

# Basic Concepts of Thermodynamics

## Thermodynamics and Energy

Thermodynamics: the science of “**energy**”

Energy: the **ability** to cause change, the **capability** to do **work**

Energy can exist in many different form

Energy is a physical quantity

*thermo* (heat) ; *dynamics* (power)

Thermodynamics: converts heat to power (work)

Thermodynamics: include all aspects of **energy**,  
**energy transformation**, **power generation**,  
**refrigeration**, **relationship among properties of matter**

# Basic Concepts of Thermodynamics

As observed in the nature: **energy** can change from **one** form to **another**, but the **total** amount of energy remains **constant**.  
**energy can not be destroyed or created**

## **1<sup>st</sup> Law of Thermodynamics : conservation of energy**

**Energy** is a thermodynamic **property** of matter

As observed in the nature: energy transfer can occur certain direction but not in the reverse direction.

- heat can be transferred from high temperature to low temperature, not reversely
- work can convert to heat completely, not reversely  
(only portion of heat is capable of converting to work, it is impossible to design an engine of 100% efficiency)

# Basic Concepts of Thermodynamics

**2<sup>nd</sup> Law of Thermodynamics:** the energy has **quantity** as well as **quality**

quality of energy: the capability of energy doing work  
actual process occurs in the direction of decreasing **quality of energy**.

The **ability to do useful work** diminishing even though energy is not.

**Entropy** is a physical quantity

the measure of a system's thermal energy per unit temperature that is unavailable for doing useful work.

the degree of disorder or randomness in the system

**Entropy** is a thermodynamic **property** of matter

**Thermodynamics:** science of **energy** and **entropy**.

A substance consists of molecules. The properties of the substance depend on the behavior of these particles.

**Statistical** Thermodynamics: **microscopic**; the average behavior of large group of individual particles.

**Classical** Thermodynamics: **macroscopic**; measured time average of particles behaviors; does not require a knowledge of the behavior of individual particles.

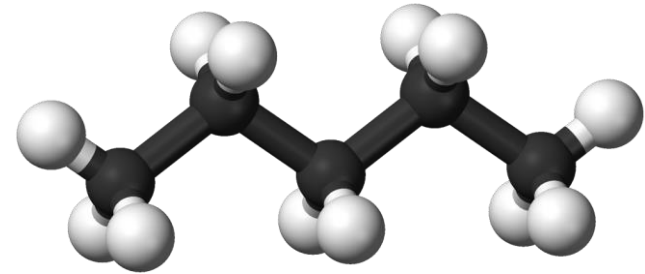
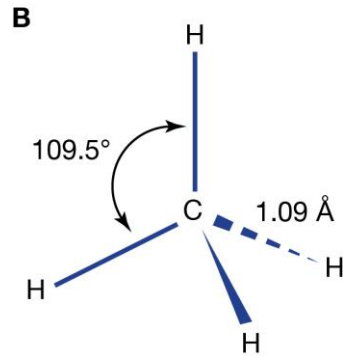
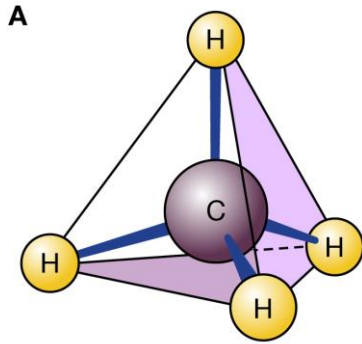
Application area of thermodynamics:

The science that explains and predicts how much energy we may extract and how efficiently we may do it under a specific situation.

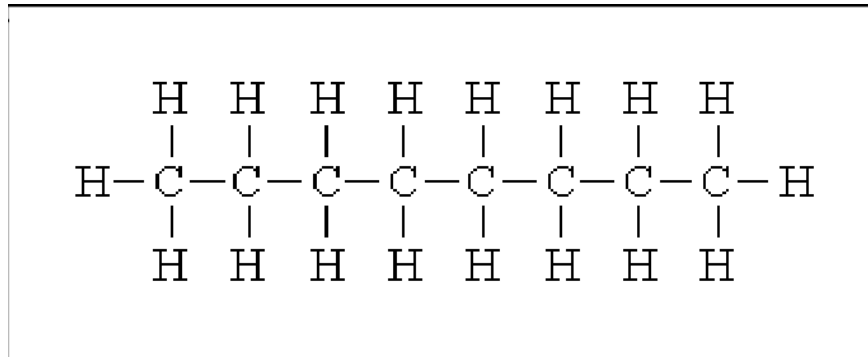
Automotive engines; rockets, jet engines, power plant, refrigeration

Deals with various properties of substances and the change in these properties as results of energy transformation.





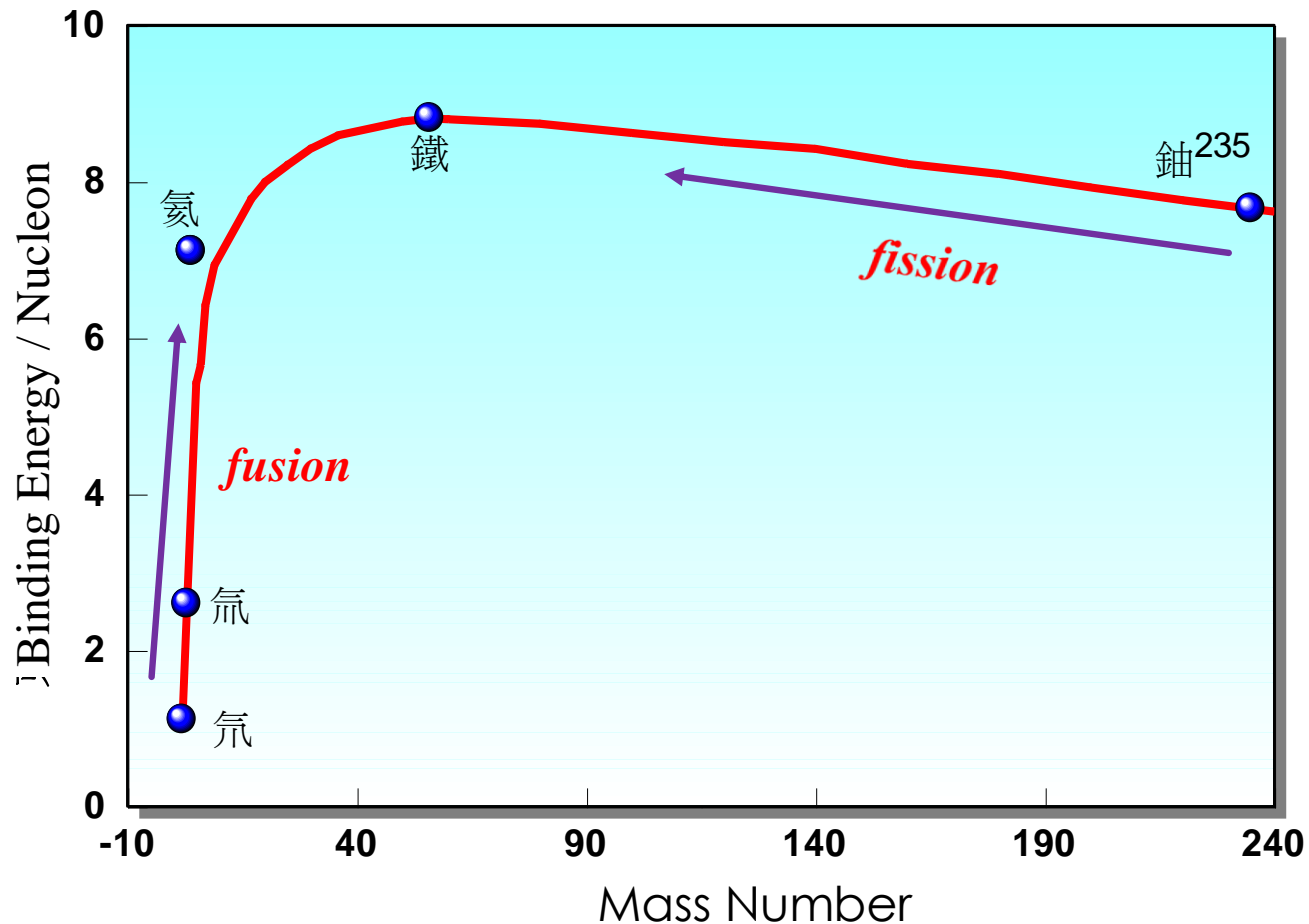
© Encyclopædia Britannica, Inc.



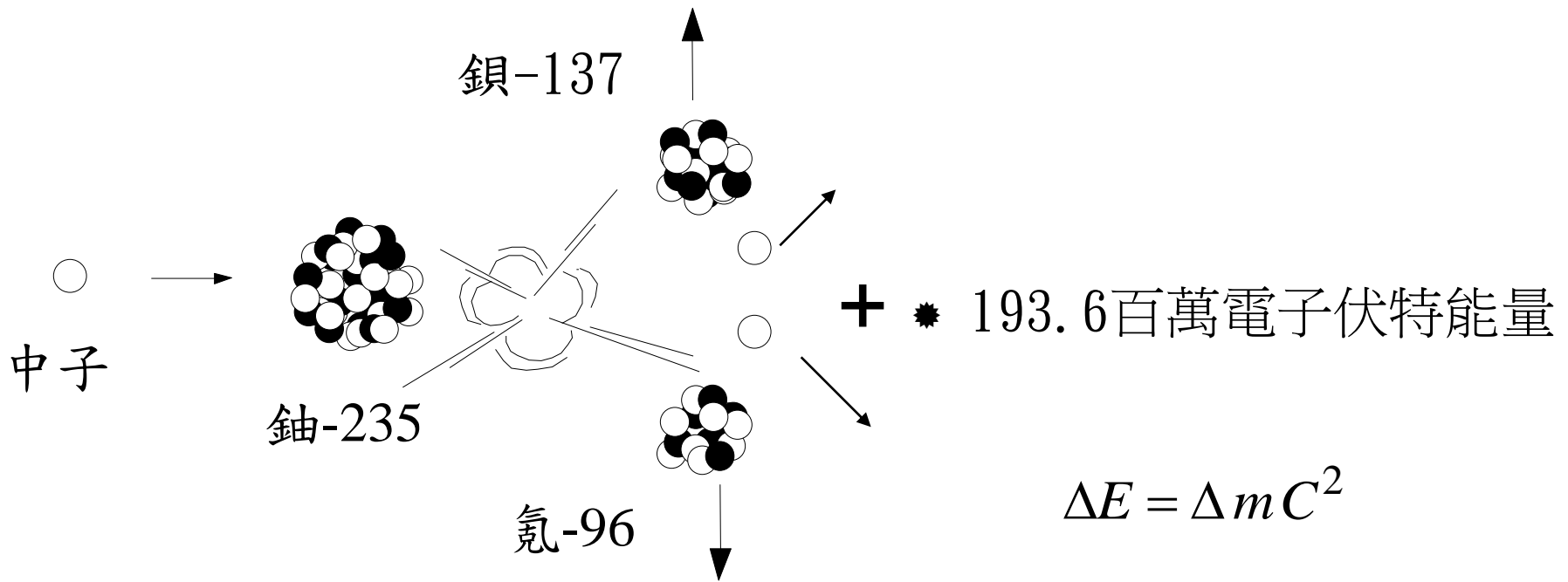
HHV High Heating Value: 48,260 kJ/kg

LHV Low Heating value: 44,790 kJ/kg

# Average Binding Energy Vs Mass Number



Average Binding Energy Reaches Maximum at Fe-56



1克鈾的分裂可產生 960 千瓦-天的能量  
 1公斤鈾的分裂相當於16000噸的黃色炸藥

## 核分裂連鎖反應



Convert chemical energy in fuel to kinetic energy of car

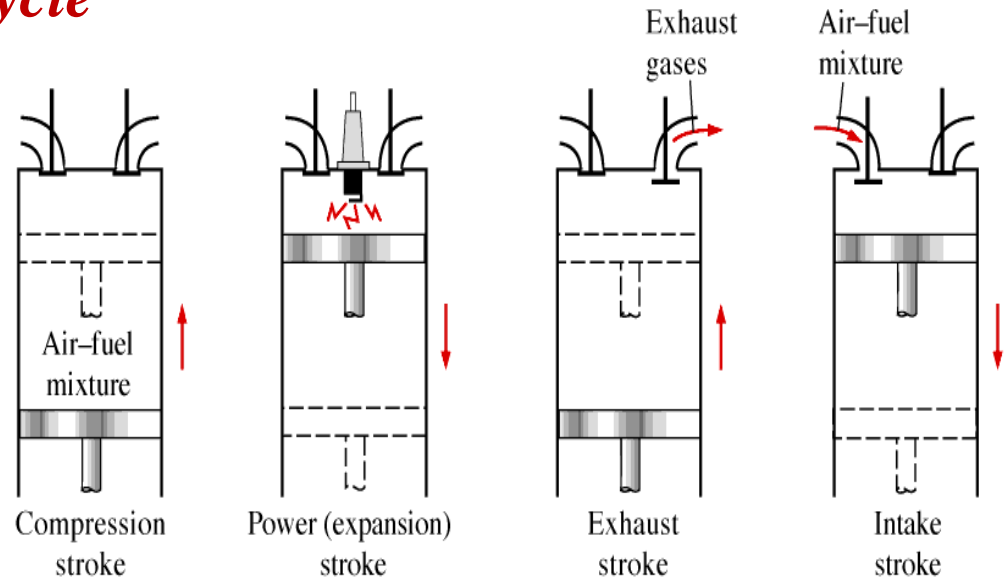
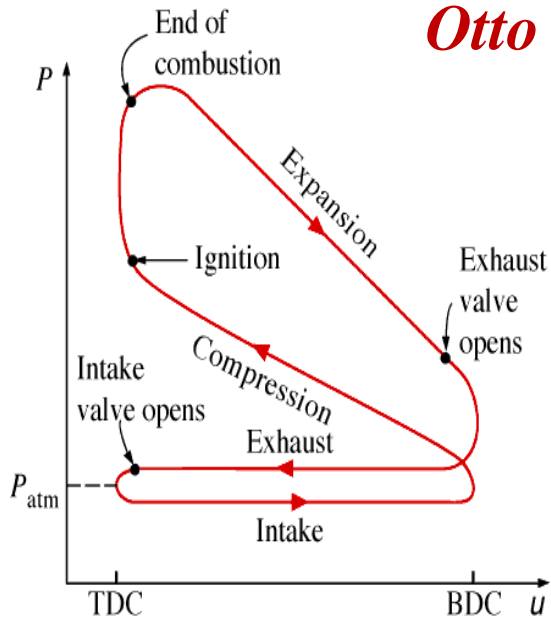


