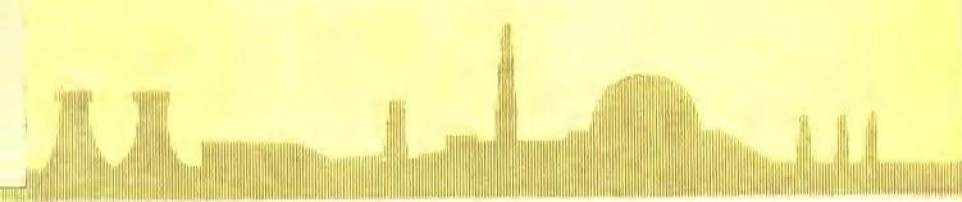




原子能工业

孟先雍



原子能出版社

内 容 简 介

原子能工业是一门新兴的工业，综合性强，涉及范围广。本书介绍原子能工业各个环节的主要内容及其相互关系，包括的方面有铀矿地质勘探、铀矿开采、铀的冶炼和加工、燃料元件制造、三种类型的核反应堆（动力堆、生产堆和研究试验堆）、辐照过核燃料的运输和后处理、放射性“三废”处理、放射性同位素的生产、某些原子能专用设备和特殊材料的生产以及放射防护问题等。专有一章通俗地阐明核反应堆工作原理。对核武器和核潜艇也作了简单的介绍。

这是一本通俗技术读物，适合于具有中等文化程度的读者，特别是原子能工业各部门和从事有关原子能工作的工人、科学技术人员、行政管理机构和政治工作人员阅读。对于大、中学学生、教师及一般读者，也有参阅的价值。

原 子 能 工 业

孟 先 雍 编

☆

原子能出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(限国内发行)

☆

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $15^{11/16}$ ·字数 350 千字

1978 年10月北京第一版·1978 年10月北京第一次印刷

统一书号：15175·116

定 价：1.30 元

編 者 的 話

在毛主席革命路线指引下，我国原子能工业遵循“独立自主、自力更生”的方针，从无到有地建立起来，取得了重大成就。原子能工业综合性强，涉及范围广，许多问题都需要多方面的配合协作，才能圆满解决。长期工作于原子能工业某一专门领域的同志，很希望了解其它方面的情况；不少协作部门的同志，要求进一步了解原子能工业的内容；从事政治、组织和管理工作的同志，需要了解全面的情况。为了满足这些需要，我们在1967年《原子能工业》(试用本)的基础上，编写了这本书，企图阐明原子能工业各个环节的主要内容及其相互关系，使读者对原子能工业获得比较完整的概念。由于核反应堆是原子能工业的主要环节，有关裂变链式反应的物理概念对一部分同志还是比较陌生的，所以首先在第二章中对核反应堆工作原理作了简明的阐述，以便读者顺利地阅读其它章节。关于原子核物理的基本概念，则在第一章绪论中简略地加以介绍。书中有意回避了复杂的数学公式，以便具有中等文化程度和实践经验的广大工人，科学技术人员和管理人员阅读。

原子能工业是新兴的工业，各种工艺和设备尚未定型，所采用的各项技术都在迅速发展。本书虽然打算尽量介绍世界各国的新成就，限于我们的水平，加之编写、出版需要时间，所以当读者见到本书时，会发现有些材料已经过时，但用这些材料来阐明基本概念尚有价值。

本书引用了多方面的资料，在正文中就不一一注明出处。

书后附有部分主要参考书目以便查阅。

本书是许多同志集体劳动的成果。第六章由吕原同志撰写；第八章第1节由金易同志撰写，第2—5节由张祥同志撰写；第十三章由栗捷同志撰写；第十八章由张立同志撰写。第四章和第十四章分别利用了周平和孙树正同志提供的材料。有关专业的同志仔细审阅了本书的主要章节，提出了重要的修改意见。还有许多同志，为了本书的出版做了大量的工作，提高了本书的质量。在此，谨向上述同志表示感谢。由于本书涉及的范围较广，必然还有不少错误、缺点和不完善之处，希望读者随时给予指正。

