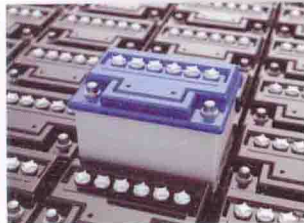




普通高等教育“十二五”汽车类专业（方向）规划教材

电动汽车运用技术



付主木◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费电子课件
www.cmpedu.com

普通高等教育“十二五”汽车类专业（方向）规划教材

电动汽车运用技术

主 编 付主木
参 编 高爱云 张少博
主 审 张承慧



机械工业出版社

为适应新时期高等教育人才培养的需要,以及科学技术发展的新趋势和新特点,根据车辆工程专业培养目标和培养要求,并结合最新教学大纲,本书全面、系统地介绍了纯电动汽车(BEV)、燃料电池电动汽车(FCEV)和混合动力电动汽车(HEV)的基本结构、工作原理、基础理论和设计方法。主要包括:电动汽车的结构及原理分析,电动汽车的储能装置及其充电系统,电动汽车的驱动电动机及其调速控制方式,电动汽车的理论、仿真,电动汽车的设计,以及电动汽车控制系统的设计和先进控制技术。

本书可作为高等院校车辆工程、交通运输等专业本科生和研究生的教材,也可作为自动化、电气工程、机械工程等相关专业本科生的教学参考书,同时对从事新能源汽车研究、设计、开发和应用的广大工程技术人员也具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车运用技术/付主木主编. —北京:机械工业出版社, 2014. 11
普通高等教育“十二五”汽车类专业(方向)规划教材
ISBN 978-7-111-48199-7

I. ①电… II. ①付… III. ①电动汽车—高等学校—教材
IV. ①U469.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第230745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:冯春生 责任编辑:冯春生 王琪

版式设计:霍永明 责任校对:陈立辉

封面设计:张静 责任印制:李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2015年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.25印张·392千字

标准书号:ISBN 978-7-111-48199-7

定价:35.00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

前 言

本书按照“第二批应用型本科教材”编审委员会的建设计划，由中国机械工业教育协会车辆工程分委员会牵头招标，评审后中标，为高等院校车辆工程、交通运输等专业本科生和研究生而编写的，以达到提高学生工程应用能力的目的。

本书共9章。第1章着重介绍了发展电动汽车的意义、电动汽车发展现状及其存在的问题、发展前景预测。第2章详细阐述了纯电动汽车、燃料电池电动汽车和混合动力电动汽车的基本组成、工作原理、关键技术、车型实例。第3章着重对比各种蓄电池、燃料电池、超级电容器的性能，详述蓄电池充电系统的控制方法、软件系统及硬件系统设计，以及燃料电池的供给方法。第4章论述了直流电动机、交流异步电动机、永磁无刷电动机、开关磁阻电动机的特点、基本结构、调速控制理论基础、转矩与机械特性、产品举例和调速控制方式等。第5章分析了电动汽车常用的行驶工况、行驶特性、效率特性和参数匹配。第6章详述了三类电动汽车的建模和仿真。第7章阐述了三类电动汽车的整车布置原则、关键技术、部件的选型，以及提高燃油经济性的主要措施。第8章描述了电动汽车动力总成控制器、能量管理系统、制动能量回馈系统的功能分析、基本原理、硬件系统及软件系统设计。第9章简单介绍了电动汽车用先进控制技术。

本书由付主木任主编，参加编写的还有高爱云和张少博。其中付主木编写第1、4、5、6、9章，高爱云编写第2、3、7章，张少博编写第8章。全书由付主木和高爱云整理定稿。山东大学张承慧教授主审了全书，提出了许多宝贵的意见和建议，在此深表谢意。

本书的出版得到了河南科技大学教材出版基金的资助，在撰写过程中参考了国内外许多同行们的论著、应用成果和先进技术，在此深表谢意。

由于编者水平有限，书中难免会有遗漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 发展电动汽车的意义	1
1.2 电动汽车的发展现状	2
1.3 电动汽车零部件关键技术突破	8
1.4 电动汽车推广存在的主要问题	9
1.5 电动汽车的发展前景	9
思考题	10
第2章 电动汽车的结构与原理分析	11
2.1 纯电动汽车	11
2.1.1 纯电动汽车的特征、基本组成和关键技术	11
2.1.2 纯电动汽车驱动系统布置方案	14
2.1.3 纯电动汽车车型实例	17
2.2 燃料电池电动汽车	20
2.2.1 燃料电池电动汽车的特征和分类	20
2.2.2 燃料电池电动汽车的基本结构	23
2.2.3 燃料电池电动汽车车型实例	27
2.3 混合动力电动汽车	29
2.3.1 混合动力电动汽车的基本组成及工作原理分析	29
2.3.2 混合动力电动汽车的关键技术	35
2.3.3 混合动力电动汽车车型实例	36
思考题	41
第3章 电动汽车的储能装置及其充电系统	42
3.1 储能装置概述	42
3.2 蓄电池储能	46
3.2.1 各种蓄电池的性能比较	46
3.2.2 各种蓄电池的特点	46
3.2.3 蓄电池使用举例	50
3.3 蓄电池充电系统	51
3.3.1 充电系统的主要设计要求	
和指标	52
3.3.2 充电方法的研究	52
3.3.3 充电终止控制方法	56
3.3.4 充电系统的硬件设计	57
3.3.5 充电系统的软件设计	58
3.4 燃料电池储能	61
3.4.1 燃料电池的结构	61
3.4.2 燃料电池的性能	64
3.4.3 燃料的供给方法	65
3.4.4 燃料电池在电动汽车中的应用	68
3.5 超级电容器	69
思考题	73
第4章 电动汽车的驱动电动机及其调速控制方式	74
4.1 电动汽车的驱动电动机	74
4.1.1 电动汽车驱动电动机的分类及选择	74
4.1.2 直流电动机	78
4.1.3 交流异步电动机	82
4.1.4 永磁无刷电动机	85
4.1.5 开关磁阻电动机	92
4.1.6 电动汽车驱动电动机的发展前景	96
4.2 电动汽车驱动电动机调速控制方式	98
4.2.1 直流电动机的调速控制方式	98
4.2.2 交流异步电动机的调速控制方式	99
4.2.3 永磁同步电动机的调速控制方式	107
4.2.4 开关磁阻电动机的调速控制方式	109
思考题	111
第5章 电动汽车的理论	112
5.1 行驶工况	112

