

科技之光丛书
KEJI ZHIGUANG CONGSHU

现代核技术与应用

XIANDAIHEJISHUYUYINGYONG

靖宝庆◎主编



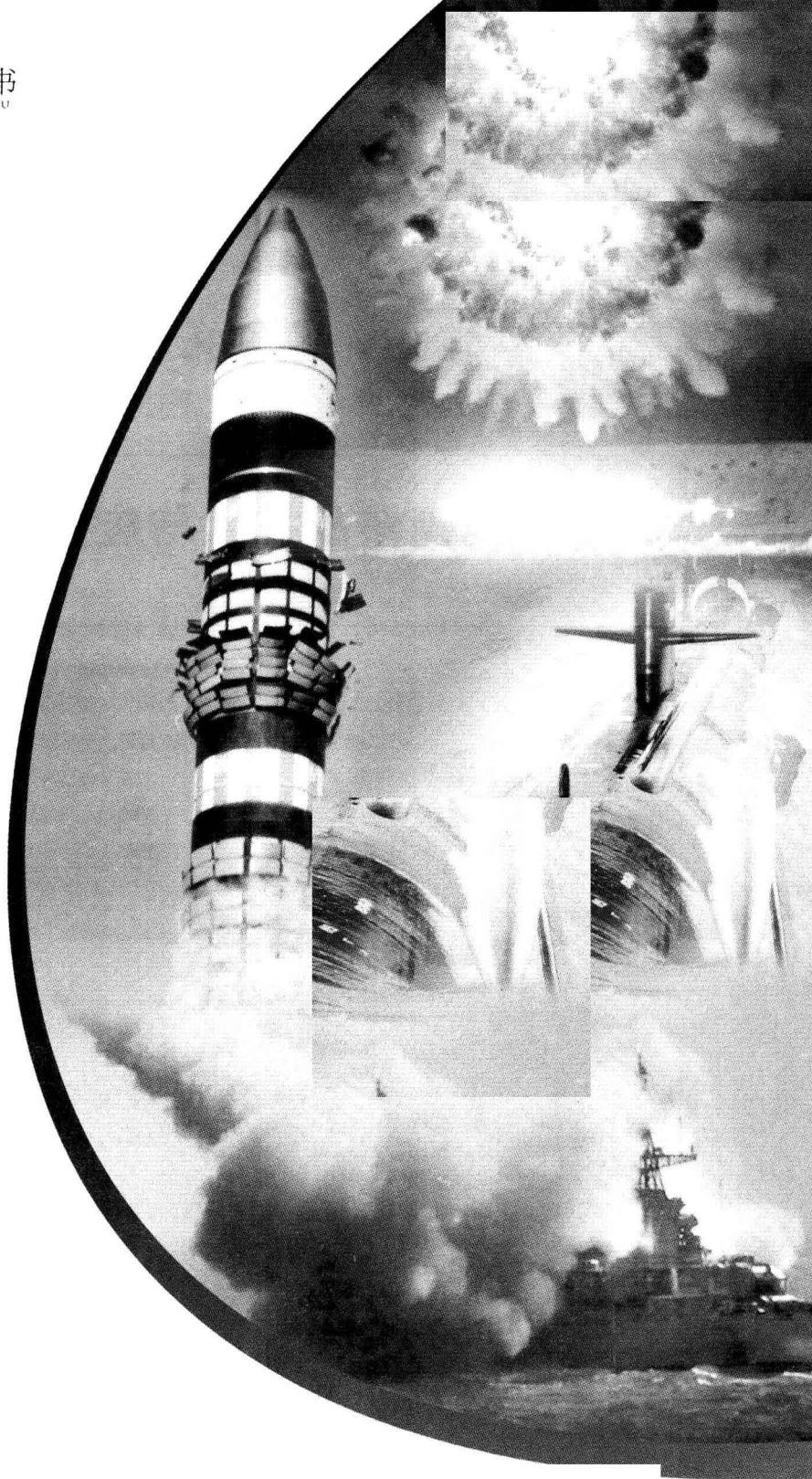
广西人民出版社

科技之光丛书
KEJI ZHIGUANG CONGSHU

现代核技术与应用

XIANDAIHEJISHUYUYINGYONG

靖宝庆◎主编



广西人民出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

现代核能技术与应用/靖宝庆主编. — 南宁: 广西人民出版社,
2010.

(科技之光丛书)

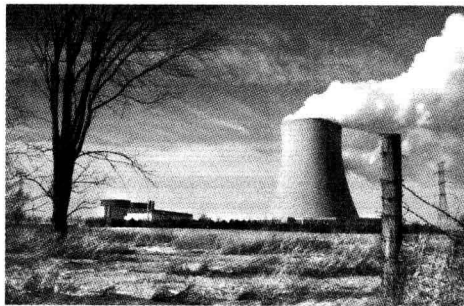
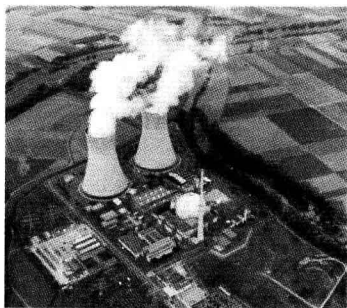
ISBN 978-7-219-06587-7

