



在日常生活中,电动机的应用十分广泛。机床、水泵,需要电动机带动;电力机车、电梯,需要电动机牵引。家庭生活中的电扇、冰箱、洗衣机,甚至各种电动机玩具都离不开电动机。电动机已经应用在现代生活社会生活中的各个方面。

## 任务一 认识直流电动机

### 任务描述

本任务要求正确认识如图 1-1 所示的直流电动机。



▲图 1-1 直流电动机

### 任务目标

1. 了解直流电动机的结构。
2. 熟悉直流电动机的工作原理。
3. 掌握直流电动机的铭牌方法。
4. 学会直流电动机的调速。

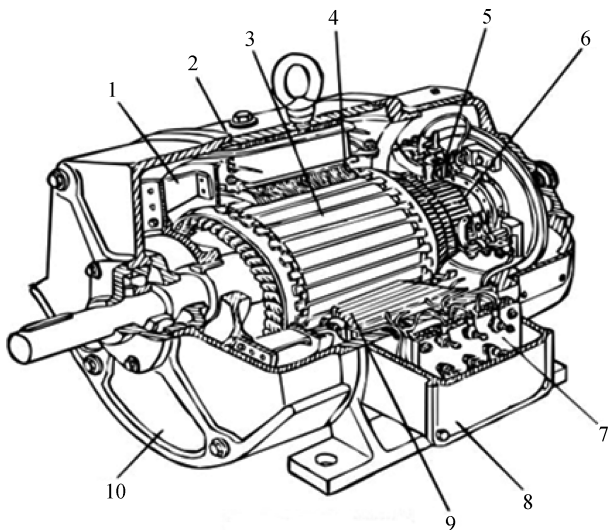
### 知识储备

直流电动机(direct current machine)是指能将直流电能转换成机械能(直流电动机)或将机械能转换成直流电能(直流发电机)的旋转电动机。它是能实现直流电能和机械能互相转换的电动机。当它作为电动机运行时是直流电动机,将电能转换为机械能;当它作为发电机运行

时是直流发电机,将机械能转换为电能。

### 一、直流电动机的结构

由图 1-2 可以看到,直流电动机的结构由定子和转子两大部分组成。直流电动机运行时静止不动的部分称为定子。定子的主要作用是产生磁场,由机座、主磁极、换向极、端盖、轴承和电刷装置等组成;运行时转动的部分称为转子,其主要作用是产生电磁转矩和感应电动势,是直流电动机进行能量转换的枢纽,所以通常又称为电枢,由转轴、电枢铁心、电枢绕组、换向器和风扇等组成。



1—风扇 2—机座 3—电枢 4—主磁极 5—刷架  
6—换向器 7—接线板 8—出线盒 9—换向极 10—端盖

▲图 1-2 直流电动机的结构图

#### (一) 定子

##### 1. 主磁极

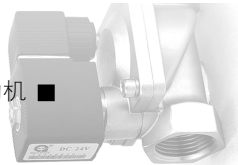
主磁极的作用是产生气隙磁场。主磁极由主磁极铁心和励磁绕组两部分组成。铁心一般用 0.5~1.5 mm 厚的硅钢板冲片叠压铆紧而成,分为极身和极靴两部分,上面套励磁绕组的部分称为极身,下面扩宽的部分称为极靴,极靴宽于极身,既可以调整气隙中磁场的分布,又便于固定励磁绕组。励磁绕组用绝缘铜线绕制而成,套在主磁极铁心上。整个主磁极用螺钉固定在机座上。

##### 2. 换向极

换向极的作用是改善换向,减小电动机运行时电刷与换向器之间可能产生的换向火花,一般装在两个相邻主磁极之间,由换向极铁心和换向极绕组组成。换向极绕组用绝缘导线绕制而成,套在换向极铁心上,换向极的数目与主磁极相等。

##### 3. 机座

电动机定子的外壳称为机座。机座的作用有两个:一是用来固定主磁极、换向极和端盖,并起整个电动机的支撑和固定作用;二是机座本身也是磁路的一部分,借以构成磁极之间磁的通路,磁通通过的部分称为磁轭。为保证机座具有足够的机械强度和良好的导磁性能,一般为



铸钢件或由钢板焊接而成。

#### 4. 电刷装置

电刷装置是用来引入或引出直流电压和直流电流的。电刷装置由电刷、刷握、刷杆和刷杆座等组成。电刷放在刷握内,用弹簧压紧,使电刷与换向器之间有良好的滑动接触,刷握固定在刷杆上,刷杆装在圆环形的刷杆座上,相互之间必须绝缘。刷杆座装在端盖或轴承内盖上,圆周位置可以调整,调好以后加以固定。

### (二) 转子(电枢)

#### 1. 电枢铁心

电枢铁心是主磁路的主要部分,同时用以嵌放电枢绕组。一般电枢铁心采用由 0.5 mm 厚的硅钢片冲制而成的冲片叠压而成,以降低电动机运行时电枢铁心中产生的涡流损耗和磁滞损耗。叠成的铁心固定在转轴或转子支架上。铁心的外圆开有电枢槽,槽内嵌放电枢绕组。

#### 2. 电枢绕组

电枢绕组的作用是产生电磁转矩和感应电动势,是直流电动机进行能量变换的关键部件,所以叫电枢。它是由许多线圈(以下称元件)按一定规律连接而成,线圈采用高强度漆包线或玻璃丝包扁铜线绕成,不同线圈的线圈边分上下两层嵌放在电枢槽中,线圈与铁心之间以及上、下两层线圈边之间都必须妥善绝缘。为防止离心力将线圈边甩出槽外,槽口用槽楔固定。线圈伸出槽外的端接部分用热固性无纬玻璃带进行绑扎。

#### 3. 换向器

在直流电动机中,换向器配以电刷,能将外加直流电源转换为电枢线圈中的交变电流,使电磁转矩的方向恒定不变;在直流发电机中,换向器配以电刷,能将电枢线圈中感应产生的交变电动势转换为正、负电刷上引出的直流电动势。

#### 4. 转轴

转轴起转子旋转的支撑作用,需有一定的机械强度和刚度,一般用圆钢加工而成。

### 观察思考

直流电动机由哪几部分结构组成? 每部分有什么作用?

