

《中国工程物理研究院科技丛书》第 055 号

氚和氚的工程技术

Tritium and Industry Techniques of Tritium

蒋国强 罗德礼 陆光达 孙灵霞 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是一本系统论述氙的性质、氙的生产和处理氙的工艺技术的专业性参考书。书中以图、表形式列出了大量的实验数据,并给出了相关的文献信息。该书对涉足本领域的科技工作者有重要参考价值,也可作为大专院校核燃料循环专业学生、硕士生的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

氙和氙的工程技术 / 蒋国强等编著. —北京: 国防工业出版社, 2007. 11
(中国工程物理研究院科技丛书)
ISBN 978-7-118-05301-2

I. 氙... II. 蒋... III. ①氙-化学性质②氙-生产工艺
IV. TQ122.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 118470 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 33½ 字数 758 千字

2007 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 78.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第五届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 程洪彬

秘 书 长 程洪彬

副 秘 书 长 彭华良 蔡 镭

委 员 (按姓氏笔画排序)

于景元 王小谟 甘茂治 刘世参

李德毅 杨星豪 吴有生 何新贵

佟玉民 宋家树 张立同 张鸿元

陈冀胜 周一宇 赵凤起 侯正明

常显奇 崔尔杰 韩祖南 傅惠民

舒长胜

本书主审委员 宋家树

《中国工程物理研究院科技丛书》

出版说明

中国工程物理研究院建院 40 多年来,坚持理论研究、科学实验和工程设计密切结合的科研方向,完成了国家下达的各项国防科研任务。通过完成任务,在许多专业学科领域里,不论在基础理论方面,还是在实验测试技术和工程应用技术方面,都有重要发展和创新,积累了丰富的知识经验,造就了一大批优秀科技人才。

为了扩大科技交流与合作,促进我院事业的继承与发展,系统地总结我院 40 多年来各个专业领域里集体积累起来的经验,吸收国内外最新科技成果,形成一套系列科技丛书,无疑是一件十分有意义的事情。

这套丛书将部分地反映中国工程物理研究院科技工作的成果,内容涉及本院过去开设过 20 几个主要学科。现在和今后开设的新学科,也将编著出书,续入本丛书中。

这套丛书将在今后几年里陆续编辑出版。我院早些年零散编著出版的专业书籍,经编委会审定后,也纳入本丛书系列。

谨以这套丛书献给 40 多年来为我国国防现代化而献身的人们!

《中国工程物理研究院科技丛书》

编审委员会

1999 年 6 月 4 日修改

《中国工程物理研究院科技丛书》

第五届编审委员会

顾 问 俞大光

编委会主任 杜祥琬

副 主 任 彭先觉 孙 颖 李志民

委 员 (以姓名笔画为序)

华欣生 江 松 刘柯钊 孙承纬 陈银亮

何建国 李 凡 李泽仁 苏 伟 苏 毅

汪小琳 吴志杰 张方晓 张富堂 张 健

罗顺火 孟凡宝 郑志坚 周德惠 竺家亨

顾 援 唐永建 黄 辉 彭述明

科技丛书编辑部负责人 李代斌

本册编辑 李天惠

《中国工程物理研究院科技丛书》

已出版书目

- | | | |
|-----|---------------------------|---------------------|
| 001 | 高能炸药及相关物性能
董海山 周芬芬 主编 | 科学出版社 1989 年 11 月 |
| 002 | 光学高速摄影测试技术
谭显祥 编著 | 科学出版社 1990 年 02 月 |
| 003 | 凝聚炸药起爆动力学
章冠人 等编著 | 国防工业出版社 1991 年 09 月 |
| 004 | 线性代数方程组的迭代解法
胡家赣 编著 | 科学出版社 1991 年 12 月 |
| 005 | 映象与混沌
陈式刚 编著 | 国防工业出版社 1992 年 06 月 |
| 006 | 再入遥测技术(上册)
谢铭勋 编著 | 国防工业出版社 1992 年 06 月 |
| 007 | 再入遥测技术(下册)
谢铭勋 编著 | 国防工业出版社 1992 年 12 月 |
| 008 | 高温辐射物理与量子辐射理论
李世昌 编著 | 国防工业出版社 1992 年 10 月 |
| 009 | 粘性消去法和差分格式粘性
郭柏灵 著 | 科学出版社 1993 年 03 月 |
| 010 | 无损检测技术及其应用
张俊哲 等著 | 科学出版社 1993 年 05 月 |
| 011 | 半导体材料辐射效应
曹建中 著 | 科学出版社 1993 年 05 月 |
| 012 | 炸药热分析
楚士晋 编著 | 科学出版社 1994 年 12 月 |
| 013 | 脉冲辐射场诊断技术
刘庆兆 主编 | 科学出版社 1994 年 12 月 |
| 014 | 放射性核素活度的测量方法和技术
古当长 编著 | 科学出版社 1994 年 12 月 |
| 015 | 二维非定常流和激波
王继海 编著 | 科学出版社 1994 年 12 月 |

