

國內海洋能發電利用海流、波浪、溫差、潮流發電發展

我國在海洋能發展上仍屬於研究階段。雖然有世界各國的經驗可供技術分享，但因為各海域存在著不同的海象特性與地理環境，加上近年來氣候變遷及台灣多颱風暴雨的氣候特性，相同的工程或技術並不一定適用於台灣海域上。故必須先對台灣地理環境與條件予以分析，蒐集台灣海域的海象特性與氣象資料，評估各海洋能發展所需條件與限制。

1. 海洋能海流發電技術與條件需求

海流主要是因海洋中海水溫度差所造成的。海水在赤道暖化時，海水會流向南北極冷卻、下沉後，再回流到赤道。所以是循環周期性的運動，故也稱作環流。海流發電，擷取能源的方式類似於風力發電，利用海洋中的海流驅動渦輪機再轉換成電能。目前全球海流發電技術仍屬於研究階段居多，較有名的洋流試驗屬墨西哥灣流（Gulf Stream，簡稱灣流）。義大利的“海洋流發電”專利項目近十多年來一直引起歐盟、國際工業發展組織的關注。義大利阿基米德橋公司研制出世界上第一臺海洋流發電機樣機，並在墨西拿沿海地區進行發電試驗並獲成功，產生電能容量可達 40KW。美國佛羅里達州安柏瑞德航太科技大學（Embry-Riddle Aeronautical University）設計的移動式洋流發電渦輪機，可將大西洋「墨西哥灣流」的龐大能量轉化為電力。據估計，整個大西洋的洋流能量相當於尼加拉瀑布的 2 萬 1 千倍。據報導，目前的「可里奧利里 1 號」(外徑 171 公尺、長 110 公尺、重約 6000 噸之渦輪機)在試驗中估計約可發出 83MW 的電力，灣流流速大約 2.3 m/s。

一般而言，當流速越大，渦輪機的轉速也越快，驅動發電的效果就越好。但當海流流速超過 8m/s 時，渦輪機可能會產生孔蝕現象，進而破壞機組；且海流渦輪機轉速較快，較易影響海洋環境及生態，或使海中生物及殘骸吸入渦輪機，造成損害；且機組抗海水腐蝕也是維修上的一大挑戰，使得海流渦輪機成本常高於風力渦輪機。