## 二、直流电动机的分类

直流电动机按结果主要分为直流电动机和直流发电机。

直流电动机按类型主要分为直流有刷电动机和直流无刷电动机。

### (一) 直流电动机的励磁方式

直流电动机的励磁方式是指对励磁绕组如何供电、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,直流电动机可分为下列几种类型。

#### 1. 他励直流电动机

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的直流电动机称为他励直流电动机,永磁直流电动机也可看作他励直流电动机。

#### 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相并联。作为并励发电机来说,是电动机本身发

出来的端电压为励磁绕组供电；作为并励电动机来说，励磁绕组与电枢共用同一电源，从性能上讲与他励直流电动机相同。

### 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。这种直流电动机的励磁电流就是电枢电流。

### 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。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，称为积复励；若两个磁通势方向相反，则称为差复励。不同励磁方式的直流电动机有着不同的特性。

一般情况直流电动机的主要励磁方式是并励式、串励式和复励式，直流发电机的主要励磁方式是他励式、并励式和和复励式。

## (二) 直流发电机

直流发电机是把机械能转化为直流电能的机器。它主要作为直流电动机、电解、电镀、电冶炼、充电及交流发电机的励磁等所需的直流电动机。虽然在需要直流电的地方，也用电力整流元件，把交流电变成直流电，但从使用方便、运行的可靠性及某些工作性能方面来看，交流电整流还不能和直流发电机相比。

## (三) 直流电动机铭牌

国产电动机型号一般采用大写的英文的汉语拼音字母的阿拉伯数字表示，其格式为：第一部分用大写的拼音字母表示产品代号，第二部分用阿拉伯数字表示设计序号，第三部分用阿拉伯数字表示机座代号，第四部分用阿拉伯数字表示电枢铁心长度代号。

以 Z2—92 为例：Z 表示一般用途直流电动机；2 表示设计序号，第二次改型设计；9 表示机座序号；最后的 2 表示电枢铁心长度符号。

第一部分常见字符含义如下：

Z 系列：一般用途直流电动机（如 Z2、Z3、Z4 等系列）；

ZJ 系列：精密机床用直流电动机；

ZT 系列：广调速直流电动机；

ZQ 系列：直流牵引电动机；

ZH 系列：船用直流电动机；

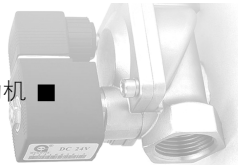
ZA 系列：防爆安全型直流电动机；

ZKJ 系列：挖掘机用直流电动机；

ZZJ 系列：冶金起重机用直流电动机。

## (四) 直流电动机调速系统的发展

直流电动机调速系统最早采用恒定直流电压给直流电动机供电，通过改变电枢回路中的电阻来实现调速。这种方法简单易行、设备制造方便、价格低廉；但缺点是效率低、机械特性软，不能得到较宽和平滑的调速性能。该法只适用在一些小功率且调速范围要求不大的场合。三十年代末期，发电机—电动机系统的出现才使调速性能优异的直流电动机得到广泛应用。这种控制方法可获得较宽的调速范围、较小的转速变化率和平滑的调速性能。但此方法的主要缺点是系统重量大、占地多、效率低及维修困难。近年来，随着电力电子技术的迅速发展，由晶闸管变流器供电的直流电动机调速系统已取代了发电机—电动机调速系统，它的调速性能也远远地超过了发电机—电动机调速系统。特别是大规模集成电路技术以及计算机技术的飞



速发展,使直流电动机调速系统的精度、动态性能、可靠性有了更大的提高。电力电子技术中 IGBT 等大功率器件的发展正在取代晶闸管,出现了性能更好的直流调速系统。

### 三、直流电动机的调速方法

直流电动机有三种基本调速方法:改变电枢回路总电阻  $R_a$ ,改变电枢供电电压  $U_a$ ,改变励磁磁通  $\Phi$ 。

#### (一) 改变电枢回路电阻调速

各种直流电动机都可以通过改变电枢回路电阻来调速。

当负载一定时,随着串入的外接电阻的增大,电枢回路总电阻增大,电动机转速就降低。

这种调速方法为有级调速,调速比一般约为 2 : 1 左右,转速变化率大,轻载下很难得到低速,效率低,故现在已极少采用。

#### (二) 改变电枢电压调速

连续改变电枢供电电压,可以使直流电动机在很宽的范围内实现无级调速。

如前所述,改变电枢供电电压的方法有两种,一种是采用发电机—电动机组供电的调速系统,另一种是采用晶闸管变流器供电的调速系统。

#### (三) 采用大功率半导体器件的直流电动机脉宽调速方法

脉宽调速系统的出现历史久远,但因缺乏高速大功率开关器件而未能及时在生产实际中推广应用。今年来,由于大功率晶体管(GTR),特别是 IGBT 功率器件的制造工艺成熟、成本不断下降,大功率半导体器件实现的直流电动机脉宽调速系统才获得迅猛发展,目前其最大容量已超过几十兆瓦数量级。

#### (四) 改变励磁电流调速

当电枢电压恒定时,改变电动机的励磁电流也能实现调速。电动机的转速与磁通  $\Phi$  (也就是励磁电流)成反比,即当磁通减小时,转速  $n$  升高;反之,则  $n$  降低。与此同时,由于电动机的转矩  $T_e$  是磁通  $\Phi$  和电枢电流  $I_a$  的乘积(即  $T_e = CT\Phi I_a$ ),电枢电流不变时,随着磁通  $\Phi$  的减小,其转速升高,转矩也会相应地减小。所以,在这种调速方法中,随着电动机磁通  $\Phi$  的减小,其转速升高,转矩也会相应地降低。在额定电压和额定电流下,不同转速时,电动机始终可以输出额定功率,因此这种调速方法称为恒功率调速。为了使电动机的容量能得到充分利用,通常只是在电动机基速以上调速时才采用这种调速方法。采用弱磁调速时的范围一般为 1.5 : 1 ~ 3 : 1,特殊电动机可达到 5 : 1。

这种调速电路的实现很简单,只要在励磁绕组上加一个独立可调的电源供电即可实现。

### 四、直流电动机的工作原理

直流电动机里固定有环状永磁体,电流通过转子上的线圈产生安培力,当转子上的线圈与磁场平行时,再继续转受到的磁场方向将改变,因此此时转子末端的电刷跟换片交替接触,从而线圈上的电流方向也改变,产生的洛伦兹力方向不变,所以电动机能保持一个方向转动。

