



项目一 绪论 / 1

- 任务一 新能源汽车的定义和类型 / 2
- 任务二 驱动电机的认知 / 6
- 任务三 驱动电机系统的现状与发展趋势 / 13



项目二 常用驱动电机及其控制技术 / 17

- 任务一 直流电机 / 18
- 任务二 无刷直流电机 / 25
- 任务三 交流感应（异步）电动机 / 31
- 任务四 永磁同步电机 / 45
- 任务五 开关磁阻电机 / 57
- 任务六 轮毂电机 / 64



项目三 驱动电机管理系统 / 69

- 任务一 驱动电机管理系统的认知 / 70
- 任务二 AC/DC 变换器与 DC/AC 变换器 / 82
- 任务三 DC/DC 转换器 / 91
- 任务四 驱动电机及其管理系统的冷却系统 / 101
- 任务五 驱动电机管理系统检测 / 112



项目四 新型驱动电机 / 117

任务一 双机械端口能量变换器 / 118

任务二 混合励磁电机 / 123

任务三 多相电机 / 128



项目五 制动能量回收系统 / 133

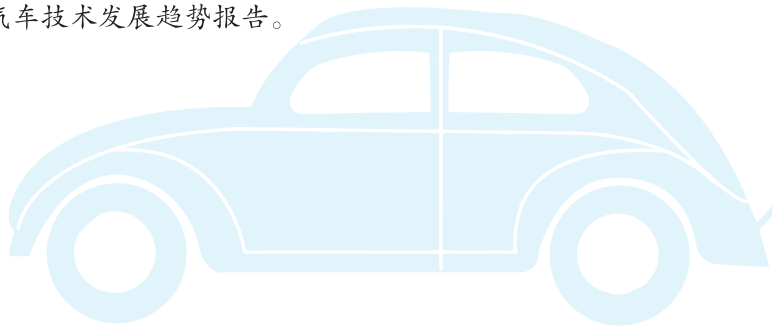
任 务 制动能量回收系统 / 134

参考文献 / 144

项目一

绪论

本项目共有“新能源汽车的定义和类型”“驱动电机的认知”“驱动电机系统的现状与发展趋势”3个任务。通过对任务的学习，掌握新能源汽车的定义和类型；掌握新能源汽车驱动电机的功能、特点及类型；了解新能源汽车驱动电机系统的现状及发展趋势；能够撰写新能源汽车技术发展趋势报告。



任务

新能源汽车的定义和类型

学习目标

1. 知识目标
 - (1) 掌握新能源汽车的概念。
 - (2) 掌握新能源汽车的类型。
2. 能力目标
能够区分新能源汽车的类型。

任务引入

在汽车的早期发展历史中，曾有很多使用汽油或柴油以外的能源的方案，或者用汽油或柴油但不内燃机的方案，可是因为这些车的成本效益低而被淘汰。直至 20 世纪 70 年代以后，这类车才得到复兴。提倡新能源汽车是为了应对环保和石油危机，需要减少或放弃燃烧传统的汽油或柴油驱动内燃机的现行主流车型。

任务实施

一、新能源汽车的定义

新能源汽车的英文为“New Energy Vehicles”。我国于 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》，此规则明确指出：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、新结构的汽车。

非常规的车用燃料指除汽油、柴油、天然气（NG）、液化石油气（LPG）、乙醇汽油（EG）、甲醇等之外的燃料。

二、新能源汽车的类型

新能源汽车包括的范围较广，各国分类也不相同，没有统一的标准。目前，我国的新能源汽车主要包括纯电动汽车、增程式电动汽车、混合动力汽车、燃料电池电动汽车和其他新能源汽车等。

1. 纯电动汽车

纯电动汽车（Blade Electric Vehicles, BEV）是一种采用单一蓄电池作为储能动力源的汽车，

它利用蓄电池作为储能动力源，通过电池向电动机提供电能，驱动电动机运转，从而推动汽车行驶。如图 1-1-1 所示为纯电动汽车。



图 1-1-1 纯电动汽车示意图

2. 增程式电动汽车

增程式电动汽车（Extended-Range Electric Vehicles, EREV）是一种配有地面充电和车载供电功能的纯电驱动的电动汽车，其运行模式可以根据需要处于纯电动模式、增程模式或混合动力模式，是介于纯电动汽车和混合动力汽车之间的一种过渡车型，兼有纯电动汽车和混合动力电动汽车的特征。有人把它划分为纯电动汽车范畴，也有人把它划分为混合动力电动汽车范畴，认为它是一种插电式串联混合动力汽车。

3. 混合动力电动汽车

混合动力汽车（Hybrid Electric Vehicle, HEV）是指驱动系统由两个或多个能同时运转的单个驱动系统联合组成的车辆，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多个驱动系统共同提供。由于各个组成部件、布置方式和控制策略的不同，混合动力汽车有多种形式。

混合动力电动汽车一般又分为常规混合动力汽车和插电式混合动力汽车，本书中不做特殊说明的混合动力汽车主要是指常规混合动力汽车。如图 1-1-2 所示为混合动力汽车。



图 1-1-2 混合动力汽车示意图

4. 燃料电池电动汽车

燃料电池电动汽车（Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV）是利用氢气和空气中的氧在催化剂的作用下在燃料电池中经电化学反应产生的电能作为主要动力源驱动的汽车。燃料电池电动汽车实质上是纯电动汽车的一种，主要区别在于动力电池的工作原理不同。一般来说，燃料电池是通过电化学反应将化学能转化为电能，电化学反应所需的还原剂一般采用氢气，氧化剂则采用氧气，

