

职业教育高职新能源汽车运用与维修专业规划教材

# 混合动力汽车 结构与检修

全国交通运输职业教育教学指导委员会 组织编写

朱学军 主 编

张宏坤 主 审



电子课件下载

[www.ccpres.com.cn](http://www.ccpres.com.cn)



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

全国交通运输职业教育高职新能源汽车运用与维修专业规划教材

Hunhe Dongli Qiche Jiegou yu Jianxiu  
**混合动力汽车结构与检修**

全国交通运输职业教育教学指导委员会 组织编写  
朱学军 主 编  
张宏坤 主 审



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

## 内 容 提 要

本书为全国交通运输职业教育高职新能源汽车运用与维修专业规划教材。全书分为六个模块,主要内容有:混合动力汽车概述、混合动力汽车发动机和驱动电机系统、混合动力汽车变速装置和动力控制系统、混合动力汽车电子电力辅助系统、混合动力汽车储能装置与管理系统、混合动力汽车车载网络系统。

本书可作为高职高专院校新能源汽车运用与维修专业的教学用书,也可作为新能源汽车技术人员的培训教材,以及新能源汽车专业师资培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

混合动力汽车结构与检修 / 全国交通运输职业教育  
教学指导委员会组织编写;朱学军主编. —北京:人  
民交通出版社股份有限公司,2018.3

ISBN 978-7-114-14487-5

I. ①混… II. ①全… ②朱… III. ①混合动力汽车  
—结构②混合动力汽车—车辆修理 IV. ①U469.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 013161 号

书 名: 混合动力汽车结构与检修

著 作 者: 朱学军

责任编辑: 张一梅

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11.25

字 数: 245 千

版 次: 2018年3月 第1版

印 次: 2018年3月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14487-5

定 价: 26.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

## 全国交通运输职业教育高职新能源汽车运用与维修 专业规划教材编审委员会

- 陈文华(浙江交通职业技术学院)  
张京伟(中国汽车维修行业协会)  
王凯明(中国汽车维修行业协会)  
魏俊强(北京祥龙博瑞汽车服务集团)  
官海兵(江西交通职业技术学院)  
钱锦武(云南交通职业技术学院)  
张利(北京交通运输职业学院)  
缙庆伟(北京交通运输职业学院)  
李丕毅(上海交通职业技术学院)  
仇鑫(上海交通职业技术学院)  
侯涛(云南交通职业技术学院)  
朱学军(河南交通职业技术学院)  
张俊停(河南交通职业技术学院)  
夏令伟(上海中锐教育投资有限公司)  
朱军(中国汽车维修行业协会)  
周志国(浙江交通职业技术学院)  
李丽娜(天津交通职业学院)  
蔺宏良(陕西交通职业技术学院)  
张宏坤(山东交通职业学院)  
许建忠(北京汇智慧众汽车技术研究院)  
李斌(人民交通出版社股份有限公司)  
翁志新(人民交通出版社股份有限公司)

# 前 言

为落实国务院印发的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》精神,适应我国新能源汽车快速发展的形势,满足新能源汽车技术人才需求,全国交通运输职业教育教学指导委员会组织来自交通职业技术学院的专业教师,按照《新能源汽车运用与维修专业教学标准》的要求,紧密结合目前新能源汽车运用与维修专业教学需求,编写了全国交通运输职业教育高职新能源汽车运用与维修专业规划教材。

在本系列教材启动之初,全国交通运输职业教育教学指导委员会组织召开了新能源汽车运用与维修专业教材编写大纲审定会,邀请行业内专家对该专业的课程体系和教材编写大纲进行了审定。教材初稿完成后,每种教材由一名企业专家或专业教师进行主审,编写团队根据主审意见修改后定稿,实现了对书稿编写全过程的严格把关。

本系列教材在编写过程中,认真总结了全国交通职业院校的专业建设经验,注意吸收发达国家先进的职业教育理念,具有以下特色:

