



· 普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

UTO  
MOBILE

# 新能源汽车技术

XINNENGYUAN QICHE JISHU

主 编 邹政耀 王若平  
副主编 王良模 王书林  
吕立亚 袁鹏平 赵伟军

教学资源库  
<http://js.ndip.cn>



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材

# 新能源汽车技术

主 编 邹政耀 王若平  
副主编 王良模 王书林  
吕立亚 袁鹏平 赵伟军

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书全面、系统地论述了新能源汽车的定义与分类,阐述了环境和能量问题对于发展新能源汽车的必要性和发展现状及趋势;重点介绍了动力电池与能量存储、电驱动系统、纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车的结构、原理及设计方法等;对再生制动的基本原理也进行了介绍。

本书内容丰富,理论性和实用性强,可作为高等院校车辆工程及其相关专业的教材,也可作为从事新能源汽车相关领域的工程技术人员、管理人员和科研人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

新能源汽车技术/邹政耀,王若平主编. —北京:国防工业出版社, 2012. 7

普通高等教育汽车类专业“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-118-08097-1

I. ①新... II. ①邹... ②王... III. ①新能源—汽车—高等学样—教材 IV. ①U469. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 124489 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

开本 787 × 1092 1/16 印张 16 字数 369 千字

2012 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

---

# 前 言

---

环境和能源问题，特别是环境问题是新能源汽车发展的主要推动力，2009年3月20日我国发布了《汽车产业调整和振兴规划》，我国政府非常重视新能源及节能汽车的发展，启动了国家节能和新能源汽车示范工程，由中央财政安排资金给予补贴，支持大中城市示范推广混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车等节能和新能源汽车。本书的内容将对新能源汽车的推广应用起到一定的帮助作用。

本书讨论了新能源汽车技术的有关内容。全书分为7章。第1章讨论了新能源汽车的定义与分类，阐述了环境和能源问题对于发展新能源汽车的必要性和发展现状及趋势；第2章重点介绍了动力电池与能量存储，包含了飞轮电池和超级电容，还简单介绍了复合储能装置；第3章介绍了电驱动系统，并介绍了新能源汽车用主要电机的类型及原理，给出了一个永磁直流无刷电动机控制器的实例；第4章介绍了纯电动汽车的结构及类型，并介绍了一个纯电动车的电源管理系统；第5章介绍了混合动力汽车的结构及原理，给出了混合动力设计的一个实例；第6章介绍了燃料电池汽车的结构及原理；第7章对再生制动的基本原理进行了相关介绍。书中既有新能源汽车广泛应用的成熟技术，同时还介绍了一些国内外有关新能源汽车的新技术。

本书第1章由王若平编写，第2章由袁鹏平编写，第3章由王书林、邹政耀、赵伟军编写，第4章由吕立亚编写，第5章由王良模编写，第6、7章由邹政耀编写。全书由邹政耀统稿。

在编写过程中引用了参考资料中的相关内容，对于引用资料的作者表示感谢。

由于新能源汽车技术还在发展中，很多相关的技术和理论还在研究过程中，再加上作者水平有限，书中的疏漏和不当之处在所难免，敬请指正。

# 目 录

## 第1章 新能源汽车 1

- 1.1 新能源汽车的定义与分类····· 1
- 1.2 汽车对环境、能源的影响及发展新能源汽车的重要性····· 3
  - 1.2.1 汽车对环境的影响····· 3
  - 1.2.2 汽车对能源的影响····· 5
  - 1.2.3 发展新能源汽车的重要性····· 8
- 1.3 汽车新能源····· 8
  - 1.3.1 电能····· 10
  - 1.3.2 氢能源····· 10
  - 1.3.3 天然气····· 10
  - 1.3.4 液化石油气····· 11
  - 1.3.5 醇类燃料····· 12
  - 1.3.6 二甲醚····· 12
  - 1.3.7 太阳能····· 13
  - 1.3.8 生物柴油····· 13
- 1.4 新能源汽车发展现状····· 14
  - 1.4.1 国外新能源汽车发展现状····· 14
  - 1.4.2 国内新能源汽车发展现状····· 16

## 第2章 动力电池与能量存储 22

- 2.1 动力电池分类和基本要求····· 22
  - 2.1.1 新能源汽车动力电池分类····· 22
  - 2.1.2 电池的基本术语和性能指标····· 23

- 2.1.3 新能源汽车对动力蓄电池的基本要求····· 28
- 2.2 电化学蓄电池组····· 29
  - 2.2.1 铅酸蓄电池····· 29
  - 2.2.2 镍氢电池····· 33
  - 2.2.3 动力锂离子电池····· 37
  - 2.2.4 太阳能电池····· 39
- 2.3 超级电容器····· 44
  - 2.3.1 超级电容器的分类····· 45
  - 2.3.2 超级电容器结构与工作原理····· 46
  - 2.3.3 超级电容器的技术指标····· 48
  - 2.3.4 超级电容器的特点和优势····· 49
  - 2.3.5 超级电容器在汽车上的应用····· 50
  - 2.3.6 超级电容器使用注意事项····· 52
- 2.4 超高速飞轮····· 53
  - 2.4.1 超高速飞轮的工作原理····· 54
  - 2.4.2 超高速飞轮的构造····· 56
  - 2.4.3 飞轮电池特性····· 58
  - 2.4.4 超高速飞轮面临的问题及解决方法····· 59
- 2.5 混合能量存储系统····· 59
  - 2.5.1 混合储能系统优点····· 59

