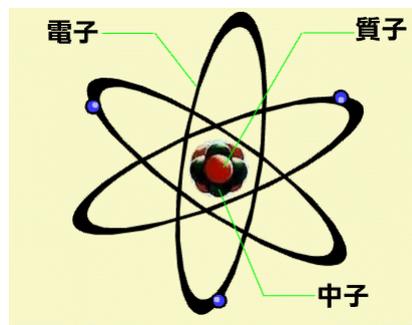


輻射是甚麼？

- 世上所有物質都是由細小的原子組成。而輻射主要由原子釋放出來，因此要認識輻射，首先要了解原子的結構和特性：
 - 原子的結構
 - 不穩定的原子核
 - 衰變
- 宇宙充滿輻射。自古以來，地球上的生命便暴露於自然環境的輻射中。
- 輻射包括不同能量的電磁波(例如光線、無線電波及X射線等)、超聲波，以及由放射性物質因衰變放出的粒子(例如 α 粒子及 β 粒子等)。
- 輻射大致可以分為非電離輻射及電離輻射兩類。一般來說，非電離輻射(例如光線及無線電波)的能量較低，不足以改變物質的化學性質。相反，電離輻射(例如 α 粒子及 β 粒子)有足夠的能量使原子中的電子游離而產生帶電離子。這個電離過程通常會引致生物組織產生化學變化，因而對生物構成傷害。一般所指可引起傷害的輻射，就是電離輻射。
- 輻射是無聲、無色、無臭、無味，大部份亦無法憑觸覺感覺其存在。不過，人們可以利用儀器探測和量度它們。

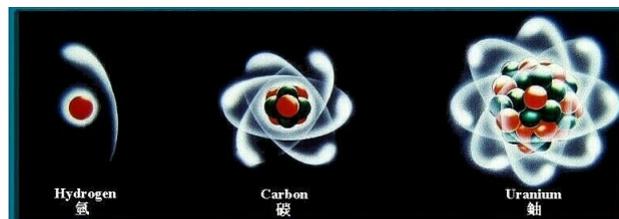
原子的結構

- 世上所有物質都是由細小的原子組成，而每粒原子有一個被電子包圍著的原子核。細小的原子核內含不帶電荷的中子及帶正電荷的質子，而帶負電荷的電子則沿軌道環繞原子核運行，情況就好像行星環繞太陽運行一樣。



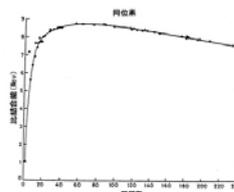
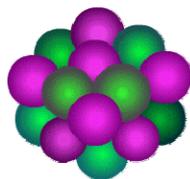
原子的結構

- 通常，原子內的質子和電子的數目是相同的，所以原子不帶電荷。氫是最細小的原子，它的原子核內只有一顆質子。而較大的原子，其原子核內質子及中子的數目則更多。例如，碳-12的原子核內有6顆質子及6顆中子，而鈾-238的原子核內便有92顆質子及146顆中子。
- 大部分原子的原子核都是穩定的，即是說會長期保持原來的狀態。不過，有些原子核，尤其是那些較大的原子核，卻是不穩定的。這些不穩定的原子核具有放射性，它會自發地釋放出粒子或電磁波，從而回復到穩定的狀態，這個過程稱為衰變。這些具有放射性的原子核稱為放射性核素，而放出的粒子和電磁波則統稱輻射。



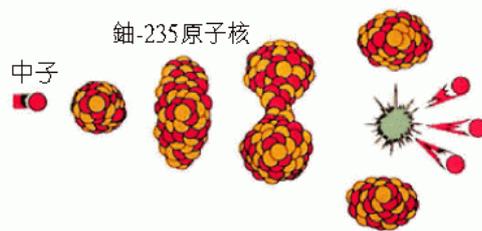
不穩定的原子核

- 原子核的穩定度可以用若干參數來描述，其中一個參數是核粒子的結合能。原子核的總結合能是指把原子核分開成為獨立核粒子所需的能量。換句話說，獨立核粒子結合組成一個原子核，就會釋放出相等於該原子核的總結合能的能量。如果把原子核內每顆核粒子的平均結合能(又稱比結合能)與質量數(原子核中的質子和中子的總數)繪製成圖(右下圖)，便可發現圖中曲線在質量數大約等於56(即鐵原子核)時到達最高點，即是鐵原子核的總體能量最低。因此，如以能量作為考慮因素，任何大於鐵的原子核，會傾向分裂，放出多餘的能量。而較小的原子核則傾向互相結合，組成較大的原子核。
- 鈾-235是核電站的燃料，其原子核內有92粒質子及143粒中子。由於原子核不穩定，鈾原子核會分裂，並在過程中釋放多餘的能量。



核裂變

- 世界上一切物質均由原子構成，而原子則是由原子核及其周圍的電子所組成。核反應堆的基本燃料取自天然鈾，鈾是一種非常重的金屬。天然鈾由三個同位素組成：包括鈾-235 (含量0.71%)、鈾-238 (含量99.28%)及微量的鈾-234。鈾原子核被中子撞擊後，會分裂成兩份，產生核裂變。核裂變過程除了把原子核分裂成兩份外，亦會釋放大量的熱能及同時放出兩個或以上中子，以撞擊更多鈾原子核，再釋放更多中子，產生鏈式裂變反應。在這裂變過程中會產生大量能量，供發電之用。



核裂變

- 核裂變所釋放的高能量中子移動速度極高(快中子)，因此必須透過減速，以增加其撞擊鈾原子的機會，同時引發更多核裂變。一般商用核反應堆多使用慢化劑將高能量中子速度減慢，變成低能量的中子(熱中子)。商營核反應堆普遍採用普通水、石墨和較昂貴的重水作為慢化劑。

同位素	核素的質子數目相同但中子數目不同。(例如 ^1_1H , ^2_1H , ^3_1H 均為氫的同位素， ^1_1H 稱為氕或輕氫， ^2_1H 稱為氘 (D ₂) 或重氫，而 ^3_1H 則稱為氚；鈾-238 (由 92 粒質子及 146 粒中子所組成) 和鈾-235 (由 92 粒質子及 143 粒中子所組成) 均屬鈾的同位素。)
慢化劑	一種物質或媒介，用以減慢核裂變所釋放的快中子，將之變為熱中子，以產生更多熱核裂變。核反應堆多採用普通水、重水或石墨作慢化劑。
熱中子	指由快中子經過慢化劑散射，成為低能量的中子。因中子的動能與其溫度成正比，故而得名。

衰變

- 一顆不穩定(即具有放射性)的原子核在放射出粒子及能量後可變得較為穩定，這個過程稱為「衰變」。這些粒子或能量(後者以電磁波方式射出)統稱輻射。由不穩定原子核發射出來的輻射可以是 α 粒子、 β 粒子、 γ 射線等。

放射性核素半衰期表

放射性核素	半衰期
氫-219	4 秒
鉀-38	7.6 分鐘
硒-73	7.2 小時
碘-131	8 日
鈷-60	5.26 年
銻-137	30 年
碳-14	5,730 年
碘-129	17,000,000 年
鈾-235	703,800,000 年
鉀-40	1,260,000,000 年

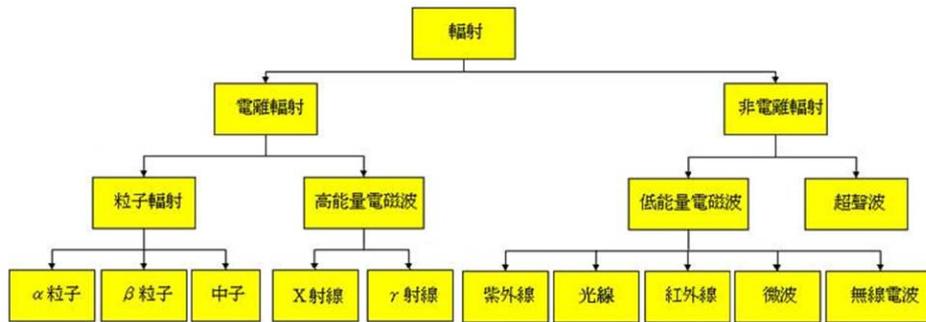
衰變

- 放射性核素在衰變過程中，該核素的原子核數目會逐漸減少。衰變至只剩下原來數目一半所需的時間稱為該核素的半衰期。每種放射性核素都有其特定的半衰期，由幾微秒到幾百萬年不等。
- 每經過一個半衰期，放射性物質的放射性便會剩下一半，經過二個半衰期，放射性便會剩下原先的四分之一，餘此類推。

假設以 12,800 顆放射性原子核作為開始，讓我們看看經過多個半衰期後的結果。



輻射

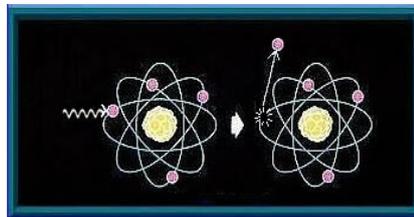


非電離輻射

- 非電離輻射包括低能量的電磁輻射。我們經常接觸到的有紫外線、光線、紅外線、微波及無線電波等。它們的能量不高，只會令物質內的粒子震動，溫度上升。
- 事實上，非電離輻射在我們的生活中已被廣泛應用。例如我們煮食用的微波爐及通訊用的無線電波等。
- 我們要小心紫外線，雖然它不是電離輻射，但從太陽發出的紫外線亦足夠灼傷皮膚。在雲量較少的日子，我們應該造足防曬措施，避免被太陽的紫外線灼傷。
- 非電離輻射亦包括超聲波。超聲波是很高頻率的聲波。超聲波可以形成超聲波影像，作為診斷疾病之用。

電離輻射

- 電離輻射包括高速粒子及高能量電磁波。它們的高能量可把其他原子內的電子撞出原子之外，產生帶正電荷的離子及帶負電荷的電子。
- X射線是由受激發的電子雲射出，而其他的電離輻射主要是由不穩定原子核在衰變時射出的。各種不同類形電離輻射：
 - α 粒子
 - β 粒子
 - γ 射線及X射線
 - 中子



α 粒子

- α 粒子帶正電荷，由兩粒帶正電荷的質子和兩粒中性的中子組成，相等於一個氦原子核。由於帶正電荷，它會受電磁場影響。在自然界內大部份的重元素(原子序數為82或以上)都會在衰變時釋放它，例如鈾和鐳。由於 α 粒子的體積比較大，又帶兩個正電荷，很容易就可以電離其他物質。因此，它的能量亦散失得較快，穿透能力在眾多電離輻射中是最弱的，人類的皮膚或一張紙已能隔阻 α 粒子。
- 不過如果人類吸入或進食具有 α 粒子放射性的物質，譬如吸入了輻射煙羽， α 粒子就能直接破壞內臟細胞。它的穿透能力雖然弱，但由於它的電離能力很強，它對生物所造成的危害並不下於其他輻射。



β 粒子

- β 粒子是高速的電子，由於帶負電荷，會受電磁場影響。它的體積比 α 粒子細得多，穿透能力則比 α 粒子強，需要一塊幾毫米厚的鋁片才可以阻擋它。很多放射性物質都會在衰變時放出 β 粒子。



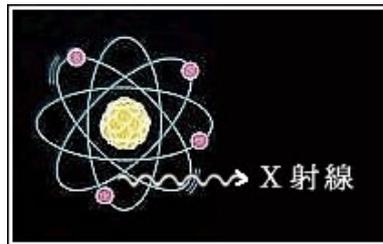
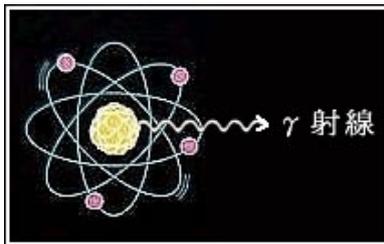
γ 射線及 X 射線

- γ 射線及 X 射線都是擁有高能量的電磁波。它們沒有質量，亦不帶電荷，在電磁場內仍然能直線移動。像可見光一樣，它們都是以電磁波形式傳送的能量，不同的是它們的頻率和能量很高，而且穿透能力很強，可以穿過人體，唯有厚厚的鉛板和水泥才可以阻隔它們。



γ 射線及 X 射線

- γ 射線及 X 射線相差不遠，主要不同在於它們的輻射源。γ 射線是由不穩定原子核射出的，而 X 射線則由受激發的電子雲射出。



中子

- 中子不帶電荷，是組成原子核的粒子之一，穿透能力極高，只有水或石蠟這些含有大量氫原子的物質，可以阻隔中子。核電站的核反應堆中，核裂變會產生高速移動的中子，通常是用水去阻隔及控制中子的移動速度。



電離輻射特性表

名稱	來源	性質	電荷	穿透力
α 粒子	原子衰變	一粒氦原子核	2+	一張紙或皮膚外層可有效地阻擋
β 粒子	原子衰變	一粒電子	1-	一塊數毫米的鋁片可有效地阻擋
中子	核反應堆	一粒中子	無	含氫量高的物質如石蠟或水可有效地阻擋
γ 射線	原子衰變	高能量電磁波	無	高密度物質如厚厚的水泥可有效地阻擋
X射線	受激發的電子雲	高能量電磁波	無	高密度物質如厚厚的水泥可有效地阻擋

常見的放射性核素所放出的輻射

核素	原子序	α 粒子	β 粒子	γ 射線
氫	1		★	
鈷-60	27		★	★
鎰-90	38		★	
鎳-99	43		★	
碘-131	53		★	★
銫-137	55		★	★
氙-222	86	★		★
鐳-226	88	★		★
釷-232	90	★		★
釷-238	92	★		★
-236	94	★		★
-241	95	★		★

輻射從何而來？

- 一般來說，輻射按其來源可以分為兩大類：天然輻射和人工輻射。
- 天然輻射
 - 我們接觸到的天然輻射包括來自外太空的宇宙射線及存在於食物、空氣及居住環境的天然放射性物質等。
- 人工輻射
 - 我們接觸到的人工輻射以用於醫療診斷的X射線所佔比例最多。其餘的來源有大氣層核試產生的放射性塵埃、夜光錶、電離室、煙霧探測器等。

