

电动汽车技术与商业运行

段万普 主编



- 如何降低电动汽车使用成本？
- 如何让电动汽车像燃油汽车一样充电便捷、快速？
- 怎样实现电动汽车的商业化运行？

本书以实际生产数据为依据，提出了合理、可信的理论分析和可以操作实施的方案。书中的技术措施可以大幅度压缩电动汽车运行成本，为进入千家万户的商业化运行提供基础条件。



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电动汽车技术与商业运行

主 编 段万普

副主编 韩建方

参 编 孙 杰 霍从崇 孙 婷 宋永江
王吉校 赵俊义 曹广平 赵元雷
付 凯 肖喜春



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

当前,世界各国都普遍关注电动汽车技术的发展。那么,中国电动汽车产业应如何发展?如何让电动汽车像燃油车一样充电便捷、快速?等等。本书以实际生产的数据为依据,提出了合理、可信的理论分析和可以操作实施的方案。书中的技术措施可以大幅度压缩电动汽车运行成本,为进入千家万户的商业化运行提供基础条件。

本书第1、2章介绍电动汽车牵引电动机和电动机控制器的原理及使用;第3~7章介绍锂电池及其电池管理系统、锌空气电池的使用、燃料电池及燃料电池电动汽车、电动汽车铅酸蓄电池;第8章介绍电动汽车辅助系统相关技术、电动汽车电池的选型和结构设计、电动汽车整车测试、电动汽车充电作业及充换电站等;第9章从管理和技术可行性角度出发,分析了电动汽车技术发展路线的陷阱和误区,并提出了一种新的思路和解决方案;第10章从整车设计角度出发,并结合千熙新能源科技有限公司的试验数据证明了这一解决方案的可行性。

本书系统全面、角度新颖、数据翔实、实用性强,可供电动汽车商业运行管理人员、电动汽车设计人员、维护人员阅读参考,还可供大专院校相关专业师生和电动汽车用户阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车技术与商业运行/段万普主编. —北京:中国电力出版社,2012.8

ISBN 978-7-5123-3426-7

I. ①电… II. ①段… III. ①电动汽车 IV. ①U469.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第200497号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年1月第一版 2013年1月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 20印张 331千字

印数0001—3000册 定价39.80元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

序

用不了太长的时间，全球人口将达到 70 亿。这么多人生活在这个星球上，有三大难题亟待解决：一是粮食，二是能源，三是环境。在这三大难题中，后两项均与汽车有关：能源和环境都不允许按照现在的方式发展汽车产业了，不仅作为燃油汽车能源的石油资源趋向枯竭，而且汽车尾气排放所造成的空气污染也威胁着数亿人的健康，过度的碳排放还造成了温室效应，给全世界带来灾难性后果。因此，人类已经走到了一个十字路口：要么不再使用汽车，要么减少和杜绝汽车的尾气排放，二者必择其一。

全球的经济发展与工业化紧密相关，人类正在日益增多地享用工业化带来的便利，越来越多的国家已成为汽车轮子上的国家，停止使用汽车对全世界来说是一件不可思议的事情。因此，对人类来说，能够接受的选择只有一个，就是减少或杜绝汽车的尾气排放。要想实现这个目标，最现实的替代方案就是发展电动汽车。

要让地球上行驶的数亿辆汽车改变工作原理，用电动机取代燃油发动机，用蓄电池取代油箱，实现运行过程中的零排放，这是一个无比庞大的工程，或许是人类历史上前所未有的巨大工程。因此，我们有足够的理由把电动力体系的建立称为第四次工业革命——它预示人类将进入绿色能源的新时代。

但是，电动力体系对传统燃油动力体系的替代，并不仅仅是技术问题，更是一个经济问题。现有的电动技术早已能满足汽车的各种使用要求，但这并不能让电动汽车走向市场，它还需要在全寿命周期的成本上实现对燃油汽车的超越，否则，就不可能在市场竞争中战胜燃油汽车。

