

臺灣是否具備發展木質能源之潛力？

撰文/林裕仁·潘薇如

前言

臺灣之經濟成長是一個極度仰賴產品出口的國家，以現今國內的產業發展結構，產業的生存與成長都依賴能源永續的供給。而民生的生活所需與生活品質的維持也與能源電力供給息息相關，不可或缺。然偏偏臺灣是一個極度缺乏自產能源的國家，超過 97.9% 能源（燃煤、天然氣、核電）仰賴進口。為能夠讓經濟持續成長，卻又往往需要用出口所賺取的大量外匯向國外購買能源，如此的維持經濟成長模式是否可以不受國際間常以能源輸出作為戰略手段之詭譎情勢變化影響而長期保有？答案顯然無任何國家領導人敢提供保證。尤其國內原油近 8 成來自中東國家，該區域國家政治相當不穩定，不但時有小型內戰，一旦發生大規模戰爭，國內的石油來源就將面臨重大威脅。也因此，開發新能源，善用自有資源，增加自產能源的開發與使用，已是臺灣在能源發展政策必須全力投入心思的投資。

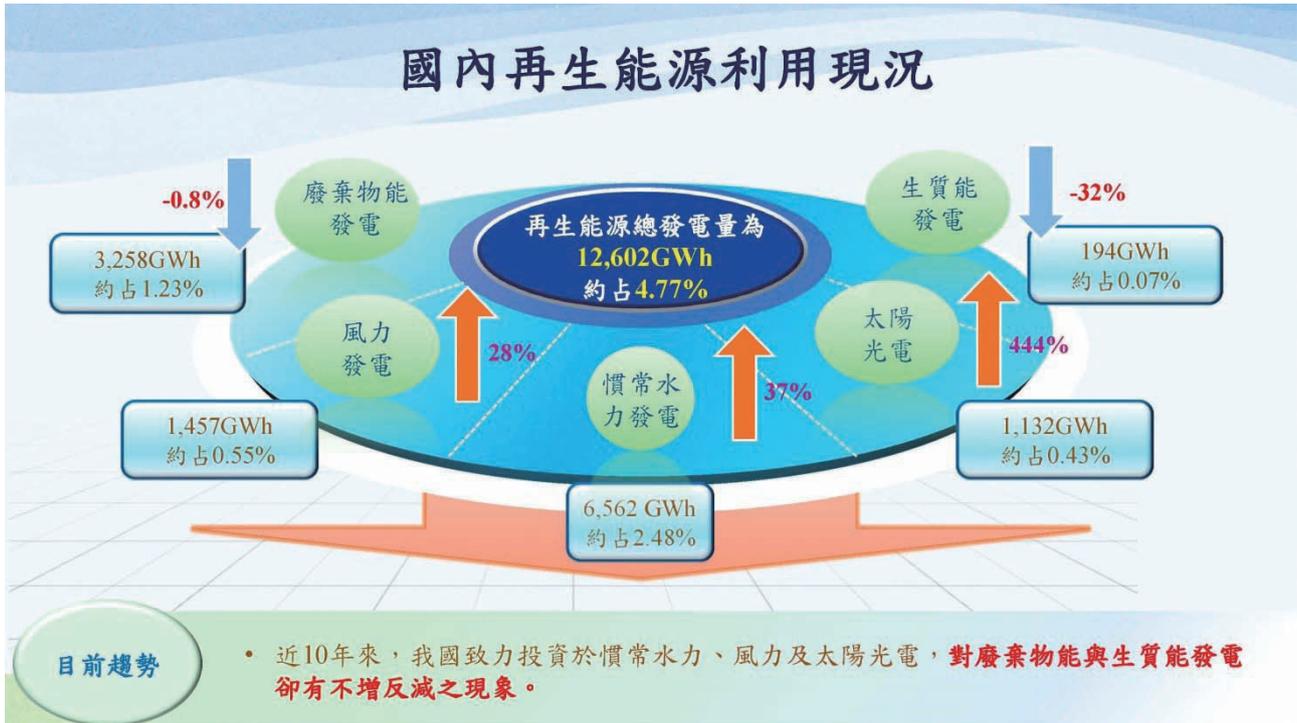
國內目前再生能源利用概況

「再生能源」泛指使用後仍能更新或再生的能源，如太陽能、水力能、風力能、地熱能、潮汐能、洋流能與生質能等。在地理位置上，臺灣位處於西太平洋亞熱帶，具有發展太陽能、風力、水力等各種再生能源的豐沛潛力。也因此，在過去近十年來的再生能源發展政策均致力於太陽能、風力、水力為主要投資與推廣項目，依據經濟部能源局能源統

