

电机与控制

DIANJI YU KONGZHI

张立 苏杰仁◎编著



电子科技大学出版社



张立（1976-），北京大学博士，广州番禺职业技术学院教授，机电工程学院副院长，电子技术与材料开发研究所所长。

主要从事纳米半导体材料的电子学与光电子性质研究工作及电子电气技术的教学工作。近年来在美国、英国、德国、荷兰、新加坡及中国主办的光电子学与物理学核心期刊上发表的SCI和EI收录的研究论文50多篇（含论文综述2篇），学术专著一部，科普著作一部，成果被国内外同行引用超过200余次。主持国家自然科学基金、广州市创新学术团队、广州市“羊城学者”等项目多项，现为美国、瑞典、德国、荷兰、中国等国际国内重要学术期刊审稿人，广东省演艺灯光标准委员会委员、广东省教师继续教育学会专家库成员，广州市科信局科技项目评审专家库成员。成果曾获广州市科技进步奖。



苏杰仁（1981-），男，毕业于华南师范大学物理与电信工程学院，研究生学历，电子技术实验师职称，现为广州番禺职业技术学院机电工程学院专任教师。



电机与amp;控制

DIANJI YU KONGZHI

ISBN 978-7-5647-3899-0



9 787564 738990 >

定价：32.00元

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与控制 / 张立编著. — 成都 : 电子科技大学出版社, 2016.9
ISBN 978-7-5647-3899-0

I. ①电… II. ①张… III. ①电机—控制系统 IV. ①TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 218206 号

电机与控制

张立 苏杰仁 编著

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)
策划编辑: 谭炜麟
责任编辑: 谭炜麟
主 页: www.uestcp.com.cn
电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 成都瀚林源印务有限公司
成品尺寸: 210mm×285mm 印张 8.75 字数 202 千字
版 次: 2016 年 9 月第一版
印 次: 2016 年 9 月第一次印刷
书 号: ISBN 978-7-5647-3899-0
定 价: 32.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

目 录

模块一	常用低压电器的认识与测试	(1)
模块二	单相变压器的认识与测试	(24)
模块三	三相变压器认识与联接组	(37)
模块四	三相异步电动机的工作特性测试	(46)
模块五	三相异步电动机的认识与测试	(54)
模块六	单相电动机的认识与试验	(66)
模块七	直流电机的认识与操作	(73)
模块八	直流发电机的认识与操作	(81)
模块九	交流伺服电机的认识与操作	(91)
模块十	测速发电机的认识与操作	(101)
模块十一	步进电动机的认识与操作	(112)
模块十二	电气控制基本环节认识与训练	(123)
参考文献		(136)

模 块 一

常用低压电器的认识与测试



基础知识

用在额定电压在交流 1200V 或直流电压 1500V 及其以下电路中起通断、保护、控制和调节作用的电器，称为低压电器。比如，控制电路中所用的接触器、继电器、各类开关、按钮等都是低压电器。根据控制原理不同，低压电器有电磁式、电子式等。在本模块中，我们主要以电磁式低压为例对低压电器进行认识，并对其性能进行测试。

一、接触器

(一) 接触器的结构及工作原理

接触器是一种用于中远程距离频繁接通或断开交直流主电路及大容量控制电路的自动开关电器。它广泛用于控制交、直流电动机，电热设备及电容器组等设备。接触器由于主触头一般都带有灭电弧装置，因此具有较大的执行能力。当电路发生故障时，能迅速、可靠地切断电源，并有低压释放功能，与其他保护电器配合可用于电动机的控制与保护，应用相当广泛。

