

553336

科學圖書大庫

原子能文庫

主編 鄭振華

第37—40冊

成都德華學院

徐氏基金會出版

科學圖書大庫
原子能文庫

主編 鄭振華

第37—40冊

孫氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫



版權所有

不許翻印

中華民國六十八年三月二十四日再版

原子能文庫

37-40

基本定價 1.00

主編	鄭振華
編者	行政院原子能委員會執行秘書
	第三十七冊 林宗堯
	第三十八冊 蔡維綱 程育甫
	第三十九冊 江祥輝 呂東輝 鍾仁賢
	第四十冊 林伯穎

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號
承印者 大典圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話9719739

序

民國五十七年四月十三日，中美原子能委員會假台北市聯合舉辦原子能應用示範展覽會。會中展出一部原子能文庫（Understanding the atom series），凡四十餘冊，執筆者均為美國當代的原子能學者與專家。此文庫以通俗與淺顯文字，介紹有關原子能基本知識。國立清華大學核子工程學系四年級同學為響應推廣原子能和平用途，利用課餘時間，協力達譯此文庫，並蒙該系主任翁寶山博士協助解答質疑與校對；復蒙徐氏基金會資助，陸續出版。預計在核四同學畢業之前，可全部譯竣付印。

我國正力圖發展與推廣原子能和平用途，此文庫之達譯，適逢其時。希望不久的將來，原子能將為我國帶來繁榮與福祉，更希望有志青年，多參與發展原子能的工作。

鄭 振 華 民國五十七年國慶日
於行政院原子能委員會

本會出版之「原子能文庫」蒙國立清華大學原子科學研究所所長鄭振華教授賜任主編，熱心籌劃，嘉惠後學，純盡義務，不受報酬。至深榮感，敬表謝忱。

徐 氏 基 金 會 謹 啓

原子能文庫

中文書名	英文書名	譯者
1. 輻射線食品保藏學	Food Preservation by Irradiation	曾明哲
2. 核動力與商船	Nuclear Power and Merchant Shipping	張世賢
3. 我們的原子世界	Our Atomic World	鄭月李
4. 稀土元素	Rare Earth	錢景常
5. 人體與輻射	Your Body and Radiation	陳松濤
6. 原子在農業上的應用	Atoms in Agriculture	江祥輝
7. 能量直接轉換	Direct Conversion of Energy	朱 鈺
8. 原子燃料	Atomic Fuel	甘繼治
9. 核反應器	Nuclear Reactors	徐梅壽
10. 分裝式反應器	Power Reactors in Small Packages	呂東輝
11. 放射性同位素之工業應用	Radioisotopes in Industry	李寬宏
12. 計算機	Computers	周朝康
13. 全身計數器	Whole Body Counters	薛樂貴
14. 太空中的核動力	Nuclear Propulsion in Space	李偉德
15. 核子鐘	Nuclear Clocks	邱秀吉
16. 核能電廠	Nuclear Power Plants	程育甫
17. 輻射對遺傳的影響	Genetic Effects of Radiation	鄭德昌、呂東輝
18. 核試爆的落塵	Fall-out From Nuclear Tests	林國瑞
19. 放射性同位素在醫學上的應用	Radioisotopes in Medicine	黃安仁
20. 第一座反應器的故事	The First Reactor	黃海水
21. 合成超鈾元素	Synthetic transuranium element	鄭德昌
22. 加速器	Accelerators	蔡維綱
23. 原子能的事業	Careers in Atomic Energy	曾富煌
24. 放射性同位素動力	Power from Radioisotopes	莊曉康
25. 太空核反應器	SNAP	高仁實
26. 原子，大自然以及人類	Atoms, Nature and Man	張世賢
27. 低溫學	Cryogenics	黃炳華
28. 研究用反應器	Research Reactors	陳方顯
29. 放射性廢料	Radioactive Wastes	彭武洪
30. 科學展覽會與科學原子	Atoms at the Science Fair	盧翠盛
31. 核能脫鹽	Nuclear Energy for Desalting	董潤清
32. 中子活化分析	Neutron Activation analysis	丁英原
33. 核術語簡釋	Nuclear Terms—A Brief Glossary	清華大學核工系1969級
34. 鈾	Plutonium	歐紹源、徐德茂
35. 核燃料的來源	Source of Nuclear Fuel	錢景常、鄭月李
36. 太空輻射	Space Radiation	徐德茂、歐紹源
37. 原子動力之安全問題	Atomic Power Safety	林宗瑞
38. 鈍氣化學	The Chemistry of the Noble Gases	程育甫、蔡維綱
39. 原子與海洋	The Atom and the Ocean	江祥輝、鍾仁賢
40. 核融合的控制	Control of Fusion	林伯順
41. 放射性同位素與生命程序	Radioisotopes and Life Processes	陳松濤
42. 動物與原子科學研究	Animal in Atomic Research	姚士熙
43. 精準計劃	Flowchart	李寬宏、江曉康
44. 雷射	Laser	李偉德
45. 物質之細微構造	Microstructure of Matter	徐定國
46. 非破壞性工業試驗	Nondestructive Testing	曾明哲、黃炳華

