

不能逃避的問題 ——核廢料處置

核電廠產生的廢棄物，只要有一點輻射劑量，就必須經過嚴謹的處理程序，並且完全隔離起來，確保不污染環境與影響人民生活。

文／郭雅欣

經濟部為了解決核廢料處置場址問題，在今年4月底召開了「低放射性核廢料最終處置場選址委員會」，520政黨輪替後，新政府對核能政策的態度趨向積極，長久以來一直爭議不斷、甚至令很多民眾聞之色變的核廢料問題，似乎再度搬上檯面。

核廢料分成高放射性與低放射性兩種，在核電廠中，除了用過的核燃料、用過核燃料再處理產生的廢棄物之外，所有的廢棄物都算是低放射性核廢料，包括核電廠運轉時產生的廢水、過濾用的樹脂，以及工作人員穿過的衣物、手套等，都或多或少帶有一些放射性核種。

低放核廢料依據其物理狀態，可分成氣體、液體、固體。核電廠內的氣體可能含有放射性核種，排出核電廠前必須先用活性碳過濾，或是用特殊化學溶液將核種洗滌下來，才可將剩餘的乾淨氣體排出，而處理過程中用過的活性碳或溶液則屬於固體、液體廢棄物，但由此產生的廢棄物量很少。

液體廢棄物主要是不同反應器產生的濃縮廢液，包括硫酸鈉或硼酸廢液，以及一些如去污等其他作業產生的廢水；固體廢棄物則有用以過濾反應爐爐水或除礦的

過離子交換樹脂，以及被污染的衣物、鞋子、工具等一般用品。

世界各國對這些廢棄物的處理原則非常一致，就是先減少體積（減容），接著處理成大塊、安定的固體，然後暫時貯存起來，最後再進行「最終處置」，確保其放射性不影響一般大眾的生活。

享譽國際的減容技術

為了節省貯存的空間，減容是非常重要的工作，處理液體廢棄物時，要盡量將其中的核種以沉澱、吸附或離子交換等各種方式分離出來，將其餘乾淨的水或溶液蒸發；固體廢棄物則是能焚化的先焚化、能分解的先高溫裂解，金屬類就直接壓縮或熔鑄。完成減容之後，為了確保輻射不外洩，固化是下一個很重要的步驟，固化體必須具備良好的安定性，使得長期擺放也不易變形或損壞。早期的固化較常使用柏油，然而自從1997年日本發生廢料柏油固化處理廠的嚴重火災後，現在已逐漸放棄使用。

不過傳統的水泥固化有許多缺點，行政院原子能委員會放射性物料管理局局長黃慶村舉例，在固化硼酸廢液時，硼酸會在水泥顆粒外包覆一層硼酸鈣薄膜，阻礙水

原能會核研所研發的壓水式機組廢液高效率固化技術效果卓著，1996年曾登上《核子工程國際期刊》。





泥的水合作用，降低了固化品質，而且會增加水泥的需求量，連帶增加最後固化體的體積。原能會的核能研究所針對這項缺點，曾研發出製備過飽和硼酸鹽溶液的技術，這種過飽和狀態溶液中的硼酸鹽會聚合成大分子的聚硼酸鹽，不但因為本身分子數量減少而減少了固化時的水泥用量，還憑藉著聚硼酸鹽的高聚合度，增加了固化體的機械強度。這項「壓水式機組廢液高效率固化技術」(PWRHEST)在1996年曾登上《核子工程國際期刊》，並獲得第55屆德國紐倫堡國際發明展金牌獎與唯一的首獎。這項技術是黃慶村在原能會核能研究所擔任副研究員時發明的，目前已使用於核三廠，減容效果非常顯著，將原來每年400~500桶的固化廢棄物產量，降低到目前只剩20~30桶。

和核三廠的反應器不同，核一、二廠所產生的多是硫酸鈉廢液，硫酸鈉會與水泥成份反應生成低密度的鈣礬石，導致固化體膨脹龜裂，為了解決這個問題，黃慶村研發了「沸水式機組廢液高效率固化技

