

葛平淑 徐国凯 主编

轮式 电动汽车

驱动系统关键技术



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

轮式电动汽车驱动系统 关键技术

葛平淑 徐国凯 主 编

张 涛 宋 鹏 副主编

王 娟 赵秀春

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书以轮式电动汽车为研究对象,介绍了发展轮式电动汽车需要解决的关键技术。从车辆动力学、驱动控制、稳定性控制、仿真技术等方面的关键技术对轮式驱动电动汽车进行了较全面的论述。主要内容包括:轮式驱动电动汽车的动力学建模、驱动控制系统仿真平台、驱动控制技术、稳定性协调控制技术,以及驱动系统硬件在环仿真系统等。本书重点总结了轮式驱动电动汽车关键技术的国内外研究现状、主要方法及其依据原理、未来发展趋势等内容,使读者对各关键技术有所了解并掌握一些基本的技术和方法,并在此基础上有所突破。

本书内容新颖、涵盖了目前国内外最新研究成果、科学性强,可供从事轮式驱动电动汽车技术研发的工程师及相关研究人员、高年级本科生、研究生参考阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

轮式电动汽车驱动系统关键技术/葛平淑,徐国凯主编. —北京:电子工业出版社,2015.6

ISBN 978-7-121-26265-4

I. ①轮… II. ①葛… ②徐… III. ①电动汽车—驱动机构 IV. ①U469.720.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第123477号

责任编辑:曲 昕

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:720×1 000 1/16 印张:11.5 字数:180千字

版 次:2015年6月第1版

印 次:2015年6月第1次印刷

定 价:48.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

新能源可以用于减缓或替代对传统石油资源的依赖，随着电驱动技术的不断进步，电动汽车将成为未来新能源汽车的主要发展方向，是未来世界汽车产业的制高点，是各主要国家和汽车制造厂商的共同战略选择。轮式驱动电动汽车消除了传动中的机械磨损与损耗，提高了传动效率，相比之下具有较小的体积和较轻的重量，同时故障率降低，且在提高效率的同时，车轮空间也能得到有效利用。在结构、环保、动力学控制等方面有着传统汽车无可比拟的优势，成为未来电动汽车的主要发展方向。然而，由于轮式驱动电动汽车采用全新的驱动系统，增加了控制自由度和动力学耦合的复杂程度，使得其在实用化进程上还有相当长的一段路要走。为了配合和推动我国轮式驱动电动汽车技术的深入研究和人才队伍的建设，我国目前迫切需要一系列轮式驱动电动汽车相关参考资料。

本书从动力学建模、驱动控制、稳定性控制、仿真技术等方面对发展轮式驱动电动汽车的关键技术进行了介绍。首先在第 1 章介绍发展电动汽车的必要性、电动汽车的分类及发展现状，然后介绍了电动汽车的驱动系统，分析了发展轮式电动汽车需要解决的关键技术。第 2 章讲述了轮式电动汽车的动力学建模，分别从不同的自由度给出了两轮驱动与四轮驱动电动汽车的动力学模型。第 3 章讨论了轮式电动汽车驱动控制系统仿真平台，介绍了仿真平台的结构特点、仿真软件，重点介绍了基于 MATLAB 的轮式电动汽车驱动控制系统仿真平台，并对仿真结果做了分析总结。第 4 章专注于轮式驱动电动汽车驱动控制技术，在分析轮式驱动电动汽车在控制方面与传统汽车的不同点的基础上，从车辆运行状态估计、电子差速、车辆防滑、直接横摆力矩控制、差动助力转向技术、集中控制技术等方面对轮式驱动电动汽车的驱动系统控制关键技术进行了详细探讨，然后讨论了轮毂电机的特性及驱动控制方法，并对转矩分配控制技术进行了原理介绍，给出了一些实例。第 5 章从主动安全角度讨论了轮式驱动电动汽车的稳定性协调控制技术，对主动安全控制系统进行了介绍，并分析了汽车底盘耦合机理，然后介绍稳