编者

1977年9月

目 录

第一章 绪论	1
1-1 原子能的发现和发展	1
1-2 核能的来源	6
1-3 原子核分裂及裂变能的应用	11
1-3-1 核反应堆的用途	12
1-3-2 原子弹	15
1-4 原子核聚合及聚变能的应用	16
1-4-1 氢弹	17
1-4-2 核爆炸的工程应用	17
1-4-3 受控热核反应	18
1-5 放射性同位素和射线的应用	18
1-5-1 示踪原子	19
1-5-2 射线源	20
1-5-3 放射性同位素能源	20
1-6 核燃料生产	21
1-6-1 裂变核燃料的生产	21
1-6-2 聚变核燃料的生产	23
1-7 原子能工业的范围和特点	24
第二章 核反应堆的原理	28
2-1 自持链式反应的条件	28
2-2 反应堆的控制和安全	43
2-3 核燃料的转换和增殖	50
2-4 反应堆的型式和构造	57
2-5 反应堆燃料循环	66

2-5-1 反应堆的初装料与换料需要量	67
2-5-2 钚的生成	72
2-5-3 钚的利用	74
2-5-4 燃料循环的总投料量	76
第三章 核电站	80
3-1 世界上核电站的发展现状和前景	80
3-2 核电站的安全性、可靠性与经济性	80
3-2-1 核电站的安全性	80
3-2-2 核电站的可靠性	86
3-2-3 核电站的经济性	87
3-3 轻水堆核电站	89
3-3-1 堆芯	92
3-3-2 反应堆控制	96
3-3-3 堆芯冷却系统	97
3-3-4 安全壳	98
3-4 石墨气冷堆核电站	102
3-5 重水堆核电站	107
3-6 增殖堆核电站	112
3-7 各国发展核电的技术路线	120
3-8 核电站选址	123
3-8-1 核电站对环境的影响	123
3-8-2 环境对核电站的影响	125
3-8-3 厂址比较	126
第四章 生产堆	128
4-1 生产堆的用途	128
4-2 生产堆的特点	129
4-3 石墨生产堆	131
4-4 重水生产堆	135

第五章 研究试验堆	137
5-1 研究试验堆在原子能发展中的地位 and 特点	137
5-2 游泳池式研究试验堆	139
5-3 水罐式研究试验堆	140
5-4 重水研究试验堆	142
5-5 固体慢化剂研究试验堆	143
5-6 均匀型研究试验堆	143
5-7 快中子试验堆	145
第六章 核武器	146
6-1 核武器的类型及构造原理	146
6-1-1 原子弹	146
6-1-2 氢弹	150
6-2 核武器发展水平	152
6-2-1 核武器的比威力	152
6-2-2 核装料利用率	153
6-2-3 干净化程度	153
6-2-4 突防能力	153
6-3 多弹头与反导核武器	153
6-3-1 多弹头	153
6-3-2 反导核武器	154
6-4 核武器的杀伤破坏因素	155
6-4-1 冲击波	155
6-4-2 光热辐射	156
6-4-3 贯穿辐射	156
6-4-4 放射性污染	157
6-5 核武器试验	157
6-5-1 大气层试验	158
6-5-2 地面核试验	158

6-5-3 地下核试验	159
6-5-4 水下核试验	159
6-5-5 外层空间试验	160
第七章 核潜艇	161
7-1 核潜艇的优越性	161
7-2 潜艇核动力装置	163
7-3 核推进在水面舰船上的应用	166
第八章 铀矿的勘探、开采和加工	168
8-1 铀矿地质与普查勘探	168
8-1-1 铀矿地质	168
8-1-2 普查勘探	171
8-2 铀矿的开采和选矿	182
8-2-1 铀矿的开采	182
8-2-2 铀矿石的选矿	183
8-3 铀矿石的加工	184
8-3-1 矿石准备	185
8-3-2 矿石浸出	186
8-3-3 铀的提取	188
8-3-4 沉淀	192
8-3-5 水冶工艺流程	192
8-4 铀的精制	194
8-5 钍矿石加工和金属钍的生产	196
第九章 浓缩铀的生产(铀-235 同位素的分离)	199
9-1 生产浓缩铀的必要性和重要性	199
9-2 生产浓缩铀的几种主要方法及其比较	202
9-2-1 气体扩散法	202
9-2-2 离心机法	205
9-2-3 分离喷嘴法	207