因此最早开发的燃料电池电动汽车多是直接采用氢燃料。氢气的储存可采用液化氢、压缩氢气或金属氢化物储氢等形式。如图 1-1-3 所示为燃料电池电动汽车。



图 1-1-3 燃料电池电动汽车示意图

5. 其他新能源汽车

其他新能源汽车类型很多，没有统一标准。生物燃料汽车、氢发动机汽车、太阳能汽车及使用超级电容器、飞轮等高效储能器的汽车都属于新能源汽车。有人把天然气汽车、液化石油气汽车、乙醇燃料汽车、甲醇燃料汽车等也划分为新能源汽车。

目前我国大力支持和财政补贴的新能源汽车主要是指纯电动汽车、增程式电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池电动汽车。常规混合动力汽车被划分为节能汽车。

目前新能源汽车都没有规模化量产，有的有销售但未规模化，如纯电动汽车和混合动力汽车；有的还处于研发阶段，如燃料电池电动汽车。

任务实训

一、实训准备

新能源汽车的参考文献资料。

二、实训内容

通过多媒体终端及对新能源汽车企业调研，学习新能源汽车的相关资料，了解相关新能源汽车企业的技术发展情况，撰写新能源汽车认知报告。

任务练习

一、填空题

1. 新能源汽车是指采用_____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_____），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。

2. 新能源汽车主要包括_____、_____、_____、_____和其他新能源汽车等。

3. 纯电动汽车是一种采用单一_____作为储能动力源的汽车，它通过电池向电动机提供电能，驱动电动机运转从而推动汽车行驶。

二、判断题

1. 增程式电动汽车是一种配有地面充电和车载供电功能的纯电驱动的电动汽车，其运行模式可以根据需要处于增程模式。()

2. 混合动力汽车是指驱动系统由两个能同时运转的单个驱动系统联合组成的车辆。()

3. 燃料电池电动汽车是利用氢气和空气在催化剂的作用下在燃料电池中经电化学反应产生的电能作为主要动力源驱动的汽车。()

4. 燃料电池电动汽车实质上是混合动力汽车的一种。()

任务二 驱动电机的认知

学习目标

1. 知识目标
 - (1) 掌握新能源汽车驱动电机的功能、特点及类型。
 - (2) 了解常见新能源汽车品牌的驱动电机的类型和特点。
2. 能力目标
 - 能够检索资料，归纳常见的驱动电机类型和特点。

任务引入

新能源汽车作为传统燃油汽车的替代品，其主要电气系统在传统汽车“三小电”（空调、转向、制动）的基础上延伸产生了电动动力总成系统“三大电”——电池、电机、电控。其中驱动电机系统（电机和电控系统的组合）作为传统发动机（变速器）功能的替代，其性能直接决定了电动汽车的爬坡、加速、最高速度等主要性能指标。驱动电机作为新能源汽车的三大核心部件之一，相比传统工业电机，有着更高的技术要求。

任务实施

一、新能源汽车驱动电机的功能和特点

1. 新能源汽车驱动电机的功能

驱动电机是一种将电能转化成机械能，用来驱动其他装置的电气设备。驱动电机负责给整车提供驱动的力，是新能源汽车驱动系统的核心部件之一，如图 1-2-1 所示。

电动汽车的驱动电机也属于电机中的一类，基于电动汽车对电机的要求不同，电动汽车电机与普通工业电机有很多的不同之处。主要区别如下。

(1) 严格的体积要求和重量要求。普通工业电机以满足工业目标为第一目的，对于体积尺寸和重量没有很严格的要求。电动汽车的尺寸和重量决定了汽车的动力性能和驾驶体验，直接影响产品的质量。所以，电动汽车驱动电机的难点就在于提高功率重量密度和功率体积密度。驱动电机越小、越轻、功率越大，性能越好。

(2) 独特的转矩特性。电动汽车启动或低速时要求超高转矩，以最快的方式泵升至期望速度。一般工业电机并没有这么高的启动速度要求。同时，为了能使电动汽车可以高速行驶，需要驱动电机提供足够的功率。

(3) 宽调速范围。驱动电机最高速度可能是电机基速的4倍甚至更高。目前电动汽车最好的方案莫过于省去多挡变速箱,只使用固定挡的齿轮组。因此,要求驱动电机的调速范围越宽越好。

(4) 全范围效率要求。电动汽车不像机车由受电弓供电,电动汽车由电池供电,行驶范围完全取决于电机效率。电机效率每提高1%,行驶里程就可相应增加1%,所以电动汽车对于电机的效率要求很高。

