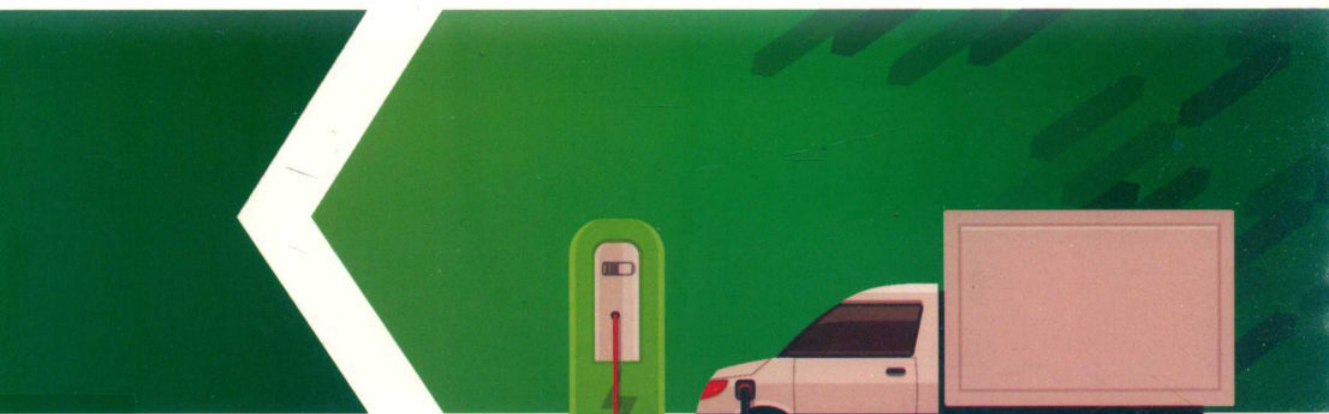


新能源汽车技术培训系列丛书



# 电动汽车充电技术

## ——建站、运行、维护



张立强 李练兵 主编

新能源汽车技术培训系列丛书

# 电动汽车充电技术 ——建站、运行、维护

张立强 李练兵 主编

 天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书结合新能源汽车发展,介绍了电动汽车和动力电池的基础知识,重点讲述了电动汽车的充电系统、充电桩及充电站组成、功能和建设,突出了知识核心和职业能力的应用性。本书主要内容包括:电动汽车基础知识、动力电池与能源管理系统、电动汽车充电系统基础、充电桩原理及安装维护、充电站与充电运营管理系统。本书内容系统、完整,讲解深入浅出,重点突出知识的传授和操作能力的培养,结合职业岗位需求、企业典型案例、职业技能大赛素材、行业标准等诸多元素进行编写,同时提供教学配套媒体资源、网络化教学资源,为学生和老师提供最佳的学习和授课平台。

本书可以作为高职院校新能源充电技术相关专业的教材,也可作为充电站设计、充电桩运营维护等相关技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电动汽车充电技术:建站、动行、维护/张立强,  
李练兵主编. —天津:天津大学出版社, 2019.4

(新能源汽车技术培训系列丛书)

ISBN 978-7-5618-6063-2

I. ①电… II. ①张… ②李… III. ①电动汽车—充  
电—技术培训—教材 IV. ①U469.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第178166号

出版发行 天津大学出版社  
地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)  
电 话 发行部:022-27403647  
网 址 publish.tju.edu.cn  
印 刷 天津泰宇印务有限公司  
经 销 全国各地新华书店  
开 本 185mm×260mm  
印 张 15.5  
字 数 387千  
版 次 2019年4月第1版  
印 次 2019年4月第1次  
定 价 39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请与我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

# 前 言

为落实国家加快新能源汽车推广应用的战略部署,2015年11月,国家发改委颁布了《电动汽车充电基础设施发展指南(2015—2020年)》(以下简称《指南》),《指南》明确指出按照适度超前原则明确充电基础设施建设目标。到2020年,新增集中式充换电站超过1.2万座,分散式充电桩超过480万个,以满足全国500万辆电动汽车充电需求。

充电基础设施主要包括各类集中式充换电站和分散式充电桩,完善的充电基础设施体系是电动汽车普及的重要保障。进一步大力推进充电基础设施建设,是当前加快电动汽车推广应用的紧迫任务,也是推进能源消费革命的一项重要战略举措。

伴随着新能源汽车产业的飞速发展,电动汽车充电基础设施的产量问题、安全问题、售后维修问题等都成为社会关注的焦点,从而专业从事电动汽车充电基础设施的设计开发、制造调试、维护检修、运营管理等岗位的人才缺口越来越大,行业人才需求将持续走高。各高等院校、职业院校先后开设新能源汽车专业,培养专业人才。新能源汽车充电技术和建站、运行、维护是其中非常重要的组成部分。

电动汽车充电时发生的安全事故时有发生,比如居民小区一辆电动汽车在充电时突然起火,所幸消防人员及时赶到,才没有造成人员伤亡,但车辆被完全烧毁;A10纯电动大巴在深圳湾加电站充电后,发生火灾,车辆被严重烧毁;挪威耶尔斯塔的一家超级充电站,特斯拉Model S在充电的过程中突然燃烧起来,整部车几乎被烧毁。究其原因是管理人员和操作人员缺乏专业知识和专业防范措施手段,检修人员须经过专业培训才能胜任电动车充电设施的检修、维护工作。

