波浪能

波浪能

- 來到海邊，看著滔天巨浪，很難想像其中蘊藏著的無窮能量。
- 幾個世紀以來，人類便一直思考如何從海洋的波浪擷取能量。早在200年前已有一些波浪能(wave energy)的觀念，直到1970 年代才逐漸成型。

波浪能的發展

- 波浪雖然只是海水質點在原地的圓周運動，它那一起一伏的運動能量也是十分巨大的。計算1平方公里海面上的**波浪能**可以達到250MW的功率。
- 目前積極從事波浪能發展之主要國家為英國、日本、挪威和美國。世界能源協會（World Energy Council）曾估計出全世界波能資源可達2 TW，相當於每年提供17,500 TWh的能源。
- 最早的**波浪能**利用機械發明專利是1799年法國人吉拉德父子獲得的。
- 早期海洋**波浪能**發電付諸實用的是氣動式波力裝置。道理很簡單，就是利用波浪上下起伏的力量，通過壓縮空氣，推動汲筒中的活塞往復運動而做功。

波浪能的發展

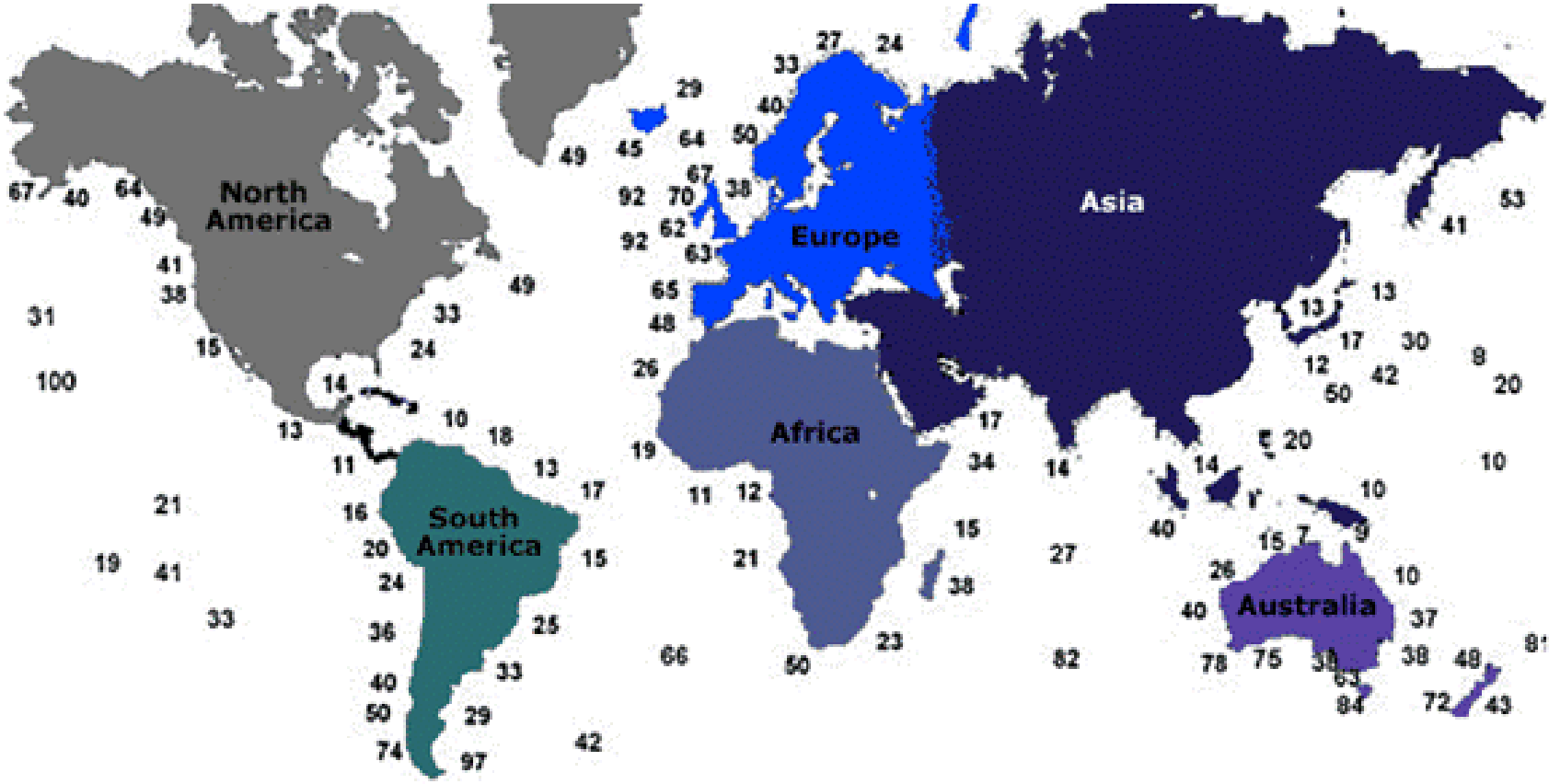
- 1910年，法國人布索·白拉塞克在其海濱住宅附近建了一座氣動式波浪發電站，供應其住宅1 000瓦的電力。
- 1964年，日本開發了世界上第一台用於航標燈的小型氣動式波浪能發電裝置，並投入商業化生產。
- 1999年英國將海洋能源列入再生能源種類之一。2000年成功在蘇格蘭海岸安裝並且成功將電力併入當地的電力網路。
- 2009年挪威Langlee波浪能公司將為土耳其Unmaksan電力公司建造24MW波浪能發電廠
- 2010年美國OPT公司與日本Mitusi公司開始在日本外海測試波浪能發電

台灣波浪能的發展

- 每年10月至隔年1月期間，因東北季風提供穩定之風源，各地平均有12.3kW／m之發電潛能，尤以澎湖（26.64kW／m）、花蓮（19.45kW／m）、龍洞（19kW／m）及蘇澳（15.24 kW／m）蘊藏量最為豐富。
- 3-5月因季節風開始轉為西南季風之故，全台各地並無顯著之波浪能量。
- 能源局正推動為期三年（97.6～100.4）之「海洋能源發電系統評估與測試計畫」，其中波浪發電部分，重點在對發電系統進行評估與測試，目前正委由工研院辦理中。