定性协调控制系统的结构及控制策略，并对底盘集成控制技术和线控汽车底盘控制技术进行了前景展望。第6章介绍了轮式驱动电动汽车硬件在环仿真技术，讲述了控制器开发过程和硬件在环仿真技术原理、特点等，最后重点讲述了轮式驱动电动汽车的硬件在环测试方案。

本书涵盖了国内外最新研究成果，阐述了这些关键技术的主要方法和原理，分析了未来发展趋势，让读者对知识有一个整体的认识和把握，并使用了大量的图文，以及具体的实例，论述详细、生动形象，易于让读者接受。本书可供从事轮式驱动电动汽车研发的工程师及相关技术研究的技术人员、研究人员参考阅读。

本书由徐国凯、葛平淑、张涛、赵秀春、王娟、宋鹏共同编写，由葛平淑统稿。其中，第1章由王娟负责编写，第2、3章由张涛、赵秀春编写，第4、5章由葛平淑、徐国凯编写，第6章由宋鹏编写。编写过程中参考了国内外大量的文献资料和书籍，限于篇幅不能一一列出，在此对相关文献的作者、编译者、科研工作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中的错误和观点不当之处在所难免，敬请批评指正。

作 者

2015年2月

目 录

第 1 章 电动汽车概述	1
1.1 电动汽车	1
1.1.1 环境、能源与汽车	1
1.1.2 电动汽车及其分类	2
1.1.3 电动汽车的发展现状	4
1.2 电动汽车驱动系统	12
1.2.1 电动汽车驱动系统结构	12
1.2.2 轮式电动汽车驱动系统分类	13
1.2.3 轮式电动汽车的特点	15
1.3 发展轮式电动汽车需要解决的关键技术	16
参考文献	20
第 2 章 轮式电动汽车的动力学建模	21
2.1 车辆动力学建模的意义	21
2.2 两轮驱动电动汽车的动力学建模	22
2.2.1 纵向运动的动力学建模	22
2.2.2 横向运动的动力学建模	24
2.3 四轮驱动电动汽车的动力学建模	27
2.3.1 7 自由度电动汽车的动力学建模	27
2.3.2 9 自由度电动汽车的动力学建模	30
2.3.3 18 自由度电动汽车的动力学建模	34
参考文献	39
第 3 章 轮式电动汽车驱动控制系统仿真平台	40
3.1 仿真意义	40
3.2 仿真结构及特点	41
3.2.1 后向仿真结构特点	42
3.2.2 前向仿真结构特点	43

3.2.3 后向及前向仿真的不同用途	44
3.3 常用电动汽车仿真软件	44
3.3.1 电动汽车仿真软件特点	46
3.3.2 后向仿真软件 ADVISOR	49
3.3.3 前向仿真软件 PSAT	50
3.4 基于 MATLAB 的轮式电动汽车驱动控制系统仿真平台	51
3.4.1 MATLAB 简介	51
3.4.2 轮胎模型	52
3.4.3 整车模型	55
3.4.4 电动机模型	57
3.4.5 控制系统模型	57
3.4.6 整车位移计算	59
3.5 本章小结	60
参考文献	60
第 4 章 轮式驱动电动汽车驱动控制技术	61
4.1 概述	61
4.2 轮式驱动电动汽车驱动控制技术	65
4.2.1 轮式驱动电动汽车技术应用现状	65
4.2.2 轮式驱动电动汽车驱动系统控制关键技术	77
4.3 轮毂电机特性及驱动控制方法	94
4.3.1 轮毂电机工作特性	95
4.3.2 轮毂电机驱动控制方法	100
4.4 轮式驱动电动汽车转矩分配控制技术	101
4.4.1 转矩分配控制技术	101
4.4.2 控制分配技术	104
4.4.3 轮式驱动电动汽车的转矩分配控制实例	106
4.5 前景展望	116
参考文献	117
第 5 章 轮式驱动电动汽车稳定性协调控制技术	120
5.1 引言	120

