

■ 出版單位：財團法人中華民國輻射防護協會
■ 地 址：新竹市光復路二段295號15樓之1 ■ 電話：(03)5722224 電傳：(03)5722521
■ 編輯委員：王昭平、尹學禮、何 偉、李四海、邱賜聰、施建樑、
翁寶山、張寶樹、董傳中、趙君行、蘇獻章 (依筆劃順序)
■ 發行人：翁寶山 ■ 主 編：劉代欽 ■ 文 編：李孝華
■ 印刷所：大洋實業社 地址：新竹市建功一路95號
行政院新聞局出版事業登記證局版北市誌字第柒伍零號

□輻防消息報導

▲游離輻射管制體系圖解

(核研所 施建樑、原能會 廖家群)

一、前言

「游離輻射防護法」(以下簡稱本法)係於 91 年 1 月 30 由總統明令公布，並由行政院依本法第 57 條發布自 92 年 2 月 1 日施行；全文共 57 條，主要係參考國際放射防護委員會(ICRP)於 1991 年建議之 ICRP-60 報告的輻防觀點。

二、輻射源管制

首先在圖 1 的正中上方強調「輻射安全」，表示所有游離輻射管制的作為，其目的係為維護及保障人員的作業安全，主管機關的權責包括許可、管制、檢查及遇違法情事以罰責進行處分等；接著在圖中央顯示游離輻射管制的主體對象為：人→「人員」、事→「輻射作業」、物→「輻射源」；其中以輻射源為中心，因為所有的管制均由輻射引起；根據本法第 2 條第 1 項第 6 款定義的輻射源：「指產生或可產生游離輻射之來源，包括放射性物質、可發生游離輻射設

備或核子反應器及其他經主管機關指定或公告之物料或機具」。然並非所有輻射源均受本法管制，針對排除或豁免包括：本法第 4 條：「天然放射性物質、背景輻射及其所造成之曝露，不適用本法之規定」，故輻射源中屬天然放射性物質等，除非有影響公眾安全並經主管機關公告者，原則可予以排除管制；而本法第 53 條：「輻射源所產生之輻射無安全顧慮者，免依本法規定管制」，主管機關並依此訂定「輻射源豁免管制標準」。至於核子原料、燃料或放射性廢棄物等係由「放射性物料管理法」所管制，亦不屬本法的範圍(本法第 37 條)。

三、登記證與許可證

針對輻射源需取得登記證或許可證的規定，係依本法第 29 條第 1 項：「放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業，應依主管機關之指定申請許可或登記備查」；放射性物質指各類密封或非密封輻射源；可發生游離輻射設備指 x 光機、電腦斷層掃描(CT)及各類加速器等。有關登記與許可證的區分載於「放射性物質與可

發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法」第 12 及 13 條，主要原則：活度為豁免管制量 100 倍以下及公稱電壓 150 kV 以下者屬登記證，除非特別列舉者，餘均屬許可證。登記證每 5 年應執行輻射安全測試並申報，許可證除每年應提報年度偵測證明外(本法第 32 條第 3 項)，每 5 年應執行輻射安全測試並換證(本法第 32 條第 1 項)，而本法第 30 條第 1 項所定放射性物質之生產與其設施之建造及可發生游離輻射設備之製造，換證期限則為 10 年(本法第 32 條第 2 項)。

四、輻射作業

輻射作業：依本法第 2 條第 1 項第 12 款定義的輻射作業：「指任何引入新輻射源或曝露途徑、或擴大受照人員範圍、或改變現有輻射源之曝露途徑，從而使人們受到之曝露，或受到曝露之人數增加而獲得淨利益之人類活動。包括對輻射源進行持有、製造、生產、安裝、改裝、使用、運轉、維修、拆除、檢查、處理、輸入、輸出、銷售、運送、貯存、轉讓、租借、過境、轉口、廢棄或處置之作業及其他經主管機關指定或公告者」。根據上述定義，任何與輻射相關的作為及活動均屬之，並應遵照本法第 29 條第 2、3、5 及 6 項，第 30 條第 2 至 4 項，第 32 條第 1、2 項，以及第 33 至 36 條等規定，辦理申報、登記及許可等，始可為之。

五、輻射工作人員

人員：這裡所指包括就保護工作人員之本法第 2 條第 1 項第 16 款定義之輻射工作人員：「指受僱或自僱經常從事輻射作業，並認知會接受曝露之人員」。及就操作或執行相關輻

射防護工作時的資格。針對輻射工作人員，雇主需依本法第 14、15 及 16 條實施每年 3 小時的輻防定期教育訓練、劑量監測及醫務監護；為有效運用資源，主管機關特於 93 年 6 月 28 日發布「輻射工作人員認定基準」，對於年劑量小於 1 毫西弗者，經由一定程序則屬未達輻射工作人員認定基準之人員，得免實施。至於有關年齡的限制，依本法第 14 條：「從事或參與輻射作業之人員，以年滿十八歲者為限。但基於教學或工作訓練需要，於符合特別限制情形下，得使十六歲以上未滿十八歲者參與輻射作業。」

就操作或執行相關輻射防護工作時之資格包括 4 類：第 1 類為依本法第 7 條第 1、3 項規定的輻射防護人員，該人員係屬管理位階，依「輻射防護人員管理辦法」分為輻射防護師及輻射防護員，前者的申請認可資格如「輻射防護人員管理辦法」第 1 項第 1 款，爾後每 6 年內需取得學術活動或繼續教育積分達 96 小時*，始得換證；後者的申請認可資格如「輻射防護人員管理辦法」第 1 項第 2 款，爾後每 6 年內需取得學術活動或繼續教育積分達 72 小時*，始得換照。