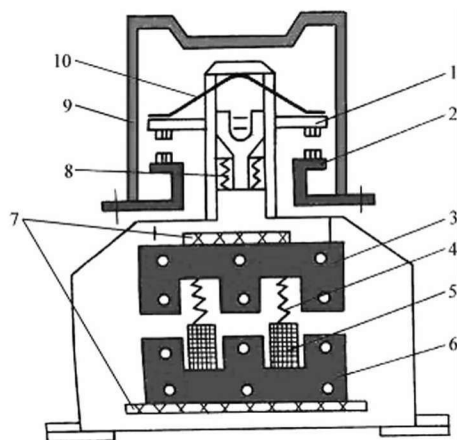


图 1-1 接触器结构示意图

1—动触头 2—静触头 3—衔铁 4—弹簧 5—线圈

6—铁芯 7—垫毡 8—触头弹簧 9—灭弧罩 10—触头压力弹簧

电磁式接触器一般由电磁机构、触头系统、灭弧装置、支架与底座等组成，如图 1-1 所示。

电磁机构由吸引线圈、铁芯、衔铁和反力弹簧等组成，如图 1-1 所示。吸引线圈通以一定的电压和电流，从而产生磁场及吸力，通过气隙转换成机械能，从而带动衔铁运动使触头动作，完成触头的断开和闭合，实现电路的接通与断开。根据吸引线圈中通过的电流性质，将电磁机构分为直流电磁机构与交流电磁机构。直流电磁机构一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，线圈与铁芯直接接触，易于线圈散热；而交流电磁机构的吸引线圈中由于铁芯会发热（磁滞与涡流损耗引起），造成铁芯发热，为了改善线圈和铁芯的散热，线圈设有骨架，让铁芯与线圈分离，将线圈做成短而厚的矮胖型。

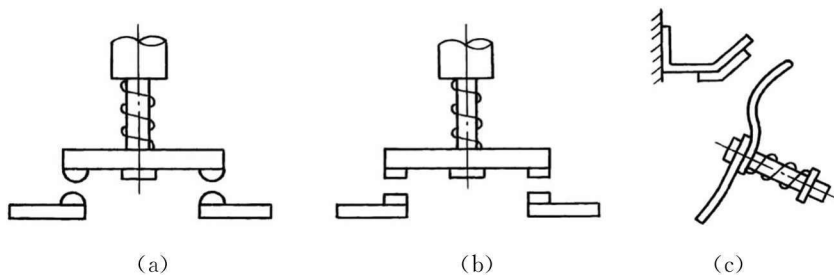


图 1-2 触头系统

触头系统包括触头、压力弹簧等部分。触头的接触形式有点接触式、线接触式及面接触式等几种，如图 1-2。点接触式常用于小电流的电器中，比如用于接触器的辅助触头及继电器的触头；线接触式的接触区是一条线，适用于多次通电，电流大的场合，主要应用于中等功率与容量的电器；面接触式触头允许通过较大的电流，主要用于中等容量的接触器的触头上。

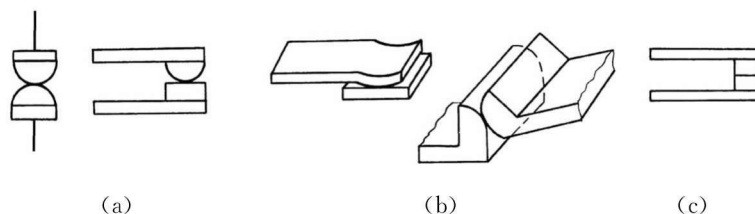


图 1-3 开关的触头形式

对于触头而言，应尽量减小接触电阻。减小接触电阻的方法有以下几种，选用电阻系数小的触头材料，比如铜或镀银的触头材料，使触头本身的电阻尽量减小；减小触头金属片间的接触距离，这一方面要求触头表面清洁，没有灰尘有金属氧化层，另一方面需要增加触头上的接触压力，这可由触头上的触头弹簧来实现。

根据触头容量大小可将触头分为主触头与辅助触头。主触头主要用于通断容量较大的交直流电动机等设备。辅助触头通常是常开与常闭成对出现的，当线圈通电后，衔铁受电磁吸力作用吸向铁芯，带动动触头动作，实现常开触头闭合，常闭触头断开。当线圈断电或电压电流降低到不足以维持衔铁吸合状态时，衔铁在释放弹簧作用下释放，触头复位。由于接触器常用来接通或断开主电路，在触头了间隙就会产生电弧，这对接触器本身和被控制的电器设备都是有害的。为了灭弧，小容量接触器通常采用灭弧罩灭弧或电动力吹弧；对于大容量的接触器常采用栅片灭弧或真空灭弧装置；直流接触器常采用磁吹灭弧装置来灭弧。

