

储能技术 及应用

CHUNENG JISHU JI YINGYONG

中国化工学会储能工程专业委员会 组织编写
丁玉龙 来小康 陈海生 主 编



化学工业出版社

储能技术 及应用

CHUNENG JISHU JI YINGYONG

中国化工学会储能工程专业委员会 组织编写
丁玉龙 来小康 陈海生 主 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书重点介绍了各种储能技术的最新进展、应用范围、产业现状、技术经济性等，同时对储能技术在电网、交通、新能源等领域的应用进行了详尽分析。本书内容翔实丰富，涵盖了储能科学技术的主要方面，兼顾关键科学理论与实际工程应用，深入浅出地介绍了各种储能技术的工作原理和特性，力争反映我国储能领域的最新进展。

本书适合储能上下游企业和科研单位的研发与工程技术人员参考，也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

储能技术及应用/中国化工学会储能工程专业委员会组织编写；丁玉龙，来小康，陈海生主编. —北京：化学工业出版社，2018.4

ISBN 978-7-122-12496-8

I. ①储… II. ①中… ②丁… ③来… ④陈…
III. ①储能-技术-研究 IV. ①TK02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 036959 号

责任编辑：郝向丽 张 艳
责任校对：王素芹

装帧设计：王晓宇

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 装：中煤（北京）印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 44 $\frac{3}{4}$ 字数 1342 千字 2018 年 7 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：268.00 元
京化广临字 2018—12

版权所有 违者必究

《储能技术及应用》编委会

主任：丁玉龙 来小康

委员（按姓名汉语拼音排序）：

陈海生	戴兴建	丁玉龙	来小康	李 泓	李永亮
刘传平	阮殿波	佟玉琦	童莉葛	王保国	王子冬
温兆银	吴玉庭	张华民	张建成	张子峰	赵长颖

本书编写人员名单

主 编： 丁玉龙 来小康 陈海生

副 主 编： 李 泓 王子冬

参编人员（按姓名汉语拼音排序）：

陈 芬	陈海生	陈雪丹	丛 琳	戴兴建	丁玉龙
高 健	桂 勋	贺凤娟	胡英瑛	黄 益	黄 云
黄珍梅	金 翼	匡德志	来小康	赖勤志	李 泓
李林艳	李 楠	李先峰	李永亮	刘 涛	刘传平
刘新昊	刘永旭	鹿院卫	聂彬剑	欧腾蛟	潘智豪
彭笑东	乔志军	樵 耕	秦 伟	阮殿波	芮 琨
折晓会	宋 洁	宋鹏翔	孙佳伟	田崔钧	田立亭
佟 蕾	佟玉琦	童莉葛	王保国	王德宇	王 乐
王 倩	王松岑	王一乔	王子冬	温兆银	吴家貌
吴相伟	吴玉庭	谢春萍	刑 枫	徐玉杰	徐治国
闫 君	杨 斌	杨先锋	衣 进	于学文	杨岑玉
袁 峻	张洪章	张华民	张建成	张三佩	张盛强
张新敬	张跃强	张子峰	赵 波	赵长颖	赵 耀
郑 超	钟发平				

前言

FOREWORD

储能技术是第三次工业革命的关键技术之一，紧紧牵动着新能源的发展。储能具有消除昼夜峰谷差，实现平滑输出、调峰调频和备用容量的作用，满足了新能源发电平稳、安全接入电网的要求，可有效减少弃风、弃光现象。

我国储能技术仍处于产业化的初始阶段，尚未大规模投入应用的原因在于：一是各种储能技术繁多，储能技术路线竞相亮相，造成用户不知如何使用和选择；二是相关技术及真实性能成熟度有待提高；三是价格偏高。我国储能市场还未建立起相关产业链和成熟的商业模式。从国家政策层面而言，在储能方面的政策支持及投入仍显不足。

