

# 輻射防護簡訊 67

中華民國93年6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、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、蘇明峰、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

### ▲ 輻防協會喬遷誌喜

- 本協會已於 5 月 16 日搬至：新竹市光復路二段 295 號 15 樓之 1，懇請舊雨新知持續愛護與照顧，以使本協會更加發揚光大服務社會之任務，更歡迎蒞臨指導。(路線圖可上網查詢)

### ▲ 原子能委員會著作與翻譯報導

- 輻射防護處於民國 93 年 5 月出版新編「輻射防護手冊」共 12 章 269 頁，內容豐富，值得參考，惟係非賣品。
- 核能技術處英譯「核子事故緊急應變法」已近尾聲，共 7 章 45 條。原能會的網址為 [www.aec.gov.tw](http://www.aec.gov.tw)

### ▲ 美洲保健物理學會台灣總會舉行會員大會

(輻協訊)

民國 90 年(2001)底「中美民用核能合作會議」於花蓮市舉行，美方代表吳全富博士向我方代表建議：成立 Health Physics Society Taiwan Chapter。該會祕書 Richard J. Burk, Jr.於 2002 年 9 月 10 日來函同意我們成立分會。經多方的努力，包括駐美代表處曾東澤先生親自前往田納西州取得該學會於 1956 年成立時的原始證件，原能會輻防處唐發泰副處長與黃肇基科長在行政事務上大力支持，終於民國 92 年 12 月 22 日獲得內政部的同意成立分會，但中文名稱依照規定應如本文標題所述。以下是重要的里程碑：

- 民國 93 年 4 月 8 日舉行發起人暨第一次籌備會議，選出翁寶山、葉錦勳、蘇獻章、蘇明峰、董傳中、曾凱元、黃金益、張繼聖、張寶樹等 9 位先生為籌備委員，並互推翁寶山為主任委員。會中議決請黃肇基先生擔任執行祕

書、范璧真小姐擔任會計。

- 民國 93 年 4 月 29 日舉行第二次籌備會議。通過多位基本會員、學生會員、以及團體會員的入會申請。
- 民國 93 年 5 月 15 日舉行第一次會員大會，選出：理事 5 人 歐陽敏盛、翁寶山、鄭安弘、黃金益、董傳中。侯補理事 2 人 蘇獻章、張繼聖。監事 2 人 曾凱元、王昌齡。侯補監事 1 人 陳拓榮。
- 民國 93 年 5 月 28 日舉行第一屆理監事會，討論會址及聘任祕書長及會計。

後記：本會於籌備期間，共收入下列發起人捐助，每人新台幣 5000 元，合計新台幣 100,000 元。

歐陽敏盛、唐發泰、葉錦勳、蘇獻章、蘇明峰、翁寶山、董傳中、邱志宏、黃肇基、鄭安弘、黃金益、饒若琪、張繼聖、詹國楨、黃吉田、李明樹、周棟樑、陳煥東、張寶樹、鍾相彬。

#### ▲ 2005 年 ICRP 新建議於本月(2004 年 6 月)開始展開為期 6 個月的評議諮詢直線加速器所產生的光核反應與中子活化

(高雄醫學大學醫放系 張寶樹)

2005 年國際放射防護委員會(ICRP)將提出新的 ICRP 建議，其將成為輻射防護體系中未來新方向與新趨勢。ICRP 上任會長柯拉克(Roger H. Clarke)於 1999 年提出新的輻射防護系統，以輻射劑量控制的觀念為中心，不論輻射源種類，來保護個人免於游離輻射的有害效應。柯拉克提出可控制劑量(controllable dose)的觀念，其定義為：「可控制劑量指個人從一可以任何方法加以合理控制的特定輻射源所接受的劑量或劑量的總和」。ICRP 新輻射防護原則為：(1)控制最高曝露群體中最具代表成員的劑量，(2)確保最終劑量是合理可行抑低(as low as reasonably practicable, ALARP)。

2000 年柯拉克於國際輻射防護協會(IRPA)第 10 次大會(IRPA-10)在日本廣島舉行時提出個人劑量等級(individual dose scale)。柯拉克將個人劑量等級分為 5 個：(1)嚴重(serious)：30-300 毫西弗(mSv)，(2)高(high)：3-30 mSv，(3)中(moderate)：0.3-3 mSv，(4)低(low)：0.03-0.3 mSv，(5)低微(trivial)：< 0.03 mSv。在個人劑量等級下，單一劑量之間沒有任何不同，這些劑量亦可重複接受，所以單一劑量等級原則可以不再區分職業曝露、公眾曝露與醫療曝露，一套指引可涵蓋每一輻射防護領域。ICRP 新輻射防護系統雖採用單一劑量等級，但與 ICRP No.60 是一致的，都是以可接受風險為基礎。ICRP 新輻射防護系統是以個人為中心建構的，並以背景輻射的倍數或分率來表達，所以容易了解，其中，UNSCEAR-2000 年公布全球年平均自然背景來自所有輻射源的有效劑量為 2.4 mSv。

就輻射防護而言，除了以人爲中心(anthropocentric)以外，其他的物種也要考慮輻射防護。ICRP 新輻射防護系統以生物爲中心(biocentric)或以生態爲中心(ecocentric)，這是 ICRP 新輻射防護系統的特色。2004 年 5 月 24-28 日國際輻射防護協會(IRPA)第 11 次大會(IRPA-11)於西班牙馬德里舉行。國際放射防護委員會(ICRP)將於大會(IRPA-11)中敘述 2005 年國際放射防護委員會的新建議書，並對 ICRP 新建議書開始展開爲期 6 個月的評議諮詢。國內輻射防護產官學界對 ICRP 新建議書若有任何的意見，可逕行上網表達，ICRP 網址爲 <http://www.icrp.org/>。