5.2 主动安全控制系统简介	121
5.2.1 纵向主动控制	122
5.2.2 侧向控制	125
5.2.3 垂向控制	127
5.3 汽车底盘耦合机理分析	130
5.4 稳定性协调控制关键技术	133
5.4.1 底盘集成控制系统的总体结构	135
5.4.2 底盘集成控制	140
5.5 前景展望	149
5.5.1 底盘集成控制技术	149
5.5.2 线控汽车底盘控制技术	152
参考文献	154
第 6 章 轮式电动汽车驱动系统硬件在环仿真	156
6.1 控制器开发过程	156
6.1.1 控制系统设计的基本要求	156
6.1.2 传统开发过程	157
6.1.3 V 型开发流程	159
6.2 硬件在环仿真	160
6.2.1 仿真技术	160
6.2.2 硬件在环仿真原理	162
6.2.3 硬件在环仿真特点	164
6.2.4 硬件在环仿真平台的主要形式	164
6.3 轮式电动汽车驱动系统硬件在环仿真系统	167
6.3.1 基于 xPC Target 的硬件在环测试方案	167
6.3.2 基于 dSPACE 的硬件在环测试方案	171

第 1 章 电动汽车概述

1.1 电动汽车

1.1.1 环境、能源与汽车

汽车是现代工业技术最重大的成就之一。汽车工业发展一百多年来，在推动经济发展的同时，也带来能源紧缺和环境恶化。

环境问题是指由于人类活动作用于周围环境所引起的环境质量变化，以及这种变化对人类的生产和健康造成的影响。由于汽车的使用而导致的环境问题有很多，汽车使用汽油和柴油燃料的燃烧获取驱动力所必需的能量，燃烧生成物则排入大气，燃料燃烧的不完全会导致燃烧生成物中包含大量有害物质。汽车尾气成分非常复杂，有 100 种以上，主要包括：一氧化碳、碳氢化合物、氧化氮化合物、二氧化碳、固体悬浮颗粒、铅及硫的氧化合物等。这些有害物质直接危害着人体健康，对人类生活的环境产生深远的影响。氧化氮化合物、硫氧化合物会导致酸雨的形成，酸雨导致森林的破坏，建筑材料、金属结构和文物被腐蚀等一系列严重的环境问题。对于人和动物而言，吸入一氧化碳即意味着中毒。一旦一氧化碳到达血细胞，它替代氧附着于血红蛋白，这样就减少了到达器官的氧供给量，并降低了生命体的体力和智力。眩晕是一氧化碳中毒的最初症状，它能迅速导致死亡。如果污染物被风吹离污染源，并在阳光直射处发生光化学反应，这些反应使氮氢化合物（HC）和 NO_x 化合形成臭氧，弥散在地表，会直接危害人类的健康。为改善发动机的性能或寿命，石油公司在其燃料产品中添加了化学的化合物。四乙基铅被用于改善汽车的抗爆性，因此得以有更好的发动机性能。然而这一化合物的燃烧析出铅金属，而铅是导致“铅中毒”的神经疾病的缘由。很多大都市的空气污染物和烟雾混合物中，燃油车的排放所占的比重已经超过 50%。尽管燃油车的发动机在不断改进以降低排放，但燃油车数量的增加所带来的影响

远远大于单台车辆降低排放所取得的效果。因此,由燃油车所造成的空气污染物的总量仍在以令人担忧的速度持续增加。二氧化碳是引发“温室效应”的主要气体,因温室效应导致全球变暖引发的生态破坏引发影响人类的许多自然界的灾害。汽车对二氧化碳的排放占有大量的份额(1980—1999年为32%)。

