



本期內容

CONTENT

國際組織對建築材料的輻射防護管理建議	1
國際組織對建築材料天然放射性的放射防護極為重視，近年來陸續提出了許多報告，對建築材料的輻射防護管理提出建議，作者就這些報告與文獻之建議要點提出說明。	
輻射事故現場應變守則	6
輻射事故現場第一線的應變人員，通常是災害發生後首批到達現場的消防、急救及警察人員，這些人員均應該穿戴適當的防護裝備，保護自己免受放射性污染與減少輻射劑量的曝露。	
訓練班課程	9
公告本會各項訓練班開課時間	
輻協新聞廣場	10
各項證照考試資訊、國內產官學界最新消息、以及近日全球輻防新聞 全球輻防新聞	
輻射防護發展的歷史沿革	13
作者介紹輻射線發展的歷史，來討論輻射防護法則及標準的演進。並在將來的議題中，再與讀者們做系統性的分段報告，循序的討論有關輻射與核能各項法規的發展與制定。	
輻射防護安全標準制定的背景及演進	18
自 X-光發現後，輻射就應用到許多領域。由於人們對於輻射線缺乏了解及不當操作方式，使用上難免引起輻射線的過度曝露，而造成傷害，這些事件也引起了關注，作者本篇介紹了輻射防護標準的制定背景與事件，讓讀者能窺見輻防演進的過程。	

國際組織對建築材料的輻射防護 管理建議

作者 許芳裕

國立清華大學 原子科學技術發展中心 博士/教授



一、簡介

所有源自岩石和土壤的建築材料都含有不同數量的天然放射性核種，主要包含鈾 (^{238}U) 和釷 (^{232}Th) 系列以及鉀 (^{40}K) 等放射性同位素。建築材料亦可能含有來自涉及天然放射性物質 (NORM) 工業的殘留物或材料混合物 (例如摻入爐渣的建材)，其所含放射性是屬於天然的，使用作為建材仍會引起公眾曝露，因此國際間對此議題一直都非常的關注。對於建築材料天然放射性的輻射防護，國內於 106 年 9 月修訂之天然放射性物質管理辦法(原能會，2017)，其第九條規定，經主管機關公告納管之建材，應實施活度濃度分析，其活度濃度指數及使用範圍依其附表一規定。但如對建材表面 0.1 公尺處測量輻射劑量率，其劑量率結果(不含背景值)小於每小時 0.2 微西弗者，不在此限。如實施活度濃度分析，使用於建築物主體結構之建材活度濃度指數(I)須小於 1，使用於建築物室內裝飾之建材活度濃度指數(I)須小於 3，使用於建築物室外裝飾及公路、橋樑或機場跑道等室外設施主體結構之建材活度濃度指數(I)須小於

4；建材活度濃度指數(I)計算公式如下：

單一材料：

$$I = \frac{C_U}{300 \text{ 貝克/公斤}} + \frac{C_{Th}}{200 \text{ 貝克/公斤}} + \frac{C_K}{3000 \text{ 貝克/公斤}}$$

混合材料：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \times C_{Ui}}{300 \text{ 貝克/公斤}} + \frac{\sum_{i=1}^n f_i \times C_{Thi}}{200 \text{ 貝克/公斤}} + \frac{\sum_{i=1}^n f_i \times C_{Ki}}{3000 \text{ 貝克/公斤}}$$

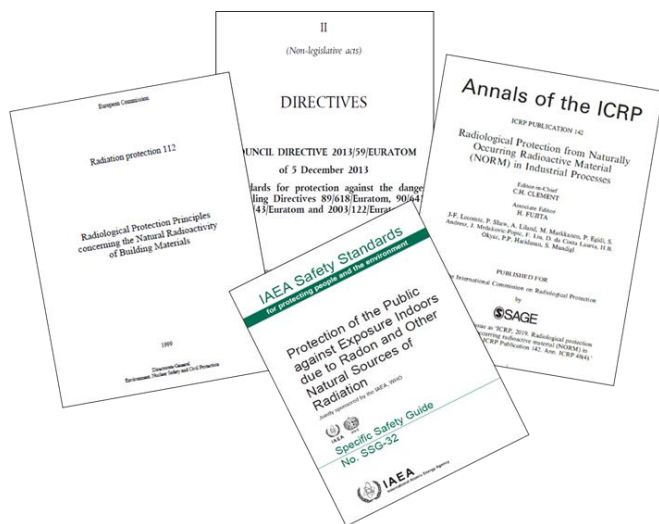
上述式中 (i) I 為建材活度濃度指數，其中 C_U 、 C_{Th} 、 C_K 分別代表材料中之鈾、釷系列及鉀之核種活度濃度，單位為貝克/公斤(Bq/kg)，而活度濃度因子於鈾系列核種為 300 貝克/公斤、釷系列核種為 200 貝克/公斤、鉀核種為 3000 貝克/公斤。(ii) 如建材使用混合材料時，應考量第 i 種材料在建材之重量百分比(f_i)；如材料中所佔的重量百分比無法確定時，其 f_i 以 1 計算。國際組織對建築材料天然放射性的放射防護也極為重視，近年來也陸續提出了許多報告，對建築材料的輻射防護管理提出建議；如歐盟提出的 EU RP112 報告、IAEA 的 SSG-32 報告、歐盟 EU COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM 指引、ICRP

142 報告等，以下就這些報告與文獻之建議要點提出說明。

2. 對建築材料輻射防護與管理提出建議之國際報告與文獻

2.1 RP 112 報告

歐盟於 1999 年即制定了關於建築材料天然放射性的放射防護原則(RP 112 報告：Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials) (EU, 1999b) 供其會員國參考。RP 112 報告建議，對含天然放射性物質建材之管制，應考慮總體國情而建立劑量標準。在歐盟範圍內，從輻射防護的角度來看，只有在非常特殊的情況下，建築材料造成之年有效劑量才會超過 1 mSv。如果源自建築材料的伽馬輻射使公眾成員的體外曝露年有效劑量最多增加 0.3 毫西弗，則建築材料應免於對其放射性所有限制，即可予以豁免管制。年有效劑量之限值應參酌各國天然放射性物質使用之現況及影響範圍，RP 112 建議年劑量率限值應介於 0.3~1 mSv/y (不含背景值)。



圖一 建築材料輻射防護與安全管理有關的一些國際報告

2.1.1 建築材料活度濃度指數的推導

RP 112 導出以下活度指數以表明由於建築物的體外加馬輻射引起的年劑量是否可能超過 1 毫西弗。活度濃度指數的計算方法如下 (參數值見表 2) :

鐳的影響因子(F_{Ra}) :

$$\begin{aligned} \text{劑量標準 } 1 \text{ mSv/y} &= (0.92 \times C_{Ra} - 50) \\ &\times 10^{-9} \text{ Gy/h} \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 7000 \text{ h/y} \Rightarrow \\ F_{Ra} &= 276 \text{ Bq kg}^{-1} \end{aligned}$$

釷的影響因子(F_{Th}) :

$$\begin{aligned} \text{劑量標準 } 1 \text{ mSv/y} &= (1.1 \times C_{Th} - 50) \\ &\times 10^{-9} \text{ Gy/h} \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 7000 \text{ h/y} \Rightarrow \\ F_{Th} &= 231 \text{ Bq kg}^{-1} \end{aligned}$$

鉀的影響因子(F_K) :

$$\begin{aligned} \text{劑量標準 } 1 \text{ mSv/y} &= (0.080 \times C_K - 50) \\ &\times 10^{-9} \text{ Gy/h} \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 7000 \text{ h/y} \\ \Rightarrow F_K &= 3176 \text{ Bq kg}^{-1} \end{aligned}$$

在最終的活度濃度指數中，將上述影響因子計算值以四捨五入到最接近的整數百 Bq/kg (鐳取 300 Bq/kg，釷取 200 Bq/kg) 或 千 Bq/kg (鉀取 3000 Bq/kg)，作為活度濃度指數計算之分母，而以下式計算活度濃度指數 (I) :

$$I = \frac{C_{Ra}}{300 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_{Th}}{200 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_K}{3000 \text{ Bq/kg}}$$

其中 C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_K 是鐳、釷和鉀的活度濃度，單位為 Bq kg^{-1} 。

