

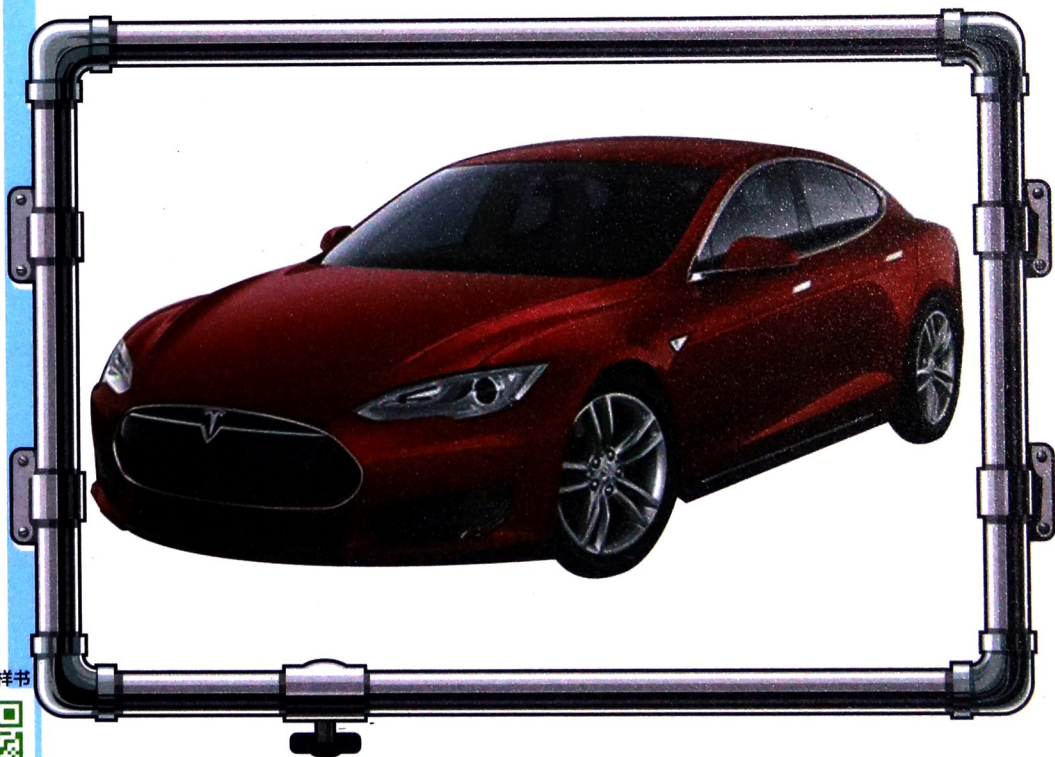


21世纪全国高等院校汽车类**创新型**应用人才培养规划教材

新能源汽车基础

姜顺明 主编

- ✔ 系统地阐述新能源汽车基础知识
- ✔ 介绍新技术在新能源汽车上的应用
- ✔ 展示新能源汽车最新案例和发展趋势



教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材

新能源汽车基础

主 编 姜顺明



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书首先介绍了新能源汽车的发展概况,以及电动车辆的共性关键部件动力电池和驱动电动机的基础知识,重点阐述了纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车的组成、原理及相应关键技术,对天然气汽车、液化石油气汽车、醇类燃料汽车等代用燃料汽车的基础知识也作了简要介绍,最后给出纯电动汽车和混合动力汽车动力性、经济性计算方法及 ADVISOR 性能仿真步骤。本书内容系统全面,理论性和实用性紧密结合,可使读者系统了解新能源汽车的基础知识。

本书可作为高等院校汽车类和交通类专业的教材,也可作为从事新能源汽车及相关领域的研发人员和管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

新能源汽车基础/姜顺明主编. —北京: 北京大学出版社, 2015. 7

(21世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-25882-8

I. ①新… II. ①姜… 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(2015)第 113174 号

书 名 新能源汽车基础

著作责任者 姜顺明 主编

策划编辑 童君鑫

责任编辑 黄红珍

标准书号 ISBN 978-7-301-25882-8

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社

电子信箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印 刷 者 三河市博文印刷有限公司

经 销 者 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 437 千字

2015 年 7 月第 1 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

定 价 38.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话: 010-62756370

前 言

汽车自发明以来已有一百多年的历史，对人类文明的进步起到了巨大的推动作用，是现代社会的必不可少的运输工具。汽车工业是国民经济支柱产业，是一个国家科技水平和经济水平的重要标志。然而，随着各个国家汽车工业几十年的飞速发展，全球的汽车保有量急剧增加，使得人们面临由此带来的石油短缺和环境破坏的挑战。据美国石油业协会估计，地球上尚未开采的原油总储量不足两万亿桶，可供人类开采的时间不超过 95 年；在中大城市，空气污染中 80% 以上的 CO、40% 以上的 NO_x 及 20% 以上的微粒来自汽车尾气排放；此外，地球正面临全球变暖问题，而全球 CO₂ 排放有 16% 来自汽车尾气排放。为此，发展节能、低排放的新型车辆的任务极为迫切。近十几年以来，纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车、代用燃料汽车等新能源汽车受到极大关注，各国投入巨大的人力和资金对它们进行研发和推广。

新能源汽车的兴起使汽车工业面临一场新的技术革命。新能源汽车是多种高新技术凝聚的工业产品，集汽车、材料、电子、信息、电池、电机、智能控制等学科领域和工程技术的最新成果于一体。节能与新能源汽车关键技术主要包括高比能动力电池新体系及新材料，驱动电动机系统及核心材料，高效动力传动系统，整车动力集成与控制，高效燃料电池电堆，先进代用燃料发动机等。

