

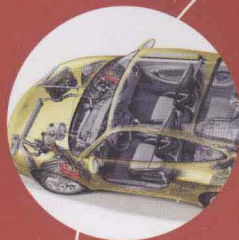
· 汽车现代设计系列丛书 ·

# 电动汽车设计基础

DIANDONG QICHE SHEJI JICHU

主 编 杨世春

副主编 徐 斌 姬芬竹



国防工业出版社

National Defense Industry Press

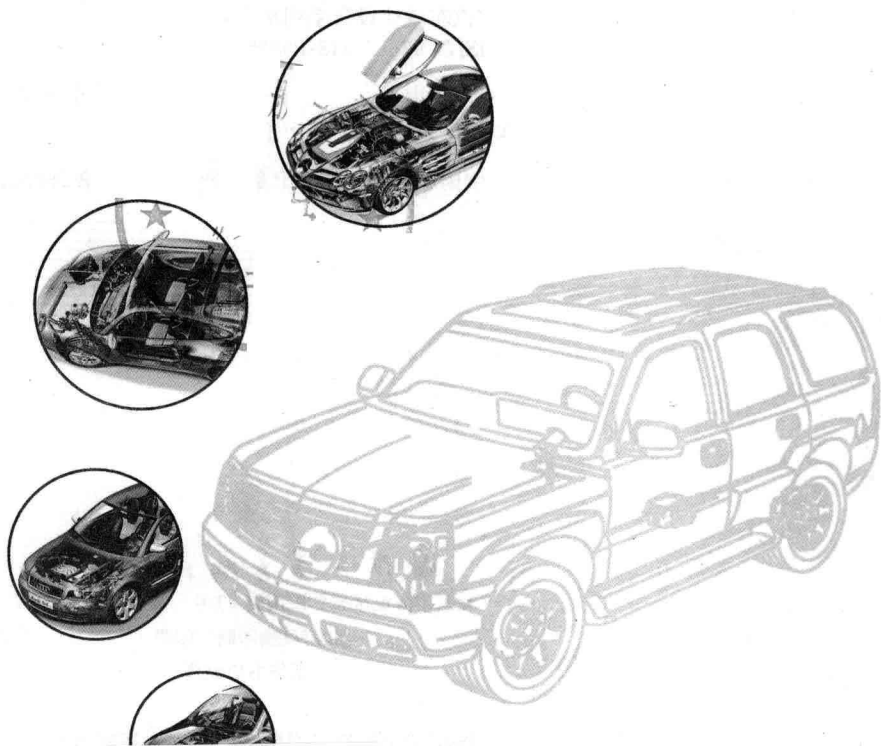
· 汽车现代设计系列丛书 ·

# 电动汽车设计基础

DIANDONG QICHE SHEJI JICHU

主 编 杨世春

副主编 徐 斌 姬芬竹



国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书以混合动力电动汽车设计为主线,全面介绍了电动汽车各组成部分和系统的关键技术和设计方法。主要内容包括:电动汽车的国内外发展现状、车辆的动力学基础、电动汽车驱动电机的分类和选型原则、电动汽车能量存储系统、混合动力电动汽车驱动系统设计原理和控制策略、纯电动汽车整车设计和高压电安全设计、燃料电池电动汽车设计原理、电动汽车电控技术、电动汽车电磁兼容理论与设计等。

本书可以作为车辆工程专业的本科生或专科生教材,也可以作为汽车类工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电动汽车设计基础/杨世春主编. —北京:国防工业出版社,2013.7

(汽车现代设计系列丛书)

ISBN 978-7-118-08815-1

I. ①电… II. ①杨… III. ①电动汽车—设计—高等学校—教材 IV. ①U469.720.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 169264 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 16½ 字数 372 千字

2013 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 35.00 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

## 汽车现代设计系列丛书编委会

### 主 任

李舜酩(南京航空航天大学)

刘献栋(北京航空航天大学)

### 委 员

郝志勇(浙江大学)

李玉芳(南京航空航天大学)

王 建(北京航空航天大学)

王良模(南京理工大学)

王若平(江苏大学)

王新彦(江苏科技大学)

王 忠(江苏大学)

魏民祥(南京航空航天大学)