1. 与专业教学标准紧密衔接,较多地体现了新技术、新工艺、新方法,满足新能源汽车运用与维修专业高技能人才培养的需要。
2. 尽量以多数高职院校配置的新能源车型为载体进行讲解,具有较广的适用性。
3. 采用模块式编写体例,围绕学习目标,聚焦知识和技能培养,体现行动导向的教学观,使培养过程实现“理实一体”。
4. 所有教材配有电子课件,部分教材的知识点,以二维码链接动画或视频资源,易教易学。

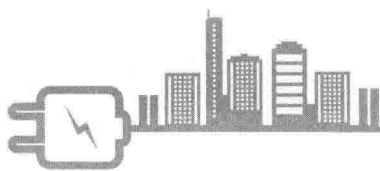
《混合动力汽车结构与检修》是本系列教材之一。参加本教材编写工作的

有:河南交通职业技术学院朱学军(编写模块一);河南交通职业技术学院张俊停、秦龙(编写模块二);河南交通职业技术学院梅丽歌(编写模块三);河南交通职业技术学院张新文(编写模块四);河南交通职业技术学院张磊(编写模块五);河南交通职业技术学院崔源(编写模块六)。全书由朱学军担任主编,张俊停担任副主编,山东交通职业学院张宏坤担任主审。

限于编者水平,书中难免有疏漏和错误之处,恳请广大读者提出宝贵建议,以便进一步修改和完善。

全国交通运输职业教育教学指导委员会

2017年11月



# 目 录

<b>模块一</b>	<b>混合动力汽车概述</b> .....	1
	一、混合动力汽车的定义与特点 .....	1
	二、混合动力汽车的分类 .....	2
	技能实训 .....	6
	模块小结 .....	7
	思考与练习 .....	7
<b>模块二</b>	<b>混合动力汽车发动机和驱动电机系统</b> .....	9
	一、混合动力汽车发动机系统 .....	9
	二、混合动力汽车驱动电机系统 .....	15
	三、混合动力汽车发动机和驱动电机系统检修 .....	22
	技能实训 .....	28
	模块小结 .....	38
	思考与练习 .....	39
<b>模块三</b>	<b>混合动力汽车变速装置和动力控制系统</b> .....	41
	一、混合动力汽车变速装置概述 .....	41
	二、混合动力变速装置的组成 .....	43
	三、混合动力汽车动力控制系统 .....	53
	四、混合动力汽车变速装置和动力控制系统检修 .....	77
	技能实训 .....	81

模块小结 .....	85
思考与练习 .....	86

## **模块四 混合动力汽车电子电力辅助系统** ..... 88

一、混合动力汽车动力转向系统 .....	88
二、混合动力汽车制动系统 .....	98
三、混合动力汽车空调系统 .....	107
技能实训 .....	121
模块小结 .....	126
思考与练习 .....	127

## **模块五 混合动力汽车储能装置与管理系统** ..... 129

一、混合动力汽车储能装置的定义与分类 .....	129
二、混合动力汽车动力电池 .....	132
三、混合动力汽车电池管理系统 .....	137
四、混合动力汽车电池系统故障诊断和维修 .....	140
技能实训 .....	143
模块小结 .....	151
思考与练习 .....	151

## **模块六 混合动力汽车车载网络系统** ..... 153

一、混合动力汽车车载网络系统概述 .....	153
二、混合动力汽车车载网络总线系统的检修 .....	158
技能实训 .....	163
模块小结 .....	167
思考与练习 .....	167

## **参考文献** ..... 169





# 模块一

# 混合动力汽车概述



## 学习目标

1. 能够描述混合动力汽车的定义;
2. 能够描述混合动力汽车的特点;
3. 能够区分混合动力汽车的类型;
4. 能够规范地使用安全防护套件;
5. 能够使用混合动力汽车的各项功能。



