



物理學於核子工程之應用 -安全度評估 PRA Probabilistic Risk Assessment

吳泰宏

核能研究所 (核子工程組-風險評估分組)
行政院原子能委員會



@國立東華大學物理學系(108.12.02)



大綱

1. 核子工程/核能電廠概述

- 1.1 核分裂與連鎖反應
- 1.2 核反應器發展/我國核電廠
- 1.3 核能特性/安全設計觀念

2. 安全度評估(PRA)

- 2.1 風險一般性概念
- 2.2 階層/架構/技術要項

3. 行政院原子能委員會/核能研究所

4. 認識自己/物理所扮演的角色/國家考試



1. 核子工程/核能電廠概述

大綱

1.1 核分裂與連鎖反應

1.2 核反應器發展/我國核電廠

1.3 核能特性/安全設計觀念

2. 安全度評估(PRA)

3. 行政院原子能委員會/核能研究所

4. 認識自己/物理所扮演的角色/國家考試

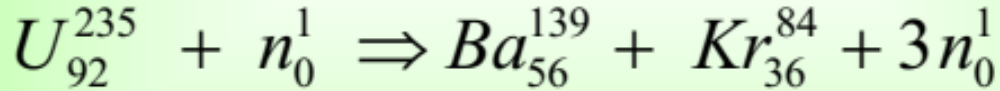


Chicago Pile-1

- 1942/12/02, E. Fermi (U. Chicago)首次以石墨反應器讓鈾分裂到達臨界 (Safety Cut Rope Axe Man, SCRAM, 功率控制-急停/急速停機)
- 人類核能發電起始於1954年6月蘇俄歐布寧斯克廠先導式核電廠 (AM-1, 5MWe, 30MWt)
- 我國第1部核能電廠機組-核一廠1號機, 於1978年開始運轉及發電
- 世界上約有430部營運中反應爐



Chain reactions

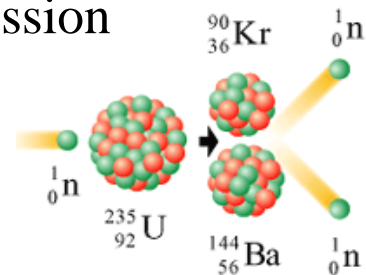


~ 200 MeV / Fission

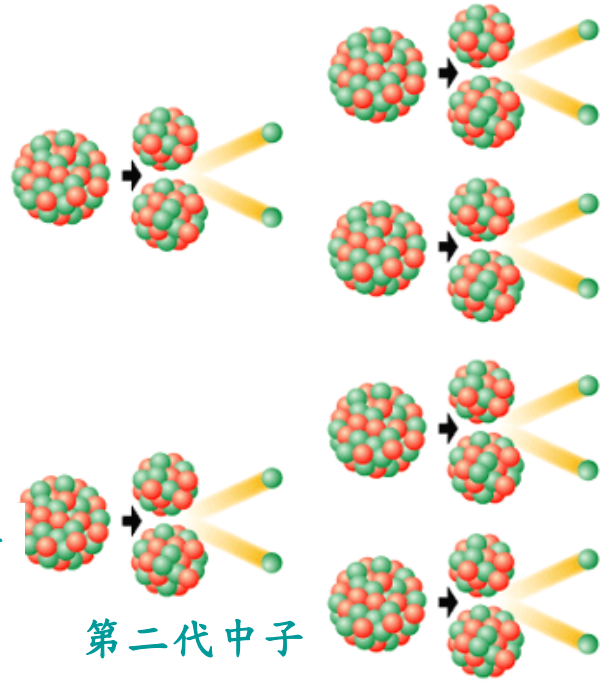
▣ 可裂(Fissile)核種：

可維持核分裂連鎖反應，

例如： ^{233}U / ^{235}U / ^{239}Pu



第一代中子



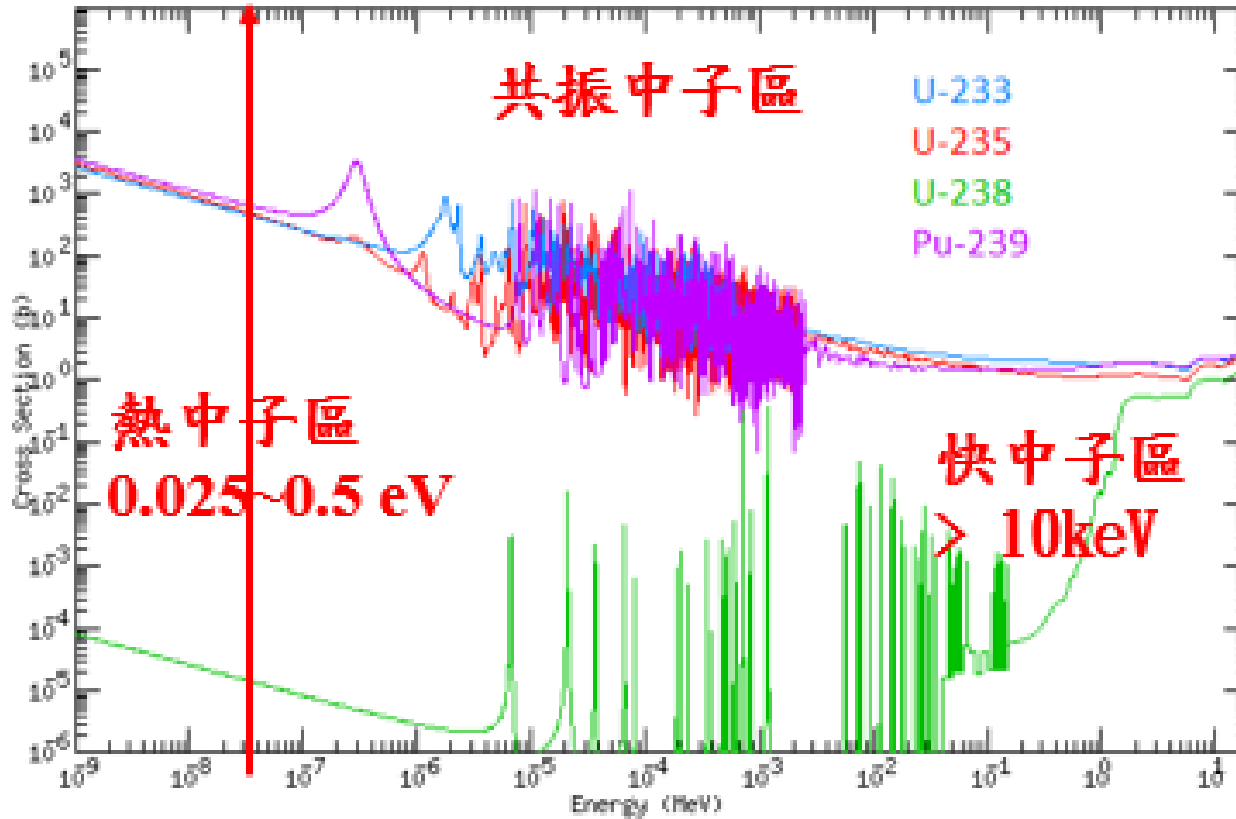
第二代中子

第三代中子

$$k_{\text{eff}} = \frac{n_{i+1}}{n_i}$$

30公克的燃料鈾 = 2100噸的油 = 3000噸煤

$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 核分裂反應截面



- 核分裂反應釋出之中子為快中子(~MeV)，不易誘發核分裂反應，須經減速
- 中子減速劑/緩速劑:降低控制中子能量(速度)
- 例如：氫-輕水 H_2O 、氘-重水 D_2O 、碳-石墨



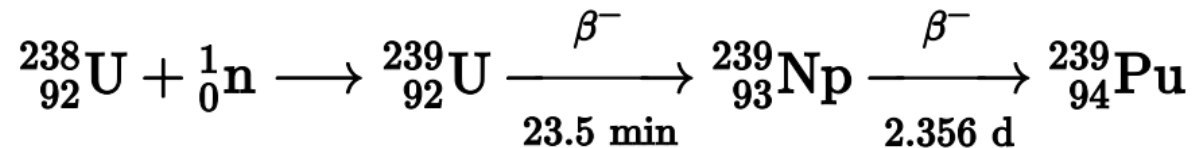
核分裂 / 中子緩速

□ 熱中子反應器

- 熱中子與 ^{235}U 有較大核分裂反應的反應截面
- 必須有緩速劑(Moderator)，快中子透過與之碰撞時的能量交換/喪失動能，減速成為熱中子(0.025 eV)
- 熱中子其與鈾的反應截面比快中子大了數百倍，為連鎖反應重要中子源 $\sigma \propto 1/v$

□ 快中子滋生反應器(breeding)

- 在維持核分裂反應同時，有足夠中子將 ^{238}U 轉換為 ^{239}Pu ，故在消耗可裂核種同時，會產生更多可裂核種 (^{239}Pu)，即滋生效果
- 快中子誘發核分裂反應的反應截面較低，故須採用 ^{235}U 含量較高(3~5%)的鈾或 ^{239}Pu 為燃料





核分裂/增殖因數 k_{eff}

- 分裂產生之中子數必須大於被吸收或逃逸的中子數，使得可持續維持分裂反應 (chain reaction self-sustaining)
- k_{eff} Effective neutron multiplication factor
- $\rho = \frac{\Delta k}{k} = \frac{k_{\text{eff}} - 1}{k_{\text{eff}}}$ (Reactivity 反應度)
- ✓ $k_{\text{eff}} < 1$ subcritical
- ✓ $k_{\text{eff}} = 1$ 臨界 critical ($\rho = 0$)
- ✓ $k_{\text{eff}} > 1$ super-criticality (利用硼(B)及鎘(Cd)，製成控制棒，能吸收中子，控制連鎖反應中子倍增率)

