

# 輻射與環境

探究宇宙奧秘 認識輻射本質



# 輻射與環境



一、揭開輻射的神祕面紗..... 2

二、生活環境中的輻射..... 6

三、環境輻射安全防護與管制 12

四、環境輻射偵測與監測..... 16

五、放射性廢料與環境..... 20

六、輻射應用技術與環境保護 24

七、結語..... 26

八、附錄..... 27

## 一、揭開輻射的神祕面紗

在大自然中，輻射如同空氣和水一樣，存在於我們生活環境裡。由於輻射看不見、聽不到、嗅不出、摸不著，因此給人一種神祕感，再加上原子彈的致命陰影與社會上輻射新聞頻傳，社會大眾極需對輻射的本質加以瞭解。其實輻射是自然界賦予人類的一項珍貴資源，例如陽光是地球之所以能蘊育萬物的要素之一，而陽光正是輻射的一種形式。水能載舟亦能覆舟，過量的輻射的確有害人體，但若求其瞭解與掌握，進而妥善管理與運用，對我們生活品質的提升與身體健康的維護將會極有助益。輻射是大自然中的一環，是人類生活環境的一部份，在享用核能科技所帶來效益的同時，對輻射與環境的特性能有基本認知，將可避免不必要的憂慮與輻射傷害。



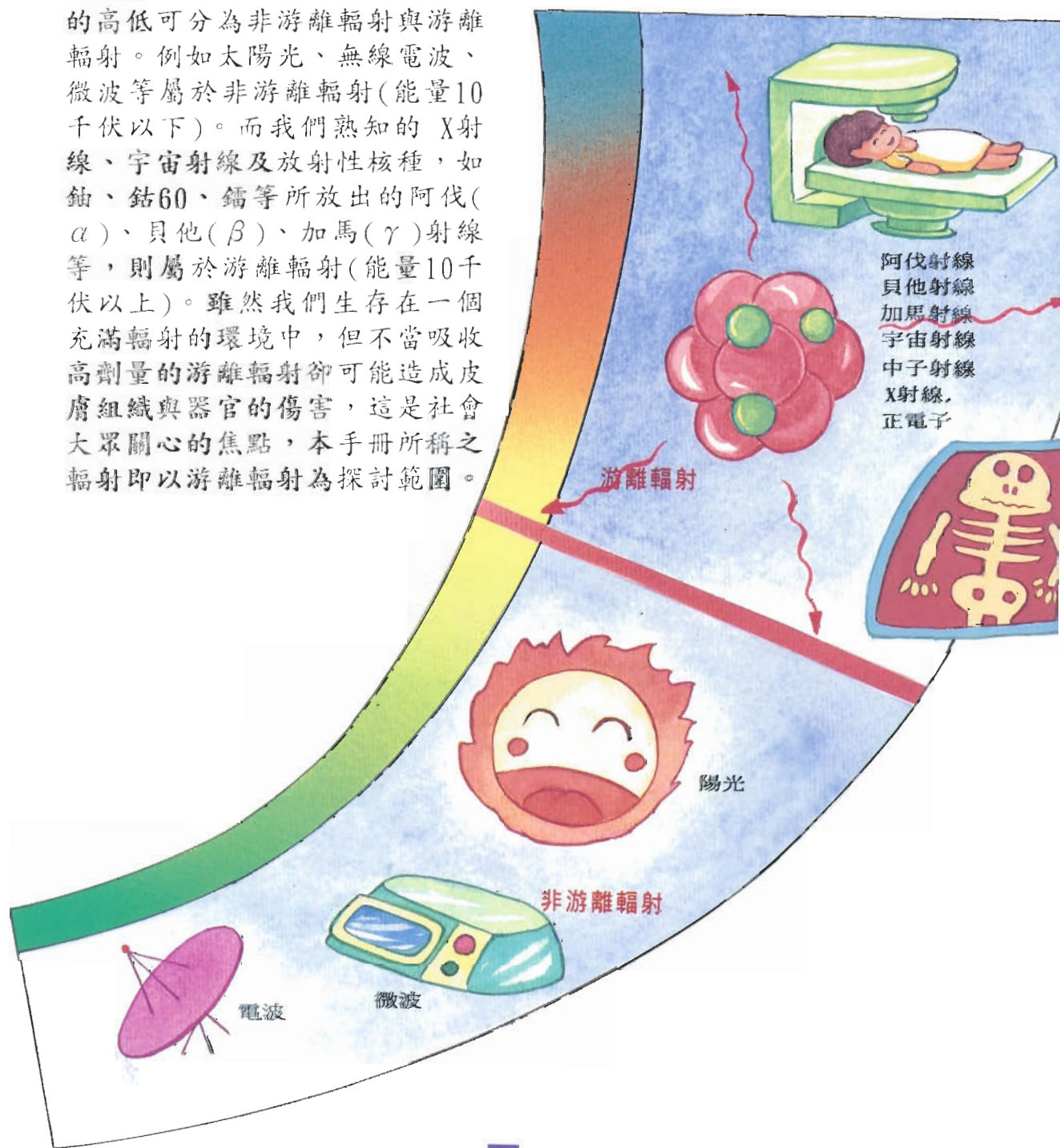


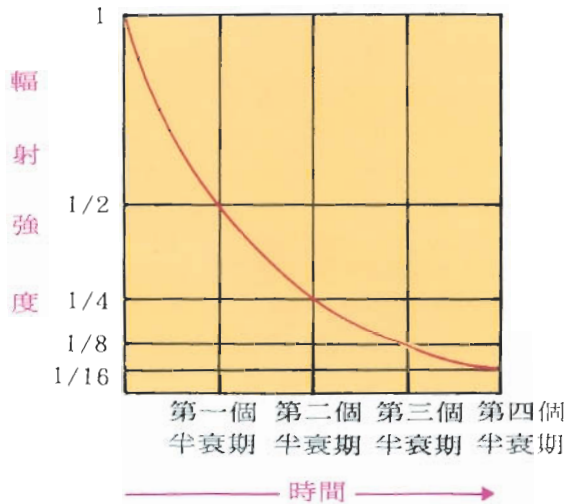


輻射如同空氣與水存在於自然環境中

## (一)非游離輻射與游離輻射

輻射是一種能量，以波動或高速粒子的型態傳送，依其能量的高低可分為非游離輻射與游離輻射。例如太陽光、無線電波、微波等屬於非游離輻射(能量10千伏以下)。而我們熟知的 X射線、宇宙射線及放射性核種，如鈾、鈷60、鐳等所放出的阿伐( $\alpha$ )、貝他( $\beta$ )、加馬( $\gamma$ )射線等，則屬於游離輻射(能量10千伏以上)。雖然我們生存在一個充滿輻射的環境中，但不當吸收高劑量的游離輻射卻可能造成皮膚組織與器官的傷害，這是社會大眾關心的焦點，本手冊所稱之輻射即以游離輻射為探討範圍。