接触器最主要的功能是控制电路的接能与断开。当按下按钮时，电磁线圈就经过按钮和熔断器接通电源，会产生一个磁场将静铁芯磁化，吸引衔铁。接触器触头系统中的动触头是同动铁芯经机械机构固定在一起的，当动铁芯吸引向下运动时，动触头也随着向下运动，与静触头结合在一起。这样，用电设备便经接触器的触头系统接通电源，开始启动运转。一旦电源消失或电压电流过低，导致电磁引力不足以克服弹簧的反力时，动铁芯就会释放。此时，和动铁芯固定在一起的动触头与静触头分离，使用电设备与电源脱开，停止运转。

接触器图形符号与文字符号如图 1-4 所示。

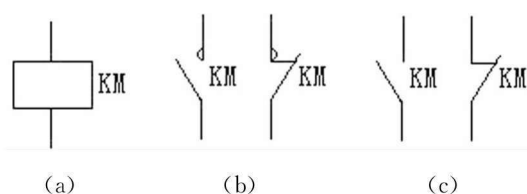


图 1-4 接触器图形符号与文字符号

(二) 接触器的主要技术参数

接触器的技术参数主要包括，极数和电流类型，额定工作电压，定额工作电流，额定通断能力，线圈额定工作电压，允许操作频率，机械寿命，使用类别等。



1. 接触器的极数与电流种类

按接触器主触头的数目可分为两极、三极和四极接触器。按接触器接通与断开主电路电流类型的不同,又分为直流接触器与交流接触器。

2. 额定工作电压

接触器的额定工作电压是指接触器铭牌额定电压是指主触点上的额定电压。通常用的电压等级为:直流接触器有 110V, 220V, 440V, 660V 等档次。交流接触器有 127V, 220V, 380V, 500V 等档次。如某负载是 380V 的三相感应电动机,则应选 380V 的交流接触器。

额定工作电压与额定工作电流共同决定接触器使用条件的电压值,接触器的接通与分断能力、工作制种类以及使用类别等技术参数都与额定电压有关。对于多相电路来说,额定电压是指电源相间电压(即线电压)。另外,接触器可以根据不同的工作制和使用类别规定许多组额定工作电压和额定电流的数值。例如:CJ10—40 型交流接触器,额定电压为 220V 时可控制电动机为 11kW,额定电压为 380V 时可控制电动机为 20kW。

此外还有额定绝缘电压。额定绝缘电压是与介电性能试验、电气间隙和爬电距离有关的一个名义电压值,除非另有规定,额定绝缘电压是接触器的最大额定工作电压。在任何情况下,额定工作电压不得超过额定绝缘电压。

3. 额定工作电流

接触器铭牌额定电流是指主触点的额定电流。通常用的电流等级为有以下几种。直流接触器:25A, 40A, 60A, 100A, 250A, 400A, 600A。交流接触器:5A, 10A, 20A, 40A, 60A, 100A, 150A, 250A, 400A, 600A。

上述电流是指接触器安装在敞开式控制屏上,触点工作不超过额定温升,负载为间断—长期工作制时的电流值。所谓间断—长期工作制是指接触器连续通电时间不超过 8h。若超过 8h,必须空载开闭三次以上,以消除表面氧化膜。如果上述诸条件改变了,就要相应修正其电流值。当接触器安装在箱柜内,由于冷却条件变差,电流要降低 10%~20%使用;当接触器工作于长期工作制,而且通电持续率不超过 40%;敞开安装,电流允许提高 10%~25%;箱柜安装,允许提高 5%~10%。介于上述情况之间者,可酌情增减。

主触头额定工作电流,根据额定工作电压、额定功率、额定工作制、使用类别以及外壳防护型式等所决定的保证接触器正常工作的电流值。辅助触头额定工作电流是考虑到额定工作电压、额定操作频率、使用类别以及电寿命而规定的辅助触头的电流值,一般不大于 5A。

4. 允许操作频率

额定操作频率指每小时接通次数。交流接触器最高为 600 次/h;直流接触器可高达 1200 次/h。

5. 机械寿命

机械寿命是指接触器在需要修理或更换机构零件前所能承受的无载操作次数。

6. 使用类别

使用类别是根据接触器的不同控制对象在运行过程中各自不同的特点而规定的。不同使用类别的接触器对接通、分断能力以及电寿命的要求是不一样的。它们的主触头达到的接通和分断能力为，AC1 和 DC1 类允许接通和分断额定电流；AC2、DC3 和 DC5 类允许接通和分断 4 倍的额定电流；AC3 类允许接通 6 倍的额定电流和分断额定电流；AC4 类允许接通和分断 6 倍的额定电流。常见的使用类别及典型用途参见表 1-1。

