



The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design

# 锂离子 电池组设计手册

电池体系、部件、类型和术语

[美] 约翰·沃纳 (John Warner) 著

王莉 何向明 赵云 等译

ELSEVIER

清华大学出版社

# 锂离子电池组设计手册

电池体系、部件、类型和术语

[美] 约翰·沃纳(John Warner) 著

王 莉 何向明 赵 云 等译

清华大学出版社

北 京

Elsevier(Singapore) Pte Ltd.  
3 Killiney Road, #08-01 Winsland House I, Singapore 239519  
Tel: (65) 6349-0200; Fax: (65) 6733-1817

The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design  
John Warner  
Copyright © 2015 Elsevier Inc. All rights reserved.  
ISBN-13: 9780128014561

This translation of The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design by John Warner was undertaken by Tsinghua University Press and is published by arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design by John Warner 由清华大学出版社进行翻译, 并根据清华大学出版社与爱思唯尔(新加坡)私人有限公司的协议约定出版。

《锂离子电池组设计手册 电池体系、部件、类型和术语》(王莉 何向明 赵云等译)  
ISBN: 9787302512295

Copyright © 2015 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from Elsevier (Singapore) Pte Ltd. Details on how to seek permission, further information about the Elsevier's permissions policies and arrangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Licensing Agency, can be found at our website: [www.elsevier.com/permissions](http://www.elsevier.com/permissions).

This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. and Tsinghua University Press (other than as may be noted herein).

This edition is printed in China by Tsinghua University Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the contract.

本书简体中文版由Elsevier (Singapore) Pte Ltd.授权Tsinghua University Press在中国大陆地区(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受民事和刑事法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签, 无标签者不得销售。

### 注意

本书涉及领域的知识和实践标准在不断变化。新的研究和经验拓展我们的理解, 因此须对研究方法、专业实践或医疗方法作出调整。从业者和研究人员必须始终依靠自身经验和知识来评估和使用本书中提到的所有信息、方法、化合物或本书中描述的实验。在使用这些信息或方法时, 他们应注意自身和他人的安全, 包括注意他们负有专业责任的当事人的安全。在法律允许的最大范围内, 爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对因产品责任、疏忽或其他人身或财产伤害及/或损失承担责任, 亦不对由于使用或操作文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身或财产伤害及/或损失承担责任。

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2018-1889

本书封面贴有 Elsevier 防伪标签，无标签者不得销售

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

#### 图书在版编目(CIP)数据

锂离子电池组设计手册：电池体系、部件、类型和术语 / (美) 约翰·沃纳(John Warner) 著；王莉 等译. —北京：清华大学出版社，2019

书名原文：The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design

ISBN 978-7-302-51229-5

I. ①锂… II. ①约… ②王… III. ①锂离子电池—手册 IV. ①TM912-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 212740 号

责任编辑：王 军 于 平

封面设计：孔祥峰

版式设计：思创景点

责任校对：牛艳敏

责任印制：丛怀宇

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈：010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者：三河市国英印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：148mm×210mm 印 张：8.125 字 数：226 千字

版 次：2019 年 1 月第 1 版 印 次：2019 年 1 月第 1 次印刷

定 价：98.00 元

---

产品编号：077131-01



# 译者序

自 1991 年第一款锂离子电池商业化以来，锂离子电池以高比能量的特点迅速占领了便携式电子产品市场。近年来，随着全球对能源及环境问题的日益关注，电动汽车产业逐渐成为世界主要经济体国家角逐的领域。相比于燃料电池、铅酸电池或者其他蓄电池，锂离子电池具有质量及体积比能量高、能量转换效率高、绿色环保等优点，应用于汽车动力不仅可以提高新能源的利用效率、减少对化石能源的依赖，还有利于降低汽车尾气对 PM2.5 的影响，改善城市大气质量，因此以锂离子电池作为动力电源是新能源汽车的主要发展方向。锂离子电池在当前及未来的国民经济和人们生活中占据着越来越重要的位置，其技术发展也日新月异。

2008 年中国在奥运会上采用新能源汽车受到了世界关注，自此锂离子电池动力电池技术及市场在国内得到了快速发展。国内在“十二五”“十三五”发展规划中都提到大力发展新能源汽车，并在全国范围内从技术创新、产业整合、市场培育等各个方面给予了大力支持，使得越来越多的资金、人才和企业投入到了锂电产业中。目前，国内优秀的锂离子电池材料及电池生产企业已经达到世界领先水平，但行业整体技术水平良莠不齐，特别是模组技术，距离美、日、韩等国的技术水平还有相当大的差距，这极大地影响了我国动力锂离子电池产业及电动汽车产业的国际竞争力。

