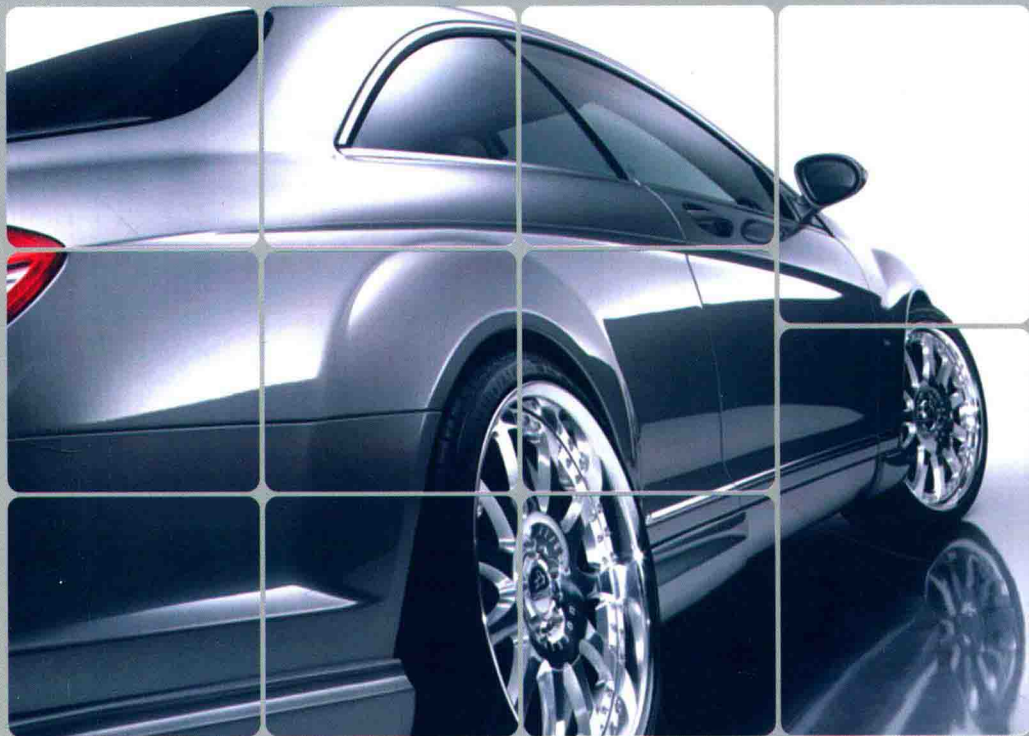


国家新能源汽车“十三五”重点规划 • 电动汽车系列教材



电动汽车概论



主 编 姜久春

副主编 时 玮 杜 欣 龚敏明



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

电动汽车概论

主 编 姜久春
副主编 时 玮 杜 欣 龚敏明



北京交通大学出版社
• 北京 •

内 容 简 介

本书主要介绍电动汽车的基本知识。全书共分6章,主要包括电动汽车的概述、分类、总体设计、电机驱动系统、动力电池及管理系统、电气系统。全书内容新颖、系统性强、条理清晰。读者通过阅读本书,可以对电动汽车技术有全面、系统的了解。本书适合作为车辆工程专业、电气工程专业、机械工程专业和计算机等相关专业的教材或参考书,也适合汽车工程技术人员、电动汽车从业人员,以及对电动汽车感兴趣的读者阅读。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车概论/姜久春主编. — 北京:北京交通大学出版社,2017.3

ISBN 978-7-5121-3139-2

I. ① 电… II. ① 姜… III. ① 电传动汽车—概论 IV. ① U469.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第015736号

电动汽车概论

DIANDONG QICHE GAILUN

责任编辑:贾慧娟 特约编辑:高 军 张瑞仁

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

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

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街44号

邮编:100044

印 刷 者:北京艺堂印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185 mm×260 mm 印张:13.25 字数:331千字

版 次:2017年3月第1版 2017年3月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-3139-2/U·255

印 数:1~2 000册 定价:33.00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 或 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

