

建構臺灣海洋能產業鏈：完善產業供應能量 線上研討會

海洋能發電系統整合與規劃

莊閔傑

富連海能源科技有限公司經理

天容寶節能科技股份有限公司經理

台灣海洋能發展協會理事長

社團法人台灣小水力綠能產業聯盟理事

2022.10.20



小水力 大海洋



變速恆頻小水力 永磁發電系統

傳統小水力發電採用勵磁同步發電機，經常只能運用全年水能量的 30-50%，嚴重浪費水力能量。

天容寶節能科技研發的變速恆頻水力發電系統，採用水輪機—永磁發電機—電能轉換系統，轉速不受限制，水大水小皆能發電，不僅可以全季節全天發電，枯水期也可不停機運行，還能完成最大水能功率捕獲，靈活高效利用水能。

淨零減碳好幫手

可避颱風的 波浪能發電裝置

富達海能源科技有限公司是一家創新能源開發公司，專注於獨家並由多項專利保護的海洋能發電轉換技術。

富達海能源科技所開發之岸基式波浪能發電系統，結合採用天容寶永磁發電機系統，突破傳統波浪能運用思維，成本低、機動性高，可有效擷取與運用波浪能量。



公司簡介



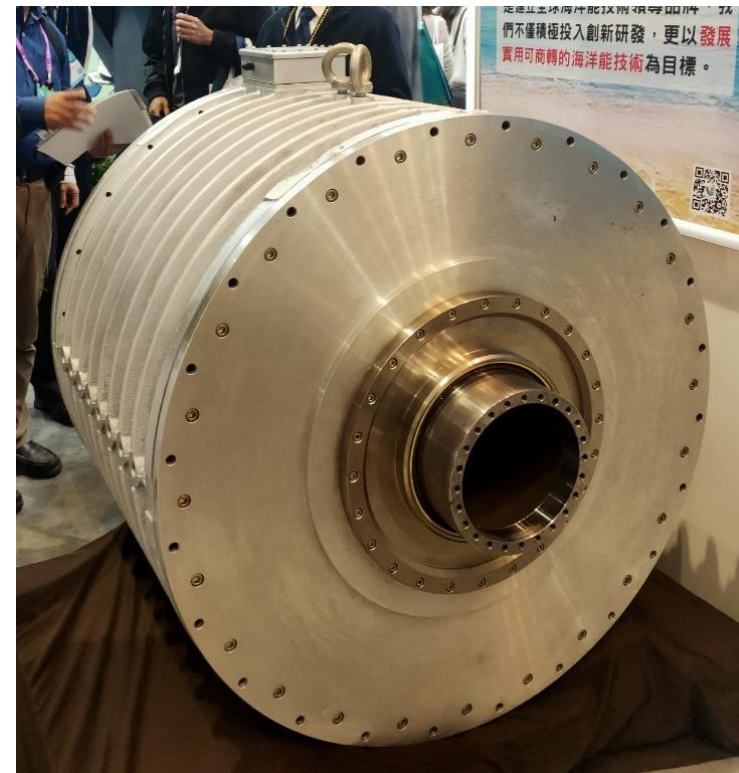
波浪能機組組裝過程





照片為波浪能機組
於海洋大學海洋能
測試基地
下海測試之照片
，與本機組所使用之
256極
永磁直驅發電機，
該發電機
可隨波浪
被浮筒
帶動來回擺動發電

**本產品已取得
多項發明專利**



2022

台灣國際智慧能源週

 19-21 Oct 2022

 台北南港展覽館1館一樓

展位號: J0431

天容寶節能科技股份有限公司
富連海能源科技有限公司

敬邀

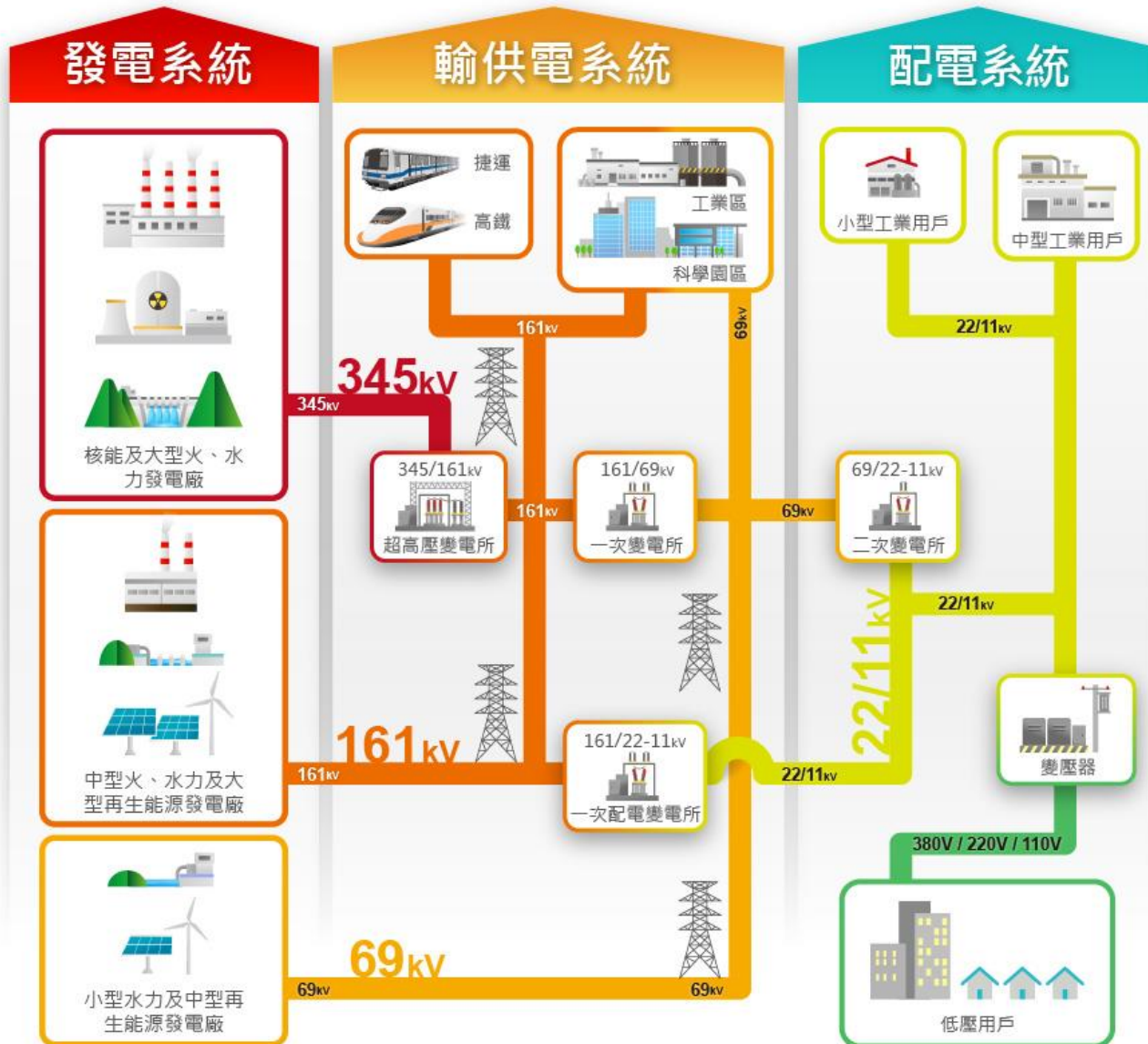
大綱

- **海洋能電力系統的構成**
- **海洋能發電系統的構成**
- **海洋能發電系統整合設計與規劃**

Q&A

海洋能電力系統的構成

台灣電力系統的構成(陸地)



- 電力系統主要由五個部分組成：發電系統(發電廠)、輸電線路、變電所、配電系統及用戶。
- 簡單的說，發電系統(發電廠)發出的電能，經過輸電線路送到變電所，降壓後送到配電系統，再由配電系統把電能分配到各用戶，這樣就構成電力系統。

海洋能發電與輸供電系統

海洋能發電系統

海洋能發電裝置
(轉換器、動力擷取裝置、發電機)

電能轉換系統
(變流器、變壓器)

輸供電系統

海上輸電系統
(交/直流電纜、集電系統、海上換流站/升壓站等)

(責任分界歸屬待確認)

陸域輸電系統
(陸上換流站、變電站等)

配電系統

區域電網輸供電系統
(輸電、配電)

海洋能發電系統的構成

海洋能發電系統構成

海洋能發電是一種能量轉換(擷取)的過程



海洋能發電系統架構

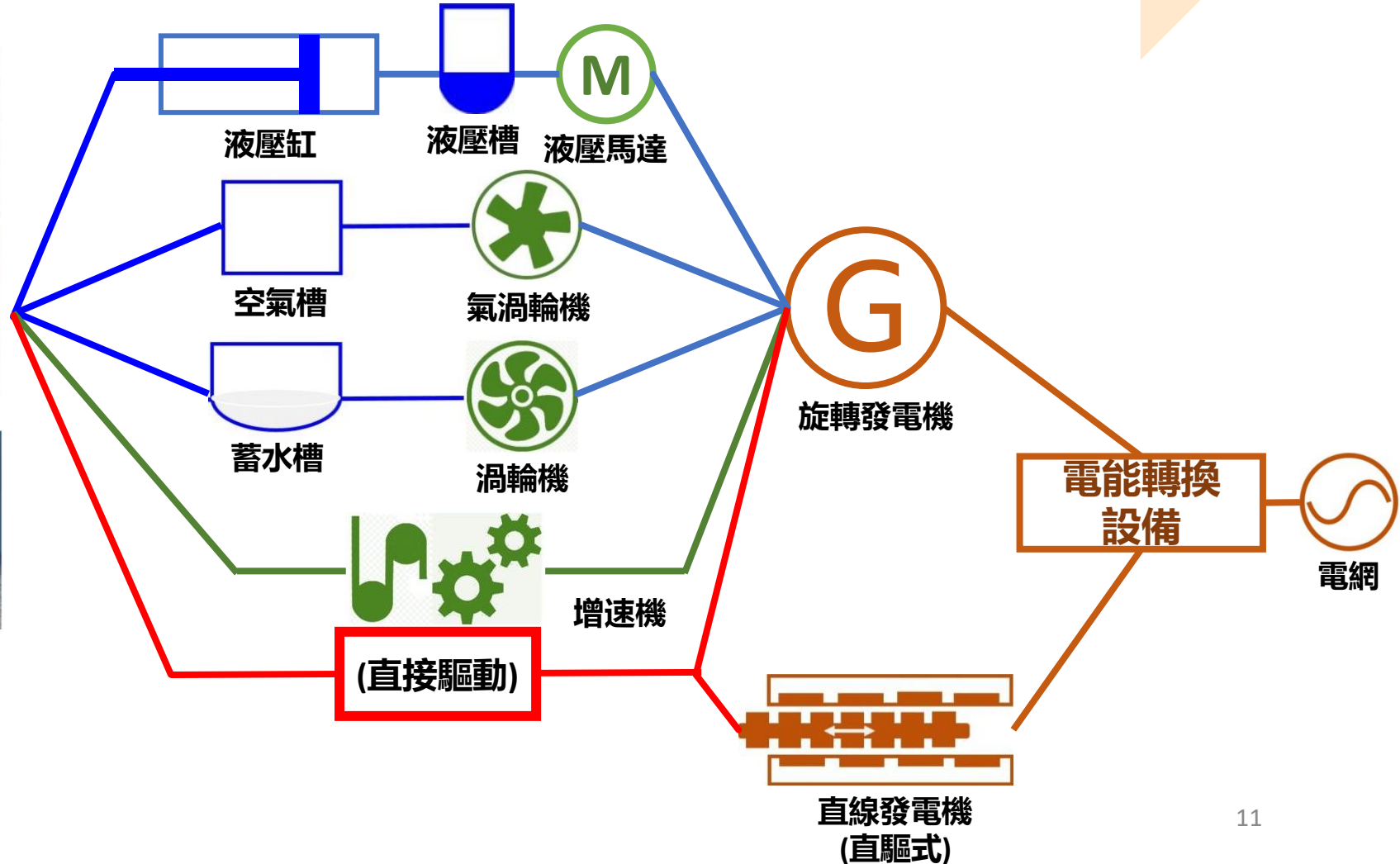
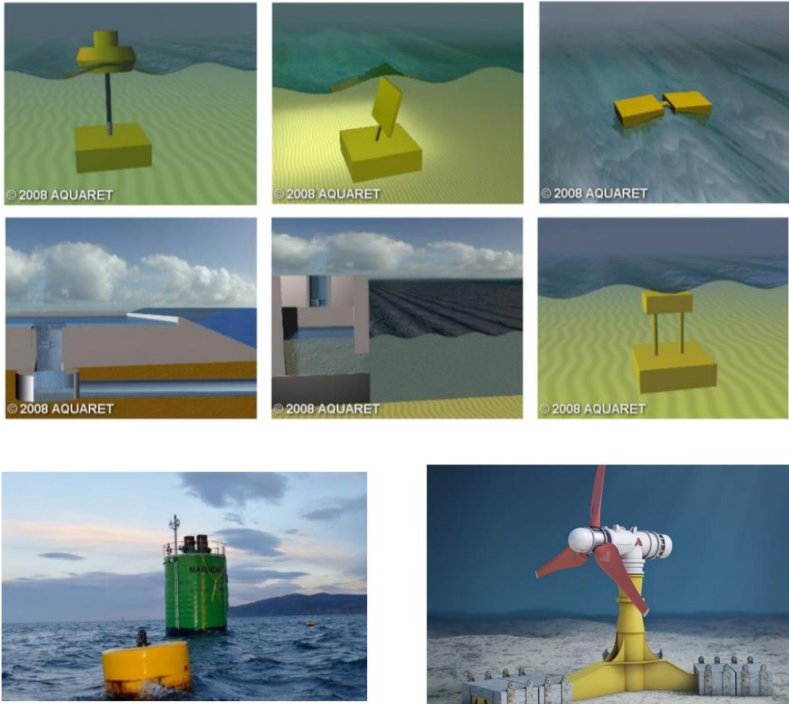
海洋能量

轉換器

動力擷取裝置

發電機

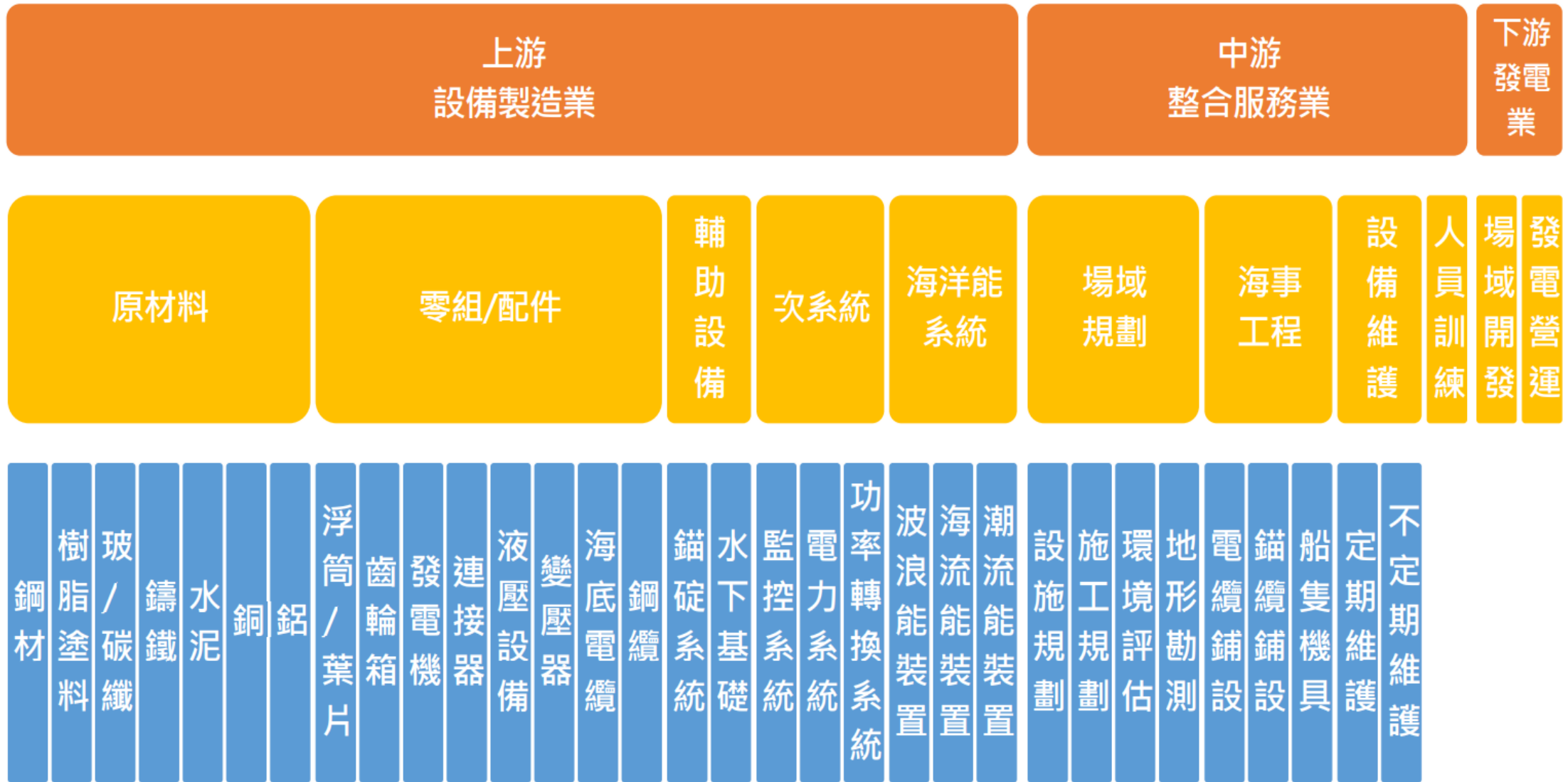
電力系統



參考資料:

1. 陳建宏, 波浪能發展的困境與前景

海洋能發電系統產業鏈關係圖



海洋能發電系統 整合與規劃

海洋能發展

需要政策、社會、技術、資金等多面向的支持



海洋能源發電特性

- **海洋能源發電與常規發電系統不同，具有以下特點：脈動性、週期性、孤網運行、功率變化範圍寬、多種能源互補、環境惡劣、維護性差。**

各種海洋能發電系統開發綜合考量



各種海洋能關鍵技術問題

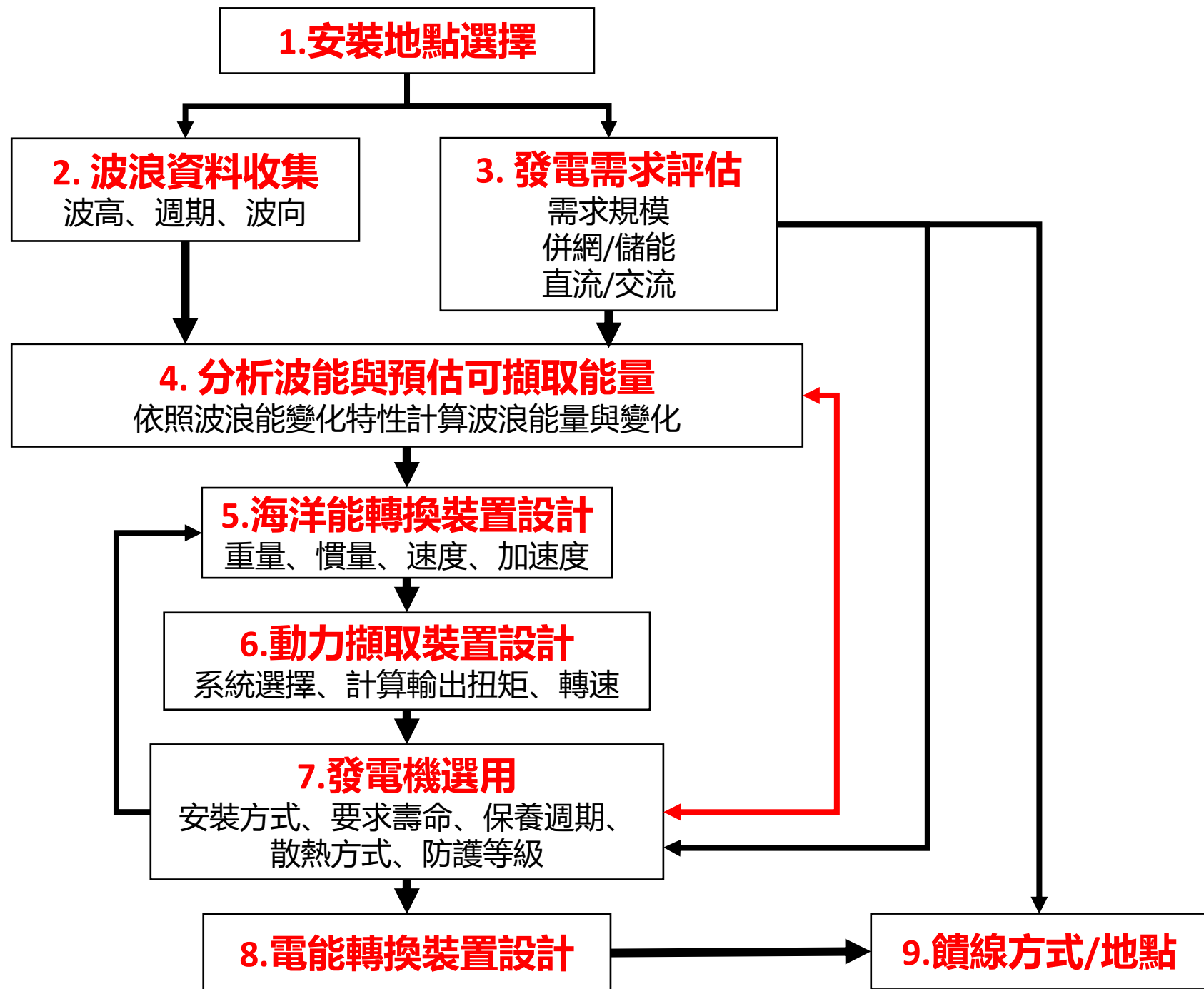
我國海洋能發電關鍵技術仍待突破，未來機組之發電效益、發電成本與可用率仍待驗證，不確定性仍高。

發電種類	技術瓶頸
波浪發電	<ul style="list-style-type: none">• 颱風極端條件下機組存活可靠度• 發電成本未能降達商業競爭力
溫差發電	<ul style="list-style-type: none">• 大管徑冷水管工程技術(D > 5m)• 發電成本未能降達商業競爭力
海流發電	<ul style="list-style-type: none">• 深水深安裝技術(黑潮水深 > 1000米)• 颱風存活度• 發電成本未能降達商業競爭力
潮汐發電	<ul style="list-style-type: none">• 平均潮差 > 5m• 需要圍堰廣大面積

