



普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

电动汽车 原理与构造

第②版

何洪文 熊瑞 等编著



张外信



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

电动汽车原理与构造

第2版

何洪文 熊 瑞 等编著

机械工业出版社

本书侧重于电动汽车原理的系统分析和构造的举例说明,内容涵盖了纯电动汽车、混合动力电动汽车、燃料电池电动汽车等整车,电机驱动系统、动力电池组系统、电动化辅助系统等部件以及电动汽车的基础设施和应用等各个方面。每个独立章节从功能定义、原理分析和典型构造举例三方面进行展开说明,内容新颖、图文并茂。本书可作为高等院校车辆工程专业新能源汽车研究方向的专业基础课教材,也可作为车辆工程专业的专业选修课教材、研究生的参考教材以及从事新能源汽车技术研究、生产管理、技术服务等方面的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车原理与构造/何洪文等编著. —2版. —北京:机械工业出版社, 2018. 2

普通高等教育“十三五”汽车类规划教材

ISBN 978-7-111-59166-5

I. ①电… II. ①何… III. ①电传动汽车—理论—高等学校—教材②电传动汽车—车体构造—高等学校—教材 IV. ①U469.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第030365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:何士娟 责任编辑:何士娟

责任校对:王延 封面设计:张静

责任印制:常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018年4月第2版第1次印刷

184mm×260mm 19.5印张·432千字

0 001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-59166-5

定价:58.00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

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

能源短缺、环境污染使汽车工业的可持续发展面临困境，节能减排、动力升级推动汽车技术不断创新，以电动汽车为特色的新能源汽车成为主要选择。纯电动汽车、混合动力电动汽车、燃料电池电动汽车等多种形式的电动汽车技术取得明显进步，电动汽车的市场占有率正逐步提升。

世界各国政府制定积极的战略发展规划推动电动汽车的技术研发和规模化应用。新能源汽车被确定为我国七大战略性新兴产业之一和“中国制造 2025”确定的重点领域。

围绕电动汽车的技术研发、生产管理和运营服务，我国配套的技术开发人员、产业服务人员需求出现短缺，亟须培养一批掌握电动汽车原理与构造技术的人才队伍。本教材立足从电动汽车原理与结构层面的系统分析出发，配以实际的案例，满足本科生、研究生以及想从事电动汽车行业技术研发的技术人员的阅读需求。在章节体系的安排上涵盖了纯电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车三种整车，电机驱动系统、动力电池组和电动化辅助系统三类部件，以及电动汽车基础设施和应用技术，同时补充了近几年出现的新技术，如插电式混合动力电动汽车、增程式电动汽车等。每个独立章节立足从功能定义、原理分析、典型构造举例三方面进行展开说明。同时，这样的章节安排也满足国家对电动汽车技术攻关的关键点布局规划（整车集成及电机、电控、电池三大部件）。

本书由北京理工大学电动车辆国家工程实验室何洪文教授、熊瑞副教授等编著，其他编写人员还有北京理工大学电动车辆国家工程实验室的施国标副教授、彭剑坤博士以及北京信息科技大学的霍为炜讲师，研究生章政、闫梅、周娜娜等在资料收集整理过程中做了大量的工作，北京理工大学车辆工程系的孙逢春教授、张承宁教授、林程教授在全书的成稿过程中给予了建设性建议和修改意见。

在本书完稿之际，对书中所引参考文献的作者致以衷心的感谢！

编著者

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 电动汽车发展的技术背景	1
第二节 电动汽车的概念和种类	2
第三节 电动汽车的技术现状	5
第四节 电动汽车的发展趋势和特点	9
第二章 纯电动汽车	11
第一节 纯电动汽车的系统组成	11
第二节 纯电动汽车的工作原理	13
一、电气控制系统的工作原理	13
二、传动系统的结构及工作原理	16
三、电源系统的结构及工作原理	21
第三节 典型的纯电动汽车结构	25
一、改装式的纯电动汽车(福特公司纯电动汽车福克斯)	25
二、完全开发的纯电动汽车	27
三、未来的纯电动汽车技术	35
第三章 混合动力电动汽车	40
第一节 混合动力电动汽车的概念和类别	40
一、串联混合动力汽车的概念	42
二、并联混合动力汽车的概念	43
三、混联式混合动力汽车的概念	44
第二节 串联混合动力电动汽车的系统组成和工作原理	45
第三节 并联混合动力电动汽车的系统组成和工作原理	47
第四节 混联混合动力电动汽车的系统组成和工作原理	49
第五节 插电式混合动力电动汽车的系统组成和工作原理	52
第六节 增程式电动汽车的系统组成和工作原理	52
第七节 混合动力电动汽车的关键部件	53
一、发动机	53
二、动力耦合装置	55
三、辅助功率单元	62
四、整车综合控制器	63



