

和平利用原子能

掛圖說明書

科學普及出版社

目 次

一、原子核和原子能	1
二、研究原子能的工具——探测器和加速器	4
三、原子原料的探测	6
1. 鈾礦	6
2. 礦石的室內鑑定	7
3. 航空普查鈾礦床	8
4. 汽車普查鈾礦床	9
5. 輕便輻射儀	9
四、原子核反應堆及原子能發電站	10
1. 原子能發電站	10
2. 原子能發電站的反應堆	11
3. 反應堆功率的調整	12
4. 5,000 瓩原子能發電站主要廠房的模型 (比例 $\frac{1}{40}$)	13
5. 200,000 瓩原子能發電站	13
6. 實驗重水反應堆模型	14
五、放射性同位素在化學上的應用	15
1. 穩定性同位素	15
2. 輻射化學	16
3. 用天然放射性元素測量岩石的地質年齡	17
4. 超微量分析	18
六、放射性同位素在工業上的應用	18
1. 放射性同位素在高爐冶煉中的應用	18
2. 放射性同位素在平爐冶煉中的應用	20
3. 放射性同位素在電爐冶煉中的應用	21
4. 放射性測井法	22
5. 利用放射性同位素測定刀具磨損	22

6. 利用放射性同位素檢查鋼管缺陷	23
7. 工業用的 γ 探傷器	24
8. 合金中重金屬元素含量的快速測定儀	25
9. 放射性液面指示器	26
10. 測定鋼板和覆蓋層的厚度	26
11. 物品計數器	27
12. 棉條均勻度測定儀	27
13. 非接觸的重量測定儀	28
14. 應用放射性鉍 210 的靜電中和儀	29
七、放射性同位素在農業上的應用	30
1. 標記原子法	30
2. 電離輻射對植物的作用	32
八、放射性同位素在生物學上的應用	32
1. 研究個別器官機能的方法“射綫刀”	33
2. 照射對細胞滲透性的影響	33
3. 照射對生殖及遺傳機能的作用	34
4. 腸菌利用鈷合成維生素 B_{12}	34
5. 利用放射性同位素測定腦中代謝速度的變化	35
九、放射性同位素在醫學上的應用	35
1. 放射綫的防護	36
2. 用放射性同位素診斷	37
3. 用放射性同位素治療	37
十、原子能和平利用的偉大意義	38

一、原子核和原子能

自然界裡，所有的生物和非生物，都是由各種不同的元素組成的。到目前為止，已發現有102種不同的元素（其中10種是人造的），最輕的一種元素叫氫，最重的一種元素叫釷。任何一種元素都是由同一類的原子組成的，所以我們可以說組成元素的最小單位是原子，原子是一種很小的粒子。在原子的中心，有一個帶正電的核，繞着核旋轉的是帶負電的電子。

如果把一萬萬個原子排列起來，不過1厘米長；原子裡的原子核就更小了，一個原子核的直徑只有原子直徑的幾萬萬分之一。把原子放大到一座200米高的樓那麼大，那時原子核只有一個櫻桃那麼大。

原子核雖然那麼微小，裡面並不簡單，它是由兩種更小的粒子組成的，那些更小的粒子叫做質子和中子，它們靠核力的作用，緊密地結合在很小的原子核裡。如果把一顆小米粒那樣大的容積裡裝滿原子核，它能有一百艘大海輪那麼重！可見核的密度是很大的。核外電子的質量呢？只有質子或中子質量的 $\frac{1}{1840}$ ，因此我們可以認為一個原子的質量都集中在核裡。

1. 原子核的構造

原子核是由質子和中子等基本粒子組成的。質子是帶電的，它所帶的電和電子所帶的電量相等，但符號相反，也就是說質子帶的是正電，電子帶的是負電。中子呢？不帶正電也不帶負電。

每一種元素的原子都具有一定數目的電子。元素的化學性質主要決定於原子中的電子數。原子核裡的質子數和核外的電子數恰好相等，因此原子是中性的。同一元素的原子具有相同的質子數和相同的電子數，但是中子數未必相同。例如氫元素就有三種：氫、重氫和超重氫。它們的原子核裡都有一個質子，但是氫原子核裡沒中子，重氫原子核裡有一個中子，超重氫的核裡有二個中子。我們把它們叫做氫元素的同位素。（它們排列在元素周期表的同一位置上）。

鈾元素，有兩種重要的同位素，就是鈾238和鈾235，它們原子核裡都有92個質子，但是鈾238有146個中子，而鈾235只有143個中子。

凡是核中質子數相同，但中子數不同的元素叫做這元素的同位素。

為方便起見，我們常用一種符號來代表一種元素的同位素，例如：用 ${}_{92}\text{鈾}^{235}$ 表示鈾的一種同位素，表示它的原子核裡共有235個質子和中子，其中有92個是質子，其餘的是中子；又如 ${}_{8}\text{氧}^{16}$ 表明一種氧的同

位素，它的原子核裡共有 16 個質子和中子，其中 8 個是質子。

2. 原子核能

我們發現原子核的質量，都小於組成原子核的中子和質子單獨存在時的質量和。例如氦原子核的質量比二個質子、二個中子質量的和小。這微小的差數，就跟二個中子、二個質子結合成氦時，所發出的能量有關，這個能量叫做結合能。據根物理學中愛因斯坦的質量和能量相聯系的定律可以知道，質量的差數雖小，但相應的能量却是很大很大的。舉例來說：從 1 千克重氫合成氦時所放出的能量，相當於燃燒 13,600 萬噸的汽油所得到的能量。

