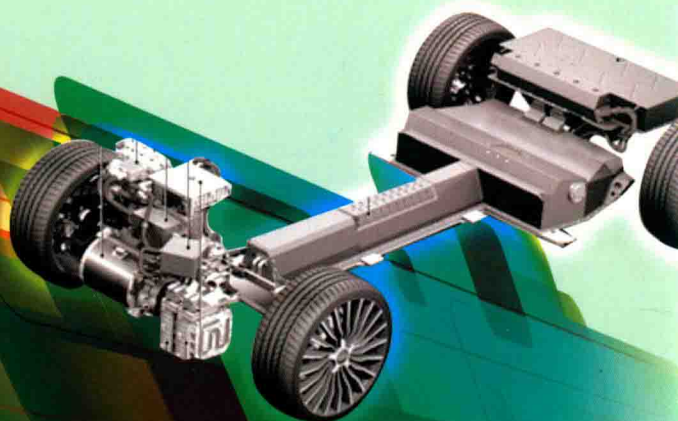


“十三五”应用型高等院校立体化规划教材

新能源汽车

主编 方晓汾 钟文浩



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

“十三五”应用型高等院校立体化规划教材

新能源汽车

主编 方晓汾 钟文浩



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书结合国内新能源汽车专业培养学生需要,以及行业、企业岗位需求,以项目化教学为主线,全面、系统地解析了纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车关键技术,从新能源汽车结构、工作原理、使用等角度介绍了新能源汽车发展的历程以及新能源汽车整车技术演变、新能源汽车发展概况、电机以及其控制器等内容。

本书可供新能源汽车行业的工程技术人员以及车辆工程、汽车类相关专业技术人员学习,可作为高职院校汽车类专业教材或相关企业培训教材,也可供给新能源汽车爱好者学习之用。

本书彩图及相关视频等数字化教学资源可扫描书中二维码获得。配套课件下载地址:<http://www.waterpub.com.cn/softdown>

图书在版编目(CIP)数据

新能源汽车 / 方晓汾, 钟文浩主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2017. 11

“十三五”应用型高等院校立体化规划教材

ISBN 978-7-5170-6067-3

I. ①新… II. ①方… ②钟… III. ①新能源—汽车—高等学校—教材 IV. ①U469.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第288640号

书 名	“十三五”应用型高等院校立体化规划教材 新能源汽车 XINNENGYUAN QICHE
作 者	主编 方晓汾 钟文浩
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.75印张 326千字
版 次	2017年11月第1版 2017年11月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	36.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

本书编委会

- | | | |
|-----|-----|-------------|
| 主 编 | 方晓汾 | 衢州职业技术学院 |
| | 钟文浩 | 惠州经济职业技术学院 |
| 副主编 | 巫少龙 | 衢州职业技术学院 |
| | 陈先亮 | 东莞职业技术学院 |
| | 林梅彬 | 福州职业技术学院 |
| 参 编 | 张 勇 | 东北石油大学 |
| | 武春龙 | 河北工业大学 |
| | 罗方赞 | 衢州职业技术学院 |
| | 郑丽辉 | 衢州职业技术学院 |
| | 张 华 | 衢州职业技术学院 |
| | 吴明华 | 安徽交通职业技术学院 |
| | 彭菊生 | 湖州职业技术学院 |
| | 侯 涛 | 云南交通职业技术学院 |
| | 陈香琳 | 安徽交通职业技术学院 |
| | 王科东 | 宁波市鄞州职业高级中学 |
| | 吴 玉 | 浙江经济职业技术学院 |
| | 范 芳 | 四川航天职业技术学院 |
| | 王志伟 | 黄河水利职业技术学院 |
| | 周梅芳 | 金华职业技术学院 |
| | 张大雨 | 丽水职业技术学院 |

前言

目前,随着环境污染、石油资源不可再生等问题日趋严重,环境污染和能源局限已成了世界范围内的以内燃机为动力的燃油汽车所面临的两大难题。2015年2月,科技部发布《国家重点研发计划新能源汽车重点专项实施方案(征求意见稿)》,旨在落实《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》,并强调实施新能源汽车“纯电驱动”技术转型战略,完善电动汽车“三纵三横”技术体系和新能源汽车研发体系等内容。发展新能源汽车包括混合动力汽车(HEV)、纯电动汽车(PEV)以及燃料电池汽车(FCEV),是实现我国能源安全和环境保护以及中国汽车工业健康可持续发展的必然趋势。纯电动汽车以车载二次电源作为储能方式,以电动机为动力装置驱动车辆行驶,相比混合动力汽车而言,具有零排放、低噪声且结构简单等特点,而相比燃料电池则在当前更具有产业化的基础,因此而受到了世界各国政府及汽车企业的广泛关注。

