



水力發電型式與其 文化資產啟示

陳清泉
臺大土木系名譽教授

一、概述

- 人類歷史、文化及文明。
- 非核家園政策無污染再生能源。
- 水力發電（Hydroelectric power）。
- 約一百多年前開始成為普遍發電方式。
- 水資源有限及土地資源開發衝突成挑戰課題。

- **文化(Culture)**常指人類活動的形式、痕跡及記錄；意涵思想、美學及人文關懷（文學、藝術、歷史、宗教、風俗及技藝等）。
- **文明(Civilization)**常指人類社會生活品質進步開化的狀態。
- **土木工程(Civil Engineering)**大多是提升人類社會生活品質進步開化的工程，為具有**文化**內涵之**文明工程(Civilizing Engineering)**。

東方文明哲理大師

• 孔子(551~479BC)，孟子(372~289BC)，...朱熹，王陽明等

• 格物、致知，誠意、正心、修身，齊家、治國、平天下

• 儒家「世界大同」的目標

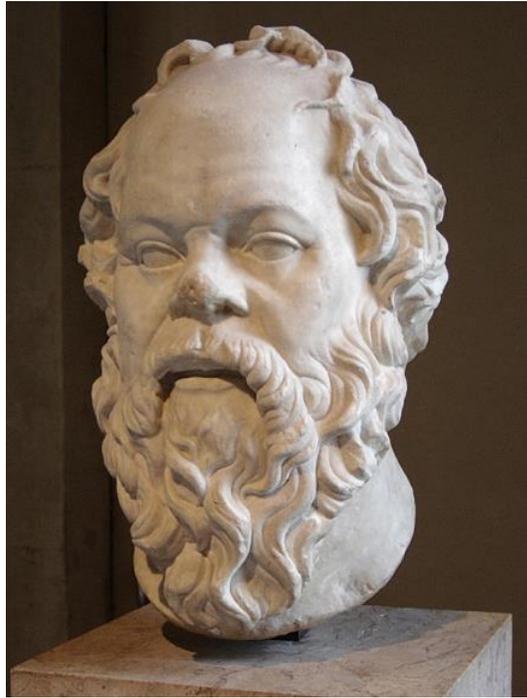
禮運大同篇：「大道之行也，天下為公，選賢與能，講信修睦。故鰥寡不獨親其親，不獨子其子，使老有所終，壯有所用，幼有所長，鰥寡孤獨廢疾者，皆有所養；男有分，女有歸。貨惡其棄於地也，不藏於己，力惡其不出於身也，不必為己。是故謀閉而不興，盜竊亂賊而不作，故外戶而不閉，是謂大同。」

• 儒家「格物致知」勵學的科學精神

古之欲明明德于天下者，先治其國。欲治其國者，先齊其家，欲齊其家者，先修其身。欲修其身者，先正其心。欲正其心者，先誠其意。欲誠其意者，先致其知。致知在格物。



西方文明哲理大師



- **蘇格拉底(Socrates, 470~399B.C.)**

辯証法，為解答一問題而提另一問題，以探討問題之矛盾。

- **柏拉圖(Plato, 420~347 BC)**

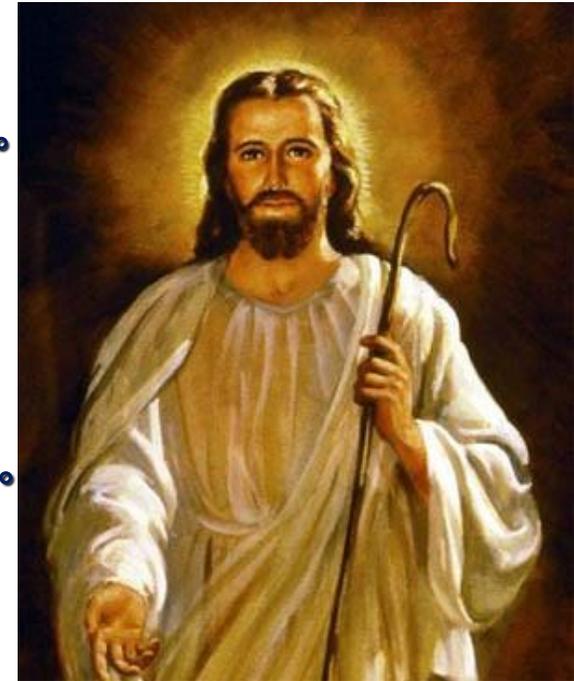
完美的事物抽象形式，理想國，純精神，創學園重教育。

- **亞里斯多德(Aristotle, 384~322BC)**

倡導邏輯，重視推理及試證，引導出學科為近代科學奠基。

- **耶穌基督(Jesus, 0~33 A.D)**

倡導愛與憐憫，上帝造萬物愛世人，順服謙卑得平安喜樂。
心靈的導師。

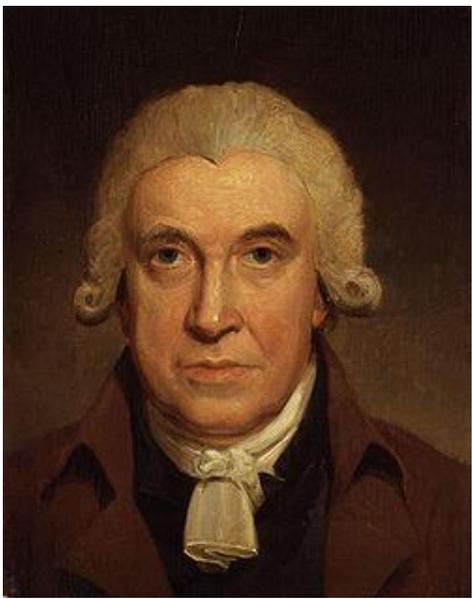


土木文化資(遺)產

- 土木工程涵蓋範圍很廣，舉凡人們生活之食、衣、住、行等需求相關的土木工程構造物等，常具有其歷史、文化、藝術或科學(含工程)等價值者。
- 屋(宮、樓、住宅)、塔、門(城門、牌樓)、牆
- 城堡、聚落
- 橋、隧、路(馬路、公路、鐵路)
- 壩(及水庫)、堰、堤、運河、圳、井、池塘

第一次工業革命 提昇文明水準

1765年瓦特發明蒸汽機起,~1870



James Watt
(1736-1819)

Steam Engine, 建造鐵路,城鎮開發

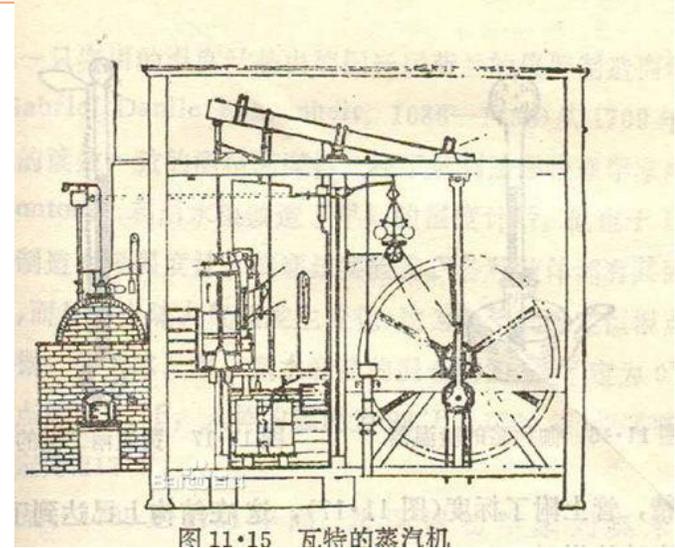


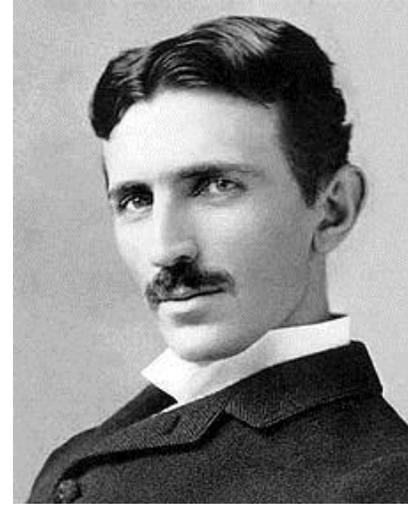
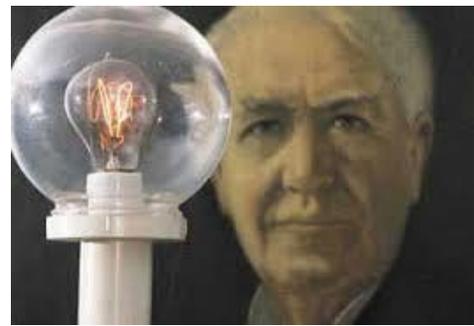
图 11·15 瓦特的蒸汽机

