



DIANDONG QICHE CHONGDIANZHANG ZHAN  
SHEJI YU SHIGONG

# 电动汽车充电桩（站） 设计与施工

周志敏 纪爱华 等 编著

- ▶ 电动汽车充电技术
- ▶ 电动汽车充电桩（站）通信技术
- ▶ 电动汽车充电桩（站）规划设计及解决方案
- ▶ 电动汽车充电桩（站）建设与施工



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



DIANDONG QICHE CHONGDIANZHANG ZHAN  
SHEJI YU SHIGONG

# 电动汽车充电桩（站）

# 设计与施工

周志敏 纪爱华 等 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书结合国内电动汽车充电桩(站)技术的发展及最新应用技术,在概述了电动汽车发展、电动汽车蓄电池及电动汽车充电桩(站)组成的基础上,系统地讲述了电动汽车充电技术、电动汽车充电桩(站)通信技术、电动汽车充电桩(站)规划设计、电动汽车充电桩建设与施工等内容。

本书把电动汽车充电技术的基础理论知识与电动汽车充电桩(站)系统设计及施工有机结合,书中文字通俗、突出重点、注重实用性。本书可供从事电动汽车充电桩(站)研究开发、系统设计、建设与施工的工程技术人员,以及高等院校及职业技术学院的师生阅读参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电动汽车充电桩(站)设计与施工/周志敏等编著. —北京:中国电力出版社, 2016. 7

ISBN 978-7-5123-9275-5

I. ①电… II. ①周… III. ①电动汽车—充电—电站—设计②电动汽车—充电—电站—工程施工 IV. ①U469.72  
②TU248.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第092076号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京天宇星印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2016年7月第一版 2016年7月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13印张 341千字

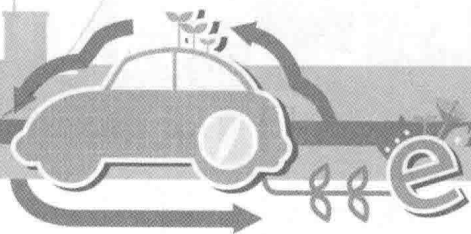
印数0001—2000册 定价 38.00元

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言



电动汽车的发展包括电动汽车及能源供给系统的研究和开发,其中能源供给系统是指充电基础设施,供电、充电和电池系统及能源供给模式。电动汽车充电桩(站)作为电动汽车运行的能量补给站,是发展电动汽车商业化所必备的重要配套基础设施,充电站的建设将直接影响电动汽车产业的发展。要推动电动汽车市场的发展,充电桩(站)的建设速度必须与电动汽车推广相匹配。

电动汽车与其充电设施是“发展”与“保障”的关系。电动汽车的发展,是充电设施建设的核心动力,将带动充电设施的跟进;充电设施的建设,将有力保障电动汽车的发展。这种相辅相成、互为依赖的关系,有效指引了充电设施的发展方向——紧紧围绕电动汽车的发展,并适度超前建设,引导电动汽车发展。

随着电动汽车的普及,我国政府出台了各项政策助力电动汽车充电桩(站)建设。建设中,应考虑业务运营模式,建设相应的电动汽车充电计费系统,引入集中式的信息管理平台,是开展电动汽车充电桩(站)建设工作的重要组成部分。待在全国范围内电动汽车充电桩(站)网络大规模建成后,将联网经营,以此可推动纯电动汽车产业发展。

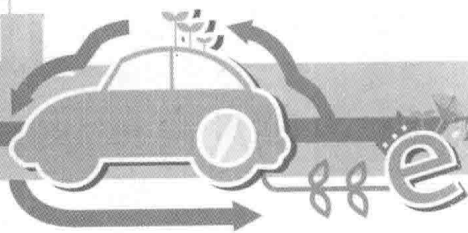
本书结合我国电动汽车的发展趋势及充电技术的发展,以电动汽车充电桩(站)的设计和施工为本书的核心内容。在写作中尽量做到有针对性和实用性,使得从事电动汽车充电桩(站)开发、设计、应用的技术人员从中获益。读者可以以此为“桥梁”,系统、全面地了解 and 掌握电动汽车充电桩(站)设计和最新应用技术。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、刘淑芬、纪达安、纪和平、陈爱华等。本书在写作过程中,无论从资料的收集和技术信息交流上,都得到了国内外专业学者和同行及电动汽车充电桩制造商的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于时间短,作者水平有限,错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录



## 前言

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 电动汽车发展历程及分类 .....	1
1.1.1 国内外电动汽车发展历程 .....	1
1.1.2 电动汽车分类 .....	4
1.2 电动汽车电池分类及发展趋势 .....	6
1.2.1 电动汽车电池分类及特性 .....	6
1.2.2 电动汽车电池发展趋势.....	11
1.3 电动汽车充电桩(站) .....	20
1.3.1 电动汽车充电桩(站) 功能及构成.....	20
1.3.2 电动汽车充电桩(站) 分类及发展历程.....	27
1.3.3 电动汽车充电桩、充电机技术条件及对充电技术的要求.....	29
1.3.4 电动汽车充电系统的标准及充电连接器标准.....	31
<b>第 2 章 电动汽车充电技术</b> .....	35
2.1 电动汽车充电技术及充电模式.....	35
2.1.1 电动汽车充电装置及充电方式.....	35
2.1.2 电动汽车充电模式.....	36
2.2 电动汽车充电装置工作原理及接口连接器连接方式.....	41
2.2.1 电动汽车充电装置工作原理.....	41
2.2.2 充电接口连接器的连接方式.....	44
2.3 充电装置功率变换器及动力电池组的均衡控制.....	47
2.3.1 功率变换器主电路拓扑.....	47
2.3.2 动力电池组充电的分段恒流及均衡控制.....	58
2.4 电动汽车无线充电技术.....	66
2.4.1 电动汽车无线充电方式.....	66
2.4.2 感应耦合充电标准及对充电功率变换器的要求.....	72
2.4.3 感应耦合器充电功率变换器拓扑.....	74
2.4.4 电动汽车无线充电技术动态.....	79

