



全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材



电动汽车基础理论与设计

杨世春 主编
徐 斌 姬芬竹 彭朝霞 副主编

清华大学出版社

全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材



电动汽车基础理论与设计

杨世春 主编
徐 斌 姬芬竹 彭朝霞 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以电动汽车设计为主线,全面介绍电动汽车整车、动力系统构型及核心部件的基本原理和关键技术。全书共10章,首先介绍电动汽车涉及的相关基础理论和两大核心动力部件,然后分别介绍混合动力汽车、燃料电池电动汽车整车及关键零部件设计相关理论和关键技术,另外专门分章节介绍电动汽车电控技术、再生制动系统设计和电动汽车电磁兼容理论与设计等内容。

本书将基础理论与设计实例相结合,可以作为电动汽车相关专业本科生或研究生教材,同时也可以作为电动汽车行业从业人员的参考资料。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车基础理论与设计/杨世春主编. —北京:清华大学出版社,2018

(全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材)

ISBN 978-7-302-50652-2

I. ①电… II. ①杨… III. ①电动汽车—基础理论—研究生—教材 ②电动汽车—设计—研究生—教材 IV. ①U469.720.1 ②U469.720.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第158323号

责任编辑:许 龙

封面设计:何凤霞

责任校对:赵丽敏

责任印制:丛怀宇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市吉祥印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19

字 数:460千字

版 次:2018年7月第1版

印 次:2018年7月第1次印刷

定 价:52.00元

产品编号:073200-01

我国已成为全球第一大新能源汽车市场。2016年全年新能源汽车销量为50.7万辆；预计2020年新能源汽车销量将达到汽车市场需求总量的5%以上，2025年将增至20%左右，2030年新能源汽车销量将超过1000万辆。新能源汽车的大规模发展是有效缓解我国能源与环境压力，推动汽车产业技术创新与转型升级的重要战略举措。我国已将电动汽车作为抢占世界新一轮经济和科技制高点的重大战略方向。

电动汽车技术涉及面广，内容繁多。本书是作者根据多年的教学经验和科研工作体会编写的，主要以混合动力电动汽车设计为主线，全面介绍了电动汽车的各组成部分和系统的关键技术。全书共分为10章。第1章讨论电动汽车的分类、关键技术以及发展现状；第2章讨论车辆动力学基础，包括车辆纵向动力学和车辆传动装置动力学；第3章介绍电动汽车动力电池和能量存储系统，包括电池分类、工作机理、管理系统及使用维护；第4章介绍电动汽车驱动电机的分类和选型原则；第5章阐述混合动力驱动系统设计原理和控制策略；第6章分析纯电动汽车整车设计；第7章介绍燃料电池汽车的设计原理，包括DC/DC转换技术、燃料电池参数设计及设计实例；第8章介绍电动汽车整车控制策略，包括CAN网络、能量管理控制策略及故障诊断；第9章介绍电动汽车再生制动系统设计，包括电动汽车制动力分配、再生制动控制策略以及案例分析；第10章介绍电动汽车电磁兼容理论与设计。书中翔实地介绍了电动汽车相关技术，同时还有一些设计实例，便于读者理解和借鉴。

本书第1,4,5,6,7,10章由北京航空航天大学杨世春老师编写；第8章由北京航空航天大学徐斌老师编写；第9章由北京航空航天大学姬芬竹老师编写；第2,3章由北京航空航天大学彭朝霞老师编写。全书由杨世春统稿。

本书在收集资料和电子文档编辑整理的过程中得到了曹耀光博士、余江硕士的帮助，在编写过程中也得到了北京航空航天大学新能源汽车工程学科建设的大力支持，在此一并表示感谢。

本书在编写过程中引用了参考资料的相关内容，在此向所有参考文献的作者致以诚挚的谢意。

由于国内外电动汽车技术的快速发展和新技术的不断出现，加之作者水平和经验所限，书中恐有遗漏和不足之处，恳请广大读者和专家评判指正。

第 1 章 电动汽车的发展现状	1
1.1 电动汽车产业化发展	1
1.1.1 国外电动车发展新形势	2
1.1.2 汽车电动化技术全面快速发展,主要企业技术发展 战略趋于一致	3
1.1.3 我国新能源汽车产业发展概览	4
1.2 电动汽车是未来发展趋势	5
1.2.1 主要政策宏观导向分析	9
1.2.2 政府和企业共同推动基础设施建设,开展了多种 商业模式探索	11
1.2.3 新能源汽车分时租赁的趋势及展望	12
1.3 电动汽车的关键技术	13
1.3.1 整车技术	13
1.3.2 电池及能量管理技术	13
1.3.3 驱动电机及其控制技术	14
1.3.4 整车控制技术	15
1.3.5 电动车充电技术	16
1.3.6 燃料电池技术	17
1.4 电动汽车的分类及其发展现状	18
1.4.1 混合动力电动汽车	18
1.4.2 纯电动汽车	28
1.4.3 燃料电池电动汽车	31
第 2 章 车辆动力学基础	33
2.1 车辆纵向动力学	33
2.1.1 车辆阻力	33
2.1.2 车辆动力学方程	38
2.1.3 纵向轮胎力与滑移率	39
2.1.4 法向载荷	41