本书共分 8 章。第 1 章介绍新能源汽车的概念，发展新能源汽车的意义及国内外新能源汽车的发展概况；第 2 章介绍各种类型动力电池的结构、工作原理、特性和关键材料；第 3 章介绍用于电动车辆的各种驱动电动机的结构、工作原理和特性；第 4 章介绍纯电动汽车的分类、驱动系统布置形式、动力系统设计方法，以及再生制动、电池充电、电池管理系统等关键技术；第 5 章主要介绍各种类型混合动力汽车的原理、工作模式和控制策略，以及混合动力汽车动力系统设计方法；第 6 章主要介绍质子交换膜燃料电池的结构与工作原理，以及燃料电池汽车的结构和类型；第 7 章介绍天然气汽车、液化石油气汽车、醇类汽车、生物柴油汽车、二甲醚汽车和氢气汽车等代用燃料汽车的基础知识；第 8 章介绍纯电动和混合动力汽车动力性、经济性的计算方法，以及应用 ADVISOR 软件进行车辆性能仿真的步骤与方法。

在本书的编写过程中，编者参考了大量的书籍和有关文献资料，特向其作者表示深切的感谢。由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 2 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 燃油汽车面临的问题	2
1.1.1 石油日益紧缺和能量 使用效率低	2
1.1.2 对环境的危害	4
1.2 新能源汽车的定义与类型	5
1.3 国外新能源汽车的发展概况	6
1.3.1 新能源汽车的发展历史	6
1.3.2 各国新能源汽车发展 计划	8
1.3.3 各国新能源汽车产业 发展近况	11
1.4 国内新能源汽车的发展概况	14
1.4.1 我国新能源汽车发展 计划	14
1.4.2 我国新能源汽车的 相关政策	16
1.4.3 国内新能源汽车产业 发展近况	16
思考题	21
第 2 章 车用动力电池	22
2.1 动力电池概述	23
2.1.1 电池性能参数	23
2.1.2 对动力电池的性能 要求	25
2.2 铅酸电池	27
2.2.1 铅酸电池的结构	27
2.2.2 铅酸电池的工作原理	29
2.2.3 铅酸电池的充放电特性	31
2.2.4 铅酸电池的优缺点	32
2.3 镍氢电池	32
2.3.1 镍氢电池的结构和工作 原理	32
2.3.2 镍氢电池的正极材料	34
2.3.3 镍氢电池的负极材料	35
2.3.4 镍氢电池的充放电特性	37
2.3.5 镍氢电池的优缺点	39
2.4 锂离子电池	39
2.4.1 锂离子电池的结构与 工作原理	40
2.4.2 锂离子电池的正极材料	41
2.4.3 锂离子电池的负极材料	44
2.4.4 锂离子电池的电解质	45
2.5 其他电池	48
2.5.1 金属空气电池	48
2.5.2 钠硫电池	49
2.5.3 ZEBRA 电池	49
2.6 超级电容	50
2.6.1 概述	50
2.6.2 超级电容的工作原理	51
2.6.3 超级电容的电极材料	53
2.6.4 超级电容的应用	55
2.7 飞轮储能装置	56
2.7.1 飞轮储能装置结构与 原理	57
2.7.2 飞轮储能装置的特点	59
2.7.3 飞轮储能装置的应用	60
思考题	60
第 3 章 车用驱动电动机	61
3.1 驱动电动机概述	62
3.1.1 驱动电动机的工作条件	62
3.1.2 对驱动电动机的要求	62
3.1.3 驱动电动机的类型	63
3.2 直流电动机	65
3.2.1 直流电动机的结构	65
3.2.2 直流电动机的工作原理	67
3.2.3 直流电动机的类型	67
3.2.4 直流电动机的机械特性	68



- 3.2.5 直流电动机的控制 70
- 3.2.6 直流电动机的特点 72
- 3.3 交流异步电动机 73
 - 3.3.1 交流异步电动机的结构 73
 - 3.3.2 交流异步电动机的工作原理 75
 - 3.3.3 交流异步电动机的机械特性 77
 - 3.3.4 交流异步电动机的控制 78
 - 3.3.5 交流异步电动机的特点 83
- 3.4 永磁交流电动机 83
 - 3.4.1 永磁同步电动机的结构与工作原理 83
 - 3.4.2 永磁同步电动机的特点 85
 - 3.4.3 无刷直流电动机的结构与特性 85
 - 3.4.4 无刷直流电动机的控制 87
 - 3.4.5 无刷直流电动机的特点 88
- 3.5 开关磁阻电动机 88
 - 3.5.1 开关磁阻电动机的结构与工作原理 88
 - 3.5.2 开关磁阻电动机的运行分析 90
 - 3.5.3 开关磁阻电动机的控制 92
 - 3.5.4 开关磁阻电动机的特点 93
- 思考题 94

第4章 纯电动汽车 95

- 4.1 纯电动汽车概述 96
 - 4.1.1 纯电动汽车的定义与分类 96
 - 4.1.2 纯电动汽车动力系统的组成 97
 - 4.1.3 纯电动汽车的特点 99
- 4.2 纯电动汽车驱动系统布置 99
- 4.3 纯电动汽车动力系统设计 101
 - 4.3.1 电动机的选择 101
 - 4.3.2 电池的选择 103