<b>第3章 电动汽车充电桩(站)通信技术</b>	84
3.1 电动汽车充电桩(站)通信	84
3.1.1 电动汽车充电桩(站)通信方式及网络建设要求	84
3.1.2 电动汽车充电桩(站)通信技术及网络	88
3.2 电动汽车充电桩(站)通信解决方案	91
3.2.1 充电桩(站)基于CAN总线通信解决方案	91
3.2.2 电动汽车充电桩(站)GPRS无线接入解决方案	98
3.2.3 基于光载无线技术的智能充电站无线解决方案	103
3.2.4 宏电智能充电桩解决方案	104
3.2.5 实现远程监控电动汽车充电桩解决方案	107
3.2.6 电动汽车充电桩(站)运营管理解决方案	110
3.2.7 云平台电动汽车智能充电系统通信解决方案	114
<b>第4章 电动汽车充电桩(站)规划设计</b>	118
4.1 电动汽车充电桩(站)规划原则及运行模式	118
4.1.1 电动汽车充电桩(站)规划原则	118
4.1.2 电动汽车运行特点及运行模式	120
4.2 电动汽车充电桩(站)建设及商业模式	121
4.2.1 电动汽车充电桩(站)建设	121
4.2.2 电动汽车充电桩(站)商业模式	123
4.3 电动汽车充电桩(站)对电网的需求及电气系统	125
4.3.1 电动汽车充电桩(站)主要用电负荷及对电网的需求	125
4.3.2 电动汽车充电桩(站)电气系统	126
4.3.3 电动汽车充电站配电系统设计	129
4.3.4 充电机和充电桩选择及充电桩配电系统	132
4.3.5 充电桩计量及监控解决方案	134
4.3.6 充电站选址及充电桩设置	139
4.4 电动汽车充电站设计方案	141
4.4.1 大中型电动汽车充电站设计方案	141
4.4.2 箱式电动汽车快速充电站	142
4.4.3 基于V2G技术和储能技术的电动汽车充电站电气系统解决方案	145
4.4.4 电动汽车充电桩(站)防雷解决方案	147
<b>第5章 电动汽车充电桩建设与施工</b>	155
5.1 工程造价与施工管理	155
5.1.1 工程造价管理	155
5.1.2 充电桩(站)工程施工管理	164
5.1.3 充电桩(站)工程安全管理	172

5.1.4	充电桩(站)工程质量管理	176
5.2	充电桩(站)工程施工技术	182
5.2.1	充电桩(站)工程施工准备与工艺流程	182
5.2.2	充电桩(站)工程管路敷设	183
5.2.3	充电桩(站)工程管内穿线	187
5.2.4	充电桩(站)工程电缆敷设	189
5.2.5	充电桩(站)工程设备安装	195
5.2.6	充电桩(站)工程照明灯具安装	198
5.2.7	充电桩(站)工程接地、等电位连接、漏电保护	200
参考文献		202



## 概 述

### 1.1 电动汽车发展历程及分类

#### 1.1.1 国内外电动汽车发展历程

##### 1. 国外电动汽车发展历程

电动汽车的历史并不比内燃机汽车短,它也是最古老的汽车之一,甚至比奥托循环发动机(柴油机)和奔驰发动机(汽油机)还要早。苏格兰商人罗伯特·安德森在1832—1839年(准确时间不明)研发出电动汽车。

1835年,荷兰教授Sibrandus Stratingh设计了一款小型电动汽车,他的助手克里斯托弗·贝克则负责制造。但更具实用价值,更成功的电动汽车由美国人托马斯·达文波特和苏格兰人罗伯特·戴维森在1842年研制,他们首次使用了不可充电电池。

Gaston Plante于1865年在法国研发出性能更好的蓄电池,其同乡卡米尔·福尔又在1881年对电池进行了改进,提高了电池容量,为电动汽车的发展铺平了道路。奥地利发明家Franz Kravogl在1867年的巴黎世界博览会推出了一款双轮驱动电动汽车。法国和英国成为第一批支持发展电动汽车的国家。1881年11月,法国发明家Gustave Trouve在巴黎举行的国际电力博览会上演示了三轮电动汽车,托马斯·帕克表示电动汽车在1884年实现量产。

在内燃机汽车兴盛之前,电动汽车就创造了许多速度和行驶距离的纪录。例如, Camille Jenatzy在1899年4月29日用自行研发的电动汽车突破了100km/h,创造了105.88km/h的行驶速度。1891年, A. L. Ryker研发出电动三轮车, William Morrison制造了六座电动厢式客车,电动汽车开始得到美国人的重视。19世纪90年代到20世纪初期,电动汽车技术得到了高速发展,相对于内燃机汽车的优势逐渐形成。

1897年,美国费城电车公司研制的纽约电动出租车实现了电动汽车的商用化。20世纪初,安东尼电气、贝克、底特律电气(安德森电动汽车公司)、爱迪生、Studebaker和其他公司相继推出电动汽车,电动汽车的销量全面超越汽油动力汽车。电动汽车也逐渐成为上流社会喜爱的城市用车,电动汽车具有清洁、安静,并且易于操控等特点,非常适合女性驾驶。由于当时没有晶体管技术,因此电动汽车的性能也受到限制,这些早期的电动汽车行驶速度大约只有32km/h。

在19世纪末20世纪初迎来经济繁荣的美国,人们的收入快速增长,汽车开始流行起来。1899年和1900年,电动汽车销量远远超过其他动力汽车。电动汽车相比同时代的其他动力汽车具有非常明显的优势,它们没有震动,没有难闻的废气,也没有汽油机巨大的噪声。汽油机汽车需要换挡,令其操控起来比较繁杂,而电动汽车不需要切换挡位。虽然蒸汽机汽车也不需要换挡,却需要长达45min的漫长的预热时间。并且蒸汽机汽车加一次水的续航里程,相比电动汽车单次充电的续航里程更短。由于当时只有城市中才拥有良好路面,大部分时间汽车都只能在本



