

海洋能 能？不能？

海洋能的優勢，其一是基於水的密度是空氣的 830 倍，故海洋能轉換器的體積可以比風能小許多，其次是可預測性高，可運用時間長。

林鎮洲

進入二十一世紀後，人們逐漸面臨化石燃料使用枯竭與全球暖化兩大棘手問題。其中全球暖化影響的層面很廣，包括了氣候變遷，農作物產量下降；冰河逐漸退後與兩極冰帽融化流失，造成海平面水位上升，濱海陸地面臨被淹沒等，並將進一步衍生出更複雜的社會與民生問題。而化石燃料（主要指石油、煤炭、天然氣）枯竭，直接影響的是人類的文明，是否會進入停頓期甚至是倒退階段。

一切似乎來得非常突然且意外，然而，這些問題真的是一夕產生的嗎？顯然不是！其實，人類如果有危機意識的話，早在三、四十年前就可以著手因應。1970 年代，所謂第一次石油危機來臨時，人們就有機會正視化石燃料枯竭所造成的問題；以及溫室氣體（主要指甲烷和二氧化碳）濃度，由工業革命前（1750 年）的 280 ppmv（體積百萬分率），上升到目前的 390 ppmv，與全球的平均上升溫度正相關的趨勢。研究顯示，過去 20 年當中，大約四分之三的人為二氧化碳排放來自燃燒化石燃料，目前的二氧化碳排放量約為每年 65 億噸。這些數據都告訴我們，如果再不採取因應措施，人類的未來將會岌岌可危。有鑑於此，1997 年 12 月制訂的《京都議定書》（*Kyoto*

Protocol）通過全球溫室氣體排放量管制規範，以及《聯合國氣候變化綱要公約》（*United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*），為解決全球暖化問題跨出了第一步。

人類永續的出路—再生能源

基於規範溫室氣體排放量的《京都議定書》，已於 2005 年 2 月進入強制執行階段，使得無污染之虞的再生能源或永續能源開發計畫愈來愈受到重視。除了解決全球暖化的問題外，開發再生能源也是為了解決目前化石燃料枯竭，以及核能可能帶來的核輻射污染問題。所謂再生能源指的是該類能源取自於自然界，具有可再補充與永續的特點。傳統再生能源主要包括水力能與傳統生質能（如燃燒木材），非傳統（新）再生能源常見的有太陽能、風能、現代生質能（如由玉米提煉之生質柴油）、海洋能、地熱等。

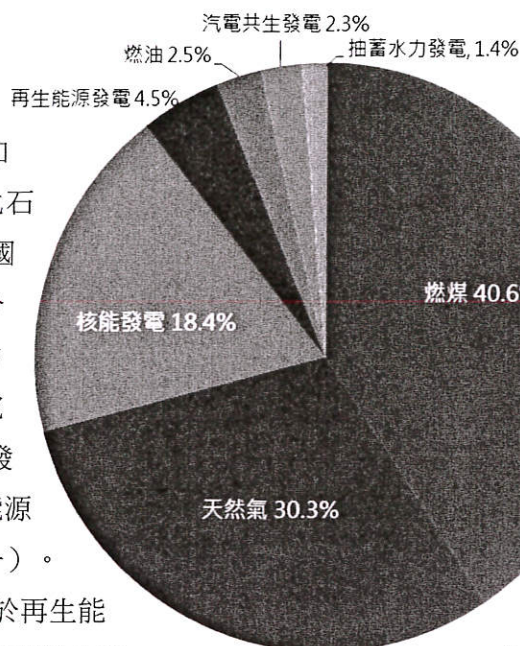
2011 年全球的總發電量中約有 67.9% 來自於化石燃料，16.3% 來自於水力發電，而僅有 4% 來自於新再生能源，其中風力佔了 2.1%，是目前發展最快的再生能源。在國內方面，2011 年底各類能源形式的發電量以燃煤佔最高比例（40.6%），其次為天

