

模块一

新能源汽车概述

学习目标

- ◎了解当今世界的能源、大气污染、全球变暖等问题。
- ◎了解新能源汽车的发展。
- ◎了解新能源汽车的相关概念。

任务目标

- ◎掌握新能源汽车的相关概念。

世界上有机燃料的储量是有限的，总有一天要用完。全世界石油、天然气和煤炭的已探明储量，按目前的消耗水平来看，少则几十年，多的（如煤炭）也只能开采几百年。而且，全世界对能源的需求量在逐年增加，按照目前能源需求的增长势头，如果仅依赖石油或煤炭这样的化石燃料，终将发生能源危机。

环境污染也是当今世界面临的三大问题之一，采用汽油、柴油作为燃料的汽车所排放的尾气对环境造成的污染严重，尾气中的二氧化硫（ SO_2 ）、一氧化碳（ CO ）和氮氧化物（ NO_x ）是大气中的主要污染源，对人的身体健康有极大的危害。

现今，汽车与人们的日常生活和生产已密不可分。随着空气质量的日益恶化和石油资源的渐趋匮乏，开发低排放、低油耗的新型汽车成为当今汽车工业界的紧迫任务，新能源汽车已经成为时代发展的必然。

学习单元一

汽车工业面临的挑战

汽车工业的发展对人类文明产生了深远的影响。能源、环境和安全成为 21 世纪汽车工业发展的三大主题，这也是汽车工业发展中所面临的巨大挑战。

一、能源问题

近 100 多年的工业社会是建立在化石能源基础之上的。国际能源机构（IEA）的统计数据表明，预计到 2030 年，中国的机动车燃料消耗量需求将达到 3.7 亿吨，占当年全国石油总需求的 87%。可见，汽车是消耗石油的大户。

世界能源统计公告表明，截至 2018 年年底：

（1）全世界探明石油储量达到 1.729 7 万亿桶。数据显示，全球绝大部分石油资源分布在中东、中南美洲、北美洲三大地区，分别占世界探明储量的 48.3%、18.8%、13.7%，总计占比 80.8%。世界石油储量国榜单中，中国探明石油储量 259 亿桶，排名世界第 13 位。

2018 年世界石油产量出现明显上涨，达到 9 471.8 万桶 / 天，同比增加了 220 万桶 / 天，增速为 2.4%。按照 2018 年的生产水平，已探明石油储量可供人类开采 50 年。但实际上过去的几十年里，石油可采年限基本维持在这一水平。中国石油可采年限为 18.7 年，高于亚太地区的平均水平。

（2）全世界探明天然气储量达到 196.9 万亿立方米，与 2017 年相比基本持平。俄罗斯、伊朗、卡塔尔是天然气储量最大的三个国家，分别占世界总探明储量的 19.8%、16.2%、12.5%。2018 年，中国天然气新增探明地质储量 8 311.57 亿立方米，总探明储量世界排名提升 2 位，至第 7 位。

2018 年是天然气取得繁荣发展的一年，全年全球天然气产量增长 1 900 亿立方米，增速达到 5.2%，是近 30 年的最快增速之一。由于异常天气及能源清洁化的影响，美国成为天然气消费量增长的主力，增加了 780 亿立方米；其次是中国（430 亿立方米）、俄罗斯（230 亿立方米）和伊朗（160 亿立方米）三国。可以预见，随着清洁化能源的转型需求，天然气消费水平将进一步提升。

（3）煤炭在能源清洁化的趋势下，一次能源消费占比降至 27.2%，但是人类对于煤炭的依赖短时间内很难被替代。

从消费量来看，煤炭消费量相比 2017 年增长了 1.4%。消费量的增长主要来自印度（3 600 万吨油当量）和中国（1 600 万吨油当量）。与发展中国家不同的是，经合组织国家的煤炭需求降至 1975 年以来的最低水平。

从产量来看，全球煤炭产量增加 16 200 万吨油当量，增速达到 4.3%。其中约一半的全球增长来自中国，其次是印度尼西亚的 5 100 万吨油当量。

（4）核电全球消费相比 2017 年增长了 2.4%，为 2010 年以来的最快增速。其中，中国贡献几乎 3/4 的增长（1 000 万吨油当量），日本（500 万吨油当量）紧随其后。

（5）水电消费量增速为 3.1%，高于过去十年的平均水平。中国水电消费占世界总量的近 29%，是全球水电利用最多的国家。

（6）可再生能源增长 14.5%，是增长最快的能源，但这一趋势相对过去有所减缓。从国家来看，中国再次成为可再生能源增长的最大贡献者，占全球增长量的 45%，超过了经合组织国家的增量总和。

（7）生物燃料产量达到 9 537 万吨油当量，同比增加 9.7%。其中，亚太地区增长最为强劲，增速达到 38.4%。

2018 年，中国依然是世界第一大能源消费国，约占全球一次能源消费量的 24% 和全球能源消费增长的 34%。至此，中国已经连续 18 年成为全球能源消费增长的最主要来源。中国 2018 年一次能

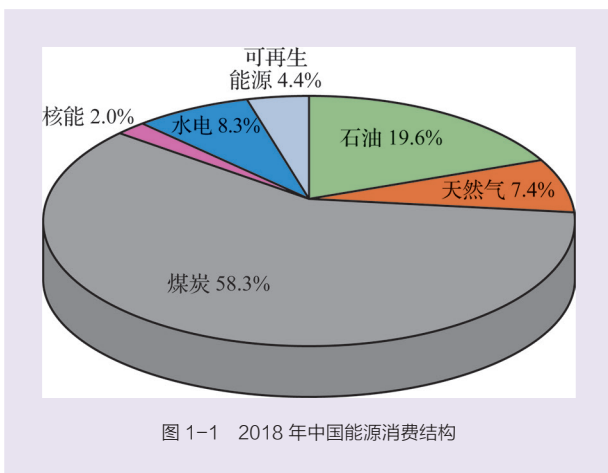
源消费增速 4.3%，这与中国工业生产稳步增长有关。图 1-1 所示为 2018 年中国能源消费结构。

从能源消费结构来看，中国能源消费正逐步升级。2018 年中国煤炭占一次能源消费比例首次低于 60%，可再生能源、核能及天然气消费量明显提升。

石油作为中国第二大能源来源，在能源消费结构中的占比少量增长。基于强劲的需求，2018 年中国原油对外依存度突破了 70%，为近 50 年来最高。

天然气方面，在国内煤改气等政策的驱动下，天然气消费增长高达 18%。此外，中国在 2018 年超过日本成为世界最大的天然气进口国。

在核能及可再生能源两大清洁能源方面，中国均是世界范围内增长的最大贡献者。其中太阳能发电量增长最快（51%），其次是风能（24%）和核能（19%）发电量。



二、大气污染

全球环境问题日益突出，汽车尾气是城市环境污染和大气污染的重要因素之一，这使得世界汽车工业面临着严峻的挑战。

汽车排气污染物主要是 CO、碳氢化合物（HC）、NO_x、硫化物（主要是 SO₂）、炭烟及其他一些有害物质。如果燃用含铅汽油，排气中的污染物还包含铅化合物。汽车排出的各种有害物质给人类造成危害。

PM 是 particulate matter 的缩写，即颗粒物。PM 2.5 是指大气中直径小于或等于 2.5 μm 的颗粒物，也称为可入肺颗粒物，它的直径还不到人的头发丝的 1/20。虽然 PM 2.5 只是地球大气成分中含量很少的组分，但它对空气质量和能见度等有重要影响。PM 2.5 粒径小，含大量有毒、有害物质且在大气中停留时间长、输送距离远，因而对人体健康和大气环境质量的影响很大。PM 2.5 的主要来源是日常发电、工业生产、汽车尾气排放等过程中经过燃烧而排放的残留物，大多含有重金属等有毒物质。

三、气候变暖

一般认为气候变暖是温室效应的结果，而温室效应是二氧化碳（CO₂）和其他温室气体（如大气中的甲烷）造成的。这些温室气体对来自太阳辐射的可见光具有高度的透过性，而对地球反射出来的长波辐射具有高度的吸收性，能强烈吸收地面辐射中的红外线，也就是常说的温室效应，导致全球气候变暖。全球气候变暖会导致全球降水量重新分配、冰川和冻土消融、海平面上升等，这将危害自然生态系统的平衡，威胁人类的食物供应和居住环境。全球气候变化严重危及了生态安全，成为当今世界及今后长时期内人类所面临的严峻的环境与发展的挑战。

二氧化碳是碳氢化合物和煤燃烧的生成物。交通运输工具对二氧化碳的排放占有大量的份额。面对能源、环境的挑战，发展节能与新能源汽车技术成为必然。

学习单元二

新能源汽车发展战略

一、我国新能源汽车国家战略

由国务院发展研究中心产业经济研究部、中国汽车工程学会和大众汽车集团（中国）联合编著的《2018 年中国汽车产业发展报告》（2018 年汽车产业蓝皮书）是关于中国汽车产业发展的研究性年度报告。

2018 年汽车产业蓝皮书继 2012 年之后，再度关注新能源汽车产业发展，以“新时代的新能源汽车产业发展战略”为主题，对国内外新能源汽车产业发展现状及趋势，后补贴时代中国新能源汽车发展新思路与新举措，氢经济背景下的燃料电池汽车产业发展新机遇，新能源汽车与资源、能源、交通和未来城市的融合发展等内容进行了全面分析和系统阐述。

随着全球能源紧缺、环境污染和驾驶安全挑战日益加大，全球汽车产业正朝着电动化、智能化、网联化、共享化方向发展。蓝皮书课题组早在 2012 年就针对中国新能源汽车产业发展开展了研究，经过 6 年多的发展，新能源汽车产业发展的环境和形势都出现了很多重大变化。特别是在中国，发展新能源汽车产业已上升为国家战略，新能源汽车市场规模迅速扩大，产业发展已经进入从导入期向成长期过渡的关键阶段。

在 2020 年之前，相对传统燃料车来说，新能源汽车在市场上并不具备直接的竞争力。但是在之后一直到 2025 年，由于政策法规、技术迭代、造车成本等各种原因，新能源汽车和传统燃料汽车将进入竞争力的转换期。在这个转换期中，随着财政补贴的退出，会有包括“双积分”政策、非财税政策的激励接续发力，以形成整个竞争力的转换。到 2025 年这个重要节点之后，新能源汽车就能够不断开始摆脱政策依赖，形成以市场驱动为主的阶段，政策的支持将逐渐弱化。蓝皮书也同样对于新能源汽车当前所处的阶段做了非常准确的描述，即从政府的补贴为主的导入期到成长期之中的过渡期，并对于“后补贴时代”新能源汽车发展的新思路和新举措提出了总体政策目标。

2018 年，全国汽车体量已经达到 3 000 万左右，居世界第一，但市场的刚需依旧存在。2018 年汽车产业蓝皮书和中国新能源汽车路线图分别对 2025 年、2030 年这几个节点做出了预估，预计到 2030 年汽车体量将达到近 4 000 万辆。

二、国内新能源汽车发展现状

2020 年 4 月 23 日，财政部、工信部、科技部、发改委联合发布了《关于完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》（以下简称《通知》），新能源汽车补贴政策正式落地。

《通知》显示，新能源汽车推广应用财政补贴政策实施期限将延长至 2022 年年底，原则上 2020—2022 年补贴标准分别在上一年基础上退坡 10%、20%、30%。

《通知》称，受多重不利因素叠加影响，2019 年我国新能源汽车销量同比下降 4.0%。加之新冠肺炎疫情的冲击，2020 年 1~3 月新能源汽车销量同比下降 56.4%。延长补贴支持政策，有利于对冲疫情影响、促进汽车市场消费、提高综合竞争力、推动产业高质量发展。

学习单元三

新能源汽车相关概念

一、新能源汽车的定义及分类

2012年6月,国务院通过《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》,对新能源汽车进行了定义和分类:新能源汽车是指采用新型动力系统,完全或主要依靠新型能源驱动的汽车。根据此定义,新能源汽车主要包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车及燃料电池汽车。节能汽车是指以内燃机为主要动力系统,综合工况燃料消耗量优于下一阶段目标值的汽车。

新能源汽车的分类是相对的,本书为方便教学,根据能源获取的不同,将新能源汽车分为纯电动汽车、燃气汽车、太阳能汽车、氢燃料汽车、生物柴油汽车、醇类汽车、气动汽车、二甲醚汽车等。

1. 纯电动汽车概述

别克 VELITE 6 纯电动汽车如图 1-2 所示。



图 1-2 别克 VELITE 6 纯电动汽车

1) 纯电动汽车的定义

纯电动汽车(electric vehicle, EV)是指以电机驱动,从车载电源获得动力,并且满足道路交通安全法规的车辆。根据科技部《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》,电动汽车按动力电气化水平分为两类:一类是全部或大部分工况下主要由电机提供驱动功率的电动汽车(称为纯电驱动电动汽车,如纯电动汽车、插电式电动汽车、增程式电动汽车及燃料电池电动汽车);另一类是动力蓄电池容量较小,大部分工况下主要由内燃机提供驱动功率的电动汽车(称为常规混合动力电动汽车)。

根据《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》,常规混合动力电动汽车不是新能源汽车,实际上是一种节能汽车,它还没有改变用内燃机做主驱动的设计。电动汽车、节能与新能源汽车的定义的发展过程如表 1-1 所示。

表 1-1 电动汽车、节能与新能源汽车的定义的发展过程

发布时间	主要政策	名词统称	特 征	分 类
2001 年	“十五”“863”计划 电动汽车重大专项	电动汽车		混合动力汽车、纯电动汽车和燃料 电池汽车
2006 年	“十五”“863”计划 节能与新能源汽车重 大专项	节能与新能 源汽车		混合动力汽车、纯电动汽车和燃料 电池汽车
2009 年	新能源汽车生产企业 及产品准入管理规则	新能源汽车	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， 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	混 合 动 力 汽 车、 纯 电 动 汽 车 （BEV，包括太阳能汽车）、燃料电 池电动汽车（FCEV）、氢发动机 汽车、其他新能源（如高效储能器、 二甲醚）汽车等
2012 年	电动汽车科技发展 “十二五”专项规划	电动汽车	以电机驱动，从车载电源获得动 力，并且满足道路交通安全法规 的车辆	纯电动汽车、插电式电动汽车、增 程式电动汽车、燃料电池电动汽 车、常规混合动力电动汽车
	节能与新能源汽车产 业发展规划（2012 —2020 年）	新能源汽车	采用新型动力系统，完全或主要 依靠新型能源驱动的汽车	纯电动汽车、插电式混合动力汽车 及燃料电池汽车

2) 电动汽车的基本结构

燃油汽车与电动汽车的主要区别在于它们的驱动系统不同。传统的燃油汽车由内燃机驱动，用液态的汽油或柴油做燃料；而电动汽车由电机驱动，用蓄电池、燃料电池、电容器或高速飞轮等做相应的能源。由于电机驱动独有的一些特点，电动汽车的结构和许多性能特点与燃油汽车存在较大的差别。

与燃油汽车相比，电动汽车的结构特点是灵活，这种灵活性源于电动汽车具有以下几个特点。

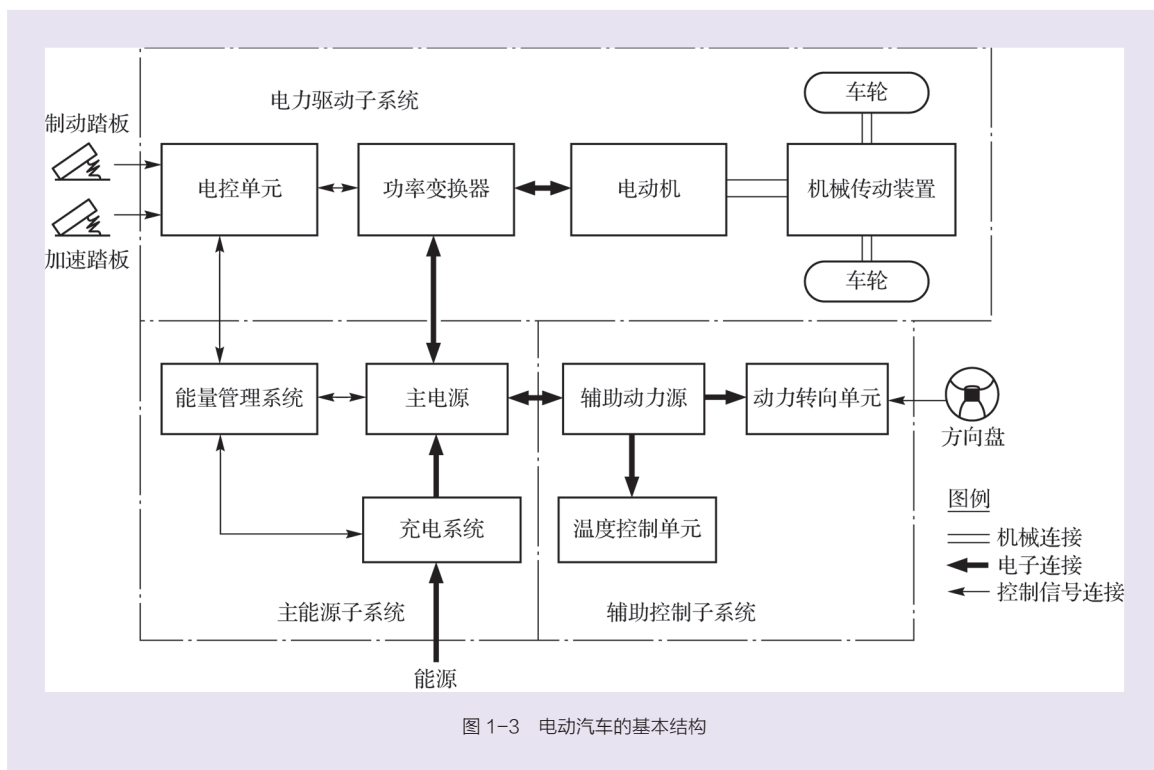
（1）电动汽车的能量主要是通过柔性的电线而不是通过刚性联轴器和传动轴传递的，因此，电动汽车各部件的布置具有很大的灵活性。

（2）电动汽车驱动系统的布置不同，如独立的四轮驱动系统和轮毂电机驱动系统等，会使系统结构区别很大；采用不同类型的电动机，如直流电动机和交流电动机，会影响电动汽车的质量、尺寸和形状；不同类型的储能装置，如蓄电池和燃料电池，也会影响电动汽车的质量、尺寸及形状。

（3）不同的能源补充装置具有不同的硬件和机构，例如，蓄电池可通过感应式和接触式的充电机充电，或者采用更换蓄电池的方式，将蓄电池替换下来再进行集中充电。

如图 1-3 所示，电动汽车系统一般分为三个子系统，即电力驱动子系统、主能源子系统和辅助控制子系统。其中，电力驱动子系统由电控单元、功率变换器、电动机、机械传动装置和车轮等组成，主能源子系统由主电源、能量管理系统和充电系统等组成，辅助控制子系统由动力转向单元、温度控制单元和辅助动力源等组成。根据从制动踏板和加速踏板输入的信号，电控单元发出相应的控制指令来控制功率转换器的功率装置的通断，功率变换器的功能是调节电机和电源之间的功率流。当电动汽车制动时，再生制动的动能被电源吸收，此时功率流反向。能量管理系统和电控系统一起控制再生制动及其能量的回收，能量管理系统和充电器一同控制充电并监测电源的使用情况。辅助

动力源供给电动汽车辅助系统不同等级的电压并提供必要的动力，它主要给动力转向、空调、制动及其他辅助装置提供动力。除了从制动踏板和加速踏板给电动汽车输入信号外，方向盘输入信号也是一个很重要的信号，动力转向系统根据方向盘的转角来决定汽车灵活转向。



3) 纯电动汽车的优缺点

纯电动汽车以电池的电能作为动力，其优点如下：

- (1) 效率高。
- (2) 没有尾气污染。
- (3) 噪声低。
- (4) 行驶平稳，乘坐舒适。
- (5) 安全性更高。
- (6) 驾驶简单轻便。
- (7) 可使用多种能源。
- (8) 机械结构多样化。

其缺点如下：

- (1) 电池能量密度低。
- (2) 电池组过重。
- (3) 汽车动力性能与续驶里程相对有限。
- (4) 电池组昂贵，循环寿命短。
- (5) 汽车附件的使用受到限制。

2. 混合动力汽车概述

混合动力汽车是指拥有至少两种动力源,使用其中一种或多种动力源提供部分或者全部动力的车辆,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 1-4 所示。

目前,混合动力汽车多采用发动机和电动机作为动力源,通过混合使用热能和电力两套系统驱动汽车。

混合动力汽车介于纯电动汽车和传统汽车之间,具有以下优点:

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

(2) 因为有了电池,可以十分方便地回收制动、下坡、怠速时的能量。

(3) 在繁华市区,可关停内燃机,由电池单独驱动,实现“零”排放。

(4) 内燃机可以解决耗能大的空调、取暖、除霜等电动汽车遇到的难题。

(5) 可以利用现有的加油站加油,不必再投资。

(6) 可让电池保持在良好的工作状态,不发生过充电、过放电,延长其使用寿命,降低成本。

混合动力汽车的缺点如下:

(1) 技术不成熟,相关产品定价过高,电动机和内燃机两套动力系统远比一套动力系统的成本高。

(2) 长时间高速或匀速行驶时不省油。

3. 燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车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电能,并作为主要动力源驱动的汽车,如图 1-5 所示。



图 1-4 混合动力汽车



图 1-5 燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车是电动汽车的一种，在车身、动力传动系统、控制系统等方面，燃料电池电动汽车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。燃料电池的化学反应过程基本不产生有害产物，因此，燃料电池汽车是无污染汽车。燃料电池的能量转换率比内燃机要高2~3倍，因此，从能源的利用和环境保护方面，燃料电池汽车是一种理想的车辆。

与传统汽车相比，燃料电池电动汽车具有以下优点：

- (1) 能量转换率高。燃料电池的能量转换率可高达60%~80%，为内燃机的2~3倍。
- (2) 零排放，不污染环境。燃料电池的燃料是氢，生成物是清洁的水。
- (3) 氢燃料来源广泛，可以从可再生能源获得，不依赖石油燃料。

燃料电池电动汽车的缺点如下：

- (1) 燃料电池造价较高。
- (2) 反应和起动性能稍差，起动速度尚不及内燃机汽车。
- (3) 碳氢燃料无法直接利用；除甲醇外，其他碳氢化合物均需要通过转化器、一氧化碳氧化器处理产生纯氢气后，方可供燃料电池使用。
- (4) 氢燃料基础设施不足。

