

# 海洋熱能與鹽差能

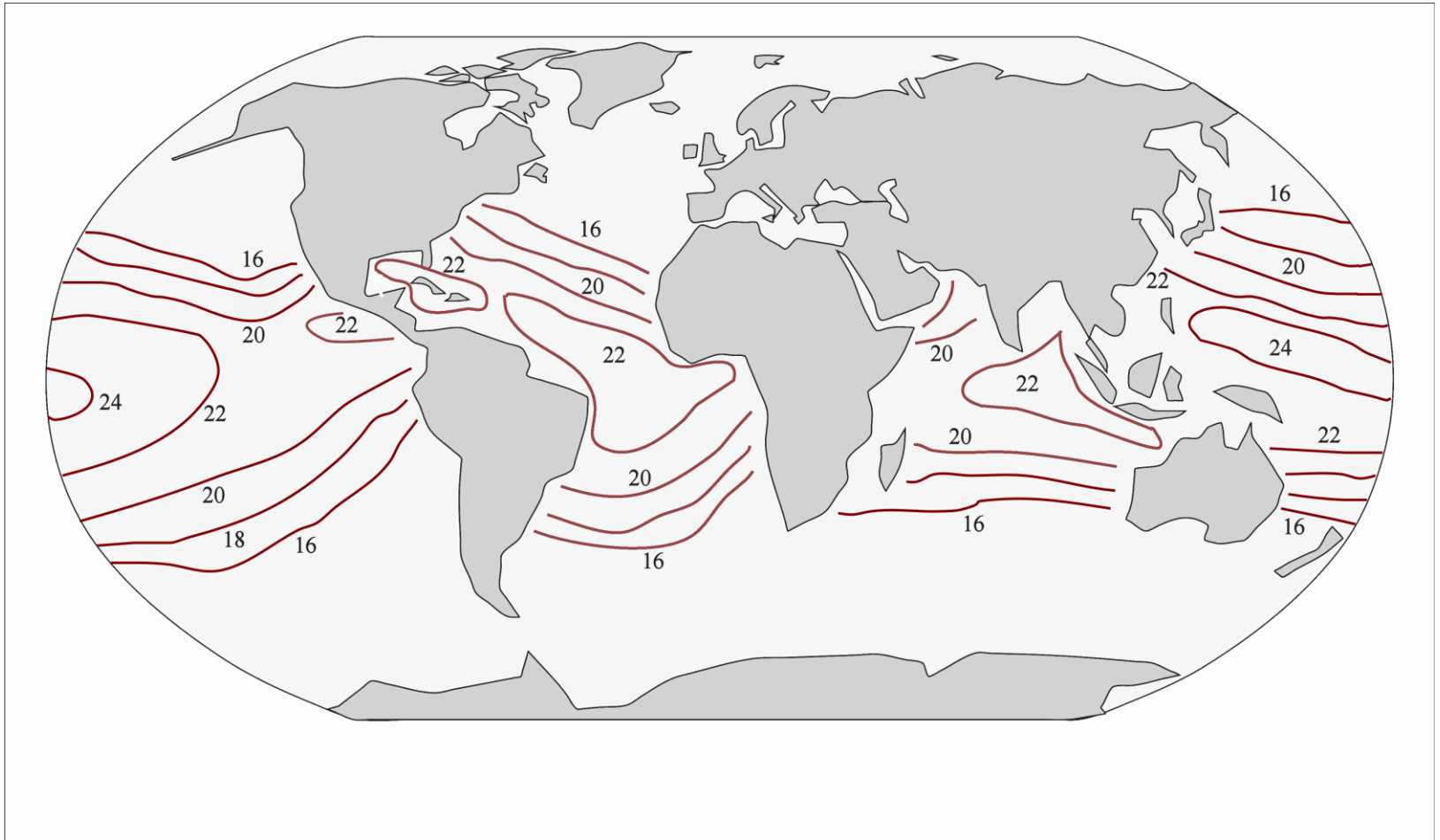
# 第一節 海洋熱能轉換OTEC

## (Ocean Thermal Energy Conversion)

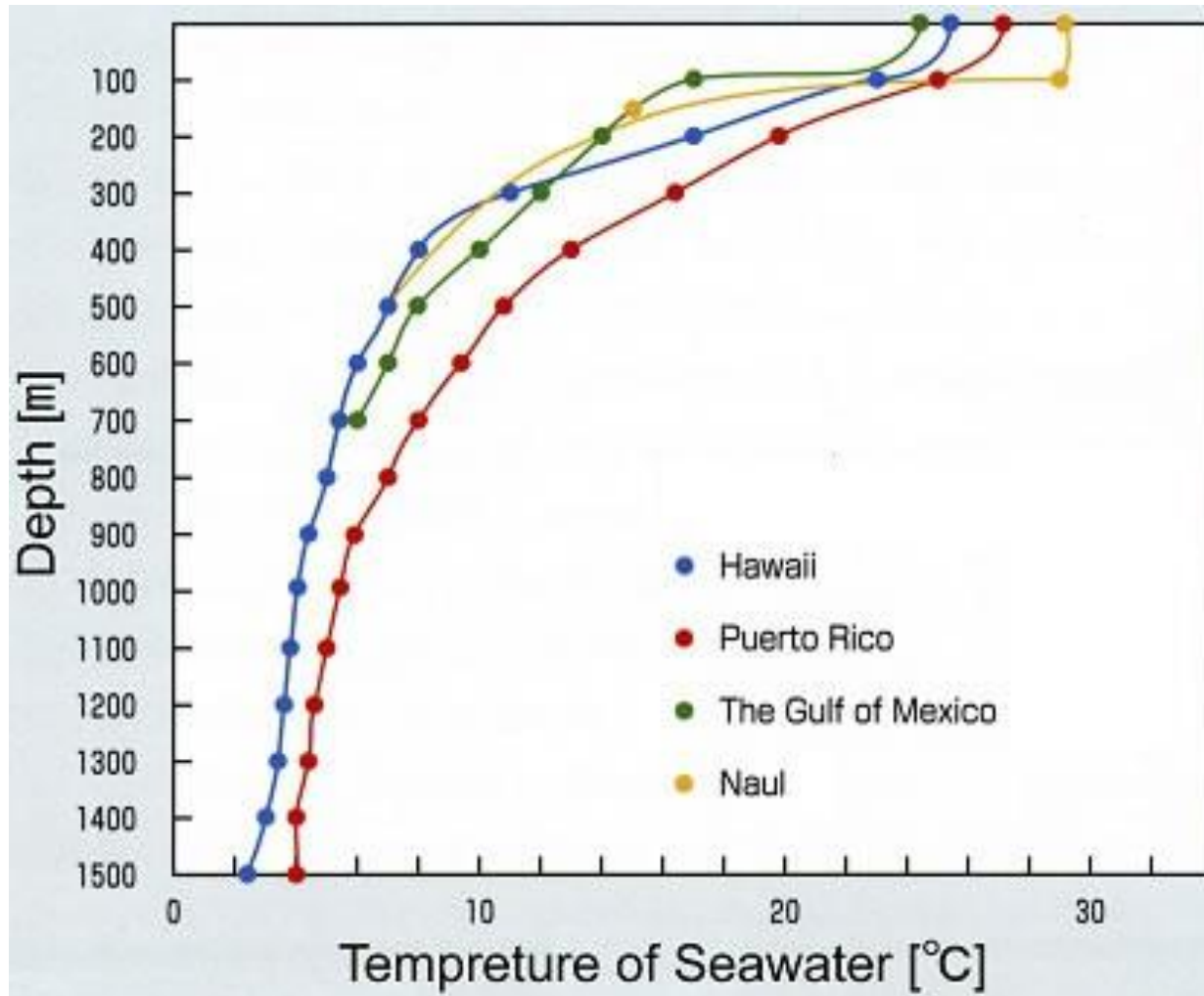
- 百分之七十之地球表面為海洋，共約140百萬平方英哩，因此，海洋為最大之太陽能收集和貯存器。6000萬平方公里的**熱帶海洋**平均每天吸收的太陽能，相當於2500億桶石油所含的熱量。
- 海洋表層與深層之溫度不同，一般在熱帶地區，地層與1000米深之海水溫差可達**25°C**。
- **海洋溫差發電**（OTEC）：利用熱帶洋面海水和**760米**深處的冷海水之間溫度差發電。
- 與潮汐或風能不同，海洋熱能轉換裝置最大優點是可以不受潮汐變化和海浪影響而**連續**工作。理論上，只要有**溫差**存在，即可抽取能量。實際上，溫差若愈大，則OTEC之效率愈高，成本愈低。

# 全球海洋熱能分佈情形

- 全球海洋表面和1000m之間的溫差分佈。



# 海水溫度和深度的關係



# 海洋熱能轉換理論

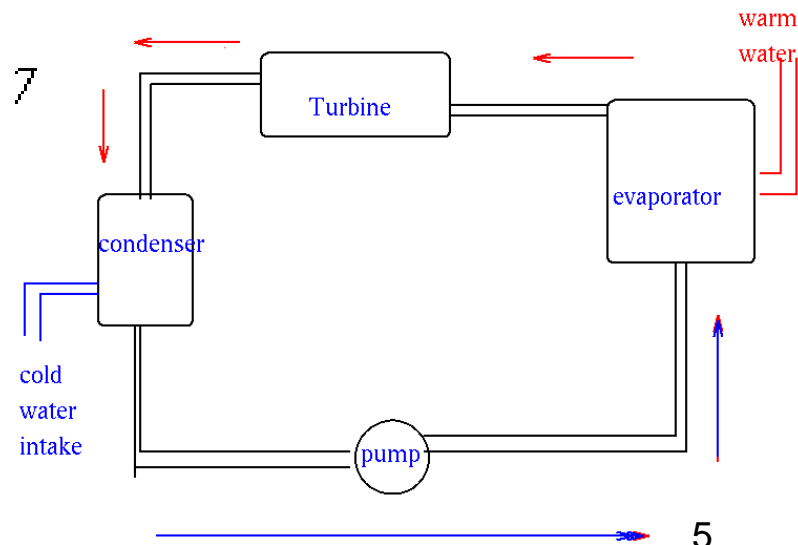
- 熱機(Heat Engine)的效率

效率=做功/輸入能量

效率= $1 - T_1/T_2$  ( $T_1 < T_2$ )