随着工业的快速发展,全世界在能源的供应和需求上存在严峻挑战,全球气候也面临巨大危机,这些因素使得电动汽车越来越受到人们的青睐。电动汽车成为汽车工业发展的趋势和方向,新能源汽车被确立为我国七大战略性新兴产业之一,在“十二五”规划中对新能源汽车产业提出“以纯电驱动为新能源汽车发展和汽车工业转型的主要战略取向,当前重点推进纯电动汽车和插电式混合动力汽车产业化,推进新能源汽车及零部件研究试验基地建设,研究开发新能源汽车专用平台,构建产业技术创新联盟,推进相关基础设施建设。重点突破高性能动力电池、电机、电控等关键零部件和材料核心技术,大幅度提高动力电池和电机安全性与可靠性,降低成本;加强电制动等电动功能部件的研发,提高车身结构和材料轻量化技术水平;推进燃料电池汽车的研究开发和示范应用;初步形成较为完善的产业化体系。建立完整的新能源汽车政策框架体系,强化财税、技术、管理、金融政策的引导和支持力度,促进新能源汽车产业快速发展。”规划明确指出全面实施电动汽车转型战略,重点支持电动汽车的技术研发。经过2008年北京奥运会、2010年上海世博会、2010年广州亚运会期间的成功示范,我国电动汽车从技术研发向产业化应用大步推进。

电动汽车涉及众多领域,包括机械、电子、电化学、控制等。为了配合和推动我国新能源汽车技术的深入研究和人才队伍的建设,目前迫切需要一系列新能源汽车相关的参考资料和教材。在这样的情况下,《电动汽车概述》作为电动汽车系列教材的第一部,以由浅入深的方式介绍了电动汽车的相关技术及知识,并结合北京交通大学电气工程学院新能源所在电动汽车科研及开发应用中多年积累的宝贵经验,重点讲述了电动汽车的电机驱动、电动汽车的动力电池系统和电动汽车的电气系统的基本工作原理。希望本书能为国内电动汽车领域的研发技术人员提供理论和实践的帮助。本书适合作为车辆工程专业、电气工

程专业、机械工程专业和计算机等相关专业的高校师生在进行车辆控制开发、优化设计的研究和学习时的教材或参考书，也适合汽车技术人员、电动汽车从业人员，以及对电动汽车感兴趣的读者阅读。

本书由姜久春教授担任主编，时玮、杜欣、龚敏明老师担任副主编。在编写期间，得到北京交通大学电气学院新能源所的大力支持，研究生王艺钊、白璐瑶、林稚松、王煌等分别协助进行了书稿资料的整理和部分相关章节的编写工作，在此对他们的工作表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中不妥之处，敬请各位读者谅解并提出宝贵意见，以便修订时予以纠正。

作 者
2016 年 12 月

目 录

第1章 概述	1
1.1 能源与交通运输的可持续发展	1
1.2 电动汽车的发展历史	8
1.3 电动汽车的发展趋势	15
第2章 电动汽车的分类	22
2.1 纯电动汽车	22
2.2 混合动力电动汽车	27
2.3 插电式混合动力电动汽车	34
2.4 燃料电池电动汽车	39
第3章 电动汽车总体设计	45
3.1 电动汽车的车身设计和基本组成	45
3.2 电动汽车动力参数的计算	52
3.3 影响电动汽车续驶里程的因素	68
3.4 几款典型新能源车型的参数介绍	73
第4章 电动汽车的电机驱动系统	80
4.1 电动汽车电机的分类	80
4.2 电动汽车电动机的控制	90
4.3 电机驱动系统的未来发展趋势	107
第5章 电动汽车的动力电池及管理系统	113
5.1 电动汽车动力电池技术	113
5.2 动力电池的特性	123

5.3	电动汽车对电池的要求	130
5.4	车用动力电池的发展趋势	132
5.5	车用动力电池管理系统	145
第6章	电动汽车的电气系统	160
6.1	电动汽车电气系统的组成	160
6.2	电动汽车的整车能量管理控制策略	164
6.3	电动汽车的车载充电技术	173
6.4	电气系统的电磁兼容和电气安全	183
参考文献		201

第1章

概述

在现代社会，城镇和工业的快速发展大大增加了人们对交通工具的需求，并迅速导致石油、天然气等资源的大量使用，同时急剧增长的汽车尾气排放又给已经恶化的空气质量加以更大的伤害。近年来，全球能源与环境气候的矛盾日益严峻，尤其在发展中国家，这一问题表现得更为突出，能源安全和环境保护问题已经成为全世界汽车工业面临的共同挑战。令人欣慰的是“大力发展节能与环保汽车”的新能源汽车战略已被全球汽车工业广泛采纳，并引起了世界许多国家的高度重视。