天然輻射

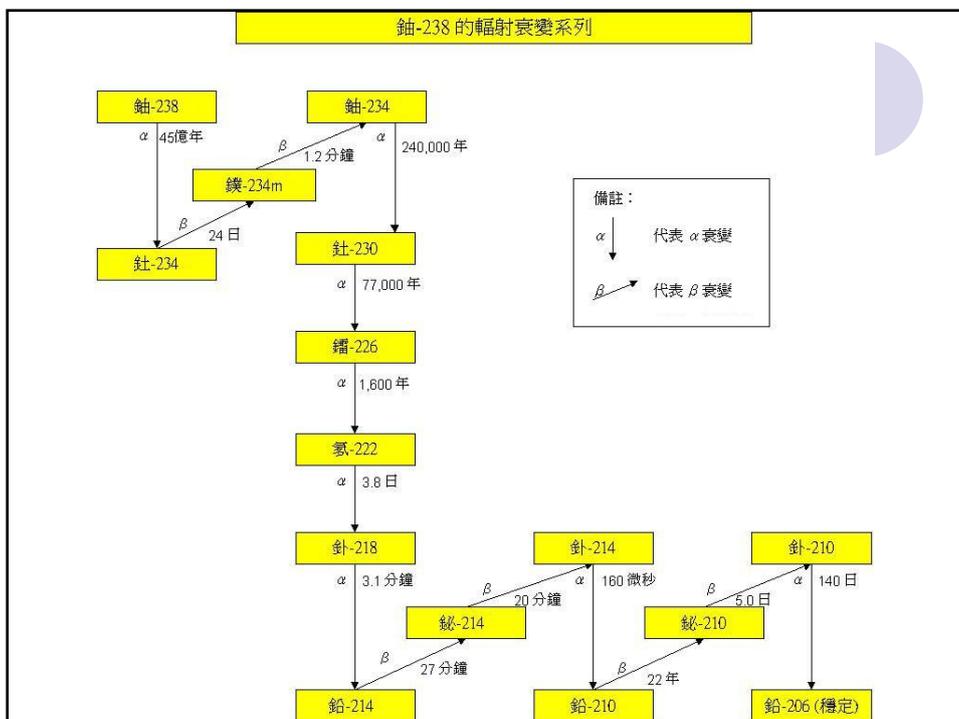
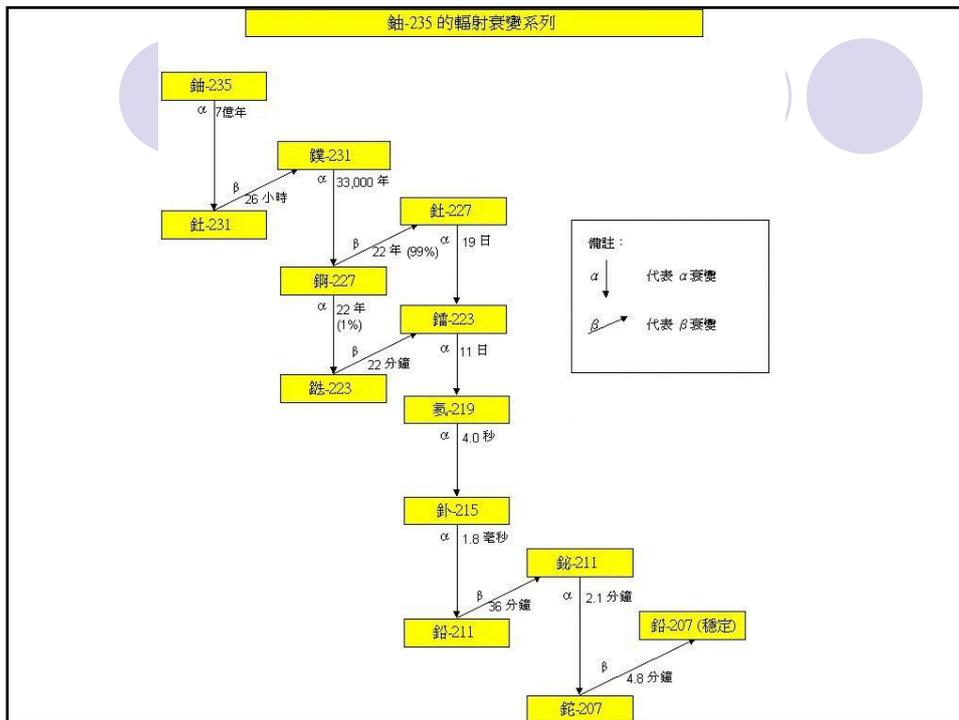
- 輻射無處不在，甚至連我們自己的身體都具有放射性。其實我們每日都會接觸到各種各樣的輻射，特別是天然輻射。在本港，平均每人每年吸收的天然本底輻射劑量大約為2毫希沃特。在世界各地，每人吸收的天然本底輻射劑量一般都是由每年1毫希沃特到10毫希沃特不等。
- 地球在誕生時，便存在著天然放射性核素，如鈾-235、鈾-238、釷-232及-237等。它們因衰變而產生的子體核素亦屬不穩定及具有放射性。這些子體放射性核素會繼續衰變，直至到達穩定狀態。它們在衰變期間會放出對人體有害的 α 粒子、 β 粒子或 γ 射線。
- 鈾-235、鈾-238、釷-232及-237的半衰期分別為7億年、45億年、140億年及2.3百萬年。由於-237及其子體核素的半衰期遠低於地球的年齡，它們現已不存在於地球上。
- 相反，鈾-235、鈾-238及釷-232衰變系列的放射性核素仍然存在於我們的生活環境中。地殼土壤及建築材料內，都含有這些天然的放射性核素，因此我們吸收到的天然輻射劑量與所在地區的土質成份有關，亦與我們居所的建築物料有關。

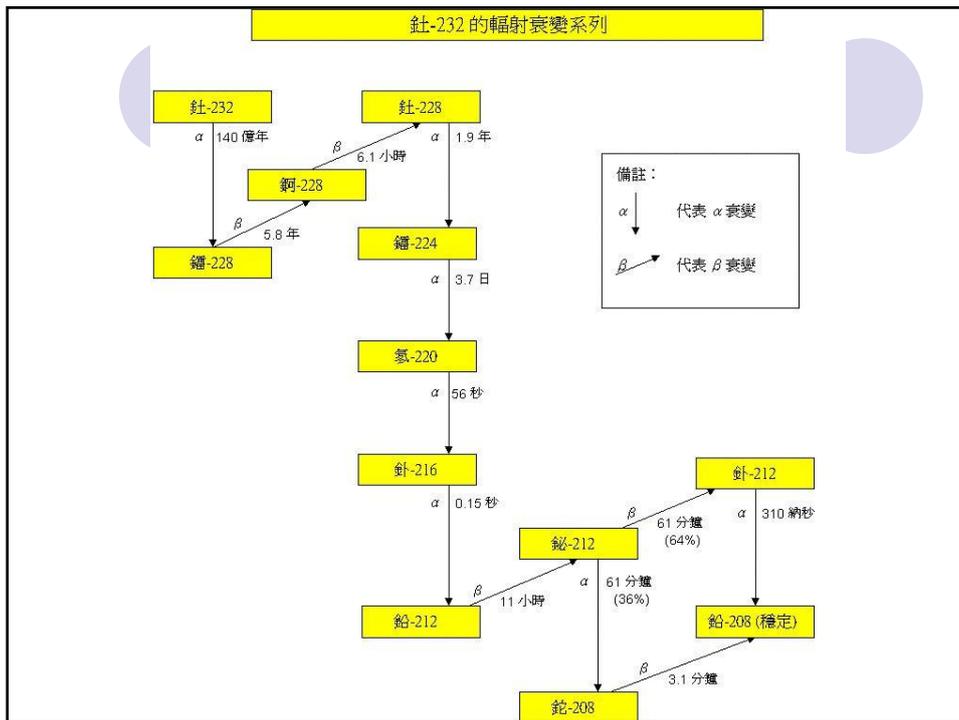
天然輻射

- 氡氣(特別是氡-222)是一個主要的天然輻射源。氡-222主要由泥土及岩石中的鈾-238衰變產生，並從地面散發至大氣中。如室內空氣不流通，散發出來的氡氣會積聚在室內。氡氣在衰變過程中會放出 α 粒子，當我們吸入氡氣時，我們的肺部便會受 α 粒子影響。為保持健康，我們應該保持室內空氣流通，以免氡氣積聚。
- 另一個天然輻射來源是來自外太空的宇宙射線。由於大氣層有阻擋宇宙射線的作用，離地面越高，宇宙射線的強度就越強。
- 宇宙射線的主要成份是高能量的質子，其次是氦原子核及少量原子序數3或以上的重粒子和離子。宇宙射線進入地球大氣層後，會與大氣高層的氮、氧等原子核發生反應，產生氚、碳-14等放射性核素及中子、質子、電子、 μ 介子、 π 介子等次級粒子。
- 當中，碳-14經常被用來鑑定古物所屬的年代

天然輻射

- 我們的體內亦含有放射性核素。例如鉀-40、鈾、鈾、釷、鐳、碳-14、氚、鈾等。
- 我們日常吃的食物也含有少量放射性物質，食物被消化後會被身體吸收，成為身體的一部份。與此同時這些放射性物質亦會衰變減少或被排出體外。
- 當我們食入和排出的放射性物質達到平衡時，我們體內便維持著一個穩定的輻射水平。





人工輻射

- 人工輻射在醫學上和工業上都有廣泛用途，由於輻射對人體可能有害，人們在輻射的應用上作了很多研究，盡量在應用過程中保護使用者的安全。所以人們吸收的人工輻射，遠比天然輻射小。而當中以醫療診斷和治療時所引致的劑量佔絕大部份。
- 在醫療診斷的輻射造影過程中，病人需要接觸輻射。譬如在進行X光檢查時，我們需要暴露在X射線下。在進行某些器官的造影時，可能需要將放射性物質注入或進食入身體內。放射治療則更加需要足夠的輻射去殺死癌腫瘤。



人工輻射

- 核能發電亦是人工輻射來源之一。核電站在運作過程中排放出帶有微量放射性的廢氣和廢水，而核廢料在運送或處理過程中亦放出微量放射性物質，這些都是人工輻射的來源。
- 在一九四五年至一九八零年期間，世界各地進行了多次大氣核試爆，所產生的放射性塵埃隨風擴散，部份沉降到地上。這些放射性沉積物為我們自然環境增加了額外的人工輻射。
- 其他人工輻射來源包括電視機及視象顯示器等，它們的真空管會發放X射線。夜光手錶和煙火感應器等消費品中亦含有放射性物質。
- 應用於工業、醫療及教育的放射性物質，經過長時間使用後，會失去原有的功能，變成廢料，但仍含有殘餘的輻射。

輻射有甚麼用途？

- 輻射與我們息息相關，很多時我們不知不覺間已經享用到輻射應用所帶來的好處。無論在發電、醫療、工業方面，輻射的應用都多不勝數。只要運用得宜，輻射也可以造福社會。
- 項目：
 - 發電
 - 醫學用途
 - 工業及農業用途
 - 消費品用途
 - 考古用途

醫學用途

- 輻射在醫療上的用途為人所熟識，它可以協助醫生診斷及治療多種疾病。
- 在診斷方面，X射線可用來判斷身體器官和組織的異常變化。運用現時先進的造影技術及電腦科技，只要我們將放射性同位素注入或進食入病人體內，就可以產生立體或動態的影像，從而研究病人的情況。常用的放射性同位素為鎝-99m，它的半衰期為六小時，在衰變過程中放出 γ 射線。它的輻射劑量安全之餘，亦能提供足夠的時間進行診斷。
- 在治療方面，放射性同位素碘-131用於醫治甲狀腺癌；在治療某幾種癌症時，亦會利用鈷-60所放出的 γ 射線，射入人體內，將癌細胞殺死。事實證明，放射治療有效抑制腫瘤生長，甚至能將癌症根治。



醫學用途

- 現今很多醫療用品都利用鈷-60所放出的 γ 射線進行消毒。這種消毒程序比用蒸氣消毒更有效及便宜。用完即棄的針筒、棉花、手術用品就是很好的例子。由於不需經過高溫處理，很多會被高溫破壞的物料，例如塑膠等，都可以使用放射程序消毒。加上 γ 射線有穿透能力，物件可以在包裝封密後才進行消毒，確保物件在解封前不會受到細菌污染。
- 2001年十月期間，在美國發現了炭疽菌郵件後，美國政府亦是利用X射線，為可疑的郵件消毒，以免炭疽菌在美國引起恐慌，其消毒的原理亦是一樣。

工業及農業用途

- 在工業方面， γ 射線穿透力特強，可用作探測焊接點和金屬鑄件的裂縫。另外，在工業生產線上的自動品質控制系統，例如測檢罐裝飲品內的飲料高度或香煙的煙草密度等，都廣泛應用了輻射。輻射更可用於量度電鍍薄膜的厚度，也可用於消除靜電。
- 在農業方面，放射性同位素經常被用作追蹤劑。將放射性物質加入肥料中，然後量度農作物的放射性，便可以知道有多少肥料被吸收，及有多少流失。輻射亦可供滅蟲之用。Sterile Insect Technique (SIT) 可以令昆蟲失去繁殖能力，從而減少牠們的數目。墨西哥運用了這種方法，成功地把害蟲的數目大大減少。在聯合國食物及農業組織 (FAO) 及國際原子能機構 (IAEA) 的協助下，這個計劃正在多個國家進行。

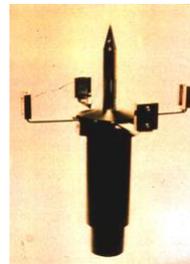


消費品用途

- 有些用品，如煙火感應器、螢光指示牌和避雷針等都包含放射性物質。通過合適的設計和適當的使用，輻射的好處其實遠遠大於其所引起的危害。



煙火感應器



避雷針頭

考古用途

- 透過量度古物內天然放射性物質的濃度，我們可以鑑定古物所屬的年代，常用的技術包括「碳-14定年法」和「熱釋光定年法」，對地質學、人類學及考古學的研究都有莫大的幫助。
- 碳-14是因宇宙射線撞擊地球大氣層而產生的，碳-14氧化成二氧化碳後會被植物吸收。同時，動物又會進食植物，所以大部份有機體都會有一定份量的碳-14。
- 但當植物和動物死去，他們便會停止吸取碳-14。碳-14的份量因衰變會隨時間而減少，每經過一個半衰期(即大約5,730年)，含量便會減半。
- 透過量度古代有機體的碳-14含量，我們便可以估計該有機體的死亡年份。

考古用途

- 泥土中含有微量的鈾、釷和鉀等天然放射性物質，這些放射性同位素的半衰期可以長達10億年。
- 同時，粘土中又含有各種無機晶體和礦物質。當無機晶體受到上述放射性物質照射後，一部份輻射能量會令晶體發熱，另一部分能量則貯藏在晶體中。
- 如果晶體被加熱，部份能量會以可見光的形式釋放出來，這種現象叫做熱釋光現象。
- 熱釋光定年法可判斷古物距離最近的一次加熱的時間，古物發出的熱釋光越強，年代就越遠，反之，則屬較近期。熱釋光定年法常被用作判斷陶器的年代。