I. ①现… II. ①靖… III. ①核能—基本知识 IV. ①TL

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第005400号

现代核能技术与应用

靖宝庆 主编



责任编辑: 廖集玲 周 莉

出 版: 广西人民出版社

社 址: 广西南宁市桂春路6号

邮 编: 530028

网 址: <http://www.gxp-ph.cn>

发 行: 全国新华书店

印 刷: 北京佳明伟业印务有限公司

开 本: 710mm×1000mm 1/16

字 数: 160千字

印 张: 12

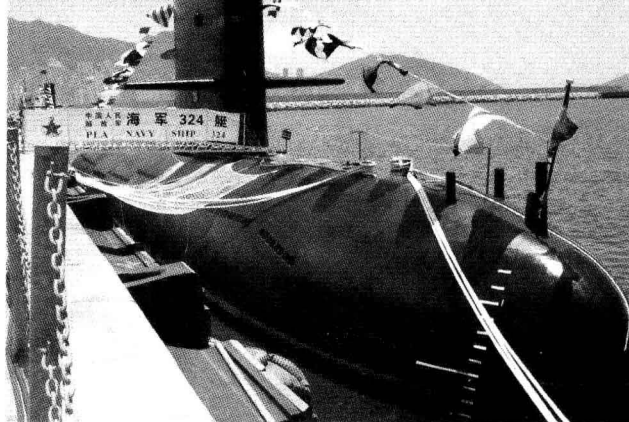
版 次: 2010年1月第1版

印 次: 2010年1月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-219-06587-7/T·16

定 价: 22.00元

版权所有 翻印必究



前言

核能又称原子能。众所周知，从人类学会利用火的时候，人类已经开始主动利用能源，自那时起，能源的使用已经成为人类进步不可或缺的基本要素，以及人类文明程度的一种标志。

在核能被发现和得到利用前，人类所利用的主要能源方式是化学能、水能等。十九世纪末到二十世纪初，物理学又得到了一次极大的发展，人类对物质结构的认识开始深入到原子，甚至更微观的粒子水平，这在客观上为人类利用核能奠定了基础。

核能是20世纪人类的一项伟大发现，并已取得了十分重要的成果。1942年12月2日，著名科学家费米领导几十位科学家，在美国芝加哥大学成功启动了世界上第一座核反应堆，标志着人类从此进入了核能时代。在这之前人类利用的能源，只涉及到物理变化和化学变化，当核能进入人们的生产和生活后，一种通过原子核变化而产生的新能源从此诞生。

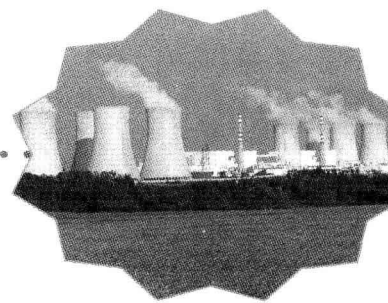
本书详尽的介绍了现代核能科技及其在生活中的应用，其中包括：原子学说的起源发展；核能及核电站介绍；现代核科技；核能在军事、农业、化工、医疗等方面的应用。全书语言力求生动且通俗易懂，旨在培养青少年学习和了解现当代科学技术的兴趣。

由于时间和编者水平所限，本书中纰漏之处难免，敬请广大读者谅解。如能给予批评和指正，将不胜感激。

编者

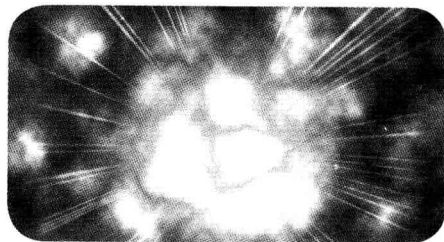
2009年7月

目录CONTENTS

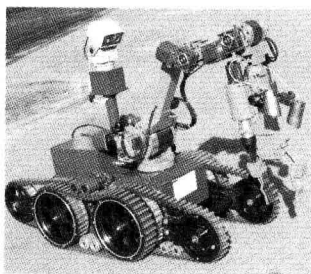


第一章 对原子能及核能的认识

什么是原子能	1
原子能的形成	2
认识核能	3
一种新能源—核电	4
核能是可持续发展的能源	5



第二章 核能基本知识



原子	6
原子核	6
核裂变反应	7
核工业机器人	8
核辐射	9
核辐射防护知识	11

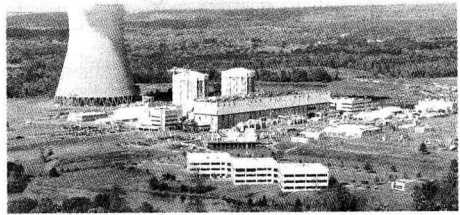
第三章 核能科技的艰辛历程

量子论引入原子世界	15	哈恩重做实验	18
费米的失误	16	梅特纳姑侄的讨论	19
原子核会分裂吗	17	确认“核分裂”	20

核能诞生	21	回旋加速器	35
爱因斯坦发现质能关系	23	王淦昌与中微子	36
费米与自持链式反应	25	钱三强与原子能科学	37
费米与原子能	27	邓稼先——中国原子弹之父	39

第四章 核能的开发和利用

核能的来源	42
核力和结合能	44
核能的应用	49



第五章 核能应用及核电站

核能的利用的发展	53	化学燃料面临枯竭	72
核电池的应用	54	核电站与原子弹	73
神奇的核电池	55	再生系数与临界状态	74
核电池为心脏泵工作	57	反应堆的固有安全性	75
上天入海的核电池	58	核电站面面观	78
核电池和阿波罗飞船	59	地上核电站概貌	82
核电池与人造卫星	60	核电站的结构	82
通古斯爆炸与核动力飞船	61	安全壳	83
飞出太阳系	62	核电站在地理位置上的分类及简介	86
登上火星	63	热堆的概念	92
正确认识核能	65	发电堆的类别及其简述	93
核辐射的危害性	69	快堆详谈	98

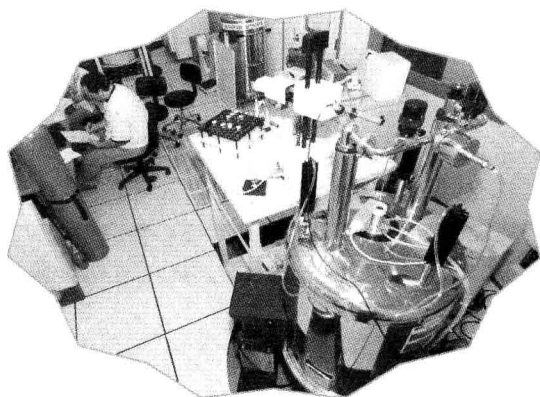
第六章 核能放射性的应用

放射性同位素的三个特性	102	放射性废物的利用	113
放射性同位素技术	103	辐射技术在化工的应用	113
核医学	105	辐射技术在农业的应用	115
放射性用于检测	112	碳14考古年代	125

