



輻射防護簡訊

第 166 期

出刊日期 110 年 12 月 15 日

本期內容

CONTENT

NCRP-184 報告：美國病人的醫用輻射曝露簡介

1

這份“NCRP 184 (2019) 美國病人的醫用輻射曝露”報告是 NCRP 160“美國游離輻射群體曝露第 4 節(病人之醫用曝露)(2009 年)”的修訂版。本報告更新自 2006 至 2016 年間，所收集的全美醫用輻射曝露資訊，與 2009 年出版的 NCRP 160 報告比較，美國全民在醫用輻射劑量有實質的降低，本文扼要地說明其大致內容。

門框輻射偵檢儀器之國際測試標準介紹(I)-一般測試條件與參數

3

放射性物質的非法和非故意移動已成為日益重要的問題，特別是考慮到其潛在的恐怖活動，世界海關組織(WCO)和國際刑警組織(Interpol)，以門框式輻射偵檢系統協助探測放射性和特殊核物料，廣泛用於核設施、邊境檢查站以及國際海港和機場的安全目的。

訓練班課程

6

公告本會各項訓練班開課時間

輻協新聞廣場

7

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

門框輻射偵檢儀器之國際測試標準介紹(II)-放射學測試條件與參數

12

國際電工委員會(IEC)與美國國家標準協會(ANSI)，為確保放射性物質在不同地區移動時所測量結果一致，必須根據國際標準的性能要求，按照規範所設計的偵檢儀器執行偵檢。作者介紹 IEC 62244 與 ANSI N42.43 門框式輻射偵檢儀器的放射學測試標準與參數，可作為國內設置門框輻射偵檢儀器之管制與測試要求參考。

VARSKIN 6.2.1 用於皮膚劑量的評估應用

17

民眾及工作人員接受到的皮膚劑量在法規中有嚴格的規定。此次研究利用美國核管會認可的劑量模擬程式 VARSKIN，可以快速模擬核電廠、醫院或嚴重事故時人員所接受到放射性核種造成的皮膚劑量是否有符合相關法規的限制。

NCRP-184 報告：美國病人的醫用輻射 曝露簡介

作者 施建樑

美洲保健物理學會臺灣總會 理事長

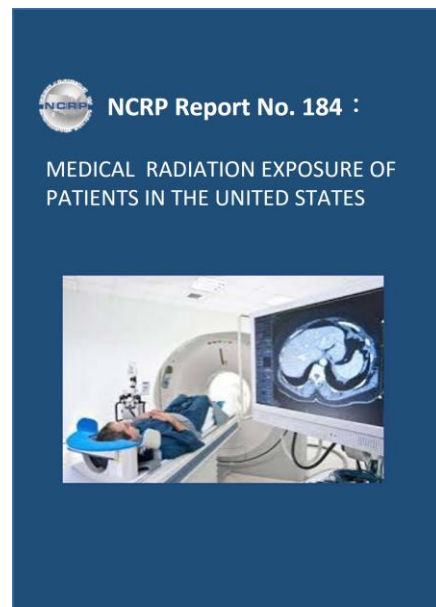
前言

美國國家輻射防護及量測委員會 (National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP)，是一個受美國國會特許成立的機構；主要為尋求有系統地說明及廣泛散播資訊、指引及輻射防護與度量，這代表領導美國有關輻射防護與度量科學考量的一致性。本文針對新出版的 NCRP 184 (2019) 扼要地說明其大致內容，爾後作者將視需求性進一步描述其重點為文分享。

這份“美國病人的醫用輻射曝露”報告是 NCRP 160”美國游離輻射群體

曝露第 4 節(病人之醫用曝露)(2009 年)”的修訂版。本新報告更新自 2006 至 2016 年間，所收集的全美醫用輻射曝露資訊。與 2009 年出版的 NCRP 160 報告比較，美國全民在醫用輻射劑量有實質的降低，如圖 1。

這份報告評估 2006 至 2016 年時間範圍，來自醫用曝露的平均個人有效劑量及累積有效劑量；本報告對那些貢獻最多付出特別的注意，以及提供名義上的個別病人可能經歷一次特別的檢查的有效劑量值資訊。這是非常重要的，以提醒這些有效劑量值，不應用來做為可接受性的指示或估計來自某一輻射程序個人癌症風險，而寧願



用來作為劑量計，以概括地比較來自不同輻射源群體的潛在統計效應。這份報告既沒有相關健康風險的量化，亦沒有討論潛在醫用利益；本報告也沒有指出任何應拿來鑑定這些最新數據的行動。這些主題已超出 NCRP 負責的範圍了。本報告是針對醫用專業人、病人、執法人及那些涉及輻射防護的人。它亦對在不同時間期間於各輻射源中做比較，提供各種指標。

2009 年報告揭露了過去 25 年在醫用輻射曝露有大幅的成長；醫用曝露是美國全民所有實質輻射曝露的一半，主要是由於 CT 掃描與心血管核子醫藥診斷所貢獻的。

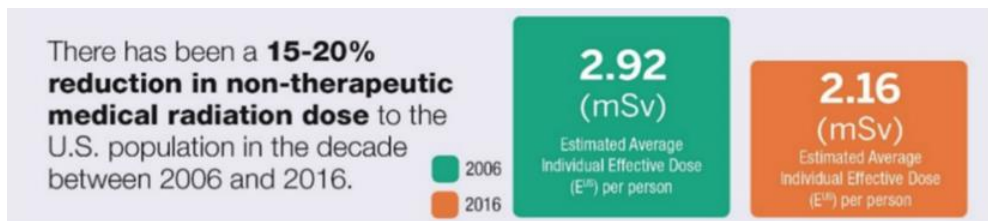


圖 1 醫用非屬放射治療的有效劑量降低情況

NCRP 160 報告出版已有十年，而技術的改良，劑量降低與最適化活動的出現，對特定檢查的指示，已影響了美國全民的醫用輻射曝露與劑量。

NCRP 184 報告包括歷史回顧、內容清單背景、有關相對劑量計資訊、ICRP 組織權重因數與計算假體，以及特定模式醫用輻射曝露與劑量資訊。

本報告的讀者主要是負責曝露於游離輻射個人健康的聯邦與州官署，以及確保醫用輻射防護安全責任的。NCRP 184 報告包括對保健物理師、醫用物理師、醫師與其他醫職、輻射防護官員、管理者、民眾及媒體，是有用的資訊。

美國醫用輻射劑量正逐年降低中，美國全民眾 2016 年的年非治療醫用輻射劑量，較 2006 年的減少 15-20%。其中 2006 年：估計平均每人個人有效劑量為 2.92 mSv；而 2016 年：估計平均每人個人有效劑量為 2.16 mSv。另來自不同模式的累積有效劑量的占比如下表 1；每人平均有效劑量(mSv)如表 2；2006 年至 2016 年，CT 檢視的數量增加 20%；但所有來自 CT 過程的劑量卻降低比較少量。

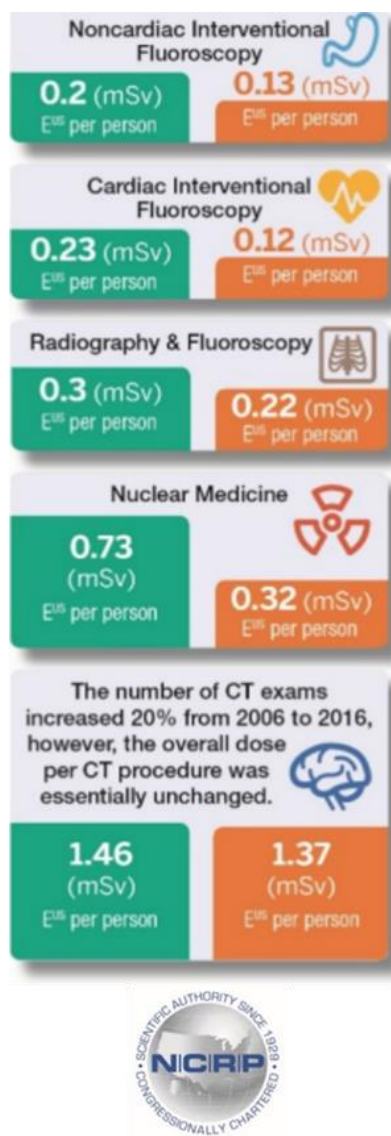


圖 2 非治療用不同模式的醫用輻射劑量值 (美國)

表 1 不同模式的累積有效劑量的占比 (美國)

模式	2006 年	2016 年
非心血管介入 X 光透視	6%	6%
心血管介入 X 光透視	8%	6%
X 光照相與透視	11%	10%
核子醫藥	25%	15%
電腦斷層掃描(CT)	50%	63%

表 2 每人平均有效劑量(mSv) (美國)

模式	2006 年	2016 年
非心血管介入 X 光透視	0.2	0.13
心血管介入 X 光透視	0.23	0.12
X 光照相與透視	0.3	0.22
核子醫藥	0.73	0.32
電腦斷層掃描(CT)	1.46	1.37

