



圖引用自國際刑警組織(INTERPOL)

財團法人 中華民國輻射防護協會

# 輻射防護簡訊

第 173 期

出刊日期 112 年 2 月 15 日

## 本期內容

### CONTENT

#### 核鑑識與輻射犯罪案例簡介

1

最近烏俄戰爭爆「髒彈」的隱憂，髒彈的輻射事故議題又受到世人的關注。國際性的核恐怖攻擊事件，一直威脅著全民的生活模式，面對未知的核恐怖事件，須仰賴警察、消防、緊急醫療系統、核能專家、鑑識專家、公共衛生、危機處理小組及政府各相關部會協同處理。

#### 核鑑識科學家的角色

3

核鑑識科學家指跨領域整合原子科學與鑑識科學的科學家，扮演類似「科學偵探」的角色，會將重點放在追蹤、調查使用大規模殺傷性武器的事件的幾個層面，以連接犯罪嫌疑人的身份。

#### 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 全球輻防新聞

#### 迎接太空世紀的來臨：輻射防護的契機與挑戰

13

本文討論太空議題目前及未來的發展，尤其在嚴峻的輻射環境下，如何保護太空人的健康及生命安全。筆者藉這個機會和讀者一起來探討相關的議題，也分享個人的看法。

# 核鑑識與輻射犯罪案例簡介

作者 李承龍

臺灣警察專科學校/國立清華大學 副教授



## 前言

最近烏俄戰爭爆「鱗彈」的隱憂，鱗彈的輻射事故議題又受到世人的關注。事實上國際性的核恐怖攻擊事件的隱憂，一直威脅著全民社會自由、民主、開放的生活模式，面對充滿未知的核恐怖事件，更須仰賴警察、消防、緊急醫療系統、核能專家、鑑識專家、公共衛生、危機處理小組及政府各相關部會來支援協助。處理輻射事故現場，更需要各領域的緊急救助人員參與，但有關預防和調查恐怖份子活動的責任，仍落在執法人員的身上，21 世紀的執法模式已有很大變革，在過去，預防和解決犯罪案件，仍遵照傳統的訓練模式，大家都接受相同的訓練，且大多採取保守方法。但新時代犯罪模式之變革，已經超越傳統偵查模式，倘若還是沿用舊模式，依靠過去的經驗和能力來辦案，尤其在處理當今及未來國內、外的輻射犯罪活動時，必然困難重重，也代表執法人員或現場調查人員的表現是明顯失職的。面對核鑑識與輻射犯罪現場調查的需求，如何發揮團隊合作，讓輻射現場調查的方法更系統化、更符合專業的要求，對

所有的參與調查的單位來說，是目前最重要的議題。

## 核鑑識之定義

『核鑑識』之定義：廣義而言，係指原子科學與鑑識科學跨領域的整合研究（如下圖一）；而狹義的說法，係單指輻射彈爆炸後，從放射性碎片鑑定放射來源，若依需求來定義可區分為下列兩大方向：

一、 利用鑑識科學的知識，協助偵查核子保安與輻射事故的問題。藉由鑑識核原料的成分或微量元素分析，來追蹤、管制內含其放射物質的來源，例如在進口物品或例行檢測盤查時，若發現有核原料的輻射反應時，經由核鑑識實驗室來鑑別該原料的同位素與各同位素比例，可據此進行資料庫比對，研判該放射性物質的可能來源與流向，藉以追查該核原料是否與輻射彈或其他的放射物質的犯罪相關。所以在爆炸現場採集輻射彈引爆後的證物殘跡，必須利用微量元素的分析技術，經由核原料資料庫的查詢，方可發現輻射彈或核原料的來源，國際間必先建立完整的核原料資料

庫，方可供查詢；另藉由輻射彈爆炸現場勘察所採集之傳統科學跡證-如指紋、DNA、火藥、微物跡證等的鑑定結果，亦可連結相關犯罪資料庫，找出炸彈客或製造者。

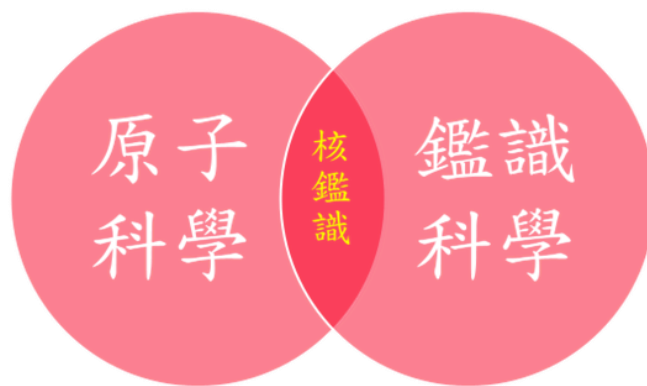
二、 利用核能的科技，協助解決鑑識科學的相關問題。藉由利用放射性元素 $^{14}\text{C}$ 、 $^3\text{H}$ 等定年法技術，協助鑑識人員解決證物年代差異上的問題。此外，亦可利用同步輻射(synchrotron radiation)進行超微量物證分析，例如在日本有成功的案例，檢測射擊殘跡(GunShot Residue, GSR)，約僅需兆分之一克(part per trillion, ppt)的量，即可成功偵測出來，用來協助警方調查槍擊案的成功案例，解決鑑識科學上超微量跡證的鑑定問題。為使第一線犯罪現場勘察人員或處理輻射事故人員，對於特殊之輻射事故或放射性相關跡證有較明確之處理規範，本文參考警政署頒發之刑事鑑識手冊，配合國際原子能總署(IAEA)發行版(2012.02)的核保安叢書 2-核鑑識導則(Nuclear Security Series No.2 : Nuclear Forensics Support)

美國 FBI 核鑑識相關訓練資料、國際間實務經驗與案例及原子能委員會等相關資料為基礎，討論合乎犯罪現場有關「特殊之輻射事故或放射性相關跡證之處理規範」之參考。

### 輻射犯罪案例介紹

因為放射性物質無臭、無味、看不見也聽不到的特性，高劑量的輻射更可能讓有心者，用於殺人於無形的凶器，這是警方最擔憂的犯罪問題，因為此類的犯罪行為，是一般的法醫解剖鑑定死因所無法察覺，檢警也不會得到死因真相的，也無從調查，此類的犯罪工具早已受到恐怖份子或有心人士的關注，卻遭實務單位漠視的一環，形成強烈對比。例如鈾 210 是罕見、但天然存於鈾礦中的放射性物質，具釋放高放射性 $\alpha$ 輻射的特性，在大氣、土壤甚至人體中都自然存有微量鈾 210，但若不慎接觸到高劑量的鈾 210 將嚴重傷害人體組織、器官，甚至致命。2006 年俄羅斯異議人士、前國安會 ( K G B ) 間諜利特維內柯 ( Alexander Litvinenko ) ( 如圖二 )，在倫敦遭人以鈾 210 毒死，醫師在其體內發現大量放射性元素鈾 210，英國警方在調查該案時，赫然發現至少有五架民航機可能遭輻射污染，估計搭乘過這些問題班機的乘客有三萬三千人，可能是將輻射物帶到英國的人或曾和利特維內柯接觸過的人將輻射帶上飛機，此事件引發全世界對放射性物質犯罪問題的關注。

另巴勒斯坦前領導人阿拉法特，也被懷疑遭放射性物質毒害身亡的說法，更引發全世界的討論，因為阿拉法特的健康良好，突然在 2004 年底無因卻迅速惡化，被送往巴黎培西軍醫院治療後，當年 11 月 11 日過世，院方也無法判定他的真正死因，當時阿拉法特的遺孀蘇哈



圖一、廣義的核鑑識：原子科學與鑑識科學跨領域的整合研究



圖二、病榻上的利特維年科 ( Alexander Litvinenko ) ( 取自 YouTube )