教育服务于市场,领先于市场,为此我们组织编写此电动汽车充电技术教材,希望高校和职业院校的学生及行业工作者,通过学习掌握电动汽车的结构原理、动力电池技术、充电技术以及充电桩、充电基础设施的设计与建站标准等理论知识,掌握典型纯电动电动汽车充电过程中常见的充电系统、充电设施的故障及排除作业的技能。本书的编写重点突出知识的核心性和职业能力的实用性,图文并茂,简洁易懂。引入行业、企业新技术、新工艺,结合网络教学提供开放的学习和研究平台,以职业能力培养为主线,突出知识和能力综合培养。

本书由天津圣纳科技有限公司总工程师张立强、河北工业大学教授李练兵担任主编,参编者有天津圣纳科技有限公司王文安、河北工业大学谢朋朋。编写中得到了很多专家、同事和业界朋友的鼎力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请专家和广大读者给予批评指正。

编者

2019年4月

# 目 录

<b>第 1 章 电动汽车基础知识</b> .....	1
1.1 电动汽车的现状和发展趋势 .....	1
1.2 电动汽车的组成 .....	2
1.3 电动汽车的分类 .....	6
1.4 电动汽车关键技术 .....	12
1.5 电动汽车整车结构 .....	15
1.6 电动汽车总线通信系统 .....	27
问题与思考 .....	31
<b>第 2 章 动力电池与能源管理系统</b> .....	32
2.1 动力电池 .....	32
2.2 能量管理系统与电池管理系统 .....	38
2.3 电池剩余容量 .....	41
2.4 电池的健康状态 .....	50
2.5 电池能量管理技术 .....	57
2.6 电池一致性控制技术 .....	65
2.7 电池使用寿命的估计 .....	68
2.8 锂离子电池的热管理 .....	72
2.9 锂电池组绝缘检测 .....	74
2.10 电池管理系统软件通信 .....	77
问题与思考 .....	82
<b>第 3 章 电动汽车充电系统基础</b> .....	83
3.1 电动汽车充电方式 .....	83
3.2 电动汽车交直流充电系统结构 .....	85
3.3 直流充电电路原理 .....	91
3.4 电池充电方式 .....	102
问题与思考 .....	106
<b>第 4 章 充电桩原理及安装维护</b> .....	107
4.1 充电桩——固定式充电装置 .....	107
4.2 交流充电桩 .....	115
4.3 直流充电桩 .....	133
4.4 交直流充电桩安装 .....	157

问题与思考	168
<b>第5章 充电站与充电运营管理系统</b>	<b>169</b>
5.1 充电站系统功能	169
5.2 充电运营服务管理系统	185
5.3 充电站建设规范要求	204
5.4 充电站建站分析	218
问题与思考	240
5	
6	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
91	
92	
93	
94	
95	
96	
97	
98	
99	
100	
101	
102	
103	
104	
105	
106	
107	
108	
109	
110	
111	
112	
113	
114	
115	
116	
117	
118	
119	
120	
121	

# 第 1 章 电动汽车基础知识

## 1.1 电动汽车的现状和发展趋势

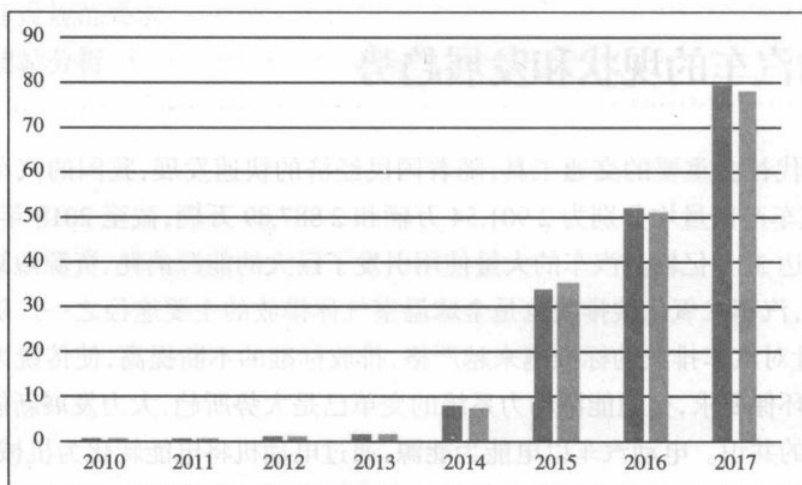
汽车是现代社会重要的交通工具,随着国民经济的快速发展,我国的汽车市场迅速扩大,2017 年汽车产销量均分别为 2 901.54 万辆和 2 887.89 万辆,截至 2018 年 6 月底,全国机动车保有量达 3.19 亿辆。汽车的大量使用引发了巨大的能源消耗、资源短缺和环境污染等一系列问题,汽车二氧化碳排放也是全球温室气体排放的主要途径之一。随着各国环保意识的加强,针对汽车排放的标准越来越严格,排放标准的不断提高,使传统内燃机汽车无法满足严格的环保要求,交通能源动力系统的变革已是大势所趋,大力发展新能源汽车已经成为国际社会的共识。电动汽车以电能为能源,通过电动机将电能转化为机械能,而电能可以来自可再生能源发电,这完全符合研制零污染环保汽车的理念。

