



輻射防護簡訊

第 183 期

出刊日期 113 年 10 月 15 日

本期內容

CONTENT

放射線照相(RT)非破壞檢測技術簡介

1

非破壞檢測是一種不損壞結構材料的檢測方法，用於偵測或監測結構物材料中的瑕疵，放射線照相檢查是其中一種方法，它在工業的應用相當廣泛。但它有一缺點是放射線有害人體，執行有關作業時要注意輻射防護。

除役核電廠關注核種篩選

4

核電廠除役作業的首要目標即是將核電廠長期發電所累積產生的放射性物質、放射性污染移除，然而不同型式的反應器，核分裂作用產生的放射性核種不盡相同，因此國際間發展「關注核種」概念，只針對除役作業重要的核種進行量測、分析，俾利放射性污染移除、解除管制作業的進行。

訓練班課程

8

公告本會各項訓練班開課時間

輻協新聞廣場

9

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

淺談設備物質解除管制量測重要影響因素

13

人造核種解除管制標準的推導評估模型，是以大量的均化物質作為污染源，當我們以這樣的標準來執行解除管制，必須先了解這些標準須均化待測物與假設條件一致，並考量曝露情節。因此，均化重量小的物質並不適合以大量均化物質推導求得的標準。

核子醫學在精準醫療中的應用與展望

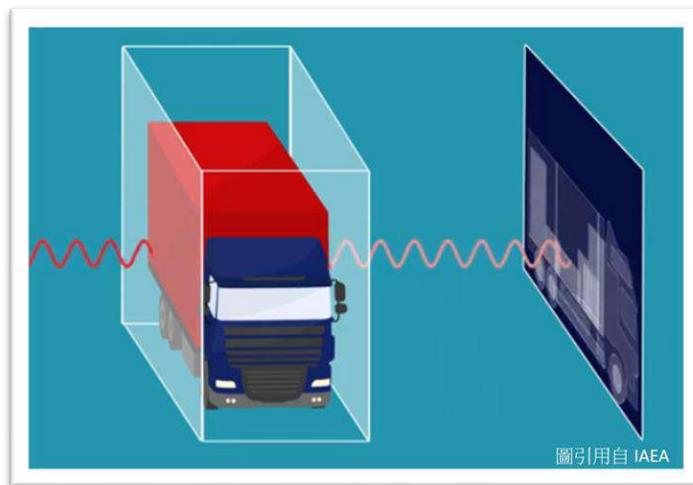
17

隨著科技進步，醫療產業也正在出現變革，其中「精準醫療」便是近年來熱門的話題之一，但精準醫療的「準」是什麼？對未來醫療產業又可能帶來什麼樣的影響？

放射線照相(RT)非破壞檢測技術簡介

作者 陳清江

義守大學醫學影像暨放射科學系 兼任副教授



前言

2024/07/30 聯合報報導一工程檢驗公司在 2019 年傳出 4 名游離輻射作業員罹患血癌，其中 3 人病逝。高雄地檢署介入調查後，發現其負責人對員工配戴輻射佩章除違反規定外，也將此佩章送驗後報核安會(原能會)。檢方綜合事證，認定公司負責人為貪圖便利，致使員工接受不當曝露，今偵結依過失致死、行使業務上登載不實文書、使公務員登載不實文書等罪嫌起訴。

<https://udn.com/news/story/7321/8127987>

此一輻射曝露事件引發社會的關注，本文介紹非破壞檢測的種類和應用，重點放在放射線照相(RT)非破壞檢測技術原理與防護。

非破壞檢測種類

非破壞檢測是一種不損壞結構材料的檢測方法，用於偵測或監測結構材料中的瑕疵。它融合了多個領域的知識，如物理、化學、數學、機電等。

常見的非破壞檢測方法包括：

超音波檢測(UT)：使用高頻率超音波檢測物件內部瑕疵。

放射線照相(RT)：使用X射線或加馬射線穿透試件，生成影像以檢查品質。

磁粒檢測(MT)：適用於鐵磁性材料，通過磁化物件表面來檢測瑕疵。

液滲檢測(PT)：使用特定滲透液檢測物件表面瑕疵，分為染色法和螢光法。

光譜合金分析(PMI)：用於測定材料內各元素種類及含量判定。

非破壞檢測的應用：

主要應用於設計階段、製造過程、成品檢驗和運轉期間維修檢查。適用於各類材料、工件和工程項目。在工業界廣泛應用，可及早發現產品內在或潛在的缺陷。應用的產品設備之範圍涵蓋甚廣，小從螺絲等零件大至熱交換器、壓力容器、鍋爐、大樓、橋樑、輪船、飛機、水泥機械、採油設備、石油化工設備、冶金設備、核能設備等，幾乎都需做「非破壞檢

測」，尤其以銲接瑕疵、物件內部狀況鑑別應用最廣。

應用物件包括各類材料(金屬、非金屬等)、各種工件(焊接件、鍛件、鑄件等)、各種工程(道路建設、水壩建設、橋樑建設、機場建設等)。

近年來台灣的電子業發達，應用 X 射線作製程與產品瑕疵檢驗也相當普遍，是廣義的非破壞檢測應用。

放射線照相(RT)非破壞檢測原理與優點

放射線檢測是指「以具有穿透能力的射線(如X射線、加馬射線)穿透試件，再利用底片或螢幕等介質，以生成影像之記錄，然後研判影像以瞭解試件品質」。

放射線檢測通常使用的裝備可分為兩類：一類為 X 射線，另一類是加馬射線，X 射線(通常稱為 X 光)



放射線照相檢查現場，黃色容器為輻射源。

<https://www.belqelendirme.com/zh-TW/muayene/tahribatsiz->

係由高速電子流撞擊靶材而產生，X射線的能量依正極靶與負極燈絲間的電壓差而定，X射線能量愈高則其穿透能力愈強。國內RT所使用的X光機能量大多為160 kVp到300 kVp，少數機構裝有420 kVp或2.5 MeV等大型X光機。國內RT所使用的放射核種大多為Ir-192，少數機構備有Co-60，銫-137等加馬射線裝備。

使用X射線的好處是其危險性小，能量可以改變，影像對比較佳等，但壞處是設備通常較笨重，體積較大又需要電源等。使用加馬射線（尤其是Ir-192）的好處是輕巧，且穿透力較大（Ir-192可至3吋Co-60可至8吋）又不

需電源，但壞處是危險性較大，能量又不易改變，影像對比較差等。

類似的方法是中子放射性照相測試方法，這種方法的優點是中子可以很容易地穿過鉛和鋼，但是容易被水、油或塑料阻擋，對某些材料德建冊具有優勢。

使用X射線可以清晰地顯示材料中的細節。在放射線照相檢查方法中，測量在材料的穿透輻射量強度的變化圖像，可以獲得有關材料厚度、瑕疵或材料成分的信息。放射線照相檢查方法是一種非常靈敏的檢查方法，可以永久記錄檢查結果，該方法可應用於

所有材料，包括金屬和非金屬。因此，它在工業的應用相當廣泛。

放射線照相檢查方法的缺點是放射線有害人體、物件形狀尺寸受限制、儀器設備昂貴笨重、 α -Ray需要電源、 γ -Ray射源活度會衰減、與射線平行或物件表面細微瑕疵不易檢出等。

對於銲接缺陷檢測法評估以放射線檢測法費用最高，和超音波檢測兩種方法是針對內部缺陷為主；而磁粉檢測及滲透劑檢測為針對表層缺陷測出效果較佳，下表1按缺陷的種類，以各種非破壞檢測法測出之性能予以評估結果。

表 1 缺陷種類與檢測法評估表

	檢查的種類					
	外觀檢查	滲透劑檢測	磁粉檢測	超音波檢查	抽照X-Ray	全照X-Ray
龜裂	△	○	○	○	△	△
未銲透	△	△	x	○	△	○
熔蝕	○	○	-	-	△	○
補強形狀	○	△	-	-	△	△
氣孔	x	-	-	△	△	○
夾渣	x	-	-	△	△	○

註：○表示檢查能力最優異；△表示比較可以測出；x表示不適宜。



放射線照相檢查現場實況 <https://www.gozetim.com/zh-TW/muayene/tahribatsiz/radyografik-muayene-%28rt%29/>