第 2 類為依本法第 29 條第 4、5 項規定的高活度放射性物質或高能量可發生離輻射設備之運轉人員，其申請認可資格如「高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法」相關條文，爾後每 6 年內需取得輻防或定期教育訓練達 36 小時之證明等文件，始得換發運轉人員證書；以及依本法第 30 條第 2 項規定之放射性物質生產設施之運轉人員，其申請認可資格如「放

射性物質生產設施運轉人員管理辦法」相關條文，爾後每 6 年內需取得輻防或定期教育訓練達 36 小時之證明等文件，始得換發運轉人員證書。

第 3 類為依本法第 31 條規定之操作放射性物質或可發生游離輻射設備之人員，其申請認可資格如「放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法」相關條文，爾後每 6 年內需取得教育訓練或積分達 36 小時之證明等文件，始得換發輻射安全證書。

第 4 類為依本法第 31 條第 1 項但書規定在領有輻射相關執業執照經主管機關認可者或基於教學需要在合格人員指導下從事操作訓練者，相關規定訂於「放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法」第 3 條，應至少有 3 小時的講習；以及依本法第 31 條第 2 項於操作一定活度以下之放射性物質或一定能量以下之可發生游離輻射設備者，得以訓練代之，相關規定訂於「放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法」，應至少有 18 小時的輻防訓練，或輻射防護相關課程 2 學分以上。

六、管理與檢查

本法的精神為要求設施經營者進行自主管理與檢查，本法第 2 條第 1 項第 14 款定義的設施經營者：「指經主管機關許可、發給許可證或登記備查，經營輻射作業相關業務者」，此「者」係指法人機構等，亦即「放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法」第 3 條所訂資格的機構，核能研究所即為設施經營者，而設施經營負責人則指所長。至於進行

自主管理與檢查的作為包括：設置輻射防護管理組織或人員(本法第 7 條第 1、3 項)；擬訂輻射防護計畫(本法第 7 條第 2 項)；確保輻射作業符合輻防標準，包括人員防護(本法第 7 條第 3 項、第 14、15 及 16 條)，以及地區管制：擬訂場所劃分、管制、監測計畫及排放輻射安全評估(本法第 8、9 及 10 條)等；執行證照管理(本法第 7 條第 3 項)；申報一般與意外事項(本法第 9、10、13、28、32 及 33 條等)；執行紀錄保存(本法第 9、10、13、14、15 及 16 條等)。

另為確保設施經營者切實執行上述所有事項，主管機關除經由輻射源、設施及輻射作業的許可或證照核發外，輻防人員、操作人員與運轉人員的證書申請或換證，以及輻防、監測計畫之審核等作為，來管制所有輻射相關的人、事、物。亦可依本法第 11 條，得隨時派員檢查輻射作業及其場所。不合規定者，應令其限期改善；未於期限內改善者，得令其停止全部或一部之作業；情節重大者，並得逕予廢止其許可證。並得按情節輕重，依本法第 38 至 50 條的罰則進行裁處。

除了上述有關輻射源管理規定之各項解說外，本法第 5 條要求應參考國際放射防護委員會最新標準訂定游離輻射防護安全標準；第 6 條要求應訂定放射性物質安全運送規則；第 17、18 條要求提昇輻射醫療的品質，以及醫療機構應事前告知病人接受輻射醫療有遭受曝露之虞時並施以適當的輻射防護；第 19 條要求主管機關應從事環境輻射監測並公開結果；第 20、23、24 及 25 條為所謂放射性污

染建築物(輻射鋼筋)條款；第 21、22 條為商品添加放射性物質相關規定；第 26 條為從事輻射防護服務相關業務者相關規定；第 27 條為發生核子事故以外的輻射公害事件的處理規定；以及第 54 條軍事機關的放射性物質、可發生游離輻射設備及其輻射作業的輻射防護及管制等。為其他相關的輻射作業，提供了完整的管制依循規範。

七、子法

本法自 92 年 2 月 1 日實施，迄目前計訂有 21 項授權法規及 1 行政規則，3 年多年為達「安全第一、簡政便民、法規精進」的目標，已修正 7 項授權法規，計達 90 條文。為從實

務中檢討各項法規的合宜性，兼顧業者反映的意見與國際管制的趨勢，主管機關原能會自 94 年 5 月成立游離輻射防護法研修小組，開始進行本法的修訂，包括對於放射性污染建築物居民照護仍有未逮的省思，以及罰則低限過重的體察等，在確保輻射安全的前提下，秉持簡政便民之原則，提出修正建議。期望本法在經這次修訂後，將使攸關我國游離輻射防護的最高法律，更臻完善，為全體國人造就最大的福祉。

*：「輻射防護人員管理辦法」甫於 95 年 8 月 8 日發布修正繼續教育積分等規定。

▲學者對現今輻射防護觀點之二、三事 (核研所保物組 施建樑)

筆者曾於本刊 94 年 8 月 1 日輻防簡訊 74 期發表摘譯自核子新聞 (Nuclear News) 2003 年 7 月中有關“解除放射性散佈之恐怖”文章，其主要內容為說明大眾一直以來對輻射之誤解，以及輻射防護專業人員訂定了十分嚴謹之法規，反而造成今日大眾之曲解，也造成恐怖份子使用輻射彈之加成效果。北京清華大學夏益華先生也在大陸發行的“輻射防護”，第 26 卷，第 2 期，2006 年 3 月，發表“輻射防護基本點的演變”文章，同樣亦指出在 ICRP-60 出版十幾年後，所面臨的許多挑戰，如線性無閾(LNT)假設、防護體系分為輻射作業/干預的困惑，以及集體劑量與危險估計的誤用等。而「核子新聞」2006 年 6 月中有關保健物理的專文，則訪問了美國威斯康辛大學醫學及公眾健康學院副院長保羅·德魯卡(Paul DeLuca)，請他就現行保健物理的一些議題發表看法。德魯卡博士於 1971 年取得聖母 (Notre Dame) 大學的核子物理博士學位，同年即受聘為威斯康辛大學副研究員；自 1987 年起至 1998 年，擔任威斯康辛大學醫學物理系系主任；2001 年受聘為醫學院副院長。以下摘錄該篇文章：