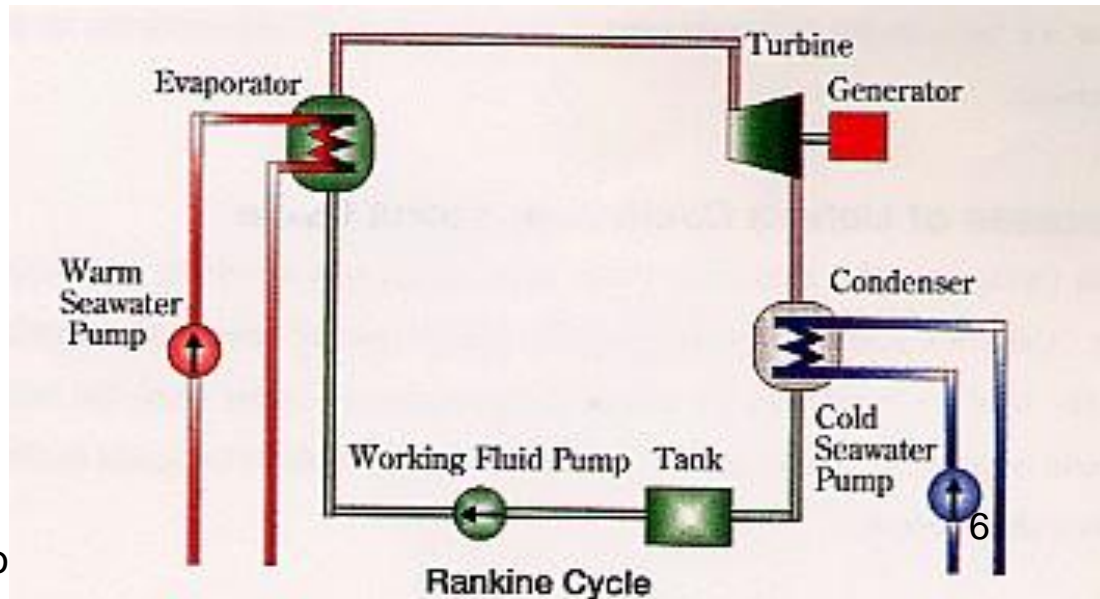
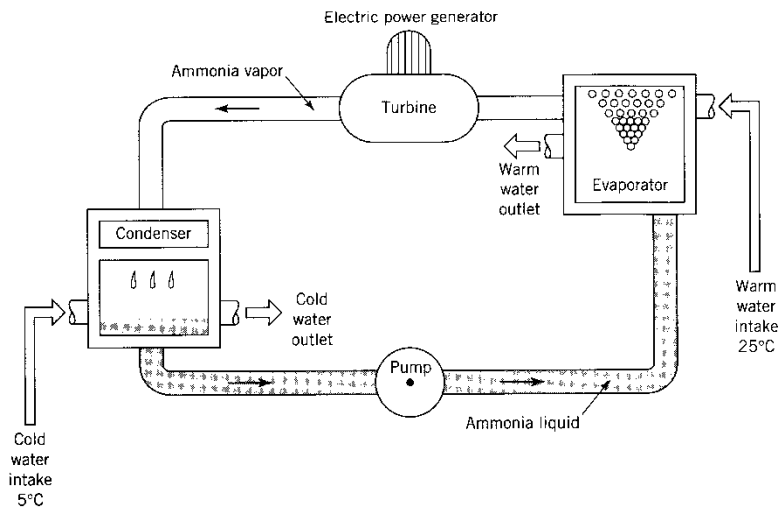
- 係利用海水溫差而產生動力。根據熱力公式，熱機如於  $7^\circ\text{C}$  與  $27^\circ\text{C}$  間運作，則其理論上最大效率為：

$$\eta_{\max} = \frac{T_h - T_c}{T_h} = \frac{27 - 7}{273 + 27} = \frac{20}{300} = 0.067 \cong 7\%$$

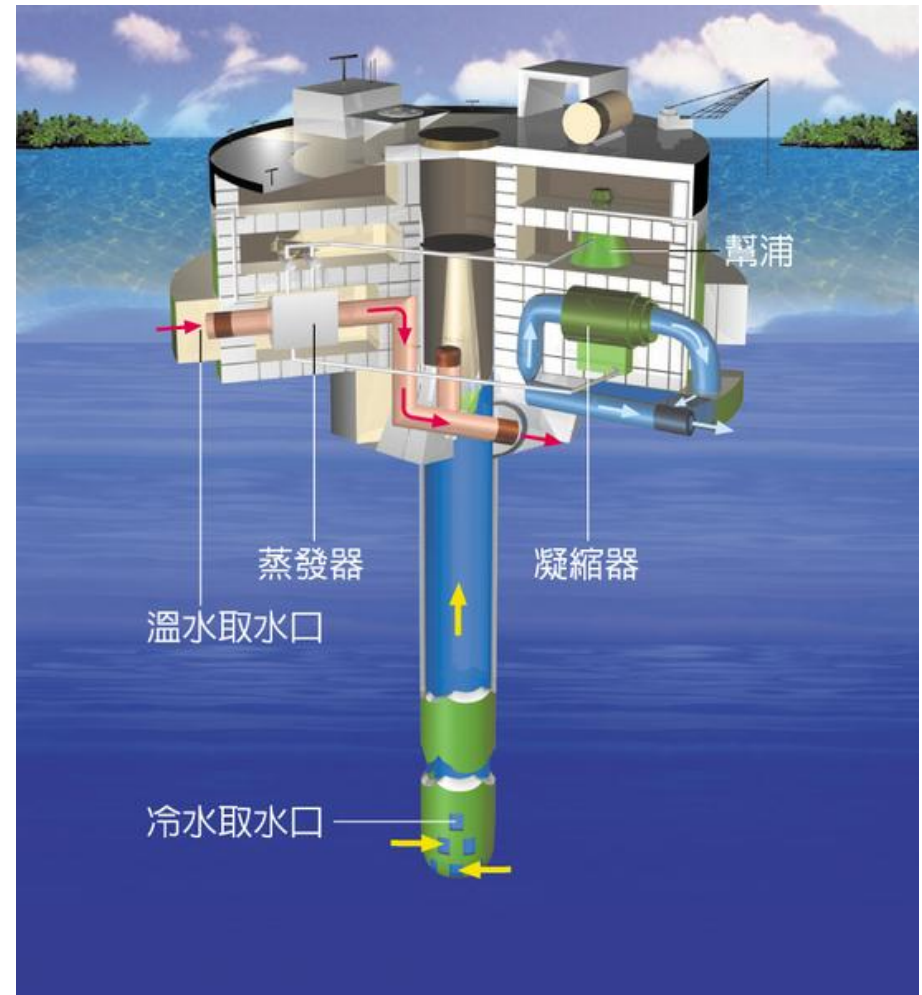
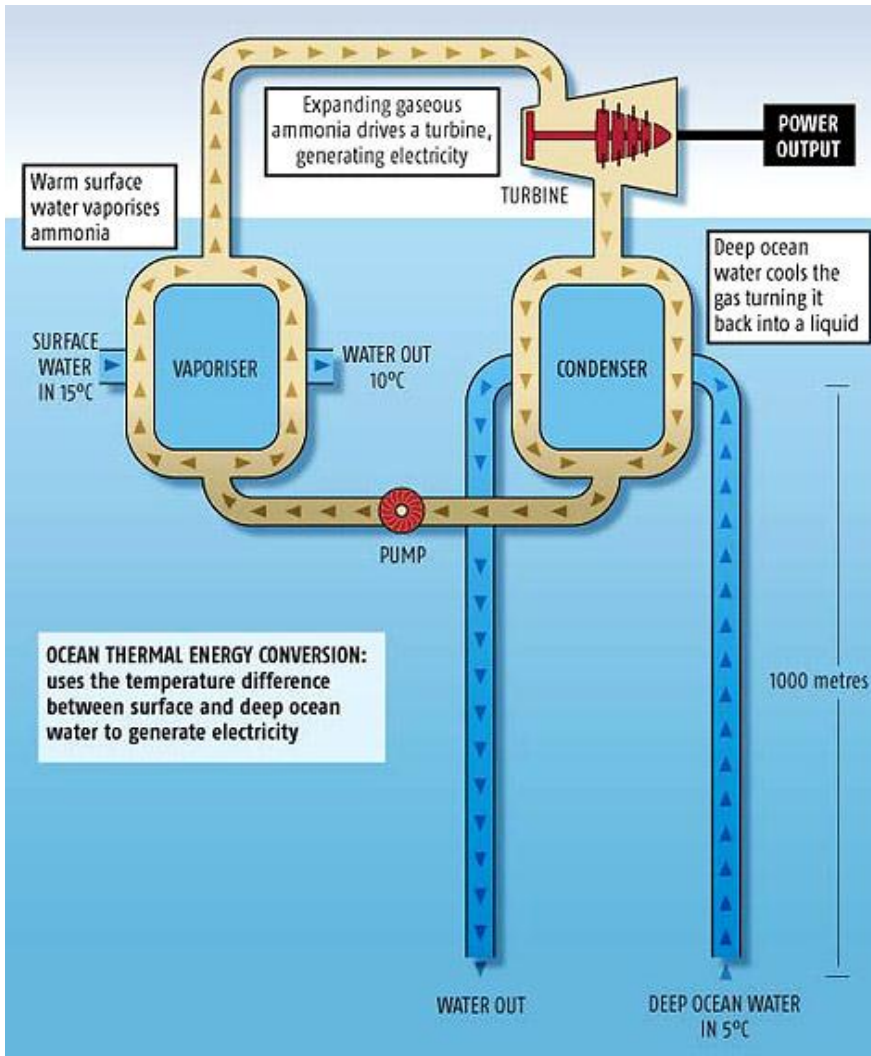


