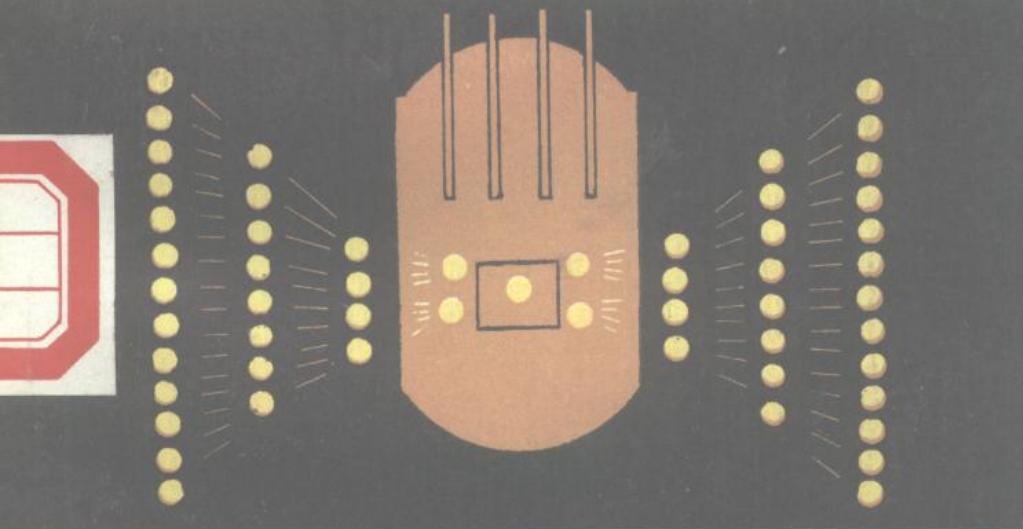


核  
技  
术  
丛  
书



# 核反应堆漫话



陈福根

原子能出版社

核 技 术 丛 书

核 反 应 堆 漫 话

陈福根 著



原 子 能 出 版 社

8610390

## 内容提要

核反应堆（又称原子反应堆）在原子能技术中占有很重要的地位，我们平常在读书看报或收看电视节目的时候也常常碰到这个名词。

什么是核反应堆？核反应堆有哪些种类？它是由什么组成的？它的工作原理是什么？它有哪些用途？核反应堆同原子弹有什么不同？它有没有像原子弹那样发生爆炸的危险？

本书用通俗生动的文字回答了以上的问题。

本书适合具有中等文化程度的广大读者阅读。

45/4

核技术丛书

核反应堆漫话

陈福根 著

责任编辑 柴芙蓉

原子能出版社出版

（北京2108信箱）

北京9203信箱印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092<sub>1/32</sub>·印张47/8·字数105千字

1985年4月第一版·1985年4月第一次印刷

印数1—3400 ·统一书号:15175·577

定价：0.78元

## 序

1896年，天然放射性的发现拉开了揭示原子内部奥秘的序幕。继这以后，经过世界各国许许多多科学工作者数十年的辛勤探索和研究，取得了辉煌的成果：发现了不少新的放射性元素；实现了人工核反应；人工合成了放射性同位素；中子、质子和正电子的发现，丰富了人们对原子核的认识；从三十年代起，各种类型加速器的建成，为核物理研究提供了一种强有力的新工具，同时，用加速器生产了很多新的放射性同位素；1939年，发现了核裂变，接着，1942年，建成了世界上第一座核反应堆，它标志着人类进入了原子能时代。核反应堆提供了一种强大的中子源，为中子的研究和应用，以及放射性同位素的大量生产创造了条件。这样，放射性同位素、放射源、放射性标记化合物、放射性药物和同位素仪表等的研制和供应，逐步走上了商品化的道路，为核科学技术在各个领域中的应用打下了良好的基础。

核反应堆技术的进步和成熟，导致五十年代中核电站的出现，开创了核科学技术应用的另一崭新的领域。核能发电突出的特点是单位重量燃料的发电量十分高，一座100万千瓦的核电站每年仅消耗约一吨铀-235，而烧煤电站则需270万吨标准煤。目前核电的成本不比火电贵，对环境的污染也少；包括反应堆在内的核发电设备现已十分成熟，达到了商品化水平。今天，核能发电已占世界电站总装机容量的十分之一，可以肯定，今后仍将不断增长。

