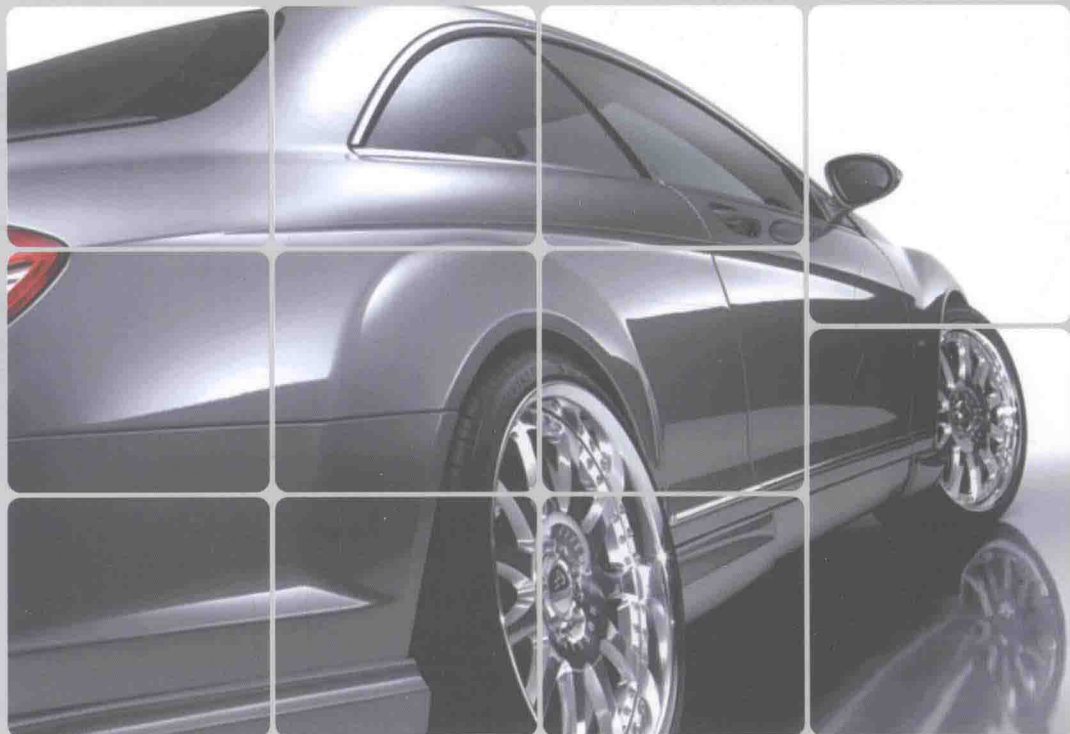


国家新能源汽车“十三五”重点规划 • 电动汽车系列教材



# 电动汽车动力电池 应用技术

主 编 姜久春  
副主编 王占国 王昕 张彩萍 孙丙香



北京交通大学出版社  
<http://www.bjtup.com.cn>

国家新能源汽车“十三五”重点规划  
电动汽车系列教材

# 电动汽车动力电池应用技术

主 编 姜久春

副主编 王占国 王 昕 张彩萍 孙丙香

北京交通大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书主要讲述动力电池管理的理论知识及其在电动汽车中的实际应用,描述电池管理系统的理论内涵和实际应用,书中部分内容、图形直接源于实车试验,通过对不同系统结构、不同图例的对比分析,明确相关概念,加深读者对电池管理系统的理解。内容共分七章,介绍了电动汽车和动力电池的发展现状、动力电池的分类、动力电池性能测试和评价、动力电池建模仿真、动力电池状态评估技术、动力电池管理系统及动力电池成组应用技术。

本书面向从事电动汽车和电池开发与设计的科研人员,以及从事电池管理系统工作的学者,作为基础理论知识学习和实践的辅导教材。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

电动汽车动力电池应用技术/姜久春主编. — 北京:北京交通大学出版社,2016.6

(国家新能源汽车“十三五”重点规划.电动汽车系列教材)

ISBN 978-7-5121-2802-6

I. ① 电… II. ① 姜… III. ① 电动汽车—蓄电池—研究 IV. ① U469.720.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第144627号

### 电动汽车动力电池应用技术

DIANDONG QICHE DONGLI DIANCHI YINGYONG JISHU

责任编辑:贾慧娟 助理编辑:李荣娜

出版发行:北京交通大学出版社 电话:010-51686414 <http://www.bjtup.com.cn>

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街44号 邮编:100044

印 刷 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印张:15 字数:374千字

版 次:2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-2802-6/U·230

印 数:1~2 000册 定 价:36.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043,51686008;传真:010-62225406;E-mail:press@bjtu.edu.cn。