汽油引擎  
Otto Cycle

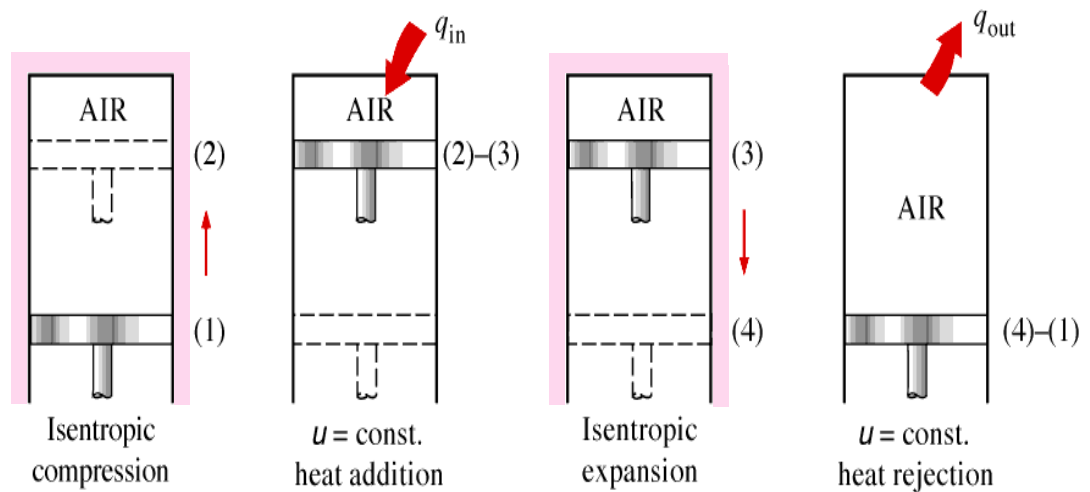
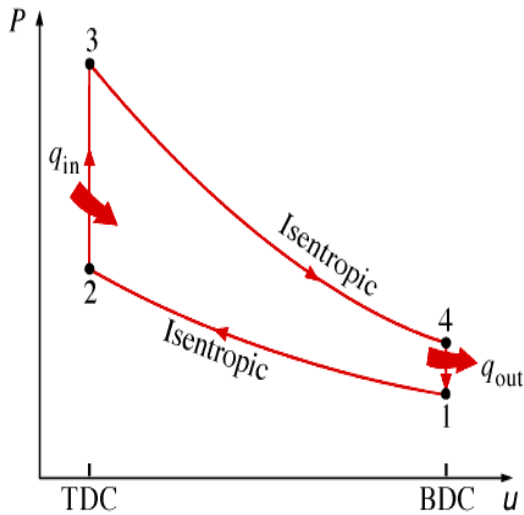
柴油引擎  
Diesel Cycle

Working fluid is air

# Otto Cycle

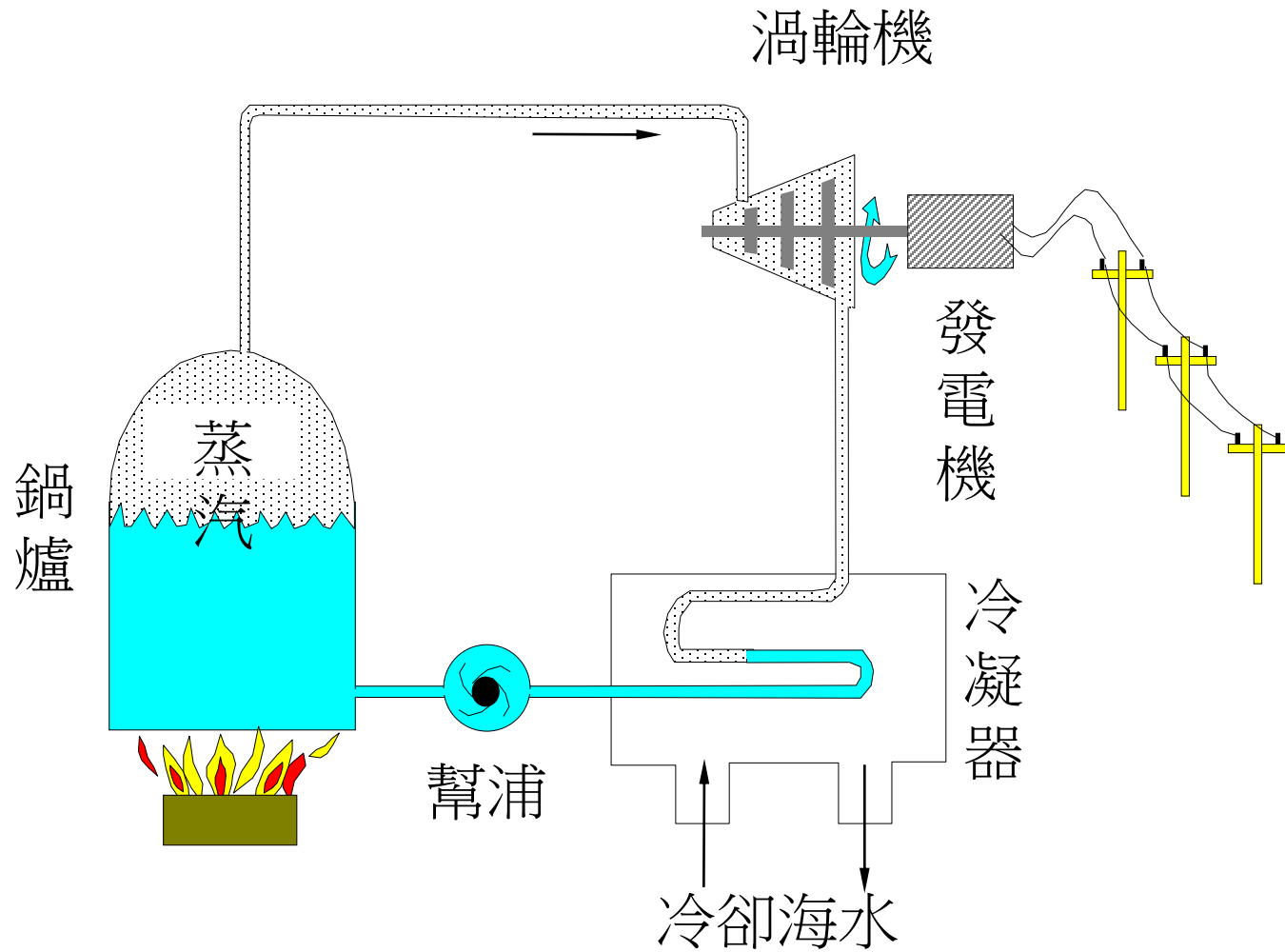


(a) Actual four-stroke spark-ignition engine



(b) Ideal Otto cycle

# Power Generation



Rankine Cycle

# 台電台中火力電廠 - 世界第三大



10座 燃煤 **亞臨界 (sub-critical)** 機組 (**Rankine Cycle**)

每座550 MW (55萬瓩) 熱效率 35.95%

4 座 燃油 (輕油) 氣渦輪機組 (**Brayton Cycle**) 每座70 MW 熱效率 25.37%

22 部 陸域風機 每部 2 MW









台中火力發電廠的戶外儲煤場占地68公頃  
約95座足球場，法定許可限量可堆置2075萬噸生煤

# 台中火力電廠

燃煤機組 淨發電量

103年 428 億度  
104年 421 億度  
105年 421 億度  
106年 420 億度  
107年 372 億度

燃煤使用量

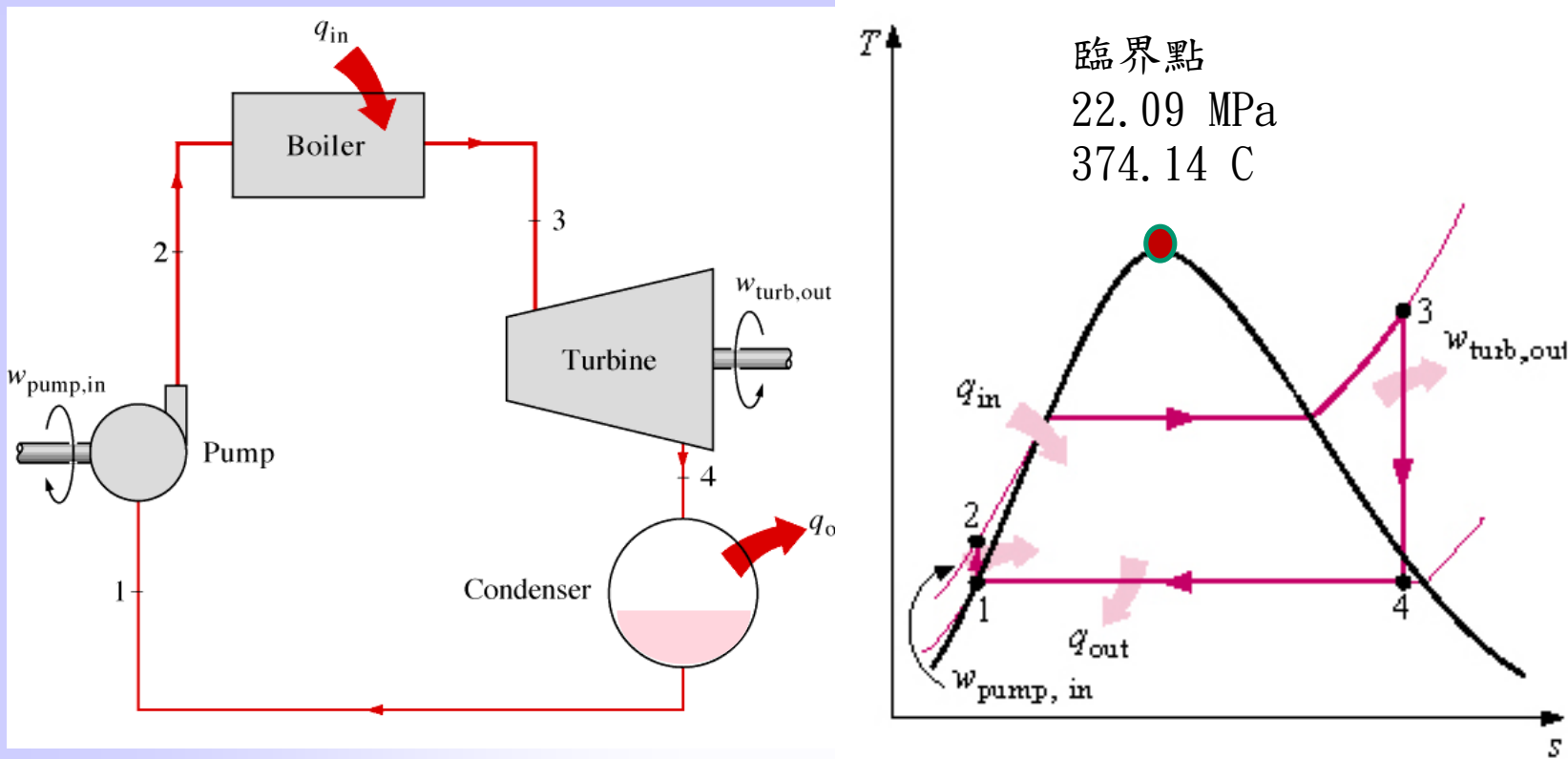
103年 1,839 萬噸  
104年 1,795 萬噸  
105年 1,773 萬噸  
106年 1,631 萬噸  
107年 1,447 萬噸

台中市政府要求 109年減少至 1,104萬噸

鍋爐壓力 ~ 17.4 MPa (亞臨界機組)