鉴于国内系统介绍锂离子电池组装技术的书籍不是很多，同时为了提升锂电技术及产业的全球观，译者选取了 XALT Energy 公司 John Warner 的专业论著进行了翻译。本书几乎涵盖了锂离子电池涉及的所有知识，包括电池及汽车电气化发展简史、电池和电网行业的基本术语、电池组的设计标准和选择、电池的可靠性设计和可维护性设计、电池的计算机辅助设计、锂离子电池及其他化学电池的介绍、电源管理系统、

## II 锂离子电池组设计手册 电池体系、部件、类型和术语

热管理系统、系统控制电子元件、机械包装及材料选择、电池耐滥用性、行业标准和组织、锂离子电池的回收及利用、锂离子电池应用技术、锂离子电池和电气化的发展及展望。

本书对于企业新员工培训或者打算从事锂电行业并想系统学习该方面知识的人士来说是一本非常合适的书籍。本书也可以作为大学教学的辅助教材，或者作为市场调研工作者和新能源爱好者的参考书籍。

本书翻译工作由清华大学何向明教授领导的锂离子电池课题组人员共同完成，主要人员有何向明、王莉、赵云、王腾跃和王正阳。此外，感谢课题组朴楠、陈雨晴、郑思奇、王思源等人在本书编写过程中给予的建议和帮助。同时，还要特别感谢清华大学汽车系欧阳明高教授课题组的任东生博士在本书翻译过程中给予的协助。

为了符合中文的语言习惯，本书在尽量保持原文大意的基础上，进行了适当的语言修改和文字润色。如有错误或不足之处，敬请读者批评指正。

2018年8月18日  
清华园

# 作者序

2009年初是美国汽车行业处于重新构建的阶段,我利用这个行业变化的时机进入了一家新能源初创企业,从而步入了锂电行业。因为我是从OEM(原始设备制造商)领域进入锂电行业,为了能在这个领域取得更好的成就,我尽可能地购买锂电书籍来学习这方面的基础知识。然而,我发现虽然有很多不错的书在市场销售,但是这些书要么是太专业了,面向的是工程师,要么是讨论电池在笔记本电脑的应用,要么是关于其他电池技术(比如镍氢电池、铅酸电池等),这些书都不太适合研发车用动力锂离子电池的工程人员学习。因此,在接下来的几年里,我花费了尽可能多的时间来学习化学、工程以及电池方面的科学知识。

在18个月之前,我跟同事一起开会的时候,他问我,你怎么什么都知道?这让我有了出一本动力锂离子电池的相关书籍的想法,以帮助那些从事锂电行业但还不是很专业的工作者来进一步了解锂电行业以及锂电产品,从而能够在工作中更好地完成任务。同时,我写这本书也是希望它可以激励我在该行业有一个很好的开端。我刚开始踏入这个领域的时候有很多不熟悉的知识,经常会向前辈询问很多问题、做笔记,但始终未能找到一本书籍资源从中进行系统学习。因此,我花费很长时间来思考我以前所遇到的问题并尽可能多地写到书中,以进一步巩固和加深我对锂电行业的理解及认识。

本书为不熟悉锂电行业的人们提供了最基础的入门知识。书籍的内容可以面向几乎所有人,并不是专门为电池领域的工程师而写。实际上,电池行业已经发展了超过10年,有很多人从其他行业进入锂电行业中,这也就意味着有很多熟悉其他专业领域的工作者来学习锂离子电池方面的知识。也许你是一名学生,在新能源储存领域即将离开学校去社会发展;也许你是一名采购经理,正要购买该方面的产品但是并不清楚它们是什么;或者你是一名热能工程师,正要转行进入锂电行业——那么



#### IV 锂离子电池组设计手册 电池体系、部件、类型和术语

本书就是为你而写。

本书首先介绍电池的发展史。我们了解以前人们对电池的研究历程，就可以避免重复先前的错误，所以了解前人的研究很重要。接下来，对于新手来说最大的挑战是了解专业术语，本书将帮助你了解这方面的内容。随后，对于一些电池方面的数学公式，在本书中会做一些描述和注解，这部分提到的公式都是我工作七年的过程中经常用到的公式。接下来的章节将讲述电池的不同组成，以及电池组装完成后在不同领域的应用，当然，这些电池有的是锂电、有的是其他电池技术。因此无论你是正在寻找锂电某一方面的知识，还是想系统地学习基础知识，本书都将是最好的工具。