波浪能資源

- 圖中顯示全球平均波浪能的潛力，單位為kw/m。很明顯，波浪能源供應和能源的需求不一定是一致的。



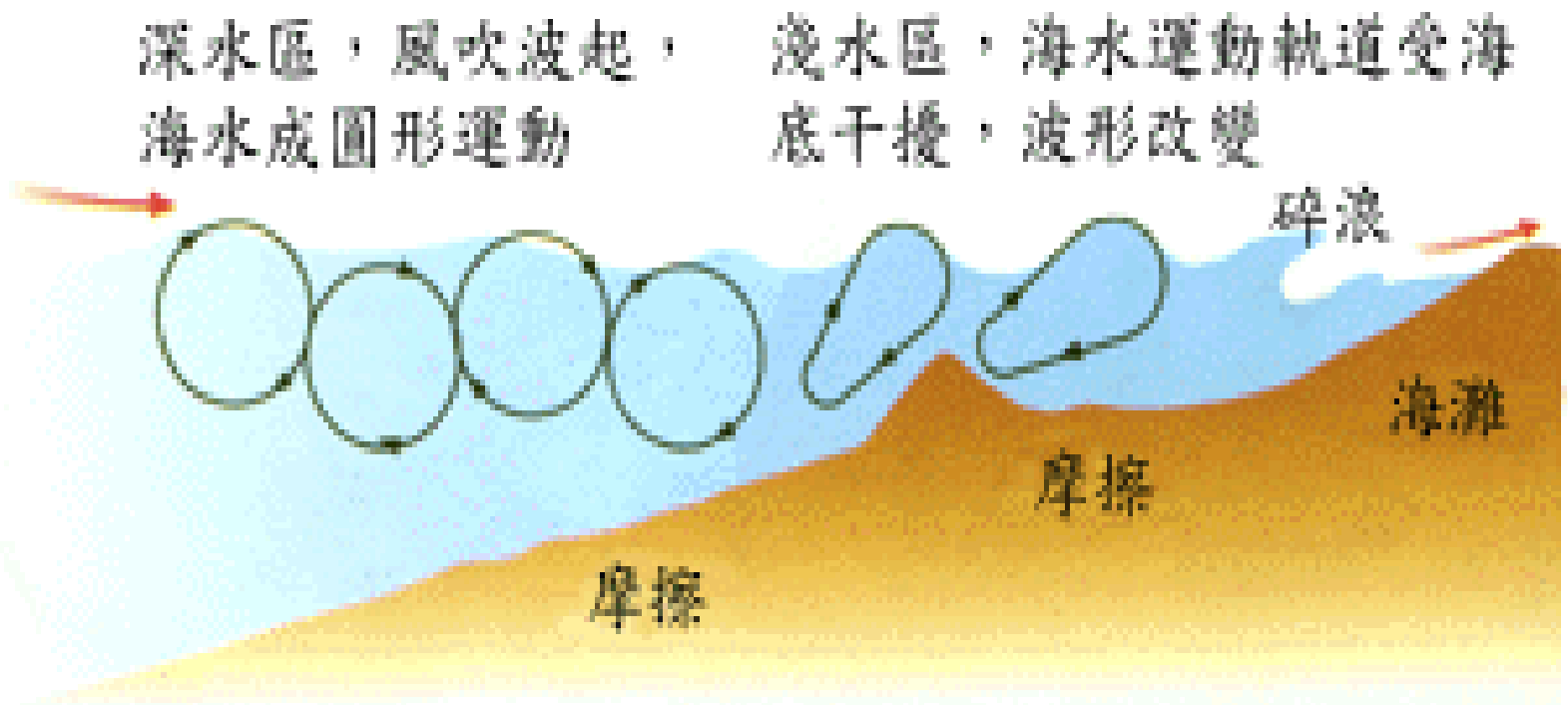
波浪的形成

- 海水受海風的作用和氣壓變化等影響，促使它離開原來的平衡位置，而發生向上、向下、向前和向後方向運動。這就形成了海上的波浪。波浪是一種有規律的週期性的起伏運動。
- 風和海面的互動過程：

1. 空氣流過水面時帶來一股切線應力，導致波浪增長成型；
2. 接近水面的空氣擾流形成了急劇變化的剪應力和壓力波動。在這些震盪當中，一旦有和既有的波浪同步的，隨即產生進一步波浪的發展。
3. 當波浪達到一定大小時，風加在波浪上風面的力道隨著增強，隨即造成了更大波浪的成長。
4. 當它接近海岸時，會受海底地形摩擦影響，使水波前後排擠，波峰向岸邊傾倒，而形成浪花。

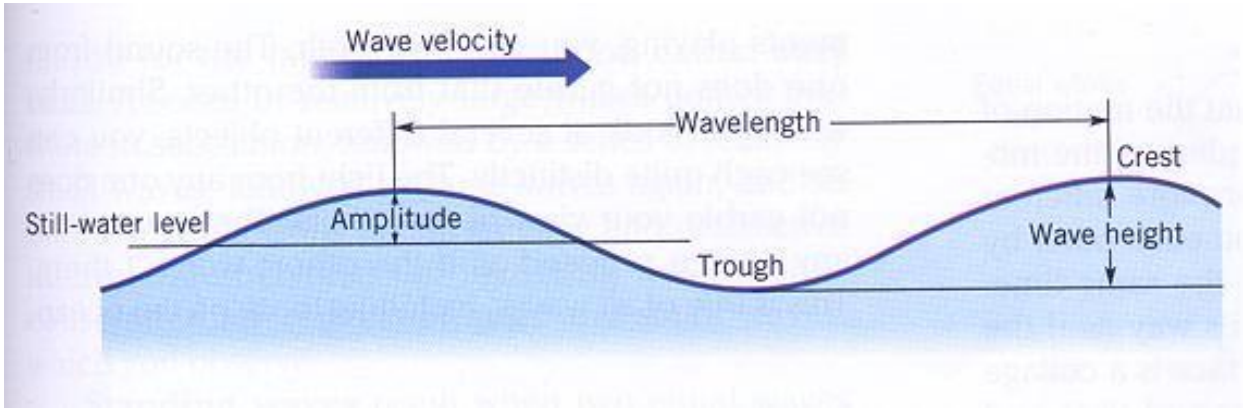
波浪的形成

- **波**必須是**週期性**或**近似週期性**的運動。
- **波**必然牽涉到某種**性質的傳播**，而非介質本身在運動。
- 波浪似乎是在往前移動的樣子，但其實只是一種垂直的上下運動而已。



波浪的形成

- 所有的波浪，都一個凸起的部分，和一個凹下的部分。它還含有幾種要素，就是波峰、波谷、波坡、波高、波長、波期、波速等。
- **波峰**(Crest)：外觀波形之最高點。
- **波谷**(Trough)：二波峰間最凹下部份稱之。
- **波高**(Wave height):任一波峰與其相鄰波谷間之垂直距離，以H表示。
- **波長**(Wavelength):波面上任意一點與其隨後波形上對應點之間的水平距離。



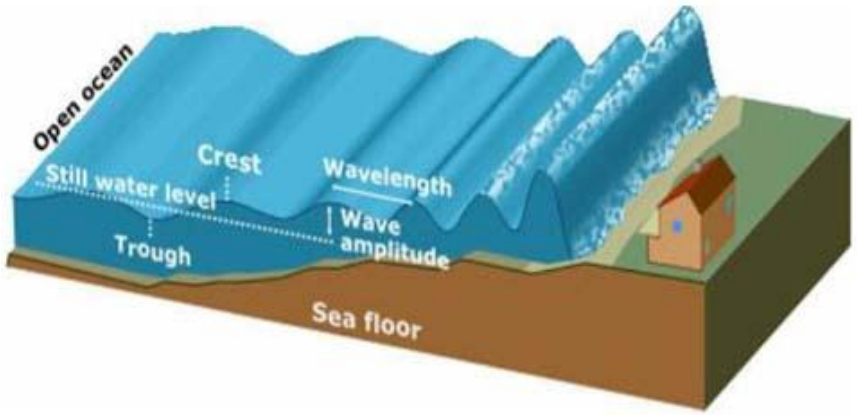
波浪的形成

- 波浪大致有三種：

  動搖波：因風力吹動而產生的波浪

  海嘯：多因火山爆發或地震所引起的彈力波，使海水受強大的橫向壓力而移動。

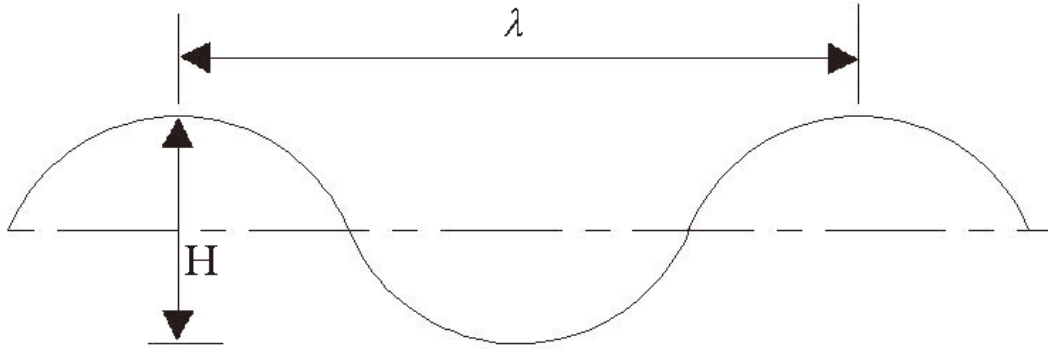
  駐波：因大氣壓力發生劇變，或海水密度不同所產生的狂浪。



資料來源：災害防救科技中心

波浪能

- 波浪的特性可以其波長（λ）、高度（H）、及週期間（T）來表示



$$\text{每單位面積的波能} = \frac{\rho g H^2}{8}$$

$$\text{每單位長度的波力} = \frac{\rho g^{3/2} H^2 \lambda^{1/2}}{16(2\pi)^{1/2}}$$

波浪發電

- 波浪發電即是以波浪發電裝置將波浪的動能轉換成電能。
- 波浪能裝置通常可分成兩部份
  - 採集系統，主要作用是獲取波浪能
  - 轉換系統，把獲取的波浪能轉換成某種特定形式的機械能或電能
- 利用海浪能發電具有如下優點：
  - 無窮資源
  - 可靠能源
  - 供電可靠
  - 乾淨能源
  - 場址易找
  - 容易操作

