

- 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、  
張寶樹、董傳中、趙君行、鄧希平、蘇獻章（依筆劃順序）
- 發行人：鄧希平 ■ 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

### ▲放射性廢棄物管理的回顧與前瞻——變革以邁向巔峰

(原能會訊)

近年來，由於各核電廠固化廢棄物產量已趨穩定的低限，原能會乃調整管理策略，從提升放廢管理人員專業技能著手，訂定視察人員資格檢定程序與運轉人員資格審查辦法，強化放廢管制及營運人員之專業訓練外，並落實管制資訊公開透明及規劃地方民眾參與監督放廢設施營運安全。其他的變革包括督促電廠引進新處理技術，將積存之廢棄物進行減容與安定化處理；參考國際安全標準訂定外釋規定，督促電廠落實廢棄物分類，將清潔的廢棄物進行外釋或資源回收利用，以提升放廢管理的安全與效率。

為了持續推動放廢減量及確保營運安全，原能會除督促電廠改善硬體設備及營運管理外，亦積極提升相關從業人員之專業技能，以厚植放廢管理之優質基礎環境。為提昇放廢處理設施運轉與管理人員專業技術，原能會已於 4 月 22 日發布「放射性廢棄物處理設施運轉人員資格審查辦法」，要求放廢設施經營者，強化運轉及管理人員之專業及法規訓練，未來並須經本會測驗合格，發給合格證明書後，始得操作或管理處理設施。另外，在提升本會視察人員專業技能方面，已訂定「放射性物料管理視察人員分級及資格審查制度」，以加強視察人員之專業訓練，依規定頒發相關視察員證書。

為落實管制資訊透明化，本會已定期將各核能設施放射性物料營運動態、檢查或審查報告等公開上網，包括各核設施環境輻射即時偵測結果，使民眾可隨時上網瞭解國內放射性物料之營運及管制動態資訊。另外，在規劃民眾參與監督放廢設施營運安全方面，本會將邀請環保人士赴蘭嶼貯存場訪查檢整作業，將訪查結果透過座談向地方人士說明，並與地方民眾洽商參與本會之檢查作業，增進蘭嶼地方民眾瞭解貯存場之營運安全，使民眾進而安心、放心。

早期國內各核能電廠的放廢年產量動輒數千桶，使得各廠均面臨倉貯容量不足的窘境。原能會乃於 78 年推動放廢減量策略，訂定各廠每年固化廢棄物產

量目標，每三年並檢討修正逐次降低。在原能會的督促下，各核能電廠除力行廢棄物分類管理，從來源減廢著手外，核三廠與核二廠已分別於 87 年及 95 年，引進新固化技術，使其固化廢棄物年產量降低至原來的 1/6 及 1/3 以下。核一廠亦已規劃改善相關處理設備，以持續進一步減廢。

目前各核能電廠累積貯存之廢棄物，除固化廢棄物以外，尚有為數不少的未固化廢樹脂及未受污染的固體廢棄物與廢金屬等。原能會已督促台電公司採用新處理技術，將未固化廢樹脂進行減容及安定化處理，以減少倉貯空間，並配合未來最終處置作業之安全要求。至於過去積存於電廠管制區內，未受到輻射污染的固體廢棄物與廢金屬，原能會已於 93 年 12 月，依據放射性物料管理法及參考國際原子能總署等相關國際規範，訂定「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」，各核電廠可依規定提送清潔廢棄物外釋計畫，經審查核准後，將該類無污染廢棄物經嚴謹的偵檢程序，確認符合規定後，以依一般事業廢棄物處理，其中廢金屬將予回收再利用，有效落實資源再利用與降低後續之處置作業負荷。

國內放廢管理在本會及業者長期的努力下，20 年來已交出亮麗的成果。配合未來核能發展情勢，原能會已調整管理策略，由提昇從業人員專業素養著手，並進一步落實管制透明與地方民眾參與監督之機制。另外，亦將推動積存廢棄物減容與無污染廢棄物外釋，使國內放廢管理進一步邁向更優質的環境。

### ▲建立本土核能技術產業化《輔導國內廠家跨越核能級產品之技術門檻》

(原能會訊)

核能研究所 3 月 30 日假福華文教會館，舉辦「核能技術產業化發展研討會」，邀請包括徐遐生院士等十位來自美、日、大陸等地區核能界及國內學研之學者、專家，與產業界共同討論我國未來核能發展，並在核能技術產業化方面集思廣益。有來自工商團體、產業界 43 個單位共 62 人，以及國科會、原能會、台電公司與核能研究所等 16 單位，共計約 130 多位參加。