# 电动汽车系列教材

## 编委会

顾 问 孙逢春

主 任 姜久春

副主任 张维戈 龚敏明

委 员 吴 健 王占国 孙丙香 时 玮 杜 欣

桂峻峰 张彩萍 王 昕 黄 彧 郭希铮

张 威 牛利勇 陈洛忠 李景新 刘平竹

聂晓波 沈茂盛 赵雪梅

# 前言

动力电池是电动汽车的主要动力源，其性能的优劣对于电动汽车运营安全性、高效性和经济性具有重大影响。目前用于电动汽车的动力电池主要包括铅酸、镍镉、镍氢和锂离子电池。长期以来，铅酸电池以工艺成熟、性能稳定及售价低廉等优点得到了广泛的应用，但由于其能量密度低、充电时间较长、寿命短、铅污染等缺点，限制了其在电动汽车领域的应用和发展。镍镉电池由于具有很好的充放电倍率特性，出现后也得到一定应用，但由于具有记忆效应、含重金属污染等问题被限制使用。镍氢电池以其充放电倍率大、无环境污染等优点在混合动力汽车上得到了广泛应用，但单体电压低且不宜并联等缺点限制了其在纯电动汽车上的应用。锂离子电池以工作电压平台高、能量密度高、循环性能好、自放电低等优点得到人们的广泛认同，成为新一代新能源汽车的理想动力源之一。锂离子电池按照正极材料不同又分为钴酸锂、锰酸锂、三元材料和磷酸亚铁锂离子电池，为提高锂离子电池低温性能，进一步降低自放电率，近年来出现了以钛酸锂作为负极材料的新型锂离子电池。

车载电池作为电动汽车的主要能源之一，其运行状态直接影响到整车的性能。目前，制约电动汽车发展的关键因素之一是动力蓄电池不理想，电池的比能量、比功率、一致性、使用寿命和价格都达不到期望的水平。电池是电能与化学能相互转换的能量系统，由于化学反应与温度、累计充放电次数、充放电倍率等多种因素有关，因而电池的运行状态呈现复杂性，其应用也受到很多限制。电池管理系统（battery management system, BMS）主要保障电池在合理的参数范围内工作，检测电池组的电压、电流、温度和继电器状态，完成热管理、均衡控制、充放电控制、故障诊断和液晶显示等功能，同时对荷电状态（state of charge, SOC）和健康状态（state of health, SOH）进行估计。

在电池管理系统方面，需要熟悉电池本体电化学特性和电气应用的复合型人才来承担相关工作，由于具有两项技能相结合的人才很少，编写一本指导性教材就显得尤为迫切。本书面向从事电动汽车和电池开发与设计的科研人员，以及从事电池管理系统工作的科技工作者，作为基础理论知识学习和实践的辅导教材。

本书编写的重点在于锂离子电池管理系统包含的理论知识及其在电动汽车

中的实际应用，描述电池管理系统的理论内涵和实际应用，因此书中部分内容、图形直接源于实车试验，通过对不同系统结构、不同图例的对比分析，明确相关概念，加深对电池管理系统的理解。

为加强理解，对一些重要概念进行了深入分析，运用仿真技术，结合示意图，对基础概念、估算方法及电池充放电控制原理进行生动说明和细致分析，因此描述直观、生动，使读者对电池管理系统技术原理有清晰的理解，并结合实例分析，增强读者的感性认识。本书具体内容安排如下：

第1章电动汽车和动力电池，介绍电动汽车和动力电池的发展，以及电动汽车对动力电池的要求；

第2章动力电池的分类，介绍动力电池的分类，常用蓄电池工作原理、充放电特性及回收利用技术，最后介绍其他新型电池及其工作原理；

第3章动力电池性能测试和评价，介绍表征动力电池的基本性能参数、参数的测试方法及其影响因素；

第4章动力电池建模仿真，介绍常用电池动态模型、模型参数辨识与仿真方法，以及串联电池组建模方法；

第5章动力电池状态评估技术，介绍电池状态的表征参数和电池荷电状态、能量状态、峰值功率及健康状态的估计方法；

第6章动力电池管理系统，介绍电池管理系统的结构、电池参数采集电路设计、电池管理系统的逻辑与安全控制，以及电池管理系统在电动汽车中的应用实例分析等。

第7章动力电池成组应用技术，介绍电池串并联优化成组方法、电池组充电方法、电池组一致性评价与均衡、电池热管理系统，以及典型的动力电池系统设计。

本书大部分内容是北京交通大学新能源所全体教师和研究生辛勤工作和集体智慧的结晶，也是十多年来从事电动汽车电池管理领域研究工作的集中体现，感谢文锋博士提供电池组状态估计、一致性评价与均衡内容，感谢温家鹏博士提供电池组充电方法内容，感谢郭宏榆博士提供电池峰值功率预测内容，实验室研究生马泽宇、陈大分、李雪、郑方丹、刘思佳、姜君、王吉松、姜婷婷、郭琦沛等做了大量的资料收集和文本编辑工作，对他们的辛勤工作表示感谢！本书编写过程中聂晓波老师、张维戈老师、龚敏明老师、张言茹老师等给予了很有益的建议，在此表示衷心的感谢！

编者

2016年1月

# 目 录

<b>第 1 章 电动汽车和动力电池</b> .....	1
1.1 电动汽车的发展 .....	1
1.2 电动汽车对动力电池的要求 .....	6
1.3 动力电池技术发展现状 .....	7
<b>第 2 章 动力电池的分类</b> .....	10
2.1 蓄电池的工作原理及构成 .....	10
2.2 铅酸动力电池 .....	13
2.3 碱性动力电池 .....	19
2.4 锂离子电池 .....	25
2.5 其他电池 .....	32
<b>第 3 章 动力电池性能测试和评价</b> .....	36
3.1 电池容量 .....	36
3.2 电池内阻 .....	43
3.3 峰值功率 .....	47
3.4 荷电保持能力 .....	58
3.5 电池寿命 .....	60
3.6 电池安全性能测试 .....	68
3.7 电池振动测试 .....	68
<b>第 4 章 动力电池建模仿真</b> .....	70
4.1 电池动态模型分类 .....	70
4.2 等效电路模型参数辨识与仿真 .....	73
4.3 基于电池放电曲线的建模方法 .....	79
4.4 串联电池组建模 .....	81
<b>第 5 章 动力电池状态评估技术</b> .....	93
5.1 电池状态的表征参数 .....	93
5.2 荷电状态估计 .....	93
5.3 电池能量状态估计 .....	123

