

# 國立臺北大學通識教育中心

(國立交通大學、國立陽明大學、國立台北科技大學)

## 「能源概論」通識課程

(Week 11)

### 進度：地熱能、海洋能

李育明

國立臺北大學公共事務學院  
自然資源與環境管理研究所 教授

May 01, 2009

## 授課大綱

### □ 地熱能

- 地熱資源簡介與分類
- 地熱發電技術
- 台灣地區地熱資源開發
- 地熱能停看聽

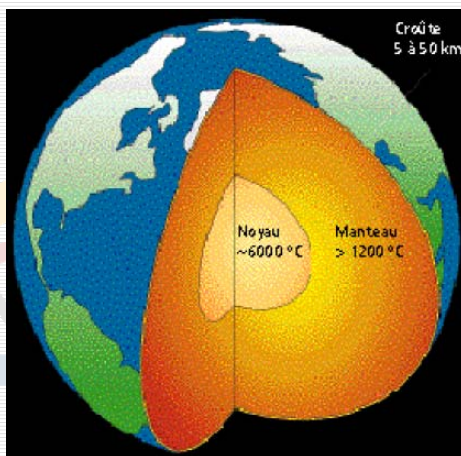
### □ 海洋能

- 簡介與海洋能類別
- 各種海洋能發電技術
- 海洋能停看聽

2

## 地熱能：前言

- 地球原是一個熾熱的星球，目前其外表雖為低溫的地殼，但內部溫度推測可達**6000°C**，「地熱資源」就是泛指這種地球內部所蘊含的巨大熱能。
- 地熱就是地球內部的熱，**板塊斷裂地帶**或**板塊隱沒**的上方，地熱常有聚集現象，因而稱為「地熱資源」**潛能區**。



Pahud (2002). "Geothermal energy and heat storage"

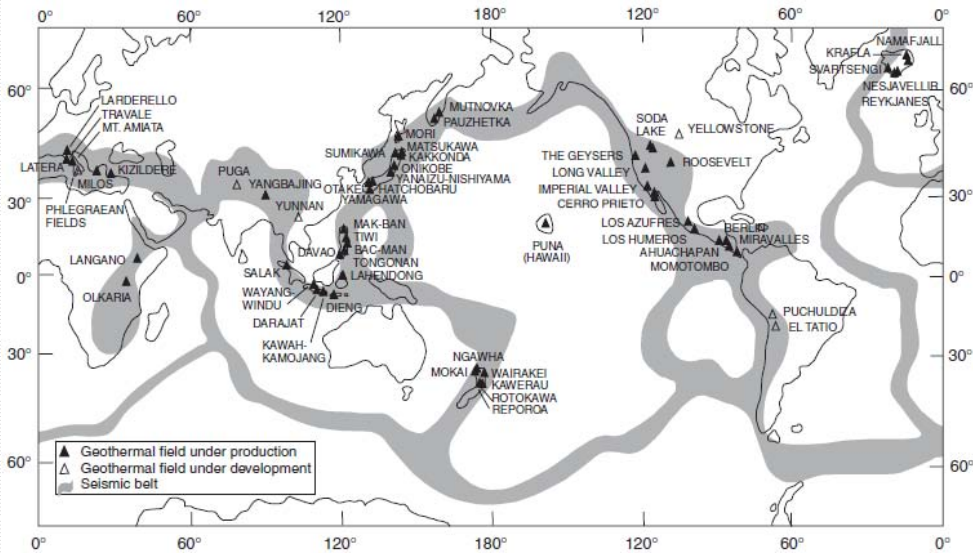
3

## 地熱資源的種類

- 地熱資源概分為**熱液資源**、**乾熱岩資源**和**地壓資源**
  - **熱液資源**：  
指在岩層的多孔性構造或裂隙較多處，儲集的**熱水**及**蒸汽**，而形成的「**地熱區**」或「**地熱田**」。
  - **乾熱岩資源**：  
乾熱岩資源係指在地殼表面的熔岩或尚未冷卻的岩體，或地下深部達數公里**高熱岩體**，可以人工方法造成裂隙成破碎帶，注入冷水使其加熱成蒸汽和熱水後回收利用，其開發方式尚在研究中。
  - **地壓資源**：  
地壓資源係指在油田地區較**高溫的熱鹽水**，受巨大之地壓而形成。通常僅出現在尚未固結或正式在進行成岩作用的較深部沉積岩內。
- 目前僅針對集中在地殼淺部的**熱液資源**進行開發。

4

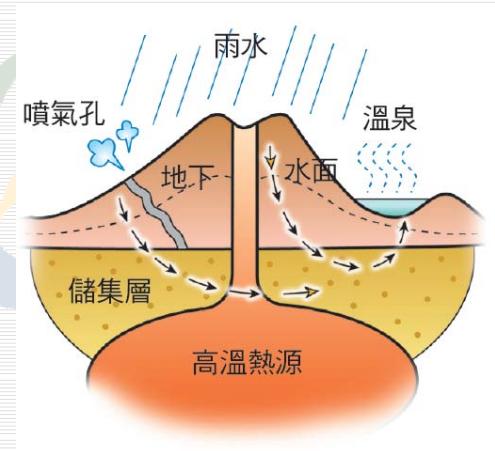
# 全球板塊碰撞處與地熱資源發展情形



Gupta and Roy (2007). Geothermal Energy - An Alternative Resource for the 21st Century

# 地熱區形成要素

- **儲集層：**  
 主要指良好的滲透性、裂隙岩層及斷裂裂隙系統，儲集層中富含熱水及蒸汽。
- **通路：**  
 指地下熱水(汽)在靜水壓作用下，可上湧至地表的構造通道
- **蓋層：**  
 地表下之構造物，良好封閉蓋層可保護地下熱液不致散失。
- **熱源：**地熱的來源
  - 直接與火山活動有關
  - 與火山活動無關



