



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
新能源汽车专业规划教材

电动汽车 结构与原理

赵立军 佟钦智 主 编



新能源汽车
国家战略性新兴产业
21世纪汽车工业发展热点



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

电动汽车结构与原理

主 编 赵立军 佟钦智
副主编 魏平涛 盛团结



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

前言

自 1886 年汽车诞生起,汽车已经历了 120 多年的发展。随着科学技术的进步与经济的发展,汽车已经成为人们日常生活中离不开的代步工具或运输工具。然而随着全球人口的急剧膨胀,到 2011 年,实际总人口已突破 70 亿人。《2010 年世界人口状况报告》预测,到 2050 年,世界人口将超过 90 亿人。能源紧缺、环境污染、气候变暖成为了汽车产业面临的难题和挑战。我国是一个能源紧缺的国家,国家通过汽车产业的调整或振兴规划,新能源汽车的研发受到越来越多的关注。国家重点强调以新能源汽车为突破口,加强自主创新,形成新的经济增长点和竞争优势。

电动汽车作为新能源汽车的领军者,尤其受到人们的关注和追捧。电动汽车的推广和应用,已成为我国各地实施新能源战略的热门话题。电动汽车虽然目前仍有诸多的限制因素,但相比过去,电动汽车的发展可谓是日新月异,而且性能不断提高,新品辈出,并不断推向市场。

本书结合目前电动汽车的主流设计理念,全面系统地论述了电动汽车技术。全书共分 10 章。第 1 章阐述了电动汽车发展概况以及目前的政策导向和适用的法律法规状况;第 2 章概括叙述了电动汽车的构造和组成部分;第 3 章和第 4 章着重介绍了电动汽车关键零部件——能量源及电动机的类型、特点、工作原理和基本特性;第 5 章介绍了电动汽车的冷却系统;第 6 章介绍了转向、暖风、空调等辅助系统在电动汽车中的应用;第 7 章介绍了电动汽车的电气系统;第 8 章介绍了电动汽车的充电系统,阐述了充电模式对电池的影响,并介绍了目前国内对电动汽车充电的方案;第 9、10 章介绍了电动汽车设计计算及车辆设计的关键因素等,介绍了仿真分析在电动汽车设计中的应用。

本书第 1、2、8~10 章由赵立军、佟钦智编写;第 3、4、6 章由魏平涛编写;第 5 章由陈兆伟与佟钦智合作编写;第 7 章由盛团结和胡子龙合作编写。全书由赵立军统稿。

本书有编者近几年来在电动汽车设计领域的研究成果,也有收集到的国内外有关文献资料及研究成果。本书系统地从理论上和实践上对电动汽车进行了分析,内容包括了电动汽车的能源系统、驱动系统、辅助系统、控制系统、计算仿真、基础设施等。希望本书的出版能对电动汽车的科学技术人员有所帮助,本书也适用于大专院校师生、政府有关部门人员和企业的工程技术人员阅读参考。

尽管我们努力欲将国内外电动汽车领域的最新发展和技术介绍给读者,但由于各类电动汽车的发展日新月异和新技术的不断推出,以及作者的水平限制,难免有疏漏之处,恳请读者不吝指正。

谨以此书献给多年来帮助编者的各界朋友和广大读者。

编者

2012 年 5 月

目 录

第 1 章 电动汽车发展概况 1

1.1 电动汽车的定义	2
1.2 电动汽车的历史与现状	2
1.2.1 国际电动汽车的发展状况	4
1.2.2 国内电动汽车的现状	5
1.3 不堪重负的环境压力	8
1.4 电动汽车常见产品和发展方向	8
1.4.1 电动汽车的发展方向	9
1.4.2 国内常见的电动汽车	9
1.4.3 国外电动汽车产品	10
1.5 电动汽车的关键技术和优劣分析	11
1.5.1 电动汽车的关键技术	11
1.5.2 电动汽车优势	13
1.5.3 制约电动汽车发展的不利因素	14
1.6 电动汽车的法规与标准	15
1.6.1 电动汽车的准入准则	15
1.6.2 我国电动汽车发展阶段	18
1.6.3 电动汽车的相关标准	19
1.7 电动汽车常用技术术语	21
1.7.1 整车术语	21
1.7.2 电动机及控制器	23
1.7.3 蓄电池	25
1.7.4 充电器	29
小结	30
习题	30

第 2 章 电动汽车的结构组成 31

2.1 电动汽车的基本结构	32
2.2 电动汽车结构类型	33
2.2.1 电动汽车电力驱动系统的结构类型	34
2.2.2 电动汽车储能装置的结构类型	36

2.2.3 电动汽车按行驶速度分级	38
-------------------------	----

2.3 电动汽车的行驶性能	40
2.3.1 电动汽车的动力性	40
2.3.2 电动汽车的续驶里程	40
2.4 电动汽车的发展前沿	41
小结	41
习题	42

第 3 章 电动汽车能量源 43

3.1 动力电池概述	45
3.1.1 化学电池的基本组成	45
3.1.2 电池的基本常识	45
3.1.3 电池的种类	46
3.1.4 电池的性能指标	47
3.1.5 各种车用电池的性能比较	50
3.2 铅酸蓄电池	51
3.2.1 铅酸蓄电池的结构和原理	51
3.2.2 铅酸蓄电池的充放电特性	52
3.2.3 铅酸蓄电池的种类及现状	52
3.2.4 铅酸蓄电池的应用	53
3.3 二次锂电池	54
3.3.1 锂离子电池	54
3.3.2 磷酸铁锂电池	55
3.3.3 聚合物锂离子电池	57
3.4 镍氢蓄电池	58
3.4.1 镍氢电池的分类与特点	58
3.4.2 镍氢电池的工作原理	58
3.4.3 镍氢电池的结构	59
3.4.4 镍氢电池的性能特征	59
3.5 钠硫蓄电池	59



