

第六章 水力發電與海洋能

- 6-1 水力發電
- 6-2 海洋熱能轉換
- 6-3 潮汐能
- 6-4 海流能
- 6-5 波浪能

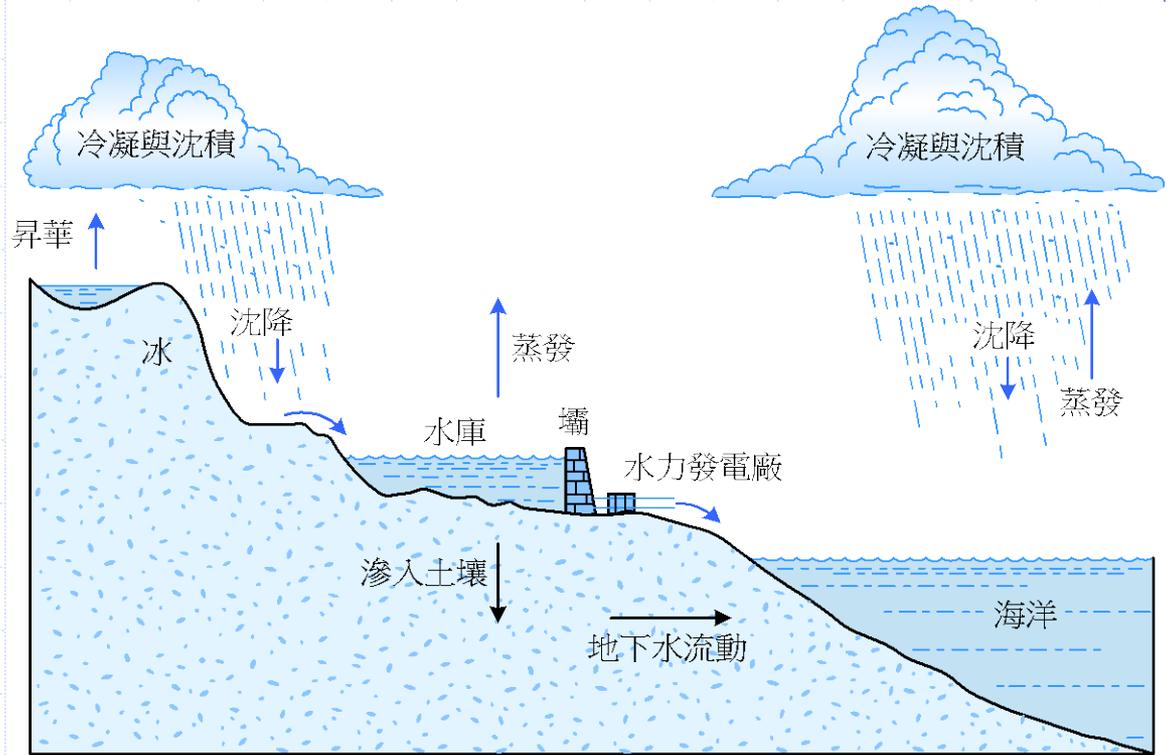
水力發電

水力發電是再生能源利用中重要一環，在電力發明之前，水力早就扮演著重要的角色。例如兩千年前，人們就得知移動的水若作用在水輪機 (water wheel) 上將能節省人力的使用。

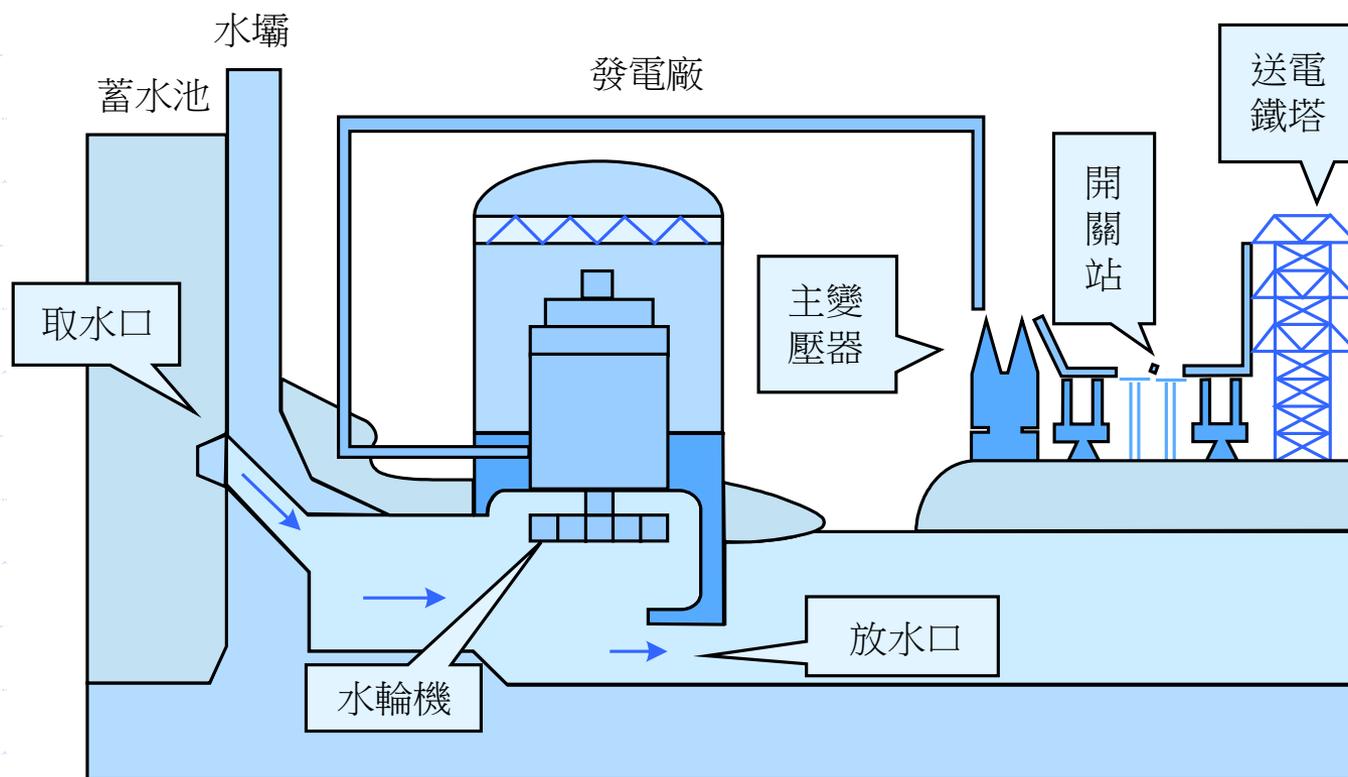
水力發電的基本原理是利用**水位落差**，並配合水輪發電機以產生電力。換言之，水力發電是利用水在地球表面及大氣間自然傳輸所產生的能源。

水文循環

當地表水受太陽光照射而蒸發成雲時，雲將在某些地方發生冷凝及沈積，並受到重力作用而產生沉降。當水位於高海拔地區，其將具有較高的位能或水頭，此位能一旦釋放將可轉換成動能以推動水輪機發電。

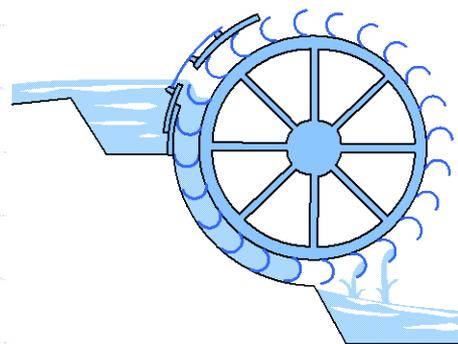


水力發電廠之結構圖

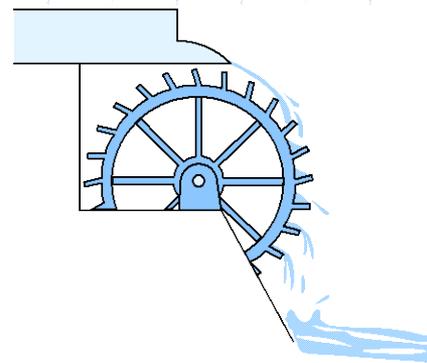


水輪機種類

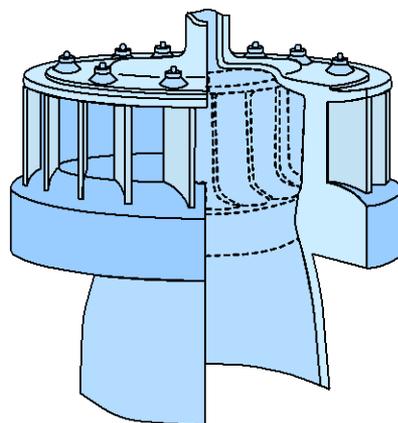
側推式 (breast)、上推式 (overshot)、法蘭西式 (Francis) 及螺旋槳式 (propeller) 四種水輪機示意圖。現代水輪機將位能轉換成電能的效率約介於80到90%之間。



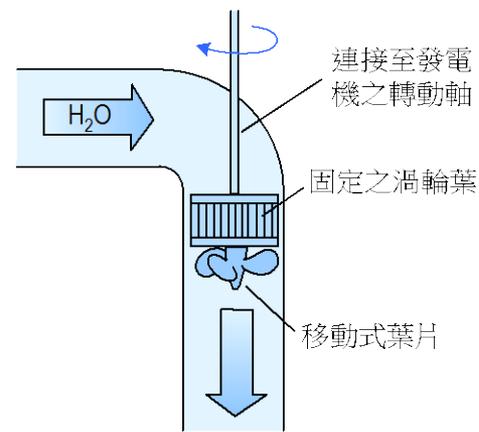
(a)



