



核能後端營運簡介

Introduction of Nuclear Backend Management

簡報人：郭振基

簡報日期:115.1.26





01

什麼是
核能後端營運

核能發電發展歷程

第一階段：理論奠基與技術萌芽（19世紀末 - 1950年代）

第二階段：示範與商業化推廣（1950年代 - 1970年代末）

第三階段：停滯與反思（1980年代 - 2000年代初）

第四階段：爭議中復甦與新技術探索（21世紀至今）

第一階段：理論奠基與技術萌芽（19世紀末 - 1950年代）

1896年：貝克勒爾發現放射性。

1905年：愛因斯坦提出質能守恆公式 $E=mc^2$ 。

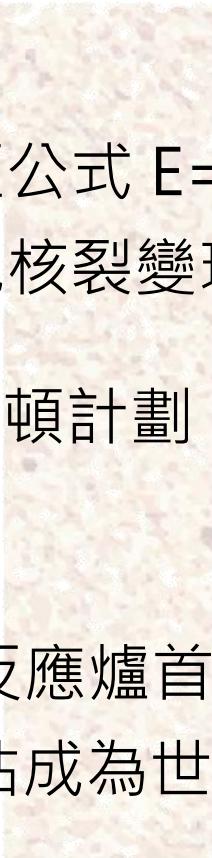
1938年：哈恩、斯特拉斯曼發現核裂變現象。

時代背景：二次世界大戰，曼哈頓計劃（軍事用途為主）

里程碑事件：

1951年：美國 EBR-I 實驗增殖反應爐首次利用核能發電。

1954年：蘇聯奧布寧斯克核電站成為世界首座向電網供電的核電站。



第二階段：示範與商業化推廣（1950年代 - 1970年代末）

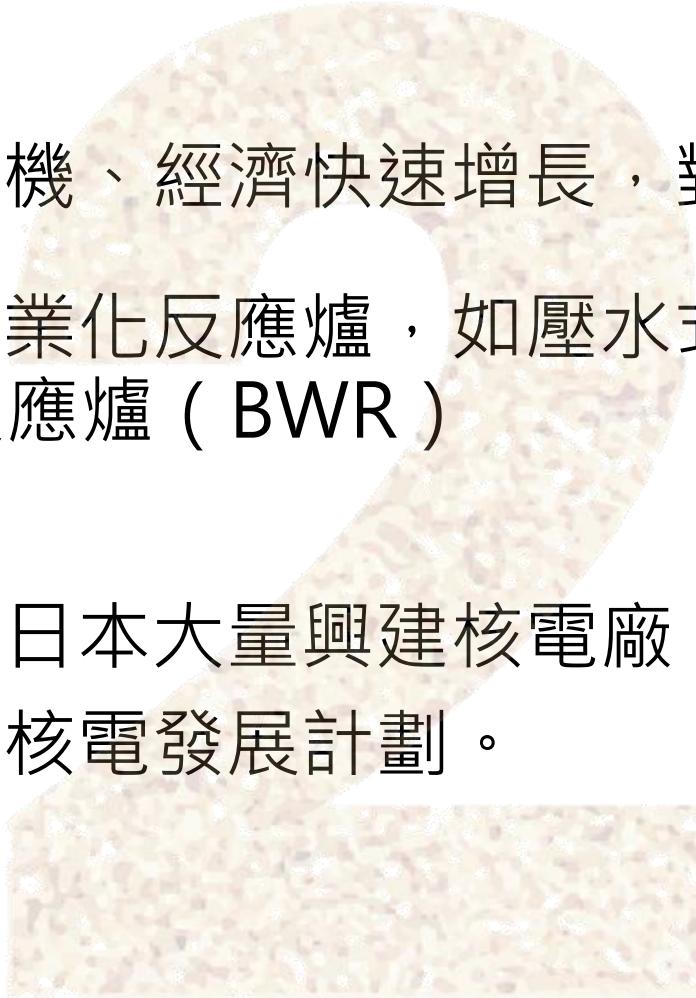
時代背景：石油危機、經濟快速增長，對能源需求迫切。

技術主流：早期商業化反應爐，如壓水式反應爐（PWR）和沸水式反應爐（BWR）

快速發展：

美國、蘇聯、西歐、日本大量興建核電廠。

各國提出雄心勃勃的核電發展計劃。



第三階段：停滯與反思（1980年代 - 2000年代初）

轉折點：重大核事故

1979年：美國三哩島事故（爐心熔毀，打擊公眾信心）。

1986年：蘇聯車諾比事故（最嚴重的核事故，全球震驚）。

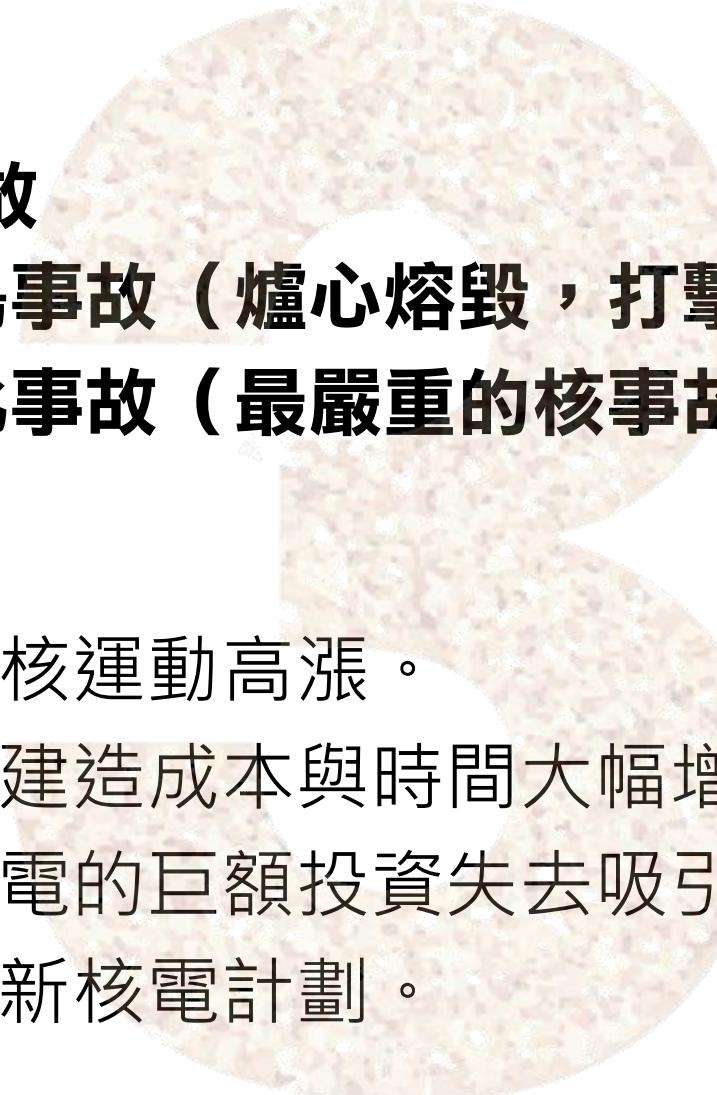
影響：

公眾接受度驟降，反核運動高漲。

安全法規趨嚴，導致建造成本與時間大幅增加。

電力市場自由化，核電的巨額投資失去吸引力。

許多國家暫停或取消新核電計劃。



第四階段：爭議中復甦與新技術探索（21世紀至今）

復甦驅動力

氣候變遷：核能作為低碳能源的價值被重新審視。

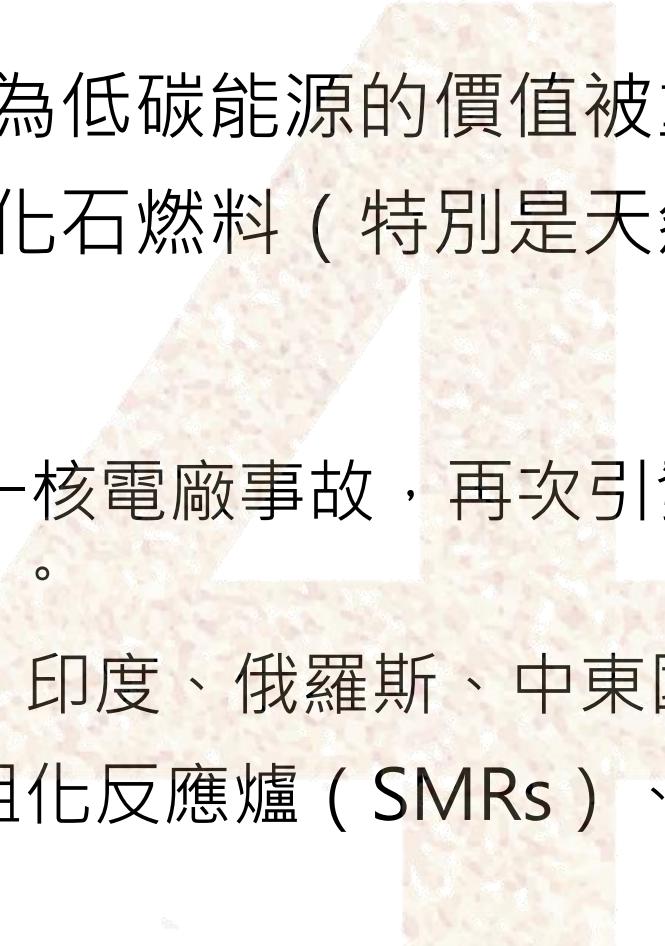
能源安全：減少對化石燃料（特別是天然氣）的依賴。

新挑戰：

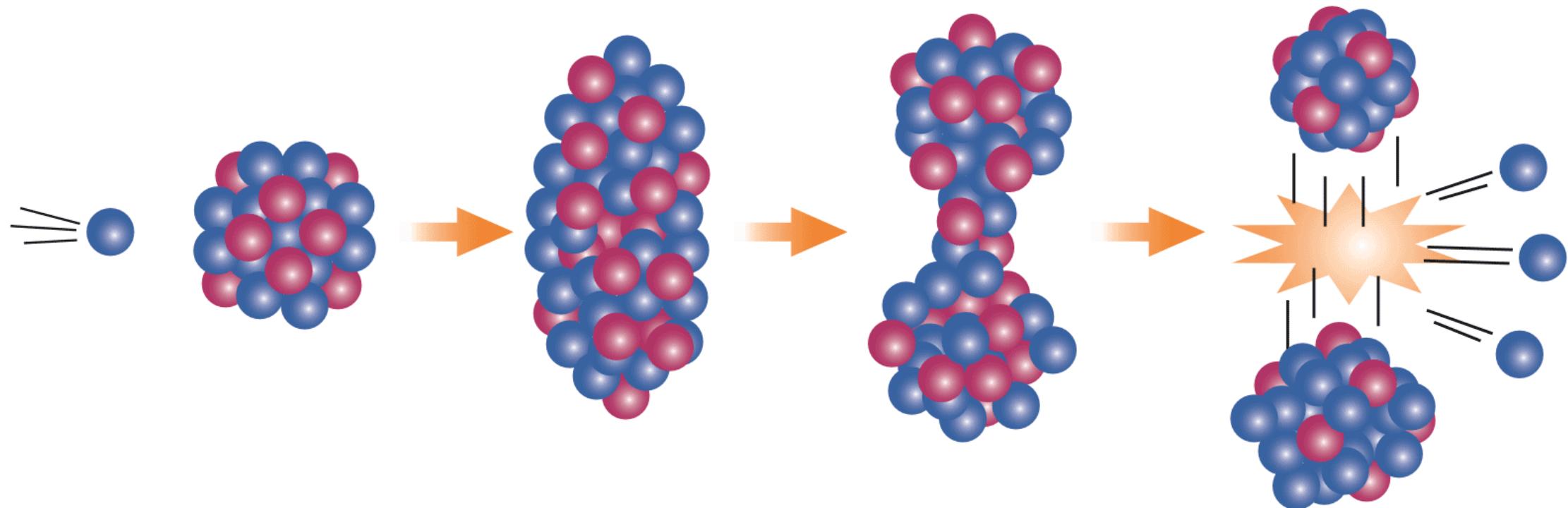
2011年：日本福島第一核電廠事故，再次引發全球對核安全的擔憂，德國等國宣布「廢核」。

