

輻射防護簡訊 75

中華民國94年10月1日

■ 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、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

▲新聞彙集

(輻協訊)

一、美國布希(George W. Bush)總統於 2005 年 8 月 8 日簽署能源政策法(Energy Policy Act)，振興核能發電及相關研究。

二、美國環保署(EPA)於 2001 年訂定放射性廢棄物處置場雅卡山(Yucca Mountain)附近公眾的劑量限度：

0.15 mSv/a，前 1 萬年或 250 代，1 代 = 40 年。

3.5 mSv/a，1 萬零 1 年至 1 百萬年或 24750 代。

此處 a = annum (年)。美國的背景輻射為 3.6 mSv/a，而 0.15 mSv/a 小於背景輻射的 5%。2005 年 8 月 9 日環保署公布這項標準。

三、繼美國自從 2002 年以來陸續成立新的核子工程、放射化學等學系，英國曼徹斯特(Manchester)大學亦於 2005 年 7 月 18 日成立核子研究所，命名為道爾頓核子研究所。道爾頓(John Dalton, 1766-1844)為近代科學中原子學說的創立者。爾後紐西蘭的拉塞福(Ernest Rutherford, 1871-1937，獲 1908 年諾貝爾化學獎)於 1911 年在曼徹斯特大學發表「行星式原子有核」模型。道爾頓核子研究所的研究範圍包括核能發電、核子燃料循環、放射性廢棄物處置、除役政策、以及法規研議。國立清華大學原子科學院亦在探討成立核子工程研究所的可行性。

四、低活度廢棄物

美國國家科學院(National Academy of Sciences)於 2003 年出版低活度放射性廢棄物的管制與管理：現行法規暫行報告、存量、以及輻射作業(The Regulation and Management of Low- Activity Radioactive Wastes: Interim Report on Current Regulations, Inventories, and Practices)，首次用低活度(low-activity)形容與區分放射性廢棄物。過去是用低放射性或低「階」(low-level)

的形容詞。據該院董事會宣稱：「低活度」所涵蓋範圍更為廣泛，而低放射性或低「階」只是「核子廢棄物政策法」(Nuclear Waste Policy Act)所定義的專有名詞。在過去「低活度」曾用於指美國能源部(DOE)罐槽廢棄物(tank waste)較低的活度的部分。

按貯存於地下的罐槽廢棄物是指置於罐槽內的廢棄物，通常含有混合廢棄物(mixed waste)。這混合廢棄物為有害廢棄物(hazardous waste)，尤其是有機廢棄物，以及放射性廢棄物的混合體。有害廢棄物多屬高鹼性，且罐槽廢棄物亦具高活度的。

五、能顯示影像的人員劑量計

影像板(imaging plate)在醫院用得很普遍，但是用於人員劑量計還是最近 5 年的事。影像板係由溴氟化鋇：鎔(BaFBr : Eu²⁺)的晶體粉末製成軟片，過去曾用於自動放射攝影術(autoradiography)等技術。自 1990 年以後，用途大增，包括劑量測定術。

晶體中價帶的電子受到游離輻射的激發躍遷至傳導帶，再受鎔離子(Eu²⁺)捕獲形成色心(color center)又稱為 F 心，如圖 1 所示。其發光壽命僅為 0.8 微秒，易於受快速掃描顯像。用過的晶體可經由回火再使用。劑量測定範圍自 1 μGy – 100 Gy。

