

# 核能電廠 設計原則與系統介紹

核二廠模擬中心

104年7月

1

## 核二廠廠區佈置介紹

3

## 課程內容

1. 核二廠廠區佈置介紹
2. 電廠流程說明
3. 電廠系統設備說明
4. 反應爐之控制
5. 核能發電的特性
6. 核能電廠設計安全之各項原則
7. 反應爐保護系統之安全實例
8. 核能電廠廠址、地震、海嘯因素之考量
9. 防範人因疏失是核安的重要項目

2

## 認識核二廠

廠址：新北市萬里區野柳里八斗60號  
佔地 225公頃，依山面海  
南距台北市約 22 公里  
緊鄰基隆



緊急計畫區半徑已更改為8公里

4

## 認識核二廠

建廠時程：	開工日期	商轉日期
一號機	63. 09. 18	70. 12. 28
二號機	63. 09. 18	72. 03. 16



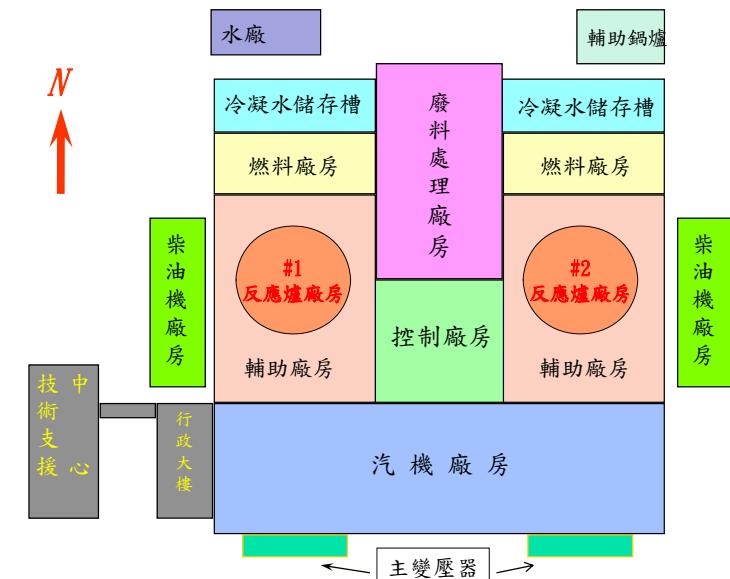
5



## 認識核二廠

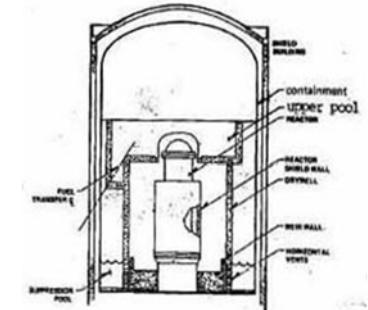
- 本廠共有兩部核能發電機組
  - 反應爐 -
    - GE公司製，額定熱功率輸出為2894 MWt (t: thermal)
    - Ultrasonic Feedwater Flowmeter 提升到2943 MWt
    - 103年執行中幅度功率提升到達2968 MWt
  - 包封容器 -
    - GE第三代( Mark--III )包封容器系統
    - 兼有乾井和壓力抑制池的特點
  - 汽輪機及發電機組 -
    - 西屋公司製
    - 額定出力為985.3 MWe (e: electrical) (98萬5千瓩)(低壓汽機轉子更新後提升為1010MWe，中幅度功率提升到達1030MWe最高可至1035MWe左右)
  - 本廠另設置汽渦輪發電機兩部各 52 Mwe，燃料為輕柴油

廠房佈置圖(一)



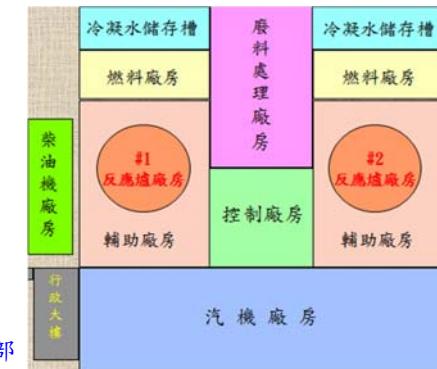
## 廠房佈置(1)

- 反應爐廠房(Reactor Building)
  - 內有核能鍋爐系統(Nuclear Boiler)，或稱「核能蒸汽供給系統」(Nuclear Steam Supply System，簡稱NSSS)有關設備。其他組成設備包括
    - 上燃料池 (Upper Pool)、
    - 乾井(Drywell)、
    - 壓力抑制池 (Pressure Suppression Pool)
- 反應爐輔助廠房(Reactor Auxiliary Building)
  - 包圍反應爐廠房四週的方形廠房內有許多輔助系統或設備，如緊急爐心冷卻系統(Emergency Core Cooling System，簡稱ECCS)及其相等輔的設備。爐水淨化系統(Reactor water Cleanup system, RWCU.....等



## 廠房佈置(2)

- 汽機廠房(Turbine Building) (兩部機共用)
  - 汽輪發電機組及其輔助設備
  - 汽水分離再熱器
  - 飼水系統及飼水加熱器
  - .....
- 燃料廠房(Fuel Building)
  - 用過核燃料貯存池
  - 用過核燃料冷卻及淨化系統
  - 核燃傳輸設備。
  - .....
- 控制廠房(Control Building) (兩部機共用)
  - 主控制室、電腦設備、通訊中心、通風設備等



10

## 廠房佈置(3)

- 廢料處理廠房(Radwaste building)。(兩部機共用)
  - 廢料處理和保健物理有關設備
- 冷凝水儲存槽(Condensate Storage Tank)
  - 地下水槽儲存冷凝水
- 辦公大樓(Administration Building)
- 柴油機房(Diesel Generator Building)
  - 每部機組有三部自備緊急柴油發電機
  - 另有一部1、2機共用的第五部緊急柴油發電機在另一廠房



## 廠房佈置(4)

- 輔助鍋爐間(Auxiliary Boiler Building)
  - 用柴油燃料鍋爐供給無輻射蒸汽至
  - 汽封蒸汽(Gland Steam)、
  - 廢料處理濃縮設備。(兩部機共用)
- 技術支援中心
  - 執行緊急計劃的指揮中心
- 水處理間(Make-Up Demineralizer Building)
  - 補充水除礦器系統，做水供兩部機使用
- 海水泵室(或取水口，Intake Structure)
  - 每部機有四台再循泵抽取海水



11

12

## 廠房佈置(5)

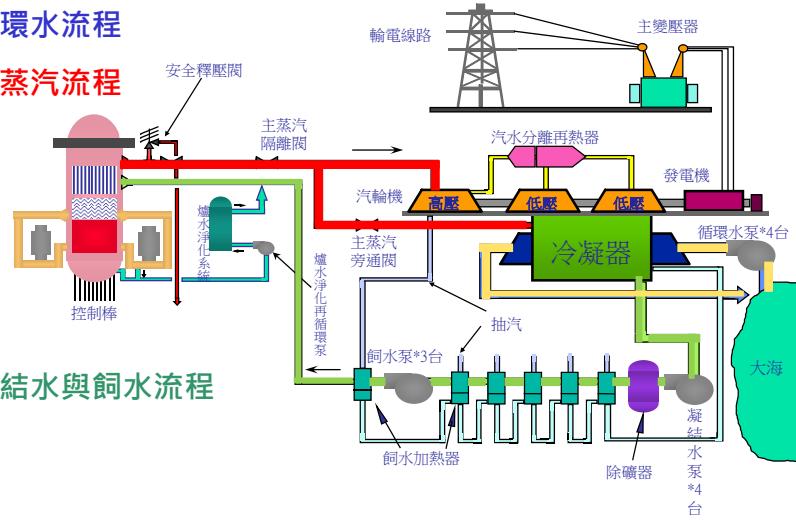
- 開關場(Switch Yard)
  - 廠內通廠外之輸電控制開關及匯流排
- 緊急取水泵室(Emergency Circulating Water Intake)
  - 進水池通出水口旁緊急取水池，供緊急水泵抽取海水冷卻用
- 雜項廢液處理廠
  - 處理含油廢水
- 洗衣房
  - 工作服清洗

