



“十四五”职业教育国家规划教材



扫描二维码
共享立体资源

新能源汽车电机 及控制系统检修

工作页式教材

新能源汽车电机及控制系统检修

主 编 王建里 赵建明

主 编 王建里 赵建明

北京出版集团
北京出版社

北京出版集团
北京出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新能源汽车电机及控制系统检修 / 王建里, 赵建明
主编. — 北京: 北京出版社, 2020.9 (2023 重印)
ISBN 978-7-200-15930-1

I. ①新… II. ①王… ②赵… III. ①新能源—汽车—
—驱动机构—控制系统—维修—高等职业教育—教材
IV. ①U469.720.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 197387 号

新能源汽车电机及控制系统检修

XINNENGYUAN QICHE DIANJI JI KONGZHI XITONG JIANXIU

主 编: 王建里 赵建明
出 版: 北京出版集团
北 京 出 版 社
地 址: 北京北三环中路 6 号
邮 编: 100120
网 址: www.bph.com.cn
总 发 行: 北京出版集团
经 销: 新华书店
印 刷: 定州启航印刷有限公司
版 印 次: 2020 年 9 月第 1 版 2023 年 7 月修订 2023 年 7 月第 2 次印刷
成品尺寸: 185 毫米 × 260 毫米
印 张: 12
字 数: 230 千字
书 号: ISBN 978-7-200-15930-1
定 价: 38.00 元

教材意见建议接收方式: 010-58572162 邮箱: jiaocai@bphg.com.cn

如有印装质量问题, 由本社负责调换

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393



目录

学习工作页

学习单元一 新能源汽车电机基础知识	2
学习任务一 新能源汽车电机现状及发展趋势学习	2
学习任务二 新能源汽车电机基础知识的学习	7
学习任务三 新能源汽车电机性能要求	12
学习单元二 新能源汽车电机及控制系统学习	16
学习任务一 典型电机控制系统的结构及特点认知	16
学习任务二 电机驱动系统传感器结构及原理认知	21
学习任务三 典型电机变频器的结构及原理学习	24
学习单元三 新能源汽车直流电机检修	28
学习任务一 直流电机认知	28
学习任务二 直流电机工作原理	33
学习任务三 直流电机检修	37
学习单元四 新能源汽车交流异步电机检修	41
学习任务一 交流异步电机认知	41
学习任务二 交流异步电机工作原理	46
学习任务三 交流异步电机检修	50
学习单元五 新能源汽车永磁同步电机检修	56
学习任务一 永磁同步电机认知	56
学习任务二 永磁同步电机工作原理	61
学习任务三 永磁同步电机检修	66

▶ 学习参考 ◀

学习单元一 新能源汽车电机基础知识	72
学习任务一 新能源汽车电机现状及发展趋势学习	72
学习任务二 新能源汽车电机基础知识的学习	80
学习任务三 新能源汽车电机性能要求	89
学习单元二 新能源汽车电机及控制系统学习	97
学习任务一 典型电机控制系统的结构及特点认知	97
学习任务二 电机驱动系统传感器结构及原理认知	102
学习任务三 典型电机变频器的结构与原理学习	108
学习单元三 新能源汽车直流电机检修	114
学习任务一 直流电机认知	114
学习任务二 直流电机工作原理	120
学习任务三 直流电机检修	126
学习单元四 新能源汽车交流异步电机检修	135
学习任务一 交流异步电机认知	135
学习任务二 交流异步电机工作原理	142
学习任务三 交流异步电机检修	149
学习单元五 新能源汽车永磁同步电机检修	156
学习任务一 永磁同步电机认知	156
学习任务二 永磁同步电机工作原理	165
学习任务三 永磁同步电机检修	175
参考文献	184

XUEXI 学习工作页
GONGZUOYE



学习单元一

新能源汽车电机基础知识

新能源汽车是指采用非常规的车用燃料作为动力来源，或使用常规的车用燃料、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，具有先进的新技术、新结构的汽车。电池、电机、电控是新能源汽车的三大核心部件，电机驱动控制系统是新能源汽车车辆行驶中的主要执行结构，其驱动特性决定了汽车行驶的主要性能指标，它是电动汽车的重要部件。通过本单元的学习，学习者应能列举并介绍出新能源汽车的类型、新能源汽车电机的分类及特点；能描述新能源汽车电机及驱动电机系统的基本组成及工作原理；能对比新能源汽车驱动电机的基本性能要求及常用性能指标。

学习任务一 新能源汽车电机现状及发展趋势学习

任务描述

比亚迪 4S 店的维修接待张宇，今天接待了一位比较特殊的客户王女士，王女士是车主刘女士的好朋友，因车主有急事，所以临时请王女士开着比亚迪 e5 来店进行车辆保养。因为王女士近期有购车打算，所以想了解新能源汽车的相关信息，如新能源汽车和传统汽车的主要区别、纯电动汽车和混合动力的主要区别，便于后续进行选购。如果你是维修接待，请你为潜在客户王女士介绍新能源汽车的相关知识。

学习目标

1. 能向客户介绍新能源汽车的三种类型及特点。
2. 能罗列出新能源汽车驱动电机的基本要求。
3. 能描述出新能源汽车电机的现状及发展趋势。
4. 具有良好的服务意识，提高沟通协调能力。



学习准备

一、知识准备

1. 新能源汽车的三种类型及特点（查阅学习参考“学习单元一学习任务一”）。
2. 新能源汽车驱动电机的基本要求（查阅学习参考“学习单元一学习任务一”）。
3. 新能源汽车电机的现状及发展趋势（查阅学习参考“学习单元一学习任务一”）。

根据任务描述，需要查看北汽新能源汽车的类型、所采用驱动电机类型及特点，并向客户做出解释。通过查阅学习参考和相关资料，对应整理出该任务所需要的知识点和技能点。

知识点	1.
	2.
	3.
技能点	1.
	2.
	3.

二、工作场地

理实一体教室。

三、工具准备

比亚迪 e5 汽车 2 辆、联网电脑 3 台、平板 3 台、扩音器 1 个等。



计划与实施

一、在教师引导下随机分组，以小组为单位组织学生通过资料查询、组内讨论等方式先自学相关知识，然后在组内进行角色扮演演练，教师负责课堂组织、学习指导、答疑，最后学生需完成以下问题。

1. 新能源汽车和传统汽车的最大区别。

2. 新能源汽车的三种类型。

- 3. 新能源汽车电机的基本要求。
- 4. 新能源汽车常用电机类型。
- 5. 新能源汽车电机的发展趋势。

二、在教师的引导下，以小组为单位完成以下内容。

1. 查阅资料，任意选取 5 个国内在售新能源车型，并将相关参数信息填入下列表格。

序号	品牌	车型	车辆类型（纯电动汽车/混合动力汽车/燃料电池汽车）	驱动电机类型（直流电机/交流异步电动/永磁同步电机/开关磁阻电机/轮毂电机）
1				
2				
3				
4				
5				

2. 进行角色扮演演练并完成下列问题。

（1）新能源汽车如何在减速、制动时进行能量回收？

（2）演练结束后完成下表。

你扮演的角色	演练中的主要问题	如何解决	自我评价	待解决问题



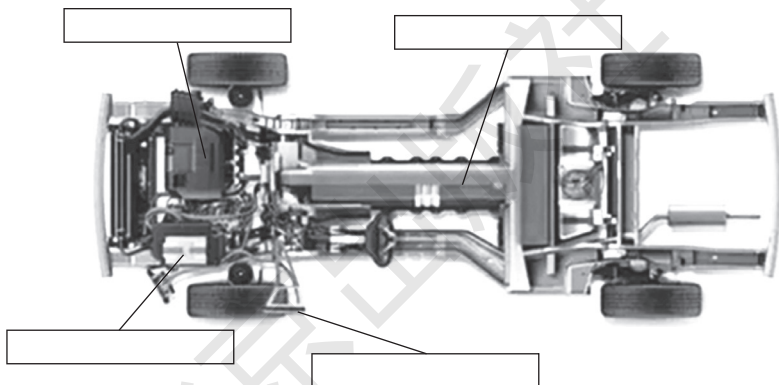
评价与反馈

一、学习效果评价

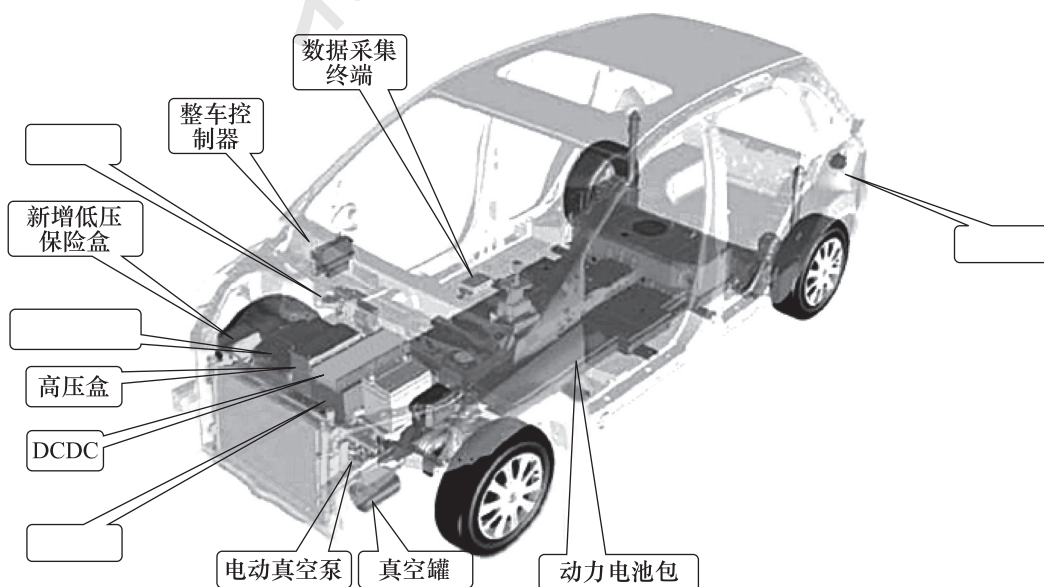
1. 简答题

(1) 根据纯电动汽车的结构形式，简述整车控制器、电机控制器和驱动电机之间的关系。

(2) 在下图空白处填写纯电动汽车驱动电机及其控制系统的组成。



(3) 在下图空白处补全纯电动汽车的主要组成元件。



2. 技能考核

请根据角色扮演演练过程，结合实训车辆及资料查询信息，完成下表。

班级		实训车型	
姓名		车辆类型	
学号		车辆里程	
实践项目		电机类型	
实践流程			
结果分析			
防范措施			
自我评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐		
教师评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐ 教师姓名： 年 月 日		