3.5.1 钠硫蓄电池的结构原理	60	4.2.3 直流电动机的结构	95
3.5.2 钠硫蓄电池的性能特点	60	4.2.4 电动汽车用直流电动机	96
3.5.3 钠硫蓄电池的优缺点	61	4.2.5 直流电动机的调速方法	98
3.6 燃料电池	61	4.3 交流异步电动机	99
3.6.1 燃料电池的基本原理	61	4.3.1 交流异步电动机的工作原理	99
3.6.2 燃料电池的特点	62	4.3.2 交流异步电动机的结构	100
3.6.3 燃料电池分类	63	4.3.3 交流异步电动机的性能特点	101
3.6.4 常见燃料电池	64	4.3.4 交流异步电动机的控制方法	102
3.7 其他储能装置	68	4.4 开关磁阻电动机	103
3.7.1 空气电池	68	4.4.1 开关磁阻电动机的工作原理	104
3.7.2 超级电容	70	4.4.2 开关磁阻电动机的结构	104
3.7.3 飞轮储能器	73	4.4.3 开关磁阻电动机的性能特点	105
3.8 电池性能的检测方法	75	4.4.4 开关磁阻电动机的控制方法	106
3.8.1 电池充放电性能测试	75	4.5 永磁同步电动机	109
3.8.2 电池容量测定	76	4.5.1 永磁电动机的分类	109
3.8.3 电池循环次数测试	77	4.5.2 永磁同步电动机的结构	109
3.8.4 电池内阻的测定	78	4.5.3 永磁同步电动机的性能特点	111
3.8.5 自放电及储存性能测试	78	4.5.4 永磁同步电动机的控制	112
3.8.6 安全性测试	78	4.6 其他电动机	114
3.8.7 超级电容器性能检测方法	80	4.6.1 轮毂电动机	114
3.9 电池组的选择与设计	82	4.6.2 交流励磁记忆电动机	115
3.10 电池的技术水平和发展方向	84	4.6.3 外转子型双励磁永磁无刷电动机	117
3.10.1 当前几种动力电池的技术水平	84	4.7 新能源汽车驱动系统的发展方向	119
3.10.2 动力电池的发展动向	86	4.7.1 新型电动机的发展和应用	119
小结	86	4.7.2 电动机控制技术的发展方向	120
习题	87	小结	121
第4章 驱动电动机	88	习题	122
4.1 概述	89		
4.1.1 新能源汽车电动机驱动系统的种类和特点	90		
4.1.2 新能源汽车对电动机的性能要求	91		
4.1.3 电动汽车用电动机的分类	92		
4.2 直流电动机	93		
4.2.1 直流电动机的分类	93		
4.2.2 直流电动机的工作原理	94		

第 5 章 电动汽车循环冷却技术 123

- 5.1 电动汽车循环冷却系统的要求 124
- 5.2 电动汽车循环冷却系统设计
步骤 124
- 5.3 电池散热系统 125
 - 5.3.1 铅酸电池 125
 - 5.3.2 锂离子电池 125
 - 5.3.3 钠硫电池和燃料电池 128
 - 5.3.4 其他储能装置 128
- 5.4 电动机和控制器散热 128
 - 5.4.1 电动机和控制器的冷却
方式 128
 - 5.4.2 电动机和控制器的冷却
需求 129
- 5.5 电动机和控制器散热量计算 131
 - 5.5.1 电动机控制器的发热
损耗计算 131
 - 5.5.2 电动机发热损耗计算 131
 - 5.5.3 电动机和驱动器一体化
液冷系统设计 131
- 5.6 采用液冷的电动机控制器和
电动机动态温升 132
 - 5.6.1 采用液冷的电动机和
控制器的冷却结构 132
 - 5.6.2 热阻等效电路分析 132
 - 5.6.3 电动机及其驱动器液冷
系统参数设计 134
- 小结 135
- 习题 135

第 6 章 电动汽车辅助系统 136

- 6.1 电控助力转向系统 137
 - 6.1.1 概述 137
 - 6.1.2 EPS 系统的基本组成 138
 - 6.1.3 EPS 系统的工作原理 139
 - 6.1.4 电子控制器 ECU 及其控制
策略 139
 - 6.1.5 EPS 系统的优点 140
- 6.2 线控制动系统 141
- 6.3 电控悬架系统 142

- 6.3.1 概述 142
- 6.3.2 电控悬架系统的功能 142
- 6.3.3 电控悬架系统分类 143
- 6.3.4 全主动式电控悬架系统 143
- 6.4 电动空调系统 145
- 小结 147
- 习题 147

