

П. Т. 阿斯大申 科夫 著



原子工业



国防工业出版社

П. Т. Астащенко
АТОМНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
Военное издательство
министерства обороны союза ССР
Москва - 1956
本書系根据苏联军事出版社
一九五六平俄文版譯出

原子工业

[苏] П. Т. 阿斯大申科夫 著
苏 杭 译

*

国防工业出版社出版

北京市書刊出版业营业許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店发行

*

787×1092 1/32 5 印張 106千字

一九五八年十月第一版

一九五八年十月北京第一次印刷

印数: 1—4,800冊 定价: (11) 0.78元

№2070

原 子 工 业

И. Т. 阿斯大申科夫 著

苏 杭 译



国防工业出版社

目 录

1. 原子能世紀的开始.....	(3)
2. 原子核分裂能与原子核燃料.....	(12)
3. 核合成反应与热核燃料.....	(26)
4. 原子核能資源.....	(37)
5. 原子原料之加工.....	(49)
6. 生产鈾 235	(61)
7. 生产鈾和鈾 233	(69)
8. 輻射防护問題, 放射性廢物之清除与利用.....	(86)
9. 热核燃料之生产.....	(103)
10. 資本主义国家的原子工业.....	(118)
11. 原子动力之发展.....	(132)
12. 美妙的远景.....	(149)
参考文献.....	(160)

1. 原子能世紀的开始

人类历史上有不少的偉大发现标志着科学、技术和生产力的发展进入了新紀元。伊凡·波尔佐諾夫以及稍后的詹姆士·瓦特所发明的首批工业用蒸汽机的出現意味着人类进入了蒸汽时代。发电机的制成和輸电綫路的出現表明蒸汽已被电气取而代。之。当今，由于从原子核中釋出能量的問題已經解决，因此可以說原子能世紀已經开始。

原子能的利用使人类控制自然的力量无限扩大，为增加社会財富、发展生产力以及推动技术和文化的进步开辟了极其广闊的可能性。然而原子能也可以为战争服务。在侵略者的手中它可以成为大規模屠杀生灵及毁灭人类物質財富的工具。大家知道，很多資本主义大国把发展軍备力量的主要注意力放在原子武器上，制造具有不同爆炸威力的各式原子武器，研究原子武器在空軍、海軍和炮兵方面以及噴气工具方面的应用方法。

帝国主义者把原子武器当作恫吓爱好和平人民的工具，当作征服世界的工具。

西方侵略集团不久以前还認為在原子武器方面他們拥有絕对的壟断，甚至他們之中最有远見的人也認為，苏联要生产原子武器，那至少还需十到十五年，大多数人則認為，所需的时间还要更长些。然而他們是大失所望了，沒过几年，苏联科学家以西方原子能专家所料想不到的速度自力地研究出了生产原子能的方法，建成了强大的原子工业。苏联科学家、工程技术人員以及与之直接有关的其他一切人員在很短

的時間內取得了如此大的成就，証明了蘇維埃國家的無窮力量。日益發展的利用原子能為國防與和平目的服務是蘇聯科學家的偉大功績。

蘇聯科學院院長涅斯米揚諾夫在蘇共第二十次黨代表大會上說，我們的科學家在製造原子核燃料工藝方面和人工超鈾元素化學方面已取得了很大成就。

現在，蘇聯的武裝部隊擁有各種原子武器和熱核武器，擁有各式威力強大的火箭和噴氣式裝備，其中包括遠程火箭。

1955年，按照原子能方面的科學研究和實驗計劃，蘇聯進行了幾種新式原子武器和熱核武器（氫武器）的試驗。試驗的結果與科學技術的推算完全一致，再一次証明了蘇聯科學家、工程師以及全體原子工業工作人員的重要新成就。1955年的蘇聯氫彈爆炸是以往所進行過的所有爆炸中威力最強大的一次。為了預防放射性作用，爆炸是在高空進行的。爆炸時曾對人體防護問題進行了廣泛的研究。蘇聯現在可以利用火箭或飛機將原子彈和氫彈可靠地發送到地球上的任何處所。