二、三种新能源汽车的主要特点

三种新能源汽车的主要特点如表1-2所示。

表 1-2 三种新能源汽车的主要特点

比较内容	纯电动汽车	混合动力汽车	燃料电池电动汽车
驱动方式	电机驱动	内燃机 + 电机驱动	电机驱动
能量系统	蓄电池	内燃机，蓄电池	燃料电池
能源和基础设施	电网充电设备	加油站 / 电网充电设备	氢气
排放量	零排放	低排放	超低排放或零排放
主要特点	续航里程短 / 初始成本高	续航里程长 / 仍部分依赖汽柴油	能量转换率高 / 续航里程长 / 成本高
商业化进程	已规模化量产	已规模化量产	仍处于研发阶段
主要问题	电池安全性及效率 / 充电网点	蓄电池效率 / 电池管理系统	成本高昂 / 制氢技术有待突破

思考与练习

1. 简述纯电动汽车的优缺点。
2. 简述混合动力汽车的优缺点。
3. 简述燃料电池电动汽车的优缺点。

模块二

混合动力汽车

学习目标

- ◎了解混合动力汽车的基本概念。
- ◎了解液压储能式混合动力汽车。
- ◎了解混合动力电动汽车。
- ◎了解混合动力电动汽车的基本类型。
- ◎了解混合动力电动汽车的基本结构与工作原理。
- ◎了解混合动力汽车的能量储存装置及蓄电池种类、结构原理。
- ◎了解混合动力汽车驱动电机的组成、类型及要求。
- ◎了解混合动力汽车控制系统的组成、功能和控制方式。

任务目标

- ◎掌握混合动力汽车的基本结构及工作原理。
- ◎掌握混合动力汽车能量储存装置及蓄电池种类特性。
- ◎掌握混合动力汽车控制和驱动系统的类型、组成及功能。

学习单元一

混合动力汽车的发展历程

一、国外混合动力汽车的发展历程

混合动力汽车的概念几乎与汽车的概念同时出现，但是其最初目的并非有效降低燃油的消耗量，而是辅助内燃机汽车以保证其合格的性能水平。事实上，早期内燃机工程技术的发展水平不及电机工程技术。

1899年，巴黎美术展览馆展出了世界上最早的两款混合动力汽车。

一款是由比利时 Pieper 研究院开发的并联式混合动力汽车，该车装有一台由电机和铅酸蓄电池组辅助的小型空冷汽油发动机。当该混合动力汽车滑行或停车时，发动机给蓄电池组充电；当所需

驱动功率大于发动机额定功率时,电机即时提供辅助功率。Pieper除了是最初两辆混合动力汽车中的一辆外,又因其是第一辆并联式混合动力汽车,所以被视为混合动力汽车的开端。

另一款是由法国 Vendovelli 与 Priestly 公司制造的串联式混合动力汽车,它由纯商品化的电动汽车衍生而来。该车是一辆三轮车,在其两个后轮上分别装有独立的电机。与 1.1 kW 发电机相组合的一台 559.28 W 的汽油发动机安装在拖车上,并被拖带在该车后面,以通过对蓄电池组的再充电延长其续航里程。

从 1899 年到 1914 年,出现了兼有并联和串联的其他形式的混合动力汽车。早期混合动力汽车的制造是为了辅助功率偏小的内燃机汽车,或是为了延长电动汽车的续航里程。混合动力汽车利用了基本的电动汽车应用技术,且使之实用化。尽管其设计中体现了很多创造性,然而在第一次世界大战后,早期的混合动力汽车还是不能与已获重大改进的内燃机汽车相竞争。就功率密度而言,汽油发动机取得了很大的进步,发动机变得更小、更高效,并且不再需要电机予以辅助。由于使用电机产生附加成本及酸性蓄电池组相伴随的公害性,所以第一次世界大战后,混合动力汽车从市场中逐渐消失。

Victor Wouk 被认为是推进混合动力汽车的现代研究者。1975 年,他与同事一起制造了一辆 Buick Skylark 型并联式混合动力汽车。该车发动机是马自达旋转式发动机,它与手动变速器配合,并由一台固定于传动装置前端的 11.19 kW 的他励直流电机予以辅助,8 个 12 V 的汽车蓄电池组用于能量的储存,最高速度可达 129 km/h,0~100 km/h 加速时间约 16 s。

1973 年和 1977 年的两次石油危机以及不断增加的环境忧虑并没有促使混合动力汽车成功地进入市场。相关研究工作主要集中在纯电动汽车,许多纯电动汽车的原型在 20 世纪 80 年代制成。其间,实用的电子技术、现代电机和蓄电池应用技术的欠缺,导致人们对混合动力汽车兴趣的不足。20 世纪 80 年代,人们见证了传统内燃机汽车体积减小、催化排气净化器的引入以及燃料喷射普及化等技术的进展。

20 世纪 90 年代,当纯电动汽车难以达到实用化目标的事实变得很明朗时,人们对混合动力汽车的概念重新产生了很大的兴趣。福特汽车公司启动了“福特混合动力汽车挑战计划”。混合动力汽车取得了巨大的进步,其在燃油经济性方面超过了对应的内燃机汽车。在美国,道奇汽车公司制造了 Intrepid ESX-1、ESX-2 和 ESX-3 型混合动力汽车。ESX-1 型混合动力汽车是串联式混合动力汽车,它装备有一个小型涡轮增压的三缸柴油机和一台蓄电池组,在后轮上安置有两台 7.46 kW 的电机。当时,美国政府提出“新一代汽车合作伙伴计划(PNGV)”,包含燃油经济性可达 80 mile/gal ($1 \text{ mile} \approx 1.61 \text{ km}$, $1 \text{ gal} \approx 3.79 \text{ dm}^3$) 的中型轿车的目标。福特公司的 Prodigy (图 2-1) 和通用公司的 Precept (图 2-2) 均是起于该计划的成果。福特 Prodigy 和通用 Precept 都是并联式混合动力汽车,装备有与无润滑油离合器的手动变速器相配合的小型涡轮增压柴油机。

欧洲方面的成果代表为法国的雷诺 Next,该车是一辆小型的并联式混合动力汽车,采用一台排量为 0.75 L 的发动机和两台电机。其燃油经济性达到 29.4 km/L,最高速度和加速性能也可与传统内燃机汽车相媲美。大众汽车公司制造了原型车 Chico,其基础是一辆装备有镍氢蓄电池组和一台三相异步电机的小型汽车,在此基础上安装了一台小型双缸汽油发动机,用以给蓄电池组再充电,并为高速巡航提供附加的动力。



图 2-1 福特 Prodigy



图 2-2 通用 Precept

1997 年, 丰田公司在日本推出了普锐斯 (Prius) 混合动力汽车, 截至 2015 年 7 月其全球销量突破 800 万辆。在 2005 年, 将混合动力系统运用到雷克萨斯汽车上。2006 年, 丰田公司在美国推出凯美瑞混合动力汽车。丰田公司计划将其所有车型都配置丰田混合动力系统。本田公司也推出了 Insight 和 Civic 混合动力汽车。这些混合动力汽车在全世界得到了有效的应用, 实现了燃油消耗量的优化。丰田 Prius 和本田 Insight 混合动力汽车具有历史性的价值, 它们是解决私家车燃油消耗难题的当代首批商品化的混合动力汽车。

二、我国混合动力汽车的发展现状

我国各大汽车企业都在进行混合动力汽车的研发。一汽研发的红旗 HQ3 于 2006 年投产。东风集团的混合动力公交车于 2005 年 7 月完成最终产品定型样车试验并通过验收。奇瑞集团成立了国家节能环保汽车工程技术研究中心, 2007 年 11 月底, 10 辆奇瑞 BSG (belt driven starter generator, 传送带驱动起动发电机) 混合动力轿车率先销售到奇瑞出租车公司, 小批量投放出租车市场; 奇瑞 A5 混合动力轿车为奥运提供服务, 也有出色表现。

2007 年 12 月 13 日, 长安汽车集团自主研发了首款量产杰勋混合动力汽车。广州本田更是紧跟丰田的步伐, 推出了多款混合动力汽车。上汽集团与通用签署协议, 联手开发混合动力轿车和公交车。上汽别克君越 eco-hybrid 油电混合动力汽车是国内第一款中高档量产混合动力车型, 采用独立的电机 - 镍氢电池组动力辅助系统, 配有 2.4 L 发动机, 在车辆减速和静止状态下发动机自动切断燃油供应, 实现零排放。

2011 年上市的荣威 750 混合动力汽车是基于 1.8T 车型平台打造的, 采用高压混动电机, 搭载磷酸铁锂电池。其综合节油率在 20% 左右, 综合油耗为 7.5 L/100 km。

2013 年 11 月, 荣威 550 插电式混合动力汽车在广州车展亮相, 其油耗仅为 2.7 L/100 km, 续航里程可达 500 km。其技术路线上采用发动机 +P1 电机 +P2 电机 +AMT, 可实现纯电动、纯发动机、串联、并联和混联等多种工作模式。

比亚迪 F3DM 插电式混动车型已实现量产。比亚迪·秦搭载的是比亚迪第二代 DM (混动) 系统, 相比第一代, 其在动力性和经济性上都有大幅提升。

三、混合动力汽车的技术发展

- (1) 轿车混合动力系统的模块化愈加明显,逐步推进汽车动力的电气化。
- (2) 城市客车混合动力系统出现平台化趋势。发电机组 + 驱动电机 + 储能装置构成了混合动力系统的基本技术平台。通过换用不同的发电机组,使从内燃机到气体燃料发动机各种不同的能源动力转化装置,形成油 - 电、气 - 电、电 - 电各种不同的混合动力系统,促进动力系统的平稳过渡与转型。
- (3) 插电式混合动力技术越来越引起人们的关注。此外,双模式混合动力和液压混合动力等技术也都取得了较大进展,相继有样车问世。

学习单元二

混合动力汽车的定义与分类

一、混合动力汽车的基本概念

根据国际能源组织的有关文献,“能量与功率传送路线”具有如下特点的车辆称为混合动力汽车:

- (1) 传送到车轮推进车辆运动的能量,至少来自两种不同的能量转换装置(如内燃机、燃气涡轮、斯特林发动机、电机、液压马达和燃料电池等)。
- (2) 这些能量转换装置至少要从两种不同的储能装置(如燃油箱、蓄电池、飞轮、超级电容和高压储氢罐等)吸取能量。
- (3) 从储能装置流向车轮的通道,至少有一条是可逆的。如果可逆的储能装置供应的是电能,则称为混合动力电动汽车。

对于混合动力汽车而言,一般在一辆汽车上同时配备电力驱动系统(traction motor)和辅助动力单元(auxiliary power unit, APU),其中 APU 是燃烧某种燃料的原动机或由原动机驱动的发电机组。混合动力汽车可分为两大类,即液压蓄能式混合动力汽车(hydraulic hybrid vehicle, HHV)和混合动力电动汽车(hybrid electric vehicle, HEV)。

国标 GB/T 19596—2017《电动汽车术语》对于混合动力电动汽车的定义如下。

至少能从下述两类车载储存的能量中获得动力的汽车:

- (1) 可消耗的燃料。
- (2) 可再充电能/能量储存装置。

HEV 的特点是燃油(气)发动机动力与电机动力两种动力的组合。通常把由燃油(气)发动机与电机两种动力组合而成的混合动力电动汽车简称油(气) - 电混合动力电动汽车,把汽(柴)油发动机与电机两种动力组合而成的混合动力电动汽车简称为汽(柴)油 - 电力混合动力电动汽车等。HEV 的突出优点如下。

- (1) 发动机可工作在经济工况区,排放低,燃油消耗少。
- (2) 发动机不在全负荷和加速工况下工作,噪声小。
- (3) 可以回收制动时的能量和利用已有的燃油设施等。

当然,混合动力汽车推广中也存在一些问题,如与传统汽车相比,动力系统复杂,成本较高,还有动力系统的质量增加,占用空间增大,故障率高于传统汽车等。

HEV 与传统汽车的区别主要是驱动系统。HEV 至少有两种动力驱动系统。一种是由发动机提供的、与传统汽车类似的动力系统,从理论上讲,所有可以用于传统汽车的发动机(包括各种内燃机和外燃机)都可用于 HEV。另一种是传统汽车上没有的电驱动系统,电驱动系统通常由电能储存器(蓄电池、超级电容和飞轮电池)、电源变换器(逆变器和变压器)和电机(直流电机、三相异步电机、永磁电机和开关磁阻电机)等组成。为了能够利用发动机发电或回收汽车的制动能量等,电驱动系统的电机一般都可作为发电机使用,也有电机和发电机分别设置的。HEV 的组成可以说是上述两种驱动系统的组合,由于组合方式和选用装置种类不同,就形成了各具特色的 HEV。

二、液压蓄能式混合动力汽车

液压蓄能式混合动力汽车(HHV)最初在 20 世纪 80 年代开发,主要用于公交、货车等重型车辆。HHV 使用的动力是液压马达及传统燃油(气)车的发动机。液力系统主要由液压马达、液力储存器和液体罐等组成。

HHV 的特点是可使用液压马达单独驱动或与发动机共同驱动汽车行驶。该类汽车带有液压式能量回收系统,可回收汽车制动、减速过程中的能量。在汽车制动、减速时,用液压泵将汽车的动能转换为液压能,储存在装有氮气的储能器中。在汽车前进或加速时,使储存在储能器中的液压能通过液压马达释放出来,辅助发动机运转或单独驱动汽车行驶。

三、混合动力电动汽车的分类

汽车行业标准 QC/T 837—2010《混合动力电动汽车类型》对于混合动力电动汽车的类型进行了划分。

1. 按照动力系统划分

1) 串联式混合动力电动汽车(series hybrid electric vehicle)

串联式混合动力电动汽车行驶系统的驱动力只来源于电机。其结构特点是发动机带动发电机发电,电能通过电机控制器输送给电机,由电机驱动车辆行驶。另外,动力蓄电池可以单独向电机提供电能以驱动车辆行驶。

2) 并联式混合动力电动汽车(parallel hybrid electric vehicle)

并联式混合动力电动汽车行驶系统的驱动力由电机及发动机同时或单独供给。其结构特点是并联式驱动系统可以单独使用发动机或电机作为动力源,也可以同时使用电机和发动机作为动力源驱动车辆行驶。

3) 混联式混合动力电动汽车(combined hybrid electric vehicle)

混联式混合动力电动汽车具备串联式和并联式两种混合动力系统。其结构特点是可以在串联混合模式下工作,也可以在并联混合模式下工作,兼顾了串联式和并联式混合动力电动汽车的特点。

2. 按照混合度划分

1) 微混合型混合动力电动汽车 (micro hybrid electric vehicle)

这种汽车以发动机为主要动力源,电机为辅助动力源,具备制动能量回收功能。电机的峰值功率和总功率的比值小于 10%。

仅具有怠速停机功能的汽车也可称为微混合型混合动力电动汽车。

2) 轻度混合型混合动力电动汽车 (mild hybrid electric vehicle)

这种汽车以发动机为主要动力源,电机为辅助动力源,在车辆加速和爬坡时,电机可向车辆行驶系统提供辅助驱动力矩。一般情况下,电机的峰值功率和总功率的比值大于 10%。

3) 重度混合(强混合)型混合动力电动汽车 (full hybrid electric vehicle)

这种汽车以发动机和/或电机为动力源(一般情况下,电机的峰值功率和总功率的比值大于 30%),且电机可以独立驱动车辆正常行驶。

3. 按照是否具有外接充电能力划分

1) 外接充电型混合动力电动汽车 (off-vehicle chargeable hybrid electric vehicle)

这种汽车在正常使用情况下可从非车载装置中获取电能量。

仅当制造厂在其提供的使用说明书中或者以其他明确方式推荐或要求进行车外充电时,混合动力电动汽车方可认为是外接充电型的。仅用作不定期的储能装置电量调节或维护目的而非用作常规的车外能量补充,即使有车外充电能力,也不认为是外接充电型车辆。

插电式(plug-in)混合动力电动汽车属于此类型。

2) 非外接充电型混合动力电动汽车 (non off-vehicle chargeable hybrid electric vehicle)

这种汽车在正常使用情况下从车载燃料中获取全部能量。

4. 按照行驶模式的选择方式划分

1) 有手动选择功能的混合动力电动汽车 (hybrid electric vehicle with selective switch)

这种汽车具备行驶模式手动选择功能。车辆可选的行驶模式包括发动机模式、纯电动模式和混合动力模式三种。

2) 无手动选择功能的混合动力电动汽车 (hybrid electric vehicle without selective switch)

这种汽车不具备行驶模式手动选择功能。车辆的行驶模式根据不同工况自动切换。

5. 其他划分形式

(1) 混合动力电动汽车按照可再充电能量储存系统不同可以划分为(但不限于)以下类型。

① 动力蓄电池混合动力电动汽车 (traction battery hybrid electric vehicle)。

② 超级电容混合动力电动汽车 (super capacitor hybrid electric vehicle)。

③ 机电飞轮混合动力电动汽车 (electromechanical flywheel hybrid electric vehicle)。

④ 动力蓄电池与超级电容组合式混合动力电动汽车 (traction battery and super capacitor hybrid electric vehicle)。

(2) 混合动力电动汽车按照其技术特征、燃料类型、功能结构和车辆用途等因素还可有其他划分形式。

学习单元三

混合动力电动汽车的基本结构

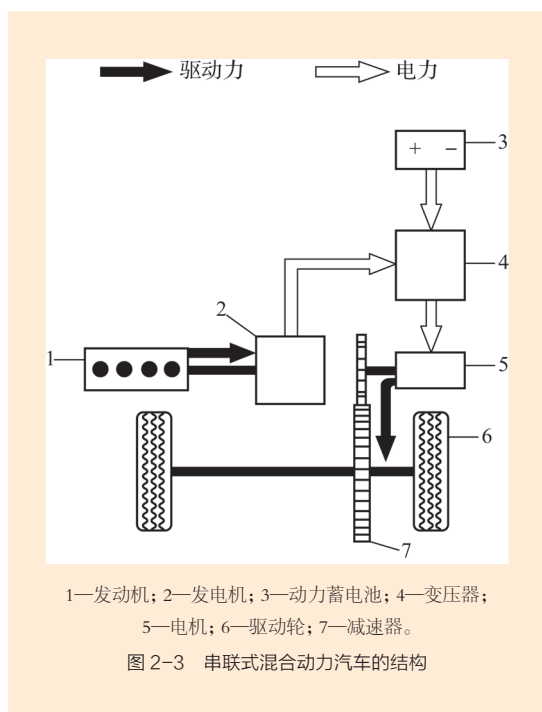
一、串联式混合动力汽车

1. 串联式混合动力汽车的基本结构

串联式混合动力汽车的结构如图 2-3 所示,其基本结构包括电机、发动机、发电机、动力蓄电池和变压器等。串联式混合动力系统利用发动机动力发电,从而带动电机驱动车轮。由发动机进行准稳恒性运转来带动发电机,直接向电机供应电力,或一边给动力蓄电池充电一边行驶。由于发动机的动力是以串联的方式供应到电机的,所以称其为串联式混合动力系统。

发动机和发电机构成辅助动力单元,发动机输出的驱动力(能)首先通过发电机转化为电能,转化后的电能一部分用来给动力蓄电池充电,另一部分经由电机和传动装置驱动车轮。在这种结构中,发动机的唯一功能就是发电,而驱动车轮的转矩全部来自电机。动力蓄电池实际上起平衡发动机输出功率和电机输入功率的作用。

当发电机的发电功率大于电机所需的功率时(如汽车减速滑行、低速行驶或短时停车等工况),控制器控制发电机向动力蓄电池充电;当发电机发出的功率小于电机所需的功率时(如汽车起步、加速、高速行驶、爬坡等工况),动力蓄电池则向电机提供额外的电能。串联式结构可使发动机不受汽车行驶工况的影响,始终在其最佳的工作区稳定行驶,因此可降低汽车的油耗和排放。串联式混合动力系统结构简单,控制容易,但是由于发动机的输出须全部转化为电能再变为驱动汽车的机械能,而机电能量转换和蓄电池的充放电的效率较低,因此串联式结构的能量利用率较低。



2. 串联式混合动力系统的三种基本控制模式

(1) 主要利用电池来驱动车辆,仅当荷电状态(state of charge, SOC)降低到最小限值时,发动机才起动,发动机在最高效率区以输出恒定功率的方式工作,当 SOC 回升到最大限值时发动机停止运转。这种控制模式的主要缺点是发动机的起停会贯穿车辆行车的整个过程,由于发动机每次停止运转期间,发动机和催化转换器装置的温度会降低,从而导致它们的效率降低,这种控制模式也称为恒温器式控制模式。

(2) 负荷跟随控制模式。保持电池的 SOC 在规定范围之内,发动机带动发电机工作并尽可能地供应接近车辆行驶所需的电能,电池只起负荷调节装置的作用。这种模式电池的充放电量较小,能

量损失最小,缺点是发动机不能工作在最佳转速和负荷下,因此其排放可能变差、效率降低。

(3) 上述两种控制模式的一个折中方案。在电池的 SOC 较高时,主要用纯电动模式;而当电池的 SOC 降低到设定的范围内时,发动机带动发电机工作,考虑到发动机的排放和效率,将其输出功率严格限定在一定的变化范围内。如果能预测车辆行程内的总能量需求,则一旦电池中储存了足够的能量,在剩余的行程过程中车辆就可转换为纯电动模式,到了行程终点正好耗尽电池所允许放出的电能,这种控制模式也称为最佳串联混合动力模式。