2.1.5	轮胎有效半径	42
2.1.6	驱动力和车速	43
2.2	车辆动力性能	45
2.2.1	最高车速	45
2.2.2	爬坡能力	46
2.2.3	加速性能	47
2.3	车辆制动性能	48
2.3.1	制动力	49
2.3.2	前后轮轴上的制动力分布	50
第3章	电动汽车动力电池	55
3.1	电动汽车对动力电池的要求	55
3.2	电动汽车动力电池分类及特点	56
3.2.1	铅酸电池	56
3.2.2	镍-镉电池	61
3.2.3	镍-氢电池	62
3.2.4	钠-硫电池	65
3.2.5	钠-氯化镍电池	66
3.2.6	锂离子电池	67
3.2.7	锂聚合物电池	70
3.2.8	金属空气电池	70
3.2.9	超级电容器	73
3.3	电动汽车动力电池的应用及发展	78
3.3.1	电动汽车动力电池的工作特点	78
3.3.2	动力电池充电	80
3.3.3	电池管理系统	87
3.3.4	电池的使用和维护	92
第4章	电动汽车驱动电机	96
4.1	电动汽车对驱动电机的要求	96
4.2	直流电机	96
4.2.1	直流电机的结构	96
4.2.2	直流电机的工作原理及运行特性	98
4.3	异步电机驱动	102
4.3.1	异步电机的结构	103
4.3.2	异步电机的工作原理及运行特性	105
4.4	永磁电机	109
4.4.1	永磁体	109
4.4.2	永磁同步电机	110

4.4.3	永磁无刷电机	116
4.5	开关磁阻电机	123
4.5.1	开关磁阻电机的性能	124
4.5.2	开关磁阻电机与异步电机系统比较	125
4.6	驱动系统电机的选择	126
4.6.1	电机类型选择	126
4.6.2	额定电压选择	127
4.6.3	额定转速选择	128
4.6.4	额定功率选择	128
4.6.5	额定转矩选择	128
第 5 章	混合动力驱动系统的设计	129
5.1	混合动力驱动系统的结构和设计目标	129
5.1.1	驱动系统的结构	129
5.1.2	串联式混合动力驱动系统	130
5.1.3	并联式混合动力驱动系统	132
5.1.4	设计目标	146
5.2	串联混合动力系统设计	146
5.2.1	电耦合装置	146
5.2.2	牵引电机额定功率值的设计	150
5.2.3	发动机/发电机额定功率值的设计	152
5.2.4	峰值电源设计	155
5.3	并联混合动力系统设计	156
5.3.1	运行模式	156
5.3.2	控制策略	158
5.3.3	并联式驱动系统参数的设计	161
5.4	混联混合动力系统设计	168
5.4.1	运行模式	168
5.4.2	混联混合动力系统控制策略	170
第 6 章	纯电动汽车整车设计	174
6.1	纯电动汽车动力系统	174
6.2	电动汽车辅助系统	175
6.2.1	电动空调系统	175
6.2.2	电动助力转向系统	179
6.2.3	电动真空助力制动系统	181
6.3	纯电动汽车高压电安全设计	184
6.3.1	漏电检测	185
6.3.2	器件的选择	189

第 7 章 燃料电池汽车设计	191
7.1 燃料电池汽车结构	191
7.1.1 燃料电池系统	194
7.1.2 DC/DC 变换器	196
7.1.3 驱动电机及其控制系统	198
7.1.4 辅助电池及其管理系统	198
7.2 燃料电池工作原理	199
7.3 燃料电池汽车控制策略	201
7.4 燃料电池汽车参数设计	204
7.4.1 电机参数确定	205
7.4.2 燃料电池系统功率设计	207
7.4.3 峰值电源的功率和能量设计	207
7.5 设计实例	209
第 8 章 电动汽车整车控制策略	211
8.1 电动汽车电子控制系统	211
8.1.1 整车控制系统	211
8.1.2 底盘控制系统	215
8.1.3 安全控制系统	217
8.1.4 信息电子控制系统	219
8.2 CAN 总线在电动汽车上的应用	221
8.2.1 车载网络总线概述	221
8.2.2 CAN 总线的应用	223
8.3 电动汽车能量管理控制策略	226
8.3.1 纯电动汽车能量管理控制策略	227
8.3.2 混合动力汽车能量管理控制策略	227
8.3.3 燃料电池汽车能量管理控制策略	230
8.4 整车故障诊断功能	231
8.4.1 电动汽车的故障诊断	232
8.4.2 电动汽车故障诊断的基本流程	232
8.4.3 故障诊断通信协议简介	233
第 9 章 电动汽车再生制动系统设计原理	234
9.1 再生制动概述	234
9.1.1 再生制动基本原理	234
9.1.2 市区行驶时的制动能量损耗	235
9.1.3 再生发电理论基础	235
9.1.4 再生制动系统结构	236