5.4	电池峰值功率估计 .....	129
5.5	电池健康状态 .....	132
<b>第6章</b>	<b>动力电池管理系统</b> .....	<b>134</b>
6.1	电池管理系统的功能和拓扑结构 .....	134
6.2	电池参数采集电路设计 .....	138
6.3	电池均衡管理电路设计 .....	153
6.4	数据通信 .....	157
6.5	逻辑与安全控制 .....	161
6.6	电池管理系统功能可靠性验证 .....	168
6.7	电池管理系统应用实例 .....	171
<b>第7章</b>	<b>动力电池成组应用技术</b> .....	<b>180</b>
7.1	电池串并联优化成组 .....	180
7.2	电池组充电方法 .....	182
7.3	电池组一致性评价与均衡 .....	194
7.4	电池热管理系统 .....	222
7.5	典型的动力电池系统设计 .....	229
<b>参考文献</b>	.....	<b>231</b>



# 第 1 章

## 电动 汽车 和 动力电池



### 1.1 电动汽车的发展

#### 1. 电动汽车的出现

早在 1830 年，苏格兰发明家罗伯特·安德森（Robert Anderson）便成功地将电动机装在一部马车上，随后与托马斯·戴文波特（Tomas Davenport）合作，打造出了世界上第一部以电池为动力的电动汽车，该车采用的是不可充电的玻璃封装蓄电池，自此开创了电动汽车发展和应用的历史。这比德国人戈特利布·戴姆勒（Gottlieb Daimler）和卡尔·本茨（Karl Benz）发明汽油电动机汽车早了数十年。

1881 年，法国巴黎街上出现了世界上第一辆以可充电电池为动力的电动汽车（如图 1-1 所示）。它是法国工程师古斯塔夫·图沃（Gustave Trouve）装配的以铅酸电池为动力的三轮车。

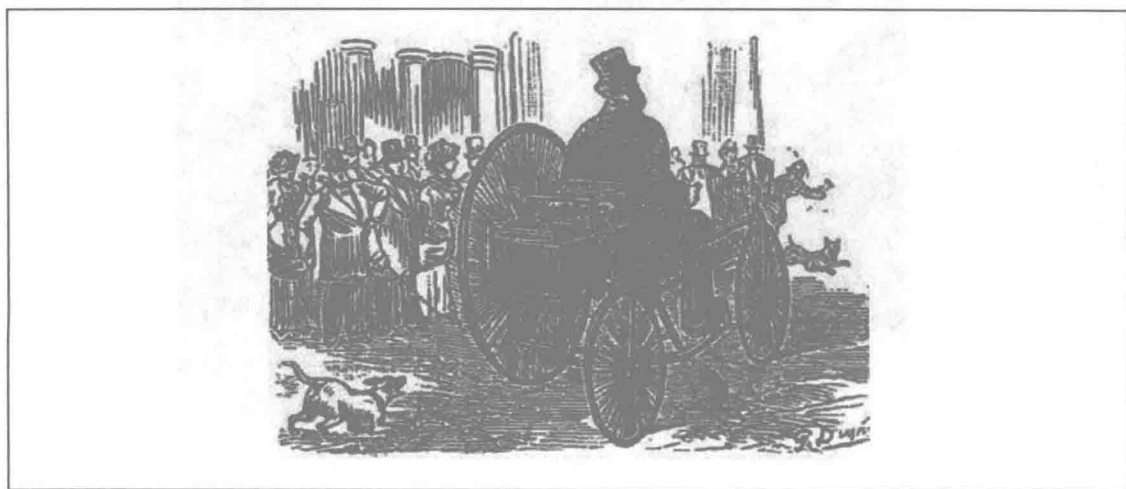


图 1-1 Gustave Trouve 的三轮电动汽车（1881 年）

19 世纪末期到 20 世纪初期，这是早期电动汽车发展的黄金时期，法国和英国都出现了电动汽车制造公司。1897 年，英国伦敦的电动出租汽车公司生产了 15 辆电动出租汽车。同年，在美国纽约街头也出现了电动出租汽车的身影，如图 1-2 所示。

