



国际制造业先进技术译丛

WILEY

# 能源存储新方法

## ENERGY STORAGE A NEW APPROACH

[美] RALPH ZITO 著  
赵冬斌 王革 巩可欣 等译



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

国际制造业先进技术译丛

# 能源存储新方法

[美] Ralph Zito 著

赵冬斌 王 革 巩可欣 等译



机械工业出版社

随着人类能源消耗的日益增加,越来越多的人开始关心能源问题,现在每年在能源研发方面都会投入大量的资金和人力。但是这些研发的重点却主要集中在替代能源上,例如太阳能等,却没有对能源存储问题给予足够的关注。然而,如果想更有效方便地使用现有的主要能源和新型替代能源,我们需要更好地解决能源存储问题。目前常用的铅酸电池和碱金属电池因为成本太高,并不适合大规模使用。所以,我们急需其他更实用、低成本的技术。而本书正提供了这样一种新技术,利用浓差电池来存储能量,它有望在未来成为一项关键的能源技术。

Energy Storage A New Approach (ISBN: 978-0-470-62591-0) by Ralph Zito  
Copyright © 2010 by Scrivener Publishing LLC.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled < Energy Storage A New Approach >, ISBN: 978-0-470-62591-0, by Ralph Zito, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由机械工业出版社出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。版权所有,翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记图字:01-2011-2068号。

## 图书在版编目(CIP)数据

能源存储新方法/(美)齐托(Zito, R.)著;赵冬斌等译. —北京:机械工业出版社,2014.6

(国际制造业先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-47638-2

I. ①能… II. ①齐…②赵… III. ①能量贮存 IV. ①TK02

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第183634号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
策划编辑:孔劲 责任编辑:孔劲 雷云辉 版式设计:霍永明  
责任校对:肖琳 封面设计:鞠杨 责任印制:刘岩  
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷  
2015年1月第1版第1次印刷  
169mm×239mm·13印张·238千字  
0001—2000册  
标准书号:ISBN 978-7-111-47638-2  
定价:58.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

策划编辑电话:(010)88379772

## 译丛序言

### 一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是20世纪80年代提出的，它由机械制造技术发展而来，通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化化的机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术既有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械设备、电子通信设备、仪器等。
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等。
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方向发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式上主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

## 二、图书交流源远流长

近年来,国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用,制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到,我国制造业与工业发达国家相比,仍存在较大差距。因此,必须加强原始创新,在实践中继承和创新,学习国外的先进制造技术和经验、引进消化吸收创新,提高自主创新能力,形成自己的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史,可以追溯到唐朝甚至更远一些,唐玄奘去印度取经可以说是一次典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式,早在20世纪初期,我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》,其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》,对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体,图书是一个海洋,虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段,但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性,看书总比在计算机上看资料要方便习惯,不同层次的要求可以参考不同层次的图书,不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书,同时它具有比较长期的参考价值和收藏价值。当然,技术图书的交流具有时间上的滞后性,不够及时,翻译的质量也是个关键问题,需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者做出贡献,为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源,翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作,从而能够提升我国制造业的自主创新能力,引导和推进科研与实践水平的不断进步。

## 三、选译严谨质高面广

1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书,在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量,力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2) 专家选译把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担,充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书,组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性,应能代表相关专业的技术前沿,对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业,例如机械、材料、能源等,既包括对传统技术的改进,又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、

研究人员和工程技术人员，高等院校的教师和学生，可以按照不同层次和水平要求各取所需。

#### 四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版“国际制造业先进技术译丛”的专家学者，感谢积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