9.2	再生制动的功率转换电路	237
9.2.1	斩波器的基本工作原理	238
9.2.2	升压斩波器工作原理	239
9.2.3	电动汽车再生制动系统原理	240
9.2.4	再生制动的简化数学模型	242
9.2.5	再生制动的影响因素	242
9.3	电动汽车制动力分配	243
9.3.1	制动过程的动力学分析	243
9.3.2	传统汽车制动力的分配	245
9.3.3	电动汽车制动力的分配	247
9.4	典型再生制动控制策略	248
9.4.1	并行再生制动系统控制策略	249
9.4.2	最佳制动能量回收控制策略	249
9.4.3	理想制动力分配控制策略	250
9.5	再生制动案例分析	251
9.5.1	再生制动力分配	251
9.5.2	仿真结果分析	253
第 10 章	电动汽车电磁兼容理论与设计	256
10.1	电磁场理论基础	256
10.1.1	矢量分析	256
10.1.2	麦克斯韦方程组及边界条件	258
10.1.3	坡印廷定理	259
10.1.4	均匀平面波	260
10.2	电动汽车电磁干扰源分析	261
10.2.1	电动汽车动力总成控制器	261
10.2.2	DC/DC 变换器系统干扰源分析	262
10.2.3	电机的电磁干扰	266
10.3	电动汽车主要干扰传播途径	266
10.3.1	传导耦合	267
10.3.2	辐射耦合	268
10.3.3	电动汽车动力总成控制器耦合途径	268
10.4	电动汽车电磁兼容设计方法	276
10.4.1	接地设计	276
10.4.2	屏蔽设计	279
10.4.3	滤波设计	284
10.4.4	瞬态噪声抑制	289
10.4.5	动力总成控制器的电磁兼容设计方法	291
	参考文献	293

第1章 电动汽车的发展现状

1.1 电动汽车产业化发展

国际金融危机后,汽车电动化这一革命性的技术创新,推动全球汽车产业格局发生重大调整,未来20~30年将是世界新能源汽车产业格局形成的关键时期。美国、日本、德国等世界主要汽车强国,都将发展新能源汽车上升到国家战略的高度,积极开发和应用以动力电池为核心的汽车电动化技术,加快推进电动汽车产业化进程。

我国汽车产业自加入WTO以来经历了爆发式增长,从规模来看已经成为汽车生产大国,但大而不强,在能源环境、自主创新、产业转型升级、提升国际竞争力等方面还面临多重压力。大力发展新能源汽车,既是解决我国能源和环境问题的新途径,也是培育自主创新能力、提升国际竞争力的重要举措,这一点已经成为我国政府和业界的高度共识。

就当前的发展形势而言,电动汽车的发展已经超出预期,表现在全球范围内销量持续增长,尤其是在中国。由于治理雾霾目标明确,政府发展电动汽车的决心进一步增大。根据中国汽车工程学会2016年发布的《节能与新能源汽车技术路线图》,到2030年我国电动汽车产销量将超过1000万辆,占当年汽车产销总量的40%。按照每车年消耗石油1t的水平粗略估计,电动汽车的发展可有效替代近1亿t的石油消费。需要说明的是,中国的电动汽车发展规划以及相关目标的提出并不是“一枝独秀”,而是顺应了行业发展趋势,与世界保持同步。相比欧洲一些国家计划在未来若干年禁止销售燃油车的做法,中国的举措显然要温和许多。一些著名的世界汽车公司基于未来汽车产业发展形势的变化,目前正在计划大力发展电动汽车。总之,电动汽车一直没有停下发展的脚步。

我国电动汽车产业化具备一定的资源、技术、市场条件,在国家政策的大力推动下,技术取得较大进步。但与传统汽车相比,不仅技术基础不同,而且基础设施和商业模式也不同;产业化的瓶颈不单是技术和制造成本,而是涉及各参与主体利益的调整和重新平衡。新兴产业跨行业、跨领域的特点,决定了电动汽车发展合作大于竞争,因此不能关起门来,自成一统,必须“打开窗户”,合作竞争。

根据中国汽车工程学会2016年发布的《节能与新能源汽车技术路线图》,未来将以新能源汽车和智能网联汽车为主要突破口,以能源动力系统优化升级为重点,以智能化水平提升为主线,以先进制造和轻量化等共性技术为支撑,全面推进汽车产业的低碳化、信息化、智能化和高品质。同时,在产业化发展上,要避免急于求成,过度追求规模目标,而忽视了核心技

术进步。应在充分发挥市场机制对适用性技术和产品的筛选作用的同时,通过产业规模和核心技术的相互促进,推动电动汽车产业化协调发展。

1.1.1 国外电动车发展新形势

目前,美国决定退出巴黎气候协定,短期内对美国传统汽车产业可带来利好。但对于美国汽车产业而言,如果因此而放慢新能源汽车产业的脚步,走上注重传统燃油汽车的老路,从历史、趋势乃至应对对手的角度,都无疑是饮鸩止渴的行为。此外,美国社会对电动汽车支持声音也越来越大,如美国肺协会加州分会曾发表报告呼吁美国人使用电动汽车,因为燃油汽车排放的有毒物质给社会造成巨大的经济和健康损失。除了外部环境,美国电动汽车产业自身状况也呈现快速发展势头。除了特斯拉,美国传统三大汽车巨头都非常重视电动汽车研发,不断丰富电动汽车产品线。新能源车的续驶里程越来越长,也让消费者越来越不必担心电动汽车会因为电力耗尽而中途抛锚,对其接受度越来越高。在商业竞争中不允许犯错,对于美国汽车产业而言,特别是在新能源汽车领域,正在迎来历史上最为危险的时期。

