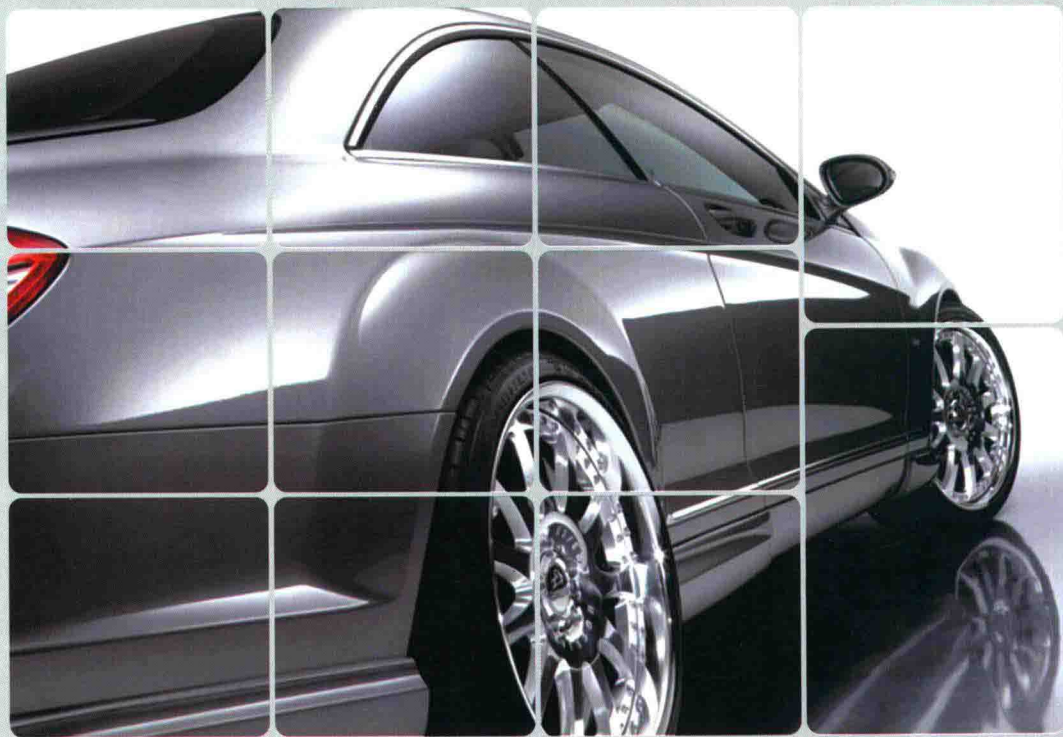


国家新能源汽车“十三五”重点规划 • 电动汽车系列教材



电动汽车相关标准

DIANDONG QICHE XIANGGUAN BIAOZHUN

主 编 姜久春
副主编 黄 彧 刘平竹



北京交通大学出版社

<http://www.bjtup.com.cn>

国家新能源汽车“十三五”重点规划
电动汽车系列教材

电动汽车相关标准

主 编 姜久春
副主编 黄 彧 刘平竹

北京交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书梳理了国内外电动汽车领域标准的研究、编制和发布情况,重点介绍了电动汽车整车、关键零部件及充电设施方面已经发布标准的技术要求与试验方法。本书共分四章,内容主要包括:电动汽车标准现状与技术趋势、动力电池标准、电动汽车整车标准和电动汽车充电设施标准。

本书可以作为高等院校新能源电动汽车相关专业的教材,也可作为从事电动汽车行业的专业技术人员、从事充换电设施研发和生产的专业人员,以及充换电设施建设与运营专业人员的参考资料。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车相关标准 / 姜久春主编. — 北京: 北京交通大学出版社, 2016. 4

(国家新能源汽车“十三五”重点规划·电动汽车系列教材)

ISBN 978-7-5121-2709-8

I. ① 电… II. ① 姜… III. ① 电动汽车-标准 IV. ① U469.72-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 079758 号

责任编辑: 贾慧娟 特邀编辑: 张瑞仁

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010-51686414

<http://www.bjtu.cn>

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编: 100044

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 mm×260 mm 印张: 18 字数: 443 千字