2.5.2 几种典型的混合储能系统.....	60	制器实例.....	110
2.6 锂离子电池充电器 .....	62	<b>第4章 纯电动汽车</b> .....	<b>120</b>
<b>第3章 电驱动系统</b> .....	<b>65</b>	4.1 纯电动汽车的发展简介.....	120
3.1 新能源汽车电驱动系统特性要求 .....	66	4.2 纯电动汽车的发展现状.....	121
3.1.1 新能源汽车的驱动电动机特征与特点 .....	66	4.3 纯电动汽车的关键技术.....	124
3.1.2 新能源汽车驱动电动机设计要点 .....	68	4.4 纯电动汽车的基本结构.....	125
3.1.3 新能源汽车驱动电动机.....	69	4.4.1 纯电动汽车典型结构形式 .....	125
3.1.4 功率电子器件 .....	71	4.4.2 电动机及其控制器的主要结构 .....	127
3.1.5 微电子器件 .....	73	4.4.3 电池及管理系统主要结构 .....	128
3.1.6 控制策略 .....	73	4.4.4 辅助系统的主要结构 .....	128
3.2 直流电动机驱动 .....	74	4.5 纯电动汽车电池管理系统与策略.....	129
3.2.1 工作原理及其性能 .....	74	4.5.1 纯电动汽车电池管理系统作用 .....	129
3.2.2 组合电枢电压与励磁控制.....	77	4.5.2 电池管理系统设计要求 .....	130
3.2.3 直流电动机斩波控制 .....	78	4.5.3 电池管理系统的实际举例 .....	130
3.2.4 斩波馈电直流电动机多象限控制 .....	81	4.6 纯电动汽车设计原则.....	130
3.3 感应电动机驱动 .....	84	4.6.1 纯电动汽车整车设计原则 .....	130
3.3.1 感应电动机的基本工作原理.....	85	4.6.2 传动系统参数设计 .....	131
3.3.2 稳态性能 .....	87	4.6.3 动力电池的参数匹配 .....	133
3.3.3 恒压频比控制 .....	89	<b>第5章 混合动力汽车</b> .....	<b>136</b>
3.3.4 电力电子控制 .....	91	5.1 概述.....	136
3.4 永磁无刷直流电动机驱动 .....	92	5.1.1 基本概念 .....	136
3.4.1 永磁无刷直流电动机驱动的基本原理 .....	93	5.1.2 混合动力汽车的主要组成 .....	137
3.4.2 永磁无刷直流电动机的结构和分类 .....	93	5.1.3 混合动力汽车的优缺点 .....	137
3.4.3 永磁体材料性能 .....	97	5.1.4 混合动力汽车的关键技术 .....	138
3.4.4 永磁无刷直流电动机的性能分析和控制 .....	100	5.2 混合动力汽车的分类.....	139
3.4.5 扩展转速技术 .....	103	5.2.1 按照动力系统结构形式划分 .....	139
3.4.6 无检测器技术 .....	104		
3.5 开关磁阻电动机驱动.....	104		
3.6 永磁直流无刷电机驱动控			

5.2.2	按照混合度划分	140	5.8.1	运行模式	195
5.2.3	其他划分形式	141	5.8.2	控制策略	197
5.3	混合动力汽车的基本结构	141	5.8.3	混联式电驱动系参数设计	200
5.3.1	串联式混合动力电驱动系	141	5.8.4	混联式车辆仿真实例	201
5.3.2	并联式混合动力电驱动系	143	<b>第6章 燃料电池汽车</b>		<b>204</b>
5.3.3	混联式混合动力电驱动系	153	6.1	燃料电池特点	204
5.4	混合动力汽车能量管理	156	6.2	燃料电池的工作原理	205
5.4.1	能量的传递路线	157	6.3	电极电位、电流—电压曲线	209
5.4.2	能量的控制策略	157	6.4	燃料和氧化剂的消耗	211
5.5	混合动力汽车制动能量回收系统	158	6.5	燃料电池系统特性	212
5.5.1	制动能量回收系统的组成	158	6.6	燃料电池技术	213
5.5.2	制动能量回收系统的原理	159	6.7	燃料供应	221
5.5.3	混合动力汽车上常用的制动能量回收系统及控制策略	161	6.8	无氢燃料电池	224
5.6	串联式混合动力电驱动系统设计	166	6.9	燃料电池混合动力电驱动系统设计	224
5.6.1	运行模式	167	<b>第7章 再生制动的基本原理</b>		<b>227</b>
5.6.2	控制策略	169	7.1	概述	227
5.6.3	电驱动系参数的设计	171	7.2	制动中的能量损耗	229
5.6.4	设计实例	176	7.3	前后轮上的制动功率和能量	231
5.7	并联式混合动力驱动系统的设计	181	7.4	电动汽车和混合动力电动汽车的制动系统	234
5.7.1	运行模式	181	7.4.1	串联制动	235
5.7.2	控制策略	182	7.4.2	防抱死制动系统(ABS)	236
5.7.3	并联式电驱动系参数的设计	186	7.4.3	BMW 制动能量回收技术	237
5.7.4	并联式车辆仿真实例	194	7.4.4	永磁直流无刷电机用于发电机时的控制电路	237
5.8	混联式混合动力电动汽车的设计	195	7.5	电源管理系统	239
			<b>附录 部分新能源汽车相关国家标准速查</b>		<b>243</b>
			<b>参考文献</b>		<b>245</b>



