



財團法人 中華民國輻射防護協會

輻射防護簡訊

第 146 期

發行人
張似璟

主編
張似璟

編輯委員
尹學禮 江祥輝
劉代欽 蔡惠予 魯經邦

出版單位
財團法人中華民國輻射防護協會

地址
30017 新竹市
光復路二段 295 號 15 樓之 1

03-5722224 電話
03-5722521 傳真
01486683 統編

rpa.newsletter@gmail.com 電郵
www.rpa.org.tw 網站

行政院新聞局 出版事業登記證
局版北市誌字 第柒伍零號

協會報導

第 3 頁

2017 Harshaw TLD 使用者研討會紀實

本協會使用佩章為 Harshaw TLD，雖然價格昂貴，但品質穩定，熱發光的特性良好。今年六月參加在義大利杜林舉行之 Harshaw TLD 使用者研討會。研討會主要內容有專題演講、服務業者經驗分享、產品改良與新型產品介紹等。

訓練班公告

第 8 頁

公告本會各項訓練班開課時間。

新聞廣場

第 10 頁

各項證照考試資訊、國內產官學界最新消息、以及近日全球輻防新聞。

輻防新知

第 12 頁

美洲保健物理學會臺灣總會 2017 會員大會專題演講

低劑量下輻射暴露線性無低限(LNT)理論的爭議探討與省思

美洲保健物理學會臺灣總會成立於民國 93 年，以促進輻射效應與輻射防護相關科學與技術之發展為宗旨。本文特別報導該學會 2017 會員大會專題演講，期許大眾對 LNT 理論能有進一步的了解，並對其爭議能有所省思。

輻說 – 廖彥朋專欄

第 15 頁

電熱毯恐致胎兒畸形？

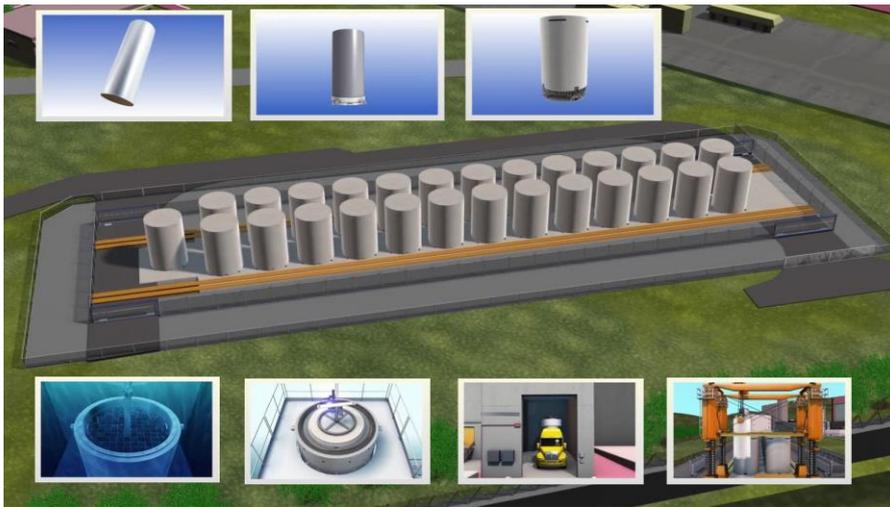
懷孕期間不要有一些不良嗜好，像是喝酒、吸菸，規律的生活、營養均衡、定期產檢才是有效降低胎兒風險的不二法則。

專題報導

第 18 頁

簡介乾式貯存設施之設計考量

福島事件發生後，美國核管會即建議將冷卻時間超過 5 年的燃料進行乾貯以減少燃料池的負擔。日本亦採用乾式貯存搭配燃料再處理作為燃料後端營運之策略。



乾式貯存設施示意圖(圖片來源：台電公司)

用過核燃料何去何從？- 乾式貯存設施

主編 張如琛

妮莎颱風 7 月底侵襲台灣，除了帶來強風豪雨造成農業災情外，並造成位於東澳的和平電廠輸配電塔倒塌，影響一百三十萬戶供電。今年夏天台電公司原本就面臨供電不足的窘境，和平電廠輸配電塔倒塌無疑是雪上加霜，而我們也迎來了代表限電警戒的備轉容量紅燈。面對如此嚴峻的環境，社會上出現了要求重啟核電以徹底解決目前缺電限電危機的聲浪，但也引發了反核人士堅持貫徹「2025 非核家園」的訴求。反核人士所抱持的論點無非是我們無法承擔核子意外事故的後果，以及核廢料無法處理的問題。

核廢問題真的無解嗎？繼報導簡介我國低放射性廢棄物的歷史及發展後，本期專題報導特別介紹核電廠用過核燃料 [乾式貯存設施之設計考量](#)，應該可以回答很多讀者們對乾式貯存設施的疑惑，也讓我們對此議題能有進一步的瞭解。

福島事件發生後，美國核管會即建議將冷卻超過 5 年的用過核燃料進行乾式貯存，以減少燃料池的負擔。日本亦採用乾式貯存搭配燃料再處理作為燃料後端營運之策略。反觀我國核一廠乾貯設施延宕多年，一直未能啟用，造成電廠後續不論是繼續發電或除役的困難度。在此社會氛圍之下，我們只能期許一切能回歸專業，不要讓我們在炎炎夏日時時擔心無電可用。

歡迎賜稿，稿件請寄：

輻防協會編輯組

300 新竹市光復路二段 295 號

15 樓之 1 或

傳真 (03)572-2521 或

電郵 rpa.newsletter@gmail.com

來稿一經刊登，略奉薄酬；

政令宣導文章，恕無稿酬。



2017 Harshaw TLD Users' Group Meeting · Torino, Italy · June 12-14

2017 Harshaw TLD 使用者研討會紀實

依據「游離輻射防護法」第十五條第一項之規定：「為確保輻射工作人員所受職業曝露不超過劑量限度並合理抑低，雇主應對輻射工作人員實施個別劑量監測」，所謂「個別劑量監測」的實際作法，是以配戴佩章的方式實施人員體外輻射劑量監測。熱發光劑量計（ThermoLuminescence Dosimeter，簡稱 TLD），是最常用的人員劑量計之一，其基本原理是利用熱發光晶體經輻射照射後，儲存訊號於熱發光晶體內，晶體經過加熱後釋放出磷光，再將發光量換算成輻射劑量。

本協會使用佩章為 Harshaw TLD，雖然價格昂貴，但品質穩定，熱發光的特性良好，國內外有很多的佩章服務業者採用該廠牌的 TLD。今年六月本人有機會參加「2017 Thermo Scientific Harshaw TLD Users Group Meeting」，該研討會由 Harshaw TLD 的製造商 Thermo Fisher Scientific Inc. 與其協力廠商 Tecnologie Avanzate 公司共同舉辦，於 6 月 12 至 14 日在義大利杜林舉行，此次與會人員共 30 多人，分別來自 13 個國家，不同領域的 TLD 計讀單位或公司，此次研討會雖然只有三天，但內容豐富，行程非常緊湊，連午餐及晚餐時間也不浪費，大家回到飯店都已接近午夜。

