

巍巍交大 百年书香  
www.jiaodapress.com.cn  
bookinfo@sjtu.edu.cn



丛书策划 张荣昌  
责任编辑 王清 孟海江  
封面设计 唐韵设计

新能源汽车专业系列教材  
“互联网+”新形态一体化教材

新能源汽车驱动电机及控制系统检修

主编 谭仕发 刘熠荣 黎友源



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

新能源汽车专业系列教材  
“互联网+”新形态一体化教材

# 新能源汽车 驱动电机 及控制系统检修

主编◎谭仕发 刘熠荣 黎友源



新能源汽车专业系列教材

新能源汽车专业英语  
新能源汽车电工电子技术  
新能源二手车鉴定评估与交易  
新能源汽车故障诊断与检测技术  
新能源汽车驱动电机及控制系统检修

本书提供教学资源包

网址: <https://www.sjhtbook.com>



扫描二维码  
关注上海交通大学出版社  
官方微信



ISBN 978-7-313-31879-4  
9 787313 318794  
定价: 56.00元

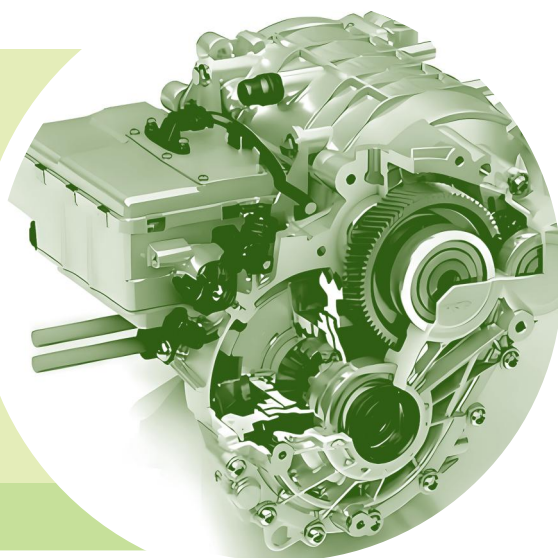


上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

新能源汽车专业系列教材  
“互联网+”新形态一体化教材

# 新能源汽车 驱动电机 及控制系统检修

主编◎谭仕发 刘熠荣 黎友源



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

本书以新能源汽车驱动电机及相关控制系统的认知、拆装和检测为主线,吸收新能源汽车相关技术、技能在教学、科研、技能竞赛、“1+X”证书制度等方面的实践成果,根据新能源汽车技术相关岗位的职业能力需求反馈,结合学生的学习认知规律,由表及里、由浅入深,重构、优化形成知识技能项目化、学习任务驱动式的内容框架。本书共分为4个项目,包括新能源汽车驱动系统基础知识、驱动电机及减速器的检测与拆装、电机控制器的检测与拆装、新能源汽车常见故障诊断。本书可作为职业院校新能源汽车相关专业的教学用书,也可作为企业职工培训及新能源汽车技术爱好者的学习用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

新能源汽车驱动电机及控制系统检修 / 谭仕发, 刘熠荣, 黎友源主编. — 上海: 上海交通大学出版社, 2024. 12 — ISBN 978-7-313-31879-4  
I. U469.703  
中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024M90T11 号

## 新能源汽车驱动电机及控制系统检修

XINNENGYUAN QICHE QUDONG DIANJI JI KONGZHI XITONG JIANXIU

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| 主 编: 谭仕发 刘熠荣 黎友源            | 地 址: 上海市番禺路 951 号       |
| 出版发行: 上海交通大学出版社             | 电 话: 021-6407 1208      |
| 邮政编码: 200030                |                         |
| 印 制: 北京荣玉印刷有限公司             | 经 销: 全国新华书店             |
| 开 本: 787mm × 1092mm 1/16    | 印 张: 11.5               |
| 字 数: 242 千字                 |                         |
| 版 次: 2024 年 12 月第 1 版       | 印 次: 2024 年 12 月第 1 次印刷 |
| 书 号: ISBN 978-7-313-31879-4 |                         |
| 定 价: 56.00 元                |                         |

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 010-6020 6144



# 在线课程学习指南

本书配套在线课程“新能源汽车电机及控制技术”，读者可通过超星平台和学习通 App 在线学习。

## 一、加入课程

进入超星官网（[www.chaoxing.com](http://www.chaoxing.com)），登录账号（新用户请先注册），进入个人空间，单击“输入邀请码”，输入“53520243”，加入该课程。也可以使用学习通 App 扫描二维码加入课程。

请输入邀请码

请输入课程、应用、小组、直播、云盘、教研室邀请码

取消

确定

加入课程



新能源汽车电机及控制技术

谭仕发

加入课程



## 二、在线学习

单击添加的课程，进入学习页面，选择对应栏目开始学习。



课程门户

新能源汽车电机及控制技术

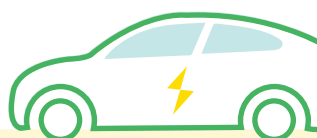
- 任务
- 章节
- 讨论
- 作业
- 考试
- 资料
- 错题集

已完成任务点: 0/120

目录

① 第1章 电驱动系统概述

- ① 1.1 新能源汽车电驱动发展历史
  - ② 1.1.1 驱动电机的术语与定义
  - ② 1.1.2 新能源汽车对驱动电机的性能要求
  - ② 1.1.3 驱动电机的型号编码
  - ② 1.1.4 驱动电机的型号编码
- ① 1.2 驱动电机系统的现状与发展趋势
  - ② 1.2.1 驱动系统发展现状与发展趋势





# 前言

党的二十大报告指出，我们要“办好人民满意的教育，全面贯彻党的教育方针，落实立德树人根本任务，培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人”。本书全面贯彻党的二十大精神，落实立德树人根本任务，以《国家职业教育改革实施方案》为指导，吸收新能源汽车相关技术、技能在教学、科研、技能竞赛、“1+X”证书制度等方面的实践成果，根据新能源汽车技术相关岗位的职业能力需求反馈，结合学生的学习认知规律，由表及里、由浅入深，重构、优化形成知识技能项目化、学习任务驱动式的内容框架。

本书以新能源汽车驱动电机及控制系统的检修为主线编排内容，将内容分为4个项目、14个任务，从驱动系统的认知探索，到驱动系统的拆装检测，再到故障诊断与排除，学习内容层层递进、理实结合，既深化了理论学习，又达到了小组协作要求。

本书深入贯彻习近平总书记关于教育的重要论述和全国教育大会精神，落实《高等学校课程思政建设指导纲要》文件要求，注重德技并修、育训结合，有机融入劳动教育、职业道德、职业精神和职业规范等内容。本书将思政元素融入知识、技能学习的全过程中，且在每个任务考核中设置了职业规范、职业精神等内容。同时，在每个学习章节后插入了拓展阅读板块，用“三牛”精神、“工匠”精神、“劳模”精神、安全责任意识、爱国主义情怀激励新时代青年艰苦奋斗、爱岗敬业、争创一流，为实现新时代强国目标而不懈奋斗。

此外，本书作者为广大一线教师提供了服务于本书的教学资源库，有需要者可发邮件至 2393867076@qq.com。

由于编者水平有限，本书存在的疏漏或不足之处，恳请读者提出宝贵的意见和建议，以便于后期进一步完善本书。

编者

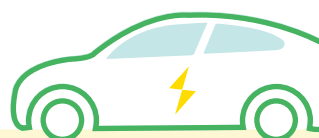
2024年6月





## 课时计划

| 项目  | 项目名称           | 任务名称               | 建议学时 |
|-----|----------------|--------------------|------|
| 项目一 | 新能源汽车驱动系统基础知识  | 任务一 新能源汽车驱动系统的认知   | 4    |
|     |                | 任务二 新能源汽车驱动电机的认知   | 8    |
|     |                | 任务三 新能源汽车电机控制器的认知  | 4    |
| 项目二 | 驱动电机及减速器的检测与拆装 | 任务一 驱动电机的绝缘检测      | 4    |
|     |                | 任务二 驱动电机的拆装与更换     | 8    |
|     |                | 任务三 减速器的拆装与更换      | 4    |
| 项目三 | 电机控制器的检测与拆装    | 任务一 驱动电机旋变传感器的检测   | 4    |
|     |                | 任务二 旋变传感器更换与零位标定   | 4    |
|     |                | 任务三 IGBT 功率模块的检测   | 4    |
|     |                | 任务四 电机控制器的拆卸与解体装配  | 4    |
| 项目四 | 新能源汽车常见故障诊断    | 任务一 无钥匙进入及启动系统故障诊断 | 4    |
|     |                | 任务二 高压上电故障诊断       | 4    |
|     |                | 任务三 高压互锁故障诊断       | 4    |
|     |                | 任务四 驱动电机旋变故障诊断     | 4    |





# 目录



## 项目一 新能源汽车驱动系统基础知识 ..... 001



|                             |     |                        |     |
|-----------------------------|-----|------------------------|-----|
| <b>项目导入</b> .....           | 001 | <b>任务实施</b> .....      | 025 |
| <b>任务一 新能源汽车驱动系统的认知</b> ... | 002 | 一、实施准备 .....           | 025 |
| <b>任务目标</b> .....           | 002 | 二、任务内容 .....           | 025 |
| <b>任务知识</b> .....           | 002 | 三、任务工单 .....           | 025 |
| 一、驱动系统组成 .....              | 002 | <b>任务总结</b> .....      | 027 |
| 二、驱动系统布置形式 .....            | 004 | <b>任务练习</b> .....      | 028 |
| <b>任务实施</b> .....           | 007 | <b>任务三 新能源汽车电机控制器的</b> |     |
| 一、实施准备 .....                | 007 | <b>认知</b> .....        | 030 |
| 二、任务内容 .....                | 007 | <b>任务目标</b> .....      | 030 |
| 三、任务工单 .....                | 007 | <b>任务知识</b> .....      | 030 |
| <b>任务总结</b> .....           | 009 | 一、电机控制器概述 .....        | 030 |
| <b>任务练习</b> .....           | 010 | 二、电机控制器的内部结构 .....     | 030 |
| <b>任务二 新能源汽车驱动电机的认知</b> ... | 012 | 三、电机控制器的功能 .....       | 034 |
| <b>任务目标</b> .....           | 012 | 四、电机控制器的工作原理 .....     | 035 |
| <b>任务知识</b> .....           | 012 | <b>任务实施</b> .....      | 037 |
| 一、驱动电机概述 .....              | 012 | 一、实施准备 .....           | 037 |
| 二、直流（有刷 / 无刷）电机 .....       | 013 | 二、任务内容 .....           | 037 |
| 三、交流异步电机 .....              | 015 | 三、任务工单 .....           | 038 |
| 四、永磁同步电机 .....              | 020 | <b>任务总结</b> .....      | 040 |
| 五、开关磁阻电机 .....              | 022 | <b>任务练习</b> .....      | 040 |
| 六、驱动电机铭牌识读 .....            | 024 | <b>拓展阅读</b> .....      | 042 |



## 项目二 驱动电机及减速器的检测与拆装 ..... 045



### 项目导入 ..... 045

#### 任务一 驱动电机的绝缘检测 ..... 046

任务目标 ..... 046

任务知识 ..... 046

一、绝缘检测仪的使用 ..... 046

二、驱动电机绝缘检测 ..... 049

任务实施 ..... 051

一、实施准备 ..... 051

二、任务内容 ..... 051

三、任务工单 ..... 052

任务总结 ..... 054

任务练习 ..... 054

#### 任务二 驱动电机的拆装与更换 ..... 055

任务目标 ..... 055

任务知识 ..... 055

一、驱动电机的布置 ..... 055

二、驱动电机的拆装与更换步骤 ..... 055

任务实施 ..... 064

一、实施准备 ..... 064

二、任务内容 ..... 064

三、任务工单 ..... 064

任务总结 ..... 066

任务练习 ..... 067

#### 任务三 减速器的拆装与更换 ..... 068

任务目标 ..... 068

任务知识 ..... 068

一、减速器的作用 ..... 068

二、减速器的结构 ..... 068

三、减速器的控制原理 ..... 069

四、减速器的拆装与更换步骤 ..... 069

任务实施 ..... 072

一、实施准备 ..... 072

二、任务内容 ..... 072

三、任务工单 ..... 072

任务总结 ..... 077

任务练习 ..... 078

拓展阅读 ..... 079



## 项目三 电机控制器的检测与拆装 ..... 081



### 项目导入 ..... 081

#### 任务一 驱动电机旋变传感器的检测 ... 082

任务目标 ..... 082

任务知识 ..... 082

一、旋变传感器 ..... 082

二、旋变传感器的结构及工作原理 ..... 082

三、旋变传感器的电气线路 ..... 083

四、旋变传感器的检测方法 ..... 084

任务实施 ..... 086

一、实施准备 ..... 086

二、任务内容 ..... 086

三、任务工单 ..... 086

|                        |     |                       |     |
|------------------------|-----|-----------------------|-----|
| 任务总结 .....             | 089 | 任务实施 .....            | 104 |
| 任务练习 .....             | 089 | 一、实施准备 .....          | 104 |
| 任务二 旋变传感器更换与零位标定 ...   | 091 | 二、任务内容 .....          | 105 |
| 任务目标 .....             | 091 | 三、任务工单 .....          | 105 |
| 任务知识 .....             | 091 | 任务总结 .....            | 108 |
| 一、旋变传感器的更换 .....       | 091 | 任务练习 .....            | 108 |
| 二、旋变传感器的零位标定 .....     | 092 | 任务四 电机控制器的拆卸与解体       |     |
| 任务实施 .....             | 094 | 装配 .....              | 110 |
| 一、实施准备 .....           | 094 | 任务目标 .....            | 110 |
| 二、任务内容 .....           | 094 | 任务知识 .....            | 110 |
| 三、任务工单 .....           | 094 | 一、电机控制器的布置 .....      | 110 |
| 任务总结 .....             | 096 | 二、电机控制器的拆卸与解体装配步骤 ... | 110 |
| 任务练习 .....             | 097 | 任务实施 .....            | 114 |
| 任务三 IGBT 功率模块的检测 ..... | 098 | 一、实施准备 .....          | 114 |
| 任务目标 .....             | 098 | 二、任务内容 .....          | 114 |
| 任务知识 .....             | 098 | 三、任务工单 .....          | 114 |
| 一、IGBT 功率模块的介绍 .....   | 098 | 任务总结 .....            | 117 |
| 二、IGBT 功率模块的工作原理 ..... | 101 | 任务练习 .....            | 117 |
| 三、IGBT 功率模块的检测方法 ..... | 102 | 拓展阅读 .....            | 119 |