经济性方面，目前的成本居高不下是影响储能技术大规模发展的一个主要因素。当前大多数储能工程都是示范工程，推广难，其关键材料、制造工艺和能量转化效率也是各种技术面临的共同挑战。应用性方面，大多数储能技术在能源，特别是电力系统的应用时间短，尤其目前尚未在电网系统大规模应用。据了解，电力行业对产品可靠性要求高，传统上至少需要5年以上的实地可靠性测试和试用才能通过电力用户的最低标准，导致产品规模生产前定型周期长。目前，发展智能电网急需解决储能这一关键难题。政策性方面，专家表示，由于储能的经济价值难以估算，由政府主导的话，实施企业难免出现积极性不高等问题。因此，如何选择适用的储能技术，如何在能源，特别是电力系统中进行规模应用，如何建立行业机制，都应是考虑的核心问题。储能科学技术面临巨大挑战，抓住机遇，突破瓶颈，储能技术便能助推新能源领域突破瓶颈。

“储能技术”在1992年颁布实施的中华人民共和国学科分类与代码国家标准（GB/T 13745—1992）中被首次列为“能源科学技术”二级学科。最近的十多年来，多种储能技术，包括中高温储热技术、深冷储能、锂离子电池、压缩空气储能、飞轮储能、超级电容、钠硫电池、全钒液流电池、镍氢电池等，在全球范围内得到了长足发展，这些储能技术在使用寿命、功率和容量的规模化、运行可靠性、系统制造成本等方面已经获得了突破，有些已经具备了进入新能源、电动汽车、热力系统及电力行业应用的基础条件。在储能领域，各国都处于产业应用的初级阶段，我国与国际先进水平在一些方面差别不大，加大储能技术的研发力度有助于我国在未来的国际竞争中占据有利地位。

基于此，中国化工学会储能工程专业委员会牵头组织我国储能领域的专家和学者撰写了本书，重点介绍了各种储能技术的最新进展、应用范围、产业现状、技术经济性等，同时对储能技术在电网、交通、新能源等领域的应用进行了详尽分析。本书共21章，其中第1章为绪论。第2至第14章介绍几种主要储能技术的概念、发展历史、应用和研究现状、未来发展趋势，包括锂离子电池技术（第2章）、液流电池技术（第3章）、全钒液流电池技术（第4章）、钠电池技术（第5章）、抽水蓄能技术（第6章）、压缩空气储能技术（第7章）、低品位热和冷存储技术（第8章）、中高温储热技术（第9章）、液态空气储能技术（第10章）、镍氢电池技术（第11章）、飞轮储能技术（第12章）、电容和超级电容器储能技术（第13章）、化学热泵系统及其在储能技术中的应用（第14章）。第15至第20章概述储能技术的集成应用，包括储能技术在电力系统中的应用（第15章）、储能技术在核电系统中的应用（第16章）、储能技术在风力和光伏发电系统中的应用（第17章）、储能技术在太阳能热发电系统中的应用（第18章）、储能技术在工业余热回收中的应用（第19章）、储能技术在交通运输系统中的应用（第20章）。第21章为储能应用的经济性分析。

本书内容翔实丰富，涵盖了储能科学技术的主要方面，兼顾关键科学理论与实际工程应用，深入浅出地介绍了各种储能技术的工作原理和特性，力争反映我国储能领域的最新进展。本书适

合储能上下游企业和科研单位的研发与工程技术人员参考，也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

针对本书有几点说明：(1) 本书中的每章自成一体，因而不同章节中会有少部分内容重复，这主要是为了保证选择性阅读的读者在阅读过程中的内容连贯，由于大部分储能技术仍处于发展之中，不同作者的理解不尽相同，数据有不一致的地方，书中没有对这些数据进行统一；(2) 基于本行业的国际化发展趋势和表达的需要，部分图表为英文，不再进行翻译；(3) 因图书为黑白印刷，而部分内容用彩图来诠释更好，为方便读者理解，一方面，在正文中保留相应黑白图；另一方面，读者可扫描封底二维码，直接查阅相应彩图。