放射線照相檢查從業人員的有效劑量與輻射防護

依據核安會公布的 112 年全國輻射從業人員劑量佩章資料統計年報顯示，工業用類輻射從業人口為 24,639 人，工業放射照相 1,059 人，佔比僅為 4.27%。工業用輻射從業人員有劑量值人數為 525 人，工業放射照相 237 人，佔比為 45%。工業用類輻射從業人員總集體劑量為 662 人毫西弗，工業放射照相 510 人毫西弗，佔比高達 77%。工業用類輻射從業人員有劑量值人員之平均劑量為 1.26 毫西弗，放射照相為 2.15 毫西弗。工業用類總人數之平均劑量為 0.03 毫西弗，放射照相為 0.48 毫西弗，是工業用類平均劑量最高的類別。

由統計結果顯示工業放射照相從業人員僅佔少數，但是有劑量值人數、平均劑量和集體劑量均偏高，顯示該行業是比較容易接受輻射曝露的族群。

因此核安會在民國 76 年 1 月 21 日就公告“非破壞檢驗公司游離輻射防護須知”，公司應指派經本會認可之輻射防護專業人員，依「游離輻射防護安全標準」規定，負責擬訂輻射防護措施計畫並督導執行。擬訂「放射線照相檢驗安全作業程序」、「意外事故處理程序」、「放射性物質安全運送作業程序」及「工作人員輻射安全在職訓練計畫」等項，俟本會核可後，據以要求所有工作人員遵循。

結語：

非破壞檢測技術雖然不斷發展，但其核心理念“不破壞物體而知道內部瑕疵”始終不變。現代非破壞檢測技術能夠提供更準確的評估，比古老的目視檢驗、敲打等簡單方法更為可靠。

但是由於非破壞放射線檢驗行業工作的特殊性，所面臨的挑戰及壓力相當重，包括同業間的競爭，工作時程的緊迫性，工作環境的不良及工作場地

的空間限制，導致業者及工作人員對於輻射安全防護上時有疏忽，因而造成令人遺憾的傷害。如何讓輻射安全的理念融入工作中，成為一種安全文化，以確實保障工作人員的安全，避免輻安事件的發生，實有賴於委託業者的具體要求，執行業者的自我管理、操作人員的輻安認知以及主管機關的強力督導。希望此次非破壞檢測工作人員白血病群聚事件的教訓，可提供相關業者做好輻安措施的借鏡。

主要參考文獻

非破壞檢驗 NDT 介紹 - 宋郁德
<http://www.isha.org.tw/Newsletter/Newsletter/220503.htm>

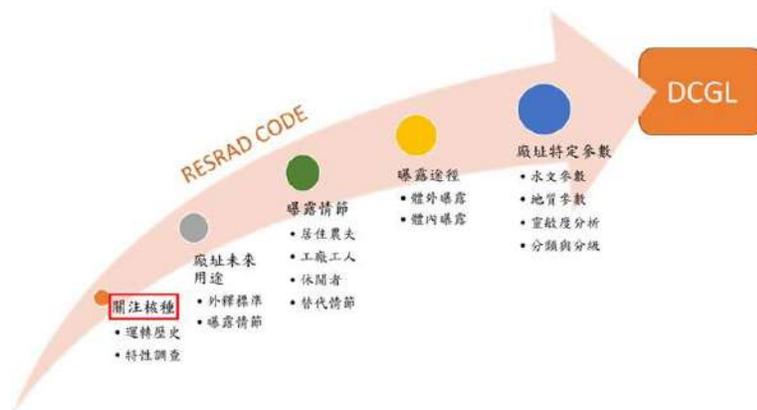
三聯技術 116 期-非破壞檢測種類與介紹
http://web.sanlien.com.tw/ad/san_tech.nsf/webpage?OpenForm&View=116

112 年全國輻射從業人員劑量資料統計年報 <https://www.nusc.gov.tw/>

除役核電廠關注核種篩選

作者 江謝鎮至

台灣電力公司 核能後端營運處



前言

核電廠穩定運轉下，為國家社會提供潔淨與低廉之電力，促進經濟發展與社會繁榮，而當功成身退進入除役階段時，除役作業的首要目標即是將核電廠長期發電所累積產生的放射性物質、放射性污染移除，並將乾淨、無污染或極低殘留污染但不影響一般民眾健康風險的建物、土地歸還於民，使之可以循環再利用。

然而不同型式的反應器，核分裂作用產生的放射性核種不盡相同，且數量可能多達數十至上百種。其中大多數屬於非一般加馬能譜分析儀即可量測之難測核種，必須依核種特性、各別材質，先經化學前處理純化，再利用精密儀器量測。量測難測核種，耗時耗力、技術難度高、誤差大及成本高昂，故執行除役業者難以將核電廠產生之所有核種皆進行量測分析。因此國際間發展「關注核種」概念，只針對除役作業重要的核種進行量測、分析，俾利放射性污染移除、解除管制作業的進行。

關注核種概念即只考量重要的核種，不重要的核種即篩濾掉，毋須量測、分析。惟何者是重要、需要關注的核種，即是我們要討論的目標。參考國際文獻，蒐集到的資料顯示，關注核種涵蓋範圍多為運轉歷史曾測量到、總活度高、劑量貢獻大、法規要求等之主要核種。

搜尋國際文獻有很多專有名詞可代表關注核種，包含如 Site-specific suite of radionuclides (Humboldt Bay 電廠)、Suit of potential radionuclides of concern (ZION 電廠)、Radionuclides of Concern、potentially significant radionuclides (YANKEE 電廠)、Unique radionuclide profile (NUREG 1757)、Radionuclides vector (Studsvik, 瑞士)等。雖然各文獻引用的專有名詞不盡相同，但涵義上大致相近。

在實務應用上，除役電廠在輻射特性調查(Characteristic Survey, CS)、最終狀態偵測(Final State Survey, FSS)及推導「導出濃度指引基準」(Derived Concentration Guideline Level, DCGL)限值時，皆須列出關注

核種清單；另外如放射性廢棄物解除管制規劃上也有其應用。

綜上所述，關注核種清單在核電廠除役作業上實為不可或缺。本文參考韓國 Hyung-Woo Seo 等人所發表之研究期刊「Proposal for the list of potential radionuclides of interest during NPP site characterization or final status surveys」，摘錄古里電廠 1 號機除役關注核種篩選的流程與結果，向讀者解釋說明。

美國電廠案例

本研究在發展古里電廠關注核種篩選流程之初，先搜尋國際期刊相關研究，其中美國 Zion 電廠(ZNPS)、Humboldt Bay 電廠(HBPP)和 Rancho Seco 電廠(RSNGS)的資料，發現三個電廠的篩選方式相當類似。首先初始核種清單參考聯邦政府發行之技術文獻，如 NUREG/CR-3474、NUREG/CR-4289 等，再篩濾掉不重要、不需考慮的核種。