杨世春(北京航空航天大学)

姚胜华(湖北汽车工业学院)

叶慧飞(浙江大学)

郑再象(扬州大学)

智淑亚(金陵科技学院)

朱茂桃(江苏大学)

# 前言

## Foreword

进入 21 世纪我国的汽车工业得到了飞速发展,截至 2011 年底,我国汽车产销量已经突破 1800 万辆,一跃成为世界第一大汽车产销国。随着汽车工业的快速发展,能源危机和环境污染已经成为人类社会发展的突出矛盾,如何减少汽车对不可再生的石油资源的依赖,发展电动交通工具,特别是发展电动汽车已成为国际社会共同关注的重大问题。

电动汽车技术涉及面广,内容繁多,本书是根据作者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 章讨论了车辆动力学基础,包括车辆纵向动力学和车辆传动装置动力学;第 3 章介绍了电动汽车驱动电机的分类和选型原则;第 4 章介绍了电动汽车用电池和能量存储系统,包括电池分类、工作原理、管理系统及使用维护;第 5 章阐述了混合动力电动汽车驱动系统设计原理和控制策略;第 6 章分析了纯电动汽车的整车设计及高压电安全设计;第 7 章介绍了燃料电池电动汽车的设计原理,包括 DC/DC 转换技术、燃料电池参数设计及设计实例;第 8 章介绍了电动汽车电控技术的发展,包括 CAN 网络、整车控制策略及故障诊断;第 9 章介绍了电动汽车电磁兼容理论与设计;第 10 章介绍了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。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、3、5、6、7、9 章由北京航空航天大学杨世春老师编写;第 2、4 章由北京交通大学耿聪老师编写;第 8 章由北京航空航天大学徐斌老师编写;第 10 章由北京航空航天大学姬芬竹老师编写。全书由杨世春统稿。

在收集资料和电子文档编辑整理的过程中得到了李明博士、靳胜付硕士、曹耀光硕士、麻翠娟硕士、汪冲硕士和周晓旭硕士的帮助,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的大力支持,在此一并向他们表示感谢。

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,书中恐有遗漏和错误之处,恳请广大读者和专家批评指正。

作者  
2013年1月

# 目 录

## Contents

<b>第 1 章</b>	<b>电动汽车发展现状</b> .....	<b>1</b>
1.1	电动汽车发展的必要性 .....	1
1.2	电动汽车及其分类 .....	5
1.2.1	混合动力电动汽车 .....	5
1.2.2	纯电动汽车 .....	5
1.2.3	燃料电池电动汽车 .....	5
1.3	电动汽车的关键技术 .....	6
1.3.1	整车技术 .....	6
1.3.2	电池技术 .....	6
1.3.3	驱动电机及其控制技术 .....	7
1.3.4	整车控制技术 .....	8
1.3.5	电动车充电技术 .....	9
1.4	电动汽车的发展现状 .....	10
1.4.1	国际电动汽车产业加快发展.....	10
1.4.2	电动汽车整车技术发展现状.....	14
<b>第 2 章</b>	<b>车辆驱动和制动系统基础</b> .....	<b>28</b>
2.1	车辆纵向动力学 .....	28
2.1.1	车辆阻力.....	29
2.1.2	车辆动力学方程.....	32
2.1.3	纵向轮胎力与滑动率之间的关系.....	34
2.1.4	法向载荷计算.....	36
2.1.5	轮胎有效半径计算.....	36
2.1.6	动力系的牵引力和车速.....	38
2.2	车辆性能 .....	39
2.2.1	最高车速.....	40
2.2.2	爬坡能力.....	41
2.2.3	加速性能.....	41
2.3	制动性能 .....	43
2.3.1	制动力.....	43
2.3.2	前后轮轴上的制动力分布.....	44

