核能發電

2012.9

日本的核電

- 日本為第三大核能發電國，僅次於美、法。目前有55部機組共47.6百萬瓦容量，提供全國30%的電力。
- 2012.5.5日本全面停用國內五十四座核子反應爐。以火力發電、天然氣、石油燃料填補核能供電，兩年來國庫便得多支出五兆七千億日圓（約合新台幣二兆二千億元）的電費。
- 2012.6.8日本首相野田佳彥宣布，為了保護國家經濟發展、社會生存與人民生計，希望全民能接受政府重啟關西電力公司大飯核電廠兩座機組的決定。
- 2012.7.5大飯核電廠三號機重新啟動。
- 2012.9.14日本政府決定新能源環境戰略，目標是在2030年代實現零核電。致力普及太陽能、風力等「綠能」。

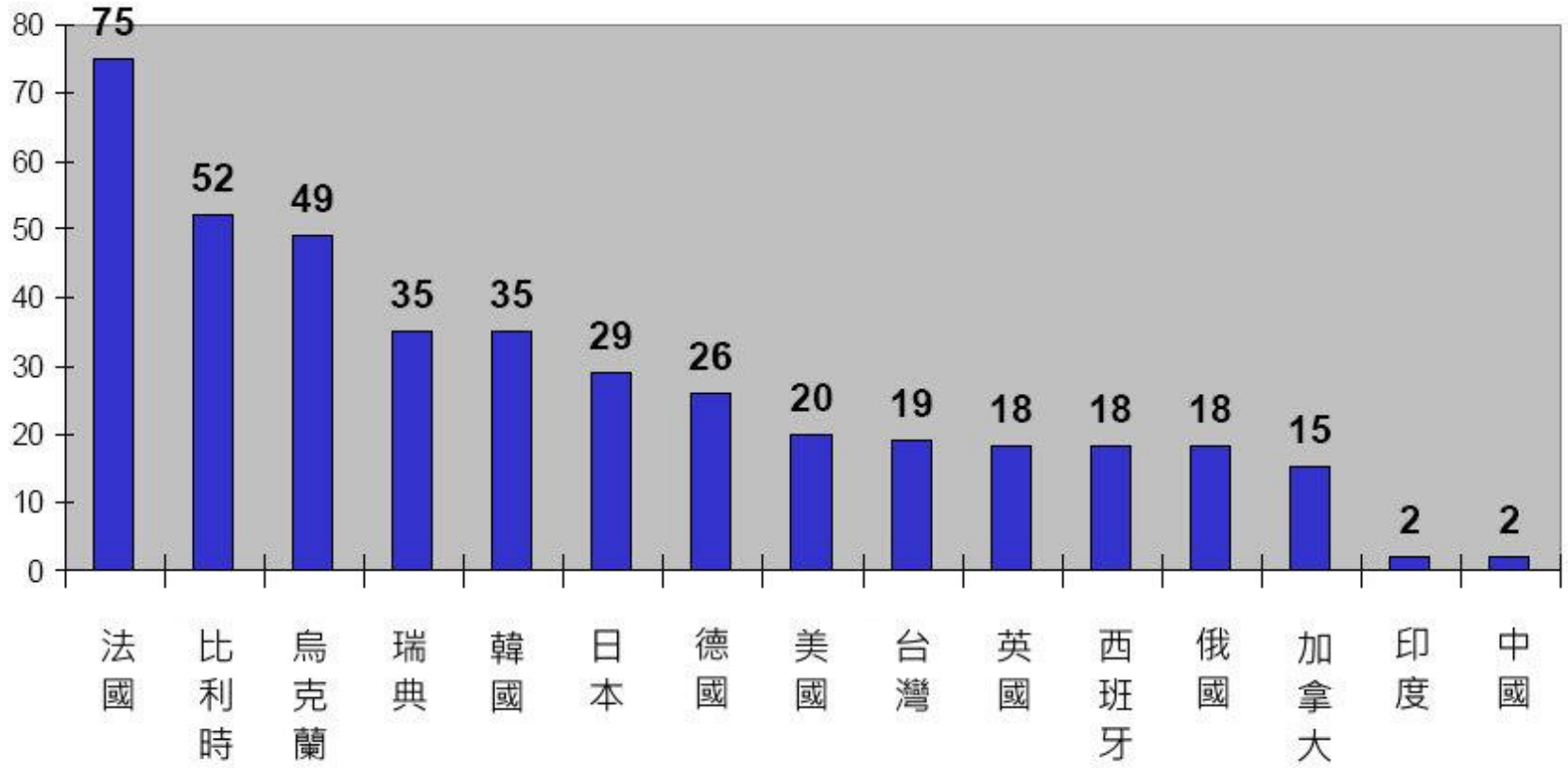
德國的核電

- 德國有17部核能機組共20.5百萬瓩容量，提供約25%的電力；
- 2011.5.30德國當局決定於2022年前，要逐步廢棄核能發電廠；德國陸續關閉了8座核反應爐，其中有5座當成備用發電機組，剩下的9座核反應爐，也預定於2015年到2022年間關閉。

核電

- 2012.3.12 全球30國現有運轉中的核子反應爐約436座，供應全球14%電力，各國計劃再建155座。
- 美、法進一步擁核，德、瑞士決定棄核，中國、南韓與印度維持既有核電廠興建政策。
- 美國每年產生的核能居全世界首位，美國人消耗的電能中有20%來自於核能。
- 如果按核能佔總電能的百分比來看，法國則為全球第一。

2009各國核能占其國內總發電量



100年裝置容量

類 別	裝置容量（千瓩）	構成比（%）
抽蓄水力發電廠	2,602	6.28
火力發電廠	30,717	73.49
核能發電廠	5,144	12.42
再生能源發電廠	2,607	6.30
合計	41,400	100.0

註：再生能源2,607千瓩含慣常水力2,040千瓩、風力522千瓩及太陽能44千瓩。

尖峰負載：100.8.18用電33787千瓩

發電量

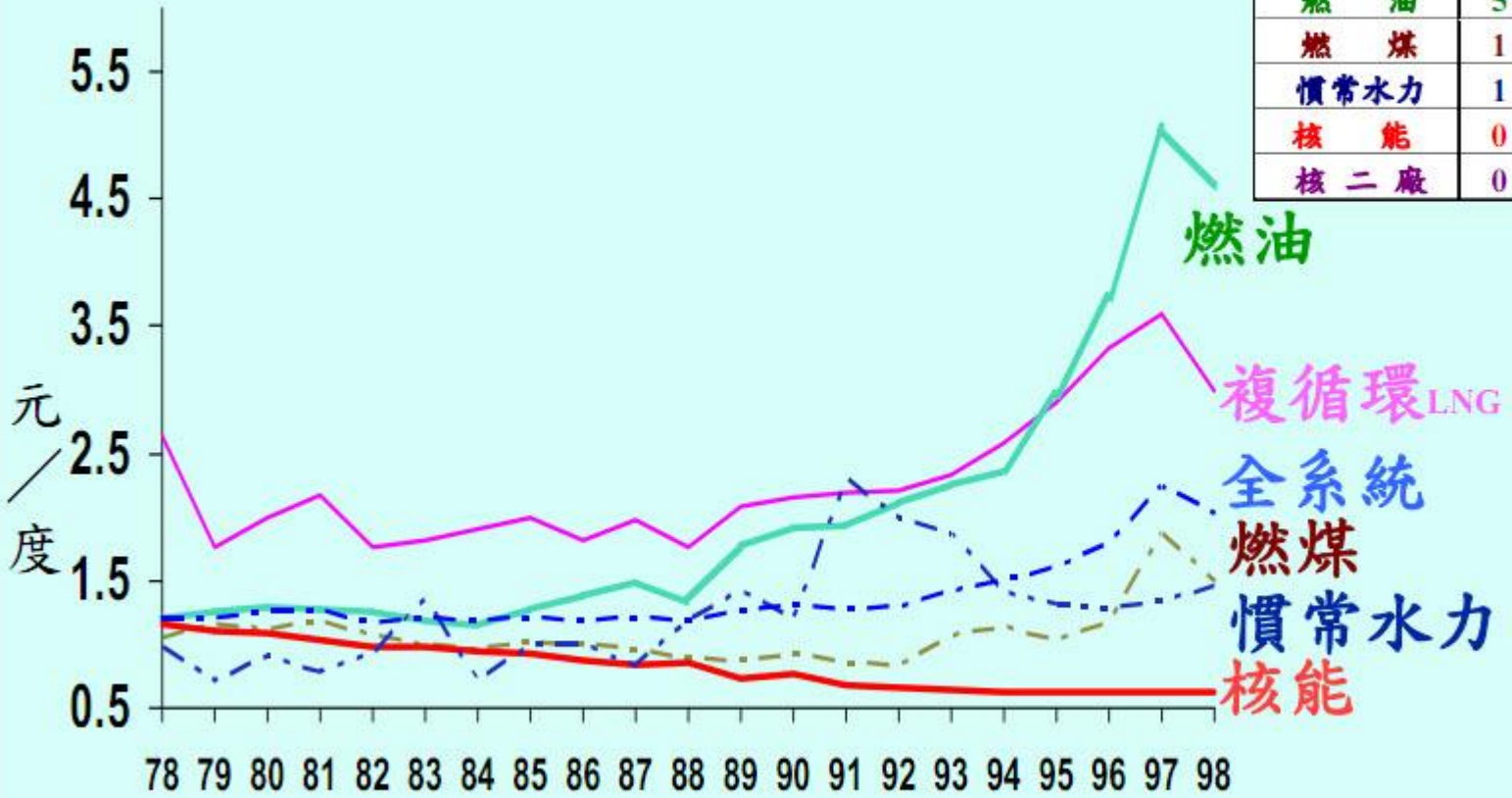
項 目	發 電 量（億度）	構 成 比（%）	較 上 年 增 加 率（%）
發購電量合計	2073.8	100.0	7.1
1.台電自有	1577.9	76.1	10.1
抽蓄水力	30.5	1.5	-7.4
火力	1107.6	53.4	14.5
核能	400.3	19.3	0.1
再生能源	39.5	1.9	18.7
2.購電	495.9	23.9	-1.3
民營火力	388.5	18.7	3.1
汽電共生	95.0	4.6	-16.1
再生能源	12.4	0.6	-0.4

99年售電量

依電力負載區分			依用途區分		
電燈用電	591.8 億度	30.6 %	住宅用電	406.8億度	21.0 %
非營業	434.0 億度	22.4 %	工業用電	1,039.9億度	53.8 %
營業	157.8 億度	8.2%	商業用電	314.5億度	16.3 %
電力用電	1,341.3 億度	69.4%	其他用電	172.0億度	8.9 %

台電各類發電成本分析

成本分析		
(元/度)	97年度	98年度
全系統	2.25	2.03
複循環	3.60	3.00
燃油	5.06	4.59
燃煤	1.87	1.49
慣常水力	1.34	1.46
核能	0.62	0.63
核二廠	0.59	0.60



•核電成本0.63,含後端提列0.17元/度(核電每年節省台電發電成本,約560億元)

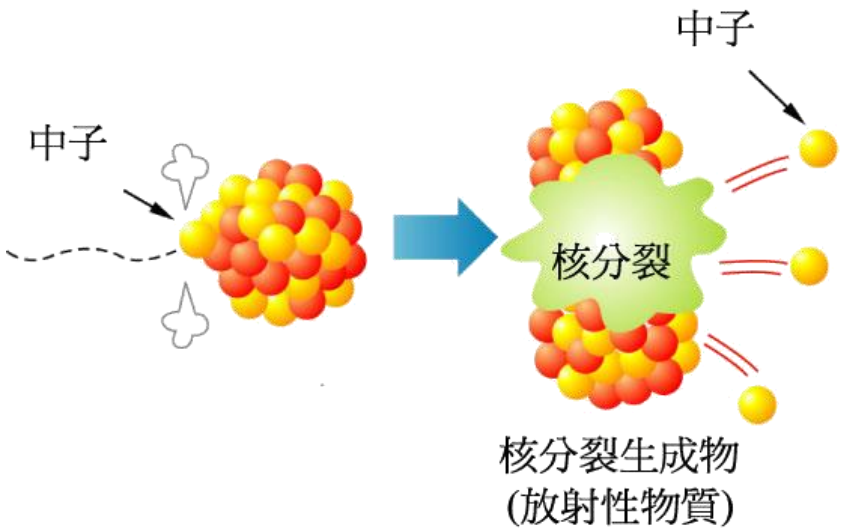
核能的來源

- 所有的物質，都是由各種原子所組成，而原子則是由中子、質子和電子所構成。
- 原子核若被外界的中子擊中時，容易分裂成兩個較小的原子核，又稱為核分裂。
- 「核能」就是核分裂時所放出的能量。核分裂時可產生極大的能量。
- 核能電廠就是利用核分裂所釋放出的能量來發電。
- 核分裂的過程，新產生的分裂原子核的總質量會較分裂前原先的原子核的總質量輕一些。這部份減少的質量就是核能的來源。
- 質能互換關係（愛因斯坦）：

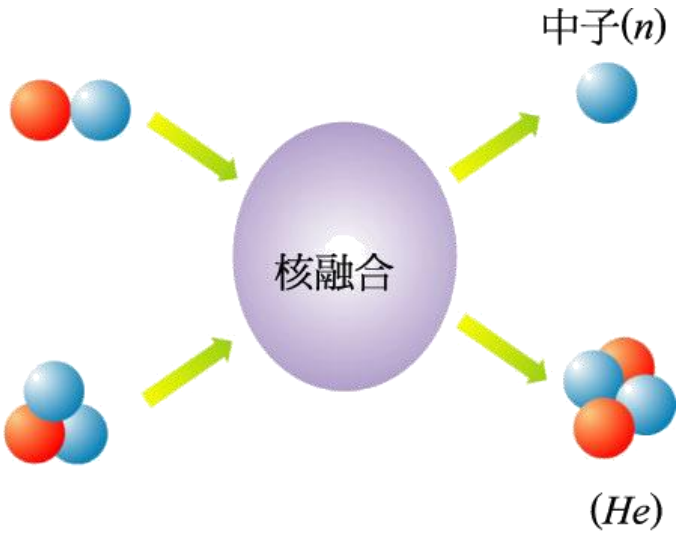
$$\Delta E = (\Delta m)C^2$$

核能

- 核能，可分為『分裂能』與『融合能』兩種。
- 『分裂能』係指原子核發生分裂，產生自續鏈鎖反應放出之能量，稱為『原子核分裂能』，簡稱『核分裂能』
- 『融合能』係指兩個輕元素或兩種不同輕元素原子核，在極高溫度下結合所放出之能量，此種能量與分裂能相反，稱為『原子核融合』，或稱『熱核能』



