

新能源汽车

工学任务一 新能源汽车概述

学习情境描述

当前,全球能源和环境面临巨大挑战。汽车是石油消耗和二氧化碳排放的大户,为了减少二氧化碳的排放,发展新能源汽车已形成全球共识。你作为新能源汽车研究的专业人员,能不能说说新能源汽车的发展趋势及定义?

学习目标

- (1)知道新能源汽车的定义及类型;
- (2)能描述新能源汽车的国内外发展现状;
- (3)能描述新能源汽车的发展趋势。

工作任务

- (1)在老师的指导下,制订新能源汽车认识计划;
- (2)根据认识计划,完成新能源汽车类型认知及发展趋势描述。

学习内容

一、课前任务单

根据查找的资料,完成课前任务单(见表 1-1-1)。



表 1-1-1 新能源汽车概述课前任务单

1. 新能源汽车的定义是什么?

2. 新能源汽车主要有_____、_____、_____、_____、_____五种类型。

3. 简述新能源汽车的发展趋势。

二、相关资讯

资讯一 新能源汽车的定义与类型

1. 新能源汽车的定义

依照中华人民共和国工业和信息化部 2017 年 1 月 6 日发布的《新能源汽车生产企业及产品准入管理规定》，新能源汽车是指采用新型动力系统，完全或者主要依靠新型能源驱动的汽车，包括插电式混合动力(含增程式)汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车等。

2. 新能源汽车的类型

新能源汽车包括的范围较广，目前主要包括纯电动汽车、混合动力汽车、燃料汽车、燃料电池汽车、其他新能源汽车(如太阳能汽车、超级电容汽车)等。

1) 纯电动汽车

纯电动汽车(electric vehicle, EV)是一种采用单一蓄电池作为储能动力源的汽车，通过电池向电动机提供电能，驱动电动机运转，从而推动汽车行驶，如图 1-1-1 所示。



图 1-1-1 比亚迪 e6 纯电动汽车



微课
新能源汽车的
分类

2) 混合动力汽车

混合动力汽车(hybrid electric vehicle, HEV)是指驱动系统由两个或多个能同时运转的单个驱动系联合组成的车辆，车辆的行驶功率依据实际的车辆行驶状态由单个驱动系统单独或多个驱动系统共同提供，如图 1-1-2 所示。因各个组成部件、布置方式和控制策略的不同，混合动力汽车有多种形式，一般分为非插电式混合动力汽车和插电式混合动力汽车。



3) 燃料汽车

燃料汽车包括气体燃料汽车、生物燃料汽车、氢燃料汽车等,它们是用气体燃料、生物燃料、氢燃料等代替燃油作为发动机燃料的汽车。

(1) 气体燃料汽车。气体燃料汽车是指利用可燃气体作为能源驱动的汽车。汽车的气体代用燃料种类很多,常见的有天然气和液化石油气。

(2) 生物燃料汽车。燃用生物燃料或掺有生物燃料的燃油的汽车称为生物燃料汽车。与传统汽车相比,生物燃料汽车在结构上无重大改动,但排放总量较低,如乙醇燃料汽车、生物柴油汽车等。

(3) 氢燃料汽车。氢燃料汽车(见图 1-3-3)也称为氢发动机汽车,是以氢发动机为动力源的汽车。氢是清洁燃料,如采用氢气作为汽车燃料,在汽车结构上只需将常规火花塞点火式发动机略加改动即可。其燃烧效率比汽油高,混合气可以较大程度地变稀,所需点火能量小,有利于节约燃料。氢气也可以加入其他燃料(如压缩天然气,CNG)中,用于提高效率和减少 NO_2 的排放。氢的质量能量密度在各种燃料中最高,但体积能量密度最低,其最大的使用障碍是储存问题和安全问题。宝马汽车公司一直致力于氢发动机的研制,开发了多款氢发动机汽车,其装有 V12 氢发动机的 7 系列轿车是世界上首批量产的氢发动机汽车,该发动机可使用氢气和汽油两种燃料。



图 1-1-2 丰田普锐斯混合动力汽车



图 1-1-3 氢燃料汽车

4) 燃料电池汽车

燃料电池汽车(fuel cell electric vehicle, FCEV)一般是利用氢气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的电能作为主要动力源驱动的汽车。燃料电池汽车实质上是纯电动汽车的一种,主要区别在于动力电池的工作原理不同。一般来说,燃料电池是通过电化学反应将化学能转换为电能。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汽车多是直接采用氢燃料,氢的储存可采用液

化氢、压缩氢气或金属氢化物储氢等形式,如图 1-1-4 所示。

5) 其他新能源汽车

除了上述新能源汽车外,新能源汽车还包括太阳能汽车、超级电容汽车以及使用飞轮作为储能器的汽车等,如图 1-1-5 和图 1-1-6 所示。



图 1-1-4 宝马燃料电池汽车

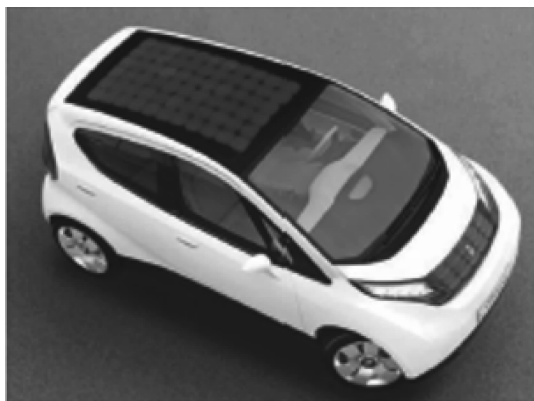


图 1-1-5 太阳能汽车



图 1-1-6 超级电容公交车

资讯二 国内外新能源汽车的发展现状

汽车产业正在迎来有史以来最大的一场变革,统治汽车产业长达百年之久的内燃机体系正在面临巨大的革新。为了抢占科技和市场的先机,全球各国争相布局电动车辆技术,积极推动新能源汽车产业的投入和扩大。

1. 国外新能源汽车的发展现状

发展新能源汽车已经成为全球共识,各国相继发布实施了新能源汽车发展战略,出台了一系列扶持新能源汽车发展的鼓励政策。

1) 美国新能源汽车的发展现状

2009 年 8 月,美国政府宣布拨款 24 亿美元,用于补贴新型电动汽车及其电池、零部件的研发;2012 年,美国宣布实行总价值 47 亿美元的新能源补贴政策,提出到 2015 年,美国要有 100 万辆充电式混合动力车。同年,美国发布《电动汽车普及大挑战蓝图》,力图在未来 10 年使美国成为世界上第一个能够生产每户家庭都能负担得起的插电式电动汽车的国家。2020 年 3 月,美国智能交通系统联合计划办公室发布了《智能交通系统战略规划 2020—2025》,描述了未来 5 年美国智能交通领域的重点任务和关键举措,其中涉及从新兴技术评估研发到具体技术应用部署,从数据权限共享到网络安全保障,从自动驾驶持续推广到完整出行的全人群、全链条出行服务,力求实现智能交通系统技术的全生命周期发展。

2) 德国新能源汽车的发展现状

2007 年,德国经济部、交通部、环保部和教研部联合成立了电动汽车工作小组;2008 年



11月,召开“电动汽车国家战略会议”;2009年9月,发布了《国家电动汽车发展计划》,提供50亿欧元资金支持;2016年4月,德国政府首次发布购置补贴政策,可以获得补贴的车型包括纯电动汽车、燃料电池汽车和插电式混合动力汽车,其中联邦政府承担一半费用,汽车产业界承担另一半费用;2018年9月,德国政府通过决议计划建立新的国家级“未来交通”平台助推电动汽车发展,重点关注交通领域的气候保护、可替代发动机和燃料、数字化和自动驾驶等议题。

3) 日本新能源汽车的发展现状

1994年12月,日本内阁会议通过“新能源推广大纲”;2009年4月1日,日本实施的“绿色税制”对新能源汽车实行减税50%;2010年3月,启动“新一代汽车计划”。2019年6月,根据日本经济产业省和国土交通省公布的标准,在日本国内销售汽车的厂商,到2030年其乘用车新车包括纯电动汽车和插电式混合动力汽车在内,平均燃油经济性需达到25.4 km/L,与2016年的19.2 km/L相比提升32.3%。

4) 韩国新能源汽车的发展现状

2009年10月,韩国知识经济部发布《电动汽车产业发展方案》;2010年6月,韩国政府推出了“绿色车辆综合推进路线图”计划,提出了“三步走”战略;2010年12月,韩国发布《绿色汽车产业发展战略及任务》。韩国从2018年的7月开始,为了促进汽车销售的发展,将新车购买的个人消费税由5%下降到3.5%。韩国环境部公布的纯电动汽车普及和充电基础设施预算,2020年总预算增加48.1%,从2019年的5402亿5600万韩元增加到8001亿8000万韩元。根据2014年9月韩国环境部和产业通商资源部联合发布的新车平均温室气体排放基准,从2020年开始,汽车温室气体排放标准为97 g/km,油耗标准为24.3 km/L,如果汽车厂商不能生产出满足上述标准的车辆,将会被予以罚款。

2. 中国新能源汽车的发展现状

我国早在20世纪60年代就开始试制电动汽车,但是由于当时技术条件及社会环境的限制,只是进行尝试性制造,并未在技术上有所突破。直到1992年,“八五”科技攻关项目“电动汽车总体设计”获批立项,我国电动汽车产业研发才正式开始。

“十五”期间,我国开始对电动汽车技术进行大规模有组织的研发。2001年,国家“863计划”电动汽车重大科技专项确立了以燃料电池汽车、混合动力汽车、纯电动汽车为“三纵”,以多能源动力总成控制系统、电机驱动系统和控制单元、动力电池和电池组管理系统为“三横”的电动汽车“三纵三横”研发布局,全面启动大规模电动汽车技术研发,为我国电动汽车发展奠定了技术基础,如图1-1-7所示。

“十一五”期间,我国组织了“节能与新能源汽车”重大项目,继续坚持“三纵三横”的总体布局,围绕“建立技术平台、突破关键技术、实现技术跨越”“建立研发平台、形成标准规范、营造创新环境”和“建立产品平台、培育产业生态、促进产业发展”三大核心目标,全面展开电动汽车关键技术研究 and 大规模产业化技术攻关,并成功开展了“北京奥运”“上海世博”“深圳大运会”和“十城千辆”等示范推广工程。值得一提的是,2007年,国家发改委正式公布了《新能源汽车生产准入管理规则》,首次提出新能源汽车的概念。该公告还将新能源汽车分为混



混合动力汽车、纯电动汽车、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,标志着我国开始对新能源汽车的生产企业及产品实施管理和准入制度。

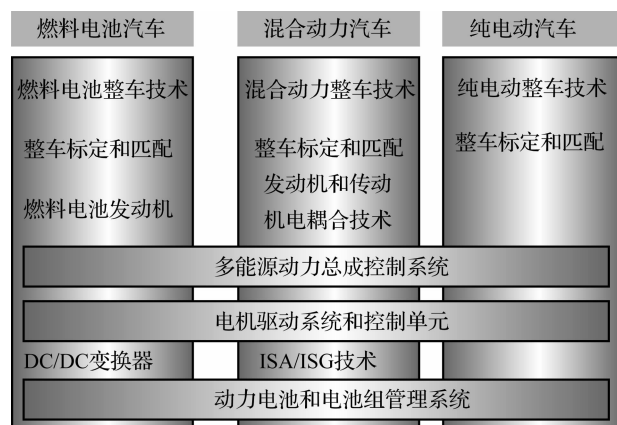


图 1-1-7 “三纵三横”研发布局

关键零部件技术、整车集成技术和公共平台技术的攻关与完善、深化与升级,形成“三横三纵三大平台”的战略重点与任务布局。《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》指出,突破动力电池瓶颈是主要任务,还要突破动力电池、电机和电控三个核心技术并实现自主化。2015年,新能源汽车纳入《中国制造2025》,并明确了2026年动力电池的能量密度将达到 $350\text{ W}\cdot\text{h/kg}$ 的目标。同年,习近平总书记在巴黎气候大会上代表中国所做的减排承诺体现在“十三五”规划及具体行动计划中。

2016年11月,国务院正式发布《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》,再一次明确了新能源汽车、新能源和节能环保等绿色低碳产业的战略地位。该规划要求大幅提升新能源汽车和新能源的应用比例,全面推进高效节能、先进环保和资源循环利用产业体系建设,推动新能源汽车、新能源和节能环保等绿色低碳产业成为支柱产业,到2020年,产值规模达到10万亿元以上。作为“十三五”规划中的八大任务之一,新能源汽车发展是国务院关注的重中之重。规划中要求实现新能源汽车的规模应用,并全面提升电动汽车的整车品质与性能。此外,“十三五”规划还明确要求大力推进动力电池技术研发,着力突破电池成组和系统集成技术,推进动力电池梯次利用,并强调开展新能源汽车动力电池提升工程,完善动力电池研发体系,突破高安全性、长寿命、高能量密度锂离子电池等技术瓶颈。由此可见,我国正在不断深入推进动力电池在电动汽车领域的应用发展,努力完善动力电池管理的品质,进而促进汽车产业的成功转型。

资讯三 新能源汽车的发展趋势

1. 混合动力技术

混合动力技术是目前新能源汽车过渡阶段的解决方案,其技术特点是:兼具动力性、舒适性与燃油经济性且技术成熟。混合动力技术是指在车辆动力系统中采用两种不同动力源的一种技术,目前更侧重于燃油电力混合动力。



微课
新能源汽车发展趋势



混合动力技术由电池和电机配合发动机向车辆输出动力的两种驱动模式,一是纯电模式,二是混合动力模式,不仅降低了油耗及排放,更极大地提高了动力和操控性能。驾驶人可以享受更强劲的起步、加速,并实现较高水平的燃油经济性。

混合动力技术的优点如下。

(1)燃油经济性高,行驶性能优越。混合动力汽车的发动机要使用燃油,而且在起步、加速时,电机的辅助可以降低油耗,此时可关停内燃机,由电池单独驱动,实现零排放。

(2)混合动力汽车的动力性优于同排量的内燃机汽车,特别是在起步、加速时,电机可以有效地弥补内燃机低转速时转矩不足的弱点。

(3)怠速或低速时采用电机工作,有利于减少汽车的机械噪声。

(4)短途中完全可实现纯电动零污染、零排放行驶。

混合动力技术的缺点如下。

(1)产品成本较高,电机和内燃机两套动力系统的成本远比一套动力系统高。

(2)长时间高速或匀速行驶不省油。因为混合动力汽车燃油消耗上的优势主要依靠动能积蓄电能,混合动力汽车在行驶中制动减速或起步停车会相对更加节能。而如果长时间处于匀速行驶,其节能效果就会相应降低。

2. 纯电动技术

纯电动汽车由新能源方案、电池续航里程决定其发展,其技术特点是噪声低、无污染、结构简单、转矩大、成本低,但续航里程是难题。在售代表车型有特斯拉 Model S、比亚迪 e6、北汽 EV 系列等。

(1)优点。零排放,在行驶中无废气排出,不污染环境;比内燃机汽车的能源利用率高;转矩性能远超燃油机;省去了发动机、油箱和排气系统,所以结构较简单;行驶中没有噪声;政府补贴支持。

(2)缺点。电池技术瓶颈,续航里程较短;电池存在寿命短问题;充电地点少且充电时间较长。

纯电动汽车的续航里程、价格、充电时间等技术难点,令消费者很难接受现在的技术状态,长途行驶无法满足正常应用,同时燃油价格下降使消费者购买热情降低。但不可否认,各国对环境的保护政策成为众多汽车厂商发展纯电动汽车的动力。

3. 燃料电池技术

相比续航里程短、充电困难的纯电动汽车,燃料电池汽车的应用具有十分广阔的前景,或将成为新能源汽车的又一发展方向。燃料电池汽车没有内燃机,是一种全新的电动汽车,配有一个氢燃料电池。氢燃料电池无须燃烧即可从氢中提取化学能源,其原理类似于电解的反向作用:通过电化学处理将两种气体合成水,并产生电流,在这个过程中,燃料电池释放出水蒸气和热量。氢燃料电池汽车的代表车型为丰田公司的首款氢燃料电池汽车 Mirai,该车型于 2014 年 12 月 15 日上市。目前困扰业界的是氢的提取过程并不环保,会额外产生不少二氧化碳。燃料电池技术主要通过天然气和水蒸气来提取氢,每生产 1 kg 氢,约将产生



11.9 kg 二氧化碳。而要真正实现“零排放”，氢的获取必须采用昂贵的电解质进行水处理，如采用铂、钯为催化剂，价格昂贵。如能找到廉价的替代品，无疑将有助于燃料电池的大规模推广。氢燃料电池汽车拥有纯电动汽车难以匹敌的续驶里程和极短的加气时间（仅数分钟），而且动力也不比传统动力汽车差，因此氢燃料电池汽车拥有广阔的未来，但想完全取代传统动力汽车仍需要时间。

三、决策与计划

结合以上资讯内容，组织学生分组，每个小组各自查资料、讨论，制订新能源汽车认识计划（见表 1-1-2）。

表 1-1-2 新能源汽车认识计划

任务名称		专 业		班 级	
小组成员				任务成绩	
前期准备	工具	设备		辅助材料	
安全要求					
新能源 汽车认识	1. 所使用的设备：				
	2. 工作计划流程图(可用图表和思维导图)：				
	3. 小组分工情况：				

四、实施

小组分工合作，按照所制订的计划，对新能源汽车组成进行认识。

五、检测与评估

综合整个学习过程，对学生的表现进行成绩评定。采用自我评价、小组互评、教师评价相结合的方式（见表 1-1-3）。



表 1-1-3 学生实训记录表

班 级		车型及年款	
小组成员		车辆识别码	
		里程数	
实训认识步骤及结果			
实训反思			
自我评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐		
教师评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐ 教师姓名：_____ 年 月 日		