加速器的发展，使它超出了原先专供核物理研究的范围，已开始向着应用领域迈进。加速器能生产纯度高、半衰期短、发射正电子的无载体放射性同位素，加速器产生的各种粒子束流比放射性同位素放射出的射线的强度高很多。它为核科学技术的应用提供了一种新工具，开辟了新领域。

核技术丛书包括十几个专题，基本上反映了核技术及其在各个领域中的应用概貌。编写本丛书的目的，在于使读者对核技术的特点及其应用能获得较清晰而又正确的了解，消除对放射性和射线的恐惧，普及核技术应用知识，推动核技术的应用，为我国四个现代化建设做出应有的贡献。

张永祥 1983, 10, 3

## 前 言

公元一千九百四十二年，在我们人类居住的 这个 星球上，出现了第一座原子反应堆。

什么是原子反应堆呢？在没有回答这个问题之前，也许有人一听到“原子反应”这几个字，就会立即联想到原子弹的爆炸，在他的脑海中浮现出一种神秘和可怕的情景：

蓦地，天空中划过一道强烈的闪光。闪光过后，出现一个明亮刺眼的火球。火球向四周激烈扩散。几秒钟之后，变成了烟球。烟球向上冲起，越来越大。到了几百米高空，它与从地面卷起的砂石尘柱连在一起，形成蘑菇状烟云。接着，砂石如雨点般地从天而降，烟云逐渐随风飘散。烟云底下，已成一片焦土。……

产生这样的联想并不奇怪，因为原子反应堆和原子弹的原理毕竟都与原子核分裂现象有关。然而，它们却完全是两回事，两者之间并无直接联系。

原子核分裂现象是在第二次世界大战前夕发现的。遗憾的是，发现之后，它就被利用来研制原子弹。1945年8月，原子弹在日本的广岛和长崎充当了杀人的武器。于是，核分裂这个伟大的发现变得黯然失色，“原子反应”也开始令人闻而生畏了。然而，人们不会让核分裂这一自然现象永远扮演“破坏者”角色。如同火药可以用来杀戮生灵，也可以用来移山填海一样，只要加以控制，核分裂现象是完全可以应用于和平建设事业，为人类谋福利。

尽管原子反应堆在问世之初也是用于军事目的——生产原子弹装料钚和随后用作潜艇动力，但在第二次世界大战以

8610390

后，它在核能开发和科学研究方面得到日益广泛的应用。众所周知，电力是加速发展国民经济的重要前提。可是，世界上化石燃料资源有限。在本世纪内，除了煤炭外，化石燃料将出现短缺，核燃料将变得日益重要，核电在总发电量中所占的比重将显著增大。反应堆是核电站的核心，它在核能开发与利用中有相当重要的作用。除此以外，反应堆在许多方面也有很大用处。例如，可以用它来生产放射性同位素，诊断和治疗疾病；进行中子活化分析，检验材料成份，监测环境污染，分析罪证材料；开展中子照相，进行材料无损检验，考证古代文物；开展中子嬗变掺杂，制造新型的硅半导体材料；进行辐射育种试验，改良农业品种；进行中子衍射实验，研究物质结构等。总之，反应堆已经成为人类生产和科学研究活动中一种极其有力的工具，愈来愈引起人们对它的兴趣。

那么，原子反应堆是怎样发明的？核分裂链锁反应又是怎样进行的？它究竟有哪些妙用？会不会像原子弹那样发生爆炸？

如果读者对这些问题感兴趣的话，请读一读这本书吧！我们希望书中介绍的知识，能帮助你对原子反应堆有一个粗线条的了解。要是能够做到这一点的话，就算是我们编写这本书的目的达到了。

由于学识浅薄，书中疏漏及错误之处在所难免，希读者批评指正。在编写过程中，核工业部连培生、童鼎昌等同志审阅了全书，并提出许多宝贵意见。中国科学院上海原子核研究所郑伟、沈文斌同志在插图方面给以许多帮助，谨此致以谢意。