- 016 抛物型方程差分方法引论
李德元 陈光南 著 科学出版社 1995 年 12 月
- 017 特种结构分析
刘新民 韦日演 主编 国防工业出版社 1995 年 12 月
- 018 理论爆轰物理
孙锦山 朱建士 著 国防工业出版社 1995 年 12 月
- 019 可靠性维修性可用性评估手册
潘吉安 编著 国防工业出版社 1995 年 12 月
- 020 脉冲辐射场测量数据处理与误差分析
陈元金 编著 国防工业出版社 1997 年 01 月
- 021 近代成像技术与图像处理
吴世法 著 国防工业出版社 1997 年 03 月
- 022 一维流体力学差分方法
水鸿寿 著 国防工业出版社 1998 年 02 月
- 023 抗辐射电子学—辐射效应及加固原理
赖祖武 等著 国防工业出版社 1998 年 07 月
- 024 金属的环境氢脆及其试验技术
周德惠 谭云 编著 国防工业出版社 1998 年 12 月
- 025 试验核物理测量中的粒子分辨
段绍节 编著 国防工业出版社 1999 年 06 月
- 026 实验物态方程导引(第二版)
经福谦 著 科学出版社 1999 年 09 月
- 027 无穷维动力系统
郭柏灵 著 国防工业出版社 2000 年 01 月
- 028 真空吸取器设计及应用技术
单景德 编著 国防工业出版社 2000 年 01 月
- 029 再入飞行器天线
金显盛 编著 国防工业出版社 2000 年 03 月
- 030 应用爆轰物理
孙承纬 著 国防工业出版社 2000 年 12 月
- 031 混沌的控制、同步与利用
陈式刚 等著 国防工业出版社 2000 年 12 月
- 032 激光干涉测速技术
胡绍楼 著 国防工业出版社 2000 年 12 月
- 033 空气炮理论与实验技术
王金贵 著 国防工业出版社 2000 年 12 月
- 034 一维不定常流与激波
李维新 著 国防工业出版社 2000 年 12 月

- 035 X射线与真空紫外辐射源及其计量技术
孙景文 编著 国防工业出版社 2001年03月
- 036 含能材料热谱集
董海山 等编著 国防工业出版社 2001年03月
- 037 材料中的氦及氡渗透
王佩璇 宋家树 著 国防工业出版社 2002年04月
- 038 高温等离子体X射线谱学
孙景文 编著 国防工业出版社 2003年01月
- 039 激光核聚变靶物理基础
张钧 常铁强 著 国防工业出版社 2004年11月
- 040 系统可靠性工程
金碧辉 主编 国防工业出版社 2004年06月
- 041 核材料 γ 特征谱的探测和分析技术
田东风 等编著 国防工业出版社 2004年06月
- 042 高能激光系统
苏毅 万敏 编著 国防工业出版社 2004年06月
- 043 近可积无穷维动力系统
郭柏灵 高平 陈瀚林 著 国防工业出版社 2004年06月
- 044 半导体器件和集成电路的辐射效应
陈盘训 著 国防工业出版社 2005年06月
- 045 高功率脉冲技术
刘锡三 编著 国防工业出版社 2005年08月
- 046 热电池
陆瑞生 刘效疆 编著 国防工业出版社 2005年08月
- 047 原子结构、碰撞与光谱理论
方泉玉 颜君 著 国防工业出版社 2006年01月
- 048 非牛顿流动力系统
郭柏灵 林国广 尚亚东 著 国防工业出版社 2006年02月
- 049 动高压原理与技术
经福谦 陈俊祥 主编 国防工业出版社 2006年03月
- 050 直线感应电子加速器
邓建军 主编 国防工业出版社 2006年10月
- 051 中子核反应激发函数
田东风 孙伟力 编著 国防工业出版社 2006年11月
- 052 实验冲击波物理导引
谭华 著 国防工业出版社 2007年3月
- 053 核军备控制核查技术概论
刘成安 伍钧 编著 国防工业出版社 2007年3月
- 054 强流粒子束及其应用
刘锡三 著 国防工业出版社 2007年7月
- 055 氦和氡的工程技术
蒋国强 等编著 国防工业出版社 2007年11月

前 言

欣闻我国已决定参加国际热核试验反应堆(ITER)的共建合作,无疑将大力推进国家开发聚变能源的进程。能源问题永远是人类社会的主题,聚变能源的开发和利用将使人类社会彻底摆脱能源问题的羁绊。

第一代聚变反应堆是以氘、氚作为核燃料,氚需要人工生产。对于一座1GW_e电功率的氘-氚聚变堆,满功率运行年消耗氚量约150kg。因此发展氚的生产技术和氘、氚核燃料循环技术,对聚变能源的开发和利用有重要意义。