本章重点介绍世界范围内的能源现状与新能源汽车的发展现状，回顾了电动汽车的发展历史，简要介绍了电动汽车的国内外发展现状、技术路线及发展趋势。



1.1 能源与交通运输的可持续发展

1.1.1 能源与环境

能源的生产与消费对于世界经济至关重要，无论是生产商品，提供运输，还是保障设备的正常运转等，几乎所有的经济活动都需要消耗能源。能源已经是工业时代和现代社会最重要的生产资料。世界能源通常分为一次能源和二次能源。一次能源是指自然界中以原有形式存在的、未经加工转换的能量资源，又称天然能源。一次能源又分为可再生能源（水能、风能及生物质能）和非再生能源（煤炭、石油、天然气、油页岩等），

其中煤炭、石油和天然气是一次能源的核心，也是全球能源的基础。二次能源是指由一次能源加工转换而成的能源产品，如电力、煤气、蒸汽及各种石油制品等。

石油是传统汽车的主要动力来源，也是工业生产活动的必需品。根据 BP（英国石油）《世界能源统计 2015》显示，截至 2014 年年底，全球已探明的石油储量为 17 001 亿桶，以 2014 年的开采速度可开采 52.5 年。我们知道，已经探明的石油储量不能构成石油在地球中的总储藏量，在气候和开采条件适宜的地区，石油主要取自于地壳表层附近。然而其他的地区如西伯利亚和北美靠近北极的地区，尽管位于地壳下方的石油储量巨大，但由于气候条件恶劣及生态环保等问题，开采困难，也给地球石油总量的估算带来了一定的难度。R/P 值通常用来指示石油的可开采年数，R 表示埋藏量（reserve），P 表示生产量（production）。R/P 值自 20 世纪 50 年代起一直保持稳步上升，但随着石油消耗的快速增长，在 20 世纪 60 年代后的一段时期内，R/P 值下降到了 30 年，这意味着石油生产国的石油供应将不可持续，甚至会出现石油枯竭，因此直接导致中东地区实行突然紧缩的石油政策，并引发了第二次石油危机。

石油危机之后，随着开采技术的进步和已探明石油储量的不断增加，石油的可开采年数一直处于稳定的状态，R/P 值逐步稳定在了 40 年以上，但未来待发现的储油量是根据推测计算的，同时近期新发现的油田普遍开采条件较差，而且全球的石油消耗总量仍将继续增长。全球石油消费量在 1950 年为 5 亿 t，1980 年达到了 30 亿 t，2010 年则高达 40.3 亿 t。根据统计，世界一次能源总消费中，石油约占 34%、天然气占 24%、煤炭占 30%。虽然石油仍然是最重要的能源燃料，但是其所占的比例已开始连续下降。总体来看，世界范围内对石油资源的需求将维持年平均 1% 左右的增速，而以中国为代表的发展中国家对石油资源的消耗呈逐年快速增加的趋势。值得注意的是，伴随着石油资源的大量消耗，大气中污染物的浓度和二氧化碳排放量也大量增加。由于发展中国家人口大量聚居且经济增速较快，因此这些国家的石油消耗增速远远高于发达国家和地区。快速增长的石油需求对发展中国家的石油供应保障能力提出了更高的要求，能源安全问题所带来的压力也越来越大，同时局部地区的环境压力已经对经济的可持续发展构成了严重的挑战。

表 1-1 列出了 1982—2014 年 BP 发布的世界原油可开采年数的相关数据，可以肯定的是，虽然面对人口问题和经济问题的双重压力，但是发展中国家正在努力解决能源消耗与环境污染之间的矛盾。表 1-1 中的数据反映了全球的平均水平，其中发达国家在石油生产和石油资源方面的资金投入巨大，然而发展中国家和地区拥有的仅仅是庞大的市场及消费能力，直接导致了发达国家与发展中国家之间石油资源市场的严重不平衡。此外，天然气等主要化石能源的情况也与石油十分相似。