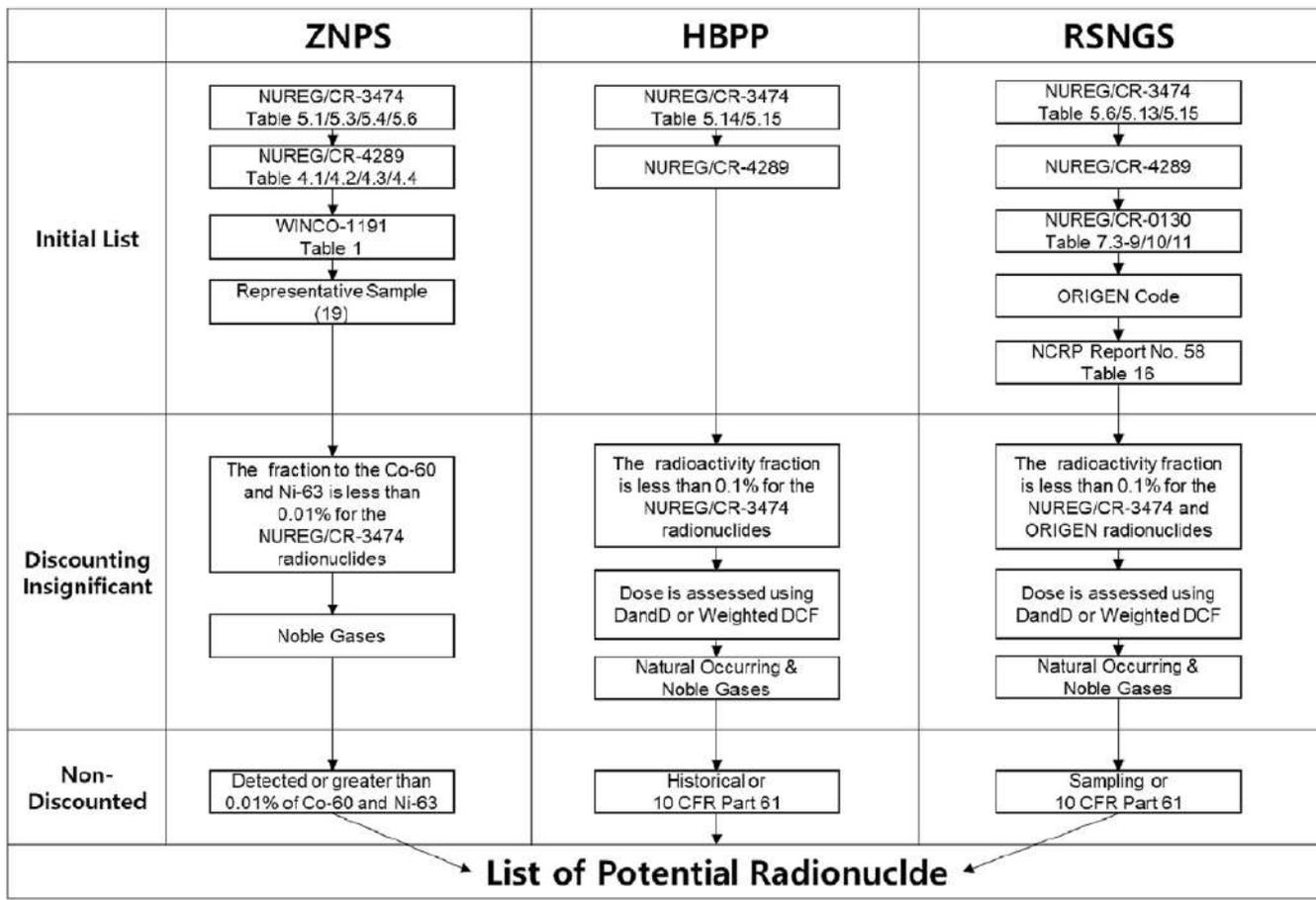


圖 1 關注核種篩選流程彙整

最後檢討加回法規要求或歷史曾出現過或實務上取樣量測到的核種，詳細流程如圖 1。

韓國研擬方案

本研究參考美國電廠作法，初始核種清單納入相關參考文件之聯集，再篩濾不重要的核種過程中，考量古里電廠 1 號機預計停機後 15 年才會執行最終狀態偵測，故先刪除半衰期小於 2 年(約經過 7 個半衰期)之核種，再依序篩濾活度分率占比小於 0.1% 總活度、劑量貢獻小於 1% 總劑量或天然及惰性氣體之核種。最後加回法規要求或取樣分析量測到之核種，即為最後決定之關注核種清單，共選出 21 個核種。流程如圖 2、結果如圖 3 顯示。其中為避免篩濾掉過多核種，造成劑量

評估時尚失保守性，刪除核種的總劑量貢獻佔比需小於 1% 總劑量。

結果與討論

參考國際文獻顯示，大部分的核電廠篩選出來的關注核種清單約十多個至二十多個，故本研究選出 21 個核種應屬合理範圍。而國際間在羅列初始核種清單時，除了參考技術文件外，也可執行關鍵設施、材質代表性取樣，或將程式分析(如 ORIGEN)結果納入考量。

篩選核種時所採用的活度佔比、劑量佔比，可依各電廠專業考量自訂，如 1%、0.1%或 0.01%。篩選核種時採用的劑量評估程式，有些電廠採用 DandD，有些採用 RESRAD，而本研究即採用 RESRAD 程式進行分析，並

以居住農夫情節及考量所有曝路途徑來評估個別核種劑量貢獻。

而核種清單除了篩濾過程外，仍需考慮是否有重要核種被篩除或某些重要核種未被考慮則需要額外納入，如法規要求核種或單一事件造成的污染等。故電廠會有專家們進行討論及審核核種清單。

如果都單以美國聯邦政府發行之技術文件為核種初始清單，則每個電廠篩選出來的關注核種清單則會相當接近，故如考量各電廠之特性(site-specific)，可斟酌加入各廠最終安全分析報告(FSAR)、中子活化分析結果或歷史放射性物質排放報告等資料顯示之核種，可使初始核種清單更加完善。

結論

各國核電廠有當多機組已營運多年，部分進行延役，而部份決定不繼續運轉進入除役階段。這些年國際間陸續有機組完成除役作業，而其經驗逐步被分享、累積並促進技術發展。對於廢棄物盤點、解除管制、輻射特性調查及最終狀態偵測等作業而言，國際間已有相當多研究文獻，誠如關注核種之研究。筆者蒐集相關研究，分享及交流，唯有知己知彼，才能百戰不殆。

參考文獻

[1] Proposal for the list of potential radionuclides of interest during NPP site characterization or final status surveys. 2021

[2] Long-Lived Activation Products in Reactor Materials. NUREG/CR-3474 1984

[3] Radionuclide characterization at U.S. commercial light-water reactor for decommissioning assessment: distributions, inventories, and waste disposal considerations. NUREG/CR-4289 1992

[4] Radionuclides in United States Commercial Nuclear Power Reactors. WINCO-1191

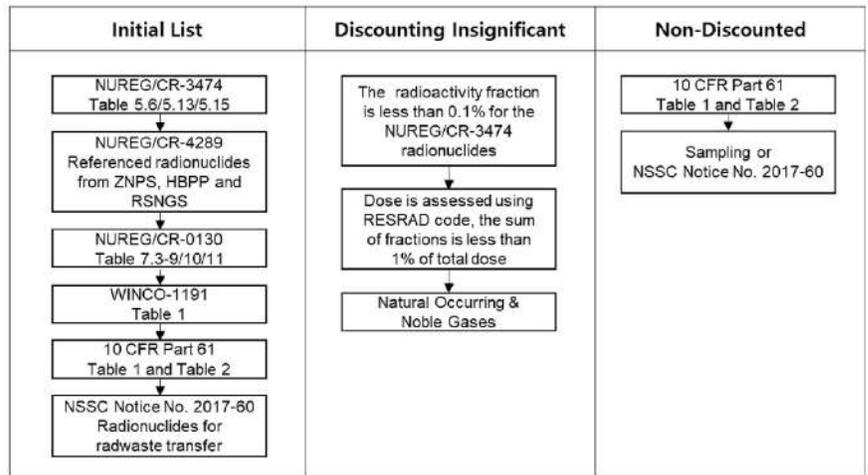


圖 2 古里電廠關注核種篩選流程

Initial list	Discounting insignificant	Non-discounted	Potential radionuclides
NUREG/CR-3474, CR-4289, CR-0130 + WINCO-1191	Less than 0.1% of total concentration from NUREG/CR-3474 Less than 1% of total dose (RESRAD) Noble gases Naturally occurring	H-3, C-14, Cl-36, Ar-39, Ca-41, Mn-53, Mn-54, Zn-65, Se-79, Kr-81, Kr-85, Sr-90, Nb-92 m, Zr-93, Mo-93, Nb-94, Tc-99, Ag-108 m, Sn-121 m, I-129, Ba-133, Cs-134, Cs-135, Cs-137, Pm-145, Sm-146, Sm-151, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Tb-158, Ho-166 m, Hf-178 m, Pb-205, U-233, Pu-239, Np-237, Pu-238, Am-241, Am-243, Cm-244, Pu-240, Sb-125, Nb-93 m, Pm-147, Pu-241	50
		H-3, C-14, Cl-36, Ar-39, Ca-41, Mn-53, Mn-54, Zn-65, Se-79, Kr-81, Kr-85, Sr-90, Nb-92 m, Zr-93, Mo-93, Nb-94, Tc-99, Ag-108 m, Sn-121 m, I-129, Ba-133, Cs-134, Cs-135, Cs-137, Pm-145, Sm-146, Sm-151, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Tb-158, Ho-166 m, Hf-178 m, Pb-205, U-233, Pu-239	36
		H-3, C-14, Cl-36, Ca-41, Mn-53, Mn-54, Fe-55, Ni-59, Ni-63, Zn-65, Se-79, Sr-90, Zr-93, Mo-93, Nb-94, Tc-99, Ag-108 m, Sn-121 m, I-129, Ba-133, Cs-134, Cs-135, Cs-137, Pm-145, Sm-146, Sm-151, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Tb-158, Ho-166 m, Hf-178 m, Pb-205, U-233, Pu-239	35
		Ar-39, Kr-81, Kr-85	3
		-	-
		H-3, C-14, Ni-59, Co-60, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Tc-99, I-129, Cs-137, Pu-241	11
		H-3, C-14, Fe-55, Ni-59, Co-60, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Tc-99, I-129, Cs-137	11
		H-3, C-14, Fe-55, Ni-59, Co-60, Ni-63, Sr-90, Nb-93 m, Nb-94, Tc-99, Sb-125, I-129, Cs-137, Pm-147, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241, Am-243, Cm-243/244	21

* Half-life is less than 2 years.