本书参编者皆为储能领域一线专家、学者，详见扉页编写人员名单。感谢参与编写的全体同志！由于编者理论水平和实际经验有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论

001

1.1 储能技术的重要性与主要功能	001
1.2 储能技术的多样性	001
1.3 储能技术的分类与发展程度	002
1.4 储能技术应用现状和市场预测	004
1.5 储能技术的研究情况	004
参考文献	005

第 2 章 锂离子电池技术

006

2.1 锂离子电池发展历史概述和基本原理	006
2.2 锂离子电池的功率和能量应用范围	008
2.3 锂离子电池关键材料发展现状	010
2.3.1 正极材料	010
2.3.2 负极材料	013
2.3.3 电解质材料	015
2.3.4 非活性材料	018
2.4 能量型锂离子电池的技术发展和应用现状	019
2.5 动力型锂离子电池技术发展现状	020
2.6 储能型锂离子电池的发展现状	022
2.7 锂离子电池的技术指标及未来发展线路图	024
2.8 展望	027
参考文献	027

第 3 章 液流电池技术

033

3.1 液流电池的基本原理和发展历史概述	033
3.1.1 液流电池的基本原理	033
3.1.2 液流电池的发展历史	034
3.2 几种典型的液流电池体系	035
3.2.1 双液流电池体系	036
3.2.2 单沉积型液流电池	039
3.2.3 双沉积型液流电池	039
3.2.4 金属/空气液流电池	041
3.2.5 半固态双液流电池	042
3.3 液流电池的效率与影响因素分析	043
3.3.1 液流电池效率的定义	043
3.3.2 液流电池极化曲线分析	043
3.3.3 电流密度对全钒液流电池性能的影响	045

3.3.4 旁路电流对全钒液流电池性能的影响	046
3.4 液流电池的关键材料	048
3.4.1 液流电池的电极材料	048
3.4.2 液流电池的双极板材料	051
3.4.3 液流电池的膜材料	056
3.5 液流电池经济和技术指标及未来发展展望	063
3.5.1 液流电池装备的经济性概述	063
3.5.2 大规模蓄电储能技术经济性评估方法	064
3.6 本章小结	064
参考文献	066

第4章 全钒液流电池技术

070

4.1 全钒液流电池概述	070
4.2 全钒液流电池关键材料	072
4.2.1 电极材料	072
4.2.2 双极板	078
4.2.3 电解质溶液	081
4.2.4 膜材料	088
4.3 全钒液流电池电堆、系统管理与控制系统	098
4.3.1 电堆结构与设计	098
4.3.2 全钒液流电池系统	105
4.3.3 电池系统控制与管理	107
4.4 全钒液流电池应用及前景分析	108
4.4.1 大规模可再生能源发电并网	108
4.4.2 电网削峰填谷	112
4.4.3 智能微网	115
4.4.4 离网供电系统	117
4.5 前景与挑战	119
参考文献	119

第5章 钠电池技术

124

5.1 引言	124
5.2 钠硫电池	125
5.2.1 钠硫电池的原理与特点	125
5.2.2 管型钠硫电池	126
5.2.3 钠硫电池的应用	134
5.2.4 新型钠硫电池的发展	136
5.3 ZEBRA 电池	137
5.3.1 ZEBRA 电池的结构与原理	137
5.3.2 ZEBRA 电池的特性	138
5.3.3 管型设计的 ZEBRA 电池	139
5.3.4 平板式设计的 ZEBRA 电池	143
5.3.5 ZEBRA 电池的应用	143
5.4 钠-空气电池	145
5.5 钠离子电池	148
5.5.1 负极材料	149

5.5.2 正极材料	154
5.5.3 电解质	159
5.5.4 水系钠离子电池	160
5.5.5 钠离子电池的价格因素	162
5.6 本章小结	162
参考文献	163

