

海洋能源開發

國立成功大學

電機工程學系 王醴 教授

國立中山大學

機械與電機工程學系 游明輝 教授

海洋環境及工程學系 陳邦富* 教授

*: chenbf@faculty.nsysu.edu.tw

台灣地區多年來由於土地取得及環保抗爭等問題，使得傳統大型集中式發電廠的興建及輸配電線路的擴建遭遇相當大的難題，且台灣的能源百分之九十五以上從國外進口，因此降低能源進口的依賴，積極開發本土新能源，即再生能源與潔淨能源，乃成為我國目前能源發展的重要目標。盱衡各式再生能源發電技術現況，除了小水力外又以風力發電與波浪發電技術屬最成熟。目前風力與波浪發電技術已經成熟且大量商業化應用，具開發規模的風力與波浪發電廠，每度電發電成本甚至可以低至3到4美分，已經可與一般傳統電廠的電價一較長短。波浪與風能具有環保不破壞生態的特色，汙染甚低，且在運轉過程中不排放廢棄物，發電機具的安裝也比其它再生能源來得容易，無需大興土木，也沒有改變地區生態的疑慮，是乾淨自然的能源。

在第六次全國科技會議中針對「水資源與海洋資源科技」討論，建議對於台灣海域之能源與資源需具前瞻性的規劃、推動，尤其離岸及沿岸之風力發電、深海水與海洋溫差發電應積極進行實際操作運轉，以補島內資源之不足。風力發電之研究與開發應用國內已有很多研究案例與運轉個案，然而波浪發電之研究與開發應用確鮮少有人觸及，因此波浪發電之研究與開發應用實屬刻不容緩的議題。

波能收集系統與發電機組之運轉應用能否成功，有四大要素必須考慮：

- 第一：波能發電機組必須不畏暴潮或颱風。亦即此波浪發電機組必須能自由升降，一旦遇到暴潮或颱風，機組能抬升或下降至一定安全高程，以避開暴潮或颱風之衝擊。
- 第二：波能收集系統與發電機組必須不能太重，以方便施放與回收保養，況且太重的機具成本與造價必然很昂貴。
- 第三：波能收集系統與發電機組之防蝕問題必然是一大挑戰，因此波能收集系統與海水接觸之部份必須是特殊材質，能兼顧質輕堅固與具有防蝕功能。

第四：波能收集系統與發電機組之研發與測試過程必須是藉由嚴謹的 tried-and-tested 技術，可於短時間內移轉業界以進行商業運轉，必須避免無止境的系統測試。

海洋能發電種類：

目前海洋能發電已進行研究開發的有溫差、波浪、潮差與洋流發電等四種：海洋溫差能是利用海水表層溫水與深層海冷水的落差轉換成能量；波浪能是海面在風的作用下產生的能量，波浪的能量與波高的平方和波動水域面積成正比；潮差能是漲退潮間的位能，潮汐的能量與潮差大小和潮量成正比；海洋能與潮差一樣都是海水流動產生的動能，但海洋較潮差動能更大。在溫差、波浪、潮差與洋流發電等四種海洋能當中，在台灣地區的潮差很小，約 3 ~ 4 m，因此潮差發電不具開發經濟誘因；波浪發電僅在東北角海域有開發潛力，但估計僅有 100 MW 的發電容量潛能；溫差能雖然穩定但熱轉換效率低，必須巨量抽取深層海水，並配合多目標利用才具有經濟效益，以現階段國內深層海水園區發展所規劃的規模，短期內很難看到有 1 MW 以上的溫差發電容量之開發。

