

Mc
Graw
Hill

Education

HANDBOOK OF BATTERIES

电池手册

【原著第三版】



[美]

戴维·林登 (David Linden)

著

托马斯 B. 雷迪 (Thomas B. Reddy)

汪继强 等译



化学工业出版社

Mc
Graw
Hill

电 池 手 册

Handbook of Batteries

(原著第三版)

Third Edition

[美] 戴维·林登 (David Linden) 著
托马斯 B. 雷迪 (Thomas B. Reddy)
汪继强 等译



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是全面介绍电池的一本专著,不仅包含了从电池原理、电池设计到电池应用和选择的相关基础理论和实用知识,而且对市场上广泛得到实际应用的各种电池体系进行了详细和深入的介绍。特别是书中非常详细地介绍了20世纪末发展起来的新型电池体系,包括称为绿色电池体系的锂离子蓄电池和金属氢化物/镍蓄电池等。同时对有应用前景的小型便携式燃料电池和各国都在致力发展的电动车动力电池也进行了介绍。此外,本书还对那些用于航天与航空、水中兵器、导弹武器的各种全密封蓄电池、贮备电池(热电池和液体激活电池)和高比能量锂原电池等进行了详细介绍。本书全面地反映了各种新型电池的最新发展水平,对电池行业进一步研究、开发与应用具有指导意义。

本书可供从事电池与相关领域研究、生产、销售和使用人员参考,也可供大专院校和中专院校相关专业师生作为教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

电池手册:第3版/[美]林登(Linden, D.),
[美]雷迪(Reddy, T. B.)著;汪继强等译.
北京:化学工业出版社,2007.1

书名原文:Handbook of Batteries
ISBN 978-7-5025-9875-4

I. 电… II. ①林…②雷…③汪… III. 电池-
手册 IV. TM911-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第001527号

Handbook of Batteries, Third Edition/by David Linden, Thomas B. Reddy
ISBN 0-07-135978-8

Copyright © 2002 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No Part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by Chemical Industry Press and McGraw-Hill Education (Asia) Co.

本书中文简体字翻译版由化学工业出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2003-7530

责任编辑:朱 彤
责任校对:陶燕华

文字编辑:王 琪
装帧设计:潘 峰

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张62½ 字数1549千字 2007年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:149.00元

版权所有 违者必究

译者前言

《电池手册》(Handbook of Batteries)是美国一批知名电池专家撰写的电池专著,先后已出版了第一版、第二版和目前最新的第三版。从第一版到第三版的修订,不仅新增和补充了大量电池技术发展的最新成果,而且为适应电子、通信、家用电器和电动车辆等新的应用与市场日益增长的需求,列举了各种类型新电池产品,描述了它们的相关性能与应用。

经过修订的第三版《电池手册》分6个部分,共43章。

第三版《电池手册》不仅内容十分丰富,而且具有新颖性和实用性的双重特点。相信本书可以成为我国从事电池研究、生产和使用的各类科技与专业人员的一本极有价值的参考书,同时也可以作为中等专业学校和高等院校相关电化学与电池专业的学生全面了解电池及其应用与发展的有益参考书。

中国电子科技集团公司第十八研究所作为全国最大的电池专业研究所承担了本书的翻译,组织相关电池领域的专业技术人员进行了全书的翻译。参加该书翻译与审校的专家与科技人员有:汪继强、毕道治、胡树清、刘浩杰、龚金保、种晋、吴彩霞、葛志元、张健、张军、邱瑞珍、任丽彬、汪燕和赵晶等。同时第十八研究所的许多部门在相关工作中提供了许多支持和帮助。