熱效率 39.74%~39.89%

<https://udn.com/news/story/120852/4659152>

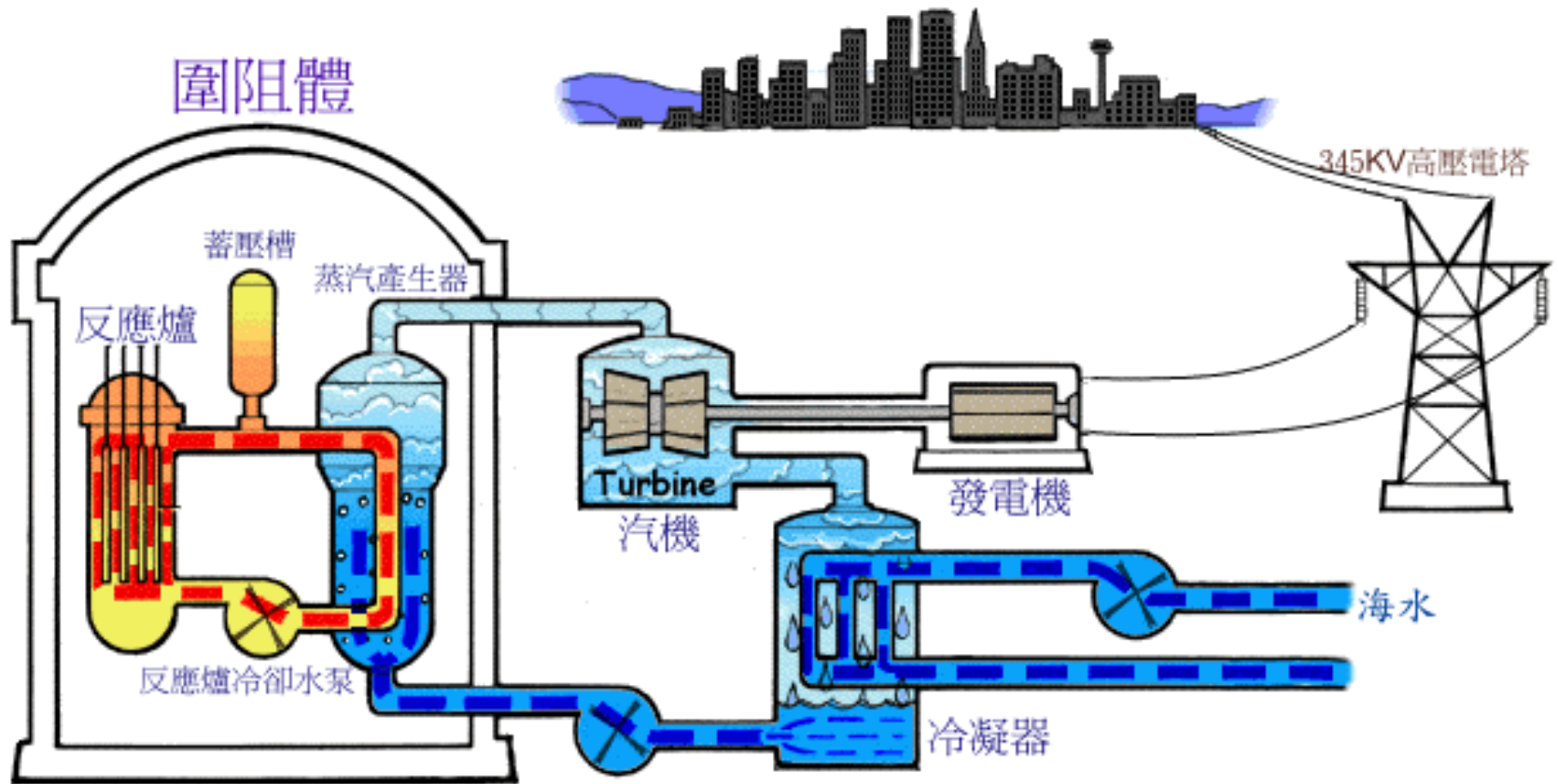


- Process 1-2 Isentropic compression in pump
- Process 2-3 Constant pressure heat addition in boiler  
state 3: saturated or superheated steam
- Process 3-4 Isentropic expansion in turbine
- Process 4-1 Constant pressure heat rejection in condenser  
state 1: saturated liquid

© The McGraw-Hill Companies, Inc., 1998

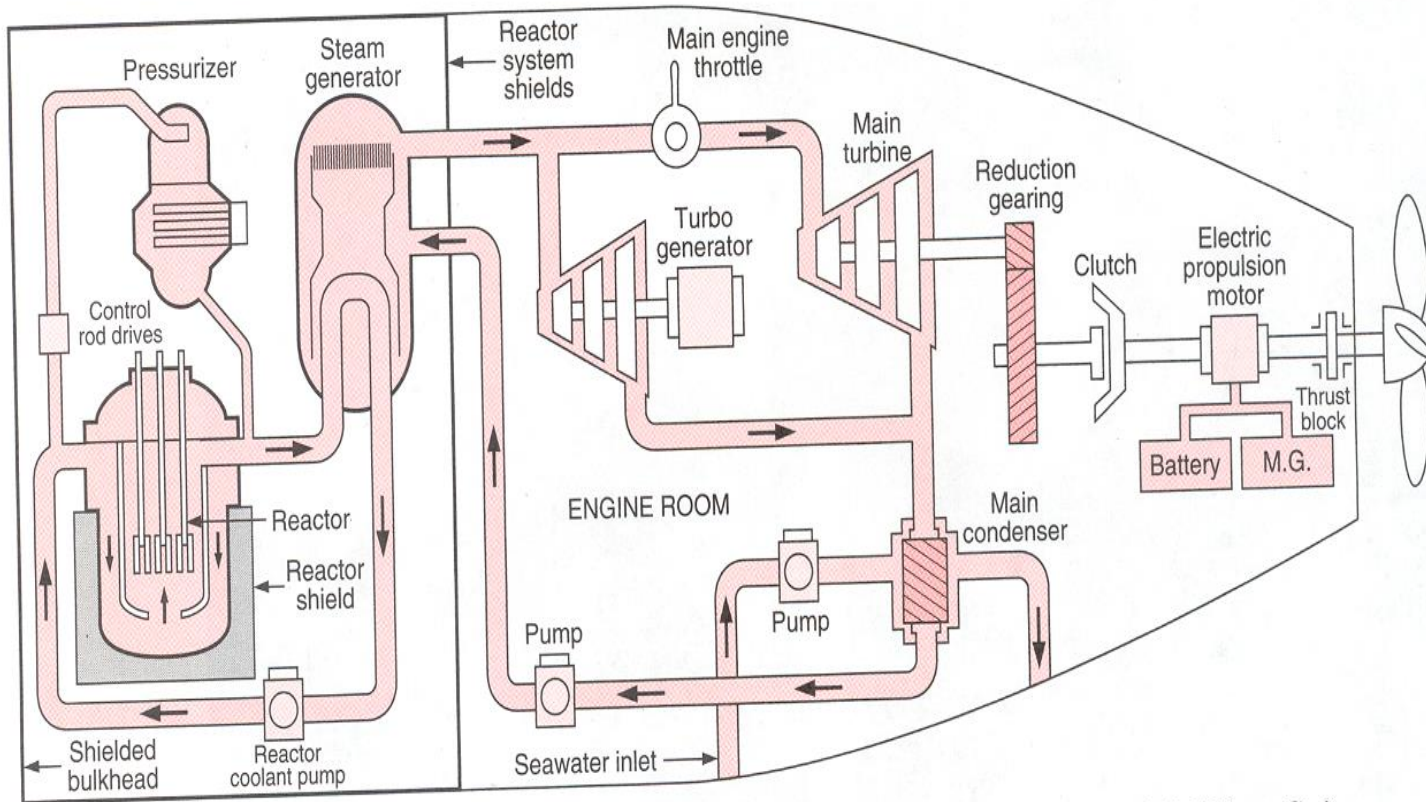


# 壓水式反應器系統介紹



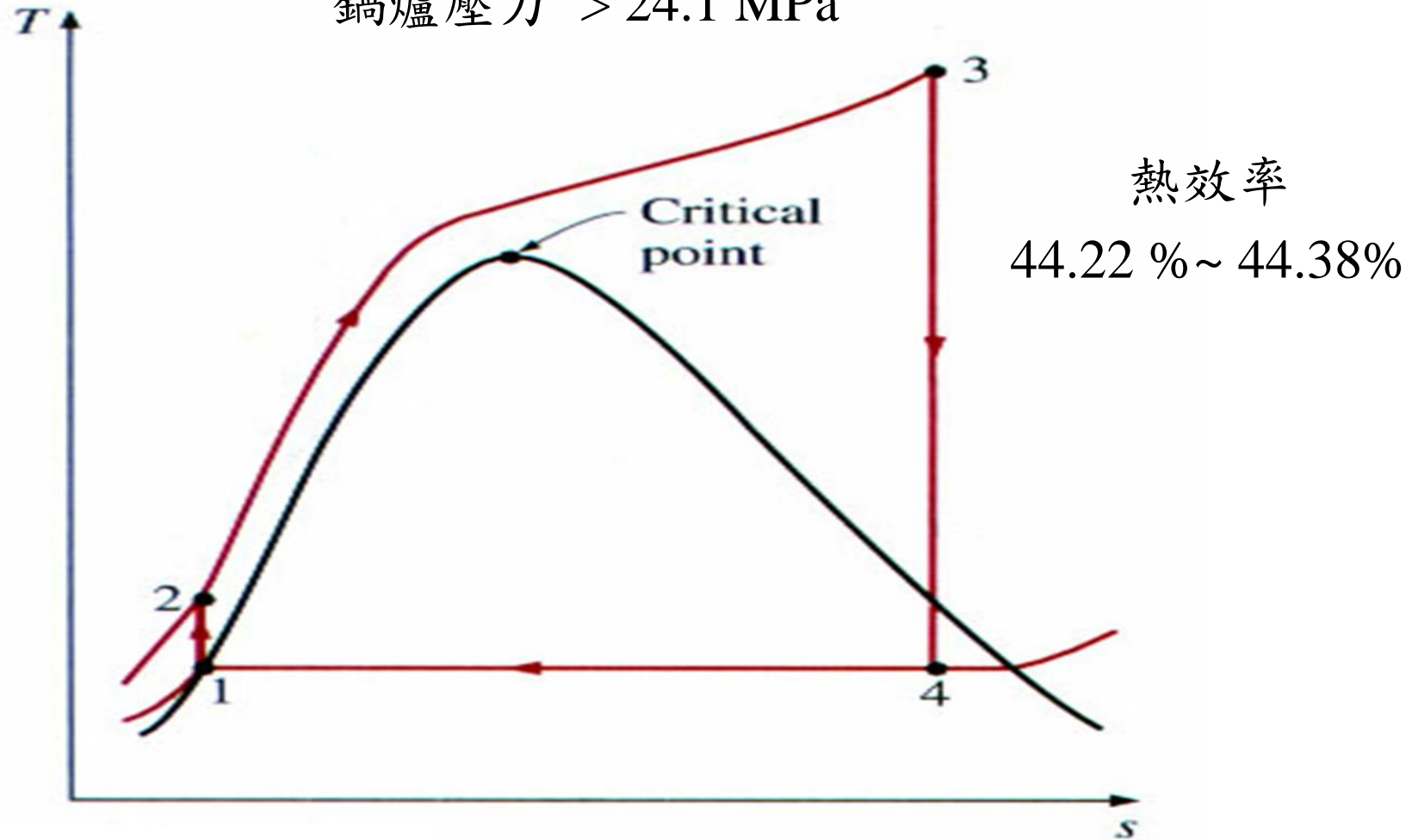
# 核子動力潛艇





**FIGURE 1.3** Schematic diagram of a shipboard nuclear propulsion system. (Courtesy Babcock & Wilcox Co.)

超超臨界 (Extra Supercritical)  
鍋爐壓力 > 24.1 MPa



A supercritical Rankine cycle.



# 林口火力電廠



3 座 燃煤 超超臨界機組 (Rankine Cycle) 每座 800 MW

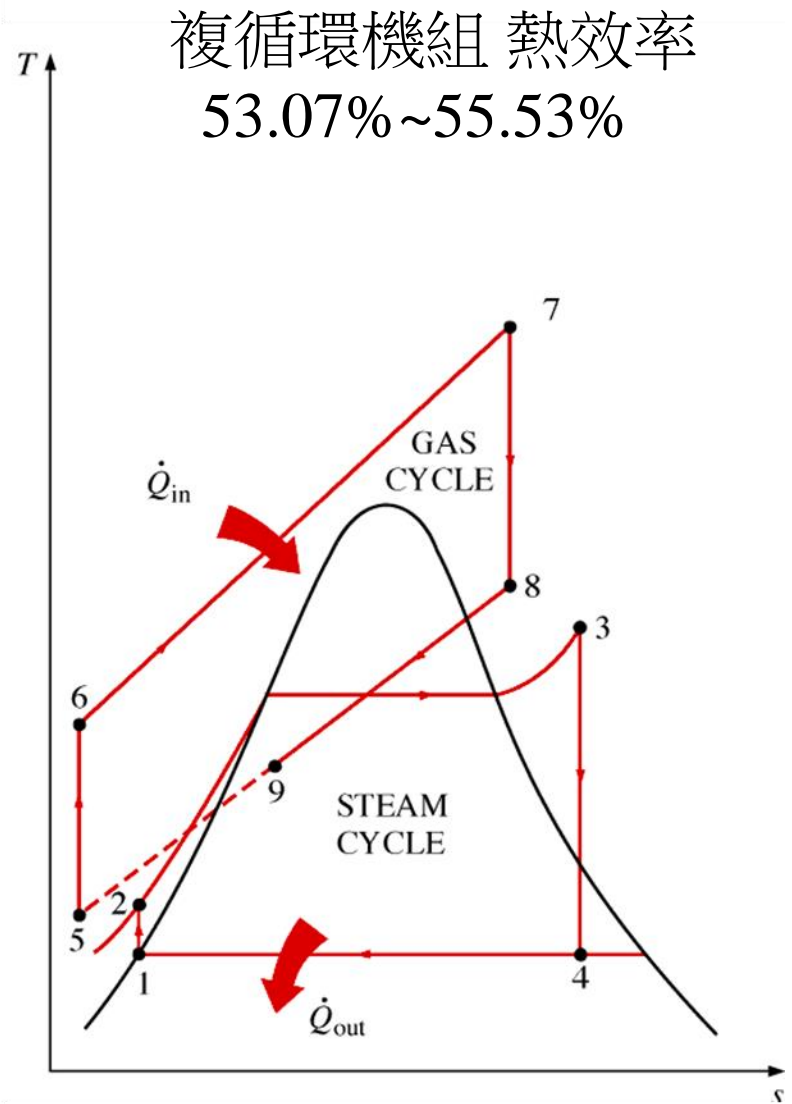
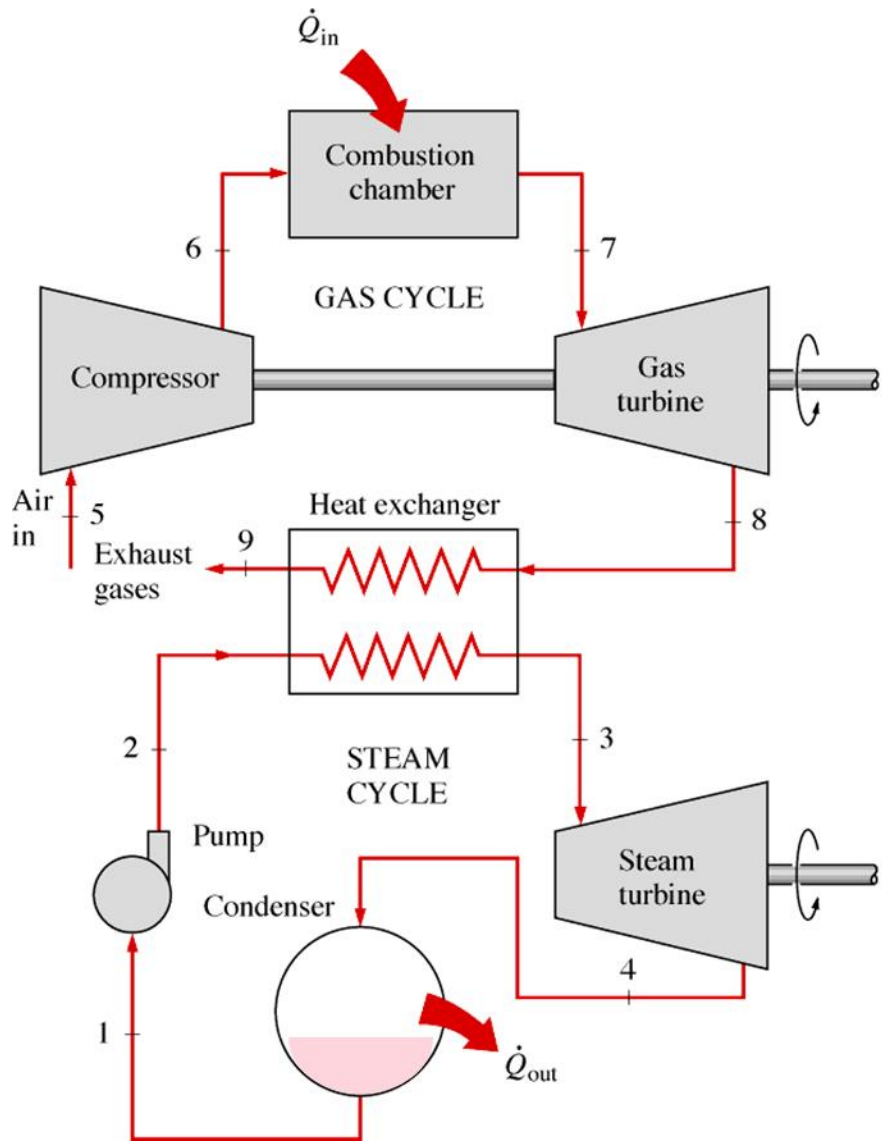