波浪能特性

- 波浪能具有能量密度高、分布面廣等優點，但波浪能也是可再生能源中最不穩定的能源，波浪無法定期生產，且具有能量強但速度慢、週期變化的特點。

波浪能發電系統開發設計流程



海洋能發電系統架構

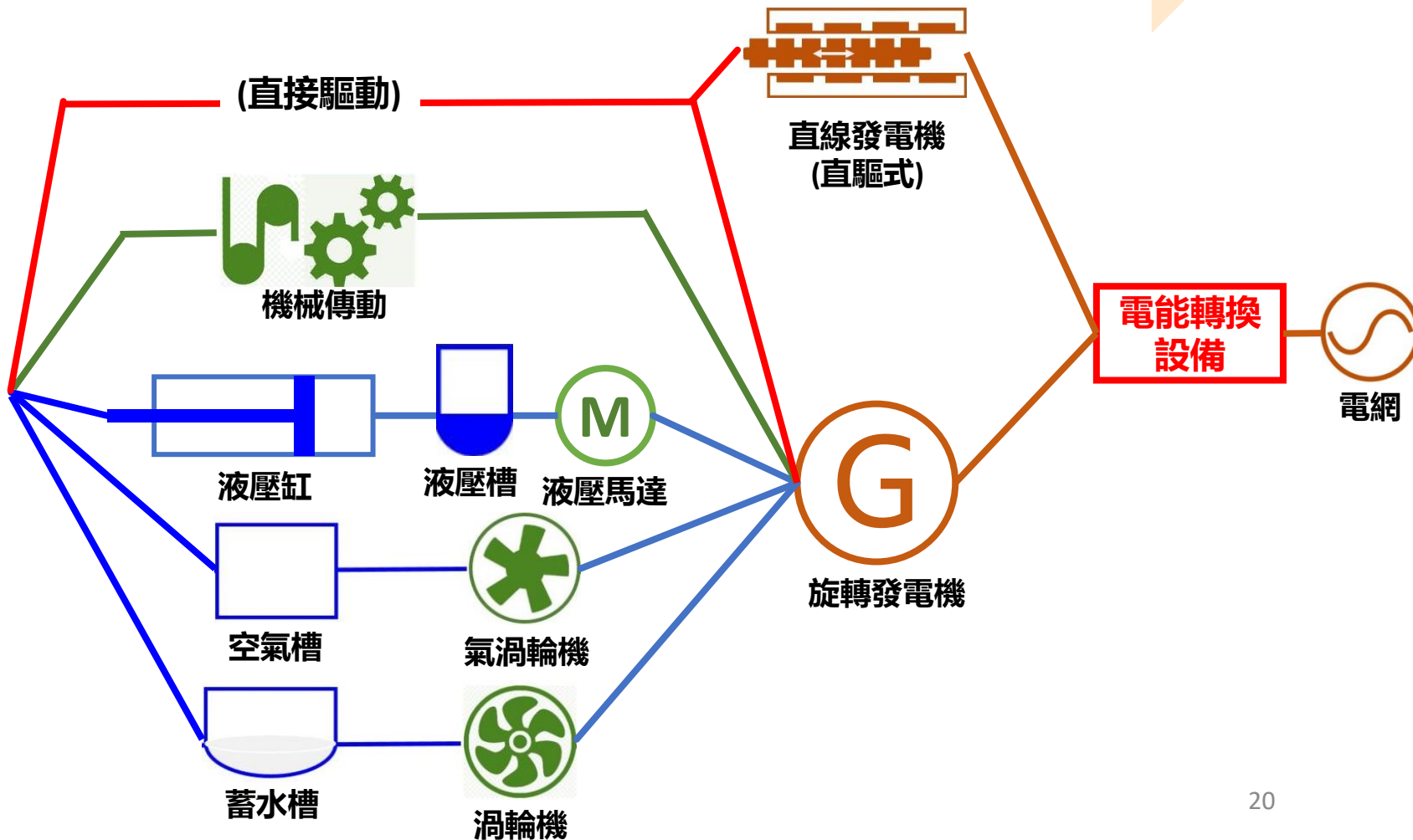
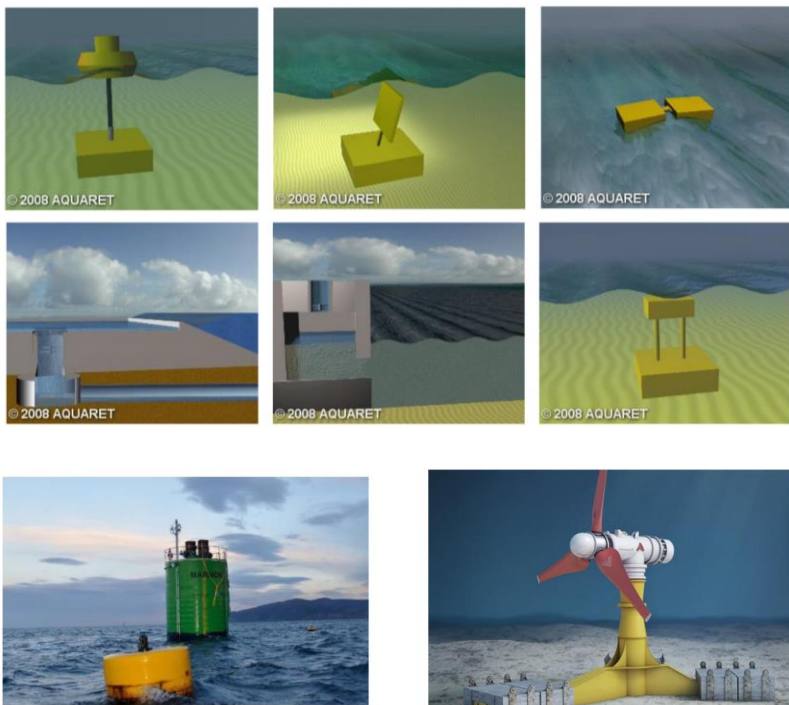
海洋能量

轉換器

動力擷取裝置

發電機

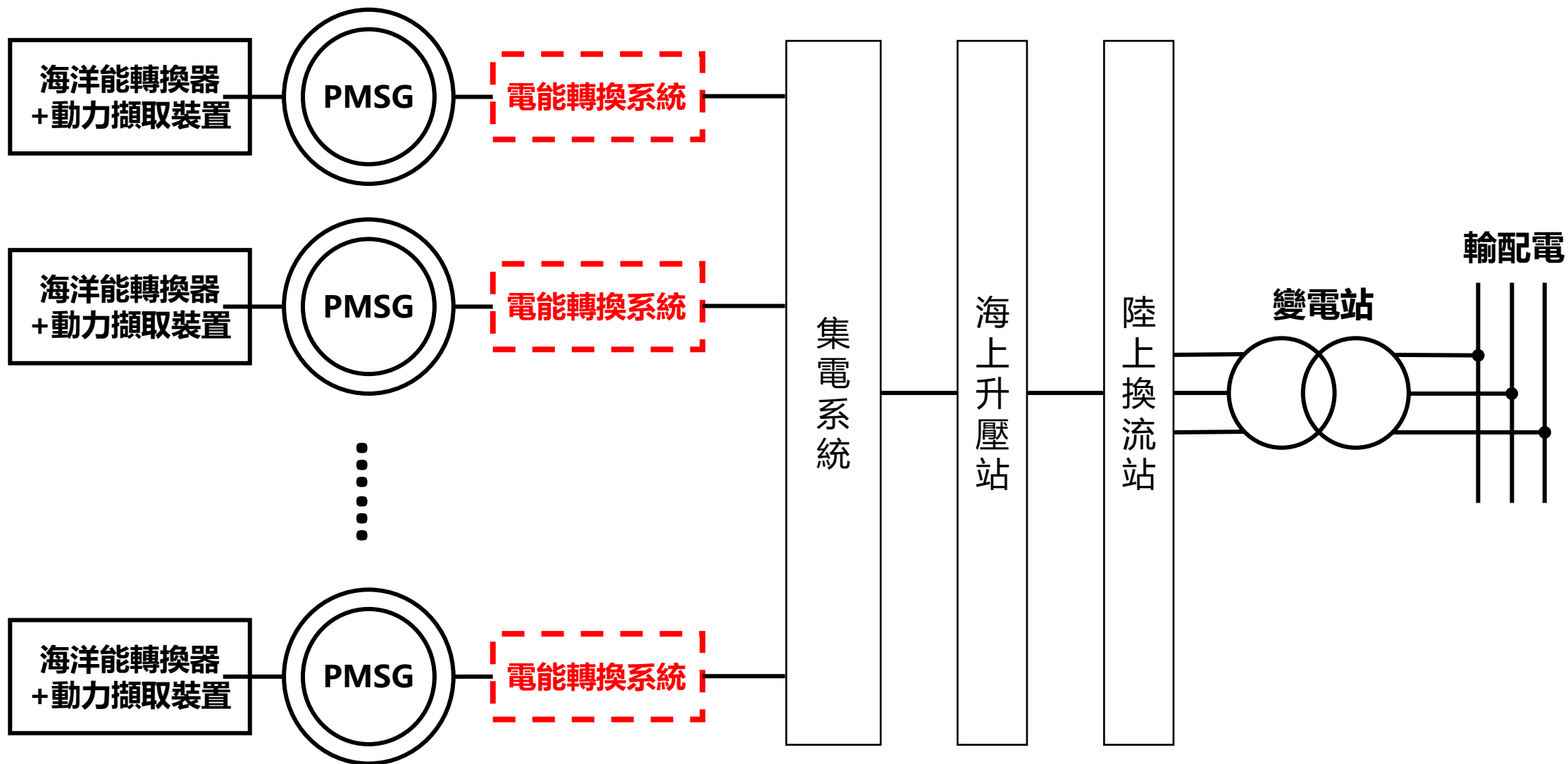
電力系統



參考資料:

1. 陳建宏, 波浪能發展的困境與前景

海洋能發電系統結構圖



1. 安裝地點選擇

- 區域
- 地點
 - 岸邊
 - 近岸
 - 遠岸

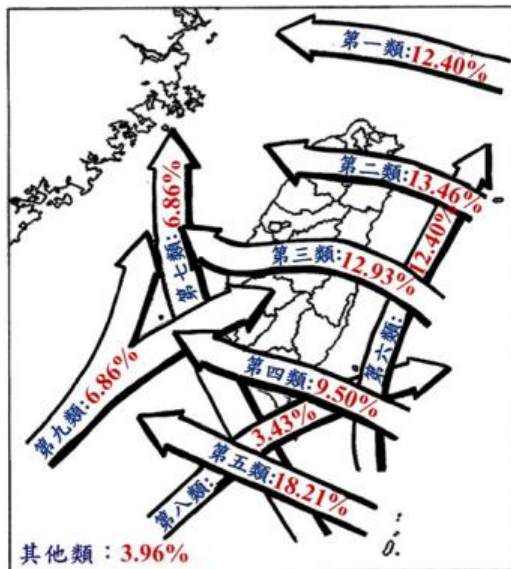


圖 3.2.1 颱風侵襲臺灣之路徑分類(資料來源:中央氣象局)



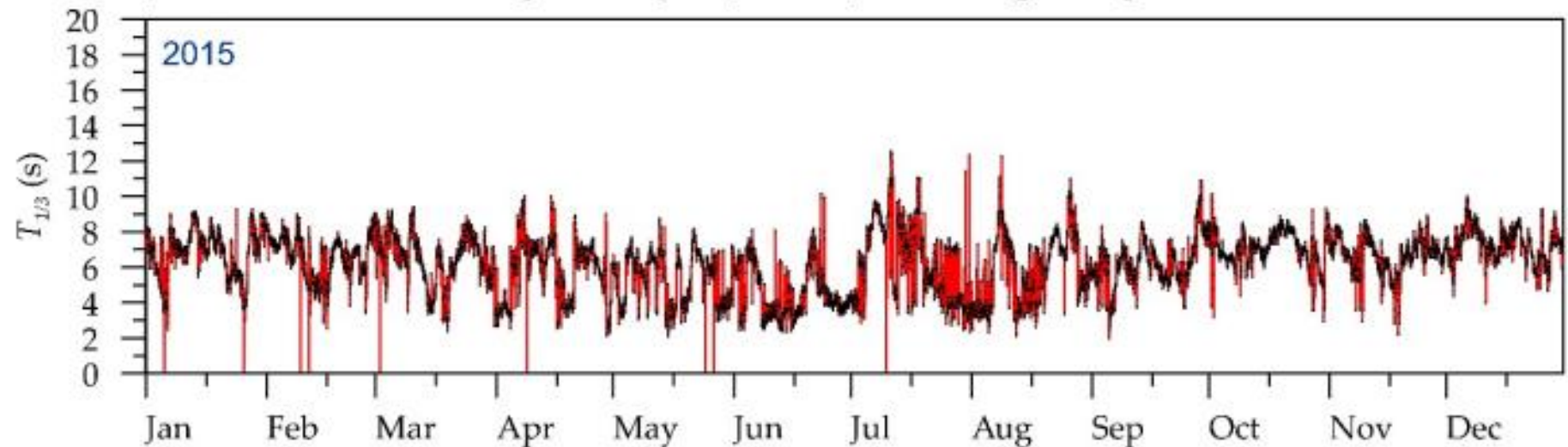
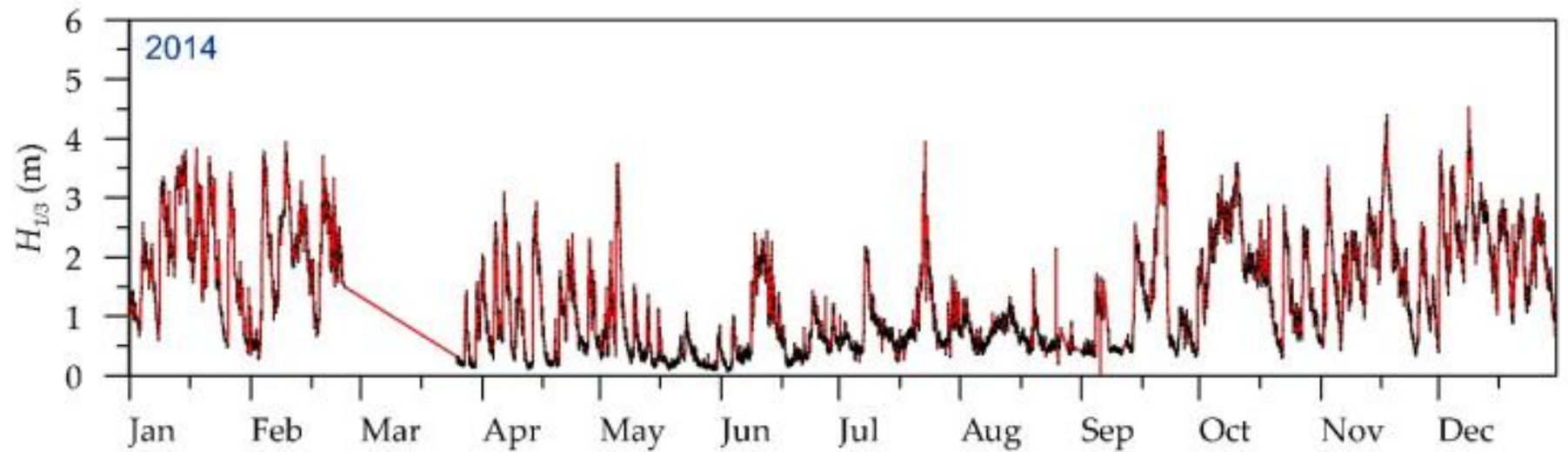
富連海波浪能機組



2. 波浪資料收集

設計前應收集了解
欲開發之海域之多年
統計資料

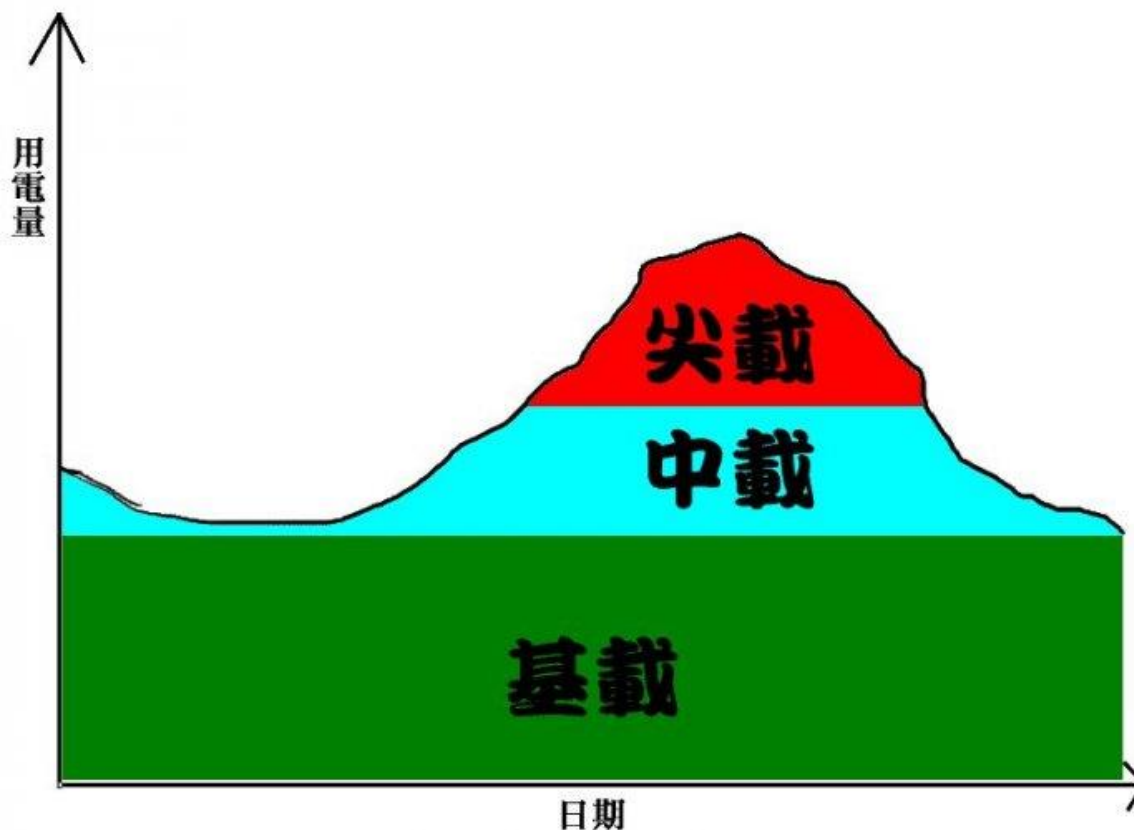
- 波高
- 週期
- 波向
- 水深



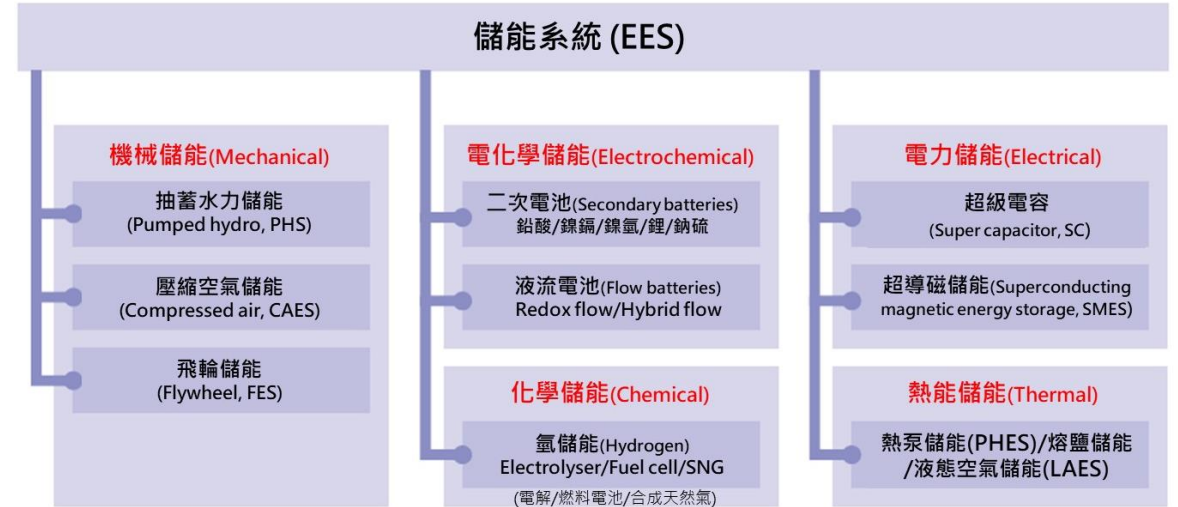
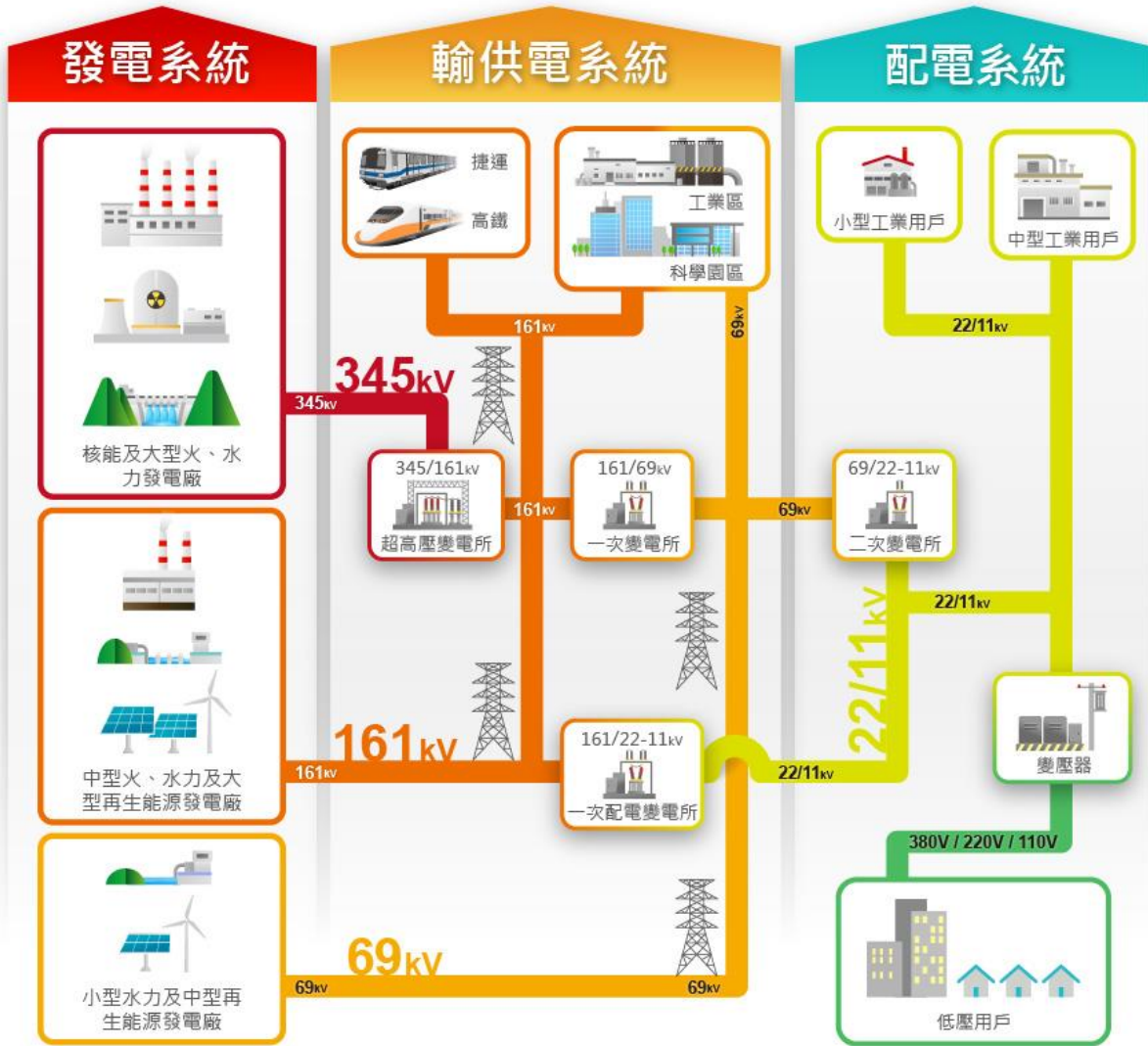
3. 發電需求評估