研討會主要內容有專題演講、TLD 服務業者的經驗分享、Thermo 資深工程師的教學、產品改良與新型產品介紹、座談討論及意見回饋等，簡述如下：

作者

簡文彬

輻射防護協會 劑量組組長

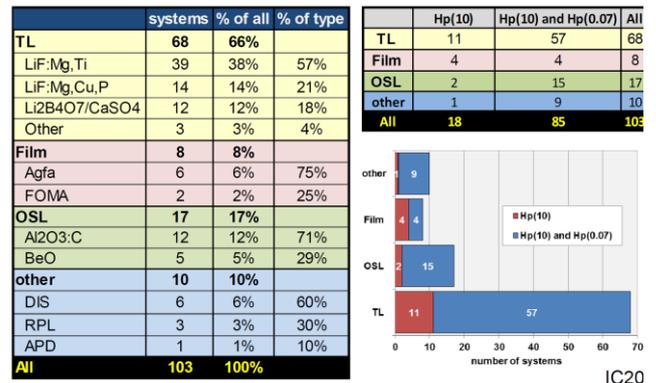
專題演講

研討會由奧地利 Seibersdorf 實驗室 Hannes Stadtma 博士的專題演講開場，題目為「Standards, Type tests, Accreditation, Intercomparisons - What do we really need?」，內容包括 IEC (International Electrotechnical Commission)、ISO (International Organization for Standardization) 及 EN (European standard adopted by the European Standards Organizations) 等組織對於人員體外輻射劑量監測之標準或認證規範的簡介及其演進。身為 EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) 委員的 Hannes 博士同時介紹 EURADOS 所舉辦的大型相互比較測試 (Intercomparison) 的成果，2016 年參加該測試的計讀單位高達一百多個，使用的劑量計型式包括熱發光劑量計 (TLD)、冷發光劑量計 (OSLD)、玻璃劑量計 (RPLD) 及膠片佩章 (Film) 等，其中以熱發光劑量計的數量占 66% 居冠，冷發光劑量計 17% 次之，膠片佩章僅剩 8%。從測試結果發現，熱發光劑量計符合認證規範的比率較高，顯然熱發光劑量計仍是人員劑量計的主流，但冷發光劑量計的市占率明顯上升中，值得計讀單位對其特性作更深入的瞭解及探討。此次，很多與會的單位都有參加此相互比較測試，國內的計讀單位將來也考慮參加。

另一場重要的演講，由二十多年經驗的 Thermo Fisher 放射物理師，美籍大陸華人羅琳博士主講，題目為「Dosimetric Performance Comparison of Thermo Scientific dosimeters」，她介紹多種 Thermo Harshaw 熱發光晶體的測試結果，包括能量依特性、方向依特性、線性反應及佩章盒濾片的測試等。測試結果顯示氟化鋰 (LiF) 晶體的能源依特性小，對於加馬輻射場，只要二個 LiF 晶片，



參加 EURADOS 2016 年比較測試的 103 種劑量計



EURADOS 2016 年比較測試使用劑量計的百分比

就可以評估 Hp(10) 及 Hp(0.07) 劑量；若使用三個 LiF 晶片搭配佩章盒內的濾片及對應的劑量計算程序，則可以評估 x 射線及光子貝他混合場；如果還有中子輻射的存在，則必須使用四個 LiF 晶片，搭配佩章盒內的濾片及劑量計算程序才能達到能力試驗的要求。由於三晶片佩章與四晶片佩章的成本差不多，因此國內的佩章服務都採用四晶片佩章，以提供更好的服務品質。此外，測試結果還發現，LiF:Mg,Ti 晶體在評估 100kV 以下的 x 射線時，劑量可能會高估，雖然經過計算程序修正，但 N60 射質的偏差仍可能高達 0.4 以上，這對於 Harshaw TLD 的評估 60~80 kV 的 x 射線時，結果比較容易高於允差範圍，作了很好的說明。

羅琳博士的另一場演講題目為：眼球劑量計 (Eye Dosimetry)，她談到國際輻射防護委員會 (ICRP) 對於眼球劑量管制值的建議，從 ICRP-26 報告(1977 年)的每年 300 毫西弗，逐漸降低到 ICRP-118 報告(2012 年)的連續五年 100 毫西弗，且單一年不得超過 50 毫西弗。國際原子能總署(IAEA) 已引用新的眼球劑量限值，歐盟也要求其會員國於 2018 年 2 月前採用新的劑量限值，顯然，將來對於眼球劑量計的需求可能會因此而增加，目前 Thermo 有三款眼球劑量計可供選擇，分別為 DXT-100 (LiF:Mg,Ti)、及靈敏度較高的 EXT-107H 或 XD-707H (LiF:Mg,Cu,P)。

TLD 使用者經驗分享

此次研討會共邀請四個 Thermo TLD 使用單位，發表經驗分享報告：

1. Dt. Francesco Rossi, Careggi University Hospital, Italy，介紹該醫院人員劑量計測試實驗室申請實



眼球劑量計(DXT-100)

圖片來源：Thermo Fisher

驗室認證的歷程與心得，認證規範係依據 IOS/IEC 17025，與全國認證基金會(TAF)的認證規範相同，感覺相當熟悉。該單位的佩章用戶約五千人，使用的佩章是 2 晶片的 TLD，佩章盒自行設計及製造，沒有參加能力試驗，品管措施也不是很完備，相較之下，其品質水準不及國內的人員劑量評估實驗室。

2. Ria Bogaerts, UZ Leuven, Belgium，主要介紹該醫院的人員劑量評估實驗室品質系統的作法與表現，該實驗室於 1996 年就已通過 IOS/IEC 17025 認證，經驗頗為豐富，雖然佩章用戶僅一千多人，但其品保及品管的作法相當完備且成熟，部分品管的作法相當不錯，值得學習。

3. Masoumeh Salmani, DESY, Germany，德國電子加速器(Deutsches Elektronen Synchrotron，簡稱 DESY) 是德國的大型粒子物理學研究機構，在柏林和漢堡均有研究中心，其中 XFEL 加速器的電子最大能量可達 17.5 GeV。基於研究需要，必須量測極高的劑量，100 戈雷以下，採用 TLD-100 (LiF:Mg,Ti)，100 戈雷以上，則使用 TLD-800(Li₂B₄O₇: Mn)，因為 TLD-100 的量測範圍為 0.1 μ Gy~10 Gy，而 TLD-800 的量測範圍為 0.5 mGy~100 kGy，但就其經驗，TLD-800 最高只能測到 50kGy。TLD 經高劑量照射，晶片會受損，靈敏度也會降低，淘汰率很高，但 TLD-800 使用量少，不易取得，是加速器或同步輻射等研究單位所遇到的難題。

4. Henrik Roed, Danish Health Authority, Denmark，該計讀單位的佩章用戶約 12,000 人，來自一千多個使用單位，工作人員有五位，三位是技術員，二位是物理師，有二部 8800 PLUS 計讀儀，規模

與國內主要計讀單位差不多，可是他們的佩章用戶有 69%來自醫用類，而工業用類只占 8%，與國內的醫用類 33%及工業用類 42% 差別很大。該計讀單位原本使用膠片佩章，2011 年起引進 TLD 系統，2016 年才全面改用 TLD，因為本協會於三年多前也引進 8800 PLUS 計讀儀，報告中所提到的一些資料轉換及處理的經驗，很值得參考。此外，報告中提到 8800 PLUS 需要改善的一些意見，與我們想法不謀而合，會中已獲得 Thermo 公司回應並同意改善。

新產品及產品改良介紹

此次 Thermo 公司共來了六位相關人員，包括 Christoph Simson，銷售支援經理，Mark Ramlo，全球核能及醫學市場部經理，John Tucker，全球劑量計部門經理，Ling Luo，資深物理師，Brenda Freidag Bruker，市場總監，Cassidy McKee，劑量計銷售經理，也是此次研討會承辦人。

會中，Cassidy 利用影片介紹 Harshaw TLD 生產工廠及 TLD 生產過程，並介紹及展示 Thermo 新一代的電子個人劑量計 (Electronic Personal Dosimeters, EPD) TruDose 第三版(2017 年)，此次改進的部分有：強化外盒，防水防塵，簡化設定操作、改進傳輸速率及距離、放大字體、及增強螢幕亮度等，搭配 EPD reader 及 EasyEPD3 軟體可方便管理人員劑量。新版的 TruDose EPD 可以偵測光子輻射、貝他及中子輻射，適用於核能電廠、軍方及第一線救援人員等，國內的緊急事件處理中心(Emergency Operation Center，EOC)已採用第一代及第二代的 TruDose EPD。