- 4.3.3 传动系统的选择 104
- 4.4 纯电动汽车示例 105
- 4.5 纯电动汽车的充电 111
 - 4.5.1 纯电动汽车对充电的要求 111
 - 4.5.2 蓄电池的充电方法 112
 - 4.5.3 充电机 114
 - 4.5.4 充电设施 117
- 4.6 纯电动汽车的再生制动 121
 - 4.6.1 电动机的制动原理 122
 - 4.6.2 纯电动汽车的再生制动原理 126
 - 4.6.3 再生制动的控制策略 127
- 4.7 电池管理系统 128
 - 4.7.1 电池管理系统的功能 128
 - 4.7.2 电池管理系统关键技术 130
- 思考题 137

第5章 混合动力汽车 138

- 5.1 混合动力汽车概述 139
 - 5.1.1 混合动力汽车定义与类型 139
 - 5.1.2 混合动力汽车特点 141
- 5.2 串联式混合动力汽车 142
 - 5.2.1 串联式混合动力汽车原理和工作模式 142
 - 5.2.2 串联式混合动力汽车的功率控制策略 143
 - 5.2.3 串联式混合动力汽车示例 145
- 5.3 并联式混合动力汽车 147
 - 5.3.1 并联式混合动力汽车原理和工作模式 147
 - 5.3.2 并联式混合动力汽车的动力合成 148
 - 5.3.3 并联式混合动力汽车的功率控制策略 151
 - 5.3.4 并联式混合动力汽车示例 154

5.4 混联式混合动力汽车	159	6.4 燃料电池汽车结构与类型	206
5.4.1 混联式混合动力汽车的 原理与工作模式	159	6.4.1 燃料电池汽车的特点	206
5.4.2 混联式混合动力汽车的 优缺点	160	6.4.2 燃料电池汽车的组成	206
5.4.3 混联式混合动力汽车的 功率控制策略	161	6.4.3 燃料电池汽车的类型	209
5.4.4 混联式混合动力汽车 示例	161	6.5 燃料电池汽车的氢安全	215
5.5 插电式混合动力汽车	166	6.5.1 氢气的安全特性	215
5.5.1 插电式混合动力汽车 概述	166	6.5.2 燃料电池汽车氢安全 措施	217
5.5.2 插电式混合动力汽车的 结构与工作模式	169	思考题	220
5.5.3 插电式混合动力汽车 示例	170	第7章 代用燃料汽车	221
5.6 混合动力汽车动力系统设计	172	7.1 天然气汽车	222
5.6.1 概述	172	7.1.1 车用天然气	222
5.6.2 串联式混合动力汽车 动力系统设计	174	7.1.2 天然气汽车的类型与 特点	223
5.6.3 并联式混合动力汽车 动力系统设计	175	7.1.3 天然气汽车的燃料 供给系统	225
5.6.4 混联式混合动力汽车 动力系统设计	175	7.1.4 天然气汽车的应用	230
思考题	176	7.2 液化石油气汽车	233
第6章 燃料电池汽车	177	7.2.1 车用液化石油气	233
6.1 燃料电池概述	178	7.2.2 液化石油气汽车的类型与 特点	235
6.1.1 燃料电池的概念与 特点	178	7.2.3 液化石油气汽车的燃料 供给系统	236
6.1.2 燃料电池的类型	180	7.2.4 液化石油气汽车的 应用	239
6.2 氢的制取与储存	182	7.3 醇类汽车	239
6.2.1 氢的制取	183	7.3.1 甲醇燃料汽车	239
6.2.2 氢的提纯	186	7.3.2 乙醇燃料汽车	243
6.2.3 氢的储存	187	7.3.3 醇类燃料发动机	246
6.3 质子交换膜燃料电池	190	7.4 生物柴油汽车	249
6.3.1 组成与工作原理	191	7.4.1 生物柴油的特点	249
6.3.2 膜电极	191	7.4.2 生物柴油的原料与 生产	250
6.3.3 双极板	198	7.4.3 生物柴油的应用	253
6.3.4 水管理	200	7.5 二甲醚汽车	254
6.3.5 热管理	203	7.5.1 二甲醚的特点	254
		7.5.2 二甲醚的生产	255
		7.5.3 二甲醚汽车的应用	256
		7.6 氢气汽车	258
		7.6.1 氢气燃料的特点	258



7.6.2 氢气汽车的应用	259	8.3.1 纯电动汽车的经济性	270
思考题	261	8.3.2 混合动力汽车的燃油 经济性	273
第8章 电动车辆性能与仿真	263	8.4 电动车辆 ADVISOR 性能仿真	275
8.1 电动车辆的纵向受力	264	8.4.1 性能仿真方法	276
8.1.1 驱动力	264	8.4.2 ADVISOR 软件介绍	277
8.1.2 行驶阻力	265	8.4.3 ADVISOR 的性能仿真 应用	279
8.1.3 行驶方程式	267	思考题	289
8.2 电动车辆的动力性	267	参考文献	290
8.2.1 动力性评价指标	267		
8.2.2 动力性计算方法	268		
8.3 电动车辆的经济性	270		