地使用,因此电动汽车续航里程短的问题并没有成为阻碍其发展的原因。

电动汽车最初因为缺乏充电配套设施而阻碍其发展,但是随着电网的高速发展,到了1912年,很多美国家庭都已经通电,从而能够在家中完成充电。在世纪之交,有40%的美国汽车采用蒸汽机,38%的汽车采用电力驱动,22%的汽车使用汽油动力。美国的电动汽车保有量达到33842辆,电动汽车在19世纪20年代大获成功,销量在1912年达到了顶峰。

和19世纪末的内燃动力汽车相比,电动汽车除了车速略低,在其他方面的优点很多,比如启动方便,而且电动机工作时没有噪声、没有发动机的震动和难闻的汽油味。而且,直流电动机低转速时大扭矩输出特性使它用作汽车动力时不需要复杂的传动系统且操作简便,因而电动汽车成为机动交通工具的一个主要发展方向。

从19世纪末期到20世纪初期,这是电动汽车的黄金时期,法国和英国都出现了电动汽车制造公司,1899年4月29日,比利时人Camille Jenatzy驾驶着一辆名为LaJamais Contente炮弹外形电动汽车以105.88km/h的速度刷新了由汽油动力发动机保持的世界汽车最高车速的纪录,这是汽车速度第一次突破100km/h大关,LaJamais Contente电动汽车保持着这个汽车速度纪录进入了20世纪。

不过,电动汽车的黄金时代并没有持续太久,20世纪20年代后,内燃机技术达到了一个新水平,装备内燃机的汽车速度更快,加一次油可持续续航里程是电动汽车的3倍左右,且使用成本低。相比之下,电动汽车的发展进入到了瓶颈时期,在降低制造成本和改善使用便利性方面没有明显的进步,在这种背景下,电动汽车很快失去了存在的意义,在1940年左右电动汽车基本上就从欧美汽车市场中消失了。

1973年爆发的中东石油危机令全世界陷入石油短缺的境地中,人们又开始关注其他动力汽车,电动汽车再一次进入到人们的视线中。20世纪80年代至90年代,日本和美国的汽车厂家生产了一系列电动汽车,比如Chrysler TEVan和丰田RAV4EV,名气最大的是1996年通用汽车公司投产的EV1电动轿车,不过,它们最终都是昙花一现。

经过几十年的发展,虽然屡次出现机会,但是直到21世纪初期电动汽车没有再现19世纪末期至20年代初期的辉煌。根源在于它不仅生产成本相对较高,充电麻烦、保养成本高以及因电池能量密度低造成的续航里程短和充电便利性差也是一个严重的问题,这些弱点严重阻碍了电动汽车的普及。

随着能源危机与环境危机的日益深重,可持续发展的理念逐渐深入人心,业界的目光聚焦以电动汽车为典型代表的新能源汽车产业。为了推动这一伟大的历史进程,世界各国政府都出台了形形色色的鼓励扶持政策,这是电动汽车工业崛起的大好契机,因此电动汽车的普及是大势所趋。

随着电动汽车产业的快速发展,派生出了新兴产业——电动汽车充电站。充电站承担着为电动汽车动力电池提供电能的重要使命,高质量多功能的充电设备可以有效保护电池,监控电池工作状态,并为电池组提供最高效的充电方案。如果将电池比喻为电动汽车心脏的话,那么充电站就是这颗心脏健康工作的有力保障。

### 2. 我国电动汽车的发展历程

我国在电动汽车领域的研究探索始于20世纪60~70年代,系统研发起步于“九五”时期,比美国、日本、欧盟等国家至少晚20年的时间。然而,在近10年内,通过国家863计划的持续、有序、系统的研发支持,我国电动汽车行业取得了快速发展,不仅攻克了一系列关键技术,而且自主研发的电动汽车整车产品已实现小批量进入市场,在部分领域已实现了与日美欧等国同步发展。我国电动汽车行业的发展大致经历了以下三个历史阶段。



(1) 第一阶段, 20世纪60年代到2001年前的萌芽阶段。这一时期, 我国并没有系统地支持电动汽车领域的技术研发, 国内各企业集团也没有将电动汽车作为研发投入的重要方面。我国汽车制造企业几乎没有推出一款电动汽车整车产品。而同时期, 国外大汽车公司已开发生产了100多种型号的电动汽车, 其中, 已有10多种纯电动汽车车型投入商业化生产。两相对比, 我国的电动汽车发展至少落后于发达国家20年。可喜的是, 从“八五”时期电动汽车被列入国家科技攻关计划以来, 到“九五”时期, 我国政府已经意识到发展电动汽车的重要性, 正式将其列入国家重大科技产业工程项目, 这为电动汽车的进一步研发奠定了基础。

(2) 第二阶段, 2001年9月到2007年11月的研发培育阶段。该时期的划分是以两个标志性事件为起点的。首先, 2001年9月, 科学技术部组织召开了“十五”国家高技术研究发展计划(863计划)“电动汽车重大科技专项”可行性研究论证会, 会议通过了专项可行性研究报告, 标志着电动汽车专项正式启动, 这是我国第一次系统支持电动汽车的研发。其次, 2007年11月, 《新能源汽车生产准入管理规则》正式实施, 该规则的实施为电动汽车在我国正式上市销售铺平了道路。这一时期, 我国的电动汽车取得了一系列关键技术突破, 三类电动汽车分别完成了功能样车、性能样车和产品样车试制; 以幸福使者微型轿车为基础开发的纯电动轿车实现了小批量生产和出口; 若干个品牌的纯电动客车、混合动力客车和混合动力轿车在北京、武汉等城市进行了小规模示范运行; 部分自主研发的混合动力轿车已基本完成了商品化的前期准备工作。这一时期, 我国电动汽车行业取得了重要的研发进展, 缩短了与发达国家间的差距, 为形成电动汽车产业打下了坚实的基础。