我們講這些並不是想來吓唬誰，臭名遠揚的“實力地位”政策的那一套與蘇聯人民是格格不入的。不過有時向那些手搖原子彈的家伙提醒往往是很有益的：今天誰想打仗而不遭受回擊是不可能的，如果你想向對方施以原子攻擊，那末就得準備接受對方同樣的甚至還更厲害的打擊。大家知道，在生產氫武器方面蘇聯已取得了如此巨大成就，以致落后的不是蘇聯而是美利堅合眾國了。

在掌握了原子武器和氫武器的生產以及保證了祖國國防需要以後，蘇聯同時也在不遺余力地將求和平利用原子能的

道路。这些努力同样获得了成功。1954年夏天我們的科学家和設計師开动了世界上第一座原子电站，其有效功率为5000瓩，約为全俄电气化委员会計劃的初生子——喀什尔水力发电站的功率的一半，正象随喀什尔水电站之后在我們祖国的地图上燃燒起愈来愈多的新电站的火光一样，紧跟着第一座原子电站之后也将建造起一座座功率要大得多的原子电站。現在苏联的若干座原子能发电站正在施工中，它們的总功率到1960年将达200万到250万瓩。

在我們国家里，发展原子工业和在国民經济中利用原子能的前景真正是广闊无限。这是因为苏維埃制度是先进的制度，苏維埃制度本身为利用人类思想、科学和技术上的一切成就来满足人民物質上和文化上的需要提供了最广泛的可能性，苏联以身作則地为防止原子战争和和平利用原子能而进行不懈的斗争。苏联在裁减軍备及禁止原子武器和氫武器方面所提出的許多切实可行的建議便是明証。为了更进一步地广泛和平利用原子能，苏联政府已将其第一座工业原子电站运轉时所积累起来的科学技术經驗傳授給各国。苏联向其他国家在开展原子核物理研究和建立原子核物理研究实验基地方面所提供的科学技术援助对和平利用原子能具有极其重要的意义。

按照在开展原子核研究方面援助其他国家的計劃，苏联正在建造各种設備和实验装置。为波兰、捷克斯洛伐克、羅馬尼亚、匈牙利、保加利亚和德意志民主共和国正在制造热功率为2000瓩的实验性原子堆和能将質子、重氫核和甲种粒子的能量加速到25百万电子伏特的回旋加速器。其全套設備以及必需的仪表和其他装置均由苏联供应，并有苏联专家参

加安装工程。

上述国家所建造的原子堆以鈾 235 含量提高了的濃集鈾作为燃料，以普通水作中子减速体和热载体，在这种结构的原子堆上可以进行材料的工程物理試驗，研究各种强度的放射性輻射对材料的影响。

为中华人民共和国建造的是一座热功率为6500瓩的原子反应堆，在必要的情况下反应堆的功率可以提高到一万瓩，反应堆同样用鈾 235 含量略微提高了的鈾棒作为燃料。用重水作中子减速体和热载体。中国还正在建造上面所說的那种类型的回旋加速器一座。

这些为人民民主国家和其他国家所建造的原子反应堆和回旋加速器对組織科学实验基地、开展原子核物理方面的研究工作和实际应用原子能起着重大的作用。

1955年举行的苏联科学院會議和国际和平利用原子能會議再一次向全世界显示了苏联科学家在研究原子核物理、利用原子能和发展原子工业方面的成就，著名的丹麦物理学家尼尔斯·波耳在估价苏联科学家的工作时说：“这些工作給我十分深刻的印象。你們进行了巨大的工作。”著名的美国科学家爱耐斯特·劳倫斯在談到他的印象时说：“我敬佩俄国在和平利用原子能方面所做的出色的工作”。意大利科学家弗郎齐斯科·赵尔丹尼强調指出，“俄国人在原子核理論方面所做的工作同样給他留下深刻和良好的印象。”

苏联已經建成了并正在成功地发展着先进的原子工业。其他許多国家也有这一生产部門。在本書中，作者試图根据苏联和外国文献上所发表的材料，根据苏联和外国所取得的技术成就，通俗地來說明現代原子工业的若干最重要的生产