13

## 電廠流程及系統說明

### 反應爐發電運轉流程

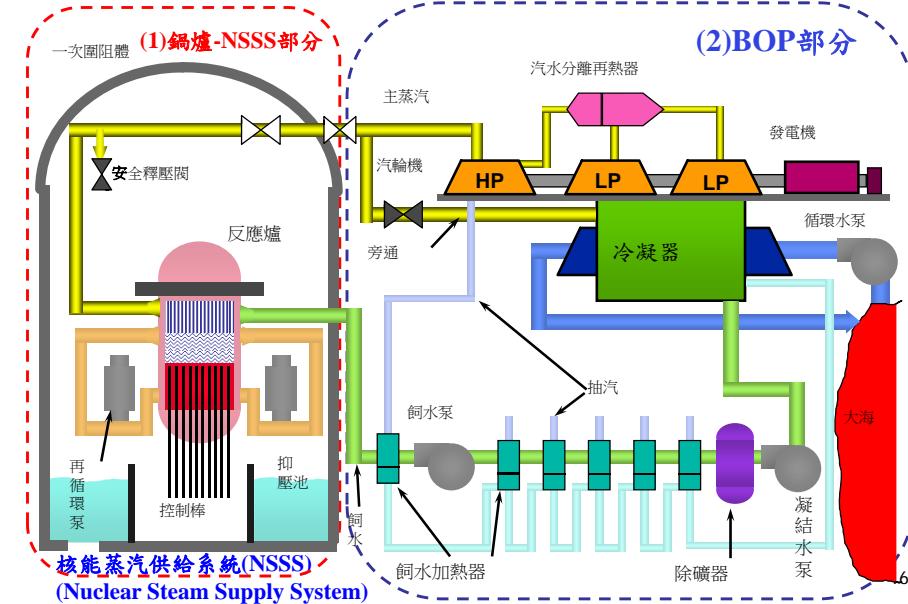
#### 1.循環水流程



#### 2.主蒸汽流程

#### 3.凝結水與飼水流程

### 沸水式核電廠發電設備可分為兩部分



14

## 電廠系統設備說明

- 反應爐壓力槽
- ✓反應爐之控制
- 包封容器
- 反應器附屬系統
- 緊急安全系統
- 中子偵測系統
- 一般廠內系統

NSSS部分

BOP部分

17

## 反應爐壓力槽

1. 反應爐又稱作核子鍋爐(Nuclear Boiler)，用來產生蒸汽推動汽機
2. 反應爐壓力槽內，放置核燃料和相關設備，包括：
  - 爐心區
  - 頂部導架(Top Guide)和爐心底板(Core Plate)
  - 控制棒及機構(Control Rod Drive Mechanism，簡稱CRD)
  - 爐心側板(Core Shroud)
  - 噴射泵(Jet Pump)和升流管(Riser)
  - 核心內偵檢器(In-Core Detector)
  - 蒸汽乾燥器
  - 汽水分離器
3. 把反應爐內爐心區的控制棒抽出，即發生核分裂，熱因而產生。
4. 冷卻水由爐心通過，吸收核分裂產生的熱，產生蒸汽。
  - 兩個再循環水迴路自壓力槽取水，復打回壓力槽。
  - 藉噴射泵吸取冷卻水，強制通過爐心。

18

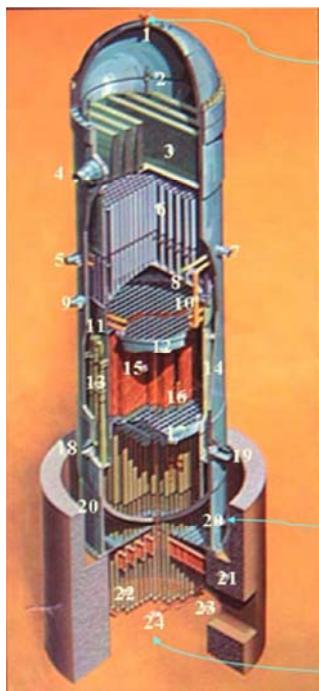
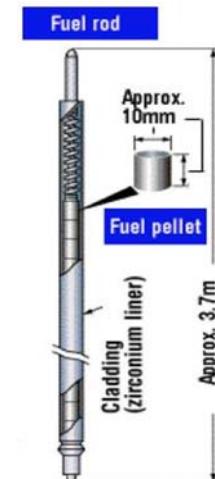


圖1反應爐槽及內部組件

## 爐心和核燃料

燒結的燃料丸，密封在鋯合金管(燃料棒)內，管長 14 吋，頂部有長 16 吋的充氣室用來容納分裂氣體，充氣室內有彈簧壓緊燃料丸，防止軸向鬆動。

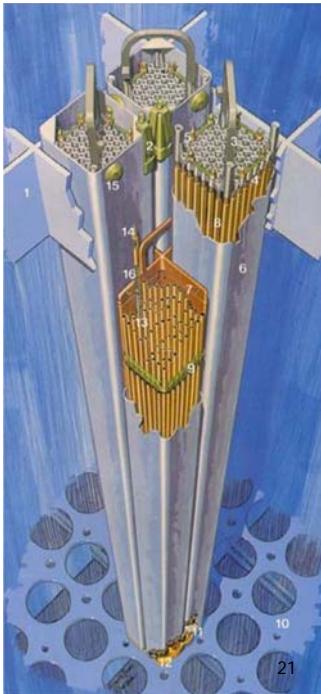
燃料棒有不同的濃縮度，藉以緩和爐心各部的中子通量分佈。



20

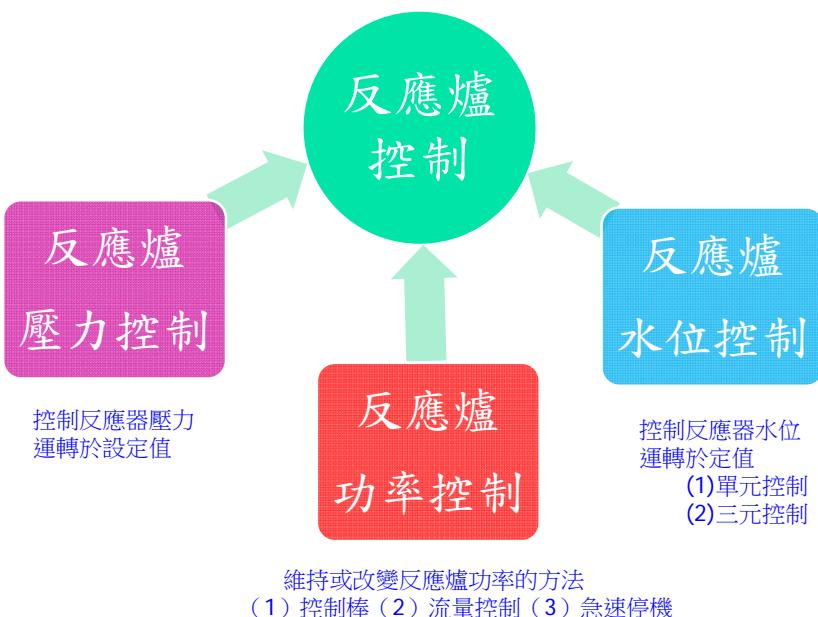
## 燃料元件

1. 燃料在壓力槽中，在頂部導架與爐心底板之間。
2. 燃料束(Fuel Bundle)由燃料棒、上、下繫板和間隔板構成，外面套以燃料匣(Fuel Channel)，即成燃料元件(Fuel Assembly)。
3. 燃料匣引導 90%冷卻水，通過燃料元件內部，匣外是控制棒滾輪之承面。
4. 燃料元件座在燃料墊塊(Fuel Support Piece)上，後者座在控制棒導管上，引導冷卻水通過燃料束，並能限制適當的流量。約有 10%冷卻水未通過燃料，用來冷卻其他組件，如核內儀器等。
5. 通過爐心外圍燃料元件的冷卻水流，較通過爐心中央者為少，因爐心中央燃料功率產生較高。



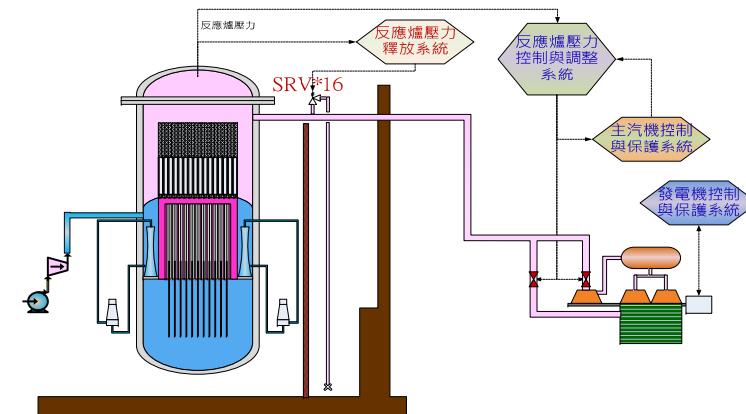
## 反應爐之控制

22



## 反應爐之控制

- (一) 壓力控制: 控制反應器壓力運轉於設定值，主要控制系統為
- 蒸汽旁路與壓力調整系統
  - 配合數位式電子液壓系統(DEH)控制汽機之控制閥及旁通閥  
DEH : Digital Electric Hydraulic Control
  - 遇異常狀況致使反應爐壓力過高時，安全釋壓閥動作開啟釋壓。