汽车应用的大部分燃料为源于石油的液体燃料,然而石油资源的蕴藏量不是无限的。全球石油资源可维持石油供应的年数完全取决于新储油地的发现,以及累积的成品油。历史数据表明,新储油地的发现进程缓慢,而另一方面石油消耗量则呈现高增长率。2006年世界石油供需基本处于平衡状态,石油产量为85.3百万桶/日,消费量为84.38百万桶/日,产量略大于消费量。预计至2020年,全球石油的需求与常规石油的供给之间将可能出现净缺口,2050年供需缺口近乎相当于2000年世界石油总产量的2倍。在我国,随着工业生产及交通运输的发展,对石油及成品油的需求增加。据报道,1993年,我国的石油除了自给还会有部分出口,但是从1993年起,我国已经变成石油的净进口国。根据中国海关发布数据,中国2003年全年进口原油总量约为9100万吨,至2010年上升到2.12亿吨,石油资源50%依赖进口。而到2020年时,我国石油消耗量将达4.3亿吨~6.1亿吨,在这个巨大的数字中,国内可提供量仅占约1.8亿吨~2亿吨,缺口高达2.5亿吨~4.1亿吨。据此态势增长下去,到2020年有可能达到60%。根据我国国情,地下石油新储藏地的发现已日益困难,如果石油消耗不能显著地降低,那时,我国便成为世界第一大油品进口国(喻厚宇.基于四轮协调的电动轮车辆纵横向耦合动力学控制研究[D]武汉:武汉理工大学,2011.)。与此同时,石油的大量消耗对人类环境的危害越来越严重。能源的短缺和环境的污染使人们致力于发展高效、清洁和安全的运输工具,催生了汽车的能源动力变革,电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池车成为最主要的选择。

1.1.2 电动汽车及其分类

按照目前技术状态和车辆驱动原理,电动汽车划分为纯电动汽车(PEV)、混合动力电动汽车(HEV)和燃料电池电动汽车(FCEV)三种。

纯电动汽车使用蓄电池作为其动力能源存储单元,用它存储的电力通过电力电子变换器驱动电动机工作。纯电池电动汽车结构上主要由电力驱动子系统、能源子系统和辅助子系统三个子系统组成,具有无污染、噪声低、效率高等优点,且宽调速范围可更好地满足用户的需求。汽车启动时通过电池向电机提供电能,由电动机直接向驱动轴输出扭矩,推动汽车前进,在制动或减速时,电机作为发电机来回收能量。由于蓄电池电量耗尽后可通过电网进行充电,而发电厂可以利用多种能源进行发电,如风能、太阳能、水能等,这样就实现了纯电动汽车的多样性能源利用,不受限于石油这种不可再生资源。同时随着电池技术的日益成熟,纯电动汽车相比于燃料电池汽车技术更加具有发展前景。

混合动力汽车可通过燃油或者蓄电池获取驱动能源,采用内燃机和电动机两种动力,蓄电池可由汽车中内燃机驱动发动机充电。因为同时有多个能量源,混合动力电动汽车根据其动力结构连接方式传统上可分为三种:串联型(Series Hybrid Electric Vehicle, SHEV)、并联型(Parallel Hybrid Electric Vehicle, PHEV)、混联型(Split Hybrid Electric Vehicle, PSHEV)和复合型。

串联型是混合动力电动汽车中最简单的一种,由发动机、发电机和电动机三部分动力总成组成,它们之间用串联的方式组成SHEV的动力单元系统。电动汽车通过内燃机带动发电机,经过电力电子变换器后驱动电动机工作,转化后的电能一部分可以用来给蓄电池充电,电池也可经过电力电子变换器后单独驱动电机工作;并联型混合动力汽车采用发动机和电动机两套独立的驱动系统驱动车轮,发动机和电动机通常通过不同的离合器来驱动车轮,可以采用发动机单独驱动,电力单独驱动或者发动机和发电机混合驱动三种工作模式驱动。发动机可直接驱动车轮(即为传统的内燃机汽车工作模式),这是并联型和串联型的最大区别,同时电池也可单独通过电力电子变换器驱动电动机工作,发动机和电池两者也可同时工作;混联型混合动力电动汽车在结构上包含了串联式和并联式的共同特点,因此即可工作在串联模式,也可工作在并联模式,尽管混联式混合动力电动汽车工作方式多样,但其结构复杂,成本高。复合型混合动力电动汽车结构更复杂,其结构与混联式复合型电动车相似,电动机都同时起发电机和电动机作用,二者