然而，截至目前电动汽车的全球研发，却没有充分考虑到低成本的重要性。西方国家的汽车巨头给各国政府绘制了一张蓝图：将电动汽车定义为燃油汽车的升级版，模仿电脑、平板电视、手机的入市路线，也把电动汽车抬高到奢侈品的地位，期望通过政府补贴，让电动汽车从昂贵的奢侈品走向市场，幻

想随着批量的增加，逐步降低价格，最终成为大众可以接受的平民车。这是一个注定失败的路线图，因为电动汽车不可能具有超越于同类燃油汽车的使用价值，它没有创造出可以炫耀的新功能，无法让使用者从中获得高贵地位的心理满足，这使遵循奢侈品路线的电动汽车，只能在极小的细分市场中找到买主，却不能在大众汽车的主流市场中实现突破。西方汽车巨头的错误观念，不仅使自身陷入困境，而且正在诱使中国的电动汽车研发走入死胡同：无论是政府的相关部门，还是中国的大型汽车企业，都将西方汽车巨头的技术路线视为经典，盲目地跟随导致电动汽车在商业化道路上裹足不前。

反思电动汽车的错误技术路线已经是时不我待的事情了！

早在 2009 年 3 月的全国“两会”上，我作为全国政协委员提交了一份《为电动交通工具产业彻底松绑》的提案，并在民进和民盟届委员联组会议上做了相应的发言，强调要坚持我国独立自主的技术路线，利用我国在电动自行车领域的技术优势，发展大众化、低成本纯电动换电式电动汽车。参加联组讨论的胡锦涛总书记对我和欧阳明高委员有关大力发展新能源汽车的建议给予了充分的肯定，并希望我们探索出适合我国国情的电动汽车发展道路，特别是要解决好电池的续航里程和充换电问题。会后，我们身负总书记的嘱托，成立了清华大学电动汽车项目组，我担任组长，由我中心国家发展战略研究部主任韩建方先生担任执行组长，并在民营企业家乔常顺先生的鼎力支持下，成立了专业性研发团队，从此，开始了立足于中国技术平台的电动汽车的研发。

我们在整合技术资源的过程中，从事电池维护工作 30 余年的专家段万普先生不仅加入了我们的团队，还为我们带来了电池维护的珍贵经验和核心技术。除了段先生外，我们先后与国内汽车制造、先进电动机制造、控制系统制造、先进动力电池制造的专家团队以及证券投资等同仁结成了战略合作伙伴关系，并在合作过程中进行了重组，使拥有六项国际专利的电池专家孙杰博士成为我们团队的成员。在此基础上，我们经过 3 年卓有成效的努力，取得了五项原创性核心技术成果，打造了一个将电动汽车、充换电成套设备、电池制造、动力总成制造、电池维护技术集于一身的研发主体。

我们自主研发的电动汽车，不仅在主要技术指标上大大超越了现有汽车企业的产品，而且实现了电动汽车和充换电配套系统的低成本。其中纯电动换电式三厢轿车的续航里程达到 510km，最高时速达到 145km，0~50km 的加速时间 7.2s，百公里耗电 9~15kWh，电池更换时间仅为 3min，保证电池使用寿命可达 30 万公里。更重要的是，实测电动汽车的全寿命周期的费用，比同

类燃油汽车低 30%，即使不依赖政府补贴，也具有对燃油汽车的竞争优势。可以说，我们已经提供了电动汽车商业化的解决方案。我们的电动汽车项目已经在郑州大地落户，在不久的将来，国内首批电动汽车将投入商业化试点运行。我们的研发实践表明，诞生于中国电动自行车行业土壤的技术，具有低成本和简单化的优势，我们所遵循的技术路线不仅能够实现优越的经济指标，也同样可以实现优越的技术指标，是对西方技术路线的完美超越！

简述之，走我们自己的路，在不依赖政府补贴的情况下，采用纯电动换电式电动汽车、低成本充换电、电池维护、低电压高效率动力系统、高能量电池等五项核心技术，就能够实现电动汽车的商业化运行，从而改变中国汽车产业落后于西方的历史，以电动汽车的崛起为标志，中国将跻身于国际新能源汽车顶级俱乐部。

