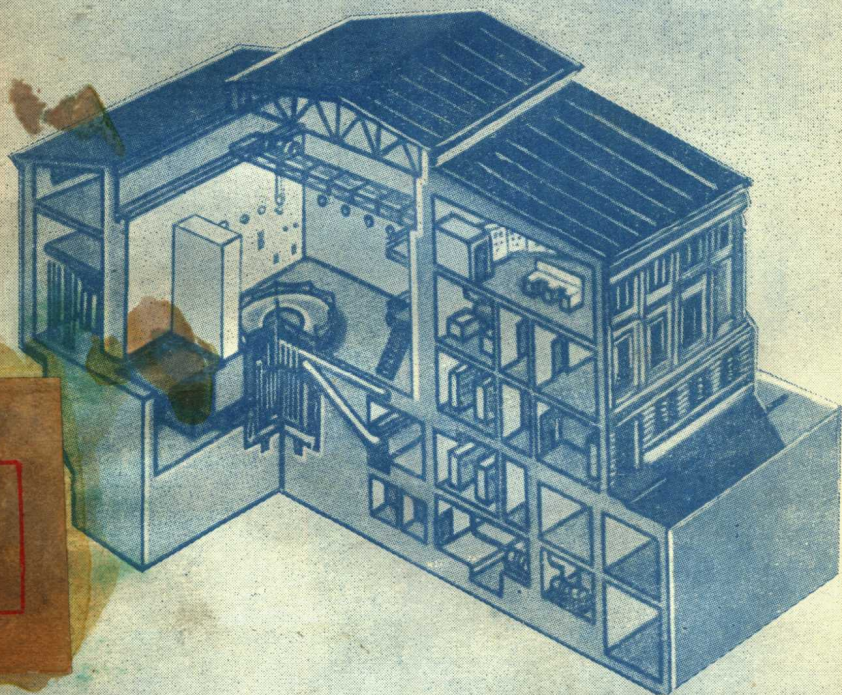


原子动力——未来时代的动力

(苏联)И.И.諾維克夫等著



中華全國科學技術普及協會出版

科 普 小 册 子

原子能和冶金工業
利用原子能的化學
原子能在農業和食品工業中
的利用
核子力學的物理基礎
原子能通俗講話
原子能及其應用
原子能
原子和原子能
物質的放射性

本 書 提 要

從原子核分裂的發現到今天，雖然還不到20年，可是由於世界各國科學家辛勤努力的結果，特別是蘇聯科學家的創造，使人類多年的理想——利用原子核分裂的能量來發電——得到了實現。這不僅是科學史上光輝燦爛的一頁，同時也為人類征服自然方面开辟了新的紀元。

這本小冊子的目的，就是介紹世界上第一個蘇聯原子能發電站的情況，幫助讀者概括地了解一下這門新的科學成就和認識到它的美好遠景。它包括三篇文章，其中「原子動力——未來時代的動力」是蘇聯科學家訪華代表團團長諾維克夫報告的摘要，全文發表在「人民電業」1956年第6期；其餘兩篇轉載自「科學畫報」1956年第2期，編者在文字上作了一些刪改。

出版編號：338

原子動力——未來時代的動力

著 者：H.H. 諾 維 克 夫 等

出 版 者：中華全國科學技術普及協會

(北京市文津街3號)