在設計海洋能發電系統前需考慮：

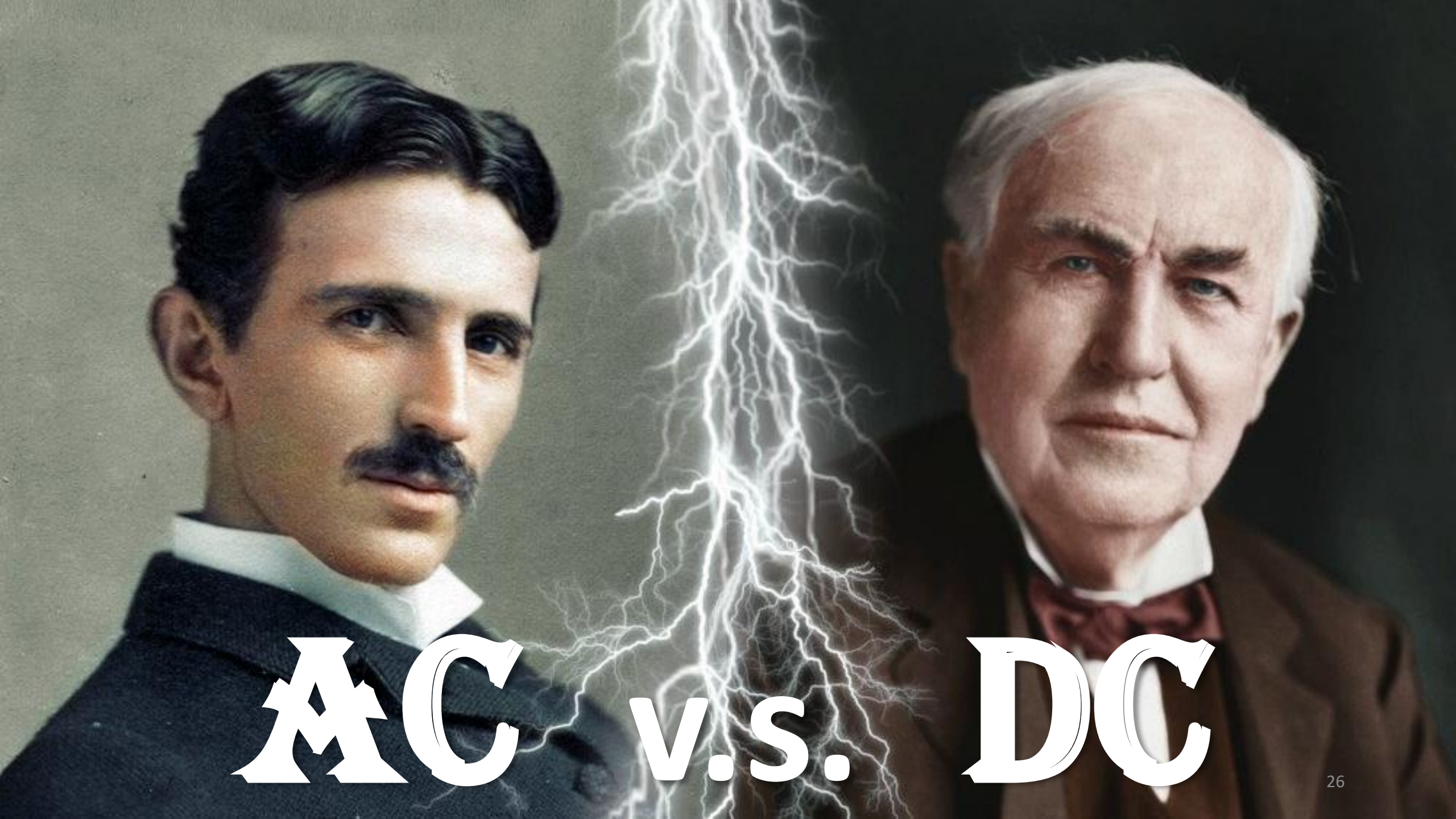
- 發電需求與規模評估
- 發電用途
 - 基載/中載/尖峰
 - 併網/儲能
- 直流/交流系統
 - 電壓等級
 - 發電機形式預選擇



發電用途—併網/儲能



圖片來源：台灣電力公司網站

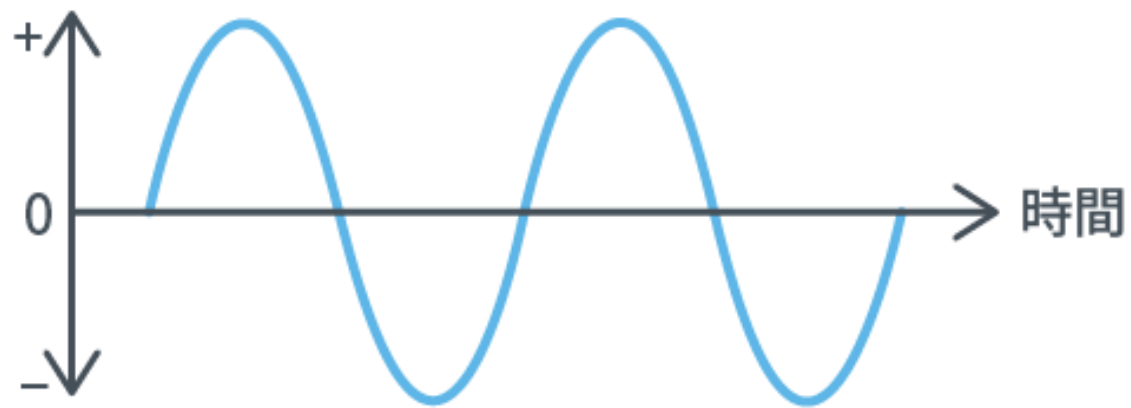


AC v.s. DC

直流與交流系統



直流電壓/電流大小與方向
不會隨著時間改變



交流電壓/電流大小與方向
會隨著時間做週期性地改變

電流電壓分類

• 直流電壓(DCV)

- 低壓：3.3V、5V、12V、24V、48V、440V
- 超高壓：400KV、500KV
- 特高壓：800KV、1100KV

• 交流電壓(ACV)

- 低壓：110V、220V、380V
- 高壓：11.4KV、22.8KV
- 超高壓：69KV、161KV、345KV
- 特高壓：1000KV

直流與交流比較

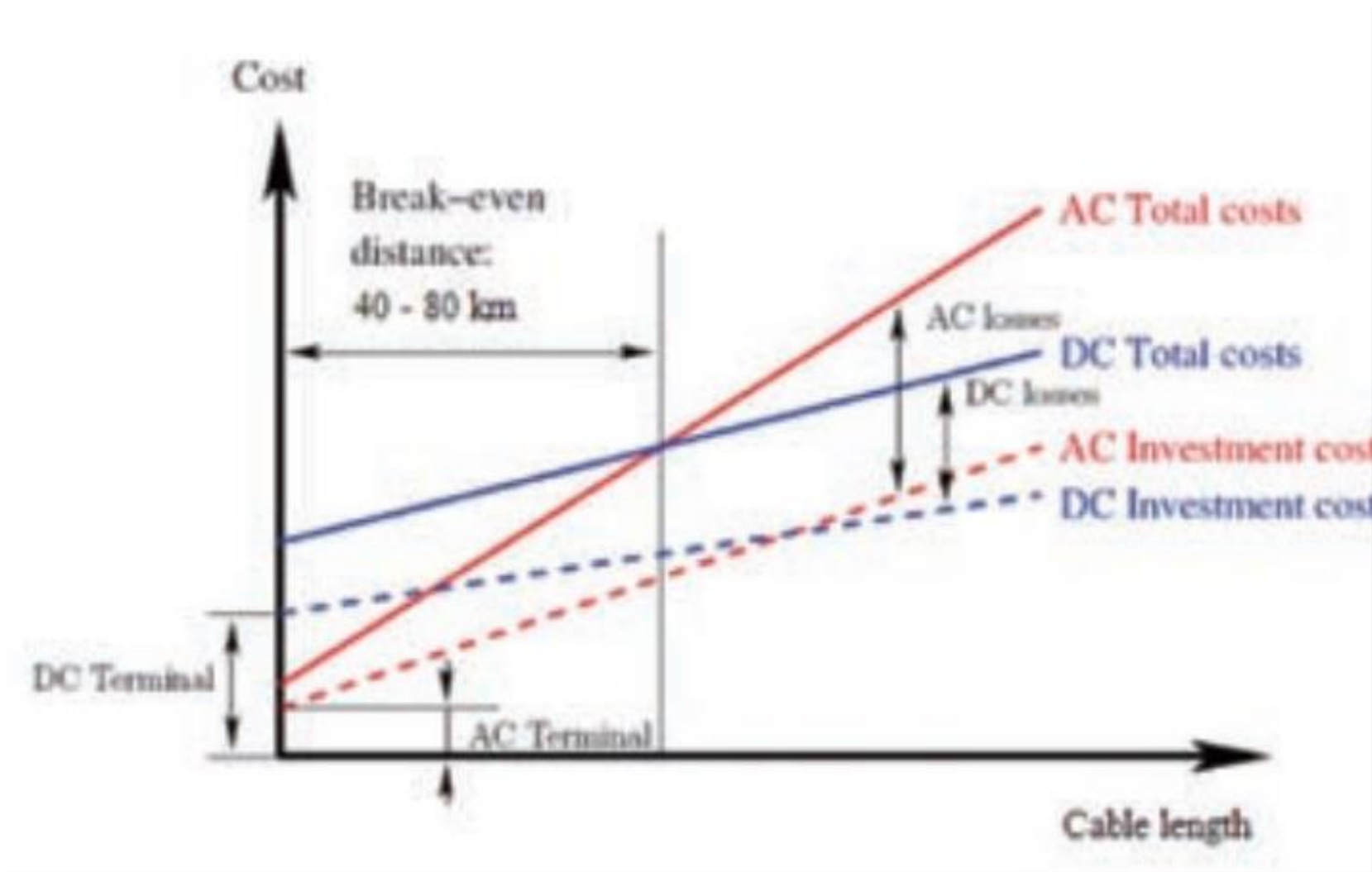
直流電力

- **高壓直流輸電**優點之一是以穩定電流傳輸電力，因此傳輸過程中並不會產生電磁波。
- **長距離輸電時，高壓直流輸電線損較少**
 - 以輸電容量600萬千瓦的線路為例，如採用800 kV交流輸電輸送1500 公里，則其線損約 7%；但採用 800 kV 直流輸電則線損可降至 5%；即便採用電壓較低的 500 kV 直流輸電，損耗也僅為 6%。
- 在**海底電纜**等超長距配電的情況下，高壓直流輸電會比常見的交流電輸電系統更便宜，電力流失也較少，雖然輸電線路的造價在長距離時直流要少於交流，但是直流換流站的造價要比交流變電站高出很多。

交流電力

- 在**短距離輸電**的情況下，以**交流電輸電**的成本會較**直流電**便宜
 - 交流電由於可以將低壓通過升壓變壓器，升壓到十幾萬伏後輸送到很遠的地方，然後再通過降壓變壓器把高壓降為低壓供給民用(220v)或工廠(三相380v)用，因此可以遠距離傳輸。
- 發電量相同條件下，交流電的發電裝置比直流發電裝置要簡單。

直流與交流輸電成本比較



海上變電站



4. 分析波能與預估可擷取能量

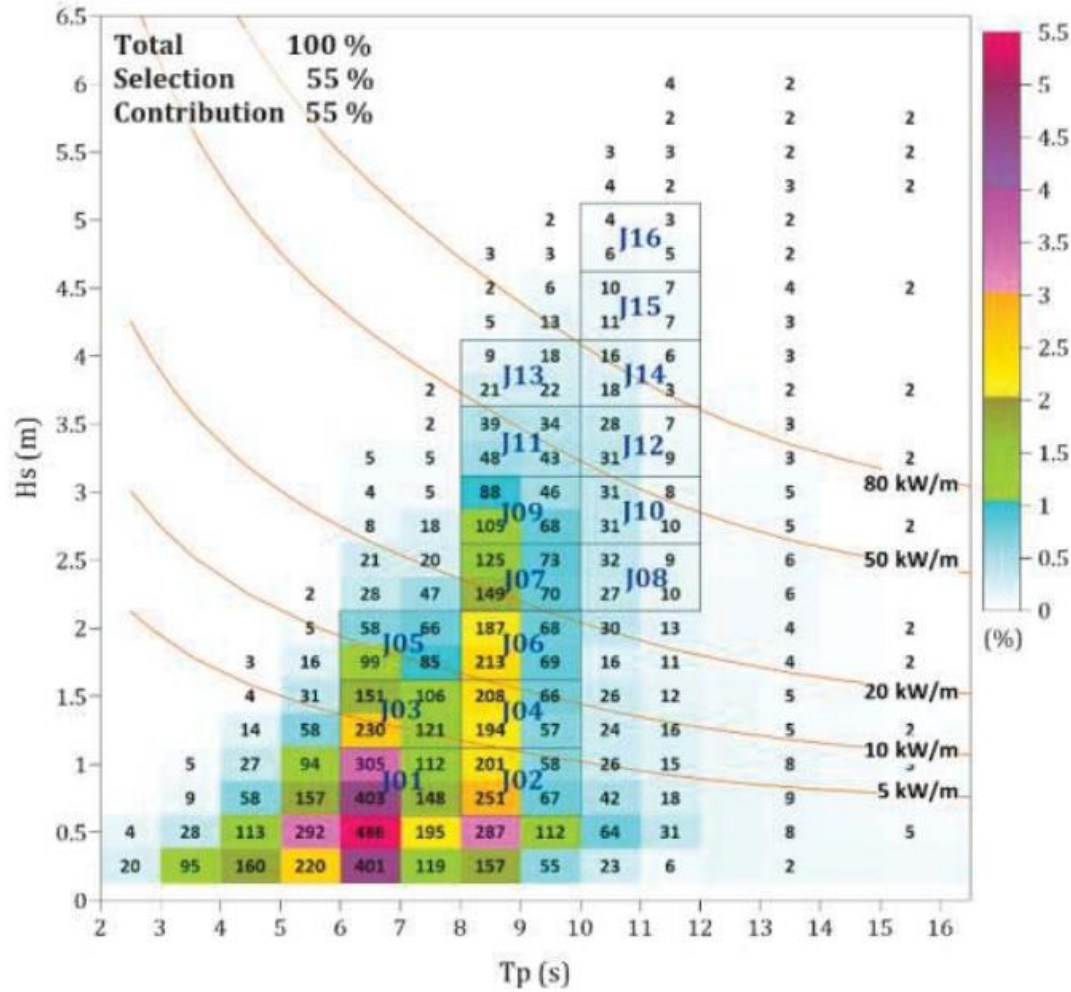


圖 1 波能分佈與波高週期對應圖

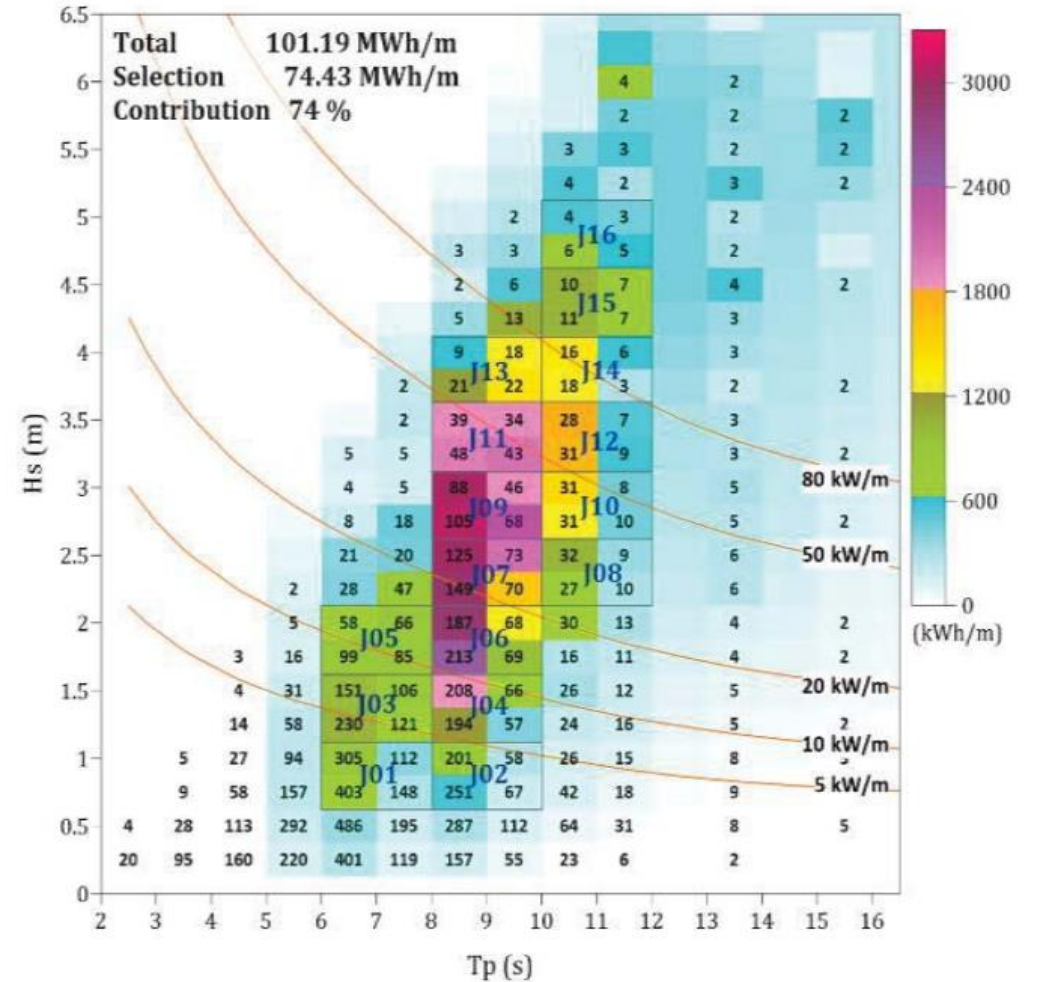


圖 2 年波能分佈圖

表 4.1.1 臺中港 X1 測站歷年各季節之平均波能量統計

波浪條件(主要波向)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	wave power(kW/m)
春季波浪 (N)	1.32	6.1	11.5
夏季波浪 (WNW)	0.85	5.7	4.3
秋季波浪 (N)	1.82	6.8	25.5
冬季波浪 (N)	2.18	6.9	37.4

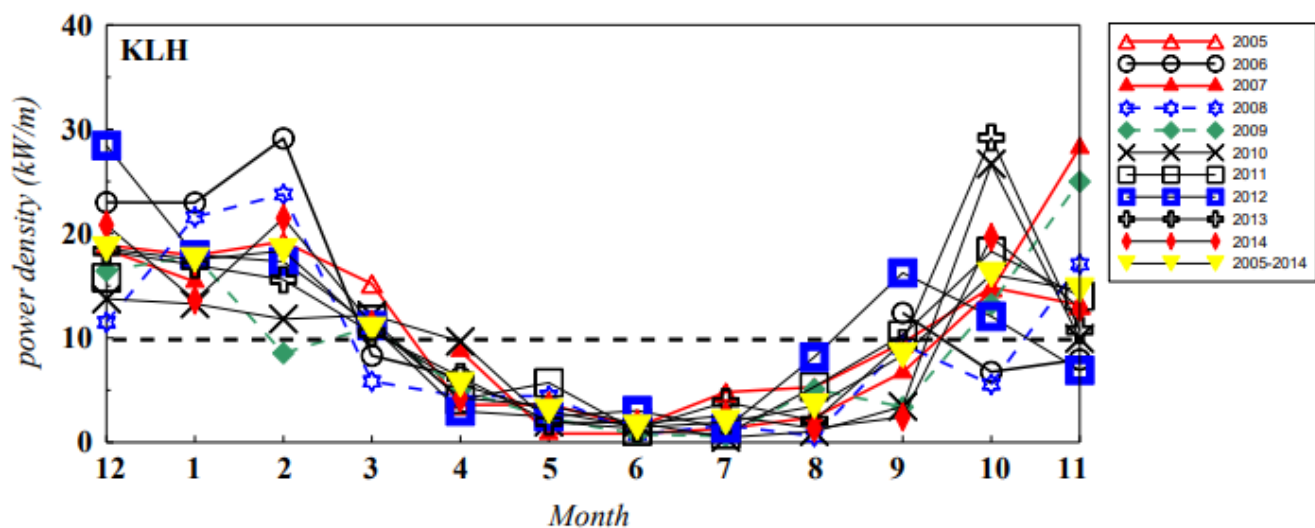


圖 33 月平均波能 (範例)

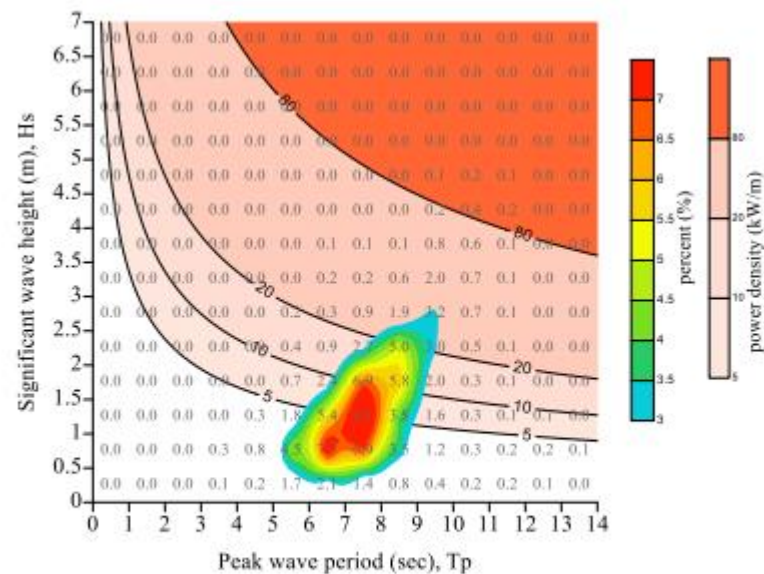


圖 24 波高週期聯合機率分佈圖(範例)

圖片來源:

- 1.台灣電力公司, “台中港防波堤波浪發電試驗研究期末報告”
2. 陳俊哲, “基隆海洋能測試場之波能資源分佈與特性分析”

分析波能與預估可擷取能量

海洋波浪的能量通常用**波能流密度**來定量描述，常用的波能流經驗公式：

$$P = E * C_g = 0.5 H_s^2 T$$

P：波能流密度(kW/m)

E：Energy Flux

C_g ：group velocity

H_s ：有效波高(m)

T：週期

考慮實海域水深不同與波浪的多向性，按不同水深情況評估計算波能流：

$$P = E \times C_g$$

水深, h(m)	$h > \frac{L}{2}$ (深水)	$\frac{L}{2} < h < \frac{L}{20}$ (中間)	$h < \frac{L}{20}$ (淺水)
波長, L(m)	$\frac{gT^2}{2\pi}$	$\frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kh)$	$T\sqrt{gh}$
波速, C (m/s)	$\frac{gT}{2\pi}$	$\frac{gT}{2\pi} \tanh(kh)$	\sqrt{gh}
群波速, C_g (m/s)	$\frac{C}{2}$	$\frac{C}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right)$	C
單位面積波浪能量 $E = \rho g H^2 / 8 (J / m^2)$	單位寬度波浪能量功率 $P = EC_g (kW / m)$		