## 项目四 新能源汽车常见故障诊断 .....

121



|                      |     |                      |     |
|----------------------|-----|----------------------|-----|
| 项目导入 .....           | 121 | 三、无钥匙进入及启动系统故障分析 ... | 125 |
| 任务一 无钥匙进入及启动系统故障     |     | 任务实施 .....           | 129 |
| 诊断 .....             | 122 | 一、实施准备 .....         | 129 |
| 任务目标 .....           | 122 | 二、任务内容 .....         | 129 |
| 任务知识 .....           | 122 | 三、任务工单 .....         | 129 |
| 一、无钥匙进入及启动系统概述 ..... | 122 | 任务总结 .....           | 132 |
| 二、无钥匙进入及启动系统组成及      |     | 任务练习 .....           | 132 |
| 工作原理 .....           | 123 |                      |     |





|                           |            |                             |            |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|
| <b>任务二 高压上电故障诊断</b> ..... | <b>134</b> | <b>任务实施</b> .....           | <b>153</b> |
| <b>任务目标</b> .....         | <b>134</b> | 一、实施准备.....                 | <b>153</b> |
| <b>任务知识</b> .....         | <b>134</b> | 二、任务内容.....                 | <b>153</b> |
| 一、新能源汽车高压上电控制策略.....      | <b>134</b> | 三、任务工单.....                 | <b>154</b> |
| 二、新能源汽车高压上电原理.....        | <b>137</b> | <b>任务总结</b> .....           | <b>156</b> |
| 三、车辆高压上电故障分析.....         | <b>139</b> | <b>任务练习</b> .....           | <b>156</b> |
| <b>任务实施</b> .....         | <b>144</b> | <b>任务四 驱动电机旋变故障诊断</b> ..... | <b>159</b> |
| 一、实施准备.....               | <b>144</b> | <b>任务目标</b> .....           | <b>159</b> |
| 二、任务内容.....               | <b>144</b> | <b>任务知识</b> .....           | <b>159</b> |
| 三、任务工单.....               | <b>144</b> | 一、旋变传感器故障分析.....            | <b>159</b> |
| <b>任务总结</b> .....         | <b>147</b> | 二、旋变传感器的故障诊断.....           | <b>160</b> |
| <b>任务练习</b> .....         | <b>147</b> | <b>任务实施</b> .....           | <b>162</b> |
| <b>任务三 高压互锁故障诊断</b> ..... | <b>149</b> | 一、实施准备.....                 | <b>162</b> |
| <b>任务目标</b> .....         | <b>149</b> | 二、任务内容.....                 | <b>162</b> |
| <b>任务知识</b> .....         | <b>149</b> | 三、任务工单.....                 | <b>162</b> |
| 一、高压互锁概述.....             | <b>149</b> | <b>任务总结</b> .....           | <b>165</b> |
| 二、高压互锁电气线路.....           | <b>150</b> | <b>任务练习</b> .....           | <b>165</b> |
| 三、高压互锁故障分析与诊断.....        | <b>151</b> | <b>拓展阅读</b> .....           | <b>167</b> |



## 项目一

# 新能源汽车驱动系统 基础知识



## 项目导入

王师傅从事传统燃油汽车的机电维修工作多年，维修技术娴熟，但近期接到了多辆新能源汽车的维修订单，却无从下手。作为新能源汽车技术专业的学生，你能给王师傅讲解一下新能源汽车的驱动系统吗？



## 任务一

# 新能源汽车驱动系统的认知



### 任务目标

#### ➤ 知识目标

- (1) 了解驱动系统对新能源汽车整车性能的重要影响。
- (2) 掌握新能源汽车驱动系统的组成。
- (3) 掌握整车控制器及电机控制器在驱动系统中的作用。
- (4) 掌握纯电动汽车驱动系统常见的布置形式。
- (5) 熟悉混合动力汽车驱动系统常见的布置形式、分类及特点。

#### ➤ 能力目标

- (1) 能够识别驱动系统的结构部件。
- (2) 能够正确绘制驱动系统拓扑结构图。
- (3) 能够分析识别出不同车辆驱动布置形式。

#### ➤ 素质目标

- (1) 培养严谨求实的工匠精神。
- (2) 培养热爱劳动的好品质。



### 任务知识

## 一、驱动系统组成

新能源汽车的驱动系统是车辆行驶的主要执行机构，其特性决定了车辆的主要性能指标，直接影响车辆动力性、经济性和用户驾乘感受。新能源汽车驱动系统主要包括整车控制器、电机控制器、驱动电机及机械传动装置等。某车型驱动系统如图 1-1-1 所示。

整车控制器的驱动控制主要体现在正常行驶、整车怠速、能量回收、车辆跛行、过温、限扭、最高限速、车辆蠕行、故障限速、电池保护等方面。整车控制器根据车辆运行情况 & 驾驶操作指令 [ 包括当前车速、制动 / 加速、挡位、电池充电状态 (SOC) 等信息 ] 来决定驱动电机输出扭矩或功率。当电机控制器从整车控制器处得到扭矩输出命令时，将动力电池提供的直流电转化为三相交流电，驱动电机输出扭矩，驱动车辆，以满足驾驶员对车辆驱动的动力性要求。

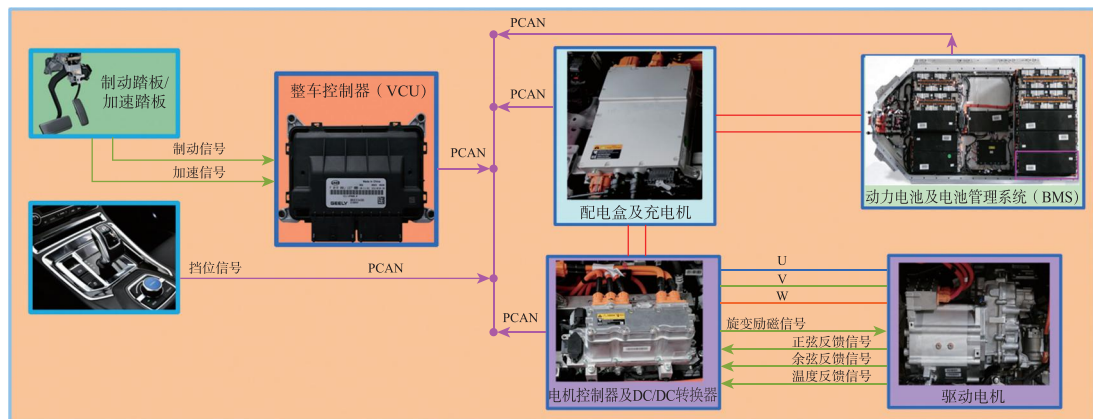


图 1-1-1 某车型驱动系统示意图

电机控制器属于二级控制器，按照整车控制器的指令、驱动电机的转速和电流反馈信号等，对驱动电机的转速、转矩和旋转方向进行控制。目前，驱动电机主要采用调压、调频等方式调速，其调速控制方式取决于选用的驱动电机类型。动力电池以直流电方式供电，若选用直流电机，则通过 DC/DC 转换器进行调压调速控制；若选用交流电机，则通过 DC/AC 转换器进行调频调压矢量控制；若选用磁阻电机，则通过控制其脉冲频率来进行调速。

驱动电机需要承担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；在减速制动或滑行时发挥发电机功能，将动能转换为电能。

机械传动装置包括驱动电机、减速 / 差速器、驱动半轴及车轮，其将驱动电机的驱动转矩传输给汽车的驱动轴，从而带动车轮行驶，如图 1-1-2 所示。

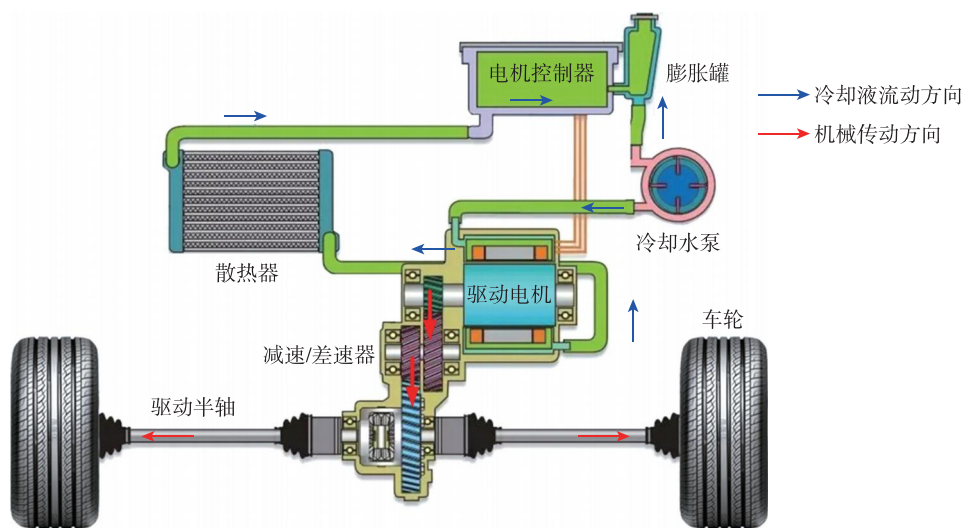


图 1-1-2 机械传动示意图



## 二、驱动系统布置形式

### 1. 纯电动汽车驱动系统布置形式

纯电动汽车以驱动电机作为动力输出装置,根据驱动电机的数目及其驱动方式,可以将驱动系统分为单电机驱动系统 and 多电机驱动系统。驱动系统布置形式多样,主要有前置前驱、后置后驱、四轮驱动、轮毂电机驱动 4 种布置形式。前置前驱应用较为广泛,高端车型中后置后驱及四轮驱动运用较多,轮毂电机驱动布置形式暂未实现大规模的应用。

#### 1) 前置前驱

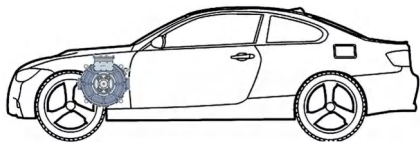


图 1-1-3 前置前驱布置示意图

前置前驱是将驱动电机布置在车辆前方,通过减速/差速器,驱动半轴将驱动力传递给前轮。特点是减少了动力传动部件和传递路径,传输动力速度快,便于结合成熟的麦弗逊悬架,制造工艺简单,开发周期短,且易于在前机舱布置。前置前驱布置示意图如图 1-1-3 所示。

前置前驱的驱动布置形式,动力源和驱动机构都集中于车辆的前部,造成车辆前部重量比较大,特殊路况下后轮的抓地力较弱,在快速过弯时可能会出现转向不足的“推头”现象。

#### 2) 后置后驱

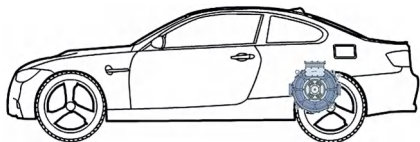


图 1-1-4 后置后驱布置示意图

传统汽车后驱通常有前置后驱和后置后驱两种布置形式,而纯电动汽车通常只有后置后驱的布置形式,如图 1-1-4 所示。这是因为纯电动汽车中,驱动电机的体积较发动机大为减小,且后部又省去了油箱的空间,有足够的空间来布置驱动电机和减速器,所以纯电动汽车采用驱动电机后置后驱的形式非常适合。

相比于前置前驱的布置形式,后置后驱的布置形式横摆力矩小,且前轮负荷小,车辆转向操纵更灵活;后轮负荷大,地面附着力大,能更好地发挥出强劲动力。

#### 3) 四轮驱动

四轮驱动的布置形式一般应用于高端车。一般情况下,两种形式的电机组合使用:中低速行驶阶段,充分利用永磁同步电机的高效率,保证驱动电机损耗最低状态,实现能源的最大化运用;高速行驶阶段,使感应异步电机在高速状态下的高功率发挥更大的性能。

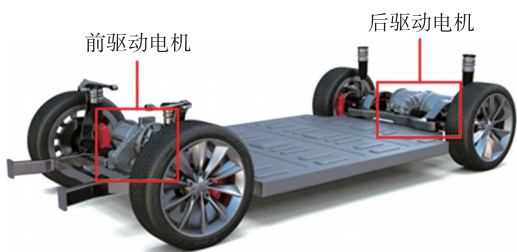


图 1-1-5 四轮驱动底盘

总体来说,无论是中低速还是高速路段,永磁同步电机基本一直在运行,而交流异步电机是起到加速、提升性能的作用,最大程度地两者兼顾。同步、异步电机组合使用,发挥各自优势,达到综合性能最优。图 1-1-5 所示为典型的四轮驱动底盘,前、后桥分别布置一个驱动电机,其中前驱动电机采用永

磁同步电机，后驱动电机采用交流异步电机。

#### 4) 轮毂电机驱动

轮毂电机（见图 1-1-6）将汽车的动力系统、传动系统、刹车系统等集成于一体，并将其布置在车辆的轮毂位置，所以称为轮毂电机。轮毂电机具备单个车轮独立驱动的特性，无论是前驱、后驱还是四驱形式，都可以比较轻松地实现，还可以省略差速器、驱动半轴等传动部件，让车辆结构更简单，启动、加速或制动时响应速度更快。



图 1-1-6 轮毂电机

将精密的电机布置在轮毂上，长期剧烈上下振动和恶劣的工作环境（水、尘、热）使得轮毂电机的可靠性不高，故障率高、维修成本高；且轮毂电机使得车辆簧下重量提高，给整车的操控、舒适性和悬挂的可靠性带来较大的影响。目前，轮毂电机还存在一些技术难题，其驱动形式还没有得到广泛地应用。

随着新能源汽车产业化的加速发展，为缓解驾驶者对车辆续驶里程不够长的焦虑，不仅仅要从动力电池的技术改进的角度来提升车辆性能，如何优化电驱动系统布置形式以及结构，提高能量利用效率、延长续驶里程，同样是值得进一步研究的课题。

## 2. 混合动力汽车电驱动系统布置形式

混合动力汽车（hybrid electric vehicle, HEV）是指具有两个或两个以上不同动力源驱动的汽车。通常是指油电混合汽车，如比亚迪宋 Pro DM-i、比亚迪唐 DM-i。根据混合动力系统驱动布置形式，可分为串联式、并联式和混联式（串-并联式）混合动力系统。

串联式混合动力系统是将发动机和驱动电机“串”在一条动力传输路径上，其最大的特点就是发动机在任何情况下都不直接参与驱动汽车的工作，发动机仅驱动发电机给动力电池充电，动力电池为驱动电机供电，如图 1-1-7 所示。

增程式混合动力汽车就是采用串联式混合动力系统，其能量传递路径长，能量利用效率较低，代表车型有理想 ONE、理想 L9、岚图 FREE 增程版等。

并联式混合动力系统是在普通燃油汽车的基础上加装一套电能驱动系统（驱动电机和动力电池），发动机和驱动电机都能单独驱动车轮，也可以同时工作，共同驱动车辆行驶。当动力电池电量不足时，发动机还能带动驱动电机反转为动力电池充电，如图 1-1-8 所示。



