

核能原理与应用

〔美〕R.L.默里 编

原子能出版社

核能原理与应用

〔美〕R. L. 默里 编

文 民 译

荣 修

徐志斌 校

原子能出版社

内 容 简 介

本书共二十七章。从能量、原子、原子核、放射性和核反应等基本知识讲起，介绍了辐射与物质的相互作用、裂变和聚变等重要的概念，叙述了粒子加速器、同位素分离装置、辐射探测器和反应堆等核能装置的基本原理与结构。对核能在各个领域的应用、辐射防护和核安全等问题也用较多篇幅作了论述。

书中内容深入浅出，每章后附有习题，书后附录中列有答案。本书可供核能领域各专业的技术人员、工人和干部阅读，也可作为大专院校有关专业的师生和自学者的参考读物。

Nuclear Energy

R.L.Murray

1980年

核能原理与应用

〔美〕R.L.Murray 编

文 民 译

荣 修

徐志斌 校

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

89920部队印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 787×1092 $1/32$ · 印张 11 · 字数 246 千字

1985年 4 月第一版 · 1985年 4 月第一次印刷

印数 1—2200 · 统一书号: 15175 · 597

定价: 2.90 元

译 者 的 话

本书译自《Nuclear Energy》(1980年第2版)，全书共二十七章，从能量、原子、原子核、核反应等基本知识讲起，介绍了各种核装置的基本原理和结构，以及核能的应用。对于大家普遍关心的辐射防护和核安全等问题也作了说明。

虽然核能原理比较深奥，核能技术也很复杂，但本书却讲得深入浅出，并采用大量的图表，避免使用复杂的数学公式。每章末尾都给出习题，书后附录中列有答案，以供读者练习、检查。有志于对我国核能事业要做出贡献的同志，可以此书作为自学教材，大专院校有关专业的师生可以此书作为参考读物。

参加本书翻译的有张佩文（第一至六章、第九章）、舟本修（第七、八、十、十一、十六、二十六章和附录）、高泽民（第十二至十五章、第二十、二十一、二十五章）、崔廷荣（第十七、十八、十九、二十二、二十三、二十四、二十七章）。

由于我们水平所限，译文中难免有错误和不当之处，请读者指正。

译 者

1983年1月

目 录

第一部分 基本概念

第一章 能量和物质的状态	(2)
1.1 力和能量	(2)
1.2 热能	(4)
1.3 辐射能	(6)
1.4 物质和能量的相当性	(8)
1.5 能源和世界	(10)
1.6 小结	(10)
1.7 习题	(10)
第二章 原子和原子核	(13)
2.1 原子理论	(13)
2.2 气体	(14)
2.3 原子和光	(15)
2.4 核结构	(19)
2.5 原子核的大小和质量	(20)
2.6 结合能	(21)
2.7 小结	(23)
2.8 习题	(23)
第三章 放射性	(25)
3.1 天然放射性	(25)
3.2 衰变定律	(26)

3.3	半衰期的测量	(30)
3.4	小结	(32)
3.5	习题	(32)
第四章	核反应	(34)
4.1	核反应和化学反应间的相似性	(34)
4.2	核嬗变	(35)
4.3	中子反应	(36)
4.4	能量平衡	(37)
4.5	动量守恒	(38)
4.6	核反应的一般概念	(39)
4.7	小结	(40)
4.8	习题	(40)
第五章	反应速率	(42)
5.1	粒子相互作用截面	(42)
5.2	粒子衰减	(47)
5.3	中子截面	(49)
5.4	中子慢化	(50)
5.5	中子扩散	(54)
5.6	小结	(55)
5.7	习题	(55)
第六章	辐射与物质	(57)
6.1	由电子引起的激发和电离	(58)
6.2	被原子慢化的重带电粒子	(58)
6.3	被核散射的重带电粒子	(60)
6.4	γ 射线与物质的相互作用	(60)
6.5	中子反应	(65)

6.6	小结	(65)
6.7	习题	(66)
第七章	裂变	(68)
7.1	裂变过程	(68)
7.2	关于能量问题	(69)
7.3	裂变的副产物	(71)
7.4	核燃料产生的能量	(75)
7.5	小结	(76)
7.6	习题	(76)
第八章	聚变	(78)
8.1	聚变反应	(78)
8.2	静电力和核力	(80)
8.3	离子等离子体的热核反应	(81)
8.4	小结	(83)
8.5	习题	(83)