波浪發電-採集系統

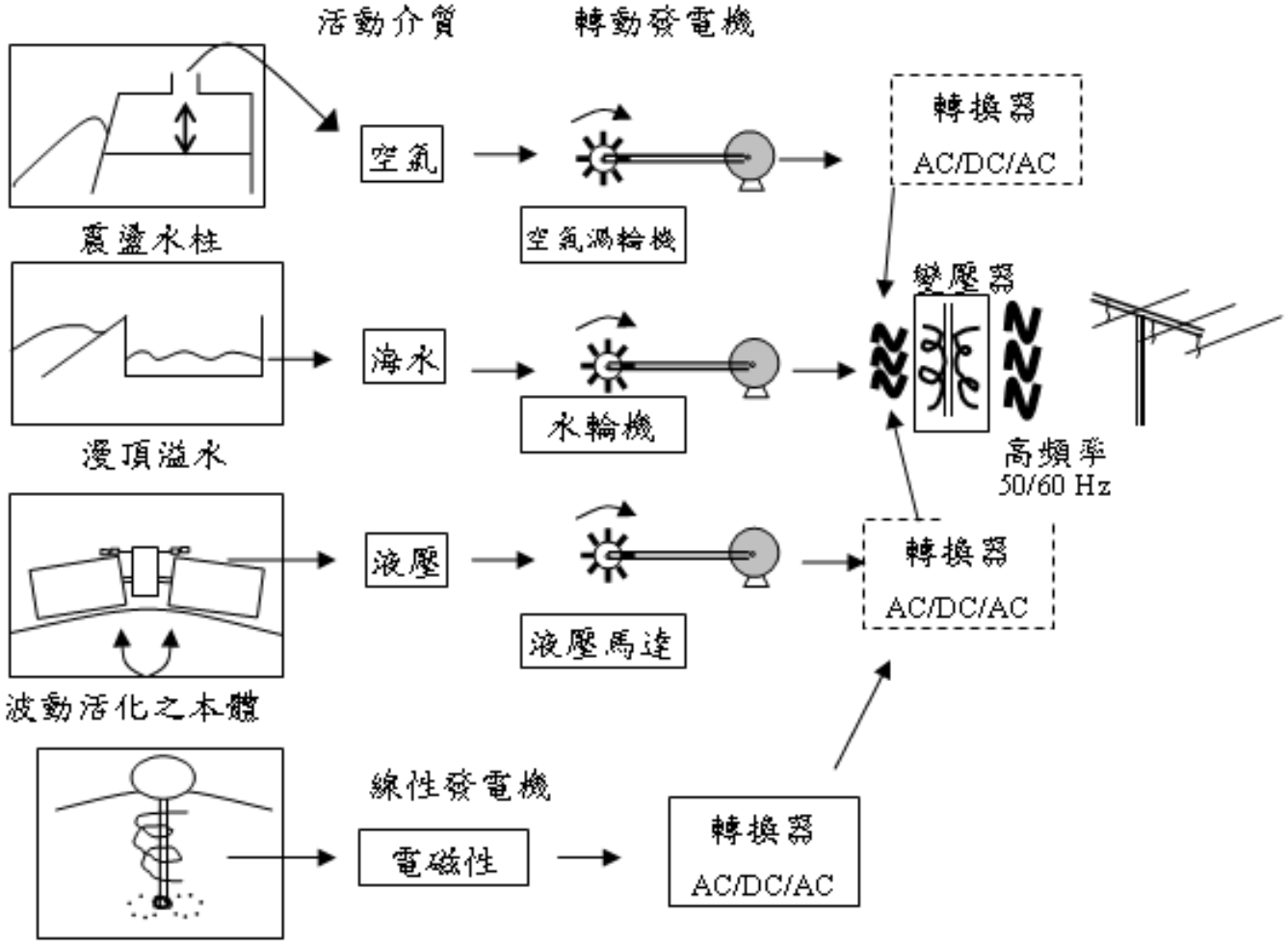
吸收入射波浪能，通常在於利用聚波和共振的方法，將分散的入射波浪聚集於集能區域，提高波浪的振幅和能量密度。

- 震盪水柱式、
- 震盪浮子式（Buoy）、
- 鐘擺式（Pendulum）、
- 筏式（Raft）、
- 收縮坡道式（Tapchan）、
- 蚌式（Clam）、
- 鴨式（Duck）
- 另有利用波浪繞射或折射的聚波技術及透過系統與波浪共振的慣性聚波技術來提高獲取波浪能動力

波浪發電-轉換系統

- 將波浪能轉換成旋轉式或高壓的機械能，有的伴隨著遠距離傳輸、穩壓、穩速和貯能過程
  - A. 機械式，採用曲柄聯桿或齒輪轉動機構；
  - B. 氣動式，產生高壓、高速氣流驅動空氣渦輪機；
  - C. 液壓式，採用液壓傳動的方式驅動油馬達；
  - D. 水力式，獲得一定水頭的海水驅動水輪機。
- 由於輸入的波浪能隨機性變化很大，產生供電不穩定，漂浮式波浪能裝置還有海底輸配電等問題，因此提高供電品質的輔助設施，例如：可控制葉片、可變阻尼器（Damper）、整流器（rectifier）及變壓器等裝置，更是不可缺少。

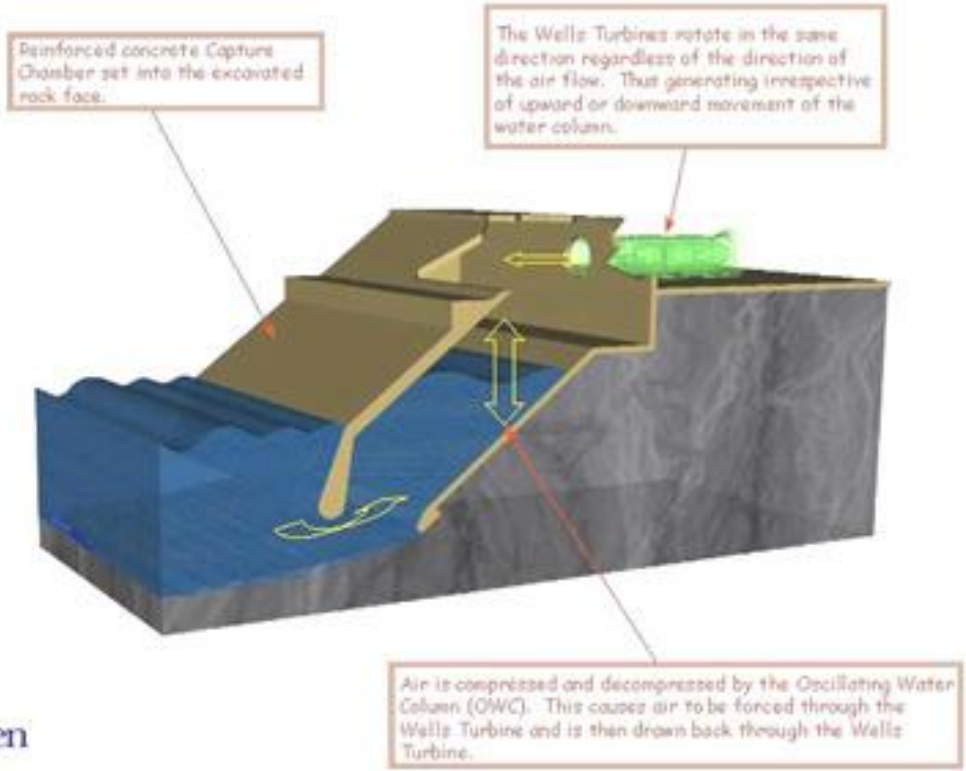
波浪發電


活動介質
轉動發電機
空氣
空氣渦輪機
轉換器
AC/DC/AC
震盪水柱
海水
水輪機
變壓器
漫頂溢水
高頻率
50/60 Hz
液壓
液壓馬達
轉換器
AC/DC/AC
波動活化之本體
線性發電機
電磁性
轉換器
AC/DC/AC