的主要区别在于复合型中的电动机允许功率流双向流动，而混联式混合型中的发电机只允许功率流单向流动。双向流动的功率流可以有更多的运行模式，这对于采用三个驱动动力装置的混联式混合动力电动汽车而言是不可能达到的。

燃料电池汽车主要以氢气、甲醇、乙醇等作为电动汽车的动力能源，将氢和氧的化学能通过电极反应直接转换成电能后驱动电动机工作。相比于内燃机汽车，燃料电池汽车能源利用效率高、噪声低、无污染，是一种新兴的环保汽车，具有广阔的发展前景。应用这一技术，不仅能减少汽车工业对日益短缺的传统能源的依赖，而且会推动人类社会进入一个新的洁净能源——氢能的时代。但现阶段，燃料电池的许多关键技术还处于试验阶段，还有许多技术和经济问题有待解决，无法在短期内取代传统的汽车。

1.1.3 电动汽车的发展现状

电动汽车最早的历史可以追溯到 19 世纪后期，在 1881 年 8 月至 11 月巴黎举行的国际电器展览会上，展出了法国人古斯塔夫·特鲁夫研制的电动三轮车，这是世界上第一辆电动车辆，它采用多次性铅酸充电电池和直流电机，可以实际操作使用，这辆车的诞生具有划时代的意义。在接下来的 1882 年，英国的威廉·爱德华·阿顿和约翰·培里也合作研制了一辆电动三轮车，并留下了图片，车的速度是每小时 9 英里。三位先驱的努力使得在燃油汽车尚未问世之前，电动汽车已经诞生，此后电动车辆在欧美等国家迅速兴起。由于电池的限制以及内燃机驱动汽车的迅速发展，从 1930 年开始，电动汽车基本绝迹了。

20 世纪 70 年代初，中东爆发的石油危机迅速蔓延至全球，一些国家迫于能源问题的困扰，从新燃起了对电动汽车的兴趣。1976 年，美国颁布了关于电动汽车的研究、开发和应用的法律规范。同时，欧洲和亚洲等各国也逐渐投入大量人力物力开始重新致力于电动汽车的开发和研究。1993 年 9 月，美国的通用、福特和克莱斯勒三家汽车公司共同提出了“新一代汽车合作伙伴计划”（即“PNGV”）。“PNGV”在混合动力汽车的性能仿真，汽车动力模块等技术领域取得了显著成就，迄今为止开发出多种形式的电动汽车。到了 21 世纪，发达国家各政府在能源短缺

加剧和环境进一步恶化的严峻事实面前，以美国、日本和欧盟为代表的国家和地区相继发布实施电动汽车发展战略，更加重视电动汽车这一最有希望的解决方案。采取更加有效的措施推动电动汽车的商用化进程，投入更多的人力、物力到更加先进的电动汽车的研究开发当中去。图 1.1 为 1996 年的电动汽车图片。