氚是氢的一种放射性的同位素,大的同位素效应和短的半衰期使它的性质在许多方面有别于氢或氘。大规模地生产、处理氚所带来的材料问题、技术问题,以及环境安全问题,可以说是前所未有的,我们面临着新的挑战。

作者从事氘和氚的工程技术研究20余年,切身感受到手边需要一本关于氚的性质和氚的处理工艺的参考书。目前国内缺少这方面的参考书。在国外,结合受控聚变的可行性研究和氚增殖包套设计发表的氚的文献是很多的,但大多分散在期刊、专题会议录和各类报告中。作者早想把这些分散的重要信息汇集起来,分门别类,冠以章节,编纂成书。只是力不从心,计划一拖再拖。今天,在我国决定参加ITER共建合作喜讯的激励下,精神为之一振,历经多年、几番易稿的《氘和氚的工程技术》一书总算可以与读者见面了。

《氘和氚的工程技术》由两篇组成:上篇包括氚的基本性质,氚的生产和氚的提取,共3章21节,由蒋国强、孙灵霞编写。主要讲述氚的物理、化学和核的性质,以对比方式,用图表给出氘、氚、氚的一些重要参数。在氚的生产与氚的提取章节中,系统介绍了用专用堆、轻水堆、加速器和聚变堆生产与提取氚的相关问题。虽说只有专用堆生产氚积累有几十年的实践经验,其它氚的生产模式尚处于工程设计或概念设计阶段,但可行性问题已经解决,故这种介绍对国家造氚途径的选择有参考价值。下篇包括氚的提纯,氢同位素分离技术,金属氚化物技术,氚的安全与辐射防护,共4章24节。第4章与第7章由罗德礼编写,第5章与第6章由陆光达编写的。同上篇相比,下篇侧重于氚在实际应用中涉及的一些重要的处理技术,这些技术是比较成熟的。遗憾的是本书缺少氚的监测与分析内容,氚的监测与分析是氚的衡算和氚的安全、环境影响评价的基础。这一不足有待日后补充。

本书的出版得益于“中国工程物理研究院科技丛书”编辑部的大力支持,还得益于下列学者的贡献:在我们著书期间,杨怀远编著的《氚的安全与防护》,王佩璇、宋家树合著的《材料中的氢及氚渗透》和山常起编著的《氚及防氚渗透材料》先后出版,为本书的编著提供了帮助,并在本书的有关章中参考了这些资料。在此,凡对本书的出版给予帮助的人员一并致以衷心感谢。

目前,由于氙的工程技术还处在快速发展的阶段,国内还没有一本全面介绍氙和氙的工程技术的专著,有关书的体系构架没有参照目标。由于作者水平有限,可能存在疏漏和错误,在此欢迎读者提出意见和建议。