新興國家推動：中國、印度、俄羅斯、中東國家成為新建核電廠的主力。

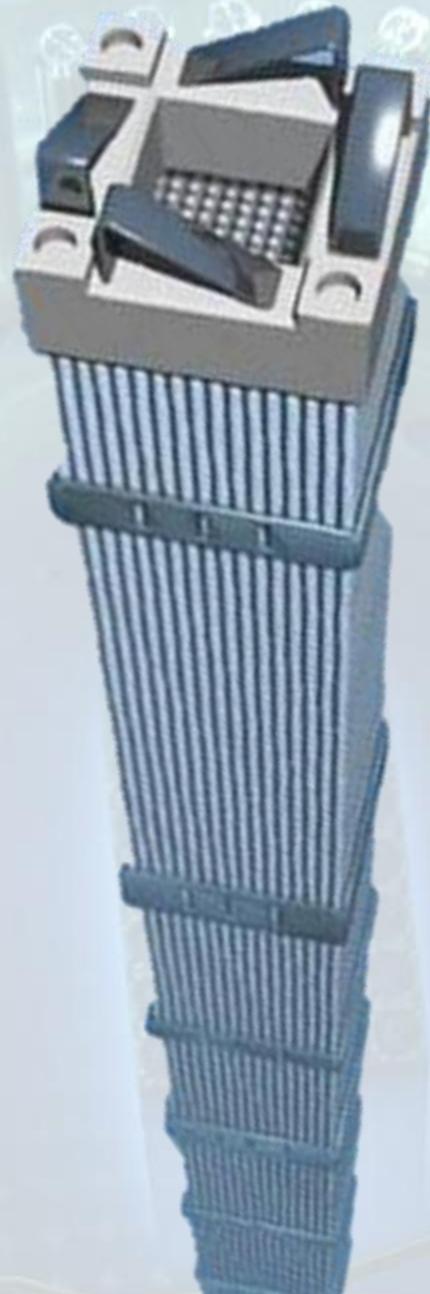
技術多元化：小型模組化反應爐（SMRs）、第四代反應爐等新概念興起。



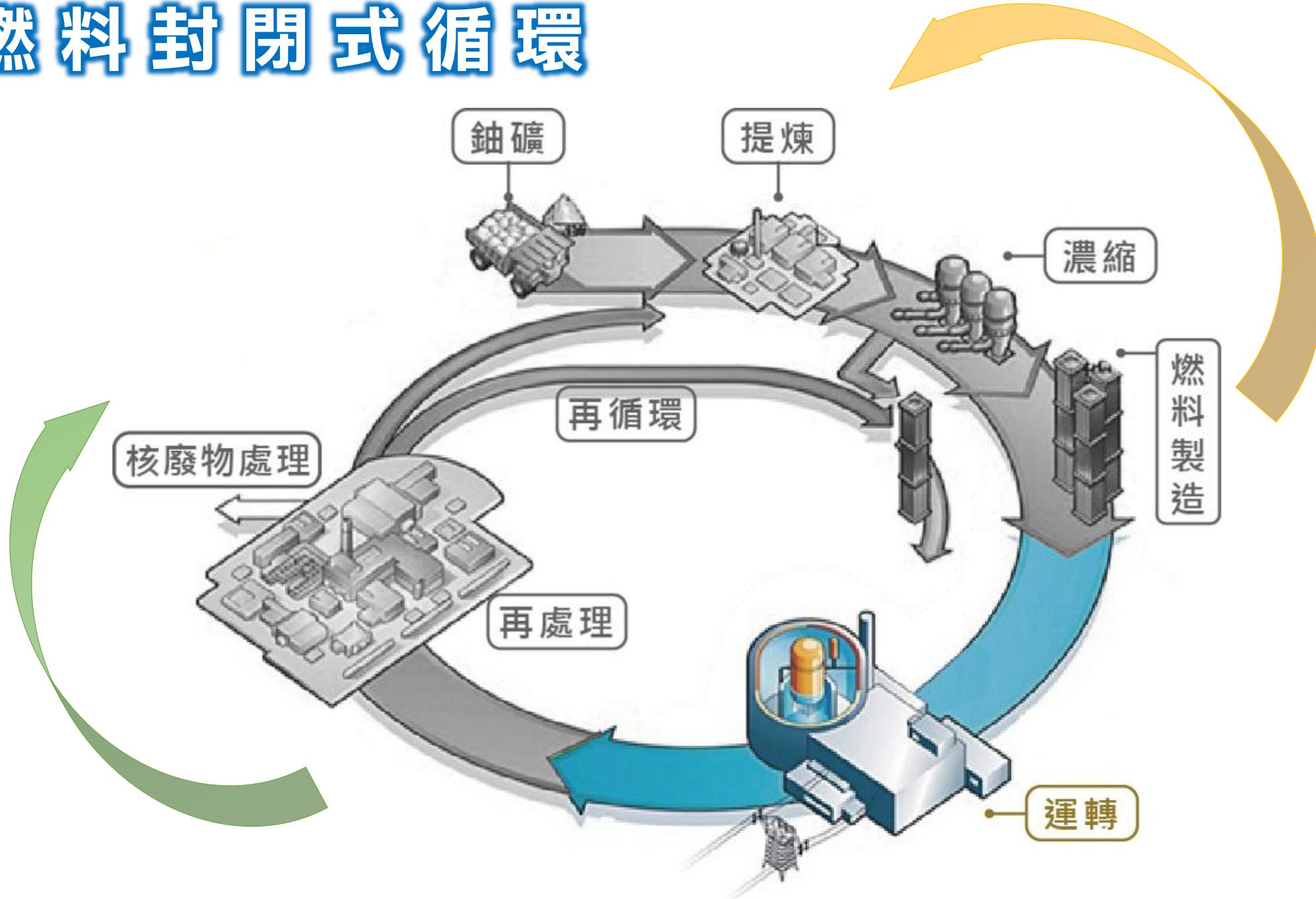
核能發電核心原理 - 核分裂反應



主角上場



核燃料封閉式循環



鈾 矿 開 採

鈾礦露天開採-
非洲納米比亞湖山鈾礦場露天礦坑



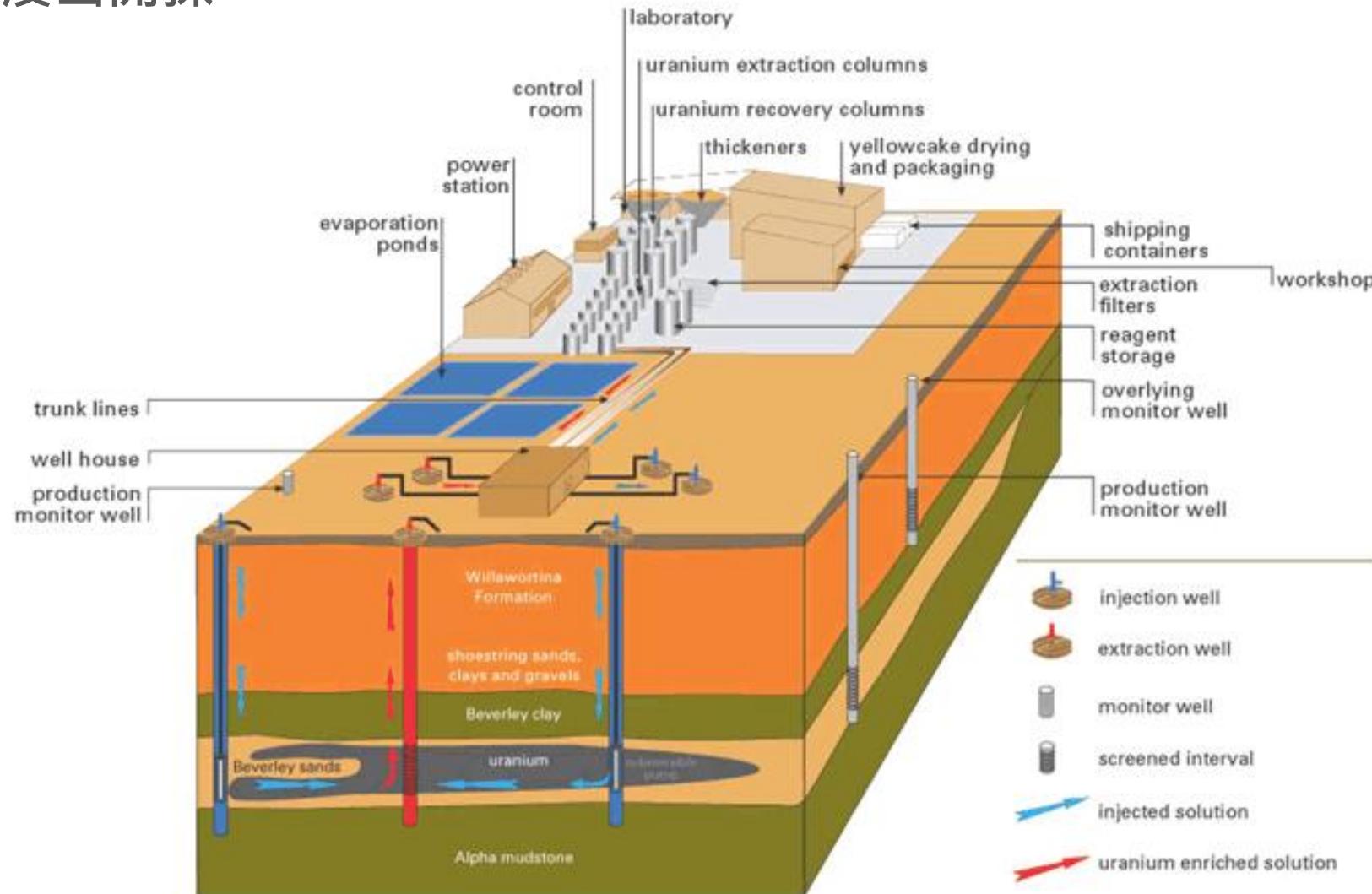
鈾礦開採

鈾礦露天開採-
非洲納米比亞湖山鈾礦場



鈾礦開採

鈾礦原地浸出開採



鈾 矿 開 採