我們試用一個圖來表示結合能跟核裡的質子、中子數目有什麼關係(圖 1)：縱坐標表示結合時每克物質所放出的能量，以百萬仟卡作能

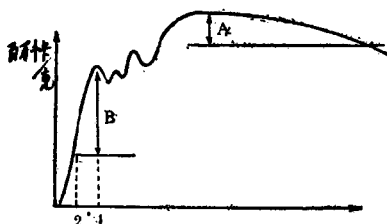


圖 1 結合能曲線

量單位。橫坐標表示核內質子及中子數目的總和。在這個圖裡可以看出輕的元素(質子和中子總數很小的)和重的元素(質子和中子總數比較大的如鈾²³⁸)，每克的結合能都比中間元素(中子和質子的總和在 100 左右的)來得小。這說明當重元素裂變時(例如鈾裂變成二個中間元素時)或很輕的

元素結合時(例如重氫結合成氦)，都可能有多餘的能量釋放出來。當重元素分裂時，每克有 Δ 百萬仟卡能量放出，輕元素結合時，每克有 B 百萬仟卡能量放出。這些能量比同樣數量物質起化學反應時所放出的能量大得多，人們可以利用它們作為巨大的能量來源，這就是鈾堆、原子彈、氫彈和熱核反應所以能產生巨大能量的原理。

3. 原子核的放射性

很多天然的重元素，例如鈾、鐳等都是不穩定的，它們會自動地從核裡放出某種射線，自身轉變成較輕的核，這種現象叫做衰變。

大致說來，在衰變過程中可能放出三種不同的射線：有一種放出氮核的叫 α -射線，或叫甲種射線，這種射線是帶正電的高速粒子流；另一種叫 β -射線，或叫乙種射線，這種射線是帶負電的高速電子流；又一種是電磁輻射，叫 γ -射線，或叫丙種射線，它的性質和 X 光類似，不過波長更短罷了。丙種射線往往伴隨甲、乙兩種射線同時放出。

凡具有放出射線的這種性質，叫做放射性。

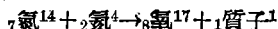
鈾的同位素(RaE^{210})，衰變成鉛可以有不同的過程：有時候鈾先放出一個 β 粒子就變成釷(PO)，釷再放出一個 α 粒子才變成穩定的

鉛(Pb); 但有時鉍却先放出一個 α 粒子後變成銨(Tl), 銨再放出一個 β 粒子才變成同樣的鉛。

這種具有天然放射性的元素, 叫做天然放射性元素。

4. 用原子核反應製造人工放射性同位素

有些重元素具有天然放射性, 會自動放出射綫而轉變成為別種元素。在 1919 年, 英國科學家盧瑟福用 α 粒子打擊氮原子核, 氮轉變成一種氧的同位素了, 類似這種過程叫做原子核反應。就是一個原子核跟中子、質子或者跟另一個原子核非常接近的時候發生的現象。氮的核反應可以用下列公式來表示:



這是歷史上第一次用人工方法改造了元素。

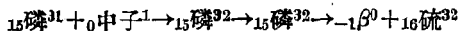
1934年, 約里奧居里夫婦發現用相似的方法所產生的元素, 一般都有放射性。例如, 用 α 粒子轟擊鋁核, 反應後得的磷的同位素就具有放射性。這種用人工方法制得的放射性同位素, 叫做人工放射性同位素。在目前已經知道的 102 種元素中, 同位素有 1100 種以上, 其中 270 種是穩定的, 800 種是人工放射性同位素, 其餘 40 種是天然放射性同位素。

人工放射性同位素在工業、農業、醫學和科學研究等方面的應用都很廣泛。

5. 中子引起的原子核反應

如果用帶正電的粒子(如 α 粒子、質子等)作砲彈, 來轟擊原子核, 那末這粒子必須有很高的速度, 才能打進原子核裡, 因為它受核的正電排斥, 速度小就很難打進去。如果用中子來轟擊原子核, 因為它不帶電, 就可以不受到排斥, 在很接近原子核時, 它反能受到原子核的吸引, 所以它很容易鑽進原子核裡去, 引起原子核反應。跑得慢的中子, 容易受核吸引, 就更容易鑽進原子核, 使原子核變得不穩定, 而成為放射性同位素。

圖中就有一個用中子引起的原子核反應: 磷吸收了慢中子以後, 成為有放射性的磷的同位素, 然後放出 γ -光子和電子而變成硫。



放出 γ -射綫

這反應式裡的 ${}_{-1}\beta^0$ 表示一個帶着負電的電子, 因為它的質量只有質子和中子質量的 $\frac{1}{1840}$, 所以 β 的右上角只好記下一個 "0"。

6. 反應堆中的鏈式反應

中子是很容易引起原子核反應的。在研究中子對鈾核的作用時, 發現了一種新的, 很重要的現象, 就是鈾²³⁵核吸收中子以後, 分裂為二塊質量差不多大的碎片, 並放出二個或三個中子來, 同時正像人們所希望

