

- 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406號2樓 ■ 電話：(03)5722224 電傳：(03)5722521
- 編輯委員：王昭平、李四海、邱志宏、翁寶山、許文林、張寶樹  
葉錦勳、董傳中、趙君行、劉仁賢、蔡昭明、蘇明峰 (依筆劃順序)
- 發行人：曾德霖 ■ 主 編：劉代欽 ■ 文 編：李孝華
- 印 刷 所：大洋實業社 地址：新竹市光復路二段376之9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

### ▲民國 90 年輻協大事記 (輻協訊)

- 「兩岸醫用游離輻射防護研討會」…邀請中國衛生部工業衛生實驗所鄭鈞正教授與高雄醫學大學張寶樹教授共同主講，分北、中、南和國內學者專家共舉行三場研討會。分別於 4 月 26 日【台北】假新光吳火獅紀念醫院；4 月 28 日【彰化】假彰化基督教醫院；4 月 29 日【高雄】假高雄楠梓健仁醫院舉行。
- 「依 ICRP-68 的劑量係數估算體內劑量研習會」…由翁寶山執行長主持，核能研究所保健物理組逢筱芳小姐與本協會劉代欽組長主講。11 月 23 日【台北】假台電林口訓練中心舉辦。

### ▲考試消息 (輻協訊)

行政院原子能委員會授權國立清華大學辦理九十一年度第一次「非醫

用放射性物質及可發生游離輻射設備」之操作執照考試，將於民國 91 年 4 月 27 日(星期六)下午一時，北部假台北市木柵區考試院國家試場，南部假正修技術學院同時舉行。簡章將於近日寄發。報名日期：自 91 年 3 月 6 日至 3 月 14 日截止(一律採通訊報名方式)。請詳閱「執照測驗簡章」或電洽(03)5710340 朱鐵吉教授。

另九十一年度第一次輻射防護專業人員認可測驗，預計於民國 91 年 5 月下旬舉辦考試；請詳閱「認可測驗簡章」。

### ▲銥 192 射源事件暫估為國際核子事件規模三級(二 00 二年一月)

(原能會 張志堅)

今年初，從瑞典史大茲維克(Studsvik)運送銥 192 放射性同位素到美國紐奧良的事件，暫時依照國際核子事件規模(International Nuclear Event Scale, INES)評估為三級。

瑞典輻射防護局(SSI)在元月三日被美國運輸部通知，有一件包裹具有高放射性，包裹內含有大約一萬居里

( $3.66 \times 10^{14}$ Bq)的銥 192，包裹有一面距離 25 公尺處的輻射強度為 4 mSv/h，另一面 5 公尺處為 0.01 mSv/h。

銥射源產自史大茲維克之研究用反應器，包裹於 2001 年 12 月 27 日離開瑞典，打算供工業使用。包裹以認證過的乙型(Type-B)容器運到巴黎，然後轉到紐奧良，當包裹離開史大茲維克時，標示為“正常”。到達美國時，也做過輻射偵測，執行偵測人員當時以為他的輻射偵測儀器因為失靈而“卡住”，隨後，他把容器運送到距離接收站約一、二英里的目的地。

到達目的地後，發現劑量計紀錄到不尋常的高劑量，大約 1.6 mSv，隨後估算出此人在短短的運送路程中就接受到大約 3.4 mSv 的劑量。因此，在對此容器執行深入的計讀後，立刻將容器扣查並開始進行調查。

有關包裹的運送過程並無事件之報導，而容器在檢測後據說未看見人員接觸。美國核子管制委員會(USNRC)將執行深入調查，而瑞典輻射防護局計畫分析容器運送路線以及執行史大茲維克設施的全面性檢查，並且史大茲維克運送同位素的作業被要求暫時停止。

【銥 192 用於醫療及工業，原料以線狀金屬供應。用於癌病治療時當作體內放射治療射源；此同位素也用於工業射線照相，用來檢查高密度材料結構的完整性，例如建築工地之管線。】

(譯自 2002 年 1 月 8 日 NucNet News No.4)

### ▲輻射防護的面面觀

(高醫 陳佳慧、杜家雯)

在近年來，由於輻射生物效應觀念的建立，而形成輻射防護的原理與實踐的程序。在新的輻射危險管理系統中，如合理抑低(ALARA)已被引用於輻射防護的系統中，雖然大部分的輻射防護專業人員對於輻射防護的制度與程序均十分地信賴，但是一般民眾仍懷疑輻射防護系統是否可以確實地保護他們的生命安全。因此為瞭解一般民眾的恐懼及讓民眾能夠更進一步地去信賴輻射防護系統，所以應該將各種學門應用於輻射防護政策的釐定，方可進一步討論輻射危險管理組織政策的施行。