<b>第 3 章</b>	<b>电驱动系统</b>	<b>49</b>
3.1	电动汽车驱动系统对电动机的要求	49
3.2	直流电动机驱动	49
3.2.1	直流电动机的结构	49
3.2.2	直流电动机的工作原理及运行特性	51
3.3	异步电动机驱动	55
3.3.1	异步电动机的结构	55
3.3.2	异步电动机的工作原理及运行特性	58
3.4	永磁无刷电动机驱动	61
3.4.1	永磁无刷电动机的结构	62
3.4.2	永磁无刷电动机的工作原理及运行特性	64
3.4.3	永磁无刷电动机的数学模型	66
3.5	驱动系统电动机的选择	69
3.5.1	电动机类型选择	69
3.5.2	额定电压选择	70
3.5.3	额定转速选择	70
3.5.4	额定功率选择	71
3.5.5	额定转矩选择	71
<b>第 4 章</b>	<b>能量存储系统</b>	<b>72</b>
4.1	电动汽车对电池的要求	72
4.2	电动汽车电池分类及特点	73
4.2.1	铅酸电池	73
4.2.2	镍镉电池	77
4.2.3	镍氢电池	78
4.2.4	钠硫电池	80
4.2.5	钠氯化镍电池	82
4.2.6	锂离子电池	83
4.2.7	锂聚合物电池	85
4.2.8	空气电池	85
4.3	电动汽车电池的应用及发展	88
4.3.1	电动汽车电池的工作特点	88
4.3.2	电池的充电设备	90
4.3.3	电池管理系统	95
4.3.4	电池的使用和维护	100
<b>第 5 章</b>	<b>混合动力驱动系统的设计原理</b>	<b>104</b>
5.1	驱动系统的构造及其设计任务	104
5.1.1	驱动系统的构造	104
5.1.2	串联式混合动力电驱动系	105
5.1.3	并联式混合动力电驱动系	107



5.1.4	设计任务 .....	120
5.2	串联混合动力系统电耦合系统设计原理 .....	120
5.2.1	电耦合装置 .....	120
5.2.2	牵引电动机额定功率值的设计 .....	124
5.2.3	发动机/发电机额定功率值的设计 .....	126
5.2.4	峰值电源设计 .....	127
5.3	并联混合动力系统—机械耦合系统设计原理 .....	129
5.3.1	运行模式 .....	129
5.3.2	控制策略 .....	130
5.3.3	并联式电驱动系参数的设计 .....	133
5.4	混联混合动力系统—机械耦合系统设计原理 .....	141
5.4.1	运行模式 .....	141
5.4.2	混联混合动力系统控制策略 .....	143
<b>第6章</b>	<b>纯电动汽车整车设计 .....</b>	<b>147</b>
6.1	纯电动汽车动力系统原理与结构 .....	147
6.2	电动汽车辅助系统 .....	148
6.2.1	电动空调系统 .....	148
6.2.2	电动助力转向系统 .....	151
6.2.3	电动真空助力制动系统 .....	153
6.3	纯电动汽车高压电安全设计 .....	156
6.3.1	漏电检测 .....	157
6.3.2	器件的选择 .....	160
<b>第7章</b>	<b>燃料电池汽车设计原理 .....</b>	<b>161</b>
7.1	燃料电池汽车结构 .....	161
7.1.1	燃料电池系统 .....	163
7.1.2	DC/DC 变换器 .....	164
7.1.3	驱动电机及其控制系统 .....	166
7.1.4	辅助电池及其管理系统 .....	166
7.2	燃料电池工作原理 .....	166
7.3	燃料电池汽车控制策略 .....	167
7.4	燃料电池汽车参数设计 .....	170
7.4.1	电机功率参数确定 .....	170
7.4.2	燃料电池系统功率设计 .....	171
7.4.3	峰值电源的功率和能量设计 .....	171
7.5	设计实例 .....	172
<b>第8章</b>	<b>电动汽车控制策略 .....</b>	<b>175</b>
8.1	电动汽车整车电子控制系统 .....	175
8.1.1	电动汽车整车电子控制系统 .....	175
8.1.2	电动汽车底盘电子控制系统 .....	179