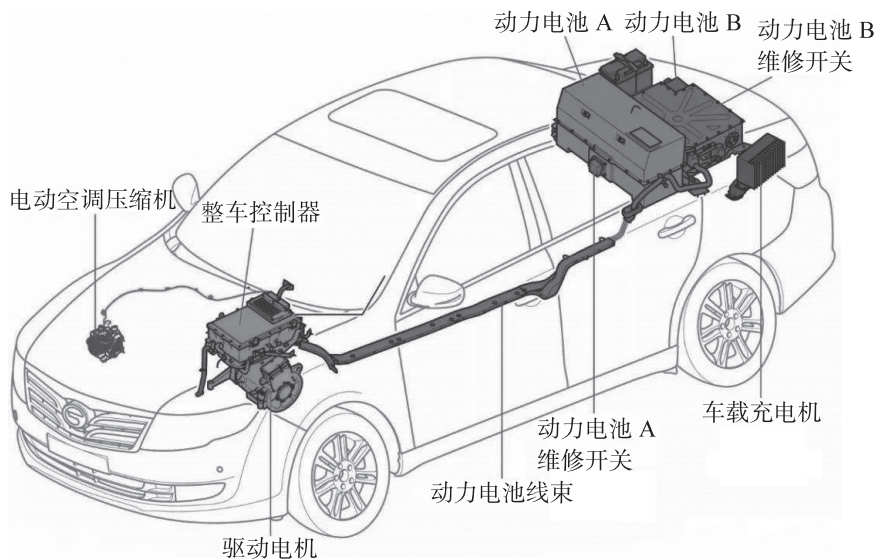


图 1-2-1 新能源汽车结构

驱动纯电动汽车和混合动力汽车的电机需要在各个转速下均能够产生转矩。图 1-2-2 表示的是汽车用驱动电机的转速与转矩之间的关系,这种曲线被称为转速—转矩曲线。汽车用驱动电机在中速以下时要求恒定功率输出,转矩与转速组合决定电机的运转情况,根据坡道起步、急加速、行驶区域、高速行驶等不同的行驶状态,会发生很大的变化。

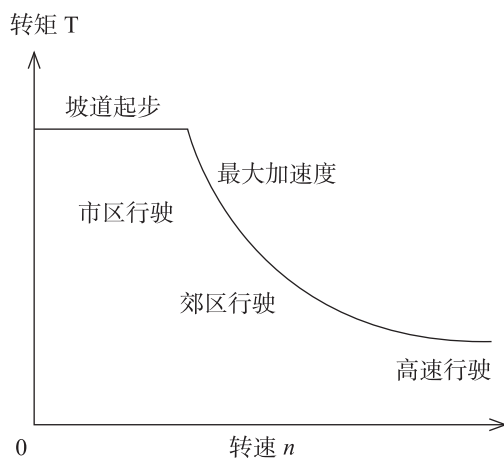


图 1-2-2 新能源汽车驱动电机转速与转矩之间的关系

2. 新能源汽车驱动电机的特点

(1) 体积小、功率密度大。由于新能源汽车的整车空间有限，因此驱动电机的结构要紧凑、尺寸要小是第一要求。这就意味着电机系统（驱动电机 + 电机控制器）的尺寸将受到很大的限制，电机设计厂家必须想尽办法缩小驱动电机的体积，即提高电机的功率密度和转矩密度。尤其是民用的乘用车，对电机的体积限制要求很高，因此业内一般选用高功率密度的永磁同步电机作为驱动电机的解决方案。

(2) 效率高、高效区广、质量轻。续航里程一直是新能源汽车的短板，而提升续航里程的方法就是提升驱动电机的效率，保证每度电都能发挥最大的用处；驱动电机的高效工况区要够广，保证汽车在大部分工况下都是处于高效状态下；减轻电机质量，也能间接降低整车的功耗，实现续航里程提升。提升新能源汽车续航里程的方法如图 1-2-3 所示。

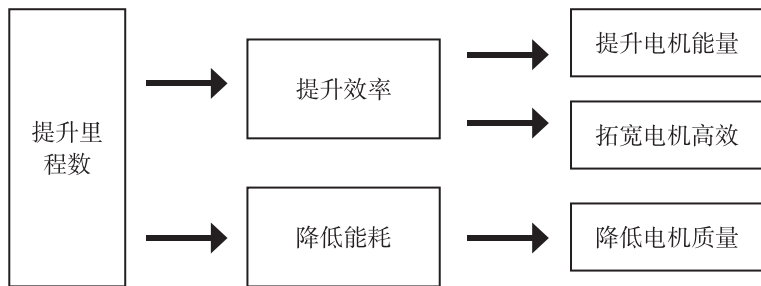


图 1-2-3 提升新能源汽车续航里程的方法

(3) 安全性与舒适度。基于汽车用户的体验，新能源汽车驱动电机还需关注电机自身的安全性和舒适度。安全性可以理解成电机的可靠性，即电机在恶劣环境下能否正常工作。可通过高低温箱试验来进行安全性能检测。舒适度即电机在运行时是否会对驾驶人产生体验上的不适，关注的是电机运行时的振动和噪声情况。提升新能源汽车安全性与舒适度的方法如图 1-2-4 所示。

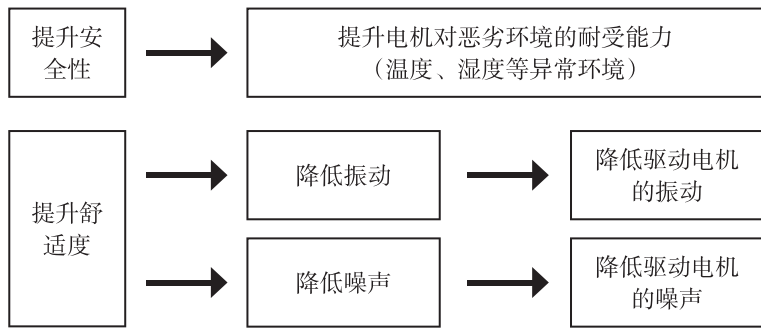


图 1-2-4 提升新能源汽车安全性与舒适度的方法

二、新能源汽车驱动电机的类型

电机（电动机）从很早以前就已经实用化，并且产品种类、形式也越来越丰富。典型的驱动电机类型有以下几种。

1. 直流电机

直流电机是输出或输入为直流电能的旋转电机，它是能实现直流电能和机械能互相转换的电机。

直流电机的励磁方式是指对励磁绕组如何供电、如何产生励磁磁通势而建立主磁场的问题。根据励磁方式的不同，直流电机可分他励直流电机、并励直流电机、串励直流电机、复励直流电机。

