

■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 ■編輯：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

▲反恐輻射劑量計介紹

(輻協訊)

一、前言

為了反恐的需要，尤其是針對利用「髒彈」作為攻擊武器導致放射性物質的散布，美國海軍水面作戰中心根據有機化學原理發展出一種自示輻射警戒劑量計(self-indicating radiation alert dosimeter, SIRAD)，並已經商業化，其核心部分的商品名稱為劑量分級徽章(RADTriageB)，係使用有機的丁二炔。

二、自示輻射警戒劑量計

自示輻射警戒劑量計的主要成分為：專利的丁二炔(proprietary diacetylene)、聚合物黏結劑(polymeric binder)、以及壽命期延長劑。其構造係將丁二炔細晶體散布在聚酯(polyester)軟片上並乾燥。這敷層再用聚酯軟片切成薄片，然後剪成 0.8 cm × 2.5 cm 的大小做為劑量徽章。

丁二炔為無色的固態單體(monomer)，它受到輻射的照射後會聚合成有顏色的聚合物。固態的丁二炔受照後會出現藍色或紅色。熱對聚合的過程會有影響，因此要選擇受熱影響小而受輻射影響大的丁二炔做為劑量計。

這種劑量計的大小和信用卡一樣，卡片上附有顏色圖，以便與因丁二炔接受輻射而變色的色彩作比較，可用目視立即判斷所接受的劑量。

三、名詞解釋

由於有機化學的名詞比較不普遍，特就本文的有機化學名詞依出現的先後順序解釋如下。

1. diacetylenes [丁二炔]： $\text{HC}\equiv\text{CC}\equiv\text{CH}$ ，分子量 50.06，炔的分子含有二乙炔(-C≡C-)鍵結者。為無色氣體，氣味似乙炔，性質亦似乙炔屬。沸點 10°C。為氫氧化鉀的醇溶液作用於四氯化二烯屬而得。供有機合成用。

2. polymer [聚合物]：又稱聚合體。係指由許多單體形成的高分子量化合物，依其結合單元的多少而有二聚合物、三聚合物、四聚合物、五聚合物等等之分。但大多數的聚合物中，所含的單體數目都相當多，且多數不能正確的算出。分子量較低的叫低聚物，例如由甲醛聚合得到的三聚甲醛等。分子量較高的稱為高分子聚合物或高分子化合物，例如聚氯乙烯是高分子量的氯乙烯聚合物。高分子化合物，一般是無定形物，也有晶體共存，但很少全部是晶體。有些在一定範圍內呈現高彈性。在常溫或高溫下具有一定的塑性或彈性和機械強度，可被拉成纖維，製成薄膜或模塑成型。
3. polyester [聚酯]：主鏈中含有羧基(-COO-)的聚合物總稱為聚酯。通常由一種或多種多元酸(酸酐)與一種或多種多元醇經縮合製得。可分為飽和聚酯和不飽和聚酯兩大類。包括聚酯樹脂、聚酯纖維，聚酯橡膠等。
4. monomer [單體]：能起聚合反應生成高分子化合物(聚合物)的基本單位。一般為結構簡單、低分子量及含有不飽和鍵的分子或化合物。通常能再與同種分子或他種分子化合而成分子量相當大的高分子體，例如氯乙烯 $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$ 單體能起聚合反應而成聚氯乙烯。

四、各種劑量計的比較

本文的 SIRAD 劑量計與其他 4 種常見的人員劑量計的比較如表 1 所示。

表 1 輻射劑量計的比較

型式	電子	石英纖維	膠片	熱發光	SIRAD
約價(美元)	100	50	20	20	5-10
輻射	光子	光子	多種	多種	多種
劑量範圍(Gy)	不適用	0-1	0-1	0-10	0-2 ^a
偵檢下限(mGy)	~0.001	0.1	<0.1	<0.1	~50
結果顯示	即時	即時	天	天	即時
再使用	是	是	否	是	否
可拋棄	—	—	是	—	是
建檔	否	否	是	否	是
受光影響	無	無	是 ^b	稍微 ^b	紫外線 ^c
受熱影響	無	無	是	是 ^b	稍微
受濕度影響	無	無	是 ^b	是 ^b	無
受震動影響	堅固	脆弱	堅固	堅固	最堅固
壽命	不適用	不適用	不適用	數月	數年

^a 可有較高或較低的劑量範圍與及偵檢下限(LLD)