核能電廠能做任何較好的事，以試著達成合理抑低 (As Low As Reasonably Achievable, ALARA) 嗎？

我的印象為核能電廠只是為了要符合 ALARA 的指引與標準，正在做一件可怕的事，而這些只是不尋常地

企圖去限制人員所接受的輻射曝露；換句話說，我個人並不熱衷於 ALARA。我想有一嚴重的問題存在著，在某一機構可以合理達成的，但到了另一機構就變為不可能。例如，某一小鎮的一邊有一座核能電廠，另一邊則為一小型輻射設施生產公司。核能電廠可能說：今年我們想要另外投資 500,000 美元，以試圖降低廠界的輻射曝露；目前為 1 毫西弗/年，而我們將要使它減至 0.1 毫西弗/年，這是我們做得到的。而對於小公司而言，若亦投資 500,000 美元做同樣的廠界劑量改變，則可能變得十分奇怪及浪費金錢。所以，我認為 ALARA 對輻射防護是一不可量化的手段，而不是某一特定方法。

什麼是今天在劑量學上的關鍵議題？

目前在體外劑量已少有問題；我認為在天然背景與較背景稍高水平者，劑量評估已做得非常好。只有一些超鈾元素仍受關切，這些不會產生任何穿透加馬或 x 射線，當它被人體所吸收時，十分不易去做量化。銻就是一範例，它剛好很難有一適當的生物/物理量測方法，能被用來估計吸收劑量；若能有改善方法將是一件好事，因為它是迄今我們尚未做得很好的挑戰。而其他大部分議題，如生物轉換相關項目：器官分佈、器官靈敏度因子等，均已能被掌握。

核子工程大學生在保健物理領域有何機會？不只工業界保健物理，醫界保健物理亦有。

醫學工業的輻射防護人員一直佔有一定市場，學術健康中心與醫學中

心有同樣的需求；故這領域對於保健物理師的需求是成長的。至於在工業界這方面，由於在產品製造、屏蔽、建置等，有著繁複的規則與法規；所以，相關人員應具有保健物理背景的需求一直存在。總而言之，若人們想進入保健物理領域的話，各界仍有許多機會。

對於車諾比爾論壇報告的看法為何？車諾比爾的殘留物、健康、環境及社經影響〔摘自 2005 年 9 月出版的 NN, Oct. 2005, p. 46〕聲稱該事件由於輻射致死人數約 50。

這顯然是有趣的，由長期的觀察，這事件造成的輻射效應是不顯著的。當然其導致的致癌性是逐漸顯現的，但與由自然背景輻射水平所導致的比較，則為不顯著。我認為除了對某些案例如白血病與甲狀腺癌有可能外，實在無法分辨出該意外之輻射是否對致癌速率任何改變有關。因為在這事件沒有足夠的輻射，以引起嚴重或接下來的健康問題。

另一方面，該事件的健康效應為十分巨大的：如在群體中觀察到的基因突變數、神經管缺陷(neural tube defect)增加，以及包括健康與生育相關的雜集效應等，而上述不是輻射所引起的，它們是社會創傷(social trauma)所導致。例如，所謂神經管缺陷-脊柱裂(spina bifida)-就是一種可怕的基因突變。但在烏克蘭人口中的觀察證實，它與輻射無關。這顯示輻射與該效應之間沒有關聯，但的確整個車諾比事件與該效應有很大的關聯。

健康效應是壓力導致的嗎？

是的，這些效應主要可推測為壓

力導致的。四年前一份國際原子能總署(IAEA)出版的報告，有趣的是也達到這個結論。該報告的研究人員觀察到在白血病與甲狀腺癌有增加，但看不到其他癌症的增加，並也不預期會看到。換句話說，他們看到其他與輻射無關的健康效應。所以，對這人群尤其烏克蘭，已造成傷害是沒有問題的。

其他最近發表的車諾比報告之內容呢？如綠色和平稱該事件將造成 90,000 人死亡。

來自觀察到的健康效應的數量，烏克蘭是有很多案例，例如瞬間流產、嬰兒缺陷等，但這些與輻射無關。它們與該事件有關，惟與事件產生的輻射沒有任何關係。所以，我不知道 90,000 人是如何死亡。

你如何認為線性無閾(Linear Non-Threshold, LNT)假說，是否意指低輻射效應是有害的？

我認為 LNT 較它原本的價值，逐漸的承擔更多壓力；沒有疑問的，來自統計的觀點，輻射引起的損害是與劑量等比例的。若劑量增加則損害增加，而若劑量減少則損害減少，永不會有零損害。同時，身體內細胞有一很大的自行修補能力。同樣的，我們降低劑量至接近天然背景水平；處理天然背景水平輻射造成的傷害，顯然也應適用於相較的低輻射。這對我而言，並不會有與來自天然背景不同的認知。

不管 LNT 是否真的，但當劑量降低至天然背景時，它則變得十分不對題。例如，我們知道天然背景的變動差異達 2 倍，以美國海岸平原的相較

於高地沙漠而言，就有這樣的差異。但不論我們多努力的觀測，在致癌速率就沒有這種變動；所以，以我的意見，任何對 LNT 的爭論是不值得的。

輻射激效(hormesis)如何呢？有些研究人員認為小量劑量對人類反而有益。

當尚未能有全球所有生物系統觀察，對於人類的輻射激效而言，是已有為數可觀的證據。以整體器官反應的基礎而言，這真的是十分合邏輯的；我預測輻射激效剛好發生在天然背景輻射劑量之上一小範圍內。輻射激效能夠被期望為審慎的，且可能不應被算為一可預測的作用機制。