我相信，在此书撰写后的两年左右，锂离子电池技术并不会止步不前，而会随着科学研究和市场需求保持一定的发展。本书将为你的继续深造奠定基础，赶快行动起来吧。

# 致 谢

首先感谢我的妻子 Amy 和孩子 Erika 和 Lukas，他们对我从事这个行业给予了最大的支持与鼓励。没有他们的耐心与鼓励，我也不可能有这么多周末和夜晚来写作这本书。

同时感谢传授我锂电知识的前辈和给予这本书创作灵感的同事们：Bob Purcell，工作于汽车电气化领域，对该书的大纲列表给予了很好的指导和建议；Bob Galyen，在电池能源行业颇具领导地位，在工作中一直给予我鼓励和支持，同时也对本书进行了指导；多谢 Per Onnerud 和 Christina Lampe-Onnerud 两位博士，在我刚进入锂电行业时悉心指导我；感谢 JR Lina 博士，在我入行之初教给了我很多关于锂电的基础知识和关键概念，此书中的部分内容也是他所传授的；感谢已经领导新能源公司二十多年的 Subhash Dhar 和对电气领域了解相当广泛的 Jon Bereisa，和二位进行的交流与讨论对我启发很大，在此一并感谢。该致谢也包括给予我灵感写这本书的朋友们，Bob Kruse、Dell Crouch、Lori Hutton 和 Oliver Gross，他们同时对该书的编写也给出了合理的指导和建议。

再次感谢我在新能源领域工作的七年间和我一起工作的人员以及所有对该书的出版有所帮助的人员！



# 目 录

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第 1 章 引言             | 1  |
| 1.1 影响消费者购买电动汽车的因素   | 2  |
| 1.2 电动汽车是汽车技术发展的需要   | 4  |
| 1.3 本书的目的            | 4  |
| 1.4 章节概要             | 6  |
| 第 2 章 汽车电气化史         | 9  |
| 2.1 现代蓄电池的历史         | 11 |
| 2.2 电气工业的出现          | 14 |
| 2.3 早期电动汽车的发展        | 14 |
| 2.4 现代汽车的电气化         | 17 |
| 第 3 章 基本术语           | 23 |
| 3.1 汽车行业的术语          | 23 |
| 3.2 电网术语             | 28 |
| 3.3 电池行业术语           | 28 |
| 第 4 章 电池组的设计标准和选择    | 37 |
| 4.1 欧姆定律和基本的电池计算     | 40 |
| 4.1.1 计算电池组所需的电池单体数量 | 42 |
| 4.1.2 计算电池组的能量和容量    | 43 |
| 4.1.3 计算电池组寿命终端时的能量  | 45 |
| 4.1.4 计算系统功率         | 46 |
| 4.1.5 最大持续放电电流       | 48 |
| 4.1.6 计算充电电压         | 48 |