本套丛书希望能对广大读者的工作提供切实的帮助，欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

## 译 者 序

随着能源消耗的日益增加，越来越多的人开始关注能源问题。现在很多国家每年在能源研发方面都会投入大量的人力、物力和财力。但是研发的重点却主要集中在替代能源上，例如太阳能等，却没有对能源存储问题给予足够的关注。如果想更有效、更方便地使用现有的主要能源和新型替代能源，我们需要更好地解决能源存储问题。目前常用的铅酸电池和碱金属电池因为成本太高，并不适合大规模使用。所以，我们亟需其他更实用、低成本的技术。本书正是提供了这样一种新技术，利用浓差电势来存储能量，它有望成为未来一项关键的能源技术。

本书作者长期从事浓差电势存储能量的研究，他从基本化学概念开始详细生动地介绍了这项技术。对于能源方面的研究者、工程人员和学生，本书是一本非常好的教材和工具书。希望本书的出版，能够开阔我们的眼界，提升我们在能源方面的研究水平。

参加本书翻译的还有汪海洪、刘广天、陈燕卫、刘明成、齐文芳、齐文军、赵清华、王灵、刘焯、齐文君、王智、王秀、高路、魏秀清、高殿喜，在此特表感谢！

译 者

## 前 言

本书旨在用与众不同的现象学方法来介绍实用的能源存储。贯穿全书的是与发电、传输、转换和能量存储相关的议题，也包括主要从现象学角度来看各种技术。对于新方法的探索其目的在于不断寻找改进的能量产生和能量存储方法。

书中用到了热力学，也大量使用了数学工具，但并非是介绍这些内容的教材。本书假定读者具备初级的经典物理和微积分知识，这样能更容易理解其中的热力学和扩散过程，而浓差电池的工作也都是基于这些的。

本书广泛地总结评述了能源技术，使其他能源存储技术成为上下文的背景来帮助认识浓差电池法。我们有必要涵盖这些内容，使未来的介绍更加易懂。当读者顺着论证和评述一直读下去，就会越来越清楚浓差电池法的原理。我们主要的目的是提出并介绍一种替代的能源存储方法，它不同于过去（特别是过去三四十年来）所追寻的方法。

大家都承认，需要有改进的而且更实用的方法来存储大量的能量供以后使用，比如用于公用电力设备的负载均衡。为此，原子能委员会、能源研发局和目前的能源部都已经发起了无数相关的项目。

然而，在本书的漫长写作过程中，许多关于电极表面过程的概念在不停演变，而且是在对电池进行实验后才进一步发展了数学运算。所以，这方面的工作并不完整，仍需要许多解释。记得当我们第一次观测到有非常大微区域电极的对称电池产生非常大的电压时，都很惊奇。

希望本书能激起更多人的兴趣去学习基本的东西，然后去探索其他可能已经被忽略的替代能源存储方法，就像电化学中被称为“电差电池”的这一类电池。现在对于以高效并且容易逆转的方式存储能源有很多需求。因为这种电池利用物质的依数性，所以可以使用很多不同材料的组合。

本书的前五章大体介绍能源问题和指南性信息。

作者在各类氧化还原和浓差电池的项目中收集了数据和运作及构成的细节。大多数的技术信息、性能数据和设计参数是作者在西屋电气（位于匹兹堡的研究中心）、通用电气（位于纽约州斯克内科塔迪的研发中心和位于北卡罗来纳州达勒姆的技术研究中心）工作时获得的。

我们已经很大程度地忽略了这一类现象在物理和电化学方面的实际应用。这一类现象是电动势的来源，它通过在相反电极同种化学离子的浓度差产生。

唯一实际、全面的解决能量存储需求问题的答案，在于应用电化学浓差电池



这类原理。电势是由电池中同一化学元素不同氧化态的浓度差产生的。

存储一直是整个能源问题中最让人关心的。

用这种方式储存能量的功效性和科学合理性在原则上是毫无疑问的，根本不需要担心。真正需要解决的问题是与其他可逆能量储存相比之下的实用性和竞争力，以及最终能否实现应有的效率、成本和能量密度。