原子能委員會蔡春鴻主任委員表示面對我國能源匱乏，自主能源比例小於 1%，又是一個極度仰賴出口貿易的國家；因此，我國的能源政策涉及能源安全、經濟與環境相關的影響因素。新政府在上任之後，隨即宣示將核能作為要達到二氧化碳減量目標的選項。4 月 15、16 日兩天所舉辦的第三次全國能源會議，其目的是在凝聚社會共識，以有助於政府訂定更符合民眾期望，且對於國家永續發展最有利與可行的能源政策；因此，希望本會議能對低碳家園的目標、增加低碳能源配比，有更高的共識，對積極發展再生能源，也有更積極務實的作法；並以「低碳家園」取代「非核家園」，作為共同努力的目標。

國外學者專家則說明核能在美、日與大陸之長程發展已十分清晰，以新增機組為例，未來 20 年內，美國將有 10-30 部，日本約 13 部，大陸則超過 45 部。並建議我國應儘速訂定核能之長程規劃，特別是核能之產業化方面，學者

專家亦指出對於國內之核能研發規劃，應考量如熔鹽式核反應器(MSR)與配合智慧型電網之小型核反應器等，以及務實執行核能之國際合作及人才培育。

與會的工商團體與產業界的代表，一致要求目前正運轉中之核一、二、三廠之例行維修及延役所需更換的組件與設備，應儘可能在國內採購；而未來新核能機組興建時，亦希望能有一定比例在國內採購建廠所需之材料、組件、設備、系統及人力等；並希望在核能級產品檢證技術有多年經驗的核能研究所，能出面建立核能產業資訊交流平台，輔導國內廠家跨越技術門檻，協助業界與國際核能級設備供應鏈接軌，以逐步建立本土之核能產業，同時可搭國際核能復甦的列車發展出國外市場。

### ▲清華大學環境輻射偵測之相關說明

(原能會訊)

國立清華大學一座製造碘-131 放射性藥物的生產設施，經原能會偵測調查發現有微量碘-131 放射性物質外釋情形。根據目前原能會數據顯示，外釋量遠低於法規限值，無輻射安全顧慮，對師生及附近民眾均無健康影響。但原能會仍非常重視此環境偵測數據之升高趨勢，已要求該校要求澈底查明肇因並限期提出檢討改善報告。

原能會於本年二月底審查該校提報之 97 年第 4 季環境輻射監測季報時，發現該生產設施附近植物樣品、空浮微粒及落塵之碘-131 含量，與以往數據比較有些微上升情形，隨即告知該校應進行查證及查明原因。三月下旬原能會人員前往該校追蹤了解時，發現該生產設施確實曾為提高碘-131 的產率，於進行製程修正時發生異常汽化，少量碘-131 未被安全保護設備之活性碳吸附而外釋至環境。

原能會為確認校園環境輻射之狀況，4 月 3 日派員前往清華大學取樣量測，在研究用核反應器周圍約距離 20 公尺處，所採取之龍柏樹與草樣品中，測得碘-131 人工核種(碘-131 半化期 8.04 天；加馬輻射能量 364 keV)，放射活度值介於 0.4~6.0 貝克/公斤；這些植物樣品中亦測得鉀-40 天然核種(鉀-40 半化期  $1.3 \times 10^9$  年；加馬輻射能量 1460 keV)，放射活度值介於 93~208 貝克/公斤。綜合放射活度之分析結果顯示，碘-131 活度值僅約為鉀-40 的 0.004~0.029 之間，加上碘-131 的半化期很短(8.04 天)，加馬輻射能量亦較鉀-40 為低，若以植物樣品中之碘-131 活度值推估，無輻射安全的顧慮。