第二部分 核 装 置

第九章	粒子加速器	(86)
9.1	电力和磁力	(86)
9.2	高压加速器	(88)
9.3	直线加速器	(89)
9.4	回旋加速器	(89)
9.5	电子感应加速器	(91)
9.6	新的进展	(92)
9.7	小结	(94)
9.8	习题	(94)
第十章	同位素分离装置	(96)

10.1	质谱仪·····	(96)
10.2	气体扩散分离机·····	(97)
10.3	浓缩铀的成本·····	(100)
10.4	气体离心机·····	(102)
10.5	激光分离同位素·····	(104)
10.6	氙的分离·····	(105)
10.7	小结·····	(105)
10.8	习题·····	(106)
第十一章 辐射探测器·····		(108)
11.1	气体计数器·····	(108)
11.2	中子探测器·····	(111)
11.3	闪烁计数器·····	(113)
11.4	固体探测器·····	(115)
11.5	小结·····	(116)
11.6	习题·····	(117)
第十二章 中子链式反应·····		(119)
12.1	自持链式反应·····	(119)
12.2	倍增因子·····	(121)
12.3	中子平衡·····	(123)
12.4	反应堆功率·····	(125)
12.5	热中子反应堆的中子倍增·····	(126)
12.6	小结·····	(128)
12.7	习题·····	(129)
第十三章 核反应堆概念·····		(131)
13.1	反应堆的分类·····	(131)
13.2	动力反应堆·····	(133)

13.3	核燃料消耗	(136)
13.4	反应堆控制	(137)
13.5	其他因素对反应堆运行的影响	(139)
13.6	天然反应堆	(140)
13.7	小结	(140)
13.8	习题	(141)
第十四章 能量转换方法		(143)
14.1	传热方式	(143)
14.2	反应堆燃料中的传热	(143)
14.3	冷却剂传热	(145)
14.4	产生蒸汽和发电	(149)
14.5	小结	(152)
14.6	习题	(152)
第十五章 增殖反应堆		(154)
15.1	增殖的概念	(154)
15.2	快中子增殖堆	(157)
15.3	增殖和铀资源	(160)
15.4	小结	(162)
15.5	习题	(162)
第十六章 聚变堆		(164)
16.1	各种聚变反应的比较	(164)
16.2	建立实际聚变堆的必要条件	(165)
16.3	聚变装置	(167)
16.4	激光和粒子束聚变	(174)
16.5	混合的裂变-聚变堆	(175)
16.6	小结	(177)

