

■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：王嵩峰、李四海、林友明、邱賜聰、翁寶山、許文林
陳為立、董傳中、劉仁賢、蘇明峰（依筆劃順序）
■發行人：曾德霖 ■主 編：游澄清 ■文 編：李孝華、蔡親賢
■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

▲「車諾堡核電廠事故後十年之調查總報告」摘述

(核研所 蘇獻章)

歐盟(EC)、國際原子能總署以及世界衛生組織(WHO)聯合於1996年4月在維也納召開名為「車諾堡十年後」大會，會議上所發表論文已印行成冊，冊中彙整有十五頁的總結報告，礙於篇幅，摘要敘述本總結報告內容，希望能澄清許多不正確報導，並作為日後核能與輻射安全之參考。

在1986年4月26日前蘇聯烏克蘭共合國的車諾堡四號機，發生了歷史上最嚴重的核子事故，整座反應器在十天內全毀，釋出大量放射性物質，緊急度量事故所釋出的放射性物質是事故發生後處理的第一要務，並於1986年11月完成乙座「石棺」，以防堵事故現場輻射物質擴散。大約有116000位居民撤離家園，總面積為4300km²的高劑量區被劃定為「禁制區」，以防人員擅入。估計事故所釋出總活度約為 1.2×10^{19} Bq，污染大於185kBq/m²的面積約為29,200km²，初期參與清除的廿萬人平

均劑量為100mSv，估計共有十五萬人的甲狀腺劑量超過幾個西弗，UNSCEAR估計前蘇聯以外國家，第一年最高國民平均劑量為0.8mSv。

為數237位職業工作者因輻射曝露引起臨床上的併發症而住院，最初三個

月內有28人死亡，其中26位死亡原因與大於50%的皮膚輻射受損有關，而當初建議施行的骨髓移植治療，似乎幫助不大，至今，仍有許多受嚴重影響的病人正遭受各種疾病之苦，他們必須繼續追蹤二、三十年，以確定疾病是否來自輻射傷害？

受輻射影響地區的小孩得甲狀腺癌的機會明顯增加，是本事故唯一可以清楚確定的輻射健康效應，至1995年底，共發現約800例的15歲以下兒童甲狀腺癌病例，未來發生甲狀腺癌的情形仍難預估，病例發生可能會持續好幾十年。除了甲狀腺癌以外，目前雖無明顯證據顯示血癌或其它癌症有升高的現象，但仍有些污染地區的居民或清除工人有傳出發生某些癌症的報導，因此本事故有更進一步追蹤其效應的必要。

本事故在過去十年內，執行過許多社會與心理影響的研究，發現居民在心理健康和徵候方面(如焦慮、沮喪和心

理壓力不正常)受到相當程度的影響，但這些心理影響很難說明其原因是否來自前蘇聯解體或是經濟困頓。

在反應器周圍十公里內，環境影響嚴重，雖然自1989年起，這些地區的天然環境已開始恢復，但長期遺傳效應和影響的研究仍應繼續。事故初期輻射碘是主要的影響核種，自1987年後，輻射劑量的來源主要來自銻，而小部分來自銻，至於銻對劑量影響輕微，事故初期，有些食物的污染值超過WHO/FAO所訂的污染限值。

自1990年至1995年底，當局又決定移居廿一萬居民，移居所帶來的社會，經濟、風俗與政治影響很大，研究顯示污染區情況很糟，出生率下降，勞動和技術人員出現短缺，來自污染區產品的販售與出口變得困難，導致當地收入銳減。

在核能安全方面，在過去十年已對現有 RBMK 型反應器採取了許多增進核能安全的措施，例如技術與組織改進，設計缺失改進，廠務管理，人員訓練，非破壞檢測與安全分析等。因此，再發生類似車諾堡事故之機會幾乎不可能，但發生其它輻射物質外釋的意外仍可能發生。

事故後所建造的石棺，已達成當初設立的防護目標，但長遠來看，它的穩固性與防堵功效令人質疑，結構體崩塌可能會引起輻射物質外洩。雖然目前石棺是符合安全，但無法排除由於石棺內含有大量燃料，當它與水接觸後可能會達到臨界狀況，雖預期不會有大規模的輻射外洩，但可能會對現場員工造成影響。此外，現場所掩埋的輻射物質，可能會引起污染，擬於石棺外興建第二層

掩護體，正由歐盟資助研究中。

由於下列四個因素，因此現階段要使禁制區完全復原並不可能。

- (1) 居住範圍內仍有部分地區污染相當嚴重。
- (2) 當地地下水可能已受污染。
- (3) 石棺有崩塌之虞。
- (4) 飲食與生活型式受嚴格限制。

▲南部輻射傷害防治中心成立二周年慶

(高醫 張寶樹)

民國81年5月6日立法院第89會期，內政、教育聯席會第一次會議決議：「行政院衛生署應督導並補助一級教學醫院成立輻射傷害防治中心，辦理地區性輻射防護措施。」83年7月16日行政院衛生署函知高雄醫學院附設中和紀念醫院(簡稱高醫附設醫院)，擬由該署酌予補助高醫附設醫院設置三級輻射傷害防治中心，於84年1月18日正式函知由該署補助高醫附設醫院成立三級輻射傷害防治中心，並自85年度起，衛生署決議每年的中心維護費用應由高醫附設醫院與台電公司簽約。84年1月23日台電公司函知高醫附設醫院，委請高醫附設醫院為該公司南部輻射傷害防治中心之特約醫院。