# 第 1 章

# 新能源汽车

## 1.1 新能源汽车的定义与分类

### 1. 新能源汽车的定义

根据我国汽车产业发展政策，国家发展和改革委员会公告〔2007〕第72号公布了《新能源汽车生产准入管理规则》，2009年在国家《汽车产业调整振兴计划》的指导下，工业和信息化部公告〔2009〕第44号，公布了《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》（以下简称《规则》）。《规则》对新能源汽车做出了明确的定义：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。

2012年4月18日在国务院常务会议上，讨论并通过了《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）》，会议指出，要以线盘驱动为汽车工业转型的主要战略取向，当前重点推进电动汽车和插电式混合动力汽车产业化，推广普及非插电式混合动力汽车、节能内燃机汽车，提升我国汽车产业整平技术水平。该《规划》经过近两年的探讨和征求意见，最大的意义在于政府、企业市场等多方达成共识，并把节能与新能源置于并重位置。

### 2. 新能源汽车的分类

根据《规则》的规定，新能源汽车包括混合动力汽车（HEV）、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、天然气汽车以及其他新能源（如高效储能器、二甲醚）汽车等各类别产品。

#### 1) 混合动力汽车

混合动力汽车是指由多于一种的能量转换器提供驱动动力的混合型电动汽车，即使用蓄电池和副能量单元的电动汽车，其副能量单元实际上是一部燃烧某种燃料的原动机或动力发电机组，目前，混合动力汽车多采用传统燃料的燃油发动机与电力混合。



按照动力系统结构的不同,混合动力汽车可以分为串联式混合动力汽车(SHEV)、并联式混合动力汽车(PHEV)和混联式混合动力汽车(PSHEV)。按照燃料种类的不同,又可以分为汽油混合动力和柴油混合动力两种。目前在国内市场上,混合动力汽车的主流是汽油混合动力,而国际市场上柴油混合动力车型发展也很快。

混合动力汽车是传统内燃机汽车与电动汽车相结合的产物,其关键技术是混合动力系统,它的性能直接关系到混合动力汽车整车性能。混合动力汽车最突出的优势就是其燃油经济性,可以按平均需用的功率确定内燃机的最大功率,使内燃机处于油耗低、污染少的最优工况下工作,一般比传统燃料汽车节约燃油30%~50%,同时也可以显著降低排放;同时电池可以方便地回收制动等工况时的能量;从普及推广的角度可以利用现有的加油站设施,无须新的投资。

但是混合动力汽车也存在着价格高、长距离高速行驶基本不能省油等问题。目前,我国混合动力汽车技术发展较快,部分车型已处于技术成熟期。

### 2) 纯电动汽车

纯电动汽车是指以车载电源为动力,用电机驱动车轮行驶,符合道路交通、安全法规各项要求的车辆。

纯电动汽车完全采用可充电式电池驱动,其基本结构并不复杂,电动发电机和车载电池是其中的关键部件,其中又以电池最为关键。其难点在于电力储存技术。

由于电力可以从多种一次能源获得,不必担心能源的日见枯竭,因此纯电动汽车具有广阔的使用前景,同时纯电动汽车无污染,低噪声,高效能,正是这些优点使电动汽车的研究和应用成为汽车工业的一个“热点”。目前蓄电池单位重量储存的能量太少,充电后行驶里程不理想;高储量的电池使用寿命较短,由于没形成经济规模导致使用成本高,难以实现商业化运营。

对于电动汽车产业化进程而言,目前最大的障碍就是基础设施建设以及价格。与混合动力相比,电动汽车更需要基础设施的配套,而这需要政府投入,相关企业合作共同建设,才有可能大规模普及推广。近年来在我国,继铅酸蓄电池类的纯电动汽车技术发展较为成熟之后,其他蓄电池也有了长足的发展。

### 3) 燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车是利用燃料电池,将燃料中的化学能直接转化为电能来进行动力驱动的新型汽车。

与混合动力汽车相比,燃料电池电动汽车完全不进行燃料的燃烧过程,而是通过电池直接将化学能转化为电能,依靠电机驱动。与纯电动汽车相比,燃料电池汽车动力源主要是燃料电池,而不是蓄电池。燃料电池的能量转换效率比内燃机要高2倍~3倍,糊料电池化学反应过程不会产生有害产物,噪声低。因此从能源的利用和环境保护方面来看,燃料电池电动汽车是一种理想车辆,代表着清洁汽车未来的发展方向。

燃料电池电动汽车使用的燃料包括氢、甲醇、汽油、柴油等,国际上普遍采用的是高能量密度的液态氢。

近几年,虽然国际上在燃料电池技术已经取得了重大进展,但在燃料电池汽车开发中仍然存在着技术性挑战,如燃料电池组的一体化、整车集成、产业化、商业化等。在我国燃料电池电动车领域的研究水平与发达国家相差无几,有关专家指出,我国完全有

能力在这一领域赶超世界先进水平。

#### 4) 氢发动机汽车

氢发动机汽车是在现有的发动机基础上加以改造,从氢气(或其他辅助燃料)和空气的混合燃烧产生能量从而获得动力的汽车。

氢发动机汽车除了具备无污染、低排放等优点外,还具有一些特殊的优势,如对氢的要求较低、燃烧性能高、内燃机技术成熟等。但是氢发动机汽车现在面临氢的制取和液态氢的储存这两大难题,能否有效地解决这两大难题将决定氢发动机汽车的发展前景。