### □會議訓練報導

#### ▲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	(A 組)	98 年 A4-- 7 月 22 日~29 日	(高雄)輻射偵測中心

可發生游離輻射設備操作人員研習班	36小時許可類設備	98年A5--8月24日~28日	(新竹)帝國經貿大樓
		98年A6--10月21日~28日	(高雄)輻射偵測中心
		98年A7--11月2日~6日	(新竹)帝國經貿大樓
		99年A1--1月13日~20日	(高雄)輻射偵測中心
		99年A2--1月25日~29日	(新竹)帝國經貿大樓
	(B組)18小時登記備查類設備	98年B10--06月24日~26日	(台中)文化大學推廣教育部
		98年B11--06月17日~19日	(高雄)輻射偵測中心
		98年B12--07月01日~03日	(新竹)帝國經貿大樓
		98年B13--07月15日~17日	(台北)建國大樓
		98年B14---9月2日~4日	(高雄)輻射偵測中心
		98年B15---9月9日~11日	(新竹)帝國經貿大樓
		98年B16---9月16日~18日	(台北)建國大樓
		98年B17---9月23日~25日	(台中)文化大學推廣部
		98年B18---11月11日~13日	(台北)建國大樓
		98年B19---11月25日~27日	(新竹)帝國經貿大樓
		98年B20---12月2日~4日	(高雄)輻射偵測中心
		98年B21---12月22日~24日	(台中)文化大學推廣部
		99年B1--2月2日~4日	(台北)建國大樓
		99年B2--2月24日~26日	(新竹)帝國經貿大樓
99年B3--3月3日~5日	(高雄)輻射偵測中心		
輻射防護專業人員訓練班	輻防師(12小時) 輻防員(10小時)	<b>員 15 期</b> 第一階段—7月06日~10日 第二階段—7月13日~17日 第三階段—8月03日~07日 第四階段—8月10日~13日	(新竹)帝國經貿大樓
		<b>員 16 期</b> 第一階段-12月14日~18日 第二階段-12月21日~25日 第三階段-99年1月4日~8日 第四階段-99年1月11日~14日	
		<b>進階 11</b> 99年1月20日~22日(進11-1)	
		99年2月3日~5日(進11-2)	
鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班	鋼--98年6月18日~19日	高雄	
	鋼--98年6月23日~24日	(新竹)帝國經貿大樓	
	鋼--98年12月3日~4日	高雄	
	鋼--98年12月10日~11日	(新竹)帝國經貿大樓	
98年度輻射防護教育訓練	98年6月09日(二)6小時	(高雄)	
	98年6月19日(五)3小時	(新竹)	
	98年6月30日(二)3小時	(高雄)	
	98年10月29日(四)3小時	(高雄)	
	98年11月05日(四)3小時	(台北)	
	98年11月19日(四)3小時	(新竹)	

## □專題報導

### ▲有效劑量淺論

(輻協訊)

【接續 96 期】

有效劑量是由參考男性器官或組織T的等價劑量的  $H_T^M$  與參考女性器官或組織T的等價劑量  $H_T^F$  評估計算，如下式所示

$$E = \sum_T W_T \left[ \frac{H_T^M + H_T^F}{2} \right] \quad (3)$$

其中在性別指定差異的情形是以女性卵巢癌症發生率的相對危害為基礎，針對性腺(癌症加上遺傳效應)性別的 averages 的組織加權因數為0.08，是由女性卵巢(0.036)加上遺傳效應(0.039)而得。

針對甲狀腺相對危害值是以女性(0.021)與男性(0.008)癌症的發生率為基礎，其中相差為3倍。然而，針對甲狀腺的組織加權因數為0.04，對於有較高輻射敏感性的兒童，其甲狀腺採用0.04的數值，委員會認為已經足夠的。在性別間危害差異的考量，就輻射防護的觀點是一種保守的做法。

此外，另一組很重要組織加權因數即為剩餘組織，在1977年的第26號出版物時，剩餘組織的組織加權因數為0.3，是由5個受照射量最高的剩餘組織劑量的算術平均值，每一個組織被分配到0.06，在這一個評估過程中會導致有效等效劑量的評估缺乏可相加性，因為5個組織可能會因為不同的照射情形下(體內或體外)曝露有所變動。1991年的第60號出版物雖然將剩餘組織的組織加權因數降低成0.05(所謂的分離原則，splitting rule)，但是仍缺乏了可相加性，是針對10個特定組織與器官的平均值。在第60號出版物後，剩餘組織的劑量是由剩餘組織的等價劑量，使用其質量的加權的平均來定義，由於在剩餘組織中具有不同的質量，所以特定組織與器官貢獻到剩餘組織的劑量是有所不同的。如肌肉有大的質量，但因為其輻射敏感度較低，所以有效的加權因數為0.05。