*提升人類的活動能力，許多土建工程增進其數量及速度，城鎮商業活動增加，**創造出歐洲的巴洛克輝煌時代**，因而讓多人創下許多人類文化記錄



第二次工業革命提昇文明水準

1870~1940年電力應用



• 電力(直流電及交流電)的發明及應用

「天才是百分之一的靈感，百分之九十九的汗水」

愛迪生(Thomas Alva Edison) 一生於名下約1100種專利, 電燈、留聲機、電影機

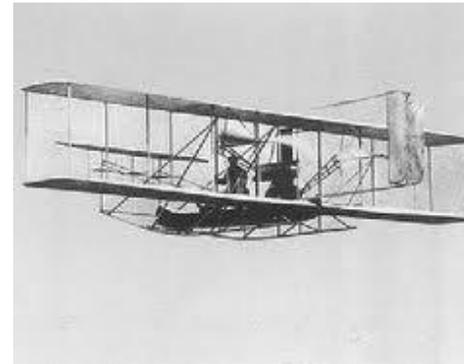
「我利用了宇宙射線，並且使它們操作一個成為原動力的設備。」

尼古拉·特斯拉(Nikola Tesla)。交流電及無線電，大型水力發電廠。

汽車工業：1896~亨利福特(Henry Ford)

航空工業：1903~萊特兄弟

(Orville & Wilbur Wright)



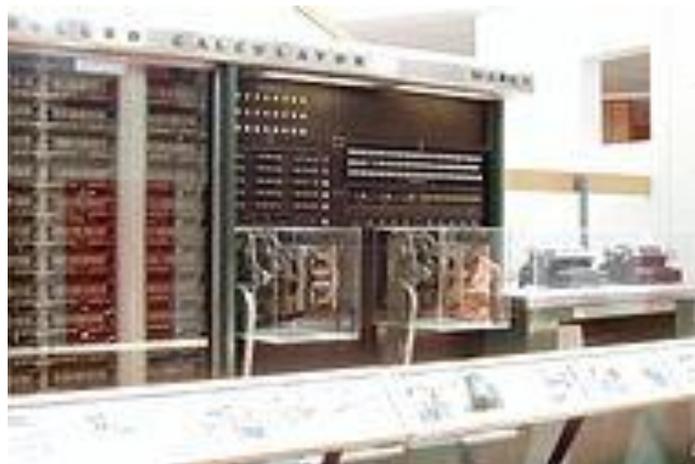
<炸藥：1864~1887黃色炸藥及無煙炸藥，>

**讓燈光照明範圍持續擴大，許多電氣用品、汽車及飛機的發明，使全球因而更明亮，生活更便利，因而創下更多人類文化記錄。

第三次工業革命提昇文明水準

1940年~今，電腦，電子，網路

- 電腦發明(1944~Mark I calculator)
- 電力機件
- 電子科技
- 電訊發展
- 電腦軟體
- 數位化
- 網路化



手機, 機器人, 3D列印,等發明

- 電腦、網路以及火箭等的發明讓人類跨出地球邁向外太空發展，創下更多人類文化多元記錄，目尚在持續擴大中。

二、水力發電廠形式

2.1 川流式發電

- 利用河川水流不斷的逕流直接進行發電的水力發電形式，是為**川流式水力發電 (Run-of-the-river hydroelectricity)**。只建造不高的攔河堰壩略抬高上游水位，由於沒有大型儲水設施，其引用水源的季節性水量變化相當敏感，故屬於間歇性的電力來源。然因其不致影響灌溉又可兼顧環保與水資源永續利用，是綠色能源之一值得鼓勵，因硬體建設投入經費不大，故早期電廠常採用，如百年前的台灣發電廠等。
- 最近者如宜蘭冬山鄉萬長春圳川流式發電站（2008年），可發電100KW(即0.10MW)，如圖。



2.2 調整池川流發電廠

- 為更大水流势能興建攔水壩，建構出上游調整池，仍採用川流式發電方式，但調整池只容納一兩天的發電用水量，其規模較水庫容水量小。取水口可設於攔水壩側旁。取水口與廠房間，得有一段距離，以取得足夠的落差。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。此為調整池川流式發電，很成功案例如美國華盛頓州諾瑟酋長壩 (Chief Joseph Dam) 川流式發電廠發電量可達2,620MW，如圖。



2.3 水庫式發電廠

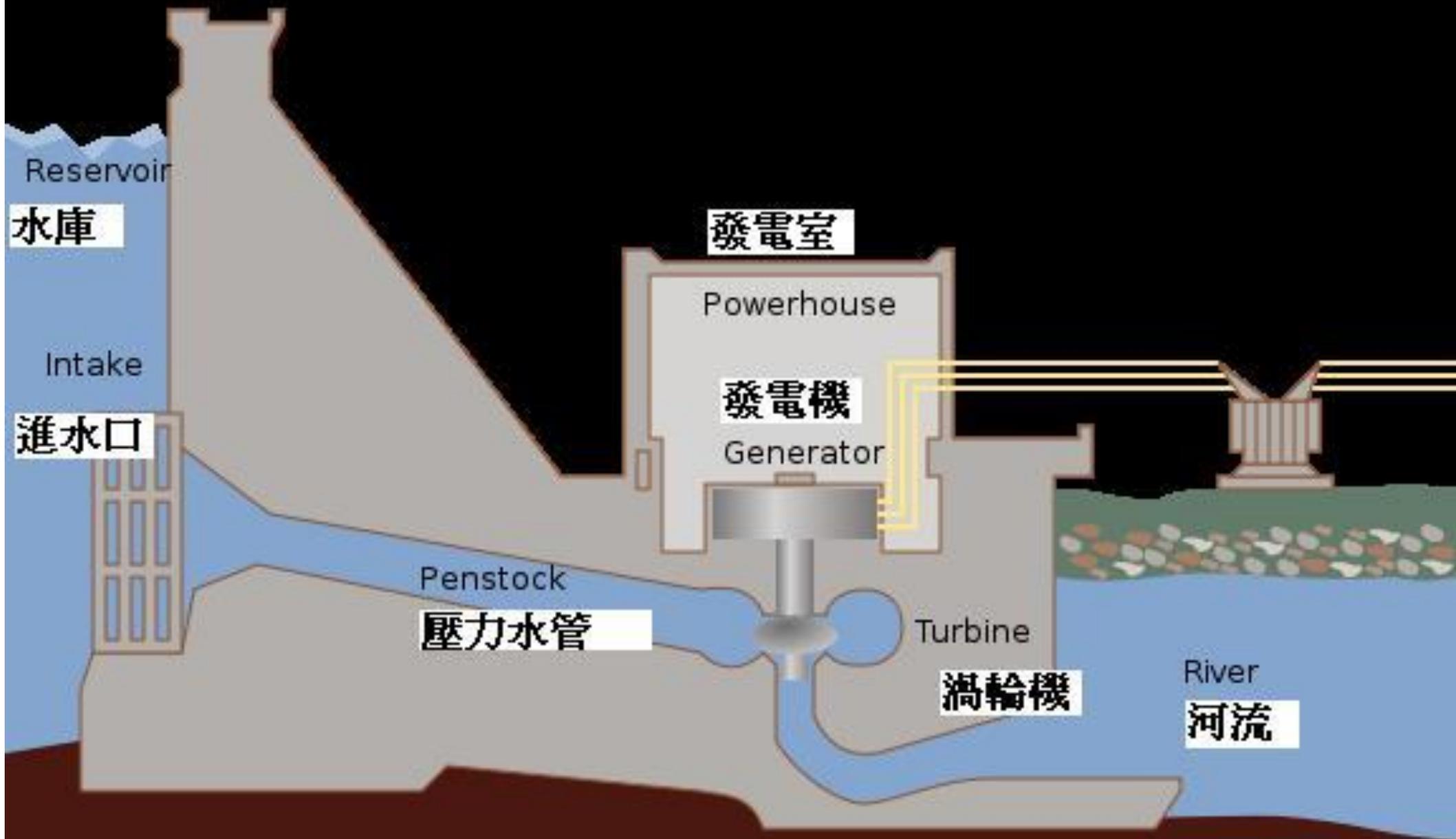
- 水力發電廠所配合的水庫是以堤壩儲水形成者，其最大輸出功率由水庫容積及出水位置與水面高度差距決定。大者可以容納一季或一年的洪水量，供該發電廠配合電力系統負載需求使用時，稱為水庫式發電。水庫發電廠的運轉情況視電力系統負載的需要而定。由攔河壩以其河流迴水與山谷所造成的水庫，或以天然湖泊加設堰壩整理後形成水庫。於壩本身設置有進水口或取水塔，無需其他水路。如：**石門水庫發電廠(1956~1964)裝機容量90MW**。及美國胡弗壩發電廠，以及三峽大壩發電廠等。



