

继电器接触器控制基础

3.1 常用低压电器元件

低压电器是用于电压为交流 1200V、直流 1500V 及以下的电路中起通断、保护、控制、调节及转换作用的电器。

根据在电路中所处的地位和作用,低压电器可归纳为两大类。一类为低压控制电器,用于各种控制电路和控制系统中,能够根据外界信号手动或自动地接通、断开电路,以实现电路或被控对象的控制,主要有接触器、继电器、主令电器、电动机启动器等。另一类为低压配电电器,用于低压配电系统中对电能进行输送、分配和保护,主要有刀开关、断路器和熔断器等。

低压电器按动作方式的不同可分为自动电器和非自动电器。自动电器具有电磁铁等动力机构,在完成电路接通和断开操作时,依靠外部指令和信号或其本身参数的变化而自动地进行工作,如接触器、继电器、电磁阀等。非自动电器主要依靠人力或其他外力直接操作来完成电路切换等动作,如按钮开关、行程开关、转换开关、刀开关等。

继电器接触器控制线路可以分成两大部分,一部分是用于接通和断开电动机的主电路,由电动机及其相关电器元件(如电器主触点)等组成,允许通过较强的电流;另一部分是控制电路,一般由电器线圈及其辅助触点、按钮、行程开关等组成,只能通过较弱的电流,其任务是根据给定指令,按照控制规律和生产工艺要求,对主电路进行控制。由于主电路和控制电路的职能和传送的能量不同,因此所使用的电器元件也不同。

本节主要介绍工程中常用低压电器的结构、工作原理、应用及其图形和文字符号。

3.1.1 接触器和继电器

1. 接触器

接触器是在低压电路系统中远距离控制、频繁接通和切断交直流主电路和大容量控制电路的自动控制电器,主要控制对象为交直流电动机,也可用于电焊机、电热设备、照明设备等其他负载的控制。接触器具有大容量的执行机构及迅速熄灭电弧的能力。当系统发生故障时,可以根据故障检测信号,迅速可靠地切断电源,并有零(欠)压保护功能。

接触器的种类很多,按驱动力的不同可分为电磁式、气动式和液压式,其中电磁式应用

最为广泛;按主触点所控制电路的电流种类,接触器又可分为交流接触器和直流接触器。本节涉及的是电磁式接触器,简称接触器。

1) 结构和工作原理

如图 3.1 和图 3.2 所示,接触器的工作原理为:当线圈通电后,铁芯中产生磁通及电磁吸力,此电磁吸力克服弹簧的反作用力将衔铁吸合,并带动触点机构动作,即常闭触点打开、常开触点闭合,从而完成接通电路的操作。当线圈断电或电压较低时,电磁吸力消失或减弱,在弹簧的作用下,衔铁释放,触点机构复位,从而切断电路。

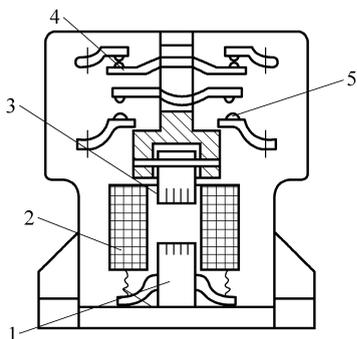


图 3.1 交流接触器原理示意图

1—铁芯; 2—线圈; 3—衔铁;
4—常闭触点; 5—常开触点

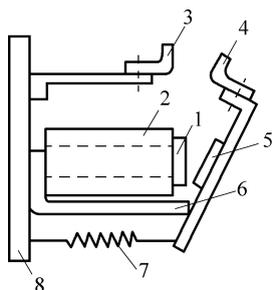


图 3.2 直流接触器原理示意图

1—铁芯; 2—线圈; 3—静触点; 4—动触点;
5—衔铁; 6—磁轭; 7—反作用弹簧; 8—底板

接触器主要由电磁系统、触点系统、灭弧装置等部分组成,下面将分别对各主要部分作简要的介绍。

(1) 电磁系统

电磁系统包括线圈、铁芯、衔铁三部分,其作用是将电磁能转变为机械能,产生电磁吸力,带动衔铁和触点动作。

(2) 触点系统

触点是接触器的执行元件,用来接通或分断被控制电路。

触点按所控制的电路可分为主触点和辅助触点。主触点接在主电路中,用于通/断主电路,允许通过较大的电流;辅助触点接在控制电路中,用于通断控制电路,只能通过较小的电流。

此外,触点还可分为常开触点(动合触点)和常闭触点(动断触点)。所谓常开触点,是当线圈通电后触点闭合,而线圈断电时触点断开。与之相反,常闭触点在线圈断电时闭合,在线圈通电后断开。