高醫附設醫院三級輻射傷害防治中心於84年8月1日正式掛牌成立，運作至今已屆滿二周年。高醫附設醫院南部輻射傷害防治中心為南部唯一的三級輻射傷害防治中心。該中心的最高決策單位為南部輻射傷害防治中心委員會，委員成員包括台電公司、核能三廠、屏東與高雄縣市的衛生局、警察局、消防局

(隊)、高醫附設醫院的代表，委員會的召集人爲高醫附設醫院的院長。南部輻射傷害防治中心設置主任、副主任、緊急醫療小組、醫療相關人員等，以24小時、全年無休的方式待命運作。

南部輻射傷害防治中心現擁有輕污染除污室一間、重污染除污室一間、專用手術室一間、骨髓移植床二床、單人隔離病房三間、無菌隔離病房、必要的醫療器械和輻射偵測儀器等。該中心可以進行的醫療處理包括後送傷患緊急救護處置、輻射污染除污處理、無菌病房隔離保護、骨髓移植、同位素螯合藥物的給予、燒傷治療、嚴重創傷治療及後續的保健醫療等。

南部輻射傷害防治中心的人員訓練分爲內部訓練與對外訓練服務兩種。內部訓練包括每年一次的配合台電輻傷緊急應變作業演習、不定期的輻傷緊急應變動員演習、每年二次的輻傷救護專業訓練及派員至美國橡嶺國家實驗室參加輻傷訓練課程等。對外訓練服務的目的是加強南部地區對輻射傷患緊急救護的處理能力與建立南部完整的輻射傷害防護網。對外訓練服務的主要對象是屏東區醫療網緊急醫療責任醫院的12家醫院、約200位的醫護人員與屏東縣核能三廠附近6個鄉鎮衛生所約350位的醫護人員。對外訓練每年舉辦4次，訓練內容分爲初級訓練與中級訓練兩種。初級訓練課程包括輻射意外事件及我國應變系統簡介、輻射偵測與防護、輻射對生物體的影響、輻射意外事件所造成的急性傷害、輻射意外事件入院前緊急處置、輻射意外事件院內緊急處置、傷患處置示範、服裝穿卸與輻射偵檢實習。中級訓練課程則包括輻射意外事件處置

複習與測驗、輻射偵檢與防護實習、輻射意外傷患處置演練等，其中輻射意外傷患處置演練包括人員組成與動員、設備器材的準備、傷患醫療處置、污染偵檢與除污、善後處理等。

輻射傷害防治是集合緊急醫療、臨床醫療與保健物理等的一門實用醫學，而南部輻射傷害防治中心則是集合高醫附設醫院的醫師、保健物理師與各醫療相關人員的一待命機動的醫療編組，爲南部輻射傷害防治貢獻與服務。今茲逢南部輻射傷害防治中心成立二周年，特爲文陳述其成立經過、設備、人員編組與功能介紹，以爲周年之慶。

▲三名KOEBERG員工在更換過濾器時劑量超過法規限值

(台電 翁雅慧)

南非電力供應委員會(Eskom)的運轉員說：五月二日在Koeberg-1 PWR，三名有經驗的輻射工作人員在燃料池與冷卻系統做例行過濾器更換時，接受了超過法定50mSv的年限劑量。

根據其最初劑量計的讀數，三位工作人員接受的全身劑量分別爲50，90與105mSv。

此件員工曝露的意外，在國際核能事件的分類上屬第二級。這是Koeberg的第二次二級事件。第一次是發生在三月十一日，當時一位員工接受了32mSv的劑量。

Eskom核能保全暨環境處處長兼發言人Tony Stott說：根據用過燃料池的事前輻射偵測記錄顯示，其劑量率爲2mSv/hr，因此不需特別屏蔽。然而，在移除過濾器的20分鐘工作之後，其中

一名工作人員發現其所攜帶的劑量計的讀數偏高。保健物理人員立刻疏散此工作區域所有工作人員。後續的調查顯示，過濾器的接觸劑量率約為2400mSv/hr。

五月五日Stott說：此次不幸意外的假設原因之一，是儀器的問題，然而偵檢器在一個月前才做過校正，故似乎儀器出問題的機會不大。另一項正在調查的可能原因為Koeberg燃料池使用新型的過濾器，此種過濾器較舊型效率高得多，因此捕獲放射性顆粒又多又快。

Eskom已將受影響的員工送至駐廠心理醫生處接受治療，而其反應均十分良好。核能安全委員會已針對此次事件展開調查。

一、緣起

放射性廢料的安全管理，為核能發展的重要議題，而減廢工作則是安全管理的重要一環。推動各核能電廠放射性廢料減量工作，不但符合環境保護原則且極具經濟效益，並能紓解放射性廢料的倉貯壓力，同時對核能電廠而言，也是一項重要的敦親睦鄰措施，意義非比尋常。因此，行政院原子能委員會放射性物料管理局(原能會物管局)自民國七十九年起即訂定「核能電廠低放射性廢料減容策略」，分階段設定減廢目標值，大力推動核能電廠的減廢計畫，並於民國八十二年十二月進一步修訂「低放射性廢料減量策略」，以九年分三階段執行減量計畫，其目標值如下：