圖 3 古里電廠關注核種清單

表一. 運轉中的小型反應器 (迄 2022 年 5 月)

Name	Capacity	Type	Developer
CNP-300	300 MWe	PWR	SNERDI/CNNC, Pakistan & China
PHWR-220	220 MWe	PHWR	NPCIL, India
EGP-6	11 MWe	LWGR	at Bilibino, Siberia (cogen)
KLT-40S	35 MWe	PWR	OKBM, Russia
RITM-200	50 MWe	Integral PWR, civil marine	OKBM, Russia

加快獲取能源的挑戰之一是基礎設施，考量農村地區有限的電網覆蓋以及農村電氣化的電網連接成本，在缺乏足夠的輸電線路和電網容量的地區，SMR 可以安裝到現有電網或遠端離網的地方，作為其較小的電力輸出的功能，為工業和人口提供低碳電力。這與微小反應器特別相關，微小反應器是 SMR 的一個子集，旨在產生通常達 10 MWe 的電力。與其他 SMR 相比，微小反應器的佔地面積更小，將更適合無法獲得清潔、可靠和負擔得起的能源的地區。

SMR 核電站在效率、經濟性和靈活性方面具有獨特的屬性。一些可再生能源，如風能和太陽能，是取決於天氣和時間的不穩定性能源。核反應器則提供可調度的能源，它們可以根據電力需求調整輸出，但 SMR 可以與混合能源系統中的可再生能源配對並提高其效率。這些特點使 SMR 在清潔能源轉型中發揮關鍵作用，同時也幫助各國實現可持續發展零碳排放的目標。

為實現普遍獲得能源的目標，有關國家所做的努力已取得明顯進展；然而，差距仍然普遍存在，主要集中在偏遠和農村地區。隨著全球努力尋求實施清潔和創新的解決方案，可再生能源

的增加使用以及 SMR 的引入有可能填補這些空白。

與現有傳統反應器相比，SMR 設計通常更簡單，並且 SMR 的安全特性通常更多地依賴於無電源系統和反應器的固有安全特性，例如低功率和低運行壓力。這意味著在這種情況下，不需要人為干預或外部力量來關閉系統，因為被動系統依賴於物理現象，例如自然循環、對流、重力和自我加壓。在某些情況下，這些增加的安全裕度消除或顯著降低了在發生事故時不安全因素向環境和公眾釋放放射性的可能性。

與大型核反應器相比，SMR 降低了核燃料需求。與傳統發電廠 1 到 2 年換料週期相比，基於 SMR 的發電廠可需要較少的換料頻率，即約為每 3 到 7 年一次。一些 SMR 設計可在不添換加料的情況下運行長達 30 年。

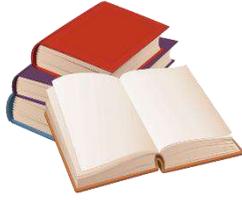
SMR 的發展

世界各國的公私機構都在積極參與努力，使 SMR 技術在這十年內取得明顯的成果，目前全世界已在各地開發 70 多種商業 SMR 設計和建造，在國際原子能總署的手冊《SMR 技術發展進展》中進行了描述，針對不同的輸出和不同的應用，例如電力、混合能源

系統、供暖、海水淡化和工業應用的蒸汽。儘管 SMR 機組具有前期資本成本較低等優勢，但其經濟競爭力仍有待未來的實踐證明。

參考文獻

1. <https://www.worldnuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx>
2. World Nuclear News, 2022/08/24 "Holtec ramps up SMR programme, eyes 2029 startup"



訓練班課程(113 年度)

放射性物質或可發生游離
輻射設備操作人員研習班

B 組 18 小時-登記類

B18 新竹 帝國經貿大樓

9 月 10 日~9 月 12 日

B19 台中 文化大學推廣部

9 月 24 日~9 月 26 日

B20 台北 進出口同業公會

10 月 1 日~10 月 3 日

B21 高雄 文化大學推廣部

10 月 22 日~10 月 24 日

B22 新竹 帝國經貿大樓

11 月 12 日~11 月 14 日

B23 台中 文化大學推廣部

11 月 26 日~11 月 28 日

B24 台北 進出口同業公會

12 月 3 日~12 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 44 期

新竹 帝國經貿大樓

第一階段

113 年 7 月 1 日~5 日

第二階段

113 年 7 月 8 日~12 日

第三階段

113 年 7 月 22 日~26 日

第四階段

113 年 7 月 29 日~8 月 01 日

進階 25 期

新竹 帝國經貿大樓

第一階段

8 月 14 日~8 月 16 日

第二階段

8 月 19 日~8 月 21 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

10 月 30 日(上午&下午)

12 月 11 日(上午&下午)

台北 進出口同業公會

11 月 7 日(上午&下午)

新竹 經濟部專研中心

10 月 17 日(上午&下午)

11 月 19 日(上午&下午)

12 月 24 日(上午&下午)

台中 文化大學推廣部

10 月 3 日(上午&下午)

11 月 21 日(上午&下午)

鋼鐵建材輻射偵檢人員訓
練班

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 范佳怡 (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「113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

「113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(1): [113年第2次輻射防護專業測驗 \(PDF 檔案\)](#)

附檔下載(2): [113年第2次操作人員輻射安全證書測驗 \(PDF 檔案\)](#)

國內新聞

- ➔ 聯合報報導「陸批准5核電廠加速發展核能」[訊息連結](#)

中國大陸正加快發展核能發電。大陸國務院總理李強十九日主持召開國務院常務會議，一口氣核准江蘇徐圩一期工程等五個核電項目。上海第一財經指出，此次核准的五個核電項目，共涉及十一部核電機組，數量創歷史新高。這十一部核電機組總投資預計將超過人民幣兩千億元（約台幣九千億元）。

中國能源報指出，此次核准的五個核電項目，包括中核江蘇徐圩一期工程，中廣核廣東陸豐一期工程、山東招遠一期工程、浙江三澳二期工程，國家電投廣西白龍一期工程。

第一財經表示，此次核准的中核集團江蘇徐圩核能供熱發電廠項目是全球首個將高溫氣冷堆與壓水堆耦合，創新採用「核反應堆—汽輪發電機組—供熱系統」協同運行模式，以工業供熱為主、兼顧電力供應的核動力廠，建成後將為連雲港兆級石化產業基地大規模供應高品質低碳工業蒸汽，對加快大陸能源、化工等行業綠色低碳轉型具有引領示範作用。

針對各界關注核能安全問題，央視報導，大陸國務院常務會議上強調，安全是核電發展的生命線，要不斷提升核電安全技術水平和風險防範能力，加強全鏈條、全領域安全監管，確保核電安全萬無一失，促進行業長期健康發展。

第一財經稱，跡象表明大陸核電建設正在加速。中共中央、國務院七月底發布「關於加快經濟社會發展全面綠色轉型的意見」提出，「加快」西北風電太陽能、西南水電、海上風電、沿海核電等清潔能源基地建設。該文件還設定到二〇三〇年目標，非化石能源消費比率提高到百分之廿五左右。

這是大陸自二〇一一年日本福島核事故後，首次在官方文件中明確使用「加快」一詞來闡述核電項目的建設步伐。

多位核電業內人士向第一財經表示，未來幾年將是核電在大陸發展的「黃金時期」。

報導稱，每部百萬千瓦級核電機組的總投資超過人民幣兩百億元，但發電能力同樣驚人，每年可滿足百萬人口的生產生活用電需求。

在節能減排方面，百萬千瓦級核電機組相比同規模火電，每年可減少三百萬噸標準煤的消耗，節約大量燃料運輸成本，並減少六百萬噸二氧化碳、二點六萬噸二氧化硫和氮氧化物的排放，環保效益顯著。(發布日期 113 年 8 月 21 日)

➡ Yahoo!新聞網報導「福島第一核電廠核燃料殘渣回收作業出師不利 抽氣裝置安裝錯誤計劃暫停」。 [訊息連結](#)

東京電力公司宣布 22 日上午 7 時 30 分左右，開始嘗試回收福島第一核電廠 2 號機組熔化的核燃料殘渣的準備工作。這是事故發生後約 13 年半以來的首次嘗試，但沒想到出師不利，由於安裝抽氣裝置時發生錯誤，回收計劃暫停。