新能源汽车是采用非常规动力源驱动的新型汽车,包括纯电动汽车、增程式电动汽车、混合动力汽车(主要是插电式混合动力汽车)、燃料电池汽车等。本书所讲的电动汽车是指以电能为主要驱动能源,通过电动机将电能转化为机械能的汽车,主要包括纯电动汽车和插电式混合动力汽车,但其他种类的新能源汽车也都存在电力驱动环节,因此电动汽车的概念也往往推广至所有新能源汽车。

世界各国纷纷制定了传统汽车禁售时间表:法国声明将在 2040 年全面禁售燃油汽车;德国将在 2030 年禁售传统内燃机汽车;英国将从 2040 年开始全面禁售传统柴油汽车;印度 2030 年将禁售燃油汽车;挪威和荷兰也将在 2025 年禁售燃油汽车。因此目前国外各大汽车制造商纷纷投入大量的资金和人力进行电动汽车的研究和开发,并且取得了一定程度的进展和突破,多种电动汽车频频涌现,有的已达到较高的产业化规模。日本以丰田、本田为代表的汽车企业拥有全球最先进的深度混合动力轿车技术。丰田混合动力轿车 Prius 于 1997 年在日本开始销售,广受顾客青睐,截至 2017 年 1 月全球销量突破 1 000 万辆。美国电动汽车公司特斯拉自 2008 年 10 月发布首款电动汽车 Tesla Roadster 以来,先后开发了 Model S 系列、Model X 系列、Model 3 等多款电动汽车,2016 年 Model S 和 Model X 的总产量达 8.39 万辆。除特斯拉外,其他比较著名的电动汽车还有日产的 Leaf、宝马的 i3、大众的 e-Golf 等。

在我国,电动汽车技术研发工作也被摆在突出的位置,“十五”期间,国家从维护我国能源安全、改善大气环境、提高汽车工业竞争力、实现我国汽车工业的跨越式发展的战略高度考虑,设立“电动汽车重大科技专项”,通过组织企业、高等院校和科研机构,集中国家、地方、企业、高校、科研院所等方面的力量进行联合攻关。2014 年被称为我国的“新能源汽车元年”,2014 年至今,政府出台了一系列鼓励电动汽车行业发展的政策,这些政策为我国企业研发和

生产新能源汽车指明了发展方向,表明了我国政府发展新能源汽车的决心和思路。2017年 Model S 和 Model X 的总产量达 10.13 万辆。2017 年我国新能源汽车产销分别为 79.4 万辆和 77.7 万辆,比上年同期分别增长 53.8% 和 53.3%。其中,纯电动汽车销售 46.8 万辆,占据 84%,比上年同期增长 82.1%。图 1-1 是近几年我国纯电动乘用车产销量统计状况。



年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
新能源汽车产量(万辆)	0.72	0.84	1.26	1.75	7.85	34.05	51.7	79.4
新能源汽车销量(万辆)	0.71	0.82	1.28	1.76	7.48	35.11	50.7	77.7

图 1-1 2010—2017 年我国新能源汽车产销量

## 1.2 电动汽车的组成

### 1.2.1 电动汽车的主要组成部分

电动汽车主要由电力驱动系统、电源系统、车身底盘及辅助系统构成,如图 1-2 所示。



图 1-2 电动汽车构成

电力驱动系统包括电机控制器、功率转换器、电动机、传动装置和车轮。驱动系统将存储在蓄电池中的电能高效地转化为驱动车体的机械能,并能够在汽车减速制动时,将车辆的动能转化为电能充入蓄电池。

电源系统包括电源、能量管理系统和充电机,其作用主要是向电动机提供驱动电能、监测电源使用情况以及控制充电机向蓄电池充电。

车身底盘包含行驶装置、转向装置、制动装置等,电机动力经传动装置向传动轴传输,而后通过行驶装置实现车辆行走,转向装置主要实现汽车的转向控制,而制动装置主要以实现汽车减速或停车而设计。

辅助系统包括辅助动力源、转向装置、导航系统、空调器、照明及除霜装置、刮水器、车载多媒体等。

## 1.2.2 电动汽车组成的主要部分功能

### 1. 电源(动力电池)

电源(图 1-3)是为驱动汽车提供能量的储能装置,也是制约电动汽车发展的关键因素。目前用于电动汽车上的电源主要是蓄电池,也有少量燃料电池。蓄电池包括铅酸蓄电池、镍氢电池和锂离子电池等多种类型,而燃料电池则被认为是最清洁、最有发展前途的电动汽车动力源。