▲核能電廠放射性廢料減量之成效

廠別	基準值	目 標 值 (單位：200公升/桶)		
		82~84年	85~87年	88~90年
核一廠(636MWe)	1657	1500	1300	1100
核二廠(985MWe)	2314	2000	1650	1300
核三廠(951MWe)	550	450	400	350

二、成效

根據統計，台電公司各核能電廠的固化廢料產量最多為民國七十二年的11814桶，而十年前(76年)之固化廢料產量亦達7624桶，經由產、官、學、研各界之努力，廢料產生量已逐年下降。去(八十五年)之固化廢料的產量，核一廠為729桶、核二廠1114桶、核三廠388

桶，合計2231桶，不但遠低於減量目標值，且比前(八十四)年之3363桶，減少50%。如與七十六年之年產量比較，十年來固化廢料產量已減少三倍多，顯示廢料減量計畫已有顯著成效。

我國核能電廠與世界其他國家之核能電廠固化廢料產量比較，在沸水式電廠(核一、二廠)方面，過去之表現較平均水準差，但差距已逐年縮小；至壓水

式電廠(核三廠)方面，則已達到世界平均水準。

三、措施

由於放射性廢料減量是持續性的工作，且國外核能電廠的減量成效亦一直在進步中，基於「進步緩慢就是落伍」的信念，原能會物管局為進一步推動各核能電廠放射性廢料減量工作，乃於八十五年四月二十日邀請學者專家成立「放射性廢料減量諮詢小組」，希望藉