5.2 行驶特性	116	第8章 电动汽车控制系统设计	189
5.3 效率特性	123	8.1 电动汽车动力总成控制器设计	189
5.4 参数匹配	127	8.1.1 动力总成控制器的功能分析	189
思考题	131	8.1.2 动力总成控制器芯片的选型	190
第6章 电动汽车的仿真	132	8.1.3 动力总成控制器的硬件总体设计	192
6.1 仿真的意义和方法	132	8.1.4 动力总成控制器的软件设计	198
6.2 仿真软件介绍及 ADVISOR 的使用	133	8.1.5 动力总成控制器硬件在环仿真系统	206
6.3 纯电动汽车的建模和仿真	139	8.2 电动汽车的能量管理系统	207
6.3.1 模型的建立	140	8.2.1 能量管理系统的主要功能	207
6.3.2 仿真结果分析	142	8.2.2 能量管理系统的构成	208
6.4 混合动力电动汽车的建模和仿真	143	8.2.3 能量管理系统的硬件设计	217
6.4.1 模型的建立	143	8.2.4 能量管理系统的软件设计	220
6.4.2 仿真结果分析	146	8.3 电动汽车制动能量回馈系统	221
6.5 燃料电池电动汽车的建模和仿真	147	8.3.1 制动能量回馈系统的结构及主要研究内容	222
6.5.1 模型的建立	147	8.3.2 制动能量回馈的基本原理	223
6.5.2 模型验证	149	8.3.3 再生制动的影响因素	225
思考题	150	8.3.4 制动模式与能量的分析	225
第7章 电动汽车的设计	151	8.3.5 能量回馈的控制策略	227
7.1 纯电动汽车的设计	151	思考题	228
7.1.1 整车布置原则	151	第9章 电动汽车上的先进控制技术	229
7.1.2 关键技术	154	9.1 智能控制技术	229
7.1.3 参数的选择	156	9.1.1 智能控制技术简介	229
7.1.4 参数的优化	159	9.1.2 智能控制技术在电动汽车上的应用	231
7.2 燃料电池电动汽车的设计	167	9.2 CAN 总线技术的应用	233
7.2.1 整车总体布置原则	167	9.2.1 CAN 总线技术简介	233
7.2.2 关键技术	168	9.2.2 CAN 网络协议	235
7.2.3 部件的选型	169	9.2.3 电动汽车 CAN 总线拓扑结构	238
7.2.4 参数的选择	171	9.3 线控技术	239
7.2.5 参数的优化匹配方法	177	9.3.1 线控技术简介	239
7.3 混合动力电动汽车的设计	180	9.3.2 线控转向系统	242
7.3.1 关键技术	180	9.3.3 线控制动系统	244
7.3.2 参数的选择	181	思考题	246
7.3.3 参数的优化匹配方法	184	参考文献	247
7.3.4 提高燃油经济性的主要措施	186		
思考题	188		

第1章 绪 论

1.1 发展电动汽车的意义

电动汽车(EV)是21世纪清洁、高效和可持续发展的交通工具,是一种电力驱动的道路交通工具。电动汽车这个概念的内涵很广泛,它包括蓄电池电动汽车或纯电动汽车(BEV)、混合动力电动汽车(HEV)和燃料电池电动汽车(FCEV),涉及很多学科,内容广泛而且复杂,其核心技术包括底盘和车身技术、驱动技术和能源技术。

今后50年里,全球人口将从60亿增加到100亿,汽车的数量将从7亿增加到25亿。如果这些车辆都使用内燃机的话,它们所需要的石油将从何而来?它们排出的尾气如何处理?天空是否将永远是灰色的?这些问题迫使人们去寻找21世纪可持续发展的道路交通工具。使用电动汽车有利于解决这些问题。

从环境方面考虑,在城市交通中使用电动汽车可实现零排放或极低排放。即使考虑到给这些电动汽车提供能量的发电厂的排放,仍能显著降低全球的空气污染。从能量观点考虑,电动汽车利用的是一种可靠的、来源广泛和均衡、对环境友好的能源,如多种可再生能源。

1. 资源问题

根据预测,未来石油可用年限仅40年,天然气为67年,煤炭为190年,而且化石能源会排放大量空气污染物与温室气体,成为环境污染与温室效应的元凶;核能则有使用环境苛刻的限制,因此必须提升能源使用效率并开发新能源,促进能源永续利用。而且石油价格长期上升趋势明显(见图1-1),油价日益高昂已成为经济不能承受之重。