(b)



(c)



(d)

水力能量輸出

水的位量 (potential energy) 為

$$PE = W \times h = mgh$$

因此，水力的功率輸出為

$$P = \frac{PE}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{\rho Vgh}{t} = \rho Qgh$$

水力發電廠分類

若依水位的高低分類，水力發電廠可分成

1. **低水頭**: 水位低於30公尺
2. **中水頭**: 水位介於30到300公尺之間
3. **高水頭**: 水位高於300公尺

若依裝置容量分類，水力發電廠可分成

1. **小型**發電廠: 裝置容量小於25,000 kW
2. **中型**發電廠: 裝置容量介於25,000到250,000 kW
3. **大型**發電廠: 裝置容量大於250,000 kW

水力發電廠分類

台灣水力發電開發方式因水源運用的情況可將水力發電分成

1. **川流式發電廠**：依河川**自然流量運轉**，河川流量大時，輸出電力可達設計時全廠總容量，若河川流量大於全廠總發電用所需的水量，多餘的水量無法利用時，其將直接排放到下游去；流量小時，可能只輸出全廠容量不到三分之一的電力。
2. **水庫式發電廠**：如果一個水力發電廠的水庫蓄水量很大，可以吞沒一季或一年的洪水量，供該發電廠配合電力系統負載需求使用時，稱為水庫式發電廠。

水力發電廠分類

3. **抽蓄式(揚水)發電廠**：又稱為**揚水式發電廠**，與一般水力發電廠的主要不同為必須有兩個相當大的**儲水池**，一為在上游的前池，一為在下游的後池，後池多係利用尾水路外的河流，構築攔河壩攔堵尾水而形成為一個水庫。抽蓄發電大都利用深夜離峰供電時間所剩餘廉價之電力，把下池的水抽回上池，而於電力系統尖峰供電時間由上池放水發電，成為價值較高之尖峰電力。
4. **調整池式發電廠**：水量運用的主要情況和川流發電廠相同，但其蓄水池較川流式水壩蓄水量大，蓄水量與自然流量充分配合時，可使全廠各機滿載運轉若干小時。河川的自然流量如果超過蓄水池容量，過多水量將任其溢去。調整池可以調整發電廠用水量與河川自然流量之差值以配合電力系統負載需求。

Hoover Dam



HOOVER DAM

<http://www.arizona-leisure.com/hoover-dam.html>



http://www.carrietomko.blogspot.com/2005_07_03_carrietomko_archive.html



<http://www.recreation.gov/detail.jsp?ID=29>

各國水力能量輸出 (2011)

國 家	電力產生 (百萬噸油當量)	全球百分比 (%)
中國大陸	157.0	19.8
巴西	97.2	12.3
加拿大	85.2	10.98
美國	74.3	9.4
俄羅斯	37.3	4.7
印度	29.8	3.8
挪威	27.6	3.5
日本	19.2	2.4
委內瑞拉	18.9	2.4
瑞典	15.0	1.9
全球	740.3	100

水力發電的優點

1. 沒有污染性物質產生並排放到空氣中或水中，也沒有廢熱或熱污染的問題。
2. 水力發電廠的運輸只依賴再生能源資源（如水），電廠運轉的生命期可達數十年，且維護要求較少。
3. 可依據實際電力需求隨時進行調整，即使是尖峰負載也能符合電力調度要求。
4. 建立的水庫具有多重功能，例如蓄水以供灌溉、防洪及提供都市飲水等。

水力發電的缺點

1. 水壩的建立將對環境造成某種程度的衝擊、歷史人文景觀的改變及生態的破壞。
2. 泥沙會堆積在水庫中而形成淤泥，因而水庫的壽命約50到200年之間，淤泥所引發的問題目前為止尚無解決的對策。一旦淤泥堆積至無法儲水，水庫的維護將是一大負荷。此外，若水壩潰堤，大量淤泥對下流所造成的危害將無法估計。
3. 水庫下游人口將暴露在水壩潰堤所造成危害的風險中。若發生天然災害（如地震）或人為破壞（如戰爭），其可能造成大量人口的傷亡及都市破壞。以美國為例，從1918年到1958年間，共發生了33次的水壩危害，並導致1,680人的死亡。

Dam bursts, killing dozens in Indonesia Flood leaves at least 58 dead, hundreds of homes near Jakarta submerged



March 27, 2009

海洋能

廣泛而言，海洋能包含了：

1. 太陽光直接海洋所造成之**海洋溫差**；
2. 太陽、地球與月球三者萬有引力相互作用所造成的**潮汐**；
3. 太陽光照射海洋表面所造成之溫差，並配合地球自轉所造成之**海流**；
4. 太陽能所引起之風能，進而牽引海洋表面之**波浪**。

因此，**海洋溫差**、**潮汐能**、**海流能**及**波浪能**統稱為海洋能。

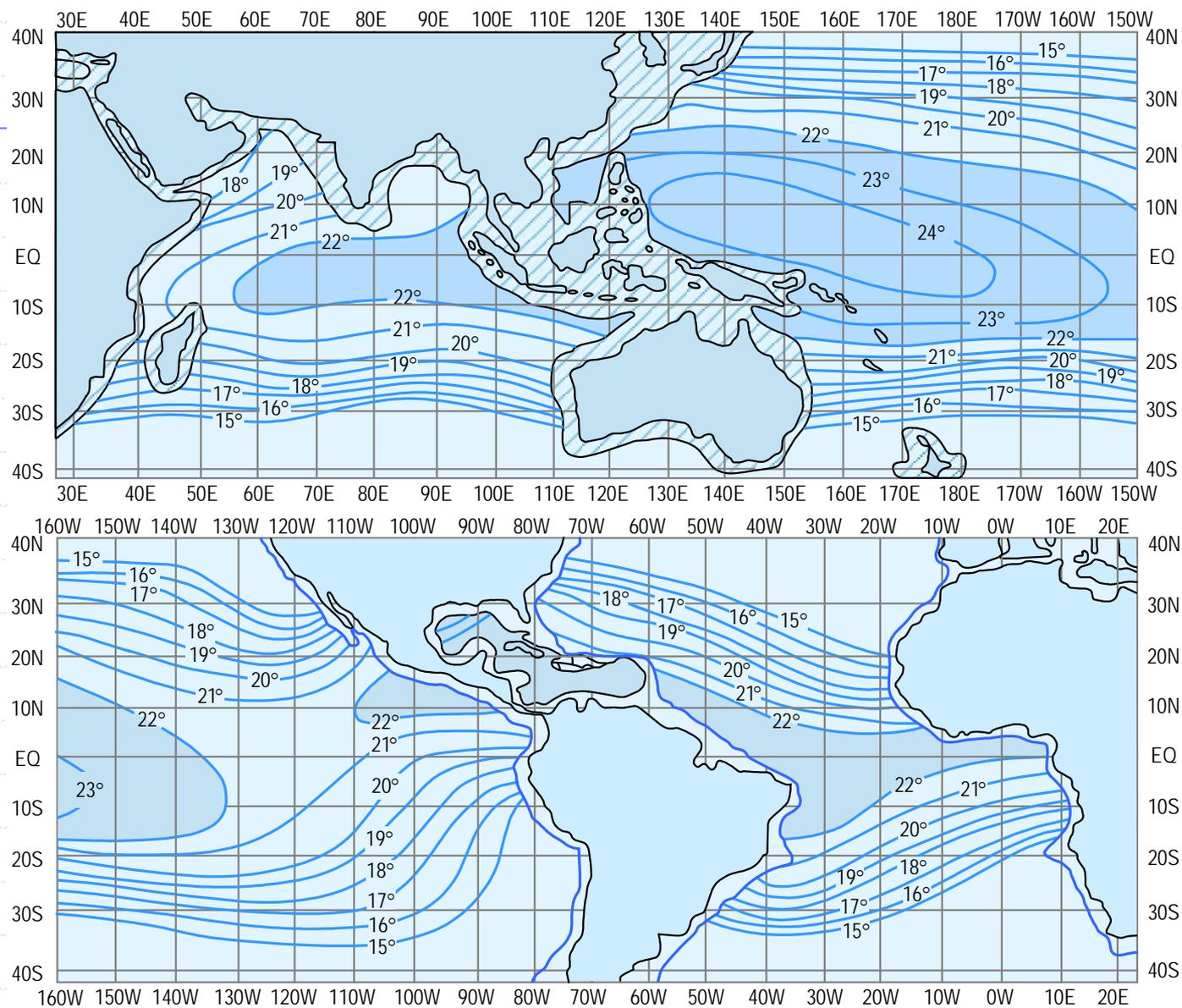
海洋熱能轉換

(Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC)

海洋面積佔據了整個地球表面的**70%**，由於由於海洋面積廣泛，加之太陽光的照射，海洋可說是地球上最大的太陽能儲存場。

在熱帶及亞熱帶海洋，由於表層海水易受太陽照射而吸收太陽熱能，故海水表層溫度較深層海水溫度高。以熱帶表層海水及水深1,000公尺兩者的水溫為例，其溫差約在**20~25°C**之間，海洋熱能轉換即是利用此項自然海洋溫差的特徵，以熱能轉換裝置將熱能轉換成電能，故**海洋熱能轉換發電**又稱為**海洋溫差發電**。

