

原子能知识丛书

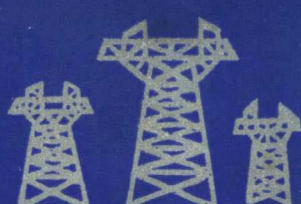
406697



核燃料史话

72·32

XLB



原子能知识丛书

核燃料史话

〔美〕A.L.辛格尔顿 著

原地 译

原子能出版社

核燃料史话

〔美〕A.L.辛格尔顿著

原 地 译

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

张家口地区印刷厂印刷

(张家口市建国大街8号)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092^{1/32}·印张1^{1/2}·字数29千字

1981年5月第一版·1981年5月第一次印刷

印数001—2,000·统一书号:15175·294

定价:0.20元

出版说明

一提到原子能，就要和不可捉摸的放射性联系在一起，一些人往往望而生畏，敬而远之，这说明原子科学领域对于许多人来说还是陌生的。其实原子能既不可怕，也不神秘，它在我们的生活中正在起着愈来愈大的作用。

为了介绍原子能的基本知识和应用情况，我们有选择地翻译出版美国当代原子能学者和专家编写的原子能知识丛书 (Understanding the Atom Series)。这套丛书取材广泛，内容丰富，语言生动，深入浅出，具有中等文化水平的读者，花一些气力，读懂它是不成问题的。

在科学技术迅速发展的今天，书中引用的有些材料稍嫌过时，但是这些材料对于理解基本概念还是有价值的。

目 录

一场大变革的开始·····	(1)
美国的找铀热·····	(7)
铀矿是怎样形成的·····	(12)
铀矿床·····	(15)
探矿·····	(18)
采矿·····	(22)
核燃料的生产·····	(26)
铀矿工业的安全·····	(36)
核燃料的前景·····	(39)

一场大变革的开始

学过历史的人都牢记着1789年，因为这一年中发生过震惊世界的三件大事。其一是乔治·华盛顿当选美国第一任总统；其二是现仍广为流传着的英国军舰“邦蒂号”发生的反对舰长的一次兵变；第三件事也可能是最有意义的，就是爆发了法国大革命。

但很少有人记得同年发生的另一件事，更没有人谈论，然而这确实是一件具有世界意义的大事。

这也是一场变革的开始，但当时却没有人认识这一点。这是一次无声无息的却又是真正的变革，因为它打开了通往科学世界的崭新发展阶段的大门。

这件未被称颂的事发生在德国的一个不太引人注意的实验室里，由一位名叫克拉普罗特的德国科学家发现的。他至死也未理解这件事的真正意义，对于他来说，这也只是一个偶然的发现而已。

当时，克拉普罗特正从事沥青铀矿的研究工作，在实验过程中，他从矿石中分离出一种黑色粉末状物质，这种物质的化学性质与他所知道的任何元素有着极为明显的不同。他的这一发现虽然使他感到高兴和惊奇，但也使他难以理解。

他把这种物质拿给其它科学家



M.H. 克拉普罗特

看，他们也感到迷惑不解。没有人能识别它，也看不出它的用途。但它确是一种新的元素，需要给它命名。当时，为纪念发现不久的天王星——乌拉奴斯（Uranus），克拉普罗特将这神秘的物质定名为铀（uranium）。

在以后的一百多年里，这种奇异的物质仍然只不过是实验室中的珍品。后来，到了1896年，法国科学家贝克勒耳在研究铀时发现了一种奇怪的现象。

贝克勒耳当时正在研究磷光现象，即研究某些物质受强光照射后，在黑暗中的发光能力。有一次，他在工作中无意将一些铀盐跟纸包着的照相底片一起放在抽屉中。几天以后，他冲洗这些底片时，使他感到惊讶的是，这些底片如同曝光了一样变黑了。

抽屉中并没有别的东西，因此他知道使底片曝光的能量是铀盐。经过多次实验，他证明了这不是一个偶然现象，于是他很高兴地发表了她的发现。

这样一来，这种神秘的铀突然显出它极大的潜在能量了，而这在克拉普罗特发现后的一百零七年中一直没有引人注意。它似乎有着难以置信的自发放出能量的能力，就是说，毋需预经其它任何能源照射，即可自行放出能量。