(3) 灭弧装置

当触点切断电路的瞬间,如果电路的电流(电压)超过某一数值,则在动、静触点间将产生强烈的弧光放电现象,称为电弧。电弧的出现会对电器产生以下影响:①触点虽然已经打开,但是由于电弧的存在,使需要断开的电路实际上并未真正断开;②电弧的高温可能灼伤触点;③电弧向四周喷射,会损坏电器及其周围物质,严重时会造成短路,引起火灾。由于接触器通断的是大电流电路,电弧的影响尤为突出。为此,必须采用灭弧装置使电

弧迅速熄灭,以保证接触器可靠、安全地工作。常用的灭弧方法和装置有以下几种:

① 双断点灭弧。图 3.3 所示的桥式触点具有双断点。当触点分断时,在左右断点处产生两个彼此串联的电弧。由于电弧电流方向相反,所以两个电弧在图中以“ \oplus ”表示的磁场中受到电动力 F 的作用,产生向外运动并被拉长,使其迅速穿越冷却介质而加速冷却,故电弧很快熄灭。此外,双断点将长电弧分成两个短电弧,从而削弱了电弧的作用。因此,小容量交流接触器(10A 以下)和继电器通常采用桥式触点灭弧,无需再加设其他灭弧装置。但是在大容量接触器中则需配合使用其他灭弧方法。

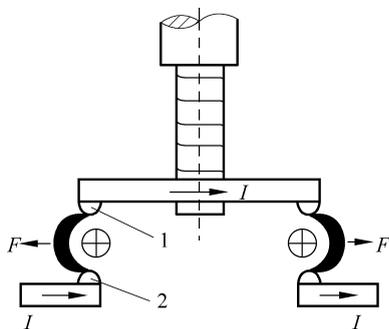


图 3.3 桥式触点灭弧原理

1—动触点; 2—静触点

② 灭弧罩灭弧。灭弧罩通常用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。安装时灭弧罩将触点罩住。当电弧发生时,电弧进入灭弧罩内与罩壁接触,弧温迅速下降,使电弧容易熄灭。同时灭弧罩还起到隔弧作用,以防止发生短路。灭弧罩常用于交流接触器中。

③ 栅片灭弧。灭弧栅的灭弧原理如图 3.4 所示。灭弧栅由许多镀铜薄钢片(称为栅片)组成,安装在触点上方的灭弧罩内,彼此之间互相绝缘。当触点分断电路时,在触点间产生电弧,电弧电流产生磁场。导磁性能良好的栅片将电弧吸入,并将电弧分割成许多串联的短电弧。当交流电压过零时,电弧自然熄灭。若想重燃电弧,栅片间必须有 150~250V 电压。而每个栅片间的电压不足以达到燃弧电压,同时由于栅片吸收电弧热量,使电弧迅速冷却而很快熄灭。因此,电弧自然熄灭后就很难重燃。灭弧栅装置常用于 20A 以上大容量的交流接触器。

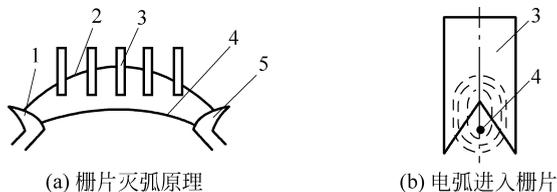


图 3.4 灭弧栅灭弧原理

1—静触点; 2—短电弧; 3—灭弧栅片; 4—长电弧; 5—动触点

④ 磁吹灭弧。磁吹灭弧装置的工作原理如图 3.5 所示。在触点回路(主电路)中串接一磁吹线圈,通入电流后产生磁场。当电流逆时针流经磁吹线圈时,磁吹线圈产生的磁通经导磁片引向触点周围。可将触点断开时所产生的电弧看成是一载流导体,电流由静触点流向动触点。此时,根据左手定则可以确定电弧在磁吹线圈磁场中受到一个方向向上的电磁力 F 的作用。 F 向上拉长电弧并将电弧吹入灭弧罩中。与静触点相连的灭弧角对电弧的向上运动起到引导作用,并将热量传递给灭弧罩壁,加速电弧冷却,促使电弧迅速熄灭。可见,磁吹灭弧装置是依靠电弧电流本身进行灭弧的,故电弧电流越大,电弧受力越大,电弧越容易被熄灭。但应注意的是,由于电磁吹力 F 与电弧电流平方成正比,电弧电流较小时,电弧受力较小,结果使灭弧效果大大削弱。这也是这种灭弧方法的缺点。磁吹灭弧装置广泛应用于直流接触器中。