第 7 章 电动汽车电气系统 148

- 7.1 电动汽车电气系统的组成 149
 - 7.1.1 一般电动汽车电气系统的
组成 149
 - 7.1.2 基于 CAN 总线技术的电动
汽车电气系统的组成 149
 - 7.1.3 电动汽车控制系统工作
流程 150
- 7.2 电动汽车整车网络化控制系统 152
 - 7.2.1 整车控制器 152
 - 7.2.2 能源管理系统 155
 - 7.2.3 通信系统 163
- 7.3 整车网络化控制系统设计实例 166
- 7.4 车辆高低压电气系统 167
 - 7.4.1 高低压电气系统组成 167
 - 7.4.2 高压电气系统的安全性 171
 - 7.4.3 电磁兼容设计的必要性和
常用方法 172
- 小结 173
- 习题 173

第 8 章 电动汽车能量补充系统 174

- 8.1 电动汽车能量补充系统分类 175
- 8.2 电动汽车充电基础设施 175
 - 8.2.1 充电系统性能要求 176
 - 8.2.2 充电基础设施的发展 177
- 8.3 电动汽车充电电动机类型 179
 - 8.3.1 交流充电电动机 180
 - 8.3.2 直流充电电动机 181
 - 8.3.3 地面充电电动机的功能
模块 182
 - 8.3.4 充电过程 182



8.4 充电模式	183
8.4.1 正常充电模式	183
8.4.2 快速充电模式	184
8.4.3 换电模式	184
8.4.4 充电系统对电池的影响	185
8.5 充电系统的布局	185
8.5.1 家庭用充电设施	185
8.5.2 公共充电设施	186
8.6 充电接口	188
8.6.1 充电接口要求	188
8.6.2 充电接口形式	189
8.7 燃料电池汽车加注站	190
8.7.1 氢的制取与储存	191
8.7.2 燃料电池电动汽车 加氢站	192
小结	194
习题	194

第9章 电动汽车总体设计

9.1 总体设计要点	196
9.2 电动汽车的开发流程	197
9.2.1 决策阶段	197
9.2.2 设计阶段	199
9.2.3 试制试验阶段	200
9.2.4 生产阶段	201
9.3 电动汽车结构形式的选择	201
9.3.1 整体造型对结构的影响	201
9.3.2 电能储存种类对结构的 影响	202
9.3.3 轴数及驱动形式	203
9.3.4 布置形式	203
9.4 电动汽车主要参数的选择	205
9.4.1 外廓尺寸	206
9.4.2 轴距	207
9.4.3 前轮距和后轮距	208
9.4.4 前悬和后悬	208
9.5 电动汽车性能参数	209
9.5.1 汽车动力性能	209
9.5.2 通过性几何参数	209
9.5.3 操纵稳定性参数	210

9.5.4 制动性参数	210
9.5.5 舒适性	211
9.6 电动汽车的总体布置	211
9.6.1 总布置设计图的图面 要求	212
9.6.2 车身内部布置	213
9.6.3 运动校核	221
9.7 电动汽车数字化总体设计	221
小结	223
习题	223

第10章 电动汽车整车性能参数

计算	224
10.1 车辆质量计算	225
10.1.1 整备质量	225
10.1.2 载荷或乘员人数	226
10.1.3 最大总质量	226
10.2 电动汽车动力性的参数	227
10.3 影响电动汽车行驶性能的参数	227
10.3.1 汽车的驱动力	228
10.3.2 汽车的行驶阻力	229
10.4 电动汽车电动机功率的初步 确定	233
10.5 电动汽车的几个性能参数的 选择	234
10.5.1 车辆的最高车速、最大 爬坡度与传动比的关系	234
10.5.2 传动比的选择	235
10.5.3 电动汽车加速性能	237
10.6 电动汽车的续驶里程计算	238
10.7 电池数量计算及电池组数确定	239
10.7.1 电池系统总能量确定	239
10.7.2 电动汽车总电压的确定	240
10.7.3 确定电池的单体容量	240
10.7.4 确定电池的单体数量	241
10.7.5 计算案例	241
10.8 电动汽车环保性与经济性分析	242
小结	243
习题	244

参考文献

第 1 章

电动汽车发展概况



本章学习目标

- ★ 了解电动汽车的发展状况，熟悉电动汽车用途和发展方向
- ★ 了解我国电动汽车生产资质及要求，理解电动汽车的各种适用标准
- ★ 熟悉电动汽车的主要技术术语，理解其含义并能够熟悉应用



本章教学要点

知识要点	能力要求	相关知识
电动汽车工业现状	了解电动汽车的发展状况	目前电动汽车发展状况； 电动汽车技术的发展阶段和趋势
电动汽车的用途	熟悉电动汽车的用途	电动汽车的用途及分类； 电动汽车的发展阶段
电动汽车适用标准	了解电动汽车标准； 熟悉电动汽车主要标准	电动汽车主要标准
电动汽车术语	理解术语定义	电动汽车术语相关含义和特性



导入案例

近年来,随着世界能源紧缺,各国对石油资源的不断开采,导致石油产量的不均衡和价格飞涨,而且燃油汽车对石油资源的过分依赖,导致能源危机凸显。另外,随着能源的大量消耗,环境问题日益突出,地球变暖、臭氧层破坏带来的问题不断出现。汽车的发展加剧了能源消耗,人们越发意识到替代能源的必要性和紧迫性,电动汽车再次提上日程。

电动汽车是一种以电能作为主要能源驱动的车辆,随着近年来各国政府的大力推广,电动汽车取得了长足的进步。电动汽车的历史虽然悠久,但是人们对汽车的要求越来越高,目前现代电动汽车还处于起步阶段,在性能方面,尤其是续驶里程与燃油汽车还有很大差距,电池的寿命也不十分理想。随着电动汽车技术的发展,新式电动汽车不断涌现,同时这也带来了一系列需要解决的问题,如电动汽车的分类和发展方向问题、电动汽车的充电问题、电力设备的负荷问题、蓄电池性能和寿命问题及各类标准的适用性问题等。