二、学习过程评价

在完成本单元学习任务后，结合学习任务，各小组随机抽取一名代表向大家介绍：

- (1) 新能源汽车和传统汽车的最大区别；
- (2) 新能源汽车的三种类型及区别；
- (3) 新能源汽车对电机的基本要求；
- (4) 新能源汽车常用电机类型名称；
- (5) 新能源汽车电机的发展趋势。

根据各小组代表的介绍进行组内自评、组间互评和教师评价，各小组根据评价反馈对本次实训内容进行总结并完成小组内部的学习总结报告。

学习任务二 新能源汽车电机基础知识的学习

任务描述

维修接待小李，接待了荣威 Ei5 车的车主赵先生，赵先生反映在车辆行驶中感觉有“嗡嗡”声，开车时心里总是不踏实，所以来店对车辆进行检查并询问是否是驱动电机的问题。如果你是荣威 4S 店的维修接待，请向客户介绍电机的相关知识。

学习目标

1. 能向客户介绍新能源汽车电机的分类及方法。
2. 能描述新能源汽车电机驱动系统的组成及工作原理。
3. 能总结新能源汽车电机调速控制的作用及方法。
4. 培养坚定理想信念，担当民族复兴重任的时代新人。



学习准备

一、知识准备

1. 电机的分类方法（查阅学习参考“学习单元一学习任务二”）。
2. 新能源汽车电机驱动系统的组成及工作原理（查阅学习参考“学习单元一学习任务二”）。
3. 新能源汽车电机驱动系统的组成及工作原理（查阅学习参考“学习单元一学习任务二”）。
4. 新能源汽车电机调速控制作用及方法（查阅学习参考“学习单元一学习任务二”）。

根据任务描述，需要查看荣威 Ei5 驱动电机系统组成、运行模式、驱动电机的特点及调速系统，并向客户做出解释。通过查阅“学习参考”和相关资料，对应整理出该任务所需要的知识点和技能点。

知识点	1.
	2.
	3.
	4.
技能点	1.
	2.
	3.
	4.

二、工作场地

理实一体教室。

三、工具准备

荣威 Ei5 汽车 2 辆、联网电脑 3 台、平板 3 台、扩音器 1 个等。



计划与实施

在教师引导下随机分组，以小组为单位组织学生通过资料查询、组内讨论等方式先自学相关知识，然后在组内进行角色扮演演练，教师负责课堂组织、学习指导、答疑，最后学生需完成以下问题。

1. 新能源汽车电机驱动系统的结构组成。

2. 新能源汽车驱动电机的运行模式。

3. 新能源汽车驱动电机的分类。

4. 新能源汽车常用的 5 种电机类型及特点。

5. 新能源汽车电机驱动系统的组成及工作原理。

6. 新能源汽车电机调速控制系统的作用及方法。



评价与反馈

一、学习效果评价

1. 填空题

- (1) 根据电机工作电源类型的不同,可分为 _____ 和 _____。
- (2) 电机按结构及工作原理可分为 _____、_____ 和 _____。
- (3) 电机按用途可分为 _____ 和 _____。
- (4) 电机按转子的结构分为 _____ 和 _____。
- (5) 电机按运转速度可分 _____、_____、_____ 和 _____。
- (6) 电动汽车电机在电动模式时电机将 _____ 能转换成 _____ 能。
- (7) 电动汽车电机在发电模式时电机将 _____ 能转换成 _____ 能。
- (8) 直流电机的两种调速方法是: ① _____; ② _____。
- (9) 交流异步电机常见的调速方法有 3 种, 分别是: ① _____; ② _____; ③ _____。
- (10) 开关磁阻电机调速控制系统是 _____ 调速。

2. 简答题

- (1) 简述直流电机的特点。

(2) 简述交流异步电机的特点。

(3) 简述永磁同步电机的特点。

(4) 简述开关磁阻电机的特点。

(5) 简述轮毂电机的特点。

(6) 简述电机驱动系统的主要组成及各部分的作用。

3. 在教师的引导下，以小组为单位完成以下内容

(1) 查阅荣威 Ei5 电机驱动系统的相关资料，分析电机在何种情况下是发电模式，何种情况下是电动模式。

(2) 进行角色扮演演练，模拟维修接待与客户的交谈，演练结束后完成下表。

你扮演的角色	演练中的主要问题	如何解决	自我评价	待解决问题

4. 技能考核

请根据角色扮演演练过程，结合实训车辆及资料查询信息，完成下表。

班级		实训车型	
姓名		车辆类型	
学号		车辆里程	
实践项目		电机类型	
实践流程			
结果分析			
防范措施			
自我评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐		
教师评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐ 教师姓名： 年 月 日		

二、学习过程评价

结合学习任务，各小组推选一名代表向大家介绍：

- (1) 新能源汽车电机在何种情况下是发电模式，何种情况下是电动模式。
- (2) 介绍实训车辆的驱动电机类型及特点。

根据各小组代表的介绍进行组内自评、组间互评和教师评价，各小组根据评价反馈对本次实训内容进行总结，并完成小组内部的学习总结报告。

学习任务三 新能源汽车电机性能要求

任务描述

北汽 4S 店的机电维修工小王，接待了 EU5 新能源车主苏先生。苏先生来店报修车辆行驶加速不良故障，怀疑是驱动电机性能下降导致的，本次来店除了维修故障以外还想了解车辆驱动电机性能方面的相关知识。如果你是机电维修工，请向客户介绍驱动电机性能的相关知识。

学习目标

1. 能向客户介绍新能源汽车对驱动电机的主要性能要求。
2. 能对比新能源汽车电机的基本性能参数及含义。
3. 提高自主学习能力和服务意识。



学习准备

一、知识准备

1. 新能源汽车对驱动电机的主要性能要求（查阅学习参考“学习单元一学习任务三”）。
2. 新能源汽车驱动电机的基本性能参数（查阅学习参考“学习单元一学习任务三”）。
3. 直流电机、感应电机、永磁电机和开关磁阻电机的基本性能比较（查阅学习参考“学习单元一学习任务三”）。

根据任务描述，需要查看北汽新能源汽车 EU5 驱动电机的主要性能参数，并向客户做出解释。通过查阅“学习参考”和相关资料，对应整理出该任务所需要的知识点和技能点。

知识点	1.
	2.
	3.
	4.
技能点	1.
	2.
	3.
	4.

二、工作场地

理实一体教室。

三、工具准备

北汽新能源 EU5 汽车 2 辆、联网电脑 3 台、平板 3 台、车辆用户手册 3 本、维修手册 3 本、扩音器 1 个等。



计划与实施

一、在教师引导下随机分组，以小组为单位组织学生通过资料查询、组内讨论等方式先自学相关知识，然后在组内进行角色扮演演练。教师负责课堂组织、学习指导、答疑，最后学生需完成以下问题。

1. 新能源汽车对驱动电机的主要性能要求有哪些？

2. 驱动电机的基本性能参数有哪些？

二、在教师的引导下，以小组为单位完成以下内容。

1. 查阅北汽新能源汽车 EV200 电机参数，分析这些参数代表的意义。

2. 进行角色扮演演练，演练结束后完成下表。

你扮演的角色	演练中的主要问题	如何解决	自我评价	待解决问题



评价与反馈

一、学习效果评价

1. 简答题

- (1) 简述新能源汽车对驱动电机的性能要求。
- (2) 解释电机型号 Y315M-2 中各部分代表的含义。
- (3) 查找 EU5 车型驱动电机的参数并完成下表。

指标	参数值	含义
类型		
额定转速		
转速范围		
额定功率		
峰值功率		
额定扭矩		
峰值扭矩		
质量		
防护等级		
尺寸		

2. 技能考核

结合实物，分组完成下面的实训内容。

班级		实训车型	
姓名		车辆类型	
学号		车辆里程	
实践项目		电机类型	
实践流程			
结果分析			
防范措施			
自我评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐		
教师评价	良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 ☐ 教师姓名： 年 月 日		

二、学习过程评价

结合学习任务，各小组做好准备，根据给定的北汽新能源 EV200 车型电机技术指标参数进行抢答，要求在教师指出某一指标参数时能迅速准确地说出对应参数代表的含义，各小组按照规定进行抢答，根据抢答的正确率对小组进行积分。

EV200大郡驱动电机系统技术指标参数			
名称	永磁同步电机	冷却方式	水冷
连接方式	Y 形连接	相数	三相
工作制	S9	峰值功率 (kW)	53
额定功率 (kW)	30	峰值扭矩 (N·m)	180
额定扭矩 (N·m)	102	最高转速 (rpm)	9 400
额定转速 (rpm)	2 812	额定电压 (V)	336VDC
电动转速范围 (rpm)	0~9 400	防护等级	IP67
外形尺寸 (mm)	φ 245 × 280	质量 (kg)	45

根据各小组的抢答情况进行组内自评、组间互评和教师评价，各小组根据评价反馈对本次实训内容进行总结并完成小组内部的学习总结报告。

XUEXI 学习参考
CANKAO



学习任务一 新能源汽车电机现状及发展趋势学习



相关知识

为了应对能源危机、环境污染与气候变暖等日益严重的问题，新能源汽车已经成为当前汽车产业发展的一大趋势。我国在 2009 年 7 月 1 日正式实施了《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》，明确指出：新能源汽车是指采用非常规的车用燃料作为动力来源（或使用常规的车用燃料，但采用新型车载动力装置），综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术，形成的技术原理先进、具有新技术和新结构的汽车。

一、新能源汽车类型

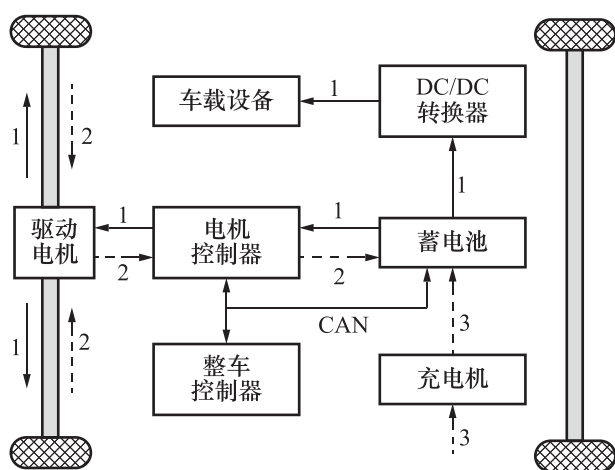
根据动力源的不同，新能源汽车包括纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车。