8.1.3	电动汽车安全控制系统 .....	181
8.1.4	电动汽车信息电子控制系统 .....	183
8.2	CAN 总线在电动汽车上的应用 .....	185
8.2.1	车载网络总线概述 .....	185
8.2.2	CAN 总线的应用 .....	187
8.3	电动汽车整车控制策略 .....	190
8.3.1	纯电动汽车能量管理控制策略 .....	190
8.3.2	混合动力汽车能量管理控制策略 .....	190
8.3.3	燃料电池汽车能量管理控制策略 .....	193
8.4	整车故障诊断功能 .....	194
8.4.1	电动汽车的故障诊断 .....	194
8.4.2	电动汽车故障诊断的基本流程 .....	195
<b>第 9 章</b>	<b>电动汽车电磁兼容理论与设计 .....</b>	<b>196</b>
9.1	电磁场理论基础 .....	196
9.1.1	矢量分析 .....	196
9.1.2	麦克斯韦方程组及边界条件 .....	198
9.1.3	坡印廷定理 .....	199
9.1.4	均匀平面波 .....	200
9.2	电动汽车主要电磁干扰源分析 .....	201
9.2.1	电动汽车动力总成控制器 .....	201
9.2.2	DC/DC 变换器系统干扰源分析 .....	202
9.2.3	电动机的电磁干扰 .....	205
9.3	电动汽车主要干扰传播途径 .....	206
9.3.1	传导耦合 .....	206
9.3.2	辐射耦合 .....	207
9.3.3	电动汽车动力总成控制器耦合途径 .....	207
9.4	电动汽车电磁兼容设计方法 .....	214
9.4.1	接地设计 .....	215
9.4.2	屏蔽设计 .....	217
9.4.3	滤波设计 .....	222
9.4.4	瞬态噪声抑制 .....	227
9.4.5	动力总成控制器的电磁兼容设计方法 .....	229
<b>第 10 章</b>	<b>电动汽车再生制动系统设计原理 .....</b>	<b>230</b>
10.1	再生制动概述 .....	230
10.1.1	再生制动基本原理 .....	230
10.1.2	市区行驶时的制动能量损耗 .....	231
10.1.3	再生发电理论基础 .....	231
10.1.4	再生制动系统结构 .....	232
10.2	再生制动的功率转换电路 .....	233
10.2.1	斩波器的基本工作原理 .....	233

10.2.2	升压斩波器工作原理	234
10.2.3	电动汽车再生制动系统原理	235
10.2.4	再生制动的简化数学模型	237
10.2.5	再生制动的影响因素	238
10.3	电动汽车制动力分配	239
10.3.1	制动过程的动力学分析	239
10.3.2	传统汽车制动力的分配	240
10.3.3	电动汽车制动力的分配	241
10.4	典型再生制动控制策略	243
10.4.1	并行再生制动系统控制策略	243
10.4.2	最佳制动能量回收控制策略	243
10.4.3	理想制动力分配控制策略	244
10.5	再生制动案例分析	245
10.5.1	再生制动力分配	245
10.5.2	仿真结果分析	247
<b>参考文献</b>		<b>250</b>



## 电动汽车发展现状

### 1.1 电动汽车发展的必要性

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,也带来了能源环境的巨大挑战。进入 21 世纪,石油类型的交通能源短缺和环境污染成为汽车工业发展中遇到的两大挑战。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,环境保护呼声的高涨和石油储量日益短缺的压力,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石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汽车电动化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发展迅速,使得电动汽车成为新能源汽车发展的主要方向。

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 年达到 5 亿辆,2010 年达到 10.15 亿辆,保有量实现翻番分别用了 16 年和 24 年。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。全球石油消费量 1950 年达到 5 亿吨,1980 年达到 30 亿吨,2010 年达到 40.3 亿吨。国际能源机构(IEA)的统计数据表明,2001 年全球 57% 的石油消费在交通领域,约占终端能源消费总量的 19%。预计到 2020 年交通用油占全球石油总消耗的 62% 以上。工业化国家交通用能已超过能源消费总量的 30%,能源消耗的主体仍然是石油(见表 1-1)。

表 1-1 世界分地区、分部门终端能源消费结构(2007 年)

地区 \ 部门	分部门消费量/%			
	工业	运输	民用/商业/农业	非能源用途
美国	18.4	40.1	31.6	9.9
欧盟(27)	24.9	27.5	38.2	9.4
日本	28.9	24.1	34.5	12.4
OECD	23.1	32.8	33.7	10.4