計手冊得知，2016 年再生能源總發電量為 12,602 GWh，約占總發電量 4.77%，其中水力發電占 2.48% 居冠、風力占 0.55%、太陽能占 0.43%、生質能占 0.07% 及廢棄物發電占 1.23%。與近十年的平均相比較，太陽能、水力與風力發電均有成長，其中太陽能發電成長高達 5 倍之多，然生質能與廢棄物能發電卻呈現下降趨勢，顯見生質能與廢棄物能發電均有待政策強化與提升（圖一）。

2016 年，國內能源主管機關在新政府上臺後，規劃再生能源推廣目標，擬訂 2025 年達到「非核家園」目標，並在當年之全國電力結構中，再生能源發電容量占比應達 20%。惟太陽能、風能、水力發電與生質能雖具同樣有可再生性與永續性之環保特色，成為替代傳統化石燃料能源與核能的綠色新能源。但是基於生產技術與現實因素的限制，仍有許多發展上的不確定性與不穩定性，此等主要再生能源之優缺點如表一列示。

再生能源中風力及太陽能礙於發電廠受天候、季節及日照時數影響甚鉅，無法長時間穩定性運轉，皆屬間歇性能源，木質能源不受季節及區域性之限制，若透過有效率之規劃管理，料源得以穩定供應，可減緩風能及太陽能產業淡季缺電或配合緊急調度指令臨時增產電力等狀況。



圖一 國內再生能源利用現況

表一 太陽能、風能、水力能及生質能發電優缺點之比較

能源	優點	缺點
太陽能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 太陽光照射面積散布地球大部分角落，涵蓋面積大。 2. 太陽的能量預估可達600萬年，可供人類長期使用。 3. 太陽能發電在使用的時候不會產生環境污染。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需要廣大的土地面積，能量密度低，且需要設計集熱器或適當的反射結構。 2. 夜間無法使用，能量來源不穩定，無法連續使用，易受地點與氣候影響，無法提供穩定電力。 3. 太陽電池與集熱器成本高，且太陽電池發電效率偏低，單晶矽最高可達15%，化合物半導體雖然可達20%以上，然成本極高，市場不易接受。 4. 太陽電池在生產過程必須消耗極大能量，也會產生環境污染。 5. 太陽能板具有使用壽命，使用後若處理不當，會對環境造成二次汙染。
水力能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不須要燃料有風即可發電，所以沒有燃料問題。 2. 沒有空氣污染、輻射或二氧化碳排等公害問題。 3. 沒有輻射線核廢料處理問題。 4. 取之不盡，用之不竭，沒有能源危機。 5. 建造費用較水力、火力或核能發電廠的建造費用便宜很多。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 風能須具備廣大的土地面積，除能量密度低外，在夏日我國用電的尖峰時期，卻是全年風力發電量最低之時。 2. 沒風就不能發電，再加上風力和風向時常改變，受氣候與外在環境影響程度大，以至於發電效率低，不能做為基載電力。 3. 風機運轉時噪音大。 4. 易對生態或景觀產生破壞。 5. 風力有地域性，需要靠沒有物體阻擋的地方，且風很強的地域才有辦法建造風力發電廠。
生質能	<ol style="list-style-type: none"> 1. 生質原料種類多元豐富，取之不盡，用之不竭。 2. 具再生性，植物可重複種植得到。 3. 減少廢棄物、垃圾、污水減輕自然環境的污染的。 4. 與其他非傳統性能源相較，技術門檻較低。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 回收回來原料往往有水分過高與空間之儲存問題。 2. 轉換效率低，轉換成本高。 3. 有些生質能源，無法立即迅速使用，例如沼氣需要時間發酵。 4. 考慮運輸和成本問題，使用地點受限制。

