

立法院第 8 屆第 8 會期  
教育及文化委員會

各國核能電廠用過核子燃料中程貯存  
模式之比較、台電公司核能一廠、  
核能二廠乾式貯存設施之審查情形  
專案報告

報告人：行政院原子能委員會  
蔡春鴻主任委員

中華民國 104 年 12 月 2 日



主席、各位委員先進：

應 大院教育及文化委員會要求，本人謹代表行政院原子能委員會就「各國核能電廠用過核子燃料中程貯存模式之比較、台電公司核能一廠、核能二廠乾式貯存設施之審查情形」，提出專案報告如下：

## 壹、各國核能電廠用過核子燃料中程貯存模式之比較

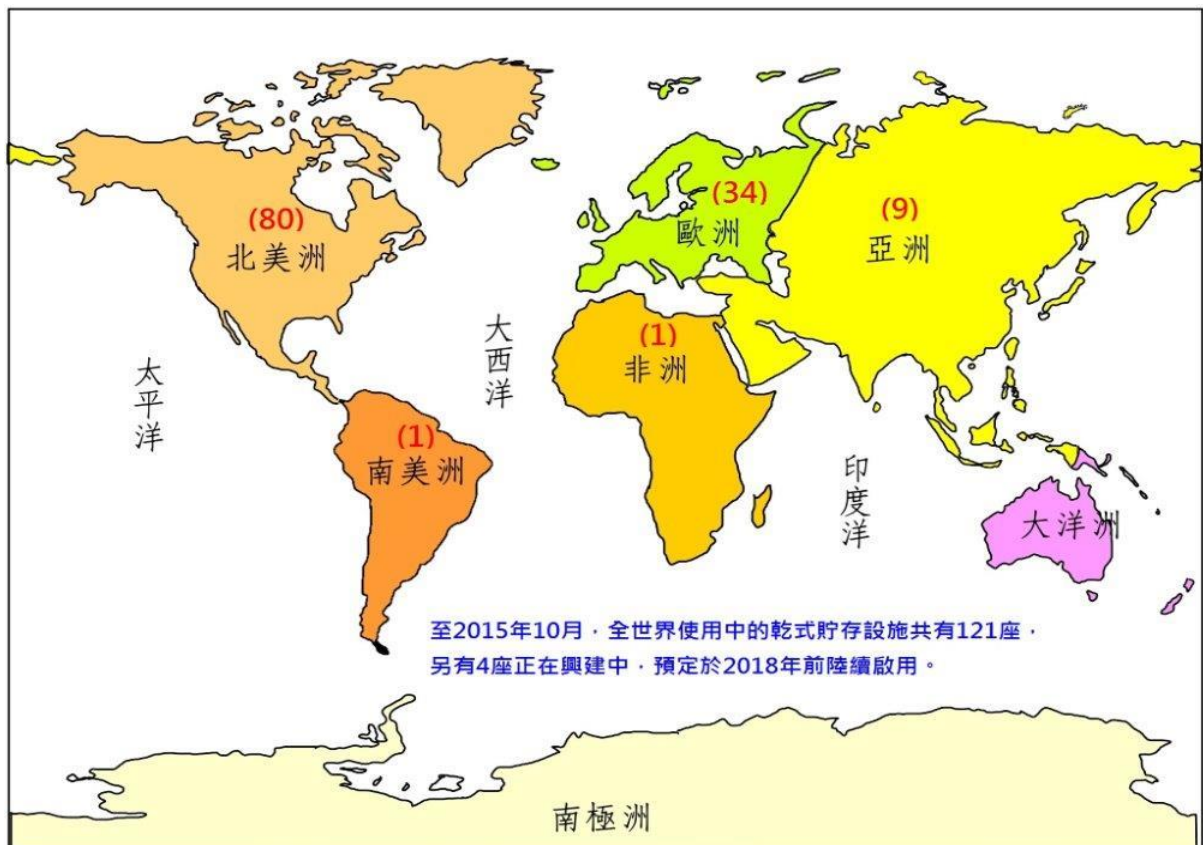
美國早期核電廠設計中之用過核子燃料管理策略乃採用包含再處理的封閉型燃料循環，因此，各核電廠貯存池的設計容量僅考量用過核子燃料從爐心退出後，於貯存冷卻一段時間後，即運往再處理廠進行再處理。但 1979 年之後，美國政府顧慮核子擴散的問題，決定放棄再處理而改採直接處置策略，於是導致各核電廠普遍存在有用過核子燃料池貯存容量不足的問題，我國國內核電廠均購自美國，因此也有此問題。國際上各國核電廠均採用中期貯存(Interim Storage)的設施來解決用過核子燃料池貯存容量不足的問題，其方式大致可分為兩種：濕式貯存及乾式貯存。國際上商轉中的濕式貯存設施，共有 31 座，分布於歐洲、美洲及亞洲等 15 個國家，大多在西年 1964~2000 年之間建造啟用，2000 年後國際上僅有 1 座濕式貯存設施建置，位於中國甘肅，商轉時間為 2003 年。其中法國、英國、俄羅斯及日本六個所村設置的 16 座濕式貯存設施，主要是配合該國用過核子燃料採取再處理之需求，中國大陸設置濕式貯存設施亦為發展再處理，並非是因為用過核子燃料貯存空間不足之緣故。截至 2014 年 10 月止，國際濕式貯存設施相關資料如附表一。