^b 膠片與熱發光劑量計(TLD)通常有防光與防潮濕的包裹

^c 當用黑色防護套包裹時光的影響可忽略不計

五、實物

劑量分級佩章的實體如圖 2 所示，可置放於皮夾裏，頗為方便。

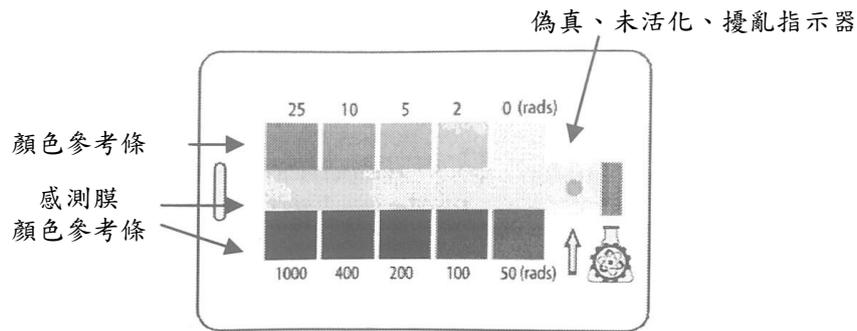


圖 2 劑量分級佩章

參考文獻

1. Patel, G. N., Cheng, Y.-M. and Patel, S. H. Heat fixable high energy radiation imaging film. US Patent No. 5,420,000, 30 May (1995).
2. Patel, G. N., Cheng, Y.-M. and Patel, S. H. Polyethyl-eneimine binder complex film. US Patent No. 5,672,465, 30 September (1997).
3. Patel, G. N. Thick radiation sensitive devices. Patent application No. WO 2004/017095, 26 February (2004).
4. Patel, G. N. Personal and area self-indicating instant radiation alert dosimeter. Patent application No. WO 2004/077097, 10 September (2004).
5. Health Physics Society. American national standard personnel dosimetry performance - criteria for testing. HPS N13.11-2001 (McLean, VA: HPS) (2001).

▲97 年核安演習登場

(原能會訊)

97 年核安演習訂於 9 月 23~25 日(星期二~四)在屏東縣恆春鎮以核能三廠為中心半徑五公里的緊急應變計畫區(EPZ)及各前進指揮所舉行。本次演習參演單位除包括核子事故中央災害應變中心的成員(國防部、內政部、衛生署、交通部、原能會)外，尚包括屏東縣政府所屬單位、恆春鎮公所、輻傷責任醫院及台電公司所屬的核能三廠、緊急計畫執行委員會與放射試驗室核三工作隊等，預計約 1300 名應變人員及 120 名在地民眾參與演習。

本次演習主要目的有：

1. 提升編組人員對應變措施的熟稔程度，強化核子事故緊急應變能力。
2. 加重天然災害應變作業的演練、驗證災害防救能力，作好防範措施，確保核能安全。
3. 增進地方首長(縣長、鎮長)熟悉應變機制。
4. 擴大民眾參與、落實防護行動，建立正確的防災觀念及應變能力。
5. 驗證核子事故緊急應變後備作業設施及場所的運作。

今年演習重點：

1. 核能三廠－震度 6 級地震的天然災害應變作業演練。
2. 中央災害應變中心－核子事故緊急應變工作平台演練(即時訊息發布)。
3. 地方災害應變中心－民眾防護行動演練。
4. 南部輻射監測中心－轉進後備作業場所及無線傳輸運作演練。
5. 南部支援中心－機動式模組化人員污染消除站運作演練。

經由核安演習平台的訓練，一方面可檢驗各級政府緊急應變能力，也可藉此發掘潛存問題，並進一步檢討改善，以消除各項支援與救災行動的盲點。透過演練，各應變單位及人員得以更深刻瞭解其權責，團隊工作默契得以更強化。民眾親身參與，使其對政府處理核災的防救能力更具信心。聯絡人姓名：牛濟生執行祕書，電話：02-2232-2227。

【新聞小辭典】

緊急應變計畫區(Emergency Planning Zones ; EPZ)：指核子事故發生時，必須實施緊急應變計畫及即時採取民眾防護措施的區域。

▲放射性廢棄物管理原則

(輻協訊)