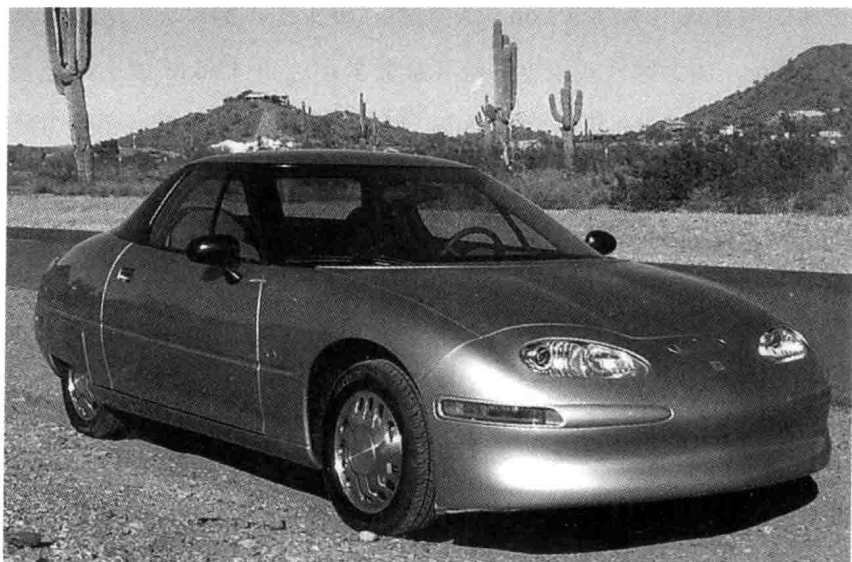


图 1.1 1996 年电动汽车——EV-1

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和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、福特和克莱斯勒三大汽车公司发展电动汽车的计划。世界著名的汽车制造商如通用、戴姆勒—克莱斯勒和福特等，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。作为美国三大汽车公司之一的通用汽车公司，由于其先进的汽车技术，在电动汽车方面也走在各大汽车公司前面，该公司在 1996 年就推出了一款型号为 EV-1 纯电动汽车（如图 1.1 所示），该电动汽车使用交流感应电机作为驱动电机，以铅酸电池作为供电电源，续航能力为 80km，最大行驶速度为 60km，但由于其价格昂贵及充电不方便等问题，并没有被市场接受。通用公司并没有停止研究和创造的脚步，在 2012 年推出了 SPRINGO 纯电动汽车，

该车采用永磁同步电机作为驱动电机，输出的最大功率为 85kW，最大输出扭矩为 510N·m，锂电池作为供电电源，驱动系统为永磁同步电机驱动系统，从零加速到 100km/h 所需时间仅为 10s，最大续航里程为 130km，最大速度达到 80km/h。为了克服传统的纯电动汽车连续行驶里程短的缺点，通用汽车公司于 2007 年研发了一款全新的增程式电动汽车 Volt（沃兰达）（参见图 1.2）。沃兰达能在全电动模式下行驶 60km，加上增程式发电系统其续驶里程达到 450km 以上，能全天候全路况行驶。该车型于 2010 年在美国上市。目前，通用汽车公司主要集中研发两大类电动汽车，分别是混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车。通用汽车公司的混合动力电动汽车包括小轿车、卡车和公共汽车。自 2001 年以来，通用汽车公司先后推出了“Autonomy”、“Hy Wire”和“Sequel”三种燃料电池轿车。其新型的混合动力电动汽车 2007 Saturn Vue Green Line，采用 2.4L 四缸发动机和起动/发电机共同驱动，合成功率为 127kW，其设计特点是可以比同类型燃油汽车提高 20% 的燃油利用率。2007 年，克莱斯勒公司组建了“ENVI”研究团队，负责混合动力技术电动汽车的研发；2008 年 9 月，推出了针对自身三大品牌的电动汽车样本。目前，福特公司的电动汽车主要采用混合动力和燃料电池两大类，其相应产品也已经商业化。福特公司的混合动力电动汽车主要有两款产品：Ford Escape Hybrid（参见图 1.3）和 Mercury Mariner Hybrid。



图 1.2 通用汽车公司于 2007 年研发的 Volt（沃兰达）



图 1.3 福特公司的混合动力电动汽车产品：Ford Escape

法国、德国、意大利和英国等欧洲国家非常重视电动汽车。在此之中，法国在欧洲各国中，电动汽车发展最迅速，电动汽车的发展位居世界首列，是世界上推广应用纯电动汽车最成功的国家之一。法国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网基础设施，制定了优惠的支持和激励使用电动汽车的政策，且已经初步形成了纯电动汽车运行体系。法国的标志——雪铁龙公司，推出混合动力汽车“C-ZERO”，在 2012 年占有欧洲电动汽车市场份额的 5%；法国的雷诺公司先后推出“ZOE”、“TWIZY”、“风朗 Z.E.”、“KangooZ.E”，并且在 2012 年在欧洲市场销售 7089 辆电动汽车；博格尔集团与法国电力公司成立了一个联合子公司 BatScap，开发了纯电动蓝色概念车（Bluecar），最高时速为 125km/h，最大续航里程为 200km。英国的以 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。