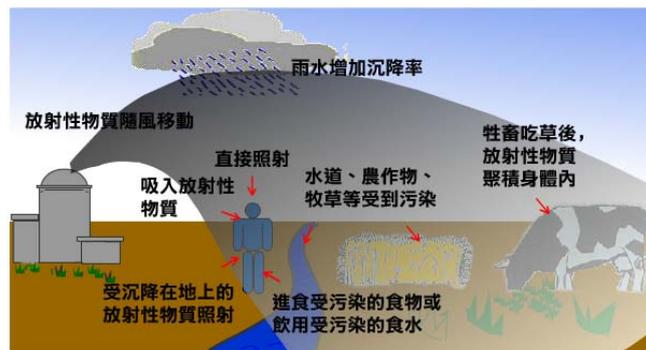
草草紋青花瓷碗



硬陶豆

輻射會透過甚麼途徑影響我們？

- 來自一個放射源的放射性物質可以通過不同途徑影響人體。有些由風或水流輸送到我們附近，這些放射性物質的輻射可以直接照射我們，亦可能隨著呼吸或通過進食而進入我們體內。

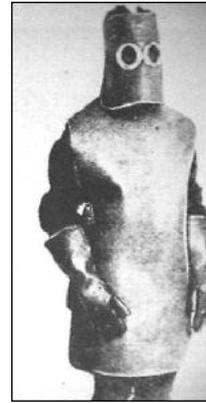


輻射會透過甚麼途徑影響我們？

- 總體而言，輻射可以透過以下兩種主要途徑影響我們：
 - 煙羽途徑：即直接吸入放射性核素、受到空氣中或沉降在地上的放射性核素直接照射。
 - 食入途徑：飲用受放射性物質污染的水或食用受污染的食物。
- 萬一核電站發生核事故，洩漏出來的放射性物質會像煙霧般，隨風擴散到各處，稱為輻射煙羽。
- 氫、氬等惰性氣體會順風移動而迅速稀釋。
- 大部份揮發物，例如碘、銫及碲，在到達大氣層時，已凝結成粒子。這些粒子會在輻射煙羽經過的地區沉降，通常離洩漏源越遠，沉降量越少。而下雨亦可增加沉降率。
- 當放射性物質沉降到地面上或海水中，農作物、牲畜和海洋生物可能會吸收這些放射性物質，而令這些放射性物質進入我們的食物鏈。
- 當我們食用這些受污染的農作物或牲畜時，我們就可能吸收了牠們身上的放射性物質，而受到輻射影響。

輻射防護

- 宇宙間充滿輻射。自古以來，地球上的生命便暴露於自然環境的輻射中。輻射雖然可能對身體細胞和組織造成損害，不過除非所吸收的劑量很高，否則對健康的影響可謂微不足道。
- 然而，在現今的社會，輻射的應用日趨普遍。我們在享受輻射應用所帶來的好處的同時，亦需要注意這些人為做成的輻射照射可能會對人體健康造成一定的危害，並需設法減低輻射的照射量。
- 人們對能源的需求不斷增加，核能發電是解決能源需求日增的其中一個方法。但在享用核電站的電力時，我們也要承受萬一發生核事故的風險。因此，制定一套應付核事故的防護措施是必需的。



早期的輻射防護衣物

輻射防護的目的

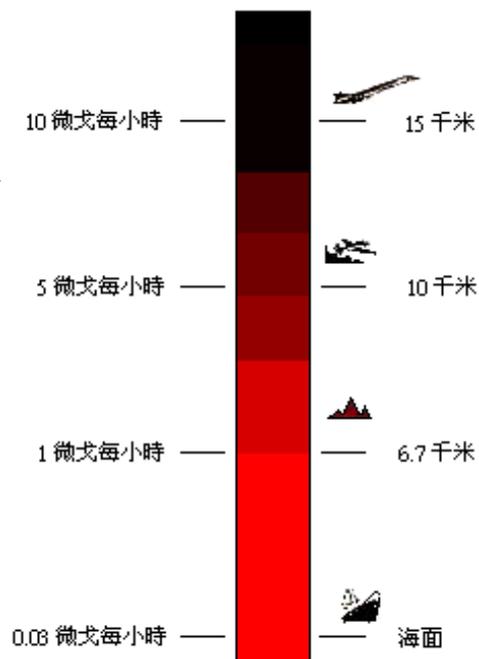
- 輻射防護的出發點是要減低輻射對人類健康的危害。在制訂適當防護措施之前，我們要了解輻射對人體健康造成的效應。
- 輻射效應主要分為「確定性效應」和「隨機性效應」兩大類。前者存在著「劑量閾值」，當吸收劑量大於閾值時，輻射會對人體健康造成一定的危害。而後者沒有劑量閾值，但效應出現的機會率與劑量有關。
- 跟據輻射效應的特點，輻射防護的主要目的是要：
 - 防止有害的確定性效應；
 - 將隨機性效應的發生率降至可接受的水平。

吸收劑量

- 吸收劑量是輻射防護劑量學中的一個基本量。它是量度物質受到電離輻射照射後，吸收能量多少的一個物理量。
- 定義：單位質量物質吸收的電離輻射能量。
- 單位：戈瑞，簡稱戈，其符號為Gy。
- 吸收劑量是用來量度電離輻射與物質相互作用時，單位質量物質吸收輻射能量多少的一個物理量。在正常情況下，吸收劑量愈大，危害亦愈大。

吸收劑量

- 不同情況下的吸收劑量



當量劑量

- 輻射對人體的影響除了與吸收劑量有密切關係外，還與電離輻射的種類及其能量有關。當量劑量是量度不同種類及能量的輻射，對人體個別組織或器官造成的影響的一個物理量。
- 特定種類及能量的輻射在一個組織或器官中引致的當量劑量，就是該輻射在組織或器官的平均吸收劑量乘以該輻射的權重因子。
- 這個權重因子稱為「輻射權重因子」，它反映不同種類及能量的輻射對人體產生不同程度的影響。當輻射有多個種類和能量時，在一個組織或器官的當量劑量就是個別輻射所致的當量劑量之和。
- 單位：希沃特，簡稱希，符號為Sv。

當量劑量

- 輻射權重因子

輻射種類	輻射能量	輻射權重因子
光子	所有能量	1
電子和介子	所有能量	1
中子	<10keV	5
	10~100keV	10
	>100keV~2MeV	20
	>2MeV~20MeV	10
	>20MeV	5
質子(反沖質子除外)	>2MeV	5
α粒子、裂變碎片、重核	-	20

有效劑量

- 當人體受到電離輻射照射時，同一個當量劑量對不同器官或組織有不同的效應。有效劑量是表示在多個器官或組織同時受照時，輻射對人體的總危害。
- 體內所有組織與器官經加權後的當量劑量之和。這個權重因子稱為「組織權重因子」，它反映在全身均勻受照下各組織或器官對總危害的相對貢獻。
- 單位：希沃特，簡稱希，符號為Sv。

組織或器官	組織權重因子
性腺	0.20
紅骨髓	0.12
結腸	0.12
肺	0.12
胃	0.12
膀胱	0.05
乳腺	0.05
肝	0.05
食道	0.05
甲狀腺	0.05
皮膚	0.01
骨表面	0.01
其餘器官	0.05

輻射對人體造成的生物效應

- 輻射影響人體的第一個特點是所吸收的能量不大，但生物效應嚴重。例如，接受了達10 Gy的致死劑量後，人體溫度只因所吸收的能量而升高0.02℃，而這個劑量卻可使全部受照者死亡。
- 第二個特點是生物損傷有潛伏期。急性效應可以在幾小時到幾天內出現，而遠期效應一般都在幾年以後出現。

效應類型

一般來說，因輻射照射而產生的生物效應，可按照效應發生的規律、出現的時間或出現的對象來分類：

按效應發生規律分類	按效應出現的時間分類	按效應出現的對象分類	機體變化
確定性效應	近期效應	軀體效應	皮膚損傷 生育器官損傷 造血器官損傷 消化器官損傷 中樞神經損傷
	遠期效應		白內障 免疫系統受損
隨機性效應		遺傳效應	癌病 遺傳病

人體關鍵組織對輻射的反應

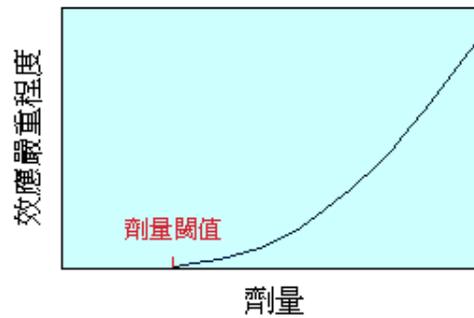
- 生殖腺:** 在致癌方面，生殖腺對輻射的敏感性較低，主要的考慮是遺傳效應，發生率與劑量成正比。
- 紅骨髓:** 在輻射誘發白血病方面，紅骨髓起主要作用，其它造血組織屬次要。根據放射治療病人及日本原子彈幸存者的觀察資料，輻射誘發白血病的發生率在受照後幾年達到最高峰，經過大約25年後恢復到受照前水平。
- 骨:** 對輻射敏感的細胞是骨內膜細胞和骨表面上皮細胞。骨的敏感度低於乳腺、紅骨髓、肺和甲狀腺。
- 肺:** 由於在含高濃度氬氣及其子體的環境工作，礦工的肺癌發生率因而增加。外照射也有可能引起肺癌。輻射引致肺癌的發生率與輻射誘發白血病的發生率大致相同。
- 甲狀腺:** 輻射可誘發甲狀腺癌。但因現時治療甲狀腺癌的方法較為有效，所以死亡率較低。
- 乳腺:** 生育年齡婦女的乳腺似乎對輻射的敏感度較高。這些婦女因受到照射而誘發乳腺癌的發生率大約是白血病的一半。
- 皮膚:** 輻射引致的皮膚病變與劑量及受照的面積有關。主要的病徵是皮膚紅腫，潰瘍及壞死。誘發皮膚癌的發生率低於上述組織。
- 眼晶體:** 輻射對眼晶體的影響是會引致白內障。白內障是眼晶體產生混濁的一種疾病，有明顯的閾值。中子對眼晶體的損傷比X射線要大五至十倍。小孩的閾值比成年人低。
- 胚胎:** 胚胎受照後的變化取決受照時的妊娠階段。當胚胎中細胞數目很少而其性質尚未分化，受損傷的結果多半是胚胎死亡。科學家通常認為在懷孕後最初三週內胎兒受到照射，是不會引起活產嬰兒身上出現確定性或隨機性效應。從受孕後三周到妊娠結束，照射可能會令正在發育的器官出現畸形及增加活產嬰兒患癌症的機會。

輻射照射所造成的生物效應

- 通常分為「確定性效應」和「隨機性效應」兩大類。
- 確定性效應
 - 通過大量的動物實驗和其它實驗研究，再加上理論探討，科學家發現有些有害的效應，在劑量愈大時，對人的損害愈嚴重。當劑量降低到一定水平後，即「劑量閾值」，這類效應就察覺不到。這類效應稱為「確定性效應」。
 - 確定性效應特點：
 - 損害程度取決於吸收劑量
 - 存在劑量閾值
 - 例子: 白內障，皮膚損傷，生育能力損害等

輻射照射所造成的生物效應

● 確定性效應與劑量的關係



確定性效應的嚴重程度取決於劑量的大小，但只有在劑量超過一定閾值時才會出現。國際輻射防護委員會(ICRP)認為，輻射工作者的眼晶體所受劑量只要限制在每年150毫希以下(對於X射線，等於150毫戈以下)，因輻射誘發的白內障在他一生中(假設工作五十年)都不會出現。

輻射照射所造成的生物效應

確定性效應劑量閾值 (戈)			
	效應	一次吸收(戈)	長期分次吸收(戈- 每年)
睪丸	永久性不育	3.5 - 6.0	2
卵巢	永久性不育	2.5 - 6.0	> 0.2
眼晶體	晶體混濁	0.5 - 2.0	> 0.1
	白內障	5.0	> 0.15
骨髓	造血功能障礙	0.5	> 0.4

(資料來源：國際放射防護委員會一九九零年建議書(第60號刊物))

輻射照射所造成的生物效應

- 隨機性效應
 - 隨機性效應的嚴重程度是不受吸收劑量的大小影響。在一定的照射條件下，效應可能出現，也可能不出現，而發生的機率則與劑量大小有關，並且不存在劑量閾值。
- 隨機性效應特點：
 - 損害程度與吸收劑量無關
 - 不存在劑量閾值
 - 發生的機率與吸收劑量有關
- 例子：輻射引致的癌病，遺傳效應
- 由於現時隨機性效應引發的癌症和遺傳病的治癒率仍然相當低，又不存在劑量閾值，所以隨機性效應出現率與劑量的關係便成為輻射防護研究的主要課題。

輻射照射所造成的生物效應

國際標準

國際放射防護委員會在其一九九零年的建議書（第60號刊物）內，對於因活動而引致的輻射照射，建議的劑量限值如下：

應用於	劑量限值 ⁽¹⁾	
	從事與輻射有關的工作人員	公眾
全身有效劑量	在規定的五年內平均每年20毫希，在其間任一年內有效劑量不得超過50毫希。 ⁽²⁾	每年1毫希 ⁽³⁾
年當量劑量		
眼睛的晶狀體	150毫希	15毫希
皮膚 ⁽⁴⁾	500毫希	50毫希
手足	500毫希	—

(1) 限值適用於規定期間，外照射劑量及該期間攝入量的五十年約定劑量之和(對兒童而言，即包括累積至其七十歲時的劑量總和)。

(2) 對孕婦的職業照射需施加進一步限制。

(3) 在特殊情況下，假如每五年內平均不超過每年1毫希，在單獨一年內可允許吸收多一些有效劑量。

(4) 限值是防止皮膚的隨機性效應，但對局部照射需附加限值以防止確定性效應。

輻射照射所造成的生物效應

近期效應

近期效應所出現的急性放射病主要分三類型：

1. 造血器官損傷型
2. 消化系統損傷型
3. 中樞神經損傷型

下面的列表顯示近期效應與吸收劑量的關係：

臨床症狀	吸收劑量 (戈)
大體上無症狀	0.5 - 1.5
輕度急性放射病，嘔逆和嘔吐，暫時性白血球減少，輕度造血機能損傷	1.5 - 4
症狀嚴重，造血機能嚴重損傷，在高劑量時，有腸胃道損傷	4 - 6
急性放射病症狀明顯，臨床上腸胃道損傷為主要徵狀	6 - 20
中樞神經損傷，伴有劇烈的症狀發展	數十或更多

近期效應

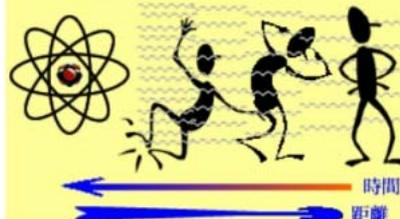
遠期效應

遠期效應是指受照射後六個月以後出現的機體變化，根據表現形式可分為**軀體效應**和**遺傳效應**兩類。前者顯現在受照者本人身上，如白內障，放射病，癌病等。後者因生殖細胞受照後產生突變而顯現在受照者的後代上。