## 第二節 海洋溫差發電

- **溫差發電**工作原理：
- 海洋溫差發電是利用熱交換的原理來發電。首先需要抽取溫度較高的海洋表層水，將熱交換器裡面沸點很低的工作流體(Working Fluid) (如氨，氟利昂等)蒸發氣化，然後推動透平發電機而發出電力；再把它導入另外一個熱交換器，利用深層海水的冷度，將它冷凝而迴歸液態，這樣就完成了一個Cycle. 周而復始的工作。



# 溫差發電工作原理





# 海洋熱能轉換OTEC的發展

- 1881 年法國達森瓦 (Jacques Arsene d' Arsoval) 主張從海洋擷取熱能。
- 1927 年達森瓦的學生克勞德 (Georges Claude) 在古巴哈瓦那附近的瑪丹札斯 (Matanzas) 海灣進行岸上式海水溫差發電實驗，用低壓渦輪機實際發出22kW的電力。
- 1936年克勞德在巴西外海停泊的一個壹萬噸的貨船上，蓋了另一座OTEC，結果被天氣與海浪摧毀。
- 1956年克勞德為非洲象牙海岸國家設計了一個3MW的OTEC，恰逢石油大量開採，便宜的石油發電使得OTEC沒蓋成。
- 1962年安德森 (J. H. Anderson) 設計了封閉式循環系統 (closed-cycle)，並在1967年申請專利。



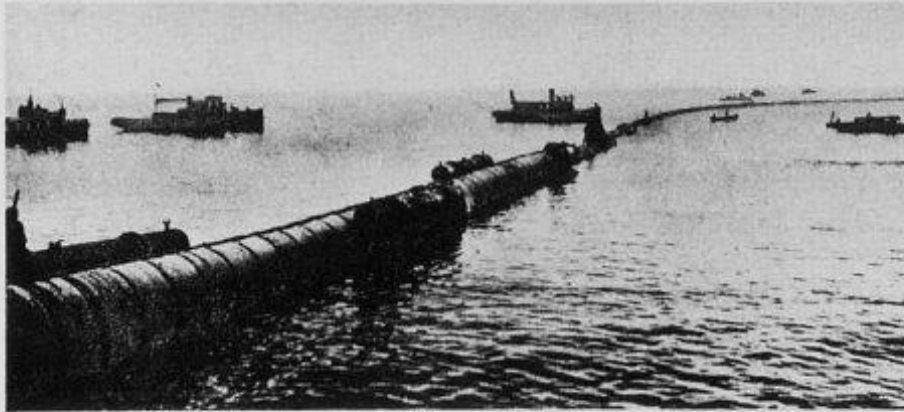
- 1974年美國在夏威夷Kona海岸建造一間“夏威夷自然能實驗室”試驗OTEC技術。由於海面溫暖，深海溫度夠低，電費也是美國最高的，可說是OTEC的最佳場所。
- 1979年，實驗室發展一個迷你的OTEC實驗，成功的以封閉式循環系統，生產足夠的淨電力供應船上照明及電腦、電視之用。
- 美國能源部於1980年正式建造了發電量1,000 kW的OTEC-1，裝設在一艘由美國海軍油輪所改裝的封閉式循環OTEC系統。





1. Bay of Matanzas (1920)
2. Cuba (1930)
3. OTEC-1 (1981)

## Energie thermique des mers



1930 : Expérience de mise à l'eau d'un tube de 1,60 m de diamètre et de 2 km de long, à Cuba (Georges Claude).



# Mini OTEC (1979)

- 總功率50千瓦，  
淨輸出 18千瓦





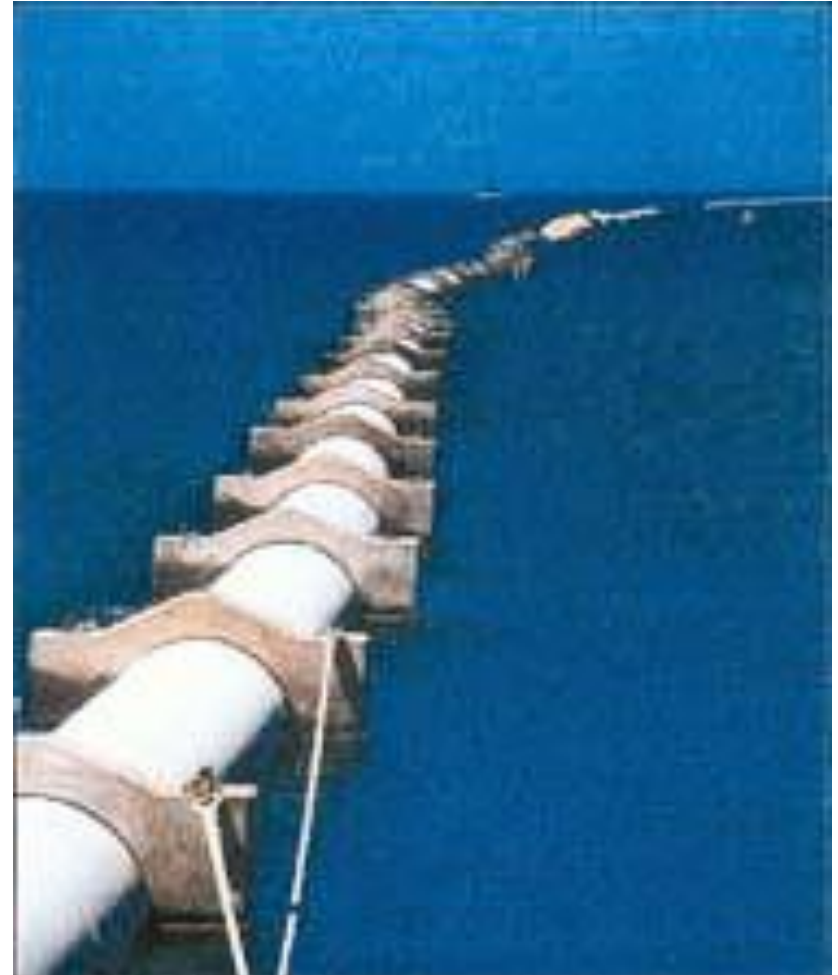
- 1984年美國太陽能研究機構（現名為”國家再生能源實驗室”），發展一種垂直噴射式的蒸發器給開放式循環OTEC，可將溫暖海水轉換成低壓蒸氣，其效率高達97%（整個OTEC的總效率仍在幾個百分比之間）。
- 1993年在夏威夷的一個開放式循環OTEC，進行淨電力生產實驗，生產了50kw的電力，打破了在1982年日本系統生產的40kw的電力紀錄。
- 1999年美國自然能實驗室又試驗了一個250kW封閉式循環OTEC，這是美國試驗過最大容量的OTEC，從此他們就不再研究封閉式循環OTEC，主要是能源生產的經濟因素。

# OTEC in Hawaii



- [http://zh.wikipedia.org/wiki/File:OTEC\\_in\\_Hawaii.jpg](http://zh.wikipedia.org/wiki/File:OTEC_in_Hawaii.jpg)

# OTEC in Hawaii



- 印度政府對OTEC產生了興趣，已經蓋了並計劃試驗一個 **1MW** 漂浮式的封閉式循環OTEC，並贊助這OTEC技術的各項研究與發展。
- 1970年，日本東京電器公司在諾魯（Nauru）島蓋了一間100kW的封閉式循環OTEC電廠，1981產生了120kW的電力。
- 台灣東部海域的海底地形陡峻，離岸不遠處水深即達1,000公尺，是極具有開發OTEC潛力的地區，政府也投入了經費研究與調查，但仍有許多問題需要考量與評估，如開發成本與經濟效益等。