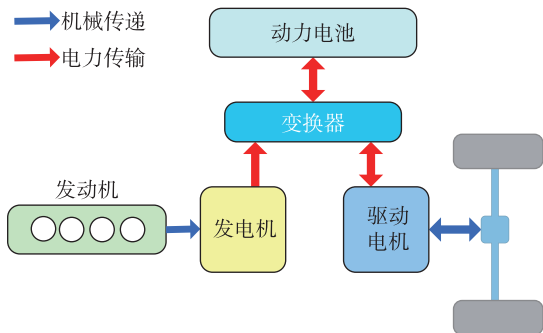


图 1-1-7 串联式混合动力系统示意图

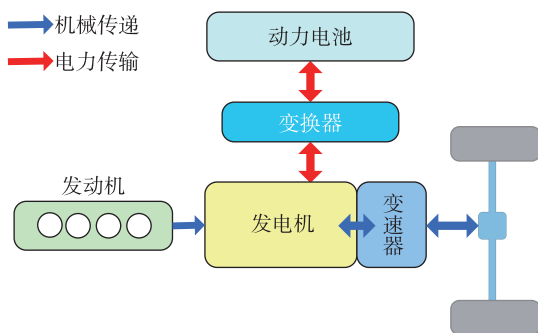


图 1-1-8 并联式混合动力系统示意图

插电式混合动力汽车就是采用并联式混合动力系统。并联混合动力系统由于只有一台电动机，没有独立的发电机，因此无法实现混合模式下发动机为动力电池充电的功能，当电量耗尽时，只能依靠发动机驱动。另外，并联结构更加复杂，制造成本也会相对高一些。

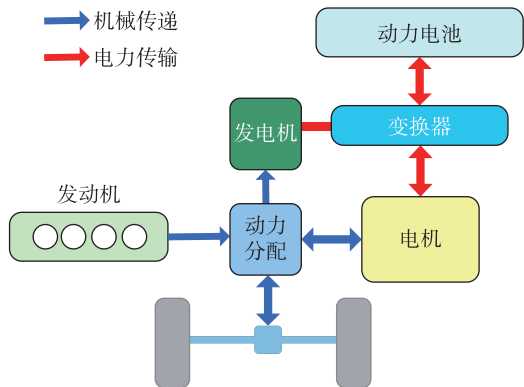


图 1-1-9 混联式混合动力系统示意图

混联式混合动力系统（parallel/series hybrid electric vehicle, PSHEV）综合了串联式以及并联式混合动力系统的结构，发动机和电机都可驱动车轮，起步低速运行时，高压电池向电机供电，电机驱动车轮，发动机可驱动发电机给高压电池充电。加速时，发动机和电机同时驱动车轮。混联式混合动力系统示意图如图 1-1-9 所示。尽管混联式混合动力系统较复杂，但运作高效，燃油经济性较高。

混合动力汽车除了可以按照发动机与驱动电机的连接形式来分类，还可以根据电机的布置位置来进行分类，如图 1-1-10 所示。

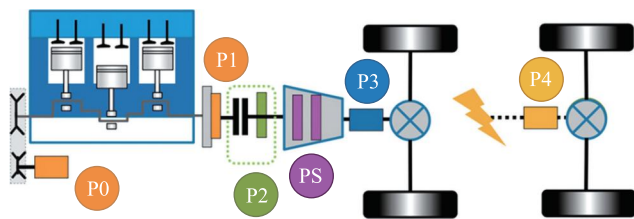


图 1-1-10 混合动力系统电机布置位置示意图

（1）P0：电动机位于发动机前端的皮带上，将发电机和起动机合二为一，简称皮带驱动起发电机（BSG）系统，可以实现怠速启/停、智能发电、辅助换挡和急加速助力等功能。

（2）P1：电动机位于发动机的曲轴上，处于发动机输出端之后，变速箱输入端之前，简称集成启动发电机（ISG）系统，除了能够实现怠速启/停等功能外，还可以在减速、

制动工况下进行部分能量回收。

(3) P2: 在发动机与变速箱之间的离合器之后安装一个扁平式电动机, 这类架构不需要改变发动机平台和变速箱平台, 技术上比较容易实现, 能够发挥传统技术优势。大众高尔夫 GTE、宝马 530Le 等德系车采用这一技术。

(4) PS: 电动机位于变速箱内部, 或者说电动机与变速箱融为一体, 丰田双擎车型搭载的 ECVT 变速箱便是典型的 PS 结构。

(5) P3: 电动机位于变速箱输出端之后。

(6) P4: 电动机位于另一轴上, 如果发动机驱动前轴, 则电机在后轴, 反之则反。

比亚迪插混系统主要由 2.0T 涡轮增压发动机、混合动力 6 挡双离合变速器、BSG 电机及前后驱动电机组成, 可实现三擎四驱 (P0+P3+P4)、前驱 (P0+P3)、双擎四驱 (P0+P4) 三种动力架构组合, 丰富的动力机构组合完全得益于 P0 位置的 BSG 电机的加入。

## 任务实施

### 一、实施准备

(1) 安全防护: 着常规实施工装、做好车辆安全防护与隔离 (车辆挡块、警示隔离带、高压危险警示牌)、准备灭火器等。

(2) 工具设备: 举升设备、工具箱、计算机、纸质工单、数字万用表等。

(3) 实训车辆: 新能源汽车 2 辆。

(4) 辅助资料: 车辆维修手册、电路图等。

### 二、任务内容

依据实训车辆, 找到驱动系统的组成部件, 并用简化框图的形式绘制驱动系统的拓扑结构图, 并查询车辆维修手册, 标记线束、插件编号。

### 三、任务工单

实训工单 1-1-1 新能源汽车驱动系统的认知

| 姓名       |  | 学号     |  | 班级   |  |
|----------|--|--------|--|------|--|
| 分组号      |  | 时间     |  | 地点   |  |
| 登记车辆基本信息 |  |        |  |      |  |
| 车辆品牌     |  | 电池型号   |  | 电机型号 |  |
| 车辆型号     |  | 电池电压   |  | 电机电压 |  |
| VIN 码    |  | 电池容量   |  | 电机功率 |  |
| 生产日期     |  | SOC 电量 |  | 行驶里程 |  |





续表

| 组内成员任务分工      |           |      |    |    |
|---------------|-----------|------|----|----|
|               |           |      |    |    |
|               |           |      |    |    |
|               |           |      |    |    |
| 任务工作计划        |           |      |    |    |
| 序号            | 作业项目      | 操作要点 |    |    |
| 1             |           |      |    |    |
| 2             |           |      |    |    |
| 3             |           |      |    |    |
| 4             |           |      |    |    |
| 5             |           |      |    |    |
| 任务实施步骤        |           |      |    |    |
|               |           |      |    |    |
|               |           |      |    |    |
|               |           |      |    |    |
|               |           |      |    |    |
| 任务实施结果        |           |      |    |    |
|               |           |      |    |    |
|               |           |      |    |    |
|               |           |      |    |    |
|               |           |      |    |    |
| 任务评分表         |           |      |    |    |
| 评价项目          | 评价内容      | 评价维度 |    |    |
|               |           | 自评   | 互评 | 师评 |
| 学习态度<br>(10分) | 出勤且无迟到早退  |      |    |    |
|               | 正确穿戴工作服   |      |    |    |
| 知识掌握<br>(30分) | 完成任务练习作业  |      |    |    |
|               | 完成任务工单的填写 |      |    |    |

续表

| 任务评分表            |                                   |      |    |    |
|------------------|-----------------------------------|------|----|----|
| 评价项目             | 评价内容                              | 评价维度 |    |    |
|                  |                                   | 自评   | 互评 | 师评 |
| 技能掌握<br>( 30 分 ) | 完整登记车辆基本信息                        |      |    |    |
|                  | 准确查询实训车辆维修手册                      |      |    |    |
|                  | 正确记录驱动系统连接线束编号                    |      |    |    |
|                  | 准确绘制实训车辆驱动系统简图                    |      |    |    |
| 协作意识<br>( 30 分 ) | 参与小组讨论探究，积极发表意见                   |      |    |    |
|                  | 尊重理解他人观点，相互促进                     |      |    |    |
|                  | 组内分工合理，协作默契                       |      |    |    |
| 总评成绩             | 自评 × 30% + 互评 × 30% +<br>师评 × 40% |      |    |    |
| 任务工作总结           |                                   |      |    |    |
|                  |                                   |      |    |    |

任务总结

- ( 1 ) 新能源汽车驱动系统包括电驱动部分和机械传动部分，电驱动部分主要由整车控制器、电机控制器、驱动电机等组成。
- ( 2 ) 整车控制器通过采集加速踏板、制动踏板、挡杆位置等数据来获取驾驶员的操作信息，经分析处理后得出扭矩需求，再向电机控制器发送扭矩输出指令。电机控制器得到指令后，通过调频调压或调节脉冲频率等方式控制驱动电机的输入电流，从而实现对电机输出扭矩以及转速的控制。



(3) 纯电动汽车的电驱动系统布置形式多样, 主要有前置前驱、后置后驱、四轮驱动、轮毂电机驱动四种布置形式。

(4) 轮毂电机驱动形式简化了传动结构, 传动效率高, 每个电机可以单独控制。集中驱动技术成熟, 开发起来比较容易, 但系统传动复杂, 传递效率较低。

(5) 根据混合动力系统驱动布置形式, 可分为串联式、并联式和混联式(串-并联式)混合动力汽车。



## 任务练习



### 一、填空题

1. 新能源汽车驱动系统由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_及\_\_\_\_\_等组成。
2. 整车控制器通过采集\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等数据来获取驾驶员的操作信息, 经分析处理后得出扭矩需求, 再向电机控制器发送扭矩输出指令。
3. 纯电驱动系统布置形式多样, 主要有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_四种布置形式。
4. 根据混合动力系统驱动布置形式, 可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_混合动力汽车。
5. 机械传动装置包括\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_, 将驱动电机的驱动转矩传输给汽车的驱动轴, 从而带动车轮行驶。
6. 驱动电机主要采用\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等方式调速, 其调速控制方式取决于选用的驱动电机类型。



### 二、选择题

1. 整车控制器通过采集( )信号数据来获取驾驶员的操作信息。  
A. 加速踏板  
B. 制动踏板  
C. 启动按钮  
D. 挡位
2. 关于串联式混合动力汽车, 正确的是( )。  
A. 电力驱动是唯一的驱动模式  
B. 发动机直接参与驱动  
C. 发动机不直接参与驱动  
D. 发动机和驱动电机可混合驱动
3. 关于并联式混合动力汽车, 正确的是( )。  
A. 电力驱动是唯一的驱动模式  
B. 发动机直接参与驱动  
C. 发动机不直接参与驱动  
D. 发动机和驱动电机可混合驱动
4. 关于混合动力汽车中电机的布置位置, 正确的是( )。  
A. P0 表示电机安装在发动机前端  
B. P1 表示电机位于发动机后, 离合器前  
C. P2 表示电机位于发动机与变速器之间, 离合器后  
D. P4 表示电机位于后桥上

### 三、判断题

1. 当电机控制器从整车控制器处得到扭矩输出命令时，可以将动力电池提供的直流电转化为三相交流电，驱动电机输出扭矩。 ( )
2. P1 架构的混动汽车，电动机布置于变速箱的后端。 ( )
3. 驱动电机需要承担电动机和发电机的双重功能，即在正常行驶时可以发挥其主要的电动机功能，将电能转化为机械能同时又将车轮的惯性动能转换为电能。 ( )
4. 插电式混合动力汽车既可以加油又可以充电，增程式混合动力汽车只能加油而不能充电来延长续驶里程。 ( )

### 四、简答题

1. 串联式混合动力汽车有哪些特点？
2. 并联式混合动力汽车有哪些特点？
3. 后置后驱的驱动布置形式有哪些特点？



## 任务二

# 新能源汽车驱动电机的认知



### 任务目标

#### ➤ 知识目标

- (1) 熟悉常见的驱动电机类型及性能特点。
- (2) 熟悉驱动电机铭牌标识含义。
- (3) 掌握常见的驱动电机的结构。
- (4) 了解常见的驱动电机的工作原理。

#### ➤ 能力目标

- (1) 能够识别不同驱动电机的类型。
- (2) 能够正确说出驱动电机铭牌标识信息的含义。
- (3) 能够正确描述不同驱动电机的内部结构。
- (4) 能够配合完成对交流异步电机、永磁同步电机的分解与装配。

#### ➤ 素质目标

- (1) 树立“强国有我”的使命担当和爱国情怀。
- (2) 树立安全意识、责任意识、环保意识。
- (3) 树立爱岗敬业、精益求精的工匠精神。
- (4) 培养分析问题、解决问题的能力。



### 任务知识

#### 一、驱动电机概述

驱动电机是依靠电磁感应而运行，将电能转化为机械能，为车辆行驶提供驱动力的电气装置，是新能源汽车电驱动系统的核心部件之一。驱动电机的性能很大程度上决定了新能源汽车的主要性能。

相比较于工业电机，新能源汽车驱动电机在功率、转矩、散热、防水防尘、绝缘、噪声等方面都有比较高的要求。如考虑驾乘人员的舒适度，要求驱动电机运行时的噪声小；考虑新能源汽车的行车环境，要求驱动电机的防护等级高、绝缘性能好，以最大可能提高驱动电机的可靠性及驾乘的安全性。

目前，应用于各类新能源汽车上的驱动电机类型主要有直流（有刷 / 无刷）电机、交流异步电机、永磁同步电机、开关磁阻电机等。

## 二、直流（有刷 / 无刷）电机

直流电机是最早应用在汽车上的电机，也是汽车上应用数量最多的电机。直流电机具有良好的启动和调速性能，控制方法简单，控制技术成熟，直流电动机驱动系统被广泛应用于早期的电动汽车上。

按照直流电机的结构，直流驱动电机可以分为有刷直流电机和无刷直流电机。有刷直流电机按照励磁绕组与电枢绕组的连接方式的不同，可以分为串励直流电机、并励直流电机、复励直流电动机和他励直流电动机，如图 1-2-1 所示。

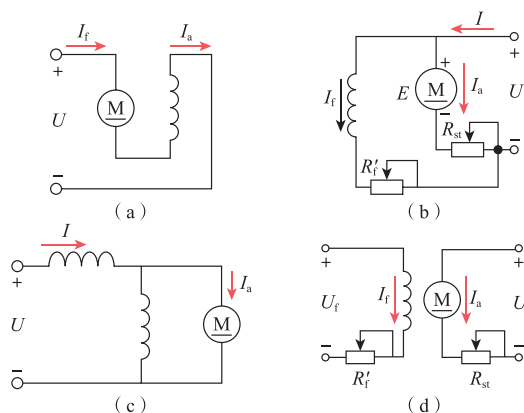


图 1-2-1 励磁绕组与电枢绕组不同的连接方式示意图

(a) 串励; (b) 并励; (c) 复励; (d) 他励

### 1. 有刷直流电机

#### 1) 结构

有刷直流电机的定子由基座、主磁极、励磁绕组、端盖和电刷装置等组成。其中励磁绕组的作用是建立磁场，使通电的电枢绕组产生电磁转矩。其中，主磁极总是成对出现的，不同主磁极异磁性相邻。

