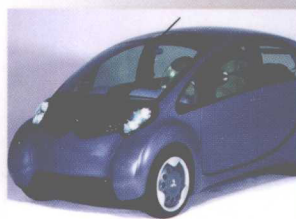




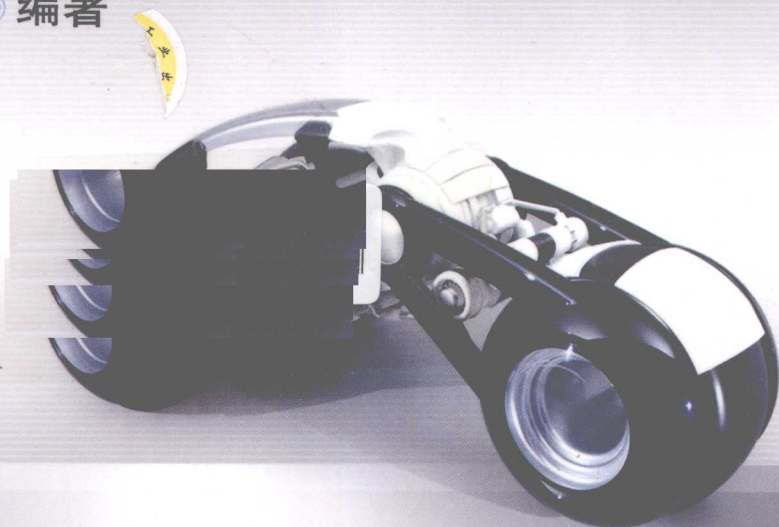
21世纪高等学校教材

普通高等教育“十一·五”汽车类专业（方向）规划教材

电动汽车及其性能优化



王贵明 王金懿 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等学校教材
普通高等教育“十一五”汽车类专业（方向）规划教材

电动汽车及其性能优化

王贵明 王金懿 编著



机械工业出版社

电动汽车是节能环保的未来汽车,也应在寻常百姓中普及。本书首先全面介绍了有关电动汽车的各种基本知识:纯电动、混合动力、燃料电池三大类电动汽车以及太阳能、风能等复合能源电动汽车;多种车用动力储能装置与其能源管理;多种驱动电动机及其调速控制系统。接着在全面简要分析车辆动力学基本理论的基础上,分析说明了电动汽车动力驱动的特性与技术优势,结合其技术优势介绍了电动汽车性能优化的多项技术。最后根据汽车业的发展与治理交通之重要性,在简要系统分析城市交通管理理论的基础上,提出了节源环保综合治理城市交通的一系列具体措施。本书知识面较广,基础理论与实用技术结合紧密。

本书可供企业研发与优化电动汽车性能,提高电动汽车性价比,使电动汽车尽快商品化以供民众普及享用。通过对电动汽车的性能优化,不仅能为节能减排,也将为减少交通事故及改善交通作出贡献。因此,本书不仅可作为汽车制造业的工程技术人员学习电动汽车最新技术之用,也可供交通管理及相关部门治理交通参考之用。作为电动汽车这一未来汽车新技术,本书更适合于作为车辆工程、机电工程、交通工程等相关专业的教学用书。书中所提供的科学分析思考方法,也有利于培养高校学生的创新思维。在电动汽车技术迅猛发展,企业对该方面技术人才缺乏之时,本书也十分适合于作为汽车制造业对相关科技人员进行专业技术培训或职业教学的教材,而对其内容章节可按需要选择。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车及其性能优化/王贵明,王金懿编著. —北京:机械工业出版社, 2010. 5

21 世纪高等学校教材

普通高等教育“十一五”汽车类专业(方向)规划教材

ISBN 978-7-111-29775-8

I. ①电… II. ①王…②王… III. ①电传动汽车—性能—最佳化—高等学校—教材 IV. ①U469. 72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 027890 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:邓海平 责任编辑:蔡家伦 版式设计:霍永明

责任校对:申春香 封面设计:王伟光 责任印制:李妍

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2010 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20. 75 印张·510 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-29775-8

定价:36.00 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

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

现代电动汽车是集机械、电机、电化学、汽车、微电子、传感技术、智能控制、计算机、新材料等多学科领域和工程技术中最新成果于一体,多种高新技术凝聚的结果。从传统汽车到现代电动汽车的发展犹如普通机床向数控机床的发展,有许多新技术有待于在电动汽车上应用和开发。但对电动汽车性能的优化仍离不开车辆动力学基础理论的学习和提高。为此,本书在全面介绍电动汽车各相关基础知识后,结合电动汽车特点阐述了车辆动力学的基础理论,重点介绍了电动汽车的各种性能优化技术。

汽车经上百年的发展,为人们提供了便捷、舒适的出行条件。作为支柱型龙头产业的汽车工业既带动了众多的上、下游产业的发展,对各国的就业、扩大内需、促进经济发展起着显著的影响,也为人类社会的进步带来了巨大的推动作用。但在汽车给人们带来福祉的同时,也引起了能源危机、环境污染、交通事故和道路拥堵这四大负面效应。减小甚至消除这四大负面效应是当今社会可持续发展要求对汽车及交通业界提出的新挑战。在高新技术日新月异的今天,作为发明创造汽车的人类也应该有责任,并有能力来消除(或极大地减小)汽车所带来的负面效应。电动汽车性能优化有望承担起此重任。毋庸置疑,电动汽车将为解决能源危机和环境污染起到显著的作用,这已引起世界各国政府和汽车业界的高度重视。

交通事故的减少主要通过电动汽车性能优化技术,利用电动汽车的电动机驱动比发动机驱动所具有的快速响应性和良好调速特性两大技术优势,特别是应用本书所介绍的兼有电动、发电回馈和电磁制动的多功能轮毂电机专利技术,将使两大技术优势得以更好地发挥,为许多在传统汽车较难实施的性能优化提供更好的技术前提,并结合当今迅速发展的微电子、传感器等控制技术,能得到性能更好、性价比更高的各种优化装置。本书第六章所介绍的安全测距防撞控制系统等技术将极大地提高汽车行驶的操控性、稳定性与安全性,从而大大减小交通事故和其危害程度。