图 1-1 国际原油价格

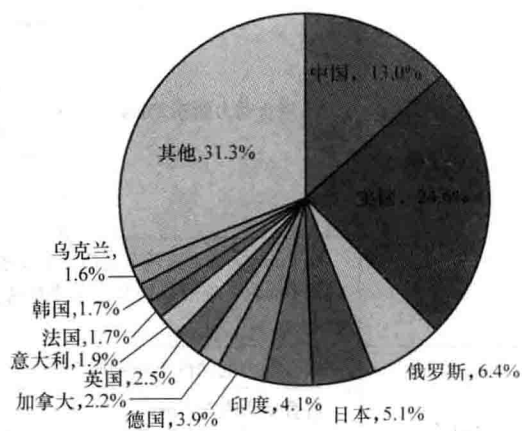


图 1-2 世界主要国家 CO₂ 排放比例

2. 环境问题

大气污染,被称为社会一大公害,越是交通发达的国家,由汽车尾气排放的污染物越严重(见图1-2)。根据检测分析,汽车尾气排放量已占大气污染源的85%,治理大气污染,

减少汽车尾气排放是重中之重。各国纷纷制定标准，降低汽车排放中 CO₂ 对环境的影响（见图 1-3）。

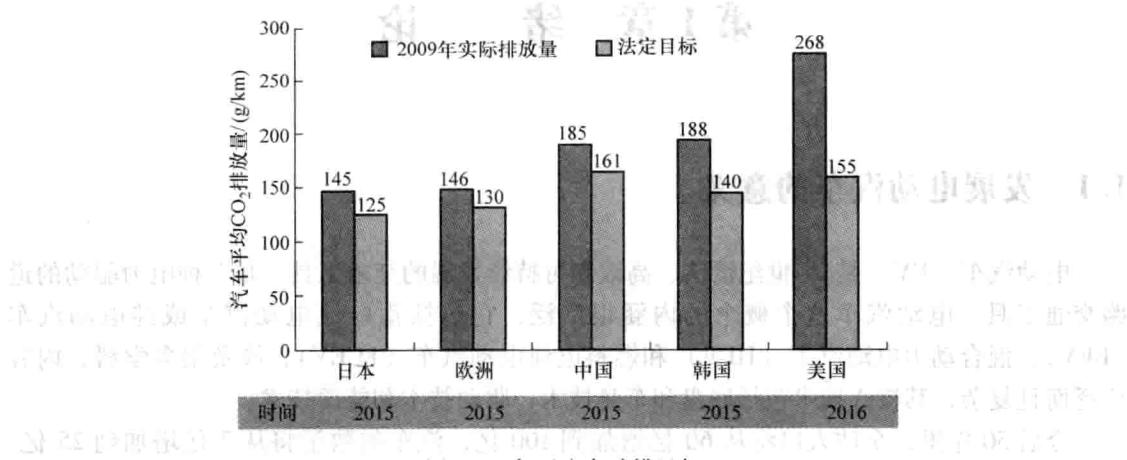


图 1-3 各国汽车减排目标

1.2 电动汽车的发展现状

1. 国外电动汽车的发展概况

从 20 世纪 70 年代起，世界发达国家均投入巨资进行电动汽车商业化开发和应用。以日本电动汽车发展情况为例，见表 1-1。到 20 世纪 90 年代，欧美等发达国家纷纷制定了汽车尾气排放标准并严格执行。

表 1-1 日本电动汽车发展情况

公 司	车 型	投 放 时 间	现 运 行 情 况
丰田公司	混合动力轿车 Prius	1997 年	批量投放
		2000 年 7 月	出口北美
		2000 年 9 月	出口欧洲 20 多个国家
		2006 年 4 月	全球销量达到了 50 万辆
		2012 年	该公司将其所有的车型全部装上混合动力发动机
	继 Prius 混合动力轿车之后，丰田还推出了 Estima（大霸王）混合动力汽车和搭载软混合动力系统的 Crown（皇冠）轿车，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走在了世界前列		
本田公司	混合动力电动汽车 Insight	2009 年	正式进入市场销售
	混合动力汽车 Civic	2001 年	正式进入市场销售
	混合动力汽车 Altima	2006 年	向美国市场销售
		2010 年	日本国内普及 5 万辆

日本丰田公司的“COASTER”、“Prius”，美国通用公司的“EV-1”，法国雷诺公司的“KANGOO”和意大利的“IVECO”等混合动力汽车均已上市。意大利的 IVECO 公司的 12M

混合动力大客车已作为城市公交用车顺利运行了数年。随着各国环境立法的日趋严格,电动汽车、混合动力汽车性能的日益提高及其成本的不断降低,混合动力汽车的市场份额逐渐增大,已成为21世纪重点发展的新型汽车。

混合动力电动客车是技术含量极高的全新车种,3年前才少量出现在美、日、德等少数发达国家。它们将重点放在小轿车和运动车上,而且价格很高,以目前售价而言,很难说服消费者购买。现时世界上供出售的混合动力轿车只有3款:丰田Prius、本田Insight和日产的Tino Hybrid。

面临能源和环境的压力,国外著名汽车公司都十分重视研究开发电动汽车,世界发达国家不惜投入巨资进行研究开发,并制定了一些相关的政策、法规来推动电动汽车的发展。美国前总统克林顿曾亲自督促和协调通用、福特、克莱斯勒三大汽车公司发展电动汽车的计划。

电动汽车的研究是从单独依靠蓄电池供电的纯电动汽车开始的,到现阶段纯电动汽车技术开发已经相对完善,但由于面临充电等基础设施建设资金的巨大社会成本和发达的传统汽车工业发展惯性,在推广应用方面仍处于示范运行阶段。美、日、欧现阶段都将纯电动汽车的应用研究转向了以公交车为主的定点、定线运行车辆和社区用车及特定用途的微型车,并进行车辆运行机制、基础设施建设等方面的研究工作。