建议课时:4 课时。

## 一、混合动力汽车的定义与特点

### (一) 混合动力汽车的定义

混合动力汽车是指拥有两种以上动力源,使用其中一种或多种动力源提供驱动力的车辆,也叫复合动力汽车。

目前所说的混合动力汽车,一般是指油电混合动力汽车(Hybrid Electric Vehicle, HEV),即采用传统的燃油机(柴油机或汽油机)和电动机作为动力源,也有的发动机经过改造使用其他替代燃料,例如压缩天然气、丙烷和乙醇燃料等。

### (二) 混合动力汽车的特点

当前使用的普通内燃机汽车存在一些弊端,统计表明,在 80% 以上的道路条件下,一辆普通内燃机车仅利用了动力潜能的 40%,在城市道路上甚至会下降至 25%,更为严重的是排放废气污染环境。自 20 世纪 90 年代以来,世界各国对改善环境的呼声日益高涨,各种各样的新能源汽车脱颖而出。虽然人们普遍认为未来电动汽车是主流趋势,但是目前电池技术、充电技术等技术难题尚未完全突破,远未达到推广使用的要求,因此短期内电动汽车还无法取代内燃机汽车。

现实情况迫使工程师们想出了一个折中的办法,开发研制出了混合动力汽车,将电动机

与传统的内燃机组合在一辆汽车上作为动力源,将传统内燃机功率尽量做小,让一部分动力由电动机系统承担。这样,混合动力汽车既发挥了传统内燃机持续工作时间长、动力性好的优点,又可以发挥电动机无污染、低噪声的好处,二者取长补短,汽车发动机的热效率可提高10%以上,废气污染物排放可减少30%以上。

### 1. 混合动力汽车的优点

(1)采用小功率内燃机,油耗低、污染少,具有普通内燃机汽车的优点。

采用混合动力后,可按平均需用的功率来确定内燃机的最大功率,使内燃机在最优工况下工作,故油耗低、污染少。当车辆负荷大、内燃机功率不足,由电动机系统来补充;当车辆负荷小时,内燃机富余的功率可发电给动力电池充电,储存起来。由于内燃机可持续工作,电池又可以不断得到充电,故其续航里程和普通汽车一样。