據 NHK 報導，福島第一核電廠 1 號至 3 號機組總共含有約 880 噸核燃料殘渣，是在 2011 年 3 月事故中熔化的核燃料和周圍結構的混合物，因為這些殘渣釋放出極強的輻射，將它們回收也成為廢爐的最大難關。東京電力在經過數年的努力後，終於敲定在 22 日進行回收計劃的試行，比原訂於 2021 年開始的時間晚了三年，

在這次試行清除的計劃中，東京電力公司計畫從覆蓋 2 號反應爐的安全殼底部清除一塊卵石狀的核燃料殘渣。重量將保持在 3 克以下，以防止輻射劑量過高。

實際的作法是將使用專門開發的伸縮式細管狀裝置放置在一條通往安全殼內部的直徑為 60 公分的管道內，該管道將逐漸延伸至 21 公尺。接著用一條纜繩將抓取裝置從到達安全殼內部的頂端向下幾公尺處放下，然後抓取並收集堆積在底部的殘渣。

由於現場輻射劑量較高，人們無法輕易接近，因此大部分工作都是透過遠端控制來完成。

此外，考慮到工人的負擔和受到的輻射量，計劃每天的工作時間將限制在早上的幾個小時。用裝置蒐集到安全殼外的殘渣在放入安全殼之前，會在距表面 20 厘米的距離處測量輻射劑量，如果超過每小時 24 毫西弗，工作人員將計劃是將其返回安全殼內部以減少暴露劑量。如果輻射劑量沒有問題，殘渣將被放入容器中，一系列的清除操作就完成了。

然而試行計劃卻出師不利，據官員稱，由於安裝抽氣裝置時發生錯誤，22 日上午開始的準備工作已暫停，目前不會恢復工作，之後的計劃也尚未確定。

迄今為止的調查已證實，三個反應爐的安全殼中似乎存在以塊狀、卵石或沙子形式凝固的核燃料殘渣沉積物，然而，由於無法分析實際物質，因此東電也不知道混合物質的詳細性質和條件。

事故發生後，核燃料殘渣散發出極高的熱量，因此東電將其浸入水中或澆水來繼續冷卻，但據東電稱，熱量已顯著下降，安全殼內的溫度也已明顯下降，「保持穩定」在 20 到 35 度左右。

另一方面，殘渣仍繼續發射極強的輻射，2019 年的一項調查測量到 2 號機組安全殼底部附近的最大輻射劑量為每小時 7.6 西弗。這是一個人暴露在如此高的輻射劑量下，大約一個小時就會導致死亡。

也因此福島第一核電廠清除核燃料殘渣被認為是世界上一項艱鉅且史無前例的工作。(發布日期 113 年 8 月 22 日)

- ➡ 中時新聞網報導「阿拉伯世界首座核電廠在這裡 發電量超台灣 2 倍多」。 [訊息連結](#)

石油豐富的阿拉伯聯合大公國 (UAE) 週四 (5) 宣布，隨著最後一座反應爐啟用，阿拉伯世界首座核電廠正式落成。位於阿布達比的巴拉卡核能發電廠 (Barakah Nuclear Energy Plant) 第 4 座反應爐投入商業運營後，每年將產生 40 太瓦時 (TWh) 的電力，阿聯國營核能公司 (ENEC) 在聲明中表示。該電廠將滿足國家 25% 的電力需求，作為對比，據國際原子能總署 (IAEA) 的統計，台灣的核電發電量為 17.2 太瓦時，超過我國 2.32 倍。

據《法蘭西 24》(France 24) 5 日報導引用 ENEC 的說法，這座核電廠將為包括全球最大石油生產商之一的阿布達比國家石油公司 (ADNOC)、阿聯鋼鐵公司 (Emirates Steel) 和阿聯全球鋁業公司 (Emirates Global Aluminium, ENEC) 在內的企業供電，除此之外，由於阿聯環境炎熱，民眾對於空調需求普遍，幾乎相當於紐西蘭的年消耗量。

巴拉卡核電廠，名稱在阿拉伯語中意為「祝福」，於 2020 年啟動了首座反應爐的運行，世界最大石油出口國沙烏地阿拉伯也已表示準備建設核子反應爐。

阿拉伯聯合大公國總統、阿布達比酋長阿勒納哈揚 (Sheikh Mohammed bin Zayed Al Nahyan) 讚許巴拉卡核電廠全面落成，稱其為「邁向淨零排放旅程中的重要一步」。他在社群媒體 X 上表示：「我們將繼續優先考慮能源安全與可持續性，為國家與人民的當下與未來利益服務。」根據國際原子能總署 (IAEA) 的說法，該電廠將在約 60 至 80 年壽命結束後進行拆除。

阿聯為石油輸出國組織 (OPEC) 中的主要石油生產國之一，這個國家主要依靠石油建設起來，但正在投入數十億美元發展可再生能源，計劃到 2050 年實現可再生能源供應達到需求的一半。

阿聯多次強調核能發展僅為「和平目的」，並排除發展濃縮計劃或核燃料再處理技術的可能性。目前，該國大部分電力需求依賴天然氣發電站，但也在阿布達比外建設了世界最大的太陽能發電廠之一。(發布日期 113 年 9 月 6 日)

- ➡ Yahoo! 新聞報導「微軟據傳有意重啟一整座核電廠，專為其 AI 與資料中心供電」。 [訊息連結](#)

據《華盛頓郵報》報導，微軟正在商洽重啟位於美國賓州的三哩島核電廠，並成為核電廠的獨佔客戶 20 年。至於為何要一整座核電廠的電，那自然是為了餵養 AI 這個耗電巨獸，又要兼顧環保與碳排了。

三哩島電廠之所以臭名昭著，是因為它曾在 1979 時發生部份核心熔解的核災，並且有未知量的放射物被釋出。雖然在國際核事件分級表它被歸於 5 級，遠沒有 7 級的車諾比電廠事故或福島核電廠事故嚴重，但仍是美國至今最嚴重的一場核災，也是公眾對核電轉為不信任的關鍵轉戾點。

不過一般人不知道的是，三哩島其實有兩具核電機組，雖然出事的二號機組在 1979 年便除役，並開始了漫長的清理作業（預計 2059 年完成），旁邊的一號機組卻一直維持運作，直到 2019 年才因為維護費過於高昂，入不敷出而停機除役，整個除役過程預計要到 2079 年才會全部完畢。

然而如果微軟有意出資的話，目前擁有一號機組的民間公司 Constellation Energy 自然樂觀其成，並預備將一號機重新啟用。但是這中間的難處也不少——最主要的，是美國從來沒有已經停機除役的核電機組再「復活」的先例，對於法規、監管等各方面，都是一個不小的挑戰。特別是一號機組是在 1979 上線，原定是工作 40 年，但後來被延長 20 年至 2034 年。如果微軟要再讓它運作 20 年的話，那勢必還要再延役至少十年以上。其次，美國也沒有整個商用發電廠完全被一間企業包攬的先例，在這方面是否可行也是個未知數。

如果放行的話，三哩島一號機有 819MW 的裝置容量，約略等於 800,000 戶的用電。雖然說這些電力不會進入美國的電網，但多少能減輕 AI 對用電帶來的巨大負荷。只是已經 50 年的老機組還要再戰 20 年，難免還是會讓人有些擔心就是了，同時這也意味著機組未來的除役也要再延後，恐怕要到下個世紀才能完成了。（發布日期 113 年 9 月 23 日）

➡ 聯合新聞網報導「白宮氣候顧問：計畫啟封多座核電廠」。 [訊息連結](#)

路透七日報導，白宮氣候顧問柴迪同日說，拜登政府計畫重啟多個封存核電廠，也將發展小型模組化反應爐（SMR），以及研發下一代核反應爐。

已有兩項計畫進行中，預計將重啟美國核能公司 Holtec 在密西根州的巴利塞德核電廠，以及星座能源公司在賓州三哩島核電廠一個機組。三哩島核電廠一九七九年發生部分爐心熔毀，淪為美國史上最嚴重核災。

柴迪表示，「我們正很具體地執行重啟計畫。我能想到的就有兩個」，但他不願詳述是重啟哪幾座核電廠等細節。

柴迪於路透在紐約召開的永續發展會議提到，重啟現有封存核電廠是拜登政府三大能源策略之一，藉由增加核電對抗氣候變遷，並增加供電；發展 SMR 則旨在供特定領域使用，SMR 技術並非遠在天邊，美國企業預計二〇三〇年內投入使用。

