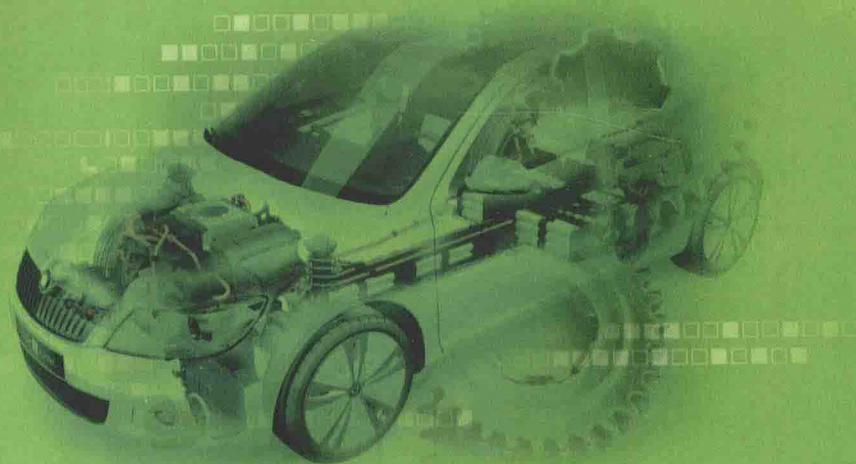


电动汽车技术

DIANDONG QICHE
JISHU

◎段 敏 主编



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电动汽车技术

主 编 段 敏

副主编 张丽萍 邱 林

参 编 张大明 申彩英

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书从电动汽车的速度性能、爬坡性能、加速性能和燃料消耗能量等方面论述了电动车辆行驶的基本原理,并且论述了电动汽车行驶工况的形式及特性、电动车辆的驱动系统和电动汽车驱动电机的选型及原理,以及电动车辆中的多电源储能问题、电动汽车的电气系统设计、电动汽车整车控制与仿真问题。最后还系统地介绍了电动汽车的空调系统、电气系统、刹车和再生制动系统及充电技术。

本书内容丰富、图文并茂、实用性强,可作为车辆工程、汽车服务工程及相关专业的本科生、研究生教材,对与汽车相关的制造业、管理机构和学术界的工程师、从业者提供参考,在现代电动汽车体系方面,是一本内容广泛、综合性强的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车技术/段敏主编. —北京:北京理工大学出版社, 2015. 9

ISBN 978 - 7 - 5682 - 0774 - 4

I. ①电… II. ①段… 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(2015)第 140662 号



出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京富达印务有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 11.25

字 数 / 271 千字

版 次 / 2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 39.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