2. 感应电机

感应电动机又称“异步电动机”，即转子置于旋转磁场中，在旋转磁场的作用下，获得一个转动力矩，因而使转子转动。转子是可转动的导体，通常呈鼠笼状。感应电机的笼型导体是将棒状的导体排布在圆周上，在端部通过圆环短路。感应电机的内侧为线槽，在其内部缠绕绕组，绕组由 U 、 V 、 W 三组构成三相分布绕组，如图 1-2-5 所示。

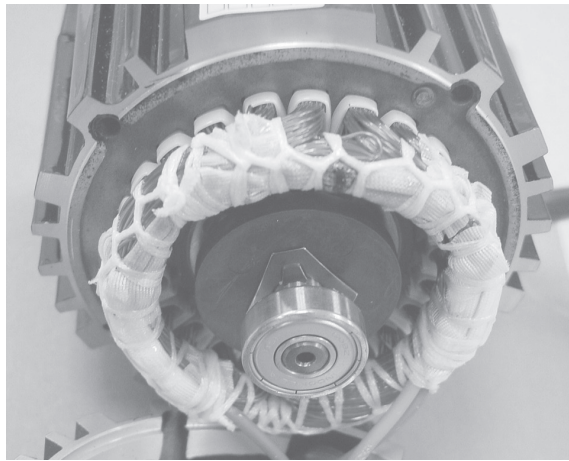


图 1-2-5 感应电机绕组

三相分布绕组接通三相交流电以后产生旋转磁场，转子导体棒横穿磁场，根据右手法则，在转子内产生电动势，该电动势使得电流在转子导体内流动，再按照左手法则，由转子导体的电流与定子的励磁产生力和转矩。

感应电机的主要特点是转子与定子磁场变化之间存在转速差。

3. 永磁同步电机

同步电机是指转子转速与定子旋转磁场的转速同步的电机。电机的转子为永磁体，转子磁体的 N 极、S 极随着定子绕组的旋转磁场磁极的移动而旋转。磁场产生磁通量，电枢完成电能与机械能的转换。

用于汽车驱动的同步电机几乎都为旋转磁极式，转子使用永磁体。此外，同步电动机开环控制容易产生脱离同步运转的情况，因此需要对转子的磁极位置进行检测，根据磁极的变化改变定子三相绕组电流的供给。

永磁同步电动机由于转子是永磁体，励磁随着转速的升高电压会逐渐达到逆变器所能输出的电压极限，这时要想继续升高转速只有靠调节定子电流的大小和相位，增加直轴去磁电流来等

效弱磁提高转速。电机的弱磁能力大小，主要与直轴电抗和反电势大小有关，但永磁体串联在直轴磁路中，所以直轴磁路一般磁阻较大，弱磁能力较小，电机反电势较大时，也会降低电机的最高转速。

4. 磁阻电机

为了提高弱磁能力，针对永磁同步电机从改进电机本体结构的角度来研究弱磁能力，提出采用凸极式转子结构的永磁同步电机。凸极式转子结构就是转子的直轴磁阻大于交轴磁阻，表现为凸极电机的性质。这样，电机电磁转矩的组成就类似于普通的凸极永磁同步电机，由永磁转矩和磁阻转矩组成。然而，永磁磁阻式同步电机的电磁转矩又和普通凸极永磁同步电机有所不同，普通的凸极永磁同步电机的永磁磁场非常强，占电磁转矩的主要成分，但同时也造成了高速弱磁的困难。而在永磁磁阻式同步电机中，永磁含有量较小，永磁的主要作用是励磁、提高功率因数、效率和较小逆变器的容量。由于永磁磁通量较小，因此弱磁容易，可以很方便地解决永磁电动机的恒功率调节问题，有很高的恒功率比范围。

三、常见新能源汽车品牌的驱动电机的类型和特点

1. 特斯拉电机

特斯拉电动汽车驱动电机为自主研发的三相感应电机，如图 1-2-6 所示，拥有最优的缠绕线性，能极大减少阻力和能量损耗。同时，相对整车其电机体积非常小。通过高性能信号处理器将制动、加速、减速等需求转换为数字信号，控制转动变频器将电池组的直流电与交流电相互转换，以带动三相感应电动机提供汽车动力。

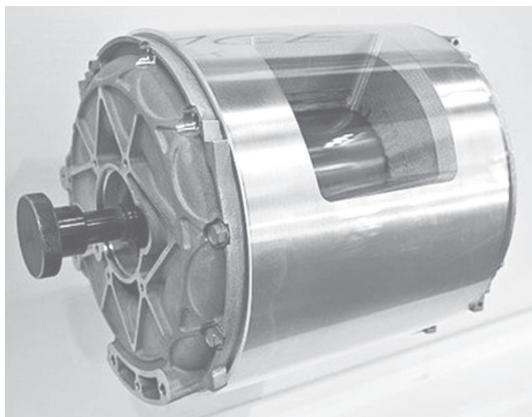


图 1-2-6 特斯拉电机

2. 比亚迪电机

比亚迪电动汽车现在使用的驱动电机为交流无刷永磁同步电机，如图 1-2-7 所示，通过采集电机旋变信号进行工作。当车辆要行驶时，电机通过旋转变压器检测到电机的位置，位置信号通过控制器的处理，发送给控制器控制 IGBT 开断，控制器输出近似正弦波的交流电。

