

核子狀況下野戰輻射劑量管制標準探討

作者簡介

作者陳連松中校，畢業於中正理工學院正54期、化校正規班96-2期、元智大學工業工程與管理研究所碩士、國立清華大學生醫工程與環境科學系博士候選人，歷任排長、副連長、化學分析官、組長，現任核生化防護研究中心毒化組代組長。

提要

- 一、國軍部隊除軍事作戰外，也須要支援反恐及救災任務，在核子狀況下可能造成人員輻射曝露，影響官兵健康。
- 二、美軍聯戰準則及國軍核生化中心作業手冊所規定輻射曝露管制標準較低，部隊在高輻射污染環境下可能造成輻射傷害。
- 三、核子狀況下之輻射作業具有高度健康危害性，每項作業或行動均應制定風險管理措施，以控管各種風險。
- 四、探討輻射曝露可能造成之輻射傷害，並據以評估遭受之風險等級。
- 五、依據部隊任務特性、美軍聯戰準則、國軍輻射管制規定、法規及世界輻射劑量管制趨勢，將國軍部隊區分為專業部隊及一般部隊。針對軍事作戰及非軍事作戰任務，分別擬定合理之輻射劑量管制標準，在不妨礙任務執行下，確保官兵健康。

壹、前言：

核子武器可輕易造成部隊大規模傷害，部隊一旦遭受該類攻擊將嚴重影響生存與戰力。對各部隊而言，這屬於高風險狀況，雖然使用機率較低，但仍需完整風險管控作為。其中核子武器造成立即傷害較無法避免外，輻射污染所造成長時間輻射曝露風險卻可加以降低，故聯合作戰各部隊於核子狀況下作戰時，除需要各種核子防護設施及防護裝備外，對人員之輻射曝露劑量須嚴格管制，方可達到戰力保存及戰力維持。

美軍在核生化狀況下有「化生放核環境下聯合作戰」及「大規模毀滅性武器戰鬥」準則規範各部隊行動作為，其「核生化環境下聯合作戰」準則對於核子狀況下輻射劑量管制標準之規定與國軍現行管制標準僅些微差異，唯兩國部隊任務不同，國軍部隊除戰時執行軍事行動外，平時也需執行非戰爭性軍事行動，如反恐及救災等任務，由於反恐及救災任務並非在作戰期間，人員所接受之輻射曝露若以軍事行動準則為管制標準，輻射劑量可能會超出現行法規標準，因此在不同任務條件下，管制標準應依任務特性作適當調整。

貳、輻射危害簡介

一、輻射威脅來源

在作戰期間，輻射威脅來源最直接的就是敵人使用核子武器；非戰爭期間輻射威脅來源可能是核子意外事故或輻射恐怖攻擊。核子意外事故泛指核電

廠或放射性物質儲存場所發生意外事故，而輻射恐怖攻擊最可能的是恐怖份子利用放射性物質以「髒彈」方式攻擊。髒彈並非核子武器，而是將放射性物質藉炸藥引爆之力量散布到空氣和環境中，造成地區之輻射污染。一般來說核子武器各國控管很謹慎，被使用之機率較低，電廠或放射性物質儲存場所也都有很好管制機制，發生意外機會也不高，核子意外事故較有可能是伴隨其它災害所發生之意外事故，如地震、颱風或大型火災等，相對的輻射恐怖攻擊發生機會最高，其攻擊型式可能包含：使用小型核武、土製核武、輻射髒彈、隱藏射源、核設施破壞（如核電廠、研究用核反應器、核廢料場等）、放射性物質使用場所破壞等等。（註1）有國外相關報導指出，在第一次波灣戰爭結束後，許多參戰的美國軍人出現身體虛弱、焦躁、頭痛、肌肉關節痛、睡眠障礙、胃腸不適、腹瀉、咳喘、呼吸困難等症狀，稱之為「波灣戰爭症候群」，同時在科索沃執行維和任務的歐盟國家士兵也罹患類似怪病，媒體報導指出，這種現象與美國、北約大量使用乏鈾彈造成的輻射污染有關，這是一個明顯輻射污染的案例。（註2）

二、輻射曝露型式

輻射曝露型式主要是從放射性物質或可發生游離輻射設備產生高能量的射線，它的種類很多，包含X射線、 α 粒子、 β 粒子、 γ 射線等，這些輻射具有不同特性，對人體產生傷害型式會有所差異，可將輻射危害型式區分為體外曝露及體內曝露。

（一）體外曝露：

放射性物質所釋放之輻射種類穿透能力不同，如 α 粒子穿透能力差，甚至對人體皮膚都沒有傷害， β 粒子或 γ 射線穿透能力較強，可對人體產生體外曝露，尤其是 γ 射線穿透力極強，一般的防護裝備是無法有效阻擋，也就是各部隊若曝露在 γ 射線輻射污染環境下，就一定會產生體外輻射曝露，並造成輻射傷害。