## VIII 锂离子电池组设计手册 电池体系、部件、类型和术语

|       |                       |    |
|-------|-----------------------|----|
| 4.2   | 将客户需求转换为电池组设计 .....   | 48 |
| 4.3   | 功率与能量的比值 .....        | 50 |
| 4.4   | 电网用电池系统的计算 .....      | 51 |
| 4.5   | 计算公式总结 .....          | 51 |
| 4.6   | 小结 .....              | 52 |
| 第 5 章 | 电池组的可靠性设计与维护设计 .....  | 55 |
| 5.1   | 可靠性设计和维护设计 .....      | 56 |
| 5.2   | 质量与可靠性 .....          | 57 |
| 5.3   | 失效模式与影响分析 .....       | 58 |
| 5.4   | 维护设计 .....            | 61 |
| 5.5   | 本章总结 .....            | 62 |
| 5.6   | 小结 .....              | 63 |
| 第 6 章 | 计算机辅助的电池设计优化工具 .....  | 65 |
| 6.1   | 组织和分析产品 .....         | 65 |
| 6.2   | 分析工具 .....            | 67 |
| 6.3   | 电池尺寸设计优化工具 .....      | 69 |
| 6.4   | 小结 .....              | 69 |
| 第 7 章 | 锂离子电池和其他化学电池 .....    | 71 |
| 7.1   | 铅酸电池 .....            | 73 |
| 7.2   | 镍金属基电池 .....          | 77 |
| 7.2.1 | 镍镉电池 .....            | 78 |
| 7.2.2 | 镍氢电池 .....            | 79 |
| 7.3   | 钠基电池 .....            | 80 |
| 7.4   | 锂离子电池 .....           | 81 |
| 7.5   | 正极(阴极, Cathode) ..... | 85 |
| 7.6   | 负极(阳极, Anode) .....   | 86 |
| 7.7   | 隔膜 .....              | 87 |
| 7.8   | 电解质 .....             | 88 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 7.9 安全性 .....               | 89         |
| 7.10 锂离子电池的型号和大小 .....      | 90         |
| 7.11 锂离子电池生产商 .....         | 92         |
| 7.12 小结 .....               | 95         |
| <b>第 8 章 电池管理系统 .....</b>   | <b>97</b>  |
| 8.1 BMS 类型 .....            | 98         |
| 8.2 BMS 中的硬件 .....          | 99         |
| 8.3 BMS 的主要功能——均衡管理 .....   | 101        |
| 8.3.1 被动式均衡 .....           | 104        |
| 8.3.2 主动式均衡 .....           | 105        |
| 8.4 BMS 的其他功能 .....         | 106        |
| 8.5 BMS 的软件控制系统 .....       | 107        |
| 8.6 小结 .....                | 107        |
| <b>第 9 章 系统控制电子器件 .....</b> | <b>109</b> |
| 9.1 接触器/继电器 .....           | 110        |
| 9.2 高压互锁回路 .....            | 112        |
| 9.3 保险丝 .....               | 112        |
| 9.4 电池断开单元 .....            | 114        |
| 9.5 连接器 .....               | 114        |
| 9.6 充电 .....                | 116        |
| 9.7 小结 .....                | 118        |
| <b>第 10 章 热管理 .....</b>     | <b>119</b> |
| 10.1 为什么需要冷却 .....          | 123        |
| 10.2 为什么要加热 .....           | 126        |
| 10.3 主动热管理系统 .....          | 127        |
| 10.4 被动热管理系统 .....          | 132        |
| 10.5 温度——保护和绝热 .....        | 133        |
| 10.6 热电偶和测量 .....           | 133        |

|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| 10.7 小结 .....                                  | 135        |
| <b>第 11 章 电池的机械包装及材料选择 .....</b>               | <b>137</b> |
| 11.1 模组设计 .....                                | 138        |
| 11.2 金属封装 .....                                | 139        |
| 11.3 塑料和复合物封装 .....                            | 141        |
| 11.4 电池封装标准 .....                              | 142        |
| 11.5 小结 .....                                  | 143        |
| <b>第 12 章 电池耐滥用性 .....</b>                     | <b>145</b> |
| 12.1 锂离子电池失效机制 .....                           | 146        |
| 12.2 测试与表征 .....                               | 148        |
| 12.3 安全与滥用测试 .....                             | 151        |
| 12.4 认证测试 .....                                | 153        |
| 12.4.1 联合国危险货物运输标准 .....                       | 153        |
| 12.4.2 保险商实验室锂离子电池认证标准 .....                   | 155        |
| 12.4.3 海上认证 .....                              | 155        |
| 12.5 小结 .....                                  | 156        |
| <b>第 13 章 行业标准与组织 .....</b>                    | <b>157</b> |
| 13.1 非强制标准 .....                               | 159        |
| 13.1.1 美国汽车工程师协会(SAE) .....                    | 159        |
| 13.1.2 国际标准化组织(ISO) .....                      | 164        |
| 13.1.3 国际电工委员会(IEC) .....                      | 164        |
| 13.1.4 电气和电子工程师协会(IEEE) .....                  | 166        |
| 13.1.5 保险商实验室(UL) .....                        | 167        |
| 13.1.6 挪威船级社(Det Norske Veritas, DNV-GL) ..... | 168        |
| 13.2 研究、开发和贸易团体 .....                          | 169        |
| 13.2.1 美国先进电池联盟(USABC) .....                   | 169        |
| 13.2.2 先进电池技术国家联盟(NAATBatt) .....              | 170        |
| 13.2.3 便携式可充电电池协会(PRBA) .....                  | 170        |