编委会名单

主任委员：毛 君 何卫东 苏东海

副主任委员：于晓光 单 鹏 曾 红 黄树涛

舒启林 回 丽 王学俊 付广艳

刘 峰 张 珂

委 员：肖 阳 刘树伟 魏永合 董浩存

赵立杰 张 强

秘 书 长：毛 君

副 秘 书 长：回 丽 舒启林 张 强

机械设计与制造专业方向分委员会主任：毛 君

机械电子工程专业方向分委员会主任：于晓光

车辆工程专业方向分委员会主任：单 鹏

编写说明

根据教育部教高〔2011〕5号《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件和“卓越工程师教育培养计划”的精神要求,为全面推进高等教育理工院校“质量工程”的实施,将教学改革的成果和教学实践的积累体现到教材建设和教学资源统合的实际工作中去,以满足不断深化的教学改革的需要,更好地为学校教学改革、人才培养与课程建设服务,确保高质量教材进课堂。由辽宁工程技术大学机械工程学院、沈阳工业大学机械工程学院、大连交通大学机械工程学院、大连工业大学机械工程与自动化学院、辽宁科技大学机械工程与自动化学院、辽宁工业大学机械工程与自动化学院、辽宁工业大学汽车与交通工程学院、辽宁石油化工大学机械工程学院、沈阳航空航天大学机电工程学院、沈阳化工大学机械工程学院、沈阳理工大学机械工程学院、沈阳理工大学汽车与交通学院、沈阳建筑大学交通与机械工程学院等辽宁省11所理工院校机械工程学科教学单位组建的专委会和编委会组织主导,经北京理工大学出版社、辽宁省11所理工院校机械工程学科专委会各位专家近两年的精心组织、工作准备和调研沟通,以创新、合作、融合、共赢,整合跨院校优质资源的工作方式,结合辽宁省11所理工院校对机械工程学科和课程教学理念、学科建设和体系搭建等研究建设成果,按照当今最新的教材理念和立体化教材开发技术,本着“整体规划、制作精品、分步实施、落实到位”的原则确定编写机械设计与制造、机械电子工程及车辆工程等机械工程学科课程体系教材。

本套丛书力求结构严谨、逻辑清晰、叙述详细、通俗易懂。全书有较多的例题,便于自学,同时注意尽量多提供一些应用实例。

本套丛书可供高等院校理工科类各专业的学生使用,也可供广大教师、工程技术人员参考。

辽宁省11所理工院校机械工程学科建设及教材编写专委会和编委会

2015年6月

石油的紧缺、环境污染和温室效应的危害,是全球汽车产业面对的共同挑战。世界主要汽车生产国都把发展新能源汽车作为提高产业竞争能力、保持经济社会可持续发展的重大战略举措,新能源汽车成为市场新的增长点。

目前关于节能和环保的问题备受关注,为解决这些问题,电动汽车呈现出加速发展的趋势。从环保的角度来看,电动汽车是零排放的市区交通工具,即使计入发电厂增加的二氧化碳排气总量,它也使空气污染大大减少。从能源的角度来看,电动汽车将使能源的利用多元化(例如可使用各种再生能源)和高效化,达到能源的可靠、均衡和无污染地利用的目的。

电动汽车集机、电学科领域中的高新技术于一体,是原来汽车专业与电力电子专业等工程技术中最新成果的集成产物。电动汽车包括纯电动汽车(蓄电池电动汽车)、混合动力电动汽车和燃料电池汽车。混合动力电动汽车是纯电动汽车发展过程中能满足未来排放要求和节能目标且有利于市场化的一种新车型。燃料电池是以氢为燃料,与大气中的氧转化为电能作为汽车动力,推动汽车前进。纯电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车的研发、示范和产业化已经开始而且得到各国政府和企业的的高度重视。

本书全面系统地论述了电动汽车的基础知识,共分11章:第1章介绍了电动汽车的定义、特点、能源、环境和现代交通运输安全、世界主要国家的电动车辆研发计划、电动汽车工业和技术的发展现状及未来发展方向。第2章阐述了电动车辆行驶的基本原理、电动汽车的动力性能和经济性能、电动助力转向系统、制动性能及再生制动能量回收以及电动汽车动力传动系统参数匹配。第3章阐述了电动汽车行驶工况的形式及特性、车辆行驶工况的开发方法。第4章阐述了纯电动车辆的驱动系统的特点、混合动力电动汽车的驱动系统及能量管理策略与控制策略、燃料电池汽车动力系统的参数匹配方法和燃料电池系统的特性参数的确定。第5章介绍了电动汽车上使用的驱动电机种类,主要为直流电机、交流感应电机(异步电机)、永磁同步电机、开关磁阻电机等。阐述了这些电机的工作原理、特性及驱动控制方法。第6章阐述了电动汽车多电源储能的发展现状、电池的系统结构及工作原理、电池管理系统。第7章阐述了电动汽车高压电气系统的设计、高压电气系统的故障诊断、高压电安全管理系统。第8章阐述了电动真空助力制动系统、汽车制动和电机再生制动的结构和原理、采用无刷直流电机驱动系统的回馈制动方法。第9章介绍了整车控制系统、整车控制器、整车通信系统、整车控制系统的设计开发。第10章阐述了电动汽车空调的制冷方式、电动汽车电动压缩机形式。第11章介绍了电动汽车驱动系统的开发现状、纯电动汽车驱动系统设计、混合动力电动汽车驱动系统设计、燃料电池混合动力电动汽车驱动系统设计的实例。