放射性廢棄物管理的目標是以適當方式處理放射性廢棄物，使現在和未來的人類健康及環境得到保護，並且不給後代帶來不正當的負擔。

為了實現上述目標，國際原子能總署出版了《放射性廢棄物管理原則》一書。在該書中列出了九條放射性廢棄物管理基本原則。這些基本原則不但對核能開發、核技術利用適用，對於由於人為活動引起天然放射性增加的活動，特別是工業活動所產生的廢棄物的管理仍有指導意義。下面列出基本原則的標題。

1. 放射性廢棄物管理必須能確保人類健康的保護達到可接受的水平。
2. 放射性廢棄物管理必須提供環境保護可接受的水平。
3. 放射性廢棄物管理必須確保將國界外的人類健康的環境的可能影響考慮在內。
4. 放射性廢棄物管理必須保證對後代預期的健康的環境的可能影響考慮在內。
5. 放射性廢棄物管理必須保證不給後代留下不正當的負擔。
6. 放射性廢棄物管理必須在適宜的國家法律架構內進行，該法律架構應包括責任的明確分工和關於獨立審管職能的條款。
7. 放射性廢棄物的產生量必須保持在可實現的最小量。
8. 放射性廢棄物產生和管理的所有階段必須注意其相依性。
9. 必須保證放射性廢棄物管理設施的安全在其長期內是有充分保證的。

□會議訓練報導

▲97-98 年度各項訓練班開課時間表

(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)	A7-11 月 17 日~21 日	(新竹)帝國經貿大樓
	36 小時 許可類 設備	A8-12 月 02 日~09 日	(高雄)輻射偵測中心
		98 年 A1-03 月 02 日~06 日	(新竹)帝國經貿大樓
		98 年 A2-03 月 04 日~11 日	(高雄)輻射偵測中心
		(B 組)	B18--10 月 07 日~09 日
	18 小時 登記備 查類 設備	B19--10 月 22 日~24 日	(高雄)輻射偵測中心
		B20--10 月 29 日~31 日	(台北)建國大樓
		B21--11 月 05 日~07 日	(台中)文化大學推廣教育部
		B22--11 月 26 日~28 日	(新竹)帝國經貿大樓
		B23--12 月 10 日~12 日	(台北)建國大樓
		B24--12 月 17 日~19 日	(高雄)輻射偵測中心
		98 年 B1--01 月 07 日~09 日	(新竹)帝國經貿大樓
		98 年 B2--02 月 11 日~13 日	(台北)建國大樓
		98 年 B3--02 月 18 日~20 日	(高雄)輻射偵測中心
		98 年 B4--03 月 11 日~13 日	(台中)文化大學推廣教育部
		98 年 B5--03 月 18 日~20 日	(新竹)帝國經貿大樓
		98 年 B6--04 月 08 日~10 日	(台北)建國大樓
		98 年 B7--04 月 22 日~24 日	(高雄)輻射偵測中心
輻射防護專業 人員訓練班		輻 防 師 (1 本 小 時) 輻 防 員 (108 小 時)	進階 10 10 月 31 日(進階 10-3) 12 月 3 日~5 日(進階 10-4) 員 14 期 第一階段—11 月 03 日~07 日 第二階段—11 月 10 日~14 日 第三階段—12 月 15 日~19 日 第四階段—12 月 22 日~25 日
鋼鐵建材輻射 偵檢人員訓練班	鋼--12 月 24 日~25 日	高 雄	
	鋼--12 月 29 日~30 日	(新竹)帝國經貿大樓	
九十七年度 輻射防護教育訓練	10 月 02 日 (四) 3 小時	新竹(帝國經貿大樓)	
	10 月 16 日 (四) 3 小時	高雄(偵測中心)	
	11 月 27 日 (五) 6 小時	台北(月涵堂)	
	12 月 09 日 (五) 6 小時	新竹(帝國經貿大樓)	
	12 月 16 日 (四) 6 小時	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

▲ 中子的周圍等效劑量

(輻協訊)

一、前言

輻射防護的方案中有兩種「量」，一為輻射防護量(簡稱輻防量)，一為作業量。輻防量的例子如器官劑量、等價劑量、有效劑量等在例行工作中是不可量測的，因其係就人體器官或組織中的吸收劑量作平均，只能作為職業曝露的限制值或管制值。反之，作業量是用於輻射防護作業，在例行工作中是可量測的，且可提供足夠的保守值，以評估限制的量，又可確定不會低估其值。