在乾式貯存方面，目前國際上營運中的用過核子燃料乾式貯存設施共有 121 座，分布於歐洲、美洲、亞洲及非洲等 22 個國家，其中美國的乾式貯存設施有 71 座、德國有 16 座、加拿大有 9 座；另有 4 座預定或已規劃之乾貯設施(附圖一)。截至 2014 年 10 月止，國際乾式貯存設施相關資料如附表二。綜合上述的資料，顯示用過核子燃料乾式貯存方式，係目前國際間普遍採行的做法。

國際上常見的用過核子燃料乾式貯存方式，包括混凝土貯存窖(Concrete Vault)、金屬護箱(Metal Cask)、混凝土護箱(Concrete Cask)、混凝土模組(Concrete Module)等四種，四種乾式貯存設施型態彙整如附表三。以美國為例，以上四種乾式貯存方式中，美國均有核能電廠採用，但除了混凝土貯存窖之設計有建築物之外，其他三種乾式貯存方式，在美國的實務經驗，均未在貯存護箱或模組外另加蓋建築物。全美目前共有 71 座乾式貯存設施，其中有 7 座位於沿海地區，均為混凝土貯存護箱。歐洲國家及日本採用金屬護箱的乾貯方式，主要是考量再處理運送、再取出操作及重覆使用的方便性。貯放在建築物內除具有較佳的景觀效果，另因金屬護箱表面輻射劑量較混凝土護箱略高，建築物可做為附加的輻射屏蔽，以確保符合廠界的輻射劑量限值。

上述四種乾式貯存設施對用過核子燃料的貯存安全設計標準皆相同，包含貯存設施之結構、熱傳、屏蔽、臨界、密封或輻射防護等均須滿足相關法規要求。乾式貯存技術在核能先進國家已有 20 年以上的安全使用經驗，上述各種乾貯設施的設計均能妥善考量各種安全問題，有效防止事故發生。乾式貯存護箱可藉由空氣自然對流散熱，不需電力長期維持冷卻水循環系統，沒有機電設備老舊損壞的問

題，具有較佳耐震能力與防海嘯影響能力，且在設施貯存容量上有較大的彈性，因此已成為國際間優先採用的貯存方式。但如何在四種型態中，考量適合不同的用過核子燃料管理策略、不同的場址特性和不同的除役策略的最佳選擇，乃為核能設施營運者的責任。

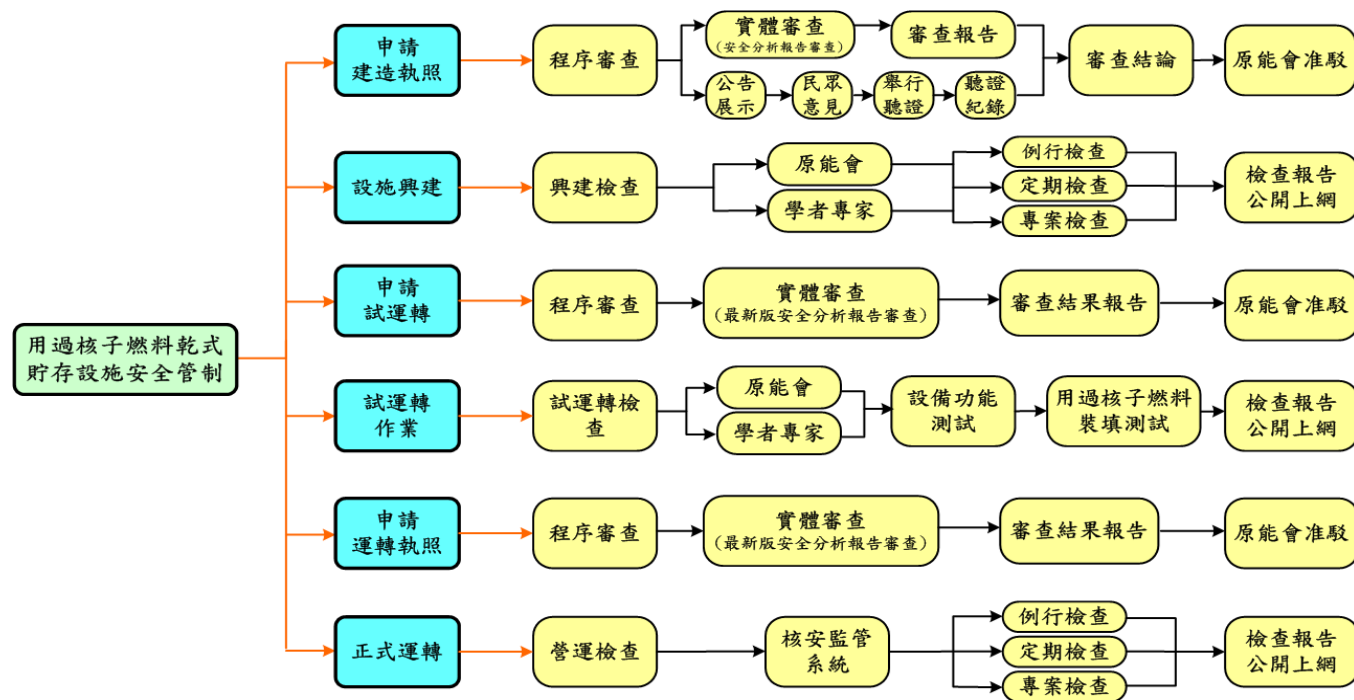


圖一、國際用過核子燃料乾式貯存設施分布圖

## 貳、核一、二廠乾式貯存設施之審查情形

由於核一、二廠現有用過核子燃料池貯存容量不足，無法滿足電廠運轉 40 年之需要，因此台電公司參照歐美先進國家的做法，規劃於核電廠現有廠區內興建乾式貯存設施，將貯存於燃料池內的用過核子燃料移往乾式貯存設施進行貯存，以維持機組安全運轉。

