的專門政策與監管規範，將使投資準確地被引導至相關的技術與不同的參與者中，且不同的微電網配置，亦需有相異的政策與規範環境以為支持。政策之設計不僅影響電力普及程度，亦將影響電力供應之水準、公共財政支出幅度，以及終端使用者之滿意程度。如太陽能微型電網可快速布建，且耗用較少之公共財政支出，但獲得之電力服務水準則較低，相對地，微型水電可提供更高的電力服務水準，但公共財政支出高，且布建耗時甚鉅。如何權衡適當的發展組合，以進行政策選擇，將相當重要。此外，若能建立選址或相關技術與成本資訊的數據資料，將有助於作為決策時的評估輔助工具。

再生能源微電網之發展變動快速，並將影響政策在此之投入與運用，推動微電網之政策與法規需要不斷調整，以確保相關規範之執行效率，而為對私部門參與微電網之發展創造有利條件，不僅應在能源部門，更應加上在非能源部門之資源與措施，相輔相成，如：金融、數據與統計、城鄉發展等，以透過設計精良的政策與監管架構，提高專案永續性，並使社會經濟效益最大化。

(二)氫能及燃料電池

氫氣係可作為能源載體的二次能源，然而其受到體積的限制甚大，由於成本考量及氫氣運輸的困難度，目前燃料電池的應用並沒有很廣，主要多在 3C 產品，部分應用在交通工具。我國在面對能源轉型時，也將氫能納入重要選項之中。然氫能主要使用疑慮係在儲存和運輸上，以及當前氫能的基礎設施不足，啟動可能要投入大量的資金。有關氫能及燃料電池的發展，本報告摘錄 International Energy Agency (IEA)的研究報告內容如下：

❖ IEA Technology Roadmaps: Hydrogen and Fuel Cells（國際能源總署技術路線圖：氫能與燃料電池）

氫能是一種容易使用的能量載體，富含在所有區域，有效被轉化成各種形式而被多元應用，尤其適合使用於燃料電池。將氫氣作為能量載體，在能源供需上，不論集中或分散的方式，都能夠增加整體的靈活性，達成不同能源的電力調度。其次，氫氣具低碳足跡特性，對比石油，對環境有較低的空氣、噪音污染，並可減少碳排放，有助於維持全球氣候。

在氫能及燃料電池的跨領域結合方面，因為氫氣能被轉化成多種形式，能被限制在有限的空間及重量中，因此最常被運用在電動汽車上。燃料電池電動汽車（FCVs）與傳統汽車具相同的移動性能，更有低碳排放的優點。而氫能會面臨的最大挑戰，主要是在生產後的儲存、運輸和分配（T&D）及零售的基礎設施建置，像是在市場上推動燃料電池電動汽車，首先就會遇到基礎建設的資金投入挑戰。為能持續推動氫氣能源的發展，首先需要政策的支持，刺激對氫能、燃料電池及其基礎建設的投資，以求降低生產成本，並對整體能源市場推動燃料碳中和政策，增加使用效率並減少碳排放，讓投資者跟創業者對低碳能源市場更有信心。此外，需特別注意的是氫能供應上的安全性及處理，應制定詳細的法規來加以管理。

(三)儲能

儲能技術在再生能源與能源效率兩項議題興起後，成為相當重要的議題，原因在於當前具競爭力的再生能源，如太陽能、風能，都具有高度不穩定性，無法因應用電高峰期之需求，而且許多電力生產過程中，經常會出現其他形式的能源而無法被使用。要解決上述問題，最好的方式就是透過儲能技術，針對不同能源生產時點搭配需求端來加以調控，像是在快速生產電力時優先儲存，到用電高峰期做為供電之用等。有關儲能的發展，本報告摘錄自 International Energy Agency (IEA)的研究報告內容如下：

❖ E-storage: Shifting from cost to value

對於再生能源的發電成本而言，儲能技術扮演了很重要的角色，但只透過標準化的方式來分析儲能的成本，卻容易產生誤導，將商業模型的建構與儲能工廠的運

作納入考量確有其必要性。此份報告對政策制定者提出了幾項建議：首先，在分析時，要注重投資成本，但不要將減少能源儲存均化成本（Levelized Cost of Storage; LCOS）當作獎勵，便宜不一定最好；其次，要加速市場彈性發展，尤其著重在傳輸與配置的營運商、管理者，以實現系統彈性的潛在價值；再者，可以以政策支持與規範性框架，來促進未來儲存技術的商業化配置；第四，在電網延伸或擴張時，將儲存作為關鍵的組成元素。