在此我们谨向参与本书翻译和相关工作的专家和科技人员表示衷心感谢;向支持本项工作的中国电子科技集团公司第十八研究所的领导和同事们表示衷心感谢。

由于译者水平与时间所限,此书难免有不当之处,欢迎读者批评指正。

汪继强
2007年1月

前 言

自从《电池手册》第二版在 1995 年出版以来，电池工业又有了惊人的增长。这种增长一方面是由于电池作为电源的小型电子器件或装置极大的增长，另一方面则是对低废气排放和零废气排放车辆以及其他应急应用的迫切需求，使人们重新焕发了对可能是最能满足其要求的电池的兴趣。当今世界电池的年销售额已经突破约 500 亿美元，比十年前多出了一倍以上。

这种增长以及对电池满足严格性能要求的需求已经构成对电池工业的挑战。然而面对这一严峻挑战，电池技术在满足某些性能要求上存在的理论与实践上的限制可能成为一个障碍；同时电池本身的使用寿命也被认为是不能满足应用预期要求的一个限制因素。尽管如此，在传统电池体系性能的提高和新型电池体系的发展两个方面都已取得了显著进展，而这些进展正好成为本手册第三版进行修改和有关章节更新所采用的内容。

近期对碱性锌/二氧化锰原电池的发展重点是集中于提高其高电流放电性能，达到满足新型数码相机和其他小型电子器件或装置的需求。新一代高放电率（高或超高）电池首先在 2000 年上市，并且已经占到市场份额的大约 25%。

锂电池继续稳定地增长，并在照相机市场和其他需求高功率和长期工作性能的用途中占有主导地位，其年销售额也已经突破 10 亿美元。

小型蓄电池领域中的电池技术发展最为活跃，其目标就是满足日新月异的小型电子市场快速增长的需求。小型金属氢化物/镍电池曾经成为占主导地位的电池取代镉/镍电池，但现在却又正在被更新的锂离子电池逐步取代着。基于对这一技术重要性的认识，在本手册的第三版中特别撰写了新的一章，即第 35 章“锂离子电池”。

对电动车、混合动力车以及电网储能系统的重新关注已经加快了大尺寸充电电池的发展。铅酸电池比能量低和高温电池依旧存在尚未解决的问题，甚至于使金属氢化物/镍电池成为混合动力车选择的电池体系。由此在本手册第三版中，将其作为另一个新主题撰写出新的一章，即第 30 章“动力和工业用金属氢化物/镍电池”。

基于燃料电池固有的能量转化效率高的特点和对其在电动车上应用技术的重新关注，已经极大地推进了小型千瓦级以下燃料电池动力单元和便携式燃料电池的发展，后者具有替代电池的潜力。考虑到这些新的关注点，特在本手册第三版的第 6 部分加入了有关“便携式燃料电池”的新章节。相关内容则包括在两章中，即第 42 章和第 43 章，其中分别描述了便携式燃料电池和千瓦级以下小型燃料电池。由于大型燃料电池超出了本手册第三版确定的范畴，而且有许多出版物都已涉及这一主题，有兴趣的读者可以通过本手册附录 F 中列出的参考资料进一步查阅。

在本手册第三版中也进行了一些编辑上的变更，例如，采用“specific energy”替代“gravimetric energy density”（中文译为“质量比能量”，以 $W \cdot h/kg$ 为单位）；同时用“energy density”代替“volumetric energy density”（中文译为“体积比能量”或“能量密

度”，以 $W \cdot h/L$ 为单位)；同样地，还有“specific power”（中文译为“质量比功率”，以 W/kg 为单位）和“power density”（中文译为“体积比功率”或“功率密度”，以 W/L 为单位）。

在本手册第三版中的编辑性修改中，还对一些专用词汇或术语作了更加清晰的定义，例如，cell 和 battery 之间的区别。不管是单个单体电池构成的或是由单体电池组合起来的电池组，制造商一般都将其提供作为销售的产品称为 battery。相应地，我们在这里将 cell（中文译为“电池”）定义为：“cell（电池）是由电极、隔膜、电解质、容器和端子装配构成的，能够实现化学能直接转化提供电能的基本电化学单元”。而将 battery（中文译为“电池组”）定义为：“battery（电池组）是一个完整的产品，它由一个或多个电化学电池通过适当的并联/串联组合起来，以提供所需要的工作电压和工作电流；同时根据应用需要，还可包括监视器、控制器和其他辅助组件（例如保险丝、二极管、壳体、端子和标志等）”。