目 錄

1.原子動力是什麼？.....	1
2.影響安全問題的因素.....	3
3.核反應器運轉中放射性物質的控制.....	12
4.意外災害的防止.....	17
5.意外災害發生時之圍阻.....	23
6.原子動力廠之管理和執照之申請.....	27
7.經驗記錄.....	30
8.安全問題的研究.....	33

原子動力安全問題

原著：John F. Hogerton

譯者：林宗堯

原子動力是什麼？

本書的主題主要在中心站原子動力廠的安全問題。這些原子動力廠是一種有意義而實用的公共事業，它供應了市區居民顧客充足的電力。本書的目的是提供一些有關原子動力廠安全問題上的一些實際資料，包括了一些值得討論的技術問題。

在開始探討本題之前，首先我們介紹一些有關原子動力的一般常識。原子動力是什麼？為什麼我們要發展原子動力？以及今日原子動力的重要性和成就。

在美國大約有80%的電力是來自蒸汽發電廠。這些發電廠是利用燃燒煤、石油、或天然氣（即所謂的化石燃料）所產生的熱，而使水沸騰變成水蒸汽，再利用這些水蒸汽推動渦輪發電機，因而產生電力。

然而原子動力廠却是一種新型的蒸汽發電廠，它的熱能並非來自化石燃料的燃燒（煤、石油、天然氣等。）而是來自原子燃料分裂時所產生的大量熱能。最主要的原子燃料來源是鈾和鈾。原子動力廠內其餘的部分，渦輪發電機則和一般傳統的蒸汽發電廠並無兩樣，當然所產生的電力也是相同的。

為什麼原子動力如此重要？

在原子動力的發展和使用上，有兩大因素，給予人類莫大的激勵：

第一：在那些遠離着煤礦，油田，或天然氣礦。而負擔着昂貴的燃料運費的地區，原子動力廠可以穩定的供應電力。而且可以很快的使發電的成本大大的降低。舉例來說：在美國的東北各州和西海岸一帶，燃料的費用就差不多佔去了全部發電費用的一半。因此在這些地區原子動力廠成爲有價值，具有競爭能力且吸引人的能源。

第二：將來原子動力將成爲全世界不可或缺的能源。即以目前美國來論；美國所儲存的化石燃料（尤其是煤）是相當豐富的。然而我們消耗的速率也增加得很快。況且不僅用於發電的燃料如此一發電所消耗的化石燃料僅佔全部化石燃料消耗量的 1/15 其他諸如運輸，工廠，暖氣，和其他種種活動。在在消耗着大量的燃料。總括之：估計在今後廿年內人類所需從燃料中獲得的能源，約等於從美國大革命迄今所有消耗的能源總和。若果我們再將能源消耗增加的速率，加以考慮的話，那麼很明顯的假如我們還是利用目前這種型式的燃料，再過二、三代，我們將受到燃料缺乏的壓迫。因此利用原子燃料來發電，而將化石燃料保留以使用於某些特殊而適用的用途，已是唯一的一條途徑了。同時在未來也將因原子燃料的使用而使我們的能源大大的擴充而更形豐富。