道路的拥堵已使汽车良好的动力性、高效便捷性等都无法发挥,如同皮之不存毛将焉附。为此,特安排了第七章,在对交通管理基本理论分析的基础上,提出了节源环保综合治理城市交通的一系列具体措施。根据我国人均交通资源甚少的特点,提出了改善交通必须减小交通工具人均占用交通资源“面积·时数”的理论,并结合电动汽车动力受限和我国家庭结构呈小型化等特点,提出了节源环保型电动微型轿车,它按现有技术即可成为供大众普及的商品化私家车。

作者凭借三十多年来从事数控技术的积累和近七年多来对电动汽车及智能交通的深入学习研究,在书中提出了许多技术创新的见解。为紧跟世界技术发展前沿,通过大量搜索网络中相关技术的发展信息,并经比较分析获取了许多世界最新技术发展前沿信息。同时,本书在编写过程中也参阅和引用了大量国内外相关技术资料、著作与文献,在此谨致谢意。

限于编者的水平，书中定有不少错误与不妥之处，恳请读者批评指正。作为一门新兴学科，也希望本书能起到抛砖引玉的作用，期盼着业内专家提出更多的性能优化及提高电动汽车性价比的理论与方法。也非常希望能有较多机会与有关学者同仁们展开进一步讨论、交流，共同为节源环保交通作出贡献。电子邮箱：wangguiming@zjut.edu.cn; wgm.wjy@163.com

编 者
于杭州

目 录

前言

第一章 概论 1

第一节 电动汽车发展概述 1

一、汽车发展简史 1

二、电动汽车的早期发展 2

三、电动汽车在各国的发展现状及计划 2

四、电动汽车的研发特点 6

第二节 电动汽车的定义与特点 7

一、电动车辆的类型 7

二、电动汽车的定义和分类 7

三、电动汽车的性能特点 8

第三节 汽车业面临的新挑战和技术发展方向 11

【复习思考题】 14

第二章 电动汽车的构造与原理 15

第一节 纯蓄电池电动汽车 15

一、纯电动汽车的分类及特点 15

二、纯电动汽车的驱动结构 17

三、纯电动汽车的结构原理 19

四、电动汽车能源的复合利用 23

第二节 混合动力电动汽车 26

一、HEV 的定义及优点 26

二、HEV 的分类及结构特点 28

三、HEV 的能量管理与控制策略 34

第三节 燃料电池电动汽车 37

一、FCEV 的基本结构与原理 37

二、FCEV 的燃料电池系统 39

三、FCEV 的供氢系统、氢源及氢安全 40

四、FCEV 的特点与展望 53

* 第四节 节源环保型电动微型轿车 55

一、从提高交通资源利用率考虑车型 ... 55

二、提高电动微型轿车性价比技术措施 57

三、推出电动微型轿车的综合效益 60

【复习思考题】 61

第三章 电动汽车动力储能装置 63

第一节 车用动力电池概述 63

一、电池的种类 63

二、化学电池的基本组成 64

三、电池的基本常识和术语 65

四、电池的性能指标 66

五、各种车用电池的性能比较 69

第二节 铅酸蓄电池 69

一、铅酸蓄电池的分类及型号 70

二、铅酸蓄电池的工作原理 70

三、铅酸蓄电池的构造 71

四、铅酸蓄电池的电压和充放电特性 ... 72

五、铅酸蓄电池的性能改进 73

六、铅酸蓄电池的使用维护与环保 75

第三节 二次锂电池 77

一、锂离子电池 77

二、聚合物锂离子蓄电池 80

三、磷酸铁锂电池 81

第四节 镍氢蓄电池 83

一、镍氢蓄电池的分类与特点 83

二、镍氢电池的工作原理 83

三、镍氢电池的性能特征 84

第五节 钠硫蓄电池 85

一、钠硫蓄电池的结构原理 85

二、钠硫蓄电池的性能特点 85

三、氯化镍电池 86

第六节 空气电池 87

一、锌空气电池	87	三、异步电动机起动特性的改进	138
二、铝空气电池	90	四、交流感应电动机的矢量控制技术	142
第七节 超级电容	90	五、交流变频调速驱动控制	144
一、超级电容的应用特点	91	第四节 永磁无刷电动机	146
二、超级电容的结构原理	91	一、永磁电动机的分类	146
三、超级电容的分类	92	二、磁性转子结构与材料特性	147
四、超级电容组管理系统	94	三、永磁无刷直流电动机	150
第八节 飞轮储能器	96	四、永磁同步电动机	157
一、飞轮储能器的结构原理	96	第五节 开关磁阻电动机	158
二、飞轮储能器的应用特点	97	一、变磁阻电动机的运行特点与种类	158
三、飞轮储能器尚需解决的问题	97	二、SRM 驱动系统的组成与结构 原理	158
第九节 燃料电池	98	三、SR 电动机的基本方程与性能分析	163
一、燃料电池的基本原理	98	四、开关磁阻电动机的驱动控制	169
二、燃料电池的特点	99	五、双凸极永磁电动机	174
三、燃料电池的分类	100	第六节 兼有电动、发电回馈和电磁制动的 多功能轮毂电动机	177
四、质子交换膜燃料电池	102	一、轮毂电动机的发展与应用特点	177
第十节 能源管理	109	二、轮毂电动机的结构类型	179
一、能源管理的功用	109	三、多功能轮毂电动机的改进思路	180
二、电池性能的检测	109	四、多功能轮毂电动机的改进措施	181
三、蓄电池的充电	114	五、多功能轮毂电动机的运行原理	182
四、蓄电池组的热管理	116	六、具有起动绕组的单相开关磁阻式 多功能电动机	184
五、电源的功率变换	116	【复习思考题】	186
【复习思考题】	117	第五章 车辆动力学、电动汽车动力 驱动特性及其结构特点	188
第四章 电动汽车驱动电动机及其 调速控制系统	118	第一节 车辆动力学简介	188
第一节 概述	118	一、基于纵向力学的动力性	188
一、电动汽车驱动系统的分类	118	二、基于垂向力学的平顺性	197
二、电动机调速性能与发展借鉴	118	三、基于侧向力学的操纵稳定性	204
三、汽车行驶对驱动电动机的要求	120	四、基于地面力学的汽车通过性	212
四、电动机驱动系统的基本组成	122	五、汽车制动安全性	217
第二节 直流电动机	122	第二节 电动汽车动力驱动特性	223
一、直流电动机的基本原理	123	一、电动汽车电机的驱动特性分析	224
二、直流电动机的基本结构	124	二、电动汽车动力性的影响因素	225
三、直流电动机的励磁方式	125	第三节 电动汽车结构布局与车身造型	226
四、他励直流电动机的调速与制动	127	一、电动汽车结构布局的基本要求	226
五、他励直流电动机的驱动控制	131	二、电动汽车的车身造型	228
第三节 交流电动机	134		
一、交流电动机的工作原理	134		
二、异步电动机的结构及铭牌数据	136		