(3) 第三阶段, 《新能源汽车生产准入管理规则》正式实施以来的产业培育阶段。这一时期, 随着863计划取得成果的陆续产业化, 我国汽车制造企业的电动汽车整车产品开发能力大幅提升, 一批具有自主知识产权的混合动力轿车产品获国家发改委汽车新产品公告批准, 长安汽车、奇瑞汽车和比亚迪汽车的自主创新混合动力轿车上市销售。同时, 通过先期在北京、天津、武汉、深圳等7个城市及国家电网公司开展了电动汽车小规模示范运行考核, 在北京奥运会期间, 我国成功地实现了595辆自主研发电动汽车的集中、高强度商业化示范运行, 表明国内电动汽车行业已具备形成产业的能力。可以预期, 在未来的几年内以纯电动汽车和混合动力车的持续发展为核心, 我国的电动汽车产业将逐步形成和发展。

目前, 我国电动汽车行业已建立起较为合理的行业创新体系, 取得了动力系统技术平台构建、关键零部件和新技术开发、整车产品上市、示范运行等多方面的突破, 已基本形成了未来产业发展的雏形, 在国家产业政策和财政补贴政策的支持下, 即将迎来规模发展阶段。

### 3. 电动汽车发展趋势

(1) 在目前国内市场价格的基础上, 可粗略计算出各种提供电能技术的价格比。即电网供电: 柴油机供电: 铅酸电池供电: 镍氢蓄电池供电: 锂离子电池供电: 燃料电池供电=1:6:6:19.2:20.4:80。这从一个侧面反映了各种供电方式距离电动汽车市场的远近。当然, 随着石油价格的上升、电池技术的进步, 这些比例关系将发生很大的变化。

(2) 由于铅酸电池的供电成本大体和柴油机供电相等, 因此它仍然是低端电动汽车市场的主要动力电池。磷酸锂离子电池技术进步较快, 它最有可能成为铅酸电池的竞争对手, 率先成为高端电动汽车市场的主要动力电池。

(3) 由于混合动力汽车仅需装用纯电动汽车1/10的动力电池容量, 整车有较为接近市场的性价比, 因此它仍将是近期实现产业化的主要电动汽车种类。考虑我国国情, 目前仍应大力推广使用混合动力大客车, 进一步降低制造成本, 减少油耗和排放。

(4) 在锂离子电池性价比进一步提升后, 外接充电式混合动力汽车(PHEV)有望成为理想

的上班族乘用车,它可大幅度减少油耗和降低排放,但是由于较高的价格,它可能首先在发达国家得到推广应用。

(5) 燃料电池虽然是理想的清洁能源,但是目前它的性价比太低,要达到可以进入市场的性价比,可以说是任重而道远,必须从基础材料和基本理论上重大突破,才可能进入汽车市场。

(6) 电动轮已成为国外电力驱动技术的重要发展趋势,并已在军用越野车上得到实际应用,证实它在技术、经济上的重要优势,我国虽也有不少单位研发,但始终未进入“863”计划,技术进步缓慢,因此有必要奋起直追,尽快掌握这一先进的电驱动技术。

### 1.1.2 电动汽车分类

按照我国 2009 年 7 月 1 日正式实施的《新能源清册生产企业及产品准入管理规则》,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,但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:纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池电动汽车、氢发动机汽车、其他新能源(如高效储能器、二甲醚)汽车等。

电动汽车是全部或部分由电能驱动电动机作为动力系统的汽车,按照目前技术的发展方向或车辆驱动原理,可划分为纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池电动汽车三种类型。新能源汽车和电动汽车的分类关系如图 1-1 所示。

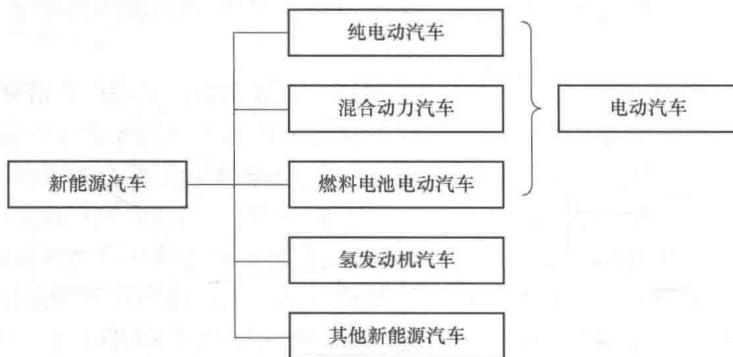


图 1-1 新能源汽车和电动汽车的分类关系

#### 1. 纯电动汽车

纯电动汽车是完全由可充电电池(如铅酸电池、镍镉电池、镍氢蓄电池或锂离子电池)提供动力源的汽车,它由底盘、车身、蓄电池组、电动机、控制器和辅助设施 6 部分组成。由于电动机具有良好的牵引特性,因此纯电动汽车的传动系统不需要离合器和变速器。车速控制由控制器通过调速系统改变电动机的转速即可实现。现在纯电动汽车技术发展已经相当成熟,国外发达国家和我国都有部分车型投入量产和商业化运营。纯电动汽车具有如下优点。

(1) 减少对石油资源的依赖,实现能源利用的多元化。由于电力可以从多种一次能源获得,如煤、核能、水力、风力、光、热等,解除人们对石油资源日见枯竭的担心。

(2) 减少环境污染。本身不排放污染大气的有害气体,即使按所耗电量换算为发电厂的排放,除硫和微粒外,其他污染物也显著减少,由于电厂大多建于远离人口密集的城市,对人类伤害较少,而且电厂是固定不动的,集中地排放,清除各种有害排放物较容易,也已有了相关技术。