資料來源：《認識綠色新能源》

# 地熱資源分類

	類型	特性	實例
地質岩性	火山型	因火山活動或岩漿侵入而形成的地熱田	日本、紐西蘭、印尼、台灣大屯山、冰島
	非火山型	因地殼變動或其他非火山作用形成的地熱田	義大利、土耳其、台灣廬山
地熱系統	循環型	指地熱能源可連續不斷地對流形成緻密的循環系統	一般的熱水型及蒸氣型地熱均屬之
	儲存型	指地熱能源長時間儲存在岩層中之儲集層	熱乾岩地熱田

資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

# 地熱資源分類

	類型	特性	實例
儲集型態	熱水型	即地熱能源以熱水的型態儲存在儲集層的岩石孔隙中	台灣變質岩帶如清水、土場均屬之
	蒸氣型	即地熱能源以蒸汽的型態儲存在儲集層中	美國加州Geyser、義大利拉德瑞羅
化學性質	氯化物型	指地熱水中所含的陰離子以氯化物較多	關子嶺、安通等沈積岩區
	硫酸岩型	指地熱水中所含的陰離子以硫酸鹽較多	大屯山及其他火山性地熱區
	碳酸岩型	指地熱水中所含的陰離子以碳酸鹽較多	清水、土場、廬山

資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

## 地熱資源分類

- **火山性地熱區**：與火山活動直接相關，大都分佈在火山區，溫度較高。然而，因地熱流體中常含有多量的火山性化學成分，如**氟、氯、硫**等**酸性**成分，**腐蝕問題**待克服。世界上已開發的地熱田以火山性地熱區較多，如日本、菲律賓、紐西蘭等。
- **非火山性地熱區**：因**火成**侵入活動尚未達到地表形成火山，僅到達地下數公里之深處，使區域性的地溫升高，形成地熱區，此即為非火山性地熱區。這種地熱區的潛能**規模較小**，然而熱水為不含火山性化學成分的**弱鹼性**，品質佳且無腐蝕問題。

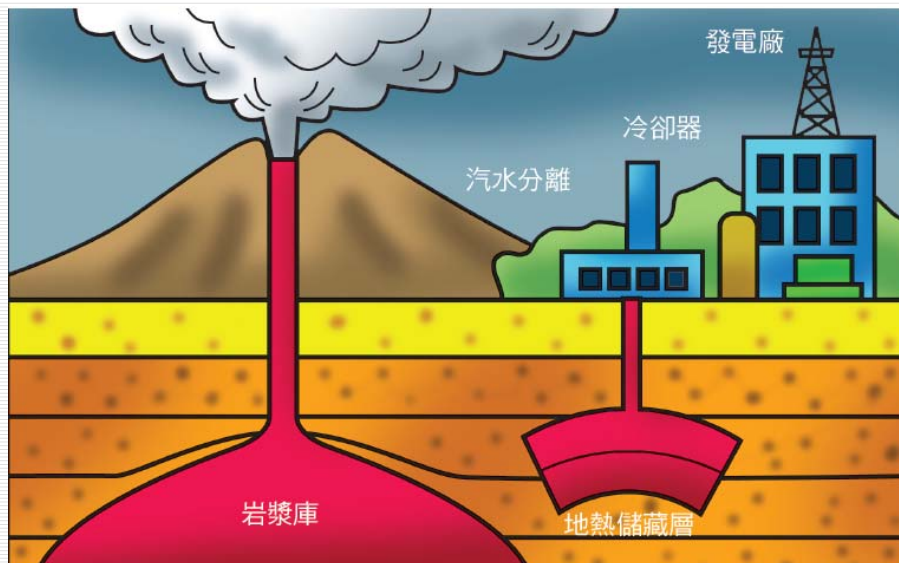
9

## 地熱發電技術

- **蒸汽發電**：  
蒸汽發電以**乾蒸汽式**(Dry Steam)為主，其乃於地熱井生產乾蒸汽時，只要將蒸汽由管線導入改良過的蒸汽渦輪機，就可以直接產生電力，是最有效又簡易的發電方式。
- **熱水發電**：
  - **閃發蒸汽式**(Flashing Steam Type)
  - **雙循環式**(Binary Cycle Type)
  - **總流式**(Total Flow Type)
- **地熱資源多目標利用**：  
地熱能以直接利用最為普遍，近年來溫泉觀光、休閒、養身、SPA及美容等複合式休閒訴求，可統稱為地熱資源多目標利用。