本书从纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车等3个方面出发,将新能源汽车技术内容划分为电池、电机驱动、电机控制三部分,重点剖析新能源汽车电源系统、动力驱动系统、制动回收、动力与经济性能仿真等核心内容,另外附加新能源汽车发展历史、现状、标准体系,以及相关的国外产业政策等内容。本书编写过程中,结合目前很多国外新能源汽车技术,将其具体化后,结合国内新能源汽车专业(或方向)培养学生需要,以及行业、企业岗位要求,以项目化教学为主线,设计本书的内容。

本书由方晓汾、钟文浩担任主编。各部分的编写分工如下:前言、项目1、项目2、项目4、项目6由衢州职业技术学院方晓汾编写,项目7由衢州职业技术学院郑丽辉编写,项目3、项目5分别由惠州经济职业技术学院钟文浩和衢州职业技术学院巫少龙编写;项目1~3由东北石油大学张勇主审,项目4、项目5由河北工业大学武春龙主审,陈先亮和林梅彬参与整本教材的规划

与数字资源搜集开发。全书由方晓汾统稿，课时建议 80 学时。

感谢共同参与工作的各位同仁，感谢北京汇智慧众汽车技术研究院、北京新能源汽车股份有限公司、上海道唯新能源科技公司、浙江大学、南京理工大学、美国汽车维修资格认证协会（ASE）各位专家提出的宝贵修改意见，感谢校级课改项目（NO. KGXM201609）的支持。

本书在编写过程中，引用了纯电动汽车标准、网络资源以及图片，特向其作者表示感谢。由于作者水平有限，书中难免存在疏漏或不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

方晓汾

2017 年 5 月

目 录

前言	
绪论	1
项目 1 认识纯电动汽车	9
任务 1.1 纯电动汽车起源	9
任务 1.2 纯电动汽车发展及未来趋势	14
思考题	17
项目 2 纯电动汽车结构与驱动过程认知	18
任务 2.1 纯电动汽车总体结构	18
任务 2.2 充电系统	22
任务 2.3 动力电池系统	39
任务 2.4 电力驱动系统	48
任务 2.5 电机控制系统	64
任务 2.6 制动回收系统	68
任务 2.7 动力与经济性能	74
任务 2.8 传动系统参数匹配与性能仿真	76
思考题	79
项目 3 认识油电混合动力汽车	80
任务 3.1 油电混合动力汽车起源	80
任务 3.2 油电混合动力汽车发展现状	82
思考题	90
项目 4 油电混合动力汽车工作原理与结构	91
任务 4.1 油电混合动力汽车总体结构	91
任务 4.2 电源系统	97
任务 4.3 动力驱动系统	103
任务 4.4 制动回收系统	123
任务 4.5 动力与经济性能仿真	128

思考题	142
项目 5 认识燃料电池汽车	143
任务 5.1 燃料电池汽车结构	143
任务 5.2 燃料电池系统	153
思考题	158
项目 6 认识新能源	159
任务 6.1 燃料型能源认知	159
任务 6.2 非燃料型能源认知	166
思考题	173
项目 7 实训项目	174
任务 7.1 纯电动汽车试乘试驾	174
任务 7.2 高压用电及规范	183
任务 7.3 纯电动汽车制动系统拆装	185
任务 7.4 纯电动汽车紧急维修开关	187
任务 7.5 动力电池组拆装与维护	188
任务 7.6 纯电动汽车空调结构认知	191
任务 7.7 纯电动汽车数据流读取	194
任务 7.8 纯电动汽车充电	197
任务 7.9 混合动力汽车试乘试驾	199
任务 7.10 混合动力汽车数据流读取	201
附录	203
参考文献	209

绪 论

从全球主要发展潮流的展望中可以看出，城市化、安全、能源和环保政策已经成为重要趋势影响汽车行业。全球汽车工业的发展趋势为“电气化+智能化”，发展新能源汽车是各国汽车工业发展的必由之路。

全球的主要发展潮流突出表现在以下几个方面。

(1) 人口。世界人口增长会减缓，不同区域会有巨大的差异。

(2) 城市化。世界人口主要将集中在城市。将出现新的大都市，同时部分乡村和小城市人口的购买力将提高。

(3) 安全。道路交通事故的死亡人数将成为首要问题。

(4) 能源。能源消耗量将增长，尤其在亚洲。石油和大多数其他能源的价格预期将相应地上涨。

(5) 环境保护政策。环境保护法规将增多并且变得更苛刻。

(6) 数字化与连接性。因特网将成长为媒体服务行业的霸主。娱乐资讯的需求会在今后的二十年持续增长。

1. 环境污染

环境与发展是世界各国普遍关注的焦点问题，发展不仅是满足当代人的需要，还要考虑和不损害后代人的生存条件。因此，保护人类赖以生存的环境成为世界共同关心的问题。汽车污染是环境污染的主要途径，为了人类的可持续发展，防治汽车污染已经成了刻不容缓的全球性问题，这就需要人类共同努力在科技创新、节能减排等方面来防治汽车污染（图 0.1、图 0.2）。