【复习思考题】	232	一、ECSS 的功能和可控悬架分类	283
第六章 电动汽车的性能优化	233	二、半主动式电子控制悬架系统	283
第一节 概述	233	三、全主动式电子控制悬架系统	284
一、交通现状赋予汽车业的使命	233	第八节 汽车电子巡航控制系统	289
二、各种辅助安全性能装置简述	234	一、汽车 CCS 的功用和基本原理	289
第二节 防抱死制动系统	236	二、汽车 CCS 组成部件的功能原理	290
一、ABS 的基本功能与发展	236	三、汽车 CCS 的未来发展	292
二、ABS 的基本组成与分类	237	【复习思考题】	294
三、ABS 的工作原理	240	第七章 汽车业发展与治理交通之	
四、ABS 的基本结构	242	重要性	296
第三节 驱动防滑转控制	250	第一节 智能交通与城市交通管理理论	
一、ASR 的功用及其与 ABS 的区别	250	基础	297
二、ASR 的基本组成与分类	251	一、智能交通系统简介	297
三、ASR 的工作原理	252	二、道路交通流理论的简要分析	299
四、ASR 的基本结构	253	三、道路通行能力分析	302
第四节 车辆动力学控制系统	256	四、交通需求管理	308
一、VDC 的基本功能	256	第二节 改进公交设施与服务水平	309
二、VDC 的结构组成	257	一、改进公交服务设施的八项措施	310
三、VDC 的工作原理	258	二、公交线路最佳布局软件简介	312
第五节 新型转向系统及电子差速控制	259	三、增加出租车辅助功能提高其车	
一、汽车转向系统概述	259	载率	313
二、电子控制电动助力转向系统	264	四、用电动汽车技术改造公交车	313
三、四轮转向系统	267	第三节 解决城市交通拥堵的措施	315
四、电子差速转向的工作原理	271	一、改善城市交叉路口的措施	315
五、改进转向系统的新方案	274	二、解决机动车和非机动车混行和	
第六节 安全测距防撞控制系统	276	机动车停车难的问题	317
一、安全测距防撞控制的实施意义	276	三、发挥交通管理部门的作用	318
二、防撞测距传感技术	277	【复习思考题】	319
三、测距防撞控制系统的结构原理	281	后记	320
第七节 电子控制悬架系统	282	参考文献	321

第一章 概 论

第一节 电动汽车发展概述

一、汽车发展简史

20 世纪以前,世界上第一辆以汽油为燃料的汽车由德国人卡尔·奔驰(Karl Benz)于 1885 年研制成功,并于 1886 年 1 月 26 日获得专利。它是一辆机动三轮车,其最高车速为 15km/h。图 1-1 所示为陈列于德国汽车发源地斯图加特市奔驰汽车博物馆中的卡尔·奔驰发明的第一辆汽车。后人为纪念卡尔·奔驰对汽车业所作的贡献,将 1886 年 1 月 26 日定为世界上第一辆汽车的生日。

美国福特汽车公司创始人亨利·福特(Henry Ford)于 1896 年在底特律家中棚屋内,完成了他的第一辆四轮汽车,于 1903 年正式成立福特汽车公司。他于 1913 年开发了世界上第一条汽车装配流水线,首次实现了汽车的批量生产,将当时著名的 T 型车(见图 1-2)的组装时间从 12.5h 缩短到 1.5h,后来达到 10s 出一辆。大规模流水线生产,使汽车价格不断下降,进而使汽车从富人的玩物变成了大众也能享用的个人交通工具,美国汽车业成了世界的宠儿,福特公司也因此成为了名副其实的汽车王国。为此人们说,汽车发源于欧洲,但获得大发展则是 20 世纪 30 年代的美国。

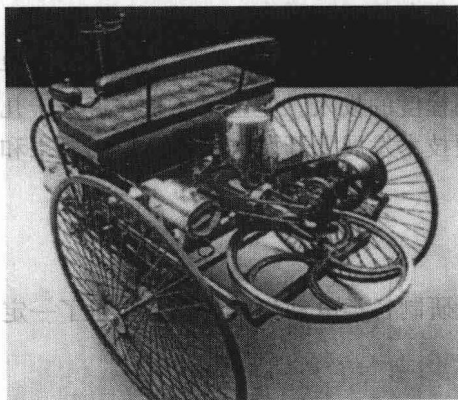


图 1-1 卡尔·奔驰发明的第一辆汽车

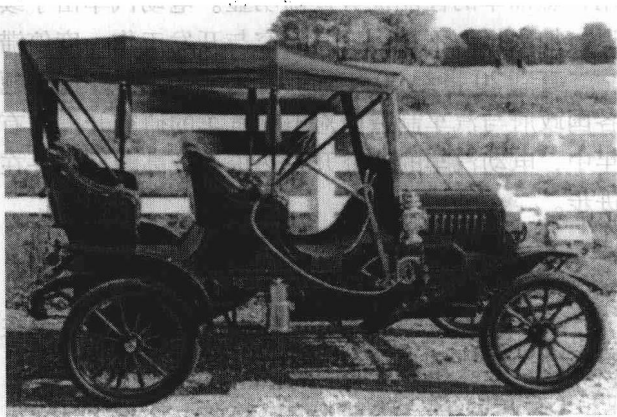


图 1-2 亨利·福特的 T 型车

日本可谓是汽车界的“后起之秀”。日本汽车业尽管起步较迟,但从 1973 年首次发生石油危机以来,美国汽车工业便受到了很大的冲击。而日本似乎对此早有察觉,他们研制的小型节油汽车,使汽车销量猛增,结果终于在 1980 年取代美国登上了汽车王国的宝座。