$$k_{\text{eff}} = \frac{n_{i+1}}{n_i}$$



1.2 核反應器發展+ 我國核電廠基本資料

	核一廠 1號機	核三廠 2號機
運轉執照日期	67.12.06 1978	74.05.18
運轉執照到期	107.12.15	114.05.17 2025

我國核電廠除役
2025年+25年

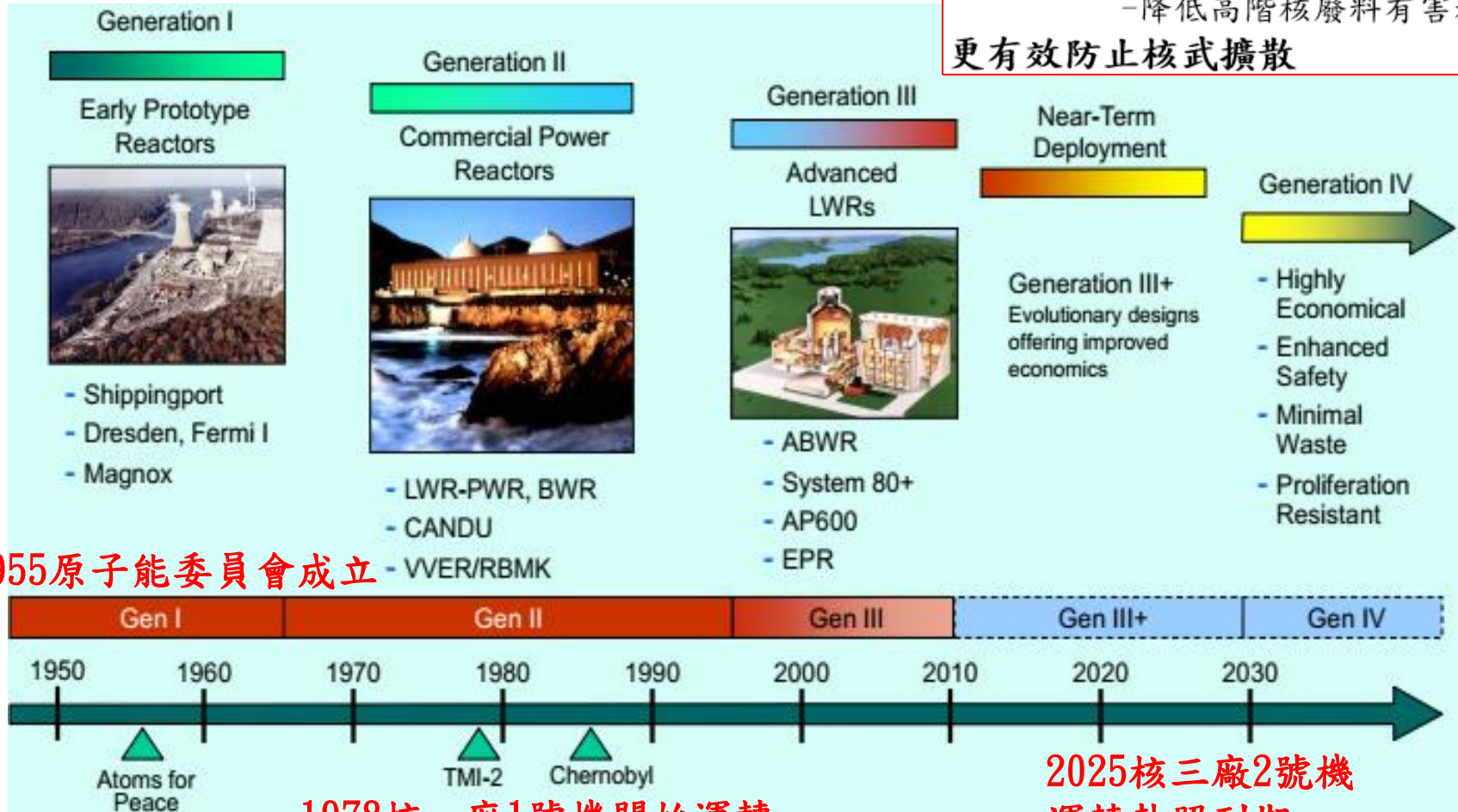




動力核反應器發展歷程

Gen IV

- 經濟 - 系統簡化&效率提升
- 永續發展 - 燃料的充分利用
- 降低高階核廢料有害程度
- 更有效防止核武擴散



1955原子能委員會成立

1978核一廠1號機開始運轉

2025核三廠2號機
運轉執照到期



第2代核反應器

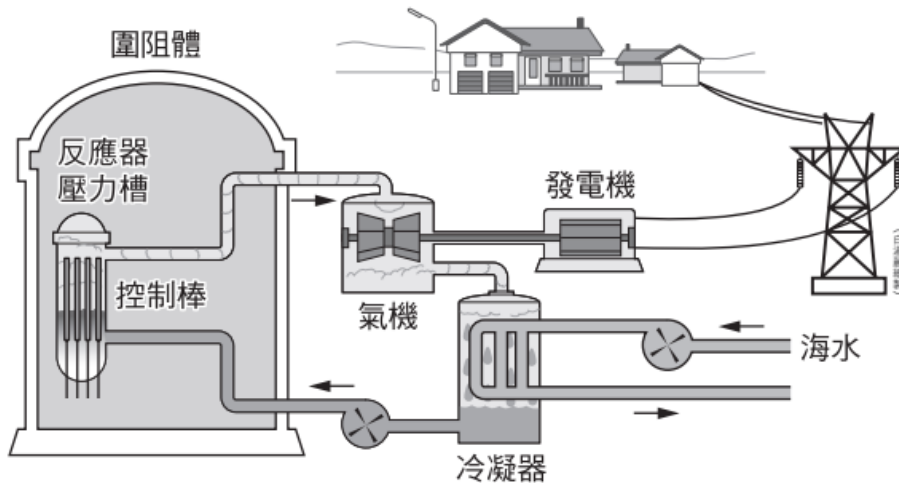
類型	Fuel	緩速劑	冷卻劑	數目
沸水式反應器(BWR)核一二	Enriched	Light water	Light	87
壓水式反應器(PWR)核三	Enriched	Light	Light	66
重水式反應器 (PHWR/CANDUR)	Natural	Heavy water	Light	46
石墨水冷反應器(LWGR)	Enriched	石墨	Light	18
石墨氣冷式反應器(AGR)	Enriched	石墨	CO ₂	15

- ✓ 輕水(Light water H₂O)之熱中子吸收截面大，於中子減速過程會吸收較多中子，因此須採用濃縮鈾(2~3%)
- ✓ 重水(Heavy water D₂O)吸收中子較輕水少，因此使用天然鈾即可達到臨界
- ✓ 天然鈾 ²³⁸U 99.28%、²³⁵U 0.72% (原子彈 ²³⁵U >99%)

沸水式反應器核能電廠

BWR (Boiling Water Reactor)

- 核一/核二
- 直接循環



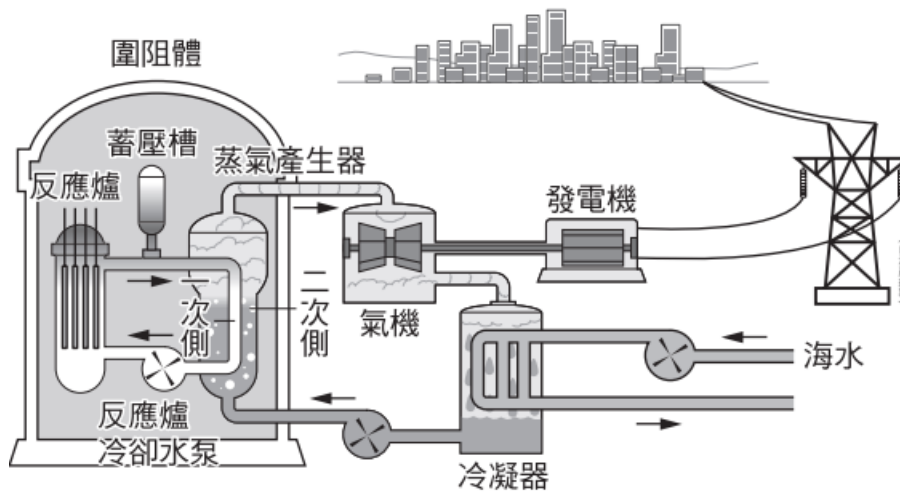
- 反應爐正常運轉壓力~70 atm
- 飽和系統，蒸汽在爐心出口產生，經汽水分離/乾燥器增加乾度後，蒸汽直接推動主汽機
- 功率由控制棒與再循環系統控制
- 控制棒由爐心下方插入，採液壓驅動



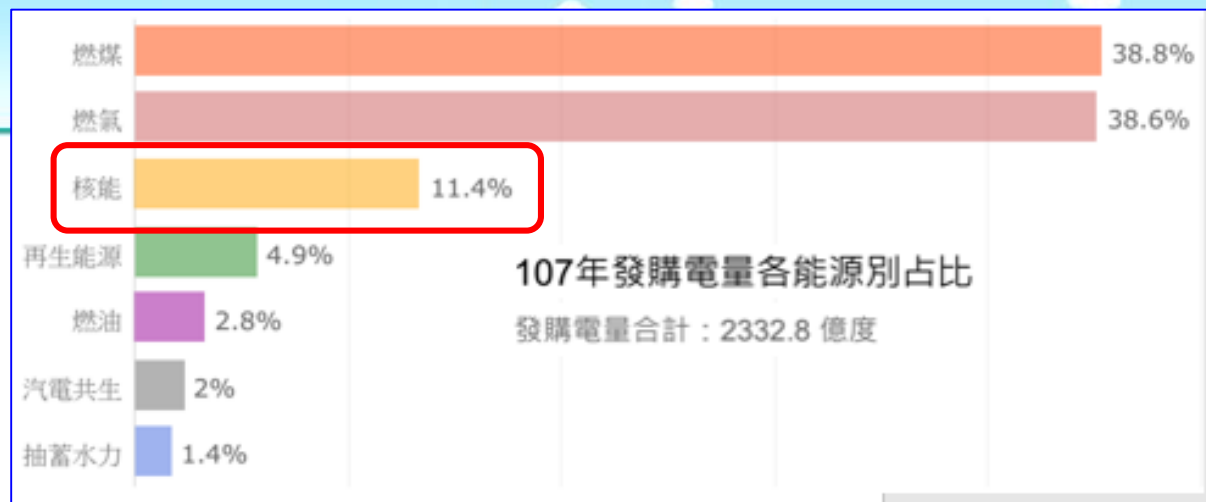
壓水式反應器核能電廠

PWR (Pressurized Water Reactor)

- 核三廠
- 間接循環



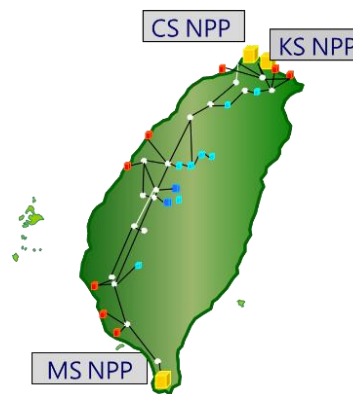
- 反應爐正常運轉壓力~152 atm
- 反應爐充滿水，為次冷狀態，爐心熱量經由蒸氣產生器傳至二次循環，再產生蒸汽送至主汽機
- 控制棒由爐心上方插入，以電力做為抽出動力，以重力為插入動力(急停)
- 爐水中含有硼酸，可控制功率



我國核電廠基本資料

核能(Nuclear)	2894.6	燃油(Oil)	574.6
13.740%		2.727%	
燃煤(Coal)	3835.3	輕油(Diesel)	61.4
18.205%		0.291%	
汽電共生(Co-Gen)	585.6	水力(Hydro)	224.7
2.780%		1.067%	
民營電廠-燃煤(IPP-Coal)	1707.7	風力(Wind)	305.1
8.106%		1.448%	
燃氣(LNG)	9838.8	太陽能(Solar)	0.0
46.701%		0.000%	
民營電廠-燃氣(IPP-LNG)	1818.4	抽蓄發電(Pumping Gen)	0.0
8.631%		0.000%	

我國核電廠基本資料 (2025年+25年除役)



項目說明	核一廠 Chinshan		核二廠 Kuosheng		核三廠 Maanshan	
	建廠許可日期	60.12.15	61.12.04	64.08.19		67.04.01
運轉執照日期	67.12.06 1978	68.07.16	70.12.28	72.03.15	73.07.27	74.05.18
運轉執照到期	107.12.15 2018	108.07.15	110.12.27	102.03.14	103.07.26	114.05.17 2025

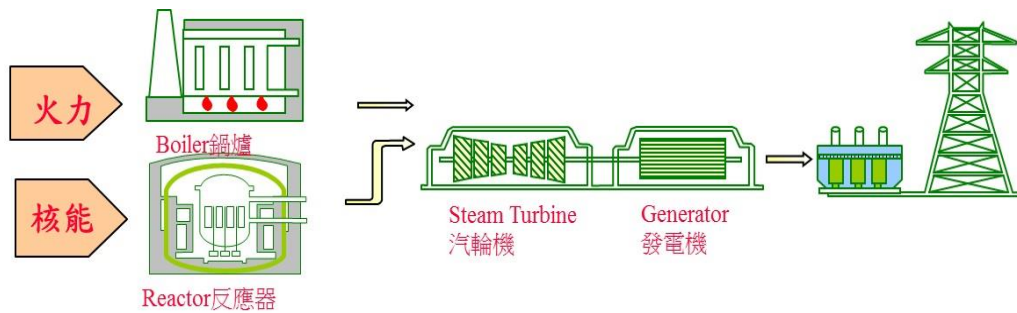


1.3.1 核能特性



核能vs火力發電：不同發電方式(能量產生方式)

類別	能量來源	發電方式
火力	燃燒產生熱量	將水加熱成蒸汽 推動汽渦輪機-發電機組
核能	核分裂產生熱量 衰變熱，停機後仍須保持冷卻	
水力	水位差	水輪機帶動發電機
風力	風力	風力機帶動發電機
太陽能	太陽光	光電效應(太陽能電池)