目 录

编著者
2007年5月

1	.....	第1章 氙的基本性质	1.1
1.1	.....	1.1.1 氙的原子结构	1.1.1
1.2	.....	1.1.2 氙的原子核	1.1.2
1.3	.....	1.1.3 氙的原子量	1.1.3
1.4	.....	1.1.4 氙的原子序数	1.1.4
1.5	.....	1.1.5 氙的原子半径	1.1.5
1.6	.....	1.1.6 氙的原子质量	1.1.6
1.7	.....	1.1.7 氙的原子能级	1.1.7
1.8	.....	1.1.8 氙的原子光谱	1.1.8
1.9	.....	1.1.9 氙的原子物理常数	1.1.9
2	.....	第2章 氙的化合物	2.1
2.1	.....	2.1.1 氙的氟化物	2.1.1
2.2	.....	2.1.2 氙的氯化物	2.1.2
2.3	.....	2.1.3 氙的溴化物	2.1.3
2.4	.....	2.1.4 氙的碘化物	2.1.4
2.5	.....	2.1.5 氙的氧化物	2.1.5
2.6	.....	2.1.6 氙的硫化物	2.1.6
2.7	.....	2.1.7 氙的氮化物	2.1.7
2.8	.....	2.1.8 氙的磷化物	2.1.8
2.9	.....	2.1.9 氙的砷化物	2.1.9
2.10	.....	2.1.10 氙的硒化物	2.1.10
2.11	.....	2.1.11 氙的碲化物	2.1.11
2.12	.....	2.1.12 氙的钨化物	2.1.12
2.13	.....	2.1.13 氙的铋化物	2.1.13
2.14	.....	2.1.14 氙的钼化物	2.1.14
2.15	.....	2.1.15 氙的锡化物	2.1.15
2.16	.....	2.1.16 氙的锑化物	2.1.16
2.17	.....	2.1.17 氙的铊化物	2.1.17
2.18	.....	2.1.18 氙的铅化物	2.1.18
2.19	.....	2.1.19 氙的铋化物	2.1.19
2.20	.....	2.1.20 氙的钨化物	2.1.20
2.21	.....	2.1.21 氙的铋化物	2.1.21
2.22	.....	2.1.22 氙的钼化物	2.1.22
2.23	.....	2.1.23 氙的锡化物	2.1.23
2.24	.....	2.1.24 氙的锑化物	2.1.24
2.25	.....	2.1.25 氙的碲化物	2.1.25
2.26	.....	2.1.26 氙的钨化物	2.1.26
2.27	.....	2.1.27 氙的铋化物	2.1.27
2.28	.....	2.1.28 氙的钼化物	2.1.28
2.29	.....	2.1.29 氙的锡化物	2.1.29
2.30	.....	2.1.30 氙的锑化物	2.1.30
2.31	.....	2.1.31 氙的碲化物	2.1.31
2.32	.....	2.1.32 氙的钨化物	2.1.32
2.33	.....	2.1.33 氙的铋化物	2.1.33
2.34	.....	2.1.34 氙的钼化物	2.1.34
2.35	.....	2.1.35 氙的锡化物	2.1.35
2.36	.....	2.1.36 氙的锑化物	2.1.36
2.37	.....	2.1.37 氙的碲化物	2.1.37
2.38	.....	2.1.38 氙的钨化物	2.1.38
2.39	.....	2.1.39 氙的铋化物	2.1.39
2.40	.....	2.1.40 氙的钼化物	2.1.40
2.41	.....	2.1.41 氙的锡化物	2.1.41
2.42	.....	2.1.42 氙的锑化物	2.1.42
2.43	.....	2.1.43 氙的碲化物	2.1.43
2.44	.....	2.1.44 氙的钨化物	2.1.44
2.45	.....	2.1.45 氙的铋化物	2.1.45
2.46	.....	2.1.46 氙的钼化物	2.1.46
2.47	.....	2.1.47 氙的锡化物	2.1.47
2.48	.....	2.1.48 氙的锑化物	2.1.48
2.49	.....	2.1.49 氙的碲化物	2.1.49
2.50	.....	2.1.50 氙的钨化物	2.1.50
2.51	.....	2.1.51 氙的铋化物	2.1.51
2.52	.....	2.1.52 氙的钼化物	2.1.52
2.53	.....	2.1.53 氙的锡化物	2.1.53
2.54	.....	2.1.54 氙的锑化物	2.1.54
2.55	.....	2.1.55 氙的碲化物	2.1.55
2.56	.....	2.1.56 氙的钨化物	2.1.56
2.57	.....	2.1.57 氙的铋化物	2.1.57
2.58	.....	2.1.58 氙的钼化物	2.1.58
2.59	.....	2.1.59 氙的锡化物	2.1.59
2.60	.....	2.1.60 氙的锑化物	2.1.60
2.61	.....	2.1.61 氙的碲化物	2.1.61
2.62	.....	2.1.62 氙的钨化物	2.1.62
2.63	.....	2.1.63 氙的铋化物	2.1.63
2.64	.....	2.1.64 氙的钼化物	2.1.64
2.65	.....	2.1.65 氙的锡化物	2.1.65
2.66	.....	2.1.66 氙的锑化物	2.1.66
2.67	.....	2.1.67 氙的碲化物	2.1.67
2.68	.....	2.1.68 氙的钨化物	2.1.68
2.69	.....	2.1.69 氙的铋化物	2.1.69
2.70	.....	2.1.70 氙的钼化物	2.1.70
2.71	.....	2.1.71 氙的锡化物	2.1.71
2.72	.....	2.1.72 氙的锑化物	2.1.72
2.73	.....	2.1.73 氙的碲化物	2.1.73
2.74	.....	2.1.74 氙的钨化物	2.1.74
2.75	.....	2.1.75 氙的铋化物	2.1.75