本书由段敏担任主编，张丽萍、邱林担任副主编，张大明、申彩英参编。段敏编写第1章、第2章。张丽萍、邱林编写第4章、第6章、第7章、第8章、第10章。张大明编写第5章、第9章。申彩英编写第3章、第11章。

本书在编写与准备过程中得到了辽宁工业大学汽车与交通工程学院新能源汽车教研室各位老师的积极响应。编写过程中查阅了大量书籍、文献和资料，引用了一些国外书籍、期刊、网上资料和参考文献中的文献资料，充实和丰富了本书的内容，在此特向有关文献的作者表示深切的谢意。

编写过程中不妥或失当之处，敬请广大专家和读者批评指正。

辽宁工业大学汽车与交通工程学院

《电动汽车技术》编写组

2015年6月

第1章 概 述	001
1.1 电动汽车的定义	001
1.2 电动汽车的特点	001
1.3 能源、环境和现代交通运输安全	002
1.3.1 石油资源	002
1.3.2 大气污染和全球变暖	003
1.4 世界主要国家的电动汽车研发计划	004
1.5 电动汽车工业和技术的发展现状及未来发展方向	005
第2章 电动车辆行驶的基本原理	007
2.1 车辆行驶的基本原理	007
2.2 车辆的动力性能	009
2.2.1 最高车速	009
2.2.2 爬坡性能	010
2.2.3 加速性能	010
2.3 车辆的经济性能	011
2.3.1 非工况条件下车辆的经济性计算	011
2.3.2 基于工况的车辆经济性	013
2.4 电动助力转向系统	013
2.4.1 电动助力转向系统的概述	013
2.4.2 电动助力转向系统的特点	014
2.4.3 电动助力转向系统的分类及工作原理	015
2.4.4 电动助力转向系统的控制策略	017
2.5 车辆的制动性能及再生制动能量回收	018
2.6 电动汽车动力传动系统参数的选择	018
2.6.1 驱动电机参数的选择	019
2.6.2 传动系速比的选择	021
2.6.3 电动车辆动力电池组容量的选择	021

目 录

Contents

第3章 电动汽车行驶工况的形式及特性	023
3.1 国内外车辆行驶工况及开发意义	023
3.2 行驶工况的种类及类型	024
3.2.1 美国行驶工况	024
3.2.2 欧洲行驶工况	028
3.2.3 日本行驶工况	029
3.3 行驶工况的特征	030
3.4 车辆行驶工况的开发方法	032
3.4.1 试验规划	032
3.4.2 数据采集	033
3.4.3 工况构建方法	034
3.4.4 数据分析及处理	035
3.4.5 工况验证	036
第4章 电动车辆的驱动系统	037
4.1 纯电动汽车	037
4.1.1 纯电动汽车的概述	037
4.1.2 纯电动汽车驱动系统的特点	037
4.2 混合动力电动汽车	038
4.2.1 混合动力电动汽车的概述	038
4.2.2 混合动力电动汽车的驱动系统	038
4.2.3 混合动力系统的能量管理策略与控制策略	041
4.3 燃料电池电动汽车	041
4.3.1 燃料电池电动汽车的基本结构	041
4.3.2 燃料电池电动汽车的特点及分类	043
4.3.3 燃料电池电动汽车动力系统的参数匹配方法	044
4.3.4 燃料电池系统特性参数的确定	044