然氣（30.3%），再加上燃油（2.5%），化石燃料的發電量共佔了國內總發電量將近四分之三；而核能發電佔18.4%，汽電共生發電佔2.3%，抽蓄水力發電佔約1.4%，再生能源發電佔約4.5%（圖一）。

其中水力發電雖然屬於再生能源，但因為水壩的建置經常會影響環境生態，故發展有其侷限性。目前臺灣開發的再生能源以太陽能與風能為主，其中風力發電已達經濟效益，2011年發電量（含台電與民間風力發電）為14.9億度，約可提供41萬戶家庭一年的民生用電。由於臺灣西海岸與澎湖離島具有良好的風場條件，離岸風力蘊藏量據估計可達每人每天29.9度電。風力發電的發展潛力相當高，然而考慮國土面積有限與風力機噪音的問題，未來應該朝向興建離岸風電場發展。

海洋蘊藏能量

海洋覆蓋地球表面71%的面積，由於水的比重與比熱皆大的特性（相對而言），使得接收來自太陽的輻射熱後，海洋自然而然成為一個巨型的能量儲存槽，其中蘊藏極豐富的能源。海洋蘊藏能量的形式主要包括：波浪能、潮汐能、海流能、海洋熱能及鹽差能，其中潮汐能受月球引力影響較大，而鹽差能與海水鹽分濃度差異相關，其他則主要受太陽的影響。有些文獻將離岸風力也納入海洋能源的範疇，本文則暫不列入。以蘊藏量而言（表一），以



圖一：我國2011年各類能源形式的發電量比例。

（資料來源：臺灣電力公司）

上海洋能當中以波浪能的蘊藏量最豐富，全球估計每年約產生8000~80000太瓦·時（TWh；一太瓦TW為 10^{12} 瓦特W）的能量，其次為海洋熱能。海洋能的優勢相對於風能而言，其一是水的密度是空氣密度的830倍，因此海洋能轉換機的體積可以比風能的小許多，其次是可預測性較高，其三是可運用時間較長。

波浪能

波浪能（wave energy）是由太陽能經多次轉換而來。由於太陽輻射在地球表面的加熱過程不均勻，造成不同區域海水表面溫度差異，進而產生大氣流動（即是風）。此外加上地球自轉使大氣受到科氏力與慣性力的影響，進而改變風向與風速，

最後當風吹過海面時，空氣壓力與摩擦力作用在海水表面，波浪就這麼形成了。波浪的傳遞距離可達數千公里，直到遇到海岸，能量才會被損耗掉。由海嘯所造成的巨大災害可知，波浪所夾帶的能量非常可觀。在一般情況下，我們可以利用波浪運