1.1 电动汽车的定义

由于燃油汽车对不可再生的石油资源的过分依赖,以及燃油汽车对环境的压力不断加大,各国都在大力推进新能源汽车的发展,新能源汽车是实现汽车工业可持续发展的必由之路。而新能源汽车领域,电动汽车以其高能量利用率和优异的排放性能,成为了新能源汽车的主力。这里所指的新能源不是指全新的能源,而是指汽车所用的能源区别于传统的燃油(气)汽车。

电动汽车是指以车载电源(或其他能源)为动力,用电动机驱动车轮行驶,符合道路交通、安全法规各项要求的车辆。

1.2 电动汽车的历史与现状

电动汽车历史悠久,它的发展史甚至比燃油汽车的还长。据考证,世界上的第一辆电动汽车是美国发明家 T. Davenport 在 1834 年发明的。虽然当时这辆汽车的性能还非常差,仅仅依靠一个简单的玻璃封装蓄电池驱动,行驶距离很短,而且不能充电,但是这已经是世界上第一辆真正意义上的电动汽车。直到 1881 年,法国工程师 G. Trouve 给车辆装配了铅酸电池作为动力,世界上第一辆可以充电的电动汽车才真正诞生。随后在 1886 年,有轨电车出现了,不过该车出现的更大意义在于首次提出了再生制动技术,即制动回馈技术,将电动汽车的能量效率大幅度的提升。在随后十多年的时间内,电动汽车飞速发展,人们开始追求电动汽车的速度。1899 年 5 月,比利时人 C. Jenatzy 创造了 110km/h 的速度记录,成为世界上第一辆时速超过 100km/h 的电动汽车。

从 19 世纪末到 20 世纪前期,在欧美等发达国家,汽车已经逐步替代了马车和自行

车,电动汽车也变得流行起来,进入了商业化的发展阶段。到1912年,仅美国就有超过34000辆的电动汽车注册,成为了早期电动汽车的全盛时期。不过随后由于内燃机汽车的出现,伴随着内燃机的不断发展,电动汽车由于受到价格和续驶里程等的限制,逐渐退出了汽车市场。自20世纪30年代起,电动汽车基本上完全淡出市场,进入了冬眠期。

混合动力汽车的历史也与其他类型的汽车一样悠久。众所周知,混合动力汽车省油、节能,但是,混合动力汽车的出现却并非为了节能的理念。当时由于内燃机汽车的性能不够稳定,续驶里程不能满足需要,电动部分作为辅助动力使用。由于电动机技术和电池技术不够成熟,成本、体积和效率都不理想,因此在20世纪30年代以后,混合动力汽车和电动汽车一起逐渐淡出市场。目前的混合动力汽车与早期的混合动力汽车相比已经有了质的飞跃,现在混合动力成了节能的新概念。但是,在2011年我国的新能源车辆划分中,非插电式混合动力汽车不再属于新能源,而是作为节能汽车出现。现在非插电式混合动力已经属于较成熟的技术。插电式混合动力汽车逐渐替代非插电式混合动力汽车。

燃料电池的思想最早出现在1839年,但是由于当时的技术限制,直到半个世纪以后的1889年,C. Langer和L. Mond才设计出第一块具有一定使用价值的燃料电池。之后燃料电池一直处于研发状态,直到1959年燃料电池才第一次作为一种全新的电力能源系统应用于电动汽车的驱动,这已经是在燃料电池出现的120年之后了。由于燃料电池性能的特殊性,在美国宇航局的推动下,燃料电池迅猛发展,并用于多个太空项目。但是,在汽车领域,由于燃料电池初期是使用氢气作为燃料,在生产、存储和运输等方面一直受限,发展缓慢。

20世纪70年代,中东的石油危机爆发,一场能源革命随之到来。普通燃油汽车的劣势凸显。对于燃油汽车来说,石油代表了一切,没有了石油,车辆就无法运行。因而,各国政府开始更加注重能源的安全和能源的替代,寻找新的能源和新的能源载体。电动汽车又开始引起人们的重视,因为其使用电能作为能源,不但排放接近零污染,而且电动机比内燃机更简单可靠、电动机的转速和转矩也比内燃机更加容易控制,因而电动汽车重新进入了各国政府和科研机构的研究内容之中。随后,电动汽车开始复苏。在20世纪70年代,美国陆续颁布了关于电动汽车的研究、开发和应用的法律法规。与此同时,欧洲、亚洲等国也逐渐投入大量的人力、物力和财力致力于电动汽车的开发和研究。随后,欧美和日本的汽车公司相继推出了各种电动汽车。在学术界,全面研发电动汽车的时机也已到来,与电动汽车相关的各个领域的研发人员一起参与进来,从而为电动汽车的飞速发展奠定了基础。

但是,比较戏剧性的是,在20世纪的70年代末和80年代,能源危机的影响逐渐散去,电动汽车的研发进展缓慢,政府更多地提倡汽车制造商加大内燃机的改进,提高内燃机燃油的利用率以减小污染排放。例如欧洲的燃油排放标准一直由欧I排放标准延伸到目前的欧V甚至欧VI排放标准。我国政府也随后颁布了适合我国的排放标准,国I标准一直到目前的国V排放标准。在这种环境下,电动汽车再次失去了商用化动力,发展又变得缓慢起来,再次走入低谷。