本书介绍的内容是四十年寻找和实验研究一种可逆的、可靠的、终身的储存能量方式的结果。研究主要集中在近年来电化学中众所周知的氧化还原系统。我们探讨了静态和满流电解液系统。由此产生的系统，如果不是全部也是大部分满足了强制的实际需求，并且未来研发性能似乎受限最少的也是浓差电池——这严重背离了正常的研究路径。

这种存储机制是基于能斯特 (Nernst) 方程的化学势，由电化学电池中相对电极的相同离子物质的浓度比来决定。

我们计划在这一系列能源存储专著中再写两卷。第一卷书名暂定为《浓差电池：制造工艺和材料》，计划由 Wiley-Scrivener 出版社在 2011 年 9 月出版。第二卷书的目的是给工程师和科学家提供迄今最完整的浓差电池资料，同时也考虑在大规模能源存储中使用浓差电池。

# 目 录

译丛序言	1.1
译者序	1.2
前言	1.3
<b>第1章 简介</b>	<b>1</b>
<b>第2章 经典力学点评</b>	<b>4</b>
2.1 力	7
2.2 能量源	11
<b>第3章 转换与存储</b>	<b>14</b>
3.1 太阳能的可用性	16
3.2 转换过程	18
3.2.1 光伏转换过程	18
3.2.2 热电效应：泽贝克 (Seebeck) 效应和佩尔捷 (Peltier) 效应	18
3.2.3 多个 P-N 电池结构的热流动	19
3.2.4 早期热电偶发电机的例子	20
3.2.5 热电子转换器	20
3.2.6 热电偶转换	21
3.3 存储过程	23
3.3.1 氧化还原满流电解液系统	23
3.3.2 满流和静态电解液系统的比较	24
<b>第4章 能量存储的实用目的</b>	<b>28</b>
4.1 存储的需求	28
4.2 对次级能源的需要	30
4.3 我们熟悉的活动的不同能量要求	32
4.4 路上的车辆	35
4.5 与火箭推动所需的能量相比较	36
<b>第5章 相互竞争的存储方法</b>	<b>37</b>
5.1 电池的问题	37
5.2 碳水化合物燃料：能量密度数据	39
5.3 电化学电池	41
5.4 金属卤化物和半氧化还原电偶	41
5.5 完全氧化还原电偶	46

5.6	可能的应用 .....	47
<b>第6章</b>	<b>浓差电池 .....</b>	<b>50</b>
6.1	物质的依数性 .....	50
6.2	依数性的电化学应用 .....	51
6.2.1	压缩气体 .....	52
6.2.2	渗透作用 .....	53
6.2.3	静电电容 .....	54
6.2.4	浓差电池: CIR (共同离子氧化还原) .....	54
6.3	关于基本问题的进一步讨论 .....	58
6.4	吸附和扩散速率的平衡 .....	62
6.5	通过吸附和固体沉积来存储 .....	63
6.6	浓差电池很有意思的一些方面 .....	65
6.7	硫浓差电池的存储机制 .....	67
6.8	物质平衡 .....	69
6.9	电极表面势能 .....	69
6.10	进一步考察浓度比 .....	70
6.11	小实验电池的实验结果 .....	71
6.12	铁/铁浓差电池的性质 .....	74
6.13	电池能量存储的机制 .....	75
6.14	硫化物电池的工作模式 .....	78
6.15	仅存储在大量体积电解液中 .....	79
6.16	更多关于试剂在吸附态的存储 .....	81
6.17	能量密度 .....	83
6.18	电性能的观察 .....	83
6.19	总结评论 .....	85
6.20	典型的运行特性 .....	86
6.21	硫化物/硫半电池平衡 .....	86
6.22	电池的一般属性 .....	87
6.23	电解液信息 .....	87
6.24	浓差电池的机制和相关的数学计算 .....	89
6.25	计算的性能数据 .....	90
6.26	另一个 $S/S^{2-}$ 电池平衡分析法 .....	92
6.27	一个浓差电池的不同例子 $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ .....	93
6.28	以能斯特电势为基础的性能计算 .....	94
6.28.1	恒定电流放电 .....	94

