



《中国工程物理研究院科技丛书》第046号

热 电 池

陆瑞生 刘效福 编著

《中国工程物理研究院科技丛书》第 040 号

热 电 池

Thermal Batteries

陆瑞生 刘效疆 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

热电池/陆瑞生,刘效疆编著. —北京:国防工业出版社,2005.8

(中国工程物理研究院科技丛书)

ISBN 7-118-03740-0

I. 热... II. ①陆... ②. 刘... III. 热电池
IV. TM915

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 001088 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 850 × 1168 1/32 印张 12 $\frac{1}{2}$ 304 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

印数:1—2500 册 定价:38.00 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

IV

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 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员 陈达植

顾问 黄 宁

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 张又栋

秘书长 张又栋

副秘书长 彭华良 蔡 镭

委 员 (按姓名笔画排序)

于景元 王小谟 甘茂治 冯允成

刘世参 杨星豪 李德毅 吴有生

何新贵 佟玉民 宋家树 张立同

张鸿元 陈火旺 侯正明 常显奇

崔尔杰 韩祖南 舒长胜

《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际科研任务。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材。

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》

第五届编审委员会名单

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	(以姓氏笔画为序)				
	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 李天惠
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 | | |
| | 胡家贛编著 | 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 材料中的氦及氚渗透
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、伍钧 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
郭柏灵等著 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

前 言

近十几年来,热电池取得了飞速发展,成为现代先进武器不可缺少的能源。这方面的许多研究成果分别发表在各种期刊、杂志、会议录和内部资料里。为了总结这些科研成果,形成比较完整的系统知识,以便供人们学习、参考和借鉴,作者一直怀有一个愿望,成就一本热电池方面的专著。作者从事热电池实践多年,深深感到熔盐电化学基础理论是热电池发展的理论基础,只有加强熔盐电化学基础理论和热电池实践之间的紧密结合,才能研制出性能更好的产品,而这种结合在过去显得不够。因此作者另一个愿望是在成书过程中有意识地加强这种结合,利用熔盐电化学基础理论来更深入理解热电池的基本原理,解释热电池研制过程中出现的各种现象,解决热电池研制过程中出现的各种技术问题,指导科研生产。在中国工程物理研究院各级领导的关怀和指导下,在同事们的帮助和鼓舞下,克服了自己能力、知识和经验不足的困难,经几年努力实现了这个愿望。这是一种尝试,希望能起到抛砖引玉的作用。

全书共分5章。第1、2、3、5章由陆瑞生编著,第4章由刘效疆编著,最后由陆瑞生统读成书。

本书由武汉大学周运鸿教授和中国工程物理研究院刘杰生研究员主审,中国工程物理研究院张富堂研究员终审,他们对本书的内容和编排等方面提出了许多宝贵的意见和建议,对此向他们表示衷心的感谢。

本书编著过程中始终得到中国工程物理研究院各级领导和丛书编辑部的关心和支持,得到同事们帮助和鼓励,对此表示十分感谢。

本书的文字打印工作由李立、杨固长和黄咏梅同志完成,李凌云同志绘制了本书的全部图样,对他们的辛勤工作表示由衷的感谢。

由于作者水平有限,本书不可避免地存在不足和错误,望广大读者批评、指正。

编著者

内 容 简 介

本书根据中国工程物理研究院近 30 年来在热电池方面的研究成果,并吸纳国内外有关资料编著而成的一本科技专著。全书共分 5 章:第 1 章熔盐电化学基础理论;第 2 章热电池概述;第 3 章钙系热电池;第 4 章锂系热电池;第 5 章其他热电池。

本书适合于大学本科高年级学生和研究生阅读,也可作为从事本专业的工程技术人员的参考书。

Based on fruits of thermal battery research of CAEP for nearly 30 years, this book integrates the domestic and overseas correlative information, and combined the author's abundant experience. The whole book has 5 chapters including: the basic theory of molten salt electrochemistry; (chapter 1), introduction of thermal battery (chapter 2), calcium - series thermal battery (chapter 3), lithium - series thermal battery (chapter 4) and other thermal batteries (chapter 5).

The book is readable for undergraduate students and graduate students. It can be a reference to professionals too.



目 录

第 1 章 熔盐电化学基础理论	1
1.1 引言	1
1.2 熔盐电解质中离子的电导	2
1.2.1 电导、电导率和当量电导	2
1.2.2 熔盐电解质中离子导电的原理	4
1.2.3 熔盐电解质中离子电导的测量	5
1.2.4 熔盐中离子电导的影响因素	10
1.3 熔盐电解质中离子的迁移	18
1.3.1 离子的迁移和迁移数	18
1.3.2 测量熔盐电解质离子迁移数的意义	21
1.3.3 熔盐电解质离子迁移数的测量	22
1.4 熔盐电解质中的电极电位	23
1.4.1 熔盐电解质中使用的参考电极	24
1.4.2 熔盐电解质中使用的参考电极的通用性及 零电极问题	27
1.4.3 熔盐电解质中的电极电位	30
1.4.4 熔盐电解质中的电化学次序	38
1.4.5 阴离子对熔盐电解质中金属电极电位的 影响	42
1.4.6 熔盐电解质中金属电极电位与原子序数的 周期关系	42
1.4.7 熔盐电解质中阴离子的电极电位	45
1.4.8 熔盐电解质中的零电荷电位	47
1.5 熔盐电解质电池	48

1.5.1	熔盐电解质浓差电池	48
1.5.2	熔盐电解质雅科比-丹尼尔电池	52
1.5.3	熔盐电解质化学电池	58
1.6	熔盐电解质的分解电压	61
1.6.1	根据热力学数据计算熔盐电解质的分解 电压	62
1.6.2	熔盐电解质分解电压的实验测定	65
1.6.3	利用熔盐电解质的分解电压来评估熔体组分 之间的相互作用	74
	参考文献	79
第2章	热电池概述	80
2.1	引言	80
2.2	热电池的定义和组成	82
2.2.1	定义	82
2.2.2	组成	82
2.3	热电池的电化学体系表达式	83
2.4	热电池的分类和命名	84
2.5	热电池的电极电位	87
2.6	热电池的电动势	88
2.7	热电池的开路电压	93
2.8	热电池的工作电压	93
2.9	热电池的极化	94
2.10	热电池的容量	98
2.11	热电池的能量	101
2.12	热电池的功率	101
2.13	热电池的激活	102
2.14	热电池的工作时间和热寿命	103
2.15	热电池的结构	103
2.16	热电池的应用	108
	参考文献	108