周圍等效劑量的符號是 $H^*(d)$ ，屬於作業量，又因中子屬於強穿輻射，故 $d = 10 \text{ mm}$ ，因此上述符號可寫成 $H^*(10)$ 。常見的輻射為光子(加馬和 x 射線)，中子則比較不普遍，本文乃只介紹中子的周圍等效劑量。

二、射質因數的改變

組織中某一點的射質因數(Q 或 \bar{Q})依定義為：

$$Q = \frac{1}{D} \int_L Q(L) D(L) dL \quad (1)$$

式中

D ：吸收劑量

$D(L)$ ：依線性能量轉移(L)分布的吸收劑量

$Q(L)$ ：在感興趣之點相對應的射質因數

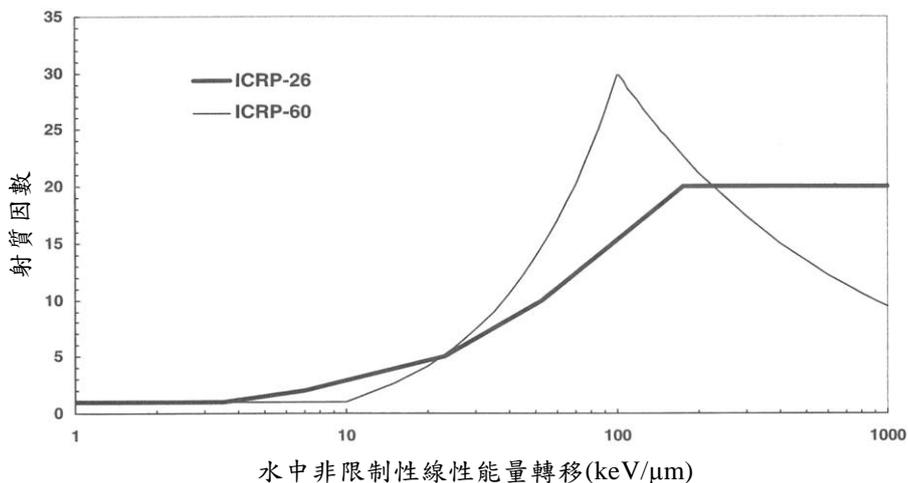


圖 1 射質因數與非限制性線性能量轉移的關係

關於 $Q(L)$ 與 L 的關係，ICRP-26 與 ICRP-60 所訂定者不盡相同，如圖 1 所示。此處 ICRP 指國際放射防護委員會，26 與 60 表示其出版物的編號。圖 2 為依 $Q(L)$ – L 關係而訂定的射質因數與輻射加權因數。