門框輻射偵檢儀器之國際測試標準介紹(1)– 一般測試條件與參數

作者 許芳裕 博士

國立清華大學原子科學技術發展中心 核能技術師



前言

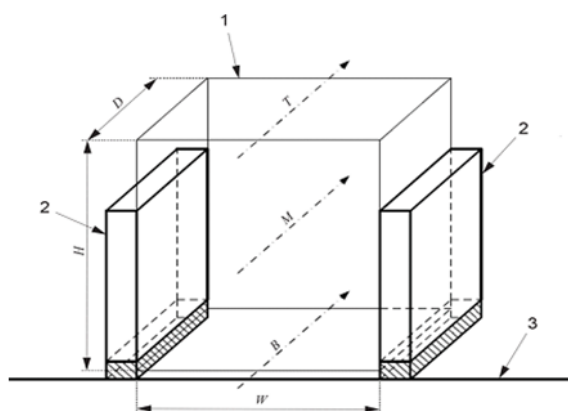
放射性物質的非法和非故意移動已成為日益重要的問題。不受監管控制的輻射源，即所謂的“孤立源(orphan sources)”^[1]，經常造成嚴重的輻射曝露和廣泛的污染。儘管非法販運核物料和其他放射性物料並不是一個新現象，但在過去幾年中，人們對核子“黑市”的擔憂有所增加，特別是考慮到其潛在的恐怖活動。

為響應國際原子能總署(IAEA)、世界海關組織(WCO)和國際刑警組織

(Interpol)有關特殊核物料的檢測、識別和安全趨勢的技術政策，國際上已有多家核子儀器公司在開發和製造門框式輻射偵檢系統，以協助探測放射性和特殊核物料的非非法移動。這種類型的儀器廣泛用於核設施、邊境檢查站以及國際海港和機場的安全目的。

國際電工委員會(IEC)是一個全球性的標準化組織，IEC的目標是促進有關電氣和電子領域標準化的所有問題的國際合作。為了確保在不同國家地區進行的測量結果一致，必須根據國際標

準中規定的性能要求，按照嚴格的規範設計輻射偵檢儀器。IEC 62244^[2]即在規範用於檢測放射性物質和核物料的非非法販運或非故意移動之門框式輻射偵檢儀器的標準。IEC 62244定義了用於檢測加馬和中子輻射的門框輻射監測器的性能要求，這些門框輻射監測器常用於監控車輛、貨櫃、人員或行李包裹等，通常安裝於國內(如港口、鋼鐵廠大門等)和國際過境點。此外，美國 ANSI N42.43 標準^[3,4]亦規定了檢測和識別放射性核種的攜帶式和移動式輻射監測儀的性能要求和測試



1：檢測區 Detection zone

2：Detection assembly 檢測組件

3：Ground surface 地面

W：Width of detection zone 檢測區寬

H：Height of detection zone 檢測區高

D：Depth of detection zone 檢測區深

T：Top 頂部

M：Middle 中間

B：Bottom 底部

輻射源移動方向 source movement

圖 1 使用兩個檢測元件的門框輻射監測器的檢測區域的示意圖[2]

方法，便攜式輻射監測儀設計用於運輸到某個地點並用於特定任務或特定時間段；它們不需要永久性安裝平台；可安裝在拖車等車輛上；並且僅在車輛靜止時使用。移動輻射監測器通常在運動的平台上運行，但也可以在靜止時使用。ANSI N42.43 標準建立的操作要求包括輻射探測和放射性核種識別，以及與運輸過程中和部署時預期的電氣、機械和環境條件相關的要求，其所規定之輻射監測儀性能要求和測試方法可作為國內機場、港口及鋼鐵業、回收廠等設置門框輻射偵檢儀器之管制與測試要求參考。

門框輻射監測器旨在檢測由車輛運輸、人員攜帶或隱藏在貨櫃中或由輸送帶移動的行李包裹中的加馬和/或中子發射體發出的輻射。當測量的加馬或中子輻射量超過報警閾值時，門框輻射監測器會發出視覺和/或可聽見的警報。圖 1 顯示了使用兩個檢測元件的門框輻射監測器的檢測區域的示意圖^[2]。

門框輻射監測器之一般特性和要求

2.1 標準測試條件

ANSI N42.43 與 IEC 62244 標準，建議應在表 1 的標準測試條件下進行^[2,4]，並建議應記錄試驗時的溫度、壓力和相對濕度值。

2.2 一般特性

當物體、容器、車輛或行人通過檢測區，ANSI N42.43 與 IEC 62244 標準涉及的偵檢器檢測這些物品的放射性。監測儀系統包括檢測組件(輻射偵檢器)與警報器，應能夠獨立於任何外圍設備或遠程站進行操作；不受外圍設備故障的影響；可分為區域、行人或車輛(包括鐵路)監測儀系統，本文主要介紹車輛監測系統。表 2 及表 3 分別列出了 ANSI N42.43 與 IEC 62244 標準建議之監測儀系統測試設置和參數。

2.3 指示和報警功能

2.3.1 要求

使用者應能夠選擇指示器是可見的還是可聽的(例如，檢測組件上的警示燈或喇叭)。一旦警報被啟動，監測儀系統應能夠再次發出警報，而無需重置警報。

2.3.2 測試方法

按照製造商的指導，視覺或聽覺指示器可以啟用或禁用。要驗證監測儀在處於警報狀態時是否仍能正常工作，應執行以下過程：

- (1) 使用輻射源，使監測儀系統發出警報。
- (2) 移除輻射源，但不要重置或確認警報。
- (3) 10 秒後，重新引入輻射源，使偵檢器再次報警，並確認顯示屏上顯示報警。
- (4) 移除輻射源並確認或重置警報。
- (5) 查看存儲的警報文件以驗證是否記錄了兩個單獨的警報。

表 1 標準測試條件^[2,4]

影響量	標準測試條件 (除非製造商另有說明)
環境溫度	18°C 至 25°C
相對濕度	<= 75% 相對濕度
氣壓	70 kPa 至 106.6 kPa (0 °C 時 525 毫米至 800 毫米汞柱)
加馬背景，包括宇宙輻射	≤ 10 μR/h (約 0.1 μSv/h)
中子背景	≤ 200 n/秒/米 ²
外部電磁場	沒有人為產生的自然條件

表 2 ANSI N42.43 建議之監測儀系統測試設置和測試參數^[4]

	輻射源到參考點距離	動態速度(± 10%)	靜態測試的測量時間
移動車輛監測器	3 米	2.2 米/秒 (8 公里/小時)	60 秒
便攜式單面車載監測儀	5 米	2.2 米/秒 (8 公里/小時)	60 秒
可移動的多面車輛監測儀	輻射源在檢測組件之中間	2.2 米/秒 (8 公里/小時)	60 秒

表 3 IEC 62244 標準建議之不同類型監測儀系統的評估距離^[2]

監測類型	距檢測組件之距離	評估距離	檢測區底部區 距地面或地板表面距離	檢測區中間區 距地面或地板表面距離	檢測區頂部區 距地面或地板表面距離
小型車輛監測系統	距每個檢測組件表面(3.0 ± 0.1) m · 或按照製造商的說明	在檢測元件之中間	0.2 m	1.25 m	2.5 m
大型公路車輛監測系統	距每個檢測組件表面(5.0 ± 0.1) m · 或按照製造商的說明	在檢測元件之中間	0.2 m	2.25 m	4.5 m



參考文獻

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA), Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries, IAEA SSG-17, 2012.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC), Radiation protection instrumentation – Installed radiation portal monitors (RPMs) for the detection of illicit trafficking of radioactive and nuclear materials, IEC 62244, 2019.
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)/National Committee on Radiation Instrumentation (NCRI), American National Standard Performance Criteria for Mobile and Transportable Radiation Monitors Used for Homeland Security, American National Standards Institute (ANSI), ANSI N42.43-2006 : 2006.
- [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)/National Committee on Radiation Instrumentation (NCRI), American National Standard Performance Criteria for Mobile and Transportable Radiation Monitors Used for Homeland Security, American National Standards Institute (ANSI), ANSI N42.43-2016 : 2016.



訓練班課程(110 年度)

放射性物質或可發生游離
輻射設備操作人員研習班

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

輻射防護繼續教育訓練班
(3/6 小時)

A 組 36 小時-許可類

A3 高雄 文化大學推廣部

8 月 03 日~ 8 月 10 日

A4 新竹 帝國經貿大樓

(取消)

B 組 18 小時-登記類

B17 高雄 文化大學推廣部

9 月 28 日~ 9 月 30 日

B18 新竹 帝國經貿大樓

10 月 19 日~10 月 21 日

B19 新竹 帝國經貿大樓

10 月 26 日~10 月 28 日

B19-2 新竹 帝國經貿大樓

11 月 2 日~11 月 4 日

B20 台中 文化大學推廣部

11 月 3 日~11 月 5 日

B21 高雄 文化大學推廣部

11 月 24 日~11 月 26 日

B22 新竹 帝國經貿大樓

12 月 8 日~12 月 10 日

B23 新竹 帝國經貿大樓

12 月 15 日~12 月 17 日

員 38 期

新竹 帝國經貿大樓

第一階段

08 月 09 日~ 13 日

第二階段

08 月 16 日~ 20 日

第三階段 (110 年)

08 月 23 日~ 27 日

第四階段

08 月 30 日~ 09 月 03 日

員 39 期(因人數不足取消)

進階 24(因人數不足取消)

新竹 帝國經貿大樓

台中 文化大學推廣部

11 月 10 日(上午&下午)

台北 建國大樓

11 月 16 日(上午&下午)

新竹 經濟部專研中心

11 月 23 日(上午&下午)

高雄 科學工藝博物館南館

11 月 25 日(上午&下午)

上課地點

台北

建國大樓：台北市館前路
28 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

鋼鐵建材輻射偵檢人員訓
練班

鋼 3 新竹 帝國經貿大樓

11 月 11 日~ 11 月 12 日

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)；

314 林珽汶 (專業人員)；

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公布 110 年第 2 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](#)