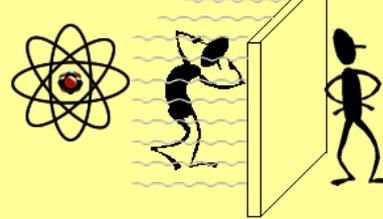
輻射防護的基本措施

- 縮短時間、增加距離及設置屏蔽是減少外來輻射照射的基本輻射防護措施。
 - 時間：受到輻射照射的時間越短，身體所受的劑量越少
 - 距離：距離輻射源越遠，所受劑量越少。
 - 屏蔽：鉛板、水泥牆或水都可以阻擋輻射或降低輻射強度。

距離與時間



屏蔽



輻射防護的基本措施

- 要減低因攝入放射性物質而引致的劑量，可採取以下的基本輻射防護措施：
 - 縮短接觸污染物的時間
 - 防止表面受污染
 - 防止吸入帶有放射性物質的空氣
 - 防止進食受放射性物質污染的食物及飲用受污染的食水。

輻射防護的基本措施

不同核事故階段的防護措施

防護措施	事故階段		
	早期	中期	後期
疏散	**	*	—
進入掩蔽所	**	*	—
管制入境人士及貨物	**	**	*
服用穩定碘片	**	*	—
食物和食水控制	*	**	**

** 高優先次序
* 低優先次序

不同照射途徑的防護措施

照射途徑	事故階段	防護措施			
		疏散	進入掩蔽所	管制入境人士及貨物	服用穩定碘片 食物和食水控制
煙羽的外照射	↑ 早期 ↓	✓	✓		
吸入放射性物質	↑ 早期 ↓	✓	✓		✓
皮膚、衣服受到污染	↑ 中期 ↓	✓	✓	✓	
來自已沉降的放射性物質的外照射	↑ 後期 ↓	✓	✓	✓	
吸入再懸浮放射性物質	↑ 後期 ↓	✓		✓	
飲用或進食受污染的食水和食物					✓

輻射與健康

- 電離輻射與放射性核素的應用給人類社會帶來了巨大的利益，與此同時其危害亦逐漸顯現出來
- 一些從事早期研究，應用X射線的物理學家和醫生，以及發現和研究某些放射性核素的科學家，由於當時對輻射可能帶來的危害還沒有充分的認識，加上各方面條件的限制，因而付出了不少的代價甚至生命。
- 發現鐳的居禮夫人，在長期研究工作中，骨髓遭到過量照射，因而患上再生障礙性貧血病而付出了寶貴的生命。
- 在30年代初期，X射線和放射性核素曾應用於治療某些疾病。由於病人累積過高劑量，曾誘發白血病和肝癌、骨癌等惡性腫瘤。其後種種因輻射而誘發的疾病相繼發現，引起了人們對輻射危害的關注。



居禮先生及居禮夫人

輻射如何對人體造成危害

- 輻射對人體的作用是一個極其複雜的過程。人體從吸收輻射能量開始，到產生生物效應，乃至機體的損傷和死亡為止，涉及許多不同性質的變化。
- 在輻射的作用下，人體內的生物大分子，如核酸、蛋白質等會被電離或激發。這些生物大分子的性質會因此而改變，細胞的功能及代謝亦遭到破壞。
- 實驗證明輻射可令DNA斷裂或阻礙分子複製。
- 人體內的生物大分子存在於大量水分子中，當輻射作用於水分子時，水分子亦會被電離或激發，產生有害的自由基(如 OH^{\cdot} 、 H^{\cdot} 自由基等)，繼而使在水分子環境中的生物大分子受到損傷。
- 雖然輻射可能對人體造成損傷，但如劑量不高，機體可以通過自身的代謝過程對受損傷的細胞或局部組織進行修復，這種修復作用程度的大小，既與原初損傷的程度有關，又可能因個體間的差異而有所不同。

輻射危險度

輻射危險度是輻射對健康的危害的一種定量量度，它是評價輻射危害和制定各種劑量限值的必要數據。右表列出輻射對人體不同器官引致致死癌症的發生率。

右表的危險度只是一些粗略估計。到目前為止，有關輻射效應與劑量的關係的資料還是非常貧乏，尤其缺乏人群在小劑量及低劑量率時的資料。因此危險度分析是推測性的，所根據的數據和資料主要來源於一戈以上單次照射的結果，而且有一定的不確定性，所以在應用時要留意其局限性，不能視其為精確的或不變的數據。

器官	致死癌症的發生率 (每萬人每希)
膀胱	30
紅骨髓	50
骨表面	5
乳腺	20
結腸	85
肝	15
肺	85
食道	30
卵巢	10
皮膚	2
胃	110
甲狀腺	8
其餘器官 ¹	50
總計	500

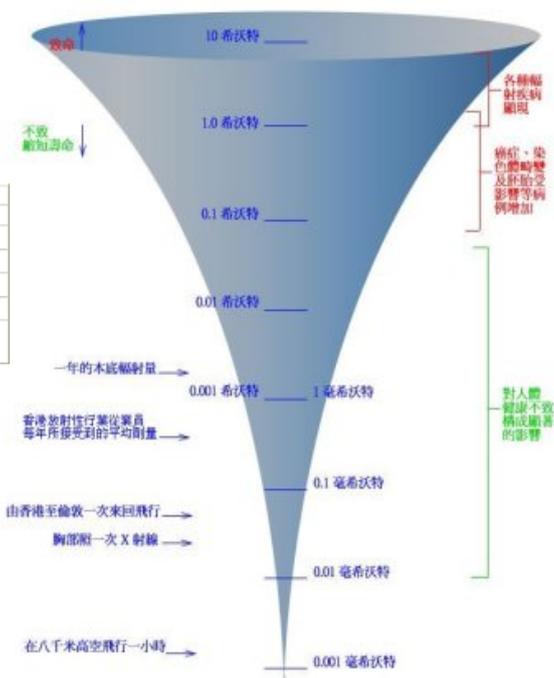
¹ 其餘器官包括：腎上腺、腦、大腸上部、小腸、腎、肌肉、胰、脾、胸腺和子宮

輻射對人體不同器官引致致死癌症的發生率

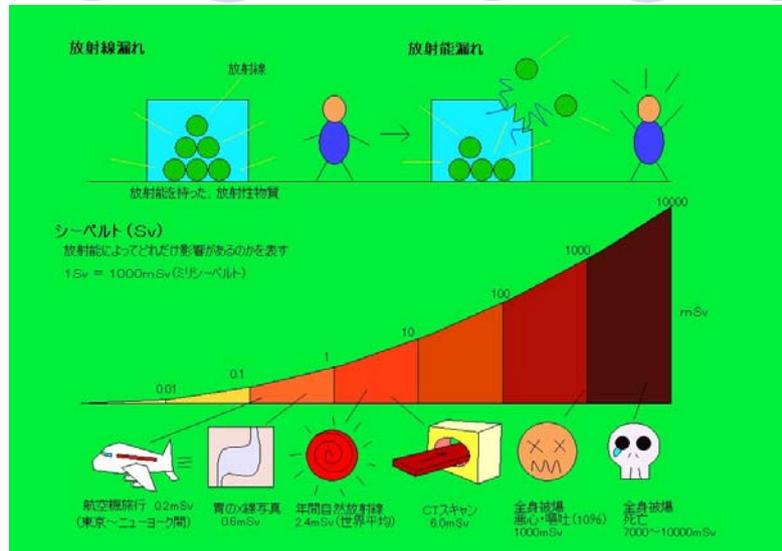
(資料來源：國際放射防護委員會一九九零年建議書(第60號刊物))

不同劑量對健康的影響

香港一些常見致命因素的每年平均死亡率	
致命因素	每年死亡率
每日吸煙10支	1/200 ¹
惡性腫瘤病	1/630 ²
職業意外	1/55 000 ³
交通意外	1/22 200 ⁴
本地放射性行業從業員 (平均每年大約0.15毫希沃特) ⁵	1/170 333 ⁴



不同劑量對健康的影響

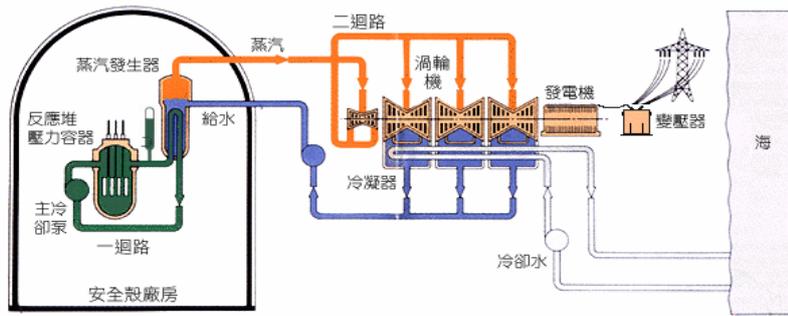


核能發電之反應爐

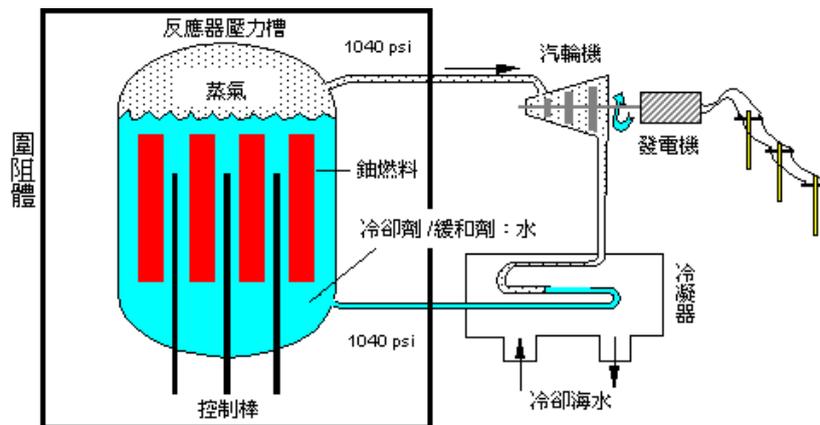
- 目前世界各地的核能發電反應堆約有四百四十個，總裝機容量約353,000兆瓦或353千兆瓦。用作商業運行的反應堆主要包括：

1. **壓水式反應堆(壓水堆)**
 壓水式反應堆是輕水反應堆的一種，利用普通水作為**冷卻劑**及**慢化劑**。壓水式反應堆有一個主冷卻劑迴路(一迴路)，冷卻水會在超過150巴(1巴=100千帕)的高壓下流過反應堆堆芯，並帶出**核裂變**產生的熱能，然後流入蒸汽發生器，通過熱交換，在二迴路產生蒸汽，以推動渦輪發電機，把熱能轉化為電力。在運作期間，一迴路的水溫會高達攝氏300度以上，並保持150巴以上的高壓，以防沸騰。
2. **沸水式反應堆(沸水堆)**
 沸水式反應堆是輕水反應堆的一種，這種反應堆和壓水式反應堆相似，均利用普通水作為冷卻劑及慢化劑，但沸水式反應堆只有一個連接反應堆和渦輪機的迴路，且沒有裝設蒸汽發生器。反應堆的水會維持約75巴的低壓，令水可以在大約攝氏285度時沸騰。反應堆所產生的蒸汽會經過堆芯上方的蒸汽分離器，然後直接送到渦輪機。離開渦輪機的蒸汽會經過冷凝器，凝結為液態水(給水)，然後回流至反應堆，俾能再次轉化為蒸汽。
3. **重水壓水式反應堆(CANDU)**
 CANDU是重水壓水式反應堆的一種，以天然鈾燃料(U-238)運作，並以重水(D₂O)作為冷卻劑及慢化劑。CANDU是CANada Deuterium Uranium的簡稱，CANDU反應堆可在運作期間更換燃料。
4. **壓力管式石墨慢化沸水反應堆(RBMK)**
 RBMK是前蘇聯設計的一種以普通沸水為冷卻劑、以石墨為慢化劑的壓力管式反應堆。可以實現不停堆更換燃料。[切爾諾貝爾核事故](#)便涉及這種反應堆。

壓水式反應爐

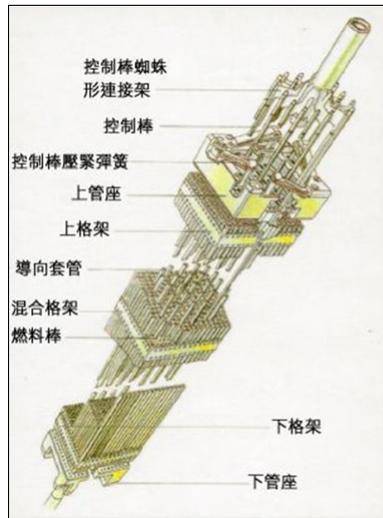


沸水式反應爐



沸水式反應器示意圖

核燃料



燃料組件

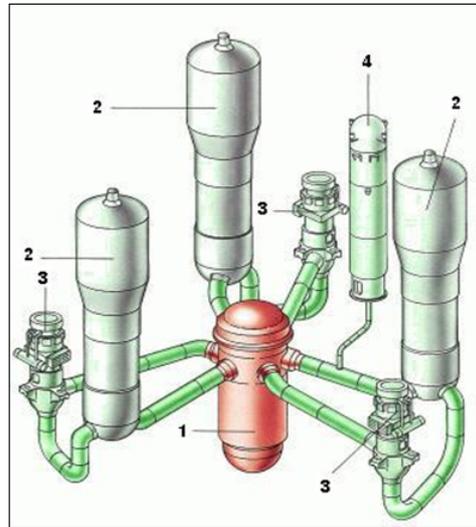
主要參數

1. 燃料棒包含二氧化鈾(UO_2)燃料芯塊
2. 鈳合金燃料棒包殼
3. 共157個燃料組件
4. 每個燃料組件有264支燃料棒
5. 堆芯裝有72.5噸鈾燃料
6. 採用3.5%濃縮鈾

核燃料

- 鈾在世界上某些地方的蘊藏量十分豐富。天然鈾的成份主要是鈾-238(約99.28%)，並包括少量鈾-235(約0.71%)及微量的鈾-234。鈾-235是易裂變的核素(即在吸收低能量的熱中子後極可能產生裂變的核素)，鈾-238則是可裂變的核素。
- 鈾-238在吸收高能量的中子(快中子)後，會形成鈾-239(Pu-239)。鈾-239亦是易裂變的核素，會像鈾-235一樣，在反應堆中產生裂變，供應部分能量以供發電。
- 使用普通水為冷卻劑及慢化劑的壓水式反應堆一般採用低濃縮的鈾燃料。
- 反應堆內的鈾燃料來自天然鈾，但須經過轉化、濃縮及加工，將鈾-235的濃度提升至3至5%，才可在壓水式反應堆內使用，以持續核裂變。
- 濃縮鈾經過加工後會制成小圓柱型的二氧化鈾芯塊，然後數百個小指頭般大的芯塊會被堆疊在一條長3.8米、直徑9.5毫米的鈳合金包殼管(燃料棒)中並加以密封。
- 燃料棒集中後，會組合成為燃料組件，供放入反應堆堆芯使用。未經使用的燃料棒和燃料組件含極低放射性，故在處理和運送方面均屬安全。