5. 海洋能轉換裝置設計

海流能

海水流動所擁有的動能，可細分為週期性雙向流動的潮流與單向流動的洋流。

波浪能

波浪運動的能量，包括波浪上下運動的位能變化，以及波浪中的水質點運動。

潮差能

藉由潮漲及潮落形成水之動能進行發電。

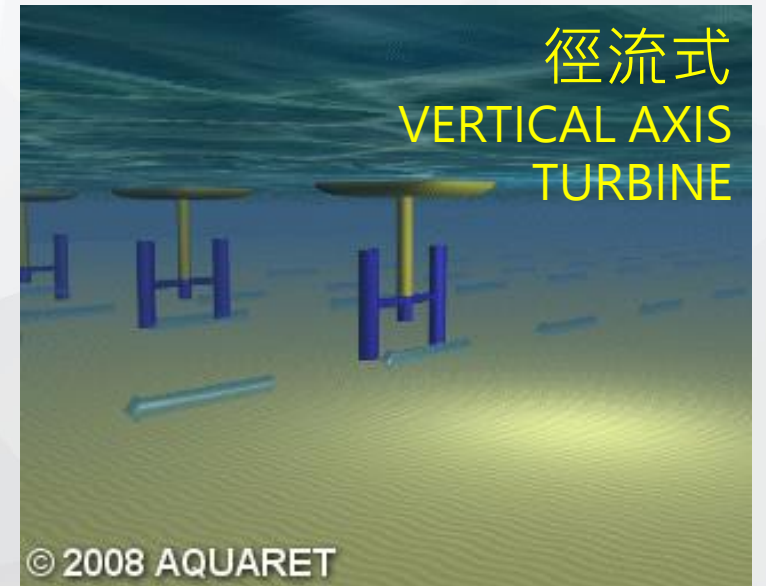
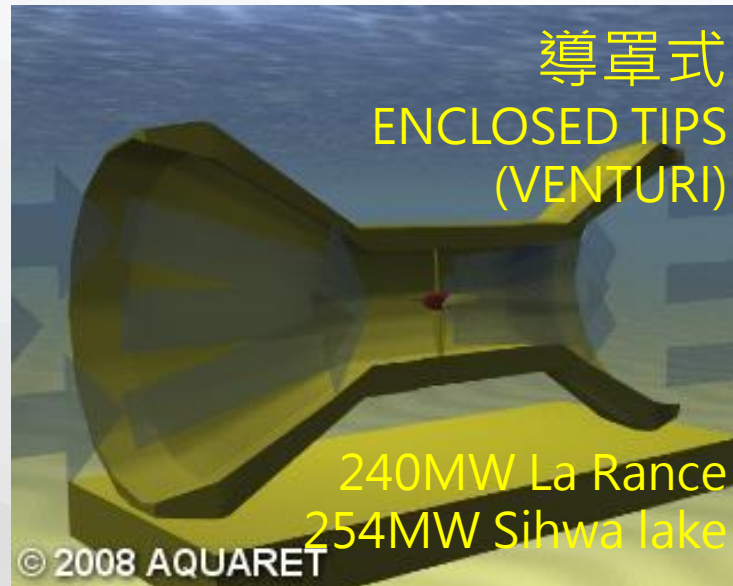
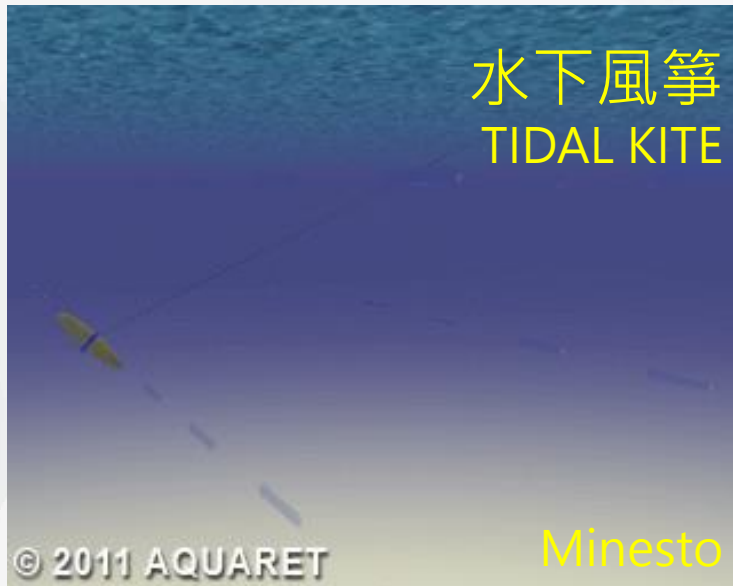
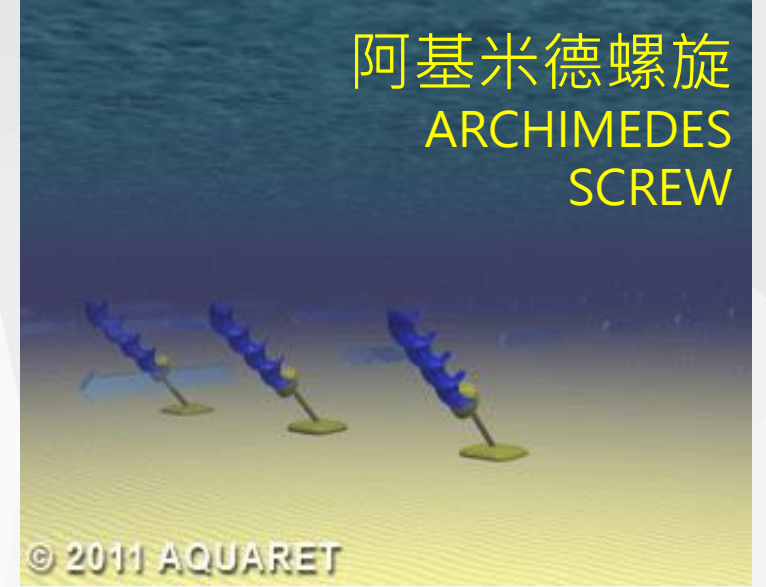
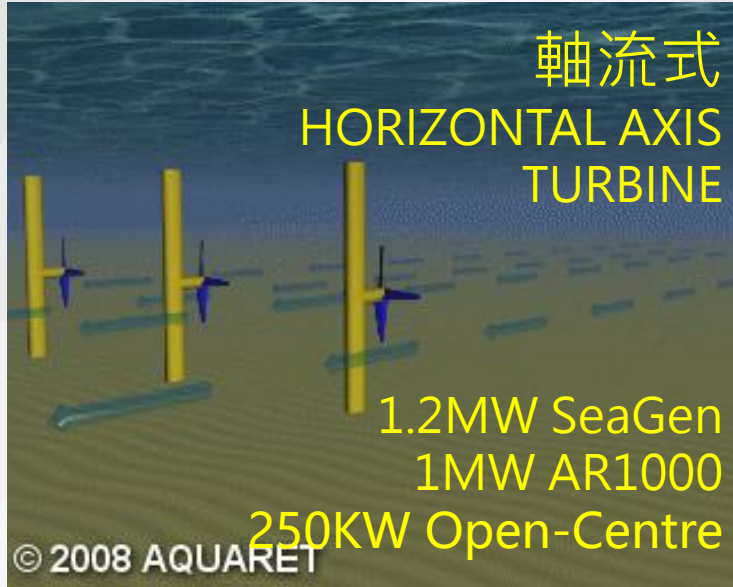
溫差能

表層海水與深層海水因溫差所造成的熱能釋放或吸收。

鹽差能

在於淡水與鹽水間的化學電能位差進行發電

海流/潮流能發電機組類型

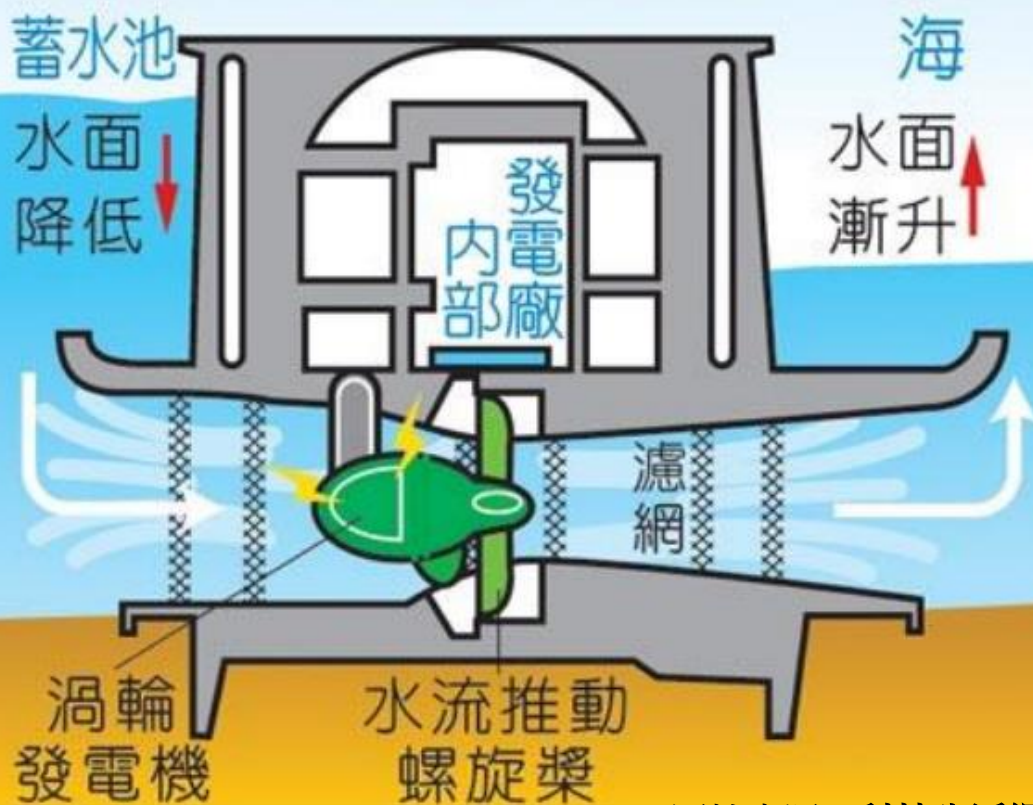


潮差能

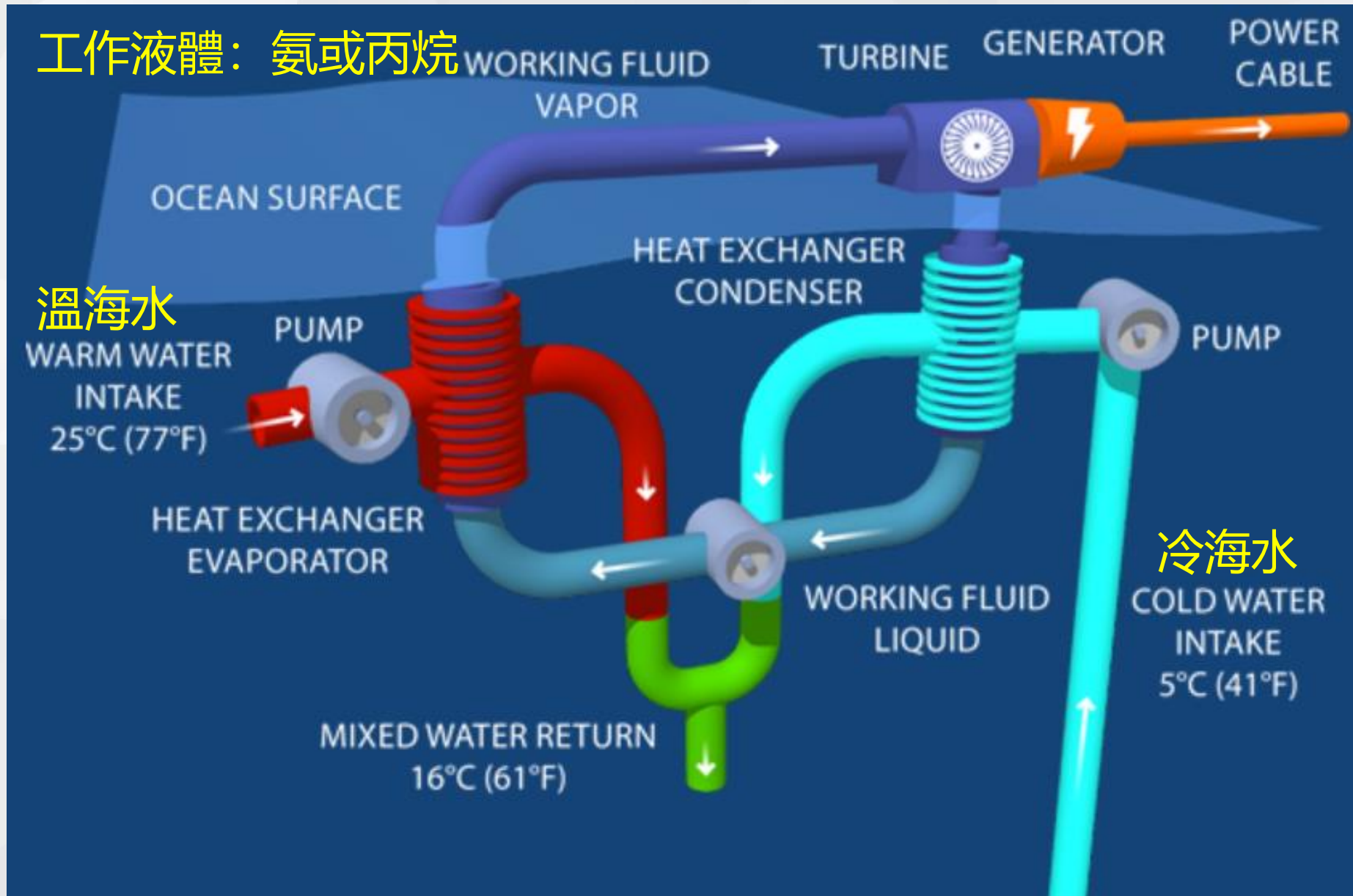
漲潮時



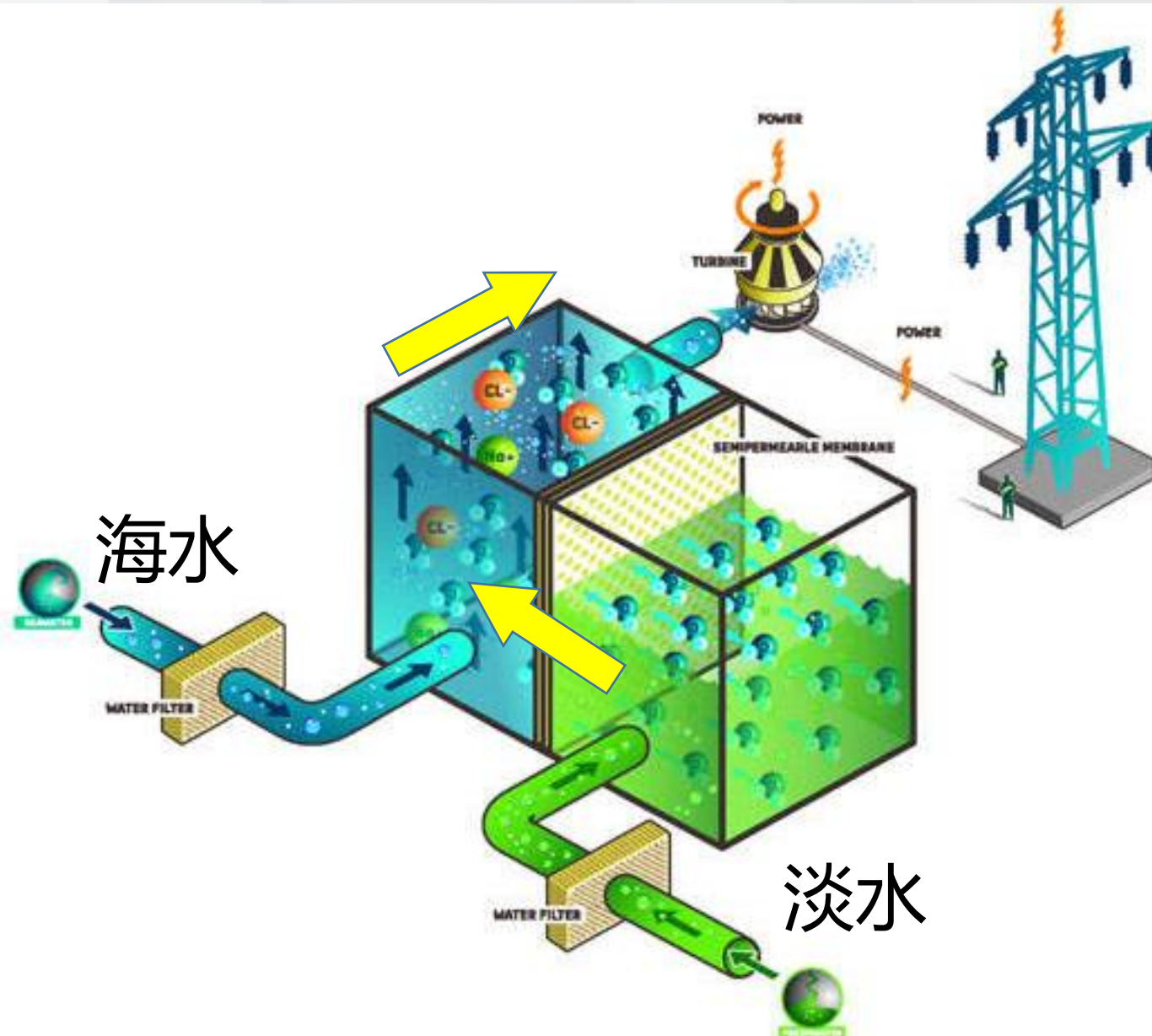
退潮時



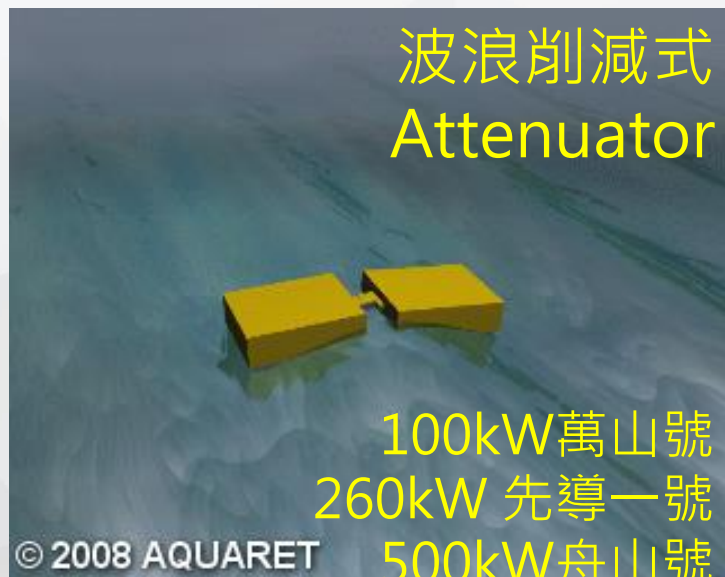
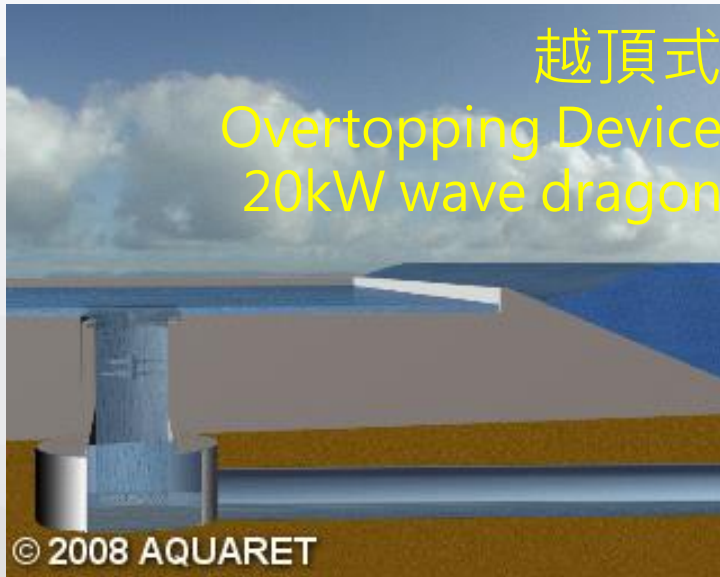
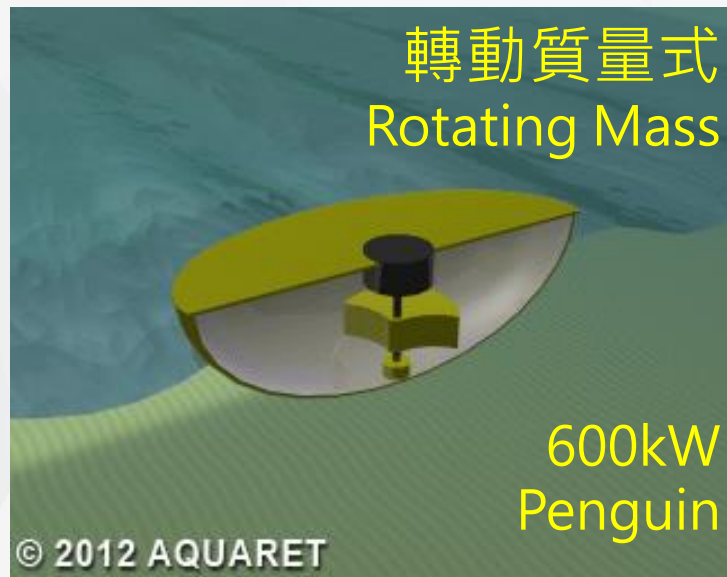
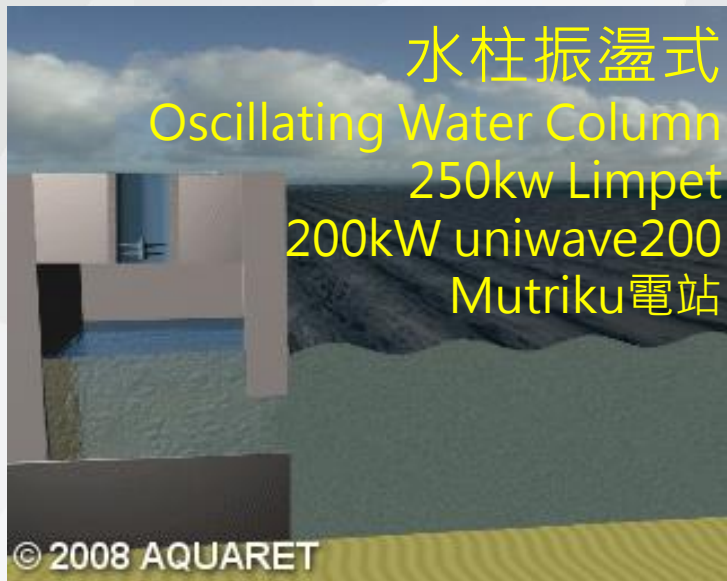
溫差能轉換機制



鹽差能轉換機制

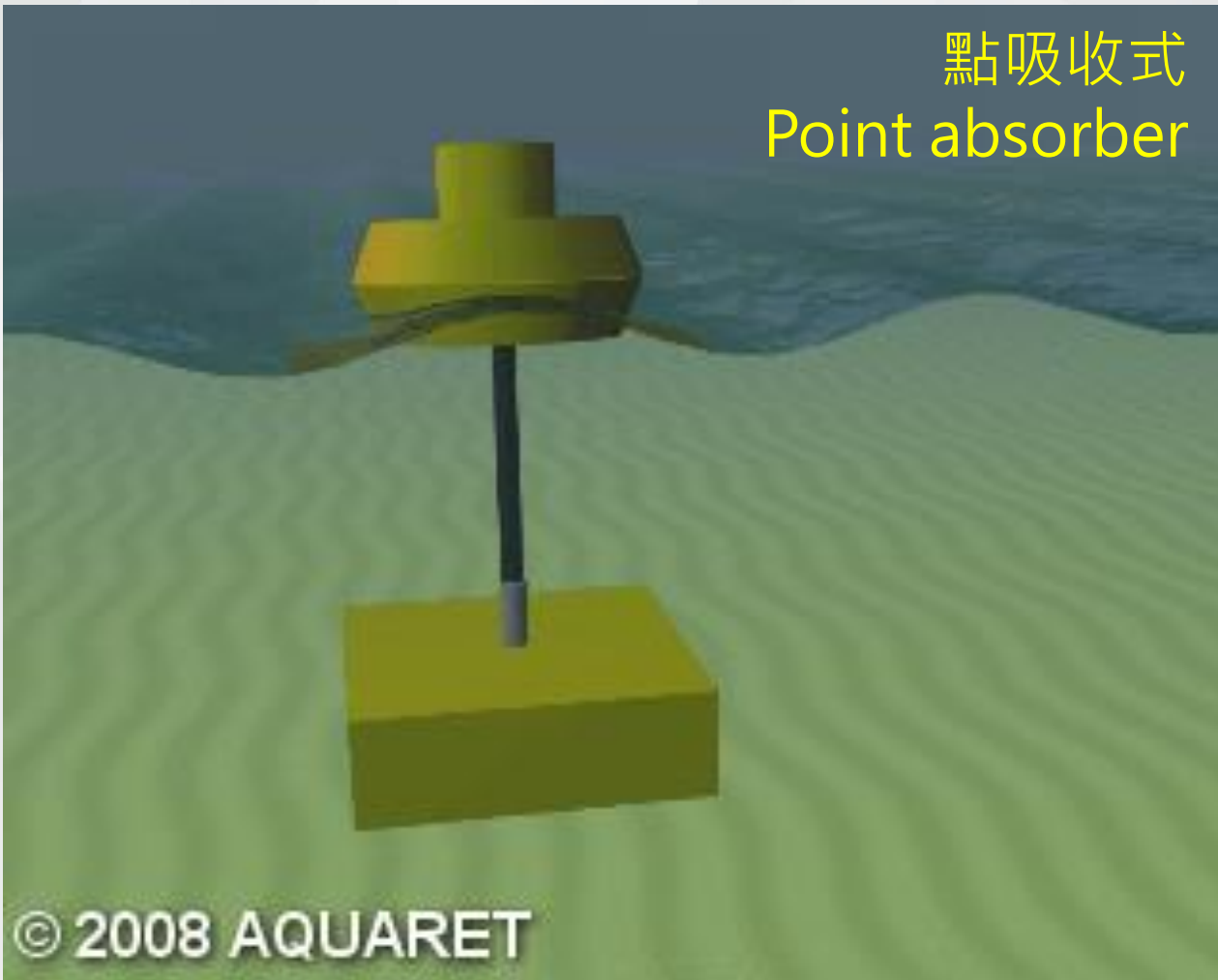


波浪能轉換器類型(I)