「110 年第 2 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。

附檔下載

- [110 年第 2 次輻射防護專業測驗及格人員名單](#)
 - [110 年第 2 次操作人員輻射安全證書測驗及格人員名單](#)
- (發布日期 110 年 12 月 03 日)

國內新聞

- 自由時報報導「日本進口食品驗出 4 件微量輻射「銻」但未超標」[訊息連結](#)

台灣已遞出申請加入跨太平洋夥伴全面進步協定 (CPTPP)，也開始有討論是否開放日本核災區食品。根據食品藥物管理署統計，去年沒有日本進口食品被驗出輻射，但今年到上月底止，已有 4 件食品被驗出微量輻射銻-137 和銻-134+銻-137，都沒有超出標準。

根據食藥署「日本輸入食品檢出微量輻射」食品資料，今年 4 件食品包括乾燥香菇、九州產無挑選乾香菇、越桔萃取物、繡球菌菇粉都被驗出微量輻射，分產地分別為靜岡、宮崎、愛知、京都。

4 件食品都被驗出銻-137 和銻-134+銻-137。雖然沒有超出限量標準，但食藥署已勸導業者退運或銷毀。食藥署解釋，雖然沒有超標，但之前立法院要求若被驗出微量輻射，最好勸導進口業者退運或銷毀。

我自 2011 年 3 月 11 日起暫停日本福島等五縣輸入食品受理報驗，禁止福島五縣市，包括福島、茨城、櫛木、群馬、千葉食品進口，並按時公布日本食品查驗結果，從 2011 年 3 月 15 日到今年 10 月 19 日止，檢驗 17 萬 6818 件食品，有 232 個樣本被驗出含微量輻射，但都沒超出我國和日本的標準。

檢驗食品包括水產類、水果、蔬菜、乳製品、礦泉水和飲水、嬰幼兒食品、海草類、茶類、其它食品。。(發布日期 110 年 10 月 20 日)

- 聯合新聞網報導「環團提核三除役 12 項聲明 核廢料貯存應納環評」[訊息連結](#)

環保團體今天針對核三廠除役計畫發表 12 項聲明，包含核廢料貯存、輻射監測等應納入環評事項；核三位於恆春斷層上，除役應嚴加考量地震安全；組成核三廠除役委員會，加強與地方公民溝通。

行政院環境保護署今天召開「核能三廠除役計畫」第 2 階段環境影響評估範疇界定會議。台電公司表示，配合政府 2025 年非核家園政策，核能三廠 2 部機組運轉執照將於 2024 年 7 月及 2025 年 5 月屆滿後進行除役，取得除役許可約 25 年內完成除役。

環保團體今天針對核三廠除役計畫發表 12 項聲明，包含核廢料貯存、輻射監測等應納入環評事項；核三位於恆春斷層上，除役應嚴加考量地震安全；組成核三廠除役委員會，加強與地方公民溝通。

行政院環境保護署今天召開「核能三廠除役計畫」第 2 階段環境影響評估範疇界定會議。台電公司表示，配合政府 2025 年非核家園政策，核能三廠 2 部機組運轉執照將於 2024 年 7 月及 2025 年 5 月屆滿後進行除役，取得除役許可約 25 年內完成除役。

台電指出，除役活動期程包含除役工作前置作業約 8 年、主要除役工作 12 年、拆除無污染建築物及廠址最終輻射調查 3 年、土地復原並完成除役後廠址環境輻射檢測報告約 2 年。

環保團體在會議前先行舉辦「核三除役環評會議 民間聲明記者會」，發表 12 項聲明。

綠色公民行動聯盟秘書長崔愷欣指出，除役計畫達 25 年，應明定包含 25 年後拆除物的高、低階放射廢棄物移出計畫，才是實質除役，並承諾核廢料貯存及運送應嚴格管制。

恆春半島核三廠除役關注小組成員張清文說，除役過程最擔心輻射外洩，台電應完整調查，包含廠區內外關聯的地下水文，並設水井；另外恆春有颱風、落山風等氣候因素，廠區周邊 5 至 10 公里應設監測器，若輻射粉塵濃度過高便發出警報，提醒民眾採取防護措施。

屏東環境保護聯盟理事張怡提到，核三除役利益龐大，未來會有很多承包案件，希望能先成立平台，包含屏東地檢署及警方，事先杜絕黑道綁標；地方冷感，還是很多人不清楚除役是怎麼回事，一直覺得核三會延役，主要是公告文字艱澀、缺乏公民告知。

環境法律人協會理事長張譽尹認為，除役不應該包含其他電力開發計畫；在交通部分，未來希望核三廠南側既存道路能開放通行，讓後壁湖到南灣的動線更順暢。

地球公民基金會主任蔡卉荀表示，核三就是在恆春斷層上，經濟部中央地質調查所已認定是活動斷層，未來 25 年過程中要拆除、核廢料的貯存，都必須考量斷層影響，要確保核三廠能安全下莊；另外也應加強生態調查，並納入環評保育計畫。

高雄市公民監督公僕聯盟理事長林莉棻指出，政府應該公開資訊，讓當地居民充分知情；並組成核三廠除役委員會，其中民間成員應占 3/5；台電對當地居民、社經、文化、生態造成的負面影響，應調查並擬定補償計畫。

核能三廠位於屏東縣恆春鎮，基地面積約 329 公頃，除役範圍面積約 93 公頃，保留包含低放射性廢棄物貯存庫、輸變電設施及通訊機房等；另外廠內興建用過核燃料室內乾貯設施、二號低放射性廢棄物貯存庫等。（發布日期 110 年 10 月 25 日）

- ➡ 中央通訊社報導「福島核廠 2 員工疑受輻射污染 因作業時穿戴未符規定」。 [訊息連結](#)

東京電力公司今天表示，福島第一核電廠進行設備修理的 2 名男性員工疑似受到輻射污染。2 人原本應穿戴全罩式面罩及防護衣進行作業，但卻僅穿戴防塵口罩、工作服等簡易裝備。

東京電力公司表示，這 2 名員工接受醫師診察，目前尚無異狀，推估 2 人體內受到的輻射劑量大幅低於今後 50 年須做紀錄的 2 西弗 (Sv)。2 人今後還需接受尿液檢測，詳細調查。

這 2 名員工 19 日上午 10 時左右 (台灣時間 9 時左右) 約 1 個小時半，與 2 位同僚在進行更換連結去除含輻污水在內的輻射物質設備的管線作業，可能是此時附著於管線的輻射物質進到體內。

這 2 名員工在作業後進行檢查時，從鼻子內側檢查出有輻射物質，2 名同僚的作業服也檢查出輻射物質，但輻射物質未進到體內。

東京電力公司表示，員工必須戴上全罩式的面罩、穿防護衣等進入這項區域作業，但員工卻沒按規定穿戴。對此，深切反省中。(發布日期 110 年 11 月 22 日)

- ➡ 遠見雜誌報導「這個東西超級厲害！從台積電到銀樓都少不了它」。 [訊息連結](#)

提起台灣的國際級產業，非半導體莫屬，台積電更被喻為「護國神山」，但，很少人知道，在生產晶片的過程中，非用到一樣東西不可，否則會嚴重影響到品質，甚至連銀樓都少不了它，那就是台灣人聞之而色變的「輻射」。

輻射來源分成兩類，分別是存在於天然環境的自然背景輻射 (或稱天然游離輻射)，以及人造游離輻射。人造游離輻射的發展雖僅近百年時間，卻在工業、醫療、農業、學術研究、國家安全以及環保方面，帶來強大助益。

可以肯定的說，人造游離輻射的應用十分廣泛，早與人類的生活密不可分。

輻射在工業上的應用，就如同醫院使用 X 光射線一樣的普遍，可用於檢視金屬鑄件或焊接部位的縫隙及缺陷，通常這些都很难用其他方法偵測出來；也可用於度量極微小的厚度，例如金屬薄片；還可拿來檢視建築物或雕像的結構缺陷。

今天，台積電能製造出全球第一的高質量晶片，也多虧了「人造游離輻射」的應用。晶片的「先進」製程中，一定要用到離子佈植機、靜電消除器，這些都是利用超高電壓產生特定離子，或是低能量 X 光的游離輻射。

半導體廠將靜電消除器裝置於設備裡，游離輻射可以游離空氣，藉此去除晶圓上面的靜電，假設晶圓表面累積靜電，就會影響後續的量測結果；靜電消除器還可以將空氣中的灰塵帶走，以達到潔淨度的要求。

沒有了人造游離輻射，台積電的產品立馬失去競爭力

出版「身在輻中要知輻—漫談輻射」一書的清大工程與系統科學系教授葉宗洸說，「如果沒有靜電消除器協助維持潔淨度，台積電的晶片良率就會下降；而且有一道工序，一定要用到高端技術的離子佈植機，一台就要上億元，沒有了人造游離輻射，台積電的產品立馬會失去競爭力」。

連面板廠，如友達、群創、瀚宇彩晶等也都會用到靜電消除器，以消除玻璃基板上的靜電，玻璃基板才不會黏在一起。如果沒有靜電消除器，當機械手臂取片時，會將玻璃基板拉破。

中華民國輻射防護協會董事長張似璵指出，輻射在工業的應用面，實在太廣了，例如香菸製造廠的生產線裝設測定儀，應用所含射源的 β （貝他）射線，經射束窗穿透菸支，射向偵檢器，當菸絲密度增加時，吸收的放射線也會增加，偵檢器接收的放射線就會減少，所以從測到的放射線數量，就可決定菸支的密度，再經由系統回饋，控制菸支的重量。連飲料廠的生產線都要裝設液位儀，應用 γ （加馬）射線穿透瓶身，以判定內容物的充填液位是否達到要求，具有高效率與正確的功能。