核反應爐及主冷卻系統



主冷卻劑系統

1. 反應堆壓力殼
2. 蒸汽發生器
3. 主泵
4. 穩壓器

核反應爐及主冷卻系統

- 由燃料組件構成的反應爐爐芯放置在一個特製的圓柱體鋼質壓力容器(反應堆壓力殼)內。壓力殼的高度約12米、內徑約4米、壁厚達20厘米、約重314噸。
- 一個900兆瓦的反應爐主冷卻劑系統是由壓力殼及三個相同的環路相連組成(即一迴路)。每一環路設有一台主泵、一台蒸汽發生器，與及連接管道。其中一個環路裝設一台穩壓器。每一台主泵會帶動約155巴(1巴=100千帕)的高壓冷卻水(普通水)在其環路內經過反應爐爐芯循環流動，這些冷卻水不但是用作慢化劑，也將爐芯的熱能傳送到蒸汽發生器。
- 反應爐出水的溫度約為攝氏330度，而入水口的溫度約攝氏290度。在這高溫及高壓狀態下的冷卻水會處於欠熱狀態(即冷卻水的溫度與其沸點有一段距離，因此不會沸騰)。蒸汽發生器是一個約高20米的熱交換器，其內部裝設了U形傳熱管，以管壁換熱的方式將一迴路水的熱能傳送到二迴路，然後把二迴路給水轉化為蒸汽，以推動渦輪發電機。
- 穩壓器的主要作用是維持一迴路冷卻水的壓力，防止超壓。穩壓器直徑約2米，長約13米，並與一迴路內其中一環路的熱管段接駁。穩壓器上半部為蒸氣空間，下半部被水注滿。穩壓器內頂部設有噴淋嘴，底部裝有電加熱器。透過控制穩壓器內加熱器和噴淋水的運作，便可調節穩壓器內的水位與及控制一迴路的壓力。

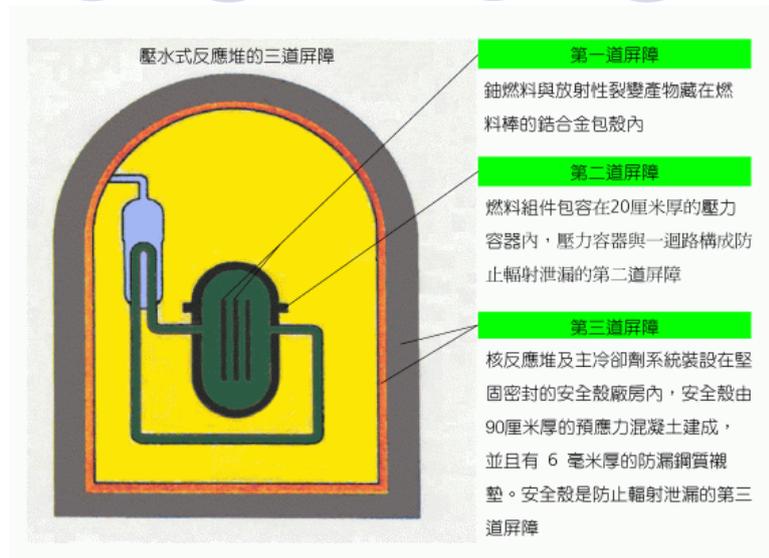
縱深防禦

- 核電站在設計及操作方面一般採用縱深防禦概念，提供多層次的重保護，以確保核安全。其中包括反應堆多重保護系統、專設安全設施、緊急運作程序，場內及場外應急計劃等措施，以及設置防止放射性物質外洩的屏障。縱深防禦概念包括事故預防和事故緩解兩方面。
- 設計和運作方面包括：
 1. 採用穩妥的設計；
 2. 控制質素；
 3. 採用嚴格的運作程序；
 4. 監察有否降級或發生故障的情況；以及
 5. 建立核安全文化。
- 反應堆保護系統
 1. 反應堆設置多重根據不同的原理運作的保護系統，以便在出現異常情況時能迅速令反應堆停止運作。
 2. 反應堆保護系統的每種保護功能均設置多於一套的設備，以滿足單一故障的準則(即系統在發生單一故障時，仍能執行其正常功能的準則)。
- 屏障
核裂變產生的物質都密封在燃料芯塊和包殼內。核電站一般有三道屏障(即燃料包殼、一迴路及安全殼)，以防止裂變產物外洩，影響環境。

縱深防禦

- 專設安全設施
一旦發生意外，專設安全設施會提供足夠的冷卻效能，令反應堆在安全穩定的情況下停止運作。主要的專設安全設施包括：
 1. 安全注入系統 - 把硼酸溶液注入反應堆
 2. 安全殼噴淋系統 - 冷卻安全殼並減低安全殼的壓力
 3. 輔助給水系統 - 利用蒸汽發生器把反應堆的餘熱帶走專設安全設施除設有滿足單一故障準則的雙重系統外，其供電亦由緊急柴油發電機支援。
- 砂堆過濾器
在發生嚴重核事故時，放射性物質可能從反應堆釋放到安全殼內。在必要時砂堆過濾器可控制放射性物質從安全殼向環境釋放，以免安全殼因壓力過高而失效。同時，砂堆過濾器亦會過濾和減少外洩物質的放射性。
- 應急計劃
核電站有一套全面及統一的場內及場外應急計劃，以應付萬一發生不同程度的事故而出現的各種應急狀態，與及採取相應和必要的應急響應行動。

縱深防禦



更換燃料

- 反應爐運行時，其內的鈾燃料會逐漸消耗。因此，在每個燃料周期完結時，有關核電機組會進行換料檢修，換料檢修通常每年或每18個月進行一次，視乎核燃料的鈾-235濃度而定。
- 在每次換料檢修均會更換三分之一的燃料組件。更換的燃料組件(即乏燃料)，含有高放射性的核素及因衰變而產生的餘熱，因此會被傳送至毗鄰安全殼廠房的燃料廠房內的“乏燃料池”貯存。
- 整個運送過程，包括由反應爐芯卸出燃料組件及輸送到乏燃料池，均在水下進行。乏燃料池裝滿含硼的冷卻水，以阻隔輻射。
- 此外，乏燃料池亦設置冷卻系統，將池水循環冷卻，以排出乏燃料的餘熱。乏燃料池的底部設有超過700個組件插架，可供貯存10年內由反應堆卸出的乏燃料。

核電廠的應急狀態分級

國內核電廠的應急狀態可分為下列四種級別：

應急等級	輻射後果	說明
應急待命	出現可能導致危及核電廠核安全的某些特定情況或者外部事件。	一些事件正在進展或已經發生，核電廠的安全水平可能有所下降。預期不會出現需要採取任何場外響應行動如輻射監測的放射性物質釋放。
廠房應急	事故後果只局限於廠房的部分區域。	一些事件正在進展或已經發生，核電廠的安全水平實際上或可能發生顯著下降。事故中的輻射後果或可能引起的輻射後果只局限於廠房的部分區域。預期場外照射水平不低於進入掩蔽所的 工預水平 的下限值。
廠區應急	事故後果局限於整個場區。	事故正在進展或已經發生，核電廠用以保護公眾的一些功能實際上或已經較大幅度喪失。然而，事故中的輻射後果或可能引起的輻射後果只局限於場區範圍內。除場邊界附近外，預期場外其他區域的照射水平不低於進入掩蔽所的 工預水平 的下限值。
總體應急	事故後果超越場區邊界。	事故正在進展或已經發生，堆芯即將或已經受到極大損壞，甚至熔化，同時安全殼的完整性亦可能喪失。緊急事故中的輻射後果或可能引起的輻射後果超出場區範圍。(註1)

國際核事故分級表

事故	7 特大事故	切爾諾貝爾核事故
	6 重大事故	
	5 具有場外風險的事故	三哩島核事故
	4 場外無顯著風險的事故	
事件	3 嚴重事件	
	2 事件	
	1 異常	
偏差現象	0 低於本表級別 在安全上無重要意義	

發生於商用核反應爐的事故

- 在一九八六年四月二十六日發生的切爾諾貝爾核事故主要是由於反應爐及其緊急停爐系統在設計上存在嚴重缺陷，加上在反應爐進行實驗時違反有關程序。
- 三哩島核事故顯然是由於反應爐部件發生故障、儀表設計的缺陷和人為錯誤所致。由於一個卸壓閥失靈，因此發生一宗小破口失水事故而導致冷卻劑流失的意外，但操作人員並未及時察覺及作出適當反應。雖然三哩島反應堆部分爐芯已經熔化，但輻射洩漏的範圍主要局限於安全殼廠房內，對環境的影響極其輕微。該宗事故並未引致傷亡或對公眾健康帶來不良影響。

核電站產生的核廢物的種類

- 核電站產生的廢物分為氣體、液體及固體三種。核廢物處理的原則是盡量回收，把排放量減至最少。核電站的廢物管理須符合國內安全法規的要求。核廢物的排放並且受到國家的嚴格控制和監督，其實際排放量遠低於標準規定的允許值。
- 核電站設有廢物處理系統，將日常運行過程中所產生的氣體及液體廢物，視乎其特性和放射性，作妥善處理，包括過濾、淨化、貯存、衰變及稀釋等過程。待其放射性減至極低水平，在不超越規定的允許值的情況下向外排放。氣體廢物經過處理後循煙囪向環境釋放。液體廢物先經過處理，再與核電站內循環冷卻水混合及稀釋，然後直接排放出大海。
- 核電站的固體核廢物完全不向環境排放。固體廢物一般分為低、中、高三種放射性水平。低放射性廢物包括受到輕微輻射污染的日常廢物，例如紙張、手套、塑膠容器、用完即棄的單衣和套鞋。低放射性廢物會被壓縮及裝入金屬罐內，加以密封。中放射性廢物包括在廢氣及廢液處理過程或維修工作中，所收集的帶輻射的樹脂和化學沉淀物、過濾器。中放射性廢物會與沙和水泥混合，待其凝固後，便會倒進混凝土罐中。這些低放射性及中放射性固體廢物會暫時存放在核電站內，最後送往地下淺層廢物庫或地面廢物庫貯存及埋藏。
- 在換料檢修期間自反應堆取出的已消耗的燃料組件(即乏燃料)，屬於高放射性廢物，包含具高度放射性的裂變產物和有長衰變期的放射性核素。“乏燃料”會放在燃料廠房內水池中貯存約十年，進行冷卻排除餘熱，以及待其放射性因衰變而隨時間減退後，再運往西北偏遠地區進行後處理或埋藏於地下深層的高放射性廢物貯存庫內。

核燃料具有巨大的能量，但不是原子彈

- 雖然核能電廠和原子彈都以鈾來產生能量，但原子彈所使用的鈾-235，濃度需達90%以上，才可瞬間密集反應產生巨大能量。但核能發電使用的燃料，鈾-235濃度只約4%~5%，其餘95%~96%為無法產生核分裂的鈾-238，僅可緩慢反應，持續放出能量。
- 在核能電廠的反應爐中，有許多控制棒，可用以調節功率的產生；而原子彈則是以炸藥引爆，產生的能量是瞬間且巨大的，是無法控制的。核能電廠縱然遭受人為的蓄意破壞，也不會像原子彈般爆炸。
- 由於鈾原子分裂所放出的熱量遠較石化燃料燃燒所放出的能量，因此核能電廠的燃料可在反應爐中連續使用長達一年半而不需填換。



第一核能發電廠簡介



第一核能發電廠簡介

● 廠房安全

- 兩座反應爐壓力槽之鋼板厚5吋，重達450公噸，可承受高溫與高壓。
- 發電用之二氧化鈾燃料即密封裝置在壓力槽之核心位置。在反應爐外面，再以一個5/8吋厚，稱為一次圍阻體的燈泡型大鋼殼將反應爐及主要的冷卻設備包封在內，以防止輻射物質的洩漏。
- 一次圍阻體外利用一厚度達6呎的鋼筋水泥遮蔽牆圍繞，以阻擋輻射線及保護反應爐的外物撞擊。
- 水泥遮蔽牆之外再包封稱為二次圍阻體的鋼筋混凝土的廠房。
- 一切有關安全的設備都以最高的耐震等級設計，且以雙重的氣鎖門封隔在廠房之內，確保縱有輻射物洩漏也都會包容在重重的隔離之內，不致擴散到電廠外產生環境污染。

第一核能發電廠簡介

● 燃料

- 反應爐所用之燃料為低濃縮鈾錠，每座爐心裝置燃料元件408組，每組由60支長150英吋之燃料棒及1支大水棒排列而成，另有十字型控制棒97支穿插其間。
- 所裝鈾錠約82公噸，每18個月運轉僅需停爐一次以更換燃料，每次更換約四分之一。
- 所需之天然鈾原料可由國際市場標購，濃縮服務已由我國與友邦政府簽訂雙邊協定，由其提供三十年之供應合約。

● 完工時間

- 核一廠是於民國59年核准興建，60年底開始施工，一號機反應爐於64年5月完成吊裝，66年10月裝填鈾燃料，11月併聯發電，67年12月10日開始商業運轉。
- 二號機反應爐則於65年11月完成吊裝，67年10月裝填鈾燃料。12月併聯發電，68年7月15日開始商業運轉。

第二核能發電廠簡介

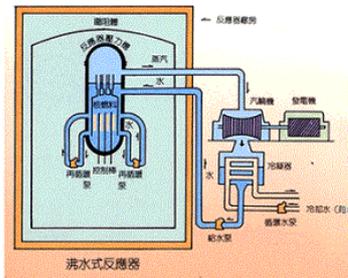


第二核能發電廠簡介

- 第二核能發電廠位於台灣新北市萬里區，離台北市直線距離約22公里，佔地約為220公頃，共裝置兩部機組，容量各為985,000瓩。目前為台灣電力供應系統中，裝置容量最大的發電機組。
- 在選定廠址之初，本公司曾聘請國內外專家學者就地形、地質、氣象、水文、洋流等資料詳加分析、研討，咸認現址最為適合。另外，並聘請美國貝泰工程公司為顧問公司，負責廠房之設計及指導現場施工。

第二核能發電廠簡介

- 第二核能發電廠廠房佈置採雙機式，控制室和廢料廠房以及部分系統結構為兩部機所共用，其他部份則各自獨立。各部機擁有一座產生蒸汽的沸水式反應爐，是奇異公司所設計發展的第六代沸水式反應爐，每小時能產生985磅壓力的飽和蒸汽1,245萬磅。圍阻體為第三代，也是奇異公司所設計。
- 汽輪發電機組由美國西屋公司承造，汽輪機為三缸四流聯軸再熱式，有一部高壓汽輪機及兩部低壓汽輪機。發電機為氫冷式，額定發電量為985,333瓩。所發電力經由345,000伏特超高壓輸電線分三路送至台北地區匯入系統。