第103號出版物針對代表兩性平均的剩餘組織劑量的算術平均，與其他器官組織方法是相似的，對於剩餘組織的等價劑量是針對男性與女性分別定義，對於兩性所指定的有12個組織，另一個組織則對每個性別分別指定(男性的前列腺與女性的子宮/頸部)，總和有13個組織，剩餘組織的等價劑量男性為  $H_{rmd}^M$  與女性為  $H_{rmd}^F$  計算如下：

$$H_{rmd}^M = \frac{1}{13} \sum_T^{13} H_T^M \quad \text{和} \quad H_{rmd}^F = \frac{1}{13} \sum_T^{13} H_T^F \quad (4)$$

輻射防護目的有效劑量是以人體器官或組織的平均劑量為基礎，由參考人來定義與計算，如圖2。這個量所提供的值考慮了曝露情境但未考慮特定個人的特性，平均劑量乘上所對應的組織加權因數，其積之總和得到參考人性別平均有效劑量。

#### 四、有效劑量的應用

有效劑量或其對應體外曝露轉換係數以及體內曝露的劑量係數的計算，是以吸收劑量、加權因數( $W_R$ 和 $W_T$ )與其器官與組織參考值為基礎，基本上是年齡與性別平均值，不是對於特定的個人，而是針對所給予的曝露情境下的參考人。一般來說是限制機率效應(癌症與遺傳效應)的發生，並不適用於組織反應的評估。故在輻射防護上是針對職業工作人員與一般公眾成員，其主要用途如下：

1. 就規劃與防護最適化預期劑量的評估；
2. 為驗證符合劑量限度的回溯性的劑量評估，或與劑量約束或參考基準的比較。

下述情形在使用有效劑量時，可能是不適當的

1. 游離輻射醫療診斷與治療過程中，有效劑量的使用，因工作人員與一般人口的年齡分布與可能使用游離輻射接受醫療程序的病人有點不同。
2. 醫療曝露的放射診斷及介入過程，組織與器官只有局部接受曝露或接受曝露非常不均勻時，使用有效劑量評估病人醫療曝露。
3. 意外事故情形下，可能會引起的組織反應(確定效應)，必須以吸收劑量的估計與適當的RBE為基礎。
4. 有效劑量是作為防護量，使用是以參考值為基礎，因此不建議在流行病學評估，也不應使用於特定的回溯性個人曝露與風險度研究。

#### 五、主要的結論與建議

針對輻射防護的目的在劑量範圍到達 100mSv(單次或年劑量)的歸因於輻射的健康效應有：

1. 在低劑量或低劑量率針對癌症與遺傳疾病的誘發，使用簡單的比例關係，劑量上升時危險度也增加，是一種科學上合理的假設。
2. 第60號建議的劑量與劑量率效能因數為2，仍然維持在目前的輻射防護體系中。
3. 提出了新的輻射危害值與組織加權因數( $W_T$ )，與第60號出版物最大的差別即乳腺，性腺與剩餘組織的處理； $W_T$ 的改變為乳腺從0.05到0.12；性腺從0.20到0.08；剩餘組織從0.05到0.12，且使用新的相加系統。
4. 以癌症發生數據，針對癌症危害調整的標稱危險度係數對於全人口為 $5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ ；成年工作人員為 $4.1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ ，第60號出版物分別為 $6.0 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 與 $4.8 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
5. 針對到第二代的遺傳疾病的危害調整的機率係數對全人口為 $0.2 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ ；對成年工作人員為 $0.1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ ，第60號出版物分別為 $0.3 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 與 $0.8 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (相關的危險度是理論上的平衡且似乎不再出現)
6. 在子宮內受曝露的癌症危險度判斷不會比在幼年時期更高。
7. 輻射誘發組織反應(確定效應)劑量反應在成人與兒童皆然。判斷是有一個真實的低限劑量，將導致低劑量下無危險度，進一步考慮針對白內障

的劑量低限範圍。

8. 在子宮內輻射誘發的組織反應的劑量反應，低限值為100mGy以上。
9. 低劑量下非癌症的危險度仍然是不確定且沒有特定的見解是可能的。

### 七、參考文獻

1. International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP 21(1-3), (1991)
2. International Commission on Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Annals of the ICRP 37(2-4), (2007)
3. The National Academies, Health Risk From Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR VII Phase 2, Washington D.C. (2006)