版 次: 2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-2709-8/U·226

印 数: 1~2 000 册 定价: 39.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

电动汽车系列教材

编 委 会

顾 问：孙逢春

主 任：姜久春

副主任：张维戈 龚敏明

委 员：吴 健 王占国 孙丙香 时 玮

杜 欣 桂峻峰 张彩萍 王 昕

黄 彧 郭希铮 张 威 牛利勇

陈洛忠 李景新 刘平竹 聂晓波

沈茂盛 赵雪梅

前言

电动汽车 (EV) 是一种电力驱动的道路交通工具, 具有清洁、高效和可持续等显著优点, 因此电动汽车的研究已经成为 21 世纪解决汽车可持续发展所遇到的能源、环保和安全等问题的关键因素。电动汽车主要包括纯电动汽车 (BEV)、混合动力电动汽车 (HEV) 和燃料电池电动汽车 (FCEV), 涉及众多学科领域, 涵盖的内容丰富而复杂, 其核心技术包括底盘和车身技术、驱动技术及能源技术等。

尽管电动汽车已经无可争议地成为目前国内外汽车领域关注和研究的热点, 但是电动汽车仍然处于由研发、试点示范向大规模推广的关键过渡期, 距离大规模使用还有一定的距离。此外, 电动汽车在产业化的进程中还需要克服和解决成本价格、性能可靠性、安全性、耐用性、使用方便性及基础设施完善性等多方面问题。因此在电动汽车的发展过程中, 必须明确电动汽车整车、电池、电机电控等关键总成、基础设施、充电接口和通信协议等各个领域的技术要求和测试方法, 规范电动汽车设计、研发、生产及充电基础设施的建设。由于电动汽车的标准化工作对整个产业的发展具有重要的支撑和引领作用, 因此得到了世界各国的重视和大力推动。

本书着重梳理了国内外电动汽车标准的研究、制定及发布情况, 以电动汽车标准体系为框架, 介绍了电动汽车整车、电池、电机等关键零部件和充电基础设施方面的标准。全书共分为 4 章, 第 1 章为电动汽车标准现状与技术趋势, 主要介绍了电动汽车的发展历程及国内外电动汽车标准的现状; 第 2 章为动力电池标准, 详细介绍了各种动力电池的基本工作原理、性能要求与测试方法; 第 3 章为电动汽车整车标准, 主要介绍各种类型的电动汽车在整车性能、安全性、可靠性及电驱电控等方面的技术要求和试验方法; 第 4 章为电动汽车充电设施标准, 重点介绍了电动汽车的充电技术、充电模式及电动汽车充电站、充电设备、计量装置和充电接口方面的标准要求与发展趋势。

本书由北京交通大学姜久春、黄或和刘平竹编写, 其中主要内容 by 黄或执笔, 刘平竹审核。研究生刘宝宝同学也协助进行了书稿资料的整理和部分章节

的编写工作，在此对其所作的工作表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，以及因为标准的修订所造成的信息滞后，书中难免存在错误和不当之处，欢迎读者批评指正。

编 者
2016 年 1 月

目 录

第1章 电动汽车标准现状与技术趋势	1
1.1 电动汽车简介	1
1.1.1 电动汽车的发展背景	1
1.1.2 电动汽车的发展历史	4
1.1.3 电动汽车的发展现状	6
1.1.4 电动汽车的优点	11
1.2 国外电动汽车的标准化现状	12
1.2.1 国际上的电动汽车的标准化工作	12
1.2.2 美国的电动汽车标准化工作	16
1.2.3 欧洲的电动汽车标准化工作	19
1.2.4 日本的电动汽车标准化工作	23
1.3 我国的电动汽车标准化现状	27
1.3.1 我国的电动汽车标准化组织	27
1.3.2 我国的电动汽车标准体系	28
1.3.3 我国的电动汽车标准现状与动态	28
1.4 电动汽车发展的关键问题	34
1.4.1 电动汽车驱动电机及控制器	34
1.4.2 动力电池及其管理	35
1.4.3 充电设施与接口	36
第2章 动力电池标准	37
2.1 动力电池简介	37
2.1.1 动力电池的性能指标	37
2.1.2 动力电池的种类及原理	39
2.1.3 电池成组应用技术	50
2.2 动力电池标准现状	52
2.2.1 锂离子蓄电池	52
2.2.2 含碱性或其他非酸性电解质的电池	54