北京市書刊出版業營業證刊出字第053號

發 行 者：新 華 書 店

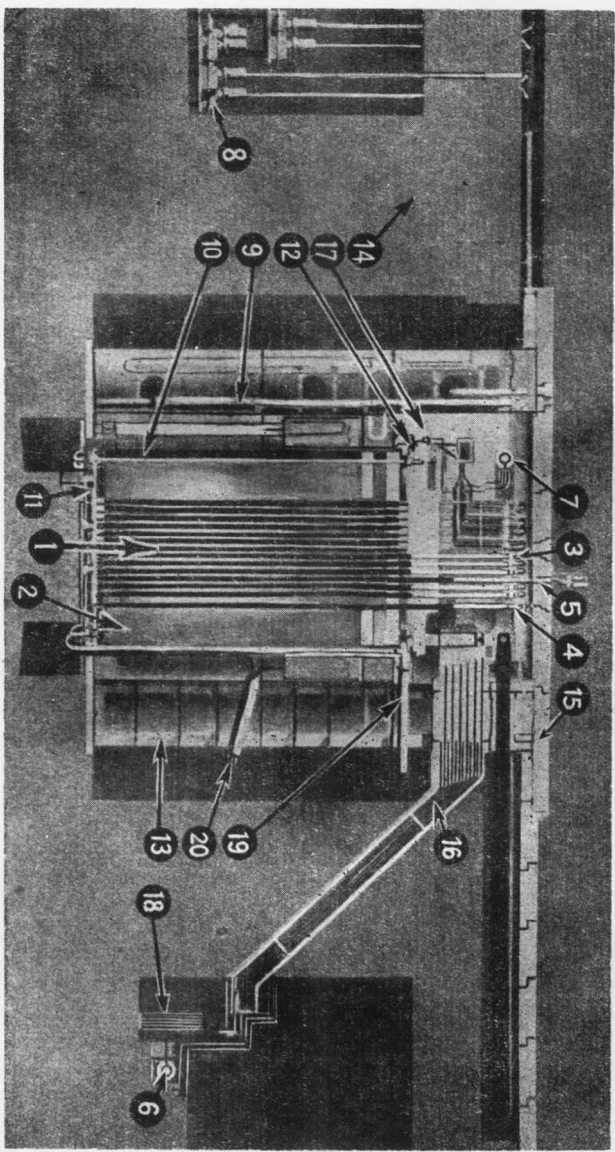
印 刷 者：北 京 市 印 刷 一 廠

(北京市西便門大街乙1號)

開本：51×43¹/₂ 印張： $\frac{11}{8}$ 字數：10,800

1956年6月第1版 印數：20,000

1956年6月第1次印刷 定價：(7)9分



原子能发电站的核反应堆剖面示意图。

原子动力——未來时代的动力

И.И.諾維科夫

日內瓦會議是標誌着人类的智慧在發現和实际应用原子能的方法上的先進成就的節日。我們應該把这些成就归功於許多國家的天才的科學家的劳动。

解放和实际应用原子能的方法的發現，是人类天才的力量的新的証明。我們这些現代的人應該清楚知道，我們自己就是这標誌着原子世紀开始的新的技術革命的見証人和參加者。

原子能本身有着挖掘不尽的能量。其他任何物質都不能像原子核一样地包含着取之不尽的能力的來源。

由下列事实將可以說明：分裂1克重的鈾可以放出210億卡的热量，也就是說，等於完全燃燒兩噸多的头等煤所得到的热量。在合併新的原子核时，会得到更多的热量，把1克重氦的同位素变为氦所放出的热量是800多億卡，也就是說，比等重的鈾分裂时所放出的热量多四倍。

原子能蘊藏量是取之不尽的，可以清楚的看出，由於分裂原子核所獲得的能量的应用，人們已經掌握了一个多么好的改变和征服自然的工具；同时，也可以看出，不久將來由於合併原子核的能量的应用时，人們將會掌握一个更大的和更强有力的新工具。

利用大容量原子能發電廠所發出的廉價電力，就能夠把世界上任何干旱的地方變成肥沃的土地。利用原子能來調節空氣，就可以根本改變熱帶的生活條件，地圖上永久冰凍區的可怕的白點從此也就會染上了別的色彩。那時候沒有水源或者沒有煤、石油的事實，已經不能成為開發那些現在還被稱為「荒涼區」的障礙了。利用電力可以從海水中取得水源，而對於原子能發電廠來說，是不需要煤和石油的。

利用原子能，可以使地球上現在大量的荒涼區變成工業和農業發達的地區，那時，這些地區就會和地球上最美麗和最富有的地方一樣，引人嚮往。落后的國家也會得到為提高自己的經濟所必需的新的動力基地，建設這樣的基地，不需要挖掘許多煤礦和油井，也不需要為了運輸燃料而鋪設鐵路或者開辟其他的交通道路。

利用核子燃料的船舶，也將在海洋上航行。這些船舶不需要煤，也不要石油，裝了核子燃料以後，就可以環繞地球航行，不必添加燃料，如果必要時就可以繞地球兩周，或者三周。

裝有原子能發動機的飛機也將要飛上天空。

受現有發動機的能力所限制的运动速度，將會被人們忘記，原子火箭將以從來沒有過的速度穿過廣闊的宇宙，把地球和太陽系的其他行星聯繫起來。

現在還是盲目性破壞性的原子爆炸，也將用來為建設事業服務。這種力量將使河流改道，將被用來開鑿運河，削平山嶺，開掘礦山，還有，誰能知道，這種力量不會用來作為產生超高压和超高温的來源和方法呢？而這些都是製造新的合成材料所需要。在人類的面前就要展開一個無限使人驚異的新世界。

