

中等专业学校试用教材

核工业概论

王松年 编

原子能出版社

ISBN 7-5022-0771-6

TL • 494 (课) 定价: 4.30 元

中等专业学校试用教材

核工业概论

(初 版)

王松年 编

原子能出版社

(京)新登字 077 号

内 容 简 介

本书分十六章,系统扼要地叙述了整个核工业体系的生产过程,以及核能和核技术应用、辐射防护等。其主要内容包括铀矿勘查和开采,铀的提取、精制和氢氟化,浓缩铀,燃料元件,核反应堆,核电厂,乏燃料后处理,放射性废物处理,辐射防护与放射性核素应用,还简单地介绍了核聚变和核武器。

本书可以作为核工业中等专业学校教材,亦可供从事核事业的工程技术人员、管理人员以及中等专业学校有关专业的师生参考。

本书成稿后经核科技专家、教授分别进行了审校和修改。

中等专业学校试用教材

核 工 业 概 论

(初 版)

王松年 编

责任编辑 孔昭育

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

北京昌平兴华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本 850×1168 1/32·印张 8.75·字数 238 千字

1993 年 12 月北京第一版·1993 年 12 月北京第一次印刷

印数 1—5000

ISBN 7-5022-0771-6

TL·494(课) 定价:4.30 元

前 言

当今世界科学技术迅猛发展和能源短缺,使核能和核技术的开发利用成为我国和世界其他国积极研究的新课题。

我国核工业依靠自己的技术力量,自力更生、艰苦奋斗,在很短的时间内从无到有建成了一个较完整的核工业体系。我国核电和核技术应用事业的发展,必将进一步带动核工业的新发展。为了培养核事业需要的各类专业人才,中国核工业总公司教育培训部要求按照教学计划编写《核工业概论》,作为中等专业学校教材。其目的是使学生了解和掌握核工业的概貌和辐射防护知识,明确核工业在国民经济建设中的重要地位,从而激发他们热爱核事业,为核工业的新发展做出贡献。

本书的章节基本上按照生产工艺流程顺序编排,着重于铀的化学、物理性质和冶金加工过程,裂变能释放和发电,辐射防护等。书中的核技术术语一般采用了国家标准 GB4960-85(《核科学技术术语》);所用的单位基本上采用我国法定计量单位。

核工业体系涉及的领域很广,内容很多,为适应课时较少(60~80学时)的要求,在编写过程中力求通俗易懂,理论联系实际,不叙述复杂的公式和高深的理论,尽量编入有关的新技术和新工艺。

为保证本教材质量,特请清华大学陈泽民、聂永丰、胡大璞,华东地质学院辜骏如,核工业第六研究所夏增益,中国核工业总公司计划部高鲁宾、衡阳工学院毛济安,核工业第二研究设计院刘承新,西安交通大学朱继洲,中国原子能科学研究院曹盘年,中国辐射防护研究院王恒德等十二位专家、教授分别对有关章节进行审校与修改,在此表示衷心感谢。同时,感谢南京工业学校有关老师和原子能出版社有关同志的帮助与指教。

由于水平所限,本书中缺点错误在所难免,请批评指正。

编 者

1990年4月

目 录

第一章 绪论.....	(1)
第一节 核能的发现和应用	(1)
第二节 铀在核工业中的地位	(7)
第三节 我国的核工业	(8)
第二章 工艺流程简介和金属铀性质	(12)
第一节 工艺流程简介	(12)
第二节 金属铀性质	(14)
一、物理性质	(14)
二、化学性质	(15)
第三章 铀矿勘查与开采	(17)
第一节 铀矿地质和勘查	(17)
一、铀矿地质	(17)
二、铀矿勘查	(19)
第二节 主要的铀矿物	(23)
一、原生铀矿物	(23)
二、次生铀矿物	(24)
第三节 铀矿的开采和选矿	(25)
一、铀矿开采	(25)
二、铀矿石选矿	(27)
第四章 铀的提取工艺	(29)
第一节 铀酰盐性质	(29)
一、硝酸铀酰	(30)
二、硫酸铀酰	(31)
三、三碳酸铀酰铵(钠)	(32)
四、氟化铀酰	(34)