2.76	.....	2.1.76 氙的钼化物	2.1.76
2.77	.....	2.1.77 氙的锡化物	2.1.77
2.78	.....	2.1.78 氙的锑化物	2.1.78
2.79	.....	2.1.79 氙的碲化物	2.1.79
2.80	.....	2.1.80 氙的钨化物	2.1.80
2.81	.....	2.1.81 氙的铋化物	2.1.81
2.82	.....	2.1.82 氙的钼化物	2.1.82
2.83	.....	2.1.83 氙的锡化物	2.1.83
2.84	.....	2.1.84 氙的锑化物	2.1.84
2.85	.....	2.1.85 氙的碲化物	2.1.85
2.86	.....	2.1.86 氙的钨化物	2.1.86
2.87	.....	2.1.87 氙的铋化物	2.1.87
2.88	.....	2.1.88 氙的钼化物	2.1.88
2.89	.....	2.1.89 氙的锡化物	2.1.89
2.90	.....	2.1.90 氙的锑化物	2.1.90
2.91	.....	2.1.91 氙的碲化物	2.1.91
2.92	.....	2.1.92 氙的钨化物	2.1.92
2.93	.....	2.1.93 氙的铋化物	2.1.93
2.94	.....	2.1.94 氙的钼化物	2.1.94
2.95	.....	2.1.95 氙的锡化物	2.1.95
2.96	.....	2.1.96 氙的锑化物	2.1.96
2.97	.....	2.1.97 氙的碲化物	2.1.97
2.98	.....	2.1.98 氙的钨化物	2.1.98
2.99	.....	2.1.99 氙的铋化物	2.1.99
3	.....	第3章 氙的合金	3.1
3.1	.....	3.1.1 氙的铜合金	3.1.1
3.2	.....	3.1.2 氙的镍合金	3.1.2
3.3	.....	3.1.3 氙的钴合金	3.1.3
3.4	.....	3.1.4 氙的钨合金	3.1.4
3.5	.....	3.1.5 氙的铋合金	3.1.5
3.6	.....	3.1.6 氙的钼合金	3.1.6
3.7	.....	3.1.7 氙的锡合金	3.1.7
3.8	.....	3.1.8 氙的锑合金	3.1.8
3.9	.....	3.1.9 氙的碲合金	3.1.9
3.10	.....	3.1.10 氙的钨合金	3.1.10
3.11	.....	3.1.11 氙的铋合金	3.1.11
3.12	.....	3.1.12 氙的钼合金	3.1.12
3.13	.....	3.1.13 氙的锡合金	3.1.13
3.14	.....	3.1.14 氙的锑合金	3.1.14
3.15	.....	3.1.15 氙的碲合金	3.1.15
3.16	.....	3.1.16 氙的钨合金	3.1.16
3.17	.....	3.1.17 氙的铋合金	3.1.17
3.18	.....	3.1.18 氙的钼合金	3.1.18
3.19	.....	3.1.19 氙的锡合金	3.1.19
3.20	.....	3.1.20 氙的锑合金	3.1.20
3.21	.....	3.1.21 氙的碲合金	3.1.21
3.22	.....	3.1.22 氙的钨合金	3.1.22
3.23	.....	3.1.23 氙的铋合金	3.1.23
3.24	.....	3.1.24 氙的钼合金	3.1.24
3.25	.....	3.1.25 氙的锡合金	3.1.25
3.26	.....	3.1.26 氙的锑合金	3.1.26
3.27	.....	3.1.27 氙的碲合金	3.1.27
3.28	.....	3.1.28 氙的钨合金	3.1.28
3.29	.....	3.1.29 氙的铋合金	3.1.29
3.30	.....	3.1.30 氙的钼合金	3.1.30
3.31	.....	3.1.31 氙的锡合金	3.1.31
3.32	.....	3.1.32 氙的锑合金	3.1.32
3.33	.....	3.1.33 氙的碲合金	3.1.33
3.34	.....	3.1.34 氙的钨合金	3.1.34
3.35	.....	3.1.35 氙的铋合金	3.1.35
3.36	.....	3.1.36 氙的钼合金	3.1.36
3.37	.....	3.1.37 氙的锡合金	3.1.37
3.38	.....	3.1.38 氙的锑合金	3.1.38
3.39	.....	3.1.39 氙的碲合金	3.1.39
3.40	.....	3.1.40 氙的钨合金	3.1.40
3.41	.....	3.1.41 氙的铋合金	3.1.41
3.42	.....	3.1.42 氙的钼合金	3.1.42
3.43	.....	3.1.43 氙的锡合金	3.1.43
3.44	.....	3.1.44 氙的锑合金	3.1.44
3.45	.....	3.1.45 氙的碲合金	3.1.45
3.46	.....	3.1.46 氙的钨合金	3.1.46
3.47	.....	3.1.47 氙的铋合金	3.1.47
3.48	.....	3.1.48 氙的钼合金	3.1.48
3.49	.....	3.1.49 氙的锡合金	3.1.49
3.50	.....	3.1.50 氙的锑合金	3.1.50
3.51	.....	3.1.51 氙的碲合金	3.1.51
3.52	.....	3.1.52 氙的钨合金	3.1.52
3.53	.....	3.1.53 氙的铋合金	3.1.53
3.54	.....	3.1.54 氙的钼合金	3.1.54
3.55	.....	3.1.55 氙的锡合金	3.1.55
3.56	.....	3.1.56 氙的锑合金	3.1.56
3.57	.....	3.1.57 氙的碲合金	3.1.57
3.58	.....	3.1.58 氙的钨合金	3.1.58
3.59	.....	3.1.59 氙的铋合金	3.1.59
3.60	.....	3.1.60 氙的钼合金	3.1.60
3.61	.....	3.1.61 氙的锡合金	3.1.61