活度濃度指數 (I) 應考慮建築物中使用材料的典型方式和數量，不得超過表 1 之數值 (取決於建築物中使用材料的方式和數量，並建議以年劑量 1 mSv/y 為劑量限值做計算)；RP 112 計算建築材料含有單位活度濃度核種造成之劑量率值列於表 2。表 2 中之特定劑量率是使用發表在參考文獻 (Markkanen, 1995) 中的電腦程式所計算的。

2.2 IAEA SSG-32 報告

國際原子能總署 (IAEA) 亦於 2015 年提出 SSG-32 報告，對室內建材輻射安全防護及管制作法提出建議 (IAEA, 2015)。SSG-32 使用與 RP 112 相同的活度濃度指數 (I) 計算公式，並指出如果對於散裝材料 (例如混凝土和磚塊) 的活動濃度指數 I 小於 1，或對於諸如瓷磚這樣的表層材料的活動濃度指數 I 小於 6，則建築材料中放射性核種曝露於加馬射線的年有效劑量為小於約 1 mSv 的參考基準。此類建築材料不應受到使用限制。SSG-32 表明，對於大多數建築材料，活度濃度指數的相應值均未超過。對於分別超過 $I = 1$ 或 $I = 6$ 的建築材料，需要進一步評估後才能使用。

2.3 歐盟 EU COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM 指引

歐盟於 2013 年提出之 EU COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM 指引適合建立室內氡濃度和建築材料發出的室內加馬輻射的參考基準，並引入對將含天然存在放射性物質加工成建築材料的工業殘留物進行回收的要求。EU COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM 建議除室外之體外曝露外，建築材料加馬輻射室內體外曝露的參考基準應為每年 1 mSv。且要求對於已確定類型的建築材料，應確定原始放射性核種 ^{226}Ra 、 ^{232}Th (或其衰變產物 ^{228}Ra) 和 ^{40}K 的活度濃度。

活度濃度指數 I 之計算仍與 RP 112 相同。I 指數與加馬輻射劑量有關，該指數適用於建築材料，而不適用於其成分，除非這些成分本身就是建築材料並單獨評估。活度濃度指數值為 1 可用作保守篩選工具，用於識別可能導致超過參考基準(每年 1mSv)的材料。劑量的計算需要考慮其他因素，例如

材料的密度、厚度以及與建築物類型和材料的預期用途(散裝或表面)相關的因素。

2.4 ICRP 142 報告 (建材之輻射影響與管制建議)

建築材料可通過直接的體外加馬輻射以及將氡氣(^{222}Rn)和釷(^{220}Rn)釋放到

室內空氣中而引起公眾曝露。

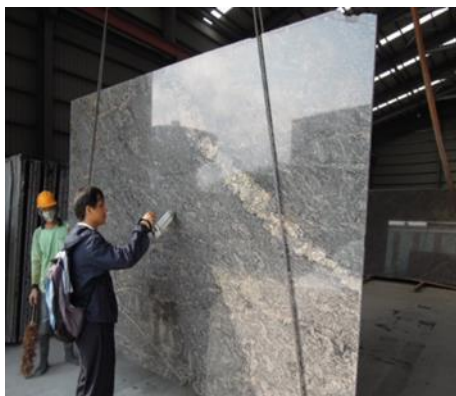
建築材料製造和處理過程中的職業曝露通常較低，建議應像在涉及 NORM 的任何其他行業一樣，採用分級方法對其進行管理。使用含有 NORM 的建築材料可被視為公眾曝露於 NORM 的一種途徑。

表 1 RP 112 考慮建築物中使用材料的典型方式和數量之活度濃度指數(I)建議值

劑量標準	1 mSv/y
大量使用的材料，例如 混凝土	$I \leq 1$
表層及其他限制使用的材料：瓷磚、板材等	$I \leq 6$

表 2 RP 112 計算單位活度濃度核種造成之劑量率值

評估之房間尺寸	4 m × 5 m × 2.8 m		
結構的厚度和密度	20 cm, 2350 kg m ⁻³ (concrete 混凝土)		
每年曝露時間	7000 hours		
劑量轉換 Gy → Sv	0.7 Sv Gy ⁻¹		
背景	50 nGy h ⁻¹		
	單位活度濃度造成之劑量率 (nGy/h per Bq/ kg)		
建築物中引起輻射的結構	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
地板、天花板和牆壁 (所有結構)	0.92	1.1	0.080
地板和牆壁 (木天花板)	0.67	0.78	0.057
僅地板 (帶混泥土地板的木屋)	0.24	0.28	0.020
表面材料：所有牆壁上的瓷磚或石材 (厚度 3 cm · 密度 2600 kg m ⁻³)	0.12	0.14	0.0096



圖二 建材表面輻射劑量率的量測

如上所述，公眾曝露的參考基準約為每年幾 mSv 或以下，它為體外加馬輻射對公眾成員造成的有效劑量。

建築材料中從 ^{226}Ra 釋出的氡氣通常不會成為超過為室內氡濃度設定的參考基準。在大多數國家，建築材料對氡氣曝露的影響不大，但在某些特殊情況下，氡氣也不容忽視。

ICRP 142 建議各國應制定輻射防護策略，以推廣不超過參考基準的建築材料。該策略可能包括一些措施，如提供由不同建築材料引起的曝露基準的資訊、材料標示。確保該措施實際上是合理和可行的重要的是要，然後再做出決定。根據 ICRP 126 (2014) 建議制定的氡氣防護措施應包括相關的建築材料中的氡和釷氣 (^{220}Rn) 曝露。

表 3 不同國家建築材料天然放射性相關標準要求(Ortiz, 2008)

國家 (Country)	標準 (Standard)	公式表示 (Expression) ^(a)	要求 (Requirement)	年有效劑量 (Annual Effective Dose) [mSv/y]
中國 China	GB 6566 (2002)	$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{260} + \frac{A_K}{4200}$ $H_{in} = \frac{A_{Ra}}{200}$	$\leq 1,3$ ≤ 1	1
波蘭 Poland	Dziennik No.220. Item 850 (2002)	$f1 = 0.00033C_K + 0.0033C_{Ra} + 0.005C_{Th}$ $f2 = C_{Ra}$	≤ 1 ≤ 200	1
捷克 Czech	SUJB Decree No. 307/2002 Coll (2002)	C_{Ra}	≤ 150 (整塊,主結構) ≤ 200 (表淺,面)	1
奧地利 Austria	Ö NORM S 5200 (1996)	$\frac{a_{K-40}}{10000} + \frac{a_{Ra-226}}{10000} (1 + 0.15e.p.d) + \frac{a_{Th-232}}{600}$	≤ 1	2
以色列 Israel	IS 5098 (2007)	$I = \frac{^{226}\text{Ra}}{A(^{226}\text{Ra})} + \frac{^{232}\text{Th}}{A(^{232}\text{Th})} + \frac{^{40}\text{K}}{A(^{40}\text{K})}$	≤ 1 (整塊,主結構)	0.3
俄羅斯 Russia	Radiation Safety Standards NRB-96 (1996)	$A_{eff} = A_{Ra} + 1.31A_{th} + 0.085A_K$	≤ 370 (新建築住宅和公共建築) ≤ 740 (工業建築) ≤ 2800 (佔用區外的道路)	1
芬蘭 Finland	Guide st 12.2 (2003)	$I = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000}$ Houses $I = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000}$ Road, Street $I = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000}$ landfill	≤ 1 (整塊,主結構) ≤ 6 (表淺,面) ≤ 1 (一般使用) ≤ 1.5 (限制使用) ≤ 1	1 0.1

(a) C, A, a: activity concentration (Bq/kg); Aeff: activity effective concentration; I, f, Hex, Hin : indexes.