**胡弗大壩(Hoover Dam), Clark County, Nevada/ Mohave County, Arizona
H=220m, L=379, t=14m~200m;1931~1935;裝機發電容量2,080MW**

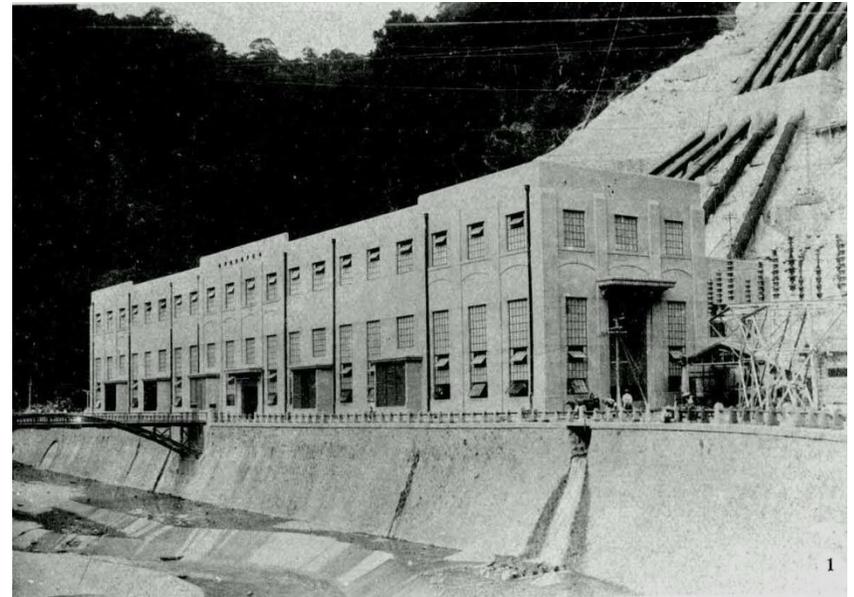


石門水庫發電廠(1956~1964), 裝機容量**90MW**



2.4 水路式發電

- 利用壩體與山谷築成水庫後，在接近大壩之水庫中或上游山壁設進水口，經引水道及平壓塔，銜接壓力鋼管進入發電廠水輪機後發電，其尾水排出回於下游溪流。此種型式之電廠可設於較壩底更低之下游，取得更大勢能，得以增加發電能量，此方式稱為水路式發電。如日月潭水力發電工程中之大觀發電廠，裝機容量1110MW。如圖所示



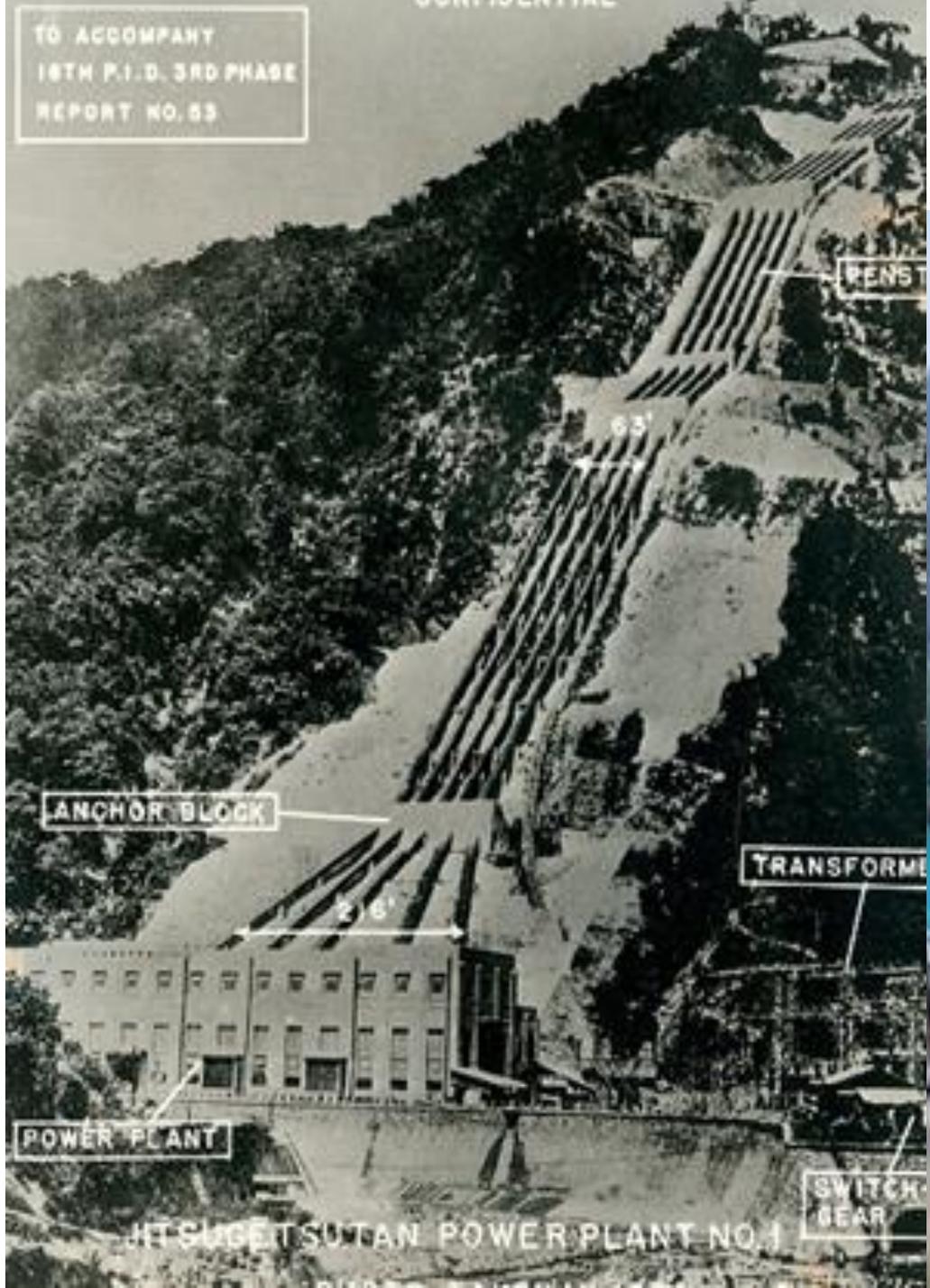
台灣日月潭水庫



- 1918~1934建成，
- 位於台灣南投縣**水社及頭社建土壩**，混凝土心之土壩，
- 為離槽水庫，由濁水溪引水入庫，引水隧道開渠長2,700m
- 具給水及發電目標，為抽蓄發電電廠
- 水庫蓄水量約1.7億公噸，年可用水量約15億公噸