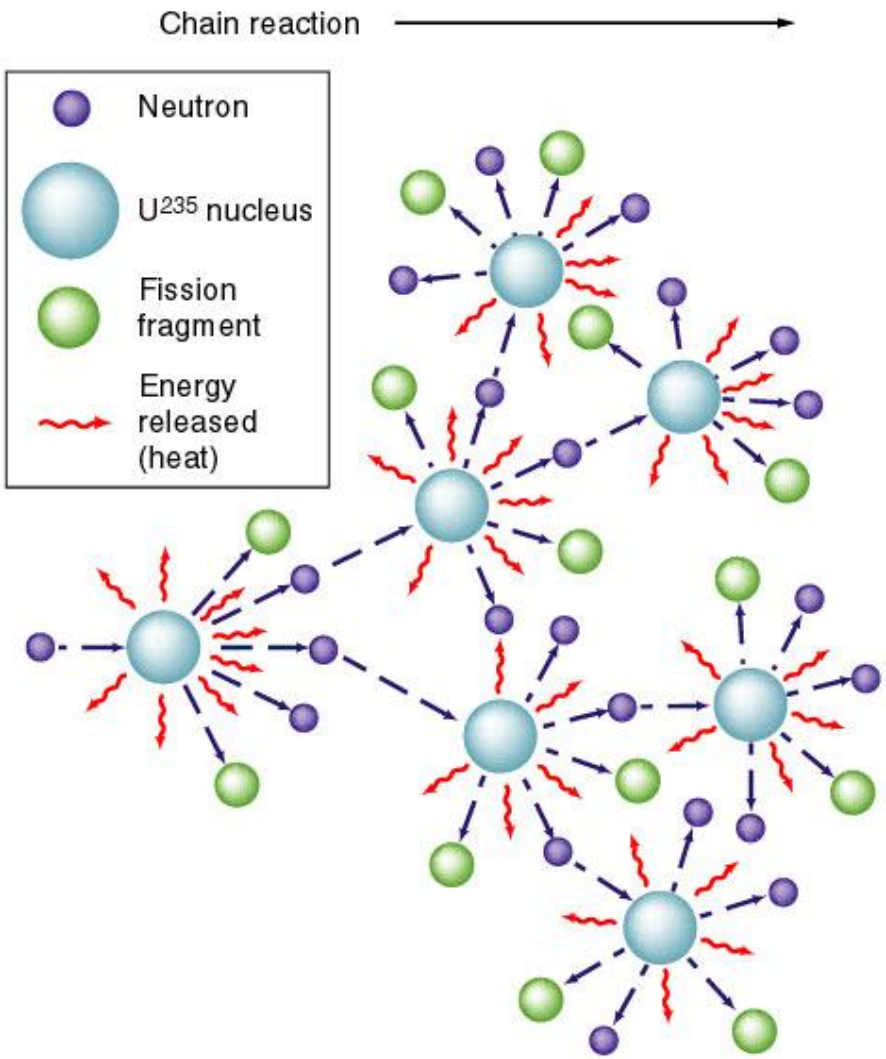
(a)核分裂



(b)核融合

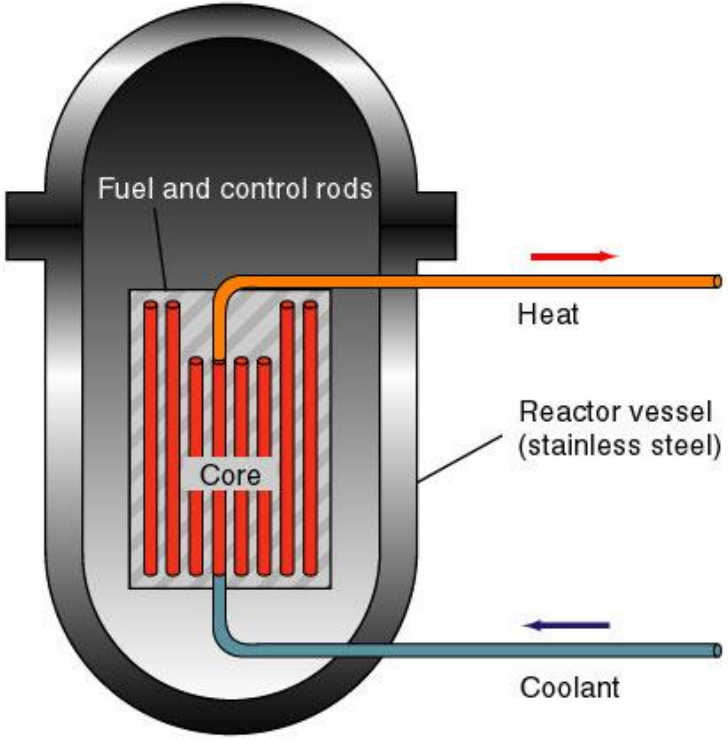
核能發電

- 核能發電，是利用核分裂產生巨大的能量，製造高溫高壓的蒸氣或氣體，驅動發電機組發電。
- 核能所用的燃料，乃是可分裂或融合的放射性物質，例如鈾235、鈽239、鈾233等。例如1克鈾235分裂所產生的能相當於燃燒3000噸上等的煤所產生的熱量
- 目前核能發電量僅佔全球能源6%和電力供應13%。



核能發電原理

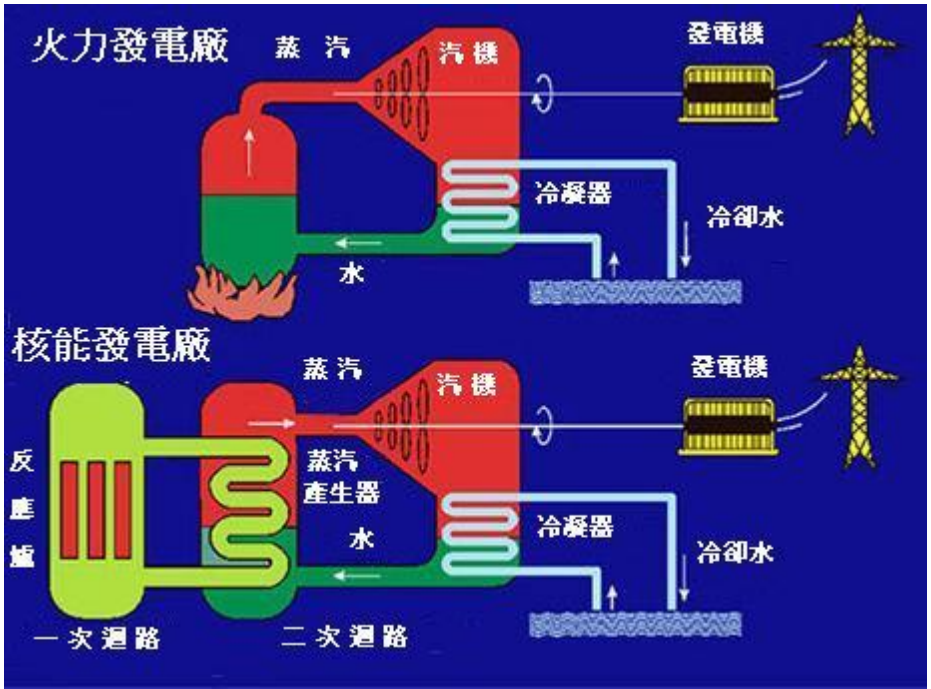
- 核能發電的原理與火力發電相似，核能發電是利用鈾燃料進行核分裂連鎖反應時所產生的熱，將水加熱成高溫高壓的蒸汽，用以推動汽輪機，再帶動發電機發電。



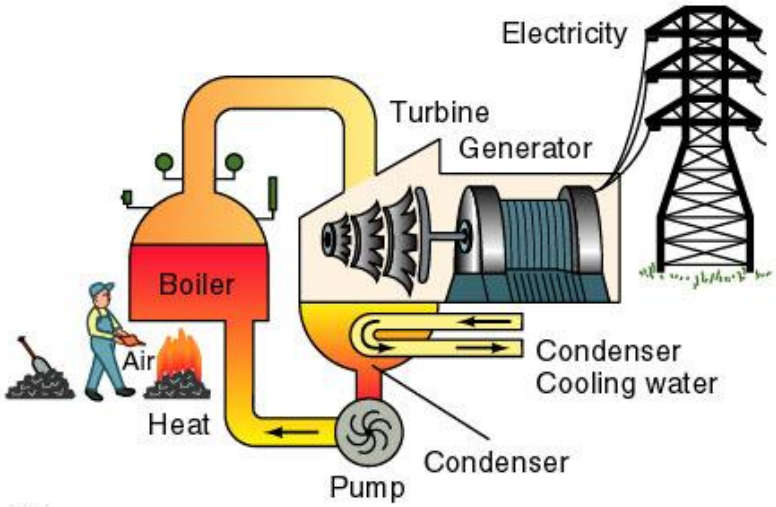
(a)

核能電廠與火力電廠的異同

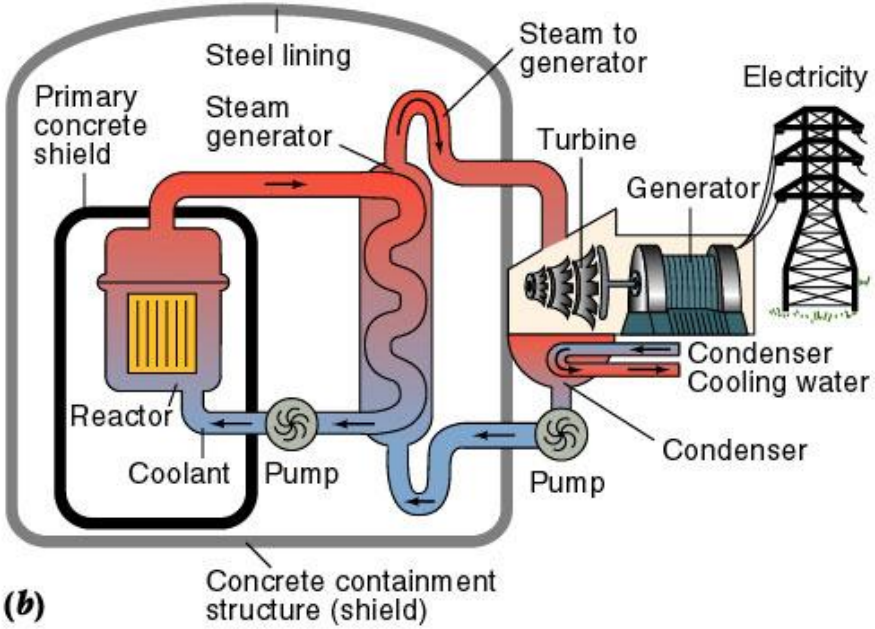
- 核能與火力發電廠都具有鍋爐與發電的設備，水在鍋爐中加熱變成蒸汽，再利用蒸汽推動汽機，帶動發電機發電。
- 主要的不同點為火力發電是在鍋爐內燃燒石油、天然氣或煤等化石燃料，核能發電是在反應爐(即鍋爐)，以*控制棒*調節鈾燃料分裂的*連鎖反應*產生能量，將水變成蒸汽。



核能電廠與火力電廠的異同



(a)

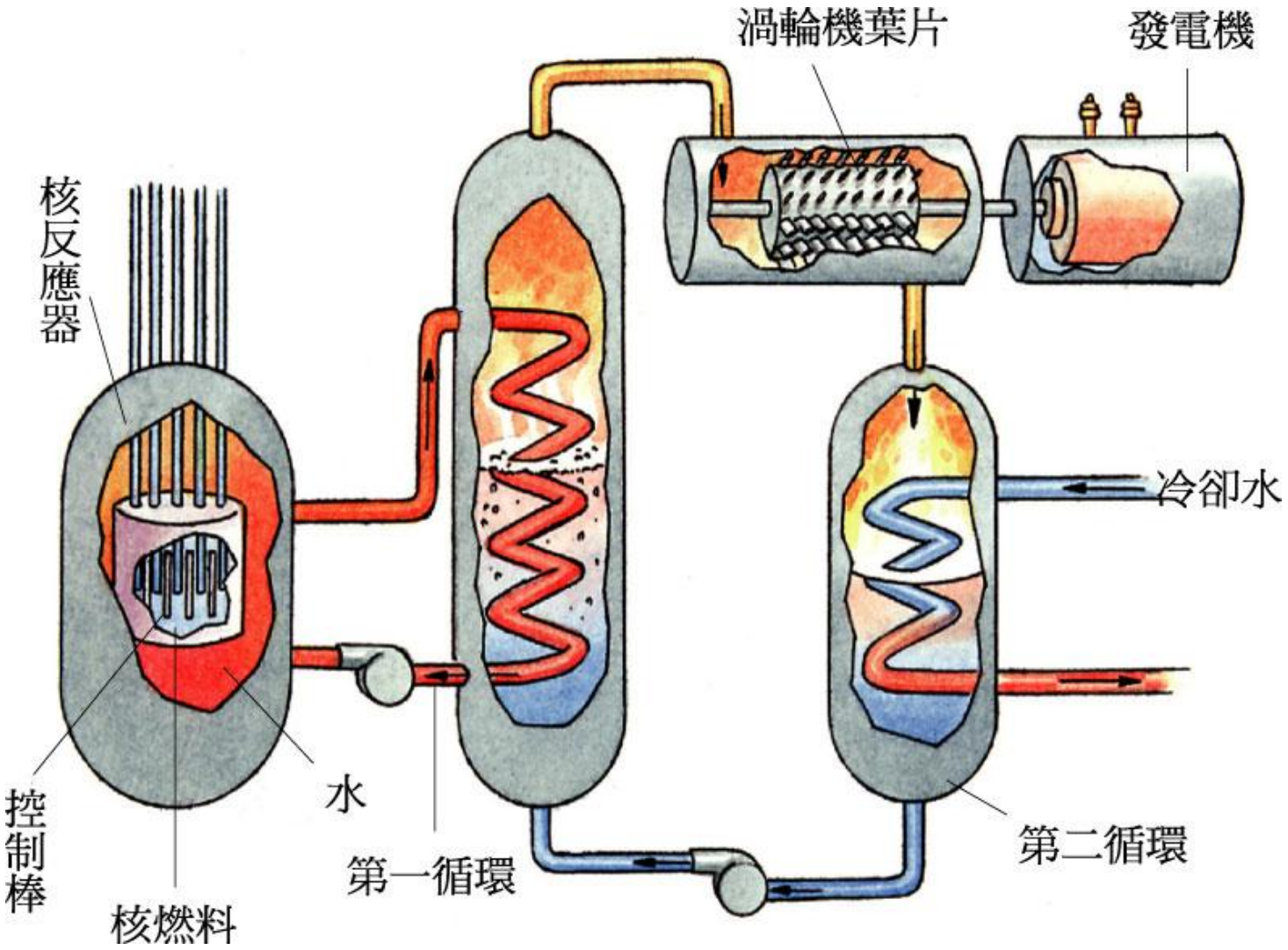


(b)