第二核能發電廠簡介

- 主要工程
- 第二核能發電廠於民國六十三年九月開工興建，至六十四年八月一日開始排紮第一部機反應爐基礎的第一支鋼筋，六十四年十一月完成第一部機反應爐基礎混凝土澆置。民國六十七年二月二日吊放第一部機450公噸重的發電機定子，同年五月九日吊放重約600公噸的反應爐壓力槽。
- 六十八年八月十五日，一號機緊急起動變壓器及相關匯流排、高低配電盤與馬達控制中心，由系統受電運轉成功，表示本廠工程已進入試運轉階段。一號機於七十年一月完成鈾燃料裝填，較預定進度提前一百十五天。不僅節省鉅額工程費用及燃料費支出，對本公司的供應能力也有極大的貢獻。
- 第二部機工程較第一部機延後一年開工，第二部機發電機定子於民國六十七年六月九日吊放完成。反應爐壓力槽繼於同年十一月二十二日吊裝完成。七十一年三月完成鈾燃料裝填。一、二號機分別於民國七十年十二月及七十二年三月商業運轉。

第二核能發電廠簡介



第二核能發電廠簡介



第二核能發電廠簡介



第三核能發電廠簡介



第三核能發電廠簡介



第三核能發電廠簡介

- 在石油危機之後，政府為了執行能源多元化除在台灣北部相繼成立核能一、二廠後，為了南北電力平衡，減少電力輸送，於台灣南端的恆春成立第三核能發電廠，廠址離恆春鎮直線距離約6公里，佔地約為354公頃，共裝置兩部容量各為951,000瓩之機組。
- 本公司對核三廠址所在，事先曾就地形、地質、氣象、水文、洋流等資料聘請國內外專家學者詳加分析與研討，確認現址為最適合的核能電廠廠址。在設計與施工階段，聘請美國貝泰工程公司為廠房設計及現場施工指導之顧問公司。

第三核能發電廠簡介

主要設備

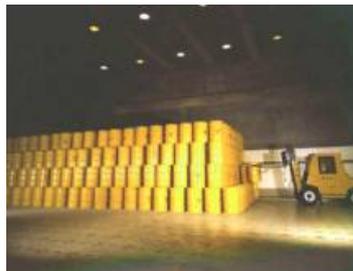
主要發電設備及廠家如下：

型式	輕水型壓水式
機組	兩部機
裝置容量	每部機951百萬瓦特(951千瓩)
建廠費用	947億元
反應爐	美國西屋公司製／3迴路壓水式
汽輪發電機	美國奇異公司製／三缸再熱四流式汽機、氫氣內冷型發電機
低壓汽機轉子	瑞士ABB公司製

第三核能發電廠簡介

● 廢料

- 核能發電產生的輻射廢料分為高放射性核廢料及低放射性廢料；高放射性核廢料指的是用過的核燃料，目前都儲存在廠內的用過燃料水池中，其設計可容納電廠運轉四十年中發電所用的核燃料。低放射性廢料大部分為經使用污染過的手套、輻射防護衣物等。目前核三廠一年約產生400桶低放射性固體廢料，其中固化桶約34桶，其餘均為可再處理、壓縮減容，均可存於廠內的廢料廠房。



第四核能發電廠簡介

- 台灣電力公司為配合國家長期經濟建設發展需要，使供電系統更為經濟可靠，並期能達到能源多元化的政策目標，奉政府核定於台北縣貢寮鄉興建龍門核能發電廠，預計於民國九十八年及九十九年分別完成第一、二號機組之興建工程，以提供社會大眾質優價廉之電力。



第四核能發電廠簡介

- 龍門核能發電廠位於台灣東北端，佔地約為480公頃，裝置兩部機組，容量各為1,350,000瓩。建造完成後，將成為台灣電力供應系統中，裝置容量最大的發電機組。
- 在遴選廠址之初，本公司即聘請國內外專家學者就地形、地質、氣象、水文、洋流等資料詳加分析、研討，咸認現址最為適合。另外，並聘請美國石威工程公司為顧問公司，負責廠房之設計及指導現場施工。



第四核能發電廠簡介

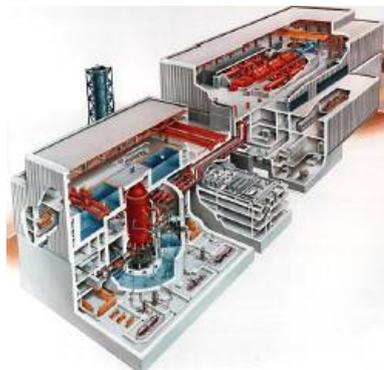
● 主要設備

- 龍門核能發電廠廠房佈置採雙機組式，除輔助燃料廠房及廢料處理廠房以及部分系統結構為兩部機所共用外，其他部份均各自獨立。
- 各部機擁有一座產生蒸汽的進步型沸水式反應爐，是奇異公司所設計發展的最新型沸水式反應爐，每小時能產生每平方呎1,040磅(720GPa)壓力的飽和蒸汽1,684萬磅(764萬公斤)。圍阻體也是奇異公司所設計。
- 汽輪發電機組由日本三菱重工所承造，汽輪機為四缸六排汽流串聯複合式，有一部高壓汽輪機及三部低壓汽輪機。發電機為氫冷式，發電量為1,350,000瓩。所發電力經由345,000伏特超高壓輸電線分二路送至台北及龍潭地區匯入系統。

第四核能發電廠簡介

● 廠房安全

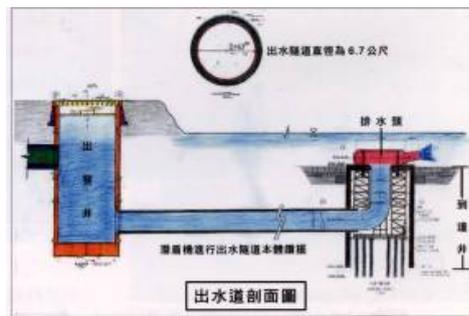
- 蒸汽產生系統所在的反應器廠房，構築鋼筋混凝土之圍阻體以防止輻射線外洩，廠房其他部份凡屬可能發生輻射物外洩之處，也都有屏蔽牆的結構。一切有關安全的設備都是雙重且安裝在隔離的廠房之內，以確保運轉安全。縱有輻射物洩漏的意外事故，也都會包容在重重的隔牆之內，不致擴散在電廠外，產生環境污染。



第四核能發電廠簡介

● 輻射環保

- 龍門廠冷卻水排放管路設計，係依照龍門廠建廠環境影響評估之承諾，採用潛盾工法，興建地下暗渠，將冷卻水引導至離岸約800公尺，水深約11公尺處排出，此即所謂『潛式排放』。可將對環境景觀的衝擊減至最低，且對溫排水的擴散有較佳的效果，與一般電廠在海岸邊的「岸邊排放」不同。



沙皇炸彈

- 沙皇炸彈（俄語：Царь-бомба），型號為RDS-220氫彈，代號為「伊凡」（Иван, Ivan），是在冷戰時期由蘇聯所製造的實驗氫彈，總共製造了兩枚。
- 沙皇炸彈之名即意味著它是「炸彈之王」，因為它是人類至今所製造過所有種類的炸彈中，體積，重量和威力上均為最強大的炸彈。
- 它的爆炸當量（yield）本來相當於1億噸的TNT炸藥，不過蘇聯當局憂心試爆後的核子落塵對環境的嚴重影響導致內政難題與外交風波，因此將核彈縮減為5000萬噸的爆炸威力。
- 儘管被刪減了一半的威力，沙皇炸彈的威力依舊是第二次世界大戰末期投擲於廣島的「小男孩」原子彈的3846倍。
- 雖然蘇聯成功完成試爆，沙皇炸彈仍然從未列入現役武器，蘇聯軍方僅僅想要利用沙皇炸彈作為蘇聯在軍力上的象徵與展示。

展示於薩羅夫市的沙皇炸彈的原寸大模型

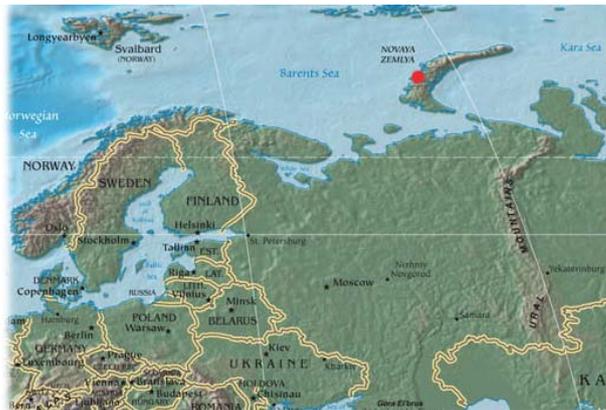


沙皇炸彈

- 代號車里雅賓斯克-70（1991年後開放並更名為「斯涅任斯克」）是當初蘇聯兩座開發核武器的城市之一，其中現在的「全俄羅斯物理技術科學研究中心-聯邦核子中心」提出研發建造特大號核武之後，蘇聯當時的總書記兼部長會議主席赫魯雪夫就在1961年7月10日批准了該項計畫。不過他同時也要求在同年十月底左右完成試爆，剛好是第22屆蘇共黨代會會期，赫魯雪夫可以試爆的成功來鞏固自己在蘇共黨中央的地位。
- 沙皇炸彈的「沙皇」兩個字其實來自於其他兩個類似的俄羅斯大玩意兒：全世界最大的青銅鐘沙皇鐘和全世界最大的榴彈砲（也是青銅製）沙皇砲。看在這麼大的噸位與威力上，西方世界就稱之為「沙皇炸彈」。有趣的是，蘇俄人也接受了這個稱號。
- 如概述所言，蘇聯軍方並沒有將這枚氫彈用在戰場上的打算，蘇聯軍方認為除了藉由建造完成以及威力釋放後的結果達成對西方世界的震懾之外，實際上對於這枚大傢伙要如何運用才是最傷腦筋的事，因為它太大而丟不遠—Tu-95轟炸機雖然能夠攜帶這個大傢伙飛上天，然後再找個地方重演一次「通古斯大爆炸」事件；問題是轟炸機就因此而飛不遠，也容易被擊落，所以就因此只建造了一枚實彈作為全世界最大也最單調的「煙火表演」與一枚作為研究與備用的啞彈。
- 1961年8月13日，柏林圍牆在史達林生前授意與赫魯雪夫的支持下開始起造，冷戰中東西方又一次的對峙與緊張開始產生；同時法國在一年前2月13日藉由在撒哈拉沙漠「藍色跳鼠」試爆任務的成功成為歐洲第二個，全世界第四個國家級核武俱樂部的會員。
- 在這麼僵持與緊繃的時局裡，蘇俄以試爆對世界發聲，表示蘇聯仍然不是可以輕忽的對象；然而其後三年蘇聯卻一次核武試爆都沒有舉行過，這不是因為蘇聯學到什麼教訓或者因為這次試爆而導致蘇聯公民大量傷亡，而是因為隔年的10月14日，蘇聯與西方世界爆發了更嚴重的對峙，就是古巴飛彈危機。

沙皇炸彈的試爆地點

- 彈體總重量：27公噸。
- 彈體總長度：8公尺。
- 彈體總直徑：2公尺。
- 試爆日期與時間：1961年10月30日早上11時32分（莫斯科時間）。
- 試爆地區：北冰洋新地島群島西岸，米圖西喀灣（Mityushikha Bay），鄰近蘇闊諾斯岬（Cape Sukhoy Nos）與D-2測試場（test field D-2）。
- 試爆地點：北緯73.85°，東經54.50°。
- 試爆方式：傘降式空投。
- 釋放高度：10,500m的高空。
- 引爆秒差：188秒。
- 引爆高度：4,200m的高度。
- 引爆方式：經由氣壓感測器感測到設定高度時自動引爆。

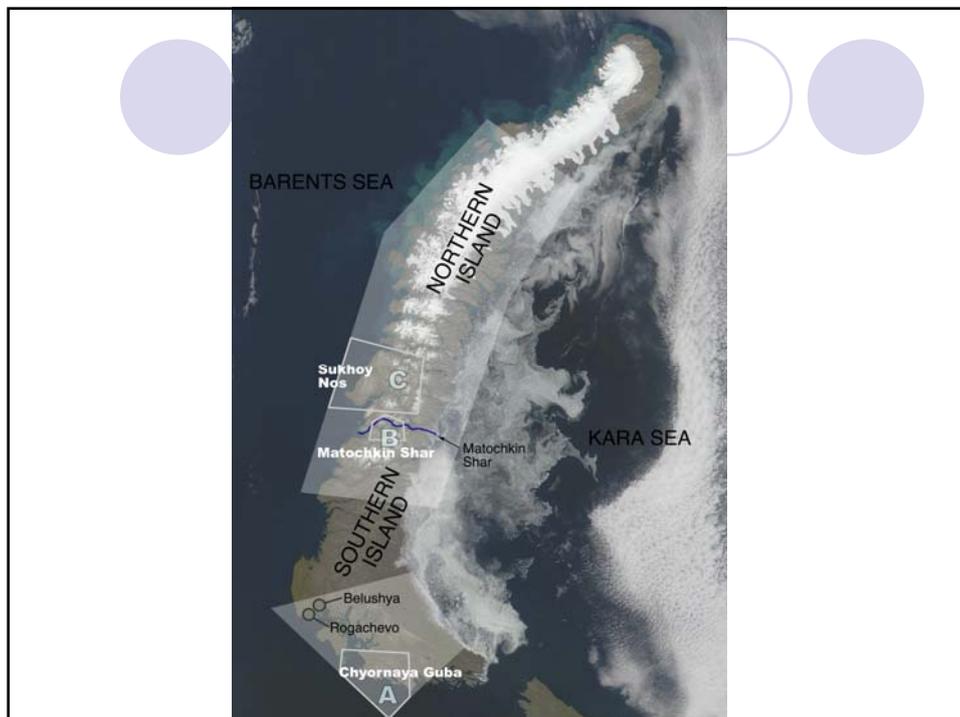


沙皇炸彈的爆炸過程

- 沙皇炸彈是一種具備三階段性爆炸的氫彈武器，雖然說它的爆炸威力被削減為5000萬噸，但是仍然相等於二戰中所有使用的炸彈總量十倍。
- 它的第一階段的起爆以核分裂為準，然後壓縮程序變成核融合；大部分的氫彈都是利用第一階段所產生的能量壓縮成倍增的核融合階段，也就是從裂變引發聚變，聚變釋放出的中子誘發出更劇烈的裂變；沙皇炸彈的威力在這一點上成功地表現出來。
- 理論上只要三個階段全部完成就能夠釋放出一億噸TNT炸彈的威力，不過經過俄方物理學家的計算與評估後，假設沙皇炸彈在英格蘭中部發威，尤其若為了造成大規模地面破壞效果而以低空方式引爆，其引爆後含有放射物質的落塵也會輕易地影響到華沙公約組織國家；如果在當時的西德上空引爆，致命的落塵更是能影響到蘇聯的邊界地區。
- 為了以落塵著想，原來包覆融合蕊用的鈾238被換成鉛，這樣也就能控制融合反應中擴大進行裂變反應的鈾原子與中子的速度，在融合階段中的中子加速裂變的過程也就被終止，因此全部的能量中大約97%來自於核融合方式；後來的試爆也都比照這個方式，以避免無法預期與控制的落塵造成鄰近或偏遠地區以及國家的嚴重影響。