任务小结

本任务主要介绍了新能源汽车的定义、类型、发展现状与发展趋势。

思考与练习

一、填空题

1. 依据工业和信息化部发布的《新能源汽车生产企业及产品准入管理规定》，新能源汽车是指_____。

2. 新能源汽车包括的范围较广，目前主要包括_____、_____、_____、_____、_____。

二、问答题

1. 简述新能源汽车的类型。
2. 简述新能源汽车的发展趋势。



工学任务二 纯电动汽车

学习情境描述

小刘最近想购买一辆家用轿车,但由于传统燃油车需要摇号,中签率很低,而纯电动汽车摇号的中签率比较高,且节能、环保,于是想找朋友了解一下纯电动汽车方面的知识,以便选购车辆时能有一定帮助。而你刚好在新能源汽车技术专业领域工作,所以很感兴趣,决定帮助他完成这项工作。



学习目标

- (1)知道纯电动汽车的类型、主要参数的含义;
- (2)能描述纯电动汽车的结构特点、基本组成、工作原理;
- (3)能识别纯电动汽车动力电池及管理系统、驱动电机及控制系统、整车控制系统的主要总成部件;
- (4)能描述纯电动汽车的技术现状与发展趋势。



工作任务

- (1)在老师的指导下,制订纯电动汽车认识计划;
- (2)根据认识计划,完成纯电动汽车的总成结构、工作原理认知。



学习内容

一、课前任务单

根据查找的资料,完成下列课前任务单(见表 1-2-1)。

表 1-2-1 纯电动汽车课前任务单

- | |
|---|
| 1. 相比传统汽车,纯电动汽车的独有结构部件主要有_____、_____、_____及外部充电系统等。 |
| 2. 纯电动汽车有哪些动力布置形式? 是如何实现的? |



3. 简述纯电动汽车目前的技术瓶颈,并畅想未来纯电动汽车的发展趋势。

二、相关资讯

资讯一 纯电动汽车的认识

1. 纯电动汽车的定义

纯电动汽车(EV)是完全由可充电电池(如铅酸电池、镍氢电池或锂离子电池等)提供动力源,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。由于纯电动汽车的主要驱动能源是动力电池,因此也可缩写为 BEV(battery electric vehicle)。

2. 纯电动汽车的组成

纯电动汽车与传统汽车相比,在车身、车载电气设备及转向系统和制动系统等方面没有太大的区别,但是纯电动汽车也有很多自己所独有的结构部件,包括高压供电系统、驱动电机系统、低压供电系统及外部充电系统等,其中高压供电系统包括动力电池组、电机控制器、车载充电机、高压配电箱、DC/DC 变换器等,如图 1-2-1 所示。

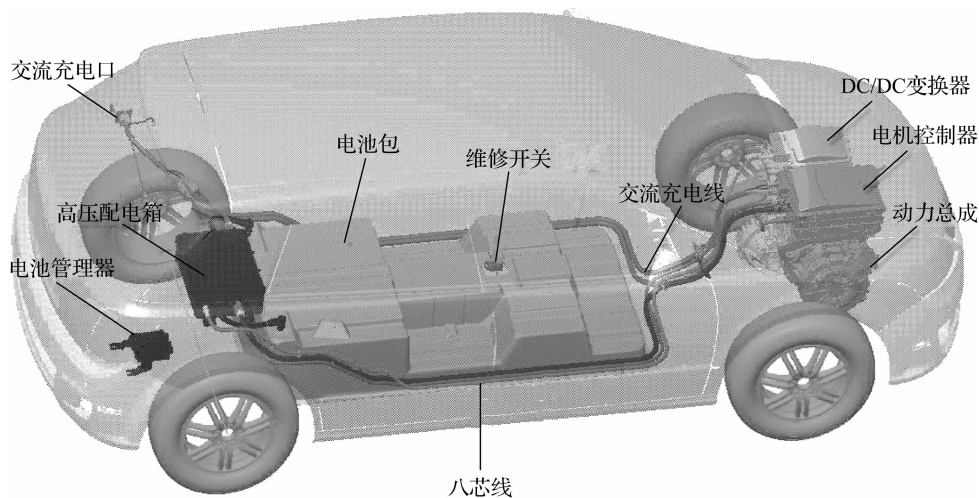


图 1-2-1 比亚迪 e6 纯电动汽车的结构布置示意图

1) 动力电池组

动力电池组一般安装在纯电动汽车的车身底盘下方,由数百只甚至数千只单体电芯通过串联或并联组合而成,从而形成能输出高压、大电流的电源,如图 1-2-2 所示。

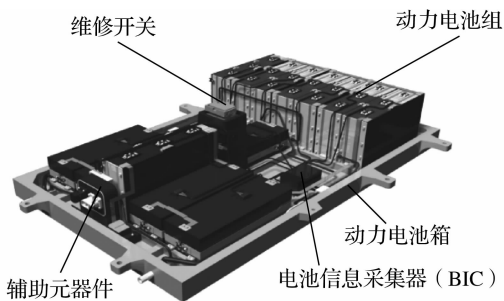
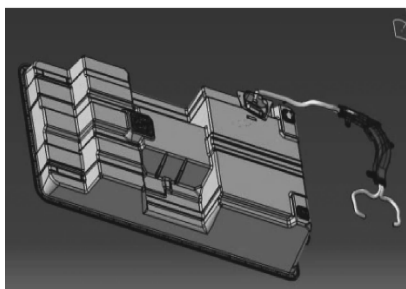


图 1-2-2 动力电池组的外观及内部

2) 驱动电机

电机通过电机控制器将电能转换为机械能,驱动整车行驶。当车辆在滑行或者制动时,电机还要实现能量回收功能,如图 1-2-3 所示。

3) 电机控制器

电机控制器的功能是接收整车控制器的指令,将动力电池组的高压直流电压逆变成电压、频率、相序可调的三相交流电压,实现对驱动电机的转速、转矩和旋转方向的控制,如图 1-2-4 所示。



图 1-2-3 驱动电机(永磁同步电机)

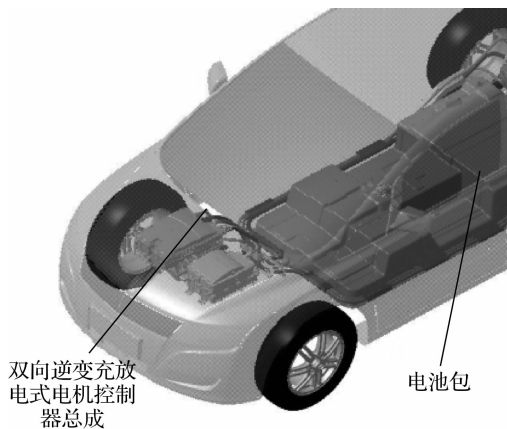


图 1-2-4 电机控制器

4) 车载充电机

车载充电机(图 1-2-5)的功能是将输入的 220 V 单相交流电变换成合适的电压电流的直流电,给动力电池组充电。有些纯电动汽车将车载充电机的功能集成到电机控制器中。



1—交流充电输入、交流放电输出; 2—低压接插件; 3—直流放电输出、直流充电输入。

图 1-2-5 车载充电机



微课
车载充电机认
知



5) 高压配电箱

高压配电箱的功能是完成动力电池电源的输出及分配,实现对支路用电器的保护及切断。有些电动汽车将高压配电箱的功能集成到电机控制器中。高压配电箱中一般会有继电器、预充电阻、电流传感器及高压部件的熔断器,如空调、DC/DC 变换器或 PTC 加热电阻的熔断器等,如图 1-2-6 所示。

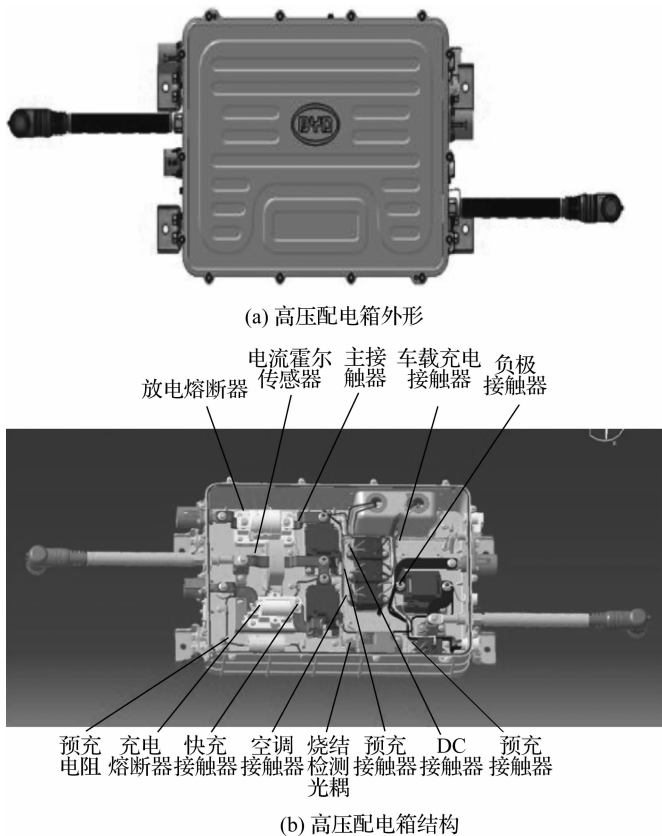


图 1-2-6 高压配电箱

6) DC/DC 变换器

DC/DC 变换器的功能是将动力电池组的高压直流电变换成 12 V 的低压直流电源,如图 1-2-7 所示。



图 1-2-7 DC/DC 变换器低压输出端



7) 高压电缆、高压插座与高压插头

纯电动汽车上的高压电缆一般为橙色,其高压插座和高压插头都具有特殊的结构形式,如图 1-2-8 所示。

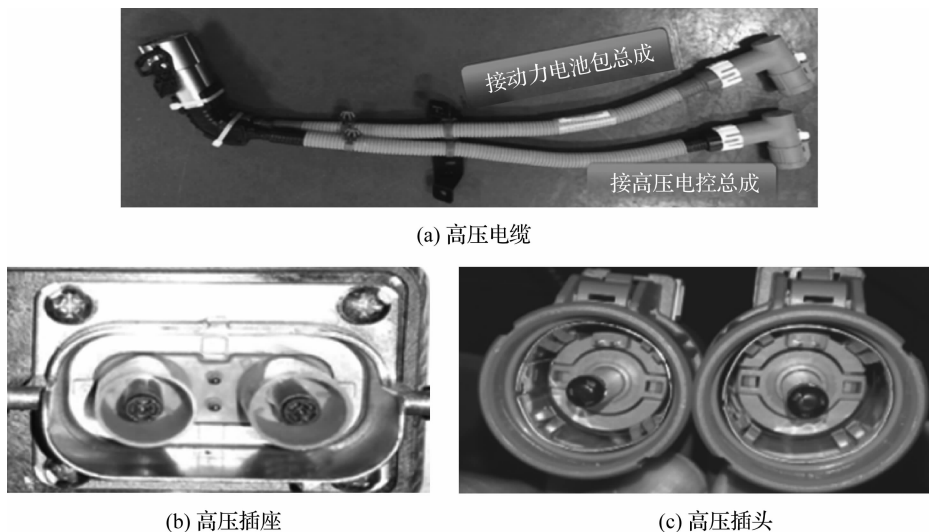


图 1-2-8 高压电缆、高压插座与高压插头

3. 纯电动汽车的工作原理

纯电动汽车保留了传统汽车的加速踏板、制动踏板和各种操纵手柄等,但它不需要离合器。纯电动汽车动力部分由电驱子系统、能源子系统和辅助控制子系统三个子系统组成,如图 1-2-9 所示。



微课
纯电动汽车工
作原理

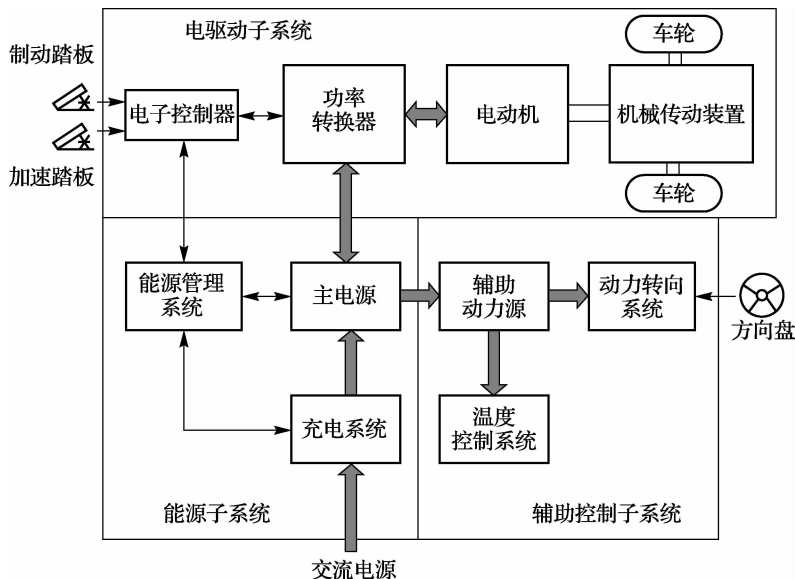


图 1-2-9 纯电动汽车的基本结构



在纯电动汽车工作时,传感器将加速踏板、制动踏板机械位移的行程量转换为电信号,输入整车控制系统,经整车控制器处理后发出驱动信号,完成对电动汽车工况的控制。

当汽车行驶前进时,动力电池组输出的直流电经电机控制系统变为交流电后供入驱动电机,电机输出的转矩经传动系统驱动车轮。

当汽车减速时,车轮带动驱动电机转动,通过电机控制系统使感应电机成为交流发电机产生电流,再将交流电变换为直流电向动力电池组充电(制动再生能量)。同时,纯电动汽车控制系统通过各种传感器、电流检测器对动力电池组、驱动电机进行监控并及时反馈信息和报警,并通过电流表、电压表、电功率表、转速表和温度表等仪表进行显示。

4. 纯电动汽车的动力布置形式

纯电动汽车根据驱动电机与驱动车轴之间的连接关系,常有以下三种布置形式。

1) 替代内燃机布置

替代内燃机布置只是将内燃机换成电动机,仍然保留了离合器、变速器和驱动桥部分,如图 1-2-10 所示。这种布置形式可以提高纯电动汽车的起动机矩,增加低速时纯电动汽车的后备功率。

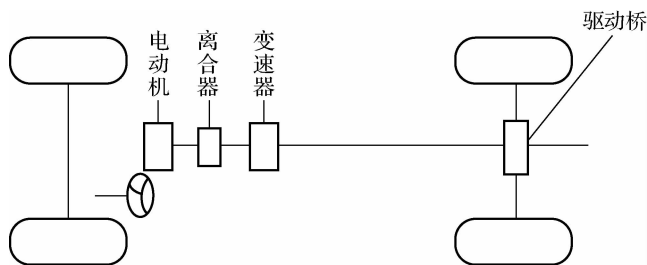


图 1-2-10 替代内燃机布置形式

2) 电机齿轮机构集成布置

电机齿轮机构集成布置取消了离合器和变速器,但保留减速差速机构,由一台电动机驱动两车轮旋转,可以是前驱,也可以是后驱,如图 1-2-11 所示。其优点是可以继续沿用当前内燃机汽车中的动力传动装置,只需要一组电动机和逆变器。这种方式对电动机的要求较高,不仅要求电动机具有较高的起动机矩,而且要求具有较大的后备功率,以保证纯电动汽车的起动、爬坡、加速超车等动力性。

3) 轮毂电机布置

轮毂电机布置是将电动机直接装到驱动轴上,直接由电动机实现变速和差速转换,如图 1-2-12 所示。这种传动方式同样对电动机有较高的要求,要求有大的起动机矩和后备功率,同时不仅要求控制系统有较高的控制精度,而且要具备良好的可靠性,从而保证电动汽车行驶的安全、平稳。

当前上市的纯电动汽车主要采用电机齿轮机构集成布置形式,如北汽 EV200、荣威 e50 等,其驱动系统结构如图 1-2-13 所示。

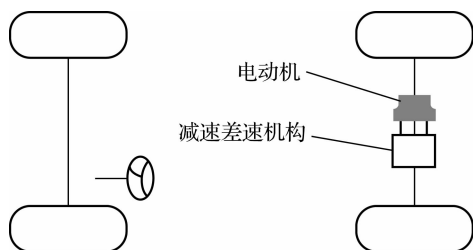


图 1-2-11 电机齿轮机构集成布置形式

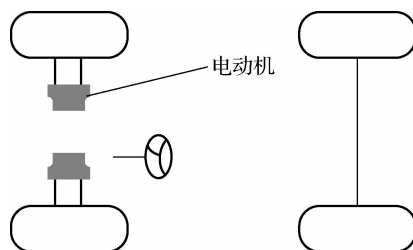


图 1-2-12 轮毂电机布置形式

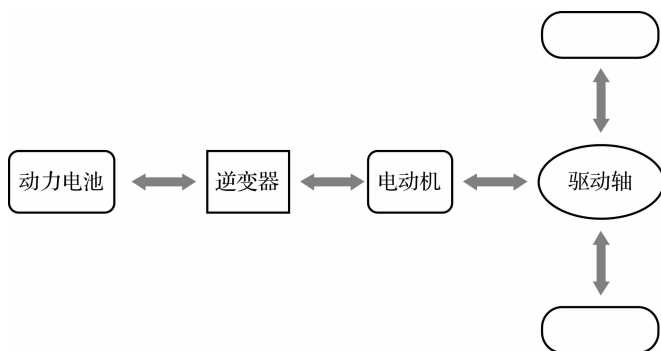


图 1-2-13 纯电动汽车的典型驱动系统结构

5. 纯电动汽车的特点

1) 无污染, 噪声低

纯电动汽车无内燃机, 没有排气污染, 对环境保护十分有益; 无内燃机产生的噪声, 纯电动汽车的噪声也较小。

2) 能源效率高、多样化

电动汽车的能源效率已超过汽油机汽车, 特别是在城市中汽车走走停停、行驶速度不高时, 电动汽车的能源效率更高。电动汽车停止时不消耗电量, 在制动过程中, 电动机可自动转换为发电机, 实现制动减速时能量的再利用。另外, 电动汽车的应用可有效减少对石油资源的依赖, 可将有限的石油用于更重要的方面。向蓄电池充电的电力可以由煤炭、天然气、水力、核能、太阳能、风力、潮汐能等能源转化。除此之外, 如果夜间向动力电池充电, 还可以避开用电高峰, 有利于电网均衡负荷, 减少费用。