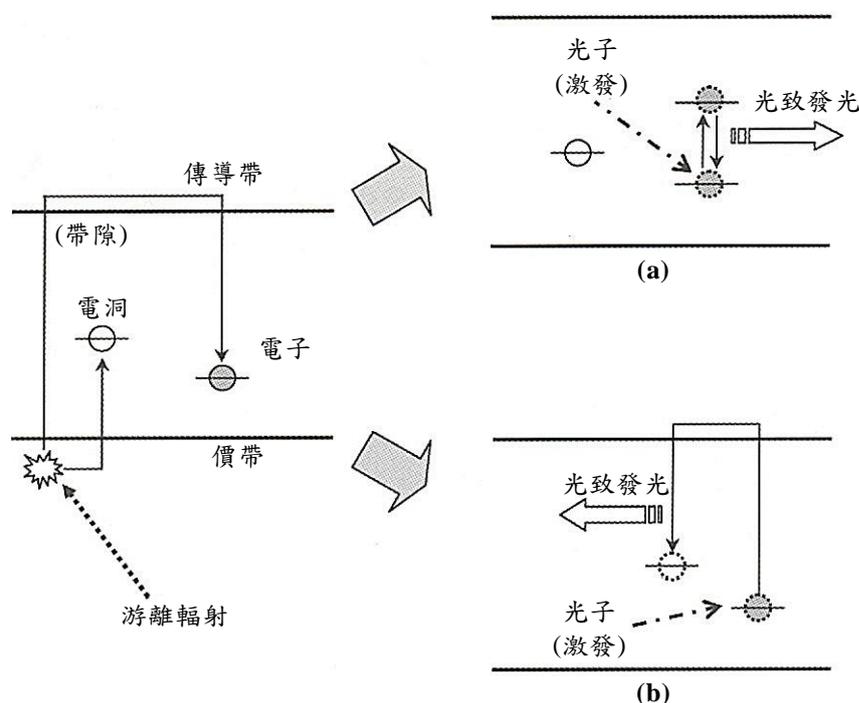


圖 1 光致發光(photoluminescence, PL)的機制

(a) 計讀玻璃劑量計的過程(輻射光致發光，RPL)

(b) 計讀影像板的過程(光子指氬氖雷射，波長 633 nm)，這種劑量計稱為光致發光劑量計，英文縮寫 PLD。

六、美國能源部科學處與日本教育、文化、運動、科學與技術部共同出資進行

的 KamLAND 地球微中子實驗已有了結果。2005 年 7 月 28 日自然(Nature) 期刊報導，這地下的微中子偵檢設施已偵測到由地球本身產生的反微中子(來自貝他衰變)。這種方法可用以度量地殼下鈾和鈾的放射性，遠較度量地核(core)和地幔(mantle)所產生的熱更為準確。

▲為劑量加總公式命名

(核研所 張栢菁)

過去，國際放射防護委員會(ICRP)曾創造以權重組合表示輻射劑量的方法。1977 年，ICRP 提出一個未命名的加總公式用來與限值作比較：

$$\sum_T w_T H_T \leq H_{wb,L}, \quad (1)$$

式中， w_T 為組織 T 的組織加權因數； H_T 是組織 T 的等效劑量(dose equivalent)； $H_{wb,L}$ 是建議的年等效劑量限度【1】。此加總公式於稍後發表的 ICRP-28 報告【2】中命名為有效等效劑量。於 ICRP-26 報告中對此劑量限度作說明：對個人所接受的體外和體內曝露限度，其深部等效劑量對等效劑量限度之比例加上各核種攝取量除以各核種攝取限度的總和不得大於一：

$$\frac{H_{I,d}}{H_{E,L}} + \sum_j \frac{I_j}{I_{j,L}} \leq 1. \quad (2)$$

$H_{I,d}$ 為一年累積深部等效劑量； $H_{E,L}$ 為有效等效劑量年限度； I_j 第 j 個核種的攝取； $I_{j,L}$ 是對此核種的一年攝取限度。公式(2)意指結合將體外輻射與 50 年約定等效劑量的體內輻射合併計算，作為年劑量。

1979 年，ICRP 提出”討論全年所攝入的放射性物質導致對組織 T 的總約定等效劑量【3】。在 ICRP-30 報告【3】以及同期的出版物中，此量是以 $H_{50,T}$ 和 H_{50} 作表示。其中一個定義：

$$H_{50,T} = 1.6 \times 10^{-10} \times \sum_S \sum_j \left[U_S \sum_i SEE(T \leftarrow S)_i \right]_j \text{ Sv}, \quad (3)$$

其中， U_S 是核種 j 源器官 S 於 50 年內的放射性轉變(radioactive transition)的次數， $SEE(T \leftarrow S)_i$ 是由源器官 S 造成沉積於靶器官 T 的放射類型 I 的比有效能量 (specific effective energy)。ICRP-30 報告中陳述：每單位的吸取量 (per unit uptake) 造成的 $H_{50,T}$ 是經特定路徑所攝取單位活度核種造成器官 T 的約定等效劑量。有關每單位吸取量造成劑量的係數可以下列不等式表：

$$I \sum_T W_T (H_{50,T} \text{ 每單位吸取量}) \leq 0.05 \text{ Sv} \quad (4)$$

此式演變為機率性年攝入限度 (stochastic Annual Limit on Intake, ALI)。儘管在稍早的報告中曾出現約定有效等效劑量，但是較正式的定義是在 ICRP-42 報告【4】中提出，不過並沒有明確的公式表示。