由不同領域之專家、學者，就廢料處理設備、處理技術及作業程序等方面，深入檢討分析，提出具體改進建議。

諮詢小組深入討論後認為，若欲再進一步推動核能電廠之放射性廢料減量，今後應努力推動下列之中長程計畫：

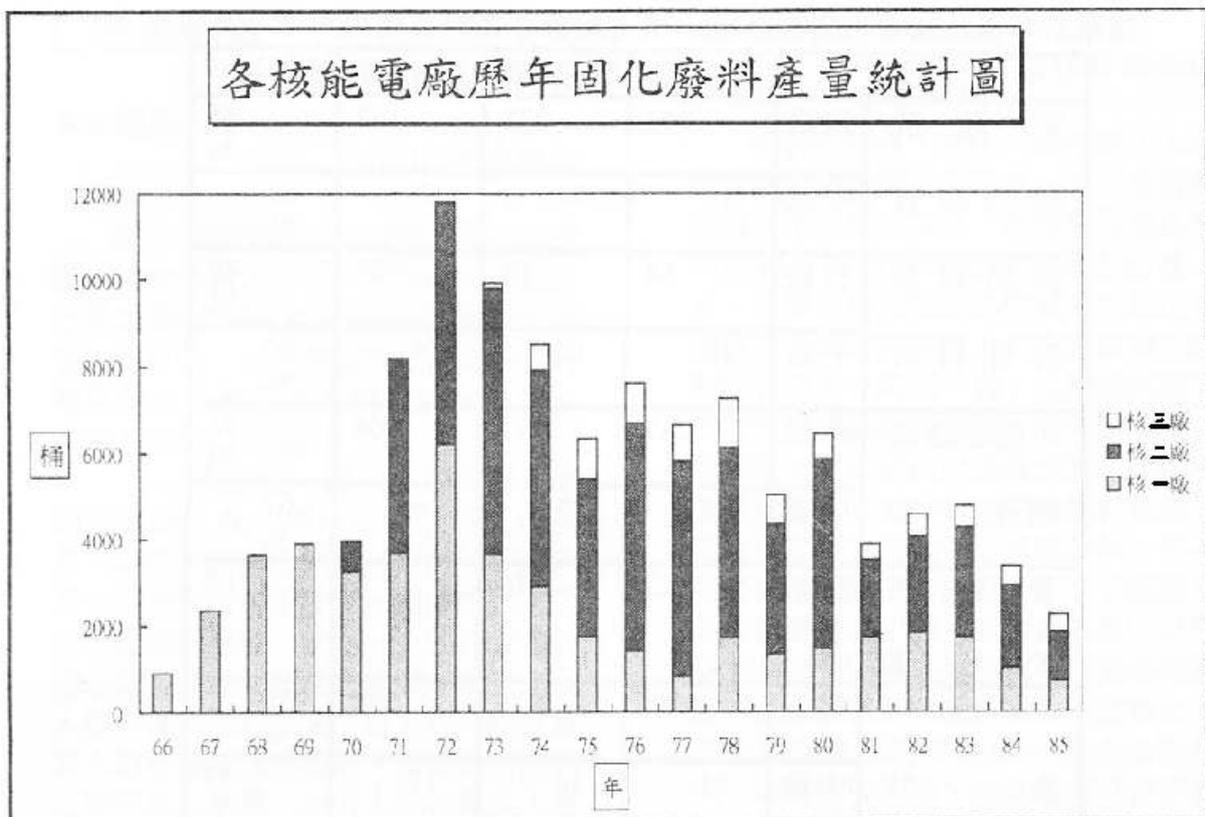
- 於冷凝水除礦器前加裝置前置過濾

器，以進一步改善水質。

- 提早更換主冷凝管之材質。
- 引進高效率之固化技術。
- 安裝多功能減容設備。
- 最適化樹脂之操作邏輯。
- 發展高完整性之盛裝容器。

四、展望

在原能會物管局積極推動下，各核能電廠均已成立對應之減廢工作小組，而廢料減量的觀念也已深入廠內各階層員工中，減廢工作已具明顯成效。由於放射性廢料減量是永無止境的工作，原能會物管局絕不以現狀為滿足，今後仍將持續推動核能電廠廢料減量工作，期在邁入公元二千年之前，我國沸水式核電廠之低放射性廢料產生量，每年均有優於世界平均水準之表現，而壓水式核電廠則以位居世界排名前三分之一為努力目標。



▲考試消息

(原能會)

考試類別	報名日期及方式	考試日期	考試地點	備註
輻防人員認可測驗	9月01日~9月06日 通訊報名	11月08日(六)	台北(國家考場)	請應考者準時參加測驗

▲操作執照考試

(原能會 徐仁溥)

為評定非醫用放射性物質及可發生游離輻射設備工作人員之操作能力和游離輻射防護知識熟悉程度，以保障輻射工作人員安全。行政院原子能委員會於今年八月十四日舉行之非醫用操作執照鑑定測驗計有：616人報考初級，30人報考中級，及格人數共有初級337人，中級17人，及格率分別為55%及57%，（詳細統計資料如附表）。

八十六年第二次非醫用操作能力鑑定測驗各類科成績統計表（九月）

類別		報考人數	實考人數	及格人數	及格率
密封放射 性物質	初級	340	323	142	44%
	中級	11	11	7	64%
非密封放 射性物質	初級	54	52	25	48%
	中級	10	10	4	40%
可發生游離 輻射設備	初級	242	231	164	71%
	中級	10	9	6	67%
動物用 X光機	初級	12	10	6	60%
合計	初級	648	616	337	55%
	中級	31	30	17	57%

□會議訓練報導

▲八十六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
鋼 材 班	86年10月15日至16日	高雄	蔡親賢
〃	86年11月20日至21日	台北	蔡親賢
非 醫 用 班	86年10月14日至21日	清華大學	李貞君
〃	86年11月04日至11日	清華大學	李貞君
〃	86年11月18日至25日	高雄	李貞君
〃	86年12月16日至23日	清華大學	李貞君
輻 防 班	87年03月02日至03月27日	聖經學院	邱靜宜

◎以上各項訓練班簡章備索，電話：(03)5722224

□專題報導

▲論輻射標準

(原能會 唐發泰)

很少有醫學議題像輻射一樣引起爭議，就大多數人而言，對輻射的認識並不是很清楚而且認為所有輻射都是有害。但目前，正有部份研究人員向政府與科學家施壓要求再檢視此一議題。

Dean Edell博士報導：

“...2,1,現在...轟。因對輻射傷害的不瞭解，此一爆炸事件改變了這世界。政府與科學機構認定輻射量不管有多少都不安全，根據此一理念而設定了現在的輻射標準。然而，一些科學團體擔心這些標準可能失之過嚴。畢竟，自人類存在於地球以來，吾人就不斷曝露

於來自宇宙的天然輻射。由於政府設定之標準如此嚴格，以吾人站在摩天大廈頂端或步過國會Garnet大廳為例，接受的輻射即可能超過此一標準。”

“逐漸得到實驗支持的新理論認為活細胞歷經數百萬年演進已能適應輻射，且低劑量輻射可能不但無害，實際上可能有益。此一理論可用於解釋最近對幾千位日本核爆生還者所做研究發現其較之未曝露於此爆炸之日本民眾有較低之癌症死亡率。另一研究亦顯示上萬個幾十年前曾受高劑量曝露之海軍船塢工人較之於未受曝露之工人較少發生癌症。這些研究與調查促使國家科學院對輻射安全限值重開全盤性討論。因此不久的將來，可能會聽到少量輻射並不是那麼壞。”

(譯自1997年7月19日美國舊金山市KGO電視台之ABC報導)(特此感謝清華大學林建昌客座專家提供上述報導之錄影帶且將報導內容書成文字使之易於翻譯。)

▲中子高劑量率校正方法之構思

(核研所 蘇水華 陳渙東)