有刷直流电机纵向剖面图如图 1-2-2 所示，有刷直流电机横向剖面图如图 1-2-3 所示。

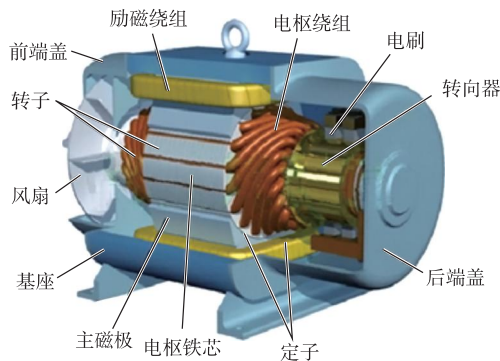


图 1-2-2 有刷直流电机纵向剖面图

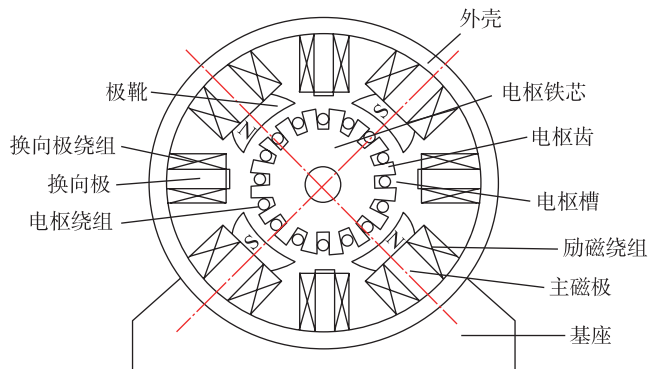


图 1-2-3 有刷直流电机横向剖面图

有刷直流电机的转子由电枢铁芯、电枢绕组和换向器等组成，通电后的电枢绕组受到磁场力的作用而发生旋转。

有刷直流电机的换向器（见图 1-2-4）也称为整流子，作用是将电刷上的直流电转换成电枢绕组内的交变电流，使电磁转矩的倾向稳定不变。在作为发电机使用时，有刷直流电机将电枢绕组产生的交变电动势变换为电刷端输出的直流电动势。

由于电刷和换向器的存在，电流换向时易产生火花烧蚀换向器和电刷接触面，电机转速越高，电刷磨损得越快。电流换向时的火花降低了有刷直流电机的运行可靠性，一定程度上限制了有刷直流电机在新能源汽车领域的应用。

## 2) 工作原理

在磁场 N、S 极之间有一线圈  $abcd$ ，线圈  $a$ 、 $d$  端分别连接在铜换向器片上，铜换向器片与石墨电刷连接，并通过导线连接到蓄电池上，如图 1-2-5 所示。

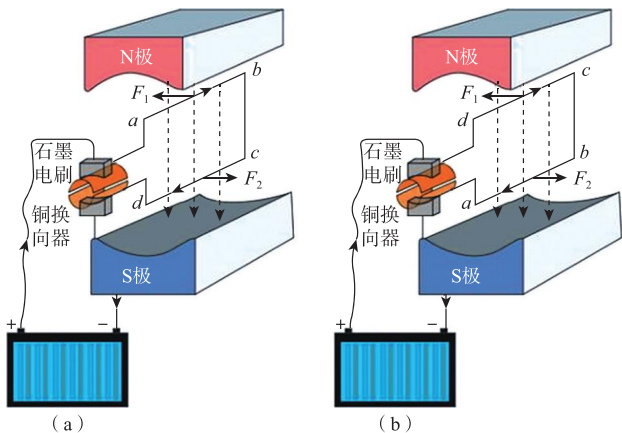


图 1-2-5 有刷直流电机工作原理示意图

(a) 最初时刻；(b) 线圈旋转 180° 后

最初时刻,线圈中的直流电方向为 $a \rightarrow b$ , $c \rightarrow d$ ,由左手定则可得出 $ab$ 边、 $cd$ 边所受磁场力分别为 $F_1$ 、 $F_2$ ,线圈受到逆时针方向的旋转力矩,产生旋转运动。当线圈旋转 $180^\circ$ 后, $cd$ 边处于上方, $ab$ 边位于下方,此时线圈中的直流电方向为 $d \rightarrow c$ , $b \rightarrow a$ ,此时 $cd$ 边、 $ab$ 边所受磁场力分别为 $F_1$ 、 $F_2$ ,线圈同样受到逆时针方向的旋转力矩,继续旋转运动。

### 3) 性能特点

有刷直流电机有着良好的启动性能、调速性能,易控制,成本低,但结构复杂、转速低、体积大、维护频繁,且由于换向器与电刷之间是活动的接触,所以容易产生电弧,导致接触面被烧蚀。特别是电枢电流很大时,易造成换向困难。

## 2. 无刷直流电机

无刷直流电机克服了有刷直流电机的先天性缺陷,以电子换向器取代了机械换向器,所以无刷直流电机既具有直流电机良好的调速性能等优点,又具有交流电机结构简单、无换向火花、运行可靠和易于维护等优点。

无刷直流电机有内转子式和外转子式结构,内转子式无刷直流电机的定子是线圈绕组,转子是永磁体。无刷直流电机工作原理如图1-2-6所示。霍尔元件实时检测永磁体转子在运动过程中对于定子绕组的相对位置,将永磁转子的位置信号转换成电信号,为逻辑开关电路提供正确的换相信息,以控制开关管的导通和截止次序,使电机电枢绕组中的电流随着转子位置的变化按次序供电,形成气隙中步进式的旋转磁场,驱动永磁转子连续不断地旋转。

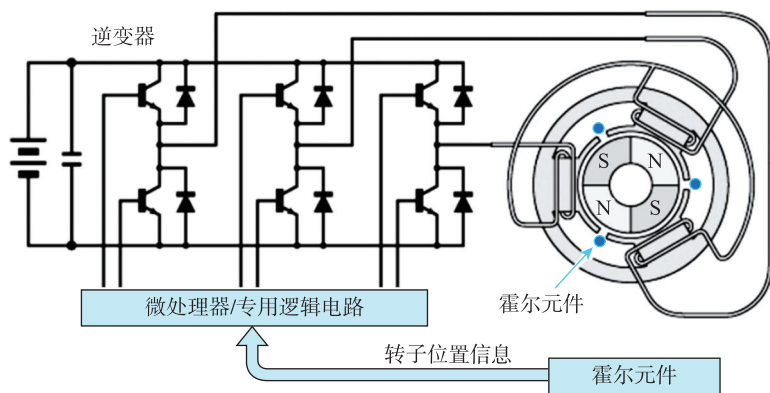


图 1-2-6 无刷直流电机工作原理示意图

## 三、交流异步电机

交流异步电机也称感应电机,是由气隙旋转磁场与转子绕组感应电流相互作用产生电磁转矩,从而实现将电能转换为机械能的一种交流电动机。交流异步电机和永磁同步电机都属于交流电机,不同的是交流异步电机的转子转速与定子线圈产生的旋转磁场的转速不同步,而永磁同步电机转子转速与旋转磁场转速同步,且永磁同步电机的旋转速度与交流电源的频率有严格的对应关系。





交流异步电机通常按转子结构和定子绕组相数进行分类。按转子结构来分,可分为笼型和绕线型;按定子绕组相数来分,则有单相和三相。在新能源汽车中,三相笼型交流异步电机(见图 1-2-7)具有结构简单且坚固、制造成本低、维护方便等优点,应用较为广泛。

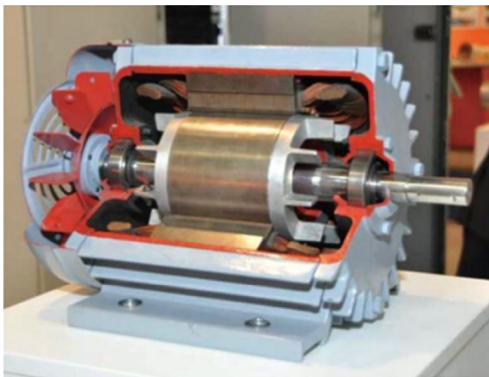


图 1-2-7 三相笼型交流异步电机

### 1. 结构

三相笼型交流异步电机(见图 1-2-8)主要由定子、转子、基座、端盖和轴承构成,在定子和转子之间有空气气隙,空气气隙有利于减小电机的励磁电流,改善运行性能。

#### 1) 定子

三相笼型交流异步电机的定子(见图 1-2-9)主要由定子铁芯、定子绕组等部分组成。

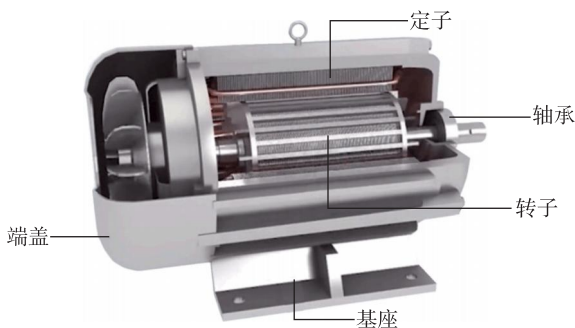


图 1-2-8 三相笼型交流异步电机的主要结构

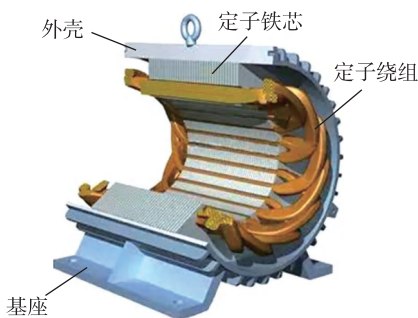


图 1-2-9 三相笼型交流异步电机的定子



图 1-2-10 定子铁芯

定子铁芯(见图 1-2-10)作为电动机主磁路的一部分用来嵌放定子绕组,为了降低定子铁芯的铁损耗,定子铁芯一般由厚  $0.35 \sim 0.50 \text{ mm}$ 、表面涂有绝缘漆的硅钢片叠压而成。

定子绕组是电动机的电路部分,通入三相交流电,其作用是吸收电功率和产生旋转磁场。定子绕组由 3 个在空间上互隔  $120^\circ$ 、对称排列结构完全相同的绕组(每个绕组为一相)组成,根据需要连

接成 Y 形或  $\Delta$  形，定子绕组的连接如图 1-2-11 所示。

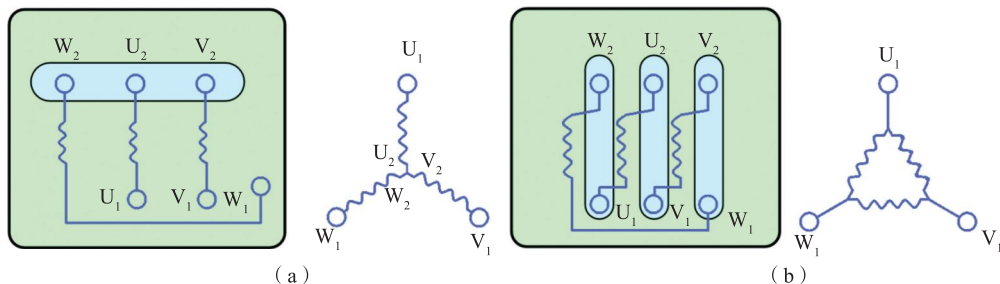


图 1-2-11 定子绕组的连接

(a) Y 形连接; (b)  $\Delta$  形连接

## 2) 转子

三相笼型交流异步电机的转子部分（见图 1-2-12）主要由转子铁芯、笼型转子绕组和转轴等组成。

转子铁芯是电机磁路的一部分，一般由 0.5 mm 厚的硅钢片叠压而成，硅钢片外圆冲有均匀分布的孔，用以安放转子绕组。

笼型转子绕组是转子的电路部分，其作用是切割定子旋转磁场产生感应电动势及电流，并产生电磁转矩使电机旋转。

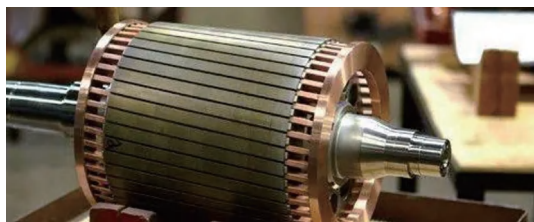


图 1-2-12 三相笼型交流异步电机的转子部分

## 2. 工作原理

三相笼型交流异步电机的工作原理可以归纳为两部分：旋转磁场的产生和电磁转矩的产生。

### 1) 旋转磁场的产生

交流异步电机的三相定子绕组通入交流电之后在气隙中产生旋转磁场，如图 1-2-13 所示。

$\omega t=0$  时刻，U 相绕组  $U_1-U_2$  中的电流  $i_U=0$ ；V 相绕组  $V_1-V_2$  中的电流  $i_V<0$ ，电流由  $V_2$  端流入，从  $V_1$  端流出；W 相绕组  $W_1-W_2$  中的电流  $i_W>0$ ，电流由  $W_1$  端流入，从  $W_2$  端流出；此时定子绕组产生的磁场 N 极朝上。

$\omega t=\frac{2}{3}\pi$  时刻，U 相绕组  $U_1-U_2$  中的电流  $i_U>0$ ，电流由  $U_1$  端流入， $U_2$  端流出；V 相绕组  $V_1-V_2$  中的电流  $i_V=0$ ；W 相绕组  $W_1-W_2$  中的电流  $i_W<0$ ，电流由  $W_2$  端流入，从  $W_1$  端流出；此时定子绕组产生的磁场 N 极朝右下方。

$\omega t=\frac{4}{3}\pi$  时刻，U 相绕组  $U_1-U_2$  中的电流  $i_U<0$ ，电流由  $U_2$  端流入， $U_1$  端流出；V 相绕组  $V_1-V_2$  中的电流  $i_V>0$ ，电流由  $V_1$  端流入，从  $V_2$  端流出；W 相绕组  $W_1-W_2$  中的电流  $i_W=0$ ；此时定子绕组产生的磁场 N 极朝左下方。



$\omega t=2\pi$  时刻, U 相绕组  $U_1-U_2$  中的电流  $i_U=0$ ; V 相绕组  $V_1-V_2$  中的电流  $i_V<0$ , 电流由  $V_2$  端流入, 从  $V_1$  端流出; W 相绕组  $W_1-W_2$  中的电流  $i_W>0$ , 电流由  $W_1$  端流入, 从  $W_2$  端流出; 此时定子绕组产生的磁场 N 极朝上。

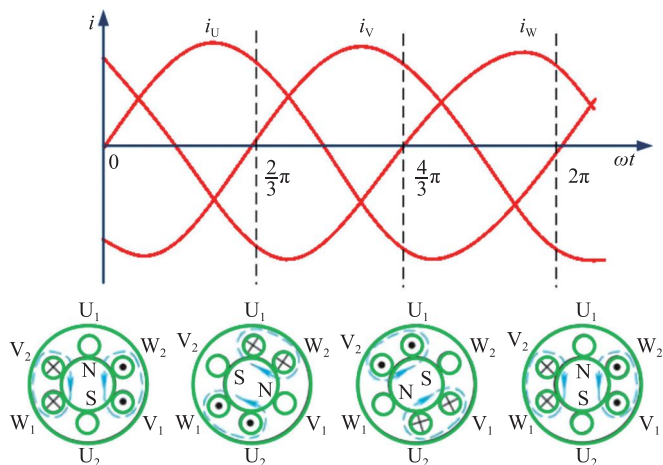


图 1-2-13 定子绕组产生旋转磁场示意图

当三相交流电通电一个周期时, 异步电机的定子绕组产生的气隙磁场就旋转一个周期, 磁场旋转速度称为同步转速, 同步转速由通入定子绕组的三相交流电的频率决定。如三相交流电的频率为 50 Hz, 则其周期为 0.02 s, 那么同步转速为 3 000 r/min。