#### 5) 天然气汽车

天然气汽车是以天然气作为燃料的汽车,又称为“蓝色动力”汽车。按照天然气的化学成分和形态,分为压缩天然气汽车(CNG)、液化天然气汽车(LNG)和液化石油气汽车(LPG)三种。天然气汽车由于采用天然气为燃料,所以具有低污染、低成本、安全性高的特点,但动力性能较低,不易携带,而且一旦大规模投入使用,必须建立相应的加气站及为加气站输送天然气的管道,涉及城市建设规划、经费投入和环境安全等诸多因素,成本很高。

我国天然气资源丰富,天然气汽车技术发展较快,在天然气资源丰富的地区,天然气汽车比较普及。

#### 6) 其他新能源汽车

除了以上介绍的新能源汽车以外,还有以有机物质,如醇、醚为燃料的新能源汽车。乙醇汽车用的燃料是乙醇汽油,乙醇汽车技术已经相对成熟,对传统内燃机发动机进行改动即可适应不同的乙醇汽油燃料。乙醇汽车在美国、巴西等乙醇资源丰富的国家发展较快,而在我国还处于起步期。

二甲醚汽车是用二甲醚作为压燃式发动机的燃料,使用方式有两种:一是将二甲醚作为点火促进物质;二是将纯液态二甲醚进行直接燃烧。

我国二甲醚汽车技术开发已经取得了重要进展。如上海汽车集团已经成功开发出二甲醚城市公交客车,并开始了试运行。

## 1.2 汽车对环境、能源的影响及发展新能源汽车的重要性

### 1.2.1 汽车对环境的影响

近几年,由于亚洲汽车工业的迅速崛起全球汽车年产量逐年增高,2011年全球汽车总产量突破八千万辆,截止2011年8月全球汽车保有量突破10亿辆。然而,汽车飞速发展的同时,给自然环境、人文环境及人类的生存和健康带来许多不利影响。

目前,内燃机汽车在国内外汽车市场上仍占绝大部分。汽车发动机燃烧燃料产生动力的同时排放出尾气。尾气的主要成分是二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、一氧化碳( $\text{CO}$ )、氮氧化物( $\text{NO}_x$ )和碳氢化合物( $\text{HC}$ ),还有铅尘和烟尘等污染物和一些固体细微颗粒物。

二氧化碳是大气主要的温室气体之一。当大气中二氧化碳含量升高时,会增强大气

对太阳光中红外线辐射的吸收,阻止地球表面的热量向外散发,使地球表面的平均气温上升,产生温室效应。目前,全世界二氧化碳的排放量已超过 200 亿吨,其中汽车的排放量占 10%~15%。汽车尾气排放物中的二氧化碳占废气总量的 20%。

汽车排放二氧化碳的增多,加速全球变暖,威胁人类生存环境。

图 1-1 表现了 40 年来全球及中国二氧化碳排放总量变化趋势。

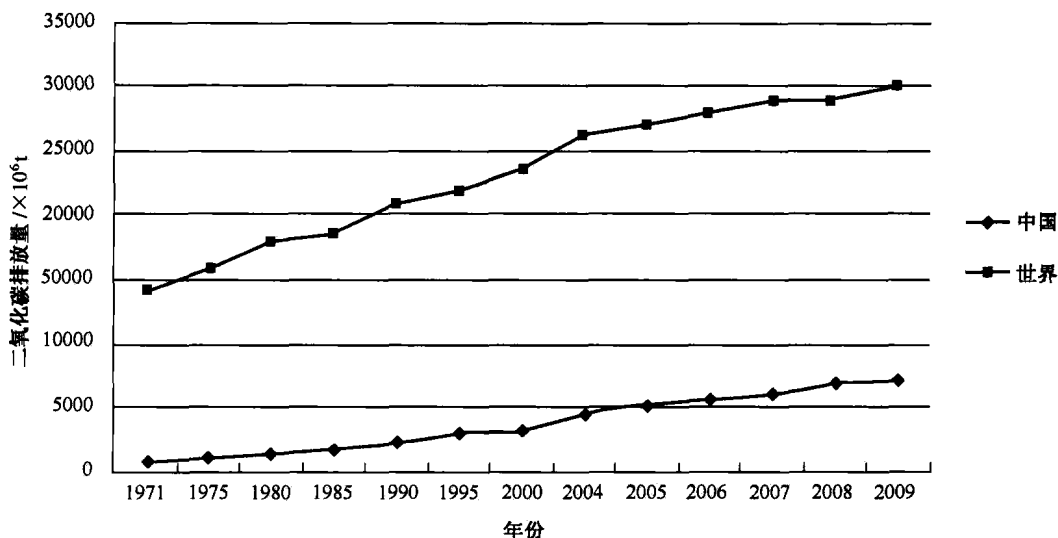


图 1-1 全球及中国二氧化碳排放总量变化趋势

由图 1-1 可见,随着汽车工业的发展,全球及中国二氧化碳排放总量逐年增加,世界碳排放问题日益突出,2009 年世界二氧化碳排放总量达到 300.6 亿 t。其中,据国际能源署 2007 年统计,全球 23% 的二氧化碳来自于交通运输,可见汽车工业是影响碳排放量的一个重要因素。

2009 年,我国二氧化碳排放总量达到 72.2 亿 t,占全球 19.1%,已成为世界第一大二氧化碳排放国,美国以 18.4% 的二氧化碳排放量位于第二位。因此,推广使用新能源汽车,减少二氧化碳排放量,是国家节能减排的必然选择。