第5章 电动汽车驱动电机及其控制系统	047
5.1 直流电机及其驱动控制系统	047
5.1.1 直流电机的工作原理与分类	047
5.1.2 直流电机的动态方程与特性分析	049
5.1.3 直流电机的调速方法	052
5.1.4 直流电机的脉宽调制(PWM)控制	054
5.1.5 直流电机的转矩与转速控制	056
5.1.6 直流电机的特点	056
5.2 交流感应电机及其驱动系统	057
5.2.1 交流感应电机的工作原理	057
5.2.2 交流感应电机的特性分析	058
5.2.3 交流感应电机的矢量控制	059
5.2.4 交流感应电机的特点及应用	062
5.3 永磁同步电机及其驱动系统	063
5.3.1 永磁无刷直流电机及其驱动系统	063
5.3.2 永磁同步电机及其驱动系统	067
5.4 开关磁阻电机及其驱动系统	070
5.4.1 开关磁阻电机的结构和工作原理	070
5.4.2 开关磁阻电机的控制	072
5.4.3 开关磁阻电机的特点及应用	072
第6章 电动车辆中的多电源储能	074
6.1 概述	074
6.2 蓄电池	074
6.2.1 电动汽车蓄电池的发展及充电技术研究现状	075
6.2.2 电动汽车蓄电池充电的方法	086
6.2.3 电动汽车的电池管理系统	089

目 录

Contents

6.3	超级电容器	092
6.3.1	超级电容器的原理	092
6.3.2	超级电容器的特点	093
6.3.3	超级电容器的主要特性	093
6.3.4	超级电容器的发展	094
6.4	燃料电池	097
6.4.1	燃料电池的系统结构及工作原理	098
6.4.2	燃料电池的特点及分类	099
6.4.3	燃料电池的性能及效率	102
6.5	飞轮储能	103
6.5.1	飞轮储能的特点	103
6.5.2	飞轮储能的分类	104
6.5.3	飞轮储能系统的工作原理	105
6.6	电动汽车电池的近期和中期目标	106
第7章	电动汽车的电气系统	108
7.1	电动汽车电气系统的概述	108
7.2	高压电气系统	108
7.2.1	电动汽车高压电气系统的配置	108
7.2.2	高压电气系统建模	109
7.3	电动汽车高压电安全管理系统	114
7.3.1	高压电气系统布置形式设计的要求	114
7.3.2	高压电气系统故障等级的分类	115
7.3.3	电动汽车高压电气系统故障诊断的分析	115
第8章	制动和再生制动系统	118
8.1	电动真空助力制动系统	118
8.1.1	真空助力器的基本组成	119
8.1.2	真空助力器的工作原理	120

8.2	汽车制动和电机再生制动	121
8.2.1	汽车制动和电机再生制动的结构	121
8.2.2	汽车制动和电机再生制动的原理	124
8.3	电动汽车能量回馈控制	126
第9章	整车控制系统	131
9.1	电动汽车整车控制系统概况	131
9.2	整车控制系统的结构	131
9.3	整车控制器的功能	133
9.4	整车通信系统	134
9.4.1	CAN 现场总线概述	134
9.4.2	CAN 总线通信的原理	136
9.4.3	电动汽车内 CAN 总线网络拓扑结构的选择与比较	140
9.5	整车控制系统的设计开发	141
9.5.1	传统整车控制系统的开发	141
9.5.2	现代整车控制器的开发	142
9.5.3	功能需求定义和控制方案设计	143
9.5.4	快速控制原型(RCP)	143
9.5.5	生成产品代码	144
9.5.6	硬件在回路(HIL)仿真	144
9.5.7	系统标定	145
第10章	电动汽车空调系统	146
10.1	电动汽车空调的制冷方式	146
10.1.1	热电制冷空调系统	146
10.1.2	电动压缩机制冷	148
10.1.3	余热制冷	148
10.2	电动汽车电动压缩机形式的选择	149
10.2.1	确定电动压缩机驱动方式	149