3. 通用 Series-SHEV 汽车

通用汽车公司开发的 Series-SHEV 汽车是一种串联式混合动力电动汽车。

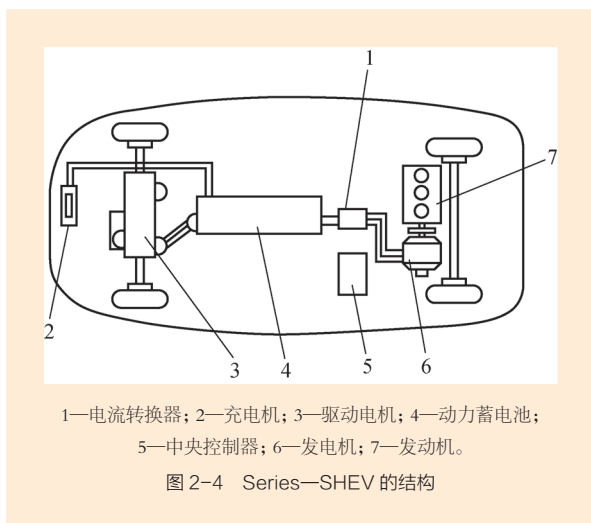
1) Series-SHEV 的结构

Series-SHEV 的结构如图 2-4 所示。

(1) 柴油机-发电机组。采用一台小型涡轮增压直喷式柴油机,功率为 40 kW。柴油机保持在高效率状态下平稳运转,带动发电机发电,向镍氢动力电池充电。

(2) 动力蓄电池。采用镍氢电池作为动力蓄电池,动力蓄电池分别布置在座位下面。在汽车驱动时提供电能,在再生制动时储存回收的电能。

(3) 驱动电机。采用交流异步电机作为驱动电机,功率为 100 kW,通过减速器独立地带动汽车前轮行驶。



2) Series-SHEV 的管理系统

Series-SHEV 采用多能源动力总成管理模块,对动力蓄电池的充、放电及动力蓄电池中每个电池的状态进行监控和检查。镍氢电池组由中央控制器中的电池管理模块控制,当动力蓄电池的电能下降到 40% 时,立即自动启动柴油机-发电机组进行发电,并使动力蓄电池恢复到 50% 的充电状态。采取启动-关闭的控制方式控制柴油机-发电机组发电,发电机保持在最佳效率范围内运转。

4. 串联式混合动力系统的优缺点

1) 串联式混合动力系统的优点

(1) 由于发动机与驱动轮没有直接的机械连接,因此发动机的工作状态不受车辆行驶工况的影响,能运行在其转矩-转速特性图上的任何工作点,而且能始终在最佳的工作区域内稳定运行,因此,发动机具有良好的经济性和较好的排放性能。此外,发动机从驱动轮上的机械解耦,使高速发动机能够得到应用,如燃气轮机发动机或具有缓动态特性的动力机械(如斯特林发动机)。

(2) 发动机与电机之间无机械连接,整车的结构布置自由度较大,各种驱动系统器件可以放在最适合的位置。

(3) 由于电机的功率大,制动能量回收的潜力大,可以提高能量利用率。

2) 串联式混合动力系统的缺点

(1) 发电机将发动机的机械能转变为电能，电机又将电能转变为机械能，而且电池在充电和放电过程中也会存在能量损失，因此发动机输出的能量利用率比较低。串联式混合动力系统的发动机能保持在最佳工作区域内稳定运行，这一特点的优越性主要表现在低速、加速等工况，而在汽车中、高速行驶时，由于其电传动效率较低，抵消了发动机效率高的优点。

(2) 电机是唯一驱动汽车行驶的动力装置，因此电机的功率要足够大。

电池一方面要满足汽车行驶中峰值功率的需要，以补充发电机输出功率的不足；另一方面，要满足吸收制动能量的要求，这就需要较大的电池容量。所以，电机和动力蓄电池的体积和质量都较大，使得整车质量较大。

由此可知，串联式混合动力汽车更适用于经常在市內低速运行的工况，而不适合高速行驶工况。

二、并联式混合动力汽车

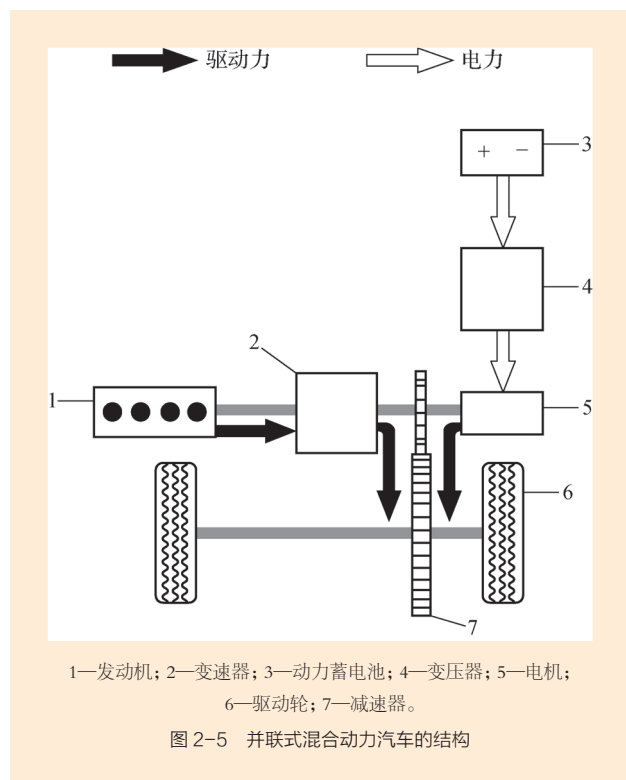
1. 并联式混合动力汽车的基本结构

并联式混合动力系统使用电机和发动机两种不同的装置驱动车辆，动力的流向为并联。可以采用

发动机单独驱动、电机单独驱动或发动机和电机混合驱动三种工作模式。并联式混合动力汽车的结构如图 2-5 所示，其由电机、发动机、动力蓄电池、变压器和变速器等组成。

并联式混合动力系统中利用动力蓄电池的电力驱动电机，因电机在汽车制动时进行制动能量回收，此时电机用作发电机使用。

从结构形式上可以将并联式混合动力系统分为单轴式和双轴式两种。单轴式混合动力系统发动机和电机的输出采用同一根传动轴，这样有利于电机和变速器结构的一体化模块设计。单轴式结构的合成方式为转矩合成，这种结构导致电机和发动机两者的瞬时转速值相同，限制了电机的工作区域。双轴式结构中可以有两套机械式变速器，内燃机和电机各自与一套变速机构相连，然后通过齿轮系统进行复合。



2. 并联式混合动力系统典型工作模式的功率流

(1) 车辆起动、低速及轻载行驶时，发动机关闭，车辆由电机驱动，为纯电动工作模式，如图 2-6 所示。

(2) 车辆正常行驶、加速及爬坡时，发动机和电机同时工作驱动车辆行驶，为混合动力模式，如图 2-7 所示。

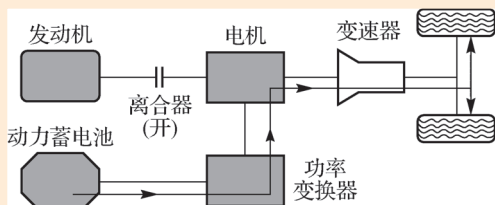


图 2-6 纯电动工作模式

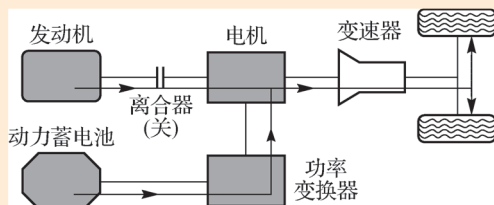


图 2-7 混合动力模式

(3) 在车辆行驶过程中，当动力蓄电池组电量过低时，发动机在驱动车辆行驶的同时向动力蓄电池补充充电，如图 2-8 所示。

(4) 车辆减速及制动时，电机以发电机模式工作，回收车辆制动能量向动力蓄电池充电，如图 2-9 所示。

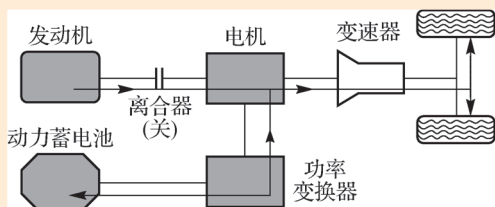


图 2-8 向动力蓄电池补充充电

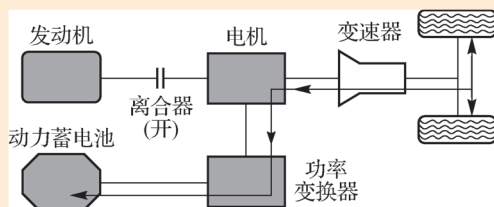


图 2-9 制动能量回收

3. 并联式混合动力系统的两种基本控制模式

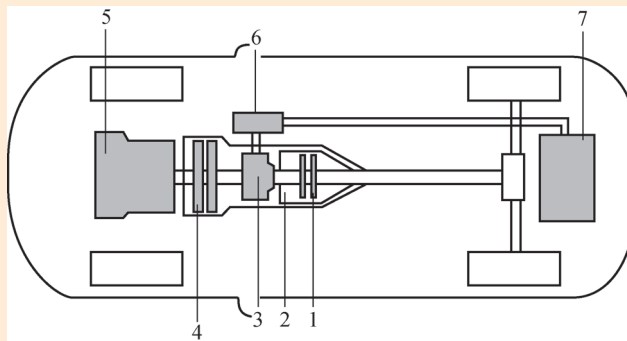
(1) 发动机辅助混合动力模式。这种模式主要利用电池-电机系统来驱动车辆，仅当以较高的巡航速度行驶、爬坡和急加速时才使发动机起动。这种控制模式的优点是大多数情况下车辆都用电池的电能来工作，车辆的排放和燃油消耗较少，同时可以利用车辆运动的惯性力起动发动机，从而可以取消起动机。这种控制模式的缺点是，由于发动机每次停止运转期间，发动机和催化转化装置的温度降低而导致它们的效率降低，增加了尾气排放。

(2) 电机辅助混合动力模式。这种模式主要利用发动机来驱动车辆，电机只在两种状态下使用：一是用于瞬间加速和爬坡需要峰值功率时，可使发动机工作在最高效率区间，以降低排放和减少燃油消耗；二是在车辆减速制动时电机被用来回收车辆的制动动能对蓄电池进行充电。这种模式的主要缺点是车辆不具备纯电动模式，在行驶过程中若经常加速，电池的电能消耗到最低限度，则会失去电机辅助能力，驾驶人会感到车辆动力性能明显降低。

4. 日产风雅混合动力汽车

(1) 混合动力系统的结构。日产风雅混合动力汽车的混合动力系统称为单电机双离合器式混合动力系统，其结构如图 2-10 所示。

混合动力系统主要由电机、逆变器、锂离子蓄电池、发动机等主要部件构成。这些部件各自的功能和其他混合动力汽车一样。蓄电池采用的是具有特殊结构的锂离子蓄电池；兼备发电机功能的电机前后配有两个离合器；电机和两个离合器作为电控 7 挡自动变速器（AT）的一部分集成在一起。



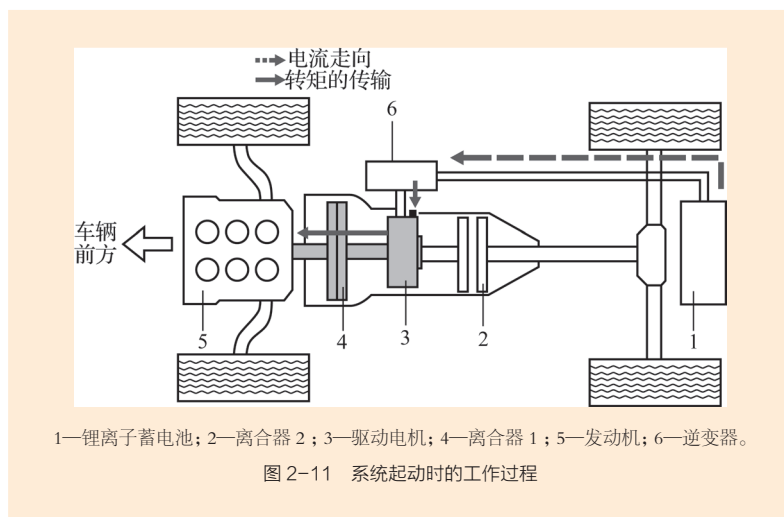
1—离合器 2；2—电子控制式 7 挡自动变速器；3—电机；4—离合器 1；5—发动机；6—逆变器；7—锂离子蓄电池。

图 2-10 日产风雅混合动力系统的结构

电机前部的离合器 1 的结构和手动变速器车常用的干式单片离合器基本相同。这个离合器控制着自动变速器和发动机的连接与断开。离合器自动进行连接与断开，离合器的功能只是单纯的连接或断开。电机后端（自动变速器输出端）的离合器 2 也不是专用于混合动力汽车的新设计，是一般主要构成自动变速器的部件中的一种，为湿式多片离合器。

（2）混合动力系统的工作过程。

① 系统起动时。车辆在起动前，发动机冷却状态下的蓄电池剩余电量低时，离合器 1 接合，电机起动，发动机开始工作，如图 2-11 所示。发动机暖机后或蓄电池剩余电量足够的情况下，发动机停止工作。

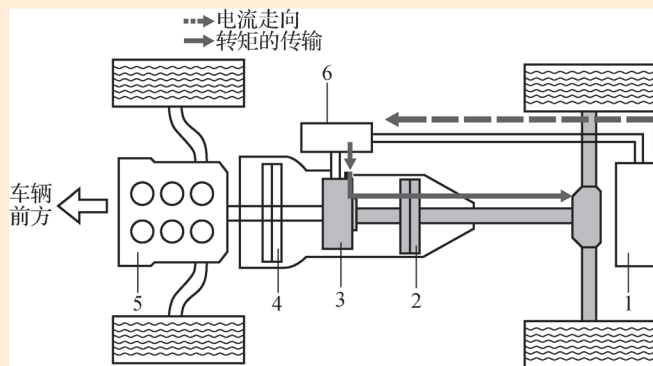


1—锂离子蓄电池；2—离合器 2；3—驱动电机；4—离合器 1；5—发动机；6—逆变器。

图 2-11 系统起动时的工作过程

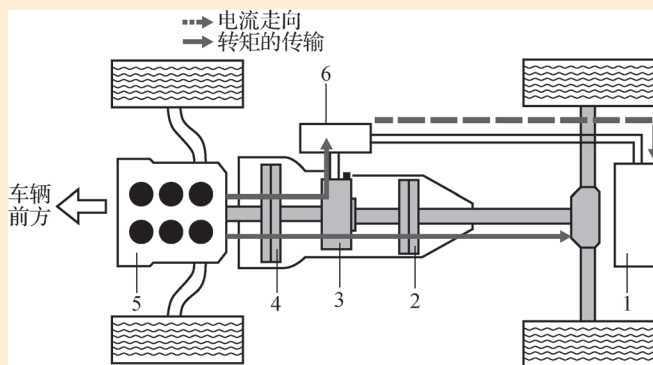
一般行驶（起动、怠速、低速、中高速）时（蓄电池电量足够时），车辆仅利用电机行驶。离合器 2 接合，离合器 1 断开，发动机停止工作，如图 2-12 所示。

蓄电池电量少，离合器 1 接合，发动机开始工作。然后电机转换为发电机，一边给蓄电池充电，一边利用发动机使车辆行驶，如图 2-13 所示。在这种情况下，为了提高发动机的效率，应在控制电机发电量的同时灵活地使用自动变速器。



1—锂离子蓄电池；2—离合器 2；3—驱动电机；4—离合器 1；5—发动机；6—逆变器。

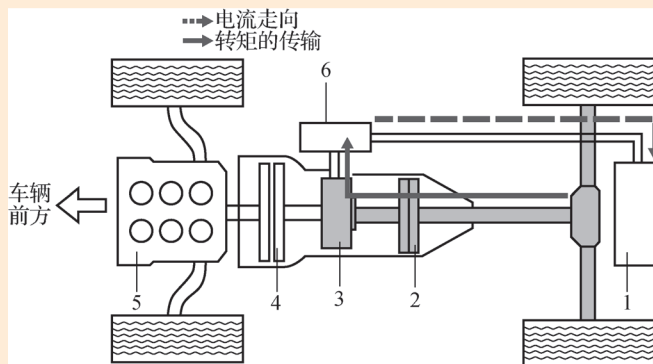
图 2-12 一般行驶时混合动力系统的工作过程



1—锂离子蓄电池；2—离合器 2；3—驱动电机；4—离合器 1；5—发动机；6—逆变器。

图 2-13 电量少时混合动力系统的工作过程

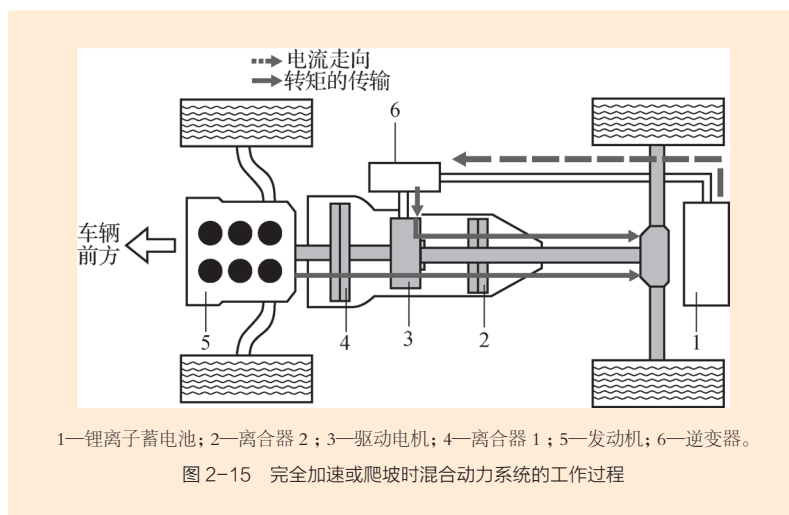
② 减速或制动时。车辆减速或制动时，离合器 2 接合，离合器 1 断开，发动机停止工作。电机转换为发电机，进行再生发电，如图 2-14 所示。再生发电的电力向蓄电池充电。



1—锂离子蓄电池；2—离合器 2；3—驱动电机；4—离合器 1；5—发动机；6—逆变器。

图 2-14 制动时混合动力系统的工作过程

③ 加速或爬坡时。当加速踏板完全踩下，满负荷运转时，离合器 2 接合，离合器 1 接合。发动机和电机共同输出动力，产生大的驱动力，如图 2-15 所示。



1—锂离子蓄电池；2—离合器 2；3—驱动电机；4—离合器 1；5—发动机；6—逆变器。

图 2-15 完全加速或爬坡时混合动力系统的工作过程

④ 离合器控制。日产风雅混合动力汽车采用电控 7 挡自动变速器，与一般的行星齿轮式自动变速器构造类似。前者中的电机和两个离合器作为电控 7 挡自动变速器的一部分。但是前者不是使用液力变矩器，而是使用电机，使用手动变速器，用离合器代替锁止离合器。

离合器 1 与一般手动变速器离合器结构相同，是干式离合器，它由液压气缸自动控制，车辆行驶时，输入端和输出端的转速差约为 50 r/min，能够实现更为平稳的行驶。在发动机开始工作时，为了使驱动转矩不发生变化，输入端和输出端的转速差控制在 100 r/min 左右，在控制滑行的同时，离合器 1 接合，这时电机发挥起动作用。

低速时，离合器 1 和离合器 2 完全接合，发动机和电机的转速相同。这样，车速为 10 km/h 时，转速约为 1 000 r/min；车速为 5 km/h 时，转速约为 500 r/min，发动机会停止工作。为了防止这样的情况发生，离合器 2 会使车辆滑行，进入半离合状态，这时发动机的转速会保持在 1 000 r/min 左右。

在坡道上停止的状态下，驾驶人踩下加速踏板，离合器 2 断开，电动制动装置控制车辆停止，目的是保护离合器 2。

5. 并联式混合动力系统的特点

(1) 发动机通过机械传动机构直接驱动汽车，无机械能、电能的转换损失，因此发动机输出能量的利用率较高。如果汽车行驶工况能保证发动机在其最佳的工作范围内运行，并联式混合动力系统的燃油经济性要比串联式混合动力系统高。

(2) 当电机仅起功率调峰作用时，电机、发动机的功率可适当减小，电池的容量也可减小。

(3) 在繁华的市区低速行驶时，并联式混合动力系统可关停发动机，以纯电动方式运行，以实现零排放，但这就需要有功率足够高的电机，所需电池的容量相应也要大。

(4) 发动机与电机并联驱动时，还需要动力复合装置，因此，并联驱动系统的传动机构较为复杂。

(5) 并联式混合动力系统与车轮之间直接机械连接, 发动机的运行工况会受车辆行驶工况的影响, 所以车辆在行驶工况频繁变化的情况下运行时, 发动机有可能不在其最佳工作区域内运行, 其油耗和排放指标可能不如串联式混合动力系统。并联式混合动力系统最适合于汽车在中、高速工况下稳定行驶。

三、混联式混合动力汽车

1. 混联式混合动力汽车的基本结构

混联式混合动力汽车的结构如图 2-16 所示, 在结构上综合了串联式和并联式的特点。混联式混合动力系统利用电机和发动机两个动力来驱动车轮, 同时电机在行驶中还可以发电。根据行驶条件的不同, 可以仅靠电机驱动行驶, 或者利用发动机和电机共同驱动行驶。另外还安装有发电机, 可以一边行驶, 一边给动力蓄电池充电。混联式混合动力系统由电机、发动机、动力蓄电池、发电机、动力分离装置、电子控制单元(变压器、转换器)等组成。利用动力分离装置将发动机的动力分成两部分: 一部分用来直接驱动车轮; 另一部分用来发电, 给电机供应电力和为动力蓄电池充电。

2. 丰田混联式混合动力系统

丰田混联式混合动力系统将发动机输出的动力通过动力分离装置分解为发电机的驱动力和车轮的驱动力。发电机产生的电力一部分供给车轮驱动用的电机, 另一部分通过变压器把交流电变换为直流电给动力蓄电池充电。动力蓄电池又通过变压器把直流电变换成交流电给驱动电机供电以驱动车轮, 此部分为串联式混合动力部分; 另一方面, 尽管发动机可以通过减速器来驱动车轮, 但是还可以通过增加电机来共同驱动, 此部分构成并联式混合动力部分。丰田混联式混合动力系统的核心是用行星齿轮组组成的动力分离装置, 用于协调发动机和电机的运动和动力传递。

丰田混联式混合动力系统具有低油耗和低排放的效果。根据行驶工况的不同, 以不同的模式工作, 最大限度地适应车辆的行驶工况, 使系统达到最高的燃油经济性和最低的排放。

(1) 电机起动时的低速大转矩特性。当汽车起动时, 混合动力系统仅使用由动力蓄电池提供能量的电机的动力起动, 发动机并不运转, 如图 2-17 所示。需要注意的是, 点火起动时, 发动机将运转, 直至充分预热。