（二）體內曝露：

體內曝露意指放射性物質進入到體內，在體內造成輻射曝露。以 γ 射線、 β 粒子及 α 粒子三者相較， α 粒子進入體內所產生之輻射傷害最為嚴重。此外，當放射性物質進入人體後，除了輻射傷害外也可能造成重金屬化學中毒。分析造成體內曝露原因，絕大比例是沒有著適當防護裝備所造成，各部隊在輻射污染環境下作業，除須減少體外輻射曝露外，更應避免體內輻射曝露的發生。

三、輻射傷害效應

輻射是具高能量之射線，對人體的危害，取決於人體接受輻射劑量之多

註1 楊福助，「核生化恐怖攻擊特點與防護研析」，《核生化防護半年刊》，第 83 期，民國 96 年 5 月。

註2 鄧坤誠，「乏鈾彈輻射傷害與防護」，《核生化防護半年刊》，第 78 期，民國 93 年 9 月。

寡，輻射劑量高時會產生非機率效應，也就是所謂的確定效應，表示人體一定會產生輻射傷害；在劑量低時會產生機率效應，表示沒有輻射症狀發生，身體也不會感到任何異狀，僅可能在很長一段時間後產生輻射傷害，如癌症。輻射傷害效應可進一步區分為急性效應及長期慢性曝露的遲延效應，分述如下（註3）。

（一）急性效應：

急性效應指在短時間內遭受高輻射劑量。核子狀況下若部隊在高輻射污染區域執行任務，在短時間累積之輻射劑量若達到0.5西弗以上，就可能產生急性輻射傷害（如圖1），嚴重影響官兵健康，故應嚴格管制執行任務區域及時間，避免急性輻射傷害發生。



圖 1 急性輻射傷害造成皮膚損傷（註4）

資料來源：International Atomic Energy Agency

（二）遲延效應：

遲延效應一般指長期曝露在輻射環境下，輻射劑量不高，但輻射所誘發之病變會影響官兵健康，增加致病風險。核子狀況下各部隊任務若無急迫性，對受輻射污染區域應進行除污後始可進入，以避免慢性輻射傷害發生。

四、輻射劑量評估方法

輻射劑量評估目的是評估人體遭受輻射曝露劑量，以評估可能產生之輻射傷害，評估時須同時考慮體外輻射曝露及體內輻射曝露加總之結果。

（一）體外輻射劑量評估：

體外輻射劑量評估通常直接使用輻射偵測器或輻射劑量佩章進行監測，原子能法規規定，輻射工作人員從事輻射作業時須強制配戴輻射劑量佩章，以監測每個月輻射累積量。國軍各部隊若要執行體外輻射劑量評

註3 財團法人中華民國輻射防護協會編印，《游離輻射防護彙萃》，新竹，民國96年。

註4 International Atomic Energy Agency, The Radiological Accident in Goiania, Vienna, 1988.

估作業，最簡易方式就是使用野戰輻射偵測器實施偵測，並利用劑量累積功能計算人員輻射曝露值，可獲得輻射劑量初步評估結果（註5）。

（二）體內輻射劑量評估：

體內輻射劑量評估須有精密設備才可實施，通常使用全身輻射計測（如圖2）或生化分析方式，這種檢測須在專業單位及醫院才可實施，體內評估須較長的時間，各部隊在作戰狀態或緊急應變時，無法在現場立即評估，若各部隊著適當防護裝備，則可假定未遭受體內輻射曝露。



圖 2 全身輻射計測系統

資料來源：[http://en.wikipedia.org/wiki/Whole body counting](http://en.wikipedia.org/wiki/Whole_body_counting)

五、輻射風險分析

輻射風險分析可經由輻射劑量評估獲得人員遭受之輻射曝露值，透過已知輻射風險因子，進一步評估輻射傷害。而低劑量輻射較不易產生立即傷害，但是否會導致癌症，到目前還有很大的爭議。

為了估算輻射致癌的風險，通常採用線性假設，即我們將已確知高劑量致癌的風險，以線性外插的方式，計算低劑量輻射致癌的危險度（註6）。輻射風險因子在ICRP26、ICRP60及ICRP103等國際放射防護委員會發布的報告中有詳盡的數據。輻射危險度在ICRP26號中，其風險係數為 $1.65 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ ，所考慮的因子為致死癌、非致死癌、嚴重遺傳效應等，到了ICRP60號時，風險係數成年工作者提高到 $5.6 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ ，就一個成年工作者來說，當曝露在1西弗輻射劑量下，得到癌症機率為百分之4.8，其致死機率為百分之4。在2007年所發佈的ICRP103號報告中，則將危險度估計值修正至 $4.2 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ ，主要增加考