旋转磁场的旋转方向决定于通入定子绕组中的三相交流电源的相序, 且与三相交流电源的相序 U、V、W 的方向一致。只要任意调换电动机两相绕组所接交流电源的相序, 旋转磁场即反转。因此要改变电动机的转向, 只要改变旋转磁场的方向即可。

图 1-2-13 中, 定子每相只有一个绕组, 嵌放在定子铁芯 6 个槽内, 形成一对 N、S 磁极的旋转磁场, 此时极对数  $P=1$ 。若定子每相绕组由两个线圈串联, 嵌放在定子铁芯 12 个槽内, 则将形成两对磁极的旋转磁场, 极对数  $P=2$ , 极对数与磁极数如图 1-2-14 所示。

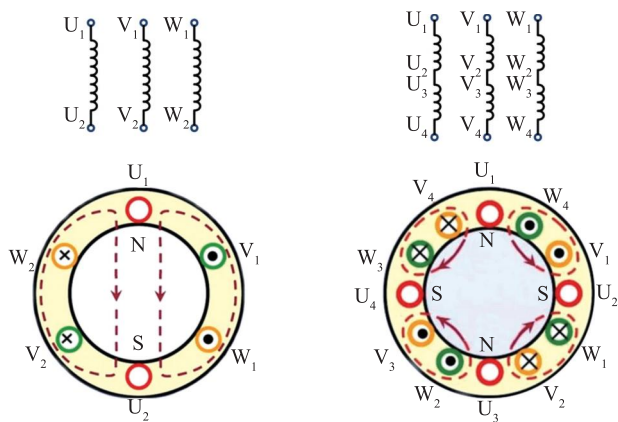


图 1-2-14 极对数与磁极数示意图

磁场同步转速 ( $n_0$ ) 与交流电的频率以及定子绕组的极对数有关, 交流电频率 ( $f$ ) 越高、极对数 ( $P$ ) 越少, 同步转速越高, 它们之间的关系为  $n_0 = \frac{60f}{P}$ 。

## 2) 电磁转矩的产生

当异步电机的三相定子绕组通入三相交流电后, 将产生一个旋转磁场, 该旋转磁场切割鼠笼转子导条, 从而在转子导条中产生感应电动势  $E$ , 电动势的方向由右手定则来确定, 笼型转子受力如图 1-2-15 所示。又由于转子导条由两端环闭合成通路, 转子导条中便有电流  $I$  产生, 电流方向与电动势方向相同, 而载流的转子导体在定子旋转磁场作用下将受到电磁力, 整个笼型转子受到电磁力矩的作用, 驱动电机开始旋转, 电磁力、电磁转矩的方向可用左手定则确定, 经分析可知, 电机旋转方向与磁场旋转方向相同。

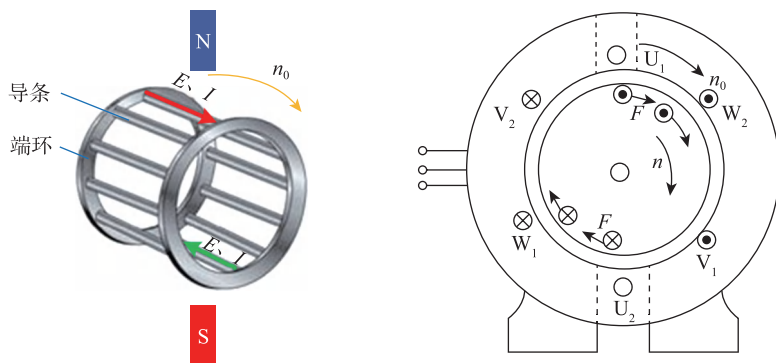


图 1-2-15 笼型转子受力示意图

异步电机启动前, 笼型转子导条静止, 通入三相交流电后, 产生旋转磁场, 磁力线与转子导条发生相对运动, 导条切割磁力线产生感应电动势, 产生感应电流, 进而导条受到磁场力的作用, 电机转子发生旋转运动。所以, 只有异步电机的转子转速与定子旋转磁场的同步转速不同步, 才会持续产生导条切割磁力线动作, 持续推动转子转动, 这就是异步电机的由来。

异步电机的转子转速与定子旋转磁场的同步转速存在转速差, 它的大小决定着转子电动势及其频率的大小, 直接影响异步电机的工作状态。通常将转速差与同步转速的比值用转差率表示, 即  $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$ 。

当旋转磁场以同步转速  $n_0$  开始旋转时, 转子则因为机械惯性尚未转动,  $n=0$ , 此时转差率最大,  $s=1$ , 当转子转动起来后,  $n_0 > n > 0$ , 转差率  $0 < s < 1$ 。

## 3. 性能特点

交流异步电机具有较高的效率和精度, 易实现转速超过 10 000 r/min 的高速旋转。高转速低转矩运行效率高。低速时有高转矩输出, 以及具有较宽的速度调节范围、高可靠性、使用寿命长等优点, 且没有退磁风险, 制造成本低, 结构简单可靠, 但电能损耗大, 调速性能较差。



## 四、永磁同步电机

永磁同步电机和交流异步电机结构一样，也是由定子和转子两大部分组成。其中定子与普通交流异步电机相似，不同之处在于转子部分，同步电机按转子的不同可分为电励磁和永磁体两类。

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后者的励磁绕组励磁，电机结构较为简单，降低了加工和装配费用，且无需励磁电流，省去了励磁损耗，提高了电动机的效率和功率密度。在新能源汽车驱动电机方面，永磁同步驱动电机的应用最为广泛，如图 1-2-16 所示。



图 1-2-16 新能源汽车永磁同步驱动电机

### 1. 结构

永磁同步电机内部结构主要由定子、转子两大部分组成。其中定子主要由定子铁芯和定子绕组组成，与交流异步电机类似，定子绕组也是采用三相对称绕组结构，它们的轴线在空间上彼此相差  $120^\circ$ ，通入三相交流电时产生旋转磁场。永磁同步电机的结构如图 1-2-17 所示。

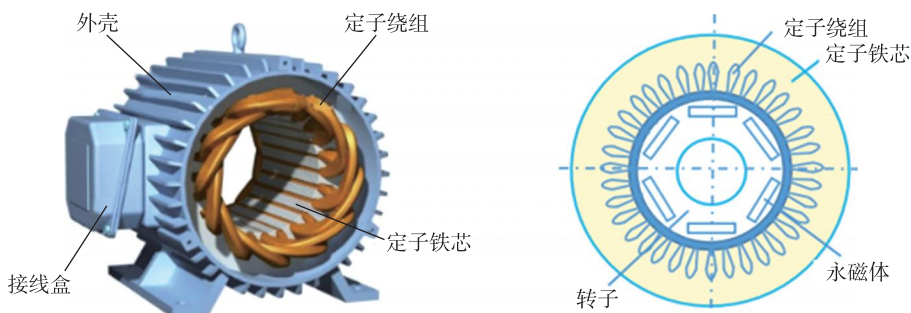


图 1-2-17 永磁同步电机的结构示意图

永磁同步电机在转子上放有高质量的永磁体磁极。由于在转子上安放永磁体的位置有很多选择，所以永磁同步电机通常分为三大类：面贴式、嵌入式以及内置式，如图 1-2-18 所示。



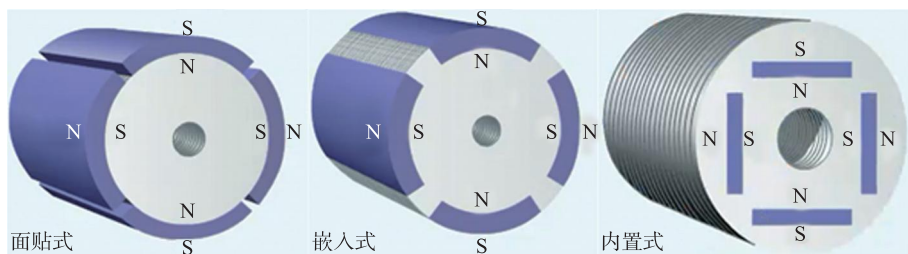


图 1-2-18 永磁同步电机的转子永磁体布置形式示意图

除了定子、转子外，永磁同步电机还有测量转子位置的传感器、温度传感器、冷却管路等。

## 2. 工作原理

当永磁同步电机的定子绕组中通入三相交流电时，产生同步旋转磁场，其同步旋转磁场的产生过程与交流异步电机一致，可参考图 1-2-13。永磁同步电机转子上布置有永磁体，相邻磁极为异性磁极，相对磁极为同性磁极。根据磁极的同性相斥、异性相吸原理，同步旋转磁场与转子上的固定磁极相互作用带动转子转动，如图 1-2-19 所示。

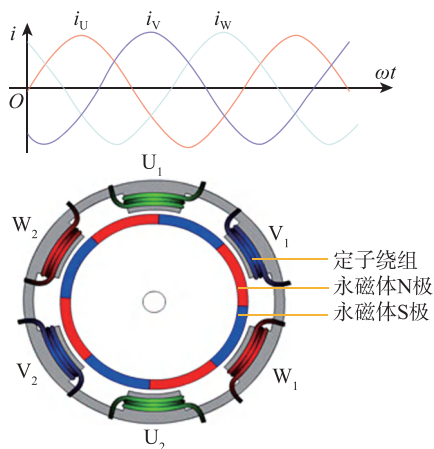


图 1-2-19 永磁同步电机的工作原理示意图

不同于交流异步电机的是，电机转子的转动不依靠电磁力矩的作用，而是由定子产生的旋转磁场与转子永磁体磁场之间的作用力，带动电机转子转速达到同步，即电机转速等于同步磁场转速，故称为同步电机。

## 3. 性能特点

永磁同步电动机的转速与电源频率间始终保持准确的同步关系，控制电源频率就能控制电动机的转速；转子为永久磁铁，无需励磁，因此电动机可以在很低的转速下保持同步运行，且调速范围宽；不需要无功励磁电流，因而功率因数高，定子功耗小；体积小、质量轻、转动惯量小、功率密度高。但是永磁材料成本较高，且存在不可逆的退磁问题。



## 五、开关磁阻电机

开关磁阻电机具有高启动转矩，高效率，高过载能力，可正反频繁无冲击电流启动，可快速制动，调速范围宽，低运行电流，低维护费用，结构简单，坚固，易于制造等特点，使得其在新能源货运车上得到了大量使用。但开关磁阻电机所具有的振动较大、噪声大等缺点使得其在新能源轿车中还没大量使用，开关磁阻电机如图 1-2-20 所示。



图 1-2-20 开关磁阻电机

### 1. 结构

磁阻电机的定子和同步电机定子一样，主要结构是定子铁芯和定子绕组。与交流异步电机、永磁同步电机的不同之处在于转子，在磁阻电动机中，电机的转子仅由电气片组成，没有永磁体、绕组和笼型转子，所以磁阻电机的制造成本较低。开关磁阻电机由前盖、后盖、风扇、定子、转子、轴承等部分组成，如图 1-2-21 所示。

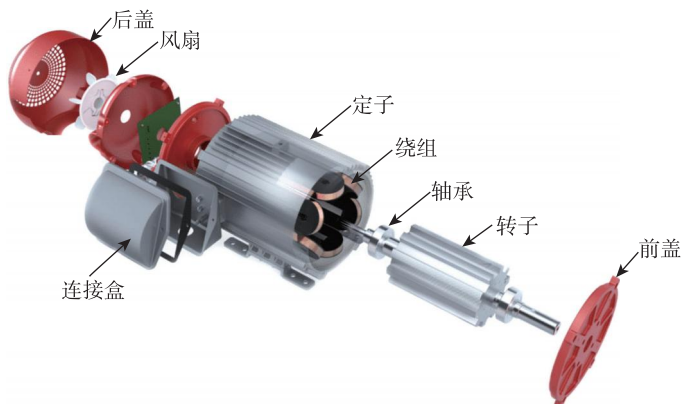


图 1-2-21 开关磁阻电机结构

开关磁阻电机的定子铁芯和转子都是由硅钢片叠压而成的，均采用双凸极结构形式。定子凸极和转子凸极都为偶数，定子的每个绕组与其所围绕的凸极形成一个磁极，转子凸极为定子磁场提供顺畅的磁路。叠压而成的定子铁芯、转子如图 1-2-22 所示。



图 1-2-22 叠压而成的定子铁芯、转子

磁阻电机的定子和转子的凸极数并不相等，通常定子凸极数多于转子凸极数，但定子凸极数与转子凸极数应尽量接近，不应相差太大，图 1-2-23 为常见的三种磁阻电机定、转子凸极组合形式。

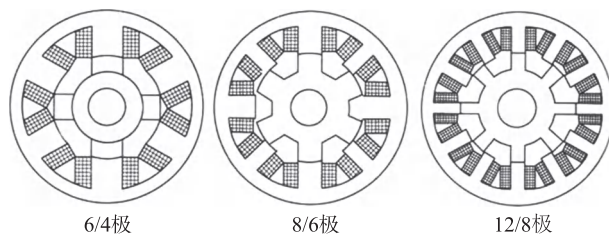


图 1-2-23 磁阻电机定、转子凸极组合形式示意图

## 2. 工作原理

开关磁阻电机的工作机理基于磁通总是沿磁阻最小（即磁导最大）的路径闭合的原理。当定、转子凸极中心线不重合、磁阻不为最小时，磁场就会产生磁拉力，形成磁阻转矩，使转子转到磁阻最小（即磁导最大）的位置。

当向定子各相绕组中依次通入电流时，电机转子将一步一步地沿着通电相序相反的方向转动，如图 1-2-24 所示。

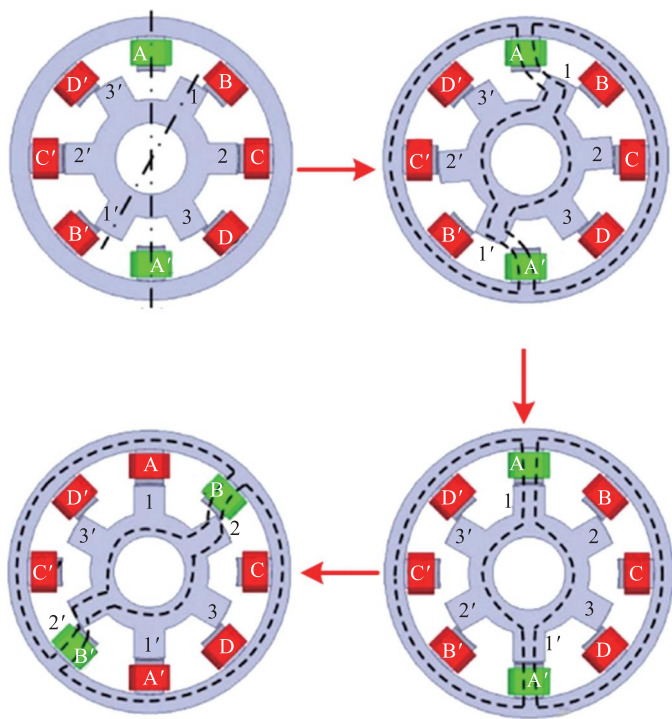


图 1-2-24 磁阻电机工作原理示意图

当电流通入定子绕组 A-A' 上时，通过导磁体的转子凸极并在 A-A' 轴线上建立磁场，





该磁场作用于转子，使转子受磁力作用后发生逆时针旋转运动，让转子凸极轴线 1-1' 与定子凸极轴线 A-A' 重合，达到磁阻最小位置，此时磁拉力消失。

由于定子凸极数与转子凸极数不相等，当转子凸极轴线 1-1' 与定子凸极轴线 A-A' 重合时，2-2' 与 B-B' 轴线不重合，此时给 B-B' 绕组通电，磁通经定子轭、定子凸极、转子凸极和转子轭闭合，B-B' 对称磁场产生的弯曲磁感线沿逆时针方向的磁拉力，使转子受磁力作用后继续发生逆时针旋转运动，让转子凸极轴线 2-2' 与定子凸极轴线 B-B' 重合，达到磁阻最小位置，此时磁拉力消失。