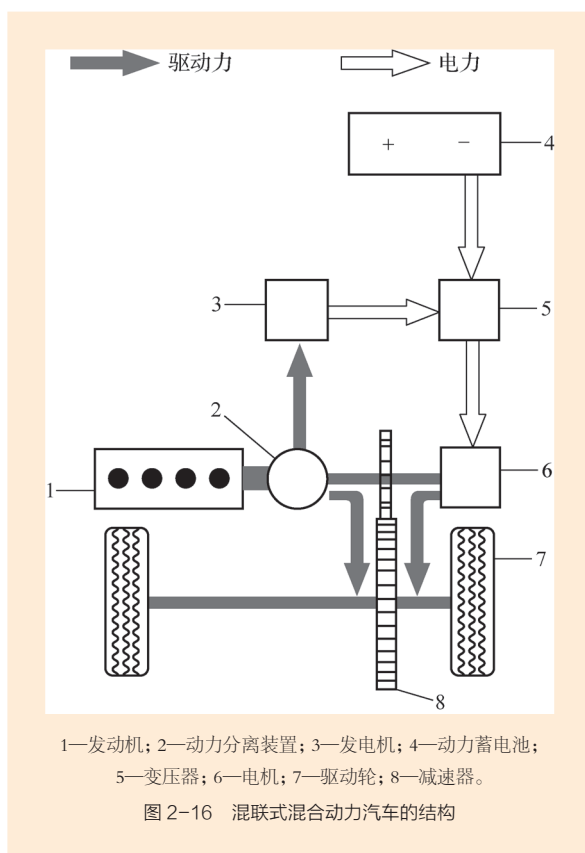




图 2-17 起动时

(2) 低速 - 中速行驶时。由高效利用能量的电机驱动行驶。对于发动机而言, 在低速 - 中速带的效率并不理想, 而电机在低速 - 中速带性能优越。因此, 在低速 - 中速行驶时, 混合动力系统使用动力蓄电池的电力, 驱动电机行驶, 如图 2-18 所示。需要注意的是, 动力蓄电池的电量少时, 利用发动机带动发电机发电, 为电机提供动力。



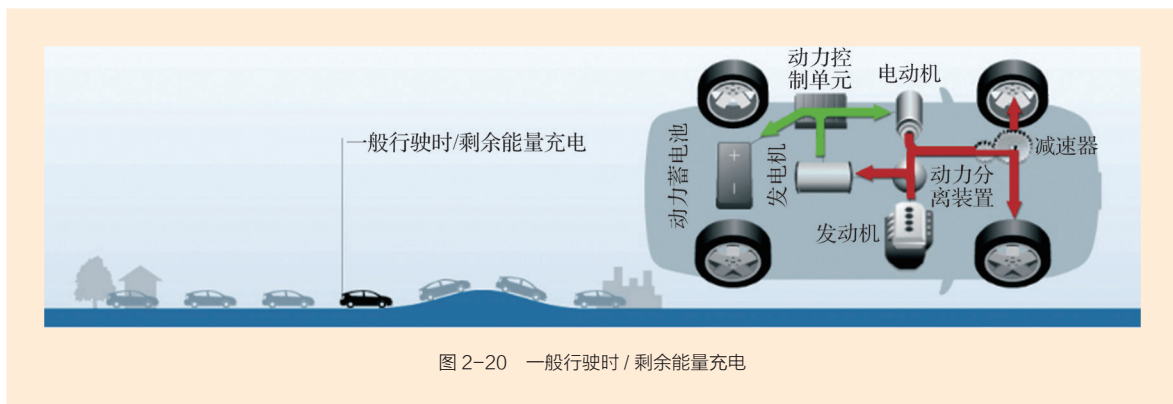
图 2-18 低速 - 中速行驶时

(3) 一般行驶时。低油耗的驾驶, 使用发动机作为主要动力源。混合动力系统采用阿特金森循环发动机, 使它在能产生最高效率的速度区间驱动。由发动机产生的动力一部分直接驱动车轮, 依照驾驶状况另一部分动力被分配给发电机。由发电机产生的电力用来驱动电机和辅助发动机。利用发动机和电机双动力系统, 使得发动机产生的动力以最小消耗被传向地面, 如图 2-19 所示。需要注意的是, 动力蓄电池的电量少时, 发动机输出功率会被提高以加大发电量, 给动力蓄电池充电。

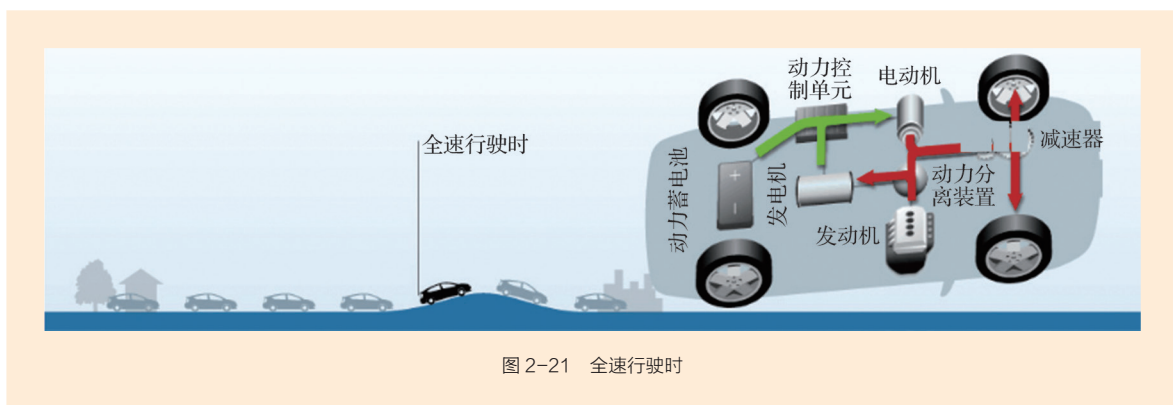


图 2-19 一般行驶时

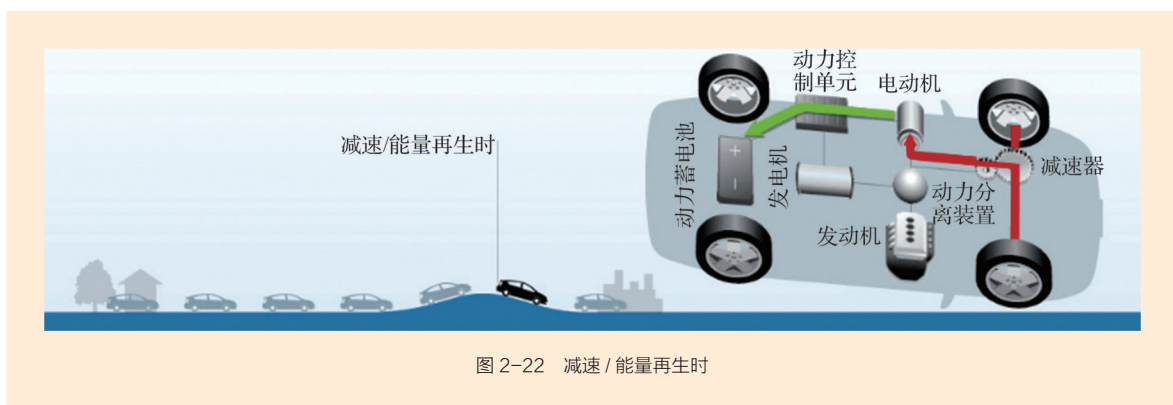
(4) 一般行驶时 / 剩余能量充电。将剩余能量用于动力蓄电池充电。因为丰田混合动力系统在高速运转时采用发动机来驱动，而发动机有时会产生多余的能量，这时多余的能量由发电机转换成电力储存在动力蓄电池中，如图 2-20 所示。



(5) 全速行驶时。利用双动力获得更高一级的加速。在需要强劲加速（如爬陡坡及超车）时，动力蓄电池也提供电力，加大电机的驱动力。通过发动机和电机双动力的结合使用，丰田混合动力系统得以实现与高一级发动机同等水平的强劲而流畅的加速性能，如图 2-21 所示。



(6) 减速 / 能量再生时。将减速时的能量回收到动力蓄电池中用于再利用。在踩下和放松加速踏板时，丰田混合动力系统使车轮的旋转带动电机运转，将其作为发电机使用；减速时通常作为摩擦热散失掉的能量，在此被转换成电能，回收到动力蓄电池中进行再利用，如图 2-22 所示。



(7) 停车时。停车时，发动机、电机、发电机全部自动停止运转，不会因怠速而浪费能量，如图 2-23 所示。需要注意的是，当动力蓄电池的充电量较低时，发动机将继续运转，以给动力蓄电池充电。另外，有时因为与空调开关连动，发动机仍保持运转。

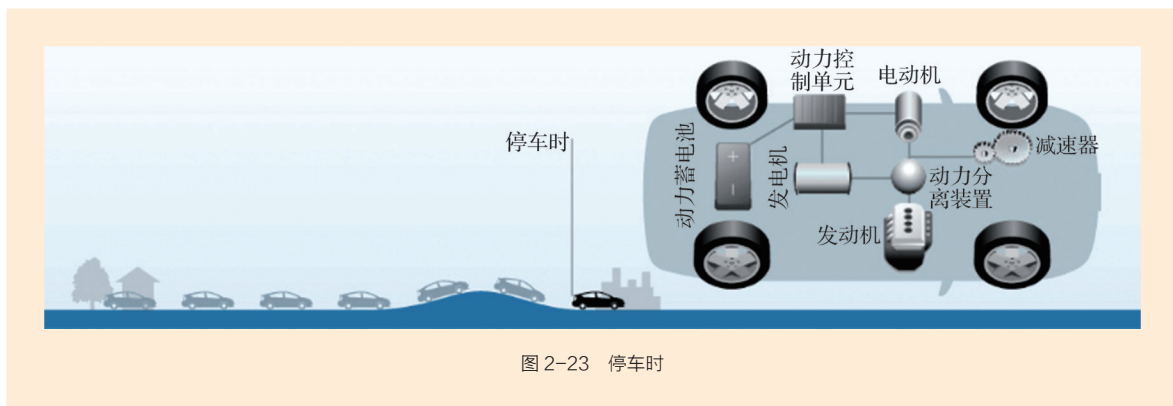


图 2-23 停车时

四、插电式混合动力汽车

插电式混合动力汽车 (plug-in hybrid electric vehicle, PHEV) 是在三种混合动力汽车 (串联、并联、混联) 的基础上发展起来的一种混合动力汽车。

它配备了较大容量的动力蓄电池，可以通过接入电网为系统中配备的动力蓄电池充电，充电后可仅凭动力蓄电池或电机驱动汽车以纯电动模式行驶。在动力蓄电池的剩余电量用完后，切换至混合动力系统模式 (串联式、并联式或混联式) 工作，延长汽车的续航里程。插电式混合动力系统既可以以纯电动模式行驶较长的距离，又解决了续航里程短的问题，是非常有发展前景的一种驱动系统。

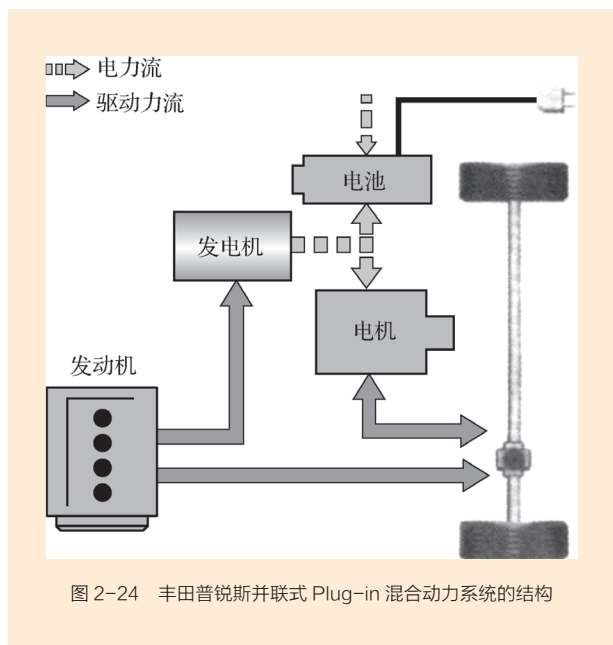


图 2-24 丰田普锐斯并联式 Plug-in 混合动力系统的结构

图 2-24 所示为丰田普锐斯并联式 Plug-in 混合动力系统的结构。

PHEV 兼顾了纯电动汽车和 HEV 的优点。

(1) 在局部地区或短距离上下班行驶时，可以作为纯电动汽车使用，可用家里的电源对

动力蓄电池充电，不使用汽油。

(2) 利用晚上电网的低谷电对电池充电，可以提高电网效率，具有纯电动汽车的所有优点。

(3) 加满油箱，PHEV 的行驶里程可以与混合动力汽车和内燃机汽车相媲美。

(4) 由于主要以纯电动状态工作，车辆寿命期间的维修成本低。

学习单元四

混合动力汽车的能量储存装置

一、混合动力汽车能量储存装置的分类

混合动力汽车的能量储存装置可以分为二次电池、超级电容和飞轮电池三类。

1. 二次电池

二次电池也称为可充电电池。现代混合动力汽车上常见的二次电池有铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池等。

2. 超级电容

超级电容又称电化学容器，是一种新型的、双电层电容，与常见的物理电容不同。其特点是容量大，比物理电容的极限容量高 3~4 个数量级。

3. 飞轮电池

飞轮电池又称飞轮储能器，是利用飞轮高速旋转来储能和释放电能的一种装置。这种电能储存装置目前应用较少。

二、混合动力汽车对动力蓄电池的性能要求

1. 混合动力汽车对电池的工作要求（非外接充电）

与纯电动汽车相比，混合动力汽车对电池的容量要求有所降低，但要能够根据整车要求实时提供更大的瞬时功率，即实现“小电池提供大电流”。

由于混合动力汽车结构的不同，串联式和并联式混合动力汽车对电池的要求又有差别。

（1）串联式混合动力汽车完全由电机驱动，内燃机—发电机总成与电池组一起提供电机需要的电能，电池 SOC 处于较高的水平，对电池的要求与纯电动汽车相似，但容量要小一些。

（2）并联式混合动力汽车内燃机和电机都可直接对车轮提供驱动力，整车的驾驶需求可以用不同的动力组合结构来满足。动力蓄电池的容量可以更小，但是电池组瞬时提供的功率要满足汽车加速或爬坡要求，电池的最大放电电流有时高达 20 C（C 为按额定电流放电时的实际放电容量）以上。

在不同结构类型的混合动力汽车上，由于工作环境、汽车结构、工作模式的复杂性，对混合动力汽车用动力蓄电池提出统一的要求是比较困难的，但一些典型、共性的要求如下。

- （1）电池的峰值功率要大，能短时大功率充放电。
- （2）循环寿命要长，达到 1 000 次以上的深度放电循环和 40 万次以上的浅度放电循环。
- （3）电池的 SOC 应尽可能保持在 50%~85%。
- （4）需要配备电池管理系统和热管理系统。

2. 可外接充电式混合动力汽车对电池的工作要求

PHEV 对动力蓄电池的要求要兼顾纯电动和混合动力两种模式。PHEV 既要实现在城市里以纯

电动模式行驶，又要实现在高速公路上以混合动力模式行驶（电池电量也在消耗）。PHEV 期望电池在低 SOC 时也能提供很高的功率水平，具体见表 2-1。

表 2-1 HEV、PHEV 和 EV 对电池性能的要求

新能源形式	质量 /kg	功率 /kW	比功率 / (W · kg ⁻¹)	比能量 / (W · h · kg ⁻¹)
混合动力	50	40~60	800~1 200	30~60
插电式混合动力	120	50~65	400~540	50~75
纯电动	250	50~100	200~400	100~160

三、动力蓄电池

1. 蓄电池的性能指标

蓄电池的作用是储存与释放电能。蓄电池在充电过程中，电能通过蓄电池内活性物质的化学变化转化为化学能储存在蓄电池内。蓄电池在放电过程中，通过蓄电池内活性物质的化学变化逆转，将化学能转变为电能由蓄电池输出。各种蓄电池的基本工作原理是电能—化学能—电能—化学能的可逆变换过程，能够反复使用，一般将能够将化学能转化为电能的电池称为蓄电池。

20 世纪 70 年代以来，各种高能蓄电池问世，它们在比能量和比功率方面有很大提高，在第二代混合动力汽车上，大多采用了高能蓄电池，但各种高能蓄电池的作用仍然是储存电能，也仍然是按电能—化学能—电能—化学能的可逆变换过程来工作的，能量转换受到活性物质的限制。高能蓄电池的不断发展，使得混合动力汽车的动力性能不断提高，一次充电后的续驶里程也不断地延长。蓄电池的主要性能指标如下。

1) 电压 (V)

- (1) 电动势：电池正极、负极之间的电位差 E 。
- (2) 额定电压：电池在标准规定条件下工作时应达到的电压。
- (3) 工作电压（负载电压、放电电压）：在电池两端接上负载 R 后，在放电过程中显示出的电压，等于电池的电动势减去放电电流 I 在电池内阻 r 上的电压，即 $U=E - Ir$ 。
- (4) 终止电压：电池在一定标准所规定的放电条件下放电时，电池的电压将逐渐降低，当电池不宜继续放电时，电池的最低工作电压称为终止电压。当电池的电压下降到终止电压后，再继续使用电池放电，化学活性物质会遭到破坏，缩短电池寿命。

2) 电池容量

- (1) 理论容量：根据蓄电池活性物质的特性，按法拉第定律计算出的高理论值，一般用质量容量 ($A \cdot h/kg$) 或体积容量 ($A \cdot h/L$) 来表示。
- (2) 实际容量：在一定条件下所能输出的电量，等于放电电流与放电时间的乘积。
- (3) 标称容量：用来鉴别电池的近似容量。
- (4) 额定容量：在一定标准所规定的放电条件下，电池应该放出的最低限度的容量。
- (5) 荷电状态 (SOC)：电池在一定放电倍率下，剩余电量与相同条件下额定容量的比值，反

映电池容量的变化。

3) 能量

(1) 标称能量 ($W \cdot h$): 按一定标准规定的放电条件下, 电池所输出的能量。电池的标称能量是电池额定容量与额定电压的乘积。

(2) 实际能量 ($W \cdot h$): 在一定条件下电池所能输出的能量。电池的实际能量是电池的实际容量与平均电压的乘积。

(3) 比能量 ($W \cdot h/kg$): 动力电池组单位质量中所能输出的能量。

(4) 能量密度 ($W \cdot h/L$): 动力电池组单位体积中所能输出的能量。

4) 功率

功率是在一定的放电制度下, 电池在单位时间内所输出的能量。

(1) 比功率 (W/kg): 动力电池组单位质量中所具有的电能的功率。

(2) 功率密度 (W/L): 动力电池组单位体积中所具有的电能的功率。

5) 电池内阻

电流流过电池内部受到的阻力, 使电池电压降低, 此阻力称为电池内阻。由于电池内阻的作用, 电池放电时端电压低于电动势和开路电压, 充电时端电压高于电动势和开路电压。

锂离子电池的内阻包括欧姆内阻和极化内阻。欧姆内阻由电极材料、电解液、隔膜电阻及各零件的接触电阻组成。极化内阻是指化学反应时由极化引起的电阻, 包括电化学极化和浓差极化引起的电阻。

锂离子电池的实际内阻是指电池在工作时, 电流流过电池内部所受到的阻力。电池内阻大, 会产生大量热量, 引起电池温度升高, 导致电池放电工作电压降低, 放电时间缩短, 对电池性能、寿命等造成严重影响。电池内阻大小的精确计算相当复杂, 而且在电池使用过程中会不断变化。经验表明, 锂离子电池的体积越大, 内阻越小。

6) 寿命

以充放电的循环次数或使用年限来定义电池寿命。

(1) 循环次数。蓄电池的工作是一个不断充电—放电—充电—放电的循环过程。在每个循环中, 电池中的化学活性物质发生一次可逆的化学反应。随着充放电次数的增加, 化学活性物质老化变质, 使电池充放电效率降低, 最终丧失功能, 电池报废。电池的循环次数与很多因素有关, 包括电池充放电形式、电池温度、放电深度、电池组均衡性、电池安装等。循环次数是衡量电池寿命的指标。

(2) 使用年限。使用年限 (SOH) 反映电池的预期寿命。SOH = C_M / C_N , 其中, C_M 表示蓄电池的预测容量, C_N 表示蓄电池的标称容量。

7) 放电速率 (放电率)

一般用电池在放电时的时间或放电电流与额定电流的比例来表示放电速率。

(1) 时率 (时间率): 电池以某种电流放电, 放完额定容量所经过的放电时间。

(2) 倍率 (电流率): 电池以某种电流放电的数值为额定容量数值的倍数。例如, 放电电流为 $0.1 C_{20}$, 对于 $120 A \cdot h$ (C_{20}) 的电池, 即以 $0.1 \times 120 = 12 A$ 的电流放电。C 的下标表示放电时率。

8) 自放电率

自放电率是电池在存放时间内, 在没有负荷的条件下自身放电, 使得电池的容量损失的速度。自放电率用单位时间(月、年)内电池容量下降的百分数来表示。

2. 蓄电池的分类

1) 铅酸电池

铅酸电池是 1859 年由普兰特(Plante)发明的。铅酸电池自发明后, 在化学电源中一直占有绝对优势。这是因为其价格低廉, 原材料易于获得, 使用上有充分的可靠性, 适用于大电流放电及广泛的环境温度范围等, 如图 2-25 所示。