⑤ 纵缝灭弧。纵缝灭弧的灭弧原理是在产生电弧时,依靠外界磁场或电动力将电弧吹入纵缝,电弧在与纵缝的接触中加速冷却而熄灭。如图 3.6 所示,纵缝的下部较宽,以便放置触点;纵缝的上部较窄,使电弧与纵缝壁良好接触,以利于热量交换,从而加速电弧的熄灭。纵缝灭弧常用于交流和直流接触器中。

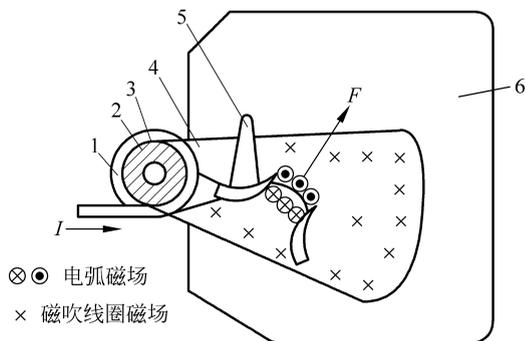


图 3.5 磁吹灭弧工作原理

1—磁吹线圈; 2—铁芯; 3—绝缘套管;
4—导磁颊片; 5—灭弧角; 6—灭弧罩

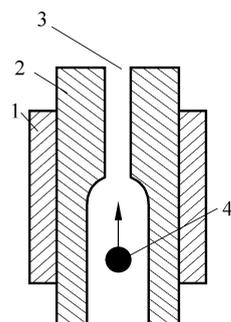


图 3.6 纵缝灭弧

1—钢板; 2—灭弧罩;
3—纵缝; 4—电弧

除了上面介绍的这几种方法外还有其他的灭弧方法。在实际应用中,有时只采用上述方法中的一种即可达到灭弧效果,有时则应将多种方法并用,以增强灭弧能力。

2) 交流接触器

交流接触器的主触点用于接通和分断交流主电路。当交变磁通穿过铁芯时,将产生涡流和磁滞损耗,使铁芯发热。为了减少因涡流和磁滞损耗造成的能量损失,铁芯用硅钢片冲制后叠铆而成。为了便于散热,线圈在骨架上绕成扁而厚的圆筒形状,并与铁芯隔离。交流接触器的线圈匝数较少,故电阻小,当线圈通电而衔铁尚未吸合的瞬间,电流将达到工作电流的 10~15 倍。如果衔铁被卡住而不能吸合,或频繁动作,线圈将有可能被烧毁。所以,对于要求频繁启停的控制系统不宜采用交流接触器。

由于交流接触器铁芯中的磁通是交变的,因此所产生的电磁吸力也是随时间变化的。当磁通过零时,电磁吸力也为零,已吸合的衔铁在反力弹簧的作用下被拉开,随后磁通又很快上升,电磁吸力增大,当吸力大到足以克服弹簧反力时,衔铁又被吸合。于是,交流电源频率的变化,使衔铁产生强烈的振动和很大的噪声。当电源频率为 50Hz 时,衔铁每秒钟将发生 100 次的振动,使触点不能可靠地闭合,甚至使铁芯迅速损坏。短路环就是为了解决这一问题而设计的。具体做法是在铁芯端面开一个槽,槽内嵌入用铜、锰白铜等材料制成的短路环,其结构如图 3.7 所示。

当交变磁通穿过短路环所包围的铁芯端面 S_2 时,将在环内产生感应电势和感应电流。根据电磁感应定律,此感应电流所产生的磁通将反抗交变磁通 Φ 的变化,致使穿过 S_2 的磁通 Φ_2 在相位上落后于短路环外铁芯端面 S_1 中的磁通 Φ_1 。这两个磁通分别产生各自的电磁吸力 F_1 和 F_2 ,而且 F_2 将滞后于 F_1 一个角度,如图 3.8 所示。可见, F_1 和 F_2 不会同时达到零值,因而其合力 $F_1 + F_2$ 将始终不经过零点。如果设计合理,此合力将始终大于弹簧反力,使衔铁稳定吸合,从而消除了交流电磁机构的振动和噪声。