同理，按顺序周期性地导通、关断 A-A'、B-B'、C-C'、D-D' 绕组的电流，则可以让磁阻电机持续地逆时针旋转。如果改变定子各相的通电次序，按顺序导通、关断 D-D'、C-C'、B-B'、A-A' 绕组电流，电机将改变转向——顺时针旋转，但相电流流通方向的改变不影响转子的转向。

开关磁阻电机的旋转速度与线圈通断电的改变频率有关。改变得越快，电机转速也越快。电机运转运用了利用磁阻最小原理，故称为磁阻电机，又由于线圈电流通断、磁通状态直接受开关控制，故称为开关磁阻电机。

### 3. 性能特点

开关磁阻电机结构简单、制造成本低；转子没有永磁体或绕组，转动惯量小，易于加减速，适用于高速运转环境，也适于在高温下运转；起动转矩大，起动电流低；转子没有绕组，降低了电机的铜损耗，且能在较宽的功率和转速范围内保持高效运行；适用于频繁启停以及正反向转换运行。但开关磁阻电机运行振动幅度和噪声较大，且运转过程有转矩脉动。

## 六、驱动电机铭牌识读

驱动电机外壳上固定有铭牌，其上通常含有电机制造厂、电机类型、型号以及主要工作参数，如额定功率、额定转速、最高转速、极对数、绝缘等级、冷却方式、重量等信息，如图 1-2-25 所示。



图 1-2-25 某车型永磁同步电机铭牌

其中，驱动电机型号由驱动电机类型代号、尺寸规格代号、信号反馈元件代号、冷却方式代号、制造商预留代号五部分组成。TZ115MSXXX 驱动电机型号标识意义如图 1-2-26

所示。

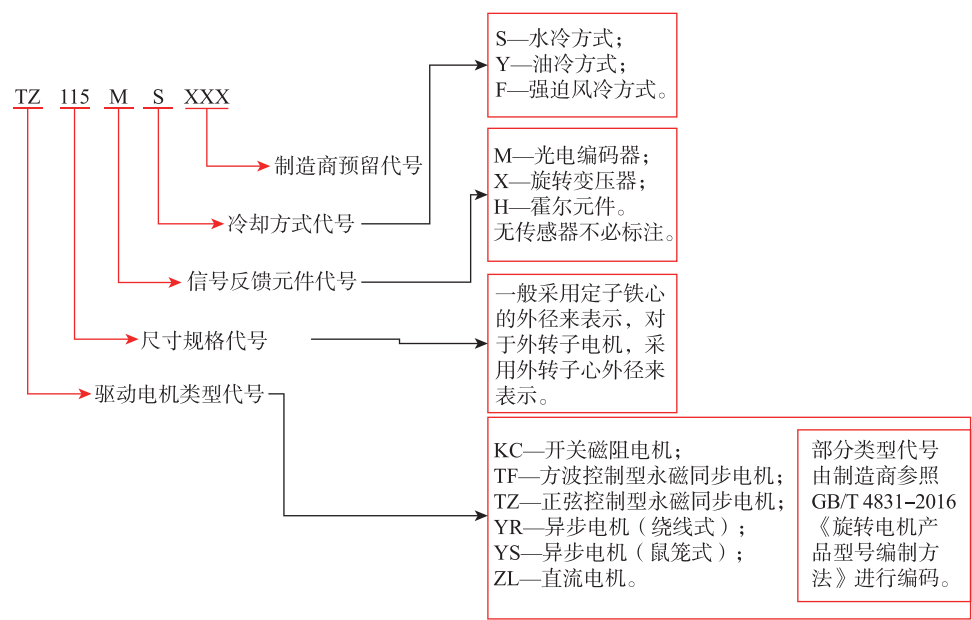


图 1-2-26 驱动电机铭牌标识意义

任务实施

一、实施准备

- (1) 安全防护：着常规实训工装、做好场地安全防护与隔离、放置警示牌。
- (2) 工具设备：工具箱、计算机、纸质工单等。
- (3) 实训用驱动电机：三相交流异步电机、永磁同步电机各 2 个。
- (4) 辅助资料：车辆维修手册、实训指导手册等。

二、任务内容

依据实训用驱动电机，记录铭牌信息；小组分工合作完成驱动电机的解体与装配。要求任务完成过程注意安全规范操作并拍照记录，拆卸下来的零件规范摆放并做好标记，工单填写完整，信息填写准确，任务实施计划合理，小组成员充分参与。

三、任务工单

实训工单 1-2-1 新能源汽车驱动电机解体与装配

|     |  |    |  |    |  |
|-----|--|----|--|----|--|
| 姓名  |  | 学号 |  | 班级 |  |
| 分组号 |  | 时间 |  | 地点 |  |



续表

| 登记驱动电机铭牌信息    |          |      |    |        |  |
|---------------|----------|------|----|--------|--|
| 电机类型          |          | 电机型号 |    | 额定功率   |  |
| 额定转速          |          | 最高转速 |    | 极对数    |  |
| 绝缘等级          |          | 冷却方式 |    | 信号反馈元件 |  |
| 组内成员任务分工      |          |      |    |        |  |
|               |          |      |    |        |  |
|               |          |      |    |        |  |
|               |          |      |    |        |  |
| 任务工作计划        |          |      |    |        |  |
| 序号            | 作业项目     |      |    | 操作要点   |  |
| 1             |          |      |    |        |  |
| 2             |          |      |    |        |  |
| 3             |          |      |    |        |  |
| 4             |          |      |    |        |  |
| 5             |          |      |    |        |  |
| 任务实施步骤        |          |      |    |        |  |
|               |          |      |    |        |  |
|               |          |      |    |        |  |
|               |          |      |    |        |  |
|               |          |      |    |        |  |
| 任务实施结果        |          |      |    |        |  |
|               |          |      |    |        |  |
| 任务评分表         |          |      |    |        |  |
| 评价项目          | 评价内容     | 评价维度 |    |        |  |
|               |          | 自评   | 互评 | 师评     |  |
| 学习态度<br>(10分) | 出勤且无迟到早退 |      |    |        |  |
|               | 正确穿戴工作服  |      |    |        |  |

续表

| 任务评分表            |                                   |      |    |    |
|------------------|-----------------------------------|------|----|----|
| 评价项目             | 评价内容                              | 评价维度 |    |    |
|                  |                                   | 自评   | 互评 | 师评 |
| 知识掌握<br>( 30 分 ) | 完成任务练习作业                          |      |    |    |
|                  | 完成任务工单的填写                         |      |    |    |
| 技能掌握<br>( 30 分 ) | 完整登记驱动电机铭牌信息                      |      |    |    |
|                  | 能准确说出驱动电机铭牌含义                     |      |    |    |
|                  | 正确规范使用拆装工具                        |      |    |    |
|                  | 配合完成实训驱动电机的分解                     |      |    |    |
|                  | 配合完成实训驱动电机的装配                     |      |    |    |
|                  | 完整总结记录电机内部结构组成                    |      |    |    |
|                  | 实训工位的 6S 管理                       |      |    |    |
| 协作意识<br>( 30 分 ) | 参与小组讨论探究，积极发表意见                   |      |    |    |
|                  | 组内分工合理，协作默契                       |      |    |    |
|                  | 积极参与，主动承担工作任务                     |      |    |    |
| 总评成绩             | 自评 × 30% + 互评 × 30% +<br>师评 × 40% |      |    |    |
| 任务工作总结           |                                   |      |    |    |
|                  |                                   |      |    |    |



## 任务总结

(1) 有刷直流电机有着良好的启动性能、调速性能, 但结构复杂、转速低、体积大、维护频繁。无刷直流电机克服了有刷直流电机的缺陷, 以电子换向器取代了机械换向器, 既有良好的调速性能又有结构简单、无换向火花、运行可靠和易于维护等优点。

(2) 交流异步电机具有较高的效率和精度, 易实现高转速运行, 且具有较宽的速度调节范围、高可靠性、使用寿命长等优点, 但功率因数较低、调速性能较差。



(3) 永磁同步电动机的转速与电源频率间始终保持准确的同步关系, 控制电源频率就能控制电动机的转速, 调速范围宽; 不需要无功励磁电流, 功率因数高; 永磁同步电动机体积小、质量轻、转动惯量小、功率密度高。但永磁材料成本较高, 且存在不可逆的退磁问题。

(4) 开关磁阻电机结构简单、高起动转矩、高效率、高过载能力、可正反频繁无冲击电流起动, 可快速制动、宽调速范围、低运行电流、低维护费用等特点使得其在新能源货运车上得到了大量应用。



## 任务练习



### 一、填空题

1. 目前, 应用于各类新能源汽车上的驱动电机类型主要有\_\_\_\_\_电机、\_\_\_\_\_电机、\_\_\_\_\_电机、\_\_\_\_\_电机等。
2. 有刷直流电机按照励磁绕组与电枢绕组的连接方式的不同, 可以分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_四种。
3. 有刷直流电机的定子, 其作用是\_\_\_\_\_。
4. 有刷直流电机的换向器也称为整流子, 作用是\_\_\_\_\_。
5. 交流异步电机也称\_\_\_\_\_电机, 是由\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_相互作用产生电磁转矩, 从而实现将电能转换为机械能的一种交流电动机。
6. 磁场同步转速  $n_0$  与交流电的频率以及定子绕组的极对数有关, 交流电频率  $f$  越高, 同步转速越\_\_\_\_\_; 极对数  $P$  越少, 同步转速越\_\_\_\_\_; 它们之间的关系为\_\_\_\_\_。



### 二、选择题

1. 在直流电机中, 换向极的作用是 ( )。
  - A. 和电刷配合将输入直流电转变为交流电, 保证所有导体上产生的转矩方向一致
  - B. 改善直流电机的换向性能, 减少电刷与换向器之间的火花
  - C. 产生磁场
  - D. 产生电磁转矩
2. 在直流电机中, 保持电枢绕组两端正负极极性不变, 将励磁绕组反接, 可实现 ( )。
  - A. 电机的反转
  - B. 电机的制动
  - C. 电机的变速
  - D. 电机的励磁强化
3. 下列不属于三相笼型异步电机结构件的是 ( )。
  - A. 导条
  - B. 电枢绕组
  - C. 永磁体
  - D. 电刷

4. 某三相交流异步电机，定子绕组极对数为 2，采用 50Hz 的供电频率，不考虑其他因素条件下，电机的转速（ ）。

- A. 小于 1 500 r/min                      B. 等于 1 500 r/min  
C. 大于 1 500 r/min                      D. 不能确定

5. 下列属于开关磁阻电机转子结构的是（ ）。

- A. 永磁体磁极              B. 笼型转子绕组              C. 带凸极的转子              D. 电刷

### 三、判断题

1. 无刷直流电机的诞生，克服了有刷直流电机的先天性缺陷，以电子换向器取代了机械换向器，但没能改善直流电机的换向性能。 ( )

2. 永磁同步电机转子上的磁极总是成对出现，相邻磁极为异性磁极，相对磁极为同性磁极。 ( )

3. 交流异步电机的定子绕组是电动机的电路部分，通入三相交流电，其作用是吸收电功率，并在气隙中产生旋转磁场。 ( )

4. 交流异步电机的同步磁场转速由通入定子绕组的三相交流电的频率决定。 ( )

5. 旋转磁场的旋转方向取决于通入定子绕组中的三相交流电源的频率，且与三相交流电源的相序 U、V、W 的方向一致。 ( )

6. 交流异步电机的转子转速高于同步磁场转速。 ( )

7. 开关磁阻电机的工作机理基于磁通总是沿磁阻最小的路径闭合的原理。 ( )

8. 开关磁阻电机定子和转子的凸极数并不相等，通常定子凸极数少于转子凸极数。 ( )

### 四、简答题

1. 请简要描述交流异步电机的工作原理。

2. 请简要描述开关磁阻电机的性能特点。



### 任务三

## 新能源汽车电机控制器的认知

### 任务目标

#### 知识目标

- (1) 掌握电机控制器的功能。
- (2) 掌握电机控制器的内部结构组成。
- (3) 了解 IGBT 功率模块的性能特点。
- (4) 熟悉预充电容及压敏电容的功能。
- (5) 熟悉电机控制器的工作原理。

#### 能力目标

- (1) 能够准确描述电机控制器的功能。
- (2) 能够准确描述电机控制器内部结构组成。
- (3) 能制订合理计划、配合完成电机控制器的检查、维护。

#### 素质目标

- (1) 培养规范操作、安全生产的意识。
- (2) 树立团队协作精神。

### 任务知识

#### 一、电机控制器概述

电机控制器是驱动系统的主要部件，直接控制动力电池电源与电机之间的能量传输。车辆行驶时，高压直流电从动力电池流出，经电机控制器逆变成三相交流电；车辆制动时，三相交流电通过再生制动能量经电机控制器回馈到电池包中，对电池包进行充电，延长续航里程，某车型电机控制器实物及布置位置如图 1-3-1 所示。

#### 二、电机控制器的内部结构

不同车型的电机控制器集成度不同，内部结构也存在差异。以某常见车型为例，其电机控制器内部包含 1 个 DC/AC 逆变器和 1 个 DC/DC 转换器。



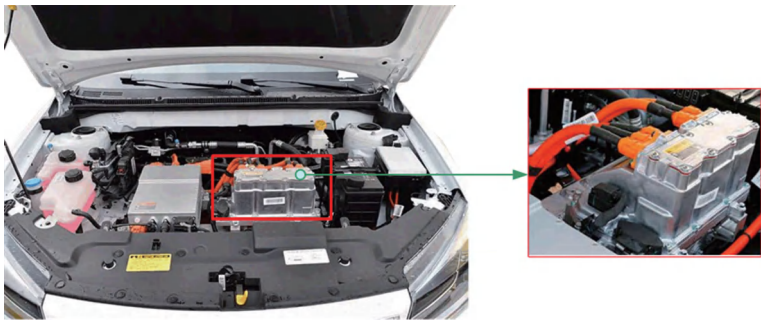


图 1-3-1 某车型电机控制器实物及布置位置

### 1. DC/AC 逆变器

DC/AC 逆变器由控制主板、IGBT（绝缘栅双极型晶体管）功率模块、功率驱动板、预充电电容等组成，可实现直流与交流之间的转变。

#### 1) 控制主板

控制主板通过低压线束插接器 BV11 传递高压互锁信号、发送旋变励磁信号、接收温度传感器以及旋变反馈信号，并保持对内部功率驱动板、DC/DC 转换器以及对外部动力 CAN 网络的通信，如图 1-3-2 所示。