即便於 1980 年代，ICRP 都尚未為加總公式命名，

$$H_E + I \sum_T W_T (H_{50,T} \text{ 每單位吸取量})$$

或者是 $H_E + H_{50,E}$ 的總和，儘管顯而易見地它們都由公式(2)衍生而來。在 80 年代中期，美國核管會的游離輻射防護安全標準 10 CFR 20【5】、美國能源部命令 5480.11【6】及工作人員的輻射防護(Radiation Protection for Occupational Workers)的修訂初稿，均命名公式(4)為總有效等效劑量(total effective dose equivalent)；直到 1987 年，美國聯邦職業曝露輻射防護指引(US Federal radiation protection guidance for occupational exposure)【7】仍未為此式命名。

有趣的是，1987 年美國環境保護署(Environmental Protection Agency, EPA)卻是第一個定義後來所謂的劑量係數(dose coefficients)的單位。EPA 定義 $h_{T,50}$ 為對器官或組織 T 的組織等效劑量轉換因數(tissue dose equivalent conversion factor for organ or tissue T)，以 Sv Bq^{-1} 表示。換言之，即為每單位攝入核種所造成的約定等效劑量，以及 $h_{E,50}$ 如同有效等效劑量轉換因數(Sv Bq^{-1})，或是，每單位攝入核種所造成的約定有效劑量，其關係為：

$$h_{E,50} = \sum_T w_T h_{T,50}. \quad (5)$$

EPA 倒轉了 ICRP 使用因數下標符號的次序。

在 1989 年，ICRP 提出年齡依存性的觀念，對於個人於年齡 t_0 時的攝入所造成在年齡 t 之器官 T 的等效劑量率 $\dot{H}_T(t, t_0)$ ，可表示為：

$$\dot{H}_T(t, t_0) = c \sum_S \sum_j q_{S,j}(t) \text{SEE}(T \leftarrow S; t)_j, \quad (6)$$

其中， $q_{S,j}(t)$ 是年齡 t 時，核種 j 在源器官 S 所呈現的活度。SEE 有年齡依存性， c 為常數【8】。同樣的，在 1989 年，提出“靶器官或組織 T 的總等效劑量(total dose equivalent)由在年齡 t_0 單次攝入核種累計到 70 歲所造成的劑量”，可表示為：

$$H_T(t_0) = \int_{t_0}^{70} \dot{H}_T(t, t_0) dt \quad (7)$$

因此，在 1989 年，相同的量有三種不同標示方法 $H_{50,T}$, H_{50} 及 $H_T(20)$ 。

同樣的，在 1989 年，劑量係數一詞定義為每單位攝入活度的約定或是積分的組織等效劑量與有效等效劑量(Sv Bq^{-1})【8】，但沒有數學公式說明。第一部

分的定義與每單位吸收 $H_{50,T}$ (Sv Bq^{-1})相同。在 ICRP-56 號報告【8】附錄 B 首次出版呼吸劑量係數。

在 1990 年的建議書裡，ICRP 放棄以 \bar{Q} 來表示平均射質因數，而以新的輻射加權因數 w_R 表示【9,10】，並同時提出有效劑量：

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}, \quad (8)$$

其中， $D_{T,R}$ 是輻射種類 R 、輻射加權因數 w_T 所造成組織 T 的吸收劑量。

對體外劑量而言，可以利用一個或合併數個測量值直接推斷全年 $D_{T,R}$ 值；然而，依據公式（3）而將體內體外劑量合併計算有其困難。此困難在於無法從此公式清楚解釋年有效劑量的意義。因此，從公式（8）的劑量率域（domain）作一次微分：

$$\dot{E}(t) = \sum_T w_T \sum_R w_R \dot{D}_{T,R}(t), \quad (9)$$

其中， \dot{D} 上面的點表示時間的微分。接著，對公式（9）積分可得年劑量：

$$E_{\text{annual}} = \int_{t_0}^{t_0+1} \sum_T w_T \sum_R w_R \dot{D}_{T,R}(t) dt, \quad (10)$$