表 1-1 接触器常用使用类别及用途

形 式	触点类别	使用类别	用 途
交流接触器	接触器三触点	AC-1	无感式低感负载，电阻炉
		AC-2	绕线式感应电动机的启动、分断
		AC-3	鼠笼式感应电动机的启动、运转中分断
		AC-4	鼠笼式感应电动机的启动、反控制动或反向运转、点动
	接触器辅助触点	AC-11	控制交流电磁铁
		AC-14	控制小容量电磁铁负载
		AC-15	控制容量在 72VA 以上的电磁铁负载
直流接触器	接触器主触点	DC-1	无感式低感负载，电阻炉
		DC-3	并励电动机的启动、反接制动或反向运转、点动，电动机在动态中分断
		DC-4	串励电动机的启动、反接制动或反向运转、点动，电动机在动态中分断
	接触器辅触点	DC-11	控制直流电磁铁
		DC-13	控制直流电磁铁
		DC-14	控制电路中有经济电阻的直流电磁铁负载

二、继电器



图 1-5 继电器实物图

跟接触器类似，继电器也是一种电器控制元件（参见 1-5），它广泛应用于信号的传递、放大、



转换及联锁等用途中,控制主电路和辅助电路中的器件及设备,使其按预定的程序进行工作,实现自动控制和保护设备的目的。继电器按原理区分,有电磁式、磁电式、感应式、光电式、压电式、热继电器及时间继电器等。在本书中,我们主要介绍电磁式继电器、热继电器及时间继电器这几种继电器。

(一) 电磁式继电器的结构

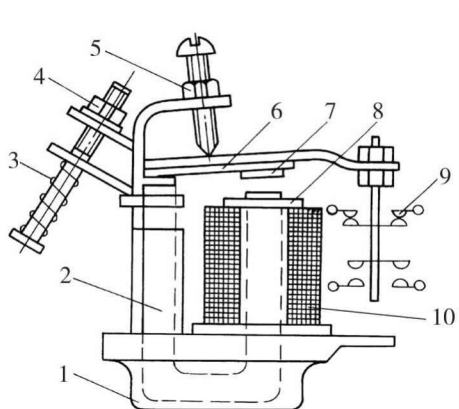


图 1-6 继电器结构示意图

电磁继电器的结构(如图 1-6 所示)与工作原理与电磁接触器是相似的,它也是上电磁机构与触头系统组成。与电磁接触器相比较,它在结构上有以下差别。因继电器的触头大部分接在控制电路中,触头承受的电流较小,因而无需再设置灭电弧装置,而电磁接触器一般用于控制大电流电路,主触头额定电流不小于 5A,往往加有灭电弧装置;电磁继电器为了满足不同情况下的控制需要,通常还需要对输入的参数在一定范围内进行调节,即通常还配有调节装置,而电磁接触器的输入参数通常是较为固定的,没有调节装置。

(二) 电磁继电器的特性与主要参数

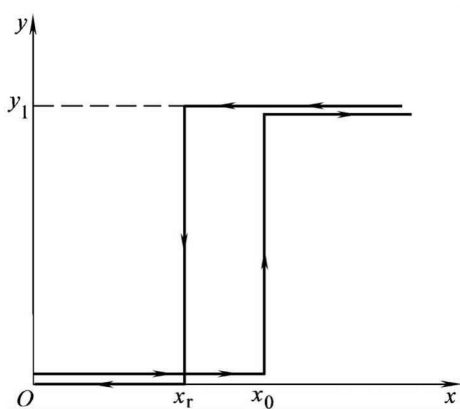


图 1-7 继电器的继电特性

继电器的特性是指继电器的输出量随输入量变化的关系,即输入—输出特性,这一特性也称为电磁断电器的继电特性,如图 1-7 所示。图中的 x_0 为继电器的动作值, x_r 为复归值,这两个值称为继电器的动作参数。