波浪發電

- 波浪發電的原理主要是將波力轉換為壓縮空氣來驅動空氣透平發電機發電。
- 當波浪上升時將空氣室中的空氣頂上去，被壓空氣穿過正壓水閥室進入正壓氣缸並驅動發電機軸伸端上的空氣透平使發電機發電。

當波浪落下時，空氣室內形成負壓，使大氣中的空氣被吸入氣缸並驅動發電機另一軸伸端上的空氣透平使發電機發電，其旋轉方向不變。



Wavegen

波能技術-滾動

- 單一滾動體或連接式浮體之裝置，其滾動動作可獲取波浪之位能及動能。
- 就效率而言，這些裝置的滾動必須與波浪有相同的相位及振幅，一般都是其中一部位相對於另一部位移動，通常在多個浮筒（pontoons）或筏（rafts）之間的絞鏈部份（hinged sections）設置一個液壓圓筒（hydraulic cylinder），此圓筒受波浪的滾動作用會被膨脹或壓縮，進而帶動液壓馬達產生電力，有部份能量會因磨擦而消失。

波能技術–衝擊

- 波浪撞擊一固定結構物（例如：氣囊）或一彈性結構體（例如：懸吊絞鏈板），可獲取波浪能中的動能及位能，有些能量損失是因為不均勻的衝擊作用結果。

波能技術-

向上沖刷（flush up）及向內沖刷（flush in）

- 許多岸邊裝置，例如TAPCHAN是使用向上沖刷的概念來儲存波浪位能，當波浪向一斜坡（ramp）孔道移動時，可提高波浪振幅，溢流至貯水槽的水量進而增加，高水位貯水槽內的水可轉動水輪機產生電力而回流入海。
- 另外一種向內沖刷概念是利用波浪動能產生一種旋渦式（spinning vortex）水流帶動電力發電機發電。

波能技術-上下運動

- 許多波浪能轉換裝置使用一浮體（float），進行上下運動，對一固定點（例如：塊體固定錨、緩衝板或大型鈍物）做推/拉的動作，以獲取波浪位能。
- 這種裝置的效率取決於浮體對入射波浪波長之相對大小。
- 若浮體在入射波浪方向之水平長度大於1/4入射波浪波長，此浮體則傾向以其重心點作滾動，此裝置的效率就會下降
- 若浮體之水平長度大於一個入射波長，則浮體可傾向跨越幾個波峰，裝置的效率自然較高；
- 若浮體的垂直方向距離增加，裝置的重心點會更落於波浪下方，降低獲取波浪位能。
- 水在OWC裝置中也有上下之運動，若管柱長小於1/4波長，其裝置效率會明顯下降，管柱長達到一個波長時，裝置效率將趨近於0。

波能技術

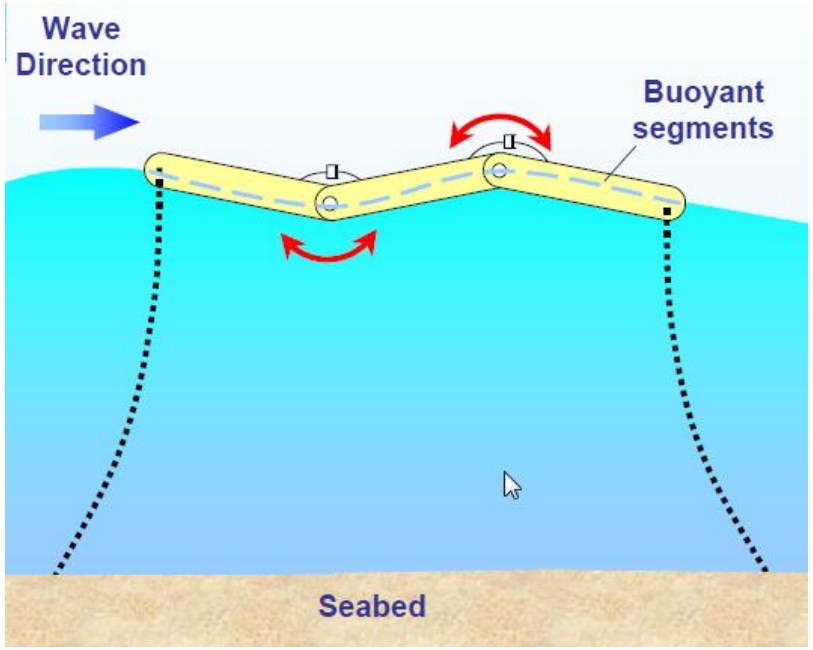
- 按其設置方式分成深水漂浮及淺水水底固定二種
- 按能量擷取和轉換方式分成：衝動（surge）式裝置、振盪水柱（Oscillating Water Column, OWC）、起伏（heaving）浮標、縱搖（pitching）浮標及起伏和縱搖浮標及起伏和衝動裝置。
- 按其能量轉換機構分成：機械凸輪、齒輪與槓桿、液壓泵、氣動輪、振盪水柱及漏斗裝置等。

設置方式-深水漂浮

- 漂浮於澳洲近海的澳洲第一座商用波浪發電廠
- 發電的方式是讓海浪沖入一個面向海洋的漏斗形管柱，再利用這股推力將空氣透過輸送管推入渦輪機之中，如此每天可為當地的電力系統生產5000kw的乾淨電力。

設置方式-淺水水底固定

- 2008年9月在葡萄牙里斯本外海5公里開張的世界第一座海浪發電機，能製造出2250kw的電力。該設備由3個單位組成，隨著浪潮起伏而產生電能。
- 經過3年開發之後，運作幾個星期就問題不斷，目前已經宣告失敗，功虧一簣。