第 1 章

概 述



本章教学目标

通过本章的学习，要求了解燃油汽车面临的能源和环境问题，理解新能源汽车的含义，了解国内国外新能源汽车的发展情况。



本章教学要点

知识要点	能力要求	相关知识
新能源汽车	理解新能源汽车的含义	纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车及代用燃料汽车的定义
燃油汽车面临的问题	了解全球和我国石油紧缺及当前燃油汽车增长情况； 了解燃油汽车对环境的危害情况	汽车的能量使用效率； 温室效应
国外新能源汽车的发展	了解新能源汽车的发展历史； 了解各国新能源汽车的研发计划； 了解各国新能源汽车的产业发展情况	美国的 PINGV 计划
国内新能源汽车的发展	了解我国新能源汽车的研发计划； 了解我国新能源汽车的产业发展情况	我国新能源汽车产业政策



导入案例

2012年7月,国务院印发的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》制定了新能源汽车到2015年累计产销量达到50万辆及到2020年达到500万辆的目标。但到2014年7月,保有的新能源汽车只有大约7万辆,而且大多数都是城市公交,距离2015年50万辆的目标相差甚远。政府认识到问题的紧迫性,2014年以来出台了一系列新的政策和法规,旨在提升消费者购买新能源汽车的兴趣。这些政策和法规包括:

- 减免三种新能源汽车(纯电动车、插电式混合动力汽车和燃料电池车)10%的购置税。

- 财政部、发展改革委员会和其他相关政府部门联合出台政策,到2016年,政府机关及公共机构购买的新能源汽车占当年配备更新总量的比例不低于30%。

- 一些地方政府对购买新能源汽车实行额外补贴。

- 部分一线城市(如北京和上海)为国产新能源汽车提供上牌配额,甚至免费上牌。

可见,我国对于推广新能源汽车的决心非常大。那么,什么是新能源汽车?我们为什么要大力发展新能源汽车?当前世界各国在新能源汽车研发和普及方面的情况如何?本章的学习将回答以上问题。

1.1 燃油汽车面临的问题

1.1.1 石油日益紧缺和能量使用效率低

1. 石油日益紧缺

石油是现代工业和交通的重要能源,世界各国的经济和社会发展离不开石油。目前汽车的主体仍然是燃油汽车,其能量来源于石油,汽车消耗的石油量约占石油总生产量的一半。随着汽车保有量的逐年增加以及现代工业的不断发展,石油的需求量与日俱增。然而石油是一种不可再生的能源,在地球上的储量是有限的,有限的储量与巨大的需求量间的矛盾形成了日益剧烈的供需失衡,现代社会面临严峻的能源挑战。

《BP世界能源统计2011》的数据显示,2010年的产量为299亿桶,消耗量为319亿桶,截至2010年年底,全球已探明的石油储量为13832亿桶,储产比(年底的储量除以该年度的产量得到的数值,可近似表示剩余储量的开采年限)为46.2。据美国石油业协会估计,即使加上未探明的储量,地球上尚未开采的原油总储量不足两万亿桶,可供人类开采的时间不超过95年。为了延长石油的可开采年限,人们已经不得不开始降低石油开采的速度。国际能源署2009年对全球800多处主要油田所做的评估显示,多数大油田已过产油高峰期,石油生产的下滑速度逐年加大。

中国正处于经济的快速发展期,对石油的需求量巨大,国内的石油产量满足不了实际需求。《BP世界能源统计2011》的数据显示,中国2010年的石油产量为14.9亿桶(占全

球 5.2%)，消耗量为 33.1 亿桶(占全球 10.6%)，截至 2010 年年底已探明的石油储量为 148 亿桶(占全球 1.1%)，储产比为 9.9。

据统计，中国 2002 年石油消费量为 2.24 亿吨，2012 年为 4.92 亿吨，这段时期内，石油产量则基本稳定在 2 亿吨左右，年增幅非常有限，新增石油消费几乎都由进口解决，2002 年石油对外依存为 31%，2012 年达到 58%，11 年间对外依存度增长 27 个百分点，年均增长 2.5 个百分点。

中国汽车工业正进入快速发展阶段，汽车年产量和保有量增加迅速，加剧了我国面临的石油短缺的严峻形势。中国汽车工业协会的统计显示，2012 年中国汽车产销量连续 4 年世界第一，产量 1927.18 万辆，销量 1930.64 万辆，同比分别增长 4.6% 和 4.3%。中国国家统计局发布数据显示，2011 年年末，中国汽车保有量达到 10578 万辆，比上年末增长 16.4%。中国汽车保有量将保持持续增长的势头，业内预计至 2020 年，中国的汽车保有量将达到 2 亿辆。中国未来每年将新增约 1000 万辆汽车，折算每年增加 5000 万吨原油消耗，考虑到中国的石油产能，汽车能源消费的增长需求主要靠进口支撑。

2. 能源使用效率低

石油资源的有限和紧缺决定了我们在使用石油时必须尽量高效地利用它。车用燃油主要由原油提炼得到，但是目前燃油的能量使用效率还比较低。燃油汽车的能量使用效率与发动机的能量转换效率直接相关，发动机的效率一方面取决于发动机的设计、制造水平，另一方面与汽车行驶时发动机的负荷率有关。综合发动机效率、传动系统效率、汽车行驶工况等因素，汽油车和柴油车的平均效率分别约为 16% 和 20%，若考虑燃油制取过程的效率，汽油车和柴油车总的能量效率分别仅为 14% 和 18%。