核技术对中国历史学的贡献	126	微量元素的定性及定量测定	131
三星堆是另一支史前文化吗	127	高超的侦破技术	132
耶稣基督“裹尸布”的传说	127	分析环境污染情况	133
拿破仑死亡之谜传说	129	不灭的长明灯	134
古老的照片复活	130	同位素避雷针	136

第七章 核危害与核废料处理

核战争引发气候灾变	139
跨越意识形态的讨论	140
历史上的灾害现象	141
烟云笼罩下的黑暗	141
核战争后的寒冷	142
大风吹走了放射性物质	146
瑞典的报告	147
第八大奇观	147
核监督	148
综合优势	151



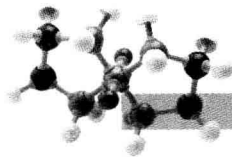
第八章 现代核能信息

核能是解决能源危机的好方法	154	核装置	165
核能——天使还是魔鬼	155	核战斗部	166
中国第一艘核潜艇诞生纪实	156	核能发电	166
核武器	160	月球的核应用	169
核辐射生物效应	164	核磁共振	170
核航空炸弹	164	核污染	175

第九章 现代核科技

探月热潮与核聚变能开发	176	什么是核武器战术化	182
辐射灭菌	177	反物质武器：第四代核武器	183
核电站如何退役	180		
如何利用放射性同位素			
进行火灾及毒气报警	181		



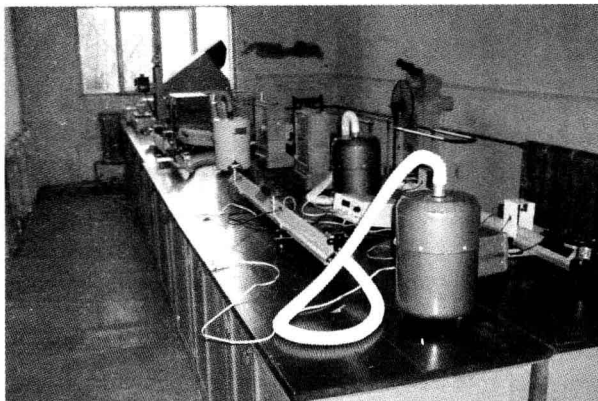


第一章 对原子能及核能的认识

什么是原子能

我们都知道煤能够燃烧，但并不是每个人都知道煤燃烧后会放出大量热的道理。原来，这种热来自化学能。煤的主要物质是碳，烧煤的过程就是碳的氧化过程：当一个碳原子和两个氧原子结合成一个二氧化碳分子的时候，就要放出化学结合能，平时简称它为化学能。

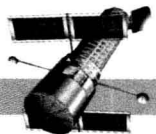
你可知道，在放出化学能的过程中，两种原子只是结合，并没有破坏每个原子的原子核。人们设想，如果用一种名叫中子的“炮弹”，打进原子核，将会发生什么事情呢？1939年初，法国著名的物理学家约里奥·居里（Joliot Curie, 1900—1958）首先完成了这个实验，他发现中子“炮弹”打进铀原子核时，铀原子核立刻就被打破分裂成两块，并放出比化学能要大几百万倍的能量



来。由于这种能量是从原子核里面释放出来的，一般就把它叫做原子能，实质上应该称它为“核能”。

约里奥在做上面的实验时，还发现了一件奇妙的事，就是当铀分裂时，要放出两个到三个新的中子炮弹来；这些新的中子炮弹又可以使其其他的铀核分裂，放出更多的能量，同时也放出更多的中子炮弹，再去使更多的铀核分裂。这样很快地不断地发生的过程，叫做连锁反应。假若铀的数量足够多，这种连锁反应就会不断地很快进行，这就会产生原子爆炸。如果这种连锁反应发展到一定程度，我们设法加以控制，即建造成原子反应堆，就可以利用它来进行原子能发电，制造原子动力军舰、商船、原子能动力飞机，还可以生产工、农、医和国防上所需要的各种放射性同位素，也可以用它来进行各种科学研究。总之，原子能是有多种多样的用途的。





原子能的形成

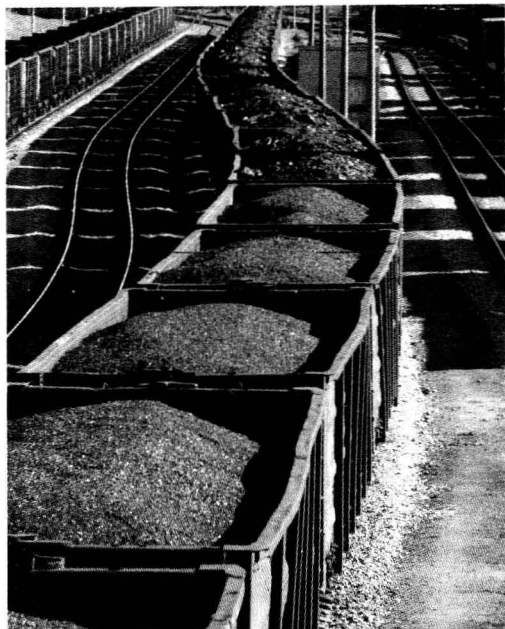
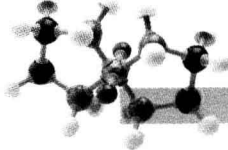
我们知道世界上有机械能，如机械运动的动能；有化学能，如煤和石油等燃料燃烧转变为二氧化碳气体和水放出热能；有电能，如当电流通过电炉丝以后，会发出热和光等。这些能量的释放，都不会改变物质的质量，只会改变能量的形式。例如，两辆完全相同的汽车，一辆在运动，一辆是静止的，如果运动的车一旦与静止的车发生碰撞，猛然停止时，动能虽然失去了，可我们发现，汽车在相撞处变得很热，这是什么原因呢？汽车的动能转变成了撞击点金属的热能。但是，原子能比化学反应中释放的热能要大将近5000万倍：铀核裂变的这种原子能释放形式约为2亿电子伏特（一种能量单位），而碳燃烧的化学反应释放能量仅为4.1电子伏特。