新能源汽车类型介绍

(一) 纯电动汽车 (Electric Vehicle, EV)

纯电动汽车是以蓄电池作为主要能量来源或附加一种储能器的电动汽车，结构形式如图 1-1 所示。如特斯拉、荣威 Ei5、比亚迪 e5（图 1-2）、北汽新能源 EU5、奇瑞新能源小蚂蚁等车型属于纯电动汽车。与传统内燃机汽车最大的差别在于动力系统，纯电动汽车的动力系统主要包括：动力电池组、驱动电机及其控制系统等组成（图 1-3），能够实现车辆减速、制动时的能量回收。纯



1—电动运行模式；2—制动运行模式；3—充电模式

图 1-1 纯电动汽车结构形式

电动汽车的整车控制原理如图 1-4 所示、整车主要元件位置如图 1-5 所示。



图 1-2 比亚迪 e5

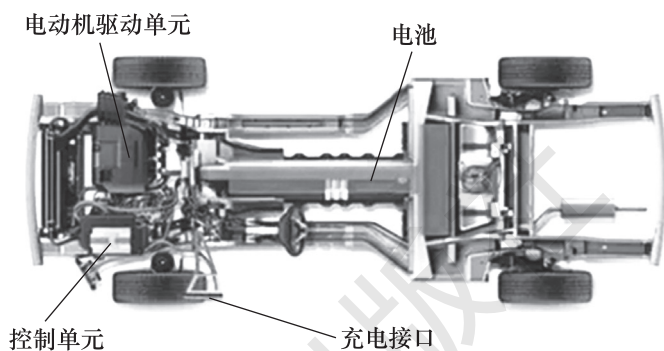


图 1-3 纯电动汽车驱动电机及其控制系统

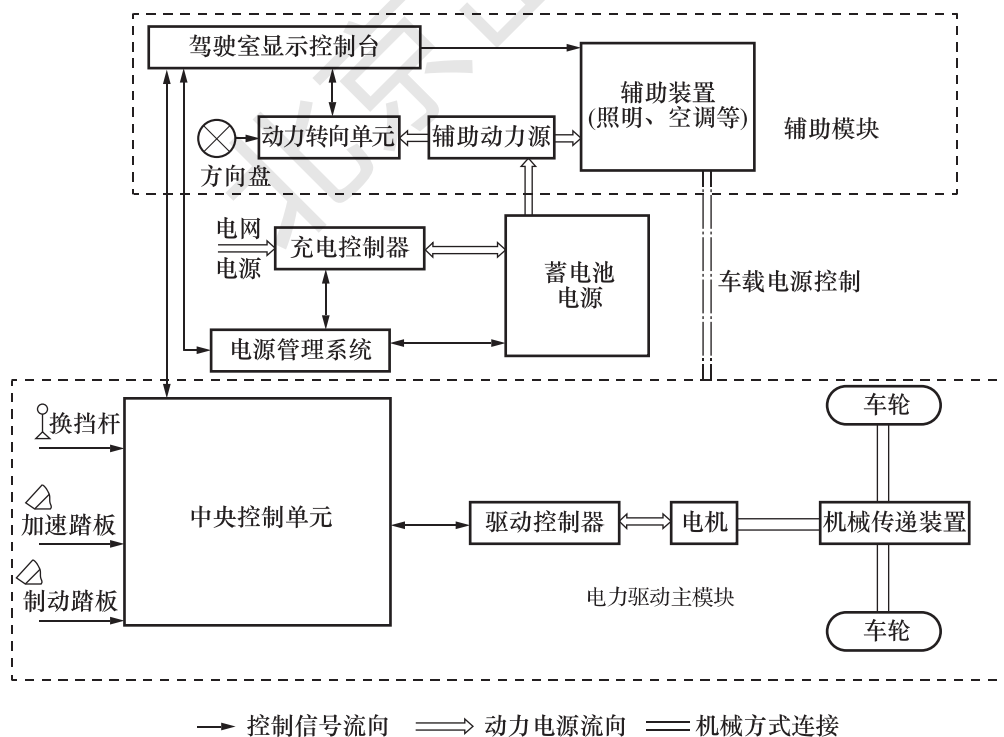


图 1-4 纯电动汽车整车控制原理图

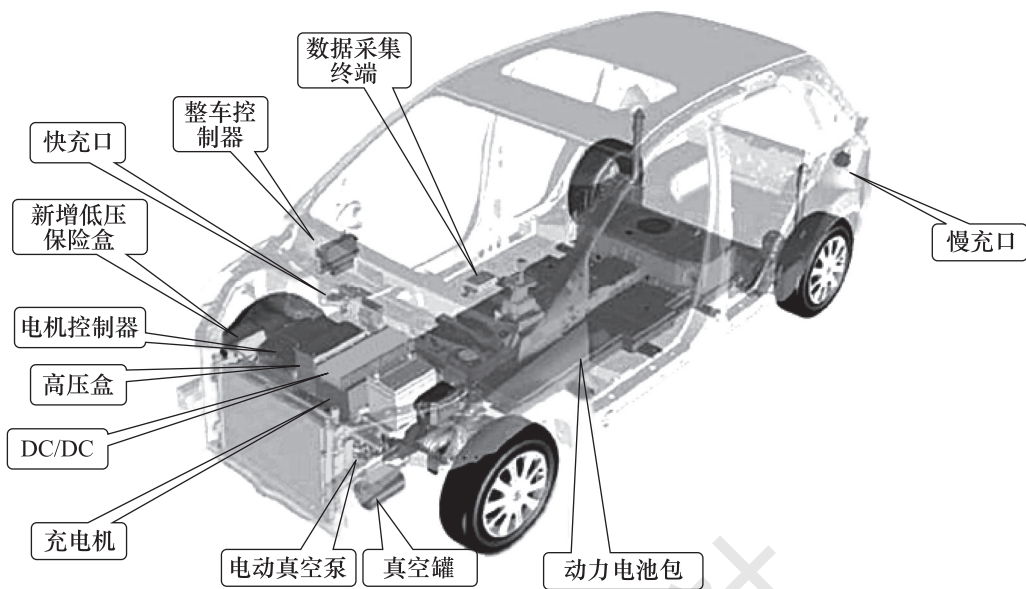


图 1-5 纯电动汽车主要元件位置图

（二）混合动力汽车（Hybrid Electric Vehicle, HEV）

混合动力汽车是指由传统发动机与一种或一种以上的储能器作为动力源，且至少有一种储能器能够提供电能的车辆。如丰田 Prius（图 1-6）、荣威 550、比亚迪唐等车型属于混合动力汽车。混合动力车辆的节能、低排放等特点引起了汽车界的极大关注，并成为汽车研究与开发的一个重点。混合动力装置既发挥了发动机持续工作时间长，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，汽车的热效率可提高 10% 以上，废气排放可改善 30% 以上。因各个组成部件、布置方式和控制策略的不同，形成了多种分类形式。



图 1-6 丰田 Prius（普锐斯）

根据动力系统能量流和功率流的配置结构关系把混合动力汽车分为串联式混合动力、并联式混合动力和混联式混合动力三种形式。

1. 串联式混合动力汽车（Series Hybrid Electric Vehicle, SHEV）

主要由发动机、发电机、驱动电机等三大动力总成用串联方式组成了 HEV 的动力

系统（图 1-7）。由发动机带动发电机所产生的电能和电池输出的电能，共同输出到电动机来驱动汽车行驶，并且电力驱动是唯一的驱动模式。

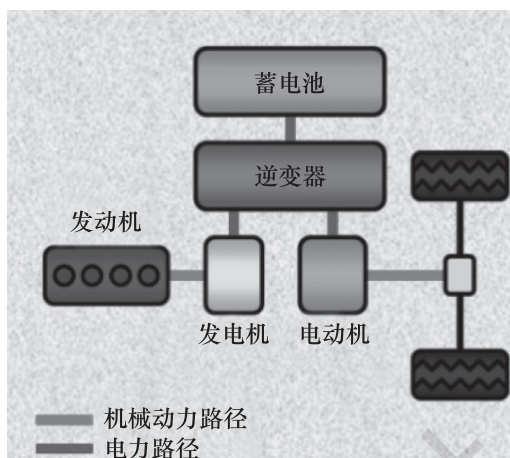


图 1-7 串联式混合动力系统

2. 并联式混合动力汽车（Parallel Hybrid Electric Vehicle, PHEV）

并联式混合动力汽车的发动机和电动机/发电机都是动力总成，两大动力总成的功率可以根据使用要求互相叠加输出，也可以单独输出（图 1-8）。除补充汽油发动机的电源外，车辆运行时，电动机也用作发电机对高压蓄电池组充电，也可在仅使用电动机的情况下驾驶车辆。装配尺寸、质量都比较小，造价低，续航里程也可以比串联式混合动力汽车的长一些，其特点更加趋于内燃机汽车。