方式。为了更容易弄懂原子能生产的組織原則和生产过程，我們不妨先来簡短地說一說什么叫原子能，弄清楚从那些物質中以及用什么方法可以釋出原子能。

什么是原子能

什么是原子能？当一些化学元素的原子核轉变为另一些元素的原子核时所放出的能称之为原子能，或者更确切一些称之为原子核能。上世紀末和本世紀初，科学家进行了許多觀測和实验，发现了放射性現象，加深了关于原子构造的概念。发现了原子核、基本粒子（电子、質子、中子等等）。这些新的发现以后又得到了深入的理論上的解釋。而理論然后又为实践所証实，推动了寻找釋放原子核能方法的研究。

深入了原子的內部，研究了我們眼睛看不見的复杂的原子核过程，并驅使它們为人类服务，科学再一次証实了辯証唯物主义关于我們周圍世界一切現象可以認識原理的不可动摇性。在近50年的時間內完成了这么一些偉大发现，这一事实本身說明了近代科学的巨大力量和可能。

Д. И. 門捷列夫、А. М. 布特列洛夫、П. Н. 列別捷夫、А. 爱因斯坦、Э. 卢瑟福和 И. 約里奧-居里等杰出科学家們的发现是研究和掌握原子核过程这条漫长科学道路上的不可磨灭的里程碑。門捷列夫的周期定律具有特別深远的意义，这一定律确定了，在所有化学元素及其原子之間存在着內在的有規律的联系，这种联系包括了物質的发展以及物質在微觀物質（从原子核到最复杂的分子）和巨大的宇宙天体（从地球到龐大无比的星座）等一切无机自然界中的变化。在門捷列夫定律的基础上，科学家們进一步研究了元素的原子构造、

原子核的結構和性質以及釋放原子核能。

为了更好地了解，釋放原子能时原子內部进行些什么变化以及在原子工业中利用物質的那些性質，我們不妨到物質內部去作一次臆想旅行。

如果我們將任何一种化学物質的量不断地减少，那末最終我們一定会碰到物質的最小粒子，这种物質的最小粒子称为分子。每种物質都有它自己的分子，分子的体积是很小很小的，甚至很大的分子在放大倍数很大的显微镜下也不可能看到，普通一小滴的水含有亿亿万万个由两个氢原子与一个氧原子化合而成的分子。从下面所举的比方中，能够了解这个数目到底大到何等地步，如果我們昼夜不停地工作，每秒钟从这一小滴水取出了一百万个分子，則最后的一百万个分子将过1,000,000,000年才能取出！

假定我們要深入物質內部去旅行，因此我們先把这一水分子破坏，大家知道，水是可以分解成为氧和氢的，但要用化学方法把氧或者氢再分解，那是不可能的了。因此，人們称这类物質为簡單物質或者化学元素，而它們的最小粒子就称为原子。根据科学家們所作的研究过去共确定了92种簡單物質（元素），它們都可在自然界中碰到并包括在門捷列夫周期表中。构成世界的一切物質都由这些元素組成。現在已經知道的元素已不是92种而是101种了^①。新元素是用一些特殊裝置由人工制得的，关于这种特殊裝置我們留到后面去講。

各种原子彼此不同之点首先是重量不同，原子量一般用以氧原子重量作为16的相对单位来表示。这样，最輕的化学

^① 1957年瑞典斯德哥尔摩的諾貝尔研究所制得了第102号元素，定名为 No ，符号为 No ；其半衰期約为10分鐘，放射能量为8.5百万电子伏特的粒子。——譯者

元素-氫的重量便約为一^①，而如鈾那樣的重元素便要比氫重237倍多。

現在讓我們深入到原子內部去。在其正中我們可看到一个小而重的物体，这便是原子核。象行星圍繞太阳一样，原子核的周圍環繞着一群极小的粒子，这便是电子^②。原子中的电子数与元素在門捷列夫周期表中的位置有十分严密的关系。譬如，序号为一的元素氫的原子含有一个电子，序号为二的氦原子有二个电子，其余依此类推，再重的元素便有几十个电子(鉛有82个，鈾有92个)。几种元素的原子构造示于图1。电子携带負电荷，原子核則带正电荷。各种原子有各种不同数量的电荷，但每一个原子中的电子数必等于原子核中正电荷的数目。