大到如台積電、台灣美光等「先進」製程半導體產業，小到連銀樓、當舖等各行各業都會用到「輻射」。當銀樓買黃金，或當舖收到典當品，想辨別其真偽時，就必須用輻射來分析黃金的純度，以降低被騙的風險。

輻射在醫療檢查、癌症治療上，扮演非常吃重角色

尤其，輻射在醫療的應用也愈來愈普及，除醫療器材消毒、放射免疫檢驗試劑等的研究與製造外，各大教學醫院、醫學中心都會設立血液腫瘤科、放射影像部、放射腫瘤部、核子醫學部、質子治療中心.....，由此可見，「輻射」已成醫療保健至關重要的一環。

例如醫院使用 X 光攝影、電腦斷層掃描儀（CT）、正子放射攝影（PET）等設備來進行檢查，也可以使用 γ （加馬）刀、電腦刀，光子治療系統以及質子治療系統來治療癌症患者。

林口長庚醫院就是全台最早引進質子治療的醫院，從 2015 年底啟用至今，醫治了許多病患，2018 年，高雄長庚也加入「質子治療」的行列。

今年的 2 月 20 日，台大癌醫中心醫院舉行輻射科學暨質子治療中心（簡稱輻質中心）質子治療系統吊裝典禮，正式安裝全球僅百台、重達 70 噸的質子迴旋加速器。

這套設備由永齡基金會創辦人郭台銘所捐贈，為台灣首座與歐美日等 23 家醫學中心同步的瓦里安 Varian ProBeam®質子治療系統，可讓放射線治療更加精準。輻質中心擬於明年開始治療腫瘤患者，預計能造福兒癌、攝護腺癌、肺癌、肝膽癌、胰臟癌、腦瘤，或不同部位的復發性腫瘤患者。

當檢查儀器愈來愈精密時，患者可免除誤診而開刀的風險。有一名 70 歲老者被醫師診斷為心肌梗塞，要馬上住院做心導管手術，經家屬要求自費做高階的心血管斷層掃描後，發現血管狀況很健康，根本不需要做心導管手術，老人家因而少了侵入性治療的風險。

顯見，輻射在醫療檢查以及癌症治療上，扮演非常吃重的角色。

誰說核工沒前途，市場很缺「輻射防護」專業人才

不要懷疑，連農業也常用到輻射照射，以抑制馬鈴薯、甘藷、洋蔥、大蒜等作物的發芽；也可延長木瓜、芒果的儲存期限；或是防治稻米、紅豆等的害蟲；甚至可以幫淡水魚、豬肉殺蟲滅菌，還有檢疫、改良品種、抑制生長等用途。

葉宗洸強調，「輻射照射」是一種電磁波的照射及能量轉移，被照射過的物體，不會有放射線的殘留，民眾無須擔心。



同時，輻射也應用於考古、發電與許多的研究上，例如可鑑定古物所屬的年代，提供各種科學研究領域進行物質微量分析，以及扮演全球主要電力來源的核能發電。

幾年前，中國大陸甚至將輻射運用在蚊子身上，造成其不孕，以減少登革熱的發生率。

即便輻射的運用如此廣泛，由於很多家長認為台灣將於 2025 年「非核家園」，擔心未來沒有出路，不願意讓孩子讀原子科學、核工等相關科系，張似璵就會跟家長分享說，台灣需要很多擁有證照的輻射應用人才，否則醫院、工廠都沒人會使用儀器、也無法生產製造了。

尤其，當放射醫療、工業用設備愈來愈先進時，需要更多專業的人才，每年都有很多人到輻射防護協會受訓、考取各種輻射防護證照，截至今年 2 月，有執照可承辦教育訓練的單位已有 24 家，就知道市場的需求了。

從食品異物的 X 射線檢測系統、工業用的厚度計，乃至於科學園區用於檢驗的 X 光機、X 光繞射分析儀、離子佈植機，以及靜電消除器；或是機場海關、重要設施用於安檢或查緝走私的 X 光檢查，甚至連環保的污染源遷移追蹤，都會使用到輻射。

葉宗洸進一步指出，現代生活，真的無時無刻都在利用輻射，政府應該教育民眾正確的輻射知識，不管是環保、能源或是核電等公共議題，期許全民能在科學的基礎上辯證，才有機會確保台灣的永續發展。

(發布日期 110 年 12 月 09 日)

門框輻射偵檢儀器之國際測試標準 介紹(II)-放射學測試條件與參數

作者 許芳裕

國立清華大學原子科學技術發展中心 教授



前言

國際電工委員會(IEC)，為了確保放射性物質在不同國家地區移動時所進行的測量結果一致，必須根據國際標準規定的性能要求，按照規範所設計的輻射偵檢儀器執行偵檢。IEC 62244[1]即在規範用於檢測放射性物質和核物料的門框式輻射偵檢儀器的標準，用於檢測加馬和中子輻射的門框輻射監測器的性能要求。此外，美國 ANSI N42.43 標準^[2]亦規定了檢測和識別放射性核種的攜帶式和移動式輻射監測儀的性能要求和測試方法，其所規定之輻射監測儀性能要求和測試方法可作為國內機場、港口及鋼鐵業、回收廠等設置門框輻射偵檢儀器之管制與測試要求參考。

放射學特性測試

1 測試期間的背景輻射

測試時應考慮環境的溫、溼度與氣壓條件外，應在如下定義的輻射背景的区域進行：

加馬背景(包含宇宙射線) 0.1 R/h
以及中子背景 200 n/(s · m²)

加馬射線背景強度應在測試前測量，並在測試期間使用已校正(可追溯至國家標準)之環境輻射測量儀器進行測量。可能的話，還應使用能譜(例如 NaI、HPGe 等)偵測儀獲取背景能譜，以確保測試區域中僅存在背景放射性核種(例如 ⁴⁰K、²³²Th 系列、²³⁸U 系列)；對於能譜儀系統之相關要求與測試方法，礙於篇幅限制，本文未加以詳述，將另外撰文說明。偵測儀獲取背景能譜對於中子背景，除非可以確保測試區域內沒有中子輻射源，否則應使用中子計數器、中子劑量計或能夠測量環境中子輻射水平的類似設備來測量中子背景數值。

2 動態測試

除非另有說明，每個輻射源應以規定的速度穿過檢測區的下半部中間和上半部中間。輻射源的配置應使輻射源周圍沒有屏蔽(除了特定測試所需)。如果合適和需要，監測儀的警報應在每次試驗之間重置。每次試驗之間應有 10 秒的最小延遲(此時將輻射源置於不影響監測儀周圍背景的距离處，或在延遲期間將

輻射源屏蔽)。

3 靜態測試

於監測儀不用於檢測或識別的輻射測量時(如“待機”時)，將每個測試輻射源放置在檢測區的垂直中心和評估距離處，並依據靜態測量時間進行 60 秒測量。如果需要，應在每次試驗之間重置監測儀的警報。除非製造商指示，測試輻射源可在每次試驗之間保持在同一位置。

4 測試輻射源

所有測試輻射源都列在表 1 中。所示的未屏蔽加馬輻射源的活度基於從使用 40 keV 截止能量的不銹鋼(0.25 公分厚)封裝輻射源，以獲得每秒 500,000 個光子的發射率。如果使用不同類型的封裝，則可能需要調整活度以獲得主要光子能量(40 keV)所需的發射率。²⁵²Cf 是中子警報測試的參考輻射源，應具有 20,000 n/s (±20%) 的中子發射率，並且除非另有說明，否則由球形 4 公分(厚)高密度聚乙烯緩速體包裹，此緩速體內空腔半徑應該不大於 3 公分。

表 1 測試用放射性核種及其活度^{a [1,2]}

放射性核種	未屏蔽射源活度(μCi)	屏蔽射源活度(μCi)
²⁴¹ Am	47 (1.74 MBq)	—
⁶⁰ Co	7 (259 kBq)	25 (925 kBq) ^c
¹³⁷ Cs	16 (592 kBq)	85 (3.14 MBq) ^c
²⁵² Cf ^b	2 × 10 ⁴ n/s	—

^a 試驗時的活度值應在表中所示值的 ±20% 以內。對於加馬射線輻射源和中子輻射源，標準不確定度應小於或等於 ±10%，覆蓋係數 (k) 為 1。輻射源活度於 0.25 毫米厚的不銹鋼封裝。

^b 輻射源被球形 4 公分厚之高密度聚乙烯緩速體包覆。

^c 每個輻射源都由 1 公分厚之鋼和 8 公分厚(各 ±10%)之高密度聚乙烯包覆。

5 假警報/穩定性

5.1 要求

在檢測區不存在輻射源的情況下，每 1000 個檢測（當車輛通過檢測區時）假警報或假識別的數量應小於 1 個。

5.2 測試方法

(1) 使用 ¹³⁷Cs 移動通過檢測區的垂直中心進行 10 次試驗動態測試，如果適用，使用 ²⁵²Cf 輻射源在相同高度移動通過的 10 次試驗中子響應測試，以驗證監測儀是否運作。記錄結果。(2) 從該區域移除輻射源。