三、作業量中的等效劑量

在某一點處的等效劑量(H)定義為

$$H = \int Q(L) \frac{dD}{dL} \times dL \quad (2)$$

式中

Q(L)：線性能量轉移為 L 的輻射的射質因數

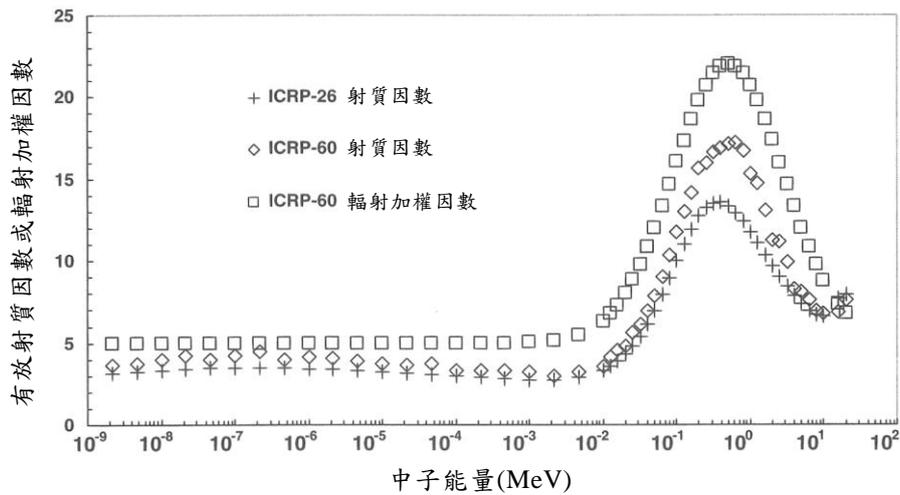


圖 2 中子的射質因數依 Q(L)-L 的關係而建立的。另示輻射加權因數(W_R)的連續性擬合。

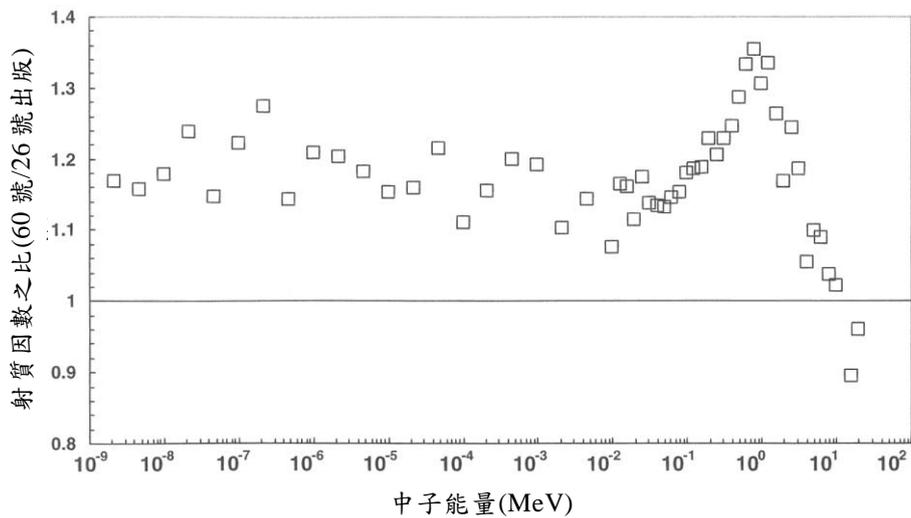


圖 3 依 Q(L)-L 關係算出射質因數之比(ICRP-60/ICRP-26)

$\frac{dD}{dL} \times dL$ ：在某一點處介於 L 與 L + dL 之間的吸收劑量

依 Q(L)-L 關係導出的射質因數，由 ICRP-60 導出與由 ICRP-26 兩者導出之比則示於圖 3。

四、周圍等效劑量的轉換係數

周圍等效劑量[H*(10)]的轉換係數如下式所示：

$$H^*(10) = \sum_{i=1}^{i=n} \phi_{E(i)-E(i-1)} \times h^*(10)_{E(i)-E(i-1)} \quad (3)$$

式中

$\phi_{E(i)-E(i-1)}$: 能量介於 E(i) 與 E(i-1) 之間的中子通量

$h^*(10)_{E(i)-E(i-1)}$: 能量介於 E(i) 與 E(i-1) 之間的周圍等效劑量 / 中子

n : 中子能區數目

H*(10)轉換係數選用 7 種中子能譜如下：

1. 鈾(²⁵²Cf)，未經緩和
2. 鈾(²⁵²Cf)，重水(D₂O)緩和
3. 銩-鈹(Am-Be)
4. 銩-硼(Am-B)
5. 鈾(²⁵²Cf)，15 cm 聚乙烯緩和
6. 鈾-氟(Pu-F)
7. 鈾-鈹(Pu-Be)

表 1 7 種中子能譜的 H*(10)轉換係數

中子能譜 \ 周圍等效劑量	1	2	3	4	5	6	7
ICRP 26 H*(10) (pSv cm ²)	333	93	373	378	218	333	291
ICRP 60 H*(10) (pSv cm ²)	380	107	394	410	242	384	317
侖目球回應 ICRP 26 計算(計數)	333	133	334	384	220	311	272
侖目球回應 ICRP 60 計算(計數)	380	152	381	438	251	355	310

除計算之外，亦可用最普遍的測量儀稱侖目球(Rem ball)，這種儀器是在 9 英寸直徑聚乙烯緩和球中心放置度量熱中子的偵檢器，其回應約略與 H*(10)相等。至於熱中子偵檢器可用 4 × 4 mm 碘化鋰(銻)[LiI(Eu)]閃爍器。上述 7 種中子能譜的 H*(10)轉換係數如表 1 所示。