在早期，輻射危險管理讓民眾印象最深刻的失敗例子，就是核爆後所產生嚴重的輻射污染。迄今世界上擁有核武的國家仍須花費龐大的經費去清理輻射污染，而一般民眾也仍曝露在過去核子試爆所造成的輻射污染環境中，這些都是一般民眾對於輻射防護安全不信任的主要原因之一。因此對於目前的輻射防護管理政策，應該對於一般民眾的疑慮有更進一步的解釋，讓民眾能更瞭解輻射防護的重要性，提升民眾對於輻射防護的信心。在以往的歷史與社會背景之下，必須要求建立一個輻射防護安全的社區與重建民眾的信心，進而達到輻射防護的最終目標。

在過去的幾十年內，輻射防護政策大部分以物理學及醫學方面來訓練輻射防護專業人員。現今輻射防護政策為了達到公共安全的目的，應該將輻射曝露限制在一個安全的範圍之內，個人的曝露限度是目前輻射防護政策中最主要的項目之一。在社會政

策中，輻射防護應以民主、平等、有效率與考量政治、經濟、社會、心理等層面來訓練輻射防護專業人員。政治學家認為一個具體的輻射防護政策必須擁有一個好的輻射防護指導方針，也就是必須與經濟學家、社會學家一起來共同擬定出一個適合於全體民眾的政策。此外，政治學家也提出輻射防護政策的擬定應該顧及資方與員工之間的合作問題。合作是輻射防護政策中最重要的主題，許多國家能源管理組織都花費大筆經費去研究何者才是對於民眾最有用及最安全的輻射防護管理，並且運用最優秀人才與知識將輻射危險程度降至最低，以達到民眾的輻射安全。

經濟學家對於輻射防護紀錄，認為控制個人的曝露限度是沒有用的，經濟學家認為危險的限制應適度地與社會需求、價值利益、經濟因素等相互配合，並且認為一切都須符合社會成本效益與成本效率。經濟學家主張將輻射危險與成本支出回歸成一相關曲線，合計成本利益來計算輻射效應。健康利益在輻射防護中是一個長久的投資，因此成立輻射防護管理組織是勢在必行的任務。

社會心理學家主張輻射防護人員應善加控制健康的風險與曝露。近幾年的社會心理學研究指出，輻射危險管理應該包括：(1)嚴謹控制災難的發生率，(2)嚴謹控制輻射曝露的劑量，(3)當危險與利益抗衡時，應以民眾安全為基準，(4)輻射工作場所主管應提供一份良好的曝露紀錄以供日後研究的參考，(5)對於輻射產生的非輻射危險也是輻射管理重要的一環。各種專業人員對輻射防護的評估，應該共同

訂定一個合理又合適的政策，以符合社會利益且對經濟目標有利的輻射防護指導方針。

改善輻射防護的另一個方法是整合民眾共同的觀念去推導輻射危險管理，並探討輻射防護的替代方針。前十年的輻射防護，其主要的方針結構是放射核種的活度限制與個人曝露的劑量限度。合理抑低(ALARA)介紹需求效應及需求價值的想法，並且加大彈性去說明在任何情況下的不同需求與價值，以補充輻射防護的方針，但是大部分的情況仍被傳統的輻射防護法規所限制。

在某些情況下，下列兩項替代方針比傳統的輻射防護法規限制還適合：

#### 一、個人選擇

在不同的情況下，提供相關有助於瞭解輻射曝露產生的技術與知識，讓每個人可以選擇自己能夠掌握的輻射危險標準。

#### 二、經濟手段

經濟手段以提供金融動機，在產生輻射的過程中以減少接受曝露的機會。雖然經濟手段成功地運用在許多地方，但是其經費主要是用在核能安全與核能廢料的處理，而不是用在管理每一項的輻射危險。輻射防護的經濟手段應該運用在包括輻射污染的除汙、放射性同位素的運輸費用等。

在輻射防護系統中存在許多問題，所以很難求出詳細解答。輻射防護是牽涉到中央與地方的不同科學與不同專業領域的人士的一個廣泛事業。理想的研究需要去了解，以找出最好的定量及定性危險特性，及跨越廣大的空間去評估民眾的優先選擇。

下列兩個重點可以明顯地改善輻射防護方針：

#### 一、提出與在地人的互換價值。

在不同的輻射防護領域中，制定輻射防護方針的人須依據自己的輻射專業知識，去尋找一個合理的方式給予在地人利益，且不失於在輻射防護方針中制定該有管理輻射危險的原則及有效性。進而在輻射防護方針中給予有利於地方的各種彈性替代方針，以提供在地人選擇。

#### 二、制定具有地方特性的彈性替代方針

藉由在地人對地方的熟悉，對於地方輻射危險提出問題，然後專家再經由在地人所轉達的問題，結合輻射防護專業知識，在輻射防護方針中，以制定正確適合地方特性的替代方針來改善輻射危險，而不會欠缺考量在地人的需求且能有效地做好輻射防護。

結合民眾利益與專家的輻射防護專業知識，對既有的輻射防護方針再制定出對於不同地方特性的彈性替代方針，這種方法是中央與地方對於輻射防護方針的制定，不再有任何利害關係，且能得到有利的經濟效應。