# 瑙魯發行紀念郵票 熱能轉換示範廠

- 總功率100千瓦

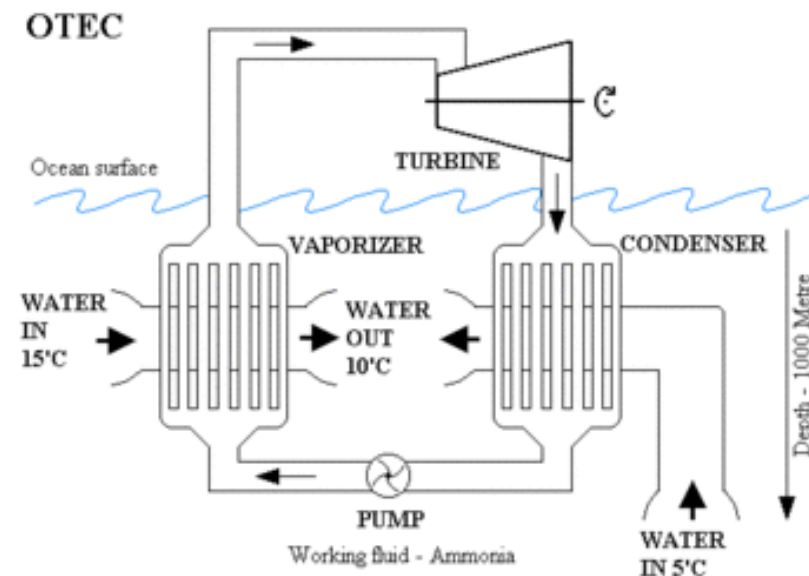
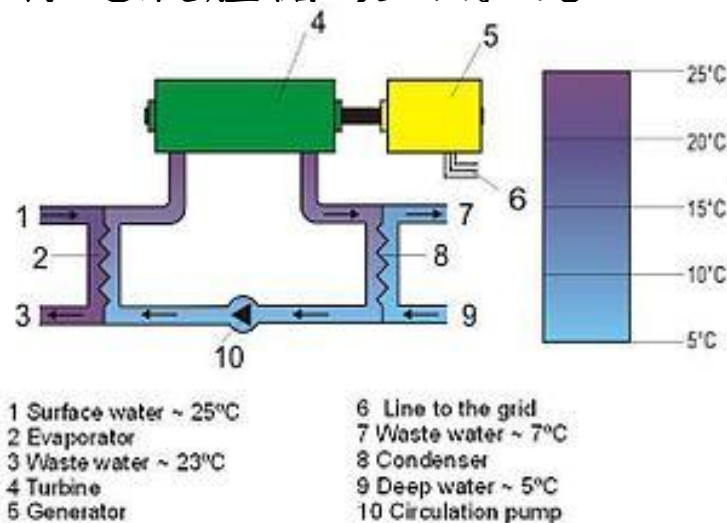


## 第三節 海洋熱能轉換OTEC 技術

- 封閉循環(close loop systems)
- 開放循環(open loop systems)
- 複合式循環(Hybrid systems)

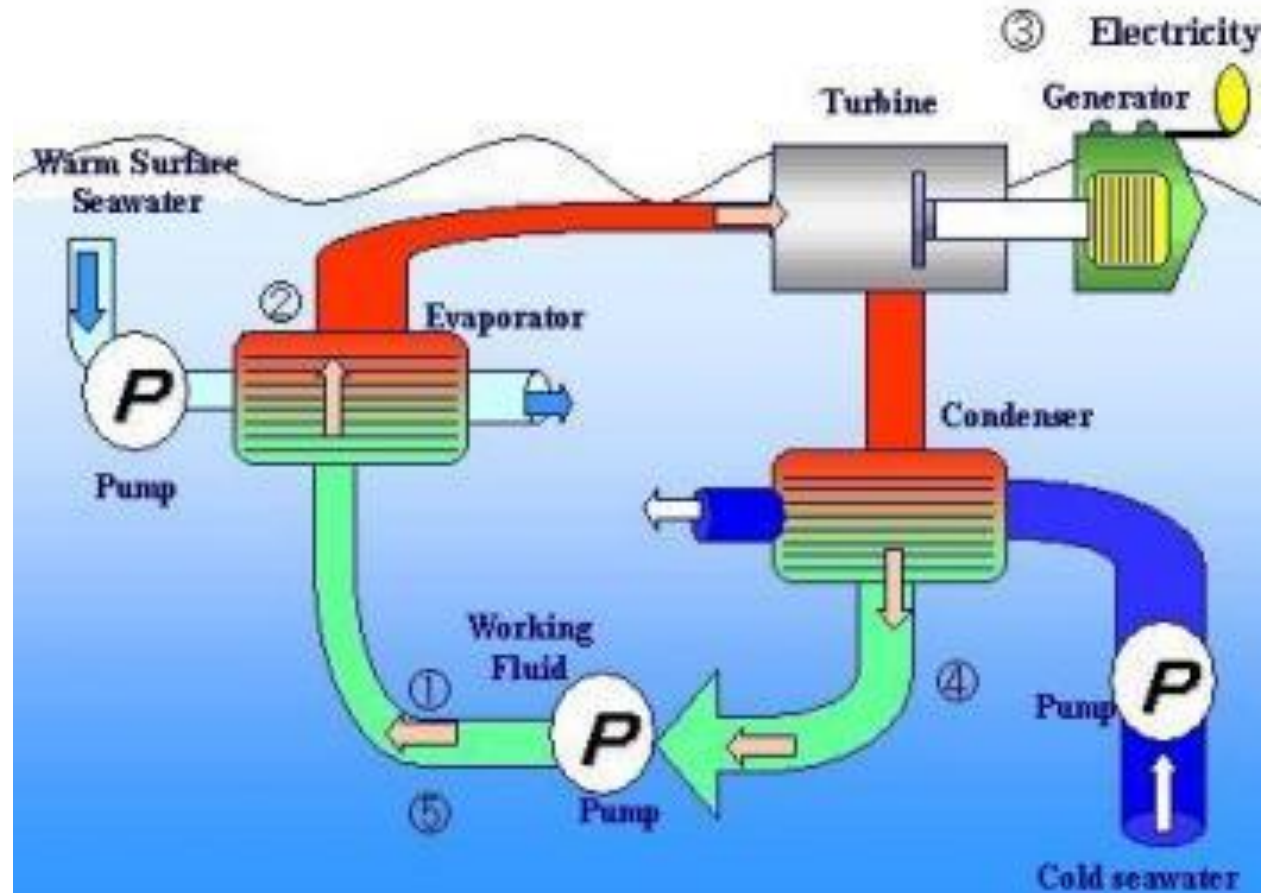
# 封閉循環

- 封閉循環 (close cycle) 用的是一種例如阿摩尼亞等低沸點的工作流體，以趨動渦輪機來發電。
- 將水面的暖和海水泵送通過一熱交換器將低沸點流體蒸發。該膨脹的蒸氣隨即帶動渦輪發電機旋轉。接著，將深層冷海水泵送通過第二道熱交換器，將蒸氣凝結回到液體，再將這液體循環回系統。