全球海洋溫差分佈情形



海洋熱能轉換系統

依照工作流體的流動狀況，海洋熱能轉換系統可分成：

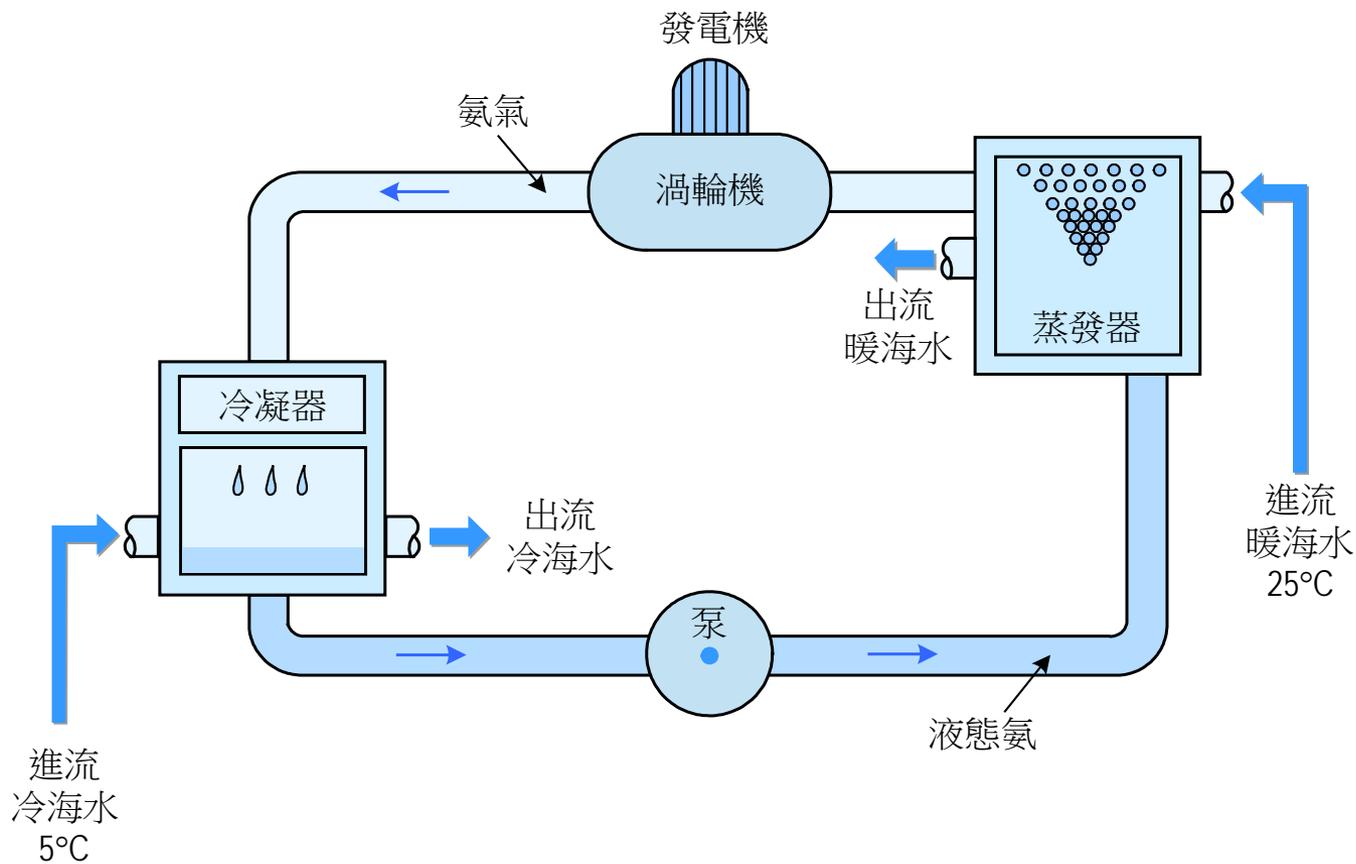
閉路式系統

其工作原理首先利用表層海水讓低蒸發溫度之工作流體如**氨、丙烷或氟氯碳化物**蒸發，使其推動渦輪機發電。之後，利用海底下的深層冷海水冷卻工作流體，使其**冷凝成為液體**，再以泵送到海水表層，進而循環使用。

開路式系統

開路式系統中工作流體則是**海水**。海面較溫熱的海水，經**除去二氧化碳**等氣體後，送入真空蒸發槽使海水變成蒸汽，再以此蒸汽推動渦輪機以驅動發電機發電，而用過的蒸汽則通過熱交換器，藉由海面下層較低溫的海水冷凝成冷水，並將海水排放至海中。

閉路式系統



海洋溫差發電優點

1. 海洋能來自太陽能，是取之不盡用之不竭之能源。
2. 溫差發電是**連續性的輸出**，且海洋溫差十分穩定。
3. 溫差發電過程產生**污染甚少**，對環境破壞的也最小。
4. 溫差發電廠往往建於海中，遠離城市及海濱，**對於居住環境沒有干擾**及不良影響。
5. 溫差發電可**伴生淡水**，可供食用及農業灌溉、養殖用。
6. 溫差發電過程產生的廢熱，可以回收利用，供小型動力機械或農漁業使用。
7. 溫差發電廠發出的電能，除了供給城市用電，也可以就近設廠製造淡水、食鹽、海產加工、製取氫氣等。

海洋溫差發電缺點

海洋溫差發電在技術上雖可行，但因投資龐大、發電成本高昂及極深海冷水管路施工風險高等因素限制，因此尚未如風力、太陽光電及地熱等再生能源般受到重視及實際應用。

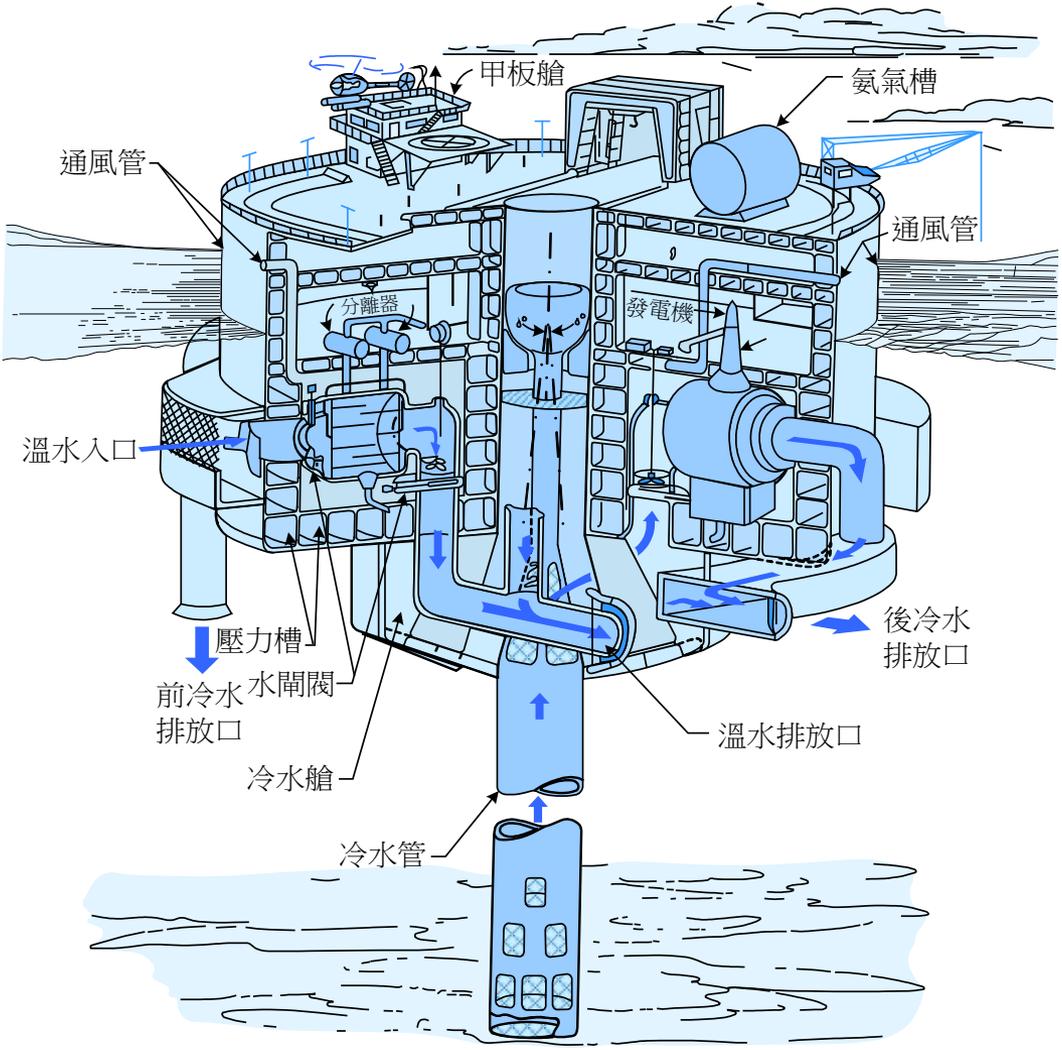
台灣海洋溫差發電

台灣四面臨海，**東海岸**之海床又在極短的水平距離內即可到達1,000公尺的水深，水溫約 5°C ，同時海面適有黑潮暖流通過，表層水溫約 25°C ，是世界上稀有可以發展海洋溫差發電的理想地區。根據台灣電力公司的估計，東海岸之海洋溫差發電理論蘊藏量為3,000萬瓩，該區域若以適度開發10%估計，其技術蘊藏量可達**300萬瓩**，每年約可發電**460億度**。