Mark 介紹 Thermo 公司為了使 TLD 能有好的

重複性(Repeatability)，以及在不同的計讀儀或不同環境條件下，系統能有好的再現性，他們利用 LiF:Mg,Cu,P 及 8800 TLD Reader 進行一系列測試，他發現將 TLD Chip 由原本的方形晶體切片改成晶體小顆粒再壓製成圓形薄片，有助於提升系統的再現性，會中並發送樣品請大家回去測試，將來 Thermo 應該會採用此型式的 TLD Chip。

此外，Mark 也報告幾個產品改良及更換的說明，包括：

1. 更換計讀儀光電倍增管的紅外線過濾器，以解決 2013~2016 年間出廠的計讀儀光電管雜訊偏高的問題，本協會的 8800 PLUS 就是其中之一，經反映，會中已答應免費更換。
2. 新的計讀儀將使用新一代 CPU、主機板及主機軟體，可以完全相容 Windows 10、支援觸控螢幕，並改善及增加軟體功能。
3. 圓柱形棒體 TLD 已停產，改用方形棒體 TLD 取代。
4. 佩章盒量淺部劑量的濾片 (Mylar Filter) 已更換供應商。
5. 計讀儀資料庫軟體 WinREMS 更新為 WinREMS SQL v 3.0 版，將陸續增加更多功能。



電子個人劑量計(TruDose³)

教學課程

此次研討會也安排教學課程，分成二組，依個人興趣選擇，Mark 負責講解輝光曲線(Glow Curve)分析及 WinREMS SQL 使用教學，Christoph 則負責計讀儀操作、校正及維護的訓練，個人對計讀儀維護較感興趣，所以選擇 Christoph 這組。Christoph 有非常豐富的計讀儀維修經驗，這次難得有機會面對面討教，特別請教維修方面的問題，經他現場示範，果然很有收穫。



講師 Christoph 現場教學

結語

本次研討會的主題為「互動、交流、經驗」(Engage. Exchange. Experience.)，主辦單位利用兩天晚宴時間，讓同業間有機會可以互動認識，主動建立聯絡群組，方便日後相互聯繫，並安排同業簡報及經驗分享，相互學習，以提昇業者的服務品質，透過專家發表專題演講及技術專家實施訓練課程，增強業者的專業能力，以符合國際相關認證規範的要求，並藉由座談討論問題及蒐集業者回饋建議，以幫助產品改良及作為將來新產品開發的參考，此次研討會，雖然時間不長，但主辦單位非常用心安排此次議程，議題內容豐富，令與會者不虛此行。



參加人員的合照(2017/06/13)

輻射防護協會

TLD 佩章服務介紹

游離輻射（放射線）廣泛應用在工業、農業、學術與醫療等各領域，為確保其工作人員之安全健康，以達「合理抑低」輻射劑量之目的，特成立人員體外劑量測試實驗室，提供輻射劑量佩章服務，利用「熱發光劑量計」監測工作人員所接受之體外輻射劑量。

服務內容

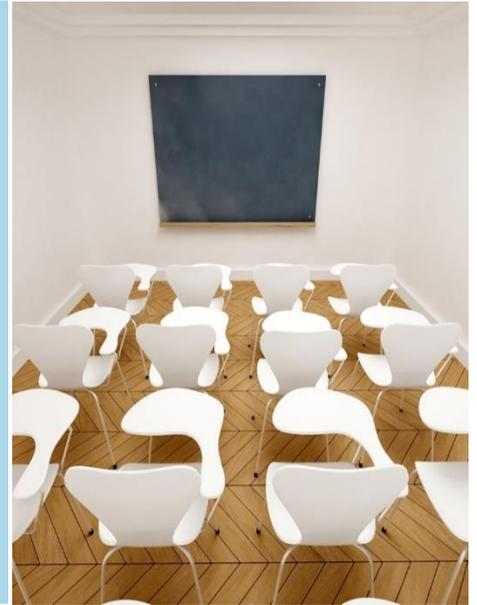
- 佩章之租用：包含佩章盒、熱發光晶片及其配件。
- 佩章計讀及人員體外劑量之計算：每月評估一次。
- 劑量測試報告之定期寄送。
- 輻防相關訊息：於網頁上提供輻射防護相關之小百科、小故事或其他短文，以聚沙成塔的方式，推廣輻射防護觀念。

佩章服務諮詢專線

0800-022224 或
03-5722224 分機 319
劉尚艾 小姐

有興趣的朋友請蒞臨[本會網站進一步了解](#)。

訓練班開課時間



放射性物質或可發生游離輻射設備 操作人員研習班

A 組

36 小時許可類設備

A3	08 月 01 日 ~ 08 日	高雄 文化大學推廣部
A4	08 月 07 日 ~ 14 日	新竹 帝國經貿大樓

B 組

18 小時登記備查類設備

B14	08 月 15 日 ~ 17 日	台中 文化大學推廣部
B15	08 月 29 日 ~ 31 日	高雄 文化大學推廣部
B16	09 月 19 日 ~ 21 日	新竹 帝國經貿大樓
B17	09 月 26 日 ~ 28 日	台北 建國大樓
B18	10 月 25 日 ~ 27 日	高雄 文化大學推廣部
B19	11 月 08 日 ~ 10 日	台中 文化大學推廣部
B20	11 月 22 日 ~ 24 日	新竹 帝國經貿大樓
B21	11 月 28 日 ~ 30 日	台北 建國大樓
B22	12 月 26 日 ~ 28 日	高雄 文化大學推廣部

輻射防護專業人員訓練班

輻防師 144 小時、輻防員 108 小時

／新竹帝國經貿大樓

員 32 期	第一階段	12 月 11 日～ 15 日
	第二階段	12 月 18 日～ 22 日
	第三階段	
	第四階段	
進階 21 期 (原 20 期末開班)	21 - 1	08 月 16 日～ 18 日
	21 - 2	08 月 21 日～ 23 日

輻射防護繼續教育訓練班*

三小時	08 月 25 日	台中
	09 月 06 日	台北
	09 月 15 日	高雄
	10 月 06 日	新竹
	11 月 03 日	新竹
	11 月 14 日	台北
六小時	10 月 19 日	高雄
	12 月 01 日	新竹

鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班*

鋼	10 月 26 日～ 27 日	高雄
	11 月 16 日～ 17 日	新竹 帝國經貿大樓高雄

上課地點

台北	建國大樓	台北市館前路 28 號
新竹	帝國經貿大樓	新竹市光復路二段 295 號 20 樓
台中	文化大學推廣部	台中市西屯區台灣大道三段 658 號
高雄	國立科學工藝博 物館-南館	高雄市三民區九如一路 797 號
	文化大學推廣部 高雄教育中心	高雄市前金區中正四路 215 號 3 樓

* 上課地點如果僅註明區域，但是沒有詳細地點，將依照當期報名人數來決定適當地點。屆時會再通知已報名的學員。

訓練班簡章可至[本會網站查詢](#)。

課程安排問題，請聯絡本會

電話 (03) 572-2224

分機 313 李貞君（專業人員、
鋼鐵建材、
繼續教育）

315 邱靜宜（放射物質

與游離輻射設備）

傳真 (03) 572-2521

輻防新聞廣場

這裡有您最關心的證照考試資訊、國內產官學界最新消息、以及近日全球輻防新聞



最新證照考試日期與榜單

行政院原子能委員會 106 年第 2 次輻射防護及操作人員測驗

報名期間：民國 106 年 8 月 14 日起至 8 月 28 日截止。

測驗日期：民國 106 年 10 月 28 日(星期六) 下午 1 時 30 分起。

測驗地點：

台北試區 - 考試院國家考場(台北市文山區木柵路 1 段 72 號)

高雄試區 - 高雄市立三民高級家事商業職業學校(高雄市左營區裕誠路 1102 號) ([相關網址](#))