## □ 會議訓練報導

### ▲ 第十三屆國際固態劑量測定術會議介紹 (葉善宏、陳清江)

#### 一、前言

第十三屆國際固態劑量測定術會議於 2001 年 7 月 9 日至 13 日假希臘雅典市召開，該會議由國際固態劑量

測定術組織(簡稱 *ISSDO*)主辦，為國際上研討固態劑量計用於輻射度量之最大型國際會議。該會議每三年召開一次，歷屆會議均有眾多先進國家之專家學者與會，論文涵蓋理論與實務應用，層面廣泛而多樣，一向為各國輻射劑量偵測專家視為重要且前瞻性之國際學術會議。本次會議共發表三百餘篇研究論文，會中之研討主題領域包含基本物理模型、材料特性、設備與技術、人員與環境劑量測定術、太空與航空器劑量測定術、定年代劑量測定術、電子自旋共振(*ESR*)、半導體偵測器、醫療劑量測定術等。參加此學術會議，除可獲知國際同業之研究成果，瞭解此領域的發展方向外，也可藉此機會，與國內外同業彼此交流互動，及掌握未來研究發展方向，趕上國際潮流。

本國際會議附帶於 7 月 3 日至 7 日舉辦高等固態劑量測定術訓練課程，邀請世界知名的學者專家授課，課程內容包含目前最前瞻的研究領域及研究成果，如高敏度熱發光劑量計、光激發光劑量測定術、遙控光纖劑量測定術、加馬熱發光原理、荷電粒子在熱發光材料之回應原理、微劑量學原理與微電子應用、固態微劑量學、固態電子式偵檢器、應用三度空間光隨機擷取記憶方法之劑量測定術、電子順磁共振生物劑量測定、超熱乳劑、低地球軌道之太空輻射、離子儲存劑量測定術等。

#### 二、訓練課程

參加高等固態劑量測定術訓練課程中，重要之主題及其重點分述如下：

## 1.高敏度熱發光劑量測定術

熱發光原理通常以三種模型來解釋，即(1)第一階動力學(2)第二階動力學(3)通階動力學。其中第一階動力學模型認為被熱激發的電子不會被再捕獲，第二階動力學模型則認為電子激發後有相當高的比率被再捕獲，通階動力學則認為被再捕獲電子的比率隨材料而變動，並不限於一階或二階動力學。熱發光劑量計屬於第幾階動力學可以分析輝光曲線形狀等方法獲得。

熱發光劑量計之性能是否良好，應分析下列性能才能決定(1)敏度(2)劑量與熱發光回應曲線(3)能量依持(4)回火方式(5)偵測低限(6)消退(*fading*) (7)物理形狀及(8)應加以控制的因子。目前國際上常用的高敏度材料有二種，即 *TLD- LiF : Mg , Cu , P* 及 *TLD- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : C*。目前中國大陸、日本、波蘭、美國等四國可製造 *TLD- LiF : Mg , Cu , P* , *TLD- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : C* 則由美國發展出來。

## 2.光激發光劑量測定術

光激發光(*OSL*)不同於熱發光，它是以光激發受輻射照射之材料並使其發光，此方法已成功應用於地質或古物年代測定與人員劑量測定，但較少用於環境劑量測定，其原因為不易找到理想可用於環境偵測的材料。理論上，*OSL* 比傳統的熱發光理想，最大的優勢是不需加熱偵檢器，因此無熱消光與紅外線干擾的問題，由於全程皆以光運作，可顯著增加發光之敏度，此外，由於沒有加熱的問題，偵檢器可與塑膠類材料混合，以增加中子敏度。*OSL* 之高敏度特性使得其可重複多次測讀，因而得以再確認劑

量。*OSL* 之測讀過程可設計的非常快，以增加計讀效率。

*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : C* 材料以 *OSL* 方法評估人員劑量時，最低可測值為  $5\mu\text{Gy}$ ，劑量與 *OSL* 量之間線性關係良好。*OSL* 方法可重複測讀放光量，5 次再測讀結果的標準差在 1.5 至 3.0% 之間。

## 3.遙控光纖劑量測定術

光纖提供遠距監測難以進入或危險地區輻射的唯一方法，目前已發展多種以光纖度量輻射劑量的方法，並已初步應用於監測核子儲存設施之地面水及核反應器之高輻射區，偵檢器可放置於數百公尺或更遠之距離，其間以光纖連結，控制室定時發出激發光至偵檢器，並度量其受激後之放光量，從而監測輻射劑量。度量過程與信號以光之型式傳遞，可免除電子及射頻干擾，所以比傳統方法以電子傳遞信號之方式較為優良。各種遙控光纖劑量測定方法分述如下：