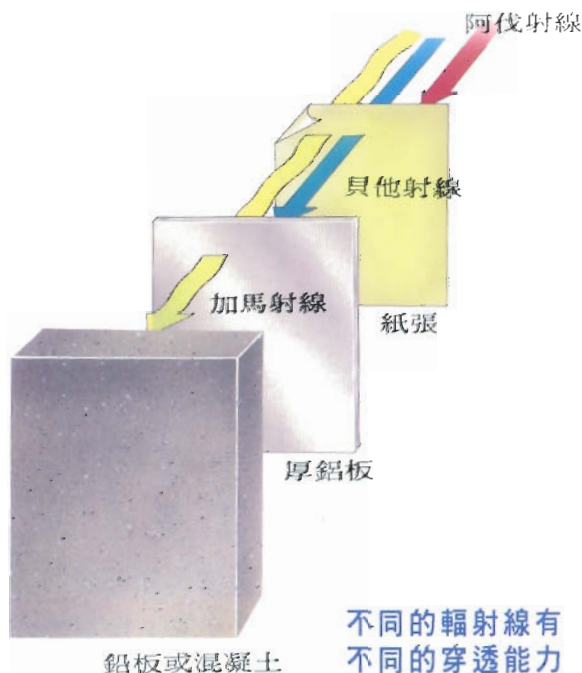
放射性核種的輻射強度會隨時間之增加而衰減

## (三) 輻射的穿透能力

不同的輻射有不同的穿透能力，其中阿伐( $\alpha$ )射線的穿透力最弱，僅需一張紙即可阻擋。加馬( $\gamma$ )或 X 射線穿透力最強，須有適當厚度的混凝土或鉛板方能阻擋。貝他( $\beta$ )射線穿透力則介於前述二者之間，能穿過紙張而不能穿過厚鉛板。所以當我們使用輻射(如 X 光檢驗及鈷 60 癌症治療等)時，須設計與採用不同的材料來屏蔽或隔離不必要的輻射，如此才能確保人員與環境之安全。

## (二) 放射性核種之半衰期

放射性核種會從原子核自動放出游離輻射，就是俗稱的放射線，而蛻變成較穩定之核種。在此蛻變過程中，輻射強度每減少一半所需的時間稱為半衰期。半衰期的長短各核種不同，以國內大眾所關心的輻射鋼筋為例，其中所含鈷 60 的半衰期為 5.26 年。以醫院作核子醫學診斷常用之銨 99m 為例，其半衰期則僅有 6 小時。放射性核種的輻射強度具有隨時間之增加而衰減之特性。

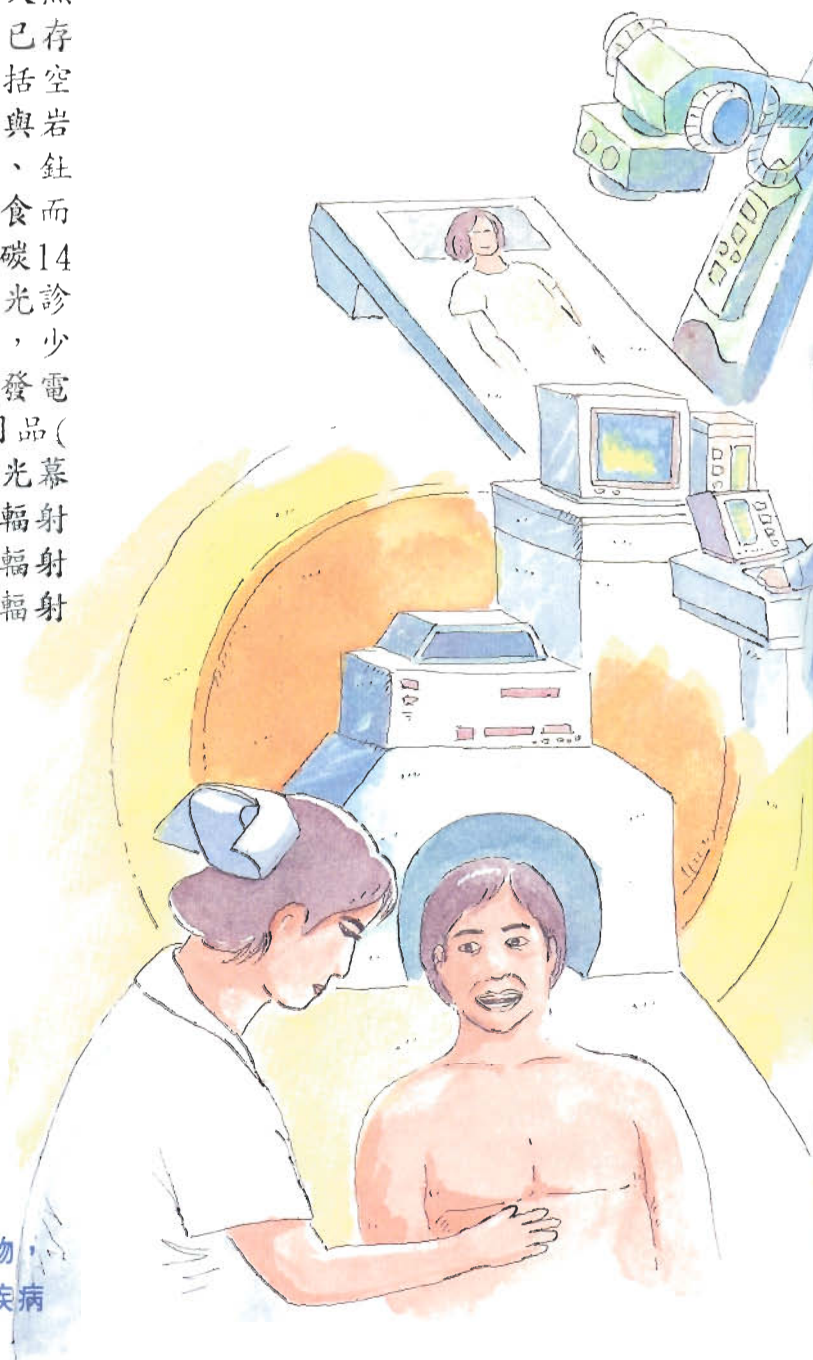


不同的輻射線有不同的穿透能力

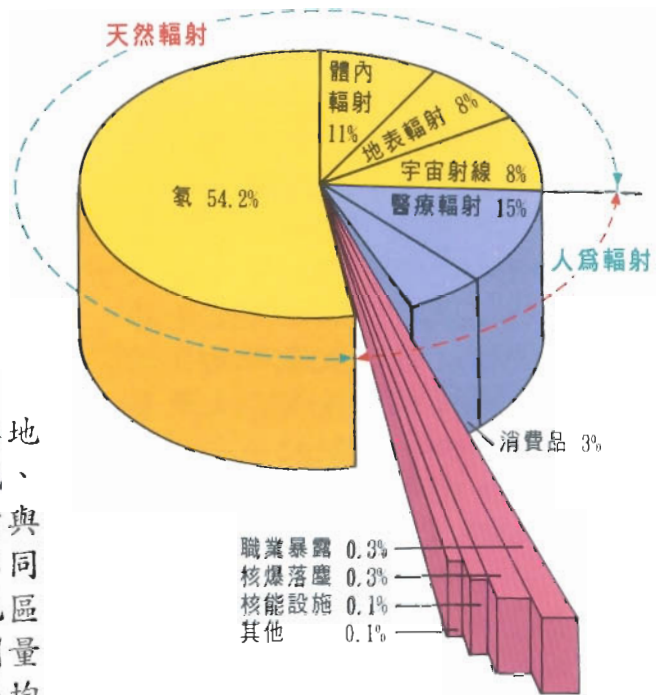


## 二、生活環境中的輻射

人體所受到的游離輻射可分為天然輻射及人為輻射兩大類。天然輻射顧名思義就是自然界中早已存在的輻射，這些輻射的來源包括空氣中的氡氣、海水及地表土壤與岩石所含的微量放射性元素(鈾、鈾等)、宇宙射線及人體內由攝食而含有的放射性核種(如鉀40、碳14等)。人為輻射來源則以接受X光診斷及放射治療癌症等醫用為主，少量為來自核武試爆落塵、核能發電及日常生活中會產生輻射的用品(如火警煙霧偵檢器、電視機螢光幕等)。台灣地區民眾所接受的輻射中，天然輻射佔81.2%，人為輻射佔18.8%，核能設施所造成的輻射僅佔極微小的比例(0.1%)。