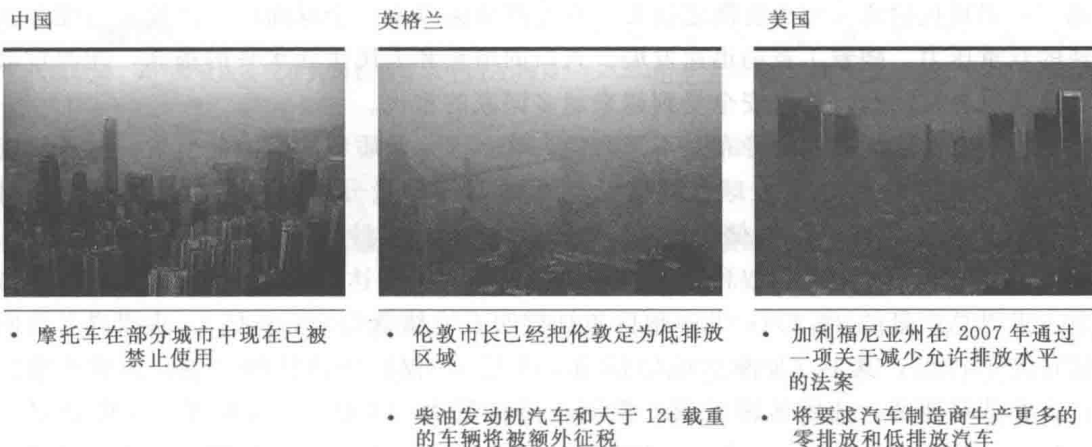


图 0.1 不同地区采用不同的措施解决城市化发展问题

（资料来源：Roland Berger）

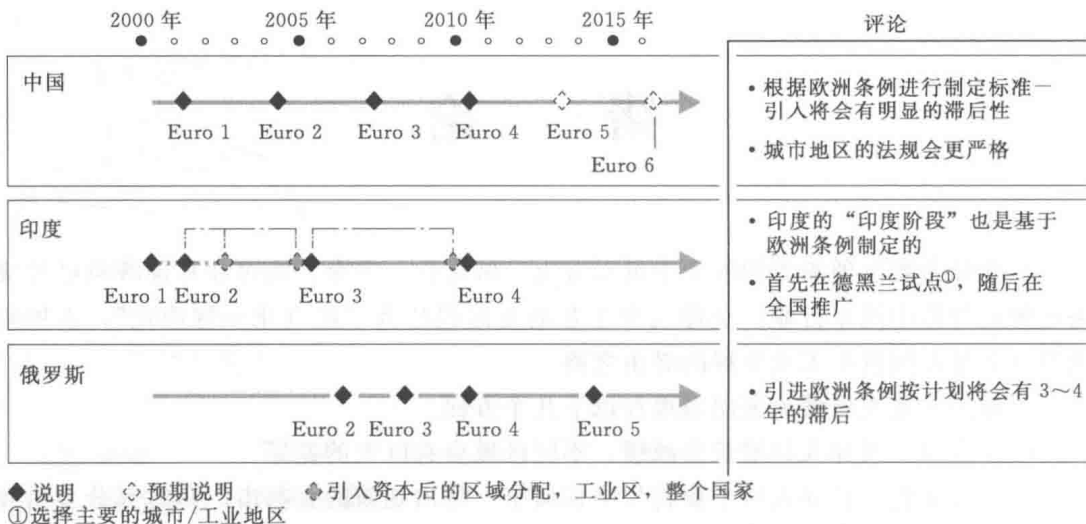


图 0.2 新兴市场的废气排放标准会进一步加强且与欧洲标准的“差距”将继续缩小

汽车污染是由汽车排放的废气造成的环境污染。主要污染物为碳氢化合物、氮氧化物、一氧化碳、二氧化硫、含铅化合物、苯并芘及固体颗粒物等，能引起光化学烟雾等。可以说，汽车是一个流动的污染源。在世界各国，汽车污染早已不是新话题。自 20 世纪 40 年代以来，光化学烟雾事件在美国洛杉矶、日本东京等城市多次发生，造成不少人员伤亡和巨大的经济损失！进入 21 世纪，汽车污染日益成为全球性问题。随着汽车数量越来越多、使用范围越来越广，它对世界环境的负面效应也越来越大，尤其是危害城市环境，引发呼吸系统疾病，造成地表空气臭氧含量过高，加重城市热岛效应，使城市环境转向恶化。