原子能是怎样产生的呢？铀核裂变以后

产生碎片，但所有这些碎片质量加起来少于裂变以前铀核质量，那么，少掉的质量到哪里去了呢？就是因为它转变成了原子能。爱因斯坦用 $E = mc^2$ 的公式来表示原子能与质量亏损的关系，即：释放出的能量等于亏损质量与光速的平方的积。由于光速是个很大的数字（ $c=299792458\text{m/s}$ ），所以“E”，是一个非常巨大的数字。在核反应过程中，原子核结构发生变化释放出的能量，又称“核能”。

20世纪30年代末，科学家发现，用中子轰击铀原子核，一个入射中子能使一个铀核分裂成两块具有中等质量数的碎片，同时释放出大量能量和两三个中子；这两三个中子又能引起其他铀核分裂，产生更多的中子，分裂更多的铀核。这样形成的自持链式反应，可在瞬间把铀核全部分裂，释放出巨大的能量。铀235可以被任何能量的中子——特别是运动速度最慢的热中子——分裂；铀238只能被运动速度很快的快中子分裂，对慢中子和热中子则只俘获不分裂。通常所说





的核裂变，主要指铀235核分裂。一个铀235核分裂释放的核裂变能为2亿电子伏特，这是原子核结构发生变化的一种方式，叫裂变反应。另外一种方式叫聚变反应，如一个氘核和一个氚核聚合成一个氦核释放出的核聚变能为1760万电子伏特。以相同质量的反应物的释能大小作比较，核裂变能和核聚变能分别是化学能的250万倍和1000万倍，1千克铀235相当于2500吨煤，1千克氘和氚相当于1万吨煤。

认识核能

核能，即原子核能的简称，我们习惯上也把它称作原子能。其实，原子核能是原子核裂变产生的能量，而不是原子分裂产生的能量。

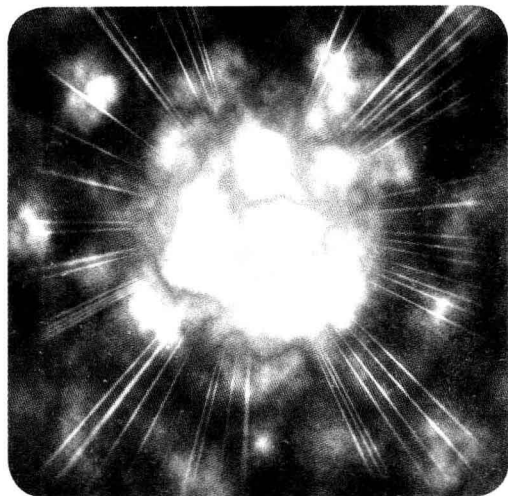
五彩缤纷、变幻莫测的物质世界是由近110种元素组成的，组成元素的最小单位是原子，原子由原子核和原子核外的电子组成，原子核又由质子和中子两种最主要的“基本粒子”组成。

如果用小孩玩的弹子球作参照物，原子与它相比就同它与月亮相比一样。原子核则更小，要是把原子比作学校的运动场那么大，原子核则只相当于放在运动场正中央的一颗仁丹药丸。

人类进步的历史就是一部不断从自然界获取能量的历史。人类自学会用火以来，几乎都是从改变物质的结构状态中获得能量。无论是燃烧马粪、牛粪、木柴，还是燃烧煤、石油、天然气，都是在利用原子反应释放出的化学能。直到1938年，人们发现铀235的原子核在吸收一个中子以后能分裂，同时放出2~3个中子和大量的能量，这些中子再去轰击新的原子核而形成链式反应。从此，人们发现了一条获取能源的崭新途径，并进入了核时代。

铀核是自然界中最大的核家族，其核内质子数多，自身不稳定，倾向于分裂。据测定，一个铀核在分裂的过程中释放的裂变能是一个碳原子释放的化学能的5000万倍。也就是说，现在世界上每天需要的能量要满足的话，需要烧2700吨标准煤，“烧”铀则只





需要1千克，只有火柴盒大小。人们自上世纪50年代就开始利用核裂变能进行发电，核电站应运而生，到1996年底已建起437台核电机组。

核能还有一种，叫核聚变能，这是最轻的原子核一氘，也就是重氢的原子核，它发生聚变。所释放的能量将会更加巨大。目前世界上一些核发达国家的最优秀的科学家，正在致力于这一将永远解决人类能源问题的宏伟事业。