从20世纪90年代起,随着世界汽车业的高速发展,气候变化异常,环境恶化,全球变暖等问题出现,电动汽车的研发又开始活跃起来,进入了又一个更加迅速的发展期。在



这近 20 年的时间里,随着各种科学技术高速发展,尤其是电子和电池技术的发展,电动汽车的许多技术难点逐一得到解决。世界各大汽车制造商纷纷推出了各自的电动汽车产品。汽车生产商在积极地涉足电动汽车领域的同时,一些电力公司和电池生产商也在起着积极的推动作用。同时,由于各国政府的重视,加大了电动汽车的鼓励和补助,更加强了汽车生产商对于电动汽车的信心。另外,各研究机构和大学也在不断地研究电动汽车的新技术,提升电池及电动机等核心部件的性能。

1.2.1 国际电动汽车的发展状况

国际上,以日本丰田公司为代表的世界汽车巨头,很早便投入电动汽车的研发。丰田公司在 1971 年开始研发电动汽车,当时正值石油危机,加之日本政府担心能源安全,非常重视新能源在汽车上的应用。由日本丰田公司和日本工业部共同发起了电动汽车研究,丰田汽车正式研发电动汽车。到 20 世纪 80 年代,丰田公司相继研发了 EV 系列电动汽车,随后的 90 年代,丰田公司基本上每年都会推出一款或多款电动汽车,由于电池性能有待提升,当时丰田公司推出的电动汽车以混合动力电动汽车为主。

作为日本另一个主要的汽车制造商本田公司,在电动汽车的研发和销售上也是不甘落后。本田公司着重点与丰田公司有所不同,主要是集中在混合动力和燃料电池电动汽车的方向上。燃料电池电动汽车是本田公司电动汽车的主要研发方向。2006 年年初,本田公司投入大量资源研发的燃料电池汽车 FCX 试运行,并将其作为下一代商用化绿色汽车。该车配备了交流同步电动机,最高车速达到 160km/h,连续行驶里程更是达到了普通车辆标准的 570km。

另一个日本的汽车制造巨头日产公司也是不遗余力的研发电动汽车。日产公司在 1970 年开始了电动汽车的基础研究,并在同年推出了概念汽车 CITY。日产公司与本田公司类似,也是主要集中在混合动力和燃料电池电动汽车的方向上,日产公司更是把燃料电池电动汽车的研发提升到一定的战略地位。日产公司的主力产品之一 FCV2005 燃料电池电动汽车,集成了日产公司的核心技术,包括 Tino Hybird 的控制技术、Hyper Mini 小汽车的高压电子系统技术和锂电池技术。

在美国,通用汽车公司曾经雄踞全球汽车公司行业老大 77 年之久,虽然在国际金融危机中受到重创,但是同样在电动汽车领域颇具实力。通用汽车公司在电动汽车的研发领域起步较早,经过几十年的经验积累,在 1990 年推出了媲美传统燃油汽车驱动能力的 Impact,它证明了电力驱动技术能够代替传统燃油汽车。通用汽车公司在这一领域也是主要集中在混合动力和燃料电池电动汽车两个方向上。通用汽车的混合动力汽车的应用领域更加广泛,涵盖了小轿车、卡车和公共汽车。通用汽车在 2007 年推出的一款增程式电动汽车 Volt,在纯电动的情况下,可以达到 483km 的续航能力,在启动增程发动机的情况下,连续行驶里程超过 1000km。

通用公司的第一款燃料电池汽车是 Zafira,采用的是低温燃料箱的液态氢作为燃料。真正定性的燃料电池电动汽车是 Chevy Equinox,该车是通用公司真正零汽油和零排放的燃料电池电动汽车。相关资料显示,该车可以在冰点以下正常启动,续驶里程达到 320km 以上。

北美的福特公司于 20 世纪 60 年代也开始了电动汽车的研究。福特的第一辆电动汽车 Comuta 于 60 年代末推出。随后又研发了 Econoline、Fiesta、Escort 和 ETX 等多款电动

汽车。进入 90 年代后,福特公司推出了多款商用化的电动汽车甚至电动货车。比较知名的是 Ecostar 增程式小型电动送货汽车,该车采用了新式的钠硫电池,容量达到 $30\text{kW}\cdot\text{h}$,电动机为 55kW 的交流感应电动机,最大载重为 450kg ,最高时速为 112km/h ,续航能力为 210km ,同时该车配备了车用空调。

目前福特公司的电动汽车主要研发混合动力和燃料电池两大类,相应产品也已经商业化。福特公司的燃料电池电动汽车代表作 P2000 是一款四门轿车,采用氢燃料及质子交换膜燃料电池系统,资料显示,该车由交流感应式电动机驱动,最大功率可达 91kW ,最大扭矩为 $190\text{N}\cdot\text{m}$,最高车速为 128km/h ,续驶里程为 160km 。

戴姆勒-克莱斯勒公司于 1997 年推出了该公司的第一台燃料电池电动汽车 NECAR。该车以甲烷为燃料,容量为 38L ,续驶里程为 400km ,最高车速为 145km/h 。燃料电池为质子交换膜结构,最大功率为 50kW 。在 2000 年,戴姆勒推出了该车的升级版 NECAR5,功率提升到 75kW ,最高车速提高到 150km/h 以上。其最突出的特点是驱动设备体积明显缩小,仅为原来的一半。戴姆勒公司真正全面商用化的产品是 F-Cell 燃料电池电动汽车。