對於建築材料亦可能摻入含有來自涉及 NORM 工業的殘留物或材料混合物，ICRP 指出其摻入的目的不應是有意稀釋或繞過對此類殘留物的管理要求；除了用於建物結構的建材外，對其他建築材料採用類似的方法，例如用於房屋地基的材料，或用於庭院、遊樂場、街道和道路的表面，或是用於橋樑的結構等，應特別注意將具有極高活度濃度的殘留物摻入建築材料的過程，並且可能需考慮進行劑量評估和個別材料的活度濃度指數評估。

2.5 各國建築材料天然放射性相關標準要求

目前國際上有中國大陸、波蘭、捷

克、奧地利、以色列、俄羅斯、芬蘭等 7 國將建築材料天然放射性相關標準要求，如表 3 (Ortiz, 2008)。其中之中國大陸、波蘭與捷克等三國有考量體內曝露輻射之影響，訂定有體內曝露指數限值，規定 ^{226}Ra 之活度濃度不可超過 200 Bq/kg(其考量為建築材料中 ^{226}Ra 會衰變釋出氡氣，因此管制較氡氣易測量之 ^{226}Ra 活度濃度)。除捷克無規範體外曝露之指數，其餘 6 國均有訂定體外曝露指數限值，係以考量 ^{262}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 之活度濃度指數做為評定依據。

3. 結語

目前國內已有訂定天然放射性物質管理辦法，其內已有對建築材料的相關

管理規定，且原能會目前每年對天然石材加工與銷售業者進行現場訪查，近年訪查結果均符合天然放射性物質管理辦法第 9 條之規定；除了天然石材外，其他建材如包含用爐渣或副產品製造的建築材料、混凝土、磚瓦與建築用陶瓷等，國際組織之相關報告亦建議是各國使用情況，應進一步調查與評估其可能之曝露與實際影響程度。此外，與國外管理做法相較，我國現行之天然放射性物質管理辦法所定義之活度濃度指數公式與 RP 112 及 IAEA SSG-32 報告相符，但在結果要求上較歐盟及 IAEA 嚴格(國內 $I < 3$ 始能用於室內，RP 112 及 IAEA SSG-32 建議 $I \leq 6$ 即可用於室內)。



參考文獻

- ◆ 行政院原子能委員會，天然放射性物質管理辦法，2017 年 9 月。
- ◆ EC, Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials. Radiation Protection 112. European Commission, Brussels, 1999.
- ◆ EURATOM, Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. Off. J. Eur. Union. 13: 1–73, 2013.
- ◆ IAEA, Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. Specific Safety Guide No. SSG-32. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2015.
- ◆ ICRP. Radiological protection from naturally occurring radioactive material (NORM) in industrial processes. ICRP Publication 142, 2019.
- ◆ Markkanen M. Radiation Dose Assessments for Materials with Elevated Natural Radioactivity. Report STUK-B-STO 32, Radiation and Nuclear Safety Authority –STUK, 1995.
- ◆ Ortiz, Josefina; Ballesteros, Luisa; Serradell, Vicente. Radioactivity reference levels in ceramics tiles as building materials for different countries. IRPA 12: 12. International congress of the International Radiation Protection Association (IRPA): Strengthening radiation protection worldwide; Buenos Aires (Argentina); 19–24 Oct 2008.

輻射事故現場應變守則

作者 李承龍

臺灣警察專科學校/國立清華大學 副教授



若發生輻射意外事故，在輻射事故現場第一線的應變人員，通常為災害發生後首批到達的消防、急救及警察人員，應該穿戴適當的防護裝備，保護自己免受輻射污染。同時，應該盡快疏散周圍的居民，並將受到輻射污染的人員送往醫院進行治療。在處理輻射污染物時，應該嚴格遵守相關程序和規定，避免進一步的輻射污染，同時應該立即向上級報告事故情況，以便進一步的處理和調度。

依照輻射事故現場應變處理的時間順序又可分為三個階段：平時整備階段、緊急應變階段及災後復原階段。在面對所處不同的階段，有關人員應謹守與配合應變守則，除妥適處理事故外，也能保護自己的輻射作業安全。以下針對上述三階段的應變守則說明：

一、平時整備階段：在發生事件輻射意外之前的階段。

(一) 普及人員教育訓練：透過教育訓練可協助人員瞭解各項輻射特性、危害方式、防護原則及應變原則等。

(二) 輻射偵測裝備整備：熟悉輻射偵檢器的操作及使用方式，另輻射偵測裝備應隨時妥善備用，定期訓練操作及練習檢測工作，以確保事故發生時能立即發揮功能。

(三) 輻射防護裝備整備：防護裝備的整備（如圖一）需要根據不同的輻射類型和用途進行適當的處理，並遵循相關的操作規範和安全標準，以確保防護裝備的安全和效果。一般而言，消防與急救人員大多有正壓自攜式呼吸器（SCBA）可用於呼吸防護，有些情況可用 A 級防護衣，另應準備高效能防護面具（HEPA）及拋棄式防護衣，以備不時之需，而警察人員的輻射裝備十分缺乏，亟需採購補充。

(四) 除污、隔離裝備整備：除污、隔離裝備也需要根據不同的類型和用途進行處理，以確保安全和效果。此外，在除污、隔離作業中，還需要注意操作人員的防護和安全，避免接觸輻射源和受到輻射污染。消防單位現有之除污裝備再配合除污劑使用，即可滿足基本的除污需求。另外，生物污染可能有潛伏期的問題，

需配合衛生福利部的規劃，從事隔離裝備的整備來應對。

(五) 擬定標準應變程序及應變計畫：根據國家和地方法規，制定輻射事故的應變程序，包括緊急應變、短期對策和長期對策等階段的具體措施，使相關人員有所依循。另應制定具體的應變計畫，包括各部門和機構的任務分工、人員配備、物資儲備、通訊聯繫等。

(六) 輻射事故應變演練的實施：定期組織輻射事故應變演練，以驗證應變程序和計畫的有效性和可行性，並提高應變人員的應變能力和應變意識。

(七) 建立良好資源聯絡管道：整合相關單位和資源，共同參與救援行動，提高救援效率和成功率。針對災害緊急應變所需資源建立良好聯絡管道，如國家級警報系統、國安情報系統、救災通報系統等，讓輻射事故應變時可在最短時間內獲得相關的援助。



圖一、輻射防護裝備 (原圖摘自 <https://newurl.cc/R0KNYOMV>)

(八) 傷患及災民之照料資源整備：輻射事故傷患及災民的照料資源包括確保有足夠的醫療人員、醫療器材和藥品，以應對可能出現的輻射相關疾病和傷患；足夠的防護裝備，以保護應變人員和受害者免受輻射污染；有足夠的安全食品和飲用水，以保障災民的基本生活需求；適當的庇護設施，以保護災民免受輻射污染；提供必要的心理支持和援助，幫助災民度過難關。另需要考慮地區的實際情況和輻射事故的特點，並與相關部門和機構進行充分溝通和協調，確保資源的及時供應和有效利用，在最短時間內滿足災民基本生活需求。

二、緊急應變階段：在發生輻射意外事件後，至專責單位接管指揮權之前。

(一) 情資蒐集及研判：在接獲報案後需詳細詢問輻射災害現場狀況，及時量測現場輻射（如圖二、表面輻射污染偵測儀），了解事故的性質、範圍和影響，掌握事故的基本情況，隨時與上級聯繫，完成初步的輻射災害類型研判。

(二) 應急人員自我保護：儘可能地保護自己和他人的人身安全，遠離

輻射源，並按照相關指引進行防護。狀況未明時，以 A 級防護為主。在具有輻射污染的疑慮下，需配備輻射偵檢器。

(三) 個人防護裝備選擇：不同的輻射源和場合需要不同的防護裝備，選擇防護裝備時應根據實際情況進行選擇。此外，防護裝備的使用也需要遵循相關的操作規程和安全標準，以確保其防護效果和使用安全，原則上首要注重呼吸防護。

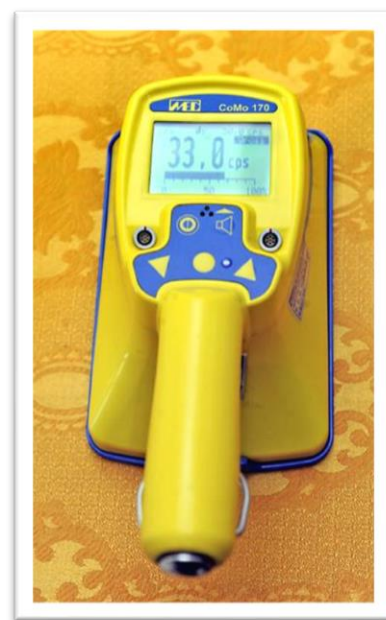
(四) 緊急救援的重點：輻射災害現場需評估救援能力及完成時間後，再行實施救援，若發現有人受傷需要救援時，需完成分類和處置病患，病患需除污後才能由救護車送醫院治療檢查。救援人員需要佩戴適當的防護裝備，以保護自己免受輻射污染。救援行動需要根據事故情況和相關指引進行，並優先考慮傷患和被困人員的生命安全。同時，需要整合相關單位和資源，共同參與救援行動，以提高救援效率和成功率。