能量大



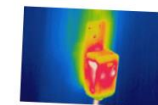
➤ 控制反應度

具輻射



➤ 處理輻射

衰變熱

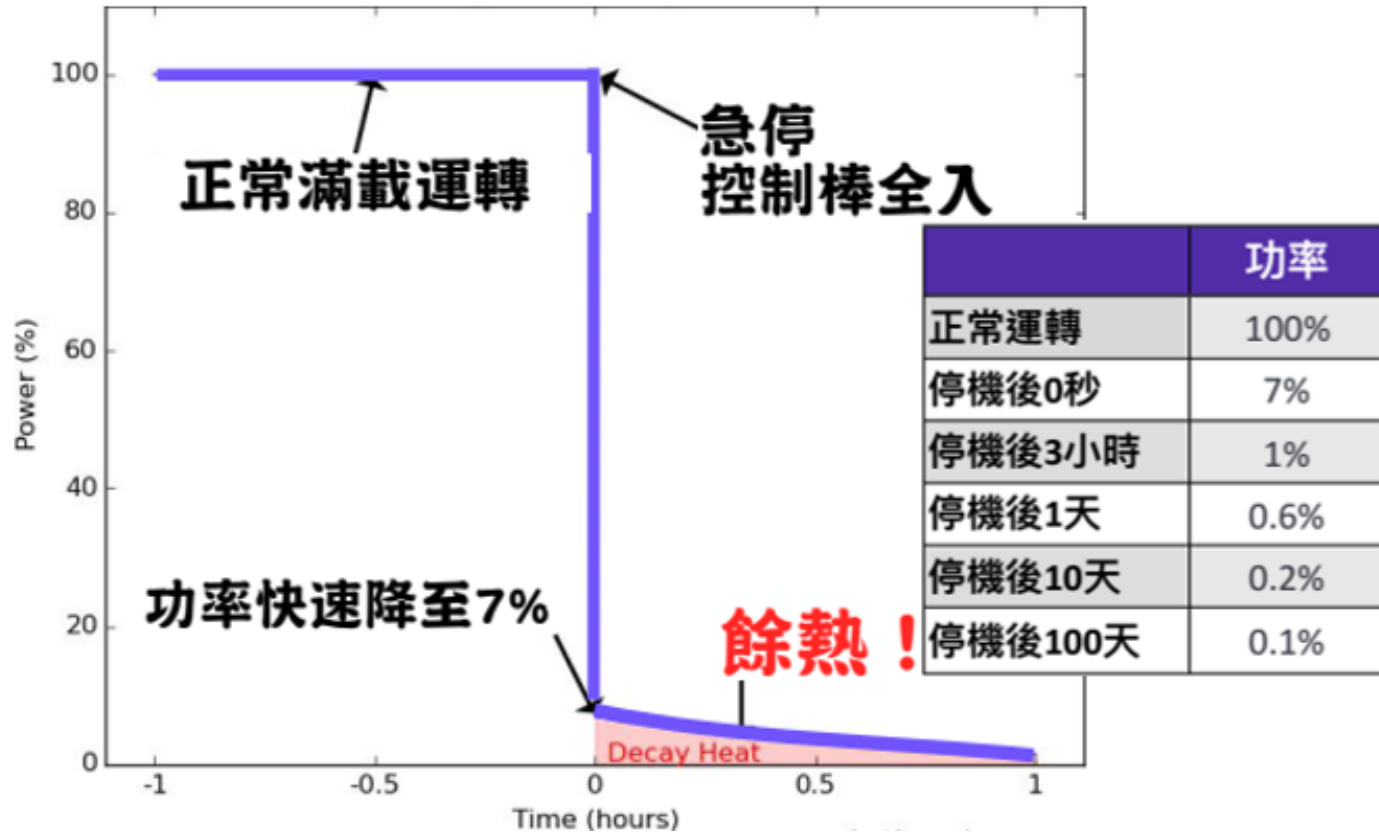


➤ 冷卻餘熱



核能特性

-停機仍有衰變熱(decay heat)



核能特性-核燃料安全

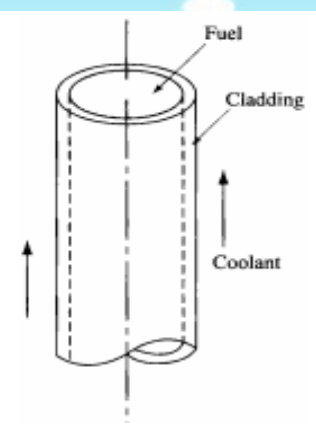
燃料丸(Fuel Pellet)

尺寸

- 直徑 0.876 cm；長度：0.89 cm

形狀

- 陶質 UO_2 經由擠壓及燒結所製成之圓柱形小丸
- 兩端平整，邊緣去角，以減少燃料丸與護套交互作用

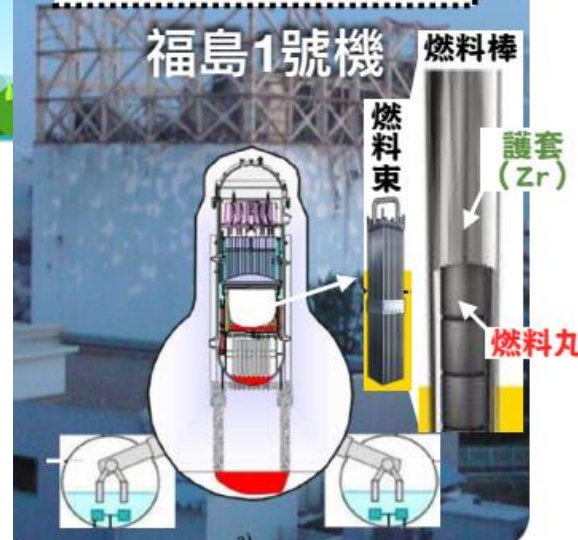


核能特性-核燃料安全 鋳水反應(H₂)

- ❑ 燃料護套鋳合金正常工作溫度小於350°C
- ❑ 鋳護套溫度超過400°C以上時，鋳與水蒸汽氧化反應速度開始增加，為放熱反應



- ❑ 鋳護套溫度超過982°C(1800°F)以上，鋳水氧化反應開始激烈反應(類似煤碳般燃燒)，且氧化鋳易碎，會使護套抵抗應力之能力大幅減弱
- ❑ 若燃料裸露(失去水覆蓋fuel uncovered)，燃料護套表面溫度與氧化反應速度成指數型上升，必須及時將冷卻水注入爐心，避免護套破損



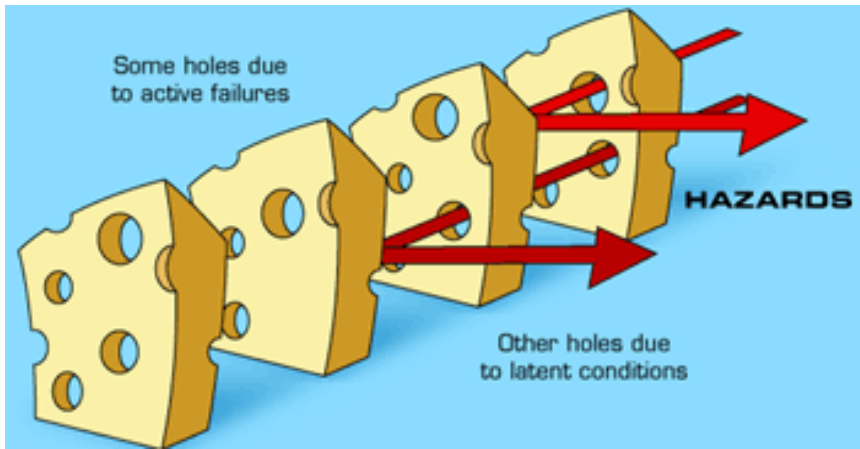
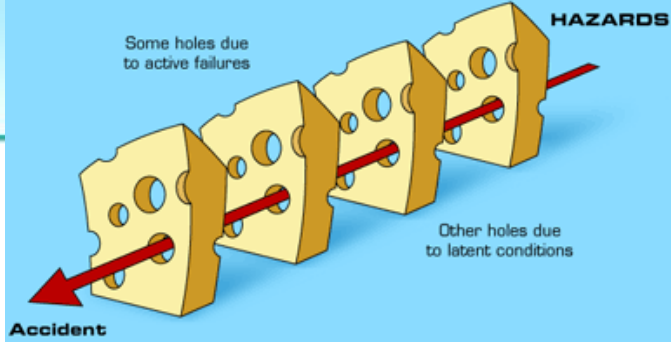


1.3.2 核能電廠安全設計觀念



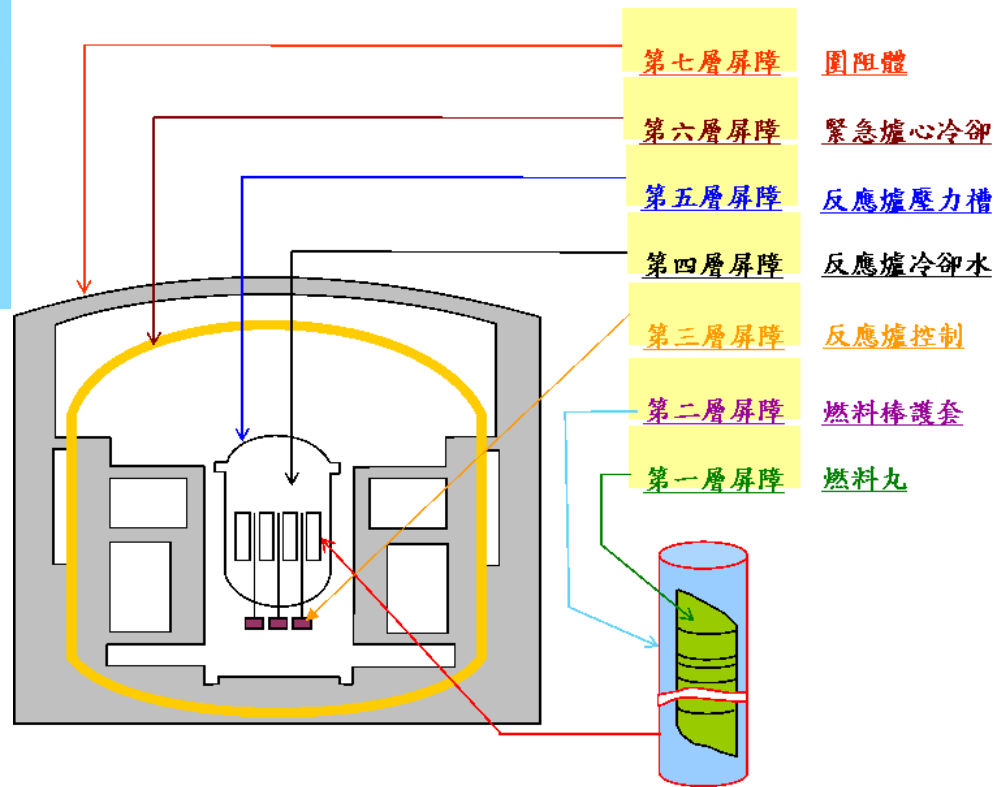
核能電廠安全設計觀念

- 核能安全最終目的：防止放射性物質外洩
- 安全設計：採取深度防禦措施
 - 預防 (Prevention)
 - 保護 (Protection)
 - 救援 (Mitigation)
- 安全相關的設備：
 1. 設計上：充分的安全餘裕(safety margin)
 2. 防範放射性物質外釋的圍阻設計：具多層屏障功能
 3. 防範安全系統意外發生：
多重性(Diversity)、多樣性(Redundancy)、實體隔離