表 1-1 1982—2014 年 BP 发布的世界原油可开采年数

年份	年末储量 (R)/10 亿桶	年间生产量 (P)/10 亿桶	可开采年数 (R/P)/年
1982	725.6	20.9	34.7
1983	737.3	20.7	35.7
1984	774.4	21.1	36.7
1985	802.6	21.0	38.3
1986	907.7	22.1	41.1
1987	938.9	22.2	42.3
1988	1 026.7	23.1	44.4
1989	1 027.3	23.4	44.0
1990	1 027.5	23.9	43.1
1991	1 032.7	23.8	43.4
1992	1 039.3	24.1	43.2
1993	1 041.4	24.1	43.2
1994	1 055.6	24.5	43.1
1995	1 065.9	24.8	43.0
1996	1 088.7	25.6	42.6
1997	1 107.4	26.3	42.1
1998	1 092.9	26.8	40.8
1999	1 237.9	26.4	46.9
2000	1 258.1	27.4	45.8
2001	1 266.8	27.5	46.1
2002	1 321.5	27.4	48.3
2003	1 334.1	28.3	47.1
2004	1 343.7	29.7	45.3
2005	1 353.1	30.0	45.1
2006	1 363.9	30.1	45.2
2007	1 399.3	30.1	46.5
2008	1 471.6	30.4	48.5
2009	1 513.2	29.7	51.0
2010	1 621.6	30.4	53.3
2011	1 661.8	30.7	54.2
2012	1 687.3	31.6	53.5
2013	1 687.9	31.7	53.3
2014	1 700.1	32.4	52.5

1.1.2 交通与环境

交通运输是国民经济中的先行和基础产业，是制约经济与社会发展的一个重要因素。汽车作为被人们广泛采用的交通工具，主要以汽油、柴油或天然气等燃料作为能源。国际能源机构的统计数据表明，2001年，交通领域的石油消耗占全球石油消耗总量的57%，其中在美国交通领域的石油消耗占该国石油消耗总量的比重达到了67%，预计到2020年，全球交通领域的石油消耗在全球石油消耗总量中的比重将持续上升至62%以上。日本国立环境研究所的资料显示，1990—2008年这一时期内，日本全国汽车的二氧化碳排放量占社会总排放量的比重已达17%左右，仅次于发电行业。

我国的机动车保有量呈现出快速增长的趋势，从2000年的1 607万辆增长到2010年的8 500万辆，10年间增长了4.3倍。与此同时，截止到2010年，我国每千人的汽车保有量仅为60辆，说明我国汽车增长的潜力很大。图1-1列出了中国2005—2014年汽车产销量和保有量的变化情况，我国已连续4年成为世界汽车产销第一大国。2012年，我国汽车保有量超过1.2亿辆；2014年年末，全国民用汽车保有量达到了15 447万辆，增长12.4%，千人保有量达到105辆。综合各种预测，预计到2020年，我国汽车保有量将超过2亿辆，与2014年的机动车保有总量相当。随着汽车保有量的不断增加，汽车排放对环境污染的程度将进一步加大。