几年后，皮埃尔·居里和玛丽·居里从同类的沥青铀矿中提取了镭元素并研究了它的性质，也发现了这种现象*。他们把镭的这种现象命名为放射性，这也是镭的一种特性。至今，人们仍在继续研究中。

尽管人们对贝克勒耳的发现感到惊异，可是五十年以后

* 居里夫妇和贝克勒耳为此获得了诺贝尔奖金。

才出现了与铀有关的进一步的研究结果。

直到1939年，也就是第二次世界大战爆发前夕，纽约有一位科学家在一篇报告中谈到铀的用途时还说，铀除了可用于瓷器着色，即用铀将瓷器上成深浅不同的黄色、橙色、棕色或深绿色*之外，没有任何经济价值。

当然，这篇文章不代表当时的所有科学家的想法，但是它说明了许多人对放射性元素的潜在能量缺乏认识。

事实上，一些知识渊博的科学家已开始用几种实验室装置产生的高能亚原子粒子轰击许多元素，以探讨原子的性质。当然这就要用铀——已知的最重的元素做试验。1938年末，德国科学家奥托·哈恩和弗里茨·斯特拉斯曼在用称为中子的微小粒子流照射铀时，成功地使铀原子分裂。这样便产生了某些已知的但质量较轻的元素，因为它们是铀原子核分裂即裂变成两半的碎块，由此我们称之为裂变产物。

虽然这一成就是在开创原子时代之后取得的，但哈恩和斯特拉斯曼的实验仍然不失为原子能发展史上的一个里程碑，显示了铀的用途的发展趋势。

当德国科学家发现铀分裂的消息传开以后，其他科学家也开始在理论上进行阐述，指出铀原子核分裂时，不仅要释放出能量而且还释放出中子。大家广泛地讨论到这样一种可能性，即从一个裂变的铀核发出的中子也许可以用来分裂别的铀核，这样就会引起链式反应，这种反应能够释放出不可估量的能量。

不久，就用实验验证了这一理论。1942年，美国在芝加

* 例如，有些用铀着色的陶瓷的放射性足可作为简易实验的辐射源。

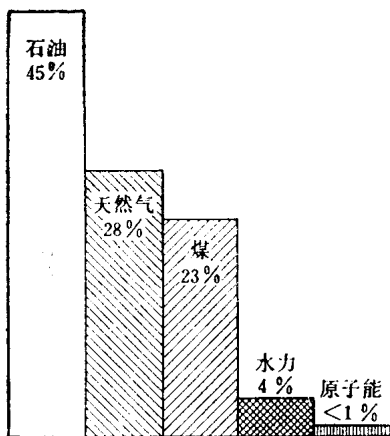
哥大学第一次实现自持链式反应。三年以后，由美国陆军曼哈顿工程特区（以“曼哈顿计划”著称）研制出了原子弹。

核燃料发展过程中的重大事件

-
- | | |
|-------|--|
| 1789年 | 克拉普罗特从沥青铀矿中分离出铀。 |
| 1896年 | 贝克勒尔发现铀的放射性。 |
| 1898年 | 居里夫妇发现钋。 |
| 1938年 | 哈恩和斯特拉斯曼成功地分裂了铀核。 |
| 1942年 | 在美国芝加哥大学首次实现核链式反应。 |
| 1945年 | 美国在新墨西哥州阿拉默果尔多附近进行原子装置的首次爆炸试验。 |
| 1946年 | 美国国会成立原子能委员会。 |
| 1947年 | 美国开始大规模开采铀矿。1951至1958年是全盛期。 |
| 1951年 | 美国爱达荷反应堆试验站第一次利用原子能发出可观量的电力。 |
| 1954年 | 美国第一艘核潜艇“鹦鹉螺号”服役。 |
| 1955年 | 联合国第一次和平利用原子能国际会议在日内瓦召开。 |
| 1957年 | 美国在加利福尼亚州建成第一座民用核电站。国际原子能机构正式成立。 |
| 1959年 | 美国第一艘核动力商船“萨凡那号”下水；第一艘“北极星”弹道导弹核潜艇“乔治·华盛顿号”服役。 |
| 1961年 | 核电池，又称放射性同位素电池首次进入太空轨道。 |
-