也未要求驗屍。阿拉法特過世至今死因仍有爭議，許多巴勒斯坦人仍深信，阿拉法特是遭以色列特工下毒暗殺。後來洛桑大學在阿拉法特的遺物中，發現含有高劑量放射性元素鈾 210，因此法國的司法機關在阿拉法特的遺孀要求下，正式對阿拉法特死因展開謀殺調查，2012 年阿拉法特的遺體被開棺檢查，確認是否因為放射性物質毒害而死，此案說法各異，目前尚無明確的結論。

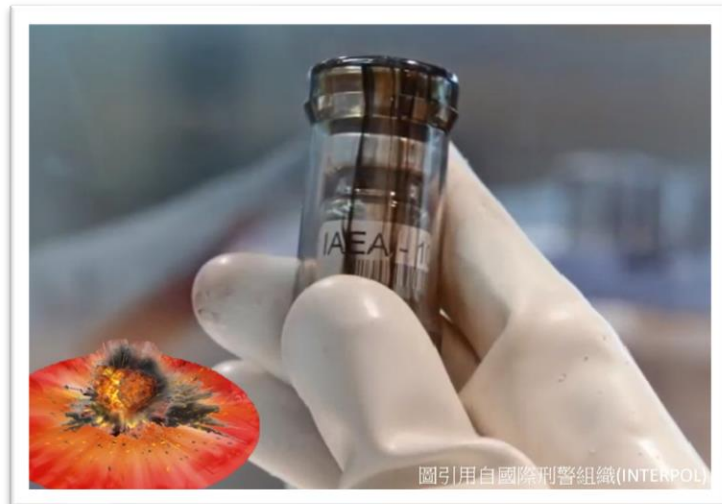
上述兩類特殊鈾 210 的案件，可能僅是冰山一角，因為此類犯罪不易發覺更無從偵辦，兇嫌利用輻射不易察覺的特性，殺人於無形，可能是超完美謀殺案的劇本，此種犯罪行為，能否被發覺、偵查甚至破案，取決檢警調人員是否具備有放射化學的基本觀念，尤其在犯罪

現場勘察時，是否有將偵測放射性物質的警覺和作為，將其納入檢測的標準作業流程，此為發現輻射問題的第一步驟，後續有關放射性證物的蒐集、採證和鑑定，是否有符合處理放射性物質的安全特殊規定？是否與核能相關單位互相支援、搭配，以取得制敵的先機，共同打擊犯罪？因為目前國內有關犯罪現場勘察的相關規定 ( 警察犯罪偵查手冊或刑事鑑識手冊的法規條文 ) 中，對於輻射事故現場或放射物質犯罪之相關勘察、採證，尚無完整的配套措施及相關緊急的處理程序、規範，各縣市警察局也沒有相關放射性物質的偵測及輻射防護裝備，如何面對此類有關放射性的犯罪現場是目前治安和核安的一大隱憂。

# 核鑑識科學家的角色

作者 李承龍

臺灣警察專科學校/國立清華大學 副教授



圖引用自國際刑警組織(INTERPOL)

面對核武攻擊的輻射現場，需要多元化的團隊合作應變，一般來說，核鑑識科學家（指跨領域整合原子科學與鑑識科學的科學家），扮演類似「科學偵探」的角色，會將重點放在追蹤、調查使用大規模殺傷性武器的事件的幾個層面，包括識別核子攻擊的種類、受害者識別、症狀特徵和接觸或進行方式的測定、死亡原因、現場分析和重建、物理證據測試或武器的分類和鑑定、追蹤個體化特徵，以連接犯罪嫌疑人的身份。

## 一、辨別核子攻擊

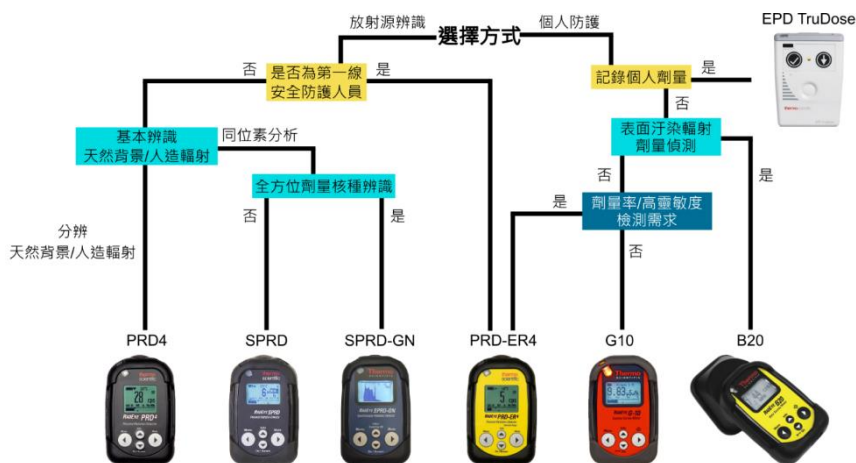
使用核子攻擊者，有時會發出威脅，尤其是核恐怖份子，常使用這類核武器來增加大眾的恐懼、製造社會混亂，他們會清楚地標誌這些放射性物質，所以多數情況下，眼前最重要的任務是，確認的威脅及該製劑的化學結構。然而，在核恐怖事件之前，鑑識科學家、緊急救援人員、醫護人員必須要做好準備，在沒有警告的情況下，必須迅速能正確地識別這些放射性物質的特徵及症狀，因

為放射性物質的種類繁雜，如何辨識成為一個非常艱鉅的任務。

輻射現場處理的勘察與鑑識工作，可從含有這些放射性物質的可疑包裝或包裹開始，其次，必須立即採取預防措施，遏制輻射污染的地區，並將可能受感染的個人和物體實施隔離和去污作業，輻射現場處理應使用可靠、靈敏及攜帶式輻射檢測設備和試劑，來檢測生化製劑。最後，這些物質必須妥善收集、保存，並運送到一個能做進一步測試的合格核鑑識實驗室。

## 二、辨識罹難者身份

放射物質的潛在污染是複雜的，而辨識遇難者的遺骸，是另一種挑戰。有關遺骸鑑定，要符合法律和安全調查上必要的需求，可以通過各種不同的方式來完成，如何完成鑑定，往往取決於遺骸的狀況、可用資源或替代的條件，可使用下列兩種方法來鑑定，一般情況下可使用證人，相對快速、可靠、直觀地辨識、指認受害者身份。然而，遺骸的污染狀態，或難以提出的受污染之遺骸，則可能造成無法辨識身份的問題，所以



挑選符合需求的便攜式輻射測量儀（資料來源：

<https://www.samwells.com/h/ServiceDetail?key=icm3i&cont=268622>）



核鑑識專家克勞斯·邁耶在德國西南部的卡爾斯魯厄。  
(渡邊志保攝，資料來源 <https://globe.asahi.com/article/12683216>)

受污染的遺骸，建議可使用高解析度的照片或影片、視訊等替代直接指認的方案。

若殘缺或污染的遺骸無法達成鑑定的目的，則可改由對受害者個人物品的檢查和鑑定，來關連出受害人的身份，此法都必須有足夠的個別特徵，達到具有可信度的鑒別，例如：身份證明文件、照片、服裝、首飾、鑰匙、徽章，及其他具特徵的配件。

外在的標記亦可提供一種鑑定的方式，鑑識人類學家可從頭顱骨獲得資料，透過電腦程式來進行人類學的測量，復原、重建面部的特徵，若仔細檢查遺骸，也可紀錄胎記、刺青、天生缺陷和變形或手術等特徵標記，若手指和手掌的皮膚紋路是完好的，則可提供作為皮紋或指紋鑑定之依據，留存個人指紋檔案的原因很多，例如犯罪遭逮捕、服兵役、出入境或許可證的申請等。若找到指紋痕跡，不知是何人所有，則可進入刑事局自動指紋識別系統 (AFIS)，