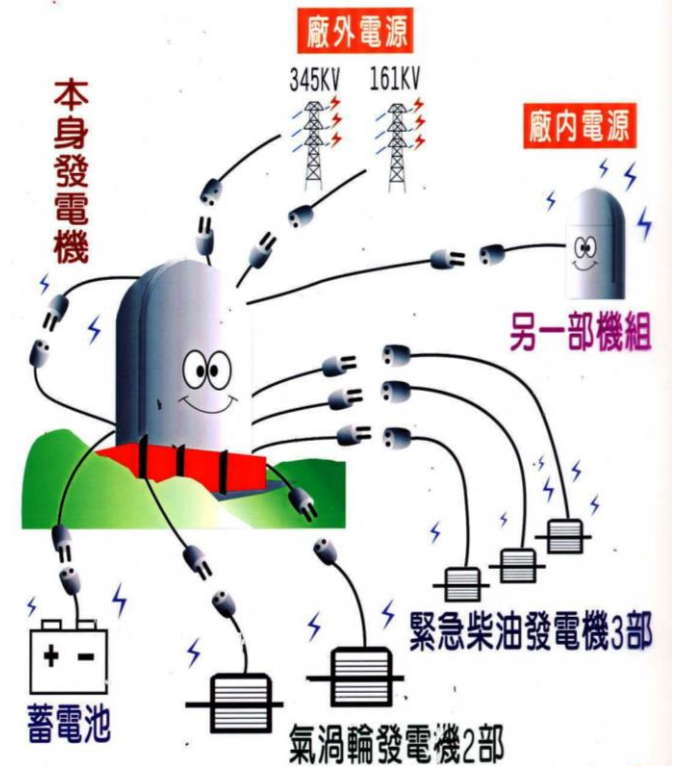
深度防禦 / 多重屏障

Swiss Cheese Model 瑞士起司模型



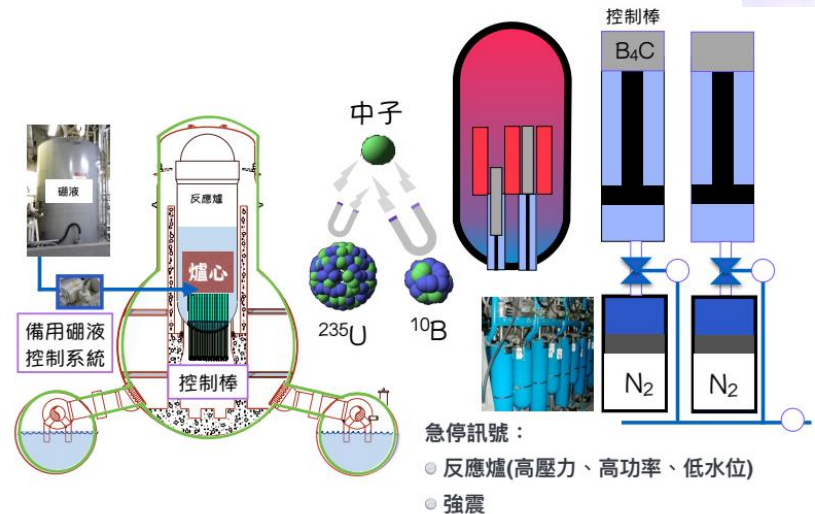
多重性/多樣性(電源系統)

- 正常運轉時，與2種外電系統相連
345kv與161kv
- 若喪失外電，多套的安全系統可由各自的柴油發電機與直流蓄電池供電
 - 為確保柴油電力可用性，每部機組另各裝置一部共用的柴油發電機 (2*2+1)
- 為防止天災(如颱風)等線路不穩定而影響廠內電力供給，另裝置2部50MW氣渦輪機 (做為系統電力緊急調度)



多樣性：停機設計/安全系統(停止核分裂反應)

- 當偵測到可能危及機組的安全時，保護系統會自動啟動急停的保護功能，停止核分裂繼續發生
- 第1層：控制棒
 - ◆ 能在2秒內將控制棒插入反應爐，中止核分裂反應
 - ◆ 採用**失效安全**的設計
- 第2層：備用硼液系統
 - ◆ 若發生控制棒無法插入反應爐的情況，可藉由硼液注入反應爐，達到停機目的





多樣性：停機設計-停機控制盤

□ 主控制盤

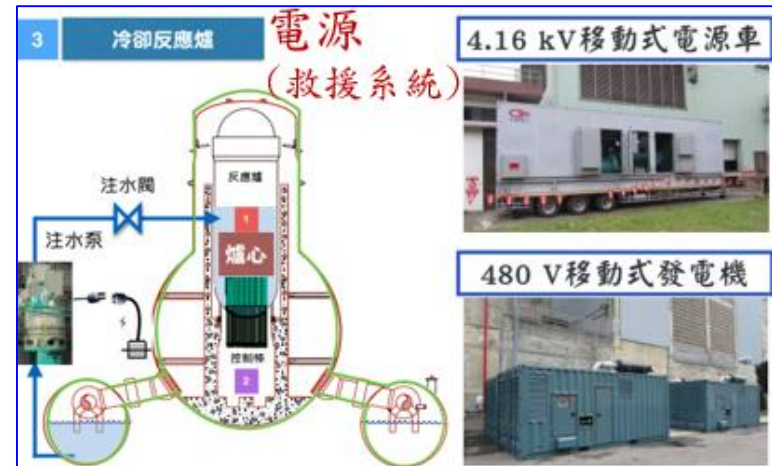
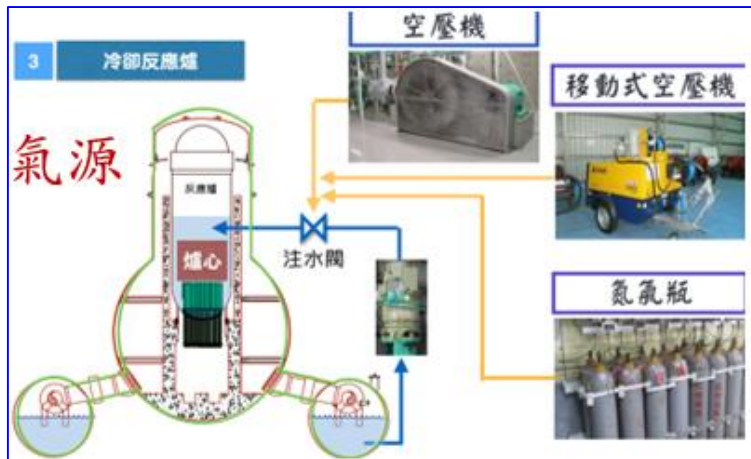
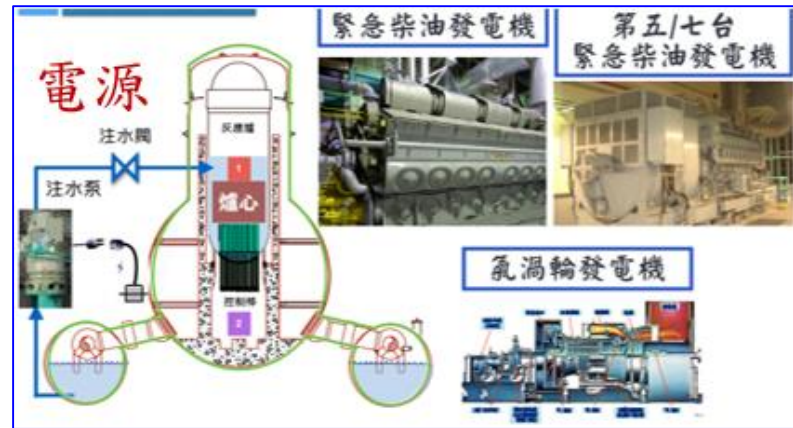
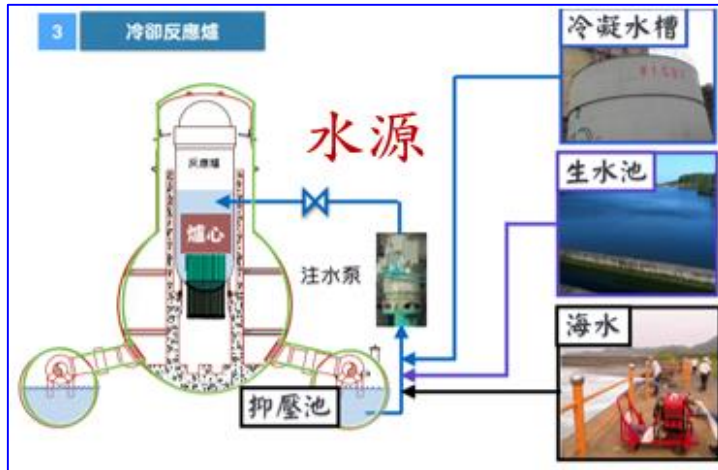
- 裝置於主控制室
- 做為正常機組的起動/停機的操作與緊急事故發生時的各種操作

□ 遙控停機控制盤

- 裝置於遙控停機室
- 當發生主控制室必需撤離的情況(例如控制室火災)，可進行機組安全停機的操作

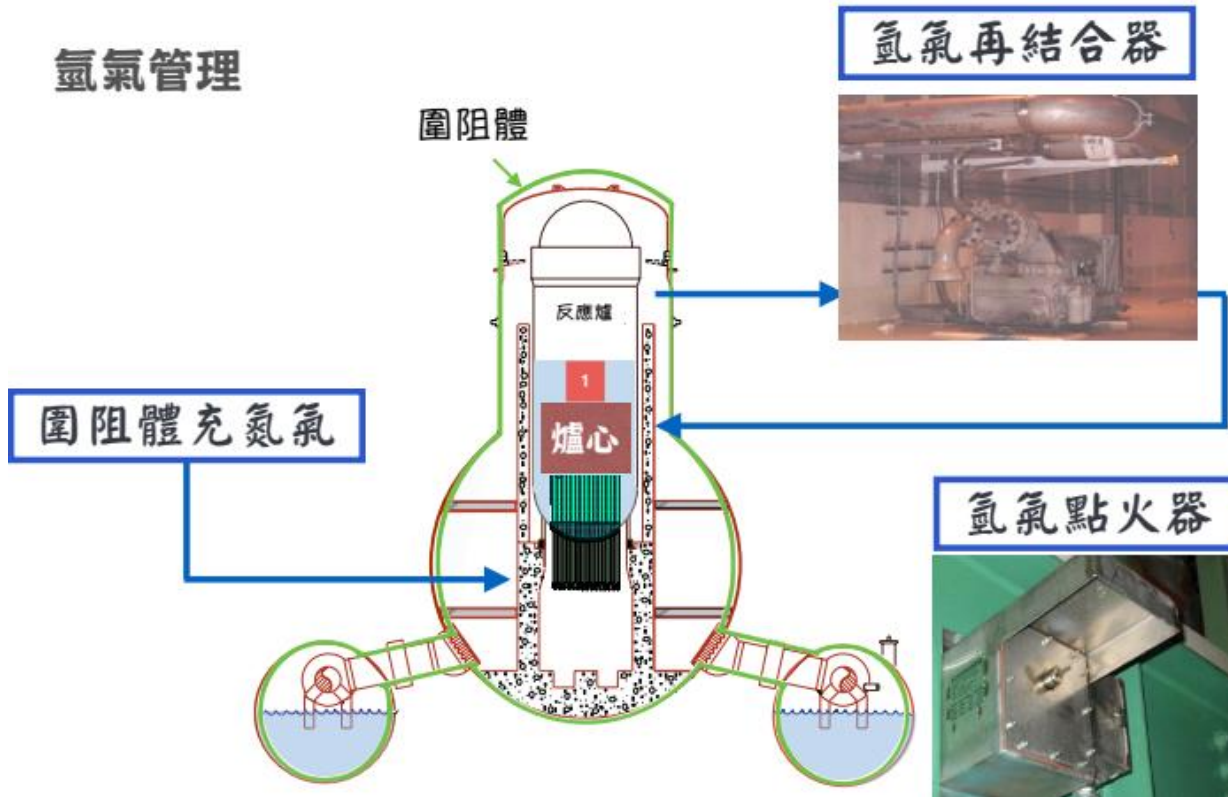


多樣性：安全系統(冷卻反應爐)





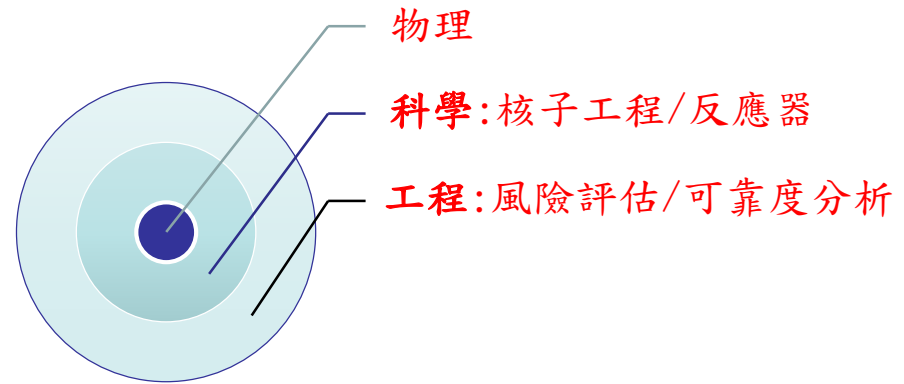
多樣性：安全系統(圍阻體：防止放射性物質外釋)