虽然第二次世界大战期间，优先考虑军事目的，研制出威力强大的武器，但从事这项计划的科学家们已预见能控制链式反应，以达到和平利用这种元素能量的目的。他们设想，如能准确有效地控制住铀的裂变反应，就会获得一种新的热源和光源，并将较容易地满足几百年内对燃料的需要。

几百年来，人类首先靠“矿物燃料”如煤和石油取得热量，随后用它带动机器发电。但是这类燃料迟早会用完的。



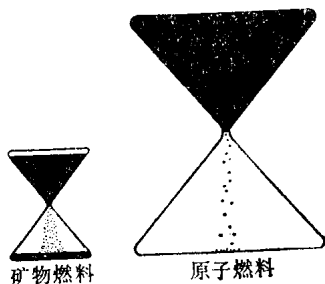
六十年代末能源的构成

有人会问：倘若煤、石油和天然气用完的话，那将有什么来促进世界的发展呢？

回答是现成的，除核科学家外，直至前不久，很少有人对这个事实有所了解。许多人可能仍然认为，铀是一种放射性物质，主要用于制造原子弹，只有在这方面才是一种有价值的

材料。这些人大概是被铀原子中蕴藏的巨大威力所吓住了，而没有意识到科学家和工程师是何等的坚韧不拔，他们借助于现代技术的进展，已研究出既安全又稳妥地释放能量的方法，需要多大能量就让它放出多大能量。通常只有少数人想到能用铀作核燃料，或可能用别的什么物质来代替铀作核燃料。

自然界只有铀的同位素*——铀-235是可裂变的，而它的含量只占天然铀的0.7%左右，即天然铀中只有千分之七的铀-235，剩余的



我们对燃料的一种看法

* 同位素指同一元素中质量数不同的各种原子，即原子序数相同而质量数不同的各种原子。它们的化学性质几乎相同，在周期表中占同一位置。

99.3% 则几乎全是铀的另一种同位素——铀-238。它不如铀-235 那样容易裂变^{*}，但是它在反应堆中可以转换成有用的可裂变材料——钷-239（钷的同位素）。钷不是天然元素，是人造元素系列中的一种。这些人造元素是科学家们力图发现新的核燃料来源以及为了其他目的而研制出来的。

钷是另一种重要的天然核燃料。它是一种重金属，放射性强度不高，是瑞典一位名叫伯齐利乌斯的科学家在1929年发现的。

钷不象铀-235那样容易裂变，但和铀-238一样是一种“可转换”材料，因而能在反应堆中转换成一种可裂变的同位素——铀-233（在自然界不存在）。

目前，对钷的需求量不大，因而也没有重视钷矿的勘探工作。美国在爱达荷州和蒙大拿州发现一个有开采潜力的重要的钷矿区。

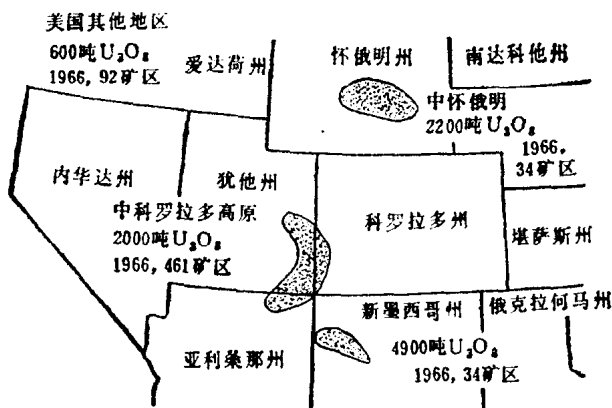
钷或铀-238都不易迅速地分别转换成铀-233或钷-239。现有的很多反应堆能将这两种材料变成可裂变材料的量是相当小的。虽然，正在发展新型反应堆，以增产可裂变材料，但是，即使在这些先进的装置中，它的转换效率仍然是低的^{**}。如果科学家和工程师们能找到一种经济上合算的转换方法，我们会获得一种巨大的新能源。可是，在若干年内，我们仍得靠天然铀中的很小一部分铀-235来满足对核燃料的需要。