註5 AN/VDR-2 野戰輻射偵測器使用劑量單位為 Gy，代表人體遭受輻射曝露劑量，而法規規範之有效劑量單位為 Sv，代表輻射對人體造成傷害之有效劑量，兩者之差距主要是射線種類不同所造成，需以射質因素修正之，如 γ 射線射質因素為 1，可視為兩劑量相同。

註6 清蔚園-核能電廠風險 <http://vm.nthu.edu.tw/science/shows/nuclear/safety/index4.htm>

慮全部致死性癌症、非死性癌症、平均壽命損失、全部世代的嚴重遺傳損傷等因素，評估結果總危險度下降，比較如表1所示（註7），事實上輻射的實際危險度並沒有改變，而是隨著科技的發展、知識和輻射傷害相關資料的累積，使我們能對真實做更具體判斷。

表 1 ICRP103 和ICRP60 建議危險度值(10^{-2} Sv^{-1}) 比較表

輻射曝露風險	成人		全年齡	
	ICRP103	ICRP60	ICRP103	ICRP60
癌症危險度	4.1	4.8	5.5	6.0
遺傳危險度	0.1	0.8	0.2	1.3
總危險度	4.2	5.6	5.7	7.3

資料來源：ICRP103

圖3所示為輻射引起的年致死癌機率年齡分布圖。從圖中可發現從18歲到65歲，若輻射曝露年平均劑量10毫西弗時，於80歲時致死癌機率約 7×10^{-4} ；而輻射曝露年平均劑量50毫西弗時，於80歲時致死癌機率就高過 3×10^{-3} 。圖4所示為輻射致癌死亡年齡別的死亡率比較圖，從圖中可發現18歲到65歲輻射曝露年平均劑量50毫西弗時，在60歲時死亡率約 1.6×10^{-3} ，（註8）這顯示在低輻射劑量下對人員仍會造成一定的終生致死癌機率，因此在從事輻射相關作業時，應視任務之急迫性及重要性，並考慮到輻射防護「合理抑低」之精神，儘可能降低輻射曝露，減少人員可能造成之傷害。

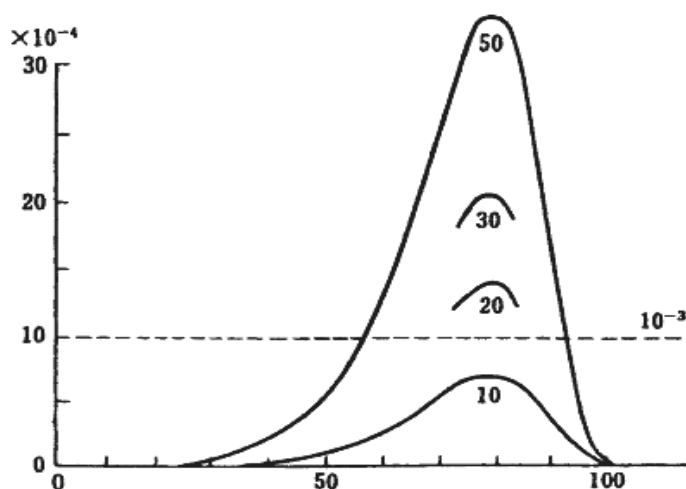


圖 3 輻射引起的年致死癌機率按年齡分布圖，從 18 歲到 65 歲連續受到 10 mSv a^{-1} , 20 mSv a^{-1} , 30 mSv a^{-1} , 50 mSv a^{-1} 的曝露的計算值。（資料來源：ICRP60）

註7 ICRP Publication No. 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP 37.

註8 ICRP Publication No. 60, The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP.

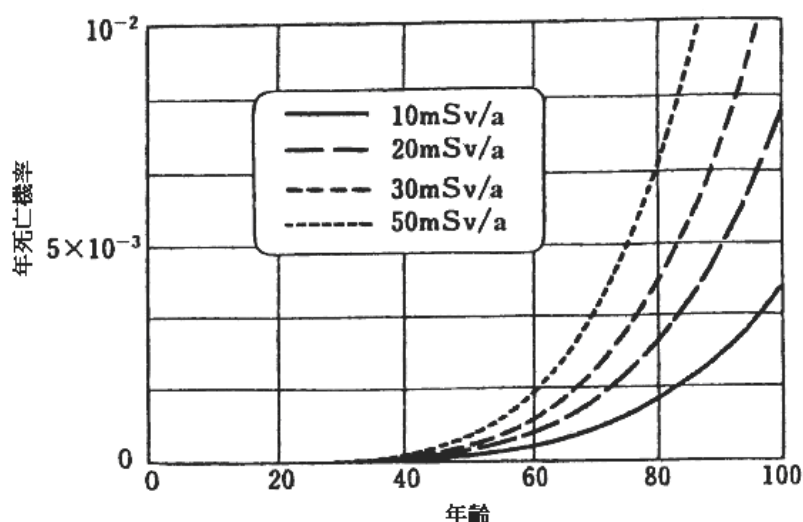


圖 4 輻射致癌死亡年齡別的死亡率，從 18 歲到 65 歲連續受到 10 mSv a⁻¹，20 mSv a⁻¹，30 mSv a⁻¹，50 mSv a⁻¹ 的曝露的計算值。(資料來源：ICRP60)