汽车尾气中的一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物、颗粒物对人类健康则会产生直接危害。一氧化碳与血液中的血红蛋白结合的速度比氧气快 250 倍,从而削弱血液向各组织输送氧的功能,危害中枢神经系统,造成人的感觉、反应、理解、记忆力等机能障碍,重者危害血液循环系统,导致生命危险。

氮氧化物和碳氢化合物在太阳紫外线作用下,产生一种具有刺激性的化学烟雾,其对人体最突出的危害是刺激眼睛和上呼吸道黏膜。尾气中颗粒物成分很复杂,并具有较强的吸附能力,可以吸附各种金属粉尘、强致癌物质和病原微生物等。颗粒物随呼吸进入人体,会引起呼吸系统疾病及恶性肿瘤。

除了汽车尾气给环境带来的不利影响,汽车在生产、使用至报废过程中都会造成环境污染。汽车制造过程中,塑料制件中使用的氟利昂破坏臭氧层,铅基涂料会造成铅污染,油漆溶剂的散逸也会造成污染等。汽车排入大气中的碳氢化合物和氮氧化物等一次污染物,在阳光的作用下发生化学反应,生成臭氧、醛、酮、酸、过氧乙酞硝酸酯等二次污染物,参与光化学反应过程的一次污染物和二次污染物的混合物形成光化学烟雾,

危害健康。

修建公路、停车场和加油站占用大量耕地，破坏植被，造成水土流失，危害野生动物。汽车报废处理过程中会产生大量固体废弃物、废水、废油等，污染周边环境及地下水资源。

综上所述，鉴于汽车工业高速发展的同时给环境带来严重的负面效应，关注经济发展的同时提高节能环保意识，适时适度推广新能源汽车是当务之急。

## 1.2.2 汽车对能源的影响

传统汽车工业以石油为燃料，对化石能源有巨大的需求和依赖。近年来中国汽车社会化进程加快，汽车产业迎来了跨越式的蓬勃发展时期。但是，汽车产量的急剧增长对能源的负面影响也越来越突出。

### 1. 中国能源储量及进口依赖度

中国虽然是世界能源资源大国，能源资源丰富，但由于中国人口众多，人均能源资源相对贫乏。

据统计，中国煤炭 2008 年的探明储量为 1145 亿 t，占世界总量的 13.86%，居世界第三位，但人均仅为世界人均的 70%；石油和天然气探明储量分别为 21 亿 t 和 2.46 万亿 m<sup>3</sup>，占世界总量的 1.23% 和 1.33%，分别居世界第 14 位和第 16 位，而人均仅为世界的 1/10 和 1/250。

2008 年中国能源的资源及其在世界上的地位见表 1-1。

表 1-1 2008 年世界主要能源储量分布情况

		石油/×10 <sup>8</sup> t	天然气/×10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	煤炭/×10 <sup>8</sup> t
储量	世界	1708	1850200	8260
	中国	21	24600	1145
	亚太	56	153900	2593
	美国	37	67300	2383
中国储量占世界比例		1.23%	1.33%	13.86%
产量	世界	39.29	30656	3324.9 百万 t 油当量
	中国	1.9	761	1414.5 百万 t 油当量
	亚太	3.81	4112	2030.7 百万 t 油当量
	美国	3.05	5822	596.9 百万 t 油当量
中国产量占世界比例		4.84%	2.48%	42.54%
消费量	世界	39.28	30187	3303.7 百万 t 油当量
	中国	3.76	807	1406.3 百万 t 油当量
	亚太	11.83	4853	2031.2 百万 t 油当量
	美国	8.85	6572	565 百万 t 油当量
中国消费量占世界比例		9.57%	2.67%	42.57%

图 1-2 示出了近年中国石油进口依存度变化情况。由图 1-2 可见，随着汽车工业的

发展,我国石油进口依存度连年攀升,2008年突破50%达到19985万t,2010年全国累计进口原油2.39亿t,对外依存度达到53.8%，“十二五”期间,中国石油需求将进一步增加,石油对外依存度很可能越过60%，甚至更高。我国原油消费所占世界原油消费总量的份额从1990年的3.5%增加到2010年的10.6%，原油进口占世界进口总量的份额从1990年的0.2%增加到2010年的5.1%。在石油消费总量上,我国已经成为仅次于美国的石油消费大国。

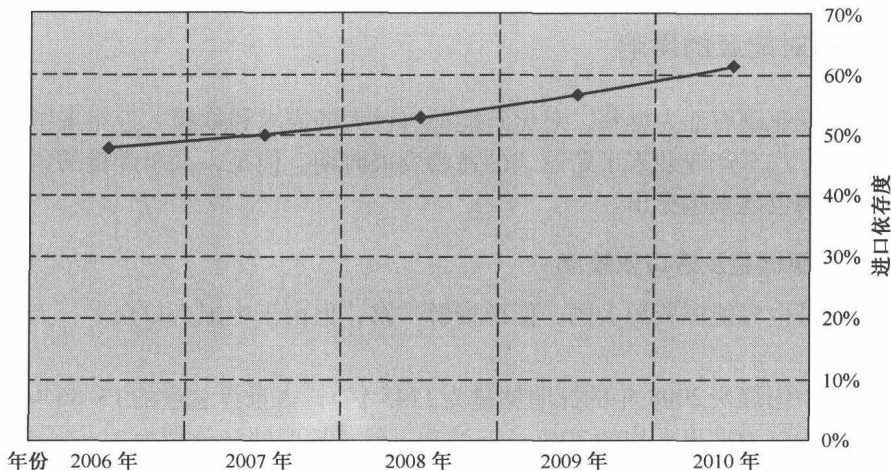


图 1-2 近年中国石油进口依存度变化

在石油进口依存度持续上升情况下,国际石油价格直接影响到我国的能源安全、经济安全乃至国家安全。

图 1-3 为 1992 年至 2008 年迪拜原油现货价格走势。2008 年石油价格已经突破 140 美元/桶。大力降低石油进口依存度,减轻国家经济对石油的依赖,缓解高价油带给市场的巨大压力,使得各种替代能源的研究势在必行。图 1-4 为中国民用汽车拥有量与能源消耗总量趋势图。

