

核災狀況下體內輻射曝露之劑量評估研究

作者簡介

作者劉衛蒼少校，畢業於中正理工學院正56期、國立中央大學統計研究所畢業，具原能會輻射防護師證照，歷任排長，副連長，毒化組組長、工儀組組長，現職為本校核生化防護研究中心輻射檢測組組長。

提要

- 一、核災應援為國軍化學兵部隊主要任務之一，執行核災應援任務時，可能會與放射性物質接觸而造成體外輻射曝露及體內輻射曝露，適時評估救災人員所接受輻射劑量，確保救災官兵輻射安全。
- 二、個人輻射劑量佩章只能量測體外輻射劑量，若進一步想得知體內輻射劑量則須考量放射性核種種類、進入體內途徑、評估對象及年齡群等因素來實施評估，國際間已有ICRP-66及IAEA-115提供相關劑量轉換因子等數據來評估體內輻射劑量，並正式列入國內97年正式施行之「游離輻射防護安全標準」中，作為國內執行個人體內輻射劑量評估之重要法規依據。
- 三、國軍化學兵部隊擔任「核生化防衛、反恐、救災」任務，藉由手提式輻射偵檢器或是劑量佩章來評估救災官兵所接受之輻射劑量，其作法並不嚴謹，還須考量救災官兵所接受之體內輻射劑量，每位化學兵幹部均應嫻熟於如何評估體內輻射劑量，除可提昇本軍化學兵專業輻射防護知識外，對實際參與核災救援任務提供最有效的人員輻射安全保障。

壹、前言

核災應援為國軍化學兵部隊任務之一，執行核災應援任務時，可能會與放射性物質接觸而造成輻射曝露(註)，常見的輻射曝露有兩種，其一為體外曝露(External exposure)係指游離輻射由體外照射於身體之曝露，另一種為體內曝露(Internal exposure)係指由侵入體內之放射性物質所產生之曝露。接獲核災應援任務後，即需規劃如何完成應援任務並考量參與任務之官兵可能接受之輻射劑量，藉由適當防護裝具來降低人員接受之輻射劑量。另須考量應變人員接受之輻射劑量是否超過法規劑量限度，體外劑量可由人員佩帶個人輻射劑量佩章(或個人輻射警報器)之讀值，來推算人員所接受之體外輻射劑量，而體內輻射劑量可由全身計測量測或由生化分析來量測體內放射性核種種類及其活度，全身計測可直接自體外計測體內所含的放射性核種及活度，此計測適用於體內污染核種為加馬核種或是高能量貝他核種，若是量測之體內污染核種為阿伐核種、低能量貝他核種只有透過生化分析方法來量測，藉由人體排泄物(如尿液)來間接推算體內劑量，生化分析得到的數據為核種及其活度，如何由核種活度推算成約定有效劑量，可透過劑量轉換因子將活度轉換成有效劑量，本篇文章將介紹劑量轉換因子，及如何將體內污染的放射性核種及活度推算成體內輻射劑量也是本文研究的另一個重點。

貳、本文

一、輻射單位簡介

實施人員輻射劑量評估時，所需使用之單位依國內主管機關行政院原子能委員會(原能會)所訂定之「游離輻射防護安全標準」可以得知下列輻射單位：

(一)活度(Activity)：指一定量之放射性核種在某一時間內發生之自發衰變數目，其單位為貝克，每秒自發衰變一次為一貝克。

(二)吸收劑量(absorbed dose)：指單位質量物質吸收輻射之平均能量，其單位為戈雷，一千克質量物質吸收一焦耳能量為一戈雷。

(三)個人等效劑量：指人體表面定點下適當深度處軟組織體外曝露之等效劑量。對於強穿輻射，為十毫米深度處軟組織；對於弱穿輻射，為○·○七毫米深度處軟組織；眼球水晶體之曝露，為三毫米深度處軟組織，其單位為西弗。

(四)器官劑量：指單位質量之組織或器官吸收輻射平均能量，單位為戈雷。

(五)等價劑量(HT)：指器官劑量與對應輻射加權因數乘積之和。輻射R在組織或器官T中產生的等價劑量 $H_{T,R}$ 是組織或器官T中的平均吸收劑量 D_T ，R與輻射加權因數 W_R 的乘積，詳如公式(1)所示，單位為($J \cdot kg^{-1}$)，亦為西弗(Sv)，其輻射加權因數如表1所示。