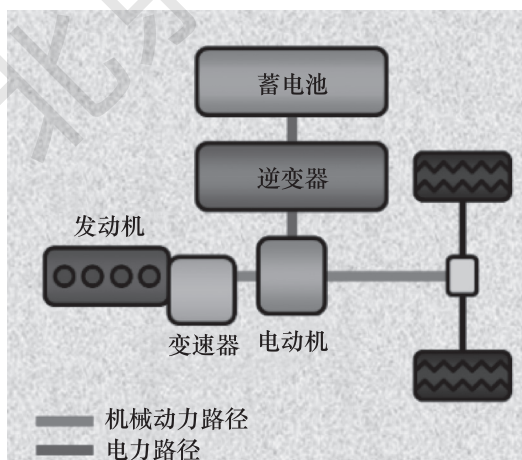


图 1-8 并联式混合动力系统

3. 混联式混合动力汽车（Parallel Series Hybrid Electric Vehicle, PSHEV）

混联式混合动力汽车在结构上综合了串联式和并联式系统的特点，主要由发动机、电动/发电机和驱动电机三大动力总成组成（图 1-9）。发电机可通过发动机动力产生

电能，产生的电能用于对 HV 蓄电池充电并向电动机供电，供给动力分配设备的发动机机械动力可通过电动机进行平衡。

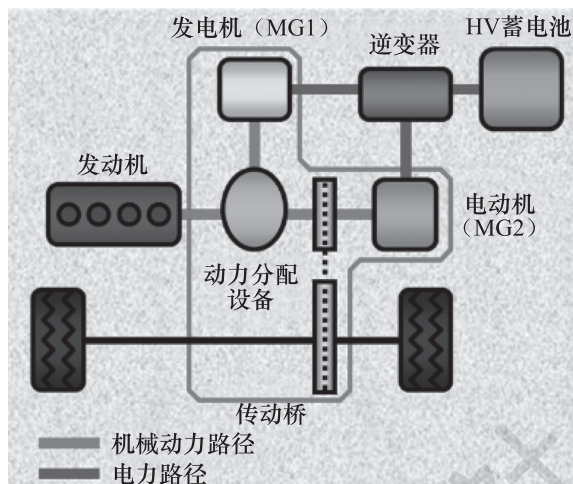


图 1-9 混联式混合动力系统

(三) 燃料电池汽车

燃料电池汽车的动力系统主要由燃料系统、空气供给系统、燃料电池组、整车动力总成控制系统、驱动电机及其控制系统、DC/DC 变换器和蓄电池等组成，如丰田研发的氢燃料车型 Mirai（图 1-10）出现在 2019 年国内各大车展中，但目前国内暂未销售。



图 1-10 丰田 Mirai

二、新能源汽车电机的基本要求

- (1) 电机结构紧凑、尺寸小，封装尺寸有限，必须根据具体产品进行特殊设计。
- (2) 质量轻，以减轻车辆的整体质量，应尽量采用铝合金外壳，同时转速要高，以减轻整车的质量，增加电机与车体的适配性，扩大车体可利用空间，从而提高乘坐的舒适性。
- (3) 可靠性高、失效模式可控，以保证乘车者的安全。

(4) 提供精确的力矩控制, 动态性能较好。

(5) 效率高, 功率密度较高。要保证在较宽的转速和转矩范围内都有很高的效率, 以降低功率损耗, 提高一次充电的续驶里程。

(6) 成本低, 以降低车辆生产的整体费用。

(7) 调速范围宽, 应包括恒转矩区和恒功率区, 低速运行输出的恒定转矩大, 以满足汽车快速启动、加速、负荷爬坡等要求; 高速运行输出恒定功率, 有较大的调速范围, 以满足平坦的路面、超车等高速行驶的要求。

(8) 瞬时功率大, 过载能力强, 要保证汽车具有 4~5 倍的过载能力, 以满足短时间内加速行驶与最大爬坡的要求。

(9) 环境适应性好, 要适应汽车本身行驶的不同区域环境, 即使在较恶劣的环境中也能够正常工作, 具有良好的耐高温、耐潮湿性能。

(10) 制动再生效率高, 在汽车减速时, 能够实现反馈制动, 将能量回收并反馈回电池, 使得电动汽车具有最佳能量利用率。

(11) 其他: 结构简单, 价格低廉, 适合大批量生产, 运行时噪声低, 使用维修方便。

与一般工业用电机不同, 用于汽车的驱动电机应具有调速范围宽、起动转矩大、后备功率高、效率高的特性, 此外, 还要求可靠性高、耐高温及耐潮、结构简单、成本低、维护简单、适合大规模生产等。未来我国电动汽车用驱动电机系统将朝着永磁化、数字化和集成化方向发展。

三、新能源汽车用电机的现状及发展趋势

(一) 汽车用电机的现状

我国电机的生产和应用起步很晚, 但发展很快, 随着改革开放政策方针的实施, 20 世纪 80 年代我国电机发展很迅速, 至今我国电机产业经过多年的发展, 特别是改革开放以来的快速发展, 取得了长足进步。目前电机在汽车上的应用很广, 小功率电机主要用在电动车窗、电动后视镜、电动座椅等系统, 大功率电机主要用在新能源汽车的驱动电机系统。

(1) 交流异步电机驱动系统。我国已建立了具有自主知识产权异步电机驱动系统的开发平台, 形成了小批量生产的开发、制造、试验及服务体系; 产品性能基本满足整车需求, 大功率异步电机系统已广泛应用于各类电动客车; 通过示范运行和小规模市场化应用, 产品可靠性得到了初步验证。

(2) 开关磁阻电机驱动系统。已形成优化设计和自主研发能力, 通过合理设计电机结构、改进控制技术, 产品性能基本满足整车需求; 部分公司已具备年产 2 000 套的生产能力, 能满足小批量配套需求, 目前部分产品已配套整车示范运行, 效果良好。

(3) 无刷直流电机驱动系统。国内企业通过合理设计及改进控制技术, 有效提高了无刷直流电机产品性能, 基本满足电动汽车需求; 已初步具有机电一体化设计能力。

(4) 永磁同步电机驱动系统。已形成了一定的研发和生产能力,开发了不同系列产品,可应用于各类电动汽车;产品部分技术指标接近国际先进水平,但总体水平与国外仍有一定差距;基本具备永磁同步电机集成化设计能力;多数公司仍处于小规模试制生产,少数公司已投资建立车用驱动电机系统专用生产线。

(5) 永磁电机的主要材料有钕铁硼磁钢、硅钢等。部分公司掌握了电机转子磁体先装配后充磁的整体充磁技术。国内研制的钕铁硼永磁体最高工作温度可 280℃,但技术水平仍与德国和日本有较大差距。硅钢是制造电机铁芯的重要磁性材料,其成本占电机本体的 20% 左右,其厚度对铁耗有较大影响,日本已生产出 0.27 mm 硅钢片用于车用电机,我国仅开发出 0.35 mm 硅钢片。

(二) 新能源汽车驱动电机发展趋势

新能源汽车驱动电机目前的发展方向有以下几方面:小型轻量化;高效性;更出色的转矩特性;使用寿命长,可靠性高;噪声低;价格低廉。随着时间的推移,新能源驱动电机的发展呈现了下面的趋势:

(1) 电机本体永磁化:永磁电机具有高转矩密度、高功率密度、高效率、高可靠性等优点。我国具有世界最为丰富的稀土资源,因此高性能永磁电机是我国车用驱动电机的重要发展方向。

(2) 电机控制数字化:专用芯片及数字信号处理器的出现,促进了电机控制器的数字化,提高了电机系统的控制精度,有效减小了系统体积。

(3) 电机系统集成化:通过机电集成(电机与发动机集成或电机与变速箱集成)和控制器集成,有利于减小驱动系统的重量和体积,可有效降低系统制造成本。

(三) 具有发展前景的电机介绍

1. 混合励磁电机

与永磁电机比较,混合励磁电机具有调节气隙磁场的能力;与电励磁同步电机相比,具有较小的电枢反应电抗。混合励磁电机不仅能继承永磁电机的诸多特点,而且具有电励磁电机气隙磁场平滑可调的优点,用作发电机,可获得较宽的调压范围,在飞机、舰船和车辆中可作为独立的发电系统。用作电动机,适合于作节能驱动使用,而其中的宽调速特性可以在电动汽车、武器设备伺服驱动等高要求场合应用。

2. 双定子永磁电机

与传统永磁无刷电机相比较,双定子永磁无刷电机可以有效利用内部空间,比传统电机有更高的转矩密度。由于电机内部结构的变化从而减少电动机的体积和质量,提高了电动机的转矩密度;减少定子铜损和发热,提高了效率;容错性能强,控制灵活多变。在发电状态下,可以通过外部的切换电路来改变并限制其输出电压幅值,达到弱磁调压的效果,有利于电动机的驱动控制。

3. 记忆电机

记忆电机是指一种通过改变永磁体磁化水平来实现气隙磁场调节,被称为真正意

义上的可变磁通永磁电机。电流脉冲来改变永磁体磁化状态,以实现高效的在线调磁,被认为是一种真正意义上的可变磁通永磁电机,非常适合电动汽车、高速机床和飞轮储能等领域的应用。根据施加脉冲调磁电流的方式,记忆电机可以分为交流脉冲调磁型和直流脉冲调磁型两大类。目前记忆电机的研发中还有如下待解决的问题。

(1) 对于交流脉冲调磁型记忆电机,电枢绕组兼具脉冲调磁与矢量控制驱动功能,其有效的控制策略研究及相应的控制系统研发还有待完成。

(2) 对于直流调磁型记忆电机,其拓扑结构有待进一步扩展,采用较为准确的磁滞模型以分析并掌握该电机的磁化水平精确控制值得研究。

(3) 在今后记忆电机发展过程中,AlNiCo 永磁体的磁滞建模,转子位置和气隙磁通的精确检测技术,以及在线调磁与驱动协调控制技术是必须解决的关键共性问题。

4. 磁性齿轮永磁无刷复合电机

将磁齿轮与永磁电机相结合,在外转子直接驱动的思想下,提出了可应用于低速大转矩场合(如电动汽车驱动及风力发电)的新型磁齿轮永磁复合电机系统,该新型复合电机系统省去了传统机械齿轮箱,具有传统外转子式永磁电机功率密度高、可靠性高、效率高等优点。传统永磁同步电机的控制策略可方便地用于该电机的控制。磁齿轮永磁复合电机的定位力矩较小,可基本忽略,从而使得在电动汽车中应用时具有较好的转矩稳定性,或者风力发电应用中具有较小的启动力矩,有助于提高其低速性能。

5. 非晶电机

为了应对能源危机降低电机能耗,利用非晶材料的优点,用铁基非晶代替硅钢做电机的定子和转子。非晶合金材料电机与传统材料电机相比具有高效节能、损耗低、重量轻,成本也不高、安全性能高等优势。

学习任务二 新能源汽车电机基础知识的学习



相关知识

新能源汽车驱动电机的作用是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。一般情况下是驱动电机取代发动机并在电机控制器的控制下，将电能转换为动能来驱动车辆行驶。其中，在纯电动汽车和燃料电池汽车中，驱动电机是唯一的动力装置；在混合动力汽车中，驱动电机可以作为主要的动力装置也可作为辅助动力装置。新能源汽车与传统燃油汽车最重要的区别就在于新能源汽车全部以驱动电机为动力装置。