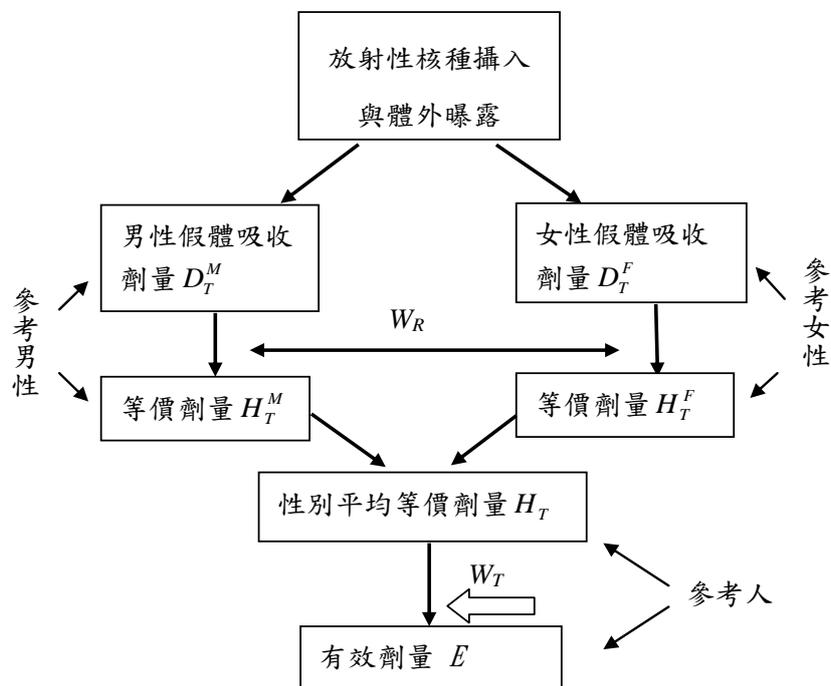


圖 2 性別平均所得的有效劑量

### ▲游離輻射防護安全標準之人員劑量評估

(輻協訊)

#### 一、前言

民國 97 年 1 月 1 日實施的游離輻射防護安全標準(以下簡稱安全標準)，依據游離輻射防護法第五條規定，「為限制輻射源或輻射作業之輻射曝露，主管機關應參考國際放射防護委員會最新標準訂定游離輻射防護安全標準，並應視實際需要訂定相關導則，規範輻射防護作業基準及人員劑量限度等游離輻射防護事項」。內容係參考國際放射防護委員會 1991 年第 60 號報告(ICRP-60)、1994 年的第 66 號報告與第 68 號報告、1996 年國際原子能總署之 IAEA-115 號

報告、1999 年英國之輻射防護規則(Statutory Instrument 1999 No. 3232, The Ionising Radiations Regulations 1999)、美國核能管制委員會之游離輻射防護安全標準(10 CFR 20, Standards for Protection Against Radiation) 及相關的國際文獻等規定制定。

ICRP 第 60 號報告(1991)，所提出的輻射防護目標，在以利益的前提並確保人的安全之下，輻射作業不應受到不正當的限制。此外應防止個人發生確定效應及減少機率效應的發生。為了達到上述輻射防護的目標和目的，提出之輻射防護體系建議，是建構在正當化、最適化及限制化三個原則之下。因此在安全標準內容揭櫫了以防止確定效應損害之發生及抑低機率效應的發生率，藉以達成輻射劑量限制之目的，故輻射作業應符合利益須超過其代價、考慮經濟與社會因素後，一切曝露應合理抑低以及個人劑量不得超過標準的規定值。

## 二、防護量

### 1. 等價劑量

個人劑量仍維持與過去定義相同，指的是個人接受體外曝露與體內曝露所造成劑量之總和，不包括由背景輻射曝露及醫療曝露所產生的劑量。

體外劑量部份，以吸收劑量乘以輻射加權因數所得的劑量稱為等價劑量。名稱改變是因為輻射加權因數來代替過去用的射質因數。輻射  $R$  的混合場中，器官  $T$  的等價劑量是各個輻射的輻射加權因數( $W_R$ )與其吸收劑量( $D_{T,R}$ )的乘積求和而得，為：

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R} \quad (1)$$

其中  $H_{T,R}$  為輻射  $R$  在組織或器官  $T$  中所產生的等價劑量，單位為西弗(Sv)； $W_R$  為輻射  $R$  的輻射加權因數； $D_{T,R}$  為輻射  $R$  在組織或器官  $T$  內的平均吸收劑量。若輻射場是由具有不同  $W_R$  值的不同類型的輻射所組成時，等價劑量由下式表示：