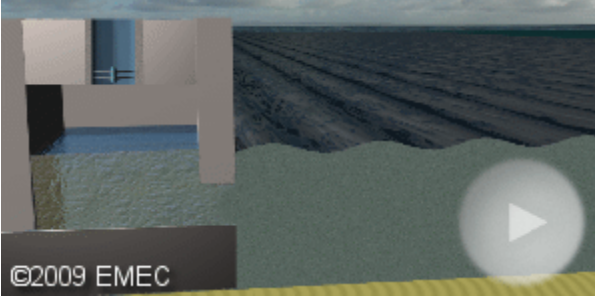
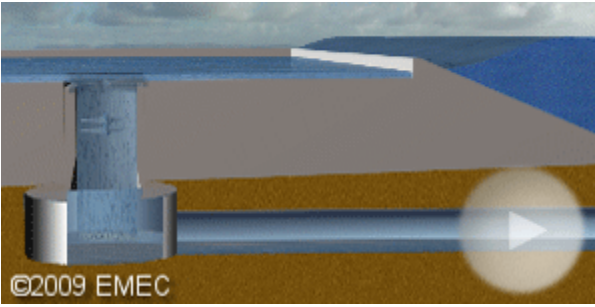
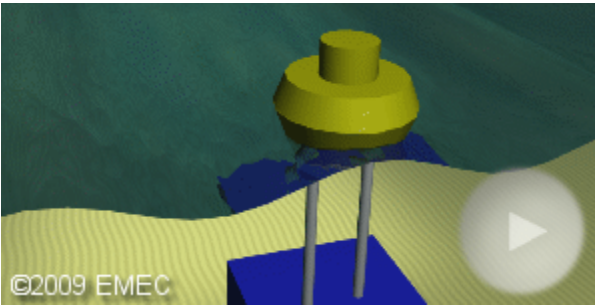
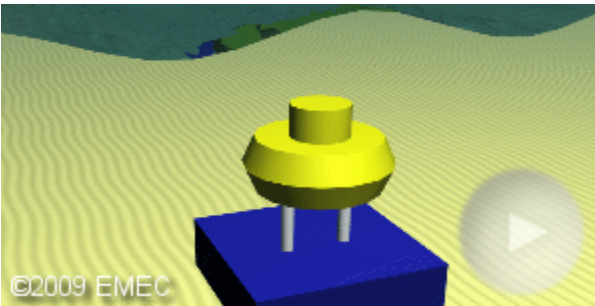
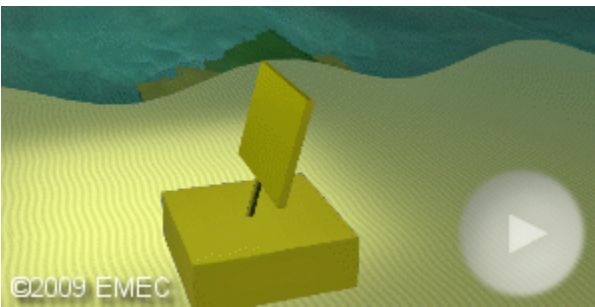
台灣東部的黑潮，以每秒約 1 公尺速度往琉球、日本流去。黑潮洋流寬約 100 到 800 公里、深 200 到 500 公尺，是強勁穩定洋流。黑潮發電是在深海處安置海流渦輪機組和系統平台，並以纜線錨固在海床上，利用黑潮的洋流力量帶動渦輪機發電。再利用海底電纜將電輸送到陸地上的電廠，經變電加壓後傳送到各地。據台大海洋所 1985 年至 2002 年有關黑潮在台東與綠島 9048 筆資料，發現若以台東與綠島間的黑潮為例，若以 1MW 雙葉片海流發電機組估計，在 25 平方公里 (設定為一個場址) 海域面積，約可布放 1000MW (即 1GW)。然而目前深海發電技術未成熟，輸電管路、維修工程都是海上作業的一大挑戰。

2. 海洋能波浪發電技術與條件需求

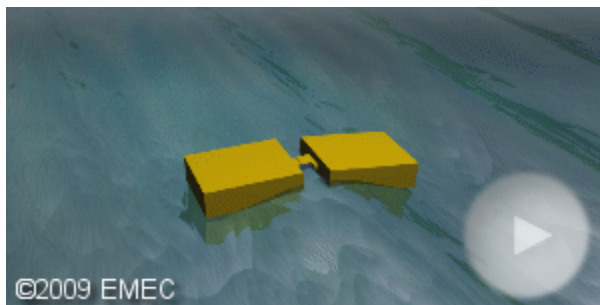
即是以波浪發電裝置將波浪的動能轉換成電能。波浪轉換系統通常可分為三部分。第一部分為擷取系統，將分散的入射波浪聚集於一區域上，提高波浪的振幅與能量密度。第二部分為轉換系統，把獲取的波浪能量轉換成電能。表 1 為目前常見的波能轉換器。第三部分則是儲能系統。波浪能發電系統可設置於海岸線或離岸的近海區域，各有優缺點。設置於海岸線的發電系統較容易安裝及維修，不需要深水繫泊與非常長的海底輸配電纜，缺點是波浪能易遭地形破壞，符合條件的波浪能獲取場址較少，通常會利用各種聚波技術來補償因為海岸地形所造成的波浪能損失。設置於離岸的波浪能發電系統，雖然傳輸成本及線路損失較大，但因動力來源隨波浪振幅的平方增加且結構性成本較海岸線區域少，就成本效益而言，離岸波浪能發電應比設於海岸線波浪能發電為高。不過，此系統的長期發電穩定性及成本效益監測等問題仍待克服。