有關美國環保署(EPA)準備在預定的雅卡山(Yucca Mountain)高放射性廢棄物處置場，制訂一百萬年輻射劑量標準的看法為何？

我對這心中有一真的問題；看它的一種方法是，有一二個由美國物理學會所做的研究，它被發表在”Reviews of Modern Physics”，裡面有尺度驗證的研究。若我們看到這並讀過所分析的數據，將可看到只有幾百年內的潛在輻射劑量是顯著的議題。因為在經過這段期間後，就由於放射性核種衰減而降至背景的幾倍而已。它們也剛好是高度集中的，故制訂一百萬年輻射標準是沒有任何意義。

你對於最近被揭發的美國有些核能電廠排放氙想法為何？特別在這是否為一顯著的健康關切事件方面？

由於我對它了解的很少，其相關的健康危害是很小的；氙在所有的放射性核種中，可能是最無害的，況且

其活度也並不大。此外，其形式也不是特別的具化學毒性；基本上，它是以氙水存在著。它是以一種最為我們所知的化學形式存在的低毒性放射性核種，且其外釋量也很低。我想它被煞有其事的為大眾所關切，只是就輻射觀點所造成。

由管理的觀點而言，則它是一不同的議題；就電廠或一些其他機構來說，是管理不善的指標；但就健康效應，我無法想像有任何理由需要去關切它。

最近宣佈的聯邦政府全球核能夥伴計畫及其建議使用快滋生反應器，這些設施相對於慢中子，針對產生較多快中子提供防護。這會不會導致對民眾與工作人員，有不同的輻射防護方法？

是的，的確會，我們談的是快滋生計畫；基本上，壓水反應器（PWR）及沸水反應器（BWR）本質就屬較簡單安全的設施。美國海軍使用 PWR 為動力航行全球海域，已有數十年了；換句話說，快滋生反應器是一較講究的裝置；所以，它的相關故障樹將複雜的多，並需要更多的預警以確保所有運轉均為正確的。我看不到有如此做的任何特別的問題；換句話說，已有管理這種快滋生反應器相關危險的適當安全標準。況且，坦白地講，我們未來是需要快滋生反應器。

你認為核能還有那些重要議題？

我認為有兩件是有趣的且須大眾討論；首先，工業界必須發展標準型反應器設計，它們需保守地設計建造，各廠的機組均應相同，維護容

易，並執行有高水平之品保。

第二，且也許是更為關鍵，必須提到燃料循環，特別在我們的所建造合適的核能，以及處理非常困難的非核擴散與廢棄物處置的能力方面。這兩個案例，美國已明確地能夠執行，若一旦成功，可居全球領導地位。

(摘譯自 "Nuclear News", June, 2006, pp.25-28)

除了美國保健物理學者對最新輻防觀點之看法外，大陸北京清華大學之專家，也有類似的解說，也摘錄如下：

線性無闕(LNT)假設

對機率性效應作一偏保守的、主要出於管理目的的假設。只有在這假設下，才能對器官內劑量簡單求平均，並可對不同時間內接受的及來自不同照射源的劑量直接相加。惟在低劑量範圍內，這種假設是否合理令人質疑，因為生物學實驗不支持低劑量有害效應正比模式，以及所有低劑量皆計算的話，則代價太大。

防護體系分為輻射作業/干預的困惑

現行防護體系出於現實考量，**輻射作業**為人們研擬中、繼續執行中活動所產生的可控制照射情況，其防護要求為劑量限值，如民眾為 1 mSv/a(a=年)。而**干預**為既成事實、不可控制的照射情況（如過去留下放射性殘留物、事故照射、天然照射），其防護要求為行動水平，如事故時的民眾撤離干預水平為 50 mSv/w(w=

週)，民眾室內氬氣行動水平為 3-10 mSv/a。其困惑有：

-對這兩活動進行區分，以及對其範圍進行界定時遇到困難。

-不同做法與要求引來很多理解與執行上的困難與混亂、誤解與誤用。

-令人感覺到現行輻防體系太複雜、變化太快、執行較難，而被要求應簡化、統一。

集體劑量與危險估計的誤用

依據對機率性效應的認識，ICRP 26 號報告引入**集體劑量**的概念，並做為最適化分析的一種控制量。但由於實際應用時對這二者的誤解與誤用，導致許多不合理的結論與影響。如計算集體劑量時，對時間跨距與劑量範圍不加限制、不分類，並將相差幾個級數的劑量混合計算，而使大量無限小積成無限大：

-很低劑量在幾百萬年內積分→輻防代價。

-醫療高劑量轉移為廣大人群的平均劑量。

大量歷史遺留問題的解決(如車諾比爾污染環境復原)，以美國早期核武發展的土壤污染計有 7,600 萬立方公尺，以**集體劑量**觀念的不同管制標準來估計處理代價(假設為 1,000 美元/立方公尺，則處理費為 760 億美元)，其差異將相當大的。

(摘自"輻射防護基本點的演變", 夏益華, "輻射防護", 第 26 卷, 第 2 期, 第 113-121 頁, 2006 年 3 月)

□會議訓練報導

▲95&96 年度各項訓練班預定開課時間表

(輻協訊)