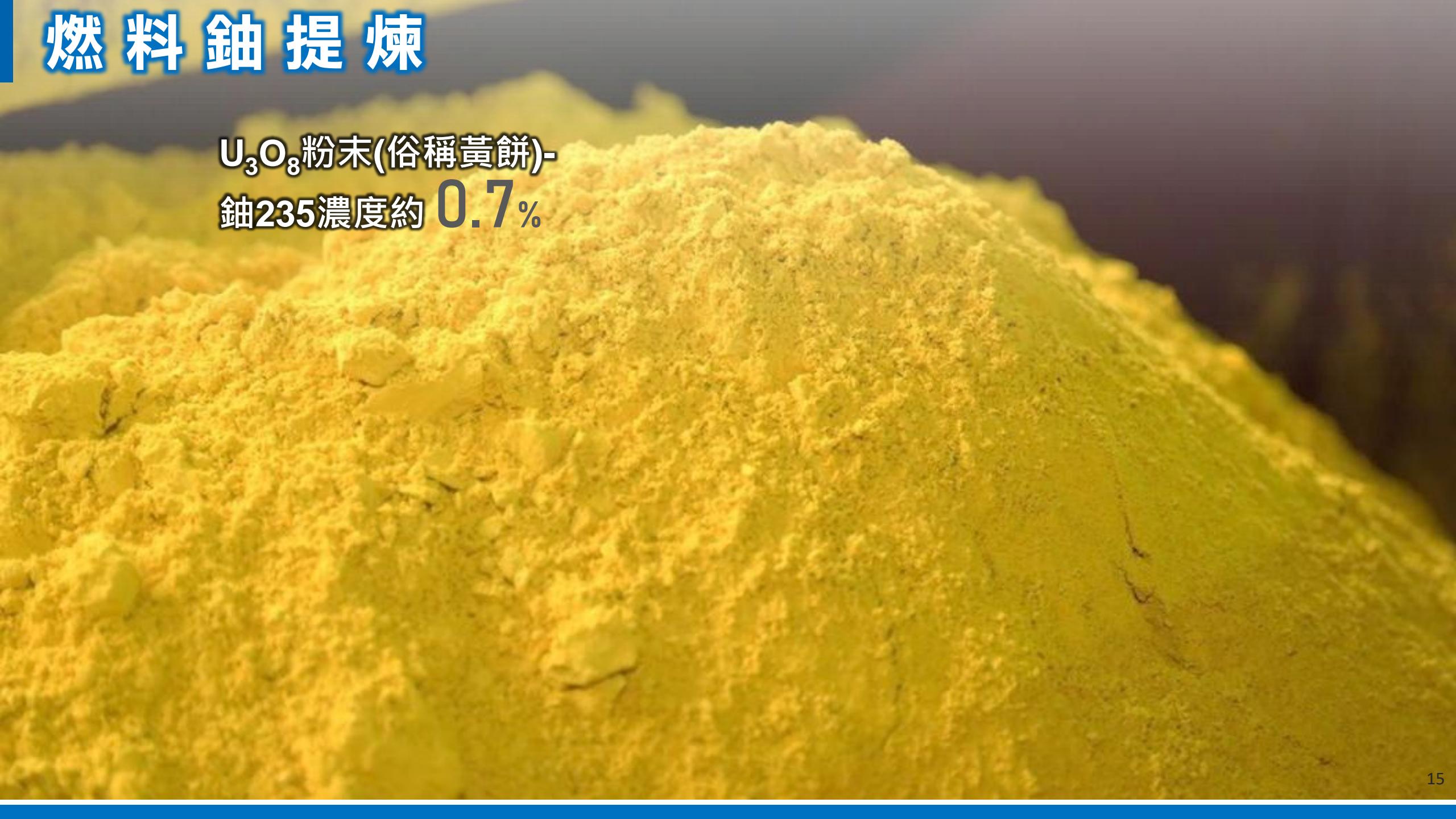


澳洲
Honeymoon Project

燃 料 鈾 提 炼

U_3O_8 粉末(俗稱黃餅)-

鈾235濃度約 0.7 %



燃料鈾濃縮

鈾離心機濃縮-
轉化成氣態六氟化鈾



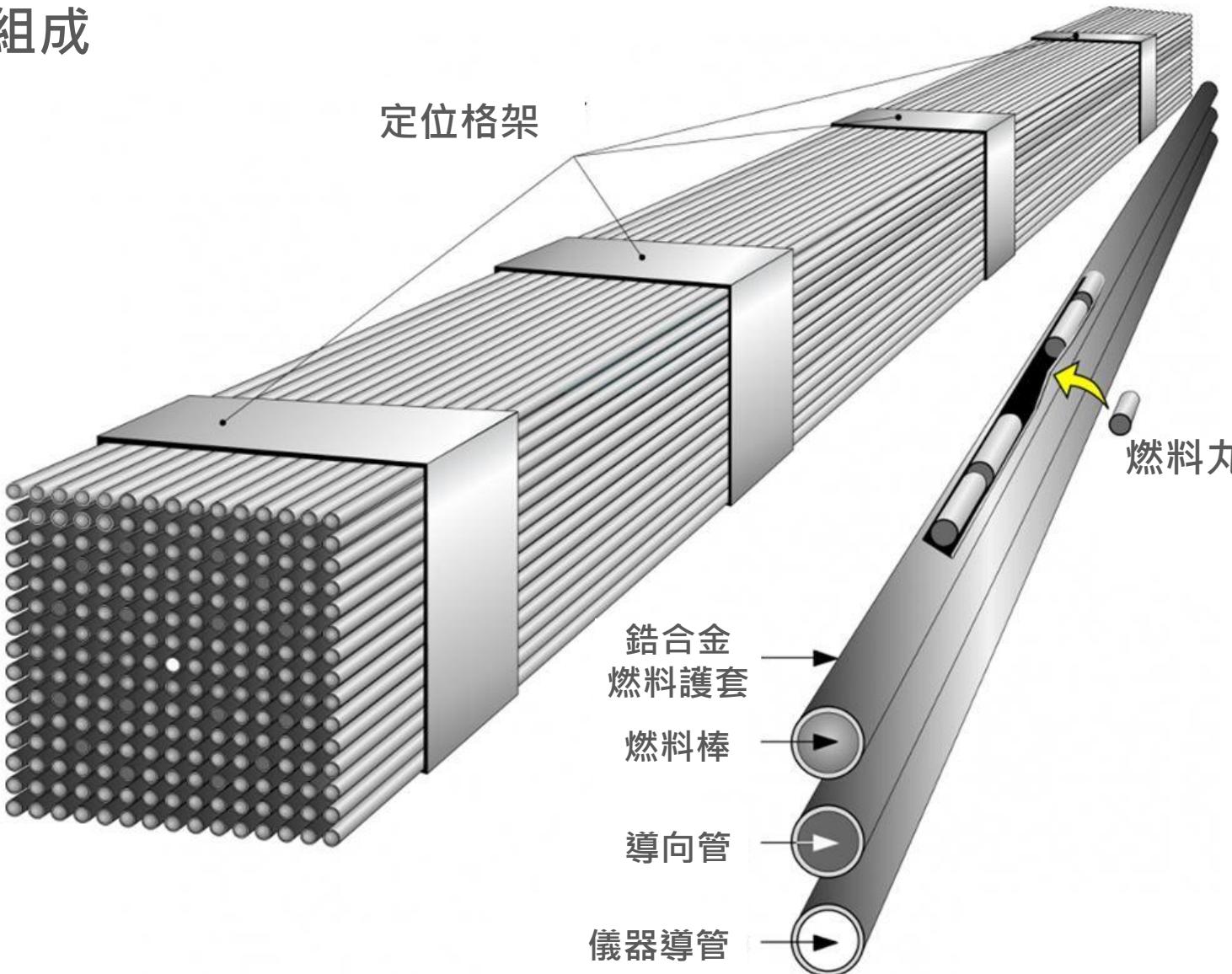
核燃料製造

核燃料丸-
鈾235濃度約3~5%



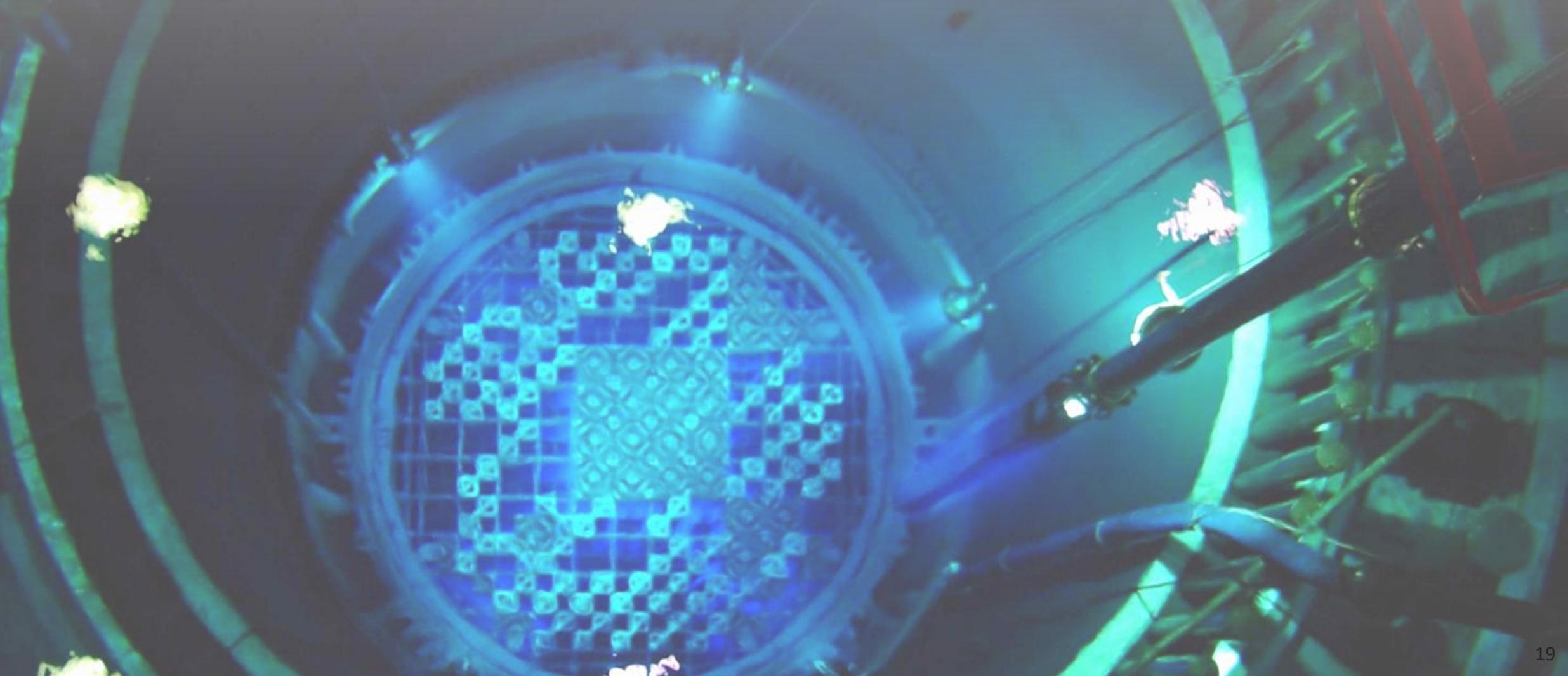
核燃料製造

核燃料元件組成



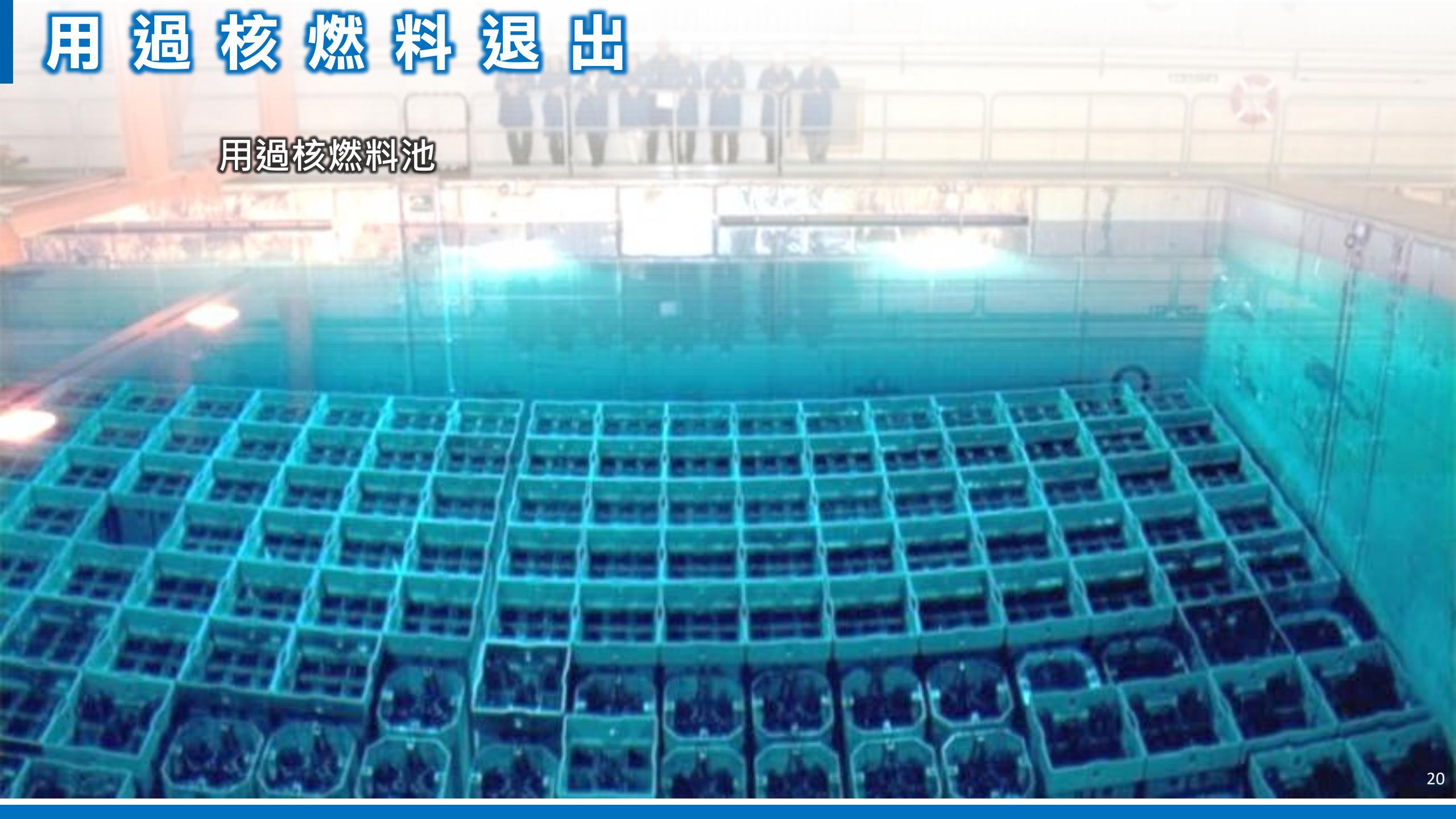
核能發電

核反應爐燃料裝填

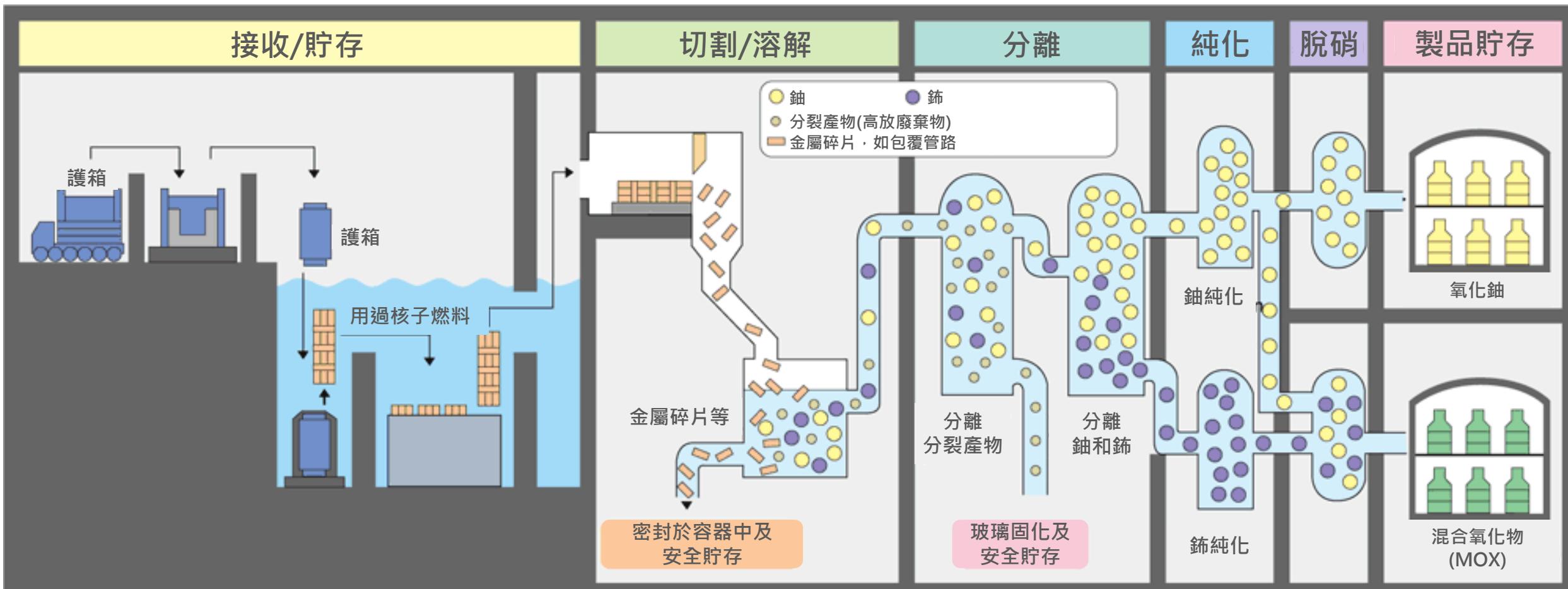