# 台電大潭火力發電廠



6座 燃氣 複循環機組 每座 742.7 MW 熱效率 48.24%  
1組 燃氣 單循環機組 600 MW 熱效率 35.97%

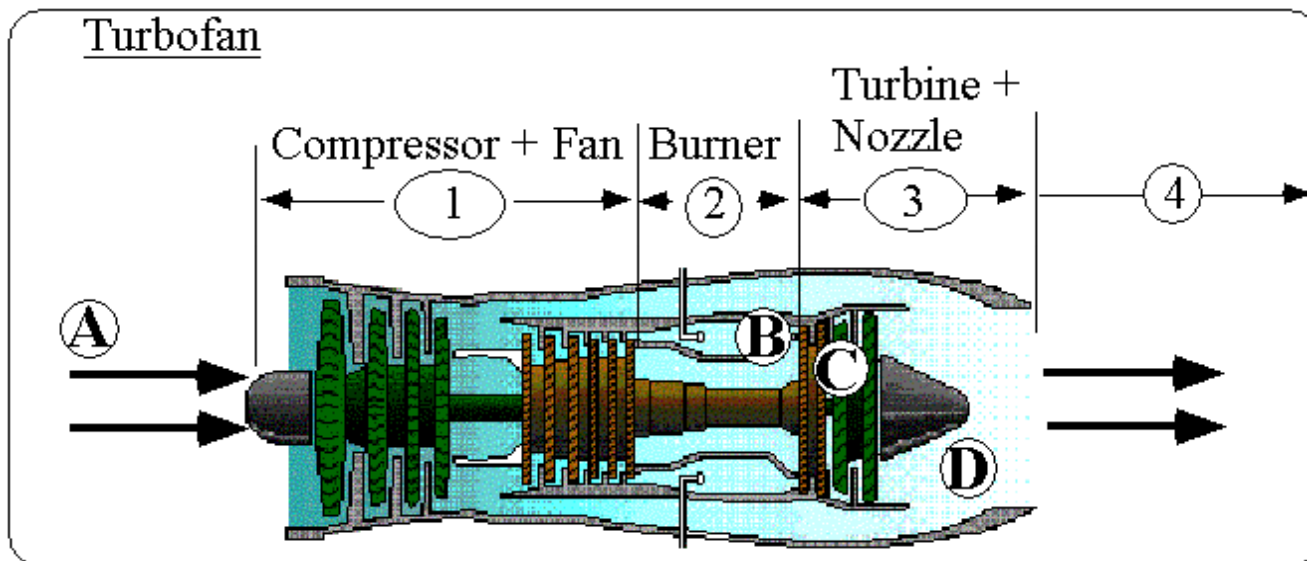


複循環發電機組 (Combined Cycle)





## Brayton Cycle



Rankine Cycle (Steam Turbine)

亞臨界燃煤發電機組 (Sub-Critical Coal Fired Plant)

超臨界燃煤發電機組 (Supercritical Coal Fired Plant)

超超臨界燃煤發電機組 (Extra-Supercritical Coal Fired Plant)

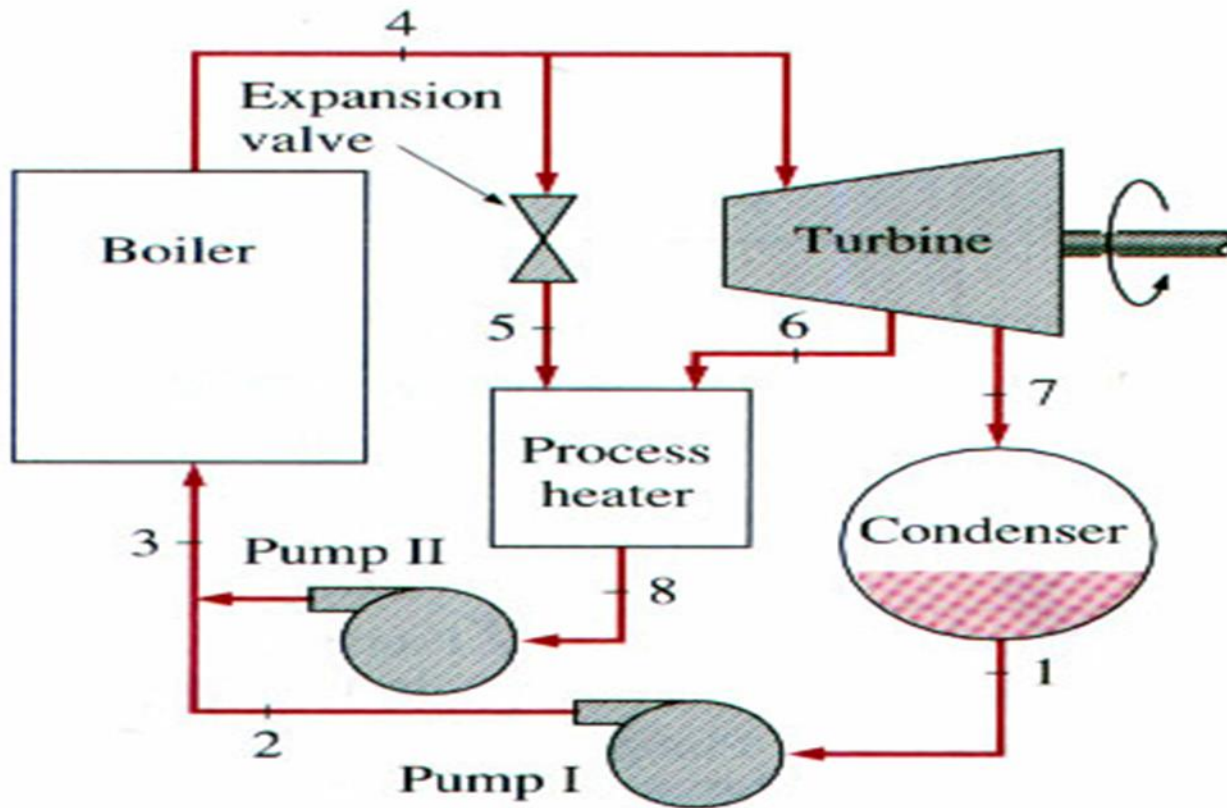
Brayton Cycle (Gas Turbine)

汽渦輪機組 (Diesel or LNG)

Combined Cycle

複循環發電機組 (LNG)

汽電共生 (Co-Generation, Coal)