2.2.3	铅酸蓄电池	55
2.2.4	燃料电池	56
2.2.5	超级电容	59
2.3	铅酸蓄电池标准	60
2.3.1	电池规格与尺寸	60
2.3.2	性能要求	61
2.3.3	试验方法	61
2.4	镍氢电池标准	65
2.4.1	电池规格和尺寸	66
2.4.2	性能对比及要求	66
2.4.3	电气性能试验方法	68
2.4.4	安全性能试验方法	72
2.5	锂离子电池标准	73
2.5.1	电池规格和尺寸	73
2.5.2	单体电池和电池模块标准	73
2.5.3	电池包和电池系统标准	75
2.5.4	锂离子蓄电池管理系统	86
2.6	锌空气电池标准	92
2.6.1	电池规格和尺寸	92
2.6.2	性能要求	92
2.6.3	测试方法	93
2.7	燃料电池标准	96
2.7.1	术语	96
2.7.2	电池性能	99
2.7.3	发电系统	102
2.8	超级电容标准	106
2.8.1	术语、型号及分类	106
2.8.2	电气性能	107
2.8.3	安全性能	108
2.9	动力电池及标准的发展趋势	108
第3章	电动汽车整车标准	111
3.1	电动汽车的种类	111
3.1.1	纯电动汽车	112
3.1.2	混合动力(电动)汽车	114
3.1.3	燃料电池电动汽车	116
3.2	国内外电动汽车整车标准现状	117
3.2.1	国外电动汽车整车标准	117
3.2.2	国内电动汽车整车标准	119
3.2.3	车辆测试评价方法	121

3.3 整车与零部件标准	122
3.3.1 基础通用	122
3.3.2 纯电动汽车	130
3.3.3 混合动力电动汽车	131
3.3.4 燃料电池电动汽车	135
3.4 车辆动力性能	139
3.4.1 纯电动汽车	140
3.4.2 混合动力电动汽车	143
3.4.3 燃料电池电动汽车	146
3.5 车辆能耗和续驶里程	148
3.5.1 车辆续驶里程	148
3.5.2 纯电动汽车	149
3.5.3 混合动力电动汽车	152
3.6 电机驱动与控制	155
3.6.1 电动汽车电机的基本要求	156
3.6.2 电动汽车电机的技术要求	156
3.6.3 电动汽车电机试验方法	157
3.6.4 燃料电池电动汽车发动机	160
3.7 安全性和可靠性	162
3.7.1 基础通用	162
3.7.2 纯电动汽车的安全性和可靠性要求	168
3.7.3 混合动力电动汽车的安全性和可靠性要求	169
3.7.4 燃料电池电动汽车的安全要求	173
3.8 电磁兼容性能	174
3.8.1 国内外电动汽车电磁兼容性能方面的标准	174
3.8.2 电动汽车电磁兼容性能技术要求	176
3.8.3 电动汽车的电磁兼容试验方法	178
3.9 电动汽车整车及零部件技术和标准的发展趋势	182
3.9.1 技术发展	182
3.9.2 标准制定	183
第4章 电动汽车充电设施标准	189
4.1 电动汽车充电技术	189
4.1.1 电动汽车电能供给方式	189
4.1.2 电动汽车整车充电技术	190
4.1.3 电动汽车的电池更换技术	193
4.2 充电设施概述	194
4.3 电动车辆的充电模式	195
4.4 电动汽车充电设施的建设	198
4.4.1 国外电动汽车充电设施的发展情况	198

4.4.2 国内电动汽车充电设施的发展情况	202
4.5 电动汽车充电设施标准	208
4.5.1 国外电动汽车充电设施标准	208
4.5.2 国内电动汽车充电设施标准	209
4.6 充电站	211
4.6.1 充电站的分类	211
4.6.2 充电站系统的组成	211
4.6.3 电池更换系统的组成	212
4.6.4 充换电设施术语	213
4.6.5 充换电站通用要求	214
4.7 充电设备	219
4.7.1 标准现状	219
4.7.2 性能要求	220
4.7.3 试验方法	228
4.8 充电接口	239
4.8.1 充电接口标准	239
4.8.2 交流接口	240
4.8.3 直流充电接口	243
4.8.4 充电控制导引和通信协议	245
4.9 计量装置	248
4.9.1 非车载充电机	248
4.9.2 交流充电桩	254
4.10 通信协议标准	255
4.10.1 非车载充电机与电池管理系统之间的通信协议	255
4.10.2 车载充电机与交流充电桩之间的通信协议	262
4.10.3 电动汽车车载终端与运营管理系统间的通信协议	265
4.10.4 电动汽车充换电服务网络运营管理系统通信规约	266
4.11 充电技术及标准的发展趋势	267
参考文献	270

第 1 章

电动汽车标准现状与技术趋势



1.1 电动汽车简介

1.1.1 电动汽车的发展背景

1. 能源危机

目前世界能源体系主要包括石油、天然气和煤炭等，传统汽车的燃料主要包括由石油提炼出来的汽油或柴油等。石油是千百万年以前的古生物在地壳运动中被埋入地下，逐渐演变成的含有多种有机碳氢化合物的混合物。地球上的石油资源是有限的，根据 2013 年 6 月发布的《BP 世界能源统计》中提供的数据，截至 2012 年年底，全球已探明的石油储量为 16 689 亿桶，如果保持 2012 年的开采速度，则仅可开采 52.9 年。