用過核燃料退出

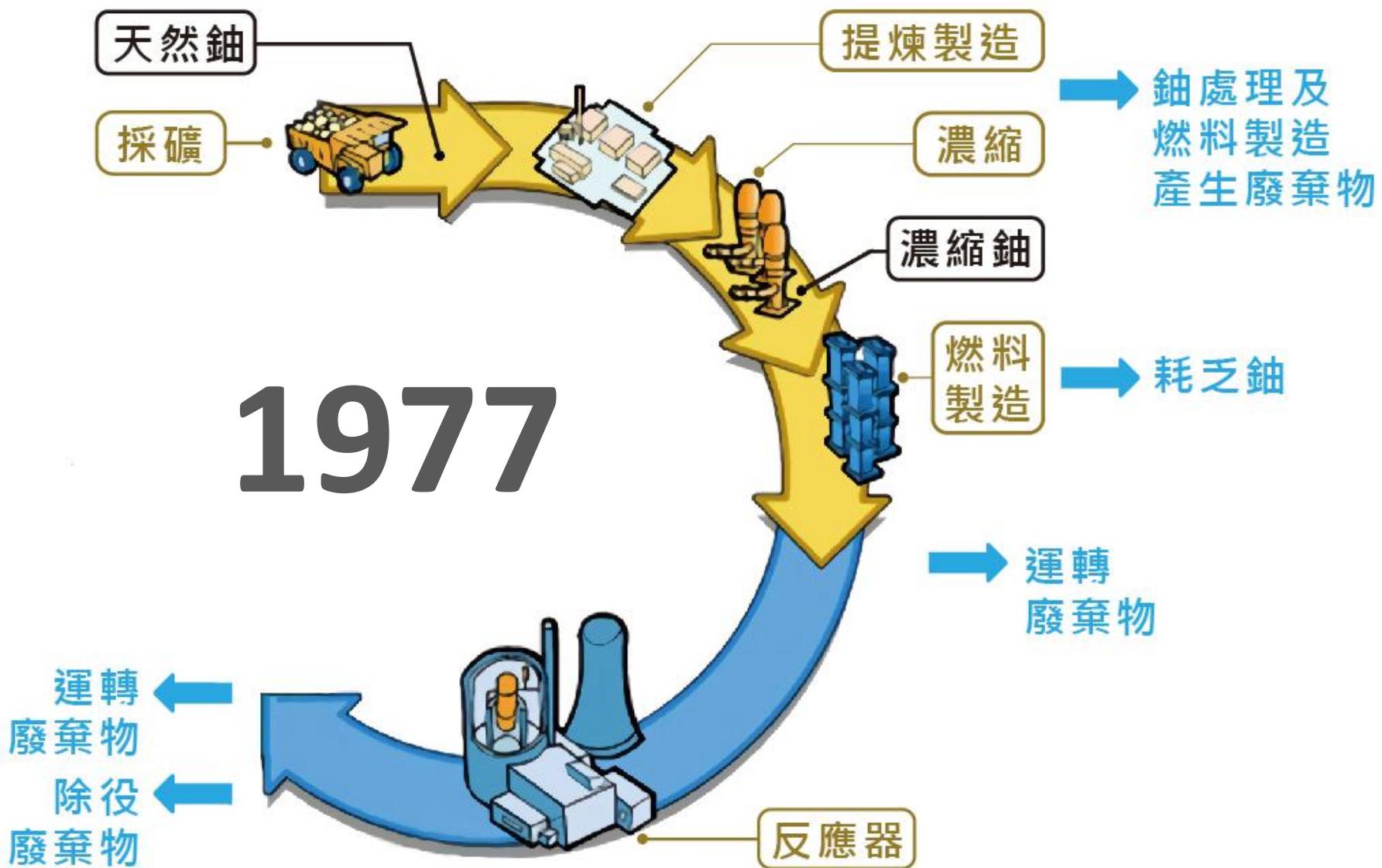
用過核燃料池



用過核燃料再處理流程



核燃料開放式循環



後 端 營 運 業 務



低放



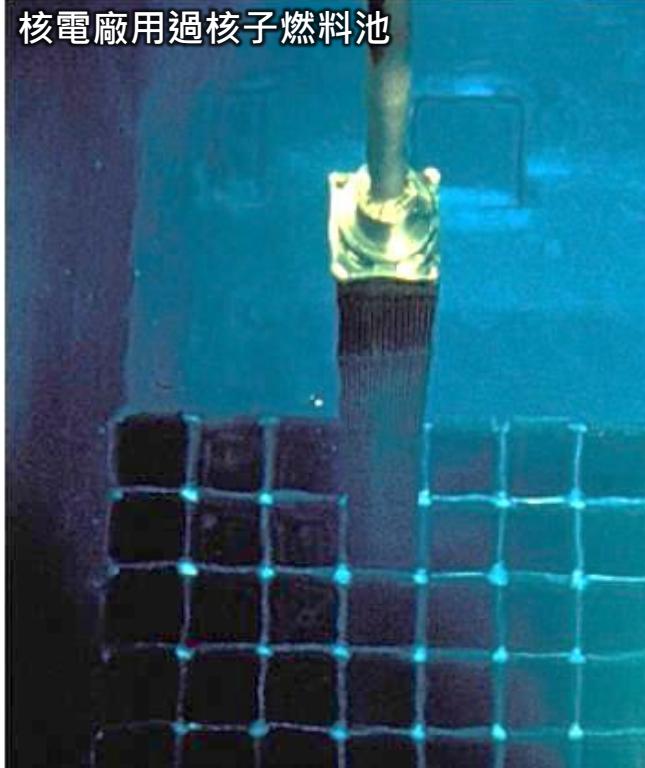
高放



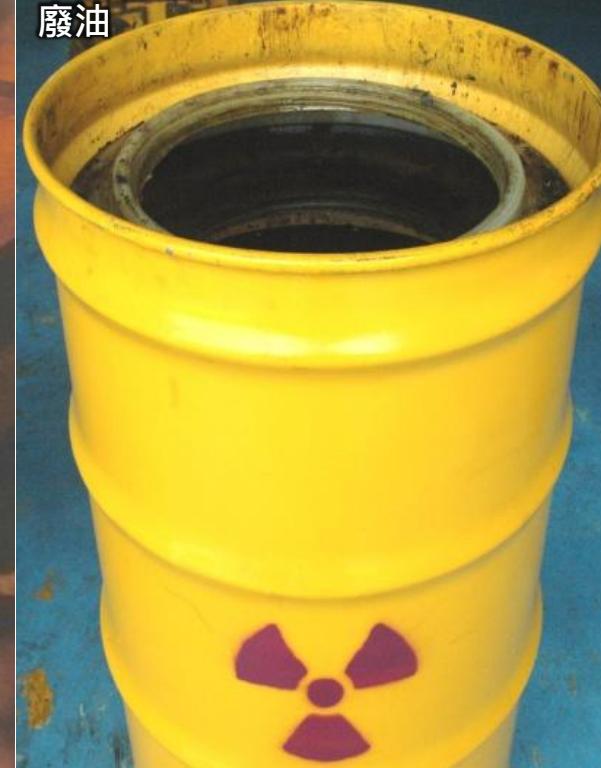
除役

高 低 放 分 類 定 義

高 放射性廢棄物



低 放射性廢棄物



營 運 策 略



低放 40~50年



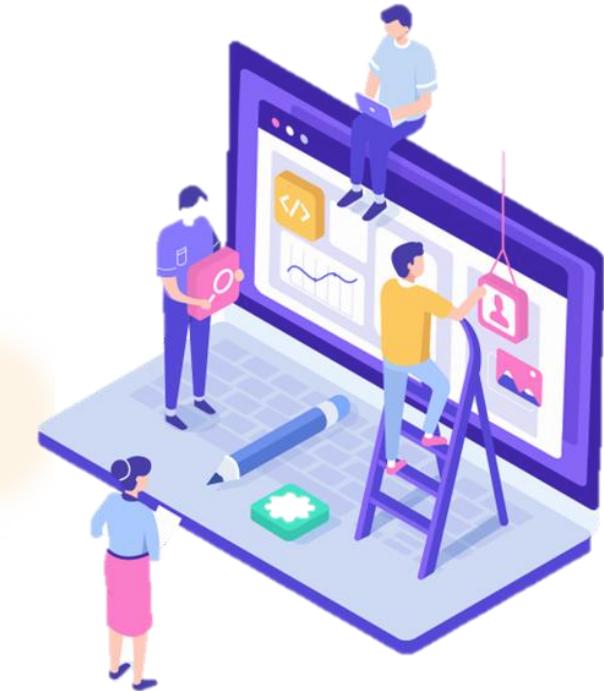
高放 70~80年