對於用過核子燃料乾式貯存設施的安全管制，原能會依據「放射性物料管理法」規定，採取「建造執照」與「運轉執照」兩階段審查制度，同時在設施興建、試運轉與運轉期間執行安全與品質檢查，以確保用過核子燃料貯存的安全。用過核子燃料乾式貯存設施安全管制流程如圖二。



圖二、用過核子燃料乾式貯存設施安全管制流程

## 一、核一廠乾式貯存設施安全管制

核一廠乾式貯存設施第一期設計容量為 30 組貯存護箱，每組護箱可貯存 56 束用過核子燃料，總計可貯存 1,680 束。該貯存護箱的設計，係由國內技術引進美國 NAC 公司經獲美國核管會審查通過的 UMS 護箱系統，並加以改良成為 INNER-HPS 貯存護箱。

台電公司於 96 年 3 月 29 日依據放射性物料管理法第 17 條第 1 項規定向原能會提出申請。經原能會依法辦理公

告展示、徵詢各界意見及舉行聽證，並邀請學者專家協助審查。97 年 11 月台電公司提報之「環評差異分析報告」經環保署審查通過後，原能會確認符合物管法等相關法令之規定後，於 97 年 12 月 3 日核發建造執照。該貯存設施之水土保持計畫於 99 年 9 月 13 日獲前台北縣政府(今新北市政府)審查核定，並於 100 年 1 月 12 日核發水土保持施工許可後，台電公司開始動工興建，原能會隨即派員執行每月定期、專案及無預警檢查，以監督該設施工程符合安全品質要求。台電公司已完成貯存基座及混凝土護箱之興建與製造。

台電公司於 100 年 11 月提報該設施試運轉計畫申請，經原能會邀集學者專家嚴密審查後，於 101 年 5 月核准試運轉計畫。台電公司即展開設備組件功能驗證及測試作業。原能會於每一測試步驟均派員執行專案檢查，同時邀請具實務經驗之學者專家協助查核，以管制試運轉作業安全，及確認符合原設計之安全功能。

台電公司依計畫於完成第一階段的功能驗證測試，於 102 年 3 月提報設施整體功能驗證結果報告，經原能會邀請專家學者嚴格審查，確認符合安全分析報告的要求後，於 102 年 9 月同意台電公司續依前核准的試運轉計畫書，進行後續第二階段熱測試作業。惟因台電公司尚未取得新北市政府水土保持設施完工證明，致尚無法進行熱測試作業。

## 二、核二廠乾式貯存設施安全管制

核二廠乾貯設施係採用美國 NAC 公司設計的 MAGNASTOR 護箱系統，該護箱系統已獲得美國核管會審查核准使用。每組護箱可貯存 87 束用過核子燃料。台電公

司規劃之第一期設施將設置 27 組貯存護箱，總計可貯存 2,349 束用過核子燃料。

台電公司於 101 年 2 月 14 日依據放射性物料管理法第 17 條第 1 項規定，向原能會申請核二廠乾貯設施建造執照，經原能會查核申請文件、申請人資格及送審資料之完整性後，於 101 年 3 月 15 日受理該申請案，並由原能會物管局籌組審查團隊進行安全分析報告審查。

核二廠乾貯設施的安全分析報告，係依照原能會「申請設置用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告導則」規定之內容架構撰寫，其內容共 11 章。物管局對安全分析報告的審查，主要以國內與美國之相關法規與技術標準為根據。參照之我國法規包括：放射性物料管理法及其施行細則、申請設置用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告導則、輻射防護法及其相關規定等；美國之法規與標準則包括：美國聯辦法規(10 CFR 72)、美國核管會技術規範 1536 號與 1567 號；另外參照我國與國際之相關工業標準，如國家標準(CNS)、美國機械工程師學會(ASME)標準、美國混凝土協會(ACI)標準、美國國家標準協會(ANSI)標準等。

安全分析報告的審查團隊由原能會物管局邀集 30 位國內專家學者所組成，分成綜合、場址、運轉、核臨界、屏蔽與輻射防護、結構、熱傳、密封、意外事件以及品質保證等共 10 個分組，進行審查作業。另外，原能會物管局並針對熱傳分析、屏蔽與輻射防護等關鍵性議題，與國內學術機構合作進行相關研究，且由財團法人國家實驗研究院地震工程研究中心(NCREE)平行驗證結構耐震安全，並邀請日本中央電力研究所(CRIEPI)協助確認密封鋼筒材料耐腐蝕等議題，另與美國核管會建立管道提供審查處理的

經驗供參考。

台電公司於 101 年 3 月 15 日向原能會提出申請後，原能會即依法辦理公告展示、徵詢各界意見及舉行聽證，並邀請學者專家協助審查。安全分析報告歷經六次審查，並由台電公司針對審查意見逐項回覆說明，已澄清審查委員所提出之安全相關意見，主管機關審查結論認為「核二廠用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告經審查結果可以接受」，貯存設施依審查通過之安全分析報告興建，能符合安全要求，並足以保障公眾與設施之安全。經確認符合放射性物料管理法核照規定，原能會於 104 年 8 月 7 日核發建造執照。惟因核二廠乾貯設施之水土保持計畫，迄今尚未獲得農委會審查同意，目前尚未動工建造。