石油在交通领域的消费逐年增长。国际能源机构（IEA）的统计数据表明，2001 年全球 57% 的石油消费在交通领域，预计到 2020 年交通用油会占到全球石油总消耗量的 62% 以上。美国能源部预测在 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，而到 2050 年这一供需缺口几乎相当于 2000 年世界石油总产量的两倍。

我国的石油储量和开采量非常有限，石油越来越多地依靠进口。截至 2012 年年底，我国已探明的石油储备为 173 亿桶，仅占全球石油总储量的 1%。而我国却是一个能源消耗大国，从 2003 年到 2013 年期间，我国的石油消耗量仅次于美国，位居世界第二，亚洲第一，原油消费年均增长率超过 5%。据预测，在未来几年中我国原油进口量的增长比例将达到 10% 以上，成品油进口量的增长比例为 8% 左右，总的石油进口量的增长比例将达到年均 6%。根据国际能源机构的预测，随着我国汽车保有量的增加，到 2030 年，我国石油消耗量的 80% 需要依靠进口。

汽车消费的快速增长给我国的能源安全带来了巨大的压力，而且这个压力正在日益增大。从 2009 年起，我国汽车产销量连续位居全球首位，我国已成为世界第一大汽车生产国和新车销售市场。在 2012 年，我国汽车保有量超过了 1.2 亿辆，2005—2014 年间我国汽车

产销量和保有量的增长趋势如图 1-1 和图 1-2 所示。预计到 2020 年,我国汽车的保有量将达到 2 亿辆。我国汽车消费的快速增长导致了石油消耗的加速增长,这使得我国石油的对外依存度不断攀升。我国机动车的燃油消耗量约占全国石油总消耗的 1/3。有关资料显示,在 2009 年,我国汽车消耗了 13 480 万吨成品油,占全国汽柴油总产量的 63.2%,比 2008 年净增加 1 600 万吨。其中车用汽油消耗 6 260 万吨,占全国汽油总产量 7 192 万吨的 87%;车用柴油消耗 7 220 万吨,占全国柴油总产量 14 124 万吨的 51%。2011 年我国汽车消耗成品油接近 1.5 亿吨,约占全国成品油总消费量的 60.2%。随着我国汽车保有量的不断增长,汽车燃油消耗在我国石油消耗中的比例还会继续提高,传统的交通动力能源模式将难以持续发展 and 维系。面对如此严峻的能源形势,我国汽车工业必须加大对新能源汽车的研发和推广力度。