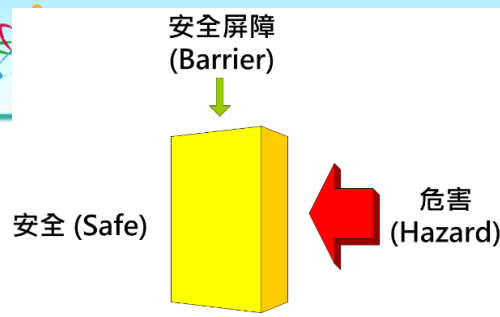
大綱

1. 核子工程/核能電廠概述
2. 安全度評估(PRA)
 - 2.1 風險一般性概念
 - 2.2 階層/架構/技術要項
3. 行政院原子能委員會/核能研究所
4. 認識自己/物理所扮演的角色/國家考試



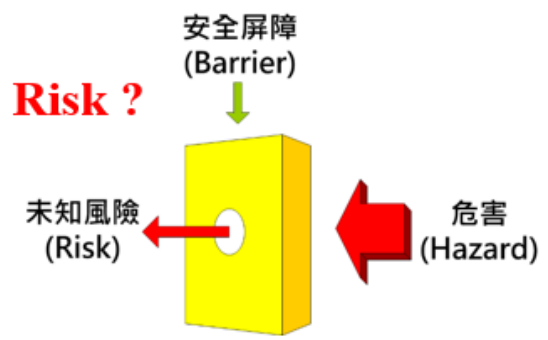


2.1 風險一般性概念

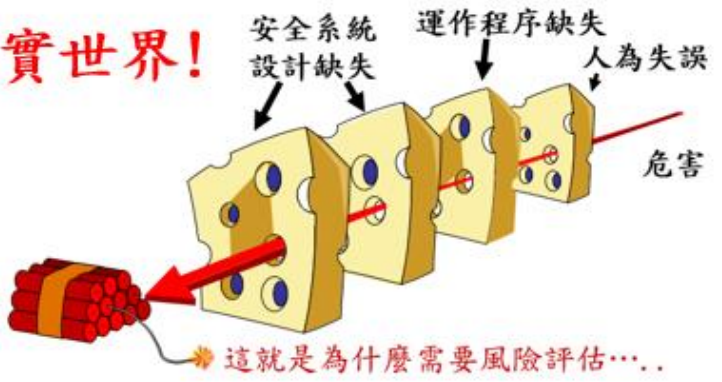


風險

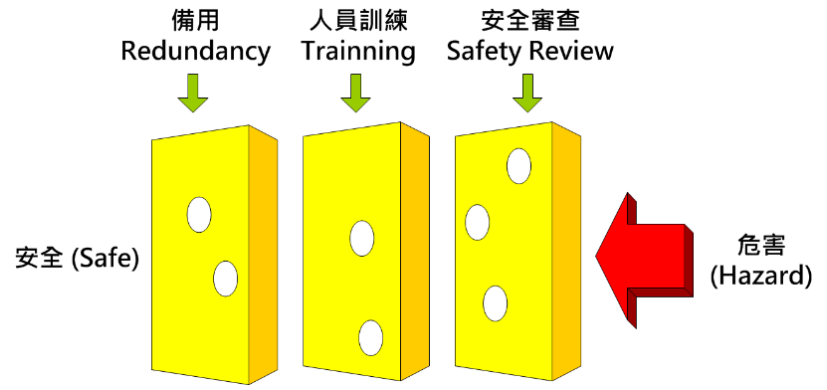
危害/屏障/安全



真實世界!



多重屏障 (Multiple Barriers)





機率風險評估/安全度評估/量化風險評估

- Probabilistic Risk Assessment, PRA
- Probabilistic Safety Assessment, PSA
- 透過詢問、分析並解決下列三大問題的科學：
 - 找出事故發生的情節 What can go wrong?
 - 估算事故情節發生的可能性 How likely is it?
 - 估算事故的後果 What are the consequences?
- 需先瞭解並熟悉所欲評估之系統的運作，例如核電廠
- PRA可整合其他方面科技，並透過量測其風險度，選擇可接受的風險度供作決策依據



風險 (Risk)

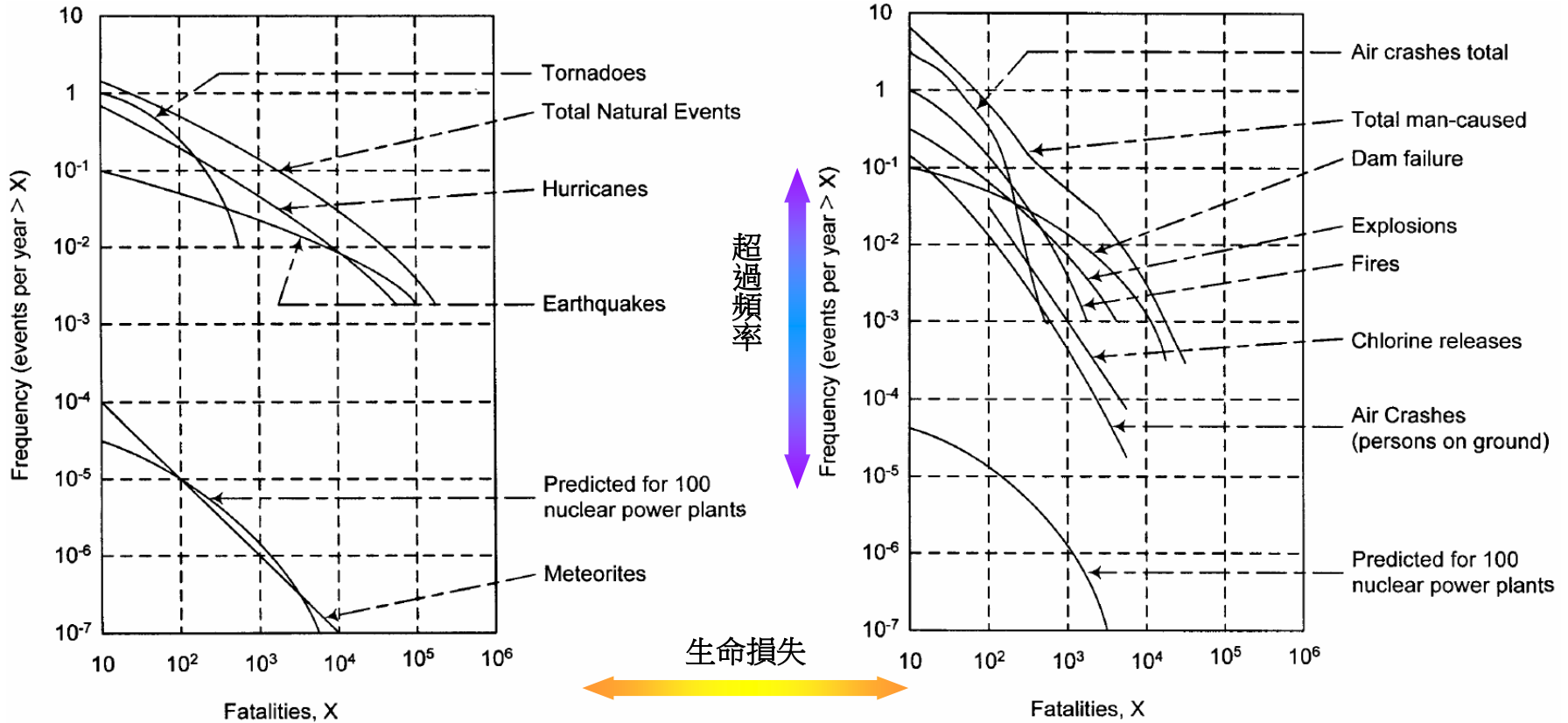
$$\text{Risk} \left[\frac{\text{Consequence magnitude}}{\text{Unit of Time}} \right]$$
$$= \text{Frequency} \left[\frac{\text{Events}}{\text{Unit of Time}} \right] \times \text{Consequences} \left[\frac{\text{Magnitude}}{\text{Event}} \right]$$

- ❑ 風險：發生事故的可能性與後果的乘積
- ❑ 可能性：事故發生的機率或頻率（次數/時間）
- ❑ 後果(Consequences)：人員傷亡數目或財產的損失數值



反應器安全研究(WASH-1400)報告 (1975)

(核電廠風險 vs 自然災害&人為事故風險)



所有自然事件(龍捲風、颶風、地震、彗星)；**100座核電廠風險**

所有人為所事故(飛航、水庫、爆炸、火災、氯氣外釋、墜機)；**100座核電廠**



美國核能管制委員會(NRC)安全目標(1986)

□ 定量設計目標：

因核電廠造成之早期與潛在的對廠區鄰近個人致死風險，不應超出一般意外事故致死風險的0.1%

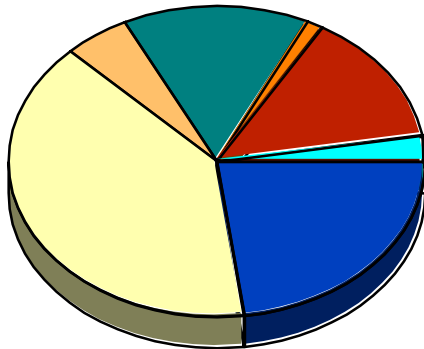
□ 定量健康目標

1. 個人早期致死風險：在廠界與廠界外1.6公里的範圍，預期平均個人早期致死風險的期望值須小於 5×10^{-7} /年
2. 個人潛在癌症致死風險：在廠界與廠界外16公里的範圍，預期平均個人早期致死風險的期望值須小於 2×10^{-6} /年



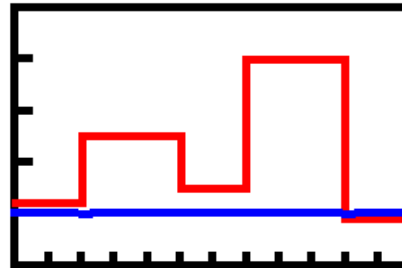
台灣核能電廠PRA技術及模式發展

模式建立



1983-1991

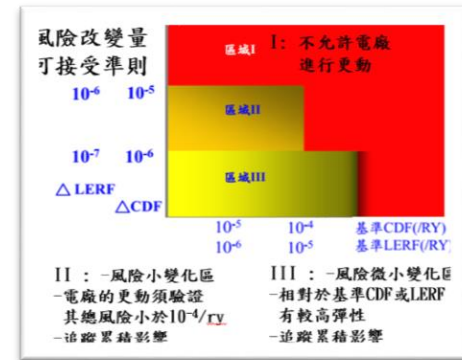
- 完成三座核能電廠PRA模式
- 靜態PRA評估
- 設備改善案：核三廠1987年PRA評估報告(英文版)建議增設第五台柴油發電機，即時化解民國90年3月18日核三廠全黑事件潛在危機
- 模式量化時間需逾一個月



1992-1997

- 活態PRA(建立於個人電腦上)
- 運轉期活態PRA模式更新
- 大修活態PRA模式建立
- 技轉培訓核電廠PRA種子專家
- 模式量化時間需數天~一週

推廣應用



1998-目前

- 風險監視系統的建立
- 「風險告知」決策的應用
- 核四廠PSAR與FSAR之應用
- 風險告知火災評估的應用
- 維護法規
- 風險告知營運期間檢測
- 視察缺失風險顯著性評估
- 模式最短可於數分鐘內完成量化