第二节 工艺流程	(34)
第三节 矿石准备和浸出	(37)
一、 矿石准备	(37)
二、 铀的浸出	(38)
第四节 固液分离	(43)
第五节 铀浓缩物制备	(43)
一、 从浸出液中提取铀	(43)
二、 铀的沉淀	(50)
第五章 铀的精制工艺	(51)
第一节 铀的氧化物	(51)
一、 二氧化铀	(51)
二、 八氧化三铀	(52)
三、 三氧化铀	(53)
第二节 工艺流程	(53)
第三节 铀的萃取循环	(54)
一、 硝酸溶解	(54)
二、 萃取	(55)
三、 反萃取	(60)
第四节 萃取设备	(62)
一、 混合澄清器	(62)
二、 脉冲萃取塔	(63)
三、 转盘萃取塔	(65)
四、 离心萃取器	(66)
五、 几种萃取设备的比较	(67)
第五节 二氧化铀制取	(67)
一、 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 脱硝、还原制取 UO_2	(68)
二、 三碳酸铀酰胺煅烧分解制取二氧化铀	(70)
第六章 铀的氢氟化工艺	(73)
第一节 四氟化铀性质	(73)

第二节 湿法制取四氟化铀	(74)
一、工艺流程和杂质行为	(74)
二、二氧化铀溶解	(77)
三、四氟化铀沉淀	(77)
四、四氟化铀干燥和煅烧	(79)
第三节 干法制取四氟化铀	(81)
第七章 浓缩铀-235	(87)
第一节 浓缩 ²³⁵ U的重要性	(87)
第二节 六氟化铀性质与制备	(88)
一、六氟化铀性质	(88)
二、六氟化铀制备	(89)
第三节 铀同位素分离	(92)
一、气体扩散法	(93)
二、离心法	(97)
三、激光分离法	(99)
第四节 六氟化铀还原	(100)
一、还原制取二氧化铀	(101)
二、还原制取金属铀	(102)
第八章 燃料元件	(104)
第一节 对燃料元件的要求	(104)
第二节 陶瓷燃料元件	(105)
一、工艺流程	(106)
二、制粒与压型	(107)
三、烧结与密封包装	(109)
第三节 金属燃料元件	(111)
一、工艺流程	(111)
二、钙(或镁)热还原	(112)
三、精炼铸造	(113)
四、轧制、机加工和密封包装	(116)

第四节 弥散型燃料元件	(118)
第五节 包壳材料的选择	(118)
一、铝及其合金	(119)
二、锆合金	(119)
三、不锈钢	(120)
四、镁合金	(120)
第九章 核反应堆	(121)
第一节 中子与物质的相互作用	(121)
一、结合能	(121)
二、中子-核反应	(124)
三、核裂变	(125)
四、反应截面	(126)
五、裂变中子	(127)
第二节 中子的扩散、慢化与反应堆临界	(127)
一、自持链式裂变反应	(127)
二、中子的扩散与慢化	(129)
三、临界质量	(131)
第三节 裂变反应堆分类和组成	(132)
一、裂变反应堆分类	(132)
二、反应堆组成	(133)
第四节 生产堆简介	(136)
第五节 反应堆建造对工业部门的要求	(138)
一、对材料要求	(138)
二、对设备制造要求	(139)
三、对自动控制系统和特殊仪表要求	(140)
第十章 核电厂	(141)
第一节 核电的发展和堆型选择	(141)
第二节 压水堆核电厂	(144)
一、概述	(144)

二、压水反应堆本体结构	(146)
三、一回路系统	(156)
四、二回路系统	(163)
五、安全壳与主要辅助系统	(163)
第三节 其它类型核电厂	(164)
一、重水堆核电厂	(164)
二、石墨气冷堆核电厂	(167)
三、快中子增殖堆核电厂	(168)
第四节 核电是安全、清洁和经济的能源	(172)
一、安全性	(172)
二、清洁性	(176)
三、经济性	(176)
第十一章 乏燃料后处理	(178)
第一节 概述	(178)
第二节 “冷却”和首端处理	(180)
一、“冷却”	(180)
二、首端处理	(181)
第三节 化学分离	(182)
一、溶剂萃取法工艺流程	(182)
二、铀-钚和裂变产物分离	(183)
三、铀和钚分离	(183)
四、铀的净化	(185)
五、钚的净化	(185)
六、回收率及产品质量	(185)
第四节 乏燃料后处理厂特点	(186)
一、放射性强	(186)
二、毒性大	(187)
三、发生临界事故危险	(187)
第十二章 放射性废物处理	(188)

第一节	放射性废物分类	(189)
第二节	放射性废物管理	(190)
第三节	放射性液体废物处理	(190)
一、	浓缩处理	(190)
二、	稀释排放	(196)
三、	固化处理	(196)
第四节	放射性固体废物处理	(199)
第五节	放射性气体废物处理	(201)
第十三章	辐射防护	(203)
第一节	辐射防护的重要意义	(203)
第二节	辐射的生物效应	(205)
一、	天然辐射和人工辐射	(205)
二、	辐射的生物效应	(206)
第三节	辐射防护中的基本概念和基本量	(209)
一、	基本概念和基本量	(209)
二、	基本单位	(212)
第四节	辐射防护的基本原则	(212)
第五节	辐射防护标准	(213)
第六节	控制辐射照射的主要措施	(216)
一、	管理措施	(216)
二、	技术措施	(218)
第七节	辐射防护监测	(220)
一、	个人监测	(221)
二、	工作场所监测	(221)
三、	流出物(源项)监测	(222)
四、	环境监测	(222)
五、	监测质量保证	(224)
第八节	辐射工作人员的健康管理	(225)
一、	健康要求的基本原则和要求	(225)