发展新型动力汽车是提高交通运输的能源使用效率的有效途径。下面以纯电动汽车为例，简要计算其能量使用效率。目前我国火力发电量占 80% 以上，因此以火力发电效率作为计算依据，取平均效率 38%，该效率比内燃机效率高。另外，考虑动力电池、电机、传动系统各环节的能量传递和转换及行驶工况等因素，纯电动汽车的效率仍高达 65%~90%，而从初始能源到车轮的总能量效率为 25%~34%。如果采用核能、水能、太阳能等其他能源的发出的电能，纯电动汽车的能量效率将更高。表 1-1 为各类车辆的能量效率。由表 1-1 可见，采用纯电动汽车、燃料电池汽车、混合动力汽车等新型车辆将能大幅度提高能源的使用效率，有利于节约地球上的宝贵石油资源。

表 1-1 各类车辆的能量效率

初始能源	车载能源	燃料效率 (WIT)	车辆类型	车辆效率 (TTW)	总效率 (WTW)
石油	汽油	88%	汽油车	16%	14%
		88%	汽油机混合动力车	30%	26%
	柴油	91%	柴油车	20%	18%
		91%	柴油机混合动力车	35%	32%



(续)

初始能源	车载能源	燃料效率 (WTT)	车辆类型	车辆效率 (TTW)	总效率 (WTW)
天然气	压缩天然气 (CNG)	85%	CNG 汽车	15%	13%
		85%	CNG 混合动力车	30%	26%
	氢气	59%~64%	燃料电池汽车	50%~60%	29%~39%
煤	电池	发电效率 38%	纯电动汽车	65%~90%	25%~34%

注：燃料效率(Well To Tank, WTT)：燃料从矿井开采、加工、储存到加入油箱过程中的效率。

车辆效率(Tank To Wheel, TTW)：车辆上的燃料被转换和传递到车轮驱动车辆过程中的效率。

总效率(Well To Wheel, WTW)：考虑燃料从矿井开采、加工、储存、加入油箱，以及被转换和传递到车轮驱动车辆的整个过程中的效率。

1.1.2 对环境的危害

1. 二氧化碳(CO₂)排放

当前，地球大气层中的 CO₂ 浓度平均为 387×10^{-6} (百万分之 387)，比工业化之前的 280×10^{-6} 浓度高得多。2000—2009 年间，大气 CO₂ 浓度增长率为每年 2.0×10^{-6} ，且逐年加速。人为因素是导致 CO₂ 浓度急剧上升的主要原因。交通领域的 CO₂ 排放量约占全球 CO₂ 总排放量的四分之一，随着汽车生产量和销量的急剧增加，全球 CO₂ 排放有 16% 来自于汽车尾气排放。

CO₂ 是一种温室气体，温室气体的特点是能够吸收红外线。太阳光穿透大气层到达并加热地面，加热后的地面会辐射红外线从而释放热量，但这些红外线会被大气中的温室气体吸收，热量保留在地面附近的大气中，对地面起到了保温作用，故称之为“温室效应”。水蒸气所产生的温室效应占整体温室效应的 60%~70%，其次是 CO₂，大约占 26%。虽然水蒸气是最主要的温室气体，但与 CO₂ 不同，水蒸气可以凝结成水，大气中的水蒸气含量基本稳定，不会出现其他温室气体的累积现象。因此控制温室效应主要考虑 CO₂。

大量排放 CO₂ 会加剧温室效应，使全球气温升高。若大气 CO₂ 含量比现在增加一倍，气温将升高 3~5℃，两极地区可能升高 10℃。气温升高将导致极端气候造成的自然灾害更强更频繁，如洪水、旱灾、热浪、飓风和龙卷风等。更令人担忧的是，气温升高将使两极地区冰川融化，海平面升高，许多沿海城市、岛屿将面临被海水吞没的威胁。

另外，大气的 CO₂ 含量增加，会逐渐令全球海洋变酸。过酸的海水会导致珊瑚灭绝、浮游生物减少，甚至令海洋食物链崩溃。

2. 有害尾气排放

燃油汽车发动机的有害尾气排放物主要有一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO_x)和微粒排放。发动机排放的有害气体对城市空气构成污染，随着汽车保有量的增加，汽车尾气排放对空气污染的贡献度随之加重。在中大城市，空气污染中 80% 以上的 CO、40% 以上的 NO_x 及 20% 以上的微粒来自于汽车尾气排放。

CO 是燃油在燃烧过程中生成的中间产物，生成机理比较复杂，产生原因包括氧气不

足、燃烧温度低、燃烧时间不足、可燃混合气混合不均等。CO 是一种无色无味的气体，易和血红蛋白结合，对血红蛋白亲和力是氧的 300 倍，吸入人体后，同血液中的血红蛋白结合形成碳氧血红蛋白，阻碍血液向心脏、脑等器官输送氧气，从而引起各种中毒症状，甚至使人窒息。

HC 包括未燃烧和未完全燃烧的燃油、润滑油蒸气及其裂解产物和部分氧化物，产生原因是混合气燃烧不完全、点火不良或泄漏。HC 直接刺激视觉和嗅觉器官，吸入人体后会破坏造血机能，造成贫血、神经衰弱等症状。另外，HC 也可能致癌。

NO_x 主要包括 NO 和 NO₂。NO 是燃料在高温条件下燃烧生成的，生成量取决于氧的浓度、温度及反应时间。废气中 NO 排入大气后形成 NO₂。NO 吸入人体后会造成中枢神经系统障碍。NO₂ 会造成血液中血红蛋白变性，使血液输气能力下降，轻则引起呼吸异常、胸痛、恶心、咳嗽，重则导致肺气肿，直至死亡。