我国的汽车业发展可分为三个阶段:从 1953 年诞生汽车业到 1978 年改革开放前为第一个阶段,这一阶段初步奠定了汽车工业发展的基础,使汽车产品从无到有。1978 年到 20 世

纪末为第二个阶段,我国汽车工业从载重汽车到轿车开始全面发展,形成了完整的汽车工业体系。这一阶段是我国汽车工业由计划经济体制向市场经济体制转变的转型期。引进技术、对外合作、合资经营使我国汽车工业有了长足的发展,产品水平有了较大的提高。第三个阶段即为进入 21 世纪我国汽车工业随我国加入 WTO 后,进入了一个市场规模、生产规模迅速扩大,全面融入世界汽车工业体的高速发展期。随着我国进入小康社会,我国的汽车市场正在成为世界上最大、最具发展潜力的竞技舞台。可以肯定地说,我国汽车业不仅迎来了有史以来最好的发展期,而且必将在崛起之时成为各汽车制造商同行的强大而友善的竞争对手。

二、电动汽车的早期发展

尽管电动汽车技术目前看来还处于新兴发展时期,但它的产生却早于燃油车,并已经历了多个兴衰周期。电动汽车的最早构想和研制历史可追溯到 1834 年,Thomas Davenport 创造了一辆电动三轮车,它由一组不可充电的干电池驱动,只能行驶一小段距离。而开发以可充电电池为动力的电动汽车的是法国人和英国人。1881 年法国工程师古斯塔夫·特鲁夫(Gustave Trouve)发明了第一辆以铅酸电池为动力的电动三轮汽车,并于 1881 年 8 月在法国巴黎举办的国际电器展览会上展出。英国人阿顿与培里在 1882 年研发了三轮电动汽车。

电动汽车在欧洲发明之后,很快传到了美国,并在美国得到了快速的发展。1890 年,美国第一辆蓄电池汽车在衣阿华州诞生,车速为 23km/h。在此之后的十多年里,电动汽车在美国得到快速发展。到 20 世纪初,美国以蓄电池为动力的电动汽车已占汽车保有量的 38%,仅次于占汽车保有量 40% 的蒸汽机汽车,而内燃机汽车当时仅为 22%。

但是,随着石油的大量开采和内燃机技术的发展,特别是发动机起动机在汽车上的应用,燃油车的性能优势逐渐明显。电动汽车由于续驶里程短等因素,其发展优势开始走向衰退,加之投入不足,使其研究与开发工作一度停滞,技术发展曾经长期处于缓慢之中。

直到 20 世纪 60 年代后,由于能源、环境问题使人们对电动汽车又开始重新重视,世界各国政府与汽车制造商对电动汽车的研究开发均有不同程度的投入。但主要还是在近来十几年中,电动汽车的研究开发热进入了高峰期,并在各项技术发展上开始取得了一定的成果和进步。

三、电动汽车在各国的发展现状及计划

近十几年来,世界各国著名的汽车制造商都在加紧研制各类电动汽车,并且取得了一定程度的进展和突破。

(一) 日本

一直以来出于对能源危机和环境保护的关注及占领未来世界汽车市场的考虑,日本十分重视电动汽车的研制与开发。1976 年,日本成立了电动汽车协会,展开了电动汽车新技术的研发工作。本田公司自 20 世纪 80 年代起就开始了电动汽车的研究开发,1996 年终于推出了本田的“PLUS”纯电动汽车。该车使用高能镍氢蓄电池,充电一次可持续行驶 210 ~ 350km,最高车速可达 130km/h,1997 年本田的“PLUS”被推向了美国。

从目前世界范围内的整个形势来看,日本是电动汽车技术发展速度最快的少数几个国家之一,特别是在混合动力汽车的产品发展方面,日本居世界领先地位。目前世界上能够批量

产销混合动力汽车的企业，主要是日本的丰田和本田两家汽车公司。1997年12月，丰田汽车公司首先在日本市场上推出了世界上第一款批量生产的混合动力轿车普锐斯（PRIUS）。该轿车于2000年7月开始出口北美，同年9月开始出口欧洲，现在已经在世界20多个国家上市销售。目前推出的产品已经是多次改进后的第二代产品，其生产工艺更为成熟。根据丰田汽车公司的测试，PRIUS轿车在城市工况下比同等排量的丰田花冠轿车节油44.4%；在市郊节油29.7%，综合节油40.5%。有关统计数据显示，丰田汽车公司已占有全球混合动力汽车市场90%的份额。2004年9月中国一汽集团与日本丰田汽车公司在北京举行了混合动力汽车合作项目签字仪式，宣布双方在2005年内，共同生产丰田PRIUS混合动力轿车，并将PRIUS混合动力轿车在中国市场销售。

丰田汽车在电动汽车领域可谓是成功的代表。丰田没有推出纯电动汽车，而是推出了更实用的油电混合动力汽车“普锐斯”，在节能与续航能力之间找到了完美的结合点。目前“普锐斯”在全球销量已经突破了50万辆，并预计在2012年之前突破100万辆。日本的其他汽车厂商也有混合动力车型在市场上销售，如混合动力汽车本田思域等，也取得了不错的销售业绩。但混合动力是过渡产品，以燃料电池为基础的电动汽车是目前公认的发展方向。

丰田公司在继PRIUS混合动力轿车之后，还推出了ESTIMA混合动力汽车和搭载软混合动力系统的CROWN轿车。丰田汽车公司在普及混合动力系统的低能耗、低排放和改进行驶性能方面已经走在了世界前列。此外，本田汽车公司开发的Insight混合动力电动汽车也在投放市场后供不应求。2002年4月，本田汽车公司在美国市场上投放了Civic混合动力汽车。