台灣地區可供開發海潮流發電應用之海潮流，以黑潮(Kuroshio)最具開發潛力，黑潮又叫北赤道海潮流，其厚度約為 200 ~ 500 m，寬度約 100 ~ 800 km 左右，其流速介於 0.5 ~ 1.0 m/s，黑潮在赤道北方往西流動，碰到菲律賓轉向台灣東部，再經日本琉球、四國、本州，在日本東北方與親潮會合，形成全球重要漁場之一。根據以往對黑潮所進行之調查研究瞭解，黑潮流經台灣東側海岸最近處，以北緯 23°附近為最貼近，平均流中心距台灣僅 60 ~ 66 km，中心流速在 0.3 ~ 1.6 m/s、平均流速 0.9 m/s，依據所測得之流速及斷面推估其流量約為 1.7 ~ 2.0 Mm³/s，比較起潮汐每天四次方向的變化，海潮流的方向終年不變，理應可利用性高。在綠島及蘇澳外海的流速最快可以達到約 1.4 m/s，其中光是初步估計綠島附近的黑潮流就可達 1 ~ 3 GW 的發電量，規模竟然相當於約三座的核能發電廠能量，黑潮發電構想是利用中層海潮流的流速，可利用處的水深約在 200 m 左右，預計在海中鋪設直徑 40 m、長度 200 m 的沈箱，並在其中設置一座水輪發電機，成為一個模組式海潮流發電系統，發電量大約是 1.5 ~ 20 MW，未來可視發電需要增加多個機組，且機組之間的距離需維持於 200 ~ 250 m 間，以避免紊流的干擾。整體開發因涉及機械、電機、材料、海洋科學及海洋工程等領域，可帶動國內相關產業發展。

國外實例

國外的海潮流發電的研究約在 1970 年代開始，包括英國、美國、中國、加拿大、挪威、澳洲都陸續投入研究，截至目前為止，以英國擁有相關的研發公司，且開發出的機組模式也最豐富。如圖 1 所示為 La Rance 海潮發電系統，其容量

為 240 MW，是世界第一大海潮發電系統。該系統於 1960 年興建，最大潮差可達 13.5 m，壩長 33 m、內灣面積 22 km²，採用 24 部直徑 5.4 m、額定 10 MW 之球形渦輪機連接發電機發電，在漲潮及退潮時均可發電，電力傳送至 225 kV 法國輸電系統。



圖1 法國世界第一大La Rance海潮發電系統[2]

離岸式風場(offshore wind farms)已成為目前國際開發風力發電的新目標，如圖2所示為相同1 MW容量之海潮渦輪機與離岸風力渦輪機之葉片尺寸比對，其中離岸風力渦輪機葉片直徑為55 m，海潮渦輪機葉片直徑為18 m [1]。如圖4所示為目前海潮渦輪機基本三種型式(水平軸、垂直軸及線性移動裝置)

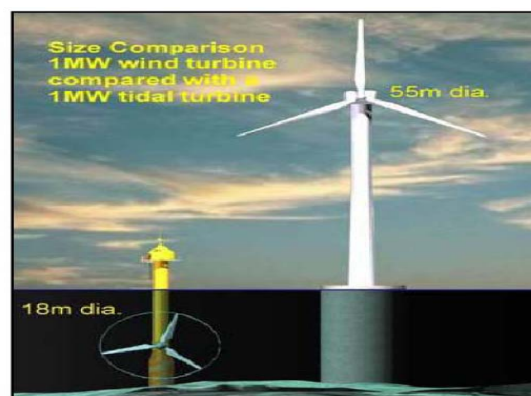


圖2 容量同為1 MW海潮渦輪機與離岸風力渦輪機之葉片尺寸比對[1]

如圖 3 所示為英國的海底洋流渦輪機(Marine Current Turbine, MCT)計畫之第一個計畫—海潮流渦輪機(Seaflow turbine)之概要圖。該計畫於 1999 ~ 2002 年做預備的發展工作，並於 2002 ~ 2006 年進行安裝測試，其單部渦輪機具有直徑 11 m 之轉子、全節距的旋角控制，安裝在平均 25 m 水深、位於英國北德文郡(North Devon)Exmoor 之下離最近的著陸點 Foreland Point 燈塔 1.1 km 外之處。在良好的潮流條件下，轉子速度可達 15 rpm，可發出超過 300 kW 之額定發電量。