3) 能量转换效率高

传统汽车使用汽油、柴油做燃料, 将原油提炼成汽油、柴油, 并经过内燃机燃烧和机械损失, 平均能量利用率只有 15% 左右, 而电动汽车可获得原始燃料 20% 的有用能量。如果利用太阳能、水能、核能等发电, 利用率会更高。如果采用将化学能转换为电能的燃料电池, 则电池能量利用率可达 50% 左右, 可以节约大量的能源; 同时可回收制动、下坡时的能量, 提高能量的利用效率。

4) 结构简单, 使用维修方便

相比传统燃油汽车, 纯电动汽车结构简单, 没有内燃机, 运动部件大大减少, 降低了日常



维修保养量,维修简单,驾驶操作更方便。

5)动力电源使用成本高,续驶里程短

目前,纯电动汽车不如内燃机汽车技术完善,尤其是动力电池的寿命短、使用成本高。电池的储能量小,一次充电后行驶里程不理想,且电动车的价格较贵。但随着电动汽车技术的发展,电动汽车存在的缺点正在逐步得到解决。

资讯二 纯电动汽车的结构原理

纯电动汽车的核心部件包括动力电池组、驱动电机及整车控制系统。动力电池组是纯电动汽车的能源;驱动电机用于将动力电池组的电能转换为机械能,驱动车辆行驶;整车控制系统对动力电池组进行管理,对电机进行控制,并在纯电动汽车发生紧急情况时,对人及车辆进行保护。

1. 动力电池组

动力电池组,也称为高压动力电池组或者高压电池组,是纯电动汽车上用于存储电能的装置。动力电池已经从传统的铅酸电池发展到以镍氢电池、锂电池等为代表的绿色电池,这些电池在比能量、比功率、安全性、可靠性、循环寿命、成本等方面,都取得很大的进步,如表 1-2-2 所示。

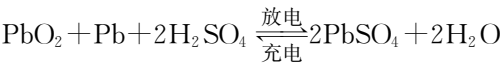
表 1-2-2 铅酸电池、镍氢电池和锂电池性能比较

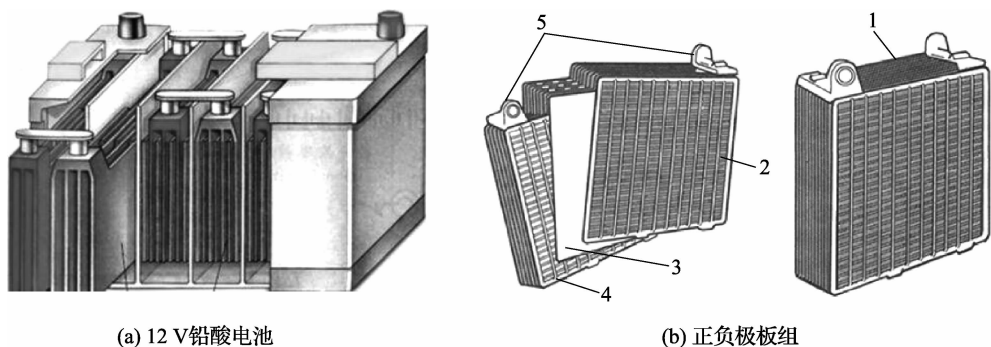
参数名称	铅酸电池	镍氢电池	锂电池
单体电池电压/V	2	1.2	3.2~3.7
比能量/(W·h·kg ⁻¹)	30~50	60~90	70~160
循环寿命(100%DOD)	≥300 次	≥400 次	≥600 次
放电率/(%·月 ⁻¹)	5	20~35	6~8
快速充电能力	一般	较好	好
耐过充能力	一般	强	差
记忆效应	无	无	无
环境污染	严重	微小	微小
使用温度范围/℃	-20~50	-20~50	-20~55
价格/(元·(W·h) ⁻¹)	<1	2~7	2~7

1)铅酸电池的结构与工作原理

铅酸电池历史悠久,可靠性高,成本低,瞬间输出功率大,使用安全,维修方便。在当前所有化学电源中,铅酸电池的生产规模最大,就起动蓄电池而言,全世界年产量多达 10 亿只。铅酸电池技术在储能电源、起动电源、车载电源等领域应用广泛。

铅酸电池主要由极板、隔板、电解液、外壳等组成,如图 1-2-14 所示。正极板上的活性物质为二氧化铅(PbO₂),呈暗棕色;负极板上的活性物质为海绵状纯铅(Pb),呈深灰色。电解液为硫酸溶液。铅酸电池的单体工作电压为 2 V。铅酸电池在充放电过程中的反应方程式为





1—极板组总成；2—负极板；3—隔板；4—正极板；5—极板联条。

图 1-2-14 铅酸电池的组成

2) 镍氢电池的结构与工作原理

镍氢电池是 20 世纪 90 年代发展起来的一种新型蓄电池。它的正极活性物质主要由镍制成,负极活性物质主要由储氢合金制成,是一种碱性蓄电池,丰田普锐斯电动汽车采用的就是镍氢动力电池组。

镍氢电池由正极、负极、隔膜、碱性电解质、外壳等组成。电池正极的活性物质为氢氧化亚镍($\text{Ni}(\text{OH})_2$),充电后变为羟基氧化镍(NiOOH);负极的活性物质为储氢合金(M),充电后变为金属氢化物(MH);隔膜采用接枝聚丙烯,用于储存电解液、导通离子并阻断电池内部正负电极间的电子传递;使用以 KOH 为主并少量添加 NaOH 、 LiOH 的水溶液为电解液。

镍氢电池一般有方形和圆柱形两种结构,方形镍氢电池如图 1-2-15 所示,包括塑料壳和金属壳两种。圆柱形镍氢电池一般由单个正、负极片和隔膜卷绕形成,如图 1-2-16 所示。

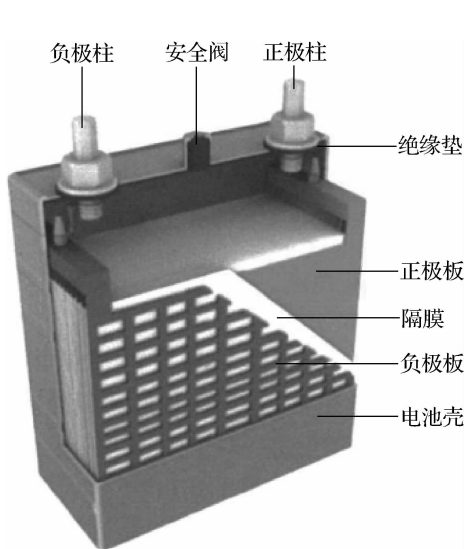


图 1-2-15 方形镍氢电池的结构

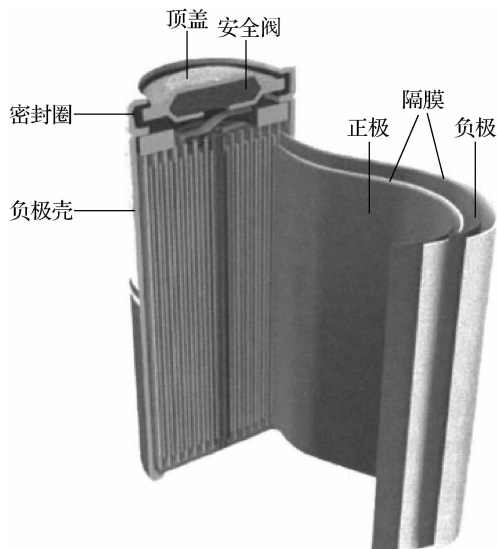


图 1-2-16 圆柱形镍氢电池的结构



在应用过程中,由于活性物质的结构变化,电极会发生膨胀,圆柱形电池的耐压程度远高于方形电池,所以一般圆柱形电池的安全阀开启压力要比方形电池高得多。方形电池在应用中容易发生膨胀,组合应用时需要采取防膨胀措施。

镍氢电池在正常工作条件下的电压约为 1.2 V,所以其标称电压一般按 1.2 V 来计算。镍氢电池充放电过程中的工作原理如图 1-2-17 所示。镍氢电池在充放电时只有质子在正极、负极间转移,水参与正负极的单电极反应,但在整个反应过程中不存在水的消耗,所以可以实现免维护。

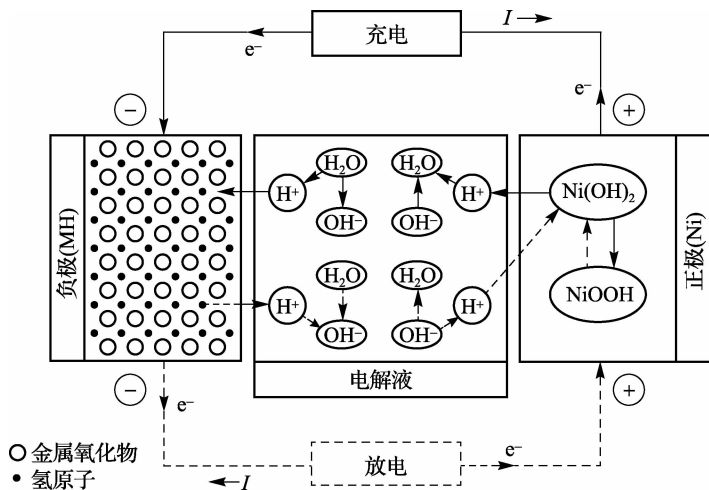


图 1-2-17 镍氢电池充放电过程中的工作原理

3) 锂离子电池的结构与工作原理

锂离子电池一般是使用锂合金金属氧化物为正极材料、石墨为负极材料、非水电解质的电池。锂离子电池具有工作电压高、比能量高、循环使用寿命长等优点,广泛应用于纯电动汽车中。

锂离子电池按正极材料不同可分为钴酸锂、锰酸锂、磷酸铁锂和三元锂电池等,按封装形式不同可分为方形、圆柱形、软包结构三种类型,按电池内电解质不同又可分为聚合物、液态电解质锂电池等。但不管是哪种形式的锂离子电池,基本结构都相似。如图 1-2-18 所示,锂电池主要由正负电极、隔膜、电解质等组成。

正极材料采用锂化合物 Li_xCoO_2 (钴酸锂)、 Li_xMnO_2 (锰酸锂)、 LiFePO_4 (磷酸铁锂)、 $\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$ (镍钴锰酸锂) 三元材料等,通常正极基体材料(正极集流体)为铝箔,如图 1-2-19 所示。

电解质是含锂盐的有机溶液,为离子运动提供运输介质,一般用 LiPF_6 (六氟磷酸锂)、 LiAsF_6 (六氟合砷酸锂) 等的混合溶液,形态有液体、胶体和固体。

负极基体材料多为锂离子嵌入碳化合物,如图 1-2-20 所示。



微课
锂离子电池结构原理

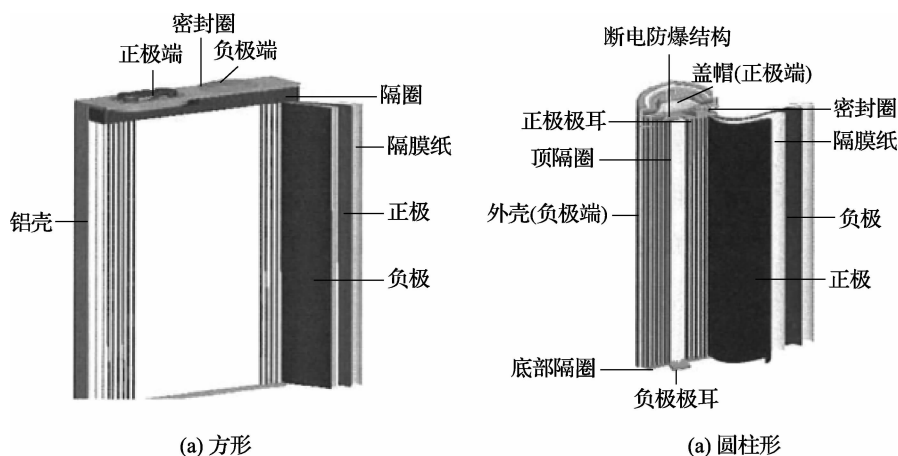


图 1-2-18 方形和圆柱形锂离子电池的结构



图 1-2-19 正极基体材料



图 1-2-20 负极基体材料

隔膜通常使用微孔聚丙烯和微孔聚乙烯或者二者的复合膜，孔径一般为 $0.03 \sim 0.12 \mu\text{m}$ 。允许锂离子 Li^+ 往返通过，阻止电子 e^- 通过，在正负极之间起绝缘作用，隔膜被称为电池第三极。在过度充电导致温度升高时，隔膜通过闭孔来阻隔离子传导，防止热失控导致爆炸。隔膜性能决定电池的界面结构和内阻，进而影响电池的容量、循环性能、充放电电流密度等关键特性。

无论何种类型的锂离子电池，其基本工作原理是一样的。锂离子电池实际上是一种“浓差电池”。充电时，正极中的 Li^+ 从钴酸锂等过渡金属氧化物的晶格中脱出，经过电解液这一桥梁嵌入碳素材料负极的层状结构中。在充电过程中， Li^+ 从正极脱嵌经过电解质嵌入负极，负极处于富锂态，正极处于贫锂态，同时电子的补偿电荷从外电路供给碳负极，保持负极的电平衡。放电时， Li^+ 从负极脱嵌，经过电解质嵌入正极，正极处于富锂态，负极处于贫锂态，如图 1-2-21 所示。

电池反应过程中无电解液的消耗，也无气体等产生，仅为锂离子在正负极之间移动，所以可以做完全密封电池。另外，在正常条件下，电池充放电过程中无副反应发生，所以锂离子电池的充电效率很高，甚至达到 100%。

在正常充放电情况下，锂离子在层状结构的碳材料和金属氧化物的层间嵌入与脱出，一



般只引起层间距的变化,而不会引起晶体结构的破坏。伴随充放电的进行,正、负极材料的化学结构基本保持不变,而且充放电过程中不存在金属锂的沉积和溶解过程,避免了锂结晶的生成,极大地改善了电池的安全性和循环寿命,这也是锂离子电池比锂金属二次电池优越并取而代之的根本原因。

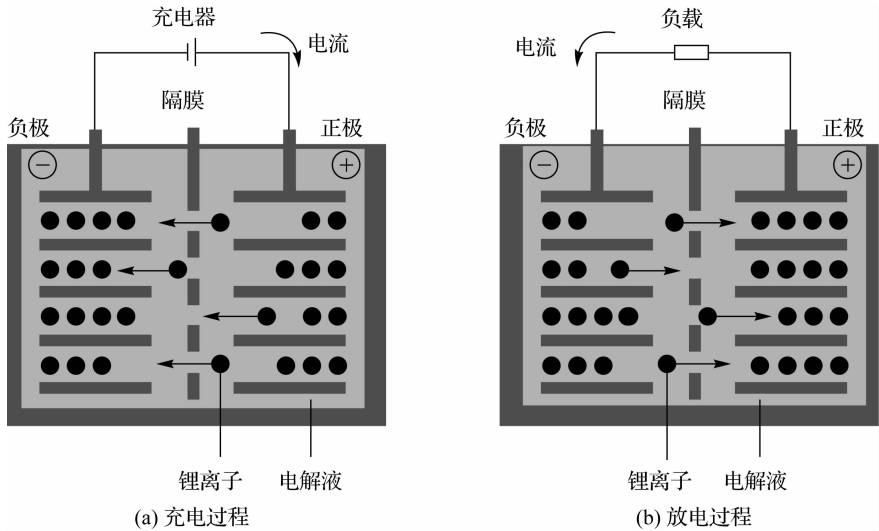


图 1-2-21 锂离子电池的工作原理

不难看出,在锂离子电池的充放电过程中,锂离子处于正极—负极—正极的运动状态。动力电池组通常由多个单体电池按照串、并联的方式连接而成。例如,比亚迪 e6 纯电动汽车采用磷酸铁锂电池,简称铁电池,也是锂离子电池的一种。它放在汽车底部,由 96 个单体电池组成,总电压 316.8 V,电池容量达 200 A·h,一次充电约 63 kW·h,可以使续航里程超过 300 km。比亚迪 e6 动力电池组内部布置如图 1-2-22 所示。