本书记录了中国电动汽车发展的思路和已经取得的成果，希望我们的成果能够推进我国电动汽车产业的发展。

清华大学政治经济学研究中心主任

清华大学电动汽车项目组组长

蔡继明

2012 年 7 月 16 日

前言

中国未来的经济增长已经受到石油能源供应的严重制约,尤其是中国对国际原油的依赖程度超过美国,2011年已达到了56%,而且每年都在增加。这已经不仅仅是经济问题了,已成为国家安全的重大隐患,摆脱对进口原油的过度依赖,势必成为国家政策重要的关注点,用新能源来替代传统能源已经成为国家战略。环保的实际要求越来越严格,低碳排放已经成为世界各国的约束性指标。电动汽车就是世界各国国家战略中的关键环节。

21世纪以来,全球最重要的经济体都把电动汽车看成是彼此之间决胜未来的主要战场,谁能在这个领域获得领先地位,谁就有希望成为21世纪全球经济的领导者。因此,各主要工业国的竞争已经紧锣密鼓地展开了。

但是,所有的国家和企业目前都没有取得突破性的进展,充其量不过是在各国政府资助下进行示范运行,除了速度在60km/h以下的低速电动汽车外,还没有一个企业的一款产品能够打开商业化的突破口。政府推动的示范运行,仅仅起到“作秀”的作用,而无法持续下去。

电动汽车在各国政府资助下展开示范运行,这并不是一件有难度的事情,难的是如何从示范运行中脱胎而出,大规模进入商业化轨道,这才是一个全球性的难题。本书记录的内容,就是解决这个难题的成功试验。

牵引电动机是电动汽车的动力机构,本书详细介绍了几种电动机的结构特性、生产工艺、维护方法和传动连接,使读者能够在了解不同电动机原理的前提下,在适当的条件下正确使用和合理维护电动机。

电动汽车的动力电池,进入到实际商业使用的,有铅酸蓄电池和锂电池两大类。由于铅酸蓄电池重量比能量较小,主要用在低速车上,如铁路车站、货运码头、工厂车间内用于货物周转的电瓶车。此外,现在大量销售的电动低速四轮小客车,也多是以铅酸蓄电池为动力的,锂电池主要用在高速车上。锂电池的价格较高,如果没有良好的维护作业,就不能把锂电池循环使用的潜力发

挥出来，这一点正是现在锂电池电动汽车的软肋所在。

燃料电池现在尚没有大量使用。以氢氧为原料的燃料电池，作为远离基地的独立电源，其优势是明显的。尤其独特的优点，在某些场合，其优点是其他电池难以替代的。

锌空气电池电动车辆的试运行，在国内已经几起几落。本书对锌空气电池的介绍偏重于理论，原因有两个，其一是由于实际市场化运行数据较少，其二是希望后来者能了解前人对锌空气电池的认识。如果后来者有超过前人的新技术和新工艺，就有可能推动锌空气电池实际进入商业运行。吴寿松先生在电动车上使用锌空气电池所做的开创性工作，给我们留下了宝贵的资料。

蓄电池的合理维护，把电动汽车运行全周期成本降低到燃油车之下，是电动汽车进入商业运行的基础。由于蓄电池维护需要专业知识和专用设备，是个技巧性较高的技术工作，因此要有一家独立公司——充换电运营商，承担电池的运行质量责任，要从电池的配置、管理、维护、更新到残值利用，全面的承担责任。这样的公司和实际运作，就是电动汽车商业运行的催化剂。现在由于这项工作尚处于悬空状态，造成了“厂家有车不敢卖，市场有车用户不敢买”的尴尬局面。这种局面在全世界范围都是类似的。本书单独用一章的篇幅讲述商业运行的模式、方法、基本条件和效益。

2009年清华大学政治经济学研究中心蔡继明教授首次在全国政协会议上提出走中国式电动汽车发展道路的提案，并对其技术路线做出阐述。这个提案当即得到国家主席胡锦涛的首肯，随即逐步展开调研。以千熙新能源科技有限公司为龙头的电动汽车产业园正在郑州构建，具有先进技术指标的几款电动汽车已经投入路试。现在获得的实践经验，是参与此项工作的团队中各位专家、学者、技术人员和工人的创造性研究成果，在电动汽车商业化推广中，具有普遍的推广意义。本书就电动汽车的技术，也提出了一些新的技术课题，供技术工作者和实际操作者参考。这书记录了中国式电动汽车发展之路实施中的具体技术和管理方面的成果，包括一些认识弯路和尚未成熟的阶段性总结，也从电动汽车专业角度汇总了一些材料。