原子能發電廠的廉價電力和原子能發電廠直接建立在供電地區的可能性，給組織高度完善的生產，創造了全新的無比的有利條件，而且也將成為未來工業發展的基礎。在農業中利用原子能也是這樣。

當然，還不僅是由於原子能發電廠的電力是廉價的，原子能的價值在於它能代替現在世界上逐漸減少的燃料來源——煤、石油和煤氣，因此也就保證了人類未來的發展。

大家都清楚地知道，人類的實際活動和人類生活本身經常要消耗能量。人類對能量的需要以飛快的速度增加着。同時，現在佔需要能量80%以上的煤、石油和瓦斯埋藏量，會漸漸用盡的。在個別的国家里，燃料的埋藏量已經只夠幾十年使用了，或者最多只夠100年了。

另一方面，目前只佔需要能量15%的水力動力資源，也不能滿足將來對能量的大量需要。這也正是為什麼現在我們不僅慶祝原子能的發現，而且慶祝這一發現的及時性。

原子能可以成為在地球上居住的全體勞動人民安樂、繁榮和幸福的堅強基礎。但是，為此目的就必須使這一人類天才的最偉大的功績不被利用於破壞和毀滅或把人類從幸福導向罪惡和殘酷的目的。

原子反應堆和原子能發電站

在原子能發電站中，可以將由於原子核分裂所放出的能量轉變為電能。按照蘇聯的例子，美國正在建設功率為6萬瓩的原子能發電站。這個原子能發電站將在1957年建成；到1959年美國至少還要建設兩個原子能發電站，它的總功率為30萬至

40 万瓩。英國也快要建成功率为 5 万瓩的原子能發電站，到 1965 年英國原子能發電站的总功率將达 100 万至 200 万瓩。法國、加拿大、印度和其他一些國家也將建設不等的各型發電站。苏联根据第一个原子發電站建設的經驗，已經研究了，而且正在建設功率为五万至十万瓩更大的，更完善的原子能發電站（編者註苏联在第六个五年計劃期間，將建成总功率为 200—250 万瓩的一些原子能發電站）。

这些原子能發電站尽管功率很大，也还是試驗性的，利用它們可以檢驗各种原則性設計的优越性並研究相应的原子工程。

同样也很清楚，在各个國家里將要建設各种类型的电站。各种类型的選擇是取決於每一个國家具体的經濟条件、資源的分佈和技術的可能性。究竟那几种原子能發電站是最有前途的，並在最近期間即可能實現的呢？

用石墨作減速剂同时用水冷却的反应堆的原子能發電站是研究得比較透澈的一种，苏联的第一个工業原子能發電站就选用了这种反应堆。这电站已經順利地工作了一年半了，这期间沒出过一次人身事故，也沒發生过一次故障。这些事实也証明了工藝設計選擇的正确和有效。这电站有兩個水的循环系統，就是說水在經過原子反应堆的时候，被發热部件加热到 260 度，然后这水進入热交換器，把热傳給第二个循环系統中的水。这第二个循环系統中的水蒸發成为蒸气，通到帶动發電机的蒸气透平中去。

苏联的原子發電站是世界上第一个为了和平的目的在实际应用原子能的工業电站。这电站的發電給原子动力学奠定了實踐的基礎。这也就是这个电站为什么享有这样廣泛的名声的

原因。各國到苏联的科學家們、政治和社会活动家的代表团都一定要到这个电站來參觀，这是为了要認識苏联在和平利用原子能方面的成就，也为了使自己对未來的动力有一个明确的概念。同样地，日内瓦會議也以極大的注意听取了白乐亨采夫教授關於第一个原子能發電站的报告。

由於在反应堆內不能直接过热蒸气，所以为了要使热蒸气达到相当高的温度，在上述水冷原子能發電站的設計中需採用高压的冷却水；在苏联發電堆內水压为 100 个大气压力，因此为了進一步提高蒸气温度（目的是要加強發電站的热效率），最好还要增加压力，因而也就要增加鋼制水管的厚度，但是在反应堆內增加了鋼的重量就会加强有害的中子吸收作用，相应地，降低核子燃料再生的系数；除此以外，在这种情况下，还需要使用濃縮度較大的鈾。