在欧洲,意大利的菲亚特汽车公司是一家较早从事电动汽车研发的企业。从 20 世纪 60 年代起,菲亚特就开始了一整套电动汽车的生产和研究,积累了丰富的经验。1974 年,菲亚特推出了其第一款电动汽车 X1/X23,该车为试验性电动汽车,没有商品化推广。1990 年,菲亚特公司成功推出了城市实用型电动汽车 Panda。随后又推出了 Cinquecento 电动客车、Ducato 电动货车、Zic 两座电动汽车及四座电动汽车 Seicento。现在,菲亚特公司也大力研究混合动力和燃料电池电动汽车。2009 年 6 月,菲亚特公司依靠取得克莱斯勒公司的部分股权,同时通过与克莱斯勒的全面技术合作,生产共享,车型平台互补等措施,加快了电动汽车技术的发展。

法国的雪铁龙公司在 20 世纪的 90 年代开始了电动汽车的研发,1990 年雪铁龙投放了 Peugeot J5 和 Citroen C25 两款电动汽车,随后又加快研发,投放了 Peugeot 106、Citroen AX、Citroen Citela、Peugeot Ion 电动汽车。

德国宝马公司在电动汽车领域也不甘落后,在 1989 年推出了它的第一款电动汽车 E30E,1991 年又推出了第二代电动汽车 E36E,同年又正式推出了两门四座电动轿车 E1,第二年推出了四门四座电动轿车 E2。目前宝马公司全力研发的环保汽车是氢燃料内燃机汽车。宝马公司现在将新能源车辆的方向放在了氢燃料燃烧技术上,他们认为采用内置液氢燃烧室将是未来的发展趋势。

另外,像马自达、雷诺、沃尔沃等汽车制造商都在研发并推出电动汽车。随着各大汽车制造商角逐电动汽车,各种各样的蓄电池电动汽车、混合动力汽车、燃料电池电动汽车等越来越多的出现在市场上。

1.2.2 国内电动汽车的现状

欧洲国家和美、日等国家在热衷于电动汽车研究开发时,中国的电动汽车的发展也没有停滞脚步,具有中国自主知识产权的电动汽车也是层出不穷。国内很多高校、研究机构和汽车生产商都在研究和开发电动汽车。中国在“八五”、“九五”期间就开始立项研究电动汽车,并在“十一五”期间全面开花,取得了丰硕的研究成果。电动汽车技术的研发,涉及多学科的基础理论和最新技术,国产电动汽车除了面临机遇,也充满着挑战。国内汽



车行业发展迅猛，我国在 2009 年便跃居成为世界第一汽车产销大国，国内市场潜能巨大，这为电动汽车的发展提供了有利条件，同时，电动汽车的发展，在中国遇到了前所未有的三大有利条件。

1. 大型国际活动在中国频繁举办，提供了有力推广契机

奥运会的影响不可小觑。1996 年亚特兰大奥运会上，250 辆电动高尔夫球车和 15 辆电动大巴组成的绿色车队投入使用；2000 年悉尼奥运会上，投入了由 400 辆纯电动汽车组成的车队；2004 年雅典奥运会火炬传递和马拉松比赛上也出现了电动汽车的身影。到了 2008 年，北京奥运会更是以“绿色奥运、科技奥运、人文奥运”为主题，充分展示了中国电动汽车的研发水平和科技实力。在奥运会期间，北京奥运会向世界郑重承诺，“严格控制汽车尾气和其他污染源的污染物排放总量，以及市区主要污染物的日平均浓度，保证在最不利的气象条件下，空气质量达到国际奥委会的要求标准”，实现这一承诺的过程非常困难，严控和关停了北京部分污染企业的同时，还限制燃油车辆的使用。同时，奥运会和残奥会期间的车辆采用的电动汽车技术就是承诺的技术保障。据统计，2008 年奥运会和残奥会期间，达到零排放的电动汽车就有 595 辆之多，实现了奥林匹克公园区域和周边地区的交通“零排放”。这一绿色车队的阵容非常庞大，有北京理工大学和京华客车公司合作生产的锂电池电动汽车，有清华大学和北汽福田合作研发的燃料电池电动汽车。根据中国政府规定，该批电动汽车必须是在国内生产制造，因此奥运会的电动汽车全部是中国制造。而且由于该批次的电动汽车，汽车企业获得了政府的资金支持和配套设施方面的资助，包括为完善汽车充电网络建立的实验和应用平台。

2010 年的上海世博会的成功举办，对于电动汽车更是有一个有力的推动。2010 年上海世博会的主题便是“城市，让生活更美好”。据统计，世博会期间，共有超过 20 辆的燃料电池公交车和 300 辆燃料电池出租车及 1000 辆电动汽车投入使用。另外，根据《中国燃料电池公共汽车商业化营运计划》，6 辆燃料电池公交车将在上海世博会后继续运营，采集运行中的各种实验数据，以期进一步推动燃料电池公共汽车在中国的产业化和推广应用。