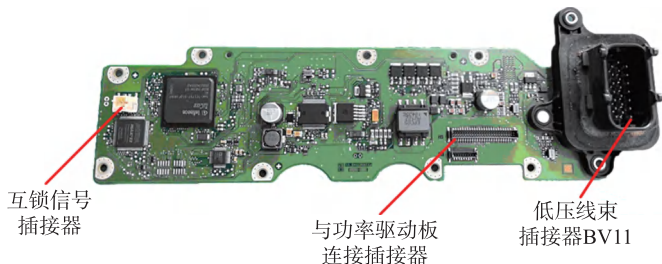


图 1-3-2 某车型电机控制器控制主板

与控制主板连接的 28 PIN 低压插件 BV11 完成电机控制器的唤醒、低压供电、信息采集、通信等电信号的传递，其插件位置及端子编号如图 1-3-3 所示，其端子定义如表 1-3-1 所示。

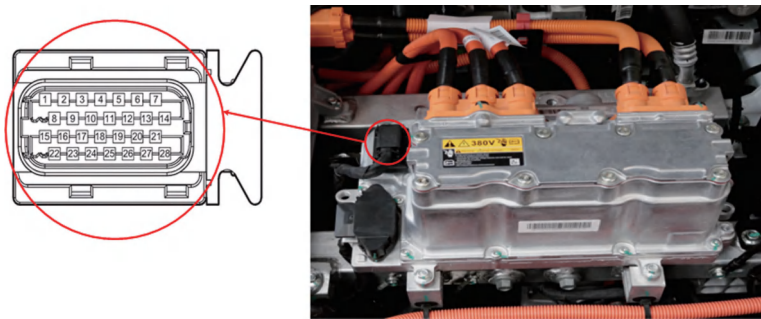


图 1-3-3 某车型电机控制器 BV11 插件位置及端子编号示意图



表 1-3-1 电机控制器 BV11 插件端子定义

| 端子 | 端子定义                     | 颜色   | 备注          |
|----|--------------------------|------|-------------|
| 1  | Interlock input+         | Br   | 互锁信号（进）     |
| 2  | —                        | —    | —           |
| 3  | —                        | —    | —           |
| 4  | Interlock output+        | W    | 互锁信号（出）     |
| 5  | Temperature sensor Input | Br/W | 温度传感器 2+    |
| 6  | Temperature sensor Gnd   | R    | 温度传感器 1-    |
| 7  | Temperature sensor Input | L/R  | 温度传感器 1+    |
| 8  | —                        | —    | —           |
| 9  | —                        | —    | —           |
| 10 | Shielding Gnd            | B    | 旋变信号屏蔽线     |
| 11 | Gnd                      | B    | 搭铁          |
| 12 | —                        | —    | —           |
| 13 | Temperature sensor Gnd   | W/G  | 温度传感器 2-    |
| 14 | Wakeup input             | L/W  | VCU 唤醒信号    |
| 15 | AC pulg templ Gnd        | G    | 旋变励磁信号 +    |
| 16 | Resovler coslo           | P    | 旋变反馈信号 cos- |
| 17 | Resovler sinlo           | W    | 旋变反馈信号 sin- |
| 18 | —                        | —    | —           |
| 19 | —                        | —    | —           |
| 20 | Communication CANH       | Gr/O | 动力 CANH     |
| 21 | Communication CANL       | L/B  | 动力 CANL     |
| 22 | Resovler exc             | O    | 旋变励磁信号 -    |
| 23 | Resovler cosHI           | L    | 旋变反馈信号 cos+ |
| 24 | Resovler sinHI           | Y    | 旋变反馈信号 sin+ |
| 25 | KL15                     | G/Y  | IG2 供电      |
| 26 | KL30                     | R/L  | 常电          |
| 27 | Calibration CANH         | P/W  | 诊断、标定 CANH  |
| 28 | Calibration CANL         | B/W  | 诊断、标定 CANL  |

## 2) IGBT 功率模块

IGBT 功率模块（见图 1-3-4）是由双极型晶体管和绝缘栅型场效应管组成的一种新型电力半导体器件，具有高输入阻抗、低导通压降以及驱动功率小、控制电路简单、开关损耗小、工作频率高等优点，非常适合高电压、高频率、高功率的直流转交流系统。

IGBT 功率模块表面与铝制散热板紧贴，侧面连接功率驱动板，3 个 IGBT 模块都有上下 2 个 IGBT 单体，每 2 个 IGBT 单体组成一个单桥臂，每个桥臂与功率驱动板之间有 9 根连线，包括温度测量、上桥驱动、下桥驱动、过电流或短路故障监测反馈线路。高压直流电经 IGBT 模块“+、-”极输入，得到“U、V、W”三相交流电输出。



图 1-3-4 电机控制器 IGBT 功率模块

## 3) 功率驱动板

电机控制器发送的信号经隔离变压器转换后传递给功率驱动板（见图 1-3-5），功率驱动板是接收主控板的 PWM（脉宽调制）信号，并驱动 IGBT 进行开关动作，同时反馈 IGBT 温度、母线电压、短路错误、驱动电压故障等信息的电路。其主要包含电源电路、逻辑电路、驱动电路、推挽电路、电压检测电路、温度检测电路、错误反馈电路等部分。在功率驱动板中，有 3 块相同的电路，分别驱动 1 个单桥臂。

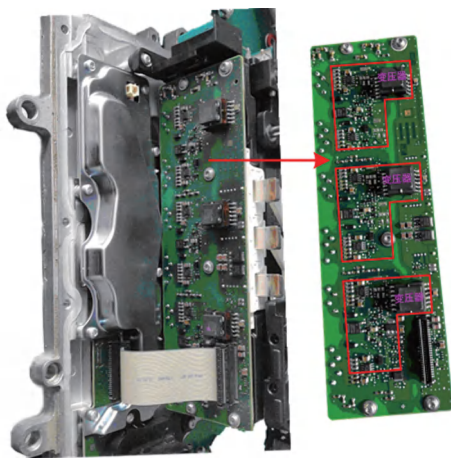


图 1-3-5 电机控制器功率驱动板

## 4) 预充电容

电机控制器内部布置有预充电容以及压敏电容，如图 1-3-6 所示。在整车接通高压电时，对预充电容充电；在车辆运行过程中电源电压波动时，预充电容通过充放电来保持电压的稳定。两个压敏电容一个属于直流正极压敏电容，连接在正极与电机控制器外壳之间；另一个属于直流负极压敏电容，连接在负极与电机控制器外壳之间。当正负极电路中偶发高电流、高电弧时，可以通过压敏电容消除掉，起到保护电路的作用。

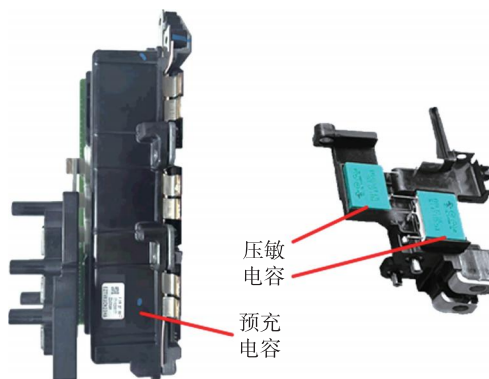


图 1-3-6 电机控制器预充电容及压敏电容

## 2. DC/DC 转换器

DC/DC 转换器（见图 1-3-7）布置在铝制散热板下方、电机控制器底层，动力电池输入的高压直流电经 DC/DC 转换后变成低压直流电，给 12 V 低压蓄电池充电。

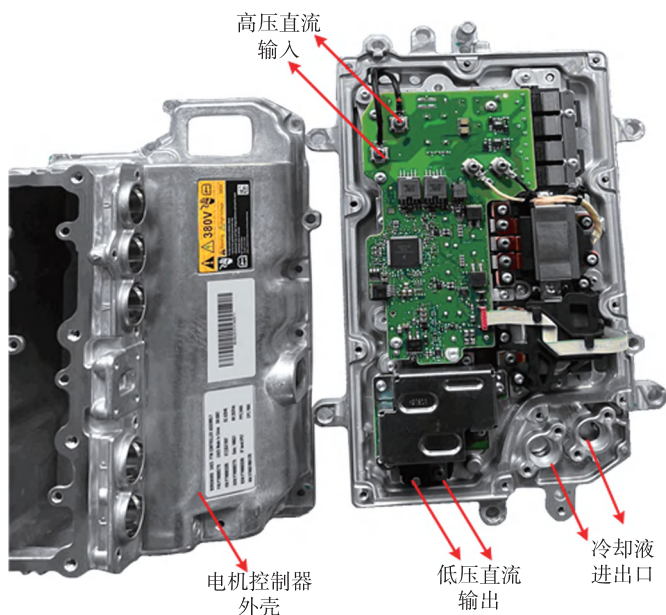


图 1-3-7 DC/DC 转换器

## 三、电机控制器的功能

电机控制器是通过集成电路的主动工作来控制电机按照设定的方向、速度、角度、响应时间进行工作的，使得电机应用范围更为广泛、输出效率更高、噪声更小。电机控制器有如下功能。

（1）整车控制器根据驾驶人意图发出各种指令，电机控制器响应指令并回馈，实时调整驱动电机的输出，以实现整车的怠速、前行、倒车、停车、能量回收以及驻坡等

功能。

- (2) 可以监测与分析电机旋变传感器、温度传感器数据。
- (3) 具有电流的双向逆变功能, 可以实现供电的直流转交流, 回馈充电的交流转直流。
- (4) 可以实时进行状态和故障检测, 保护驱动电机系统和整车安全可靠运行。
- (5) 具有能量回馈控制, 主动泄放、被动泄放控制等功能。

#### 四、电机控制器的工作原理

当驾驶人操作加速踏板、制动踏板以及挡位杆时, 踏板位移以及挡位选择转化为电信号传递给整车控制器 (vehicle control unit, VCU), 经内部微控制器处理得出驾驶需求。VCU 通过 CAN 总线将驾驶需求信息传递给电机控制器, 电机控制器开始分析计算对应的电流大小、IGBT 导通时间以及各 IGBT 导通的顺序。电机控制器实时采集旋变传感器、温度传感器以及相电流传感器等信息, 从而进行 IGBT 导通时间修正, 实现驱动电机的精确控制。电机控制器工作原理如图 1-3-8 所示。

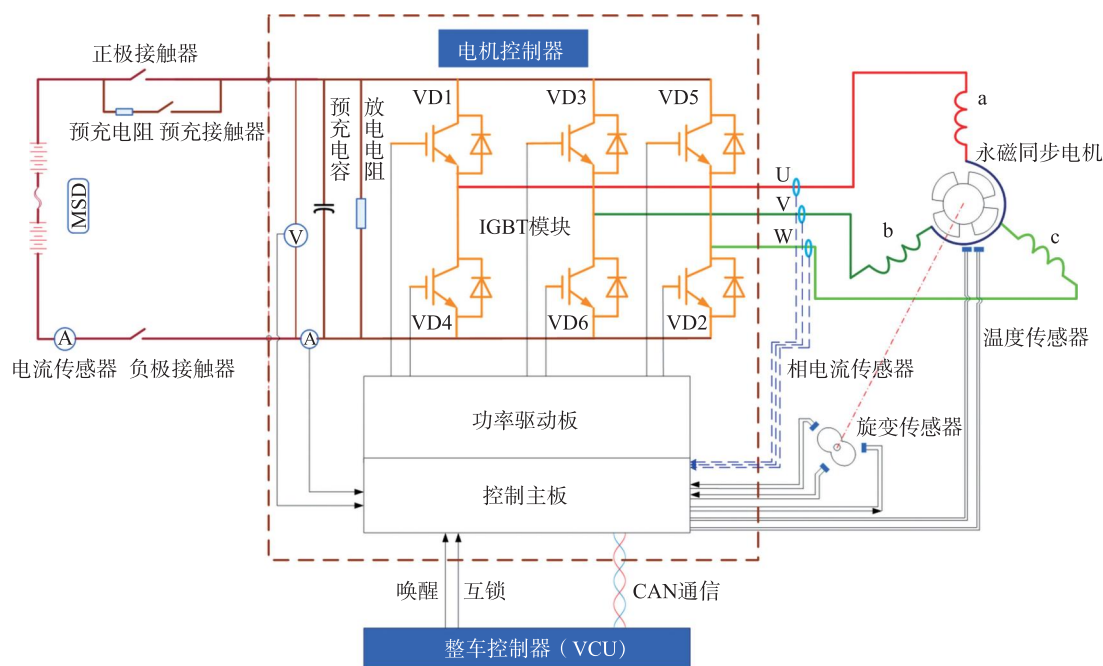


图 1-3-8 电机控制器工作原理示意图

经过 IGBT 有序地开启与关断, 输入电机控制器的高压直流电转换为 U、V、W 三相交流电, 供给驱动电机, VD1 ~ VD6 表示 6 个 IGBT, a、b、c 表示驱动电机的定子绕组 (线圈),  $U_{ab}$ 、 $U_{bc}$ 、 $U_{ca}$  分别表示绕组 ab、bc、ca 之间的电压。

(1) 当 VD1、VD5、VD6 导通时, 高压直流电一条路流经 VD1、线圈 a 和线圈 b, 由 VD6 回到电源负极; 另一条路流经 VD5、线圈 c 和线圈 b, 由 VD6 回到电源负极, 如





图 1-3-9 所示。

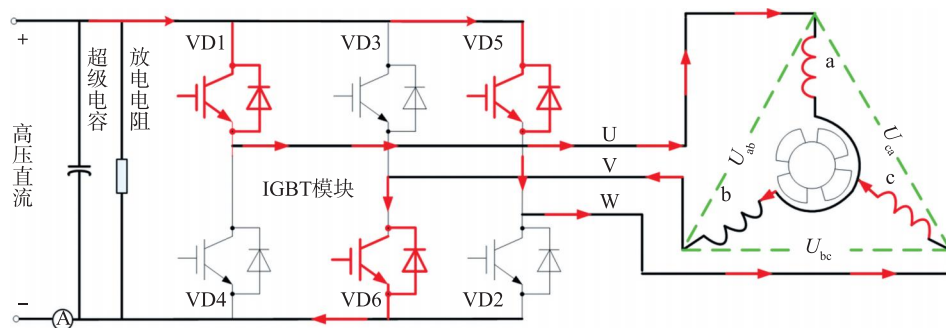


图 1-3-9 当 VD1、VD5、VD6 导通时电流流向示意图

(2) 当 VD1、VD2、VD6 导通时，高压直流电一条路流经 VD1、线圈 a 和线圈 b，由 VD2 回到电源负极；另一条路流经 VD1、线圈 a 和线圈 c，由 VD6 回到电源负极，如图 1-3-10 所示。