10

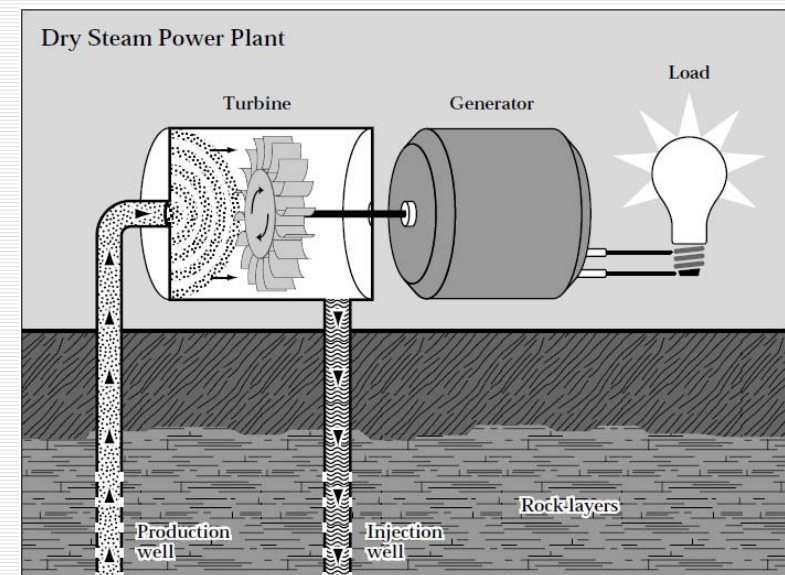
## 地熱發電的運作方式



資料來源：《認識綠色新能源》

11

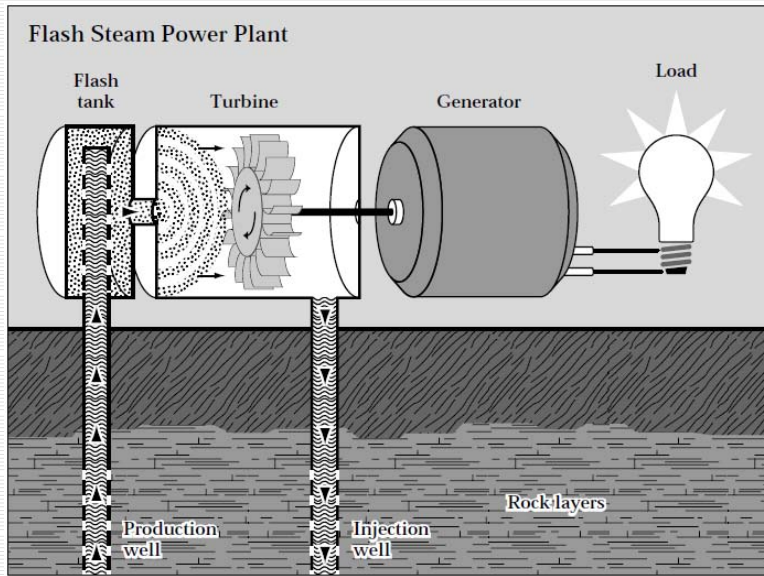
## 地熱蒸汽發電



Department of Energy (1997). "Geothermal Energy...Power from the Depths"

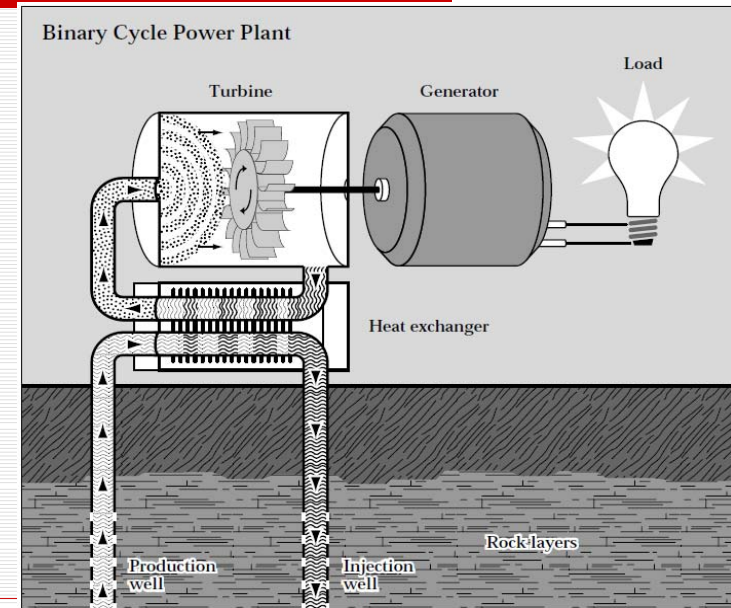
12

# 閃發蒸汽式發電



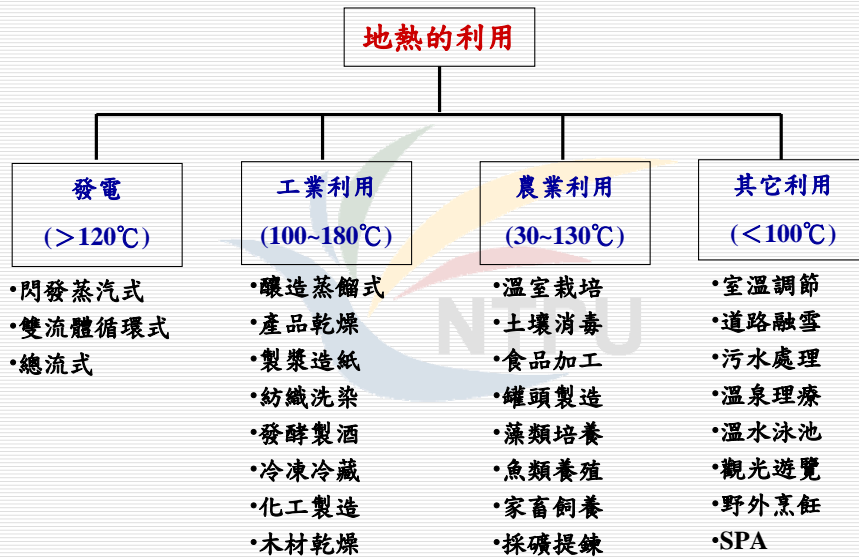
Department of Energy (1997). "Geothermal Energy...Power from the Depths"