的一樣，可以放出大量的能量。

這些放出的中子如果再打中新的鈾核，又會引起新的分裂，並且中子又增加二、三倍，這樣繼續下去，就形成了鏈式反應，可以連續地放出大量的能量來，從此人們才找到了大量釋放原子能的方法。

但是要放出大量的原子能，必須有一種特殊的設備才行，這種設備叫做原子反應堆，在這里能調節鏈式反應的速度，產生很大的能量和新的原子燃料。

二、研究原子能的工具——探測器和加速器

怎樣來判斷哪些物質具有放射性，以及放射綫的性質怎樣呢？必須使用探測器來探查。

探測器能判別物質有沒有放射性和它放射的是哪一種射綫。探測器的種類很多，有氣體放電式計數器、電離室、閃爍計數器、雲霧室和原子核乳膠等等。但是它們的基本原理都是利用射綫或粒子和物質的相互作用的現象來製成的。

氣體放電式計數器的主要部分是計數管，這是一個用金屬作的或玻璃作的管子，在管的裡面塗着一層金屬，中間鑲着一根金屬絲，金屬層和金屬絲間加上高電壓，就相當於兩個電極，管裡充着氣體。當射綫或粒子射到管裡，使氣體分子電離，由於管壁和絲中間有相當高的電壓，管子裡就產生放電現象，有電流通過；這樣在綫路裡的電壓就產生一個突然的變化，我們叫它“脈衝”。這脈衝經過放大器的放大以後，可以用一個記錄器記錄下來，我們根據記錄下的脈衝數就可以知道放射性物質放出來的如 α 質點、中子、質子、電子等的數目。

最常用的一種氣體放電式計數器，叫做蓋革——繆勒計數器（這名是爲了紀念發明人起的），它放大的倍數高，應用方便，容易攜帶。因此在工業、醫藥、地質勘探、農業、生物等方面，應用放射性同位素和標記原子時，都是利用這種計數器來探測放射性的。

電離室也是根據射綫能使氣體放電的原理製成的，不過它的性質和用途跟前面所說的計數管有些不同。

閃爍計數器的主要部分是個閃爍體和一個光電倍增管。閃爍體具有這樣的性質：當有粒子或射綫射到這種晶體裡面的時候，它就發光。這種光經過光電倍增管變成電流，把這電流在綫路裡產生的電壓脈衝，經過放大以後，用記錄器記下來。

一般常用的閃爍體有硫化鋅、碘化鈉或碘等，它們的性質也不一樣，有的適於探測 α 、 β 射綫，有的適於探測 γ 射綫，有的還可以計數中子。

雲霧室是利用自然界水汽成霧的道理做成的。當空氣中的水蒸汽達到過飽和的時候，如果空氣很潔淨，沒有可以凝聚水汽的塵粒或帶電粒子，水汽就不能變成霧；如果有射綫或粒子射過的時候，一些氣體分子被電離成離子了，水汽就在離子周圍凝成水滴。因為在射綫或粒子跑過的路上產生了許多離子，水汽就凝成一聯串小水滴。所以凡有射綫或粒子走過的路上就可以看到由水滴排列成的徑跡。

膨脹雲霧室又叫威爾遜雲霧室，它是利用氣體膨脹時溫度降低的道理來使水汽成為過飽和狀態，射綫經過時產生的徑跡，還可以用照相的方法拍下來。這裡有 α 、 β 射綫的照片和鈾分裂的照片。 α -射綫就是氦原子核，帶的電是電子電量的兩倍（符號相反），質量也比電子大，因此它的電離本領較高；它經過氣體時，產生的離子數目較多，所以它的徑跡比較粗而且直。而 β -射綫（電子流）恰好相反，所以它的徑跡細而彎曲。物理學家可以利用雲霧室直接測量粒子或射綫的路徑來進行研究。

原子核乳膠比一般照相底片上面塗的乳膠（感光劑）厚一些，並且材料也有些不同。因為射綫或粒子打到乳膠裡，也和光綫射入一樣，能使它“感光”，經過顯影定影以後，在顯微鏡下可以看到粒子或射綫走過時所留下的徑跡，供我們進行測量、分析和研究。它的特點是體積小，簡單、輕便，在研究宇宙射綫時廣泛使用它。

此外還有很多探測器，因為用它們的機會不多，就不再一一介紹了。

加速器也可以說是轟擊原子核的“大炮”，用它可以使帶電的粒子如 α 粒子、電子、質子等得到很大的能量，拿這些粒子當作炮彈來向原子核轟擊，從原子核的反應，可以來研究原子核的結構；同時也可以製造人工放射性同位素和新元素，來供科學研究及各方面的應用。

前面說過，我們可以利用天然或人工放射性元素作為轟擊原子核的大炮，但是這種元素的衰變速度，和射綫的能量都是固定的，不受人們的控制。而加速器却是人們可以控制的轟擊原子核的大炮。所以加速器是研究原子核物理學必不可少的裝置。

加速器有很多類型，同步穩相加速器是所有加速器裡最大的一種。掛圖上就有世界上最大的同步穩相加速器，它可以使質子得到 100 億電子伏特的能量（電子伏特是原子核物理學裡常用的一個能量單位，它是指電子或質子在電位差為 1 伏特的兩個電極之間運動時所得到的能量）。這個裝置中的電磁鐵共重 36,000 噸，直徑是 56 米。質子在裡要跑從地球到月亮之間二倍以上的路才得到 100 億電子伏特的能量。1956 年在莫斯科成立了聯合核子研究所，為了國際間合作，蘇聯把這個大加速器送給研究所了，供各國科學家用來促進各國和平利用原子能的研究工作。