(3) 在測試過程中觀察監測儀並記錄可能發生的任何警報或識別。

(4) 完成後，重複步驟 (1) 以確保監測儀在測試期間保持正常工作。

(5) 當在執行期間發生的警報或錯假識別不超過 1 次時，結果被認為是可以接受的。

6 對加馬輻射的響應

6.1 要求

當具有表 1 中給出的活動的加馬發射輻射源(²⁴¹Am、¹³⁷Cs 和 ⁶⁰Co)在符合項 1

至項 3 的測試方式給出的條件下經過或放置在偵檢器附近時，應觸發加馬警報。

6.2 測試方法

要驗證監測儀檢測移動輻射源（輻射源正在移動）的能力，執行以下操作：

(1) 當偵檢器運行時，執行動態測試方法，將表 1 中的 ²⁴¹Am 輻射源以適用於偵檢器的速度(如表 2)水平穿過檢測區下半部分的中間。測試後重置警報(如果適用)。

(2) 重複步驟(1)中所述的過程，總共進行 60 次試驗。每次試驗之間應有 10 秒的最小延遲，此時，輻射源應位於不影響背景的距離處或在延遲期間被屏蔽。

(3) 在檢測區上半部分的中間重複步驟(1)和(2)。

(4) 使用表 1 中的 ¹³⁷Cs 輻射源，重複執行步驟(1)、(2)和(3)。

(5) 使用表 1 中的 ⁶⁰Co 輻射源，重複執行步驟(1)、(2)和(3)。

(每次通過是 1 次試驗，各輻射源的每個試驗高度有 60 次試驗，即每個輻射

源提供總共 120 次試驗；2 個試驗高度中的每一個各 60 次試驗。)

(6) 當監測儀在 120 次試驗中有 117 次產生加馬警報時，每種放射性核種的結果被認為是可以接受的。

當輻射源和監測儀都靜止時，要驗證監測儀檢測輻射源的能力，請執行以下操作：

(1) 當監測儀運作時，使用表 1 中的 ²⁴¹Am 輻射源執行靜態測試方法。

(2) 重複步驟 1 中所述的過程，總共進行 60 次試驗。

(3) 使用表 1 中的 ¹³⁷Cs 輻射源重複步驟(1)和(2)。

(4) 使用表 1 中的 ⁶⁰Co 輻射源重複步驟(1)和(2)。

(5) 當監測儀在 60 次試驗中有 59 次產生加馬警報時，每種放射性核種的結果被認為是可以接受的。

7 對中子輻射的響應

7.1 要求

當具有表 1 所列活度的中子輻射源在給定測試條件下經過監測儀時，應觸發

中子警報。²⁵²Cf 輻射源應被 4 cm 厚的球形高密度聚乙烯緩速體包覆。

7.2 測試方法

(1) 當監測儀運行時，通過將緩速中子輻射源以適用於偵檢器的速度水平穿過檢測區下半部分的中間(如表 2)，執行動態測試方法。測試後重置警報(如果適用)。

(2) 重複步驟(1)中所述的過程，總共進行 60 次試驗。每次試驗之間應有 10 秒的最小延遲，此時，輻射源應位於不影響背景的距離處或在延遲期間被屏蔽。

(3) 在檢測區上半部分的中間重複步驟(1)和(2)。

(4) 當監測儀在 120 次試驗中有 117 次產生中子警報時，結果被認為是可以接受的。

8 超出範圍

8.1 要求

當監測儀曝露於大於製造商規定的最大曝露率的輻射場時，應啟動超量指示(例如，“超量”、“高計數”)。如果超出範圍指示被重置或由使用者確認而輻射場未減小，則應提供視覺指示以指示輻射場的存在以及監測儀未完全操作。在沒有任何交互檢測的情況下，輻射場返回到背景水平後，監測儀返回到非警報狀態所需的時間不得超過 1 分鐘。如果製造商未提供最大曝露率，則可能無法進行測試。

8.2 測試方法

(1) 當監測儀工作時，將¹³⁷Cs 輻射源移入檢測區，其距離需要在相鄰檢測組件表面產生比製造商規定的最大值大 50% 的輻射場，並保持該位置 1 分鐘的時間。監測儀應提供“超量”或類似指示，並保持該狀態直到曝露率降低到預測試水平。

(2) 在將輻射場降低回背景之前，確認或重置聲音警報(如果提供)，以驗證視覺指示保持啟動狀態。

(3) 移除輻射源並測量監測儀之準備工作所需的時間。

(4) 重複步驟(1)到(3)兩次，總共進行 3 次試驗。

(5) 分別按照項次 2 之動態測試步驟進行 10 次試驗動態加馬響應測試，僅使用¹³⁷Cs 通過檢測區中間，並通過檢測區中間進行 10 次試驗動態中子響應測試，以驗證監測儀功能是正常的。

(6) 當監測儀器在曝露於超量¹³⁷Cs 輻射源期間提供所需指示，在 3 次連續試驗中的每一次中在輻射源移除後 1 分鐘內恢復，並且在每次超量後仍能正常運作，則結果被認為是可接受的。

9 存在光子時的中子監測

9.1 要求

來自¹³⁷Cs 的曝露率高達 100 μSv/h (10 mR/h) 的加馬輻射不應觸發中子警報。檢測儀應按照項次 7.2 之步驟的要求對同時曝露於 100 μSv/h 光子場之²⁵²Cf 中子輻射源做出響應。

9.2 試驗方法

加馬干擾測試：

(1) 確定在檢測組件的參考點處獲得 100 μSv/h ± 20% (¹³⁷Cs) 所需的輻射源到偵檢器距離。

(2) 設置測試：將測試輻射源移動到鄰近中子偵檢器中心的確定距離處。距離應不小於檢測組件表面 50 公分。

(3) 當監測儀運作時，執行動態測試方法(項次 2)，使¹³⁷Cs 輻射源水平穿過檢測區，在步驟 (1) 距離，並與中子偵檢器的中心相鄰，以一定的速度(如表 2) 通過檢測區。

(4) 記錄加馬和中子偵檢器響應，包括警報和最大計數率或最大曝露率。

(5) 試用後重置警報(如果適用)。

(6) 重複步驟(3)到(5)中所述的過程，總共進行 3 次試驗。每次試驗之間應有 10 秒的最小延遲，輻射源位於不影響背景的距離處或在延遲期間被屏蔽。

中子適應證 Ñ 驗證：

配置測試裝置以同時移動(3.2 節)步驟中要求的緩速²⁵²Cf 輻射源和步驟(1)中完成的¹³⁷Cs 輻射源。

c) 如果僅曝露於¹³⁷Cs 場時未觸發中子警報，並且在曝露於²⁵²Cf 和¹³⁷Cs 時啟動中子警報，則結果是可以接受的。國際對門框式輻射偵檢儀器(監測儀)之主要測試標準：美國 ANSI N42.43 (2016) 及國際電工委員會 IEC 62244 (2019) 之標準摘要彙整如表 2。

結語

國內已推動熔煉爐鋼鐵廠設置門框式輻射偵檢系統多年，每年檢測出並通報之輻射異常物多達數十件，究其輻射異常物原因，大多數屬於鋼鐵管路或組件等廢鋼材含有天然放射性物質沉積管垢；少數屬於人工放射性物質之廢棄射源。然而，目前國內對於門框式輻射偵檢系統之功能檢測，乃由業者各自提出鋼鐵業輻射偵測計畫，進行門框式輻射偵檢系統之年度功能檢測，經主管機關核可後授權實施，惟尚未訂定統一之標準。本文介紹了國際 IEC 及美國 ANSI 的門框式輻射偵檢系統檢測標準與要求，可供國內相關業者、有興趣之專家學者了解，亦可作為國內主管機關與國際同步標準、精進輻防管制之具體檢測方法與稽查參考。

表 2 ANSI N42.43 與 IEC 62244 之門框型輻射偵檢儀器(監測儀)相關測試標準與要求

項目	偵檢標準	
	美國 ANSI N42.43	國際電工委員會 IEC 62244
偵檢區域	探測區域的高度建議範圍為 0.5 m 至 3.5 m。(車輛)	探測區域的高度建議範圍為 0.5 m 至 4.5 m。(車輛)
動態監測時，建議監測標的通過速度	移動車輛型：8 公里 / 小時 (2.2 m/s) 區域型：4.4 公里 / 小時 (1.2 m/s)	小型車 8 公里 / 小時 (2.2 m/s) 大型車 4.4 公里 / 小時 (1.2 m/s)
儀器特性：	監測器應能傳達、保留和貯存隨時間變化的歷史監測數據，此數據包括發出警示之前和之後的輻射背景讀數，和包含時間和日期之警示信息。監測器之傳達訊息之能力，可藉由錄影機或電腦輸出信息，或由量測裝置內建來達成。	
顯示功能		
防濕功能	監測器之設計應能防止從雨、冷凝水或高濕度而來之進水。	
溫度範圍	監測器應能於-30 °C 至 55 °C 之溫度範圍內進行操作。(IEC 62706)	
量測能量	應可量測 ≥ 40 keV 能量之加馬輻射。	
操作參數	製造商應提供建議的工作參數清單(例如警報閾值，檢測器電壓等)。這些參數應在整個測試中使用。	
背景測試	天然背景輻射(加馬) $\leq 10 \mu\text{R/h}$ 中子通量率小於 $200 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$	天然背景輻射劑量率(加馬) $\leq 0.15 \mu\text{Sv/h}$; 中子通量率小於 $200 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$
監測器偵測到警示機率(光子與中子均適用)	動態測試：上、下二組檢測區域各測試 60 次，總計測試 120 次；建議 120 次輻射源通過應至少有 117 起警示。	動態測試：每個測試放射性核種的 60 次試驗中至少有 59 次出現警報時，門框輻射監測器響應被認為是可以接受的。
假警報測試	假警報係源自於計數統計變動、背景強度變化以及設備故障。假警示機率應小於 0.001(即每 1000 次測試有 1 起警示)。	穩定的背景區域(僅是自然背景波動)中，在 10 小時內，每次操作 35 秒，總計約 1028 次，其假警報次數(無論是加馬射線還是中子)應少於 2 次。
超出範圍測試	曝露大於製造商聲明的最大值的輻射場中執行測量時，應啟動指示"超量"或"高計數"的警報。輻射場返回到背	當曝露大於製造商定義的最大劑量率時，門框輻射監測器應指示"超量"狀況。並在劑量率恢復到曝露前水平後 1 分鐘內恢復到非報警狀態。