(1)

(六)約定等價劑量：指組織或器官攝入放射性核種後，經過一段時間所累積之等價劑量，其單位為西弗。一段時間為自放射性核種攝入之日起算，對十七歲以上者以五十年計算；對未滿十七歲者計算至七十歲，詳如公式(2)所示。

(2)

式中 H_T 為約定等價劑量，單位為西弗(Sv)； A_0 為攝入放射性物質的時刻； $\dot{H}_T$ 為t時刻組織或器官T的等價劑量率； τ ：攝入放射性物質之後經過的時間，如未對 τ 加以規定時，對17歲以上者， τ 取50年；對未滿17歲者，攝入計算至70歲。

(七)有效劑量(E)：指人體中受曝露之各組織或器官之等價劑量(H_T)與各該組織或器官之組織加權因數乘積 W_T 之和，單位為西弗(Sv)，詳如公式(3)所示，其組織加權因數如表2所示。

(3)

(八)約定有效劑量：指各組織或器官之約定等價劑量 與組織加權因數

W_T 乘積之和，其單位為西弗，詳如公式(4)所示。

(4)

表1 各類輻射加權因數

輻射種類與能量區間	輻射加權因數 W_R
所有能量之光子	1
所有能量之電子及 μ 介子(3)	1
中子(4)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
α 粒子，分裂碎片，重核	20

資料來源：游離輻射防護安全標準附表一之一

表2 組織加權因數

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
乳腺	0.05		

資料來源：游離輻射防護安全標準附表一之二

二、體內輻射劑量(Internal Radiation Dose)評估方法

評估方法可參考「游離輻射防護安全標準」之附表三，評估方法詳如公式(5)

$$E_T = \sum_j h(g)_{j,ing} \cdot I_{j,ing} + \sum_j h(g)_{j,inh} \cdot I_{j,inh} \quad (5)$$

式中1) E_T 為有效劑量，單位為西弗。

2) $h(g)_{j,ing}$ 及 $h(g)_{j,inh}$ 分別為 g 年齡群組人員嚥入或吸入放射性核種 j 每單位攝入量產生之約定有效劑量。

3) $I_{j,ing}$ 及 $I_{j,inh}$ 分別為同一期間經由嚥入或吸入途徑攝入放射性核種量。

公式(5)後是參考ICRP(International Commission on Radiological Protection；國際放射防護委員會)第60號報告，其內容針對輻射工作人員之放射性體內污染，建議採用組織或器官50年內的約定等值劑量及全身的約定有效劑量，做為評估體內輻射劑量的依據。另參考ICRP-66、ICRP-68號報告，提出依懸浮微粒之活度中位數空氣動力學直徑(activity median aerodynamic diameter, AMAD)及活度中位數熱力學直徑(activity median thermodynamic diameter, AMTD)的分類，以及懸浮微粒之F(fast soluble)、M(moderate soluble)、S(slow soluble)的溶解度分類，利用參考人(reference, 註)的隔室模式(compartment model)數據評估體內劑量。輻射健康效應分為確定效應(註)及機率效應(註)，而體內輻射劑量是用來評估輻射健康效應的重要參據。

體內輻射曝露因放射性污染經由呼吸或飲食侵入體內，(註)經由飲食系統攝入造成體內曝露，污染物在腸胃道中滯留一段時間，可溶性污染物隨即被吸收進入血液，不溶性污染物則由糞便排出體外，而進入血液的污染再經循環、吸收、代謝後，部分沉積在組織或器官中，部分由肝、膽作用回到腸胃系統，部分由腎作用從尿中排出，部分由皮膚作用從汗中排出，其流程如圖1所示。另外由呼吸系統攝入鼻中之放射性污染，先在呼吸道中滯留一段時間，可溶性污染物隨即被吸收進入血液，不溶性污染物或滯留肺中、或轉至腸胃道、或呼出體外，而進入血液的污染即如上所述，部分沉積在組織或器官中，部分由肝、膽作用回到腸胃系統，部分由腎作用從尿中排出，部分由皮膚作用從汗中排出。以下就進入體內後呼吸道與腸胃道隔室模式簡介，了解放射性污染物如何代謝及沉積。