富士和日本电气公司合作开发的“R1e”使用了一种新型锂电池，这种电池用专用充电器5min内就可充电90%，使充电时间大大缩短，其电池重量也减小了一半，而且由于电池中加入了锰，电池寿命也大为延长。富士计划2010年把“R1e”正式推向市场。

（二）美国

美国通用、福特、戴姆勒-克莱斯勒三大汽车公司在1991年签订协议，合作研究电动汽车所用的先进电池，联合成立美国先进电池联合体（United States Advanced Battery Consortium, USABC），同年7月，美国电力研究院也加入了该联合体，同年10月，美国总统布什批准了2.26亿美元拨款资助此项研究。主要进行镍-氢、钠-硫、锂聚合物和锂离子等高能电池的研究开发。

1993年，美国克林顿政府设立了新一代汽车合作组织（The Partnership for a New Generation of Vehicles, PNGV）计划。它由美国商务部、国防部、能源部、运输部、环保署及国家科学基金会等联邦政府机构与三大汽车公司合作实施，旨在推动美国汽车技术革命，开发新一代汽车。计划通用汽车公司投入1.48亿美元，福特汽车公司投入1.38亿美元，克莱斯勒汽车公司投入8480万美元，进行混合动力概念车的开发等科技工作。至2000年，三大汽车公司陆续推出了各自的PNGV概念车，通用汽车公司为Precept概念车、福特汽车公司为Prodigy概念车、戴姆勒-克莱斯勒汽车公司为ESX3概念车。2004年12月14日，通用汽车公司与戴姆勒-克莱斯勒汽车公司对外宣布，双方将在开发混合动力电动汽车的技术领域携手，共同推进此项技术的发展。PNGV计划在美国掀起了汽车技术合作的攻坚战。PNGV计划出台之后，欧洲、日本等纷纷效仿，各自确立了新一代汽车发展计划，从而引发了具有划

时代意义的汽车技术创新。

2002 年,美国布什政府又制定了 Freedom CAR (Freedom Cooperative Automotive Research) 计划,用于取代 PNVG 计划的新国家及私营合作研究发展计划。Freedom CAR 计划集中于燃料电池电动汽车的研究,它不仅面向中型家用轿车,而且面向所有轿车和轻型货车。Freedom CAR 计划由能源部领导,汽车制造者协会协调,集中于风险较高的适用技术研究。

近期又从国际新能源网获悉,美国奥巴马政府近又决定放弃对燃料电池的扶持,美国能源部试图取消对加氢站的财政扶持,转向为锂离子电池制造商提供财政拨款 24 亿美元。

(三) 欧盟与其各国

为了提高欧盟各国的科学技术水平,增强欧盟各国的竞争力,充分调动欧盟各国的科技力量,避免各国科研计划的重复,有效利用欧盟各国的人力、物力资源,欧盟也制定了一些统一的研究计划。与电动汽车及其能源相关的发展计划主要有:FP-Framework Program 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盟电动汽车城市运输系统(ELCIDIS)计划等。但需说明的是,由欧盟委员会组织制定的这些研究计划,对于欧盟各国并没有约束力,欧盟各国可自愿参加,各国也可同时制定自己国家的相关研究计划。

1) 德国。德国政府十分重视环境保护,投入了大量资金用于电动汽车的开发,政府出面,由奔驰和大众两公司合资成立德国汽车工业有限公司科研开发机构。1992 年,德国政府拨款 2200 万马克,在吕根(Rügen)岛建立欧洲电动汽车试验基地,对 64 辆电动汽车和电动汽车的系统工程进行了长达 4 年的大规模试验。

2) 法国。法国既是石油输入国,也是电力大国。有多个核能发电站及丰富的电力资源,核能发电站的电力占全国总电力的 75%,水力发电站的电力占全国总电力的 15%,电力价格较低,而石油制品的价格很高,约是美国的四倍。法国政府鼓励开发电动汽车和充分利用电力资源,在政策上给予支持,为开发电动汽车提供资源。法国政府、法国电力公司、标致-雪铁龙汽车公司和雷诺汽车公司共同签署了承担开发和推广电动汽车的协议。共同合资组建了电动汽车的电池公司和萨夫特(SAFT)公司,承担电动汽车的高能电池研究和开发,以及电池的租赁和维修等工作。1995 年法国能源部、标致汽车公司开发了标致-106 和 SAXO 型 4 座电动轿车,用雪铁龙-AX 型轿车改装成电动轿车,雷诺汽车公司的 Clio 型 4 座电动轿车及其变型车等,并投放在罗切里市进行试验。1997 年法国的电动汽车产量达到 2000 辆左右。

(四) 我国电动汽车的发展情况

与世界其他国家一样,电动汽车研发工作在我国近十几年来也一直在如火如荼地进行。

“十五”期间,国家从维护我国能源安全、改善大气环境、提高汽车工业竞争力、实现我国汽车工业跨越式发展的战略高度考虑,设立了“电动汽车重大科技专项”,确定了“三纵三横”的研发布局,其中“三纵”指燃料电池汽车、混合动力电动汽车和纯电动汽车三种车型;而“三横”是指多能源动力总成控制系统、驱动电动机及其控制系统、动力蓄电池及其管理系统三种技术。通过组织企业、高等院校和科研机构,集中国家、地方、企业、高校、科研院所等多方面的力量进行联合攻关,为此国家自 2001 年起共拨款 8.8 亿元作为这一重大科技专项的经费。我国电动汽车重大科技专项实施四年来,经过企业与科研院校多家联合协作的努力,在燃料电池电动汽车、混合动力汽车、纯电动汽车三种车型上均取得了

重要进展。

成功开发了燃料电池电动汽车样车,并进行了实地运行。由于采用了电-电混合驱动方案,整车的操控性能、行驶性能、安全性能、燃料利用率等方面均得到了较大提高。2004年5月在北京召开的世界氢能大会上,我国自主研发的燃料电池轿车和客车样车与世界领先的奔驰公司样车同堂展示,引起了世界的惊赞。在同年10月举行的必比登世界清洁汽车挑战赛上,我国自主研发的燃料电池轿车在七个单项奖中获得五个A(高速蛇行障碍赛、噪声、排放、能耗、温室气体减排五个单项指标方面的最高等级)的好成绩,燃料电池城市客车也以较高的技术性能和可靠性在挑战赛中取得了良好的成绩。