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R} \quad (2)$$

其中  $H_T$  為組織或器官  $T$  中所受的等價劑量，單位為西弗(Sv)。

在輻射防護上，要注意的是一個組織或器官的平均吸收劑量，而非單一點上的劑量，並要對相關的輻射特質來進行加權。為此目的而假設的這個加權因數，即為輻射加權因數。那些入射到身體或侵入體內之輻射，是依據其射源的種類和能量來決定的。這種加權過的吸收劑量本質上也是一種輻射劑量，稱為組織或器官的等價劑量(Equivalent dose)。

輻射加權因數  $W_R$  指為輻射防護目的，用於以吸收劑量計算組織與器官等價劑量之修正因數，是依體外輻射場之種類與能量或沈積於體內之放射性核種發射之輻射的種類與其射質而訂定，能代表各種輻射之相對生物效應，輻射加權因數如表 1。

對於特定種類與能量的輻射，其輻射加權因數的數值，是依據該類輻射在

低劑量所造成之機率性效應的相對生物效能值(Relative Biological Effectiveness, RBE)。不同輻射之間的相對生物效能值，是指會產生相同的特定生物效應時，其輻射吸收劑量比值的倒數。 $W_R$  的值和  $Q$  的值大致上相當接近。而  $Q$  值和直線能量轉移(Linear Energy Transfer, LET)有關，就是游離輻射在介質中行進時，其沿途所產生游離密度。輻射加權因數的選定，對於低 LET 的輻射，輻射加權因數均取為 1；對於其他的輻射則根據有關 RBE 的資料來決定。

當輻射場包含許多不同種類和能量的輻射時，吸收劑量的計算必須分成好幾部份，每部份都依其  $W_R$  值來加權，然後再將個別的等價劑量總加起來。另外，也可以用能量連續分布的方式來表示每單元的吸收劑量。束縛於(DNA)的原子所發射之鄂惹電子，因為它無法代表整個 DNA 質量的平均吸收劑量，而等價劑量的定義以平均劑量為基礎，故產生了特別的困難。故鄂惹電子造成的效應，必須用微劑量學的技術來評估與分析。

表 1 各類輻射加權因數<sup>(1)</sup>

輻射種類與能量區間 <sup>(2)</sup>	輻射加權因數 $W_R$
所有能量之光子	1
所有能量之電子及 $\mu$ 介子 <sup>(3)</sup>	1
中子 <sup>(4)</sup> 能量<10 千電子伏(keV)	5
10 千電子伏(keV)—100 千電子伏(keV)	10
>100 千電子伏(keV)—2 百萬電子伏(MeV)	20
>2 百萬電子伏(MeV)—20 百萬電子伏(MeV)	10
>20 百萬電子伏(MeV)	5
質子(回跳質子除外)能量>2 百萬電子伏(MeV)	5
$\alpha$ 粒子，分裂碎片，重核	20

(1)表中數值均與入射至人體或發自體內之輻射有關。

(2)表中未述及之輻射種類或能量範圍，其加權因數可依公式(1)及(2)求得。

(3)束縛於去氧核醣核酸(DNA)之原子發射之奧杰電子(Auger electrons)除外。

(4)中子之輻射加權因數詳如圖 1 所示。若中子輻射加權因數之計算必須使用連續函數，則可使用近似公式： $W_R = 5 + 17e^{-(\ln(2E))^2 / 6}$ ， $E$  為中子能量(MeV)。

## 2.有效劑量

機率效應發生的機率不僅與吸收劑量有關，而且與輻射的種類和能量有關。因此，為了適用於組織和器官的平均吸收劑量的一種概念，對加權因數作了新的定義。就這樣應用輻射生物學的知識來考慮把這些新加權的因數定義為輻射加權因數。

機率效應的發生機率和等價劑量之間的關係，和被照射的器官或組織有關。因此可以由等價劑量，定義出一個新的物理量，來表示組織受到不同劑量

時，可能產生的整體機率效應。無論是全身均勻的或是不均勻的曝露，有效劑量都可以與全身均勻曝露時的機率效應的發生機率相關聯。它代表當整個身體受到均勻的輻射照射時，該器官或組織的傷害占整體損害的比率。