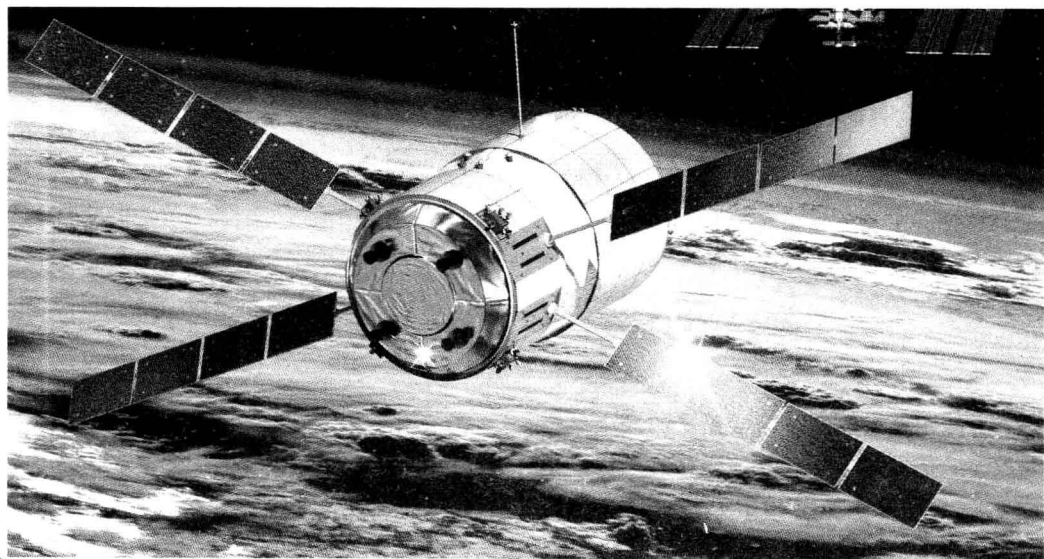
核能不仅仅可以发电，可以用于供热，

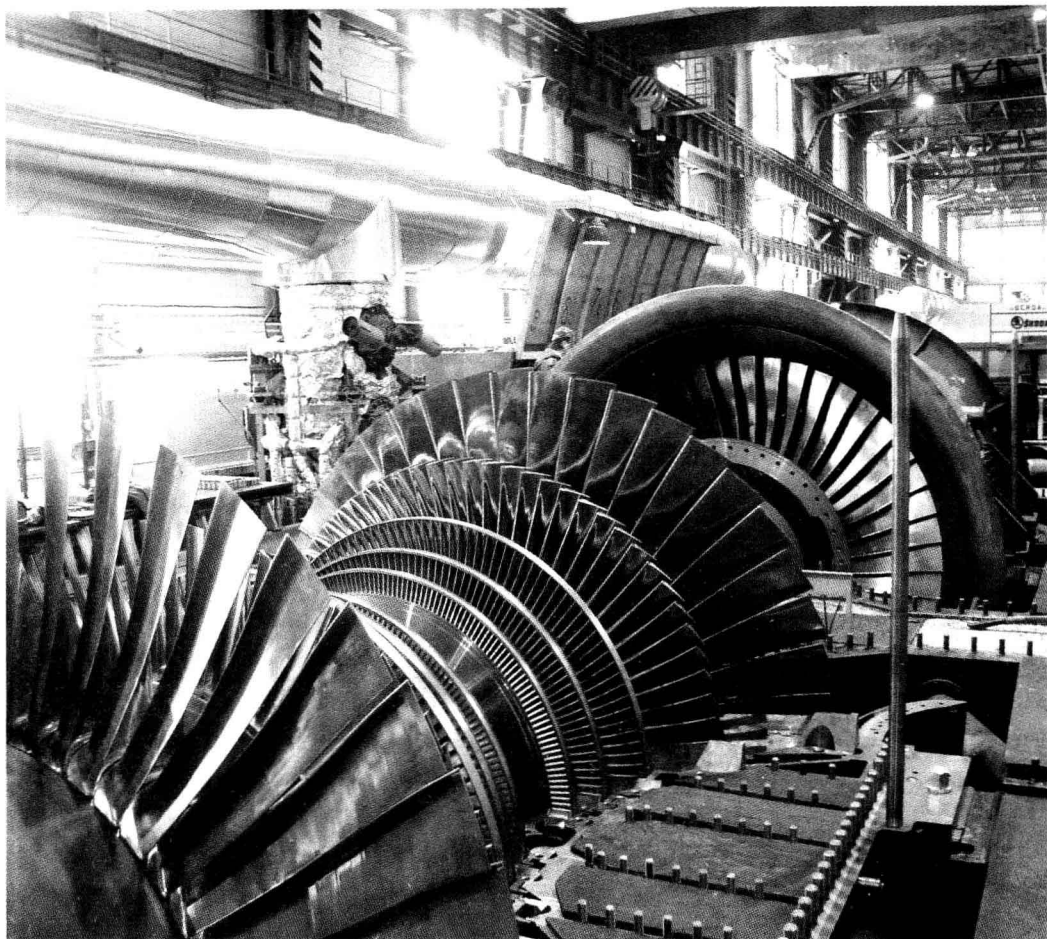
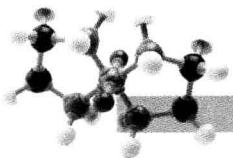
还可以作为火箭、宇宙飞船、人造卫星等的动力能源。由于核动力不需要空气助燃，它还可以作为地下、水中、太空等缺乏空气环境下的特殊动力，将是人类开发海底资源的理想动力。

一种新能源—核电

利用核能发电，是一种新能源利用形式。

目前化石燃料在能源消耗中所占的比重仍处于绝对优势，但这种能源不仅燃烧利用率低，而且污染环境，它燃烧所释放出来的二氧化碳等有害气体容易造成“温室效应”，使地球气温逐年升高，造成气候异常，加速土地沙漠化过程，给生态环境带来不利影响，给社会经济的可持续发展带来严重影响。与火力发电相比，核电是更为清洁的能源，它不排放这些有害物质也不会造成“温室效应”，因此能大大改善环境质量，保护人类赖以生存的生态环境。



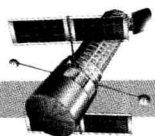


世界上拥有核电站的国家的多年统计资料表明,虽然核电站的投资高于燃煤电厂,但是核燃料成本远远低于燃煤成本。不但核燃料反应所释放的能量远远高于化石燃料燃烧所释放出来的能量,而且核燃料取之不竭,这就使得目前核电站的总发电成本低于烧煤电厂。