參、輻射劑量管制標準

一、輻射劑量管制法規標準

我國對於輻射劑量管制主要依據「原子能法」、「原子能法施行細則」、「游離輻射防護安全標準」及其它特定用途法規，為避免輻射對人員產生傷害，對放射性物質、可發生游離輻射設備、核醫藥物使用及核能電廠運作皆有嚴密管制，由於輻射特性無法避免對人員產生傷害，故對輻射工作人員及一般民眾制定輻射劑量管制標準，確保相關人員在此管制標準下不會產生危害。

(一) 輻射工作人員

「游離輻射防護法」第 2 條第 1 項第 16 款所稱輻射工作人員係指受雇或自僱經常從事輻射作業，並認知會接受曝露之人員，並於 93 年 6 月 28 日頒定「輻射工作人員認定基準」（註 9），對從事輻射作業者在專業人員評估認定後會超過一般人員輻射管制劑量 1 毫西弗，即須定義為工作人員。一旦認定為工作人員，相關管制規定包含：（註 10）

- 1、輻射曝露每連續 5 年週期之有效劑量不得超過 100 毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過五十毫西弗。
- 2、須取得相關證照或教育訓練。
- 3、每年須實施教育訓練課程。
- 4、須體檢合格且每年均須完成體檢。
- 5、執行輻射作業須配戴劑量佩章。
- 6、輻射曝露值及體檢結果須完整保存。
- 7、設施經營者對於接受緊急曝露之人員，應事先告知及訓練。

然而國內法規並未規定於作戰狀況下國軍各部隊輻射劑量管制標準，依

註 9 行政院原子能委員會，「輻射工作人員認定基準」，民國 95 年 12 月。

註 10 行政院原子能委員會，《游離輻射防護法規彙編》，民國 95 年 12 月。

表2及表3所示，現有準則管制劑量明顯大於法規管制值，依輻射可能產生傷害風險評估，未來是否應修訂戰時之管制標準須再審慎評估，在非戰時國軍部隊執行國內救災時，輻射劑量管制則應依據法規來執行較為適當。

(二) 一般人員

輻射作業造成一般民眾輻射曝露，其限制包涵：

- 1、一般人員之年劑量限度有效劑量不得超過1毫西弗。
- 2、核子事故發生或有發生之虞時，對一般民眾須採取干預基準及行動基準之作為，以降低民眾輻射傷害。

二、國軍輻射劑量管制標準

「核生化中心作業手冊」對國軍各部隊輻射劑量限值於第2章第6節有相關規範，其目的即表明部隊曝露劑量乃是提供指揮官在輻射污染區適切運用部隊之參考，使指揮官可隨時掌握、管制部隊接受之輻射劑量，所採取之手段包含將輻射曝露量分類、部隊輻射曝露量等級分類、紀錄部隊輻射劑量並掌控部隊可再執行之任務等，透過這些管制手段，確保部隊安全。（註11）

(一) 輻射曝露量分類：

輻射曝露量依部隊任務危害等級區分為三級，分別為輕度危害、中度危害及嚴重危害。當部隊必須通過輻射污染地區，執行輻射偵測、消除作業，甚至於輻射污染地區占領要點或修復工作時，各部隊指揮官可依據此標準在化學兵幹部建議下，採取應變作為。其輕度危害代表部隊可能接受輻射劑量小於或等於0.5戈雷，嚴重危害代表部隊可能接受劑量大於0.7戈雷，小於或等於1.5戈雷。從表中可發現國軍最大劑量管制標準1.5戈雷，此劑量已可能產生輻射傷害確定效應，對部隊造成非常高之傷害風險，對於注重風險管理者，將造成管制上困難。

表 2 輻射曝露任務等級比較表（註12）

國軍任務等級區分	
輕度危害	部隊可能接受劑量 ≤ 0.5 戈雷
中度危害	0.5 戈雷 $<$ 部隊可能接受劑量 ≤ 0.7 戈雷
嚴重危害	0.7 戈雷 $<$ 部隊可能接受劑量 < 1.5 戈雷