今日原子動力的發展和成就

在美國國會通過了立法，准許原子動力之使用，以及聯合國許可各國擁有自己的反應器後。美國原子動力發展總署，最先於 1954 年開始應用原子動力。這一壯舉給予從事推動原子動力的發展和應用的人員，以及公共事業莫大的鼓勵。那麼現在剩下來的只有應用方面的大部份技術問題了。感謝核子動力潛艇的高度成功發展，給核反應器帶來了更廣更多的用途。

自從 1954 年原子能法案成爲法律後，在很短的時間內，即有很多的原子動力廠直接加入美國電力供應的行列內，舉例來說：

1. 目前正有大約一百萬瓩的原子動力廠正在運轉中；同時又有

一百萬瓩的原子動力廠即將建造完工，加入電力生產行列。而在設計室內二百五十萬瓩的原子動力廠正在加緊設計中。目前這些由原子動力廠所產生的電力，和全美國經常維持在200百萬瓩的電力相比，當然是很渺小的。然而無疑的，這是很有價值的一種動力。例如：目前，可供應迫切需要電力的康乃狄格州和肯薩斯州或如丹麥和匈牙利等國。

2：今日全美國對於原子動力發電廠之諸般公共事業的投資或信用貸款，其資金已幾近十億馬克。

3：而最重要的，現在原子動力廠能在具有相當信用的擔保下，以固定的商業價格購得。

以上這些輝煌而令人興奮的進步，乃是由於美國原子能委員會和工業界，兩方面同心協力所創造的成就。

今日，在美國有許多規模宏大的原子動力廠，而這些工廠發展的背景均來自西元1942年11月2日，這一個具有歷史意義的日子。這一天恩瑞克費米和他的助手在芝加哥大學的校園內，成功而驚人的完成了歷史上第一座核反應器。現今，在美國，這一座設備，曾有200萬人參觀過。

影響安全問題的因素

首先在未開始討論本題之前，我們應該瞭解：在物理意義上，原子動力廠的特性與原子彈的性質是絕然不同的。原子彈是由許多塊純淨而濃縮的可分裂燃料以強壓將其壓縮在一起，使其密度增大，而引起一連串快速的鏈反應，在一剎那間放出巨大的能量而引起爆炸。但在原子動力工廠，這些引起爆炸的條件不會存在也不能存在。因為它的燃料並非純淨濃縮而是相當稀薄的，況且其巨大的能量不是在一剎間釋放出來，而是經由長時間，適量的釋出以供應發電。其作用，依其設計理論的不同而有不同的用途。

其次，我們瞭解原子動力廠危險性的大小，並不取決於其所產生的原力動力的大小；而是決定於其所附帶產生的放射性物質的多寡。

原子動力廠內所產生的放射性物質最主要的是分裂“灰”—即是分裂產物。這些分裂產物是由許許多多完全不同的物質混合而成的。有些是氣體的，有些是固體的。有些放射性半生期短（註※），有些則甚長，另有些是穩定的（即無放射性）。分裂產物以質量計，其量甚微—在大規模的原子動力廠內，每天僅有很少的幾磅而已—但是若以放射性強度來論，則其強度確實驚人。當原子動力廠運轉時，反應器內盤存的具有放射性的分裂產物逐漸增加。一直到其放射性消失的速率足以抵銷生成的速率，而維持着一定的水平時。到目前為止所發現的。幾乎僅有很少量的（低於十萬分之）物質參雜在燃料裏頭。

在原子動力廠內，由於大量中子的照射，將有少量的放射性物質形成，叫做活化產物。這些活化產物僅產生於核心內及其四周，這是因為在反應器內，僅有此部份會有大量中子出現。大多數的活化產物其半生期均極短。

註※：放射性物質的半生期通常以“半衰期”一詞表示之。即是放射性物質失去其一半放射性所需之時間。大多數的分裂產物其半生期從幾分之一秒到幾十年不等。因此與分裂產物相較其危害較小。