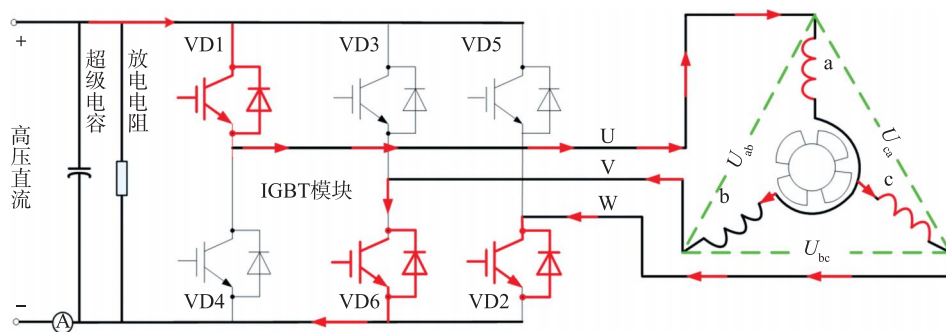


图 1-3-10 当 VD1、VD2、VD6 导通时电流流向示意图

(3) 当 VD1、VD2、VD3 导通时，高压直流电一条路流经 VD1、线圈 a 和线圈 c，由 VD2 回到电源负极；另一条路流经 VD3、线圈 b 和线圈 c，由 VD2 回到电源负极，如图 1-3-11 所示。

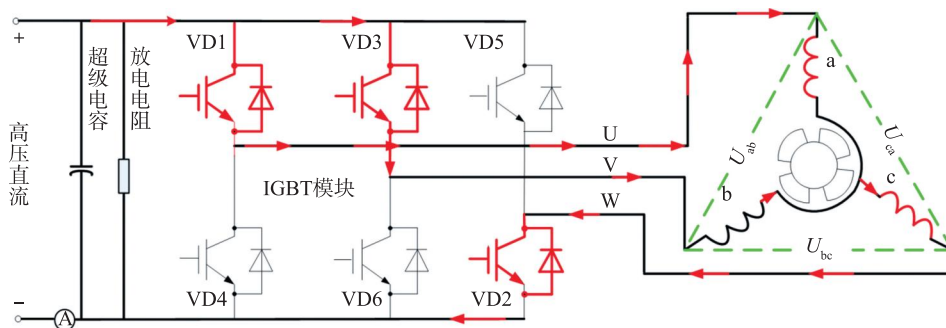


图 1-3-11 当 VD1、VD2、VD3 导通时电流流向示意图

以此类推,按照规律导通 6 个 IGBT,就能完成直流转交流过程。值得注意的是,每一个瞬间都有 3 个 IGBT 导通,每个 IGBT 持续导通  $180^\circ$  电角度,每隔  $60^\circ$  ( $\pi/3$ ),参与导通的 3 个 IGBT 组合就会变换一次,合成的驱动转矩就转过  $60^\circ$  ( $\pi/3$ ),IGBT 导通次序与相电压变换如图 1-3-12 所示。

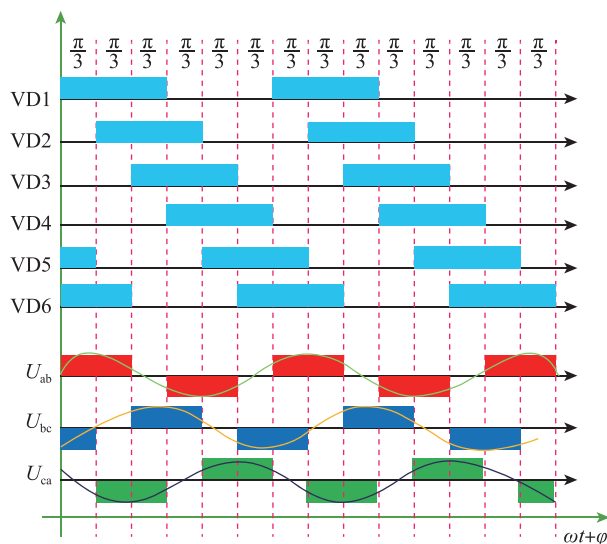


图 1-3-12 IGBT 导通次序与相电压变换示意图

通过控制各 IGBT 管的导通 / 关断持续时间,可以调节通入定子线圈三相交流电的频率和电流大小,进而实现对驱动电机转速和驱动转矩大小的调节;调节三相交流电通电顺序,实现对驱动电机的转动方向的控制。

## 任务实施

### 一、实施准备

- (1) 安全防护: 着常规实训工装、做好场地安全防护与隔离、放置警示牌。
- (2) 工具设备: 工具箱、计算机、纸质工单等。
- (3) 实训车辆: 新能源汽车 2 辆。
- (4) 辅助资料: 车辆维修手册、实训指导手册等。

### 二、任务内容

电机控制器是新能源汽车驱动系统最重要的部件之一,为保障新能源汽车驱动系统的正常工作,需定期进行检查与维护。请以小组为单位,制订工作计划并完成实训车辆电机控制器的检查与维护。





### 三、任务工单

实训工单 1-3-1 新能源汽车电机控制器的检查与维护

|          |      |        |  |      |  |
|----------|------|--------|--|------|--|
| 姓名       |      | 学号     |  | 班级   |  |
| 分组号      |      | 时间     |  | 地点   |  |
| 登记车辆基本信息 |      |        |  |      |  |
| 车辆品牌     |      | 电池型号   |  | 电机型号 |  |
| 车辆型号     |      | 电池电压   |  | 电机电压 |  |
| VIN 码    |      | 电池容量   |  | 电机功率 |  |
| 生产日期     |      | SOC 电量 |  | 行驶里程 |  |
| 组内成员任务分工 |      |        |  |      |  |
|          |      |        |  |      |  |
|          |      |        |  |      |  |
| 任务工作计划   |      |        |  |      |  |
| 序号       | 作业项目 |        |  | 操作要点 |  |
| 1        |      |        |  |      |  |
| 2        |      |        |  |      |  |
| 3        |      |        |  |      |  |
| 任务实施步骤   |      |        |  |      |  |
|          |      |        |  |      |  |
|          |      |        |  |      |  |
|          |      |        |  |      |  |
| 任务实施结果   |      |        |  |      |  |
|          |      |        |  |      |  |

续表

| 任务评分表            |                                |      |    |    |
|------------------|--------------------------------|------|----|----|
| 评价项目             | 评价内容                           | 评价维度 |    |    |
|                  |                                | 自评   | 互评 | 师评 |
| 学习态度<br>( 10 分 ) | 出勤且无迟到早退                       |      |    |    |
|                  | 正确穿戴工作服                        |      |    |    |
| 知识掌握<br>( 30 分 ) | 完成任务练习作业                       |      |    |    |
|                  | 完成任务工单的填写                      |      |    |    |
| 技能掌握<br>( 30 分 ) | 完整登记实训车辆基本信息                   |      |    |    |
|                  | 电机控制器外观检查维护                    |      |    |    |
|                  | 电机控制器冷却管路检查维护                  |      |    |    |
|                  | 电机控制器高低压插件检查维护                 |      |    |    |
|                  | 电机控制器高低压电缆检查维护                 |      |    |    |
|                  | 实训工位的 6S 管理                    |      |    |    |
| 协作意识<br>( 30 分 ) | 参与小组讨论探究，积极发表意见                |      |    |    |
|                  | 组内分工合理，协作默契                    |      |    |    |
|                  | 积极参与，主动承担工作任务                  |      |    |    |
| 总评成绩             | 自评 × 30% + 互评 × 30% + 师评 × 40% |      |    |    |
| 任务工作总结           |                                |      |    |    |
|                  |                                |      |    |    |



## 任务总结

(1) 电机控制器内部包含 1 个 DC/AC 逆变器, DC/AC 逆变器由控制主板、IGBT 功率模块、功率驱动板、预充电容等组成, 部分车型的电机控制器还集成了 DC/DC 转换器。

(2) 电机控制器能响应整车控制器的控制指令, 实时调整驱动电机的输出, 实现整车的怠速、前行、倒车、停车、能量回收以及驻坡等功能; 能监测与分析电机旋变传感器、温度传感器数据; 具有电流的双向逆变功能, 可以实现供电的直流转交流, 回馈充电的交流转直流; 可以实时进行状态和故障检测, 保护驱动电机系统和整车安全可靠运行; 具有能量回馈控制, 主动泄放、被动泄放控制等功能。

(3) 电机控制器根据整车控制器的指令以及旋变传感器、温度传感器等信息, 精确控制各 IGBT 管的导通 / 关断持续时间, 调节三相交流电的频率和电流大小, 实现对驱动电机转速和驱动转矩大小的调节; 调节三相交流电通电顺序, 实现对驱动电机的转动方向的控制。



## 任务练习

### 一、填空题

1. 电机控制器通过控制\_\_\_\_\_的导通 / 关断持续时间, 可以调节通入定子线圈三相交流电的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_, 进而实现对\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的调节。
2. \_\_\_\_\_, 实现对驱动电机的转动方向的控制。
3. 电机控制器内部包含\_\_\_\_\_, 逆变器由\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_等组成, 可以实现直流与交流之间的转变。
4. 在车辆运行过程中电源电压波动时, \_\_\_\_\_通过充放电来保持电压的稳定。
5. 当正负极电路中偶发高电流、高电弧时, 可以通过\_\_\_\_\_消除掉, 起到保护电路的作用。
6. 填写图 1-3-13 电机控制器接口定义: ①\_\_\_\_\_; ②\_\_\_\_\_; ③\_\_\_\_\_; ④\_\_\_\_\_; ⑤\_\_\_\_\_。

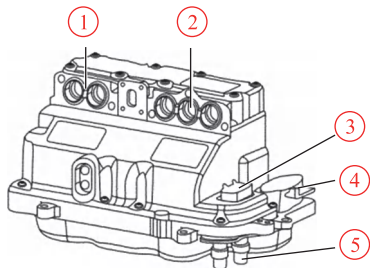


图 1-3-13 电机控制器接口定义

## 二、简答题

1. 电机控制器主要有哪些功能？
2. 电机控制器是如何将直流电转化为交流电的？
3. DC/DC 转换器有什么作用？

拓展  
阅读

## 中国共产党人的“三牛”精神

“人无精神则不立，国无精神则不强。”“三牛”精神是我们党砥砺奋进、创造历史的精神动力，是我们党披荆斩棘、创造未来的精神力量。在2021年中国人民政治协商会议全国委员会新年茶话会上，习近平总书记发表重要讲话，指出“发扬为民服务孺子牛、创新发展拓荒牛、艰苦奋斗老黄牛的精神，始终保持慎终如始、戒骄戒躁的清醒头脑，始终保持不畏艰险、锐意进取的奋斗韧劲，在全面建设社会主义现代化国家新征程上奋勇前进”。

## 一、精神内涵

“三牛”精神（见图1）是指“为民服务孺子牛、创新发展拓荒牛、艰苦奋斗老黄牛”的精神。

“三牛”精神具体体现在三个方面：面对人民日益增长的美好生活需要，争当为民服务、无私奉献的“孺子牛”；面对新发展阶段的新挑战新任务，争当创新发展、攻坚克难的“拓荒牛”；面对民族复兴伟大梦想，争当艰苦奋斗、吃苦耐劳的“老黄牛”。



图1 “三牛”精神

## 二、时代价值

“三牛”精神是中国共产党伟大革命精神在新时代的最新总结，极大地丰富了中国共产党的革命精神谱系，为实现中华民族伟大复兴的中国梦增添了新的精神动力。

弘扬“三牛”精神有助于一如既往地坚持“人民至上”执政理念，有助于全面深入贯彻新发展理念，有助于形成催人奋进、锐意进取、苦干实干的良好社会氛围，促进形成良好社会文明风尚，推动高质量发展。

## 三、精神典范

## 1. 孺子牛：素心托高洁——张桂梅

张桂梅是云南省丽江市华坪女子高级中学党支部书记、校长。她扎根贫困山区，把贫困山区的孩子当自己的孩子。她笑对人生风雨坎坷，始终坚守在祖国西南边陲的教师岗位

上，俯首甘为孺子牛，成为当地各民族学生口中的“老师妈妈”。她坚守教育报国初心，牢记立德树人使命，辛勤工作40多年，推动创建了中国第一所免费女子高中，让1600余名贫困山区女学生圆梦大学，托举起当地群众决战决胜脱贫攻坚的信心希望。

### 2. 拓荒牛：一丸济世德——顾方舟

顾方舟是我国著名的病毒学专家，是我国脊髓灰质炎疫苗研发生产的拓荒者。1957年，31岁的病毒学家顾方舟临危受命研制脊髓灰质炎疫苗。为加快进度，他举家搬到云南大山深处的科研所，在疫苗问世后，顾方舟和同事们除了在动物身上试验，还自己先试用疫苗。1960年脊髓灰质炎疫苗向全国推广以来，“脊灰”的年平均发病率从1949年的十万分之4.06，下降到1993年的十万分之0.046，使数十万儿童免于致残。2000年，世界卫生组织宣布中国为无脊灰国家。在消灭脊髓灰质炎这条不平之路上，顾方舟艰辛跋涉了44年。2019年1月，顾方舟在生命的最后留下这样的话：“我活着一辈子，不是从别人那里得到了东西，而是我自己给了别人什么。我一生为国家为人民做了一件事，值得。”

为一大事来，成一大事去。功业凝成糖丸一粒，是治病灵丹，更是拳拳赤子心。顾方舟就是一座方舟，载着新中国的孩子，渡过病毒的劫难。

### 3. 老黄牛：根入石窟蟠——樊锦诗

樊锦诗从小在上海长大，1963年从北大毕业后，把大半辈子的光阴都奉献给了大漠上的敦煌石窟，人们亲切地喊她“敦煌的女儿”。她视敦煌石窟的安危如生命，扎根大漠，潜心石窟考古研究和创新管理，完成了敦煌莫高窟的分期断代、构建“数字敦煌”等重要文物研究和保护工程。2019年国庆前夕，樊锦诗获颁国家荣誉称号勋章。

舍半生，给茫茫大漠，从未名湖到莫高窟，守住前辈的火，开辟明天的路。半个世纪的风沙，不是谁都经得起吹打。一腔爱，一洞画，一场文化苦旅，从青春到白发。心归处，是敦煌。

## 四、总结

作为新时代青年，承前人之期望，接好前人的火炬，我们要深刻领悟“三牛”精神，发扬好“为民服务孺子牛、创新发展拓荒牛、艰苦奋斗老黄牛”的精神，立鸿鹄之志，提高自身专业能力，抓住机遇，应对挑战，务实创新，知行合一，以信仰为矛、奋斗精神为剑，不断为实现自我价值和实现中华民族伟大复兴而努力。