	景水平後，監測儀返回到非警報狀態所需的時間不得超過 1 分鐘。	
背景變化	當背景變化足夠大，足以導致報警概率發生重大變化時，監測儀應提供警告指示。	
偵檢器校正	測試輻射源應可追溯至國家標準。	
測試光子參考輻射源	建議使用參考放射性核種 ^{137}Cs 、 ^{241}Am 和 ^{60}Co 進行測試。測試用輻射源建議應具有以下活度 ($\pm 20\%$) : $^{241}\text{Am} - 1.74 \text{ MBq}$ $^{137}\text{Cs} - 0.592 \text{ MBq}$ $^{60}\text{Co} - 0.259 \text{ MBq}$	使用 ^{241}Am 、 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 進行測試。測試用輻射源建議應具有以下活度 (-0% , $+20\%$) : $^{241}\text{Am} - 1.74 \text{ MBq}$ $^{137}\text{Cs} - 0.6 \text{ MBq}$ $^{60}\text{Co} - 0.26 \text{ MBq}$
測試中子參考輻射源	^{252}Cf 的中子發射速率為 $20,000 \text{ s}^{-1}$ ，輻射源被球形 4 公分厚之高密度聚乙烯緩速體包覆。	^{252}Cf 或 ^{244}Cm 的中子發射速率為 $20,000 \text{ s}^{-1}$ (-0% , $+20\%$) 以低於或等於 10% 的標準不確定性 ($k = 1$)。中子源應由球形高密度聚乙烯緩速體包覆，壁厚為 4 公分，內腔直徑不超過 3 公分。



參考文獻

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC), Radiation protection instrumentation – Installed radiation portal monitors (RPMs) for the detection of illicit trafficking of radioactive and nuclear materials, IEC 62244, 2019.
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)/National Committee on Radiation Instrumentation (NCRI), American National Standard Performance Criteria for Mobile and Transportable Radiation Monitors Used for Homeland Security, American National Standards Institute (ANSI), ANSI N42.43-2016 : 2016.

VARSKIN 6.2.1 用於皮膚劑量的評估應用

作者 陳玄哲

國立清華大學 核子工程與科學研究所

前言

在《游離輻射防護安全標準》中有規定輻射工作人員一年皮膚等價劑量限值為 500 毫西弗，一般民眾一年的等價劑量限值為 50 毫西弗。人體的皮膚是由表皮層、基底層、真皮層及皮下組織所組成。其中基底層和真皮層是皮膚中最容易受到游離輻射傷害的組織，依據接受到劑量的多寡會有不同的輻射生物效應（表 1）。不同部位皮膚之基底層所在的深度不盡相同，在 ICRP 23 號報告中將皮膚厚度歸一化成 0.07 mm，此深度也成了國內外法規定義皮膚深度的標準。皮膚劑量由低能光子與電子作為主要貢獻來源，光子輻射或高能電子經由游離激發的方式將能量轉移給組織。皮膚所受到傷害的嚴重程度和接受到的劑量多寡有關，除了達到劑量閾值會有的確定效應外，機率效應（如癌症等）也是皮膚接受到輻射傷害後必須考慮的因素。本研究使用程式為 VARSKIN，是美國核管會所認可的模擬評估程式，其簡易的使用介面可以提供使用者快速評估皮膚受到熱粒子污染後造成的皮膚劑量，過程中也可以將空氣間隔、有無覆蓋物等因素一同考量進去。模擬出的數

據可以提供雇主及權責單位去掌握輻射工作人員在職場所接受到的劑量是否在法規限制之內，也可以提前為每次工作所會接受到的劑量做評估並做出相對應的輻射防護措施。除了輻射工作人員的評估外也可以應用在核子意外事故中，提供主管機關或相關醫療單位皮膚所接受到的劑量，作為後續醫療照護或輻射生物效應研究的參考依據。

1. VARSKIN 程式介紹

VARSKIN 是由美國核管會委託太平洋西北實驗室所開發出的一套電腦模擬評估程式，也是美國核管會 RAMP（Radiation Protection Computer Code Analysis and Maintenance Program）中一個程式。VARSKIN 可用於模擬暴露在熱粒子或其他輻射汙染物質所產生的皮膚劑量。此程式第一版本於 1987 年推出，經過多年發展及程式更新後最新版本為 2017 年所推出的第六版。第六版除了給使用者新的介面體驗外和前一版第五版最大的差異是在核種資料庫中多增加了《ICRP 107 號報告》，此項更新使得核種資料庫核種數量從原本《ICRP 38 號報告》的 838 個增加到 1252 個，也讓使用者能夠根

據需求選擇更適合的參數進行劑量的模擬。在 2020 年美國核管會所舉辦的 RAMP 線上會議中也有提到即將推出能模擬中子及 alpha 粒子所造成皮膚劑量的 VARSKIN 7 或 VARSKIN + 版本，讓劑量評估更於精確。此篇報告所使用的程式版本為 2019 年更新第六版錯誤後推出的 VARSKIN 6.2.1 版本。

1.1 輻射源幾何結構

VARSKIN 6.2.1 和先前版本一樣有五種輻射源的幾何形狀能夠做設定，包括點狀、無限薄的圓盤狀、球狀、圓柱體狀及矩形，使用者能夠配合輻射源已知的參數去挑選最適合的幾何模型作為模擬的依據。點狀輻射源（圖 1 的 A）是最簡單的輻射源形式，最適合拿來作小範圍的劑量模擬。因為點狀射源缺乏電子自我屏蔽的效應，使得模擬出來的劑量會比較保守，可用於緊急狀況時評估其所得到的劑量是否在一個合理範圍內。無限薄的圓盤狀幾何假設（圖 1 的 B）多用在評估液體的汙染，也會在不確定汙染物厚度但知道汙染物直徑的狀況下使用。球狀的幾何假設（圖 1 的 C）多用於假定輻射源被空氣包圍住，

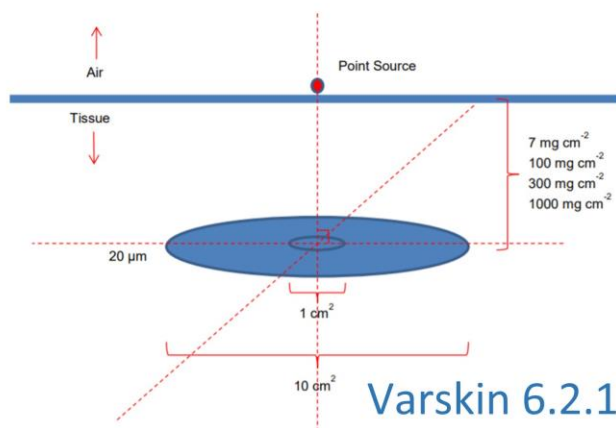


表 1 皮膚接受劑量對應傷害

皮膚傷害類型	劑量 (Gy)	發生時程
紅斑	3-10	14-21 天
脫毛	>3	14-18 天
乾性脫皮	8-12	25-30 天
嚴重脫皮	15-20	20-28 天
起水泡	15-25	15-25 天
潰瘍	>20	14-21 天
壞疽	25	21 天