9-3 级联装置	208
9-4 气体扩散厂的基本特点和主要设备	213
9-4-1 工作介质六氟化铀	213
9-4-2 高度的密封性、耐腐蚀性和清洁度要求	214
9-4-3 运行的安全性与可靠性	215
9-4-4 扩散膜	216
9-4-5 压缩机	217
9-5 六氟化铀的生产和还原	217
9-5-1 六氟化铀的生产	218
9-5-2 六氟化铀的还原	221
第十章 燃料元件制造	224
10-1 对燃料元件的要求	224
10-2 燃料元件的结构	225
10-2-1 生产堆的燃料元件	225
10-2-2 水冷动力堆的燃料元件	226
10-2-3 气冷动力堆的燃料元件	232
10-2-4 钠冷堆的燃料元件	237
10-2-5 研究试验堆的燃料元件	240
10-3 核燃料的选择	244
10-3-1 金属铀与铀合金	244
10-3-2 氧化铀	246
10-3-3 碳化铀	248
10-3-4 铀及其化合物	248
10-3-5 弥散体燃料	249
10-4 包壳材料的选择	250
10-4-1 铝合金	250
10-4-2 锆合金	250
10-4-3 镁合金	251
10-4-4 不锈钢和镍合金	252

10-5 燃料的包装、焊接与结合层	253
10-5-1 包装	253
10-5-2 焊接	253
10-5-3 结合层	253
10-6 金属铀燃料元件的制造工艺	255
10-6-1 金属铀的制备	255
10-6-2 金属铀的加工成形	258
10-6-3 燃料元件的包装和检验	261
10-7 陶瓷型燃料元件的制造工艺	262
10-7-1 燃料芯块的制备	262
10-7-2 包壳管的准备	268
10-7-3 燃料棒的组装	269
10-7-4 燃料元件的组装和质量控制	270
10-8 弥散型燃料元件的制造工艺	273
10-9 快中子堆燃料元件的制造工艺	277
10-10 燃料元件的研制和试验	279
第十一章 核燃料的运输	284
11-1 放射性物质运输的一般问题	285
11-2 未辐照核燃料的运输	286
11-3 辐照过核燃料元件的运输	287
第十二章 辐照过核燃料的后处理	292
12-1 后处理的重要性和对后处理的要求	292
12-2 辐照过燃料元件的“冷却”	296
12-3 辐照过燃料元件的首端处理	299
12-4 化学分离	301
12-4-1 溶剂萃取法	302
12-4-2 氟化挥发法	307
12-4-3 高温冶金法	309

12-5 后处理化工厂的基本特点和主要设备	311
12-5-1 放射性强	311
12-5-2 毒性大	313
12-5-3 临界事故的危險	314
12-5-4 后处理化工厂的主要设备——萃取器和泵	314
12-5-5 后处理化工厂的经济性和安全性	318
第十三章 放射性废物的处理和利用	321
13-1 概述	321
13-2 放射性废物的来源和分类	322
13-2-1 放射性废物的来源	322
13-2-2 放射性废物的分类	324
13-3 放射性废气的处理	326
13-3-1 放射性废气的稀释排放	326
13-3-2 放射性废气的净化处理	326
13-4 放射性废液的处理	328
13-4-1 放射性废液的稀释排放	328
13-4-2 放射性废液的浓缩处理	329
13-4-3 放射性废液的固化	335
13-4-4 放射性废液的贮存	337
13-5 裂片和超铀同位素的回收利用	338
13-5-1 裂片和超铀同位素回收的意义	338
13-5-2 从高放废液中提取同位素的方法	339
13-6 放射性固体废物的处理	339
第十四章 放射性同位素生产	342
14-1 对放射性同位素的要求	342
14-2 放射性同位素的来源	344
14-3 反应堆生产放射性同位素	348
14-3-1 产品的质量	348