2. 中国政府在政策上大力支持

中国电动汽车的产业化需要政府的积极支持，政府在这方面制定了多方政策，从“八五”开始便列入了科技攻关计划，到“九五”期间，正式列入重大科技产业工程项目，在“十五”期间，电动汽车成为了“863 计划”的重大专项课题。为此中国政府投入了超过 24 亿人民币的支持力度。“电动汽车重大专项”提出了“三纵三横”研究开发布局。“三纵”是指电池、电动机和控制系统的重点项目。“三横”是指纯电池电动汽车、混合动力汽车和燃料电池电动汽车的整车开发。并强调，建立符合整车开发规律的严密整车开发程序，提出以整车开发为主导，关键零部件和相关材料紧密结合、基础设施协调发展，政策法规、技术标准与评估技术同步展开的基本方针，作为国内汽车科技项目的一个探索，以保证电动汽车重大专项产品化和产业化的目标实现。“电动汽车重大专项”在市场和技术分析的基础上，对混合动力汽车、纯电池电动汽车、燃料电池电动汽车、电动汽车共性技术采取了不同的研发导向、时间安排、投资策略和推广及产业化措施，致力于体现“有所为有所不为”的原则，以恰当定位、突出重点，来取得

实效。

到了“十一五”期间，在“863 计划”中，节能与新能源汽车重大项目的重点任务是：推进燃料电池电动汽车研发和示范运行，实现混合动力电动汽车规模产业化，拓展纯电池电动汽车的应用范围，进一步扩大替代燃料汽车的推广应用；促进节能与新能源汽车的产业政策、法规和相关标准的研究与制定，改善相关监测评价能力，形成知识产权保护 and 投融资服务体系，构建节能与新能源汽车公共服务平台，建立中国节能与新能源汽车产业联盟；把握交通能源动力系统转型的重大机遇，建立以企业为主体、产学研结合的自主研发创新体系。并先后通过《汽车金融公司管理办法》和《新能源汽车生产准入管理规则》。

目前国家已经制定了“十二五”汽车规划，到了“十二五”，国家对中国企业，包含新能源汽车的发展有了更加明确和详细的阐述。未来五年，中国汽车业将从过去的做大做强转向做强实力。具体来看，一方面提倡发展包括发展新能源汽车在内的节能汽车；另一方面，提倡通过兼并重组、淘汰落后产能来解决结构性产能过剩问题。

按照目前的规划草案，2015 年，中国将促进汽车产业与关联产业、城市交通基础设施和环境保护协调发展，从汽车制造大国转向汽车强国，预计 2015 年产销量达到 2500 万辆。自主品牌汽车将成为中国汽车业做大做强的基石。2015 年，中国自主品牌汽车市场比例将进一步扩大，自主品牌乘用车国内市场份额超过 50%，其中自主品牌轿车国内份额超过 40%。此外，中国汽车业将从依靠内需市场，转向大规模走向国门，2015 年自主品牌汽车出口占产销量的比例超过 10%。

为实现这一目标，中国将大力扶持自主开发力度，鼓励汽车生产企业提高研发能力和技术创新能力，积极开发具有自主知识产权的产品，实施品牌经营战略。此外，国家将大力扶持传统燃料的节能环保汽车、以纯电动汽车为主的新能源汽车，以及支持研究开发混合燃料、氢燃料等汽车。具体包括：

(1) 2015 年前，将大力扶持发展节能与新能源汽车的关键零部件的发展。在电动机、电池等核心零部件领域，力争形成 3 至 5 家动力电池、电动机等关键零部件骨干企业，产业集中度超过 60%。

(2) 实现普通混合动力汽车的产业化，力争中/重度混合动力乘用车保有量达到 100 万辆以上。

(3) 针对电能，在整个“十二五”电力行业规划中，将强调对水电、核电、风电和太阳能发电等清洁能源进行大规模投资，火电将大举让路，装机量退居 70% 以下，清洁能源装机将超过 30%。具体来看，清洁能源中，风能设备这几年市场猛增，但是竞争激烈，光伏市场竞争更为激烈，而核电设备行业则以其高门槛和巨大的市场空间，有望成为最具潜力的投资方向。这也为电动汽车的发展提供了有利的促进作用。

3. 企业、科研院所和高校的全力配合

自我国将电动车列为“十五”重大科技专线起，国内的产、学、研三方便开始了共同参与攻关，成功研发出了多款纯电池电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车。

纯电池电动汽车方面，我国的纯电动电动汽车业已批量生产并开始小规模出口，在混合动力电动汽车方面已经成熟并大量生产。在燃料电池电动汽车方面，也有了长足的发



展,但是由于燃料电池制造成本过高,燃料要求苛刻,因此还是处于实验阶段,没有形成规模发展。

1.3 不堪重负的环境压力

目前世界汽车保有量约 8 亿辆,并以每年超过 3000 万辆的速度递增,预计到 2020 年全球汽车保有量将达到 12 亿辆以上,主要增幅来自发展中国家。我国汽车产销保持快速增长,2008 年汽车产量 934.5 万辆,2009 年汽车产量超过 1300 万辆,2010 年汽车产量更是达到了 1800 万辆,2011 年汽车产量 1840 万辆。这些燃油汽车所排放的废气造成空气质量日趋恶化,使得各国政府都在逐步限制燃油汽车的排放;同时,目前世界石油资源日趋紧张,石油价格始终居高不下。目前,各国政府和各大汽车制造厂商都正在加紧开发无排放或低排放、低油耗的清洁汽车。