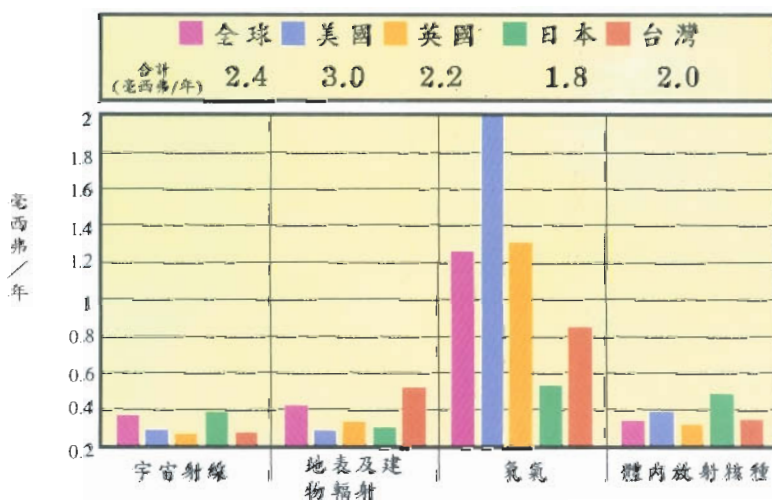
結合核子醫學診斷儀器與核醫藥物，能清楚地將病灶顯示出來，以利疾病之早期診斷，早期治療



### (一)天然輻射

人類接受天然輻射劑量各地不同，可能因緯度、地形高低、土壤與岩石中放射性核種含量與性質、居住與飲食習慣等之不同而有差異。平均而言，台灣地區每人每年所受到的天然輻射劑量約為2毫西弗，較全球的年平均值稍低。世界上有許多地區其天然輻射甚強，如巴西喀拉哈利年劑量約10毫西弗，在印度喀拉拉地區年劑量更高達20毫西弗。

台灣地區民眾  
平均接受各種輻射來源百分比



天然輻射劑量評估值的比較

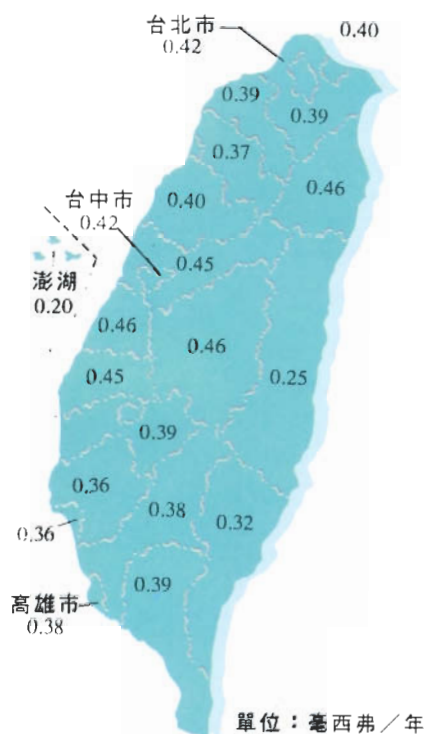


## 國內外航線宇宙射線劑量

航線 (往返)	接受劑量 (微西弗)
<b>國際航線</b>	
台北=紐約	156
台北=阿姆斯特丹	99
台北=洛杉磯	93
台北=約翰尼斯堡	72
台北=雪梨	48
台北=新加坡	15
<b>國內航線</b>	
台北=金門	0.67
台北=高雄	0.48
台北=台南	0.23
台北=蘭嶼	0.13
高雄=馬公	0.07

1. **宇宙射線**：來自外太空穿透力較強之高能粒子射入地球謂之一次宇宙射線，一次宇宙射線與地球上空大氣中之原子碰撞產生二次粒子及電磁波，稱二次宇宙射線。宇宙射線，受到大氣層的阻擋而減弱，在高海拔地區因大氣稀薄而輻射較強，一般地區每上升1500公尺，輻射劑量約增加一倍。台灣阿里山的宇宙射線強度約為海平面的2.5倍。宇宙射線強度也會隨著緯度變化，在高緯度地區的宇宙射線通常較低緯度地區強。此外，搭乘飛機亦無可避免的會因宇宙射線而增加輻射劑量。

2. **地表輻射**：地表的土壤及岩石含有天然放射性核種鈾、鈾、鉀40及鈾、鈾衰變核種系列等，某些地區因地質特性使天然放射性核種含量較多，而造成較高的輻射劑量。例如台灣北投地區的地熱谷，溫泉水中含較多的放射性核種，所以該地區的地表輻射劑量是台灣一般地區的五到六倍。此外，台灣地區的頁岩、板岩、黑色片岩與千枚岩等，比其他類別岩石有較高的輻射。



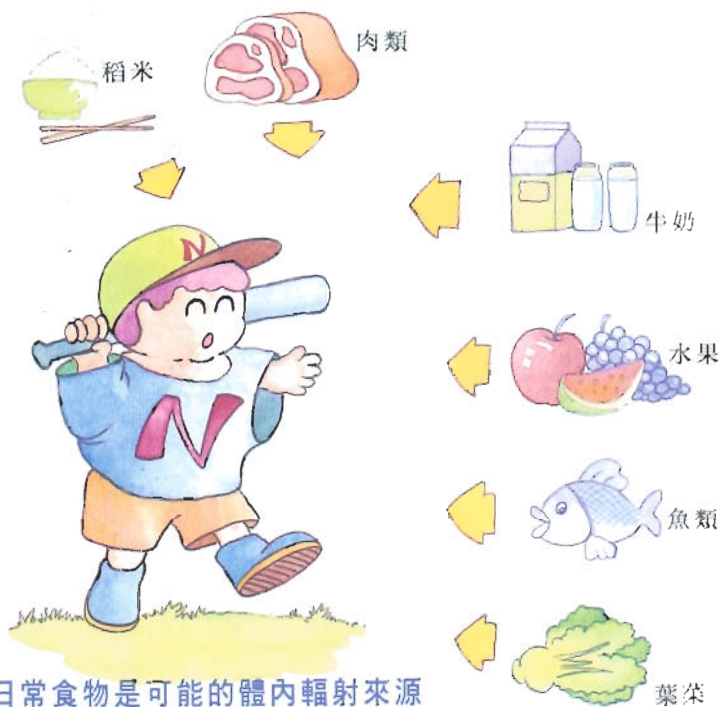
## 台灣地區地表輻射年劑量

**3. 氡氣:**氡氣是一種天然的放射性氣體，主要為鈾系及釷系元素衰變過程中的產物，由於土壤及岩石中都含有少量的鈾及釷，而建材亦多為土壤或岩石之製品，因此我們居住環境的週圍，亦不免有氡氣的存在。氡氣是天然輻射的最大來源，台灣地處亞熱帶，住宅、辦公室通風良好，無重要鈾礦床，故不易發生高濃度氡氣聚積之情況。台灣民眾因氡氣所受之輻射劑量約0.83毫西弗/年。

**4. 體內輻射:**人體的體重約有0.2%是鉀，鉀中的0.012%是具有放射性的鉀40。此外人們每天的飲食中也會攝入含有放射性的核種，這些都會造成我們受到體內輻射。由於這些放射性核種也會排出體外或衰變減弱，長時間後，進入人體與排出人體的放射性核種將達成平衡，使體內輻射維持一定。一般而言，台灣地區民眾因食物攝入放射性物質而增加之輻射劑量約為0.33毫西弗/年。

台灣地區建材之放射性含量

建材種類	放射性核種活性( $3.7 \times 10^{-2}$ Bq/g)		
	鉀-40	鈾-238系列	釷-232系列
紅磚	14.89	0.80	1.21
鑽磚	18.16	1.12	1.62
磁磚	29.76	1.93	2.47
空心磚	13.51	0.35	0.78
磁磚	10.78	0.48	0.85
石棉瓦片	12.11	1.45	1.51
白砂	0.71	0.11	0.10
黑砂	3.90	0.11	0.29
黏土	1.97	0.17	0.21
混凝土	5.58	1.06	0.46
水泥(A)	10.00	1.73	0.78
水泥(B)	6.01	1.87	0.65