微粒主要指柴油机排气中的炭烟，是由烃类燃料在高温缺氧条件下裂解生成的，主要指直径 0.1~10 μm 的多孔性碳粒，不完全燃烧产物(有些是致癌物质)可附着在碳粒表面。0.1mm 以下的微粒对人体的危害最大，吸入肺叶后会吸附在肺细胞上，其中可溶性有机物、多环芳香烃等是致癌物质。

NO_x 还会和 HC 在阳光作用下产生光化学烟雾，其主要生成物是臭氧，具有强烈氧化性，损坏某些人造材料(橡胶)，伤害植物，使空气能见度降低，刺激人的眼睛和咽喉。

3. 噪声污染

城市噪声对于居民的干扰和危害日益严重，已经成为城市环境的一大公害。城市噪声主要包括交通噪声、工业噪声、建筑施工噪声、社会生活噪声等。城市区域内交通干线上的机动车辆噪声已成为城市的主要噪声，占城市噪声源的 40% 以上。城市交通干线的噪声可达 65~75dB(A)，汽车鸣笛较多的地方甚至在 80dB(A) 以上。

汽车噪声按照接受者位置的不同分为车内噪声和车外噪声，对城市产生噪声污染的是车外噪声。汽车噪声按照产生机理又可分为发动机噪声、传动系统噪声、轮胎噪声和风激励噪声。发动机噪声包括燃烧噪声、进气噪声、排气噪声、风扇噪声及机械噪声等。

汽车噪声影响人们的正常生活和工作，干扰语言交流和通信联络，使人心情不安、烦躁、疲倦，工作效率下降，甚至分散注意力引起工作事故。有人做过试验证明，当噪声达到 45dB(A) 时，已睡眠的人的脑电波就会出现觉醒反映，当噪声达到 55~60dB(A) 时，打电话就有一定困难，当噪声达到 65dB(A) 时，就会明显地干扰谈话。

更严重的情况是噪声可使人的听力和健康受到损害。长时间和大强度噪声作用于人的中枢神经系统，使大脑皮层的兴奋与抑制平衡失调，脑血管张力遭到损害，使人产生头痛、脑涨、耳鸣、失眠、记忆力衰退和全身疲乏无力等症状。汽车噪声还会增加驾驶员和乘员的疲劳，影响汽车的行驶安全。

1.2 新能源汽车的定义与类型

新能源汽车的定义在不同国家其称谓也有所不同，在日本通常称为“低公害汽车”。2001 年日本国土交通省、环境省和经济产业省制定了“低公害车开发普及行动计划”。该



计划所指的低公害车包括 5 类：以天然气为燃料的汽车、混合动力汽车、电动汽车、以甲醇为燃料的汽车、排污和效率限制标准严格的清洁汽油汽车。在美国，新能源汽车通常只指“代用燃料汽车”。

我国已将研发和推广新能源汽车列入国家发展战略，近年来在整车和电池、电机等关键零部件的研究上取得了很大进展，制定了一些相关的生产、检测、试验国家和行业标准。有关新能源汽车的定义和种类划分的政府文件主要有以下两个。

2009 年 6 月工业和信息化部发布的《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》中第三条对新能源汽车的表述是：本规则所称新能源汽车，是指采用非常规的车用燃料作为动力来源(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。新能源汽车包括混合动力汽车、纯电动汽车(BEV，包括太阳能汽车)、燃料电池电动汽车(FCEV)、氢发动机汽车、其他新能源(如高效储能器、二甲醚)汽车等各类别产品。

2012 年 7 月国务院发布的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020 年)》对新能源和节能汽车的表述是：新能源汽车是指采用新型动力系统，完全或主要依靠新型能源驱动的汽车，本规划所指新能源汽车主要包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车及燃料电池汽车。节能汽车是指以内燃机为主要动力系统、综合工况燃料消耗量优于下一阶段目标值的汽车。

1.3 国外新能源汽车的发展概况

1.3.1 新能源汽车的发展历史

新能源汽车是近期才提出来的概念，实际上，作为新能源汽车中的一种，电动汽车出现的时间比内燃机汽车还要早。新能源汽车从最初的电动汽车发展到今天多种类型经历了漫长的过程，发展历程是间断曲折、不连续的。在一百多年的汽车发展历史中，新能源汽车主要经历了以下三个发展阶段。

1. 第一阶段(19—20 世纪初)

直流电机之父匈牙利发明家阿纽什·耶德利克于 1828 年在实验室试验了电磁转动的行动装置。美国人托马斯·达文波特在 1834 年发明了世界上第一辆电动车，这部电动车采用的是不可充电的干电池。1837 年，达文波特因此获得美国电机行业的第一个专利。

1859 年，法国物理学家加斯顿·普朗特发明了可充电的铅酸电池。随着蓄电池技术的发展，电动汽车在 19 世纪的下半叶在欧美得到了较大发展。1881 年，法国人古斯塔夫·特鲁夫在巴黎举行的国际电器展览会上展出了一辆电动三轮车，第一次把直流电动机和可充电电池用于私人车辆。

19 世纪末到 1920 年是电动汽车早期发展的黄金时期。这个时期的电动汽车装有钢丝辐条车轮、充气轮胎和软座椅，可以快速起动、加速并几乎没有噪声，比当时的内燃机汽车有着更多优势，这形成了以蒸汽、电机和内燃机三分天下的局面。1894 年美国人亨利·莫里斯和皮德罗·萨罗姆成立了电动客车和货车公司，制造出经久耐用的车辆，并在纽约