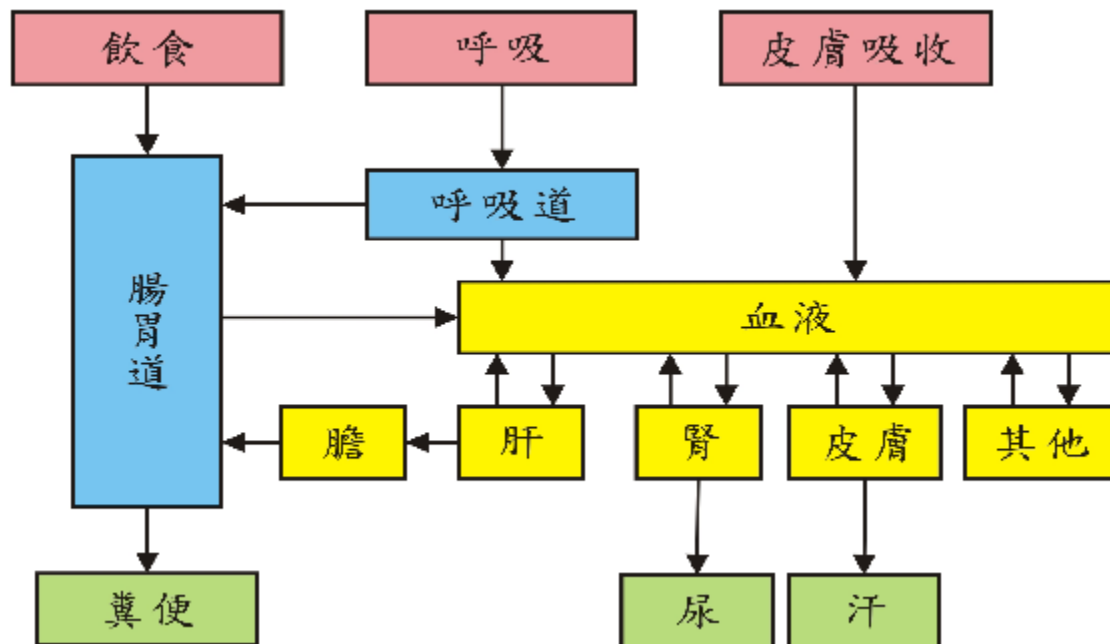


圖1 放射性污染進入體內後在組織器官沉積及滯留示意圖

圖片來源：作者繪製

(一)腸胃道隔室模式

腸胃道隔室模式是參考ICRP -30報告，在ICRP-66、ICRP-68並無建立新模式，ICRP 建議的腸胃道隔室模式，係將腸胃道劃分為四個隔室，分別為胃(ST)、小腸(SI)、大腸上部(ULI)、大腸下部(LLI)，如圖2所示的胃腸道模式途徑，當所食入的放射性核種經由食道進入胃以後，放射性核種會繼續地經由胃而進入小腸。小腸有兩條通道，一條通往體液或血液，一條通往大腸上部。假設小腸通往體液的通道為食入放射性核種到達體液的唯一途徑。倘若食入的放射性核種沒有被體液吸收，則會經由大腸上部與大腸下部而在排泄物中排出體外。假設核種代謝率常數 (metabolic rate constant) 為 λ_B ，小腸隔室的移除常數為 λ_{SI} ，所以食入之核種到達體液的分數為 f_I ，其公式如(6)所示

(6)

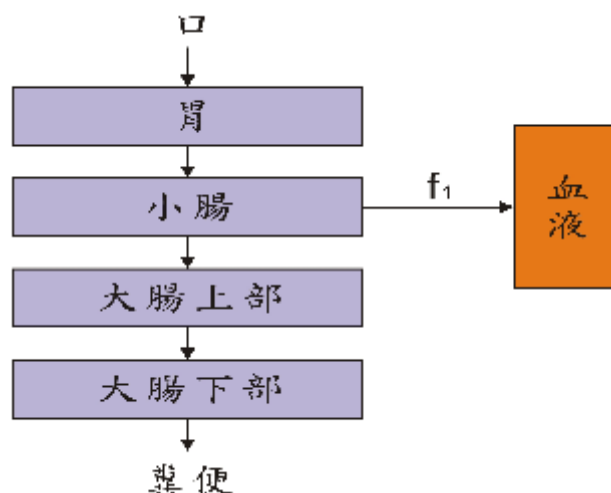


圖2 腸胃道隔室模式(圖片來源：作者繪製)