第八节 典型的混合动力汽车结构	65
一、串联混合动力电动汽车的结构	65
二、并联混合动力电动汽车的结构	67
三、混联混合动力电动汽车的结构	72
四、插电式混合动力电动汽车的结构	74
第四章 燃料电池电动汽车	78
第一节 燃料电池系统的组成和工作原理	79
一、燃料电池的定义和工作原理	79
二、燃料电池发电系统的组成和工作原理	82
三、汽车用燃料电池发电系统的结构和工作原理	86
第二节 燃料电池电动汽车的系统组成和工作原理	92
一、燃料电池单独驱动汽车动力系统	93
二、燃料电池混合动力汽车动力系统	95
第三节 典型的燃料电池汽车结构	103
第五章 电动汽车的电机驱动系统	107
第一节 电动汽车电机驱动系统综述	107
第二节 直流电机驱动系统的组成和工作原理	110
一、直流电机的结构	110
二、直流电机的工作原理	112
三、直流电机的四象限工作调控	118
第三节 交流感应电机驱动系统的组成和工作原理	126
一、交流感应电机的结构	127
二、交流感应电机的工作原理	131
三、交流电机的调速控制	137
四、逆变器	141
五、交流感应电机的控制系统	145
第四节 永磁电机驱动系统的组成和工作原理	151
一、永磁同步电机的结构	151
二、永磁同步电机的工作原理	153
三、永磁同步电机的数学模型及控制系统	153
第五节 开关磁阻电机传动系统的组成和工作原理	154
一、开关磁阻电机的结构	155
二、开关磁阻电机的工作原理	156
三、开关磁阻电机的数学模型及工作特性	157
第六节 电动汽车的再生制动	158
第七节 电动汽车电驱动系统关键部件介绍	159
一、功率器件	159



二、转速测量元件	166
第八节 电机的冷却形式	169
第九节 典型的电动汽车电驱动系统结构	172
第六章 电动汽车的车载能量源系统	175
第一节 电动汽车动力电池的种类及原理	176
一、电动汽车用动力电池分类	176
二、常用二次电池比较	178
三、铅酸电池和镍氢电池	179
四、锂离子电池	179
第二节 电动汽车动力电池的性能	192
一、动力电池的性能参数	192
二、铅酸电池的特性	194
三、镍氢电池的特性	195
四、锂离子电池的特性	196
第三节 电动汽车的动力电池系统	198
一、动力电池成组技术	198
二、动力电池组系统技术	200
三、动力电池的不一致性改进措施	206
四、动力电池管理系统	209
五、电池管理系统的关键技术	219
六、电动汽车电池管理系统举例	223
第四节 典型的动力电池系统结构	225
一、丰田普锐斯电动汽车电池组系统	225
二、A123 电池组系统	227
三、北京奥运用 BK6122EV 型电动客车电池组系统	229
第五节 电动汽车的其他能量源	233
一、锌空气电池	233
二、太阳能电池	234
三、飞轮储能装置	237
四、超级电容器	239
第七章 电动汽车的电动化辅助系统	243
第一节 电动汽车的辅助系统概述	243
第二节 电动转向系统	246
一、电动助力转向系统的结构和原理	246
二、电动线控转向系统的结构和工作原理	250
三、电动液压助力转向系统(EHPS)的组成和工作原理	252
第三节 电控制动系统	255



一、电控制动系统的结构	255
二、电控制动系统的工作原理	256
三、典型的电控制动系统	256
四、电控真空助力制动系统	259
第四节 电动空调系统	261
一、热泵式空调系统结构和工作原理	261
二、电装电动客车一体式电动空调	262
第五节 电动冷却系统	264
一、电动冷却系统的结构	264
二、典型车辆的冷却系统	264
三、电动冷却系统中的特殊问题	265
第六节 辅助 DC/DC 变换器	266
一、降压变换器	266
二、升压变换器	267
三、升降压变换器	268
四、带隔离变压器的直流变换器	270
第八章 电动汽车的基础设施	272
第一节 电动汽车的充电站	272
一、电动汽车充电站建设的现状	272
二、电动汽车充电站的功能	274
三、电动汽车充电站的运行模式	275
四、电动汽车充电机	281
五、充电站的监控网络系统	285
六、充电机(站)安全	287
七、充电站实例——北京公交电动汽车充电站	288
第二节 燃料电池汽车的加氢站	291
一、燃料电池汽车加氢站的发展现状	291
二、燃料电池汽车加氢站的总体结构	291
三、燃料电池汽车加氢站的监控系统	294
第三节 电动汽车的应用模式	296
一、特定区域	296
二、固定线路	296
三、面向社会大众的电动汽车	297
四、电动汽车充电营运系统	298
参考文献	300

第一章

绪 论

汽车工业在促进世界经济飞速发展和给人们提供便利的同时,又展现出了其双刃剑的另一面——它将能源与环境问题推到了日益尴尬的处境。“能源、环境与安全成为21世纪世界汽车工业发展的3大主题”。其中,能源与环境问题作为全球面临的重大挑战和制约汽车工业可持续发展的症结所在,更成为重中之重。电动汽车使用电能作为动力能源,而电能具有来源广、清洁无污染等特点。电动汽车被公认为21世纪重要的交通工具。