6.28.2 恒定功率放电 .....	95
6.29 实验数据 .....	96
<b>第7章 浓差电池的热动力学</b> .....	<b>98</b>
7.1 热动力学背景 .....	98
7.2 CIR 电池 .....	100
<b>第8章 聚硫化物-扩散分析</b> .....	<b>106</b>
8.1 极化电压和热动力学 .....	106
8.2 电极表面的扩散和输送过程 .....	107
8.3 电极表面的性质, 洞和微孔 .....	108
8.4 电(离子)流密度估计 .....	111
8.5 试剂的扩散与补充 .....	112
8.6 电池动力学 .....	114
8.6.1 电极过程分析 .....	114
8.6.2 聚合数变化 .....	114
8.7 电极性能的进一步分析 .....	122
8.8 评估试剂浓度值 .....	128
8.9 求解微分方程 .....	128
8.10 电池和负电极的性能分析 .....	138
8.11 综述 .....	143
<b>第9章 设计考虑</b> .....	<b>144</b>
9.1 扩散和反应速率的检查以及电池设计 .....	144
9.2 电极 .....	144
9.3 电池设计的物理间隔 .....	145
9.4 碳-聚合物复合材料电极 .....	148
9.4.1 颗粒形状和大小 .....	149
9.4.2 金属和碳之间的电阻 .....	150
9.4.3 电池间距 .....	150
9.5 在测试电池中测量电阻 .....	151
9.6 电解液和膜 .....	152
9.7 能量和功率密度的折衷 .....	153
9.8 电池的过度充电效应 .....	155
9.9 不平衡考量 .....	155
<b>第10章 计算的电池性能数据</b> .....	<b>156</b>
<b>第11章 单个电池的实验数据</b> .....	<b>165</b>
11.1 电池的设计与制造及使用的材料 .....	165

11.2	实验数据 .....	168
<b>第 12 章</b>	<b>结论：问题和解决方案 .....</b>	<b>170</b>
12.1	浓差电池的优点和缺点 .....	170
12.2	未来的性能和局限性 .....	171
<b>附录</b>	<b>.....</b>	<b>173</b>
<b>附录 A</b>	<b>电池的历史 .....</b>	<b>173</b>
A1.1	电池的历史 .....	173
A1.2	电动汽车和能源的寻找 .....	174
A1.3	初步检测 .....	175
A1.4	长寿命高能量密度研究途径评述 .....	176
<b>附录 B</b>	<b>帮助和补充材料 .....</b>	<b>184</b>
B1.1	均匀膜的性质 .....	184
B1.2	范德瓦耳斯方程 (van der Waals equation) 及其与浓差电池的相关性 .....	185
B1.3	电解质互联损耗的推导 .....	186
B1.4	效率计算 .....	188
B1.5	一些试剂的电阻率和相对密度 .....	191
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>193</b>
1.1	.....	1.1
1.2	.....	1.2
1.3	.....	1.3
1.4	.....	1.4
1.5	.....	1.5
1.6	.....	1.6
1.7	.....	1.7
1.8	.....	1.8
1.9	.....	1.9
1.10	.....	1.10
1.11	.....	1.11
1.12	.....	1.12
1.13	.....	1.13
1.14	.....	1.14
1.15	.....	1.15
1.16	.....	1.16
1.17	.....	1.17
1.18	.....	1.18
1.19	.....	1.19
1.20	.....	1.20
1.21	.....	1.21
1.22	.....	1.22
1.23	.....	1.23
1.24	.....	1.24
1.25	.....	1.25
1.26	.....	1.26
1.27	.....	1.27
1.28	.....	1.28
1.29	.....	1.29
1.30	.....	1.30
1.31	.....	1.31
1.32	.....	1.32
1.33	.....	1.33
1.34	.....	1.34
1.35	.....	1.35
1.36	.....	1.36
1.37	.....	1.37
1.38	.....	1.38
1.39	.....	1.39
1.40	.....	1.40
1.41	.....	1.41
1.42	.....	1.42
1.43	.....	1.43
1.44	.....	1.44
1.45	.....	1.45
1.46	.....	1.46
1.47	.....	1.47
1.48	.....	1.48
1.49	.....	1.49
1.50	.....	1.50
1.51	.....	1.51
1.52	.....	1.52
1.53	.....	1.53
1.54	.....	1.54
1.55	.....	1.55
1.56	.....	1.56
1.57	.....	1.57
1.58	.....	1.58
1.59	.....	1.59
1.60	.....	1.60
1.61	.....	1.61
1.62	.....	1.62
1.63	.....	1.63
1.64	.....	1.64
1.65	.....	1.65
1.66	.....	1.66
1.67	.....	1.67
1.68	.....	1.68
1.69	.....	1.69
1.70	.....	1.70
1.71	.....	1.71
1.72	.....	1.72
1.73	.....	1.73
1.74	.....	1.74
1.75	.....	1.75
1.76	.....	1.76
1.77	.....	1.77
1.78	.....	1.78
1.79	.....	1.79
1.80	.....	1.80
1.81	.....	1.81
1.82	.....	1.82
1.83	.....	1.83
1.84	.....	1.84
1.85	.....	1.85
1.86	.....	1.86
1.87	.....	1.87
1.88	.....	1.88
1.89	.....	1.89
1.90	.....	1.90
1.91	.....	1.91
1.92	.....	1.92
1.93	.....	1.93
1.94	.....	1.94
1.95	.....	1.95
1.96	.....	1.96
1.97	.....	1.97
1.98	.....	1.98
1.99	.....	1.99
2.00	.....	2.00