輻射是無色、無味、無聲的，人類無法直接感受到它的存在，因此必需藉由儀具來偵測與度量。通常這些儀具是利用輻射與物質作用時所產生的電、光、化學產物或熱量為信號，再以這些信號配合輻射度量學上的定義來決定輻射的質與量。所謂「質」是指輻射源的放射核種或輻射的能譜，而所謂「量」是指輻射劑量或輻射源的活度。輻射偵測儀具依不同的偵測原理、輻射種類、度量性質及使用場合而種類各異，但不論是那一種儀具均面臨了度量低劑量率易受背景輻射干擾、高劑量率易因無感時間明顯而出現訊號失真、遺失等的困擾。低劑量率的問題非本文主題略過不談，高劑量率的問題以手提偵檢器為例，常可發現的是，在高輻射區反而量不到輻射或量值偏低。在實務上，於進入輻射場前先將偵測儀表打開並將檔撥到最高檔(可量到最高劑量率的檔)，並於進入輻射場後再視情況逐步調到適合讀值的檔。至於在儀具校正上則要儘量想辦法使儀表在高劑量率的偵測上仍不會失真。本文僅針對中子偵測儀具度量高劑量率時，如何加以校正才算合理做個思考。

一般中子輻射場都免不了會有加馬

輻射，為確保中子偵測儀不被加馬干擾，可將偵測儀置於加馬輻射場中，若劑量率高達0.1西弗/時，仍不見儀表反應，則表示偵測儀不受加馬干擾，此時儀表於中子輻射場量到的可視為純中子劑量率。中子偵測常用三氟化硼比例計數器，藉由計數(n, α)反應所產生的脈衝以得劑量率，加馬亦會使計數器起反應而造成脈衝，但其脈衝高度比由中子形成者低，故可利用調整脈衝底線高低以切除不想要的加馬脈衝，而只量到純中子劑量率。若使用示波器觀看中子、加馬混合場的中子脈衝與加馬脈衝，將發現兩者在高度上有明顯差異，假設中子脈衝高度為5、加馬脈衝高度為1，當調整脈衝底線到高度為1時，在示波器上就看不見加馬脈衝而只純粹量到中子，但若將底線降到0時則中子、加馬都量到了，此時由於在偵測器內脈衝高度與產生離子對之數目成正比，故一個中子輻射在偵測器內產生的離子對為一個加馬輻射所產生離子的5倍，就無感時間的特性而言，無感時間正比於偵檢器內之離子數目，因此1個中子的計數所造成的無感時間效應，可視為加馬的5倍。

在高強度中子輻射場內偵測時，主要的誤差來自偵檢器的無感時間，為了解無感時間的長短，並提出較合理可行的解決誤差問題之道，在構思上採用一適當的加馬標準射源來模擬並取代真正的中子射源。模擬過程為先將偵測中子之比例計數器的電路由測量電壓脈高的運做模式改成量測電流的模式。之後，將此偵測器分別置放於已知劑量狀況的中子及加馬輻射場中，取相同的累積劑

量，測得的讀數分別為中子 n_1 、加馬為 γ_1 ，並逐次加大累積劑量，共取*i*次測得的整組讀數分別為中子由 n_1 、 n_2 、 n_3 ...到 n_i ，加馬由 γ_1 、 γ_2 、 γ_3 ...到 γ_i ，並計算出各對相同劑量之中子及加馬讀值的比例值 $\frac{n_1}{\gamma_1}$ 、 $\frac{n_2}{\gamma_2}$ 、 $\frac{n_3}{\gamma_3}$...到 $\frac{n_i}{\gamma_i}$ ，如果各比例值幾乎為同一個值時，可令此值為常數"*k*"，並令中子及加馬讀值的關係通式為" $n_s = k \gamma_s$ "。則當一般中子標準射源無法強到足以應付度量高劑量中子用偵測器的校正時，可利用加馬標準射源模擬取代。

▲謝倫可夫輻射是怎麼回事？

(清大 朱鐵吉)

帶電粒子通過物質時，它的進行速度若超過光在物質中的傳播速度，就會發射出一種特別的光。以發現者的姓名命名為謝倫可夫光。這種現象稱為謝倫可夫輻射(Cerenkov radiation)或謝倫可夫效應。

1934年，謝倫可夫(1904~1990)發現，水或酒精等被紫外線照射時並不發光，但被 γ 射線照射時則發射出藍光的現象。當時，水或酒精中不含螢光體，為什麼會發光呢？真是不可思議的事。後來不久就發現，這種光是與傳統的發光機制完全不同的一種光。當時已被確認的發光現象為高溫發光(白熱電燈)，放電發光(霓虹燈)與螢光發光(夜光塗料)等三種，而謝倫可夫光是不屬於這三種的第四種發光現象。

與謝倫可夫輻射相似的現象也發生於音波世界。就是噴射飛機在空氣中以

超過音速340 m/s的速度飛行時，發出的衝擊聲。一般，物體以超音速在介質通過時，就發射這種衝擊波。謝倫可夫光也與此相同，是由超光速帶電粒子產生的電磁衝擊波。

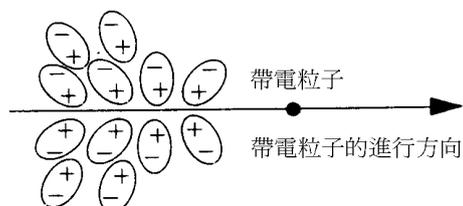


圖 1 帶電粒子引起的極化

帶電粒子通過物質時，如圖 1 所示，由於帶電粒子形成的電場使附近的原子或分子極化(polarization)。因此，原子或分子變形，其兩端帶弱電荷。這種狀態是比極化前能量高的狀態。帶電粒子穿過物質之後，原子或分子又回到原來的狀態。這時就以電磁波的形式發光，電磁波的能量相當於極化前後的能量差。這種光就是謝倫可夫光。