# 目 录

序

前言

一、应运而生	1
发现“第93号元素”	1
核被分成两半	4
核科学家忧心忡忡	6
说服罗斯福	7
网球场奇观	10
原子火花	13
二、核分裂的秘密	19
微小“太阳系”	16
一把好钥匙	19
液滴的启示	23
裂变怎么会放出新的中子来?	26
一克铀可转化多少能量?	29
从棋子发明人索取报酬说起	33
链式反应的暗礁	35
原子工业的主角——铀	37
金鱼喷池与石蜡	41
奇特的重水	45
驾驭链式反应	49
三、五花八门的反应堆	56
万变不离其宗	56
压水堆独占鳌头	65
重水堆东山再起	68
研究堆之冠——高通量堆	72



后起之秀——铀氢锆脉冲堆·····	79
四、反应堆的妙用·····	84
水下环游全球·····	84
英女王按下开关·····	88
揭开拿破仑死因之谜·····	95
“点石成金”·····	101
中子治癌及其它·····	107
半导体工艺绽新花·····	111
中子能照相吗?·····	114
探索物质结构的新军·····	125
五、会不会像原子弹那样发生爆炸?·····	132
“小男孩”和“胖子”·····	132
反应堆并非原子弹·····	135
是亿万美元的“陵墓”吗?·····	141
蓝光并不可怕·····	144

## 一、应运而生

反应堆的主要发明人恩里科·费米 (Enrico Fermi) 说过，反应堆的历史也像一切科学成就的历史一样，起源于人类最初对宇宙本性的哲学思索。

这样说来，关于反应堆的历史，似乎应该从二千四百多年前，希腊哲学家德谟克利特 (Democritus) 提出关于原子的臆想说起。要不，至少也要追溯到1896年贝克勒耳 (H. Becquerel) 发现放射性的事。不过，论述这方面的书籍，无论是专著还是百科全书，虽说不上汗牛充栋，但也是洋洋大观。所以，在此不需赘言，反应堆问世的故事就从一种与反应堆关系密切的现象——核分裂说起吧。

### 发现“第93号元素”

1932年，英国物理学家查德威克 (J. Chadwick) 发现了中子。由于中子本身呈电中性，能够很容易地钻入到原子的“心脏”——原子核里面去，所以科学家就把它看成是一把打开原子核大门的好钥匙，用来探索原子的奥秘。1934年，约里奥-居里夫妇 (The Joliot-Curies) 用 $\alpha$ 粒子 (氦核) 轰击铝-27的原子核，第一次获得人工放射性核素\* 磷-30。在他们成功的鼓舞下，意大利物理学家费米决定用中子作为“炮弹”，也来研究人工放射现象。

当时，化学元素周期表上只列出已经发现的从氢到铀等

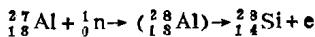
\* 原子核里具有相同质子数和不同中子数的同一元素的几种原子，叫做同位素。所有元素的每一种同位素，都可以叫做一种核素。

92种元素。费米和他的助手决定用中子对它们一一轰击，看倒底会产生怎样的结果。

于是，费米在一个小玻璃管里装上铍粉，又充以氦气，做成一个中子源。由于氦气发出的 $\alpha$ 射线同铍核相互作用后放出中子，这个中子源每秒钟大约会放出一百万个中子来。费米就利用这些中子来进行实验。实验开始了，费米按照周期表的顺序，从最轻的氢元素开始。中子轰击氢，没有发现什么现象。接着就轰击锂、硼、碳、氮，但哪一种元素也没有产生放射性。到了轰击氟元素时，氟终于被中子激活了，生成了放射性同位素氟-20。以后又继续试验了一些元素，情况都同氟差不多。这样，在短短的几个月内，费米就用中子轰击的方法，制备出37种不同的放射性核素。

后来，当费米轰击当时周期表上最后一个元素——铀时，发现铀也被激活了。从核反应知道，用中子轰击是很容易把一种元素变成原子序数增加1的元素\*，所以费米以为突破了周期表的边界，又找到了一种新的、原子序数比铀大1的第93号元素。他暂时把它命名为铀X。

- 
- 一种原子变成性质上不同的另一种原子的现象，称为嬗变。原子核自发地发生嬗变，叫做蜕变；原子核由于受到外来的原因而引起的嬗变，叫做核反应。如



就是一个核反应方程式。它说明：原子序数为13的铝-27俘获一个中子(n)后，原子序数不变，但质量数增加1，成为铝-28。它的核是不稳定的，核内的一个中子会很快地放出一个电子(e)来，而本身转化为质子(p)。元素的原子序数是由核里面的质子数决定的。原子序数为13的铝，由于核内增加了1个质子，所以原子序数就增加1，变成原子序数为14的硅。