國內訊息

核三廠二號機 106 年 7 月 23 日凌晨因冷卻水泵跳脫，導致機組急停事件

核三廠 2 號機於 7 月 23 日凌晨 1:10 因反應爐冷卻水泵 A 台跳脫(機組共有 3 台)，引動機組自動急停。依反應器安全設計，當反應器功率在 30%以上時，若一個冷卻水迴路低流量即會引動反應器急停，本次事件發生時 2 號機為 100%功率運轉，故事件發生後機組即依安全設計自動急停。此事件並未影響反應器安全亦不涉及輻射外釋，屬國際核能事件分級制度(INES)之 0 級事件。有關 RCP A 台跳脫原因，台電公司確認係 RCP A 台馬達之 C 相電源線絕緣劣化，導致差動電驛動作，引動 RCP 跳脫。經原能會審查確認本次事件肇因已釐清，並由駐廠視察員確認相關設備已修復後，於 7 月 24 日 23 時 20 分同意機組再起動。

106 年 7 月 18 日有關媒體報導「蘭嶼核廢懸而不解 請還給達悟族人正義」之原能會回應說明

一、有關蘭嶼居民健檢：

經濟部商請衛福部，委託國衛院協助辦理「蘭嶼低階核廢料對居民長期健康與安全評估及健康流行病學調查先驅研究」(103.12~108.12)，國衛院於 105 年 9 月 7 日在蘭嶼紅頭村舉行「蘭嶼居民健康計畫」辦公室揭牌儀式，並積極協請蘭嶼鄉諮詢會議同意，即可依據原住民族基本法第 21 條及「人體研究計畫諮詢取得原住民族同意與約定商業利益及其應用辦法」辦理。目前國衛院正重新規劃健康檢查內容與執行方式，送請經濟部同意後，即可辦理後續當地居民健康檢查計畫。

二、有關蘭嶼地區環境輻射檢測：

為瞭解蘭嶼環境之背景輻射，原能會在蘭嶼貯存場營運前，於民國 66 年至 71 年即進行環境輻射調查

作業。蘭嶼貯存場營運之後，為掌握貯存場對蘭嶼地區之影響，原能會輻射偵測中心每年亦執行「蘭嶼地區及貯存場周圍環境輻射監測作業計畫」，監測項目包括環境中直接輻射的度量，定期採取飲用水、地下水、農漁產物、土壤、海水、岸沙等進行放射性分析，歷年來之偵測結果顯示均在正常變動範圍內，並無外傳輻射熱場存在。

三、有關蘭嶼貯存場遷場規劃：

原能會已於 106 年 2 月 15 日完成審查台電公司提報「蘭嶼貯存場遷場規劃報告」，並上網公開審查結果。[\(相關連結\)](#)

原能會完成核一廠除役計畫審查

原能會於 106 年 6 月 28 日審查通過台電公司「核一廠除役計畫」。台電公司核一廠一號機運轉執照，將於 107 年 12 月屆滿。核一廠除役主要分成四個階段，包括停機過渡階段 8 年、除役拆廠階段 12 年、廠址最終狀態偵測階段 3 年，以及廠址復原階段 2 年，共計長達 25 年。原能會為周延核一廠除役計畫審查，邀請外部學者專家組成審查專案小組，依專業分成 10 個審查分組，並經 3 回合嚴密審查後，確認符合核管法規定，審查通過。台電公司「核能一廠除役計畫」正進行第二階段環境影響評估審查，俟經環保署審查通過後，原能會即可核發核一廠除役許可，正式展開核一廠除役作業。原能會「[核電廠除役管制專區](#)」。

台灣地區核能設施環境輻射監測民國 106 年第 01 季報

原子能委員會輻射偵測中心執行臺灣地區核設施周圍環境輻射監測結果，包括核電廠、研究用核設施、蘭嶼地區。監測類別有直接輻射、落塵、植物、環境水樣、農畜產物、海產物及沉積物等，採取熱發光劑量計、空浮微粒、草樣、飲用水、地下水、海水、奶樣、海魚、指標生物、土壤、岸沙等試樣進行輻射劑量率偵測、總貝他活度、氡活度、碘-131、加馬核種能譜等放射性分析作業。本季(106 年 1 月 1 日至 3 月 31 日)共計分析 2095 件次，各項環境輻射監測及放射性含量分析結果皆小於環境試樣放射性分析預警措施之調查基準值，評估各核設施周圍民眾可能接受最大個人體外劑量小於每季 0.025 毫西弗，體內劑量小於每季 0.001 毫西弗，皆符合法規劑量限值。[下載檔案](#)

106 年 6、7 月輻安預警自動監測時平均劑量率變動圖

106 年 6、7 月輻安預警自動監測時平均劑量率，均在背景變動範圍 (0.2 μ Sv/hr) 內。[\(相關連結\)](#)

美洲保健物理學會臺灣總會 2017 會員大會專題演講

低劑量下輻射暴露線性無低限(LNT) 理論的爭議探討與省思

美洲保健物理學會臺灣總會成立於 93 年 5 月 15 日，至今已逾 10 年之久，以促進輻射效應與輻射防護相關科學與技術之發展為宗旨。至今已舉辦過多場之學術研討會，並自 104 年 3 月起發行學會電子月報，鼓勵輻射防護領域之相關人士交流與討論。

筆者於 106 年 06 月 22 日參與此學會舉辦之 2017 會員大會暨專題演講，本次共有兩場專題演講：一、低劑量下輻射暴露線性無低限(LNT)理論的爭議探討與省思，由台電魯經邦組長主講；二、我國對核電廠除役之輻防管制規劃介紹，由原能會朱亦丹技正主講。本文特別報導講題一，期許大眾對 LNT 理論能有進一步的了解，並對其爭議能有所省思。

低劑量下輻射暴露線性無低限(LNT)理論的爭議探討與省思

對於一般大眾而言，輻射與癌症一直是被劃上等號的。而輻射危害在人類的歷史上可謂血淚斑斑，如 1945 年二次世界大戰日本廣島及長崎的核爆、1986 年前蘇聯的車諾比核子事故都導致人員受到輻射暴露罹癌甚至死亡，這些都是受到高劑量或高劑量率的輻射暴露導致的傷亡，而高劑量輻射傷害通常有明顯的因果關係且容易被觀察到，通常多是確定效應且存在著劑量低限。

反觀低劑量游離輻射導致的致癌風險則一直備受爭議。它不能單獨使用流行病理學方法進行評估，因為在低劑量輻射暴露下誘發



HPS 美洲保健物理學會臺灣總會
第五屆第四次會員大會暨專題演講

● 日期：106 年 6 月 22 日 (星期四)
● 地點：行政院原子能委員會三樓大禮堂
(新北市永和區成功路一段90號)

時間	議程主題
13:00~13:20	會員報到
13:20~13:25	鄧希平理事長致詞
13:25~13:30	會務及財務報告
13:30~13:40	議案討論及臨時動議
13:40~13:50	Break
13:50~15:10	專題演講一 魯經邦組長 低劑量下輻射暴露線性無低限(LNT)理論的爭議探討與省思
15:10~15:35	Tea Break
15:35~16:55	專題演講二 朱亦丹技正 台灣核電廠除役之輻防審查與管制規劃
16:55~17:00	鄧希平理事長致詞

監事選舉
13:00~15:30 進行第六屆監事投票
15:30~16:20 進行第六屆監事開票
16:55~ 宣布第六屆監事當選人名單

主辦單位：美洲保健物理學會臺灣總會
協辦單位：行政院原子能委員會

作者

劉志輝

輻射防護協會 技術組助理研究員

的生物效應通常也受到人體本身的修復機制的影響。而要觀察到低劑量/低劑量率輻射產生的特殊性往往需要很長的時間，增加了此研究的困難度。本專題演講的主要是探討低劑量下的輻射暴露風險。