(五) 建立管制區域：輻射災害現場之污染區域需嚴格管制人員進出，對於下風處可能危害地區之居民，應實施疏散或就地掩蔽，管制範圍需視

災害種類或緊急應變指南為參考管制標準。

(六) 人員除污的重點：現場勘察及緊急應變人員在進入污染區，應佩戴適當的防護裝備，以保護自己免受輻射污染，使用適當的清潔劑和工具，清理表面的輻射污染物，如灰塵、泥土等。清潔時要注意不要使污染物再次飛揚。使用適當的空氣過濾器 and 空氣清潔器等設備，清理空氣中的輻射污染物。進行除污作業時，應避免直接接觸輻射源，以免受到輻射污染；不要使污染物再次飛揚或流散，以免造成二次污染；定期更換防護裝備，以保護應變人員的安全。除污作業需要根據實際情況進行適當的處理，並遵循相關的操作規程和安全標準，以確保作業的安全和效果。

災後復原階段：在專責單位接管指揮權之後



圖二、表面輻射污染偵測儀 (原圖摘自 <https://news.ltn.com.tw/news/focus/paper/477242>)

(一) 確定污染範圍：需要對污染範圍進行詳細的調查和測量，以確定受污染的區域和程度，再根據調查和測量的結果，建立污染地圖，標示出受污染的區域和程度，以便後續的復原工作。

(二) 環境、人員及裝備除污：對受污染的區域進行清理，清除地表和建築物表面的輻射污染物，如灰塵、泥土等。完成救災後應注意人員（如圖三）及裝備的除污工作，已確保各類輻射污染源不會被帶離災害現場。

(三) 廢棄物處理與環境監測：將清理出來的輻射污染物進行適當的處理，如封存、中和、焚燒等，以防止

二次污染。另對復原區域進行環境監測，定期測量空氣、水、土壤等的輻射水平，以確保環境安全。

(四) 健康評估與心理輔導：對參與復原工作的人員進行健康監測，定期進行體檢和輻射監測，以確保其健康安全，觀察是否有身體不適等現象。對於參與救災人員應加強心理輔導，有相關問題應尋求專業醫師協助。

在涉及使用放射性物質的事故現場，儘管擔憂一些特殊的問題，但必須強調的是，輻射的事故犯罪現場，往往都只是製造出與恐慌有關的素材。不過在警方對於犯罪現場處理與採證的

做法，例如內政部警政署頒發的「警察犯罪偵查手冊」或「刑事鑑識手冊」，均未完整提及應特別注意事項或安全處理規範，對於當前社會大眾強調原子能安全的意識高漲，凸顯本議題之急迫性和重要性。

將特殊的放射物質納入證物之處理規範中，討論輻射事故現場之緊急處理注意要領，說明輻射犯罪現場處理與採證，方可讓犯罪現場勘察、處理人員，面對特殊輻射事故或放射性相關跡證，有較清楚的安全認識及更明確之處理規範。



訓練班課程(112 年度)

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-許可類
A3 新竹 帝國經貿大樓
7 月 18 日~7 月 25 日
A4 高雄 文化大學推廣部
7 月 26 日~8 月 2 日

B 組 18 小時-登記類
B13 高雄 文化大學推廣部
7 月 4 日~7 月 6 日
B14 台中 文化大學推廣部
8 月 9 日~8 月 11 日
B15 台北 進出口同業公會
8 月 16 日~8 月 18 日
B16 新竹 帝國經貿大樓
8 月 22 日~8 月 24 日
B17 高雄 文化大學推廣部
9 月 5 日~9 月 7 日
B18 新竹 帝國經貿大樓
9 月 25 日~9 月 27 日
B19 台北 進出口同業公會
10 月 3 日~10 月 5 日

輻射防護專業人員訓練班：
輻防員(108 小時) / 輻防師
(144 小時)

員 41 期
新竹 帝國經貿大樓
第一階段
112 年 7 月 3 日~7 日
第二階段
112 年 7 月 10 日~14 日
第三階段
112 年 7 月 26 日~28 日
第四階段
112 年 7 月 31 日~8 月 04 日

進階 25 期
新竹 帝國經貿大樓
第一階段
8 月 9 日~8 月 11 日
第二階段
8 月 14 日~8 月 16 日

輻射防護繼續教育訓練班
(3/6 小時)

高雄 科學工藝博物館南館
7 月 20 日(上午&下午)
台北 進出口同業公會
7 月 24 日(上午&下午)
新竹 經濟部專研中心
8 月 8 日(上午&下午)
台中 文化大學推廣部
8 月 24 日(上午&下午)

鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班

鋼 3 台中 文化大學推廣部
11 月 1 日~11 月 2 日

上課地點

台北

進出口同業公會：台北市中山區松江路 350 號

新竹

帝國經貿大樓：新竹市光復路二段 295 號 20 樓
經濟部專研中心：新竹市光復路二段 3 號

台中

文化大學推廣部：台中市西屯區台灣大道三段 658 號

高雄

國立科學工藝博物館-南館：高雄市三民區九如一路 797 號
文化大學推廣部高雄教育中心：高雄市前金區中正四路 215 號 3 樓

課程安排問題，請聯絡本會，電話 (03) 572-2224
分機 313 李貞君 (繼續教育)；
315 邱靜宜 (鋼鐵建材、放射性物質與游離輻射設備)
傳真 (03) 572-2521315



輻防新聞廣場

最新證照考試日期與榜單

- ➔ 行政院原子能委員會「112 年第 1 次輻射防護專業測驗與輻射安全證書測驗及格人員名單」。[訊息連結](#)

「112 年第 1 次輻射防護專業測驗與輻射安全證書測驗及格人員名單」已公布於本會網站，請點選下方（附檔下載）即可下載瀏覽。

相關連結：[相關連結](#)（發布日期 112 年 6 月 7 日）

附檔下載(1)：[112 年第 1 次輻射防護專業測驗及格人員名單 \(PDF 檔案\)](#)

附檔下載(2)：[112 年第 1 次操作人員輻射安全證書測驗及格人員名單 \(PDF 檔案\)](#)

國內新聞

- ➔ Yahoo!新聞報導「芬蘭啟用歐洲最大核電廠 擁核反核看法分歧」。[訊息連結](#)

德國於本（4）月 14 日關閉境內最後 3 座核電廠，正式告別核能發電。不過就在幾小時後的隔天，芬蘭的奧爾基洛核電廠（Olkiluoto Nuclear Power Plant）正式啟用，這座蓋了近 20 年才完工的核電廠，不僅是歐洲 16 年來第一座新核電廠，也是歐洲目前最大的核電廠。在奧爾基洛啟用後，芬蘭大約有 40% 的用電需求由核電滿足，而德國與芬蘭截然不同的行動，也標誌出歐洲對於擁核廢核的分歧。

《衛報》報導指出，歐洲過去 20 多年來分成以德國為首的反核陣營，以及以法國為首的擁核陣營，但隨著要將溫室氣體排放量降低的法定期限 2030 年逼近，以及俄烏戰爭造成的俄羅斯便宜天然氣中斷，兩方的分歧正在不斷加深。尤其歐洲許多正在營運的核電廠，都將在 2025 年迎來原訂的使用期限，若想延長使用，現在差不多就該做出決定。

歐盟議會的環境委員會表示，「不同的成員國做出了截然不同的選擇，有著截然不同的立場和利益」，環境委員會更直言，雙方的許多行動都包含著某種「故作姿態」，若要真正全盤考慮所面對的狀況與手中的解決方案，任何政治和意識形態都應該被排除。

2021 年，歐盟全境約 25.4% 的電力來自核能發電，其中法國的核電比例達到將近 70% 最高，其次是斯洛伐克的 52.4% 和比利時的 50.6%。另外芬蘭、保加利亞、波蘭、斯洛伐克等國，也在法國的領導下，在歐盟內建立起一個「擁核聯盟」，這些國家的核電比例在過去幾年並未減少，而是持續增加。