在本手册第三版中所采用的 cell 一词，几乎是所有研究者用于描述电池组中的单体电池成分及其化学体系的适用词。但是涉及有关制造特征的描述，则取决于每个研究者的选择，可以使用 cell、battery 或结构等词汇。由于并不会产生误解与混乱，因此在这方面未作统一要求。一般当描述电池产品性能时，则选用 battery。由于通常的数据是基于单个电池电池组给出的，则应该认识到多电池电池组的性能可能是不同的，并且它们是与其设计有关的。在某些情况下，为了不会让读者误解相应的最终电池产品的性能，一些数据（特别是在第 35 章的锂离子电池和第 5 部分的新型电池章节中）是以单体电池（cell）为基准的。一旦将构件、热控制器、安全器件等（这些未包括在单体电池中）加入到电池组（battery）中，势必会对性能有显著的影响。

第三版《电池手册》篇幅有新增加，现在已超过 1400 页，这充分展现了电池技术范围的拓宽和电池应用领域的扩展。本手册是由热衷于该技术领域的 80 余名电池科学家和工程师精心撰写完成的，倘若没有他们的参与和出色贡献，此书的最终完成是绝对不可能的。因此，我们应该对他们的合作以及为该项工作提供了帮助的公司和相关机构表示衷心感激。

我们也应该感谢 McGraw-Hill 公司的专业团队的执行编辑 Stephen S. Chapman 先生，由于他的努力才使该项计划得以确立；感谢 McGraw-Hill 公司的工作人员和 Tom Riddy 的秘书，Lois Kisch 先生协助全书的最终完成。同时我们也要表达对我们的夫人，Rose Linden 女士和 Mary Ellen Scarborough 女士的谢意，感谢她们对此项工作的鼓励与支持以及 Mary Ellen 女士特别提供的编辑帮助。

David Linden
Thomas B. Reddy

目 录

第 1 部分 工作原理

第 1 章 基本概念	2
1.1 电池和电池组的组成	2
1.2 电池和电池组的分类	3
1.2.1 原电池（或一次电池）和原电池组	3
1.2.2 蓄电池（或二次电池）和蓄电池组	3
1.2.3 贮备电池	4
1.2.4 燃料电池	4
1.3 电池工作	5
1.3.1 放电	5
1.3.2 充电	5
1.3.3 具体实例：镉/镍电池	6
1.3.4 燃料电池	6
1.4 电池的理论电压、容量和能量	6
1.4.1 自由能	6
1.4.2 理论电压	6
1.4.3 理论容量（电量）	7
1.4.4 理论能量	8
1.5 实际电池组的质量比能量和体积比能量	11
1.6 质量比能量和体积比能量上限	12
参考文献	13
第 2 章 电化学原理和反应	14
2.1 引言	14
2.2 热力学基础	15
2.3 电极过程	17
2.4 双电层电容和离子吸附	20
2.5 电极表面的物质传输	24
2.5.1 浓差极化	25
2.5.2 多孔电极	25
2.6 电分析技术	26
2.6.1 循环伏安法	26
2.6.2 计时电位法	29
2.6.3 电化学阻抗谱法	30
2.6.4 极谱法	32