## ▲ 輻射在醫療應用與可能的輻射風險

(原能會 王重德、關展南)

### 一、前言

游離輻射防護法於九十二年二月一日起開始實施，承襲以往基於醫療需要對由醫師決定檢查方式的原則，患者因檢查而接受之輻射劑量並未規定劑量限值，但在第十七條規範醫療使用的放射性物質或可發生游離輻射設備應該擬訂醫療曝露品質保證計畫，以提昇輻射醫療的品質。

現代醫療技術中輻射的應用變得愈來愈重要，利用輻射的特性來協助醫師瞭解身體之疾病，可避免許多高危險性的侵入性檢查，隨著科技的進步，不同型式的 X 光設備亦應運而出，讓醫師之診斷更爲準確。游離輻射對於細胞之影響不可避免，因此接受檢查的病人有時會關心是否會有副作用。本文參考英國國家輻射防護委員會 (National Radiological Protection Board, NRPB) 2001 年五月發行的文宣品，針對現行各種不同型式 X 光檢查及放射性同位素掃描(核子醫學)，可能所產生的輻射劑量及其風險做一概述，希望能讓接受患者有所了解，進而安心。

傳統上描述 X 光檢查的劑量，常使用一些很專業的術語，如吸收劑量、等效劑量、有效等效劑量，往往讓民眾較難以接受，而且輻射單位眾多，容易造成以訛傳訛，導致不必要的困擾，本文試著以天然背景輻射與 X 光檢查或放射性同位素掃描劑量做比較，將風險以較通俗化的方式表示，期望能使一般人更易了解，此外強調醫療效益，相信會使患者及一般人更能了解由醫療輻射造成的影響。

### 二、各種輻射診斷技術

#### (一)一般診斷攝影

一般診斷攝影是我們日常生活中最常見的 X 光檢查方法。攝影時，在身體後方放置 X 光片，病人可能是站立或躺在診斷檯前或上面，X 光穿透身體後，身體內部器官影像會呈現在這張底片上，藉由這張底片，提供醫師相當多的診斷訊息，通常這種方法攝影時間較短，例如胸部、骨頭或牙齒的照相。

一般診斷攝影所造成的輻射劑量在所有放射診斷中是最低的。

## (二) 螢光透視

使用螢光透視攝影時，病人躺在診斷檯上，X 光經過身體，在身體後方有一個特殊攝影機將身體內器官之動態影像顯現在電視螢幕上，醫師或放射師藉由螢幕上觀察到器官動態影像。

一般螢光透視檢查，爲了達到良好的效果，醫師、護理人員或放射師會在攝影前要求病患喝下對比劑（如上消化道攝影檢查前，先吞下鋇劑），喝下對比劑後可在 X 光下呈現較好對比影像，得到胃及腸的動作影像並可觀察到病灶位置。此種技術在臨床上使用於上消化道攝影、下消化道攝影、心導管或血管攝影。

由於螢光透視檢查需較長時間的攝影，故造成較一般診斷攝影稍高的輻射劑量。

## (三) 電腦斷層掃描

電腦斷層掃描是一種較複雜的檢查方式，使用時病人躺在狹窄的床上（這種床會前後移動），進入儀器中心的大圓孔（這種設備通常爲方型中間有圓孔）的中心處。薄片狀的 X 光射束穿過身體，抵達另一方的 X 光偵測器，由於 X 光管在機器內部可以 360 度轉動，所以可得到不同相對位置之影像，當身體緩慢隨著床向圓孔中移動，會產生一系列橫斷面的影像，這些影像藉由電腦整合後，顯示在電腦螢幕上，可獲得不同器官或組織三度空間解剖學影像。

由於電腦斷層掃描是由一系列的 X 光切面影像組成，故造成的輻射劑量比一般診斷攝影稍高。

## (四) 放射性同位素

核醫藥物或同位素掃描是另一種型式的放射性檢查方式，不同於 X 光產生影像的方法，本方法使用少量的放射性物質(同位素)藉由靜脈注射(偶爾也用嚥入或吸入)，放射性物質會集中在特別的器官或組織，例如骨掃描時放射性物質會集中在骨骼，心臟掃描時放射性物質會集中在心臟，在這些器官或組織中的放射性物質會釋放出  $\gamma$ -射線（此一輻射與 X 光相似），利用特殊的  $\gamma$  射線偵測器偵測從身體中釋放的  $\gamma$  射線，組成影像即可瞭解身體內狀況。利用此種方法可以得到器官生理性與功能性影像，如心肌是否壞死、癌細胞是否轉移。

身體中的放射性物質活度會隨著身體代謝或放射性物質自然衰減，在數天內衰減至可忽略的程度，一次核醫人體掃描所接受的輻射劑量大約等於或小於一次螢光透視檢查。

## (五) 超音波或磁振造影

另外兩種不使用 X 射線或  $\gamma$  射線（游離輻射），但也具有診斷價值的醫學影像技術－超音波或高磁場磁振檢查，因不同於游離輻射（x 光或放射性物質屬於游離輻射），所以不具游離輻射風險。臨床上仍無法完全使用超音波或高磁場磁振造影檢查來取代 x 光或放射性物質檢查。如磁振掃描儀器對身體中裝有某些金屬裝置的病人或是對於空氣含量高的器官無法進行檢查；一般超音波