这就是为什么科学家们谈到可裂变材料时，一般都指的是铀-235。本书所讲的核燃料资源主要是指铀的资源，而钷

* 铀-238只在快中子作用下才能裂变。

** 这种“增殖堆”和“转换堆”将在43页讨论。

和其它资源有待于发展。



美国主要铀矿区的分布

美国的找铀热

在第二次世界大战爆发之前，美国工业用铀量不大，铀的库存也很少。虽然美国在核裂变的应用方面已经领先，但所用的铀是靠国外供给。研制第一颗原子弹所用的铀都是来自比属刚果（现扎伊尔）。刚果的铀矿石都要经过深山峡谷和丛林，长达一千二百多英里路程的运输，然后用船运至美国。

但这是供不应求的，所以在四十年代末美国就开始在国内开展铀矿资源的普查。美国原子能委员会对发现和提供新资源的人发给奖金，于是很快就有一大群未经组织的非专业人员和专业的地质普查人员涌向美国西部的沙漠和山区，希

望找到铀矿。这样，就开始了美国历史上规模最大的找矿热潮。

找矿人员中有头发斑白的老找矿人员，有受过专门训练的地质工作者，也有职员、农场工人、教师、学生、商人、退伍军人，甚至还有家庭妇女参加。为了寻找这种神秘的矿石，全家人有时还露宿野外。有些找矿人员独自徒步前往或结伴而行，走入荒凉的沙漠和遥远的深山峡谷。有些人骑着毛驴，有些人驾驶着别人不要的旧卡车或军队多余的吉普车，直到这些交通工具不能通行的地方，然后他们就攀悬崖，爬陡壁去找寻这些矿物。

很多的找矿人员用 γ 辐射仪只发现很弱的放射性或没有显示出放射性，然而，也出乎意料地找到了不少重要的矿床露头，而且常常是在老的镭矿山的采空区，最后这些发现者就把这所有权卖给矿业公司。



找矿人员带着地质锤和 γ 辐射仪在找矿

几百个地区被购买，立上了标桩，向山腰中打了几百条小坑道。探井掘进几英尺，使台地顶部变成凹坑。当时约有一千个小型矿山在生产工业矿石。当这股热潮最后平静下来的时候，大约只剩下二十个矿山，其中大部分属于大的金属或化学公司所有。估计美国铀矿石的储量有85%是在科罗拉多高原。这地方也是找矿人员最集中的地方。

要了解四十年代末至五十年代初美国的这股找铀热潮的原因，我们就得多了解一点铀的性质。

首先，铀象铁和金一样，是一种金属。克拉普罗特称为铀的黑色粉末其实并不是纯铀，而是铀的氧化物。为便于比较，可以想一想铁矿，铁矿是包括铁的氧化物和其它化合物，并不是纯铁。

工业上可以把铀的氧化物提炼成金属铀，刚经切削和新抛光过的金属铀有一种银白色的光泽。然而，它和许多金属一样，由于空气和湿气的作用，很快就氧化了，金属表面上立即会有一层黑色的氧化物。

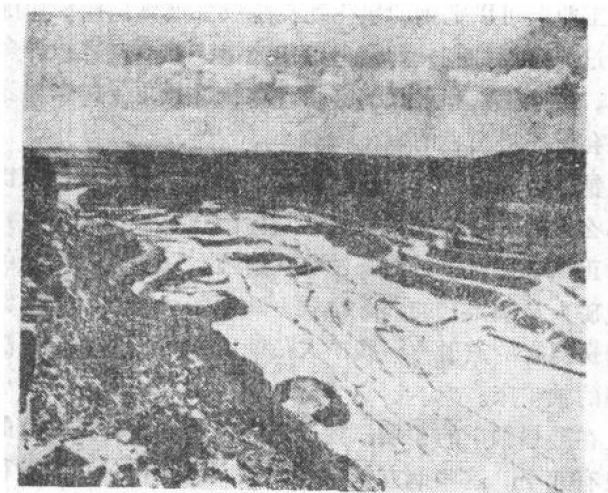
铀是金属中最重的一种金属，它比铅重65%，象饮料罐头那么大的一小块铀竟然重达17磅。

正如我们所了解的，铀有放射性，它的这种特性可以帮助找矿人员确定它的埋藏位置。利用盖革计数器和其他探测仪器探测它的放射性，找矿人员就可以找到用其他方法难以发现的铀矿床。