資料來源：核生化中心作業手冊

(二) 部隊輻射曝露劑量等級分類：

部隊輻射曝露劑量等級分類目的，在顯示部隊接受輻射劑量高低及其對執行任務能力之影響程度。其輻射曝露劑量分類區分為四級，分別代表

註11 國防部陸軍司令部，《核生化中心作業手冊》，民國96年11月19日。

註12 同註11。

執行任務前已累積輻射劑量程度，依已累積輻射劑量程度，規範下次任務可再允許吸收劑量之標準，原則總和不可超過1.5戈雷。部隊曝露劑量等級分類如表3所示。

表 3 國軍部隊曝露劑量等級分類表（註13）

曝露劑量等級	執行任務前已累積劑量(cGy)	下次任務吸收劑量標準(cGy)
第一級	0	輕度危害：≤50 中度危害：≤70 嚴重危害：≤150
第二級	> 0、≤70	輕度危害：≤10 中度危害：≤30 嚴重危害：≤110
第三級	> 70、≤150	不可執行輕度及中度危害任務。 嚴重危害：≤40
第四級	> 150	任何程度之任務，均可能造成部隊嚴重傷害。

資料來源：核生化中心作業手冊

表 4 輻射曝露狀態分類及其管制作為（註14）

輻射曝露狀態(RES)分類		
總累積劑量(cGy)	輻射曝露狀態(RES)分類	管制作為
0 – 0.05c Gy	R0	依正常程序監控預警危險地區
0.05–0.5c Gy	R1A	1. 紀錄個人/單位輻射劑量 2. 初步了解特殊任務的協議與目標
0.5 –5c Gy	R1B	初步輻射勘測與持續監控
5 – 10c Gy	R1C	1. 持續監控與更新量測數據 2. 持續進行劑量管控措施 3. 只執行優先任務
10 – 25 cGy	R1D	1. 只執行危急情況之任務 2. 醫療評估回報指揮中心
25 – 75 cGy	R1E	監控急性輻射併發症狀
75 – 125 cGy	R2	未來任何暴露將超出作業風險
> 125 cGy	R3	未來任何暴露將超出緊急作業風險

註13 同註 11。

註14 Army of the United States, Operations in Chemical, Biological, and Nuclear(CBRN) Environments, 26 August 2008.

資料來源：Army of the Unite States

表4為美軍輻射曝露狀態分類及其管制作為，輻射曝露劑量狀態區分R0至R3等四級，此四級與國軍分級方式類似。美軍對核子狀況下作戰外，對於非核子武器所產生之輻射危害也有特別規定，包括要求各軍種建立含有放射性物質傳統彈藥的戰術、技術與處理程序，強化其安全注意事項，例如乏鈾彈藥，依耗乏鈾特性，加強人員對阿伐粒子吸入與食入的防護。對於恐怖攻擊或工業意外所造成之輻射污染，也律定輻射危害區域，基於此類損害特性及危害範圍，制定低輻射劑量下管制標準，在低劑量部分進一步將R1分為R1A至R1E等五個等級，並依各狀態分別擬定管制作為，隨著輻射曝露量增加，管制作為項目也隨著增加，如R1E輻射暴露狀態時，代表總累積劑量0.25至0.75戈雷，已執行管制項目包含：

- 1、依正常程序監控預警危險地區。
- 2、紀錄個人/單位輻射劑量。
- 3、初步了解特殊任務的協議與目標。
- 4、初步輻射量測與持續監控。
- 5、持續監控與更新量測數據。
- 6、持續進行劑量管控措施。
- 7、只執行優先任務。
- 8、只執行危急情況之任務。
- 9、醫療評估回報給指揮中心。
- 10、監控急性輻射併發症狀。

完成輻射曝露狀態(RES)分類後，將輻射威脅嚴重性區分為災難、危急、輕微、無關緊要等四個不同層級，並評估對任務執行的衝擊；此威脅嚴重性結合輻射事件發生機率，再訂定輻射風險等級，將可能的風險依嚴重性及發生機率定為極高、高、中等、低等四個層級，輻射曝露運作指引基準即依風險等級及任務重要性，律定輻射劑量管制值，提供部隊管制依據。

表 6 輻射曝露運作指引基準（註15）

輻射曝露運作指引基準			
任務重要性 風險層級	緊急	優先	一般
極高	125 cGy	75 cGy	25cGy
高	75cGy	25 cGy	5c Gy
中	25 cGy	5 cGy	0.5cGy
低	5 cGy	0.5c Gy	0.5 cGy