# 封閉循環

封閉循環使用系統的熱情地表水蒸發低沸點液體，如氨。由於蒸汽沸騰和發展，它驅動渦輪機，然後激活一個發電機產生電力。



# 封閉循環的海洋熱能轉換

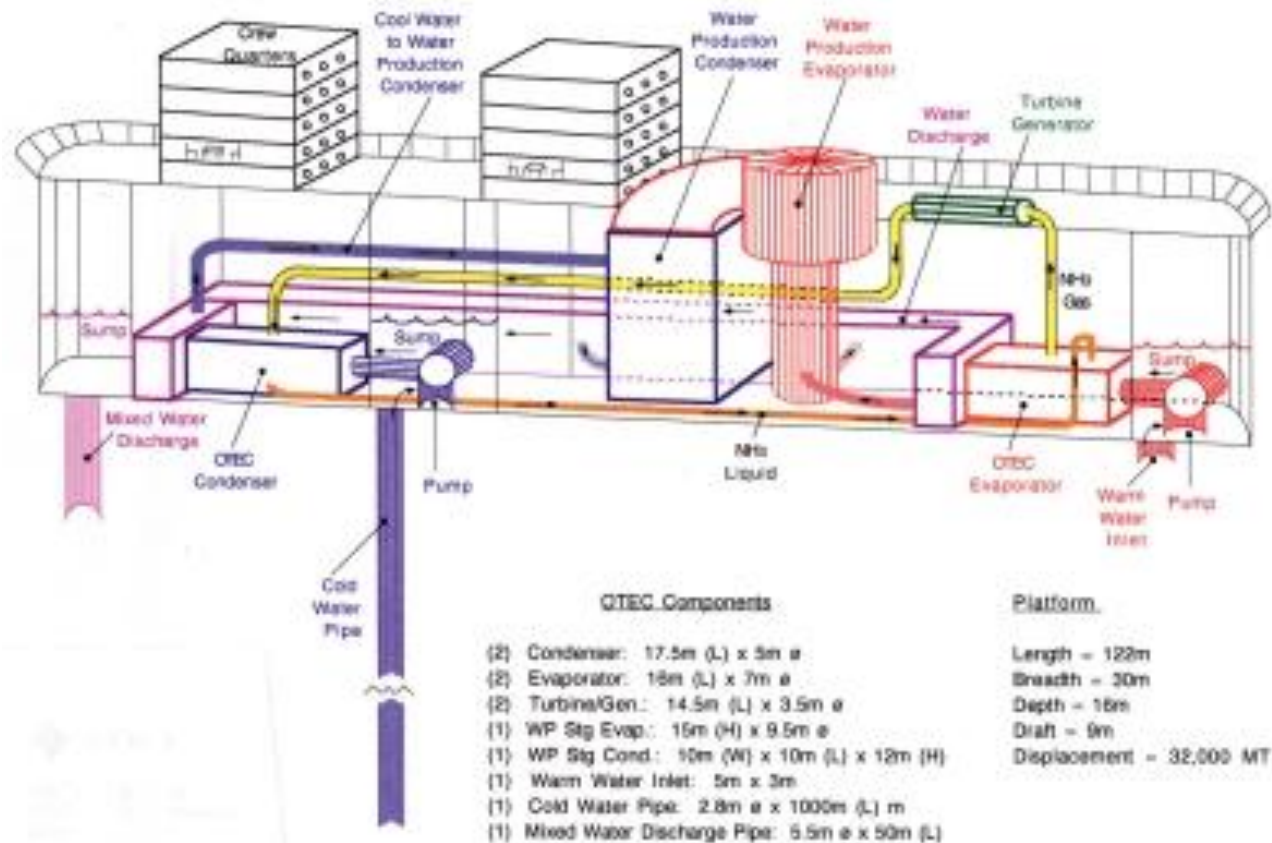


- 日本佐賀大學和印度NIOT合作的”薩加爾- Shakthi”的1MW電廠，使用封閉式循環海洋熱能轉換。



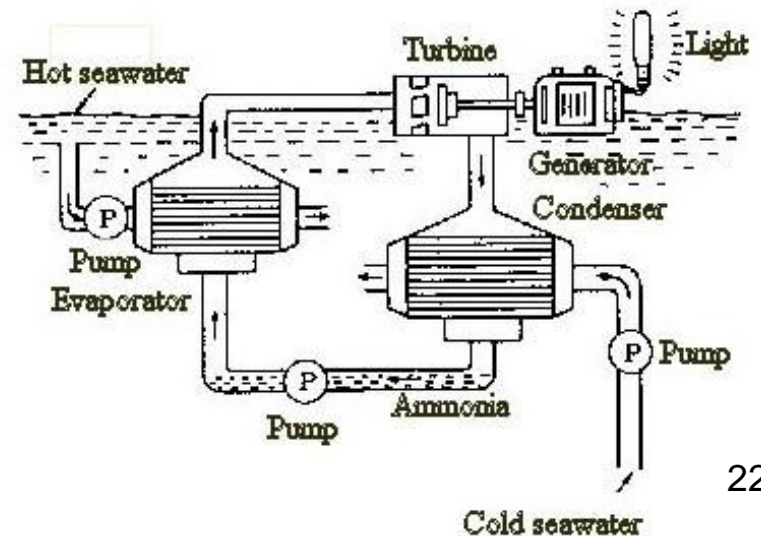
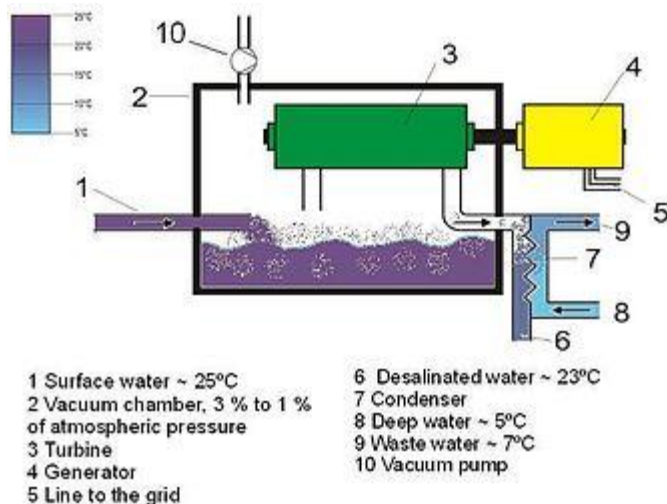
假設溫度 26 °C 和 4.5 °C 的表面和深海水域，在電力生產模式，總功率 7.920MW 的輸出，廠內消耗 2.66MW，輸出 5.26MW。

## 5 MWe OTEC Pre-Commercial Plant



# 開放循環

- 開放循環式 (open cycle) OTEC 利用熱帶海洋表面暖水發電。
- 當暖海水送入低於大氣壓的容器當中時，即沸騰，產生的膨脹蒸汽用來驅動與發電機相聯的低壓渦輪機。
- 該蒸汽將其鹽分留在低壓容器當中，而幾乎成了純淡水，藉由與深層冷海水交換，其接著可凝結成為液體。

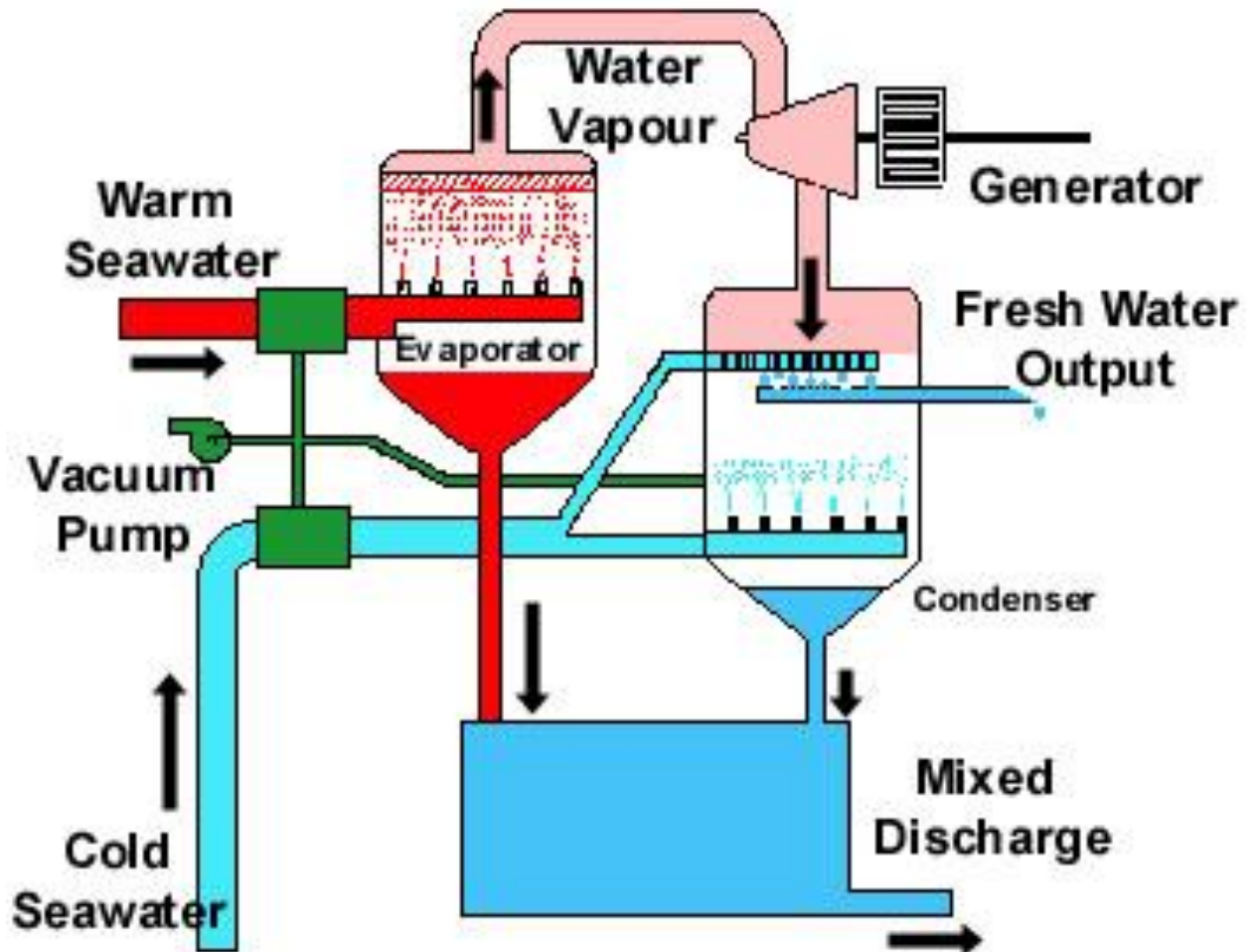




# 開放循環

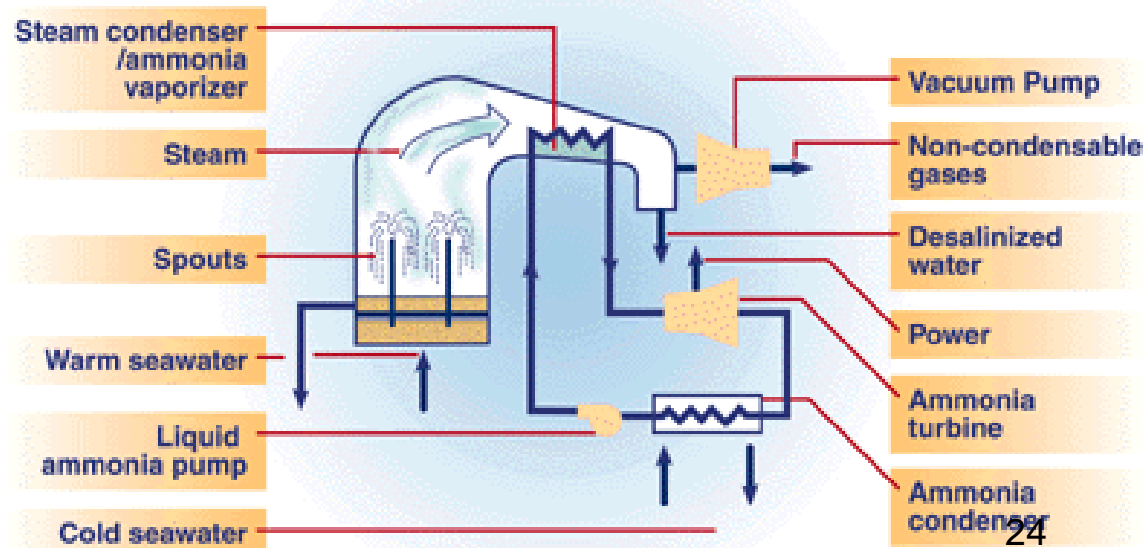
溫海水在1%-3%  
大氣壓下蒸發，  
產生低壓蒸汽，  
可用於驅動渦  
輪機。