直流发电机的工作原理(图 1-3)就是把电枢线圈中感应的交变电动势,靠换向器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的原理。

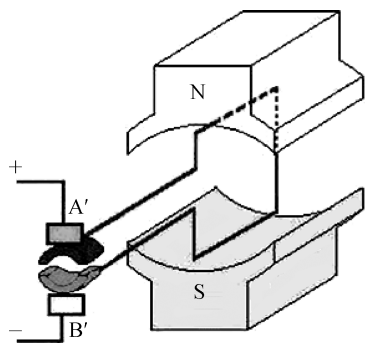
感应电动势的方向按右手定则确定:磁感线指向手心,大拇指指向导体运动方向,其他四指的指向就是导体中感应电动势的方向。

导体受力的方向用左手定则(图 1-4)确定。这一对电磁力形成了作用于电枢一个力矩,这个力矩在旋转电动机里称为电磁转矩,转矩的方向是逆时针方向,企图使电枢逆时针方向转

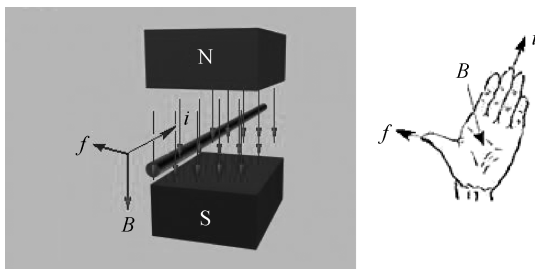
动。如果此电磁转矩能够克服电枢上的阻转矩(如由摩擦引起的阻转矩以及其他负载转矩),电枢就能按逆时针方向旋转起来。载流导体在磁场中将会受到力的作用,若磁场与载流导体互相垂直,作用在导体上的电磁力大小为:

$$f=B \cdot l \cdot i \quad (1-1)$$

力的方向用左手定则确定。



▲图 1-3 直流发电机的工作原理



▲图 1-4 左手定则示意图

## 任务实施

### 一、识别任务

能够区分常见的直流电动机种类,并说出它的用途。

### 二、说出直流电动机每部分的结构和作用

### 三、认识直流电动机的铭牌

### 四、学会直流电动机的调速方法

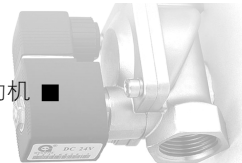
### 五、说出直流电动机的工作原理

### 六、根据任务完成情况填写实习报告

## 任务评价

表 1-1 直流电动机的认识评分表

| 班级   |               | 姓名   |      | 同组姓名           |    |    |     |
|------|---------------|------|------|----------------|----|----|-----|
| 开始时间 |               |      | 结束时间 |                |    |    |     |
| 序号   | 考核项目          | 考核要求 | 配分   | 评分标准           | 自评 | 互评 | 教师评 |
| 1    | 学习准备<br>(15分) | 资料准备 | 5    | 参与资料收集、整理、自主学习 |    |    |     |
|      |               | 计划制订 | 5    | 能初步制订计划        |    |    |     |
|      |               | 小组分工 | 5    | 分工合理,协调有序      |    |    |     |



续 表

| 序号   | 考核项目          | 考核要求         | 配分 | 评分标准                     | 自评 | 互评 | 教师评 |
|------|---------------|--------------|----|--------------------------|----|----|-----|
| 2    | 学习过程<br>(50分) | 说出直流电动机的结构   | 10 | 正确得分,否则酌情扣分              |    |    |     |
|      |               | 认识直流电动机的铭牌   | 15 | 正确得分,否则酌情扣分              |    |    |     |
|      |               | 说出直流电动机的工作原理 | 15 | 正确得分,否则酌情扣分              |    |    |     |
|      |               | 操作熟练程度       | 10 | 操作熟练得分,否则根据情况酌情扣分        |    |    |     |
| 3    | 学习拓展<br>(15分) | 知识迁移         | 5  | 能实现前后知识的迁移               |    |    |     |
|      |               | 应变能力         | 5  | 能举一反三,提出改进建议或方案          |    |    |     |
|      |               | 创新程度         | 5  | 有创新建议提出                  |    |    |     |
| 4    | 学习态度<br>(20分) | 主动程度         | 5  | 自主学习主动性强                 |    |    |     |
|      |               | 合作意识         | 5  | 协作学习能与同伴团结合作             |    |    |     |
|      |               | 严谨细致         | 5  | 认真仔细,不出差错                |    |    |     |
|      |               | 问题研究         | 5  | 能在实践中发现问题,并用理论知识解释实践中的问题 |    |    |     |
| 教师签字 |               |              |    | 总 分                      |    |    |     |

## 任务二 认识交流电动机

### 任务描述

本任务要求正确认识图 1-5 所示的交流电动机。



▲图 1-5 交流电动机

## 任务目标

1. 了解交流电动机的结构。
2. 熟悉交流电动机的工作原理。
3. 了解交流电动机的用途。

## 知识储备

交流电动机,是将交流电的电能转变为机械能的一种机器。

交流电动机主要由一个用以产生磁场的电磁铁绕组或分布的定子绕组和一个旋转电枢或转子组成。电动机利用通电线圈在磁场中受力转动的现象而制成的。

### 一、交流电动机的结构

交流电动机由定子和转子组成,并且定子和转子是采用同一电源,所以定子和转子中电流的方向变化总是同步的。交流电动机就是利用这个原理而工作的。

### 二、交流电动机的用途

交流电动机的工作效率较高,又没有烟尘、气味,不污染环境,噪声也较小。由于它的一系列优点,所以在工农业生产、交通运输、国防、商业及家用电器、医疗电器设备等各方面广泛应用。

#### 观察思考

交流电动机由哪几部分结构组成?有什么用途?