比較不同發電技術成本時，通常會透過能源均化成本來進行，此處選定太陽能發電廠儲存與風力發電儲存加以比較，前者為日常儲存結構，額定功率為 6 小時；後者為兩天的儲存結構，額定功率為 24 小時。就一般的儲存成本均化分析而言，主要取決於放電的負載因素，調查結果顯示，2015~2030 年間，儲存技術的成本將有顯著的下降。最後若有意進行儲存成本均化分析，建議依據具體情況就個案進行評估，因為能源的儲存成本仍存在廣泛的差異。

本報告綜整各項再生能源領域之發展，可以了解到各國及國際能源組織為了替代傳統化石能源的需求及其所產生的環境汙染，致力於精進再生能源技術之決心，並藉此改善生態環境。各國及國際能源組織透過不斷的研發與改良，以降低再生能源技術的成本，並持續推廣與提昇民眾對於再生能源的使用率。而我國為了降低對傳統化石能源的依賴，目前亦積極推動發展及使用再生能源，據經濟部能源局於 2016 年推廣再生能源目標指出[18]，最受關注的太陽光電裝置容量大幅增加，預計 2025 年達 20 GW（10 億瓦），增幅高達 2.2 倍。此外，能源局也規劃，離岸風力發電裝置目標也將提高五成，達 3GW；整體再生能源裝置容量目標邁大步，預估發電量也增加逾 220 億度。為達成 2025 非核家園政策目標，預計再生能源發電占比將達 20%。期望能藉此作為奠定我國自主能源供給及能源來源多元化的基石。

[18] 資料來源：聯合報新聞網，取自 https://udn.com/news/story/7238/1780471。

附錄一：2015-2016 年能源議題文獻一覽表（撰寫摘要部分）

項次	篇名，出版者，出版年	次領域分類
1	World Energy Outlook 2015（2015 年世界能源展望），IEA, 2015/11/10	能源總論
2	BP Energy Outlook 2035（BP 2035 年能源展望），BP Global, 2015/01	能源總論
3	Energy Policy Highlights In Depth Energy Policy Reviews (IDRs) of 21st Century（能源政策要點：21 世紀能源政策深入回顧），IEA, 2014/04/28	能源總論
4	Energy Technology Perspectives 2015（2015 年能源技術展望），IEA, 2015/05/04	能源總論
5	E-storage: Shifting from cost to value - Wind and solar applications（電子儲存：成本變價值—風能及太陽能應用），World Energy Council, 2016/01	儲能技術
6	Macroeconomic Effects of Hydropower in Europe（歐洲水力發電的宏觀經濟效益），DNV GL Company, 2015/06/10	水力
7	The Renewable Energy Target 2014 Administrative Report（2014 年再生能源目標的管理報告），the Clean Energy Regulator, Australia, 2015/04/28	再生能源總論
8	Renewable Energy Progress and Biofuels Sustainability（再生能源的進展與生物燃料的永續發展），European Union, 2014/11/10	生質能
9	From the Sugar Platform to Biofuels and Biochemicals（從糖平台到生物燃料與生化物質），European Union, 2015/04	生質能
10	IEA Technology Roadmap: Solar Thermal Electricity（IEA 技術藍圖：太陽能熱發電），IEA, 2015/07/01	太陽能
11	Quality Infrastructure for Renewable Energy Technologies: Guidelines for Policy Makers（再生能源技術的品質基礎：決策者的指導方針），IRENA , 2015	再生能源總論
12	Cooperative Study on Efficient Renewable Resources Integration and Distribution Technologies for Smart Grid Construction（高效的再生資源整合與智慧型電網建設的配電技術的合作研究），Policy Partnership on Science, Technology and Innovation, APEC, 2015/04	再生能源總論
13	The Power of Transformation: Summary（轉型的力量：概要），IEA, 2014	再生能源總論