## 第1章 简介

近些年来，技术文献中的讨论和可怕的预测，肯定使我们每个人都意识到了“能源问题”。毫无疑问，我们正面临着这个问题，而这个问题在国内和国际上都很重要。能源的可用性和高效利用性正在迅速成为问题的关键。随着人口的增长，以及人类对舒适度和旅行等更多方面的要求，我们大大增加了对相关能源和材料的需求。这确实造成了更大的压力。所有这些都要求不仅需要增加能源的供应量，而且还要更有效地利用可用的能源。

现在，研发主要集中在开发可替代能源，或是寻找更多现有的主要能源。从现在开始直到找到新一类能源之前，我们非常清楚我们能做什么。我们知道什么样的替代能源有可能成功——“替代”指的是替代石油类产品。然而，除非我们大大地降低标准，否则，它们几乎没有一样适用于便携式或驱动应用。

看起来，地球上的能源非常丰富。然而，很多地区却缺乏能源，或者体积太大，或者无法预测（例如太阳能和风能），或者便携式太危险。如果能找到一个有效存储能源的方法，将大大减少各种问题，也能为每个人提供廉价的能源。与发电相比，好像并没有太多人注意到并且支持能源存储设备的研发。可能这两者的差别在于没有太多有希望的方法能用来得到好的能源存储设备。本书提供了一种不同的方法，目的是激发更多人去探索，并开发更好的存储设备。

现在在存储设备方面没有太多吸引人的选择，大多数都不是便携式的，或者价格很高。我们不能带着风车到处走——它们太大，也太危险。瀑布是因地形而形成的，也不是到处都有，并且它太大了，而且是间歇式地产生能量和动力。

电池是最不突出，也是最可预测的有限次级能源，但是用它们做大规模首要能源或次级能源都不太现实。如果没有存储设备或靠核发电或煤炭发电运行的公用电网的帮助，风车和光伏发电几乎没有用处。看来能源陷阱只是变成了另外的形式。