2.2 PRA-階層/架構/技術要項

肇始事件/

事件樹分析(事故序列分析)/

成功準則/故障樹分析(系統分析)/

數據分析/人為可靠度分析/

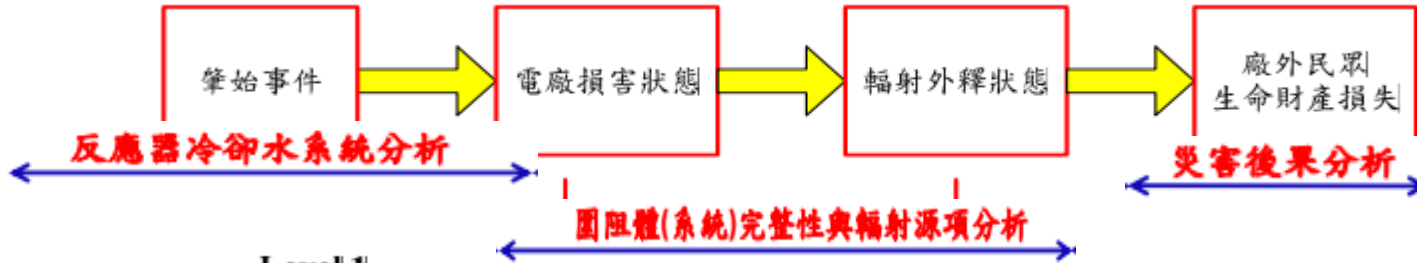
量化



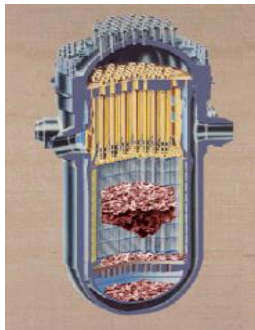
PRA階層 (Levels)

Level 1: 分析爐心受損頻率(CDF)：導致爐心熔損之事故序列並評估其發生率。廠內及廠外事件(地震、颱風、廠內火災及廠內水災)

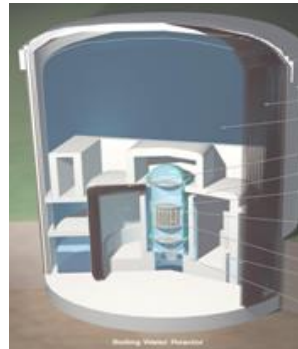
Level 2: 評估圍阻體失效的機率及放射物質外釋的特性



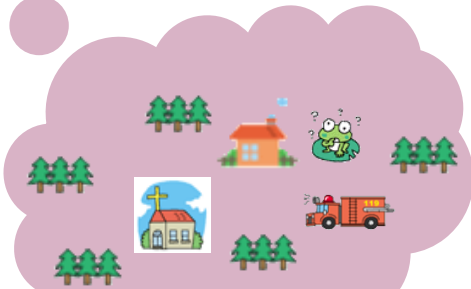
Level 1
 一階PRA分析
 系統分析
 (爐心熔損發生頻率)
 (Core Damage Frequency)



二階PRA分析
 圍阻體分析
 (輻射源項)
 (Source Term Release)



Level 3
 三階PRA分析
 廠址分析
 (人員劑量)



Level 3: 評估輻射外釋的公眾健康與經濟後果

PRA分析架構

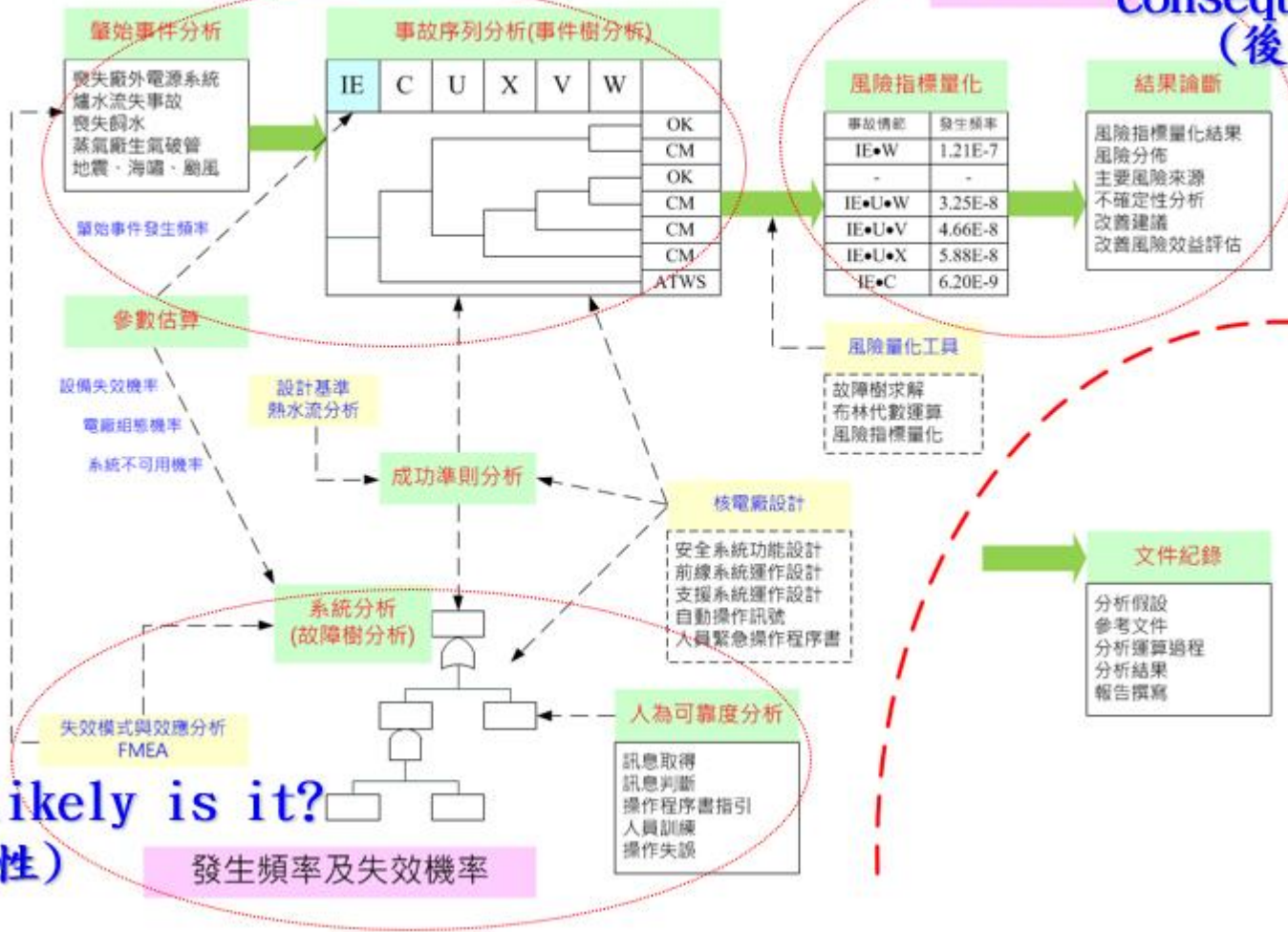
透過詢問、分析並解決下列三大問題的科學

What can go wrong? (情節)

事故發生原因及演進過程

What are the consequences? (後果)

事故後果





肇始事件分類

Initiating events

□ 肇始事件分析

- 造成電廠偏離正常運轉且有可能造成爐心受損之事件
- 例如汽機跳脫或喪失廠外電源

□ 廠內危害：源自電廠內部之事故風險

- 廠內事件、廠內水災、廠內火災事件

□ 廠外危害：來自外部事件的風險

- 地震、颱風、廠外水災、強風、飛機撞擊…

□ 功率運轉：事故發生在反應器臨界且運轉於15%功率以上

□ 低功率/停機大修(燃料換填)：功率小於15%或停機



事件樹分析(事故序列分析)(Event trees)

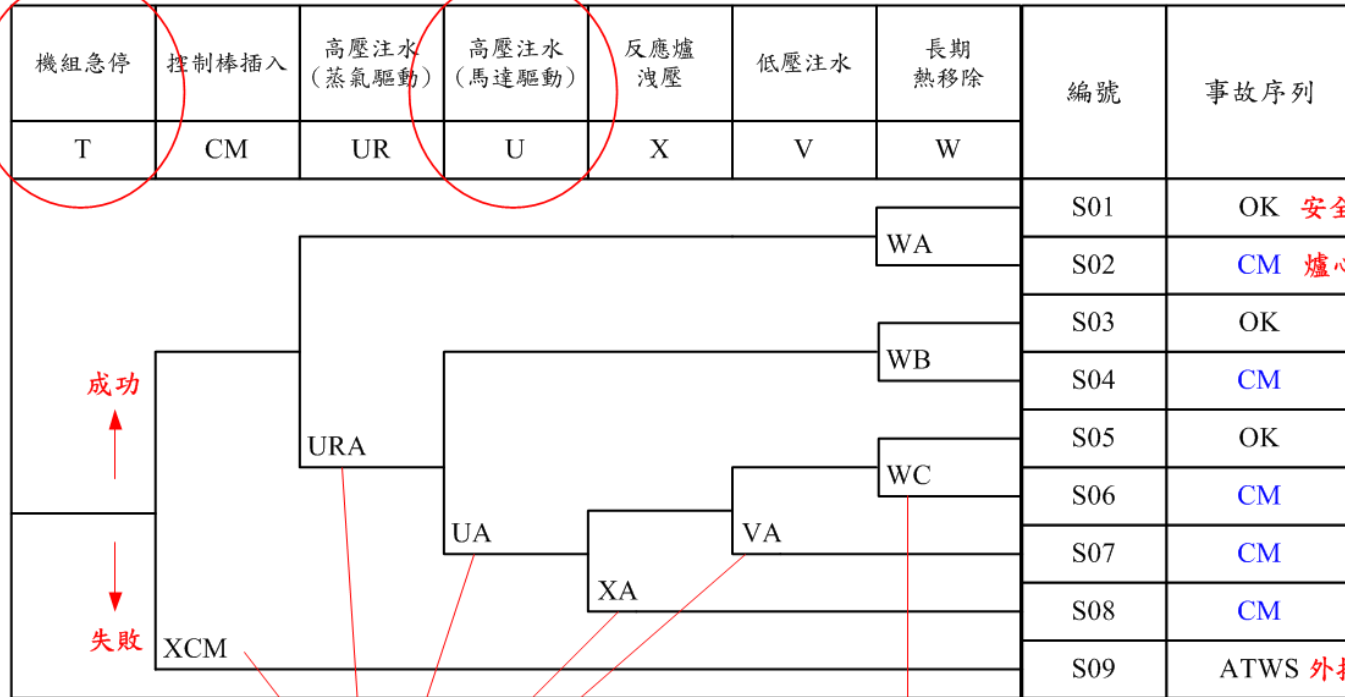
- 針對肇始事件，定義關鍵安全功能，
例如：溫度、壓力、水位、反應度
- 決定各系統的成功準則
(各安全功能執行所需的系統)
- 建立事件樹標題 - 順序與發展
- 描繪事故序列(情節)



事件樹 (圖例)

肇始事件

事件樹標題與代碼



成功

失敗

故障樹功能設定

● 反應器爐心不同程度的劣化：

- ✓ 爐心裸露 (fuel uncovered)
- ✓ 燃料表面溫度~2200°F (1200°C)
- ✓ 爐心受損頻率(CDF, Core Damage Freq.)

- 個人風險
- 早期與晚期致死人數

● 放射物質自圍阻體外釋：

- ✓ 早期輻射大量外釋頻率 (LERF, Large Early Release Freq.)