14-3-2	靶件的制备	354
14-3-3	辐照用反应堆	356
14-4	加速器生产放射性同位素	359
14-5	放射性同位素的化学处理	361
14-5-1	化学分离	362
14-5-2	同位素发生器的制备	363
14-5-3	放射性标记化合物的制备	365
14-6	射线源的制备	367
14-6-1	α 射线源	369
14-6-2	β 射线源	369
14-6-3	γ 射线源	370
14-6-4	中子源	371
14-6-5	放射性同位素能源	372
14-6-6	强射线源	373
14-7	放射性同位素产品的质量检验	377
14-7-1	放射化学制剂的质量检验	377
14-7-2	射线源的质量检验	380
第十五章	热核燃料的生产	381
15-1	氘的制备	381
15-2	锂-6 的制备	384
15-2-1	锂的冶炼	385
15-2-2	锂同位素分离	386
15-2-3	金属锂的制备	388
15-3	氘化锂-6 的制备	389
第十六章	某些专用设备、仪器的生产	391
16-1	反应堆压力壳	391
16-1-1	钢制压力壳	392
16-1-2	预应力混凝土压力壳	397

16-2 反应堆一回路设备	398
16-2-1 一回路循环泵	399
16-2-2 热交换器	403
16-2-3 一回路管道和阀门	406
16-3 反应堆装卸料设备	409
16-3-1 不停堆装卸料机	410
16-3-2 钠冷快堆装卸料设备	412
16-4 反应堆控制棒传动机构	413
16-4-1 电动机传动机构	415
16-4-2 磁阻马达传动机构	415
16-5 热室设备	417
16-5-1 屏蔽观察窗	418
16-5-2 机械手	420
16-6 射线探测仪器	421
16-6-1 地质探矿仪器	427
16-6-2 反应堆控制仪器	428
16-6-3 防护监测仪器	431
16-7 带电粒子加速器	433
第十七章 某些特殊材料的生产	436
17-1 石墨	436
17-2 重水	439
17-2-1 蒸馏法	440
17-2-2 电解法	441
17-2-3 化学交换法	441
17-2-4 各种方法的比较	444
17-3 锆管	445
第十八章 放射防护和核安全	449
18-1 概述	449

18-2	射线对人体的危害	452
18-3	放射防护标准和安全规范	455
18-4	射线的防护——屏蔽与封闭	457
18-5	辐射监测简介	461
18-6	现场辐照水平的监测	461
18-7	个人剂量监测	464
18-8	环境辐照水平的监测与控制	466
18-9	放射性工作人员的健康管理和居民调查	469
18-10	临界安全问题	470
附录 1	希腊字母表	474
附录 2	元素符号表	475
附录 3	有关的放射性同位素表	479

第一章 绪 论

1-1 原子能的发现和发展

伟大领袖和导师毛主席指出：“人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史”。几千年来人类一直在为扩大能源、提高自己驾驭自然界的能力而斗争。原子能的应用大大地扩大了人类支配自然界的能力。先前人类利用的基本能源，从畜力到水力和风力，从木柴到煤、石油和天然气，归根结底，全都来自于太阳^①，来源于太阳上持续进行的原子核反应。可是在地球上的机械、电力、冶金、化工等常规工业(相对于原子能工业而言)中的能量转换和传输，却只涉及物质的分子或原子的重新组合，不涉及原子核内部结构的变化。人为地促使原子核内部结构发生变化，释放出原子核中蕴藏的巨大能量，加以利用，是本世纪四十年代才实现的，这就是原子能工业的范畴。原子能确切地应称为原子核能(或核能)，原子能工业确切地应称为核工业。但由于习用已久，不必要更正，在本书中原子能与核能是同义的。