設備解析度較 X 光差，對於小的病灶可能有時會被忽略，雖然先進的超音波設備解析度能達到與 X 光水準，但是價格相對來說非常昂貴。

### 三、輻射劑量與風險

#### (一)放射診斷的劑量

我們日常生活中皆曝露於天然背景輻射環境中，它們來自於身旁地表、建築材料、空氣、食物及外太空的宇宙射線。至於醫療 X 光或核子醫學檢查僅帶給我們比天然背景多一點點的劑量，其檢查輻射劑量的高低會因檢查種類之不同而有所差異，可低至數天或高至數年天然背景劑量。最常使用的牙齒、胸部及四肢 X 光檢查的劑量相當於數天的天然背景劑量。其他 X 光檢查或透視檢查（上消化道或下消化道之鋇劑檢查）、電腦斷層掃描或核醫骨掃描等，劑量稍高，大約是數月至數年天然背景輻射劑量。

X 光檢查或放射性同位素掃描檢查的輻射劑量甚低，僅有立即產生輻射傷害（如皮膚灼傷的劑量約為一年天然背景的 1500 倍以上）或輻射病變（約為一年天然背景劑量的 1000 倍以上）劑量的千分之一，使用如此低劑量的輻射照射後，有可能在數年或數十年後增加一點致癌風險，評估其終生因 X 光或放射性同位素檢查後，致癌之風險列於表 1 最後一欄。

表 1 醫療曝露的致癌風險

x 光檢查（核子醫學或放射同位素掃描）種類	相當於天然背景輻射量的期間	每次檢查對於終身致癌風險增加程度
胸部 牙齒 四肢	數天	可忽略程度 小於百萬分之一
頭骨 頭部 頸部	數週	極低 百萬分之一至十萬分之一
乳房攝影 髖關節 脊椎 腹部 骨盆 頭部之電腦斷層掃描 （肺之同位素掃描） （腎之同位素掃描）	數月至一年	很低 十萬分之一至萬分之一
腎及膀胱（IVU） 胃－鋇劑 大腸－鋇劑 胸部之電腦斷層掃描 腹部之電腦斷層掃描	數年	低風險 萬分之一至千分之一

## (二)輻射風險

一般我們提到的安全，是較為抽象的，如果要用量化的指標，一般的講法是風險程度小於百萬分之一，稱爲之爲安全。從事任何活動都有它的風險，所以較低的風險相對是較安全之活動。一般牙齒、胸部或四肢的簡單 X 光檢查之風險，可視爲可忽略程度(小於百萬分之一)，較複雜的高劑量鋇劑、電腦斷層掃描或放射性同位素掃描檢查，所造成風險爲低風險(百萬分之一至千分之一)。即使我們從來不使用 X 光或放射同位素檢查，據統計國人每五個人中就有一個可能會罹患癌症風險下，相較於所有基本潛在致癌原因的風險增加很少。

醫療上必需的 X 光檢查或放射同位素的掃描的效益通常是較輻射帶來的微小風險來得更重要。需要接受高劑量檢查的患者，一般而言在臨床醫療上需求是較爲迫切，可預見對患者所獲得較高的醫療效益，若是太在乎輻射劑量所致的風險而拒絕接受檢查，所造成健康危害可能比輻射本身導致的風險還高。

如果要在同一天內必須接受許多放射診斷的檢查，而本身對於輻射所致風險非常在乎的話，建議先與醫師討論每一個檢查再去判斷其所具的醫療價值。此外，在進行檢查之前，先與醫師進行溝通並且讓他知道已經進行過的 X 光檢查或放射同位素掃描(同一部位與同一型式的檢查一般不建議於一天內從事兩次)，可避免增加額外不必要的檢查。

## (三)老年人與兒童的輻射風險

隨著社會高齡化，老年人使用 X 光檢查的機會將相對多，但是非常幸運的，老年人的輻射風險較表 1 中所列爲低，這是因爲輻射致癌需要經過一段長時間(通常在 25 年最高)；相反的對於兒童可能造成的風險程度就稍高了，相同 X 光檢查風險兒童較老年人高 2 倍，所以兒童 X 光檢查必須在確實有明顯的醫療效益前提下，方可進行，而且在合理的程度下要儘可能的低，並且提供一些必要的防護。

胚胎對於輻射更爲敏感，所以對於懷孕婦女特別要注意。檢查範圍不會到達胎兒(子宮)附近的檢查，如四肢或胸部 X 光檢查是可以考慮的。此外生育年齡之婦女需要進行檢查時，醫師應先詢問是否懷孕或可能懷孕，如果已懷孕，應先與醫師討論決定是否延後進行該項檢查，但如果在臨床上考量母親的健康效益明顯地比很小的輻射風險重要，X 光檢查或放射同位素掃描仍是優先可以接受的選擇。

## (四)遺傳後代的輻射風險

生殖器官(卵巢或睪丸)曝露於輻射下，可能會產生遺傳疾病或染色體異常而傳遞給下一代，雖然此類效應尙未於人類發生，但爲了預防，仍然要在某些 X 光檢查時放置鉛圍裙(一種能減少輻射劑量的物品)於生殖器官上加以防護，如具有生育能力的年輕人，需進行下腹部或大腿骨 X 光檢查時需用鉛圍裙加以防護。但某些檢查在臨床上使用鉛圍裙而喪失診斷價值時，應放棄該項防

護措施。

#### 四、效益遠高於風險

再次強調所有使用放射診斷醫學影像的方法，都可以帶給病人相當正面的醫療效益，x光或放射性同位素檢查的正確使用，取決於醫師及醫院中放射診斷部門。正確診斷的效益，在於帶來一連串的正确治療，比微不足道輻射風險更重要。如果對於因x光檢查附帶微小的輻射風險相當在意的話，建議應先與醫師討論是否有任何可取代的方法，如果無其他方式可取代，那麼應接受醫師的建議，因為未執行該項檢查所造成健康危害可能會比輻射本身所致的風險還高，切不可捨本逐末。