進行比對，此外，紋身也是一種識別方式，可以通過親友或紋身藝術家，有機會知道紋身圖騰是哪一家？誰的？

檢查遺骸的後續作為，可從研究和記錄其身體內部的特徵著手，例如比對牙齒記錄，是最常用的人別鑑識方式，然而，這種方法依賴於牙齒的特性，以獲取最新高質量的牙齒殘骸和 X 光記錄，其他病歷和 X 光片亦可用來辨認屍體或遺骸，手術記錄或人工器官，也可以提供有價值的辨識資訊。

隨著生物科技的進步，利用 DNA 遺傳因子，已成為一個更加有效的識別方法，即使極少量的遺骸，利用具特異性的短重複序列多型性 (STR) DNA，即可提供明確的人別鑑定結果。當僅剩一小部分的組織碎片或遺骸已明顯分解或腐爛時，便可利用粒腺體 (Mt) DNA 分析，當補強的替代方法，因為每個細胞中只有一份核 DNA，但卻有數百組的粒腺體 DNA，但該方法是屬於母系遺傳，所以會要求提供母系遺傳因子特

徵。然而，粒腺體 (Mt) DNA 不如 STR DNA 的鑑別能力，STR DNA 能單獨鑑別出人別的特異性，而粒腺體 (Mt) DNA 僅能說明系屬同一母系遺傳的結果。

### 三、判斷和查明症狀：死亡原因及方式

法醫與衛生專業人員的首要義務，是能即時、正確的診斷死因或病因，提供研究者和科學家有效的資訊，這也是當事人的福祉。利用這些資訊，可以斷定實際被使用的生化製劑種類、可能傳播的途徑，並可進一步關連、追查其來源。

基於醫療和法律上的相關規定，每名受害人的感染方式和死因，都必須正確的判別。因此，診斷初期必須與法醫密切合作，最好由經驗豐富的法醫和病理學家所組成團隊，來進行解剖。當然與醫界的聯繫也是必要的，以避免與核子、生物或化學等物質，相關的疾病或死亡結果，不小心歸因於正常的因素（如新冠病毒、肺炎或流感），貽誤先機。

### 四、物證分析、分類及識別

檢查被懷疑是核子或化學武器，這些可能遭污染的證據，為核鑑識科學實驗室帶來了許多的挑戰，這種類型的證據，主要有兩個問題，首先，必須確定放射物質的種類，雖然該類型的實驗，可與現有的實驗室協議，要求有能力安全處理這些放射物質的合格實驗室，才能進行分析。實驗室之分級，依其處理何種類型的材料而分層劃定。以下是美國中央疾病控制和預防局，對可處理化學製劑實驗室之能力分級：

- 一級實驗室：相關設施在化學恐怖襲擊事件中，可以收集和運送人體血液和尿液標本，並有適當的反應。

- 二級實驗室：相關設施可分析二級工業化學品的人體樣本，選定的化學威脅製劑（如路易氏劑，重金屬，氰化物等），或它們的代謝物。

- 三級實驗室：相關設施可分析需要專門知識的化學威脅製劑的人體樣本，三級化學毒劑包括神經性毒劑，芥子氣，黴菌毒素，並選定有毒工業化學品。

實驗室必須遵循嚴格的預防措施，直到測試確認該樣品不具有核子、生物或化學的威脅，若實驗室無法對該放射物質或生化製劑進行試驗，或需要額外的輻射偵檢儀器或方法，則需轉移樣品到另一個能進行更多分析的先進實驗室，若樣品被認為是安全或常規的，便可依照一般的預防措施處理。

除了確定該放射物質種類外，實驗室也需要對提交的物證，進行各種採證和鑑定，常見的鑑識分析案例包括：潛伏指紋、檢查設備上的特殊機器、工具痕跡及任何可見的標籤或文字、收集和分析各標的物上的微量物證，可提供調查線索，這些微量物證可能具有放射性質的特性，並可能包括適用於 DNA 分析的毛髮、纖維，或多種微量化學成分，這種類型的實驗室分析，可提供重要的調查線索，以查明證明或反駁犯罪嫌疑人口供；或建立受害人、犯罪嫌疑人、犯罪現場和證據之間的關連，值得關注的是，要確保證據在整個過程中，能妥善被收集並保存，以防止被更改或破

壞。所以，處理現場污染物質的工作人員，與負責檢驗的鑑識科學實驗室之間，需要有妥善的協調計劃，方能保全跡證。

## 五、追查物質的特異性

一旦可疑物質被確定之後，應思考、分析可能產生該物質的來源資訊。例如，生物製劑，如炭疽菌，可利用 DNA 分析，因為細菌的遺傳特異性，更可確定具體的特定菌株，因此，炭疽菌可能與其他已知或未知來源的炭疽樣本，產生關連。因未知樣本來源，故從不同的案例之關聯，來進行來源的調查，是非常重要的。對某些化學製劑，亦可進行相同類型的分析，製程所產生雜質或添加劑，也可幫助科學家識別和量化、關連不同的樣品；為有效追蹤核子、生物或化學物質來源，應建立包含此類資訊的全球資料庫，藉以追查所有傳統的核子、化學和生物武器。

## 六、關連犯嫌與案件

透過各種方式，可使犯罪嫌疑人，與含有特定核子製劑的樣品產生關連（如下圖一），首先可利用裝填容器或傳播的方式來分類和鑑定來源，該製劑或設備上的零組件，其組裝方式，可能提供製造武器的個人或團體之特徵犯罪簽名（M.O）。一般而言，整體的犯罪手法或操作方式，如果能按部就班地確定特徵，將有助於連結不同的事件，並提供

潛在的關連性以供調查，此外，相關的物件，也應進行潛伏印痕和微量物證的鑑定，若能發現微量殘留物，則可獲得足量皮屑 DNA 比對出嫌疑犯的身份，例如使用信封、郵票，犯罪嫌疑人可能會舔信封、郵票上的黏着劑，皮屑 DNA 等微物跡證就會被轉移。另外，頭髮和微量物證，也會提供類化或個化特徵，可協助包括或排除某些犯罪嫌疑人，或提供一些犯罪嫌疑人的遺傳性狀資訊。此外，線粒體 DNA 分析，可用於頭髮樣本。如果頭髮樣本含有毛囊，則可進行傳統核細胞 DNA 的 STR 分析，如果沒有毛囊，唯一的選擇是粒腺體 DNA 分析，在調查過程中查獲的文件，文書和筆跡分析，亦可提供潛在嫌疑人的線索。

對紙張或信封，可進行文書鑑定，包括其紙張材質、浮水印或其他的物理、化學特性，甚至紙張被折疊的方式這類的習慣動作，均有助關連犯嫌的身份。另外，書寫或列印文件的墨水成分分析，也可提供線索，此外，也可評估紙張、信件之內容、遣詞用字或習慣用語，均有助研判犯嫌可能的教育背景或程度、文化背景或其他特性。在進行所有的鑑識分析實驗時，應該優先採用非破壞性的實驗方法，必要時，最後才進行破壞性的實驗。非破壞性的方法，有一般的目視檢查、顯微鏡觀察、輔助光源檢查，或利用靜電顯現等分析方法。



## 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

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 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

**B1 高雄** 文化大學推廣部

1 月 11 日~1 月 13 日

**B2 台中** 文化大學推廣部

2 月 14 日~2 月 16 日

**B3 新竹** 帝國經貿大樓

2 月 20 日~2 月 22 日

**B4 台北** 進出口同業公會

2 月 22 日~2 月 24 日

**B5 高雄** 文化大學推廣部

3 月 15 日~3 月 17 日

**B6 台中** 文化大學推廣部

4 月 12 日~4 月 14 日

**B7 台北** 進出口同業公會

4 月 19 日~4 月 21 日

**B7 新竹** 帝國經貿大樓

4 月 25 日~4 月 27 日

### 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

### 新竹 經濟部專研中心

3 月 3 日(上午&下午)

**台北** 進出口同業公會

3 月 9 日(上午&下午)

**高雄** 科學工藝博物館南館

3 月 23 日(上午&下午)