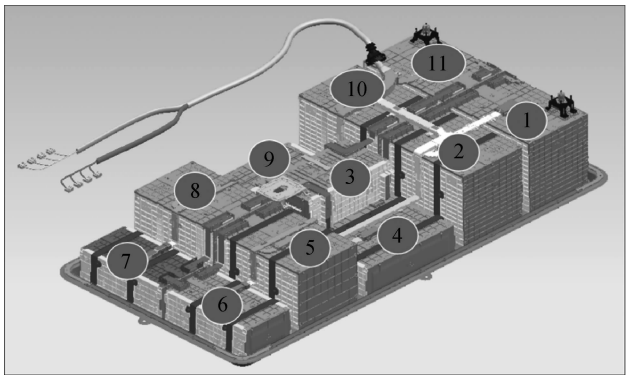


图 1-2-22 比亚迪 e6 动力电池组内部布置

虽然每个电池单元的电压仅为 3.3 V 左右,但是经过将多个电池单体串联,实现了整个电池组容量和电压的进一步增大。每一模组内单体电池数量如表 1-2-3 所示。



表 1-2-3 每一模组内单体电池数量

模组编号	单体数量	模组编号	单体数量
1	12	7	4
2	12	8	10
3	4	9	8
4	8	10	12
5	10	11	12
6	4		

2. 动力电池管理系统

动力电池管理系统作为电池和整车控制器(VCU)及驾驶者沟通的桥梁,通过控制接触器控制动力电池组的充放电,并向整车控制器上报动力电池系统的基本参数及故障信息。动力电池管理系统不仅要保证电池的使用安全可靠,而且要充分发挥电池的能力和延长电池的使用寿命,是电池保护和管理的核心部件。

1) 动力电池管理系统的组成

动力电池管理系统从结构性质上可分为硬件和软件,其中硬件包括主控盒(BCU)、从控盒(BMU)和高压盒等,还包括采集电压、电流、温度等数据的电子器件。

(1)主控盒。主控盒(见图 1-2-23)接收整车控制器的指令,根据高压回路硬件硬线绝缘状况,控制正负母线接触器是否开闭,决定整车安全上下电;接收从控盒采集的电池电压、电池温度及母线电流的数据,分析计算电池包内电池的电压和电量及充放电能力,与整车控制器或充电机通信;存储电池充电次数,计算电池寿命;存储电池故障信息。

(2)从控盒。从控盒对各个电池串(并联模块或单独大电芯)的电压进行巡检采集、计算与处理;找出最高电压电芯、最低电压电芯;计算最高电芯电压与最低电芯电压的差值,应小于 0.03 V;充电时有一节电芯电压达到充电截止电压,即停止充电;放电时有一节电芯电压降到放电截止电压,即停止放电;通过高可靠性的数据传输通道与主控盒进行指令及数据的双向传输。

(3)高压盒。高压盒控制 PTC 加热接触器、预充接触器、高压正负极接触器,如图 1-2-24 所示。



图 1-2-23 主控盒



图 1-2-24 高压盒



(4)高压绝缘盒。高压绝缘盒接到高压正负母线接触器的上电指令,立即开始对高压回路进行绝缘监测;无论电池内部还是外部负载,只要高压回路绝缘电阻不合格,立即高压下电,并在仪表板上报出高压绝缘故障文字提示;此外,主正接触器、主负接触器、预充接触器的触点是否按照控制策略正常开闭也是通过高压绝缘盒进行检测并上报主控盒。

(5)传感器。传感器采集动力电池的电压、电流和温度等信号。

(6)底层软件。底层软件架构符合 AUTOSAR 标准,模块化开发容易实现扩展和移植,提高了开发效率。

(7)应用层软件。应用层软件是动力电池管理系统的控制核心,包括电池保护、电气防护、诊断管理、热管理、继电器控制、均衡控制等模块,如图 1-2-25 所示。



微课
电池系统形成
过程

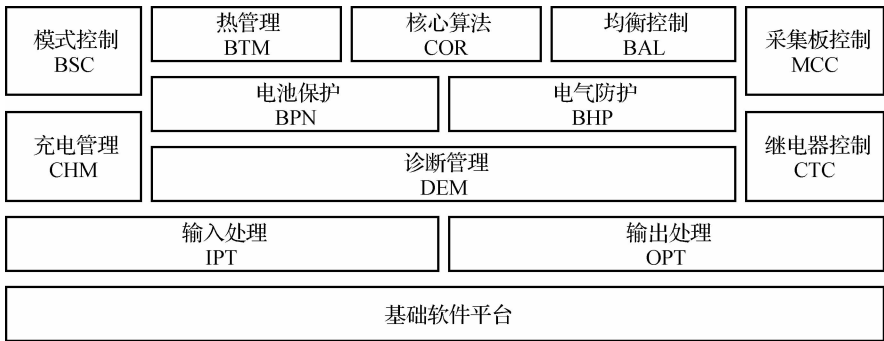


图 1-2-25 应用层软件架构

2)动力电池管理系统的功能

动力电池管理系统(BMS)与电动汽车的动力电池紧密结合在一起,通过传感器对电池的电压、电流、温度进行实时监测,同时进行漏电检测、热管理、电池均衡管理、报警提醒,计算剩余容量、放电功率,报告荷电状态(SOC)和电池劣化程度状态(SOH),还根据电池的电压、电流及温度控制最大输出功率,以获得最大行驶里程,以及控制充电机进行最佳电流的充电,通过 CAN 总线接口与车载总控制器、电机控制器、能量控制系统、车载显示系统等进行实时通信。概括来说,动力电池管理系统的基本功能如图 1-2-26 所示。

(1)实时采集电池系统的运行状态参数。实时采集电动汽车电池组中每块电池的端电压和温度、充放电电流及电池组总电压等。由于电池组中的每块电池在使用中的性能和状态不一致,因而对每块电池的电压、电流和温度数据都要进行监测。BMS 可实时在线检测电池组电压和单体电池电压,通过软件分析单体电池状态,有效预测各节电池的供电性能,及时发现性能劣化的故障电池,掌握电池组的运行状况,为电池组精细维护提供测量依据,保证了电池安全无故障运行,降低了维护人员的劳动强度,提高了工作效率和测试的安全性、可靠性。

(2)确定电池的荷电状态。准确估测动力电池组的 SOC,从而随时预报电动汽车储能电池剩余能量或储能电池的 SOC,使电池的 SOC 值控制在 30%~70%的工作范围。



(3)故障诊断与报警。当电池电量或能量过低需要充电时,及时报警,以防止电池过放电而缩短电池的使用寿命;当电池组的温度过高,非正常工作时,及时报警,以保证电池正常工作。

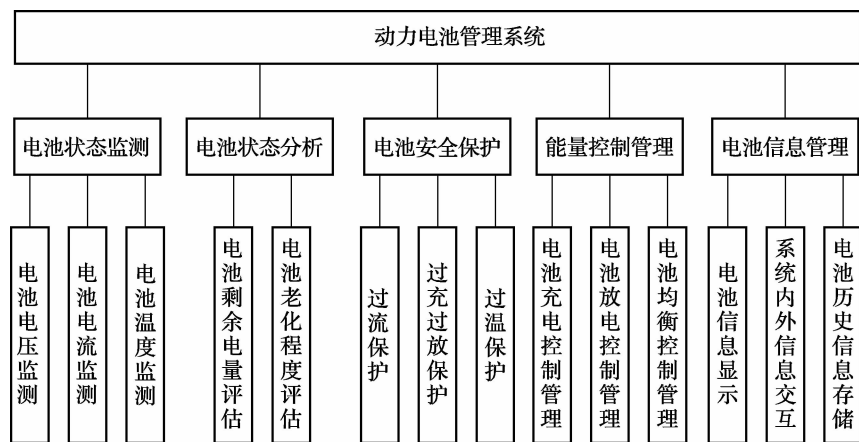


图 1-2-26 BMS 的基本功能

(4)充放电检测和控制。充放电是电池组使用中的主要环节,电池组的使用寿命在很大程度上取决于电池组充放电过程中的管理和维护。要想避免单体电池过充电、过放电导致提前失效,确保电池组的功能和性能指标达到或者接近单体电池的平均水平,对电池组中单体电池之间实现均衡控制和管理是必由之路。

(5)一致性补偿。当电池之间有差异时,有一定措施进行补偿,并用一定的手段显示性能不良的电池位置,以便修理替换。一般采用充电补偿功能,设计有旁路分流电路,以保证每个单体都可以充满电,这样可以减缓电池老化的速度,延长电池的使用寿命。

(6)通过总线实现各检测模块和中央处理单元的通信。在电动汽车上实现电池管理的难点和关键在于根据采集的每块电池的电压、温度和充放电电流的历史数据,建立确定每块电池剩余能量的较精确的数学模型,即准确估计电动汽车动力蓄电池的 SOC。

(7)电池组的热平衡管理。电池热管理系统是动力电池管理系统的有机组成部分,其功能是通过风扇等冷却系统和热电阻加热装置使电池温度处于正常工作温度范围内。热管理的根本目的是维持单体电池间的温度均衡,避免温度不均衡而使电池的不一致性进一步扩散,从而提高电池组的寿命。

3. 动力电池充电系统

对于纯电动汽车,电池充电设备是不可缺少的子系统之一,它的功能是将电网的电转换为纯电动汽车动力电池的电,当动力电池充满后自动停止充电。其常见的充电方式是交流充电和直流充电。

交流充电是指安装在电动汽车上的采用地面交流电网和车载电源对动力电池组进行的充电,它通常使用结构简单、控制方便的接触式充电器,完全按照车载电池的种类进行设计,针对性较强,只是充电时间较长,需要 6~8 h。



微课
插电式充电优缺点



直流充电即利用地面充电装置,主要包括专用充电站、充电机等,功率、体积和质量均较大,但充电速度快,只需要 30 min 左右即可充到 80%,可以满足各种电池的各种充电方式,价格昂贵。

交流充电接口(慢充线束慢充口)包含 7 个端子,如图 1-2-27 所示。直流充电接口(快充线束快充口)包含 9 个端子,如图 1-2-28 所示。

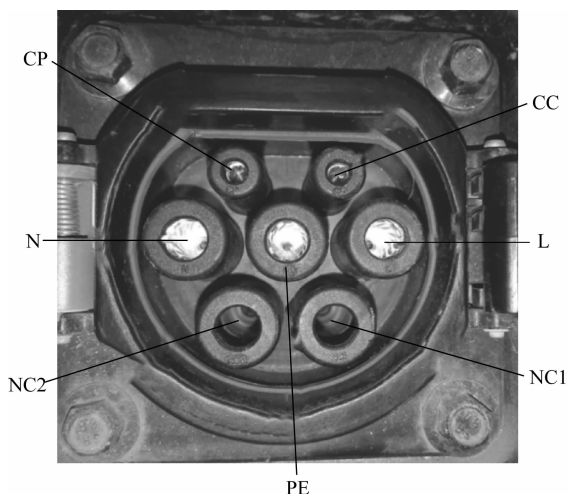


图 1-2-27 慢充线束慢充口端子定义

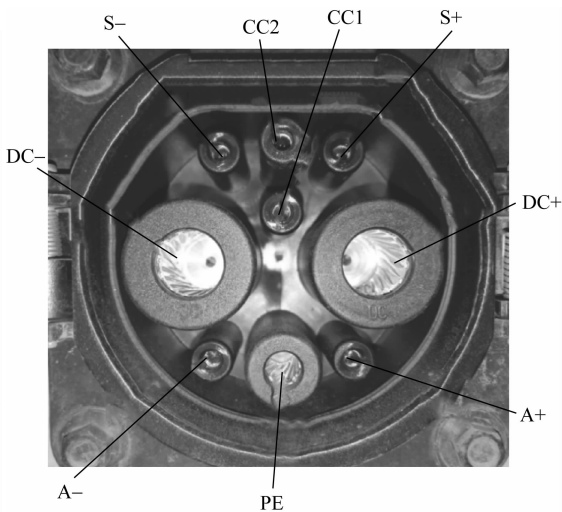


图 1-2-28 快充线束快充口端子定义

慢充线束慢充口端子定义如下。

- (1)CP:慢充控制确认线。
- (2)CC:慢充连接确认线。
- (3)N:交流电源。
- (4)L:交流电源。
- (5)PE:车身搭铁。
- (6)NC1、NC2:备用。

快充线束快充口端子定义如下。

- (1)DC-:高压输出负极,输出到动力电池高压负极。
- (2)DC+:高压输出正极,输出到动力电池高压正极。
- (3)PE(GND):车身搭铁,接蓄电池负极。
- (4)A-:低压辅助电源负极,接蓄电池负极。
- (5)A+:低压辅助电源正极。
- (6)CC1:快充连接确认线,属内部电路,CC1 与 PE 之间有一个 $1\ 000\ \Omega$ 的电阻。
- (7)CC2:快充连接确认线。
- (8)S+:快充 CAN-H。
- (9)S-:快充 CAN-L。

比亚迪 e6 纯电动汽车电池充电接口在汽车侧面,左侧是 380 V 直流充电接口,如



微课

新能源汽车充电技术运用



图 1-2-29(a) 所示,右侧是 220 V 交流充电接口。充电时,仪表板会亮起相应的指示灯,如图 1-2-29(b) 所示。

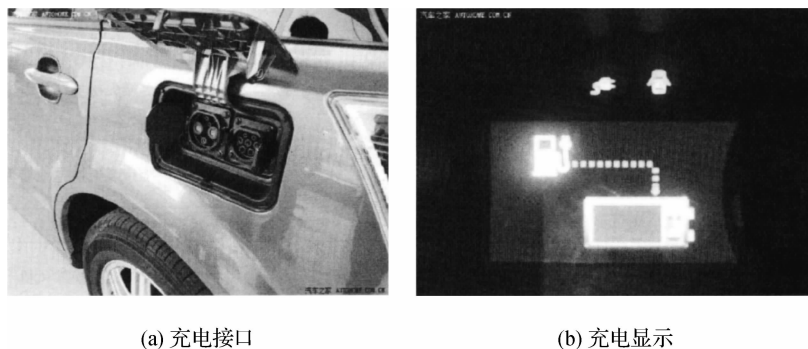


图 1-2-29 比亚迪 e6 纯电动汽车的充电器

4. 驱动电机系统

纯电动汽车的驱动电机通常要求能够频繁地起动/停车、加速/减速,低速或爬坡时要求高转矩,高速行驶时要求低转矩,并要求变速范围大,而工业驱动电机通常优化在额定的工作点。驱动电机的性能很大程度上决定纯电动汽车的整体性能,所以,开发使用性能优良的驱动电机能在很大程度上提升纯电动汽车的性能。目前纯电动汽车广泛采用的驱动电机为交流异步电机、永磁同步电机、开关磁阻电机等。

1) 交流异步电机的结构与工作原理

交流异步电机由定子和转子两大部分组成,其结构如图 1-2-30 所示。交流异步电机运行时静止不动的部分称为定子,定子的主要作用是产生磁场和机械支撑。定子由机座、铁心、定子绕组、端盖和轴承等组成。

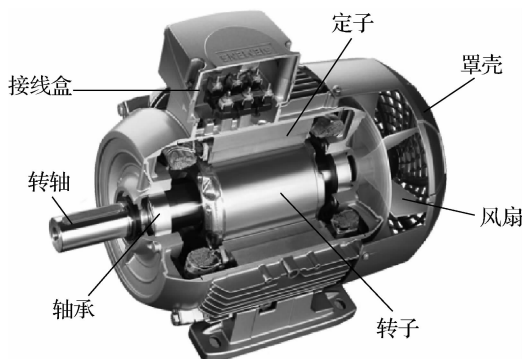


图 1-2-30 交流异步电机的结构

定子绕组是三相交流电机电路的一部分,由嵌放在定子铁心槽中的线圈按照一定规则连接而成,其作用是产生同步旋转磁场。三相定子绕组之间及绕组与定子铁心槽之间均垫有绝缘材料,并用胶木槽楔紧固。三相定子绕组在空间位置、结构及物理参数等方面完全对



微课
驱动电机的
认知



微课
交流异步电动机
组成结构



称,六个出线端 U_1 、 U_2 、 V_1 、 V_2 、 W_1 、 W_2 连接到电机外部接线盒中的六个接线柱。定子绕组的接法主要有星形和三角形两种,如图 1-2-31 所示。

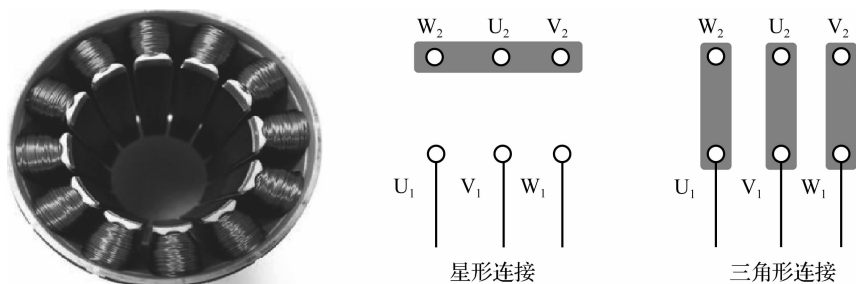


图 1-2-31 定子绕组及其接线方法

交流异步电机运行时转动的部分称为转子,其主要作用是产生电磁转矩。转子是交流异步电机进行能量转换的枢纽,它由转轴、转子铁心、转子绕组和风扇等组成。转子绕组分为鼠笼式和绕线式两种。鼠笼式转子绕组一般在转子铁心的槽内放置裸铜条或铝条等,两端用短路环焊接起来,构成闭合回路,由于形状像鼠笼,故称鼠笼式。鼠笼式转子如图 1-2-32 所示。



图 1-2-32 鼠笼式转子

绕线式转子绕组与定子绕组相似,由相互绝缘的导线绕制而成三相对称绕组,采用星形连接。三个绕组的首端分别连接到固定在转轴上的三个铜制集电环,集电环由电刷与外加变阻器连接,从而构成闭合回路,调节变阻器阻值可达到调节电机转速的目的。绕线式转子如图 1-2-33 所示。