2. 能源危机

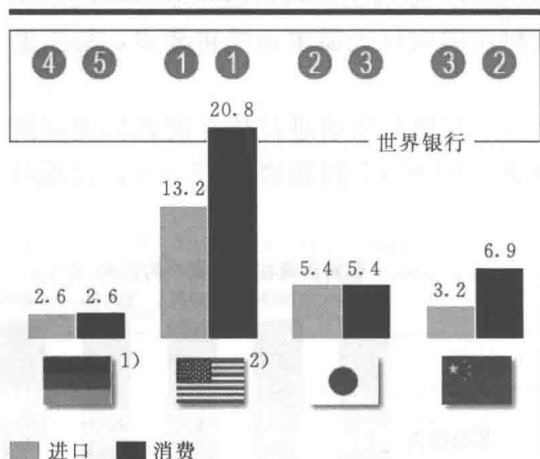
石油资源和水资源在国计民生中占有极其重要的位置，是社会发展和人类生存不可缺少的资源。石油、天然气等是重要的能源资源。在现代文明社会，如果没有了能源，一切现代物质文明也将随之消失。自冷战结束以来，全球面临经济发展与能源紧缺的双重压力。随着工业的迅速发展、人口的增长和人民生活水平的提高，能源短缺已成为世界性问题，能源安全受到越来越多国家的重视。

世界石油资源的地区分布是不平衡的，许多国际矛盾和冲突由此引发。从石油资源来看，到 2003 年年底全球各地区已探明的石油储量分布为：中东地区探明储量 995.8 亿 t，占全球总探明储量的 57.4%，主要集中在沙特阿拉伯、伊朗、科威特、伊拉克、阿曼、卡塔尔和叙利亚等国，这些国家的储量达 849.3 亿 t。该地区石油产量占世界总产量的 30.4%；北美地区累计探明石油储量为 297.6 亿 t，占世界总探明储量的 17.2%，其中，加拿大的储量为 245 亿 t，仅次于沙特阿拉伯，居世界第二位；在苏联地区，独联体国家累计探明石油储量为 106 亿 t，占世界总探明储量的 6.11%，其石油产量为 4.9 亿 t，占世界总产量的 14.5%，其中俄罗斯石油产量已位居世界第二，仅次于沙特阿拉伯。此外，亚太地区探明石油储量 52.4 亿 t，占世界总储量的 3.1%；非洲地区为 110 亿 t，占世界总储量的 6.6%；南美地区探明石油储量

134 亿 t，占世界总探明储量的 7.7%。世界石油地区消费量与石油资源拥有量存在严重的失衡现象，而石油资源在国家发展中具有特殊的战略意义，因此全球围绕油气资源的争夺一直非常激烈。

如北美、西欧、亚太 3 个地区的石油探明储量不超过世界总量的 22%，而其石油消费却占世界石油消费总量的近 80%，于是世界最大的石油消费国美国 2/3 的石油消费依赖进口，其中 60% 来自中东；欧盟 70% 的石油消费依赖进口，除了从中东进口石油外，欧盟借助非洲许多国家曾是英法殖民地的“优势”，在非洲石油开发中已领先一步。西方大国对石油资源和市场的控制和争端不断加剧，资源战略成为大国地缘政治经济战略的重要组成部分。为增强危机处理能力，经历过石油危机的西方大国先后立法，以确保石油的战略储备。如美国的《能源政策与保护法》、日本的《石油储备法》、德国的《石油及石油制品储备法》、法国的《关于工业石油储备库存结构的 58—1106 号法》，都明确规定了储备目标和规模。政府储备加上民间储备，美国、日本、德国、法国的石油储备量分别相当于本国 158d、169d、117d 和 96d 的石油消费。中国正加快战略石油储备的立法工作，力争在几年之后中国的石油储备能够达到 180d 的安全消费量（图 0.3）。

2009 年石油进口和消费(百万桶/d)



1) 代表欧盟 2) 交通运输业在美国石油需求中约占 70%

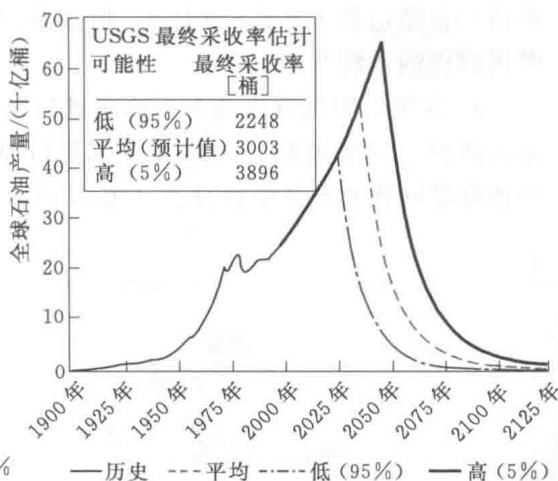


图 0.3 预计全球石油供应将在今后 10 年达到顶峰

(资料来源: Roland Berger)