在理想的情况下，用核电或化石燃料发的电来为某种高能量和高功率密度“电池”充电是解决人类能源传输不规则性和可用性的好办法。这里“电池”一词指的是某种实际的存储机制。到目前为止，最有前途的很可能是一种电化学方法。压缩空气、金属弹簧、飞轮等，都有着非常严重的缺陷。大多数发电设施都不是便携式的，也没有人愿意住在它们中间。

自然界中多种形式的存储能源对于很多过程和人类的生存都是至关重要的。当我们探索这些过程，以及它们对我们的重要性时，我们可以逐步有所发现，进

而得到一些启发性的结论。

我们的目的之一是排查储能的一般领域，来确定在自然和社会文明中起重要作用的关键机制，然后进一步说明我们为什么需要存储能源，以及如何使用各种机制来满足我们的需要。这本书主要介绍电化学过程，特别是满流电解液电池，也就是常说的氧化还原电池。一般情形下，能量存储只有三个目的：使非便携式电源能够提供便携式能源，存储现有能源以备后用，像飞轮和电容那样改变功率对能量的比率。

能量储存的所有应用可以归入上述其中一个或多个类别。当然，如果想驱动便携式电动工具或者电动汽车，使用水电站是不实际的。然而，如果能把水电站所发的电能中不需要立刻使用的一部分存储到电池里，再用它来驱动电动汽车就很实际了。核能也基本不是小型便携式的。但与非便携式水电站类似，如果能将部分能量存储到电池这样的设备中，也可以用于电动汽车。

在第二个例子中，我们需要在白天存储太阳能，以便在日落用于电灯照明等。在很多情形中都无法照顾到方便因素——发电的时间和需要用电的时间不一致。

这里必须指出的是，当提到能源，我们指的是经典意义上的“做功能力”，即作用力 $\times$ 距离。这种做功能力被转移存储到另外一个装置，可以以后再使用。

能够把能量存储成另外一两种形式，不只对人类极为重要，对其他任何形式的生命也都极为重要。把能量存储在一种化学物质中，如碳水化合物，可以使生命通过进食生存。

显然，所有的活动和运动都是能量从一种形式转换成另一种形式的表现。自由落体就是势能转换成动能的一个简单例子。极少的能量消耗活动使用的是即时产生的能量。我们甚至可以争辩说，即使太阳向外辐射能量也是在使用宇宙早期演化存储下来的能量。

我们必须在早些时候存储能源，之后才能在需要的时候拿来使用。

这存储了的暂时不用的能量通常与最终需求时的能量形式不同。所以，相应于每一种能量存储设备，都有一种能量转换机制来使用存储的能量。有许多例子可以演示这个简单但却基本的前提。我们在后面的章节中会讲这件事。在生物化学过程中，存储的碳水化合物，例如糖，需要氧化了才能产生生命所需要的热量。

第3章列出了其他我们熟悉的简单储能方式。写这本书的主要目的，就是强调把能源存储当做普遍方法是新技术观点的重要性，但其中所用的物理法则对任何物质都是基本的。或许一个最好的例子就是气体压缩的机械和热力性能。

本书集中在一类特别的人工能源存储上，就是一般所说的电化学类的能量转换设备。更特别的是，这本书集中于水系统，在很大程度上与周围条件、温度、

压力和化学环境兼容。我们也会提到其他的系统和设备，但只是带过，这样更能看清楚我们为什么把电化学系统当做主要兴趣。随着论据的给出和更多主要应用条件相关的背景性材料的提供，我们这样选择的原因会更清楚。

在接下来的章节中，我会概述能源需求的要求，使我们有更好的背景性资料来更清楚地评估提供给我们各种存储选项。然而，我们的主要目的是介绍一种新的方法。在科学上，它不是新的，但很少有人注意到它，并把它当做解决能源问题的一种可能性。

本书前三章介绍了电化学存储的背景资料和基本原理，还有更主要的氧化还原系统。这些都基于我们早期对用于负载均衡和备用电源的大规模能量存储尝试研发的第一手资料。我们也要认定把氧化还原系统用于大规模、大容量能源存储的理由。