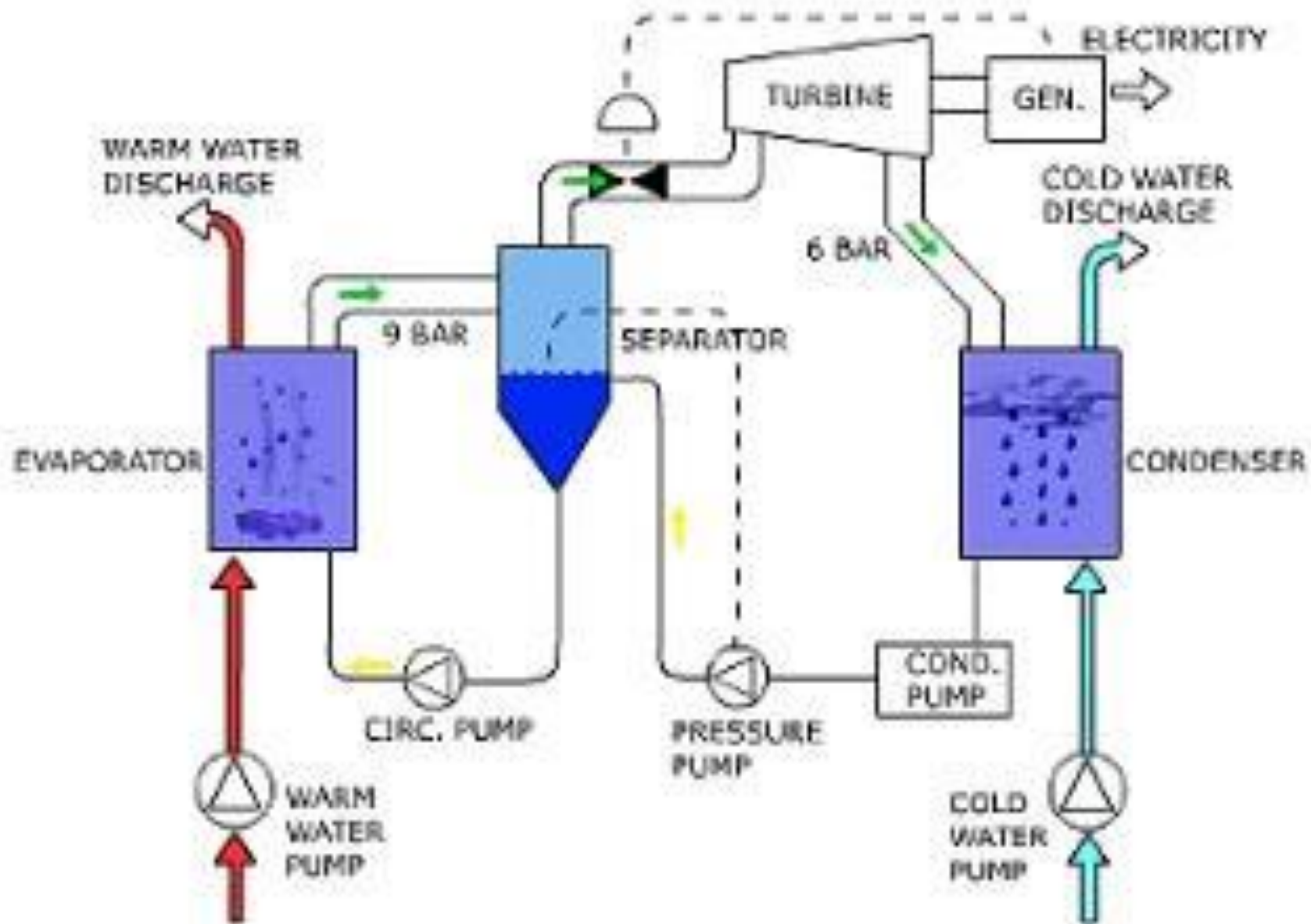
冰海水用來冷  
卻低壓蒸汽，  
可回收為淡水。



# 複合式

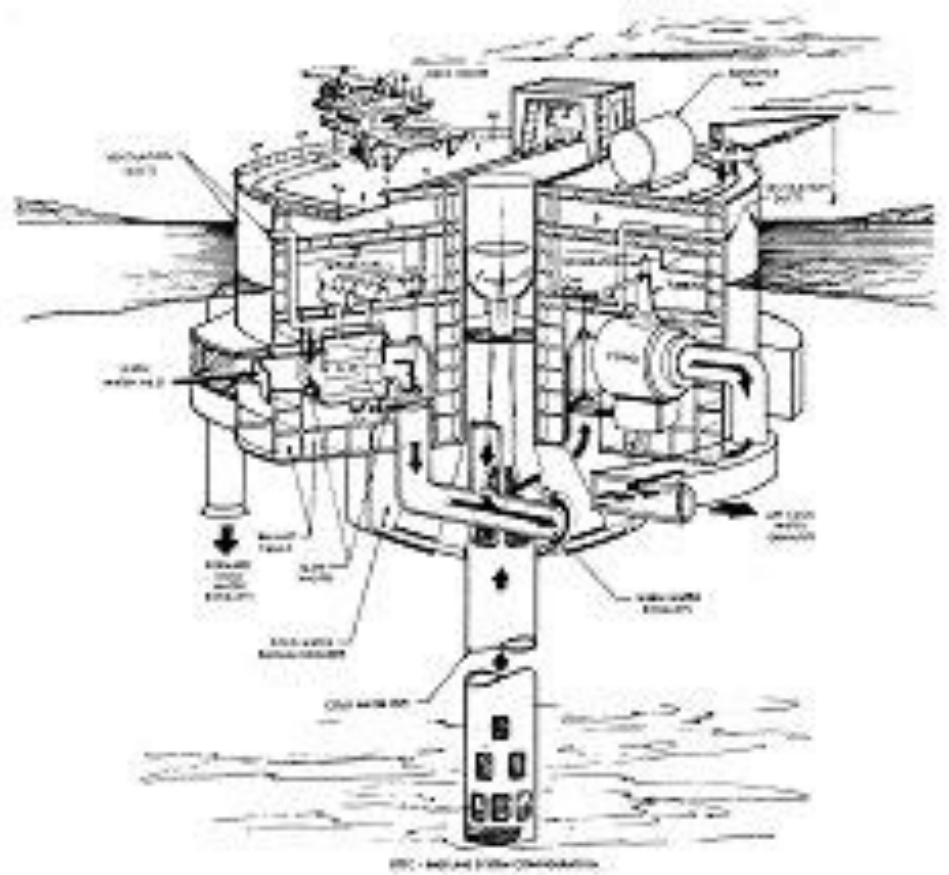
- 混合系統的設計在結合封閉循環和開放循環的特點。
- 混合系統的工作流程包括溫暖海水進入了一個真空室，蒸發成蒸汽（過程非常相似開放循環蒸發過程）。然後蒸汽用來蒸發低沸點液體（例如氨，在一個封閉的循環迴路），驅動渦輪機來產生電





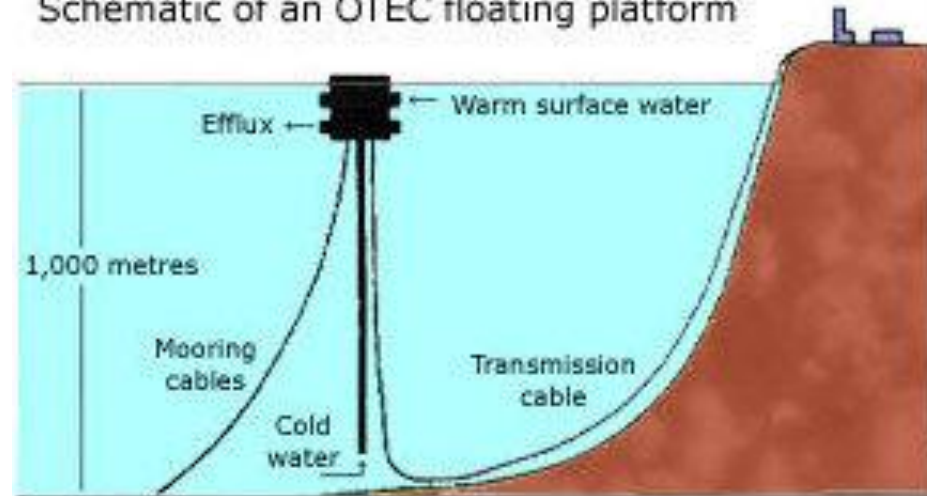
# 工程困境

- 熱帶海面的水溫通常約在 $27^{\circ}\text{C}$ ，深海水溫則保持在冰點以上幾度。這樣的溫度梯度使得海洋熱能轉換裝置的能量轉換只達3%~4%。
- 海洋熱能轉換裝置必須動用大量的水，方可彌補自身效率低的缺點。
- 實際上20%~40%的電力用來把水通過進水管道抽入裝置內部和熱能轉換裝置四周。儘管OTEC裝置仍存在不少工程技術和成本方面的問題，但它畢竟有很大潛力。





Schematic of an OTEC floating platform



## 第四節 海洋熱能轉換OTEC 之經濟性

- OTEC 的優點可大致歸納如下：
  - 利用海洋所蘊藏的龐大熱能，取之不盡，用之不竭，屬可再生能源，
  - 運轉不需燃料亦無大氣排放，屬潔淨能源，
  - 發電廠可坐落於海岸或海上，土地需求小，
  - 可同時作為淡水水源，
  - 可產生氫、冷凍、空調、冷藏、藥品等副產品，
  - 可利用深層海水中的礦物質、營養鹽、微生物等，兼作養殖、蔬果、休閒觀光等多目標用途。



- 海洋熱能轉換OTEC的缺點與發展限制，可歸納如下：
  - 相較於其它發電方式，其投資成本偏高，
  - 在技術層面上，相關的例如冷水管的裝設及海洋天候的挑戰等仍難以克服，
  - 相較於其它發電方式，其能源轉換效率偏低。

- 海洋熱能轉換OTEC 的（經濟）效益
  - 協助生產像是氫、阿摩尼亞及甲醇等燃料，
  - 產生基礎負載電能，
  - 產生工業、農業及生活所需要的淡化水，
  - 同時為沿近岸水產養殖經營的資源之一，
  - 提供建築所需空調，
  - 提供中溫冷藏
  - 對於提供未來所需潔淨而成本有效電力深具潛力。