可以採用別的方法：即在反应堆內不把加热水限制於該压力下低於沸点的温度，而讓蒸气直接在反应堆內生成。这样在反应堆的出口处就能獲得相当高温的水蒸气。假如蒸气的放射性不是很强的話，那么可以馬上把它送到透平發电机內。在相反的情况下，就應該採用兩個循环系統，此系統与苏联原子能發電堆內的相类似。

在日内瓦會議上，美國科學家談到了關於建立热功率为一万瓩的實驗性沸水动力反应堆的有趣工作。用沸水反应堆的原子能發電站具有很大的现实意义，但是建立类似的功率相当大的电站，在技術上的可能性还未完全具备。

在用水冷的反应堆發電堆內，可用石墨做減速剂，就如在苏联原子能發電堆中一样；同样，普通的水也能当作減速剂。

用气冷反应堆的發电站是原子能發电站的另一种可能的形式。在这样情况下，不用加强压力，就可使反应堆内跑出的气体达到高温。现在，英國正在建立这样的两个鈾—石墨反应堆的电站，反应堆是用二氧化碳气來冷却的。二氧化碳气經出口处自反应堆進入热交换器，在热交换器内，由於二氧化碳的冷却就生成了相当高温高压的水蒸气，这些水蒸气再通入渦輪机内。將來非常有可能在蒸气透平裝置内直接利用加热了的气体。

由於气体的比热小，为了冷却反应堆，就必须使大量的气体通过反应堆，因此，需要採用强大的送風机，这就会消耗很多的能。

用液体金屬（譬如用溶化了的鈉）冷却的反应堆电站，可以在冷却器的低压下，用少量的能去抽液体而得到高温度的蒸气。因此就决定了电站的較高的热效率。除此而外，在这种情况下，譬如，对鈉—石墨反应堆，就不要求高度濃縮的鈾。但是鈉在通过反应堆以后会帶有極大的放射性，因而使电站的設備变繁。明顯得很，在这种情况下，就得採用两个循环系統，若把鈉和水的互相作用的危險估計在内，就要三个循环系統。裝有鈉—石墨反应堆的原子能發电站，在美國正建立中。

在講过的几种形式的原子發电站里必須採用濃縮鈾。若用重水作減速器，就可以用天然鈾建設这种發电站，它需要耗費大量昂貴的重水；但是對於那些沒有濃縮鈾的工業設備的國家，这个方法还是可以採用的。全面地考慮了設計各种类型反应堆的現狀后，可以說，研究得更好些的以及必然会得到高的經濟效率的条件是：

1. 用水作減速剂，也用水作携帶热量物質的反应堆；

2.用石墨作減速劑，用水作攜帶熱量物質的反應堆；

3.用重水作減速劑，用氣體作攜帶熱量物質的反應堆。

以上所研究的各種類型的原子發電站，都是熱中子的反應堆。除了這些以外，現在還正在設計快中子的原子能發電站，雖然後者有很大的優越性，但應當估計到在最近時期內佔主要地位的還是熱中子反應堆的原子能發電站，因為建立快中子的反應堆的任務中還有些問題沒有完全解決。

在日內瓦會議上討論了在蘇聯建成的世界上第一座工業原子能發電站發電經驗以及目前正在建設或準備建設的大量的原子能發電站的設計，並且互相交換了這方面科學研究或實驗工作的成果，這些都令人信服地証明了，原子能發電站生產電力的技術的可能性、優越性和它的巨大的發展前途。日內瓦會議的這一巨大成果，對於全世界原子能事業的發展來講，有着重大的意義。

原子能發電站比起用煤、石油、泥炭作燃料的火力發電站要有很大的優越性，原子能發電站具有大得多的功率。很明顯，功率越大的電站是越經濟的。除此之外，功率較大的發電站可以使我們用濃縮度較小的鈾。一晝夜只燃燒一公斤多的鈾的反應堆發電站，就具有將近 25 萬瓩功率。也就是說已相當於德聶伯河水力發電站的功率。原子能發電站不需要大量的往往要從遠處運來的煤、泥炭或石油，例如對功率為 25 萬瓩的利用天然鈾作燃料的原子能發電站來講，在一年內算上已用過的放熱元素，僅需要將近 200 噸的鈾。此時對同樣功率的火力發電站來講，一年就需要 150 萬到 200 萬噸的煤。另外，原子能發電站不需要建築起大量的基本和輔助的房屋。操縱它比較