费米发现铀 X

铀X是不是真的第93号元素，我们暂且存而不论。不过，我们知道，发现一种新元素，确实是很不容易的事情。自从卡文迪许 (Cavendish) 发现氢元素，拉瓦锡 (Lavoisier) 发现氧元素开始，大约经过 170 年的时间，才发现 92 种元素。费米居然又在元素大家庭中，发现一个新的成员，当然被认为很了不起的事，引起了极大轰动。那时，《纽约时报》发表了一篇专文，用“意大利人以轰击铀的方法制成第 93 号元素”的醒目标题，报道这一发现。意大利的许多报纸也竭力想利用这一成就，宣扬什么“法西斯主义在文化领域的胜利”。有一家二流报纸甚至荒唐到了这种地步，造谣说费米曾把一小瓶第 93 号元素献给意大利王后。但是，费米在科学上

是个严谨的人，他不喜欢公开宣扬。为此，他不得不发表声明，说铀 X 到底是什么元素，在得到实证之前，还需要继续进行许多精密的实验。

## 核被分成两半

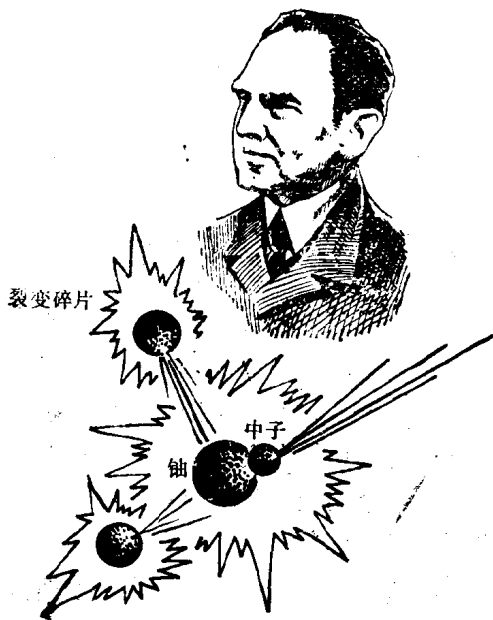
利用中子轰击铀，是不是真地得到第93号元素？当时见解纷纭。有人认为，按照周期表的排列，第93号元素应该处于镱的下面，它们的化学性质必定相近。如果用镱作为载体，和被轰击后的铀混合在一起，再用化学分离方法将镱分离出来，那末，镱一定会带出一点“第93号元素”来，应该也有放射性。根据这个推想，在柏林凯撒·威廉化学研究所工作的德国科学家奥托·哈恩 (Otto Hahn)、斯特拉斯曼 (F. Strassman) 和奥地利女物理学家梅特涅 (L. Meitner) 进行了实验。结果事与愿违，没有发现“第93号元素”和镱一起出现。

后来，他们又选择钡作为载体，把它同被轰击的铀混合后，再将钡分离出来。结果，发现钡带出一些放射性来。因为在周期表上，镭和钡是同一族，并且镭是排在钡的下面，于是他们以为铀 X 就是镭。可是，他们费了九牛二虎之力，也没有办法能够从钡里分离出镭来。

面对着这个科学之谜，他们并不灰心，继续试验着，思索着。终于在1938年12月27日，哈恩等人解开了这个谜，原来铀 X 不是别的，恰恰就是钡本身。

令人奇怪的是，在铀的原子核里面，含有 92 个质子和 146 个中子；而钡的原子核只有 56 个质子和 82 个中子。钡的原子量大约只有铀的一半。铀怎么会变成钡呢？经过反复思

索，他们大胆地认为，铀核吸收一个中子后，可能被分裂为几乎相等的两半\*，这就是“核分裂”。



哈恩发现铀核分裂

那时，在美国华盛顿正举行一次理论物理会议。哈恩等人的解释传到会上，引起与会者的极大兴趣。许多科学家马上回到自己的实验室重复进行实验。一个月內六次宣布成功。“核分裂”的理论立即得到世界上的承认。1944年，哈恩因此获到诺贝尔化学奖金。