在中国，汽车业已逐渐成为原油消费的主力，正面临着日益增加的需求压力（图 0.4）。

中国石油消费保持中低速增长，2015 年对外依存度首次突破 60%，达到 60.6%；成品油净出口量连续 3 年大幅递增。天然气消费增速在 2015 年创下 10 年新低。

石油对外依存度是一个国家石油净进口量占本国石油消费量的比例，是衡量一个国家和地区石油供应安全的重要指标。

中石油经济技术研究院报告的具体数据为：2015 年，国内石油表观消费量估计为 5.43 亿 t，比上年增加 0.25 亿 t，剔除新增石油储备和库存因素，估计实际石油消



图 0.4 中国的原油消费
(资料来源: Roland Berger)

费增速为 4.4%，较上年增加 0.7 个百分点。石油净进口量 3.28 亿 t，增长 6.4%，增速比上年高 0.6 个百分点。

中国目前是世界第一大石油进口和消费国。国土资源部数据显示，2009 年中国成为仅次于俄罗斯、沙特阿拉伯、美国之后的第四大原油生产国。近年来，国内原油产量一直稳定在 1.9 亿~2 亿 t，但这个产量相比国内巨大需求还差得较多，每年需要进口原油量约 2 亿 t。

1993 年，中国首次成为石油净进口国，2009 年中国原油进口依存度首次突破国际公认的 50%警戒线，2010 年中国进口原油达 2.39 亿 t，同比增长 17.5%，石油对外依存度同比上升 3 个百分点（图 0.5）。

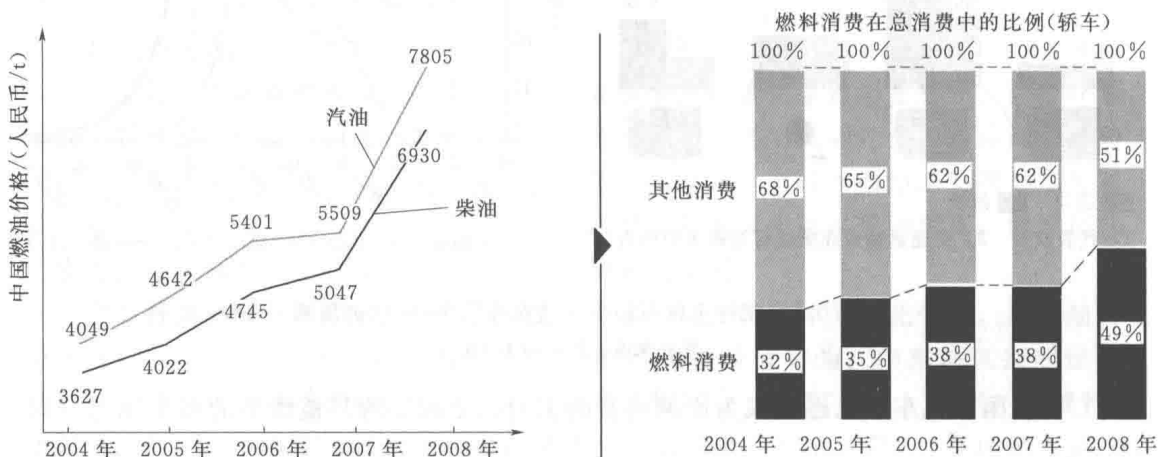


图 0.5 燃油价格也随之大幅度上涨（燃油消费已占据轿车日常维护成本的 50%以上）

到了 2011 年，中国超过美国成为第一大石油进口国和消费国，当年，官方公布的数据显示中国原油对外依存度达 55.2%，也首次超越美国的 53.5%。

当前，中国石油消费超过了 GDP 增速，预计到 2020 年，石油消费总量将达到 6 亿 t 左右。到 2030 年，中国石油消耗量的 80% 需要依靠进口。

中石油经济研究院报告中就指出，在“新常态”下，中国石油需求将保持 2%~3% 的较低速增长（图 0.6、图 0.7）。2015 年全年中国石油需求量为 53367 万 t，同比增长 3%；石油进口增速有所下降，石油消费对外依存度将首次突破 60%。