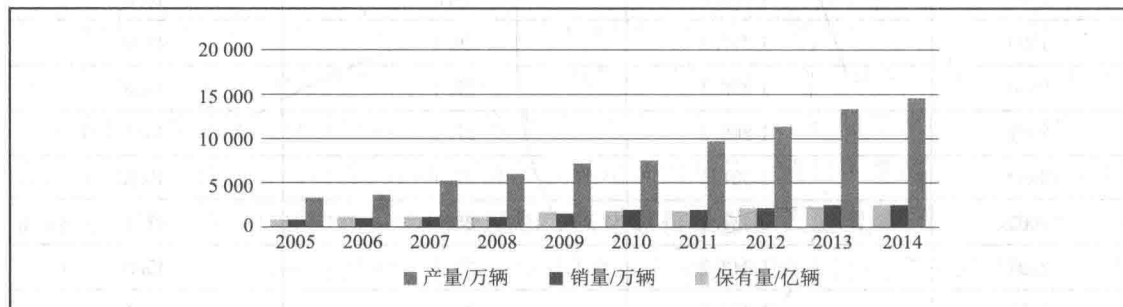


图 1-1 中国 2005—2014 年汽车产销量和保有量的变化情况

近年来，汽车尾气污染已成为我国空气污染的重要来源，也是造成灰霾、光化学烟雾污染的主要原因。传统燃油汽车在行驶过程中会产生大量的有害气体，汽车尾气排放的主要污染物为一氧化碳（CO）、碳氢化合物（HC）、氮氧化物（NO_x）、铅（Pb）、颗粒物（PM）及硫化物等，不仅会造成严重的环境问题，而且还直接对居民的健康造成影响。根据我国环保部公布的数据，按排放标准分类，达到国Ⅳ及以上标准的汽车占10.1%，符合国Ⅲ标准的汽车占51.5%，符合国Ⅱ标准的汽车占15.7%，符合国Ⅰ标准的汽车占14.9%，其余7.8%的汽车达不到国Ⅰ标准。按环保标志分类，“绿标车”

占 86.6%，高排放的“黄标车”仍占 13.4%。尤其值得注意的是，随着机动车保有量的快速增长，我国的城市空气开始呈现出煤烟和机动车尾气复合污染的特点。由于机动车大多行驶在人口密集的区域，尾气排放将会直接影响群众健康。2012 年，全国机动车排放污染物 4 612.1 万 t，但 4 项主要污染物的排放总量与 2011 年基本持平，其中氮氧化物（ NO_x ）为 640.0 万 t，颗粒物（PM）为 62.2 万 t，碳氢化合物（HC）为 438.2 万 t，一氧化碳（CO）为 3 471.7 万 t。汽车尾气排放是 4 种主要污染物总量的主要构成来源，其排放的 NO_x 和 PM 贡献了总量中超过 90% 的比例，HC 和 CO 贡献了总量中超过 70% 的比例。按车型分类，全国货运车辆排放的 NO_x 和 PM 明显高于客运车辆，其中重型货车是主要来源；而客车的 CO 和 HC 排放量则明显高于货车。按燃料分类，全国柴油车排放的 NO_x 接近该污染物汽车排放量总量的 70%，排放的 PM 则超过汽车颗粒物排放总量的 90%；而汽油车 CO 和 HC 的排放量则较高，超过排放总量的 70%。按排放标准分类，仅占全国汽车保有量 7.8% 的国 I 标准的汽车，其排放的 4 种主要污染物占排放总量的 35% 以上；而占保有量 61.6% 的国 III 及以上标准的汽车，其主要污染物的排放量还不到排放总量的 30%。按环保标志分类，仅占汽车保有量 13.4% 的“黄标车”却排放了各主要污染物总量中 58.2% 的 NO_x 、81.9% 的 PM、52.5% 的 CO 和 56.8% 的 HC。

2013 年 9 月，国务院批准发布了《大气污染防治行动计划》，对大气中细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）的治理工作提出了更高的要求，机动车污染的防治成为了关键措施。例如，在北京市全年 $\text{PM}_{2.5}$ 的来源中，区域传输占 28%~36%，本地污染源排放则占 64%~72%。在本地污染源中，机动车、燃煤、工业生产和扬尘为主要来源，其中机动车所占比例约为 32%。一方面，机动车直接排放细颗粒污染物 $\text{PM}_{2.5}$ ；另一方面，机动车排放的挥发性有机物和氮氧化物等是 $\text{PM}_{2.5}$ 中二次有机物和硝酸盐的“原材料”，而且机动车的行驶还对道路扬尘的产生起到了“搅拌器”的作用。汽车尾气排放已成为影响我国空气质量的突出因素，为此我国《大气污染防治行动计划》已经提出要加强城市交通管理，同时提升燃油品质，加速黄标车和老旧车辆的淘汰。

我国汽车的燃油消耗量十分庞大且增长迅速，根据 BP 发布的统计数据：截至 2014 年年底，中国石油探明储量为 25 亿 t（折合 185 亿桶），仅占全球总储量的 1.1%，储产比仅为 11.9。由此可见，我国石油对外依存度畸高，2015 年我国石油对外依存度高达 60.6%。据预测，到 2030 年，我国石油消耗量的 80% 需要依靠进口。2012 年全球原油进口额为 16 966.12 亿美元，同比增长 5.5%。美国原油进口总金额为 3 218.59 亿美元，占全球原油总进口额的 18.97%；2012 年中国原油进口金额为 2 207.94 亿美元，进口总量为 27 097.96 万 t，进口金额在全球石油总进口额中的占比为 13.01%，是全球第二大原油进口国。2015 年，我国进口原油 3.34 亿 t，较 2014 年增长 8.8%。我国于 2001 年年底加入世界贸易组织（WTO），自 2002 年之后的 10 年间，汽车保有量的快速增长推