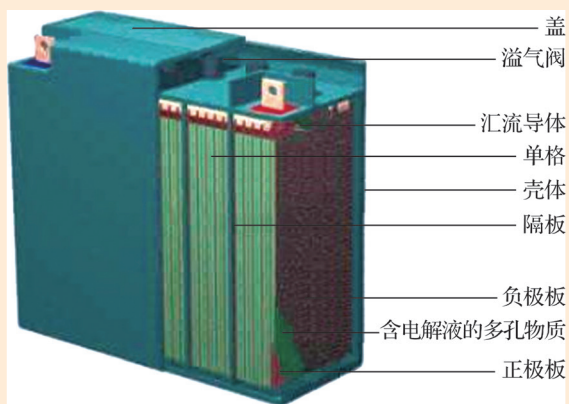


图 2-25 铅酸电池

到 20 世纪初, 铅酸电池历经了许多重大改进, 提高了能量密度、循环寿命、放电倍率等性能。然而, 开口式铅酸电池有以下两个主要缺点。

(1) 充电末期水会分解为氢气、氧气析出, 需经常加酸、加水, 维护工作繁重。

(2) 气体溢出时携带酸雾, 腐蚀周围设备, 并污染环境, 限制了电池的应用。

近年来, 为了解决以上两个问题, 世界各国竞相开发密封铅酸电池, 希望实现电池的密封, 获得绿色能源。

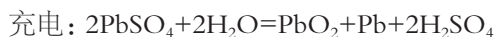
常用的铅酸电池主要分为三类, 即普通蓄电池、干荷蓄电池和免维护蓄电池。

(1) 普通蓄电池。普通蓄电池的极板是由铅和铅的氧化物构成的, 电解液是硫酸的水溶液。它的主要优点是电压稳定、价格便宜, 缺点是比能量低、使用寿命短和日常维护频繁。

(2) 干荷蓄电池。它的全称是干式荷电铅酸蓄电池, 其主要特点是负极板有较高的储电能力, 在完全干燥状态下能在两年内保存所得到的电量, 只需加入电解液, 20~30 min 后即可使用。

(3) 免维护蓄电池。免维护蓄电池由于自身结构上的优势, 电解液的消耗量非常少, 在使用寿命内基本不需要补充蒸馏水。它还具有耐震、耐高温、体积小和自放电小的特点, 使用寿命一般为普通蓄电池的 2 倍。市场上的免维护蓄电池也有两种: 一种在购买时一次性加电解液, 以后使用中不需要维护(添加补充液); 另一种是电池本身出厂时就已经加好电解液并封死, 用户不能补充。

铅酸电池的反应原理如下。



2) 镍氢电池

镍氢电池是一种碱性电池, 其标称电压为 1.2 V, 比能量可达 70~80 W·h/kg, 有利于延长混合动力汽车的行驶里程。其比功率可达 200 W/kg, 是铅酸电池的 2 倍, 能够提高车辆的起动性能和加速性能。

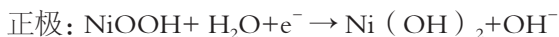
(1) 镍氢电池的工作原理。镍氢电池的正极是球状氢氧化镍粉末与添加剂钴等金属、塑料和黏

合剂等制成的涂膏，用自动涂膏机涂在正极板上，然后经过干燥处理成发泡的氢氧化镍正极板。在正极材料中添加 Ca、Co、Zn 或稀土元素，对稳定电极的性能有明显的作用。

充电时，镍氢电池的反应方程式如下。

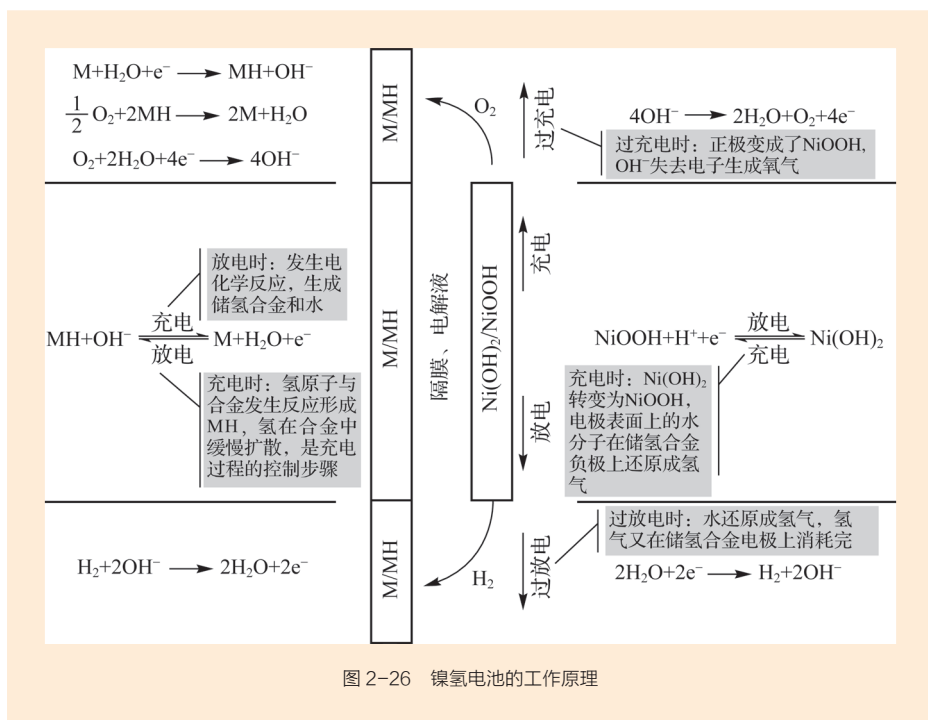


放电时，镍氢电池的反应方程式如下。



以上式中 M 为储氢合金，MH 为吸附了氢原子的储氢合金，常用的储氢合金为 LaNi_5 。

镍氢电池的工作原理如图 2-26 所示。



(2) 镍氢电池的特点。

- ① 应急补充充电性能好，一次充电后行驶里程长，而且起动加速性能较好。
- ② 可以在环境温度 $-28\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下正常工作，循环寿命可达到 6 000 次或 7 年。
- ③ 在高温条件下使用时电荷量急剧下降，自放电损耗较大，价格较贵。
- ④ 比功率和放电能力不及镍镉电池。
- ⑤ 自放电率高，常温下 30 天不使用时，电池的放电容量只有额定容量的 65%~70%；比能量较小，极限值为 80 kW/kg ，较小的比能量值使得镍氢电池的续航能力较低，只能用在混合动力汽车上，电动汽车必须选用高比能量的电池。

3) 锂离子电池

锂离子电池是 1990 年由日本索尼公司首先推向市场的新型高能蓄电池。与其他蓄电池比较, 锂离子电池具有电压高、比能量高、充放电寿命长、无记忆效应、无污染、快速充电、自放电率低、工作温度范围宽和安全可靠等优点, 已成为未来电动汽车较为理想的动力电源。相比镍氢电池, 混合动力汽车采用锂离子电池, 可以使电池组的质量下降 40%~50%, 体积减小 20%~30%, 能源效率也有一定程度的提高。

(1) 锂离子电池的分类。锂离子电池按照电解质形态不同可分为液态锂离子电池和聚合物锂离子电池。聚合物锂离子电池是指正极、负极和电解质中至少有一种是聚合物材质的锂离子电池。

按照锂离子电池正极材料的不同, 汽车用锂离子电池主要分为锰酸锂离子电池、磷酸铁锂离子电池、镍钴锂离子电池、镍钴锰锂离子电池。

第一代车用锂离子电池是锰酸锂离子电池, 其成本低, 安全性较好, 但是循环寿命欠佳, 在高温环境下循环寿命更短, 出现锰离子溶出的现象。第二代是具有美国专利的磷酸铁锂离子电池, 是锂离子电池的发展方向, 原材料价格低且磷、铁、锂的资源丰富, 工作电压适中, 充放电特性好, 放电功率高, 可快速充电且循环寿命长, 高温和高热稳定性、储能特性强, 完全无毒。

为了避开磷酸铁锂离子电池的专利纠纷, 一些国家开发了镍钴锂离子电池和镍钴锰锂离子电池。由于钴价格昂贵, 所以镍钴锂离子电池成本较高。镍钴锂离子电池的安全性比磷酸铁锂离子电池稍差, 循环寿命优于锰酸锂离子电池。

(2) 锂离子电池的结构。锂离子电池是用两个能可逆地嵌入与脱嵌的锂离子化合物作为正负极构成的二次电池。锂离子电池主要由正极板、负极板、电解质、隔膜与外壳组成。其中, 正极板上的活性物质一般选用 LiCoO_2 、 LiNiO_2 或 LiMn_2O_4 , 负极板上的活性物质一般选择碳材料。电解质采用 LiPF_6 的乙烯碳酸酯 (EC)、丙烯碳酸酯 (PC) 和低黏度二乙基碳酸酯 (DEC) 等烷基碳酸酯搭配的混合溶剂体系。隔板采用聚烯微多孔膜 PE、PP 或它们的复合膜。外壳采用钢或者铝材料。

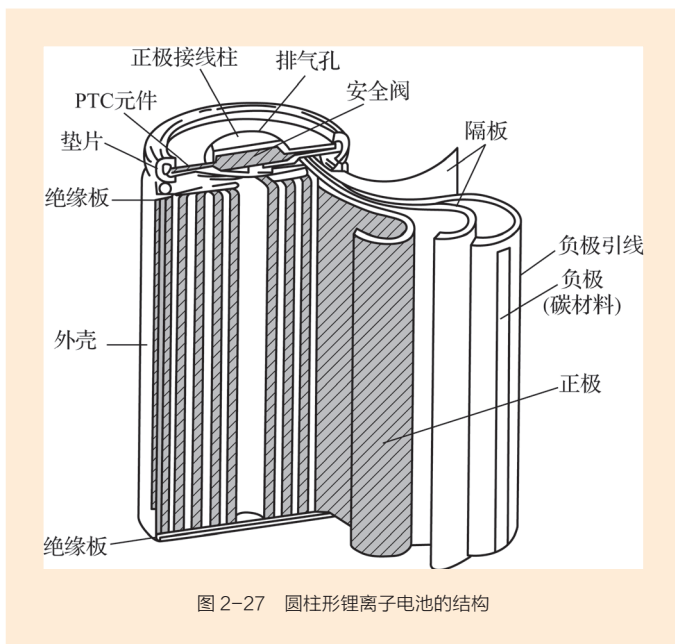


图 2-27 圆柱形锂离子电池的结构

液态锂离子电池包括正极、负极、隔板及电解液四大部分。圆柱形锂离子电池的结构如图 2-27 所示。

① 正极。正极材料是锂离子电池中最关键的原材料, 直接决定了电池的安全性能和电池能否大型化, 约占锂离子电池电芯材料成本的 30% 左右。锰酸锂离子电池的正极以锰酸锂为主要材料, 磷酸铁锂离子电池的正极以磷酸铁锂为主要材料, 镍钴锂离子电池的正极以镍钴锂为主要材料, 镍钴锰锂离子电池的正极以镍钴锰锂为主要材料。在正极活性物质中再加入导电剂、树脂黏合剂, 并涂覆在铝基体上, 呈细薄层分布。

② 负极。负极活性物质由碳材料与黏合剂的混合物再加上有机溶剂调制成糊状，并涂覆在铜基上，呈薄层状分布。

③ 隔板。隔板的功能是关闭或阻断通道，一般使用聚乙烯或聚丙烯材料的微多孔膜。关闭或阻断功能是电池出现异常温度上升时，关闭或阻断作为离子通道的细孔，使蓄电池停止充放电反应。隔板可以有效防止因外部短路等引起的过大电流使电池产生的异常发热现象。这种现象产生一次，电池就不能正常使用。

④ 电解液。电解液是以混合溶剂为主体的有机电解液。为了使主要电解质成分的钾盐溶解，必须具有高电容率，并且具有与锂离子相容性好的溶剂，以不阻碍离子移动的低黏度的有机溶液为宜，而且在锂离子电池的工作温度范围内，必须呈液态，凝固点低，沸点高。电解液对于活性物质具有化学稳定性，必须能良好适应充放电过程中发生的剧烈的氧化还原反应。又由于使用单一溶剂很难满足上述严酷条件，因此，电解液一般混合不同性质的几种溶剂使用。

⑤ 安全阀。为了保证锂离子电池的使用安全性，一般对外部电路加以控制或者在蓄电池内部设置异常电流切断的安全装置。即使这样，使用过程中也会有其他原因引起蓄电池内压异常上升，这时，安全阀释放气体，以防止蓄电池破裂。安全阀实际上是一次非修复式的破裂膜，用于保护蓄电池使其停止工作，是蓄电池的最后保护手段。

从表 2-2 可以看出，磷酸铁锂是目前最理想的正极材料。相比较而言，钴酸锂最大的问题是安全性差（150℃高温时易爆炸）、成本高（钴价约 50 万元/吨，含钴 60% 的钴酸锂超过 40 万元/吨）、循环寿命短；锰酸锂的安全性比钴酸锂好很多，但高温环境的循环寿命更差（500 次）。磷酸铁锂因为放电功率高、成本低（18 万~30 万元/吨）、可快速充电且循环寿命长（2 000 次以上），在高温高热环境下的稳定性高（300℃以上高温才有安全隐患），具有很好的安全性能，因而是目前最理想的汽车用锂离子电池正极材料。

表 2-2 不同正极材料锂离子电池的性能比较

正极材料	钴酸锂 (LiCoO_2)	锰酸锂 (LiMn_2O_4)	三元复合材料		磷酸铁锂 (LiFePO_4)
			$\text{Li}(\text{Ni}_{0.85}\text{Co}_{0.1}\text{Al}_{0.05})\text{O}_2$	$\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$	
正常电压/V	4.0	4.05	3.8	3.85	3.34
比容量/ $(\text{mA}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1})$	145	100	160	120	150
比能量/ $(\text{W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1})$	602	480	742	588	549
体积比能量/ $(\text{W}\cdot\text{h}\cdot\text{L}^{-1})$	3 073	2 065	3 784	2 912	1 976
循环寿命/次	>500	>500	>1 000	>1 000	>1 000
安全性	低	好	好	优	优
优点	工艺成熟	安全性好，过充性好，价格低	无过充和过放电限制，高温稳定性好		优良的循环性、安全性和稳定性，理论比容量高；成本低廉

续表

缺点	成本高, 存在安全隐患, 只适合小容量单体电池	充放电时容量衰减严重, 循环寿命低	充放电时结构欠稳定, 工艺条件苛刻	离子和电子传导率很低; Fe^{2+} 极易被氧化, 合成工艺困难; 高倍率充放电性能较差; 电化学性能差
----	-------------------------	-------------------	-------------------	--

(3) 锂离子电池的工作原理。如图 2-28 所示, 当电池充电时, 锂离子从正极中脱出, 通过电解质溶液和隔膜嵌入负极材料中。当电池放电时, 锂离子从负极中脱出, 通过电解质溶液和隔膜嵌入正极材料中。

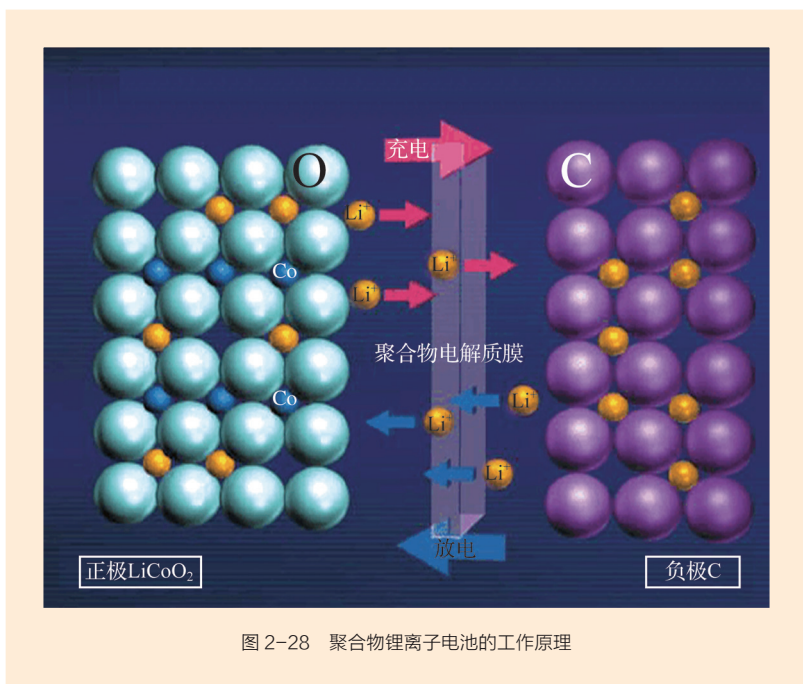


图 2-28 聚合物锂离子电池的工作原理

以 LiCoO_2 为正极材料, 石墨为负极材料的锂离子电池, 充电时电化学反应如下。

正极: $\text{LiCoO}_2 \rightarrow \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^-$

负极: $6\text{C} + x\text{Li}^+ + x\text{e}^- \rightarrow \text{Li}_x\text{C}_6$

电池总反应: $\text{LiCoO}_2 + 6\text{C} \rightarrow \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + \text{Li}_x\text{C}_6$

由于锂离子电池只涉及锂离子而不涉及金属锂的充放电过程, 从根本上解决了由于锂枝晶的产生带来的电池循环性、安全性的问题。

(4) 锂离子电池的特点。

锂离子电池的优点如下。

- ① 工作电压高。单体电池的工作电压高达 3.7~3.8 V, 是镍镉电池、镍氢电池的 3 倍左右。
- ② 比能量大。能达到的实际比能量为 555 $\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 左右, 即材料能达到 150 $\text{mA} \cdot \text{h/g}$ 以上的比容量 (3~4 倍于镍镉电池, 2~3 倍于镍氢电池), 已接近其理论值的约 88%。
- ③ 循环寿命长。一般均可达到 500 次以上, 甚至 1 000 次以上, 磷酸铁锂离子电池可以达到

2 000 次以上。

④ 安全性能好。无公害,无记忆效应,不含镉、铅、汞等对环境有污染的元素,是“绿色电池”。

⑤ 自放电小。室温下充满电的锂离子电池储存 1 个月后的自放电率为 2% 左右,大大低于镍镉电池的 25%~30% 和镍氢电池的 30%~35%。

⑥ 可快速充放电。锂离子电池充电 30 min,容量可以达到标称容量的 80% 以上,磷酸铁锂离子电池可以达到 10 min 充电到标称容量的 90%。

⑦ 工作温度范围高。工作温度为 $-25\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$,随着电解液和正极的改进,期望能扩宽到 $-40\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

锂离子电池也有一些不足,如成本高、导电率低、实际容量低、低温下放电性能差、必须有特殊的保护电路等。

虽然磷酸铁锂离子电池相对于钴酸锂、锰酸锂有更好的安全性,但锂离子电池的安全隐患仍未完全消除。锂离子电池使用易燃的有机溶剂作为电解液,在电池遭到破坏后,有机溶剂及其蒸气容易发生漏液、着火甚至爆炸,这是锂离子电池发生火灾或爆炸事故的主要原因之一。此外,锂离子电池的安全隐患还包括电极材料与电解液之间的热稳定性,即正常的充放电过程中,甚至在非正常的滥用条件下电池本身不被破坏的热稳定性能。

聚合物锂离子电池采用固体电解质,使安全性问题得到一定程度的解决。固体电解质可避免液态电解液的漏液现象,还可做成更薄(厚度仅为 0.1 mm)、能量密度更高、体积更小的高能电池。破坏性实验表明,固态锂离子电池的使用安全性能很高,经钉穿、加热($200\text{ }^{\circ}\text{C}$)、短路和过充(600%)等破坏性实验,除内温略有升高外($< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$),一切正常,安全隐患的降低使得聚合物锂离子电池成为未来锂离子电池研发的重点。

(5) 聚合物锂离子电池。聚合物锂离子电池除了电解质采用纯固态或凝胶型聚合物电解质外,正、负极材料,原理和充放电过程与液体锂离子电池基本一致。聚合物锂离子电池的特点包括塑型灵活,更稳定,更安全,不易燃烧,更长的循环寿命,更高的能量密度,体积利用率高(比普通锂离子电池高 10%~20%),不必使用传统的隔膜材料,更易于大规模工业化生产。

聚合物电解质是以聚合物为基体,由强极性聚合物和金属盐通过酸碱反应发生络合,形成的在固态下即具有离子导电性的功能高分子材料。纯固态电解质是将 LiPF_6 、 LiClO_4 、 LiBF_4 等锂盐溶解在作为固体溶剂的高分子聚合物本体(如 PEO 和 PPO)中。凝胶型电解质是通过将大量的液体溶剂与聚合物本体混合,形成凝胶状态的电解质。由于电解质中没有可流动的电解液,因此,不存在漏液问题,由此带来的燃烧、易爆等问题也随之避免。为降低电池厚度,聚合物锂离子电池通常采用厚度仅为 0.1 mm 的铝塑膜包装,因而又比普通锂离子电池具有更高的比容量。

在目前商品化的充电电池中,聚合物锂离子电池的比能量密度最高,理论上可以承担电动汽车更长的续航能力;可以实现电池的薄形化,从而可以降低电池的质量和体积,更加节约能源。从这些优点来讲,聚合物锂离子电池相比普通锂离子电池,在纯电动汽车上有更好的发展前景,是未来的发展方向之一。

3. 动力电池组管理系统

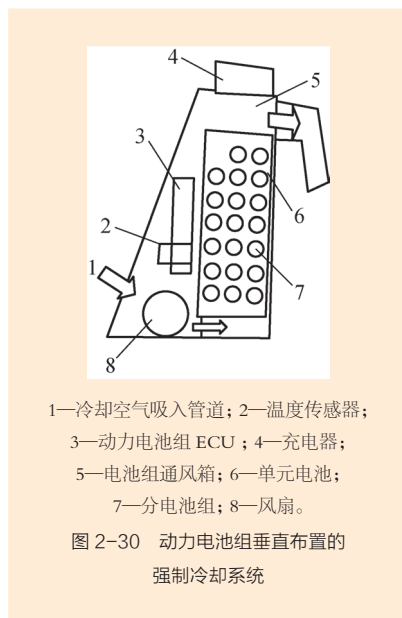
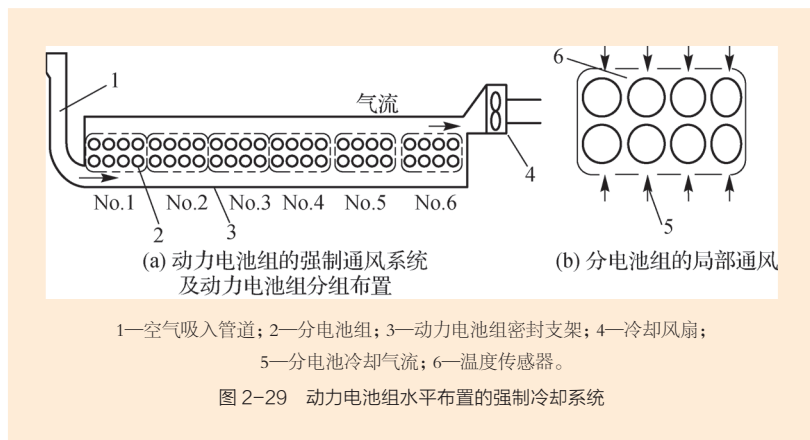
1) 动力电池组管理系统简介