2.6.5 电极	33
参考文献	35
参考书目	37
第3章 影响电池性能的因素	39
3.1 一般性能	39
3.2 影响电池性能的因素	39
3.2.1 电压水准	39
3.2.2 放电电流	40
3.2.3 放电模式（恒电流、恒电阻、恒功率）	42
3.2.4 不同放电模式下电池性能评估实例	43
3.2.5 放电期间电池的温度	45
3.2.6 使用寿命	46
3.2.7 放电类型（连续、间歇等）	46
3.2.8 电池循环工作制度（间歇和脉冲放电）	47
3.2.9 电压稳定性	49
3.2.10 充电电压	50
3.2.11 电池和电池组设计	50
3.2.12 电池的贮存条件与贮存寿命	53
3.2.13 电池设计的影响	53
参考文献	54
第4章 电池标准	55
4.1 概述	55
4.2 国际标准	56
4.3 标准概念	57
4.4 IEC 和 ANSI 命名法	58
4.4.1 原电池	58
4.4.2 蓄电池	59
4.5 极端	60
4.6 电性能	61
4.7 标识	62
4.8 ANSI 和 IEC 标准的对照	62
4.9 IEC 标准圆形原电池	63
4.10 标准 SLI 和其他铅酸蓄电池	64
4.11 法规与安全性标准	70
参考文献	71
第5章 电池组设计	73
5.1 概述	73
5.2 消除潜在安全问题的设计	73
5.2.1 对原电池充电	74
5.2.2 防止电池组短路	75
5.2.3 反极	75

5.2.4 单体电池和电池组外部充电保护	76
5.2.5 设计锂原电池组需要考虑的特殊事项	76
5.3 分立电池组的安全措施	77
5.3.1 防止电池组插入错误的设计	77
5.3.2 电池尺寸	78
5.4 电池组构造	79
5.4.1 单体电池间的连接	79
5.4.2 电池封装	80
5.4.3 壳体设计	81
5.4.4 极柱和接触材料	81
5.5 可充电电池组设计	82
5.5.1 充电控制	82
5.5.2 放电/充电控制事例	83
5.5.3 锂离子电池	84
5.6 电能管理和显示——智能电池	84
5.6.1 智能电池系统	85
5.7 指导方针	87
参考文献	88
第6章 电池选择与应用	89
6.1 一般特性	89
6.2 选择电池的要点	89
6.3 电池应用	90
6.3.1 电池应用概述	90
6.3.2 便携式应用、工业应用和电动车应用	92
6.4 便携式应用	93
6.4.1 概述	93
6.4.2 便携式设备用电池的特性	94
6.4.3 成本效率	96
6.4.4 其他性能比较	99
6.4.5 选择便携式设备用电池标准	102
参考文献	103

第2部分 原电池

第7章 原电池概述	106
7.1 原电池的通性和应用	106
7.2 原电池的种类和特性	107
7.2.1 原电池的特性	107
7.3 原电池系列的工作特性比较	110
7.3.1 概述	110
7.3.2 电压和放电曲线	113
7.3.3 比能量和比功率	113

7.3.4	有代表性的原电池的性能比较	114
7.3.5	放电负载及循环工作制度的影响	116
7.3.6	温度的影响	117
7.3.7	原电池的贮存寿命	118
7.3.8	成本	118
7.4	原电池的再充电	119
第8章	锌/二氧化锰干电池（氯化铵和氯化锌体系）	120
8.1	一般性能	120
8.2	化学原理	122
8.3	电池和电池组类型	123
8.3.1	氯化铵型锌/二氧化锰电池	123
8.3.2	氯化锌型电池	123
8.4	结构	124
8.4.1	圆柱形电池结构	124
8.4.2	反极式圆柱形电池	126
8.4.3	叠层电池和电池组	126
8.4.4	特殊设计	126
8.5	电池组成	127
8.5.1	锌	127
8.5.2	碳包	127
8.5.3	二氧化锰	128
8.5.4	炭黑	128
8.5.5	电解质	128
8.5.6	缓蚀剂	128
8.5.7	碳棒	129
8.5.8	隔膜	129
8.5.9	密封	130
8.5.10	外套	130
8.5.11	端子（或极柱）	130
8.6	性能	130
8.6.1	电压	130
8.6.2	放电特性	132
8.6.3	间歇放电的影响	132
8.6.4	放电曲线比较——高负载下尺寸对氯化锌型电池的影响	134
8.6.5	不同等级电池的放电曲线比较	135
8.6.6	内阻	138
8.6.7	温度的影响	140
8.6.8	使用寿命	142
8.6.9	贮存寿命	142
8.7	特殊设计	143
8.7.1	扁平锌/二氧化锰 P-80 电池	143