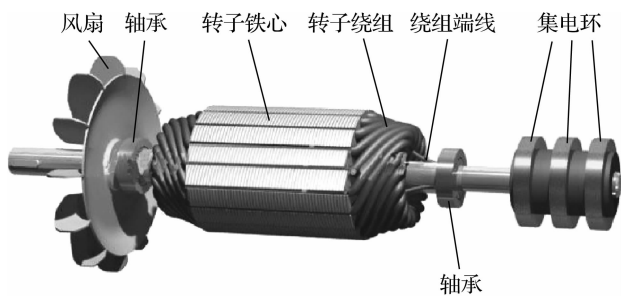


图 1-2-33 绕线式转子

在汽车驱动系统中一般使用的是鼠笼式三相交流异步电机。三相交流异步电机的运行是因为定子绕组通过三相交流电后会产生一个旋转的磁场。转子导体在此旋转磁场中做切割磁力线运动,产生感应电动势。由于是闭合回路,所以转子导体中存在大电流。有电流的导体在定子产生的磁场中会受到磁场力的作用,由此磁场力而产生力矩带动转子运转。在纯电动汽车中,通过电机控制器调整三相交流电流的初相位来改变相序,从而改变电机的旋转方向,实现倒车。

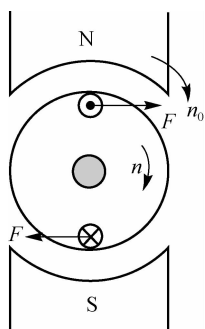


图 1-2-34 三相交流异步电机的工作原理

就转动起来。由图可知,转子转动的方向与旋转磁场的方向一致。三相交流异步电机在正常工作时,电机转子转速 n 总是小于旋转磁场转速 n_0 ,因此称为异步电机。如果转子转速与旋转磁场转速相同,那么转子与旋转磁场之间不存在相对运动,转子导体无法切割旋转磁场的磁力线,因此也就不会产生感应电动势。

2) 永磁同步电机的结构与工作原理

永磁同步电机在汽车上的应用越来越广泛,它具有功率密度高、转子的转动惯量小、运行效率高、转轴上无滑环和电刷等优点。但是永磁同步电机也有自身的缺点,转子上的永磁材料在高温、震动和过流的条件下会产生磁性衰退现象,所以在相对复杂的工作条件下,电机容易损坏,而且永磁材料价格较高,因此整个电机及其控制系统成本较高。

永磁同步电机主要是由定子、转子、机座、传感器等组成。一般来说,永磁同步电机的定子结构与普通异步电机非常相似,主要区别在于永磁同步电机是用径向内置永久磁铁磁极或混合永久磁铁磁极,形成可同步旋转的转子磁极,代替其他形式的励磁同步电机的转子励磁绕组,这种独特结构与其他电机形成了鲜明的差别。永磁同步电机的定子如图 1-2-35 所示。

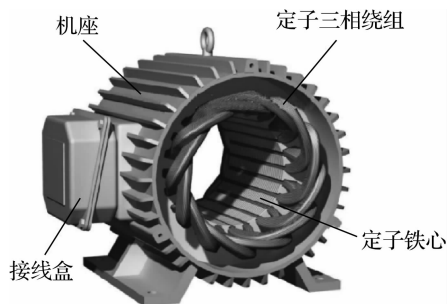


图 1-2-35 永磁同步电机的定子

永磁同步电机的转子由转子铁心、永磁体和转轴等构成,如图 1-2-36 所示。为减小磁滞与涡流损耗,转子铁心一般采用 0.5 mm 厚、表面有绝缘层的硅钢片叠制而成。永磁同步电机的运行原理与电励磁同步电机相同,但它以永磁体提供的磁通替代励磁绕组励磁,使电机结构简单,降低了加工和装配费用,且无须励磁电流,省去了励磁损耗,提高了电机的效率和功率密度。

根据永磁体在转子上的安装位置不同,永磁同步电机转子通常分为两大类:外置式转子和内置式转子。外置式转子的永磁体为瓦片形,用合成胶粘贴在转子表面。永磁体外表面与定子铁心内圆之间套以起保护作用的非磁性套筒,功率稍大的电机用无纬玻璃丝带加以捆绑保护,防止高速旋转时脱落。外置式转子如图 1-2-37 所示,它分为面贴式和表面嵌入式两种。



微课
永磁同步电机
结构



内置式转子的永磁体位于转子内部,永磁体外表面与定子铁心内圆之间有铁磁物质制成的极靴,极靴中可以放置铸铝笼或铜条笼,起阻尼或起动作用,动态及稳态性能好,广泛用于要求有异步起动能力或动态性能高的永磁同步电机。内置式转子内的永磁体受到极靴的保护,其转子磁路结构的不对称性所产生的磁阻转矩也有助于提高电机的过载能力和功率密度,而且易于“弱磁”扩速。内置式转子如图 1-2-38 所示,根据永磁体磁化方向与转子旋转方向的关系分为切向式、径向式、混合式三种。

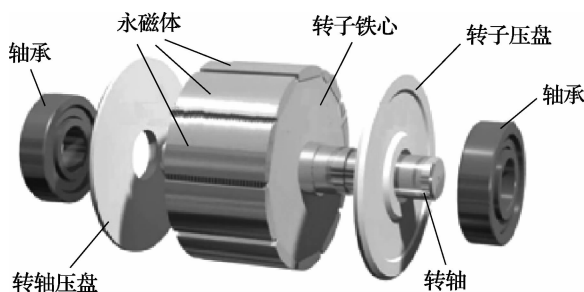


图 1-2-36 永磁同步电机的转子

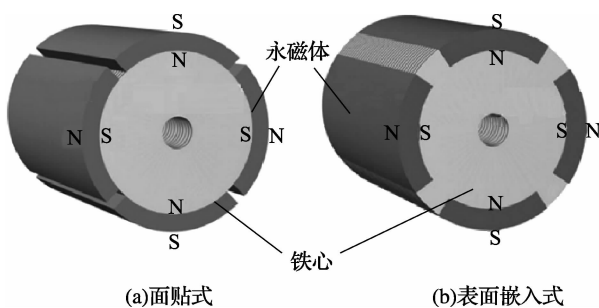


图 1-2-37 外置式转子

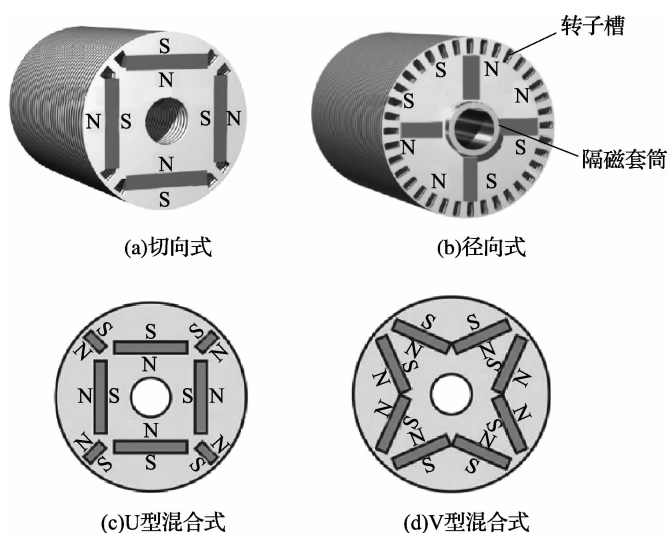


图 1-2-38 内置式转子



永磁同步电机的基本工作原理是磁通总是沿磁阻最小的路径闭合,利用磁引力拉动转子旋转,于是永磁转子跟随定子产生的旋转磁场同步旋转,故称之为同步电机。为便于介绍,以方波驱动的 12 槽 8 极分数槽集中绕组永磁同步电机为例,其定子与转子的结构如图 1-2-39 所示。图中,A、B、C 为霍尔元件,安装在定子两个齿极间的空隙处,用来检测转子位置。当转子的两个磁极交界处通过霍尔元件时,霍尔元件检测到极性变化,发出信号控制驱动电路进行三相电流的切换。

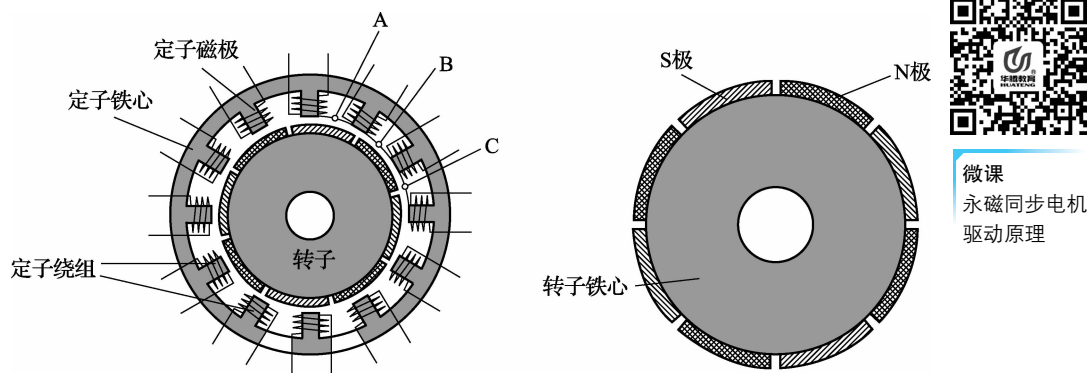


图 1-2-39 12 槽 8 极分数槽集中绕组永磁同步电机的定子与转子的结构

U、V、W 三相绕组的线圈连接如图 1-2-40 所示,12 个线圈组成三相绕组,三相的末端连接起来构成三角形接法。线圈 1、4、7、10 串联组成 U 相绕组,线圈 2、5、8、11 串联组成 V 相绕组,线圈 3、6、9、12 串联组成 W 相绕组。根据每相绕组的连接方式可知,空间旋转磁场的极对数 $p=4$,定子绕组的电流每交变一次,旋转磁场在空间中旋转 $1/4$ 个圆周,即 90° 。

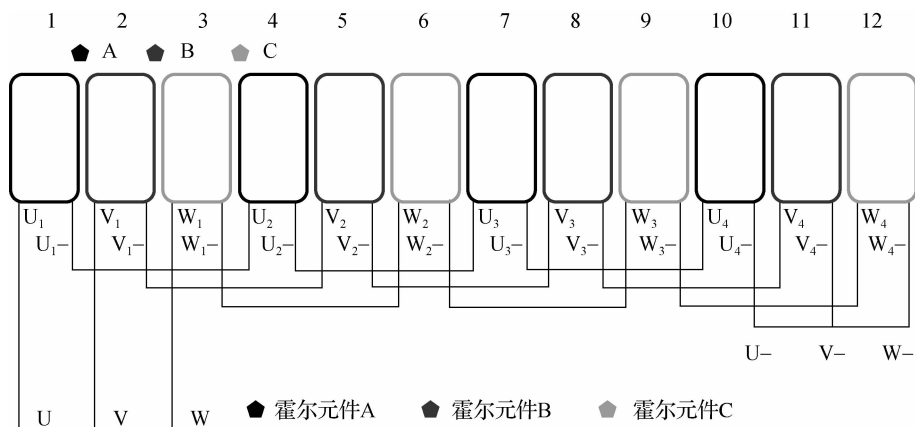


图 1-2-40 U、V、W 三相绕组的线圈连接

定子绕组有 6 个开通状态,6 个状态为一个周期,一个周期转子旋转 90° ,转子旋转一周需 4 个周期。把 6 个状态的时间段分别称为 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 、 T_6 。三相绕组驱动电路如图 1-2-41 所示,由功率开关管 VT_1 至 VT_6 轮流导通,分时段为三相绕组提供方波驱动信号。

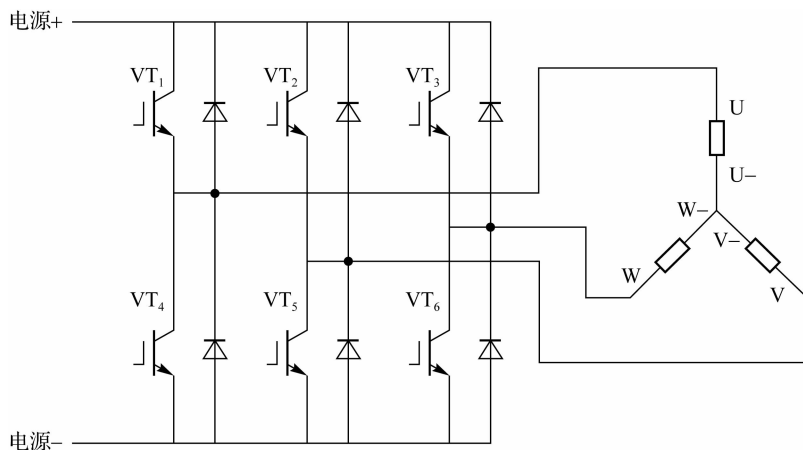
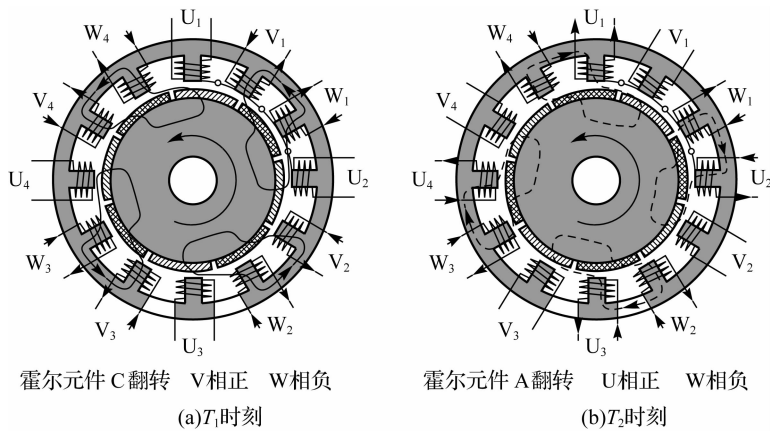


图 1-2-41 三相绕组驱动电路

(1) T_1 时刻。霍尔元件 C 检测到转子磁极由 S 变为 N, 功率开关管 VT_2 、 VT_6 导通, 其他截止, 驱动电源输出为 V 相正、W 相负, 两相线圈产生的磁场吸引转子旋转 15° , 电流与磁力线方向如图 1-2-42(a) 所示。

(2) T_2 时刻。霍尔元件 A 检测到转子磁极由 N 变为 S, 功率开关管 VT_1 、 VT_6 导通, 驱动电源输出为 U 相正、W 相负, 两相线圈产生的磁场吸引转子旋转 15° , 电流与磁力线方向如图 1-2-42(b) 所示。

图 1-2-42 T_1 、 T_2 时刻电流与磁力线方向

(3) T_3 时刻。霍尔元件 B 检测到转子磁极由 S 变为 N, 功率开关管 VT_1 、 VT_5 导通, 驱动电源输出为 U 相正、V 相负, 两相线圈产生的磁场吸引转子旋转 15° , 电流与磁力线方向如图 1-2-43(a) 所示。

(4) T_4 时刻。霍尔元件 C 检测到转子磁极由 N 变为 S, 功率开关管 VT_3 、 VT_5 导通, 驱动电源输出为 W 相正、V 相负, 两相线圈产生的磁场吸引转子旋转 15° , 电流与磁力线方向如图 1-2-43(b) 所示。

(5) T_5 时刻。霍尔元件 A 检测到转子磁极由 S 变为 N, 功率开关管 VT_3 、 VT_4 导通, 驱



动电源输出为 W 相正、U 相负，两相线圈产生的磁场吸引转子旋转 15° ，电流与磁力线方向如图 1-2-44(a) 所示。

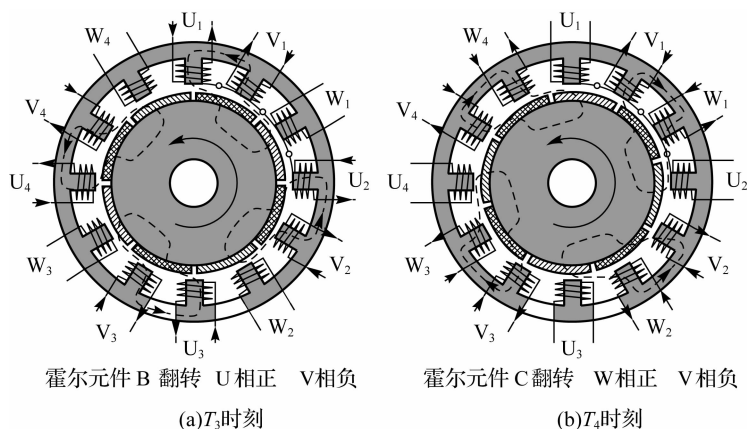


图 1-2-43 T_3 、 T_4 时刻电流与磁力线方向

(6) T_6 时刻。霍尔元件 B 检测到转子磁极由 N 变为 S，功率开关管 VT_2 、 VT_4 导通，驱动电源输出为 V 相正、U 相负，两相线圈产生的磁场吸引转子旋转 15° ，电流与磁力线方向如图 1-2-44(b) 所示。