2017年欧洲《汽车新闻》中提到,欧洲的汽车动力转型正在加速。德国戴姆勒集团以及其他汽车制造商为扩大其电动汽车生产,建设了更多的动力总成工厂。2017年5月,戴姆勒旗下全资子公司 Accumotive 投资约5亿欧元在德国 Kamenz 兴建全新的超级电池工厂,并预计在2018年投入使用,该工厂未来将为戴姆勒集团旗下梅赛德斯-奔驰等品牌生产的电动汽车提供电池组,这是戴姆勒在位于 Kamenz 基地建设的第二个电池工厂。戴姆勒还宣布计划在德国 Untertuerkheim 的工厂增加电池系统以及车桥组件的生产,这些组件将被用在奔驰 eq 电动汽车品牌中。到2025年,电动汽车销售量将占全球汽车销售量的15%~25%,这也是戴姆勒进行如此大的变革的原因。生产发动机、变速箱和支持电动汽车传动系统的工厂也从去年的91家增加到了今年的96家,工厂部分建在欧洲、土耳其和其他地区。

随着电动车款逐步发展,充电网络也逐渐完善,欧洲消费者似乎也越来越愿意尝试购买行驶中零排放的纯电动车款,消费习惯的逐步转移让2017年欧洲电动车款销量增长38%,对比2016年同期仅增长2.9%,显然是一股不容小觑的趋势。根据欧洲汽车制造商协会的数据,2017年第一季度,全欧洲共销售32627辆纯电力驱动车款,这样的数字对比同一时期全欧共销售189万辆燃油新车来说虽然不甚起眼,但高达38%的增长率却也代表消费者越来越愿意接受纯电动车款。欧洲前五大汽车市场当中,3个月之内以德国超过5000辆的电动汽车销售表现最抢眼,其次则为英国与西班牙。这样的销售成绩当然与各国政府推出的各项优惠与税制调整有关,其次快速充电网络的布建与先前 Volkswagen 集团爆发的柴油门事件,都让消费者愿意转而尝试更为洁净、环保的电动车款。此外,欧洲市场销售表现最好的 RenaultZoe 车款更在日前改款中大幅延长充电续航里程,从原有约240km提升至400km,与汽油车相近的单次续航里程能够大幅减缓电动车旅程焦虑问题,也间接在销售增长中扮演了推手角色。

法国能源部长 NicolasHulot 也表示,计划从2040年开始,法国将全面停止出售汽油车和柴油车。当然,这个变化肯定不是一瞬间完成的,需要过渡阶段。NicolasHulot 还表示,为了淘汰使用超过20年及在2001年前出售的汽油车,法国将推出税收优惠政策。法国还

将终止在法国领土上的石油和天然气开发,2022年之前关闭所有火力发电厂,鼓励家庭自主生产能量。虽然该目标达成比较有难度,但也是全球大多数国家自愿减少气候变化做出的贡献。德国、荷兰和印度也有类似的计划,时间期限在2025年到2030年之间。沃尔沃也已经宣布,到2019年新推出的每一款汽车车型都将配备电动发动机,到2024年将全面终止内燃机汽车业务。

1.1.2 汽车电动化技术全面快速发展,主要企业技术发展战略趋于一致

混合动力汽车技术成熟并得到大规模应用。乘用车的并联和混联的混合动力技术成熟,节油效果明显,得到了大规模应用,已成为混合动力乘用车的主流技术方案,其中,并联混合动力代表是本田IMA(Integrated Motor Assist)系统,第四代IMA系统已应用在Civic Hybrid车上。混联混合动力代表是丰田THS(Toyota Hybrid System),第三代THS已应用在Prius、Camry Hybrid等多种车上。商用车领域的混合动力技术应用加快,串联、并联及混联三种技术方案并存发展。

插电式混合动力汽车技术处于研发到产品化阶段。主要依赖于普通混合动力汽车技术,在产品技术方案上包括串联插电式混合动力汽车和混联插电式混合动力汽车,前者的代表车型是美国通用Volt,后者的代表车型是丰田的Plug-in Prius和本田的Inspire。两者区别在于串联式以纯电行驶为主,纯电行驶里程较长;混联式以混合动力行驶为主,纯电行驶里程较短。

纯电动乘用车成为国际研发重点。技术研发主要集中在乘用车上,满足日常短途行驶需求的小型纯电动乘用车成为主流产品技术,如日产Leaf、三菱i-MiEV、奔驰Smart ED等车型。在技术方案上,电驱动系统技术方案主要有集中驱动和分布式驱动两种模式。前者的代表车型有日产Leaf、三菱i-MiEV和奔驰Smart ED,后者的代表车型有标致BM、WILL样车、奥迪e-tron、三菱Lancer 2005、丰田IQ等。