由此可見，謝倫可夫光不是帶電粒子發出的光，而是物質中原子或分子發射的電磁波(可見光)。謝倫可夫輻射和制動輻射也容易混淆，其實這兩種輻射的機制完全不同。因為謝倫可夫光是可見光，所以物質不透明者就看不見，相反的，謝倫可夫輻射體只要是透明的就能看得見謝倫可夫光。

那麼，物體的速度到底是可以超過光速嗎？根據相對論，任何物體的運動速度不會超過真空中的光速。物體的速度如果超過*c*(光速)，則 $\sqrt{1 - v^2 / c^2}$ 就成為虛數，質量*m*也就失去物理意義*。

但是在物質中，物體的運動速度卻可以超過光在該物質中的速度。設真空

中光速為 c 物質的折射率為 n ，物質中的光速為 $u = c / n$ ，由於物質的折射率 $n > 1$ (真空中 $n = 1$)，所以通過物質中的光速小於真空中的光速。於是，帶電粒子的速度 v 有可能超過物質中的光速。

例如，水($n = 1.34$)中光速為 2.3×10^8 m/s。如果電子的能量超過0.25MeV，那麼它在水中的速度就超過水中的光速，在發射謝倫可夫輻射的同時，電子失去與此相當的能量。將放射性物質放在水中，水即發藍光，就是這個原因。 γ 射線本身不是帶電粒子，不直接產生謝倫可夫效應，但被 γ 射線擊出的光電子或康普頓回跳電子等會引起謝倫可夫效應。貯存在水池中的 ^{60}Co 加馬射源或用過燃料或在水池式核反應器的核心，都可以看見謝倫可夫光，就是這種原因。

在折射率愈大的物質中愈容易發生謝倫可夫效應，因為光在這種介質中的速度會愈小。能量相同的帶電粒子中，電子的速度最大，因而容易產生謝倫可夫效應。能量為450MeV的質子才會在水中超過光速。質子或 α 粒子之類的重帶電粒子很難引起謝倫可夫效應。

利用謝倫可夫輻射的有謝倫可夫計數管(一種輻射偵測器)，它應用在測量高速帶電粒子。

▲線性無低限劑量理論的爭議

(輻協游澄清譯)

波利高夫(M. Pollycove)博士是美國核管會的醫學諮詢委員，也是舊金山大學放射醫學實驗室的名譽教授。本文為核能新聞(Nuclear News)6月號節錄他在1997年4月發表於美國物理學會年會的論文。

物理、化學及生物學提供有關自然科學的知識，人類據以採取與環境和物質發生和諧交互作用的行動，帶給社會福祉。身為一個醫生及物理學家，我與1953年開始發展的核子醫學一起成長，我關心輻射對我的病人及同事可能產生的影響。在加州柏克來大學服務時，我們遵守原子能委員會所採取的保守低限劑量限值規定；之後在加州舊金山大學，我們更進一步地嚴格遵守減少曝露，以達到合理抑低(ALARA)的要求，這與線性無低限(linear nothreshold, LNT)劑量理論有關，即：所有的輻射劑量，甚至接近於零的劑量，也是有害的。低劑量輻射和高劑量輻射所產生的效應相同，只是機率較低。

在核子醫學部門及臨床實驗室全心投入臨床研究、教學以及病人的診斷和治療，我們對於輻射法規從來沒有產生過懷疑。這些法規的制訂是根據國際及國內輻射防護委員會的建議，而委員會的成員都是著名的輻射科學專家。然而，經過35年完全信賴的接受輻射防護政策，在1980年代後期以及進入1990年代的這幾年裏，經由審閱發表的論文以及會議報告，卻發現呈現的數據與LNT理論不合。

1991年從舊金山大學退休後，我接受了美國核管會醫學諮詢委員的職務。除了一些顧問工作之外，我開始仔細審閱一些有關低劑量輻射流行病學的論文，但並沒有發現任何具有統計意義的低劑量輻射(≤ 200 mGy)研究結果可支持LNT理論的致癌及死亡風險。這些在美國國家輻射防護委員會(NCRP)第121號報告談到集體劑量

時，摘要 LNT 理論目前的情況也這樣確認：

...本質上沒有人類數據可以證明或支持帶有不確定性的集體劑量和它所隱含的線性、無低限理論，以及風險與劑量率無關的概念。最多只能說，大部分的研究結果並沒有提供具有統計意義的量化數據，可反駁集體劑量的概念...