24

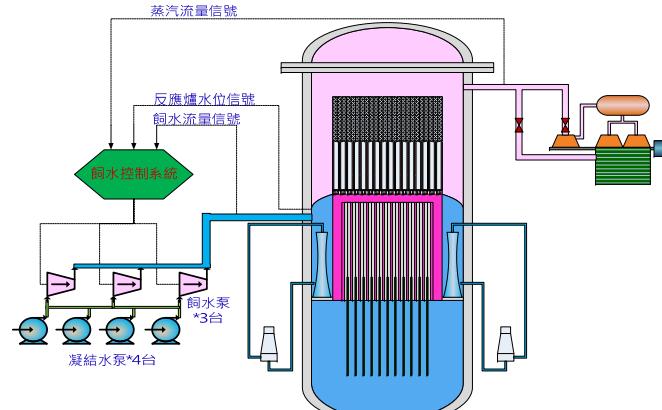
## 反應爐之控制

(二)水位控制 - 控制反應器水位運轉於定值

二種控制方式：單元控制與三元控制

(A)單元控制方式

- 由水位回授信號來自動調節飼水流量，維持反應器在一定水位
- 飼水流量控制則藉控制飼水泵汽機轉速或流量控制閥的開度來調節

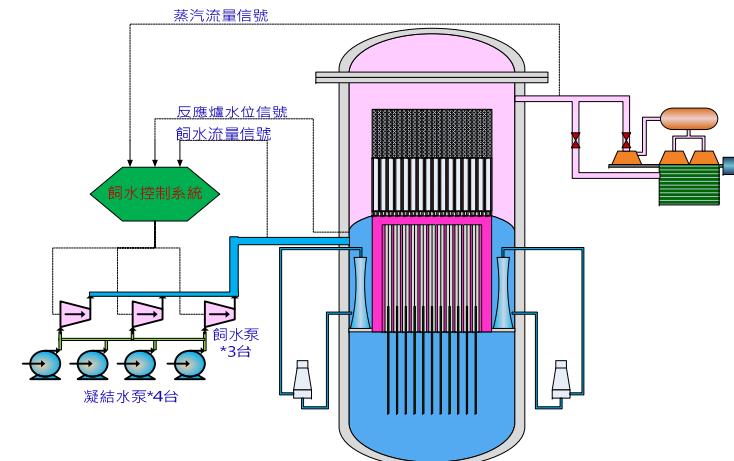


25

## 反應爐之控制

(B)三元控制

- 反應爐水位、蒸汽流量和飼水流量信號整合後來控制水位
- 可得到比單元控制方式更為穩定的水位



26

## 反應爐之控制

(C)功率控制:維持或改變反應爐功率的方法(參閱下圖)

(1) 控制棒

- 控制棒可吸收中子，插入或抽出燃料區，以控制反應爐內核燃料產生熱能因而改變反應爐功率的功率
- 棒控制的抽插移動有很多的限制，由棒控制及資訊系統來控管

(2) 流量控制

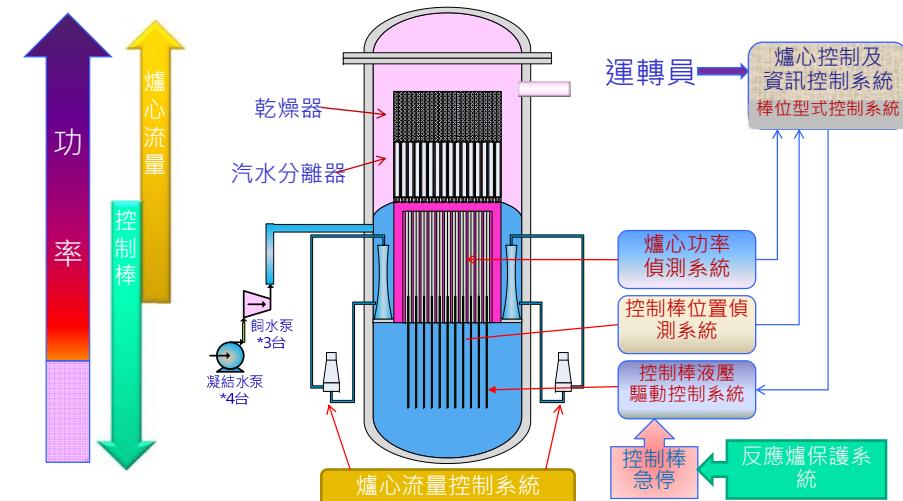
- 利用再循環水系統改變通過爐心冷卻水流量，改變爐心區汽泡含量，改變反應爐功率。

功率的改變，分兩個階段：

- 低功率時，利用低頻發電機組(LFMG Set)，驅動再循環水泵低轉速運轉，此時功率由抽插控制棒來調節
- 高功率時，再循環水泵切到高速運轉，利用出口控制閥變更流量

27

## 反應爐正常運轉之功率控制



## 反應爐之控制

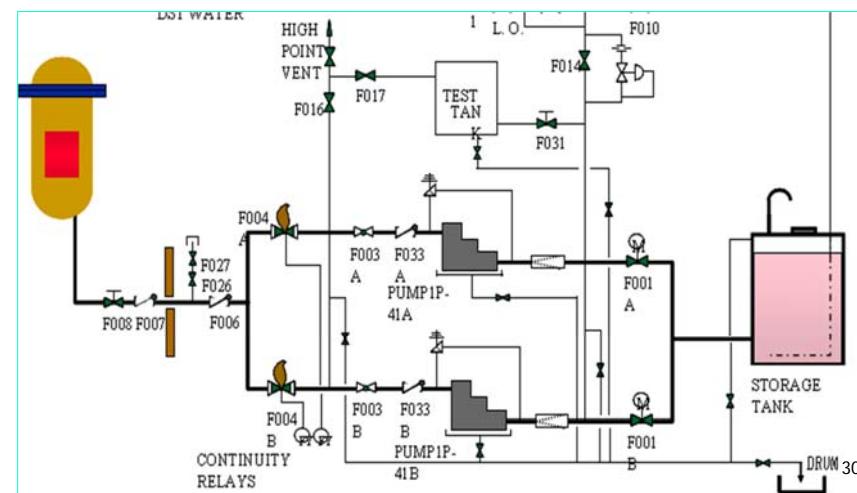
### 反應爐之控制

#### 功率控制

##### (3) 急速停機—稱作急停 (Scram)

- 反應爐在運轉中若發生足以威脅燃料或冷卻水壓力邊界完整的情況時，反應爐保護系統即自動動作，產生急停信號。
- 急停時：
  - 快速插入全部控制棒，爐心立即中止核分裂反應
  - 同時再循環水泵自動由高速切換到低速運轉，降低爐心流量。

29



## 包封容器

## 包封容器的功能

### Mark-III Containment

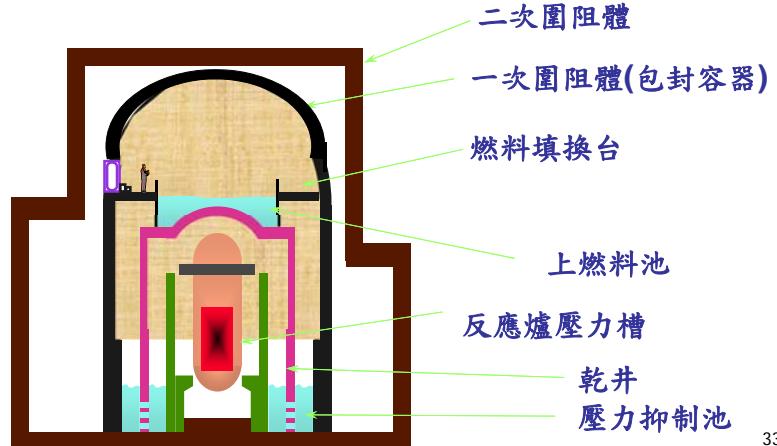
- 包封容器又稱為一次圍阻體，用來包容整個蒸汽供給系統
- 萬一發生核能事故，可防止分裂產物或放射性物質的外洩
- 穿過包封容器的管路上均有自動隔離閥，隔離訊號發生時將會自動關閉閥門，將一次系統與外界隔離
- 人員或物件進出包封容器要經過雙重氣鎖門，
  - 每一雙重氣鎖門有相互連鎖的兩門，防止兩門同時被開啟而破壞包封容器界限的密封
- 各種穿過包封容器的管路及電纜均經由穿越器，穿越器之設計可防止因穿過包封容器而造成洩漏

31

32

## 包封容器(Containment)

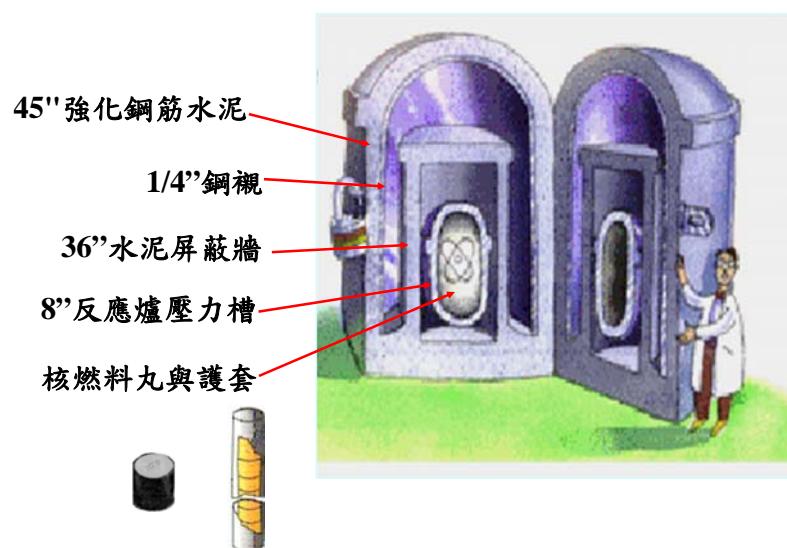
- 為核能電廠的特殊安全設施之一 (Engineered Safety Feature , 簡稱ESF )
- 包封容器必須通過洩漏測試，其洩漏率必須合法規規定。



## 雙重氣鎖門與機件通口



## 輻射屏蔽系統與深度防禦的概念



35

## 電廠系統設備說明

### ■ 反應器附屬系統：

- 爐水淨化系統(RWCU)
- 燃料池淨化與冷卻系統(F/P)
- 核機冷卻水系統
- 廢料處理系統
  - 廢氣系統(Off-gas system)
  - 廢液處理系統
  - 固體廢料系統
- 備用氣體處理系統