TO ACCOMPANY
16TH P.I.D. 3RD PHASE
REPORT NO. 53

CONFIDENTIAL

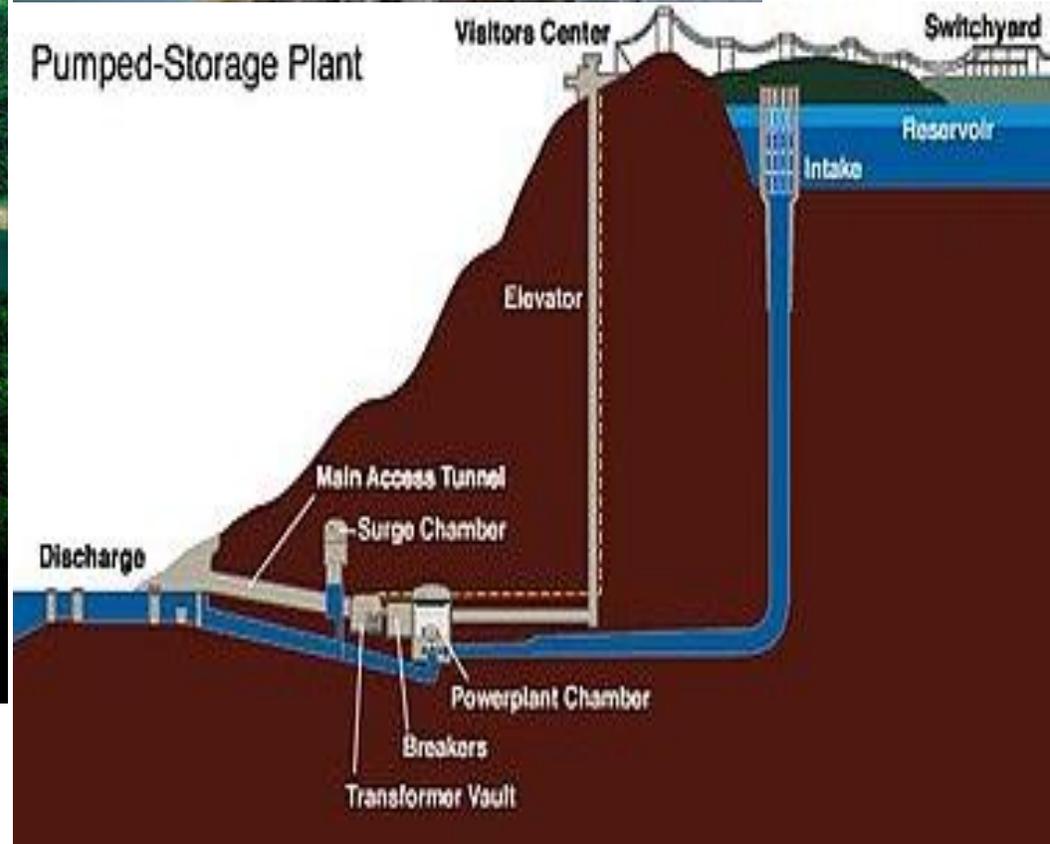


大觀發電廠
總裝機容量1,110MW



2.5 抽蓄式電廠

- 為提高機組效率，於深夜用電量少時，抽蓄機組可利用離峰時之電能，抽取下池水以貯存於上池，於尖峰時再利用上池放水發電，以補充系統尖峰發電量之不足，把深夜多餘電能，轉變為水的位能儲存，以供次日白天發電使用。抽蓄發電(**Pumped-storage hydroelectricity**)除可增加尖峰時之發電量，提高大容量火力及核能發電機組之效率及降低系統成本外，並可隨時調整系統之電壓與頻率，必要時更可緊急發電或停止抽水，以補充因大容量機組故障而不足之電力以免限電，確保供電品質。如**明潭抽蓄發電廠** 1995，裝機容量1,000MW。



明潭抽蓄發電廠1995年，裝機容量**1,000MW**

2.6 潮汐發電

- 利用海洋運動過程生產出來的能源，這些能量包括潮汐能、波浪能、海流能、海洋溫差能等，稱為海洋能 (Marine energy/Ocean power)。潮汐發電(Tidal power)是藉由潮汐引致海水之水位升降而發電。一般都會建水庫儲水發電，但也有直接利用潮汐產生的水流發電。第一座大型潮汐電站朗斯潮汐電站 (Rance Tidal Power Station)於1966年啟用，裝機容量達到250MW發電量，圖6A。南韓在始華湖潮汐發電廠2011年啟用，裝機容量達到254MW發電量，為目前全球最大的潮汐發電廠站，如圖6B。台灣最大潮差發生在金門、馬祖外島，約可達5公尺潮差，可研究開發。