对于混合动力汽车的研发,一汽、东风、长安、奇瑞等汽车公司都相应投入了较大的人力、物力,完成了各车型功能样车的开发。湖北省自2003年11月起动了武汉电动汽车试验示范运行工作,投入运行了由东风电动车辆股份有限公司研制的混合动力客车等。混合动力轿车按轻型汽车排气污染物排放标准(ECE)城市工况与基本车型进行的对比试验显示,其燃料经济性提高40%左右,达到了较好的节油效果。长安汽车公司采用同轴ISG轻度混合方案,成功开发了第二、三轮性能样车,并在国内率先开展了混合动力专用发动机开发。经过国家检测机构测试,动力性能接近参赛车的水平,综合油耗降低接近17%,排放达到欧Ⅲ标准。

国内研发纯电动汽车的专业单位主要有杭州万向电动汽车有限公司、天津清源电动车辆有限公司、北京理工科凌电动车辆股份有限公司等。万向电动汽车有限公司自2002年成立以来,在高能量聚合物锂离子动力电池、一体化电动机及其驱动控制系统等方面取得了相应的成果,成为动力电池产业化制造基地和“十一五”纯电动汽车平台牵头单位。天津清源电动车辆有限公司等单位研发的纯电动轿车,其整车的动力性、经济性、续驶里程、噪声等指标已超过法国雪铁龙公司的纯电动轿车和箱式货车,初步形成了关键技术的研发能力。北京理工大学等单位联合组建了北京理工科凌电动车辆股份有限公司密云电动车辆产业化生产基地,并于2003年底顺利通过北京市公共交通总公司组织的示范运行车组验收,小批量研发生产的四款车型约40辆公交车投放了北京市奥运电动示范车队运行。

“十一五”期间,国家科技部将电动汽车和清洁替代燃料汽车项目合并,设立“十一五”863节能与新能源汽车重大项目,计划投入11亿元,来支持电动汽车和清洁替代燃料汽车的关键技术研发和整车产品开发。电动汽车项目总体格局是以动力系统技术平台为核心的关键技术研发和整车产品开发。同时设立了由整车单位牵头、关键零部件单位参与的“新型整车研发”项目。很多国内企业,像一汽、东风、上汽、比亚迪、长安、吉利、奇瑞等知名企业纷纷把目标瞄准电动汽车。2006年,一汽、东风、长安、奇瑞等汽车公司相继开发出混合动力汽车样车。而近年来,又有比亚迪F3DM双模电动汽车面世,并于2009年初在北美底特律的车展上展出,该公司总裁王传福还雄心勃勃地表示将于2011年在美国销售其系列纯电动汽车和插入式混合动力车型,并会择机在美国建厂。长安、奇瑞、一汽、东风、北汽福田等汽车企业联合清华、同济、北京理工等科研机构,通过共同努力,提供了自主研发的各类新能源汽车598辆。经过奥运期间的成功应用,进一步验证了这些新能源车的技术成熟度,为它们真正进入市场做了准备。历时两年的哈飞赛豹纯电动车开发完成。奇瑞A5BSG混合动力车上市。上汽成立捷能汽车公司,投资20亿元进行油电和纯电驱动技术的开发。长安汽车与加拿大绿色电池生产商ELECTROVAYA签署了电动汽车合作协议等。上

述这些都说明了全国各大汽车企业正在掀起研制和开发电动汽车的热潮。

2008 年底在国家科技部牵头下,北京新能源汽车设计制造产业工程基地在北汽福田公司正式落成。这是国内首个新能源汽车产业基地。北京新能源汽车设计制造产业基地占地 1000 亩 (1 亩 = 666.6m²),总投资 50 亿元。并与北京公交集团签订了 800 辆混合动力客车整车及底盘的采购协议。北京新能源汽车产业联盟在科技部和北京市政府的支持协调下,由北汽控股公司发起,于 2009 年 2 月在京成立。其联盟的最上层是政府协调委员会,下有北汽集团控股公司、北京市新能源汽车设计制造产业工程基地、北汽福田汽车股份有限公司、京城著名高等院校和科研机构、新能源汽车产业链上下游企业、北京公交集团等组成。

2009 年初公布的我国汽车产业调整振兴规划中明确提出:要实施新能源汽车战略,推动电动汽车及其关键零部件产业化。对此科技部部长万钢曾表示:我国新能源汽车产业面临的发展机遇十分难得,在“十一五”和“十二五”期间,科技部将联合相关部门进一步加大对节能与新能源汽车的研发、示范和产业化支持力度,推动我国节能与新能源汽车健康快速地发展。由科技部和财政部共同实施的“十城千辆”电动汽车示范工程于 2009 年初在武汉启动。该工程是指用 3~4 年时间,在全国十个以上大中型城市,每城推出 1000 辆以上新能源汽车开展示范运行。与此同时,财政部、科技部也发文,将中央财政对购置节能与新能源汽车给予补贴的对象和标准予以明确,首批在北京、上海、重庆、长春、大连、杭州、济南、武汉、深圳、合肥、长沙、昆明、南昌等 13 个城市开展节能与新能源汽车示范推广试点工作,以财政政策鼓励在公交、出租、公务、环卫和邮政等公共服务领域率先推广使用节能与新能源汽车,对推广使用单位购置新能源汽车实施相应的补贴(最高至 60 万元/辆)。这些信息都更加明确地透露出政府对新能源汽车的支持。可以说,新能源汽车正在驶向寻常百姓生活的路途中加速行进。

四、电动汽车的研发特点

通过上述对电动汽车在各国的发展现状及计划的了解分析,可以发现一个共同的特点:电动汽车的技术研发都少不了政府各部门的参与和协调,并由多家大型企业联合共同协作开发。这一方面说明了电动汽车涉及多项技术领域;另一方面也说明了电动汽车的应用需要政府各项政策措施的配套实施。可以说,电动汽车技术的全面发展对汽车本身的结构和整个汽车工业都将发生革命性的变化。人们如何去适应或应对,也是目前需要充分讨论分析和考虑的。