• 在大多数情况下，铀核分裂都是分裂成质量大约相等的两块碎片，这叫做“二分裂”。偶尔也有“三分裂”、“四分裂”。1946年11月，我国科学家钱三强和何泽慧在居里实验室工作时，发现了铀的三分裂现象，即铀核分裂成两块较大的碎片和一块较小的碎片。他们的发现曾引起很大轰动。

以后,法国的约里奥-居里、冯·哈尔巴恩 (Von Halban) 和科瓦斯基 (Kowarski) 又进一步发现,铀核分裂时,不仅分成两半,还会释放出新的中子来。这些新的发现,对探索原子的奥秘和研究核能释放来说,无疑是非常重要的。可是谁能料到,这些科学成果一经问世,就被利用到军事上来,一种强大的破坏性武器的研究工作接踵开始了。

## 核科学家忧心忡忡

1939年,欧洲战火硝烟弥漫。希特勒军队的铁蹄蹂躏着大半个欧洲。那年夏天,一个消息从欧洲大陆,飞过大西洋,传到美国,说德国从它占领的捷克获得铀矿石,他们准备用铀制造武器。这个信息令人十分担心。难道希特勒真的想造铀弹吗?万一这个无赖元首手中有核武器,世界的未来就会不堪设想。

七月的一天,两个匈牙利出生的物理学家西拉德 (L. Szilard) 和威格纳 (E. Wigner),顶着骄阳,驱车到纽约长岛,去找在那里避暑的阿尔伯特·爱因斯坦 (Albert Einstein)。爱因斯坦是二十世纪的科学巨星,他提出著名的相对论,在科学界享有崇高的威望。要是他能出面写信给罗斯福总统,也许会影响政府的决策,以便赶在德国法西斯前面,研制出原子弹来。

在一个宁静的别墅里,这两个从匈牙利逃难来的犹太人谈着他们的意见,爱因斯坦对他们的忧虑深表同情。但是,爱因斯坦是 $E = mc^2$ 这个质能转换公式(见“核分裂的秘密”)的创立人,他深知核分裂会释放出多么巨大的能量。他想,大自然把原子能禁锢着,我们有权利把它释放出来,难道用

“它去杀人吗？爱因斯坦的拳头托住下巴颏，眉心紧蹙，陷于沉思之中。



爱因斯坦会见西拉德和特勒

几天后，西拉德在另一个匈牙利物理学家特勒(E. Teller)（后来成为美国的“氢弹之父”）的陪同下，又一次去见他的老师爱因斯坦。

这一次，爱因斯坦在他们的说服下，终于同意在西拉德代为起草的信上签了名。西拉德把它寄给白宫的经济专家萨克斯博士。他是罗斯福的好朋友，答应把信转呈给总统。

## 说服罗斯福

给总统的信在萨克斯的公文包里静静地躺了两个月，他知道怎样才能办妥这件事，他在等待机会。1939年10月11日，



机会来了，萨克斯终于见到了罗斯福。为了避免总统因繁忙公务把信压在文件堆里，萨克斯亲自把爱因斯坦的信读给总统听。信是这样写的：

先生：

从寄给我的手稿中获悉费米和西拉德近来的研究工作。这使我想到了，元素铀在最近的将来，将会成为一种新的、重要的能源。考虑到这一情势，人们应当提高警惕。必要时，还要求政府方面迅速采取行动。因此，我的义务是提请您注意下列事实和建议：

近四个月来，法国的约里奥和美国的费米及西拉德的研究工作表明，在大量的铀中建立核链式反应，以产生强大功率和大量新的类镭元素是可能的。现在几乎可以确信，成功是指日可待的。

这种新的现象也会导致制造炸弹。纵然把握不足，但可以想像，威力极大的新型炸弹是可能制造出来的。用船只运载一枚这种炸弹，使它在港埠里爆炸，就能轻易地把整个港埠连同附近地区一起炸毁。但是，这样的炸弹可能是太重了，不便空运。

美国的铀矿石含铀量贫乏，并且储量不多。加拿大和原捷克斯洛伐克有一些好铀矿，而最重要的铀资源是在比属刚果。

鉴于这种情况，您也许认为有必要在政府与那批在美国从事链式反应研究工作的物理学家之间保持某种经常的接触。对您来说，做到这一点的一个可取的方法是，授权一位您所信任的人士，使他不妨以非官方的资格完成下列任务：