三、原子原料的探測

1. 鈾礦

現在可以作為核子原料的，只有鈾²³⁵鈾²³³和釷²³⁹。它們絕大部份都是從天然鈾礦中取得的。

在地殼中鈾的含量很豐富，它比銀、金、汞等都多。如果按發熱量計算，它的發熱量是全世界所有的煤、石油、和天然氣等總發熱量的20倍。

純鈾是白色的，硬度與鋼相近，熔點是 1133°C ，它是一種比黃金還重的金屬，幾乎比水重 19 倍。鈾的化學性質很活潑，它在自然界裡是以各種化合物的形態存在着，如氧化物、鈾酸鹽、碳酸鹽等；原子狀態的天然鈾還沒有發現過。鈾的高氧化合物很容易在水中溶化而且能隨水漂流很遠，所以鈾在自然界裡分佈得很廣。含鈾的礦物是多種多樣的，目前知道的就已經超過 150 種了。

(1) 鈾的礦物 根據含鈾礦物的化學成份，可以分成 14 類：

- | | |
|------------------|--------------|
| 1. 鈾和鈾鈷的氧化物； | 8. 鈾的硫酸碳酸鹽； |
| 2. 鈾的含水氧化物（鈾酸鹽）； | 9. 鈾的硫酸鹽； |
| 3. 鈾的矽酸鹽； | 10. 鈾的鉬酸鹽； |
| 4. 鈾的磷酸鹽； | 11. 鈾的有機酸鹽； |
| 5. 鈾的砷酸鹽； | 12. 鈾的鈦酸鹽； |
| 6. 鈾的釩酸鹽； | 13. 鈾的鈦鉬鉍酸鹽； |
| 7. 鈾的碳酸鹽； | 14. 鈾的鉬鉍酸鹽。 |

這類礦物裡，以鈾的氧化物最有工業價值。

鈾的氧化物有瀝青鈾礦、晶質鈾礦及鈾黑等，它們是構成最有工業價值的熱液礦床和沉積礦床的主要礦物。

瀝青鈾礦，顏色黑亮，光澤很像瀝青，常呈腎狀或條帶狀或緻密狀產出，它的分量挺大，比水重 7 倍，一般都是熱液形成的，但在沉積礦床中也能大量出現。

晶質鈾礦，多以結晶狀態存在，常含有大量的鈷及稀土元素。

鈾黑多生在原生鈾礦與次生鈾礦的中間，屬於過渡型的礦物，一般都是灰黑色的土狀結構。

2—11 類大部分都是次生礦物，如鉀鈾鈾礦 $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ，鈣鈾鈾礦 $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ，矽鈾鈾礦 $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 \cdot \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，銅鈾雲母 $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ，鈣鈾雲母 $\text{C}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ，翠砷銅鈾礦 $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 等，它們都是原生鈾礦經風化作用生成的，一般都生在地殼的表面或距離表面不遠的地方，顏色鮮麗，在紫外綫照射下大都能發出綠色或黃色的螢光，

除在個別情況下值得開採外，一般只能作為找礦的標幟。

(2) 鈾的礦床 根據鈾礦的成因，可以把它的礦床分為兩大類，一類是與岩漿作用有關的內生礦床，另一類是與沉積作用有關的外生礦床。

鈾的內生礦床，經常與酸性火成岩聯結在一起。這種礦床也有偉晶岩礦床，也有熱液礦床，但是它們的工業價值却是不同的，偉晶岩礦床比熱液礦床要小得多，通常都是從偉晶岩中當作副產物來順便開採的。而熱液礦床是一種最有價值的礦床，它是鈾的重要來源；礦體常呈脈狀或不規則的層狀；它的圍岩有變質岩、有火成岩、也有沉積岩。含鈾的主要礦是瀝青鈾礦，它常和銅、鐵、鉛、鋅、砷、鉍、銀、硫等伴生在一起的。

外生礦床，主要是生在湖泊或海盆地的沉積礦床。有機物質的存在，是促使鈾沉積下來的原因，因為有機物質能夠把溶解在水裡的鈾的高氧化物還原成低氧化物而沉淀下來。所以鈾的沉積礦床常在含有機質的砂岩、頁岩、石灰岩及煤層中發現，有時也和磷鉀等共生在一起。

在外生礦床中除沉積礦床外，還有生在地表面或礦體上部氧化帶中的次生礦床。主要都是由次生含鈾礦物組成的。在個別情況下也可以作為鈾礦石來開採。

2. 礦石的室內鑑定

(1) 螢光計 某些含鈾的礦物在紫外綫照射下能發出黃色或綠色的螢光，根據這種現象，就能夠對這些礦物含鈾的可能性，進行初步的定性鑑定。

這種鑑定所用的儀器叫螢光計，這種儀器構造簡單，使用方便，把要測定的礦物放在紫外燈前面，通電以後在紫外綫照射下，如果是含鈾的次生礦物（有個別例外），就發出螢光。

(2) 螢光光電儀 把含鈾的礦物，用氟化鈉燒結成小球，在紫外綫照射下就發出螢光。在一定的範圍內螢光的強度跟礦石的含鈾量成正比。利用這個現象，可以對含鈾的礦物進行初步的半定量鑑定。