第一节 电动汽车发展的技术背景

传统汽车工业的可持续发展面临着解决环境污染和能源短缺的双重压力。

环境问题的表现形式为空气污染。我国城市的空气环境污染已由“烟囱”型转变为“尾气”型,汽车有害排放已经成为大中城市空气污染的重要来源。由于大气状况严重恶化引起的一系列异常的自然现象,如光化学烟雾、酸雨以及厄尔尼诺、城市热岛效应等,严重破坏和影响到人类赖以生存的地面生态系统。机动车尾气排放集聚引起的“热岛效应”已导致城市温度平均升高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。特别是,全球范围内,温室气体 CO_2 的排放量引起了人们的极大关注。IPCC技术报告显示,在过去的几百年内,地球表面平均气温上升了 $0.3\sim 0.6^{\circ}\text{C}$,若对 CO_2 气体排放不加限制的话,到21世纪末,地球表面平均气温将再上升 2°C ,海平面将再上升大约50cm,严重威胁到人类有限的陆地生存空间。

我国大城市60%的 CO 、50%的 NO_x 、30%的 HC 污染均来源于机动车的尾气排放。城市中80%的噪声污染由交通车辆造成。我国有56个城市的交通噪声平均达到74dB,远远超过国家规定的标准。同时,我国未来经济发展还面临控制 CO_2 排放量的巨大压力(国际承诺)。

依据巴黎气候大会承诺:2030年单位国内生产总值 CO_2 排放比2005年下降60%~65%,非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右,森林蓄积量比2005年增加45亿 m^3 左右。

能源问题的表现形式为现有能源供应体系对化石燃料的过度依赖。目前,全世界依赖最深的主要能源集中于第一位的石油以及占第二位、第三位的煤炭和天然气,而汽车消耗的能源几乎完全依赖于石油的制成品。目前世界汽车保有量已突破10亿辆,并以每年3000万辆的速度递增,预计到2050年将增长到35亿辆。国际能源机构(IEA)的统计数据表明,2003年全球57%的石油消费在交通领域。预计到2020年,交通用油将占全球石油总消耗的62%以上。美国能源部研究预测,2020年以后,全球石油需求与常规石油供给之间将出现净缺口,2050年供需缺口将达到每年500亿桶,几乎相当于2000年世界石油总产量的两倍。中国是石油资源相对贫乏的国家,2010年我国原油消耗约4.39亿t,净进口2.36亿t,石油对外依存度高达53.7%。国家发展与改革委员会(简称国家发改委)的研究表明,导



致我国今后石油消耗的主要因素将来自于包括汽车在内的交通领域。到2020年,汽车消耗的能源将占到石油总量的50%以上,届时的石油对外依存度将超过65%。我国汽车与石油行业的矛盾愈演愈烈,石油资源愈加短缺,而汽车保有量却井喷式增长。中国汽车保有量从1978年的不足百万辆到2001年的1610万辆,2006年的2200万辆,2010年的8500万辆,2015年达到1.72亿辆,其中机动车2.79亿辆。中国已成为汽车工业生产和销售大国。2009年产量1365万辆,成为世界汽车产销第一大国一直持续至今,其中2010年达到1826万辆,2011年1841.89万辆,2012年1927.18万辆,2013年2211.68万辆;2014年2372.29万辆;2015年2450.33万,2016年2502.7万辆。

面对能源、环境的挑战,发展节能与新能源汽车技术成为必然。在我国国家发改委制定、发布实施的《新能源汽车生产准入管理规则》中对新能源汽车的定义如下:新能源汽车系指采用非常规的车用燃料作为动力来源(或使用常规的车用燃料、采用新型车载动力装置),综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术,形成的技术原理先进、具有新技术/新结构的汽车。新能源汽车包括混合动力汽车、纯电动汽车(包括太阳能汽车)、燃料电池电动汽车、氢发动机汽车及其他新能源(如高效储能器、二甲醚)汽车等。

另外,电网峰谷负荷平衡和储能技术有待突破。我国发电装机容量正迅速增长,仅2007年就增加了1亿kW,2007年底已达7.13亿kW,总装机容量很快可达8亿kW,电网夜间“积压”一半(接近4亿kW)。而随着我国核电(其发电功率要求日夜恒定)的不断发展和几个“风电三峡”的建成(我国风场夜间风大),电网调峰的任务日益加重,采用电动汽车夜间充电蓄能避免了传统抽水储能电站的二次回收消耗,效率超过80%。美国等发达国家已把发展电动汽车与蓄电池储能纳入电网发展规划。

第二节 电动汽车的概念和种类

电动汽车是指汽车行驶的动力全部或部分来自电机驱动系统的汽车。它主要以动力电池组为车载能量源,是涉及机械、电子、电力、微机控制等多学科的高科技技术产品。按照汽车行驶动力来源的不同,一般将电动汽车划分为纯电动汽车(Pure Electric Vehicle, PEV)、混合动力电动汽车(Hybrid Electric Vehicle, HEV)、插电式混合动力电动汽车(Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)和燃料电池电动汽车(Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)4种基本类型。