與此同時，德國順利告別核電，而「反核聯盟」的成員還有葡萄牙、丹麥和奧地利等國，他們正打算投訴歐盟委員會，因為歐盟委員會認可核能是可以降低溫室氣體排放的一種「綠色」技術。

對於反核方的投訴動作，擁核聯盟十分不滿。法國總統馬克宏曾說，「並非法國，而是另外某些國家針對核能做出極端的選擇」。芬蘭在啟用奧爾基洛時也強調，核電可以保證能源安全，並幫助實現碳中和的目標。

歐盟議會的環境委員會則持中庸立場，他們認為核能不像可再生能源那般被視作「綠能」，但核能確實具有低碳排的特性，也不應該和燃煤發電等傳統的化石能源歸類在一塊。環境委員會樂觀地表示，撇除掉那些「故作姿態」，雙方應該都能接受核能不是綠能，但依然可以被當作解決方案的一種，而不是「該被解決的問題」。環境委員會還說，現在歐洲的環保活動更多聚焦在如何應對全球氣候危機，已不像過去那般反核。（發布日期 112 年 4 月 21 日）

- 聯合新聞網報導「完成核三廠審查作業 原能會：環評通過再核發除役許可」。 [訊息連結](#)

核能電廠除役為重要關切議題，目前核一、核二廠均除役，原能會指出，2021 年 7 月收到核三廠除役計畫、同年 8 月完成程序審查，今天完成審查作業，後續台電提出環保署認可的環評及相關資料，經原能會認定符合核子反應器設施管制法第 23 條規定，才會依法辦理核發核三廠除役許可相關事宜。

核能會表示，2021 年 7 月收到核三廠除役計畫後，即參考核一、核二廠除役計畫審查經驗，妥善規畫本案審查與公眾參與事宜，同年 8 月完成程序審查，確認申請文件符合應備要件後，由外部專家學者與原能會人員組成專案審查團隊進行實質審查，經嚴格審查，確認台電已就除役關鍵事項進行適當評估及規畫後，今天完成審查作業。

為落實公眾參與及資訊公開，原能會於審查期間也將除役計畫函請地方政府及有關機關提供意見，並透過邀請地方公眾至核電廠實地查訪、舉辦地方說明會、拜訪地方代表等，聽取地方鄉親及公民團體的意見，納入除役計畫審查作業參考。

原能會表示，核能電廠除役是各界關切的議題，目前核一、二廠均已進入除役階段，核三廠 2 部機運轉執照也將分別於 2024 年 7 月及 2025 年 5 月屆期，原能會作為核能安全管制機關，除嚴格審查除役計畫外，也會持續監督台電依除役計畫執行除役相關作業，為民眾安全把關。（發布日期 112 年 4 月 24 日）

- Yahoo!新聞報導「低劑量電腦斷層 早期發現揪出肺癌」。 [訊息連結](#)

去年 7 月，衛福部宣布，肺癌高風險族群享有每 2 年公費篩檢 1 次。台灣是全世界第一個針對具肺癌家族史及重度吸菸者，提供肺癌篩檢的國家，所謂檢查，指的是「低劑量電腦斷層掃描」，每次輻射劑量只有常規的 5 分之 1，是目前唯一被證實可以早期發現肺癌的篩檢工具，具有高敏感性，比 X 光更能揪出細微病灶。然而，它會產生高度偽陽性，可能造成不必要的心理負擔，如果不屬於肺癌高風險族群的人，想做這項檢查，建議謹慎評估。

肺腺癌患者 黃碧連：「快要枯掉了枯萎了，沒有想到天天澆水，它竟然冒出新芽。」

植物生長總是靜悄悄，隨時間流逝，各有姿態變化，人體也一樣，體內細微改變，有時難以察覺，退休教師黃碧連，幾年前常咳嗽，感覺中氣不足，健檢報告提醒，右肺葉出現結節。

肺腺癌患者 黃碧連：「好像不覺得怎麼樣，結節可能只是一個粒狀物，因為自己常常咳嗽。」

大林慈濟醫院副院長 賴俊良：「比較大顆的稱為腫瘤，大於 3 公分以上；小於 3 公分的，看起來就很成形的一整顆的，我們叫做結節；如果像磨砂玻璃這樣半透明，我們會認為叫做毛玻璃的病灶。」

病灶來敲門，是不是一定要除之而後快，跟大小、型態變化有密切關聯，有的發展緩慢，經過好幾年也沒有太大的動靜，需要經過專業判斷追蹤。

大林慈濟醫院影像醫學科主任 林志文：「X 光通常要稍微，一般來說，1 公分以上，比較有機會可以看到，但是我們低劑量電腦斷層，它解析度非常好，大概 2 釐米 3 釐米以上都看得到，大概是 6 釐米到 8 釐米以上，通常是比較需要注意。」

偵測肺癌，不能不提到低劑量電腦斷層 LDCT，每次輻射劑量是常規電腦斷層的 5 分之 1，大約是 1 到 1.5 毫西弗，這個數字略小於台灣每人每年所接受的天然背景輻射劑量 1.62 毫西弗。

大林慈濟醫院副院長 賴俊良：「要提醒大家是，並不是說幾切幾切的這個(數字)迷思，最重要你其實得要注意它電腦斷層它做的細的程度，比如說是不是 0.1 公分或 0.125 公分一切，這樣的電腦斷層。」

坊間醫療競爭，一窩蜂追求高切數，其實肺癌篩檢較重要的是，多少距離及厚度呈現一個切面，並不是切數越高，分析就越精準。

大林慈濟醫院醫事放射師 何嘉祥：「現在政府有在推篩檢，就是他符合年齡(或病史)，有一些高危險的環境，就可以去做篩檢。」

特定年齡有家族史，還有重度吸菸者，衛福部有補助，每 2 年免費篩檢 1 次，其他像長期致癌環境曝露、慢性肺病變的人，先跟醫師討論，再考慮是否自費檢查，LDCT 不是人人都適合，偽陽性偏高，容易造成不必要的心理負擔或過度治療，次數頻繁，輻射影響會累積，同樣也要納入評估風險。

(發布日期 112 年 5 月 22 日)

- ➔ 台灣新生報報導「原能會 12 日再赴日觀察核電廠廢水排放」。
[訊息連結](#)

原能會表示，為持續掌握日本政府針對「ALPS 處理水」(ALPS Treated Water，即我國所稱之「含氬廢水」) 排放作業動態資訊，我國籌組專家觀察團將於六月十二日至十七日再次赴日本，期間除赴東京電力福島第一核電廠實地觀察「ALPS 處理水」排放相關設施與作業的整備情形，亦預計拜會相關分析實驗室與單位，以深入了解有機鍵結氬(OBT) 檢測技術、排放相關環境監測與安全管理、處理水第三方分析驗證作業等議題。

二次赴日將切實掌握日方排放相關作業之安全。(發布日期 112 年 6 月 10 日)

輻射防護發展的歷史沿革

作者 陳士友

美國伊利諾理工學院 教授



前言

筆者有幸，在美國阿崗國家實驗室工作時，得以參與美國原子能委員會(US Nuclear Regulatory Commission, USNRC)有關法規的研究計畫，因此能一窺原子能法規制定的始末。基於這個機緣，筆者在過去十年在任教於伊利諾理工學院保健物理研究所時，得以開一門有關原子能法規的獨特課程：標準，法令，與法規 (Standard, Statute, and Regulation)。這課程涵蓋了輻射的應用和防護的演進，輻防的科學基礎和原則。從而討論原子能法規制定的方式與過程。也介紹了各項有關原子能執照的資訊以及申請的程序。舉凡有關民間核子應用的題目，包括了核電廠的運轉，延役，除役，以及核廢料的處理，乃至於核子醫學的應用，等等，一樣俱全。這確是一門獨一無二的課程。幾年下來，本課程深獲學生們的好評，也為學生們在畢業後提供了非常切實際的應用知識。因此，筆者希望藉這機會和國內的同仁，以及輻防簡訊的讀者們分享這方面的資訊和經驗。