(二)呼吸道隔室模式

ICRP-30報告將呼吸道劃分為三大隔室詳如圖3所示，即鼻咽(NP)、氣管與支氣管(TB)、肺(P)，然後依照懸浮微粒的空氣動力學直徑(AMAD) 及溶解度(D,W,Y)決定這些微粒在NP、TB、P 中的沉積分率及生物滯留時間。隨著新的動物實驗及醫學研究結果(註，ICRP -66 號報告中設計了新的呼吸道隔室模式，詳如圖4所示。根據此模式，呼吸道仍劃分為三大部分，第一部分為胸腔外之前鼻通道(ET1)及後鼻通道與咽部(ET2)、第二部分為胸腔內之氣管與支氣管(BB)及細支氣管(bb)、第三部分則為肺(AI)。因沉積在BB及bb內膜淺表層上的懸浮微粒，可經由纖毛的擺動，遷移至鼻後(ET2)再吞食到胃腸道(GI)，這一部分的隔室以BB1 及bb1 表示。而沉積在BB 及bb 內膜較深層上的懸浮微粒，因滯留時間較久，故以BB2 及bb2表示。最後沉積在BB 及bb 內膜很深層上的懸浮微粒，則被吸收至淋巴(LN)，這一部分的隔室是以BBseq 及bbseq 表示。根據此一隔室模式，可依照懸浮微粒的空氣動力學直徑(AMAD) 及熱力學直徑(AMTD)，以及溶解度(F,M,S)，決定這些微粒在ET1、ET2、BB、bb、AI 中的沉積分率及生物滯留時間。利用此一新的呼吸道隔室模式，經ICRP 及IAEA研究結果，演算出各放射性核種體內輻射劑量轉換係數，提供使用者評估體內輻射劑量用，及進一步規範輻射工作場所年攝入限度，以符合輻射防護相關法規規定。

圖3 ICRP-30呼吸道隔室模式

(圖片來源：清大醫環系董傳中教授上課講義)

呼吸道隔室區間	器官	
	英文名稱	中文名稱
ET ₁ (鼻部區域)	Anterior Nasal Passage	前鼻道
	Posterior Nasal Passage	後鼻道
ET ₂ (口腔部區域)	Pharynx Nasal Part	喉鼻部
	Pharynx Oral Part	喉口部
	Larynx	咽
BB(支氣管區域)	Trachea	氣管
	Main Bronchus	主分支支氣管
	Bronchus	支氣管
bb(細支氣管區域)	Bronchiolus	細支氣管
	Terminal Bronchioles	終端細支氣管
AI (Alveolar interstitial ：肺泡間質區域)	Respiratory Bronchioles	呼吸細支氣管
	Alveolar Duct +	肺泡管
	Alveoli	肺泡

呼吸道隔室模式 (ICRP-66)

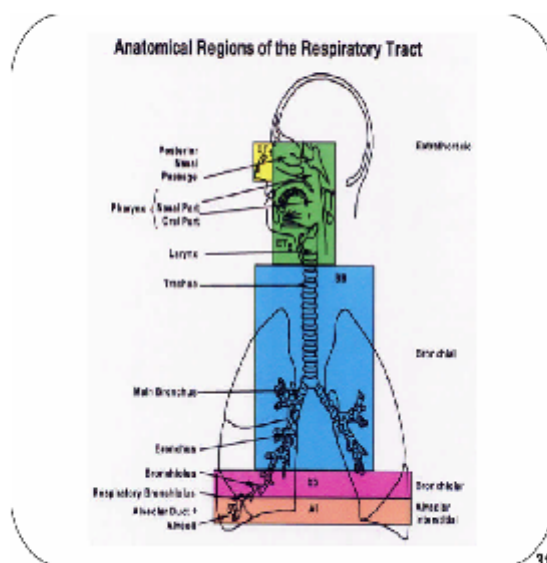


圖4 ICRP-66呼吸道隔室模式

圖片來源：ICRP-66號報告，p107

「游離輻射防護安全標準」附表三即提供各種狀況下評估個人體內輻射劑量之各項參數，這些數據來源是參照ICRP-60號(1991年版)、ICRP-66(1994年版)、ICRP-68(1994年版)及IAEA-115(1996年版)所提供之參數制定而成，作為評估個人體內輻射劑量重要參考數據，目前附表3共有十張附表，各附表之用途詳如表3所示。