OTEC發電系統

1. **廠房系統**：分為海上式及陸上式，而前者又分成固定式及漂浮式。
2. **海水管路系統**：主要包括表層溫海水取水管路、排放水管路以及深層冷水取水管路系統等三大部分。
3. **動力系統**：熱交換器為極重要的組件，一般而言，管殼式熱交換器優點為易於製造維護，且對海水微生物之附著能有效防制，缺點為熱傳效率較低。平板式熱交換器的熱傳效率較其他型式者高，價格低廉，於設計製造上亦無困難，惟對於防制海水微生物附著及運轉維護等技術問題，有待進一步研究並驗證其實用性。

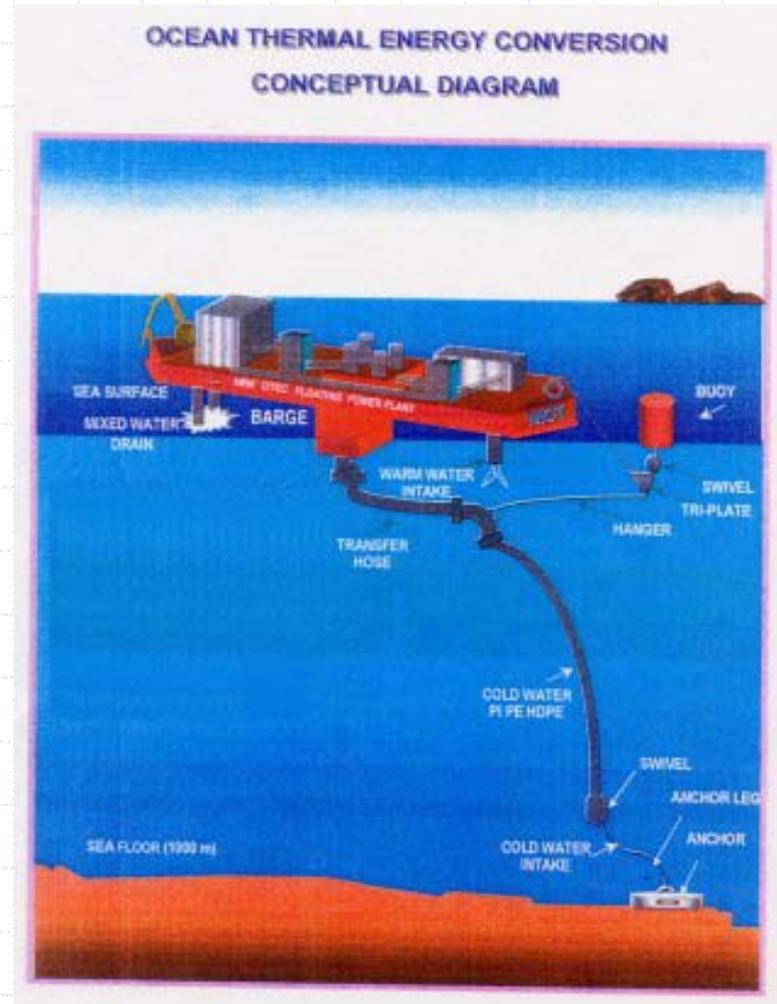
OTEC發電系統



海上式OTEC發電系統



http://www.arer.org/news/affiche_news.php?article=33



http://www.ioes.saga-u.ac.jp/OLD/new_e.html

陸上式OTEC發電系統



View of OTEC facility at Keahole Pointe on the Kona coast of Hawaii.

<http://www.answers.com/topic/otec-in-hawaii-jpg>

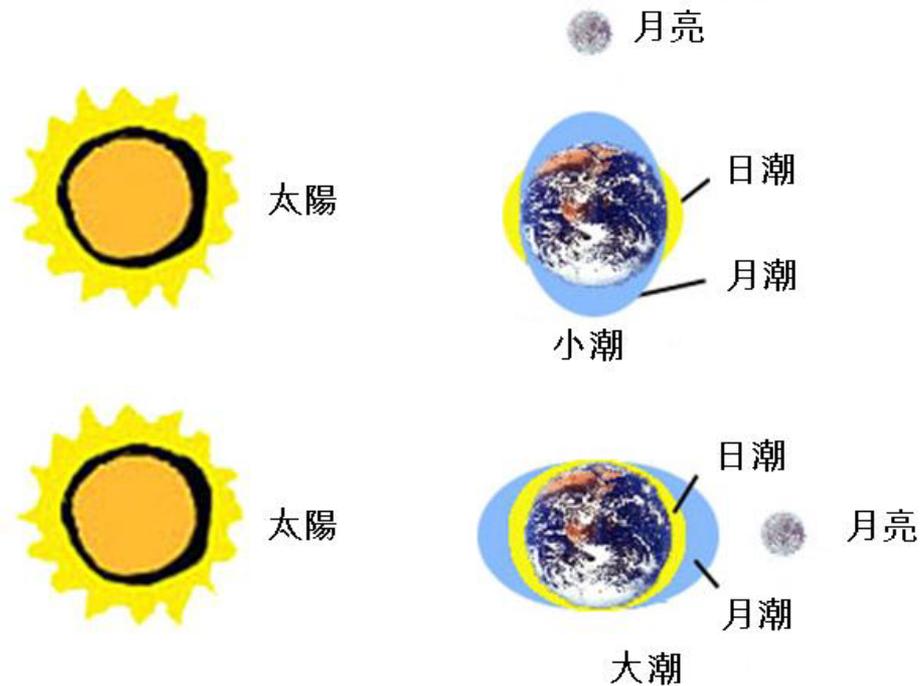
潮汐能

潮汐能主要摘取自地球—月亮—太陽系統彼此間之**重力交互反應**所產生的動能與位能。其中因為月亮距地球較近，因而其對潮汐形成的影響又大於太陽所造成的影響。若考慮月亮及太陽之質量與兩者之和地球之距離，可推估出月亮及太陽對潮汐的影響約為**68%**：**32%**。

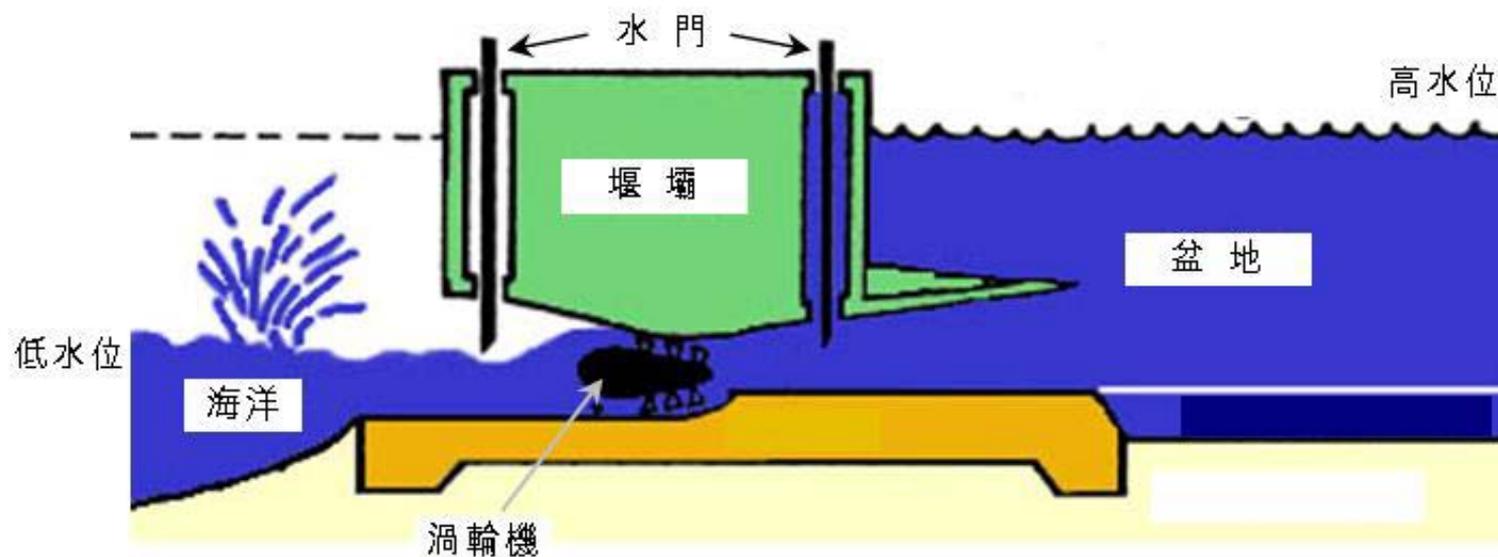
潮汐能複雜性主要因潮汐的變化程度會因時間而改變。整體而言，潮汐完成一起伏週期約12.5小時(較精確說法為每個潮汐週期為12小時又24分鐘)，換言之，一天約完成二個潮汐的循環。

當太陽、月亮與地球彼此間位於同一直線，此時地球位於太陽與月亮之間，因而月潮及日潮重疊而造成大潮。而當月亮、地球與太陽彼此位置為直角時，海水水位將經歷最低點而形成小潮。

海岸每個月則會經歷一次**大潮**，又稱為春潮 (spring tide) 及一次**小潮** (neap tide)。月亮與太陽所引起之漲潮各稱為**月潮** (Lunar tide) 及**日潮** (Solar tide)。