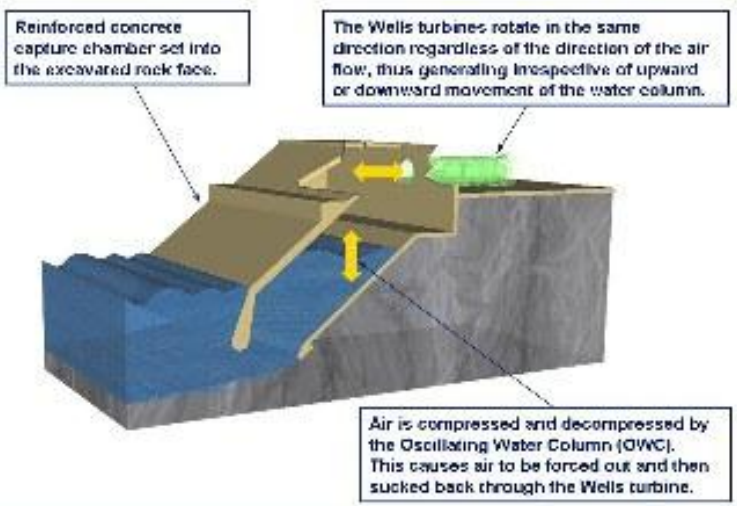
波能技術

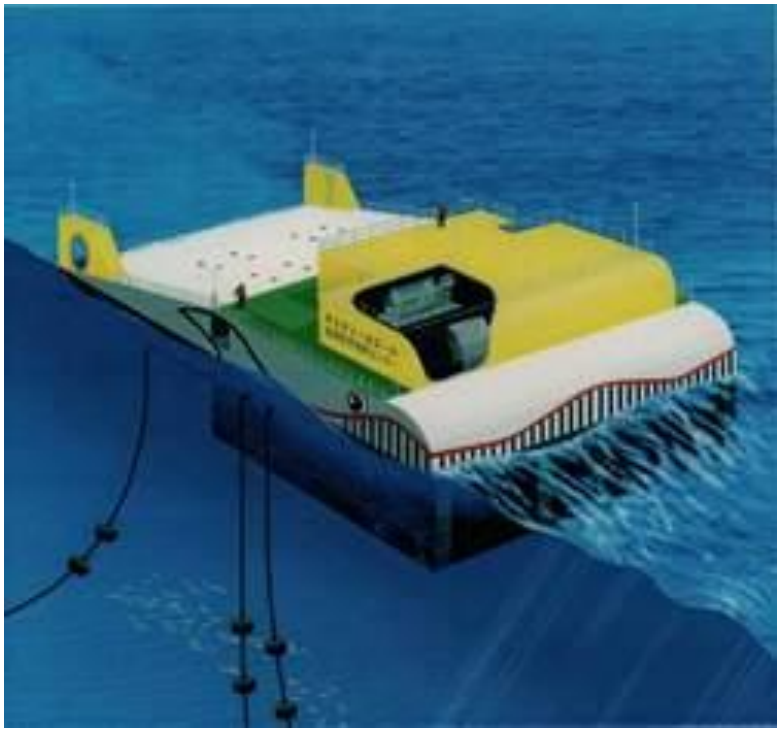
表 8.1　波浪能所採用的能量轉換方式、基本原理及國家實例

能量轉換方式	基本原理	實例
衝動式裝置	利波浪的向前水平分力	• 挪威—漸縮水槽 • 日本—擺動式裝置 • 英國—海蛤
振盪水柱	利用波浪的脈動變換	• 澳洲—海王星系統，液壓系統兼作 RO 海水淡化 • 挪威—多動 OWC
起伏浮標	利用小型浮體的垂直運動	• 丹麥— KN 系統 • 瑞典—軟管泵
縱搖浮標	利用迴轉泵的縱搖所產生的力矩	• 英國—點頭鴨
起伏和縱搖浮標	利用浮體的起伏和縱搖運動	• 加拿大—波能模件 • 美國—隨波筏鏈
起伏和衝動裝置	利用起伏運動與衝動以泵送水	• 英國— Bristol cylinder

固定裝置

- 固定於海床或是裝設於岸邊的裝置大多為終端器，這是目前在海上用來測試波能轉換，最常見的一種雛型。
- 只能設置在淺水區，波浪的力道較弱，適合設置的位置有限。
- 大多使用震盪水柱型。



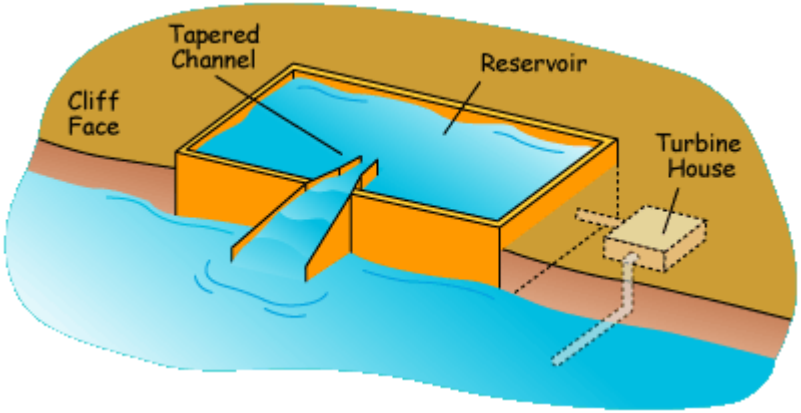


沿岸裝置

- 沿岸波能裝置的優點在於其相對的易於維修與裝設且不需要深水繫泊及過長的海底電纜。
- 三種主要的裝置為：水柱(OWC)、內聚水道(convergent channel, TAPCHAN)、鐘擺(PEDULOR)。

OWC

TAPCHAN



水柱(OWC)

- OWC由一部分浸在水中的結構組成，其水線下有一開口面向海，因此在水柱上形成一空氣柱。
- 當波浪打向該裝置，造成水柱上下震盪，等於交互壓縮空氣柱。
- 利用空氣推動渦輪機，帶動發電機發電。

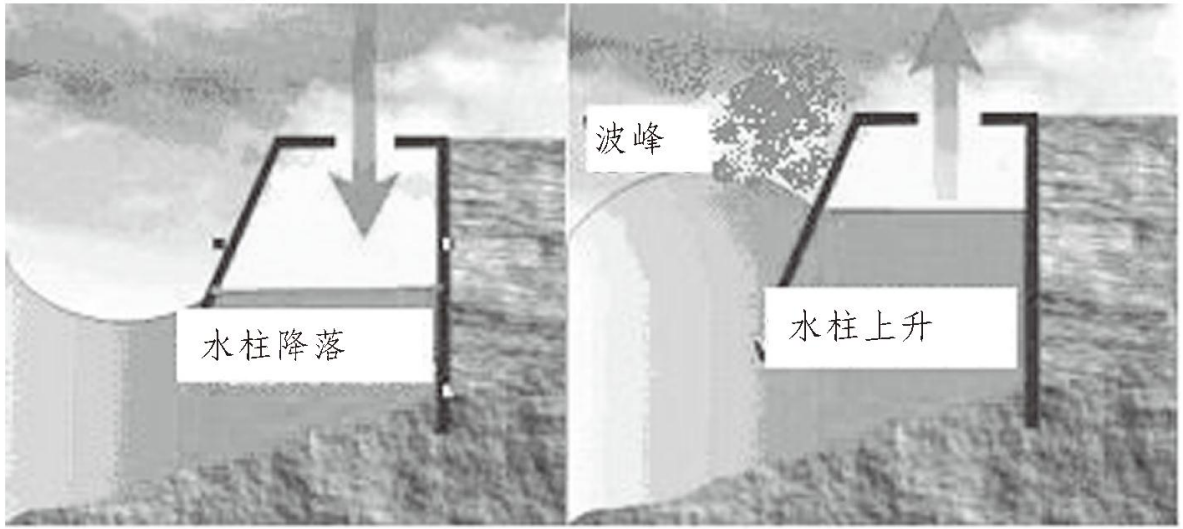
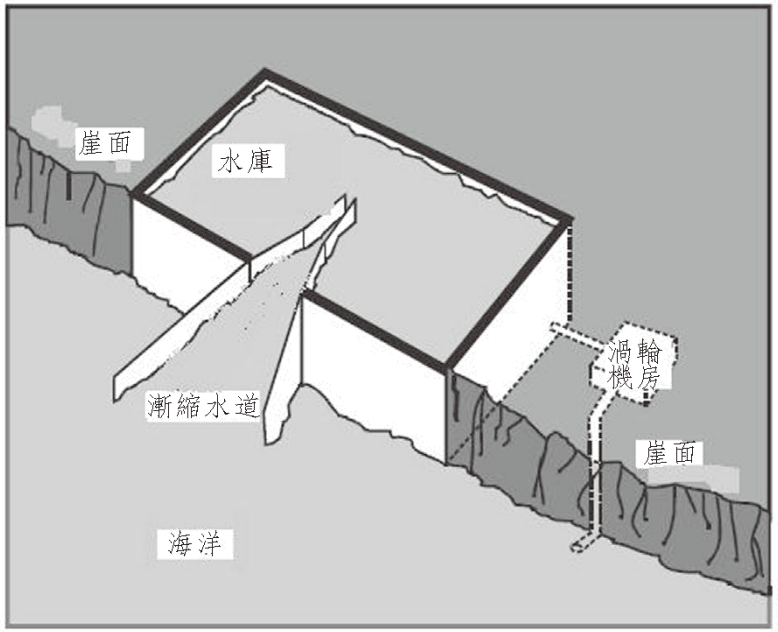


圖 8.6　OWC 裝置作動原理

內聚水道(convergent channel, TAPCHAN)

- 由一漸縮的水道組成，其牆高過水面3-5公尺。
- 當波浪從寬闊端進入狹窄端，波浪升高越高牆面進入水庫，提供低水頭渦輪機發電用。
- 需要低潮範圍和適當的海岸線，無法普及。