二、取消辐射工作资格的条件	(225)
三、常规医学监督	(226)
四、异常受照人员的医学处理	(227)
第十四章 放射性核素的应用	(228)
第一节 放射性核素的来源	(228)
一、从天然物质中提取	(229)
二、用反应堆生产	(229)
三、从乏燃料中提取	(229)
四、用加速器生产	(229)
第二节 放射性核素在工业和科学研究中的应用	(230)
一、辐射加工	(230)
二、放射性核素检测仪表	(231)
三、放射性示踪技术	(232)
四、年代测定	(233)
五、核分析技术	(234)
六、放射性核素能源	(236)
第三节 放射性核素在医学上的应用	(237)
一、放射治疗	(237)
二、临床诊断	(238)
三、基础医学研究	(239)
第四节 放射性核素在农业和食品工业中的应用	(240)
一、辐射技术的应用	(240)
二、示踪技术的应用	(243)
第十五章 核聚变	(245)
第一节 原子核聚变核反应	(245)
一、核聚变反应	(245)
二、研究中的热核聚变反应装置	(247)
三、聚变能的优越性	(250)
第二节 聚变燃料的生产	(251)

一、 氘的制备	(251)
二、 氚的制备	(253)
三、 锂和氘化锂的制备	(254)
第十六章 核武器和核舰艇	(256)
第一节 核武器	(256)
一、 原子弹	(256)
二、 氢弹	(258)
三、 中子弹	(259)
第二节 核武器爆炸试验	(260)
一、 空中核爆炸	(260)
二、 地面核爆炸	(260)
三、 水下核爆炸	(260)
四、 外层空间核爆炸	(261)
五、 地下核爆炸	(261)
第三节 核武器的杀伤破坏效应	(262)
一、 光辐射	(263)
二、 冲击波	(263)
三、 早期核辐射	(263)
四、 放射性污染	(264)
第四节 对核爆炸的防护措施	(264)
第五节 核舰艇	(265)
参考文献	(266)

第一章 绪 论

人类为了求得自身的生存和发展,一直在为扩大能源,提高自己驾驭大自然的能力而斗争。在古代,人类在生活和生产中消耗的主要能源是薪炭、人力、畜力等。随着生产的发展,从 19 世纪中叶以来,出现了由薪炭向化石能源转化的第一次能源革命。世界人口的逐渐增加,社会生产力的不断提高,以及人们对高度物质文明和精神文明的需要,使得人们对能源的需求就越来越大,而化石能源趋向短缺,这就迫使各国科学家努力探求新的能源。

在 20 世纪 30 年代科学家实现了一系列的人工核反应,在核反应的同时,释放出原子核中蕴藏的巨大能量。这种在核裂变或核聚变时释放的能量,称为核能。核科学技术的发展使人类已经拥有大规模地使用核能的能力,世界现在正处在由化石能源向核能转化的第二次能源革命的前夜。未来的世界将是一个以核能为主,太阳能、水力、地热能 and 海洋能等多种能源长期并存,能源极其丰富的世界。

为了利用核能,需要建立一系列的核工业工厂来制造核燃料、产生核能和利用核能,以及对在生产和利用核能过程中所产生的“三废”进行处理等等。《核工业概论》是简单扼要地叙述一系列核工业工厂生产过程、核能的利用以及安全防护等的一门课程。

第一节 核能的发现和应用

能够释放核能的一种元素——铀的发现要归功于德国化学家克拉普罗特(M. H. Klaproth)。他在 1789 年分析一种矿物(沥青铀矿)时,发现了一种新物质。他以当时新发现的天王星命名这种新物质为铀(U),列于元素周期表第 92 号位置。实际上,当时他所制得的只是