**台中** 文化大學推廣部

3 月 29 日(上午&下午)

### 鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班

**鋼 1 新竹** 帝國經貿大樓

5 月 04 ~ 5 月 05 日

**鋼 2 高雄** 文化大學推廣部

5 月 09 ~ 5 月 10 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 (專業人員、繼續教育)；  
315 邱靜宜 (鋼鐵建材、放射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」及「操作人員輻射安全證書測驗」公告及簡章。[訊息連結](#)

112 年第 1 次「輻射防護專業測驗」及「操作人員輻射安全證書測驗」，訂於 112 年 5 月 6 日舉行，報名日期為 112 年 2 月 13 日至 3 月 3 日，採網路報名，相關事項請點選下方→(相關連結)詳閱簡章。

相關連結：[輻防及輻安測驗](#) (發布日期 112 年 1 月 31 日)

### 國內新聞

- 台灣新生報報導「原能會：輻射屋防範機制已建立」。[訊息連結](#)

原能會表示，目前造冊列管的輻射污染建築物計有一六六九戶。於八十一年輻射屋事件發生初期，原能會積極透過收購、拆除或工程改善等方式處理，以降低輻射屋對民眾之影響；後續則透過建立輻射屋拆除通報機制、辦理放射性污染建築物巡查專案、追蹤輻射屋劑量衰減趨勢等方式善後處理。迄今僅剩十三戶年劑量大於一毫西弗，其餘戶數均已降至一毫西弗以下。

有關民生別墅受輻射污染戶，劑量較高之戶數由原能會收購，移交國產署接管辦理後續活化事宜。(發布日期 111 年 12 月 24 日)

- 三立新聞網「福島 5 縣食品進口台灣 2 款驗出微量輻射遭勸退關」。[訊息連結](#)

衛福部食藥署今年 2 月公告開放福島 5 縣食品進口，今(27)日邊境最新輻射檢測結果顯示，2 款分別來自檜木、茨城的地瓜乾、冷凍栗子醬，驗出含微量輻射銫-137 等，均已勸導業者退關。

日本美食深受台灣民眾喜愛，但在 2011 年 3 月 11 日發生日本福島核電廠事故後，台灣禁止福島 5 縣食品將近 11 年，直到今年 2 月 21 日食藥署發布「輸入日本特定食品應檢附輻射檢測證明向查驗機關申請查驗」，並自即日生效，福島縣、茨城縣、檜木縣、群馬縣、千葉縣的食品解禁，開放輸入。

食藥署每天公布日本輸入食品輻射檢測數據，根據最新結果，來自檜木的地瓜乾驗出「銫-134」1.0 貝克/公斤、「銫-137」40.8 貝克/公斤、「銫-134+銫-137 總和」41.8 貝克/公斤。

從茨城進口的冷凍栗子醬則被驗出含有「銫-137」7.8 貝克/公斤、「銫-134+銫-137 總和」7.8 貝克/公斤。

食藥署表示，這 2 件產品被歸類在「其他食品」類，輻射檢出未超過限量 100 貝克/公斤，但均已勸導業者退關。



今年檢出微量輻射的日本食品，還有冬菇、香菇粉、舞菇片、乾香菇、濃縮藍莓果汁、蒟蒻粉、銀魚等，分別來自於日本鳥取、山形、長野、德島、群馬等地區，都是檢出微量的「銫-137」及「銫-134 與銫-137 總和」。(發布日期 111 年 12 月 27 日)

- ➡ 聯合新聞網「高雄港第 108 號碼頭門式輻射偵測器 舉辦啟用典禮」。 [訊息連結](#)

財政部關務署高雄關為配合高雄港埠發展第 6 及第 7 貨櫃中心、強化輸美貨櫃控管及臺美合作執行國際核能安全業務，在高雄港第 108 號碼頭港警查驗登記站建置 2 座門式輻射偵測器(下稱 RPM)，於今(9)日舉辦啟用典禮。

啟用儀式由關務署彭英偉署長、美國在台協會柯傑民(Jeremy Cornforth)副處長及美國能源部核子走私偵測暨嚇阻計畫辦公室(NSDD) Mr.Vogt 處長等人參與，現場另有多位公私部門及業界代表應邀觀禮。

此次美方除贈與高雄關 2 座 RPM 主體外，並提供工程設計圖及相關系統整合支援協助。高雄關負責建置用地取得、土建工程、RPM 相關附屬設備購置及無線電通訊設備架設等，共同完成 RPM 建置，屆時輻射偵檢區域將逐步遍及整個高雄港，使高雄港成為全球大港計畫之典範，為臺美大港計畫合作開啟嶄新的一頁。

高雄關表示，未來第 6 及第 7 貨櫃中心貨櫃裝卸量預計將達整個高雄港貨櫃裝卸量 50%以上，高雄關此 2 座 RPM 建置完成後，將有效提升高雄港輻射偵測能力，除可阻卻非法輻射物質走私進入我國，以保障國家安全並維護國民健康外，更能充分展現臺灣願意為世界反恐工作貢獻一份心力的承諾及象徵，進而提升我國國際形象。(發布日期 112 年 1 月 09 日)

- ➡ Yahoo 新聞報導「瑞典重返核電 擬立法擴大核電建設」。 [訊息連結](#)

瑞典總理克里斯特森(Ulf Kristersson)今天(11 日)表示，瑞典正準備立法，允許建造更多核電廠，目的在提升發電量，並強化能源安全。

克里斯特森已將擴大核能發電，視為其右翼政府的關鍵目標，尋求推翻過去數十年來逐步關閉數座核反應爐的進程。瑞典在過去幾年逐步關閉核反應爐，也讓該國更加依賴再生能源，但再生能源發電存在較難以預測的特性。

瑞典的能源組成主要來自核能、水力及再生能源，雖然俄羅斯與西方對立造成的天然氣供應震盪，至今對瑞典的影響相對有限，但自俄羅斯入侵烏克蘭以來，電費已升高且價格波動。

新法提案將允許在瑞典更多地區建造新的核反應爐，預料將於明年 3 月實施。但立法仍須得到國會批准通過。

克里斯特森在記者會上表示，「我們有明顯的需求，瑞典需要更多電力生產。」

克里斯特森說：「我們今日所做的，是要改變法律，允許在更多地方建造更多的核反應爐。」

這項擬議中的新法將推翻現有的法規，包括核反應爐總數上限為 10 座，以及禁止在現有地點以外的其他地區建造核反應爐，這也為建造更小型反應爐，即被多數人視為最具成本效益的核能選項敞開大門。(發布日期 112 年 1 月 12 日)

- ➡ 聯合新聞網報導「放射性膠囊丟失 澳洲輻射防護及核能安全署協尋」。 [訊息連結](#)

裝有放射性物質的一顆微型膠囊在澳洲西部遺失，當局發布輻射警報後，澳洲輻射防護及核能安全署今天表示，已加入為期一週的搜尋行動。

路透社報導，澳洲輻射防護及核能安全署 ( ARPANSA ) 在聲明中表示，正在與西澳州 ( Western Australia ) 政府合作尋找這顆膠囊。

礦業巨擘力拓公司 ( Rio Tinto Ltd ) 委託專業承包商在西澳州運輸途中，據信膠囊從卡車上掉落。這顆放射性膠囊是採礦業測量鐵礦石密度儀器的一部分，可能已經遺失兩週多的時間，力拓昨天為此致歉。

澳洲輻射防護及核能安全署在聲明中表示：「澳洲輻射防護及核能安全署已派出一支配備專業車載和可攜式檢測設備的任務小組，支援搜尋皮柏勒區 ( Pilbara ) 和伯斯 ( Perth ) 之間的運輸路線。他們將於1月31日展開行動。」

當局現正在努力完成一項艱鉅任務，即沿著從澳洲偏遠金伯利地區 ( Kimberley ) 的北部小鎮紐曼 ( Newman ) 到伯斯東北郊區一個儲存設施這條路線進行搜尋，這段距離長達 1400 公里。