(2)可以方便地回收制动、下坡、怠速等工况的多余能量。

混合动力汽车装备了动力电池系统,可以十分方便地回收制动、下坡、怠速等工况的多余能量,把它们转变为电能并储存起来。

(3)可以电动机单独驱动,实现零排放、低噪声。

在一些特殊工况,可关停内燃机,由电动机单独驱动。

(4)可以方便地解决纯电动汽车的一些难题。

混合动力汽车的内燃机系统可以十分方便地解决纯电动汽车遇到的空调、取暖、除霜等设备消耗能量较大的问题。

(5)可以使用现有的加油站加油,不必再另行投资。

(6)可以使动力电池保持在良好的工作状态,不发生 overcharge、overdischarge,延长其使用寿命,降低成本。

### 2. 混合动力汽车的缺点

(1)有两套以上动力系统及控制管理系统,匹配技术较难。

(2)车辆结构复杂,价格较高。

在目前的技术水平和应用条件下,混合动力汽车是最具有产业化和市场化前景的新能源车型。

## 二、混合动力汽车的分类

### (一)按驱动动力分类

根据混合动力驱动的连接方式,一般把混合动力汽车分为三类:串联式混合动力汽车(又被称为“增程式”电动汽车)、并联式混合动力汽车、混联式混合动力汽车。

#### 1. 串联式

串联式混合动力汽车主要由发动机、发电机、驱动电机三大动力总成用串联方式组成动力系统,如图1-1所示。

当汽车处于起动、加速、爬坡等大负荷工况时,发动机—发电机组和动力电池共同向电动机提供电能,电动机作为唯一动力源驱动车辆行驶。当汽车处于低速、滑行、怠速等小负

荷工况时,由动力电池向电动机提供电能进而驱动车辆行驶,此时发动机—发电机组则向动力电池充电,储存能量。

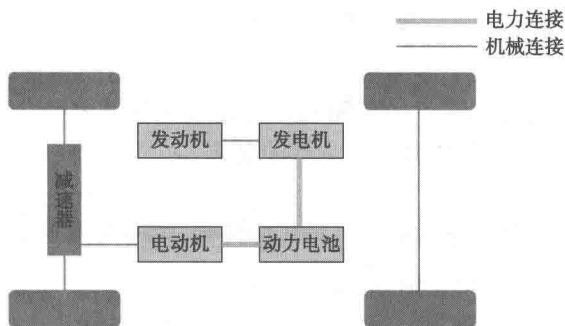


图 1-1 串联式混合动力汽车结构示意图

串联式混合动力汽车的驱动力只来源于电动机,故被认为是电动汽车的一类。发动机带动发电机发电,增加了汽车的续航里程,所以发动机—发电机组就是汽车的增程器。因此,串联式混合动力汽车又称为“增程式”电动汽车。

串联式混合动力汽车特点:

- (1) 汽车动力源的混合是车载电能源的混合。
- (2) 只有电动机一种动力驱动装置。
- (3) 结构简单,布置方便。
- (4) 控制策略简单。
- (5) 能量转换效率低。

串联式混合动力汽车驱动系统间的混合是车载电能源环节的混合。

## 2. 并联式

并联式混合动力汽车的发动机和发电机都是动力总成,两大动力总成的功率可以互相叠加输出,也可以单独输出。实际上就是在普通内燃机汽车的基础上加装一套电能驱动系统(即电动机和动力电池),如图 1-2 所示。

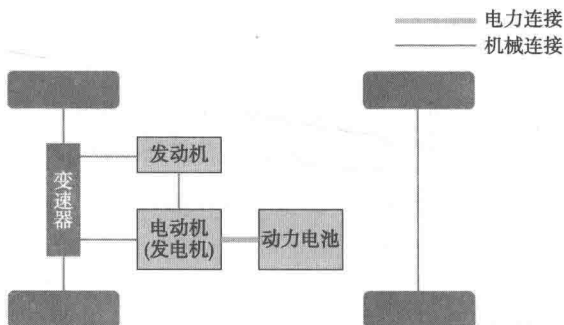


图 1-2 并联式混合动力汽车结构示意图

并联式混合动力汽车发动机和电动机都能单独驱动汽车,也可以同时工作,共同驱动汽车。当动力电池电量不足时,发动机还能带动电动机旋转,此时电动机变身为发电机,对动力电池充电。

并联式混合动力汽车的特点:

- (1) 汽车动力源的混合是机械动力的混合。
- (2) 具有两个或两个以上动力驱动装置。
- (3) 每个动力系统都有独立的车载能源。
- (4) 能量转换效率高。

并联混合动力驱动系之间的联合是车辆动力传递系统环节的联合,通过对不同的动力驱动装置输出的动能的联合或耦合,满足车辆行驶要求。

### 3. 混联式

混联式混合动力汽车综合了串联式和并联式的结构,主要由发动机、发电机和电动机三大动力总成组成,如图 1-3 所示。

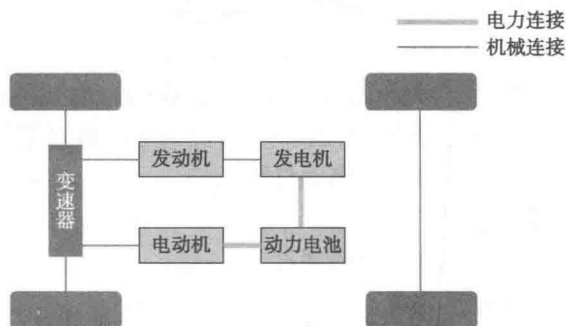


图 1-3 混联式混合动力汽车结构示意图

混联式混合动力汽车在发动机和电动机协同驱动车辆行驶的同时,发动机还能带动发电机为动力电池充电,不再像并联结构中单一电动机需要身兼两职,并且理论上它能够实现发动机带动发电机发电,电动机驱动车辆的模式。因此,混联结构的驱动模式有:纯电模式、纯油模式、混合模式、充电模式四种。