表3 游離輻射防護安全標準(註)各附表之用途(資料來源：作者整理)

附表	參數表之用途
三之一	輻射工作人員吸入及嚥入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量， $h(g)$ (西弗/貝克， $Sv Bq^{-1}$)
三之二	用於計算輻射工作人員嚥入每單位攝入量所產生約定有效劑量之腸轉移因數 f_1 及對應之化合物
三之三	各元素肺吸收類別、用於計算輻射工作人員吸入放射性核種每單位攝入量所產生之約定有效劑量之腸轉移因數 f_1 及對應之化合物

三之四	(g) (西弗/貝克, Sv Bq ⁻¹)
三之五	一般人之個人吸入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量, h (g) (西弗/貝克, Sv Bq ⁻¹)
三之六	用於計算一般人之個人吸入每單位攝入量含放射性核種之氣膠、氣體 及蒸氣所產生約定有效劑量之肺吸收類別
三之七	輻射工作人員及一般人之個人吸入單位攝入量含放射性核種之可溶性 或活性氣體及蒸氣產生之約定有效劑量, h(g)(西弗/貝克, Sv Bq ⁻¹)
三之八	Rn-222子核及Rn-220子核之攝入量及曝露量限度
三之九	用於附表三之八氦及氡子核之單位轉換係數
三之十	輻射工作人員和一般成年人受惰性氣體曝露之有效劑量率

【註】1.腸轉移因數：指攝入體內之放射性核種自胃腸道轉移至體液之量與攝入量之比值。

2.肺吸收類別：指國際放射防護委員會依其發展之呼吸道廓清模型將化合物粒子依經由呼吸攝入體內經由溶解或液化被血液吸收之吸收率所為之分類，區分為：

- (1) F類：指經由呼吸道攝入，血液快速吸收後沉積於體內之物質，其生物半化期之預設值為：10分鐘。
- (2) M類：指將自呼吸道攝入，血液以中速率吸收後沉積於體內之物質，其生物半化期之預設值為：百分之十為10分鐘，餘百分之九十為140天。
- (3) S 類：指將自呼吸道攝入，血液以慢速率吸收後沉積於體內之難溶物質，其生物半化期之預設值為：百分之〇·一為10分鐘，餘百分之九十九·九為7千天。

3.廓清：指物質以粒子轉移或血液吸收方式自呼吸道移除之過程。

因附表數量眾多，易造成初學者混淆不易使用，本篇文章將提供快速有效查表方法，以利本軍化學兵幹部評估體內輻射劑量時使用，其附表選用重點如下：

- (1)體內曝露途徑需區分為吸入或是嚥入。
- (2)評估對象如為輻射工作人員請選用附表3-1，如未能確定腸轉移因數fI為何及肺吸收類別(F類、M類、S類)請以劑量轉換因子h(g)(註)之最大值來評估。
- (3)在評估輻射工作人員因吸入途徑造成體內曝露時，沉積在肺部的核種粒徑分為1 μm及5 μm，如離事故現場較遠地方可選用粒徑1 μm之劑量

轉換因子 $h(g)$ ，反之在事故現場附近可選用 $5\mu m$ 之劑量轉換因子 $h(g)$ ，若不能判定遠、近時則以最保守的數據來考量，請以劑量轉換因子 $h(g)$ 之最大值來評估。

(4)如評估對象為一般人員請選用附表3-4及3-5，分別代表不同的曝露途徑區分嚥入及吸入，其各表依六種不同年齡分為 ≤ 1 歲、1-2歲、2-7歲、7-12歲、12-17歲、 >17 歲六個年齡群，同理如未能確定腸轉移因數 f_1 為何及肺吸收類別(F類、M類、S類)請以劑量轉換因子 $h(g)$ 之最大值來評估