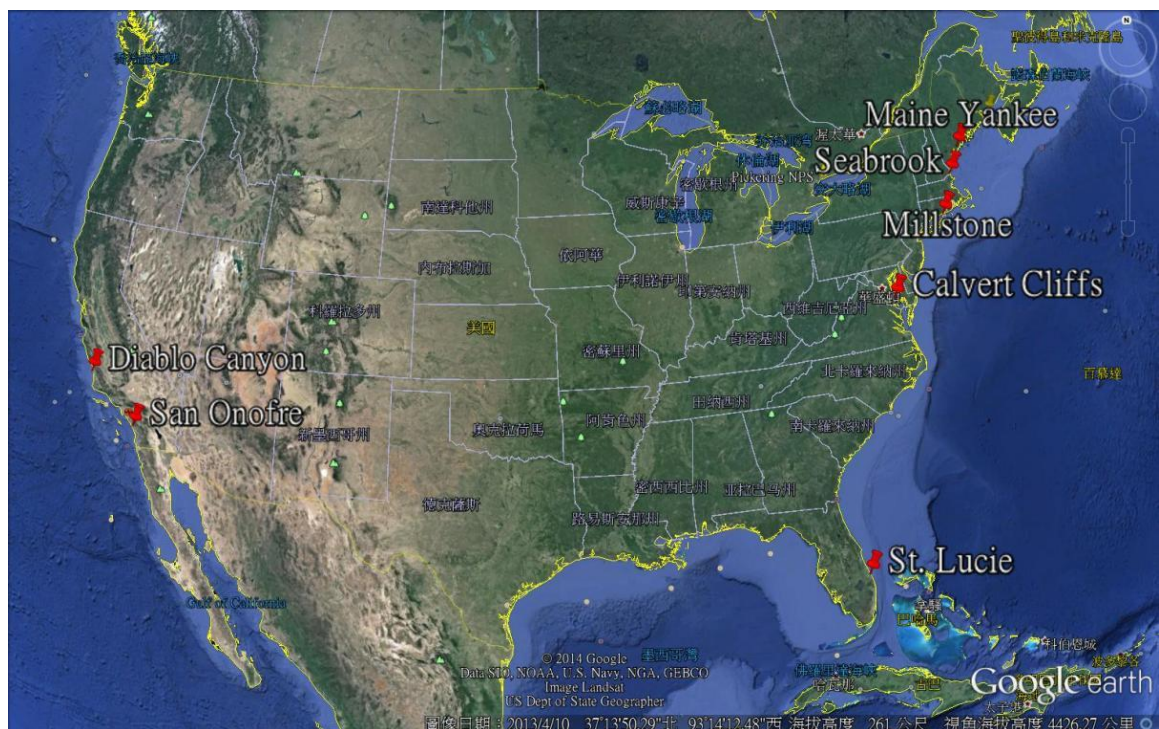
核二廠乾式貯存設施未來興建期間，原能會將嚴格監督興建工程與設備製造品質，設施興建完成後，台電公司應依法送審試運轉計畫、完成兩階段功能驗證測試及提出運轉執照申請，經原能會核准後，始得正式運轉。原能會將秉持專業嚴謹的態度，切實做好各階段之審查與安全把關工作。

### 三、有關密封鋼筒鹽霧腐蝕議題之說明

核一、二廠乾貯設施採用美國核管會核准並認證之貯存護箱系統，其密封鋼筒材質為 304L 低碳不銹鋼，適合使用於耐腐蝕要求苛刻的環境，如沿海貯存環境，美國核管會通過之使用年限可達 40 年以上，美國乾式貯存設施設置於沿海地區之案例如圖三。安全分析報告審查期間，原能會參照美國金屬協會(American Society of Metals)針對 304 不銹鋼在沿海潮濕及鹽霧環境下的腐蝕測試結果，以乾貯設施使用期限 40 年估算，其局部金屬表面平均腐蝕深度將

小於 0.01 公分，相對於乾貯設施之密封鋼筒厚度均在 1 公分以上，對結構完整性影響極小，不會影響密封鋼筒之貯存安全性。

為進一步監測密封鋼桶的結構完整性，原能會已訂定「用過核子燃料乾式貯存設施維護與監測計畫導則」，要求台電公司併同運轉執照申請文件送審，要求未來乾貯設施營運使用後，應切實執行維護監測計畫，以確保貯存安全。維護與監測計畫的重點包括貯存護箱溫度、環境輻射、邊坡、混凝土基座、保安以及貯存護箱鋼材之腐蝕劣化等監測作業。此外，原能會要求台電公司應規劃乾貯設施密封鋼筒腐蝕劣化監測技術之研究發展，並與國際接軌，以進一步保障長期的貯存安全。



圖三、美國乾式貯存設施設置於沿海地區案例

#### 四、資訊公開與民眾參與

在乾貯設施安全管制的資訊公開方面，原能會已建置放射性物料管理專屬網頁，對民眾所關心的用過核子燃料乾式貯存相關資訊，均主動公開上網供民眾閱覽。而為加強地方民眾對乾貯設施建造施工之參與，原能會辦理「民間參與訪查活動」，邀請新北市政府、石門區公所及里長、社區發展協會理事長、環保團體及學者專家等 20 位代表，實地訪查核一廠乾貯設施施工狀況，並且進行座談聽取訪查人員意見。截至目前為止，已辦理 11 次訪查活動，成效良好。未來核二廠乾貯設施若開始施工後，原能會亦將會比照辦理資訊公開及民間參與的訪查活動。