#### 五、結語

正確的診斷帶來正確的治療，放射診斷技術在這一方面有不可忽視的地位，X光檢查或放射同位素掃描是會造成很低的輻射風險，但這些輻射風險與在無任何輻射劑量情形下平均每五人就有一人會致癌相較，實在是微不足道，醫療使用所帶來的淨利益大於輻射本身風險，如果在意輻射風險而忽略醫療利益，所造成健康危害會比輻射本身所致的風險還高，故善用輻射使其對人類造成的利益大於危害，此即輻射防護強調的正當化原則。

### □ 會議訓練報導

#### ▲ 九十三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	A5--6 月 8 日~ 15 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A6--8 月 2 日~ 6 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A7--7 月 21 日~ 27 日	(高雄) 輻射偵測中心
		A8--9 月 20 日~ 24 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A9--10 月 20 日~ 26 日	(高雄) 輻射偵測中心
		A10--11 月 1 日~ 5 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A11--12 月 20 日~ 24 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		94 年 A1--1 月 5 日~ 11 日	(高雄) 輻射偵測中心
	(B 組) 18 小時	B5--7 月 7 日~ 9 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B7--8 月 25 日~ 27 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B9--8 月 11 日~ 13 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B10--10 月 6 日~ 8 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B11--10 月 13 日~ 15 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B12--11 月 17 日~ 19 日	(新竹) 帝國經貿大樓
	B13--12 月 8 日~ 10 日	(高雄) 輻射偵測中心	

		B14--12月29日~31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)	員4期&師4期 第一階段--7月5日~9日 第二階段--7月26日~30日 第三階段--8月16日~20日 第四階段--9月6日~10日(36hr)	(新竹)帝國經貿大樓
		員5期&師5期 第一階段--11月22日~26日 第二階段--12月13日~17日 第三階段--94年1月3日~7日 第四階段--94年1月24日~28日	(新竹)帝國經貿大樓
鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班		第3期--11月30日~12月1日	(新竹)帝國經貿大樓
		第4期--12月2日~3日	(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](http://www.rpa.org.tw)，電話：(03)5722224◎

## □ 專題報導

### ▲ 輻射散布裝置與輻射風險

(原能會 張志堅)

#### 一、前言

輻射散布裝置(Radiological Dispersal Device, RDD)是一種結合放射性物質的傳統炸彈，一般稱為輻射彈或髒彈，其主要目的在引起民眾恐慌。輻射散布裝置不是核子武器，不具有核子武器的爆炸威力、震波、熱能及輻射殺傷力。輻射散布裝置所結合的放射性物質極有可能來自偷竊的高活度輻射源，恐怖份子利用此裝置散布輻射污染並造成區域內民眾的恐懼來達成其目的。為瞭解恐怖份子對輻射散布裝置的興趣及人體的輻射風險，必須先探討民眾對於輻射曝露的一般反應。

#### 二、輻射認知

對多數人而言，輻射曝露是可怕的，輻射曝露的經驗及印象左右了民眾對於輻射的反應。輻射及放射性物質屬於近代科技，民眾的體驗落差很大。一般人對於輻射的印象及衝擊包含了二次大戰在日本引爆的原子彈、美國三哩島及蘇俄車諾堡核子事故等。日本廣島及長崎核爆後的慘痛影片令人震撼，巨大的菇狀雲成為死亡、破壞及消滅的符號。這些印象深植人心並且形成一般人對於任何輻射事件的反應。許多人基於這些印象，將輻射曝露與傷害健康及死亡劃上等號；媒體有時對於輻射相關問題的偏頗報導也會使得輻射的認知更為複雜。



雜。

### 三、輻射風險

自從 1895 年倫琴發現 x 光及 1896 年貝克勒爾發現天然輻射後，有關放射線及其應用技術的科學研究工作大量展開。可惜這些早期的學者並未注意失控輻射曝露的潛在健康風險，早期學者及受曝於醫療輻射者就成為研究輻射健康效應的重要對象。研究領域包含動、植物輻射曝露的長短期健康效應，並包含許多人數十年來接受輻射曝露的效應探討。

這些研究成果已被國際放射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, ICRP)及美國國家科學院之游離輻射生物效應委員會(Biological Effects of Ionizing Radiations, BEIR)用來決定游離輻射的健康效應。數據顯示在高劑量率下，人體接受超過 100 毫西弗的劑量才會出現明顯的輻射健康效應。但是，為了提供健康風險的定量評估，研究數據已被發展出一個通用的輻射曝露風險模式。此模式假設任何輻射劑量不管多小，都會潛在造成類似癌病及傷害基因的負面健康效應，且傷害的程度與輻射劑量成正比。但是許多科學證據認為此線性無低限的模式過於簡化，造成對於低劑量率及低劑量(小於 100 毫西弗)的過高風險評估。目前職業及環境輻射曝露的限值都以上述模式為基礎，以降低不利於健康效應的潛在風險。基於低劑量的已知不確定因素，ICRP 聲明此風險模式對低於 100 毫西弗的輻射曝露只供規劃用途。

國際科學界發表的癌病風險係數為每 10 微西弗輻射曝露會造成一千萬人口中五人死於癌病風險。為瞭解輻射曝露的風險大小，舉例假設一萬人遭受 10 毫西弗的輻射曝露；必須先知道，在沒有輻射曝露因素下，每一萬人中大約會有 3300 人(33%)得到癌病，2200 人(22%)死於天然因素。依據前述輻射風險係數，10 毫西弗的輻射曝露可能會增加 0.23%的癌病致死率。事實上，10 毫西弗以下的職業曝露工作人員已被證實較其他工作族群更為健康。根據美國癌病學會“輻射曝露與癌病”所發表的資訊，輻射曝露相對小於其他日常生活的死亡風險。職業傷害也遠小於許多其他工作族群。