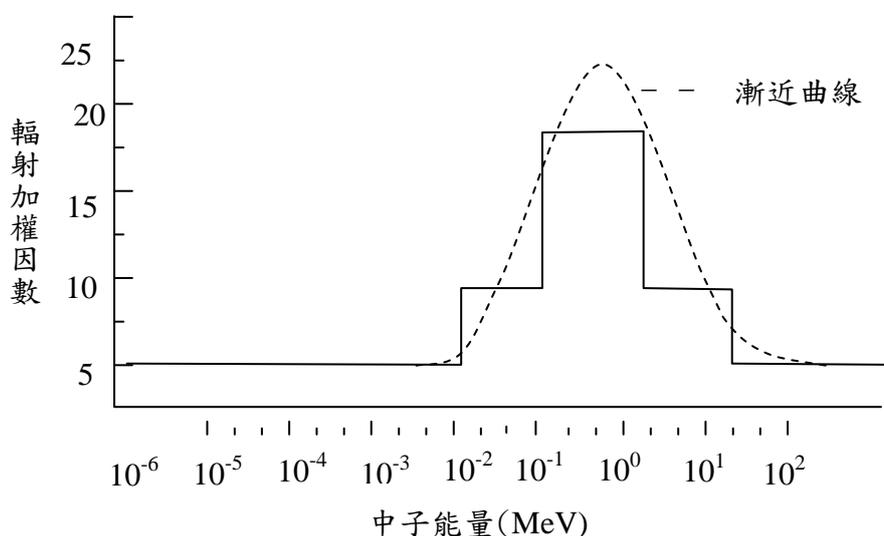


圖 1 中子之輻射加權因數

這個在組織或器官 T 中的等價劑量因數，稱為組織加權因數  $W_T$  (tissue weighting factor)。組織加權因數，在新的輻射效應知識基礎上重新研究後作出決定的。有效劑量相當於 1977 年建議書中有效等效劑量，名稱的變更是由於從等效劑量變為等價劑量。有效劑量可以由表 2 所列的組織加權因數，乘以各器官和組織的等價劑量然後求和而得。組織加權因數  $W_T$  指為輻射防護目的，用於以各組織或器官等價劑量  $H_T$  計算有效劑量之修正因數。此一因數係考慮不同組織或器官對輻射曝露造成機率效應之敏感度而訂定。

加權過的等價劑量，以往稱為有效等效劑量 (Effective Dose Equivalent)。現在使用比較簡單的名字，即有效劑量 E (Effective Dose)。有效劑量名稱的改變和等價劑量名稱的改變有關。但和組織加權因數的程度與個數的改變則沒有關聯。有效劑量的單位也是  $J \cdot kg^{-1}$ ，它的專有名詞也是西弗 (Sv)。

加權因數的選定，考慮了低劑量時的機率效應的 RBE。因此不能用評估確定效應的劑量。器官和組織的輻射敏感性的相對值對等價劑量進行加權，再對所有受曝露的器官和組織求和，所得即為有效劑量。

組織加權因數之確定是選擇了 12 個已知其輻射敏感性的器官和組織，其他器官和組織作為其餘組織來處理。其餘組織有腎上腺、腦、上段大腸、小腸、腎、肌肉、胰臟、脾臟、胸腺和子宮等共 10 個。在其餘組織當中，有某一組織受到超過表 2 中的 12 個組織和器官的劑量曝露的情況下，該組織的加權因數取為 0.025，而剩下的其餘組織的平均等價劑量亦取加權因數 0.025。關於其餘組

織的平均等價劑量，是基於該其餘組織全體的平均吸收劑量，故採用以各組織的質量加權平均的等價劑量。其定義如下：

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (3)$$

其中  $E$  為有效劑量，單位為西弗(Sv)； $H_T$  為組織或器官  $T$  所受的等價劑量，單位為西弗(Sv)； $W_T$  為組織或器官  $T$  的組織加權因數。

由等價劑量的定義可得：

$$E = \sum_T W_T \cdot \sum_R W_R \cdot D_{T,R} \quad (4)$$

其中  $W_R$  為輻射  $R$  的輻射加權因數； $D_{T,R}$  為輻射  $R$  在組織或器官  $T$  內的平均吸收劑量。

全身受均勻的等價劑量，則其有效劑量的數值應該要等於此均勻的等價劑量。此可將組織加權因數的總和定為 1。輻射加權因數的值只和輻射的種類與能量有關，而與組織或器官無關。同理，組織加權因數的值也和入射身體的輻射種類和能量無關。這種簡化對實際的生物現象而言，可能只是一種假設。但它使得我們在用劑量學的方法來定義體外的輻射場時，不必考慮特定的靶器官。