本书第1章由曹广平编写；第2章由霍从崇编写；第3章由段万普、孙杰编写；第4章由赵俊义、肖喜春、段万普编写；第5章由宋永江、段万普编写；第6章由孙婷编写；第7章由段万普、王吉校编写；第8章由段万普、付凯编写；第9章由韩建方编写；第10章由付凯、赵元雷编写。全书由段万普统稿。

在编写过程中，河南千熙新能源科技有限公司的任运兴、李书拉、韩晓栋、柳建学、和长磊、徐培培、陈栋、张玉国、张世峰提供了相关资料，胡亚伟、张涛和张彦进行了整理绘制图稿工作。河南省电动车辆工程协会秘书长杜风臣做了许多指导工作，在此一并致谢。

读者关于技术问题的讨论，可通过电子信箱 13837182930@139.com 与作者联系。

段万普

2012 年 7 月于郑州高新区丁香里

目 录

序 前言

第1章	电动汽车牵引电动机	1
1.1	牵引电动机的分类和结构	1
1.1.1	牵引电动机的分类	1
1.1.2	直流电动机的结构	6
1.1.3	三相笼型异步电动机	7
1.1.4	旋转变压器	10
1.1.5	轴承固定方式	13
1.1.6	风扇页	14
1.1.7	开关磁阻电动机	14
1.2	牵引电动机的特性和使用	15
1.2.1	牵引电动机的特性和选型	15
1.2.2	直流串励电动机适合低配置电动车辆	17
1.2.3	永磁同步电动机适合高速小型电动车辆	18
1.2.4	交流异步电动机适合于各种电动车辆	18
1.2.5	牵引电动机的动力匹配	19
1.2.6	电动机极数对其选用的影响	19
1.3	牵引电动机的生产工艺及维护	20
1.3.1	牵引电动机的生产工艺要求	20
1.3.2	牵引电动机的防护等级和绝缘	23
1.3.3	牵引电动机的噪声、温升和冷却	26

1.3.4 牵引电动机的运行、效率和故障	33
1.3.5 牵引电动机的故障处理	38
1.4 牵引电动机连接结构	42

第2章 电动机控制器 44

2.1 电动机控制器构成与分类	44
2.2 直流电动机控制系统	45
2.2.1 直流串励电动机斩波器基本参数	45
2.2.2 直流串励电动机控制器常用型号与参数	46
2.2.3 直流串励电动机控制器的典型应用	46
2.2.4 直流串励电动机控制器的使用注意事项及维护	46
2.2.5 直流串励电动机控制器故障维修要领	49
2.3 直流它励电动机控制器	50
2.3.1 直流它励电动机控制器的特点	51
2.3.2 直流它励电动机控制器常用型号与参数	51
2.3.3 直流它励电动机控制器的典型应用	52
2.3.4 直流它励电动机控制器故障排查方法	52
2.4 交流电动机控制系统	53
2.4.1 交流电动机控制器的原理及特点	53
2.4.2 交流电动机的几种控制方法	55
2.4.3 交流电动机控制器典型应用	56
2.4.4 交流电动机控制器故障排查方法	56
2.4.5 交流系统产品标定及监控软件	56

第3章 动力锂电池 59

3.1 锂电池简介	59
3.2 锂离子电池工作原理	60
3.3 锂电池的优、缺点	63
3.4 锂电池失效机理	65
3.4.1 正常失效	65
3.4.2 过放电失效	65
3.4.3 过充电失效	66

3.4.4	高温失效	66
3.4.5	备用失效	67
3.4.6	低温充电失效	68
3.5	锂电池内部材料	68
3.5.1	正极材料	68
3.5.2	负极材料	69
3.5.3	隔膜	71
3.5.4	电解液	72
3.6	锂电池结构	73
3.6.1	单电池结构	73
3.6.2	电池配组	75
3.7	锂电池的安全使用	77
3.8	锂电池的充放电特点	78