最後，我們採信在低劑量情況下會遵循線性無低限劑量回應關係，是基於對...有關基本機制的了解。[癌]的產生可經由一個帶電粒子對 DNA 造成傷害而引起，此傷害可以是一個突變或小損傷。由於此類理由，線性無低限回應關係不能排除。這種基於生物物理概念的假設是集體劑量被使用於輻射防護活動的基礎。

聯合國原子輻射效應科學委員會(UNSCEAR)在1994年的報告中已經確認，在有機體及細胞階層，低劑量輻射可刺激控制 DNA 損傷的生物系統。那麼，為什麼我們會不了解低劑量輻射對人類所產生的正面效應呢？遺憾的是，這些數據被壓抑、刪除、不合理的打折扣，以及不科學的批評為不可相信或不正確。另外一方面，卻努力呈現一些可支持 LNT 理論的低劑量數據，導致錯誤的發表他們的數據如下列四個研究：

※ 1989 年加拿大螢光檢查研究，刪除 0.15Gy 及 0.25Gy 累積劑量會使乳癌死亡率大幅減少的有意義統計數據。此研究保留較不重要的高劑量數據，所以“數據的最佳擬合(fit)為線性模型...”

※ 1996年修訂的加拿大螢光檢查研究，宣稱由於沒有低劑量數據的資料，所以須從高劑量數據外插而得。於是作者把 0.10-0.20Gy 和 0.20-0.30Gy的兩個劑量類別去除，而將 5個劑量類別合成一個單一的劑量類別(0.01-0.49Gy)。

※ 1995年卡迪斯(Cardis)等人研究三個國家的核能工業從業人員，報導非慢性淋巴白血病與低劑量職業曝露有關。作者使用偏頗的方法，從總數119人死亡的7個劑量類別中，刪除白血病人數比預期少的四個劑量類別，而保留共有33人死亡的其他三個劑量類別，並以電腦模擬5000 個死亡人數來呈現統計上的意義。

※ 1996年輻射效應研究基金會(RERF)出版的壽命研究第12號報告，在1996年11月被用來強力支持 LNT 理論。此篇報告的審閱者為國際放射防護委員會(ICRP)主席克拉克(R. Clark)和法國輻射防護學會，資料內容包括1985到1990年核爆倖存者的死亡率數據。ICRP 宣稱此分析的新數據，在劑量小於50 mSv的情況下，固體癌(solid cancer)死亡率有明顯增加的趨勢。依照 NCRP 主席同時也是 ICRP 第一委員會主席辛克雷耳(W. Sinclair)所說，新的分析結果支持 ICRP 60號報告降低職業工作人員許可劑量到每年20mSv，一般民眾到每年1mSv的建議。辛克雷耳說：“結合更多數據和更精確的分析，容許 RERF 研究人員有自信的說，額外的致癌風險來自低於 50 mSv 的輻射劑量”。此所謂“更精確的分析”並不是使用觀察到的

額外固體癌病例，而是以假設的線性模型評估結果來代替。

此報告刪除劑量為5侖目(P=0.25)及15侖目(P=0.56)觀察到的額外固體癌統計分析數據，這說明他們的數據在統計上並無意義。增加固體癌，有意義的最低 DS86 劑量為35侖目(P=0.03)，增加死亡率的正確劑量應比35侖目大很多。DS86 修訂的廣島核爆中子輻射劑量比 T65D 或核爆中心地面物中子活化分析所評估的劑量低一個數量級 - 此相當於低劑量曝露。

然而，統計上並沒有具有意義的數據，可支持低劑量輻射只會單向負面增加致癌風險。最近幾十年來，已累積許多和上述相反的流行病學數據。在美國、加拿大、印度、澳洲以及英國，居住在高背景輻射地區的居民被發現有壽命增加和癌症死亡率減少的現象。下列

幾個具有高度統計意義的流行病學研究，顯示曝露於低劑量或中劑量程度的輻射會減少死亡率及致癌率：

◎ 烏拉爾山脈東部輻射曝露人口研究(1994)，報導 500 mSv 和120 mSv 的人口曝露群，致癌率分別降低28% 和39%。

◎ 核爆倖存者各種原因的死亡率報告(1993)，顯示受曝露的倖存者比未受曝露的人長壽。

◎ 圖1 為美國匹茲堡大學所作有關氡與肺癌關係的研究(1995)，廣泛的調查包括抽煙效應以及超過60種的混淆因素，分析89%的美國人口。具有意義的統計結果顯示，曝露於高氡濃度的居民，其肺癌死亡率隨氡曝露量的增加而減少，這與單向負面增加風險的 LNT 理論預期結果相反。