有效劑量或其對應體外曝露轉換係數以及體內曝露的劑量係數的計算，是以吸收劑量、加權因數( $W_R$  和  $W_T$ )與其器官與組織參考值為基礎，基本上是年齡與性別平均值，不是對於特定的個人，而是針對所給予的曝露情境下的參考人。(其應用請參見輻射防護簡訊第 96 期)。

表 2 組織加權因數<sup>(1)</sup>

組織或器官	組織加權因數 $W_T$	組織或器官	組織加權因數 $W_T$
性腺	0.20	肝	0.05
紅骨髓	0.12	食道	0.05
結腸	0.12	甲狀腺	0.05
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
膀胱	0.05	其餘組織或器官	0.05 <sup>(2)(3)</sup>
乳腺	0.05		

- (1) 表中的數值係由參考人口導出，此一參考人口具有相同人數之男女性別，及很廣之年齡範圍。在有效劑量之定義中，這些數值適用於工作人員、全人口及男女兩性。
- (2) 其餘組織或器官：指腎上腺、腦、大腸之上段、小腸、腎、肌肉、胰、脾、胸腺以及子宮。這些組織或器官中包括可能受選擇性照射(selectively irradiated)之組織或器官。表中某些組織或器官已知易於受輻射誘發癌症。如果其他組織與器官未來經認定具癌之危險度，亦將納入本表，並引用指定之加權因數或納入其餘組織或器官。後者亦可包括可能受選擇性照射之組織或器官。
- (3) 其餘組織或器官中其中單一項之等價劑量，若超過表中 12 個具有特定加權因數之組織

或器官中任一具最高劑量者，則使用 0.025 為該組織或器官之加權因數，另 0.025 用以作為其餘組織或器官之平均劑量加權之用。

### 三、作業量

防護量(等價劑量與有效劑量)是不可直接度量，不能直接用在輻射監測，作業量是取代有效劑量(E)與等價劑量(H<sub>T</sub>)評估的量測，針對體外曝露是以等效劑量來執行。等效劑量之定義與過去類似，射質因數 Q(L)為以國際放射防護委員會在第 60 號報告中規定之水中非限定線性能量轉移 L 表示之。射質因數可針對輻射加權因數中未包括之輻射類型或能量，以人體組織等效球中 10 毫米深處之  $\bar{Q}$  值作為 W<sub>R</sub> 值，其公式如下：

$$\bar{Q} = \frac{1}{D} \int_0^{\infty} Q(L)D(L)dL \quad (5)$$

其中 D 為吸收劑量，D(L)為 D 對於 L 中之分布。

$$Q(L) = \begin{cases} 1 & (L \leq 10) \\ 0.32L - 2.2 & (10 < L < 100) \\ 300/\sqrt{L} & (L \geq 100) \end{cases} \quad (6)$$

上述之 L 之單位為 keV · μm<sup>-1</sup>，Q(L) = 0.32L - 2.2 其中 L 的範圍應為 10 < L < 100，並非安全標準中所列 10 < L ≤ 100(參見 IAEA-115)。

安全標準之等效劑量，是用來評估體外輻射之作業量，為了人員監測及輻射防護目的而定，區分為

- (1)人員監測使用之量為個人等效劑量 H<sub>p</sub>(d)，d 為人體組織之深度，分為強穿輻射及弱穿穿輻射。
- (2)地區監測使用周圍等效劑量 H\*(d)及定向等效劑量 H'(d,Ω)，d 指人體組織等效球之深度，Ω 為入射角。

在這些作業量中對強穿輻射而言，d 取 10 mm；對弱穿輻射而言，為評定皮膚與四肢劑量之目的，d 取 0.07 mm；為評定眼球水晶體劑量之目的，d 取 3 mm。

周圍等效劑量是由國際輻射單位與度量委員會所定義，為地區監測之作業量。指輻射場中指定點之等效劑量，其定義為相應之擴展齊向場在人體組織等效球內逆齊向場之徑向，自球面起算深度軟組織處所產生之等效劑量，對於強穿輻射，指 10 mm 深度軟組織處；對於弱穿輻射深度軟組織處，指 0.07 mm；若考慮眼球水晶體之曝露，指 3 mm 深度軟組織處。

【下期待續】

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。