長久以來線性無低限(Linear Non-Threshold, LNT)理論被引用來作為輻射防護與制定游離輻射防護標準的概念與理論基礎。此一理論假設輻射造成癌症的發生機率是呈現線性並且無低限劑量，亦即是即使是很小的劑量(一個電子穿過細胞)都有可能引發癌症。此種高度假設性的學說，造成了一般民眾對游離輻射的恐懼，成為發展原子能和平用途的絆腳石。

低劑量與低劑量率的概念

從輻射生物效應研究的微觀角度來看，低劑量/低劑量率係指細胞在接受輻射暴露而導致的傷害完全可以藉由細胞本身的修復機制及時改正和正確修復的輻射劑量和劑量率，研究顯示低於 200 毫戈雷可視為低劑量。而從輻射傷害或致癌效應的巨觀角度來看，依據國際放射防護委員會 103 號報告(ICRP 103)說明在吸收劑量 100 毫戈雷以內並沒有任何組織會表現出臨床上功能損傷；依據聯合國原子輻射效應委員會 2008 年報告 (UNSCEAR 2008)，參考日本原爆倖存者的壽命研究(LSS study)或其他的相關研究顯示 100 毫西弗(或 100 毫戈雷)可以被認為是臨床效應的低劑量。綜合文獻中結果，建議低劑量與低劑量率範圍為扣除背景輻射後：

低劑量：指 100 毫西弗以下。

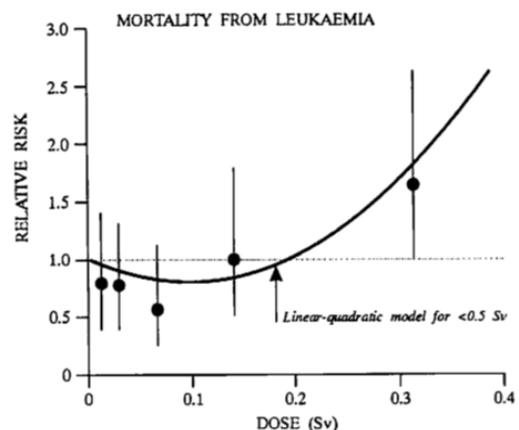
低劑量率：指 0.1 毫戈雷/分以下。

LNT 的概念

ICRP 103 對 LNT 的定義：指一劑量回應模型，其所依據之假設為，在低劑量範圍，大於零的劑量造成癌症與/或遺傳疾病的危險度增加為簡單線性形式。LNT 理論是假設導致癌症發生是沒有低限劑量的，以此作為輻射防護標準的基礎。ICRP 瞭解這是一個保守的假設，某一些影響可能需要低限劑量，但因欠缺實證，ICRP 認為假設在低劑量仍存在風險的策略，對於輻射防護而言，是最合理的。

LNT 在輻射生物學上的爭議

雖然一般認為，輻射產生的危害與劑量的高低成比例。但在過去數十年中，也有許多科學家的研究指出，低劑量游離輻射不僅無害，而且往往具有有益或激效的作用稱為「輻射激效」(radiation hormesis)。輻射激效的概念通常指 10-500 毫戈雷吸收劑量範圍內低 LET 輻射的刺激作用，在日本原子彈爆炸倖存者的劑量效應分析中也見到低劑量輻射與高劑量輻射的相反效應 (hormesis)。其他研究顯示「適應性反應」(adaptive response)、「近鄰效應」(bystander effects)等現象對於生物體接受輻射暴露後是有益且具保護性的。



取自 UNSCEAR 1994 報告，在 200mSv 以下可見明顯的激效效應

從流行病學研究結果看 LNT 的爭議

從流行病學研究探討，很多相關的研究結果與 LNT 是矛盾的：

1. 日本原爆倖存者研究顯示接受 100 毫戈雷以下輻射暴露者與非廣島和長崎人之癌症發生率並沒有差異。更有學者指出 500 毫西弗是輻射導致白血病的低限劑量，低於此劑量之低劑量輻射反而對白血病是有保護作用的。
2. 在一些高背景輻射地區的居民(天然背景輻射每年高達 260 毫西弗)，其健康狀況與正常背景地區相比是無差異的。
3. 國內外很多對於核電廠鄰近居民的流行病學研究，研究結果都顯示核能設施對附近居民健康並無影響。
4. 國外針對輻射工作人員之流行病學調查，全原因死亡與全癌症死亡甚至顯著的低於非職業輻射工作人員。
5. 對於核子事故傷害，除了接受較高劑量者產生的白血病與白內障增加之外，並沒有任何證據顯示輻射暴露導致健康影響。

對 LNT 的省思與建議

LNT 並非僅用於輻射的風險評估，環境中化學有害物質致癌風險評估，公認的方法也是使用 LNT。低劑量情況下，很多權威學術團體都認為 LNT 並非科學上的真理，但在輻射防護實務上卻又無法不採用它。LNT 最常遭到曲解的情形就是某些人士宣稱「輻射沒有所謂的「安全劑量」可言」，也就是把「低限劑量」曲解或誤解成「安全劑量」。目前公認的安全界限是 100 毫西弗，因 ICRP 建議的劑量限度、劑量約束及參考基準都在 100 毫西弗以下，因此法規上的防護標準多以安全標準稱之。

引用 LNT 時應注意 LNT 只適合用於輻射防護的目的，不能直接用於評估個人或集體的輻射風險。100 毫西弗以下已屬於輻射危害無法觀察到或甚至不存在的安全情境，在輻射防護管制上不宜無限上綱，以過於保守的態度訂定劑量約束、參考基準或行政上的管限制值等，以免作繭自縛。



美洲保健物理學會臺灣總會公開徵求會員

本會宗旨：

藉會議、大會及出版物方式，以促進輻射效應與輻射防護知識相關科學與技術之發展。

會員申請資格：

基本會員：美洲保健物理學會會員，或在中華民國從事保健物理領域工作或畢業於相關科系者，或具醫療衛生及生命科學相關專業背景者，向本會申請經理事會核定並繳納會費者，得為本會之基本會員。

學生會員：在中華民國專科學校、學院、大學，及研究所就學之學生，向本會申請經理事會核定並繳納會費者，得為本會之學生會員

團體會員：凡在中華民國從事與本會宗旨相符合或相關之工作之團體，包括事業機構及學術團體經本會理事會邀請入會者得為團體會員。團體會員推派代表二人，以行使會員權利。

會費：

會員入會費：基本會員每人新台幣五百元，團體會員新台幣一萬元，於會員入會時繳納，學生會員免繳。

常年會費：基本會員每人新台幣五百元，學生會員每人新台幣一百元，團體會員新台幣二萬元。

基本會員一次繳足 10 年之常年會費後，得為本會永久會員，以後免繳常年會費。

申請入會聯絡資訊：

聯絡人：陳瑋小姐
電話：(03) 572-2224 分機 332
傳真：(03) 572-2521
Email：hps.twchapter@gmail.com

電熱毯恐致胎兒畸形？

懷孕期間不要有一些不良嗜好，像是喝酒、吸菸，規律的生活、營養均衡、定期產檢才是有效降低胎兒風險的不二法則。

前陣子，一位年輕的準媽媽非常緊張地傳訊息給我，她說幾個月前冬天的時候，因為天氣很冷的關係，買了一條電熱毯暖暖身子，那個時候已經懷有身孕，用一陣子以後，她在網路上看到有人說電熱毯的輻射會導致胎兒畸形，身為一個首孕族，她當然是心急如焚，深怕自己一時的享受導致孩子一輩子的受苦受難，好在她在搜尋相關資訊的時候發現了我的名字，於是就傳訊給我，希望我給她一些建議，我聽到個著消息的時候真的是感到哭笑不得。

在今天這個網路發達的 21 世紀前葉，只要你喜歡，總是可以發明一套理論說明眼前這個傲慢無禮的物體會發出邪惡的輻射、導致胎兒畸形。「輻射=致癌、畸形」似乎是某些人心中的定律，所以反過來說，只要有任何得致癌或者是畸形發生，我們都可以毫不猶豫的把問題推給輻射，而且任何一種輻射都通用，我想再過一陣子，可能連小朋友在學校作早操時排列成輻射狀隊形也會罹癌了。