## (二)人爲輻射

1. **醫療輻射**:人爲輻射來源中，以醫療保健輻射應用為主。我們所熟知的 X光攝影檢查、電腦斷層掃描、核醫造影診斷及癌症放射治療等都是最佳例證。顯示核能科技在醫學保健方面的廣泛應用與貢獻，對於維護大眾生命健康功不可沒。



台大醫院X-射線電腦斷層掃描室

2. **核子試爆落塵**:自一九四五年七月美國首次進行核子試爆以來，核爆所產生的放射性落塵隨著氣流散布於大氣中，而遍及世界各地，經長時間沉降聚積於地球表面，使自然環境中增加了一些額外的人爲輻射來源。

3. **核能發電**:核能電廠的輻射來源，主要是核電廠運轉過程所排放帶有微量放射性的廢氣和廢水，及電廠內放射性廢料貯存場、核燃料和放射性廢料運送的微量輻射曝露。我國對核能電廠廠界外輻射曝露限值有嚴格的規定，是一般民眾年劑量的十分之一(每年0.5毫西弗)。此劑量在國際放射防護委員會建議之安全範圍內。

4. **輻射職業曝露**:核能民生應用業界的從業人員，如核能電廠員工、X光機操作人員、放射性物質研究與處理人員等，比一般人接受到輻射的機會與劑量均較多。政府規定職業人員年劑量限值為每年50毫西弗，以保障人員工作安全。此劑量亦在國際放射防護委員會建議之安全範圍內。



核一廠控制室



輻射劑量單位：毫西弗(mSv)



職業人員  
年劑量  
法規限值



巴西喀拉哈利  
天然輻射年劑量

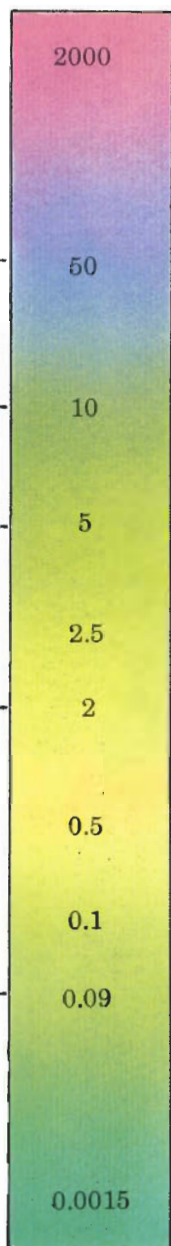
一般民眾  
年劑量  
法規限值



臺灣地區  
每人平均接受天然輻射年劑量



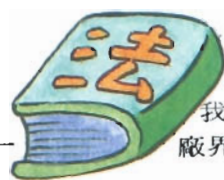
搭乘飛機由台灣飛行  
至美國西岸接受劑量



鈷60 癌病局部  
治療照射一次之劑量



胃部X光透視  
照射一次之劑量



我國核電廠  
廠界外年劑量  
法規限值



胸腔X光透視  
照射一次之劑量

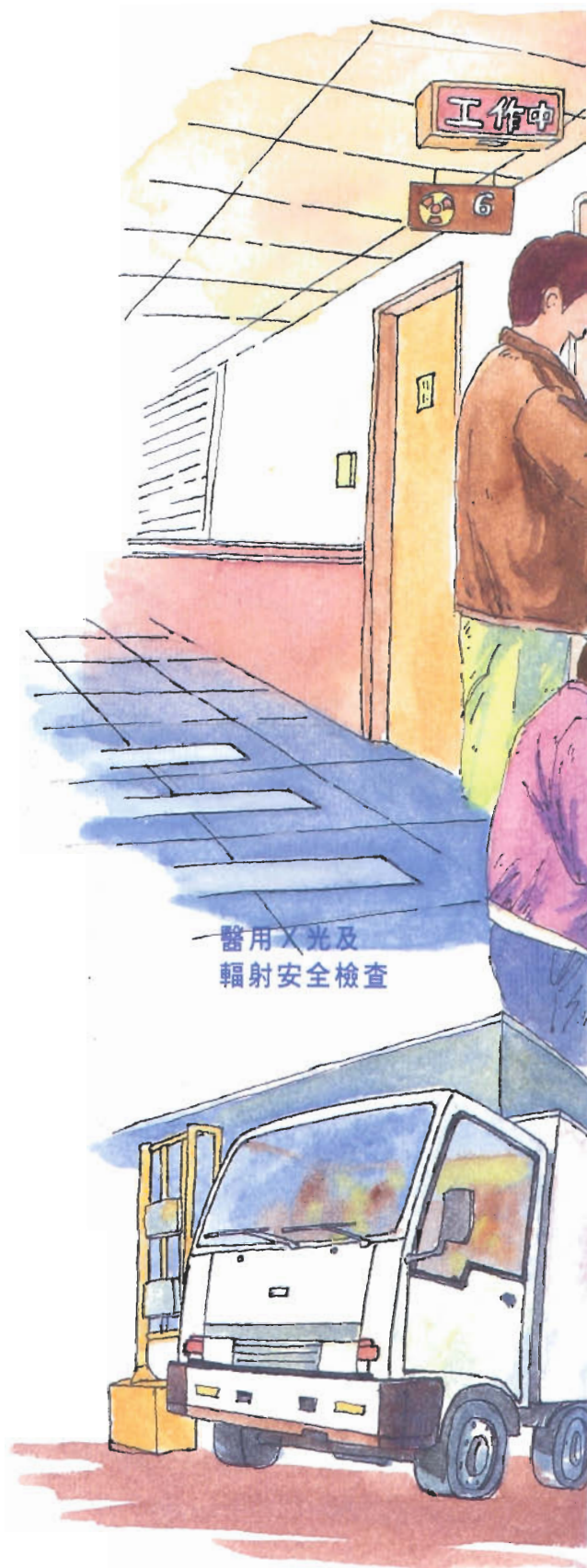


核能電廠廠界外實測平均年劑量

輻射劑量比較圖

### 三、環境輻射安全防護與管制

無可諱言，不當與過量的輻射會造成人體傷害，就如同飲食與吃藥過量會有副作用一樣，因此推廣核能發電與原子能科技民生應用的前提，就是落實環境輻射的安全防護與管制工作。我國核能民生應用的主管機關為行政院原子能委員會。該會及其所屬單位致力於我國輻射安全之管制與技術研發，並督促與協助核能電廠、醫院、工業、農業及研究單位等各業界，在造福全民之同時亦落實輻射安全防護工作。舉凡核能設施之設置及操作，放射性物質之使用、運送，及放射性廢料之處理、貯存與處置等，均受到嚴格之監督與管制，期使社會大眾能充分享受核能科技帶來之效益與便利，而避免不當之傷害。