动了我国汽油和柴油需求规模的高速增长。2012 年,我国的汽油和柴油消费量分别达到了 8 684 万 t 和 16 972 万 t,同比 2001 年的 3 548 万 t 和 7 407 万 t,年均复合增长率分别为 8.48% 和 7.8%。2014 年成品油的表观消费量达到了 26 928 万 t,相比 2012 年增长 5.0%。各种数据表明,汽车对石油资源的消耗既严重加大了我国石油的进口依存度,同时也带来了严峻的环境问题。一方面,我国在生产无法满足需求的情况下,通过石油贸易手段获取石油资源将消耗巨额的资金;另一方面,在汽车保有量持续增长的背景下,我国在汽车尾气治理和改善环境方面的资金投入势必会越来越高。

1.1.3 电动汽车的机遇

1. 机遇一: 能量利用率必须提高

电动汽车是相对于内燃机汽车的一种汽车类型,它至少包含一种动力单元为车载电源,可以全部或部分由电能驱动。电动汽车的意义在于车载能源来自于电能而不是汽油、柴油等化石能源。电能驱动的电动汽车可以有效改善能源结构,也有利于解决汽车的能源替代问题,还可以降低尾气排放。据测算,将原油提炼成汽油、柴油并用于内燃机汽车驱动时,平均能量利用率仅为 12% 左右。而且实际上,内燃机汽车的能量变换效率只是发动机单体的效率,汽油的能量仅 10%~15% 转换为驱动力,停车的怠速、急加速、制动减速等行驶模式都增加了无效的燃料消耗,汽油的最终转换效率甚至在 7% 以下。纯电动汽车即使仅使用燃烧重油发电,其能量经重油提炼、电厂热电转换、电力输配、电池充电和电机损耗等环节,在电机输出轴也可得到 20% 左右的能量,所以电动汽车从原油到车轮驱动的能量转换效率要高于燃油汽车。若增加可再生能源的发电比例,电动汽车的能量利用率将显著增加。图 1-2 介绍了几种不同动力汽车的能量利用率。

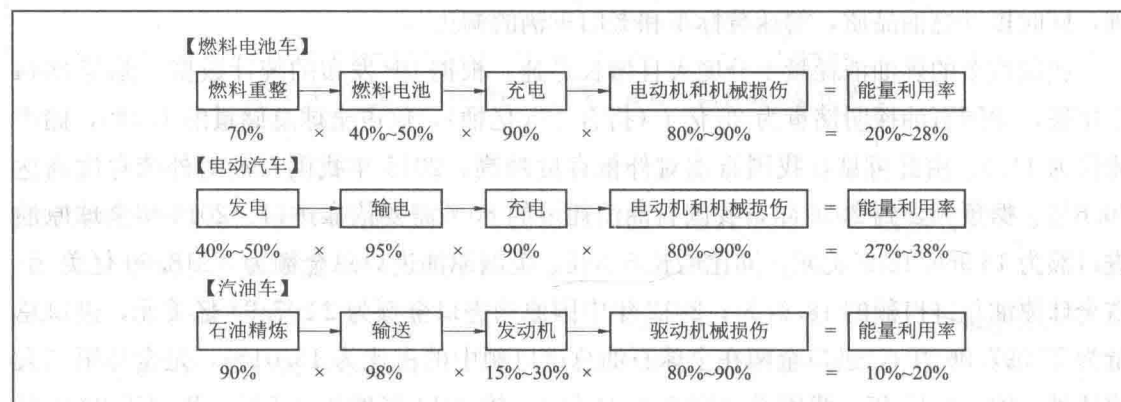


图 1-2 不同动力汽车的能量利用率

2. 机遇二：能源替代必须解决

世界汽车产业能否实现可持续发展，必须解决能源替代的问题，从图 1-3 可以看出，汽车的动力能源的选择具有可替代性，石油资源的紧缺使得以天然气与清洁电力为燃料的新能源汽车逐步取代传统内燃机汽车成为一个紧迫的需求。大力发展节能与新能源汽车，在降低汽车油耗的同时，加大天然气、生物质、电能、氢能等能源形式的使用力度，是汽车能源来源和发展战略的必然选择。