在參與原子能委員會計畫的過程中，一件巧遇讓筆者印象十分的深刻，特別在這裡提起。有一天在造訪原子能委員會時，特別注意到該會所彰示而令人矚目的宗旨 (Mission Statement): 本委員會的宗旨乃是審核及管制民間使用具有放射性的材料...。同時提供方向，以保證大眾的健康，社會的安全，以及環境的保護。原來，原子能委員的首要任務不在於宣揚原子的應用，而是著重於審核及管制，以確保大眾的安全與防護。

這個崇高的宗旨正是賦予輻防專業高度的肯定與期許。誠然，在輻防的領域中，如此的期望已經深植於入我們日常熟悉的觀念及口號中：萬事以安全為至上 (Safety Is Job Number One!); 以及，沒有核安就沒有核能 (No Nuclear Energy Without Safety!)。特別的是，在法令的規定以及民眾期望之下，凡事以安全為首要考量，絕對沒有妥協的空間。

輻射線的發展和歷史

1895年11月，德國物理學家倫琴 (Wilhelm Roentgen) 在實驗室意外發現一種來源不明的射線，就將它稱為

X-光 (圖一)，X-光是人類歷史上重大的發現。

它的用途流傳極為廣泛，大多用在醫學方面，一直延續到一百年多後的今天。倫琴也因此被公認為放射醫學之父。這項歷史性的成就幫他在1901年獲得了史上首次諾貝爾物理獎的殊榮。倫琴不僅在學術上登峰造極，他的為人更是謙卑無私。他不但將所有的獎金全數捐予他任教的學校，德國沃爾茲堡大學 (University of Wurzburg)，同時也拒絕為了他所發現有關 X-光科技申請專利。理由是為了要無償的提供這項新科技給全世界，造福人類。



圖一. 倫琴和他在1895年的第一張X-光照 (圖右為倫琴夫人的手). (圖像取自歷史檔案)

在倫琴發現 X-光的次年 (1896) · 法國物理學家貝克 (Antoine Henri Becquerel) 發現了物質的輻射性。他發現含鈾的礦石本身存在自然的放射能力。深受到倫琴和貝克的影響 · 法國籍的波蘭科學家居里 (Marie Skłodowska-Curie · 也就是一般尊稱的居里夫人 · 圖二) 就決定著手研究有關鈾化合物的自然放射性能 · 而發現鄰近含鈾物質的空氣中可以測到帶電的現象。因此推論出來此一發現乃是放射物質本身具有的特性。貝克與居里夫人 (連同居里夫人的夫婿 Pierre Curie) 也因此於 1903 年共同獲得諾貝爾物理獎 · 肯定他們在發現物質的天然放射性的貢獻。如今 · 放射物質的活性 (radioactivity) 的基本單位就定義為貝克 (Becquerel · 或 Bq; 1 貝克 = 每秒鐘釋放一次輻射)。

居里夫人的成就並不止於此。她和夫婿的科學團隊先前就開始研究自然的放射性物質。他們在 1898 年就成功的分離了釷元素 (Polonium · Po) 和鐳元素 (Radium · Ra)。釷和鐳都是由自然鈾蛻變成的元素 (而且兩者都具有放射性) · 在自然界中存量極為稀少。其中釷元素是居里夫人為了紀念她的祖國波



圖二. 居里夫人. (圖像取自歷史檔案)

蘭而命名的。居里夫人以及她的夫婿在 1911 年也因為這項發現獲得諾貝爾化學獎。至此 · 居里夫人就創下多項的歷史紀錄: 第一位獲得諾貝爾獎的女性; 第一對獲得諾貝爾獎的夫妻檔; 第一位獲得兩次諾貝爾獎的得主 · 並且是第一位在不同的學術領域 (物理和化學) 獲得諾貝爾獎。此外 · 她一家人 (包括她的夫婿和女兒 Irene Joliet-Curie) 總共獲得了 5 項諾貝爾獎 · 可說是全世界獨一無二的科學世家了。值得一題的是居里夫人的女兒 (Irene Joliot-Curie) 在 1934 年在實驗中發現人造的放射元素。她和她的夫婿 (Frederic Joliot-Curie) · 在 1935 年也因此共同獲得了諾貝爾化學獎的殊榮。由於首次發現人造的放射元素 · 到如今廣泛的應用於醫學的診斷與診斷用途。居里夫人的女兒也因此被公認為放射醫學的先驅。

自十九世紀初到第一次世界大戰前後可以說是當代的科學黃金時期。除了倫琴和居里等科學家們先後的重大發現 · 此後的幾年內 · 一系列的新發現有如雨後春筍一般的陸續問世。1897 年英國物理學家湯普森 (J. J. Thomson) 發現了電子。1913 年丹麥物理家波爾 (Niels Bohr) 發表了原子模型理論 (他後來又發表了量子力學理論 · 對現代物理學做出了極大的貢獻) · 第一次釋放了原子的結構 · 大大的增加了人們對原子的了解。幾乎在同時 · 科學界出了一位相當重要的人物。紐西蘭出生的實驗物理學家拉瑟福 (Ernest Rutherford)。1899 年他在實驗中發現了阿爾發輻射線 (alpha radiation) · 以及輻射物質的半衰期。數年後 (1911) · 他再提出了原子核的理論。在第一次世界大戰後 (1920) 他又發現了質子。這一系列的成就讓他贏得了 “核子物理之父” 的稱呼。在這之後 · 拉瑟



圖三. 費米在 1942 年在美国芝加哥建造第一座核子反應堆 CP-1 成功的達到核子臨界, 證明了原子能發電的可行性. (圖像取自歷史檔案)

福的學生查德威克 (James Chadwick) 在 1932 年發現了中子。到此 · 原子核結構結構的理論基礎終於建立 · 而現代的核子科學也由此誕生。

到了 1939 年 · 先前完成了原理解論的波爾 · 再提出了原子核分裂 (nuclear fission) 理論 · 並預測鈾原子核能經由中子的撞擊造成分裂 · 而釋放出巨大的能量。這個理論在同年由德國科學家漢恩 (Otto Hahn) 和他的同僚們經由實驗證實。到這時候 · 一項歷史上的巨大能源就由此得到證實。果不其然 · 在 1942 年 · 美國籍的義大利科學家費米 (Enrico Fermi) 就在芝加哥大學建構的史上第一座核子反應器 · 芝加哥反應堆 -1 號 (Chicago Pile-1 · CP-1) (圖三) · 史上第一次達到核子臨界。由此點燃了現代核能的第一把火炬。

然而相當不幸的卻是 · 核分裂這麼重要的發現卻剛巧發生在第二次大戰的前夕。很自然的這項新發現就馬上被捲入了戰爭的紛爭。著名的科學家愛因斯坦 (Albert Einstein) · 深怕納粹德國捷足先登 · 就在 1939 年 8 月致函當時美國總統羅斯福 (Franklin D. Roosevelt) · 建議及時採取行動 · 而著手發展原子彈 · 希望能遏止納粹與日俱增的野心。

於是羅斯福總統就下令動員成立了曼哈坦計畫 (Manhattan Project) · 並在 1942 年正式動工。曼哈坦計畫可說是人類近代史上最浩大的工程 · 目的是要建造第一顆原子彈 · 以備戰爭之用。在短短的數年間 (1942 – 1946) 動員了美國以及全世界各國的科學菁英 · 盡全力 · 並且在 1945 年 7 月成功的發展了人類第一顆原子彈。此計畫總共花了美國政府當時 20 億美金 (相當今天的 230 億美金) · 動用了十三萬人員工 · 其中包括了八萬多建築工 · 四萬多操作人員 · 一千八百軍事人員 · 另外有同等數量的平民參與。

在 1941 年在日本偷襲珍珠港之後 · 美國正式參與第二次世界大戰。為了結束戰爭的肆虐 · 終於在 1945 年 8 月在日本廣島 (6 日) 和長崎 (9 日) 各投下一顆原子彈。一個月後戰爭就此結束了。

然而原子彈對於日本也帶造成了史無前例的浩劫。到了 1945 年終 · 總計的死亡人數在廣島有 14 萬人 · 常崎是 74 · 000。這些都還不包括輻射線後期效應引起的死傷人數。在下面一章我們會來討論輻射線對人體健康的效應以及日本原子彈倖存者對於輻射防護上所提供的貢獻。