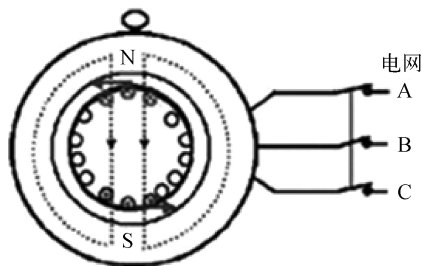
### 三、交流电动机的工作原理

交流电动机的原理是通电线圈在磁场里转动。

你知道直流电动机的原理了吧?直流电动机是利用换向器来自动改变线圈中的电流方向,从而使线圈受力方向一致而连续旋转的。因此只要保证线圈受力方向一致,电动机就会连续旋转。交流电动机就应用了这点。交流电动机由定子和转子组成,在模型中,定子就是电磁铁,转子就是线圈。而定子和转子是采用同一电源的,所以,定子和转子中电流的方向变化总是同步的,即线圈中的电流方向改变,同时电磁铁中的电流方向也改变,根据左手定则,线圈所受磁力方向不变,线圈能继续转下去。

关于两个铜环的作用:两个铜环配上相应的两个电刷,电流就能源源不断地被送入线圈。这个设计的好处是:避免了两根电源线的缠绕问题,因为线圈是不停地转的,用两条导线向线圈供电的话,两根电源线便会缠绕。

关于线圈中的电流:由于是交流电,是有电流等于零的时刻,但是这个时刻同有电流的时间比起来实在是太短了,更何况线圈有质量,具有惯性,所以惯性线圈就不会停下来。交流电动机是根据交流电的特性,在定子绕组中产生旋转磁场,然后使转子线圈做切割磁感线的运动,使转子线圈产生感应电流,感应电流产生的感应磁场和定子的磁场方向相反,才使转子有了旋转力矩。



▲图 1-6 交流电动机工作原理图





## 任务实施

### 一、识别任务

能够区分常见的交流电动机的概念。

### 二、说出交流电动机每部分结构

### 三、认识交流电动机的用途

### 四、说出交流电动机的工作原理

### 五、根据任务完成情况填写实习报告

## 任务评价

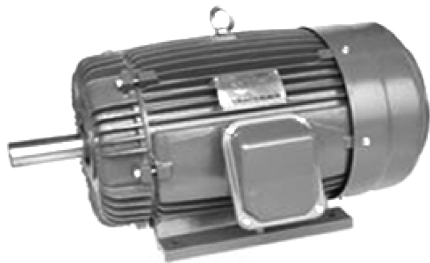
表 1-2 交流电动机的认识评分表

| 班级   |               | 姓名     |              | 同组姓名                    |             |    |     |  |
|------|---------------|--------|--------------|-------------------------|-------------|----|-----|--|
| 开始时间 |               |        |              | 结束时间                    |             |    |     |  |
| 序号   | 考核项目          | 考核要求   | 配分           | 评分标准                    | 自评          | 互评 | 教师评 |  |
| 1    | 学习准备<br>(15分) | 资料准备   | 5            | 参与资料收集、整理、自主学习          |             |    |     |  |
|      |               | 计划制订   | 5            | 能初步制订计划                 |             |    |     |  |
|      |               | 小组分工   | 5            | 分工合理,协调有序               |             |    |     |  |
| 2    | 学习过程<br>(50分) | 操作技术   | 说出交流电动机结构    | 10                      | 正确得分,否则酌情扣分 |    |     |  |
|      |               |        | 熟悉交流电动机的用途   | 15                      | 正确得分,否则酌情扣分 |    |     |  |
|      |               |        | 说出交流电动机的工作原理 | 15                      | 正确得分,否则酌情扣分 |    |     |  |
|      |               | 操作熟练程度 | 10           | 操作熟练得分,否则根据情况酌情扣分       |             |    |     |  |
| 3    | 学习拓展<br>(15分) | 知识迁移   | 5            | 能实现前后知识的迁移              |             |    |     |  |
|      |               | 应变能力   | 5            | 能举一反三,提出改进建议或方案         |             |    |     |  |
|      |               | 创新程度   | 5            | 有创新建议提出                 |             |    |     |  |
| 4    | 学习态度<br>(20分) | 主动程度   | 5            | 自主学习主动性强                |             |    |     |  |
|      |               | 合作意识   | 5            | 协作学习能与同伴团结合作            |             |    |     |  |
|      |               | 严谨细致   | 5            | 认真仔细,不出差错               |             |    |     |  |
|      |               | 问题研究   | 5            | 能实践中发现问题,并用理论知识解释实践中的问题 |             |    |     |  |
| 教师签字 |               |        |              | 总 分                     |             |    |     |  |

## 任务三 认识三相异步电动机

### 任务描述

本任务要求正确认识图 1-7 所示的三相异步电动机。



▲图 1-7 三相异步电动机

### 任务目标

1. 了解三相异步电动机的特点、用途和分类。
2. 认识三相异步电动机的外形和内部结构,熟悉各部件的作用。
3. 了解三相异步电动机铭牌中型号和额定值的含义,掌握额定值的简单计算。
4. 熟悉三相异步电动机的工作原理。

### 知识储备

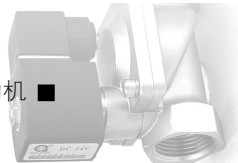
现代各种生产机械都广泛使用电动机来驱动。由于现代电网普遍采用三相交流电,而三相异步电动机又比直流电动机有更好的性价比,因此三相电动机比直流电动机使用得更广泛。三相异步电动机的外形如图 1-7 所示。在工矿企业的电气传动生产设备中,三相异步电动机是所有电动机中应用最广泛的一种。据有关资料统计,现在电网中的电能 2/3 以上是由三相异步电动机消耗的,而且工业越发达,现代化程度越高,其比例也越大,本任务主要介绍常用三相异步电动机的性能特点、基本结构、铭牌数据、工作原理。