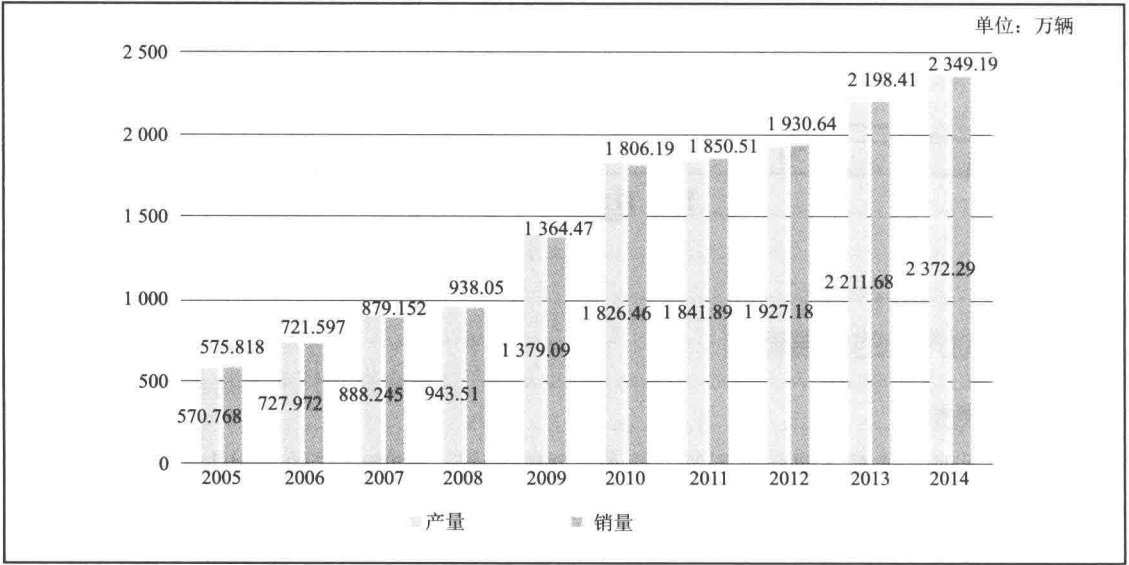


图 1-1 2005—2014 年间我国汽车产销量增长趋势

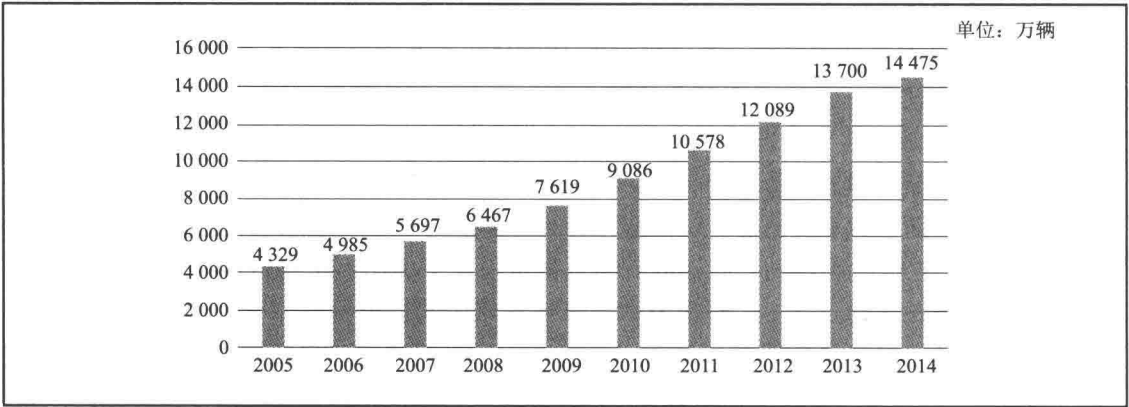


图 1-2 2005—2014 年间我国汽车保有量增长趋势

2. 环境问题

传统的燃油汽车在行驶过程中会产生大量的有害气体和颗粒污染物,不但污染环境,还

会严重影响人体健康。汽车尾气排放的主要污染物包括一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO_x)、铅(Pb)、细微颗粒物(PM)及硫化物等。这些一次污染物还会通过大气化学反应生成光化学烟雾和酸沉降等有害物质,造成二次污染。如今,许多大城市的污染程度已经超过健康许可标准,直接危害居民的健康和生活环境。

1) 雾霾天气

雾霾是一种大气污染形式,是对大气中各种悬浮颗粒物含量超标的形象表述,尤其是 $\text{PM}_{2.5}$ (粒径小于 $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒物)被认为是造成雾霾天气的“元凶”。雾霾的成因包含多种因素,如汽车尾气、工业排放、建筑扬尘和垃圾焚烧,甚至是火山喷发等。雾霾天气通常是在多种污染源共同作用下形成的。

“雾霾”已经成为我国2013年年度关键词。2013年1月,北京及周边地区遭受了长达26天的雾霾天气。同年10月,东北三省遭遇雾霾侵袭,哈尔滨出现了史上最严重的雾霾天气,最低能见度小于 10 m 。与此同时在全国范围内,华北至西南地区也形成了 $2\,200\text{ km}$ 的污染线。雾霾天气的频繁出现,加大了政府对大气环境治理的决心。2013年6月,国务院出台了《大气污染防治十条措施》,提倡努力践行“同呼吸,共奋斗”的行为准则。随后,中央各部门及地方政府先后出台了《大气污染防治行动计划》《地区落实大气污染防治行动计划实施细则》等文件。

2013年,中国环境科学研究院对形成北京雾霾天气的 $\text{PM}_{2.5}$ 来源进行了整体分析,在各项成因中,汽车尾气的贡献率排在第一,占比达 22.2% ,已然成为 $\text{PM}_{2.5}$ 的重要来源。因此,积极加大汽车的节能减排力度,有效降低机动车尾气排放是城市雾霾治理的重点。具体措施包括:

① 加强对高污染机动车的管理,以大中型客货运输车辆为重点,淘汰高污染机动车;在京V标准中,单独规定了汽车尾气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的限值为 0.0045 g/km ,达到了国际排放标准;

② 加速推进高品质油源的应用,逐步推广使用符合国IV标准的汽、柴油。

③ 加强油品质量的监督检查,严厉打击非法生产和销售不符合国家和地方标准要求的车用油品的行为;

④ 推广城市智能交通管理,缓解城市交通拥堵,促进城市交通的可持续运行;

⑤ 大力促进新能源汽车的推广和使用。

2) 温室效应

石油能源的大量消耗会带来温室气体的排放问题。二氧化碳(CO_2)是全球最主要的温室气体,也是造成气候变暖的主要原因,而它主要来自于化石燃料的燃烧。据IEA估计,汽车的二氧化碳总排放量将从1990年的29亿吨增加到2020年的60亿吨。汽车的尾气排放已经对地球环境造成了巨大的影响。