班 別	組 別	期 別 及 日 期	地 點
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	A10--11 月 21 日~ 28 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A11--12 月 6 日~ 13 日	(高雄) 輻射偵測中心
		A1-- 96 年 1 月 25 日~2 月 1 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A2-- 96 年 3 月 7 日~ 3 月 14 日	(高雄) 輻射偵測中心
		A3-- 96 年 3 月 13 日~ 3 月 20 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A4-- 96 年 5 月 22 日~ 5 月 29 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A5-- 96 年 6 月 6 日~ 6 月 13 日	(高雄) 輻射偵測中心
	(B 組) 18 小時 登記備 查類 設備	B17--- 10 月 3 日~ 5 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B18--- 10 月 25 日~ 27 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B19--- 11 月 15 日~ 17 日	(台北)
		B20--- 11 月 29 日~ 12 月 1 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B21--- 12 月 20 日~ 22 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B 1— 96 年 1 月 22 日~ 24 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B 2— 96 年 2 月 7 日~ 9 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B 3— 96 年 3 月 28 日~ 30 日	(新竹) 帝國經貿大樓
輻射防護專業 人員訓練班	輻 防 師 (1 本 小 時) 108 小 時	員 10 期 & 師 8 期	(新竹) 帝國經貿大樓
		第一階段--12 月 12 日~ 15 日	
		第二階段-- 12 月 18 日~ 22 日	
		第三階段-- 96 年 1 月 8 日~ 12 日	
		第四階段-- 96 年 1 月 15 日~19 日	
鋼鐵建材輻射 偵檢人員訓練班		鋼 3--11 月 22 日~ 23 日	高雄
		鋼 4--12 月 6 日~ 7 日	(新竹) 帝國經貿大樓
九十五年度 輻射防護教育訓練 II		10 月 30 日 (一)	新竹(帝國經貿大樓)
		11 月 10 日 (五) 加開	高雄(偵測中心)

◎ 以上各項訓練班簡章備索詳細內容網址為 www.rpa.org.tw，電話：(03)5722224。◎

□專題報導

▲車諾比爾核災事實檔案（核研所保物組 馬張明霞）

【接續 80 期】

五、健康效應

車諾比爾核災確實的長期健康影響是不可能界定或預判。因車諾比爾事件經過調查在白俄羅斯污染最嚴重區域至少 1,800 位兒童和成人已得到甲狀腺癌。甲狀腺癌一般來說，是可以治療痊癒的。依據聯合國在 2002 年發表的報告：甲狀腺癌數目在未來 10 年會達到 8,000 位。IAEA 說：意外發生當時因放射性污染約 4,000 位罹患甲狀腺癌，和至少 9 位兒童死於甲狀腺癌。但是癌病患者的存活率依白俄羅斯的經驗幾乎可達 99%。在 2005 年 9 月，車諾比爾論壇發表報告（The Chernobyl Forum Report 2005），是由超過 100 位專家從 7 個聯合國組織包括世界衛生組織；國際原子能總署；世界銀行；白俄羅斯；蘇俄和烏克蘭等完成。這份報告總結說：此次事件到最後會有約 4,000 人會因輻射曝露而死亡。公眾健康效應並不如開始時那麼嚴重。大致來說在附近地區科學家並沒有發現什麼很嚴重的惡性健康效應，也沒有發現因廣泛污染對健康的繼續威脅，除了一些在管制區域的特殊案例。直到 2005 年年中時，因核災輻射的死亡數是小於 50 位，所有幾乎都是救難人員。許多人在幾個月內就死亡了，但也有到 2004 年才死亡。車諾比爾論壇報告說：許多救難人員和人們住在污染區，均接受到低的全身輻射劑量，並沒有發現有影響到生育問題，也沒有因輻射造成天生畸形。報告也說：前蘇聯普遍因貧窮、精神壓力和生活習慣方面的影響對當地造成的健康威脅大於輻射曝露。在車諾比爾論壇報告中評估最後死亡人數比最早預期因輻射曝露會有成千上萬人死亡要少很多。在 1986 年一位國際衛生組織(WHO)代表在會議上說：依烏克蘭官方認為死亡會超過 100,000 人，此事件會造成輻射曝露而死亡是杜撰的。他又說已證明的死亡數是 40 位；一些當時是因直接受到照射，和 10 位死亡案例是因輻射引起的甲狀腺癌。在 2000 年由聯合國原子輻射效應科學委員會對輻射效應議題的報告所做的結論是，多數人因車諾比爾事故受到輻射曝露，但沒有受到嚴重的長期健康效應傷害的證據。2002 年聯合國報告關於車諾比爾事故的後果說：對長期健康效應仍保有很大的不確定性。又說：受影響區域的病況繼續反映前蘇聯其它部份的狀況，特別是男性壽命，明顯低於西歐和南歐，死亡原因是心臟病和外傷。報告也敘述本來認為白血病會增加但並沒有發生。但也敘述在 1986 年 4-5 月許多年輕人受到放射性碘-131 曝露而導致約有 2,000 位得到甲狀腺癌。曾有報告報導事故發生後死了好幾千位洗潔工，但報告很難說明原因：第一因為很難追蹤這些洗潔工，他們已回到前蘇聯各個地方；第二任何正常的人口在 20 年都發生許多死亡（例如已開發國家的正常死亡率是每年約 0.3% 或 20 年中 600,000 人口中有 36,000 位死亡）；第三洗潔工得到各種各樣的病，例如心臟病好像就不是因輻射而造成。