資料來源：作者整理製表。

木質能源利用型式

遠古時代人類祖先鑽木取火就是生質能的最佳先例，至目前為止在開發中國家仍有許多地區住民以燃燒薪材作為生活中主要能源來源。依據 2009 年國內所頒佈之「再生能源發展條例」，生質能係指農林植物、沼氣及有機廢棄物直接利用或經處理所產生之能源，在第三條第一項中，「國內一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接利用或經處理所產生之能源」亦屬再生能源。因此生質物可泛指由生物產生有機物質，如木材、能源作物或農業資材（如稻殼、蔗渣）、畜牧業廢棄物、生物沼氣（如禽畜糞、有機廢水、下水道污泥、垃圾掩埋場等產生之沼氣）及工業有機廢棄物（如有機污泥、黑液）等。

由於受限可耕作農作面積小之地理環境因素，國內並不適合發展與民爭糧之人畜糧食作物、油料作物等農林產物之第一代生質能源。然國內擁有豐富之木、竹資源較適合利用木質廢棄物或其它非糧食作物，開發以木、竹材料、農業資材、畜牧業廢棄物之木質纖維素、固體燃料或生物沼氣為主的第二代生質能源。第二代生質能源主要原料來自於森林，在臺灣，森林除包括以生產木材的一般林木資源外，也包括以生產竹子為主的竹林資源。

惟現代化生活為提高生質能源利用效率，應用科技與機械生產具標準性的生質能源產品，最具代表性的有木質燃料顆粒與木質汽化爐之應用：

木質燃料顆粒

木質燃料顆粒之原料係利用小徑木材或製材廠、木材加工廠於製程中所產生之鋸木殘材、廢棄木屑、刨花或枯枝等廢棄資材，先予粉碎細磨，後進行乾燥調整含水率，在不加任何化學黏著劑，透過木質顆粒造粒機之高溫壓縮過程中自然釋出黏結性物質方式，生產規格一致之圓柱形顆粒，其直徑範圍一般為 6、8、10 mm，長度 < 2.5 cm，其單位比重約為 1-1.4 g/cm³。基於碳循環中立原理，木質燃料顆粒排碳量低，經壓型製程，可產製高密度、標

準化、易運輸、易貯藏與安全等特性。除顆粒形狀外，亦有廠商透過壓鑄生產塊狀 (Briquettes) 產品。

木質燃料顆粒是近年來歐美先進國家大力發展的再生能源，歐盟在獎勵補助及稅收減免刺激下，大量利用木質燃料顆粒供應住宅及小型區域產熱製電，同時可改善燃煤採運成本波動甚具之缺失，每年以近 25% 漲幅速度擴增。2010 年世界木質燃料顆粒消耗量為 1,600 萬公噸，2015 年 3,700 萬公噸，預估至 2020 年將達到 5,900 萬公噸（圖二），其中以波羅的海等國家使用木質燃料顆粒的成長速度最快，而德國、挪威和瑞典更將該燃料視為歐洲減緩溫室氣體的主要計劃之一。為了快速推動木質燃料顆粒應用，歐洲國家中之奧地利更制訂明確發展政策，投入心力加速研發木質顆粒專用工業用燃燒機與家庭用火爐，尤其在提高木質顆粒燃燒效率與降低燃燒後排放出來的灰燼。

除歐洲地區外，亞洲地區的中國大陸、韓國、日本近年來在政策的推動下，木質燃料顆粒使用量也極速地增加，尤其是中國大陸，全力推動以木質顆粒作為煤炭之替補燃料，2008 年木質顆粒產量約 80 萬噸，2009 年增長為 100 萬噸，預計 2020 年產量達 5,000 萬噸，供應以國內生產為主，進口為輔，並作為供應 50 家汽電共生廠作燃料之用，預計 2020 年木質顆粒消費量將占全球總消費量 20% 以上。而韓國由於發電商引進混燒技術，倍增木質顆粒消費量，另也供應於農業及住宅之需，該國能源政策已擬訂預計 2020 年國內生產量達 100 萬噸，進口量達 400 萬噸，為達成此目標，該國已在東南亞地區廣設供給生產點，尋覓充足之木質顆粒貨源。