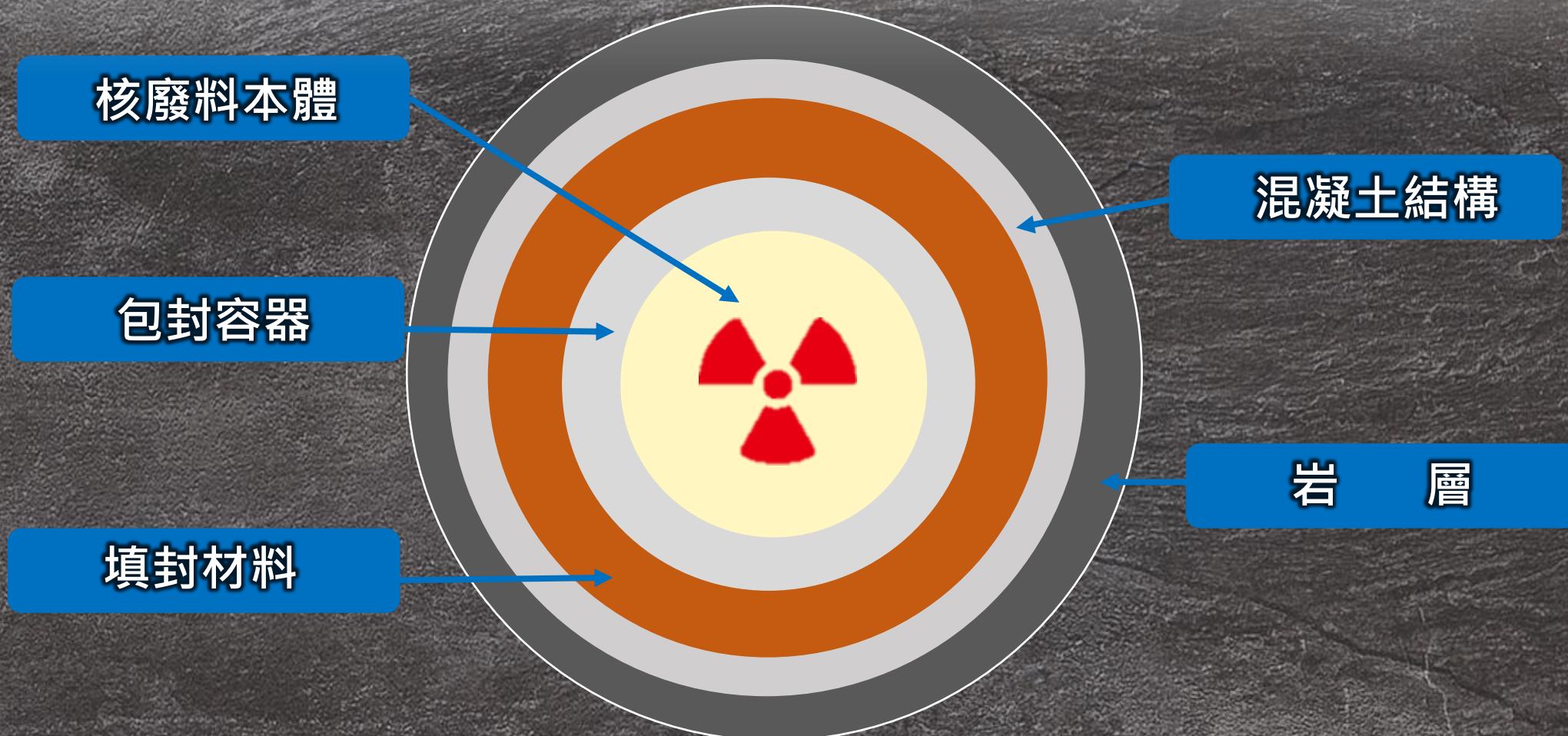
除役 30年



整體規劃執行 滾動檢討調整



多重障壁

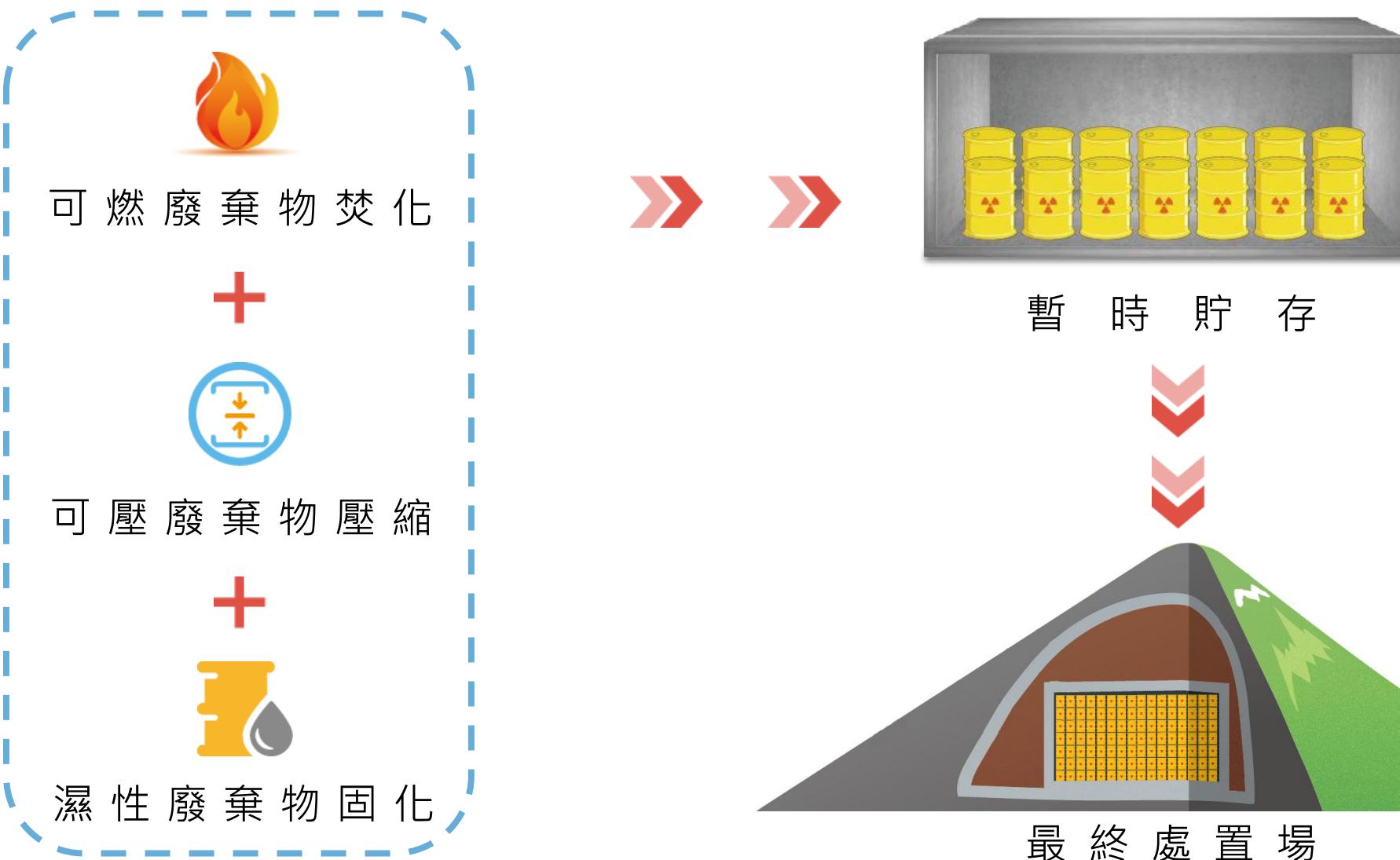




02

如何處理 低放射性廢棄物

低放處理及貯存



焚化爐系統

運到減容中心的低放射性可燃廢棄物，必須先用X光機剔除不可燃的物質，才能投入焚化爐焚化，減容比約30:1。



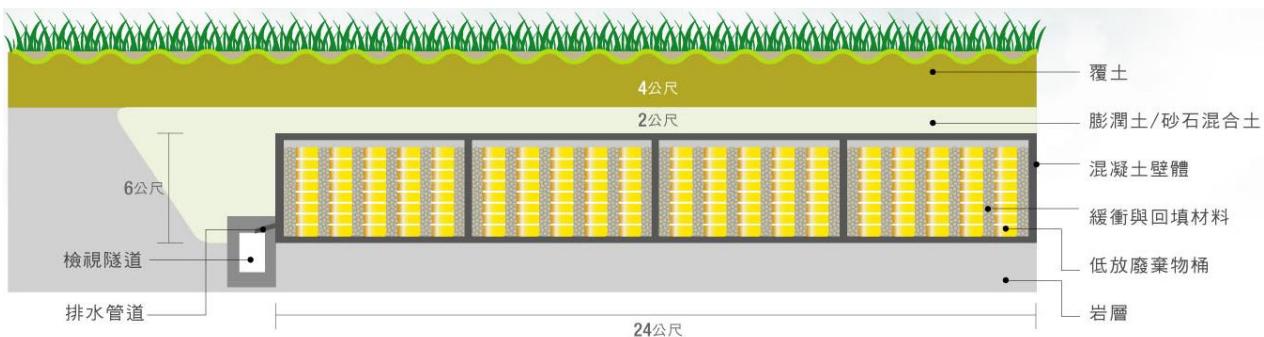
超 高 壓 壓 縮 機

可壓縮廢棄物盛裝於180公升鋼桶中，須先經過表面輻射劑量量測和拭跡偵測，以確定桶表面的輻射與污染符合規定，經輸送帶輸送到超高壓壓縮系統壓縮(出力1500噸)，減容比3~5：1。