# 雙循環式發電

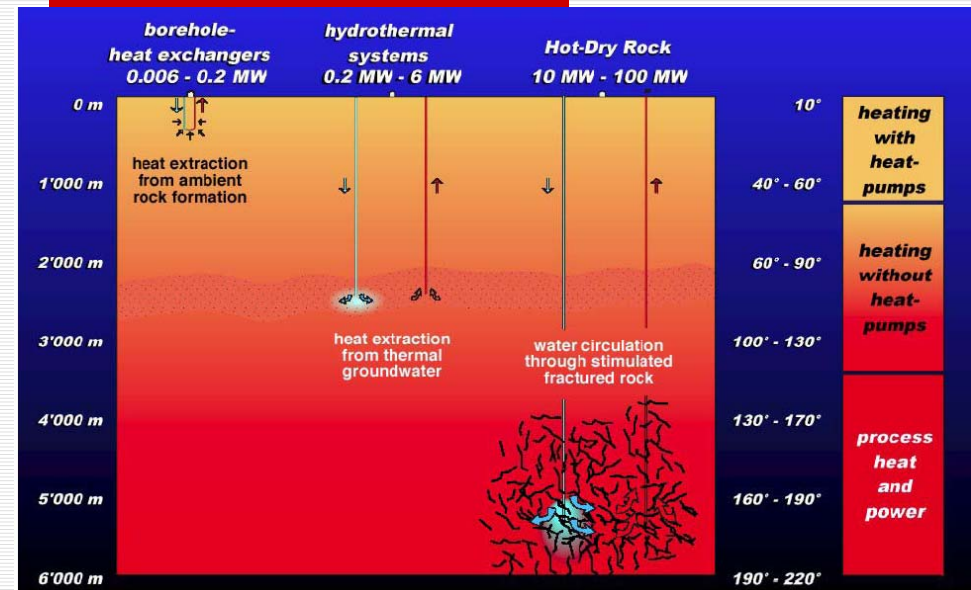


Department of Energy (1997). "Geothermal Energy...Power from the Depths"