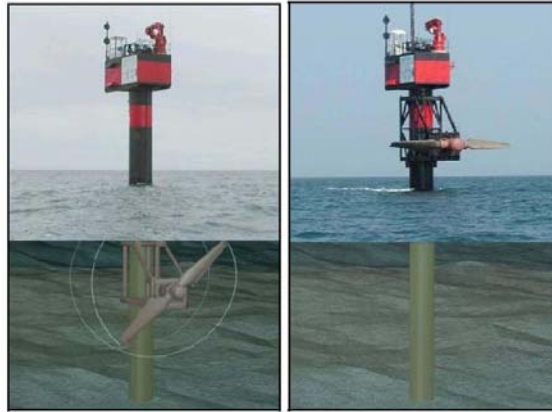


圖3 英國MCT計畫中第一個計畫的海潮流渦輪機(Seaflow turbine)之概圖[1]

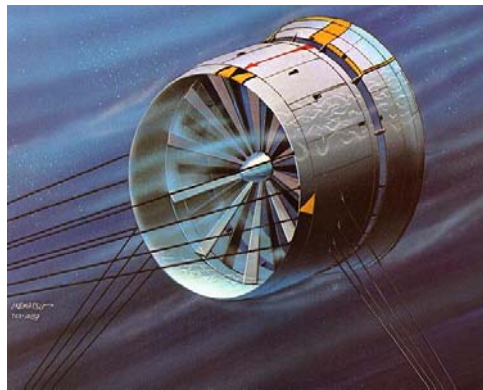


圖4 「可里奧利里 1 號」之架構圖[3]

而與黑海同規模的墨西哥灣洋流，目前有「可里奧利里 1 號」，其架構如圖 4 所示為。該系統正在從事實驗中，外徑 171 m，長 110 m，重量約 6000 噸，具有逆方向旋轉的 2 枚大型螺旋轉的巨大洋流發電系統。在流速 2.3 m/s 的洋流，可輸出 8.3 MW 的電力。

澎湖海域波浪與海潮流能源開發研究

中山大學擬由機電系與海工系同仁組成研究團隊設計波能收集系統，將波浪的運動過程中隱含之運動能與位能收集在一固定空間(波能收集系統)內，再將其轉換為機械能驅動發電機以產生穩定的電力。我們期待於三年內，該團隊能研究設計出第一代多功能波浪收集系統。

另外，本計畫也擬發展以海流能量為動力來源之發電技術，希望能在台灣四周具有較穩定海流（例如黑潮）的海域上，應用全新設計的能量轉換機構及發電機組，結合因地制宜之電力能源轉出與儲存分配系統，達到海流發電的目的。海流發電主要關鍵性的工程技術包括（1）發展高效率的水渦輪機，固定水渦輪機於一平台，安置於適當的海域，將海流能量有效率地轉為機械能（2）發展適合海流的發電系統將機械能轉為電能，並加以轉出與儲存分配。本計畫擬

從中小等級的原型設備做起，透過工程的設計與實務的建構經驗累積，以為充分發展台灣具有區域性特色的海洋再生能源開發上奠定基礎。

本計畫之總體目標為：(1)發展波浪及海流能源擷取系統，將波流能量有效地轉換為機械能及電能；(2)於澎湖海域裝置波浪及海流能源擷取系統雛型機進行實體 (prototype) 測試。上述兩系統將收集的海洋能源轉換為機械能，以此機械能去驅動發電機以產生穩定的電力。本計畫希望透過計畫的通過執行，能夠初步地建構一套千瓦級之海流發電測試系統，並藉由整合各子計畫的成果分別於本校海科院測試水槽進行初步驗證，西子灣海洋實驗場現場測試，以獲取相關實務經驗，計畫第三年最終目標是於澎湖群島適當海域進行實體測試，期可於短時間內移轉業界以進行商業運轉，避免無止境的系統測試。此外，任何一項海洋再生能源開發計畫均將有結構工程施作與海流發電測試系統運轉工作，無論施工過程或系統運轉過程，都可能對當地海域的生態環境與社經環境會有多或少的影響，為求此研究開發案之順利進行，環境影響的研究是必須的。因此本整合型計畫特別規劃一個子計畫『澎湖海域波浪與海潮流能源開發環境影響研究』來探討此一問題，此計劃將進行澎湖海域的生態環境與澎湖地區的社經環境調查及分析，計畫進行期間亦將安排說明會及協助總計劃與澎湖縣政府及當地漁民溝通的工作。