隨著戰爭的結束 · 以及原子彈所帶來的浩劫 · 新世界的秩序也隨著重整。人們更是渴望和平的到來。在這氣氛之下 · 美國總統艾森豪 (Dwight Eisenhower) 在 1953 年 12 月在聯合國大會發表了歷史性的宣言 · “原子的和平用途 (Atoms for Peace)” (圖四)。本宣言的基本用意是要 · 將戰爭中的原子能軍用技術轉移到和平的民間用途。這項宣言為了全世界帶來了和平的新的希望 · 也因此揭開了原子能的世紀。在 1957



圖四. 美國總統艾森豪 1953 年在聯合國發表“ 原子的和平用途” 演說. (圖像取自歷史檔案)

年 · 世界上第一座商業核能發電廠在美國賓州完工 · 正式開始運轉。

繼艾森豪總統發表了聯合國宣言之後 · 核能的應用就在全世界如火如荼般的推廣。在這以後三、四十年內全世界的核能發電有著急速的成長。到了八零年底 · 總共有 420 座核能發電廠在運行 · 提供了多於百分之十的總發電量。(台灣的三座核能電廠個別在七零年底到八零年初開始發電 · 提供了將近百分之二十的發電量。三座電廠計畫最晚到 2025 年全部除役)。然而 · 電廠的運作會產生環境的影響 · 同時也會製造不同階層核子廢料 · 因此必須做出適當的處置。由此原因 · 輻射防護的範疇在近年來除了保護電廠的人員外 · 也很自然的包括了:大眾的輻射防護 · 環境的保護 · 與核廢料的處置 · 等等的相關作業。

然而 · 在核能史上的短短數十年中卻發生了幾次重大的核子意外事故。1979 年 · 正當反核運動興起之時 · 美國三哩島的核子意外 (Three Mile Island Nuclear Accident) 撼動了人們對核能的信心。接著在 1986 年前蘇聯烏克蘭發生重大的車諾堡核子事故 (Chernobyl Nuclear Accident) · 而造成人員的傷亡及嚴重的輻射污染 · 驚動

了全世界。再接著發生的就是 2011 年發生在日本福島的核子意外 (Fukushima Nuclear Accident) 這一連串的意外事故 · 加上其他的因素 · 漸漸地導致了核能的式微。如今 · 新建的核能電廠相較以前急遽的減少。在美國已經很許年沒建新的電廠。在目前還不到一百座的電廠中 · 雖然絕大多數電廠已經申請了 20 年的延役 (註: 美國的新法規准許現有核電廠再延役 · Subsequent License Renewal · 年限可長達 60-80 年) 然而決定除役的電廠也逐年在增加。所幸在經過近一、二十年的努力下 · 最新一代的先進反應器 (Advanced Nuclear Reactors) · 特別是小型模組化反應器 (Small Modular Reactor · SMR) 已經問世。這些新設計 · 無論在安全或運作上都顯示了相當優異的性能。尤其在當前在全世界氣候變遷議題的關注下 · 新的核能設計或許會給核能帶來新的轉機。

除了核能的應用之外 · 輻射在醫學上的應用幾乎從倫琴發現 X 光那年 (1895) 就開始了 · 並且還歷久不衰。大致上是應用在病人的診斷和治療方面。當然 · 所用的 X-光的強度 · 照射的技術和知識 · 以及應用的範圍等 · 如今已經

是日新月異，不可同日而語了。目前的放射醫學技術包括了下列的一些例子：

- X-光的照射 (X-rays)
- X-光透視 (fluoroscopy)
- 計算機運算的斷層掃描 (computed tomography · CT)
- 混合掃描 (例如: PET-CT · PET-MRI · SPECT-CT)

另外，核子醫學還包括了利用同位素做為追蹤劑以作為診斷與醫治的用途、這些有：正子掃描 (PET Scan) · 加碼刀 (Gamma Knife) · 近距離放射治療 (Brachytherapy) · 等等。近年來的中子捕捉治療技術 (Neutron Capture Therapy · NCT) 也獲得了長足的進展。台灣清華大學的硼中子捕捉技術就是一個時例子。另外，加速器的使用也帶來了高能量重粒子的治療技術，為現代醫學創造了更先進，安全而且精準的

治療選項，例如質子治療法 (Proton Therapy · 圖五)。

這些廣泛的輻射應用也同時在防護的決策和執行上帶來了嚴格的要求與挑戰，從事輻射的人員再也不能只固守於傳統的輻防知識，而必須積極主動了解，並學習所要面對的專業知識。因此，輻射防護的領域在近年來已經迅速，而與時俱增地，擴展到各個不同的專業領域，包括了：核電廠保健物理 (Power Reactor Health Physics) · 醫學保健物理 (Medical Health Physics) · 職業性保健物理 (Occupational Health Physics) · 環境保健物理 (Environmental Health Physics) · 加速器保健物理 (Accelerator Health Physics) · 等等。這些領域的人員目前都需要持有專業的證照。此外，由這些專業延伸出來的一些議題也亟需輻防人員的積極參與和協助。這些包括了輻射



圖五. 目前最先進的質子治療設備。(圖像取自 Oncolink)

意外事故的緊急應變，救援以及輻射除污處理等等的特殊任務。

面對著近年來科技的急速發展，輻射的專業也必得迎頭趕上，努力跟隨時代的潮流而持續成長。筆者先前在輻防簡訊有一篇文章介紹了太空世紀的來臨，提及輻射防護的新挑戰。這些未來的方向肯定會對未來帶來衝擊，並創造新的機會。在此，對於輻防同仁們的相互期許更是拭目以待。



參考文獻

- ◆ 1. Clarke, R.H. and J.Valentin, The History of ICRP and the Evolution of its Policies. ICRP Publication 109 (2008). [https://www.icrp.org/docs/The%20History%20of%20ICRP%20and%20the%20Evolution%20of%20its%](https://www.icrp.org/docs/The%20History%20of%20ICRP%20and%20the%20Evolution%20of%20its%20)
- ◆ 2. Department of Energy. The History of Nuclear Energy. https://www.energy.gov/sites/prod/files/The%20History%20of%20Nuclear%20Energy_0.pdf
- ◆ 3. Department of Energy. The Manhattan Project - An Interactive History. US Department of Energy. <https://www.osti.gov/opennet/manhattan-project-history/Resources/library.htm>
- ◆ 4. IAEA, Atoms for Peace Speech. International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/about/history/atoms-for-peace-speech>.
- ◆ 5. Kaye, C.W.C., Welhem Conrad Roentgen: and the Early History of the Roentgen Rays. Nature Volume 133, pp 511-513 (1934).

- ◆ 6. Madame Curie – A Biography. By Eve Curie, translated by Vincent Sheean. The Da Capo Series in Science, 2nd edition, Da Capo Press (2001).
- ◆ 7. NobelPrize.org. Women Who Changed Science .
<https://www.nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>
- ◆ 8. Oncolink. <https://www.oncolink.org/cancer-treatment/proton-therapy/overviews-of-proton-therapy/proton-therapy-behind-the-scenes> Radiation Protection in Medicine.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK232703/>
- ◆ 9. Significant Discoveries and History of Radiation Protection
https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-12/documents/significant_discoveries_history_radiation_protection-worksheet_rp_1.pdf
- ◆ 10. Wilhelm Conrad Röntgen: The Birth of Radiology (Springer Biographies) 1st ed. 2019 Edition
by Gerd Rosenbusch and Annemarie de Knecht-van Eekelen

輻射防護安全標準制定的背景及演進

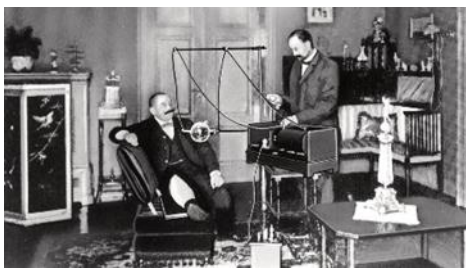
作者 陳士友

美國伊利諾理工學院 教授

自從 X 光的發現後，它很快的就在社會上流傳，應用到各個不同的領域。但是不久人們就發現這些照射對人體有可能引起傷害。

由於早期人們對於輻射線缺乏了解及不當操作方式(圖一)，廣泛的使用難免引起輻射線的過度曝露，而造成人身的傷害，甚至死亡。

這些事故很自然的引起了社會的關注。然而，在缺乏直接數據的佐證之下，人們只能依賴間接的方式來決定輻射安全。這些方式包括了，皮膚表皮受到照射而出現的紅斑反應(erythema)，或是經由 X 光底片的霧狀感光度(fogging)來決定。以今天的