混联式混合动力汽车结构特点:

- (1) 汽车动力源的混合是车载电能源和机械动力的双重混合。
- (2) 工况适应性强,工作平稳。
- (3) 结构紧凑,技术难度大。

为优化驱动系统的综合效率和充分发挥车辆的节能、低排放潜力,在实际应用中,混联式混合动力汽车驱动系统并非是简单的串联式结构或并联式结构,而是由串联式结构和并联式结构复合组成的串并联综合式结构。

## (二) 按混合程度分类

在混合动力系统中,根据电动机的输出功率在整个系统输出功率中所占比重,可以分为以下四类:微度油电混合动力、轻度油电混合动力、中度油电混合动力、重度油电混合动力(也称全油电混合动力,强油电混合动力)。

### 1. 微度油电混合动力汽车

电动机的峰值功率和发动机的额定功率比小于或等于 5% 的,为微度油电混合动力汽车。微度油电混合动力汽车的动力系统对传统发动机的起动机进行了改造,形成由皮带传

动的发电起动一体式电动机(Belt-driven Starter/Generator,BSG)。该电动机用来控制发动机快速起停,取消了发动机的怠速过程,降低了油耗和尾气污染物排放。微度油电混合动力系统搭载的电动机功率比较小,仅靠电动机无法使车辆起步,起步过程仍需要发动机介入,是一种初级的混合动力系统。在微度油电混合动力系统里,电动机的电压通常有两种:12V和42V。在城市循环工况下节油率一般为5%~10%。

### 2. 轻度油电混合动力汽车

电动机的峰值功率和发动机的额定功率比在5%~15%的,为轻度油电混合动力汽车。

轻度油电混合动力汽车的动力系统采用了集成式起动电动机(ISG)。与微度油电混合动力系统相比,轻度油电混合动力系统除了能够实现用电动机控制发动机的起停外,还能够汽车制动和下坡工况下,实现对部分能量进行回收。在行驶过程中,发动机的动力可以在车轮的驱动需求和发电机发电需求之间进行调节。在城市循环工况下节油率一般为10%~15%。

### 3. 中度油电混合动力汽车

电动机的峰值功率和发动机的额定功率比在15%~40%的,为中度油电混合动力汽车。

中度油电混合动力汽车的混合动力系统同样采用了集成式起动电动机(ISG)系统。与轻度油电混合动力系统不同之处在于,中度油电混合动力系统采用的是高压电动机,在汽车加速或者大负荷工况时,电动机能够辅助发动机驱动车辆,补充发动机本身动力输出的不足,提高整车性能。这种系统在城市循环工况下,节油率可以达到20%~30%。

### 4. 重度油电混合动力

电动机的峰值功率和发动机的额定功率比在40%以上的,为重度油电混合动力汽车。

重度油电混合动力汽车的动力系统以发动机为基础动力,电动机为辅助动力。采用了272~650V的高压电动机,电动机的功率更为强大,完全可以满足车辆在起步和低速时的动力要求。因此,在起步和低速行驶状态下都不需要起动发动机,依靠电动机可以完全胜任,在低速时就像一辆纯电动汽车。在急加速和爬坡运行工况下车辆需要较大的驱动力时,电动机和发动机同时为车辆提供动力。随着电动机、动力电池技术的进步,重度油电混合动力系统逐渐成为混合动力技术的主要发展方向。在城市循环工况下节油率可以达到30%~50%。

## (三)按能否外充电分类

按能否外充电进行充电,混合动力汽车可以分为油电混合动力汽车(Hybrid Electric Vehicle,HEV)和插电式油电混合动力汽车(Plug-in Hybrid Electric Vehicle,PHEV)两种。