核能是可持续 发展的能源

据估计,目前世界上铀和钍的储量分别

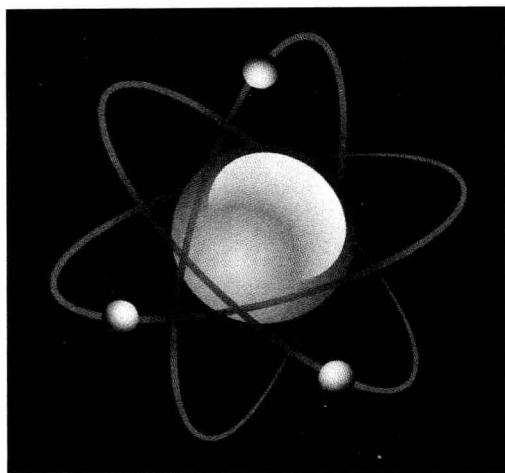
约为490万吨和275万吨,它们都是核裂变的主要燃料。这些裂变燃料足可以供人类用到聚变能时代。轻核聚变的燃料是氘和锂,1升海水能提取30毫克氘,在聚变反应中能产生约等于300升汽油的能量,即“1升海水约等于300升汽油”,地球上海水中有40多万亿吨氘,足够人类使用百百年。地球上的锂储量有2000多亿吨,锂可用来制造氘,足够人类在聚变能时代使用。况且以目前世界能源消费的水平来计算,地球上能够用于核聚变的氘和锂的数量,可供人类使用上千亿年。因此,有关能源专家认为,如果解决了核聚变技术,那么人类将从根本上解决能源问题。



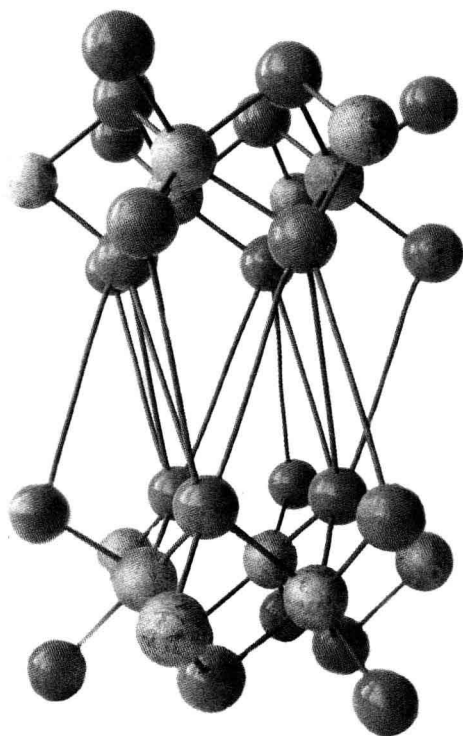
第二章 核能基本知识

原子

原子是化学反应中的最小微粒，原子在化学反应中不可分割。原子内通常由质子、中子、电子组成。其大小的数量级大约是 10^{-10}m 。因此，与常见物体相比，原子是一个极小的物体，即使把一亿个氧原子排成一排，其长度仍不足1cm，人们只能通过一些特殊的仪器才能间接观测到单个的原子。原子内中子和质子的质量相近且远大于电子，原子核由质子与中子组成，因此原子的质量的99.9%集中在原子核。原子核外分布着电

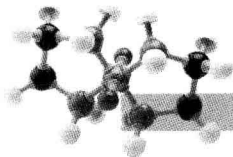


子，电子占据一组稳定的轨道。当它们吸收和放出光子的时候，电子也可以在不同能级之间跃迁，此时吸收或放出光子的能量与轨道之间的能量差相等。电子决定了一个元素的化学性质，并且对原子的磁性有着很大的影响。所有质子数相同的原子组成元素，每一种元素至少有一种不稳定的同位素，可以进行放射性衰变。原子最早是哲学上具有本体论意义的抽象概念，随着人类认识的进步，原子逐渐从抽象的概念成为科学的理论。



原子核

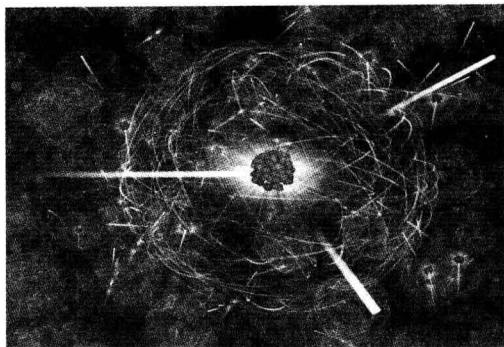
原子核 (atomic nucleus)简称“核”，是原子的核心部分，由质子和中子两种微粒构成。原子核带正电，占有原子质量的绝大部分，但其直径不及原子直径的万分之一。



如果把原子放大到在礼堂那么大，原子核也不过芝麻大小。但原子核的能量极大。构成原子核的质子和中子之间存在着巨大的吸引力，能克服质子之间所带正电荷的斥力而结合成原子核，使化学反应中的原子核不发生分裂。当一些原子核发生裂变（原子核分裂为两个或更多的核）或聚变（轻原子核相遇结合成为重核）时，会释放出巨大的原子核能，即原子能，例如核能发电。这一性质，方便了人们的生活。

1912年英国科学家卢瑟福根据 α 粒子轰击金箔的试验，发现绝大多数 α 粒子仍沿原方向前进，少数 α 粒子发生较大偏转，个别 α 粒子偏转超过了 90° ，有的甚至接近 180° 。试验事实表明：原子内含有一个体积小而质量大的带正电的中心，这就是原子核。

原子半径很小，质子间库仑斥力很大，但原子核却很稳定。核子之间的核力，是一种比电磁作用大得多的相互作用。所以原子核里质子间除了库仑斥力外还有核力。库仑斥力只有在极其微小的空间内才能起到作用。

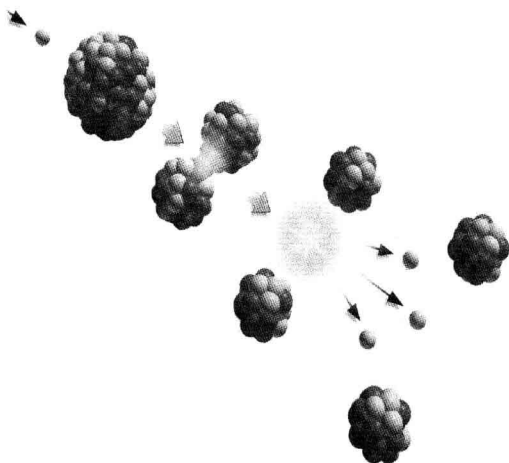


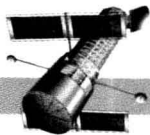
核裂变反应

重金属元素铀235的原子核在吸收一个中子后成为铀236，但是铀236极不稳定，这个重原子核立即分裂成两个(极少情况下会是三个)更轻的原子核以及2~3个自由中子，同时放出 β 和 γ 射线和中微子，并释放出巨大的能量，这一过程就是核裂变反应。