世界著名的汽车制造商如通用、戴姆勒-克莱斯勒、福特、丰田等,在不断推出新的传统汽车品牌的同时,还都投入大量的人力物力,发展电动汽车,以抢占先机。以美国蓝鸟客车公司、英国的FRZAER-NASH公司为代表的电动客车和轿车已经上市,英国已有4万多辆电动汽车在使用;法国是世界上推广应用纯电动汽车最成功的国家之一,成立了电动汽车推广应用国家部际协调委员会,巴黎和拉罗谢尔已经建立了比较完善的纯电动汽车充电站网基础设施,制定了支持和激励使用电动汽车的优惠政策,且已经初步形成了纯电动汽车运行体系。

在近年的国际性大型运动会上,电动汽车也成为各国展示其科技实力和环保意识的工具之一。亚特兰大在主办奥运会期间使用了美国蓝鸟客车公司生产的纯电动客车作为公务和电视转播车;悉尼在主办奥运会期间购买了英国FRAZER-NASH公司的近400辆电动客车作为运动员的接送车辆。

在混合动力电动汽车领域,日本丰田公司开发的Prius和本田公司开发的Insight两种混合动力电动汽车已开始小批量投放市场。丰田公司的Prius销售已在2004年累计突破30万辆,并于2006年初在我国长春一汽进行了组装生产和销售。日产公司也于2003年推出Tino混合动力汽车,在日本国内市场上销售了100多辆。欧洲各大汽车厂商争先恐后地推出了本公司研制的混合动力电动汽车,甚至德国的BOSCH等著名的零部件公司也积极与大型汽车公司联手开发混合动力电动汽车技术。

同时,日本、美国和欧洲也开展了混合动力电动公共汽车的研究。与混合动力电动轿车多采用并联和混联的结构形式不同,混合动力电动公共汽车的结构形式以串联为主。作为HEV走向产业化的一个热点,美国已有15个城市试验使用混合动力电动公交车,瑞典、法国、德国、意大利、比利时等国计划在9个欧洲城市进行混合动力电动公共汽车车队试验。

在燃料电池电动汽车方面,国外企业界纷纷组成强大的跨国联盟,以期达到优势互补的目的,如日本丰田与美国通用公司、日本东芝公司与美国国际燃料电池公司、德国BMW公司与西门子公司、雷诺汽车公司与意大利De Nora公司分别组成联盟,开发燃料电池电动汽车;本田也已投资数亿美元开发燃料电池电动汽车。其中,以加拿大的巴拉德—美国的福特

—德国的戴姆勒-克莱斯勒联盟 (XCELLSIS) 最具代表性, 该联盟投资 10 亿加元开发生产电动汽车用燃料电池动力系统。在这一波燃料电池电动汽车的研发热潮中, 几乎所有的国外大型企业集团都有介入, 投入的总额近 100 亿美元。但是, 由于燃料电池的成本和寿命问题, 这一项目目前遇到了比较大的困难。

在燃料电池电动汽车的示范运行方面, 世界各国也都不约而同地把注意力集中在了大客车上, 如欧盟的 CUTE 示范项目、UNDP/GEF 燃料电池商业化示范项目、美国加州的 CAH-FC 示范项目和日本的 JHFC 计划等。

2. 国内电动汽车发展情况

(1) 我国对电动汽车的政策支持 我国新能源汽车的发展需要依靠政府的强有力推动, 从图 1-4 可以看出, 从产业规划一直到市场化, 政府的引导都起到了决定性的作用。

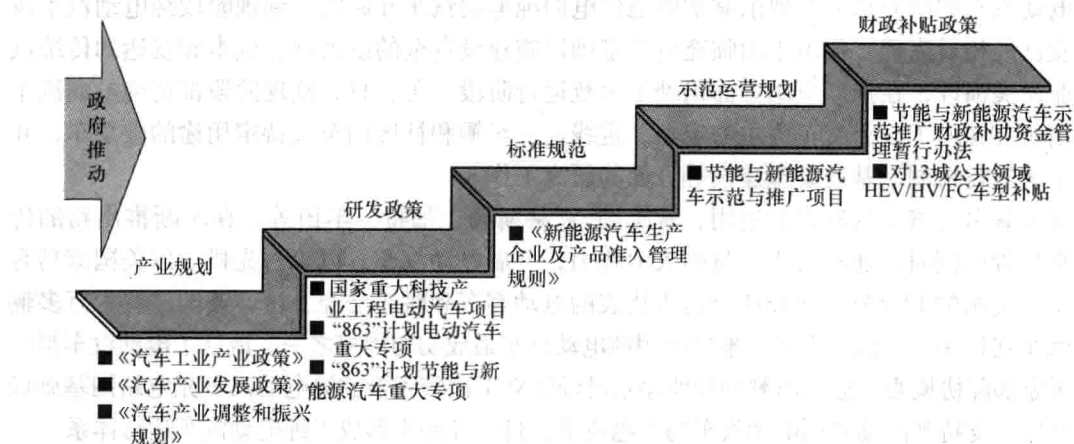


图 1-4 我国对电动汽车发展的政策支持

我国电动汽车的研发与国外基本处于同一起跑线上, 技术水平与产业化差距相差较小。“十五”期间, 国家从维护能源安全、改善大气环境、提高汽车工业竞争力、实现跨越式发展的战略高度考虑, 设立“电动汽车重大科技专项”, 通过组织企业、高等院校和科研院所等方面的力量进行联合攻关。从 2001 年起, 国家在电动车领域的投资达到 100 亿元人民币, “863”计划中涉及这一领域的投资达到 8.8 亿元人民币。