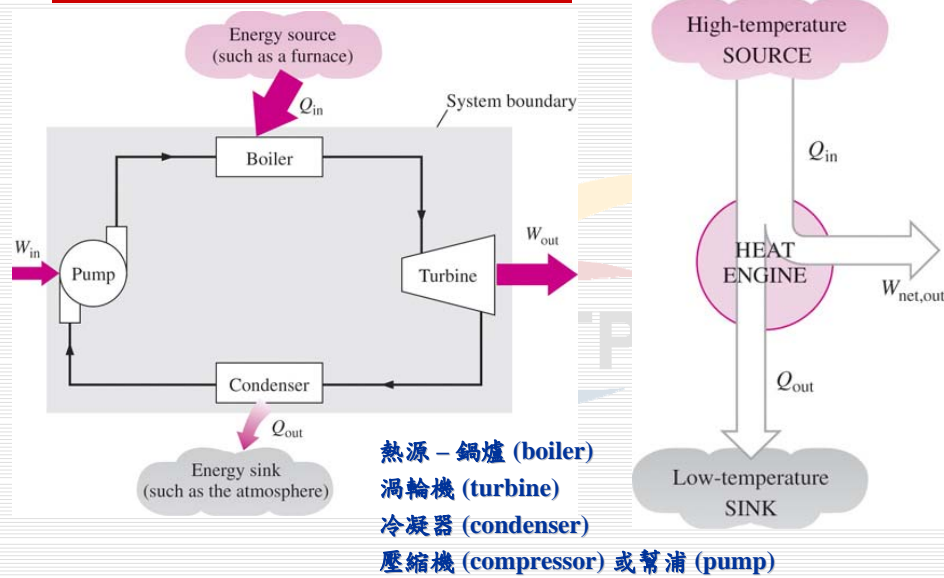
# 地熱資源溫度分布與利用型態



# 地熱資源分布與利用型態

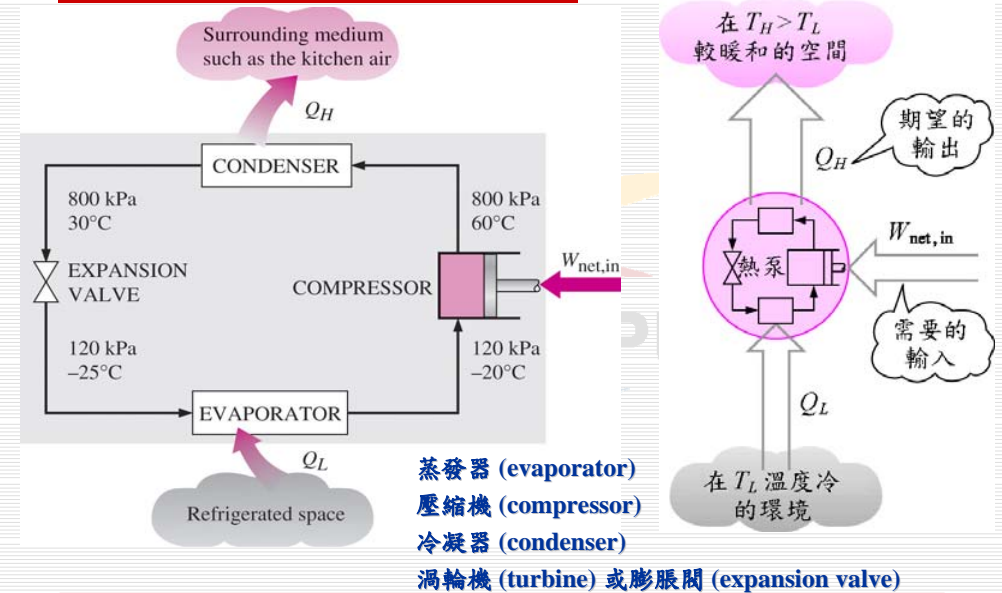


# 熱機 Heat Engine



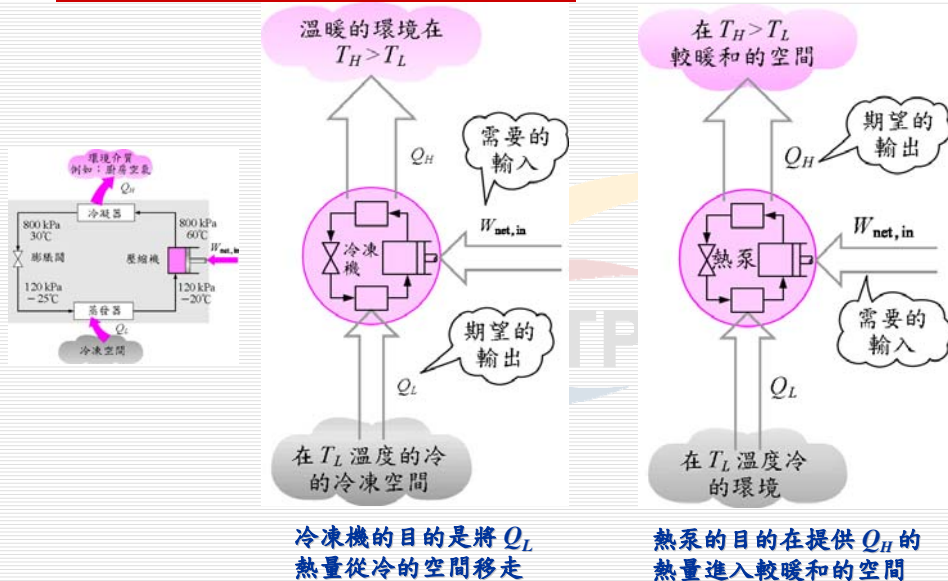
<http://www.me.ntu.edu.tw/~ta/ChengKang/thermodynamic/Ch%2066.ppt>

# 熱泵 Heat Pump



<http://www.me.ntu.edu.tw/~ta/ChengKang/thermodynamic/Ch%2066.ppt>

# 冷凍機 vs. 熱泵



<http://www.me.ntu.edu.tw/~ta/ChengKang/thermodynamic/Ch%2066.ppt>

# 台灣地區地熱資源開發

- 根據台灣地熱資源的初步評估結果，全台灣有近百處具備溫泉地熱徵兆，但比較具開發地熱潛能的只有**26處**，總蘊藏量約相當於**100萬瓩**的發電容量。
- 地熱潛能：火山性及非火山性地熱資源
  - 火山性地熱區只有北部**大屯山區**及**宜蘭外海龜山島**兩處；其他則都屬於**非火山性熱水型地熱區**，例如宜蘭清水及土場地區、台東金崙及知本地區等。
  - 火山性的**大屯地熱區**，曾在1961年間進行調查探勘，經過6年（1966至1972年）的探勘，發現該地區地熱潛能相當豐富，初步評估發電潛能可達50萬瓩，可惜因為熱液中富含**硫氧化物**，腐蝕問題嚴重，不宜開發利用。

## 台灣地區地熱資源開發

- 地熱發電的發展經驗：
  - 宜蘭清水及土場兩座地熱發電廠（裝置容量3,000瓩及300瓩）
  - 清水電廠後來因為蒸氣量顯著降低，已於1993年11月15日起停止發電；土場電廠是當初為了研發而設置的，由於工研院與台灣電力公司簽訂的「土場地熱發電廠電能購售契約」，在1996年9月24日起終止，便停止發電。
- 多目標利用：1999年起，宜蘭縣政府主導重新開發清水區域，採委託民間興建營運（BOT）的型態進行，初步更名為「清水地區溫泉水發電利用計畫」，進而結合多目標利用（如遊憩觀光）的特色加以規劃。
- 目前台灣的地熱區幾乎都屬於「熱能直接利用型態」，也就是直接引地熱「露頭區」（指溫泉、噴氣孔、沸泉等）的熱水或蒸汽，做為溫泉沐浴使用等用途；輔以相關餐飲或住宿等利用型態，形成多處溫泉休閒觀光專區，例如北投陽明山大屯山溫泉區、南投廬山東埔溫泉區、台東知本金崙溫泉區、台中谷關溫泉區、太平山區仁澤溫泉區或是宜蘭礁溪溫泉區等。

21

## 地熱停看聽

- 地熱有枯竭的可能
  - 地熱資源中最常利用的，是熱液資源；然而，像溫泉這類的熱液資源，卻並非取之不盡、用之不竭，不當開發還是會造成資源枯竭。
- 台灣的溫泉資源還是很豐富
  - 根據初步的探勘結果，以大屯火山地區較具地熱發電開發潛力，但是必須克服酸性泉質腐蝕問題；
  - 中央山脈的溫泉受到地形及地質構造影響，地下資源蘊藏規模較小，只適合做局部開放，舉凡觀光、休閒、養生兼具的溫泉利用型態，都應該注意對環境的影響。

22

## 海洋能：前言

- 海洋是一個巨大的能源寶庫。海洋中的潮汐、波浪、海流等的**動能及位能**，海洋表層和深層水**溫度差**、海底熱源的**熱能**，以及海水與淡水鹽度差的**化學能**等的儲存量都甚大。
- 海洋能的蘊藏量
  - 可擷取之發電容量約有2,000萬MW以上（全台灣的發電容量為3.6萬MW）
  - 波浪能（約800萬MW）、海流（潮流）能（約500萬MW）、鹽度差能（約260萬MW）、溫度差能（約200萬MW）、潮差能（約200萬MW）、海底熱能（約100萬MW）等。
- 海洋能尚未大幅利用的原因
  - 經濟效益差，成本高。
  - 技術問題還沒有完全解決。

23

## 海洋能特性

- 能源密度低：單位體積、單位面積或單位長度的海水所擁有的能量較小。要得到大能量，就得從大量的海水中獲得。
- 可再生性：海洋能來源於太陽輻射能與天體間的萬有引力，只要太陽、月球等天體與地球共存，這種能源就會再生，就會取之不盡，用之不竭。
- 穩定性與規律性：較穩定的能源包括海流能、溫度差能、海底熱源和鹽度差能，屬於**不穩定但變化有規律**的有潮汐能與潮流能，而**既不穩定又無規律**的是波浪能。
- 潔淨能源：海洋能屬於清潔能源，海洋能的開發對環境污染的影響非常小。