取已經知道含鈾量的鈾礦用氟化鈉燒成小球，從含量少的到含量多的製成一系列的標準樣品，跟經氟化鈉燒結成小球的不知含量的樣品進行比較，觀察它們所發螢光的強度一樣不；如果標準樣品的螢光較弱，就換上一個含量較多的標準樣品，再進行比較，直到標準樣品跟不知含量的樣品的螢光強度相同時為止。這時試樣跟這標準樣品的含鈾量一樣。

(3) 微螢光光譜儀 微螢光光譜儀所根據的原理，和上面講過的螢光光電儀相同。這種儀器非常簡便，可用紫外光燈作為紫外光源，也可採用日光中的紫外綫進行鑑定。一般情況下，都攜帶到野外去應用，

對含鈾礦物的種類和大致的含鈾量，進行初步的鑑別和估計。

(4) 放射法定量鑑定 在測定礦物裡的含鈾量時，除用化學定量分析外，採用得更廣的是放射法。就是利用物理儀器測量礦物放出的乙種射綫的強度。因為礦物的含鈾量跟它放出的乙種射綫的強度成正比。

這種方法不需價格昂貴的化學藥劑處理試樣，比起用化學定量法來，又經濟又快，結果也很精確。

(5) 視覺放射照像 利用鈾元素的放射性能使普通照相底板感光的性質，來檢驗礦石中有沒有鈾。把礦石磨成平面，在暗室中把它放在照相底板上，經過幾小時或幾天，凡有鈾的地方，底板就被感光，印在像紙上經沖洗以後，感光的的地方就呈白色，這就表示在礦石中有放射性元素鈾。

(6) 顯微鏡放射照像 利用鈾自然放射的甲種粒子打在特製的照像底板上所留下的痕跡，用來檢驗礦石中含不含放射性元素鈾。

所用的方法是將礦石切成約 0.01 毫米厚的薄片，並且把它放置在特製的照相板上，約 48 小時以後再顯影定影，要有甲種粒子的痕跡（一般都呈針狀），就表示這礦石中含鈾。

3. 航空普查鈾礦床

航空測量是一種綜合性的找礦方法，在找放射性礦床的同時，還可以順便尋找帶磁性的礦床，如磁鐵礦等。這種方法應用很廣，尤其在沒經過放射性研究的新區。因為飛行速度快，所以探測效率很高。

航空普查鈾礦的儀器分為六部份：

(1) 丙種射綫接收器：由 72 個計數管並聯組成，分裝在兩個長方形鋁盒中，用它來接收地下放射性礦物（如鈾礦）所發出的丙種射綫，並將射綫轉變為電壓脈衝（信號）。

(2) 電子管放大器：由一個真空管和電子綫路組成。它將電壓脈衝放大後送到自動記錄器上。

(3) 操縱台：由電子綫路、控制板和自動記錄紙帶組成。它將放大後的電壓脈衝（信號），經過電子綫路整形，進位後自動記錄下來。整個儀器的操作和檢查是在控制板上進行的。

(4) 無線電高度儀：它發出的無線電波，被地面反射回來，根據電波來回的時間，來測定飛機距地面的高度。

(5) 飽和式磁力儀：利用在地磁場的作用下，綫圈內產生感應電流的道理，根據電流的變化，就可以測定大地磁場的變化。如某地磁場特別強，就知道那裡可能有磁性礦體的存在。

(6) 高壓變流器：由電動發電機組，將飛機上所帶蓄電池的直流電變為 115 伏、400 週的交流電，供給全部儀器用電。

航空普查鈾礦在野外實際工作時，各種儀表全攔在飛機裡，飛機按照預定的航綫飛行，如果飛機經過的地方有放射性礦物存在時，礦物中發出的丙種射綫就作用在接收器（計數管）上，經過電子綫路放大、整形和進位後，將放射性的強度自動記錄在紙帶上。同時，高度儀也把飛行高度記錄在紙帶上，以便換算距地面同一高度的射綫強度值。在另一紙帶上記錄了大地磁場的變化和地物目標。

根據紙帶記錄的結果，把放射性強度根據飛行高度加以修正，畫出放射性等值綫圖。圖中白綫表示航綫，紅色區是丙種射綫最強的處，這裡可能有鈾礦存在；周圍顏色較淺的區域表示丙種射綫依次減弱。從這放射性等值綫圖可以作為進一步詳細普查的依據。

根據放射性等值綫圖的初步資料，可以再派直昇飛機或地面檢查組攜帶輕便輻射儀到射綫最強的處去，進一步作詳細勘查，對該地區作出評價。

4. 汽車普查鈾礦床

汽車普查礦源時所用的儀器，多是 CFM—14 型汽車輻射儀，這種儀器是在 CFM—10 型航空儀器的基礎上設計的，它適用於地形較開闊的地區，用來探測該區的丙種射綫強度。輻射儀帶有自動記錄裝置，靈敏度很高，一般都裝在 ГАЗ—67 或 69 型汽車上。