### (1)利用光衰減法

光纖受輻射照射會變黑，因此會衰減通過光纖之光線強度，因此光纖之一端裝置光發射二極體(*LED*)，另一端接連光二極體以接受 *LED* 射出之光線，度量光線減少的程度即可推估輻射劑量。光纖受輻射照射產生衰減的程度受到材料、光波長、消退等因素影響，理想的系統應該(a)有合理的信號—雜訊比(b)不受劑量率影響，在欲度量的劑量範圍內有良好之線性回應關係(c)低消退率(d)不受能量變化之影響。此方法已成功應用於 2 號航行技術衛星上用以度量太空輻射，也成功應用於放射治療之劑量監測。

### (2)發光光纖劑量計

某些光纖受輻射照射會發光，度

量光纖本身之發光量即能評估劑量，例如矽石受 40 KV X 光照射後發出 450nm 和 650nm 之可見光，應用此方法時，光在光纖中的衰減是重要的修正項目。當光子輻射能量大於 1 MeV 時，玻璃會產生謝倫可夫光。度量此謝倫可夫光亦能評估輻射劑量。

### (3)熱發光光纖劑量計

利用傳統熱發光劑量計(TLD)連接光纖，並以雷射加熱技術加熱 TLD 亦可度量輻射。*Braunlich* 等人即成功利用片狀 TLD 與 0.63 mm 直徑光纖度量輻射，TLD 的材質包括  $CaSO_4 : Mn$  ,  $CaF_2 : Tm$  及  $CaSO_4 : Dy$  ,有些研究者以 840 nm 之  $GaAlAs$  二極體雷射加熱 TLD , 0.4W 之雷射即可於 1 秒內加熱 TLD 至攝氏數百度，劑量評估之準確度約為 1% (1Gy)及 5% (0.01Gy) , 此方法已成功應用於水污染偵測，遙測距離可達 200 公尺。

### (4)光激發光光纖劑量計

偵檢器以光激發光材料製成，常用材料為  $MgS$  ,  $BaS$  ,  $Al_2O_3 : C$  等，系統很類似熱發光光纖劑量計，但改用低功率雷射光，由於沒有加熱之問題，光纖較不易變質，發光反應之時間也極短，這些因素使得光激發光光纖劑量計比熱發光光纖劑量計簡易且優良。

光纖劑量計是唯一能遙測輻射的裝置，目前沒有一種系統能同時度量  $10^{-4}Gy$  至  $10^7Gy$  之劑量範圍，但利用多種偵檢器材料和光纖則可達到，光纖劑量計系統之性能仍有改善空間。

## 4.重荷電粒子(HCP)在熱發光材料之反應原理

重荷電粒子熱光反應之相對靈敏度，可用修正軌跡結構理論(MTST)解

釋，並可用蒙地卡羅計算 TLD-LiF 之徑向劑量分布。*HCP* 產生之熱發光通量則可以延伸軌跡作用模型(ETIM)來解釋，本課程亦討論這些模型與實驗結果之相符與不一致之處。

## 5.用於微電子應用之微劑量學原理

由於半導體與積體電路之體積愈來愈小，使得微劑量學的理论可以微電子的方法實驗驗證，例如 1975 年製造之 *MOS* 氧化閘極(*gate oxide*)厚度趨近於 100 nm，與乳房細胞的大小相當。微電子應用首先證實微劑量學中的泊松(*Poisson*)過程。微電子應用亦可用於評估微劑量學中的截止能量、*LET* 變異、路徑長度變異、能量損失離散、范諾(*Fano*)波動等特性。目前用於微電子應用之理論發展有以下兩種(1)二隔室模式-解釋離子—照射微體積，(2)極值原理(*Extreme Value Theory*)。由於積體電路持續有革命性進展，輻射效應領域繼續受到挑戰，因此，微劑量學應用與輻射效應之統計方法將會繼續發展。

## 6.固態微劑量學

課程內容介紹微劑量學的發展歷史，及基本原理與量，其次說明數種實驗方法，並比較矽微劑量學的最新發展，課程特別詳細介紹氣體比率計數器和矽微劑量計之特性。課程中亦討論半導體偵檢器之基本原理，半導體如何應用於微劑量學，最後介紹其他實驗微劑量學方法，如 *Microstrip* 氣體計數器、雲室、光學游離腔、自動放射照相、三維光學隨機進入記憶體等。微劑量學已可應用於輻射生物學、放射治療、輻射防護、太空輻射、微電子之輻射效應等領域。