燃料电池汽车技术日趋成熟,商业化预期大大提前。在技术方案方面,电-电混合技术方案成为当前发展重点,即燃料电池与动力蓄电池混合,这有利于利用动力电池回收制动能及调节燃料电池产生的电能。燃料电池汽车在技术可靠性和成本控制等方面取得了长足进步,代表车型包括奔驰B-Class F-Cell、丰田FCHV-adv、通用-欧宝SUV Hydro Gen 4和本田FCX Clarity等。

动力电池技术近年来迅速发展,已完全满足混合动力汽车的技术要求,但距离高性能纯电动汽车技术要求仍有较大差距。镍氢电池技术成熟,在混合动力汽车上得到广泛应用。锂离子电池逐步成为动力电池的主流产品,锰系、三元材料及其混合材料等锂离子动力电池成为当前各种量产电动汽车的主要选择,但在能量密度和功率密度,以及快速充放电等方面距离高性能纯电动汽车技术的要求仍有较大差距。

主要汽车制造商的技术发展战略趋于一致。通用汽车公司近中期重点发展混合动力汽车和插电式混合动力汽车,远期主要发展氢燃料电池汽车;在电池等关键零部件领域,通用坚持技术自主化策略。丰田汽车公司近期重点发展混合动力汽车,中期重点发展插电式混合动力汽车,远期替代燃料汽车、纯电动汽车和燃料电池车并存发展;在关键零部件领域,

丰田重新回到电池的基础研究上,推动锂离子充电电池新材料、全固体电池及锂空气电池等的开发。日产汽车认为电动汽车、燃料电池是汽车电动化最终解决方案,近期积极推动纯电动汽车的发展,兼顾混合动力汽车发展,中远期侧重发展燃料电池汽车;在关键零部件领域,日产加快大容量电池材料和快速充电器等创新性产品研发。大众汽车近期进一步优化汽油机、推广先进柴油机,中期重点开发推广纯电动汽车、混合动力汽车或生物燃料等技术,远期重点是电能和氢能源解决方案,在关键零部件领域实行自主标准化生产。

1.1.3 我国新能源汽车产业发展概览

随着全球汽车产业“后燃油时代”的日益临近,传统的汽车产业格局正经受着被颠覆、被解构的命运,与此同时,在快速变幻的潮流冲击下,新趋势、新模式亦纷纷出笼。一方面,“术业有专攻”,全球汽车产业的分工越来越细;另一方面,以“联盟”为特色的协作模式纷纷登场,比如雷诺-日产-三菱联盟,超1000家会员的沃特玛创新联盟,上汽与宁德时代、中通客车与大洋电机的联姻,金沙江创投凭借入股AESC而加入雷诺-日产-三菱联盟的“朋友圈”,比亚迪、银隆的远交近攻上下延伸案例等。在经济全球化和市场一体化的今天,新能源汽车市场的竞争不再是传统规模和价格层面的产品竞争,而是转向了以核心技术和资源整合为依托的价值竞争,而联盟联姻中的企业正是凭借着“规模优势+技术优势+新产业模式”的顺势而上,引领着行业的转型升级。

随着“全球化”进程的不断深入,全球范围内的产业转型迭代不断加快,新经济增长方式层出不穷。中国经济进入新常态,转型升级机遇与压力同时并存。“一带一路”倡议的提出,为处于转型中的中国经济注入了新的活力,也让处于转型升级中的中国企业找到了“二次创业”的新出路。随着“合作联盟”的不断涌现,技术、资源、资本进一步向优势企业倾斜,新能源汽车产业结构将得以调整,品牌集中度也将得以提升,这是产业自身发展的需要,更有助于整个产业进一步做大做强,从而催生出惊艳全球的汽车巨头。而近年来新能源车的发展与国家一系列利好政策的扶植不无关系。从资金补贴到限购城市的单独摇号等,这些举措使中国新能源车销量已经位居世界榜首。然而,在发展初期推出一系列促销量政策的同时,国家也在制定今后新能源车面对市场竞争时的顶层规划,新能源车补贴退坡机制、“双积分”制,以及新能源车合资的开放,都将倒逼新能源车企加快转型升级的步伐。此外,北汽与戴姆勒近日也签署了框架协议,戴姆勒拟战略投资北汽新能源,以加强双方在新能源汽车领域的合作,推动中国新能源汽车市场的进一步发展。2017年6月7日,标致雪铁龙集团与长安汽车签署深化战略合作协议,在6年良好合作的基础之上加强合作,DS品牌将在中国市场每年投放一款新车。同时,标致雪铁龙集团将不断加强DS产品在新技术上的运用,包括插电式混合动力汽车以及首款纯电动汽车。

经过连续数年的高速成长,我国新能源汽车产业已粗具规模,并涌现了一批具有国际竞争力的领军企业。在乘用车方面,国内各大车企对新能源汽车的投入比重不断加大,行业快速增长导致行业内部竞争加剧,市场份额争夺激烈。但随着2016年初骗补事件的曝光,行业相关主管部门进一步加强对行业的监管和整顿,并着手对补贴等相关支持政策进行调整,产业支持方向也开始向“扶优扶强”转换,从2016年开始我国新能源汽车行业进入全面调整升级阶段。