本計畫將藉由整合中山大學海科院在海洋資源探測、水下（潛水及 ROV）技術教師，中山大學海工系及台灣海洋大學河海工程系之海洋工程研究教師，中山大學及成功大學工學院機電與電機相關教師，並與英國相關研究機構合作，引進相關關鍵工程技術。從海洋工程的角度進行安裝、整合及測試該示範系統，從學習中獲得實務經驗並據以改良開發為適用於澎湖海域之相關技術，如系統維護、海事工程等，並希望能吸引政府單位及產業界的參與。預計在三年內可發展出新型海流渦輪機及電源轉換系統。本計畫亦擬邀請國際能源組織（IEA）海洋能源系統（OES）的相關人員來訪，並尋求參與該國際組織相關活動，亦將加強在能源相關期刊的論文發表，以建立本校在海洋能源開發的特色研究。

本整合型計畫之海潮流發電機擬採用之浮式平台結構配置圖如下圖所示：

浮式平台配置圖

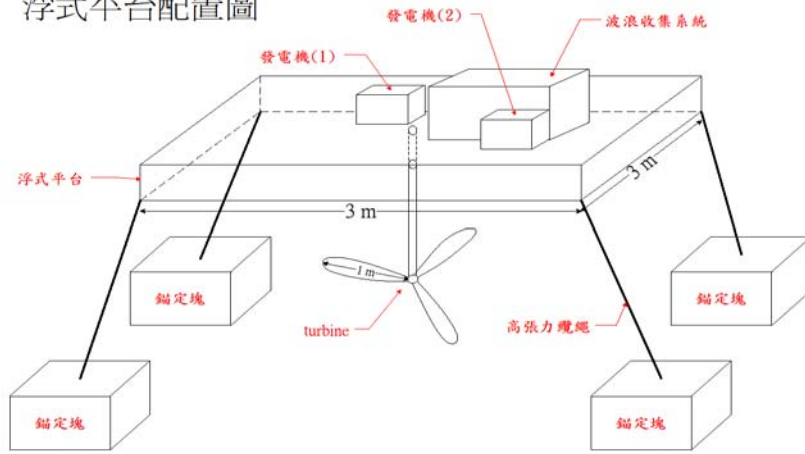


圖 5 本計畫之海潮流發電機擬採用之浮式平台結構配置圖

而海潮流發電機擬採用之樁基平台則如圖 6 所示：

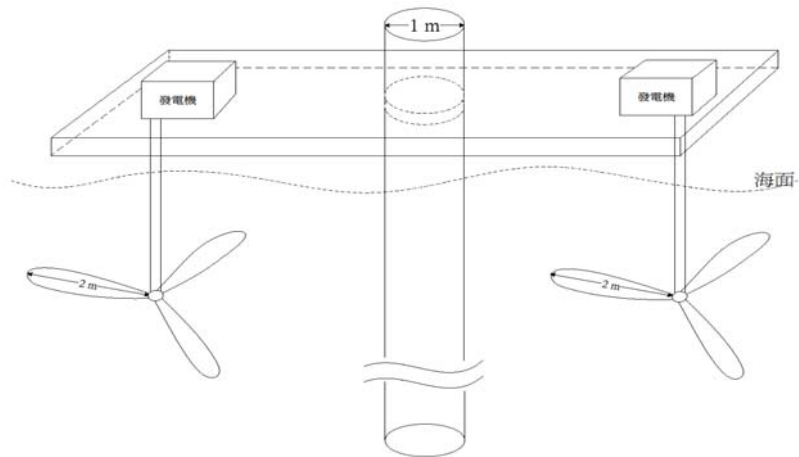


圖 6 本年度計畫之海潮流發電機擬採用於樁基式結構上

表 1 整合型計畫與各子計畫題目

計畫	主持人	服務機構/系所	職稱	計畫名稱
總計畫	陳邦富	中山大學海工系	教授	澎湖海域波浪與海潮流能源開發研究
子計畫一	劉金源	中山大學海下科技與應用海洋物理研究所	教授	澎湖海域流場研究
子計畫二	田文敏 簡連貴	中山大學海工系 台灣海洋大學河海工程系	副教授 教授	澎湖海域海底底質及收集系統基礎結構研究
子計畫三	黃材成	中山大學海工系	副教授	適合澎湖海域波能與海潮流樁基平台結構系統研究
子計畫四	陳邦富	中山大學海工系	教授	適合澎湖海域波流能浮式收集平台研究
子計畫五	游明輝	中山大學機電系	教授	適合澎湖海域的海流渦輪機與傳動系統之設計製造研發
子計畫六	王醴	成功大學電機系	教授	波浪及海潮流感應發電機系統及其電力傳輸之研究
子計畫七	張揚祺 陸曉筠	中山大學海工系	副教授 助理教授	澎湖海域波浪與海潮流能源開發環境影響研究

整合型計畫與各子計畫題目如上表所示，而各子計畫相關工作重點如下：

(1) 第一年，子計畫一與二進行澎湖海域流場與底質調查與分析，藉由相關調查資料，由子計畫三設計樁基式結構平台與子計畫四設計浮式平台系統。同時模擬不同流速下，由子計畫五及子計畫六開發水渦輪機與發電機組，設計與製造半徑一米的水渦輪機於浮式平台結構上及搭配所需之單部感應發電機系