24

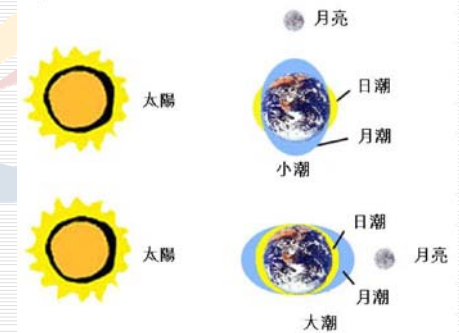
## 海洋能源：定義

- **潮汐能**：地球、月球與太陽三者萬有引力相互作用造成潮汐，產生潮汐能。
- **波浪能**：  
風牽引海洋表面造成波浪，產生波浪能。
- **海流能**：地球自轉、恆風吹拂、水體溫度鹽度差及潮汐作用造成海流，產生海流能。
- **溫差能**：太陽光照射海水面，造成海洋表層和底層水溫差，產生溫差能。
- **鹽差能**：海水含鹽分離子和淡水透過薄膜可產生滲透壓力差，即鹽差能。
- **海洋地熱能**：  
海底岩漿和深層地熱冒出可產生海洋地熱能。

25

## 潮汐能

- 由於地球自轉及**月球繞地球旋轉**，萬有引力使水位的上升，以周期為**12小時25分鐘**的海洋波浪形式由東向西傳播(**月潮**)。太陽引力的作用與月球引力的作用相似(地球自轉及地球繞太陽旋轉)，但因距離較遠，萬有引力較小，其週期為12小時(日潮)。因此，每天約有兩次漲潮，兩次退潮。
- 當太陽、月球和地球成**直角**時，就產生**小潮(neap tide)**，潮差小；當它們在**一條直線**上時，就產生**大潮(spring tide)**，又稱春潮，潮差大。海岸每個陰曆月會經歷兩次大潮(約初一和十五)和兩次小潮(約初八和廿二)。



大潮和小潮之形成原理

資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

26

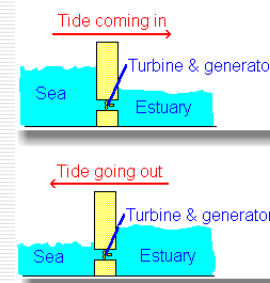
## 潮汐能

- 用萬有引力計算，月球所產生的最大引潮力可使海水面升高**0.563m**，太陽引潮力的作用為**0.246m**(月球及太陽對潮汐的影響約為7:3)，但實際的潮差却比上述計算值大得多。如中國大陸杭州灣的最大潮差達**8.93m**，北美加拿大東岸芬地灣最大潮差更達**19.6m**。這種差別主要因為深海潮汐波接近大陸棚、淺灘和海岸綫時，由於底層磨擦造成湧升和共振等運動，使潮差增大。
- 現有利用之潮差值約在**8m**以上，一般平均潮差在**3m**以上就有應用的價值。國內**金門、馬祖及台中、苗栗**沿海潮差均大於**4m**，潮汐能源豐富。
- 潮汐能的能量與**潮流量**和**潮差**成正比，但潮汐能的能量密度很低。因此，只有潮差大、潮流量大，且地理條件適合建造潮汐電站之處，潮汐能之利用才較有效率。

27

## 潮汐能

- 潮差發電廠設於攔水壩壩體內，**漲潮**時潮流由**外海向內池流動**並通過渦輪發電機而發電，待**退潮**時再由**內池將水放出**，通過渦輪發電機而發電。
- 為使發電廠能連續發電，不受潮汐漲退之影響，新近設計之潮差發電廠一般設置**三水池**，使之始終保持有高水位之上池及低水位之下池，以提供發電渦輪連續運轉。



潮汐發電原理

<http://www.tidalelectric.com/Technology%20Pool%20GR.htm>



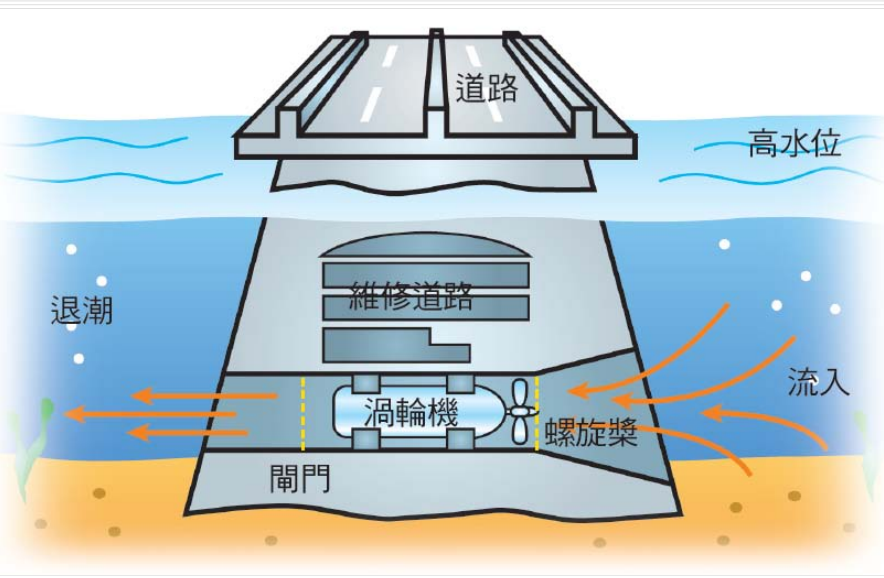
潮汐發電站

(加拿大Annapolis Royal)