一是中国稳居全球新能源乘用车最大市场宝座。2016年,中国新能源乘用车以33.6万辆的销量继续引领全球,占2016年全球新能源乘用车销量的43%,甚至超过了销量排名第二至第十位的国家之和,成为全球新能源乘用车市场增长的重要引擎。

二是自主品牌新能源乘用车企业占据行业主导地位。与传统乘用车合资企业主导市场的情况不同,在政策的大力推动下,目前参与国内新能源乘用车市场竞争的主要是自主品牌企业。2016年,国内新能源乘用车销量超过1万辆的自主品牌企业已由6家增加到8家,在全球新能源乘用车销量前十名企业中,中国已占有3个席位。

三是乘用车产品进一步丰富,新上市产品技术水平显著提升。2016年我国新能源乘用车产品迎来大规模上市潮,主流纯电动乘用车续航里程超过250km,可显著缓解消费者里程焦虑,扩大选择空间。插电式混合动力车型种类尚有待提升,多元化程度较欧美市场仍有不足。部分新上市自主品牌车型在性价比、轻量化、能耗、动力性及充电时间等方面均取得了显著进步,电动化专用底盘、智能化等技术都得到逐步应用。比亚迪、上汽等企业产品与国际主流产品差距进一步缩小,但其在动力耦合装置与整车能耗水平等方面仍有较大提升空间。

四是仍有诸多制约行业可持续发展的问题。目前我国新能源乘用车行业仍以政策驱动为主,随着补贴的持续退坡,行业亟须向市场驱动转换。三、四线城市市场发展不均衡,也亟须政企携手积极开拓。同时,与新能源汽车产销规模的快速增长相比,我国充电基础设施的建设依然落后,2016年底全国累计建成公共充电桩仅15万个,远不能满足全国上百万辆新能源汽车的使用需求,制约了新能源汽车市场的进一步增长。

五是我国新能源客车产业在全球市场具有较强的竞争力。在国家利好扶持政策鼓励下,我国新能源客车产业快速发展。在市场方面,2012—2016年新能源客车产量年均复合增长率为168%,占客车总市场的比例从2012年的0.61%快速增长到2016年的27.51%,相对于国外新能源客车产业在产销方面具备较强的市场竞争力。在产业配套及技术水平方面,我国新能源客车配套动力电池、电机、控制器等关键零部件完全实现国产化,续航里程和使用安全性等技术水平大幅提高,智能网联技术研究成为客车企业加强布局的重点。在产品出口方面,我国新能源客车企业凭借自身在产销量、运营经验和制造实力等方面的优势,积极开拓欧、美、日、韩等发达国家和地区的市场,打开新的市场增长空间。

1.2 电动汽车是未来发展趋势

历史上,交通动力系统变革一直处于技术革命和经济转型的核心位置。19世纪,煤和蒸汽机火车引发了欧洲的工业革命,开创了人类的工业经济和工业文明。20世纪,石油和内燃机汽车促成了美国的经济腾飞,把人类带入了基于石油的经济体系与物质繁荣。汽车作为大规模使用的道路交通工具,在全球终端能源消耗中占据着重要地位。1950—1970年,全球汽车保有量每10年翻一番,1970年达到2.5亿辆。此后,全球汽车保有量增速开始放缓,1986年和2010年分别达到5亿辆和10.15亿辆,保有量分别用了16年和24年实现翻番。按照这个趋势进行估计,2035年全球汽车保有量预计将达到20亿辆,2050年预计将接近30亿辆。

石油作为汽车的主要动力来源,随着全球汽车保有量的快速增长,其消耗总量也快速增长。截至2016年全球石油产量仅为43.8亿t,而消耗量达到44.2亿t,明显满足不了社会需求。中石油经济技术研究院在《2050年世界与中国能源展望》中指出,全球交通用能呈现一定的多样化特征,虽然以石油为主,但石油消耗受相关国家推动清洁燃料替代和电动汽车规模化发展的影响比重缓慢下降,2025年占83.5%左右,电力增长最快,2050年前年均增长3.1%,如图1-1所示。

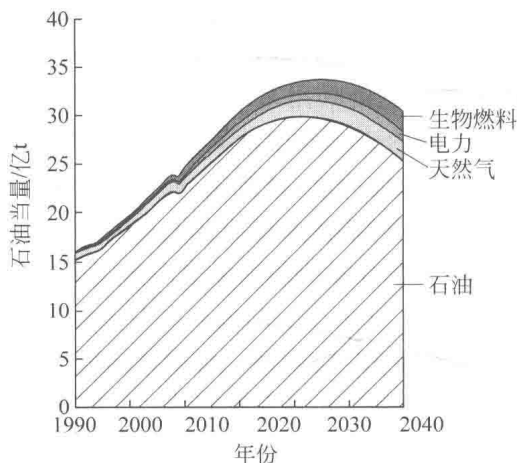


图 1-1 交通用能发展趋势

根据BP统计的数据表示,2015年石油产量仅为917.04亿t,相比于2015年,2016年石油的产量比仅增加了0.5%,为921.5亿t。然而,2015年全球石油的消耗量约为0.95亿桶/日,相比于2015年,2016年全球石油的消耗量率增加了1.6%,为0.966亿桶/日。美国能源部预测,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年的供需缺口几乎相当于2000年世界石油总产量的2倍。因此,世界石油工业高速增长的时期已经过去,在当前和今后较长时间的国际石油资源和地缘政治条件下,世界石油产量远远不能满足需求。随着发展中国家对优质石化能源的大规模使用,将打破石油资源平衡。