一、电机和电动机的区分

(一) 电机

电机泛指能使机械能转化为电能、电能转化为机械能的一切机器。特指发电机、电能机、电动机（图 1-11）。

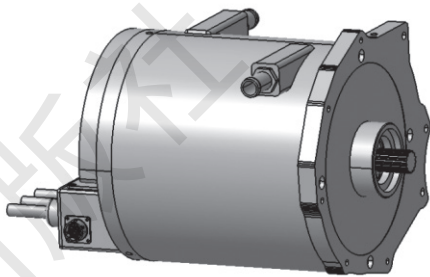


图 1-11 电机外形结构

(二) 电动机

电动机俗称马达，是一种将电能转化成机械能，并可再使用机械能产生动能，用来驱动其他装置的电气设备。

由于电动汽车采用动力电池作为车载能源，其容量受到限制。为尽可能地延长行驶里程，大多数驱动系统都采用了能量回馈技术，即在汽车减速或制动时，通过控制器将车轮损耗的动能反馈到电池中，并使电机处于发电状态，将发出的电输送到电池中。因此，电动汽车的驱动电机应该称为电机。

二、新能源汽车电机的运行模式

新能源汽车的电机可兼作驱动模式和发电模式运行。

(一) 电机驱动模式

整车控制器根据车辆运行的不同情况，包括车速、挡位、电池 SOC 值来决定，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成交流电，以使电机输出扭矩。此时电机输出力矩驱动车辆。

(二) 电机发电模式

当车辆在溜车或刹车制动的时候，电机控制器从整车控制器得到发电命令后，电机控制器将电机处于发电状态。此时电机会将车子动能转化成交流电能。然后，交流



电机运行模式介绍

电能通过电机控制器转化为直流电，存储到电池中。

三、新能源汽车电机的特性

新能源汽车的驱动电机与常规的工业电机不同，新能源汽车的驱动电机通常要求能够频繁起动、停车、加速、减速，在低速和爬坡时要求电机输出高转矩，在高速行驶时要求电机输出高转速，此外还要求电机有较宽的调速范围以满足车速变化的需要。因此，新能源汽车驱动电机在负载、技术性能和工作环境等方面有着特殊的要求。其特性主要体现在：

- (1) 电动机受车辆空间的限制，为减小车辆自重，提高车辆有效载荷的要求，电动机应该具有功率密度较大、效率较高的特点；
- (2) 电动汽车在加速或爬坡时，需要电动机提供 4~5 倍的额定转矩；
- (3) 在电动汽车高速行驶时，电动机应以 4~5 倍的最低转速运行；
- (4) 电动汽车用电动机应根据车辆的驱动特点和驾驶员的习惯设计；
- (5) 电动汽车用电动机应可控性好，稳态精度高；
- (6) 电动汽车用电动机要安装在行驶的车辆上，应该能够承受高温、多变的气候条件和频繁的振动，在恶劣的环境下能够正常工作。

四、新能源汽车电机的分类及特点

(一) 电机的分类

1. 按工作电源类型分类

根据电机工作电源类型不同，可分为直流电机和交流电机。

- (1) 直流电动机按结构及工作原理分为无刷直流电动机和有刷直流电动机。

有刷直流电动机分为永磁直流电动机和电磁直流电动机。

电磁直流电动机分为串励直流电动机、并励直流电动机、他励直流电动机和复励直流电动机。

永磁直流电动机分为稀土永磁直流电动机、铁氧体永磁直流电动机和铝镍钴永磁直流电动机。

- (2) 交流电机分为单相电机和三相电机。

2. 按结构和工作原理分类

电机按结构及工作原理可分为直流电动机、异步电动机和同步电动机。

- (1) 同步电机分为永磁同步电动机、磁阻同步电动机和磁滞同步电动机。

同步电动机的转子转速与负载大小无关而始终保持为同步转速。

(2) 异步电机分为感应电动机和交流换向器电动机。异步电动机的转子转速总是略低于旋转磁场的同步转速。

- ① 感应电动机分为三相异步电动机、单相异步电动机和罩极异步电动机等。

- ② 交流换向器电动机分为单相串励电动机、交直流两用电动机和推斥电动机。



新能源电机类型及特点

3. 按用途分类

电机按用途分为驱动用电机和控制用电机。

(1) 按驱动用电机分为电动工具用电机、家电用电机及其他通用小型机械设备用电机。

(2) 按控制用电机分为步进电动机和伺服电动机等。

4. 按转子的结构分类

笼型感应电动机（旧标准称为鼠笼型异步电动机，如图 1-12 所示）和绕线转子感应电动机（旧标准称为绕线型异步电动机，如图 1-13 所示）。

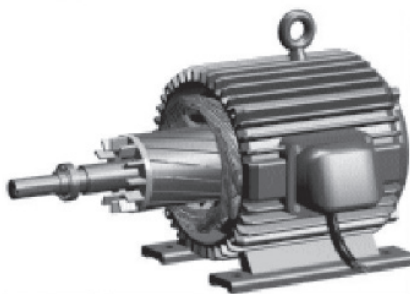


图 1-12 笼型感应电动机

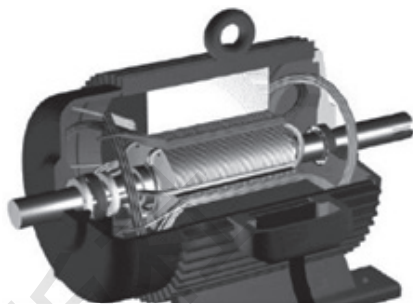


图 1-13 绕线转子感应电动机

5. 按运转速度分类

电机按运转速度分为高速电机、低速电机、恒速电机、调速电机。低速电动机可分为齿轮减速电动机、电磁减速电动机、力矩电动机和爪极同步电动机等。调速电动机除可分为有级恒速电动机、无级恒速电动机、有级变速电动机和无级变速电动机外，还可分为电磁调速电动机、直流调速电动机、PWM 变频调速电动机和开关磁阻调速电动机。

（二）新能源汽车常用电机类型及特点

目前，新能源汽车采用的驱动电机主要有直流电机、交流感应电机（交流异步电机）、永磁同步电机、开关磁阻电机、轮毂电机等。

1. 直流电机

直流电机（图 1-14）是在电动汽车上应用最早的一种驱动电机，对于由动力电池提供电能的新能源汽车，可以通过电池组直接获得直流电。

电动汽车用直流电机主要有他励式直流电机（包括永磁直流电机）、串励式直流电机和复励式直流电机三种类型。小功率（小于 10 kW）的电机多采用小型高效的永磁式电机，一般应用在小型、低速的专用车辆上，如电动自行车、高尔夫球车等。中等功率（10~100 kW）的电机采用他励、串励或复励式直流电机，可以用在结构简单、转矩较大的电动货车上。大功率（大于 100 kW）的电机采用串励式直流电机，可用在要求低速、高转矩的大型专用电动汽车上（如电动矿石搬运车等）。

直流电机具有起动加速时驱动力大、调速控制简单、技术成熟等优点。但是直流

电机本身结构复杂,效率和转速相对较低,运行时需要电刷和机械换向装置,机械换向结构容易产生电火花,不宜在多尘、潮湿、易燃、易爆环境中使用。电火花产生的电磁干扰对高度电子化的电动汽车来说也是致命的,由于换向器易烧蚀,电刷易磨损,换向器和电刷需要定期更换,由于换向器维护困难,故很难向大容量、高速度发展。加之直流电机价格高、质量和体积较大,这些缺点降低了直流电机的可靠性和适用范围,一定程度上也限制了其在现代电动汽车领域的应用。随着控制理论和电力电子技术的发展,直流驱动系统和其他驱动系统相比已大大处于劣势。

2. 交流感应电机(交流异步电机)

交流感应电机也称为交流异步电机(图1-15),是由气隙旋转磁场与转子绕组感应电流相互作用产生电子转矩,从而实现电能转换为机械能的一种交流电机。感应电机常按转子结构和定子绕组相数进行分类。按转子结构的不同来分,感应电机可分为笼型感应电机和绕线型感应电机;按定子绕组相数的不同来分,感应电机可分为单相感应电机、两相感应电机和三相感应电机。交流感应电机具有以下特点:

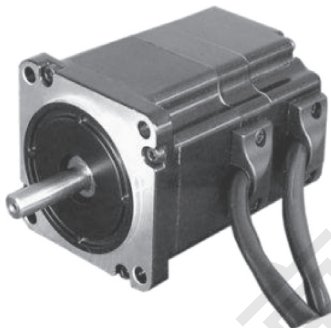


图 1-14 直流电机



图 1-15 交流异步电机

- (1) 易实现高速旋转(转速超过 10 000 r/min);
- (2) 高转速低转矩时运转效率高;
- (3) 低转速时有高转矩,且有宽泛的速度控制范围;
- (4) 可靠性高;
- (5) 控制装置简单化;
- (6) 体积小重量轻,制造成本低。

感应电机成本低且可靠性高,即使逆变器损坏而产生短路时也不会产生反向电动势,所以没有出现急制动的可能性。因此,感应电机广泛应用于大型高速的电动汽车中。感应电机的功率容量覆盖面很广,从零点几瓦到几千瓦。它可以采用空气冷却或液体冷却方式,冷却自由度高,对环境的适应性好,并且能够实现再生制动。与同样功率的直流电机相比,感应电机效率较高,且质量约减轻一半。交流感应电机是各类电机中应用最广、需求量最大的一种。

3. 永磁同步电机

永磁电机就是采用永磁材料来替代传统电机的励磁绕组或转子绕组的电机。永

磁电机分为永磁直流电机和永磁交流同步电机（图 1-16）两种。永磁同步电机（PMSM）是利用永磁体建立励磁磁场的同步电机，其定子产生旋转磁场，转子采用永磁材料制成，磁场相互作用使转子转动。永磁同步电机是一种高性能的电机，结构简单、运行可靠、无励磁损耗、运行成本低、调速性能好，因此，具有高效、高控制精度、高转矩密度、良好的转矩平稳性及低振动噪声的特点，但是控制器较复杂，因此造成其目前成本偏高。

4. 开关磁阻电机

开关磁阻电机（SRM）（图 1-17）是一种典型的电机一体化电机，又称“开关磁阻电机驱动系统（SRD）”，这种电机主要有开关磁阻电机本体、电力电子功率变流器、转子位置传感器以及控制器部分组成。