### 四、風險比較

在估算低劑量輻射曝露的風險時，必須考量日常生活所遭受的風險。其他風險的存在並不代表輻射曝露的正當性，但卻可提供瞭解輻射曝露風險的架構。人類生活許多作為都有風險，例如雷擊的風險大約五十萬分之一，抽一包香煙的致癌風險大約十萬分之一。每一個人對於風險的接受度都不相同，例如許多人對於抽煙及二手煙的致死風險並不感到憂心。附表顯示抽一根煙的風險相當於接受一毫命目(10 微西弗)輻射曝露的風險。

為更進一步瞭解輻射曝露風險，可以考慮比較化學品與輻射職業曝露的限值。美國政府工業保健會(American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH)及國家職業安全及健康機構(National Institute for

Occupational Safety and Health, NIOSH)出版了有關確定健康效應的職業曝露導則。美國核管會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)則採用國際輻射防護委員會(ICRP)所出版有關推導空氣濃度(Derived Air Concentration, DAC)的長短期健康效應。ACGIH及NIOSH的單位採用百萬分之一(ppm),NRC採用微居里每立方公分( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ )。經過比較40小時的職業曝露,一般而言,放射性物質的危害並不會大於化學品。

另一種評估環境輻射曝露風險的方法是採用生命預期折損速率(Lost Life Expectancy Rate, LLER)的風險指數,LLER定義為置身於特定危害環境之風險。如利用最大的輻射風險係數為計算基礎,每人平均連續曝露10微西弗,LLER為0.00095;相對於其他職業意外0.015,駕車意外0.25,抽煙0.2,輻射曝露的風險明顯偏低。

### 五、輻射散布裝置(RDD)之健康風險

雖然輻射散布裝置(RDD)被認為是一種新的風險,但是數十年來國際間對於核子事故及核爆已發展出緊急應變計畫。此計畫可以直接應用於RDD的緊急應變;緊急應變計畫所規劃的技術、裝備及防護措施都可以用來應付RDD。

美國環保署(EPA)針對核子事故已建立防護行動導則(Protective Action Guides, PAG),這些防護行動導則通用於RDD引爆後的立即應變與復原。對於RDD的恐怖事件,EPA已建立緊急應變人員的最大劑量限值為250毫西弗(第一級)。第一級的最大劑量適用於搶救生命,一般的緊急應變人員劑量限值為50毫西弗,與輻射工作人員相同。第二級用來保持民眾未來50年的輻射曝露低於50毫西弗,如劑量評估在上限範圍,應考慮疏散。第三級是以50年民眾的累積輻射曝露10毫西弗為基準,用來考量掩蔽或疏散。在進行劑量評估時,假設民眾未疏散,而且連續接受之輻射曝露並未減輕。這些數據可提供緊急應變決策單位來決定是否需要掩蔽或疏散區域內的民眾。掩蔽和疏散可減輕RDD引爆後,懸浮於空氣中的放射性微粒所造成的曝露。這些放射性物質最後會被氣流稀釋或沉積於地表;一旦空浮濃度降低,掩蔽的民眾應迅速移動到未受影響的地區。

依據前述方法,也可以建立長期監控或返回受污染地區的行動基準。第四級的劑量限值設定為1毫西弗,與一般民眾的年劑量限值相同。如民眾可能接受的劑量大於1毫西弗,緊急應變決策單位可以考慮採取掩蔽。這一級的限值也可用在不考量氣候及除污情況下,第一年居住的輻射曝露限制。未來幾年,民眾的輻射曝露會因氣候及復原措施而降低。

### 六、輻射散布裝置的事態

為評估RDD的潛在慢性健康效應,舉兩種RDD為例,一種含有1750居里銻-137,另一種含有2700居里銻-192。假設RDD在大都市人口密集的旅遊區引爆,且其結構設計意圖造成最大的輻射後果。

這些放射源因活度很高,其輻射強度對任何製造及移動RDD的恐怖份子也具有嚴重的輻射危害;為求擴大RDD的效果,放射源必須從屏蔽容器中取出並

且加工成更容易散布的形式。前述放射源在裸露情況下，距離 1 公尺的輻射曝露率大約每小時 9 西弗。距離裸射源 1 公尺，1 小時所接受的劑量幾乎可以確定會造成人員死亡，但仍然無法阻止恐怖份子製造 RDD，況且裸射源的強度也讓執法人員很容易偵測到恐怖份子的製造及運送過程。

第一個舉例 RDD 所含 1750 居里銻-137 是典型的醫療及研究用高活度射源。含有此射源的 RDD 假如在人口密集地區引爆，炸藥威力的致命效應距離大約 4 公尺，根據評估，散布的輻射並無潛在的癌病致死後果。為確保民眾輻射曝露不會超出第二級的 50 毫西弗限值，必須建立半徑大約 150 公尺的管制區。除污及清理的半徑範圍約需 27 公尺，以保持第一年的輻射曝露小於第三級的 1 毫西弗限值，大約半徑 270 公尺的範圍需要進行復原。

第二個舉例 RDD 所含 2700 居里銻-192 射源大多用來進行結構體的非破壞照相檢驗，一般工業用放射線照相之銻-192 活度大約 100 至 200 居里。由於此 RDD 所含炸藥及射源之活度較高，其引爆所影響的區域遠大於含 1750 居里銻-137 的 RDD。爆炸的致命效應距離為 8.5 公尺，管制區半徑約 550 公尺，除污及清理半徑約 426 公尺，復原半徑約 360 公尺。

## 七、結語

根據電腦模擬及上述理由，RDD 引爆後並不可能對接受輻射曝露的民眾造成嚴重而直接的健康衝擊。大多數民眾所接受的劑量都小於 1 毫西弗，其風險與抽 100 根香煙相當。最高劑量(50 毫西弗)的受曝露族群，其理論風險大約等同於抽煙者死於癌病如表 1 所示；受曝露民眾的輻射衝擊可經由除去放射性污染而大幅減輕。