资料来源:日本能源经济研究所《日本能源与经济统计手册》,2010。

根据 BP 能源统计,2010 年,世界一次能源总消费以石油换算为 120 亿吨油当量,其中石油占 34%、天然气占 24%、煤炭占 30%、核能占 5%、水电占 6%、可再生能源占 1%(见图 1-1)。石油仍然是主导性燃料(占全球总消费量的 33.6%);但其所占份额连续 11 年下降。国际能源机构(IEA)发布的《世界能源展望 2011》中指出,世界能源结构有可能在今后几十年内产生重大变化,进入油、气、煤、可再生能源、核能五方鼎立的格局。终端能源消费中,随着发电效率、发电洁净程度和电网高效化、智能化,将出现电代替化石能源的长期趋势。

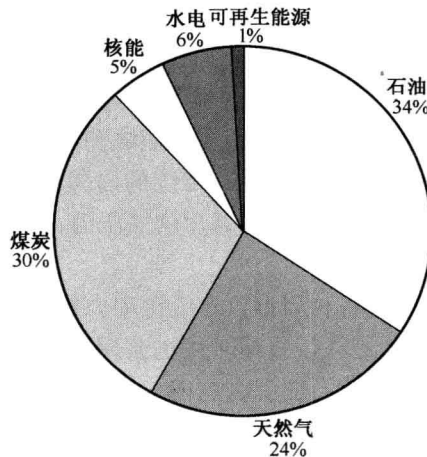


图 1-1 2010 年世界能源按类型划分的消费量

总体来看,世界石油工业高速增长的时期已经过去,当前和今后较长时间的国际石油资源和地缘政治条件,使世界石油产量增加受到明显制约,只能维持平均年增 1%左右的水平。随着发展中国家大规模使用优质化石能源,将使石油资源平衡进一步趋紧。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两倍。国际油价的反复高位震荡,说明世界石油的供需平衡已经十分脆弱。

随着全球汽车保有量的不断增长,油气价格不断攀升是未来大趋势。特别是 21 世纪以来,受世界石油可采储量限制、美元不断贬值、新兴经济体需求刺激和地缘政治变化等多重因素影响,国际原油价格不断攀升,2004 年越过 40 美元/桶,2008 年创下 147.25 美元/桶的天价,近两年在 70~100 美元/桶区间上下高位波动,2010 年再次突破 100 美元/桶,极大提高了全球经济社会发展的成本(见图 1-2)。

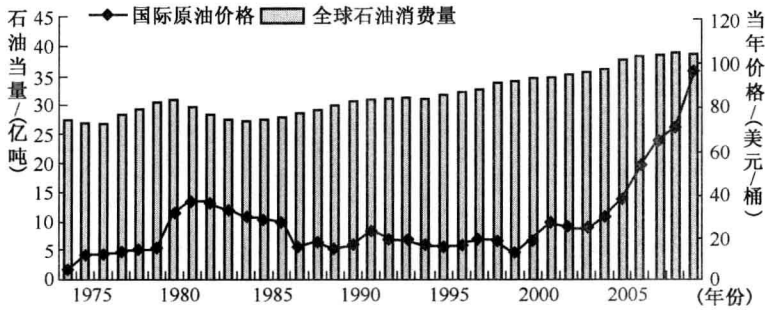


图 1-2 全球石油消费量和国际原油价格走势

世界汽车产业能否取得长期持久的发展,车用能源的保障能力、价格可承受能力是关键。从图 1-3 可以看出,汽车的动力能源的选择具有多样性和相互可替代性的特征。随着石油价格的长期走高,以及石油相对于天然气、生物质燃料和电力的价差进一步拉大,为“以气代油”和“以电代油”的新能源汽车逐步取代传统燃油汽车提供了经济上的可行性。石油与替代能源以及电力的比价关系变化日益成为决定新能源汽车产业发展的关键因素,这种比价关系的长期发展将推动新能源汽车最终越过技术和基础设施投资转换的门槛,成为占主导地位的汽车类型。