目前,石油类型的交通能源短缺和环境污染也成为汽车工业发展中的两大挑战。2015年科学杂志《自然气候变化》数据表明,二氧化碳的排放量已经恢复稳定,甚至呈现了0.6%的下降趋势。但是,目前新兴国家对于石化燃料的依赖度依然居高不下,随着它们对于能源的需求量加剧,高碳排放的情况不是不会卷土重来,该排放量并不足以解决全球变暖问题。根据《BP世界能源统计年鉴(2017年)》可知,在能源供应和减少碳排放的双重挑战的影响下,全球能源市场正处于转型期,即需求模式和供应结构正在改变,特别是石油市场在2016年采取的一系列举措,有效缓解了近年来一直左右市场格局的供应过剩问题。根据BP能源统计,2016年世界一次能源总消费以石油换算为132.77亿t油当量,其中石油占33.28%、天然气占24.13%、煤炭占28.11%、核能占4.45%、水电占6.86%、可再生能源占3.17%(见图1-2)。虽然煤、石油、天然气仍然是主导性燃料,但水电和可再生资源在迅速发展。相比于2015年水电的消耗量,2016年水电的消耗量同比增加0.12%。2017年美国能源部在报告中说,在不久的将来,水电生产的机会将增加50%,对环境的影响将会减小。

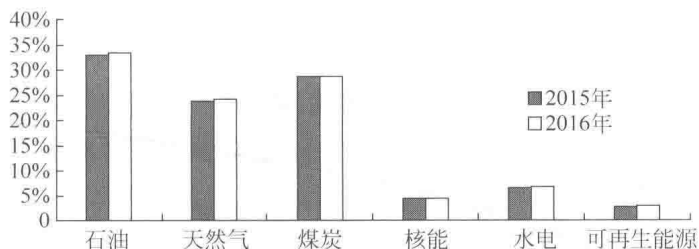


图 1-2 2015 年和 2016 年世界能源按类型划分的消费量

随着发电效率、发电洁净程度提高和电网高效化、智能化,将会出现以电代替化石能源的长期趋势。伴随着世界汽车保有量的急剧增长,传统的内燃机汽车对人类环境带来的危害越来越严重,以及环境保护呼声的高涨和石油储量日益短缺的压力等问题,迫使人们重新考虑未来汽车的动力问题。以替代燃料和电驱动为代表的各种新型汽车能源动力技术迅猛发展,相互竞争,引发了一场新的技术变革,预示着人类将要进入后燃油时代过渡期和车用能源动力技术创新突破的机遇期。而在全球能源结构正由一次化石能源为主向二次电力能源为主转变的大背景下,以混合动力汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车为代表的电动化汽车被普遍认为是未来汽车能源动力系统转型的主要方向。特别是近两年动力电池的能量密度、寿命和安全性等技术水平显著提高,插电式混合动力电动汽车和纯电动车技术迅速发展,使得电动汽车成为新能源汽车发展的主要方向,如图 1-3 所示。