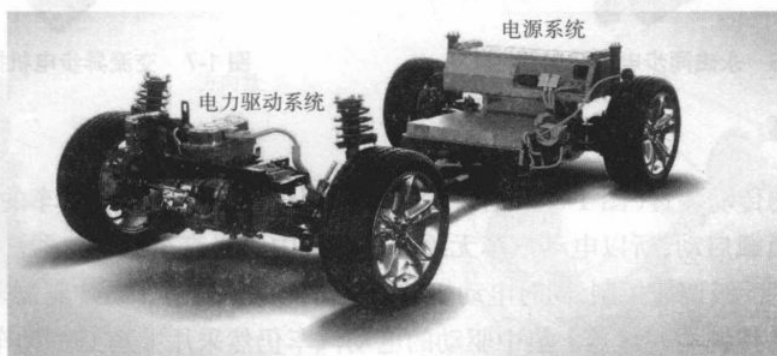


图 1-3 电动汽车电源

### 2. 驱动电机

电动汽车的驱动电机早期主要采用直流电机,它具有启动加速时驱动力大、调速控制简单、技术成熟等优点。但是直流电机的电枢电流由电刷和换向器引入,换向时产生电火花,换向器容易烧蚀,电刷容易磨损,因此逐渐被无换向器的直流无刷电机所取代。笼型异步电机具有结构简单、坚固耐用、价格低、工作可靠等优点,采用变频调速控制的异步电机具有平滑稳定的驱动性能,因此在电动汽车上也广为应用。永磁同步电机(图 1-4)具有更高的效率、更大的启动转矩和更轻的重量,因此目前高性能的驱动场合往往采用永磁同步电机。

### 3. 电机控制器

电机控制器(电动汽车电机调速控制系统)用于电动汽车的变速和变向控制,其作用是控制电动机的电压或电流,实现电动机的驱动转矩和旋转方向的控制。对于直流电机多采用大功率 MOSFET 斩波器来实现调速控制;对于永磁同步电机和交流异步电机(图 1-5)则采用带速度、位置传感器的空间矢量变频调速系统进行控制(图 1-6 和图 1-7)。

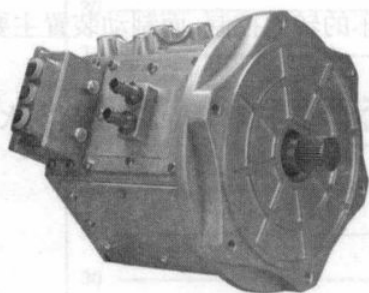


图 1-4 永磁同步电机

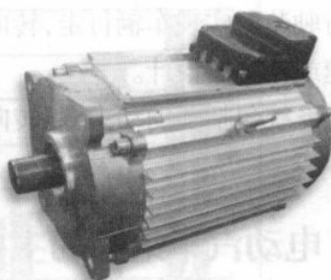


图 1-5 交流异步电机

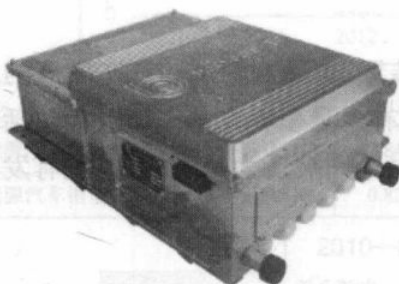


图 1-6 永磁同步电机控制器

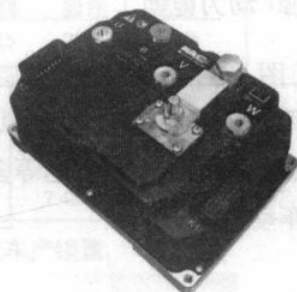


图 1-7 交流异步电机控制器

### 4. 传动装置

电动汽车的传动装置(图 1-8)的作用是将电动机的驱动转矩传给汽车的驱动轴。由于电动机可以带负载启动,所以电动汽车无须配备传统内燃机汽车的离合器。因为电动汽车驱动控制器采用无级调速控制,同时电动机的旋转方向可以通过驱动控制器来实现变换,电动汽车无须配备传统的变速器。集中驱动的电动汽车仍然采用差速器驱动车轮,分散驱动的电动汽车甚至无须配备差速器和传动轴直接驱动车轮旋转。

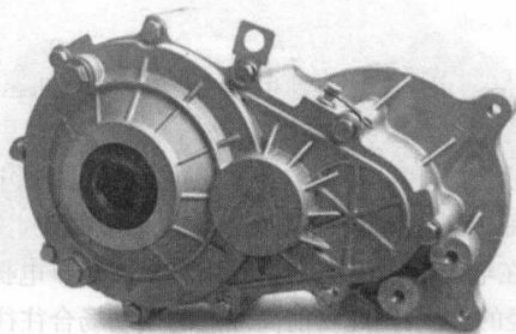


图 1-8 电动汽车传动装置

## 5. 行驶装置

电动汽车的行驶装置(图 1-9)的作用是将电动机的驱动力矩通过车轮变成对地面的作用力,驱动车轮行走。它与普通汽车行驶装置的构成是相同的,由车轮、轮胎和悬架等组成。