(5)如評估的放射性核種為可溶性或活性氣體及蒸氣(如碘-131等放射性氣體)時，請優先選用附表3-7劑量轉換因子 $h(g)$ 來評估體內輻射劑量。

三、體內輻射劑量評估實例

(一)前俄羅斯間諜遭鈾210毒殺案件

2006年發生以鈾210毒殺前俄羅斯間諜案件李維寧科，當攝入50奈克(ng , $10^{-9}g$)或吸入10奈克(ng , $10^{-9}g$)即可達致死劑量，查閱游離輻射防護安全標準附表三之四詳如表4所示，及附表三之五詳如表5示，以最保守的數據來考量，取 $h(g)$ 之最大值，得知一般人之個人嚥入及吸入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量分別為嚥入 $h(g)=1.2\times 10^{-6}$ (西弗/貝克)及吸入 $h(g)=4.3\times 10^{-6}$ (西弗/貝克)，推算方法如下

表4 鈾210一般人個人嚥入之 $h(g)$ 劑量轉換因子

核種	物理半化期	年齡 ≤ 1 歲		年齡	1-2歲	2-7歲	7-12歲	12-17歲	>17 歲
		$f_1(g\leq 1\text{歲})$	$h(g)$	$f_1(g>1\text{歲})$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$
Po-210	138日	1.000	2. 6×10^{-5}	0.500	8. 8×10^{-6}	4. 4×10^{-6}	2. 6×10^{-6}	1. 6×10^{-6}	1. 2×10^{-6}

資料來源：游離輻射防護安全標準附表三之四

表5 鈾210一般人個人吸入之 $h(g)$ 劑量轉換因子

核種	物理半化期	肺吸收類別	年齡 ≤ 1 歲		年齡	1-2歲	2-7歲	7-12歲	12-17歲	>17 歲
			$f_1(g\leq 1)$	$h(g)$	$f_1(g>1)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$
Po-21	138日	F	0.200	7.	0.100	4.	2.	1.	7.	6.

To remove this message please register.核生化防護半年刊第89期

0		M	0.200	4×10^{-6}	0.100	8×10^{-6}	2×10^{-6}	3×10^{-6}	7×10^{-7}	1×10^{-7}
		S	0.020	1.	0.010	1.	6.	4.	4.	3.
				5×10^{-5}		1×10^{-5}	7×10^{-6}	6×10^{-6}	0×10^{-6}	3×10^{-6}
				1.		1.	8.	5.	5.	4.
				8×10^{-5}		4×10^{-5}	6×10^{-6}	9×10^{-6}	1×10^{-6}	3×10^{-6}

資料來源：游離輻射防護安全標準附表三之五

其中 H_T 為等價劑量，使用單位：Sv(西弗)

A為活度，使用單位：Bq(貝克)

λ 為衰變常數，使用單位為 S^{-1}

N為原子個數

$h(g)$ 為劑量轉換因子，使用單位：西弗/貝克。

可由上列公式(7)及(8)計算體內活度大小，再將劑量轉換因子 $h(g)$ 乘入即可得知體內輻射劑量，不論進入體內途徑為嚥入或是吸入，體內劑量皆已超過致死劑量(lethal dose) LD50/30(註)(人類的LD50/30 約為2.5-4.5西弗)，導致李維寧科中毒後不及一個月就不幸去逝。

(二)放射性碘-131空浮污染

發生核電廠災變事件後，依經驗得知災害現場空氣中將有大量的放射性碘-131散佈於其中，須適時評估空氣中碘-131所造成之人員體內輻射劑量，以利後續災害搶救，因碘-131為氣態所以優先選用附表三之七之 $h(g)$ 劑量轉換因子，其劑量轉換因子詳如表6所示。若要評估6歲孩童體內輻射劑量以不超過年劑量限度1毫西弗為原則，則進入體內放射性核種活度之上限為何?若要評估本軍化學兵執行核災救援任務時，考量參與救災官兵年劑量以不超過50毫西弗為原則，則進入體內放射性核種活度之上限為何?其計算方法如下所示：

表6放射性碘-131氣體之h(g)劑量轉換因子

		肺 吸 收 類 別 (a)									
				f ₁ (g ≤1 歲)	h(g)	f ₁ (g >1 歲)	h(g)	h(g)	h(g)	h(g)	h(g)
元素碘 -131 核種	8.04日 物 理 半化期	V	100 沈 積 率 %	1. 000 年齡 ≤17歲	1. 7×10 ⁻⁷	1. 000 年齡 >17歲	1. 6×10 ⁻¹	9. 4×10 ⁻²	4. 8×10 ⁻⁷	3. 1×10 ⁻⁸	2. 0×10 ⁻¹⁸