汽電共生 Co-Generation

# 台灣2018年LNG進口來源



### 天然氣開採方式



### 液化天然氣進口來源國統計

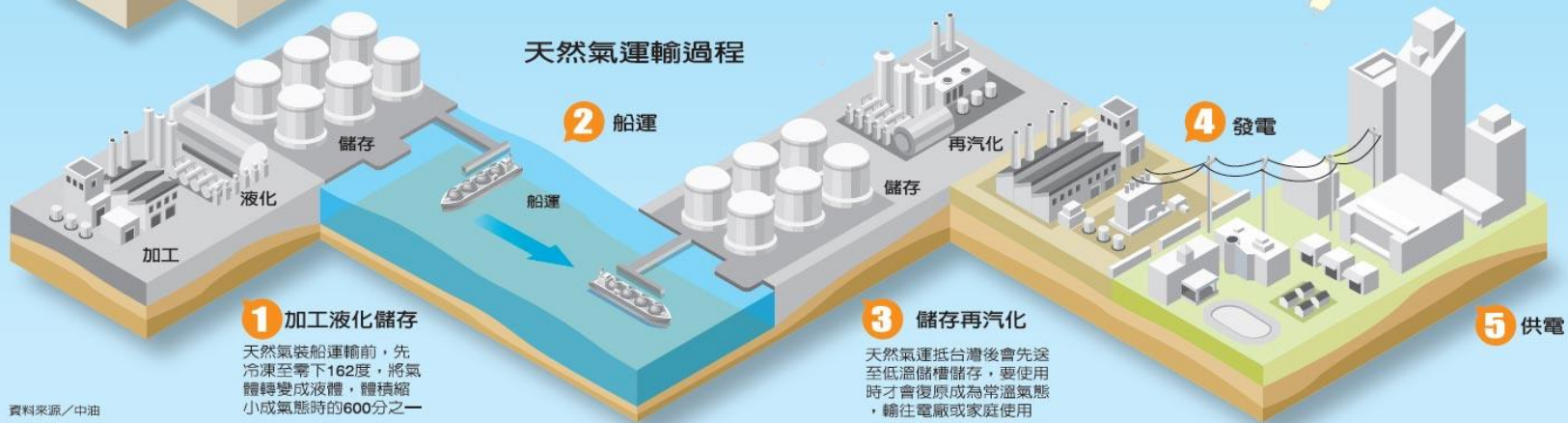
單位:萬噸



台灣有兩個天然氣接收站，一是台中港，二是永安港

天然氣船卸貨後，冷凍儲存，再氣化，放在儲槽（台中港有3座儲槽，永安港有6座儲槽）

### 天然氣運輸過程



資料來源/中油



## 中油向美國購氣7500億元簽約典禮(2018)



# 中油 台中天然氣接收站



3座16萬公秉液化天然氣儲槽及卸收、氣化設施，同時也包括台中經苗栗通霄至大潭約135公里之36吋海底輸氣管線

攝氏零下 163 C

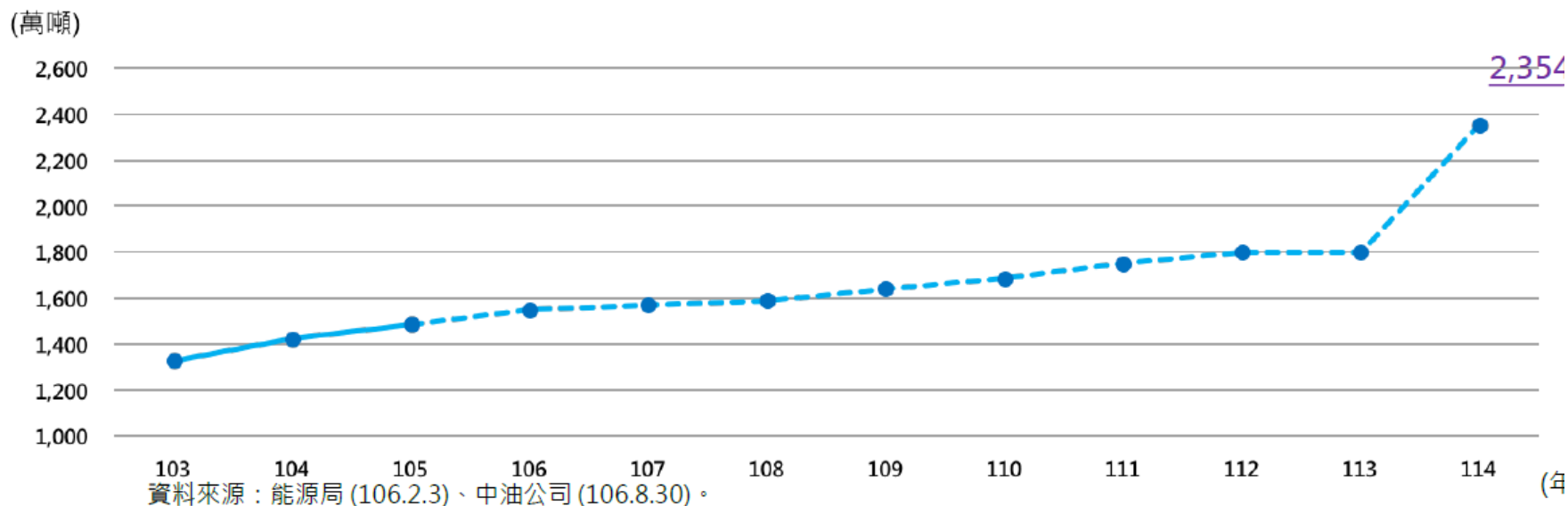
# 永安接收站



6座 11.5萬公秉液化天然氣儲槽及卸收、氣化設施



## 國內天然氣需求成長趨勢



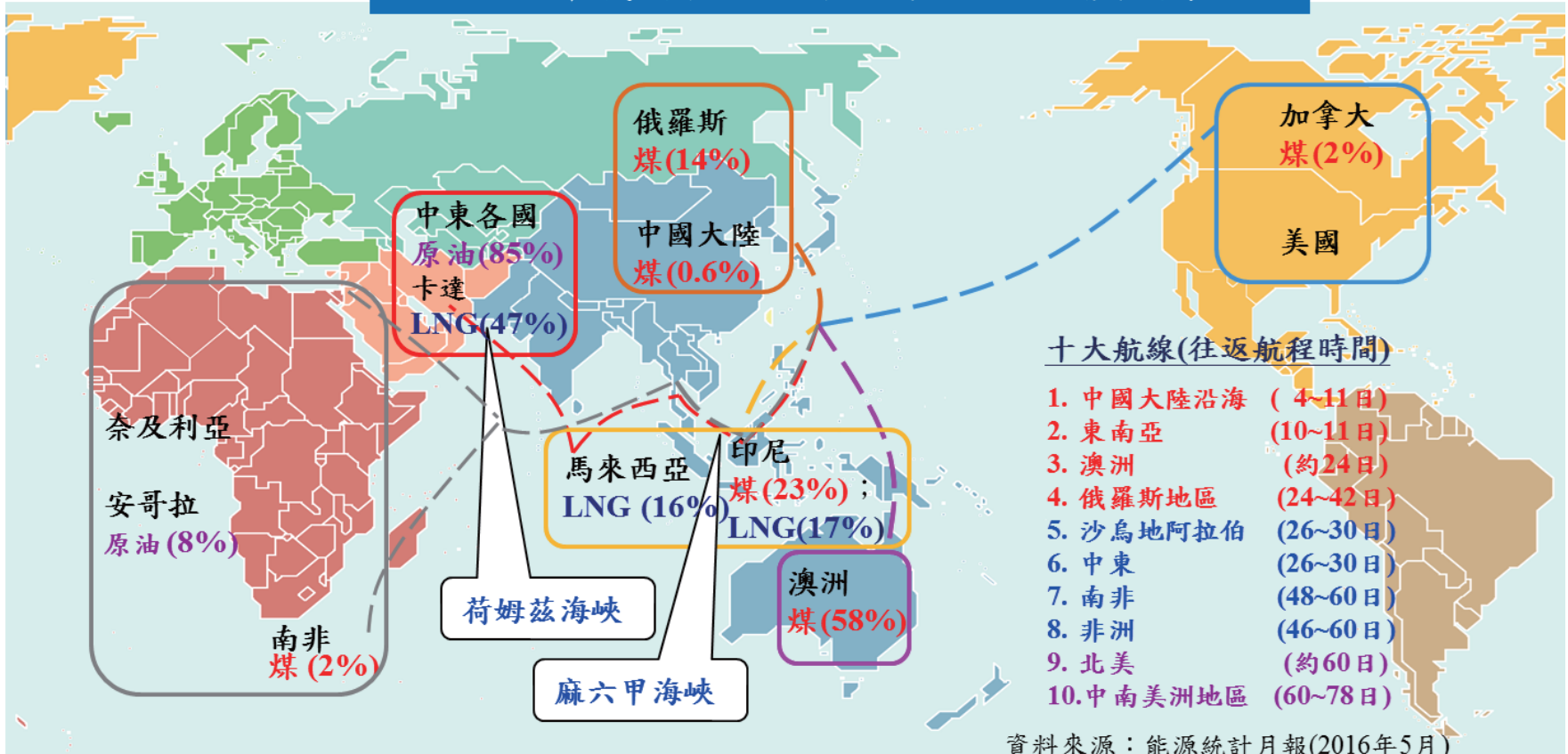
### 議題分析

1. 因應政府能源轉型政策，**114年天然氣發電需求量大幅增加**。
2. **114年**預估天然氣需求量为**2,354萬噸**，若無新增卸儲設施，屆時將有**供應缺口** (現行供應能力為1,600萬噸)，難以維持天然氣穩定供應。



電昌五號 運煤船 載運量 93,300噸  
全長234.8 m, 寬 38 m

## 2015年我國各類能源主要進口區域與國家

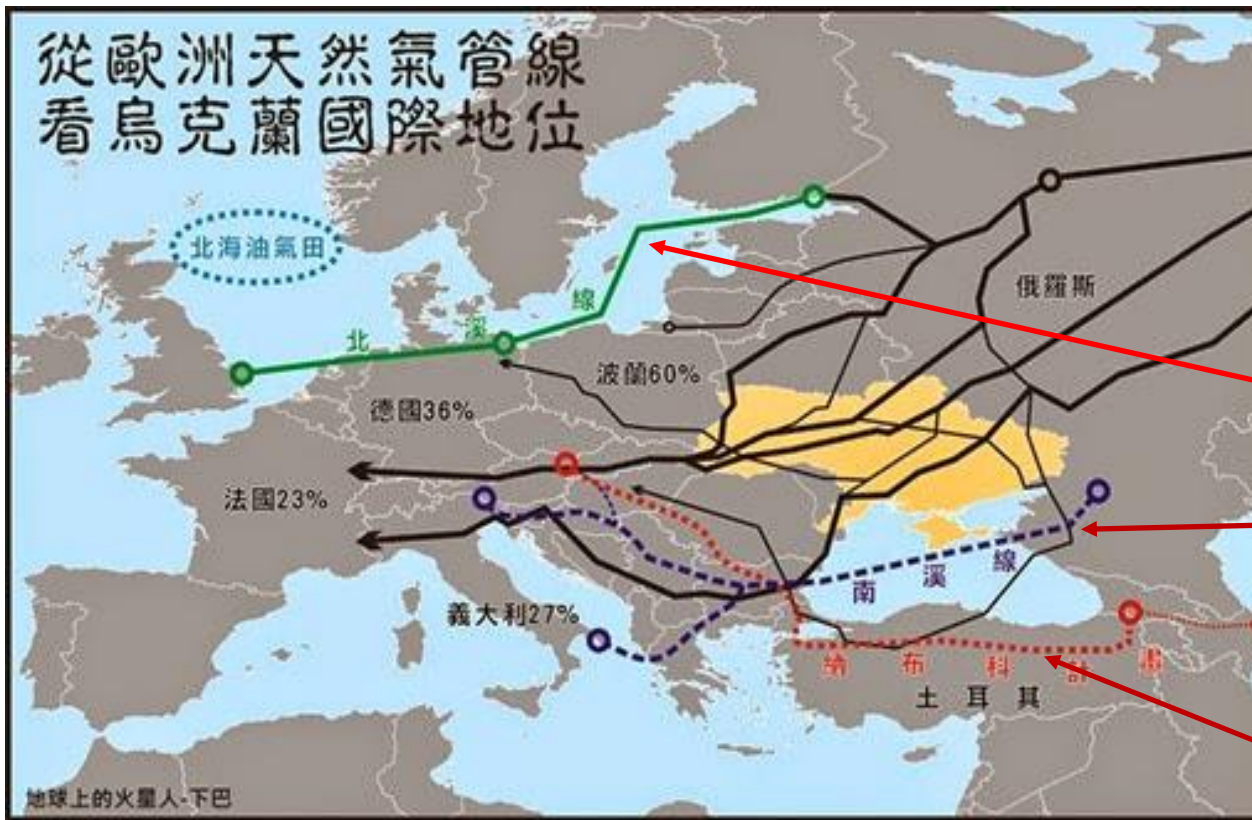


<http://www.rocga.org.tw/pdf/%E6%AD%B7%E5%B9%B4%E7%93%A6%E6%96%AF%E5%AD%A3%E5%88%8A/%E6%B0%91%E5%9C%8B10%E5%B9%B4/120%E6%9C%9F2017%E5%B9%B4%E6%9C%88%E8%99%9F/%E7%93%A6%E6%96%AF120.pdf>



<http://cimg.cnyes.cool/prod/news/1338801/o/bf86322b215bfe605b5e1cd87748ca45.jpg>





西歐約有25%以上的天然氣源自俄羅斯，而東歐對俄羅斯天然氣的依賴更經常超過50%，而俄羅斯本身所產的天然氣共有66%左右是出口至歐洲各個國家，80% 經烏克蘭

# 天然氣輸送管



<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS7iCv6vXOhGLzODvJNlpMhtRjFIWpCMEz8oWxCdMmR3MGkE9SU>

2000年，歐洲國家跟土耳其欲建造一條天然氣管線，該管線預計從土耳其的Erzurum到奧地利的Baumgarten an der March. 增加歐洲國家天然氣供應來源的多樣性，該條管線主要計畫中的天然氣供應國為伊拉克，亞塞拜然以及土庫曼斯坦，建造預算約為**60到80億美元**，整條管線不會通過俄羅斯。

納布科天然氣管線的總長度約為**3,300公里**，其竣工後的天然氣年輸送量約為**300到310億**立方公尺。

107年裝置容量占比圖

再生能源 11.6%  
風力 1.6% 水力 4.7% 太陽能 5.3%



107年發電量占比圖

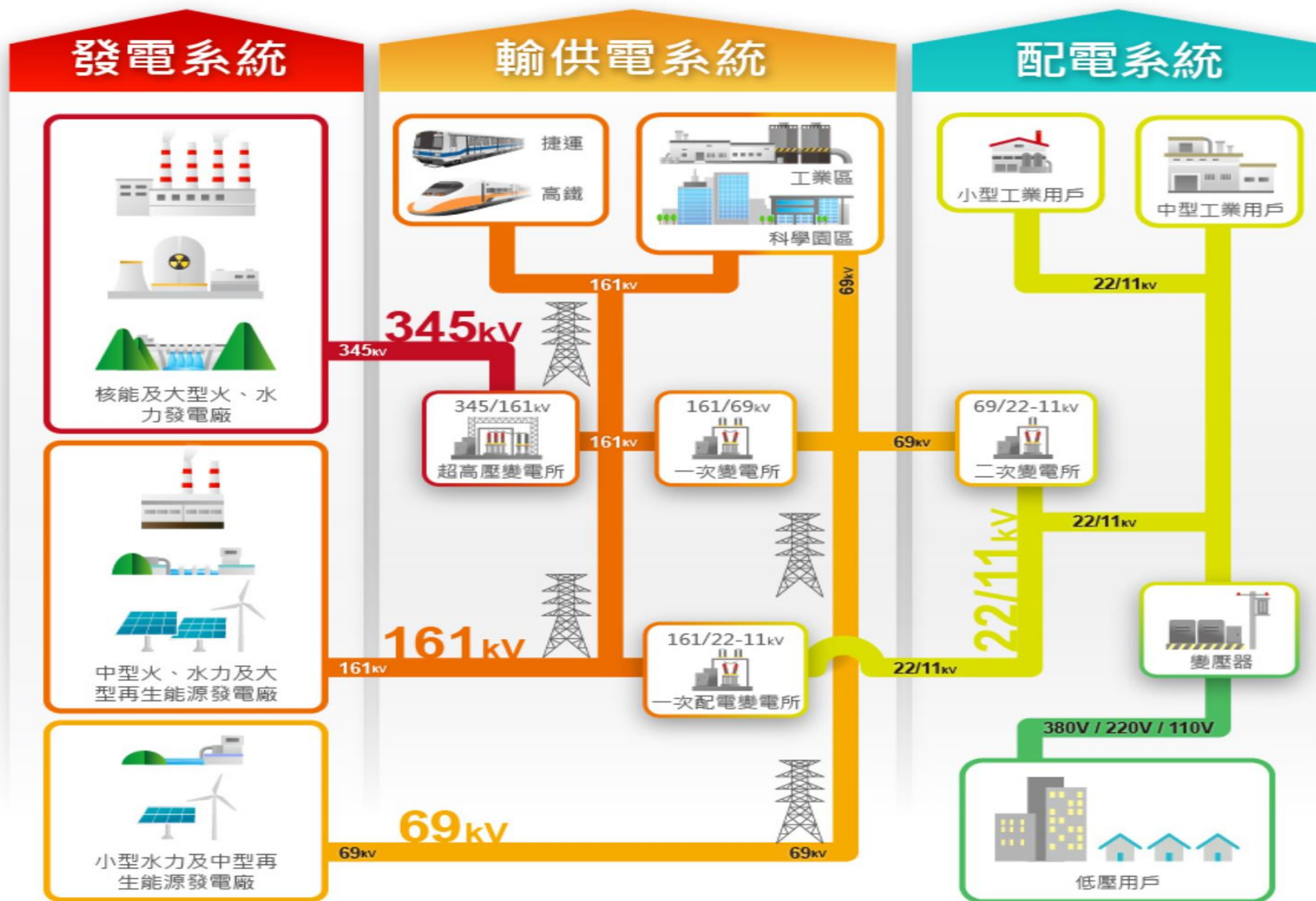
再生能源 3.76%  
風力 0.71% 水力 1.91% 太陽能 1.14%