CJ10-20 系列交流接触器的结构如图 3.9 所示。

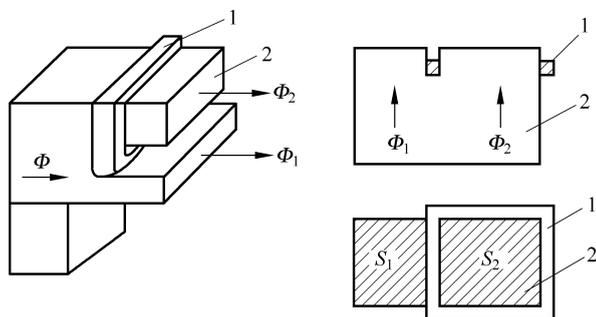


图 3.7 加短路环的交流接触器铁芯
1—短路环；2—铁芯

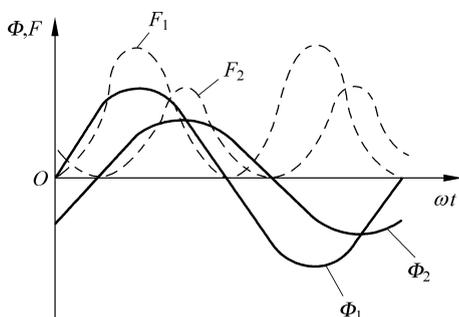


图 3.8 加短路环后的电磁吸力图

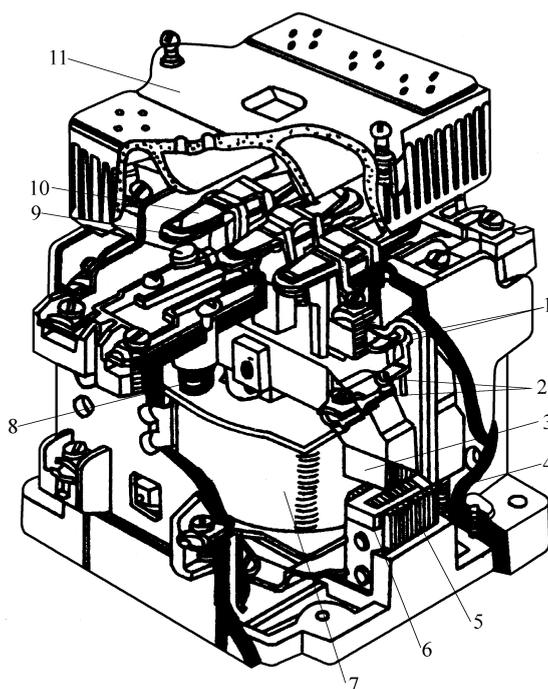


图 3.9 CJ10-20 系列交流接触器

1—辅助常闭触点；2—辅助常开触点；3—衔铁；4—缓冲弹簧；5—铁芯；
6—短路环；7—线圈；8—反作用弹簧；9—主触点；10—触点压力弹簧片；11—灭弧罩

3) 直流接触器

直流接触器的主触点用来通断直流主电路。和交流接触器不同，直流接触器的铁芯中不会产生涡流和磁滞损耗，故不会发热。为了便于加工，铁芯用整块电工软钢制成。为使线圈散热良好，通常将线圈绕制成长而薄的圆筒状，且不设线圈骨架，使线圈和铁芯直接接触。

由于直流接触器的线圈中为直流电，故没有较大的启动电流冲击，铁芯和衔铁也不会因电源频率的变化而产生猛烈的撞击，因此直流接触器的寿命比交流接触器长，适用于可靠性要求高或要求频繁动作的场合。

直流接触器主触点流过的是直流，故触点分断所产生的电弧是直流电弧。与交流电弧

相比,直流电弧较难熄灭,因此直流接触器一般采用灭弧能力较强的磁吹灭弧装置进行灭弧。

接触器的文字符号为 KM,图形符号如图 3.10 所示。

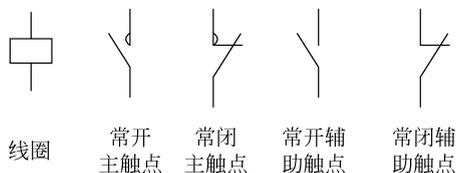


图 3.10 接触器图形符号

2. 继电器

继电器广泛应用于自动控制系统中,起控制和保护电路或传递和转换信号的作用。继电器接触器控制系统中的逻辑控制任务,如工作台自动前进和后退或自动加速和减速,都需要由继电器来完成。

继电器的种类很多,常用的继电器按输入信号可分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器、热继电器等;按动作原理可分为电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、电子式继电器、机械式继电器等,其中电磁式继电器应用最为广泛。

1) 电磁式继电器

电磁式继电器和接触器的结构和工作原理相似,由电磁系统、触点系统和释放弹簧等组成。所不同的是,电磁式继电器一般用于接通/断开控制电路,触点容量较小(通常在 5A 或 5A 以下),故不需要专门的灭弧装置。另外,继电器的触点系统无主、辅触点之分。但是在实际使用中,有些小功率电动机的主电路也可以用继电器来控制。