資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

28

## 潮汐能發電



資料來源：《認識綠色新能源》

29

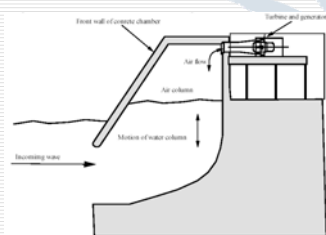
## 波浪能

- 吸收風的能量使表面水體發生湧高的現象，水體相對於基準海平面發生了位移，產生了**波浪**，也使波浪具有**位能**。而水面下的水質點會因波浪產生而開始移動，如此則使波浪具有**動能**。
- 波浪的能量是與**波高的平方**、**波浪的運動周期**以及**迎波面的寬度**成正比。
- **北緯、南緯40°~60°**間的風力最強，波高較大，波長較長，波能豐富。但在**貿易風區**（赤道南北緯度30°之內，稱trade wind zone，又稱信風區）的低速風也會產生很有規律的波浪，波能擷取反而容易。
- 波浪能是海洋能源中能量最不穩定的一種能源，因為在同一地點，波浪的波高、週期都沒有一定的規律。雖然如此，人類還是發明了相當聰明的設備，能有效率的擷取波浪能。

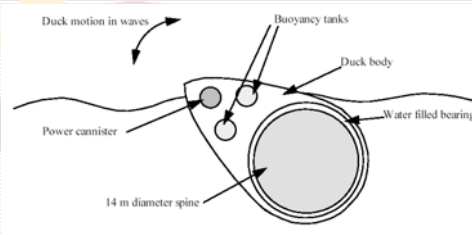
30

## 波浪能

- 波浪發電設施依照離岸位置主要可區分為**岸基型** (Shoreline) 和**離岸型** (Offshore) 兩種。岸基型乃利用特殊之空壓渦輪設施擷取波浪對岸邊之衝擊力 (**空壓型**)。離岸型乃利用浮體設施隨波運動擷取能量，包括**水鴨型** (duck)、**青蛙型** (frog)、**海蛇型** (Pelamis)、**浮體型** (power buoy) 等。



波浪發電機  
岸基型(空壓型)



波浪發電機  
離岸型(水鴨型)

資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

31

## 海流能

- 海流能：以**動能**形態出現的海洋能。
  - 海流分為**恆流**和**潮流**，恆流指海洋中長年穩定的水體流動，潮流指由潮汐導致的有規律往返式的海水流動。
- **恆流**又稱**大洋環流**，是指大量的海水從一個海域長距離地流向另一個海域。大洋環流通常由兩種因素引起：
  - 海面上常年吹著方向不變的**風**，如赤道南側常年吹著不變的東南風，而其北側則是不變的東北風。
  - 不同海域的海水**溫度**和**鹽度**常常不同，它們會影響海水的密度。海水溫度越高，含鹽量越低，海水密度就越小。兩個鄰近海域海水密度不同會造成海水環流。
- 海水流動產生巨大能量。海流能的能量與流速的平方和流量成正比。一般來說，**流速在2m/s以上的海流**，其海流能均有實際開發的價值。

32



## 海流能

- 海流的渦輪發電機一般分成**水平軸式**及**垂直軸式**，水平軸式與一般的風力發電機組相當類似，而垂直軸式則主要為Darrieus型helical葉片渦輪機或是十字型翼面的渦輪機。



海流發電設施 (300kW)  
(英國南部Devon海域)

水平軸式渦輪發電機

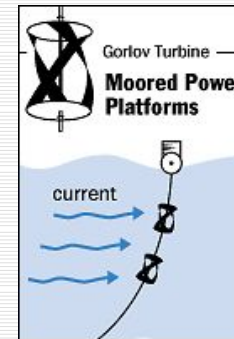
資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

33

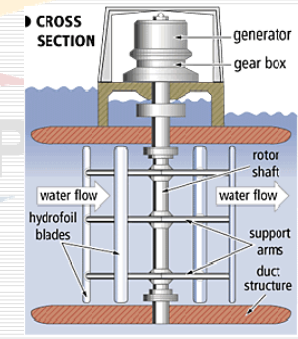
## 海流能

- 美國東北大學的Gorlov教授研發的垂直軸helical螺旋葉片渦輪機宣稱比風力機還經濟。而加拿大Blue Energy公司亦於菲律賓安裝測試十字型翼面渦輪機組。