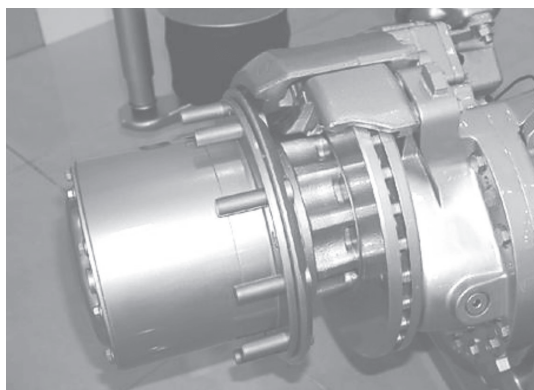


图 1-2-7 比亚迪电机

电机额定功率为 75 kW，最大功率为 120 kW。电机由外圈的定子与内圈的转子组成，是汽车的唯一动力源，可向外输出转矩，驱动汽车前进或后退；同时也可以作为发电机发电，例如，在高坡下滑、高速滑行以及制动过程中把势能或者动能通过电机转化为电能存储。

3. 荣威 E50 电机

荣威 E50 电动汽车使用的驱动电机是交流同步电机，电机总成采用油冷的方式冷却。定子是由三相绕组构成的回路，三相绕组分别为 $U/V/W$ ，以 Y 形方式连接，车辆的高压电缆分别连接到电机的每个绕组上。

驱动 / 发电电机转子的两端都由轴承支撑，定子产生磁场，并推动转子实现顺时针或逆时针的转动。

任务实训

一、实训准备

- (1) 防护装备：常规实训着装。
- (2) 车辆、台架、总成：北汽新能源纯电动汽车、比亚迪秦、荣威 E50 或其他同类新能源汽车。
- (3) 专用工具、设备：无。
- (4) 手工工具：无。
- (5) 辅助材料：无。

二、实训内容

参观实训室的驱动电机挂图、模型；检索资料，或网上搜索或走访周边汽车销售店面，了解新能源汽车驱动电机的类型和特点。

任务练习

一、填空题

1. 电机是一种将_____转化成机械能，并再使机械能产生_____，用来_____其他装置的电气设备。
2. 直流发电机的工作原理就是把电枢绕组中感应的_____，靠_____配合电刷的换向作用，使之从电刷端引出时变为直流电动势。
3. 用于汽车驱动的同步电机几乎都为_____，转子使用_____。
4. 电机在安装使用前，必须进行_____检查，接线端子对机壳的绝缘电阻应大于_____。

二、判断题

1. 驱动纯电动汽车和混合动力汽车的电机需要在各个转速下均能够产生转矩。()
2. 比亚迪电动汽车现在使用的电机为直流无刷永磁同步电机。()
3. 动力电机在一定的条件下也可以作为发电机发电。()
4. 电机维修装配时都要清洁其内部，不能有杂质。()
5. 电机转子带强磁性，电机除高低压盖板外，其余零部件禁止拆装。()

三、不定项选择题

1. 按照电机供电方式，电动汽车电机常见的类型有()。
 - A. 直流电机
 - B. 交流电机
 - C. 水冷电机
 - D. 风冷电机
2. 永磁同步电机根据磁片镶嵌在转子中的方式，常见的类型有()。
 - A. 内嵌式(IPM)
 - B. 面贴式(SPM)
 - C. 焊接时(SWI)
 - D. 黏结式
3. 下列关于磁阻电机的描述正确的是()。
 - A. 采用凸极式转子结构的永磁同步电机
 - B. 电机转子的电阻超过 2Ω
 - C. 电机定子的电阻超过 2Ω
 - D. 电机的磁场与转子的电阻相互作用的电机
4. 在高速行驶时，汽车驱动电机具有的特性是()。
 - A. 高转速低转矩
 - B. 高转矩低转速
 - C. 高转速高转矩
 - D. 低转速低转矩

任务

三

驱动电机系统的现状与发展趋势

学习目标

1. 知识目标
 - (1) 了解新能源汽车驱动电机与控制系统的现状。
 - (2) 了解新能源汽车驱动电机与控制系统的的发展趋势。
2. 能力目标
能够理解新能源汽车驱动电机控制系统的新技术。

任务引入

新能源汽车驱动电机作为新能源汽车关键零部件核心之一，它的工程化和产业化的程度对于我国新能源汽车产业影响至关重要，包括我们的创新体系的健全。

任务实施

一、驱动电机的现状及发展趋势

1. 驱动电机的发展现状与不足

目前，驱动电机及其控制系统呈现多样化的趋势，不同类型的电动机驱动系统在新能源汽车上都有应用。整体而言，直流驱动系统会逐渐淘汰，交流驱动是新能源汽车的主流驱动形式。各种交流驱动电机的综合指标在伯仲之间，各有侧重。目前，以交流感应电动机、永磁同步电动机和无刷直流电动机应用居多，技术相对成熟，开关磁阻电动机正在不断地探索和开发中。永磁电动机（包括永磁同步电动机和无刷直流电动机两种）因其高功率密度、高效率、结构多样化等优点令其发展前景更为广阔。各种不同的驱动电机要想在未来的新能源汽车驱动系统中占有一席之地，除了对电动机的结构进行优化设计外，还应运用创新思维以突破传统观念的束缚，对电动机本体进行改进，使之更适合新能源汽车驱动系统的要求。