核子反應爐

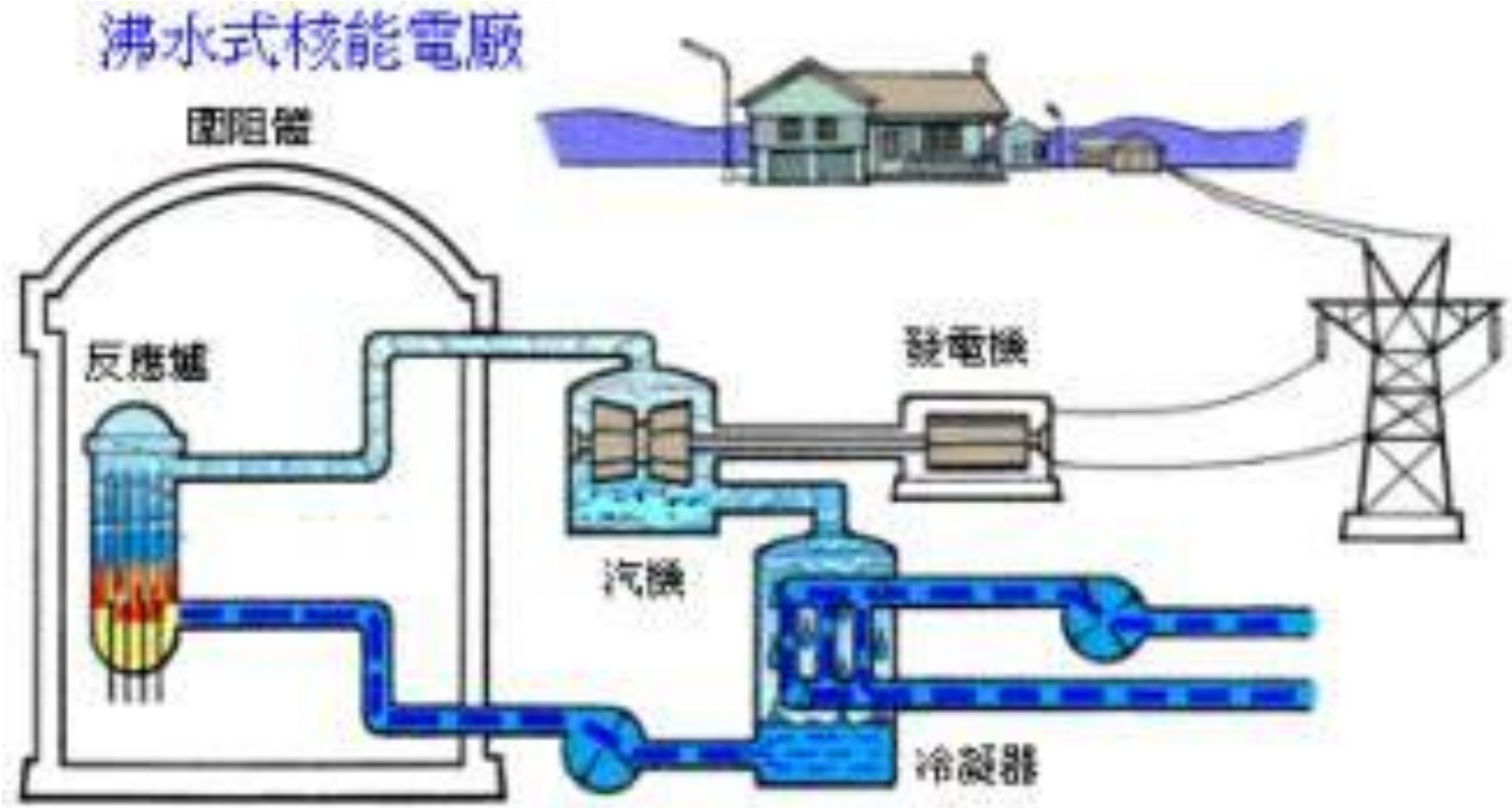
- 輕水式反應器：以輕水(即普通水)做為冷卻劑及中子緩和劑，以低純度的濃縮鈾-235做為燃料。目前全世界的核能電廠大約有80%是輕水式，又分為沸水式反應器和壓水式反應器兩種。
- 重水式反應器：以重水(即氧化氘D_2O)做為冷卻劑及中子緩和劑，採用天然鈾為燃料，這種反應器在加拿大和印度使用相當普遍。
- 氣冷式反應器：以中純度濃縮鈾-235做為燃料，氦氣或二氧化碳做為冷卻劑，石墨做為中子緩和劑，這種反應器成本低、效率高，英國大部分的核能電廠都採用這種型式。
- 石墨型輕水式反應器：為前蘇聯共產國家獨特發展使用，和美國所發展的輕水式反應器最大的不同在於使用輕水通過爐心做為冷卻劑，但是卻沒有中子緩和劑的功能，而是使用石墨做為中子減速的材料

典型核能電廠裝置示意圖

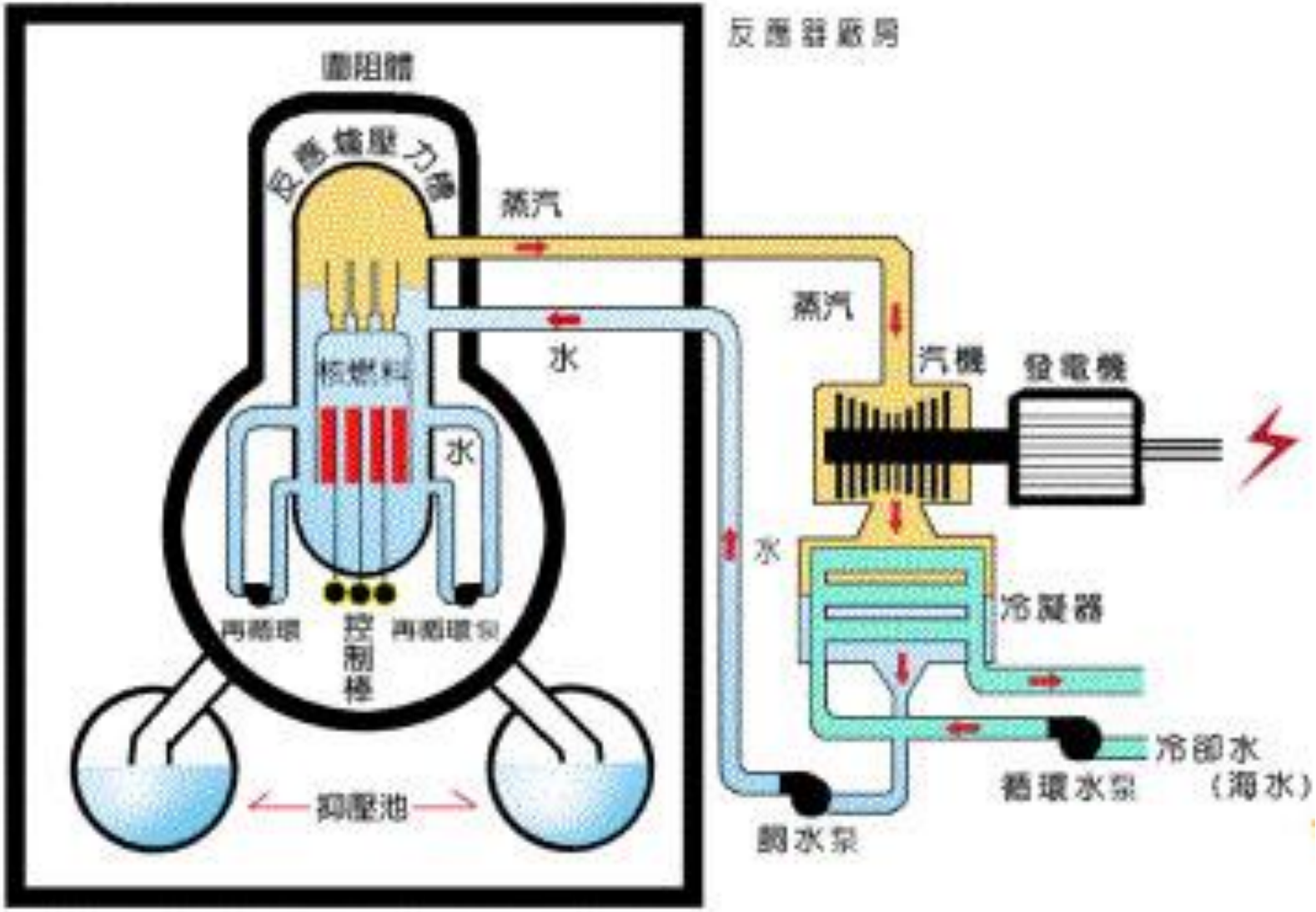


沸水式反應爐

- 「沸水式」是在反應爐中直接產生蒸汽，並且直接送到汽機，將蒸汽能量轉為機械能，轉動發電機產生電力。



沸水式電廠流程


反應發廠房
圍阻體
反應爐壓力槽
蒸汽
蒸汽
水
汽機
發電機
核燃料
水
水
冷凝器
再循環
控制棒
再循環泵
冷卻水
（海水）
循環水泵
抑壓池
給水泵

核能發電-壓水式

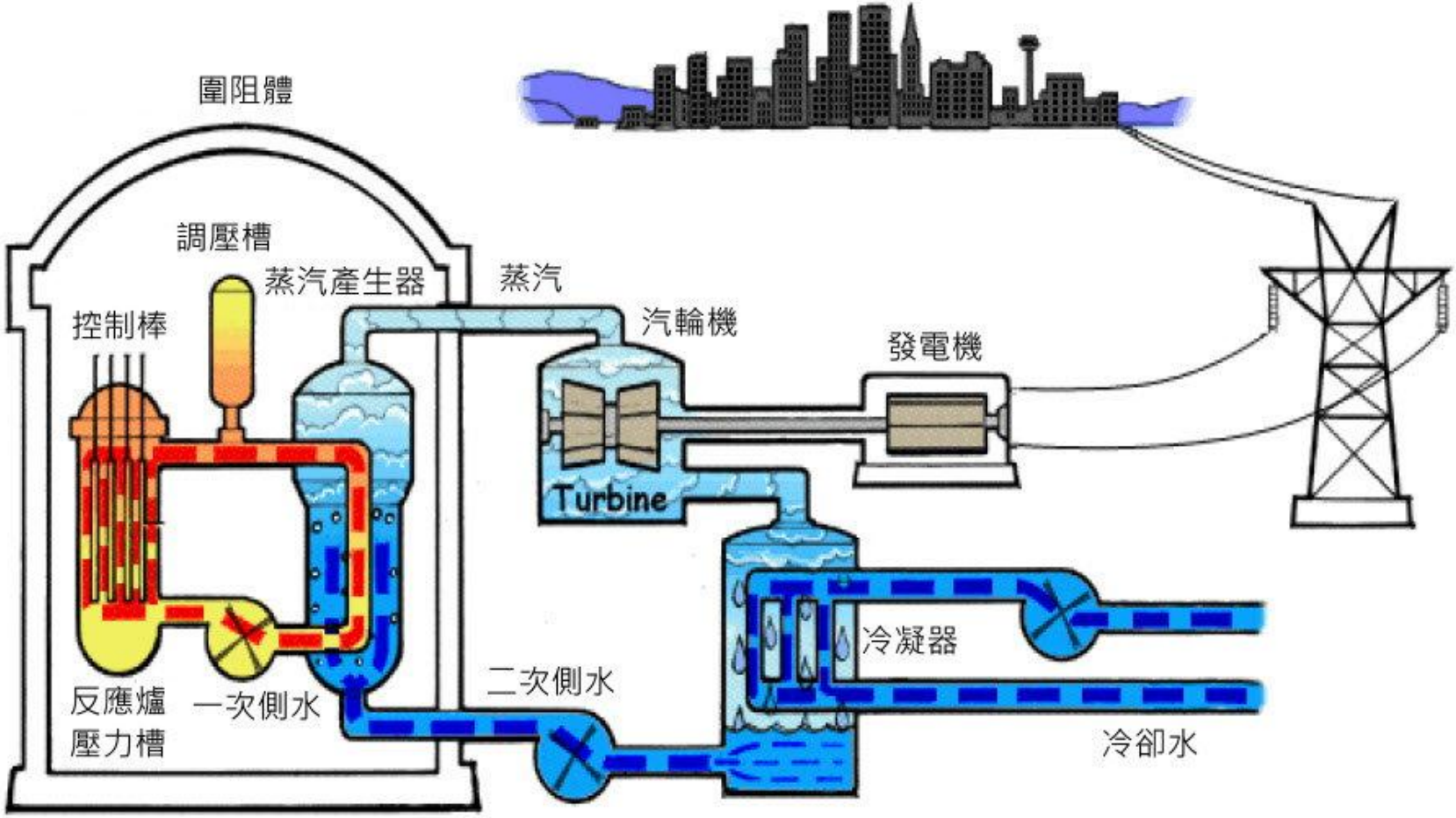
1. 分裂反應原理:燃料棒設計，緩和劑功能，壓力槽與圍阻體之作用等都與沸水式核反應器類似。
2. 壓水式反應器的構造:

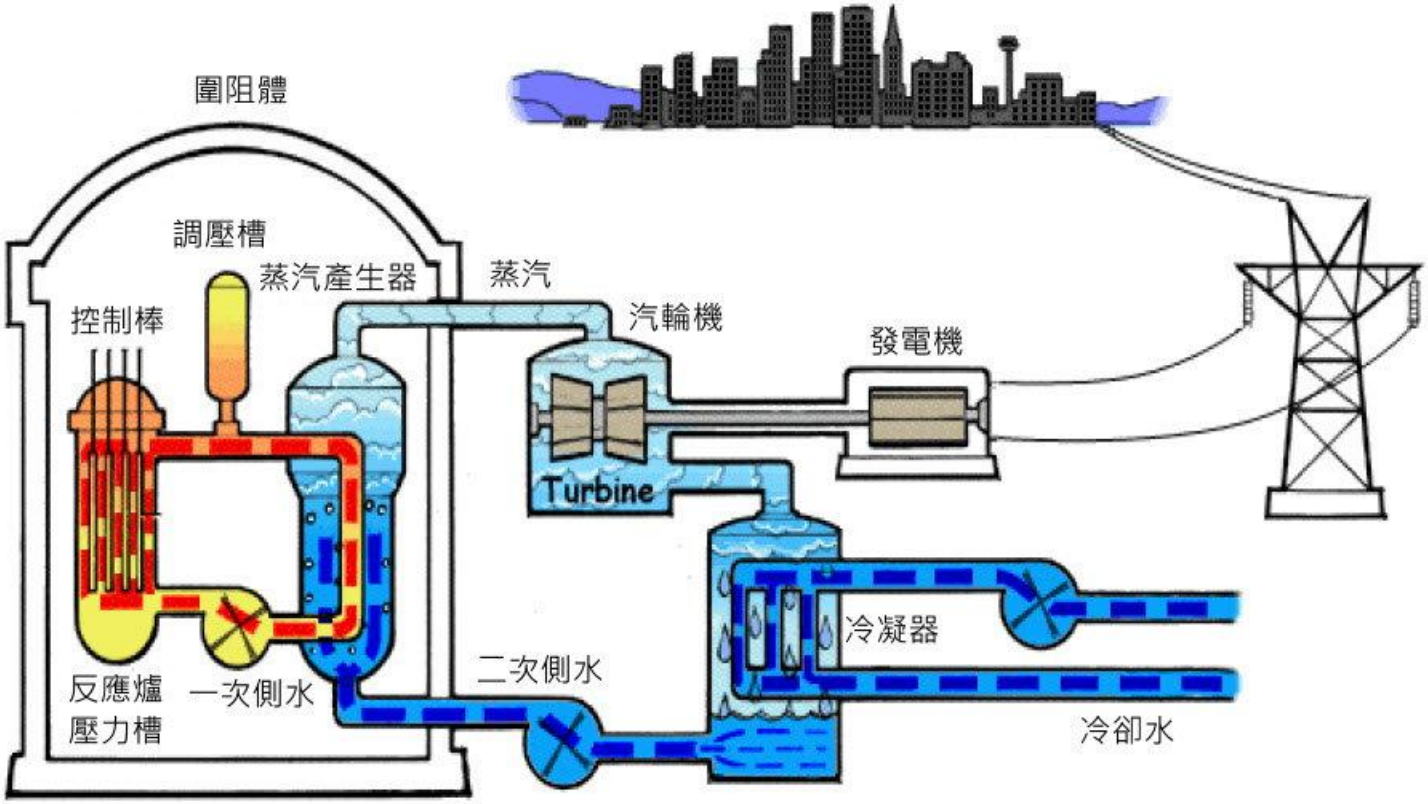
   a. 在水加熱成蒸汽的過程中採用了兩套迴路。「主迴路」裏冷水經過爐心加熱後只增加溫度但不變成蒸汽，熱水送至「蒸汽產生器」中把熱量傳給「次迴路」的水後變成冷水再送回爐心

   b. 次迴路的水被加熱成蒸汽去推動汽輪機，用過的蒸汽再經海水冷卻後重複使用。

   ＊ 確保汽輪機使用的蒸汽絕無核分裂反應所產生的放射性物質，但系統較為複雜，運轉與維護也較沸水式反應器費事。

壓水式發電廠




圍阻體
調壓槽
蒸汽產生器
蒸汽
控制棒
汽輪機
發電機
Turbine
冷凝器
二次側水
反應爐
壓力槽
一次側水
冷卻水

核一廠

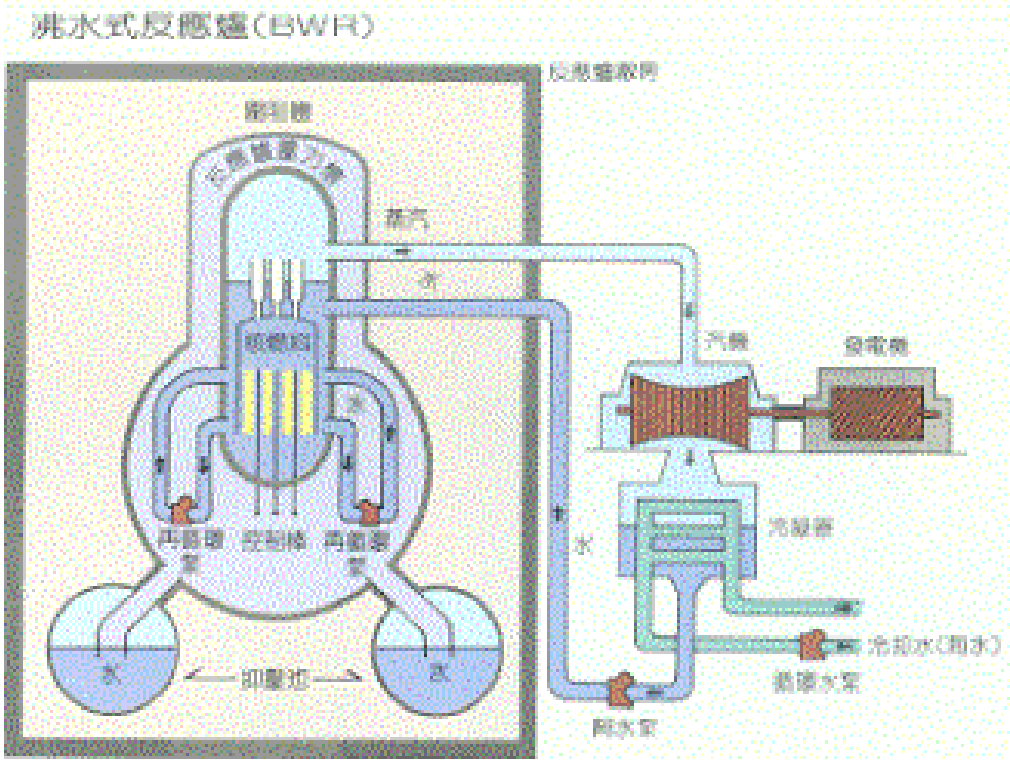
- 核一廠位於新北市石門的天然峽谷，離台北市直線距離約28公里，佔地約為245公頃，廠區內裝置兩部63萬6千瓩汽輪發電機組，總裝置容量為127萬2千瓩。

核一廠

- 核一廠是於民國59年核准興建，60年底開始施工，一號機反應爐於64年5月完成吊裝，66年10月裝填鈾燃料，11月併聯發電，67年12月10日開始商業運轉。
- 二號機反應爐則於65年11月完成吊裝，67年10月裝填鈾燃料。12月併聯發電，68年7月15日開始商業運轉。
- 兩座反應爐壓力槽之鋼板厚5吋，重達450公噸，可承受高溫與高壓。發電用之二氧化鈾燃料即密封裝置在壓力槽之核心位置。在反應爐外面，再以一個5/8吋厚，稱為一次圍阻體的燈泡型大鋼殼將反應爐及主要的冷卻設備包封在內，以防止輻射物質的洩漏。一次圍阻體外利用一厚度達6呎的鋼筋水泥遮蔽牆圍繞，以阻擋輻射線及保護反應爐的外物撞擊。

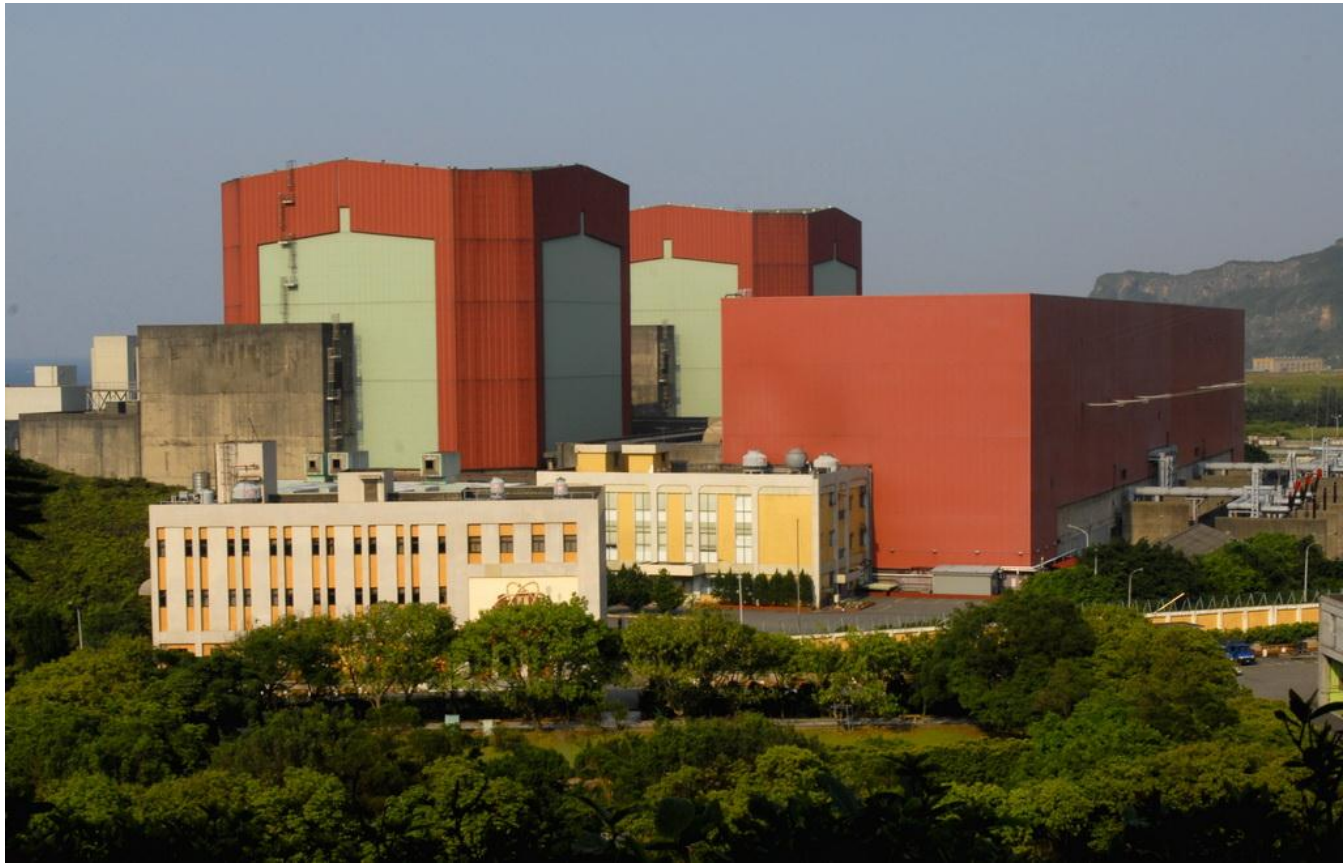
核一廠

- 核一廠兩部機組之設計完全相同。主要之蒸汽產生系統係採用美國奇異公司所承造之沸水式反應爐，每小時可產生每平方吋985磅壓力的飽和蒸汽7,620,000磅。
- 汽輪發電機由美國西屋公司承造，採再熱生式汽力循環，熱效率可達35%。每部機每年可發電50億度，經由345千伏特之超高壓輸電線分四路送至台北地區匯入系統。