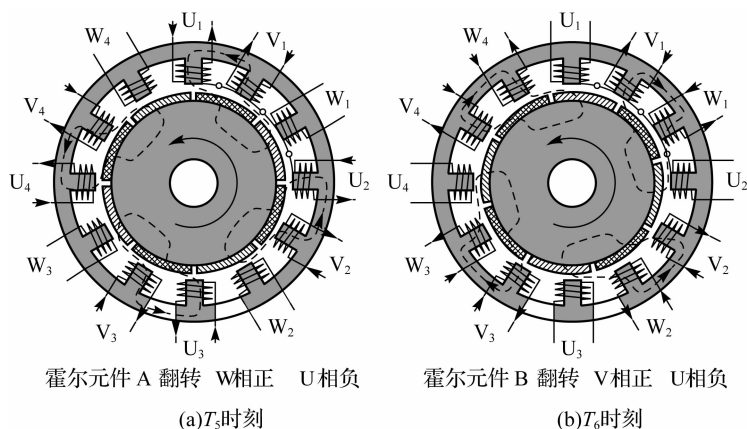


图 1-2-44 T_5 、 T_6 时刻电流与磁力线方向

T_6 结束再次进入 T_1 ，重新循环，转子就不停地旋转下去。同步电机转速等于旋转磁场转速，即

$$n = \frac{60f}{p}$$

旋转磁场的旋转方向取决于绕组电流的相序。

3) 开关磁阻电机的结构与工作原理

开关磁阻电机作为一种新型电机，相比其他类型的驱动电机，其结构最为简单。开关磁阻电机总成结构如图 1-2-45 所示。

开关磁阻电机定子与转子的结构如图 1-2-46 所示。定子铁心由硅钢片叠制而成，为凸



微课
开关磁阻电机
工作原理



极结构,在定子凸极上绕有线圈(定子绕组),用来向电机提供工作磁场。把径向相对的两个绕组串联成一个磁极,称一相,该电机有 3 相。结合定子与转子的极数,称该电机为三相 6/4 结构。转子由转子轴和转子铁心组成,转子上既没有绕组也没有永磁体。转子铁心为凸极结构,为磁场提供磁路。一般地,相数和极数增多,有利于减小转矩脉动,提高电机低速运行的平稳性,但易导致结构复杂、功率开关元件增多、成本增高。目前应用较多的为三相 6/4 极、12/8 极和四相 8/6 极的开关磁阻电机。开关磁阻电机常用的相数与极数组合如表 1-2-4 所示。

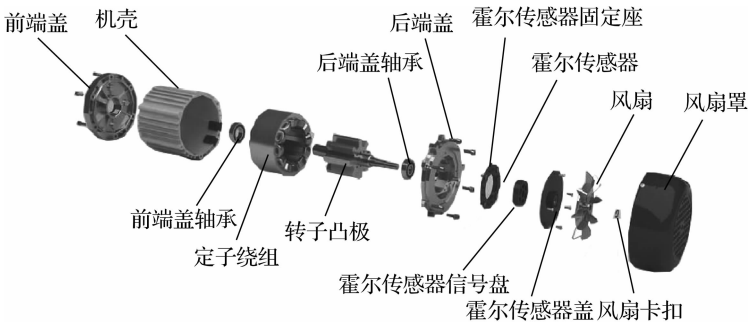


图 1-2-45 开关磁阻电机总成结构

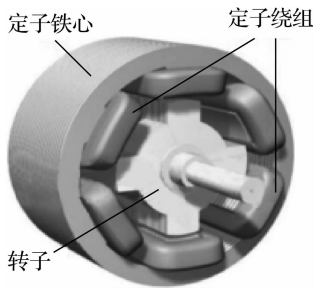


图 1-2-46 开关磁阻电机
定子与转子的结构

表 1-2-4 开关磁阻电机常用的相数与极数组合

相 数	定子极数	转子极数
2	4	2
	8	4
3	6	2
	6	4
	6	8
	12	8
4	8	6
5	10	4

磁阻电机由于线圈电流通断、磁通状态直接受开关控制,故称为开关磁阻电机。开关磁阻电机的运行遵循磁阻最小原理,即磁通总要沿最小路径闭合,转子凸极轴线总趋向于定子产生的磁通轴线对齐。当定子某相绕组通电励磁,产生的磁力线由于扭曲而引起切向磁拉力,以使相近转子凸极轴线旋转到与定子的电励磁轴线相对齐位置,其“对齐”趋势使磁阻电机产生特有的有效电磁磁阻转矩。

以三相 6/4 极开关磁阻电机为例,U、V、W 相线圈由功率开关 VT_1 、 VT_2 、 VT_3 控制电流通断,并约定转子转动前的转角为 0° 。三相 6/4 极开关磁阻电机及功率变换器如图 1-2-47 所示。

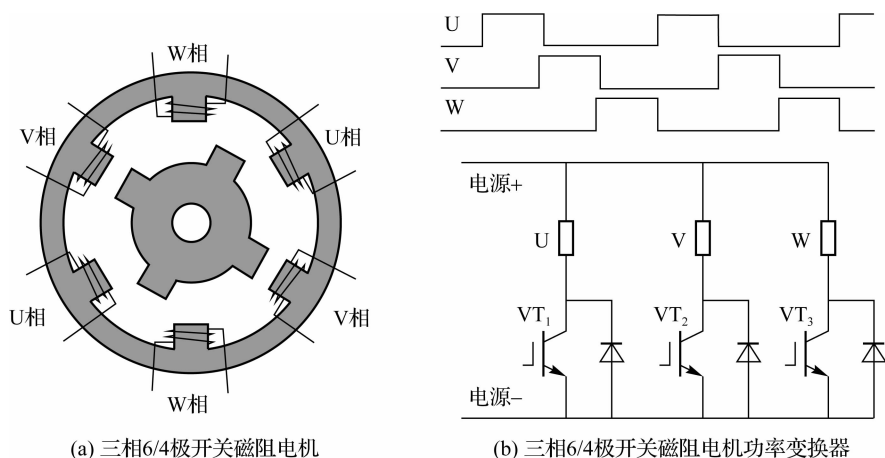


图 1-2-47 三相 6/4 极开关磁阻电机及功率变换器

三相 6/4 极开关磁阻电机 U 相通电图如图 1-2-48 所示。U 相线圈接通, 电源产生磁通, 磁力线从最近的转子齿极通过转子铁心, 磁力线可看成极有弹力的线, 在磁力的牵引下转子开始逆时针转动; 磁力一直牵引转子转到 30° , 到了 30° 转子不再转动, 此时磁路最短。

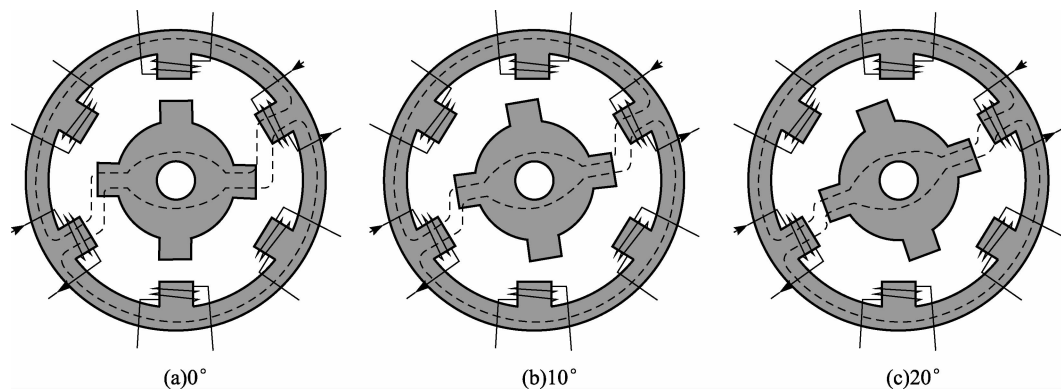


图 1-2-48 三相 6/4 极开关磁阻电机 U 相通电图

为了使转子继续转动, 在转子转到 30° 前切断 U 相电源, 并在 30° 时接通 V 相电源, 磁通从最近的转子齿极通过转子铁心。三相 6/4 极开关磁阻电机 V 相通电图如图 1-2-49 所示。转子继续转动, 磁力一直牵引转子转到 60° 为止。

在转子转到 60° 前切断 V 相电源, 并在 60° 时接通 W 相电源, 磁通从最近的转子齿极通过转子铁心。三相 6/4 极开关磁阻电机 W 相通电图如图 1-2-50 所示。转子继续转动, 磁力一直牵引转子转到 90° 为止。

当转子转到 90° 前切断 W 相电源, 转子在 90° 的状态与前面 0° 开始时一样, 重复前面过程, 接通 U 相电源, 转子继续转动。这样不停地重复下去, 转子就会不停旋转。开关磁阻电机的旋转速度与线圈通断电的改变频率有关, 频率越高, 电机转速越快。

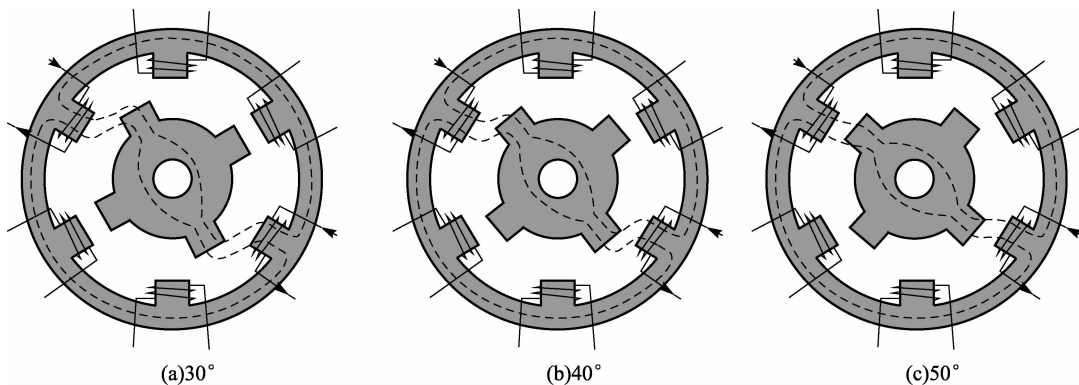


图 1-2-49 三相 6/4 极开关磁阻电机 V 相通电图

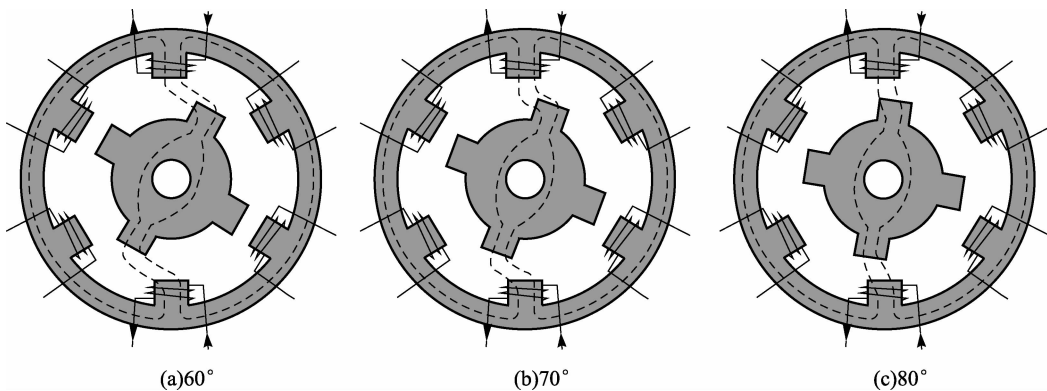


图 1-2-50 三相 6/4 极开关磁阻电机 W 相通电图

4) 电机控制器的结构和功能

电机控制器如图 1-2-51 所示,主要由接口电路、控制主板、IGBT 模块(驱动)、超级电容、放电电阻、电流感应器、壳体水道等组成。超级电容在电机起动时保持电压的稳定。放电电阻在断开高压电路时,通过电阻给电容放电,在报送放电超时故障的同时切断高压供电。IGBT 即绝缘栅双极型晶体管,它是由 BJT(双极型三极管)和 MOSFET(绝缘栅型场效应管)组成的复合全控型电压驱动式功率开关器件,兼有 MOSFET 的高输入阻抗和 GTR(功率晶体管)的低导通压降两方面的优点。

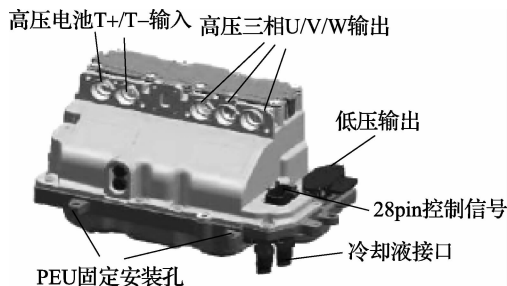


图 1-2-51 电机控制器



图 1-2-52 IGBT 模块

IGBT 模块根据控制器主板的指令,将输入的高压直流电流逆变成频率可调的三相交流电流供给配套的三相永磁同步电机使用。在能量回收过程中对三相交流电流进行整流,同时检测直流母线电压、驱动电机相电流及 IGBT 模块温度,并将检测信息反馈给电机控制器。IGBT 模块如图 1-2-52 所示。

电机控制器(MCU)是驱动电机系统的控制中心,它将输入的直流高压电逆变成频率可调的三相交流电,供给配套驱动电机使用;同时,对所有的输入信号进行处理,控制驱动电机运行状态,并将驱动电机运行状态发送给整车控制器(VCU)。MCU 内含功能诊断电路,当诊断出异常时,它将激活一个错误代码,发送给 VCU。

(1)电机状态检测。工作过程中,通过电流传感器、电压传感器、温度传感器等完成对驱动电机运行状态信息的采集。

(2)诊断功能。电机控制器通过采集电流、电压、温度、绝缘及其他参数判断电机和电机控制器是否工作在安全范围内,如果超出这个范围,将对电机和电机控制器采取保护措施并产生故障代码,发送至整车控制器。

(3)通信功能。电机控制器的通信功能包括与整车控制器的通信、与其他器件的通信。在电机系统运行期间,电机控制器需将电机系统的运行状态实时地发送给整车控制器。

(4)制动能量回馈。整车控制器根据加速踏板和制动踏板的开度、车辆行驶状态信息及动力电池的状态信息(如 SOC 值)来判断某一时刻能否进行制动能量回馈。在能量回馈过程中,电机控制器将发电机输出的三相交流电流进行整流、滤波、升压,将能量回收到动力电池。

(5)防溜车功能控制。纯电动汽车在坡上起步时,驾驶员从松开制动踏板到踩下油门踏板的过程中,会出现整车向后溜车的现象。在坡上行驶过程中,如果驾驶员踩油门踏板的深度不够,整车会出现车速逐渐降到 0 然后向后溜车的现象。为了防止纯电动汽车在坡上起步和运行时向后溜车,在整车控制策略中增加了防溜车功能。防溜车功能可以保证整车在坡上起步时向后溜车小于 10 cm;在整车坡上运行过程中如果动力不足,整车车速会慢慢降到 0,然后保持车速 0,不再向后溜车。

5. 整车控制技术

电动汽车的整车控制系统是基于 CAN 总线的多个控制系统的集成系统,以整车控制器为管理核心,实现电池管理控制、电机控制、空调控制、电动助力转向控制、制动控制等功能,它是电动汽车的神经,承担整车控制的基本功能,对电动汽车的动力性、经济性、安全性和舒适性等有很大的影响。整车控制网络结构如图 1-2-53 所示。

和传统汽车一样,电动汽车也可以按照各部件的功能将整车控制系统分为动力电池系统、充电系统、驱动电机系统、转向系统、制动系统等。其中,转向系统、制动系统和传统燃油



汽车并无太大的区别,动力电池及驱动电机的控制系统在前文已做介绍,下面重点针对电动汽车上的整车控制器进行讲解。

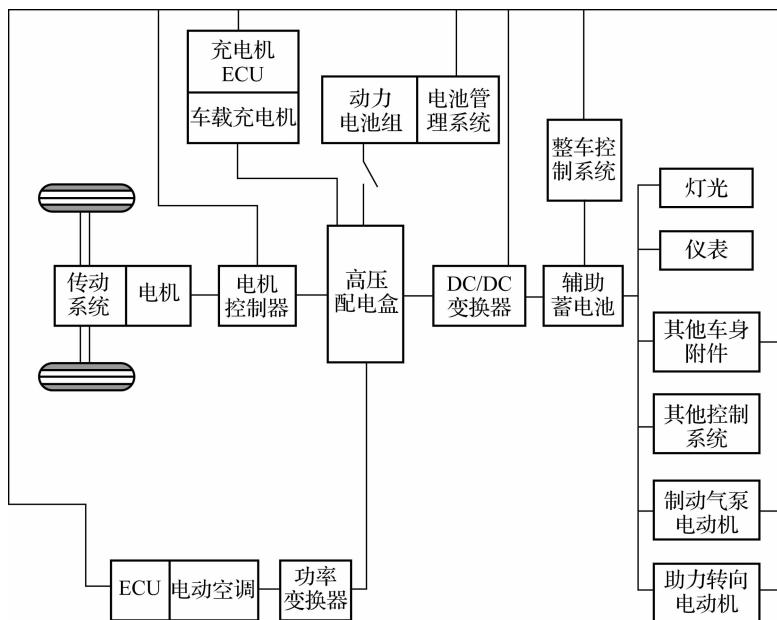


图 1-2-53 整车控制网络结构

整车控制就是由控制器通过监测汽车运行过程中各部件的运行状态,合理有效地控制车辆的能量分配,协调各部件工作,以充分发挥各部件的性能,在保证汽车正常运行的前提下实现汽车的最佳运行状态。其中,整车控制器是整车控制系统的核心,它承担了数据交换与管理、故障诊断、安全监控、驾驶员意图解析等功能。整车控制器系统框图如图 1-2-54 所示。

(1) 驾驶员意图解析。整车控制器通过对驾驶员操作信息及控制命令(如启动钥匙、充电信号、加速/制动踏板位置、当前车速和整车是否有故障信息等)的解析来判断当前需要的整车工作模式(充电模式和行驶模式),然后根据当前的参数和状态及前一段时间的参数及状态,计算出当前车辆的转矩能力,按当前车辆需要的转矩计算出合理的最终实际输出的转矩。例如,当驾驶员踩下加速踏板时,整车控制器向电机控制器发送电机输出转矩信号,电机控制系统控制电机按照驾驶员的意图输出转矩。