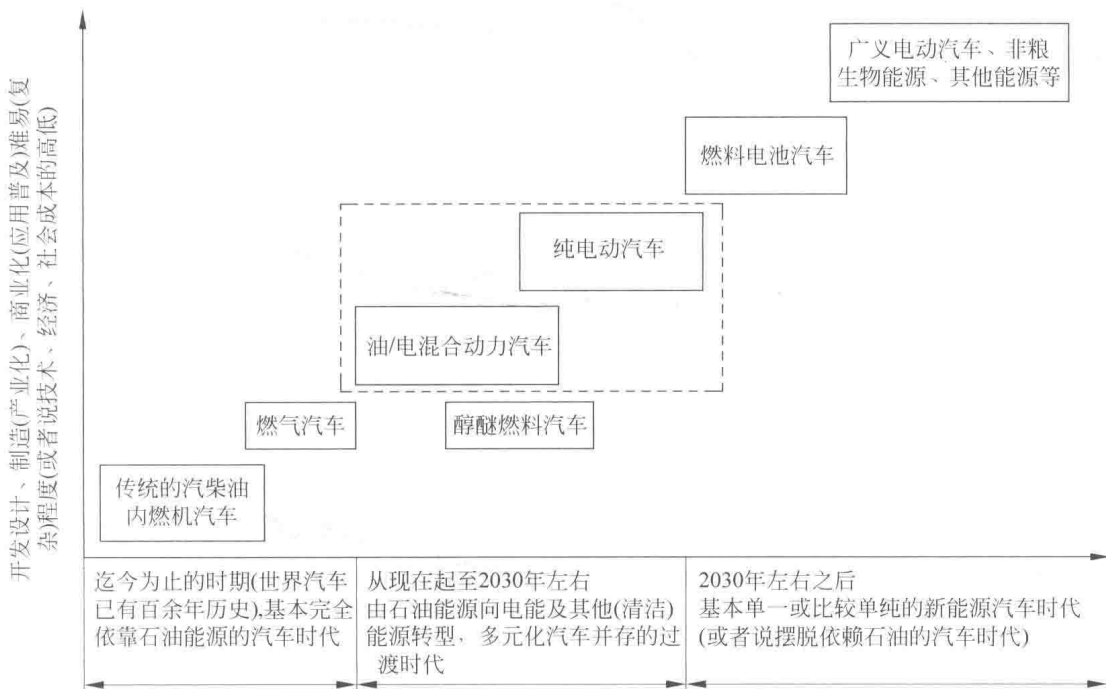


图 1-3 中国新能源汽车产业发展路线图

我国能源结构的典型特征是富煤、缺油、少气。目前我国石油产量一直处于较低水平,进口量增长较快,两者差值逐渐拉大,对外的依存关系十分强烈,如图 1-4 所示。根据 BP 统计的数据,2016 年我国一次能源消费的比重跃居世界首位,石油消耗量居于世界第二位,仅

次于美国,达到 5.79 亿 t,其中净进口量达到 3.78 亿 t,占中国石油消费量的 65.3%,同时,2016 年布伦特原油现货离岸价格一直在 26~55 美元/桶的范围内徘徊,国内原油生产企业也普遍实施“以进顶产”,计划性减产。因此,在我国石油产量难以明显提高,石油进口渠道单一,对中东石油的依赖度居高不下,以及“走出去”获取油气资源难度加大、风险扩大等一系列问题下,我国能源安全面临严重考验。

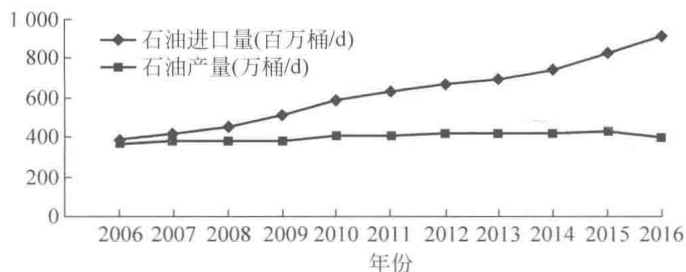


图 1-4 我国 2006—2016 年石油进口量走势

在面临能源和环境巨大挑战的 21 世纪,我国在全球石油资源分配格局早已稳固和自身石油生产无法满足国内需求的情况下,作为后起国家通过石油贸易和海外份额油的方式获取石油资源的压力越来越大。而新能源汽车具有环保性能良好、燃料经济性好、运行成本低等优势,既可以保护环境,又可以缓解能源的短缺并能调整能源的结构,保障能源的安全。传统燃油汽车将向高效、低排放的电动汽车及混合动力车方向发展。大力发展新能源汽车是能源与环境的必然要求,加快培育和发展新能源汽车产业,是我国应对能源和环境挑战、推动传统汽车产业转型升级的紧迫任务,也是我国抢占未来竞争制高点、加快经济发展方式转变的战略举措。以纯电动车、混合动力汽车为代表的节能与新能源汽车将在未来大力推广。

2016 年,我国已实现汽车销量 2 200 万辆,同比增长 13.8%,全年汽车总销量有望超过 2 700 万辆,预计 2020 年有望突破 3 300 万辆。与之相对应,中国汽车保有量持续增长,从 2007 年的 5 700 万辆达到 2015 年的 1.72 亿辆,翻了近两番,年复合增长率约 14.8%。2017 年中国汽车保有量突破 2 亿辆,如图 1-5 所示。根据国际能源署(IEA)发布的数据,截至 2016 年,全球电动汽车的保有量突破 200 万辆大关。近 5 年来,中国新能源汽车产量也从不足 5 000 辆发展到 51 万辆,保有量从 1 万辆提升到 100 万辆,5 年产销量增长了 100 倍,占全球总量的一半,处于世界遥遥领先的地位。2016 年,中国新能源汽车的销量位居世界榜首,销量突破 50 万辆,2017 年突破 70 万辆。随着我国新能源汽车销量快速攀升,动力电池作为主要零部件重要性日益凸显,行业扩张呈现“犀牛狂奔”之势。同时,中国政府高度重视交通事业的发展,将交通运输事业作为国民经济基础性、先导性和战略性行业,建设了世界上最大的高速公路网络,极大地带动了中国的生产。

2018 年是我国实施“十三五”规划的重要一年,《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》把新能源汽车推广列入国家的重要计划之中,要求提高电动汽车产业化水平。这表明在“十三五”期间,新能源汽车发展在整个国民经济和社会发展中将处在十分重要的地位,明确了新能源汽车在国民经济和社会发展战略定位。“十三五”