- 受傷人數
- 土地污染

S01 OK 安全停機
S02 CM 爐心燃料受損
S03 OK
S04 CM
S05 OK
S06 CM
S07 CM
S08 CM
S09 ATWS 外接到其他事件樹



成功準則分析

- 定義「安全功能成功達成」或「功能失敗」。根據熱流計算、及考量不確定度，確認執行功能**需要哪些設備**（符實，而非保守!）
- 能夠作為事故緩和的安全功能及其成功運作（維持機組安全及防止爐心燃料受損之措施）
 - 反應度控制
 - ◆ 需要多少控制棒插入（最大控制棒本領的控制棒無法插入）
 - ◆ 控制棒插入的時限（運轉員手動插入的時限）
 - ◆ 硼液系統之運作與爐心水位控制（防止硼濃度不足）
 - 爐心注水
 - ◆ 短期注水及長期注水成功運作的條件
 - ◆ 可以執行爐心注水的安全相關與非安全相關注水系統
 - 長期熱移除
 - ◆ 爐心及圍阻體移熱（將爐心衰變熱移至圍阻體外）
 - ◆ 圍阻體保護系統（防止圍阻體損壞後中斷原有的爐心注水）



故障樹分析(系統分析)

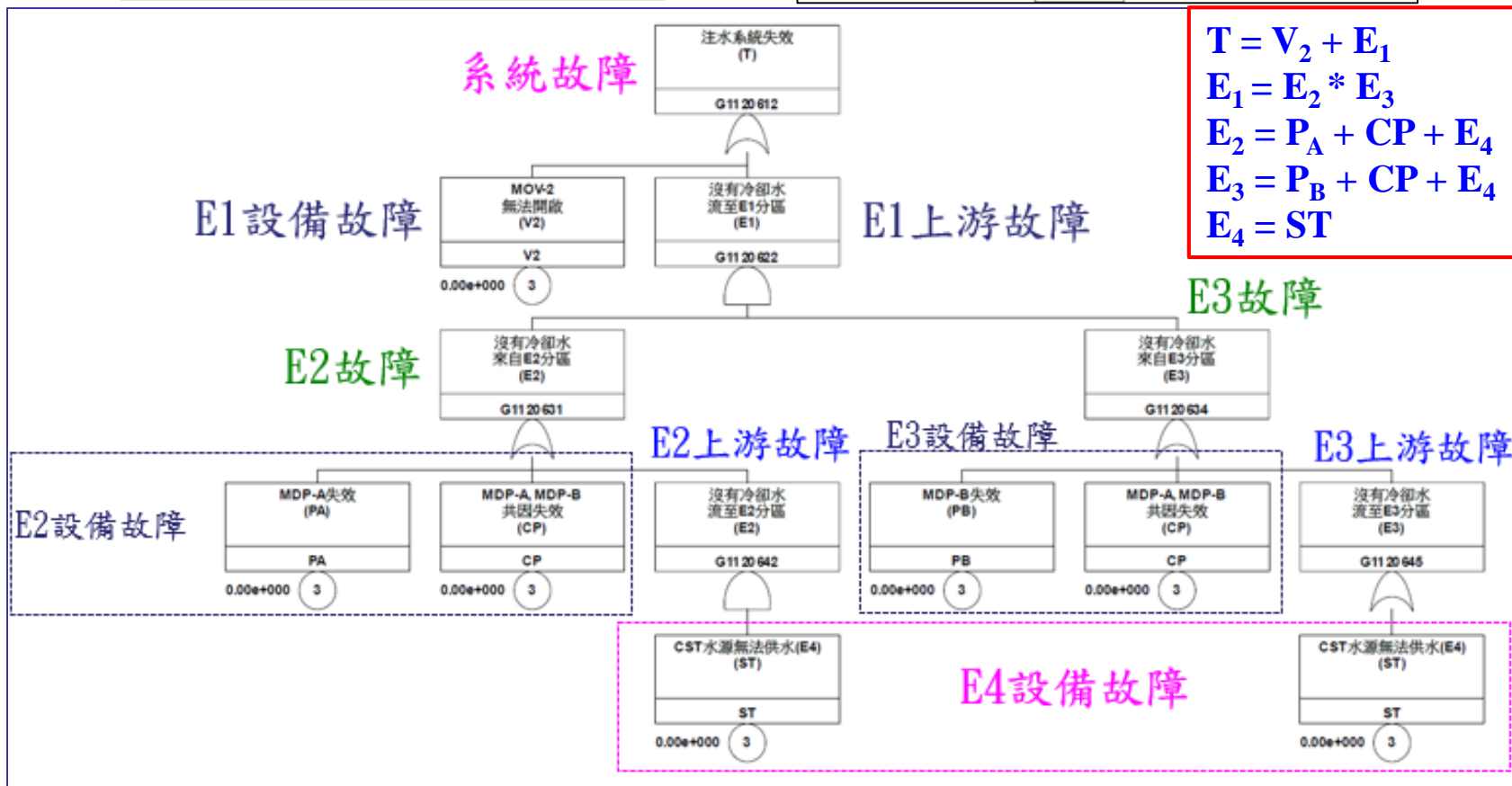
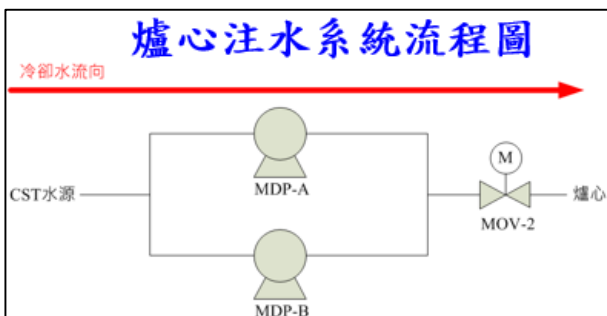
- 以事件樹分析電廠在肇始事件發生後，定義所有事故序列的電廠狀態(終態)：安全、或爐心燃料受損、...
- 針對事件樹所定義防止爐心燃料受損的安全功能，以故障樹進行細部分析
- 例如：電源供應、安全系統起動、冷卻、廠用海水系統



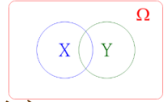
數據分析&人為可靠度分析

- 肇始事件頻率（例如：喪失廠外電源；廠外事件、地震事件、…）
- 基本事件機率
 - 硬體：組件可靠度(無法起動/無法運轉 etc.)、組件不可用度(因測試或維護)(例如:隔離閥無法開啟、注水泵無法起動)、特殊事件發生機率(例如:颱風期間，廠用海水系統因垃圾阻塞無法取得冷卻用海水)
 - 共因失效：同一因素造成同系統同類型的組件失效。例如相同使用環境、相同維修失誤、相同安裝或測試失誤、材料老化等
 - 人為可靠度分析：評估運轉員無法於時限內完成操作之機率
 - 人為誤失：判斷的疏失(不知道去做)、反應的疏失(來不及做)、動作的疏失(做錯了)
- 基本類型：個廠(Plant-specific)數據/一般通用(Generic)數據
- 一般導則(貝氏更新 Bayesian updating)
 - 應儘可能使用個廠數據，納入個廠數據有助於PRA的可信度；才能比較自己電廠的設備表現與工業界平均表現

故障樹建立範例/求解



- 交換律 $X \cdot Y = Y \cdot X$; $X + Y = Y + X$
- 結合律 $X \cdot (Y \cdot Z) = (X \cdot Y) \cdot Z$; $X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$
- 分配律 $X \cdot (Y + Z) = X \cdot Y + X \cdot Z$; $X + Y \cdot Z = (X + Y) \cdot (X + Z)$
- 恒等律 $X \cdot X = X$; $X + X = X$
- 吸收律 $X \cdot (X + Y) = X$; $X + X \cdot Y = X$
- 其他 $\Omega \cdot X = X$; $\Omega + X = \Omega$ (Ω : 全集合)
 $\Phi \cdot X = \Phi$; $\Phi + X = X$ (Φ : 空集合)

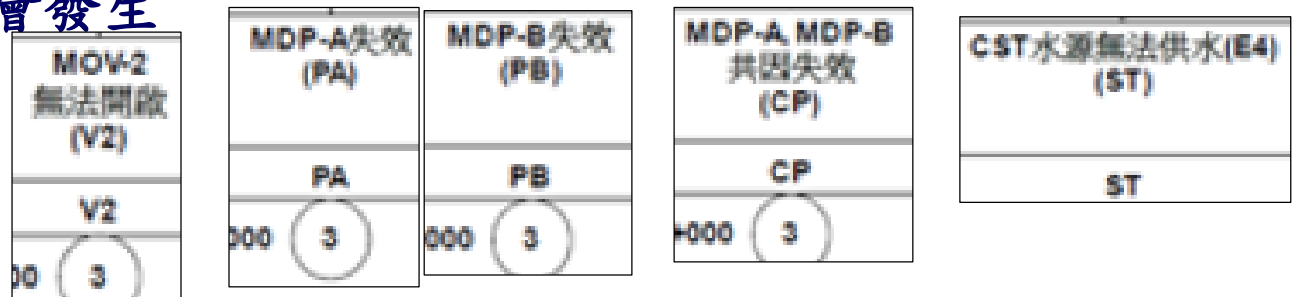


故障樹求解

- 針對頂端事件，依其故障樹邏輯及布林代數運算(Boolean)，得到各種基本事件失效之組合Cut Set，每個組合都會造成頂端事件發生

$$\begin{aligned}
 T &= V_2 + \underline{E_1} = V_2 + (\underline{E_2} \cdot \underline{E_3}) = V_2 + [P_A + CP + \underline{E_4}] \cdot [P_B + CP + \underline{E_4}] \\
 &= V_2 + [P_A + (CP + ST)] \cdot [P_B + (CP + ST)] \\
 &= V_2 + P_A \cdot P_B + P_A(CP + ST) + P_B(CP + ST) + (CP + ST)(CP + ST) \\
 &= V_2 + P_A \cdot P_B + P_A \cdot CP + P_A \cdot ST + P_B \cdot CP + P_B \cdot ST + CP + ST \\
 &= V_2 + P_A \cdot P_B + CP + ST
 \end{aligned}$$

- 最小失效組合(Minimal Cut Set, MCS)：會造成頂端事件之最少數目事件(失效)發生的組合；在最小失效組合中任一事件不發生，則頂端事件不會發生



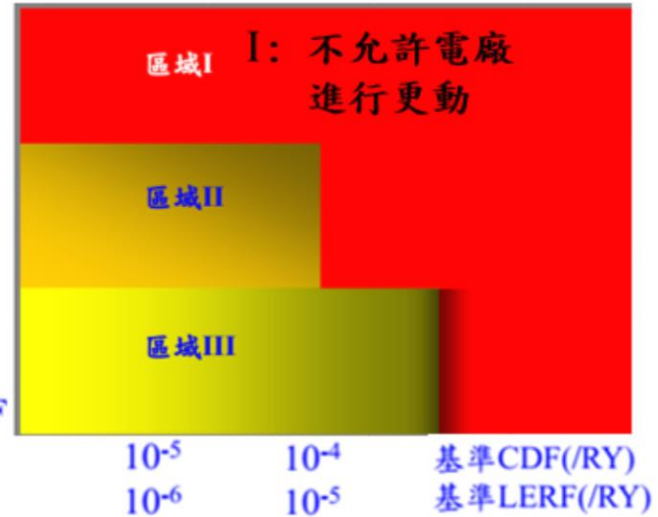


以PRA分析風險的優勢與結語

- 藉最小失效組合、重要度分析/靈敏度分析，對分析結果做判斷，並提出可行的風險改善建議案
 - 例如：新增緊急柴油發電機、改善直流電源之電池容量、修訂相關程序書、人員再訓練
- PRA應減少不必要管制要求的保守性，避免採用保守餘裕概念
 - 著重在「最準估計」(符實 realistic)的
- 運用PRA模型最大效益在於趨吉避凶
 - 風險告知 Risk-informed
妥善利用分配有效資源(人力/物力/\$)