1) 我国“十五”国家高新技术研究发展计划 (“863”计划) 将电动汽车作为重大专项列入。

2) 国家发展和改革委员会于 2004 年 6 月 1 日出台了《汽车产业发展政策》, 重点发展混合动力汽车技术和轿车柴油发动机技术。

3) 《节能中长期专项规划》(国家发展和改革委员会, 2004 年 11 月 25 日) 中指出: 实施清洁汽车行动计划, 发展混合动力汽车, 在城市公交客车、出租车等推广燃气汽车。

4) 建设部于 2004 年 3 月 6 日颁布《关于优先发展城市公共交通的意见》, 提出“争取用 5 年左右的时间基本确立公共交通在城市交通中的主体地位”。

国家开始对私人用新能源汽车实施补贴政策, 各种车型积极面市, PHEV 乘用车最高补助 5 万元/辆; EV 乘用车最高补助 6 万元/辆; 普通 HEV 一次性定额补贴 3000 元/辆。

(2) 国内电动汽车发展情况 “十五”期间, 国家电动汽车重大科技专项以开发电动

汽车整车技术和关键零部件技术为重点,采取整车牵头、零部件配合、产学研相结合的模式,推动了电动汽车技术开发。一汽集团、东风集团、上汽集团、长安汽车集团、奇瑞汽车公司等汽车企业,天津清源电动、大连新源动力、春兰研究院、星恒电源公司、神舟电源公司、株洲时代集团等一批电动汽车零部件高新技术企业(见表1-2),以及中科院、清华大学、同济大学、北京理工大学、中国汽车技术研究中心等相关高等院校、科研院所共200多家单位参与了电动汽车研发。

表1-2 主要汽车厂商开发的新能源汽车产品

汽车厂商	新能源汽车产品
北汽福田	目前已生产出福田牌纯电动客车、新能源客车、迷迪纯电动汽车,其中混合动力客车约千台供北京公交运营
	2010年已大批量投产混合动力客车1000余辆。2011年,建成生产能力为客车年产8000辆,混合动力客车为1000辆的生产基地
一汽集团	目前混合动力客车产品开发已基本完成,已有162辆油电混合动力客车在大连示范运行,50辆气电混合动力客车在长春示范运行
	2010年小批量投产客车200辆,轿车100辆。2012年,建成生产能力为1.1万辆混合动力轿车、1000辆混合动力客车的生产基地,实现客车年产800辆,轿车年产1600辆
上汽集团	目前已生产出上海牌纯电动轿车、荣威750混合动力轿车,约千台车供世博运营
	2010年年底,荣威750中混混合动力轿车投放市场,综合节油率约为20%;2012年,推出节油50%以上的荣威550插电式强混轿车及零排放的自主品牌纯电动轿车
长安集团	目前长安首款纯电动汽车奔奔MINI纯电动轿车试生产下线
	2012年,长安在新能源汽车上重点投资10亿元,所有长安自主品牌轿车和微车全部标配混合动力系统,全力推动纯电驱动汽车研发和产业化能力提升。到2020年,长安形成年产20万辆节能与新能源汽车整车,关键零部件50万套的能力

北京、上海、广州等一线城市和部分二线城市都制定了新能源汽车制造和推广应用规划,见表1-3。

表1-3 我国主要城市新能源汽车制造和推广应用情况

城 市	规 划
上海	2010年,形成1万辆的新能源汽车产能
	2012年,整体实力实现国内领先,产销10万辆左右,产值200亿元
	2015年,全面实现产业化,实现产销30万辆左右,形成600亿元左右的产业规模
广州	2020年,将广州打造成世界级新能源汽车研发中心和制造基地,其中节能和新能源车产业产值将达2400亿元,并实现新能源汽车产销占比15%
深圳	2012年,推广使用新能源汽车2.4万辆以上
	2015年,推广使用的新能源汽车计划累计达到10万辆
北京	依托北汽集团,2010年新能源汽车产销规模达到31万辆
重庆	2011年年底前推广示范1150辆节能与新能源汽车,包括300辆公务车、700辆出租车、50辆公交车、100辆私家车。示范推广用车享受购车及路桥费补贴等政府扶持政策
武汉	2020年,新能源汽车产能力争达到60万辆,销售完成50万辆,其中中、高端混合动力客车、充电式混合动力(PHEV)公交车和可快速更换电池组纯电动公交车将成为新动力汽车发展重点之一

目前,我国已成功开发出纯电动汽车产品、混合动力汽车产品样车和燃料电池汽车示范样车,系统地掌握了关键技术,初步建立了电动汽车技术体系,已申请专利 3000 余项,颁布电动汽车国家和行业标准 56 项,建成 30 多个节能与新能源汽车技术创新平台。通过重大科技专项的实施,我国电动汽车产业化技术得到了长足发展,自主研发的电动汽车整车产品,各具技术特点,拥有知识产权,混合动力和纯电动汽车按国家标准进行了考核实验,已有 160 种车型进入国家汽车产品公告程序,示范推广各类电动汽车达到 5000 多辆,初步形成了 15 万辆电动汽车整车和关键零部件生产能力。

我国的“十五”-电动汽车重大科技专项,确立并坚持了“三纵三横”的研发布局,以燃料电池汽车、混合动力汽车、纯电动汽车为“三纵”,以多能源动力总成控制、驱动电动机、动力蓄电池及燃料电池等关键零部件为“三横”,引领电动汽车整车开发和关键零部件的技术进步。“十二五”期间,我国继续坚持“三纵三横”的基本研发布局。在电动汽车整车技术方面,预计到 2015 年,在 30 个以上城市进行规模化示范推广,在 5 个以上城市进行新型商业化模式试点应用,建成由 40 万个充电桩、2000 个充换电站构成的网络化供电体系,满足电动汽车大规模商业化示范能源供给需求,为实现电动汽车规模产业化,尤其是纯电动汽车销量达到同类车型总销量 1% 左右的重要门槛提供科技支撑,引领电动汽车新兴战略产业跨越发展。