图 1-16 永磁交流同步电机



图 1-17 开关磁阻电机

开关磁阻电机（SRD）是根据磁阻差产生反转磁矩的原理而制成的一种电机。开关磁阻电机的定子和转子铁芯均由硅钢片叠压而成，定、转子冲片均有一齿槽，构成双凸极结构，根据定子和转子片上齿槽的多少，形成不同的极数。开关磁阻电机的工作原理遵循“磁阻最小原理”——磁通总是沿磁阻最小的路径闭合，因此，由磁场扭曲而产生磁阻性质的电磁转矩。开关磁阻电机是继直流电机和交流电机之后的一种极具发展潜力的新型电机，与其他电机相比，具有以下优点：

（1）可控参数多，调速性能好，容易实现正转、反转和电动、制动等特定的调节控制。

（2）结构简单，成本低。与其他电机相比转子无绕组，无永久磁铁，定子为集中绕组，故结构简单，制造和维护方便；功率变换器元件数较少，电子器件少，故成本低。

（3）损耗小，运转效率高。由于转子不存在励磁及转差损耗，功率变换器元件数少，故相应的损耗也小；控制灵活，易于在很宽的转速范围内实现高效节能控制。

（4）起动转矩大，起动电流小。在 15% 额定电流的情况下就能达到 100% 的起动转矩。

但是，由于开关磁阻电机的特殊结构和工作方式，也存在如下一些缺点：

①转矩脉动现象较大；

- ②振动和噪声相对较大，特别是在负载运行的时候；
- ③电机的出线头相对较多，还有位置检测器出线端；
- ④电机的数学模型比较复杂，其准确的数学模型较难建立；
- ⑤控制复杂，依赖于电机的结构。

5. 轮毂电机

电动汽车采用的轮毂电机驱动属于分散式电机驱动模式，分散式电机驱动通常有轮毂电机（图 1-18）和轮边电机（图 1-19）两种方式。轮毂电机是在轮中央部分放置电机，有时也叫电动轮。轮毂电机动力系统通常由电机、减速机构、制动器与散热系统等组成。根据电机的转子形式轮毂电机动力系统主要分成内转子型和外转子型两种结构。通常，外转子型采用低速外转子电机，电机的最高转速为 1 000~1 500 r/min，电机的外转子与车轮的轮辋固定或者集成在一起，无减速装置，车轮的转速与电机转速相同。内转子型则采用高速内转子电机，电机的转速通常高达 10 000 r/min，利用有固定传动比（10 : 1 左右）的行星齿轮减速装置，使车轮的转速在 1 000 r/min 左右。

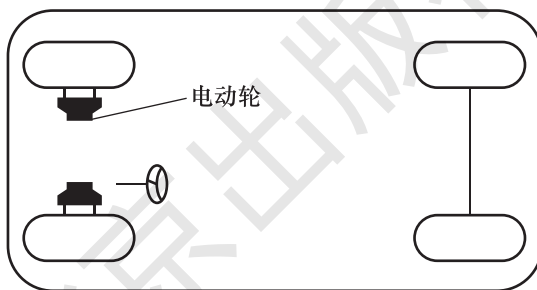


图 1-18 轮毂电机直接驱动结构

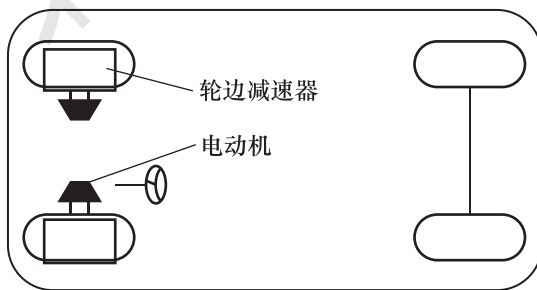


图 1-19 轮边电机减速驱动结构

轮毂电机类型分为感应式、永磁式、开关磁阻式。轮毂电机的特点如下：

（1）感应式电机的优点是结构简单、坚固耐用、成本低廉、运行可靠、转矩脉动小、噪声低、不需要位置传感器、转速极限高；缺点是驱动电路复杂、成本高，相对于永磁电机而言，感应式电机效率和功率密度偏低。

（2）无刷永磁同步电机可采用圆柱形径向磁场结构或盘式轴向磁场结构，具有较

高的功率密度和效率以及宽广的调速范围。

(3) 开关磁阻式电机的优点是结构简单、制造成本低廉、转速/转矩特性好等,适用于电动汽车驱动;缺点是设计和控制非常困难、运行噪声大。

五、新能源汽车驱动电机系统

驱动电机控制系统是电动汽车三大核心之一,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。电机控制系统由动力总成[驱动电动机(DM)]、高压配电设备、电机控制器(MCU)、高低压线束和相关传感器等组成。整车控制器(VCU)根据驾驶员意图发出各种指令,电机控制器响应并反馈,实时调整驱动电机输出,驱动电机系统控制原理如图1-20所示。通过有效的控制策略,控制动力总成以最佳方式协调工作。

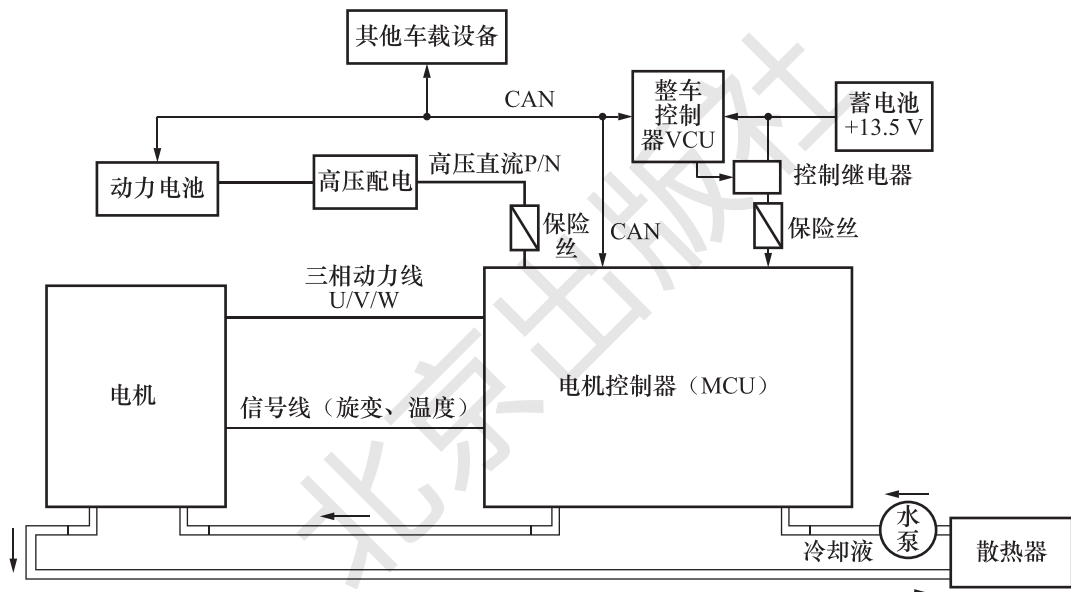


图 1-20 驱动电机系统控制原理

(一) 电机控制器

驱动电机控制器(图1-21)是电机系统的控制中心(智能功率模块),主要有以下功能:①怠速控制(爬行);②前进;③倒车;④交流转直流;⑤驻坡;⑥通信和保护。驱动电机控制器以IGBT(绝缘栅双极型晶体管)模块为核心,辅以驱动集成电路、主控集成电路,故障诊断电路,内含传感器用来提供驱动电机系统的工作信息,包括电流传感器;电压传感器和温度传感器。