註：含垃圾焚化及沼氣發電

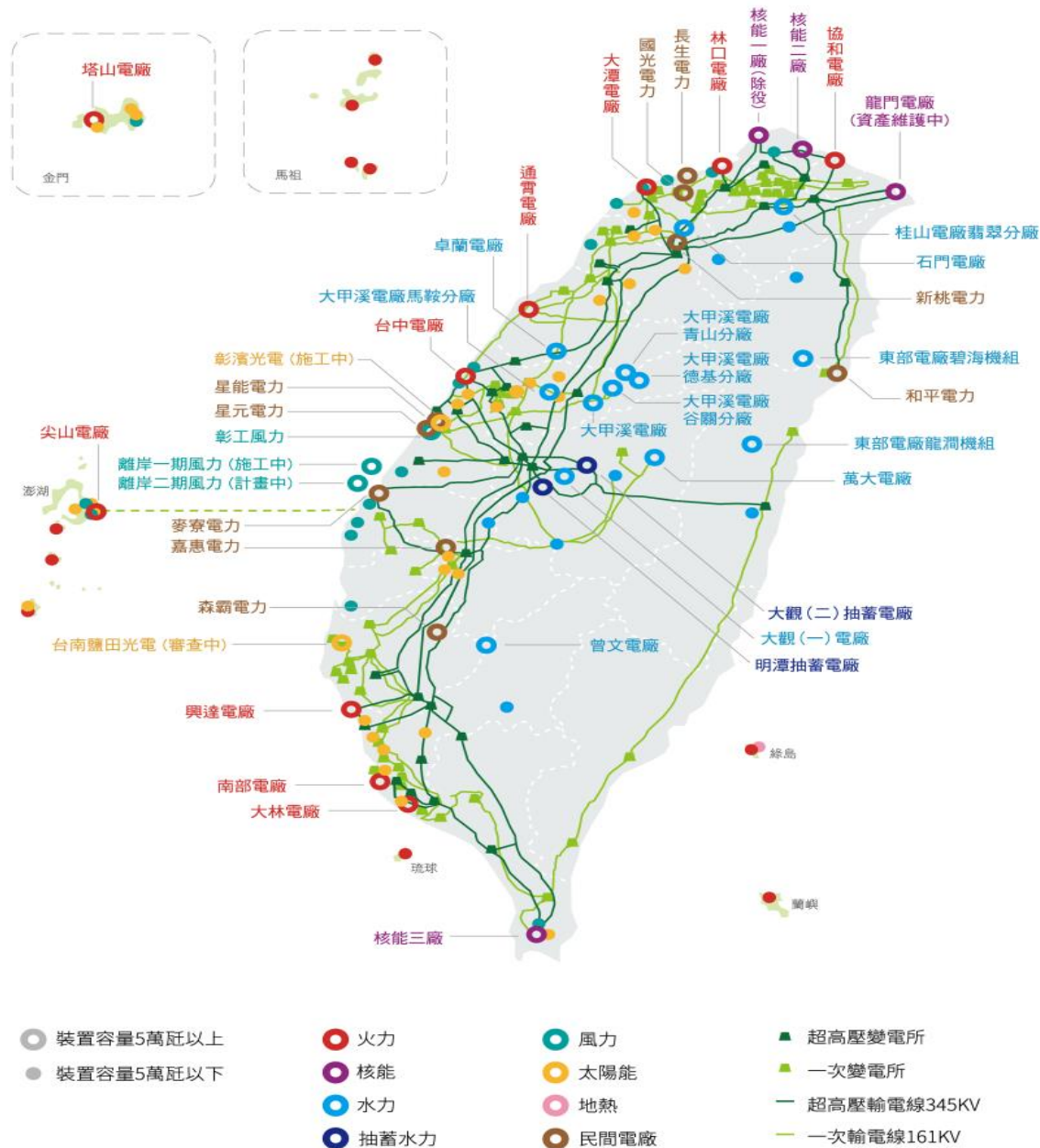


# 供電系統





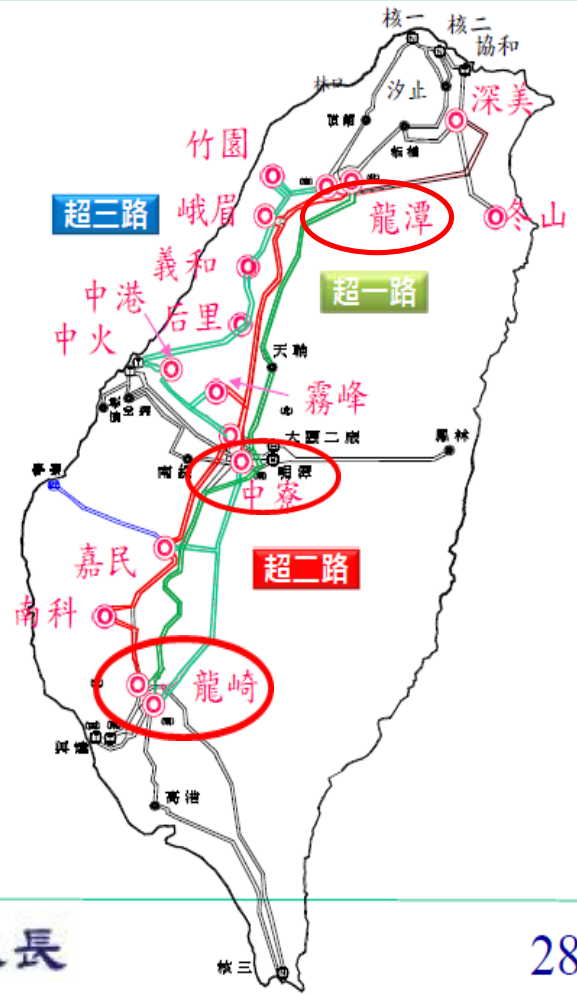
# 台電系統電廠及電網分布



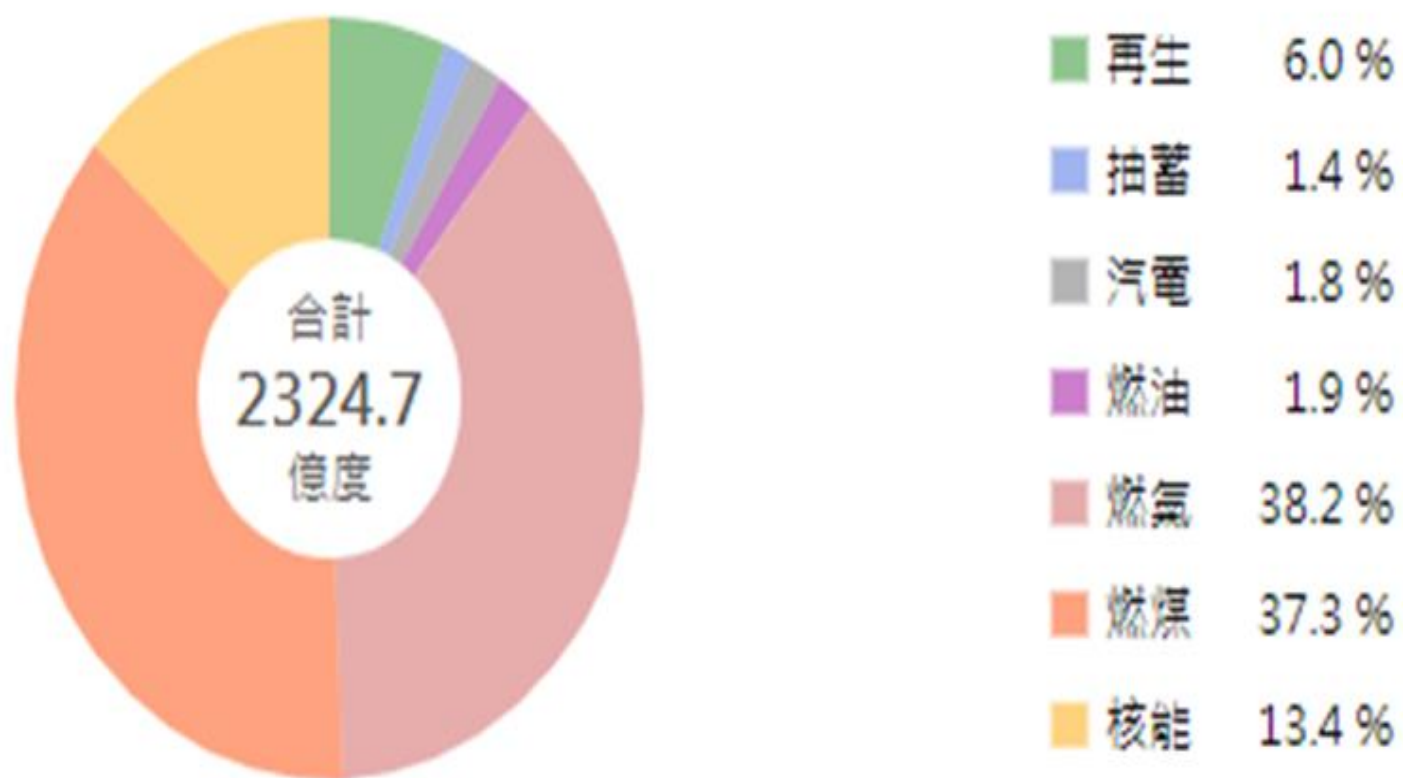
# 台電公司 超高壓電力系統

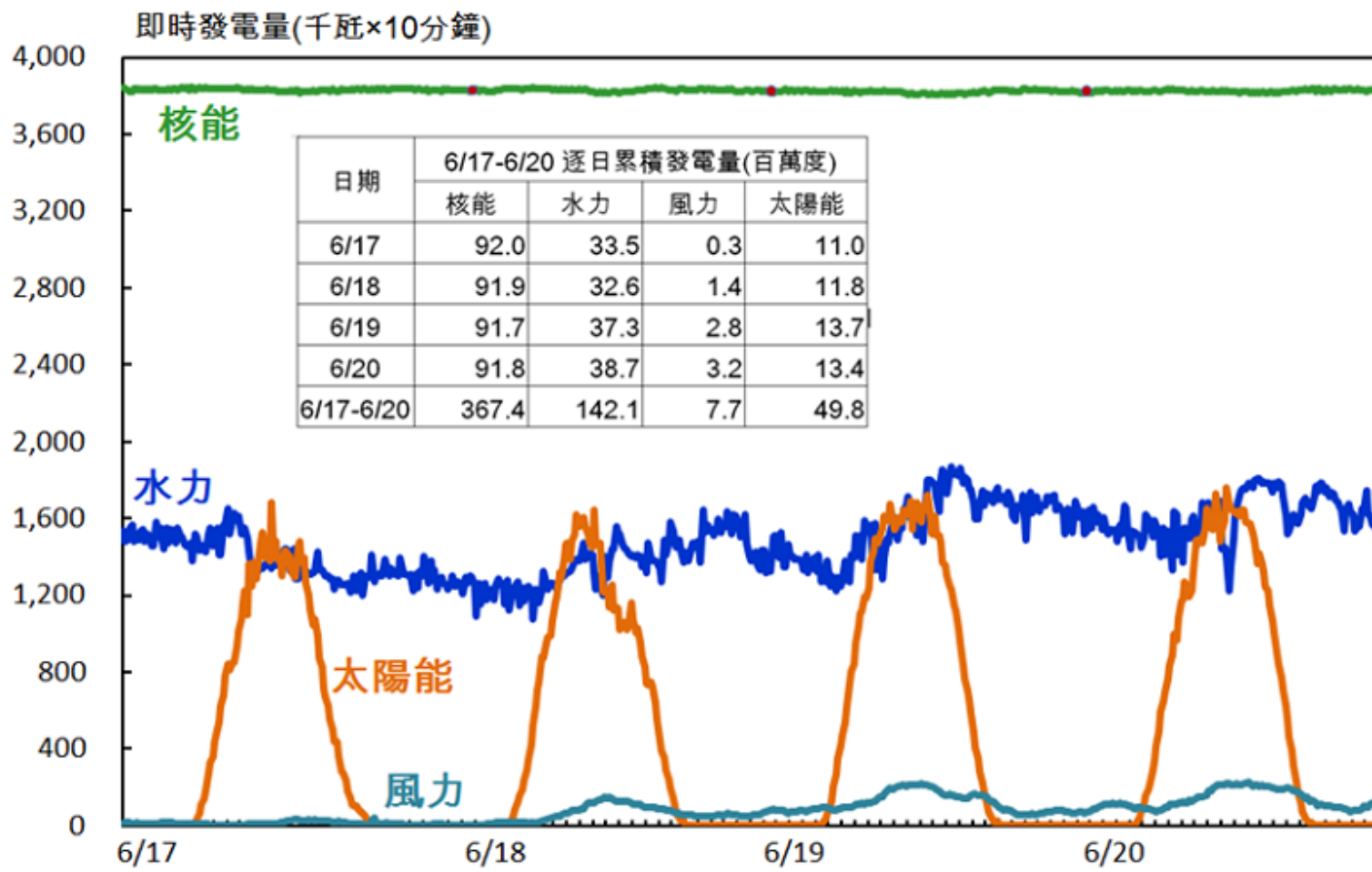
◆電網發展型態係配合電源、負載而形成。長期以來**負載**多集中於北部地區，**電源**多集中於中南部地區，故電網因而形成長條型供電系統。並靠南北**超高壓三路345kV主幹線**輸送調節。

超高壓主幹線	加入年	起訖	每回容量 (MVA)
超一路	63年	龍潭~天輪~龍崎	1200
超二路	74年	龍潭~中寮~龍崎	2100
超三路	91年	龍潭~中火~中寮~龍崎	2100



## 108 年發購電量結構





資料來源：台電公司 電力調度處，發購電量分類統計-能源別 (106/6/17-6/20)



## 各縣市太陽能光電每 kWp 年均發電量

縣市	每 kWp 年均發電量 (度)	容量因數 (%)	縣市	每 kWp 年均發電量 (度)	容量因數 (%)
基隆市	897	10.24	彰化縣	1324	15.11
台(新)北市	958	10.94	雲林縣	1269	14.49
桃園市	1058	12.08	南投縣	1142	13.04
新竹縣市	1113	12.70	嘉義縣	1231	14.05
苗栗縣	1209	13.80	花蓮縣	767	8.76
宜蘭縣	931	10.63	金門縣	1140	13.01
連江縣	1148	13.10	澎湖縣	1271	14.51
台中市	1205	13.76	台南市	1285	14.67

容量因數 = 年發電量實績 / (裝置容量 \* 24 \* 365)

kWp: peak kW

## 百萬陽光屋頂與台中電廠比較(1/2)

- ❖ 屋頂平均面積30坪(100m\*\*2)
- ❖ 30%屋頂面積可裝設光電板(30m\*\*2)
- ❖ 光電板 100W/m\*\*2
- ❖ 每屋頂裝設3000W(3kW)
- ❖ 百萬屋頂可裝設300萬kW (3,000 MW)
- ❖ 太陽能每年可發電1200Hour
- ❖ 百萬屋頂每年可發電36億度