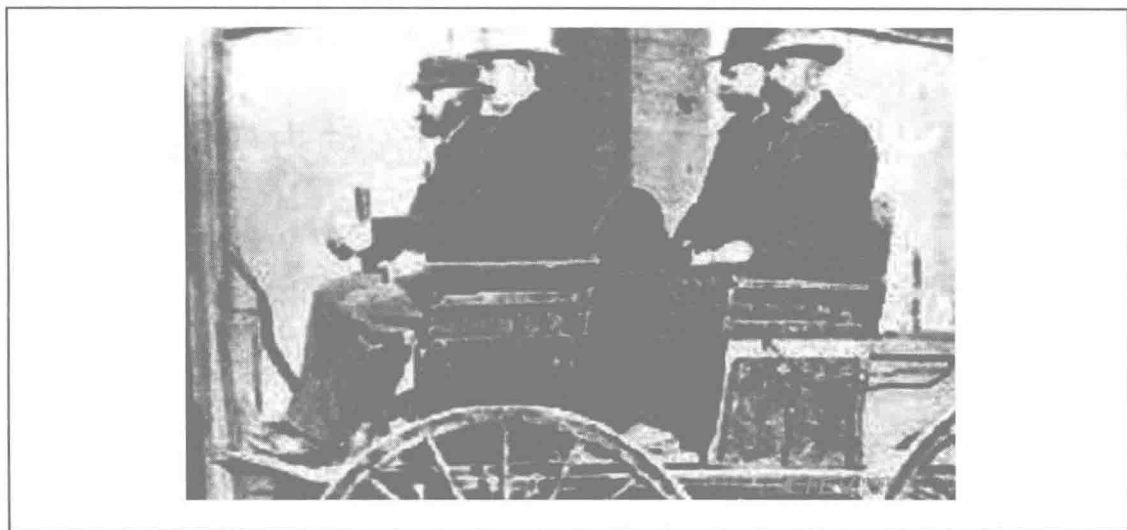


图 1-2 纽约街头的电动出租汽车 (1897 年)

1899 年 4 月 29 日，比利时人卡米乐·热纳茨 (Camille Jenatzy) 驾驶着一辆名为 La Jamais Contente 的炮弹外形电动汽车以 105.88 km/h 的速度刷新了汽油电动机汽车保持的最高时速纪录，如图 1-3 所示，这也是汽车速度第一次突破 100 km/h 大关。La Jamais Contente 电动汽车保持着这个汽车速度纪录进入了 20 世纪。

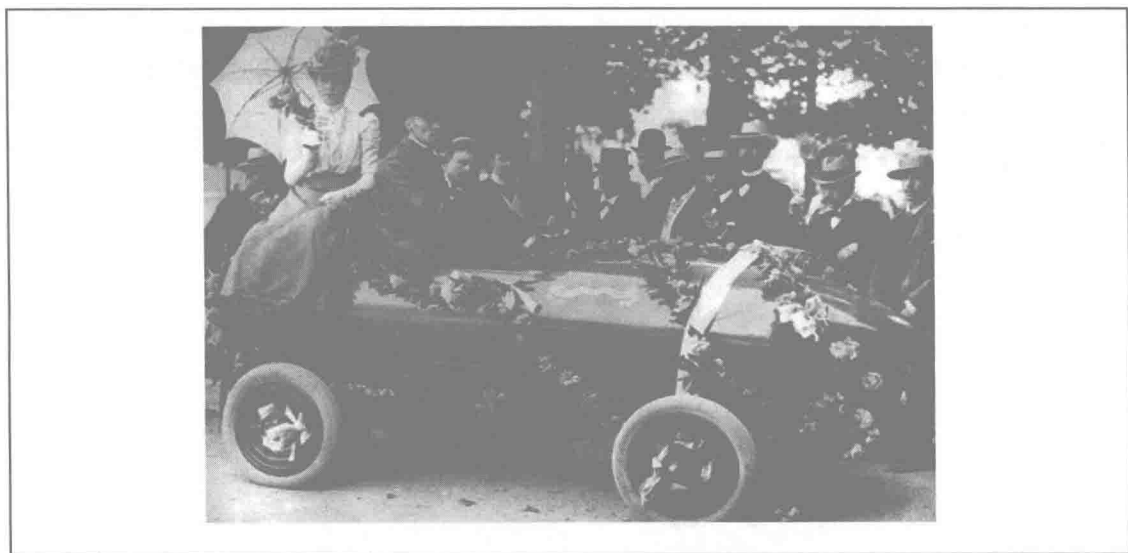


图 1-3 突破 100 km/h 的 La Jamais Contente 电动汽车 (1899 年)

到 1912 年，美国有 34 000 辆电动汽车注册。贝克电气公司 (Baker) 是美国最重要的电动

汽车制造商。底特律电气公司（Detroit Electric）生产的电动汽车，最高时速可达40 km/h，续航里程可达129 km。1901—1920年，英国伦敦电动汽车公司生产了后轮轮毂电机式、后轮驱动、斜轮转向和充气轮胎的电动汽车。

随着科学技术的发展，包括高速内燃机、汽车电起动等内燃机汽车关键技术的相继出现，以及由于经济的发展对长途客货运输的需求，电动汽车续航里程短、充电时间长等缺陷更加明显。1913年，福特公司开发了T型内燃机汽车，并在汽车发展史上首次实现了标准化大批量生产，使其价格从1909年的850美元降到了1925年的260美元。批量化生产的内燃机汽车彻底结束了电动汽车的生命。到20世纪30年代，电动汽车基本上从欧美汽车市场中消失了。

### 2. 电动汽车的再发展

进入20世纪60年代，内燃机汽车的大批量应用带来了严重的空气污染。不仅如此，更重要的是内燃机汽车对石油的过分依赖，导致一系列的政治问题和国家安全问题。20世纪70年代初，世界石油危机对美国乃至世界的经济产生了重大影响，而电动汽车由于其良好的环保性能和能够摆脱对石油的依赖，重新得到社会各界的重视。