圖 4 為應用 ICRP-26 和 ICRP-60 依 Q(L)–L 關係求出的轉換係數。另附侖目球的回應計算值。

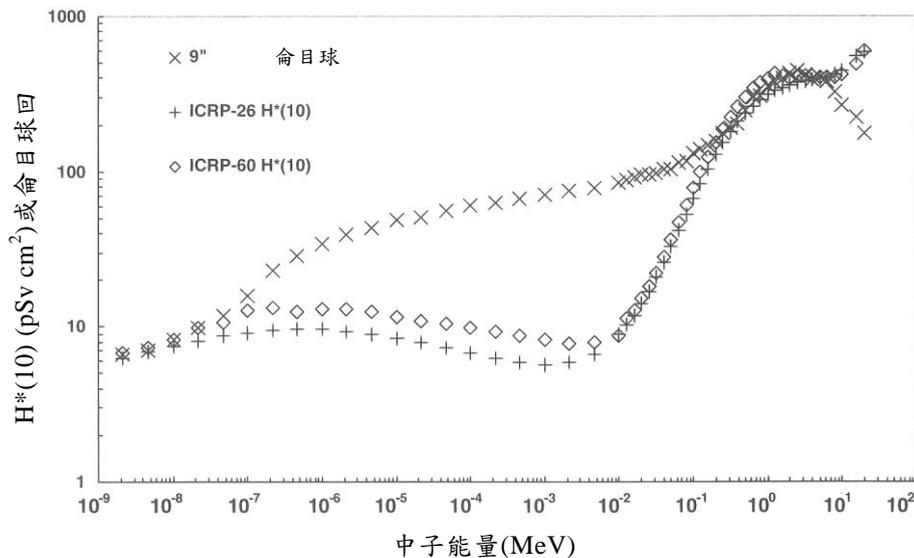


圖 4 依 Q(L)-L 關係導出的 H*(10)以及由侖目球計算出的回應

五、討論

採用 ICRP-60 將使 H*(10)的值就中子能譜 1 和 2 而言較 ICRP-26 約增加 15%。比較困難的部分是圖 3 所示的射質因數比的變動，其以中子能量為函數變化太大。由於中子的散射效應，不同的校正設施與不同的中子場位置也會影響侖目球的回應比。

參考文獻

1. K. G. Veinot, "Impact of the Revision of 10 CFR 835 with Regard to Neutron Field Surveys," **Operational Radiation Safety** 95 (2), S143-S147 (2008)
2. International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 26, **Ann. ICRP** 1 (3), (1977)
3. International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 60, **Ann. ICRP** 21 (1-3), (1991)

▲地面污染警報限的設定

(輻協訊)

一、前言

在低劑量的輻射偵測中，在統計學上有 3 種限(limit)或水平(level)：臨界限(critical limit)、偵檢限(detection limit)、以及決定限(decision limit)。決定限又稱判斷限，而其英文又稱 determination limit。上述三種限(度)的定義如下：

1. 臨界限

對於接受或棄卻虛無假設邊界上的一個統計量的值。對於任何一種檢定，臨界限視檢定中所使用的顯著水準(例如 $\alpha = 0.05$)及檢定是單尾或雙尾檢定而定。

本文屬於單尾的信賴水平 $1 - \alpha = 0.95$ ，判斷其度量結果並不是由於背景值的變動。

2. 偵檢限

在輻射偵測中，用於評估偵檢能力的一種統計量的值，指在確定的錯誤機率下，一種測量方法能夠偵檢出的區別於零值的最小樣品貢獻。

3. 決定限

在輻射偵測中，用於評估偵檢能力的一種統計量的值，使得能按確定的錯誤機率判斷每次測量所記錄的脈衝數中是否有被測樣品的貢獻。

二、使用公式

統計學的公式推導相當繁複，本文只敘述其推導的結果。圖 1 示偵檢下限 (LLD) 與 α 及 β 誤差的關係圖。本圖取 α 誤差 = β 誤差 = 5%，標準差的個數 $k = 1.645$ 圖 2 示 3 種重要區域與 3 種限的關係。