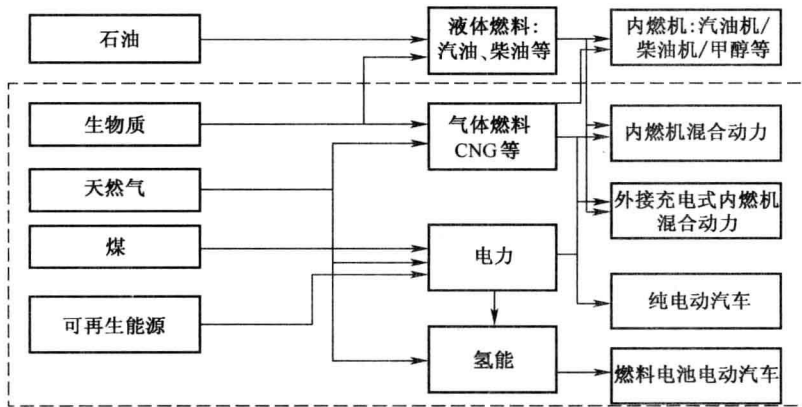


图 1-3 车用一次和二次能源的主要类型

我国机动车保有量呈现快速增长趋势,从 2000 年的 1607 万辆增长到 2010 年的 8500 万辆,10 年增长了 4.3 倍(见图 1-4)。2011 年底,我国汽车保有量更是突破了亿辆大关,达到了 1.04 亿辆。尽管我国汽车保有量增速较快,但截至 2010 年,每千人汽车保有量仅为 60 辆,与每千人 139 辆的世界平均保有量水平存在较大差距,仅相当于美国 1918 年和日本 1965 年的汽车保有量水平,增长潜力巨大。未来 30 年我国汽车保有量还将处于快速增长期。综合各种预测,预计 2020 年我国汽车保有量将达到 2.2 亿~2.5 亿辆,2030 年将达到 3.6 亿~3.9 亿辆。

随着我国汽车保有量的快速增长,车用燃料正成为石油消耗增长最快的领域。我国汽油和柴油的合计消费量从 2005 年的 8197 万吨增长到 2010 年的 14899 万吨,占当年石油表观消费量的比重约为 33%,占当年终端能源总消耗量的比重约为 6.5%(见图 1-5)。其中,汽车消耗的汽油占汽油消耗总量的 85%以上,汽车消耗的柴油占柴油消耗总量的 40%以上。如果按

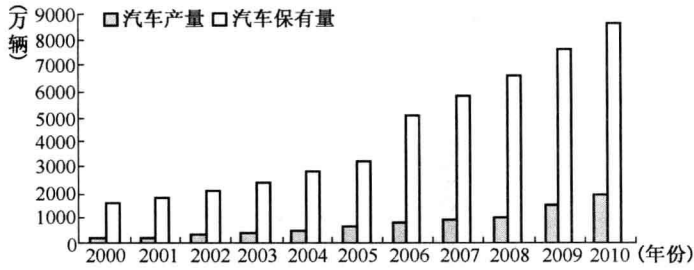


图 1-4 我国 2000~2010 年汽车产量和保有量

当前的燃油经济性计算,并假定汽车保有结构和年平均行驶里程较为稳定,那么我国 2020 年的汽车燃油消费(含汽油与柴油)将达到 3.85 亿~4.4 亿吨,2030 年将达到 6.3 亿~6.8 亿吨。

我国能源结构的典型特征是富煤、缺油、少气。从能源消费结构看,2010 年我国煤炭占一次能源消费的比重仍很高,达 70.9%,石油和天然气分别占 16.5%和 4.3%,水电、核电和风电等可再生能源的比重合计为 8.3%(见图 1-6)。从我国能源供给趋势来看,石油最高产量应低于 2.3 亿吨,2010 年原油产量为 2.03 亿吨,基本达到高位区间。而同年我国原油表观消费量达到 4.39 亿吨,石油净进口量为 2.55 亿吨,原油对外依存度达到 55.7%。