创建了第一个电动车辆出租车队。20世纪初,美国安东尼电气、贝克、底特律电气、爱迪生等公司相继推出电动汽车,电动车的销量全面超越内燃机汽车,占领了美国私人机动车的主要市场。据统计,在20世纪初的全世界所有汽车中,有38%为电动汽车,40%为蒸汽汽车,22%为内燃机汽车。可见,电动汽车在当时的汽车发展中占据着重要位置。

1920年左右,电动汽车的生产达到了顶峰,但自此以后每况愈下,电动汽车市场逐步被内燃机驱动的汽车所取代。出现这种变化的主要原因是:城市道路的改善,人们开始追求高速和续驶里程的延长,电动汽车显得力不从心;内燃机技术取得很大进展,性能提升;石油的大量开发,燃油价格低廉。1920年以后,电动汽车几乎销声匿迹了,汽车工业进入了燃油汽车时代,只有在少数城市保留着有轨电车和无轨电车及少量电瓶车。电动汽车的发展从此停滞了大半个世纪,人们几乎忘记了还有电动汽车的存在。

2. 第二个阶段(20世纪70年代)

燃油汽车的发展特点是对石油供应的强烈依赖。20世纪70年代,全球发生了一场石油紧缺造成的能源危机,世界各国产生了强烈的危机感,在这样的背景下,人们又将注意力转向了电动汽车,电动汽车重新获得发展机遇。但是,这场能源危机过去之后,石油价格在20世纪70年代末开始下跌,石油短缺变得不再严重,这使得电动汽车在技术成熟和形成商业化产品之前,失去了进一步发展的动力。人们对电动汽车的兴趣和研发投入逐渐减小,电动汽车再次进入了发展的沉寂期。

3. 第三个阶段(20世纪80年代末期至今)

20世纪七八十年代是世界尤其是欧美各国工业化的快速发展时期,全球的汽车产量和保有量增加迅速。在20世纪90年代,人们意识到了燃油需求量巨大和石油资源有限的矛盾,开始寻求解决车辆驱动的能量来源问题的方法和途径。

另一方面,汽车数量的快速增加造成的空气污染日益严重。早在1943年,美国洛杉矶就发生了世界上最早的光化学烟雾事件。经过反复地调查研究,直到1958年才发现这一事件是由于洛杉矶的250万辆汽车排气污染造成的,这些汽车每天消耗约1600吨汽油,向大气排放1000多吨HC和400多吨NO_x,这些气体受阳光作用形成光化学烟雾。1971年,日本东京发生了严重的光化学烟雾事件。日本环保部门对东京几个主要光化学烟雾污染源进行调查后发现,汽车排放的CO、HC、NO_x三种污染物约占总排放量的80%。1997年夏季,拥有80万辆汽车的智利首都圣地亚哥也发生光化学烟雾事件,使圣地亚哥处于半瘫痪状态。

人们日益关注汽车排放对空气质量和温室效应所产生的不利影响,一些国家和地区开始实行更严格的排放法规,使得电动汽车发展再次获得机遇,对其进入市场起到了巨大的推动作用。1990年,美国加州大气资源管理局颁布了一项法规,规定1998年在加州出售的汽车中2%必须是零排放车辆,到2003年零排放车辆应达到10%。虽然在1998年这项法规的目标并没有完全达到,但它是一个良好的开端。受加州法规的影响,美国的电动汽车研发和应用迅速开展起来,并引发了世界其他国家电动汽车的发展。

在能源和环境的双重压力下,从20世纪90年代开始,电动汽车的研究开发进入一个活跃期。在这一时期,电动汽车的发展思路已有了重大转变,即由单一的纯电动汽车拓展为多类型的新能源汽车,混合动力汽车、燃料电池汽车、气体燃料汽车等新型汽车有了较大发展。汽车能源的多样化、能量利用高效化及零排放是今后车辆驱动技术的发展方向。



1.3.2 各国新能源汽车发展计划

为满足经济和社会的持续发展,今后较长一段时期全球汽车需求量还将保持增长。为应对日益突出的燃油供求矛盾和环境污染问题,世界主要汽车生产国纷纷加快部署,大力发展和推广应用节能技术,将发展新能源汽车作为国家战略,加快推进技术研发和产业化。

1. 美国

为了增强汽车工业的竞争能力,提高汽车燃料效率,减少有害气体和 CO₂ 的排放,1993 年 9 月美国政府和美国三大汽车公司合作进行“新一代汽车合作伙伴计划”(The Partnership for a New Generation of Vehicles, PNGV)。时任美国总统克林顿形容该计划的意义时称只有阿波罗登月计划可以与 PNGV 计划相比。

PNGV 计划的目标如下。

(1) 提升美国汽车公司的研发和制造水平,降低生产成本,提高汽车产品质量,最终增强美国汽车公司的竞争力。

(2) 将商业可行的新技术应用于传统汽车,提高车辆的燃油效率及改善废气的排放。

(3) 开发出燃油效率 3 倍于现有车辆的新一代车辆。

PNGV 计划对美国 and 全球汽车工业发展的影响深远,具体如下。

(1) PNGV 计划加快了美国汽车业的技术创新和产业升级,带动了能源、电子、信息等其他产业的技术进步和产业调整,提供了美国各工业部门间技术合作集成和成果产业化的有效途径,做出了在市场经济环境下,竞争企业之间以及企业与政府之间开展协作的良好典范。