2. 驱动电机的未来发展趋势

交流感应电动机结构坚固，当设计成高速运行时可以获得较小的体积，并且可以通过优化控制策略获得较高的效率，所以新能源汽车越来越多地采用交流感应电动机驱动系统。国外对这种驱动系统的研究已取得了一定的成果，我国在这方面的研究才刚刚起步，需要解决控制系统性能、效率、质量和体积等一系列问题，以实现系统性能可靠、体积小、质量小、结构紧凑的目标，向高集成化和全数字化方向发展。而永磁电动机在各方面的性能也很优异，目前永磁电动机

有较大范围的应用，控制技术也很成熟，现在和将来的很长一段时间内，永磁电动机将有更广泛的应用和发展。我国丰富的稀土储藏量将对永磁电动机的发展和推广有很好的促进作用。

轮毂电机的应用越来越广泛。轮毂电机驱动系统的布置非常灵活，可以使用两个前轮驱动、两个后轮驱动或四轮驱动。使用轮毂电机作为驱动系统的汽车改变了内燃机传统的驱动方式，每个驱动轮都是由独立的电动机驱动，这与传统内燃机汽车机械传动的驱动方式有本质的不同，更加有利于实现机电一体化以及应用先进的控制技术。

未来驱动电机的发展趋势是：采用新技术、新结构、新材料、新工艺，解决换向、绝缘、噪声和振动等方面的问题；利用新的设计和制造技术，提高电动机的设计和制造水平，从而提高电动机的换向性能；缩小尺寸，减小质量，提高极限容量，适应新能源汽车的动态性能、可靠运行以及特殊工况下的特殊要求或更好要求。总体而言，驱动电机将重点发展（包括目前已经研发并用于产品的）交流电动机、永磁轮毂电机和开关磁阻电动机，特别是永磁轮毂电机，因其优越的性能将是驱动电机发展的一个重要方向。

二、驱动电机控制系统的现状及发展趋势

1. 驱动电机控制系统的现状与不足

基于转子磁场定向的矢量控制技术是近 20 年来实际应用最为普遍的高性能交流调速系统，在交流驱动系统中的应用也是最成熟的，其动态性能好、调速范围宽，主要缺点是控制性能受电动机的参数变化影响。由于定子磁通定向只涉及定子电阻，所以对电动机参数的依赖大大减弱，尤其是不受转子参数变化的影响。直接转矩控制通过转矩偏差和定子磁通偏差来确定电压矢量，不需要像矢量控制那样进行复杂的坐标变换，控制系统及计算过程大大简化。为实现转矩的快速响应，直接转矩控制系统不采用传统的 PI 调节器，而用两点式（Bang-Bang）控制，但由此会产生转矩脉动，限制系统的调速范围，这是其缺点之一；直接转矩控制的另一缺点是低速性能差，这是由于系统未能摆脱电动机参数（主要是定子电阻）所带来的影响。电动机高速运行时，电压很大，定子电阻的影响可以忽略不计，但低速运行时，定子电压小，定子电阻的影响就不可忽略，且定子电阻随温度的变化而发生变化。各种定子电阻观测器是解决该问题比较有效的方法。另外，利用定子电压的三次谐波分量计算气隙磁通的直接转矩控制，完全摆脱了定子电阻的影响，从根本上解决了电动机参数影响的问题，具有较好的低速性能。因此，消除或减小转矩脉动、提高调速范围、加快动态响应，将是电动机控制系统的发展方向，也是直接转矩控制与矢量控制相竞争的关键点。目前国内外的研究方向是将现有的直接转矩控制方式与矢量控制相结合，取长补短，构成性能更加优越的控制系统。

采用常规的矢量控制方式的交流感应电动机，在低负荷区效率低、功率因数低，不能较好地匹配电动汽车的驱动装置。提高驱动效率、实现节能、延长一次充电行程，对电动汽车而言是至关重要的。相应地，最大效率控制是一种具有发展前景的控制方式。新能源汽车驱动用感应电动机的最大效率控制技术的本质是在整个运行过程中，在每一个工作点上都使系统效率最大，这是与传统控制方式不同的。传统控制方式中被控变量不是效率的函数，致使效率只能在某一工作点或一个极小区域内效率最高。但是，因为弱磁调速时转矩响应慢，控制装置复杂，成本较高，实

用性较低等缺点，最大效率控制技术还有待于发展和改进。

对于电动机的控制，目前采用经典控制方法。经典控制理论对于非线性、时变耦合系统有良好的控制效果。而驱动电机的复杂运行工况以及高精度、高智能的要求使得控制系统更加倾向使用智能控制算法，例如，一般的线性控制方式并不适用于开关磁阻电动机（SRM）控制系统，香港大学把模糊逻辑控制（FLC）和滑模控制（SMC）相结合，提出了模糊滑模控制（FSMC），这样综合了 FLC 和 SMC 的优点，实现了对 SRM 的控制。

2. 驱动电机控制系统的未来发展趋势

随着微电子技术的发展，DSP 电动机控制芯片日益成熟。通过软件实现驱动电机控制系统的全数字化，不仅可以提高系统性能、简化结构、降低成本，而且控制灵活、易于升级。目前基于 CAN 总线的全数字控制系统已经成为新能源汽车电控系统硬件组成的主要模式。