#### 一、三相异步电动机的特点和用途

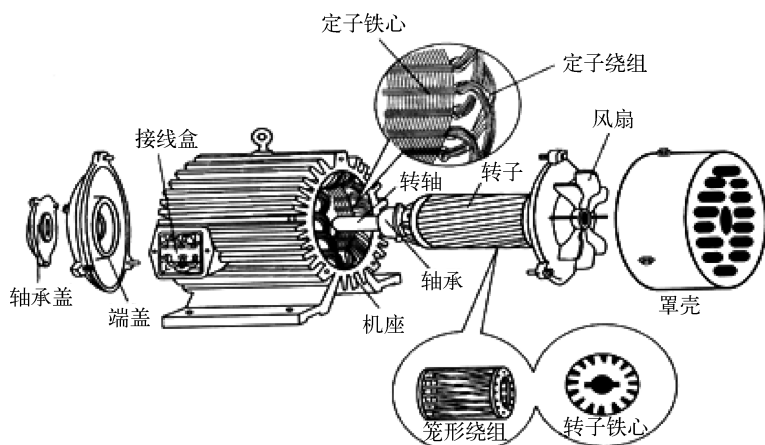
三相异步电动机具有结构简单、工作可靠、价格低廉、维修方便、效率较高、体积小、重量轻等优点。与同容量的直流电动机相比,三相异步电动机的重量和价格约为直流电动机的 1/3。三相异步电动机的缺点是功率因数较低,启动和调速性能不如直流电动机。因此,三相异步电动机广泛应用于对调速性能要求不高的场合,在中小企业中应用特别多,例如,普通机床、起重机、生产线、鼓风机、水泵以及各种农副产品的加工机械等。

#### 二、三相异步电动机的结构

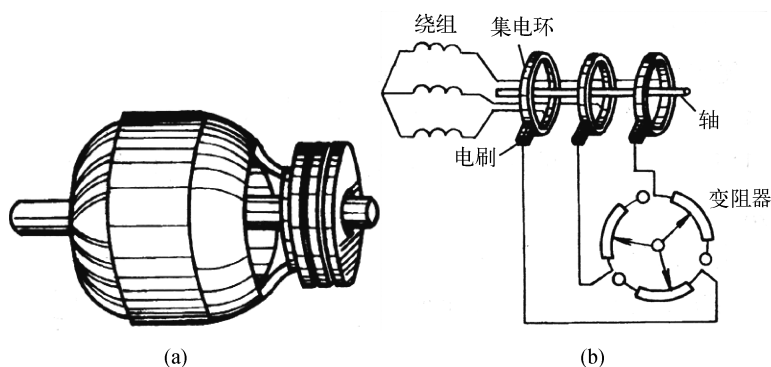
三相异步电动机由两个基本部分组成:固定部分(定子)和转动部分(转子)。图 1-8 为三



相异步电动机的结构分解图,其中定子由机座(铸铁或铸钢)、铁心(相互绝缘的硅钢片叠成)和定子绕组三部分组成。转子也是由冲成槽的硅钢片叠成,槽内浇铸有端部相互短接的铝条,形成“笼形”,故称“笼形”转子。还有一种转子是在铁心槽内嵌入三相绕组,并接成星形,通过滑环、电刷与外加电阻接通,如图 1-9 所示,即绕线式转子。绕线式转子在启动时接入可变电阻,正常运转时变阻器可转到零位。



▲图 1-8 三相异步电动机的结构



▲图 1-9 绕线式转子

(a) 外形

(b) 外接变阻器的等效电路

三相异步电动机只有定子绕组与交流电源连接,转子则是自行闭合的。虽然定子绕组和转子绕组在电路上是相互分开的,但两者却在同一磁路上。

### 三、三相异步电动机的铭牌

在三相异步电动机的机座上都装有一块铭牌,如图 1-10 所示。铭牌上标出了该电动机的一些数据。要正确使用电动机,必须看懂铭牌,下面以 Y112M-4 型电动机为例来说明铭牌数据的含义。

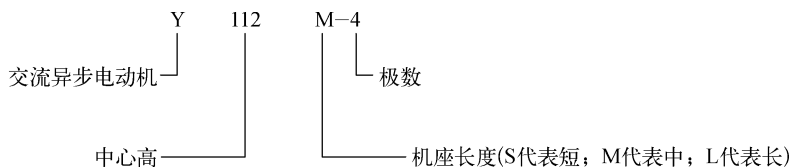
| 三相异步电动机 |            |             |
|---------|------------|-------------|
| 型号      | Y112M-4    | 电压 380 V    |
| 功率      | 4.0 kW     | 频率 50Hz     |
| 转速      | 1440 r/min | 电流 8.8 A    |
| 产品编号    | 05638      | 绝缘等级 B 级    |
|         |            | 接法 $\Delta$ |
|         |            | 工作方式 连续     |
|         |            | 重量 59 kg    |
|         |            | 年 月         |
|         |            | 电机厂         |

▲图 1-10 三相异步电动机的铭牌

视野拓展

Y 系列电动机是我国 20 世纪 80 年代设计的封闭型笼形三相异步电动机,是取代 JO2 系列的更新换代产品。这一系列的电动机高效、节能、启动转矩大、振动小、噪音低,运行安全可靠,适用于对启动和调速等无特殊要求的一般生产机械,如切削机床、鼓风机、水泵等。

(一) 型号



(二) 额定频率

额定频率是指加在电动机定子绕组上的允许频率,国产三相异步电动机的额定频率为 50 Hz。

(三) 额定电压

额定电压是指定子三相绕组规定应加的线电压值。一般应为 380 V。

注:以下各项都是指电动机在额定频率和额定电压条件下的有关额定值。

(四) 额定功率

额定功率是电动机在额定转速下长期持续工作时,电动机不过热,轴上所能输出的机械功率。根据电动机额定功率,可求出电动机的额定转矩为

$$T_N = 9\,550 \frac{P_N}{n_N} (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-2)$$

式中:  $T_N$ ——额定转矩(N·m);

$P_N$ ——额定功率(kW);