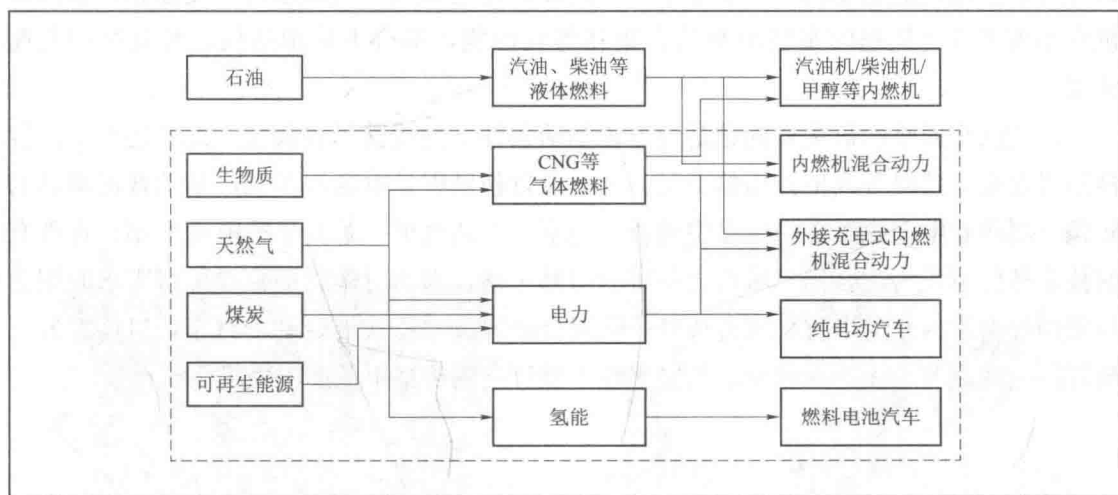


图 1-3 汽车动力能源主要类型

3. 机遇三：电动汽车改变汽车族的生活

除了能量利用率高及可替代清洁能源外，各种电动汽车在道路行驶过程中的碳排放可以得到大幅度的减少，纯电动汽车还能实现零排放，显著降低了城市区域的空气污染程度。由于电能相对廉价，因此可以为电动汽车的使用者在很大程度上节约燃料开销。另外，纯电动汽车在行驶过程中除了气流声和轮胎的胎噪外没有其他噪声，能够显著降低汽车的噪声污染。此外，电动汽车在性能方面也拥有众多优点，如加速性能优越、驾驶平稳等，因此也吸引了车主们的广泛关注。随着汽车工业的发展及科技的进步，电动汽车的性能会逐步赶超传统的内燃机汽车，电动汽车将迎来更好的发展机遇。

我国制定和发布实施的《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：新能源汽车是指采用非常规的汽车燃料作为动力来源（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。面对能源紧缺与环境污染的挑战，发展节能与新能源汽车技术已成为必然。新能源汽车包括混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池电动汽车、氢能源动力汽车和其他类型的新能源汽车等。

电动汽车驱动系统的最主要部件是电动机，并且在各项性能指标中，电动机几乎都优于传统的燃油发动机。在相同的功率输出下，电动机具有更小的体积和更小的质量，并且还具有运动部件少、噪声小和维护少的优点。电动机不需要点火系统、供油系统和排气系统，并且电动机的效率也非常高，发热量小。更重要的是，电动机往往有较高的转矩、较宽的额定转矩输出范围，因此能够有效地将起步加速性能与巡航时的优良性能结合在一起。传统燃油汽车的内燃机在拥挤的城市道路条件下的工作效率很低，然而拥有大功率电动机的电动汽车则明显不同。此外，纯电动汽车可以不使用变速箱，而内燃机汽车为了提高低速时车辆的驱动力矩和驾驶性能，不得不采用结构非常复杂的变速装置。