沙皇炸彈的爆炸結果

- 一開始美方估計爆炸當量是5700萬噸，但是從1991年起俄羅斯的資料宣稱只有5000萬噸；赫魯雪夫倒是在對蘇共大會演講的紀錄片當中「恫嚇」西方這一次試爆有一億噸TNT的威力（這是原來的威力）。爆炸的功率約為 5.4×10^{24} 瓦特，為太陽功率的1.4%。
- 爆炸當時所產生的火球直徑就長達4600公尺，遠超過引爆的高度，所以火球很快地就席捲了大地；之後又幾乎擴散到剛剛轟炸機投擲的高度，而且將近1000公里外的地方都還看的到。爆炸後的蕈狀雲寬達將近40公里，高達60公里，比珠穆朗瑪峰還高7倍多；爆炸產生的熱風甚至可以讓遠在170公里以外的人受到3級灼傷，爆炸的閃光還能造成220公里以外的眼睛劇痛與灼傷，甚至造成白內障以及失明。
- 整個爆炸連芬蘭都能發現和感覺到，並造成當地房屋的玻璃破碎；爆炸所產生的暴風壓力就高達每平方呎300磅，足足吹送了將近1000公里的範圍。雖然這一次試爆是在空中試爆，但是往地球傳送的震波被美國地質調查儀偵測到引起芮氏地震規模5~5.25的地震。
- 距離測試地點55公里外的塞佛尼殖墾地（Severny settlement）中所有木造或磚造的房屋全毀；數百公里內的木造房屋均全毀，只有磚造或石造房屋殘留，但是都沒有門窗與屋頂；爆炸後的電磁脈衝波（EMP; Electromagnetic pulse）足足造成了一個小時的無線電通訊空窗期；爆炸後所引發的大氣擾動（atmospheric disturbance）環繞了地球三次。

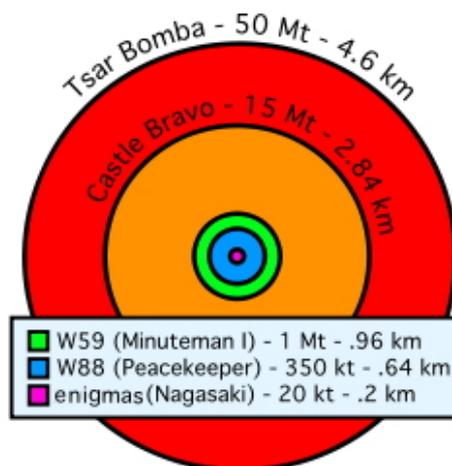


沙皇炸彈的比較

- 新地島的試爆是全世界所有已知爆炸事件中規模排名第二的，希克蘇魯伯隕石坑才是第一名，規模相當於100萬億噸黃色炸藥（1014TNT當量）。
- 至於前面提到的通古斯加事件，這一次的試爆又比它規模大了將近三倍（通古斯加事件的爆炸威力相當於10~15百萬噸）；
- 至於撞擊在美國亞利桑那州的巴林傑隕石坑的威力大約是2.5百萬噸，相當於120顆丟在長崎的胖子原子彈，或者是172顆砸在廣島的小男孩原子彈，所以規模排名第四。

沙皇炸彈的威力

- 紅色外圈是沙皇炸彈發威的範圍，爆炸的火球直徑就長達4.6公里；中間粉紅色的小圓圈是在長崎爆炸的胖子原子彈。

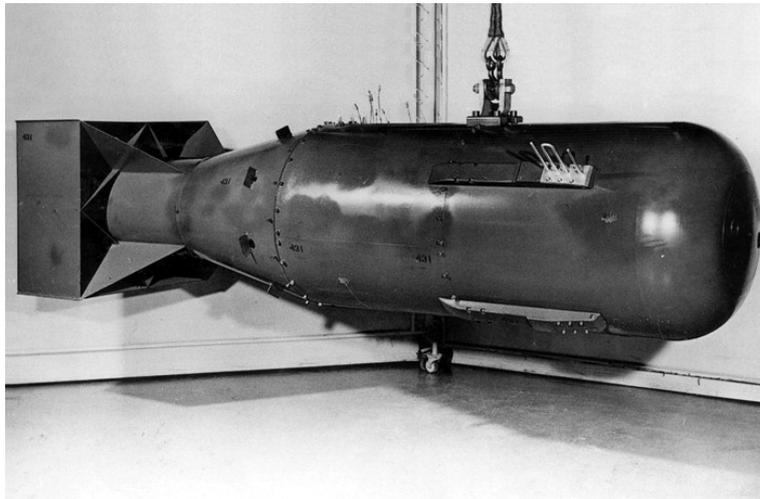


沙皇炸彈的附記

- 執行這一次試爆任務的飛機是一架從駐科拉半島基地的Tu-95轟炸機V型（特製機種，目前展覽於俄羅斯中央空軍博物館），由安德烈·杜爾諾夫柴夫少校（Major Andrei E. Durnovtsev）駕駛；另外伴隨一架Tu-16獵式噴射轟炸機作為觀測機，負責將試爆的畫面以圖片與影像紀錄下來，同時將爆炸時的空氣作樣本收集。
- 由於「沙皇炸彈」過於龐大，所以該架Tu-95任務機必須將機體內的燃油槽與機腹炸彈艙門移除才能執行任務。（這也就是沙皇炸彈無法服役實戰化的主要原因）。
- 杜爾諾夫柴夫少校於任務結束後馬上就地升任中校，並且獲頒蘇聯英雄勳章（Герой Советского Союза）一枚。
- 執行任務的兩架轟炸機均塗裝含有特殊材質的白色無反光塗料（西方情報單位推測為含矽陶土的塗料）以避免試爆的高溫造成人員或任務機的損傷。
- 另外為了試爆人員的安全考量，沙皇炸彈還特別加裝一副重達800kg的減速傘，以延遲炸彈釋放墜落後的時間與速度（釋放後到起爆時差為188秒），也好讓任務機與觀測機能夠撤到距離原爆點45km以外的安全範圍。

小男孩原子彈

- 小男孩（Little Boy）是第二次世界大戰時美國在日本廣島投擲首枚原子彈的名稱。

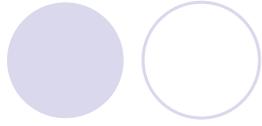


小男孩原子彈

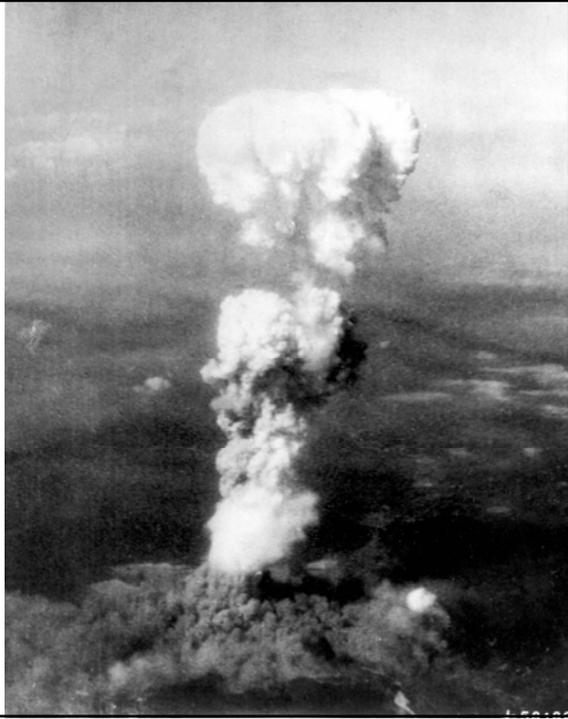
- 1945年8月6日由保羅·提貝茲（Paul Tibbets）駕駛的B-29超級空中堡壘轟炸機「艾諾拉·蓋」（Enola Gay）在廣島相生橋上空31000英尺（9000米）投下。在日本當地時間早上8時15分，在1,800呎（550米）高度爆炸。
- 小男孩長10英尺（3米），寬28英寸（71厘米），重8900磅（4000公斤）。
- 使用鎗式設計，將一塊低於臨界質量的鈾-235以炸藥射向三個同樣處於低臨界的環形鈾-235，造成整塊超臨界質量的鈾，引發核子連鎖反應。
- 小男孩裝有60公斤的鈾-235，當中只有約一公斤在爆炸中進行了核裂變，釋放的能量約相等於13000公噸的TNT烈性炸藥，即大概為 5.5×10^{13} 焦耳。
- 約七萬人直接死於小男孩的原爆，大約相同的人受傷。
- 隨後再有大量的人死於核子塵埃放射引起的癌症。懷孕的母親亦因為放射而出現流產，部分初生嬰兒畸形發育。
- 據統計，截止到1999年，死於小男孩原子彈的人數已上升至20萬。
- 目前廣島市依然將相生橋附近的地区列為放射污染區。

小男孩原子彈

- 小男孩這種設計的核武器在使用前並未進行過實際試驗。
- 美國於1945年7月16日在新墨西哥沙漠試爆的第一枚原子彈是以鈾為原料。
- 當時美國的濃縮鈾只足以製造一枚鈾核彈，而且已有使用受控制的鈾核反應爐的經驗，對這種鈾-235的核反應已有相當認識。因此認為可以毋需浪費珍貴的鈾進行實彈試驗。
- 小男孩採用的引爆設計因為存在頗大的危險性，所以之後只在試驗武器上出現，而再沒有在其他武器上使用。
- 如果運載小男孩的飛機墜毀，彈內的鈾塊可能被撞擊會擠在一起，到達臨界質量後或會釋放大量幅射，甚至可能全面爆炸。
- 如果飛機掉進水中，炸彈入水後亦很可能會起爆。
- 有人猜測小男孩的鈾部分可能是由德國提煉的。德國投降時，德國海軍的U-234潛艇正在運送各種新武器技術及鈾原料前往日本。在接到德國無條件投降的消息後，U-234連同艦上貨物向美軍投降，而兩名本來隨艦的日本軍官則在艦上自殺。據聞艦上的鈾原料後來被美國用在曼哈頓計劃當中。

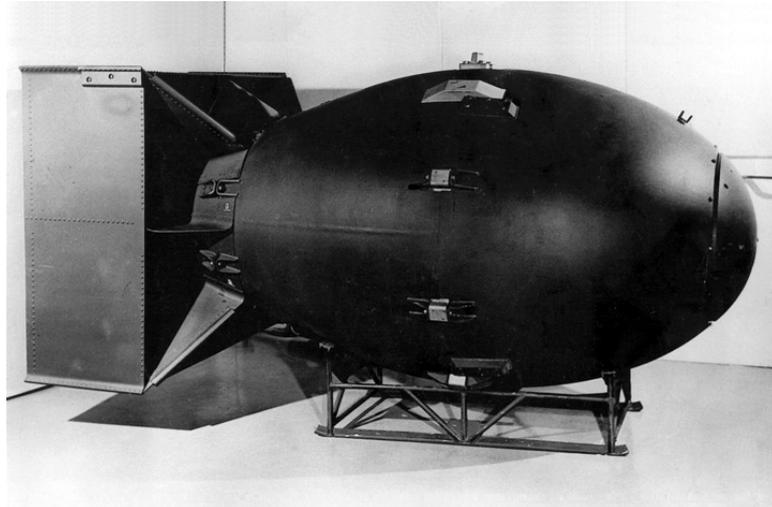


- 小男孩在廣島上空引爆，產生巨大的蕈狀雲



胖子原子彈

- 胖子 (Fat Man) 的是第二次世界大戰時美國在日本長崎投擲的原子彈的名稱。



胖子原子彈

- 1945年8月9日，即廣島首枚原子彈爆炸後3天，由查理士·斯文尼（Charles Sweeney）駕駛的B-29超級空中堡壘轟炸機「博士卡」（Bockscar）在長崎上空31000英尺（9000米）投下。
- 在日本當地時間早上11時02分，在1,800呎（550米）高度爆炸。
- 「胖子」是人類歷史上對人類第二次使用的核武器，亦是至今為止最後一次對人類使用的核武器。
- 胖子長10 英尺八吋（3.25米），直徑五英尺（1.52米），重10,000磅（4545公斤）。釋放的能量約相等於2.1萬公噸的TNT烈性炸藥，即大概為8.4 x10¹³ 焦耳，比投擲在廣島的首枚原子彈稍多。
- 由於長崎地勢多山，造成的損害比平坦的廣島較低。約四萬人直接死於胖子的原爆，約25000人受傷。約7000平方米之建築物被夷平。之後數萬人死於核子塵埃放射引起的癌症。
- 胖子本來的首要攻擊目標為日本另一城市小倉。當天早上博士卡號飛到小倉上空時，發現當地被雲層覆蓋，於是斯文尼決定改為攻擊後備目標長崎。

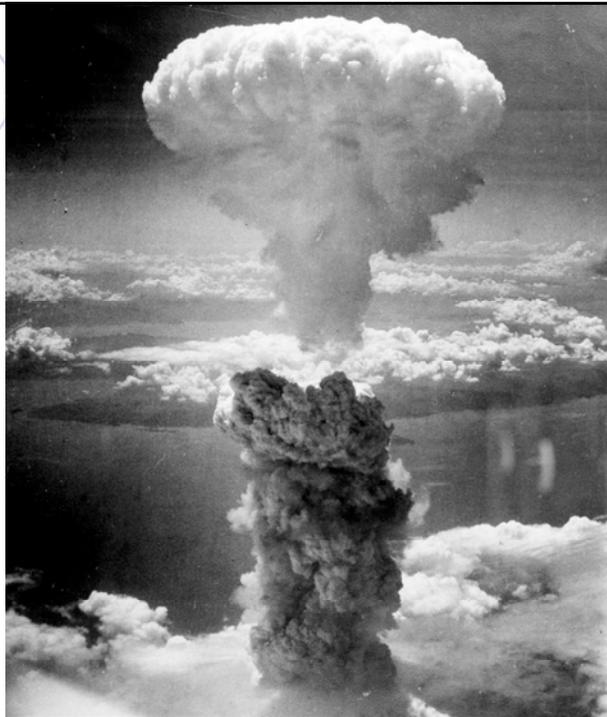
胖子原子彈

- 胖子是內爆式鈾彈。處於低臨界的球形鈾，被放置在空心的球狀炸藥內。周圍接上了32枚同時起爆的雷管。雷管接通起爆後，產生強大的內推壓力，擠壓球形鈾。當鈾的密度增加至超臨界狀況，引發起核子連鎖反應，造成核爆。
- 曼克頓計劃原先設計了三種不同的原子彈：
 - 使用「鎗式」起爆的鈾彈，因為長形的彈身，被稱為「瘦子」(Thin Man)。
 - 使用內爆式的鈾彈，因圓渾彈身外形，被稱為「胖子」(Fat Man)。
 - 使用「鎗式」起爆的濃縮鈾彈，則稱為「小男孩」(Little Boy)。
- 後來發現從反應爐得出的鈾，自發中子比原先計算的多。如果使用鎗式起爆，將數塊鈾結合，連鎖反應會在裂變物料剛剛到達超臨界時立即開始；產生的能量會把其餘大量尚未進行裂變的材料炸開，造成釋放能量大為下降的「提前起爆」(Fizzle)。
- 要以「鎗式」起爆鈾彈並非不可能；但是炸彈可能需要長達19英尺，這種設計超越當時B-29的載負能力所以不可取。故此瘦子計劃被取消，改為發展內爆式的胖子。