圖一。早期 X 光的醫學應用。圖中使用的為簡陋的懸吊式，無屏蔽的 X-光管(1903 年)。(圖像取自歷史檔案)

情況看來。當然，這些依據都是過分的簡化，缺乏科學根據，並充滿了不確定性。

到了 20 世紀初期已經有動物的實驗證實輻射線與癌症有直接的關係。另外也發現了更多的放射醫療人員相繼罹患疾病，甚至死亡。德國的倫琴學會在 1913 年就提出醫療人員的輻射防護依據。1915 年到 1921 年英國對醫護人員提出了更詳盡的建議，包括了：工作時數的限制，員工休閒的時數，以及設計特殊的防護措施，更詳細的規劃也同時在美國提出。

到這時候輻射的議題已經漸漸的國際化，1925 年國際放射線協會(International Congress of Radiology, ICR)在倫敦召開第一次大會。會中決定成立國際輻射與度量單位委員會(International Committee on Radiological Units and Measurements, ICRU)，另外建議成立單獨的委員會專司輻射標準的議題。1928 年 ICR 在瑞典斯德哥爾摩召開第二次大會，成立了國際 X 光與鐳



輻射防護委員會(International X-Ray and Radium Protection Committee, IXRPC)，這也就是國際輻射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, ICRP)的前身。更重要的是 ICRU 在會中提出並通過了以倫琴(Roentgen，簡寫 R)作為度量輻射的新單位。後者的意義相當重要(筆者按：1 倫琴的 X 光輻射強度大約相當於 1 雷德，rad，的人體組織吸收劑量)。在這之前輻射線缺乏一個可以信賴的科學單位來描述人體所接受的劑量。更令人鼓舞的是，這劑量已經可以實際測量出來。

就在同年(1928)德國物理學家蓋格(Hans Geiger)和他的同事穆勒(Walther Muller)共同發明了輻射測量的真空管(就是一班所稱的 G-M 測量真空管)進而設計了輻射度量計。

到如今，類似的設計都通稱蓋格輻射度量計(Geiger Counter)，或是 G-M 度量計(G-M Counter)。



圖二。1920年初的“一群遭受到鐳輻射傷害的女孩(Radium Girls)”事件曾引起了社會的震驚。(圖像取自歷史檔案)

到此，我們一直注意到有關體外的輻射防護。然而，體內的防護也漸漸的受到重視。上面提到鐳與钋是居禮夫人在 1898 年發現的新元素。當時人們們對這種元素的特性知之甚少。由於兩種元素都是放射阿爾發(alpha)的粒子輻射線，其輻射毒性對於皮膚的接觸，甚至不慎進入人體(經由呼吸或飲食)後對於健康的後果相當堪虞。

居里夫人也就是因為一生接觸太多的輻射線最後逝世於惡性貧血症。相較於 X-光引起的體外輻射，由鐳元素引起的體內輻射就相對的難以預測，然而所引起的傷害更為嚴重。在居禮夫人發現鐳元素後不久，人們視鐳為新奇之物，甚而趨之若鶩，一時成為社會的新寵，因而廣泛的沿生了諸多的健康問題。1920年初的“一群遭受到鐳輻射傷害的女孩(Radium Girls)”(圖二)的歷史事故更成了一件令人刻骨銘心的社會公害事件。

當時社會上正流行夜光錶的使用，而引起製造商的興趣。幾家公司就雇用了大量的年輕女工，夜以繼日地趕工，以滿足社會的需求。這份工作需

要將含有鐳的螢光劑用毛筆塗在錶面上。為了維持筆尖的正常使用，女工們常常會應用他們的舌頭舔筆尖，因而無意的吞下大量的鐳元素。

目前，我們已經相當的了解鐳輻射的劇毒性。它會循著身體的循環而累積在有鈣質的器官，例如牙齒或骨骼的等(這就是所謂的“尋骨元素，bone seeker”)，因而導致了骨骼的嚴重的傷害。

這事件在當年成了一個大宗的法律案件，同時也因奠定了日後的勞工法。這不在話下，更重要的是這事件在輻射的歷史上寫下了一篇嚴重的輻射傷害章節，讓我們引以為鑑。1941年，美國科學家伊凡斯(Robley Evans)發明了了人體內鐳元素的測量技術。

進而而提出人體最高容許量(Maximum Permissible Body Burden)的觀念。這是第一次用人體內的測量技術所獲得的結論。終於，輻射防護的實踐可以直接從體內和體外測得相關的輻射參考數據。這對於建立防護標準誠然是向推前進了一大步。

更重要是，防護基礎必須建立在大量的科學數據上，加上正確的分析，才可能發展出可靠的防護法則。然而，直接從人體取得的輻射醫學數據卻是相當的有限，不足以提供具體的資訊。所以在 1940~1950 年間，大量的動物實驗計畫就在各國的輻射研究單位進行。數年之間，各種不同的動物，例如老鼠、貓、狗、猴子、等等都在研究的範疇內。研究的計畫涵蓋了體外，體內，血液，器官，等等。

不同的輻射線也用在這些實驗上。這些數據對於以後輻射防護的建議提供了相當重要的證據與科學基礎。

直接的人體資料到後來才出現。這些直接的資料得自第二次世界大戰在日本的原子彈倖存者的醫學研究。在戰後的第二年(1947)，美國和日本就設立了一個特別機構，原子彈傷亡委員會，目的是要確定原子彈倖存者以及他們的後代長期的輻射健康狀況。

這委員會在 1975 年正式改名為輻射效應研究基金會(Radiation Effects Research Foundation, RERF)，並將主要的實驗室設在長崎和廣島(原子彈爆炸的地方)。

經過七十多年來，該機構的研究成果包括了病疫學，臨床醫學，遺傳學以及免疫學，等等。研究對象涵蓋了將近 120,000 人，並提供了無數的學術及研究資料。為今日的防護標準提供了無數的寶貴資料，因而奠定了近代輻射防護的理論基礎，功不可沒。

近幾十年來，由於輻射的廣泛應用，加上有著系統性的分析檔案，更多而且高品質的人體輻射效應資訊終於漸漸地出現在各項的研究成果上。這些正確的資訊更進一步的禪釋了輻射效應與劑量的因果關係，得以幫助標準的制訂。除了以上以所提到的日本原子彈倖存者外，其他相關資訊的來源包括了軍事，醫學，環境，以及歷史上重大的輻射意外。因而更提升了輻射防護的工作的進展。

參考文獻

- ◆ 1. Clarke, R H and J Valentin, The History of ICRP and the Evolution of its Policies ICRP Publication 109(2008).
[https://www.icrp.org/docs/The%20History%20of%20ICRP%20and%20the%20Evolution%20of%20its%](https://www.icrp.org/docs/The%20History%20of%20ICRP%20and%20the%20Evolution%20of%20its%20Policies)
- ◆ 2. ICRP, 1979. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30(Part1). Ann. ICRP 2(3-4).
- ◆ 3. Siemens Healthineers Med Museum, History of Radiation Protection.
<https://www.medmuseum.siemens-healthineers.com/en/stories-from-the-museum/radiation-protection>
- ◆ 4. Significant Discoveries and History of Radiation Protection
https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-12/documents/significant_discoveries_history_radiation_protection-worksheet_rp_1.pdf
- ◆ 5. Wilhelm Conrad Röntgen: The Birth of Radiology (Springer Biographies) 1st ed. 2019 Edition
By Gerd Rosenbusch and Anne mariede Knecht-van Eekelen.

發行人
張似璵

主編
劉代欽

執行編輯
林珏汶

編輯委員
尹學禮
江祥輝
劉代欽
蔡惠予
魯經邦



出版單位

財團法人中華民國輻射防護協會

行政院新聞局 出版事業登記證
局版北市誌字 第柒伍零號

地址

30017 新竹市光復路二段 295 號 15 樓之 1

03-5722224 電話 | 03-5722521 傳真

01486683 統編

rpa.newsletter@gmail.com 電郵 | www.rpa.org.tw 網站