为减少汽车尾气对全球气候变暖的影响,削减二氧化碳等温室气体的排放,汽车应尽量采用小排量和稀薄燃烧技术的发动机,最大限度地提高能源的利用效率,从而减少对全球气候的影响。为了减少汽车二氧化碳的排放量,世界各国出台了一系列的法规和标准并已开始实施。2008年,欧盟要求轿车的二氧化碳排放水平减少到 140 g/km ,汽油车油耗降低到 6 L/100 km 以下;到2020年二氧化碳的排放量限制到 100 g/km 。

为了鼓励和推动电动汽车等新能源汽车的研发和产业化,世界各国制定了更加严格的汽车

排放标准和燃料经济性法规，其特点是把二氧化碳的排放作为燃油经济性的重要度量指标。

欧盟通过出台减少汽车二氧化碳排放的法规来限制新车的排放，到 2020 年，欧洲新车的二氧化碳平均排放水平将逐步降至 95 g/km。美国通过的燃油经济条例的目标是到 2016 年在美国销售的汽车的二氧化碳平均排放水平为 155 g/km。日本的目标是在 2020 年汽车二氧化碳的平均排放水平降低到 115 g/km，排放低于限额的产品将得到鼓励。我国也推出了新的排放法规，明确指出了要通过汽车行业的共同努力，争取到 2020 年，我国的汽车排放和能耗达到国际先进水平。

3) 尾气排放

据统计，全球大气污染中的 42% 源于交通车辆的尾气排放污染。随着城市机动车数量的快速增长，由于大量机动车在一定时间和空间内的相对集中造成城市的某一区域在污染物排放总量上超标，因此机动车的尾气污染已成为城市大气污染的主要贡献者。因此，必须研究并制定减少城市机动车排放污染的对策和措施。从机动车管理的角度来考虑，就要通过疏导交通、优化路网布局、合理分配车流、减少城市中心区的车流密度、改善机动车运行工况及降低机动车污染物的排放等措施来减轻环境污染。

鉴于汽车尾气所带来的种种危害，人们认识到必须对汽车尾气中的有害物质加以限制。目前，国外施行的汽车排放标准主要有欧、美、日三大体系，其中以欧洲标准的应用最为广泛。自 20 世纪 90 年代以来，我国已将汽车尾气治理提上日程，治理步伐不断加快。1993 年，我国颁布了相当于欧洲 20 世纪 70 年代标准的汽车尾气排放标准。2001 年 1 月 1 日，该标准提升为欧洲 90 年代初的标准，即欧洲 I 号标准，不达标的汽车不得生产销售。2003 年，北京和上海相继开始实施国家机动车第二阶段的排放标准，该标准相当于欧洲 II 号排放标准。北京已率先从 2008 年年初开始执行相当于欧洲 IV 号排放标准的汽车尾气排放标准。欧 V 标准于 2009 年 9 月 1 日开始实施，根据这一标准，柴油轿车的氮氧化物排放量不应超过每百公里 180 mg，比欧 IV 标准规定的排放量减少了 80%，所有柴油轿车必须配备颗粒物滤网。

2014 年 9 月开始实施的欧 VI 标准规定了柴油轿车的氮氧化物排放量不应超过每百公里 80 mg。与欧 V 标准相比，欧 VI 标准对人体健康的关注将增加 60%~90%。柴油面包车和 7 座以下客车实施欧 V 和欧 VI 标准的时间分别比轿车晚 1 年。2010 年 9 月，厢式货车等实施欧 V 标准，根据该标准厢式货车的氮氧化物排放量不应超过每百公里 280 mg。在 2015 年 9 月实施欧 VI 标准后，新款厢式货车的氮氧化物排放量不应超过每百公里 125 mg。

我国的国 III、国 IV 汽车排放标准在污染物排放限值上与欧 III、欧 IV 标准完全相同，但在实验方法上作了一些改进，在法规格式上也与欧 III、欧 IV 标准有很大差别。在天然气汽车等采用气体燃料发动机的汽车方面，《关于实施国家第五阶段气体燃料点燃式发动机与汽车排放标准的公告》规定，自 2013 年 1 月 1 日起，所有在我国生产、进口、销售和注册登记的气体燃料点燃式发动机与汽车必须符合国 V 标准的要求，相关企业应及时调整生产、进口和销售计划。

1.1.2 电动汽车的发展历史

电动汽车是世界上最早出现的汽车之一。电动汽车的历史可追溯到 1834 年，Thomas Davenport 制造了一辆电动三轮车，它由一组不可充电的玻璃封装干电池驱动，只能行驶一