目 录

Contents

10.2.2 确定电动汽车压缩机的结构形式	151
10.2.3 电动汽车压缩机驱动电机结构形式的选择	151
第11章 电动汽车动力驱动系统设计	153
11.1 电动汽车驱动系统开发现状	153
11.2 纯电动汽车驱动系统设计	154
11.2.1 纯电动汽车的结构形式	154
11.2.2 驱动电机参数设计	155
11.3 混合动力电动汽车驱动系统的设计	157
11.4 燃料电池混合动力电动汽车驱动系统的设计	158
参考文献	160

第1章 概述

1.1 电动汽车的定义

电动汽车就是使用电动机代替内燃机作为驱动装置的汽车。电动汽车的英文缩写为 EV，即 Electric Vehicle。电动汽车以蓄电池的电能为动力源，其优点是：环保性能好、没有尾气污染，噪声很低，车辆轻便、行驶平稳，乘坐舒适，操纵安全性好及驾驶简单轻便等。这些得天独厚的优点，得到越来越多人的喜爱。

电动汽车不仅是交通工具，而且是一个新的社会高科技系统体现的集合体。它集现代汽车、新能源、新材料、电力电子、电机及环保等高新技术于一体，有着广阔的市场前景。

1.2 电动汽车的特点

1. 整车效率高

目前，虽然经历了很长时间的发展，内燃机技术已经趋于成熟，但是内燃机汽车对燃油的能量转化效率约为 38%，如果考虑到车辆在城市内行驶过程中频繁的起停、低速行驶和等待等多种行驶工况，其最终效率为 12% 左右。相对而言，电动汽车采用电动机驱动系统，没有空转损失，电动汽车的电池能量的 80% 以上可以转化为汽车的驱动力，而即使考虑由原油发电，再给蓄电池系统充电运行，加上发电效率、送配电效率、充放电效率等，其最终车辆也可得到 29% 左右的能量转化效率。再有，电动汽车在制动时有回收能量的能力，这样就更加提高了电动汽车的能量利用率。

2. 对环境污染少

电动汽车在行驶过程中没有废气的排放，不同于燃油汽车，电动汽车即使以全部能量都归结为火力发电的状况计算，其废气排出量也会有很大程度的减少。电动汽车和燃油汽车相比，几乎不会对环境造成污染。

3. 可应用多种能源

电动汽车利用二次电力能源驱动，只要有电能的供给，就有了动力源泉，不受天然石油资源的限制。而电能的获得可以利用核能发电、水力发电、风力发电、太阳能等多种形式的原始资源。特别对于我国，水利资源和风力发电等能源的潜在发电量是相当高的，如果能有效地利用这些能源，不仅有利于环保，节约宝贵的石油资源，解决全球面临的石油资源枯竭危机，而且更符合我国经济的可持续发展战略。

4. 噪声相对较低

和内燃机汽车相比,电动汽车明显减小了发动机(电动机)引起的振动和噪声,而发动机的振动和噪声恰恰是整车振动和噪声的主要来源。这使得电动汽车的运行噪声比传统的燃油汽车减小了很多。通常,电动汽车的噪声将比燃油汽车低约 15 dB。

5. 机械结构多样化

由于电动机的驱动方式多变,而且可以采用不同轮分别驱动等方案,使电动汽车的结构形成了多样化。一方面可以更合理地对系统机械结构进行配置,另一方面也可以采用多样化的造型,以满足不同消费者的需求。在电动汽车研发的初始阶段,可以进行简单的动力部件替代,将燃油发动机电动汽车动力性的仿真用电动机替代得到与传统汽车相仿的特性。进而,双轮独立驱动乃至四轮独立驱动被认为是电动汽车一个有前景的发展方向,由此可实施更复杂和更灵活的系统控制以达到更高级的运行性能。

6. 优异的控制性能——电气可控变量自由度增加

电动汽车以电动机取代了传统的内燃机,其带来的直接好处就是动力系统可以方便地通过电气参量进行控制,从而使电动汽车的可控性增强。另外,由于电气驱动可以采取双(四)轮独立驱动的形式,这将使可控变量的自由度(自由可控变量数)增加,从而为进一步提高车辆的动力性能和操纵性能创造了良好的硬件条件。