(2) PNGV 计划加快了汽车产业全球联合重组。20 世纪 90 年代,各国的排放、节能及安全法规日益严格,汽车的开发、销售成本大幅增加,这引发了全球汽车公司合并、合作的潮流。这期间发生了戴姆勒与克莱斯勒合并、雷诺与日产联合、福特收购沃尔沃等事件。各大汽车公司间相互控股也时有发生。

(3) PNGV 计划虽然由美国发起,但它产生的影响是全球性的,引发各国家纷纷效仿,各自制定了本国的新一代汽车发展计划。可以说,PNGV 计划在世界范围内推动了汽车技术创新,引发了现代汽车工业具有划时代意义的大变革。

PNGV 计划开展 10 年之后,在混合动力汽车等方面取得了很大进展,为了适应新的发展形势,美国布什政府 2002 年初对 PNGV 计划进行重组调整,提出了“自由汽车协作计划”(Freedom Cooperative Automotive Research partnership plan, FreedomCAR)。

FreedomCAR 计划的重点是燃料电池汽车技术及相关氢气供应基础设施技术的研究。该计划不仅面向中型私家轿车,而且面向所有轿车和轻型卡车。FreedomCAR 计划由能源部领导,而不像 PNGV 计划由 7 个政府部门参加,最大的不同是燃料供应商参与了该计划。

FreedomCAR 计划的目标如下。

(1) 从可再生能源制造氢燃料电池,摆脱对石油的依赖。

(2) 研究成本不高、无排放污染的各种汽车。

(3) 美国人可自由选择各种汽车,自由地获得经济、方便的燃料。

FreedomCAR 计划的战略步骤如下。

- (1) 研发成本可承担的氢燃料电池汽车技术和氢气供应基础设施。
- (2) 继续研发和推广降低燃油消耗和减少环境污染的技术。
- (3) 研究用于多种车辆的燃料电池技术，而不仅限于某一种类型的汽车。

美国一直致力于提高乙醇以及生物柴油等可再生资源使用量。2005 年发布的《能源政策法案》大力推广乙醇燃料开发，提出 2012 年时要消耗 75 亿加仑的生物质燃料。另外，该能源法还出台多项减税优惠措施鼓励人们购买使用液化气、天然气等非汽油燃料的节能汽车，以提高美国汽车行业的节能效果。2006 年 9 月，美国通过《可再生燃料标准计划》，该计划旨在使美国使用的可再生汽车燃料数量从 2006 年约 45 亿加仑增加到 2012 年至少 75 亿加仑，相当于美国车用汽油需求量的 3.71%。2007 年 1 月 24 日，时任美国总统布什发表国情咨文，宣布了替代能源和节能政策，提出美国应努力在未来十年之内将汽油使用量降低 20%，其中有 15% 是通过利用可再生燃料以及其他替代燃料实现的。美国在 2007 年通过的《能源独立和安全法案 2007》中要求可再生燃料使用量在 2022 年达到 360 亿加仑(约 1.1 亿吨)，预计届时将占美国车用燃料的 22%。

近年来，美国政府加大了对插电式混合动力汽车的研发投入和推广。2007 年 11 月，美国能源部增加 2000 万美元投入加强对插电式混合动力汽车的研发，目标是到 2014 年制造出有成本竞争力的、充电一次就可跑 40 英里的插电式混合动力汽车，并到 2016 年实现批量生产。《2008 年紧急经济稳定法案》规定从 2009 年 1 月 1 日开始，购买插电式混合动力汽车的消费者将获得 2500~7500 美元的税收抵扣额度。2009 年，奥巴马政府将插电式混合动力汽车看成刺激美国经济和拯救汽车业的一张王牌，为了推进插电式混合动力汽车计划，短期内出台了多项措施：投入 140 亿美元支持动力电池、关键零部件的研发和生产，支持充电基础设施建设，消费者购车补贴和政府采购。奥巴马在 2009 年 4 月表示，联邦政府将购买由美国三大汽车厂商制造的 1.76 万辆节能与新能源汽车。2010 年，美国首次将新能源汽车提到国家战略层面，明确提出 2015 年美国要有 100 万辆插电式混合动力汽车。同时，美国联邦政府计划到 2012 年联邦政府购车中一半是充电式混合动力汽车或纯电动汽车，从 2015 年开始联邦政府将仅采购纯电动、混合动力或其他新能源汽车作为政府用车。

2. 德国

德国是一个工业发达但资源短缺的国家，石油、天然气基本依靠进口，煤炭 40% 依靠进口。为改变能源供应依赖进口的局面，德国非常重视新能源的开发和利用，发展方向是可再生能源向电能的转化，德国在风能发电、太阳能发电、生物质能发电等方面的技术处于全球领先。近年，德国政府在再生能源开发应用、电网扩建和提高能效等方面进行了大规模的投入。2010 年，德国电力生产的 17% 来自可再生能源，到 2020 年，这一比例将提高至 35%，到 2030 年为 50%。

近年来，德国政府高度重视新能源汽车的发展，先后制定、出台了一系列政策，采取了多项措施，大力发展和推广新能源汽车，确立的发展路线是将混合动力与清洁柴油技术视为近期过渡解决方案，纯电动汽车作为中远期的解决方案，而氢动力作为远期解决方案。2007 年 12 月，德国政府发布的《能源气候一体化纲要》将加快电动汽车发展列为联邦政府的未来工作目标之一。随后，德国经济部、交通部、环保部和教研部联合成立了电