容量因數 (Capacity Factor) =  $1200/8760 = 13.7\%$

## 百萬陽光屋頂與台中電廠比較(2/2)

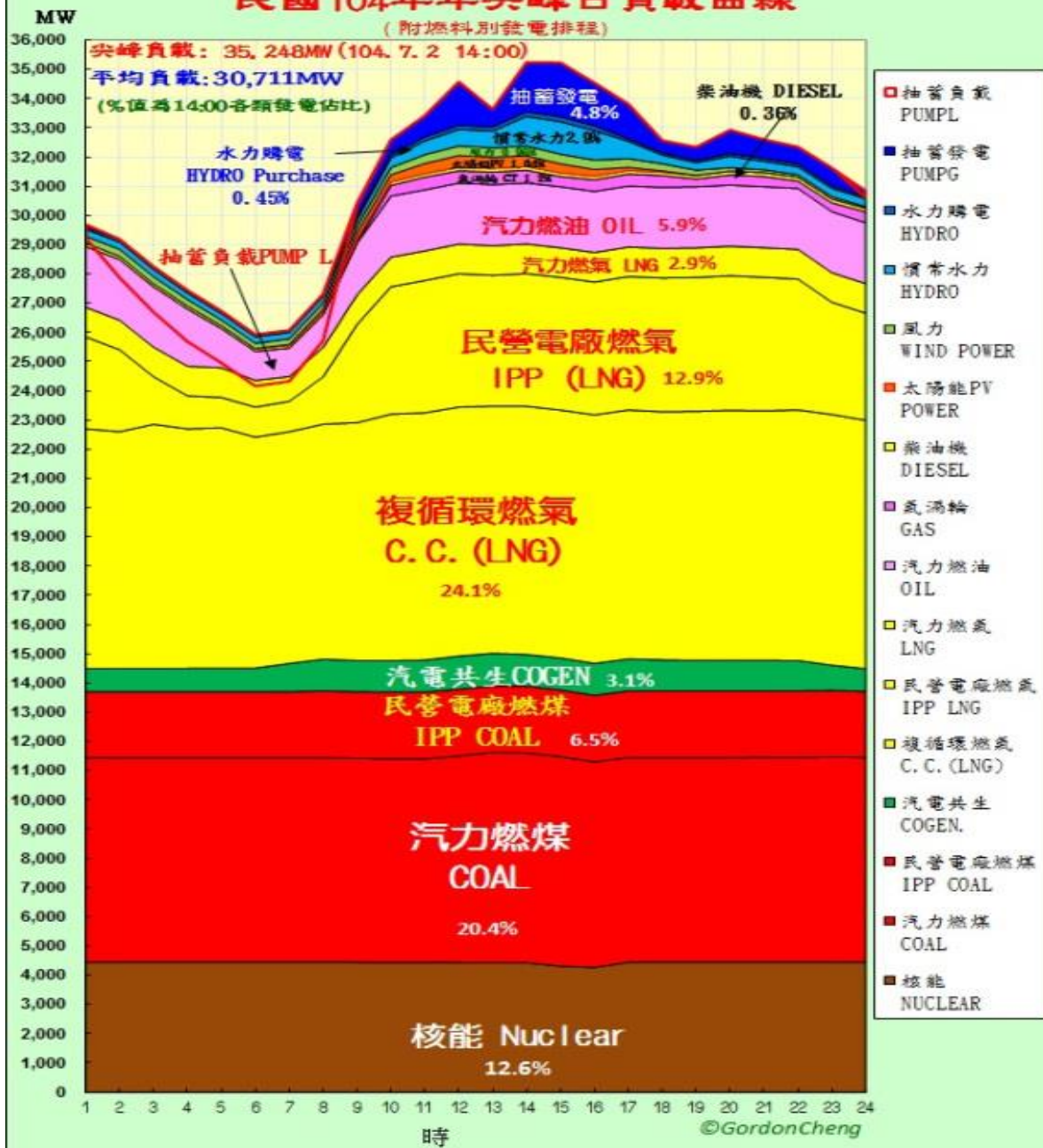
- ❖ 台中電廠**10**部機組
- ❖ 每部機組**55**萬千瓦 (550 MW)
- ❖ 燃煤機組每年發電**7600**Hour
- ❖ 台中電廠每部機組每年發電**42**億度
- ❖ 百萬陽光屋頂每年發電量低於**1**部台中機組

容量因數 (Capacity Factor) =  $7600/8760 = 86.76\%$



# 民國104年年尖峰日負載曲線

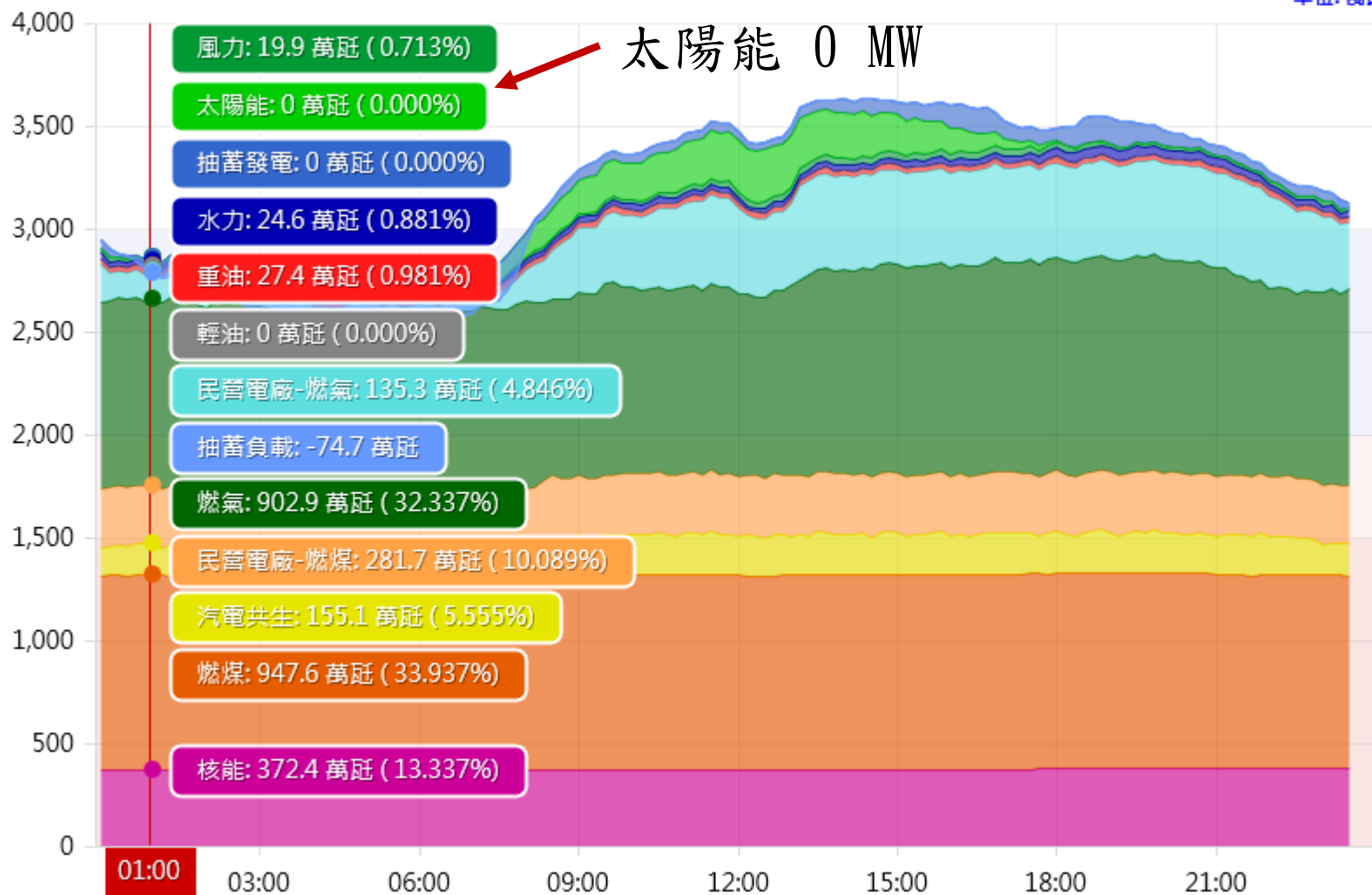
(附燃料別發電排程)





今日用電曲線圖-依能源類別 (Load Curve of Today – by Energy Type)

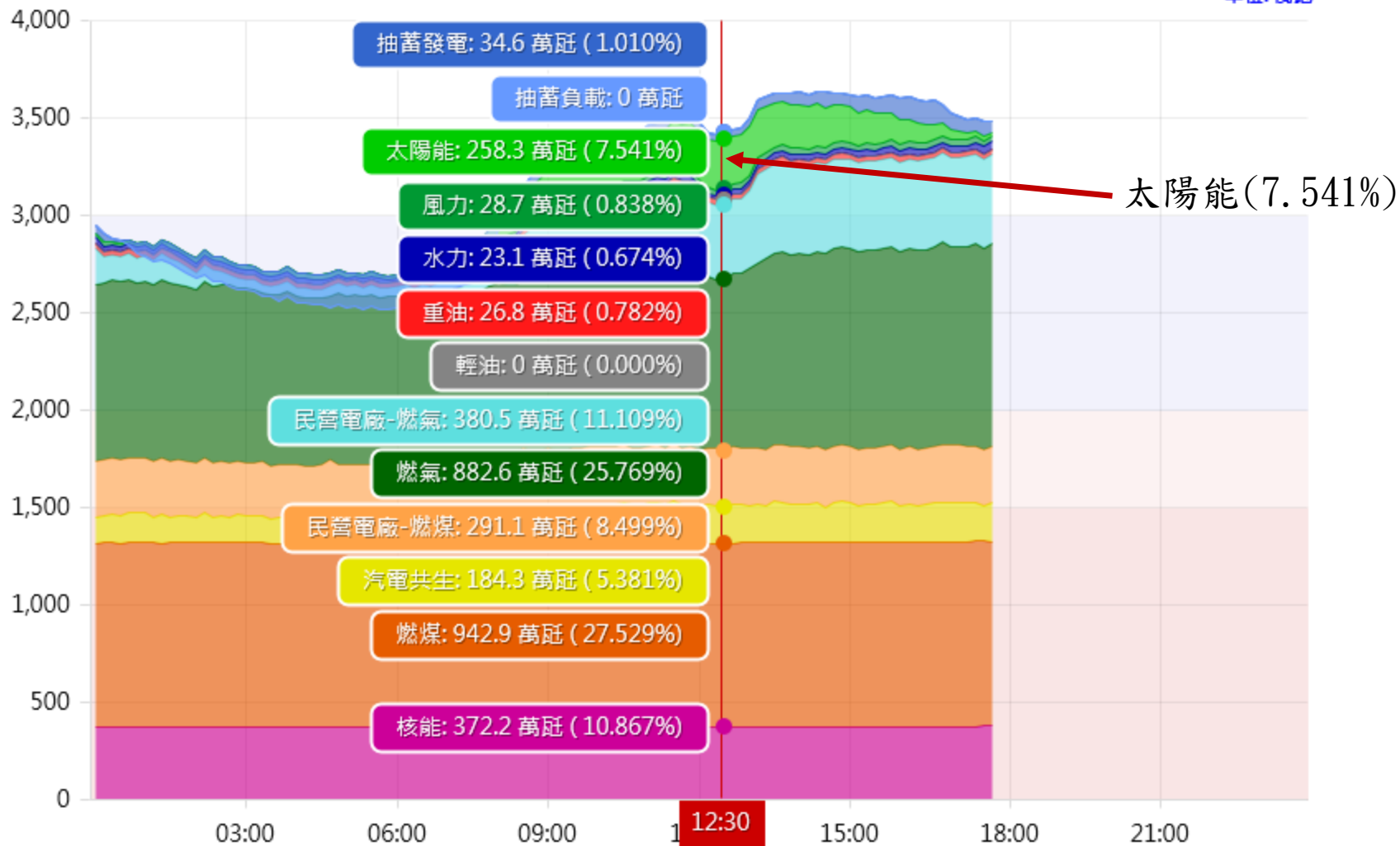
單位: 萬瓩



2020年9月2日

今日用電曲線圖-依能源類別 (Load Curve of Today – by Energy Type)