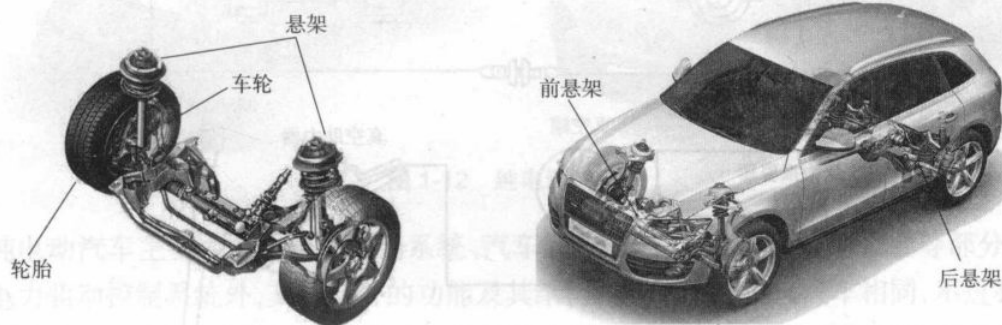


图 1-9 行驶装置

## 6. 转向装置

电动汽车的转向装置(图 1-10)能够实现汽车的转向控制,由方向盘、转向机构和转向轮等组成。作用在方向盘上的控制力,通过转向机和转向机构使转向轮偏转一定的角度,实现汽车的转向。多数电动汽车为前轮转向,工业中用的电动叉车常采用后轮转向。电动汽车的转向装置有机械转向、液压转向、液压助力转向和电动助力转向等类型。



图 1-10 电动助力转向装置

## 7. 制动装置

电动汽车的制动装置(图 1-11)同其他汽车一样,是为汽车减速或停车而设置的,通常由制动器及其操纵装置组成。在电动汽车上,一般还有电磁制动装置,它可以利用驱动电动机的控制电路实现电动机的发电运行,使减速制动时的能量转换成对蓄电池充电的电流,从而得到再生利用。

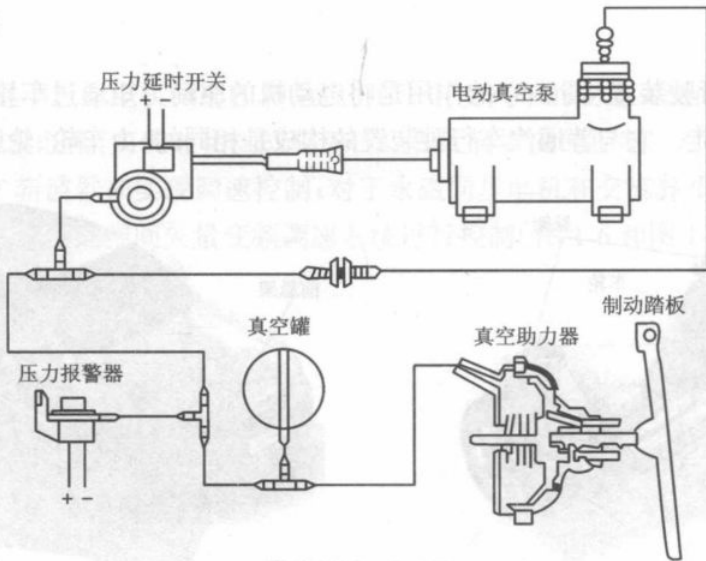


图 1-11 真空助力制动装置

## 1.3 电动汽车的分类

国内外电动汽车按照动力技术的发展进程主要分为三种类型:纯电动汽车(Battery EV, BEV)、燃料电池汽车(Fuel-cell EV, FEV)和混合动力汽车(Hybrid EV, HEV)。纯电动汽车完全由二次电池提供动力;燃料电池汽车以燃料电池(一般指氢燃料电池)作为动力源,利用燃料(氢)和氧化剂(氧)在催化剂作用下直接经电化学反应产生电能;混合动力汽车则采用内燃机和电动机两种动力,通过先进的控制系统使两种动力相结合。

### 1.3.1 纯电动汽车

纯电动汽车(图 1-12)是指以车载蓄电池为动力,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。纯电动汽车在行驶过程中能实现零排放,对环境无污染;其行驶过程中所需电能可由煤炭、核能、水能、风能等多种能源转化而来,从而实现能源多样化;停车时不需要怠速,制动过程中可实现能量回馈,提高能量利用率。与普通燃油汽车相比,纯电动汽车的结构具有高度的灵活性。纯电动汽车的能量传输主要是通过柔性的电线而不是通过刚性的机械转动轴,因此,纯电动汽车各部件的空间布置具有很大的灵活性。纯电动汽车驱动系统的布置分为集中驱动和分散驱动两类,两者的系统结构有很大区别;采用不同类型的电机,如直流电机和交流电机,会影响纯电动汽车的重量、尺寸和形状;不同类型的储能装置,如蓄电池、燃料电池、超级电容和飞轮动能电池等,也会影响纯电动汽车的重量、尺寸及形状。另外,不同的能源补充装置具有不同的硬件和机构,例如,蓄电池可通过接触式或非接触式充电机充电,或者采用更换蓄电池的方式,将替换下来的蓄电池进行集中充电。



图 1-12 纯电动汽车

纯电动汽车主要由电力驱动控制系统、汽车底盘、车身以及各种辅助装置等部分组成。除了电力驱动控制系统外,其他部分的功能及其结构组成基本与传统汽车相同,不过有些部件根据驱动方式不同,而被简化或省去。所以电力驱动控制系统既决定了整个纯电动汽车的结构组成及其性能特征,又是纯电动汽车的核心装置,相当于传统汽车中的发动机及其控制系统,这也是纯电动汽车与传统内燃机汽车的最大不同点。