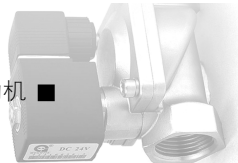
$n_N$ ——额定转速(r/min)。

(五) 额定电流

额定电流是当电动机轴上输出额定功率时,定子电路取用的线电流。

(六) 额定转速

额定转速是指电动机在额定负载时的转子转速。



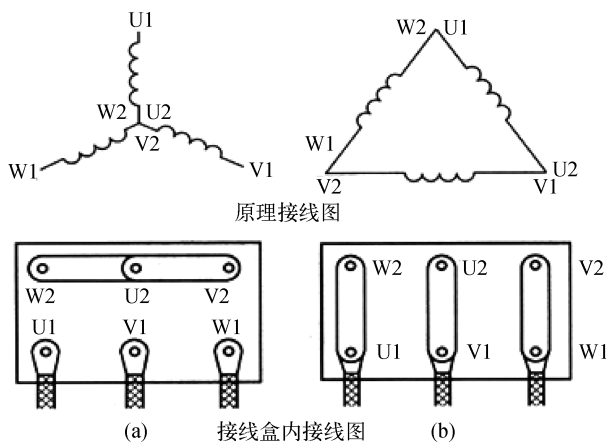
### (七) 绝缘等级

绝缘等级是指电动机定子绕组所用的绝缘材料的等级。绝缘材料按耐热性能可分为 7 个等级,见表 1-3。采用哪种绝缘等级的材料,决定于电动机的最高允许温度,如环境温度规定为  $40^{\circ}\text{C}$ ,电动机的温升为  $90^{\circ}\text{C}$ ,则最高允许温度为  $130^{\circ}\text{C}$ ,这就需要采用 B 级的绝缘材料。国产电动机使用的绝缘材料等级一般为 B、F、H、C 这 4 个等级。

表 1-3 绝缘材料耐热性能等级

| 绝缘等级                       | Y  | A   | E   | B   | F   | H   | C      |
|----------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| 最高允许温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 90 | 105 | 120 | 130 | 155 | 180 | 大于 180 |

三相异步电动机定子三相绕组一般有 6 个引出端:U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub>、V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>、W<sub>1</sub> 和 W<sub>2</sub>。它们与机座上接线盒内的接线柱相连,根据需要可接成星形(Y)或三角形( $\Delta$ ),如图 1-11 所示。也可将 6 个接线端接入控制电路中实行星形与三角形的换接。



▲图 1-11 三相笼形电动机的接线

(a) 星形连接

(b) 三角形连接

#### 查阅资料

星形连接与三角形连接的区别。

【例 1-1】 电源线电压为 380 V,现有两台电动机,其铭牌数据如下,试选择定子绕组的连接方式。

(1) 型号 Y90S-4,功率 1.1 kW,电压 220/380 V,接法  $\Delta$ /Y,电流 4.67/2.7 A,转速 1 400 r/min,功率因数 0.79。

(2) 型号 Y112M-4,功率 4.0 kW,电压 380/660 V,接法  $\Delta$ /Y,电流 8.8/5.1 A,转速 1 440 r/min,功率因数 0.82。

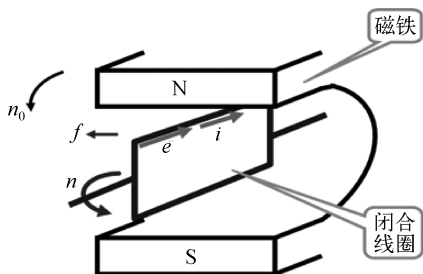
解:Y90S-4 型电动机应接成星形(Y),如图 1-11(a)所示。

Y112M-4 型电动机应接成三角形( $\Delta$ ),如图 1-11(b)所示。

## 四、三相异步电动机的工作原理

### (一) 基本原理

为了说明三相异步电动机的工作原理,我们做如下演示实验,如图 1-12 所示。



▲图 1-12 三相异步电动机工作原理

#### 1. 演示实验

在装有手柄的蹄形磁铁的两极间放置一个闭合导体,当转动手柄带动蹄形磁铁旋转时,将发现导体也跟着旋转;若改变磁铁的转向,则导体的转向也跟着改变。

#### 2. 现象解释

当磁铁旋转时,磁铁与闭合的导体发生相对运动,鼠笼式导体切割磁力线而在其内部产生感应电动势和感应电流。感应电流又使导体受到一个电磁力的作用,于是导体就沿磁铁的旋转方向转动起来,这就是三相异步电动机的基本原理。转子转动的方向和磁极旋转的方向相同。

#### 3. 结论

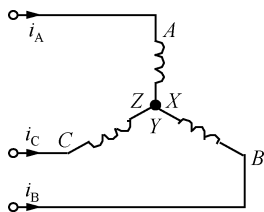
欲使三相异步电动机旋转,必须有旋转的磁场和闭合的转子绕组。

### (二) 旋转磁场

#### 1. 旋转磁场的产生

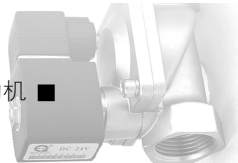
图 1-13 表示最简单的三相定子绕组 AX、BY、CZ,它们在空间按互差  $120^\circ$  的规律对称排列。并接成星形与三相电源 U、V、W 相联。则三相定子绕组便通过三相对称电流,随着电流在定子绕组中通过,在三相定子绕组中就会产生旋转磁场(图 1-14)。

$$\begin{cases} i_U = I_m \sin \omega t \\ i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_W = I_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{cases}$$



▲图 1-13 三相异步电动机定子接线

当  $\omega t = 0$  时,  $i_A = 0$ , AX 绕组中无电流;  $i_B$  为负, BY 绕组中的电流从 Y 流入 B1 流出;  $i_C$  为



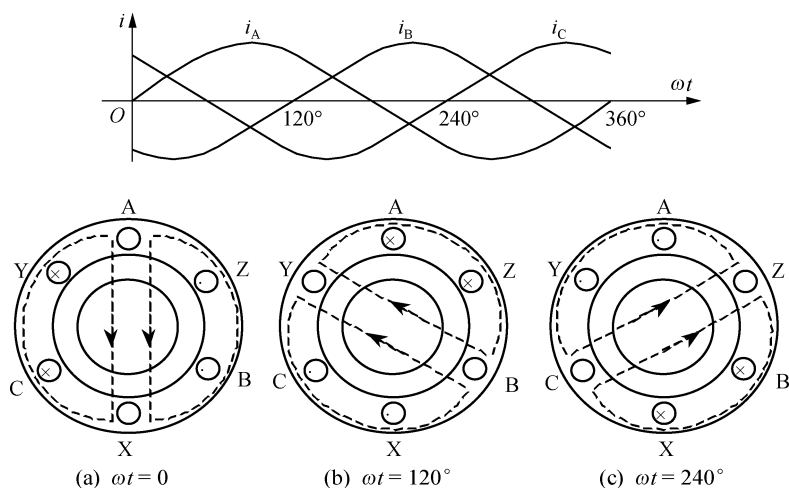
正,CZ绕组中的电流从C流入Z流出;由右手螺旋定则可得合成磁场的方向如图1-14(a)所示。