(3) 能源转换效率高。电动汽车的研究表明,其能源效率已超过汽油机汽车。特别是在城市运行,汽车走走停停,行驶速度不高,电动汽车更加适宜。同样的原油经过粗炼,送至电厂发



电,发出的电充入蓄电池,再由蓄电池驱动汽车,其能量利用效率比经过精炼变为汽油,再经汽油机驱动汽车高。

按我国现行电价和油价水平,纯电动汽车的运行费用低于传统汽车,具有较好的经济性。但是目前纯电动汽车还存在着续航里程较短、蓄电池价格较高等缺点。

虽然纯电动汽车已有134年的悠久历史,但一直仅限于某些特定范围内应用,市场较小。主要原因是各种类别的蓄电池,普遍存在价格高、寿命短、外形尺寸和质量大、充电时间长等严重缺点。目前采用的铅酸电池、镍氢蓄电池和锂离子电池,它们已达到实际性能指标和市场平均价格,根据实际装车时的循环寿命和市场价格,可估算出电动汽车从各种动力电池上每取出1kWh电能所必须付出的费用。计算时,假设电池最高可充电荷电状态(SOC)为0.9,放电SOC为0.2,即实际可用的电池容量仅占总容量的70%;由电网供电价为0.5元/kWh,电池的平均充放电效率为0.75。

粗略计算中可知,虽然从电网取电仅需0.5元/kWh,但充入电池,再从电池取出,铅酸电池每提供1kWh电能,价格为3.05元左右,其中2.38元为电池折旧费,0.67元为电网供电费,而从镍氢蓄电池中每提供1kWh电能,费用为9.6元,锂离子电池为10.2元,即后两种先进电池供电成本是铅酸电池的三倍多。

目前,国内市场上用柴油机发电,价格大致为3元/kWh,若用汽油机发电,供电价格估计为4元/kWh,即从铅酸电机提供电能的价格大致和柴油机发电价格相等,仅仅从取得能量的成本来考虑,采用铅酸电池比汽油机驱动有一定价格优势,但是由于它太过笨重,充电时间又长,因此只被广泛用于车速小于50km/h的各种场地车、高尔夫球车、垃圾车、叉车以及电动自行车上。实践证明,铅酸电池在这一低端产品市场上有较强的竞争力和实用性。

镍氢蓄电池的主要优点是相对寿命较长,但是由于镍金属占其成本的60%,导致镍氢蓄电池价格居高不下。锂离子电池技术发展很快,近10年来,其比能量由100Wh/kg增加到180Wh/kg,比功率可达2000W/kg,循环寿命达1000次以上,工作温度范围达-40~55℃。

近年由于磷酸铁锂离子电池的研发有重大突破,又大大提高了电池的安全性。目前已有许多发达国家将锂离子电池作为电动汽车用动力电池的主攻方向。我国拥有锂资源优势,锂电池产量在2004年就已占全球市场的37.1%,预计到2016年以后,锂离子电池的性价比有望达到可以和铅酸电池竞争的水平,而成为未来电动汽车的主要动力电池。

## 2. 混合动力汽车

由于完全由动力电池驱动的纯电动汽车,其性价比长期以来都远远低于传统的内燃机汽车,难于与传统汽车相竞争,20世纪90年代以来各大汽车公司都着手开发混合动力汽车。日本丰田公司在1997年率先向市场推出“先驱者”(Prius)混合动力汽车,并在日本、美国和欧洲各国市场上获得较大成功,累计产销量已超过60万辆。随后日本本田、美国福特、通用和欧洲一些大公司,也纷纷向市场推出各种类型的混合动力汽车。

普通混合动力汽车是指那些采用常规燃料的,同时配以蓄电池、电动机来改善低速动力输出和燃油消耗的车型。混合动力汽车按照混合度(即电动机功率与发动机功率之比或使用电的比例与使用燃油的比例)的不同,又可以分为微混、轻混、中混、强混等。普通混合动力汽车的优点有以下几个方面。

(1) 采用混合动力后可按平均需用的功率来确定发动机的最大功率,此时处于油耗低、污染少的最优工况下工作。需要大功率发动机功率不足时,由蓄电池来补充;负荷少时,富余的功率可发电给蓄电池充电,由于发动机可持续工作,蓄电池又可以不断得到充电,故其行程和普通汽车一样。

(2) 因为有了蓄电池,可以十分方便地回收制动、下坡时、怠速时的能量,并作为电能再次利用,从而减少能源的浪费。

(3) 在繁华市区,可关停发动机,由蓄电池单独驱动,实现“零排放”。

(4) 有了发动机可以十分方便地解决耗能大的空调、取暖、除霜等纯电动汽车遇到的难题。

缺点是:长距离高速行驶基本不能省油。有两套动力,再加上两套动力的管理控制系统,结构复杂,技术较难,价格较高。

普通的混合动力汽车利用发动机的富余功率给蓄电池充电,无须外接充电,虽然节能效果明显,但是没有从根本上摆脱交通运输对石油资源的耗用问题。因此,普通混合动力汽车是电动汽车发展过程中一段时期内的一种过渡性技术。

近几年发展起来的插电式混合动力汽车(Plug-in Hybrid Vehicle, PHV)是一种新型的混合动力电动汽车。通过外接充电电源为蓄电池充电,充电后可仅凭充电蓄电池作为电动汽车行驶。另外,在蓄电池的剩余电量用完后,并不是切换至发动机行驶模式,而是通过发动机带动发电机,利用由此产生的电力为蓄电池充电,继续用电动机行驶。插电式混合动力汽车更接近于纯电动汽车,而且它一定程度上解决了纯电动汽车续航里程短和需要及时充电的问题,即使行驶到没有充电设施的地方,也可以作为一般的混合动力车来使用。