1976年，美国国会通过了“纯电动汽车和混合动力（电动）汽车的研究开发和样车试用法令”（The Electric Hybrid Vehicle Research Development and Demonstration Act），拨款1.6亿美元资助电动汽车的开发。1977年，第一届国际电动汽车会议在美国举行，公开展出了100多辆电动汽车。1978年，美国“第95—238公法”予以修订并增加对电动汽车研发的拨款，政府同时责令能源部电力研究所与电力公司加大研制电动汽车的技术和资金投入，责成阿岗国家实验室（简称ANL）与电池公司合作研制电动汽车用高性能蓄电池。从此，电动汽车在国际上开始第二轮研发高潮。

这段时间的代表性产品如下。

1994年，日本大发汽车公司开发的电动微型面包车“Hi-Jet EV”。

1995年，法国标致雪铁龙公司开发的电动4座小型电动汽车“P106 \_ SAXO”和同动力平台的客货两用车。

1996年，日本丰田公司开发的电动5座小型汽车“RAV4 EV”（镍氢电池），将传统的铅酸电池改为镍氢电池，一次充电可行驶200 km。

1996年，法国雷诺公司开发的电动4座小型汽车“Ctio”（镍铬电池）。

1996年，日本本田公司推出了“EV Plus”纯电动汽车。EV Plus的0~96 km/h加速时间为17.7 s，最高速度被电子限速器限制在130 km/h，续航里程为200 km，车载接触式充电机输入电压为交流110/220 V，输出功率为1.1/4.2 kW，充电时间为6~8 h（从20%充电到100%）。

1997年，日本丰田公司开始销售其5座混合动力（电动）汽车“普锐斯”。

1997年，美国福特公司开发电动2座轻型客货车“Ranger”。

1997年，美国克莱斯勒公司开发电动4座小型汽车“Epie”。

1997年，美国通用汽车公司开发电动2座轻型客货车“S-10”。

1998年，日本日产公司开发电动4座轻型汽车“Aitra”。

第二轮研发（20世纪80年代到90年代末）是以汽车生产商为主进行开发和推广应用，试图与传统汽车正面竞争。但是，结果是除丰田公司的混合动力（电动）汽车外，世界9大

汽车公司的 10 种纯电动汽车仅仅是小规模生产，其中通用汽车公司 EV1 和福特汽车公司 Ranger EV 的产量分别为 1 353 辆和 1 259 辆，没有实现大规模生产，主要原因如下。

(1) 当时电动汽车电池类型主要以铅酸和镍氢电池为主，电池能量密度低、使用寿命短等性能缺陷直接导致了电动汽车在续驶里程、动力性和使用经济性等方面无法与内燃机汽车相匹敌。

(2) 当时电动汽车的设计理念与普通民众对电动汽车的认识存在一定差距，使得民众接受理念带有一定的“局限性”。比如，在动力性、空间尺寸、最高车速等方面提出了与传统汽车一样的“苛刻”要求，而这些要求也凸显了电动汽车相对于内燃机汽车的劣势。

(3) 当时传统内燃机汽车产业强大的惯性也阻碍了电动汽车的发展。在美国，虽然有政府的提倡和支持，但汽车企业从既得利益出发，并不愿看到电动汽车大行其道，企业响应政府号召生产电动汽车的目的是为了证明在当时的基础设施和技术条件下，电动汽车产业化是不可能的，技术的开发和储备成为其主要目标，在产业化推进方面并不积极。美国纪录片“谁扼杀了电动汽车”就从一个角度反映了这一事件的复杂背景。

### 3. 电动汽车的新机遇

21 世纪初，纯电动汽车产业化受挫，但在中国、日本、美国，以及欧洲，电动汽车的研发并没有就此止步，以纯电动汽车、混合动力（电动）汽车和燃料电池汽车为目标的电动汽车全面研发进入了第三轮更大规模的研究探索阶段。围绕纯电动汽车，政府、能源企业、汽车生产商和电池等相关产业全面参与，以“能源安全”和“环境保护”为主要目的，不仅是为了简单地用电动汽车来取代常规汽车，而是在探索新的节能环保出行方式和新的车型的基础上，开发符合各方面利益的新一代纯电动汽车。这一阶段以电力公司和跨国机电公司的参与，以及广泛采用高性能动力电池为主要特征，研究的重点地区是日本、中国和欧洲；技术研发的重点是延长续驶里程、缩短充电时间，解决充电基础设施问题。

2006 年以后，随着全球节能环保呼声的日益高涨，以及各国、各大汽车公司对电动汽车技术的统一认识和信心，纯电动汽车的开发在中国、日本、美国乃至欧洲得到了进一步的重视，并向产业化、实用化发展。发展电动汽车成为减缓环境污染和解决石油危机的有效可行途径。同时，现代高新技术的发展、新材料的诞生，以及电子、电机和计算机技术的广泛应用，都极大地促进了电动汽车自身技术的更新与发展。

### 4. 各国电动汽车的发展状况

由电动汽车的发展历史可以看出，自 1881 年首辆电动汽车开始，电动汽车经历了曲折起伏的几个发展阶段，其中的决定因素就是动力电池技术和人们对环境、能源的关注程度，但电动汽车自身具有的显著优点决定了其必将成为新能源汽车技术发展的一个重要方向和 21 世纪的重要交通工具。