当 $\omega t=120^\circ$ 时, $i_B=0$ ,BY绕组中无电流; $i_A$ 为正,AX绕组中的电流从A流入X流出; $i_C$ 为负,CZ绕组中的电流从Z流入C流出;由右手螺旋定则可得合成磁场的方向如图1-14(b)所示。

当 $\omega t=240^\circ$ 时, $i_C=0$ ,CZ绕组中无电流; $i_A$ 为负,AX绕组中的电流从X流入A流出; $i_B$ 为正,BY绕组中的电流从B流入Y流出;由右手螺旋定则可得合成磁场的方向如图1-14(c)所示。

由以上可见,当定子绕组中的电流变化一个周期时,合成磁场也按电流的相序方向在空间旋转一周。随着定子绕组中三相电流不断地作周期性变化,产生的合成磁场也不断地旋转,因此称为旋转磁场。

◆ 温馨提示 ◆  
三相定子绕组 AX、BY、CZ,它们在空间互差  $120^\circ$ 。



▲图 1-14 旋转磁场的形成

## 2. 旋转磁场的方向

旋转磁场的方向是由三相绕组中电流相序决定的,若想改变旋转磁场的方向,只要改变通入定子绕组的电流相序,即将三根电源线中的任意两根对调即可。这时,转子的旋转方向也跟着改变。

### (三) 三相异步电动机的极数与转速

#### 1. 极数(磁极对数 $p$ )

三相异步电动机的极数就是旋转磁场的极数。旋转磁场的极数和三相绕组的安排有关。

当每相绕组只有一个线圈,绕组的始端之间相差  $120^\circ$  空间角时,产生的旋转磁场具有一对极,即  $p=1$ ;

当每相绕组为两个线圈串联,绕组的始端之间相差  $60^\circ$  空间角时,产生的旋转磁场具有两对极,即  $p=2$ ;

同理,如果要产生三对极,即  $p=3$  的旋转磁场,则每相绕组必须有均匀安排在空间的串联的三个线圈,绕组的始端之间相差  $40^\circ (=120^\circ/p)$  空间角。极数  $p$  与绕组的始端之间的空间角  $\theta$  的关系为:  $\theta = \frac{120^\circ}{p}$ 。

### 2. 转速 $n$

三相异步电动机旋转磁场的转速  $n_0$  与电动机磁极对数  $p$  有关,它们的关系是:

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} \quad (1-3)$$

由表 1-4 可知,旋转磁场的转速  $n_0$  决定于电流频率  $f_1$  和磁场的极数  $p$ 。对某一异步电动机而言,  $f_1$  和  $p$  通常是一定的,所以磁场转速  $n_0$  是个常数。

在我国,工频  $f_1=50$  Hz,因此对应于不同极对数  $p$  的旋转磁场转速  $n_0$ ,见表 1-4。

表 1-4 不同极对数  $p$  的旋转磁场转速  $n_0$

| $p$   | 1     | 2     | 3     | 4   | 5   | 6   |
|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| $n_0$ | 3 000 | 1 500 | 1 000 | 750 | 600 | 500 |

### 3. 转差率 $s$

电动机转子转动方向与磁场旋转的方向相同,但转子的转速  $n$  不可能达到与旋转磁场的转速  $n_0$  相等,否则转子与旋转磁场之间就没有相对运动,因而磁力线就不切割转子导体,转子电动势、转子电流以及转矩也就都不存在。也就是说旋转磁场与转子之间存在转速差,因此我们把这种电动机称为异步电动机,又因为这种电动机的转动原理是建立在电磁感应基础上的,故又称为感应电动机。

旋转磁场的转速  $n_0$  常称为同步转速。

转差率( $s$ )是指转子转速  $n$  与磁场转速  $n_0$  相差的程度。即:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{\Delta n}{n_0} \quad (1-4)$$

转差率是异步电动机的一个重要的物理量。

当旋转磁场以同步转速  $n_0$  开始旋转时,转子则因机械惯性尚未转动,转子的瞬间转速  $n=0$ ,这时转差率  $s=1$ 。转子转动起来之后,  $n>0$ ,  $(n_0-n)$  差值减小,电动机的转差率  $s<1$ 。如果转轴上的阻转矩加大,则转子转速  $n$  降低,即异步程度加大,才能产生足够大的感应电动势和电流,产生足够大的电磁转矩,这时的转差率  $s$  增大。反之,  $s$  减小。异步电动机运行时,转速与同步转速一般很接近,转差率很小。在额定工作状态下约为  $0.015\sim 0.06$  之间。

根据式(1-3),可以得到电动机的转速常用公式

$$n = (1-s)n_0 \quad (1-5)$$

**【例 1-2】** 有一台三相异步电动机,其额定转速  $n=975$  r/min,电源频率  $f=50$  Hz,求电动机的极数和额定负载时的转差率  $s$ 。





**解:**由于电动机的额定转速接近而略小于同步转速,而同步转速对应于不同的极对数有一系列固定的数值。显然,与 975 r/min 最相近的同步转速  $n_0=1\ 000\text{ r/min}$ ,与此相应的磁极对数  $p=3$ 。因此,额定负载时的转差率为:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \times 100\% = \frac{1\ 000 - 975}{1\ 000} \times 100\% = 2.5\%$$