1. 纯电动汽车

纯电动汽车是指行驶动力全部来自于电机的汽车,电机的驱动电能来源于车载可充电的动力电池组或其他电能储存装置。纯电动汽车典型的组成结构如图1-1所示。

纯电动汽车采用全电驱动,线控、轮毂电机等新概念的引入使得其动力传动形式多样,典型实例如图1-2所示。该车采用8个高性能的永磁电机独立驱动8个车轮;整车最高车速可达311.67km/h,0—400m加速时间为15.3s;高能量密度锂离子动力电池的采用,保证了整车300km的续驶里程;滑板式的底盘设计使整车具有了良好的内部空

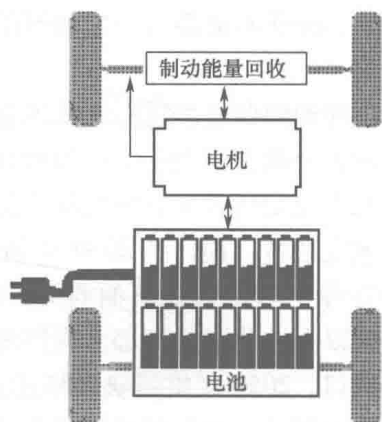


图1-1 纯电动汽车典型的组成结构



间和驾驶视野。

纯电动汽车是其他类型电动汽车（HEV 和 FCEV）的基础，具有零排放、噪声小、结构简单、维护较少的优点。相对于燃油汽车和其他类型的电动汽车，纯电动汽车能量利用率最高，而且电力价格便宜，使用成本低。纯电动汽车可以利用夜间用电低谷充电，因此还具有调节电网系统峰谷负荷、提高电网效能的作用。

2. 混合动力电动汽车

混合动力电动汽车是指能够至少从下述两类车载储存的能量中获得动力的汽车：一为可消耗的燃料；二为可再充电能/能量储存装置。混合动力电动汽车具有至少一条发动机动力传动系统和一条电机动力传动系统，可以简单理解为常规发动机汽车与纯电动汽车的动力传动系统在动力传递的某个环节上实现了某种程度上的叠加，如图 1-3 所示。按照具体叠加位置的不同，混合动力汽车具有了多种形式。

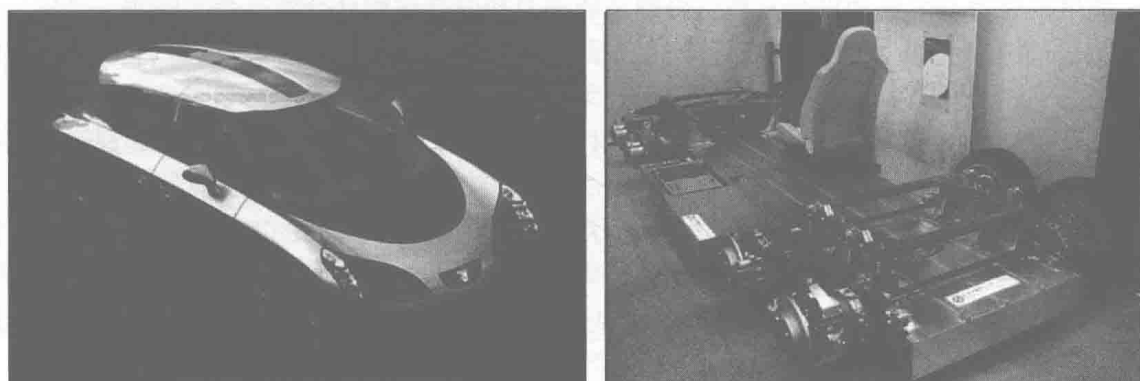


图 1-2 纯电动汽车典型实例（KAZ）



图 1-3 混合动力电动汽车的基本概念

混合动力电动汽车具有至少两条相对独立的动力传动路线，因此可以采用更小排量的发动机，通过电机驱动系统的动力补偿以及“削峰填谷”的功率调节，使得发动机可以经常工作在高效低排放区域。因此，与普通燃油汽车相比，提高了能量转化效率，降低了燃油消耗和排放。而与纯电动汽车相比，因为混合动力电动汽车可以利用现有的加油设施，所以具有与传统燃油汽车相同的续航里程，便于克服目前纯电动汽车一次充电续航里程短的缺陷。

3. 插电式混合动力电动汽车

插电式混合动力电动汽车本身是一种混合动力电动汽车，区别在于其车载的动力电池组可以利用电力网（包括家用电源插座）进行补充充电，具有较长的纯电动行驶里程，必要时仍然可以工作在混合动力模式。因此，与混合动力电动汽车相比，它具有较大容量的动力



电池组、较大功率的电机驱动系统以及较小排量的发动机。插电式混合动力电动汽车典型车型——丰田普锐斯，如图 1-4 所示。

插电式混合动力电动汽车概念提出的初衷在于充分利用电能，发挥纯电动驱动行驶的技术优点，同时考虑到充电基础设施不完善以及动力电池组充电时间长的技术现状，保留混合动力电动汽车的行驶模式。可以说，插电式混合动力汽车是纯电动汽车和混合动力电动汽车在基础设施上完成的又一次混合。