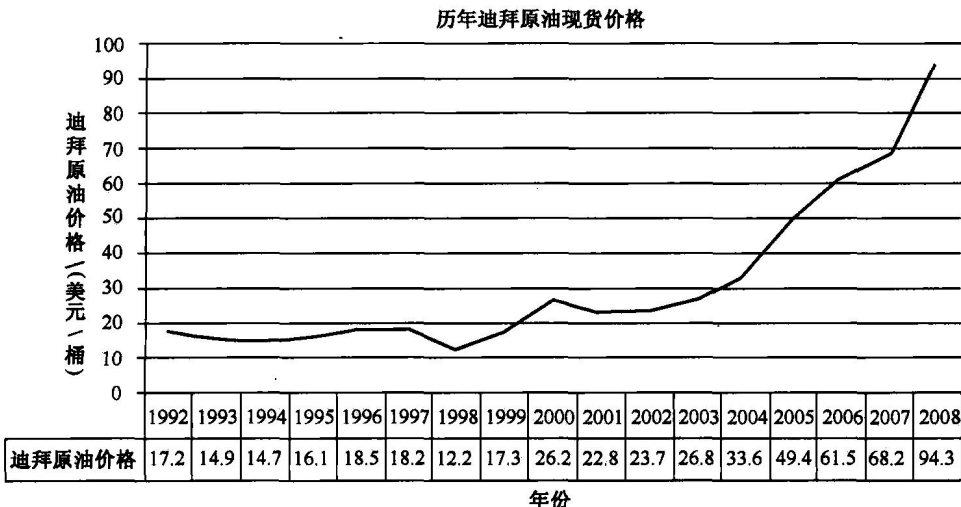


图 1-3 1992 年至 2008 年迪拜原油现货价格走势

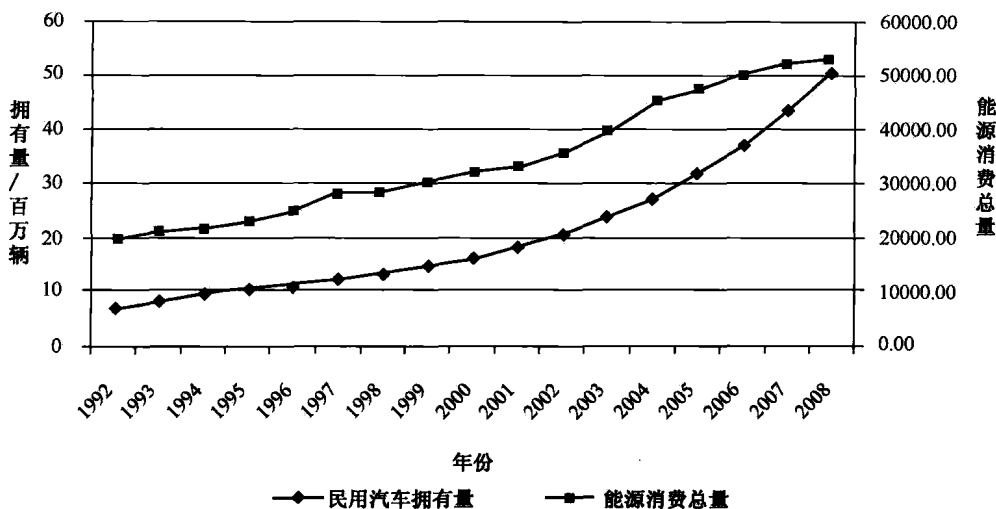


图 1-4 中国民用汽车拥有量与能源消耗总量趋势图

## 2. 汽车增长对石油资源需求影响

近年来我国汽车产业发展迅速，已成为全球第一大汽车市场。2010 年、2011 连续两年年产销量双双突破 1800 万辆，继续保持全球第一，年石油消耗量达到 4.39 亿 t。目前，我国人均 GDP 已超过 3000 美元，消费结构升级是必然趋势，加之国家正处于工业化、城市化的重要阶段，汽车需求的快速增长不可避免。截止 2011 年 6 月末，国内汽车保有量超过 8500 万辆（不含三轮汽车和低速货车）。有分析认为，到 2020 年中国汽车保有量可能达到 1.75 亿辆。按照 2009 年汽车单车年油耗 2.14t 燃油计算，2020 年汽车用油将达到 3.75 亿 t。按照出油率 80% 计算，2020 年汽车用油相当于 2010 年中国石油消耗总量。汽车化与石油消费的矛盾日益突出。图 1-5 是中国交通运输行业燃油消耗与汽车拥有量走势图。