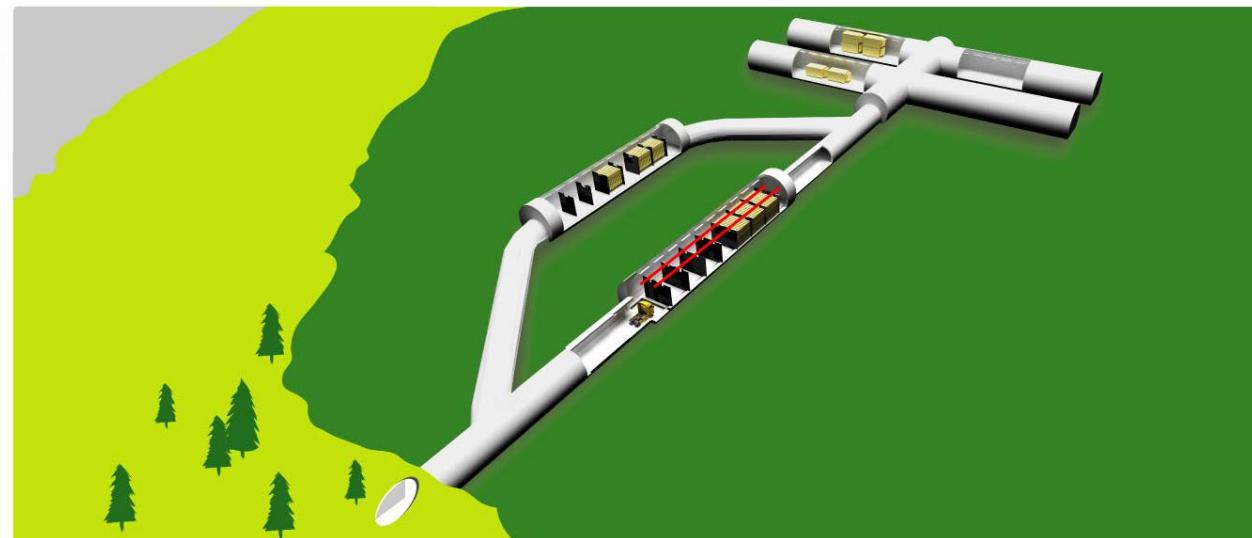
低放最終處置技術

淺層處置



日本青森縣六個所村低放射性廢棄物最終處置場剖面圖
資料來源：日本JNFL

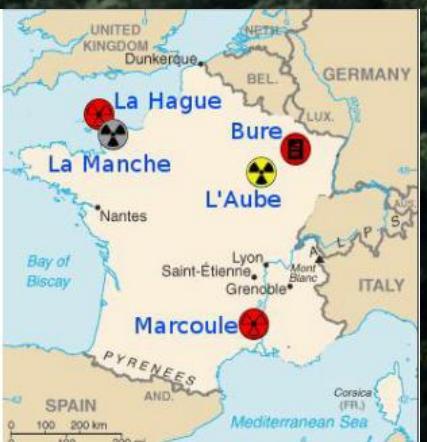
隧道處置



國際經驗



法國盧伯L'Aube
-淺地層處置



國 際 經 驗



日本六所村
-淺地層處置

瑞典SFR -海床坑道處置



國 際 經 驗



瑞典SFR
-海床坑道處置

國 際 經 驗

法國芒什La Manche
-封閉監管



台東達仁 - 山洞隧道處置



金門烏坵 - 海床隧道處置



集中式中期暫存設施



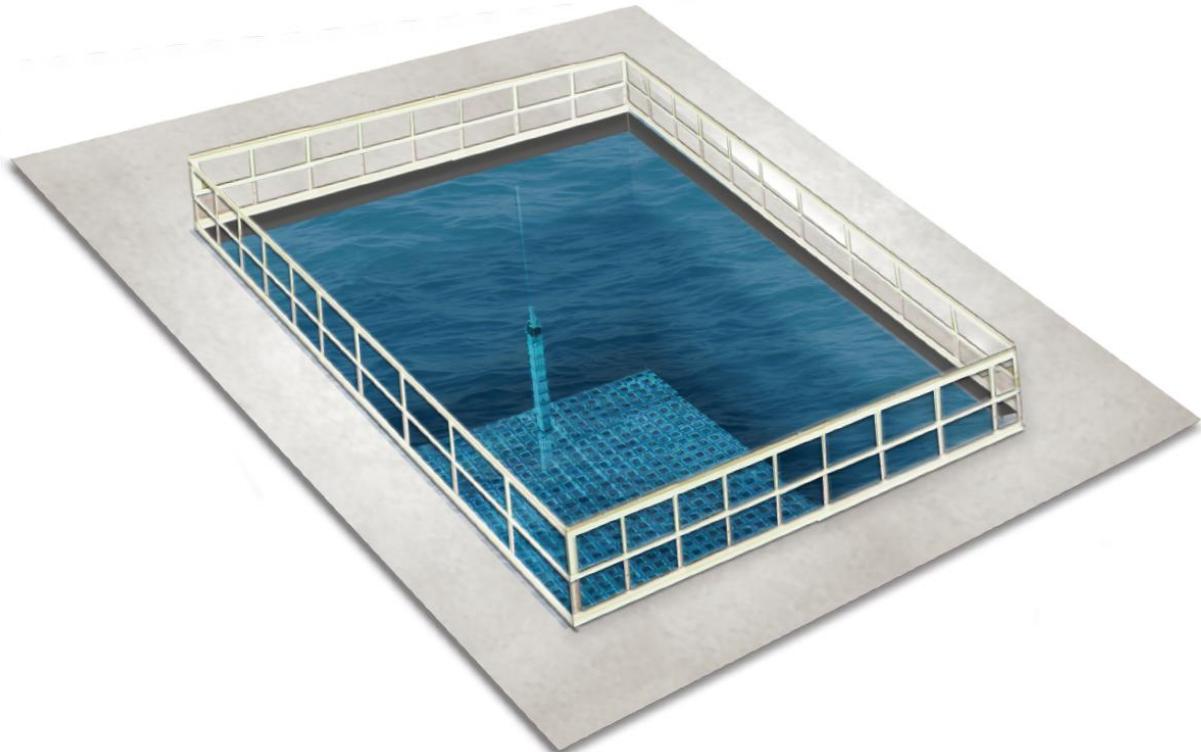


03

如何處理 高放射性廢棄物

高 放 賯 存 分 類

濕式貯存



乾式貯存



高放貯存分類

集中式貯存



分散式貯存

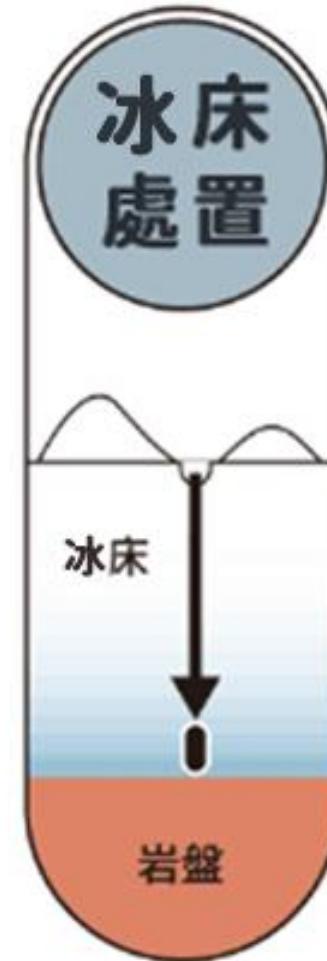
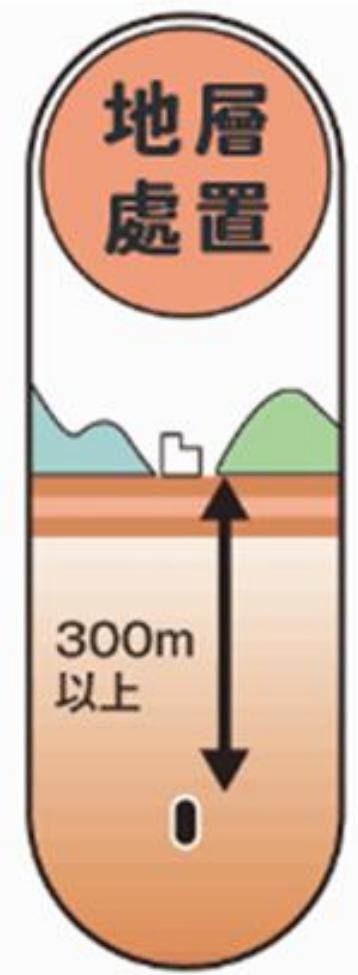


高放貯存國際經驗



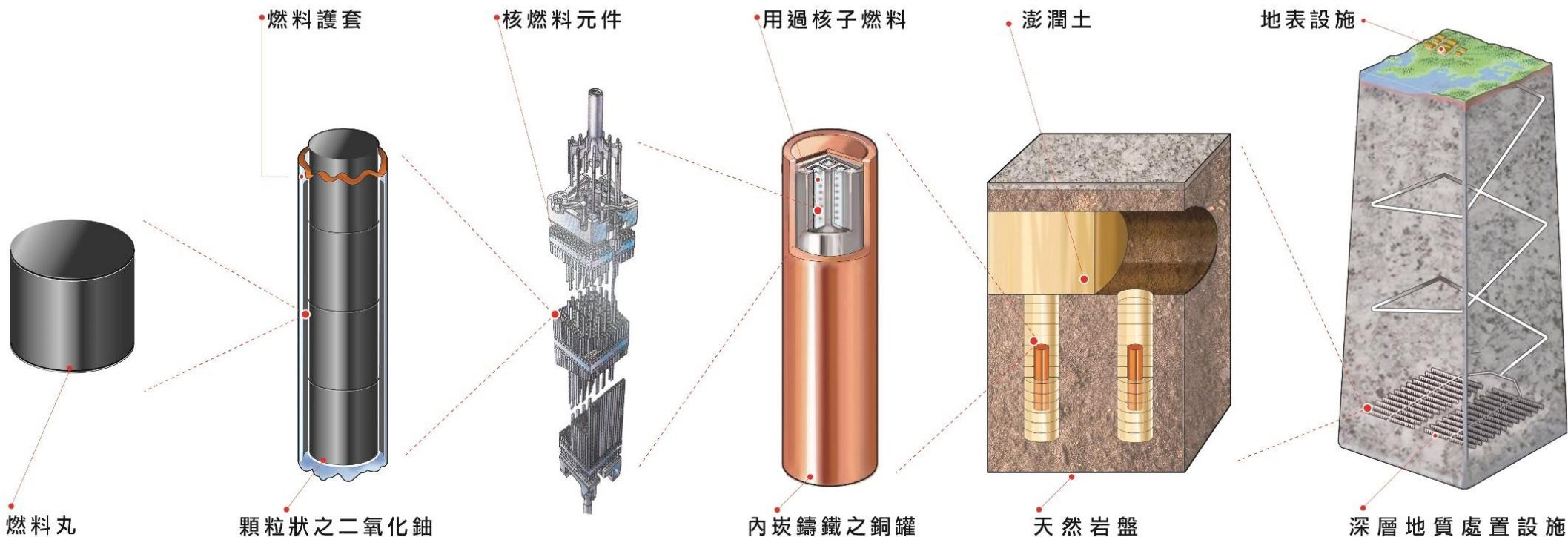
荷蘭高放貯存設施 HABOG

高放處置方案

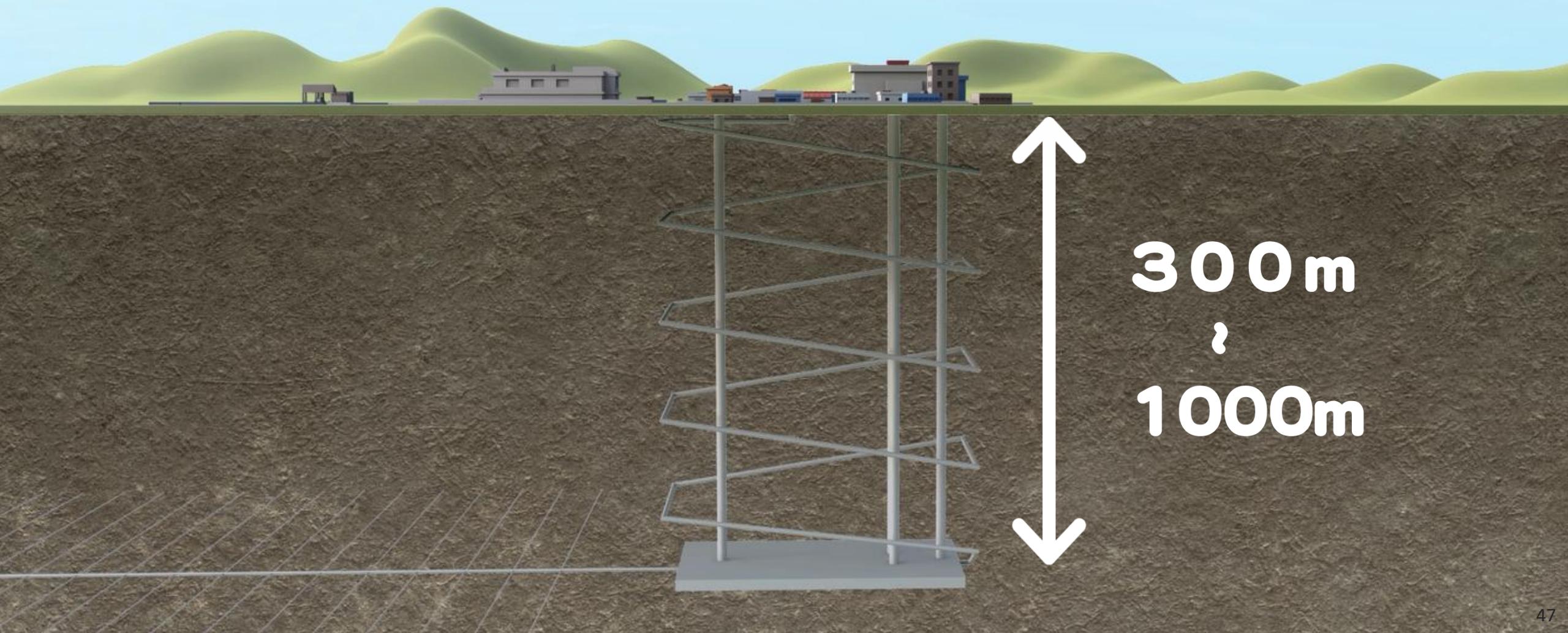


高放深層地質處置

所謂 **深層地質處置**，是將用過核子燃料(高放射性廢棄物)埋在深約300公尺至1,000公尺的穩定地質環境中，再配合金屬廢棄物罐、緩衝與回填材料等工程障壁系統，藉由人工與天然障壁構成之多重障壁系統，讓用過核子燃料所含放射性物質在到達人類生活圈之前，其輻射強度已衰減至可忽略程度。



最終處置場示意圖



多重障壁之天然類比

大自然的例子

加拿大雪茄湖鉬礦

位於加拿大中部平易的齊勒湖，是世界上最大最豐富的鉬礦床，已存在了十億年以上。

這個鉬礦床在湖底430公尺之下，被富含營養的黏土質的岩石所圍繞，藉著這些岩石的屏障，阻止了地下水流過礦石。因此，今天從礦石5公尺以內所採到的水樣分析顯示，所含的各種成分，尤其是鉬的含量，都合乎飲用水標準。同時，鉬礦所含的主要成分為類似用過核燃料的二氧化鈦，它們難溶於含氯量低的水中。雖然鉬礦天然形成以來就滲入地下水，但是因為這些水與周圍岩石交互反應產生了含氯量極低的水，而阻絕了所含放射性物質的遷移。

從氯耗減的現象可以了解到，大量的二氧化鈦是可以藉著天然屏障物，在核廢料處置時長度內受到保護。不過雪茄湖鉬礦床是位於含水量豐富的多孔砂岩內，而我們將來選擇的核廢料處置場岩層，則是孔隙性及含水量低的岩石，因此，深處地質處置方式將比雪茄湖鉬床更為靈活、安全，使我們更確定地知道這是可行的。



深地層處置天然類比的多面向研究

沒有一個天然系統可以精確地和我們設計的處置概念完全融合。因此，我們必須藉由探討不同的天然系統，來了解地層處置場各層障壁的設計上所需考慮的事項。

目前在各國的處置場設計概念中，大塊的、低透水性的岩石結構等天然屏障物，是與人工的屏障物混合使用的，例如高密度的黏土、水泥、混擬土、鋼鐵和鎢等。因此我們需要瞭解這些物質深埋於地下時，能否在經過千年甚至萬年後仍然能維持其原功能。

巴西摩洛·杜·費洛與歐薩姆·巫住密鉬礦

摩洛·杜·費洛是地球表面上最具有放射性的地點之一，在接近地表的地層中含有一大群鷹嘴鉬礦石與五鷹嘴鉬礦石，它們都與氯共生，經過幾千年的地下水樣分析，驗證了氯在地下水帶定的放射性物質含量不到十億分之一，是美國飲用水容許濃度之二十分之一。

在莫南河5公里的河岸是歐薩姆·巫住密的鉬礦區，礦層有豐富的鉬、鈷、鎢、鉻及稀土等礦物。因為岩石有許多裂隙，使得含有大量氯氣的雨水能滲入岩層，而與不同的礦物質進行氧化還原反應。氯還原反應會沿着地下水的遷移而形成，要溶解於地下水的鉬在經過氧化還原反應後，會沉澱在礦石上，而留在原地不動。

以上的研究，在幫助地質學家們的過程中，提供了重要的資料，有助於瞭解地下水與歐薩姆·巫住密的礦物質之間的化學作用如何隔離放射性物質。

克羅南戰艦的銅砲

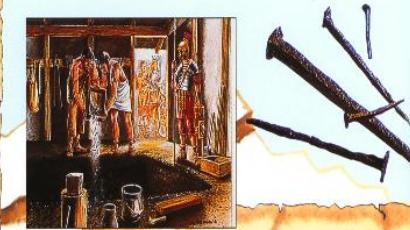
公元1676年瑞典戰艦克羅南號，在試航自東南方外海爆炸並沉沒，考古學家找到一個半埋在海底中大約三百年之久的大砲，大砲的合金外殼中含有百分之九十五的銅，海水的淤泥保護了這種銅合金而未受到腐蝕，經過計算，大砲在淤泥中的部分失去的銅，三百年來只有千分之十五公釐。