註15 同註 14。

資料來源：Army of the United States

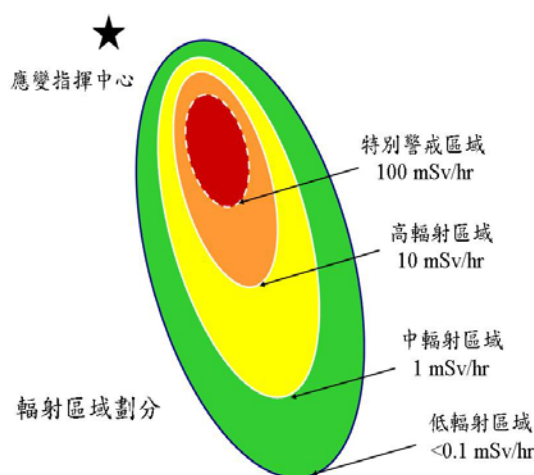
三、緊急應變之輻射劑量管制

國內輻射災害緊急應變係依據「核子事故緊急應變法」及「災害防救法」來實施，對於輻射劑量管制並無明確規範，故應以「游離輻射防護法」及「游離輻射安全防護標準」所規範之劑量來管制。輻射劑量管制最重要精神就是合理抑低，其表示應盡一切合理之努力，以維持輻射曝露在實際上遠低於游離輻射防護標準之劑量限度，其原則為：

- (一) 須符合原許可之活動。
- (二) 須考慮技術現狀、改善公共衛生及安全之經濟效益，以及社會與社會經濟因素。
- (三) 須為公共之利益而利用輻射。

依此精神在救災過程只要有輻射污染，就必須考量輻射的各種危害，並利用諸多輻射防護措施加以防範，儘可能減少輻射曝露。

參考美國第一線緊急應變人員在輻射污染區作業時，依輻射污染程度有不同之管制作為，這些管制作為主要考量輻射災害發生後，輻射所具有之強穿透性，應變人員無法完全藉由防護裝備避免輻射造成傷害，也就是說進入污染區就會遭受輻射傷害。為有效管制輻射傷害，將污染區劃分數個等級之管制區，如圖5所示。其中特別警戒區域輻射率 100 mSv/hr、高輻射區域10 mSv/hr、中輻射區域1 mSv/hr、低輻射區域小於0.1mSv/hr（註16），完成區域劃分後，第一線應變人員、輻射工作人員及一般民眾就可依管制區實施劑量管制，並對管制區內人員行動加以限制。表7為輻射管制區域與管制行動建議表，表中可知各管制區域因輻射劑量高低須採取適當管制措施。停留時間管制係指緊急應變最初12小時的時間管制，研判在12小時內各管制區內有關於緊急應變作為應已完成，對於後續處理工作應另行評估。



註16 Handbook for Responding to a Radiological Dispersal Device, Conference of Radiation Control Program Directors, September 2006.

圖 5 輻射區域劃分

資料來源：Handbook for Responding to a Radiological Dispersal Device

表 7 輻射管制區域與管制行動建議表（註17）

輻射劑量 率 mSv/hr	管制區域 mSv/hr	管制行動	停 留 時 間
背景值	無	沒有限制條件，應變指揮中心和消除行動最佳設置地點	無限制
< 0.1	低輻射區域 < 0.1-1	1. 視狀況，限制必要人員進出。 2. 第一時間應變人員的消除須靠近上風無污染區處進行。 3. 必須穿戴個人防護裝備。 4. 處於區域中未受傷人員可直接實施除污。	全部 12 小時
1	中輻射區域 1-10	1. 只有授權人員可以進出管制。 2. 進入人員須配戴劑量佩章。 3. 必須穿戴個人防護裝備。 4. 工作的緩衝/過渡範圍位於高與低輻射區域間。 5. 爆炸期間在區域中人員解除管制前須做污染檢驗。	5-12 小 時
10	高輻射區域 10-100	1. 只有授權人員可以進出管制，特別的條件如醫療支援、急救人員、脫出人質和時間緊迫的行動。 2. 進入人員須配戴劑量佩章。 3. 必須穿戴個人防護裝備。 4. 爆炸期間在區域中人員解除管制前須做污染檢驗。	30 分鐘 -5 小時
100	特別警戒區域 ≥100	1. 此區域為高輻射區域，除了救生行動外管制所有進出。 2. 進入人員須配戴劑量佩章。 3. 必須穿戴個人防護裝備，允許一位監測人員就近對多位應變人員作監測。 4. 為避免輻射傷害，須限制區域中的活動時間。 5. 爆炸期間在區域中人員解除管制前須做污染檢驗。	幾 分 鐘 到 數 小 時

資料來源：Handbook for Responding to a Radiological Dispersal Device

註17 同註 16。

肆、國軍部隊輻射劑量管制標準研議

一、軍事作戰

從我國地理區域考量，台灣本島地狹人稠，作戰區範圍小，一旦遭受核子武器攻擊，整個作戰區可能皆遭受輻射污染，遭受嚴重污染之區域，敵我當然無法使用，且戰爭也可能因核子武器使用而迅速結束，部隊也無須遭受過高輻射曝露，在制定輻射劑量管制標準時，應考量戰後人員遭受輻射傷害及醫療處理問題，避免發生類似乏鈾彈輻射傷害等類似案例，且輻射風險分析結果，低劑量輻射曝露所造成致死癌症風險仍高，基於輻射傷害風險管理考量，作戰時期輻射管制除可參考美軍標準外，應考慮制訂較嚴格之標準，以降低官兵輻射曝露風險。輻射劑量管制標準研議，從專業部隊及一般部隊分別探討。