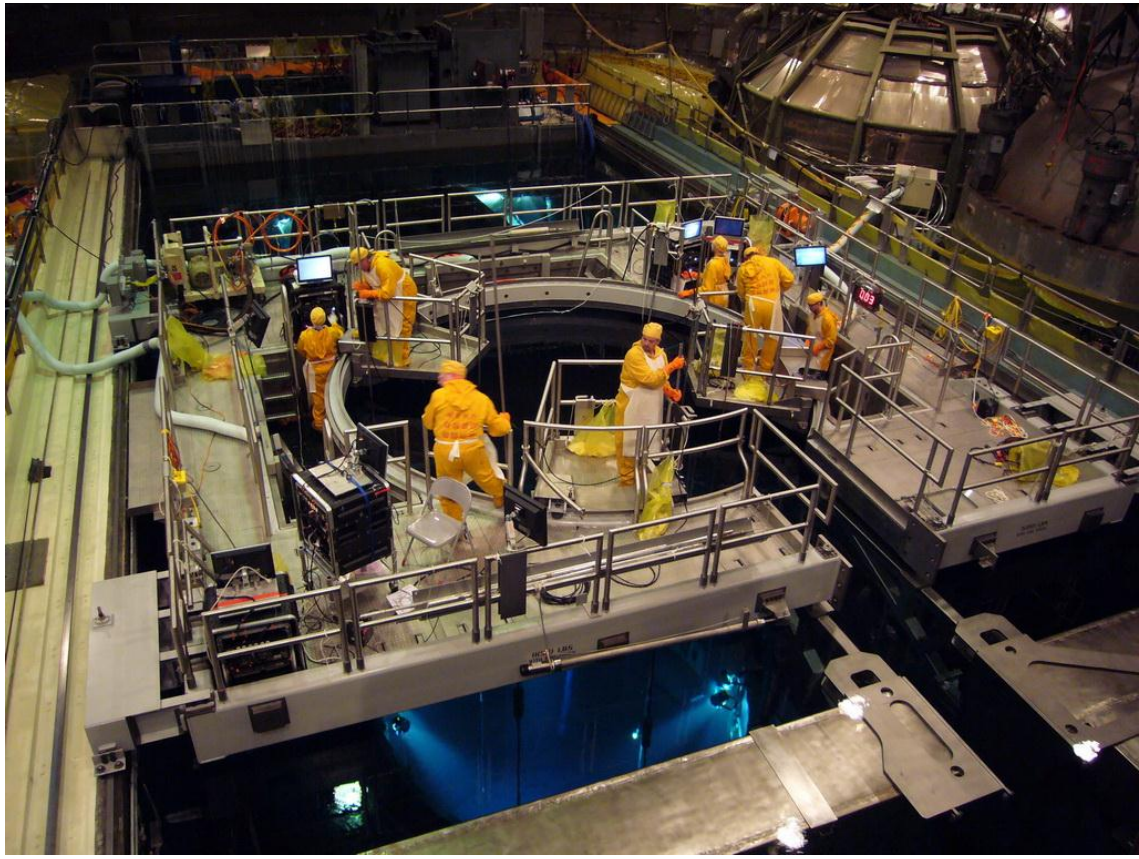
核二廠

- 第二核能發電廠位於台灣北端，離台北市直線距離約22公里，佔地約為220公頃，共裝置兩部機組，容量各為985,000瓩。



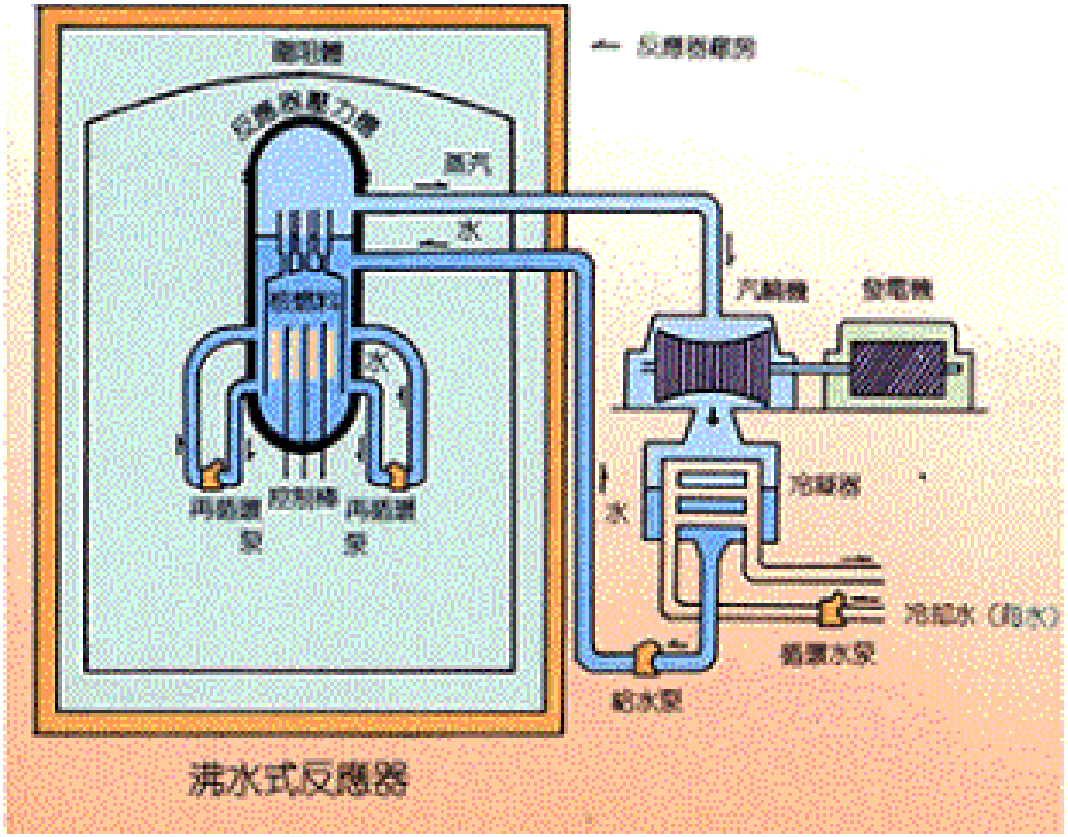
核二廠

- 第二核能發電廠於民國六十三年九月開工興建。民國六十七年二月二日吊放第一部機450公噸重的發電機定子，同年五月九日吊放重約600公噸的反應爐壓力槽。
- 第二部機於民國六十四年開工，第二部機發電機定子於民國六十七年六月九日吊放完成。反應爐壓力槽繼於同年十一月二十二日吊裝完成。七十一年三月完成鈾燃料裝填。一、二號機分別於民國七十年十二月及七十二年三月商業運轉。

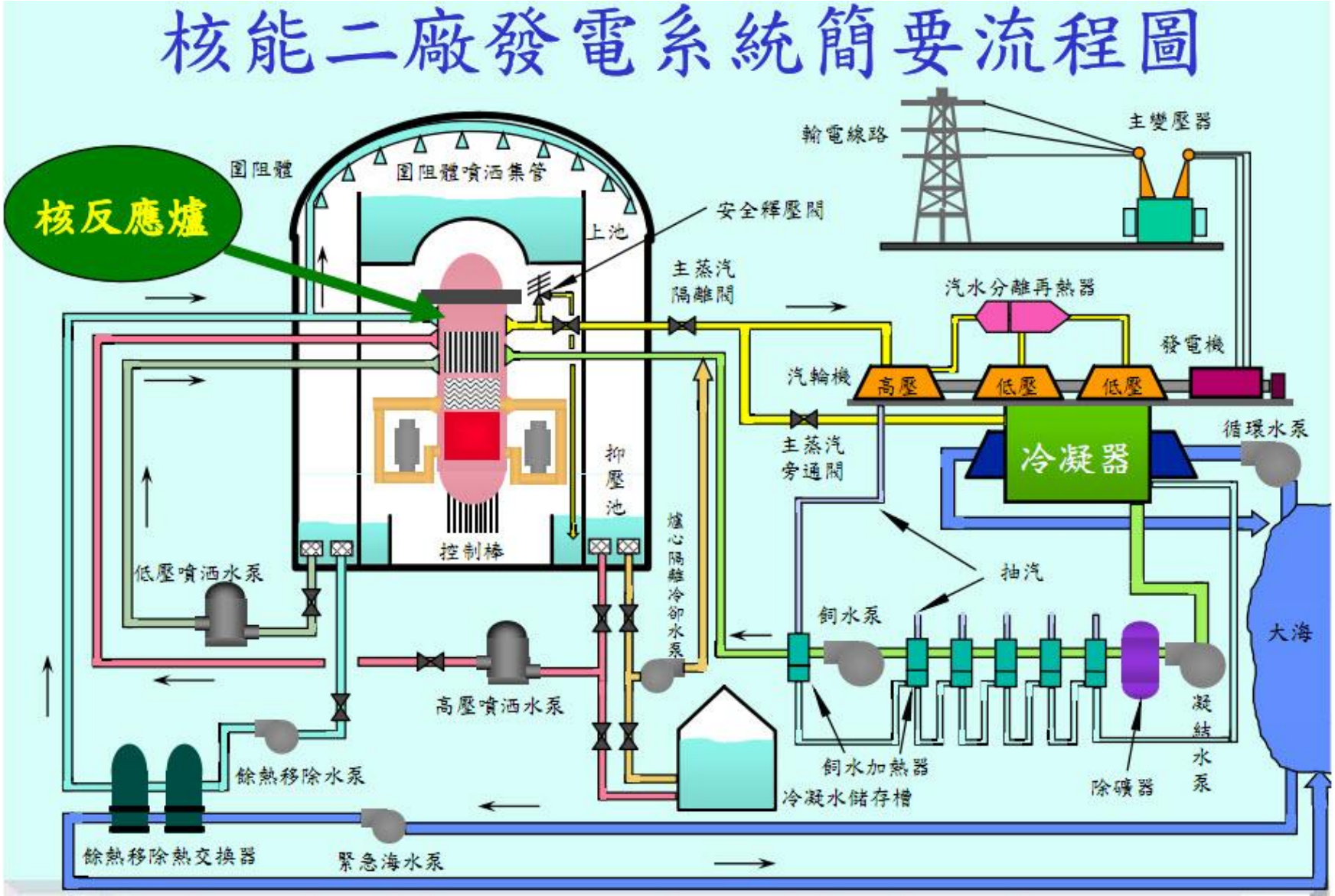


核二廠

- 第二核能發電廠廠房佈置採雙機式，控制室和廢料廠房以及部分系統結構為兩部機所共用，其他部份則各自獨立。各部機擁有一座產生蒸汽的沸水式反應爐，每小時能產生985磅壓力的飽和蒸汽1,245萬磅。
- 汽輪發電機組由美國西屋公司承造，汽輪機為三缸四流聯軸再熱式，有一部高壓汽輪機及兩部低壓汽輪機。發電機為氫冷式，額定發電量為985,333瓩。所發電力經由345KV超高壓輸電線分三路匯入系統。



核二廠


核能二廠發電系統簡要流程圖
核反應爐
圍阻體
圍阻體噴洒集管
上池
安全釋壓閥
主蒸汽
隔離閥
輸電線路
主變壓器
汽水分離再熱器
發電機
汽輪機
高壓
低壓
低壓
主蒸汽
旁通閥
冷凝器
循環水泵
抑
壓
池
控制棒
爐心隔離冷卻水泵
低壓噴洒水泵
抽汽
飼水泵
大海
高壓噴洒水泵
凝
結
水
泵
餘熱移除水泵
飼水加熱器
冷凝水儲存槽
除礦器
餘熱移除熱交換器
緊急海水泵

核三廠

- 廠址離恆春鎮直線距離約6公里，佔地約為354公頃，共裝置兩部容量各為951,000瓩之機組。分別於1984,1985年商業運轉。

核三廠

- 型式：輕水型壓水式
- 機組：兩部機
- 裝置容量：每部機951百萬瓦特(951千瓩)
- 建廠費用： 947億元
- 反應爐：美國西屋公司製／3迴路壓水式
- 汽輪發電機：美國奇異公司製／三缸再熱四流式汽機、氫氣內冷型發電機
- 低壓汽機轉子：瑞士ABB公司製

核三廠

- 核能發電產生的輻射廢料分為高放射性核廢料及低放射性廢料 ；
- 高放射性核廢料指的是用過的核燃料，目前都儲存在廠內的用過燃料水池中，其設計可容納電廠運轉四十年中發電所用的核燃料。
- 低放射性廢料大部分為經使用污染過的手套、輻射防護衣物等。
- 目前核三廠一年約產生400桶低放射性固體廢料，其中固化桶約34桶，其餘均為可再處理、壓縮減容，均可存於 廠內的廢料廠房。

核四廠

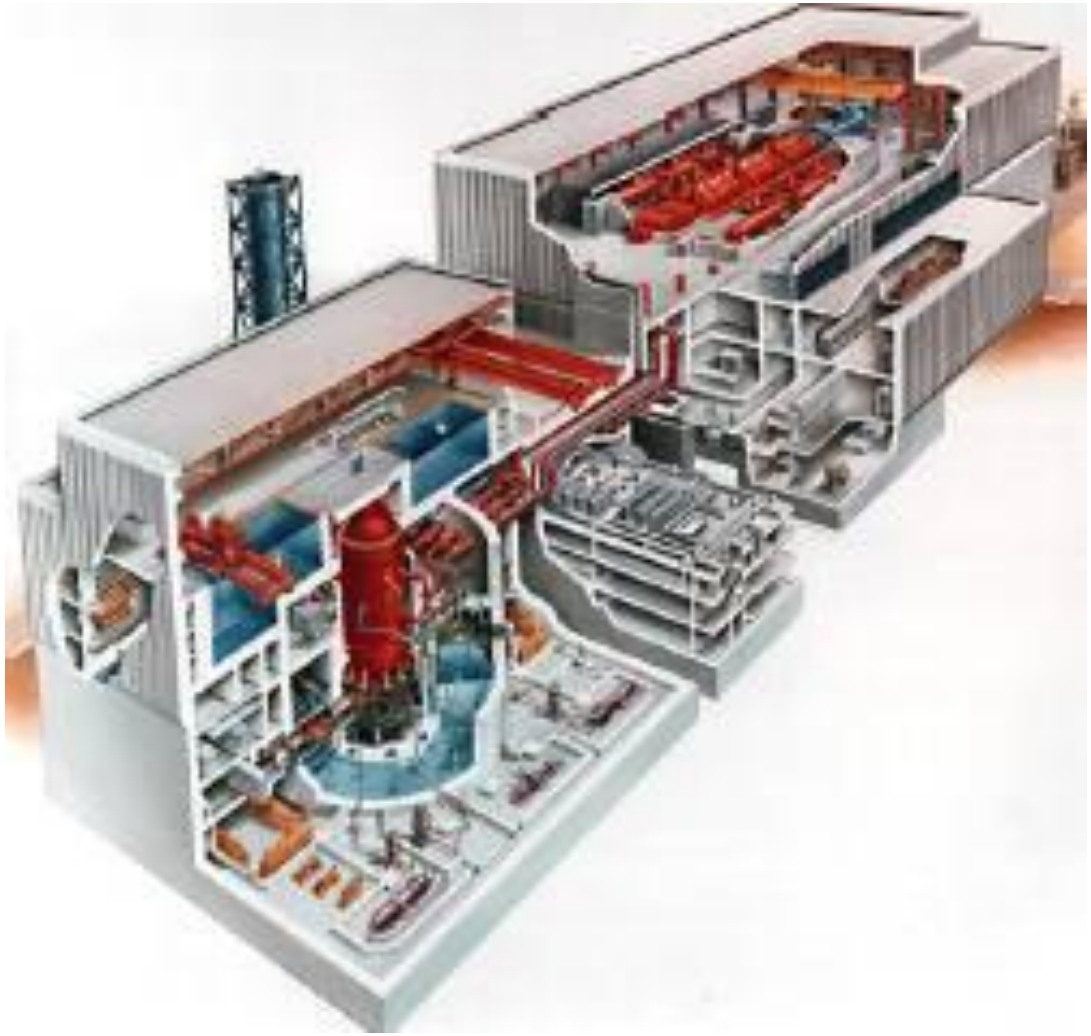
- 電廠位於台灣東北端，佔地約為480公頃，裝置兩部機組，容量各為1,350,000瓩。
- 投資總額調整2736億元。

核四廠

- 各部機擁有一座產生蒸汽的進步型沸水式反應爐，是奇異公司所設計發展的最新型沸水式反應爐，每小時能產生每平方吋1,040磅(720GPa)壓力的飽和蒸汽1,684萬磅(764萬公斤)。
- 汽輪發電機組由日本三菱重工所承造，汽輪機為四缸六排汽流串聯複合式，有一部高壓汽輪機及三部低壓汽輪機。發電機為氫冷式，發電量為1,350,000瓩。所發電力經由345,000伏特超高壓輸電線分二路送至台北及龍潭地區匯入系統。

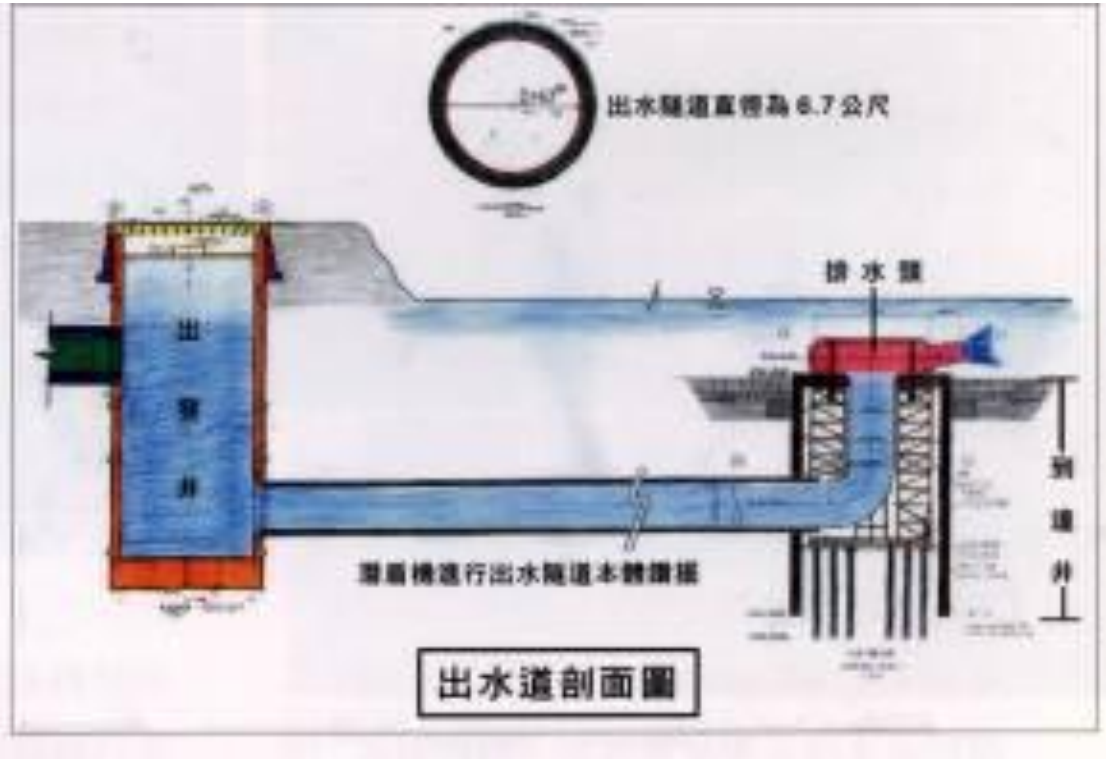
核四廠

- 蒸汽產生系統所在的反應器廠房，構築鋼筋混凝土之圍阻體以防止輻射線外洩，廠房其他部份凡屬可能發生輻射物外洩之處，也都有屏蔽牆的結構。



核四廠

- 冷卻水排放管路設計，係依照龍門廠建廠環境影響評估之承諾，採用潛盾工法，興建地下暗渠，將冷卻水引導至離岸約800公尺，水深約11公尺處排出，此即所謂『潛式排放』。