目前皆利用金屬合金作為過熱燃料及高放射性材料之材料。羅馬鐵釘和克羅南大砲的例子告訴我們，銅和銅等金屬可以作為長期的人工屏障物。



羅馬軍營的鐵釘

在公元87年時，阿格利古拉的古羅馬軍團離開蘇格蘭皮那漢斯爾營區時，他們將多達12噸、相當於一百萬根以上的鐵釘，埋入45尺深的戰壕裡，以防止落入敵人手中，這些覆蓋著一層厚土的鐵釘，在潮濕的環境中埋藏了幾千年之久，一直到現在才被發現，考古隊發現只有最外層的鐵釘遭到腐蝕，大部分的鐵釘依然保持著絕佳狀況，經試驗發現仍可正常的使用。



義大利杜那羅村的樹樁

公元1980年在安布利亞的杜那羅村附近的一個土坑裡，發現了許多巨大的圓柱形樹樁，這些古代樹樁因為深埋在黏土層下，與大氣隔離的很好，所以保存的很好，並沒有發生木質碳化或礫物化為化石，充分地驗證了黏土的絕佳屏障性能，而典型的深地層處置場設計上，在處置坑道裝滿核廢料之後，即以高密度黏土作為屏障材料，將坑道填滿。

根據以上各個所進行的天然類比研究結果，核廢料應可經由合適的容器包裝、黏土質包填材料的包覆、水泥或混擬土所構築的結構設施、以及深入地下300到1000公尺並呈現化學還原環境的三大層屏障，將它們與環境完全的隔離，最後要變成與環境共存而無害的物質。

核燃料週期的完整呈現—加彭奧克路鉬礦的天然核反應器

許多年以前，在非洲加彭共和國的奧克路鉬礦場地下深達一千公尺的天然鉬礦中，發現了一座遠古時代的天然核反應器。有一部分的鉬礦石，在一億八千萬年前，在自然狀態下發生核分裂反應，長達五十年之久，期間至少消耗了十噸的鉬，產生類似人類核分裂反應後所殘餘的放射性物質，經過那麼長的時間後，絕大部分的放射性物質仍留在原地，衰變成與天然環境共存、無害的物質，對地質環境並未造成不良影響。

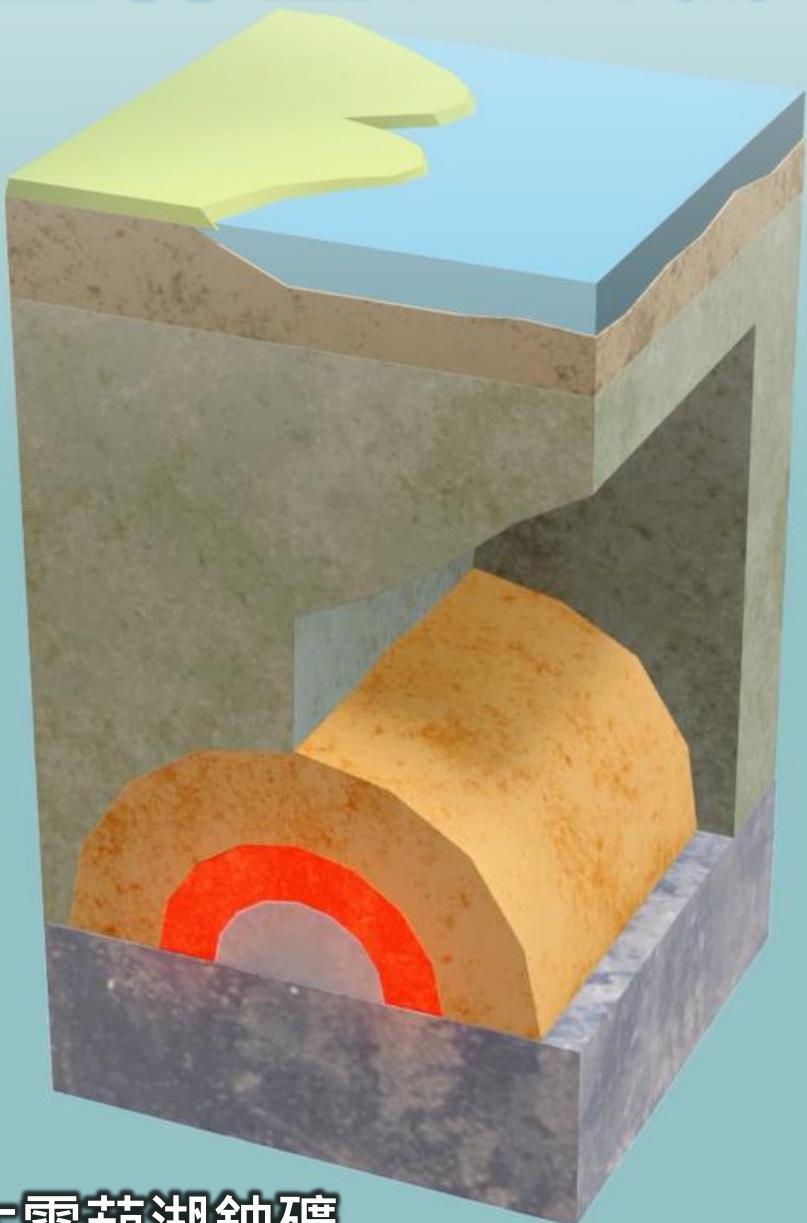
奧克路的例子，證實了一個地下處置場，確實可在所要求的時間內，安全的隔離放射性物質。



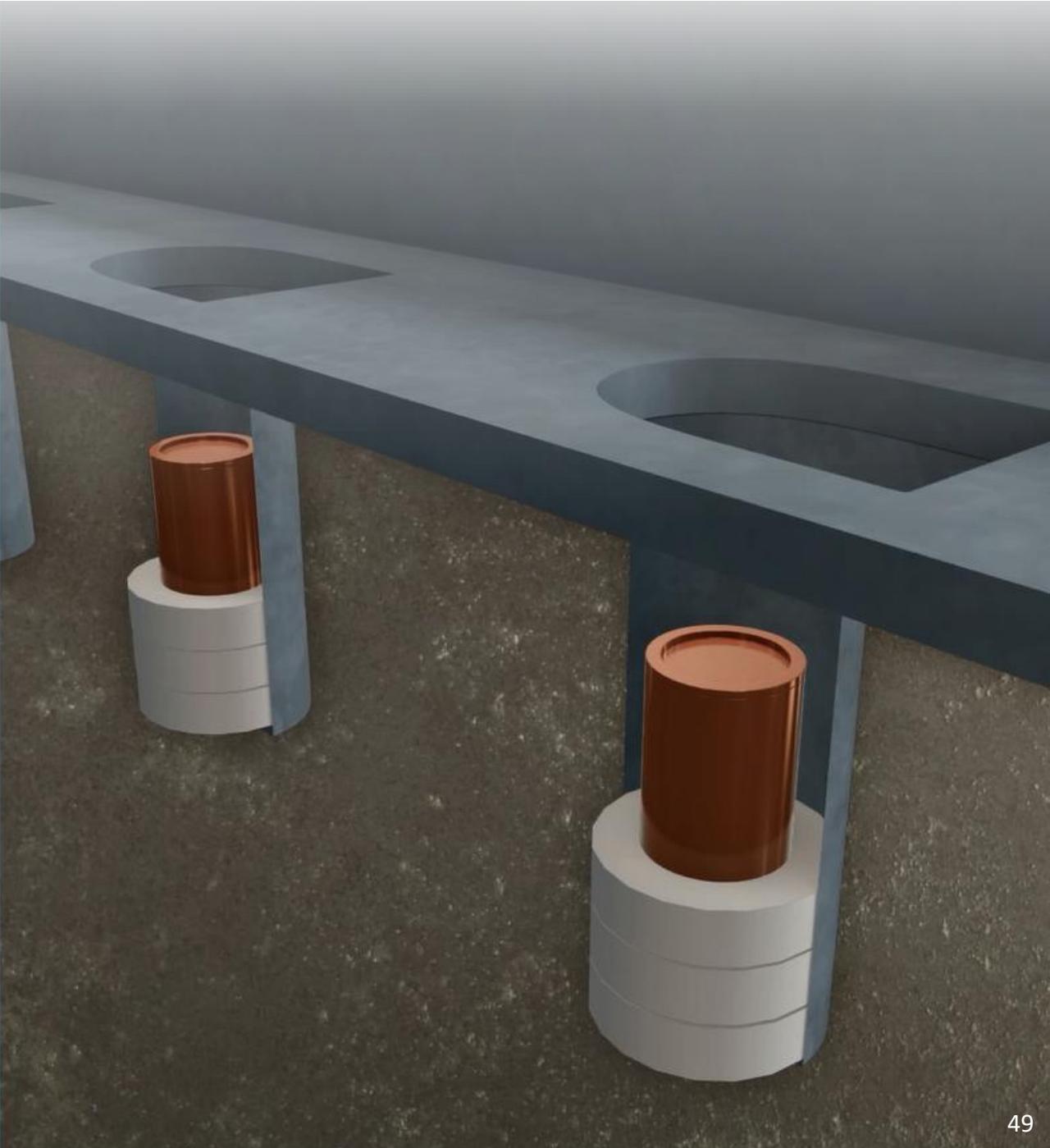
羅馬神殿的水泥建築

從羅馬時代至今，許多巨大的建築都存活下來，例如如古羅馬執政官馬可·阿尼巴在公元前27年所建造的羅馬神殿，這座萬神殿的圓頂，是由多層和混擬土環樑所支撐，迄今已經屹立了兩千年之久，可以驗證水泥與混擬土等材料是適合用於深地層處置場構築設施的建築。

多重障壁之天然類比



加拿大雪茄湖鈾礦





04

除役策略

核電廠除役策略

立即拆除 DECON (Immediate dismantling) :

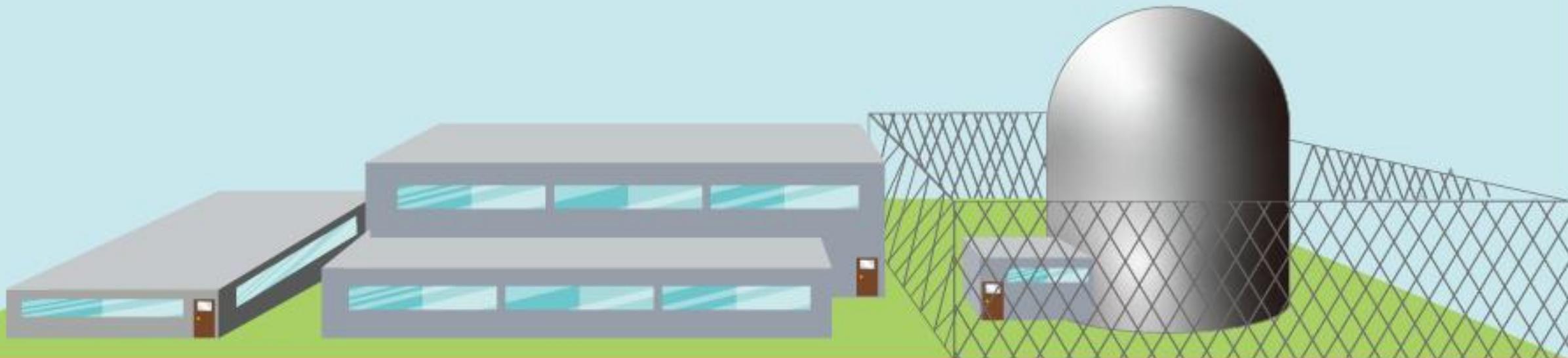
在核子設施停機關閉後不久，有放射性汙染的設備、結構、以及部分設施將會被拆除或除汙，以確保廠址在停止運轉後不久即能釋出土地，且土地使用不受限制。



核電廠除役策略

延遲拆除 SAFSTOR (SAFe STORage) :