西澳州消防和緊急服務單位與輻射專家率領這次搜尋行動。

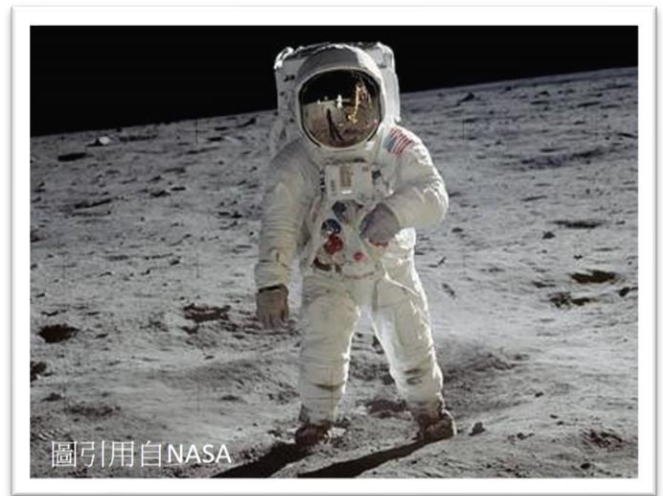
澳洲輻射防護及核能安全署表示，澳洲核子科技組織 ( ANSTO ) 也派出輻射服務專家小組以及檢測和成像設備來協助搜查。

西澳州緊急單位官員今天向在澳洲最長高速公路北部大公路 ( Great Northern Highway ) 沿線行駛的駕駛人發出新通知，請他們接近搜尋人員時注意安全。

( 發布日期 112 年 1 月 31 日 )

# 迎接太空世紀的來臨：輻射防護的契機與挑戰

作者 陳士友  
美國伊利諾理工學院



圖一. 美國太空人阿姆斯壯在 1969 年 7 月 20 日 第一次登上月球。

## 前言

人類自古就對著浩瀚無垠的天際充滿了憧憬及遐思，由此也編織了無數美麗動人的故事。隨著科學的進步，這些神話到了近半個世紀前就逐漸幻滅，取而代之的是一系列前所未見的太空新知識及遙遠的星球影像。人類的野心也隨著日新月異的太空科技往前邁進，夢想著將來能夠脫離地球，遠離塵世紛擾，奔向遙遠的星球來構築一個嶄新的世界。面對著這些具有高度前瞻性的思維，人類亦步亦趨地賣力前行。近半世紀以來，在歷經一系列的努力和挫折後，美國太空總署 (National Aeronautics and Space Administration，以下簡稱 NASA) 在 1969 年 7 月 20 日終於將阿波羅 11 號太空船成功的登陸月球 (見圖一)。這個歷史性的創舉經由電視實況轉播，在全世界各地殷殷期待的觀眾們也見證了這千載難逢的畫面。登月太空人阿姆斯壯 (Neil Armstrong) 在第一時間更是傳來了舉世難忘的名句，“這只是小小的一腳步，卻是人類向前跨越的一大步” (That's one small

step for man, one giant leap for mankind)。這震撼人心的宣言從此開啟了人類邁向太空的第一章。

本文主要討論太空議題目前及未來有關的發展，尤其在嚴峻的輻射環境影響之下，如何保護太空人的健康及生命安全是一項重大的挑戰。筆者藉這個機會和各位國內同仁們一起來探討這些相關的議題，同時也分享個人的看法。

## NASA 的太空計劃

1957 年 10 月 當東西方陣營還持續冷戰對峙時，前蘇聯發射了史上第一顆人造衛星史波尼克一號 (Sputnik I) 上太空，驚動了全世界，造成了所謂的史波尼克震撼 (The Sputnik Shock)。這對於西方民主陣營盟主的美國而言，更是舉國譁然，而亟思反制之道。在痛定思痛之餘，從國家政策、基礎科學教育的改革一直到提升科技的發展，希望在短期內能急起直追，同時也做了長程的布局，因而在 1958 年成立了國家太空總署 (National Aeronautic and Space Administration, NASA)。隨後美國總統甘迺迪在 1961 年就擲下豪語，誓言

在十年內將人類送上月球。當然，這一系列的努力成功地打造了美國的太空科學基礎及爾後發展，也造就了阿波羅 11 號在人類歷史上登月的創舉。

相當可惜的是阿波羅的成就在當年受到越戰的影響沒有再往前邁進一步，美國在太空的發展在往後幾十年大致上只注重於太空科技的研發和探討。然而，美國長遠的太空長程的計劃一直是要將人類送往月球甚至到火星上做永久的居住，這也是小布希總統在 1994 年所宣告的太空發展計劃。為了實現這項計劃，NASA 在數十多年來連續發射了一系列的無人探測機械車 (Rover) 到火星做了各項不同的勘測作業，包括大氣、地質、氣候、水源及生命存在的可能；及未來人類在火星的宜居性。這些探測作業包括了 2004 年的精神號 (Spirit) 及機會號 (Discovery)、2012 年的好奇號 (Curiosity) 以及 2021 年的堅忍號 (Perseverance)。目前 NASA 的太空計劃打算在 2030 年後將人類送達火星。

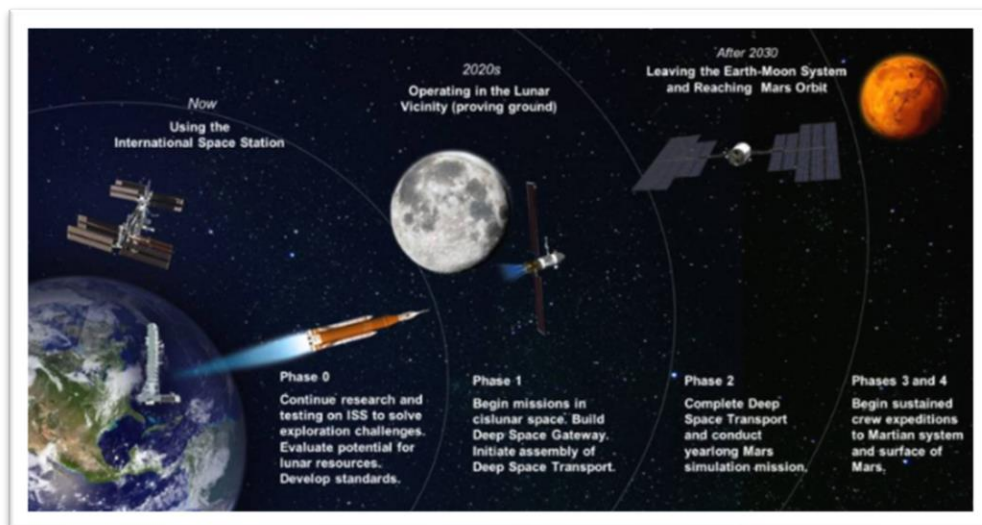
從地球到火星平均有兩億多公里之遙，單程至少需要七八個月的時間

(來回的時程取決於兩個行星間軌道的相互關係)，要準備如此漫長的旅行絕非易事 (否則可能功敗垂成，一去不得復返)。由於月球距離地球大約為三十八萬公里之遙，阿波羅 11 號只花了七十五個小時就抵達了月球，因此月球在 NASA 的長期火星計劃中扮演的一個非常重要的角色。

NASA 的阿提米斯 (Artemis) 登月計劃也就在這個構想中誕生。雖然這項計劃在川普總統任內 (2017) 正式成立，其相關的準備工作早在小布希總統的任內已經悄悄的開始。阿提米斯是個龐大而充滿野心的計劃，除了在 NASA 的主導下，同時也納入多國的合作，包括了歐洲、日本、加拿大和其他國家，更特別的是此計劃也同時引進新興私人太空企業的助力。阿提米斯計劃的最終目的是要在繼阿波羅計劃之後再度將人類送往月球，這回不同之處是準備在月球興建基地，進而積極的去籌備打造未來人類登陸火星急需的要項(見圖二)。這些準備的步驟揭開了幾個重要的里程碑：太空發射系統、載人太空艙、繞行月球的太空站以及太空人登月系統。其中太空發射系統已經於 2022 年底經由阿提米斯一號(Artemis 1) 搭載無人載具發射。爾後的計劃包括：有人載具的發射 (2024)、太空人登月測試 (2025)、太空人與太空站連結的測試 (2027)。阿提米斯計劃的目標乃是藉由這一系列的成果來達到永續經營月球，並將此經驗用以支援前進火星長期計劃的後盾。