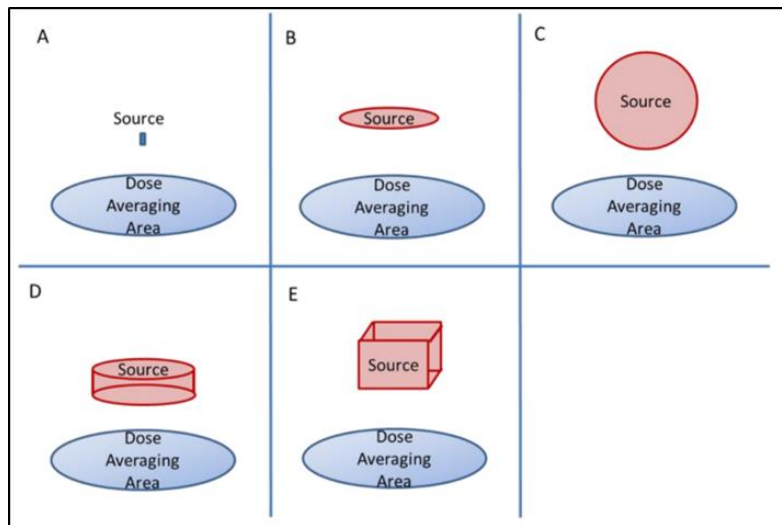


圖 1 輻射源幾何形狀示意圖

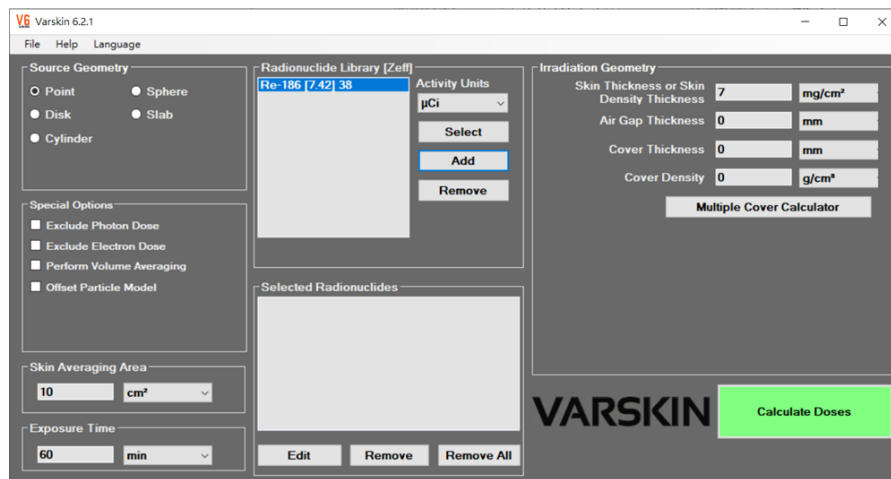


圖 2 VARSKIN 操作頁面

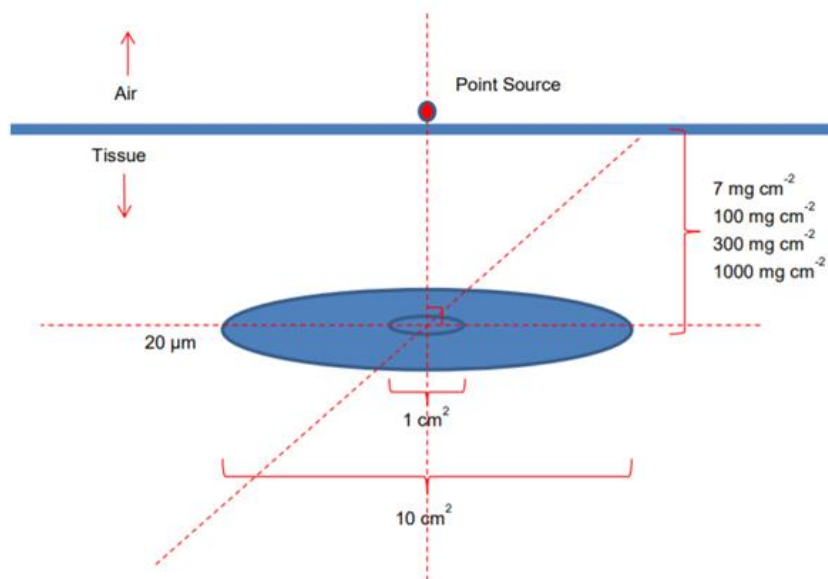


圖 3 劑量計算組織示意圖

並且僅在球的底部與皮膚或覆蓋材料接觸。圓柱狀的幾何假設 (圖 1 的 D) 放射源被空氣包圍，並且圓柱體的整個底部與皮膚或覆蓋材料接觸。在不確定污染物形狀但知道污染物直徑及厚度的狀況下也會使用圓柱狀的假設。長方體的幾何假設 (圖 1 的 E) 用在已知長寬高的輻射源上。在球狀、圓柱狀和長方體的射源幾何假設中，厚度及密度參數輸入是對於模擬劑量模擬上是非常重要的，尤其是在模擬電子所造成的劑量時。必要時須低估其密度和厚度來降低自我屏蔽的效應，使得模擬出來的劑量結果較為保守。

1.2 核種資料庫設定

程式內的資料庫中已經先依據《ICRP38 號報告》和《ICRP107 號報告》建立放射性同位素的資料庫，讓使用者需求自行選取適合的資料庫。其中也可以選擇是否要將衰變後的子核造成的劑量一同計入。單次模擬最多可以輸入 20 種核種讓程式進行計算，適合用於核子意外事故時多種輻射源外洩使用。

1.3 程式參數設定

在使用 VARSKIN 這個程式中有許多參數需要輸入，例如射源幾何輸入、劑量計算面積、厚度密度、空氣間隔、覆蓋物厚度密度、核種類型及活度等。每項參數的輸入都會以不同的形式去影響最終的劑量模擬結果。

1.4 劑量計算組織模擬

VARSKIN 在計算劑量上以組織深度以密度厚度的形式做輸入初始設定，並且以 7、100、300 和 1,000 mg/cm² 為參考基準，也可以依據使用者需求做出不同深度的假設。在初始設定中的 7、300 和 1,000 mg/cm² 分別是《美國聯邦法規彙編》所規定的皮膚、眼球水晶體及深層軟組織劑量參考深度。計算劑量的組織大小設定為底為 1 cm² 或 10 cm² 而厚度 20μm 的圓柱體，其中 10 cm² 的圓柱體設定和《美國聯邦法規彙編》中所規定皮膚劑量計算的面積的大小一致。

1.5 覆蓋物與空氣間隔

劑量會隨著空氣間隔大小呈現平方反比的關係，皮膚和射源間的空氣間隔輸入就顯得重要。對於光子射源來說空氣間隔的距離會破壞電子平衡導致淺部皮膚的劑量增加，在低能光子此現象會更加顯著。在 VARSKIN 中空氣間隔最大可以輸入 20 公分。

穿戴在皮膚外的防護設備，如防護衣、手套等，會使輻射線受到衰減達到保護皮膚組織的效果。在這個程式中最多可以輸入五層防護，且只要輸入覆蓋物的厚度及密度即可作為計算的依據。在 VARSKIN 使用手冊中也有提供常見覆蓋物厚度與密度參考值可以供使用者做參考。

1.6 劑量計算模組

VARSKIN 中電子劑量計算以點核仁 (dose point kernel) 的模式做積分運算，且劑量計算的初始定義介質為水可以直接和皮膚組織做對照不必做而外的做轉換。光子劑量計算模組也是利用點核模組去做計算，計算過程中已經將光子衰減、離軸散射、荷電粒子平衡等因素考慮進去。

電子劑量計算模組

$$D_{\beta}(r) \left[\frac{Gy}{sec} \right] = \frac{1.6 \times 10^{-10} \times \left[\frac{Jg}{MeV Kg} \right] \times A \left[\frac{dis}{sec} \right] \times Y \left[\frac{\beta}{dis} \right] \times E_{\beta} \left[\frac{MeV}{\beta} \right] \times F_{\beta}(\xi)}{4\pi r^2 \times \rho \left[\frac{g}{cm^3} \right] \times X_{90} [cm]}$$

光子劑量計算模組

$$D(h, R) \left[\frac{Gy}{nt} \right] = \frac{k}{4\pi} \times \sum_{j=i}^N \frac{w_j}{d_j^2} \left[\sum_i [y_i \times E_i \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_i \times (f_{cpe})_{i,j} \times (F_{oa})_{i,j} \times e^{-\mu_i d_j}] \right]$$

VARSKIN 所計算出的結果為吸收劑量，其單位為格雷 (Gy)，相關法規所規範的是皮膚劑量為等價劑量，其單位為西弗 (Sv)。將吸收劑量乘上輻射加權因素即會變成法規所規定的等價劑量，對光子和電子射源而言輻射加權因素皆是 1，對於劑量計算結果不會有數值上的改變僅有單位上的變化。

1.7 劑量驗證

VARSKIN 的光子劑量模擬結果和 MCNP5 做比較，著重在深度 7、100、300 和 1,000 mg/cm² 下七種幾何模型做劑量驗證，在點射源及圓盤狀射源的假設下都具有良好的準確性。若射源幾何為球狀、圓盤狀或立方體時在能量大於 200 KeV 的情況下劑量會稍微高估，其結果較為保守。

電子劑量結果則和 EGSnrc 及 MCNP5 做比較，除比較七種射源幾何在深度 7、100、300 和 1,000 mg/cm² 的劑量結果外，也比較四種β衰變 ²⁸Al、⁴²K、⁶⁶Cu、¹³⁸Cs 核種的劑量結果除了 MCNP5 在較深的時候估計值較高外其餘結果相當符合。