1.3 能源、环境和现代交通运输安全

1.3.1 石油资源

运输工具应用的大部分燃料都是源于石油的液态燃料。石油是从地下采掘出来的矿物燃料,是活性物质经几千万年分解成的生成物,这些物质几百万年前被埋藏在稳定的地质层中。其形成的过程大致如下:活性物质(主要是植物)死亡,并慢慢地被沉积物所覆盖。在时间进程中,这些累积的沉积物形成半固体层,且变态为岩石。这样活性物质就被截获在一个密闭的空间内,在该处高压和高温作用下,根据它们的类别,被缓慢地或变换为碳氢化合物或变换为煤。该过程由于经百万年才能完成,这便是以地下采掘的燃料形成为地球资源之所以有限的原因。

石油是维系国家经济发展和维护国家能源安全的重要战略资源之一。我国的经济对石油需求在逐年上升:第一,工业化进程加快,目前中国经济增长的主要力量是以机械、钢铁、汽车等为代表的重工业,这些行业对能源有高度的依赖性,其中工业用油占到我国石油消费总量的 40% 以上。第二,城市化进程加快,大量的农民工进城务工,大量农业人口转为城镇人口,带动了包括房地产在内的各类消费的快速增长,同时拉动了石油及其相关下游产品的需求,据研究测算,城市人口平均年消耗能源为农村的 3.5 倍。第三,在经济全球化的背景下,高耗能和高污染的国际制造业也在加速向我国转移。第四,汽车消费的快速增长急剧加大了原油消费的加速增长。2013 年以来,我国的汽车消费进入快速增长阶段,汽车保有量的增加带动石油消费的快速增长。

从经济发展对石油的依赖来看,中国能源安全的最大挑战在于石油。2004年,中国石油消费量达到2.92亿吨,进口原油1.23亿吨,对外依赖程度达到42.1%,2006年进口原油1.45亿吨,2007年,我国成为仅次于美国的石油消耗国,石油消耗量达3.46亿吨,石油对外依赖度达到45.2%。如果中国汽车业以当前12%的年均增长率发展,如此庞大的汽车数量将对能源产生巨大压力,对我国未来的石油安全构成了巨大挑战。

我国是一个能源短缺的国家,却是一个能源消耗大国。按照当前的能源资源开采速度,各种一次能源可供应的年限,石油为11.3年,天然气为27.7年,煤炭为45年。

这些问题严重制约了我国汽车产业的可持续发展,由于汽车数量的增加,石油需求也相应地增加(见图1-1),因此开发替代能源和新型动力车,实现车用能源多元化已成为一项迫在眉睫的工作。

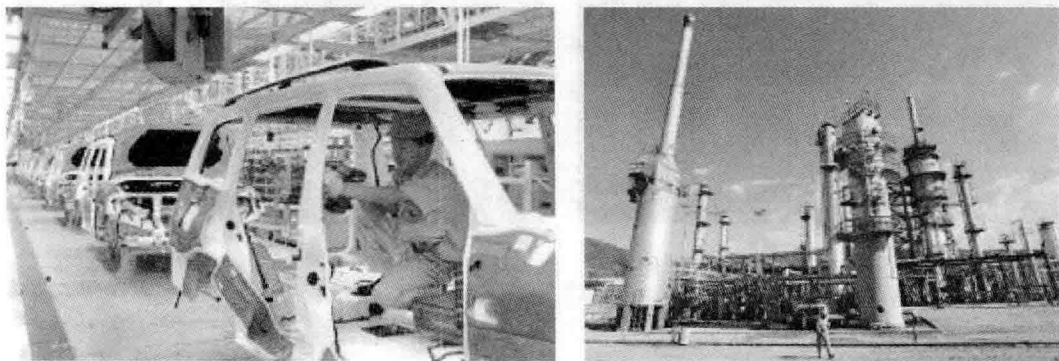


图1-1 汽车数量增加、石油需求增加

1.3.2 大气污染和全球变暖

对于传统燃油汽车来说,它所带来的公害主要有四种形式:气候影响、空气污染、噪声污染和电磁(波)污染,其中尤其以空气污染为最。汽车所排放出的污染物90%来自汽车排放出来的废气,主要成分为二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物、铅以及微粒等。其中柴/汽油每1升产生的二氧化碳(CO_2)约2.35千克,而其他排放值通常以ppm^①或克为单位表示,表明 CO_2 排放量是相当高的。