簡單，同時只需要很少的工作人員。把它們建立在離居民區多遠的區域內都行。最後，還可以建立能移動的有足夠功率的原子能發電站。

無疑的在建立原子能發電站方面，在最近一、二十年內將要達到這樣的進步，在此基礎上原子能發電站所發出的電能將比目前的火力發電站所發出的電能要便宜，儘管現在原子能發電站的造價比起火力發電站的造價要大，它發出的電能的成本比火力發電站要高。

原子能具有廣闊的前途。煤和石油的儲量不豐富的、水力資源又非常缺乏的國家，完全有可能以原子能發電站所發出的電能來滿足自己的要求。譬如，英國估計能在1975年末由原子能發電站獲得需要電能的二分之一左右。動力發展情況較好的國家如果急劇地擴展自己的動力基礎，就能使國家的發展取得新的成就。我們蘇聯原子能發電站將成為發展國民經濟全面電氣化的強有力的動力之一。但是，不要以為原子能發電站在技術方面已經十分清楚和已經解決了所有的問題，事實上並不是這樣，在這一方面還存在着不少重要的科學和工程方面的問題，這些問題的解決或者是僅僅擬定了計劃，或者是暫時還沒有。原子工程即鈾礦的加工，分離鈾的同位素，已經受過照射的鈾的加工並由其中分離出鈾，以及取得大量的原子堆所必需的高純度的結構材料。這些工程的進行要良好而且要便宜。改善原子能發電站反應堆中核子燃料的利用是非常迫切重要的，而且也是非常困難的任務。目前已在工作和修建的發電站里，反應堆中鈾的利用率還是很低，必須使它增加好幾倍。其方法之一，就是在燃料循環期間進行核子燃料的再生產，因此，可以

預料到反应堆中每仟克鈾所放出的能量与我們現在所取得的能量比較起來，要增加五倍到十倍。反应堆中實現擴大再生產的情況下，可以預料到能量还可以大大增加至約一百倍。

把原子能解放出來並把它在實際上應用來為人類謀福利是一件偉大的事業。世界上第一個工業原子能發電站和最大的加速器的創造者——蘇聯的科學家和工程師們正在為了掌握原子能和利用它服務於和平的目的滿懷信心地開辟着新的道路。在這偉大的事業中，愛好和平的偉大中國人民，波蘭、捷克、匈牙利、德意志民主共和國、保加利亞、羅馬尼亞和阿尔巴尼亞的人民和蘇聯人民在一起緊密合作共同前進。

苏联原子能發電站

苏联原子能發電站隸屬於苏联科学院。从电站建筑物外表看来，並没什么特別，它就是一座普通的三層建筑物，本書的封面就是这个建筑物的剖面圖：原子反应堆是埋在主樓大廳的地下，和它有关的热交換器、泵、操縱控制仪器、科学技術研究設備等等也分別設置在这一座建筑物內。第二座建筑物同普通汽輪發電機車間極為相像，里面裝着汽輪机、發電机和配電設備等等。第三座建筑物的里面裝着通風設備，把电站內部的帶有一些放射性的空气，經過高高的通風管散到大气的上空去。

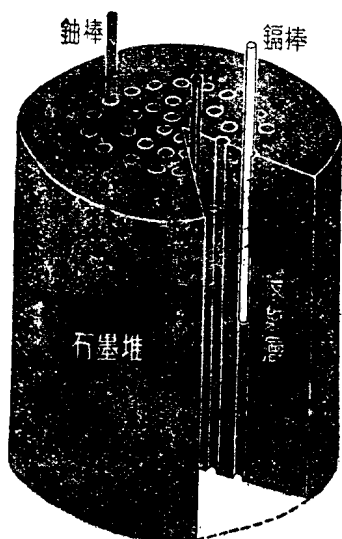


圖1 反应堆当中的石墨堆示意图。实物当中共有152条孔道，每条孔道有1条鈾棒或鎳棒。

第二座建筑物內。第二座建筑物同普通汽輪發電機車間極為相像，里面裝着汽輪机、發電机和配電設備等等。第三座建筑物的里面裝着通風設備，把电站內部的帶有一些放射性的空气，經過高高的通風管散到大气的上空去。