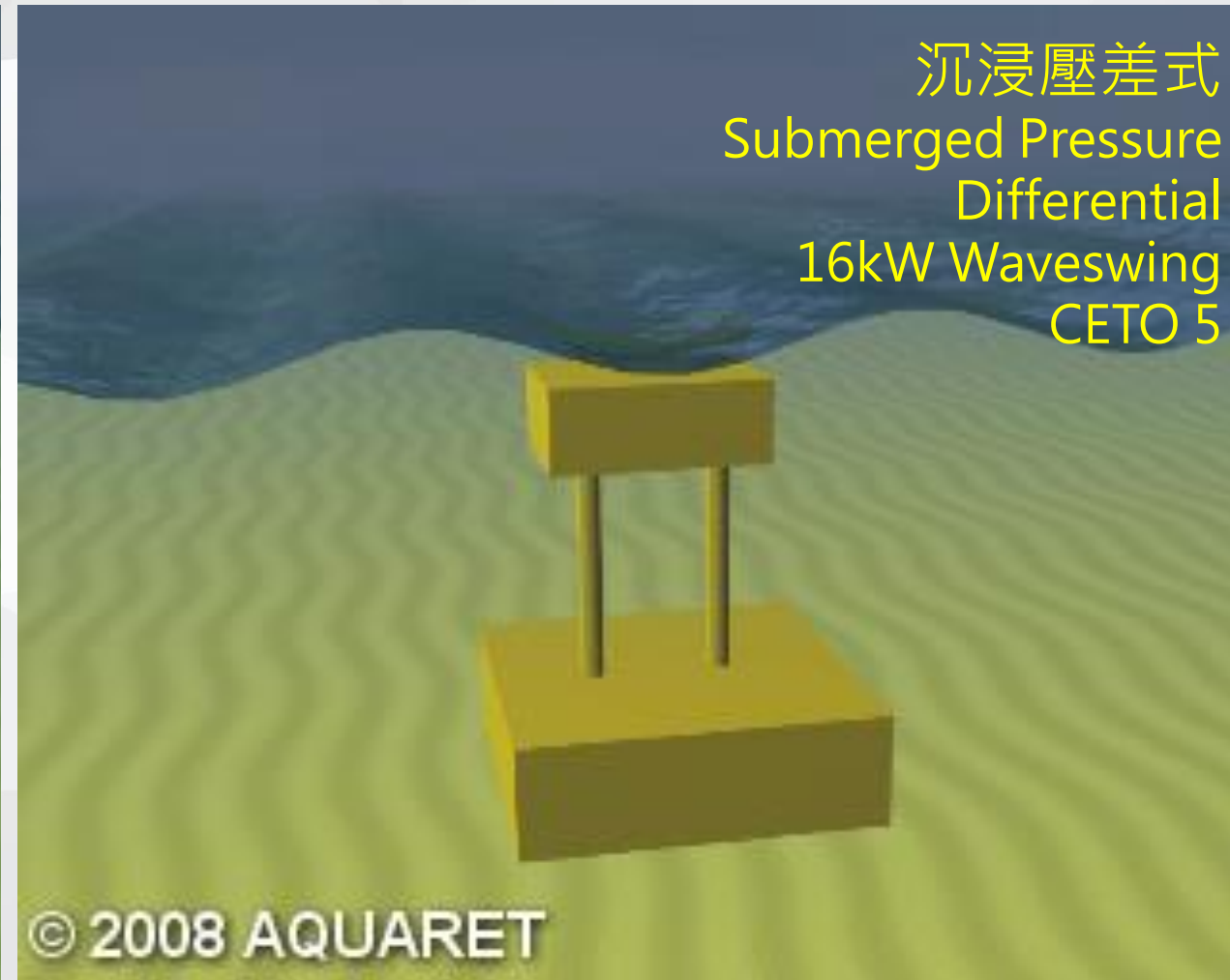


波浪能轉換器類型(II)

點吸收式
Point absorber



沉浸壓差式
Submerged Pressure
Differential
16kW Waveswing
CETO 5



波浪能轉換器擷取原理

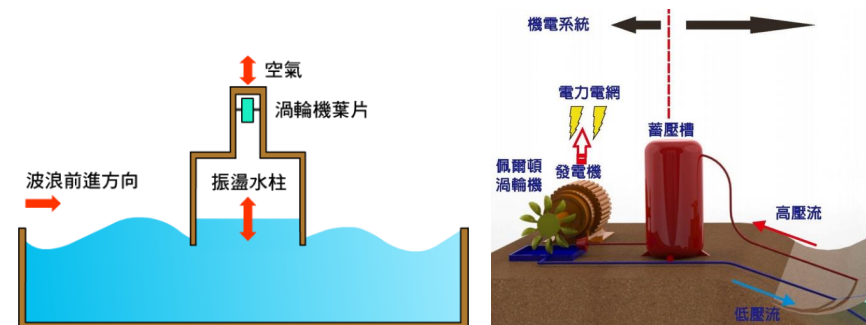
機械能

- 動件：點吸收式
- 不動件：擺盪衝擊式



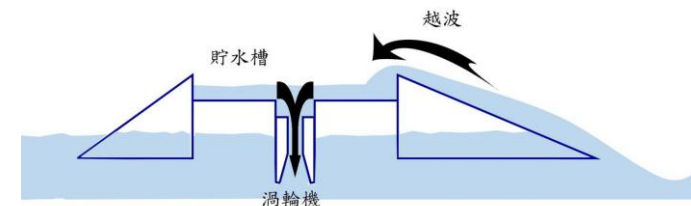
動能 壓力能

- 氣壓：水柱震盪式
- 水壓

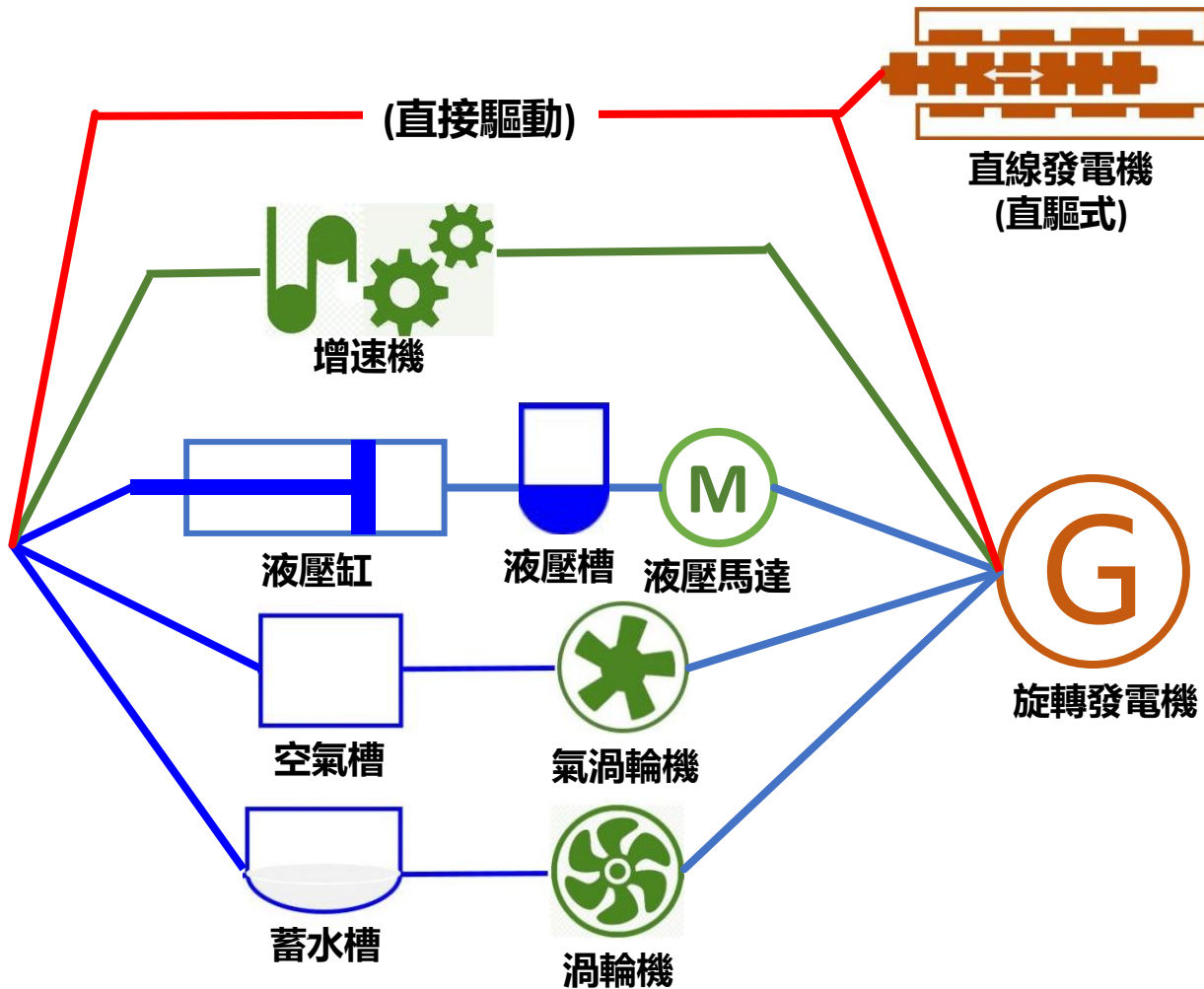


位能

- 越頂式



6. 波浪能動力擷取裝置

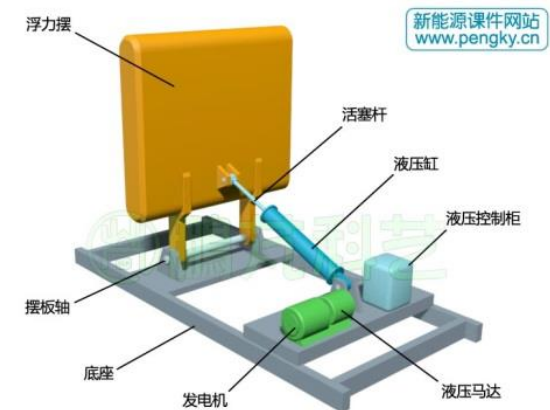
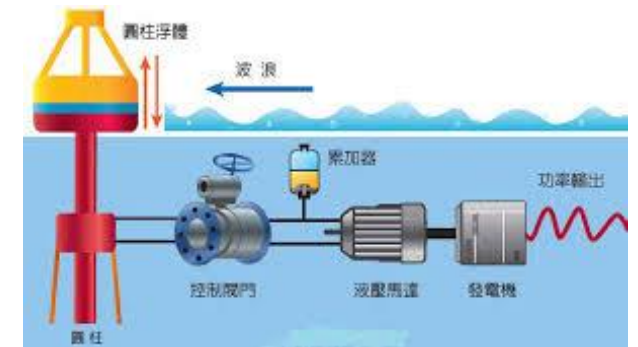
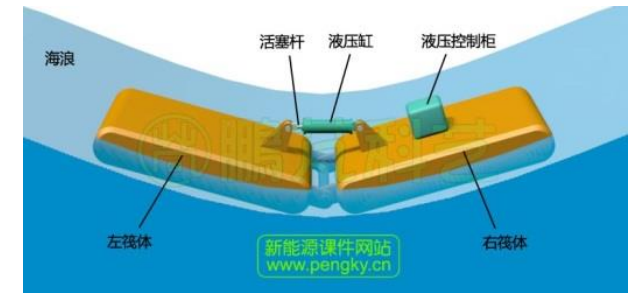


- 動力擷取裝置能量傳遞的方式包括：
 - 直接驅動 (轉換器直接連接發電機)：
 - 點吸收式
 - 機械傳動 (連桿機構、齒輪機構)
 - 高壓液壓傳動 (液壓、水渦輪機)：OWSC、WEC
 - 氣動傳動 (氣壓、氣渦輪機)：OWC
 - 低壓水力傳動 (水的重力位能)：點吸收式

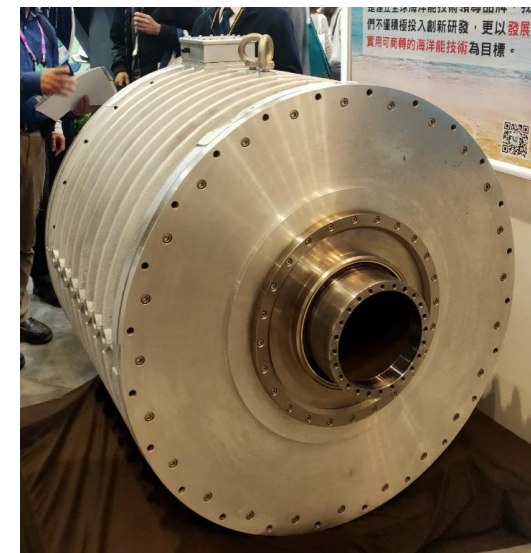
使波浪能量經由轉換器轉換為可利用的機械能。

波浪能動力擷取新思維—直驅式

- 波浪能的運動方式是屬於多自由度的週期往復式運動，但變化性極大，因此傳統的波浪能轉換裝置(例如擺盪或推升柱體設計(OWC)、浮筒式、浮力擺式等)多採用液壓系統或氣渦輪機來作為動力擷取轉換方式，將波浪擺動的直線能量轉化成發電機的旋轉動能，但採用此種動力擷取裝置也使得系統複雜且轉換效率低。
- 目前已有成熟的新一代的永磁發電機與尚在發展的永磁直線發電機，可以直接驅動使用，將是未來波浪能發電系統新方向



波浪能動力擷取新思維 --直驅式永磁發電機

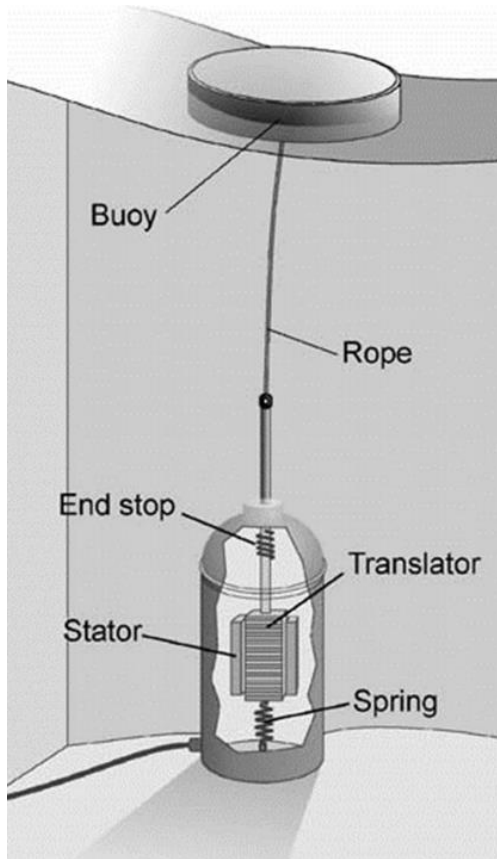


轉子256極永磁發電機

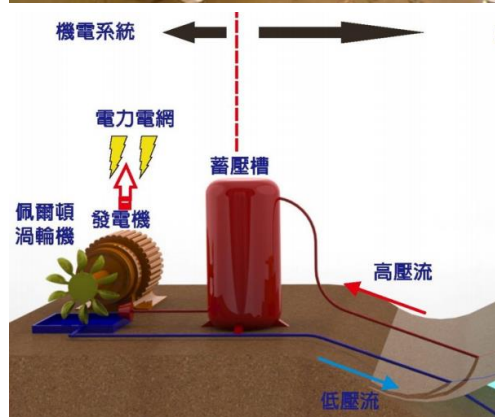
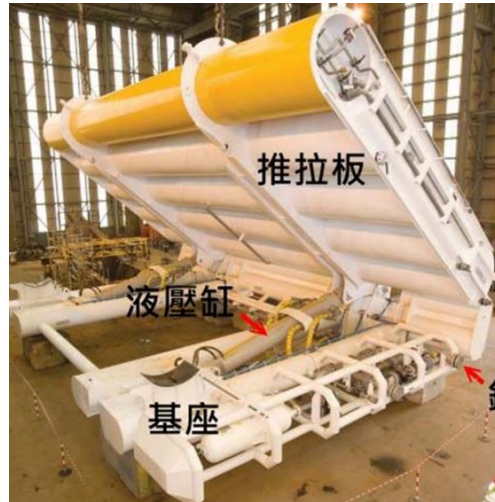


波浪能轉換器動力擷取方式

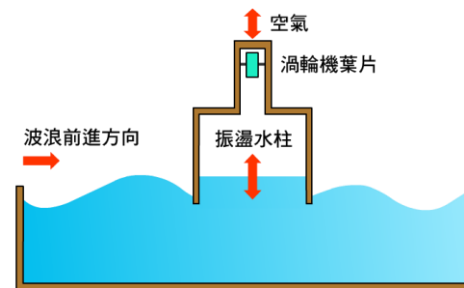
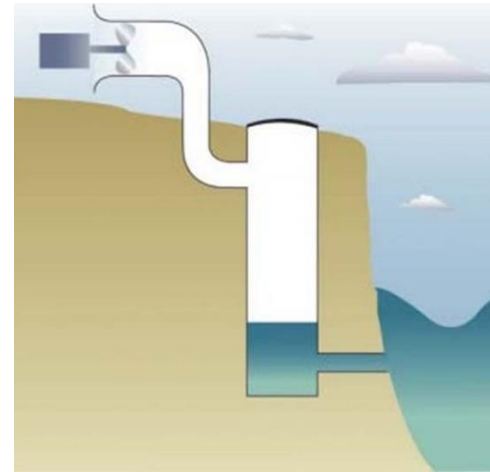
點吸收式波浪能 POINT ABSORBER



擺盪衝擊式 OWSC



振盪水柱式 OWC



衰減式WEC



資料來源：1. 鍾揚棋 波浪發電裝置原理與設計概念
2. 教育部風能與海洋能教學聯盟中心計畫 國立台灣海洋大學MOOCs課程

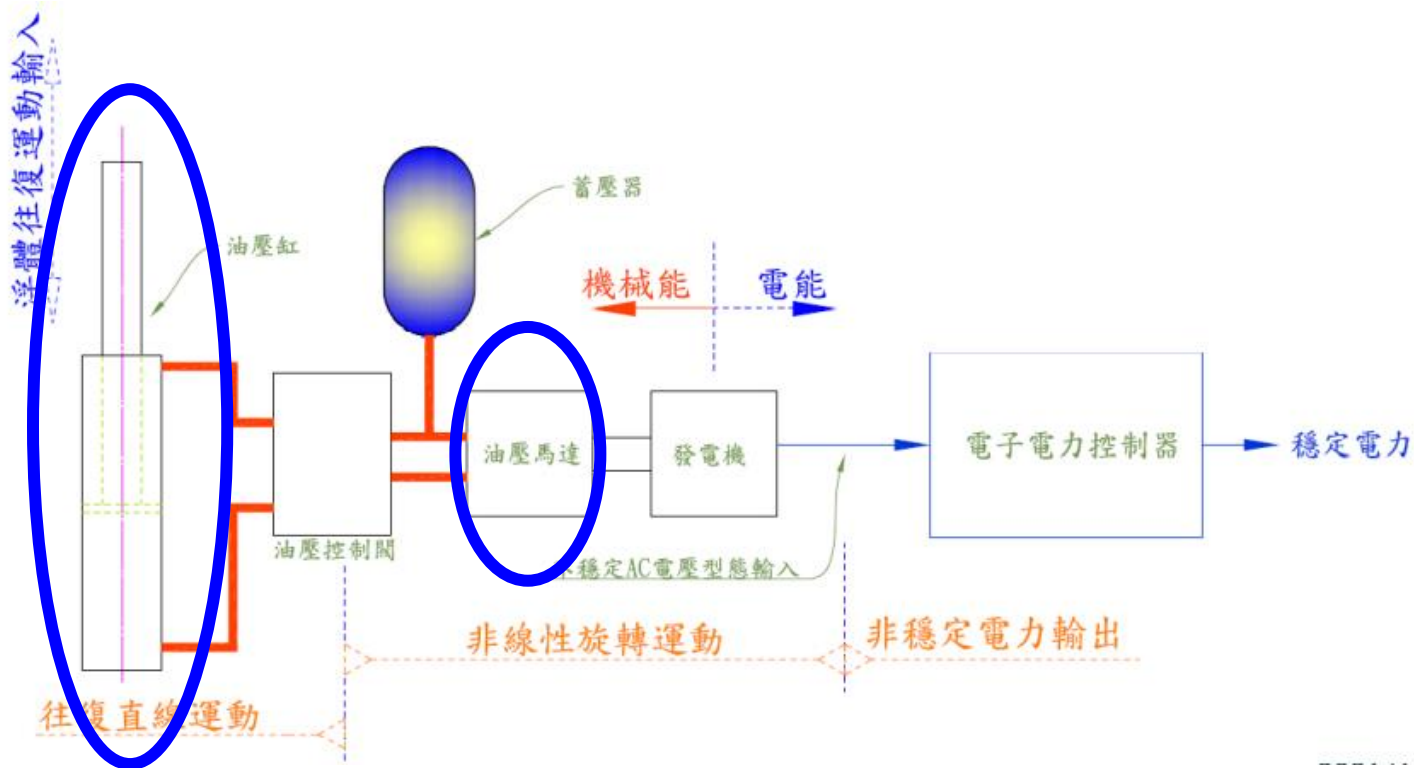
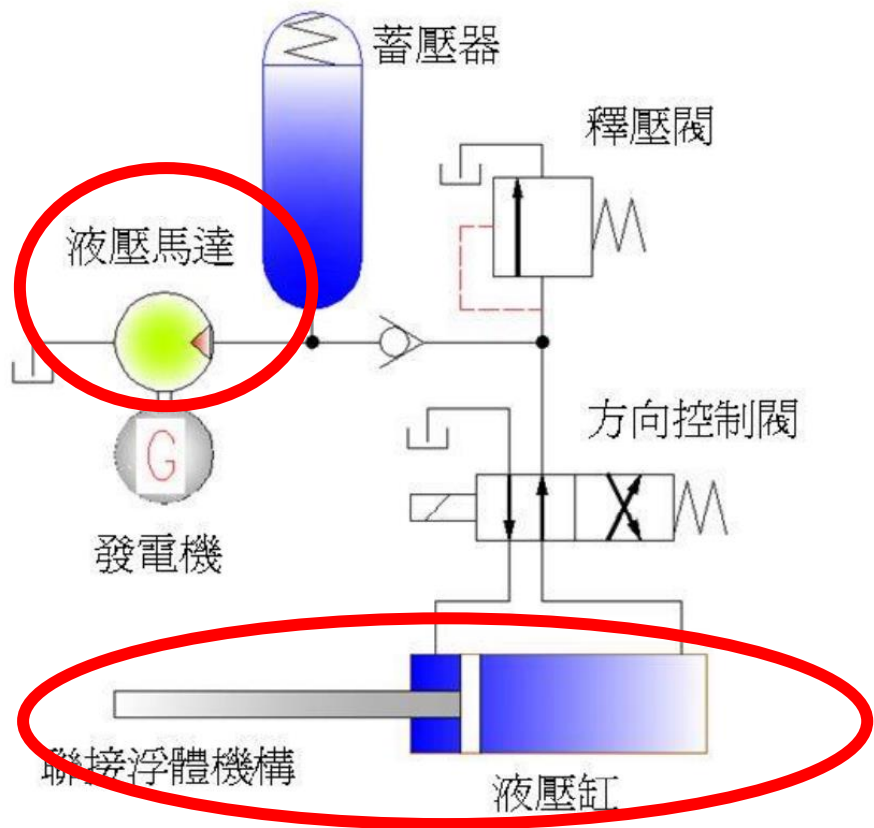
機械傳動機構種類