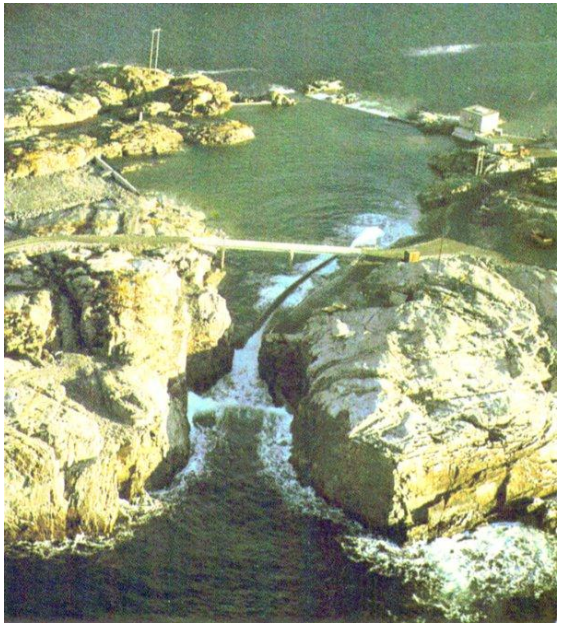
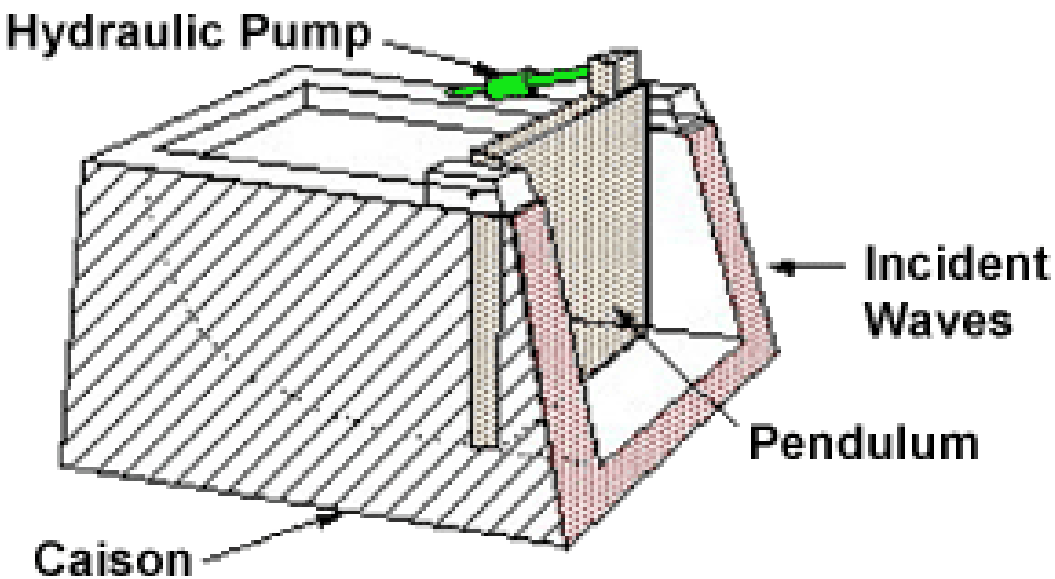


圖 8.7　Tapchan 裝置作動原理

鐘擺(PENULOR)

- 鐘擺裝置則是由一開口朝向海的方形箱子所組成。
- 開口上端以絞鏈懸掛鐘擺板，順著波浪前後搖擺，驅動液壓泵和發電機。
- 只有小型裝置。



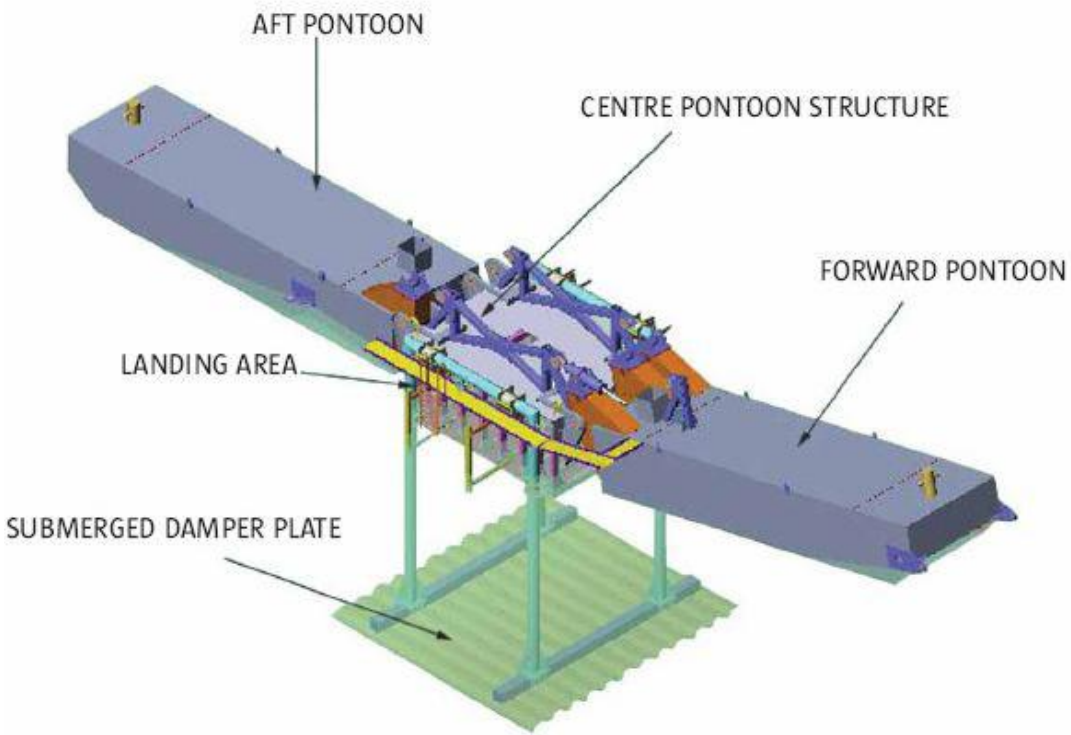
Pivoting Flap Device (the Pendular)

海域裝置-瑞典Hosepump

- 使用強化的彈性軟管連接到波浪上的浮板，當浮板隨波浪上下運動，軟管的鬆弛與伸張也隨之壓縮海水，流過一止水閥，進入渦輪機帶動發電機。

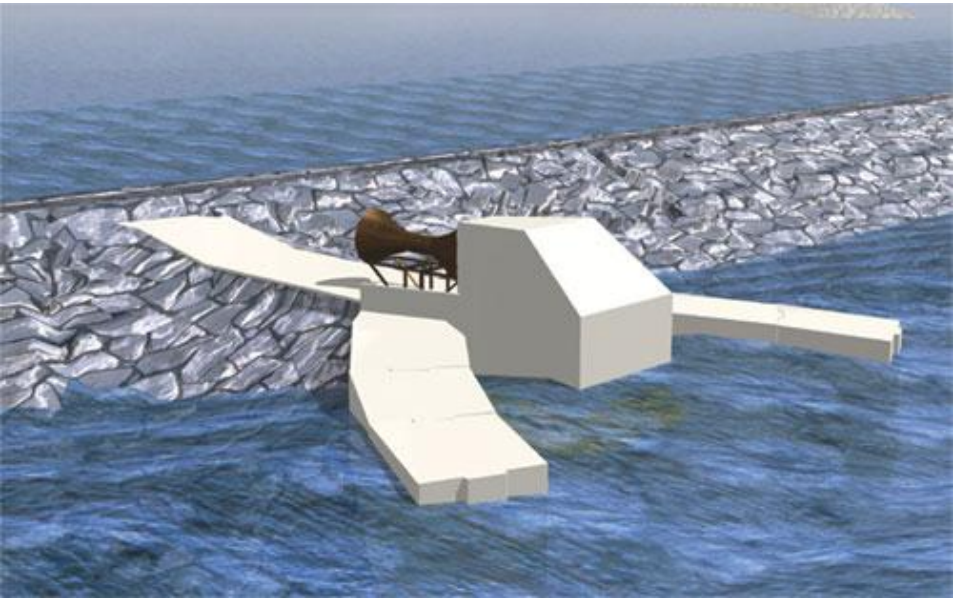
海域裝置-McCabe Wave Pump

- 由三個矩形鋼製浮艇組成，在波浪中相互進行相對運動。
- 關鍵在於接到中央浮艇的擋板，確保當前後浮艇相對於其運動時，中央浮艇保持不動。
- 產生的能量藉由中央和二側的液壓泵拮取出來。



海域裝置-浮動波力船 (floating wave power vessel)