继电器的主要参数有额定参数、动作参数、整定值、返回系数、灵敏度及动作时间等参数。

额定参数是指继电器的线圈与触头在正常工作时允许的电压与电流值;动作参数即继电器的吸合值与释放值,对电压继电器而言,它有吸合电压与释放电压,对电流继电器而言,它有吸合电流与释放电流;整定值是根据控制要求,对继电器的动作参数进行人为的调整数值;返回系数是指继电器的释放值与吸合值的比值,它反映了继电器吸力特性与反力特性之间的配合关系,是电磁继电器的一个重要参数灵敏度是指继电器在整定值情况下的动作时所需要的最小功率或安匝数;动作时间分为吸合时间与释放时间两种,吸合时间指线圈接受电信号到衔铁完全吸合所需时间,而释放时间是从线圈断电到衔铁完全释放所需的时间,一般电磁继电器的动作时间为 $0.05 \sim 0.2\text{s}$,小于 0.05s 的为快速动作继电器,大于 0.2s 的称为延时动作继电器。

(三) 电磁继电器的符号

电磁继电器有交流与直流之分,它是按线圈接通交流电还是直流电来区分的,一般电压继电器的线圈匝数多、导线细,而电流继电器的线圈匝数少,导线较粗。



图 1-8 电压继电器

电压继电器是反映电压变化的控制电器,如图 1-8 所示。线圈与负载并联,以反映负载电压,可分为过电压、欠电压、零电压继电器及过电压继电器等。在电路中用于过电压保护,欠电压继电器在电路中用于欠电压保护。



图 1-9 电流继电器



电流继电器（如图 1-9 所示）也分为过电流继电器与欠电流继电器两种。过电流继电器通常，交流过电流继电器的吸合电流 $I_0 = (1.1 \sim 3.5) I_N$ ，直流过电流继电器的吸合电流 $I_0 = (0.75 \sim 3) I_N$ 。由于过电流继电器在出现过电流时衔铁吸合动作，其触头来切断电路，故过电流继电器无释放电流值。欠电流继电器正常工作时，继电器线圈流过负载额定电流，衔铁吸合动作；当负载电流降低至继电器释放电流时，衔铁释放，带动触头动作。欠电流继电器在电路中起欠电流保护作用。

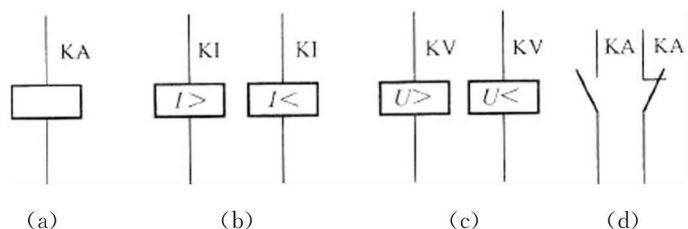


图 1-10 电磁继电器的线圈及触头符号

常用的电磁继电器的线圈及触头的符号，如图 1-10 所示。

三、特殊继电器

（一）时间继电器

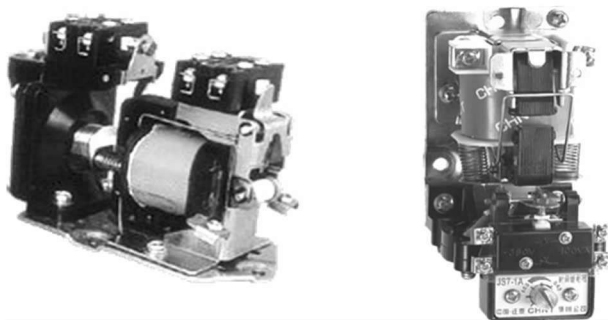


图 1-11 时间继电器

时间继电器（如图 1-11 所示）是输入信号后，经过一段时间延迟，才有输出信号的继电器，它在自动控制系统中有广泛应用。时间继电器根据原理有很多种类，比如电磁阻尼式、空气阻尼式、电动机式及电子式等。在此我们仅介绍空气阻尼式时间继电器。