插电式混合动力电动汽车具有良好的节能潜力和综合性能。

① 采用电网电力，使得原来可降低燃油消耗 40% 的混合动力汽车的综合油耗再降低 50% 左右，达到 60% 以上。

② 具有接受外部公用电网对车载电池组充电的能力，可以在家里对电池组充电，减少去加油站加油的次数，大大降低了整车使用成本。

③ 可采用利用再生能源获得的电网电力，降低了国家对石油进口的依赖度，提高了国家的能源安全。

④ 具有纯电动汽车的全部优点。一周中 4~5 天，车主可用全电动模式驾车上上班，周末仍可以采用内燃机为主的混合动力模式进行长途旅游，保持了车辆的驾驶自由度。

⑤ 大大减少了汽车温室气体的排放量。

⑥ 基础设施中的公用电网已经存在，无须新建，并可利用晚间低谷电对电池充电，改善电厂发电机组效率，提高了电力公司的参与积极性。

4. 燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车的动力系统主要由燃料电池发动机、燃料箱（氢瓶）、电机、动力电池组等组成，采用燃料电池发动机发电作为主要能量源，通过电机驱动汽车行驶。本田某款燃料电池电动汽车的结构示意如图 1-5 所示。

燃料电池是利用氢气和氧气（或空气）在催化剂的作用下直接经电化学反应产生电能的装置。燃料电池作为电动汽车的动力来源，其特点主要如下。

① 能量转化效率高。燃料电池的能量转换效率高达 60%~80%，为内燃机的 2~3 倍。

② 不污染环境。燃料电池的生成物是清洁的水，它本身工作不产生 CO 和 CO₂，也没有硫和微粒排出，没有高温反应，也不产生 NO_x，如果使用车载的甲醇重整催化剂供给氢气，仅会产生微量的 CO 和较少的 CO₂。



图 1-4 插电式混合动力电动汽车典型车型——丰田普锐斯

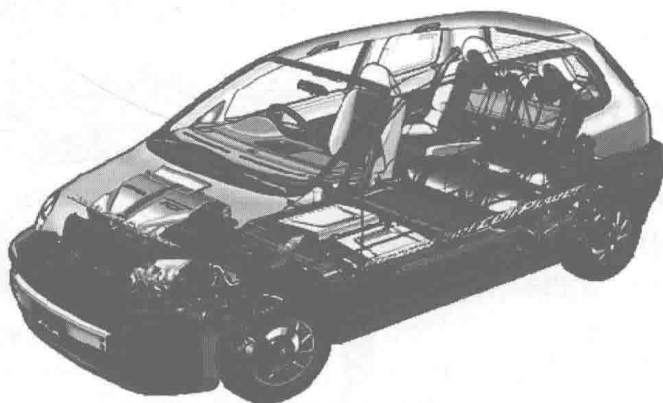


图 1-5 本田某款燃料电池电动汽车的结构示意图



燃料电池曾一度被认为是汽车燃料的终极解决方案,但现阶段,燃料电池的许多关键技术还处于研发试验阶段。此外,燃料电池的理想燃料——氢气,在制备、供应、储运等方面距离产业化还有大量的技术与经济问题有待解决。作为燃料电池必不可少的反应催化剂——稀有金属被大量应用。按照现有燃料电池对铂金的消耗计算,即使将地球上所有铂金储量都用来制作车用燃料电池,也仅能满足几百万辆车的需求。因此,如何降低稀有金属用量也是燃料电池电动汽车推广应用的技术和资源瓶颈之一。

第三节 电动汽车的技术现状

自 1881 年法国电气工程师 Gustave Trouve 制造出第一辆电动汽车开始,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。但是,电动汽车自身具有的显著优点:可以实现低排放,甚至零排放行驶;采用电能作为驱动能源,能源来源途径广;行驶噪声小;容易实现 Drive-by-wire (线控)思想;实现了制动能量回收,降低了摩擦制动器的使用强度和维护费用……决定了它必将成为新能源汽车技术发展的一个重要方向。

1. 纯电动汽车的技术现状

近几年,由于动力电池、电机驱动系统的技术突破,以及电力电子、控制和信息技术的广泛应用,促使纯电动汽车技术深入发展,日臻完美,一批装备了先进动力电池的电动汽车已经进入或即将进入市场销售。

如图 1-6 所示,戴姆勒汽车公司的 Smart 纯电动汽车自 2007 年开始先后在欧洲某些国家、美国、加拿大以及亚洲的代表性国家开展了共计 1500 辆规模的实地运行试验,2010 年开始进行批量生产。三菱汽车 2009 年开始在日本销售纯电动汽车 i MiEV。日产公司于 2010 年 12 月在日本和美国市场推出了一款装备锂离子电池的电动轿车 LEAF。这款具有划时代意义的纯电动汽车的问世,不仅标志着零排放时代的到来,而且它集中体现了日产汽车在新能源汽车领域经过数十年投入和研发达到的巅峰水准,代表了日产汽车对于未来交通工具以及移动方式的美好愿景,成为世界首款面向全球市场的量产纯电动汽车并获得“世界 2011 年度车型”称号。宝马公司基于成熟车型 MINI Cooper 开发的纯电动汽车 MINI E 先后在美国、德国、英国、法国、日本和中国开展了示范运行测试。