(2) 驱动控制。根据驾驶员对车辆的操纵输入(加速踏板、制动踏板及换挡开关)、车辆状态、道路及环境状况,经整车控制器分析和处理,向电机控制器发出相应指令,控制驱动电机的转矩来驱动车辆,以满足驾驶员对车辆驱动的动力性要求;同时根据车辆状态,向电机控制器发出相应指令,保证行驶安全性、舒适性。

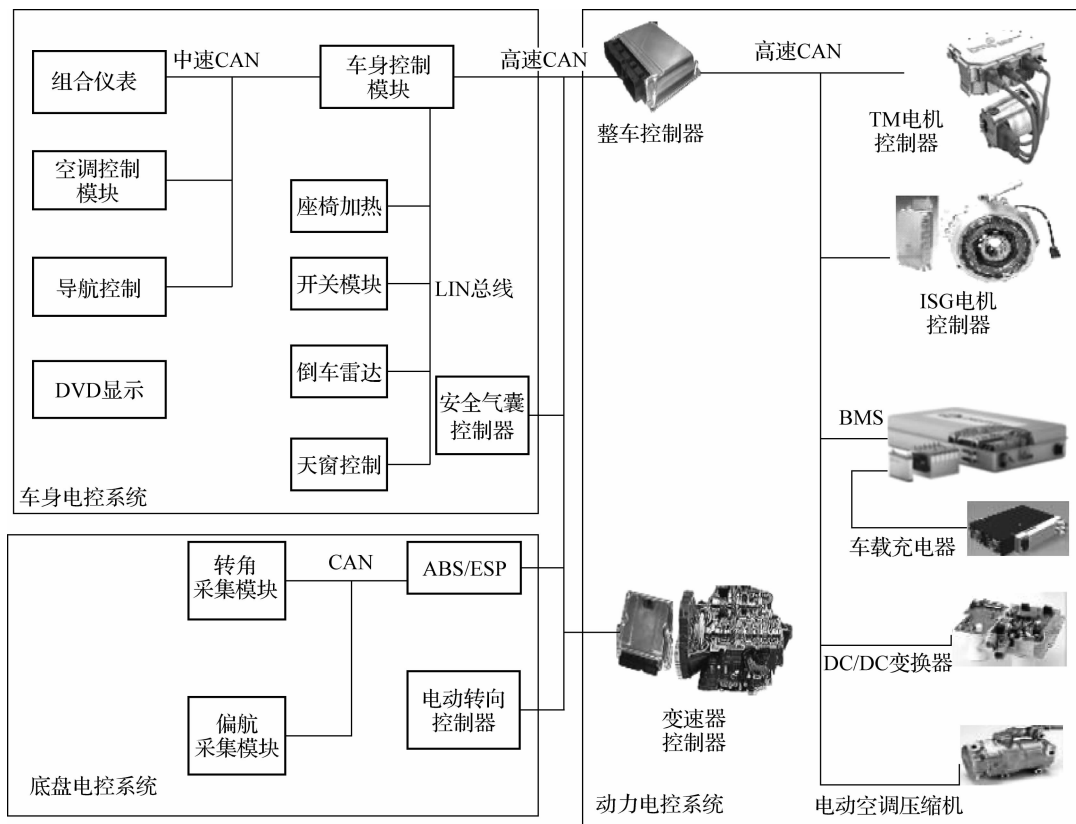


图 1-2-54 整车控制器系统框图

(3) 制动能量回馈控制。在滑行制动和刹车制动过程中,整车控制器根据加速踏板和制动踏板开度、车辆行驶状态信息及动力电池的状态信息(如 SOC 值)来判断某一时刻能否进行制动能量回馈,在满足安全性能、制动性能及驾驶员舒适性的前提下,回收部分能量。根据加速踏板和制动踏板信号,制动能量回收可以简单地分为两个阶段:第一个阶段,在车辆行驶过程中驾驶员松开加速踏板但没有踩下制动踏板;第二个阶段,驾驶员踩下了制动踏板。制动能量回馈的原则如下。

- ① 制动能量回馈不应该干预 ABS 的工作。
- ② 当 ABS 进行制动力调节时,制动能量回馈不应工作。
- ③ 当 ABS 报警时,制动能量回馈不应工作。
- ④ 当电驱动系统具有故障时,制动能量回馈不应工作。

(4) 整车能量优化管理。纯电动汽车有很多用电设备,包括电机和空调等。整车控制器可以对能量进行合理优化来提高纯电动汽车的续驶里程。例如,当动力电池组电量较低时,整车控制器发送控制指令,关闭部分起辅助作用的电气设备,使动力电池组的电能优先保证车辆的安全行驶。

(5) 高压上下电控制。根据驾驶员对点火开关的控制,进行动力电池的高压接触器开关控制,以完成高压设备的电源通断和预充电控制,协调相关部件的上电与下电流程,包括电



机控制器、电池管理系统等部件的供电,预充电继电器、主继电器的吸合和断开时间等。

(6)车辆状态的实时监测和显示。整车控制器对车辆的状态进行实时检测,并将各个子系统的信息发送给车载信息显示系统,其过程是通过传感器和 CAN 总线,检测车辆状态及其动力系统,以及相关电器附件状态信息,驱动显示仪表,将状态信息和故障诊断信息通过数字仪表显示出来。状态信息显示内容包括车速、里程、电机转速、温度、电池电量、电压、电流、故障信息等。

(7)故障诊断与处理。连续监视整车电控系统进行故障诊断,并及时进行相应安全保护处理。根据传感器的输入及其他通过 CAN 总线通信得到电机、电池、充电机等信息,对各种故障进行判断、等级分类、报警显示;存储故障码,供维修时查看。故障指示灯指示出故障类型和部分故障码。在汽车行驶过程中,根据故障内容进行故障诊断与处理。纯电动汽车故障分级及处理方式如表 1-2-5 所示。

表 1-2-5 纯电动汽车故障分级及处理方式

等 级	名 称	故障后处理	故障列表
一级	致命故障	紧急断开高压	MCU 直流母线过压故障、BMS 一级故障
二级	严重故障	零转矩	MCU 相电流过流,IGBT、旋转变压器等故障;电机节点丢失故障;挡位信号故障
三级	一般故障	跛行	加速踏板信号故障
		降功率	MCU 电机超速保护
		限功率($<7\text{ kW}$)	跛行故障、SOC $<1\%$ 、BMS 单体欠压、内部通信、硬件等三级故障
		限速($<15\text{ km/h}$)	低压欠压故障、制动故障
四级	轻微故障	仪表显示能量回收故障,仅停止能量回收	MCU 电机系统温度传感器、直流欠压故障;VCU 硬件、DC/DC 异常等故障

(8)其他功能。整车控制器除了上述功能外,还具有充电过程控制、防溜车功能控制、电动化辅助系统管理、整车 CAN 总线网关及网络化管理、基于 CCP 的在线匹配标定、换挡控制、远程控制等功能,其中远程控制功能包括远程查询功能、远程空调控制及远程充电控制。

资讯三 纯电动汽车技术现状

由于气候变暖、环境污染、能源危机等原因,纯电动汽车的开发引起了全球汽车生产厂家的关注,各国政府也相继发布了新能源汽车发展战略和国家计划,加大政策支持力度,增加研发投入,全力推进新能源汽车产业化。

1. 纯电动汽车的市场分析

根据乘用车市场信息联席会数据,2012—2019 年,新能源乘用车销售总量逐年增加,且纯电动汽车占据主导地位。2017 年,中国新能源汽车销量 56 万辆,其中纯电动汽车销量 45 万辆;2018 年,中国新能源汽车产销量分别是 127 万辆和 125.6 万辆,其中纯电动汽车的



产销量分别完成 98.6 万辆和 98.4 万辆;2019 年,中国新能源汽车产销量分别是 124.2 万辆和 120.6 万辆,其中纯电动汽车销量 97.2 万辆,如图 1-2-55 所示。

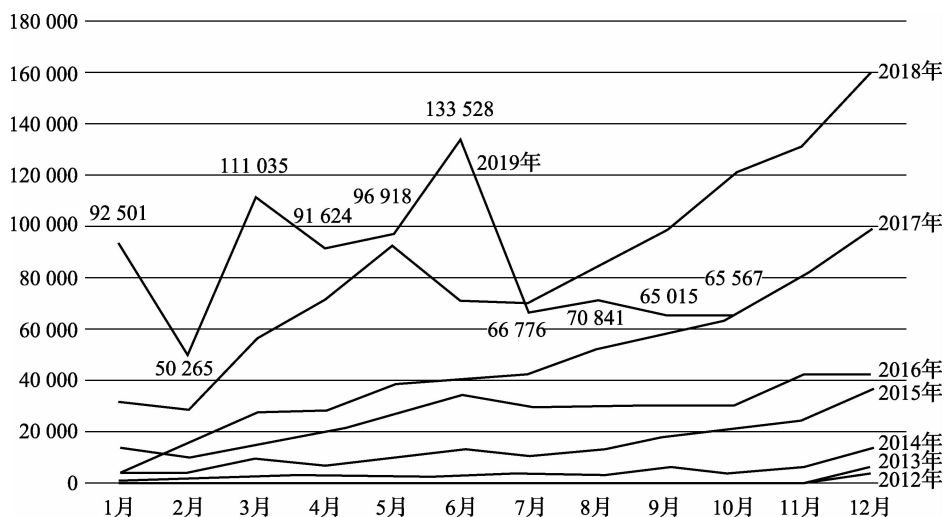


图 1-2-55 2012—2019 年历月新能源乘用车销量走势/辆

2018 年 2 月,财政部等四部委发布《关于调整完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》,其中关于完善新能源汽车补贴标准,根据成本变化等情况,调整优化新能源乘用车补贴标准,合理降低新能源客车和新能源专用车补贴标准。燃料电池汽车补贴力度保持不变,燃料电池乘用车按燃料电池系统的额定功率进行补贴,燃料电池客车和专用车采用定额补贴方式。鼓励技术水平高、安全可靠的产品推广应用。2019 年 3 月发布的《关于进一步完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》,根据新能源汽车规模效益、成本下降等因素及补贴政策退坡退出的规定,降低新能源乘用车、新能源客车、新能源货车补贴标准,促进产业优胜劣汰,防止市场大起大落。国家补贴政策的退坡退出,对纯电动汽车的销量产生一定影响。2019 年,中国纯电动汽车产销量分别完成 102 万辆和 97.2 万辆,产量同比增长 3.4%,销量同比下降 1.2%,如图 1-2-56 所示。

2. 纯电动汽车生产企业市场份额及主流车型销量分析

2019 年纯电动汽车市场排名前五的企业,比亚迪以 21.9 万辆的总销量继续稳居年度销量冠军,占据了 20.7%的市场份额,北汽新能源位居第二,上汽乘用车以 70 987 辆位居第三,吉利汽车以 70 599 辆位居第四,如图 1-2-57 所示。

2019 年纯电动汽车市场车型销量排名,北汽 EU 系列以 244.2%的同比增速超越比亚迪,位居榜首,特斯拉 Model 3 赶超比亚迪唐 EV 位居第五,如表 1-2-6 所示。

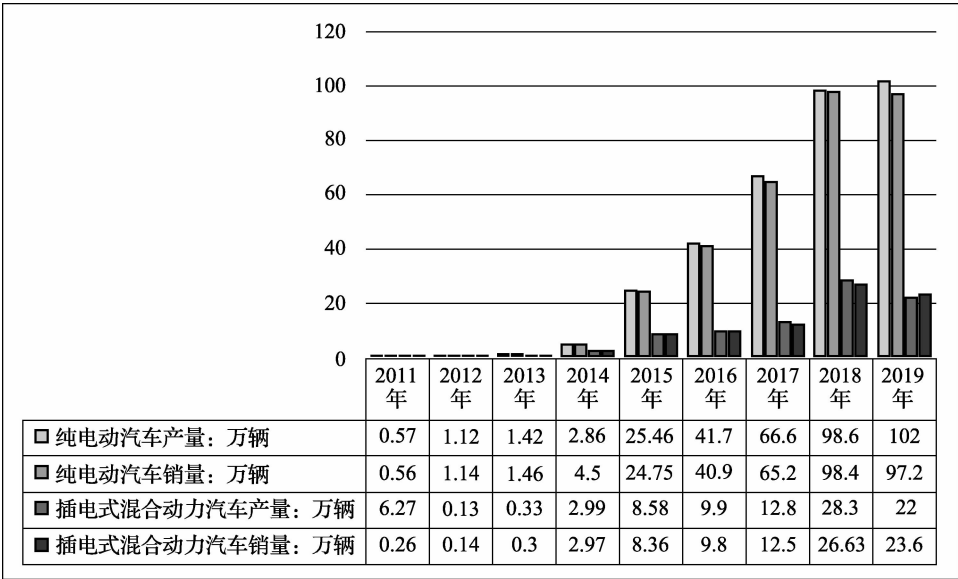


图 1-2-56 2011—2019 年中国新能源汽车细分车型产销量统计

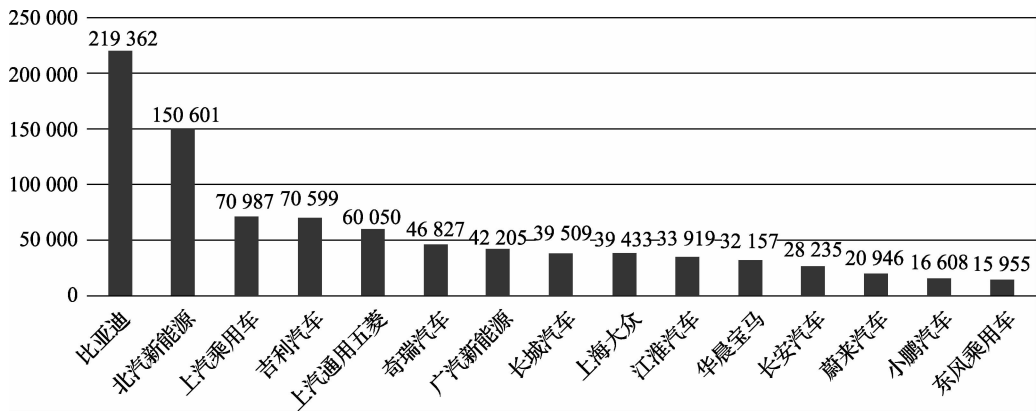


图 1-2-57 2019 年纯电动汽车市场排名前十的企业

表 1-2-6 2019 年纯电动汽车市场车型销量排名

排 名	纯电动汽车车型	2019 年销量	同比增长
1	北汽 EU 系列	111 125	244.2%
2	比亚迪元 EV	61 551	81.5%
3	宝骏新能源	48 098	85.8%
4	奇瑞 eQ	39 401	-16.1%
5	特斯拉 Model 3	33 903	
6	比亚迪唐 EV	32 929	-25%
7	广汽 Aion S	32 493	
8	荣威 Ei5	30 546	17.5%



续表

排 名	纯电动汽车车型	2019 年销量	同比增长
9	长城欧拉 R1	28 498	
10	吉利帝豪 EV	28 447	-9.5%
11	北汽 EC 系列	27 354	-69.8%
12	长安逸动 EV	23 148	340%

3. 纯电动汽车的电池技术

纯电动汽车的动力电池的成本占到整车成本的 40%~50%。目前,纯电动汽车面临的主要问题是价格高、纯电续航里程短。要解决纯电续航里程短的问题,就要提高动力电池的能量密度。纯电动汽车上使用的动力电池大部分是锂离子电池,其中以三元锂电池和磷酸铁锂电池最为普遍。到目前为止,锂离子电池的能量密度约 $200 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$, 仍然较低,且无法满足纯电动汽车的需求($500 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$),同时远小于汽油的能量密度(约 $2\,700 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$)。各类动力电池的性能比较如表 1-2-7 所示。

表 1-2-7 各类动力电池的性能比较

电池类型	比能量/ $(\text{W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1})$	比功率/ $(\text{W} \cdot \text{kg}^{-1})$	能量效率/%	循环寿命/次
铅酸电池	35~50	150~400	80	500~1 000
镍镉电池	30~50	100~150	75	1 000~2 000
镍氢电池	60~80	200~400	70	1 000~1 500
锂离子电池	100~200	200~350	>90	1 500~3 000

同时,随着锂离子电池技术的发展正在逐渐放缓,锂离子电池的能量密度已接近其理论值的上限。

4. 纯电动汽车的电机技术

目前,常见的电机类型有直流电机、交流异步电机、永磁同步电机、开关磁阻电机、轮毂电机等,主要电机性能及参数比较如表 1-2-8 所示。由于永磁同步电机具有体积小、质量轻、惯性小、响应快、高转矩/惯量比、高速度/质量比、高效率和高起动转矩、高功率因数、省电、运行可靠等优点,中国、日本等国家新能源汽车电机使用最广泛的就是永磁同步电机。永磁同步电机在我国新能源汽车中的使用占比超过 90%。采用永磁同步电机的汽车车型举例如表 1-2-9 所示。

表 1-2-8 主要电机性能及参数比较

比 较 项	直流电机	交流异步电机	永磁同步电机	开关磁阻电机
功率密度	低	中	高	较高
功率因数/%	—	82~85	90~93	60~65
峰值效率/%	85~89	90~95	95~97	80~90
负荷效率/%	80~87	90~92	85~97	78~86