铀的一种氧化物(UO_2),而不是金属铀。

1841 年彼利高特(E. Peligot)首先在实验室中制得了金属铀。

从 1789 年到 1890 年的整整一个世纪内,科学家只研究了铀的一些重要化合物的化学性质,进行了少量的铀矿开采。铀没有引起科学家及工商界的注意。

1896 年法国物理学家贝克勒尔(H. A. Becquerel)发现了铀元素的放射性特性,这一重大发现就成为原子核科学史的起点。

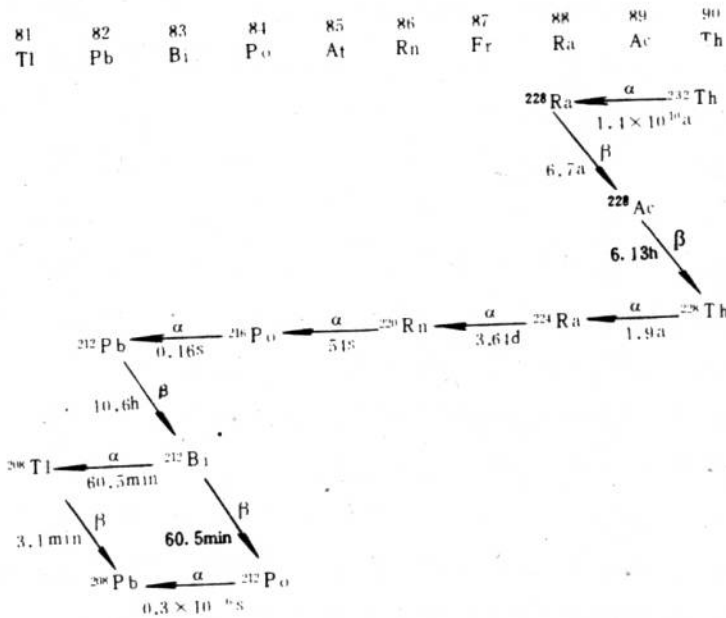


图 1-1 钍(4n)系

箭头的下面或其左边的数字表示前一个核素的半衰期。仅列出主要产物。

图中,a 为年,d 为天,h 为小时,min 为分,s 为秒,下同。

不久,著名物理学家玛丽·居里(M. S. Curie)发现不仅铀,而且钍都具有能发射射线的特性。这种特性她称为“放射性”。放射性是

经过科学家们的辛勤劳动,发现在自然界中存在三个放射系,即铀系、钍系和锕铀系。这三个系的母体分别是 ^{238}U 、 ^{232}Th 和 ^{235}U 。这三种核素都很缓慢地衰变,其放射性活度经 10^8 到 10^{10} 年后才减少一半。这三个系的稳定产物都是铅。图1-1、图1-2和图1-3给出了这三个天然放射系的图示。



3

即铀系。它表示在图 1-4 中。

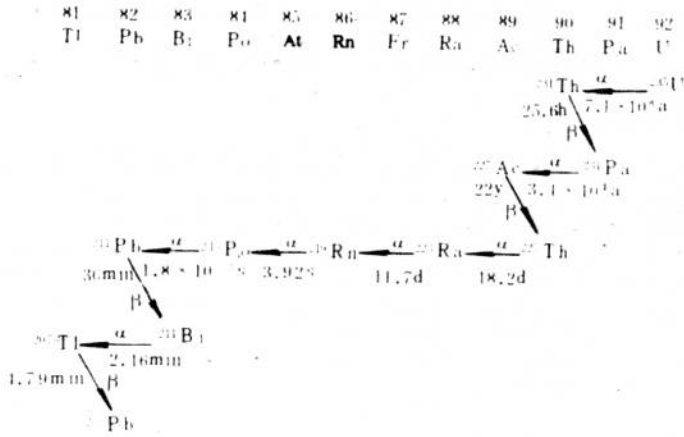


图 1-3 钍铀系, 即 $^{235}\text{U}(4n+3)$ 系

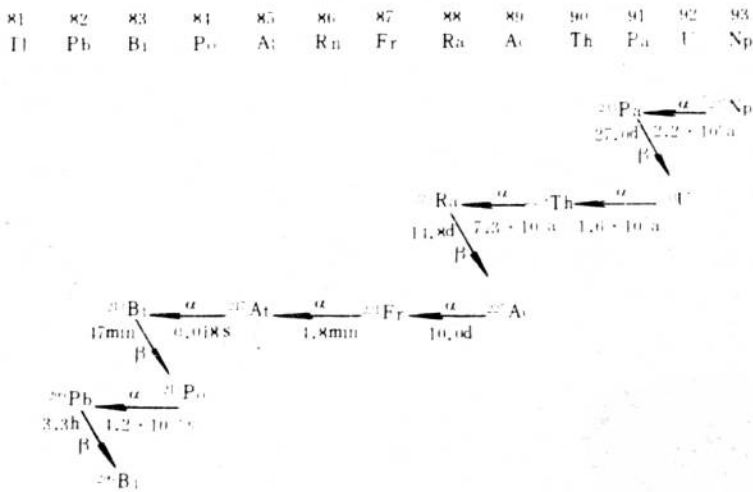


图 1-4 铀(4n+2)系

具有特定质量数、原子序数和核能态, 而且其平均寿命长得足以