原子能發電站的心臟

反应堆是这个發電站的心臟，鈾在这里分裂、放热、把水燒得很热。反应堆当中有一个由純石墨塊砌成的圓柱体即石墨堆（圖1），高和直徑大約都有3公尺，当中有很整齐的152条从

上通下來的孔道，整個樣子很像我們平常用的蜂窩煤。每一條孔道里都有一根既能插下又能抽高的鈾棒（圖③，凡是陰文數字請看封三）或鎳棒（④⑤）。鈾同鎳的作用剛相反，插下鈾棒像往爐里送炭，它開始生火或者火力更旺；插下鎳棒像阻擋空氣進入，因而火力減弱甚至立刻熄滅。反應堆里的火力大小，就是這樣調節的。

在反應堆里，可以插入許多根鈾棒（全部有 128 根，但不用着同時全都插下）。這裡用的鈾棒，成分上 5% 是鈾 235（因為它的原子核里有 92 個質子和 143 個中子）。這些中子經過石墨，與石墨分子反復碰撞後，轟擊到另一鈾棒中的鈾 235 時，又可能使鈾 235 原子核分裂、放熱，使它射出 2—3 個中子來，這些中子再去轟擊其他的鈾 235 原子核，使它也分裂，因而分裂的原子核愈來愈多。這樣繼續下去，就形成鏈式反應。這好比一棵炸彈投入火藥庫里，其他炸彈都會相繼爆炸，火力越來越大。在反應堆里，鏈式反應進行的部分，叫做「活動區域」（①），它相當於煤爐里燃燒的地方。

鈾棒的大部分成分是鈾 238，經過快中子的轟擊，吸收了中子變成釷 239 後，再受到慢中子轟擊時就同樣能進行鏈式反應了。

那末，為什麼要用製造鉛筆所用的原料——石墨來隔開每根鈾棒呢？原來鈾 235 分裂時射出的中子很像剛離開鎗管的子彈，筆直地飛得挺快（因此叫做「快中子」），不容易擊破鈾 235 的原子核。但快中子穿過幾層石墨以後，速度就慢了（變成「慢中子」即「熱中子」），它就容易被鈾 235 原子核俘獲，有更大的本領使更多的鈾 235 原子核分裂。石墨在這裡

起着減速劑的作用。最外的一層石墨(②)特別厚，叫做反射層，那是為了把一切企圖「出境」的中子打回頭，增加反應堆內中子的濃度和增加中子的命中機會，正如康樂球桌的邊緣把彈子彈回頭一樣。鈾棒在石墨堆里要有規則地一行行排列成陣，是因為原來速度很快的中子，一定要慢到適當的程度，才容易使鈾 235 分裂，太快了就不容易使鈾 235 分裂，因此快中子從一根鈾棒跑到另一根鈾棒的距離，須要經過嚴格的計算，而且都是相等的。

鎳能夠吸收中子，而中子卻是擊破鈾核的「子彈」。因此，鎳棒插到活動區域吸去中子，就能減弱甚至停止鏈式反應的進行。反應堆的石墨堆里一共有 4 根調節鎳棒(④)，它能自動地升降，使反應堆的熱力保持在一定的數值而不變。另外有 18 條「補償鎳棒」，經過一定時間後就由鄰室的機器(⑤)漸漸把它抽起，因為鈾分裂時產生的各種同位素(好比燒過了的煤變成的灰燼)，要吸收去一部分中子，這時如果不把預先插下的鎳棒抽起，中子給吸收太多，鏈式反應便會停止。還有兩條起着重大作用的「安全鎳棒」(⑥)，當發電站某一部分發生嚴重事故而需要停止工作時，它接到訊號就會自動立即插下，把中子全部吸光，使反應堆完全失去作用。離子室(⑧)內的儀表，不斷地把反應堆內中子的濃度，向中央操縱台報告。

石墨堆的四周上下，真可說是層層圍住。最貼里面用一個鋼制大圓筒(⑨)圍起來，加起頂上和底下都有一塊圓形鋼板(⑩⑪)，合成一個密不通風的大罐子，這因為罐里面要灌進不易發生化學作用的惰性氣體，來延長石墨在高熱環境中的壽命(電燈泡里不是也用惰性氣體來保護鎢絲嗎!)，這些氣體是