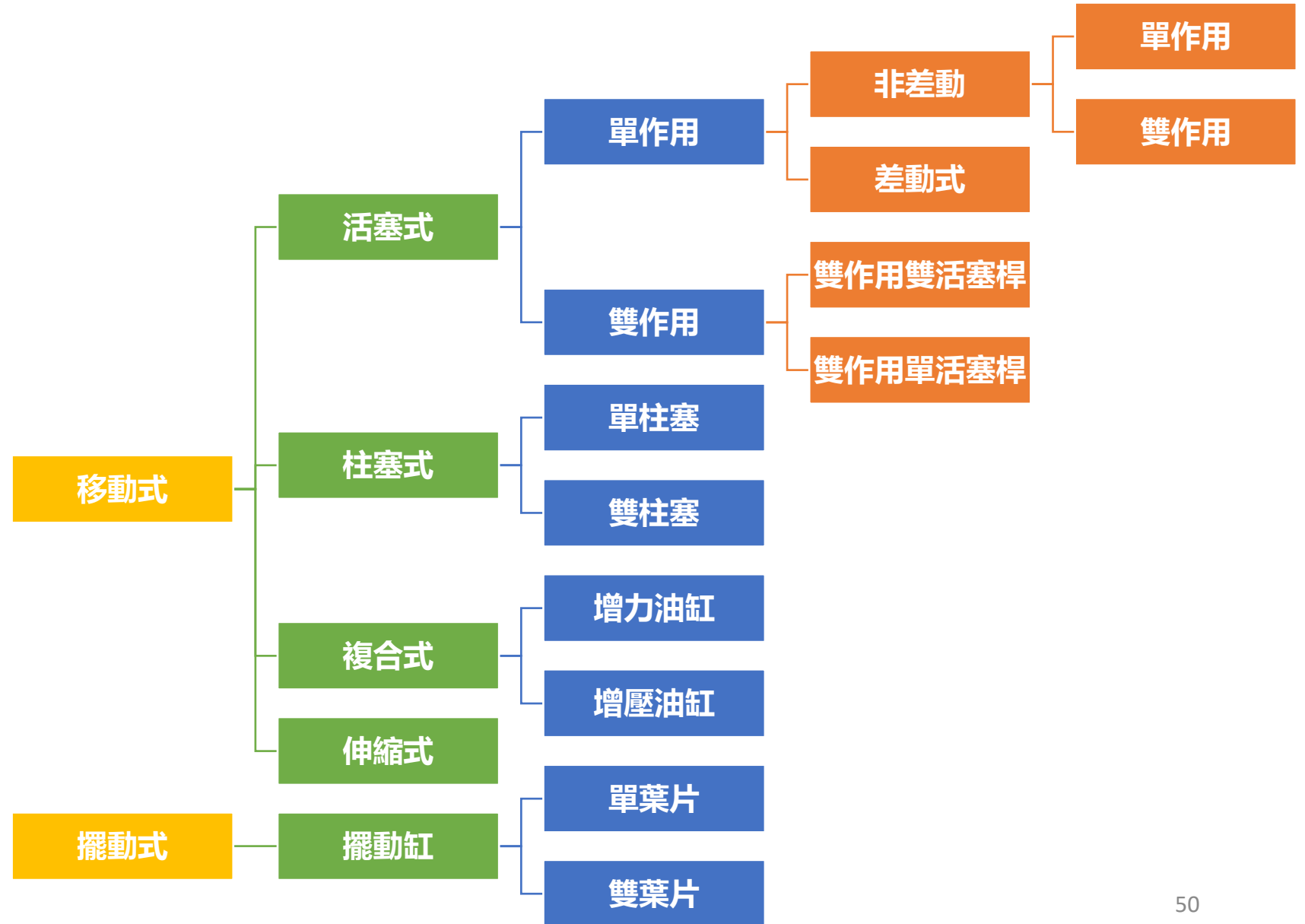
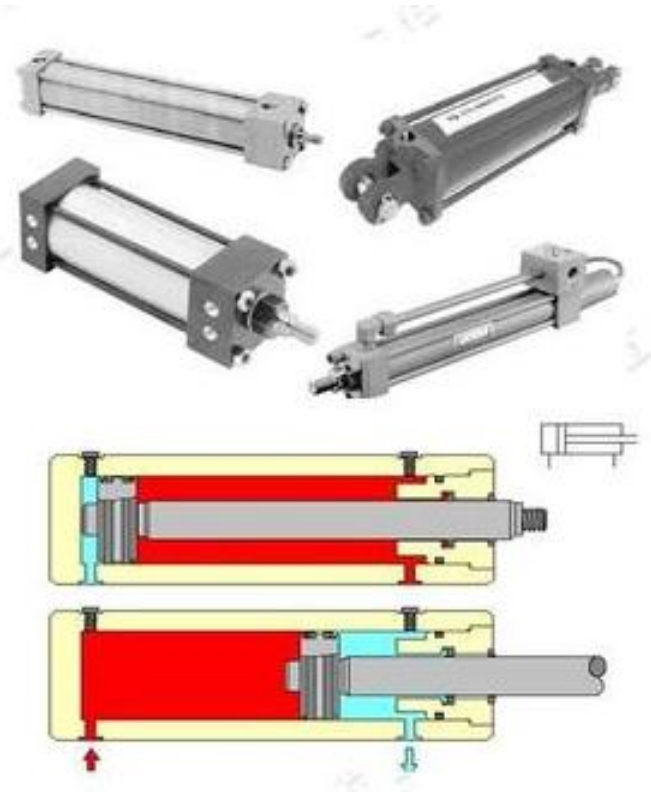
高壓液壓動力擷取裝置

波浪經由浮體帶動液壓缸伸縮，提供液壓馬達液壓油進行轉動，由於採取蓄壓器，發電機需待液壓缸往復作動數次之後才會發電

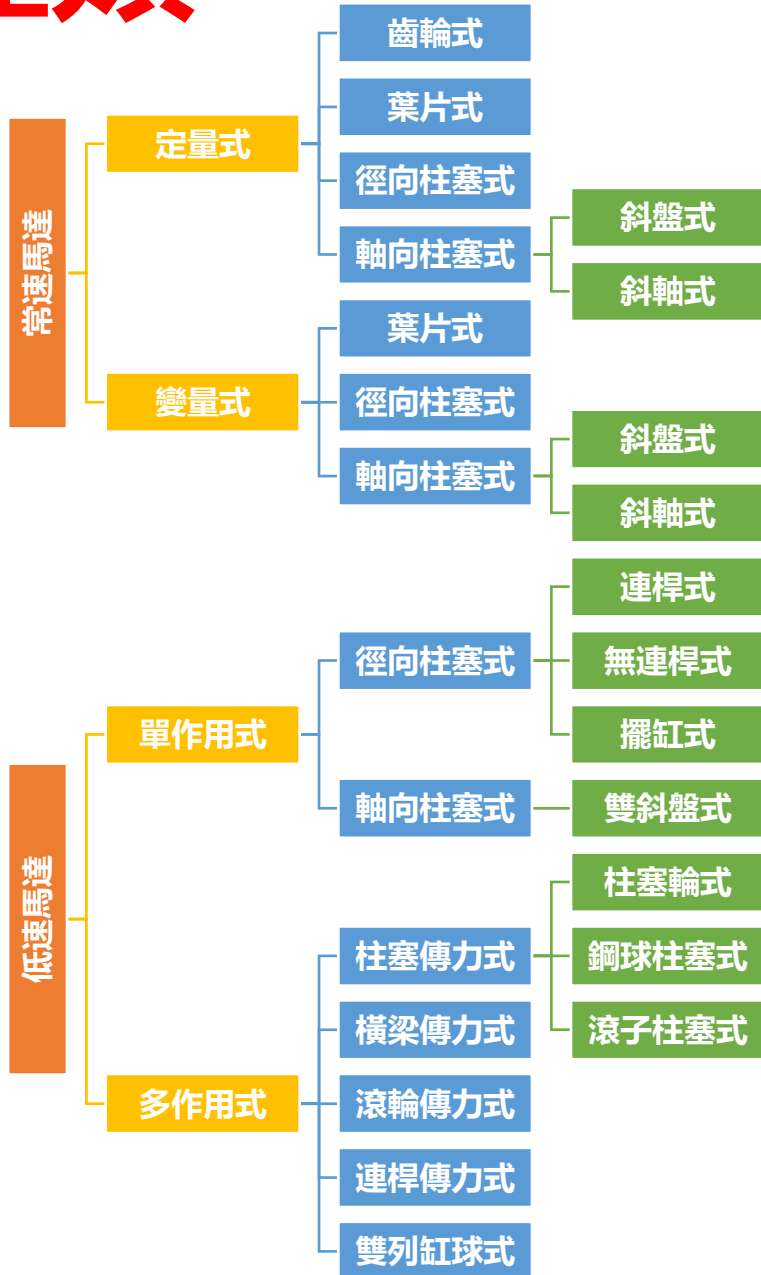
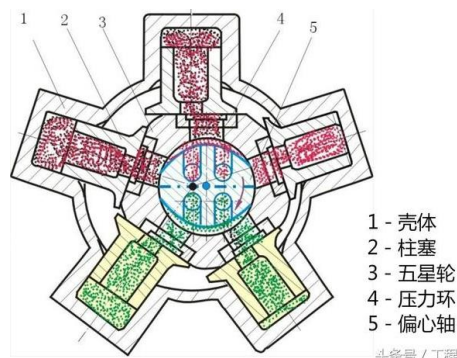
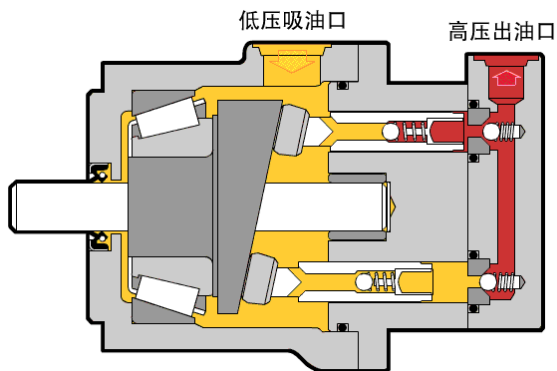
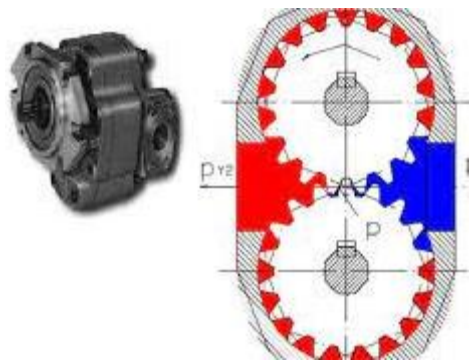
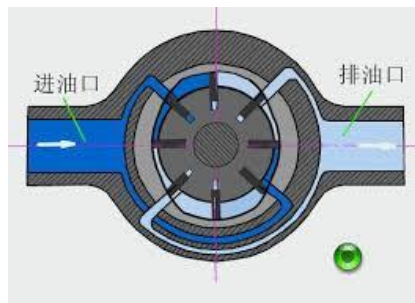
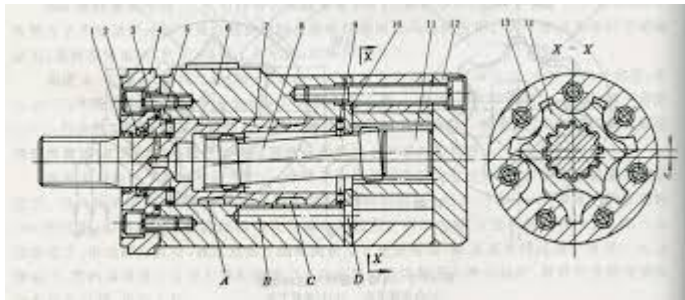
應用：OWSC、WEC



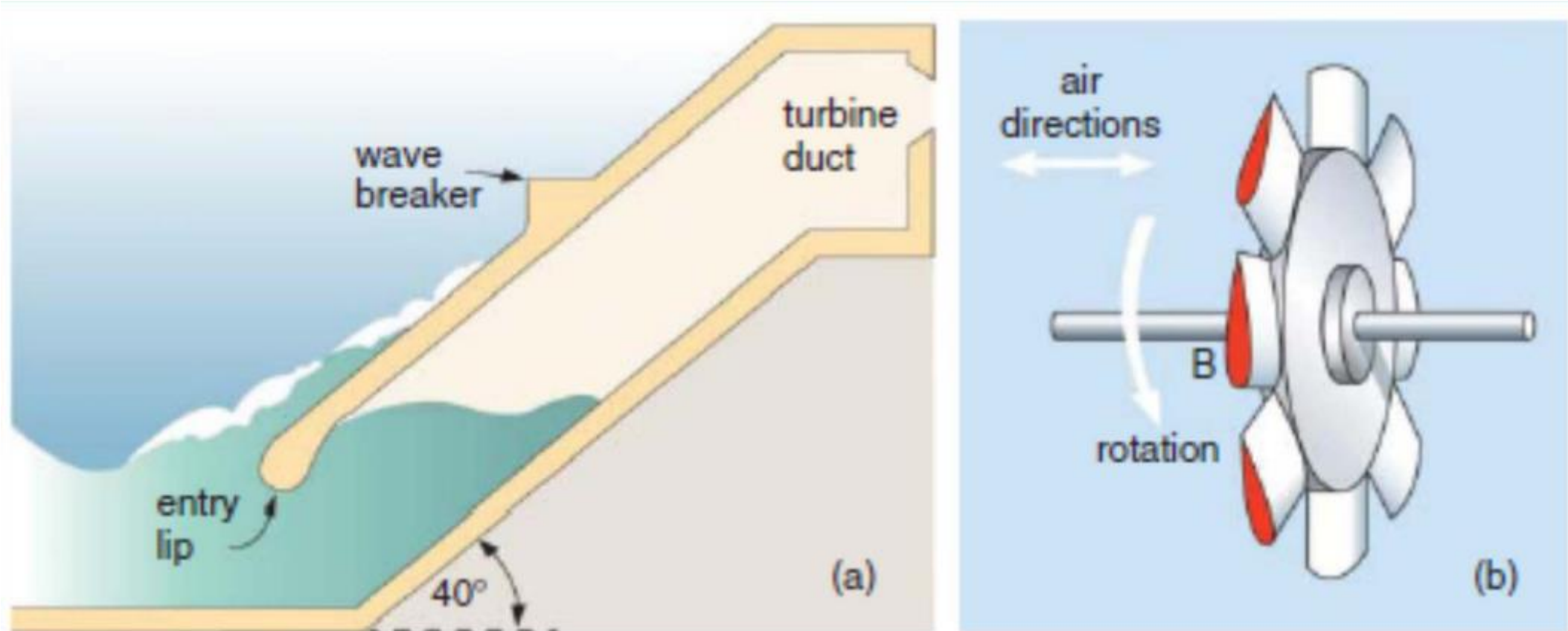
液壓缸種類



液壓馬達種類



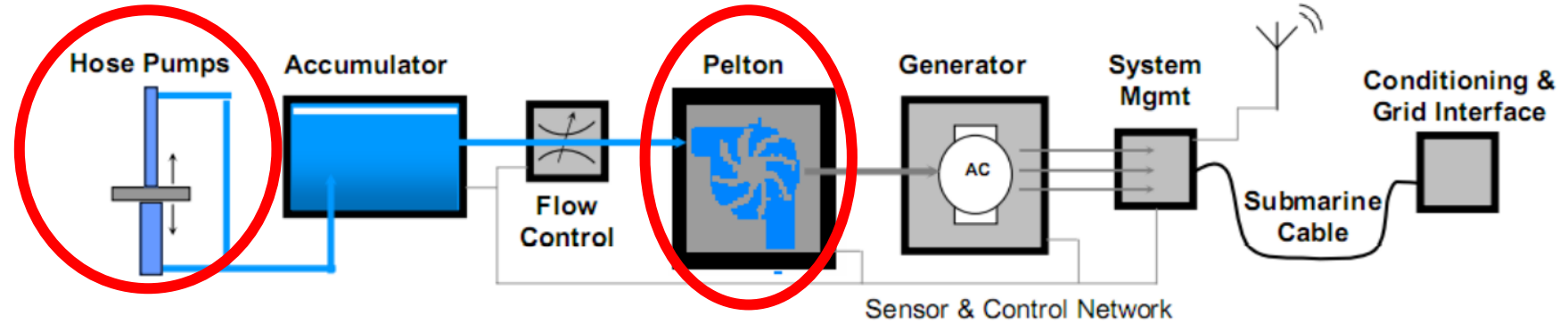
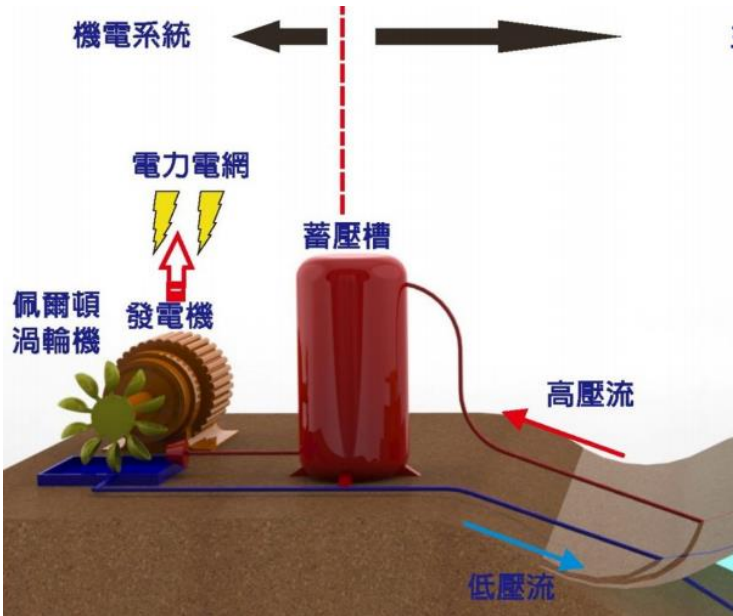
威爾斯水輪機



圖片來源：教育部風能與海洋能教學聯盟中心計畫 國立台灣海洋大學MOOCS課程

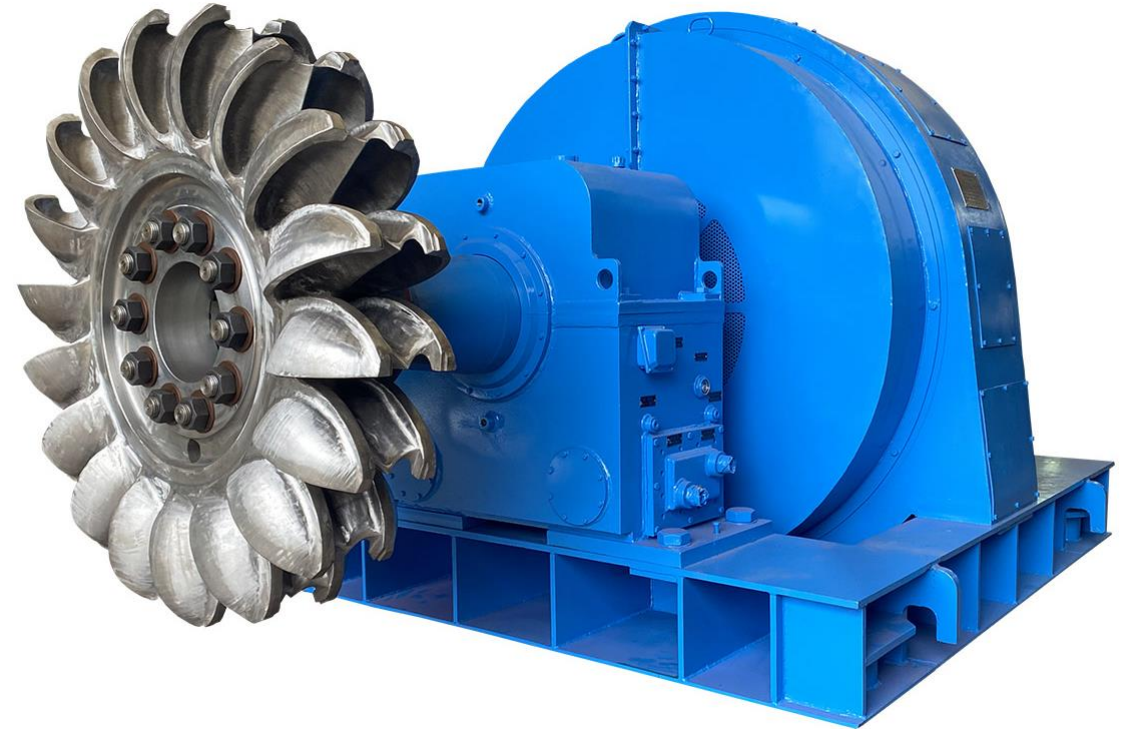
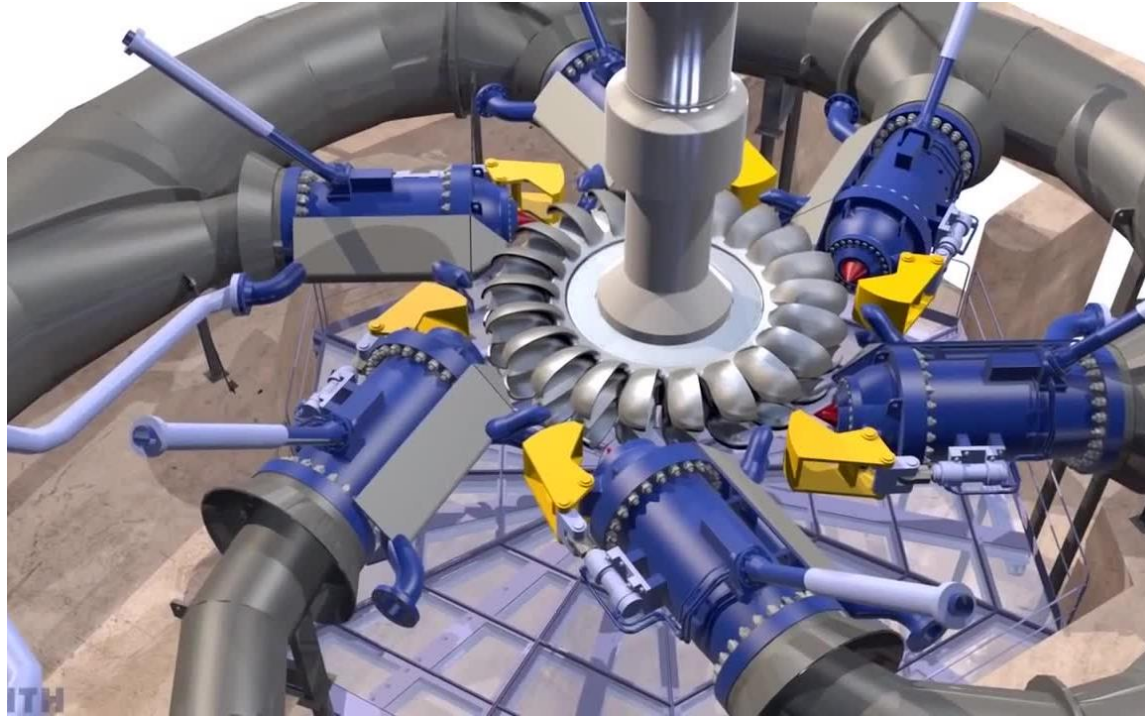
佩爾頓水輪機

- Aquabuoy波浪發電裝置 - 軟管直接傳送



原理：利用波浪推動液壓缸壓縮海水產生噴射水流，噴射水流推動佩爾頓(Pelton)水渦輪機，帶動發電機進行發電
應用：

佩爾頓水輪機



7.發電機選用計算

1.由波能流密度預估經轉換後輸出之最終發電量 P_{out}

$$P_{out} = D_w * W * \eta$$

D_w : 波能流密度

W : 轉換裝置寬度

η : 發電系統轉換效率

D_w : 波能流密度



2.由波能流密度統計分析資料與電力需求選擇適合之發電機種類

表 4.1.1 臺中港 X1 測站歷年各季節之平均波能量統計

波浪條件(主要波向)	$H_{1/3}(m)$	$T_{1/3}(s)$	wave power(kW/m)
春季波浪 (N)	1.32	6.1	11.5
夏季波浪 (WNW)	0.85	5.7	4.3
秋季波浪 (N)	1.82	6.8	25.5
冬季波浪 (N)	2.18	6.9	37.4

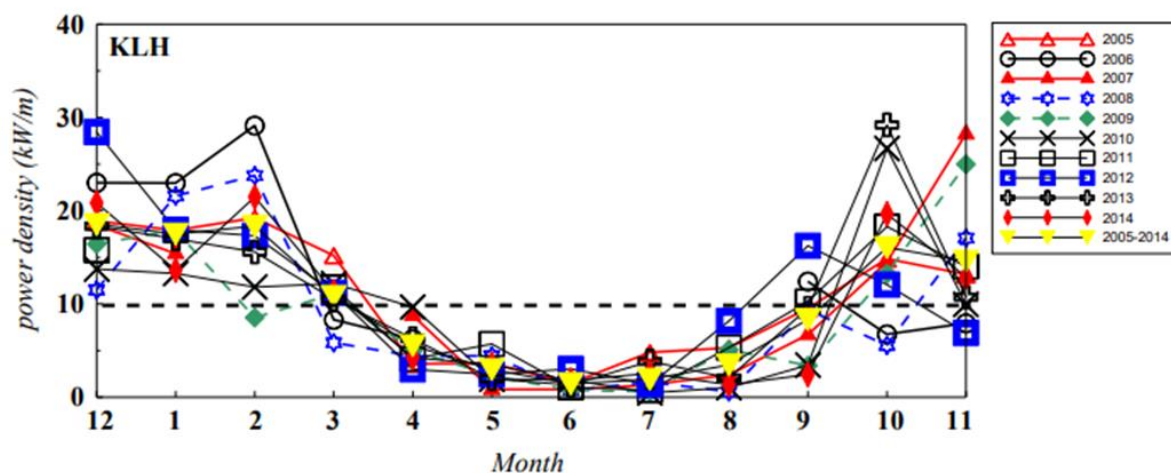


圖 33 月平均波能 (範例)