混合动力汽车的动力电池组提供主要电源, 发动机、发电机组则向动力电池组通过转换器不断地补充电能。

根据混合动力汽车采用电池的类型和动力电池组的组合方法, 动力电池组管理系统主要包括热(温度)管理子系统、电池组管理子系统和线路管理子系统。

(1) 热管理子系统。混合动力汽车上使用的动力电池组在工作时都会有发热现象, 不同电池组的发热程度不同, 有的采用自然通风即可满足电池组的散热要求, 但有的则必须采取强制通风来进行冷却, 才能保证电池组正常工作并延长电池的寿命。另外, 在混合动力汽车上由于动力电池组的各个蓄电池或各个分电池组布置在车架的不同位置上, 各处的散热条件和周围环境都不同, 这些差别也会对蓄电池的充、放电性能和使用寿命造成影响。为了保证每个蓄电池都有良好的散热条件和环境, 应将混合动力汽车的动力电池组装在一个强制冷却系统中, 使各个蓄电池的温度和周边环境条件保持一致或相近。

根据动力电池组在混合动力汽车上的布置, 动力电池组的热管理子系统中首先应合理安排动力电池组的支架, 要求便于动力电池组或其分组的安装, 能够实现机械化装卸, 便于各种电线束的连接。在动力电池组支架的位置和形状确定后, 设计通风管道、风扇、动力电池组 ECU 和温度传感器等。混合动力汽车的热管理子系统有水平布置和垂直布置两种, 分别如图 2-29 和图 2-30 所示。



某些蓄电池工作时, 会产生较高的温度, 可以充分利用其产生的热量用于取暖和给挡风玻璃除霜等, 使热量得到管理与应用。

(2) 电池组管理子系统。电池组管理子系统的作用是对电池的组、安装、充电、放电、电池组中各个电池的不均衡性、电池的热管理和电池的维护等进行监控和管理, 使电池组能够提高工作效率, 保证正常运转并达到最佳状态, 避免发生电池的过充电和过放电, 有效延长电池的寿命, 以及动力电池组的安全管理和保洁等。电池组管理子系统主要包括以下方面。

① 电池的技术性能。不同类型和不同型号、不同使用程度的电池具有不同的性能,包括电池的容量、工作电压、终止电压、质量、外形尺寸和电池特性(包括记忆特性)等,因此,要对动力电池组建立技术档案。实际上即使是同一型号、同一批次的电池,制造原因、电解质的浓度差异和使用情况的不同,都会对动力电池组的性能带来影响。因此,在安装电池组之前,应对每个电池进行认真检测,将性能差异不大的电池组成动力电池组。

② 电池状态的管理。混合动力汽车的动力电池组由多个单节电池组成,其基本状态包括在充电和放电时双向作业时的电压、电流、温度、SOC 的比例等。在正常情况下,动力电池组的电压、电流、温度、SOC 的比例等应能够进行双向计量和显示。

③ 动力电池组的安全管理。动力电池组的总电压可达 90~400 V,高电压对体会造成伤害,应采取有效的隔离措施。一般是将动力电池组与车辆的乘坐区分离,将动力电池组布置在地板下面或车架的两侧。在正常情况车辆停止使用时,通常会自动切断电源,只有在混合动力汽车启动时才接通电源。当混合动力汽车发生碰撞或倾覆时,电池组管理子系统应能立即切断电源,防止高压电引起的人身事故和火灾,并防止电解液造成的伤害。

(3) 线路管理子系统。动力电池组需要 8~32 节 12 V 的单节电池串联起来(指铅酸电池)或更多单节电池(指其他电池)串联而成。为了能分别安装在混合动力汽车的不同位置,通常动力电池组上分为多个小的电池组分散进行布置,这样有利于电池组的机械化安装、拆卸和检修。

线路管理子系统管理电池与电池、电池组与电池组之间的线路。当动力电池组的总电压较低时,电流较大,导线的横截面积较大,安装不方便。在各个电池组之间还需安装连接导线将各个电池组串联起来,一般在电池组与电池组之间装有手动或自动断电器,以便在安装、拆卸和检修时切断电流。另外,在系统中还有各种传感器线路等。因此,在混合动力汽车上有尺寸很长的各种电线束,要求电线之间有可靠的绝缘,并能快速连接。

2) 动力电池组管理系统的功能

动力电池组管理系统要承担动力电池组的全面管理任务:一方面保证动力电池组的正常运作,显示动力电池组的动态响应并及时报警,使驾驶员随时掌握动力电池组的情况;另一方面,要对人身和车辆进行安全保护,避免电池引起的各种事故。

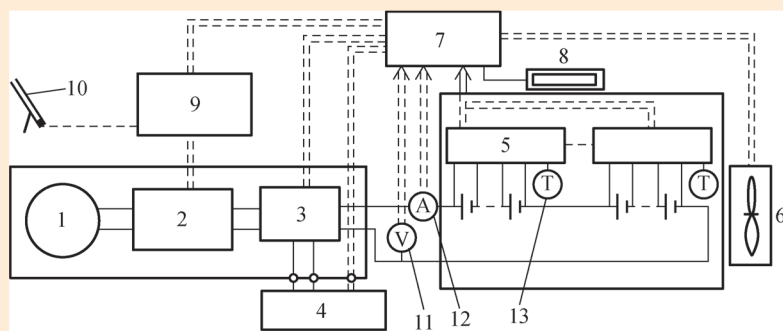
(1) 动力电池组管理系统的基本功能。动力电池组管理系统一般采用先进的微处理器进行控制,通过标准通信接口和控制模块对动力电池组进行管理,一般有以下几方面。

① 动力电池组管理。监视动力电池组的双向电压和电流、动力电池组的温升,并通过液晶显示或其他显示装置,动态显示总电压、电流、温度的变化,避免动力电池组过充电或过放电,使动力电池组不会受到人为损坏。

② 单节电池管理。对动力电池组中单节电池的管理,可以检测单节电池的荷电状态,对单节电池动态电压和温度的变化进行实时测量,以便及时发现单节电池存在的问题,并采取有效的预防措施。

③ 荷电状态的估计和故障诊断。动力电池组管理系统应具有对荷电状态的估计和故障诊断的功能,能够有效反映和显示荷电状态(SOC)。目前,对荷电状态的估计误差一般在 10% 左右。配备故障诊断专家系统,可以早期预报动力电池组的故障和隐患。

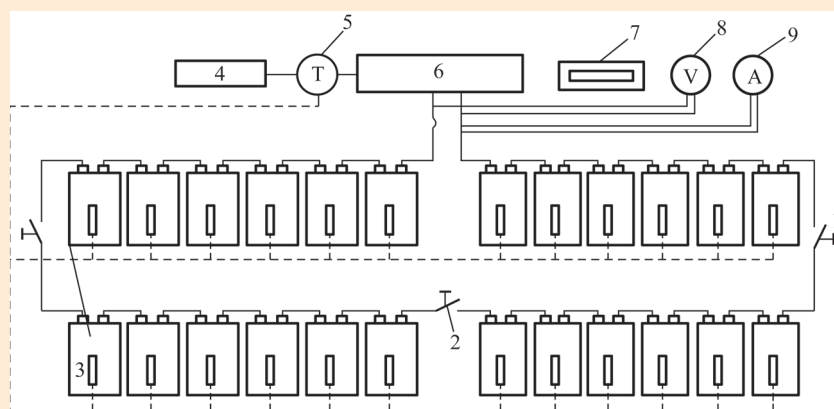
(2) 动力电池组管理系统的组成。动力电池组管理系统的基本组成如图 2-31 所示。



1—电动机；2—逆变器；3—继电器箱；4—充电器；5—动力电池组；6—冷却风扇；
7—动力电池组管理系统；8—荷电状态（SOC）显示器；9—车辆中央控制器；
10—驾驶员控制信号输入；11—电压表；12—电流表；13—温度表。

图 2-31 动力电池组管理系统的基本组成

带有温度测量装置的动力电池组管理系统的基本组成如图 2-32 所示。此系统是利用损坏的电池在充电过程中电池的温度高于正常电池温度的原理，用温度传感器测定和监控每一个电池在充电过程中的温度是否在允许范围内。如果发现某个电池的温度处于不正常状态，荷电状态（SOC）显示也不正常，即刻向动力电池组管理系统反馈某个电池在线的响应信息，并由故障诊断系统预报动力电池组的故障。



1—电池组；2—断路线；3—温度传感器；4—故障诊断器；5—温度表；6—动力电池组管理系统；
7—荷电状态（SOC）显示器；8—电压表；9—电流表。

图 2-32 带有温度测量装置的动力电池组管理系统的基本组成

学习单元五

混合动力汽车驱动电机

一、电动汽车对驱动电机性能的基本要求

汽车行驶时需要频繁起动、加速、减速、停车等,在低速行驶和爬坡时需要大转矩,在高速行驶时需要降低转矩和功率。为了满足汽车行驶动力性的需要,获得良好的经济性和环境指标等,对驱动电机的性能提出了十分严格的要求。

(1) 电压高。采用高电压可以减少电机和导线等装备的尺寸,降低逆变器的成本和提高能量转换效率等。

(2) 高转速。电机的功率 P 与其转矩 M 和转速 n 成正比,因此,在 M 一定的情况下,提高 n 则可以提高 P ;而在 P 一定的情况下,提高 n 则可降低电机的 M 。因此,采用高速电机是电动汽车发展的趋势之一。现代电动汽车的高速电机的转速可以达到 8 000~12 000 r/min。由于体积和质量都小,有利于降低整车的整备质量。

(3) 转矩密度、功率密度大,质量轻,体积小。转矩密度、功率密度大指最大转矩体积比和最大功率体积比。转矩密度、功率密度越大,电机驱动系统占用的空间越小。采用铝合金外壳等降低电机的质量,各种控制装置和冷却系统的材料等也应尽可能选用轻质材料。

(4) 具有较大的起动转矩和较大范围的调速性能,以满足起动、加速、行驶、减速、制动等所需的功率与转矩,减轻操纵强度,提高舒适性,能达到内燃机汽车同样的控制响应。

(5) 需要有 4~5 倍的过载,以满足短时加速行驶与最大爬坡度的要求。

(6) 具有较高的可控性、稳态精度、动态性能,以满足多台电机的协调运行。

(7) 机械效率高、损耗少。

(8) 可兼做发电机使用。在车辆减速时,可进行制动能量回收,将一部分能量转化为电能储存在储能装置内。

(9) 电气系统安全性和控制系统的安全性应达到有关的标准和规定。必须装备高压保护装置以保证安全。

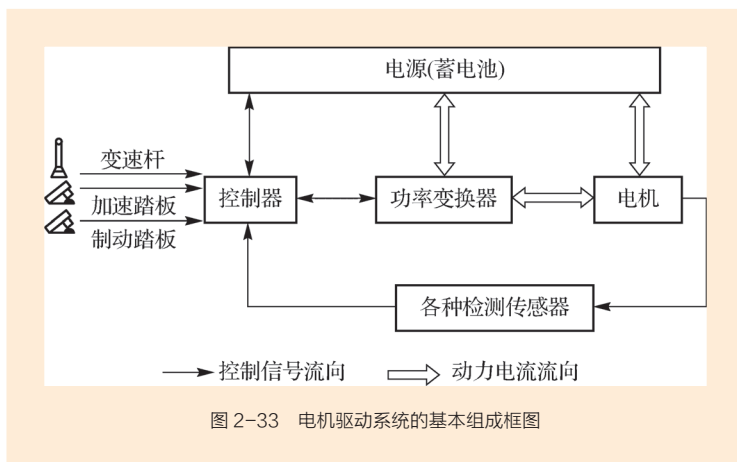
(10) 能够在恶劣条件下可靠工作。电机应具有较高的可靠性、耐低温和高温性、耐潮湿性,并且运行时噪声低,能够在恶劣的环境下长时间工作。

(11) 结构简单,适合大批量生产,使用维修方便,价格便宜等。

(12) 散热性好。

二、电动汽车电机驱动系统的组成

电机驱动系统的基本组成框图如图 2-33 所示。电机驱动系统是电动汽车的心脏,它由电机、功率变换器、控制器、各种检测传感器和电源(蓄电池)组成,其任务是在驾驶人的控制下,高效率地将蓄电池的电能转化为车轮的动能,或者将车轮的动能反馈到蓄电池。



功率变换器按所选电机类型，有 DC/DC 功率变换器、DC/AC 功率变换器等形式，其作用是按所选电机驱动电流的要求，将蓄电池的直流电转换为相应电压等级的直流、交流或脉冲电源。

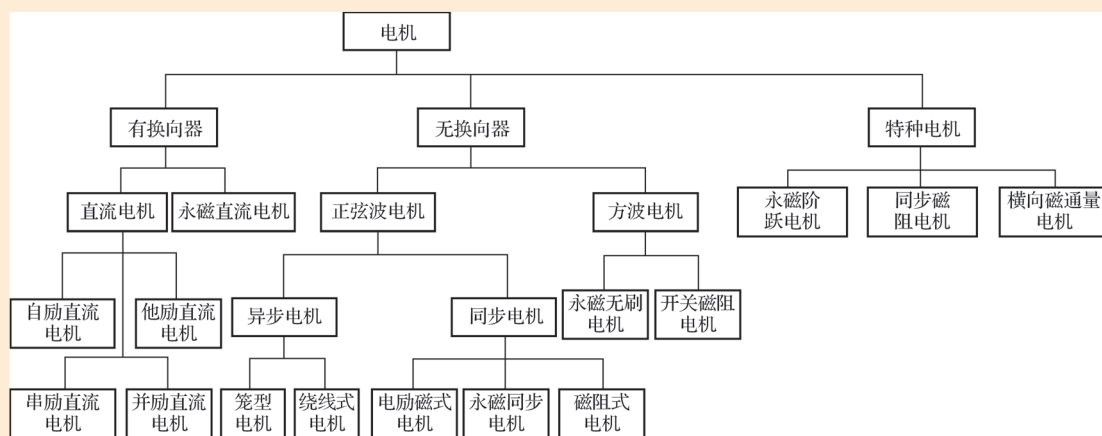
检测传感器主要对电压、电流、速度、转矩及温度等进行检测，其作用是改善电机的调速特性，对于永磁无刷电机或开关磁阻电机还要求有电机转角传感器。

控制器包括驾驶人操纵变速杆、加速踏板和制动踏板等，输入相应的前进、倒退、起步、加速、制动等信号，以及各种检测传感器反馈的信号，通过运算、逻辑判断、分析比较等适时向功率变换器发出相应的指令，使整个驱动系统有效运行。

三、混合动力汽车电机的类型

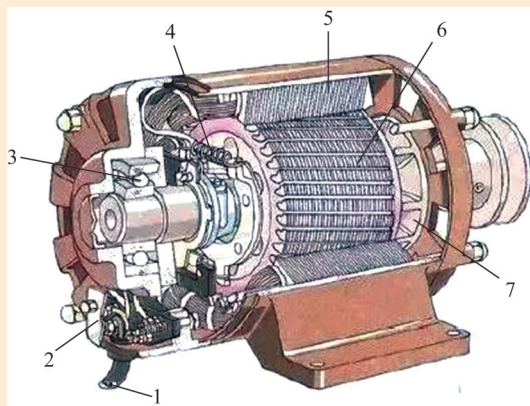
混合动力汽车(HEV)是利用发动机和电机共同驱动车轮行驶的。电机的种类很多，用途广泛，功率覆盖面非常大。但 HEV 所采用的电机种类较少，功率覆盖面也较小。

混合动力汽车在不同历史时期采用了不同的电机。最早采用了控制性能好和成本低的直流电机。随着电子技术、机械制造技术和自动控制技术的发展，交流电机、永磁电机和开关磁阻电机显示出比直流电机更加优越的性能，这些电机正在逐步取代直流电机。图 2-34 所示是当代电动汽车所采用的各种电机，表 2-3 所示为当代混合动力汽车所采用的各种电机的基本性能比较。



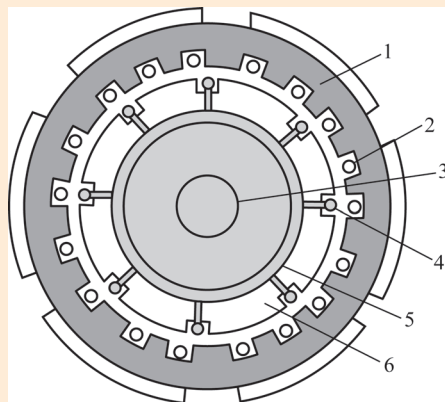
定子旋转磁场在空间旋转时不同步,则称为异步电机。三相异步电机有笼型异步电机和绕线式异步电机两种。绕线式异步电机成本高、需要维护、缺乏坚固性,因而没有笼型异步电机应用广泛,特别是在电动汽车的电力驱动系统中。

交流异步电机主要由定子和转子两大部分组成,定子和转子之间是气隙,如图 2-36 和图 2-37 所示。定子用来产生旋转磁场,它由机座、定子铁心、定子绕组、铁心外壳、支承转子轴的轴承等组成;转子由转子铁心、转子绕组和转子轴等组成。转子铁心和定子铁心由薄硅钢片叠加而成。笼型转子采用铜条减少线圈损失,定子铁心采用 C 级绝缘,可直接用低黏度油冷却,采用铸铝机座来减小电机总质量。



1—电源接线; 2—接线盒; 3—轴承; 4—离心开关;
5—定子; 6—转子; 7—冷却风扇。

图 2-36 交流异步电机的结构



1—定子铁心; 2—定子导体; 3—转子轴; 4—转子导体;
5—转子端环; 6—转子铁心。

图 2-37 交流异步电机的横断面

交流异步电机控制系统的主要作用是为电机提供变压、变频电源,同时其电压和频率能按照一定的控制策略进行调节,以使驱动系统具有良好的转矩-转速特性。

异步电机的基本调速方式有调压调速、变极调速和变频调速三种。

3. 交流永磁电机

1) 交流永磁电机的种类及特点

(1) 种类。交流永磁电机主要包括永磁同步电机和无刷直流电机两大类。两者最主要的区别在于永磁体励磁磁场在定子绕组中感应出的电动势波形:永磁同步电机感应出的电动势波形是正弦波,无刷直流电机则为梯形波。交流永磁电机采用稀土永磁体励磁,与感应电机相比不需要励磁电路,具有效率高、功率密度大等特点,在中小功率的驱动系统中有优势,目前在电动汽车中得到了一定的应用。

(2) 特点。

① 永磁同步电机。效率高、体积小、质量轻、控制精度高、转矩脉动小,但是控制器较复杂,因此其成本偏高。

② 无刷直流电机。无刷直流电机的外特性曲线类似于永磁直流电机,特性较硬(硬是指特性曲线的斜率很小,电机转速不易受外界条件影响),但是由于没有电刷和换向器,体积和质量可以减

小,同时提高了可靠性,所以可以在高速下运行,而且无刷直流电机的控制相对简单。但是受绕组电感的影响,无刷直流电机的电流不可能是理想的方波,在换向时会发生相电流的重叠,从而引起转矩产生一些波动。

2) 永磁同步电机的结构

永磁同步电机是用永磁体取代绕线式同步电机转子中的励磁绕组,从而省去了励磁绕组、集电环和电刷。永磁同步电机的转子分为凸装式、嵌入式和内埋式三种基本结构,前两种形式又称为外装结构。

凸装式转子永磁体的分类如图 2-38 所示。例如,图 2-38 (a) 具有圆套筒形整体磁钢,每极磁钢的宽度与极距相等,可提供接近梯形的磁场分布,在小直径转子的电机中可以采用这种径向异极的永磁环,但在大容量电机中必须利用若干个分离的永磁体。如果永磁体厚度一致,宽度又小于一个极距,则整个磁场分布接近梯形。

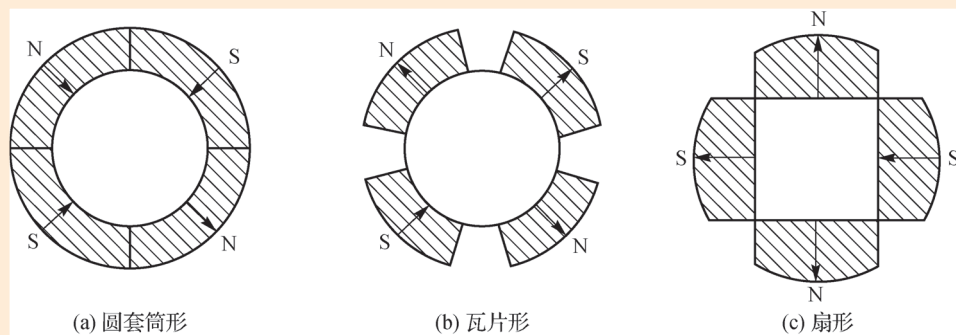


图 2-38 凸装式转子永磁体的分类

3) 无刷直流电机

(1) 无刷直流电机的结构。在直流电机的转子上装置永久磁铁,转子采用径向永久磁铁制成的磁极,将磁铁插入转子内部,或将瓦形磁铁固定在转子表面,所以电机的转子磁路是各向均匀的,转子上不再用励磁绕组、集电环和电刷等来为转子输入励磁电流,因此称为无刷直流电机,如图 2-39 所示。

(2) 无刷直流电机的性能。无刷直流电机的优点是效率高(比交流电机高 6%)、高速操作性能好、无电刷、结构简单牢固、免维护或少维护、尺寸小、质量小。输出转矩与转动惯量的比值大于相类似的三相异步电机。无刷直流电机在材料的电磁性能、磁极数量、磁场衰退等多方面的性能都优于其他种类的电机。其不足之处是如果输入的波形不好,会产生较大的脉动转矩和冲击力,影响电机的低速性能,从而造成电流损耗大、工作噪声大。