表 1 波浪能轉換系統型式

形式	說明
震盪水柱(Oscillating Water Column)	利用波浪上下之運動，帶動空氣上下流動來轉動渦輪進行發電。

 ©2009 EMEC	
越波式(Overtopping)  ©2009 EMEC	收集波浪越過結構物的海水來轉動渦輪機進行發電
點吸收式(Point Absorber)  ©2009 EMEC	裝置設置於海面上，跟著表面波浪運動進行發電
潛沒壓差式(Submerged Pressure Differential)  ©2009 EMEC	裝置設置於海床上，靠波浪上下運動，產生壓力差進行發電
衝擊式(Oscillating Wave Surge)  ©2009 EMEC	受力板受到波浪衝擊，產生力而進行發電

減衰式(Attenuator)或稱漂浮式



裝置漂浮在海面上與海浪同方位運動，藉此降低設備所受之波浪衝擊。

圖片來源：網站 EMEC (<http://www.emec.org.uk/>)

最具有產業領導地位的英國海洋電力傳輸公司，研製出名叫「海蛇號」(漂浮式)的波浪發電裝置，裝置容量為 750KW，在蘇格蘭的 Orkney 島上測試良好。該公司 2007 年 10 月在葡萄牙北部的大西洋離岸 5 公里處，利用此項裝置建造了世界第一座商用波浪能發電站。不過經過三年開發，運作沒多久就問題不斷，在 2009 年宣告失敗。說明了各海域海象條件的獨特性不一定適用於相同的工程技術。目前研究波浪能轉換計畫的代表性國家有英國、挪威、葡萄牙、日本、中國大陸及印度等，不過大部分仍然是在測試階段。表 2 為國外發展波浪發電之成效及說明比較。

表 2 波浪發電-國外案例彙整

發展國家 項目	澳洲	中國	日本	挪威	美國	英國	葡萄牙
年代	1997~2001	2000	1989	1980			2008
地點/公司	新南威爾斯的 Kembla 港	山東省大關島	Sakata 港	挪威科技大學波能研究中心	OPT 公司	蘇格蘭的 Orkney 島	里斯本外海
發電容量	300KW	50KW	200KW	350KW & 500KW	20KW	3MW	2.25MW (計畫失敗)
發電方式	震盪水柱	衝擊式	震盪水柱	Tapchan (收縮坡道) &	漂浮式	漂浮式	漂浮式

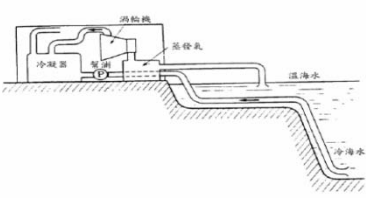
				震盪水 柱			
--	--	--	--	----------	--	--	--

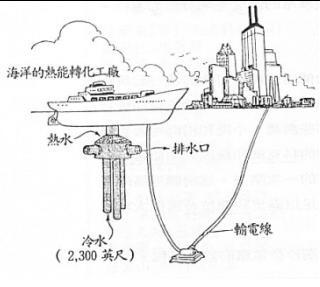
台灣為一海島國家，海岸線長約 1,448 公里，在季風的影響下，海面波浪複雜多變，能源的蘊藏量也相當可觀。但於其他國家相比，波能的發展與應用仍屬於剛起步階段。研究方面比較有規模者，只有成功大學水工試驗所在 2005 至 2008 年所進行的「風鼓式海浪發電設備」及工研院的「點吸收式波浪發電設備」等。而成功大學在研究計畫「海洋能技術之開發研究—多單位共振水柱波能發電系統之研發」的場址及海氣象評估方面，也初步收集了 2007 至 2009 年台灣海域及離島地區的波浪漂浮資料。指出台灣海域在每年 10 月至隔年 1 月期間波能較大，且以澎湖、花蓮及蘇澳蘊藏量最為豐富。