I. 輻射儀的主要部分：

（1）丙種射綫接收器，由36個計數管組成，用於測量丙種射綫並發出電流脈衝（信號）。

（2）操縱台，由放大、計量、檢查和調節裝置組成的，用來操縱全套儀器和將脈衝信號變成記錄信號。

（3）自動記錄器，在汽車行進中自動記錄沿途的丙種射綫強度。

（4）振盪器，將汽車所帶電池的6伏電壓升高到200伏，供給儀器的電子管使用。

汽車普查礦源工作，在野外工作時把全套的儀器都放在小汽車上。汽車在普查區沿一定的路綫走，一般都是垂直於岩層的走向。

地下有鈾礦時，就有較強的丙種射綫射出，在汽車上裝置的丙種射綫接收器，就會接收到丙種射綫，產生脈衝（信號）送到操縱台，經整形、放大後，在自動記錄器上記錄下來。

紙帶上畫出的綫條，就是丙種射綫強度的曲綫；橫座標表示汽車行駛的距離，縱座標表示丙種射綫的強度，射綫強的處可能是含鈾的處。

根據所得的丙種射綫強度曲綫，可以提供進一步普查鈾礦的資料。

5. 輕便輻射儀

輕便輻射儀是攜帶式的，在探測放射性礦床的邊界和礦石內鈾的集

中情況時使用它。它所根據的原理是：裝在管頭的計數管受一定能量的射綫作用時，管內氣體就會游離放電，產生脈衝（信號），經過電子綫路放大，整形後送進耳機和指示表，在耳機裡就能聽到噠噠……的響聲，在指示表上還可以讀出射綫的強度。這儀器也叫“聽覺輻射儀”。

輻射儀由下面的三主要部分組成：

（1）探管，由伸縮管（內、外套管）和管頭組成，根據地形情況可將管筒伸長或縮短，管頭與管筒的相對角度，也可以任意改變以應需要。

（2）操縱台，台面上裝有儀器的開閉、檢查和調節裝置，裡面裝有電子綫路和供電池；

（3）耳機或指示表，用來聽取或讀出計數管在射綫作用下所發出的脈衝（信號）。

輕便輻射儀的特點：它的構造簡單，攜帶輕便（輕的不到2公斤，最重的也只有6.7公斤），所以使用範圍很廣，不但可以在野外寬闊的地面使用，就是在坑道裡也可以用它來探礦，在雨天和有爆炸性氣體的礦坑中，也能工作，探管和電纜還可以放進水裡工作。供電池能連續供電500小時。

使用輕便輻射儀時，由一個操作員單獨步行或騎在馬上，就能進行工作，工作時可用皮帶將這儀器繫在胸膛的下部，載上耳機，再利用操縱台上的檢查和調節裝置，把儀器調整到正常工作狀態，然後手拿探管的一端，管的另一端（即管頭）接近預定的目標進行探測。由於宇宙射綫的影響，耳機裡經常有稀疏的噠噠……響聲（這種聲音叫底數）。如果管頭接近放射性礦物時，耳機裡的響聲就立刻密了，指示表的指針向射綫強的刻度擺動。所以從耳機內響聲的疏密和指示表的讀數大小，就可以辨別管頭接近的地方存在着放射性的礦物沒有。

四、原子核反應堆及原子能發電站

1. 原子能發電站

蘇聯5,000瓩的原子能發電站，在1954年6月就開始發電了。這個電站有反應堆，熱交換器和汽輪發電機三個主要設備，用兩個迴路把它們組織成一個系統。

第一迴路是用來聯系反應堆和熱交換器的。它把反應堆中由原子核裂變所產生的熱量帶到熱交換器，傳給第二迴路。

第二迴路的水，通過熱交換器，吸收了第一迴路水的熱量，成為高壓蒸汽以後，推動汽輪發電機。實際上第二迴路和普通電站是一樣的。

因為第一迴路的水帶有放射性，不能直接用來推動汽輪機發電，僅用它給第二迴路加熱。第一迴路是在100大氣壓280°C下的水，經過熱交

換器，把熱量傳給第二迴路水以後，它的溫度降到 190°C ，再用水泵③把它打入反應堆加熱。第二迴路水經過加熱以後，就成為 12.5 大氣壓下 270°C 的蒸汽，通向汽輪機②做功。熱交換器把第二迴路水加熱的方法

看示意圖 2。

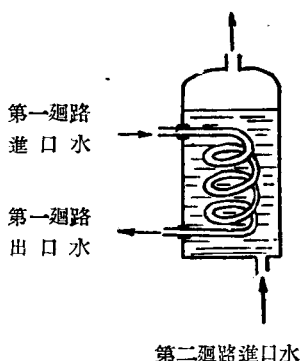


圖 2 熱交換器示意圖

2. 原子能發電站的反應堆

這個反應堆有 7 米高，裡面有一個 4.6 米高、直徑是 3 米的石墨砌體。

石墨體裡有好些孔道（圖 3），裡邊放着 128 根工作管道，有鈾管和水管（可參考結構圖），還有 22 根控制棒，裡邊有 4 根是自動的，另外還有 2 根安全棒。石墨體本身有兩個用處，中間部分作為減速劑，周圍部分作為反射層。