#### 1) 美国

美国是汽车工业最发达的国家，汽车产量和保有量均位居世界前列，每年的石油消耗量和汽车污染物的排放量也都位居世界首位。为增强汽车制造业的竞争力，美国政府提出了著名的 PNGV 计划和 FreedomCAR 计划。美国总统奥巴马上台以后，部署实施总额为 48 亿美元的电池与电动汽车研发与产业化计划，并提出到 2015 年要普及 100 万辆插电式电动汽车。各州政府也纷纷制定政策引导并促进电动汽车的健康发展，要求纯电动汽车（PEV）

和插电式混合动力（电动）汽车（PHEV）在内的“零排放标准车”的销售比例从2014年前的3%提高到2015年的6%。为满足这一规定，各车企需在其销售中实现PEV 3%、PHEV 3%，或PEV 6%的目标，而若不达标，则每辆汽车会被征收5 000美元的罚款。美国的通用、福特汽车公司在混合动力汽车方面的研究重点在于插电式混合动力和强混技术。通用和福特都曾在燃料电池汽车研发方面投入巨资，但随着燃料电池汽车产业化的推迟和混合动力（电动）汽车市场份额的不断扩大，关注重心已经向混合动力（电动）汽车方面倾斜。

### 2) 欧盟与其他各国

欧洲更加注重温室气体减排战略，规定了日益严格的二氧化碳排放限制要求，提出将每辆乘用车的CO<sub>2</sub>排放量从2012年平均130 g/km减少至2020年的平均95 g/km、2025年平均70 g/km的中长期目标，这业已成为欧洲对新能源汽车发展的主要驱动力之一。欧盟计划旨在增强欧盟各国工业的竞争力，充分调动欧盟各国的科学技术力量，避免各国科研计划重复，有效利用各国的人力和物力资源。欧盟与电动汽车相关的发展计划主要有FP系列计划、欧盟燃料电池研究发展示范计划、欧盟燃料电池巴士示范计划和欧洲电动汽车城市运输系统计划等。欧盟已拨款14.3亿欧元用于支持电动汽车研发。英国和法国是欧洲电动汽车研发和应用最早的国家，目前已有十几万辆电动汽车在运行。德国电动汽车在欧洲处于领先地位，已于2009年8月发布了以纯电动式和插电式电动汽车为重点的《国家电动汽车发展计划》；大众、奔驰和宝马公司开始对混合动力（电动）汽车和纯电动汽车加大投入力度，奔驰和宝马公司在燃料电池电动汽车技术上处于世界领先地位。

### 3) 日本

日本是汽车生产大国，由于日本的石油资源匮乏，石油几乎全部依赖进口，因此，日本政府及日本各大汽车公司对电动汽车的开发十分重视。日本从20世纪70年代就开始开发电动汽车，长期坚持确保能源安全及提高产业竞争力的双重战略，通过制订国家目标，引导新能源汽车产业的发展并高度重视技术创新。日本制订的电动汽车研发计划主要有低公害汽车开发普及行动计划、JHFC示范计划和专项研究计划等。同时，政府也制订了鼓励电动汽车开发及推广应用的相关政策及措施，把发展电动汽车作为“低碳革命”的核心内容，并计划到2020年普及以电动汽车为主体的“下一代汽车”达到1 350万辆。日本的丰田、本田两家公司分别实现了电动汽车的产业化，它们推出的普锐斯和思域两款混合动力（电动）汽车得到了日本和北美市场的普遍认可，截至2013年12月底，普锐斯全球累计销量已达600万辆。可以说日本已经在混合动力（电动）汽车领域走在了世界前列，其电动汽车的市场推广已经进入了实质性阶段。

### 4) 我国电动汽车的发展情况

我国一直重视电动汽车的发展。纵观我国电动汽车的研发和产业化历程，大致可分为三个阶段。第一阶段从“九五”初期到2008年，主要通过技术支持和研发与奥运会等小规模示范运行相结合，奠定了纯电动、混合动力和燃料电池三种动力系统平台汽车的研发和初步产业化基础。第二阶段从2009年到2012年。2009年1月，中华人民共和国财政部、中华人民共和国科学技术部共同发布了《关于开展节能与新能源汽车示范推广试点工作的通知》和《节能与新能源汽车示范推广财政补助资金管理暂行办法》，11月，在北京、上海、重庆等13个城市开展节能与新能源汽车示范推广试点工作，逐步完善了对企业及相关产品的管

理，加快了标准化体系建设。第三阶段从 2013 年至今。在 2013 年 9 月，出台了《关于继续开展新能源汽车推广应用工作的通知》（财建〔2013〕551 号），北京、天津、太原等 28 个城市或区域被确认为首批新能源汽车推广应用城市，2014 年 2 月，四部委确认了沈阳、长春等 12 个城市或城市群作为第二批新能源汽车应用推广城市，我国新能源汽车的推广工作进一步加强。在新的推广政策中，补贴政策按照乘用车纯电行驶里程为标准，插电式混合动力乘用车（含增程式）里程 50 km 以上每车补贴 3.5 万元，纯电动乘用车里程 80 km 以上、150 km 以下每车补贴 3.5 万元，150 km 以上、250 km 以下每车补贴 5 万元，250 km 以上每车补贴 6 万元。从这些补贴政策中可以看出我国致力于发展电动汽车的决心。据统计，2013 年我国新能源汽车生产 1.753 3 万辆，同比增长 39.7%。其中，纯电动汽车 1.424 3 万辆、插电式混合动力（电动）汽车 3 290 辆。新能源汽车销售 1.764 2 万辆，同比增长 37.9%，其中纯电动汽车 1.460 4 万辆、插电式混合动力（电动）汽车 3 038 辆。