在勘探铀矿的初期，世界上已查明具有真正价值的产铀区只有几个。这些地方是比属刚果（现扎伊尔）的欣科洛布韦、加拿大西北部的大熊湖、捷克斯洛伐克的乔基姆斯塞尔。这些地方的铀矿都是些沥青铀矿。但是美国的勘探人员

在西部科罗拉多高原的山脉和沙漠中探明的都是丰富的钾钒铀矿。

当铀成为探矿人员的主要目标之后，便找到了一些新的铀矿资源。例如，南非是从处理高品位金矿的尾矿中回收到铀。1949年，即在美国原子能委员会成立后的仅仅三年，在新墨西哥州格兰茨附近的托迪尔托灰岩中发现了铀矿。同年，在犹他州的海皮杰克铜矿第一次开采出铀矿来，尽管在1920年以来人们就已知道这里有铀矿。1952年，阿纳康达矿业公司的地质工作者在新墨西哥州发现了铀矿露头，也就是现在著名的杰克派尔矿山。这个矿山已生产了几百万吨很富的原生黑色沥青铀矿和铀石。



美国最大的露天铀矿山——新墨西哥州的杰克派尔矿

在三年多的时间内，又发现了很多铀矿床——南达科他州的黑山、怀俄明州的气山以及犹他州的米维达和德尔塔矿山。加拿大、法国、澳大利亚和阿根廷也发现了铀矿床。

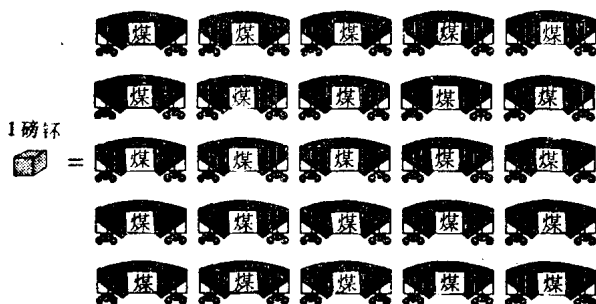
因为铀可望有令人振奋的新的用途，所以直到今天也没有间断过铀的探查工作。目前我们还不知道从地球深处能开采出多少铀。但是，历史总是倾向于不断寻找能源的这些人，因为文明的历史，在某种意义上就是有效地探索燃料的历史。

人们远在现有的燃料资源用竭之前，总是能找到新的燃料。而且，人们远在需要这种新燃料或具备使用这种新燃料的技术之前，总会发现它。例如，石油在需要用它开动汽油机，从而将机器时代带入繁荣发展时期前，它只不过作为灯油和辅助润滑材料用。

在一百多年前，人们就已经知道了铀，但是直到现在，铀才真正开始成为世界上的一种新能源资源。

铀资源实质上是无穷的，可是要善于使用它，这样在矿物燃料用完之后，它的利用价值将会更大了。

例如，一立方英寸的金属铀，其能量相当于二万立方英尺的煤、一万七千立方英尺的石油、或二千万立方英尺的天然气所产生的能量。想到这些，我们认为，可以利用的铀是大量的，而且现在科学家们正在研究如何最大限度地利用它的能量。即使这种能源的消耗速率比我们现在想象的快得多的话，铀这种能源资源也足够供我们使用几百年了。尽管还未完全探明世界上铀的储量，但地质学家却坚信这一点。



能量的比较

一磅铀产生的核能等于三百万磅煤（足够装二十五节车皮）所产生的化学能量

铀矿是怎样形成的

铀在地壳中的丰度约为百万分之二，几乎到处都能找到它的痕迹，比金、银、汞丰富，与锡差不多，略少于钴、铅和钼。地球上平均五十万磅岩石中就有一磅铀（钍在地壳中的丰度为百万分之十二，比铀高五倍）。

铀在岩石中的含量比在水或石油中的要高得多。在硅含量较高的火成岩中，例如花岗岩中，铀的含量为百万分之四。在海水中它的浓度仅为十亿分之二，在地下水和河水中一般就更少了。

铀和大多数金属一样，在自然界不能单独存在。它总是与氧和其它元素化合，而形成铀的氧化物（晶质铀矿、沥青铀矿）、铀的硅酸盐（铀石）、钾铀的钒酸盐（钾钒铀矿）。

铀的化学和物理性质决定了它广泛地分布于岩石中。在