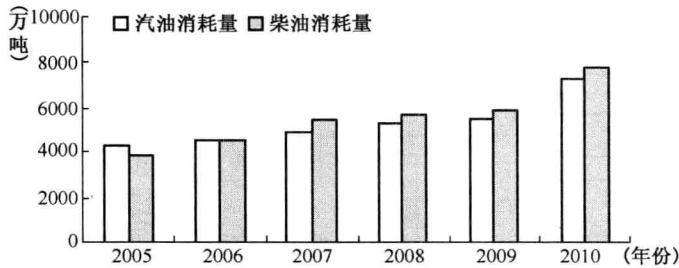


图 1-5 我国 2005—2010 年汽车汽油柴油消耗量

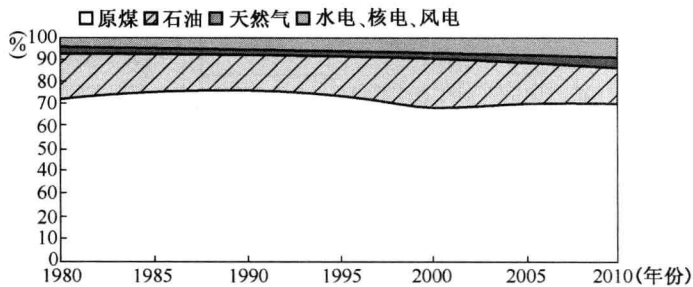


图 1-6 我国 1980—2010 年能源品种结构变化

如果我国 2020 年的汽车燃油消费(含汽油与柴油)达到 4 亿吨,2030 年将达到 6.5 亿吨,意味着我国石油表观消费量将分别达到 6.7 亿吨和 10.8 亿吨(假设汽、柴油占石油表观消费量的比重达到 60%),即使石油产量保持在 2 亿吨,进口依存度也将分别达到 70%和 81%,远远超过美国石油 65%的对外依存度峰值,这是我国能源安全根本不能承受的。

在全球石油资源分配格局早已稳固的情况下,我国作为后起国家,在自身石油生产无法满足国内需求的情况下,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。在汽车总保有量持续增长的背景下,大力发展节能与新能源汽车,在降低单车油耗的同时,加大

天然气、生物燃料、电能、氢气对石油的替代力度,减缓石油消耗的增长势头,把石油对外依存度控制在一定范围,既是我国能源安全战略的重要举措,也是我国车用能源战略的必然选择。

根据国务院发展研究中心的预测,2020年我国混合动力汽车和纯电动汽车合计对总油耗的替代率将达到6.3%,届时将可替代石油2425万~2772万吨;2030年对总油耗的替代率将达到27.5%,届时将可替代石油1.73亿~1.87亿吨。根据清华大学中国车用能源研究中心的测算,电动汽车发展情景在2030年和2050年的车用燃料当年消费量与基准情景相比,分别减少4.5%和17.1%,车用汽油消费量分别减少11%和47%。短期内,传统汽车的技术进步将极大地促进汽车的节油。但长期来看,电动汽车则会随着技术的不断成熟而普及,其替代石油的优势也会逐步显现出来。因此,我们必须抓住历史机遇,根据国家能源总体战略制定分阶段的车用能源战略和新能源汽车发展战略,积极有序地推进新能源汽车发展。

## 1.2 电动汽车及其分类

现代电动汽车已经不是100年前陈旧电动汽车技术的重复,它是以电池为动力源,全部或部分由电机驱动,集中了机、电、化等各学科领域的高新技术,是汽车、电力拖动、功率电子、自动化控制、化学能源、计算机、新能源、新材料等工程技术中最新成果的集成产物。按照目前技术状态和车辆驱动原理,电动汽车分为混合动力电动汽车(HEV)、纯电动汽车(PEV)和燃料电池电动汽车(FCEV)三种类型。

### 1.2.1 混合动力电动汽车

混合动力电动汽车,是在目前还找不到理想的高质量比能量和高质量比功率的车载电源之前,电动汽车的发展暂时受到限制而发展起来的新型车型。混合动力电动汽车既是一种过渡车型,也是一种独立车型。根据国际机电委员会下属的电力机动车委员会的建议,有两种或者两种以上储能器、能源或者转化器做驱动能源,其中至少有一种能提供电能的车辆称为混合动力电动汽车。根据这个通用定义,混合动力电动汽车有很多种形式,可以使汽油机与蓄电池混合,柴油机和蓄电池混合,柴油机和燃料电池混合,蓄电池和超大电容器混合,蓄电池与飞轮混合,蓄电池和蓄电池混合等。但是一般认为混合动力电动汽车是既有内燃机又有电机驱动的车辆。混合动力电动汽车能把电动汽车的续驾里程延长,而且能够快速添加汽油和柴油,并且内燃机稳定的工况使得排放易于控制,不过结构相对复杂,也不是完全零排放。与普通的燃油车相比,在相同行驶里程条件下,其燃油消耗率和排放要小得多,也可以工作在零排放区域。混合动力电动汽车按照能量合成的形式主要分为串联式、并联式、混联式和复合式。