註※：關於核分裂原子能，和核反應器的更深討論，請參閱“我們的原子世界”和“核反應器”二書。

我們表示放射性強度的基本單位是居里。是為紀念鐳的發現者瑪麗居里。一居里的放射性強度等於每秒鐘三百七十億的原子蛻變。但是以居里表示放射性強度，或是以每秒多少個原子蛻變解釋之，均無補於我們對放射性強度的瞭解。因為前者和後者均是我們所不熟知的專有名詞。那麼它的重要性何在？當許多不同的放射性物質混合時，它即具有絕對的意義，如分裂產物。原因是：不同的放射性物質，釋出不同種類，不同強度的輻射。其中的一種（阿爾伐粒子），以普通的一張寫字用紙即可將其阻住了。然而另有一種（伽瑪射綫）卻可穿透幾呎的水泥。同時不同的放射性物質，除了具有不同的放射特性外，從安全的觀點來看，尚具有其他很重要的不同性質。因此我們說我們某原子動力廠內有多少居里的放射性強度，就好像說：某雜貨店

內有多少橘子、蘋果、葡萄、西瓜混雜一處般。它僅是個數目字而已，此外，並沒有告訴我們什麼。

就安全的觀點來看，最有意義的計量放射性方法是：每一個人安全標準內，可能忍受的最大輻射量是多少？關於這個問題，後面我們馬上可以討論到。在此處，我們首先討論放射性方面很重要的一章——叫輻射偵檢和輻射量度。

輻射偵檢和量度

人類的感覺器官雖然無法覺察出原子輻射，但是我們可以利用許多不同型式的儀器偵檢之。最簡單的一種輻射偵檢器是普通的照相膠片，它在輻射的照射下會感光而變黑。日常所使用的是用照相膠片製成“膠片徽章”的型式，佩掛在身上，可以測算出工作人員在原子能裝置內工作期間所受輻射照射的總累積量。其他型式的偵檢器（諸如，蓋革計數器，比例計數器、閃爍計數器。）是用來偵檢原子輻射的存在和量度其強度的大小。這些儀器就像它們的名字一般，可以用來“計數”每一個個別輻射粒子，或其單位。這種儀器通常是置放在原子能裝置內及其四周，用來偵測和監察輻射的程度。



手提輻射偵測儀

由於輻射偵檢儀器能够計數原子輻射的個別粒子及顯示其強度單位，所以可用來作為極端靈敏的輻射量度儀器——或者，用作另一用途，偵檢極端微小的放射性物質的存在。在科學上和工業上，微量放射性物質之所以能够廣泛應用，即是以這些靈敏的偵檢儀器做基礎。其應用的方式與生物學上，化學上或物理學上所使用的“示踪”程序相同。現在，我們可以引用美國地質勘測局所處理過的一個實驗作為例子來說明使用之概略方法：美國地質勘測局為了追蹤從一個大貯水池內所流失的水，特地在貯水池內放進了微量的（幾百分之一克）放射性氫，然後每隔幾英里，取些地下水作為樣本，量度這些樣本內放射性氫的濃度，如此我們可以知道貯水池內的水是以何等方式流失的。一般言之：目前這種追蹤技術和輻射偵檢的靈敏度非常的高，以事實來說明，取得的樣本中只要所含的放射性氫示踪劑，濃度在每百萬分之0.00000000003 以上即可偵測出來。

輻射偵測在另外的一個用途上亦是非常的靈敏——即具有非常準確的辨認特定放射性物質的能力。這是基於每一種類的放射性原子具有特殊型式的放射性，此一基本事實而達成的。

因此，由於上述輻射偵測和量度儀器的使用，原子動力廠的操作人員，不但在任何時間可以極精確的調整和維持原子動力廠內及四周的輻射強度，而且可以確定工廠的流出物內所含分裂產物的性質和數量。（參看下一章）