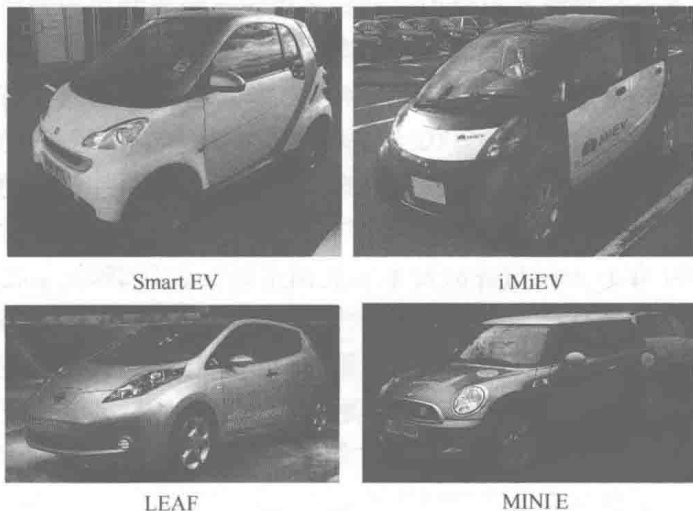


图 1-6 投放市场的几款纯电动汽车

各种高新技术开始在纯电动汽车上应用,赋予其新的生命力和发展机遇。

① 动力系统集成优化技术不断进展,节能效果不断提高。



② 动力电池技术得到飞速发展,高性能的锂离子电池、镍氢电池等绿色电池逐步取代传统的铅酸电池,在比能量、比功率、安全性、可靠性、循环寿命和成本等方面取得很大进步。

③ 高效的一体化电力驱动系统取代了传统的直流电机。

④ 电动辅助系统的广泛应用提高了整车能量利用效率和性能。

⑤ 网络系统的应用促进了电动汽车的模块化和智能化。

⑥ 轻量化技术和电气、结构安全性技术在电动汽车上得到了系统的应用。

⑦ 把纯电动汽车推广应用作为系统工程,不仅重视汽车本身的研发,而且开始了充电站等基础设施的规划与建设。

⑧ 在概念车型上,轮毂电机和线控技术等前沿技术得到了初步应用。

纯电动公交车成为城市节能减排和平衡电网负荷的最有效手段,纯电动公交车的示范和推广应用进程加快。以北京市公交车为例,12m 公交客车平均油耗 40L/100km,每车 200km/天、300 天/年进行统计计算,若发展 1000 辆纯电动公交车,年综合减排 CO₂ 可达 48000t,节油 2400 万 L。北京市现有公交客车约 25000 辆,若全部用纯电动客车替代,可减排 CO₂ 达 120 万 t,节油 60000 万 L。奥运期间,55 辆纯电动客车在奥运中心区的奥运村、媒体村、北部赛区和奥运公园等线路上给奥运会官员、媒体记者、运动员提供 24h 全天候的运输服务,累计运行约 12 万 km,载客约 14 万人次。纯电动客车在奥运中心零排放区应用兑现了我国申奥承诺,是本届奥运会的重大特色工程之一。

2. 混合动力电动汽车的技术现状

混合动力电动汽车是在纯电动汽车开发过程中为有利于市场化而产生的一种新车型,国外普遍认为它是投资少、选择余地大、易于满足未来排放标准和节能目标、市场接受度高的主流清洁车型,引起各大汽车公司关注。

日本丰田公司在 1997 年推出混合动力电动汽车普锐斯,使用了丰田 THS 混合动力装置,2000 年 5 月、2002 年上半年、2009 年完成了普锐斯汽车的三次改进,于 2012 年推出插电式混合动力版的普锐斯汽车,截至目前已累计销售超过 200 万辆。日本本田公司开发的双座 Insight 混合动力电动汽车专为达到最大燃料经济性而设计,使用了本田 IMA 系统,自 2001 年开始批量投放日本和美国市场,名列 2002 年度美国环保署公布的最省油轿车名单榜首,截至目前本田混合动力汽车已累计销售超过 80 万辆。通用汽车、戴姆勒-克莱斯勒集团与宝马集团联合开发的完全混合动力系统,第一次完美地将电机与固定传动比齿轮变速器集成在一起,具有适用于高速和低速两种行驶状态的电子无级变速模式,成为双模混合动力系统的代表。投放市场的几款有代表性的混合动力电动汽车如图 1-7 所示。

混合动力汽车市场增长加快,产品系列正从日本丰田一枝独秀向多元化发展,多车型投入商业化应用。通用、戴姆勒-克莱斯勒、大众、雪铁龙、雷诺、宝马、日产、现代、三菱等世界大型汽车公司纷纷推出具有各自特色的混合动力汽车。国内,一汽、东风、上汽、长安、比亚迪、奇瑞、华普、沈阳金杯等汽车公司都在加紧研发自己的混合动力汽车,多款混合动力客车、轿车已进入批量生产和应用阶段。