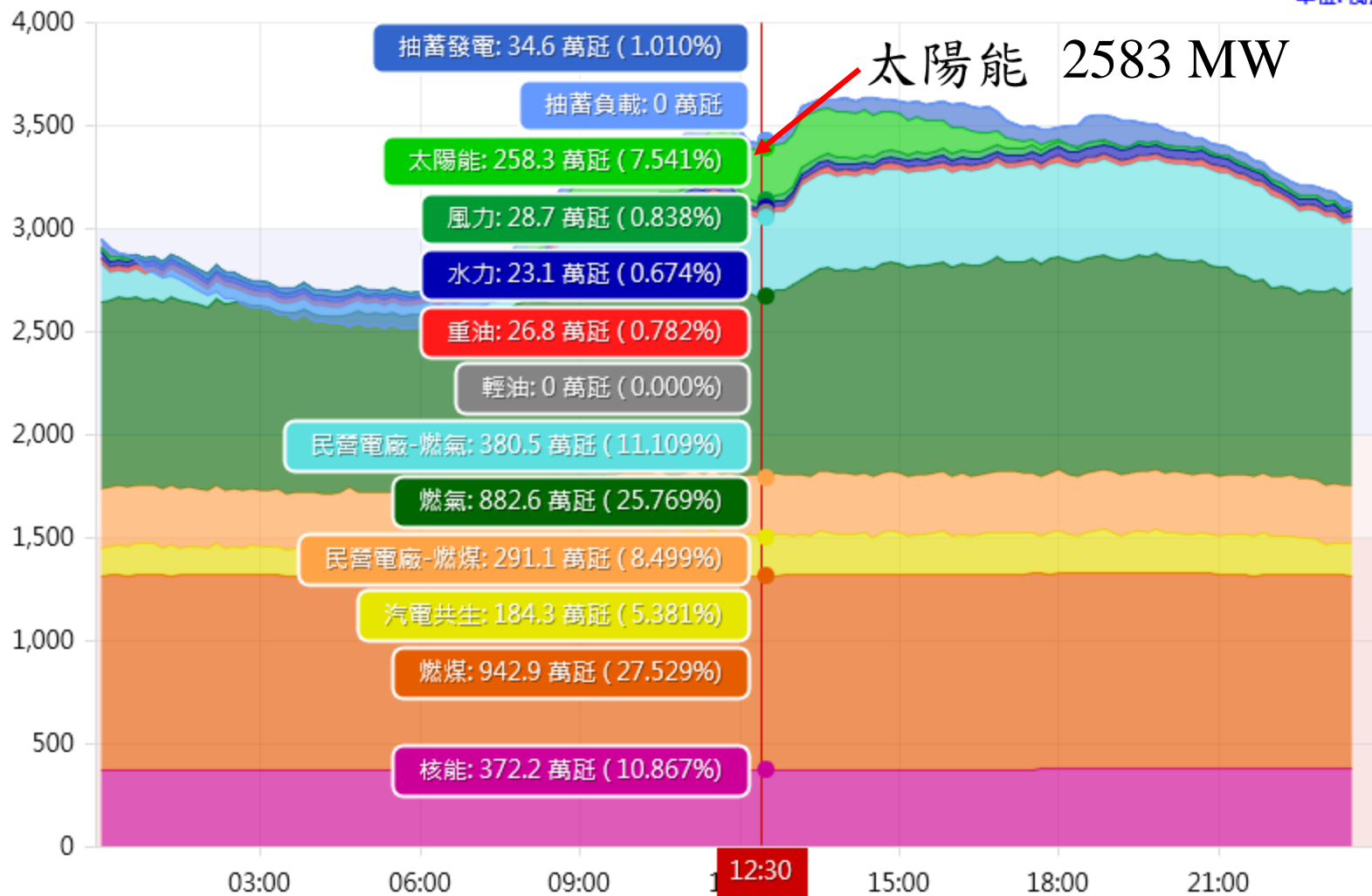
單位: 萬瓩



2020年9月2日

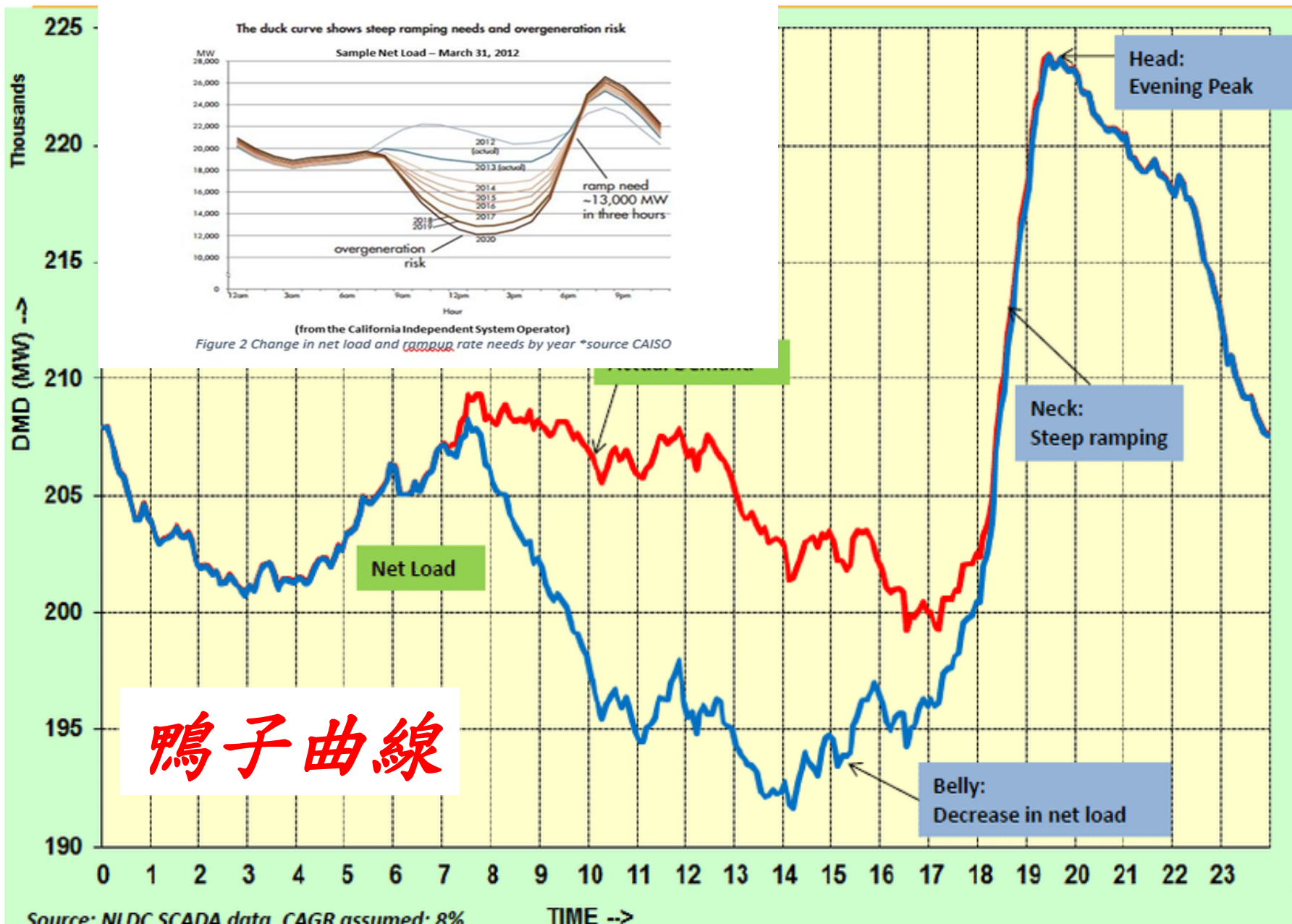
今日用電曲線圖-依能源類別 (Load Curve of Today – by Energy Type)

單位: 萬瓩



# Expected All India Duck Curve

(After considering 20000 MW of Solar Generation by 2021-22)





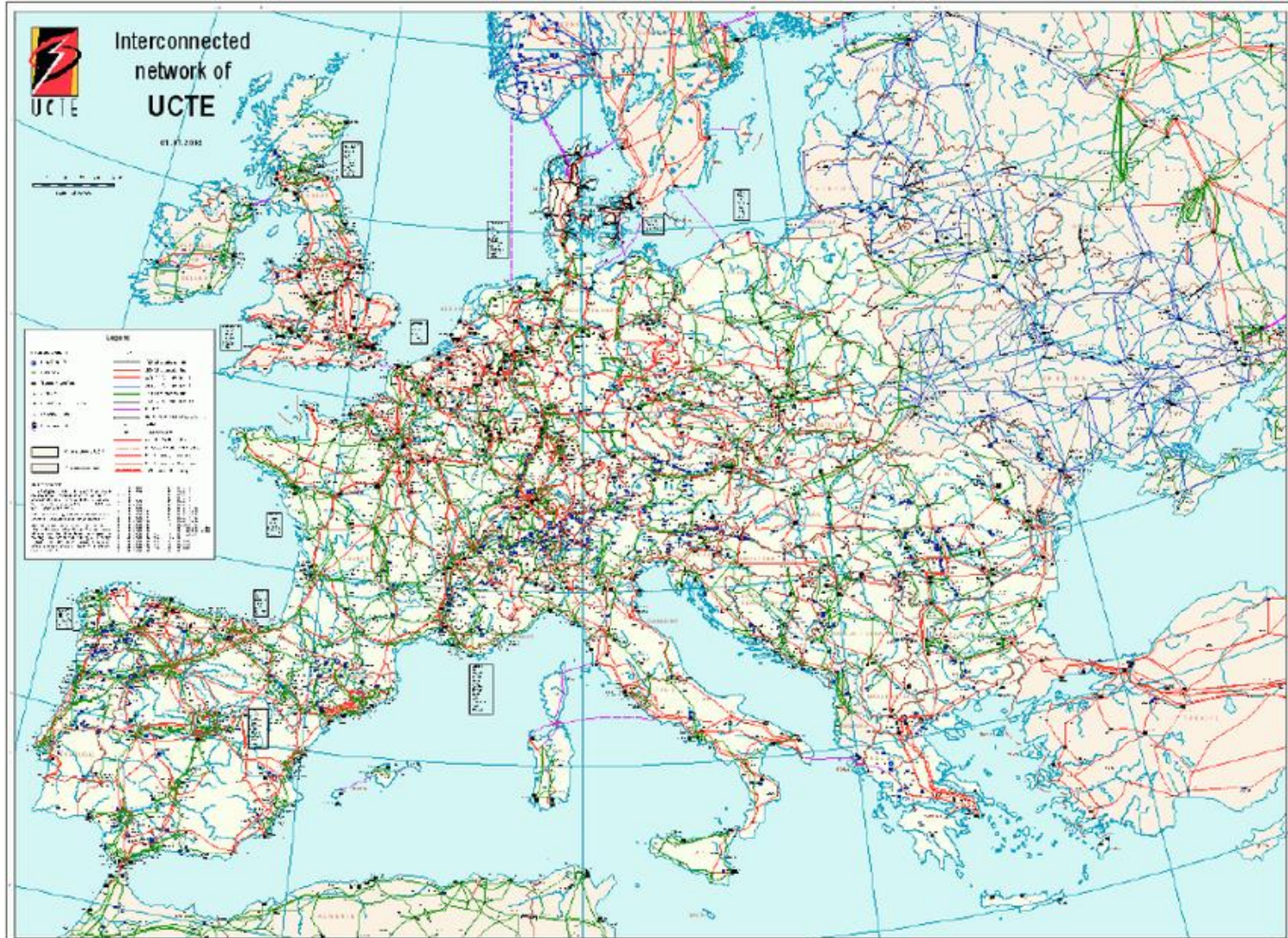
風力與太陽能光電供電不穩定，且無法調度  
供電系統不穩定電源比例過高時，  
系統有崩潰的風險

與鄰國電網相連結，利用鄰國的穩定電源，  
降低風險

獨立電網需要大型儲能設施

- 機械能 位能（抽蓄水力）
- 機械能 動能（飛輪慣性）
- 化學能 電池
- 化學能 製氫 燃料電池

# Power Grid of Europe





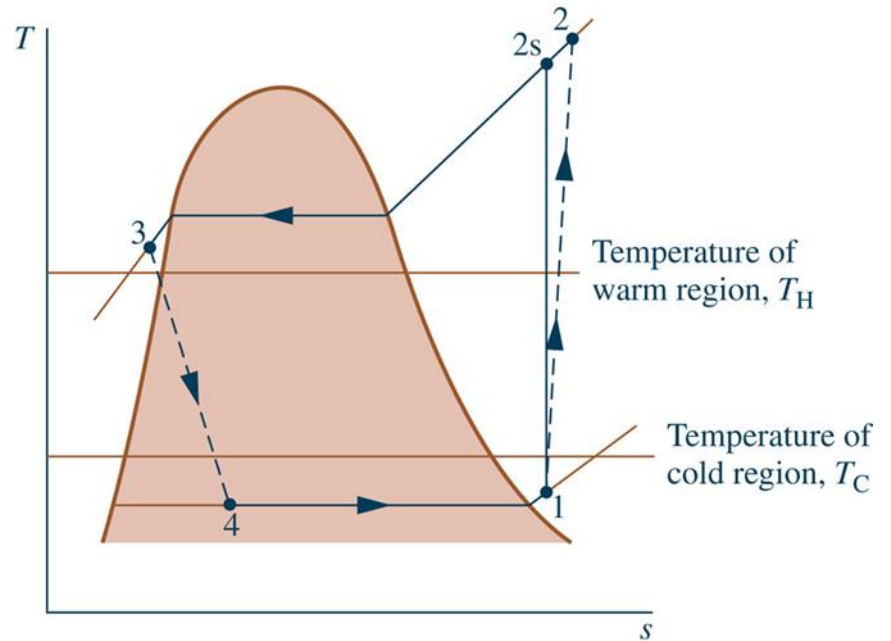
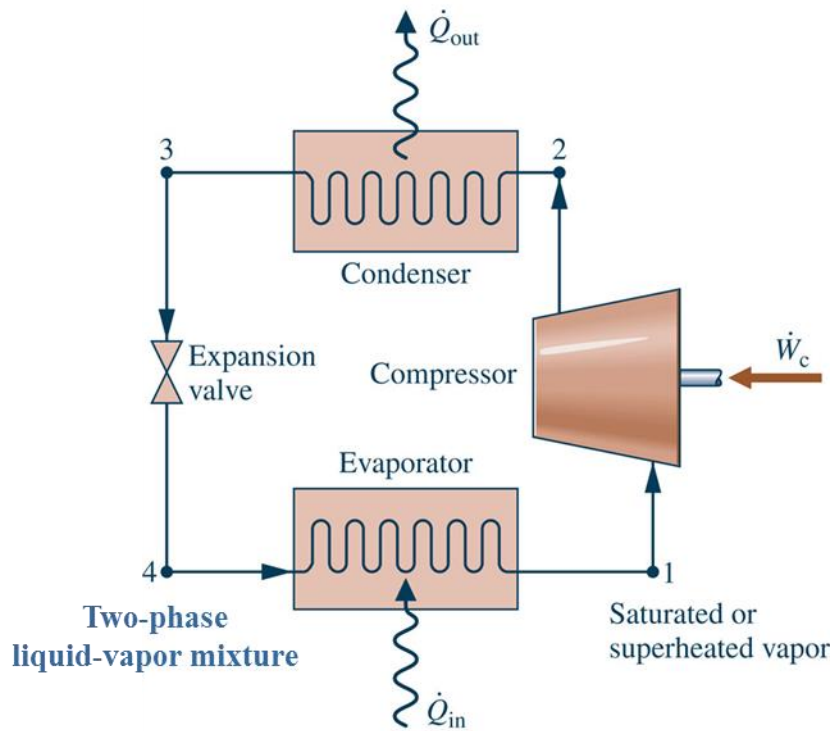
明潭抽蓄發電廠 1602 MW 上池 日月潭 下池 明潭水庫  
 明潭抽蓄發電廠 1000 MW 上池 日月潭 下池 明湖水庫







# Move Energy from Low Temperature Space to High Temperature





## Cryogenic Industry

the production, transportation and storage of gaseous and liquid nitrogen, argon, various rare gases, natural gas, etc. work with substances that have very low temperatures - below  $-153^{\circ}\text{C}$ .

The range of use of such low temperatures is quite wide:

- Medicine, •Metallurgy, •Biology, •Chemistry, •Agriculture
- Oil and gas production, •Scientific and technical research

Refrigerator, Air Conditioning, Heat Pump