回到我們的主題，電熱毯到底有什麼輻射可言？那我們就要探究一下電熱毯是什麼好東西。電熱毯的設計，不外乎就是利用電流

福說

廖彥朋 專欄



作者

廖彥朋

《台灣網民》專頁原作者，網友暱稱為「養殖戶」，自稱「周魚民的老闆」。大學念的是放射科學，發現自己沒有這方面才華，碩士轉讀醫學物理，又發現這行沒有前途，在醫院工作三年半之後帶著兩把吉他逃到日本，在京都大學醫學研究科當醫學專攻博士生。

- ✓ 長庚大學醫學物理暨影像科學碩士
- ✓ 雙和醫院醫學物理師
- ✓ 中華民國醫學物理學會醫學物理師認證
- ✓ 日本京都大學醫學研究科醫學博士生(ing)

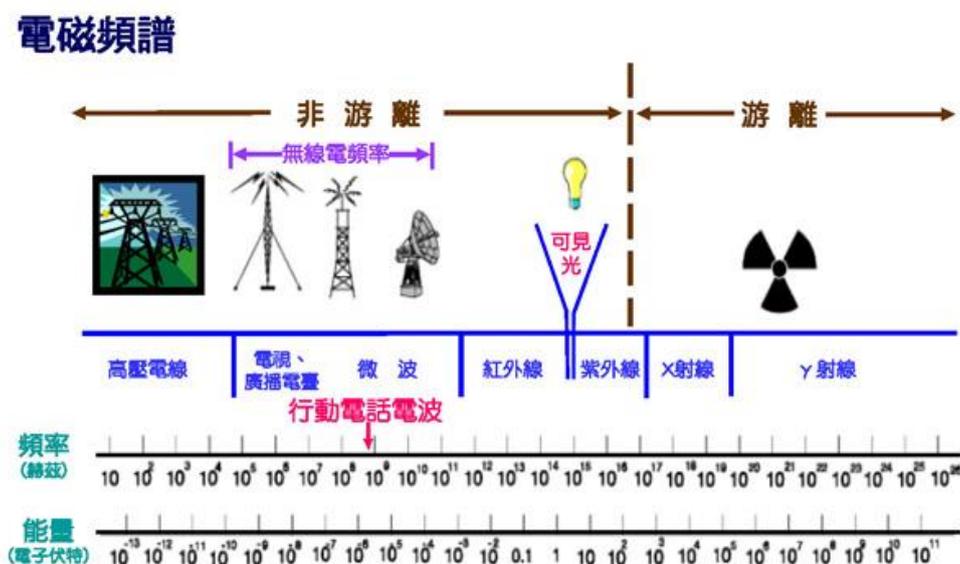
通過電阻，使電能轉換成熱能，並且利用人造纖維製成的毛毯保溫，達到腿暖心也暖的功效。我思考了很久，在一條通電的電熱毯中，唯二可以被稱作輻射的成分，要不是熱輻射，就是電流產生的電磁場輻射，一般而言可以分類到極低頻輻射（Extremely Low Frequency）的範圍。

所謂的熱輻射，就是，嗯……就是熱，沒有其他可以解釋的地方了。熱的三種傳遞方式，連小學生都知道，如果連電熱毯這種溫度的熱都會致癌，現在在中東活動的那些，要不是殭屍就是可以防熱輻射的外星人。好吧，就算不是熱輻射如此膚淺的答案，也有可能是高壓電所產生的極低頻輻射，那我們就要了解一下極低頻輻射是什麼東西。

讀過國中理化的朋友都知道，電生磁、磁生電，只要有電就會有電磁輻射，這是人人都應該知道的常識。問題是，只要有「輻射」就會致癌、就會導致胎兒畸形嗎？首先我們應該知道的是，目前具有足夠證據會誘發癌症的電磁輻射，僅有、

只有、Only 有能量在紫外線以上的電磁波，所以包括了紫外線、X光、伽馬射線這一類的東西。紫外線的左邊，就是眼睛一睜開就會看到的可見光，再左邊是可以把食物變熱的微波，再更左邊是無線電波，然後才是極低頻輻射。大家可以思考一個很基本的問題，有沒有一種可能性，是能量更高的可見光很安全，但是能量非常低的極低頻輻射卻會要你的老命？我個人是覺得很不合邏輯，實際上也沒有任何的科學證據可以支持這種論調。

這時候就會有人不服氣了，他認識的某某人就是用了電熱毯所以小孩生出來畸形。我先講一句不客氣的，這種人，你真的要他找那個某某人出來對質，通常就會開始支支吾吾了，因為那個某某人根本不存在，多半只是他在網路上或坊間口耳相傳的一個印象罷了，跟噴火龍或大腳怪是差不多的東西，他們也不是真的那麼在意電熱毯會不會導致畸形，跟你說這些只是要展現出他淵博的見識與人溺己溺的關懷而已，真相是什麼不



圖片來源：原子能委員會

重要，重要的是那份仁慈的心，至於你因為誤信流言而墮胎的代價，他是可是一分也不會負責的。

在這邊我想要特別談到一個盲點，有時候一些網路情報會告訴你：「雖然主流學界不認同，但是有很多人因為○○○所以×××。」通常這種文章或影片就是想營造出一種小人物對抗大機器的悲壯，至於資料來源是什麼也不是那麼重要，因為作者明知多數人未必有能力去查證，有能力查證的也未必會去查證，所以他們可以繼續使用這種似是而非的論調樹立自己得聖人光環。

在整個科學系統中最重要的一環叫做「實證」，換言之，即便你的論點非常的有理、脈絡也非常順暢，依舊需要反覆地藉由實驗來驗證理論，我們才能確保未來發生類似狀況時能夠利用這樣的理論精準的預測結果。實證的取樣有兩個很重要的元素，一個是取樣的範圍，另一個是取樣的數量。換言之，並不是我家隔壁老王用過電熱毯就可以直接斷定他不可能給我戴綠帽，我們必須找到幾百幾千個隔壁使用電熱毯的老王，觀察他們平常的一舉一動，最後才能歸納出一個脈絡清晰、有邏輯的結論，也許你會發現，雖然老王高頻率使用電熱毯，但還是經常趁你不注意的時候跑到你家修水電也不一定。

還是那句老話，現代優生學唯一的解就是懷孕期間不要有一些不良嗜好，像是喝酒、吸菸，甚至嗑藥、吸毒，規律的生活、營養均衡、定期產檢才是有效降低胎兒風險的不二法則，如果真的在懷孕期間接受放射性診療（不是什麼電熱毯、搭高鐵、用微波爐這種事情），請務必聯絡放射科的專業人員（像是醫學物理師），請他們為妳做妥善的劑量評估，知道，才能解決問題。

一般日常生活中所關切的「電磁波」係屬「非游離輻射」，其能量較低，主要是由電器用品、通訊設備及電力設備所產生，例如音響、電視機、微波爐、冰箱、吹風機、檯燈、日光燈、行動電話及其基地台、高壓電線、變電所等。上述非游離輻射的安全管制或檢查主管機關分別為行政院環保署(高壓電塔、變電所、變壓器)、國家通訊傳播委員會(行動電話及其基地台、有線電視機房、通訊器材)、標準檢驗局(家電用品)及衛生署國民健康局(電磁輻射對人體之健康效應)。