拜登此前喊出將美國核電規模提高至現有三倍，以滿足發展人工智慧（AI）和雲端運算等大量耗電技術所需。他還直言拜登政府潔淨能源目標面臨的另一項難題，即在二〇三〇年前將離岸風電發電量提升至卅吉瓦。（發布日期 113 年 10 月 9 日）

淺談設備物質解除管制量測 重要影響因素

作者 徐世融

台灣電力股份有限公司 核一廠



均化重量與面積選用原則

使用均化重量/面積名詞意旨待測物污染均勻分布於總重量/面積，強調污染均勻性，故採均化重量/面積之表示法。GSR PART 3 對人造核種解除管制標準推導評估模型是以大量的均化物質作為污染源。例如運送情節假設卡車裝載 10 噸的物質，掩埋情節甚至更多的量。當我們以這樣的標準來執行解除管制，必須先了解這些標準是以相當大量的體污染來計算，而且須均化待測物方能與假設條件一致，並考量曝露情節是否符合。因此，均化重量非常小的物質並不適合這套以大量均化物質推導求得的標準。

監管機關應決定或核准解除管制程序待測物均化重量的適用範圍，以符合量測儀器為主。業者執行均化程序時應考量均化重量大小的符合性。例如一個合適的均化重量範圍為幾百公斤至 1 噸。監管機關應確認均化程序不得特別用於放射性高於解除標準的物質而使之通過解除管制。業者應確保均化程序應依據物

質的材料組成分類執行，這是解除管制程序不可或缺的一部分。對於均化重量低於適用範圍的小型物件，監管機關可定義一個最小預設均化重量(例如 1 公斤)，反過來說這等同對小型物件指定了核種最大活度值(例如 Co-60 為 100 Bq)。此外必須確保不能僅將大型物件切成小型物件後，以此方法通過解除管制。對於小型物件的量測還有另一個替代方案，可將同類型小型物件放在一起量測，增加均化重量以達適用範圍。

對於表面污染解除管制標準，監管機關應該以物質的種類、性質以及污染均勻度來考量均化面積的適用範圍，由數百平方公分至 1 平方公尺。在特別條件下，均化面積適用範圍上限可更高。例如針對建物表面污染解除管制可提升至 10 平方公尺。而對於量測可及性不足的表面且預測其具有某種程度的污染時，業者必須建立保守的表面活度評估，再與解除管制標準比較。與前段對於小型與輕型物件(以體污染活度標準)的做法相同，監管機關可定義一個最小預設均化面積(如 100 cm²)，對於表面

積小於此值的物件則使用此值。如果有數個小面積物件則另一套替代做法是將這些物件量測活度與面積都加總，增加總表面積大小以符合適用範圍後，再進行與解除管制標準的比較。

以均化重量或均化面積對應的解除管制標準做為決策依據時，實際量測待測物重量與面積必須清楚說明。在擬訂量測規劃策略時，業者應該盡可能的批次分類處理待測物，使同批次材質與來源相同，如此一來核種組成與污染程度將會接近。而在規劃量測程序時應要妥善利用最大允許的均化面積或重量，因為這樣可以有效提升解除管制程序的效率。雖然有些污染的型態與性質可能會使量測過程受到限制，例如針對小管路內部選用貝他粒子活度量測儀器時很可能受限。儘管如此，對其浮動的量測數據搭配適宜的累積時間(例如紀錄一分鐘的總計數值而非每秒計數率)，並且執行多個單點靜態量測並加以數值平均，將可加總以達成更大的均化面積。



圖 1-表面污染掃描辨識熱點

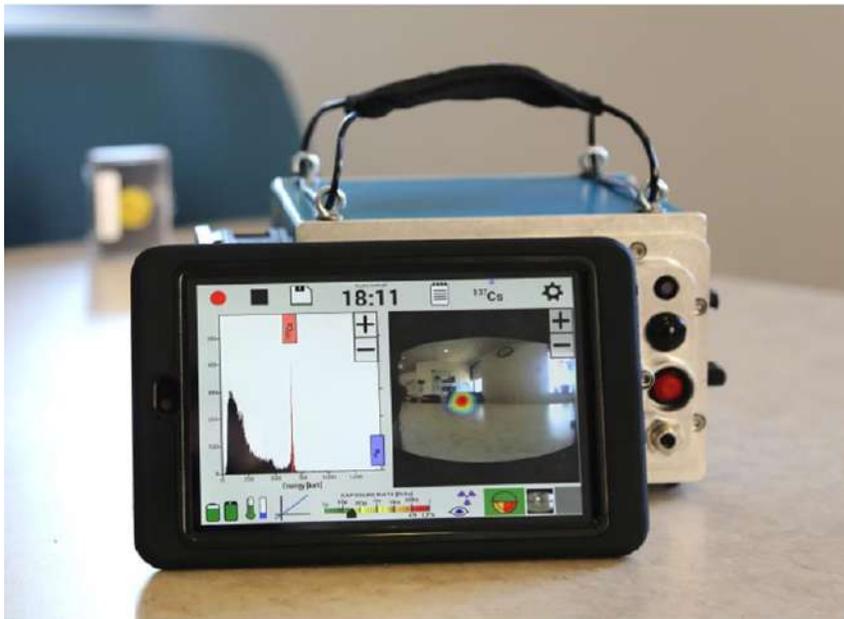


圖 2-手持式伽馬能譜分析成像系統

業者必須選擇偵檢單元並且應提出足以代表待測物的均化重量/面積，同時還要考慮量測結果的一致性、偵測能力的符合度以及信賴區間。一般而言，選擇較大的偵檢單元/均化重量/均化面積是可被接受的，只要污染分布相當均勻。均化重量/面積必須經監管機關的同意且業者必須正式紀錄於解除管制程序。監管機關也應對於解除管制程序若遭遇不均勻性的問題該如何解決，提供相關指引與定量標準。

若待測物的取樣結果呈現相當大的變化時，將這些結果平均並視為均化後的整體量測結果，則應以適當文件記錄以下考量：

- (a) 分離/隔離待測物部分組件之可行性。
- (b) 適當的修訂取樣與量測計畫，包含取樣數目。
- (c) 適當的縮小偵檢單元尺寸(重量或體積)。

(d) 對待測物執行進一步量測以確定活度顯著升高區域(體積/面積)之可行性。

(e) 對待測物活度顯著升高區域執行小面積/體積移除或切割之可行性。

(f) 顯著不均勻污染的可能性。

熱點及深度/面積的活度分布

移除監管機關對設備物質的管制措施中，最具挑戰性項目之一就是以適當的方法尋找熱點的存在。

區分熱粒子與熱點的差異非常重要，熱點是由於不均勻性造成的，而熱粒子通常是小型的物件且非屬於待測物的一部分，舉例來說具有高活度 Co-60 的小型金屬碎片或在冷卻池發現的用過核子燃料碎片。這些類型的熱粒子在解除管制程序開始之前就應該被先被移除。必須要事先考量熱粒子存在於待測物的可能性，如果有可能存在，則應確保解除管制程序能識別出熱粒子，而非僅僅將熱粒子當成均化重量/面積的活度來源。

待測物因其局部區域不均勻的活度分布，導致比活度超過解除管制標準是可預期的。重點在於比活度的變化應被合理的限制，通常可允許達標準的十倍。執行特性調查階段若發現物質或其表面部分區域比活度顯著高於解除管制標準(如熱點)時，應在設備物質/建物拆除前進行射源移除(除污)。監管機關應該在現有的解除管制標準上，另外核准或指定額外的監控標準，以作為解除管制待測物其熱點的量測與處理依據。

若我們選擇偵檢面積比均化面積小很多的儀器來證明符合表面污染解除管制標準，則可以由多個測量結果變化得出均勻性的資訊，進而找出熱點的存在。待測物最後得出的表面污染比活度應以均化面積來計算，再與解除管制標準比較。我們可以在量測儀器上設定警報值，以辨識熱點的存在，如圖 1 所示，以人工表面污染掃描辨識熱點。近年來新的熱點量測儀器為手持式加馬能譜分析成像系統(圖 2)，輻防簡訊第 170、171 期有詳細的介紹。