小段距离。第一辆以可充电电池为动力的电动车于 1881 年在法国巴黎出现，它是法国工程师 Gustave Trouve 装配的以铅酸电池为动力的三轮车。

和 19 世纪末的内燃机动力汽车相比，电动汽车除了车速略低以外在其他方面具有很多优点，如启动方便，而且电动机工作时没有噪声、震动和难闻的汽油味。此外，由于直流电动机具有在低转速时输出大扭矩的特性，因此其在用作汽车动力时不需要复杂的传动系统，操作也更加简便，因而电动车成为了当时机动交通工具的一个主要发展方向。19 世纪 90 年代到 20 世纪初期，电动汽车技术得到了高速发展。1891 年，A. L. Ryker 研发出电动三轮车，Wilianm Morrison 制造出六座电动厢式客车。在内燃机汽车兴盛之前，电动汽车就创造了许多速度和行驶距离的记录。1899 年，Gamille Jenatzy 研发的电动汽车突破了 100 km/h，并创造了 105.88 km/h 的最高时速，该车的外形如图 1-3 所示。

美国在汽车的普及上虽然比欧洲稍晚，但也有自己的优势，如美国在电力技术的发展和普及上领先于欧洲。发明了电灯、留声机等电气产品的美国著名科学家爱迪生也是电动汽车的坚定支持者，其与电动汽车的照片如图 1-4 所示。当时的美国不仅拥有数量众多的电动轿车和电动卡车，Bailey Electric 公司在 1907 年甚至开发了最早的电动跑车。1897 年，纽约出现了第一辆电动出租车。与此同时，与电动汽车相关的配套服务设施也应运而生，如 Hartford Electric Light 公司为电动汽车提供可以更换的电池；Detroit Electric 公司不仅制造电动汽车，还建立了电池充电站以方便用户。

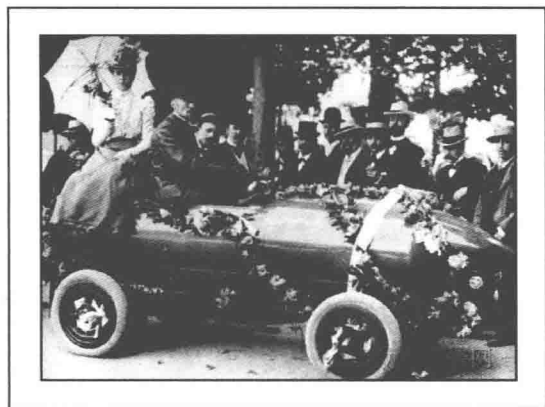


图 1-3 Gamille Jenatzy 研发的电动汽车

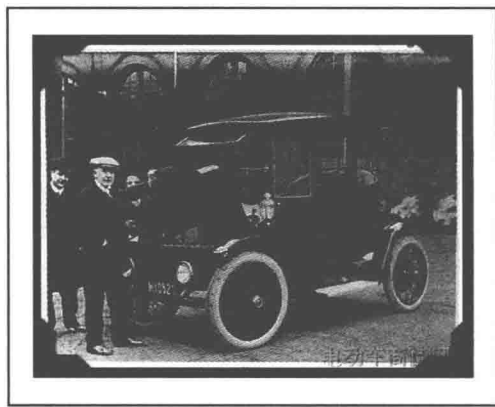


图 1-4 爱迪生与电动汽车

20 世纪 20 年代后，内燃机技术达到了一个新的水平，内燃机汽车也具备了更多的优势，如装备内燃机的汽车具有更快的速度，加一次油可持续行驶的里程是电动汽车的 3 倍左右，使用成本低等。相比之下，电动汽车的发展则进入到了瓶颈时期，在降低制造成本和改善使用便利性等方面没有明显的进步。在这种背景下，电动汽车很快失去了存在的意义，在 1940 年左右电动汽车基本上就从欧美汽车市场中消失了。

随着越来越多的内燃机汽车的投入使用，内燃机汽车在给人们的生活带来便利的同时，其负面效应也逐渐凸显。内燃机汽车对石油资源的大量消耗和由此产生的尾气排放问题开始受到人们的关注和重视。特别是自从 20 世纪 70 年代的石油危机以来，日益严重的环境污染和日渐紧张的能源形势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，是国际节能与环保汽车发展的主攻方向，许多国家都开始投入大量资金研发电动汽车。尽管传统的内燃机汽车仍在当今世界汽车市场中占据主导地位，但发展清洁无污染的电动汽车已是大势所趋，也是世界各国的必然选择。20 世纪 80 年代至 90 年代，美国和日本的汽车企业开始尝试生产电动汽车，如克莱斯勒 TEVan 和丰田 RAV4 EV 等，而在其中最有影响力的是 1996 年通用汽车公司投产的 EV1 电动轿车。全球主要的汽车生产国及汽车企业都在加大电动汽车的研发力度，电动汽车开始逐渐从研制试验阶段走向商品生产及应用阶段，但是纯电动汽车的推广和使用仍然受到电池续航能力差、充电时间长等关键问题的困扰。