### 3. 燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车是指以氢气、甲醇等为燃料,通过化学反应产生电能,依靠电动机驱动的汽车。燃料电池电动汽车的工作原理是:作为燃料的氢在汽车搭载的燃料电池中,与大气中的氧发生化学反应,从而产生电能启动电动机运行,进而驱动汽车行驶。燃料电池的化学反应过程不会产生有害产物,因此燃料电池车辆是无污染汽车,燃料电池的能量转换效率比内燃机要高2~3倍,因此从能源的利用和环境保护方面看,燃料电池技术是内燃机技术最好的替代,燃料电池电动汽车代表了电动汽车未来的发展方向。

现阶段,燃料电池的许多关键技术还处于研发试验阶段,此外,燃料电池的理想燃料——氢,在制备、供应、储运等方面还有着大量的技术与经济问题有待解决。因此,燃料电池电动汽车目前和今后一段时间尚不具备商业化的条件。

## 1.2 电动汽车电池分类及发展趋势

### 1.2.1 电动汽车电池分类及特性

#### 1. 电动汽车电池分类

新能源汽车动力电池可以分为蓄电池和燃料电池两大类,蓄电池用于纯电动汽车(EV)、混合动力电动汽车(HEV)及插电式混合动力电动汽车(PHEV);燃料电池专用于燃料电池汽车(FaV)。

(1) 适用于纯电动汽车的蓄电池,可以归类为铅酸蓄电池、镍基蓄电池(镍-氢及镍-金属氢化物蓄电池、镍-镉及镍-锌蓄电池)、钠基蓄电池(钠-硫电池和钠-氯化镍蓄电池)、二次锂电池、空气电池等类型。

在仅装备蓄电池的纯电动汽车中,蓄电池是汽车驱动系统的唯一动力源。而在装备传统发动机(或燃料电池)与蓄电池的混合动力汽车中,蓄电池既可扮演汽车驱动系统主要动力源的角色,也可充当辅助动力源的角色。在低速和启动时,蓄电池扮演的是汽车驱动系统主要动力源的角色;在全负荷加速时,充当的是辅助动力源的角色;在正常行驶或减速、制动时充当的是储存能量的角色。



蓄电池在纯电动汽车中是驱动系统的唯一动力源，主要有镍镉、镍氢和动力锂离子电池等。目前，动力锂离子电池处于高速发展阶段，在诸如日产 Leaf、丰田普锐斯 plug-in、特斯拉 ModelS、通用 Volt、福特 Focus EV 以及宝马 i3 等新能源汽车上都采用动力锂离子电池。此外，锂资源较为丰富，价格也不贵，可以说在纯电动汽车蓄电池中，动力锂离子电池是目前最被市场看好的动力电池。

铅酸蓄电池、镍氢电池和锂离子电池（锂离子电池和锂聚合物电池）的比能量、比功率、安全性等基本性能的比较如图 1-2 所示。通过比较可以发现，目前这几种电池技术仍然没有一种能够占据每个方面性能的优势地位。这说明目前在电动汽车应用领域出现这些不同种类电池共存情况的原因，也是各种电池技术在不同程度上存在的缺陷导致电动汽车的发展受到制约而未大规模产业化的原因。

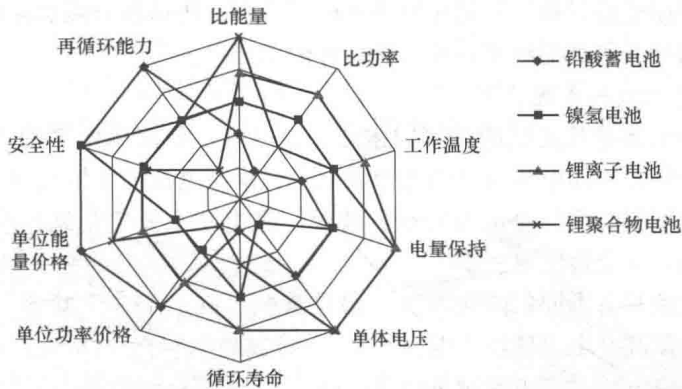


图 1-2 新能源汽车电池的性能比较

由图 1-2 可以看出，在目前市场上的电池中，锂离子电池（锂离子电池和锂聚合物电池）除在价格 and 安全性方面处于劣势以外，其他方面均处于绝对领先地位，有进一步研发和大规模应用的前景。

(2) 燃料电池，又称“连续电池”，即只要活性物质连续地注入电池，就能长期不断地进行放电的一类电池。可以把燃料电池看成是一种需要电能时，将反应物从外部送入电池内的一种电池。专用于电动汽车的燃料电池，可以分为碱性燃料电池（AFC）、磷酸燃料电池（PAFC）、熔融碳酸盐燃料电池（MCFC）、固体氧化物燃料电池（SOFC）、质子交换膜燃料电池（PEMFC）、直接甲醇燃料电池（DMFC）等类型。

燃料电池由阳极、阴极、电解质和隔膜构成，燃料在阳极氧化，氧化剂在阴极还原。如果在阳极（即外电路的负极，也可称燃料极）上连续供给气态燃料（氢气），而在阴极（即外电路的正极，也可称空气极）上连续供给氧气（或空气），就可以在电极上连续发生电化学反应，并产生电流。由此可见，燃料电池与常规电池不同，它的燃料和氧化剂不是储存在电池内，而是储存在电池外部的储罐中。当它工作（输出电流并做功）时，需要不间断地向电池内输入燃料和氧化剂并同时排出反应产物。因此，从工作方式上看，它类似于常规的汽油或柴油发电机。由于燃料电池工作时要连续不断地向电池内送入燃料和氧化剂，所以燃料电池使用的燃料和氧化剂均为流体（气体或液体）。最常用的燃料为纯氢、各种富含氢的气体（如重整气）和某些液体（如甲醇水溶液），常用的氧化剂为纯氧、净化空气等气体和某些液体（如过氧化氢和硝酸的水溶液等）。