3.62	.....	3.1.62 氙的锑合金	3.1.62
3.63	.....	3.1.63 氙的碲合金	3.1.63
3.64	.....	3.1.64 氙的钨合金	3.1.64
3.65	.....	3.1.65 氙的铋合金	3.1.65
3.66	.....	3.1.66 氙的钼合金	3.1.66
3.67	.....	3.1.67 氙的锡合金	3.1.67
3.68	.....	3.1.68 氙的锑合金	3.1.68
3.69	.....	3.1.69 氙的碲合金	3.1.69
3.70	.....	3.1.70 氙的钨合金	3.1.70
3.71	.....	3.1.71 氙的铋合金	3.1.71
3.72	.....	3.1.72 氙的钼合金	3.1.72
3.73	.....	3.1.73 氙的锡合金	3.1.73
3.74	.....	3.1.74 氙的锑合金	3.1.74
3.75	.....	3.1.75 氙的碲合金	3.1.75
3.76	.....	3.1.76 氙的钨合金	3.1.76
3.77	.....	3.1.77 氙的铋合金	3.1.77
3.78	.....	3.1.78 氙的钼合金	3.1.78
3.79	.....	3.1.79 氙的锡合金	3.1.79
3.80	.....	3.1.80 氙的锑合金	3.1.80
3.81	.....	3.1.81 氙的碲合金	3.1.81
3.82	.....	3.1.82 氙的钨合金	3.1.82
3.83	.....	3.1.83 氙的铋合金	3.1.83
3.84	.....	3.1.84 氙的钼合金	3.1.84
3.85	.....	3.1.85 氙的锡合金	3.1.85
3.86	.....	3.1.86 氙的锑合金	3.1.86
3.87	.....	3.1.87 氙的碲合金	3.1.87
3.88	.....	3.1.88 氙的钨合金	3.1.88
3.89	.....	3.1.89 氙的铋合金	3.1.89
3.90	.....	3.1.90 氙的钼合金	3.1.90
3.91	.....	3.1.91 氙的锡合金	3.1.91
3.92	.....	3.1.92 氙的锑合金	3.1.92
3.93	.....	3.1.93 氙的碲合金	3.1.93
3.94	.....	3.1.94 氙的钨合金	3.1.94
3.95	.....	3.1.95 氙的铋合金	3.1.95
3.96	.....	3.1.96 氙的钼合金	3.1.96
3.97	.....	3.1.97 氙的锡合金	3.1.97
3.98	.....	3.1.98 氙的锑合金	3.1.98
3.99	.....	3.1.99 氙的碲合金	3.1.99
4	.....	第4章 氙的合金	4.1
4.1	.....	4.1.1 氙的铜合金	4.1.1
4.2	.....	4.1.2 氙的镍合金	4.1.2
4.3	.....	4.1.3 氙的钴合金	4.1.3
4.4	.....	4.1.4 氙的钨合金	4.1.4
4.5	.....	4.1.5 氙的铋合金	4.1.5
4.6	.....	4.1.6 氙的钼合金	4.1.6
4.7	.....	4.1.7 氙的锡合金	4.1.7
4.8	.....	4.1.8 氙的锑合金	4.1.8
4.9	.....	4.1.9 氙的碲合金	4.1.9
4.10	.....	4.1.10 氙的钨合金	4.1.10
4.11	.....	4.1.11 氙的铋合金	4.1.11
4.12	.....	4.1.12 氙的钼合金	4.1.12
4.13	.....	4.1.13 氙的锡合金	4.1.13
4.14	.....	4.1.14 氙的锑合金	4.1.14
4.15	.....	4.1.15 氙的碲合金	4.1.15
4.16	.....	4.1.16 氙的钨合金	4.1.16
4.17	.....	4.1.17 氙的铋合金	4.1.17
4.18	.....	4.1.18 氙的钼合金	4.1.18
4.19	.....	4.1.19 氙的锡合金	4.1.19
4.20	.....	4.1.20 氙的锑合金	4.1.20
4.21	.....	4.1.21 氙的碲合金	4.1.21
4.22	.....	4.1.22 氙的钨合金	4.1.22
4.23	.....	4.1.23 氙的铋合金	4.1.23
4.24	.....	4.1.24 氙的钼合金	4.1.24
4.25	.....	4.1.25 氙的锡合金	4.1.25
4.26	.....	4.1.26 氙的锑合金	4.1.26
4.27	.....	4.1.27 氙的碲合金	4.1.27
4.28	.....	4.1.28 氙的钨合金	4.1.28
4.29	.....	4.1.29 氙的铋合金	4.1.29
4.30	.....	4.1.30 氙的钼合金	4.1.30
4.31	.....	4.1.31 氙的锡合金	4.1.31
4.32	.....	4.1.32 氙的锑合金	4.1.32
4.33	.....	4.1.33 氙的碲合金	4.1.33
4.34	.....	4.1.34 氙的钨合金	4.1.34
4.35	.....	4.1.35 氙的铋合金	4.1.35
4.36	.....	4.1.36 氙的钼合金	4.1.36
4.37	.....	4.1.37 氙的锡合金	4.1.37
4.38	.....	4.1.38 氙的锑合金	4.1.38
4.39	.....	4.1.39 氙的碲合金	4.1.39
4.40	.....	4.1.40 氙的钨合金	4.1.40
4.41	.....	4.1.41 氙的铋合金	4.1.41
4.42	.....	4.1.42 氙的钼合金	4.1.42
4.43	.....	4.1.43 氙的锡合金	4.1.43
4.44	.....	4.1.44 氙的锑合金	4.1.44
4.45	.....	4.1.45 氙的碲合金	4.1.45
4.46	.....	4.1.46 氙的钨合金	4.1.46
4.47	.....	4.1.47 氙的铋合金	4.1.47
4.48	</		