其中， t_0 是一年的開始時間。公式(10) 相當適合計算體外劑量，但對攝入而造成約定吸收劑量是不正確的，因為：

- (1) $\dot{D}_{T,R}$ 排除了以前攝入放射性物質所造成的吸收劑量率，
- (2) 公式(10)的積分上限對成人應為 $t_0 + 50$ 年，對兒童應為 70 年，而不是 $t_0 + 1$ 年。

ICRP 於合併體內體外劑量時並沒有使用公式(10)的近似方法，或許因為積分的上限不同會造成混亂。他們使用 τ 來代表積分的區間，ICRP 定義約定等效劑量為：

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt, \quad (11)$$

約定有效劑量則為

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau). \quad (12)$$

在此，ICRP 只陳述”限度應用於特定時段的體外曝露造成的相對劑量與相同特定時段間攝入體內曝露 50 年約定劑量(兒童則為 70 年)的總和”，位於 ICRP-60 號報告【9】表 6 的附註。

此總和可表示為：

$$E + E(\tau). \quad (13)$$

就作者所知，於 ICRP 報告中並沒有對公式(13)命名。

事實上，對於由呼吸或是攝食而聚集於體內的放射性核種所造成的全年劑量是以攝入量乘以一呼吸或攝食”劑量係數”，例如：在年齡 t_0 每單位攝入的約定等效劑量為 $e(t_0)_{inh}$ 或 $e(t_0)_{ing}$ ，單位為 Sv Bq⁻¹，此處下標 inh=inhalation(吸入)，ing=ingestion(食入)。此標記法係借用國際原子能總署(IAEA)【11】。IAEA 具體說明劑量限度是依據各個年齡群的總有效劑量(total effective dose)比較驗證而來， E_T 由下式可得：

$$E_T = H_p(d) + \sum_j e(t_0)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum_j e(t_0)_{j,inh} I_{j,inh}, \quad (14)$$

其中，此加總涵括各個核種 j 。IAEA 意識到須對此公式作命名，至少對其操作上的形式給定一明確的名稱以及一數學符號。他們選擇美國在 90 年代初的法規中使用的”total”來形容公式(14)不平常的時態加總。

當然，公式(14)與公式(13)是不一樣的，因為公式(13)中， $H_p(d)$ 是用來估算 E ，而公式(14)的計算， $E(\tau)$ 是使用兩個推算的值(攝食和呼吸)。

因此，使用 E_T 便有兩個缺點，首先是公式(13)與公式(14)是兩個不同性質的加總，前者是不可量測且為預測的量值，後者是依量測結果、程序、工作場所狀況、個人攝入歷程或是個人化特點推斷而來的量。第二個困難就是 T 是”總和(total)”的意思，而 T 也是表示組織或是器官。

基於這兩項缺失，在這裡提議 ICRP 定義這兩個量：
總有效劑量

$$E_{tot} = E + E(\tau) \quad (15)$$

以及

總個人有效劑量(Total personal effective dose)

$$E_{tot,p} \equiv H_p(d) + \sum_j e(t_0)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum_j e(t_0)_{j,inh} I_{j,inh}. \quad (16)$$

每一個量都有特定曝露時間，像是”全年”或是”終生”。而年總有效劑量就為全年內所有體外輻射與所有攝入的所造成的劑量結果。另外，ICRP 應採用 IAEA 的報告中所使用等價和有效劑量係數標記法。