燃料电池不需要充电，具有比能量高、使用寿命长、维护工作量少以及能连续大功率供电等

优点。另外,燃料电池汽车可达到与燃油汽车相同的续驶里程。

根据电解质的不同,燃料电池可分为碱性燃料电池、磷酸燃料电池、质子交换膜燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池和固体氧化物燃料电池 5 类。目前,质子交换膜燃料电池在燃料电池汽车中的应用较多,是未来新能源汽车动力电池领域极具竞争力的电池类型。

燃料电池阳极的作用是为燃料和电解液提供公共界面,并对燃料的氧化产生催化作用,同时把反应中产生的电子传输到外电路或者先传输到集流板后再向外电路传输。阴极(氧电极)的作用是为氧和电解液提供公共界面,对氧的还原产生催化作用,从外电路向氧电极的反应部位传输电子。由于电极上发生的反应大多为多相界面反应,为提高反应速率,电极一般采用多孔材料并涂有电催化剂。

电解质的作用是输送燃料电极和氧电极在电极反应中所产生的离子,并能阻止电极间直接传递电子。隔膜的作用是传导离子、阻止电子在电极间直接传递和分隔氧化剂与还原剂。因此隔膜必须是抗电解质腐蚀和绝缘的物质,并具有良好耐润湿性。

## 2. 电动汽车动力电池技术现状

电动汽车的动力电池是其发展的关键因素之一,目前,新能源汽车的动力电池多采用锂电池,其体积小、质量轻、工作电压高(约为镍氢电池、镍镉电池的 3 倍)、寿命长、循环次数多、无记忆效应、自放电率低、无污染以及安全性能好。锂电池主要包括锰酸锂电池和磷酸铁锂电池,而后者寿命更长、安全性能更高。

不同种类动力电池具有不同的充电特性,最佳充电率在 0.2~2.0C 变化。在电池系统额定电压相同的情况下,最高充电电压由于电池种类、结构型式上的区别也体现出一定的差别。对于不同种类的电池,充电方法及充电控制策略也不同,应根据其电池特性采用不同的充电方法。

不同运行模式的电动汽车对充电时间提出了不同的要求,而充电时间的不同需要不同的充电方式来满足。在电动汽车对充电时间要求不高的情况下,可在停运时间利用电力低谷进行常规充电,以延长车辆的续驶里程;在充电时间较为紧迫的情况下,需要采用快速充电或电池组快速更换及时实现电能补充。

动力电池充放电工作效率受充电场所及其他环境条件的影响,尤其是受环境温度的影响。在常温下,电池充电接受能力较强,随着环境温度的降低,其充电接受能力逐渐降低。因此,随环境温度降低,充电站功率需求将增加。因而,建设充电站时应尽可能保证其环境不受人为温度条件的影响。

动力电池的种类不同,其充电特性也有较大差异,主要表现在最大可接受充电电流、最高充电电压、充/放电率、充/放电终止电压、循环寿命、荷电保持能力等参数上。充电电流越大、充电电压越高,则单机充电机的功率需求就越大。锂电池的充电特性主要受充电电流、健康状态(State Of Health, SOH)、电池荷电状态(State Of Charge, SOC)和循环次数等的影响。电动汽车主要锂电池类型和参数见表 1-1。

表 1-1 电动汽车主要锂电池类型和参数

参数	锰酸锂电池	磷酸锂电池
电池平台电压 (V)	3.6	3.3
充电终止电压 (V)	3.7~4.2	3.6~3.9
放电终止电压 (V)	2.75	2.5~2.8
能量密度	高	低
成本	高	低
循环充电次数	300~500	1000~2000



(1) 铅酸蓄电池。铅酸蓄电池是应用最为广泛的电池，如图 1-3 所示。铅酸蓄电池以氧化铅为正极板，以海绵铅为负极板，硫酸水溶液作为电解液。充放电过程依靠极板上活性物质和电解液发生化学反应来实现。铅酸蓄电池主要的优点是电压稳定、价格便宜，但同时也存在着比能低、使用寿命短和日常维护频繁等问题。在国内，铅酸蓄电池在国内的低速电动汽车上的应用很普遍，除了上面提到的优点外，这种电池的价格也比其他的电池价格低。铅酸蓄电池有 2、4、6、8、12V 和 24V 等系列，容量从 200~3000mAh。铅酸蓄电池的放电时长可以用下式粗略计算

$$\text{放电时长} = \text{额定容量} \times \text{放电容量倍率} \times [1 + \text{温度系数} \times (\text{环境温度} - 25)] / \text{放电电流} \quad (1-1)$$

铅酸蓄电池虽然价格低廉，但是电池的续航能力比较低。所以，电动汽车完全由铅酸蓄电池来提供能源并不是太合适。

(2) 磷酸铁锰锂电池。比亚迪最新研究的磷酸铁锰锂电池如图 1-4 所示，是在磷酸铁锂路线下的改进型，叫磷酸铁锰锂，就是在材料里面添加锰元素。这种电池的能量密度已经达到了三元材料的密度。其突破了传统的磷酸铁锂电池的能量密度限制，达到了三元材料水平，而在成本控制上比普通的磷酸铁锂更加优秀，而且已经应用在比亚迪电动汽车上，在续航能力上比现在的磷酸铁锂电池更加持久。



图 1-3 铅酸蓄电池

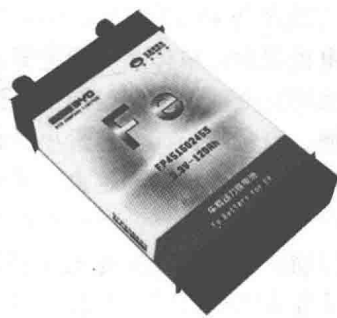


图 1-4 磷酸铁锰锂电池

(3) 磷酸铁锂电池。磷酸铁锂电池如图 1-5 所示，属于锂离子二次电池，主要用作动力电池，而且它的放电效率较高，倍率放电情况下充放电效率可达到 90% 以上（铅酸电池大约为 80%）。在各类蓄电池中，磷酸铁锂电池的安全性也高于其他的电池，理论寿命可以达到 7~8 年，实际使用寿命为 3~5 年，性价比理论上为铅酸电池的 4 倍以上。