- 包含一斜坡道的鋼製平台，將聚集進來的波到上升的內盆，流入一低水頭的渦輪機。

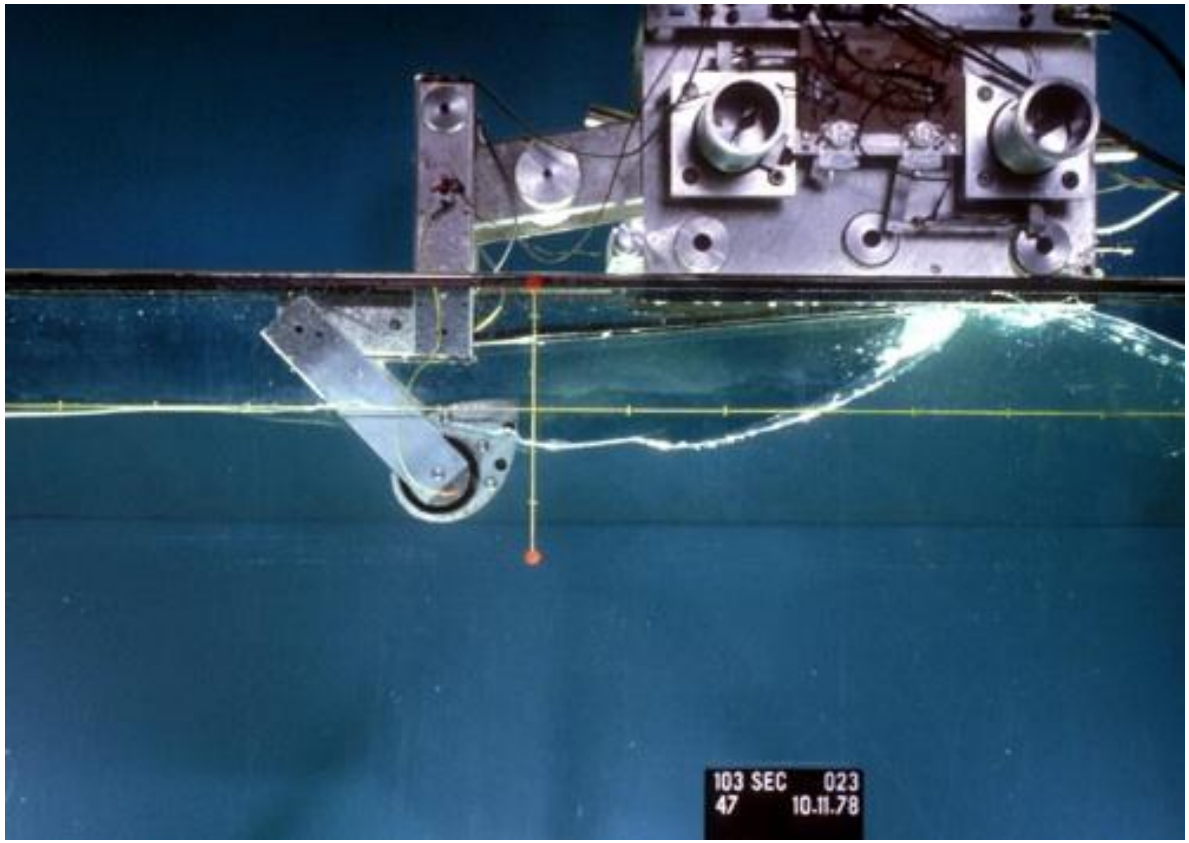


海域裝置-丹麥波能浮動泵裝置
Danish Wave Power float-pump

- 使用一個連接到海床上的一個活塞泵的浮板，隨著浮板的沈浮，驅動架在泵上的渦輪機。

飄浮裝置-鴨子(DUCK)

- 在1970年代由英國愛丁堡大學發展，利用波浪將通過的空氣壓縮膨脹推動渦輪機。

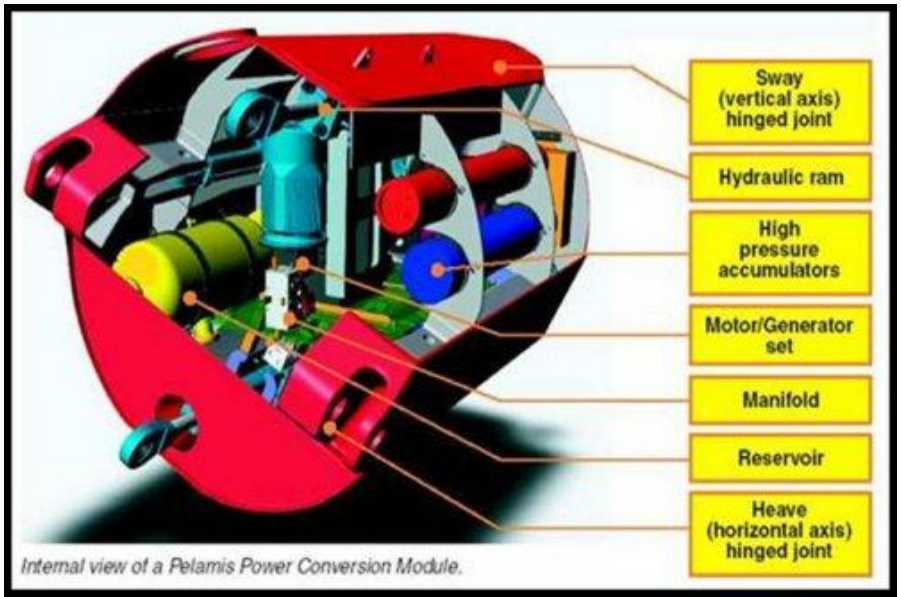


飄浮裝置-蛤仔(clam)

- 在英國蘇格蘭尼斯湖水域，座落在距離岸邊1公里30米的水深，實驗用的14尺模型波浪能量穿梭機，稱為Calm 。
- 它由一個鋁缸連接彈性袋組成。波浪迫使空氣從一個袋到另一個袋，驅動位於汽缸和袋子的空氣渦輪機。

飄浮裝置-Pelamis

- 由Pelamis Wave Power 公司研發750kw規模的商業波浪發電設施海蛇波浪能轉換器(Pelamis Wave Energy Converter），為目前國際上發展最成熟之波浪發電設備。
- 2007 年春，葡萄牙購置了三組Pelamis。
- 2007 年3 月英國於蘇格蘭的Orkney 島建造3 MW 的波浪發電廠，共佈放四組長120 公尺的Pelamis。



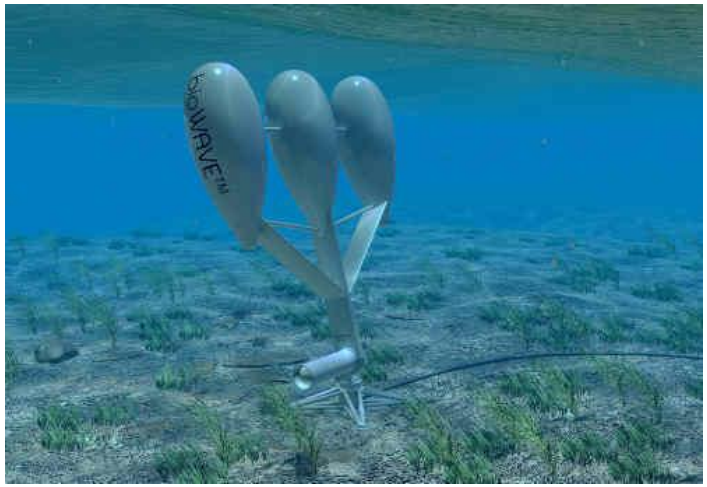
- 這個Pelamis 在設計上要求儘量能在一般岸邊展開，而所採用的的技術，也都是目前海域工程業者已經具備的。其全尺規的連續額定出力為0.75 MW，目前的是在2001 年所裝設的七分之一尺規的雛型。

圖 8.10　實際在海域當中展開的 Pelamis

- 發電機能製造出2250kw的電力。該設備由3個單位組成，隨著浪潮起伏而產生電能。
- 2008年9月在葡萄牙里斯本外海5公里開張的世界第一座海浪發電機，經過3年開發之後，運作沒幾個星期就問題不斷，目前已經宣告失敗，功虧一簣。

繫泊裝置

- 結構主體漂浮於水面，但繫泊於海床的漂浮系統，最近也受到矚目。這類裝置可以當作是點吸收器，從比其本身直徑寬廣的水當中引進能量。
- 一個完美的波能點吸收器，可從波長為 $\lambda/2\pi$ 公尺的波浪前鋒吸收能量。



波能技術研發現況

- 過去就歐體（EC）所作的研究顯示，沿岸型是發展最快的波能裝置，其技術已臻成熟，僅在波浪集中槽的設計上進行更新。
- 目前已設置的主要裝置當中，有些OWC 裝置已近發展末期，而有好幾個幾近全尺規場，已裝設完成。