木質能源汽化設備

一般的木材燃燒會產生濃煙和有害廢氣，係由於氣體未完全燃燒的緣故，木質汽化設備模組主要元件通常設計有專為空氣流動的燃燒室、純化室與炭渣室，輔助元件則有鼓風機、可燃氣體導管、機電控制組與燃燒機爐頭。其主要操作原理，在應用將木質廢料填入於雙層壁體結構之燃燒室，透過燃



資料來源：國際能源協會(IEA)、作者整理繪製。

圖二 國際木質燃料顆粒總消耗量趨勢

燒室內高溫裂解後產生之氣化原理，產生可燃性氣體，並將可燃性氣體加以純化，透過與純化室連通之噴火裝置與鼓風機，讓可燃性氣體與空氣混合後點火噴出火焰，燃燒的過程將使得廢氣降到最低，而且火力更強大，利用熱上升的原理，可在熱能的行進路線設下，做到最有效的熱能利用，甚至可連結發電機直接產生能源。木質汽化設備可適用於多元木質原料，不具單一性，適合生質料源豐富地區設置，發展中小型區域性生質綠能中心。

國內木質能源料源知多少？

木質能源是屬清潔再生能源之一，已是國際間共同改善全球暖化行動中，降低碳排放的重要選項。若要能夠將生質能源成功併入應用於經濟發展，除考量技術、成本兩因素外，最重要關鍵因素在於所使用料源是否得以永續供給，唯有掌握料源的永續供給，生質能的發展才能成功推動。

臺灣是否有發展木質能源之充足木質料源？根據全國第四次森林調查資料顯示，全國森林覆蓋面

積達 219.7 萬公頃 (60.71%)，扣除不宜伐採利用，必須加以保護的天然針闊葉林外，具有生產性的人工林約 27 萬公頃，其中林木約 12 萬公頃，木竹混淆林約 6 萬公頃，竹林約 9 萬公頃。若以木竹伐採(疏伐) 1 公頃約生產 80 立方公尺木材估算，重量換算約每公頃 48 公噸，若每年可生產林地能達 10,000 公頃，每年將可有 48 萬公噸木竹原料投入生質能源市場。惟若該等以進行加工利用為主，以廢棄資材產生率 15% 估算，每年亦可獲得 7.2 萬公噸之廢棄資材。此外，國內每年進口木材量約達 600 萬立方公尺，每年最高亦可回收 9 萬噸，再加上季節經常性的路樹修剪平均每年約 4.2 萬公噸 (2012-2016 年)，預估國內每年具有生產 20.4 萬公噸木質能源原料之潛力，此數量尚未包括每年颱風過後之臨時性漂流木。

惟目前林木生產近乎停滯，每年僅生產不及 1% 的生產量，僅約 3 萬立方公尺，大量的林木資源棄置於林地未加以利用，任其在大自然裡自然死亡或

荒廢，或遭森林火災毀滅，誠屬國家資源的浪費。今若以提昇木質綠能利用為前提，引進環境、社會、經濟兼顧的負責任永續經營管理概念，在不超過林木生長量為規範下，進行適當合理的生產林地之林木砍伐，提昇木材自給率，並建置區域性木質綠能中心，將可以最低成本，達到提高綠能占比之目標。此外，增加木材伐採，提昇木材自給率與綠能利用比率的同时，透過即時的再造林，將同時增加林地的生產力及林木碳吸存能力。

除林木資源外，國內竹林資源目前經調查可運用的有南投縣竹山地區的竹加工業者生產製品所產生的加工廢棄資材，2015年的現地調查結果，2014年廢料資材統計約有8,395公噸，平均每月可產生700公噸資材可再利用。然更多的竹林資源因竹產業沒落，竹材用量降低，竹農無意經營竹林，如南投縣竹山地區的孟宗竹林、臺南市龍崎區的刺竹與長枝竹林等，大面積遭致荒廢，竹材生產力降低，亦屬天然資源的浪費。

國內發展木質綠能源潛力

臺灣位於亞熱帶地區，終年無寒冷天候，家庭用之暖氣供應設備不若溫、寒帶地區視為必要設備，因此家庭中使用木質燃料顆粒用於能源之機會微乎其微。欲於國內發展推廣應用木質能源，仍以提高替補化石燃料比例，穩定國內供電需求為主要目標。