我国在传统汽车行业曾落后于世界领先水平几十年,但在电动汽车等新能源汽车领域里,各国几乎均处于相同起跑线上。在电动汽车研发生产竞争的领域里,我国汽车业不再是以“跟随者”的身份参与,而是凭“创新者”的角色加入了竞争。新能源汽车对于我国汽车业是一次实现跨越式发展、绝地反击的绝好时机。我国有成本和市场的优势,有在全球电动汽车市场取得领先地位的潜力和可能。

发展我国 21 世纪的汽车工业,应当顺应当前的科技发展趋势,把握时机和切入点,与西方在应用高新技术、发展关键技术方面站在同一起跑线上。电动汽车是汽车工业未来发展的趋势,将电动汽车作为我国 21 世纪汽车工业的切入点,是实现我国汽车工业技术跨越式发展的战略选择。世界范围的资源和环境压力,使电动汽车不仅在我国,而且在全世界范围内都具有巨大的发展潜力。

第二节 电动汽车的定义与特点

一、电动车辆的类型

电动车辆是指用电能驱动，电动机作为牵引或驱动行驶的车辆。车辆使用的电力可以用多种形式供给，如公用电网、专用电网和储电装置。储电装置有各种蓄电池、燃料电池、太阳能电池等。人们根据用途和条件已能生产使用的各种电动车辆按常规可分为如图 1-3 所示的几种类型。其中无轨与有轨之分，原是以城市公共交通专用的有轨道的电车和无轨道的电车而言，这里有轨的含义是车辆车轮在专用铁轨上行驶的轨道电车，如铁路上的电力火车，城市的地铁、高架轻轨电力客车等。轨道电动车辆的特点是单相馈电制，电力网供给电力，功率、电压等级和车辆速度配置灵活，运行管理电子化、信息化，部分智能化。转向系统由路轨导引。

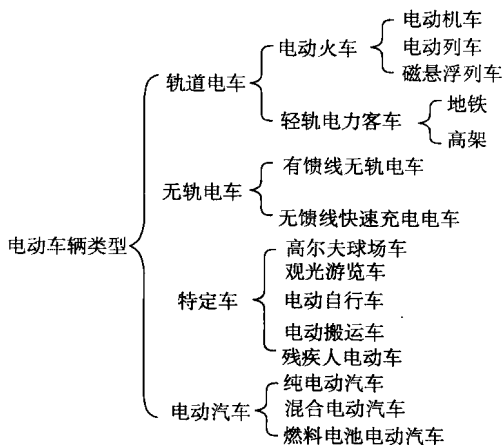


图 1-3 电动车辆的类型

而无轨电车即指原城市公共交通线路上运行的电动车辆，这种车辆名义上叫无轨，指的是道路上无轨道，实际上也是受限制的，这是因为车辆所需的动力必须由专用直流电力网供给。而馈电方式是将正负双线架在路边的线路上，馈电线杆高通常为 3m 左右，所以车辆受电杆的限制，车辆也只能在一定的宽度范围内活动。和轨道电车一样，无轨电车一般在行车途中超越其他车辆也比较困难。目前已有新颖电车，将馈电线路改为沿站点充电式，电车采用到站充电，去掉馈电线杆。这样车辆就有了比较大的自由度，可以不受电网或轨道的限制。

所谓的特定车，是指在特定的有限活动空间或有某种专用用途的小型电动车辆，性能参数要求不高，但非常适用于某种场所。例如：高尔夫球场用的电动汽车，各城市公园、游览区的观光车，电动自行车，电动摩托车，电动三轮车和残疾人电动车。

二、电动汽车的定义和分类

电动汽车是电动车辆的一种，也是汽车的一种，即指全部或部分用车载电源为动力，用电动机驱动车轮行驶，符合道路交通、安全法规各项要求的汽车。电动汽车应具有汽车的性能和属性，但动力线路与原内燃机动力线路不同，又具有电力车辆的基本特征。其车载电源一般采用高效充电电池或燃料电池，其驱动电动机相当于传统汽车的发动机，蓄电池或燃料电池相当于原来的油箱。电动汽车通常被分为蓄电池电动汽车（Battery Electric Vehicle, BEV）、混合动力电动汽车（Hybrid Electric Vehicle, HEV）和燃料电池电动汽车（Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV）三大类。其中蓄电池电动汽车也叫二次电池电动汽车或纯电动汽车。对电动汽车的具体分类如图 1-4 所示。

人们一般认为，混合动力电动汽车是以内燃机为主、蓄电池为辅的汽车，但按照国标的定义“有两种和两种以上的储能器、能源或转换器作为驱动能源，其中至少有一种能提高电能的车辆称为混合动力电动汽车”来判定，混合动力汽车所含的类型要广泛得多。在此需特别说明本书按人们常规习惯，在第二章中介绍混合动力电动汽车时，也只限于内燃机+电能这一种形式；而对于采用以蓄电池为主，另加一种储能器的将放在纯蓄电池电动汽车中阐述；同样采用以燃料电池为主，另加一种储能器的也放在燃料电池电动汽车中讲述。