近几年来,我国政府也越来越重视能源安全问题和环境保护问题。现在我国石油的对外依存度已经达到了 55.2%,2010 年共消耗了 4.4 亿吨石油,其中 2.4 亿吨来自海外进口,对外依存度已经超过了美国,这是一个很危险的信号。随着石油产品越来越昂贵,不管是否愿意,传统汽车将从生活中减少甚至消失,作为汽车生产厂家是不会愿意看到这种场景,因此一直以来都在寻找石油的替代能源。

在环境保护方面,我国政府把环境保护作为实施可持续发展战略的一项重要内容。我国环境监测数据表明,汽车尾气排放是城市大气污染的主要来源之一。北京市机动车尾气排放对大气污染物中 CO、HC、NO_x 的分担率分别为 63.4%、73.5%和 46%,在非采暖期这一分担率更高,分别为 80.3%、79.1%和 54.8%。上海市更为严重,分别为 86%、96%和 56%。广州、武汉、天津、重庆等许多大中型城市具有类似情况。随着工业化进程的加快,以及汽车保有量的迅速增加,汽车尾气的影响已经蔓延到了中小城市。调查研究表明,平均而言大气污染的 42%来源于交通运输。据有关部门年统计,在全国 600 多座规模城市中,空气质量达到国家一级标准的城市不足 1%。

因此,我国政府决定推广新能源汽车的应用,并以此为契机,推动我国汽车产业结构升级,促进汽车产业的长远发展,振兴中国的汽车产业。随着我国汽车保有量的不断增加,市场需求与能源环境约束之间的矛盾越来越突出,传统燃油汽车将向高效低排放的电动汽车方向发展。我国必须把发展新能源汽车放在重要的战略位置。目前我国已经具备发展新能源汽车的基础和条件,一些技术处于世界领先水平。

1.4 电动汽车常见产品和发展方向

电动汽车的主要动力源为电能,车载能量转换为电能通过电动机等动力装置转化为机械能,从而驱动汽车行驶。电动汽车又包括电池电动汽车、燃料电池电动汽车、超级电容电动汽车、动能电池电动汽车等。以前将混合动力汽车也列为电动汽车,但是目前国家“十二五”规划中新的划分,非插电式混合动力汽车不再属于新能源车辆,而将其列为节能汽车类别。因为电动汽车属于新能源汽车领域,混合动力被排除在新能源车辆之外,因

此也不将混合动力汽车列为电动汽车。原理上讲,虽然非插电式混合动力汽车有电动部分,但主要动力源仍然是内燃机,而且混合动力的节能效果不是十分明显,国内外资料显示,一般为15%以下。国家将插电式混合动力电动汽车仍然归属于电动汽车范畴,是因为插电式混合动力汽车的驱动仍为电动,内燃机部分仅在整车电能不足的情况下提供动力,来获得较大的续驶里程。

1.4.1 电动汽车的发展方向

汽车从诞生到现在已经有100多年历史了,主要发展历程有三个阶段:欧洲的手工生产、美国的自动化生产和日本引导的精益化生产。目前全球汽车发展处于精益化和规模化发展的阶段。汽车的出现改变了世界,促进了经济的发展,改善了人们的生活。但是发展到今天,却带来了三大严重问题:能源问题、环保问题和安全问题。为了解决这些问题,科学家在不断的改造和完善汽车,不断地改造汽车的驱动动力和燃料。动力改造主要包括研制新型发动机,革新发动机的燃烧及控制,提高燃油经济性和减少排放水平。在燃料方面,研发新型清洁燃料,寻找替代的新型能源,改造传统的汽车动力设备。电动汽车以其低排放,高经济性等特点经过漫长的沉浮发展,又重新走上了历史舞台。由于石油的价格不断攀升和环境的不断恶化,人们对电动汽车又有了新的认识。纵然在以后的十年甚至几十年内,电动汽车还不能完全替代传统的燃油汽车,但是,电动汽车至少为汽车的长远发展提供了一个最有效的方向。电动汽车必将引起更大的关注,也会有一个深远的发展。

虽然现在许多地方和企业都不同程度地完成了电动汽车的功能样车、性能样车,并有了一定的批量生产和示范运行,但是还要清醒的认识到电动汽车发展的和产业化的艰巨性,不仅仅要解决驱动控制理论和实践问题,还要解决电动机、电力电子变换器、动力电池、能源管理系统、变速器等批量生产的技术问题,更要保证产品的可靠性、安全性、稳定性和考虑产品成本等诸多问题。

1.4.2 国内常见的电动汽车

国内常见的电动汽车类型如图1.1~图1.6所示。



图 1.1 纯电动轿车



图 1.2 电动大客车



图 1.3 电动高尔夫车



图 1.4 电动叉车

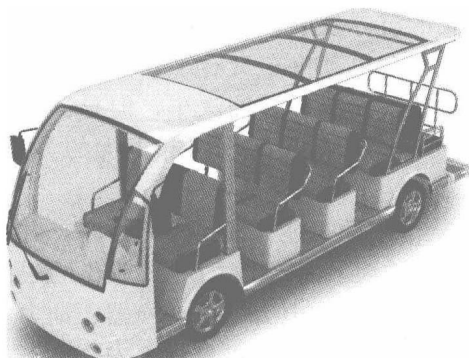


图 1.5 电动观光车



图 1.6 电动平板车

1.4.3 国外电动汽车产品

国外电动汽车产品如图 1.7~1.9 所示。



图 1.7 电动货车



图 1.8 韩国现代蓄电池电动跑车