第6章 抽水蓄能技术

169

6.1 抽水蓄能技术的基本原理和发展历史概述	169
6.1.1 抽水蓄能技术的基本原理	169
6.1.2 抽水蓄能的功率和容量	170
6.1.3 抽水蓄能电站的种类	171
6.1.4 抽水蓄能技术的发展历史概述	171
6.2 抽水蓄能技术的功能和能量应用范围	173
6.2.1 抽水蓄能技术的运行特性	173
6.2.2 抽水蓄能技术的功能	174
6.2.3 抽水蓄能技术的应用场合	175
6.2.4 抽水蓄能技术在核电中的应用	175
6.2.5 抽水蓄能技术在风电中的应用	176
6.2.6 抽水蓄能技术在水电中的应用	176
6.3 抽水蓄能技术的应用现状	177
6.3.1 抽水蓄能技术在日本的发展和应用	177
6.3.2 抽水蓄能技术在美国的发展和应用	178
6.3.3 抽水蓄能技术在欧洲的发展和应用	179
6.3.4 抽水蓄能技术在中国的发展和应用	180
6.4 抽水蓄能的发展方向及新技术	181
6.4.1 常规抽水蓄能技术发展动向	181
6.4.2 地下抽水蓄能电站的发展	182
6.4.3 海水抽水蓄能电站的发展	182
6.4.4 可调速抽水蓄能发电机组的发展	183
6.4.5 抽水蓄能电站未来发展路线	185
6.5 抽水蓄能技术的经济性	186
6.5.1 抽水蓄能电站主要技术经济指标	186
6.5.2 抽水蓄能电站环保效益	194
6.5.3 各国抽水蓄能电站的投资、运营、管理模式	196
6.6 本章小结	199
参考文献	200

第7章 压缩空气储能技术

203

7.1 概述	203
7.2 技术原理与特点	204
7.2.1 技术原理	204
7.2.2 技术特点	205
7.2.3 应用领域	207
7.3 发展现状	207
7.3.1 应用现状	207

7.3.2	研发现状	208
7.3.3	技术分类	211
7.4	关键技术	218
7.4.1	压缩机	218
7.4.2	膨胀机	219
7.4.3	储气设备	220
7.4.4	燃烧室	220
7.4.5	储热装置	221
7.5	发展趋势	222
7.5.1	新型蓄热式压缩空气储能系统	223
7.5.2	超临界空气储能系统	223
7.6	本章小结	224
	致谢	224
	参考文献	225

第8章 低品位热和冷存储技术

228

8.1	低品位热和冷存储技术发展概述	228
8.1.1	低品位热能现状	228
8.1.2	低品位热和冷存储技术现状	228
8.2	低品位热和冷存储材料	229
8.2.1	热能存储方式	229
8.2.2	储热材料分类及性能要求	230
8.2.3	典型储热(冷)材料	238
8.3	相变材料复合技术	241
8.3.1	相变材料封装与成型	241
8.3.2	相变材料导热强化	243
8.3.3	复合材料热导率计算方法	245
8.3.4	复合材料热导率计算模型	246
8.3.5	复合材料储热	249
8.4	储热(冷)技术中的传热问题	250
8.4.1	相变材料的熔化与凝固	250
8.4.2	储热系统散热削弱	255
8.4.3	储热系统传热强化	256
8.5	低品位热和冷存储技术应用	256
8.5.1	太阳能利用	256
8.5.2	建筑节能	257
8.5.3	纺织工业	258
8.6	低品位热和冷存储技术发展趋势	258
	参考文献	259

第9章 中高温储热技术

263

9.1	中高温储热技术的基本原理和发展历史概述	263
9.1.1	基本原理	263
9.1.2	发展历史概述	264
9.2	中高温储热技术的功率和能量应用范围	269