从国家扶持的角度看，各国侧重的电动汽车种类不完全相同。美国为了减少碳排放最初极力推崇电动汽车，但由于技术不成熟，转向燃料电池汽车；自奥巴马上台后，美国的研究重点又从燃料电池汽车转向了插电式混合动力（电动）汽车。欧洲一直都较崇尚纯电动汽车，但经过十余年的发展后，仍没能成功解决续驶里程短的问题，商业化进程缓慢，欧洲正从纯电动汽车转向混合动力（电动）汽车。日本是最先发展电动汽车的国家，日本最早鼓励纯电动汽车和插电式混合动力（电动）汽车的发展，近年来，日本也开始积极研究燃料电池汽车。我国一直以来都大力支持纯电动汽车的发展，近年来我国重点鼓励纯电动汽车和插电式混合动力（电动）汽车一起发展。



## 1.2 电动汽车对动力电池的要求

动力电池为电动汽车直接提供能量来源，是电动汽车的重要组成部分。动力电池性能的优劣将直接影响到整车的性能，比能量决定了纯电动驱动模式下的续驶里程；比功率决定了整车的动力性，如最大爬坡度和最大车速等；循环寿命的长短和成本的高低直接影响电动汽车的整车成本和使用经济性。具体来说，动力电池需满足以下基本要求。

### 1. 高能量密度

任何电力驱动装置都希望所选用的电池的容量大、质量轻、尺寸小。这是由于满足这些条件的电池可使电力驱动装置做到外形小、质量轻、充电后行驶路程长。锂离子电池具有高能量密度，它是电动车辆的优选电源。

### 2. 高功率密度

车辆起动和加速过程都希望时间短，蓄电池瞬间输出电流必须很大，高功率密度的电池方可满足这一要求，即要求电池的极板薄、内阻小、大电流放电性能要好。

应当注意，不同电池的比能量和比功率之间的关系是不同的。有的电池的比能量高，但

比功率不一定高；同样，有的电池的比功率高，但比能量不一定高。

### 3. 使用寿命长

在20世纪80年代曾出现过电动自行车热潮，但很快就退下来了，其重要原因就是当时使用的是普通铅酸蓄电池，寿命不到半年，其价格却相当于一辆自行车。阀控式密封铅酸蓄电池使用寿命长达1.5年以上，性能比以前大有改善，使得今天电动自行车的数量在我国成倍地增长。当前开发锂离子电池电动汽车遇到的重要难点就是车内锂离子电池组的使用寿命短。

### 4. 费/效比尽可能低

任何一个产品的价格高低往往是能否占领市场的关键因素。只有消费者认为费/效比合适，该产品才会有销路。当前95%以上的电动自行车使用阀控式密封铅酸蓄电池，就是因为它的费/效比具有明显优势。

### 5. 充电时间短

蓄电池充电时间越短，车辆的机动性能就越高。电动车驾驶人员都希望电池充电要像汽油车加油那样快速方便。

### 6. 安全性好

由高负电性的负极和高正电性的正极组成的电池，其电压高，比能量高，这是其优点；但同时也存在安全性较差的毛病。例如Li/SOCl<sub>2</sub>电池的比能量很高，但就是因为它会出现莫名其妙的爆炸现象，从而使它未能用作动力电池。

### 7. 使用维护方便，电池过充电和过放电性能好

电池在使用过程中必然会出现个别电池过充电或过放电现象，从而缩短电池的寿命。



## 1.3 动力电池技术发展现状

目前用于电动汽车的动力电池主要有镍氢电池和锂离子电池，其中镍氢电池以充放电倍率大、无环境污染等优点在混合动力（电动）汽车上得到了广泛应用；锂离子电池推出以后，以工作电压平台高、能量密度高（理论比容量达到3860 mAh/g）、无环境污染、工作温度范围宽广、自放电率低、无记忆效应、充放电效率高、寿命长等优点得到人们的广泛认同，成为新一代电动汽车的理想动力源。

锂离子电池按照正极材料不同又分为钴酸锂电池、锰酸锂电池、磷酸亚铁锂电池、锂聚合物电池、三元材料锂电池，不同正极材料的锂离子电池性能比较如表1-1所示。早期研发的钴酸锂电池和镍酸锂电池由于含钴和镍，成本较高，而且还存在稳定性不好等缺点，发展遇到瓶颈。最近几年研发的锰酸锂电池和磷酸亚铁锂电池技术有了较大进展，解决了不稳定、易爆炸的安全问题，得以在电动汽车进行大量应用。北京奥运会、上海世博会、广州亚运会中分别有50辆、60辆、35辆纯电动客车使用锰酸锂电池作为动力系统；北汽福田公司生产的8吨环卫清洁卡车，以及北京无轨电车均采用锰酸锂电池和磷酸亚铁锂电池作为动力源；而国内大多数汽车厂家研发的电动汽车，如比亚迪公司的E6纯电动出租车、杭州众泰