16.7 习题	(177)
---------	-------

第三部分 核能和人

第十七章 核能的历史	(181)
------------	-------

17.1 核物理的兴起	(181)
-------------	-------

17.2 裂变的发现	(182)
------------	-------

17.3 核武器的研制	(183)
-------------	-------

17.4 核能的和平利用	(185)
--------------	-------

17.5 小结	(189)
---------	-------

第十八章 辐射的生物效应	(190)
--------------	-------

18.1 生理效应	(191)
-----------	-------

18.2 辐射剂量单位	(193)
-------------	-------

18.3 照射量极限的建立	(195)
---------------	-------

18.4 小结	(198)
---------	-------

18.5 习题	(199)
---------	-------

第十九章 辐射防护和控制	(200)
--------------	-------

19.1 防护措施	(200)
-----------	-------

19.2 能量吸收	(201)
-----------	-------

19.3 距离效应	(202)
-----------	-------

19.4 屏蔽	(204)
---------	-------

19.5 内照射	(208)
----------	-------

19.6 辐射损伤	(210)
-----------	-------

19.7 小结	(211)
---------	-------

19.8 习题	(211)
---------	-------

第二十章 反应堆安全	(213)
------------	-------

20.1 中子数的增长	(213)
-------------	-------

20.2 温度效应	(216)
-----------	-------

20.3	设计、制造和运行中的安全问题·····	(217)
20.4	标准、质量保证、审批手续、法规·····	(219)
20.5	紧急堆芯冷却系统·····	(220)
20.6	三里岛·····	(224)
20.7	安全的哲学·····	(226)
20.8	小结·····	(228)
20.9	习题·····	(228)
第二十一章 放射性废物处理和处置·····		(230)
21.1	裂变产物的数量·····	(230)
21.2	燃料装卸·····	(231)
21.3	运输·····	(234)
21.4	后处理·····	(235)
21.5	废物的贮存和处置·····	(239)
21.6	小结·····	(243)
21.7	习题·····	(243)
第二十二章 同位素应用·····		(245)
22.1	稳定同位素和放射性同位素·····	(245)
22.2	示踪技术·····	(246)
22.3	中子活化分析·····	(248)
22.4	活化分析的应用·····	(250)
22.5	检测·····	(252)
22.6	测定年代·····	(253)
22.7	废物利用·····	(254)
22.8	小结·····	(255)
22.9	习题·····	(255)
第二十三章 辐射应用·····		(258)

23.1	射线照相法	(258)
23.2	医学治疗	(259)
23.3	杀死病原体	(260)
23.4	改进纤维	(260)
23.5	化学药品合成	(260)
23.6	木材塑化加工	(261)
23.7	食品的辐照保存	(261)
23.8	农作物的突变	(262)
23.9	控制虫害	(262)
23.10	同位素热电发生器	(263)
23.11	小结	(265)
23.12	习题	(266)
第二十四章 核爆炸装置		(268)
24.1	核爆炸	(268)
24.2	防止核扩散	(271)
24.3	安全防卫	(273)
24.4	潜在的民用工程应用	(274)
24.5	刺激天然气	(276)
24.6	核开凿	(277)
24.7	石油、矿物和地热的开发	(278)
24.8	小结	(279)
24.9	习题	(279)
第二十五章 其他核动力系统		(280)
25.1	方案的选择	(280)
25.2	其他燃料循环	(282)
25.3	钍反应堆	(285)

25.4	核能中心	(286)
25.5	近海核电站和地下核电站	(289)
25.6	加速器-增殖堆	(290)
25.7	小结	(290)
25.8	习题	(291)
第二十六章 热效应和环境		(292)
26.1	热效应	(292)
26.2	导出热量的方法	(293)
26.3	热水的生物效应	(298)
26.4	废热的利用	(299)
26.5	小结	(300)
26.6	习题	(301)
第二十七章 能源和资源		(302)
27.1	能量消费的趋势	(302)
27.2	可供选择的能源	(305)
27.3	核能的作用	(312)
27.4	未来	(315)
27.5	小结	(318)
27.6	习题	(318)
参考文献		(319)
附录 I 转换因子		(325)
附录 II 原子和核的数据		(327)
(a)	原子量	(327)
(b)	某些常用的原子质量	(331)
(c)	基本物理常数值	(331)
附录 III 习题答案		(332)

第一部分 基本概念

在研究核能实际应用时，我们必须考虑物质单个粒子的性质，即它们的微观特性，同时也必须考虑通常形式下物质的宏观特征。微观性质的一些例子是：原子或核粒子的质量、它们彼此相互作用的有效尺寸及一确定体积中的粒子数。大量单个粒子的综合特性是通过诸如质量密度、电荷密度、电导率、热导率和弹性常数等性质表示的。我们在不断地探索微观和宏观观点之间的一致性。

由于所有的过程都涉及到粒子的相互作用，因此我们有必要阐述一下了解基本物理现象和决定其相互作用原理的基础知识。在第一部分，我们将探讨能量的概念，描述原子结构和核结构的模型，概括地讨论放射性和核反应，评述辐射同物质的作用方式，并且集中到两个重要的核过程——裂变和聚变。

第一章 能量和物质的状态

我们的物质世界是由许多物质组成的，这些物质可由其化学性质、机械特性和电的特性来加以区分。在自然界所找到的物体处于各种各样物理状态，即人们所熟悉的固体、液体和气体，此外，还有离子等离子体。然而，由于人们已认识到目前仅仅存在一百多种不同的化学元素，并且物质的化学性质和物理性质仅仅是由原子间结合力的强度所决定的，因此物质种类和形式的这种表面上的多种多样性可被归纳简化。