#### 參、結語

原能會為核能安全主管機關，對於核能電廠用過燃料的中期貯存，訂有明確管制規範，台電公司不論採用何種貯存方式，均需符合法規要求。

在核一、二廠乾式貯存設施的安全管制，原能會除依法執行嚴格專業審查之外，並力求資訊公開透明，在設施建造執照申請的審查過程中，依法辦理聽證，聽取各界意見；設施興建期間也邀請地方人士、環保團體及學者專家等，辦理民間參與設施興建品質訪查活動。未來乾式貯存設施營運期間，原能會亦將持續嚴格檢查，並規劃將乾式貯存設施之輻射劑量及溫度即時監測資訊，連結至原能會核安監管中心，進行全天候 24 小時的監督，並公開於原能會網站，讓民眾能夠安心放心。

附表一、國際用過核子燃料濕式貯存設施統計

| 國家 |         | 濕式貯存設施名稱                                                   | 啟用年分 | 位置                    |
|----|---------|------------------------------------------------------------|------|-----------------------|
| 歐洲 | 德國(1)   | Obrigheim NPP On-Site Interim Storage Facility (temporary) | 1999 | Baden-Wuerttemberg    |
|    | 比利時(1)  | Tihange NPP Site                                           | 1997 | Liege                 |
|    | 保加利亞(1) | Kozloduy NPP Site - Wet Storage                            | 1984 | Kozloduy District     |
|    | 芬蘭(3)   | Loviisa NPP Site (Spent Fuel Storage 1)                    | 1980 | Loviisa               |
|    |         | Loviisa NPP Site (Spent Fuel Storage 2)                    | 1985 | Loviisa               |
|    |         | Olkiluoto NPP Site, TVO KPA                                | 1987 | Eurajoki              |
|    | 法國(5)   | La Hague - C                                               | 1984 | Manche                |
|    |         | La Hague - D                                               | 1986 | Manche                |
|    |         | La Hague - E                                               | 1988 | Manche                |
|    |         | La Hague - HAO                                             | 1976 | Manche                |
|    |         | La Hague - NPH                                             | 1981 | Manche                |
|    | 俄羅斯(6)  | Kursk NPP Site                                             | 1986 | Kurskaya Oblast       |
|    |         | Leningrad NPP Site                                         | 1984 | Leningradskaya Oblast |
|    |         | Novovoronezh NPP Site                                      | 1986 | Voronezhskaya Oblast  |
|    |         | RT-1, Mayak, Reprocessing Plant Site                       | 1975 | Chelyabinskaya Oblast |
|    |         | RT-2, Krasnoyarsk, Reprocessing Plant Site                 | 1985 | Krasnoyarskaya Oblast |
|    |         | Smolensk NPP Site                                          | 1996 | Smolenskaya Oblast    |
|    | 斯洛伐克(1) | Bohunice NPP Site SFSF                                     | 1987 | Trnavsky kraj         |
|    | 瑞典(1)   | Clab ISF                                                   | 1985 | Kalmar                |
|    | 烏克蘭(1)  | Chernobyl NPP Site                                         | 1986 | Kyiv                  |
|    | 英國(4)   | NDA Sellafield B27 Pond                                    | 1964 | Cumbria               |
|    |         | NDA Sellafield Fuel Handling Plant                         | 1986 | Cumbria               |
|    |         | NDA Sellafield Pond 4                                      | 1981 | Cumbria               |
|    |         | NDA Thorp RT and ST-1,2                                    | 1988 | Cumbria               |
| 美洲 | 美國(2)   | Lacrosse NPP ISFSI                                         |      | Wisconsin             |
|    |         | Morris Reprocessing Plant Site                             | 1984 | Illinois              |
|    | 阿根廷(1)  | Atucha SF Storage Facility                                 | 1988 | Buenos Aires          |
| 亞洲 | 中國(1)   | Centralized Wet Storage Facility (CWSF)                    | 2003 | Gansu                 |
|    | 印度(1)   | Tarapur (AFR)                                              | 1990 | Maharashtra           |

|  |       |                                 |      |                      |
|--|-------|---------------------------------|------|----------------------|
|  | 日本(2) | Fukushima Daiichi NPP Site SFSF | 1997 | Fukushima-prefecture |
|  |       | Rokkasho Spent Fuel Storage     | 1999 | Aomori-prefecture    |