核四廠

核四廠

核四廠-主變壓器

核四廠-控制室

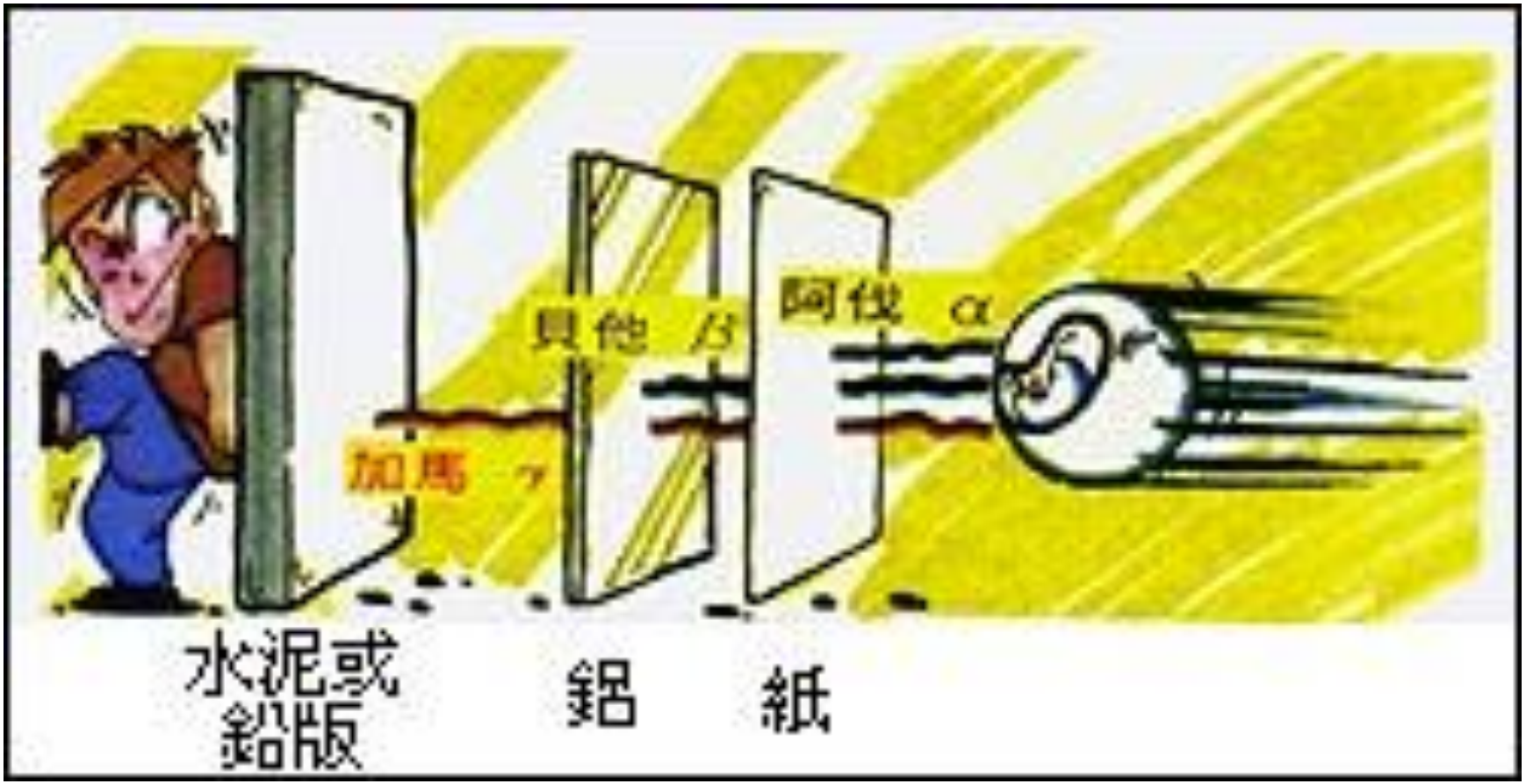
核四廠

我國各核能電廠概述

廠別	核能一廠	核能二廠	核能三廠	核能四廠
位置	台北縣石門鄉	台北縣萬里鄉	屏東縣恆春鎮	台北縣貢寮鄉
商業運轉日期	#1 67年12月	#1 70年12月	#1 73年7月	#1 101年?
	#2 68年 7月	#2 72年03月	#2 74年5月	#2 102年?
裝置容量	636MW*2	985MW*2	951MW*2	1375MW*2
反應器類型	輕水式反應器(沸水式)	輕水式反應器(沸水式)	輕水式反應器(壓水式)	輕水式反應器)沸水式)
經費	295億	630億	974億	2736億

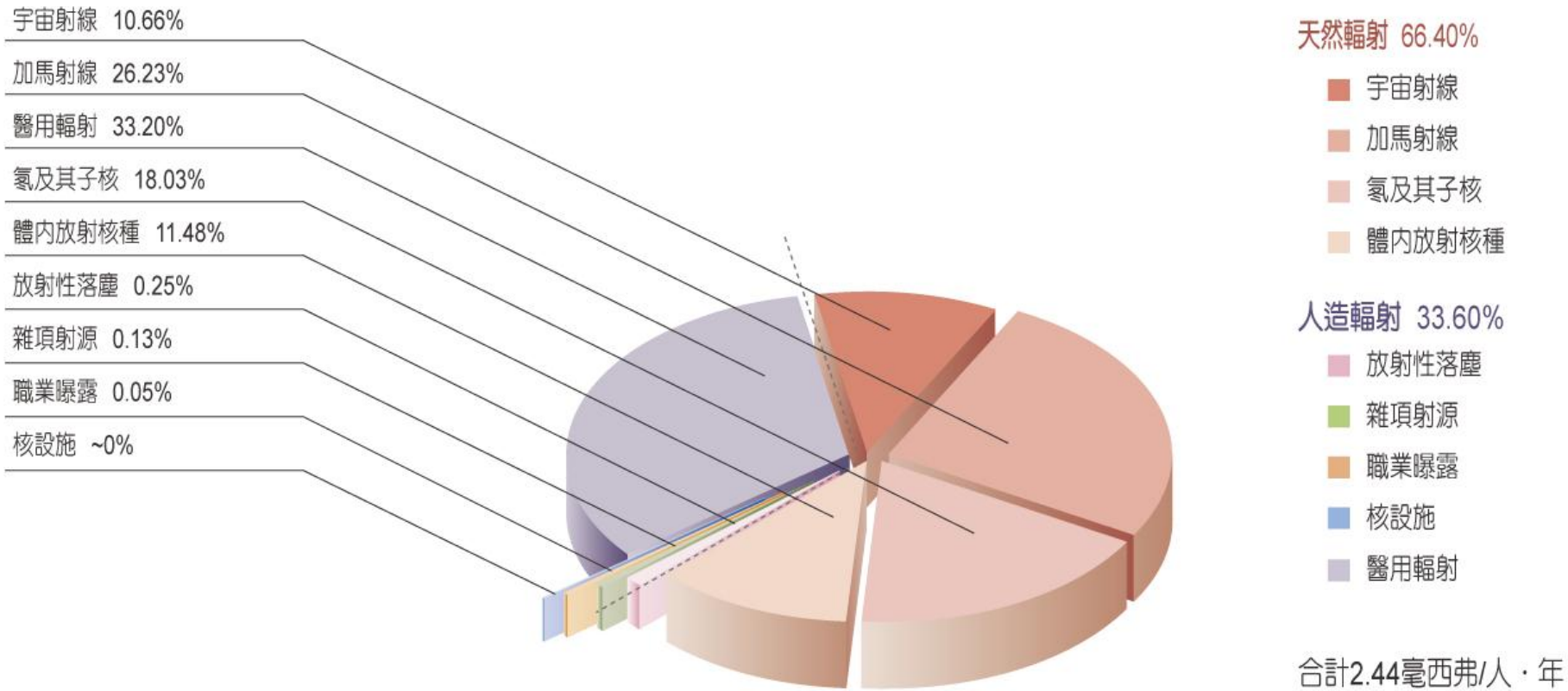
什麼是輻射

- 核反應進行時，也會產生輻射，一般伴隨的輻射有 α（氦原子核），β（電子），γ 射線（電磁波）以及中子。



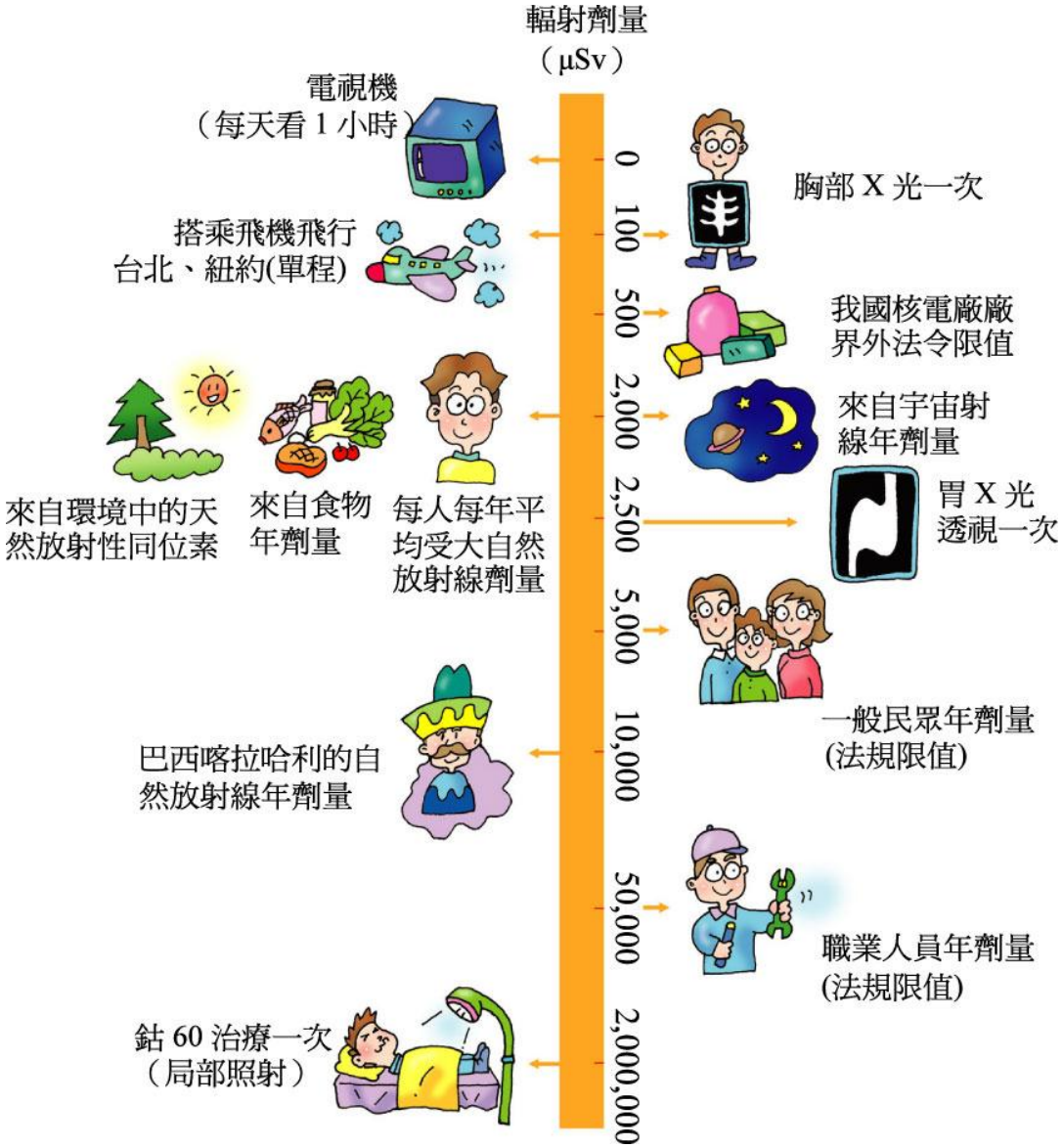
名　　稱	α-射線	β-射線	γ-射線
本　質	氦原子核	電子	電磁波
電　量	$+2e$	$-e$	不帶電
質　量	約 4amu 註	約 0.00055amu	無靜止質量
速　率	小於 $0.1C$	$0.4C \sim 0.6C$	C
游離氣體能力	最強	其次	最弱
穿透能力	最弱 （薄紙可擋住）	其次 （3毫米薄鋁片可擋住）	最強（1.2公分鉛板約可擋住$\frac{1}{2}$強度）
感光能力	最弱	其次	最強
在電場中的偏向	偏向負端	偏向正端	不偏向

台灣地區國民輻射劑量評估結果分布圖



- 度量人體所受輻射之影響以西弗為劑量單位，一般以毫西弗(千分之一西弗)表示，依輻射偵測中心資料顯示，臺灣的年平均天然輻射約為1-2毫西弗。

日常生活中的輻射劑量及來源



高放射生廢料

- 高放射性廢料係指發電過後的核燃料，由於這些用過核燃料中尚含９７％物質可回收再利用，法國等先進國家已設有用過核燃料再處理設備，使用多年，已處理很多用過核燃料，經回收之後的所剩的３％才是需要進一步處置的高放射性廢料。

用過核燃料之處理步驟包括

（１）冷卻

（２）中期乾式貯存（或再處理）

（３）最終處置等程序處理。 我國目前之高放射性核廢料，均貯存在各核能電廠內的用過核燃料池中，等待進行中期乾式貯存。

低放射性廢料

- 低放射性廢料係指使用放射性物質的場所，如醫院、工廠、研究單住及核能電廠運轉，所產生具有放射性污染的廢棄衣物、用品等乾性廢料及放射性廢液處理過程中產生的廢樹脂以及蒸器與過濾器的殘渣等濕性廢料
- 在台灣目前約有５～１０％的低階放射性廢料並非來自核能電核廠