的 2008EV 及 5008EV、江淮汽车的同悦纯电动轿车、长安汽车的奔奔 MINI 纯电动轿车、奇瑞的 S18 纯电动轿车等均采用磷酸亚铁锂电池作为其动力系统；其中比亚迪公司的 E6 纯电动出租车、杭州众泰的 2008EV 及 5008EV 和江淮汽车的同悦纯电动轿车已实现小批量生产，并投入示范运行。

值得一提的是，近年来以钛酸锂为负极的锂离子电池由于工作温度范围宽、倍率特性好、寿命长等优点，受到了广泛关注，但由于其能量密度低、成本较高、批量化生产技术不成熟等原因，目前电动汽车正在进行试验。

表 1-1 锂离子电池主要性能比较

锂电池类型	钴酸锂	磷酸亚铁锂	锰酸锂	钛酸锂	三元材料	聚合物
优点	可逆性好 能量密度高	循环寿命长 安全性高	资源丰富 安全性好	安全性好、倍率特性好、寿命长	循环性能好 热稳定性好	耐过充能力强
缺点	钴资源缺乏 抗滥用能力差	能量密度低 导电性差	高温循环性能较差	能量密度低、成本高	成本高 制备工艺复杂	能量密度低、寿命低

动力电池在电动汽车上的应用还存在一些的问题，主要原因如下。

### 1. 恶劣的运行环境

(1) 大量大容量电池串并联使用。为了达到相应的电压、功率和能量等级，电动汽车需要将大量大容量电池串并联后使用，这给电池组一致性提出了很高的要求，与单只电池不同，需要更加完善的成组管理技术。

(2) 工作电流大、变化快。图 1-4 为奥运纯电动大客车在加速过程中电池的工作电流、平均电压和车速变化曲线。可见在车辆加速过程中，电池工作电流大（最大值超过 350 A）且变化很快（从 300 A 到 0 A 的转换时间小于 0.5 s），这使得电池组出现过放电、过热，以及容量和能量利用率低等问题，也为电池状态在线估算增加了难度。

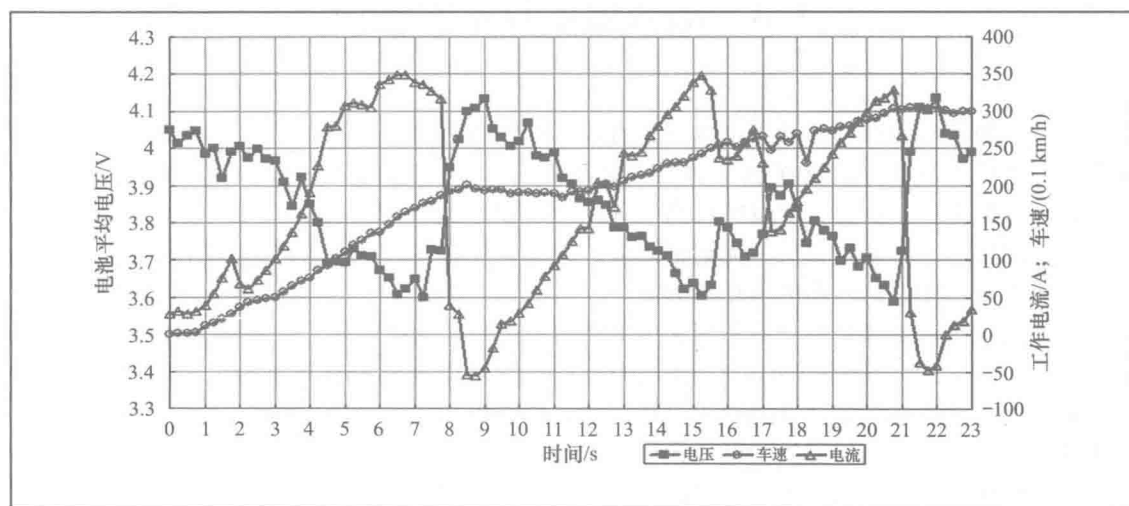


图 1-4 奥运纯电动大客车加速曲线



(3) 车辆空间狭小。这增加了电池系统（包括电池、电池管理及保护机构等）安装、散热和通风设计的难度。一方面，如果长时间在高温环境下工作，电池容量下降速度加快，甚至导致热失控而出现安全隐患；另一方面，温度的不均匀势必引起电池在容量下降速度和自放电系数上的差异，最终导致电池组一致性迅速变差，容量和能量利用率下降，电池使用的复杂程度和不合理使用的概率增加，给电池组的高效管理提出了更加严峻的考验。

(4) 环境恶劣。车辆运行颠簸，对电池的抗机械滥用能力（抗冲击和震动等）提出了更高的要求；同时灰尘、雨水，以及线路磨损可能导致电池（组）出现爬电、短路、搭铁等绝缘问题。

### 2. 动力电池自身抗滥用能力较差

电动汽车对电池的高性能要求和自身恶劣的运行环境给电池系统的安全、高效和长寿命使用提出了更高的要求和挑战。由于动力电池自身抗滥用能力较差，不合理使用（如经常或长时间高温或低温环境运行、SOC 过高或者过低、过电流等）会导致电池寿命明显缩短；滥用（包括过充电、过放电、过热和过电流等）可能直接导致电池损坏，甚至出现着火和爆炸等安全事故。