# 海洋熱能轉換OTEC 的市場

- 一項經濟分析指出，未來五到十年內OTEC 電場有可能在四個市場上具有競爭力。
  - 頭一個市場是位於南太平洋的小型島國及美國夏威夷的Molokai島。
  - 第二個市場是在美國屬地像是關島和美屬薩摩亞（Samoa）。
  - 第三個市場是在夏威夷，一個搭配了一套二級海水淡化系統的大型、陸基、封閉循環OTEC 電場。
  - 第四個市場是浮動、封閉循環、額定在40 MWe 以上的，透過海底電纜將電傳輸到岸上的OTEC 電場，應屬成本有效。

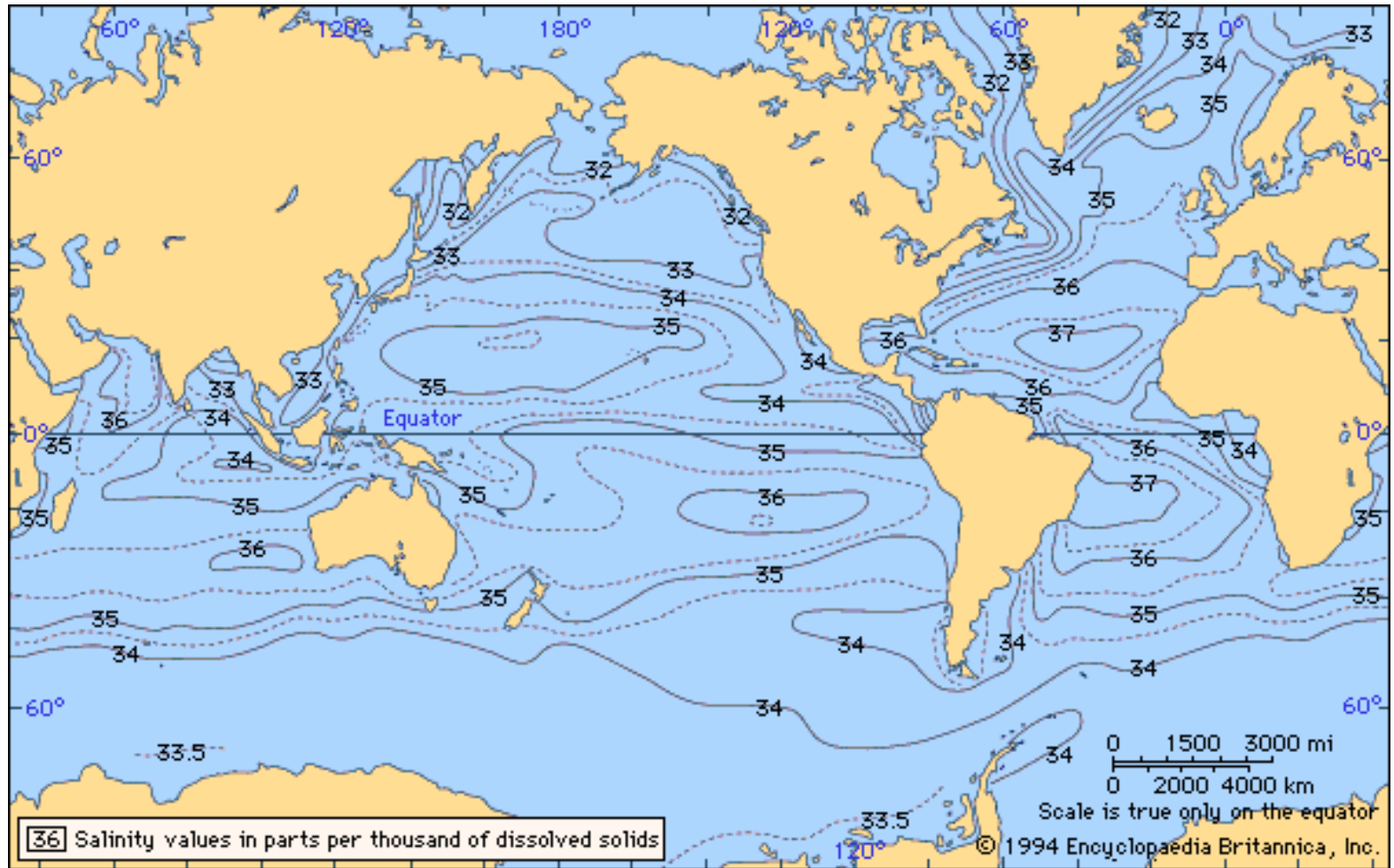
# 台灣發展狀況

- 台灣四面環海，海洋就是得天獨厚的資源，實在不應該忽視海洋溫差發電的可能性。
- 台灣東部面臨太平洋，沿岸陡降，離岸不遠處水深即可達 1,000 公尺，海水溫差經年維持在 20°C 以上，且有黑潮暖流通過，有利於溫差的提高，因此為最有開發海洋溫差發電潛力的地區之一。
- 台灣具有發展海溫差發電的潛力。但就現今台灣的環境觀察，對於海洋溫差發電仍有許多的問題需要考量與評估，其發電的成本難以與燃煤及燃油發電相競爭。
- 但在能源多元化與開發自產的政策之下，可見的未來，台灣的海洋溫差發電將是未來能源之星。

# 第五節 海洋鹽差發電

- **鹽差能** (Ocean Salinity Energy) 是指海水和淡水之間或兩種含鹽濃度不同的海水之間的化學電位差能。
- 在海水和江河水相交匯處，蘊含著一種鮮為人知的**鹽差能**。據估算，地球上存在著26億千瓦可利用的鹽差能，其能量甚至比溫差能還要大。
- 淡水豐富地區的鹽湖和地下鹽礦也可以利用**鹽差能**。
- 海水（35‰鹽度）和河水之間的**化學電位差**有相當於240m**水頭差**的能量密度。
- 在死海，淡水與鹹水間的滲透壓力相當於5000m的水頭。
- 鹽差能是海洋能中密度最大的。
- 海洋鹽差能發電的設想是1939年由美國人首先提出的。

# 海洋鹽差能分佈



# 第五節 海洋鹽差發電

- 海水性質
  - 鹽度 (salinity) 指的是用以量度或表示海水中溶解物之總量。
  - 通常以海水之水溶解鹽之重量當中有幾份來表示。各地海水差異甚大，從30.5‰ 至35.7‰之間都有。
  - 全球平均來說，海水的鹽度大約是34.73 ‰。鹽份越高之海水，密度亦越大。鹽分在水表面最低，隨著水深遞增。
  - 開發存在於淡水與鹽水間的壓力差，可以擷取到能量。此能量稱為滲透能。而淡水和鹽水之間的能量差稱為鹽分梯度。