表 1 十萬分之一的代表性風險

風險因素	十萬人中每年的風險
徒步健行意外	6.4
空氣污染	25
每天喝酒	5
每天吃冰淇淋	19
車禍之死亡總風險	15
航空駕駛員	14
抽 20 根香煙（癌病風險）	1
喝 300 瓶含糖精的減肥汽水（癌病風險）	10
吃 40 湯匙花生醬（肝癌風險）	10
20 毫侖目（0.2 毫西弗）的輻射曝露（癌病風險）	1
雷擊	0.016

【摘譯自 Health Physics , Vol.86,Suppl.1, February 2004】

### 一、前言

SARS 等疾病的防疫與空浮污染的防治，都直接影響吾人的健康；基於呼吸防護的需求，我們必須瞭解環境大氣的品質。科學領域中的氣膠學，即在研究空氣中的懸浮微粒。所謂的氣膠是指懸浮在氣相中的固態或液態的微粒，其粒徑範圍約在 0.001~100 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 之間。懸浮在空氣中的微小的微粒有很多的種類，例如引擎所產生的煙，聚合化學反應所形成的微粒；雲亦是一種可見的氣膠，漂浮在空氣中的生物微粒則為生物氣膠。

常見的微粒狀污染物質有粉塵(dust)、煙煙(fume)、煙(smoke)、煙霧(mist)、霧(fog)等。粉塵一般為機器粉碎、研磨所生成之固體微粒氣膠，微粒的大小從次微米到肉眼可見。煙煙為蒸氣凝結所產生或氣體燃燒所形成之固體微粒氣膠，微粒大小通常小於 1 微米。煙則為不完全的燃燒所生成的可見氣膠，微粒可能是固體或液體且其粒徑通常小於 1 微米。煙霧是由燃燒或霧化產生的液體微粒氣膠，微粒的粒徑大小範圍由次微米到 20 微米。

氣膠的性質與危害主要取決於所含微粒濃度及粒徑大小，為評估其危害，必須分析氣膠的粒徑分布；基於呼吸防護之觀點，保健物理人員所關切的是粒徑小於 10 微米的可吸入性粒子，本文中將敘述分析方法。

### 二、氣膠的性質

氣膠的性質取決於微粒大小及微粒之形狀。微粒大小是顯示氣膠行為特徵的重要參數。大部分的氣膠微粒大小含蓋了相當寬廣的範圍，最大和最小微粒的尺寸差異達一百倍是常見的，微粒大小的不同也影響氣膠性質分析使用之原理定律，一般用單一粒徑分佈的氣膠表示微粒基本性質，以粒徑分佈變化來評估氣膠之平均的特性。微粒大小的衡量標準一般是微米( $\mu\text{m}$ ， $10^{-6}$  米)或奈米(nm， $10^{-9}$  米)加以分類。工業衛生學者研究氣膠對人體的影響，將 10  $\mu\text{m}$  以下的微粒劃分為可吸入性粒子，它們會進入人體呼吸道，且依其粒徑大小沉積在鼻腔、氣管、支氣管、肺等不同位置。

微粒的形狀亦會影響粒徑的分析，液相氣膠微粒通常接近球形，但固相氣膠微粒通常有複雜的形狀，在氣膠性質理論發展方面，通常假設微粒是球形的。非球形微粒的粒徑量測時必需加入修正因子，求出等值粒徑(equivalent diameter)。相等直徑即表示不規則微粒和球形微粒有相同的物理性質時此球形微粒的直徑即不規則微粒的直徑。

### 三、氣膠粒徑的表示方法

不同形狀粒子大小的表示方法，可直接利用顯微鏡等儀器觀察，而求得幾何學直徑；或是應用粒子的空氣動力學性質，間接換算為有同等物理性狀的球形粒子。幾何學直徑主要有長徑、短徑、同等表面積徑、同等體積徑。其中長徑是指微粒安定狀態的最大長度，短徑是指垂直長徑的最大寬度。

物理換算粒徑主要有 Stokes 徑與氣動直徑。Stokes 徑是將實際微粒視為球形微粒，而求得的相同氣動特性的等值粒徑；兩者(實際微粒與球形微粒)具有相同的重力沉降速度。至於氣動直徑(aerodynamic diameter)的定義為：空氣中某粒子若和另一個比重為 1 的球形粒子具有相同的沉降速度，那麼該球形粒子的直徑就是實際微粒的氣動直徑。

至於對許多不同大小微粒(polydisperse)的氣膠粒徑分布，係以統計值表示。若以  $d_i$  代表直徑， $n_i$  代表直徑介於某一區間的微粒個數， $N$  代表微粒的總數，則氣膠粒徑分布之表達方式如下：

(1)算數平均直徑(arithmetic mean diameter)：所有微粒粒徑總合的平均。計算公式如下：

$$\bar{d}_p = \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i} \quad (1)$$

(2)中數直徑(median diameter)：所有微粒由小而大排列，中間數的微粒粒徑。

(3)眾數直徑(mode diameter)：所有微粒中出現頻率最高的粒徑。

(4)幾何平均直徑(geometric mean diameter)： $d_g = (d_1 d_2 d_3 \dots d_N)^{1/N}$

各種粒徑大小的排序為：眾數直徑 < 中數直徑 < 算數平均直徑，而單一分布(monodisperse)的氣膠微粒其中數、眾數、幾何平均徑皆等於算數平均徑。

上述的中數直徑若以微粒的個數為基準，稱個數中數直徑(count median diameter, CMD)；若用微粒的質量為基準表示，稱質量中數直徑(mass median diameter, MMD)；若以氣動直徑的質量為基準的中數直徑稱為 MMAD(mass median aerodynamic diameter)。