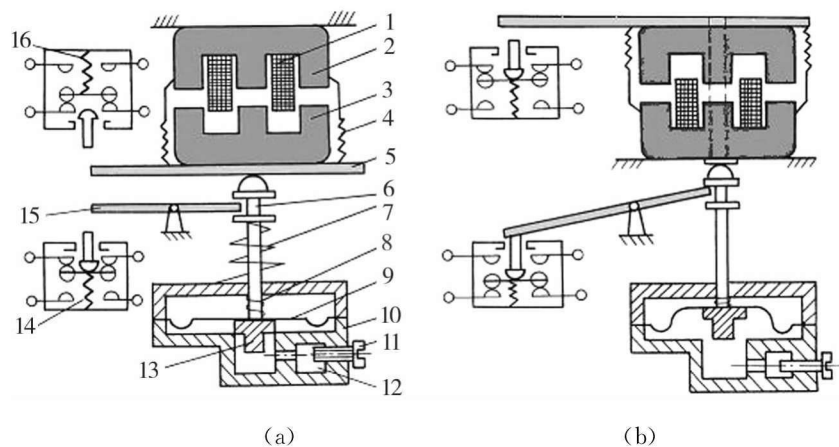


图 1-12 空气阻尼式时间继电器结构示意图

空气阻尼式时间继电器（参见 1-12）由电磁机构、延时机构和触头系统几部分组成，它是利用空气阻尼原理达到延时目的。延时方式有通电延时型和断电延时型两种。通过观察可以区分通电延时和断电延时型这两种类型，当衔铁位于铁芯和延时机构之间的为通电延时型；当铁芯位于衔铁和延时机构之间的为断电延时型。

空气阻尼时间继电器的外形与结构图见图 1-13 所示。延时时间的长短可通过调节螺母来调节进气孔气隙大小来改变。

空气阻尼时间继电器具有结构简单、延时范围较大、价格较低的优点，但其延时精度较低，适用于延时精度要求不很高的场合。

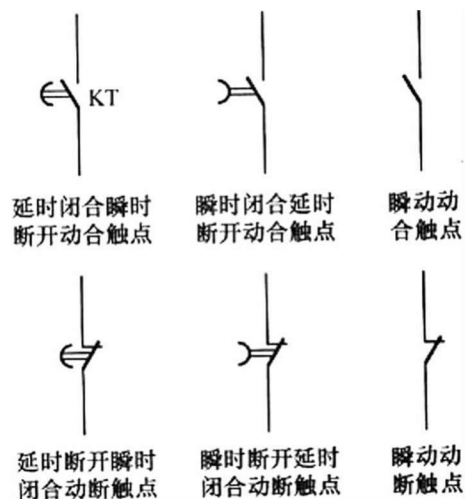


图 1-13 时间继电器的触头符号

时间继电器的触头符号如图所示 1-13 所示，它的线圈符号如图 1-14 所示。

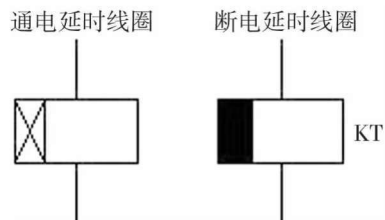


图 1-14 时间继电器的线圈符号

(二) 热继电器

热继电器是利用电流流过发热元件产生热量来使检测元件受热弯曲，进而推动机构动作的一种保护电器，如图 1-15 所示。它的主要作用是用于电器设备，特别是电动机的过载保护。



图 1-15 热继电器

热继电器主要由热元件、双金属片和触头组成，如图 1-16 所示。热元件由发热电阻丝做成。双金属片由两个热膨胀系数不同的金属辗压而成。热元件串接在电动机定子绕组中。电动机绕组电流即为流过热元件的电流。当电动机正常运行时，热元件产生的热量虽能使双金属片弯曲，但还不足以使继电器动作；当电动机过载时，热元件产生的热量增大，使双金属片弯曲位移增大，经过一定时间后，双金属片弯曲到推动导板，并通过补偿双金属片与推杆将动触点和常闭触点分开，动触点和常闭触点为热继电器串于接触器线圈回路的常闭触点，断开后使接触器失电，接触器的常开触点断开电动机的电源以保护电动机。

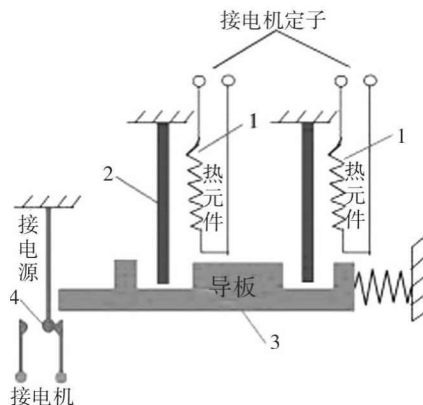


图 1-16 热继电器结构示意图

热继电器用作电动机的长期过载保护，根据电动机的特性，它应是一条反时限的曲线或曲线带，如图 1-16 所示。当环境变化时，热继电器检测元件受热情况会出现误差，为补偿由于温度引起的误差，它应具有温度补偿装置。此外，热继电器还设有额定电流的调节装置与复位装置。