3. 海洋能溫差發電技術與條件需求

溫差發電(OTEC)是利用海洋表層海水與深層海水之溫差熱能，轉換成電能之發電方式。溫差如果在 20℃ 左右，就有較佳的利用價值，在赤道至南北緯 30 度之間之海洋，比較具有適合發展海洋溫差發電發展之條件。溫差電廠主要分為陸基式、淺灘式及浮動式三種。路基式是將電廠設備設於陸岸上，而將取深海冷水用的冷水管沿海床敷設於淺水灘或鄰近海岸之高灘上，外圍則以海堤及護岸保護防止暴潮及波浪侵襲。浮動式電廠則是將發電系統、深海冷水取水管、淺海溫水取水管、營運控制室等設施，設計為一海上浮動平台，利用懸垂式的冷水管系統取深海冷水。淺灘式與陸基式類似，其冷水管長度較短，設計上須考慮強大波浪力。

表 3 路基式及浮動式海洋溫差發電廠之優劣比較表

項目	陸基式電廠	浮動式電廠
	 圖片來源:經濟部能源研究發展基金九十年年度	

	「海洋溫差發電利用」計畫成果報告(六)	 圖片來源: http://teacher.hhjh.tn.edu.tw/ht105/%E5%86%8D%E7%94%9F%E8%83%BD%E6%BA%90main.files/7.jpg
冷水管	長度較長，設計較複雜，設計維修成本較高	長度較短，設計較簡單，成本較低
廠址/設計	需使用陸地面積，並需要考慮海底地形因素限制，近岸端冷水管安全性及深水段冷水管固定困難度	無須使用陸地面積，海域相對需較穩定無颱風或颱風影響小
技術特性	操作、作業維修容易	海上運輸、補給作業困難

動力方式則分為封閉式循環系統及開放式循環系統，亦有混合式循環系統。封閉式是以溫海水將工作流體在封閉式迴路中加以汽化以帶動渦輪機發電產生電力，再利用冷水冷卻工作流體，不斷循環的一種方式。因溫差發電需要大量海水，所以需要大面積的熱交換器、包括蒸發器及冷凝器，相對的成本就非常高。1978 前到 1980 年之間，美國的 Mini OTEC 試驗電廠運轉試驗結果，總發電容量可以到 1MW。但受限於冷水管技術限制，其直徑定在 10 公尺左右，因此封閉式循環電廠最大規模被界定在 100MW。開放式系統是將溫海水在真空槽中閃化蒸發產生低壓蒸氣用來推動低壓氣輪發電機產生電力，再用冷海水將通過氣輪之蒸氣冷卻，因此可同時產生淡水及電力。1993 年到 1998 年美國 NELH 試驗發電廠試驗結果，發電容量為 210KW。因為採用的是低壓渦輪機，單一模組容量限制在 2.5MW 以內。混合式則是具有開放式及封閉式之特點。表 4 為自 1978 年來國外發展溫差發電之成效及說明比較。

表 4 溫差發電-國外案例彙整

發展計畫	美國	美國	美國	日本	日本	日本	印度
------	----	----	----	----	----	----	----

項目	夏威夷 Mini OTEC	夏威夷 OTEC- 1	夏威夷 NELH	諾魯 Nauru	德之島 Takuno shima	Imari 佐賀大 學	NIOT
年代	1978-1 979	1980	1993-1 998	1982-1 984	1982-1 984	1985-	2000-
發電容量	50KW	1000K W	210KW	100KW	50KW	75KW	1000K W
冷水管長度/ 內徑	645m /0.61m	670m /3.3m	1829m /1.0m	950m /0.7m	2300m /0.6m		1100m /0.9m
發電廠型式	浮式	浮式	陸基式	陸基式	陸基式	陸基式	浮式
發電方式	封閉式	封閉式	開放式	封閉式	混合式	封閉式	封閉式
溫水水溫	26.1℃		26℃	29.8℃	28.5℃	28℃	29℃
冷水水溫	5.6℃		6℃	7.8℃	12℃	7℃	7℃