註：法國、英國、俄羅斯、日本的濕式貯存設施，係為該國用過核子燃料採取再處理之需求。

中國設置濕式貯存設施係為發展用過核子燃料再處理。

附表二、國際用過核子燃料乾式貯存設施統計

| 國家 |         | 乾式貯存設施名稱                                     | 護箱型式   | 啟用年分 | 位置                      |
|----|---------|----------------------------------------------|--------|------|-------------------------|
| 歐洲 | 德國(16)  | Ahaus Central Storage Facility               | 金屬護箱   | 1997 | North Rhine Westphalia  |
|    |         | Gorleben Central Storage Facility            | 金屬護箱   | 1995 | Lower Saxony            |
|    |         | Greifswald Interim Storage Facility North    | 金屬護箱   | 1999 | Mecklenburg- Vorpommern |
|    |         | Jülich                                       | 金屬護箱   | 1993 | North Rhine Westphalia  |
|    |         | Biblis NPP On-Site Storage Facility          | 金屬護箱   | 2005 | Hessen                  |
|    |         | Brokdorf NPP On-Site Storage Facility        | 金屬護箱   | 2007 | Schleswig-Holstein      |
|    |         | Brunsbüttel NPP On-site Storage Facility     | 金屬護箱   | 2006 | Schleswig-Holstein      |
|    |         | Grafenrheinfeld NPP On-site Storage Facility | 金屬護箱   | 2005 | Bavaria                 |
|    |         | Grohnde NPP On-site Storage Facility         | 金屬護箱   | 2005 | Lower Saxony            |
|    |         | Gundremmingen NPP On-site Storage Facility   | 金屬護箱   | 2006 | Bavaria                 |
|    |         | Isar NPP On-site Storage Facility            | 金屬護箱   | 2007 | Bavaria                 |
|    |         | Krümmel NPP On-site Storage Facility         | 金屬護箱   | 2006 | Schleswig-Holstein      |
|    |         | Emsland NPP On-site Storage Facility         | 金屬護箱   | 2002 | Lower Saxony            |
|    |         | Neckarwestheim NPP On-Site Storage Facility  | 金屬護箱   | 2006 | Baden-Wuerttemberg      |
|    |         | Philippsburg NPP On-Site Storage Facility    | 金屬護箱   | 2007 | Baden-Wuerttemberg      |
|    |         | Unterweser NPP On-Site Storage Facility      | 金屬護箱   | 2007 | Lower Saxony            |
|    | 捷克(2)   | ISFSF Dukovany                               | 金屬護箱   | 1995 | South Moravia           |
|    |         | ISFSF Temelin                                | 金屬護箱   | 2011 | Southern Bohemia        |
|    | 匈牙利(1)  | Paks NPP Site ISFSF                          | 混凝土貯存窖 | 1997 | Tolna                   |
|    | 比利時(1)  | Doel NPP Site (high level waste)             | 金屬護箱   | 1995 | Flandre Orientale       |
|    | 保加利亞(1) | Kozloduy                                     | 混凝土護箱  | 2011 | Kozloduy District       |
|    | 立陶宛(1)  | Ignalina                                     | 混凝土護箱  | 1998 | Lithuania               |

|    |         |                                                         |                             |                 |                       |
|----|---------|---------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------|
|    |         |                                                         | (中期貯存區 B1)<br>金屬護箱<br>(廠址內) |                 |                       |
|    | 羅馬尼亞(1) | Cernavoda                                               | 混凝土模組                       | 2003            | Constanta             |
|    | 俄羅斯(1)  | Mining and Chemical Complex at<br>Zheleznogorsk(集中貯存設施) | 混凝土貯存窖                      | 2011            | Leningradskaya Oblast |
|    | 西班牙(5)  | Ascó NPP                                                | 混凝土護箱                       | 2010            | Catalonia             |
|    |         | José Cabrera (Zorita) NPP                               | 混凝土護箱                       | 2009            | Guadalajara           |
|    |         | Trillo NPP Site SFSF                                    | 金屬護箱                        | 2002            | Guadalajara           |
|    |         | Villar de Cañas(集中貯存設施)                                 | 混凝土貯存窖                      | 預計 2018         | Cuenca                |
|    |         | Santa María de Garoña NPP                               | 金屬護箱                        | 預計 2015         | Burgos                |
|    | 瑞士(2)   | ZWILAG at Würenlingen                                   | 金屬護箱                        | 2001            | Aargau                |
|    |         | Zwibez at Beznau                                        | 金屬護箱                        | 2008            | Aargau                |
|    | 烏克蘭(2)  | Zaporozhe NPP Site                                      | 混凝土護箱                       | 2001            | Zaparozhskaya Oblast  |
|    |         | Chernobyl NPP Site                                      | 混凝土護箱                       | 預計 2017<br>完成建造 | Kyiv                  |
|    | 英國(1)   | NDA Wylfa NPP Site                                      | 混凝土貯存窖                      | 1979            | Wales                 |
| 美洲 | 美國(71)  | Arkansas Nuclear No:1 NPP Site ISFSI                    | 混凝土護箱                       | 1996.12         | Arkansas              |
|    |         | Big Rock Point NPP Site ISFSI                           | 混凝土護箱                       | 2002.11         | Michigan              |
|    |         | Braidwood                                               | 混凝土護箱                       | 2011.11         | Illinois              |
|    |         | Browns Ferry NPP Site                                   | 混凝土護箱                       | 2005.8          | Alabama               |
|    |         | Brunswick NPP ISFSI                                     | 混凝土模組                       | 2010.6          | North Carolina        |
|    |         | Byron NPP Site                                          | 混凝土護箱                       | 2010.9          | Illinois              |
|    |         | Calvert Cliffs NPP Site (沿海環境)                          | 混凝土模組                       | 1992.11         | Maryland              |
|    |         | Catawba NPP ISFSI                                       | 混凝土護箱                       | 2007.7          | North Carolina        |
|    |         | Columbia NPP Site ISFSI                                 | 混凝土護箱                       | 2002.9          | Washington            |