在工作管裡的一般是有鈾的。在圖中有光亮的區域是活性區，鈾就在這一個區域里進行裂變。活性區的尺寸，高是 1.7 米，直徑是 1.5 米。鈾在活性區裡進行鏈式裂變的過程中，產生大量的熱，通過工作管道裡面的水把熱量帶出來。所以反應堆的作用，就相當於火力發電廠裡的鍋爐（圖 3）。

另外在第一迴路裡用機械過濾器⑭來過濾水中的雜質。⑬是貯水箱。⑫是補充第一迴路水的補充水泵。⑩是容積補償器。當第一迴路水溫度改變時，水的壓強也就隨着改變，容積補償器的作用是保證第一迴路水固定在 100 大氣壓下進行工作。⑪是調劑容積補償器壓力用的壓縮空氣筒。在第二迴路中的起動冷凝器⑮，是當反應堆開始工作和停止工作時所產生的溫度還不够高，就用它來把低溫度的蒸汽冷卻。這一個電站的反應堆當進行試驗工作時，就是使用起動冷凝器來冷卻所發生的蒸汽。

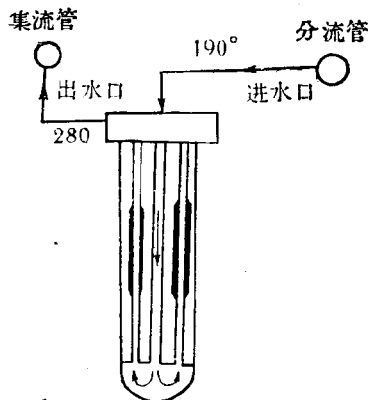


圖 3 工作管道示意

控制棒是用來控制反應堆的功率的，如果把它上下移動，就可以加大或減少控制棒對中子的吸收量，使得反應堆的功率也隨着改變。4 根自動控制棒是在平時功率的改變不大時使用的。用 18 根手動控制棒來調整較大的功率變化。

安全棒的作用是當將發生事故時，它能自動地插入活性區，在六、七十分之一秒鐘內把鏈式反應停止。這樣就不會發生危險了。

控制棒和安全棒是用吸收中子能力很強的材料做的。在這個電站中用的是碳化硼。

在反射層外邊有防護層，上部是鑄鐵防護層，周圍是水防護層（厚 1 米）和水泥防護層（厚 3 米）。這些防護層保護工作人員不受到中子和丙種射綫的危害，能安全地進行工作。

這座原子能發電站投入生產以來，一直沒發生過人身事故和設備損壞事故。並且，原子能發電站還有它突出的優越性，就拿這個功率 5,000 瓩的原子能發電站來說，每晝夜只消耗 30 克鈾²³⁵ 就夠了。在同樣功率的火力發電站就需要燒 100 噸煤。並且原子反應堆裡的鈾棒，使用一百天才需調換新的。可見在交通不便或缺乏燃料的地區，建立原子能發電站是特別合適的，因為沒有運輸大量燃料的麻煩。

3. 反應堆功率的調整

用手動調整使反應堆達到我們要求的功率，再通過自動調整使反應堆經常保持這功率。

調整的簡單原理：改變活性區中子數目的多少，就可以改變反應堆功率的大小。把能够大量吸收中子的控制棒在活性區裡插得深一些，中子被吸收的多了，每秒鐘內鈾原子核裂變數目就減少些，反應堆的功率就變小了。將控制棒向上提起一些，每秒鐘內鈾原子核裂變數目就增加了，這樣就可以使反應堆的功率加大。所有的慢中子反應堆，都是利用這原理來進行控制和調整的。

自動調整過程：首先在功率定值器上，用手動調整確定我們所需要的功率；當反應堆工作起來，可能因為某些原因使功率發生些變化，所以還必須經常進行自動調整。反應堆的功率是用一種非常靈敏的儀器——電離室——測量的，在測量後電離室就發出一個代表反應堆功率大小的電流信號，經過一個電阻把它送到真空管和功率定值器里，跟需要的功率進行比較，如果不相等，中間相差的那部分就變成磁力綫使電機放大機發電，這樣馬達就可以轉動起來，帶動控制棒來調整功率。

如果反應堆發出的功率大於所要求的功率的時候，產生的磁力綫要使電機放大機推動馬達反轉，帶着控制棒下降，使功率減小；反過來，馬達帶着控制棒上升，功率就加大。直到反應堆的功率和所要求的功率相等的時候，控制棒就停在那裡不動了。

爲了不使工作人員受到放射性的危害，原子反應堆和控制盤離得很遠。操作人員可以根據控制盤上儀表和信號（如功率表，位置指示器）的指示，作遠距離控制反應堆的工作。

另外控制盤上還裝有信號和保護裝置，如控制棒極上位置和極下位置等的保護。一旦發生某種不正常的情況，保護裝置立刻動作，一方面起保護作用，一方面警告操作人員。

4. 5,000 瓩原子能發電站主要廠房的模型（比例 $\frac{1}{40}$ ）

世界上第一個原子能發電站的外貌，是一座五層樓房，底下兩層藏在地面下，主要設備都安在這兩層裡。

反應堆（1）安在中央大廳地面下 7 米深，反應堆裡裝鈾的工作管道（2）插在石墨減速劑裡，周圍是石墨反射層（17）。爲了防止中子和丙種射綫對工作人員的傷害，在水平方向設有水及混凝土防護層，垂直方向有三層鑄鐵防護蓋。熱柱（4）是用來做物理試驗用的，試驗時用機械裝置（12）把試驗樣品送入熱柱中。