同样，自然界中元素间的差别也是由基本粒子（电子、质子和中子）的数量和排列的不同而引起的。在原子和核两个层次，元素的结构是由其内力和内能确定的。

1.1 力和能量

重力、静电力、电磁力和核力是存在着的有限的几种基本力。每一种力都有做功的本领。于是，不同形式的能量就可以在天然过程中和人工装置中贮存、释放、转化、输运和应用。仅仅通过粒子和能量两个基本的统一体观察自然现象常常是很方便的。由于我们知道物质可以转化成能量，反之，能量也可转化为物质，因此就连物质和能量的差别都可以取消了。

让我们重温一些物理学的原理，这些原理是研究核能的

释放及其转化为热和电的形式时要用到的。我们记得，如果把一个恒力 F 加到一个物体上，并使其移动一段距离 s ，则所做的功就是其乘积 Fs 。举一个简单的例子来说，当我们从地板上拾起一本书，把它放到桌子上时，我们的肌肉克服了书的重力而把它举起。这样我们就说对这本书做了功，即现在它获得了储能（势能），这是因为如果允许它落回原来的高度，它就能做功。现在，一个作用在质量 m 上的力 F 产生一个加速度 a ，可用牛顿定律 $F=ma$ 来表示。如果物体从静止开始得到一个速度 v ，则它在某一时刻的动能为 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 。对于在重力作用下下落的物体，我们发现，当其动能增加时，势能就减少，但是两种形式能量的总和保持不变。这正是能量守恒原理的一个例子。让我们把这一原理运用到实际情况中，并做一些直观的计算。

我们都知道，下落的水为产生电能提供了一种一次能源。在水电站，河水被水坝集蓄起来，然后让它从一相当高的高度上下落。这样，水的势能就转化为动能。使水对着水轮机的叶片冲击，水轮机带动发电机转动。作用在质量为 m 的水上的重力是 $F=mg$ ，式中的 g 是重力加速度，等于 9.8米/秒^2 。在高度为 h 的坝顶上，势能是 $E_p = Fh$ 或 mgh 。例如，在50米高度上的1千克物质具有能量 $1 \times 9.8 \times 50 = 490$ 焦耳。如果忽略摩擦效应，到坝底的水就会有同样大小的动能。水的速度将是 $v = \sqrt{2E_k/m} = 31.3\text{米/秒}$ 。

能量具有各种形式，可按其作用力的类型来划分。水电站中的水受到重力的作用，这样就涉及到了重力能，重力能被转化成水轮机转动的机械能，然后又由发电机转变为电能。在发电机的电极上有一个电势差，它提供通过供电系统网络

移动带电粒子（电子）的力。电能则可以转变为其它形式的能，如在电动机里转变为机械能，在电灯泡里转变为光能，在用电取暖的家庭，转变为热能，在蓄电池里则转变为化学能。

汽车也提供了人们所熟悉的能量转化的例子。当汽油燃烧时，燃料的化学能就以热的形式释放出来，它的一部分转化成机械部件的运动能量，而其余的则传递给大气和公路。用于控制和照明的电则由汽车的发电机来供给。在每一个例子中，能量都是从一种形式变化到另一种形式，但是不会消失。热能转化为其它形式的能是由两个定律决定的，即热力学第一定律和第二定律。第一定律说明能量是守恒的；第二定律表明能量转换效率的固有极限。

能量能够按一次能源来分类。我们已提过两种能源，即下落的水和化学燃料汽油的燃烧。汽油是从石油中取得的，它是主要的矿物燃料之一。除此之外，还有太阳能、风能、潮汐能或其它的海水运动能和地球内部的热能。最后我们有由核反应即“燃烧”核燃料产生的能量。

1.2 热 能

热能对于我们特别重要，因为它是最容易获得的能量形式，可来自太阳、普通燃料的燃烧和核裂变过程。我们先回忆一下物体温度的简单定义，即测量仪表（例如温度计）在同物体的直接接触中的读数。如果供给能量，温度就会升高，例如，来自太阳的能量在白天使空气变热。每一种物质对所供应能量的响应，依其内部的分子和原子结构而定，这种特性在宏观上是由比热 c 来表示的。如果加到1克物质上的热