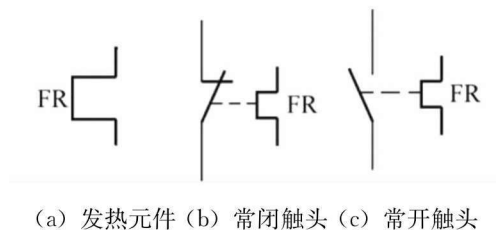


图 1-17 热继电器的发热元件及触头符号

热继电器的符号如图 1-17 所示。

(三) 速度继电器

速度继电器是将电动机或其他转动装置的转速信号经电磁感应原来来控制触头动作的电器，如图 1-18 所示。



图 1-18 速度继电器

速度继电器主要用于三相异步电动机反接制动的控制电路中，它的任务是当三相电源的相序改变以后，产生与实际转子转动方向相反的旋转磁场，从而产生制动力矩。因此，使电动机在制动状态下迅速降低速度。在电机转速接近零时立即发出信号，切断电源使之停车（否则电动机开始反方向启动）。

它的转子是一个永久磁铁，与电动机或机械轴连接，随着电动机旋转而旋转，如图 1-19 所示。转子与鼠笼转子相似，内有短路条，它也能围绕着转轴转动。当转子随电动机转动时，它的磁场与定子短路条相切割，产生感应电势及感应电流，这与电动机的工作原理相同，故定子随着转子转动而转动起来。定子转动时带动杠杆，杠杆推动触点，使之闭合与分断。当电动机旋转方向改变时，继电器的转子与定子的转向也改变，这时定子就可以触动另外一组触点，使之分断与闭合。当电动机停止时，继电器的触点即恢复原来的静止状态。

由于继电器工作时是与电动机同轴的，不论电动机正转或反转，电器的两个常开触点，就有一



个闭合，准备实行电动机的制动。一旦开始制动时，由控制系统的联锁触点和速度继电器的备用的闭合触点，形成一个电动机相序反接（俗称倒相）电路，使电动机在反接制动下停车。而当电动机的转速接近零时，速度继电器的制动常开触点分断，从而切断电源，使电动机制动状态结束。

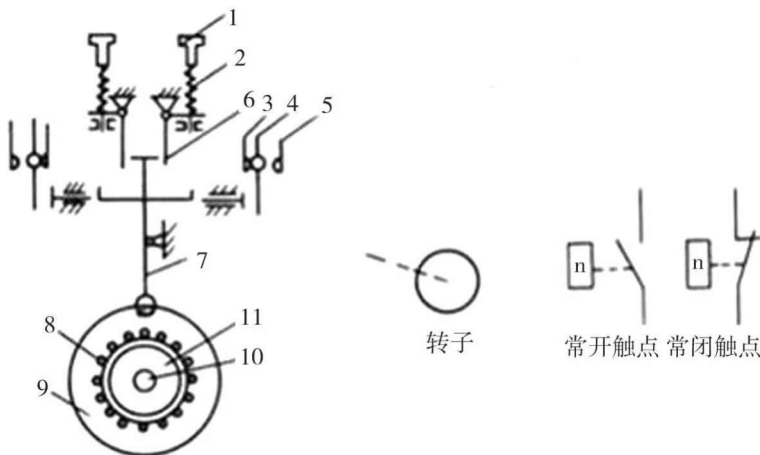


图 1-19 速度继电器结构与符号

四、主令电器

主令电器是一种在电气自动控制系统用于发送或转换控制指令的电器。它一般用于控制接触器、继电器或其他电器线路，使电路接通或分断，从而实现对电力传输系统或生产过程的控制。常用的主令电器有按钮、行程开关、接近开关和主令控制器等。

（一）按钮



图 1-20 按钮

按钮开关，是一种结构简单，应用十分广泛的主令电器，如图 1-20 所示。在电气自动控制电路中，用于手动发出控制信号以控制接触器、继电器、电磁启动器等。