放射性廢料核廢料

1. 會釋放出較背景輻射為高的輻射。最終處置場場址的選擇，成為政治議題。
2. 以台灣3座核電廠，6個機組，總發電容量5144百萬瓦估計，每年用過燃料約 有150噸，而低中強度核廢料約有 1 萬5千桶產生。
3. 以每個電廠的30年壽命估計，總計屆時所有核電廠皆停止運轉時，台灣將有4千5百噸用過燃料，45萬桶低中強度核廢料。加上除役所產生的廢料，其數量據估計約等於運轉30 年所產生的數量。總計將有用過燃料約9千噸，低中強度核廢料也高達90萬桶。

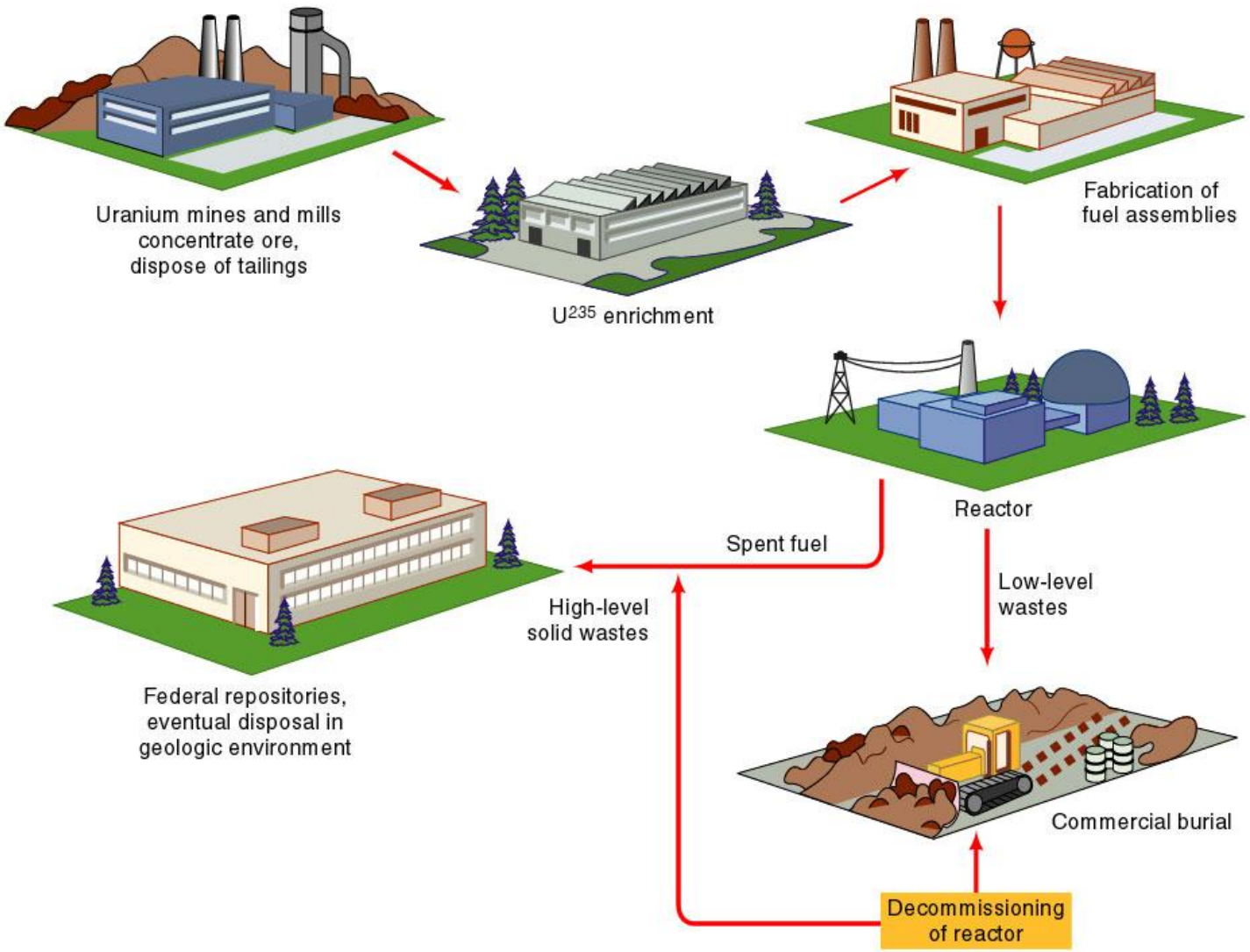
核廢料的處理

1. 將用過燃料貯存於核電廠地下貯池，低中強度核廢料亦暫時貯存於蘭嶼及現有三個核電廠廠區內的臨時倉庫。

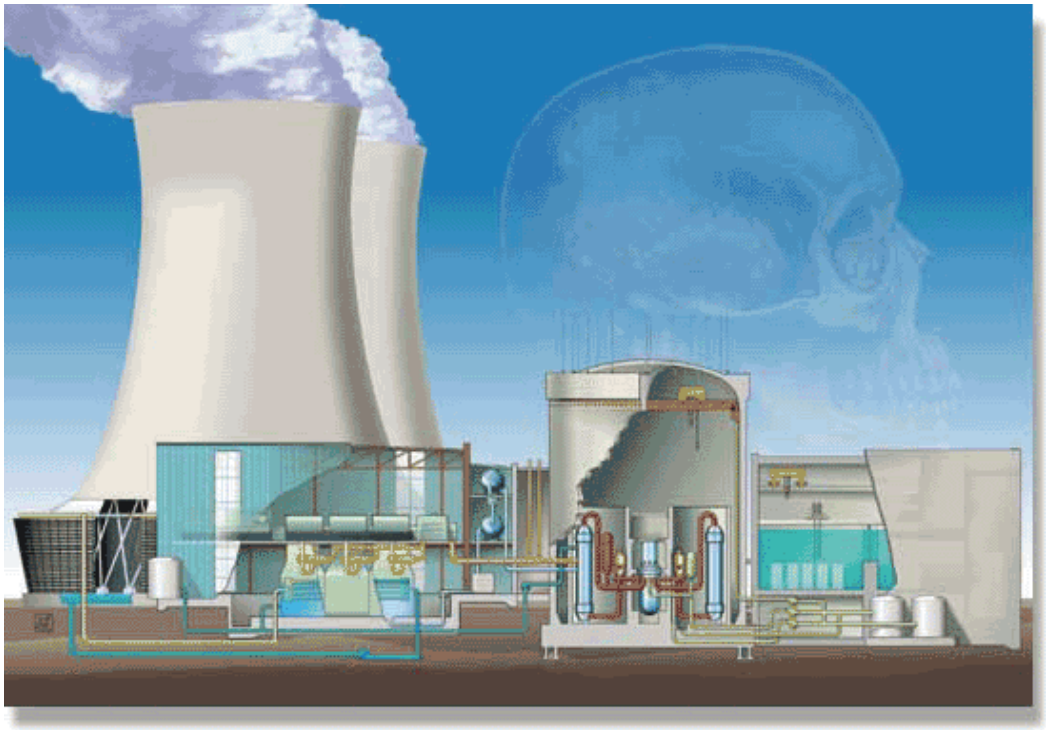
（核二廠臨時倉庫預計放 4 萬桶）。

2. 核廢料年年增加，將對暫時貯存之空間造成壓力，並逼使台電尋求最終處置的辦法。

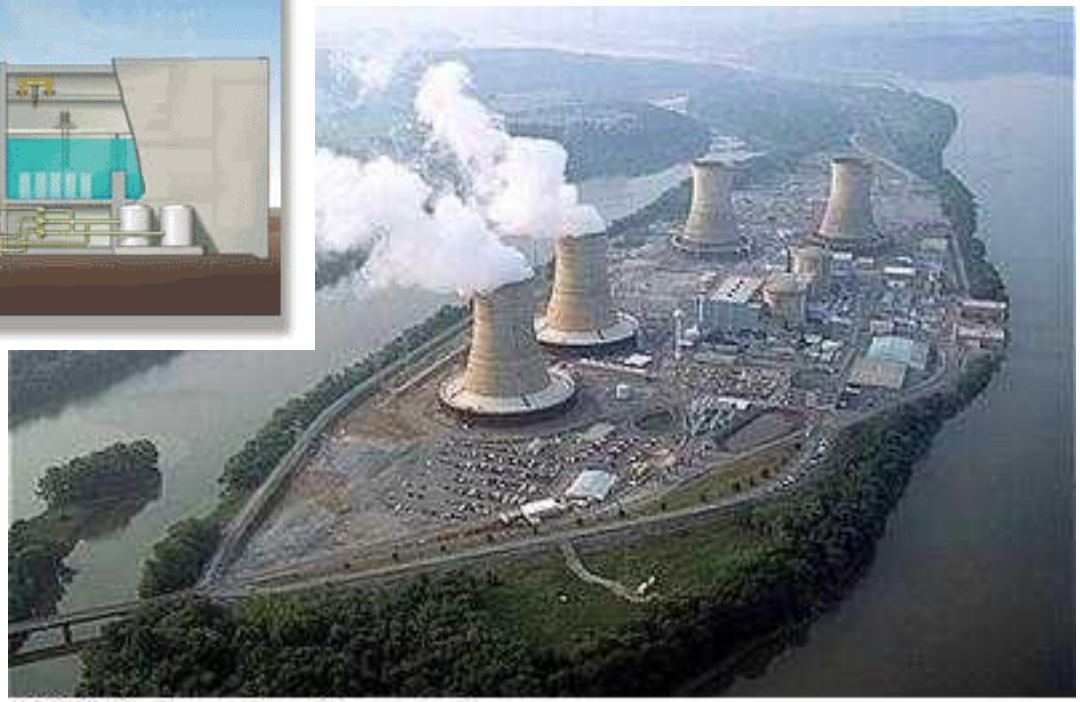
核能與環境：核燃料週期


Uranium mines and mills
concentrate ore,
dispose of tailings
U235 enrichment
Fabrication of
fuel assemblies
Reactor
Spent fuel
Low-level
wastes
High-level
solid wastes
Federal repositories,
eventual disposal in
geologic environment
Commercial burial
Decommissioning
of reactor

核電廠意外：三哩島事件



- 美國賓夕凡尼亞州的三哩島核能電廠



© 1997 The Learning Company, Inc.

三哩島事件紀要

- 1979年3月28日凌晨四時，美國賓夕凡尼亞州的三哩島核能電廠二號機發生跳機。早晨7時，圍阻體內的放射性強度已較正常時的讀數高出數倍。大都會愛迪生電力公司於是宣佈電廠進入所謂的「廠址緊急狀態」由於狀況的持續惡化，電廠於7時30分宣佈進入「全面緊急狀態」。
- 8時15分美國核管會自附近城市派遣數架直昇機到電廠做環境偵測。結果顯示三哩島電廠上空的輻射劑量強度為每小時0.20 ~ 0.30毫西弗。
- 在離電廠2 ~ 3英哩處的空中輻射劑量強度則為每小時0.05 ~ 0.07毫西弗，這一訊息透露出三哩島核能電廠發生了非常嚴重的意外。

三哩島事件紀要（續）

- 3月29日美國核管會宣佈，三哩島事故為美國商用反應器運轉以來所發生的最嚴重事故。電力公司也透露部份燃料棒有可能已經受損的訊息。根據他們的估計，受損燃料棒的比例約為1%。
- 3月30日美國核管會估計，受損燃料棒比例已達60%。電力公司也首次承認反應器爐心尚無法適當的冷卻。
- 3月30日，電廠周圍3英哩半徑範圍內的輻射劑量強度為每小時0.25毫西弗。賓州州長下令將電廠周圍5英哩範圍內的學齡前兒童及孕婦撤離，並通知電廠附近四個鎮的90萬居民準備疏散。特別行動小組派遣核管會的哈諾德．鄧肯赴三哩島電廠，全權處理事故。電廠的混亂情況獲得改善。工程師和專家們逐漸將反應器冷卻，成功的遏止了事故的惡化。
- 4月1日，卡特總統親赴三哩島電廠巡視，以具體行動向民眾宣示三哩島事故的威脅已告解除。

三哩島事件紀要（續）

- 讓核能界感到慶幸的是，深度防禦概念中，作為最後一道防線的圍阻體的確可以發揮功能，將爐心熔毀後所釋出的放射性物質包封住，不讓它排到外界環境中，造成環境的衝擊和民眾的輻射傷害。有人將三哩島事件的發生，怪罪於運轉人員的失誤。要是運轉人員沒有錯誤的將高壓注水系統關閉的話，整個事件也不會惡化。
- 該事件使得核能界了解到：運轉人員的臨場應變對核能電廠安全的重要性，電廠控制室的人機介面也需要適當的改善，以及電力公司間運轉經驗相互交流的必要性。
- 基本上，三哩島事件是多重安全系統同時喪失功能所造成。理論上來說，這些組件絕非百分之百的可靠，亦即每個組件仍有壞的可能性；換句話說，雖說是微乎其微，但多個重要組件還是有可能同時發生故障或損壞。

車諾比爾核電廠災變始末

- 車諾比核電廠位於前蘇聯烏克蘭共和國百都基補西北方約 60 哩處普里比亞特河(Pripyat River)左岸約 300 公尺邊 。
- 車諾比電廠在當時有四座RBMK1000（沸水式）核能反應爐，每座之發電容量為100萬千瓦，另有兩座在興建中。RBMK反應爐是沸水式水冷卻石墨緩衝的高功率反應爐，水與鈾燃料棒接觸而被加熱沸騰，所產生的水蒸汽則帶動兩座50萬千瓦的渦輪機以產生電力。
- 燃料棒放置在石墨緩衝劑中，石墨的作用是使中子減速和維持連鎖反應，控制棒則用來控制反應爐產生的功率．
- 1986年4月26日凌晨，蘇聯車諾比爾，核能電廠的4號反應器發生水蒸氣及氫氣爆炸。爆炸後引起反應器內石墨的燃燒，造成大量的放射性物質外釋。蘇聯政府迅速的疏散了車諾比爾區域的5萬居民，但是並未將電廠發生災變的新聞對外發佈。
- 4月28日清晨，瑞典福斯馬克核能電廠偵測到電廠工作人員受到輻射污染。研判可能是蘇聯的車諾比爾核能電廠發生意外。
- 28日晚上9時，莫斯科電視新聞報導中，簡短提到位於車諾比爾電廠的反應器在意外中受損。
- 29日早晨，蘇聯的駐外人員向瑞典及西德政府詢問撲滅石墨火災的方法。