同时,我国在电动汽车用动力蓄电池、驱动电动机、燃料电池发动机等关键零部件技术、电子控制技术和系统集成技术上取得了较大进展,初步形成电动汽车关键零部件配套产业链。车用燃料电池发动机技术取得重大突破;大功率车用动力蓄电池技术进展明显,已形成产业基础;驱动电动机性能先进,与整车集成化逐步加强;车辆电控技术全面发展、日趋成熟;电动化汽车底盘技术发展迅速。

在电动汽车关键零部件方面,预计到 2015 年,形成 10 家年产 20 万套动力蓄电池系统的大型企业,满足国内外电动汽车快速发展的需要,产品在国内外市场中占主导地位;超级电容器达到年产 200 万只的生产能力;车用电机达到 200 万台的研制生产能力,其中 100 万台满足国内市场,另 100 万台满足国外市场;多能源控制系统研发单位与整车企业联合开发整车多能源控制器,配置 160 种不同的整车。专项注重项目管理模式创新,建立了领域办协调决策、总体组组织实施、监理公司监督保障的项目管理架构;实践了符合汽车产品开发规律的整车牵头、零部件协同的并行开发模式;促成了既竞争又合作的整车—零部件产业联盟,保障了专项完成预定的目标和任务,为推动电动汽车产业化提供了有益的经验。

1) 燃料电池汽车。我国自主研发的燃料电池汽车已经过了 3 万 km 以上的试验运行考核,主要技术指标达到国际先进水平。由于采用了电-电混合的特色技术,轿车和客车两种车型节油效果均十分显著。

上海燃料电池动力系统有限公司联合同济大学、上汽集团等单位研发的燃料电池轿车最高车速达 123km/h,百公里加速 19s,续驶里程 230km,百公里氢燃料消耗 1.12kg,约合 4.3L 汽油(同类传统汽车油耗为 7~8L)。清华大学联合北京客车总厂等单位研制出 3 辆 BK6110FCHEV 型燃料电池城市客车示范车和 2 辆 BF6120FCHEV 型燃料电池城市客车目标车。目标最高车速 85km/h,百公里氢燃料消耗 4.26kg(40km/h 等速)。

2) 混合动力汽车进展。混合动力汽车已初步具备产业化条件。目前,我国自主开发的混合动力汽车,采取了各具特色的混合动力结构方案,拥有自主知识产权,节油率可达

30%以上,已投入试验示范运营,见表1-4。

表1-4 电动汽车示范运营成果

时 间	成 果
2009 年	深圳已经投入使用了 101 辆混合动力公交车
2009 年 4 月	中国南车集团 30 台“油-电”混合动力公交车交付长株潭公交公司
2009 年 7 月	中通客车向济南公交集团交付 80 辆混合动力客车
2009 年 9 月	一汽客车首批 62 辆混合动力新能源客车交付大连公交
2009 年 12 月	杭州公交集团向厦门金旅采购 105 辆混合动力客车
2010 年 1 月	70 辆东风电动混合动力公交车交付武汉公交集团
2010 年 1 月	30 辆安凯纯电动客车交付合肥公交集团
2010 年 2 月	长春市 50 辆混合动力公交车上线运营
2010 年 5 月	中通客车向聊城公交一次性交付 30 辆混合动力公交客车
2010 年 6 月	重庆首批 50 辆气电混合动力客车交付
2010 年 8 月	天津滨海新区制造混合动力公交车 10 辆新车投入运行

东风电动车辆股份有限公司自主研发的 20 辆混合动力公交客车已在武汉累计运行 40 多万 km, 载客 86 万人次; 一汽集团研发的混合动力客车产品车也已下线, 具备了小批量生产能力。上述两款混合动力客车已经通过试验考核和审批程序, 成为国家汽车公告产品。东风、长安、奇瑞和一汽的混合动力轿车将陆续投放市场。

北京: 清能一号车代表中国燃料电池城市大巴的最高水平; 电动汽车运行示范项目完成 15 辆车规模的密云区域运行试验和 20 辆车规模的公交专线运行试验, 总运行里程超过 30 万 km。

天津: 清源电动车公司幸福使者电动轿车出口美国 100 余辆。

武汉: 2003 年 11 月至 2007 年 5 月, 20 台混合动力客车累计运营超过 140 万 km, 运送乘客超过 300 万人次, 如图 1-5 所示。

杭州: 截至 2006 年 2 月, 5 辆纯电动旅游公交车、6 辆纯电动轿车, 在环西湖旅游线路上进行示范运营, 累计行驶超过 15 万 km。



图 1-5 武汉示范运营的混合动力客车 (单车运营里程近 13 万 km)

株洲: 自 2004 年 10 月到 2005 年 12 月, 3 辆纯电动和 1 辆混合动力公交车累计运行 16.13 万 km, 载客 31.89 万人次, 出勤率达 88.14%。

汕头: 1998 年 5 月, 丰田汽车提供了 5 部纯电动汽车进行运行试验, 4 年多运行超过 70

万 km。

3) 纯电动汽车。纯电动汽车关键技术研究进展顺利,纯电动客车产品首先进入产品公告,已开始道路示范运行并进入小批量生产与应用。北京理工大学联合有关企业研发生产的4种车型35辆公交车已投入到121路公交线和密云县进行载客示范运行,等速百公里耗电 $70\text{kW}\cdot\text{h}$,为2008奥运绿色车队的建立打下了良好基础。2005年,北京市获得了国际电动汽车协会颁发的电动汽车推广应用奖。天津清源电动车辆股份有限公司与北汽集团等单位联合研发的纯电动轿车,最高时速超过120km,一次充电续驶里程达252km。2005年,该公司开发生产的112辆纯电动轿车已出口美国,后继需求旺盛。