(二) 驱动电机

在驱动电机系统中,驱动电机的输出动作主要是靠电机控制器给定命令来执行,电机系统的连接如图1-22所示。

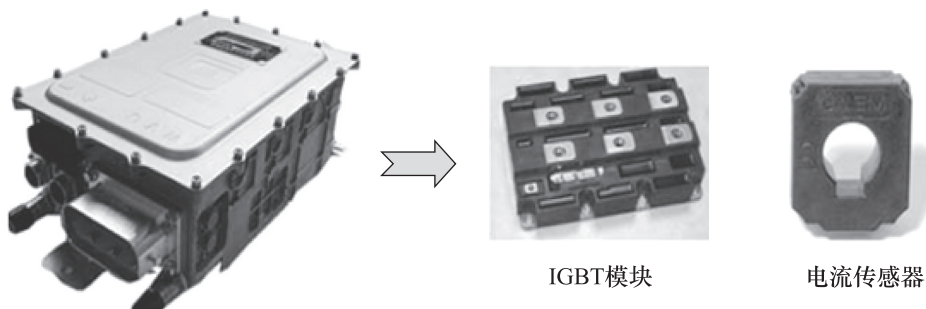


图 1-21 驱动电机控制器

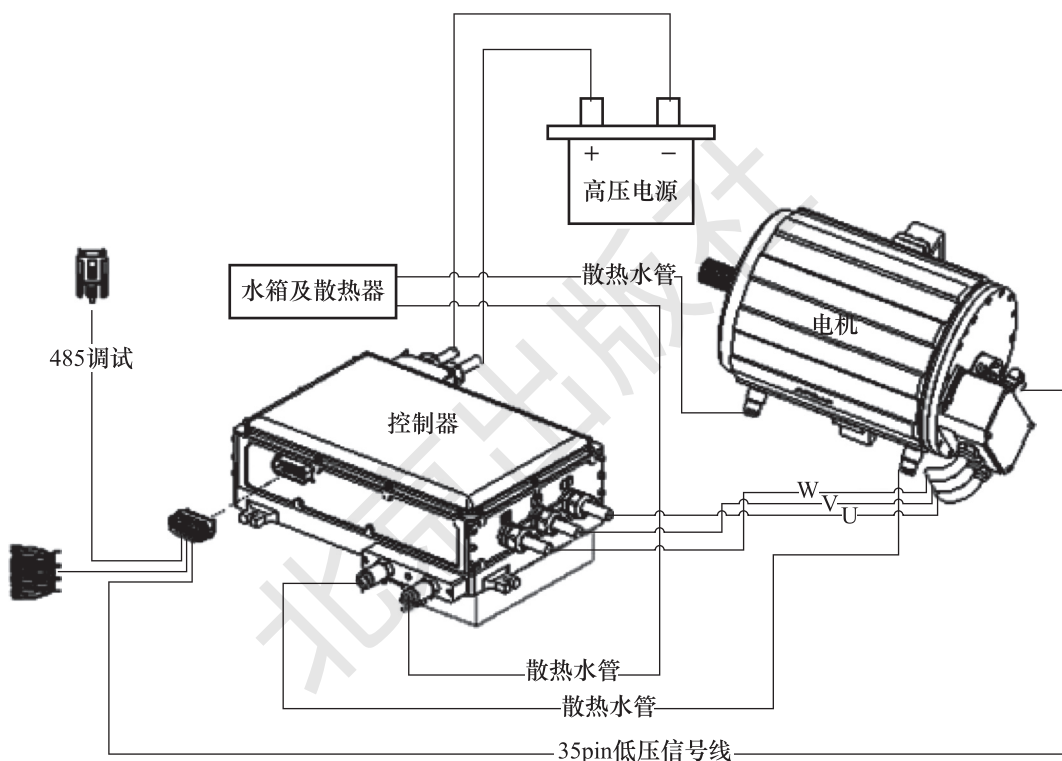


图 1-22 电机系统的连接示意图

(三) 旋转变压器

旋转变压器是一种输出电压随转子转角变化的信号元件。当励磁绕组以一定频率的交流电压励磁时，输出绕组的电压幅值与转子转角成正、余弦函数关系，这种旋转变压器又称为正余弦旋转变压器。旋转变压器用于运动伺服控制系统中，作为角度位置的传感和测量用。如图 1-23 所示。



图 1-23 旋转变压器

六、新能源汽车电机调速控制

电机调速控制作用是控制电机的电压或电流，完成电机

的驱动转矩和旋转方向的控制。

（一）直流电机调速控制

直流电机有两种调速方法：

（1）调节电枢电压。永磁直流电机因其是固定磁场，所以采用的是调节电枢电压法。调节电枢电压通常采用的是晶闸管调压法，其次是脉宽调制法（PWM）。目前，新能源汽车用控制器，不管有刷、无刷，普遍采用 PWM 调速方式。控制器的调速原理一般都是将直流电转换成宽度可调的脉冲，改变脉冲宽度即改变了电压的平均值，使直流电机平稳地无级调速。

（2）调节励磁电流。调节励磁电流法是通过适当减弱励磁磁场的办法进行调速，即弱磁调速，早期的电动车直流电机的调速采用串接电阻或改变电机磁场线圈的匝数来实现，因其调速是有级的，且会产生附加的能量消耗，且电机的结构复杂，现在已很少采用。

（二）交流异步电机调速控制

交流异步电机常见的调速方法有 3 种：

（1）变级调速。采用变级调速，电机转向的改变只需变换磁场三相电流的相序即可，可使控制电路简化。但交流异步电机采用的变级调速属于有级的调速方式，调速的机械特性不如直流电机。

（2）变频调速。采用变频调速控制技术，可使电动汽车的制动能量回收控制更加方便，控制电路更加简单。在多种交流调速方法中，变频调速的应用最为广泛。

（3）变转差率调速。变转差率调速方法有定子调压调速、转子串电阻调速和串级调速等，由于结构复杂，目前应用较少。

（三）开关磁阻电机调速控制

开关磁阻电机调速控制系统（SRD）是性价比很高的调速系统。它是一种基于改变供电电源频率的调速方式，即交流变频调速。开关磁阻电机调速控制系统已经实现智能化和模块化，不仅调速性能优越，而且各种保护功能也很完善，使用广泛。该项技术调速范围宽广，机械特性良好，起动、制动性能卓越，并且具有节能、易维护等优点。

学习任务三 新能源汽车电机性能要求



相关知识

新能源汽车与传统燃油汽车最大的区别在于新能源汽车以驱动电机为动力装置。一般情况下是驱动电机取代发动机并在电机控制器的控制下，将电能转换为动能来驱动车辆行驶。在纯电动汽车和燃料电池汽车中，驱动电机是唯一的动力装置；在串联式混合动力汽车中，驱动电机作为主要的动力装置；在并联式混合动力汽车中，电机作为辅助动力装置。电机是新能源汽车的关键部件，电机性能的好坏直接影响新能源汽车驱动系统的性能。新能源汽车驱动电机在需要充分满足汽车运行功能的同时，还应满足行驶的舒适性、环境适应性等性能，以及对车辆一次充电续驶里程的要求。

一、新能源汽车对驱动电机主要性能要求

(1) 体积小、质量轻。为了充分利用有限的车载空间，减小车辆质量，降低运行中的能量消耗，驱动电机、各种控制装置和冷却系统等要求尽可能轻量化和小型化。

(2) 全速段高效运行。一次充电续驶里程长，特别是在路况复杂，车辆频繁起停或变速运行的情况下，驱动电机应具有较高的效率。

(3) 低速大转矩及较宽范围内的恒功率特性。即使没有变速器，驱动电机本身应能满足所需的转矩特性，以获得在起动、加速、行驶、减速、制动等各种运行工况下的功率和转矩要求。驱动电机应具有自动调速功能以减轻驾驶员的操纵强度，提高驾驶舒适度，并达到与传统内燃机汽车同样的控制响应。

(4) 高可靠性。在任何运行工况下都应具有高可靠性，以确保行车安全。

(5) 高电压。在允许的范围内应尽可能采用高电压以减小驱动电机、控制器和导线等设备的尺寸，特别是可以降低逆变器的成本。

(6) 高安全性。由于动力电池组、驱动电机等强电部件的工作电压可达到 300 V 以上，因此要求电气系统的安全性和控制系统的安全性必须符合相关车辆电气控制的安全性能标准和规定。

(7) 高转速。高转速电机与低转速电机相比，体积和质量较小，有利于降低整车装备质量。

(8) 使用寿命长。为降低新能源汽车的使用成本和节能环保目标，驱动电机的使用寿命应和车辆保持一致。另外，驱动电机还要求具有较好的耐高温性能和耐潮性能、运行噪声低、结构简单、成本低、适合批量生产、使用维护方便等特点。

二、新能源汽车电机的基本性能参数

（一）国标规定电机基本性能参数

GB/T 19596—2017《电动汽车术语》对电机的基本性能参数进行了规定，部分性能参数及其定义如下。

- （1）额定功率（rated power）——在额定条件下的输出功率。
- （2）持续功率（continuous power）——规定的最大、长期工作的功率。
- （3）峰值功率（peak power）——在规定的持续时间内，电机允许的最大输出功率。
- （4）额定转速（rated speed）——额定功率下电机的最低转速。
- （5）额定转矩（rated torque）——电机在额定功率和额定转速下的输出转矩。
- （6）峰值转矩（peak torque）——电机在规定的持续时间内允许输出的最大转矩。
- （7）堵转转矩（locked-rotor torque）——转子在所有角位堵住时所产生的转矩最小测得值。
- （8）电压控制方式（voltage control method）——通过改变电机端电压而实现控制转速的方式。
- （9）电流控制方式（current control method）——通过改变电机绕组电流而实现控制转速的方式。
- （10）频率控制方式（frequency control method）——通过改变电机的电源频率而实现控制转速的方式。
- （11）矢量控制（vector control）——将交流电机的定子电流作为矢量，经坐标变换分解成与直流电机的励磁电流和电枢电流相对应的独立控制电流分量，以实现电机转速/转矩控制的方式。
- （12）PWM控制（PWM control）——通过脉宽调制（PWM）实现电压变化的控制方式。
- （13）转矩控制（torque control）——以转矩为目标值，控制指令为转矩值的控制方式。
- （14）转速控制（speed control）——以转速为目标值，控制指令为转速值的控制方式。
- （15）功率控制（power control）——以功率为目标值，控制指令为功率值的控制方式。
- （16）再生制动控制（regeneration braking control）——通过驱动电机由电动状态转换为发电状态，将行驶中车辆的动能转换为电能回充至车载储能装置而实现对车速控制的控制技术。
- （17）弱磁控制（field weakening control）——通过减弱气隙磁场控制电机转速的控制方式。

(18) 输出特性 (output characteristic) ——电机的转矩、输出功率与转速的关系。

(19) 电机效率 (motor efficiency) ——驱动电机输出功率与输入功率的百分比。

(20) 控制器效率 (controller efficiency) ——控制器输出电功率与输入电功率的百分比。

(21) 驱动电机系统效率 (drive motor system efficiency) ——驱动电机系统的输出功率与输入功率的百分比, 输入电功率包含为确保驱动电机系统正常运行的其他器件电功率。

(二) 常用电机性能参数

1. 电机额定工作电压

电机正常工作时的电压, 电机各参数都是电机在额定工作电压时的数值。电机的工作电压如低于额定工作电压, 则各项参数值会下降。电机工作电压如略高于额定工作电压, 尽量不要长时间运行。

2. 电机额定电流

电机在额定工况点运行时所消耗的电流。

3. 起动转矩

电机起动时所产生的旋转力矩。异步电机通常起动转矩为额定转矩的 125% 以上。

4. 电机的功率

电机的功率由转速和转矩决定。

输出功率 P (kW) = 转矩 T (N·m) × 转速 n (r/min) / 9 550。

5. 转动惯量

具有质量的物体维持其固有运动状态的一种性质, 转动惯量的大小直接影响电机的响应速度, 转动惯量越大电机响应越慢, 转动惯量越小电机响应越快。

6. 功率密度

电机每单位质量所能获得的输出功率值, 功率密度越大, 电动机的有效材料的利用率就越高。

7. 功率因数

异步电机的功率因数是衡量在异步电动机输入的视在功率中, 真正消耗的有功功率所占比重的大小, 其值为输入的有功功率 P 与视在功率 S 之比, 用余弦函数来表示。电动机在运行中, 功率因数是变化的, 其变化大小与负载大小有关, 电机空载运行时, 功率因数很低, 约为 0.2, 当电动机带上负载运行时, 功率因数会随之提高。当电动机在额定负载下运行时, 功率因数达到最大值, 一般为 0.7~0.9。因此, 电机应避免空载运行, 防止“大马拉小车”现象。