(3) 无刷直流电机的控制系统。无刷直流电机

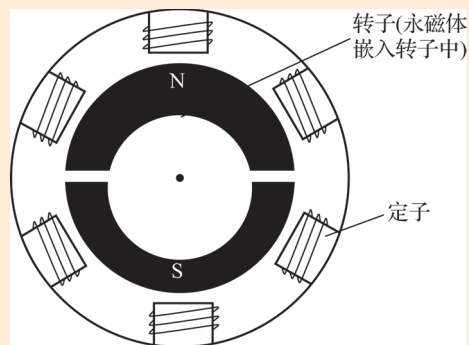


图 2-39 无刷直流电机的结构

具有很高的功率密度和较宽的调速范围。其控制系统较为复杂,有多种控制策略。

无刷直流电机的控制系统由直流电源、电容器、绝缘栅双极晶体管(IGBT)、无刷直流电机、电机转轴位置检测器、逻辑控制单元、 120° 导通型脉宽调制信号发生器驱动电路和其他一些电子器件组成。

4) 永磁磁阻同步电机

(1) 永磁磁阻同步电机的结构。永磁磁阻同步电机是将永久磁铁取代他励同步电机的转子励磁绕组,电机的定子与普通同步电机两层六极永磁磁阻同步电机的定子和转子一样,如图 2-40 所示。转子采用径向永久磁铁制成的多层永磁磁极,形成可同步旋转的磁极,这种电机称为永磁磁阻同步电机。永磁磁阻同步电机具有高效率(达 97%)和高比功率(远远超过 1 kW/kg)的优点。输出转矩与转动惯量的比值都大于相类似的三相异步电机。在高速转动时有良好的可靠性,平稳工作时电流损耗小。永磁磁阻同步电机在材料的电磁性能、磁极数量、磁场衰退等多方面的性能都优于其他种类的电机,工作噪声也低。

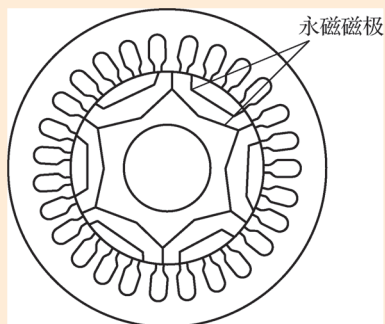


图 2-40 两层六极永磁磁阻同步电机的定子和转子

(2) 永磁磁阻同步电机的控制系统。永磁磁阻同步电机采用带有矢量变换电路的逆变器系统来控制。

(3) 永磁磁阻同步电机的机械特性。由于永磁磁阻同步电机在牵引控制中采用矢量控制方法,在额定转速以下恒转矩运转时,就使定子电流相位领先一个 θ 角,一方面可以增加电机的转矩,另一方面由于 θ 角领先产生的弱磁作用,使电机额定转速点增高,增大了电机在恒转矩运转时的调速范围。如 θ 角继续增加,电机将运行在恒功率状态。永磁磁阻同步电机能够实现反馈制动。

学习单元六

混合动力汽车控制系统

在混合动力汽车上普遍地采用以计算机为核心的现代计算机技术和自动控制技术,各种智能控制系统,包括自适应控制系统、模糊控制系统、专家控制系统、神经网络控制系统等也逐渐应用到混合动力汽车上,使混合动力汽车更加安全、节能、环保和舒适。

一、混合动力汽车控制系统的功能

(1) 使混合动力汽车的动力性能能够达到或接近内燃机汽车的水平,逐步实现混合动力汽车的实用化。

(2) 最大限度地发挥电机驱动的辅助作用,使混合动力汽车的燃油消耗量尽量降低,实现发动机的节能化(混合动力汽车油耗约为 3 L/100 km)。

(3) 在环保方面,达到“超低污染”的环保标准。

(4) 在混合动力汽车上实现多能源动力控制。混合动力汽车关键的控制技术,是对内燃机驱动

系统和对电机驱动系统实现双重控制。发动机与电机的动力系统应进行最有效的组合并实现最佳匹配,发动机和驱动系统、电机和驱动系统都能具有高效率。能够回收再生制动能量,延长混合动力汽车的行驶里程,改进混合动力汽车的节能性。

(5) 在操纵装置和操纵方法上沿用内燃机汽车主要的操纵装置和操纵方法,适应驾驶人的操作习惯,使操作简单化和规范化。在整车控制系统中,采用全自动、机电一体化控制系统,达到安全、可靠、节能、环保和灵活的目的。

混合动力汽车一般是内燃机汽车的替代和延伸,继承了很大一部分内燃机汽车的传动系统,保留了人们已经习惯的内燃机汽车的操纵装置,包括加速踏板(控制发动机的节气门和电机)、制动踏板(控制制动反馈和机械式 ABS 制动)、离合器、变速器的操纵装置等。由这些操纵装置发出控制信号,通过以计算机 CPU 为核心的中央控制器和各种控制模块,向内燃机的驱动系统或电机驱动系统发出单独驱动指令或混合驱动指令,来获得不同的驱动模式,按照驾驶人的意图,实现混合动力汽车的起动、行驶、加速、爬坡、减速和制动时的驱动模式转换的控制。

二、混合动力汽车控制系统的基本组成

混合动力汽车控制系统的基本组成如下。

- (1) 控制系统,由操纵装置、中央控制器和各种控制模块共同组成。
- (2) 发动机和驱动系统,发动机和发动机驱动系统的控制系统。
- (3) 电机和电机驱动系统,电机和电机驱动系统的控制系统。
- (4) 信号反馈及检测装置,包括各电量检测装置(电压表、电流表等)、显示装置和自诊断系统等。

三、混合动力汽车的控制策略

混合动力汽车控制策略设计的主要目标是开发近似优化且实际可行的动力管理策略,确定转矩分配方案和换挡方案,使油耗降到最低,同时应满足下列约束。

- (1) 满足驾驶人的动力要求。
- (2) 保持电池的充电状态。
- (3) 满足一定的驾驶性要求。

混合动力汽车控制策略有多种,以下讲述比较简单的基于规则的稳态能量管理策略。

基于规则的稳态能量管理策略的主要依据是工程经验,根据部件的稳态效率 MAP 图确定如何进行发动机和电机之间的动力分配。将混合动力汽车控制分成了 3 种模式,即正常行驶模式、充电模式及制动能量回馈模式,同时将发动机的效率 MAP 图划分为纯电动、发动机驱动和电机功率辅助 3 个区域,如图 2-41 所示。

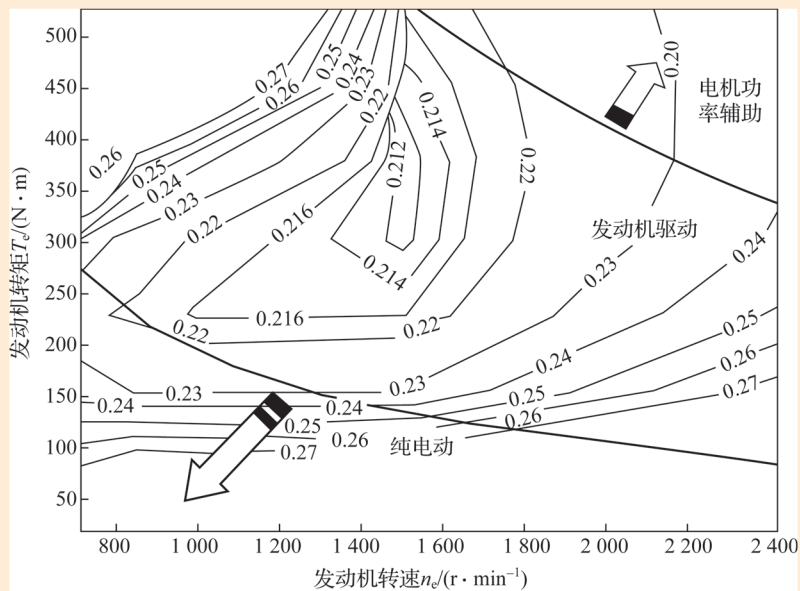


图 2-41 发动机效率 MAP 图

在不同模式下，根据发动机的稳态效率 MAP 图决定发动机和电机的动力分配方式。

(1) 正常行驶模式。在发动机效率 MAP 图上分别用发动机工作最小功率曲线和电机助力最小功率曲线将发动机效率 MAP 图划分成纯电动区域、发动机驱动区域和电机辅助功率区域。如果需求的驱动功率小于发动机工作的最小功率，则由电机提供全部的驱动功率；如果需求的驱动功率超过该限值，则由发动机取代电机驱动车辆前进；如果需求的驱动功率大于电机助力最小功率，则由电机提供额外的驱动功率。在正常行驶模式下，发动机总是工作在发动机工作最小功率和电机助力最小功率之间效率最高的区域。

(2) 充电模式。对电池能量的管理采用了充电维持策略，即始终保持电池的荷电状态 (SOC) 值位于最高效率区的上下限值之间 (设定为 55% ~ 60%)。当 SOC 值小于 55% 时，应切换至充电模式 (当且仅当 SOC 值大于 60% 时充电过程完成)，并计算电池的充电功率，该功率同时也作为电机的目标功率。发动机的目标功率为需求的驱动功率与充电功率之和。充电模式中存在一个特例：当发动机的目标功率小于发动机工作最小功率时，为避免发动机在效率极低的区域内工作，仍然依靠电机提供驱动力。

(3) 制动能量回馈模式。驾驶人踩下制动踏板，表明驾驶人对负驱动功率的需求，应进入制动能量回馈模式，吸收混合动力汽车制动时的能量。同时，当制动能量超过可回馈的制动能量时，液压制动系统将提供剩余的制动能量。

基于规则的稳态能量管理策略主要依靠工程经验和试验，限定发动机的工作区域和工作方式，达到降低燃油消耗和排放的目的，方法比较简单直观，因此更具有实用价值，在实际混合动力汽车的能量管理系统中得到了广泛的应用。

思考与练习

1. 简述混合动力汽车的优点。
2. 简述串联式混合动力汽车的基本结构和工作过程。
3. 简述并联式混合动力汽车的基本结构和工作过程。
4. 简述混联式混合动力汽车的基本结构和工作过程。
5. 简述交流永磁电机的种类及特点。
6. 简述混合动力汽车控制系统的功能。

模块三

纯电动汽车及其他新能源汽车

学习目标

- ◎了解纯电动汽车的类型。
- ◎了解纯电动汽车的基本结构和原理。
- ◎了解电动汽车电力驱动装置的基本结构与形式。
- ◎了解电动汽车的电磁兼容性和高压电安全。
- ◎了解燃料电池的分类和工作原理。
- ◎了解其他新能源汽车的基本结构和工作原理。
- ◎了解电动汽车的充电装置和充电模式。

任务目标

- ◎掌握纯电动汽车的结构和驱动控制原理。
- ◎掌握纯电动汽车充电技能和充电安全操作规程。

学习单元一

纯电动汽车的分类及基本结构

一、纯电动汽车的分类

纯电动汽车可分为两种类型,即用纯蓄电池作为动力源的纯电动汽车和装有辅助动力源的纯电动汽车。

1. 用纯蓄电池作为动力源的纯电动汽车

用纯蓄电池作为动力源的纯电动汽车的电力和动力传输系统如图 3-1 所示。

2. 装有辅助动力源的纯电动汽车

用纯蓄电池作为动力源的纯电动汽车,蓄电池的比能量和比功率较低,蓄电池组的质量和体积较大。因此,在某些纯电动汽车上增加辅助动力源,如超级电容、发电机组、太阳能电池等,由此

改善纯电动汽车的起动性能，增加续驶里程。装有辅助动力源的纯电动汽车的电力和动力传输系统如图 3-2 所示。

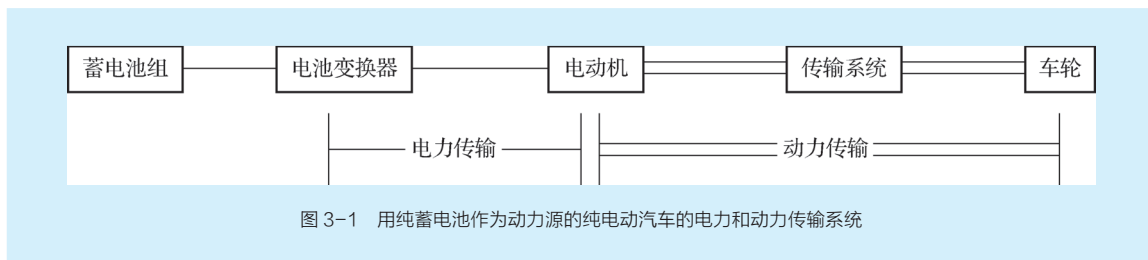


图 3-1 用纯蓄电池作为动力源的纯电动汽车的电力和动力传输系统

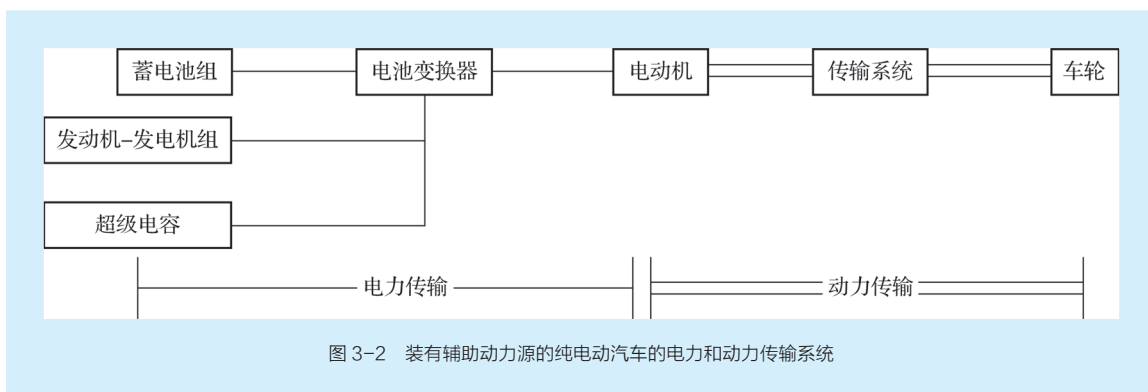


图 3-2 装有辅助动力源的纯电动汽车的电力和动力传输系统

二、纯电动汽车的基本结构

纯电动汽车主要由电源系统、电力驱动系统和辅助系统（包括汽车底盘、车身及各种辅助装置）等组成。电力驱动系统和电源系统是纯电动汽车的核心，决定了整个纯电动汽车的结构及其性能特征，也是区别于内燃机汽车的最大不同点。图 3-3 所示为纯电动汽车的基本组成，图 3-4 所示为典型纯电动汽车的结构图。

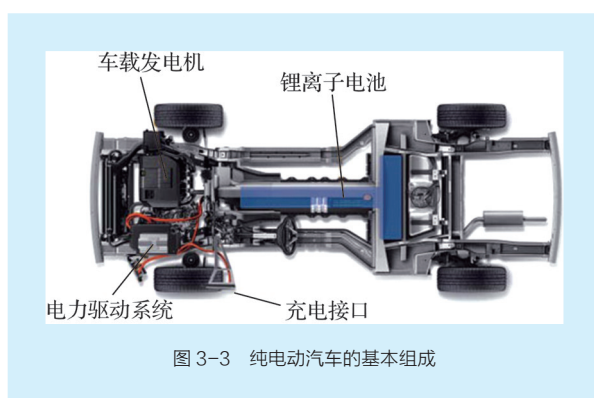


图 3-3 纯电动汽车的基本组成

1. 电源系统

电源系统包括电源、能量管理系统和充电机等。它的功能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。

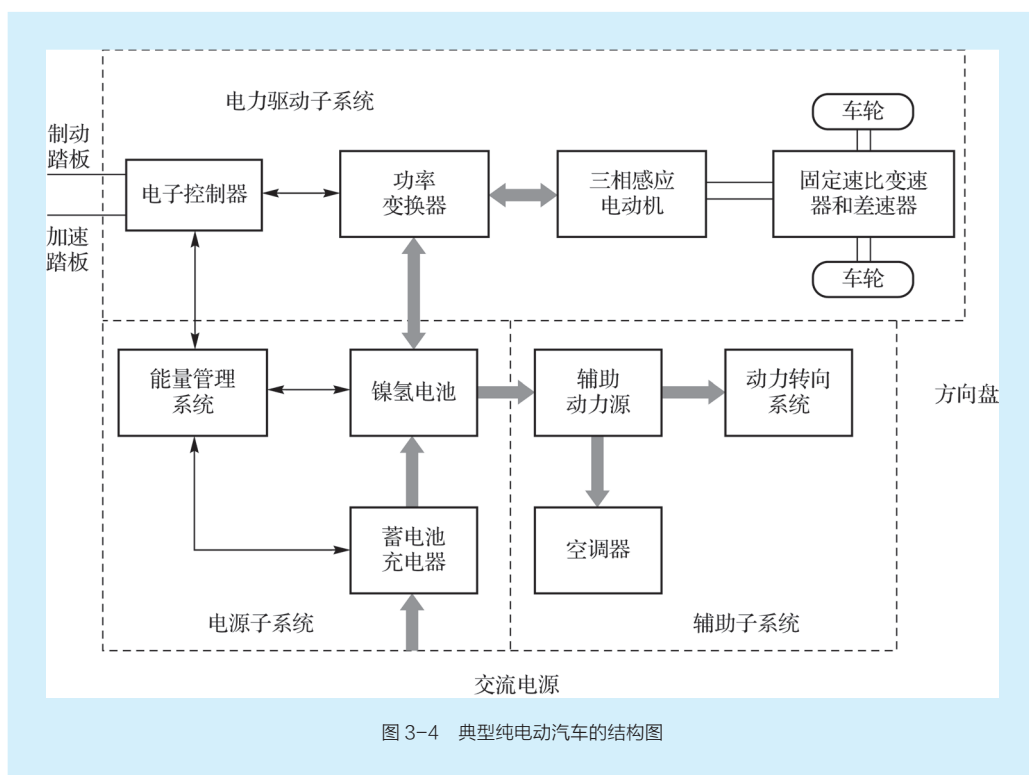


图 3-4 典型纯电动汽车的结构图

1) 电源

电源为纯电动汽车的驱动电机提供电能，电机将电源的电能转化为机械能，通过传动装置或直接驱动车轮和工作装置。纯电动汽车的常用电源有铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池等。车用电池的性能对比如图 3-5 所示。

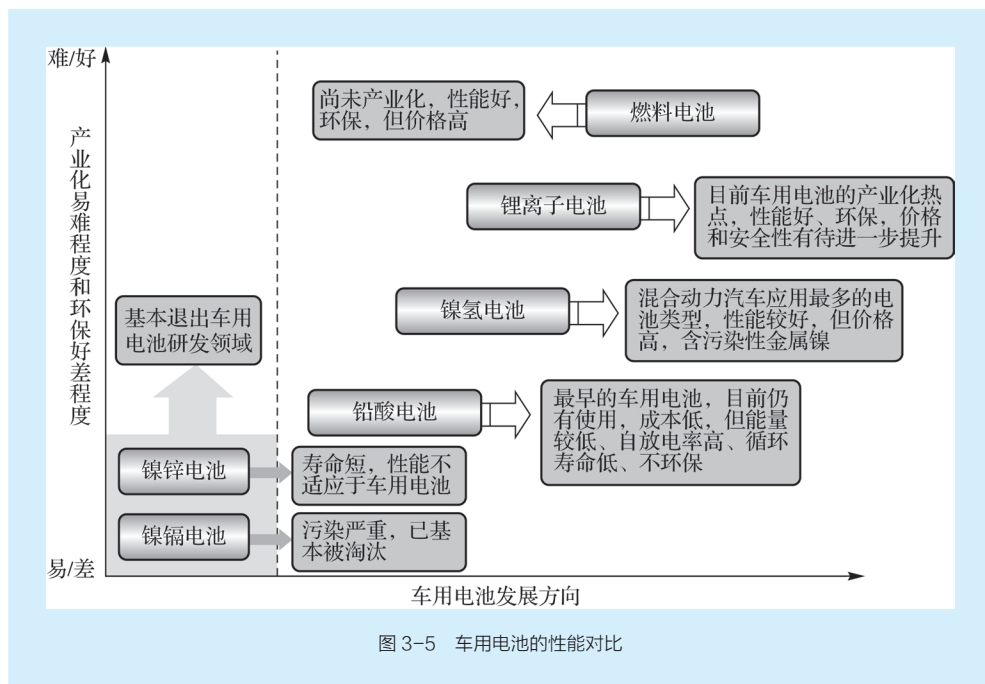


图 3-5 车用电池的性能对比

比亚迪生产的纯电动汽车和混合动力汽车采用的是磷酸铁锂电池，它是锂离子电池的一种，如

果以衡量电池性能的能量密度来看,磷酸锂铁电池并不是最优秀的。不过,与传统锂离子电池相比,其制作来源更广泛,生产成本更低。另外,充电速度快、放电效率高、寿命长和稳定性极高为磷酸锂铁电池在车辆上的应用提供了便利。实车上的电池如图 3-6 所示。

2) 能源管理系统

能源管理系统是对电动汽车系统能量转换装置的工作能量进行协调、分配和控制的软硬件系统。

能源管理系统与电力驱动主模块的中央控制单元配合,一起控制发电回馈,在纯电动汽车降速制动和下坡滑行时进行能量回收,从而有效利用能源,提高电动汽车的续程能力。能源管理系统还与充电控制器一同控制充电。

为提高蓄电池的稳定性和延长使用寿命,需要实时监控电源的使用情况,对蓄电池的温度、电解液浓度、蓄电池内阻、电池端电压、当前电池剩余电量、放电时间、放电电流或放电深度等蓄电池状态参数进行检测,并按蓄电池对环境温度的要求进行温度控制,通过限流控制避免蓄电池过充、放电,对有关参数进行显示和报警。其信号流向辅助系统的驾驶室显示操纵台,以便驾驶员随时掌握并配合其操作,按需要及时对蓄电池充电并进行维护保养。

3) 充电控制器

充电控制器把供电电网的交流电转换为相应电压的直流电,对蓄电池充电并按要求控制其充电电流。

2. 电力驱动系统

如图 3-7 所示,电力驱动系统主要由中央控制单元、驱动控制器、电机和机械传动装置等组成。为适应驾驶员的传统操纵习惯,纯电动汽车仍保留了加速踏板、制动踏板及有关操纵手柄或按钮等。电力驱动系统的功能是将存储在蓄电池中的电能高效地转化为车轮的动能,并能够在汽车减速制动时,将车轮的动能转化为电能充入蓄电池。

1) 中央控制单元

中央控制单元不仅是电力驱动主模块的控制中心,也要对整辆电动汽车的控制起到协调作用。它根据加速踏板与制动踏板的输入信号,向驱动控制器发出相应的控制指令,对电机进行起动、加速、减速、制动控制。在电动汽车减速和下坡滑行时,中央控制单元配合车载电源模块的能源管理系统进行发电回馈,使蓄电池反向充电。