表一：各種海洋能源理論蘊藏量

海洋能源	理論蘊藏量 (TWh/year)
波浪能	8000~80000
潮汐位能	300+
海流能與潮汐動能	800+
海洋熱能	10000
鹽差能	2000

動的位能差、往復力或浮力產生動力，推動渦輪機或磁鐵而轉換成電能。

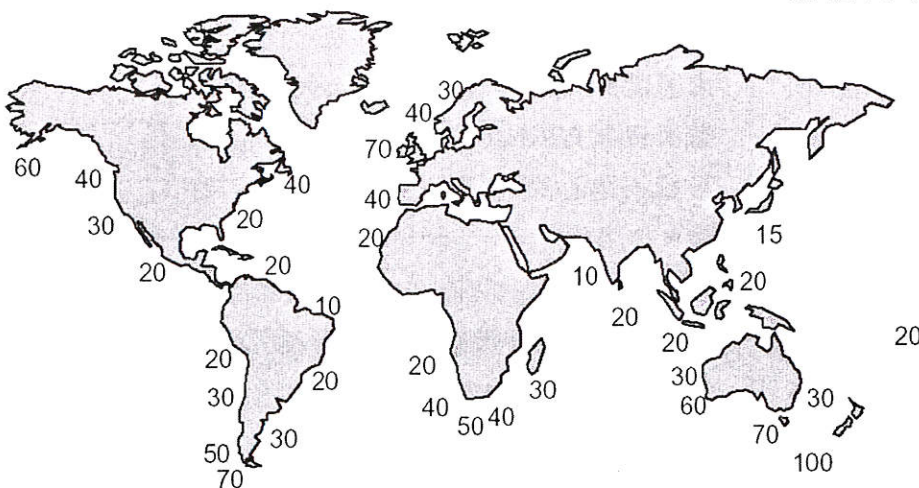
波浪所包含的能量包括動能與位能，大致上波浪能量（單位：千瓦／米，KW/m）與波高平方以及波浪週期成正比。由此可知，波浪高度是影響某一地區波浪能豐沛與否最主要的因素。以目前的波浪發電技術而言，波浪能量大於 10 千瓦／米以上就具備開發價值。從全球波能潛勢分佈情形來看（圖二），介於緯度 30 度至 60 度範圍之間具有最高的波浪能量，其中以歐洲北大西洋岸（包括英國與愛爾蘭西岸）、北美洲北太平洋岸、非洲南端、澳洲南端、紐西蘭南端、智利南端等地最有開發潛力。臺灣所處位置緯度較低，波浪能大約介於 5~20 千瓦／米，其中以臺灣東北部與澎湖西北部較具有開發潛力，波浪能大約為 15~20 千瓦／米。

要將波浪能轉換成為電能，須經過一系列機械裝置與程序進行能量傳遞與轉換，此類機械裝置稱為波浪能轉換器（wave energy converter, WEC）。波浪能轉換器是

將振幅變化不規律、頻率低的波浪，透過機械結構聚波和共振來採集並轉換能量。一個波浪能轉換發電系統的架構可分為三個階段，第一階段為波浪能的擷取（採集），通常利用機械結構聚波或機構與波浪共振的方法，把分散的波浪聚集起來，此部分也可視為機械式的整流；第二階段為透過工作介質加壓，轉換與傳遞能量。能量傳遞的方式包括低壓水力傳動（水之重力）、高壓液壓傳動（液壓）、氣動傳動（氣壓）、機械傳動（連桿機構），使波浪能轉換為可利用的機械能；第三階段轉換稱為最終轉換，將上一階段的加壓工作介質通過渦輪機，帶動發電機轉換為電能。有些波浪能轉換發電系統架構僅包含兩個階段，應用電磁感應定律，省略工作介質加壓的部份，將第一階段由波浪能轉換為具有動能的磁鐵芯往復通過線圈來發電。

歐洲海洋能源中心（European Marine Energy Centre, EMEC）針對波浪能轉換器提出了八種分類形式，其中較為常見的六種是衰減式（attenuator）、點吸收式（point absorber）、波浪振盪衝擊式／推拉板式（oscillating wave surge / flap）、

振盪水柱式（oscillating water column）、越頂式（overtopping）和水下壓差式（submerged pressure differential）。圖三所示分別為衰減式、點吸收式、與波浪振盪衝擊式三種已經在商轉前測試的波浪能轉換器。



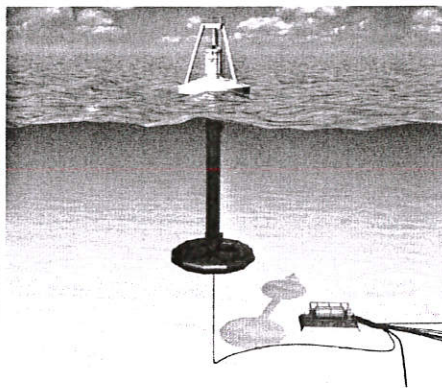
圖二：全球波能潛勢分佈（單位：千瓦／米）。

（圖片來源：OES 年報）

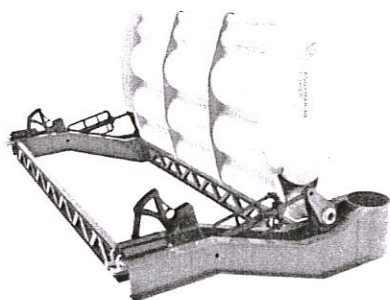
圖三：三種已在商轉前測試的波浪能轉換器。



衰減式
海蛇 Pelamis 波浪能轉換器
(圖片來源：維基百科)