六、今天的車諾比爾

鑑於安全考量和操作問題，國際社會要求車諾比爾核電廠永遠完全關閉。在車諾比爾四個機組最後一個反應爐在 2000 年 12 月 15 日完成永遠關閉不再運轉。在 1995 年 12 月烏克蘭簽署由 G7（現為 G8）國家和歐盟同意車諾比爾電廠關閉的備忘錄，蘇聯解體後國際合作加速進行，主要工作是評估已毀壞反應器的風險和當地長期復育的策略。G7 各國和歐盟聯合協助烏克蘭，對第 4 號機已受毀壞的反應器找到解決辦法。在 1996 年於 Slavutich 建立車諾比爾中心以處理核能安全，放射性廢棄物和輻射生態的事情。該中心提供工程；科技服務包括核子和輻射安全領域、除役、緊急處理和輻射生態。中心的國際輻射生態實驗室執行 30 公里內車諾比爾管制區的研究工作，並研究對動物細胞和組織的輻射影響。（註：G7=7 個工業國；G8=8 個工業國）

同時對在 1986 年匆忙包圍第 4 號反應爐所建造的石棺進行補強。這個石棺圍阻覆蓋包住已毀壞的第 4 號反應爐和事故後建立的新建築。腐蝕和其它因素已增加石棺崩解的風險。於 1997 年 6 月烏克蘭、G7 和歐盟認可新圍阻所履行計畫，可覆蓋包住石棺和建構所謂新安全圍阻設施，這將是更安全和包圍石棺建立的永久性構造，其壽命以 100 年設計。G7 國家將撥 300 百萬美元作車諾比爾圍阻體基金，這基金在 1997 年設立對石棺穩定工作和新安全圍阻設施建造。這基金由歐洲銀行管理，為重建與發展。在 1997 年 11 月超過 40 個國家的代表參加在紐約的會議和宣佈，再增加 37 百萬美金到預估 870 百萬美金的計畫工程款。烏克蘭和 G8 經濟體的國家，蘇俄和歐盟合作穩住石棺，建立新的圍阻體，去除舊石棺毀壞部分確定其長期穩定性。在 2006 年 1 月歐洲銀行說圍阻體實行計畫已到重要時間，預期新安全圍阻設施在未來幾個月內可建立，完工日期排在 2008 或 2009。石棺的穩定工作已開始，8 個穩定工作中的 2 個已完成：一個柱子可支持石棺屋頂構造，以及再強化含大量分裂碎片的煙囪除氣架構支柱的支撐。這除氣設施是一個槽，吸收濃縮後再回到反應爐，目的是當建新圍阻體時穩定住石棺。石棺仍含有放射性物質，包含超過 2,000 噸鈾和約 1 噸放射性核種，其中 80% 是銻。

七、未來的車諾比爾

車諾比爾初期的清潔作業是令人印象深刻的，7 個月就完成石棺的建造，現在當地的輻射量也是低的。其它三座反應器的除役建構包括：(1) 一個新加熱工廠於 2001 年完工。這包含三個熱水鍋爐每個 50MWt 和三個蒸氣鍋爐每個 40MWt。電廠能夠供應一座城市的電力，也能夠符合未來需求包括除役工程。

(2) 一個新的中期用過燃料貯存設施，因已有的已不夠使用。(3) 一個新的液體放射性廢棄物貯存槽於反應器作業時，可以收集低和中強輻射液體廢棄物，目前當地貯存槽已有約 25,000 m³ 廢棄物。新的設備將經過減容處理，之後輸送到一個貯存槽內。(4) 一個固體放射廢棄物處理廠已至建造之中。（註：MWt= 百萬瓦熱）

需要一個新的中期用過燃料貯存，或叫 ISF-2，使反應器內的燃料可以移

出。已有的設施已不夠使用。ISF-2 的設計在 2003 年因還要找解決辦法而停頓下來。同時 1-3 號反應器部分燃料於 2005 年 12 月已開始移出到既有的貯存設施內。G8 全球合作計畫 2006 年優先項目是使殘留電廠，不僅在車諾比爾和全部前蘇聯要談妥契約，使新圍阻設施可以開始施工，於 2006 年中完成新圍阻設施的建造合約。對新圍阻設施的概念設計已被認可，是一個方形構造，內部 92 公尺高，全長 245 公尺，構造將是 150 公尺高且有牆圍住，但不由石棺支持。在一份 2005 年 12 月報告英國計畫，在 2006 年車諾比爾的新圍阻設施，將集中細部設計和它的執照事務。英國貿易工業部說 2006 年車諾比爾其它里程碑，將包括完成石棺穩定工作，一個整合型偵測系統，身體健康保護，以及進出管制。其目的是在 2009 年要完成新的圍阻設施。這整合型偵測系統是對石棺和各種儀器所偵測聚集燃料地區中的中子和加馬射線。這系統包括核能安全的、放射性的、地震的和構造的偵測。這系統的安置工作已進行中。身體健康保護和進出管制系統包括一個衛生間、1,500 名工作人員的更衣設施、醫療和輻射防護間、以及救難設施。

4 月 27 日，事故後 36 小時，Pripyat 城 45000 位居民，離核能電廠 4 公里，用巴士撤離。直到今天這城仍保持無人居住。直到 5 月 5 日，居住於反應器 30 公里半徑內的人們必需離開他們的家。10 天內有 130,000 位從這個區域撤離。

事故發生前，車諾比爾工人和他們的家庭是住在 Pripyat，48 小時內他們撤離，現在住到一個新城叫 Slavutich（也是 Slavutych），離電廠東邊 50 公里處。這個城由 8 個蘇俄聯盟共和國建造（俄羅斯、烏克蘭、白俄羅斯、亞塞拜然、亞美尼亞、愛沙尼亞、拉脫維亞、立陶宛）。每個共和國擁有自己的勞動力和物質，以及建造自己型的房子和公寓。因此這城有 8 個不同區域，每個在建築形式上均不同。Slavutich 今天人口是 25,000 人。約 1/3 人口是 16 歲以下，許多居民在車諾比爾電廠工作或多少和其有關連。這城是烏克蘭境內最年青的城市，生育率高和死亡率低。Slavutich 的家庭生活水準高，有烏克蘭內一些最好的商店，也有好的學校、運動設施和國家最好的醫院之一。