目 录

上 篇

第1章 氙的基本性质	1
1.1 氙的历史回顾	1
1.2 氙同位素家族的可比较性质	4
1.2.1 氙同位素原子	4
1.2.2 氙同位素分子	7
1.3 氙的放射性	14
1.3.1 氙的半衰期	14
1.3.2 氙的衰变能量	15
1.3.3 居里描绘与中微子质量	20
1.3.4 氙 β 粒子在物质中的射程	22
1.4 氙和氙的核聚变性质	24
1.4.1 氙和氙的热核聚变反应	24
1.4.2 氙和氙的 μ^- 子催化聚变反应	29
1.4.3 固体“冷聚变”	35
1.5 氙的辐照效应	36
1.5.1 氙在氢气中的辐照效应	36
1.5.2 氙(氙)化锂的氙辐照效应	38
1.5.3 其它金属氙化物的氙辐照效应	41
1.5.4 氙对金属和陶瓷材料的辐照损伤	44
1.5.5 氙对有机化合物的辐照损伤	45
1.6 氙的渗透性质	48
1.6.1 氙在材料中的溶解度	49
1.6.2 氙在材料中的扩散	52
1.6.3 氙在材料中的渗透	57
1.7 氙和金属的相互作用	63
1.7.1 氙和金属相互作用的量子力学研究方法	63
1.7.2 计算H-M相互作用的有效介质理论	65
1.7.3 氙和金属相互作用的机理	69
1.7.4 氙的衰变产物氙-3在金属中的行为	72
1.8 氙同位素的低温性质	77
1.8.1 相图	77

1.8.2	低温下氢同位素的蒸气压	81
1.8.3	氘和氚饱和液体的性质	83
1.8.4	固态氘和氚的性质	87
1.9	氚的化学性质	91
1.9.1	氚的三种反应类型和一个基本原理概述	91
1.9.2	氚在环境中的氧化	93
1.9.3	氚的辐射催化反应	97
1.9.4	氚在氢介质中的化学反应	99
1.10	氢的同位素交换性质	102
1.10.1	氢同位素交换平衡常数的理论计算	103
1.10.2	氢同位素交换反应动力学	106
1.10.3	氢同位素与水的交换反应	109
1.10.4	氘与 CH_4 的交换反应	113
	参考文献	115
第2章	氚的生产	121
2.1	环境氚源	121
2.1.1	天然氚源	121
2.1.2	大气核试验	123
2.1.3	核动力反应堆	124
2.1.4	环境氚储量	128
2.2	氚的生产方法概述	129
2.2.1	氚的生产原理	129
2.2.2	氚生产的可能途径	133
2.2.3	氚生产的中子源	135
2.2.4	新的氚生产装置比较	137
2.3	专用反应堆生产氚	142
2.3.1	铝-锂合金靶组件制备	143
2.3.2	铝-锂造氚靶的堆内辐照	149
2.3.3	从已辐照的铝-锂靶中提取氚	150
2.4	商用轻水堆生产氚	156
2.4.1	轻水堆产氚背景	156
2.4.2	轻水堆产氚靶棒的制造	157
2.4.3	LiAlO_2 靶辐照产氚行为	164
2.4.4	辐照 LiAlO_2 靶件氚的提取	170
2.5	加速器生产氚	174
2.5.1	加速器生产氚的背景	175
2.5.2	加速器生产氚原理	177
2.5.3	加速器生产氚系统的基本构成	181
2.6	聚变反应堆生产氚	193