本书前六章不仅介绍了能源要求的一般背景、比较有竞争力的存储方法和浓差电池运作的基本知识，还提供了足够多的细节信息让我们明白这种与众不同的存储方式以及为什么要使用它。然而，为了充分了解电池工作机制的细节，我们有必要更深入地了解主要的扩散和输送过程。这需要相当冗长和烦琐的数学分析，其主要过程详见第8和第9章。

本书的很大一部分用来解释浓差电池的热力学和操作原理。此外，跟踪物质输送的机制和电压的来源部分可能有些乱。然而，为了能在各个方面与现今的能源技术竞争，我们需要更清楚它的工作原理和基本的物理知识。本书可供对能源技术有展望性了解的读者阅读，也可供希望掌握足够的知识以进行独立评估节能、化石燃料与太阳能等现代发展趋势的读者参考。

本书旨在激发读者对能源及我们周围世界动态的兴趣。为了在解决问题或是在设计中建立定量的能量关系，在书中必要的地方也使用了数学。其目的是让那些有兴趣，也有技能的人，更深入地理解物理世界中的各种因素和局限性。

关于能源、理论力学和理论物理数学方法有很多优秀的著作。其中一些列在了本书后面所附的参考文献中。



## 第2章 经典力学点评

能量是一个难以解释的概念，而且也有点儿神秘。能量的概念一直以来一再被重新审视以获得更深的理解。几乎每个人都认为自己对能量的观念或能量的概念有一些了解。有趣的是，我们会用类似的语句提到能量：“烧掉多余的能量”“用了很多能量”“某人有很多能量”，就好像能量是某种燃料似的。如同大多数概念一样，能量一词的频繁使用，表示我们确实对它有所认识，似乎并不为其而感到困扰。

在日常交谈或比较通俗的文学作品中，常将能量这个词与力混淆或互换。这样的混淆可以回溯到许多世纪之前，当人们试图理解周围世界的物理现象时，就开始存在了。甚至在熟知的源于伽利略的科学方法开始运用之后，对于能量的理解仍有许多混淆之处。我将在下面的几页中，来解决“什么是能量”这个问题。

事实上，我们从未能观察到被称为“能量”的这个物理量，但它的效应却是无可置疑的，而且也很容易观察到。可能这也增加了能量的神秘性。林赛（Lindsay）和马根诺（Margenau）在他们1936年出版的《物理学基础》（*Foundations of Physics*）中，提供了有关物理学概念历史的回顾，他们用经典力学和量子力学对物理学基本概念进行了非常全面的描述，这些虽然年日久远却并没有过时。因为我几乎没有看到可与他们相媲美的力学描述，我自己也不想为了要胜过他们而在此苦心孤诣，所以我直接引用了他们那透彻、恰当的陈述。

经典力学所有问题的解决都不需要引入能量的概念。人们马上会有疑问：那么我们为什么要引入能量呢？这正是我们要讨论的。我们首先要说的是，在历史上，能量的观念远比能量的名称出现得早。能量的观念至少可以毫无疑问地回溯到伽利略对机械的观察中，伽利略观察到“在动力上的获益会丧失在速度上”，也就是说，滑轮系统中，虽然提升重物所需要的力和作用力通过的距离这两个因子本身是可以变化的，但它们的乘积是个常数。这里所引入的是功的概念，但因为伽利略对运动定律划时代的发现，此概念的重要性被掩盖了。一直到惠更斯的时代，功在“活力”的概念中显现出其重要性，所谓“活力”，就是质量乘以速度平方的一个变量。直到19世纪，能量与“活力”概念之间的关联才被揭示出来。

能量（energy）一词源于希腊文，意思是活力、活动，或者是做功的能力。在更近些的时候，能量是某种以太形式物质的观念出现并被接受。在量子力学和相对论力学中，能量与质量是可以互换的，例如，在爱因斯坦相对论的著名方程