8.8 单体及组合电池的型号及尺寸	145
参考文献	148
第9章 镁电池和铝电池	149
9.1 一般性能	149
9.2 化学原理	149
9.2.1 铝	151
9.3 镁/二氧化锰电池结构	151
9.3.1 标准结构	151
9.3.2 内-外“碳包”式结构	151
9.4 镁/二氧化锰电池的工作特性	152
9.4.1 放电性能	152
9.4.2 贮存寿命	154
9.4.3 内-外“碳包”式电池	154
9.4.4 电池设计	155
9.5 镁/二氧化锰电池的尺寸和类型	155
9.6 其他类型镁一次电池	156
9.7 铝一次电池	156
参考文献	157
第10章 碱性锌/二氧化锰电池	158
10.1 一般性能	158
10.2 化学原理	160
10.3 电池组成和材料	161
10.3.1 正极的组成	161
10.3.2 负极的组成	163
10.3.3 负极集流体	164
10.3.4 隔膜	164
10.3.5 壳体、密封和成品	164
10.4 结构	165
10.4.1 圆柱形结构	165
10.4.2 扣式电池结构	166
10.5 工作特性	167
10.5.1 一般特性与普通锌/二氧化锰电池的比较	167
10.5.2 放电性能	167
10.5.3 间歇放电	169
10.5.4 内阻	169
10.5.5 放电类型	170
10.5.6 工作温度对放电性能的影响	171
10.5.7 不同温度下贮存对放电性能的影响	172
10.6 电池的型号和尺寸	174
10.7 高级碱性锌/二氧化锰高放电率电池	175
参考文献	178

第 11 章 氧化汞电池	179
11.1 一般特性	179
11.2 化学原理	180
11.3 电池组成	180
11.3.1 电解质	180
11.3.2 锌负极	181
11.3.3 镉负极	181
11.3.4 氧化汞正极	181
11.3.5 结构材料	181
11.4 结构	182
11.4.1 扣式电池结构	182
11.4.2 平板式电池结构	182
11.4.3 圆柱形电池结构	182
11.4.4 卷绕式负极电池结构	183
11.4.5 小电流放电电池结构	183
11.5 锌/氧化汞电池的工作特性	183
11.5.1 电压	183
11.5.2 放电性能	183
11.5.3 温度的影响	184
11.5.4 内阻	185
11.5.5 贮存	185
11.5.6 使用寿命	185
11.6 镉/氧化汞电池的工作特性	186
11.6.1 放电	186
11.6.2 贮存	187
参考文献	187
第 12 章 氧化银电池	188
12.1 一般性能	188
12.2 化学原理与组成	189
12.2.1 锌负极	189
12.2.2 氧化银正极	189
12.2.3 电解质	193
12.2.4 隔离层和隔膜	193
12.3 电池结构	194
12.4 工作特性	195
12.4.1 开路电压	195
12.4.2 放电特性	195
12.4.3 贮存寿命	196
12.4.4 使用寿命	198
12.5 电池尺寸和型号	198
参考文献	199