电动汽车面临的最主要问题是纯电动驱动条件下的续驶里程较短，此外还有电池价格昂贵及充电费时等其他方面的不足。充电及行驶里程是电动汽车推广早期普遍遇到的瓶颈，制约着电动汽车在消费者中的普及速率。电动汽车（尤其是纯电动汽车）在现有的技术条件下较为适合用作城市上下班的通勤车辆，当面对偶尔的长途旅行需求时则必须安排好沿途的充电事宜，或者选择一辆混合动力或增程式混合动力汽车，目前世界上最好的电动汽车也无法在远距离驾驶里程上超过一辆价格很低的内燃机汽车。



1.2 电动汽车的发展历史

1.2.1 电动汽车的出现

电动汽车最早出现在英国。1830 年，苏格兰发明家罗伯特·安德森（Robert Anderson）成功地将电动机安装在一部马车上，随后与托马斯·戴文波特（Thomas Davenport）合作，制作出世界上第一部以电池为动力的电动汽车。该车采用的是不可充电的玻璃封装蓄电池，自此开创了电动车辆发展和应用的历史。这比德国人戈特利布·戴姆勒（Gottlieb Daimler）和卡尔·本茨（Karl Benz）发明的汽油发动机汽车早了数十年。

电池是早期电动汽车唯一的能量存储装置。在 19 世纪，开发电动汽车需要的动力电池在能量密度、功率密度及使用寿命等方面还远不能满足人们对高速行驶的交通工具的要求。1860 年，法国科学家普兰特·加斯东（Plant Gaston）发明了可重复使用的铅

酸电池，之后经历了 20 多年的持续改进，铅酸电池在系统设计和制造工艺方面有了很大的进步，从而拥有了商业价值。随后，可充电的镍镉电池和镍铁电池也进入了市场。

1881 年，法国巴黎的街头上出现了世界上第一辆以可充电电池为动力的电动汽车。它是法国工程师古斯塔夫·图沃（Gustave Trouve）装配的以铅酸电池为动力的三轮车，该车如图 1-4 所示。

19 世纪末，许多美国、英国和法国的公司都开始生产电动汽车。最早的电动汽车制造厂是由 Morris 和 Salom 所拥有的电动客车和货车公司。另一个比较早的电动汽车生产商是 Pope 制造公司，到 1898 年年底，Pope 造了大约 500 辆 Columbia 型电动汽车。英国的伦敦电动出租汽车公司在 1897 年生产了 15 辆电动出租车，该车型如图 1-5 所示。



图 1-4 以铅酸电池为动力的电动三轮车

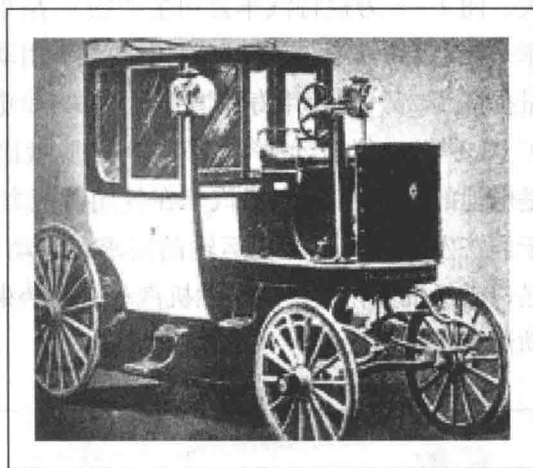


图 1-5 19 世纪末的电动出租车

法国的 BGS 公司在 1899—1906 年也生产了几种不同类型的商用型电动汽车，包括小汽车、货车、客车和豪华轿车。

1899 年 5 月，比利时的电动赛车“La Jamais Contente”（永不满足）创下了时速 110 km 的纪录，也是世界上第一辆时速超过 100 km 的汽车。

在 1890 年，全世界共拥有 4 200 辆汽车，其中有 38% 是电动汽车，40% 是蒸汽机汽车，仅有 22% 是内燃机汽车。1900 年，美国制造的汽车中电动汽车为 15 755 辆，蒸汽机汽车为 1 684 辆，而汽油机汽车只有 936 辆。到 1912 年美国拥有至少 3.4 万辆电动汽车，而全世界范围内已经拥有几十万辆电动汽车，被广泛使用于出租车、送货车和公共汽车等领域。

贝克电气公司（Baker）是当时美国最重要的电动汽车制造商，其生产的电动汽车采用传动轴代替链条传递动力，并且价格也相对低廉。底特律电气公司（Detroit