第4章 电池管理系统 84

4.1	电池管理系统的演变和发展	84
4.2	电池管理系统的组成及作用	88
4.3	电池管理系统信息采集的原理	90
4.3.1	锂离子电池数学模型	90
4.3.2	电池组的电压及温度采样	92
4.3.3	电池组的电流采样	93
4.3.4	电池内阻的在线辨识	94
4.4	电池组的充放电管理	96
4.4.1	充电	97
4.4.2	过充电	97
4.4.3	放电	98
4.4.4	过放电	98
4.4.5	电池组合理使用方法	99
4.5	动力电池组的均衡控制和管理	99
4.5.1	电阻旁路分流法	100
4.5.2	开关电容法	100
4.5.3	能量回馈法	101

4.5.4	静态与动态均衡	101
4.5.5	均衡的效率与安全	102
4.5.6	均衡的控制与管理	102
4.5.7	均衡小结	103
4.6	锂离子电池组的 SOC 估计	103
4.7	电池管理系统的故障诊断	107
4.8	电池管理系统的检修	109
4.9	圆柱电池组合的电池管理系统	111
4.9.1	两类电池管理系统	111
4.9.2	小电池组合的基本结构	113
4.9.3	蓄电池组的负载	114
4.9.4	蓄电池编号	114
4.10	显示系统	114
4.10.1	显示内容	114
4.10.2	显示屏的菜单控制	115
4.11	数据采集	118
4.12	显示与报警	119
4.13	记录格式与传输	120

第5章 锌空气电池 122

5.1	锌空气电池的组成及电极反应	122
5.2	锌空气电池的基本原理	124
5.2.1	理论比能量	124
5.2.2	电动势	126
5.3	影响电池比能量的因素	131
5.3.1	电压效率	132
5.3.2	反应效率	136
5.3.3	重量效率	138
5.4	锌空气电池的制造工艺	138
5.4.1	正极的制造工艺	138
5.4.2	锌电极的制备工艺	143
5.4.3	电解液的配制工艺	146

5.4.4	电池的装配	146
5.5	锌空气电池的应用前景	147
5.5.1	锌空气电池的优势	147
5.5.2	锌空气电池的弊端	148
第6章	燃料电池及燃料电池汽车技术	149
6.1	燃料电池概述	149
6.1.1	燃料电池的发展历史	149
6.1.2	燃料电池的分类及原理	150
6.2	燃料电池汽车	153
6.2.1	国际汽车大公司的燃料电池汽车	153
6.2.2	世界各国燃料电池汽车政策	154
6.2.3	我国的燃料电池汽车概况	155
6.2.4	燃料电池小区域交通工具	157
6.2.5	燃料电池电动汽车实际运行案例	158
6.3	燃料电池汽车技术	165
6.3.1	燃料电池汽车技术概述	165
6.3.2	燃料电池汽车动力系统	166
6.4	燃料电池发电设备	168
6.4.1	便携式发电系统	168
6.4.2	分布式发电系统	168
6.4.3	应急备用电源	169
6.5	燃料电池发动机系统	169
6.5.1	质子交换膜燃料电池电堆	170
6.5.2	质子交换膜燃料电池系统	171
6.6	质子交换膜燃料电池发电系统的使用与维护	174
6.6.1	发电性能	174
6.6.2	操作规程	175
6.6.3	安全注意事项	177
6.6.4	燃料电池的日常维护	178
6.6.5	安全保护装置	178