第 13 章 锌/空气电池——扣式结构	201
13.1 一般性能	201
13.2 化学原理	202
13.3 结构	203
13.4 工作特性	205
13.4.1 电池尺寸	205
13.4.2 电压	206
13.4.3 比能量	206
13.4.4 放电特性	206
13.4.5 电压-电流特性	207
13.4.6 电池内阻	208
13.4.7 脉冲负载性能	208
13.4.8 温度的影响	209
13.4.9 贮存寿命	210
13.4.10 影响使用寿命的因素	211
参考文献	214
第 14 章 锂电池	215
14.1 一般性能	215
14.1.1 锂电池的优点	215
14.1.2 锂原电池的分类	216
14.2 化学原理	217
14.2.1 锂	217
14.2.2 正极活性物质	218
14.2.3 电解质	220
14.2.4 电池电极对和反应机理	221
14.3 锂原电池的特性	221
14.3.1 设计和工作特性概述	221
14.3.2 可溶性正极的锂原电池	221
14.3.3 固体正极锂原电池	224
14.4 锂电池的安全和操作	227
14.4.1 影响到安全和操作的因素	227
14.4.2 需要考虑的安全事项	227
14.5 锂/二氧化硫电池 (Li/SO ₂)	228
14.5.1 化学原理	228
14.5.2 结构	230
14.5.3 性能	230
14.5.4 电池型号和尺寸	233
14.5.5 锂/二氧化硫 (Li/SO ₂) 电池和电池组的使用及操作或安全事项	234
14.5.6 应用	235
14.6 锂/亚硫酸氯 (Li/SOCl ₂) 电池	236
14.6.1 化学原理	236

14.6.2	碳包式圆柱形电池	236
14.6.3	螺旋卷绕式圆柱形电池	240
14.6.4	扁形或盘形锂/亚硫酰氯 (Li/SOCl ₂) 电池	242
14.6.5	大型方形锂/亚硫酰氯 (Li/SOCl ₂) 电池	244
14.6.6	应用	245
14.7	锂/氯氧化物电池	247
14.7.1	锂/硫酰氯 (Li/SO ₂ Cl ₂) 电池	248
14.7.2	卤素添加剂锂/氯氧化物电池	248
14.8	锂/二氧化锰 (Li/MnO ₂) 电池	251
14.8.1	化学原理	251
14.8.2	结构	251
14.8.3	性能	253
14.8.4	单体电池和电池组的尺寸	261
14.8.5	应用和操作	261
14.9	锂/一氟化碳 [Li/(CF) _n] 电池	263
14.9.1	化学原理	263
14.9.2	结构	263
14.9.3	性能	264
14.9.4	单体和组合电池型号	269
14.9.5	应用和操作	269
14.10	锂/二硫化铁 (Li/FeS ₂) 电池	270
14.10.1	化学原理	270
14.10.2	结构	271
14.10.3	性能	271
14.10.4	电池型号与应用	274
14.11	锂/氧化铜 (Li/CuO) 和锂/磷酸氧铜 [Li/Cu ₄ O(PO ₄) ₂] 电池	275
14.11.1	化学原理	275
14.11.2	结构	275
14.11.3	性能	276
14.11.4	电池型号与应用	277
14.12	锂/钕氧化银电池	279
14.12.1	化学原理	279
14.12.2	结构	280
14.12.3	性能	280
14.12.4	电池和电池型号	281
14.12.5	应用	281
	参考文献	282
第 15 章	固体电解质电池	285
15.1	一般性能	285
15.2	Li/LiI(Al ₂ O ₃)/金属盐电池	287
15.2.1	一般性能	287

15.2.2	电池的化学原理	287
15.2.3	电池结构	288
15.2.4	工作特性	288
15.2.5	贮存	290
15.2.6	操作	290
15.3	锂/碘 (Li/I_2) 电池	290
15.3.1	一般性能	290
15.3.2	电池结构	291
15.3.3	商品化电池	293
15.3.4	放电特性	294
15.3.5	自放电	296
15.3.6	其他的性能损失	297
15.3.7	温度影响	298
15.4	$\text{Ag}/\text{RbAg}_4\text{I}_5/\text{Me}_4\text{NI}_n \cdot \text{C}$ 电池	298
	参考文献	300