(一) 專業部隊或人員：

- 1、管制對象：其任務或作業與輻射有關之專業部隊或人員。
- 2、作業項目：輻射偵測（各單位野戰輻射偵測器操作員）、劑量評估（輻防人員）、輻射污染除污（化學兵部隊）等。
- 3、作業需求：應有足夠防護裝備及教育訓練。
- 4、理由分析：專業部隊係依作戰需要而編設，平時已完成輻射作業及輻射防護相關訓練，有完整輻射防護概念，戰時可視任務重要性執行特定任務。
- 5、管制標準：依現行準則規定實施管制，唯須配合嚴格之作業管制及配套措施。
- 6、作業管制：執行中度危害以上任務應實施模擬演練、劑量評估及合理抑低措施，完成任務後應實施醫療檢查。
- 7、配套措施：劑量管制方式調整為監測個人輻射曝露值，避免執行特殊作業人員輻射劑量偏高。

(二) 一般部隊或人員：

- 1、管制對象：其任務或作業與輻射無關之部隊或人員。
- 2、作業項目：一般作業。
- 3、作業需求：應具基礎核生化防護訓練，敵有使用核子武器徵候時，須進一步加強輻射防護訓練。
- 4、管制標準：依輻射工作人員管制標準實施，建議任務等級區分如表8，一般部隊曝露劑量等級分類如表9所示。
- 5、理由分析：一般部隊防護裝備及輻射防護訓練皆較專業部隊缺乏，在無適當呼吸防護裝備下，人員可能吸入放射性物質，造成體內輻射污染，且以部隊現有輻射偵測器性能，無法精準分析體內污染劑量，故以最大風險值考量，應制定較嚴格管制標準。

- 6、作業管制：執行中度危害以上之任務，須由輻防人員完成劑量評估。
- 7、配套措施：敵有使用核子武器高度可能性時，對有特殊需求之部隊，可提高輻射劑量管制標準，唯應完成防護裝備整補，及加強輻射防護訓練，相關規定同專業部隊。

表 8 一般部隊任務等級

任務等級	定義
輕度危害	部隊可能接受劑量小於或等於0.05戈雷。
中度危害	部隊可能接受劑量大於0.05戈雷，小於或等於0.5戈雷。
嚴重危害	部隊可能接受劑量大於0.5戈雷

資料來源：作者自製

表 9 一般部隊曝露劑量等級分類表

曝露劑量等級	執行任務前已累積劑量(Gy)	下次任務吸收劑量標準(Gy)
第一級	0	輕度危害： ≤ 0.05 中度危害： ≤ 0.5 嚴重危害： ≥ 0.5
第二級	> 0 、 ≤ 0.05	與已累積劑量相加後 輕度危害： ≤ 0.05 中度危害： ≤ 0.5 嚴重危害： ≥ 0.5
第三級	> 0.05 、 ≤ 0.5	與已累積劑量相加後 中度危害： ≤ 0.5 嚴重危害： ≥ 0.5
第四級	> 0.5	任何程度之任務，均可能造成部隊嚴重傷害。

資料來源：作者自製

二、非軍事作戰

「核子事故緊急應變法」及「災害防救法」皆賦予國軍支援輻射災害救災任務，國軍部隊執行反恐及救災任務時可視為準軍事行動，若依軍事作戰標準，輻射劑量管制標準明顯偏高，且高於法規規定，故輻射劑量管制應參照國內法規規範較為合適。但在輻射救災任務中，國軍各部隊任務不同，所遭受輻射曝露風險也不同，若依法規將作業人員全數列為輻射工作人員，會造成人員資格、訓練需求、體檢需求及各項作業管制執行上困難，在確保人

員安全及減少輻射作業管制下，將人員區分專業部隊及一般部隊，並針對所負責工作性質制訂輻射劑量管制標準，擬定相對配套措施，具體管制建議依一般部隊及專業部隊分別說明：

(一) 專業部隊或人員：

- 1、管制對象：具輻射偵測及污染除污專業部隊或人員。
- 2、作業項目：輻射偵測及污染除污。
- 3、管制標準：輻射曝露每連續五年週期之有效劑量不得超過100毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過50毫西弗。
- 4、理由分析：執行這些作業人員可能遭受高於1毫西弗之疑慮，已符合工作人員認定標準，故以此劑量管制標準管制，除可達成任務外，也可確保官兵健康。
- 5、作業需求：應依輻射工作人員管理方式實施管理，且須有足夠防護裝備及教育訓練。
- 6、作業管制：執行具輻射污染疑慮任務時應完成勤前教育訓練、防護裝備整備、劑量評估、監測與管理，完成任務後實施醫療檢查。
- 7、配套措施：以專案方式與主管機關協調各項管制措施，並於作戰區內指派特定單位，優先完成整備，以執行輻射相關應援作業。