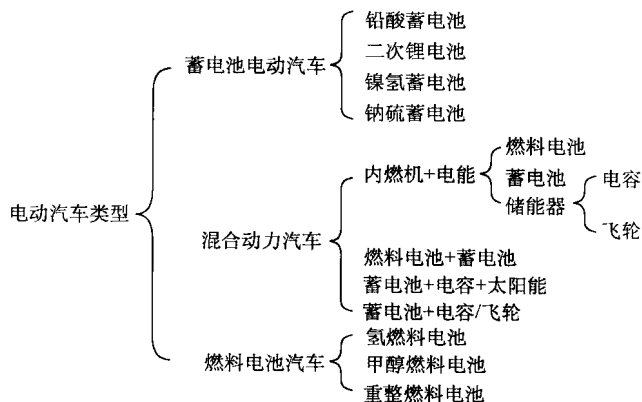


图 1-4 电动汽车的具体分类

对于新能源汽车，除了上述三类电动汽车外，还有氢发动机汽车及其他新能源（如高效储能器、二甲醚）汽车等。汽车的代用燃料主要有三类：含氧燃料（醇、醚、酯）、合成油（BTL、CTL、GTL）、气体燃料（甲烷气、合成气、氢气）。而石油替代燃料的主体来自：煤基燃料、生物燃料、天然气燃料三方面。另外，石油、天然气、煤层气、煤基燃料将向生物燃料和化石能、核能以及可再生能源制氢和发电过渡，以形成油-电、气-电、电-电各种不同的混合动力，促进动力系统的平稳过渡与转型。并且太阳能、风能、潮汐能、地热能、波能、可燃冰等新能源也可能进一步被开发利用。另据报道，月球上有一种核能发电材料氦-3，一旦随着核聚变和海洋氦、氡提取技术的突破，也将为人类提供几乎用之不尽的核能材料。随着石油危机的出现，各国在上述领域内均会有不同程度的投入研究。石油危机和日益严重的环境污染使汽车技术正经历着燃料多元化、动力电气化等重大技术变革。具有高效节能、低排放或零排放优势的电动汽车重新获得了生机，并受到世界各国的广泛重视，是国际节能环保汽车发展的主攻方向，世界上许多国家都开始投入大量资金来开发高性能的电动汽车。

三、电动汽车的性能特点

由于电动汽车的动力驱动装置较传统意义上的汽车发生了根本的变化，因此其动力驱动特性、结构布局及其组成等方面也将会有相应变化。对此主要在第二、五章中分析介绍。在此先对由此引起的性能特点的变化，与内燃机汽车相比有何不同点进行分析比较。而三类电动汽车之间又有一定的区别。如何根据其变化来扬长避短，是研发电动汽车中所要重点关注的。

1. 提高能源的综合利用和效率

1) 可用能源范围广。这主要是指纯电动汽车。它由于通过“蓄电池”这一媒介将电能变为可移动能源，因此除了利用常规的水力、燃煤、核能发电外，也可利用前述的各种替代新能源。并且蓄电池又可充分利用晚间用电低谷时富余的电力充电，即可通过削峰填谷手段来解决电力盈缺现象，使电能得到充分利用。其技术的发展也将为太阳能、风能电动汽车等

建立必要的技术储备。而燃料电池以氢、甲醇等非化石燃料为能源,既解决了汽车的替代能源问题,也改善了能源结构,解除了人们对石油资源日见枯竭的担心。

2) 能源利用率高。传统内燃机汽车使用汽油、柴油作燃料,将原油提炼成汽油、柴油,并经过运输、分配等环节,大概要消耗掉 30% 原油具有的能量。内燃机有效效率一般为 30%,机械效率为 75%,因此其动力输出轴最终只能获得 22.5% 的可利用能量。而内燃机在低负荷及部分负荷(如城市内汽车经常趋于走走停停的运行状态)时,其效率由于混合气雾化质量差,燃烧不完全,可利用的能量就更低,所以实际平均能量利用率只有 15% 左右。对于电动汽车,经过火力发电厂发电、输配电、充电、电机等设备使用能量损失,最终约可获 20% 原始燃料的有用能量。即使利用原油发电,也有研究表明,同样的原油经过粗炼后就送电厂发电,经充入电池,再由电池驱动汽车,其能量利用率比经过精炼变为汽油,再经汽油机驱动汽车的效率要高。如果利用太阳能、水能、风能、原子能等发电,则能源的利用率就更高了。而对于采用将化学能转变为电能的燃料电池,其电池能量利用率可高达 50%。所以三类电动汽车中燃料电池电动汽车的能源利用率将会最高。

3) 可实现能量回收。可以在汽车降速或下坡时,利用电机发电回馈把电能储入蓄电池,实现能量回收,从而增加电动汽车的续驶里程,提高经济性。较好的能量回收系统可使电动汽车的续驶里程增加 10% ~ 20%。这对于传统内燃机汽车是无法做到的,特别是在市区行驶时汽车常趋于走走停停的运行状态,汽车在降速制动或下坡时,不但不能回收能量,而且同样要继续消耗能源。即使在下长坡时,为确保安全和避免制动器产生热衰退现象,还需要正确利用发动机牵制转动的制动功能,即利用发动机牵制力来阻止车轮在重力加速度下飞速行驶。

2. 良好的环境保护效果

1) 排污量小。纯电动汽车无废气排出,达到零排放要求。混合动力电动汽车由于发动机与蓄电池配合使用,其废气的排放非常少,实现了少排放目标。对于燃料电池电动汽车(如以纯氢氧为燃料),汽车在运行中只生成水(H_2O),不排放任何有害气体,实现有害气体零排放。以富氢气体为燃料的燃料电池,在富氢气体制取氢气的过程中,排出二氧化碳气体,但仅是内燃机排放量的 40%,燃料电池是以电化学原理放电,不经过内燃机燃烧过程的热能-机械能转换过程,几乎没有氮、硫氧化物的产生,所以对大气造成的危害甚少。

上述说法仅就汽车使用时而言。严格说来,其电能的产生或燃料的来源过程,按其方法不同也有可能产生不同的污染。但可把该类生产基地设在远郊或人烟稀少的地区,对人类的直接伤害少。而且该类生产基地固定不动,易做到集中排放,通过相关技术的控制,处理有害排放物更容易、更有效。当然如采用对环境无害的太阳能、风能、水能等发电就不存在该问题。对于蓄电池,如采用铅酸或镍镉电池,那么有毒的铅、镉会污染环境,同样也需组织回收并妥善处理。

2) 噪声低。电动机所产生的噪声远比发动机小。另外,传统内燃机汽车的冷却风扇等辅助设备也会产生一定的噪声。燃料电池按电化学原理工作,运动部件很少,所产生的噪声也较低。而对于采用压力供气的燃料电池,由于所用的空气压缩机将产生相当的噪声,需采取隔音措施来减小。所以三类电动汽车中,纯电动汽车的噪声最低。

3) 排放的废热少。传统汽车运行时内燃机排出的气体温度明显高于环境大气,排气携带的热量将导致环境大气温度升高,进而对城市的“热岛效应”产生一定影响。燃料电池和混合动力汽车由于有较高的热效率,单位里程排出的热量少,而纯电动汽车不存在废热气