點吸收式
動力浮標 (power buoy)
(圖片來源：Jagadees's English Weblog)



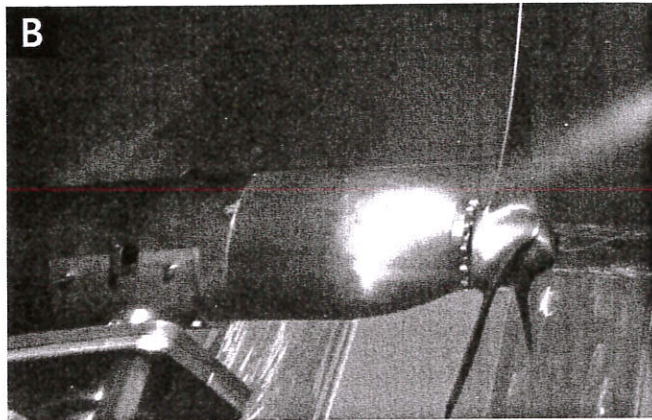
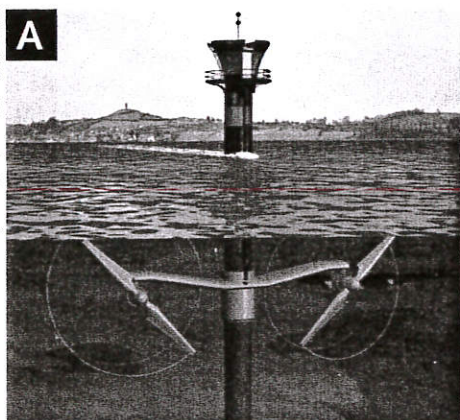
波浪振盪衝擊式
鰐 (oyster)
(圖片來源：Aquamarine Power)

潮汐能

潮汐能 (tidal energy) 乃是利用海水漲退潮間，局部海水流動的動能或位能差來產生電能。潮汐是由於地球表面的海水受到月球與太陽引力的影響，因而產生的週期性漲落現象。一般可分為一天漲落兩次的半日潮（大多數地區為半日潮），與一天漲落一次的全日潮。每個月當地球、月球與太陽形成一直線，即朔、望兩天，稱為大潮 (spring tide)，潮汐漲落的差距（潮差）最大；而當地球、月球與太陽形成 90 度角，即上弦月、下弦月的兩天，稱為小潮 (neap tide)，潮差相對最小。潮差的大小與地球、月球和太陽的相對位置最為相關，此外也跟海洋地形因素有關。全世界潮差最大的地方在加拿大的芬迪灣 (Bay of Fundy)，最大可達 11.7 公尺。由於潮汐的週期相當固定，因此潮汐能的開發與利用，具有可預測性高的優點。對於風力而言，風的速度大小與方向則較不穩定也不容易預測。

潮汐能利用的方式主要有兩種，一種是利用潮差間距 (tidal range) 的位能差，使大量流動的海水於漲潮或落潮時，流出或流入人工建構的潮汐壩 (tidal barrage)。潮汐壩中有安裝水渦輪機，當海水流經水渦輪機時，會推動其葉片轉動，進而帶動發電機。一般而言，潮差在三公尺以上就具有開發的經濟效益。位於法國朗司 (Rance) 的潮汐發電站建於 1966 年，其平均發電功率為 62 百萬瓦 (MW)，年發電量為 540 吉瓦·小時 (GWh)。