## 7.電子順磁共振(EPR)

電子順磁共振是一種非破壞性檢驗，對含未配對電子之物質極敏感。物質中未配對自旋數目與吸收劑量成正比，其原因為輻射與骨頭內的礦物質作用形成長壽命的順磁中心。因此，組織即可視為劑量計。*EPR* 劑量測定術是利用骨頭、牙齒琺瑯、牙質等鈣化組織中所含氫氧磷石灰【 $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ 】被輻射照射後所產生的自由基，自由基的生成數目與劑量成正比，且可用 *EPR* 測出。牙齒琺瑯質中 95~97 % 為氫氧化磷石灰，因此，牙齒琺瑯質最適合用於劑量測定術。成年人的牙齒琺瑯質即由氫氧化磷石灰結晶組成，結晶且長達數百奈米，輻射產生的自由基濃度正比於吸收劑量，所以 *EPR* 信號強度也正比於劑量，偵測範圍在 100 mGy 至 10 kGy 之間，且沒有劑量率依持問題。碳自由基中心非常穩定，室溫(25 °C)下壽命長達  $10^7$  年。各種輻射，包含  $\gamma$  光、 $\beta$ 、 $\alpha$ 、質子、重粒子都可於牙齒產生自由基，唯獨未見中子與牙齒琺瑯質作用的論文。

*EPR* 劑量測定術包含下列步驟：(1)取樣 (2)準備樣品 (3) *EPR* 度量 (4)劑量重建 (5)解釋結果。牙齒中以臼齒、小白齒較適合作劑量評估，犬齒與門牙因受日光照射之影響，只適合取裡面之琺瑯應用。牙樣品取回後首先要先分開牙質與琺瑯質，並將氫氧磷灰石與其他有機物質分離，分離的方法有機械法(鑽洞、鋸)、離心法、以 *KOH* 腐蝕加超音波處理等，琺瑯質要壓碎成 0.3~0.5 mm 之小顆粒以方便 *EPR* 度量。目前最先進的 *EPR* 可把偵測低限從 100 mGy 降至 29 mGy，琺瑯質與牙質與光子輻射之能

量依持極嚴重，必須加以修正。

*EPR* 亦可應用於輻射治療、放射意外事件之劑量重建、流行病學之劑量重建等領域。日本原爆倖存者與車諾比爾意外受曝者都曾以牙齒 *EPR* 方法重建劑量。

## 8.低軌道及外太空輻射劑量測定術

太空輻射劑量測定是輻防領域中最大的挑戰，其原因是太空中輻射非常複雜且不易設計儀器，本課程首先回顧太空中低軌道與地球磁場外輻射的來源與組成，其次說明過去 40 年來人類太空飛行的劑量偵測數據，太空站中有不同因素影響美國和蘇聯太空人所受的輻射曝露。

*MIR* 太空站的測量結果指出，太空船結構體產生的二次粒子與太空人的屏蔽甚為重要，初步估計太空人之輻射劑量一半來自捕獲質子，一半來自銀河系宇宙射線。由於缺乏低軌道太空船之中子度量資料，加上中子本就不易度量，因此，中子劑量評估之不確定度相當大。除了阿波羅登月計畫外，人類不曾度量過地球磁場外太空人之人員劑量，目前太空總署被迫依據模型來推估諸如火星登陸計畫之星際旅行太空人的劑量。事實上，低軌道飛行太空人的劑量不可能超過美國 *NCRP* 制定的劑量限值，但登陸火星太空人的劑量卻可能超過。被動式偵檢器中，太空人廣泛使用 *TLD* 和固體核徑跡偵檢器(*SSNTD*)偵測輻射。最常用的 *TLD* 材料為 *LiF*。*SSNTD* 中，最早用硝酸纖維素和 *Lexan* 聚碳酸酯，1981 年以後用 *CR-39*。主動式偵檢器則常用游離腔和固態偵檢器，後期則常用組織等效比率計數器。*NCRP-98* 和 132 號報告提出對太空人

之劑量限值，限值依年齡而不同，以 2000 年出版之 *NCRP-132* 號報告為例，男性太空人之十年累積劑量限值為 70 cSv(25 歲)，100 cSv(35 歲)，150 cSv(45 歲)，300 cSv(55 歲)。蘇聯之劑量限值為終生 4 Sv，一次太空任務 0.5 Sv。目前度量之結果，低軌道飛行太空人之劑量率約 65  $\mu$ Sv/d，則四個月達 7.8 cSv，一年達 23.7 cSv，都不會超過劑量限值，但火星任務可能超過劑量限值，*NCRP* 正在研訂星際旅行之劑量限值。(下期待續)

### ▲新書介紹 (輻協訊)

書名：非醫用放射性物質及可發生游離輻射設備試題彙編第一冊

作者：高雄醫學大學醫技系張寶樹教授

出版：合記圖書出版社，聯絡電話 02-27940168

本書「非醫用放射性物質及可發生游離輻射設備試題彙編」是張寶樹教授最近繼放射治療技術與設備學試題彙編後，特別為了協助參加行政院原子能委員會委託清華大學辦理非醫用放射性物質與可發生游離輻射設備之操作能力及游離輻射防護知識測驗的人士所編。

本書的試題除了從張教授過去所著的許多試題彙編叢書為基礎，從中挑選出許多精彩的題目加以分類外，並特別加入最近的考照的題目，其後並附有解題分析。本書內容分為五章，第一章「原子能有關法令與輻射安全」，第二章「密封放射性物質」，第三章「非密封放射性物質」，第四章「可發生游離輻射設