車諾比爾核電廠災變始末

- 美國雷根政府主動表示可以提供任何必要的援助，協助控制事故的惡化，但是蘇聯拒絕接受。
- 4月29日凌晨，美國衛星照片顯示反應器屋頂已經不見，且反應器內石墨殘餘物仍在冒煙，但廠區其它三部機組仍完好。
- 4月30日，蘇聯表示電廠的輻射外釋狀況在持續改善中，水源並未遭到污染，同時以照片顯示廠區的石墨燃燒已經撲滅。
- 5月1日，美國衛星照片證實石墨燃燒已經停止。
- 據到蘇聯協助醫療傷患的美國骨髓移植專家所提供的資料顯示，總共有299人住院接受治療，這些人大部份為電廠工作人員及救火隊員，到5月3日為止，有11人死亡。
- 1986年8月，蘇聯政府在維也納的國際原子能總署五天會議中對車諾比爾災變的前因後果作了毫不保留的交代。

車諾比爾核電廠災變後

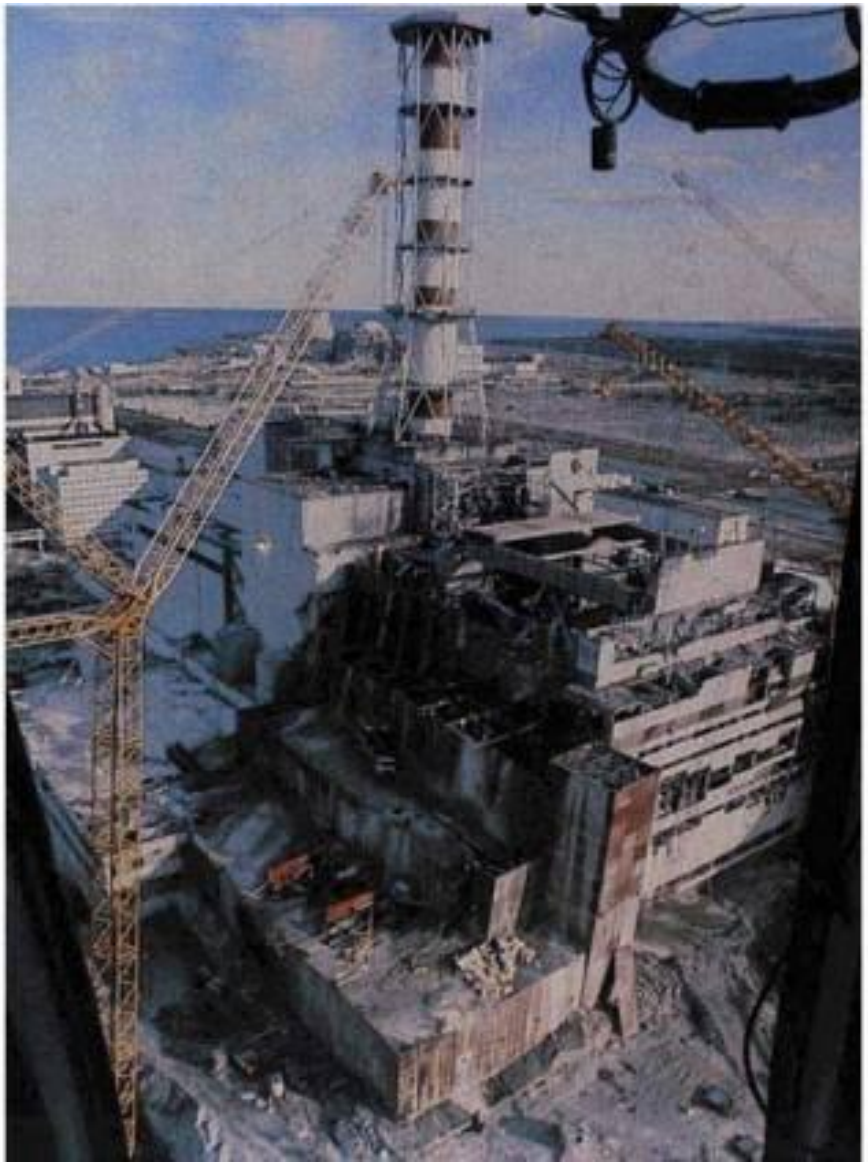
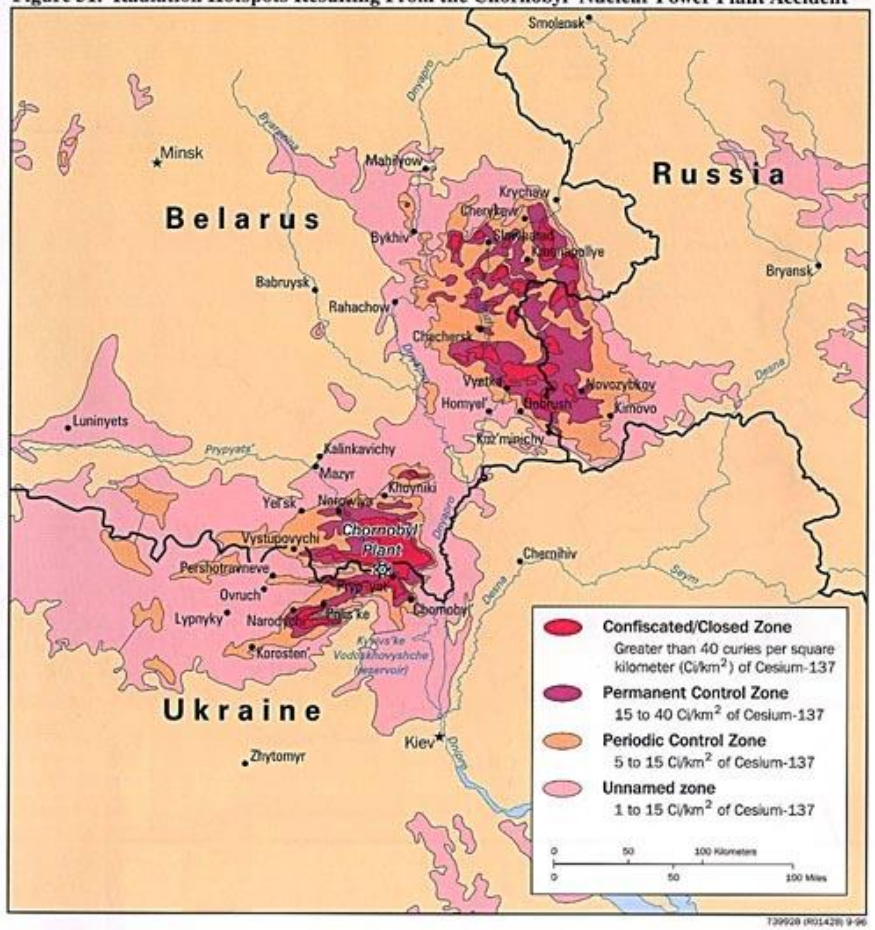


Figure 31. Radiation Hotspots Resulting From the Chornobyl' Nuclear Power Plant Accident



車諾比爾災變發生原因探討

- 追根究底，車諾比爾災變之所以會發生的最根本原因是反應器設計錯誤。
- 該型反應器的功率反應度回饋系數在低功率時為正值會產生極度的不穩定的狀況。
- 車諾比爾災變的發生是運轉人員為了在既定時程內完成實驗，完全不管運轉規範的安全限制，強行在低功率下運轉反應器，並且大量抽出控制棒，使得功率反應度的正回饋現象更為嚴重。
- 車諾比爾災變之後，對反應器基本設計有所了解的核能專家，根據專業知識研判，一致認為類似車諾比爾的事故不可能發生在輕水式反應器上。

日本福島核災始末

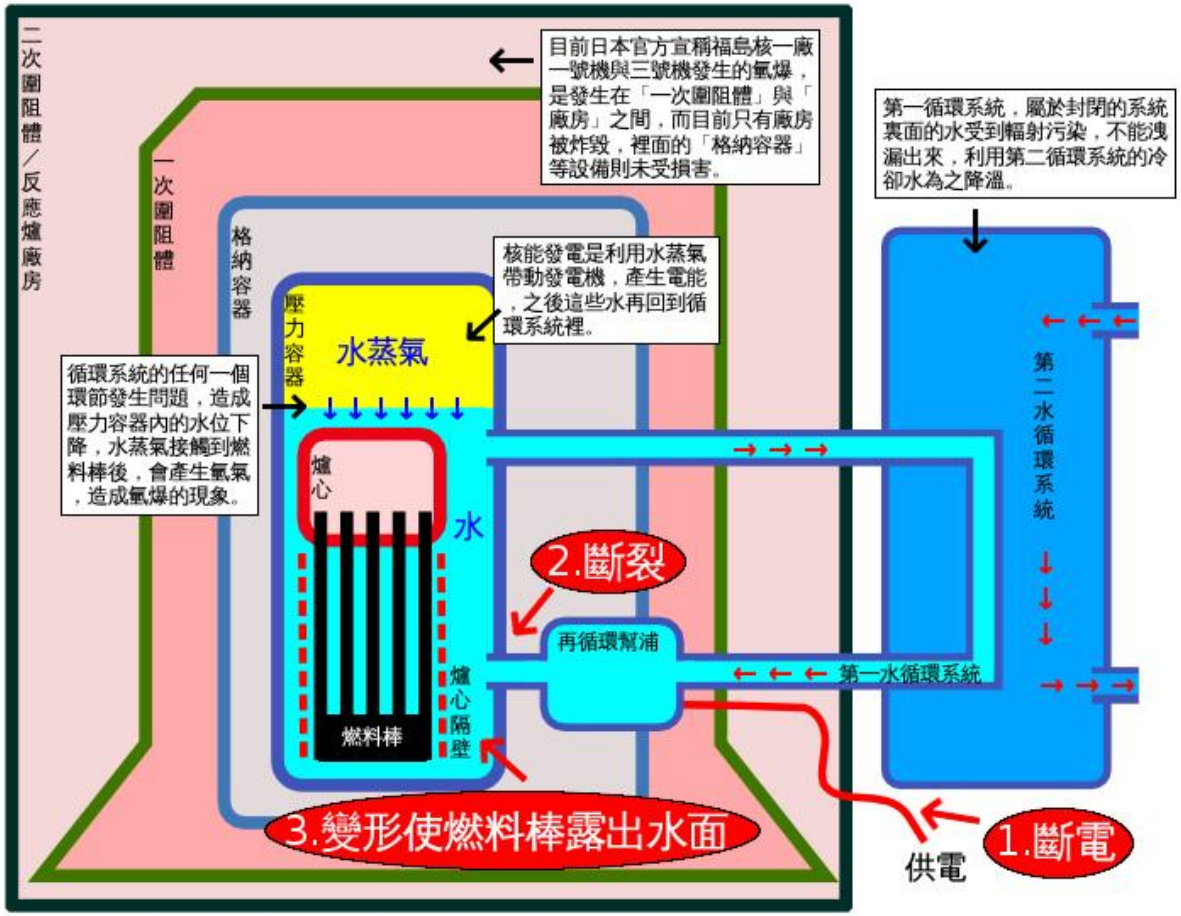
- 核電廠遭受九級強震
- 電廠自動關機，停止發電
- 輸電系統受損，外來供電切斷
- 緊急發電機啟動，冷卻系統繼續運作
- 約－小時後大海嘯來襲，沖毀緊急發電系統
- 冷卻系統停止運作，原子爐餘熱持續發出
- 爐內溫度超熱，部份爐心熔毀,導致產生氫氣
- 氫氣進入第二圍阻体，進而發生爆炸
- 第二圍阻体炸破，得能噴入海水以助冷卻，效果有限
- 爐溫繼續升高，輻射物外洩一直增加，變成七級災情，20 km 半徑內居民強迫撤離
- 直到外來供電接線成功，先後冷卻系統重開始運作，情勢才漸趨穩定

日本福島核電廠

- 日本福島第一核電站外景，從左至右依次為4號、3號、2號和1號機組。

- 2011.3.14日本福島第一核電站3號機組11時01分發生氫氣爆炸

- 第一水循環系統，吸收爐心核分裂產生的高熱，產生高溫高壓水，之後再透過第二水循環系統，產生水蒸氣供發電用。
- 一旦燃料棒外露在冷卻水面上，與水蒸氣接觸，就會產生氫氣、引起氫爆
-



核能作為替代性能源

- 核能發電成本穩定，沒有石化能源發電所產生的二氧化碳、酸雨等環保問題。
- 面對京都會議二氧化碳減量及化石能源即將用盡，使世界上先進國家選擇核能為其發電能源之一。
- 台灣為能源高度倚賴進口國家，為分散能源使用及考慮成本、環保等因素，政府亦選擇核能為目前的發電能源之一。
- 核一、核二、核三、核四（？）

核能的優點

1. 減少依賴化石燃料
2. 生產巨大能量
3. 祇需小量原料
4. 鈾礦蘊藏量足夠長期使用
5. 運作成本較低（約為火力發電三分之一）
6. 生產電力時不會造成空氣污染

核能的缺點

1. 發電廠建造費高昂
2. 核能發電技術相當複雜
3. 所需原料為輻射性
4. 核發電廠意外頻生
5. 泄漏輻射影響嚴重
6. 核廢料處理困難

核能發電的必要性

- 法國有79%的電力靠核能發電；
- 比利時有60%；
- 瑞典有42%；
- 瑞士有39%；
- 西班牙有37%；
- 日本有34%；
- 英國有21%；
- 美國（世界最大核能生產國）有20%，
- 南韓和中國大陸則宣稱將擴充其核能生產力，其中南韓欲建立16家新電廠，產量至少可以提高一倍。
- 世界上有434座核子反應器，核能提供了超過一億人口每年對電力的需求。

核能發電與原子彈完全不同

1. 核能發電藉著控制棒來控制能量釋放的速率，使能量慢慢釋放出來；而原子彈要的就是不受任何控制的瞬間爆炸。
2. 核能發電用的是3-5%濃度的核燃料，與原子彈使用濃度90%的鈾235，後果當然不同！

贊成使用核能的觀點

- 不會釋放 CO_2所以沒有全球增溫的問題。
- 不會造成空氣污染，也不會產生硫化物、硝酸等，所以不會產生酸雨。
- 假如核反應爐是設計為商業用途，則可用的核燃料將可大幅增加。
- 1980年之後，美國即停止建立核電廠，但2001年加州能源危機之後，美國重新評估。布希贊成繼續使用核能。

反對使用核能的觀點

- 安全問題（輻射污染）！
- 核能作為替代性能源，其所產生的電量（美國：20%；台灣：10%）可以被其它能源所取代。
- 德國有 33% 能源依賴核能，但在2011年5月宣布在2022年之前關閉所有核電廠。
- 瑞士政府25日決定逐步關閉國內現有的核能發電廠，瑞士是繼德國之後第二個放棄核電的歐洲國家。

~ END ~