3. 插电式混合动力电动汽车的技术现状

插电式混合动力汽车 (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) 具有较长的纯电动行驶里程,还可以以混合动力模式工作,具有良好的燃油经济性。插电式混合动力汽车技术受到普遍关注,2006 年 10 月第 22 届国际电动汽车年会首次把插电式混合动力汽车技术作为特



丰田混合动力普锐斯汽车



本田混合动力思域汽车



通用混合动力凯雷德汽车

图 1-7 投放市场的几款有代表性的混合动力电动汽车

别专题进行研讨,2007年12月第23届国际电动汽车年会上插电式混合动力汽车已与纯电动汽车、混合动力电动汽车、燃料电池汽车并行作为会议的研讨主题。为了加快对PHEV的推广应用,美国IEEE-USA能源政策委员会建议增加PHEV的应用力度以提高现代交通的适应性和国家交通能源的独立性,在重量、体积、成本、寿命、安全以及功率电子器件和控制等各个方面加大对各种PHEV动力电池的研究力度和支持力度,建议政府采取激励措施和鼓励政策促进PHEV的市场切入,鼓励电力计量、计价等配套设施建设以及电力公司的介入,以真正实现从复杂的动力电池充电系统中获取最大的利益,加大对PHEV应用对电网行业冲击与影响的评估,完善相关法规标准以实现电网行业的最大利润。

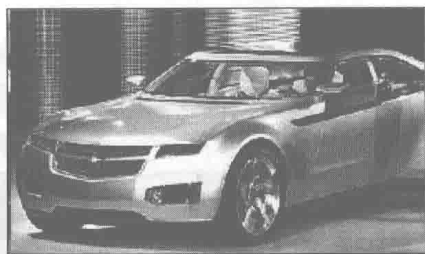
PHEV的技术发展路线具有代表性的主要有两条(IEEE SPECTRUM, 2008.4):美国通用汽车汲取纯电动汽车EV1投放市场失败的教训,同时继承纯电动汽车驱动方面的技术积累和优势,重点推出了以串联混合动力为基础的PHEV,具体采用了大容量的锂离子动力电池组;日本丰田可充电混合动力汽车普锐斯,同样继承了丰田公司极为成功的混联式THS系统,增大了车载动力电池组容量并补充了外接充电插头,使整车的纯电动行驶里程得以增加。2006年11月30日,在洛杉矶汽车展上,通用汽车公司正式宣布进军PHEV研发领域,截至目前已成功推出土星可充电混合动力SUV、可充电混合动力VOLT轿车。分别装有镍氢(NiMH)、锂离子动力电池的6辆戴姆勒-克莱斯勒15个商用PHEV VAN,设计纯电动行驶里程32km,在美国洛杉矶、纽约以及德国汉诺威等地进行了应用性考核试验,被试车辆都表现出具有很好的性能。美国福特公司在其商业化的混合动力车型ESCAPE系列中也推出了PHEV款,具体采用了41A·h、10kW·h锂离子动力电池组,具有48km纯电动行驶里程,并于2007年12月3日把首批20辆PHEV款ESCAPE交付加利福尼亚示范区进行道路试验,目的在于探讨PHEV的商业化模式以及车辆与电网之间的服务模式等。几种投入示范运行的PHEV,如图1-8所示。美国加州萨克拉门多市政管理区委托Energy CS在2005款普锐斯轿车上完成的PHEV改进采用了8.5kW·h的锂离子动力电池和专用动力电池组管理系统,加装了输入电压为110V、功率为1.1kW的充电器,整车纯电动续驶里程60km。对比试验结



果表明，整车燃料费用与混合动力款普锐斯轿车相比降低 21%（发动机参与工作）和 46%（全电动模式）。



通用 PHEV 土星 SUV



通用 PHEV Volt



戴姆勒-克莱斯勒 PHEV SUV



福特 PHEV ESCAPE

图 1-8 投入示范运行的几款插电式混合动力电动汽车

鉴于 PHEV 良好的综合性能，丰田汽车公司开展了插电式混合动力普锐斯轿车的示范运行和考核，并逐步投放市场。

总之，PHEV 技术发展呈现出形式多样、发展势头良好、示范应用加快的总趋势，被认为是下一代汽车的典型代表。目前，PHEV 面临的技术关键和完善要点表现为动力电池技术在成本、寿命、安全性和低温特性等方面的突破，以及电机驱动系统在工作制、持续工作能力、电压等级、热管理等方面的技术完善。另外，建立适用的充电系统网络也成为 PHEV 推广应用的关键。