电动机控制技术包括执行机械技术、逆变与电动机驱动技术、运行信息及信号检测、电动机系统的集成。驱动控制系统是多门学科、理论和技术的有机融合和交叉，其他相关技术的发展和进步都将对驱动电机及其控制系统产生深远影响，从而引起设计理论、设计方法的优化和控制方式的革新，仅将电动机理论、电力电子技术、计算机技术和控制理论机械地组合在一起的研究方法已经无法满足高性能驱动系统的要求，因此应根据具体的车辆运行要求和现有技术水平对驱动电机及其控制系统进行专业化设计。

变结构控制、模糊控制、神经网络控制、自适应控制、专家系统、遗传算法等非线性智能控制技术，都将独自或相互结合应用于电动机控制系统中，这些技术或者不需要精确建模，或者善于处理非线性问题。智能控制技术的应用将使系统结构简单、响应迅速、鲁棒性好，大大提高电动机控制系统的综合性能。

新能源汽车驱动系统的主要参数包括转矩、转速、效率、外形尺寸、质量、可靠性及成本等。另外，传动系统的适配性、安装要求以及额定电压等也影响到驱动系统的设计或选择，如驱动电机与机械传动装置优化组合、电动机与发动机一体集成为混合动力发动机总成、电动机与逆变器一体集成为混合动力变速器总成、驱动电机与动力电池逆变器的优化组合等，都成为驱动系统的发展趋势。

驱动电机控制系统无位置传感器，使电动机结构更加紧凑，性能更加稳定，并且节约成本。未来的驱动电机及控制器将向无传感器方向发展。

整体而言，驱动电机控制系统将趋向小型化、轻量化、易于产业化、高容量、高效节能、响应迅速、调速性能好、可靠性高、成本低、免维护。驱动系统性能的改进与提升，对新能源汽车的推广有深远的影响和积极的促进作用。

任务实训

一、实训准备

新能源汽车的参考文献资料。

二、实训内容

通过对新能源汽车相关知识的学习，撰写新能源汽车技术发展趋势报告。

任务练习

一、填空题

1. 轮毂电机改变了内燃机传统的驱动方式，每个驱动轮都是由_____的电动机驱动。
2. 若在采用四轮驱动系统的车辆上导入_____（4WS），实现车辆转向行驶高性能化，可有效减小转向半径。
3. 驱动电机将重点发展_____、_____和_____。
4. _____因其优越的性能将是驱动电机发展的一个重要方向。
5. 利用定子电压的三次谐波分量计算气隙磁通的_____，完全摆脱了定子电阻的影响，从根本上解决了电动机参数影响的问题，具有较好的_____。

二、问答题

简述新能源汽车驱动电机发展的趋势。

项目二

常用驱动电机及其控制技术

本项目共有“直流电机”“直流无刷电机”“交流感应（异步）电动机”“永磁同步电机”“开关磁阻电机”“轮毂电机”6个任务。通过对任务的学习，掌握常用驱动电机的结构、工作原理及其控制技术。



任务

— 直流电机

学习目标

1. 知识目标
 - (1) 了解直流电机的分类。
 - (2) 了解直流电机的结构。
 - (3) 掌握直流电机的工作原理。
 - (4) 掌握直流电机转速控制方法。
2. 能力目标
 - (1) 能够分析不同直流电机的结构特点。
 - (2) 能够分析直流电机的工作过程。

任务引入

在早期开发的电动汽车上都采用直流电机，即使到现在，还有一些电动汽车上仍使用直流电动机来驱动。直流电动机就是将直流电能转换成机械能的电动机，是电动机的主要类型之一，它具有结构简单、技术成熟、控制容易等特点，在早期的电动汽车或希望获得更简单结构的电动汽车中应用，特别是场地用电动车和专用电动车。

任务实施

一、直流电机的分类

直流电机分为绕组励磁式直流电动机和永磁式直流电动机两种。在电动汽车所采用的直流电动机中，小功率电动机采用的是永磁式直流电动机，大功率电动机采用的是绕组励磁式直流电动机。

绕组励磁式直流电动机根据励磁方式的不同，可分为他励、并励、串励和复励四种类型。

1. 他励直流电动机

他励直流电动机的励磁绕组与电枢绕组无连接关系，而由其他直流电源对励磁绕组供电，因此励磁电流不受电枢端电压或电枢电流的影响。永磁式直流电动机也可看作他励直流电动机。他励直流电动机在运行过程中励磁磁场稳定而且容易控制，容易实现电动汽车的再生制动要求，但当采用永磁激励时，虽然电动机效率高，质量和体积较小，但由于励磁磁场固定，电动机的机械特性不理想，驱动电机产生不了足够大的输出转矩来满足电动汽车启动和加速时的大转矩要求。

2. 并励直流电动机

并励直流电动机的励磁绕组与电枢绕组并联，共用同一电源，性能与他励直流电动机基本相同。并励绕组两端电压就是电枢两端电压，但是励磁绕组用细导线绕成，其匝数很多，因此具有较大的电阻，使得通过它的励磁电流较小。

3. 串励直流电动机

串励直流电动机的励磁绕组与电枢绕组串联后，再接于直流电源上，这种直流电动机的励磁电流就是电枢电流。这种电动机内磁场随着电枢电流的改变有显著的变化，为了使励磁绕组中不致引起大的损耗和电压降，励磁绕组的电阻越小越好，所以串励直流电动机通常用较粗的导线绕成，它的匝数较少。