堰壩式退潮發電系統



為了能夠自潮汐中取得能量，似壩的結構體常橫越盆地的出口處，其中有數個閘門或通道內使流體流過渦輪機。潮汐發電的技術類似於水力發電，但渦輪機的設計允許水自漲潮方向流入或退潮方向流出。

堰壩式退潮發電系統

由於潮汐間歇性的本質，因此和水力發電比較時，在相同尖峰發電裝置的條件下，潮汐所產生的電能約僅有水力發電的三分之一而已。

潮汐能發電的型式，除了前述的**堰壩式** (barrage) 外，目前發展中的尚有**圍籬式** (fence) 及**渦輪式** (turbine) 兩種。

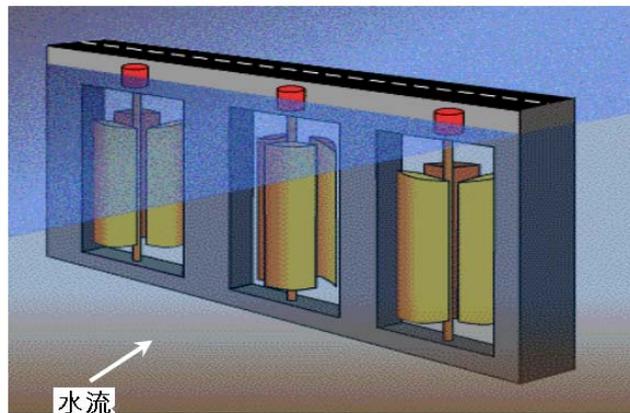


圖 6-3.C 圍籬式潮汐發電系統概念圖

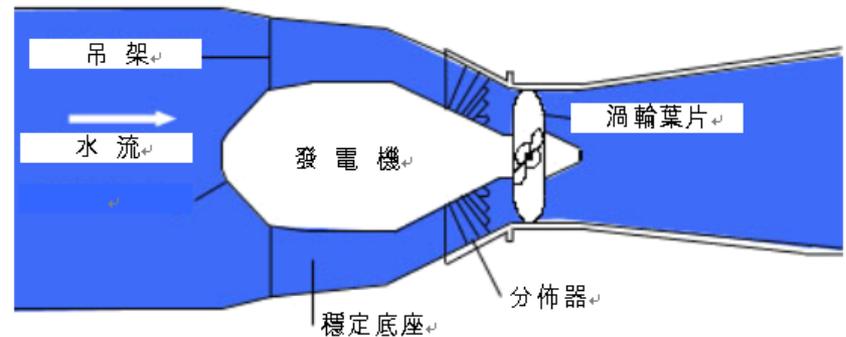
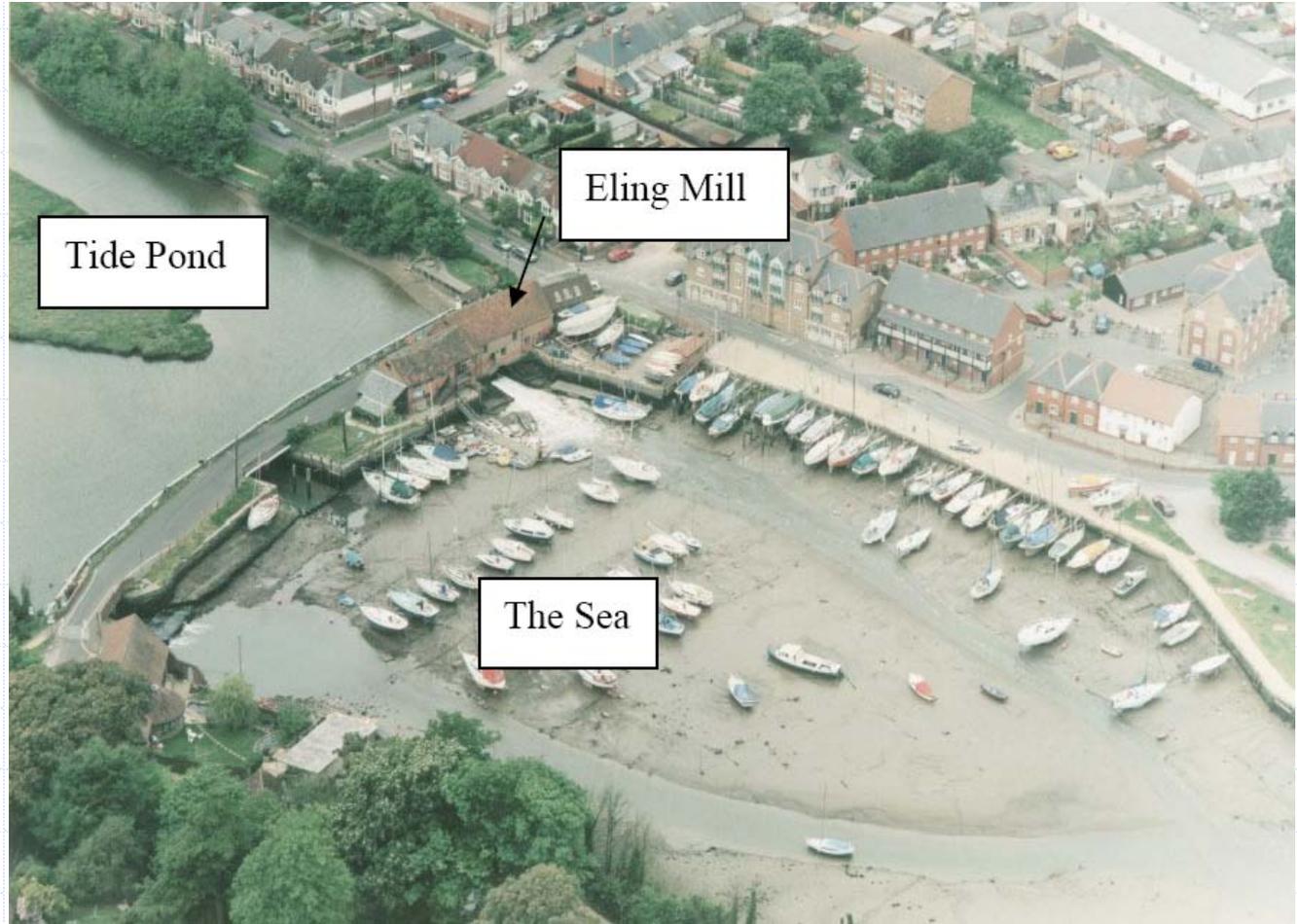
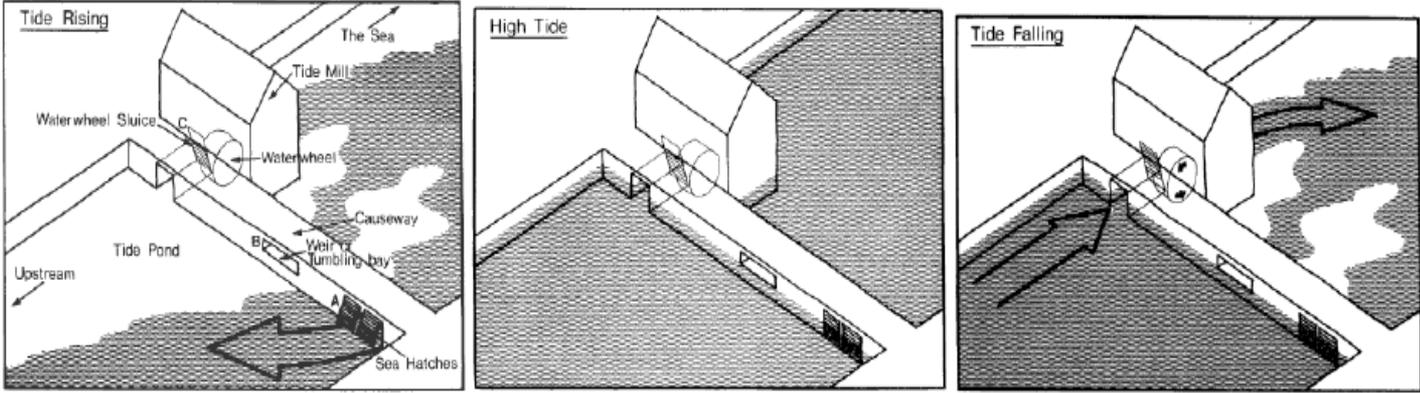