對於老年人的攝入所造成之 50 年約定有效劑量亦為一個議題。

對 ICRP 而言，現在應是為這些量命名的時機。

參考資料

1. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication No.26. Ann. ICRP (1977).
2. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Statement from the 1978 Stockholm Meeting of the International Commission on Radiological Protection; the principles and general procedures for handling emergency and accidental exposures of workers. ICRP Publication No. 28. Ann. ICRP (1978).
3. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication No. 30 Part 1. Ann. ICRP 1-116(1979).
4. International Commission on Radiological Protection (ICRP). A compilation of the major concepts and quantities in use by ICRP. ICRP Publication No. 42. Ann. ICRP 14(4) (1984).
5. US Nuclear Regulatory Commission (NRC). Standards for protection against radiation. 10CFR20, Washington, DC, US Government Printing Office (1993).
6. US Department of Energy (DOE). Radiation protection standards for occupational workers, DOE Order 5480.11,(1988).
7. US Environmental Protection Agency (EPA). Radiation protection guidance to federal agencies for occupational exposure, Fed. Regist. 52(17), 2822-2834 (1987).
8. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: part 1. ICRP Publication No. 56. Ann. ICRP 20(2) (1989).
9. International Commission on Radiological Protection (ICRP). 1990 Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication No. 60. Ann. ICRP 21(1-3) (1991).
10. Thomas, R. H., McDonald, J. C., and Goldfinch, E. P. The ICRP and dosimetry: (glasnost) redux. International Commission on Radiological Protection, Radiat. Prot. Dosim. 102(3), 195-200 (2002).
11. International Atomic Energy Agency (IAEA). International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, Safety Series No.115 (Vienna: International Atomic Energy Agency) (1996).

【資料來源】

Daniel J. Strom, ["Name Those Quantities."](#) Guest Editorial, *Radiation Protection Dosimetry*(2004), 108(3):183-185.

□ 會議訓練報導

▲ 保健物理新知研討會

(輻協訊)

由美洲保健物理學會臺灣總會主辦，財團法人中華民國輻射防護協會等機構協辦的「保健物理新知研討會」將於本年(94)12月9日星期五假臺北縣永和市成功路一段80號行政院原子能委員會3樓禮堂舉行，會中將邀請尹學禮、江祥輝、周棟樑、陳為立、黃文松、董傳中、魯經邦等7位學者專家分別主講7項專題。本年年終舉辦的研討會不收取任何費用，並提供繼續教育積分7分證明。歡迎報名參加。詳細內容請上協會網站，網址為 www.rpa.org.tw。

▲ 94、95 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	36 小時 (A 組)	A11-- 12 月 7 日~ 14 日	(高雄) 輻射偵測中心
		A12-- 12 月 20 日~ 27 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A1--95 年 3 月 1 日~8 日	(高雄) 輻射偵測中心
		A2--95 年 3 月 14 日~ 21 日	(新竹) 帝國經貿大樓
	18 小時 (B 組)	B14--- 10 月 26 日~ 28 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B15--- 11 月 16 日~ 18 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B16--- 11 月 30 日~ 12 月 2 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B1--- 95 年 1 月 11 日~ 13 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B2--- 95 年 1 月 18 日~ 20 日	(新竹) 帝國經貿大樓
	輻射防護專業人員訓練班	輻防師(12小時) 輻防員(108小時)	員 8 期& 師 6 期 第一階段--12 月 12 日~ 16 日 第二階段—95 年 1 月 9 日~ 13 日 第三階段—95 年 2 月 6 日~ 10 日 第四階段—95 年 2 月 20 日~24 日 師 6 期& 進階 6 (36hr) 第五階段—95 年 3 月 6 日~10 日
鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班		第 1 期--12 月 29 日~30 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		第 2 期--95 年 1 月 4 日~5 日	(高雄) 輻射偵測中心
九十四年度輻射防護教育訓練 III		11 月 04 日(五)	(台北) 月涵堂
		11 月 11 日(五)	(高雄) 輻射偵測中心
		11 月 25 日(五)	(新竹) 輻協 20 樓教室
		12 月 06 日(二)	(高雄) 輻射偵測中心

◎ 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

▲ 解除放射性散佈的恐怖

(核研所 施建樑)

【接續 74 期】

新觀念

在這個關切以外，產生兩個若無法量化則企圖以質化表示的觀念，解釋游離輻射對人身體及對人們大量群體的效應。線性假說是關於輻射對人的效應，它為原先「低限觀念」的保守替代方法。第二種觀念為集體劑量，企圖去定義低劑量對大量群體造成的效應，為線性假說的自然延伸。

一直到現在仍認為輻射效應比較像化學毒物一樣，即一個人必須在接受某一定量輻射(低限值)以上，才會對人造成確定效應傷害。例如服用於低限值以內的阿斯匹靈就不會產生如鈴聲或低雜聲般的耳鳴。