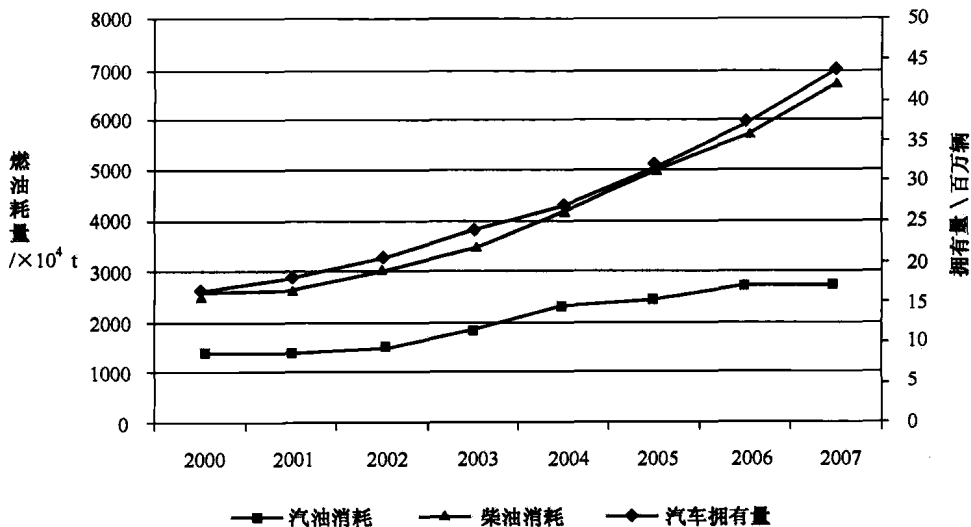


图 1-5 中国交通运输行业燃油消耗与汽车拥有量走势图



### 1.2.3 发展新能源汽车的重要性

如前所述,汽车受环境、能源的制约,其可持续发展是汽车产业必须面对的问题,寻求和开发汽车新的能源以及新的汽车动力方式迫在眉睫。20世纪90年代以来,随着科学技术的进步,以混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车为代表的新能源汽车技术逐步涌现、成熟。随着国际能源供应的持续紧张、原油价格的持续上涨以及全球环境保护呼声的日益高涨,新能源汽车的技术研发和产业化发展受到了越来越多的重视,以美国、欧洲和日本为代表的发达国家和以巴西为代表的发展中国家都积极展开了新能源汽车产业发展的实践。中国作为崛起中的大国,发展新能源汽车有着重大的现实意义和广阔前景。

其次,中国的可持续发展仰赖能源的可持续发展,仰赖新能源的开发。长期以来,我国的工业呈粗放型经济增长方式,能源资源利用效率低下。按美元计算,中国现在每万美元GDP所消耗的能源数量是美国的3倍、德国的5倍、日本的近6倍。有资料显示:中国1t煤产生的效率仅相当美国的28.6%,欧盟的16.8%,日本的10.3%。我国33种主要产品的单位能耗比国际平均水平高出46%。我国能源利用效率比发达国家落后20年,相差10%~20%。我国能源需求还在快速持续增长,传统能源的短缺和有限性凸显新能源开发的必要性和紧迫性,纯电动汽车和燃料电池汽车在汽车使用过程中能够实现零排放,并完全摆脱了对石油资源的依赖,这将成为我国发展新能源汽车的最终目标。

再则,近年我国汽车工业发展速度很快,我国已经成为世界上汽车产业发展潜力最大的地区之一,而且在今后相当长的一段时期内我国汽车产业仍将会保持一种较快的增长势头。面对温室气体排放大幅增加,能源问题日益严重,环境污染不断加剧,选择开发以新能源汽车为代表的节能环保汽车变得尤为重要。

在此背景下,中国发展新能源汽车,不仅有利于降低对石油的依赖,保证我国的能源安全,也有利于我国的环境保护和可持续发展,并为我国汽车产业实现跨越式发展提供重要的战略机遇。

## 1.3 汽车新能源

在能源短缺、环境恶化、生态平衡日益破坏的社会背景下,研究代用燃料问题已成为汽车产业实现可持续发展的必然选择。汽车新能源主要包括电能、氢能源、天然气、液化石油气(LPG)、醇类(甲醇、乙醇)燃料、二甲醚(DME)、太阳能、生物质能等。其优缺点及应用前景见表1-2。

表1-2 汽车新能源的比较

新能源	主要优点	主要缺点或问题	现状与前景
电能	1. 电能来源非常丰富,且来源方式多; 2. 直接污染及噪声很小; 3. 结构简单,维修方便	1. 蓄电池能量密度小,汽车续航里程短,动力性较差; 2. 电池重量大,寿命短,成本较高; 3. 蓄电池充电时间长	1. 从总体看仍处于试验研究阶段,要完全解决技术上的难题并降低成本,还需要一定的时间; 2. 公认的未来汽车的主流

(续)