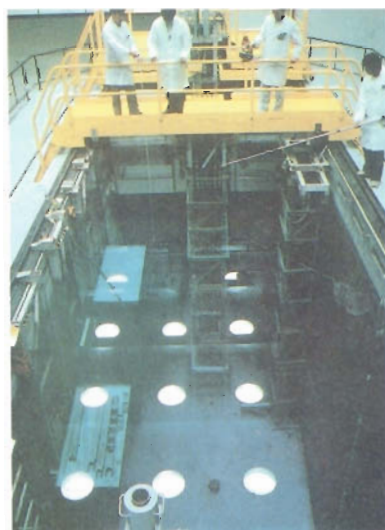


醫用X光及  
輻射安全檢查





核研所迴旋加速器（醫用同位素生產）

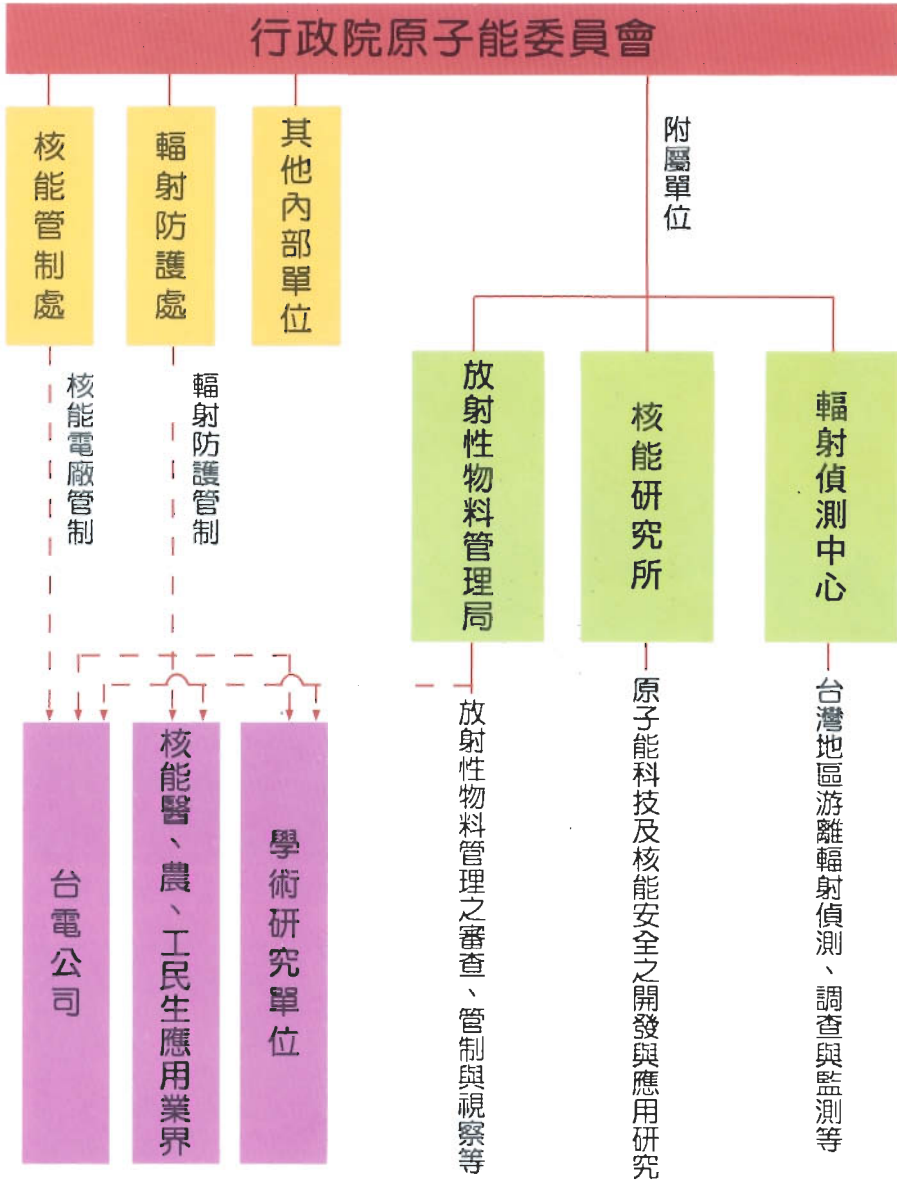


清華大學研究用核反應器



核研所核醫藥物研究室





我國核能安全與原子能民生應用研究、調查、管理體系

## (一)核能安全管制

核能安全為核能管制工作的首要目標，行政院原子能委員會為維護重要核能設施附近環境及民眾的安全，訂定相關法規及行政命令，要求核能設施廠界的輻射劑量不得超過一定的限值(對廠外民眾年劑量限值為0.5毫西弗/年)。廢氣及廢水排放前均須經處理與偵測，確定所含放射性核種濃度低於法規限值，始准予排放，確保環境輻射安全及民眾之健康，以達成核能設施之安全運轉，造福全民而不會產生額外的風險。

## (二)環境影響評估

我國「環境影響評估法」中明訂：核能及其他能源之開發及放射性廢料儲存或處理場所之興建，對環境有不良影響之虞者，應實施環境影響評估。由環境保護署主管相關業務，藉公開說明會、現場勘察及聽證會等方式，擴大民眾參與及社會溝通，以確保核能設施開發效益兼顧自然生態與環境品質。



核能設施均有嚴密之核能安全管制（核三廠遠景）

## 四、環境輻射偵測與監測

由於天然與人為放射性核種可能經不同途徑散布在人類生活環境中，藉由空氣、飲水、食物等與人體接觸或進入人體，因此環境樣品的分析成為環境監測的重要工作。台灣地區主要核能設施均依規定定期進行環境樣品，如空浮微粒、環境水樣、牛奶、土壤、農作物、野草等之取樣工作，並分別分析其中所含之核種與輻射強度。此外並布設熱發光劑量計以量測環境中的伽馬輻射。所有的資料經統計分析後，按規定提報主管機關，並建檔保存，供長期追蹤、列管，以確保環境輻射安全與環境品質。



環境輻射樣品之取樣分析





### 劑量筆

個人佩帶進入輻射作業場所使用，可立即得知接受輻射劑量多寡。

## (一)常用的輻射偵測儀器

由於輻射看不見、摸不著，須藉助特殊的儀器來偵測。常用的輻射偵測儀器包括熱發光劑量計、劑量佩章、劑量筆、手提偵檢器、全身計測器、環境計測器、手足偵檢器等。不同型式的儀器各有其適用範圍與場所，其目的皆在偵測與評估工作環境中的輻射，以確保人員安全與健康。

此外，為確保輻射偵測之準確與可靠，核能研究所在中央標準局之委託下，已建立國家游離輻射標準實驗室，並積極參與及推動國際計測比對與認證。



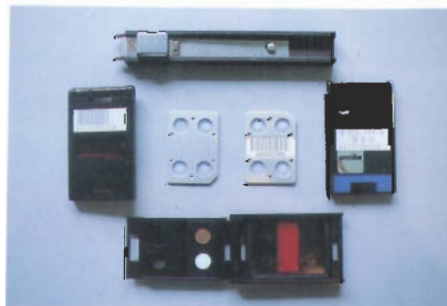
### 手提偵檢器

用於偵測輻射工作場所現場輻射劑量之高低。



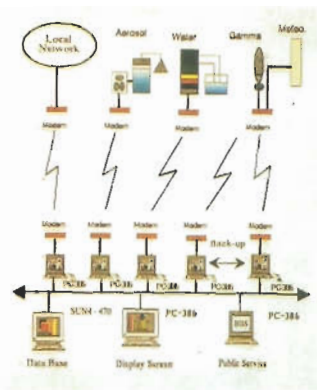
### 門型偵檢器

設置於輻射管制區出入口，用於偵測離開工作場所之人員是否遭到輻射污染。



### 劑量配章

用於累計場所環境輻射劑量，或由輻射工作人員隨身佩帶，以便得知固定期間內所累積之輻射劑量。



多功能環境輻射監測網路

## (二) 台灣地區環境輻射監測網路

原能會所屬的台灣輻射偵測工作站已建立台灣地區的環境輻射監測網路，利用輻射偵測儀器透過通訊網路來監測台灣地區環境天然輻射及人為輻射的變動情形。藉由自動化、透明化與全面化的輻射監測系統，隨時掌握台灣地區環境狀況和提出預警，以確保環境品質與民眾之輻射安全。



台灣地區環境輻射監測網路分布圖

## 核能設施環境直接輻射劑量率偵測月報

民國85年8月(單位：微西弗/時)