各种元素进行化学作用时所釋出的各种普通能量(譬如热能)是与圍繞原子核的原子壳层的变

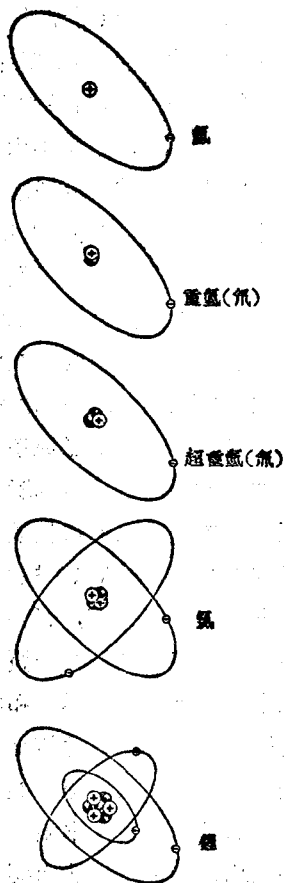


图 1 几种化学元素的原子构造

① 一个氫原子的实际重量为 1.66×10^{-24} 克，即等于1.66克为一后面跟二十四零这样的数所除。

② 电子的质量为 9×10^{-28} 克，并带有 4.8×10^{-10} 静电单位电量的負电荷。

化相关联着的。至于原子核，在这类情况下是不起变化的。試以煤之燃燒为例。煤由碳原子組成，煤燃燒时每一个碳原子和两个氧原子化合，結果生成碳酸气分子。然而煤燃燒时，除了生成碳酸气外，还釋出大量的热能。这些热能从哪里来的呢？生成碳酸气分子时氧原子和碳原子的外圈电子的排列发生变化，結果使外圈电子的軌道获得更稳定的形状，这种形状决定碳原子和氧原子間化学鍵的牢固程度。因此在生成碳酸气时所放出的一定量的能量代表着两种相化合的元素原子之間的鍵的牢固程度。欲将碳酸气分解为碳与氧，便需消耗与生成碳酸气时所放出的能量相同的能量。

我們已經了解了原子是如何构成的，以及它們相互作用时如何放出能量。現在我們再进一步深入到原子核中去，来研究一下原子核是如何构成的，須知原子核中差不多集中了原子的整个位能呢！原子核由带正电的質子（質子所具的电荷值与电子的电荷相等，而其質量則为电子的1836.6倍）和中性的中子（中子的質量約与質子相等）所組成。質子（在图1中以中画十字的圓表示）和中子在原子核中借特別的原子核力連結着，原子核力的值是很巨大的。原子核蜕变时这种力遭到破坏，結果放出原子能或称为原子核內部能。

原子的核異常牢固。改变作用于电子和原子核之間的結合是比較容易的，然而要用一般方法来破坏質子与中子間的結合那是办不到的。加热到几千度高温，最难熔的物質也要融化，甚至揮发，任何复杂的物質也要分解成为簡單物質。然而原子核在这种情况下却仍然不变。

十九世紀末时所发现的放射性（某些元素自动放出一些看不見的射綫和粒子流，而由这一种元素变为另一种元素的

性質)是科学家所碰到的第一个自发进行引起原子能变化反应(即原子核反应)的例子,而且还証实了,在元素的自发变化过程中会釋出大量的能(在整个蜕变周期內,蜕变周期的时间有时是十分长的)。現在已知道的天然放射性元素約有40种。

只有应用質能互換定律的原理才能对原子核反应和釋放原子能的过程作深入的分析,質能互換定律是德国科学家阿尔別特·爱因斯坦总结出来的。大家知道,能量就是物質运动的量度,而質量則說明該物質的慣性。两者之間存在着不可分割的联系,可以定量地表达如下:任何物体的能量等于其質量乘上“真空”中光速的平方(光在真空中的速度为30万公里/秒)。由此可見,質量愈大,能量也愈大。上面曾說过,原子核的質量約为整个原子質量的99.95%,故原子的整个能量差不多全蘊藏在原子核之中,而且由于原子核的体积很小,所以这部分能量处于異常集中的状态。这一密度之值竟达每立方米一千亿公吨,邮票如若用这样密度的物質来制造,則一張邮票的重量将达500万吨。这一具体的比拟数字可使我們对原子核物質的密度和原子核力的非常性有一概念。