|        |                      |     |
|--------|----------------------|-----|
| 13.2.4 | 轻型电动车协会(LEVA).....   | 170 |
| 13.2.5 | 美国国家实验室.....         | 171 |
| 13.3   | 强制性标准.....           | 171 |
| 13.4   | 中国标准和行业组织.....       | 172 |
| 13.5   | 欧洲标准和行业组织.....       | 175 |
| 13.5.1 | 国际电池和能源储存联盟.....     | 175 |
| 13.5.2 | EUROBAT.....         | 175 |
| 13.5.3 | 德国汽车工业协会.....        | 176 |
| 13.6   | 小结.....              | 176 |
| 第 14 章 | 锂离子电池的二次利用和资源回收..... | 177 |
| 14.1   | 维修与再制造.....          | 178 |
| 14.2   | 清洗、再利用和二次生命.....     | 179 |
| 14.3   | 锂电回收合作.....          | 181 |
| 14.4   | 电池的回收再制造.....        | 182 |
| 14.5   | 小结.....              | 184 |
| 第 15 章 | 锂离子电池的应用.....        | 185 |
| 15.1   | 在个人交通工具方面的应用.....    | 185 |
| 15.2   | 汽车方面的应用.....         | 190 |
| 15.2.1 | 微混合动力车.....          | 190 |
| 15.2.2 | 混合动力车.....           | 192 |
| 15.2.3 | 插电式混合动力车与增程式电动车..... | 193 |
| 15.2.4 | 纯电动车.....            | 197 |
| 15.2.5 | 燃料电池电动汽车.....        | 200 |
| 15.3   | 公共交通工具.....          | 201 |
| 15.4   | 卡车.....              | 203 |
| 15.5   | 工业方面的应用.....         | 204 |
| 15.6   | 机器人和自动化应用.....       | 205 |
| 15.7   | 航海和海洋应用.....         | 206 |
| 15.8   | 电网应用.....            | 207 |



## **XII 锂离子电池组设计手册 电池体系、部件、类型和术语**

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 15.8.1 大型能源储存                  | 209        |
| 15.8.2 辅助服务                    | 211        |
| 15.8.3 输电及配电基础设施服务             | 212        |
| 15.8.4 用户能源管理服务                | 212        |
| 15.8.5 社区储能                    | 213        |
| 15.9 航空航天方面的应用                 | 213        |
| <b>第 16 章 锂离子电池和电动化的未来发展</b>   | <b>217</b> |
| 16.1 锂离子电池和电动化的未来              | 217        |
| 16.2 大趋势                       | 217        |
| 16.3 技术趋势                      | 219        |
| 16.4 电池技术的未来发展趋势               | 220        |
| 16.5 结论                        | 222        |
| 附录 A 美国先进电池联盟对 12V 启/停电池组的发展目标 | 225        |
| 附录 B 美国先进电池联盟对 48V 电池组的发展目标    | 227        |
| 附录 C 美国先进电池联盟对混合动力电池组的发展目标     | 229        |
| 附录 D 美国先进电池联盟对插电式混合动力电池组的发展目标  | 231        |
| 附录 E 美国先进电池联盟对纯电动汽车电池组的发展目标    | 233        |
| 附录 F 术语表                       | 235        |

# 第 1 章 引 言

锂离子电池已经渗透到现代生活的方方面面，它可以为生活中几乎所有的东西(如手表、手机、平板电脑、便携式设备、GPS 设备、手机游戏等)提供能源。但是电池在社区、家庭以及交通工具上的应用才刚刚开始，更精确地说应该是又重新开始了。随着各行业技术的迅速发展，有很多其他领域的专业工程师，他们以前从未踏入锂电领域，现在也想对锂电技术有一些了解，那么本书就是为他们而写的。

本书主要为外行讲述了与锂电有关的话题，以及锂离子电池组装设计方面的内容。如果你是一名工程师，你将会很快地理解这些概念。然而，如果你不是一名工程师，本书将帮助你走进锂电的世界，并对锂电行业进行系统了解。本书主要面向锂电在汽车方面的应用，当然对于储能电站、航海设备、海上船只、工业发动机、机器人以及其他方面的电子应用也略有涉及，目的是为大家掀开锂电的神秘面纱。在此之前需要声明的是，本书并不能保证让你成为一名锂电工程师或者替代你的锂电团队。它是一本工具书，仅此而已。