風險改變量
可接受準則

10^{-6} 10^{-5}
 10^{-7} 10^{-6}
 Δ LERF Δ CDF



II : -風險小變化區
-電廠的更動須驗證其總風險小於 $10^{-4}/RV$
-追蹤累積影響

III : -風險微小變化區
-相對於基準CDF或LERF有較高彈性
-追蹤累積影響



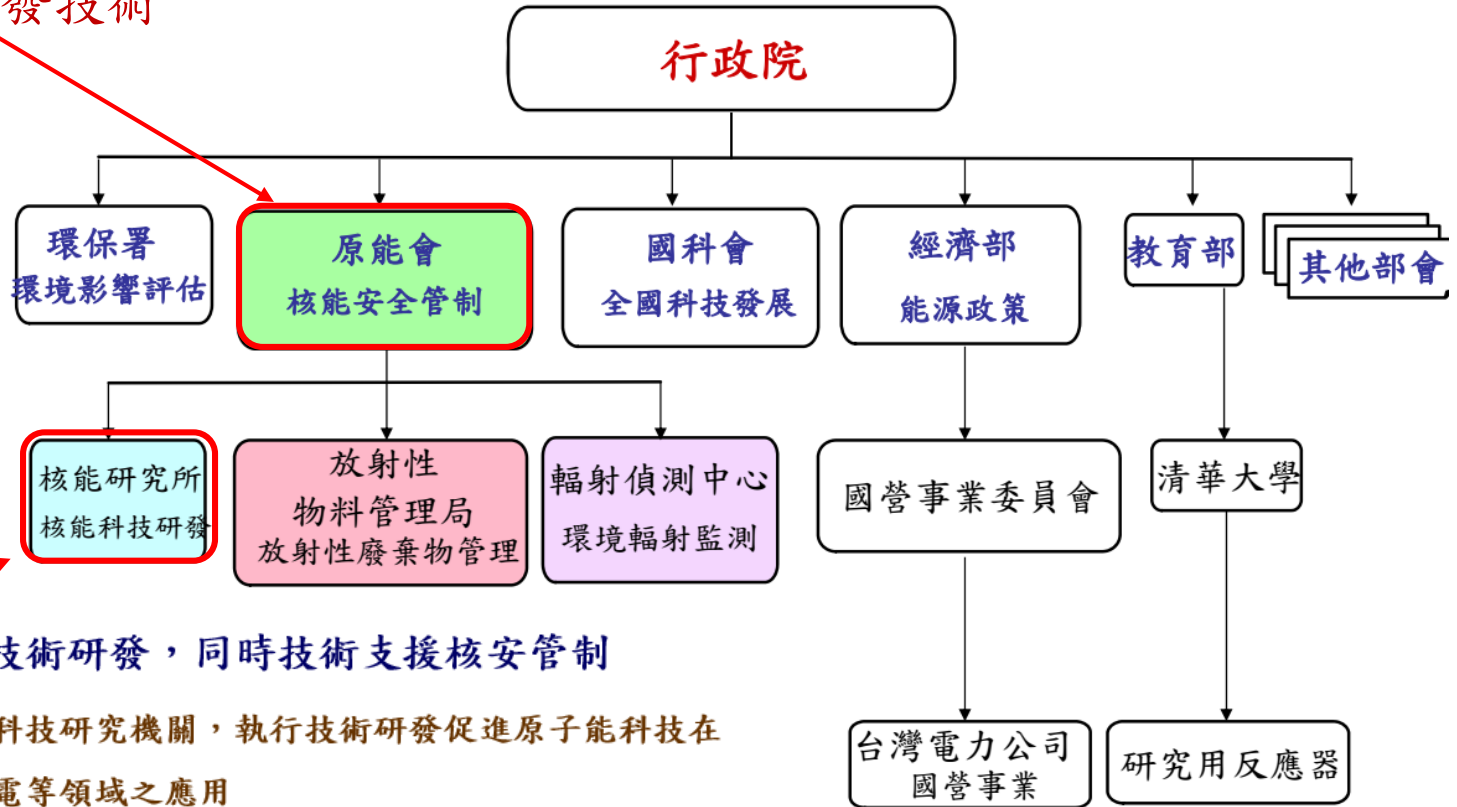
大綱

1. 核子工程/核能電廠概述
2. 安全度評估(PRA)
3. 行政院**原子能委員會**/核能研究所
4. 認識自己/物理所扮演的角色/國家考試



核能主管機關
 肩負雙重任務：
 安全管制+研發技術

組織架構



核能研究所執行技術研發，同時技術支援核安管制

- 國內唯一原子能科技研究機關，執行技術研發促進原子能科技在醫、農、工、發電等領域之應用
- 利用擁有的核能專業，技術支援核安管制
- 亦接受台電公司委託，協助解決核能電廠運轉、維護等衍生的安全管理問題



組織與職掌

- 核能電廠安全 (核能管制處)
- 輻射防護安全 (輻射防護處)
- 核事故緊急應變 (核能技術處)
- 放射性廢棄物管理 (放射性物料管理局)
- 環境輻射監測 (輻射偵測中心)
- 國際核能安全交流 (綜合計畫處)
- **管制技術研發 (核能研究所)**



大綱

1. 核子工程/核能電廠概述
2. 安全度評估(PRA)
3. 行政院原子能委員會/核能研究所
4. 認識自己/物理所扮演的角色/國家考試

生命就像一盒巧克力
你永遠也不會知道你將拿到什麼



認識/了解自己 (反聞聞自性)

國家考試(公務人員)

- 物理所扮演的角色：擴展視野&高度/限制範圍?
- 公務人員優缺點/這是你想走的道路?
民間科學家/Youtuber/... 有一輩子的人生 沒有一輩子的工作
- 物理系科目 (四大力學/固態/電子電路/計算...)
- 考試科目 (e.g., 核子工程/核反應器物理/工程熱力學/輻射防護法規/放射物理學... 有相同/類似科目、有能力準備?)
- 破釜沉舟決心企圖心
在你真正放棄的時候，才是人生考試真正結束的時刻
被仇人逼落懸崖，拾得失傳武林秘笈/苦讀課本&筆記/高人相助?
- 認賠殺出/設定停損點 路不是已走到盡頭，而是該轉彎了
國考不是人生唯一解。#年內考上，否則另尋出路
青春有限 不做無謂的長期抗戰
把握人生在創意/體力/生育子女的最精華時光，別錯過

國家考試（公務人員考試）

（薪水=本俸+專業加給+...）

高等、普通及初等考試：每年舉行。

考試別	應試資格	及格後取得職等
高考一級	具博士學位或高考二級考試相當類科及格滿四年者	薦任第九職等
高考二級	具碩士以上學位或高考三級考試相當類科及格滿二年者	薦任第七職等
高考三級	大專以上學校畢業或普通考試相當類科及格滿三年者	薦任第六職等
普通考試	高中畢業或初等考試及格滿三年者	委任第三職等
初等考試	中華民國國民年滿十八歲以上者	委任第一職等

官等	職等
簡任	14
	13
	12
	11
	10
薦任	9
	8
	7
委任	6
	5
	4
	3
	2
	1

薦任第九職等	薦任第十職等	薦任第十一職等	薦任第十二職等	薦任第十三職等	薦任第十四職等
			四 800 56,930	三 800 56,930	薦任第九職等 500 56,930
		五 790 53,990	三 790 53,990	二 790 53,990	
	五 780 53,305	四 780 53,305	三 780 53,305	二 780 53,305	
	四 750 51,250	三 750 51,250	二 750 51,250	一 750 51,250	
	三 730 49,875	二 730 49,875	一 730 49,875		
七 710 48,505	二 710 48,505	一 710 48,505			
六 690 47,130	五 690 47,130	四 690 47,130	三 690 47,130	二 690 47,130	
	五 670 45,760	四 670 45,760	三 670 45,760	二 670 45,760	
	四 650 44,390	三 650 44,390	二 650 44,390	一 650 44,390	
六 630 43,015	三 630 43,015	二 630 43,015	一 630 43,015		
五 610 41,645	二 610 41,645	一 610 41,645			薦任第七職等
四 590 40,270	一 590 40,270				六 590 40,270
三 550 37,530	五 550 37,530				薦任第六職等 550 37,530
二 535 36,500	四 535 36,500		委任第五職等 535 36,500	六 535 36,500	四 535 36,500
一 520 35,470	三 520 35,470		十 520 35,470	五 520 35,470	三 520 35,470
五 505 34,440	二 505 34,440		九 505 34,440	四 505 34,440	二 505 34,440
四 490 33,410	一 490 33,410		八 490 33,410	三 490 33,410	一 490 33,410
三 475 32,385			七 475 32,385	二 475 32,385	五 475 32,385
二 460 31,355		委任第四職等 460 31,355	六 460 31,355	一 460 31,355	四 460 31,355
一 445 30,325		八 445 30,325	五 445 30,325	四 445 30,325	三 445 30,325
	委任第三職等 430 29,295	七 430 29,295	四 430 29,295	三 430 29,295	二 430 29,295
	八 415 28,265	六 415 28,265	三 415 28,265	二 415 28,265	一 415 28,265
	七 400 27,240	五 400 27,240	二 400 27,240	一 400 27,240	
	六 385 26,210	四 385 26,210	三 385 26,210	二 385 26,210	
	五 370 25,180	三 370 25,180	二 370 25,180	一 370 25,180	
	四 360 24,495	二 360 24,495	一 360 24,495		
	三 350 23,810	二 350 23,810	一 350 23,810		
	委任第二職等 340 23,125	五 340 23,125	四 340 23,125	三 340 23,125	二 340 23,125
	六 330 22,435	四 330 22,435	三 330 22,435	二 330 22,435	一 330 22,435
	五 320 21,750	三 320 21,750	二 320 21,750	一 320 21,750	
	四 310 21,065	三 310 21,065	二 310 21,065	一 310 21,065	
	三 300 20,380	二 300 20,380	一 300 20,380		
委任第一職等 290 19,690	二 290 19,690	一 290 19,690			
六 280 19,005	一 280 19,005				
五 270 18,320					
四 260 17,635					
三 250 16,950					
二 240 16,260					
一 230 15,575					
七 220 14,890					
六 210 14,405					
五 200 13,920					
四 190 13,440					
三 180 12,955					
二 170 12,470					
一 160 11,985					

1. 各職等之下所列數字，右上為「俸點」，右下為月俸額「新臺幣元」，左為「俸級」。
2. 婚、喪、生育之補助，均以薪俸額一項計算。
3. 各職等起薪以下為本俸，起薪以上為年功俸。



國家考試(特種考試)

專門職業及技術人員考試

- 一、律師、會計師。
- 二、建築師、各科技師。
- 三、醫師、中醫師、牙醫師、藥師、醫事檢驗師、護理師、助產師、臨床心理師、商心理師、呼吸治療師、護士、助產士、醫事檢驗生。
- 四、獸醫師、獸醫|佐。
- 五、不動產估價師、地政士、不動產經紀人。
- 六、保險代理人、保險經紀人、保險公證人。
- 七、導遊人員、領隊人員。
- 八、民間之公證人。
- 九、醫事放射師、營養師、物理治療師、職能治療師、物理治療生、職能治療生
- 十、引水人、驗船師、航海人員、船舶電信人員、漁船船員。
- 十一、消防設備師、消防設備士。
- 十二、社會工作師。
- 十三、專責報關人員。
- 十四、其他依法規應經考試及格領有證書始能執業之專門職業及技術人員。

公務人員特種考試

- ▣ **專利商標審查人員考試**
 - ▣ 關務人員考試
 - ▣ 身心障礙人員考試
 - ▣ 警察人員考試
 - ▣ 交通事業鐵路人員/公路人員考試
 - ▣ 司法官/司法人員考試
 - ▣ 法務部調查局調查人員考試
 - ▣ 國家安全局國家安全情報人員考試
 - ▣ 海岸巡防人員考試
 - ▣ 移民行政人員考試
 - ▣ 外交領事人員及外交行政人員考試
 - ▣ 民航人員考試
 - ▣ 原住民族考試
 - ▣ 地方政府公務人員考試
 - ▣ ...
- ▶ 商標審查類科
 - ▶ 紡織工程類科
 - ▶ 控制工程類科
 - ▶ 光電工程類科
 - ▶ 資訊工程類科
 - ▶ **物理類科**
 - ▶ 一般化工類科
 - ▶ 藥學檢驗類科
 - ▶ 冶金工程類科



謝謝 Q&A

吳泰宏 wu.taihung@gmail.com

References:

- ✓ Lamarsh, Introduction to Nuclear Engineering (3E. 2001 Pearson)
- ✓ 楊昭義, 歐陽敏盛, 核能發電工程學 (1997 水牛出版社)
- ✓ <https://www.aec.gov.tw/>
- ✓ <https://www.iner.gov.tw/>
- ✓ https://www.taipower.com.tw/d006/loadGraph/loadGraph/genshx_.html