背景輻射

原子輻射對我們所處的世界而言，並不是新奇的，它僅是我們自然界的各種輻射之一而已。我們經常生存於這些輻射之中。而這些自然輻射的背景有兩大來源：其一為：來自外太空，成束的高能粒子組成的輻射，即所謂的宇宙射綫。另一為自然放射性——那就是存在於普通物質內，如花崗石或我們人體內的天然放射性物質。例如：我們人體內，部份的鉀和碳，即具有放射性。下表為每一個人在正常情形下，所受到的天然放射性的細目表。這些數據全都以千分之一侖目為單

位表示之（毫侖日）。侖日不但表示出所受輻射的多少，同時亦表示出輻射的種類和破壞的程度。表內所示 125 毫侖日是每年所受的平均數字。

代表性的背景輻射細目表

來源	所受輻射劑量 [*] （每年毫侖日數）
宇宙射綫	50
天然放射性	
外部來源	50
內部來源	25
總量	125

※註：上列數字均指再生組織器官和其他軟性的身體組織所受的劑量。

來源：本表來自 1962 年，美國國家科學會議關於原子輻射效應的報告。

但是由於天然放射性物質在地球上分佈，並不均勻，因此準確的數字隨各地而異，也就是說，每一個地方有每一個地方每年平均所受天然放射性多少的數字。另外由於宇宙射綫穿入地球表面的大氣層時，其強度漸失，因此地勢高者自然較地勢低者受到更強的宇宙射綫。在美國國內，背景輻射的強度大約在每年 90 毫侖日到 200 毫侖日之間。然而在世界上其他的地方，就記錄所知，曾有高達 12000 毫侖日者。

遞增的輻射照射

當我們論及原子動力廠所引起的輻射照射時，我們同時論及了

與自然界所發生的，完全相同的輻射——即由照射引起的輻射增量。照射增量並非僅來自原子動力廠。舉例來說：醫學上和牙醫上的X射綫同樣是輻射曝露的來源。（※註：此處所定義遞增輻射照射即是接受自原子動力廠運轉或其他原子能和平用途的結果。並不包括為醫學目的的輻射曝露在內），同樣的，電視機和夜光錶的針面亦是輻射曝露的另一來源。

關於生物曝露於原子輻射之下所引起的種種反應的研究，已經持續了好幾年了。人體組織曝露在較大的輻射劑量之下所引起的反應，我們已有相當明確的瞭解；此乃因為在較大的輻射劑量之下，其反應明顯而清晰可見。然而對於低輻射劑量的長期曝露所引起的反應，其效果極為不顯著。但是根據一般知識和從高輻射劑量所獲得的數據來推論，科學家們深深相信；長期曝露於低輻射劑量之下，對人體的反應還是存在的，只是，沒有那麼顯著而已。搜集足夠明確的資料來證明此一假設是非常困難的。問題出在：由於低輻射劑量曝露所引起的人體組織的變化與人類四周環境的其他因素對人體組織的影響相類似而無法區分。

雖然，我們對於低輻射劑量曝露的效應的認識遠較高輻射劑量曝露的效應的認識為缺乏，但是這並不表示，對這一個我們生存環境內，長存的一項因素，不需有所瞭解。西元1960年；在對輻射效應所已知的資料的全盤探討後，美國國家研究委員會詳論此點，如下：

雖然目前我們對輻射的知識，尚存有許多的歧見，然而很清楚的：輻射對我們所具有的危險遠甚於我們周遭其他任何一種最深知的危險。當醫學上、工業上、廣泛的使用任何最新的，最有效的藥劑、化學劑時，大氣中所含可能引起癌症的化學劑，隨之大量增加，因此全人類對生存環境的嚴密警戒，異常的迫切。而現在，僅有關於輻射安全這一問題，經決定、不惜任何代價，必將使其危害減小到最低限度。