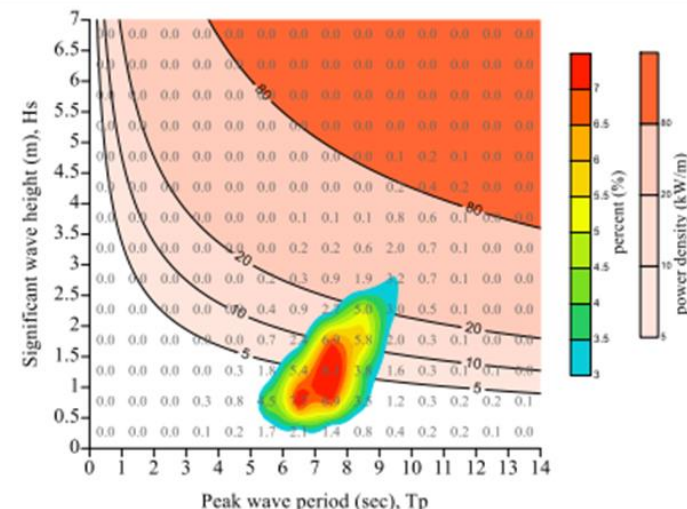
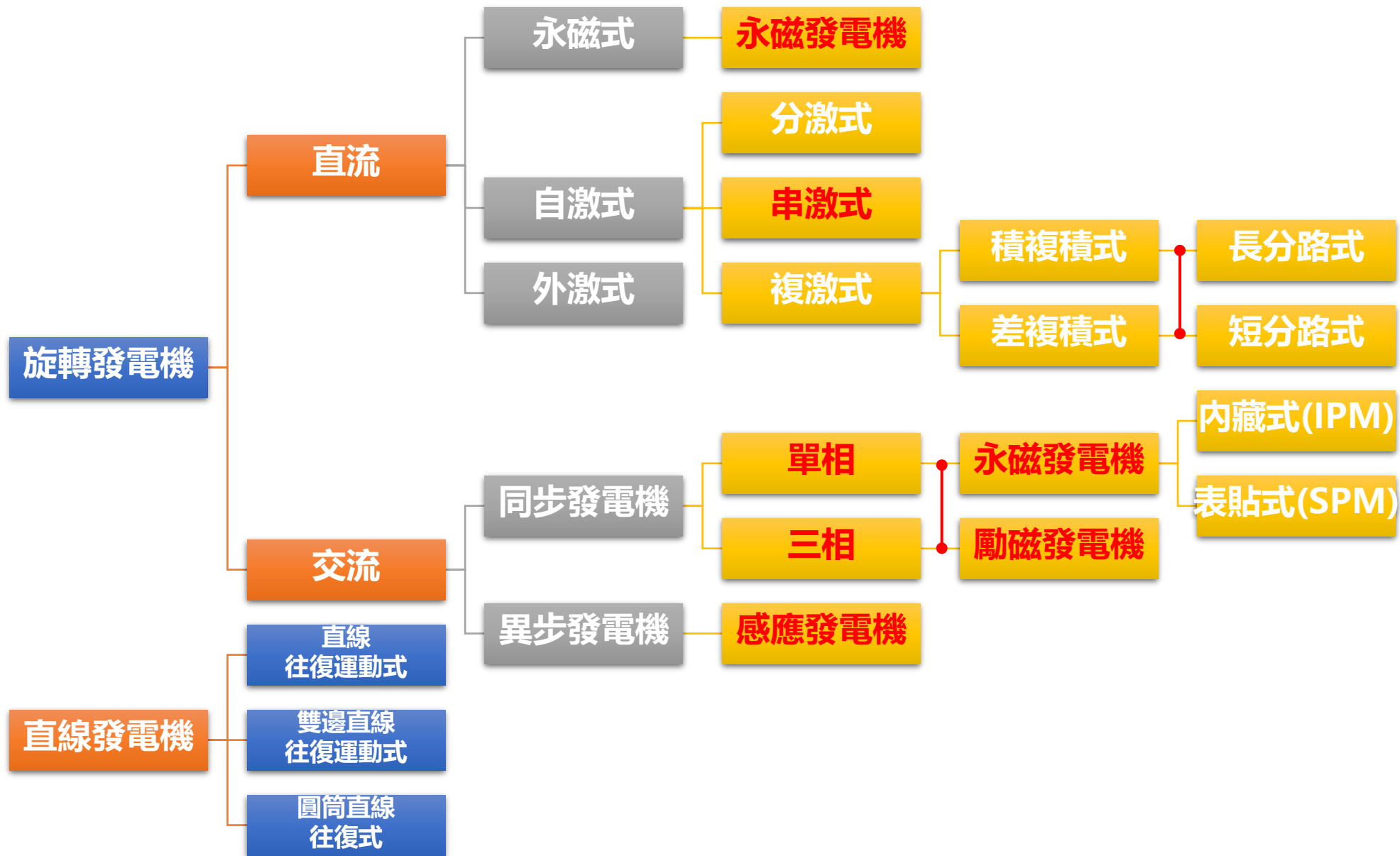


圖 24 波高週期聯合機率分佈圖(範例)

圖片來源:

- 1.台灣電力公司,“台中港防波堤波浪發電試驗研究期末報告”
2. 陳俊哲,“基隆海洋能測試場之波能資源分佈與特性分析”

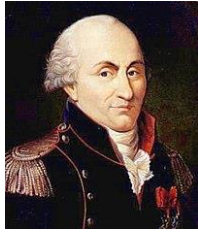
發電機種類



發電機/馬達原理演進歷史



1600
吉爾伯特
磁石論
驗電器



1767
庫侖
電荷力



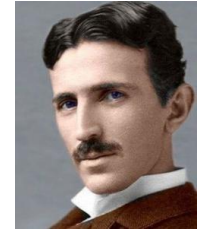
1820
奧斯特
電流磁效應



1827
歐姆
歐姆定律



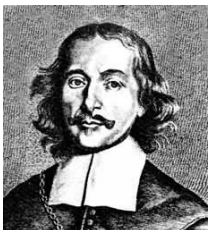
1833
冷次
冷次定律



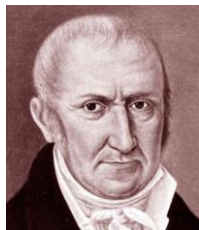
1882
特斯拉
交流電力
交流發電機



1660
居裡克
摩擦
起電機



1800
伏特
伏特堆
電池



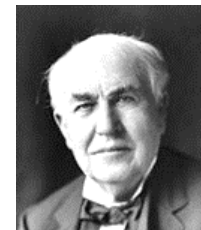
1820
安培
安培定律



1831
法拉第
電磁感應
發電機

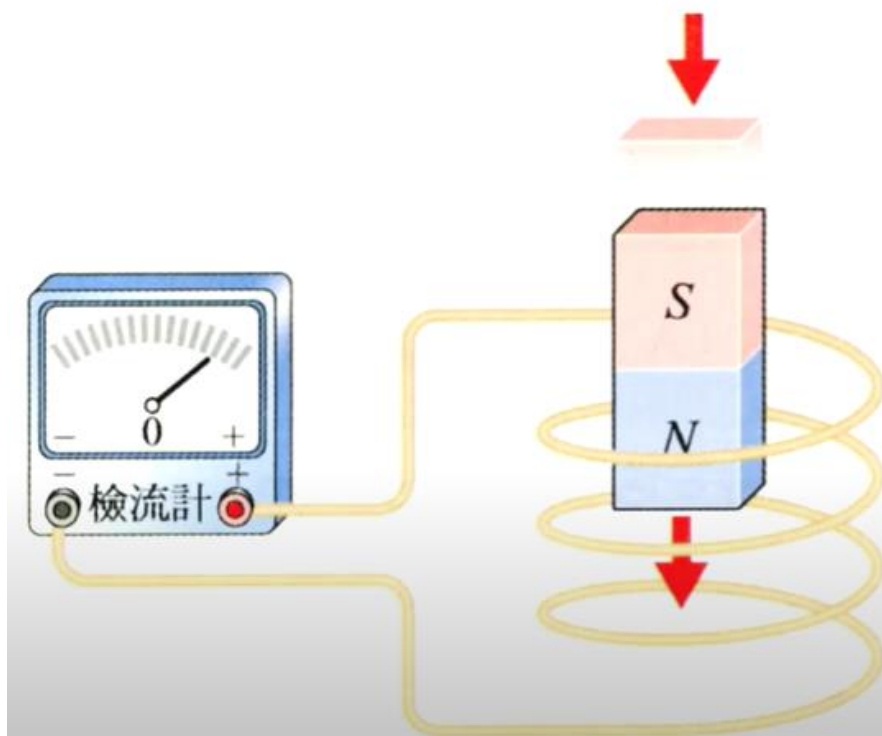


1882
愛迪生
直流電力



發電機原理

- **法拉第電磁感應定律：任何封閉電路中感應電動勢的大小，等於穿過這一電路磁通量的變化率。**
- 可產生感應電流的情形包括：變化的電流，變化的磁場，運動的恆定電流，運動的磁鐵，在磁場中運動的導體

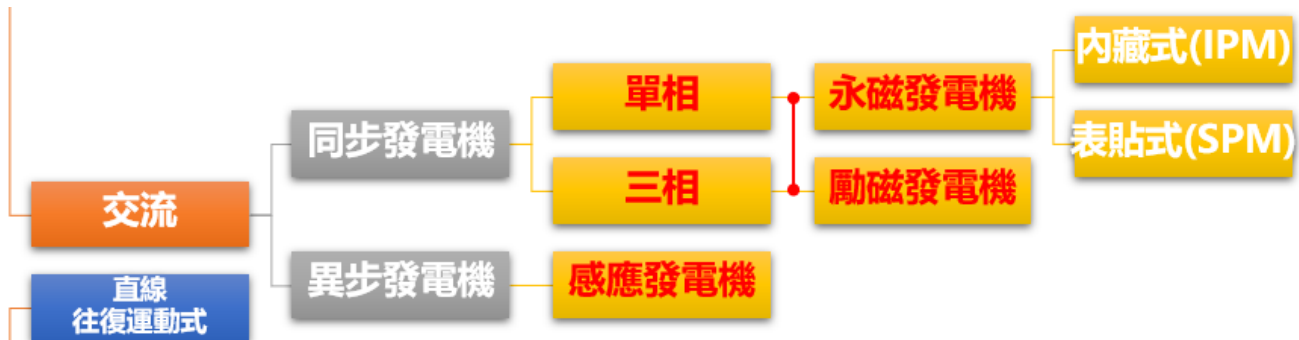


感應電勢(e)的大小與穿越線圈的磁通的變化率 $\left(\frac{\Delta\phi}{\Delta t}\right)$ 成正比，稱為**法拉第定律**。

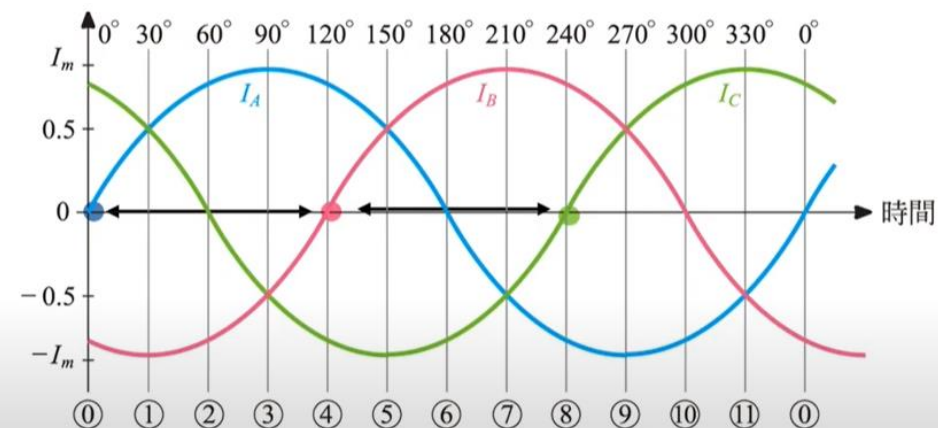
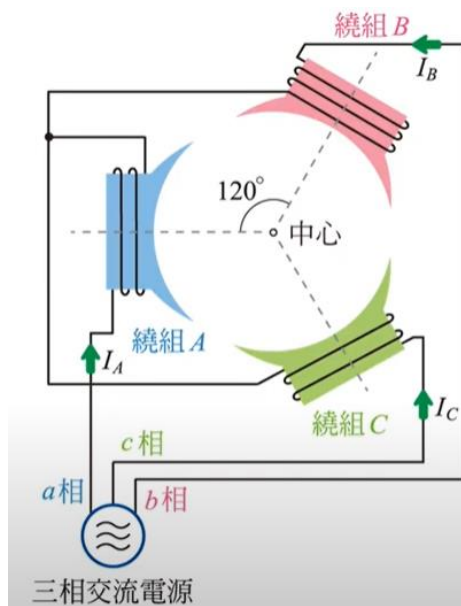
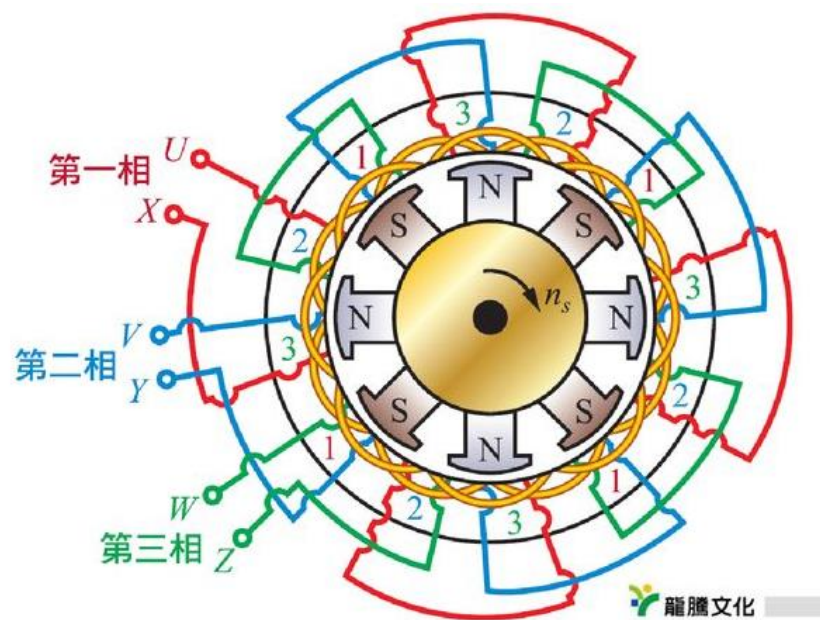
$$e = N \times \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

線圈感應電流方向，由**楞次定律**及**安培右手定則**決定。

三相交流同步發電機繞組



三相交流同步發電機是在定子鐵心線槽中有三相電樞繞組，在空間互隔 120° ，當轉子磁極以同步速率切割定子三相繞組，繞組會產生相同頻率，但時間相位相差 120° 的感應電勢。



永磁式同步發電機的特色(I)

- 永磁發電機亦屬於同步發電機的一種，其勵磁磁場由永磁體而產生。
- 永磁體在電機中既是磁源，又是磁路的組成部分，因此不需外界能量即可維持其磁場。
- 由於轉子免去了產生轉子磁場所需的勵磁功率和碳刷、滑環之間磨擦的機械損耗，使得永磁式發電機效率大為提高。
- 由於省去了勵磁式發電機的勵磁繞組、碳刷、滑環結構，使得**永磁發電機整機結構簡單**，避免了勵磁繞組的燒毀與斷線，以及碳刷、滑環易磨損等故障，可靠性大為提高。

永磁式同步發電機的特色(II)

- **永磁發電機功率密度高，體積、重量較勵磁或感應發電機小，安裝費用低。**
- **新一代永磁發電機將轉子設計成高極數(例如64極以上)，使得永磁發電機可以在極低轉速下進行發電。**
- **由於永磁發電機只要一旋轉就能發電，因此無須控制轉速，中、低速發電性能好，可以在較大的轉速範圍內進行發電。**
- **搭配電能轉換裝置(變流器)，可以將輸出頻率調整至與電網併網時所需的頻率一致。**

永磁發電機關鍵技術



磁路設計

- 轉定子槽極數比例
- 磁鐵排列方式

性能設計

- 轉子極數設計
- 繞線設計

散熱技術

- 轉子磁鐵散熱
- 磁鐵選用

冷卻系統設計

- 風冷(高轉速)
- 水冷
- 油冷(低轉速大功率)

關鍵零件加工

- 零件加工技術
- 平衡校正技術

生產技術

- 磁鐵安裝技術
- 絕緣封裝技術
- 轉定子組裝

防水設計

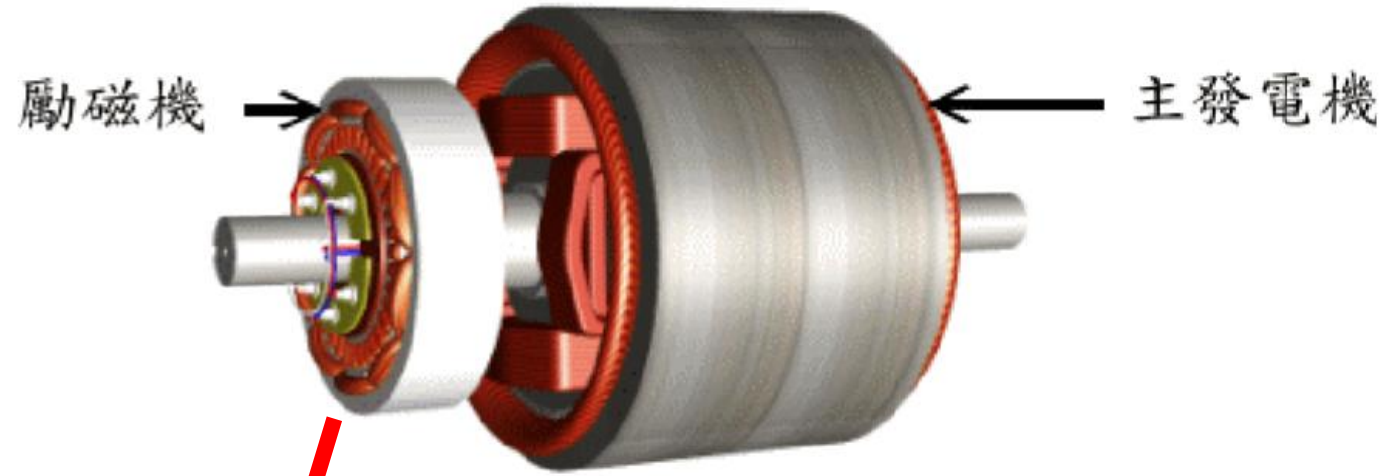
- 密封設計
- 防鏽處理

永磁發電機生產製造過程



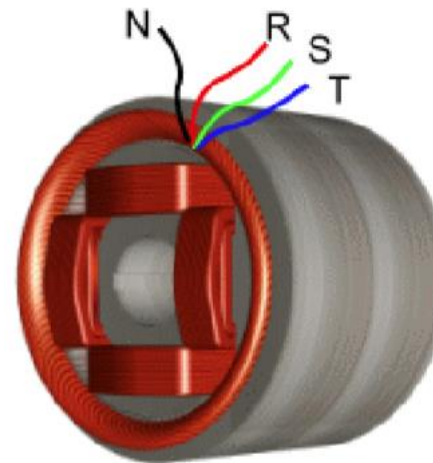
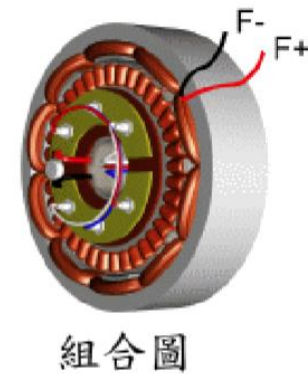
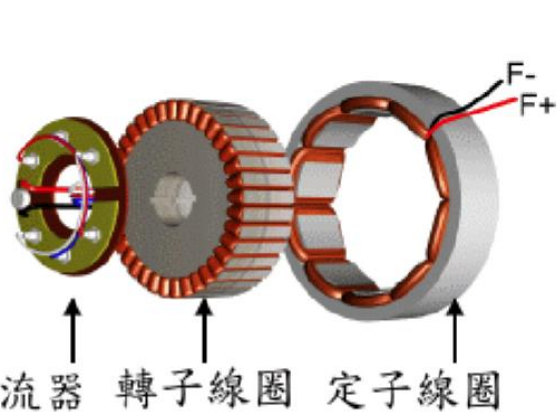
圖片來源：
天容寶節能科技

勵磁式同步發電機構造

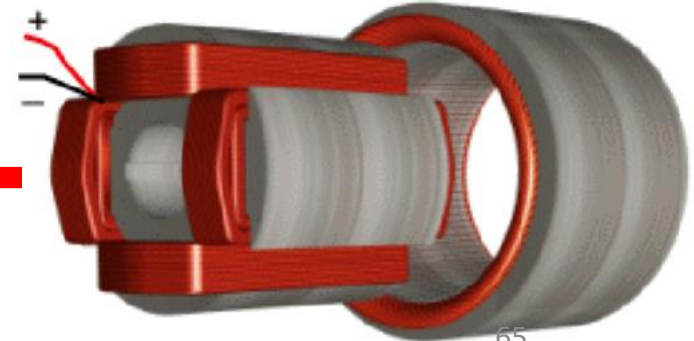


勵磁機

主發電機



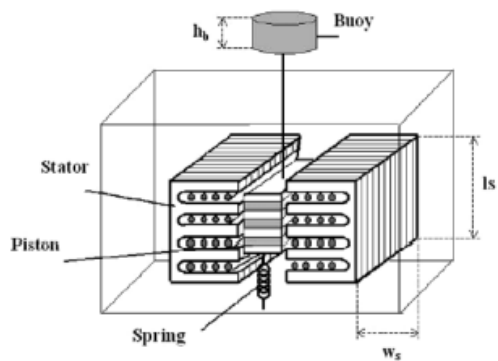
主磁場 定子線圈



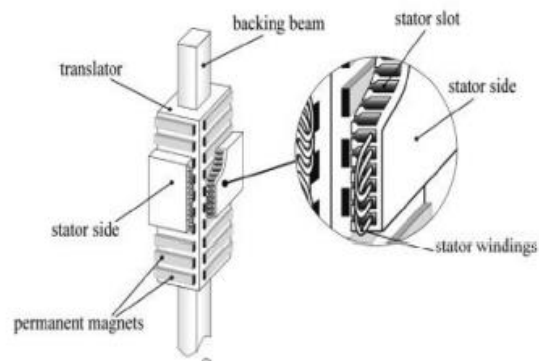
勵磁式同步發電機的特性

- 傳統勵磁式同步發電機為了與電網頻率(台灣為60Hz)一致，且受到轉子極數限制(一般為2、4、6極)，多做成1200rpm、1800rpm、3600rpm，並且需要對轉速進行控制，往往會造成能量的浪費。
- 例如在OWC裝置使用時，若波浪能量超過發電機轉速，則必須將多餘能量排出，波浪能不足時則無法使發電機發電。