电池是实现化学能和电能转化的装置，其既可以产生能量同时还可以储存能量；而其他的能源大多产生在一个地方，应用时需要储存在另一个地方。比如，一辆燃油汽车的能量是从原油中提炼出来的，然后被储存在服务站点，直到你再次购买它并储存在油箱中，等内燃机燃烧时才可以转化成能量释放出来。

在 *Handbook of Lithium-ion Battery Applications*(Warner, 2014)一书的章节中，曾对锂离子电池设计以及机械性能、热性能、电子元器件的

## 2 锂离子电池组设计手册 电池体系、部件、类型和术语

组装进行了简单描述<sup>[1]</sup>。本书对此进行了更深层次的讨论，深入地剖析了一些公式和算法，以此来解决有关电池组装方面的问题。此外，本书还会对认证测试以及锂电行业的组织现状进行介绍，最后讲述锂电池在各个方面的应用及其未来和发展。

通过一些关于锂离子电池的新闻报道，比如波音 787 客机的电池失效使新飞机延迟起飞，特斯拉以及雪佛兰电动汽车中电池失效<sup>[2~4]</sup>等，可以看出锂电的系统设计尤其重要。我个人认为上述事故并不是由电池引起的系统安全事故，而是系统引起了电池的安全事故。我这么说的理由是把世界上品质最高、性能最好的电池放在一个设计很差的系统里面仍然会发生各种失效，比如寿命衰减、能量降低、各种各样的安全问题等。相反，把一个很差的电池用到一个设计得很好的能源储存系统中，系统仍然可能具有很高的安全性。

### 1.1 影响消费者购买电动汽车的因素

在开始讨论锂离子电池之前，我们还需要讨论另一个话题，那就是哪些因素影响到消费者对锂离子电池电动汽车的接纳程度。笔者在此总结了五种因素，以确保动力电池行业以及能源存储系统的健康发展。这些因素包括：

**(1) 价格。**人们已经采取了很多措施来降低锂离子电池的价格，但是其仍高于普通大众的价格需求。当锂离子电池被应用到能源储存系统中的时候，发展更好的技术使锂电的价格降下来是影响其市场接受度的最重要因素。

**(2) 产能。**尽管每年都会有新的电动汽车生产出来供消费者选择，但是无论是插电式混合电动车还是纯电动车，供消费者购买的每款产品的供应量却非常有限。

**(3) 续航里程。**尽管有很多种类的化学电池供电动汽车选择，然而消费者仍然会对电动汽车的续航里程表示担忧。

**(4) 宣传。**政府或企业或许做得都不够好的一点就是，没能让消费者

者知道各种电动汽车的不同点、相同点、优点以及不足。消费者会误认为电气化是一个比较高端的前瞻性技术、而不是大众可触及的产品。但实际上,我们传统的交通工具除了动力系统外已经基本都实现了电气化。

**(5) 充电基础设施。**这个问题的实质就是先有蛋还是先有鸡:没有企业愿意在没有电动车的前提下建立充电桩,同时消费者也不愿意在没有充电桩的前提下购买电动汽车。

这五个问题都需要解决。只有这样才可以保证电气化技术在交通工具和充电设施中的大规模应用。随着技术的进步,价格会逐渐下降,此时用户量就会增加。除此以外,消费者的观念、充电基础设施、产能都会影响到产品的价格和客户的使用量。

对于典型的汽车消费者,我们发现他们更关心的是汽车技术,但是与此同时他们对该技术如何运行却缺乏了解。换句话说,大多数消费者并不关心也不明白汽车里面是什么东西,只是关心汽车可以带他们去哪里。对于最早的电池消费者,或许他们更多考虑到的是绿色消费、环境友好。

但是对于大众市场消费者来说,我们可以用“保健因素”来解释。该项目来自于 Frederick Herzberg 提出的组织心理学和动机。保健因素指和环境或条件相关的因素,这些因素处理不当,或者说这类需要得不到基本满足,即会导致消费者不满,甚至严重挫伤其积极性。反之,满足这些需要则能防止消费者产生不满情绪<sup>[5]</sup>。电池和电动车的主流消费者就属于该范畴。

拥有更先进的电池不能成为广大消费者购买电动车的原因,但是如果更好的电池有利于提升燃油效率(能源利用效率),则它在消费者眼中将会具有竞争力。为了使接受者成为使用者,该技术的推广需要有一定的经济回馈或内部盈利率,或者相对于燃油来说有更好的性能。换句话说,消费者需要投资者补贴燃油消耗。消费者并不想在该技术的早期阶段冒险,因为成品市场投放时间太短、产品质量和性能方面并没有什么保证,所以应该让大众市场消费者知道该技术是可靠的。大众市场消费者不想放弃更好性能的车,也不想放弃更长续航里程的车。这些因素对