串励直流电动机在低速运行时，能给电动汽车提供足够大的转矩，而在高速运行时电动机电枢中的反电动势增大，与电枢串联的励磁绕组中的励磁电流减小。电动机高速时的弱磁调速功能易于实现，因此串励直流电动机驱动系统能较好地符合电动汽车的特性要求。但串励直流电动机由低速到高速运行时弱磁调速特性不理想，随着电动汽车行驶速度的提高，驱动电动机输出转矩快速减小，不能满足电动汽车高速行驶时由于风阻大而需要输出较大转矩的要求。串励直流电动机运行效率低；在实现电动汽车的再生制动时由于没有稳定的励磁磁场，再生制动的稳定性差；另外由于再生制动需要加接触器切换，使得驱动电动机控制系统的故障率较高，可靠性较差。另外，串励直流电动机的励磁绕组损耗大，体积和质量也较大。

4. 复励直流电动机

复励直流电动机有并励和串励两个励磁绕组，电动机的磁通由两个绕组内的励磁电流产生。若串励绕组产生的磁通势与并励绕组产生的磁通势方向相同，则称为积复励；若两个磁通势方向相反，则称为差复励。

复励直流电动机的永磁励磁部分采用高磁性材料钕铁硼，运行效率高。由于电动机永磁励磁部分有稳定的磁场，因此用该类电机构成驱动系统时易实现再生制动功能。同时由于电动机增加了增磁绕组，通过控制励磁绕组的励磁电流或励磁磁场的大小，能克服纯永磁他励直流电动机不能产生足够的输出转矩来满足电动汽车低速或爬坡时的大转矩要求的缺陷，而电动机的质量或体积比串励直流电动机的小。

各种励磁方式直流电动机的电路如图 2-1-1 所示，图中 I_a 为电枢电流； I_f 为励磁电流； U 为电源电压； U_f 为励磁电压； I 为负载电流。

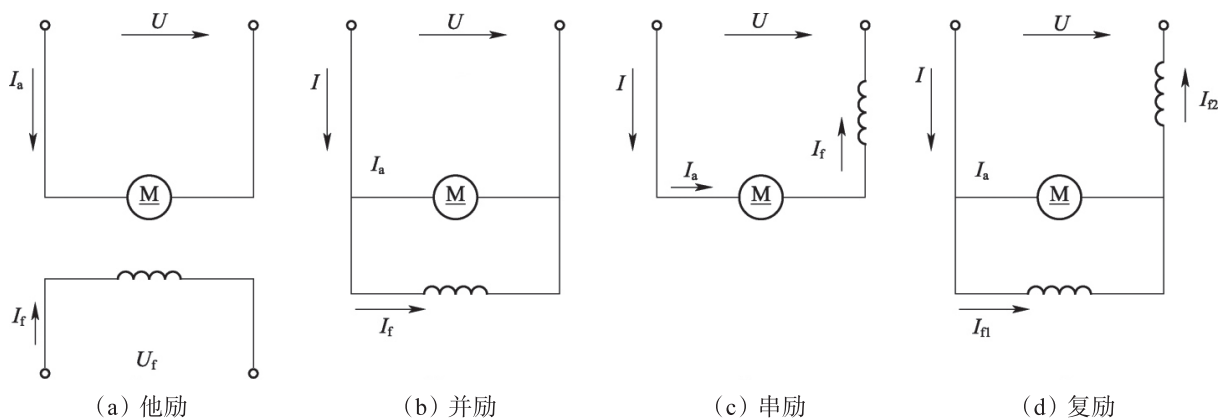


图 2-1-1 各种励磁方式直流电动机的电路

电动汽车所使用的直流电动机主要是他励直流电动机、串励直流电动机、复励直流电动机三种类型。

小功率（0.1~10 kW）的电动机采用的是小型高效的永磁直流电动机，可以应用在小型、低速的搬运设备上，如电动自行车、休闲用电动汽车、高尔夫球车、电动叉车等。

中等功率（10~100 kW）的电动机采用他励、复励或串励直流电动机，可以用于结构简单、转矩要求较大的电动货车上。

大功率（>100 kW）直流电动机采用串励直流电动机，可用在要求低速、高转矩的专用电动货车上，如矿石电动搬运车、玻璃电动搬运车等。

二、直流电动机的结构与特点

1. 直流电动机的结构

直流电动机由定子与转子两大部分构成，定子和转子之间的间隙称为气隙。直流电动机的结构如图 2-1-2 所示。

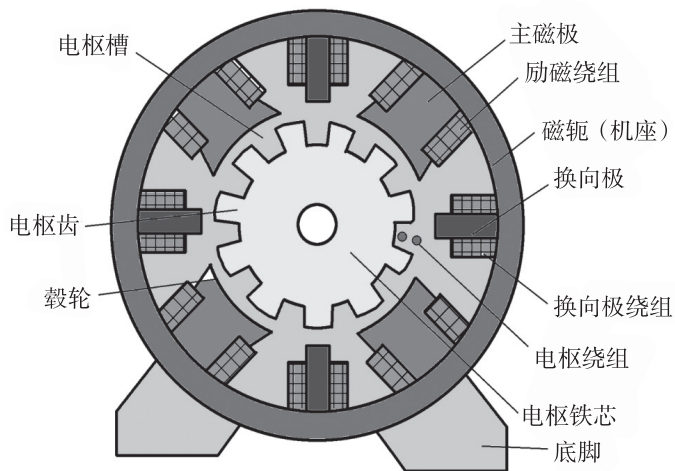


图 2-1-2 直流电动机的结构

(1) 定子部分。直流电动机定子主要由主磁极、磁轭（机座）、换向极和电刷装置等组成，如