「游離輻射」及「非游離輻射」兩類輻射對人體健康的影響機制迥異，其量測儀器及原理亦不相同。相關資訊可參閱以下網站：

行政院環保署網站：

www.epa.gov.tw > 噪音振動及非游離輻射 > 業務簡介 > 非屬原子能游離輻射管制

國家通訊傳播委員會：

<http://www.ncc.gov.tw/chinese/index.aspx> >

行動通訊電磁波標準檢驗局：

<http://www.bsmi.gov.tw/wSite/mp?mp=1> > 以電磁波全文檢索

衛生署國民健康局：

<http://www.bhp.doh.gov.tw/BHPnet/Portal/> > 以電磁波全文檢索

資料來源：行政院原子能委員會游離輻射防護問答集

簡介乾式貯存設施之設計考量

福島事件發生後，美國核管會即建議將冷卻時間超過 5 年的燃料進行乾貯以減少燃料池的負擔。日本亦採用乾式貯存搭配燃料再處理作為燃料後端營運之策略。

部分民眾對核能發電持反對態度，部分原因來自於核子燃料在爐心經過大約 3 個周期長達 6 年的使用後，所產生的分裂產物及重元素，使得燃料束在退出爐心後仍持續釋出熱量與游離輻射。這些原本裝填約有 3.5% 鈾 235 的燃料，將被耗用至 1% 左右以致無法符合爐心運轉所需時，才會由爐心移至燃料池中進行冷卻。以核一二廠所採用的沸水式燃料束為例，每一燃料的衰變熱將由停機 7 天移入燃料池時的一萬瓦經 5 年冷卻後降至五百瓦。隨著燃料移出爐心時間的增加，冷卻與屏蔽需求逐步降低。此時固然可以依原先規劃方式，長時間將燃料存放在燃料池內，但此一貯存方式所造成的以下幾點影響仍需加以考量：

1. 溼式貯存佔用燃料池空間，需額外耗費能量進行池水冷卻。
2. 佔去部分電廠的緊急應變資源與水源。
3. 燃料護套仍處於可能劣化之環境。
4. 燃料束在電廠除役時仍需移至其它中期貯存場址，且仍需決定採用最終處置或是進行燃料再處理。



Connecticut Yankee 電廠 - 乾式貯存設施
(http://www.connyankee.com/html/fuel_storage.html)

作者

曾永信

清華大學原子科學技術發展中心

因此，在福島事件發生後，美國核管會即建議，將冷卻時間超過 5 年的燃料進行乾貯以減少燃料池的負擔。朝向非核家園且不再容許燃料再處理的德國，則選擇以乾式貯存銜接最終處置作業，並設法研發符合最終處置需求的乾貯護箱。即便是遭受核災的日本，仍然採用乾式貯存搭配燃料再處理作為燃料後端營運之策略。

乾貯系統要考慮何種設計需求

為確保用過核子燃料能安全的被貯存，國際原子能總署於「用過燃料貯存特殊安全指引」中，說明乾貯系統於設計時所需考慮的移熱、屏蔽、臨界、密封等需求。其中，移熱設計需考慮在氣候變遷、環境溫度漸增等不利的氣候因素下，系統仍保持足夠的冷卻；需具有足夠的游離輻射屏蔽能力以避免對工作人員與廠界外之大眾造成不必要的輻射劑量曝露；此外，乾貯系統更要確保在裝載、貯存、事故或再取出的過程中不會因為任何設計基準事故或作業條件的改變而使燃料發生再臨界現象；更需要有可靠的密封邊界來確保用過燃料護套不受外界環境的影響而劣化並減少分裂產物釋出到外界環境的機率。

乾貯系統的種類與設計理念

乾貯系統可概略分為金屬護箱、混凝土護箱、混凝土模組、地下貯存窖等不同種類；而依據其存放位置可分為室外與室內乾貯設施。目前英國採用鋼構廠房搭配混凝土護箱來構成其乾式貯存設施，德國與日本則以混凝土廠房搭配各種不同的貯存護箱來進行乾貯作業，荷蘭則是以用混凝土廠房搭配貯存井之方式存放發熱放射性廢棄物與研究用反應器核子燃料。美國則是以混凝土護箱的室外乾貯為主要發展方向，美國除部分電廠採用金屬護箱式的乾貯設施，絕大多仍以水平混凝土模組及混凝土護箱進行室外乾貯設施。

不同乾貯系統為了在工程、設計規範與國情，甚至考量該國工業技術以取得平衡，故採用了不同的設計理念與加工方式；例如，德國與日本主要是以室內乾貯的型式搭配整合密封與屏蔽需求而成的厚重金屬護箱來規劃其乾貯設施。因為金屬護箱厚度往往超過 40cm，故多採用鑄造成鍛造後切削的方式來製造，並選用鑄鐵或鍛鋼與製程工藝搭配。此種護箱製造過程中涉及超大型元件之鑄件、切削加工與組裝，故而產量極低，不敷該國之境內需求，更惶論供應給我國進行具有時程壓力的除役乾貯作業。



HI-STAR 100 金屬護箱乾式貯存設施



混凝土護箱 NAC-UMS 乾式貯存設施



貯存窖乾式貯存設施

圖片來源：<https://holtecinternational.com/productsandservices/wasteandfuelmanagement/dry-cask-and-storage-transport/hi-star-3/> ;
http://www.connyankee.com/html/fuel_storage.html ; <https://www.energy.gov/em/services/waste-management/nuclear-materials-disposition/em-safely-and-efficiently-manages-spent>

不同於德日在設計時把密封與屏蔽需求合併考量的理念，美國、英國等國所採用的護箱則是把屏蔽與密封的工程需求分開設計，因而設計出採用不銹鋼板件銲接而成並搭配合適屏蔽設計(如混凝土護箱、混凝土模組或金屬護箱)的系統。其中 HI-STORM 與 HI-STAR 系統是具有相同密封鋼筒的孿生系統，主要差異只在於外側屏蔽用護箱有所不同，用以符合各種場址、業主之需求。這個孿生護箱的設計理念也顯示出，世界上各種護箱類型除了上述的安全考量外，確實需要將其它需求納入考慮。例如，部分場址可能因為吊車負重限制而去修改傳送用護箱，配合遠端遙控裝載

技術來因應屏蔽效果的變化。或是因為場址的地理特性，而特別強化其抗震或是防洪能力。

所以 A 國的系統真的必定全盤適用於 B 國嗎？答案是否定的！即使原設計在其它國家獲得執照，仍需依該國國情與場址需求進行設計變更，並再次獲得設施所在國主管機關的審核通過方是全盤考量的合適方案。正如核一乾貯雖在美國通過 NRC 審查取得通用執照，但在我國仍然因為場址特性與廠家自我要求而強化了輻防屏蔽能力，將乾貯場址邊界的輻射劑量降低到法規限值(0.25 毫西弗/年)的 20%。

	我國	英國	美國		日本	德國
主要貯存方式	室外	室內	室外		室內/室外	室內
代表護箱類型	INER-HPS	HI-STORM	NUHOMS	HI-STAR	HITACHI 等	CASTOR
類型	混凝土護箱		混凝土模組	金屬護箱		
裝載容量(束)	56	68	61	68	69	52
設計負載(kW)	14	28.74	22	28.2	19	34
包封容器外徑(m)	1.703	1.736	1.708	1.736	~2.6	2.77
包封容器高度(m)	4.835	4.838	4.979	4.838	5.4	5.78
護箱總高(m)	5.6	6.08	5.64	5.159		
包封容器厚度(m)	~0.0127(0.5")				~0.4	~0.478
屏蔽厚度(m)	~1.0			0.358		
密封鋼筒材料	304/316 不銹鋼				球墨鑄鐵/鍛鋼	
主要散熱方式	空氣流道自然對流			護箱表面自然對流		
作業所需護箱	貯存護箱/運送護箱				無	
密封鋼筒功能	密封				密封/貯存/運送	
護箱製造方式	銲接				鑄造/鍛造	
上蓋密封方式	銲接				螺栓鎖固	
燃料貯存區氣體	常壓氦氣	高壓氦氣			0.81bar 氦氣	0.5 bar 氦氣
二次蓋內氣體	N/A				6.0 bar 氦氣	4.0 bar 氦氣