另一種方式則是利用潮汐流 (tidal current / stream) 的動能，當海水流經一特殊海底地形如海檻或隘口時，因漏斗效應其流速會顯著增加，若於適當位置安裝渦輪機，則可以擷取潮汐流的動能用於發電。一般而言，平均流速在 1.5 m/s 以上才具有經濟價值。著名的案例為位於北愛爾蘭斯特蘭福特灣 (Strangford Lough) 的 Sea Gen 潮汐發電站 (圖四 A)，為第一台商用



圖四：潮汐能發電機組：(A) Sea Gen 潮汐發電站；(B) 海洋大學開發的「全沒水式潮流發電機組」。

渦輪式潮汐發電機，於 2008 年開始測試。當地的平均流速達 2.4 m/s 以上，Sea Gen 的發電容量為 1.2 百萬瓦，第二代機組的發電容量已增加到 2 百萬瓦。我國目前的潮汐發電機都尚在原型測試階段，海洋大學所開發的「全沒水式潮流發電機組」（圖四 B），2013 年在基隆嶼附近的基隆海檻完成海底測試機具，其葉片直徑為 1.22 公尺，發電功率約為 1.3 千瓦；此外，中山大學也於 2013 年建造一潮汐發電機組，並於澎湖跨海大橋海域進行測試。

海流能

海流能 (marine current energy) 利用的是大規模洋流流動之動能。有別於潮汐晝夜不斷變動方向，海流為流動方向與流速大致穩定的大規模洋流運動，有人稱之為地球的海上輸送帶。其生成的原因包括風力、密度差、溫度差、鹽度差、氣壓差等。全世界最大的洋流為北大西洋的墨西哥灣流 (Gulf Stream)，其寬度約 100 公里，深度約為 800~1200 公尺，平均流速為 2.5 m/s。第二大洋流為位於北太平洋的黑潮 (Kuroshio)。黑潮為一暖流，起於臺灣東

南外海，流向西北，直到日本本州東岸外海，與東北方南下的親潮交會。黑潮寬度約 200 公里，深度約為 500~1000 公尺，平均流速為 1~2 m/s，流量為亞馬遜河的 360 倍。其流速雖然偏低，但著眼於其龐大流量，故仍有其開發價值。據初步估計，黑潮經開發後其能量可為臺灣貢獻相當於三座核能電廠的發電量。

由於黑潮路徑距離臺灣東岸相當靠近，故我國具有良好的地理優勢來利用黑潮發電。目前已有研發單位進行海域評估，並著手規劃開發黑潮發電。其中最大的挑戰來自於機組的安裝與施工，由於臺灣東岸海域的海床地形非常陡峭，離開沿岸約數公里，其海床深度就大幅增加，可達 1000 公尺以上，對於海下機組的安裝將增加許多困難度，未來有待工程人員突破此障礙。