資料來源：游離輻射防護安全標準附表三之七

由上式得知6歲孩童進入體內放射性核種活度的量如未超過 2.32×10^{-12} 公克，即可符合年劑量限值1毫西弗。

由上式得知執行核災救援任務官兵進入體內放射性核種活度的量如未超過 1.16×10^{-10} 公克，即可符合劑量限值50毫西弗。

可由上列公式(9)及(10)來計算，其結果如表7所示，進入6歲孩童及救災官兵體內放射性核種的量分別不能超過 2.32×10^{-12} 公克、 1.16×10^{-10} 公克，其值皆低於奈克以下，得知只要不及奈克的量進入人體內，就會超過法規劑量限度，適時評估進入體內放射性核種的量，其值可列入人員防護等級的參考，上限值愈低則所需防護等級要求也就愈高。

表7 放射性碘-131氣體所造成之人員體內輻射劑量

序號	年齡	體內劑量 (Sv)	h(g)劑量轉 換因子	進入體內核 種的質量上 限(g)
1	6	10^{-3}	9.4×10^{-8}	2.32×10^{-12}
2	30	50×10^{-3}	2.0×10^{-8}	1.16×10^{-10}

資料來源：作者整理

(三)鈷-60及銫-137污染事件

鈷-60及銫-137為工業界及醫療上常用之放射性核種，核種較容易取得，可能遭致恐怖份子製成「輻射彈」危害社會，在反恐制變上國軍責無旁貸肩負起救災使命，若考量以不超過年劑量限度50毫西弗為原則，評估鈷-60及銫-137對參與救災官兵所造成體內輻射劑量之吸入量上限值及嚥入量上限值，可由表8、表9取得不同年齡群吸入及嚥入之一般人個人劑量轉換因子，可依不同狀況計算體內輻射劑量，其計算方法如下所示：

表8 鈷-60及銫-137 一般人個人吸入之h(g)劑量轉換因子

核種	物理 半化 期	肺吸 收 類別	年齡≤1歲		年齡	1-2歲	2-7歲	7-12歲	12-17 歲	>17歲
			f ₁ (g ≤1)	h (g)	f ₁ (g> 1)	h (g)	h (g)	h (g)	h (g)	h (g)
Co-60	5.27年	F M S	0.600	3.	0.100	2.	1.	8.	6.	5.
			0.200	0×10 ⁻⁸	0.100	3×10 ⁻⁸	4×10 ⁻⁸	9×10 ⁻⁹	1×10 ⁻⁹	2×10 ⁻⁹
			0.020	4.	0.010	3.	2.	1.	1.	1.
				2×10 ⁻⁸		4×10 ⁻⁸	1×10 ⁻⁸	5×10 ⁻⁸	2×10 ⁻⁸	0×10 ⁻⁸
Cs-137	30.0年	F M		9.		8.	5.	4.	3.	3.
				2×10 ⁻⁸		6×10 ⁻⁸	9×10 ⁻⁸	0×10 ⁻⁸	4×10 ⁻⁸	1×10 ⁻⁸
			1.000	8.	1.000	5.	3.	3.	4.	4.
			0.200	8×10 ⁻⁹	0.100	4×10 ⁻⁹	6×10 ⁻⁹	7×10 ⁻⁹	4×10 ⁻⁹	6×10 ⁻⁹
				3.		2.	1.	1.	1.	9.
				6×10 ⁻⁸		9×10 ⁻⁸	8×10 ⁻⁸	3×10 ⁻⁸	1×10 ⁻⁸	7×10 ⁻⁹

資料來源：游離輻射防護安全標準附表三之一

表9 鈷-60及銫-137 一般人個人吸入之h(g)劑量轉換因子

核種	物理 半化 期	年齡≤1歲		年齡	1-2歲	2-7歲	7-12歲	12-17 歲	>17歲
		f ₁ (g≤1歲)	h (g)	f ₁ (g>1歲)	h (g)	h (g)	h (g)	h (g)	h (g)
Co-60	5.27年	0.600	5.	0.100	2.	1.	1.	7.	3.
			4×10 ⁻⁸		7×10 ⁻⁸	7×10 ⁻⁸	1×10 ⁻⁸	9×10 ⁻⁹	4×10 ⁻⁹
Cs-137	30.0年	1.000	2.	1.000	1.	9.	1.	1.	1.
			1×10 ⁻⁸		2×10 ⁻⁸	6×10 ⁻⁹	0×10 ⁻⁸	3×10 ⁻⁸	3×10 ⁻⁸