乾貯作業會不會因為溫度過高而造成安全危害？

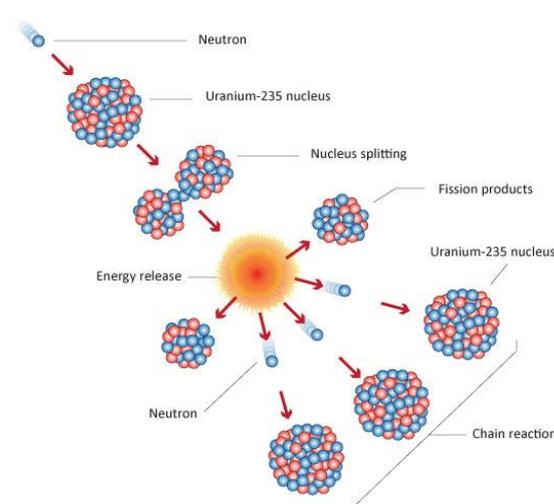
無論選用何種乾貯系統，它必定是通過該國相同的審查標準並具有足夠安全性的。反對乾貯團體主張：乾貯作業會因為用過燃料放出大量的熱而導致燃料溫度的上升，進而衍生許多安全上的危害。事實上，進行乾式貯存的用過燃料，單位體積所產生的熱量僅約為 iPhone 7 的 1/20 左右。讀者應該可以理解一個直徑約 1.7m 高度約 5m，體積是 iPhone 7 十七萬倍左右的乾貯筒，利用自然對流進行冷卻應該不會有多大的移熱問題吧！如果您不同意的話，或許需要依照反對乾貯團體所提出的要求，在自己的新潮手機上裝個大風扇或是大費周章的裝上水冷系統。況且這種無需任何動力的自然對流，有著比強制對流更好的可靠度來確保長期貯存時溫度的穩定性。因此，**乾貯作業不會因為溫度過高而造成安全疑慮！**



圖片來源：台電網站

乾式貯存護箱裡的燃料會不會出現臨界的問題？

為確保燃料在任何貯存狀態都不會達到臨界(燃料維持核分裂鏈鎖反應，有效增殖因數 = 1)，各國管制單位把乾式貯存護箱內用過核燃料有效增殖因數限制在 0.95 以下。這代表著裝進乾貯護箱的用過核子燃料，不論是在裝填、運送或是貯存階段，內部產生的中子大多數會被吸收，而無法維持鏈鎖反應，亦即**不可能達到臨界**。也由於整個護箱裡的核分裂反應永遠是呈現衰退的現象，自然不會發生燃料束在爐心運轉時產生大量能量的臨界現象。事實上套一句爐心分析專家所說的話：如果燃料在遠比爐心更小的乾貯筒內都能輕易達到臨界，那就繼續拿來用就好了，何需把它退出爐心進行乾貯呢！



核分裂鏈鎖反應

<http://www.passmyexams.co.uk/GCSE/physics/images/chain-reaction.jpg>

乾貯後重新打開後會不會因為氫氣而產生爆炸？

氫氣是一種極易燃燒的氣體，只需要 4% 的濃度即有可能在 0.016 毫焦耳的能量下引爆，看似非常危險。但若我們仔細探究則可發現，在乾貯系統中氫氣的主要來源是源自於水的分解。而都已經是“乾”貯作業了，哪來多餘水份呢？乾貯系統在完成裝載後，將會透過一連串的排水、乾操作業來確保內部沒有殘餘水份。在反覆的抽真空與灌入高純度氫氣的作業中，內部早已沒有殘餘水可以在貯存期間產生足量的氫氣，所以即使長期貯存後依原先的嚴謹程序**重新打開護箱，不會有氫氣燃燒或爆炸的疑慮。**

乾式貯存不會讓我們絕子絕孫！

大多數的民眾對乾貯最大的擔憂是輻射。這種已經被 WHA 歸類為一級致癌物的東西，真的會因為乾貯而讓我們絕子絕孫嗎？美國核管會(NRC)與電力研究所(EPRI)的研究，在考慮最大的分裂產物釋出與作業事故的機率後，乾貯系統在裝載作業期間，對周圍民眾所造成的風險為 1.8×10^{-12} ；完成作業後的長期貯存，其風險還會再少 200 倍。此一數據相較於我國目前癌症佔國人死因近 3 成之比例而言，實是可以忽略不計的。

若我們以同樣標準檢視同為一級致癌物的香腸、火腿、臘肉、培根等亞硝酸鹽製品，依據研究單位“攝取加工肉品而罹患大腸癌的機率很小，但風險會隨著攝取的肉量而增加”，每 50 克加工

肉品(約略兩條培根)，罹患大腸癌風險會增加 18% 之研究結果推估；國人現有的 10 萬人有 45.1 人罹大腸癌之比例，在每天食用上述重量之加工肉品而罹癌的機率將由增加至每 10 萬人 53.2 人罹癌 (53.2×10^{-6})。而來自於燃料乾式貯存的裝載作業所造成的風險，更比每天食用亞硝酸鹽製品小三百萬倍。

不過，令人荒爾的是，向來擔憂乾貯對國人所造成危害的人士卻沒有具體針對國人健康危害更大的香腸、火腿、臘肉等食品，向相關主管機關衛福部進一步表示意見或是要求內摻致癌物零檢出。或許各位讀者在擔心核燃料乾貯作業是否真的會讓我們絕子絕孫之前，更要更注意家家戶戶冰箱裡乾貯著的美味香腸所造成的健康風險。



美味的香腸 (圖片來源：<http://cw1.tw/CW/images/article/C1446696824534.jpg>)

室內或室外乾貯其實都不是重點

介紹至此，各位讀者對乾貯系統的安全性應有更深的瞭解，但心中仍可能存在著應選用室外乾貯或室內乾貯才適合我國需求的疑問。

簡單來說，室外乾貯給我們的觀感其實就如同我們走在小烏來的天空步道一樣，即便設計工程師與審查單位已經充份說明玻璃的強度與橋樑的設計是高過鐵皮或是木造結構，但走上天空步道時一股透心涼般的不安還是直襲而來。而同樣已通過管制標準審查的室外乾貯系統，會令大眾感到不安亦屬合理，但仍不會改變他是安全且可靠的乾貯系統的事實。

而我國真的參考德國或是日本，將乾貯系統擺到室內就沒問題了嗎？對於這點，我們可以由日本與美國的例子來進行瞭解。日本福島第一核電廠室內乾貯設施在 2011 年遭受海嘯襲擊時，雖然護箱未在過程中損傷，但仍造成相關設施的損壞；反之 Fort Calhoun 電廠 2011 年 6 月遭遇洪水造成電廠淹沒之類似事件，該廠用稱為 AquaDam 的充氣式水閘來加以因應，其室外乾貯設施並未受到影響。此事件後，日本決定於 2013 年興建室外乾貯設施，以因應現有的室內乾貯設備受損之情況。

因此設施的選用最終還是應當回歸管制單位的要求，在配合當地場址之特性、氣候與可能發生之天然災害進行充分檢討。在設計分析階段充份針對可能引發的事故情境進行推演，納入安全分析的設計基準事故中，尋求設計的改善或是因應措施的強化。而獲得執照並設施開始運轉時，則需搭配合適的再檢查與事故防護計畫持續提升對事故的因應能力與處置作業的成熟度，而不是僅僅鄉愿的把它擺在看不到的地方，來個眼不見為淨就是安全的貯存方式。



Fort Calhoun 電廠遭遇洪水景況，紅圈處為電廠乾貯設施

<http://www.globalresearch.ca/radioactive-leak-at-fort-calhoun-nuclear-power-stion/25466>

國內外相關網站

- 原能會乾式貯存管制網頁

http://www.aec.gov.tw/焦點專區/乾式貯存管制/218_224.html

- 台電公司用過核燃料乾式貯存網頁

http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-e31.aspx?LinkID=17

- 美國 NRC 乾貯網站

<http://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/dry-cask-storage.html>

- 日本 RFS 乾貯網站

<http://www.rfsc.co.jp/index.html>