> 第7章 电动汽车铅酸蓄电池 180

7.1 铅酸蓄电池的基本原理	180
7.1.1 充放电反应过程	180
7.1.2 电池的容量计算	182
7.1.3 除硫化和容量复原技术	183
7.2 汽车起动电池	185
7.2.1 汽车起动电池起动功率的检测技术	185
7.2.2 汽车起动电池损坏的原因	186
7.2.3 汽车电池的集中维护效益分析	188
7.3 电动车辆蓄电池循环耐久试验	190
7.3.1 试验规范	190
7.3.2 蓄电池组电压抽头与辅助供电	191
7.4 蓄电池组的均衡性	192
7.4.1 蓄电池成组负面效应的严重性	192
7.4.2 蓄电池组的可靠性检测	194
7.5 电池的使用价值远没有被利用	195
7.6 蓄电池内阻测量及其误区	196
7.6.1 蓄电池内阻的构成	196
7.6.2 蓄电池动态内阻的测量方法	196
7.6.3 不能用静态内阻的数值表达蓄电池保有容量	197
7.6.4 电导仪鉴定条件与使用条件的区别	201
7.6.5 电导仪的使用标准	202
7.7 超级蓄电池	203
7.7.1 超级电容器的基本技术原理	203
7.7.2 超级电容器的种类	204
7.7.3 超级蓄电池的结构及原理	204
7.7.4 产品性能	206
7.8 双极电池	206

> 第8章 电动汽车几项技术与充换电站 208

8.1 电动汽车辅助系统相关技术	208
------------------------	-----

8.1.1	空调系统	208
8.1.2	除霜及暖风	209
8.1.3	LED 照明技术	209
8.2	电动汽车电池的选型和结构设计	209
8.2.1	电池类别选择	210
8.2.2	电池组合方式	214
8.2.3	电池成组中并联的副作用	216
8.3	电动汽车 12V 电池	220
8.3.1	结构电压配置	221
8.3.2	充电 DC-DC 电压调整	222
8.4	充电作业	222
8.4.1	充电机的效率	222
8.4.2	用车载充电机充电	223
8.4.3	小区充电桩充电	225
8.4.4	充换电站充电	226
8.4.5	蓄电池组的保温与散热	227
8.5	增程式电动汽车	228
8.5.1	增程式电动汽车特点	228
8.5.2	增程式电动汽车专用技术	230
8.5.3	增程式电动汽车商品化阻力较小	230
8.6	电动汽车测试	230

第9章 电动汽车商业化运行 234

9.1	电动汽车期望与现状	234
9.2	电动汽车发展的几个陷阱	238
9.2.1	期待“免维护”的电池能够出现	239
9.2.2	车电一体技术路线产品无法对燃油汽车形成竞争力	239
9.2.3	认为电池是“免维护”的	241
9.2.4	汽车企业继续占据主导地位	242
9.3	车电一体技术路线是电动汽车的最大误区	243
9.3.1	三类插电式电动汽车为何难以市场化	243
9.3.2	插电式电动汽车无法合理配套充电系统	244

9.3.3	与燃油汽车拼成本是对电动汽车的真正考验	245
9.4	探索电动汽车商业化之路	246
9.4.1	换电加电池维护技术奠定电动汽车商业化基础	246
9.4.2	关于电动汽车发展进程的5点结论	250
9.5	人工维护充换电站技术和电动汽车	252
9.5.1	换电式电动汽车电池仓位安装技术	252
9.5.2	电池箱的安装及锁紧技术	253
9.5.3	电池箱电源接口的封闭技术	253
9.5.4	独创开放式电池安全系统	253
9.5.5	换电式电动汽车配套的电池管理系统	253
9.5.6	一种新电池和全新的成组技术	254
9.5.7	高性能动力总成	254
9.5.8	3款改装的电动汽车	255
9.6	充换电站运营分析	256
9.6.1	几种充换电站的基本参数	257
9.6.2	充换站点的城市网络化布局	259
9.6.3	充换电站的运行财务分析	259
9.7	电动汽车采购须知	260
9.7.1	行驶距离	260
9.7.2	其他配置	261
9.7.3	维护承诺	262
>第10章	整车动力设计计算	263
10.1	电动汽车的特点	263
10.2	电动汽车电源系统	264
10.2.1	电动汽车动力电池运行性能	264
10.2.2	动力电池布置	266
10.2.3	车载电池管理系统	267
10.3	电动汽车的行驶驱动力和行驶阻力计算	268
10.3.1	电动汽车驱动力的计算	269
10.3.2	行驶阻力的计算	270
10.3.3	电动汽车行驶的驱动力与行驶阻力平衡	273