術」(BWRHEST)，其核心概念是「以廢棄物固化廢棄物」，在硫酸鈉廢液內加入氫氧化鋇，產生硫酸鋇沉澱，並且用特別的固化劑，將副產物氫氧化鈉添加特殊成份，製成類似水泥的固化劑，用以固化其他廢棄物。

這種做法產生的固化體品質很好，不會發生龜裂現象，也將體積縮減到只有原本的1/3，並解決了傳統水泥固化因凝固速度太慢常導致水泥沉降、鹽類從頂部析出的問題。台灣發展的固化技術，已將台灣核電廠的固化核廢料年產量從最高的1萬2000多桶，縮減到目前的200多桶，黃慶村自豪地認為「台灣這些技術說是領先國際也不為過。」

固化後的大水泥塊會存放在鍍了鋅的55加侖鋼桶內，由於台灣目前並沒有任何最終處置場，所以除了存放於蘭嶼的貯存場之外（見92頁〈蘭嶼貯存場〉），其餘都貯存在各電廠的貯存庫中，以厚度80公分以上的鋼筋混凝土外牆阻隔輻射外洩，並有空調控制溫度、濕度，防止廢

在核一廠的現代化廢棄物貯存庫中，堆疊著一桶桶經過固化處理的核廢料。

蘭嶼貯存場

蘭嶼是台灣唯一一個不在核電廠內的低放核廢料貯存場，自1982年開始接收低放射性廢棄物。當初原能會計畫將核廢料海投至台灣東部海域，所以把貯存場建在蘭嶼，然而1983年聯合國通過「防止傾倒廢棄物等物質污染海洋公約」（通稱倫敦公約），各國同意暫時停止海投，於是形成了低放核廢料長期暫存蘭嶼的局面。

至1996年2月最後一船次接收核廢料後，蘭嶼貯存場共存放了9萬7672桶固化廢棄物，大部份來自核電廠產生的低放核廢料，其餘約11%是由醫、農、工及研究單位所產生。蘭嶼貯存場的設計也採用「多重障壁」的概念，將這些固化廢棄物貯存於鋼桶中，置放在混凝土的壕溝裡。在蘭嶼高溫、潮濕、多鹽份的環境條件下，廢棄物的桶子逐漸有些鏽蝕，部份固化物也開始龜裂，於是台電公司多年前就開始進行試驗性檢整重裝作業，根據損毀情況分別除鏽補漆、換桶重裝或重新固化等，至2006年2月共處理了8684桶。2007年台電正式將這項作業發包，至今年3月又處理了約1000桶廢棄物。

蘭嶼居民對於在自家貯存廢棄物的抗議可以想見，當初要檢整重裝廢棄物時，也有「是否打算一直丟在這裡？」的疑慮之聲傳出，為了確保蘭嶼的生態與環境，原能會除了督促台電檢整重裝廢棄物的工作外，也要求台電加強對貯存壕溝的安全檢查，還有包括直接輻射、地下水、海水、土壤以及魚類、海藻等生物的環境輻射監測，接下來就只能等待最終處置場的選定，讓暫存於蘭嶼的廢棄物能永久埋存。



蘭嶼的低放射性核廢料貯存場

棄物鋼桶腐蝕。目前台灣各核電廠的貯存庫空間大約剩下一半，加上近年固化體減容的成效不錯，台灣電力公司估計還可以貯存全部機組運轉幾十年的核廢料。

政治與社會的問題

核能研究所發展出的固化技術雖然享譽國際，但卻未能廣泛運用。在台灣，核一、二、四廠都是採用會產生硫酸鈉廢液的沸水式反應器，但目前只有核二廠在使用BWRHEST，PWRHEST則用於台灣的核三廠。推廣受阻的原因之一是要遷就現有的核電廠設備、空間，硬要改建可能成本過高，不符經濟效益，例如核一廠已經面臨2018年是否除役的問題，如果真要除役，那麼為了僅剩的10年運轉壽命而大費周章改建，就比較不合算。