自然科学的发展，归根到底是来源于广大劳动群众的生

① 地球上空气的流动和水的循环是吸收了太阳辐射能的结果。植物体内碳氢化合物等有机物质的化学能，是由太阳辐射能通过叶绿素的光合作用转变而成的。动物吃进植物性食物，又将它进一步转变成动物体内的化学能。整个生物界不断地将太阳辐射能固定在生成的有机物质中。煤、石油和天然气则是千百万年前埋在地层下的动植物遗体在高温高压下经过一系列物理化学变化而形成的。这些都是太阳能的储存库。

产实践。十九世纪末叶，西欧资本主义工业的迅速扩张大大地促进了自然科学的发展。1896年发现某些物质能自发地放射出某种看不见的射线，称为天然放射性。后来证明，射线是从原子核中放出的带电粒子或光子流。为了研究原子核结构，1919年有人用天然放射性元素放出的高速的带电粒子轰击原子核，实现了人为的核反应，使得一种元素的原子核转变为另一种元素的原子核。1930年研究人员在核反应实验中，发现了一种不带电的粒子——中子，它很容易同原子核发生作用。后来用中子轰击原子核，实现了一系列人为的核反应。三十年代中，又有许多重大的发现，使人们对原子核的内部结构，有了更深入的认识。通过这些科学实验活动，人们才知道核能的存在。但是，那时科学家们普遍认为：原子能的实际应用，是不可能的；原子核物理学研究的目的，仅在于阐明物质的基本结构和内在规律。

1938年底在用中子轰击铀原子核的核反应实验中，发现了铀核分裂成两块的现象。几个月后又证实了，在铀核的分裂过程中，放出两三个中子，从而确定了自行持续的链式反应的可能性。1939年人们立即转向原子能应用的研究。

帝国主义国家，为了本国垄断资产阶级的利益，总是把最新的科学技术成果首先用于军事目的。原子能自然也不例外。四十年代初期，美、英、德等国在极其保密的情况下，开展研制原子弹的工作。由于制造原子弹需要大量高纯度的新材料，在当时第二次世界大战正在进行的情况下，只有美国有条件投入大量人力、物力，为制备这些特殊材料建立起一系列特殊工厂。美国于1942年建成第一座核反应堆，1945年制成了三颗原子弹。在试验了第一颗原子弹以后，将其余两颗分别投落在日本的广岛和长崎，造成二十万人的伤亡。

迷信武器的美国垄断资本集团，妄图在第二次世界大战后取得世界霸权，肆无忌惮地使用了这种大规模杀人武器。

1945年以后，美国力图垄断核武器，加紧建立新的核燃料工厂，大量制造、连续试验和不断改进原子弹，同时研制热核武器，于1952年试验氢弹成功。在这期间，苏联，英国和法国相继赶上，建立本国的原子能工业，在五十年代先后进行了原子弹和氢弹的爆炸试验(法国较晚)。六十年代以来，苏修和美帝这两个超级大国，为了争夺世界霸权，疯狂地扩军备战。他们一面拼命扩大核武库，不断地改进和研制新的核武器及其运载工具；一面又竭力阻止其他国家，特别是第三世界国家发展核武器。

我国发展核武器具有完全不同于帝国主义的目的和意义。我国是一个社会主义国家。我国现在不是，将来也永远不当超级大国。可是在今天的世界上，要想不受帝国主义的欺负，就不能没有核武器。苏、美两霸向世界人民包括我国人民，挥舞核武器，实行核讹诈，迫使我国人民奋发图强，发展保卫自己的核武器。伟大领袖和导师毛主席在1958年英明地预见到：“搞一点原子弹、氢弹，我看有十年功夫完全可能。”我国人民在毛主席的无产阶级革命路线的指引下，以阶级斗争为纲，坚持“独立自主、自力更生”的方针，战胜苏修、美帝的阻挠、封锁和破坏，很快地建立起和发展了原子能工业，分别于1964年和1967年成功地进行了原子弹和氢弹试验。我国人民的伟大成就，打破了苏、美两霸的核垄断和核讹诈，极大地鼓舞了全世界人民的革命斗争的信心。

我国进行必要而有限制的核试验，完全是为了防御，是为了打破超级大国的核垄断，最终消灭核武器。帝国主义者别有用心地散布核武器将要毁灭全人类的谬论。他们妄图利