当人类大量使用燃烧化石燃料的同时,大气中二氧化碳浓度大量增加。二氧化碳排放过量会加剧温室效应,造成全球暖化,使碳循环失衡,改变地球生物圈的能量转换形式。全球暖化会导致气候反常,影响粮食供应,世界各地的旱灾、水灾增多。而地球在短时间变暖,动物未能适应,影响分布和数目;细菌和病毒加速传播,影响人类和其他生物的健康。全球气候变暖关乎人类社会的可持续发展,因此受到国际社会的广泛关注。IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)第四次评估报告(2007年)指出,“气候变化可能会导致一些不可逆转的影响”,如果全球平均温度增幅超过工业革命前 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,那么20%~30%的物种可能灭绝,超过 $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 则可能导致40%~70%的物种灭绝。

^① 1 ppm即百万分之一。



据统计, 2007 年我国每辆汽车的二氧化碳平均排放量为 193 g/km , 从 2009 年开始我国法律限制实现每辆汽车的二氧化碳平均排放量下降为 168 g/km , 减排 13%。

如图 1-2 所示, 在环境方面, 交通能源消耗也是造成局部环境污染和全球温室气体排放的主要原因之一。调查研究表明, 平均而言大气污染的 42% 来源于交通运输。据有关部门 2002 年统计, 在全国 600 多座城市中, 空气质量达到国家一级标准的城市不足 1%。



图 1-2 汽车环境污染

1.4 世界主要国家的电动汽车研发计划

当代整合多种高新技术而兴起的电动汽车, 正在掀起世界汽车工业的一场革命, 展现了汽车工业的美好未来。近 10 年来, 美国、欧洲、日本等国政府和跨国公司已投入超过 100 亿美元的资金, 并且以每年不少于 10 亿美元的力度继续开发。

目前, 国外电动汽车整车研发主要有 3 种发展路线, 各国的研发侧重点不同。

欧洲侧重点在于纯电动轿车和燃料电池公共汽车的研发。其中最为成功和著名的案例车型就是纯电动标致 106, 以镍镉电池组为动力源、电机驱动, 曾商业化生产。现阶段纯电动汽车技术开发已经相对比较完善, 但由于面临充电等基础设施配套建设问题以及传统汽车工业的强大惯性, 其推广应用仍处于示范运营阶段。现阶段纯电动汽车的应用研究主要致力于以公交车为主的定点、定线运行车辆, 社区用车和特定用途的微型车。

日本侧重点在于混合动力汽车的研发。日本丰田汽车公司是混合动力汽车研发先锋, 混合动力汽车是丰田公司环保计划的核心内容, 现在混合动力轿车已商业化生产。日本丰田汽车公司 2008 年 6 月 7 日宣布, 其生产的混合动力汽车在全球范围内的累计销量已经突破 100 万辆。丰田各混合动力品牌中, 丰田 plug-in 混合动力车是绝对主力。自 1997 年在日本上市以及 2000 年登陆北美、欧洲等海外市场以来, plug-in 混合动力汽车在全球共售出 75.76 万辆, 占丰田混合动力汽车总销量的七成以上。

美国侧重点在于燃料电池汽车的研发。早在 1964 年, 通用汽车就进行了第一个燃料电池试验, 并于 1968 年生产出第一辆燃料电池汽车。依照美国能源部制订的“氢计划”,