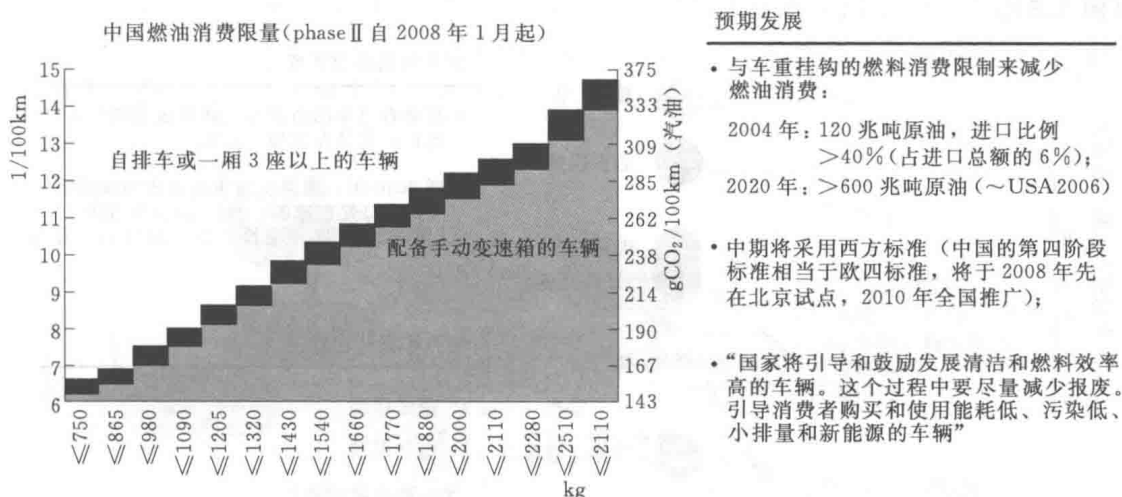


图 0.6 新的条例限制了燃油的消费

发动机排量 [cm ³]	车型	2008 年 9 月之前	2008 年 9 月之后	消费者成本 (以 2008 年 8 月为基准=100)
≤1000	—	3%	1%	98
1000~1500	Polo 1.4	3%	3%	100
1500~2000	Jetta, Bora, Golf, Sagitar, Magotan, ...	5%	5%	100
2000~2500	—	9%	9%	100
2500~3000	—	12%	12%	100
3000~4000	Phaeton, Touareg, Magotan 3.2	15%	25%	113
≥4000	Phaeton 4.2/6.0, Touareg 4.2/6.0	20%	40%	125

图 0.7 出台的消费税将极大影响大排量汽车的销售和定价

随着社会的发展，道路交通安全越来越显现出其特有的重要性，特别是当前汽车日益增多的情况下，安全行车成为摆在驾驶员面前的重要问题。交通系统是一个人、车、路和环境构成的复杂巨系统，要保证安全行车，减少交通事故的发生，必须协调交通系统中的各个因素，提高交通系统的整体和谐性。交通事故从根本上说是由人、车、路、环境要素失去平衡所造成的。交通事故的成因有主观和客观两个方面。主观方面是人的原因，主要是驾驶员、行人等交通参与者行为的因素；客观原因是车辆技术状况、道路状况及环境因素的影响等。各种因素造成交通事故的比例中人的因素是最主要的，约占总事故的 95.30%，其中因机动车驾驶员的过失造成的交通事故约占 87.5%，非机动车驾驶员占 4.7%，行人、乘客占 5.19%，其他人员占 2.63%。可

见，交通参与者的安全意识和安全行为是提高交通安全的决定性因素。如果驾驶员具备良好的素质，就可能最大限度地减少事故的发生；反之，如果驾驶员交通安全意识不强，驾驶技能差，事故的发生概率就会大幅上升，从而危害人身安全和财产安全（图 0.8）。