|  |                                  |            |         |                |
|--|----------------------------------|------------|---------|----------------|
|  | Comanche Peak                    | 混凝土護箱      | 2012.2  | Texas          |
|  | Connecticut Yankee (Haddam Neck) | 混凝土護箱      | 2004.5  | Connecticut    |
|  | Cooper                           | 混凝土模組      | 2010.10 | Nebraska       |
|  | Davis Besse NPP Site ISFSI       | 混凝土模組      | 1996.1  | Ohio           |
|  | D.C.Cook                         | 混凝土護箱      | 2011.11 | Michigan       |
|  | Diablo Canyon NPP (沿海環境)         | 混凝土護箱      | 2004.3  | California     |
|  | Dresden NPP Site                 | 金屬護箱&混凝土護箱 | 2000.7  | Illinois       |
|  | Duane Arnold NPP Site            | 混凝土模組      | 2003.9  | Iowa           |
|  | Farley NPP Site                  | 混凝土模組      | 2005.8  | Alabama        |
|  | FitzPatrick NPP Site             | 混凝土護箱      | 2002.4  | New York       |
|  | Fermi 2                          | 混凝土護箱      | 2014.7  | Ohio           |
|  | Fort Calhoun NPP Site ISFSI      | 混凝土模組      | 2006.7  | Nebraska       |
|  | Fort St. Vrain NPP               | 混凝土貯存窖     | 1991.11 | Colorado       |
|  | Ginna NPP ISFSI                  | 混凝土模組      | 2010.3  | New York       |
|  | Grand Gulf NPP Site ISFSI        | 混凝土護箱      | 2006.11 | Mississippi    |
|  | H.B. Robinson NPP                | 混凝土模組      | 1986.8  | South Carolina |
|  | H.B. Robinson NPP                | 混凝土模組      | 2005.9  | South Carolina |
|  | Hatch NPP Site                   | 金屬護箱&混凝土護箱 | 2000.7  | Georgia        |
|  | Hope Creek ISFSI                 | 混凝土護箱      | 2006.11 | New Jersey     |
|  | Humboldt Bay                     | 混凝土護箱      | 2005.11 | California     |
|  | Idaho Spent Fuel Facility        | 混凝土貯存窖     | 2004.11 | Idaho          |
|  | Indian Point ISFSI               | 混凝土護箱      | 2008.1  | New York       |
|  | Kewaunee NPP ISFSI               | 混凝土模組      | 2009.9  | Wisconsin      |

|  |                                    |                  |         |                |
|--|------------------------------------|------------------|---------|----------------|
|  | LaCrosse                           | 混凝土護箱            | 2011.7  | Wisconsin      |
|  | LaSalle County ISFSI               | 混凝土護箱            | 2010.11 | Illinois       |
|  | Limerick NPP ISFSI                 | 混凝土模組            | 2008.8  | Pennsylvania   |
|  | Maine Yankee NPP Site ISFSI (沿海環境) | 混凝土護箱            | 2002.8  | Maine          |
|  | McGuire NPP Site ISFSI             | 金屬護箱             | 2001.2  | North Carolina |
|  | Millstone NPP Site (沿海環境)          | 混凝土模組            | 2005.2  | Connecticut    |
|  | Monticello                         | 混凝土模組            | 2008.9  | Minnesota      |
|  | Nine Mile Point                    | 混凝土模組            | 2012.4  | New York       |
|  | North Anna NPP                     | 金屬護箱             | 1998.6  | Virginia       |
|  | North Anna NPP site ISFSI          | 混凝土模組            | 2008.3  | Virginia       |
|  | Oconee NPP                         | 混凝土模組            | 1990.1  | South Carolina |
|  | Oconee NPP site ISFSI              | 混凝土模組            | 1999.3  | South Carolina |
|  | Oyster Creek NPP Site              | 混凝土模組            | 2002.4  | New Jersey     |
|  | Palisades NPP Site ISFSI           | 混凝土護箱&混凝土<br>模組  | 1993.5  | Michigan       |
|  | Palo Verde NPP Site                | 混凝土護箱            | 2003.3  | Arizona        |
|  | Peach Bottom NPP Site ISFSI        | 金屬護箱             | 2000.6  | Pennsylvania   |
|  | Perry                              | 混凝土護箱            | 2007.8  | Ohio           |
|  | Point Beach NPP Site ISFSI         | 混凝土護箱&混凝土<br>土模組 | 1996.5  | Wisconsin      |
|  | Prairie Island NPP                 | 金屬護箱             | 1993.10 | Minnesota      |
|  | Private Fuel Storage ISFSI         | 混凝土護箱            | 2006.2  | Utah           |
|  | Quad Cities NPP Site               | 混凝土護箱            | 2005.12 | Illinois       |
|  | Rancho Seco NPP                    | 混凝土模組            | 2000.6  | California     |