从送气管 (10) 送出的。

为了防备放射性伤害人体，整个反应堆四周由 1 公尺厚的水層 (8) 包围起来，阻挡中子射出；水層外还有 3 公尺厚的混凝土層 (9)，阻止丙种射綫。反应堆的上面用 1/4 公尺厚的圓形生鉄塊 (5) 盖着，防止丙种射綫从地下朝上射，也就是主楼大廳的地板当中有欄杆圍起来的那一部分。

鈾怎样燒热水？

現在該談到鈾怎样把水燒熱了。原來鈾棒是空心的，鈾分裂时散出的热，把在当中水管里流过的水燒熱，这跟水流过普通鍋爐管时吸收管外的火力而被加热，是一样的道理。每根鈾棒的水，都是从反应堆鄰室的給水总管 (6) 經過分支水管 (7) 分別送过來的，水吸热变成过热的水后，就匯集到反应堆左上角的集水总管 (8) 去。（事实上給水总管和集水总管是連成一个循环系統的，下段馬上就說到。）在給水总管附近，有些支管通到測量水量消耗的特殊仪表 (10)。順便說一說：插鈾棒的孔道也要用水冷却，由另一些水管供給 (11)。石墨堆本身的冷却水，

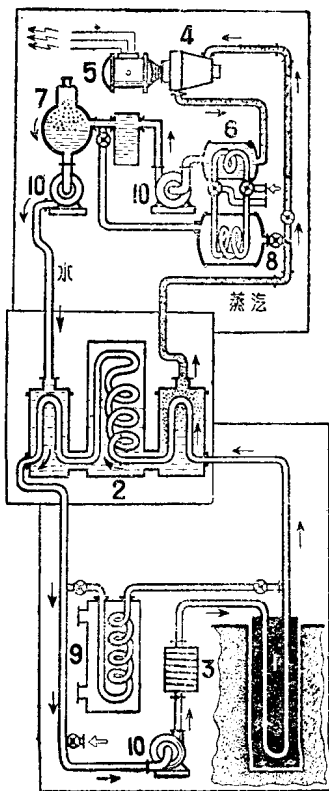


圖 2

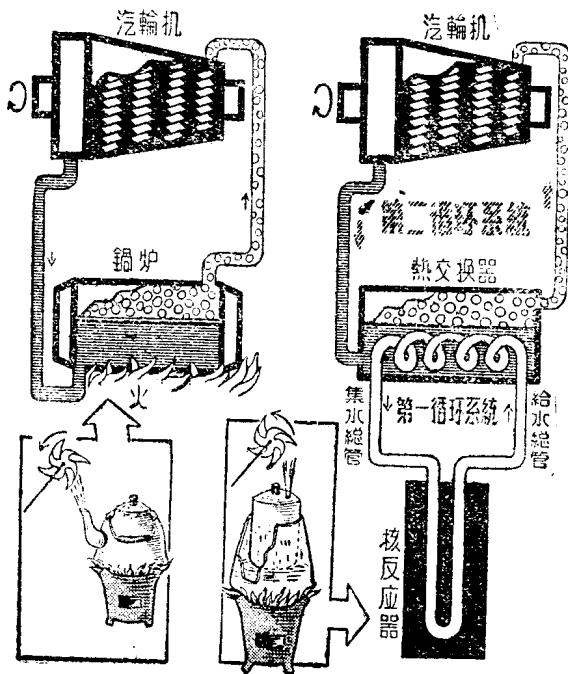


圖 3 普通火力發電站和原子能發電站的比較。

另有進出管口 (⑩)。

請看(圖 2)反應堆(1)右上角的管子，就是上面說的集水總管，管里過熱的水有 $260^{\circ}-275^{\circ}\text{C}$ 和 110 個大氣壓力，因為它已經感染了放射性，所以不能直接送往汽輪機，而要在熱交換器(2)里隔着管壁把熱量傳給管外的水，再經過圖中下面的這個泵(10)的抽送以及過濾器(3)濾清雜質，流返給水總管(即圖上反應堆左上角的管子)，這時管里的水溫已降到 190°C 。添水或換水時，是經過水泵(10)左方的龍頭(↙)。