36

## 電廠系統設備說明

### ■ 緊急安全系統：

- 備用硼液系統(SBLIC)
- 爐心隔離冷卻系統(RCIC)
- 自動洩壓系統(ADS)
- 緊急爐心冷卻系統(ECCS)

### ■ 中子偵測系統：

- 寬範圍中子偵測系統(WRNM)
- 功率階偵測系統(APRM)
- 局部能階偵測系統(LPRM)
- 爐心探針(TIP)

37

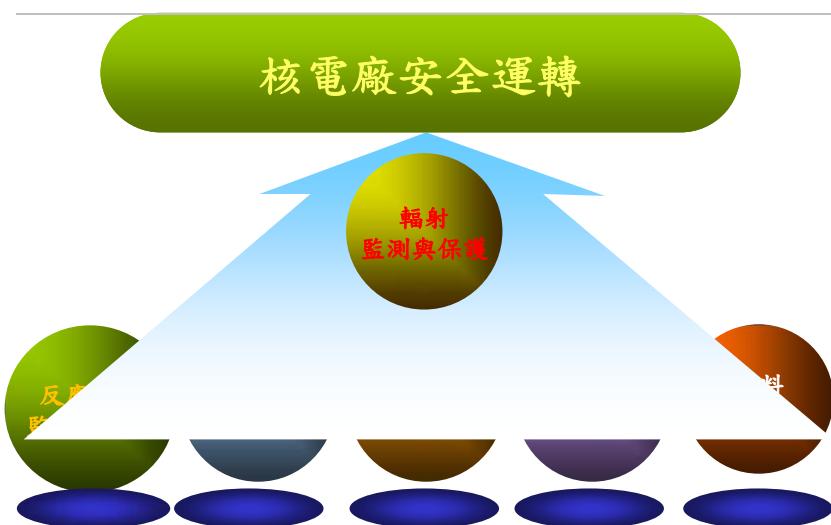
## 電廠系統設備說明

### ■ 一般廠內系統：

- 各種冷卻系統
  - 循環水系統
  - 緊急循環水系統
  - 汽機廠房冷卻水(TPCCW)系統
  - 核機冷卻水(NCCW)系統
- 電氣系統
  - 機組電力輸送系統、廠內用電系統、緊急柴油發電機、各種直流電系統。
- 汽輪發電機輔助系統
- 消防系統
- 其他輔助系統:如輔助鍋爐，燃油儲運，壓縮空氣系統，生水系統等等

38

## 電廠運轉系統概念整合



39

## 電廠運轉重要系統(設備)一般概念



-40-

## 電力系統

- 外電：345KV/69KV
- 廠用電：
  - 13.8KV：1(2)F1
  - 4.16KV：
    - BOP(發電設備)：1(2)A1/1(2)A2
    - ESF(安全系統)：1(2)A3/1(2)A4/1(2)A5
  - 480V：
    - BOP(發電設備)：1(2)B1/1(2)B2；MCC
    - ESF(安全系統)：1(2)B3/1(2)B4/1(2)B5；MCC
  - 120VAC
  - 250VDC/125VDC

-41-

## 各種冷卻水系統

海水	淡水	爐心冷卻
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 循環水系統</li> <li>• 外部循環水系統</li> <li>• 緊急海水系統A (ECW A)</li> <li>• 緊急海水系統B (ECW B)</li> <li>• HPCS緊急海水系統(HPCS SERVICE WATER SYSTEM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 生水</li> <li>• 消防水系統</li> <li>• DST(除礦水系統)</li> <li>• CST(凝結水傳送系統)</li> <li>• TPCW</li> <li>• NCCW</li> <li>• 正常冷凍水A/B</li> <li>• 緊急冷凍水系統A/B</li> <li>• 凝結水與飼水系統</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高壓噴灑系統 (HPCS)</li> <li>• 低壓噴灑系統 (LPCS)</li> <li>• 低壓注水系統A (LPCI A)</li> <li>• 低壓注水系統B (LPCI B)</li> <li>• 低壓注水系統C (LPCI C)</li> <li>• 爐心隔離冷卻系統(RCIC)</li> </ul>

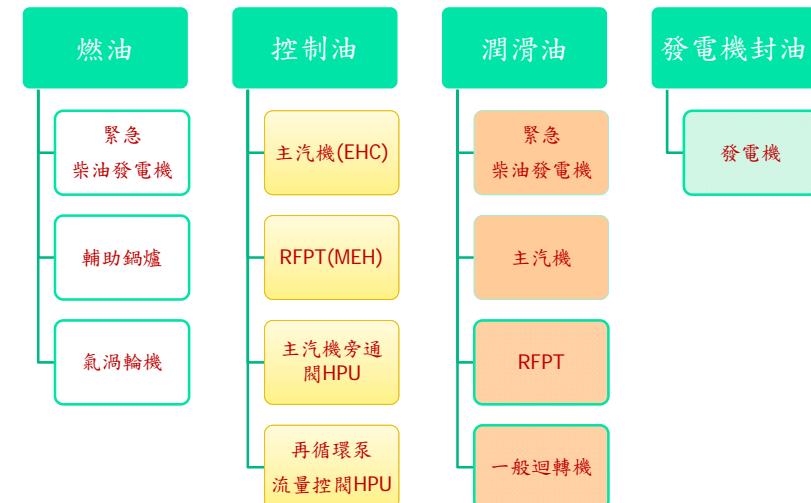
-42-

## 氣體

壓縮空氣系統	通風系統(輻射監測系統)
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 125Psig</li> <li>■ 205Psig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 乾井</li> <li>■ 反應器廠房</li> <li>■ 輔助廠房</li> <li>■ 控制廠房</li> <li>■ 燃料廠房</li> <li>■ 廢料廠房</li> <li>■ 汽機廠房</li> <li>■ 柴油機廠房</li> <li>■ 其他廠房：輔助鍋爐、水廠、ECW泵室、雜項廢液處理房</li> </ul>
<b>氫氣系統</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 發電機氫氣系統</li> <li>• 飼水加氫系統</li> </ul>	
<b>廢氣處理系統</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 冷凝器廢氣處理系統 (輻射監測系統)</li> </ul>	

-43-

## 各種油系統



-44-

# 核能電廠設計概念

## 核能電廠設計概念

45

### 核能發電

#### ■ 優點

- 無碳能源，能兼顧地球暖化與能源需求
  - 相較於傳統能源，核燃料價格較穩定
  - 能提供較長時間的需求
- 核能電廠受到關切項目
- 核能電廠產生的直接輻射
  - 放射性廢料之處置
  - 核能電廠的安全性

核能電廠  
的特性

46

## 核能電廠設計概念

核能電廠與傳統火力電廠最大的不同，就在於核能電廠反應爐爐心內包含了大量輻射物及能量，故電廠運轉的核能安全第一要務為：

1. 能確保反應爐停機並維持在安全停機狀態(核燃料組件完整)
2. 能確保反應爐壓力邊界的完整
3. 防止或減緩事故後放射性物質排放量低於10 CFR 100的規定(確保圍阻體完整)

用以確保上述能力之安全相關系統、結構或組件 (Systems, Structures or Components，簡稱SSC)。

## 核能發電安全的根源

#### ■ 確保核能發電的安全性必須兼顧

- 電廠設備的設計、製造、建廠  
(優良的設備)
- 電廠運轉期間設備的可靠性  
(可靠的運轉與維護)
- 良好的制度與程序  
(品管與品保)
- 人員素質與紀律  
(優秀的員工與管理體系)

47

48

# 核能發電安全的根源

- 現行核電廠在保障核能安全的設計方針為深度防禦：

Prevention(防範)：

設計/建造/維護/測試/改正/訓練/管制…

Protection(保護)：

急停/釋壓/隔離/自動啟用/輻射物質監控管制

Mitigation(舒緩)：

緊急運轉程序書/緊急冷卻/圍阻體/緊急計畫

49

# 核能發電安全的根源

## ■ Prevention(防範)：

事先的措施：避免事故的發生

設計：周全的考慮

維護：維持設備的可靠度

改正：有缺失立即改正補救

管制：自我管制與外在管制，以確保電廠人、事、物符合安全需求

建造：嚴密的品管與監造

測試：驗證設備的功能

訓練：人員可靠度的維持

## ■ Protection(保護)：

危險出現時能及時動作預設的安全措施：阻止事故的發生

急停：動作保護措施

釋壓：保護危阻體完整

隔離：防範輻射物質外釋

自動啟用：安全系統自動動作(減少人為失誤機會)

輻射物質監控管制：避免輻射物質隊民眾的傷害

## ■ Mitigation(舒緩)：

在事故發生後，降低傷害

緊急運轉程序書：將事故及時消除避免危害發生

緊急冷卻：移除熱能 圍阻體：控制輻射物質

緊急計畫：提供民眾與員工的安全防護

50

# 核能發電安全的根源

- 電廠在設計時，即需先假設種種可能發生的事故(設計基準事故Design-Basis Accidents；DBA)。針對這些的發生機率、型態、變化、及後果等進行推演。以設計用於防範、保護、及紓解事故所需的設備與要求。
- 本廠的設計基準事故列在FSAR第15章 ACCIDENT ANALYSES中
- FSAR(Final Safety Analysis Report)即記述本廠各項安全設備的設計準則及功能，為電廠最基本的執照條件(Current Licensing Bases ; CLB)。