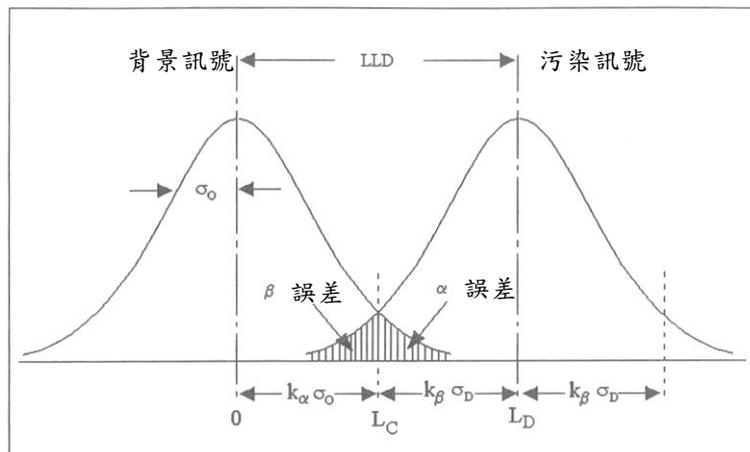


圖 1 偵檢下限與 α 誤差及 β 誤差的關係圖

L_C = 臨界限， L_D = 偵檢限， α 誤差即第 I 型誤差， β 誤差即第 II 型誤差， σ 為標準差。

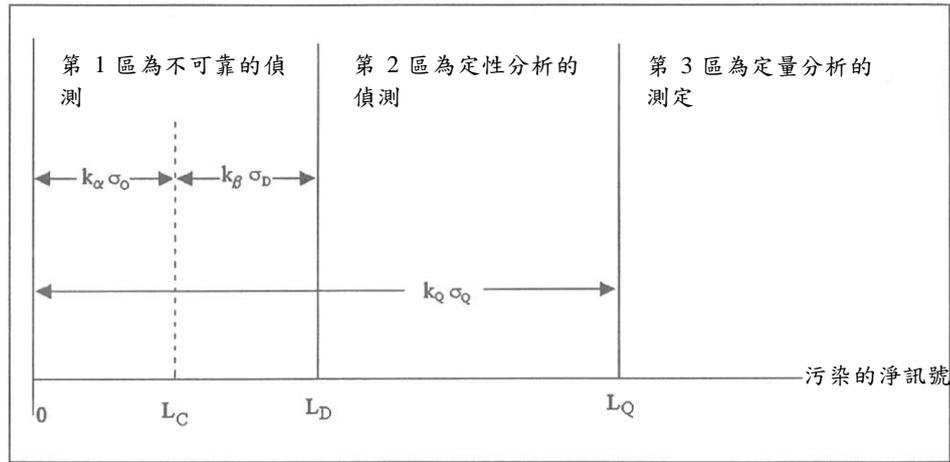


圖 2 重要區域與 3 種限的關係，圖中 L_Q 為決定限

使用公式

$$R_{n,DL} = \frac{1}{2t_0} (k^2)_{1-\alpha} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4R_0 t_0}{(k^2)_{1-\alpha}} \left(1 + \frac{t_0}{t_m} \right)} \right] \quad (1)$$

式中

$R_{n,DL}$ = 決定限的淨計數率

R_0 = 背景計數率

k = 信賴區間標準差個數，單尾檢定(本文取 1.645)

t_0 = 背景計數時間

t_m = 樣品計數時間

α = 顯著水準(本文取 0.05，即 5%)

$1-\alpha$ = 信賴區間(本文取 0.95，即 95%)

最主要的項為平方根中 $\frac{1}{2t_0} (k^2)_{1-\alpha} \sqrt{\frac{4R_0 t_0}{(k^2)_{1-\alpha}} \left(1 + \frac{t_0}{t_m} \right)}$ ，今以 $\alpha = 0.05$ ， $1-\alpha =$

0.95， $t_0 = t_m$ ， $(k^2)_{1-\alpha} = (1.645)^2$ 代入式(1)可得簡化式如下

$$R_{n,DL} = 2.33 \sqrt{\frac{R_0}{t_0}} \quad (2)$$

式(2)稱為統計學警報限(statistical alarm level)。

三、範例

今以地面污染偵檢器(圖 3)為例。偵檢結果如表 1 所示。



圖 3 地面放射性污染偵檢系統

表 1 大面積氣體比例計數器的計數率(單位：1/秒)

現場位置	表面材料	背景計數率	決定限	統計學警報限
建築物	混凝土	60	78	69
草地／森林	乾土	130	157	139
草地	壓實乾土	140	168	149
道路	混凝土	150	179	159
道路	柏油	170	200	179

四、結語

成功的度量取決於整個現場的背景輻射分布的調查，而警報值的設定應具有足夠的靈敏度，但仍應可接受少數未經證實的警報值。

參考文獻

1. A. Brandl and A. D. Herrea Jimenez, “Statistical Criteria to Set Alarm Levels for Continuous Measurements of Ground Contamination,” **Operational Radiation Safety** 95, No.2, S128-S131 (2008)

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。