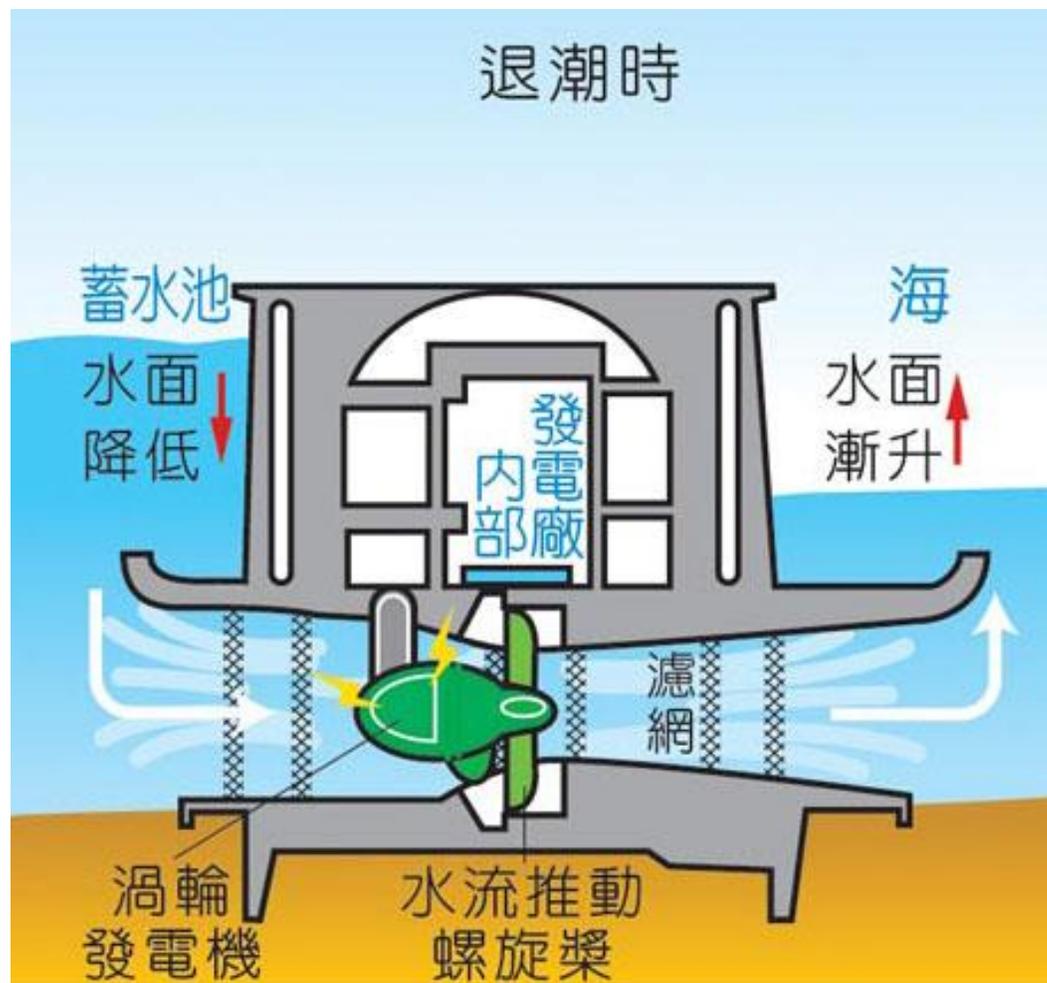


朗斯潮汐發電廠 (Rance Tidal Power Station) 1966年，**250MW**，法國

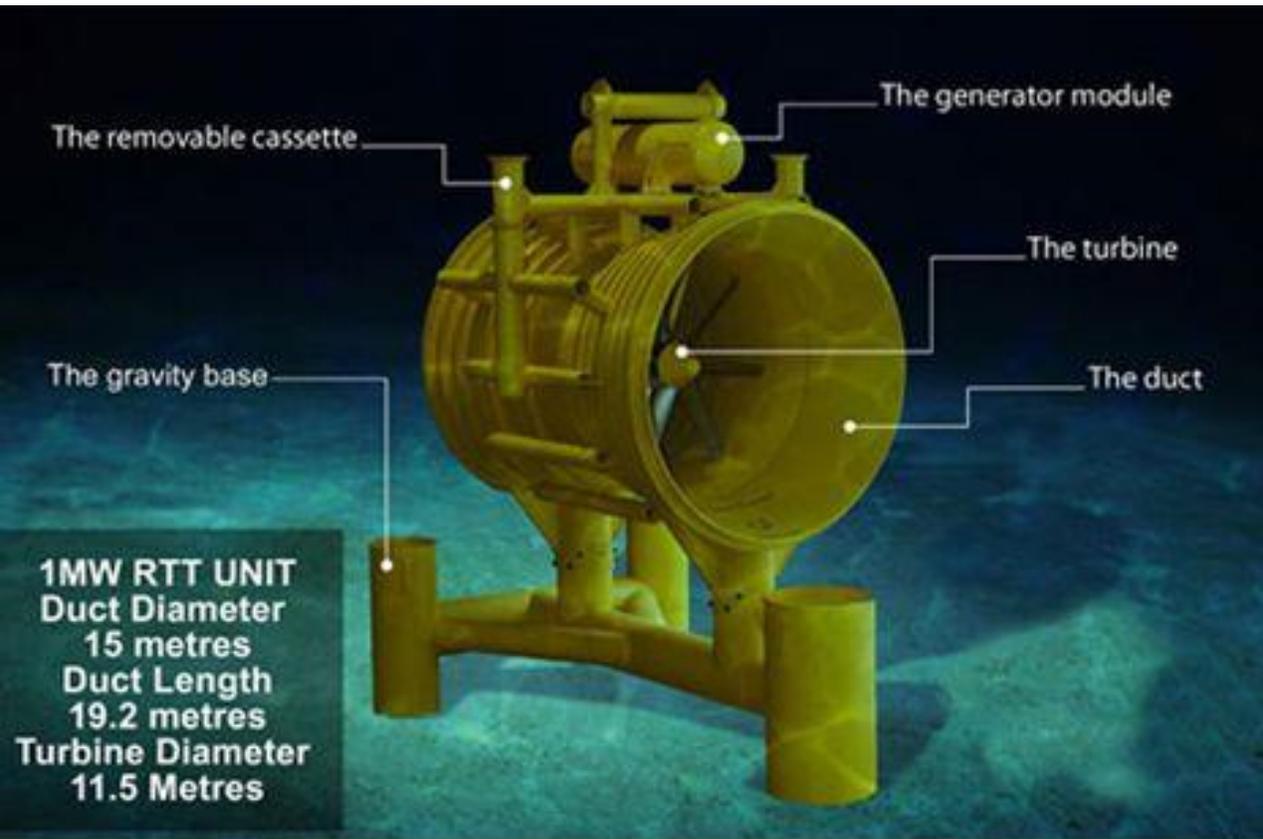


Sihwa Lake Tidal Power Plant, South Korea, 254MW, 2015
(目前全球最大潮汐發電廠)

潮汐發電廠示意圖



Oceade* 1.4-18 Tidal Stream Turbine



Pitching Composite Blades

Proven blade design with efficient hydrodynamic profile and individual pitch control to respond to local flow conditions, optimise yield and minimize structural loads.

Buoyant Design

Structure towed to site, deployed or retrieved with a low cost work-class vessel and ROV in one slack water period. Fully submerged when installed with no visual impact.

Clamp and Stab System

Patented technology permitting secure connection to the support structure during generation and yawing at slack water whilst maintaining power connection to the shore.

Cable

Interface to the power export cable running either to a subsea power collection hub or direct to shore.

Nacelle

Power and control electronics located inside the nacelle, in a controlled and sealed environment.

Rear Door

Access hatch for smaller line-replaceable units and a rear door enabling access to larger modules, delivering enhanced maintainability in terms of safety and cost.

Plug-And-Play Modules

Subsystem modules easily removable designed to minimize maintenance turn-around times and help maximize farm availability.

Thruster

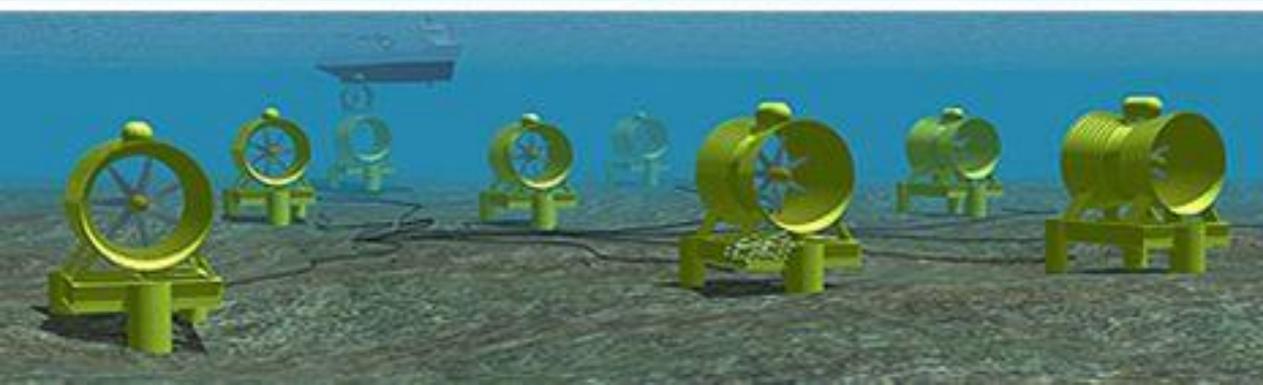
Buoyant nacelle using a thruster to rotate at each slack water and face the oncoming flow, optimizing yield and minimizing structural loads.



Efficient, Cost-effective and Easy-to-Maintain

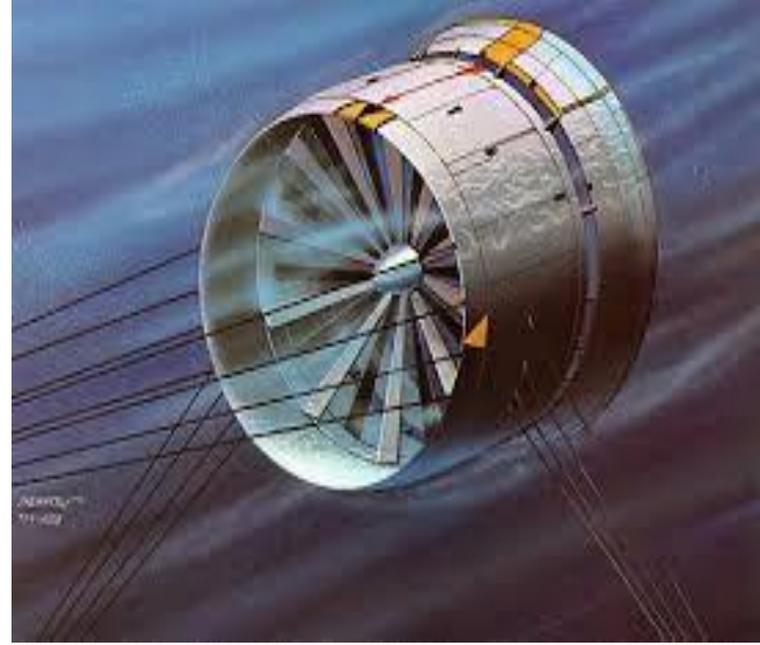
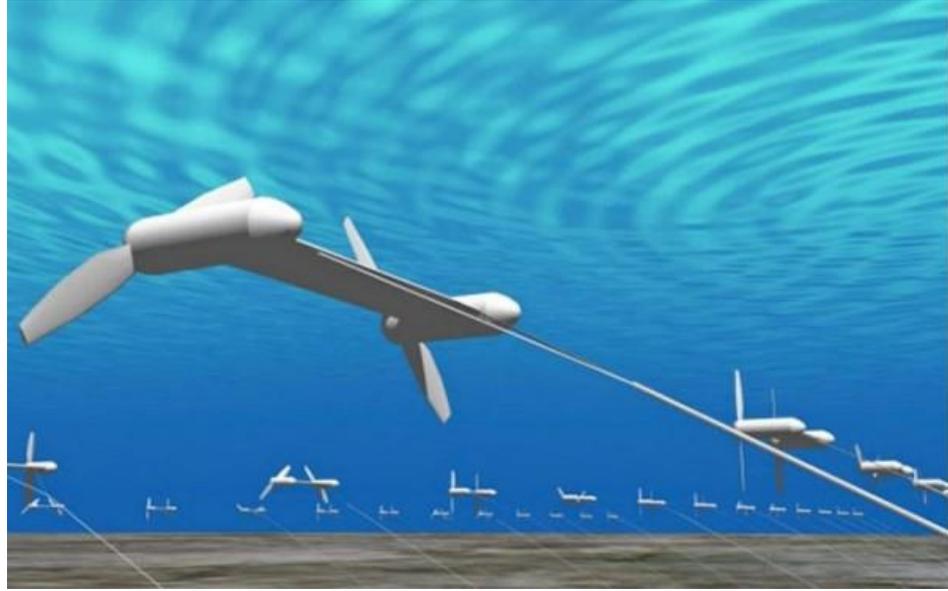
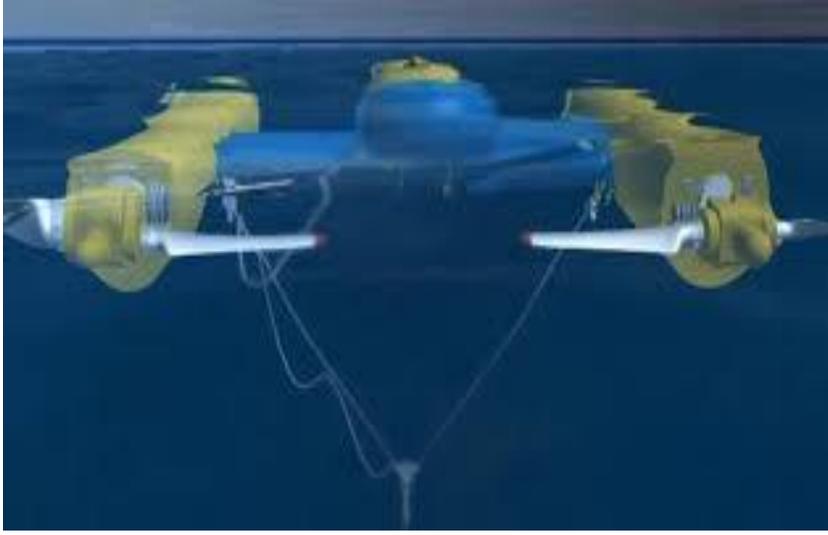
- Optimized cost-effective and reliable installation, operation and maintenance
- Reduced levelized cost of electricity thanks to its optimized drivetrain that helps maximize the use of tidal stream resources