備」，第五章「綜合整理篇」，十分適合推薦給參加非醫用放射性物質及可發生游離輻射設備之操作能力及游離輻射防護知識測驗的人士參考。

### ▲「二十一世紀輻射防護的新趨勢」研討會 (輻協訊)

我國游離輻射防護法在今年(2002)1月4日於立法院三讀通過後，國內許多現行輻射防護管制的措施也將會配合改變進行修訂。近年來國內輻射防護所參考的文獻主要為 ICRP60 報告(1990 年所公布)，但是現今更新的輻射防護標準已在 ICRP 中做討論，並且 ICRP 預定在 2005 年也就是 ICRP60 公布 15 年後提出新的建議。到底下一個新的建議會有什麼變化呢？趨勢又是如何？相信這是國內許多關心輻防的人士所感興趣的。

ICRP 主席 R. Clarke 在 1999 年的 *J. Radio. Prot.* 19(2), 107-115 中所發表“Control of low level radiation exposure: time for change?”提出了他的看法，從內容中可初步看出改變的趨勢與新觀念，不過新觀念的引入也將碰到新的問題而可能導致有爭論。有鑑於國際放射防護的進展是如此的快速，輻射防護協會計畫舉行研討會就輻防新趨勢進行研討，預定於四月時在北部舉辦「二十一世紀輻射防護的新趨勢」研討會，初步規劃一天的研討會，內容與講員有「劑量限值的新趨勢…尹學禮，原能會輻防處副處長」；「發展新趨勢的背景說明…魯經邦，台電核發處保健物理科主管」；「新趨勢的新術語…劉代欽，



輻協訓練組組長」以及輻協翁寶山執行長主持的座談；屆時歡迎大家報名參加。

▲九十一年度輻協各項訓練班預定時間表

(輻協)

班 別	訓 練 日 期	上課地點	聯 絡 人
非醫用班	91年03月05日至03月12日(甲組2)	高雄	邱靜宜
"	91年03月12日至03月19日(甲組3)	清華大學	邱靜宜
"	91年04月23日至04月30日(甲組4)	清華大學	邱靜宜
"	91年06月04日至06月11日(甲組5)	清華大學	邱靜宜
"	91年06月04日至06月11日(乙組1)	清華大學	邱靜宜
"	91年06月18日至06月25日(甲組6)	高雄	邱靜宜
"	91年07月30日至08月06日(甲組7)	清華大學	邱靜宜
輻 防 班 第 5 4 期	91年04月15日至04月19日(第一階段)	清華大學	李貞君
	91年05月13日至05月17日(第二階段)		
	91年06月17日至06月21日(第三階段)		
	91年07月08日至07月12日(第四階段)		
輻 防 班 第 5 5 期	90年08月12日至08月16日(第一階段)	高雄	李貞君
	90年09月02日至09月06日(第二階段)		
	90年09月30日至10月04日(第三階段)		
	91年10月28日至11月01日(第四階段)		
輻 防 班 第 5 6 期	90年09月16日至09月20日(第一階段)	清華大學	李貞君
	90年10月14日至10月18日(第二階段)		
	90年11月11日至11月15日(第三階段)		
	91年12月09日至12月13日(第四階段)		
鋼材班	91年05月07日至08日	高雄	李貞君
"	91年05月29日至30日	清華大學	李貞君
鋼複訓班	91年05月09日	高雄	李貞君
	91年05月31日	清華大學	李貞君

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

□ 專題報導

▲國內加速器之法規及輻射防護

-兼簡介國外大型貨櫃檢查儀

(原能會 張志堅)

一、可發生游離輻射設備之相關法規

依照原子能法第二十六條第一款之規定：放射性物質及可發生游離輻射設備之所有人，應向原子能委員會申請執照。同法第二十六條第三款規

定：放射性物質及可發生游離輻射設備之操作人，應受有關游離輻射防護之訓練，並應領有原子能委員會發給之執照。申請設備執照應填寫設備執照申請書，並檢附加速器詳細資料、輻射安全評估報告及輻射防護計畫，送原子能委員會審核。

原子能法施行細則第五十六條規定，領有初級操作執照者，得操作未滿五十萬伏巔值之 X 光檢查設備或粒子最大能量未滿五十萬電子伏巔值之

質點加速設備；領有中級操作執照者，得操作未滿一千萬伏巔值之 X 光檢查設備或粒子最大能量未滿一千萬電子伏之質點加速設備；領有高級操作執照者，得操作任何能量之可發生游離輻射設備。另依輻射防護人員設置要點，使用可發生游離輻射設備之機構，若所發生 X 光設備的巔值電壓超過五百仟伏特而未達兩百萬伏特，或質點加速設備所產生之粒子最大能量超過五百仟電子伏而未達兩百萬電子伏，則應至少設置初級輻射防護員乙名；若巔值電壓超過兩百萬伏特或粒子最大能量超過兩百萬電子伏，應至少設置中級輻射防護員乙名。