以國內再生能源發展條件，現今無法完全取代核能、燃煤、天然氣及燃油等化石燃料，因所有發電廠所產製之交流電是無法儲存的，僅能透過備轉電力維持供電需求，然備轉電力過低會造成缺電及限電，過高則耗能浪費。參照臺灣電力公司目前電力系統配置網絡，可概分為基載、中載及尖載電能。基載需符合長時間運轉且發電成本低廉之特性，如核能及燃煤等；中載則係供應基載及尖載的用電負載，應具日初升載且深夜可降載或解聯停止發電之性能，以配合民生作息用電之需，如燃油及天然氣等；尖載需具備隨時起停運轉之功能，滿足尖峰期

間用電需求，如抽蓄水力及氣渦輪機等。

依上述情況，筆者建議依木質能源之屬性將其歸類，在料源穩定供給，發電成本控制得當條件下，應適宜作為基載電力；另外，木質燃料顆粒能源因具備易運輸利貯藏之特性，得運載至東、南部等偏內陸地區，改善風能與太陽能不利發電之負載平衡，亦可作為緊急產電、供熱之能源，根據筆者研究分析顯示，應用木質燃料顆粒發電成本，每度電約為新臺幣2.24-2.7元，大幅低於2016年審定決算太陽光電每度成本9.49元，在發展多元再生能源選項中仍具競爭力，尤其在慣常水力、風力及太陽光電無法有效供電之區域，皆有木竹質料源廣泛分佈，由南至北如屏東、高雄、臺南、嘉義、新竹、新北市山區、宜蘭及花東等地區，運用現有的人工撫育材與林木加工廢棄資材資料，透過妥善分配、管理與運用，建立區域性完備料源回收機制，增加生質能料源供給，足可提升該區域穩定供給用電之生活環境。

結語

依據我國目前能源結構，短期內化石燃料仍有不可取代之處，因此再生能源發展進度始終緩慢。然就長遠來看，臺灣位屬海島地形，電力網絡為獨立系統，無法從鄰近國家進口電力，若不積極提高再生能源自給比例，擬定相關政策措施，對未來經濟發展為一大隱憂，對環境生態更是危害。本文透過國外木質能源發展趨勢，及發展木質能源國內料源概況，藉以說明國內發展木質綠能的潛力，利用木質廢棄資材生產木質燃料顆粒應用於發電，因不受季節及區域性限制，若透過有效率之規劃管理，充分利用遭荒廢的木、竹林資源，使料源得以穩定供應，足可建立多處區域性木質綠能中心，利用其特性截長補短，整合其優劣條件並相互搭配，將可開啟能源供給與環境保護功能雙贏之契機。 AgBIO

林裕仁 行政院農業委員會 林業試驗所 副研究員
潘薇如 行政院農業委員會 林業試驗所 研究助理

參考文獻

1. Thrän *et al.* (2017) *Global Wood Pellet Industry and Trade Study 2017*. IEA Bioenergy Task 40. June 2017.
2. 藻谷浩介、NHK廣島採訪小組 (2016) 里山資本主義—不做資本主義的奴隸，做里山的主人。天下雜誌。
3. 鄺睿榆 (2013) 臺灣發展森林生質能源之可行性分析。國立嘉義大學森林暨自然資源研究所碩士論文。
4. 林裕仁、潘薇如 (2016) 東亞地區木質顆粒市場概況與發展趨勢。2015森林資源保存與利用研討會。
5. 林裕仁、潘薇如 (2016) 木質能源於國內能源利用之評估分析。台灣林業科學31(3):169-180。
6. 林俊成、林幸樺、潘薇如、賴進益、林裕仁 (2017) 南投縣竹山地區竹產業現狀困境與未來發展策略。台灣林業科學32(3):177-189。
7. Yu-Jen Lin, Sheng-Jie Yao, Wei-Ru Pan, Po-Heng Lin (2017) *An Investigation of Woody Wastes of the Wood Processing Industry in Yilan County and Its Reuse Assessment*. Taiwan J For Sci 32(4).
8. 經濟部能源局 (2016) 能源統計手冊。經濟部能源局 P79-80。
9. 林務局 (2016) 森林資源調查成果。From www.forest.gov.tw/0000052。