*Trademark of General Electric Company



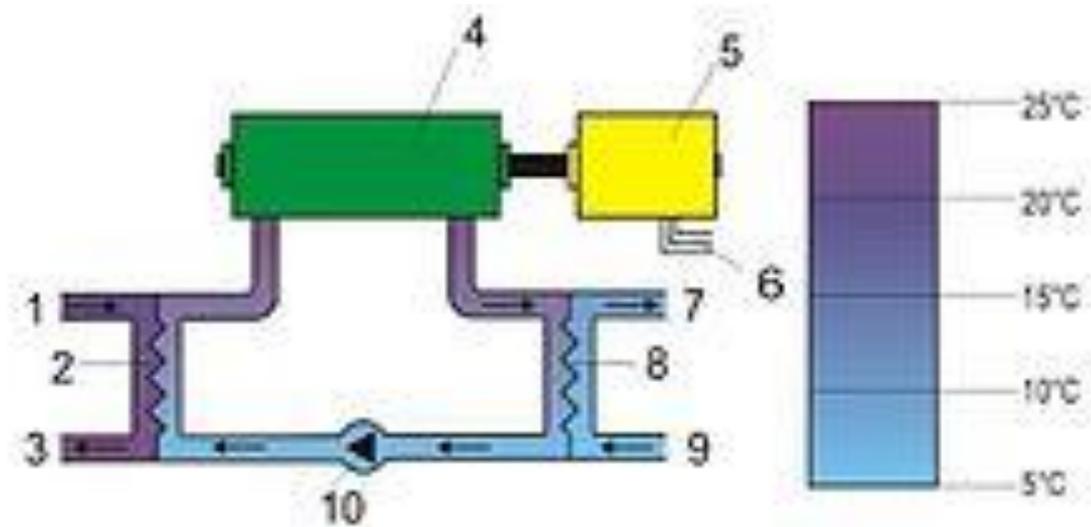
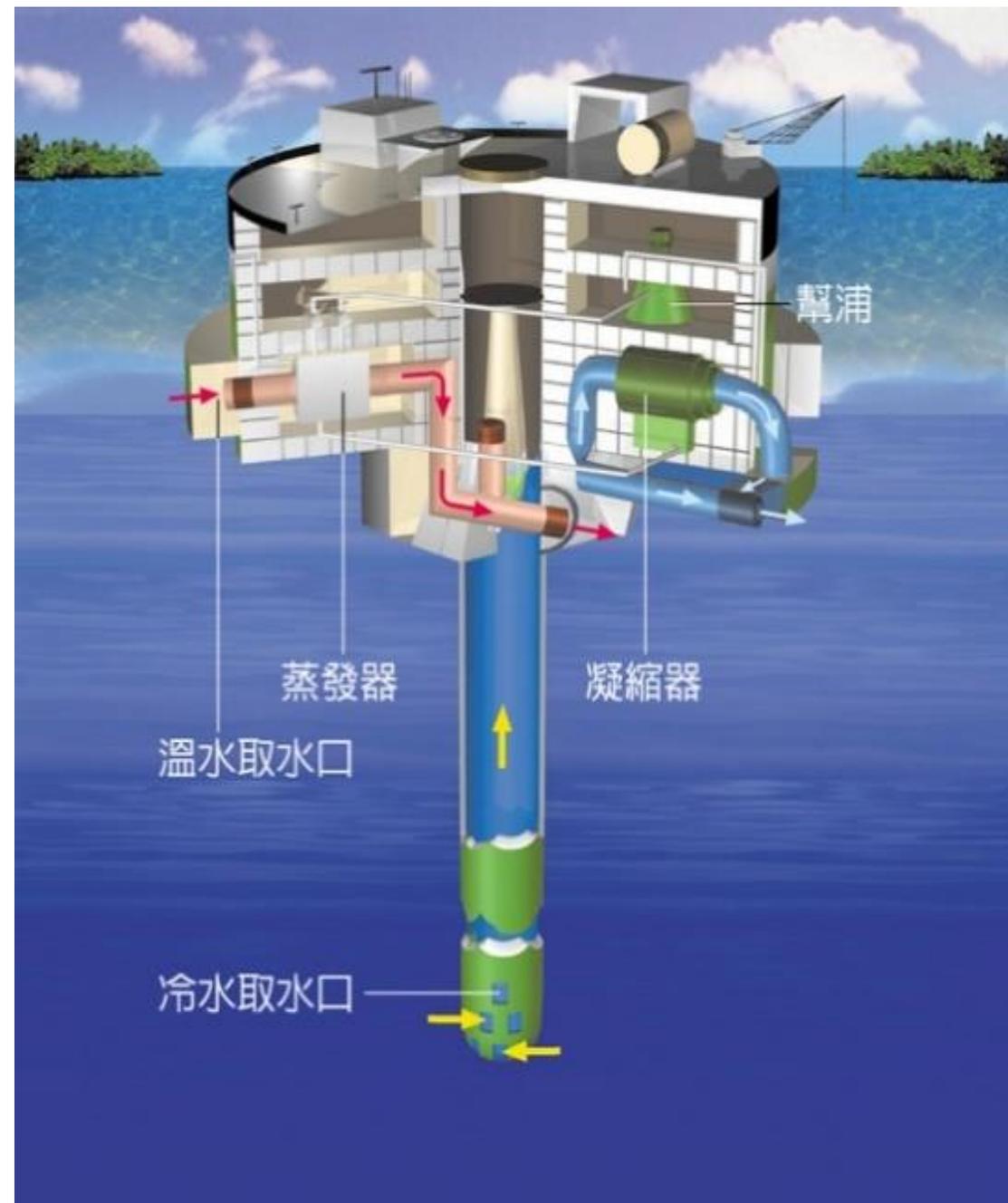
2.7 洋流發電

- 黑潮為太平洋西側洋流之一環，主要從菲律賓北側開始，流經台灣東部海域，接著沿著日本往東北流動，其流量規模僅次於墨西哥灣流為全球第二大洋流。
- 台灣海域的黑潮擁有離岸近、流況佳與流速高等特性，海流穩定且豐沛。其流速約為0.50~2.0 m/s，粗估其能量約為1.30~2.3GW(約為座核二廠的裝機容量)。
- 配合場址之選擇可發性不小。據說台灣及日本各有其研究團隊正極積研究中。



2.8 海水溫差發電廠

- 海洋溫差發電是利用熱交換的原理來發電。首先抽取溫度較高的海洋表水，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，以推動渦輪機發電。次抽取深層較冷海水將該氣冷凝而迴歸液態，這樣完成循環，周而復始。在熱交換技術而言，有封閉式循環系統(如圖8A及圖8B)、開放式循環系統及混合式循環系統等，其中封閉式循環系統技術較成熟。



- 1 Surface water ~ 25°C
- 2 Evaporator
- 3 Waste water ~ 23°C
- 4 Turbine
- 5 Generator

- 6 Line to the grid
- 7 Waste water ~ 7°C
- 8 Condenser
- 9 Deep water ~ 5°C
- 10 Circulation pump

- 優點是:a. 不消耗任何燃料。 b. 無廢料。 c. 不會製造空氣汙染、水汙染、噪音汙染。d. 整個發電過程幾乎不排放任何溫室氣體，例如二氧化碳。e. 每天所有時間段可發電。f. 副產品是淡水，可供使用。
- 缺點是:a. 資金龐大。b. 發電成本高。深海冷水管路施工風險高。c. 影響周遭海域生物的生存環境。