此外，還需計算微粒之標準偏差，以顯示微粒大小之分布。計算標準偏差 $\sigma$ 的方程式如下：

$$\sigma = \left[ \frac{\sum n_i (d_i - \bar{d}_p)^2}{N - 1} \right]^{1/2} \quad (2)$$

【下期待續】

#### 四、氣膠粒徑的分析

##### 1. 氣膠濃度及粒徑的量測分析

氣膠的狀態並不安定，微粒的分布會隨時間變化，而影響氣膠微粒粒徑分布主要的因素有(1)氣膠產生方法如凝結成長、破碎、化學反應或結合等生成條件差異，(2)混合條件：在生成及生成後的混合情況，(3)介質的層流、紊流或靜止等氣體動力學條件，(4)重力場、電場、磁場等對微粒的影響，(5)密閉或開放空間的影響。在量測的過程中，需考慮各項因素的變化。氣膠微粒的粒徑分布量測方法有很多的種類，主要利用慣性或重力沉降、擴散、光散射、電氣移動度(mobility analyzer)等物理現象或動力學原理分析求得。以下說明三種重要且常用的量測方法：

### (1) 度量微粒的光散射

光散射主要是以一光電管接收來自一個個微粒的散射光，由光的脈衝高度，轉換為粒徑分布；此型設備構造複雜，且種類繁多。近來使用高強度雷射，減低 2 個以上的微粒進入一視野內的機率，以增加微粒的鑑別能力，目前可測定的粒徑約小至 0.05 微米，濃度約為  $10^6/\text{cm}^3$ 。若已知粒徑分布，測定光散射量，即可求得微粒個數濃度。

### (2) 利用微粒的慣性力

利用微粒的慣性力執行微粒分析的儀器，主要分為串列衝擊器與石英振盪微秤式衝擊器。

串列衝擊器是由小細縫或噴嘴向捕集板噴射氣膠，藉慣性力使微粒沉降於捕集板上，如圖 1。若串列數個不同尺寸的噴嘴，便可對不同粒徑的微粒分別進行捕集。

衝擊器依噴嘴的形狀、尺寸、流量、捕集段數等的不同，有很多種產品，通常以 0.5~20 微米的微粒為捕集對象，其測定值是各段的捕集微粒質量對各段的微粒代表徑( $D_{50}$  徑)，求得重量基準的粒徑分布。以 Andersen 公司製造的 8 段衝擊器為例，模擬八種微粒粒徑在呼吸道的沉積，如圖 2。

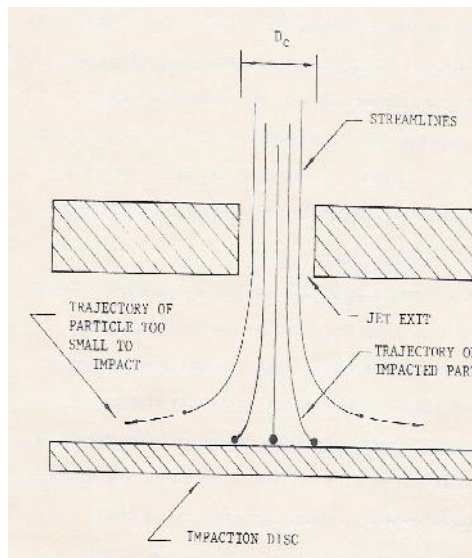


圖 1、串列衝擊器捕集微粒原理

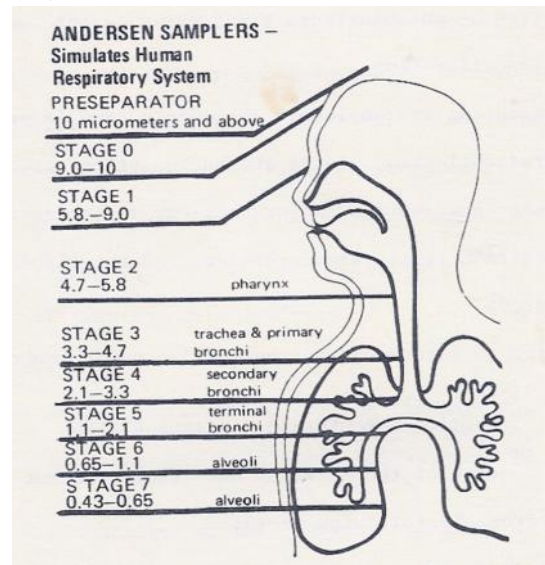


圖 2、Andersen 的 8 段衝擊器模擬八種尺寸微粒在呼吸道的沉積

串列衝擊器會因氣膠流動，使不少大微粒沉積於捕集面以外的器壁，10 微米以上的微粒在壁面沉積的損失高達 40~50%。為防止因噴嘴處流速變大，導致體積較大的固態微粒容易由捕集面再飛散，可在捕集面塗上油脂以供預防。至於衝擊器各段的捕集量，可由儀器自動量測。

石英振盪微秤式衝擊器(Quartz Crystal Microbalance, QCM)，包括一組 10 階衝擊器應用慣性衝擊捕集微粒，與一組自動進行量測計算的 control unit；粒徑測量範圍是 0.05~25 $\mu\text{m}$ ，重量濃度測量範圍是 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~60  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

此型衝擊器各階的  $D_{50}$  值表列如下。

表 1 QCM 各階對應的  $D_{50}$  徑

Stage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D_{p50}(\mu\text{m})$	25	12.5	6.4	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05

收集微粒的石英晶片，在未收集微粒前會有一基本的振盪頻率，在收集到微粒後，因微粒的重量而使石英晶片的振盪頻率改變，振盪頻率的訊號進入 control unit 中貯存與計算，由振盪頻率的改變量，可以利用下式公式換算出微粒在每一捕集板所測得的微粒總重量濃度。

$$C_i = K_i \Delta F_i / \Delta t = K_i (F_2 - F_1)_i / \Delta t \quad (\mu\text{g}/\text{m}^3) \quad (3)$$