胖子原子彈

- 由於內爆式鈾彈是一種嶄新的設計，因此美國在使用前，先在1945年7月16日新墨西哥州試爆了另一枚同一模式，稱為「小玩意」（Gadget）的原子彈。結果試驗非常成功，得到的當量達二萬公噸，比原先預計高出二至四倍。
- 蘇聯的首枚試爆的核武器設計基本上與胖子相同。
- 美國在二次大戰後曾生產少量與胖子相同的核武。但由於它們操作困難，亦難以長期保存，所以後來全部被大幅改裝，稱為「胖子四型」（Mk4 Fat Man）。

- 胖子在長崎引爆所產生的巨大蕈狀雲

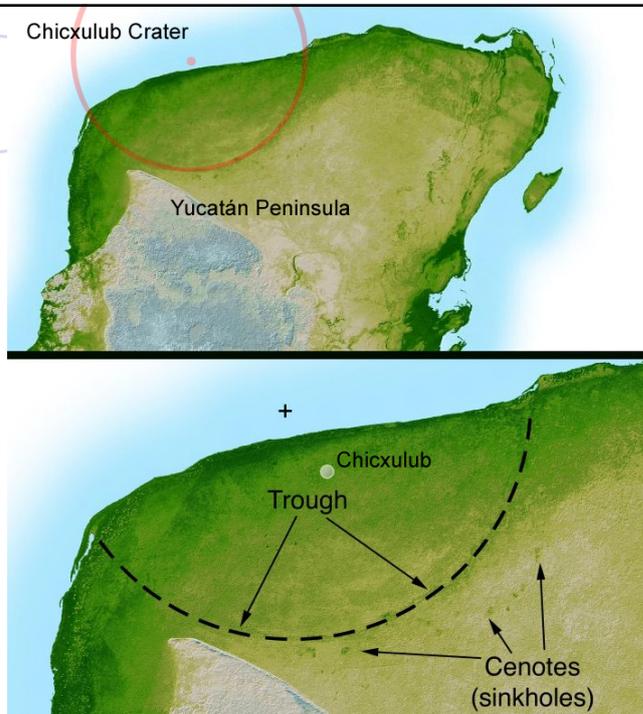


美國在二次大戰後生產的胖子四型核彈



希克蘇魯伯隕石坑

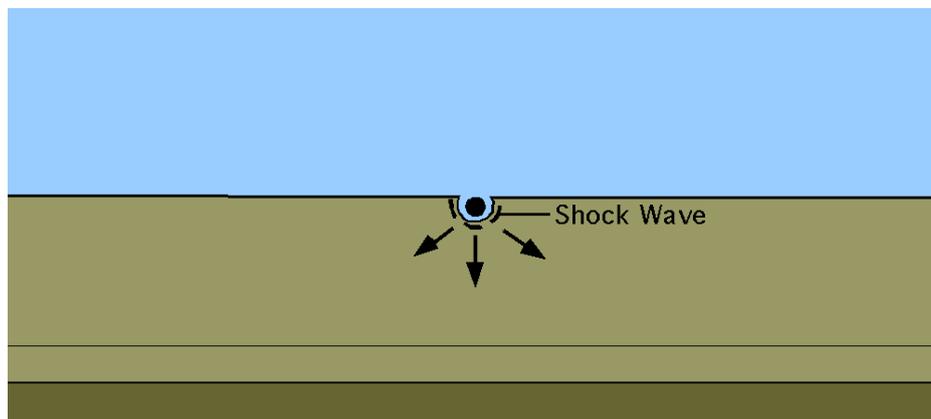
- 雷達的探測呈現出直徑180公里的希克蘇魯伯隕石坑邊界。



希克蘇魯伯隕石坑

- 希克蘇魯伯隕石坑 (Chicxulub crater) 是一個位在墨西哥猶加敦半島的撞擊隕石坑，埋藏在地表之下。
- 這個隕石坑的名稱，取自於隕石坑中心附近的城市希克蘇魯伯；希克蘇魯伯在馬雅語意為「惡魔的尾巴」。
- 根據推測，隕石坑整體略呈橢圓形，平均直徑約有180公里，是地球表面最大型的撞擊地形之一。
- 在70年代晚期，地質學家Glen Penfield在猶加敦半島從事石油探勘工作時，發現個這個隕石坑地形。
- 目前已在該地區發現衝擊石英、重力異常、玻璃隕石等地質證據，可證明希克蘇魯伯隕石坑是由撞擊事件造成。
- 從岩石的同位素研究得知，希克蘇魯伯隕石坑的年代約為6,500萬年前，時當白堊紀與古近紀交接時期。
- 由於該隕石坑的規模與年代，希克蘇魯伯隕石坑常被認為是造成白堊紀-第三紀滅絕事件的成因，並造成恐龍等生物的滅絕；但也有科學家提出當時另有其他的滅絕因素。
- 近年來，另有多重撞擊理論，認為當時有許多顆隕石在短時間內撞擊地球，而希克蘇魯伯隕石坑僅是其中一顆。
- 另有天文研究指出，這些隕石是在1億6,000萬年前分裂而成。
- 2010年3月5日，一個國際研究小組在《科學》雜誌上發表研究報告，確認在6500萬年前，一顆小行星撞擊今天墨西哥境內的希克蘇魯伯地區是造成白堊紀-第三紀恐龍大滅絕的原因。

撞擊過程的動畫



希克蘇魯伯隕石坑的發現

- 早在1951年，墨西哥石油公司（Petróleos Mexicanos）就已在猶加敦半島開鑿數個鑽井，曾經在約1.3公里深處，挖到相當厚的安山岩層。
- 安山岩是由地球的內部地熱形成，或是由撞擊事件產生。在探勘時，這些安山岩只被認為是熔岩穹丘，但該地區很少火山地形。
- 在1978年，地質學家Glen Penfield在墨西哥灣利用飛機進行地磁學調查，替墨西哥石油公司從事石油探勘工作。
- Glen Penfield發現在猶加敦半島外海的海床之下，有個直徑達70公里的對稱環狀地形。隨後他調閱於1960年代製作的猶加敦半島重力異常圖，發現猶加敦半島也有一個弧狀地形，兩者組成一個完整的圓形結構，直徑達180公里寬，中心接近希克蘇魯伯。但由於與墨西哥石油公司的合約，Glen Penfield並沒有公佈他的發現。
- 雖然墨西哥石油公司無法讓Penfield公開明確的資訊，Penfield以及他的上司Antonio Camargo還是於1981年的地質學年會發表了他們的研究成果。
- 由於大多數的與會者都另外參加了一場關於地球撞擊事件的專題討論會，使得當年的地質年會出席率不高，他們的成果也沒有受到重大的矚目。Glen Penfield企圖獲得50年代的地質標本，但這些地質標本已經遺失。Glen Penfield企圖回到探勘地點，但無所獲，於是他放棄研究，繼續替墨西哥石油公司探勘石油。

希克蘇魯伯隕石坑的發現

- 在1980年，路易斯·沃爾特·阿爾瓦雷茨（Luis Walter Alvarez）、與兒子沃爾特·阿爾瓦雷茨（Walter Alvarez）、弗蘭克·阿薩羅（Frank Asaro）、海倫·米歇爾（Helen Michel）等人提出白堊紀與第三紀的交接時期，曾有顆小行星撞擊地球表面，造成白堊紀末期的大規模滅絕事件。
- 在1981年，亞利桑那大學的研究生艾倫·希爾德布蘭（Alan R. Hildebrand）與指導教師威廉·波昂頓（William V. Boynton）也提出小行星撞擊地球理論，並認為撞擊地點可能位在加勒比海地區。
- 希爾德布蘭到海地進行K-T界線研究，在棕綠色黏土沉積物中找到了高含量的鈷、衝擊石英，以及類似玻璃隕石的風化物質。該地還發現由雜亂岩石構成的厚沉積層，可能是由撞擊事件引起的大型海嘯帶來的岩塊。
- 在加勒比海地區的K-T界線，還可發現許多類似的地層。海地教授Florentine Moras認為這是海地的史前火山證據，但希爾德布蘭認為這是附近曾發生撞擊事件的證據。在K-T界線發現許多玻璃隕石，只有撞擊事件或核爆產生的高溫會形成這種岩石。
- 在1990年，休士頓紀事報的記者Carlos Byars告知希爾德布蘭，Glen Penfield可能在10幾年前在猶加敦半島發現撞擊隕石坑。希爾德布蘭與Glen Penfield取得聯繫，另外研究了墨西哥石油公司於1951年時在另外兩處鑽井取得的樣本，儲放在紐奧良。這些地質樣本都顯示著變質岩的特徵。
- 在1996年，一組加州地區的研究團隊，包含凱文·波普（Kevin O. Pope）、艾德里安娜·奧坎波（Adriana Ocampo）、以及Charles Duller，使用衛星影像展開研究。他們發現環狀地形上分佈著陷洞構造，這些下陷的洞或天然井被認為是撞擊坑邊緣的滑動與崩塌所造成的[9]。還有一些研究宣稱該撞擊構造另有一個大坑，直徑300公里；多數人研究的坑體只是小的內坑。

希克蘇魯伯隕石坑的撞擊事件

- 造成隕石坑的撞擊物體，直徑推測至少有10公里寬，撞擊後完全蒸發，釋出高達 4.0×10^{23} 焦耳的能量，相當於100兆噸黃色炸藥（ 10^{14} TNT當量）。人類歷史中最強的人造爆裂物是沙皇氫彈，爆炸威力只有5,000萬噸黃色炸藥；而希克蘇魯伯撞擊事件的能量是沙皇氫彈的200萬倍。科學家估計科羅拉多州的La Garita Caldera火山口是地質歷史中規模最大的火山爆發，威力為 1.0×10^{22} 焦耳，也遠小於希克蘇魯伯撞擊事件。
- 希克蘇魯伯撞擊事件會引發大規模海嘯，並使大量高熱灰塵進入大氣層，而撞擊地點會在數秒內被撞擊後再度落下的噴出物覆蓋。撞擊體的碎片與再度落下的噴出物，會造成全球性的火風暴。而極大的撞擊波可能引發各地的地震與火山爆發。
- 撞擊事件會造成大量的灰塵進入大氣層，長時期遮擋陽光，妨礙植物進行光合作用，而在食物鏈上層的草食性動物、肉食性動物也跟著滅亡，造成生態系統的瓦解。撞擊事件也可能造成大量的二氧化碳進入大氣層中，形成明顯的溫室效應。
- 該撞擊很可能引起了地球自轉和公轉特徵的改變，例如日地距離的變化，導致太陽光照下降，也引起了印度的火山長時間的活躍的噴發。總之多種因素，導致氣候變得更加寒冷乾燥溫差增大等，植物光合作用下降，不利於被子植物和大型爬行動物的生存。
- 在2008年2月，德州大學的Sean Gulick等人利用地震學資料，提出該隕石撞擊到的水域，比往常所認定的更深。他們提出這將造成更多的硫酸氣溶膠，嚴重影響氣候，造成更多酸雨。

希克蘇魯伯隕石引起的滅絕事件

- 加州大學柏克萊分校的物理學家路易斯·沃爾特·阿爾瓦雷茨、與地質學家沃爾特·阿爾瓦雷茨等人提出恐龍等動物與植物是因撞擊事件而滅亡。
- 根據他們的推測，該次滅絕事件與希克蘇魯伯撞擊事件的發生時期相近，可能是因這個撞擊事件導致而成。他們的理論目前被科學家廣泛地接受。
- 但某些科學家提出異議，例如古動物學家羅伯特·巴克（Robert Bakker），提出這個規模的滅絕事件應該也會使青蛙滅亡，但牠們存活下來了。普林斯頓大學的Gerta Keller根據希克蘇魯伯的岩芯樣本，提出希克蘇魯伯撞擊事件發生於滅絕事件之前30萬年，因此不是滅絕事件的主因。
- 除了隕石坑以外，撞擊事件的證據還有全球各地的K-T界線的薄黏土層。在70年代晚期，阿爾瓦雷茨等人提出該黏土層有高含量的銱。銱含量高達6ppb，而地殼的銱含量僅0.4ppb而隕石的銱含量達470ppb。隕石撞擊造成的灰塵雲在全球沉降後，便形成銱含量極高的黏土地層。

多重撞擊理論

- 近年來，在北緯20度至70度之間的地區內，發現了更多與希克蘇魯伯隕石坑同年代的撞擊坑。例如：英國北海外海的銀坑隕石坑、烏克蘭的波泰士隕石坑，這些隕石坑的規模較小，有可能是由數公噸重的物體撞擊所造成。
- 這些發現促成了此一假設：希克蘇魯伯隕石坑發生時期的白堊紀-第三紀滅絕事件，可能係由一連串隕石撞擊而造成。同一時期的疑似撞擊事件還有在印度洋發現的濕婆隕石坑；但此坑狀構造的成因還有許多爭論。
- 1994年，蘇梅克-列維9號彗星撞擊木星的事件，證明彗星會受行星的重力交互作用影響，而在撞擊前會分裂成數塊，而這些碎塊會在短時間內連續撞擊行星。蘇梅克-列維9號彗星因為木星的重力扯碎，而太陽系過去極可能發生過類似的事件。在6500萬年前，地球附近可能也曾發生同樣的事。
- 但在2006年晚期，明尼蘇達大學的地質學家Ken MacLeod所完成的地質分析，卻支持單一撞擊理論。他研究了距離希克蘇魯伯隕石坑4,500公里的海底土壤與沉積物組成，而分析的結果顯示地層中僅有一層撞擊沉積物；在遠達4,500公里的距離仍未發現其他撞擊造成的沉積物，表示同時期應該只有發生過一次撞擊事件。然而，提出多重撞擊理論的Gerta Keller認為這個研究結果過於主觀、誇大。