## 任务实施

### 一、识别任务

能够区分常见的电动机种类,并说出它的用途。

### 二、说出三相异步电动机每部分的结构和作用

### 三、认识三相异步电动机的铭牌

### 四、说出三相异步电动机的工作原理

### 五、根据任务完成情况填写实习报告

## 任务评价

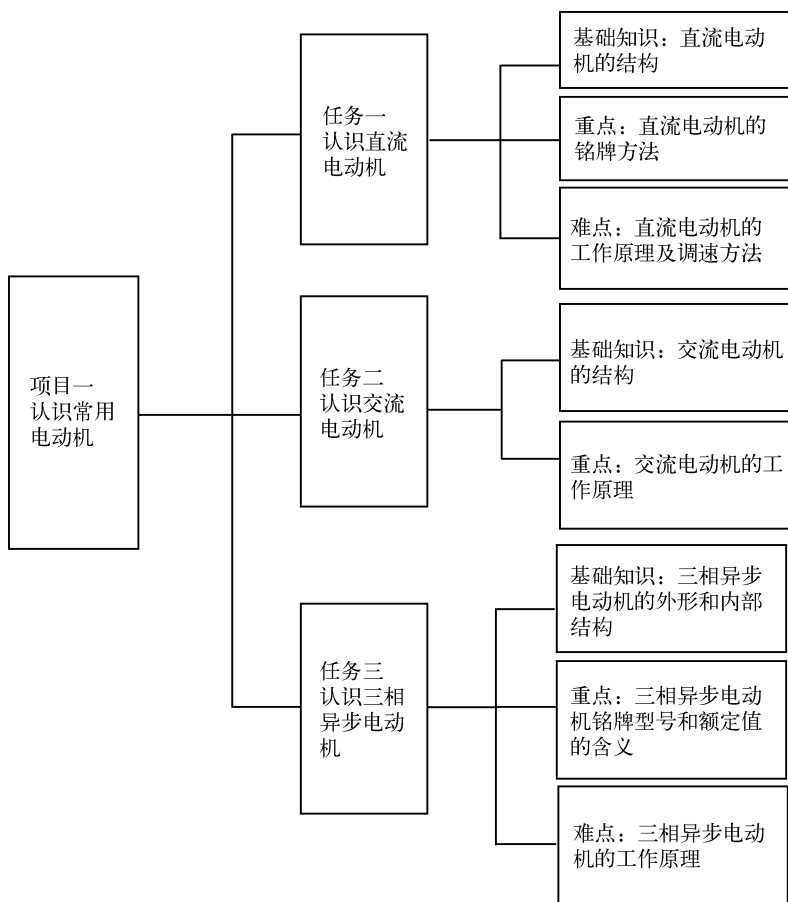
表 1-5 常用电动机的认识评分表

| 班级   |               | 姓名     |                | 同组姓名              |             |    |     |  |
|------|---------------|--------|----------------|-------------------|-------------|----|-----|--|
| 开始时间 |               | 结束时间   |                |                   |             |    |     |  |
| 序号   | 考核项目          | 考核要求   | 配分             | 评分标准              | 自评          | 互评 | 教师评 |  |
| 1    | 学习准备<br>(15分) | 资料准备   | 5              | 参与资料收集、整理、自主学习    |             |    |     |  |
|      |               | 计划制订   | 5              | 能初步制订计划           |             |    |     |  |
|      |               | 小组分工   | 5              | 分工合理,协调有序         |             |    |     |  |
| 2    | 学习过程<br>(50分) | 操作技术   | 说出三相异步电动机结构    | 10                | 正确得分,否则酌情扣分 |    |     |  |
|      |               |        | 认识三相异步电动机的铭牌   | 15                | 正确得分,否则酌情扣分 |    |     |  |
|      |               |        | 说出三相异步电动机的工作原理 | 15                | 正确得分,否则酌情扣分 |    |     |  |
|      |               | 操作熟练程度 | 10             | 操作熟练得分,否则根据情况酌情扣分 |             |    |     |  |
| 3    | 学习拓展<br>(15分) | 知识迁移   | 5              | 能实现前后知识的迁移        |             |    |     |  |
|      |               | 应变能力   | 5              | 能举一反三,提出改进建议或方案   |             |    |     |  |
|      |               | 创新程度   | 5              | 有创新建议提出           |             |    |     |  |

续表

| 序号   | 考核项目          | 考核要求 | 配分 | 评分标准                     | 自评 | 互评 | 教师评 |
|------|---------------|------|----|--------------------------|----|----|-----|
| 4    | 学习态度<br>(20分) | 主动程度 | 5  | 自主学习主动性强                 |    |    |     |
|      |               | 合作意识 | 5  | 协作学习,能与同伴团结合作            |    |    |     |
|      |               | 严谨细致 | 5  | 认真仔细,不出差错                |    |    |     |
|      |               | 问题研究 | 5  | 能在实践中发现问题,并用理论知识解释实践中的问题 |    |    |     |
| 教师签字 |               |      |    | 总分                       |    |    |     |

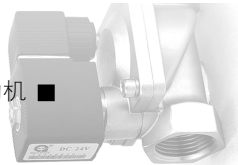
## 项目小结



## 项目测评

### 一、填空题

1. 异步电动机由两个基本部分组成:\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
2. 与同容量的直流电动机相比,三相异步电动机的重量和价格约为直流电动机的\_\_\_\_\_。



3. 电动机转子转动方向与磁场旋转的方向\_\_\_\_\_。
4. 直流电动机按类型主要分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
5. 交流电动机,是将\_\_\_\_\_的电能转变为机械能的一种机器。
6. 交流电动机的原理:\_\_\_\_\_在磁场里转动。

## 二、选择题

1. 改变三相感应电动机转向的方法是( )。
  - A. 改变电源频率
  - B. 改变电源电压
  - C. 改变定子绕组中电流的相序
  - D. 改变电动机的极数
2. 设感应电动机定子旋转磁动势的转速为  $n_1$ , 转子电流产生的旋转磁动势相对定子的转速为  $n_2$ , 则( )。
  - A.  $n_2 > n_1$
  - B.  $n_2 < n_1$
  - C.  $n_2 = n_1$
  - D. 不能确定
3. 三相异步电动机定子三相绕组一般有( )个引出端。
  - A. 3
  - B. 4
  - C. 5
  - D. 6
4. 直流电动机定子励磁绕组中电流为( )。
  - A. 直流电流
  - B. 交流电流
  - C. 尖顶波形
  - D. 交变电流
5. 下面不属于定子部分的是( )。
  - A. 次磁极
  - B. 换向极
  - C. 机座
  - D. 电刷装置

## 三、思考题

1. 三相异步电动机由哪几部分组成?
2. 直流电动机的结构是什么?
3. 交流电动机的结构是什么?

## 四、名词解释

1. 三相异步电动机的极数与转速
2. 换向极

## 五、计算题

有一台三相异步电动机,其额定转速  $n=1\ 000\ \text{r/min}$ ,电源频率  $f=50\ \text{Hz}$ ,求电动机的极数和额定负载时的转差率  $s$ 。