統；子計劃七則調查分析當地海域的環境與社經，進行環境影響的研究；

(2)安裝第一年的設計機組於浮式平台結構上、設計與製造半徑兩米的水渦輪機並搭配兩具感應發電機系統於樁基式結構上。第二年亦將子計畫五及子計畫六所開發之海流水渦輪發電系統裝設於第一年子計畫四所開發之浮式平台上，並於中山大學西子灣海洋實驗場進行運轉測試，目標為海流水渦輪發電系統之功能測試與獲取浮式平台海上施工與運作之經驗；

(3)於澎湖海域，安裝第二年設計開發的海流水渦輪發電系統機組於樁基式結構上、實體施工與測試浮式平台結構以及樁基式結構兩套感應發電系統供應獨立電氣負載及連接市電之特性。

整體目標為結合三年系統化研究海潮流發電系統之特性，由第一年單機系統於浮式平台結構設計與安裝、第二年雙機系統於樁基式平台結構設計與安裝，至第三年分別完成兩套系統之測試，於三年內於澎湖海域裝置完成總發電量目標 2.5 kW 之海潮流發電系統，俾完成一份對海潮流發電系統之深入研究，並完成實際之海洋能源擷取與實證，以祈未來能實際應用海潮流發電系統於台灣。

1. S.E. Ben Elghali, M.E.H. Benbouzid, and J.F. Charpentier, "Marine tidal current electric power generation technology: State of the art and current status," *2007 International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC '07)*, vol. 2, pp. 1407-1412.
2. T.J. Hammons, "Tidal power," *Proceedings of IEEE*, vol. 3, no. 8, pp. 419-433, March 1993.
3. <http://ge.tcivs.tc.edu.tw/training/kinds/ocean-current.html> (last accessed December 2007).
4. 邵承矩著，「能源應用」，第四章 再生能源，東華書局，民國 76 年 8 月初版。
5. <http://etextbook.geo.ntnu.edu.tw/lesson2>.