51

# FSAR

CH.	TITLE
1	INTRODUCTION AND GENERAL DESCRIPTION OF PLANT
2	SITE CHARACTERISTICS
3	DESIGN CRITERIA-STRUCTURES, COMPONENTS, EQUIPMENT AND SYSTEMS
4	REACTOR
5	REACTOR COOLANT SYSTEM AND CONNECTED SYSTEMS
6	ENGINEERED SAFETY FEATURES
7	INSTRUMENTATION AND CONTROLS
8	ELECTRIC POWER
9	AUXILIARY SYSTEMS
10	STEAM AND POWER CONVERSION SYSTEM
11	RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT
12	RADIATION PROTECTION
13	CONDUCT OF OPERATIONS
14	INITIAL TEST PROGRAM
15	ACCIDENT ANALYSES
16	TECHNICAL SPECIFICATIONS
17	QUALITY ASSURANCE

## 核能發電安全的根源

- 電廠為能可靠的對付可能的事故，需依靠良好的管理、維護、運轉等……，尚需取決於：
  1. 設備設計是否完備
  2. 事故前的機組狀態是否運轉在安全分析範圍內
  3. 事故中必要的安全設備是否能依設計發揮功能

53

## 核能發電安全的根源

- 為能確保電廠安全，故將相關要求訂定在運轉規範(FSAR第16章)中：
  1. 不同運轉模式下的運轉條件
    - a. 相關的安全或重要設備必須可用
    - b. 機組運轉狀況必須符合安全分析之假設
  2. 不符合LCO時應採取之行動及時限
  3. 確認符合運轉條件的定期偵測項目，及測試週期
  4. 其他的行政管理要求

54

## 運轉操作之依循---運轉規範

- 運轉規範是規範核能電廠運作的準繩
- 遵守運轉規範可使反應器運轉安全分析所評估的範圍內，可避免 Fuel Barriers 受到危害或造成分裂產物外泄
- 原子能委員會管制核能電廠的主要文件



55

## 運轉規範

- 違反運轉規範就違背了安全分析的假設條件，可使核能機組進入了：
  - 「超出分析範圍」
  - 或
  - 「不安全」的狀態
- 違反運轉規範之規定之處理包括
  - 違規處分
  - 罰鍰、人員議處
  - 限制運轉、停止運轉
  - 吊銷運轉執照等行政處份

56

## 運轉規範

- 「運轉規範」規定該項安全設備必須「可用 OPERABLE」，其意為此設備在啟用時必須能發揮它的設計功能
- 為保証安全設備在備用時確實在可用狀態，「運轉規範」規定這些設備要定期做「偵測試驗 SURVEILLANCE TEST」，驗証其「可用性 OPERABILITY」，以保証設備在緊急起動時可發揮其設計功能
- 若做偵測試驗結果發現該設備無法達到運轉規範規定該項安全設備所有必須可用的功能時，則必須宣告此設備「不可用 INOPERABLE」，然後按規範內容執行

57

## 核能電廠的安全系統

58

## 核能電廠安全系統

- 電廠系統按設計功能可以分成兩大類：
  - 功率運轉系統
    - 達成發電目的之系統
    - 如主蒸汽系統、飼水系統、爐水淨化系統、廢料處理系統、廠房空調等
  - 安全系統
    - 達成安全目的之系統
    - 如包封容器、緊急爐心冷卻系統、備用硼液系統、緊急柴油發電機等

59

## 核能電廠的安全系統功能性

### 保護燃料的安全系統

- NMS：中子偵測系統
- RC&IS：控制棒控制與資訊系統
- RPS：反應爐保護系統
- ECCS：緊急爐心冷卻系統
- SBLC：備用硼液控制系統

### 保護壓力槽的安全系統

- SRV：安全釋壓閥
- SB&PR：蒸汽旁通與控制系統

### 保護圍阻體的安全系統

- PCIS：一次圍阻體隔離系統
- CGCS：可燃氣體控制系統
- SGTS：後備氣體處理系統
- HIS：氫氣點火系統

保護目標

安全系統

## 核能電廠安全設備設計原則

- 安全系統必須具備高度的可靠度，設計上有許多的考量因素：
  - 「自動動作」的保護功能
  - 重要機件的設計採「失靈安全」
  - 有「連鎖邏輯」功能防止人員錯誤操作
  - 有「足夠的安全餘裕」
  - 有「多重設備組件」
  - 採「硬體分離」佈置
  - 具有「深度防禦」的概念
  - 安全系統有「廠內備用緊急電源」備用
  - 安全系統須能耐震「安全停機地震」
  - 採用「多重與多樣性」設計
  - 安全系統「設備可測試其功能」

61

## 核能電廠安全設備設計原則

- 安全系統具「自動動作」保護功能
  - 安全系統由儀器偵測相關信號，信號自動控制，迅速啟動保護功能
- 儀器 → 設定值 → 動作元件 → 設備
- 自動控制可達迅速確實的效果
- 緊急事件人為操作可能延遲反應，甚或失於正確反應，因此安全系統以自動控制運作
- 重要電廠狀況資訊集中控制室，操作人員易於掌握

62

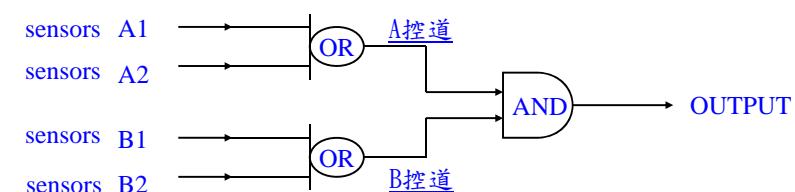
## 核能電廠安全設備設計原則

- 重要機件的設計採「失靈安全」
  - 為當系統的組件發生故障時，只會影響到電廠的發電運轉，不會使電廠的安全受到威脅，而將機組保持在安全的狀態
  - 儀器或電源故障會使控制系統往安全的結果走，確保機組安全停機與避免輻射外泄
  - 例如：
    - 反應爐保護系統控制電源失電，則引發保護系統動作
    - 爐水流失事故信號儀器失電，則引發緊急爐心冷卻系統自動起動

63

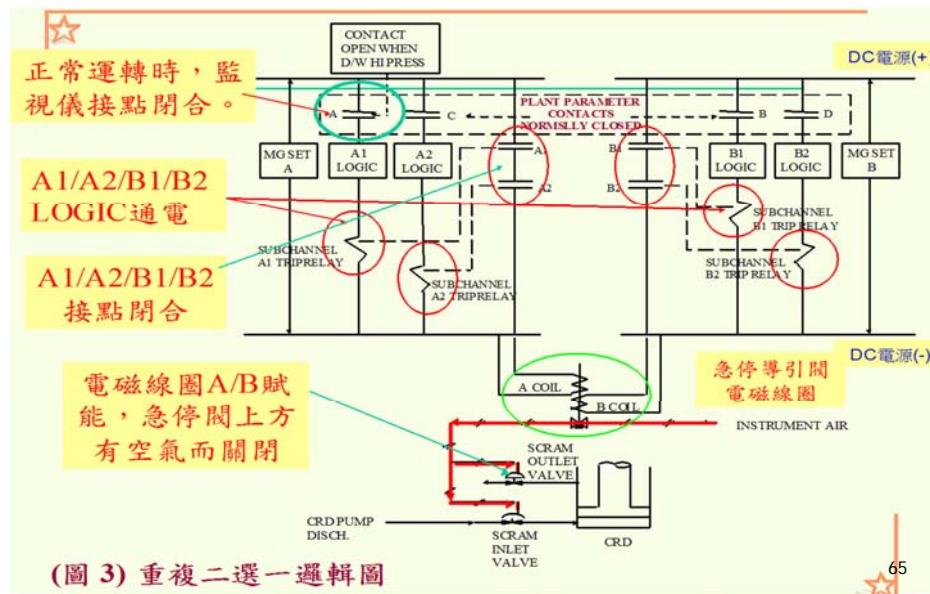
## 重複二選一邏輯

- 兩組獨立作用，特性完全相同的邏輯控道A&B，每一控道又分兩完全相同的支控道 A1、A2 及 B1、B2
- A及B控道同時各有一支控道動作時，OUTPUT才有動作信號
- 四個支控道安排成重複二選一的邏輯，可提高可靠性
- 支控道A1、A2 與 B1、B2由其上游的偵測儀器提供信號，超過設定值時儀器送信號
- 正常運轉時這些信號都在設定點以下，各感測元件電驛均在通電狀態 (Fail safe)