海洋熱能

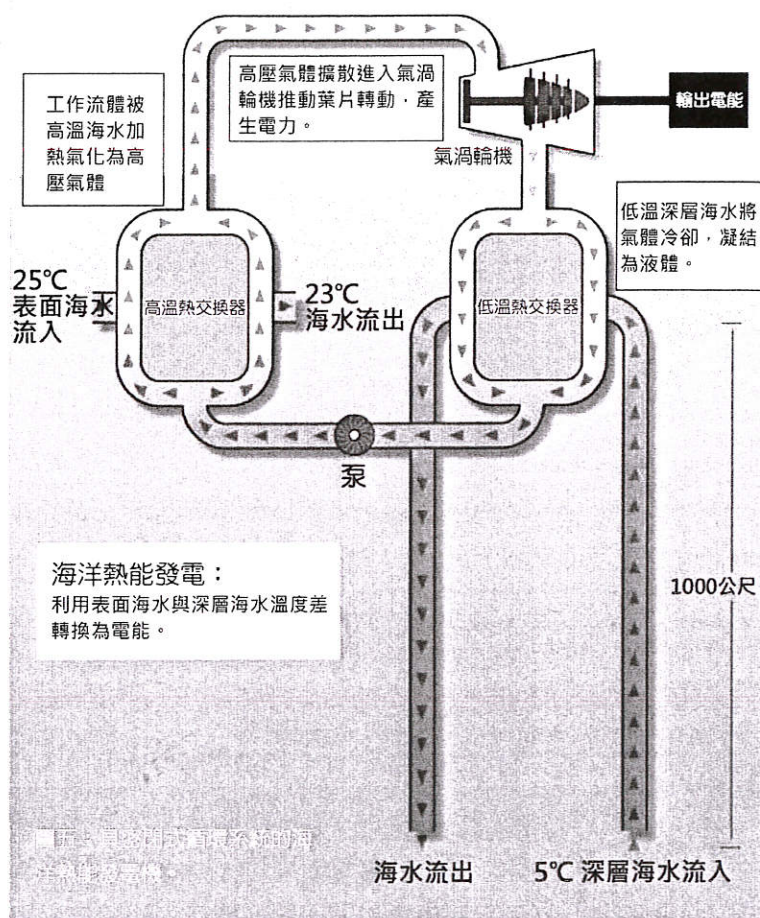
海洋熱能 (ocean thermal energy) 是利用海面與深海間的溫差能量轉換為電能，其基本原理主要為熱交換與熱循環作功。如圖五所示為一個密閉式循環系統的海洋熱能發電機，其管路中有低沸點的工作流

體，用於推動汽渦輪機。當工作流體於左側的高溫熱交換器被高溫海水加熱汽化後成為高壓氣體，接著進入汽渦輪機推動其葉片轉動，降壓後的工作流體流到右側的低溫熱交換器，其低溫海水使工作流體降溫凝結為液體，接下來再經由泵加壓流回高溫熱交換器進行下一次循環。

海洋熱能發電主要是利用海面與深海間存在較大的溫差時，可藉由熱循環原理將此熱能轉換為動能進而發電。因此，當溫差愈大時，熱循環效率愈佳，愈有其經濟效益。一般而言，當高低溫海水溫差超過 20°C 時，才具有開發之經濟效益。以我國位於亞熱帶，黑潮表層海水通常可達 26°C 以上，而 1000 公尺以下的深層海水溫度大約維持在 4°C ，故應可有機會開採海洋熱能。然而，如同前述黑潮發電一樣，欲抽取 1000 公尺下的海水至陸地上，也存在其工程難度，包括大口徑（直徑數公尺以上）管路的材質，必須抗海水腐蝕與具有良好的抗拉與抗壓強度。

鹽差能

海水鹽差能 (ocean salinity energy) 是利用海水濃溶液擴散到稀溶液，釋放出來的化學電位差能轉換為電能。經計算得知在 17°C 時，若有 1 莫耳鹽類從濃溶液中擴散到稀溶液中去，就會釋放出 5500 焦耳的能量來。一般在海水和河水相交匯處容易產生上述擴散現象。據估算，全球鹽差能的蘊藏量約為 26 億千瓦，此能量甚至比溫差能還要大。目前以挪威及荷蘭在此方面的技術較為領先，挪威國家電力公司已於 2009 年興建全球第一間滲透壓發電廠，容量為 4 千瓦。



(圖片來源: <http://infranetlab.org>)

未來展望

有人比喻現今的海洋能開發階段，相當於 20 年前的陸上風機之開發階段。換言之，以風力發電逐漸邁入開花結果的現況來看，海洋能距離實用或者商轉階段仍有很長的一段路要走。然而，再生能源利用已是當今必然的趨勢！如同百年前萊特兄弟創造第一架飛機時，他們可曾想像到一百多年後的今天，全世界每天有超過千架次的超音速客機在天空飛翔。海洋能究竟能不能讓人類朝向永續發展？讓我們繼續向前邁進與探索！

林鎮洲：任教臺灣海洋大學
機械與機電工程學系