### 1.3.2 燃料电池汽车

燃料电池汽车(图 1-13)是利用氢气等燃料和空气中的氧在催化剂的作用下在燃料电池中经电化学反应产生电能,并作为主要动力源驱动的汽车。燃料电池主要是指氢燃料电池。燃料电池汽车在车身、动力传动系统、控制系统等方面,与普通电动汽车基本相同,主要区别在于动力电池的工作原理不同。燃料电池的反应机理是将燃料中的化学能不经过燃烧直接转化为电能,即通过电化学反应将化学能转化为电能,实际上就是电解水的逆过程,通过氢氧的化学反应生成水并释放电能。电化学反应所需的还原剂一般采用氢气,氧化剂则采用氧气,因此最早开发的燃料电池电动汽车多是直接采用氢燃料,氢气的储存可采用液化氢、压缩氢气或金属氢化物等形式。

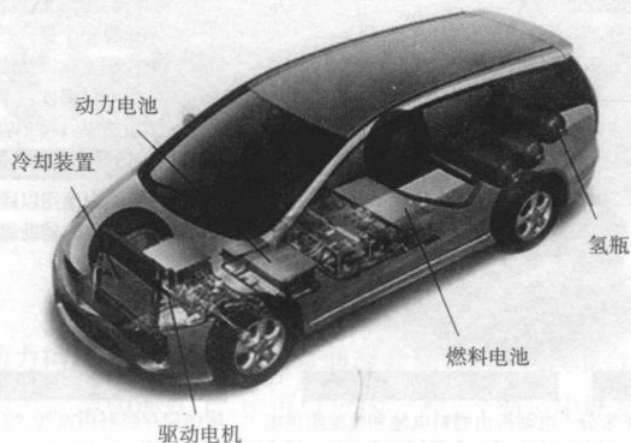


图 1-13 燃料电池汽车

燃料电池的反应不经过热机过程,因此其能量转换效率不受卡诺循环的限制,能量转化效率高;它的排放物主要是水,非常清洁,不产生任何有害物质。因此,燃料电池技术的研究和开发备受各国政府与大公司的重视,被认为是 21 世纪洁净、高效的发电技术之一。

纯燃料电池汽车只有燃料电池一个动力源,汽车的所有功率负荷都由燃料电池承担。燃料电池汽车多采用混合驱动形式,在燃料电池的基础上,增加了一组电池或超级电容作为另一个动力源。燃料电池的基本组成有:电极、电解质、燃料和氧化剂。燃料可以是氢气( $H_2$ )、甲烷( $CH_4$ )、甲醇( $CH_3OH$ )等,氧化剂一般是氧气,电解质可为酸碱溶液( $H_2SO_4$ 、 $H_3PO_4$ 、 $NaOH$  等)、熔融盐( $Na_2CO_3$ 、 $K_2CO_3$ )、固体聚合物、固体氧化物等。与普通电池不同的是,只要能保证燃料和氧化剂的供给,燃料电池就可以连续不断地产生电能。燃料电池汽车的工作原理如图 1-14 所示,其核心结构如图 1-15 所示。