于电动车的发展非常重要，因为大众消费者更希望买到的电动车与传统燃油车具有相同的续航里程。

## 1.2 电动汽车是汽车技术发展的需要

汽车的很多方面都需要电气化，比如电加热、通风、空调、电动助力转向、电动油泵、电动燃油泵以及车载设备(如 GPS、广播和导航系统)等，一些高档次车辆甚至可实现信息的实时交互及自动驾驶功能，这都需要强大的电源提供能量。随着电池技术的发展，电机的负载更多地转移到了电池上，这样就可以使电机尺寸更小。

现在电动汽车仍然是基于内燃机结构而设计的，对于电池的存放位置并没有标准，所以不同汽车的电池放置位置不同，但大多数电动汽车将电池放置在座位下面、车尾行李箱处或者传动轴通道处。大体上，就是把方形的电池放置在汽车已有的空间位置处。将来的汽车设计将会有电池位置的评判标准，电池将作为汽车结构的一部分来进行整车设计。

## 1.3 本书的目的

锂电在汽车中以及在能源储存中的应用面临很多挑战，其中最难的一点是寻找统一的方法及标准。本书希望回答这些问题，并将其联系起来。比如，动力电池与储能电池的区别是什么；不同体系的锂离子电池之间有哪些不同点；电池组冷却或散热应该选择液体系统还是空气系统；什么是 BMS 等。你读完这本书就会成为一名工程师吗？答案显然是否定的。但是它会帮助你寻求正确的答案，或者对这些话题有更深刻的认识。

为了让本书的内容通俗易懂，在讲述过程中会尝试把相关术语与其他事物进行类比。比如，对千瓦时(kWh)以汽车油箱的容积大小做类比，因此当谈到电池能量使用这个单位的时候，可以类比电池“箱”所带的能量。

鉴于锂离子电池的应用领域相当广泛,本书将着重描述电动汽车领域的概念及理论。在第15章“锂离子电池的应用”中,将对锂离子电池的应用进行简单论述,包括电动自行车、电动升降机、电动公交车、电能储存等。

在汽车中,锂离子电池不同于其他子系统,它需要系统的设计来满足工程设计方面的需求。电池组装工程起始于电芯内部的化学反应,同时也包括电芯和模组的电性能,以及能量控制系统的电子器件与软件、热管理系统及电池组的机械构架。换句话说,单单锂离子电池组装工艺就可以囊括各个专业方面的知识。

有些人认为锂离子电池就是某一商品、部件或者零件,很容易被其他的人工制作零件所代替,但其实锂离子电池类似于汽车的引擎或者变速器,它不容易被代替。

这样就引出了该书出版的第二个目的,即将电池部件考虑到工程设计标准中。电池应用于大型运输设备中经常遇到的一个问题是无法估计并确定工程设计的时间。很多人把汽车电池和便携式设备使用的电池相比较,便携式设备应用的电池需要12~18个月的时间来完成从概念到量产的设计,该产品一般有两三年的寿命。然而,当我们把这种“设计-定型-测试”步骤应用到汽车上时,从概念到产品一般需要两三年的时间,而一个典型的汽车产品应具有4年或者更长的寿命,姑且不计汽车设计需要依赖于大量的实验与验证。

花费这么长时间来进行电池设计是有原因的。首先,这个过程包括很长时间的测试阶段,例如电池的寿命循环测试一般需要一年或者更长的时间;其次,还需要较长的生产时间(一些“硬”模具可能会花费25~30周或者更长时间);此外,电池的交货周期也很长。在这个过程中还有一些“硬停机”(Hard Stops)情况,比如在电池设计固化之前必须等待测试完成。除此之外,一般来说一个产品定型之前要经历两到三轮设计(一般与汽车原型设计相匹配),因此电池组设计通常需要24~36个月的时间来完成。

当然,这并不意味着没有办法缩短这些设计时间。这依赖于设计是

否面向产品、最终产品应用到哪里、各项性能的生命周期、是否存在相似产品、公司承担风险的能力等。此外，在一般典型的设计中，所有项目完成都需要一系列步骤，换句话说，是一步完成之后进行下一步。但如果实现某些步骤同时进行，则可以减少整体的设计时间。