当中子轰击铀235原子核时，一部分铀235原子核吸收中子而发生裂变。如果铀235核裂变产生的中子又去轰击另一个铀235将再引起新的裂变，如此不断地持续进行下去，就是裂变的链式反应。这种链式裂变反应自己维持进行，或者维持自持链式裂变反应的条件(或状态)是至少有一个中子而且不多于一个中子从每一次裂变到达另一次裂变。这种状态称为“临界状态”。

中子与铀235核的自持链式反应可以由人来控制。目前最常用的控制方式是向产生链式反应的裂变物质(如铀235)中放入或移出可以吸收中子的材料。正常工作时使裂变物质处于临界状态，维持稳定的链式裂变反应，因而保持稳定的核能释放。如需停止链式反应，就放入更多的吸收中子的材料；如果要求释放更多的核能，可以移出一定的吸收中子的材料。这种能维持和控制核裂变，因而维持和控制核能与热能转换的装置，叫反应堆。

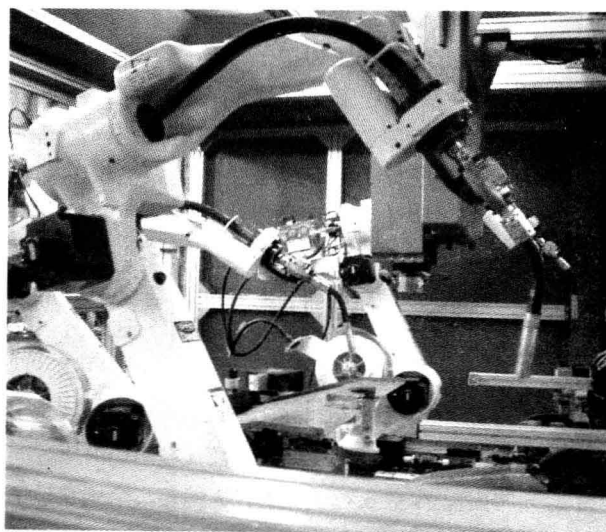




核工业机器人

作为核能利用的一个重要方面，核电站受到了世界各国的重视。现在全世界核能发电量占总发电量的17%。但是这些核电站在建造阶段没有考虑到用机器人遥控作业。由于机器具有多种优越性能，现在我们考虑选择合适的机器人来完成某些任务。

核工业机器人是应用在辐射环境下的特种机器人。机器人在这里完成的工作不是在生产线的规定位置完成已经安排好的任务，它要完成的是位置不定的多种多样的工作。随着核工业和机器人技术的发展，不少国家研制成功了真正的远距离控制的核工业机器人。例如：美国的SAMSIN型、德国的EMSM系列、法国的MA23—SD系列等。目前大多数核工业机器人采用的是车轮或履带、车轮和履带相结合的行走方式，只有少数的机器人采用多足或两足行走方式。为了实现远距离控制，核工业机器人具有各种各样的传感器设备。现在研制成功的核工业机器人一般都携带有照明灯、摄像机和导航设



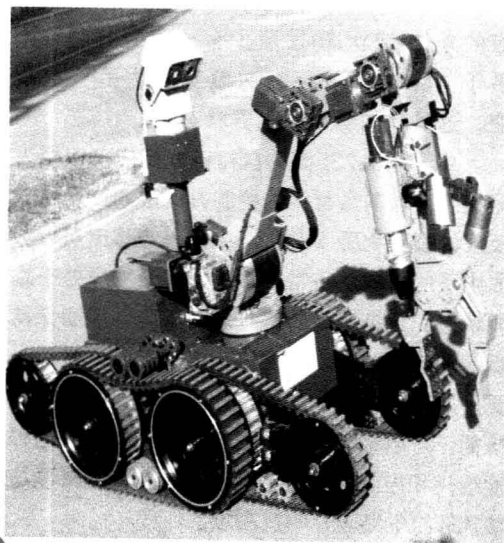
备，并且通过一根很柔软的电线连接到它的机械手上，这样它就可以顺利的在现场行走，达到目的地。

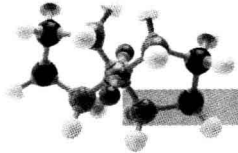
核工业机器人是一种十分灵活，能做各种姿态运动，可以操作各种工具的设备。一般的核工业机器人需要有这样的几个特点：

1. 适应不同的环境和高可靠性。机器人在核电站内进行工作时，多半是操作高放射性物质，一旦发生故障，不仅本身将受到放射性污染，而且还会造成污染范围扩大。所以要保证核工业机器人有很强的环境适应能力和很高的可靠性，使它在工作时不会发生故障。

2. 适用性强。核电站内的设备很多，各种管道错综复杂，通道狭隘，工作空间小，因此要求核工业机器人能顺利通过各种障碍物和狭隘的通道，并且最好能根据需要操作不同的设备。

现在世界上的核工业机器人已经有几百台了，然而这些机器人大多缺乏感知功能（如视觉、听觉、触觉等），手的灵巧性还不够，对付核工业的恶劣环境影响的能力还有待提高。这些都是发展新型核工业机器人所要克服的困难。