第3部分 贮备电池

第16章	贮备电池概述	304
16.1	贮备电池分类	304
16.2	贮备电池的特性	305
第17章	水激活镁电池	311
17.1	总则	311
17.2	化学原理	312
17.3	水激活电池类型	313
17.4	结构	315
17.4.1	部件	315
17.4.2	漏电流	317
17.4.3	电解质	318
17.5	工作特性	318
17.5.1	一般特性	318
17.5.2	浸没型电池	323
17.5.3	控流型电池	325
17.5.4	浸润型电池	325
17.6	电池用途	327
17.6.1	用于空军和海军救生衣照明的水激活电池	327
17.6.2	镁/氯化银电池	328
17.7	电池型号和尺寸	329
	参考文献	329
第18章	锌/氧化银贮备电池	331
18.1	概述	331
18.2	化学原理	331

18.3 结构	331
18.3.1 电池组成	332
18.3.2 高放电率和低放电率电池设计	332
18.3.3 自动激活电池	333
18.4 工作特性	335
18.4.1 电压	335
18.4.2 放电曲线	336
18.4.3 温度的影响	336
18.4.4 阻抗	337
18.4.5 工作	337
18.4.6 贮存寿命	337
18.5 单体和电池组型号和尺寸	338
18.6 特殊性能及维护	339
18.7 成本	339
参考文献	340
第 19 章 旋转贮备电池	341
19.1 概述	341
19.2 化学原理	342
19.3 设计依据	342
19.3.1 电极对装配	342
19.3.2 电解质用量的优化	343
19.3.3 电池密封	343
19.3.4 安瓿瓶	343
19.3.5 锂离子电池的安全性	344
19.4 工作特性	344
19.4.1 概况	344
19.4.2 特定电化学体系的性能	345
参考书目	347
第 20 章 常温锂负极贮备电池	348
20.1 概述	348
20.2 化学原理	348
20.2.1 锂/五氧化二钒电池	348
20.2.2 锂/亚硫酸酐电池	349
20.2.3 锂/二氧化硫电池	349
20.2.4 锂/预充电的 Li_xCoO_2 ($0.5 \leq x < 1$) 电池	350
20.3 结构	350
20.3.1 常规设计	350
20.3.2 金属锂贮备电池的类型	350
20.4 工作特性	357
20.4.1 安瓿瓶电池	357
20.4.2 电池组设计	359

参考文献	361
第 21 章 热电池	362
21.1 概述	362
21.2 热电池电化学体系	363
21.2.1 负极材料	363
21.2.2 电解质	364
21.2.3 正极材料	365
21.2.4 焰火加热材料	365
21.2.5 激活方法	366
21.2.6 绝缘、隔热材料	366
21.3 单体电池化学原理	367
21.3.1 锂/二硫化铁 (Li/FeS ₂) 体系	367
21.3.2 锂/二硫化钴 (Li/CoS ₂) 体系	369
21.3.3 钙/铬酸钙 (Ca/CaCrO ₄) 体系	369
21.4 单体电池结构	370
21.4.1 杯式单体电池	370
21.4.2 开放式单体电池	371
21.4.3 片式单体电池	371
21.5 电堆结构设计	373
21.6 热电池性能特征	374
21.6.1 电压变化范围	374
21.6.2 激活时间	375
21.6.3 激活寿命	375
21.6.4 涉及热电池应用应注意的问题	376
21.7 热电池检测和监督	376
21.8 热电池的新发展	377
参考文献	377
参考书目	378

第 4 部分 蓄电池

第 22 章 蓄电池简介	380
22.1 蓄电池的应用与特点	380
22.2 蓄电池的种类和特点	383
22.2.1 铅酸电池	383
22.2.2 碱性蓄电池	384
22.3 各种蓄电池体系的性能比较	385
22.3.1 概述	385
22.3.2 电压和放电曲线	389
22.3.3 放电率对电性能的影响	390
22.3.4 温度的影响	391
22.3.5 荷电保持	391