針對大型物質，我們可以看到許多量測程序範例均以掃描或多點量測(參考圖 3 MARSSIM TYPE-網格量測及圖 4 實際案例)為基礎，設立這兩套做法均能辨

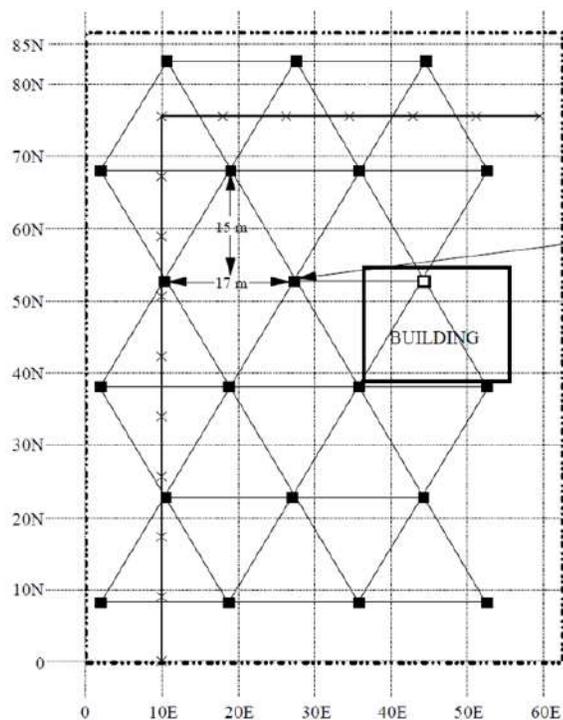


圖 3-MARSSIM TYPE 網格量測



圖 4-建物執行多點量測

識出較高活度的區域。另一套證明符合熱點標準的作法係採用足夠靈敏的量測技術，量測最差狀況下導出的活度(也是最保守的假設)。舉例來說，如果對桶型待測物外部進行量測，保守的符合性評估方式係假設所有污染物均聚集在桶型中心點(被乾淨物質包圍)，意即污

染物距離量測儀器最遠且乾淨物質造成的屏蔽最厚。這樣的假設將導致射源效率大幅降低，量測成本/資源上升(如增加計數時間、更多次的量測、更敏感的偵檢器)，但與對物質執行額外體污染量測以證明同時符合均化重量與熱點標準相比，這額外增加的成本可能很少。

這套做法適用於桶型容器裝填低密度物質含高能量加馬核種(如混凝土碎片內的 Co-60)·以及體污染比活度遠低於標準的狀況。這套做法不適用於自我屏蔽很強的物質含低能量加馬核種(例如受 Am-241 污染的金屬)以及體污染比

活度很接近標準的狀況。

我們必需使用輻射儀器進行量測證明設備物質符合解除管制標準·在確認低於標準值後始予解除管制。現今的問題在於除役與運轉時期相比·須應對大量拆除廢棄物的量測需求·且箱型偵檢器有

其腔體大小限制·若要求所有待測物均須符合腔體大小·則需花費大量的切割與時間成本·可以說設備與物質進行解除管制須經由最佳化程序評估·並在時間、金錢、社會觀感下取得平衡·方能取得最好的



參考文獻

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3, IAEA Safety Standards No. GSR Part 3, 2014/07.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Concept of Clearance, IAEA Safety Standards Series No. GSG-18, 2013/11.
- [3] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM), Rep. NUREG-1575, Rev. 1, Office of Nuclear Regulatory Research, Washington, DC (2000).

核子醫學在精準醫療中的應用與展望

作者 俞長青

高雄榮民總醫院核醫科



摘要

隨著科技進步，醫療產業也正在出現變革，其中「精準醫療」便是近年來熱門的話題之一。但精準醫療究竟在「準」什麼？對未來醫療產業又可能帶來什麼樣的影響？

根據國家實驗研究室指出：「精準醫療」(Precision Medicine) 是指進行治療前先針對每個人進行常規的檢查外，再加上各種生醫檢測，例如透過基因檢測了解個人基因的表現、個人健康狀況等臨床資訊，並將這些資訊在大數據資料庫中分析，找到對這個病患最適合的治療方式或藥物。

醫療決策的醫學模式: 精準醫療

醫療行為最重要的是診斷必須正確，但過去很長一段時間裡，醫學都是仰賴前人經驗積累而成，要使用什麼藥、採用什麼療法都以經驗為主，對待所有人都沒有什麼不同。直到臨床試驗成為常態，大家才發現人都有不同的樣態，人種、甚至是居住地點的差異，都會影響人罹患疾病的可能，同時也會讓患有同

樣疾病的人對治療行為出現不同反應。

2003 年人類基因組計劃 (Human Genome Project) 成果公布後，醫療界開始了解到人在基因上的個體差異，不同種族的基因突變率也不一樣，這讓醫生開始懂得從基因上做出辨別，選擇有同樣基因突變的病人參與臨床試驗才更能確認治療的有效性。

2004 年 EGFR (Epidermal Growth Factor Receptor) 基因突變和肺癌標靶藥物療效的臨床研究成果發現，基因差異導致相同的藥物醫療未必有相同的療效，這更進一步深化了醫療界對基因研究的重視，加速標靶療法、個人化醫療的研究探索，隨著醫療持續發展，這些針對個人基因來選擇最佳醫療決策的醫學模式有了更統整性的說法：精準醫療。只是不管精準醫療有多「準」，要想真正達成「針對基因進行醫療決策」的效果，事先瞭解群體基因特徵就成為不可或缺的基礎，而這也正是人體生物資料庫 (Biobank) 出現的原因。人體生物資料庫主要儲存研究用的人體生物檢體，這些大量、多樣的檢體數據除了讓

研究人員能從長期生活習慣、環境差異的比對中找出可能的致病因子，也能將特定病例與健康群體的情況進行對照研究，對醫學研究有相當大的助益。包含日本、美國、加拿大、冰島等國家，都已成立公共人體生物資料庫，由於涉及倫理爭議，各國成立之初都遇到不少挑戰，而臺灣也是。

傳統醫療與精準醫學差別

精準醫學又稱為個人化醫學，與傳統的醫療非常不同，傳統的醫療檢查主要是由患者描述病徵，再進行常規檢查，例如抽血、X光、超音波等，然後醫生依經驗和知識去判斷疾病，採取大致相同的治療方案或藥物。相比之下，精準醫療的理念在傳統的檢測基礎上，會加上生物醫學檢測的元素，例如腫瘤或病人本身的基因檢測，然後將個人資料透過人體基因資料庫作對比，在大數據中分析，幫助我們找出最適合患者的治療方案或藥物，因此即使是同一個疾病，在不同的病人身上就會得到不同的治療方案或藥物。



其主要目的是找出最高治療效果同時又能減少副作用的個人化治療方案。

近年來，藉由國內產學研醫界之具潛力與價值的核醫藥物或技術，由市場面、技術面與應用面來剖析闡述產品的應用價值，顯示核子醫學已進入精準醫療時代。核醫中的分子診斷和治療技術在精準醫學時代扮演著越來越重要的角色，然而，也面臨著多項挑戰。以下是幾點主要挑戰：

1. 數據整合與分析

精準醫學強調基因、環境和生活方式等多層次數據的整合。核子醫學技術，如 PET(正電子發射斷層掃描)和 SPECT(單光子發射電腦斷層掃描)，提供了代謝和功能性數據。然而，如何將這些影像數據與基因組學、蛋白質組學和代謝組學等分子層次的數據進行有效整合，並進行精準的分析和解釋，是一大挑戰。

2. 靶向藥物的選擇和開發

精準醫學要求根據個體的分子特徵來選擇最有效的治療方法。核醫學中的靶向放射性藥物必須根據患者特定的生物標誌物進行開發和選擇。然而，開發新型放射性藥物並確保其安全性和有效性需

要大量的研究資源和時間。過去台灣核醫藥物必須依賴國外藥物的進口，但隨著科技進步發展，目前國家原子能科技研究院(原核研所)已啟動開發更精準的同位素製造的計畫。

3. 個性化診療方案的制定

精準醫學旨在為每位患者量身定制治療方案，核醫學在其中發揮了診斷和治療的雙重作用。挑戰在於如何根據影像學結果制定出個性化的診療方案，並實現臨床應用中的標準化和規範化。

4. 技術創新與應用

分子診斷和治療技術的快速發展需要不斷的技术創新。然而，將新技術轉化為臨床應用面臨著設備昂貴、操作複雜等問題。此外，放射性藥物的生產和儲存也存在技術門檻，這限制了其在精準醫學中的廣泛應用。

5. 倫理與法律挑戰

精準醫學涉及大量個人數據的收集和使用，這引發了隱私保護和數據安全的問題。同時，核子醫學技術的應用也可能帶來倫理和法律上的挑戰，特別是在放射性藥物的使用和放射性劑量管理方面。