台灣東部海域有黑潮經過，表面海水溫度常達 25℃ 以上，而離岸不遠之水深 800 公尺處水溫僅約 5℃，之間溫差約在 17~25℃ 之間，為目前較適合發展溫差發電之廠址。工研院於 2008 年在實驗室開發 5KW 溫差發電機組，並在 2009 至 2010 開發、建造 OTEC 現場機組，於花蓮的台肥園區內進行實地發電測試。工研院亦執行經濟部能源局的『海洋能源發電系統評估和測試計畫』，與美國 Lockheed Martin 合作進行台灣東部海域 OTEC 可行性研究與概念設計，初步研究結果建議可開發場址為綠島（陸基式 OTEC 電廠）及金崙外海（浮式離岸 OTEC 電廠）。

4. 海洋能潮流發電技術與條件需求

潮流是因海域中潮汐漲退所引起海水週期性的往返流動，取決於地球、月球與太陽間的引力關係，跟地球自轉所造成，成為一永久穩定存在之流。傳統利用潮汐發電是利用潮差的位能轉換成電能，一般而言至少潮差要達 5 公尺以上才可有經濟效益。法國朗斯河口發電站為目前最大的潮汐發電廠，潮差為 13.5 公尺，裝置容量為 240 MW。

一般而言潮汐發電機必須在海灣建築水壩，工程用地難找且成本較高，且還會面臨庫區淤積、設備腐蝕等問題。由於經濟性、環境因素等影響，傳統潮汐發電受到很大限制，而潮流發電可以克服建壩、用地問題，是近年來備受注目的發電技術。

潮流發電，顧名思義是利用潮水流動，推動渦輪機轉動進而轉換成電能。潮流是伴隨潮汐水位漲落海水所產生的週期性往復流動，其週期與潮汐一致。在大洋中潮汐振幅及潮流通常不顯著，惟潮波一旦接近大洋邊緣陸域時，受到海底底床隆起或水深變淺及局部的地形效應影響，潮波振幅往往會產生顯著的放大現象以及伴隨強勁的潮流。常見具放大效應之海岸地形如海峽、河口、海岬及海灣等，其中海峽通常為海島與大陸間之水道，如台灣與中國大陸間之台灣海峽即屬於高潮流能之潛勢區域。利用漲落潮水推動渦輪機進行發電，大部分設備浸沒在水下，無須建設水壩，工程用地成本降低，且相較於海流在深海施作，潮流於離岸作用傳輸，其維修操作較容易；且渦輪機組受潮流轉動速度較低，對水文環境及海洋生物影響輕微。故潮流發電所使用之渦輪機組就成為發電的重要關鍵。目前較成熟的渦輪機組分為垂直軸、水平軸、振盪水翼及套管式。水平軸渦輪機類似風力發電用渦輪機，葉輪需迎向海流來向方能有效發電。英國的 SeaGen 系列產品及愛爾蘭 OCT(Open Centre Turbine)裝置都屬此類，如圖 1 所示。其中英國 SeaGen 產品最大單元裝機容量已達 1.2MW，並以進入商轉階段。德國 RWE AG 公司也跟 MCT 合作，在北威爾士採用 SeaGen 技術建設總容量為 10.5MW 的發電廠。加拿大亦採用此技術在溫哥華 Campbell 河建置至少 3 台機組。



圖1 英國Marine Current Turbines 公司的SeaGen潮流發電機組

垂直軸式渦輪機，係因水流行進的方向與旋轉軸是呈垂直的，此型發電機組的特點為不論任何方向的海流來都可以旋轉扇葉發電，但其轉速較水平軸低。研發中的垂直軸式海流發電機有阻力和升力兩種渦輪。目前加拿大的 Blue Energy 公司的垂直軸機組單機容量可達 250KW。