1.3 电动汽车零部件关键技术突破

我国电动汽车取得了一定的成果,在整车方面,燃料电池汽车研发取得重要进展,进入国际先进行列;混合动力汽车已实现载客运行,具备小批量生产能力;纯电动汽车开始批量生产,进入道路运营并开始出口。在零部件方面,车用燃料电池发动机取得重大突破,进入世界前列;大功率车用动力蓄电池性能显著提高,形成了产业基础;驱动电机技术性能先进,与整车集成化程度逐步加强;车辆电控技术异军突起,电动化汽车底盘发展迅速,带动了传统汽车的技术进步。具体体现在以下几个方面。

1. 燃料电池发动机

经过“十五”电动汽车重大科技专项的开发,我国在电动汽车用动力蓄电池、驱动电机、燃料电池发动机等关键零部件技术、电子控制技术和系统集成技术上取得了较大进展,初步形成电动汽车零部件产业链。车用燃料电池发动机技术取得重大突破,大功率车用动力蓄电池技术进展明显并形成产业基础,驱动电机性能先进并与整车集成化逐步加强,车辆电控技术全面发展、日趋成熟,电动化汽车底盘技术发展迅速。

我国已成为世界上少数几个掌握车用百千瓦级燃料电池发动机研发、制造以及测试技术的国家之一,自主研发的燃料电池在额定功率下发动机的氢燃料效率 $\geq 50\%$,质量比功率 $\geq 160\text{W/kg}$ 。

2. 动力蓄电池

我国大功率车用动力蓄电池技术进展显著,攻克了一系列产业化关键技术,建立了数条小批量生产线,初步形成了产业基础,8A·h高功率镍氢电池的功率密度达到 1006W/kg ,循环寿命试验超过20万次(相当于运行20万km),安全性等各项性能指标表现良好;15A·h锂离子动力蓄电池的功率密度达到 1220W/kg ,安全性达到测试标准。

3. 车用电机

“十五”期间,电动汽车重大科技专项各电机研发单位克服高速大功率、高堵转转矩、高比功率等技术难点,开发了一系列满足各类整车要求的电机系统,包括交流感应、开关磁阻、直流无刷、永磁同步等各种电机类型,涵盖7~180kW功率范围,性能达到预定的指标,部分性能(如质量比功率为 1.35kW/kg ,电机系统最高效率为93%)达到了国际先进水平,形成了电机系统自主开发能力和千套级生产能力。

4. 多能源动力总成控制和辅助动力系统

电动汽车整车研发单位与大学等科研单位联合开发出多能源动力总成控制器和整车控制

器产品,取得了阶段性进展,在电动汽车整车电子控制技术方面异军突起。在多种形式电动汽车整车上实现了动力总成的分布式控制,通过对多种形式的能量源(如燃料电池发动机、蓄电池等)、动力源(如内燃机、电机等)等的综合控制,实现整车的燃料经济性指标。我国电动汽车整车研发单位积极与汽车零部件厂家配合,在较短的时间内还开发出了我国自己的电动化底盘等其他关键电动零部件产品,加快了电动汽车整车技术的高端化、实用化和产业化进程,并向传统汽车产业扩散。

上燃动力、清华大学、同济大学、北京理工大学、北京航空航天大学、天津清源等与有关企业联合研发了电动化底盘、电动助力转向、电动一体式空调、多档变速器电动换挡机构、车载充电器、电子仪表、车辆分布式多能源动力控制信息显示系统、大功率 DC/DC 变换器等。

1.4 电动汽车推广存在的主要问题

从理论上分析,电动汽车的使用成本应大大低于燃油汽车,理由是:

- 1) 能源消耗费用低。

- 2) 维修费用低。

但是，目前没有发挥这个优势，相反运行费用也偏高，其原因为：

- 1) 维修难度大, 维修费用高。

- 2) 车辆使用效率低。

- 3) 电池损坏多。

- 4) 基础设施投入大。

电动汽车是未来解决能源和环境危机的必然方向，但是现在在推广上遇到了如下问题：

- 1) 价格贵。

- 2) 电动汽车研制费用太高。

- 3) 生产成本偏高。

- 4) 电池费用较高。

- 5) 运行经济效益无明显优势。

以上5点是目前电动汽车无法大范围推广的主要原因。

从试验示范区的经验看,目前推广电动汽车还存在以下诸多问题,需要我们去解决。

- 1) 电动汽车的技术性能有待提高。

- 2) 电动汽车控制与管理系统应加大开发力度。

- 3) 电池及其管理系统有待完善。

- 4) 充电机的技术也有待提高。

- 5) 整车技术也不够成熟。

1.5 电动汽车的发展前景

随着技术的不断创新与突破，面对金融危机、油价攀升和日益严峻的节能减排压力，2008 年以来，以美国、日本、欧盟为代表的国家和地区相继发布实施了新的电动汽车发展

战略,进一步明确了产业发展方向,明显加大了研发投入与政策扶持力度。日本以产业竞争力为第一目标,全面发展混合动力电动汽车、纯电动汽车、燃料电池电动汽车三种电动汽车,研发和产业化均走在世界前列;美国以能源安全为首要任务,强调插电式电动汽车发展;欧盟以 CO₂ 排放法规为主驱动力,重视发展纯电动汽车,仅德国电动汽车平台计划就投入近 50 亿欧元。我国也大力推动电动汽车的发展,在 2006 年《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》和 2011 年《国家“十二五”科学和技术发展规划》中,均明确将低能耗与新能源汽车作为优先发展主题之一。科技部依据上述纲要和规划,在制定的《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》中继续强调电动汽车“三横三纵三平台”(三横:电池、电机和电控;三纵:混合动力、纯电动和燃料电池;三平台:标准、检测与系统平台,能源供给基础设施平台,应用开发与集成示范平台)的发展构架,并指出了 29 项重要发展方向,涵盖了目前我国节能与新能源汽车行业需要解决的主要问题。