地區	地點	平均值	最高值	最低值	
核能一廠	石門 陽明山 石碇山 茂林社區 淡水	門山	0.052	0.069	0.043
		崩山	0.056	0.066	0.053
		林水	0.054	0.063	0.052
		淡陽	0.084	0.118	0.057
		金山	0.061	0.087	0.059
核能二廠	野柳 大鵬 萬里 基內 內湖	柳鵬	0.048	0.064	0.046
		鵬鵬	0.048	0.072	0.046
		年皇	0.058	0.076	0.056
		里隆	0.072	0.084	0.071
		湖	0.066	0.081	0.064
核能三廠	恆春 龍泉 大光 後壁湖	春光	0.068	0.083	0.066
		泉泉	0.049	0.086	0.044
		丁丁	0.056	0.094	0.053
		湖湖	0.043	0.096	0.041
		湖湖	0.058	0.083	0.054
核研所	龍潭	0.063	0.070	0.059	

提報值：1微西弗/時

### (三) 食品與飲水之偵測

民以食為天，食物是我們可能攝入額外輻射劑量的管道。台灣輻射偵測工作站針對台灣地區省產主要糧食、進口食品、飲用水（含礦泉水）等，所含的放射性核種進行長期例行偵測調查。以民國八十三年七月至八十四年六月的分析結果為例，國人因攝食含放射性核種銻<sup>90</sup>及銇<sup>137</sup>的食物（主要來自核爆落塵），所造成之平均體內劑量為0.17微西弗/年，遠低於每年5毫西弗（5000微西弗）的劑量法規限值。顯示台灣地區日常食品並無遭受任何不當放射性核種污染之虞。



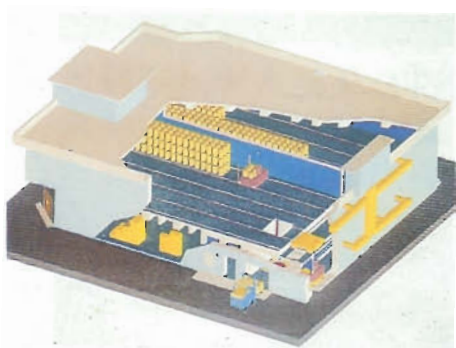
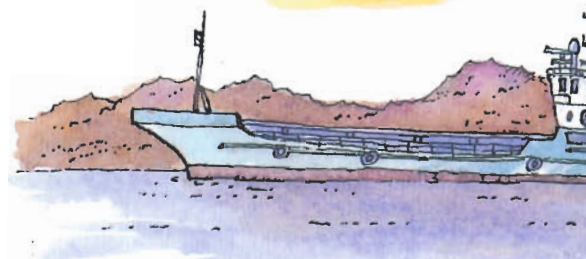
地下水取樣分析