資料來源：游離輻射防護安全標準附表三之四

由上式得知吸入體內鈷-60核種活度的量如未超過 3.85×10^{-8} 公克，即可符合劑量限度50毫西弗。

由上式得知吸入體內鈷-60核種活度的量如未超過 3.51×10^{-7} 公克，即可符合劑量限度50毫西弗。

由上式得知吸入體內銫-137核種活度的量如未超過 1.60×10^{-6} 公克，即可符合劑量限度50毫西弗。

由上式得知吸入體內銫-137核種活度的量如未超過 1.19×10^{-6} 公克，即可符合劑量限度50毫西弗。

可由公式(11)至公式(14)來計算，分別計算出鈷-60、銫-137經吸入及吸入進入體內所造成之體內輻射劑量，其結果如表10所示，其值可作為該放射性核種防護等級之參考，如處理「輻射彈」其核種為銫-137時則更難處置，因該核種在空氣中即會燃燒，熔點低(28.44°C)且半衰期長達30年，所形成之放射性粉末處理上所須考量的危安因素更為複雜不易處置。

表10 鈷-60及銫-137所造成之人員體內輻射劑量

序號	年齡	進入體內途徑	核種	體內劑量(Sv)	選用之劑量轉換因子h(g)	進入體內核種的質量上限(g)
1	30	吸入	鈷-60	50×10^{-3}	3.1×10^{-8}	3. 85×10^{-8}
2	30	嚥入	鈷-60	50×10^{-3}	3.4×10^{-9}	3.

To remove this message please register. 核生化防護半年刊第89期

						51×10^{-7}
3	30	吸入	銫-137	50×10^{-3}	9.7×10^{-9}	1.
4	30	嚥入	銫-137	50×10^{-3}	1.3×10^{-8}	1. 19×10^{-6}

資料來源：作者整理

參、結語

核災現場除量測現地輻射劑量率外，還須考量環境中空浮放射性核種濃度，空浮濃度的高低是決定穿著防護裝具之等級的重要參考指標之一，未著適當的防護裝具將會造成參與核災救援之官兵體內輻射曝露，對救災人員健康將影響甚巨。

個人輻射劑量佩章只能量測體外輻射劑量，若進一步評估體內輻射劑量則須考量放射性核種種類、進入體內之途徑、評估對象及年齡群等因素來實施評估，體內輻射劑量隨著新的動物實驗的數據及醫學研究的結果，提供新的體內輻射劑量評估方法，在國際間已有ICRP-66及IAEA-115提供相關參數數據以利評估體內輻射劑量，此數據也列入國內97年正式施行之「游離輻射防護安全標準」之法規規範中，作為國人評估個人體內輻射劑量時之重要法規依據。

國軍化學兵部隊擔任「核生化防衛、反恐、救災」任務，藉由手提式輻射偵檢器或是劑量佩章來評估救災官兵所接受之輻射劑量，其作法並不嚴謹，還須考量救災官兵所接受之體內輻射劑量，每位化學兵幹部均應嫻熟於如何評估體內輻射劑量，除可提昇本軍化學兵專業輻射防護知識外，對實際參與核災救援任務提供最有效的人員輻射安全保障。

參考資料

- 一、體內劑量的輻射防護及核子醫學研究（I），行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，91年8月。
- 二、游離輻射防護法規彙編，行政院原子能委員會，99年1月。
- 三、游離輻射防護彙萃，財團法人中華民國輻射防護協會，2007年。
- 四、醫用保健物理學，張寶樹，2001年。
- 五、IAEA SAFETY SERIES No. 115, INTERNATIONAL BASIC SAFETY STANDARDS FOR PROTECTION AGAINST IONIZING RADIATION AND FOR THE SAFETY OF RADIATION SOURCES, 1996.
- 六、Herbert Attix, Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry, Frank, New York, 1986.
- 七、ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30, Pergamon Press, Oxford, 1979.
- 八、ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological

Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford, 1991.

九、ICRP, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 66, Pergamon Press, Oxford, 1994.

十、ICRP, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 68, Pergamon Press, Oxford, 1994.