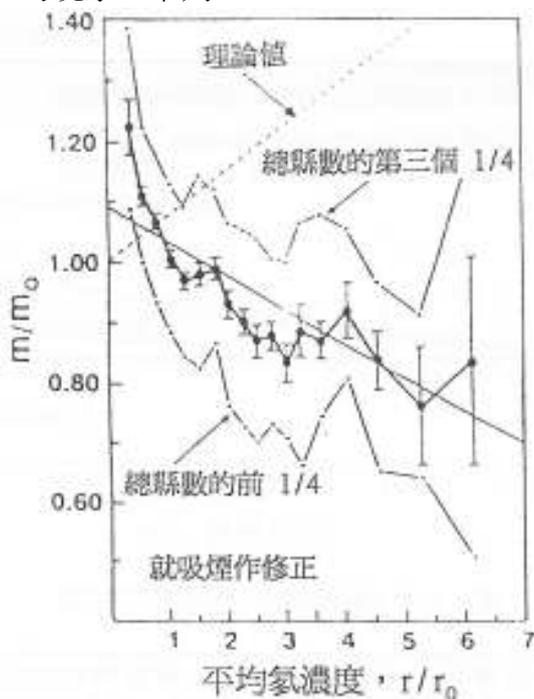


圖1. 肺癌死亡率(m/m_0 , m_0 =基準值)對平均氡濃度作圖， $r_0=1$ pCi/L, 樣本為美國1610個縣

◎ 表1 是美國核子造船工人的研究結果(1991)。UNSCEAR 1994年報告“由於樣本中的輻射工作人員和非輻射工作人員具有相似的工作性質及醫療照顧，除了輻射工作人員曝露於額外的 ^{60}Co 加馬輻射條件外，三個群體的工作類型相同。因此，輻射工作人員(劑量 $\geq 5 \text{ mSv}$)的標準化死亡率比值較低(0.76 ± 0.015)，不能只歸因於工作者較為健康。”

表1、美國造船工人就所選原因的標準化死亡率比值

死亡原因	標準化死亡率比值		
	$\geq 5 \text{ mSv}$	$\leq 5 \text{ mSv}$	非輻射工作人員
各種原因	0.76(0.73,0.79)	0.81(0.76,0.86)	1.00(0.97,1.03)
白血病	0.91(0.56,1.39)	0.42(0.11,1.07)	0.97(0.65,1.39)
淋巴及造血器官癌	0.82(0.61,1.08)	0.53(0.28,0.91)	1.10(0.88,1.37)
間皮瘤	5.11(3.03,8.08)	5.75(2.48,11.33)	2.41(1.16,4.43)
肺癌	1.07(0.94,1.21)	1.11(0.90,1.350)	1.15(1.02,1.29)

◎ 圖2 為加拿大螢光檢查研究結果(1989)，曾受輻射照射累積劑量100-200 mGy 的婦女，其乳癌發生率是未受曝露群體的 0.66；累積劑量 200-300 mGy 的婦女，乳癌發生率是未受曝露群體的0.84。(未完待續)

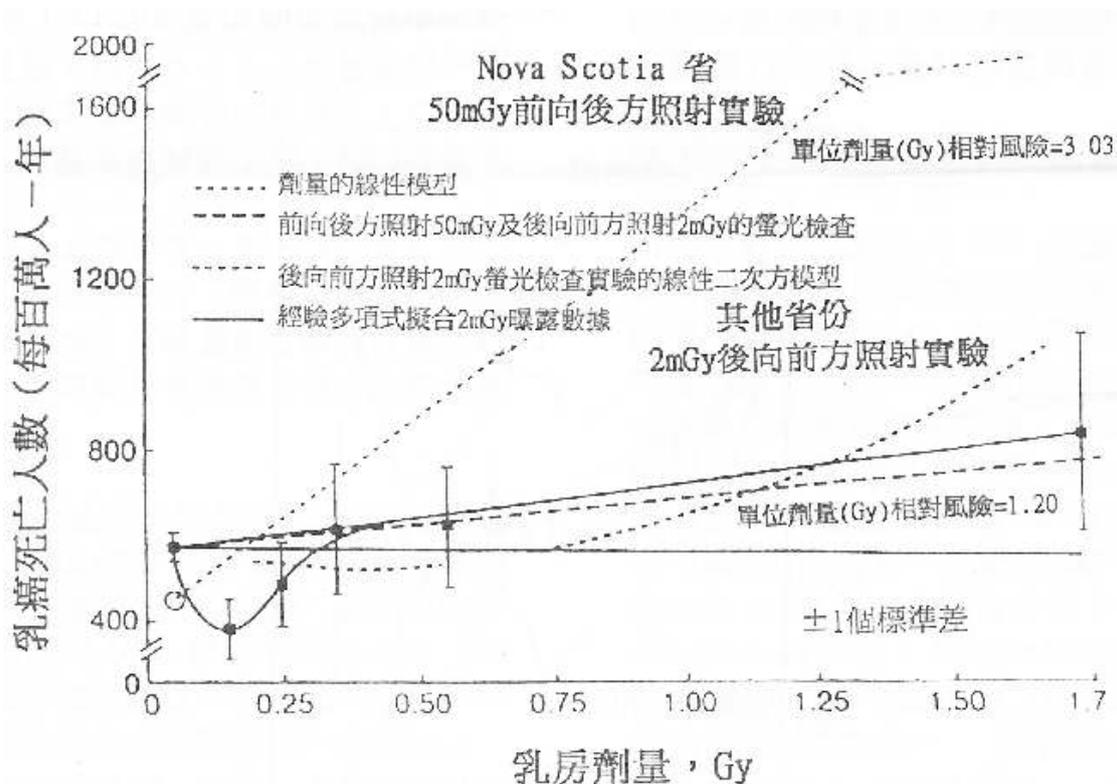


圖2. 加拿大肺結核螢光檢查研究結果

1. 歡迎賜稿，稿件請寄新竹郵政 2-33 號信箱或電傳 (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。
-