4. 燃料电池电动汽车的技术现状

由于燃料电池电动汽车具有环保意义，各大汽车制造商都在寻找检验产品并最终投放市场的途径。几款有代表性的燃料电池电动汽车如图 1-9 所示。戴姆勒-克莱斯勒汽车公司是世界上最大的燃料电池电动汽车厂商之一，早在 1994 年就完成了第一辆燃料电池汽车 NE-CAR 的开发。戴姆勒-克莱斯勒汽车公司在 A 级 F-Cell 燃料电池汽车继续进行道路试验的同时，又开发了 B 级 F-Cell 汽车。新车采用巴拉德的燃料电池先进技术，通过减少燃料消耗、增加车载储氢量使续航里程增加到 400km（相比原始 NECAR 增加了 260km）。大众汽车公司通过依赖自身条件并吸收其他制造商的经验开发了 HyMotion。通用汽车公司在欧宝 Zafira 的基础上开发了 Hydrogen3，其应用的新型滑板底盘最先出现在 Hy-Wire（线传操控燃料电池车）上。燃料电池驱动系统由电堆产生电力，电堆由 200 块相互串联在一起的燃料电池单体组成，通过 68L 的氢气储存罐向燃料电池堆提供氢气，其 0—100km/h 的加速时间约为 16s，最高车速达 160km/h，一次充气续航里程达 400km。现在日本和美国路上测试的 FCHV-5 是丰田汽车公司于 2001 年生产的第 5 代燃料电池汽车。本田汽车公司开发出了先



进的燃料电池汽车 Honda-FCX，该车装有 86kW 的 PEM 电池，是唯一一辆通过美国环境保护局（EPA）和加州大气资源委员会（CARB）鉴定的零排放燃料电池汽车。上海神力科技有限公司成功研发出三代轿车和城市客车用燃料电池发动机，并分别安装在同济大学的“超越一号”“超越二号”“超越三号”燃料电池轿车与清华大学的“氢能一号”“氢能三号”等燃料电池城市客车上。北京理工大学与航天动力研究所等单位联合开发了一辆实用化的高压氢空燃料电池混合动力汽车并通过了试车场性能测试和 2000km 连续可靠性考核试验。

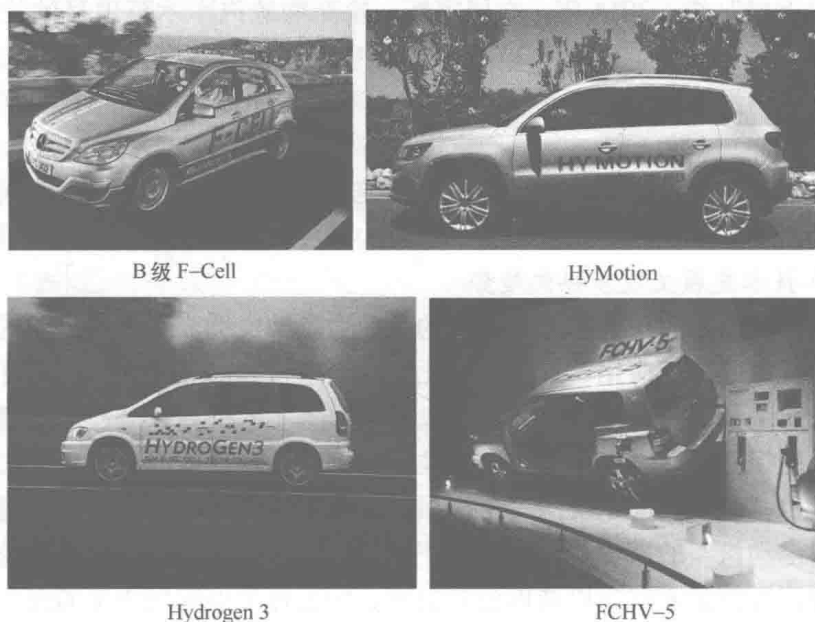


图 1-9 几款有代表性的燃料电池电动汽车

针对燃料电池电动汽车的示范运行和考核正在积极开展，具有代表性的有欧洲 CUTE 项目和日本 JHFC 项目。CUTE 项目是一个由欧盟支持的 9 个城市参与的燃料电池汽车示范运行项目，所用的车辆都是由梅赛德斯-奔驰公司提供的燃料电池大巴 Citaro，每个城市 3 辆，共 27 辆，截至 2005 年 12 月，27 辆 Citaro 共行驶里程 850000km 和 62000h，月均行驶里程 35800km，月最长行驶里程 59000km。日本 JHFC 项目是日本政府支持的在东京—横滨地区开展的燃料电池汽车示范运行项目，参与的汽车厂商包括丰田、日产、本田、通用等，参与的车辆类型包括轿车和大巴两种，以轿车为主，主要采取了 3 种线路形式：自由行车路线、计划行车路线和活动行车路线（宣传和试乘活动）。

第四节 电动汽车的发展趋势和特点

1. 世界各国制定战略规划支持电动汽车的发展

发展新能源汽车是世界共识，中国、美国、德国、日本在新能源汽车研发方面进展迅速。中国自“十五”计划以来，连续启动新能源汽车重大专项和重点项目，按照“三纵三横”技术布局，稳步推进新能源汽车整车和零部件的关键技术攻关，取得明显成效，纯电动客车“总体技术处于国际先进水平”，能耗指标“国际领先”。以 2008 年北京奥运会为平