为减少纯电动汽车各个控制部分间的硬件连线,提高可靠性,现代汽车控制系统已较多地采用了微机多 CPU 总线控制方式,如图 3-8 所示。



图 3-6 实车上的电池



图 3-7 电力驱动系统

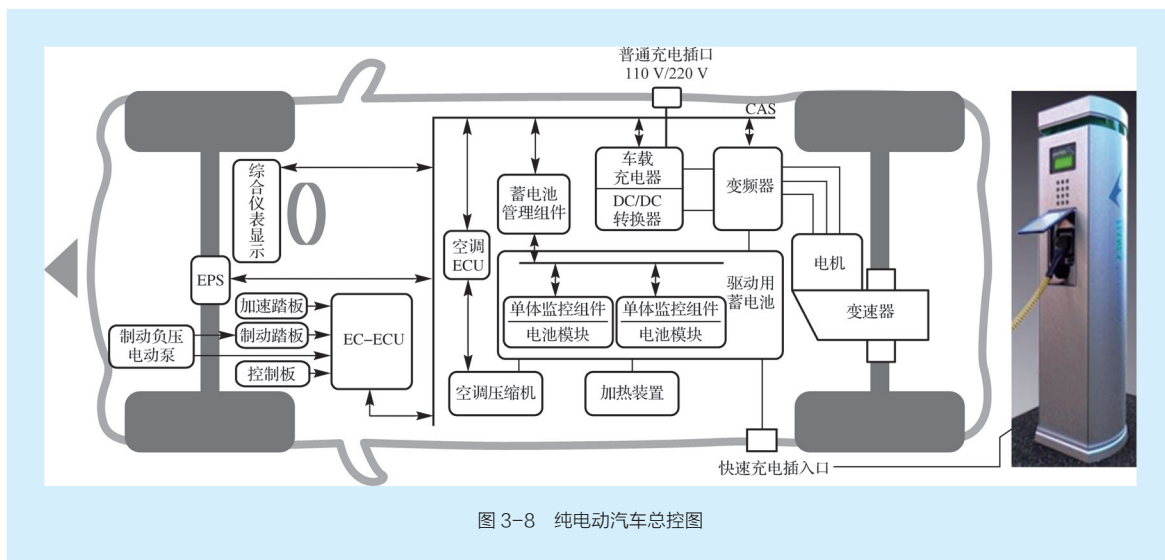


图 3-8 纯电动汽车总控图

2) 驱动控制器

驱动控制器的功能是按中央控制单元的指令和电机的转速、电流反馈信号，对电机的转速、驱动转矩和旋转方向进行控制。

驱动控制器与电机必须配套使用，对电机的调速主要采用调压、调频等方式，这主要取决于所选用驱动电机的类型。

由于蓄电池以直流电方式供电，所以对直流电机主要是通过DC/DC转换器进行调压调速控制；对于交流电机，需通过DC/AC转换器进行调频调压矢量控制；对于磁阻电机，通过控制其脉冲频率进行调速。

当汽车倒车时，需通过驱动控制器使电机反转来驱动车轮反向行驶。

当电动汽车处于减速和下坡滑行时，驱动控制器使电机运行于发电状态，电机利用其惯性发电，将电能通过驱动控制器回馈给蓄电池，所以驱动控制器与蓄电池电源的电能流向是双向的。

3) 电机

电机在电动汽车中承担着电动机和发电机的双重功能，即在正常行驶时发挥其主要的电动机功能，将电能转化为机械能；在减速和下坡滑行时进行发电，将车轮的惯性动能转换为电能。

电机与驱动控制器所组成的驱动系统是电动汽车中最为关键的部件，电动汽车的运行性能主要取决于驱动系统的类型和性能，它直接影响着汽车的各项性能指标，如汽车在各工况下的行驶速度、加速与爬坡性能及能源转换效率。

4) 机械传动装置

机械传动装置的作用是将电机的驱动转矩传输给汽车的驱动轴，从而带动汽车车轮运转。由于电机本身就具有较好的调速特性，其变速机构可被大大简化，较多的是为放大电机的输出转矩仅采用一种固定的减速装置。又因为电机可带负载直接起动，所以省去了传统内燃机汽车的离合器。由于电机可以容易地实现正反向旋转，所以也无须通过变速器中的倒挡齿轮组来实现倒车。

3. 辅助系统

辅助系统包括辅助动力源、动力转向单元、驾驶室显示操纵台和辅助装置等。各个装置的功能

与传统汽车上的基本相同,其结构原理按电动汽车的特点有所区别。

1) 辅助动力源

辅助动力源是供给电动汽车其他各种辅助装置所需的动力电源,一般为 12 V 或 24 V 的直流低压电源,它主要给动力转向、制动力调节控制、照明、空调、电动车窗等各种辅助装置提供所需的能源。

2) 动力转向单元

动力转向单元是为实现汽车的转向而设置的,由方向盘、转向器、转向机构和转向轮等组成。作用在方向盘上的控制力,通过转向器和转向机构使转向轮偏转一定角度,实现汽车的转向。

为提高驾驶员的操控性,现代汽车都采用了动力转向,较理想的是采用电子控制动力转向系统(EPS),有电控液力转向系统和电控电动转向系统两类。纯电动汽车较适于选用电控电动转向系统。

3) 驾驶室显示操纵台

它类似于传统汽车驾驶室的仪表盘,其功能根据电动汽车驱动的控制特点有所增减,其信息指示更多地选用数字或液晶屏幕显示。它与电力驱动模块中的中央控制单元结合,用计算机进行控制。目前,已研发的纯电动汽车专用的数字化电控系统,是以 CAN 总线、嵌入式技术为核心的数字化整车电控系统。

4) 辅助装置

纯电动汽车的辅助装置主要有照明装置、各种声光信号装置、车载音响设备、空调、刮水器、风窗除霜清洗器、电动车窗、电控玻璃升降器、电控后视镜调节器、电动座椅调节器、车身安全防护装置控制器等。它们主要是为提高汽车的操控性、舒适性、安全性而设置的,有些是必要的,有些是可选的。与传统汽车一样,大都有成熟的专用配件供应。选用时应考虑到纯电动汽车能源不富裕的特点,特别是空调所消耗的能量比较大,应尽可能从节能方面考虑。另外,有些装置可用液压或电动两种方式来控制,一般选用电动控制的较为方便。

三、纯电动汽车的基本驱动结构

由于纯电动汽车是单纯用蓄电池作为驱动能源的汽车,采用合理的驱动结构布局来充分发挥电机驱动的优势是尤其重要的。纯电动汽车的驱动结构布局主要有四种基本典型结构:传统的驱动方式、电机-驱动桥组合式驱动方式、电机-驱动桥整体式驱动方式和轮毂电机驱动方式。

1. 传统的驱动方式

如图 3-9(a)所示,与传统汽车驱动系统的布置方式一致,带有变速器和离合器。只是将发动机换成电机,属于改造型电动汽车。

这种布置可以提高电动汽车的起动转矩,增加低速时电动汽车的后备功率。但其结构复杂,效率低,没能充分发挥电机驱动的优势。

2. 电机-驱动桥组合式驱动方式

如图 3-9(b)所示,在电机端盖的输出轴处加装减速齿轮和差速器等,电机、减速器、驱动桥的轴互相平行,一起组合成一个驱动整体。它通过固定速比的减速器放大电机的输出转矩,但没有可选的变速挡位,也就省掉了离合器。这种机械传动机构紧凑,传动效率较高,便于安装,但对电

机的调速性能要求较高。

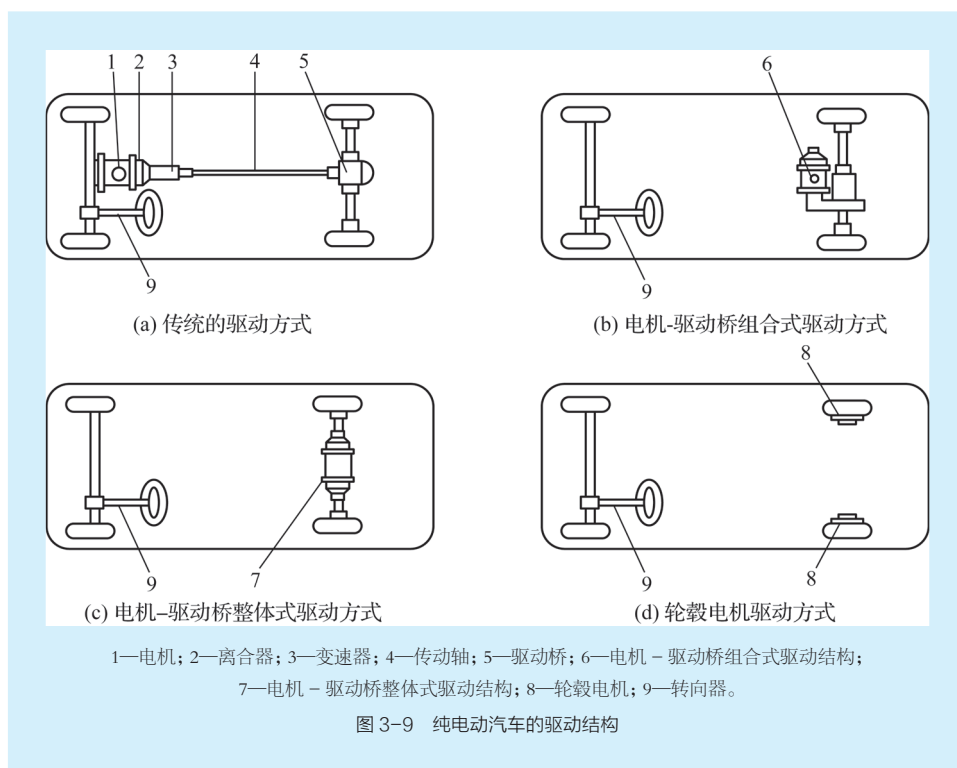
按传统汽车的驱动模式来说,可以有电机前置、驱动桥前置(FF)或电机后置、驱动桥后置(RR)两种方式。这种驱动系统具有良好的通用性和互换性,便于在现有的汽车底盘上安装,使用、维修也较方便。

3. 电机-驱动桥整体式驱动方式

如图 3-9(c) 所示,整体式驱动系统有同轴式和双联式两种。

(1) 同轴式驱动系统的电机轴是一种特殊制造的空心轴,在电机左端输出轴处的装置有减速齿轮和差速器,再由差速器带动左右半轴,左半轴直接带动,而右半轴通过电机的空心轴来带动。

(2) 双联式驱动系统由左、右两台永磁电机直接通过半轴带动车轮,两台电机由中间的电控差速器控制。汽车转弯时,前一种采用机械式差速器,后一种由电控式差速器实现。该电机-驱动桥构成的机电一体化整体式驱动系统,结构更紧凑,传动效率高,质量轻,体积小,并具有良好的通用性和互换性。



4. 轮毂电机驱动方式

轮毂电机(图 3-10)使用时可分为减速驱动和直接驱动两种驱动方式。

(1) 采用减速驱动方式,电动汽车电机一般在高速下运行,选用高速内转子式电机。减速机构放置在电机和车轮之间,起到减速和增加转矩的作用。减速驱动时,电机运行在高速下,具有较高的效率,转矩大,爬坡性能好,能保证汽车在低速运行时获得较大的平稳转矩。但难以实现液态润滑,齿轮磨损严重,使用寿命短,不易散热,噪声大。减速驱动方式适合于丘陵或山区使用,以及要求过载能力大和城区客车等需要频繁启动/停车等场合。

(2) 采用直接驱动方式,多采用外转子式电机。为了使汽车能顺利起步,要求电机在低速时能提供大的转矩。直接驱动时,不需要减速机构,整个驱动结构更加简单、紧凑,轴向尺寸也较小,而且效率也进一步提高,响应速度较快。但起步、爬坡及承载较大载荷时需要大电流,易损坏电池,电机效率峰值区域小。直接驱动方式适合平路或负荷较小的场合。

轮毂电机直接装在汽车车轮里,可以缩短甚至可以去掉电机与车轮之间的机械传递装置。其具有以下优点。

(1) 省略大量传动部件,车辆结构简单。省去离合器、变速器、传动轴、差速器乃至分动器等部件,减轻质量,结构简单,可以获得更高的空间利用率,传动效率提高。

(2) 可实现多种复杂的驱动方式。由于轮毂电机具备单个车轮独立驱动的特性,因此,可以轻松实现双前轮驱动、双后轮驱动和前后四轮驱动(4 wheel drive, 4WD)几种模式。

(3) 便于采用多种新能源车技术。无论是纯电动还是燃料电池电动汽车,或是增程电动汽车,都可以用轮毂电机作为主要驱动力;即便是对于混合动力车型,也可以采用轮毂电机作为起步或者急加速时的助力,可谓一机多用。

轮毂电机也具有操控性能稍差、电制动性能有限等缺点,而且对密封散热方面有较高的要求。但无论如何,轮毂电机技术具备很大的优势,是未来电动汽车驱动的发展方向。



图 3-10 轮毂电机

四、电磁兼容性

电磁兼容性(EMC)是指设备或系统在其电磁环境中能正常工作,而且不对该环境中其他任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。实际上,电磁兼容性包括两个重要内容:能够抵御环境中的电磁干扰;不对环境造成不能承受的电磁骚扰。

电动汽车中由于应用了高压大功率变换装置和驱动电机,会产生严重的电磁干扰噪声。同时在汽车狭小的环境中增加了更多的高压与低压控制线束,干扰会通过线间耦合或辐射对低压控制系统造成影响。因此,电动汽车的电磁兼容性问题比传统燃油汽车更为复杂和严重,分析电动汽车的电磁环境和电磁兼容性成为评价电动汽车设计的重要方面。

五、高压安全

电动汽车动力系统的一个重要特点是具有高电压、大电流的动力回路。为了适应电机驱动工作的特性要求并提高效率,高压电气系统的工作电压可以达到 300 V 以上,而且电力传输线路的阻抗很小,高压电气系统的正常工作电流可能达到数十甚至数百安,瞬时短路放电电流更是成倍增加。高电压和大电流会危及乘客的人身安全,同时会影响低压电器和车辆控制器的正常工作。因此,在设计和规划高压电气系统时,不仅应充分满足整车动力驱动要求,还必须确保车辆运行安全、驾乘人员安全和车辆运行环境安全。

根据电动汽车的实际结构和电路特性,设计安全合理的保护措施是确保驾乘人员和车辆设备安

全运行的关键。为了保证高压电安全,必须针对高压电防护进行特别的系统规划与设计。国际标准化组织(ISO)和美国、欧洲、日本等先后发布了若干电动汽车的技术标准,对电动汽车的高压电安全及控制制定了较为严格的标准和要求,并规定高压系统必须具备高压电自动切断装置。其中与电动汽车安全有关的电气特性有绝缘特性、漏电流、充电器的过流特性和爬电距离及电气间隙等。

电动汽车的运行情况非常复杂,在运行过程中难免会出现部件间的相互碰撞、摩擦、挤压,这有可能使原本绝缘良好的导线绝缘层出现破损,接线端子与周围金属出现搭接。高压电缆绝缘介质老化或受潮湿环境影响等因素都会导致高压电路和车辆底盘之间的绝缘性能下降,电源正负极引线将通过绝缘层和底盘构成漏电流回路。当高压电路和底盘之间发生多点绝缘性能下降时,还会导致漏电回路的热积累效应,可能造成车辆的电气火灾。因此,高压电气系统相对车辆底盘电气绝缘性能的实时检测是电动汽车电气安全技术的核心内容。

电动汽车电气安全监测系统需要实时监测整车电气状态信息,如总电压、总电流、正负母线对地电压、正负母线绝缘电阻、辅助电压、继电器连接状况等,并通过 CAN 总线输出测得各部分的状态及数值、输出系统的报警状态和通断指令,从而确保电动汽车的安全运行。

学习单元二

燃料电池电动汽车

一、燃料电池的工作原理和分类

燃料电池种类繁多,如氢燃料电池、甲醇燃料电池、生物燃料电池等,其主要原理是将燃料及氧化剂中的化学能转换成电能,供电机驱动车辆。

1839 年,威廉·格罗夫(William Grove)发明了燃料电池。燃料电池由于具有能量转换效率高、对环境污染小等优点,受到世界各国的普遍关注。

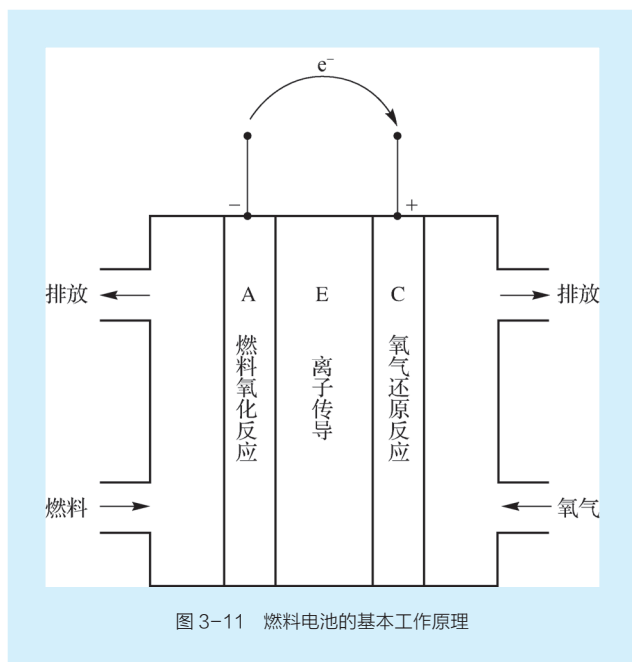


图 3-11 燃料电池的基本工作原理

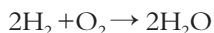
1. 燃料电池的工作原理

燃料电池实质上是电化学反应发生器,其反应机理是将燃料中的化学能不经燃烧而直接转化为电能。氢燃料电池的工作实际上就是一个电解水的逆过程,通过氢氧的化学反应生成水并释放电能,氢气和氧气分别是反应过程中的燃料和氧化剂。

如图 3-11 所示,燃料电池通常由三部分组成,即阳极(A)、阴极(C)和电解质(E)。阳极(燃料电极)为燃料和电解液提供一个接触面,在催化剂作用下发生氧化反应并输出电子到外电路。阴极(氧气电极)为氧气和电解质提供一个接触面,在催化剂作用下发生还原反应并从外电路接受电子。在阳极

和阴极之间，电解质用于传递燃料反应的离子，并和氧气电极反应，而且还用于传递电子。

氢气具有比任何燃料都高的比能量，是燃料电池理想的无污染燃料，而且燃料电池的反应生成物为纯净的水，其反应方程式为



氢气不是初级燃料，通常需要从初级燃料，如碳氢化合物（ $\text{CH}_4 \sim \text{C}_{10}\text{H}_{22}$ ）、甲醇和煤等，通过处理提取得到。

2. 燃料电池的分类

由于燃料电池是一个多变量（如燃料类型、电解质类型、燃料供给方式和工作温度等）系统，所以燃料电池具有多种分类方法。

1) 按工作温度分

燃料电池按这种方式可以分为高、中及低温型三类。工作温度低于 100 °C 的为低温型，工作温度在 100~300 °C 的为中温型，工作温度高于 500 °C 的为高温型。

2) 按燃料类型分

燃料有氢气、甲醇、甲烷、乙烷、甲苯、丁烯、丁烷等有机燃料，以及汽油、柴油和天然气等气体燃料，有机燃料和气体燃料必须经过重整器“重整”为氢气后，才能成为燃料电池的燃料。

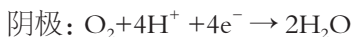
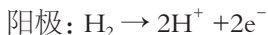
3) 按燃料电池电解质类型分

燃料电池按这种方式一般分为碱性燃料电池、磷酸燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池、固体氧化物燃料电池、质子交换膜燃料电池等。

3. 质子交换膜燃料电池的结构与原理

近期电动汽车用燃料电池的开发重点集中在质子交换膜燃料电池上。

质子交换膜燃料电池的结构原理如图 3-12 所示。电池单体主要由膜电极（正极和负极、质子交换膜）和集流板组成。电池的具体反应步骤为：经增湿后的 H_2 和 O_2 ，分别进入阳极室和阴极室，经电极扩散层扩散到达催化层和质子交换膜的界面，分别在催化剂作用下发生氧化和还原反应，电化学反应方程式如下。



阳极反应生成的质子（ H^+ ）通过质子交换膜传到阴极，阳极反应产生的电子通过外电路到达阴极。生成的水以水蒸气或冷凝水的形式随过剩的阴极反应气体从阴极室排出。

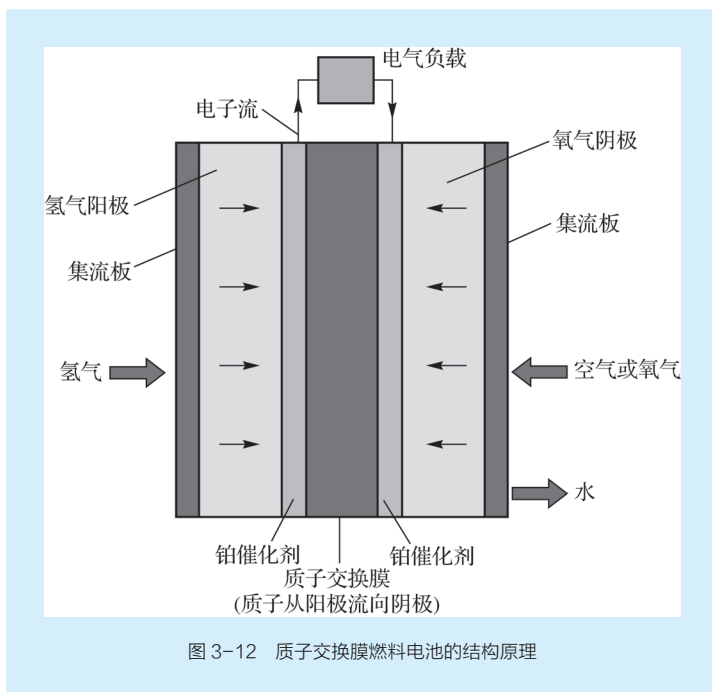


图 3-12 质子交换膜燃料电池的结构原理