以后科学在掌握原子能道路上又向前迈进了几步,这便是英国科学家卢瑟福的人工实现原子核反应,以及此后其他科学家发现中子和人工放射性。中子在上面已談到过了。

人工放射性現象是一种原子核經過一連串的原于核反应生成另一人工放射性原子核。譬如,用甲种粒子(即氦原子核,带有两倍于質子的正电荷)去轟击硼,可以获得放射性的氮,然后又轉化为碳。目前制取各种放射性同位素的技术已获得很大成效了。

上面已經談过,放射性蜕变时会釋放出能量,这种能量

在技術上和醫學上很早就已經開始利用了。鐘表的夜光字盤和指針便是一例。它是和平利用原子核能的最早實例之一。在螢光粉（一般是硫化鋅加銅）中摻入少量的放射性元素，這類元素的原子不斷地進行原子核反應，釋出原子內部能和甲種粒子。高速的甲種粒子的能量在甲種粒子與螢光物質的分子碰撞時幾乎全部轉化為可見光能。放射性現象的利用現時正在不斷地擴展。在工業、農業、生物和醫藥衛生方面廣泛地利用着放射性物質。

2. 原子核分裂能与原子核燃料

鈾中的鏈式原子核反應

上面所說的那些方法都是建築在利用原子核的自發蛻變的基礎上的，此時所釋出的原子核能總量不大。因此這一方面姑且稱之為低能原子能裝置。科學家在嘗試釋出并有效地利用大量原子核能時遇到了許多十分困難的理論上的和實踐上的問題。1939年發現了重原子核（其中包括鈾）的核分裂反應。這類反應的特點是，當鈾原子核分裂時會釋出一些高速的中子，這些中子又引起另一些鈾原子核的分裂，這就是說，使反應成為連續的、自持的、或者象一般所說的鏈式反應。反應過程中釋放出大量的原子能。

這到底是怎麼一回事呢？破壞原子核的“炮彈”是包含在原子核本身中的粒子——中子。原子核由質子與中子組成，正如一液滴由液體的分子所組成一樣。舉例來說，可以做這樣一個實驗。在玻璃板上放一滴水銀。如果在這滴水銀上不斷地加水銀，使其體積逐漸增大則很快它就會大到這

种地步，再往上加一小滴，它就会分成两部分。往原子核中添加中子时也会产生类似情况。不大的原子核在这个时候和不大的液滴一样，不会破坏。只有一些含有大量质子和中子的原子核才会破裂，或者象一般所说的那样，给它们添加中子时会崩裂。

总之，为了要崩裂原子核来获取原子能，就需要用中子来轰击重原子核。我们已知，甚至一小块任何物质都含有大量的原子，自然也含有大量的原子核。要分裂它们，就需要大量的中子。然而在自然界中自由中子很少，它们几乎总是包含在原子核中。到何处去取这么些中子呢？在了解从何处可以取得数量如此浩大的中子之前，让我再先来熟悉一下原子世界的另一奥秘。

为此，我们再到原子内部去作一次短途旅行。假想我们钻进了一块天然铀中，企图观察一下铀的原子核，骤然一看，原子核好像都是完全一样的，都整整是92个电子环绕着每一个原子核，每个原子核内也都是92个质子。然而一旦当你开始数起原子核中的中子来时，就会发现不同之处了：有些原子核中有146个中子，然而另外一些却仅含有143个。

科学家老早已经察知，自然界中存在着一些原子，它们的核含有同量的质子，然而所含的中子的量却不相同，他们称这种原子为同位素。任何一个元素的同位素，其化学性质彼此是相同的，但具有不同的原子量。天然铀中主要含有两种同位素：原子量为238的铀和原子量为235的铀。