9.2.1 显热储热	269
9.2.2 相变储热	270
9.2.3 热化学储热	272
9.2.4 吸附储热	272
9.3 中高温储热材料	273
9.3.1 显热储热材料	273
9.3.2 相变储热材料	273
9.3.3 热化学储热材料	277
9.3.4 吸附蓄热材料	280
9.4 中高温储热系统的应用现状	281
9.4.1 显热和相变储热系统	281
9.4.2 热化学储热系统	284
9.4.3 吸附储热系统	285
9.5 中高温储热的相关新技术发展	287
9.5.1 显热储热相关新技术	287
9.5.2 相变储热相关新技术	288
9.5.3 热化学储热	290
9.5.4 复合储热材料	290
9.5.5 新型储热系统与方法	292
9.6 中高温储热的技术和经济指标及未来发展线路图	294
9.6.1 蓄热材料技术指标	294
9.6.2 技术的成熟度	297
9.6.3 蓄热系统的热效率和焓效率分析	298
9.6.4 经济分析	301
9.6.5 蓄热技术未来发展	302
9.7 本章小结	303
参考文献	303

第 10 章 液态空气储能技术

312

10.1 液态空气储能技术的原理	312
10.2 液态空气储能的特点	313
10.3 液态空气储能技术的发展历史	315
10.4 液态空气储能技术与其他储能技术的比较	316
10.4.1 技术性能比较	316
10.4.2 经济性比较	316
10.5 液态空气储能技术的余能利用	317
10.6 液态空气储能技术在电力系统中的应用分析	318
10.7 液态空气储能在交通运输中的应用	319
10.8 液态空气储能技术的集成应用	321
10.8.1 液态空气储能与燃气轮机发电系统的集成	321
10.8.2 液态空气储能与聚光太阳能热发电系统的集成	321
10.8.3 液态空气储能技术与核电站的集成	323
10.8.4 液态空气储能技术与液化天然气再气化过程的集成	323
10.9 本章小结	323
参考文献	323

11.1 镍氢电池概述	325
11.1.1 基本原理	325
11.1.2 镍氢电池分类	327
11.1.3 镍氢电池发展历史	328
11.2 镍氢电池的功率和能量应用范围	329
11.2.1 民品电池	329
11.2.2 动力电池	329
11.2.3 智能电网	331
11.3 镍氢电池应用现状和产业链及环境问题	332
11.3.1 市场	332
11.3.2 镍氢电池回收	333
11.3.3 回收技术分析	334
11.4 镍氢电池相关新技术的发展	335
11.4.1 正极材料	335
11.4.2 负极材料	336
11.4.3 动力电池	338
11.4.4 电池管理系统	340
11.5 镍氢电池的技术和经济指标及未来发展线路图	341
11.5.1 HEV 混合动力车	341
11.5.2 燃料电池车	342
11.6 本章小结	343
参考文献	344

12.1 储能原理和发展历程	347
12.1.1 飞轮储能原理	347
12.1.2 飞轮储能系统结构	348
12.1.3 发展历程	349
12.2 关键技术概论	350
12.2.1 转子材料与结构	350
12.2.2 微损耗轴承技术	354
12.2.3 电机技术	357
12.2.4 飞轮储能电力电子技术	358
12.2.5 真空及系统集成技术	360
12.3 产业应用概况	361
12.3.1 研究开发机构概述	361
12.3.2 生产企业	361
12.4 技术经济分析与发展趋势	361
12.4.1 技术指标	361
12.4.2 经济性估计	364
12.5 本章小结	365
参考文献	365

13.1 电容和超级电容器储能技术的基本原理和发展历史	368
13.1.1 概述	368
13.1.2 超级电容器简介	368
13.1.3 超级电容器的储能原理	369
13.1.4 超级电容器历史回顾	375
13.2 多孔碳材料	377
13.2.1 电化学性能影响因素	377
13.2.2 活性炭	379
13.2.3 碳气凝胶	381
13.2.4 碳纳米管	384
13.2.5 石墨烯	387
13.3 赝电容材料	388
13.3.1 金属氧化物	388
13.3.2 导电聚合物	395
13.3.3 杂原子掺杂化合物	401
13.4 超级电容器电解液	405
13.4.1 有机体系电解液	406
13.4.2 水系电解液	407
13.4.3 离子液体	408
13.4.4 固态电解质	409
13.5 其他关键原材料	410
13.5.1 导电剂	410
13.5.2 黏结剂	411
13.5.3 集流体	411
13.5.4 隔膜	412
13.6 超级电容器的应用	413
13.6.1 电子类电源	413
13.6.2 电动汽车及混合动力汽车	413
13.6.3 变频驱动系统的能量缓冲器	415
13.6.4 工业电器方面的应用	416
13.6.5 可再生能源发电系统或分布式电力系统	416
13.6.6 军事装备领域	418
13.7 本章小结	418
参考文献	418