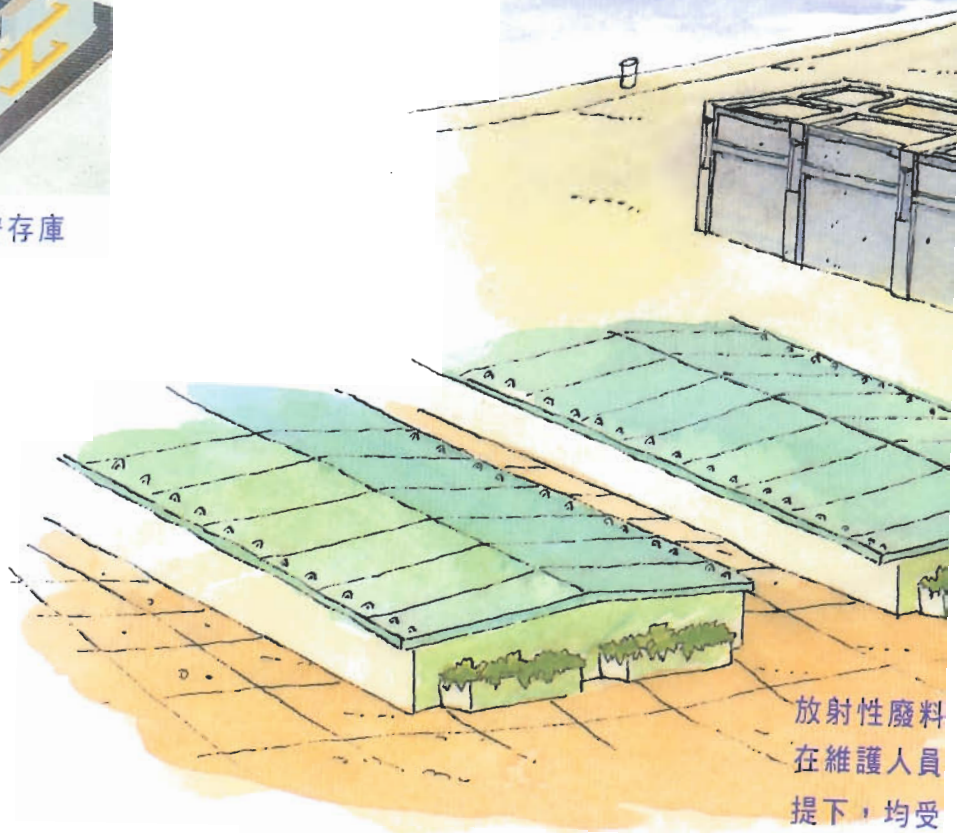
牛奶樣品之採樣



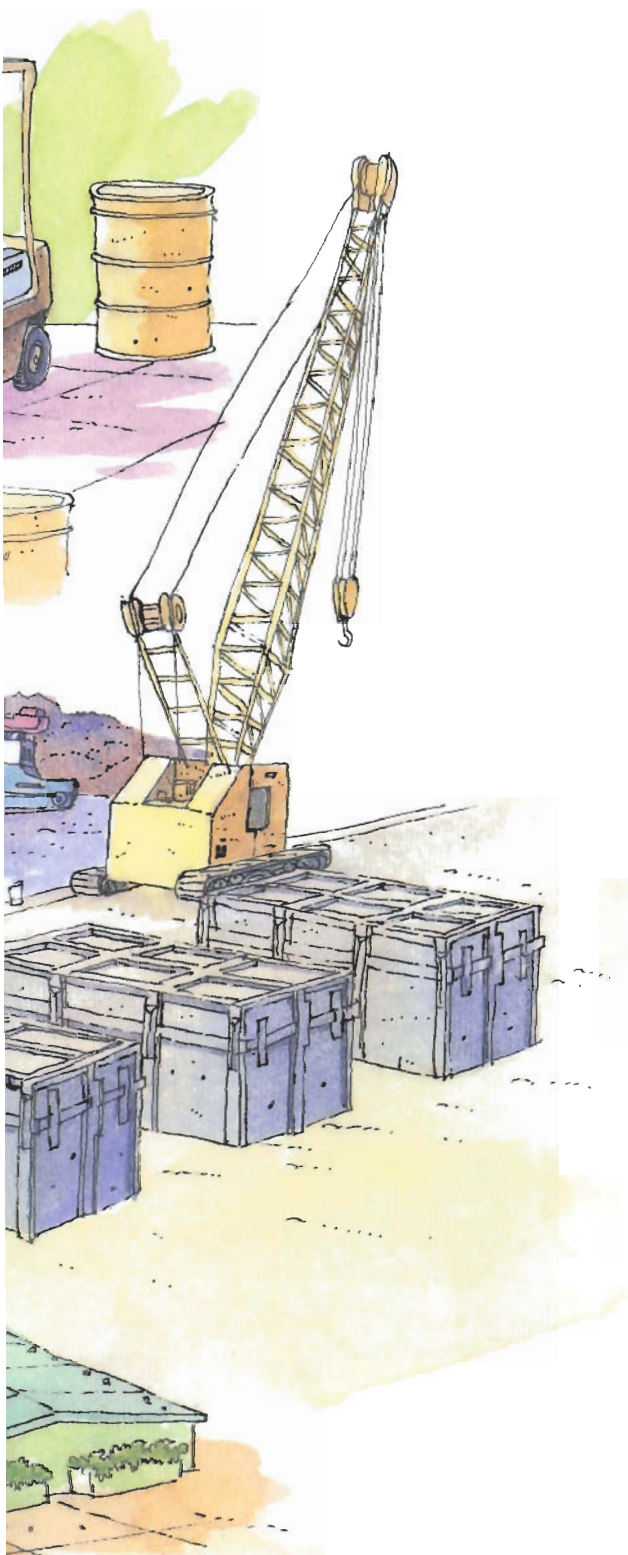
## 五、放射性廢料與環境



放射性廢料全自動無人貯存庫



放射性廢料  
在維護人員  
提下，均受



放射性廢料係指使用放射性物質之場所產生受污染的放射性廢棄物。事實上台灣地區除了核能電廠外，許多醫院、工廠、研究機構等亦使用放射性物質來造福民生，因此亦有放射性廢料的產生。我國法規依據產生廢料的放射性強弱，區分為低放射性廢料與高放射性廢料兩類。高放射性廢料係指核能發電用過核燃料及其再處理所產生的放射性廢棄物，除此之外的放射性廢料均屬低放射性廢料。高放射性廢料含較高的放射性強度與熱能，部分放射性核種衰變的時間亦較長；低放射性廢料之放射性較低，核種衰變的時間亦較短。放射性廢料是我們享受核能民生應用所必然須面對的問題，正如同日常生活中產生的廢棄物一樣，只要謹慎小心的按法規處理與處置，就不會對環境與人員安全造成不良的影響。

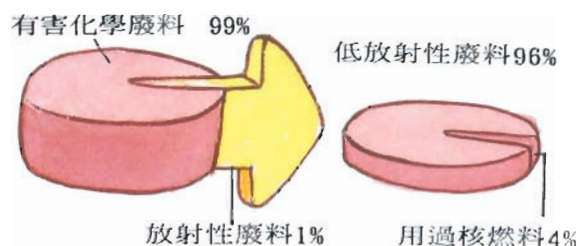
之處理與貯存作業，  
安全與環境品質之前  
到嚴密管制



## (一)放射性廢料特性

放射性廢料在管理方面有下列特性：

1. 放射性廢料的數量(約佔1%)遠比有害化學廢料(約佔99%)少，其中高放射性的用過核燃料佔放射性廢料中的比例(約佔4%)，又遠小於低放射性廢料。
2. 放射性廢料因具有放射性而易於被監測管理。
3. 放射性廢料對環境之影響會隨時間而自然衰減。



放射性廢料的數量遠比有害化學廢料少

## (二)低放射性廢料處理與貯存

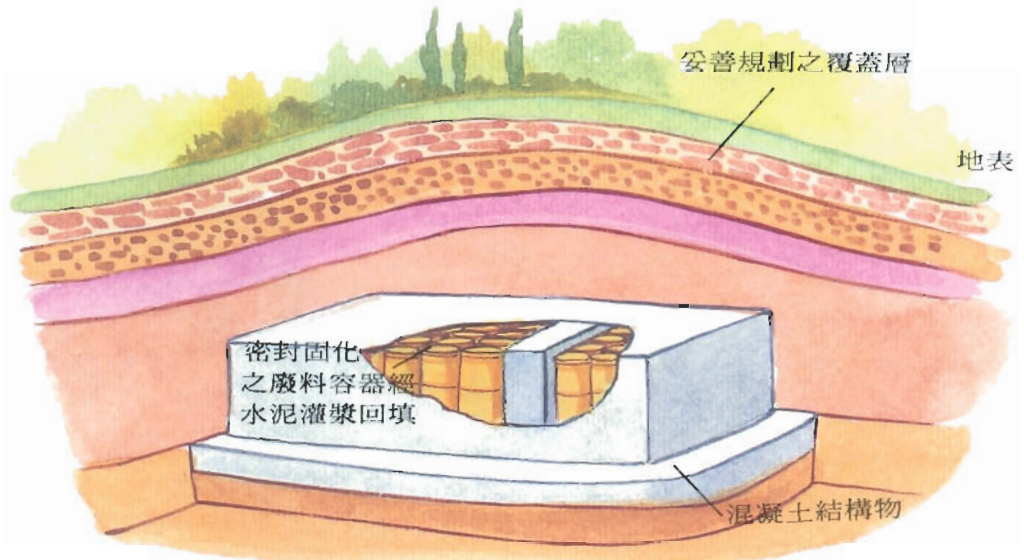
低放射性廢料處理原則，是依廢料的物理型態與化學特性分類處理。氣體廢料通常以吸附、滯留及過濾等方式處理，合於安全規定後排放。液體及固體廢料則經處理與安定化後，固化裝桶，以增加貯存的安全性。

為配合國內各單位需求與減少放射性廢料產生量，原能會核能研究所正不斷研發新的放射性廢料處理與貯存技術；原能會放射性物料管理局亦強化放射性廢料之管制工作。最終目的在減少放射性廢料之產生量與體積，並妥善管理放射性廢料之處理、運輸、貯存、處置工作等，避免放射性廢料影響台灣地區環境品質。

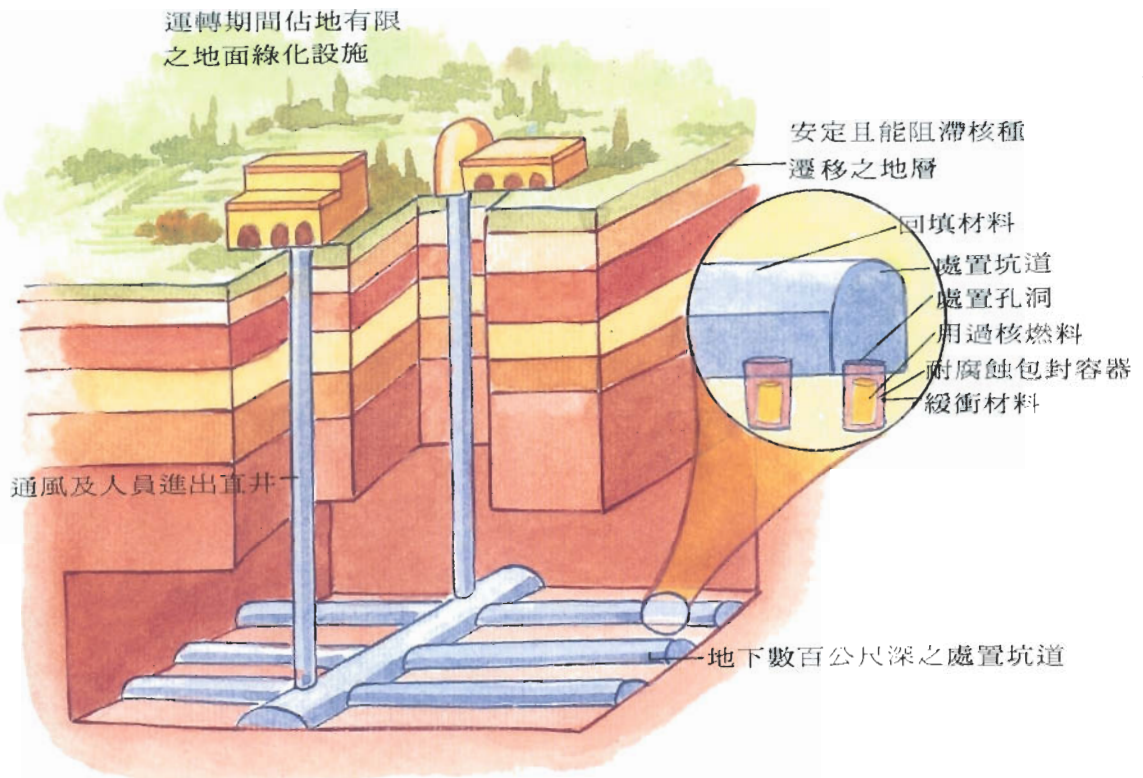
## (三)放射性廢料處置

處置的意思是將放射性廢料妥善安置，確保長期與人類生活環境隔絕。目前世界各核能先進國家均認同以人為的工程設施，配合適當的地質與環境條件來闢建最終處置場所以置放放射性廢料，是最安全而有效的方法。依低放射性廢料與高放射性廢料輻射強度的不同，設計上就有淺地層與深地層處置的差異。但其理念均是以"多重障壁"來阻滯放射性核種的遷移，確保長期置放的過程中，不致對環境品質與人類生活安全造成不良之影響。