### 太空的輻射環境

眾所周知，地球的大氣層中充滿了空氣。由於地心引力的影響，空氣的密度從海平面的最高點逐漸隨著高度遞減，到離地面 100 公里時，大氣變得相當的稀薄而幾近於真空，這個高度就是一般



圖二. NASA 的火星計劃示意圖。(圖像取自 NASA)

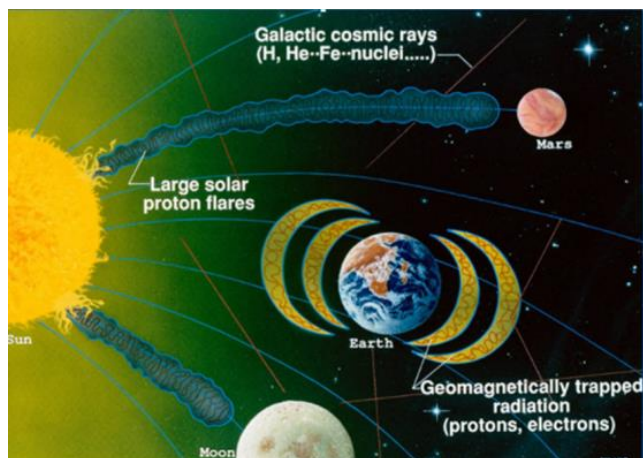
通稱的卡曼線 (Karman Line)。卡曼線之下是大氣層，以上就定義為太空，由此再往外延伸的 2000 公里一般通稱為低軌道 (Low Earth Orbit, LEO)，繼續往外延伸到超越地球和月球 (距地球約 36 萬公里) 的高度時，則通稱為深層太空 (Deep Space)。一般而言，低軌道的太空層適用於一般衛星的運行，例如通訊、軍事、商業或研究之用。目前還在運行的國際太空站 (International Space Station) 是其中一個例子。然而由於低軌道衛星在某方面還是會受地心引力的影響，而且本身也不具備推進能力，它們運行的壽命因此受到限制。任何的太空任務如果需前往太空深層飛行 (包括火星)，就需要配備強大而精進的推動能力。

宇宙中充滿了各式各樣游離或非游離的輻射，地球自然暴露在這些輻射之中。由於地球本身具有的保護層使得我們能倖免於某些致命的輻射，例如大氣中的臭氧層就能阻擋對人類健康有害的紫外線。紫外線屬於非游離輻射，因而不我們討論的範圍內。我們在這裡要討論的是外太空中的游離輻射，與其對太空人可能帶來的風險，以及各種防護的方

式。以下我們要來討論太空中三種主要的輻射來源 (見圖三)。

第一個來源是太陽。太陽是一顆恆星，所以本身會產生熱核反應，在極高溫下產生巨大的輻射能向四周散佈。因此所有的太空活動都必須考慮到太陽的輻射。因為地球是太陽系的一顆行星所以也會接受到一部分的太陽輻射 (雖然只是一小部分，太陽能對人類卻是重大的能源)。在這些輻射中最值得關注的是一些高能量 (可高達數個 GeV) 的粒子 (Solar Energetic Particles, SEP)，包括了中子、質子、電子及一些重離子，它們會經由大量高溫的電漿爆炸而以高速向外散佈，這種太陽粒子活動 (Solar Particle Event, SPE) 俗稱為太陽風。這些輻射的主要成份是質子，活動週期約略是十一年，也就是說每隔十一年就會達到太陽粒子高峰期 (Solar Maximum)。稍後會討論太陽粒子特別是高峰期對太空人構成的威脅。

第二個來源是星際宇宙射線 (Galactic Cosmic Rays, GCR)。這些輻射源的存在有相當悠久的歷史，大致是經歷了一百多億年來宇宙的演化而產生，包括了星球 (例如超級新星, Supernova)



圖三. 太空中的輻射來源示意圖. (圖像取自 NASA)

爆炸後所殘留的射線，均勻的分佈在宇宙中。這類的輻射絕大多數(約 90%)是質子，這些重離子帶有相當高的能量以接近光速的速度飛行。一般來說，星際宇宙射線對太空人的威脅較小。這類射線經常會受到太陽粒子活動的影響，有可能因受到太陽粒子活動的干擾因而降低強度。

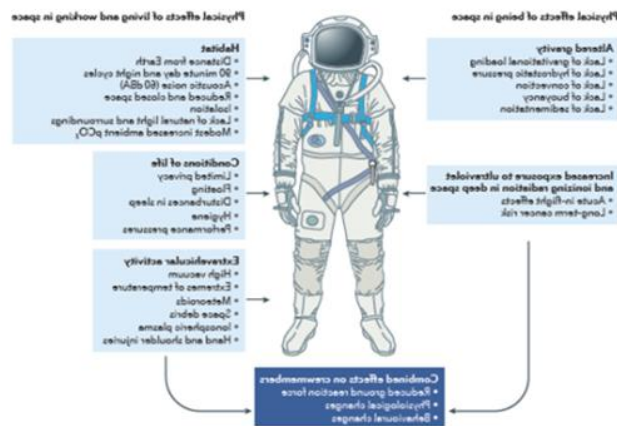
當上述太陽粒子與星際宇宙射線抵達地球時會產生第三種輻射源。當這些帶電的高能粒子接近地球時，會被侷限於地球南北兩極的磁場中而不得逃逸(基於法拉第的電磁感應原理)，這個特別的磁場區帶就是一般所謂的范艾倫帶(Van Allen Belts)。也就是說范艾倫帶的磁力作用有效的保護了地球免於高能粒子的入侵。這些漫佈於磁場中的帶電粒子一般又稱困鎖粒子(Trapped Particles)因為他們會被困在磁場中而不得逃逸。范艾倫帶得名是為了紀念美國的科學家范艾倫(James Van Allen)於 1958 年發現此現象。這區帶包含了內層和外層：內層離地球 640 到 9,600 公里，其中佈滿了質子；而外層則是 13,000 到 58,000 公里間滿佈了電子。

當這些輻射聚集在地球的南北極時會經由磁場與周遭環境的作用而發出一般肉眼可見的極光(Aurora)。值得一提的是類似范艾倫帶的保護層在月球或火星都不存在，原因是兩者都不具有磁場。這會使得太空輻射粒子得以直接穿透而直達月球或火星的表面，這個因素在執行相關的任務時必須納入輻防的考量。(筆者按：我們日常所熟悉的宇宙射線大多在大氣層以下。太空中高能粒子在穿越過范艾倫帶之後在這區域內的數量已經所剩無幾，殘留的輻射則和空氣產生作用，漸漸的失去強度，而且越靠近地面就越低。這就是為什麼在高空中的宇宙射線劑量比地面上來的高。)

### 太空人面對的風險

太空人在飛行或是執行任務時會遇上各式的風險，我們從兩個方面來探討這些風險的來源及可能性。這就是一般的風險和輻射風險，前者包括了太空人因失重而引起的健康問題，以及長期生活在隔離的環境下造成的心理狀況。圖四羅列了各種有關太空人的健康風險。

#### • 一般風險



圖四. 太空人會遭遇到多樣的健康風險 (圖像取自 Vico & Hargens 2018)