核子醫學之「精準醫療」應用

隨著醫學技術的進步和生物技術的發展，精準醫療逐漸成為現代醫學研究和應用的核心理念。精準醫療旨在根據個體的基因組、環境、生活習慣等因素，為患者量身定制最合適的治療方案，以達到最佳療效和最小副作用。核子醫學作為一門結合放射性同位素和生物醫學技術的學科，在精準醫療的發展中扮演了關鍵角色。透過核子醫學技術，醫生能夠對疾病進行更為精確的診斷、監測和治療。以下將探討核子醫學在精準醫療中的角色，並展望其未來的發展趨勢和應用前景。

核子醫學的核心技術包括正電子電腦斷層掃描(PET)、單光子發射電腦斷層掃描(SPECT)以及各類放射性同位素標記藥物的應用。這些技術可以在分子和細胞層面上提供疾病的功能性和代謝性信息，與傳統的解剖學影像學技術(如CT、MRI)形成互補。

核子醫學在個體化治療中的應用主要體現在三個方面：疾病的早期診斷、治療方案的選擇和治療效果的評估。這些應用使得醫療方案可以根據患者的具體病情和生物標誌物狀況進行調整，從而達到精準醫療的目標。精準醫學的時代對核醫分子診斷和治療技術提出了更高的要求，也帶來了前所未有的挑戰。克服這些挑戰需要多學科的合作、技術創新以及完善的法律和倫理框架，從而實現真正的個性化診療。

核子醫學在精準診斷中的應用

1. 分子影像學在精準診斷中的作用

分子影像學是核子醫學的一個重要分支，它通過放射性標記的分子探針來可視化和定量分析體內的生物過程。這些技術能夠在早期階段檢測到疾病，甚至

在解剖結構變化之前，提供疾病的功能性信息。

癌症診斷：核子醫學技術，特別是PET/CT，在癌症診斷中具有重要作用。利用放射性標記的葡萄糖(如FDG)，可以檢測到癌細胞的高代謝活動，從而實現早期癌症檢測。此外，針對不同癌症類型，還可以使用特定的分子探針進行靶向檢測，提高診斷的精準度。

心血管疾病診斷：除了癌症，核子醫學技術在心血管疾病的診斷中也表現出色。PET和SPECT能夠評估心肌灌注、代謝和神經活動，從而幫助醫生精確診斷和評估心血管疾病的嚴重程度，並制定個體化的治療計劃。

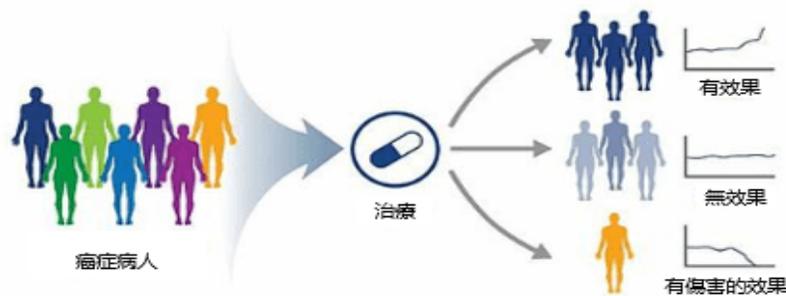
2.核子醫學在精準治療中的應用

放射性核素治療是一種利用放射性藥物直接對癌細胞或病灶部位進行照射的治療方法。這種技術能夠在精確殺死病變細胞的同時，最大限度地保護正常組織，從而減少治療過程中的副作用。

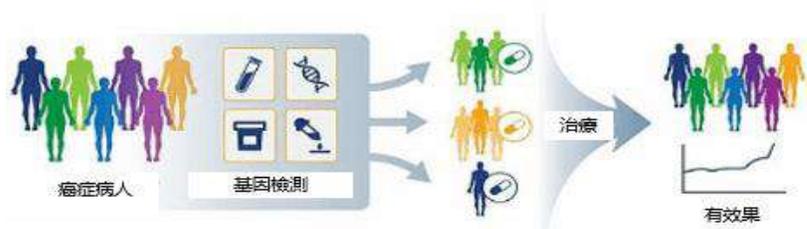
癌症治療：針對不同類型的癌症，核子醫學提供了多種放射性核素治療方法。例如，針對甲狀腺癌的碘-131治療、針對攝護腺癌的放射性配體治療，以及針對神經內分泌腫瘤的鎂-68標記治療。這些技術通過精確的靶向照射，可以顯著提高治療效果，並降低患者的治療負擔。

非癌症疾病治療：核子醫學技術在治療其他疾病，如甲狀腺疾病、骨骼疾病、心血管疾病等方面也取得了顯著成效。例如，放射性核素可以用於治療甲亢或進行骨髓抑制的治療，這些應用拓展了核子醫學在臨床治療中的範圍。

傳統醫療



精準醫學



3.核子醫學在治療效果評估中的應用

放射性標記技術在療效評估中的作用：核子醫學技術可以用來動態監測疾病的治療反應，這在治療過程中顯得尤為重要。例如，PET掃描可以在治療前後評估腫瘤的代謝變化，從而幫助醫生及時調整治療策略。

治療效果的個體化評估：透過核子醫學技術，醫生可以根據每個患者的具體反應來制定後續治療計劃。這種個體化的評估方式不僅提高了治療的有效性，還減少了不必要的治療，從而降低了治療成本和患者的痛苦。

慢性病管理中的應用：在慢性病管理中，核子醫學技術可以用來長期監測病情發展和治療效果。例如，在心血管疾病中，PET和SPECT掃描能夠定期評估心臟功能，並幫助醫生根據檢查結果調整治療方案。

未來發展與挑戰

新型放射性藥物的研發

隨著分子生物學和基因技術的進步，越來越多的新型放射性藥物正在研發中，目前國家原子能科技研究院(原核能研究所)在經濟部技術處科技專案計畫經費支持下，除了建置「碳十四藥物代謝平台」、「分子影像暨放射藥理平台」、「GLP放射毒理實驗室」外，亦積極研發「放射栓塞肝癌治療藥物」、「長效型攝護腺癌醫標靶治療藥物」，此外，「核研多蕾克鎂肝功能造影劑」是全球第一個肝標靶醣胜肽之肝功能檢驗凍晶型藥劑，醫界相信這些藥物將在台灣醫療上可創造出突破性的發展。這些藥物能夠針對特定的生物標誌物或細胞受體進行靶向治療---諸如此類創新也將進一步提升核子醫學在精準醫療中的應用範圍和效果。

數位化與人工智慧的結合

近幾年核醫學在臨床的表現有突破性的發展，今年有多家生醫藥廠投入精準醫療藥品投資，診療、精準、即時、非侵入、人工智慧(AI)輔助都是核醫所期盼的目標，AI 和數位技術的應用正迅速改變核子醫學的發展方向，期盼這些突破對於病患更大的幫助。藉由 AI 技術，醫生可以從大量影像數據中提取更精確的訊息，並且可以更快地制定治療計劃。此外，數位技術還有助於提高核子醫學設備的解析度和靈敏度，從而改進診斷和治療的精確性。

成本與可及性的挑戰

儘管核子醫學在精準醫療中的應用前景廣闊，但其高昂的成本和技術要求使其在某些地區的普及存在困難。未來的發

展需要在技術創新和降低成本之間找到平衡點，以便讓更多的患者受益。

結論

核子醫學在精準醫療中的角色不可忽視。從精確的疾病診斷到個體化治療，再到療效評估，核子醫學技術已經成為實現精準醫療不可或缺的工具。隨著技術的進步和新型放射性藥物的研發，核子醫學在未來的臨床應用中將發揮更為重要的作用，它透過結合分子影像學技術和放射性藥物，實現了疾病的早期精準診斷、個體化治療以及動態療效評估，這些應用顯著提升了醫療的精確性和有效性。在癌症和心血管疾病等重大疾病的診療過程中，核子醫學技術已展示出無可替代的優勢，並逐步成為臨床診療的重要工具。

展望未來，隨著新型放射性藥物的研發、人工智慧與數位技術的融合，核子醫學在精準醫療中的應用將進一步拓展並深化。精準醫學的時代對核醫分子診斷和治療技術提出了更高的要求，也帶來了前所未有的挑戰。克服這些挑戰需要多學科的合作、技術創新以及完善的法律和倫理框架，從而實現真正的個性化診療。然而，高昂的成本和技術推廣的可及性仍然是其廣泛應用的挑戰。因此，在推動技術創新的同時，降低成本並提升技術普及性，將是未來核子醫學發展的關鍵方向。總體而言，核子醫學作為精準醫療的重要組成部分，將在推動個體化醫療和提高全球健康水平方面發揮愈加重要的作用。新型放射性藥物的研發、人工智慧(AI)與數位技術的融合，核子醫學在精準醫療中的應用將進一步拓展並深化。

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
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