8. 工作制

电机的工作制表明电机在不同负载下的允许循环时间。电机工作制为 S1~S10, 其中, 电机的工作制分类是对电机承受负载情况的说明, 它包括启动、电制动、空载、

断能停转以及这些阶段的持续时间和先后顺序，工作制分类见表 1-1。

表 1-1 电机工作制分类

工作制	含义	说明
S1	连续工作制	在恒定负载下的运行时间足以达到热稳定
S2	短时工作制	在恒定负载下按给定的时间运行，该时间不足以达到热稳定，随之即断能停转足够时间，使电机再度冷却到与冷却介质温度之差在 2 K 以内
S3	断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段断能停转时间。这种工作制中的每一周期的起动电流不致对温升产生显著影响
S4	包括起动的断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段对温升有显著影响的起动时间、一段恒定负载运行时间和一段断能停转时间
S5	包括电制动的断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间、一段快速电制动时间和一段断能停转时间
S6	连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段空载运行时间，但无断能停转时间
S7	包括电制动的连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间和一段快速电制动时间，但无断能停转时间
S8	包括变速变负载的连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段在预定转速下恒定负载运行时间，和一段或几段在不同转速下的其他恒定负载的运行时间，但无断能停转时间
S9	负载和转速非周期性变化工作制	负载和转速在允许的范围内变化的非周期工作制。这种工作制包括经常过载，其值可远远超过满载
S10	离散恒定负载工作制	包括不少于 4 种离散负载值（或等效负载）的工作制，每一种负载的运行时间应足以使电机达到热稳定，在一个工作周期中的最小负载值可为零

9. 负载类型

恒转矩负载，如带式输送机、潜水泵、空压机；恒功率负载，如打卷机、车床、钻床、磨床；二次方律负载，如离心式风机和水泵；直线律负载，如轧钢机、碾压机；混合型负载，如大部分金属切削机床。

10. 冷却方式

有自然冷却、强迫风冷、水冷。

11. 恒转矩范围

恒转矩调速时的频率范围。

12. 恒功率范围

恒功率调速时的频率范围。

13. 电机绝缘等级

电机的绝缘等级是指其所用绝缘材料的耐热等级，分 A、E、B、F、H 级。允许温

升是指电机的温度与周围环境温度相比升高的限度，见表 1-2。在发电机等电气设备中，绝缘材料是最为薄弱的环节。绝缘材料尤其容易受到高温的影响而加速老化并损坏。不同的绝缘材料耐热性能有区别，采用不同绝缘材料的电气设备其耐受高温的能力就有不同。因此一般的电气设备都规定其工作的最高温度。

表 1-2 电机绝缘等级

绝缘的温度等级	A级	E级	B级	F级	H级
最高允许温度（℃）	105	120	130	155	180
绕组温升限值（K）	60	75	80	100	125
性能参考温度（℃）	80	95	100	120	145

14. 防护等级

电机常用的防护等级有 IP23、IP44、IP54、IP55、IP56、IP65。

防护标志由字母 IP 和两个表示防护等级的表征数字组成，IP 为 Insulation protection（绝缘防护）的缩写，后面第一位数字表示接触保护和外来物保护等级，第二位数字表示防水保护等级，见表 1-3。

表 1-3 电机防护等级说明

第一位 标记数字	防护范围	
	简称	说明
0	无防护电机	无专门防护
1	防护大于 50 mm 固体的电机	能防止大面积的人体（如手）偶然或意外的触及，接近壳内带电或转动部件（但不能防止故意接触）
2	防护大于 12 mm 固体的电机	能防止手指或长度不超过 80 mm 的类似物体触及或接近壳内带电或转动部件
3	防护大于 2.5 mm 固体的电机	能防止直径大于 2.5 mm 的工具或导线触及或接近壳内带电或转动部件
4	防护大于 1 mm 固体的电机	能防止直径或厚度大于 1 mm 的导线或片条触及或接近壳内带电或转动部件
5	防尘电机	能防止触及或接近壳内带电或转动部件，虽不能完全防止灰尘进入，但进尘量不足以影响电机的正常运行
6	尘密电机	完全防止尘埃进入
第二位 标记数字	防护范围	
	简称	说明
0	无防护	无专门防护
1	防滴电机	垂直滴水应无有害影响
2	15° 防滴电机	当电机从垂直位置向任何方向倾斜至 15° 以内任意角度时，垂直滴水应无有害影响

续表

第二位 标记数字	防护范围	
	简称	说明
3	防淋水电机	与铅垂线成 60° 角范围内的淋水应无有害影响
4	防溅电机	承受任何方向的溅水应无有害影响
5	防喷水电机	承受任何方向的喷水应无有害影响
6	防海浪电机	承受猛烈的海浪冲击或强烈喷水时, 电机的进水量应不达到有害的程度
7	防浸水电机	当电机浸入规定压力的水中, 经规定时间后, 电机的进水量应不达到有害的程度
8	持续潜水电机	电机在制造厂规定的条件下能长期潜水

15. 接法

接法是电动机三相绕组的连接方式, 有三角形接法和星型接法 (图 1-24)。从电机接线盒中引出 6 根线, 分别为 U1、V1、W1、U2、V2、W2 (也有使用 ABC 标注)。

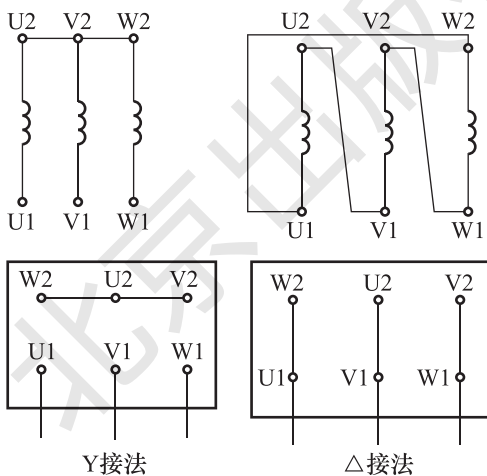


图 1-24 三相绕组接线方法

(三) 电机铭牌参数含义介绍举例

以图 1-25 所示电机铭牌为例, 介绍铭牌中的相关信息。

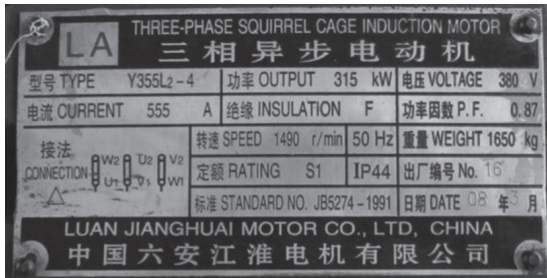


图 1-25 电机铭牌样式

1. 型号

电机型号的含义，如图 1-26 所示。

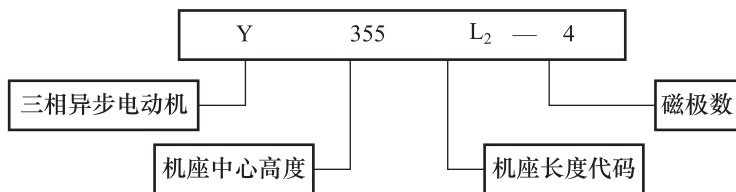


图 1-26 电机型号含义

(1) Y 代表三相异步电动机；电机铭牌中不同字母代表了不同的电机型号以及运行方式，其中 Y 代表异步电动机、T 代表同步电动机、TF 代表同步发电机、Z 代表直流发电机、ZF 代表直流发电机。

(2) 355 代表机座中心高度为 355 (mm)；

(3) L 代表长机座，其中 S 代表短机座，M 代表中机座，L 代表长机座，L₂ 代表 L 型铁芯中的第二种规格；

(4) 4 代表磁极对数，为 4 极电动机，2 对磁极。

2. 电气参数值

(1) 电压：380 V。

①额定电压为 380 V，代表该电机为三相电机，只有给端子排接通三相电且线电压值为 380 V（原则不超过 $\pm 5\%$ ）时就可以保证电机正常启动，平稳运行。

②如额定电压为 380 V/220 V 时，表示电机有两种接法：当定子绕组做三角形连接时，电机额定电压是 220 V；当定子绕组做 Y 型连接时，电机额定电压是 380 V。

(2) 电流：555 A。

额定电流为 555 A，表明电动机在额定电压和额定输出功率时，定子绕组的线电流（额定状态）。当 Y 型连接时，线电流等于相电流，当三角形连接时，线电流等于 $\sqrt{3}$ 倍的相电流。

(3) 功率：315 kW (P)。

额定功率为 315 kW，表明在额定状态下该电机的输出的功率值。

(4) 功率因数：0.87 ($\cos \varphi$)。

(5) 频率：50 Hz。

国内异步电机的频率要求为 50 Hz，即一秒钟的周期内变化次数为 50 次，目前世界上只有两种频率 50 Hz、60 Hz。

(6) 转速：1 490 r/min。

电机在额定状态下每分钟的转速为 1 490 转。

(7) 接法：三角形接法。

电动机三相绕组的连接方式是三角形接法。

3. 其他参数值

(1) 定额: S1。

定额也叫工作制, S1 连续工作制。

(2) 电机绝缘防护等级: IP44。

(3) 出厂编号、日期、标准。

这些参数代表电机的“出生年月”信息, 其中标准就是整个电机设计、运行、接线等严格参照依据, 出厂编号是出厂时携带的编号信息。

三、新能源汽车四种常用驱动电机的基本性能比较

电动汽车中常用的直流电机、感应电机、永磁电机和开关磁阻电机的基本性能比较见表 1-4。

表 1-4 直流电机、感应电机、永磁电机和开关磁阻电机的基本性能比较

项目	直流电机	感应电机	永磁电机	开关磁阻电机
转速 (r/min)	4 000~6 000	12 000~15 000	4 000~10 000	>15 000
功率密度	低	中	高	较高
功率因数 (%)	—	82~85	90~93	60~65
峰值效率 (%)	85~89	94~95	95~97	90
负载效率 (%)	80~87	90~92	85~97	78~86
恒功率区	—	1 : 5	1 : 2.25	1 : 3
过载能力	一般	好	较好	好
体积	大	中	小	小
质量	大	中	小	小
结构坚固性	差	好	一般	优
运行可靠性	一般	好	优	好
调速控制性能	最好	好	好	好
驱动控制系统成本	低	高	高	一般
电机成本	高	一般	一般	低
控制器成本	低	高	高	高
转矩 / 电流比	一般	一般	高	高
转矩 / 惯量比	一般	一般	较高	高
寿命	一般	好	好	好