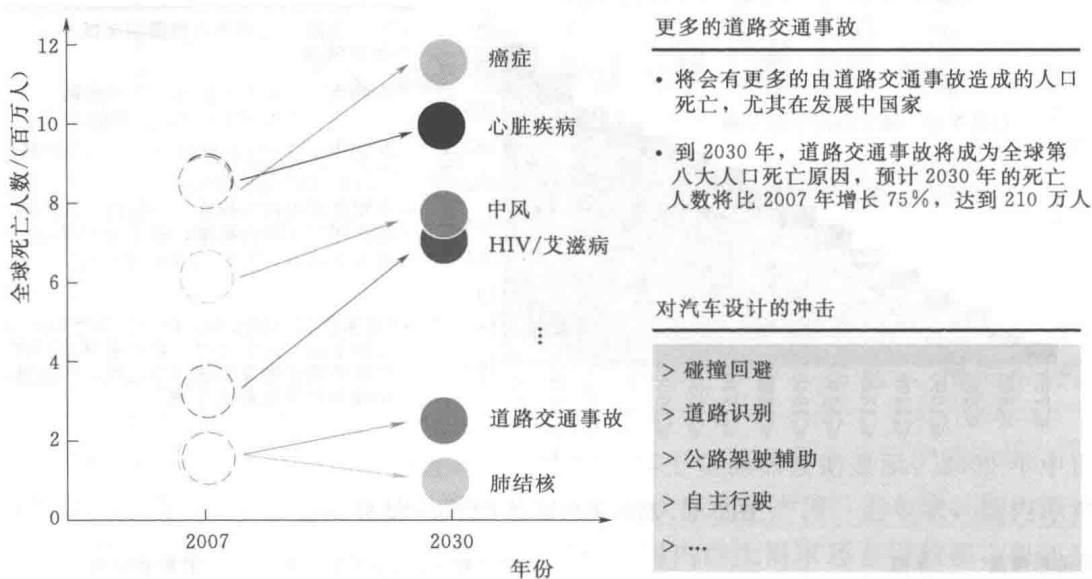


图 0.8 道路交通事故的死亡人数将成为首要问题
(资料来源: Roland Berger)

2011 年，全球新能源汽车的年销量是 5 万辆规模，2015 年接近 60 万辆，总的保有量估算超过了 130 万辆的规模，进入到一个规模产业化的阶段。2016 年上半年的势头还继续在保持，同比 1—5 月，全球新能源汽车销售了 23.4 万辆，同比增长将近 70%。

从国家来看，我国在 2015 年已经超过美国成为全球最大的新能源汽车产销国，从产业的规模、市场化的进程来讲，我们确实是引领者，但在技术上还有很大差距。

美国这些年发展比较平稳；日本现在的量不是特别大，特别是 2015 年还有比较大幅度的下降；在欧洲，像法国、英国，发展比较快，都有 40%~50% 的增长。

从车型来看，目前，主要还是在纯电动和插电式混合动力这一块，特别是纯电动汽车的量最大（图 0.9~图 0.11）。燃料电池汽车现在从全球看处于产业化的初期，主要的销量是在日本、美国，实际上主要是丰田的销量。2015 年大概是 500 辆的市场规模。

随着新能源汽车在家庭用车、公务用车和公交客车、出租车、物流用车等领域的大量普及，2020 年中国新能源汽车的年销量，将达到汽车市场需求总量的 5% 以上，2025 年增至 20% 左右。在国家碳排放总量目标和一次能源替代目录需求下，2030 年新能源汽车年销量占比将继续大幅提高，规模超过千万辆。

2020 年，初步建成以市场为导向、企业为主体、产学研用紧密结合的新能源汽车产业体系。自主新能源汽车年销量突破 100 万辆，市场份额达到 70% 以上；打造明

星车型，进入全球销量排名前十，新能源客车实现规模化出口，整车平均故障间隔里程达到 2 万 km；动力电池、驱动电机等关键系统达到国际先进水平，在国内市场占有率达到 80%。

至 2025 年，形成自主可控完整的产业链，与国际先进水平同步的新能源汽车年销 300 万辆，自主新能源汽车市场份额达到 80% 以上；产品技术水平与国际同步，拥有两家在全球销量进入前十的一流整车企业，海外销售占总销量的 10%。

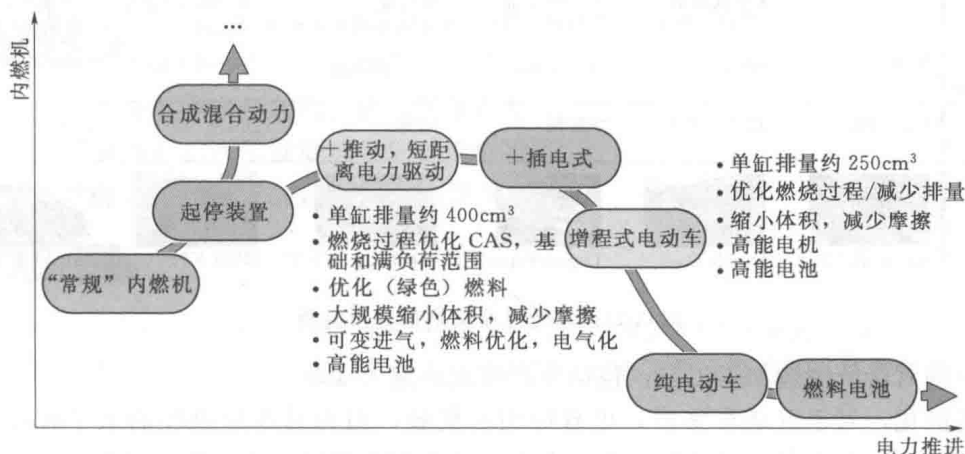


图 0.9 新能源汽车发展技术重点

(资料来源: Roland Berger)