線性假說

發展線性假說是採用非常保守的方法；線性假說係依據一簡單的假設，即任何量的輻射，不管多低均具有傷害。基本上，它是一群體 100% 均會致死的劑量，與 50% 會死於較低的輻射曝露水平，兩點畫一直線並延伸至零(如圖 1)。

集體等效劑量

一群體的集體劑量為將群體中每個人所接受劑量相加；雖然對於最後結果還會加以調整，集體劑量可很容易由計算得到。某一城鎮共有 15,000 人，若每個人每年接受 1/3 侖目，則集體劑量 = 15,000 人 × (1/3 侖目/年) = 5,000 人-侖目/年。若一大量群體接受了 2,000 侖目，將會造成 1 個後期癌症的致死，則 (5,000 人-侖目/年) / (2,000 侖目/後期致死劑量) = 2.5 人

/年。

採用集體劑量觀念，解釋一年內如果接受該輻射劑量，最後會有 2-3 人因為癌症致死。由於 1/3 侖目被考量為環境自然背景輻射水平，而人們的平均壽命為 76 歲，則該城鎮的 15,000 人口中會有 (2.5 人/年) × (76 年) = 190 人因癌症致死。

根據集體劑量觀念顯示會有 190 人因接受自然背景輻射，最終致癌而死；這種推測非但從未曾被觀察到，而觀察到的卻是住在較低背景地區的人們，其癌症致死比鄰近較高背景者有增加的現象。

今天的輻射防護標準及法規係依據線性假說及集體劑量觀念所發展出來。例如，有兩套標準，可預期會嚴重影響民眾移居及在 RDD 事件後的建物除污與拆除的決策，它們分別為 EPA 及 NRC 建立的輻射防護標準。

事實

假想新聞報導 1

大約有 2,300 磅的放射性物質在新墨西哥州聖他菲市區內被發現；作者以 Ludlum Model 12S 微侖琴計讀器度量它，測定其發出加馬射線，強度為 80-90 微侖琴/小時(約為 700-780 毫侖目/年)。這些放射性物質貢獻了該地區的自然背景輻射；而它也已超過 EPA 建立的 15 毫侖目/年限值，係用來清除放射性污染場地至可外釋給民眾使用的認定標準。輻射源是在聖他菲市區 Don Gaspar 街及 Water 街交叉的小公園內被發現，人們幾乎每天均聚集在該放射性物質周圍；這些岩石物質顯示為來自火山口，大部分為花崗石、火山岩的熔岩形式。作者假設輻射源為鈾，特別的是，鈾的放射性

子核種鈾 208 發出 2.8MeV 加馬，相較於鈷 60 發出 1.1 及 1.3MeV 加馬。

這是聖他菲市的『公共設施有 1% 為藝術』計畫，有一銅碑將公園描述為泉源岩石，寫著：『奉獻給水、岩石、石雕藝術及靈感之源』。

任何人熟悉環保署(EPA)標準的，將立即說明它使用放射性物質工作導致的輻射水平，則這塊岩石及其天然放射性將可因法規而豁免。你可能會對 EPA 標準及限值覺得奇怪，假設它們應該是基於保護民眾；而來自岩石的輻射在市區環境中，將被考慮為不會有後果且完整安全的。

大多時候，職業人員不會考慮他們本身對於認知問題的懷疑。作者根據其對於地質化學、礦物學及放射化學的了解，假設加馬輻射源係由岩石中的鈾 208 所自然發射出來。只有一部加馬計讀器用來度量輻射強度是不夠的；通常尚需有一部加馬能譜儀，才能用來確定發出加馬射線的放射性同位素。

讓我們假設在泉源岩石使用加馬能譜儀，結果顯示為人造鈷 60 而非天然發生的鈾 208；則可能是有人幾年前在岩石邊塗上氯化鈷，或有一鈷 60 射源藏於其中。這時你願意通知放射救援隊，將該區拉起警戒線，以塑膠布將岩石包起來，用吊車將它舉起，放置在附近的拖車平板上的鋼製容器內，並駛離市區至某一沙漠處置場？或者你願意讓它仍留在公園內？為什麼？