原子量为235的铀在获取原子能这一用途方面显得特别宝贵，铀235核被初级中子击中后基本上即分裂成两块“碎片”（次级原子核），放出二个到三个自由中子（图2）。

在此过程中还射出丙种射线和乙种粒子。如果这些次级中子命中邻近的铀235原子核，则这些铀235原子核同样分裂并放出若干自由中子，

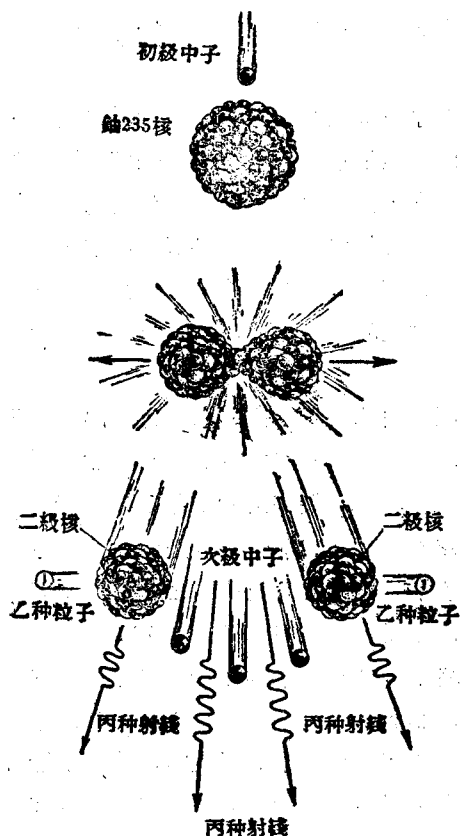


图 2 中子作用下铀235核的分裂反应

这样继续下去。因此，当铀块的体积足够大时，原子核分裂反应便会连续不断地进行。这样的连续不断的自持原子核分裂反应科学家称之为链式原子核反应。

铀的原子核链式反应在原子弹中得到了应用，原子弹的构造大家是已经清楚的了。这种炸弹利用普通炸药的爆炸将其中的两块铀装药推合在一起，使其结合后的质量足够发生爆炸式的链式反应，此时在十分短的一段

时间内（约为几百万分之一秒）释出巨大的能量。原子弹爆炸时短时间内所释出的大量的能量将压力提高到数十亿个大

气压力，将温度提高到数千万度。爆炸时还会生成强大的冲击波、强烈的光辐射和穿透性辐射，并在空中和地面上散布大量的放射性物质。

除了爆炸式的反应外，还实现了随人所欲的可控制的反应，利用这种反应可以获得供工业或其他目的使用的原子能。原子核反应是如何控制的呢？这类反应能否在天然铀中进行呢？让我们对这些問題詳細地来研究一下。

原来，在天然铀中铀 235 与铀 238 原子之比仅仅是 1 比 140。

铀 235 原子核分裂时生成的快中子绝大部分不断地与铀 238 的原子核相碰撞，能量逐渐损失速度逐渐减低。当其运动速度降低至每秒 45~50 公里时，中子就开始被铀核特别厉害地所吸收。这种现象称为共振俘获。这样中子剩下的就很少了，以致铀 235 核的链式分裂反应便不能进行。为了使链式反应依然能在天然铀中发生，科学家们决定创造这样一种条件，即使中子在共振速度区域内不与铀 238 核相碰撞。他们开始以人工方法将中子减慢到比共振速度低 20 倍的热速度。此时发现，中子的运动速度愈低，为铀 238 核所俘获的机率就愈小，铀 235 核反而更能分裂。减低中子运动速度的物质也找到了。

石墨是此类物质中的一种。快中子碰在石墨上就好像一只飞速滚动的皮球滚进一个充满石块或土墩的场地里一样。皮球不断地与石块及土墩相碰，一会儿滚到那里，一会儿又弹回这里，它的速度很快就降低下来了。中子经过石墨时不断地与石墨原子核相碰撞，结果其速度就迅速减小。

科学家利用了铀原子核、中子和石墨的这些性质造成了