	“在 5~10 年之内，我们将见证电动汽车的技术突破”		“电动汽车可能会成为满足城市间短程运输要求的好方法”		“我们对零排放汽车持乐观态度，因为这是社会的趋势，激励政策和税收减免会使电动汽车更受欢迎”
	Rupert Stadler CEO		Friedrich Eichinger 董事会成员		Carlos Ghosn CEO
	“我们正对技术持续大笔投入金钱，尤其是环境友好型技术，如燃料电池”		“我们想成为第一家 OEM，提供大规模安全且买得起的零排放汽车”		“先进汽车的技术，像混合动力汽车，有十分迫切的需求。我们也计划从 2012 年开始生产小型使用燃料电池的电动汽车”
	Dieter Zetsche CEO		Marlin Winterkorn CEO		Chung Mong Koo 董事长
	“GM 正致力于一项产品项目，包括一系列 Opel 品牌下的 Eflex 车型的开发”		“作为研发项目的一部分，Toyota 将制造大量的插电式混合动力汽车(PHEVs)，依靠锂离子电池驱动”		
	Rick Wagoner CEO		Katsuaki Watanabe 董事长		

图 0.10 思维转换：替代能源驱动系统技术将在全球范围内获得重要地位

总的技术趋势，也是新能源汽车发展的一个大趋势，主要有 3 个方面，即轻量化、智能化、低碳化。

轻量化：每减重 1%，带来的节能效果还是非常显著的。特别是对新能源汽车来讲，因为现在电池的能量密度还比较低，整个车重还是比较重，对新能源汽车来讲更需要轻量化。与此同时，轻量化带来的不仅是技术上的进步和革新，更重要的是它会



图 0.11 新能源车类别划分及说明

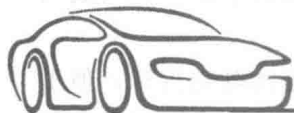
带来一些对传统制造加工工艺，包括生产模式的重大变革。

智能化：对于电动车来讲，更有应用的优势，因为其本身电控的水平程度比较高。按照国际上大家共识的发展前景来看，日本和欧洲目前的预计，实现全自动的驾驶大概在 2025—2030 年的阶段，也就是 10 年左右的时间。这也是需要大家来关注的重要方向。

低碳化：从未来的角度来看，必须要引入可再生能源，真正实现生物周期的低排放和零排放。这不仅是我们所关注的，这些年国际上对这块也投入了很大精力，积极推动新能源汽车和可再生能源的融合，这也是未来重要的发展方向（图 0.12）。



图 0.12 未来驱动系统技术展望



项目 1

认识纯电动汽车

学习目标

- (1) 认识纯电动汽车起源、技术发展脉络。
- (2) 了解纯电动汽车发展历经的各个阶段。
- (3) 掌握纯电动汽车的现状及未来发展趋势。

项目描述

纯电动汽车的产生并非新鲜事物，历史可以追溯至大约 200 年前。通过了解纯电动汽车相关的技术产生、发展的历史背景，对掌握纯电动汽车的发展趋势有着重要意义。

任务 1.1 纯电动汽车起源

电动机的发明早于内燃机的发明，就技术本身而言，纯电动汽车（Battery Electric Vehicles, BEV）的产生理应也早于内燃机汽车，是什么原因让纯电动汽车发展几经波折？纯电动汽车是指由电动机驱动的汽车。电动机的驱动电能来源于车载可充电蓄电池或其他能量储存装置的车辆《电动汽车术语》（GB/T 19596—2004）。纯电动汽车是典型的零排放车辆，其本身不产生有毒排放物与二氧化碳，由于对环境的影响相对于传统汽车要小很多，因而其前景被广泛看好。

很少有人知道纯电动汽车究竟是何时进入人们生活的，因为纯电动汽车不过是近几年出现的新鲜事物，然而并非如此，在纯电动汽车技术进化的历史长河里，纯电动汽车曾经兴旺过、没落过，它凝聚了无数发明家的智慧和心血，充满着无数传奇色彩的坎坷和无数次失败与成功的反复，至今仍处在发展过程中。纯电动汽车的发明甚至早于内燃机汽车半个多世纪。

1834 年，Thomas Davenport 制造了一辆电动三轮车，它由一组不可充电的干电池驱动，只能行驶一小段距离。

1837 年，苏格兰人 Robert Davidson 发明的电动轨道车辆是世界上第一辆使用电池的 vehicle，之后的 1842 年，开发出重 5t、48m 长、功率为 0.74kW（1 马力）、时速 6.4km/h 的轨道车辆^①。

^① Kordesch, K. The electric automobile. Union Carbide Corporation Battery Product Division, Ohio. 1978.