2000 年封閉車諾比爾市，這城已成為社會經濟問題，並需適應減少對電廠的依賴。這城的行政機構由國際機構支持，已建立商業發展單位、經濟養成單位、社區發展中心、信用聯盟、鼓勵企業和吸引新經濟等，已有好的發展。

國際勞工組織在 Slavutich 設立訓練中心，前車諾比爾電廠員工接受再訓練後轉業。在 2002 年聯合國發展計畫特別指定 597,000 美元做為訓練之用。

【下期待續】

- 1.歡迎賜稿，稿件請寄新竹市光復路二段 295 號 15 樓之 1 或電傳(03)5722521 輻防協會編輯組收。來稿一經刊登，略致薄酬(政令宣導文章，恕不給稿酬)。
- 2.本刊因篇幅限制，新聞類每則請控制在 500 字以內，專題類每篇以 2000 字內為佳。
- 3.歡迎訂閱(每年六期 180 元)。請洽：李孝華小姐 TEL：(03)5722224 轉 314。

八、環境問題

因反應爐燃燒毀壞排出放射分裂產物煙羽飄到大半歐洲。這次事故造成放射性污染 18,000 km² 的農地，其中 2,640 km² 不能再種植。在烏克蘭特別受影響的是森林。35,000 km² 的森林區域，全部的 40% 受到污染。在森林，針葉樹和闊葉樹吸收放射性如一個過濾器，落塵開始濃聚，死掉的落葉傳輸污染到泥土，10 年後又再回到樹木。銫-137 核種是一個主要問題，它有 30 年半衰期，意思是直到 2016 年環境中仍含有一半的放射性。銫於化學性質上和鉀相似，所以很容易被動植物吸收進入食物鏈。當在食物鏈內增加，那它的濃度就增高。進入食物鏈的主要途徑是從污染的莓果、磨菇、獵物和魚，還有經過乳牛吃污染的草和禾糧。估計魚中放射性濃度，將會比另一個 40 年消耗量的最高限度還要高。在蘇俄污染的牛奶被認為是造成甲狀腺癌的原因。在波蘭、匈牙利、奧地利和瑞典牛奶品質也被破壞。歐洲許多國家燒毀污染的草木，和禁止許多農產品通過東歐，最受影響的是瑞典的馴鹿和羊。在 1986 和 1987 在基輔、Chemigov、Minsk 和其它小城的市場是禁止牛乳、肉類和許多水果和青菜的交易。在英國農業部事故後幾個月是限制羊隻的買賣和屠宰。

在白俄羅斯、俄羅斯和烏克蘭土壤污染程度受一些因素影響，如放射性同位素自然衰變現象；地殼變動和土壤型式。例如 1986 年事故後，在白俄羅斯接受到 70% 落塵。約 22% 國家被銫-137 污染，直到今天 21% 還是被污染。這白俄羅斯政府的車諾比爾委員會，估計到 2016 年仍有 16% 領土是被污染。核能單位經濟合作與發展組織核能署(OECD/NEA)稱自從發生災變以來，外部輻射的劑量率在某些區域已降低 40 倍，以及某些區域已小於原來值的 1%。總之，農地土壤的銫-137 活度有繼續減少現象但是很慢，這種狀況預料還會有相當漫長時間。

至於農產品主要問題是小的農戶，他們常依靠他們自己生產的農產品維生。白俄羅斯官方的車諾比爾委員會，和烏克蘭政府組織要求於車諾比爾救助計畫包括特別補助，加強對這些低收入農戶多方面協助。已有三個國家對國家農場生產的食物和在市場出售的食物特別設限。例如在白俄羅斯就有比德國規定嚴格 3 倍的限制。烏克蘭的例子還一直需要對食物偵測，單在 2000 年就超過一百萬食物樣本做分析。自從 1993 年依據車諾比爾的調查顯示，依官方規定保證在公有市場出售的國家農場產品是安全的。

事故後馬上關心的問題之一是 Dnieper 河和在 Pripjat 支流的水。雖然河流分佈是污染全部烏克蘭，但移動緩和以減輕效果是成功的，和大部分喝的水是不受影響。但是污染已聚集在其它河床，以及地下水受錒和銻(Am)的污染風險。例外的是在管制區內的地區，污染區域的空氣已不再受影響。

九、輻射和動物

從 1994 年，Robert Baker 博士、Ron Chesser 教授以及烏克蘭與英國的同業一起檢視在車諾比爾周邊的輻射對動物的效應。他們的結論是：因人們在耕種、畜牧、狩獵、和伐木活動的減少，反而野生動物得到益處。所以 Baker 博

士說：世界上最糟糕的核能電廠事故對野生動物的摧毀比對正常人來的輕。美國能源部官員問：Baker 博士評估這核災對動物群的生態影響，雖然做定量評估很難，但淨生態影響應是正面的。Baker 博士說還需要做詳細長期研究，以利瞭解控制組未受曝露動物群以及受慢性輻射曝露的動物群有沒有不同？關於長期潛伏性曝露效應需要解決，才能瞭解此事件對人和對野生動物的全部影響。更多訊息可上網查關鍵字”Chernobyl”或www.nsrl.ttu.edu搜尋。

十、核能安全

歷史上有兩個國家級核能電廠災變：美國的三哩島和車諾比爾，一個有圍阻體，另一個沒有圍阻體。從 32 個國家商業運轉累積約 12,000 反應器年發生了這兩個主要核災。從西方核能電廠風險，在發生意外事故或恐怖份子攻擊的可能性狀況下來看，和其它一般接受風險的狀況比較算是小的。核能電廠是堅固的。安全設備的目的是要保證就算所有可預料的狀況發生意外，公眾健康和 safety 決不會受到輻射曝露傷害。