第Ⅰ迴路水由管道（5）進入 128 根工作管道裡，在反應堆裡加熱後，再由集流管（9）流入熱交換器（11），把第Ⅱ迴路水加熱成過熱蒸汽，並送入氣輪機，帶動發電機發電。而第Ⅰ迴路水由熱交換器出來，經循環水泵（7）再打入反應堆裡加熱，就這樣不斷地循環着。第Ⅰ迴路水帶有放射性，所以循環水泵和馬達（8）都用混凝土牆隔開。第Ⅰ迴路所用的補給水泵（10），經常用來補充新鮮的蒸餾水。

容積補償器（6），使第Ⅰ迴路裡的壓力經常保持不變。

中央大廳裡掛着沒有用過的工作管道，用吊車（3）把它吊入反應堆中，工作 100 天以後再換新的。更換時利用吊車把用過的鈾棒吊入地下水池中貯存起來，使它的放射性慢慢地減弱。因爲用過的鈾棒放射性很強，操縱吊車是在大廳旁有鑄鐵保護着的小屋子裡進行的。

全廠的操作都在中央控制室（15）裡進行，裡面裝有反映全廠每一個設備工作情況的指示器和控制設備，如第一迴路水和第二迴路蒸汽的溫度、壓強、流量等儀表，反應堆的功率，控制棒的位置指示器等，工作人員根據這些指示儀表，就可以控制和操縱全廠的工作。

用劑量控制盤（16），來檢查每一個房間裡的放射性強度，如果那一個房間裡的放射性超出了安全限度，它就發出燈光和音響信號，警告工作人員及時進行安全措施。

化學實驗室（13）、物理實驗室（14）是用來進行各種試驗的。

5. 200,000 瓩原子能發電站

蘇聯第六個五年計劃，要建設總功率達到 200—250 萬瓩的原子能發電站。圖上是 20 萬瓩原子能發電站的原理圖和模型。

（1）這個原子能發電站的反應堆是一個水——水反應堆，就是用

水作減速劑和冷卻劑的慢中子反應堆。它的外殼是一個圓柱形的容器，裡面放着成束的鈾棒（1% 濃縮鈾）。在工作過程中，鈾消耗後的補償問題和功率的調整問題是用移動濃縮鈾棒來解決的，如果把這鈾棒向活性區外推出些，功率就減少，推入些，功率就增大。反應堆功率的精細調整，是用能強烈吸收中子的材料做成的控制棒進行的。反應堆的四周必須有水、混凝土和鑄鐵等防護層。

（2）發電站有二個迴路。第Ⅰ迴路的水是在 100 大氣壓下在反應堆中被加熱到 275°C ，經過過濾器再流至蒸汽發生器裡，把第Ⅱ迴路的水加熱成 32 大氣壓的飽和蒸汽（ 235°C ），蒸汽進入汽輪機，帶動發電機發電。用過的廢汽在冷凝器裡冷凝成水，經過除氣器，再進入蒸汽發生器。而第Ⅰ迴路水在蒸汽發生器裡對第Ⅱ迴路水加熱以後，溫度降低到 250°C ，然後又回到反應堆。

第Ⅰ迴路水的壓力是用容積補償器的壓縮空氣來保持的。圖上綠色的線條表示工業用水，可以在汽輪機停開時去冷卻蒸汽發生器或用來冷卻水防護層和汽輪機的冷凝器。最上邊有個水箱，用來補充水防護層或第Ⅱ迴路的水。

原子能發電站的模型：

（1）主廠房的模型（比例為 $\frac{1}{40}$ ）。主廠房裡安裝有反應堆和第Ⅰ迴路的附屬設備。中間是反應堆，堆裡的紅色部分是活性區，紅色的管道表示第Ⅰ循環迴路。在堆的右面是水池（用過了的鈾棒放在池裡）和運輸鈾棒的小車，大廳的內側還有安放鈾棒進入反應堆的器械。

在蒸汽發生器上面，是總配電盤和操縱室，所有全廠的指示儀表、操縱設備都裝在那裡。

（2）汽輪機廠房的模型，裡面裝有汽輪發電機、吊車和其他附屬設備。因為這裡的汽輪機是用飽和蒸汽來工作的，所以蒸汽經過第一個汽缸後先到汽水分離器將水分去掉，再進入第二個汽缸。

黃色的管道是汽輪機的油冷卻設備。在汽輪機的另一側面有水的加熱設備，利用汽輪機裡抽出的蒸汽，把第Ⅱ迴路中尚未進入蒸汽發生器的凝結水先行加熱，以提高電廠效率。

這個電站比蘇聯第一個原子能發電站，有顯著的進步：主要是它的效率高了（效率為 28%—29%），已經接近火力發電站的效率；並且更換鈾棒的時間，也由 100 天延長到一年了。因此它的發電的成本已經接近了火力發電的成本。

6. 實驗重水反應堆模型

原子能發電站中的動力反應堆，主要是用來發電，也能附帶做一些小規模的實驗。但要做大規模的實驗和科學研究工作，就需要建立實驗反應堆。實驗反應堆的主要特點是功率小，反應堆的熱量無需利用，堆