2.6.1	聚变反应堆生产氦的原理	194
2.6.2	聚变堆氦增殖材料的选择	195
2.6.3	中子增殖材料的选择	204
2.6.4	氦增殖包套的设计	206
2.6.5	从聚变堆氦增殖包套提取氦	213
参考文献		213
第3章 氦的提取		218
3.1	从液态金属锂包套提取氦	218
3.1.1	背景和要求	218
3.1.2	用熔盐萃取法从液态金属锂提取氦	220
3.1.3	冷阱捕集法从液锂提取氦	224
3.2	从 Pb-17Li 包套提取氦	226
3.2.1	从 Pb-17Li 包套提取氦的要求和方法	226
3.2.2	用液-气接触器从 Pb-17Li 合金回收氦	229
3.2.3	用 NaK 法从 Pb-17Li 中回收氦	237
3.3	从固体氦增殖包套提取氦	239
3.3.1	固体氦增殖材料在线氦释放	239
3.3.2	氢同位素气-固交换反应增长氦释放	242
3.3.3	催化金属对陶瓷增殖材料氦释放的影响	246
3.4	从氦气流中回收氦	248
3.4.1	中国固态氦增殖包层(CH-HCSB)氦提取系统	249
3.4.2	欧洲固态氦增殖实验包层(HCPB-TBM)氦提取系统	251
3.5	从轻水和重水提取氦	253
3.5.1	HTO 蒸馏预浓集氦	254
3.5.2	HTO 电解预浓集氦	260
3.5.3	从重水介质中提取氦	263
3.5.4	液相催化交换-电解-膜分离结合工艺	274
参考文献		275

下 篇

第4章 氦的纯化		279
4.1	氢同位素气体纯化方法概述	279
4.1.1	聚变反应堆核燃料循环	279
4.1.2	热核武器生产中的氦气处理要求	280
4.1.3	氦气气体中杂质的性质和主要的净化方法概述	281
4.2	钯合金膜氦纯化技术	282
4.2.1	氢在钯金属中的扩散	282
4.2.2	钯合金氢渗透膜	283
4.2.3	钯合金管氦扩散净化器	287

4.2.4	钼合金管的焊接工艺	292
4.2.5	钼扩散净化器在批处理氙氙净化系统中的应用	292
4.3	化学反应法氙氙纯化方法	297
4.3.1	热金属铀床	298
4.3.2	热金属床氟化水处理	300
4.3.3	催化交换(裂解)-钼(合金)膜反应器	302
4.4	低温冷凝与低温吸附分离技术	304
4.4.1	常用吸附剂的性能	304
4.4.2	吸附剂的吸附容量与吸附等温线	306
4.4.3	吸附剂的再生	311
4.4.4	低温冷凝与低温吸附	311
4.4.5	高纯氙 ⁻³ 的提取	316
4.5	氟化水的电解	319
4.5.1	氙水的液相电解	319
4.5.2	氙水的汽相电解	321
4.5.3	钼合金膜阴极电解池	323
4.6	国际热核聚变反应中的氙核燃料循环	324
4.6.1	核燃料燃烧循环	325
4.6.2	氙的包容和氙的回收	333
	参考文献	338
第5章	氢同位素的分离	342
5.1	概述	342
5.1.1	氢同位素分离的目的	342
5.1.2	氢同位素分离的指标	342
5.1.3	氢同位素分离的方法	343
5.2	热扩散分离法	345
5.2.1	气体的浓差扩散规律	346
5.2.2	气体的热扩散规律	346
5.2.3	热扩散分离柱理论	349
5.2.4	分离柱的结构设计	360
5.2.5	实际应用	362
5.3	洗提色谱分离	364
5.3.1	基本原理	364
5.3.2	研究与应用	371
5.3.3	发展方向	379
5.4	置换色谱分离	380
5.4.1	普通的置换色谱分离	380
5.4.2	热解吸置换色谱分离	388
5.4.3	快循环置换色谱分离	389

5.4.4	热循环吸附分离	392
5.5	低温蒸馏分离	395
5.5.1	蒸馏的一般原理	396
5.5.2	低温蒸馏柱结构	399
5.5.3	研究与应用	400
5.6	钯渗透膜分离概念简介	402
	参考文献	405
第6章	金属氟化物技术	407
6.1	金属氢化物的一般性质	407
6.2	氟处理常用的金属氢化物的特性	410
6.2.1	铀氢化物	410
6.2.2	锆钴合金氢化物	411
6.2.3	钛氢化物	412
6.2.4	LaNi ₅ 系列合金氢化物	413
6.2.5	钒氢化物	413
6.2.6	钯及其合金氢化物	414
6.3	金属氟化物的应用技术	416
6.3.1	氟的贮存	416
6.3.2	氟的抽空与增压	419
6.3.3	氟的净化与回收	420
6.3.4	氟的纯化	421
6.3.5	氟与同位素的分离	421
6.4	氟氟化锂的生产	421
6.4.1	氢化锂的物理性质	421
6.4.2	氢化锂的化学性质	424
6.4.3	氢化锂的制备	425
6.4.4	氢化锂的加工成型	426
6.4.5	氟-氟化锂的制备与加工成型	426
6.5	研究发展方向	427
	参考文献	427
第7章	氟的安全与辐射防护	430
7.1	氟的安全与防护的目标与任务	430
7.2	氟的内照射剂量学	431
7.2.1	辐射防护的术语与定义	431
7.2.2	电离辐射的生物学效应	436
7.2.3	氟的放射性云浸没照射剂量学模型	438
7.2.4	氟的代谢模型	439
7.2.5	摄入氟所致的待积有效剂量	442
7.2.6	摄入氟的促排与临床观察	447