Darrieus型垂直軸式渦輪發電機



helical螺旋葉片渦輪機

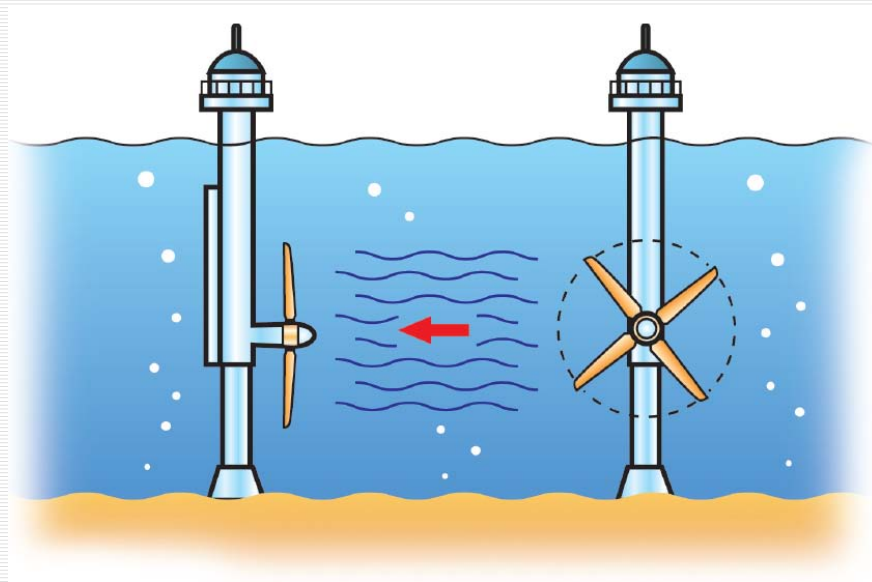


十字型翼面渦輪機

資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

34

## 海流發電示意圖



資料來源：《認識綠色新能源》

35

## 溫差能

- 溫差能是利用海洋表層海水和深層海水間的水溫差所擷取的**熱能**。
  - 赤道附近海域的表層溫度可達**25~28°C**，波斯灣和紅海其海面水溫可達**35°C**，而在海洋深處500~1,000 m處海水溫度却只有**4~6°C**，這個垂直的溫差就是一個可供利用的巨大能源。
- 海洋溫差熱能利用所需的最小溫差：**熱帶和亞熱帶海區**，**表層水溫和1,000m深處的水溫相差20°C以上**
- 國內東部海岸：位在亞熱帶、又有黑潮流經，海水溫差可達20°C(夏天溫差高於25°C)，評估為發展海洋溫差發電(OTEC)的最佳地區：**和平、石梯坪、樟原、台東及蘭嶼**。

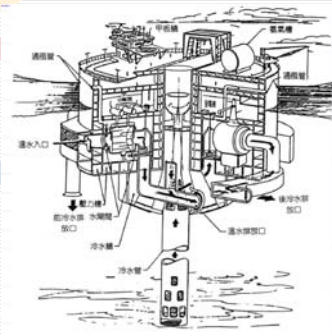
36

## 溫差能

- 海洋溫差發電 (Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC) 乃利用表層海水之高溫將**工作流體** (液態氨,  $\text{NH}_3$ ) 蒸發推動渦輪機, 再利用深層海水之低溫將工作流體冷卻, 以利循環再用。
- 海洋溫差發電設施可設置於岸上(若鄰近即可抽取深層海水), 亦可設置於海上(使用浮體裝載, 發電後再輸送回岸上)



海洋溫差發電廠—210 kW美國夏威夷州



浮動式海洋溫差發電廠—概念圖

資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

37

## 海洋溫差發電

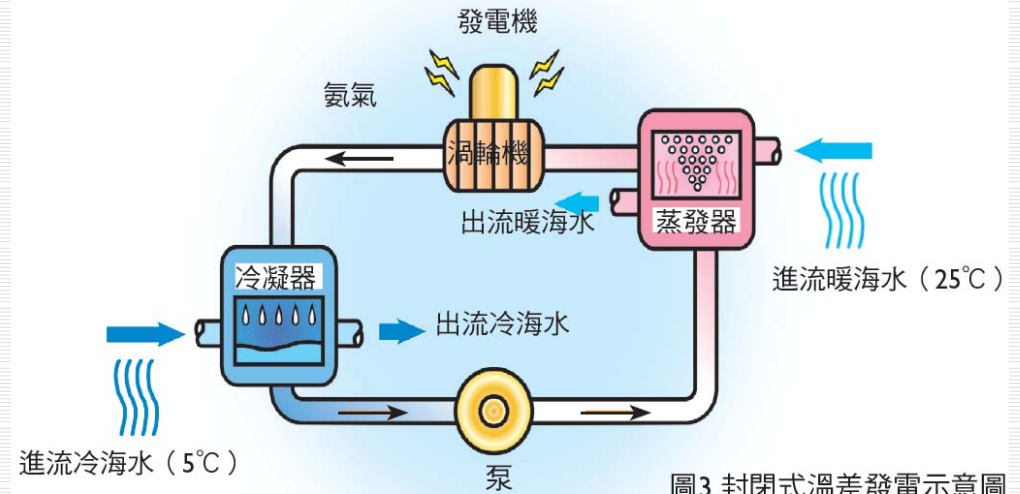


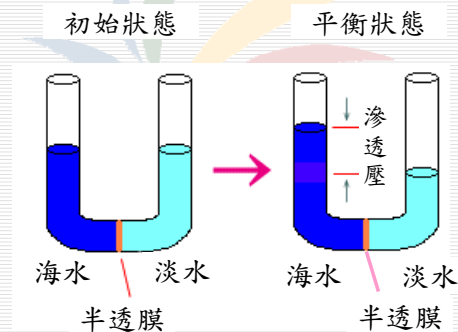
圖3 封閉式溫差發電示意圖

資料來源：《認識綠色新能源》

38

## 鹽差能

- 鹽差能是以**化學能**形態出現的海洋能。
- 淡水與鹹海水之間有著滲透壓力差, 如果這個壓力差能利用, 從河流流入海中的每立方英尺的淡水可發0.65度的電。一條流量為 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 的河流的發電功率可達2,340 kW。



鹽差能利用原理

資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

39

## 海洋能停看聽

- 台灣地區四面環海, 西海岸的台灣海峽風浪很大, 素有「惡海」之稱, **波浪能源**十分豐富; 澎湖群島東側的深海溝海流急促, 素有「黑水溝」之稱, **海流能源**也很豐富; **東海岸**地形陡峭, 季風和颱風長浪可長驅直入, 但深層海水卻又近在咫尺, 是**溫差發電**的最佳廠址, 也蘊藏豐富的波浪能, 加上附近又有溫暖、水急且流動穩定的**黑潮**經過, 海洋溫差能潛力無窮。

- 台灣豐富的海洋能

海洋能源種類	預估總藏量	可開發總藏量
海洋溫差能	3,000萬瓩	320萬瓩
波浪能	1,000萬瓩	10萬瓩
潮汐能	100萬瓩	1萬瓩
海流能	375萬瓩	7.5萬瓩

資料來源：《認識綠色新能源》

40