1979 年三哩島災變反應器嚴重受毀，但是放射性受到控制，沒有發生健康傷害效應和對環境後序影響。在 1957 年聯合國組織下設立 IAEA，其中一個功能是世界上核能安全的稽查員角色，它指定安全程序和甚至報告小事故。過去 10 年它的角色已增強，每個國家運轉核能電廠有一個核能安全檢查委員會，這些委員會和 IAEA 保持密切聯繫。人員安全是核電廠工作上最主要關心事務。許多方法管制輻射劑量，包含屏蔽阻擋，工作防護衣和其它相關設備，限制工作人員在高輻射劑量區工作時間，和使用遠距遙控技術，不斷地監測個人劑量和工作環境劑量，並和其它工業比較確定是在很安全範圍。一個欲減少核災的安全指標，是需要計算爐心毀壞或爐心熔解事件的頻率。美國核能管制委員會 (NRC) 對反應器設計必需符合壹萬年一次爐心毀壞的機率，新的設計甚至更嚴格。目前最好的運轉電廠約是百萬分之一機率，未來十年建造的電廠約是千萬分之一機率。三哩島災變是唯一的一個反應器事故（在 NRC 安全標準下），和設計上理應是安全的，也因此無人員受到輻射傷害。今天法規要求如果發生熔爐事件，必需控制在廠內，無需撤離附近居民。主要安全考量是放射性物質在無法控制下排出的可能性，導致當地污染和遠地也受污染。在車諾比爾就發生了並後果嚴重，最後在所有設計上費用增加以達到高安全標準。

核能發電可以認為是很安全。單在中國大陸 2004 年依官方消息約 6000 人死於煤礦。使用石油也造成顯著健康和環境效應。

1. 深度防禦

欲達到最適合的安全，核電廠今天使用”深度防禦”概念，應用在各種安全系統。主要概念是：（1）高品質設計和建造；（2）設備需防止因操作不順造成問題；（3）各種系統可充分偵測問題，控制燃料傷害和避免明顯放射性釋放；（4）嚴重的燃料傷害效應可控制在本身廠內。

安全系統包含一連串在反應爐心和環境之間做阻隔，準備多個安全系統，每個也都有備份和設計上遇人為錯誤可包容。安全系統花費是反應器全部預算

約四分之一。安全系統包含控制棒，插入可吸收中子，和第二道關閉防線是加進吸收中子的物料。支援性冷卻系統去除剩熱。另外許多世界上運轉的反應器（那些在車諾比爾的應是例外）均應有負空泡係數（negative void coefficients）。反應器水流可當緩速劑和冷卻劑，過多蒸汽會減緩中子，需要中子維持的核反應也就降低功率。其它加強安全的特點是最普通反應器，燃料是固體陶瓷小丸形和當燃料燃燒在小丸內充滿放射性分裂產物。小丸排在銹管內成為燃料棒，這些在一個大的不鏽鋼壓力槽壁約有 20 公分厚，再加上一個至少一公尺厚的水泥圍阻體內。新式核能電廠對抗地震有高標準設計，當地震發生可以安全快速地關閉反應器。三哩島災變證明這系統的重要性，圍阻體體避免放射性外釋，儘管約半個爐心已熔掉的事實，此事故因機械故障和作業員糊塗，本來爐心冷卻系統可避免發生核災但作業員把它關掉了。事故後調查認為核能安全上的人為因素是新重點。西方的反應器沒有主要設計的改變，但在控制和儀器是做了改進，和操作訓練是被徹底檢查。

2. 國際核災嚴重性分級標準

國際核災嚴重性分級：7 級是最主要核災（車諾比爾核災）；6 級是嚴重核災；5 級是遠距有核災的風險；4 級是不嚴重的核災；3 級是嚴重意外事件；2 級是發生事件；1 級是反常事件；0 級是安全上沒問題。由國際原子能總署和經濟合作與發展組織(OECD)在 1990 年發展出來，國際核災嚴重性分級（INES）使核子核災和事件標準化。分級由 0 級的無安全問題到 7 級的車諾比爾核災。三哩島災變是 5 級雖無人受傷但遠距有核災風險。在 1980 年法國發生 4 級是建造時有災變，另一個 4 級是在 1999 年 9 月日本核燃料製造廠的災變。

3. 國際上努力改進核能安全

車諾比爾核災不久，IAEA 馬上就升高核能電廠安全的重要性，特別是對仍然缺乏核能電廠安全的一些東歐區域。國際援助計畫加強對早期俄製反應器的安全性。用西方安全標準，或完成對核能電廠和它們的操作做顯著性改善。要克服在俄羅斯和立陶宛仍在運轉 RBMK 型反應器的缺陷，也已做修正。關於其它事項，是降低對正向無效系數反應的危險性。

4. 恐怖主義

自從 2001 年紐約世界貿易中心攻擊事件，大家開始關注於一架飛機被用來攻擊一個核子反應器，目的是釋出放射性物質。各方面從事研究關於這種對核電廠攻擊的可能性。這些研究顯示核子反應器對這攻擊比國家的其它設施具相當抗性。美國能源部顧專家透過美國電力研究中心做了詳細研究，結論是當大型商用飛機撞擊，美國反應器的構造夠堅固和燃料將可以受到保護。相同地，這些大型構造意思是就算在一個廠內（它們會保護好）受到任何恐怖攻擊，也不會造成任何嚴重的放射性外釋。

【附註資料來源從“Chernobyl Fact File” produced by NucNet in cooperation with the UK Dept. of Trade and Industry, Ed. By J. Shepherd, D. Dalton, L. Green, Peter Bucher. 24 April 2006。】