首先，太空人在太空中會體會到微重力(microgravity)的狀況，也就是達到幾近無重力(或稱為零重力)的狀態。在長期失去重力的情況下，不只會引起暫時的“太空暈眩”症狀，更可能會對人引起一些醫學和心理上的長期的傷害。這些創傷包括了下列的器官：神經系統、心臟系統、肌肉和骨骼的系統(骨質的流失)以及血液免疫系統等等。由於這些引發的疾病對於太空的計劃和運行會造成極大的威脅，因此 NASA 投入了相當多的研究計劃針對這些問題尋求解決之道，這些解決方案包括了離心的重力運動器材以加強太空人對重力的熟悉感及反應，目前這種補救的方法經證明是有效的。這些有關健康的研究極需要繼續更廣泛和深入的研究。

再者就是在太空中長期生活在一個與世隔離並且窄狹的空間中可能造成的傷害。這些身心方面的傷害或許可以從目前的一些例子獲得答案，比如在潛水艇服役的人員常年必須生活在與世隔絕的環境下會對身心造成什麼影響。當然，更直接的太空資料是有待將來進一步的研究。

## • 輻射風險

地球上的輻射對人體的影響我們已經有著充分的了解，然而有別於地球上一般的低能量輻射（天然或人為的來源，大部分是加馬射線），太空中的輻射是各式各樣的高能粒子如電子或是重離子。這些輻射對人體會造成相當程度的傷害，可能高於我們目前所經歷的風險。

當火箭要送人離開地球進入太空時第一個遭遇到的輻射就是范艾倫帶內外層中滿佈的質子與電子，這些高能量的輻射會對人員造成一定的傷害。所幸火箭穿透范艾倫帶的時間通常不到一小時，而且太空艙的外殼也具有保護人員的作用。以阿波羅計劃為例，太空人僅僅接受到大約 0.38 侖目（1 侖目 = 0.01 西弗）的皮膚劑量，遠低於安全標準限值。然而值得注意的是，通過范艾倫帶所受到的輻射量會隨時間及情況（例如太陽粒子的作用）而不同，因而不能太大意。另外要注意的是在低軌道飛行的衛星或是太空站也要防止長期暴露在該輻射帶的可能。

最必須留意的就是太陽粒子的活動。由於具有龐大的數量及高能量，這種輻射線會造成以下一系列的後果：(1) 引起太空通訊系統的嚴重干擾；(2) 損害太空船的硬體、軟體及影視設備；(3) 對太空人造成直接的人體傷害（我們稍後會解釋太空輻射如何造成人體的傷害），尤其在強烈的太陽風暴之下，每十一周年的太陽粒子高峰期時太空人接受到的吸收劑量可高達 2 戈雷(Gray) 左右，這種高劑量足以造成人體的急性或致命的輻射傷害 (acute radiation effect)。

在各種輻射源中，太陽粒子活動是最具有傷害性的，必須嚴加防範或迴避。相對於太陽粒子活動的強烈輻射，星際宇

宙輻射線強度較低。然而，長期受到暴露的太空人還是有可能會超過目前地球上輻射工作人員的年劑量法規限值。因此必須運用適當的屏蔽，同時也要注意避免長期暴露於星際宇宙射線之中。

## 太空輻射的防護與標準

### • 輻射對人體的傷害

太空輻射絕大多數是由高能量的粒子所組成，這些粒子對人體的傷害遠大於我們平日所知的 X 光或是加馬射線。原因是高能量的粒子在人體的細胞內會產生高密度的自由基 (Free Radicals)，傷害去氧核糖核酸 (DNA) 等細胞的基本組成（筆者按：目前的國際輻射加權因數，X 光和加馬射線是 1，質子是 5，阿伐粒子是 20）。如前所述，除了輻射種類及其能量之外，射線的強度也會決定傷害的程度，特別值得注意的是當太陽粒子活動達到高峰期時，強烈的輻射足以引起急性的輻射傷害。其他的輻射曝露也應該盡量減少以降低長期的傷害例如癌症等。這些可能的傷害可以歸納為下列四個類別：長期的輻射照射可能引發各種癌症。過去數十年來的研究所累積的數據顯示，輻射劑量大約在 100 毫西弗以上就有致癌的危險。然而考慮到身處太空中和地面上的差異，以及參與人員的人數與特質，這方面的研究還必須更為深入。

二、急性或慢性中樞神經系統的傷害。也就是造成太空人在運動及行為功能上的退化而顯得遲鈍，這類傷害會直接影響太空人的任務執行及判斷力。目前這些數據大多來自於動物實驗，實際的驗證有待更多的研究。

三、組織及器官的退化所引起的疾病，例如白內障、循環系統以及消化系統的疾病。長期的輻射曝露會引起組織

及器官的退化，這類疾病會直接影響太空人的職業壽命。目前的相關數據大部分取自既有的資料例如二戰時日本原子彈倖存者的研究，更多的實驗資料是有必要的。

四、高輻射量產生的急性輻射效應而引起的各樣現象，例如嘔吐、脫髮、疲勞等等，甚至導致死亡。目前已經有著相當多的資料證實高輻射量產生的急性輻射傷害會直接影響到組織及器官的功能。如前所述，在太陽粒子活動高峰期產生的劑量就有可能導致急性傷害。這類的輻射對太空任務會造成巨大的威脅而必須避免。

### • 防護的方式

針對太空輻射的特性，其防護方式大致可分為間接和直接兩種，兩者都非常重要。間接的方式重在迴避或防止輻射曝露，而直接的方式就是應用輻射屏蔽。

首先，太空任務的過程包括發射、進入低軌道、深層太空以及登陸月球或火星等，都必須經過完善的規劃和準備，更要視當時的情況儘量避免或減少人員的輻射劑量。先從范艾倫帶談起，太空發射器從發射到低地軌道的飛行都很難避免磁場中的帶電粒子。由於這些粒子分佈並不均勻，人員受到的劑量也有所不同，這些差異會取決於發射的仰角、緯度及飛行高度等。

再來值得一提的就是太陽粒子。由於太陽粒子的活動周期將近十一年，其輻射強度和時間的關係必須很精準的預測，才得以事先對任務做出周全策劃。設計太空艙的輻射屏蔽是個深具挑戰的任務。首先，對於高能質子的屏蔽設計，必須採用含有大量氫原子的材料例如石蠟，可以有效的阻擋高能量的質子。

表一. 太空人的輻射劑量限值\*

職業起始的年紀	10 年劑量限值 (西弗)**	
	女性	男性
25	0.4	0.7
35	0.6	1.0
45	0.9	1.5
55	1.7	3.0
**個人劑量限值基於十年中 3% 的癌症風險值)		

\*\*資料取自 NCRP 132 號報告

對於其他高能的重粒子，則要選擇其他的屏蔽材料。另外太空艙的設計也要考慮到體積和承載量上的嚴格限制，所以空間和重量的設計就要特別小心。利用電磁場來驅除輻射粒子的撞擊也不失為一種有效的屏蔽設計。此外，太空艙的內外必須安裝輻射探測儀器，太空人也要隨身配戴輻射度量計，才得以隨時掌握輻射劑量的資訊。

#### • 防護的標準

有鑑於日益成長的太空發展，NASA 早在八零年代就委託美國國家輻射防護及偵測委員會 (National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP) 為太空輻射防護訂定標準。NCRP 於 1989 年發表了第 98 號報告「有關輻射在太空活動的規範 (Guidance on Radiation Received in Space Activities)」，於 2000 年發表了 132 號有關低軌道的修正報告，「有關低軌道太空活動的輻射防護規範 (Radiation Protection Guidance for Activities in Low Earth Orbit)」，這兩份報告奠定了太空防護標準的基礎。基本上防護標準的主要目標是限制長期在太空中可能引發的癌症風險。以一個太空人平均十年的職業年限而言，輻射標準就設定在 3% 的癌症