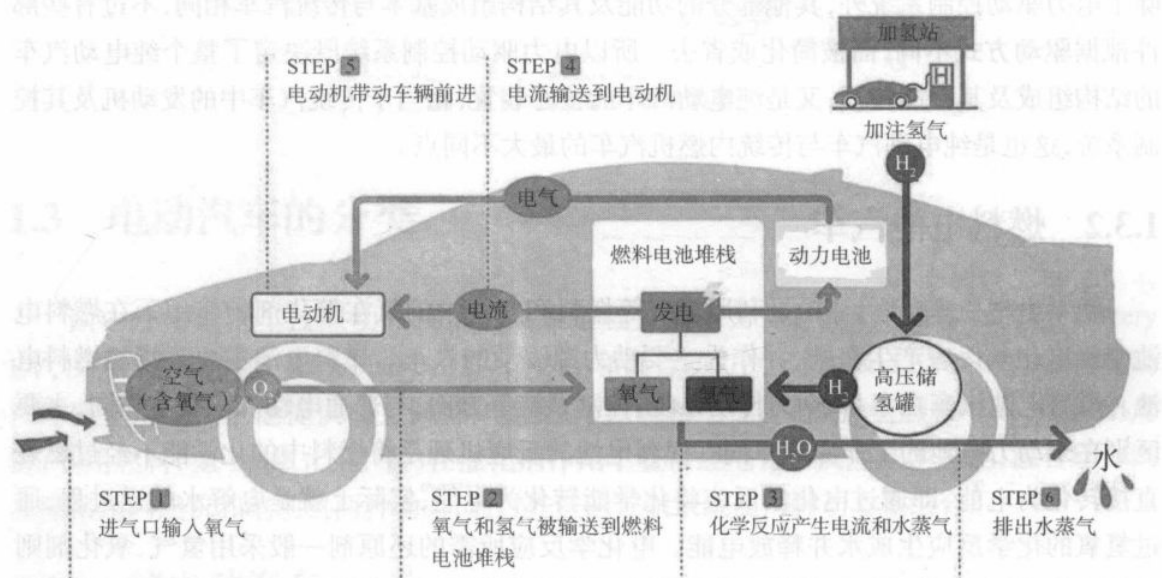


图 1-14 燃料电池汽车工作原理

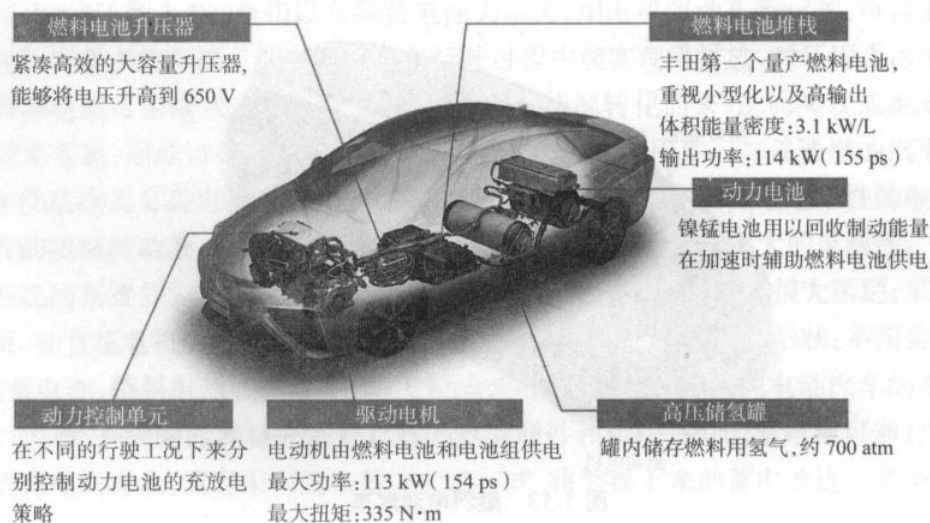


图 1-15 燃料电池汽车核心结构

燃料电池的种类繁多,通常可以依据其工作温度、燃料种类、电解质类型进行分类。按工作温度,燃料电池可分为高、中、低温型三类。工作温度从常温至  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  为低温燃料电池;工作温度  $100\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$  为中温燃料电池;工作温度在  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上为高温燃料电池。按燃料来源,燃料电池可分为两类,第一类是直接式燃料电池,即燃料直接使用氢气;第二类是间接式燃料电池,其燃料是通过某种方法把氢气( $\text{H}_2$ )、甲烷( $\text{CH}_4$ )、甲醇( $\text{CH}_3\text{OH}$ )或其他烃类化合物转变成氢或富含氢的混合气供给燃料电池。按电解质划分,燃料电池大致上可分为五类:①碱性燃料电池(Alkaline Fuel Cell, AFC);②磷酸型燃料电池(Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC);③固体氧化物燃料电池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC);④熔融碳酸盐燃料电池(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC);⑤质子交换膜燃料电池(Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)。

燃料电池汽车除了在车身、控制器及驱动系统等方面面临着与电动汽车相同的问题之外,在其储能动力源燃料电池方面还有较多问题急需解决,氢燃料电池在氢燃料制取、储存及携带等方面以及非氢燃料电池系统的效率、体积、质量及反应速度等方面的技术还需进一步提高。

### 1.3.3 混合动力汽车

混合动力汽车(图 1-16)顾名思义是指由两种或两种以上的储能器、能源或转换器作为驱动源,其中至少有一种能提供电能的车辆。因此混合动力汽车的形式也有很多种类,比如内燃机和蓄电池(包括超级电容)混合、蓄电池和燃料电池混合、蓄电池和飞轮混合、蓄电池和蓄电池混合等形式。但是一般情况下,混合动力汽车是指内燃机和电动机混合驱动的车辆。

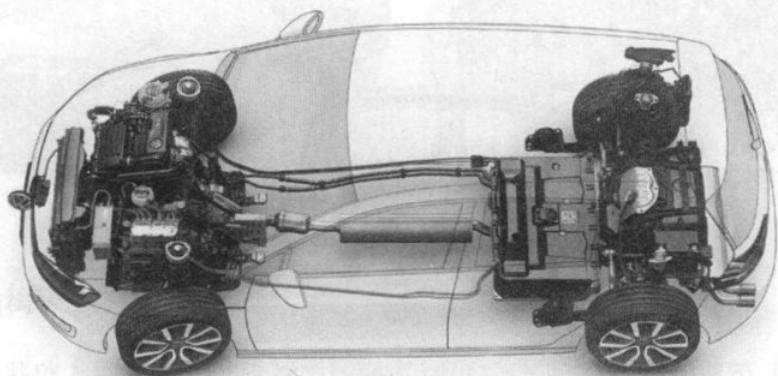


图 1-16 混合动力汽车

混合动力从动力构成上讲,可以分为普通混合动力、插电式混合动力以及增程式混合动力三种。从混合动力的结构形式上,也可以分为三种,分别是串联结构、并联结构以及混联结构。其中增程式混合动力属于串联结构,而普通混合动力和插电式混合动力一般是并联结构或混联结构。

## 1. 串联结构

串联结构(图 1-17)就是发动机、发电机、电池、电动机串联在一起,发动机带动发电机发电为电池充电,电池为电动机提供能量。发动机并不直接参与汽车的驱动,而是必要时带动发电机为电池补充电能。