在以上這一段話裡頭，我們可知：區分輻射傷害和周遭其他因素傷害的特色，異常簡單和明顯，因為輻射可以用儀器很靈敏的偵測和量度出來。

關於我們四周環境內輻射的研究，調查。美國公共衛生局和美國

原子能委員會的監察站，一天廿四小時不停的工作着。這些監察站是由各州和地區公共事業所支持，他們日常的工作是不斷的檢驗取自全國各地的樣品，諸如：空氣、食物、和水。這個全國監視網，現已全部建立，用來偵測由於核武器試驗所帶來的放射性落塵。同時它將永



用來量度樣品中放射性的儀器。

遠準確，連續不斷的檢驗放射性物質的存在。不論其來源如何。對於人類周遭放射性物質的特性的研究，有助於我們對放射污染問題處理上新技術的發展。一個動員了所有技術高巧的人員，協同合作來對付問題的程序已經建立起來。所有這些努力，主要的爲了美國市民的防護而努力。知識的獲得，技術的發展，均有助於我們對周遭環境內輻射的控制。

輻射防護標準

危險和利益的權衡，可能是人類歷史經驗中，最古老的問題了。在輻射這方面，危險與利益的權衡乃以輻射防護標準爲準則。

在往後，經過幾年獨立科學委員會的積極埋首研究，訂定出一套人造輻射的安全應用法則。舉例來說：國際放射防護委員會，作爲世

界衛生組織的諮詢機構，而肩負安全使用輻射之大任。在美國，則有國家輻射防護委員會和國家輻射度量委員會的設立，它們的總部設在國家標準局大廈之內，但是這並非其附屬機構，而是一個獨立的機構。

人類在原子動力廠內，所能接受的輻射標準，由原子能委員會掌管負責，在聯邦法律之下，它擔負着部份的法定責任。而原子能委員會在訂定這些標準時，它們接受聯邦輻射委員會，職務上的指導。原子能委員會提出的這些標準和其他的建議得經總統的批准而後實施。其委員會的組成份子包括有國防部、商業部、勞工部、農業部、衛生部、教育部、公共福利部的秘書以及原子能委員會的主席。總括言之：原子能委員會，享有國家輻射防護委員會和國家輻射度量委員會以及一些原子能委員會自己建立的諮詢機構，州政府設立的諮詢委員會等組織提供的資料和幫助之益處。

簡而言之：原子能委員會在建立這些輻射防護標準的過程中，再三保證：科學上可獲得的最好的勸告，事實上全都收集詳盡而考慮完密了。

聯邦輻射委員會規定一般原子能公共設施的人員，所受的全身輻射曝露，每年不得超過 500 毫侖。原子能委員會的輻射防護標準即根據此而訂定的。這些防護標準內容包括有：空氣中，水中等所含的特定放射性物質的最高許可濃度的各種圖表。

原子能委員會的基本輻射防護標準，經列入聯邦法院的法典內，且正式發表過，具有法律效力。



供核物理量度用的裝置



反應器核心內部分燃料元件的組件



正欲運入圍阻系統的反應器容器

在更深入研討之前，我們應該記及；估計在商業性原子動力廠鄰近的村莊居民所受的輻射劑量的多寡，必須使其劑量保持在聯邦輻射委員會所規定的極限的百分比以下。我們說“估計所受”；乃因為不論輻射偵測儀器靈敏度如何之高，我們發現，一般而言；輻射的強度與天然的背景輻射強度無法區分，因此這些工廠的工作人員欲偵測鄰近居民所受輻射的多寡，唯一可能的方法即是根據工廠內所流放出來的放射性物質和這些放射性物質在四周的散佈情形，來計算其鄰近居民所受輻射的多寡。

本書所討論的中心點

本書的中心要點在原子動力廠運轉的安全問題。網羅在輻射防護標準之系統之內，但必須記住以下幾個特別的情形：

1. 中央站原子動力發展的不斷進行，已是目前國家和工業政策的重大課題。
2. 輻射防護規則已經被完全建立起來，具有掌管此種能力的充分權威。
3. 我們的目的是提出有關設計上和實用上安全問題的實際資料，同時摘要記下工廠之安全記錄。

原子動力廠的安全公式如下：

1. 在設計原子動力廠時，即估計可能發生的意外的型式和其程