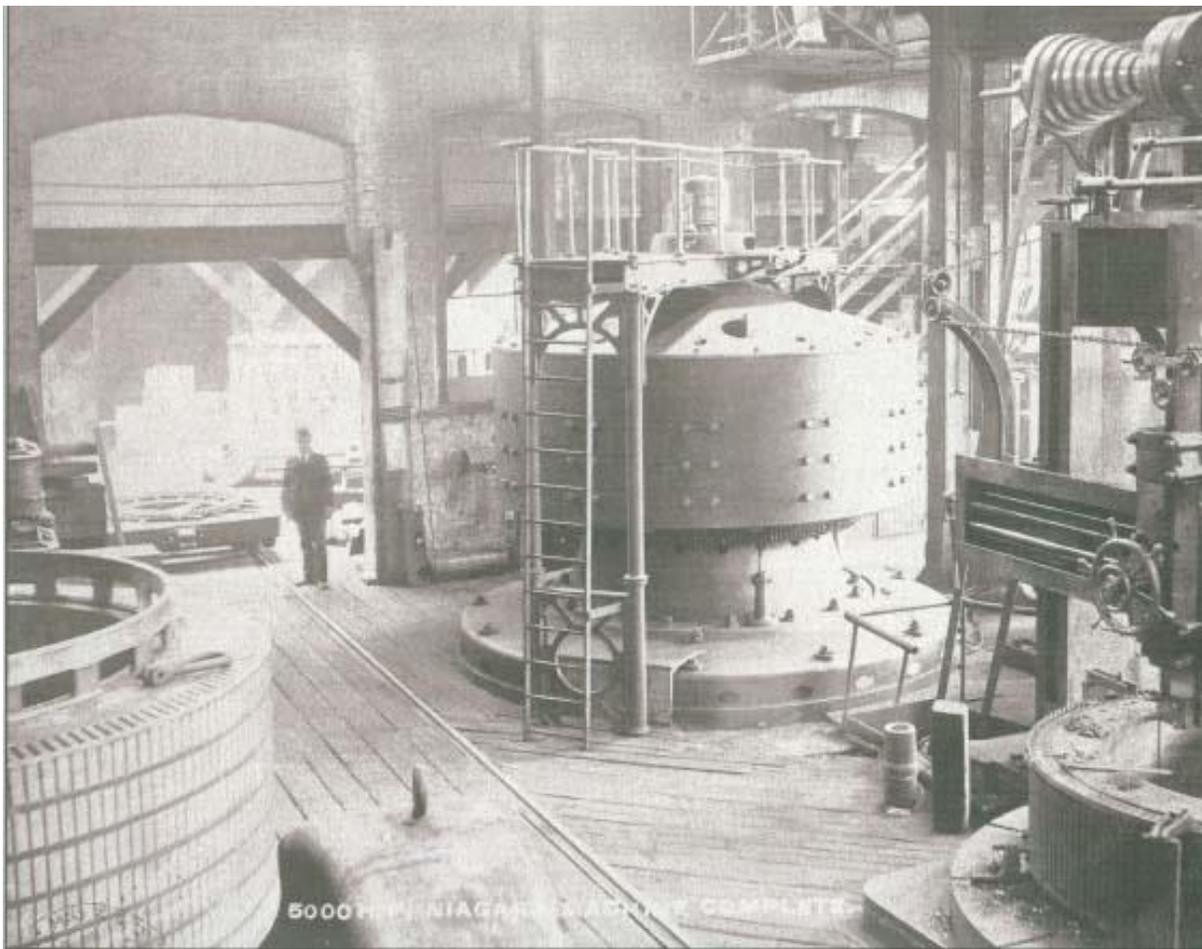
三、水力發電與文明文化

3.1 美國胡弗水庫大壩發電廠

- 美國西部胡弗大壩（Hoover Dam）是一座落於科羅拉多河黑峽谷（Black Canyon of the Colorado）河段之上的混凝土重力式拱壩，位於拉斯維加斯東南48公里，亞利桑那州與內華達州交界處。因此大壩得以圍造出水庫名為米德湖（Mead Lake），可容納水量達350億立方公尺的大水庫。籌建當時正值全球性不景氣，由美國政府資助，自1931年起造，1936年啟用，裝機容量**2,080MW**，年發電量42億瓩時，創下當時世界最大發電量。供應鄰近三州的用電。創造數以萬計的工作機會，奠定美國經濟的繁榮至今八十年，尚未見蕭條，胡弗大壩的歷史文化及文明之貢獻不可抹滅。



Historic Civil Engineering Landmarks, ASCE (2017),
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Historic_Civil_Engineering_Landmarks



Above: **Nikola Tesla** designed the first hydro-electric power plant in Niagara Falls. This was the final victory of Tesla's Alternating Current over **Edison's Direct Current**. This is the interior of Power House No. 1 of the **Niagara Falls Power Company**(**尼加拉瀑布電力公司**) (1895-1899).



3.2 中國大陸三峽發電廠

- 從民國初年就曾倡議、醞釀及爭論將近100年的三峽大壩工程，自1995年開工2009年完工。三峽工程的經濟效益主要在發電。總投資額高達3,000億人民幣（約新台幣1兆5000萬）。這樣的大壩，是世界上最規模改造地理景觀的人類工程，堪稱古今中外絕無僅有。
- 施工期間一共搬遷計有128萬人。三峽大壩形成水庫可以容納393億立方公尺的水。
- 這個水利大建設，還包含防洪、發電、航運、養殖、旅遊、移民、南水北調灌溉的多種功能。
- 是中國大陸的巨型電源點，所發電力主要供應湖北省、河南省、湖南省、江西省和重慶市所轄區，以及上海市、江蘇省、浙江省、安徽省，以及南方電網的廣東省等。已產生巨大經濟效益和生態效益。三峽大壩水力發電廠一共設有32台700MW及2台50MW機組。三峽大壩總裝機容量為**22,500MW**，**目前是全球規模最大的發電廠。**





China's Three Gorges Dam

RESERVOIR
Length: 630km
Flooded land: 1,000sq km – world's largest inundated area by single project

DAM
Dam height: 185m
Dam length: 2,309m

POOL
Pool: 175m deep

POWER PLANT CUT-AWAY
Penstock
Power plant
Generator
Downstream outlet

SHIPLIFT
Shiplift: For ships of up to 3,000 tons

SHIPLOCKS
Shiplocks: Double-way 5-step for ships of up to 10,000 tonnes

POWER GENERATION:
Twenty-six 700-megawatt generators bring overall capacity to 18,200MW, producing 84.7bn kilowatt hours of electricity annually – equivalent to 10 per cent of China's electricity needs in 2009

POPULATION
The project has required evacuation of 1.13 million people, sometimes by force. Government says dam protects 15 million others from flood threat

ENVIRONMENT
Government says power plant will decrease CO₂ emissions by 100m tonnes, lessening greenhouse effect. Critics say the Yangtze will lose the ability to generate oxygen as the dam slows the river, turning the reservoir into a cesspool

Yangtze River Dolphin: Increase in erosion downstream of dam could adversely affect the habitat of the world's rarest freshwater dolphin

Beijing
Shanghai
Chongqing
Wanxian
Qutang Gorge
Wu Gorge
Xiling Gorge
Yichang
THREE GORGES DAM
Resettlement area