世界低放射性廢料多重障壁處置示意圖



世界高放射性廢料多重障壁處置示意圖

## 六、輻射應用技術與環境保護

核能科技應用技術，對環境保護直接、間接的貢獻可說不少。主要應用技術可分為兩大類：

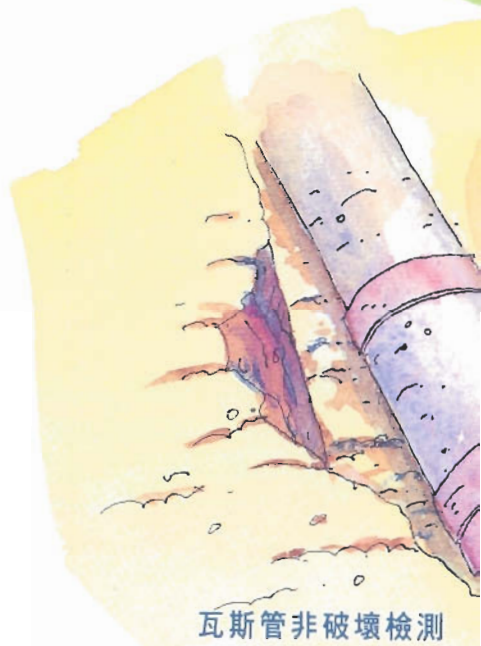
### (一)環境品質的提升

伴隨社會的繁榮與進步，各種環境污染問題成為現代人類心中的陰影。原子能科技的環保應用，為我們提供不少提升環境品質的處理方法。例如：

1. 利用電子束照射來處理火力發電廠及工廠產生的有害煙塵，經脫硫、脫氮後淨化排放的廢氣，以減低酸雨的產生。
2. 利用輻射照射處理都市之廢水及污泥，可消滅其中的病原體、分解毒性物質、除臭等。
3. 照射分解氟氯碳化物，可有助於減低大氣臭氧層所受之破壞。
4. 輻射照射處理農業廢棄物堆肥發酵，提供農作物栽培及養牛之添加飼料等。
5. 輻射照射可應用於自來水滅菌處理等。



管線洩漏偵測

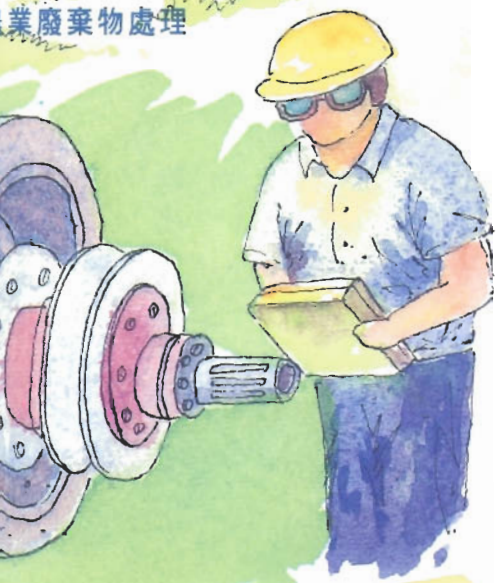


瓦斯管非破壞檢測





業廢棄物處理



## (二) 環境變化之監測

輻射與放射性同位素示蹤劑技術可應用於污染源之追蹤與管理，以及水資源調查與規劃等。

例如：

1. 大氣污染監測，空氣能見度及酸雨調查。
2. 海岸漂砂之觀測。
3. 瓦斯及石油管線或桶槽之洩漏偵測。
4. 施肥與低濃度污染物在環境中散布之調查。
5. 地下水流動及水庫漏水偵測等。

隨著人類環保意識的高漲，核能科技在環境品質提升工作上所扮演的角色，亦正日益受到重視與肯定。



## 七、結語

輻射存在於天空、地表，以及您的身體。輻射是我們生活環境中的一部份，是自然界給予我們的一種資源。科學家們亦不斷的積極研究如何將輻射應用到增進人類的福祉，而此同時也注意到輻射安全處的維護與管制及放射性廢料安全處理的重要性，以避免因核能科技的應用造成人體健康與環境品質的不良影響。這些工作需要社會大眾共同關心來支持與鼓勵。促進輻射安全並提升環境品質，需要你我共同的參與，也是你我共同的責任。

探究宇宙奧秘，瞭解輻射本質，期盼由於我們共同的努力，能擴大原子能民生應用效益，使人類維護及提升生命與環境品質之美夢成真。

## 附錄：名詞說明

### \* 輻射(Radiation)

能量以波動或高速粒子的形態傳播稱為輻射。

### \* 游離輻射(Ionizing radiation)

任何可使電子脫離原子或分子而使其變成離子的輻射，例如阿伐、貝他、加馬、X射線、中子及宇宙射線等。

### \* 核種(Nuclide)

化學元素同位素之統稱，亦即原子的種類。

### \* 放射性(Radioactivity)

從不穩定同位素的原子核自發轉變放射出的游離輻射，此名詞亦為放射現象之描述。

### \* 半衰期(Half-life)亦稱半化期

某一放射性核種的半數原子蛻變成其他核種所需要的時間。

### \* 同位素(Isotope)

同一種元素的原子核中質子數相同，但中子數不同的原子，如鉀39、鉀40、鉀41，其原子核中質子數均為19，而中子數分別為20、21、22。

### \* 屏蔽(Shielding)

為達輻射安全防護目的，用來隔開人員(或設備)與輻射源的作法。一般採用的材料有混凝土、水及鉛等。

### \* 落塵(Fallout)

核爆之後落於地面含有放射性物質的空浮粒子。



## \* 輻射劑量(Radiation dose)

指被物質吸收之輻射能量。

## \* 西弗(Sievert; Sv)

為國際通用的輻射劑量單位，用以計算游離輻射對人體的影響程度。毫西弗為西弗的千分之一，微西弗為西弗的百萬分之一。

## \* 曝露(Exposure)

指來自體外或體內輻射的照射。

## \* 輻射防護(Radiation protection)

(1)以立法及管制措施來保護公眾、實驗室工作人員及工業界工作人員，使其在工作中減少接受輻射劑量，且不受輻射傷害。

(2)減少輻射曝露的措施，亦即減少曝露時間，或增加與輻射源的距離，以及使用屏蔽等。

## \* 用過核燃料(Used nuclear fuel)

或稱乏燃料(Spent nuclear fuel)在核反應器中使用到無法再有效支持分裂鏈反應的核反應器燃料，仍存有極高的放射性與殘存熱能。

## \* 貯存(Storage)

將放射性廢料置於一設施中，且預期未來將再取出。

## \* 最終處置(Final disposal)

將放射性廢料置於與人類環境隔離的地域內，且不再打算將之重行取出的作業措施。



## 輻射與環境

發行人：夏德鈺  
顧問：翁寶山、邱賜聰、林友明  
總編輯：丁幹  
編輯委員：周齊生 葉有財 張海心  
          鄭季康 謝牧謙 魏元勳  
執行編輯：紀立民  
美工編輯：繆延武 潘小琦 佳新公司  
發行：行政院原子能委員會核能研究所  
地址：桃園縣龍潭鄉佳安村文化路1000號  
電話：(02)3651717. (03)4711400  
印製：佳新文化傳播事業有限公司  
地址：台北市和平東路三段10號5F  
電話：(02)7338921