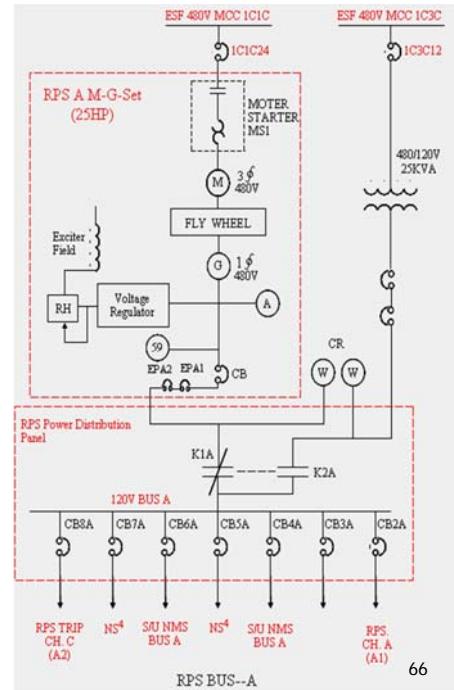
64

## 例:反應爐保護系統

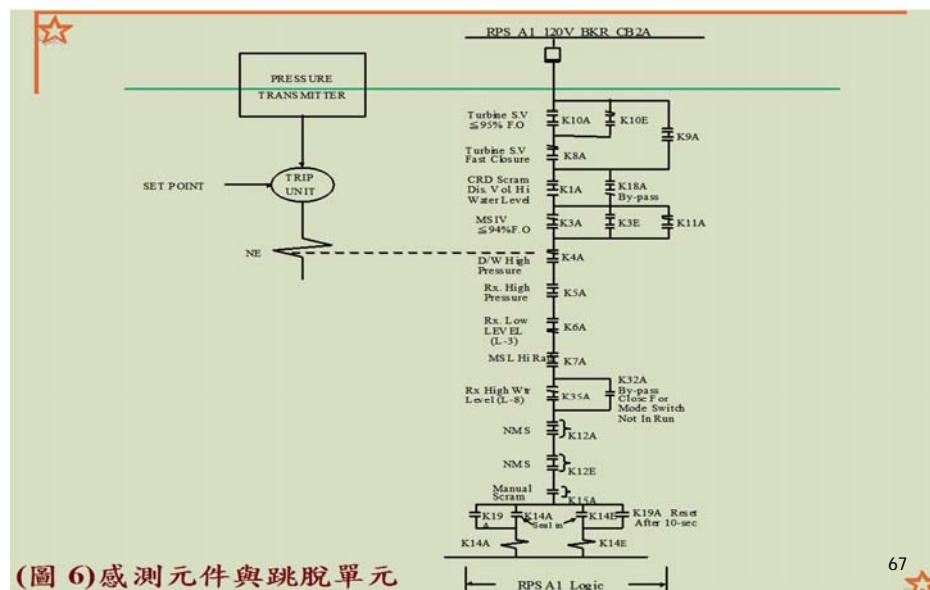


## 例:反應爐保護系統 (多重電源)

- A、B 控道各有兩個電源
- 正常運轉電源
  - A控道由 MCC 1C1C24供電至馬達發電機組A (M-G Set A)，馬達發電機組帶有飛輪可提高可靠性
  - B控道由MCC 1C4C13供電至馬達發電機組
- 後備電源
  - ATL A(1C3C12)
  - ATL B(1C1B49)

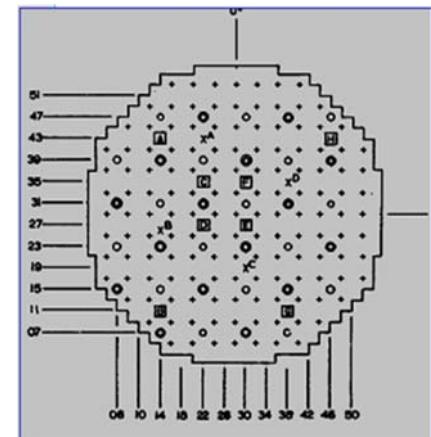


## 例:反應爐保護系統 (故障時安全)



## 核能電廠安全設備設計原則

- 有「連鎖邏輯」功能  
防止人員錯誤操作
  - 當運轉人員操作錯誤時，監控系統會自動阻止錯誤的進一步發生。
  - 例如：
    - 誤選要抽出的控制棒時，「連鎖邏輯」會產生阻止抽出的信號



(圖 5) 控制棒位置顯示器

# 核能電廠安全設備設計原則

## 「足夠的安全餘裕」

- 機組任何暫態不會危及燃料屏蔽與反應爐槽的完整性
  - 如反應爐高壓力急停設定點離實際破壞壓力有相當大的空間
- 對於在設計、計算、製造、施工與運轉維護可能產生的偏差值均要有安全的補償餘裕
  - 將各種可能發生的不準確度考慮進去
- 此可防止發生運轉暫態時數值超過安全設定值。

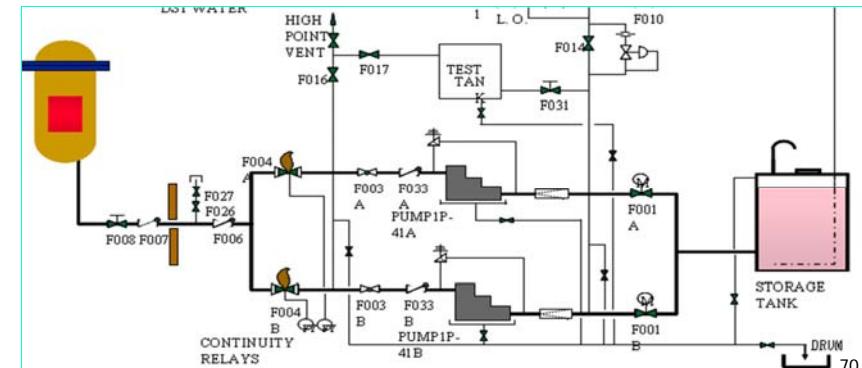


69

# 核能電廠安全設備設計原則

## 「多重設備組件」

- 安全系統採多套的設計
- 單一設備故障或失靈不會影響安全功能的發揮
- 例如SBLC系統有兩個子系統- 泵、爆破閥等



70

# 核能電廠安全設備設計原則

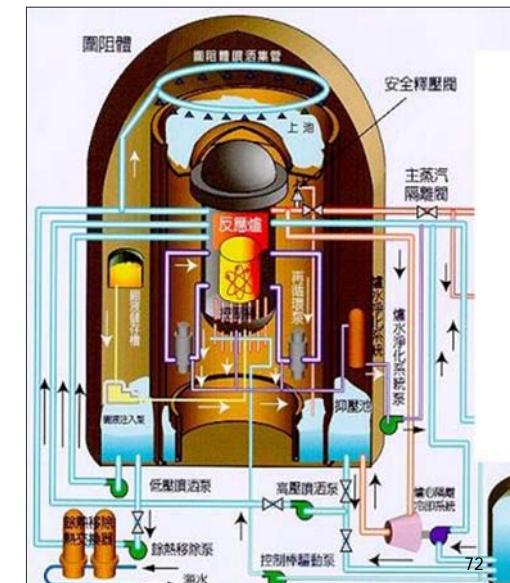
- 「硬體分離」佈置
  - 重要安全有關設備分別安置於不同的位置，並有適當的隔開
  - 避免火災或其它意外事故時重要設備同時受到毀壞，以確保安全系統不會全都失效



71

## 具有「深度防禦」的概念

- 同樣保護功能有多重設備重複保護的設計理念，防止單一故障引致該項保護功能全部喪失
- 例如：  
緊急爐心補水即有多個重複的補水系統



72

## 核能電廠安全設備設計原則

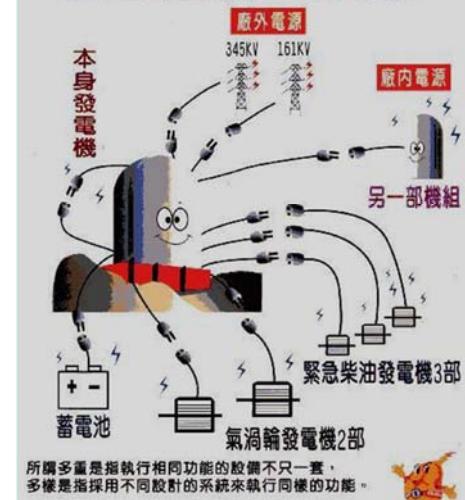
- 安全系統有「廠內備用緊急電源」備用
  - 安全設備在喪失外電時仍有電力供給，仍可發揮其保護功能
  - 安全設備有多重的電源供電，如：
    - 外電 345KV、69KV
    - 廠內電氣渦輪發電機、廠內緊急柴油機、自備直流電池組
    - 移動式救援電源

73

## 多重的電力設計

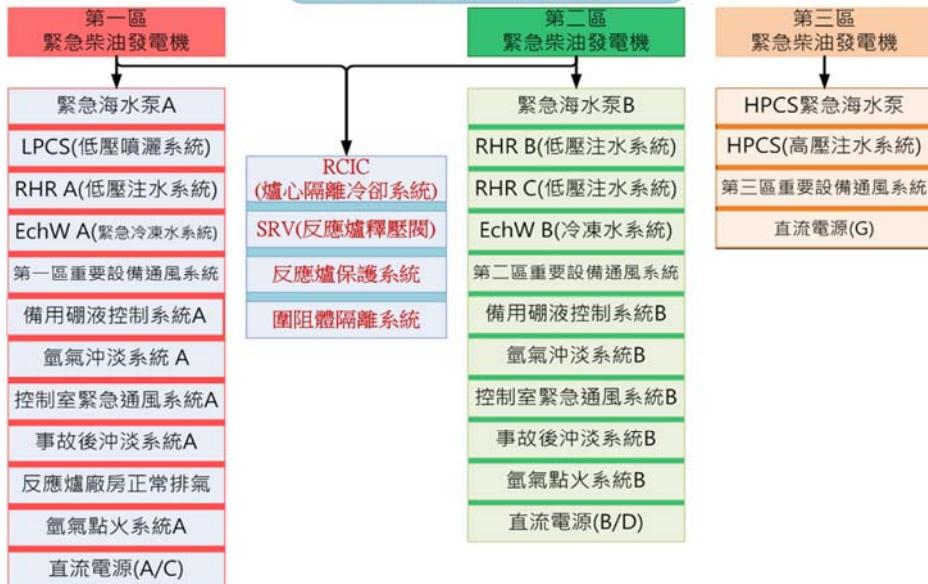
- 在正常的運轉時，與兩種外電系統相連 345kv 與 69kv
- 若喪失外電時，多套的安全系統可由各自的備用柴油發電機與直流蓄電池供電
  - 每部機組除各有三部柴油發電機外，另裝置一部共用的柴油發電機
  - 柴油發電機接受信號自動起動
- 為了防止天災(如颱風)等線路不穩定而影響廠內的電力供給，另裝置兩部50MW的氣渦輪機。