日本几乎所有的汽车生产商，如丰田、尼桑、本田、马自达、三菱、铃木、五十铃汽车公司等都在大力推进电动车项目的开发工作。20 世纪 80 年代，丰田公司相继研制出 EV10 至 EV40 等一系列的电动汽车。90 年代，丰田公司几乎每年都会推出各类型的电动汽车。1992 年 1 月日本丰田汽车公司宣布了“地球宪章”，该文件列出了开发和销售低排放车辆的目标纲要。接着在 1993 年 11 月成立了一个名为 G21 的委员会，其使命是研究和开发 21 世纪的轿车。1994 年 G21 团队为

1995 年的东京汽车展设计了一辆混合动力概念车,并将此车命名为“Pruis”。自 2000 年以来,丰田汽车公司一共推出了三代“Prius”混合动力轿车(如图 1.4 所示),到 2005 年,日本的混合动力汽车年产量已达 30 万辆。“Prius”已成为世界上第一个大批量生产的混合动力电动车。目前丰田公司的混合动力电动汽车销售量已占世界混合动力车的绝大部分,截至 2012 年年底,全球共累计销售 100 万辆 Prius 车型。丰田公司推出的“Pruis2005”,属于节能型的重度混合动力汽车,结构上属于混联型,能源补充上属于加油站加油,它采用四缸发动机和永磁同步电动机共同驱动,属于发动机主动型混合动力电动汽车,其蓄电池采用松下 202V 的镍氢电池。其燃油经济性和排放性能比传统的燃油汽车提高了很多。此外,丰田公司向市场推出的混合动力电动汽车还有 Highlander2007 和 Camry Hybrid。RAV4 是丰田公司 1996 年开始推出的蓄电池和燃料电池电动汽车。现在其连续行驶里程设计可超过 1000km,输出功率是 200kw,输出转矩是 333N·m。本田公司在电动汽车的研发和销售上也不甘落后。本田公司生产的电动汽车主要集中在混合动力和燃料电池电动汽车两个方向。本田的混合动力电动车“Insight”是与“Prius”同样著名的混合动力轿车(如图 1.5 所示)。该车在世界上批量生产的汽油机混合动力轿车中,燃油效率最高,其城市道路油耗仅每百公里 2.9L。2006 年 1 月本田公司的燃料电池电动汽车 FCX 正式试行。该车有燃料电池能量驱动交流同步电动机,从而驱动车轮,最高车速为 160km/h,连续行驶里程为 570km。另外,本田公司从 2010 年开始中国电动汽车计划,在 2012 年,将“E-Motion”概念纯电动汽车于中国体验,该纯电动汽车,最高时速为 144km/h,续航里程在 150km 以上。2009 年,三菱公司开始销售“i-MiEV”电动汽车(如图 1.6 所示),但因其价格昂贵,销售量不高。日产公司也是研发和销售电动汽车的主要汽车制造商。1970 年,日产公司推出了第一辆概念电动汽车“City”。目前日产公司业把混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车的研发上升到一定的战略地位。其较成熟的产品有“Altra EV”、“Altima Hybrid”、“Nissan Tino”和“FCV2005”。“Nissan Tino”是日产公司于 2004 年推出的四缸 73kW 发动机和 17kW 永磁同步电机驱动混动

力电动汽车，它的最高车速为 120km/h。燃料电池汽车“FCV2005”集成了日产公司各类型车辆的核心技术，包括 Tino Hybrid 的控制技术、Hyper Mini 小汽车的高压电子系统和锂电池技术。



图 1.4 丰田汽车公司 “Prius” 混合动力轿车



图 1.5 本田的混合动力电动车 “Insight”