圖 6-3.D 渦輪式潮汐發電系統



始華湖潮汐發電所



<http://info.yup.cn/energy/18618.jhtml>

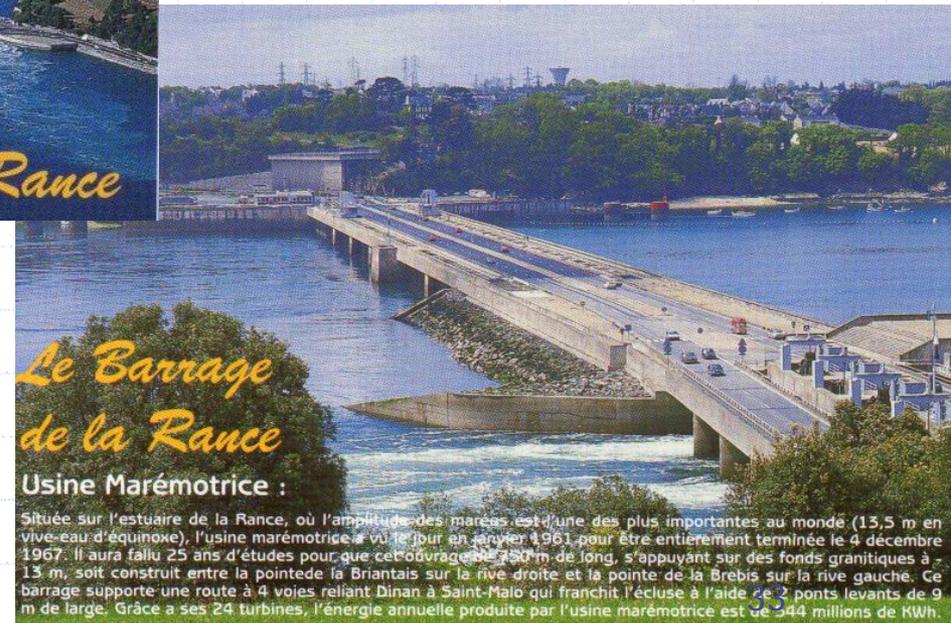
http://rki.kbs.co.kr/chinese/news/news_Ec_detail.htm?No=32573



藍斯河潮汐發電系統



<http://www.pteratunes.org.uk/OU/Tidal/RanceTidalBarrage.html>



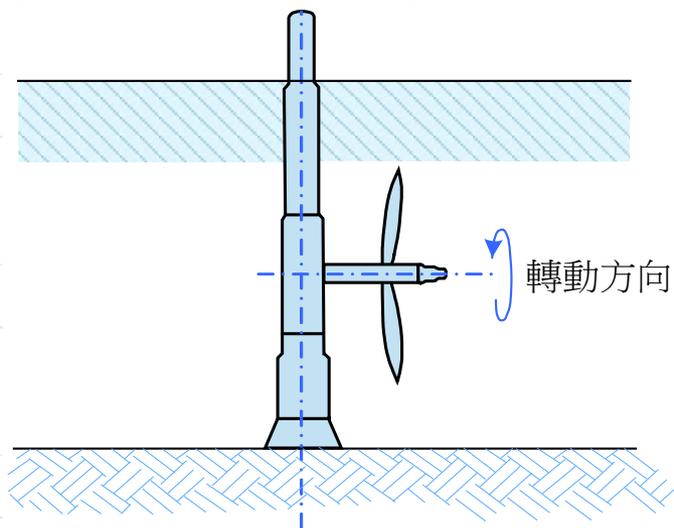
海流能發展潛能

根據評估顯示，全球海流之總能源通量(total energy flux)約為 2.8×10^{14} (280 trillion) watt-hours，因此海流能可謂是無窮資源。若所有的海流能被用於發電，海流將停止移動；但事實上，受限於海流之尺寸與大小，僅有少部分之海流能被控制及被運用於發電。

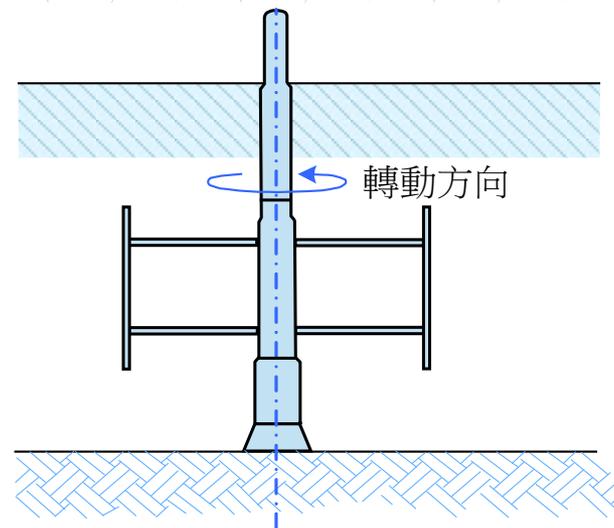
若以海流能發電，其優點眾多，例如不須花錢買能源、將可**24小時連續供電**、**不怕原料缺乏**、**無環境污染與土地問題**，加之容易操作(僅需少數人員即可操作)，因此以環境永續的觀點視之，海流能十分具有吸引力。以台灣四面環海，海洋面積廣大，海流運動充沛的特色觀之，台灣十分具有發展海流發電之潛力。

海流渦輪機

依照主軸與水平面的相對位置，其結構可分為**水平軸渦輪機** (horizontal axis turbine) 與**垂直軸渦輪機** (vertical axis turbine) 兩類



(a) 水平軸渦輪機



(b) 垂直軸渦輪機

海流渦輪機

- 1. 水平軸渦輪機**：其架構類似於風力渦輪機，目前已有10 kW之模型機進行測試；且於英國南岸正建立300 kW之示範電廠。為了增加流速與功率輸出，目前也有於渦輪機葉片周遭架設集流器(concentrators or shrouds)。
- 2. 垂直軸渦輪機**：包含拖曳式(drag)及升力式(lift)渦輪機兩種，其中升力式渦輪機較具發展潛力；而最知名之例子為垂直軸 Darrieus 渦輪機，其具有三片或四片機翼剖面之葉片。目前已有單座模型廠進行測試，其包含於日本 Kurushima 海峽測試之5 kW Darrieus 渦輪機。此外，加拿大目前也裝置數座垂直軸渦輪機於潮汐圍欄內，並計畫於菲律賓裝置30 MW之示範廠。

海流渦輪機

目前海流能之技術發展乃以風能之研發結果為基礎，所以海流渦輪機的結構與運轉原理與風力渦輪機相似。當渦輪機自海流中取得能源，其功率(power)可表示為：

$$Power = \frac{1}{2} \eta \rho A v^3$$

上式中 η, ρ, A, v 各代表渦輪機之效率、海水密度、葉片運轉之面積、與海流速度。一般而言，雖然海流之流速較風速為低，但由於海水的密度遠高於空氣（前者為後者之835倍），故海流能之能源密度仍高於風能之能源密度；換言之，在相同的裝置容量下，海流渦輪機所佔的空間較風力渦輪機為小。

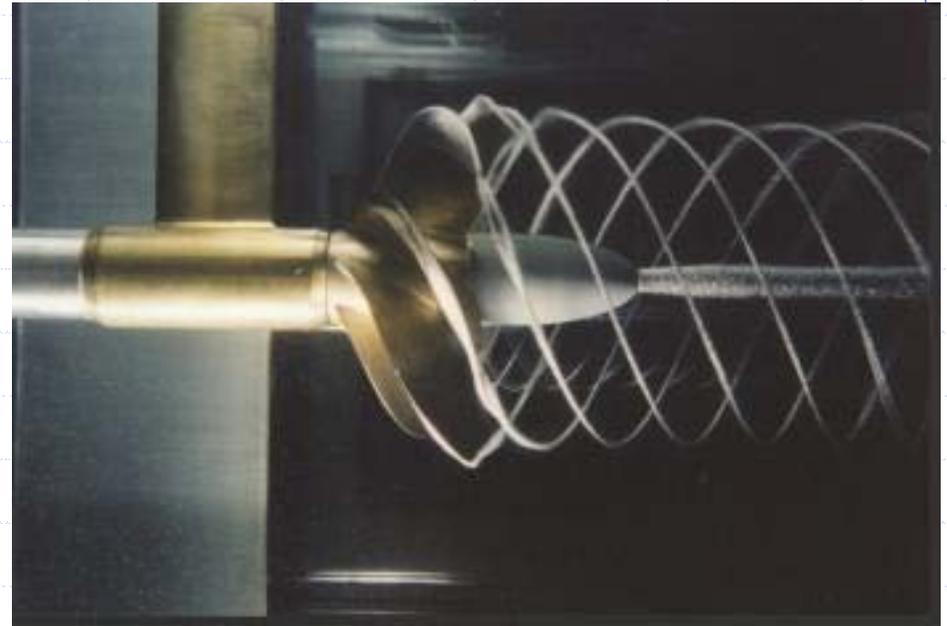
水平軸渦輪機



海流發電尚待克服之問題與挑戰

1. 當海流速度大約高於8 m/s時，渦輪機將可能產生孔蝕現象（cavitation），因而傷害渦輪機組。
2. 航運業之發展與海洋殘骸的吸入渦輪機組，將傷害機組。
3. 可靠度尚待提升，操作與維護成本尚高。
4. 由於海水具腐蝕性，渦輪機的抗腐蝕程度、軸承與密封系統將是一大挑戰，因而使海流渦輪機的成本高於風力渦輪機。
5. 由於機組沉潛於海中，機械之維護將需要潛水夫進行，此也是海流渦輪機高維護成本所在。

孔蝕現象 (cavitation)