此外，更多的阻礙其實來自人為局勢。核四的兩座機組受限於招標規定，核研所無法將BWRHEST技術應用到核四的減廢上；日本的日立公司曾接受PWRHEST的技術轉移，並於2003年1月與核研所簽

約，計畫將此技術使用在敦賀電廠新建的三、四號機組，但後來因該興建案與地方要求的回饋條件談判耽延多年，最後因契約逾期而解約；中國的核電興起，也對台灣的PWRHEST很有興趣，但礙於政治局勢，目前技術轉移也陷入僵局。

除了國內有些廠商希望接受技轉，歐、美許多核能技術廠商，包括法國的阿海砵集團（Areva）、德國的西門子（Siemens），甚至美國的愛達荷國家實驗室等，也都曾經與核研所簽訂合作推廣的契約，但都受限於公務機關的法規，至今動彈不得。對此，黃慶村感到很惋惜，「我們對於這些技術的立場應該是盡量推廣，因為技術價值會隨著時間消滅，推廣不出去，就不會產生價值。」

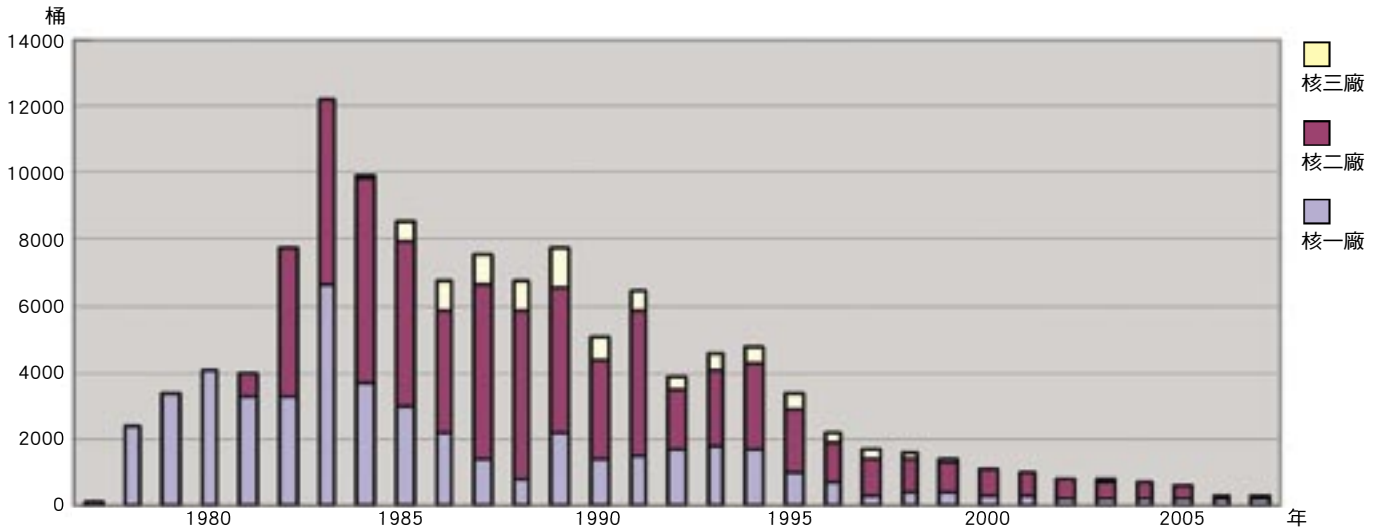
同樣受阻礙的還有最終處置場的選址問題，這也是核電發展所要面臨的棘手問題之一。經濟部的選址小組在探勘場址時，必須遵守原能會所頒佈的「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」，避開活動斷層或地質條件不佳處，並且考慮周遭水文條件、人口密度等，篩選出數個潛在場址，然後由經濟部核定一或數個候選場址，再與民眾溝通、協商後，通過地方性公投的場址就進入環評階段，最後招標、施工、開始營運。目前幾個見諸報導而呼聲較高的可能場址，座落屏東牡丹鄉與台東達仁鄉等地。