風險值。請注意，這個標準限值有別於我們通常熟悉以年劑量為標準限值。此設定是基於以下的幾個考量：(1) 太空人員的職業安全應該和一般社會認為安全的職業一致，這些包括了製造業、服務業、一般商業等。這些職業的平均風險大致都在 3% 上下。(2) 由於輻射的敏感度會因不同的族群而異，例如年紀 (輻射的敏感度依年紀遞減) 或是性別 (女性較男性敏感)，因此從風險的角度來設立標準是比較公平的。當然，這也意謂著在劑量的限值上會因年紀或性別而異，例如太空人 (以年紀或性別來區分) 在十年職業年限的輻射劑量限值如表一 (經由風險評估推算，基於 3% 的癌症輻射風險值)。從表上的劑量限值看來，對女性或年輕的太空人而言，輻射防護的要求就要相對嚴格。

近年 NCRP 在太空輻射防護的議題上屢有貢獻，除了上述 98 號及 132 號報告外，更多的資訊出現在其他的報告中：第 131、137、142、153 及 183 號等，以及第 23、25 號評論專刊 (Commentary)。其他國際上如歐洲聯盟等輻防機構也先後出版了一系列有關的防護資訊。

#### 挑戰未來

目前 NASA 預計於 2025 年左右完成阿提米斯登月任務，經由月球上累積的經驗運用於登陸火星的計劃，從而於 2030 年後完成長程火星計劃。在這段期間需要規劃及完成的主要任務如下：

一、完成阿提米斯計劃第一到第三期，前往並進駐月球及完成所擬定的試驗計劃及獲取所需的資訊。目的是準備將月球當成前往火星的中繼站。

二、太空人進駐月球並完成各項任務，包括測試各樣的科技是否得以用於火星，進行居住火星可能性的研究等。這項任務的進行也會有繞行月球的太空站來配合。

三、發展登陸火星的技術。從地球到火星，目前單程最快也得要七個多月的時間，更要保證太空人將來還可以安全返回地球。因此發展火箭推進的最先進科技刻不容緩。

其他需要發展的方面包括了可充氣的人員避熱帳篷、高科技的火星裝束、活動的居所及實驗室、及時而且充足的電力供應、以及發展雷射科技用於遠距通信系統來傳遞快速而清晰的訊息 (目前使用的無線電波的傳送技術既慢又不清晰) 等 (見圖五)。



圖五. 人類征服火星要面對種種艱鉅的挑戰. (圖像取自 NASA)

以上的每一個任務都可能遭遇到不同的困難與挑戰。由過去的歷史可看到人類證明了具有人定勝天的信心和力量。面對火星計劃的挑戰，有待人類再次運用千年來累積的智慧加上各方的合作及努力來克服困難邁向成功。

### 結論

人類征服太空的雄心已經勢不可擋。目前在有關軍事、電訊、交通及經濟的發展上，太空已成為全世界兵家必爭之領域。未來的發展指日可待，更可能會超乎我們的想像。舉世聞名的物理學家霍

金 (Stephen Hawking) 在他辭世前就大膽的預測人類終將拋下地球上的紛紛擾擾，選擇前往太空發展並移居。這樣的思維可能不是憑空的想像。

除了上面所述的各項需要克服的議題外，對輻防的專業而言，最重要的是如何保護太空人的健康及安全，並保持他們良好的身體狀況，得以勝任各樣艱辛及具挑戰性的任務。在人類能夠征服火星以前，各領域都面臨了很多嚴峻的挑戰，尚待突破。這些包括了科技、生物、醫學、能源，乃至於如何在火星上

維生等，都是當前重要的課題。如何在太空活動避免輻射傷害是我們輻射防護的同仁們未來最艱鉅的挑戰，同時我們也要好好把握著這個可貴的世代，勇敢的去面對這個千載難逢的契機。

### 後記

筆者有幸從走出學校以來得以無間的致力於輻防的專業研究，前後近五十年。在此要感謝師長們的栽培，前輩們的提攜，同儕的激勵。對筆者而言，最重要更是一生致力追求跨領域多元化研究與合作關係，進而得以拓展了輻防的專業領域。未來的發展更要倚賴各領域的優秀人才合作，才能達到永續經營的成果。

目前人類在太空的發展正是前景無限。筆者近年來開始在保健物理的課程中介紹給學生們有關太空的輻射防護概念，希望能藉著這機會培養出新世代的人才，更希望與國內同仁們分享這個願景，共同勉勵。在迎接這個嶄新世紀來臨之餘，我們也隱約聽到了倒數計時的催促聲：“10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, ...”各位，請問都準備好了嗎？我們即將整裝待發奔向太空囉！

## 參考文獻

1. Blakely, E. A. Biological effects of cosmic radiation: Deterministic and Stochastic, *Health Physics* 79(5):495-506 (2000). (Accessed: <https://www.intechopen.com/chapters/70679>)
2. Iwase, S., Nishimura, N., Tanaka, K., and Mano, T., *Effects of Microgravity on Human Physiology*. DOI: 10.5772/intechopen.90700 (Published Feb. 5, 2020). (Accessed: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90700>)
3. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Report No. 98, "Guidance on Radiation Received in Space Activities," Bethesda, Maryland (1989).
4. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Report No. 131, "Scientific Basis for Evaluating the Risks to Populations from Space Applications of Plutonium," Bethesda, Maryland (2001).
5. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Report No. 132, "Radiation Protection Guidance for Activities in Low-Earth Orbit," Bethesda, Maryland (2000).



6. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Report No. 137, "Fluence-Based and Microdosimetric Event-Based Methods for Radiation Protection in Space," Bethesda, Maryland (2001).
7. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Report No. 142, "Operational Radiation Safety Program for Astronauts in Low-Earth Orbit: A Basic Framework," Bethesda, Maryland (2002).
8. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Report No. 153, "Information Needed to Make Radiation Protection Recommendations for Space Missions Beyond Low-Earth Orbit," Bethesda, Maryland. (2006)
9. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Report No. 183, "Operational Radiation Safety Program for Astronauts in Low-Earth Orbit: A Basic Framework," Bethesda, Maryland (2019).
10. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Commentary No. 23, "Radiation Protection for Space Activities: Supplement to Previous Recommendations," Bethesda, Maryland (2014).
11. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Commentary No. 25, "Potential for Central Nervous System Effects from Radiation Exposure During Space Activities Phase I: Overview," Bethesda, Maryland (2016).
12. Townsend, L.W., Implications of the Space Radiation Environment for Human Exploration in Deep Space. Radiation Protection Dosimetry, Volume 115, Issue 1-4, 20, Pages 44–50 (December 2005). (Accessed: <https://doi.org/10.1093/rpd/nci141>)
13. Vico, L., and Hagens, A., Skeletal Changes and after Spaceflight. Nature Review Rheumatology, 14, 229–245 (2018). (Accessed: <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2018.37>)
14. NASA, Artemis. <https://www.nasa.gov/specials/artemis/>
15. NASA, NASA's Journey to Mars. <https://www.nasa.gov/content/nasas-journey-to-mars>
16. NASA, A Brief History of NASA. <https://www.history.nasa.gov/factsheet.htm>
17. NASA, <https://www.nasa.gov/content/nasa-history-overview>
18. NASA, John F. Kennedy and NASA. <https://www.nasa.gov/feature/john-f-kennedy-and-nasa>
19. NASA, Studying the Van Allen Belts 60 Years After America's First Spacecraft. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/studying-the-van-allen-belts-60-years-after-america-s-first-spacecraft>
20. NASA, Learning Launchers: Radiation. [https://www.nasa.gov/audience/foreducators/stem-on-station/learning\\_launchers\\_radiation](https://www.nasa.gov/audience/foreducators/stem-on-station/learning_launchers_radiation)
21. NASA, Deep Space Human Exploration. <https://www.nasa.gov/johnson/exploration/deep-space>
22. NASA, Humans on Mars. <https://www.nasa.gov/johnson/exploration/deep-space>.
23. SciHi Blog, The Sputnik Shock and the Start of the Space Race. <http://scihi.org/sputnik-shock/>
24. Space.com, Artemis-1: Moon Stepping Stone to Mars. <https://www.space.com/artemis-1-moon-stepping-stone-mars>.

發行人  
張似璵

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