其中  $F_1, F_2$  分別是第  $i$  階捕集板在收集微粒前後石英晶片的振盪頻率。而  $K_i$  值代表第  $i$  階的 stage constant。QCM 測量時取樣時間 ( $\Delta t$ ) 與微粒濃度的大小成反比關係。由於石英晶片上會累積所收集的氣膠，為確保石英晶片測量時的靈敏度，量測後需重新清潔各階晶片。

### (3) 測量帶電微粒的電氣移動度

為測定氣膠粒徑分布與個數濃度，經常使用掃描式電移動度粒徑分析儀 (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS)，其工作原理為：先使微粒帶電，再測定帶電微粒的電氣移動度分布，轉換為粒徑分布。此型儀器的粒徑測量範圍為 5~1000nm，濃度範圍是  $2 \sim 10^8$  particle /  $\text{cm}^3$ 。由靜電分離器 (Electrostatic Classifier) 搭配粒子計數器 (Condensation Particle Counter) 組成。量測時，氣膠樣品會先經過 EC 外部衝擊器，根據 Stokes 數，不同的入口流量會有不同的截流粒徑 (cut diameter)，因此可攔阻大於截流粒徑的氣膠住進入衝擊器。

小於截留粒徑的氣膠依序先通過中和器 (由放射性元素  $^{85}\text{Kr}$  組成)，中和氣膠電荷。電性中和後的氣膠則進入 EC，其中心有一負極棒，不同電壓時可使具有特定移動度 (mobility) 的帶正電氣膠被分離出來，並送入 CPC 中計數。移動度  $Z_p$  基本定義如下：

$$Z_p = V / E \quad (4)$$

其中  $V$  為氣膠運動速率 ( $\text{cm}/\text{s}$ )， $E$  為電場 ( $\text{V}/\text{cm}$ )， $Z_p$  的單位為  $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。具此特定移動度之氣膠，可由其帶電量、DMA 之電壓及操作流量等參數決定粒徑。進入 CPC 的氣膠首先通過蒸發器 (Evaporator)，其內是  $35^\circ\text{C}$  正丁醇飽和蒸氣，隨後進入  $10^\circ\text{C}$  的冷凝器 (condensator) 中，在此形成過飽和蒸氣。在正丁醇的蒸氣環境中，將次微米氣膠增長到 10 微米大小，再以光散射原理推算微粒個數濃度。電腦接受濃度訊息後，將對應於各移動度的濃度轉換成粒徑分佈。

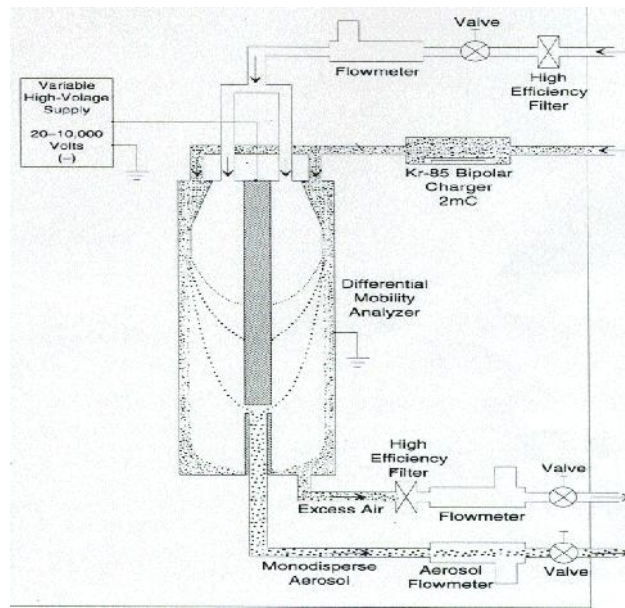


圖 3、帶電微粒的電氣移動度測量圖

改變 SMPS 的流量可測到不同範圍的微粒粒徑，大流量時可測到的粒徑小，流量小則可測到較大的微粒粒徑；因此可視量測需求選擇所需流量。

### 五、結論

氣膠濃度分布測量的重點為重量濃度及個數濃度；由個數濃度量測結果配合微粒粒徑的分布，可推算重量濃度。濃度、粒徑分布的測定有各種方法各有其特性及適用範圍；濾紙或秤量法為捕集的基本方法，其缺點為捕集時間長、不適用於不安定的微粒，且無法連續操作；其他儀器可連續操作但需考慮微粒的特性。歸納各式儀器的特性如下表：

表 2 不同測量儀器的特性

儀器	粒徑範圍	濃度範圍	量測原理	備註
ANDERSEN 8 段	0.43~11 $\mu$ m (MMAD)		慣性衝擊	可量測粒徑較大的微粒
QCM	0.05~25 $\mu$ m (MMAD)	10 $\mu$ g/m <sup>3</sup> ~ 60 mg/m <sup>3</sup>	慣性衝擊、 晶體振動頻率變化計數	需注意清潔各階晶片，以確保晶體測量的靈敏度
SMPS	0.03~1 $\mu$ m (CMD)	2 ~ 10 <sup>8</sup> particle /cm <sup>3</sup>	荷電微粒的 移動度、光散射 計數	以小於 1 $\mu$ m 微粒量測為主

在實際量測前，必須考慮氣膠微粒濃度的範圍、每項粒徑分析的儀器的特性、適用範圍、優缺點及限制、量測現場空間及微粒的性狀、產生方式、量測所需的時間，與儀靈敏度等，慎選適用的儀器。



1. 歡迎賜稿，稿件請寄新竹市光復路二段 406 號二樓或電傳(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。