項次	篇名，出版者，出版年	次領域分類
14	Wind Vision: A New Era for Wind Power in the United States（風能願景：美國風力的新時代），U.S. Department of Energy, 2015/04/01	風能
15	IEA Technology Roadmaps: Wind Energy（國際能源總署技術路線圖：風能），IEA, 2015/07/01	風能
16	IEA Technology Roadmaps: Hydrogen and Fuel Cells（國際能源總署技術路線圖：氫與燃料電池），IEA, 2015/07/01	氫能
17	IEA Technology Roadmaps: Solar Photovoltaic Energy（國際能源總署技術路線圖：太陽光電能源），IEA, 2015/07/01	太陽能
18	CO_2 Emissions from Fuel Combustion 2015(2015 年石油消費造成的碳排放），International Energy Agency, 2015/11/24	節能減碳
19	Energy-Efficient ICT in Practice: Planning and Implementation of GreenIT Measures in Data Centres and the Office（資通訊科技（ICT）節能實踐：數據中心及辦公室綠色 IT 策劃及實施辦法），Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, Germany, 2014/11	節能減碳
20	How to Drive New Finance for Energy Efficiency Investments（如何吸引能源效率投資的新資金），European Union, 2014	節能減碳
21	Doubling the Global Pace of Progress for Energy Efficiency: Applying the “Moore’s Law” of Energy Efficiency to Technology Innovation for Off-grid Applications（加快節能的腳步：應用節能「摩爾定律」以創新獨立型蓄電系統裝置），CLASP, 2015/04	節能減碳
22	Cooperative Study on Efficient Renewable Resources Integration and Distribution Technologies for Smart Grid Construction(高效的再生資源整合與智慧型電網建設的配電技術的合作研究），Policy Partnership on Science, Technology and Innovation, 2015/05	節能減碳
23	Policy Practice and Technology Applications - Experiences on Low Carbon Emission Operations in Chinese Taipei（政策實踐與技術應用－臺灣低碳排放運作經驗），APEC, 2014/11	節能減碳
24	Nearly (Net) Zero Energy Building（近（淨）零能耗建築），Institute of Building Environment and Energy, APEC, 2014/12	節能減碳
25	More Data, Less Energy: Making Network Standby More Efficient in Billions of Connected Devices（更多的資料、更少的能源：連接數十億台的設備，讓網路待機更具效率 ），IEA, 2014	節能減碳
25	World Energy Outlook Special Report 2015: Energy and Climate Change(2015 年世界能源展望專題報告:能源與氣候變遷），IEA, 2015	節能減碳

項次	篇名，出版者，出版年	次領域分類
26	The Way Forward: Five Key Actions to Achieve a Low-Carbon Energy Sector（前進的道路－通往低碳能源的 5 個關鍵行動），IEA, 2014	節能減碳
27	6th CCS Regulatory Network Meeting Workshop Report 2014: Taking stock of progress and identifying next steps（2014 年第 6 屆捕碳封存網絡會議研討會報告：進度評估與未來規劃），IEA, 2014	節能減碳
28	Partner Country Series: Emissions Reduction through Upgrade of Coal-Fired Power Plants: Learning from Chinese Experience（夥伴國系列：透過燃煤電廠的升級來減排：中國大陸經驗的學習），IEA, 2014	節能減碳
29	Energy and Climate Roadmap 2050（ 2050 年能源與氣候路線圖），Ministry of the Environment and Energy, Finland, 2014	能源總論 節能減碳
30	Warmer Homes: a Strategy for Affordable Energy in Ireland （溫暖家園：愛爾蘭的合理能源價格對策），Department of Communications, Energy and Natural Resources, Ireland, 2011	能源總論
31	Fuel Poverty, Older People and Cold Weather: An All-island Analysis（ 燃料貧窮、老人與寒冬：全海島型分析），The Sustainable Energy Authority of Ireland, 2011	能源總論
32	New Strategic Energy Plan （新策略性能源計畫）, Agency for Natural Resources and Energy, Japan, 2011/05/12	能源總論
33	Energy Policies of IEA Countries: The United States 2014（國際能源總署成員國的能源政策：2014 年美國回顧），IEA, 2014/12/18	能源總論
34	The Role of Gas Storage in Internal Market and in Ensuring Security of Supply（內部市場儲氣庫與確保供應安全性扮演的角色），European Union, 2014	化石能源
35	Assessment of the CO_2 Storage Potential in Europe (CO_2Stop) （歐洲二氧化碳封存潛力的評估），Geological Survey of Denmark and Greenland, 2014	節能減碳
36	Subsidies and Costs of EU Energy（歐盟能源的補貼與成本），European Union, 2014/11/11	能源總論
37	The Way Forward: Five Key Actions to Achieve a Low-Carbon Energy Sector（前進的道路－通往低碳能源的 5 個關鍵行動），IEA , 2014	節能減碳