### 1.4 章节概要

第2章简单介绍汽车电气化、现代电池以及电力基础设施发展的来龙去脉，以此来探究未来的技术发展趋势。本章为读者简单介绍了该产业在过去所面临的问题，以此来更好地理解当代产业在历史长河中的发展进程。

第3章简单介绍锂离子电池以及汽车电气化方面的术语和基本概念(因为人们刚刚进入一个产业的时候，往往对该产业的专业术语比较困惑)。为了更好地理解该行业的专业术语，本章还会对汽车电气的基本组成部分以及关键部件进行描述。

第4章对电池选取以及型号设计进行描述。这里将会引入一些简单的方程式来对其容量、电压以及能量进行计算。本章还会描述如何基于欧姆定律来对电池组(Pack)进行设计。

第5章和第6章将会介绍工程设计步骤。第5章将会涉及电池的可靠性设计和可维护性设计。毕竟动力锂离子电池是新投放市场的，所以很有必要对其在这方面给予更多关注。大多数情况下，厂家生产的锂离子电池的使用寿命往往比生产企业保证的时间短。由于电芯的产品质保时间比电动车上其他零件的质保时间长，因此应该考虑锂电在工程设计上是否最终可以满足交通工具的要求。因此，加深对锂电安全性及可靠性影响因素的理解很重要。第6章在第5章的基础上讨论了计算机设计和分析软件，这些软件也确实非常有用。目前专门针对锂电的设计软件不是很多，但仍有一些软件可以分析电池的热性能和机械性能。

第7章介绍了市场中不同的电池技术，包括铅酸电池、镍氢电池、钠电池以及锂离子电池的化学性能，讨论了它们之间的区别，并重点讨

论了锂离子电池。本章将对这些电池在交通工具电气化方面的应用进行简单介绍。本章还对锂离子电池的选取标准进行了讨论。

第8章对电池相关的电子器件进行了描述。介绍了什么是电池管理系统(BMS),它是用来做什么的,以及一个电池系统可不可以没有BMS;BMS主要的部件包括什么,它是如何和电池系统以及车辆系统相关联的;有哪些类型的BMS,哪一种是最合适的。这些问题都在第8章中进行讨论。

第9章讨论电池组中所需要的用来保证电池组安全性的其他电子器件。介绍内容包括什么是电流接触器(开关)、什么是预充电开关、什么是断电开关、为什么需要它等,本章也会对高压和低压电子系统做一些简要论述。

第10章讨论电池组工艺中的热控制系统。主要讲述如何选择合适的电池体系,如何设计它以适应不同的使用环境以及应用领域,什么类型的热管理系统最有效,何时基于液体的管理系统比基于空气的管理系统好。

第11章围绕电池组工艺、材料选取、机械性能以及结构性能进行讨论,包括结构的整体性以及如何实现。

第12章论述锂离子电池的耐用性,包括一般的使用条件以及温度承受范围。本章还包括滥用测试、表征测试以及认证测试。确切地讲,我们将讨论UN(United Nations,联合国)和UL(Underwriter's Laboratory, 保险商实验室)关于锂离子电池的测试标准的使用说明。

第13章讨论一些行业标准组织(包括SAE、IEEE、IEC、UN等)制定的标准如何影响现代电池的设计。该章介绍自发性的行业标准以及强制性的标准,同时也会涉及相关的研发以及商业组织。

第14章会涉及锂离子电池的二次寿命、再制造、修理以及循环利用的概念。锂电产业想要在市场上占有一席之地就需要满足这些需求。现在铅酸电池在美国和欧洲市场上已经实现很高的循环利用效率(98%)。该章的内容包含什么结构的锂离子电池可以达到这么高的循环利用水平,什么样的二次电池值得进行相关研究,锂离子电池是否可以



## 8 锂离子电池组设计手册 电池体系、部件、类型和术语

通过降低价格来满足市场需求等。

第 15 章讨论锂离子电池的应用范围，包括电动自行车、电动汽车、固定储能系统、航海以及工业方面的应用，因此锂离子电池具有不可估量的应用前景。任何高燃料消耗或者高排放的应用场所都可以通过部分或者全部电气化获益。

最后，第 16 章总结了未来锂离子电池在交通以及能源储存市场上的关键点和重要性，例如什么样的技术和化学可以改变将来的市场，以及未来电气化的发展方向等。

本书的参考文献请扫封底二维码获取。