全球先進核能國家的最終處置場都採用「多重障壁」的形式來防止輻射外洩，顧名思義就是以層層的防護包住放射性核種，安定的固化體本身就是第一層障壁，第二層為固化體的容器，接著外層的混凝土結構物、可吸附核種的回填材料（例如膨潤土），都使核廢料的安全性增添保障，確保在低放核廢料300年的衰變期中不會外洩。

台電對低放核廢料的最終處置場安全性深具信心，然而「這不是技術上的問題，是政治與社會的問題。」台電副總徐懷瓊

台灣的低放射性核廢料年產量

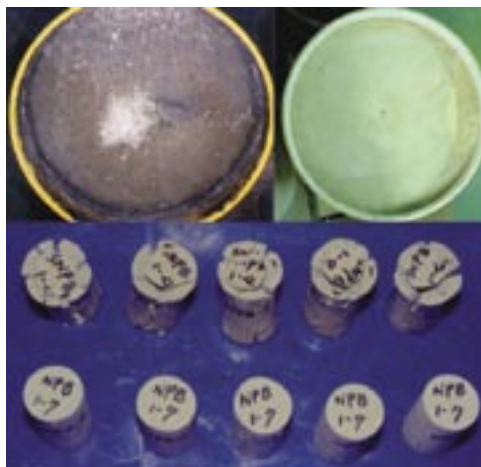
在減容技術的進步下，台灣的低放核廢料年產量已經由1983年最高的12258桶，降至2007年的259桶。



表示。在選擇場址時不只要考慮各地的地理環境條件，人文、民情也得一併考慮，有些地點位於原住民村落，探勘地質前，該地得先開部落會議；更重要的，還是民眾的意願問題，試問至今有多少人願意讓核廢料放在自家後院？

別看見核能就開槍

放眼國際，法國、美國、日本、瑞典、英國、西班牙等國都已有順利運作中的最終處置場，為了博得民眾的認同，各國最初也都花了一番苦心。例如法國國家放射性廢棄物管理局花下大筆的資金，為當地修整古蹟、建設學校，並使該地成為學習地球科學與環保的示範場所；美國也採行各種回饋方案，包括支援當地財務、增加當地工作機會，並讓處置場周圍一定距離內的居民可以做輻射檢測等。南韓早期的選址也曾遭受地方政府、民眾與環保團體的激烈抗爭，直到2005年，南韓政府提供了約三億美元的高額回饋金，並允許地方政府隨量徵收手續費，用做地方建設，此外還承諾將國營事業的韓國水力與核能電力公司總部遷往場址所在地，展現的魄力終於獲得民眾認同，最後慶州市以公投70.8%的投票率、89.5%的同意率勝出。



傳統水泥固化容易在頂部析出鹽類（如最左圖左上），核二廠利用沸水式機組廢液高效率固化技術（BWRHEST）之後已有明顯改善（如左圖右上）。下圖所比對的是傳統（圖上排）與使用BWRHEST（圖下排）產生的固化體品質，固化體龜裂的問題已經解決。

與世界各國一樣，台灣的反核聲浪也不曾絕止，但最終處置場卻是無可避免的建設。就現況而言，核電廠的低放核廢料其實可以繼續存放在貯存庫，沒有最終處置場，再撐幾十年都不是問題，但核能廢棄物不是只有來自核電廠，民間包括醫療院所、研究單位都會產生核能廢棄物，「以國家整體的立場來看，還是會需要一個最終處置場的。」徐懷瓊表示。我們可以對核能發電、對輻射安全性提出質疑，提出身為老百姓的擔憂，然而也應該放開心胸，抱持理性、科學的態度加以審視，而不是摀住耳朵，看見「核能」就開槍，這才是溝通之道。

郭雅欣 《科學人》雜誌編輯

延伸閱讀

台灣電力公司核安資訊透明化資訊網頁：
<http://wapp4.taipower.com.tw/nsis/>

行政院原子能委員會網頁：
<http://www.aec.gov.tw/www/index.php>

《台灣放射性廢棄物史話》，翁寶山編著，行政院原子能委員會放射性物料管理局編印。