### 1.2.2 纯电动汽车

纯电动汽车又称蓄电池电动汽车,是一种仅采用蓄电池作为动力源的汽车。电池通过功率转换装置向电机提供电能并驱动其运转,电机通过传动装置带动车轮旋转从而推动汽车运动。纯电动汽车主要由蓄电池、电池管理系统、驱动电机和驱动系统、车身和底盘以及安全保护系统等构成。电动汽车蓄电池主要有铅酸电池、镍氢电池、镍镉电池、钠硫电池、锂离子电池、锌空气电池等。

### 1.2.3 燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车是以氢气为燃料,氢气与大气中的氧气发生化学反应,通过电极将化学



能转化为电能,以电能作为动力驱动汽车前进。燃料电池的化学反应过程不会产生有害产物,具有高效率、无污染、零排放、无噪声等优势。燃料电池的能量转化效率比内燃机要高 2~3 倍,因此从能源利用和环境保护来看,燃料电池汽车是一种理想的车辆。

燃料电池电动车的基本机构按照驱动形式可以分为纯燃料电池驱动和混合驱动两种;按照能量来源可分为车载纯氢和燃料重整两种;根据燃料电池提供的功率占整车总需求功率比值的不同,燃料电池混合动力电动汽车分为能量混合型和功率混合型。

### 1.3 电动汽车的关键技术

各国政府和汽车企业普遍认为节能和减排是未来汽车技术发展的主攻方向,发展电动汽车是解决这两个技术难点的最佳途径。发展电动汽车的关键技术包括整车技术、电池技术、驱动电机及其控制技术、整车控制技术、电动车充电技术和燃料电池技术。

#### 1.3.1 整车技术

电动汽车是高科技综合性产品,除电池、电动机外,车体本身也包含很多高新技术。采用轻质材料如镁、铝、优质钢材及复合材料,优化结构,可使汽车自身质量减轻 30%~50%;实现制动、下坡和怠速时的能量回收;采用高弹滞材料制成的高气压子午线轮胎,可使汽车的滚动阻力减少 50%,特别是汽车底部流线型,可使汽车的空气阻力减少 50%。

蓄电池是电动汽车的储能动力源。电动汽车要获得非常好的动力特性,必须具有比能量高、使用寿命长、比功率大的蓄电池作为动力源。因此必须对蓄电池进行系统管理。

能量管理系统是电动汽车的智能核心。一辆设计优良的电动汽车,除了有良好的机械性能、电驱动性能、适当的能量源(即电池)外,还应该有一套先进的能量管理系统。它能维持电动车所有蓄电池组件的工作,并使其处于最佳状态;采集车辆的各个子系统的运行数据,进行监控和诊断,控制充电方式和提供剩余能量显示等。能量管理系统研究与开发不仅要建立包括蓄电池在内的电动车的数学模型,而且要开发以微处理器为核心的电子控制单元。

#### 1.3.2 电池技术

电源为电动汽车的驱动电动机提供电能,电动机将电源的电能转化为机械能,通过传动装置或直接驱动车轮和工作装置。

目前制约电动汽车发展的关键因素是动力蓄电池不理想。主要表现为蓄电池的比能量、比功率不够大,造成续航里程不够长;充电时间较长,使用不方便,使用寿命短,成本高。但是随着科学技术的发展,现在电动汽车的电池技术得到了飞速发展,已达到实用化要求。各种车用电池的性能比较如表 1-2 所示。

表 1-2 各种电池性能比较

电池类型	比能量 /(kW·h/kg)	比功率 /(W/kg)	能量密度 /(kW·h/L)	功率密度 /(W/L)	循环寿命 /次
铅酸蓄电池	35	130	90	500	400~600
镍镉蓄电池	55	170	94	278	500 以上
镍氢蓄电池	80	225	143	470	1000 以上