項次	篇名，出版者，出版年	次領域分類
38	Partner Country Series: The Asian Quest for LNG in a Globalising Market（夥伴國系列：全球化市場下亞洲液態天然氣的探尋），IEA, 2014	化石能源
39	Partner Country Series: Update on Overseas Investments by China's National Oil Companies（夥伴國系列：中國國家石油公司海外投資更新，自 2011 年以來的成就與挑戰）， IEA, 2014	化石能源
40	Second Monitoring Report Summary: Energy of the future （「未來的能源」第二次監測報告的概要），Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, Germany, 2014/03	能源總論
41	Medium-Term Gas Market Report 2015（ 2015 年中期天然氣市場報告），IEA, 2015/06/04	化石能源
42	Energy Poverty and Vulnerable Consumers in the Energy Sector Across the EU: Analysis of Policies and Measures （橫跨歐盟的難題 - 能源部門所面臨的能源貧困與弱勢消費者：政策與措施分析），European Union, 2015/05	能源總論
43	Energy Investments and Technology Transfer Across Emerging Economies: The Case of Brazil and China（新興經濟體的能源投資與技術移轉：巴西與中國大陸的案例），IEA, 2015/12/11	能源總論
44	Natural Gas Information 2015（2015 年天然氣資訊），IEA, 2015/08/17	化石能源
45	Projected Costs of Generating Electricity 2015（ 2015 年發電成本預估），OECD, 2015/09/10	能源總論
46	Medium-Term Oil Market Report 2015（2015 年中期石油市場報告），IEA, 2015/02/10	化石能源
47	The Role of the Energy Charter Treaty in Fostering Regional Electricity Market Integration: Lessons Learnt from the EU and Implications for Northeast Asia（能源憲章條約在促進區域電力市場一體化中扮演的角色：東北亞地區從歐盟學習到的經驗與啟示），The Energy Charter Secretariat, 2015/06/10	能源總論
48	IEA Technology Roadmaps: Nuclear Energy 2015 （國際能源總署技術路線圖：2015 年核能），IEA, 2015/04/01	核能
49	World Energy Outlook Special Report 2015: Energy and Climate Change（ 2015 年世界能源展望專題報告：能源與氣候變遷），IEA, 2015	能源總論
50	Electricity Information 2015（2015 年電力資訊），IEA, 2015/08/06	能源總論

項次	篇名，出版者，出版年	次領域分類
51	Pathways to Shale Gas Development in Asia-Pacific(亞太地區頁岩氣開發的途徑)，Asia-Pacific Energy Reasearch Center (APERC), 2015	化石能源
52	The Energy White Paper（能源白皮書），Department of Industry, Innovation and Science, Australia, 2015/04	能源總論
53	Energy Balances of non-OECD Countries 2015（2015 年非 OECD 國家能源平衡），IEA, 2015/08/10	能源總論
54	Energy Policies of IEA Countries: Netherlands 2014 （國際能源總署成員國的能源政策：2014 年荷蘭），IEA, 2014/04/22	能源總論
55	Energy Balances of OECD Countries 2015(2015 年 OECD 國家的能源平衡)，IEA, 2015/07/23	能源總論
56	Call to Action: The Oil and Gas Commission 2015 （呼籲採取行動：2015 年石油與天然氣委員會），Oil and Gas Authority, Uk, 2015/01/25	化石能源
57	REthinking Energy: Renewable Energy and Climate Change（能源策略的反思：再生能源與氣候變遷），IRENA, 2015/11	再生能源
58	Renewables 2016-Global Status Report（2016 年再生能源全球狀態報告），REN21，2016	再生能源
59	Policies and Regulations for Private Sector Renewable Energy Mini-Grids（私部門再生能源迷你電網之政策與法規），IRENA, 2016/09	儲能技術
60	Energy and Resilient Cities（能源與復原力城市），IEA, 2016/07	能源總論
61	Medium-Term Gas Market Report 2016（2016 年期中天然氣市場報告），IEA, 2016/6	化石能源
62	2016 State of American Energy Report（2016 年美國能源報告），The American Petroleum Institute, 2016	能源總論
63	Asean Plan of Action for Energy Cooperation (APAEC) 2016-2025（2016-2025 東協能源合作行動計畫），ASEAN, 2016	能源總論
64	Innovation Outlook: Advanced Liquid Biofuels（創新展望:先進的液態生物燃料），IRENA, 2016	再生能源
65	Technology Roadmap: How2Guide for Bioenergy（技術地圖:如何指引生物能源），IEA, 2017	再生能源