假想新聞報導 2

海邊渡假中心位於伊朗倫薩(Ramsar)的一座綠洲城市；倫薩沿著裏海海岸，座落在厄布爾士(Elburz)山

脊北邊。海岸氣候由於有規律的降雨十分怡人，有別於其他沙漠地區；雨水不但提供了當地蔥綠的蔬果，也重新灌注地下水質層。這個地下水質層被區域地熱加溫後，供應了當地的溫泉。在冒出地面前，熱水流經地下的鈾礦苗，鈾礦內的放射性衰變連續地產生鐳 226。熱水流經鈾礦時，優先溶解鐳並將鈾留下，這些溶解的鐳與其他礦物質，被帶到地面溫泉；當熱水到達地面並冷卻後，鐳與其他礦物質以固態沉澱並堆積在地表。這個程序不計年數持續著，結果出現鐳累積到今天在倫薩及其鄰近地區的輻射場。不顧該區域每年 79 倫目的高天然背景輻射，以及鐳 226 與銻 239 有相同的放射毒性的事實；當與世界其他地區一般民眾比較時，住在倫薩地區的人們，在致癌率及壽命方面，均沒有顯著的不同。這不足以為奇，在原先 36 倫琴輻射防護限值下，也並無正式的死傷紀錄。包括美國世界存在有其他具高天然背景輻射的地點，但並沒有可觀察得到對民眾有所危害。這些地區的輻射為核能管制委員會(NRC)設定給輻射工作人員限值 0.1 倫目/年的好幾倍。

放射性散佈裝置(RDD)

假如 RDD 被人使用，則受影響地區將拉起警戒線，進行放射性偵測、包封及清除；清除需要有最好的偵測技術且除污的方法亦應備便。另外，對於 RDD 造成的放射性污染的清除，做到完美是無法保證的。問題為主管機關及一般民眾是否願意，或應該關切能忍受殘留多小的放射性物質。第一個回答為主管機關大概沒有選擇必須關切，因為現行對於民眾接

受人造射源曝露的限值已有規定；第二個回答為民眾長期被教導的觀念，即使是最小量的輻射也會引起『遺傳突變及致癌』，故其反應可預期為完全非理性恐懼。另可預見的，因為 RDD 使用後造成的恐懼與驚慌而傷亡者，將會較 RDD 爆炸或污染本身引起的效應的為多。

RDD 所能達成的效能不應只定義在它的爆炸威力、放射性同位素的型式與數量、範圍或爆炸地點。使用 RDD 對反社會文明造成的效能，將大大地由它被使用前後，民眾如何看待及處理它所定義。而其效能更可能被專家及官員，在非意圖下給放大。在現行管制標準下，由於我們的不決斷，使得在不知不覺中幫助恐怖份子從事其工作。現行 EPA 及 NRC 的法規，可以強制人民放棄其個人財產並離開他們的家園，就因為其週遭環境增加，有原本在這世界裡已存在的背景輻射之一部分，而我們每天生活在這裡不感覺會有任何傷害。恐怖行動的效能亦與個人感覺自己無法掌握本身命運，以及不能提供自我保護有關；假如民眾相信『任何數量的輻射均有傷害』，則對於放射性攻擊在人們心理上，是一項易受攻擊的弱點。

『任何數量的輻射均有傷害』這概念，以一假設開始，目前仍維持是一假設；和普遍的印象不同的是，它從未被證明『任何數量的輻射均有傷害』。

結論

上述狀況的法規應用，從現在開始就應該進行審閱，而不是等到 RDD 被人使用以後，才開始來考量。我們在沒有發生 RDD 前就做重新審閱

時，不要把自己困住。在不需要遷移的民眾進行遷移，或建物的拆除與抽換等重大經費的泥淖裏；或者，在特別的基礎上，於一位質疑民眾的眼前，修訂標準以符合這新的狀況。工作計畫應包括審閱新的現存事實等，將是一件對於在 RDD 事件檢視法規標準上，更可接受的基礎。當我們必須做不可避免的影響到民眾生活的困難決定時，則時機就已經到了。這可藉由簡單的了解到，將會有某些程度打擾了民眾生活的這種態度，來分開面對事情並作處理。其他替代方案為，假想有一 RDD 在你家隔壁爆炸，而你被告知你應離開你的房子及所有的財產，並永遠回不來。只有與天然發現比較起來有那麼高的輻射，才能說服你這樣做是對的(如圖 2 和圖 3)。