从技术层面看,混合动力电动汽车技术逐步成熟,已进入产品市场竞争期,率先实现产业化,正成为汽车销售新的增长点,其中,日本市场混合动力电动汽车已达到汽车销量的 10% 左右。纯电动汽车电池技术进步加速,整车产品更加接近消费者需求,以电池租赁为代表的纯电动汽车商业模式创新取得进展。世界主要汽车制造商加快了生产纯电动汽车的步伐,率先上市的日产 LEAF 车型销售势头良好,各大汽车公司多种小型纯电动轿车在 2014~2016 年密集上市。车用燃料电池技术取得重大进展,通用汽车公司轿车燃料电池发动机贵金属催化剂 Pt 的用量从上一代的 80g 降低到 30g,并计划 2015 年降至 10g。燃料电池轿车在动力性、安全性、续航里程、低温起动等性能指标方面已接近汽油车水平,燃料电池汽车整车成本显著下降,丰田公司宣布,2015 年将实现燃料电池车零售价格为 5 万美元/辆的目标。

经多年探索实践,国际汽车产业界达成了电动汽车产业化战略共识:2015~2020 年,在混合动力技术得到广泛应用的基础上,提高汽车动力系统电气化程度,加大小型纯电动汽车和插电式混合动力电动汽车推广力度;2020 年以后,各种纯电驱动技术将逐步占据主导地位,通过进一步发展纯电动汽车和燃料电池汽车,实现大幅度降低石油消耗和 CO₂ 排放。经过“十五”和“十一五”两个五年计划的科技攻关以及北京奥运会、上海世博会、深圳大运会、“十城千辆”等示范工程的实施,我国电动汽车从无到有,在关键零部件、整车集成技术以及技术标准、测试技术、示范运行等方面都取得了重大进展,初步建立了电动汽车技术体系。但由于传统汽车及相关产业基础相对薄弱,差距仍在,中高端技术竞争压力越来越大。因此,发展电动汽车已成为我国重大的科技战略需求与战略重点,确保我国汽车行业可持续发展。

思考题

1. 为什么要发展电动汽车?
2. 国内外电动汽车的发展现状如何?
3. 我国电动汽车的哪些零部件实现了关键技术突破?

第2章 电动汽车的结构与原理分析

2.1 纯电动汽车

2.1.1 纯电动汽车的特征、基本组成和关键技术

1. 纯电动汽车的特征

(1) 优点

- 1) 利用电池储存的电能行驶，因此行驶过程完全不排出气体。
- 2) 振动和噪声很小，是一种很安静的车辆。
- 3) 减速时能回收能量，因而效率高。
- 4) 由于利用电能，不一定必须依靠石油。

(2) 缺点

- 1) 行驶距离短且载重量小等，用途受到限制。
- 2) 当今由于产量少、电池价格高等原因，BEV 价格也高。
- 3) 充电需耗费时间（充电时间为4~8h）。

由此可见 BEV 虽然与内燃机汽车（简称 ICEV）相比对环境等方面有优越的一面，但是在价格与使用便利性等方面仍存在问题。然而考虑到环境以及能源问题，它应被看做能够对社会做出贡献的一种车辆。

2. 纯电动汽车的基本组成

纯电动汽车主要由三个子系统组成（见图 2-1）：电力驱动子系统、主能源子系统和辅助控制子系统。

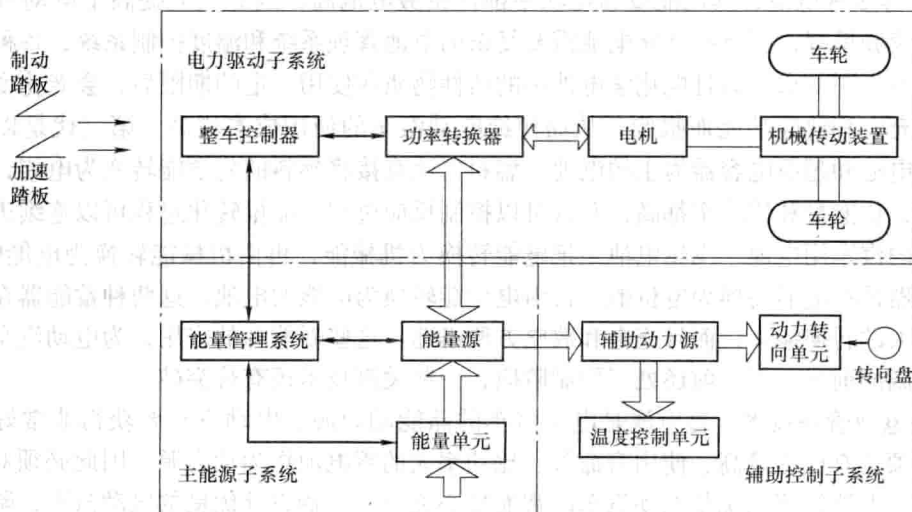


图 2-1 纯电动汽车的基本组成