### 核能電廠安全設計觀念 多重多樣設備：電源系統



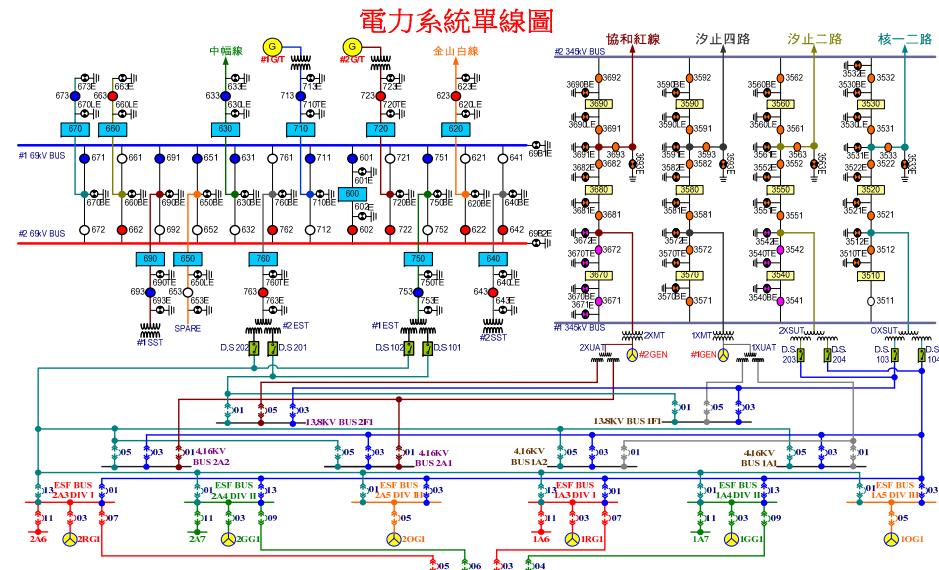
74

### 核電廠安全系統



-75-

### 安全設備多重及自備緊急電源



76

# 核能電廠安全設備設計原則

- 安全系統「設備可測試其功能」
  - 運轉期間可測試安全設備的可用性
  - 按照電廠「運轉規範」的規定，定期執行設備的功能測試，以保証設備在緊急起動時可發揮其設計功能
  - 安全系統若無法達到「運轉規範」的規定，則必須按「運轉規範」的規定執行限制運轉

77

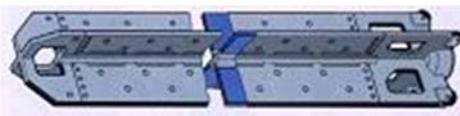
## 多重的反應爐停機設計

例：

有兩個系統可停機反應爐：

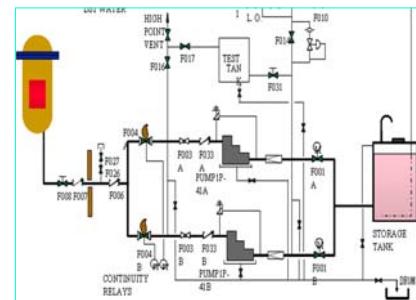
### 第一重：控制棒

將控制棒插入反應爐，中止核分裂的反應，達到停爐目的



### 第二重：備用硼液系統

若發生大量控制棒無法插入反應爐的情況時，可藉由SBLC系統將硼液注入反應爐，達到停機目的



79

## 安全系統採用多重與多樣性設計

- 多重性
  - 核能電廠對於同一保護項目具有多套的安全系統來共同保護。
  - 在設計上只要其中一套安全系統能發揮正常的功能即能保障機組免於發生嚴重的事故。
- 多樣性
  - 多重性的系統以不同的方式或設備達成相同的功能目標，此可避免多套相同的安全系統或組件因同一因素而失效。
  - 如水泵動力用電力或蒸汽為動力，電源用交流或直流電，用控制棒或硼液來停機

78

## 多重停機的控制盤

### 主控制盤

- 裝置於主控制室
- 做為正常機組的起動/停機的操作與緊急事故發生時的各種操作

### 遙控停機控制盤

- 裝置於遙控停機室
- 當發生必需撤離主控制室的情況時(如控制室火災)，可在遙控停機控制室進行機組安全停機的操作



主控制室



遙控停機室

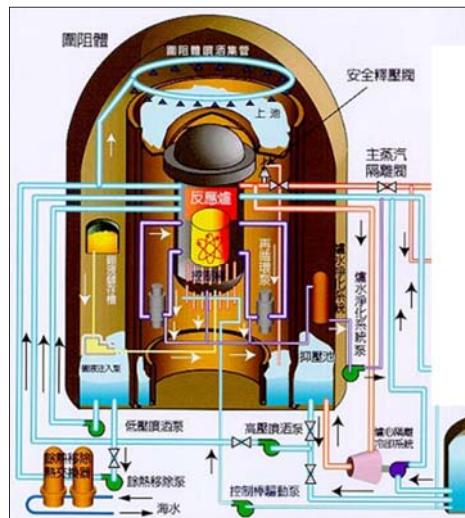
80

## 多重與多樣性緊急爐心冷卻系統

在爐水流失事故發生時，緊急爐心冷卻系統自動起動水泵補水到反應爐，冷卻爐心燃料，防止核燃料護套過熱受損。

有下列各種不同的緊急冷卻系統只要任一發揮功能即可避免發生事故：

- 高壓噴洒系統
  - 自動洩壓系統 + 以下任一系統
    - 低壓噴洒系統
    - 低壓注水系統-A
    - 低壓注水系統-B
    - 低壓注水系統-C



81

## 核能電廠安全設備設計原則

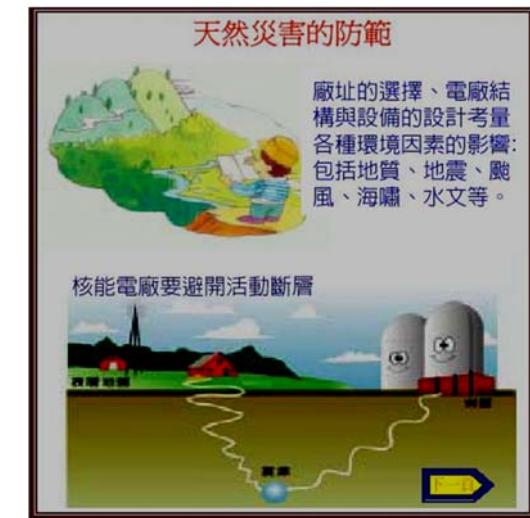
- 安全系統須能耐震「安全停機地震」
  - 若發生地震，發電必須設備可能受到損壞，電廠喪失發電能力
  - 但安全必須設備必須能耐震「安全停機地震」而不受損，仍可發揮其設計基準的保護功能
    - 安全系統採「安全停機地震」標準
    - 發電設備採「運轉基準地震」標準

83

## 核能電廠的廠址分析

## 廠址分析包括

- 地震
  - 水文
  - 地質
  - 颱風
  - 海嘯
  - 人口分佈



82

## 核能電廠安全設備設計原則

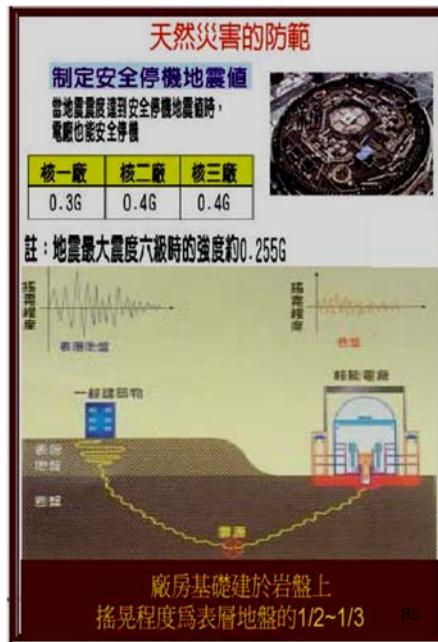
- 安全停機地震  
(Safe Shutdown Earthquake, SSE)指發生此地震時，電廠必須維持以下三種功能：
    - 1、電廠可以安全停機且維持長久安全停機狀態
    - 2、有能力防止或減緩事故的影響以減低輻射外洩
    - 3、保持反應器冷卻壓力邊界的完整性。
  - 運轉基準地震  
(Operating Basis Earthquake, OBE)
    - 1、發生小於 OBE 地震電廠仍可安全運轉。
    - 2、發生大於 OBE 地震則功率運轉系統可能受損，影響電廠發電的功能。
  - SSE > OBE