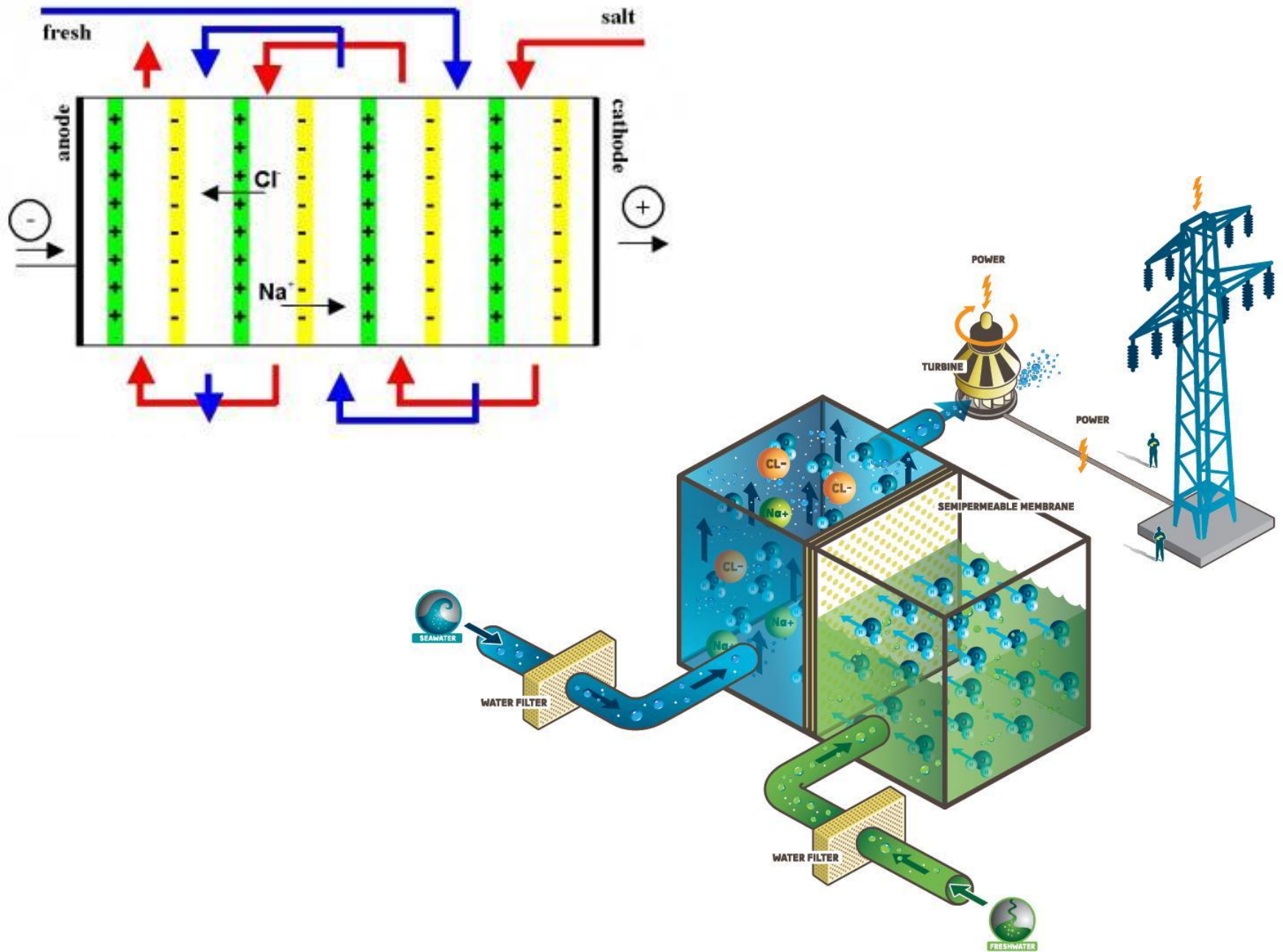
# 鹽差能發電原理

- **鹽差能**發電的原理是：當把兩種濃度不同的鹽溶液倒在同一容器中時，那麼濃溶液中的鹽類離子就會自發地向稀溶液中擴散，直到兩者濃度相等為止。所以，**鹽差能**發電，就是利用兩種含鹽濃度不同的海水化學電位差能，並將其轉換為有效電能。
- 科學家經過周密的計算後發現在  $17^{\circ}\text{C}$  時，如果有 1 摩爾鹽類從濃溶液中擴散到稀溶液中去，就會釋放出 5500 焦的能量來。
- 科學家由此設想：只要有大量濃度不同的溶液可供混合，就將會釋放出巨大的能量來。
- 經過進一步計算還發現，如果利用海洋鹽分的濃度差來發電，它的能量可排在海洋波浪發電能量之後，比海洋中的潮汐和海流能量都要大。

- 鹽類是海水的主要成分，當鹽與水混合時，或是淡水與海水互相混合時，便有一些化學能釋放出來，
- 計算結果指出：1立方公尺/秒淡水和海水互相混合的過程，會放出2.24MW的能量，
- 以非洲的剛果河為例，它的流量為每秒57,000立方公尺；當它流入大海時理論上會釋放出128,000百萬瓦的功率，以發電效率25%來估算，只要利用十分之一的流量仍可輸出3,200百萬瓦，這是相當可觀的一種海洋能源。

# 鹽差能發電技術

- 鹽差能的利用主要是發電。
- 其基本方式是將不同鹽濃度的海水之間的化學電位差能轉換成水的勢能，再利用水輪機發電，具體主要有滲透壓式、蒸汽壓式和機械—化學式等，其中滲透壓式方案最受重視。
- 將一層半滲透膜放在不同鹽度的兩種海水之間，通過這個膜會產生一個壓力梯度，迫使水從鹽度低的一側通過膜向鹽度高的一側滲透，從而稀釋高鹽度的水，直到膜兩側水的鹽度相等為止。此壓力稱為滲透壓，它與海水的鹽濃度及溫度有關。
- 目前提出的滲透壓式鹽差能轉換方法主要有水壓塔滲壓系統和強力滲壓系統兩種。



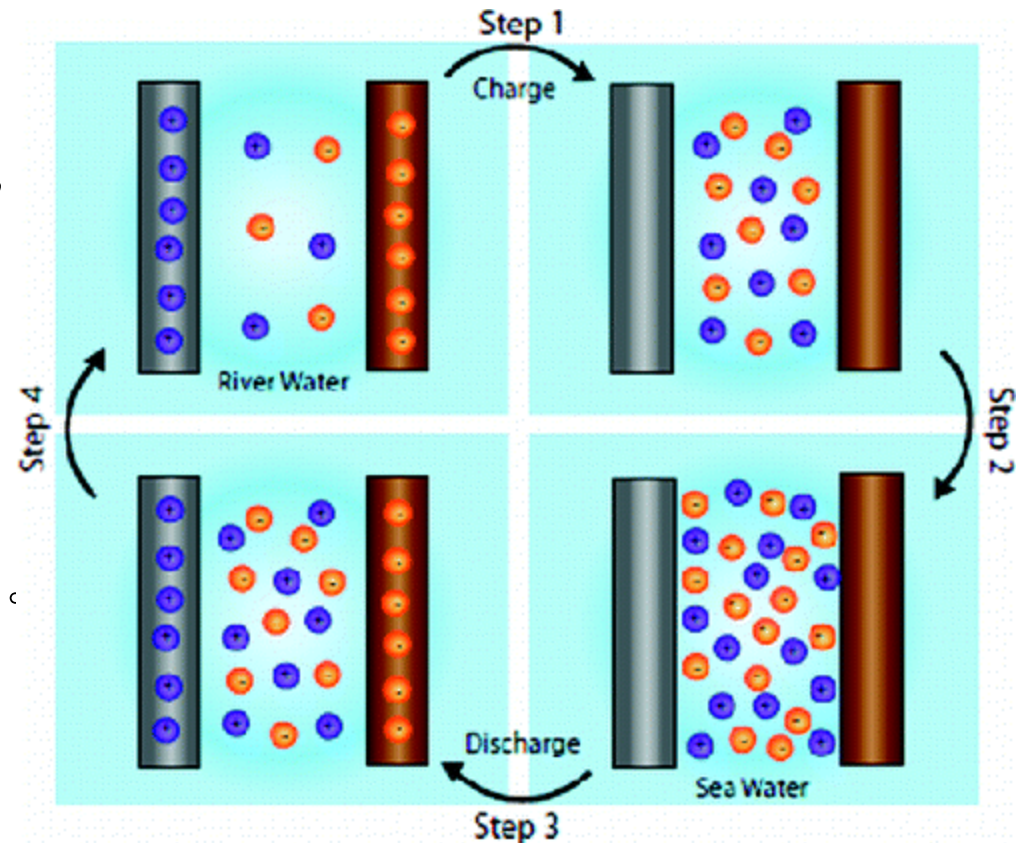
- 獲取鹽差能量的方法有幾種
- 第一為滲透式能量轉換系統，將兩個不同濃度的溶液（例如淡水和海水）以半滲透膜隔開，再將滲透膜兩端的壓力差轉換成電能。
- 第二為利用不同濃度的溶液所具有的蒸汽壓力差。
- 第三為利用電析方法，藉著離子交換膜產生電位差。
- 第四為太陽能鹽水池，藉著淡水和鹽水之間的密度差來阻止水池內因日曬所造成的熱對流現象，而達到吸熱和儲熱的效果。

# PRO 與RED 鹽差發電廠

- **鹽分梯度能源**的原理是擷取河水（淡水）與海水（鹽水），當中因鹽度差異所存在的能量。
- 在RED逆電析法當中，會使用裝在淡水與海水交替的容器中的選擇性離子膜（ion selective membranes），而離子會在其中藉著自然擴散，穿過膜片而生成低電壓直流電。
- 在PRO 壓力遲滯滲透膜法當中，用的是另一類型的膜，類似用於海水淡化的逆滲透膜。
- 鹽度能是再生能源當中，尚待開發的最大能源之一。據估計全世界可每年擷取達2000 TWh。

# 從淡水和海水獲取能量的電池

1. 兩種類型的電極棒放置在河水(低鹽度)中，電池充電
2. 這條河的水慢慢被海水取代，造成電極棒之間的電位差吸引 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$
3. 當電極吸收過多離子，造成電池放電
4. 海水正在慢慢被河水取代，電位差減小，釋放更多能量。
  - 每秒50立方米的淡水可產生100MW的電力，可供電 10萬家庭





# 鹽度發電的優點

- 沒有CO<sub>2</sub> 和任何重大排放，或對人體健康和全球性環境的影響，
- 屬完全可再生，
- 非間歇性（不同於風力或波浪發電），
- 適合於小型或大型規模電廠。



# 鹽差電廠的主要缺點

- 為求達到必要的效率，一些電廠設備尚待開發，
- 需要大筆建廠投資成本，大多數用於建築與機器，
- 能源成本受薄膜成本與效率的影響甚鉅，
- 電廠所用的膜易受到污損（fouling）。

- 理論和實際都證明，在兩種不同濃度的鹽溶液中間置一滲透膜，低濃度的溶液就會向濃度高的溶液滲透。這一過程一直要持續到膜兩側鹽濃度相等為止。
- 根據這一原理，可以人為地從淡水水面引一股淡水與深入海面幾十米的海水混合，在混合處將產生相當大的滲透壓力差，該壓力差將足以帶動水輪機發電。
- 據測定，一般海水含鹽濃度為3.5%時，所產生的滲透壓力相當於25個標準大氣壓，而且濃度越大，滲透壓力越大，例如在死海其滲透壓力甚至相當於5000m的水頭。
- 滲透壓式鹽差能發電系統的關鍵技術是半透膜技術和膜與海水介面間的流體交換技術。

- 鹽差能的利用方式主要是發電。
- 其工作原理是將不同鹽濃度海水之間的化學電位差能轉換成水的勢能，再驅動水輪機發電。
- 鹽差能轉換中最受關注的滲壓式方案，其中水壓塔系統水壓塔滲透壓系統主要由水壓塔、半透膜、海水泵、水輪機——發電機組等組成。其中水壓塔與淡水間用半透膜隔開，水壓塔與海水之間用海水泵連通。
- 系統工作過程是：先由海水泵向水壓塔內充入海水。同時，由於滲透壓力的作用淡水從半透膜向水壓塔內滲透，使水壓塔內水位升高。當水位上升到一定高度後，變從塔頂的水槽溢出，衝擊水輪機旋轉，帶動發電機組發電。為使水壓塔內的海水保持一定的鹽度，必須用海水泵不斷向塔內充入海水，以保持系統連續工作。
- 扣除海水泵等的動力消耗，系統的總效率約為20%。

~ END ~