

IX. 長相左右的不定時炸彈 --- 核廢料

反應爐需要持續冷卻將過多的熱帶走，但日本福島核災讓世人發現用過燃料棒儲存池(spent fuel pool)也需要持續冷卻，缺乏適當冷卻問題可能比反應爐過熱更嚴重。要瞭解這問題，必需先討論什麼是核廢料。

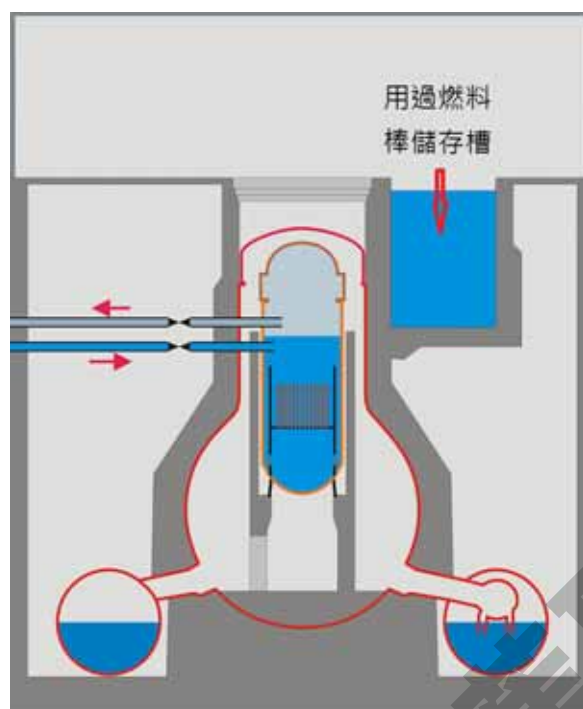
何謂核廢料？

核分裂反應產生的物質或沾到這些放射性物質都屬於核廢料，與一般的廢棄物不同，核廢料因組成物質種類及含量多寡，放射性強度不同。臺灣核廢料僅有用過燃料棒(spent fuel)與低階核廢料兩類；前者為高階核廢料；而只要不是用過燃料棒，即便核廢料輻射强度高、量多，在臺灣都被稱為「低階放射性核廢料」。

發展核電原為製作核武；核能反應十分複雜，許多產物還會繼續分裂，釋放出熱與高能粒子，有的半衰期很長，或甚至為劇毒物質。最具代表性的產物是鈾(Pu-239)，鈾是核反應過程中鈾-238 轉換而成，半衰期高達 24,400 年；鈾本身也會分裂，美國投在長崎的是鈾核的原子彈。早年，一些國家發展核電，其實意在累積用過燃料棒中所含鈾，想發展核武。國際社會為了防止核子武器擴散，嚴格限制核電國家進行用過燃料棒的再處理(reprocessing)。

無法妥善處理的核廢料；核廢料應該如何永久妥善處置？是核電發展至今約六十年尚無法解決的問題。如果切開用過燃料棒再處理，過程中所有接觸的溶液、設備都變成高放射性核廢料，量遠比處理前還多！所以美國在卡特當總統時就決定停止用過燃料棒再處理。假設過了 4 個半衰期之後，物種量少到可以忽略；鈾就需要約 10 萬年時間！誰能保證一個在 10 萬年內不發生地質變動，沒有人有意或無意入侵，或失控但不傷害後代的安全所在，？即便可能有這儲存場址，到底是應該明顯註記警告後人不可接近，還是不標示讓大家徹底忘卻這地方的存在？該留下完整紀錄，以便萬一出差錯，後人可以設法因應？還是不該留紀錄，避免有心人循線索而來？

用過燃料棒等同不定時炸彈！核能反應爐為了方便燃料更換，用過燃料棒的儲存槽就設在反應爐上方，如下圖所示；臺灣的核一、核二與日本福島核電廠同屬早期奇異公司設計的沸水式反應爐(BWR)。地震發生時，日本福島電廠第四號機組正處於維修狀態，反應爐沒有燃料；用過燃料棒水池因為缺乏冷卻水循環，溫度上升沸騰，燃料棒暴露於空氣中產生氫爆。因為過去沒有人認為用過燃料棒儲存槽可能出問題，所以僅有廠房(或稱二次圍阻體)遮蔽。福島四號機組廠房炸開後，儲存槽整個暴露，放射性物質毫無遮掩，任由散佈到空氣中！



臺灣核電廠儲存的用過燃料棒遠比日本福島多，排放更密集！日本福島核電廠總共有 6 座機組，另外有蓋一個用過燃料棒共用儲存池，反應爐邊的儲存池僅放置最近一兩次取出的燃料棒，其餘都搬到地面上的共用池中。而臺灣的核電廠過去 30 多年用過燃料棒至今全數放在反應爐旁！比日本福島多出 5 到 10 倍，請參見下表。

日本福島電廠用過燃料棒儲存量 (公噸 U) 與臺灣之比較 (至 2011 年 5 月)

日本福島電廠	一號機	二號機	三號機	四號機	五號機	六號機	共用池	共計
	50	81	88	135	142	151	1097	1744
臺灣 (2011/3)	核一 一號機	核一 二號機	核二 一號機	核二 二號機	核三 一號機	核三 二號機		
	498	473	643	624	478	459		3175 (18440 束) ¹

核廢不可隨意處理，2012 年哈薩克工人在清理核燃料設施的核廢料時挖出三個大罐子²，裡面裝了 29 具胚胎和人的肢體器官，工廠醫師說明因為工人遭受高劑量輻射，即使取出的胎兒與截肢或器官都可能對他人造成危險，不可以火化，會隨空氣飄送，只能掩埋處理。

¹ 一束核燃料約相當 0.172 公噸鈾

² 2012 年 1 月 26 日 Moscow Times.