续表

比 较 项	直流电机	交流异步电机	永磁同步电机	开关磁阻电机
过载能力/%	200	300~500	300	300~500
转速范围/(r·min ⁻¹)	4 000~6 000	12 000~15 000	4 000~15 000	>15 000
恒功率区	—	1 : 5	1 : 2.25	1 : 3
过载系数	2	3~5	3	3~5
可靠性	中	较高	高	较高
结构坚固性	低	高	较高	高
体积	大	中	小	小
重量	重	中	轻	轻
调速控制性能	很好	中	好	好
电机成本	低	中	高	中
控制器成本	低	高	高	中

表 1-2-9 采用永磁同步电机的汽车车型举例

车 型	电机类型	电机供应商
北汽新能源 EU5	永磁同步电机	北汽新能源
比亚迪元 EV	永磁同步电机	比亚迪
小鹏汽车 G3	永磁同步电机	精进电机
威马 EX5	永磁同步电机	基于博格华纳的二次开发
理想 ONE	永磁同步电机	博世
蔚来 ES6	永磁同步电机	蔚然动力

5. 纯电动汽车的充电时间和充电设施

纯电动汽车现有的充电方式有两种,即直流快充和交流慢充。纯电动汽车采用直流快充时,一般充电 30~60 min 可以使充电电量达到 80%;采用交流慢充,充电电量达到 100% 一般需要 8 h 以上。纯电动汽车充电时间远高于燃油汽车的加油时间,这不利于纯电动汽车的发展;同时充电设施的普及不足,也使得纯电动汽车的发展受到制约。

资讯四 纯电动汽车的发展趋势

《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》指出,纯电动和插电式混合动力汽车以中型及以下车型规模化发展纯电动乘用车为主,实现纯电动技术在家庭用车、租赁服务、公务车以及中短途商用车等领域的推广应用。

纯电动汽车技术路线的重点在于:以降低整车成本、提升整车技术先进性为目标,突破先进驱动电机和动力电池等关键零部件的开发,加快充电设备技术研究及充电基础设施的推广普及。



1. 动力电池技术

动力电池作为纯电动汽车的动力源,其能量密度远小于汽油,动力电池已成为限制纯电动汽车发展的瓶颈。因此,研究和开发不污染环境、成本低廉、能量密度高、循环寿命长的动力电池,是推广使用纯电动汽车的前提。鉴于锂离子电池的能量密度已经接近其理论上限,其他类型电池成为研发热点,如锂硫电池、钠离子电池、金属空气二次电池、固态电池、氢燃料电池等。

其中,固态电池是一种使用固体电极和固体电解液的电池。固态电池具有能量密度较高、体积小、安全性好等优点,因此它是纯电动汽车很理想的电池。

氢燃料电池是将氢气和氧气的化学能直接转换成电能的发电装置。其基本原理是电解水的逆反应,把氢和氧分别供给阳极和阴极,氢通过阳极向外扩散和电解质发生反应后,放出电子通过外部的负载到达阴极。它是通过电化学反应,而不是采用燃烧方式,因此具有对环境无污染、能量转换效率高等优点。

2. 驱动电机技术

随着纯电动汽车市场的迅猛发展,驱动电机市场空间潜力巨大,吸引了众多企业和资本的进入,如巨一自动化、精进电机、上海电驱动、大洋电机、日产等企业。国内外驱动电机企业的永磁同步电机参数比较如表 1-2-10 所示。

表 1-2-10 国内外驱动电机企业的永磁同步电机参数比较

企 业	峰值功率/kW	峰值扭矩/(N·m)	峰值转速/(r·min ⁻¹)	冷却方式
巨一自动化	20	120	5 000	自然冷却
	45	170	6 000	自然冷却
	50	215	7 200	水冷
精进电机	90	175	14 000	水+乙二醇
	103	230	12 000	水+乙二醇
	140	270	12 000	水+乙二醇
上海电驱动	40	260	7 600	水冷
	50	200	7 200	水冷
	90	280	10 000	水冷
	72	100	5 600	水冷
大洋电机	45	128	9 000	水冷
	30	160	500	水冷
	60	200	8 000	水冷
	30~170	100~265	12 000	水冷
日产	80	280	9 800	水冷
美国 Remy	82	325	10 600	水冷



续表

企 业	峰值功率/kW	峰值扭矩/(N·m)	峰值转速/(r·min ⁻¹)	冷却方式
美国 UQM	75	240	8 000	水冷
大众 Kassel	85	270	12 000	水冷

目前,纯电动汽车驱动电机的类型以永磁同步电机为主,其具有效率高、转速范围宽、体积小、质量轻、功率密度大、成本低等优点。但是永磁同步电机也面临一些技术难点,如功率密度的提升、永磁材料的性能、生产工艺等。

部分欧美车系使用感应电机,它存在转速区间小、效率低、需要性能更高的调速器以匹配性能等问题。

轮毂电机具有高效率、直接驱动车轮、控制方便、空间配置优化等优点,但轮毂电机在性能上也存在问题:一是簧下质量增加影响操控,悬架响应速度慢;二是散热难度大;三是工作环境恶劣。针对这些问题有一些对策进行提升,如表 1-2-11 所示。

表 1-2-11 轮毂电机性能提升对策

序号	项目	性能提升对策
1	稳定性和舒适性	(1)优化减振系统,提高车辆的舒适性; (2)建立垂向振动模型,将悬架系统的刚度和阻尼的参数匹配与悬架、车轮进行配合,可以降低簧下质量,增加舒适性和附着稳定性
2	散热问题	(1)采用液冷,利用高导热系数环氧树脂对定子、机壳和液冷铝环进行浇注; (2)电机与减速器集成一体,转子上开槽,利用转子旋转带动电机内空气的循环流动; (3)采用水冷散热,水路为轴向螺旋形,设计在机壳内,效果提升显著; (4)为电机加装散热翅片,设计冷却风道或者水道,提升高负荷工况下的散热效果
3	制动回收	将车速、轮毂电机的制动力矩、动力电池 SOC 和电机转速作为输入,通过控制策略分析,对纯电动汽车前后轴制动力进行合理分配
4	环境适应性	(1)通过加强轮毂电机与整车性能匹配,消除振动对电机气隙的影响,减少电机的振动,提升车辆平顺性; (2)对轮毂电机的壳体优化,提升电机的防护等级,避免水、尘对电机的影响

根据《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》分析,驱动电机的发展路线如表 1-2-12 所示。

表 1-2-12 驱动电机的发展路线

重点技术	2025 年	2030 年	2035 年
提升电机功率密度与效率	乘用车电机比功率达到 5.0 kW/kg,电机系统超过 80%的高效率区 90%	乘用车电机比功率达到 6.0 kW/kg,电机系统超过 80%的高效率区 93%	乘用车电机比功率达到 7.0 kW/kg,电机系统超过 80%的高效率区 95%
提升控制器集成度	乘用车电机控制器功率密度达到 40 kW/L	乘用车电机控制器功率密度达到 50 kW/L	乘用车电机控制器功率密度达到 70 kW/L



续表

重点技术	2025 年	2030 年	2035 年
提高电驱动 总成性价比	面向普及性应用,电机成本 28 元/千瓦,控制器成本 30 元/ 千瓦	面向普及性应用,电机成本 25 元/千瓦,控制器成本 25 元/ 千瓦	面向普及性应用,电机成本 20 元/千瓦,控制器成本 20 元/ 千瓦

总体来看,驱动电机的发展趋势主要是集成化(涵盖电力电子控制器的集成和电机耦合的集成)、高效化(提高功率密度并降低成本)、智能化(与控制器配合不断提升驱动系统的性能)。

3. 纯电动汽车向超微型发展

由于纯电动汽车动力电池续航里程的影响,纯电动汽车将向着超微型发展。超微型汽车降低了对动力性和续航里程的要求。例如,雷诺 Twizy 电池容量 $6.1 \text{ kW} \cdot \text{h}$,充电时间 3.5 h ,驱动电机最大功率 13 kW ,最大扭矩 $57 \text{ N} \cdot \text{m}$,最高速度 80 km/h ,最大续航里程 100 km ,如图 1-2-58 所示。

本田 MC- β 电池容量 $6 \text{ kW} \cdot \text{h}$,充电时间 3 h ,驱动电机最大功率 15 kW ,最高速度 69 km/h ,最大续航里程 80 km ,如图 1-2-59 所示。本田 MC- β 是本田和旗下摩托车部门联合开发的,车身使用了塑料材质,有利于减轻质量。



图 1-2-58 雷诺 Twizy



图 1-2-59 本田 MC- β

丰田 i-ROAD 充电时间 3 h ,驱动电机最大功率 2 kW ,最大续航里程 100 km 。该车型于 2013 年上市,采用三轮设计,非常独特,而尺寸方面,长度为 $2\,350 \text{ mm}$,高度为 $1\,445 \text{ mm}$,轴距达到 $1\,700 \text{ mm}$,如图 1-2-60 所示。



图 1-2-60 丰田 i-ROAD



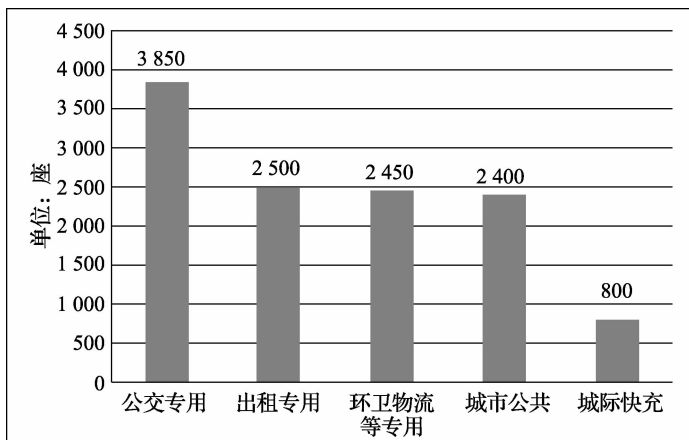
4. 充电基础设施建设

2015 年国务院颁布的《电动汽车充电基础设施发展指南(2015—2020 年)》中的总体目标是: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 万辆电动汽车的充电需求。优先建设公交、出租及环卫与物流等公共服务领域的充电基础设施,新增超过 3 850 座公交专用充换电站、2 500 座出租专用充换电站、2 450 座环卫物流等专用车充电站。积极推进公务与私人乘用车用户结合居民区与单位停车位配建充电桩,新增超过 430 万个用户专用充电桩,以满足基本充电需求。鼓励有条件的设施对社会公众开放。合理布局社会停车场所公共充电基础设施,按照适度超前原则,新增超过 2 400 座城市公共充电站与 50 万个分散式公共充电桩,以满足临时补电需要。结合骨干高速公路网,建设“四纵四横”的城际快充网络,新增超过 800 座城际快充站,以满足城际出行需要。总体目标如图 1-2-61 所示。

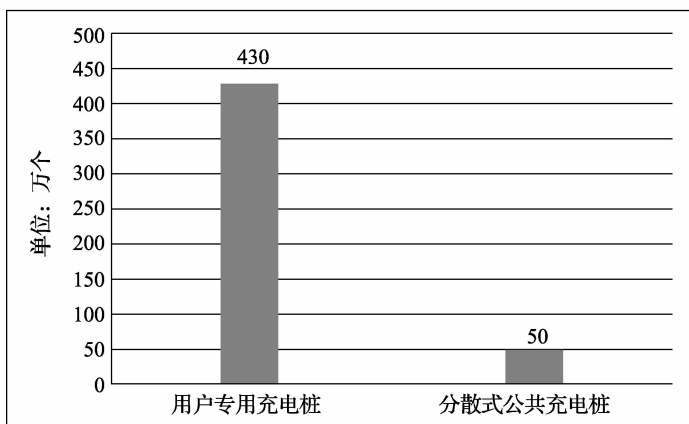


微课

充电设施的发展现状认知



(a) 集中式充换电站



(b) 分散式充电桩

图 1-2-61 2015—2020 年新增各类充电设施总体目标

纯电动汽车充电基础设施的重点任务:推动充电基础设施体系建设,加强配套电网保障能力,探索可持续商业模式,开展相关示范工作。



5. 纯电动汽车无线充电技术应用

纯电动汽车利用无线充电技术进行充电,不仅减少了安装充电桩的成本,同时实现纯电动汽车行驶中充电,有效解决了动力电池续航里程短的问题。无线充电技术利用电磁感应原理,即借助两个电磁线圈间的磁场变化来传递电能,将接收电能的线圈安装在汽车底盘上,将供电线圈装置安装在地面上,接收线圈接收电流,从而对纯电动汽车进行充电。但由于无线充电技术还存在一些问题,许多汽车和科技公司正在开发电动车无线充电的解决方案,目前尚未展开大规模商业化服务。典型的无线充电技术如图 1-2-62 所示。

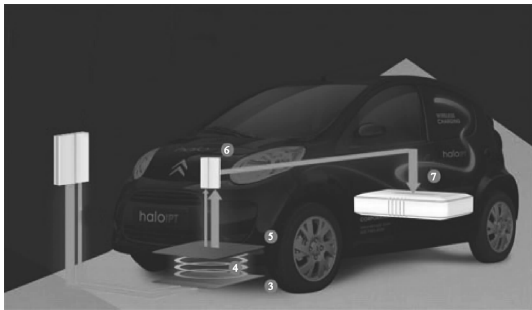


图 1-2-62 英国 HaloIPT 公司无线充电技术

三、决策与计划

结合以上资讯内容,组织学生分组,每个小组各自查资料、讨论,制订纯电动汽车认识计划(见表 1-2-13)。

表 1-2-13 纯电动汽车认识计划

任务名称		专 业		班 级	
小组成员				任务成绩	
前期准备	工 具	设 备		辅助材料	
安全要求					
纯电动汽车认识	1. 所使用的设备： 2. 工作计划流程图(可用图表和思维导图)： 3. 小组分工情况：				



四、实施

小组分工合作,按照所制订的识别计划,对纯电动汽车组成进行认识。

五、检测与评估

综合整个学习过程,对学生的表现进行成绩评定。采用自我评价、小组互评、教师评价相结合的方式(见表 1-2-14)。

表 1-2-14 学生实训记录表

班 级		车型及年款	
小组成员		车辆识别码	
		里程数	
实训认识步骤及结果			
实训反思			
自我评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐		
教师评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐ 教师姓名： 年 月 日		

任务小结

本任务主要介绍了纯电动汽车的定义、组成、结构特点、工作原理及技术现状与发展趋势。



思考与练习

一、填空题

1. 纯电动汽车有很多自己独有的结构和技术,其中核心部件及技术包括____、____、____及____。
2. 纯电动汽车常见的充电方式分为____和____。
3. 目前市场上的纯电动汽车的动力电池主要采用的是____,包括磷酸铁锂电池、____、____及____,能够实现电池的循环充放电。

二、选择题

1. 下列说法正确的是()。
A. 柴油汽车、燃气汽车、太阳能汽车是新能源汽车
B. 电动汽车、燃气汽车、太阳能汽车是新能源汽车
C. 氢发动机汽车、醇燃料汽车、汽油汽车是新能源汽车
D. 柴油汽车、二甲醚燃料汽车、灵活燃料汽车是新能源汽车
2. 甲说 EV 动力电池组电压一般是 12~24 V,乙说 EV 动力电池组电压一般是 100~200 V,则()。
A. 只有甲正确 B. 只有乙正确 C. 甲、乙都正确 D. 甲、乙都不正确
3. 镍氢电池额定容量为 2 300 mA·h,表示该电池 0.1 C 充电 16 h 后以 0.2 C 放电至 1.0 V 时,总放电时间甲认为是 5 h,乙认为是 10 h。下列判断正确的是()。
A. 只有甲正确 B. 只有乙正确 C. 甲、乙都正确 D. 甲、乙都不正确
4. 目前 EV 使用的动力电池有铅酸电池、镍氢电池、镍镉电池和锂离子电池等,其中性能最好的是()。
A. 铅酸电池 B. 镍氢电池 C. 镍镉电池 D. 锂离子电池
5. 下列说法正确的是()。
A. 功率密度是单位质量电机输出的功率,单位是 kW/kg
B. EV 最常用的驱动电机是直流电机
C. 在直流电机、感应式交流电机和永磁电机中,直流电机的功率密度是最大的
D. 在直流电机、感应式交流电机和开关磁阻电机中,感应式交流电机的功率密度是最大的
6. 下列说法正确的是()。
A. DC/DC 变换器的作用是将一个固定的直流电压变换为交流电压,也称为直流斩波器
B. EV 在减速制动时,电动机转换为发电机,回收减速制动的能量,向电池组充电



C. EV 动力电池管理系统不能预测电池的 SOC 值

D. EV 电机的控制系统由信号输入、信号处理和输出、执行元件三部分组成

三、问答题

1. 描述纯电动汽车的前进、制动、能量回收等工作模式的基本原理。
2. 分析纯电动汽车的技术现状及未来发展趋势。
3. 纯电动汽车与传统汽车相比有哪些结构特点？各系统的主要作用是什么？

四、实操题

分别在实车上找出纯电动汽车的各组成部分。

工学任务三 氢燃料电池汽车

学习情境描述

小张是一名汽车发烧友,最近一直在关注氢燃料电池汽车的相关信息,查阅了大量的资料后基本了解了氢燃料电池汽车的优缺点及基本组成,但是对于它的运行原理还是觉得很困惑。如果你作为他的朋友刚好是某汽车 4S 店的一名技术经理,你打算怎样帮助他?

学习目标

- (1) 知道燃料电池汽车的定义、类型及特点;
- (2) 能描述氢燃料电池汽车的基本组成和工作原理;
- (3) 能识别氢燃料电池汽车的主要部件,并说出其功能;
- (4) 知道氢燃料电池汽车的技术现状与发展趋势。

工作任务

- (1) 在老师的指导下,制订氢燃料电池汽车认识计划;
- (2) 根据认识计划,完成氢燃料电池汽车的总成结构和工作原理的认知。