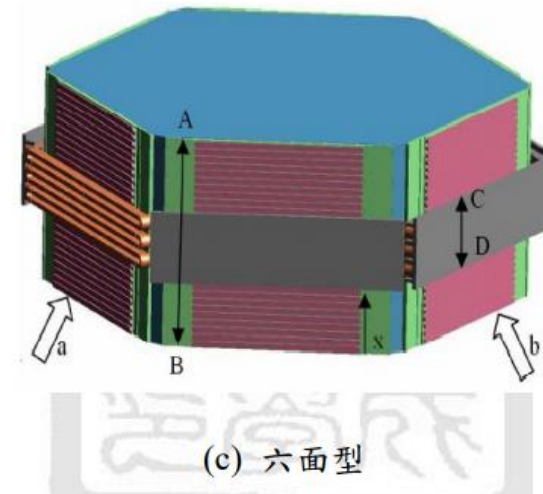
直線發電機



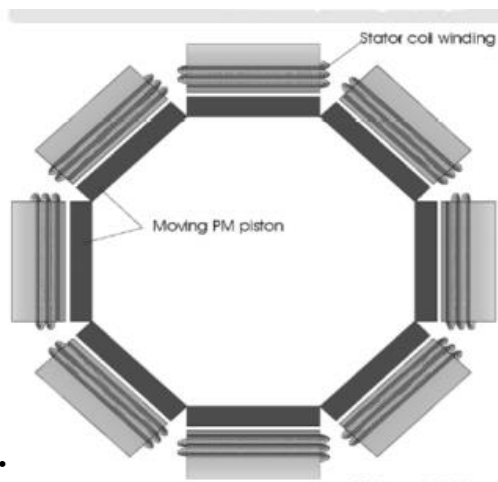
(a) 雙面型



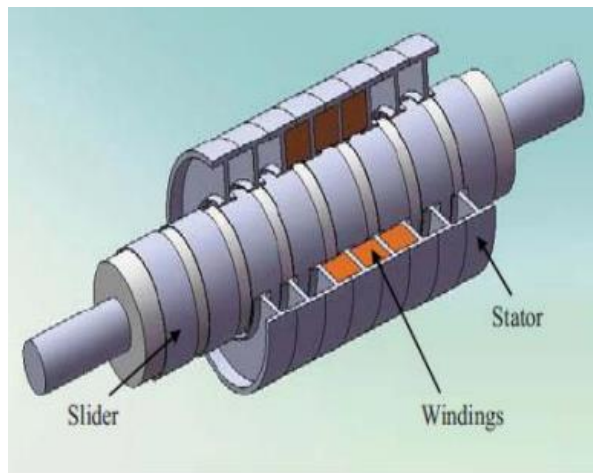
(b) 四面型



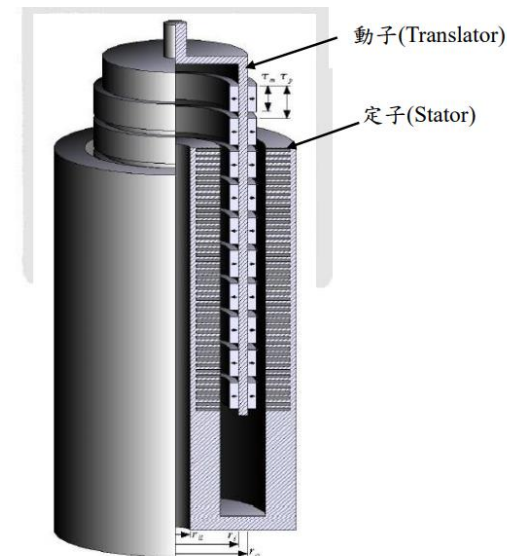
(c) 六面型



(d) 八面型

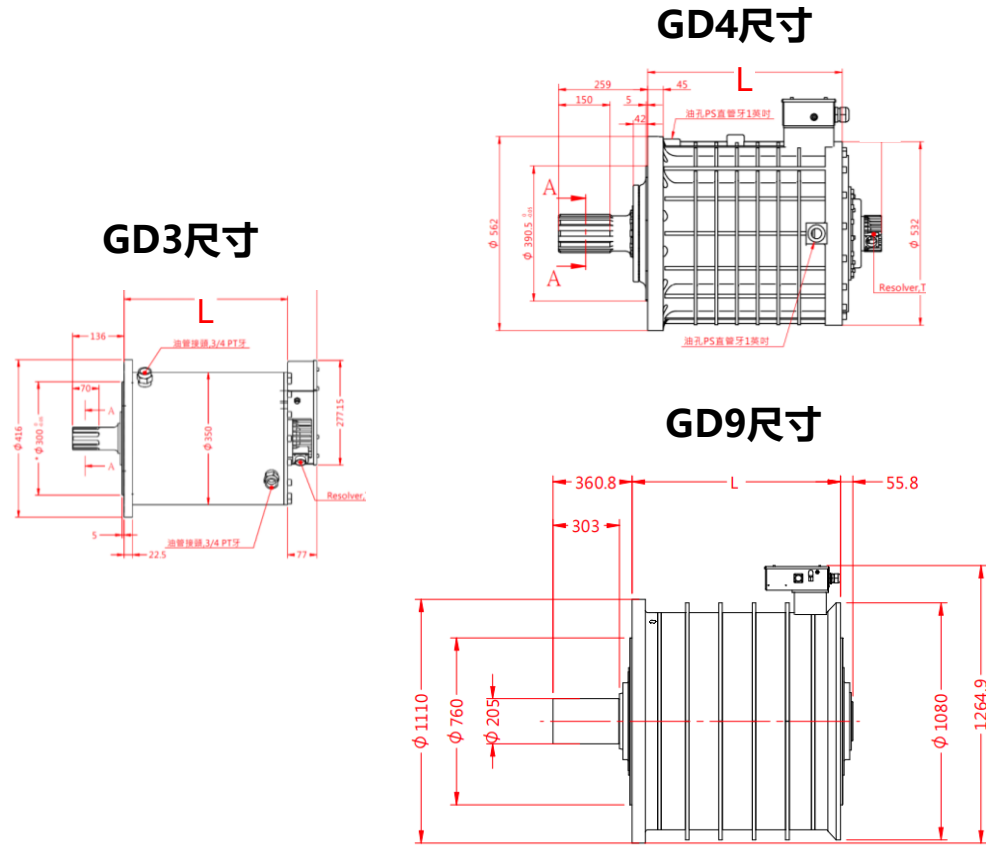


(e) 管狀型



(f) 雙側管狀型[20]

3. 由動力擷取裝置輸出之轉速、扭矩與功率進行發電機選型



型號	轉子極數	頻率 (Hz)	輸入扭矩 (Nm)	額定轉速 (rpm)	輸出功率 (KW)	額定電壓 (VAC)	長度 L (mm)	重量 (Kg)
GD3-050-030	32	80	500	300	15	380	332	200
GD3-062-030	32	80	625	300	18.75	380	432	250
GD3-075-030	32	80	750	300	22.5	380	532	300
GD4-300-008	64	48	3,000	90	27	380	520	650
GD4-300-050	64	266.6	3,000	500	150	380	520	650
GD4-375-008	64	48	3,750	90	33.75	380	620	750
GD4-375-050	64	266.6	3,750	500	187.5	380	620	750
GD4-450-008	64	48	4,500	90	40.5	380	720	850
GD4-450-050	64	266.6	4,500	500	225	380	720	850
GD9-20A-003	256	42.6	20,000	20	40	380	950	2,700
GD9-20A-010	256	213.3	20,000	100	200	380	950	2,700
GD9-40A-003	256	42.6	40,000	20	80	380	1300	4,000
GD9-40A-010	256	213.3	40,000	100	400	380	1300	4,000

資料來源：天容寶節能科技

三相交流發電機參數計算

• 輸入 $P_{in} (KW) = T * N / 9550$

• T(扭矩Nm) 、 N(轉速rpm)

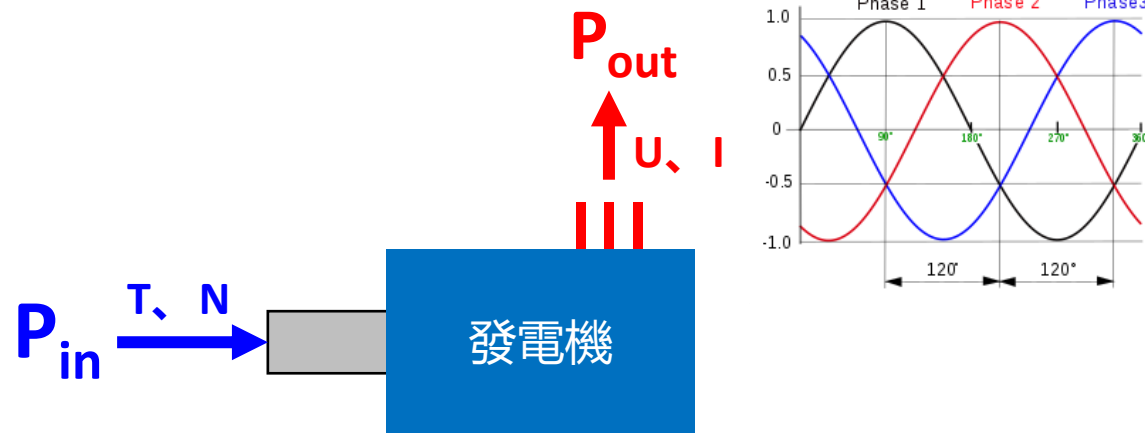
• 效率 η_g

• 輸出 $P_{out} = \sqrt{3} * U * I * \cos\phi$

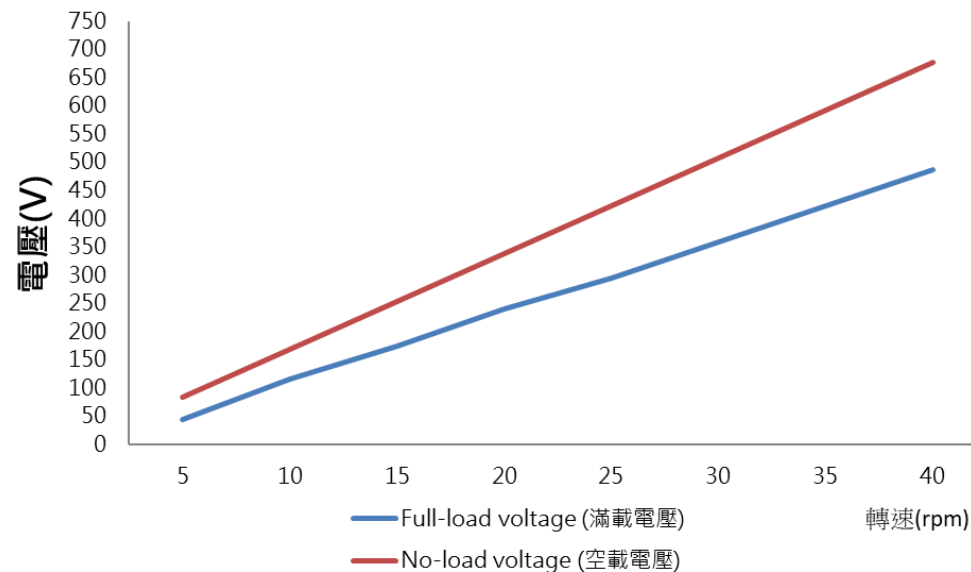
• U：電壓(V)，永磁發電機發電電壓隨轉速成線性變化

• I：輸出電流(A)

• $\cos\phi$ ：功率因數，單相一般為1，三相為0.8~1



電壓-轉速



同步轉速與頻率

- 交流同步發電機所產生的繞組電流頻率會隨著轉速而變動，其關係為：

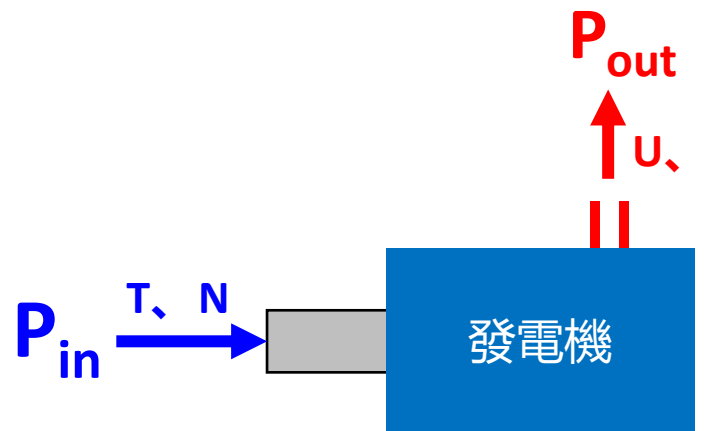
$$\text{電流頻率 (Hz)} = \text{轉速} * \text{轉子極數} / 120$$

傳統的勵磁發電機只能採用機械方式控制轉速，因此為了使發電機頻率與電網頻率(台灣為60Hz)一致，一般會將轉子做成2、4、6極，對應轉速為：1200rpm、1800rpm、3600rpm。

新一代永磁發電機可以搭配逆變器併網，由逆變電路進行頻率調整，因此轉速不受限制，可以根據發電需求進行設計。

直流發電機參數計算

- 輸入 $P_{in} (KW) = T * N / 9550$
 - T(扭矩Nm) 、 N(轉速rpm)
- 效率 η_g
- 輸出 $P_{out} = U * I$
 - U : 電壓(V)
 - I : 輸出電流(A)



常用發電機選型規格

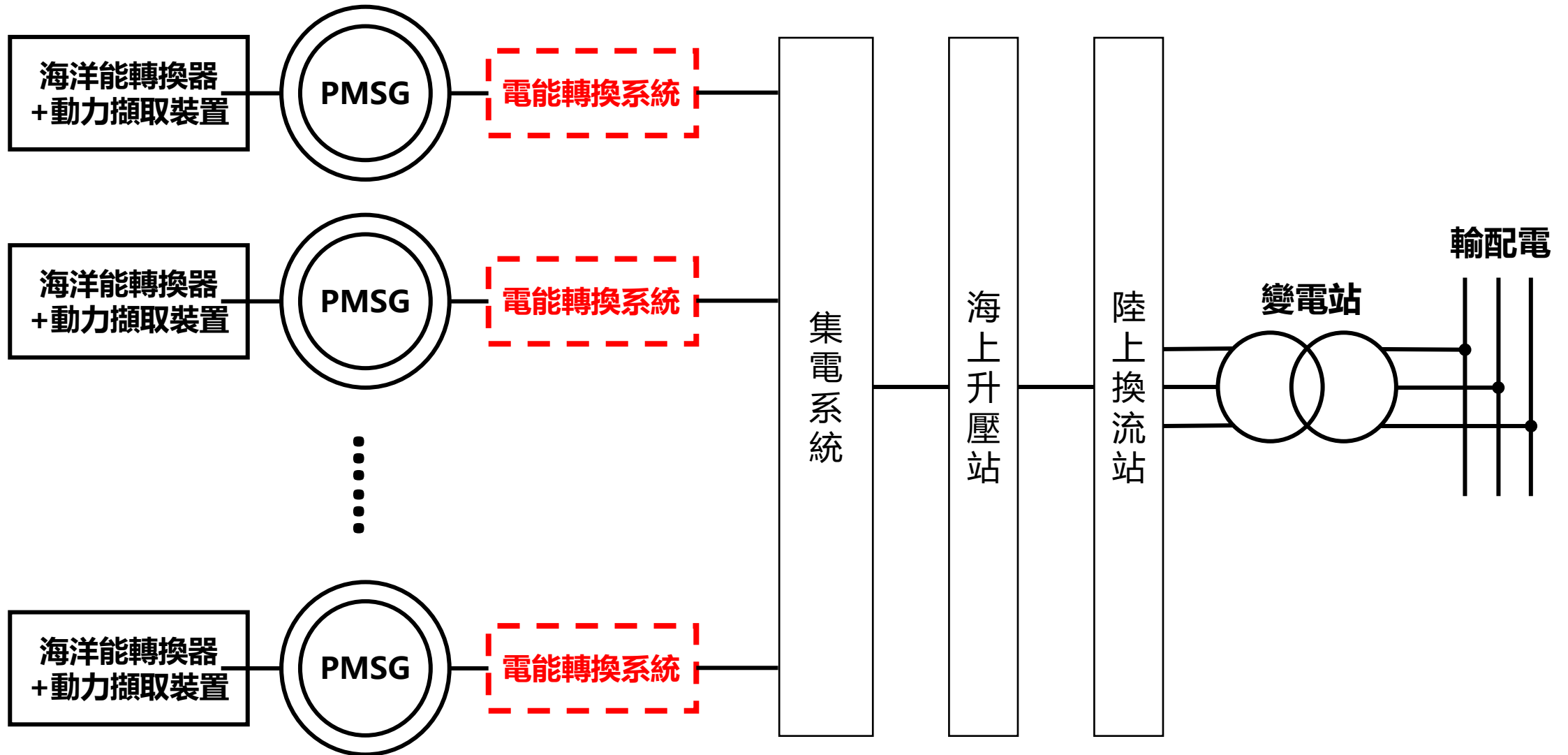
參數	內容
負載型式	電池/電網
電壓型式	直流(低壓或高壓) 交流(單相、三相、低壓或高壓、頻率)
動力擷取裝置	增速機/液壓馬達/氣渦輪機/水渦輪機
動作模式	單向/雙向、連續/間歇/擺動
轉速	空載/負載轉速、最低/最高轉速、轉速變化曲線
扭矩	設計扭矩、啟動扭矩、最大/最小扭矩、扭矩變化曲線、動力擷取裝置慣性
電纜連接	電纜接頭型式、線徑
安裝方式	臥式/立式、法蘭/底座安裝、安裝尺寸/空間/重量限制、 軸連接方式(聯軸器/連接鍵)、軸徑/軸長
使用環境	水下/水上/陸域
防護等級	防塵/防護/防鏽
壽命	壽命要求、保養方式/週期
冷卻方式	空冷/水冷/油冷/氣冷、冷卻電力來源

8. 電能轉換裝置設計

由交流發電機與併網系統組成

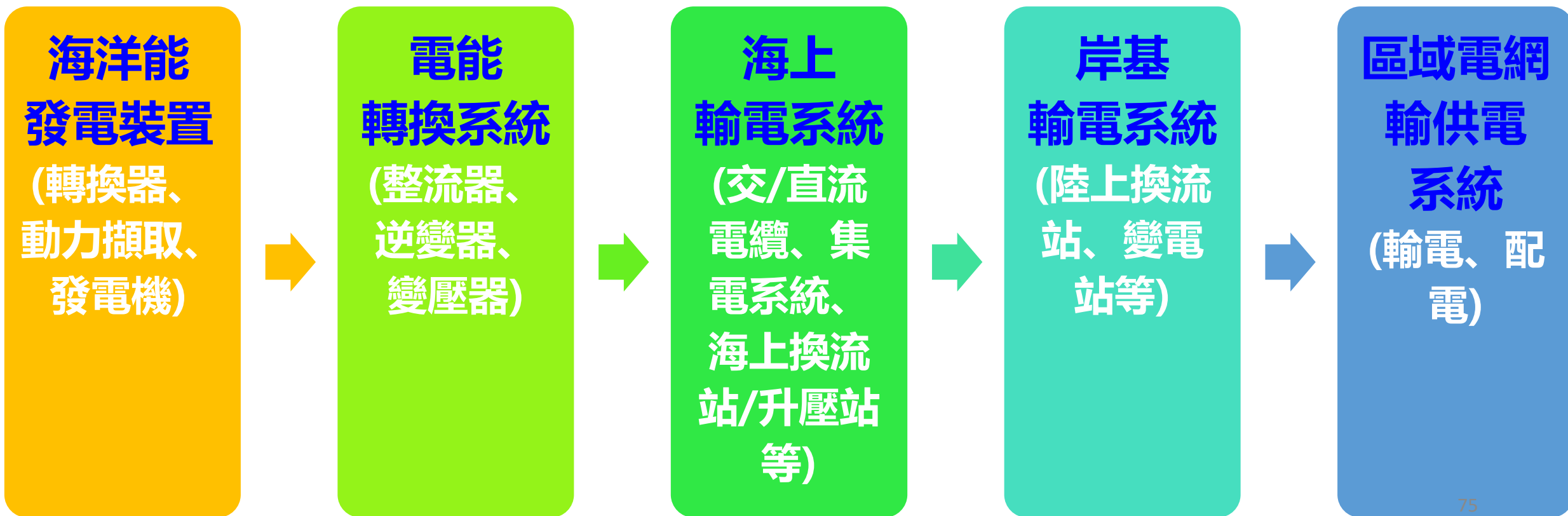


電能轉換裝置-永磁發電系統結構圖

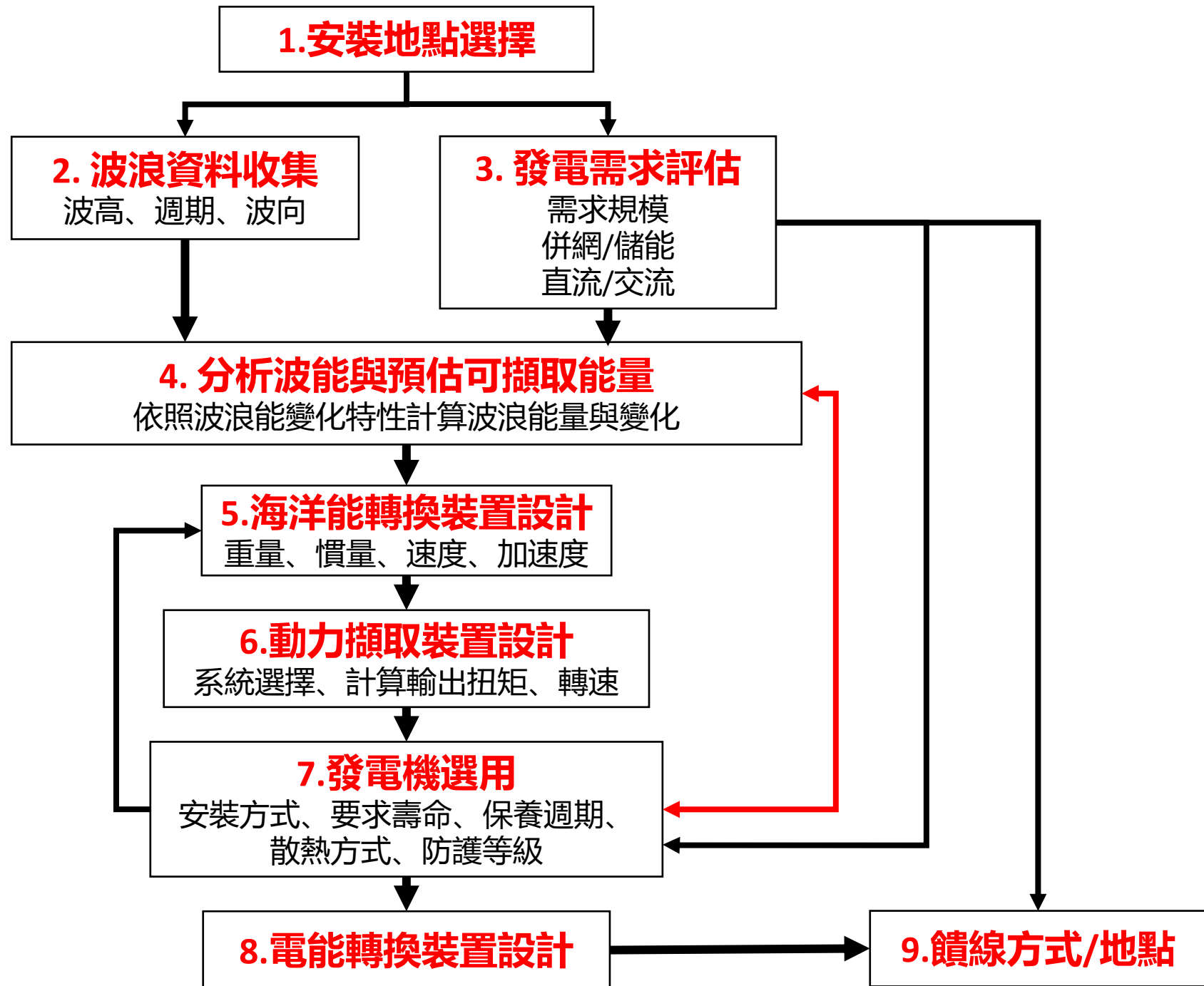


9. 饋線方式/地點

- 根據供電需求、規模選擇饋線方式與岸上併網點
 - 直接拉海纜上岸
 - 在海上設置中繼變電站，多台並聯後再拉海纜上岸



波浪能發電系統 開發設計流程



A glowing lightbulb with a mechanical body stands on a table, plugged into a wall outlet. The lightbulb is illuminated, casting a warm glow. The mechanical body is made of brass and silver metal, with joints and gears. The background is a textured wall and a dark surface.

Mobile: 0982-823-829

MAIL: flhenergytech@gmail.com

<http://flhenergy.weebly.com>

FB: 富連海能源科技

TEL: 02-7729-2062

簡報結束，謝謝聆聽。