磷酸铁锂电池的缺点：价格高于其他类型的电池，而且，电池容量较小，续行里程短，而且报废后基本上不能回收再利用，没有可回收价值。

综上所述，磷酸铁锂电池在电动汽车上的应用，会使整体的成本提升，而且电池不可回收利用，这样会造成资源的浪费和消耗。

(4) 钴酸锂电池。TESLA 电动汽车的电池采用了松下提供的 NCA 系列（镍钴铝体系）18650 钴酸锂电池，单颗电池容量为 3100mAh。TESLA 电动汽车采用了电池组战略，85kWh 的 MODELS 电池单元一共运用了 8142 颗 18650 钴酸锂电池，将这些电池以砖、片逐一平均分配最终组成一整个电池包，电池包位于车身底板，如图 1-6 所示。

钴酸锂电池结构稳定、容量比高、综合性能突出，但是其安全性差而且成本非常高，主要用于中小型号电芯，标称电压 3.7V。TESLA 把这样的电池组合到一起，安全性就成了一个很需要关注的问题，TESLA 在电池包内的保险装置分布到每一颗 18650 钴酸锂电池，每一颗 18650 钴酸锂电池两端均设有熔丝，当电池出现过热或电流过大时，熔丝会被切断，以此避免因某个电池



出现异常情况(过热或电流过大)影响到整个电池包。那么,由此来看,钴酸锂电池虽然本身存在着缺陷,但是在 TESLA 的包装上其安全性基本上可以忽略。显然,这样的解决方案还是很适合在纯电动汽车上发展。

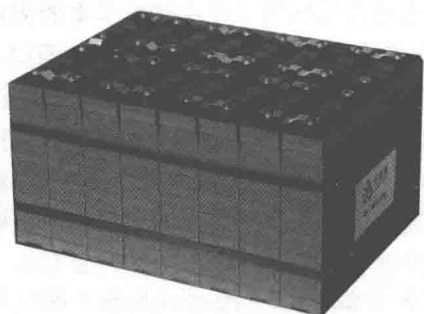


图 1-5 磷酸铁锂电池

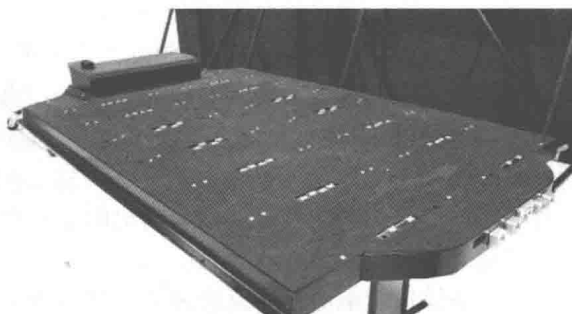


图 1-6 钴酸锂电池包

钴酸锂电池组相对于其他的电池来说续航里程、电池总容量都要高,如果钴酸锂电池的安全性再提高一点,那么在电动汽车上可以推广到特斯拉上。

### 3. 动力电池组充放电特性

动力电池在电池组中,单体之间的差异总是存在的,以容量为例,其差异性永不会趋于消失,而是逐步恶化的。电池组中流过同样电流,相对而言,容量大者总是处于小电流浅充浅放、趋于容量衰减缓慢、寿命延长,而容量小者总是处于大电流过充过放、趋于容量衰减加快、寿命缩短,两者之间性能参数差异越来越大,形成正反馈特性,小容量提前失效,动力电池组寿命缩短。

(1) 充电。目前,动力电池组充电主要采用的是限压限流法,初期恒流(CC)充电,电池接受能力最强,主要为吸热反应,但温度过低时,材料活性降低,可能提前进入恒流阶段,因此在北方冬天低温时,充电前把电池预热可以改善充电效果。随着充电过程不断进行,极化作用加强,温升加剧,伴随析气,电极过电位增高,电压上升,当荷电达到 70%~80%时,电压达到最高充电限制电压,转入恒压(CV)阶段。理论上并不存在客观的过充电压阈值,若理解为析气、升温就意味着过充,则在恒流阶段末期总是发生不同程度的过充,温升达到 40~50℃,壳体形变容易感测,部分逸出气体还可以复合,另一些就作为不可逆反应的结果,损失了容量,这可以看作电流强度超出电池接受能力。在恒压阶段,又称涓流充电,大约花费 30%的时间充入 10%的电量,电流强度减小,析气、温升不再增加,并反方向变化。

(2) 过充电。上述充电过程考虑动力电池组总电压或平均电压控制,其实总有单体电压较高者,相对动力电池组内其他电池已经进入过充电阶段。过充电时,若在恒流阶段发生,由于电流强度大,电压、温升、内压持续升高,以 4V 锂电池为例,电压达到 4.5V 时,温升 40℃,塑料壳体变硬;4.6V 时温升可达 60℃,壳体形变明显并不可恢复。若继续过充,气阀打开、温升继续升高、不可逆反应加剧。恒压阶段,电流强度较小,过充症状不如恒流阶段显著。只要温升、内压过高,就伴随副反应,电池容量就会减少,而副反应具有惯性,发展到一定程度,可能在充电中也可能在充电结束后的短时间里使电池内部物质燃烧,导致电池报废。过充电将加速电池容量衰减、导致电池失效。

(3) 放电。动力电池组在恒流放电时,电压有一陡然跌落,主要由欧姆电阻造成压降,该电阻包括连接单体电极的导线电阻和触点电阻,电压继续下降,经过一段时间以后,到达新的电化学平衡,进入放电平台期,电压变化不明显,放热反应加电阻释热使电池温升较高。放电电压曲