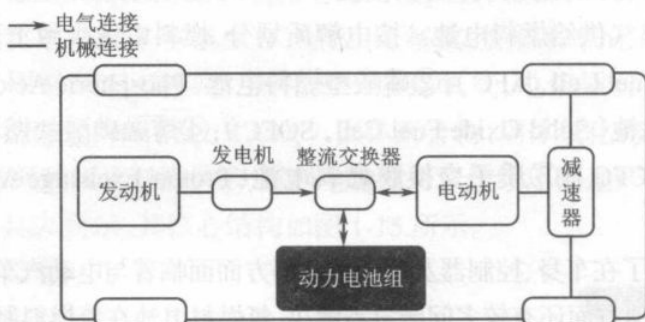


图 1-17 串联结构混合动力汽车动力系统结构

串联结构是混合动力中最简单、最方便的一种形式,它相当于纯电动汽车加一个汽油发电机,它既有纯电动汽车结构简单的优点,又有内燃机汽车续航里程长的优点。由于发动机总能工作在高效率的高转速区,因此在中低速行驶时,串联结构混合动力汽车比普通汽车油耗低,大约节油 30%。但在高速行驶时,相对同样处于高转速区的普通汽车,其效率优势消失,同时串联结构的发动机需要经过多次能量转换才能为汽车提供动力,因此会有一定的能量损失,使得高速行驶时油耗偏高。

串联结构的代表车型有:雪佛兰沃蓝达、宝马 i3 增程式混合动力车型(图 1-18)、传祺 GA5 增程式混合动力车。

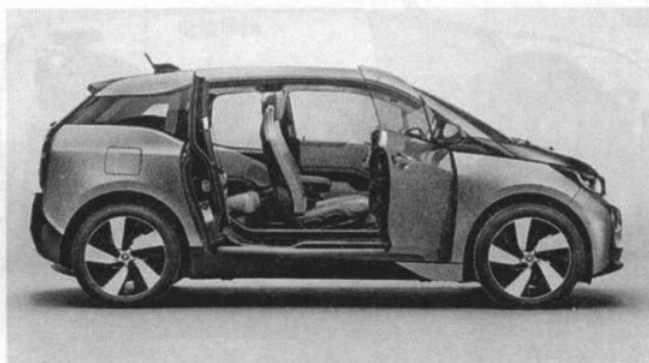


图 1-18 宝马 i3 混合动力电动汽车

## 2. 并联结构

并联结构(图 1-19)就是在普通汽车的基础上加装一套电能驱动系统(电动机和动力电池),发动机和电动机都能单独驱动车轮,也可以同时工作,共同驱动车辆行驶。当动力电池电量不足时,发动机还能带动电动机反转为动力电池充电。

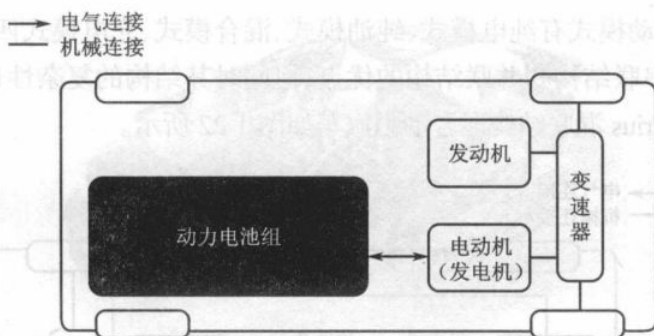


图 1-19 并联结构混合动力汽车动力系统结构

并联结构的混动车型有三种模式。

(1)纯电模式,发动机关闭,电池为电动机供电驱动车辆行驶,该模式多用于中低速行驶,也有部分车型可以实现高速巡航纯油模式。

(2)发动机启动,驱动车辆行驶,同时能够带动电动机反转为动力电池充电。

(3)发动机和电动机同时启动,驱动车辆行驶。由于这种模式下输出功率较高,因此多用于爬坡、急加速以及其他高负荷工作的情况。

与串联结构不同的是,并联结构中发动机和电动机可以同时驱动汽车,动力性能更加优越。其中以比亚迪秦(图 1-20)为例,它的 1.5T 发动机和电动机功率相加后使得汽车可输出功率达到 300 ps(马力)。同时,并联结构的混动车型驱动模式较多,可以适应多种工况,发动机能够在中高速运行时单独驱动汽车,无须进行能源的二次转换,因此综合油耗更低。



图 1-20 比亚迪秦混合动力汽车

### 3. 混联结构

在并联的基础上加一个发电机就是混联了,但它不使用传统的变速箱,而是用一种叫作电控无级自动变速器(Electronic Continuously Variable Transmission, ECVT)的星形齿轮结构的耦合单元来代替。混联结构混合动力汽车在结构上综合了串联结构和并联结构的特点,与串联结构相比它增加了机械动力的传递路线,与并联结构相比它增加了电能的传输路线。

混联结构(图 1-21)在发动机和电动机协同驱动车辆行驶的同时,发动机还能带动发电机为动力电池充电,而且它能够实现发动机带动发电机发电,电动机驱动车辆行驶的模式。