澳洲波能發展狀況

- 澳大利亞的Energetech Australia Pty Ltd. 公司繼1990年代初期的研究之後，於1997 年在新南威爾斯水研究實驗室（New South Wales Water ResearchLaboratory）建立其波能系統（Wave Energy System）模型並完成測試階段。
- 在新南威爾斯的kembla港開發一部300kw的波能發電機，於2001年完成，進行運轉。

中國波能發展狀況

- 中國大陸自1980 年代初期進行波能研究以來，主要著眼的是漂浮振盪水柱裝置。
- 在廣東汕尾建造OWC雙室裝置，總寬度為20公尺，額定發電為100kw，自2000年起運轉。
- 在山東省大關島建置的0.05MW海岸懸擺(鐘擺)裝置。

丹麥波能發展狀況

- 丹麥能源署於1998 年開始其1998 年至2004 年之丹麥波能項目，廣泛涵蓋了可能的轉換器原理。該項目的目標在於明確區隔出幾個可能的波能轉換概念，以作為長期研發的重心。
- 丹麥在北海綿延150公里海岸全線布置平均效率為25%的波能轉換器，其全年可輸出5Twh能量，相當於當地消耗的15%。

葡萄牙波能發展狀況

- 葡萄牙自1978 年起，即在波能研發上扮演起重要的角色。該工作主要在里斯本技術大學（Technical University of Lisbon）、國立工程及葡萄牙經濟部的工業技術研究院（INETI）的Instituto Superior Tecnico（IST）進行。其大多數波能轉換研究著眼於OWC。

希臘波能發展狀況

- 希臘於1990 年代參與建立歐洲波能地圖（European Wave Energy Atlas）同時參與了EU DGXII MAST 3 項目—Eurowaves。這是一個用來評估在任何歐洲海岸位址波浪情況的計算工具。

印度波能發展狀況

- 印度的波能項目肇始於1983 年，其政府海洋發展部的技術學院（IIT）的初始研究著眼於三類裝置：雙重漂浮系統、單一漂浮垂直系統及OWC，結果發現OWC 最適用於印度的情況，而接下來的活動則集中於該類型。

印尼波能發展狀況

- 印尼於1998 年由挪威Norwave 等所組成的團隊在Java 南岸的Baron，利用既有的海灣內盆地建立了一Tapchan 波能電廠。

愛爾蘭波能發展狀況

- McCabe Wave Pump 自1980 年代起即進行波能開發，其雛型是設於愛爾蘭海岸的40 公尺長的設施。該技術特別的地方在於能兼用於製造淡水和發電。
- 愛爾蘭的波能研究大部分由University College Cork 主導。該學院亦整合歐洲波能研究項目（European Wave Energy Research Programme），並主導了前述歐洲波能地圖的建立。

日本波能發展狀況

- 日本在1940 年代即展開其波能研究，並在1970 年代達到高峰。自此，日本即展開廣泛研究，尤其著重於雛型裝置的建造和施用。
- 1989年在sakata港防波堤上建造5個空氣室的OWC裝置，經過測試僅有3個能產生能量，原渦輪發電機組為60kw，後來提升為200kw作為展示用。

馬爾地夫波能發展狀況

- 馬爾地夫政府也曾宣示在其島上引進波能發電。瑞典的 Sea Power 接著簽署了提供漂浮式波能船的意向書。若第一階段的裝置經證實得以成功，同樣的觀念將推廣到馬爾地夫其它超過200 個，相距甚遠且深水相隔的環礁島嶼上。
- 原本馬爾地夫的所有電力來源，全仰賴柴油發電機

挪威波能發展狀況

- 位於Trondheim 的挪威科技大學（NTNU）為挪威過去25年來的波能研究中心。其在1980 年間已有兩座分別為350 kWe Tapchan 及500 kWe OWC商業規模，運轉相當成功。
- 挪威ASA 的Oceanor-Oceanographic 公司，在開發用來評估任何歐洲海岸位址的波浪狀況的電腦工具Eurowaves，居領導地位。

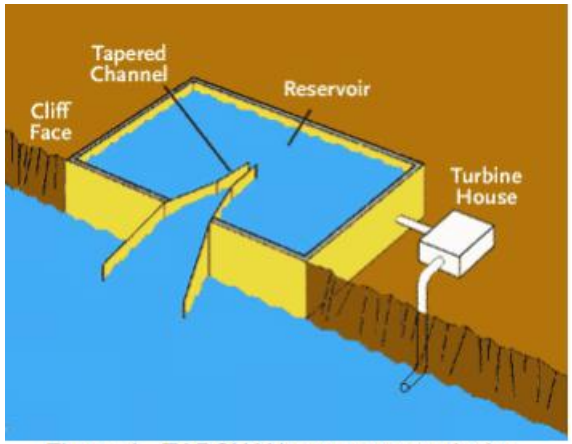


Figure 4 - TAPCHAN wave energy device (Copyright Boyle, 1996) (Source: [11])

瑞典波能發展狀況

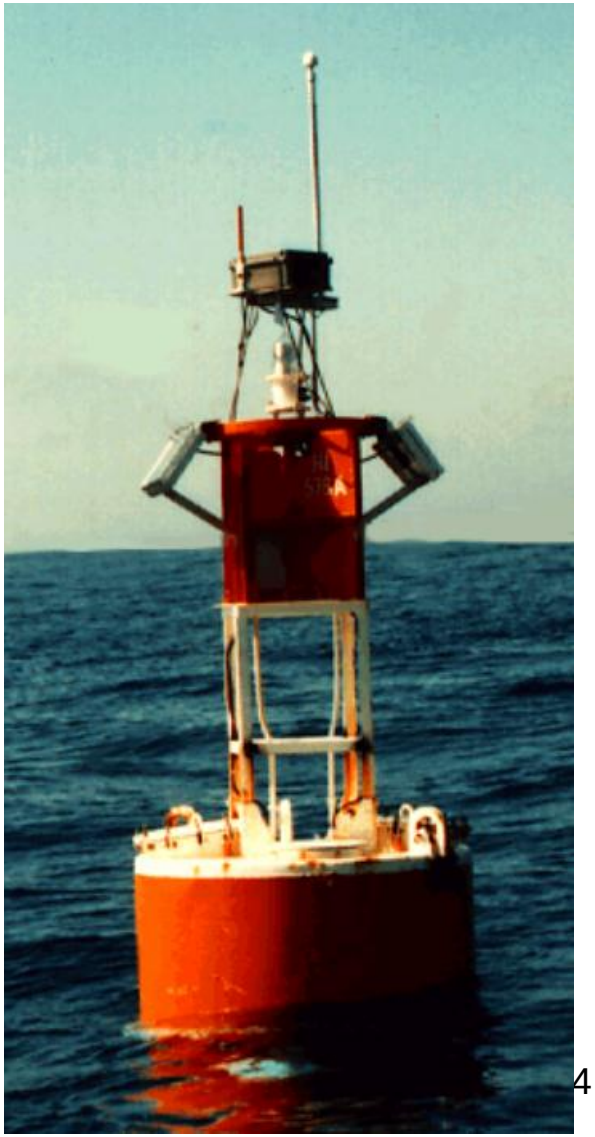
- 瑞典的Interproject Service AB 正進行其IPS/HP WEC Mark VII 示範計畫。

英國波能發展狀況

- 英國在過去曾經有過全世紀最大，由政府支助的的波能研發計畫，涵蓋一系列裝置。然而這些計畫在1980 年代初期即告衰退，其目前工作著重於位於Queen ‘s University, Belfast（QUB）的海岸線OWC 系統。
- 在於艾萊島建造和經營英國的第一個波浪發電站（OWC），致500kW的LIMPET廠

美國波能發展狀況

- 美國的OPT 公司建立了一部「聰明浮筒」（"smart buoy"）。其在一水密罐子頂部有一個電腦系統，可讓內部的活塞型裝置，從波浪的運動當中供應穩定的動力。該Power Buoy 能夠發出大約20 kW 的電，以水下電纜將電供應到岸上。



主要相關議題

- 環境上的優缺點
- 流體動力環境
- 裝置成為人工棲息地
- 噪音
- 妨礙航行
- 視覺影響
- 遊憩舒適感
- 能源的轉換與傳遞