(二) 一般部隊或人員：

- 1、管制對象：其任務或作業與輻射無關之部隊或人員。
- 2、作業項目：一般作業。
- 3、管制標準：依一般人員劑量管制。
- 4、理由分析：參與救災之一般部隊或人員輻射曝露風險較低。
- 5、作業需求：應有基礎輻射防護訓練。
- 6、作業管制：區域監測方式監測區域輻射曝露值。
- 7、配套措施：對有特殊需求之部隊或人員須提升管制等級時，應完成防護裝備整補，及加強輻射防護訓練，再依專業部隊管制方式實施。

表 10 非軍事作戰部隊輻射劑量管制標準

管制對象	輻射管制標準	管 制 措 施
專業部隊 或人員	輻射曝露每連續五年週期之有效劑量不得超過100毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過50毫西弗。	1. 具備專業任務訓練。 2. 完成勤前教育訓練。 3. 具備適當防護裝備。 4. 實施劑量評估、個人劑量監測、劑量管理 5. 完成任務後應實施醫療檢查。 6. 以專案方式與主管機關協調各項管制措施。

一般部隊 或人員	每年之有效劑量 不得超過1毫西弗	1. 完成勤前教育訓練。 2. 具備適當防護裝備。 3. 實施區域監測。 4. 特殊需求之部隊或人員須提升管制等級 時，依專業部隊管制方式實施。
-------------	---------------------	--

資料來源：作者自製

伍、結語

核子狀況下國軍對輻射劑量管制明顯偏低，且管制劃分也比美軍較為簡略，進一步與聯合國國際放射防護委員會對人員輻射劑量管制建議值比較，以 ICPR-60 號報告輻射管制標準來說，對工作人員輻射曝露建議每連續 5 年週期之有效劑量不得超過 100 毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過 50 毫西弗，國內游離輻射防護安全標準已依此建議值推行多年，而現行國軍部隊曝露劑量等級管制級距第一級相當於 500 毫西弗，高於法規標準 10 倍，管制標準明顯偏低，國際放射防護委員會所建議管制值有完整之實驗數據為依據，可確保人員在此管制值下風險甚低，雖然作戰期間有作戰任務考量，但戰場上若人員遭受過高之輻射曝露，如美軍在美伊戰爭期間，士官兵可能吸入乏鈾彈之乏鈾微粒，因而產生致癌之案例，於戰後衍生出輻射傷害問題，造成後續醫療處理困擾。

各部隊執行任務皆依據標準作業程序實施，也會針對每個行動進行風險評估及風險控管，確保能在安全狀況下完成任務。核子狀況下作業並沒有絕對輻射防護方法可確保人員安全，屬於高風險行動，為有效控管風險，除提高輻射劑量管制標準外，每項行動經評估有輻射危害風險時，可進一步利用輻射防護原則，擬訂降低輻射傷害方法，如加強輻射防護教育訓練、改善防護裝備、進行個人劑量監測、有效管制作業時間、提升輻射偵測器性能、迅速執行污染除污、提供高品質醫療照護等，期能有效控管輻射傷害，確保作業人員安全。

參考資料

一、書籍：

1. 財團法人中華民國輻射防護協會編印，《游離輻射防護彙萃》，新竹，民國 96 年。
2. 國防部陸軍司令部，《核生化中心作業手冊》，民國 96 年 11 月。
3. 行政院原子能委員會，「輻射工作人員認定基準」，民國 95 年 12 月。
4. 行政院原子能委員會，《游離輻射防護法規彙編》，民國 95 年 12 月。
5. Handbook for Responding to a Radiological Dispersal Device, Conference of Radiation Control Program Directors, September 2006.
6. Joint Publication 3-11, Operations in Chemical, Biological, Radiological, and

Nuclear(CBRN) Environments, August 2008.

二、期刊：

1. 楊福助，「核生化恐怖攻擊特點與防護研析」，《核生化防護半年刊》，第 83 期，中國 96 年 5 月。
2. 鄧坤誠，「乏鈾彈輻射傷害與防護」，《核生化防護半年刊》，第 78 期，民國 93 年 9 月。
3. International Atomic Energy Agency, The Radiological Accident in Goiania, Vienna, 1988.
4. ICRP Publication No. 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP 37, 2007.
5. ICRP Publication No. 60, The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, 1990.

三、網路資料：

1. 清蔚園-核能電廠風險
<http://vm.nthu.edu.tw/science/shows/nuclear/safety/index4.htm>