14.1 化学热泵系统概述及其在储能中的作用	429
14.1.1 化学热泵系统工作原理、操作模式与效能分析	429
14.1.2 化学热泵系统中的反应与工质对	431
14.2 化学热泵系统在储能领域的应用研究现状与未来应用场景	436
14.3 本章小结	439
参考文献	439

15.1	电力系统应用储能技术的需求和背景	441
15.1.1	电力系统在能源革命中面临的挑战	441
15.1.2	储能技术在电力系统发展和变革中的作用	443
15.1.3	储能技术在电力系统中的主要应用场景	445
15.1.4	电力系统不同应用场景的储能时间尺度及其技术需求特征	446
15.2	储能技术在电力系统中的应用现状	447
15.2.1	储能应用项目概况	447
15.2.2	储能在大规模集中式可再生能源发电领域的应用	451
15.2.3	储能系统参与电力系统辅助服务	454
15.2.4	储能系统在配电网及微电网的应用	456
15.3	我国电力系统储能应用实践	459
15.3.1	国家风光储输电示范工程	459
15.3.2	深圳宝清储能电站示范工程	461
15.3.3	福建湄洲岛储能电站示范工程	463
15.3.4	福建安溪移动式储能电站	463
15.3.5	浙江岛屿微网储能示范工程	464
15.3.6	睿能石景山电厂电池储能调频应用示范	465
15.4	适合电力系统应用的储能技术评价	466
15.4.1	电力系统中储能技术的四要素	466
15.4.2	储能的综合评价技术	468
15.5	储能电力系统应用中的发展趋势和重点研究方向	471
15.5.1	储能在电力系统中的应用趋势	472
15.5.2	储能技术发展新机遇	472
15.5.3	重点关注和攻关的储能技术类型	473
	参考文献	476

16.1	核电系统概述及其对储能的需求	477
16.1.1	核电系统概述	477
16.1.2	核电对储能技术的需求	485
16.2	核电系统中储能技术的应用现状	486
16.2.1	核电机组调峰能力分析	486
16.2.2	世界主要核电调峰手段	487
16.2.3	核电站配套储能设施——抽水蓄能电站	488
16.2.4	核电站与抽水蓄能电站的配合补偿运行	489
16.2.5	其他蓄能方式与核电的匹配运行	490
16.3	核电系统中储能技术的未来应用情景	491
16.3.1	核电储能技术的发展契机	491
16.3.2	各种储能技术的优缺点	491
16.3.3	适合核电系统的储能技术	492
16.3.4	核电系统与储能电站的联合运行	493
16.3.5	适合于核电系统的新型储能技术	494
16.4	未来核电技术的发展方向及其对储能技术的需求	495
16.4.1	未来核电的发展方向	495
16.4.2	未来核电对储能技术的需求	497

参考文献	498
------------	-----

第 17 章 储能技术在风力和光伏发电系统中的应用

500

17.1 风力发电和光伏发电技术概述及其对储能的需求	500
17.1.1 国内外风电发展现状	500
17.1.2 国内外光伏发电发展现状	507
17.1.3 风力发电系统概述	512
17.1.4 光伏发电技术概述	520
17.1.5 风力发电和光伏发电对储能的需求	528
17.2 风力发电和光伏发电系统中储能技术应用研究	533
17.2.1 各种储能技术特性分析	533
17.2.2 电力电子技术	534
17.2.3 储能技术在风力发电系统中的应用研究	537
17.2.4 储能技术在光伏发电系统中的应用研究	545
17.3 风力发电、光伏发电和储能技术的未来发展	556
17.3.1 风力发电相关技术的发展	556
17.3.2 光伏发电相关技术的发展	560
17.3.3 储能技术在风电和光伏系统中的应用展望	564
17.4 本章小结	568
参考文献	569