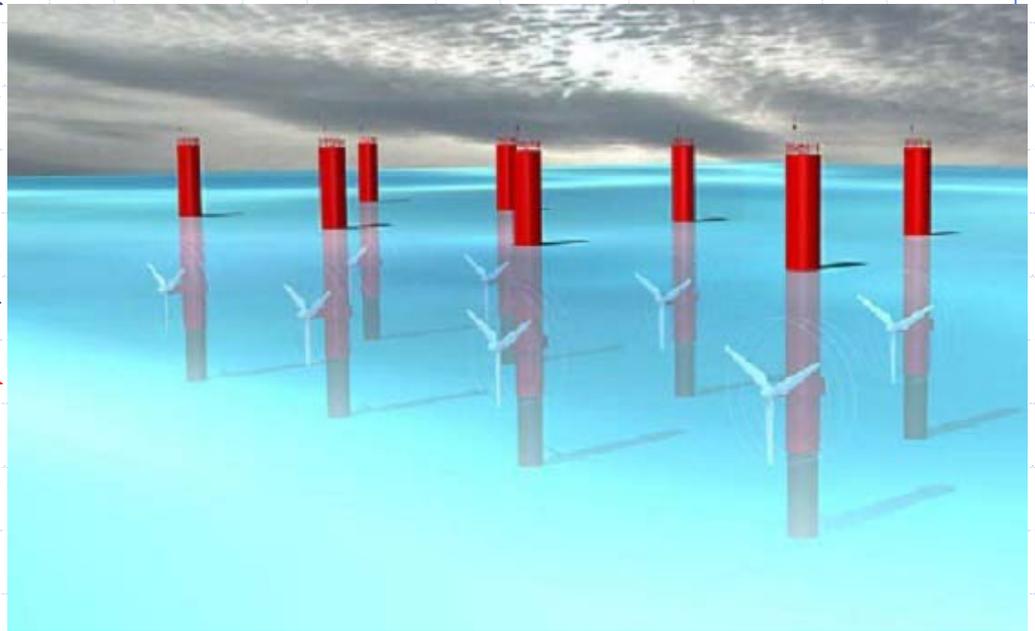


<http://getenecon.com/proven-solutions/pitting-corrosion.aspx>

<http://www.amhrc.edu.au/facilities/cavtunnel-projects.html>

矩陣式排列之海洋渦輪機

海流渦輪機之裝設位置，可以以浮標方式懸浮於海上或固定於海床中，而在某些高流速海流的區域中海流渦輪機可以以群體或群集方式組成如海流能場。目前評估顯示，每平方公里之海洋面積最高可裝置37台海流渦輪機，此乃著眼於避免海流渦輪機所產生之渦流彼此間發生交互反應，且可允許人員進行機組之維修。



海流能開發所具有的優點

1. 由於海流渦輪機之能源密度為風力發電機之**四倍**，故在相同功率輸出下，前者葉片直徑僅需後者的一半。
2. 海流速度可量測與預測，一旦場址確定，能源輸出即告確定。
3. 海流之**變動量**遠較大氣中的風力小，所以設計時較容易進行成本最適化。
4. 隨著土地使用所引發之衝突，由於海流渦輪機**不佔土地空間**，故在空間使用上提供一良好的解決方案，並在視覺污染或衝擊上降至最低，甚至**無視覺污染**。
5. 最大的海流能資源往往靠近海岸，且靠近人口稠密處，有利於開發。
6. 海流渦輪機有可**模組化**之潛能，且可避免大型土木工程施工。

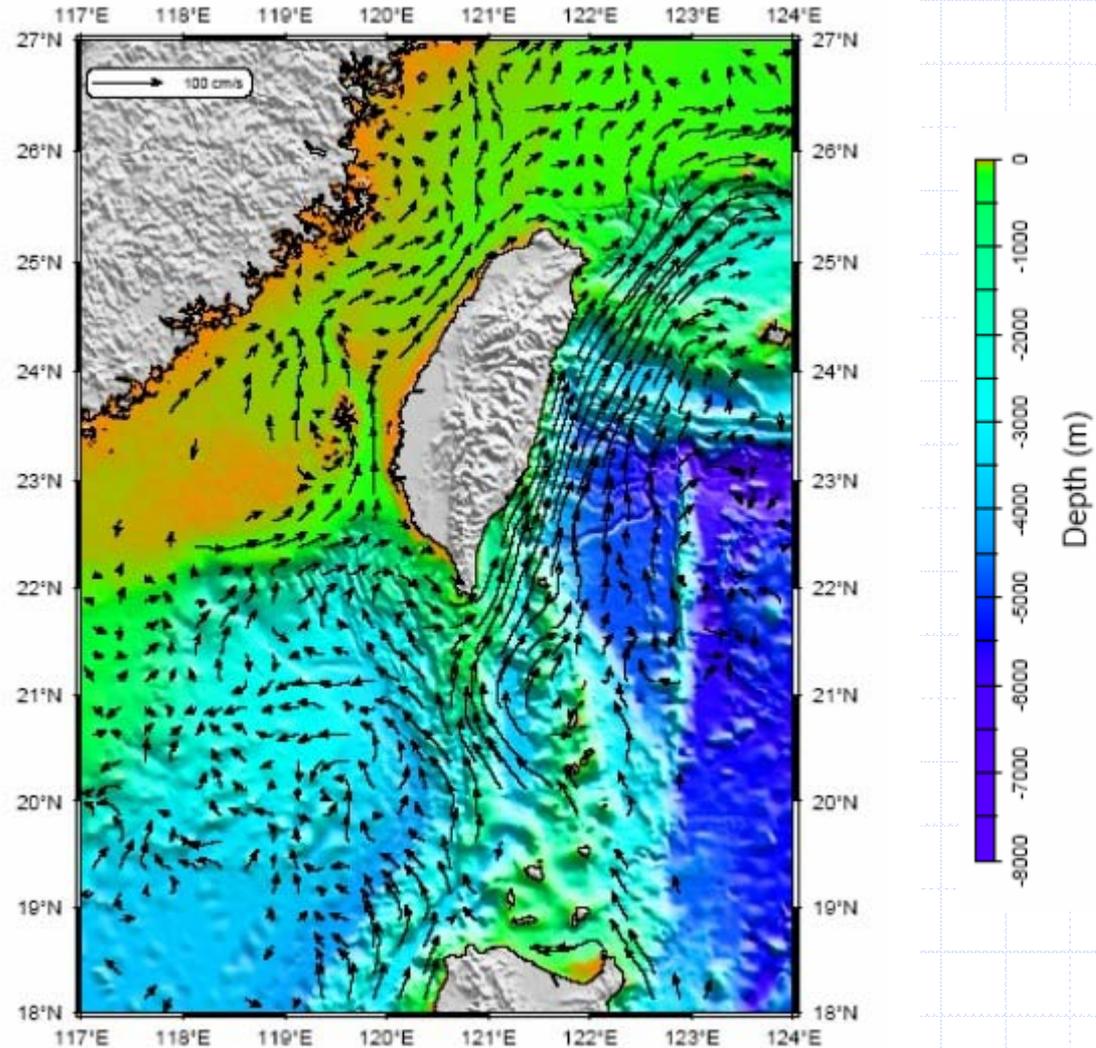
海流能與其它能源之比較

	再生 能源	低設備 成本	低運轉 成本	降低環 境衝擊	可預測	降低視 覺衝擊	模組化
化石燃料	×	○	×	×	○	×	×
核能	×	○	×	×	○	×	×
風能	○	×	○	○	×	×	○
太陽能	○	×	○	○	×	×	○
水力發電	○	○	○	×	○	×	×
波浪能	○	×	○	○	×	○	○
海流能	○	×	○	○	○	○	○

台灣海流狀況

台灣西岸為台灣海峽，而東岸則屬於太平洋，因為地理環境之不同，故海流狀況也不相同。總體而言，臺灣鄰近海域的海流主要是以西岸的臺灣海峽海流及東岸的**黑潮洋流**所組成。以接近表層（水下20公尺）的海流為例，平均的流向主要是以東北流為主，流速也都超過50 cm/s，但是有相當明顯的季節性與空間的變化，尤其是西岸台灣海峽內的海流（除了澎湖水道以外），不過位於東岸的黑潮洋流其季節性變化則相對較低且流速較強，洋流經過的海底水深也甚深，為較適合進行海流發電的場址。

台灣鄰近海域表層海流（水下20公尺）之年平均變化



黑潮

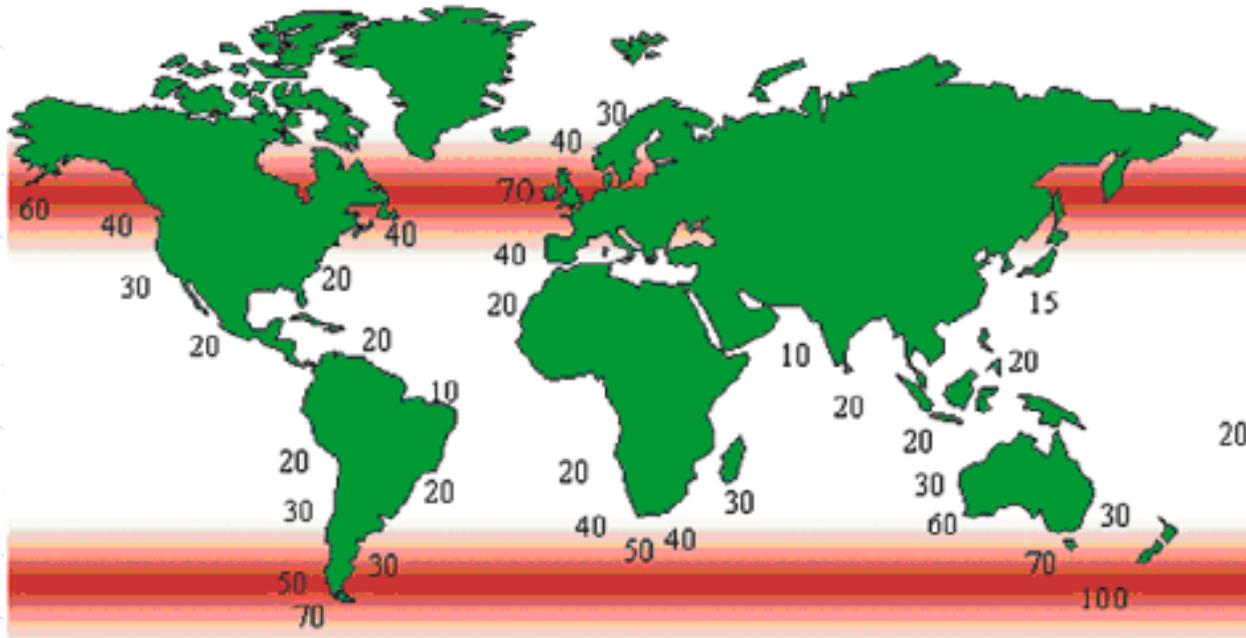
1. 黑潮源於北赤道海流，沿菲東岸北流至台灣東部；
2. 黑潮於台灣東岸流幅寬約100餘公里，最大流速約1 m/s。
3. 黑潮影響深度淺於1000公尺。
4. 黑潮北流至宜蘭外海，受海脊阻擋，分二支，一支東轉沿琉球島弧北流，一支直接越過海脊沿台灣東岸北流。
5. 黑潮主軸有季節性變化，冬天近台灣，夏天離台灣較遠。
6. 黑潮向北輸送量約 $20-30 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。
7. 主軸沿台灣東岸終年向北流，其支流有時也會繞過台灣南端北上台灣西岸，黑潮流速流量，分佈的寬度及深度會有季節性變化。