21 世纪初，尽管纯电动汽车的产业化受挫，但是在中国、美国、日本及欧洲，电动汽车的研发并没有就此止步，以纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车为代表的电动汽车产业步入了更大规模的研究和探索阶段。这一阶段以电力公司和跨国公司的参与及广泛采用高性能动力电池为主要特点，技术研发的重点是延长续航里程、缩短充电时间及解决充电基础设施问题。2006 年以后，随着全球节能环保呼声的日益高涨及各国、各大汽车公司对电动汽车技术逐渐形成比较一致的认识，纯电动汽车的开发在美国、欧洲、日本和我国都得到了进一步的重视，并向产业化和实用化的方向发展。发展电动汽车已成为减轻环境污染和解决石油危机的重要和有效可行的途径之一。与此同时，现代高新技术的发展、新材料的诞生及电子、电机和计算机技术的广泛应用，都极大地促进了电动汽车技术的更新和发展。

1.1.3 电动汽车的发展现状

电动汽车自 1881 年诞生开始经历了曲折起伏的几个发展阶段，其中影响电动汽车发展的最主要因素为动力电池技术和人们对环境、能源的关注程度。

与传统的内燃机动力汽车相比，电动汽车主要具有如下优点：

- ① 电动汽车全部或部分采用电力驱动，能源来源途径广；
- ② 可以改善能源消费结构、解决传统汽车的能源替代问题；
- ③ 有助于改善电网系统峰谷负荷的平衡问题；
- ④ 可以实现低排放甚至零排放行驶，具有良好的环境保护效果；
- ⑤ 电动汽车行驶噪声小，可有效减轻城市的噪声污染；
- ⑥ 电动汽车结构简单，使用维护方便；
- ⑦ 电动汽车可以回收制动能量并为车载储能装置充电，具有更高的能源综合利用效率。

由于具有上述显著优点，电动汽车必将成为新能源汽车技术发展的一个重要方向和 21 世纪的重要交通工具。根据统计机构提供的数据，迄今为止全球电动汽车（包括纯电动汽车和混合动力汽车）的累计总销量为 74 万辆，而 2014 年的销量几乎占到了这个数字的一半，其中 LEAF（聆风）、欧蓝德、Model S、沃蓝达和普锐斯是累计销量排名前五名的车型。

1.1.3.1 纯电动汽车

近年来，随着各国对纯电动汽车技术研发投入的不断加大，车用动力电池、电机及其控制器等关键技术取得了重大进展，电力电子技术、控制技术和信息技术的广泛应用使纯电动汽车技术得到了深入发展并日臻完善。由于产品的可靠性、使用寿命有了明显提升，成本得到有效控制，纯电动汽车技术在世界范围内得到了快速发展，一批装备有先进动力电池的纯电动汽车已经进入消费市场。

典型的纯电动汽车如图 1-5 所示。2008 年, 宝马汽车公司发布了纯电动汽车 MINIE 如图 1-5 (a) 所示, 该车型采用锂离子动力电池, 续航里程超过 240 km, 最高车速为 152 km/h, 百公里加速时间为 8.5 s。2014 年, 另一款宝马的电动汽车 i3 在国内正式上市, 包括纯电动和混合动力两种车型, 该车型的续驶里程为 160km, 标准充电时间为 8 h, 而在宝马专用充电装置下充电仅需 1 h。宝马 i3 的外形如图 1-5 (b) 所示。



(a) 宝马MINIE



(b) 宝马i3



(c) Tesla Model S



(d) 三菱iMIEV



(e) 北汽E150EV



(f) 日产LEAF

图 1-5 纯电动汽车

2009 年, 日产汽车公司发布了全球第一款经济型零排放汽车——NISSAN LEAF, 如图 1-5 (f) 所示。NISSAN LEAF 是一款中等大小的 5 座掀背两厢纯电动汽车, 采用由日产与 NEC 合资的 AESC 汽车能源公司生产的薄型化锂电池模块, 在完全充满电的情况下, LEAF 车型的最长续驶里程可达到 160 km。该车型搭载输出功率为 80 kW, 最大扭矩 280 N·m 的电动机, 最高车速为 140 km/h。为了提升电动汽车的实用性, 日产 LEAF 提供了两种充