第 18 章 储能技术在太阳能热发电系统中的应用

572

18.1 太阳能热发电技术的概述及其对储能的需求	572
18.1.1 太阳能热发电技术概述	572
18.1.2 太阳能热发电系统分类及其储能方式	573
18.1.3 太阳能热发电系统性能特点及其优缺点	580
18.2 太阳能热发电系统中储能技术的应用现状	581
18.2.1 熔盐显热蓄热	582
18.2.2 其他太阳能热发电蓄热方法	588
18.3 太阳能发电系统中储能技术的未来应用情景	595
18.3.1 太阳能是解决未来能源问题的主要技术途径	595
18.3.2 太阳能热发电能够提供连续稳定电能， 可以成为主力能源	595
18.3.3 太阳能热发电是有经济竞争力的可再生能源发电方式	596
18.3.4 太阳能热发电在国际上已取得巨大成功， 并有广阔发展前景	598
18.3.5 我国太阳能热发电发展前景也十分看好	599
18.3.6 熔盐蓄热在太阳能热发电中有很好的应用前景	602
参考文献	603

第 19 章 储能技术在工业余热回收中的应用

604

19.1 工业余热概述及其对储能的需求	604
19.1.1 工业余热的定义	604
19.1.2 工业余热过程对储能技术的需求	604
19.1.3 工业余热中的主要储存方式	606
19.1.4 工业余热储存系统的要素	606
19.2 工业余热回收中储能技术的应用现状	610
19.2.1 工业对储能技术的需求	610

19.2.2 储热技术应用实例介绍	612
19.3 工业余热回收中储能技术的未来应用	614
19.3.1 移动储热技术	614
19.3.2 与电能消峰结合的储热技术	615
19.3.3 工业余冷的储存	616
19.4 本章小结	617
参考文献	618

第 20 章 储能技术在交通运输系统中的应用

619

20.1 交通运输系统概述及其对储能技术的需求	619
20.1.1 交通运输系统与国民经济的关系	619
20.1.2 交通运输系统与能源的关系	619
20.1.3 交通运输系统对储能技术的要求	624
20.2 储能技术在交通运输系统中的应用现状	626
20.2.1 飞轮储能和燃料电池储能技术的应用	626
20.2.2 锂离子储能电池在航空领域中的应用	626
20.2.3 储能技术在海上交通系统中的应用现状	628
20.2.4 储能技术在道路交通领域中的应用现状	629
20.2.5 储能系统在电动汽车中应用的关键技术	630
20.2.6 储能技术在纯电动车中的应用	639
20.2.7 储能技术在混合动力汽车中的应用现状	651
20.2.8 动力电池系统的测试评价方法	668
20.3 本章小结	680
参考文献	680

第 21 章 储能应用的经济性分析

682

21.1 导言	682
21.2 储能市场的现状及预期	684
21.3 储能的应用	686
21.3.1 大容量能量服务	687
21.3.2 辅助服务	687
21.3.3 输电基础设施服务	689
21.3.4 配网基础设施服务	689
21.3.5 用电侧能源管理服务	690
21.4 储能电力服务叠加	690
21.5 对储能电力应用服务的价值评估	691
21.6 对储能应用的成本评估	693
21.6.1 系统安装成本	693
21.6.2 运营及维护成本	693
21.6.3 资金成本	693
21.6.4 其他成本	694
21.7 储能发展的主要瓶颈：成本	694
21.8 储能成本减低的主要途径	696
21.8.1 降低材料成本，提高储能的能量密度	696
21.8.2 规模效益可以带来的储能成本降低	697
21.9 本章小结	699
参考文献	699