### 1. 油电混合动力汽车

无外充电功能,动力电池的容量较小,且充电完全依靠发动机带动发电机来完成,也就是内充。纯电动模式行驶距离很短,无法长时间使用。

### 2. 插电式油电混合动力汽车

有外充电功能,简单说就是介于电动车与燃油车两者之间的一种车,既有传统汽车的发动机、变速器、传动系统、油路、油箱,也有电动车的电池、电动机、控制电路。而且电池容量比较大,有充电接口,如图1-4所示,因此节油率可达70%。

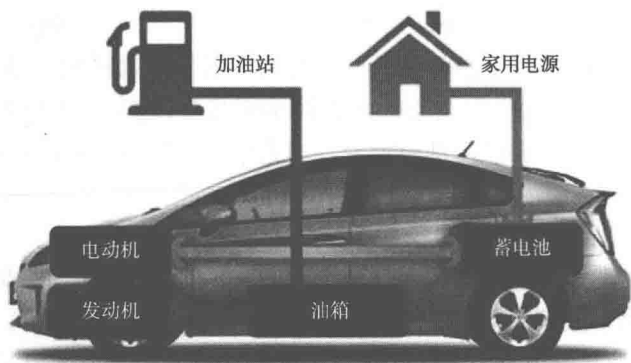


图 1-4 插电式混合动力汽车示意图

与油电混合动力汽车相比,插电式油电混合动力汽车动力电池容量更大,可以支持的行驶里程更长。如果拥有较好的充电条件,插电式油电混合动力汽车不用加油就可满足日常出行需求,作为纯电动车使用,具有纯电动汽车的优点。与纯电动汽车相比,插电式油电混合动力汽车电池容量要小很多,但是带有传统燃油汽车的发动机、变速器、传动系统、油路、油箱。在无法充电的时候,只要有足够的燃油就可以继续行驶,行驶里程不受充电条件的制约,又具有燃油汽车的优势。

## 技能实训

### 1. 准备工作

- (1) 场地设施:具有尾气抽排系统和消防设施的场地。
- (2) 设备设施:丰田卡罗拉混合动力汽车、车轮挡块、防护套件。

### 2. 实训过程

- (1) 安装车内及车外车辆防护套件。
- (2) 安装尾气抽排管。
- (3) 安装车轮挡块。
- (4) 打开驾驶人侧车门,确认驻车制动器位置。
- (5) 将点火开关打到 ON 位置,观察并记录仪表盘各警告灯工作情况。
- (6) 确认变速器换挡杆挡位。
- (7) 起动车辆,观察并记录车辆启动情况及仪表盘各仪表、警告灯工作情况。
- (8) 操作灯光控制开关,体验打开各种灯光。
- (9) 操作刮水器控制开关,体验打开刮水器各项功能。
- (10) 操作空调控制开关,体验空调系统各开关功能。
- (11) 操作音响控制开关,体验音响系统各开关功能。
- (12) 关闭点火开关,确认挡位、驻车制动器位置。
- (13) 打开发动机舱盖,观察并记录各总成名称及位置。
- (14) 收起车内及车外车辆防护套件。
- (15) 收起尾气抽排管。

## 模块小结

(1)混合动力汽车是指车辆驱动系统由两个或多个能同时运转的单个驱动系统联合组成的车辆,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共同提供。

(2)油电混合动力汽车,采用传统的燃油机(柴油机或汽油机)和电动机作为动力源,也有发动机经过改造使用其他替代燃料。

(3)混合动力汽车既有燃油发动机动力性好、反应快和工作时间长的优点,又有电动机无污染和低噪声的好处,达到了发动机和电动机的最佳匹配。

(4)串联式混合动力汽车的动力来源于电动机,发动机只能驱动发电机发电,并不能直接驱动车辆的行驶。

(5)并联式混合动力汽车发动机和电动机既能单独驱动车轮,也可以同时工作,共同驱动汽车。

(6)并联式混合动力汽车当动力电池电量不足时,发动机能带动电动机旋转,对动力电池充电。

(7)混联式混合动力汽车在发动机和电动机协同驱动车辆行驶的同时,发动机还能带动发电机为动力电池充电。

(8)微度油电混合动力汽车的动力系统对传统发动机的起动机进行了改造,形成由皮带传动的发电起动一体式电动机(BSG)。该电动机用来控制发动机快速起停,因此可以取消发动机的怠速过程,降低了油耗和排放。