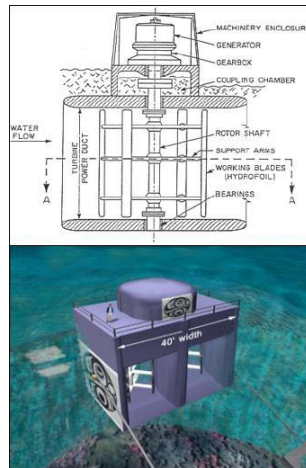


圖2 加拿大Blue Energy Canada公司的Davis Hydro turbine潮流發電機組

振盪水翼是由水翼、振盪懸臂和液壓裝置組成，水翼受其兩側之潮流推動帶動懸臂擺動，通過振盪懸臂驅動高壓液體流動帶動高壓液流系統中的渦輪機發電。此方式相對於前兩者可用於較淺之海域。目前研究此一技術包括英國 Pulse Generation 公司及澳大利亞的 BioPower 公司，如圖 3。



圖3 澳大利亞BioPower公司的振盪水翼式潮流發電機組

套管式即是在渦輪機外部增加一文德利管，使通過渦輪機的水流更加集中，利用束縮效果提高效率。目前英國的 Lunar 公司的 RTT(the Rotech Tidal Turbine)技術、Neptune Renewable Energy 公司的 NP(the Neptune Proteus)技術都在研究此項目。

相對於傳統水力發電，潮流發電算是一項很新穎的技術。不過由於台灣周遭海域流速大多小於 2 m/s，如何在低流速有效擷取能量成為新問題；且因為流速較慢，渦輪機組抗腐蝕與生物附著問題也是海上工程的挑戰。表 5 為國外研究潮流發電之成效及說明比較。

表 5 潮流發電-國外案例彙整

發展國家 項目	英國	挪威	英國	美國	愛爾蘭
年代	2003	2003	2008	2007	2009
地點/公司	Lynmouth 外海/MCT 公司	Kvalsund 外海/Hammerfest storm 公司	Strangford Lough/MCT 公司	紐約 East River/Verdant Power 公司	Open Hydro 公司
發電容量	300KW	300KW	1.2MW	10MW	
技術名稱	Seaflow	Tidal Stream Turbine	SeaGen	Various	OCT

成大水工所與經濟部能源局在能源科技研究中心推動計畫-海洋能科技中心的研究裡(九十九年度期末報告)，規劃量測台灣各地之流速，以基隆港、臺北港、臺中港、安平港及高雄港外海海流觀測資料平均最大流速分別為 0.67m/s、1.09m/s、1.13m/s、0.80m/s、0.79m/s，其中基隆港、台北港及安平港外海海流具有顯著的半日潮潮流漲退變化特性，高雄港外海流流變化則具有全日潮週期性變化特性。而澎湖水道的海流主要有平均流及半日潮流，根據海科中心船測海流資料，澎湖水道流速平均值達 0.78~1.05m/s。季風及海底地形影響水道中的海流甚劇，夏季南海的表層水受西南氣流吹動，會同黑潮水一齊經由澎湖水道進入臺灣海峽。冬季時表層水及黑潮水同時受到東北季風的阻擋，流徑在砂脊前轉向西北。水道中有經年不斷的半日潮流，南北往復，但其淨流向北，潮流的流速可高達每秒 1.8 公尺。

5. 結果討論

目前海洋能源為全球性能源發展之趨勢，而台灣位處於海島國家，有用之不竭的天然海洋資源。台灣研究海洋能包括溫差、波浪、海流及潮流，依照其發電技術與條件，仍需進一步分析其各種海洋能發電型式。

目前已知國外對於各個海洋能發展之現況與成效，進而了解台灣發展海洋能所需之條件。雖然面對著龐大的海洋能源，卻也有相當的問題與挑戰需要克服。目前台灣研究海洋能方面，其優勢與可能會遭遇的挑戰仍待研討所示。以台灣的地理環境及氣候，面臨多地震、颱風及其他極端氣候，都在考驗著海上工程與技術。雖然有國外的經驗，然而各地海象條件與氣象環境均不同，以英國海蛇號的例子，不一定適用於其他不同海象特性的海域中。故勢必需發展出適合台灣的發電技術與優勢。未來則針對台灣周遭海域地理環境及氣象，比較各個不同海洋能發電特性在台發展之優先順序。