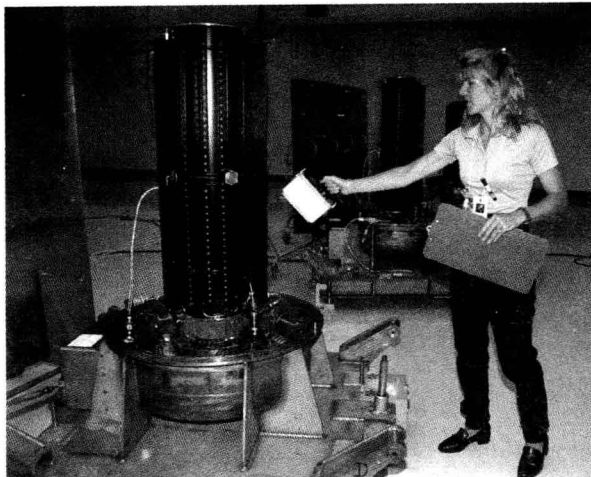
核辐射

核辐射的定义

核辐射实际上指的是微观粒子流，它是原子核从一种构或一种能量状态转变为另一种结构或另一种能量状态过程中所释放出来的。核辐射可以使物质引起电离或激发，故称为电离辐射。电离辐射又分直接致电离辐射和间接致电离辐射。直接致电离辐射包括 α 、 β 、质子等带电粒子。间接致电离辐射包括光子(γ 射线和X射线)、中子等不带电粒子。

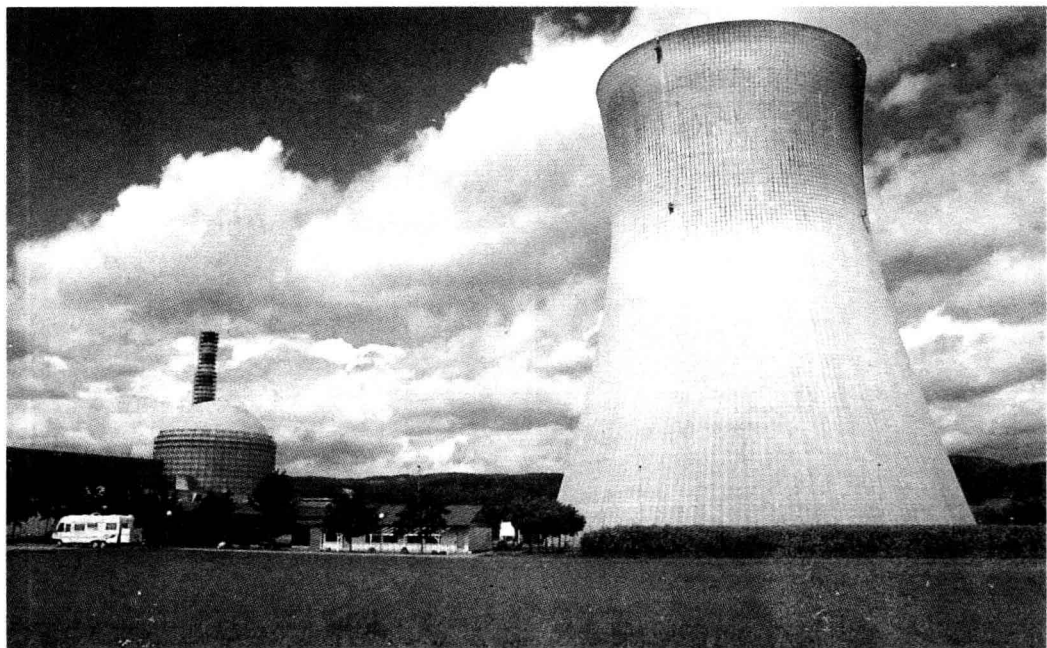
辐射防护

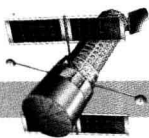
辐射防护是研究保护人类免受或少受辐射危害的应用学科，有时亦指用于保护人类免受或尽量少受辐射危害的要求、措施、手段和方法。辐射包括电离辐射和非电离辐射。在核领域，辐射防护专指电离辐射防护。



核辐射的危害

放射性物质以波或微粒形式发射出的一种能量就叫核辐射，核爆炸和核事故都有核辐射。它有 α 、 β 和 γ 三种辐射形式。 α 辐射只要用一张纸就能挡住，但吸入体内危害很大； β 辐射是高速电子，皮肤沾上后烧伤明显； γ 辐射和X射线相似，能穿透人体和建筑物，危害距离远。宇宙、自然界能产生





放射性的物质不少，但危害都不太大，只有核爆炸或核电站事故泄漏的放射性物质才能大范围地对人员造成伤亡。

放射性物质可通过呼吸吸入，皮肤伤口及消化道吸收进入体内，引起内辐射， γ 辐射可穿透一定距离被机体吸收，使人员受到外照射伤害。内外照射形成放射病的症状有：疲劳、头昏、失眠、皮肤发红、溃疡、

出血、脱发、白血病、呕吐、腹泻等，有时还会增加癌症、畸变、遗传性病变发生率，影响几代人的健康。一般讲，身体接受的辐射能量越多，其放射病症状越严重，致癌、致畸风险越大。

宝石，有名贵的金刚石（钻石）、红宝石、蓝宝石、祖母绿和猫眼，以及普通宝石水晶、玛瑙和石榴石等。这类宝石经检测，尚未发现有高放射性的，例如水晶，它是石英晶体，放射性就很低，玛瑙放射性也不高。

玉石，包括硬玉和软玉，以及多种用于工艺美术雕刻的矿物和岩石，如辽宁的岫岩玉和新疆的和田玉，广东的“广片”，浙江的“青田玉雕”，天津的“彩玉雕”和湖北的“松石雕”等。其中大理石以及与之相近的云石、汉白玉、东北红、东北绿、曲纹玉、桃红、艾叶青、曲阳玉等，及其制品都是由灰岩变质而成的，放射性都很低。

“夜明珠”，一是由重晶石中的部分钡置换镭后，并经加工而成的，夜晚能发光，有强的放射性；二是由萤石经加工而成，在加热或在紫外线照射下显荧光，以及在受到铀照射后，可具有不同程度的放射性；三是