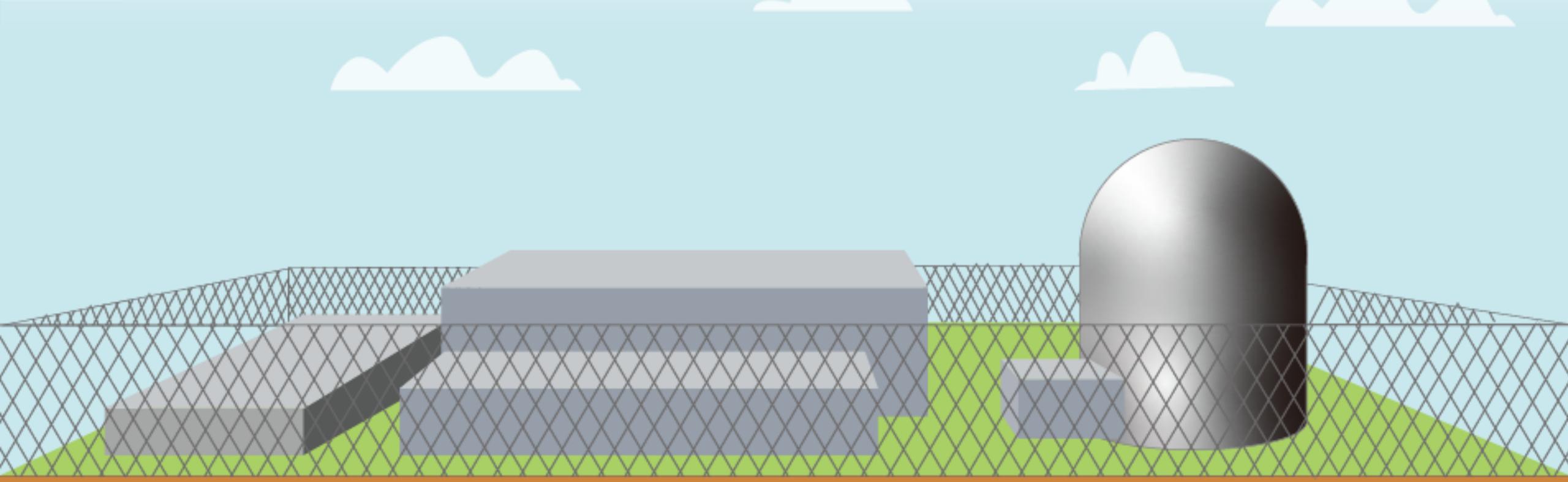
核子設施在停機關閉後不立即拆除，經過一段時間的維護及監測後，使設施內之放射性衰變至可接受之水平，再將各組件進行除汙、拆除並移出廠區，使廠址能釋出土地，土地使用不受限制。



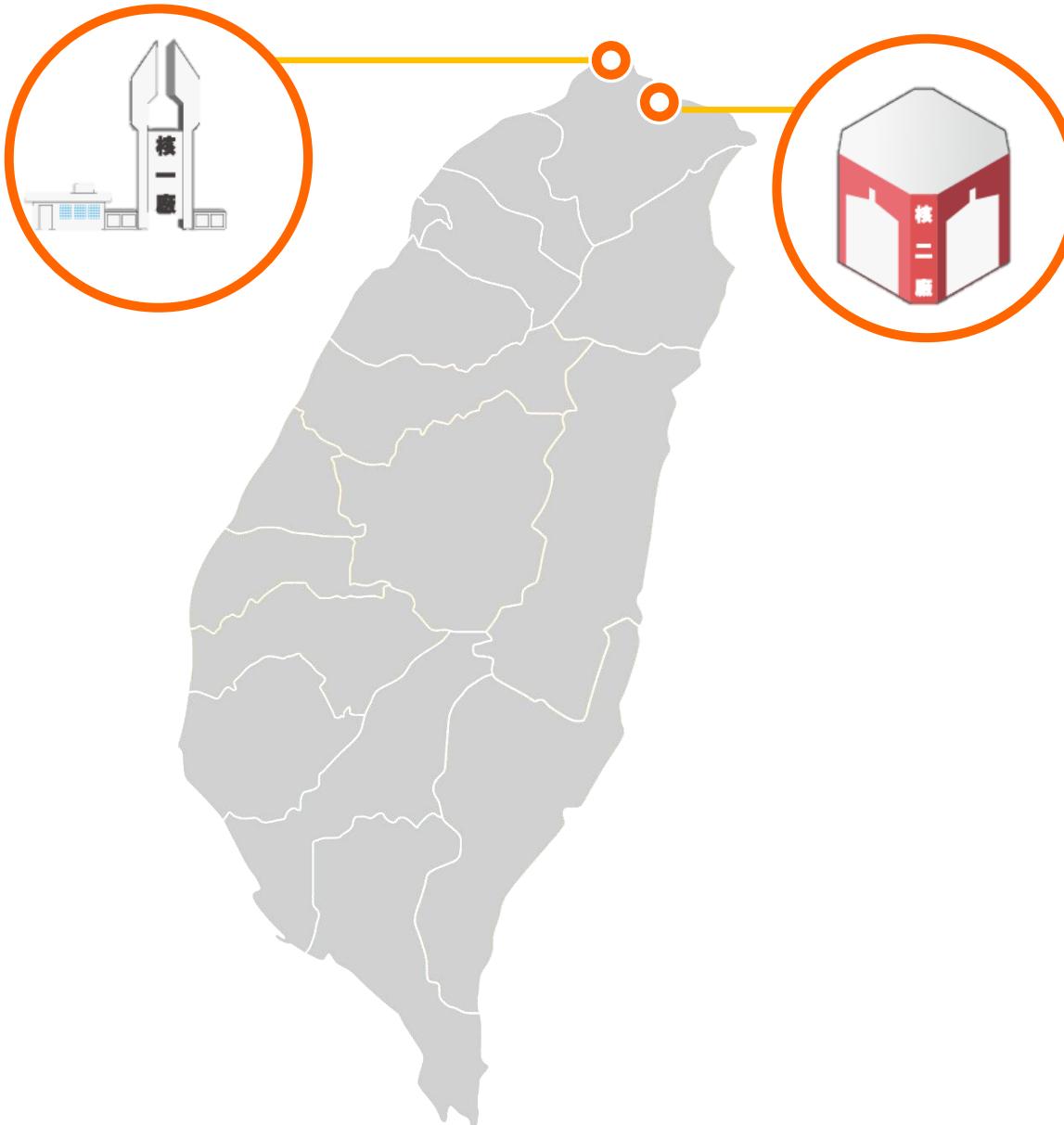
核電廠除役策略

固封除役 ENTOMB (Entombing) :

核子設施在停機關閉後，將殘留有放射性或汙染之結構密封在以混凝土做成之屏蔽內，就地處置。固封之廠址須進行輻射監控，其他範圍外設施依除役作業進行拆除。



核電廠除役策略

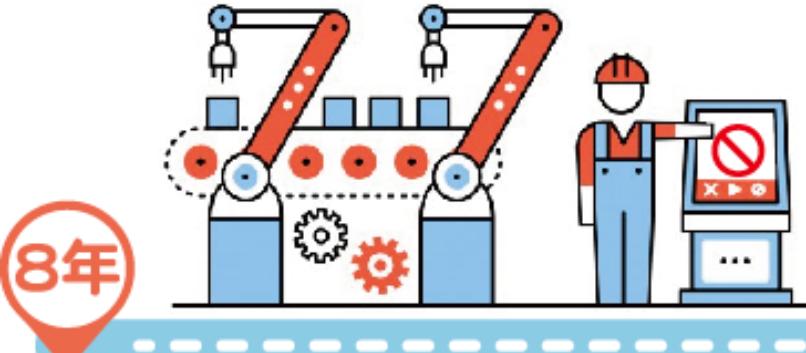


22
11

台灣 00 年
立即拆除

核電廠除役四階段

除役過渡階段



除役拆廠階段



最終偵測階段



復原階段



怎麼拆

德國

VS

台灣





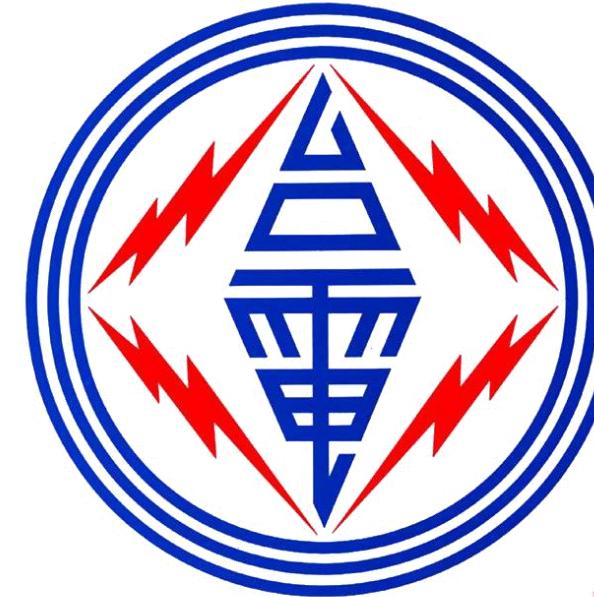
誰來做？

105

核廢料管理架構圖



專責機構



專責機構





06

提錢準備

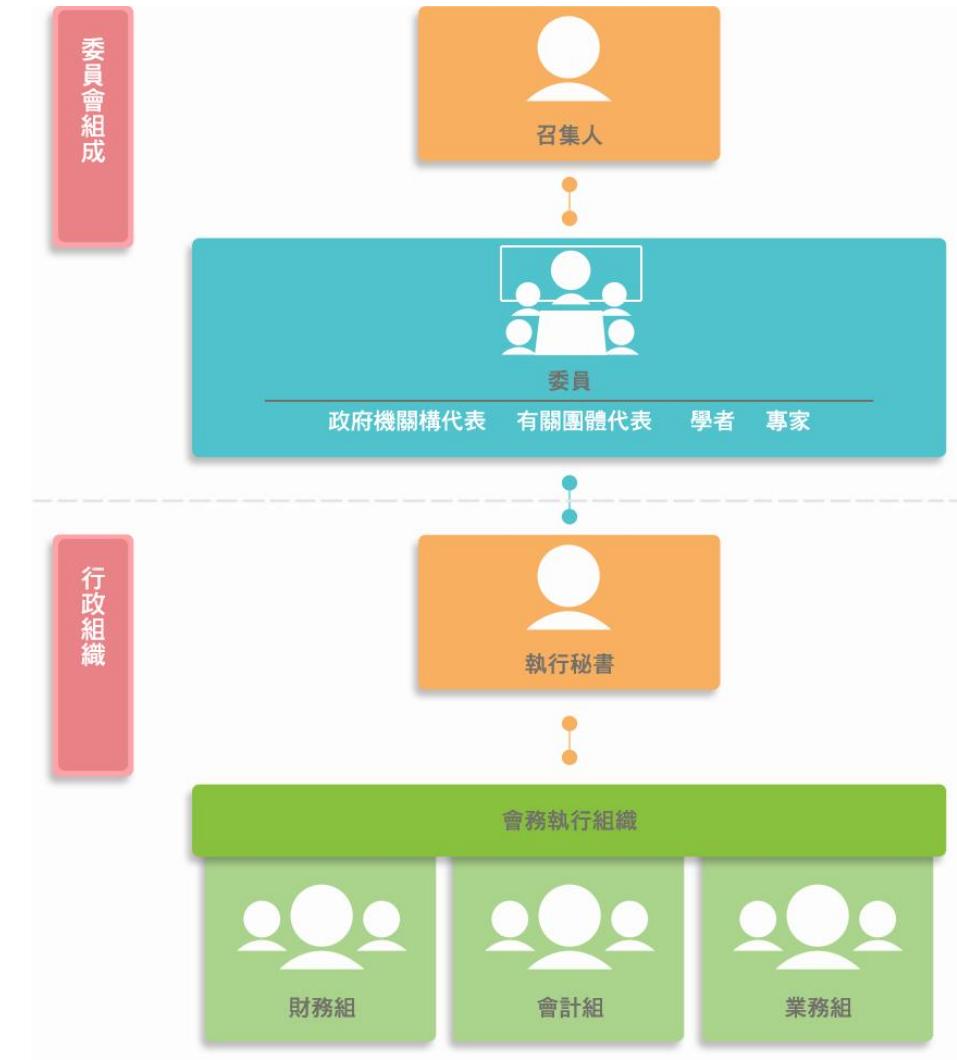
核能發電後端營運基金管理會

76年成立

基於使用者付費的原則，台電公司於76年報奉行政院核定，成立「核能發電後端營運費用基金」，從每一度核能發電攤提後端營運費用。

88年改制

自民國88年會計年度預算起，改制為經濟部主管之非營業基金，更名為「核能發電後端營運基金」，並設「核能發電後端營運基金管理會」。



後端基金累計情形

民國76年至114年11月底止，後端基金累計淨值5,070.68億元，其來源：

項目	金額
台電提撥給後端基金	4,398.36億元
加：基金孳息等收入	1,414.64億元
減：各業務計畫等支出	678.59億元
減：所得稅	63.73億元
基金餘額	5,070.68億元



後端營運總費用估算

經濟部於114年10月20日核定核能後端營運總費用估算約為新台幣5,069.3億元(111年版)，各分項費用估算如下表：

項目	費用(億元)	百分比(%)
1.核能電廠除役	1,706.00	33.7%
2.蘭嶼低放貯存	17.6	0.3%
3.乾式貯存	550.7	10.9%
4.(集中式)中期暫時貯存	589.9	11.6%
5.低放最終處置	247.6	4.9%
6.高放最終處置	1,402.0	27.7%
7.回饋金	425.3	8.4%
8.營運管理	130.3	2.6%
總費用合計	5,069.3	100%

後端基金提列方式

每度核電攤提改為分年攤提

76年



按每度核能發電量
提列後端基金

109年



分年攤提

114年



足額完成提撥



給核廢一個家



核能後端營運專屬網站