|  |        |                                         |       |         |               |
|--|--------|-----------------------------------------|-------|---------|---------------|
|  |        | River Bend NPP Site                     | 混凝土護箱 | 2005.12 | Louisiana     |
|  |        | Salem                                   | 混凝土護箱 | 2010.5  | Delaware      |
|  |        | San Onofre NPP Site (沿海環境)              | 混凝土模組 | 2003.10 | New Jersey    |
|  |        | Seabrook ISFSI (沿海環境)                   | 混凝土模組 | 2008.8  | New Hampshire |
|  |        | Sequoyah NPP Site ISFSI                 | 混凝土護箱 | 2004.7  | Tennessee     |
|  |        | St. Lucie NPP Site (沿海環境)               | 混凝土模組 | 2008.3  | Florida       |
|  |        | Surry NPP                               | 金屬護箱  | 1986.7  | Virginia      |
|  |        | Surry NPP Site ISFSI                    | 混凝土模組 | 2007.8  | Virginia      |
|  |        | Susquehanna NPP Site ISFSI              | 混凝土模組 | 1999.10 | Pennsylvania  |
|  |        | TMI-2, Debris at Idaho                  | 混凝土模組 | 1999.3  | Idaho         |
|  |        | Trojan NPP Site                         | 混凝土護箱 | 1999.3  | Oregon        |
|  |        | Turkey Point                            | 混凝土模組 | 2010.7  | Florida       |
|  |        | Vermont Yankee NPP ISFSI                | 混凝土護箱 | 2008.5  | Vermont       |
|  |        | Vogtle ISFSI                            | 混凝土護箱 | 2013.11 | Georgia       |
|  |        | Waterford                               | 混凝土護箱 | 2011.11 | Louisiana     |
|  |        | Yankee Rowe NPP Site ISFSI              | 混凝土護箱 | 2002.6  | Massachusetts |
|  |        | Zion                                    | 混凝土護箱 | 2014.1  | Zion          |
|  | 阿根廷(1) | Embalse SF Storage Facility             | 混凝土護箱 | 1993    | Cordoba       |
|  | 加拿大(9) | Bruce A and B NPP                       | 混凝土護箱 | 2002    | Ontario       |
|  |        | Darlington NPP                          | 混凝土護箱 | 2008    | Ontario       |
|  |        | Douglas Point waste management facility | 混凝土護箱 | 1987    | Ontario       |
|  |        | Gentilly 1 NPP Site                     | 混凝土護箱 | 1985    | Quebec        |
|  |        | Gentilly 2 NPP Site                     | 混凝土模組 | 1995    | Quebec        |
|  |        | Pickering A and B NPP                   | 混凝土護箱 | 1995    | Ontario       |
|  |        | Point Lepreau NPP Site                  | 混凝土護箱 | 1990    | New Brunswick |

|    |         |                                 |             |         |                      |
|----|---------|---------------------------------|-------------|---------|----------------------|
|    |         | Chalk River Laboratories        | 混凝土護箱       | 1987    | Ontario              |
|    |         | Whiteshell Laboratories         | 混凝土護箱       | 1977    | Manitoba             |
| 亞洲 | 中國(1)   | Qinshan-3                       | 混凝土模組       | 2009    | 浙江                   |
|    | 印度(2)   | Tarapur NPP Site                | 混凝土護箱       | 1990    | Maharashtra          |
|    |         | Rajasthan NPP Site              | 混凝土護箱       | 1994    | Rajasthan            |
|    | 日本(3)   | Fukushima Daiichi NPP Site SFSF | 混凝土模組       | 1995    | Fukushima-prefecture |
|    |         | Tokai II NPP Site SFSF          | 金屬護箱        | 2001    | Ibaraki-prefecture   |
|    |         | Recyclable-Fuel Storage Center  | 金屬護箱        | 預計 2016 | Mutsu                |
|    | 哈薩克(1)  | Baikal                          | 金屬/混凝土護箱    | 2008    | Kurchatov            |
|    | 韓國(1)   | Wolsong Dry Storage             | 混凝土模組&混凝土護箱 | 1992    | Kyong Sang Buk-Do    |
| 非洲 | 亞美尼亞(1) | Metzamor NPP Site               | 混凝土護箱       | 2000    | Armavir Region       |
|    | 南非(1)   | Koeberg                         | 金屬護箱        | 2007    | Western Cape         |

附表三、用過核子燃料乾式貯存設施型態彙整表

| 貯存型態                       | 圖例                                                                                 | 廠家名稱                 | 貯存系統型號       | 使用國家              |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|-------------------|
| 混凝土地窖<br>(Concrete Vault)  |   | 美國<br>Foster Wheeler | MVDS         | 匈牙利<br>英國<br>美國   |
| 混凝土模組<br>(Concrete Module) |   | 美國 Transnuclear      | NUHOMS       | 亞美尼亞<br>加拿大<br>美國 |
|                            |                                                                                    | 加拿大 AECL             | MACSTOR      |                   |
| 混凝土護箱<br>(Concrete Cask)   |  | 美國 NAC               | MPC          | 阿根廷               |
|                            |                                                                                    |                      | UMS          | 加拿大               |
|                            |                                                                                    |                      | MAGNASTOR    | 韓國                |
|                            |                                                                                    | 美國 Holtec            | HI-STORM 100 | 立陶宛               |
|                            |                                                                                    |                      | HI-STORM FW  | 羅馬尼亞              |
|                            |                                                                                    | 美國 Energy solutions  | W150         | 俄羅斯               |
|                            |                                                                                    |                      | VSC-24       | 烏克蘭               |
|                            |                                                                                    | 德國 GNS               | CONSTOR 系列   | 美國                |
|                            |                                                                                    | 加拿大 OPG              | DSC          |                   |

|                      |                                                                                   |                   |                     |                  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|------------------|
|                      |                                                                                   | 加拿大 AECL          | Concrete Silo       |                  |
| 金屬護箱<br>(Metal Cask) |  | 美國 NAC            | S/T 系列              | 比利時              |
|                      |                                                                                   | 美國 Transnuclear   | TN 系列               | 捷克               |
|                      |                                                                                   | 美國 Holtec         | Hi-STAR100          | 德國               |
|                      |                                                                                   | 德國 GNS            | CASTOR 系列           | 印度               |
|                      |                                                                                   | 日本 Hitachi -Zosen | Hitachi –Zosen 貯存護箱 | 日本               |
|                      |                                                                                   | 美國 Westinghouse   | MC-10               | 立陶宛<br>西班牙<br>美國 |