新能源	主要优点	主要缺点或问题	现状与前景
氢气	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 氢气的来源非常丰富;</li> <li>2. 污染很小;</li> <li>3. 氢的辛烷值高, 热值高</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 氢气生产成本高;</li> <li>2. 气态氢能量密度小且储运不便, 液态氮技术难度大, 成本高;</li> <li>3. 需要开发专用发动机</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 仍处于基础研究阶段, 制氢及储带技术有待突破;</li> <li>2. 有希望成为未来汽车的重要组成部分, 但前景尚难估量</li> </ol>
天然气	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 天然气资源丰富;</li> <li>2. 污染小;</li> <li>3. 天然气辛烷值高;</li> <li>4. 价格低廉</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建加气站网络要求投资强度大;</li> <li>2. 气态天然气的能量密度小, 影响续航里程等性能;</li> <li>3. 与汽油车相比, 动力性低;</li> <li>4. 储带有所不便</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在许多国家获得广泛使用并被大力推广;</li> <li>2. 是 21 世纪汽车的重要类型</li> </ol>
液化石油气	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 液化石油气来源较为丰富;</li> <li>2. 污染小;</li> <li>3. 化石油气辛烷值较高</li> </ol>	<p>面临天然气汽车类似问题, 但程度较轻</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 目前世界上液化石油气汽车的保有量达 400 多万辆;</li> <li>2. 是 21 世纪汽车的重要品种</li> </ol>
甲醇 (乙醇)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 来源较为丰富;</li> <li>2. 辛烷值高;</li> <li>3. 污染较小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 甲醇的毒性较大;</li> <li>2. 需解决分层问题;</li> <li>3. 对金属及橡胶件有腐蚀性;</li> <li>4. 冷启动性能较差</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已获得一定程度应用;</li> <li>2. 可以作为能源的一种补充, 在某些国家或地区可能保持较大的比例</li> </ol>
二甲醚	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 来源较为丰富;</li> <li>2. 污染小;</li> <li>3. 十六烷值高</li> </ol>	<p>面临与液化石油气类似的储运方面的问题</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 正在研究开发;</li> <li>2. 采用一步法生产二甲醚成本大幅度下降后, 可望有较好的发展前景</li> </ol>
太阳能	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 来源非常丰富, 可再生;</li> <li>2. 污染很小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 效率低;</li> <li>2. 成本高;</li> <li>3. 受时令影响</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 正在研究;</li> <li>2. 达到实用需相当长时间</li> </ol>
生物质能	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 来源丰富, 可再生;</li> <li>2. 污染小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 供油系部件易堵塞;</li> <li>2. 冷启动性能差</li> </ol>	<p>可作为能源的一种补充, 应用于某些国家或地区</p>

表 1-3、表 1-4 分别列出典型代用燃料的主要性质和燃烧特性。

表 1-3 代用燃料的主要性质

燃烧性能	二甲醚	丁烷	氢气	甲醇	乙醇	汽油
分子式	$C_2H_6O$	$C_4H_{10}$	$H_2$	$CH_3O$	$C_2H_5O$	—
分子量	46.07	58.13	2.02	52.04	46.7	91.4
熔点/°C	-24.9	-0.5	—	—	—	—
液态密度/( $g/cm^3$ )	668	610	71	769	—	750
低热值/( $kJ/kg$ )	28430	45740	120100	20100	26900	43932
爆炸极限 1% (体积百分比)	3.4~17	1.9~8.4	4.1~74.2	6.0~37	3.5~19	1.3~7.6
着火温度/°C	235	365	574	470	392	257



表 1-4 几种常用代用燃料的主要燃烧特性

燃料性能	二甲醚	压缩天然气	柴油	汽油
液态体积质量	668	—	831	750
十六烷值	55~0	—	40~55	—
辛烷值	—	75	—	—
化学结构	$\text{CH}_3\text{—O—CH}_3$	$\text{CH}_4$ + 其他	—	—
化学当量空燃比	9.0	16.86	14.6	14.7
沸点/°C	-25	-162/-88	180/370	30/190

由表可以看出二甲醚（DME）的热值高于甲醇和乙醇，其中甲醇最低。这三种代用燃料与汽油相比都具有燃用可能性。甲醇和乙醇的爆炸极限宽于汽油，有利于发动机的可操纵性。

与柴油相比，DME 的十六烷值高于柴油，DME 的碳比例较少，易于燃烧，而且自燃温度也低于柴油，这有利于发动机点火和启动。压缩天然气（CNG）是一种相当良好的代用燃料，其含碳量低于柴油，含氢明显高于柴油。但是其自燃温度偏高，点火有点困难。

目前的代用燃料，其在性能上与现用的汽油、柴油基本相当，因此可以保证发动机的热效率、稳定性及其他重要性质。

### 1.3.1 电能

电能的来源方式很多，可由水能、风能、核能、煤炭等任何一种形式的能源转变而来，所以，电能很丰富。这就可以大力发展称为“21 世纪的重要交通工具”的电动汽车。电动汽车以其无污染、易启动、低噪声、易操纵等优点，一直以来深受人们的赞许。因此，发展电动汽车势在必行。电动汽车是全部或部分由电能驱动电机作为动力系统，符合道路交通、安全法规各项要求的汽车。电动汽车包括纯电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池汽车三种类型，是最具代表性、最有前途的新能源汽车。

### 1.3.2 氢能源

氢气与天然气、汽油、LPG 相比，单位质量低，热值高，约是汽油低热值的 2.7 倍。可燃极限宽，易于实现稀薄燃烧，提高经济性，同时可以降低最高燃烧温度，大幅度地降低  $\text{NO}_x$  排放。同时氢的自燃温度（585°C），比天然气、汽油都高，有利于提高压缩比，提高氢能源内燃机的热效率。虽然氢能源的自燃温度比天然气、汽油等燃料高，但其点火能量很低，最小可以低到 0.02MJ，这样氢能源内燃机工作时几乎不失火，具有良好的启动性。氢能源有害物排放少，燃烧主要产物是水，不产生 CO 及 CH，由于氢气火焰的淬冷距离比汽油短，因此靠近缸壁激冷层可燃混合气燃烧更完全， $\text{NO}_x$  排放大大降低。

由于氢能源燃料电池系统在能量密度、体积、反应速度以及成本等方面的问题，以燃料电池为动力的汽车距产业化还有一段距离。内燃机燃料既可以实现氢能源清洁、可