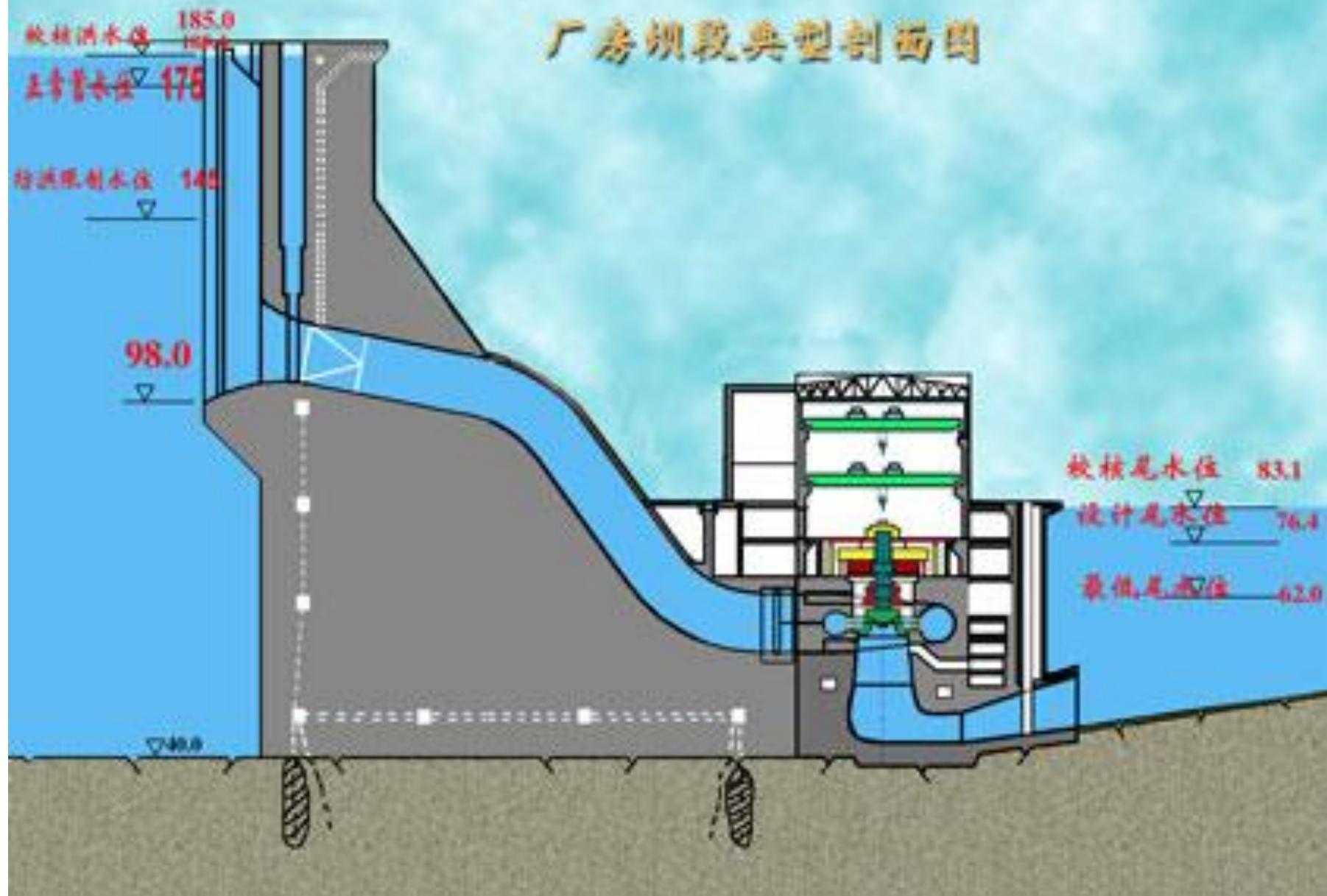
500km
310 miles

Yangtze river
CHINA

Francis-type turbine
Shaft to generator
Water inlet
Waterflow

© GRAPHIC NEWS Sources: China Three Gorges Project, ABB Pictures: Associated Press

厂房坝段典型剖面图



3.3 日本黑部水庫發電廠

- 黑部大壩為日本水庫大壩之代表作，壩高186M，是全日本最大的拱形水庫大壩；水庫的建造共歷時七年，攔截御前澤所形成的人工湖黑部湖，貯水量達2億立方公尺以上，為日本最大的水庫。基於環境保護及防止嚴冬期間的雪崩，此發電設施及送電、送水管線皆設置於地下。
- 於1963年正式完工啟用，裝機容量**335MW**。1968年，**石原裕次郎**製作了以這個水庫為外景的電影《黑部的太陽》（**黒部の太陽**）。
- 2002年12月31日播放NHK電視台的「紅白歌合戰」中，**中島美雪**在**黑部水庫的洞穴中**唱出《**地上之星**》，創下瞬間高收視率。寫下工程建構物與演藝界互動的歷史，呈現出工程影視互動文化。



1. 日本土木學會土木遺產

(<http://www.jsce.or.jp/contents/isan/>)

3.4 台灣百年水力發電廠

- **桂山發電廠粗坑機組**，為一座位於臺灣新北市新店區新烏路、永興路交會口新店溪畔旁的小型水力發電廠，於**1909年**完工啟用，由台灣電力公司桂山發電廠管理，舊稱小粗坑發電廠，納入桂山發電廠旗下後，發電廠全名改名為台灣電力公司桂山發電廠粗坑機組。是臺灣第二座水力發電廠，目前是臺灣現存最古老的發電廠。
- 與龜山發電廠、桂山發電廠及烏來發電廠皆是台灣日治時期開發新店溪上游水力發電的重要工程，均為**川流式發電方式**。
- 小粗坑發電廠廠房內不同年代所建置之不同形式之水輪發電機組，新三號機(裝機容量5MW)，依序而下室已停機的四號機(裝機容量1MW)與五號機(裝機容量1MW)。已拆除的舊一號至舊三號機(裝機容量均為0.8MW)。



- 臺灣古蹟列表(<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%BA%E7%81%A3%E5%8F%A4%E8%B9%9F%E5%88%97%E8%A1%A8>)

四、水力發電之文化啟示

1. 科技歷史標誌鮮明。
2. 社會環境內涵多樣。
3. 人類文明水準提昇。
4. 人類文化內涵豐富。
5. 電廠及水庫之維護衝擊和危機應確實考慮設法解決。
6. 永續經營水庫清淤及壩體之安全檢測評估及維護等。
7. 新電源開發海流發電、潮汐發電及溫差發電等開發。

結 語

- 重視水力發電相關計畫及非核家園政策，期能因本研討會拋磚引玉，呼籲政府當局、民意代表及社會大眾等，祈能瞭解水力能源開發及相關工程建設之重要，其對國民生計經濟繁榮的貢獻。
- 尊重先人的智慧結晶並愛惜所留下之文化資產，且尊重先前工程建設各界人士之奉獻，而給以應有敬重。
- 祈望關心電源開發的各界先進賢達們能不吝指正，共同為建設美好地球村而一齊努力，使台灣與友邦共同促進全球成為幸福世界。



謝謝聆聽
敬請指教

參考文獻網路

1. 臺灣古蹟列表(<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%BA%E7%81%A3%E5%8F%A4%E8%B9%9F%E5%88%97%E8%A1%A8>)
2. 文化資產保存法105.07.27 (https://www.moc.gov.tw/information_306_19723.html)
3. 文化資產保存法施行細則草案(<https://mocfile.moc.gov.tw/files/201705/2f83377b-feeb-4487-9caa-8829d8106b13.pdf>)
4. UNESCO World Heritage (<http://whc.unesco.org/en/list/>)
5. 世界文化遺產(<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%B8%96%E7%95%8C%E9%81%97%E4%BA%A7>)
6. 中國世界遺產
(<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%AD%E5%9C%8B%E4%B8%96%E7%95%8C%E9%81%BA%E7%94%A2%E5%88%97%E8%A1%A8>)
7. 美國世界遺產 (<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/Template:%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E4%B8%96%E7%95%8C%E9%81%BA%E7%94%A2>)
8. 日本世界遺產 (<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%97%A5%E6%9C%AC%E4%B8%96%E7%95%8C%E9%81%97%E4%BA%A7%E5%88%97%E8%A1%A8>)
9. 日本土木學會土木遺產 (<http://www.jsce.or.jp/contents/isan/>)
10. 義大利世界文化遺產 (<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%BE%A9%E5%A4%A7%E5%88%A9%E4%B8%96%E7%95%8C%E9%81%BA%E7%94%A2%E5%88%97%E8%A1%A8>)

- 三峽大壩

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%95%BF%E6%B1%9F%E4%B8%89%E5%B3%A1%E6%B0%B4%E5%88%A9%E6%9E%A2%E7%BA%BD%E5%B7%A5%E7%A8%8B#.E5.A4.A7.E5.9D.9D.E7.BB.93.E6.9E.84>

- 三峽大壩簡介<https://www.youtube.com/watch?v=tjTh7A4jnbc>
- 三峽升船機<https://www.youtube.com/watch?v=GdOXtSXxcnk&feature=youtu.be>

- Hoover Dam胡弗大壩

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%83%A1%E4%BD%9B%E6%B0%B4%E5%A3%A9>

- [日本海流發電試驗]

<http://www.appledaily.com.tw/actionnews/appledaily/new/20170821/37755447/articleactionnewstw>

- 南韓始華湖潮力發電廠,2011年,254MW世上最大。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A7%8B%E5%8D%8E%E6%B9%96%E6%BD%AE%E6%B1%90%E7%94%B5%E5%8E%82>

- [潮汐能]<https://zh.wikipedia.org/wiki/潮汐能>

- **Historic Civil Engineering Landmarks, ASCE (2017),** (https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Historic_Civil_Engineering_Landmarks)