放射性攻擊的最極限效能停留在三個過去 80 年已經發展完成的輻射防護的關鍵點上：即劑量限值的歷史、線性假說及集體等效劑量的觀念。它們的演進使得在處理 RDD 事件時，置社會處於一易受攻擊的狀態下。

民眾已被教導為考量任何數量的游離輻射均具有傷害；這種認知必須改變，使民眾有更真實的見解。只不過得到這些觀念是由那兒來，以及它們是如何及為何發展出來的，將是驅散週遭有低放射性活度水平時不當恐懼的好的開始。如此一來，恐怖份子使用 RDD 引起恐懼的能力，將大大的消失，而能使我們一起免除威脅。(摘譯自 Mark M. Hart, "Disabling the Terror of Radiological Dispersal", Nuclear News, July, 2003, p 40-44)

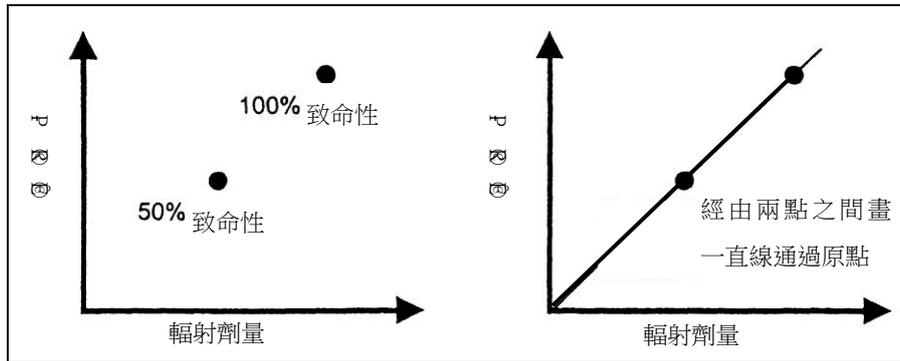


圖 1 線性假說假設任何量的輻射都是有害的

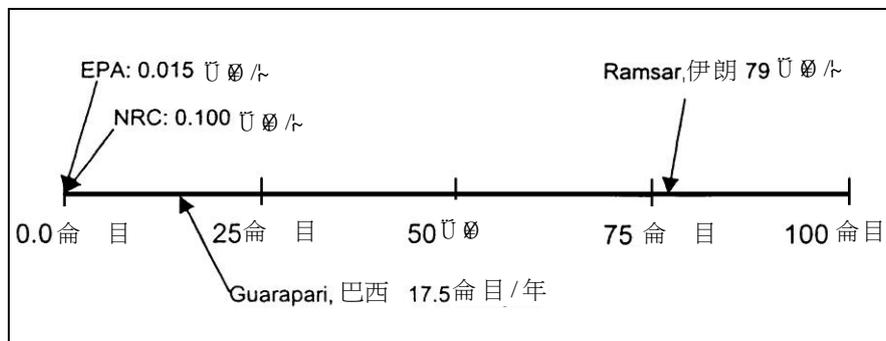


圖 2 一般尺度 EPA 及 NRC 法規限值與環境天然背景輻射的比較

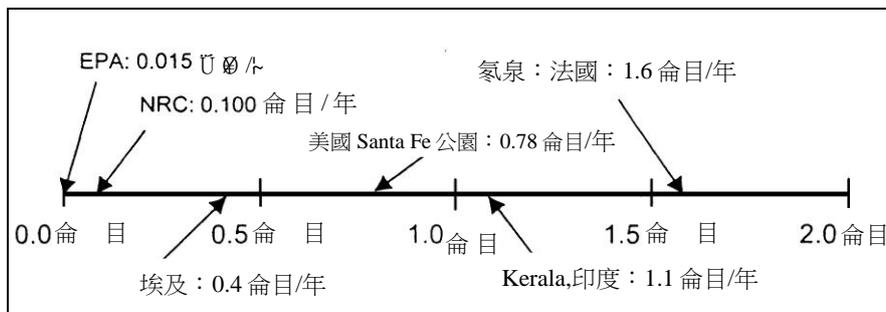


圖 3 伸展尺度 EPA 及 NRC 法規限值與環境天然背景輻射的比較

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。