申請設備執照之機構，依原子能法第二十六條第四款之規定，其可發生游離輻射之設備，在使用前應作游離輻射防護之安全檢查，檢查紀錄應存備查考。取得原子能委員會核發設備執照之機構，依原子能法施行細則第四十八條之規定，應每半年將現況、異動狀況及生產紀錄向原子能委員會申報一次。

## 二、可發生游離輻射設備之輻射防護

加速器之輻射防護應依照原子能委員會發布之「可發生游離輻射設備(加速器類)游離輻射防護須知」，其內容如下：

(一) 本須知適用對象為輻射照射或同位素生產用加速器。

申請使用本須知加速器應先填妥非醫用可發生游離輻射設備執照申請書並檢附下列有關資料送本會審核：

- (1) 加速器詳細資料，包括廠牌、機型、構造、功能及廠房配置與四週環境相關位置圖。
- (2) 輻射安全評估報告。

(3) 輻射防護措施計畫。

1. 輻射安全評估報告至少應包括下列各項：

- (a) 屏蔽計算。
- (b) 劑量評估。
- (c) 管制區劃分。
- (d) 照射室區域監測系統及警戒裝置。
- (e) 安全操作之連鎖控制系統。
- (f) 加速器冷卻系統之要求及監測裝置。
- (g) 照射室空調系統。

2. 輻射防護措施計畫至少應包括下列各項：

- (a) 設置合格輻射防護專業人員及操作人員。
  - (b) 主管及輻射防護專業人員職責。
  - (c) 輻射安全小組成員、功能及小組會議頻次。
  - (d) 工作人員輻射安全在職訓練計畫及訓練紀錄之保存。計畫內容應包括 (I) 授課人員 (II) 訓練課程 (III) 訓練頻次與時數 (IV) 參加受訓人員。
  - (e) 人員劑量計之使用、管理、計讀及紀錄之保存。
  - (f) 輻射偵檢儀器之類別、使用管理、校正及校正紀錄之保存。
  - (g) 輻射偵檢實施程序與頻次。
  - (h) 加速器使用日誌之記錄及紀錄之保存。
  - (i) 加速器安全操作及緊急處理程序。
- (二) 加速器之安全規定：
- (1) 加速器控制台之啟動開關應有安全鎖扣裝置，並須由專人管理。
  - (2) 控制台應有緊急停止裝置，遇有異常情況可隨時停止照射。
  - (3) 控制台所有控制鈕及儀錶應清楚標示其名稱或功能，以便識別。
  - (4) 照射室應裝設視窗或閉路電視，以

確認照射時無人逗留。

- (5) 控制台應有啟動警示聲號鈕裝置，以提醒照射室附近人員撤離。
- (6) 控制台應張貼加速器安全操作及緊急處理注意事項。
- (7) 照射室門牆人員可接近之表面應設置明顯之輻射警示標誌及警語，其輻射劑量率不得高於每小時 0.25 毫侖。照射室四周並應有明顯之旋轉警示燈或聲號，以便實施照射時提供人員警示之用。
- (8) 照射室入口應與加速器連鎖控制，門一開啟加速器即停止照射。
- (9) 照射室內部應有緊急停止照射及緊急開門裝置。
- (10) 連鎖系統及緊急停止照射裝置應能確實切斷電路及機械設備，並至少三個月測試一次，以確保功能正常。

### 三、大型貨櫃檢查儀之法規及輻射安全

- (一) 美國加州 Santa Clara ANCORE 公司之脈衝式快中子分析系統 (Pulse Fast Neutron Analysis, PFNA)。ANCORE 公司之 PFNA 系統採用脈衝式快中子，以相當於 8 至 8.5 MeV 之能量穿透貨櫃並與貨櫃內之物品產生作用。當中子與物品之核種碰撞後，會產生獨特之加馬射線，藉由影像處理器所呈現之獨特元素標幟、能量及強度，可辨識特定之材料及其位置。目前此系統可分辨含碳、氧、氮、鐵、矽及鉛之物品，對於毒品及爆裂物之分辨能力優於純穿透之 X 光機或加速器，但現今世界各國尚無設置運作之實績可供參考。

依原子能相關法規，操作此系統之場所應設置中級可發生游離輻射設備類之輻射防護人員一名，每一輪值之系統操作人員應有中級可發生游離輻射設備類之操作執照，工作人員如於管制區內作業則應佩帶劑量佩章。

就輻射安全而言，此系統於掃描時，萬一操作人員於最意外之情況下遭受直接曝露，所造成之輻射劑量每次約 0.25 毫西弗（約與胸腔接受 X 光透視之劑量相當），仍遠低於 50 毫西弗之法規年劑量限值；一般操作人員於正常情況下操作，此系統對於人員所造成之輻射劑量應屬極為輕微。由於快中子與物質作用時，有一定之機率及比例會造成活化，使其具有放射性，因此，內裝食品之貨櫃如接受此系統掃描，多少會衍生輻射污染之疑慮，但依該公司提供之法國農業部接受使用中子技術掃描食品之報告，此種輻射污染對於整體食品安全並無明顯之顧慮。