黑潮

因此，黑潮以流速強、流幅窄和厚度大而著稱。根據1998年4月下旬與1999年6月下旬於蘇澳、綠島與蘭嶼三個探測海域之斷面，蘇澳以東的黑潮平均有3.3 GW及1.35 GW的總蘊藏能量為最高；其次是綠島海域的南北兩斷面共1.1 GW及0.44 GW；最少的是蘭嶼附近海域（南斷面、南斷面及西斷面），總蘊藏能量為0.87 GW及0.23 GW。由此可知黑潮之能量蘊藏情形。

波浪能

波浪能源自於風在海洋上的移動，當風在海面上吹刮時，風的能量將轉移到海洋內，因而海洋的**自由表面 (free surface)** 提供了風能源的自然儲能場。波浪能分佈主要介於南北半球緯度約 30° 及 60° 之間，由盛行西風所引起。



波浪能發電

波浪發電係利用波浪上下振動特性，藉由穩定運動機制將深海中的波浪動能轉為機械能，而後再轉換成電能。

波浪中所含的能量正比於波高或振幅 (amplitude) 的平方及運動週期 (period)，一般而言，長週期 (~7-10 s) 及大振幅 (~2 m) 波浪的平均能量通量 (energy flux) 會超過 40-50 kW / m (波寬)。每單位波寬與波浪能與波高及週期的關係可表示為：

$$P = \frac{\rho g^2 a^2 T}{8\pi}$$

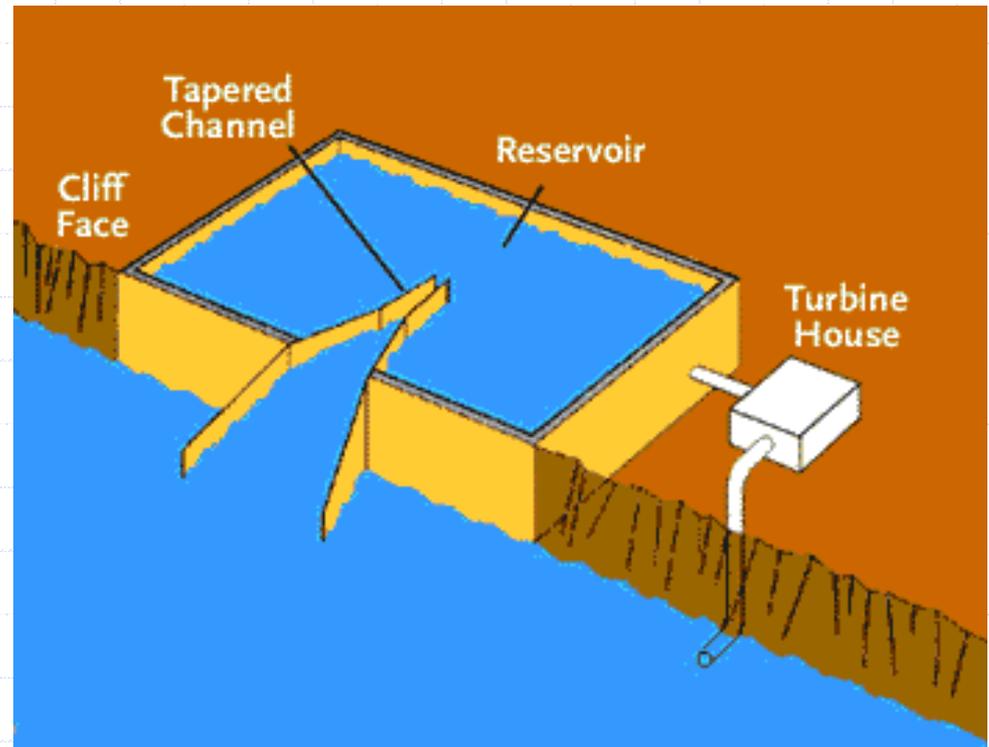
波浪能發電設備

波浪能發電設備可依其所在的位置分成三類：

1. 海岸線發電設備
2. 近海岸發電設備
3. 離岸發電設備。

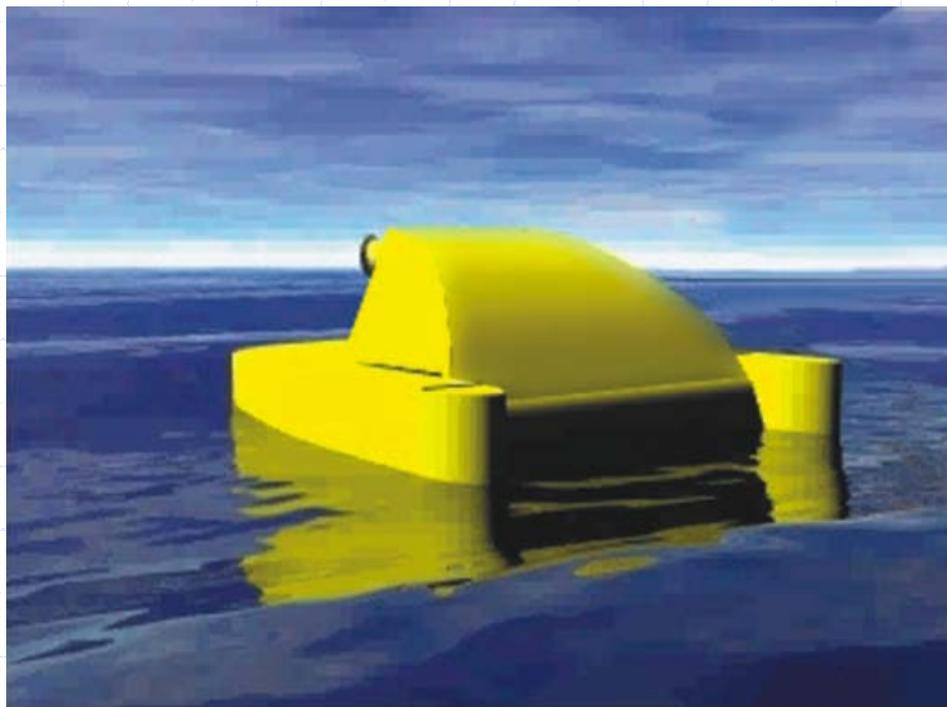
海岸線發電設備

海岸線發電設備係將波浪能發電設備架設於或嵌入海岸線上，其優點是較易裝置及維護；另外，海岸線發電裝置的海岸線設備不需要架設深水系或水下的電纜。然而，由於設備架設於海岸線，其缺點是得到的波浪能較少。



近海岸發電設備

近海岸發電設備則是將發電設備放置於海水深約 15 米，最深不超過 20 米的海上。目前較出名的近海岸發電設備為英國 Wavegen 有限公司所開發的 OSPREY (Ocean Swell Powered Renewable Energy) 機種。



離岸發電設備

離岸發電設備適用於當海水深度大於40米的海上，近年來設計重點在於以陣列方式部署、小型化、標準化且能產生高的電源輸出的設備。例如英國海蛇號（Pelamis）波浪發電裝置。



波浪能開發之優點

1. 在最耗能的冬季，可以利用的波浪能量最大，不像風能或太陽能易受天候因素影響。
2. 海浪資源除季節性及漲退潮因素外均不會中斷，是取之不盡的能源。
3. 波浪發電設備消耗了波浪能量，波浪發電機組的設置，類似形成防波堤，可減少建構與保養防波堤的成本。
4. 波浪發電機組後方海域將成為平靜的海域，可以進行海洋休閒活動。
5. 可以在此海域進行養殖，除為當地漁民帶來財富外，也可避免因為在陸上養殖、抽取地下水，而造成地盤下陷。
6. 具有軍事、國防與海防等正面效果。

波浪能開發之缺點

1. 由於波浪在波高、相位及方向上十分不規則，因此其不容易獲得設備的最大效率。
2. 若天候極端不佳，例如颱風 (typhoon) 及颶風 (hurricane) 來臨時，波浪能設備的負載有可能是平均負載的 100 倍，因而造成設備的嚴重損失。