84

# 核能電廠 對地震的考量

- 制定安全停機地震值
  - 以廠址為中心320公里半徑內的地震歷史及地質資料為依據訂定廠房的「安全停機地震」標準
- 避開活動斷層
  - 確證廠址範圍8公里內無長度大於300公尺之活動斷層
- 廠房基礎均須建造在岩盤上
  - 岩盤對於地震波有抑減作用，地震波傳到岩盤時，強度將衰減為1/3



85

## 地震



圖說：★ 表震央位置，數字表示震度

87

# 核能電廠對地震的考量

- 建築結構耐震設計
  - 耐震性考量水平(東西與南北向)與垂直向的三向地震力
  - 一般建物只考量單向水平地震力
  - 管路使用減震器
  - 用以防止地震時過度晃動導致管路斷裂

86

## 地震震度分級表

震度分級		地動加速度範圍	人的感受	屋內情形	屋外情形
0	無感	0.8gal以下	人無感覺。		
1	微震	0.8~2.5gal	人靜止時可感覺微小搖晃。		
2	輕震	2.5~8.0gal	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部分會醒來。	電燈等懸掛物有小搖晃。	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短。
3	弱震	8~25gal	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感。	房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖擺。	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃。

註：1gal = 1cm/sec<sup>2</sup>

88

## 地震震度分級表

4	中震	25~80gal	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒。	房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒，較重傢俱移動，可能有輕微災害。	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也感到搖晃。
5	強震	80~250gal	大多數人會感到驚嚇恐慌。	部分牆壁產生裂痕，重傢俱可能翻倒。	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊煙囪傾倒。
6	烈震	250~400gal	搖晃劇烈以致站立困難。	部分建築物受損，重傢俱翻倒，門窗扭曲變形。	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象。
7	劇震	400gal以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動。	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面。	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞。

註：1gal = 1cm/sec\*sec

註：1g=1000gal

89

## 本公司核電廠耐震設計

廠別	基盤防震設計值	運轉基準地震值	強震自動急停	廠房一樓耐震值
核一廠	0.3g	0.15g	0.1 g	0.51g
核二廠	0.4g	0.2 g	0.15g	0.53g
核三廠	0.4g	0.2 g	0.15g	0.51g
龍門廠	0.4g	0.2 g	0.15g	0.66g

因應山腳斷層事證，SMA評估補強後  
二串安全停機路徑可耐0.67G

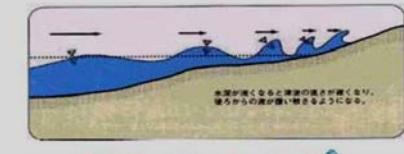
緊急應變場所(隔震中心，高度  
30米)預定106/12興建完成

90

## 海嘯的特性

### 海嘯傳播

➤ 海嘯之速度：海嘯之波傳速度因海之深淺而有不同，愈深速度愈快；於海中時，速度約與噴射機之速度相當，接近陸面時速度仍可維持新幹線之速度



$$V = \sqrt{g \times h} \text{ (m/sec)}$$

水深 5000m 噴射機相同之時速 800km (秒速 220m)  
水深 500m 新幹線相同之時速約 250km (秒速 70m)  
水深 100m 於高速公路行駛汽車之時速約 100km (秒速 30m)  
水深 10m 短跑選手相近的時速 36km (秒速 10m)

■ 美國在太平洋有海嘯預警系統，若發生海嘯，夏威夷氣象站會預警通知。

91

## 海嘯防範

- 緊急冷卻水有一獨立的取水池、在海嘯退潮期間提供緊急冷卻水，確保機組的冷卻水的供應



92

## 台灣的海嘯紀錄

FSAR Table 2.4-8

Date	Cause	Height of Tsunami Wave
June 11, 1867	North-east earthquake	基隆 7.5m (estimated)
May 06, 1918	North-east earthquake	基隆 3.7m (estimated)
Oct 22, 1951	East earthquake	花蓮 0.3m
May 24, 1960	智利 earthquake	花蓮 0.3m 基隆 0.6m
March 28, 1964	阿拉斯加 earthquake	花蓮 0.15m

(Source: Taiwan Central Weather Bureau)

**1867基隆地區海嘯，歷史文獻記載：**同治六年冬十一月，地大震，23日（1867/12/18），雞籠頭，金包里沿海，山傾地裂海水暴漲，屋宇傾壞。溺數百人，雞籠山以肖形名。

93

## 福島事故後

- 斷然處置措施
- 移動式多重救援電源
- 多重水源及  
多重注水路徑

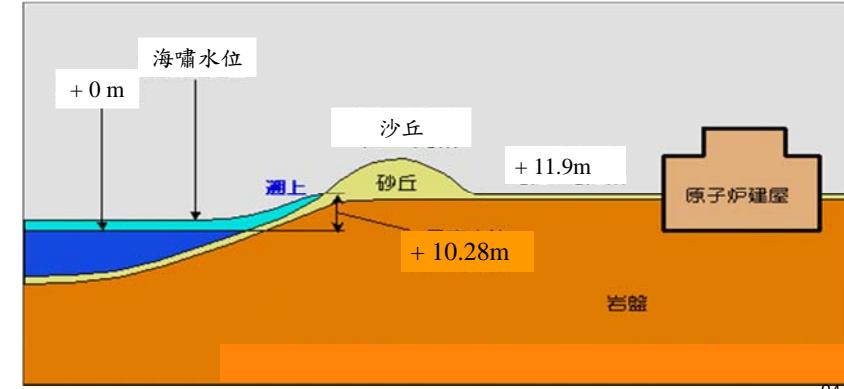
95

## 海嘯防範

防海嘯牆(17m)預定  
興建中(107年完工)

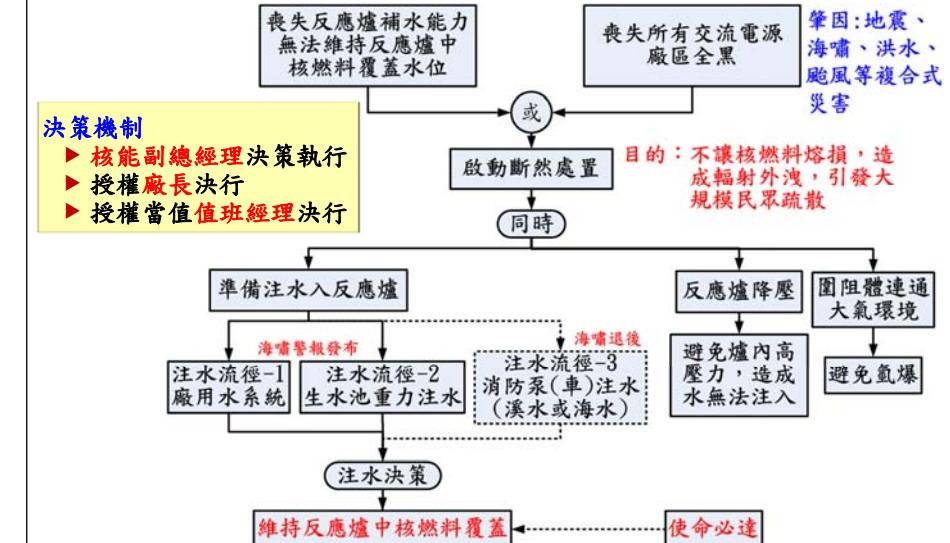
### ■ 設計分析

- 海浪最高值為  $9.0\text{m} + 1.28\text{m}$  (最大潮汐值) =  $10.28\text{m}$
- 本廠廠址高度為 12 m，故可不受海嘯影響。



94

## 斷然處置流程

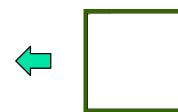


96 96

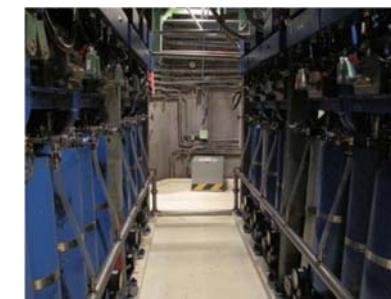


## 核能電廠的三大特性

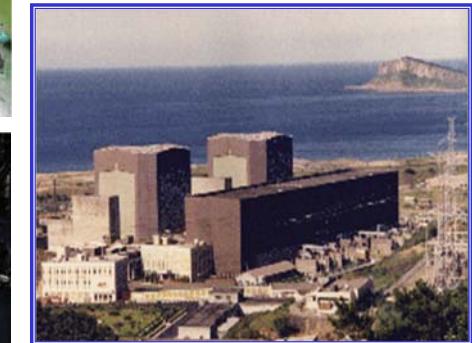
- 核能發電會產生**輻射性**的產物，要安全妥善的處理。
- 縱使停機後，反應爐永遠會有**衰變熱**產生
- 不同於石化燃料廠，**18個月或兩年**發電所有的**能量**都存於爐心內



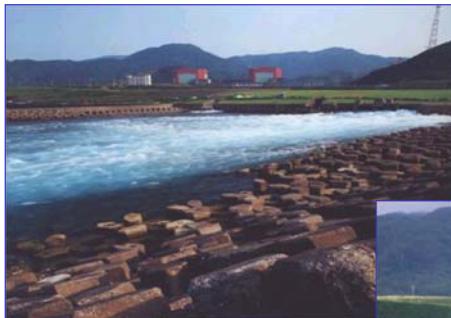
101



反應器廠房、輔助廠房  
及汽機廠房



102



溫排水與  
緊急海水取水池



103



開關場與輸電塔



104



北展館及模擬中心



105



宿舍



106



廢料儲存庫



107