- (二) 美國 AS&E 公司設置於德州 El Paso 之 450kV<sub>P</sub> X 光貨櫃檢查系統

德州美墨邊境之 EL PASO 海關分別於 1997 年 8 月及 1998 年 2 月於 Ysleta 關口及 Bota 關口設置 AS&E 公司之 X 光貨櫃檢查系統，此系統利用 450kV<sub>P</sub> 之 X 光掃描貨櫃及卡車，利用透視及反射之 X 光影像來辨識貨櫃內之物品。透視影像提供物品之原子序數對比，反射影像則提供低原子序數物品（如毒品等有機物質）之分辨資訊，可彌補透視力之不足。

此系統每部造價約 350 萬美金，已向美國管制部門申請使用執照，運作時須四名操作人員，兩名負責現場

之操作與警戒，兩名負責控制室內之影像研判，操作人員只須接受訓練不須執照，現場之操作人員於啟用初期曾佩帶劑量佩章數個月，但於每月劑量計讀結果均顯示背景值之安全劑量後，申請放棄佩帶劑量佩章。正常操作狀況下，X 光機之管球每年更換一次，約需 2 萬美金，Ysleta 關口及 Bota 關口之主任檢查官對於此系統之運作均表示非常滿意。

國內對於 500kV<sub>p</sub> 以下之 X 光機使用單位，除要求 X 光機應申請執照外，人員方面僅要求設置初級可發生游離輻射設備類之操作執照，不須設置輻射防護人員。輻射安全方面，AS&E 公司之 X 光貨櫃檢查系統對於操作人員及環境之安全性甚佳，X 光對於受檢物品也不會造成輻射污染，唯一必須提防者，現場操作人員於啟動 X 光時，應確保照射室無人在內，照射過程中亦應警戒，以免人員意外闖入。

#### (三) 荷蘭阿姆斯特丹 Schiphol 機場之 EG&G 公司 9 MeV X 光貨櫃檢查系統

荷蘭 Schiphol 機場採用 EG&G 公司雙槍型 9 MeV X 光貨櫃檢查系統，主要檢查各類型航空貨櫃，現場目前仍加緊建廠中，當時預計西元 2000 年可以啟用，對於高能量之 X 光直線加速器，荷蘭之法規要求與我國相似，除設備應申請執照外，亦應設置領有執照之操作人員及輻射防護人員，現場操作人員應佩帶劑量佩章。高能量之 X 光貨櫃檢查系統一般均採密閉式操作，以確保輻射安全，檢查區內設置閉路電視系統、閉鎖系統、緊急停機開關、通訊及廣播系統、警

報系統及警告標誌等，以防止人員意外遭受 X 光照射，在正常運作情況下，操作人員之輻射劑量微乎其微。

#### (四) 荷蘭鹿特丹港口之 Heimann 公司

##### 9 MeV 雙槍 X 光貨櫃檢查系統

鹿特丹港口所設置之 Heimann 公司 9 MeV 雙槍 X 光貨櫃檢查系統於 1999 年 3 月啟用，造價約為美金 1700 萬元，每小時可以掃描 20 只貨櫃，每天預計掃描 150 只貨櫃。由於受制於掃描速率，艙單之風險分析 (risk analysis) 非常重要，系統啟用約 3 個月，已查獲價值約 600 萬美金之違禁品，超過造價三分之一，成效可觀。

鹿特丹港口之管理採市港合一，X 光貨櫃檢查系統採兩班輪值，每一輪值約 15 人，控制室設系統操作人員一名，須有操作執照，系統操作人員負責操作 X 光機，並藉 14 台閉路電視監看照射室內有無人員逗留，掃描之影像傳輸至影像分析室，影像分析室設六部終端機，各由一名分析師進行分析研判。現場進口處設工作人員三名，一名檢查艙單，兩名引導貨櫃進入定位，人員均佩帶劑量佩章，貨櫃進入照射室後，進出口之屏蔽門關閉，然後啟動 X 光，照射時，門外之警示燈開始警示，有疑問之貨櫃現場開櫃檢查，無疑問者放行。此系統除設備應申請執照外，亦應設置輻射防護人員，負責全場之輻射安全。

國內對於 9 MeV 直線加速器之使用單位，規定應申請設備執照，並設置中級可發生游離輻射設備類之輻射防護人員，每一輪值應設置中級可發生游離輻射設備類之操作人員。正常操作情況下，此系統對於操作人員及環境均無輻射安全之顧慮，X 光對於

受檢物品亦無活化之輻射污染疑慮，惟感光紙或底片一類之貨物則應避免接受高能量 X 光掃描，以免曝光受損。