(9)轻度油电混合动力汽车的动力系统,采用了集成式起动电动机(ISG)。与微度混合动力系统相比,轻度混合动力系统除了能够实现用电动机控制发动机的起停外,还能够汽车制动和下坡工况下,实现对部分能量的回收。

(10)中度油电混合动力系统采用的是高压电动机,在汽车加速或者大负荷工况时,电动机能够辅助发动机驱动车辆,补充发动机本身动力输出的不足,提高整车性能。

(11)重度油电混合动力汽车采用了272~650V的高压电动机,电动机的功率更为强大,完全可以满足车辆在起步和低速时的动力要求。因此在起步和低速行驶状态下都不需要起动发动机,依靠电动机可以完全胜任,在低速时就像一辆纯电动汽车。在急加速和爬坡运行工况下车辆需要较大的驱动力时,电动机和发动机同时对车辆提供动力。

(12)插电式油电混合动力汽车动力电池容量更大,可以支持的行驶里程更长。如果拥有较好的充电条件,插电式油电混合动力汽车不用加油就可满足日常出行,作为纯电动汽车使用,具有纯电动汽车的优点。

## 思考与练习

### (一) 填空题

1. 油电混合动力汽车的英文简称为\_\_\_\_\_。

2. 油电混合动力汽车采用\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_作为动力源。

### (二) 判断题

1. 串联式混合动力汽车的动力来源于发动机。 ( )
2. 并联式混合动力汽车的一个动力源就是发动机。 ( )
3. 并联式混合动力汽车的发动机带动发电机可以对动力电池进行充电。 ( )
4. 混联式混合动力汽车的发动机和电动机无法协同驱动车辆行驶。 ( )

### (三) 简答题

1. 微度油电混合动力汽车中 BSG 指的是什么?
2. 轻度油电混合动力汽车中 ISG 指的是什么?
3. 插电式油电混合动力汽车作为油电混合动力汽车的发展趋势,它的优点有哪些?
4. 卡罗拉油电混合动力汽车起动后,“READY”指示灯代表什么意思?





## 模块二

# 混合动力汽车发动机 和驱动电机系统



### 学习目标

1. 能够区分混合动力汽车发动机的类型;
2. 能够描述混合动力汽车发动机的特点;
3. 能够描述永磁交流同步电机的特点;
4. 能够叙述永磁交流同步电机的工作原理;
5. 能够叙述电机控制器的工作原理;
6. 能够使用工具对混合动力汽车发动机进行维护;
7. 能够使用工具对混合动力汽车发动机进行检修;
8. 能够使用工具对混合动力汽车驱动电机进行维护;
9. 能够使用工具对混合动力汽车驱动电机系统进行检修。



建议课时:24 课时。

## 一、混合动力汽车发动机系统

### (一) 串联式混合动力汽车发动机

#### 1. 概述

纯电动汽车自身搭载动力电池的续航里程有限,为了延长里程,加装一个增程器。这个增程器就是发动机和发电机的集成体,见图 2-1。

在行驶时,如果电池电量不足或者消耗到一定程度,发动机起动,带动发电机发电,产生的电能一部分供给电动机驱动车辆行驶,一部分供给动力电池使其电量维持在一个临界水平。

串联式混合动力汽车不论工作在纯电动模式还是增程模式,其车轮始终仅由电动机独立驱动。增程器中的发动机排量一般不会很大,多采用小功率的发动机。发动机始终保持燃油经济性最优的稳定转速,带动发电机发电,其结构与普通的发动机结构没有区别,只是在发动机转速控制策略上与普通发动机不同。