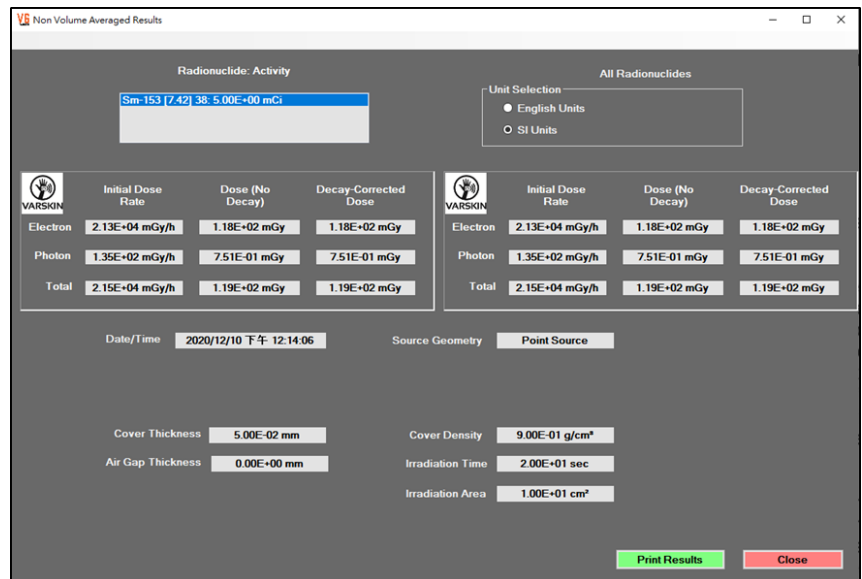


圖 4 Sm-153 核醫藥物意外事件模擬結果

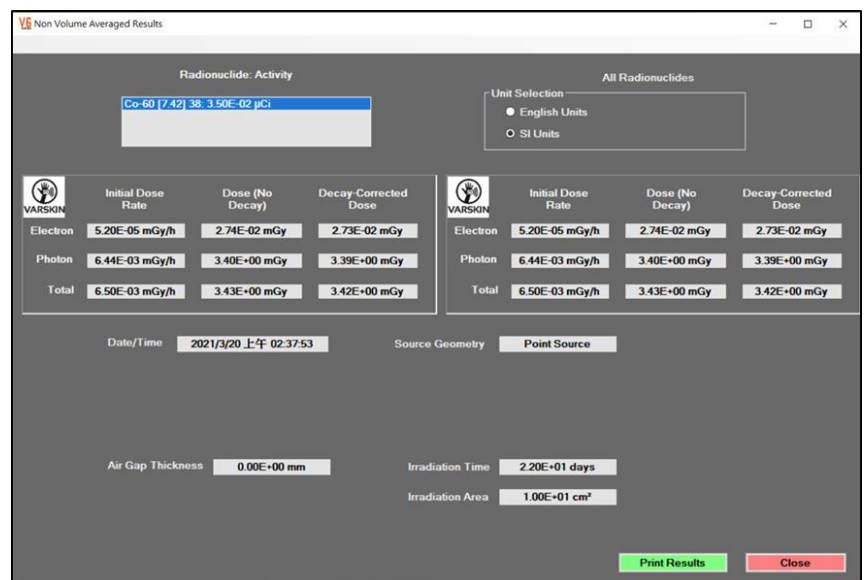


圖 5 Co-60 吸入意外模擬結果

除了使用手冊中提到和 EGSnrc 及 MCNP5 等蒙地卡羅計算做模擬對照外，美國密蘇里大學 Modeste Tchakoua Tchouaso, William H. Millerb 使用 PIPS 偵檢器量測 ^{147}Pm 、 ^{204}Tl 、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 並將結果與 VARSKIN 4 和 MCNPX 做比較，其結果差異不大有良好的準確性。

美國核管會案例報告

美國核管會網站有許多輻射意外事故的案例報告，其中有幾篇報告中有使用到 VARSKIN 對該次意外所造成的輻射劑量做估算。其內容涵蓋核子醫學藥物傾倒意外、誤觸放射性物質對於皮膚的傷害也有將其應用在模擬工作場所吸入放射性物質造成的體內劑量的例子，可看出 VARSKIN 應用以不僅在當初設計的皮膚而是延伸到相關的應用上了。以下兩個內容為美國核管會報告中有應用到 VARSKIN 的部分，並且此研究也利用核管會所提供的相關參數做相應的模擬並將結果與核管會報告做比較。

2.1 核醫藥物 Sm-153 洩漏意外

Sm-153 是種半衰期為 4.63 小時透過 β -衰變模式釋放出電子的放射性核種，在核子醫學領域中用來緩解癌症骨轉移所造成的疼痛。此案例發生在 2011 年 11 月 2 日一位病患預計利用靜脈注射的方式注射 81 mCi 的 Sm-153 進入體內做治療，由於因為醫療人員的疏失導致僅有 29 mCi 的藥物打入病患體內。

保健物理人員利用 VARSKIN 推算相關醫療人員在此次意外所接受到的皮膚劑量。其中一位工作人員手套上有附著 5 mCi 的藥物，且在手套被污染後 20 秒才將其移除，在核管會的報告中提到其皮膚的暴露劑量為 10.1 rem (101 mSv)，也以此推估此次意外沒有超過法規的限值 50 mrem。

依照核管會報告所提供出的相關參數和 VARSKIN 使用手冊的建議對該次意外進行一次模擬。射源採用《ICRP 38 號報告》活度 5 mCi、幾何模式為點射源

的 Sm-153、覆蓋物則採用使用手冊建議厚度為 0.05 mm 密度厚度為 0.9 g/cm² 的手套、暴露時間為 20 秒鐘。模擬出來的結果為 119 mSv 和美國核管會在報告內所提到的 101 mSv 差異不大且都在法規限值內。

2.2 Co-60 吸入意外

另外一個案例報告是發生在 2016 年 3 月 16 日，一名工人在廠房中工作時意外吸入 35 nCi 的 Co-60 熱粒子直到 2016 年 4 月 7 日才排出體外。此次意外中研究人員利用 VARSKIN 來估算該名工人小腸所接受到的約定等價劑量，為保守估計劑量研究人員假定 Co-60 粒子從吸入到排出的過程都停留在同一位置。在深度輸入上，研究人員依據核醫年報提供的數據將小腸對輻射敏感組織的深度訂在 850 μm ，最後算出其約定等價劑量為 338 mrem (3.38 mSv)，也未超出法規所規定的 50 rem 的限值。

表 2 沾附不同活度的 Co-60 在不同厚度防護衣下 1 小時皮膚所接受到的劑量 (mSv)

	0.1 μCi	1 μCi	10 μCi	20 μCi	50 μCi
1 mm	1.28E-1	1.28	1.28E+1	2.56E+1	6.41E+1
2 mm	7.82E-2	7.82E-1	7.82	1.56E+1	3.91E+1
3 mm	4.82E-2	4.82E-1	4.82	9.63	2.41E+1
5 mm	1.88E-2	1.88E-1	1.88	3.76	9.41
8 mm	6.59E-3	6.59E-2	6.59E-1	1.32	3.3
10 mm	4.25E-3	4.25E-2	4.25E-1	8.5E-1	2.13

依照核管會報告中所提供出的相關資料，進行意外事故的模擬。射源採用《ICRP 38 號報告》活度 35 nCi、幾何模式為點射源的 Co-60。暴露時間為 22 天，模擬的組織深度則用核醫年報所提供的 850 μm 。模擬出來的結果是 3.42 mSv (342 mrem) 和美國核管會報告中所提及的 338 mrem 差異不大且數值皆在遠低於法規限值。

國內應用評估

從美國核管會的案例報告中可以看出只要找到相對應的深度，就可已利用 VARSKIN 來進行劑量模擬，例如眼球水晶體、小腸等組織。在劑量評估上也可以利用此程式來評估核電廠除役時廠區工作人員皮膚劑量、醫院核醫科核醫藥物意外事件劑量評估或誤觸到放射性

物質時手部劑量評估等。也可以透過 VARSKIN 輸入覆蓋物厚度及暴露時間的功能來模擬防護衣所需要的厚度或模擬工作人員工時以算出合理的工作時數。

下表 2 為利用 VARSKIN 模擬工作人員工作一小時中沾附到不同活度的 Co-60 情況下，對於穿戴不同厚度防護衣所接受到的皮膚劑量值的差異。為了保守估計劑量此次採用輻射源採用點射源之幾何模式，核種資料庫選擇為《ICRP 38 號報告》、覆蓋物的密度為以手冊使用手冊中建議的密度為 0.9 g/cm^3 布質實驗衣。

從表 2 中可以看出在沾附 10 μCi 的 Co-60 在穿戴 5 mm 的防護衣下工作一小時所得到的皮膚劑量為 1.88 mSv，在不超過法規所規定的 500 mSv 下最多

可以工作 265 小時。將模擬出的劑量結果做成表格，這些分析數據可以提供有關單位在工作時數安排或防護衣的採購。對於管制單位也可以用於審查工作人員所接受到的皮膚劑量是否會超過法規限值。

結論

藉由 VARSKIN 程式可模擬各種放射性射源對皮膚造成的劑量，甚至可以延伸模擬眼球水晶體、小腸等組織的劑量。且 VARSKIN 的模擬結果經過驗證和 MCNP5/EGSnrc 等蒙地卡羅運算驗證其結果極為相似。在實務運用上可以模擬工作人員接受劑量是否符合法規限制、給予管制單位評估防護衣厚度及工時之參考依據或者用來模擬輻射意外事故對於人體所造成的劑量影響。



參考文獻

1. 行政院原子能委員會，游離輻射防護安全標準，2005。
2. 行政院原子能委員會，輻射意外事故與傷害，2015。
3. 楊融華博士，VARSKIN 皮膚污染劑量估算與應用，2017 輻射防護程式分析與維護應用研討會。
4. L. Anspach, C. Mangini, and D. Hamby Renaissance Code Development, LLC - PARAMETRIC SENSITIVITY OF THE VARSKIN DOSIMETRY MODELS, 2019.
5. U.S. NRC, VARSKIN 6: A Computer Code for Skin Contamination Dosimetry, NUREG/CR-6918, Revision 3, 2017.
6. Dubeau, J., Hakmana Witharana, S.S., Sun, J., Heinmiller, B.E., Chase, W.J. A Comparison of Beta Skin Doses Calculated with VARSKIN 5.3 and MCNP5. Radiation Protection Dosimetry. DOI:10.1093/rpd/ncy108; July 2018.
7. Anspach, L.J.; Hamby, D.M. Performance of the VARSKIN 5 (v5.3) Electron Dosimetry Model. Radiation Protection Dosimetry. DOI:10.1093/rpd/ncx302; December 2017.
8. Modeste Tchakoua Tchouaso, William H. Miller, Beta Skin Dosimetry using Passivated Planar Silicon Detector, 2018.
9. NRC Reactive Inspection Report No. 03002271/11-003(dnms) And Notice Of Violation – Washington University In St. Louis, 2011.
10. NRC Inspection Report No. 05000295/2016001(dnms); 05000304/2016001(dnms)–zion Nuclear Power Station, 2016.
11. A Journal of Nuclear Medicine (1998, Volume 39, pp1989-1995)

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