和接触器相似,电磁式继电器也有交、直流之分。交流继电器的线圈通以交流电,铁芯由硅钢片叠成,磁极端面装有铜制短路环。直流继电器的线圈通以直流电,铁芯用软钢制成,不需要装短路环。

常用的电磁式继电器有电流继电器、电压继电器和中间继电器。

(1) 电流继电器

电流继电器根据电流信号动作,其线圈匝数少,线径粗,能通过较大的电流。常用的电流继电器有过电流继电器和欠电流继电器两种,在电路中分别起过电流和欠电流保护作用。

(2) 电压继电器

电压继电器是根据电压信号动作的,使用时线圈与电源并联。其特点是线圈匝数多而线径细。按用途不同,电压继电器可分为过电压继电器和欠电压继电器,分别用于实现过电压和欠电压保护。

电压继电器和电流继电器将在 3.1.2 节中进行详细介绍。

(3) 中间继电器

中间继电器在本质上是一种电压继电器,具有触点数目多(多至 6 对甚至更多)、电流量大(额定电流为 5~10A)、动作灵敏(动作时间小于 0.05s)等特点。在电路中使用中间继电器的主要目的是:①信号放大。有时输入信号比较弱,不足以直接驱动接触器,这时可以利用中间继电器对信号进行放大;②扩展触点数目,增加控制回路数。在比较复杂的电路中,接触器的辅助触点可能不够用,这时可用接触器的一对辅助触点去控制中间继电器,则中间继

电器的触点相当于接触器的辅助触点,这样就使接触器的触点数目得到扩展。JZ7系列中间继电器的结构如图3.11所示。

中间继电器的文字符号为KA,图形符号如图3.12所示。

2) 时间继电器

时间继电器是一种当线圈通电或断电后,触点经过一定的延时后才能闭合或断开的继电器。它在电路中起着控制动作时间的作用。

时间继电器的延时方式有两种,即通电延时和断电延时。通电延时是在线圈通电后延迟一定时间,触点才动作;当线圈断电时触点瞬时复原。断电延时是在线圈通电时触点瞬时动作;当线圈断电后,经过一定时间的延迟,触点才复原。

时间继电器的种类很多,常用的有电磁式、空气阻尼式、电动机式、电子式(也称晶体管式或半导体式)和数字式等。其中,数字式时间继电器的定时精度最高,其次是电子式时间继电器,其余三种时间继电器的定时精度稍差。

时间继电器的文字符号为KT,图形符号如图3.13所示。

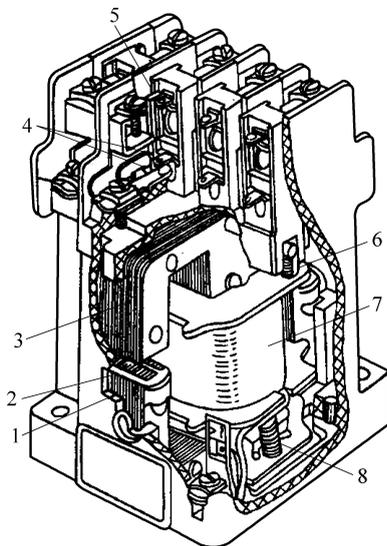


图 3.11 JZ7 系列中间继电器
1—铁芯; 2—短路环; 3—衔铁;
4—常开触点; 5—常闭触点; 6—复位弹簧;
7—线圈; 8—反作用弹簧



图 3.12 中间继电器图形符号

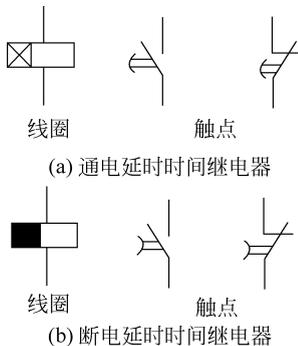


图 3.13 时间继电器图形符号

3.1.2 保护电器

保护电器是指用来保护电动机,使其安全运行的电器,包括电流继电器、电压继电器、热继电器、熔断器等。

1. 电流继电器

1) 过电流继电器

在电动机正常工作时,过电流继电器不动作;当电动机短路或由于严重过载而产生过

电动机的长期过载保护及断相保护。但是热继电器不能用作短时过载保护及短路保护,这是由于热继电器具有很大的热惯性,在电动机正常启动或短时过载时,热惯性使热继电器不会马上动作,从而避免了电动机不必要的停车;而在电路发生短路时,热继电器无法立即动作以使电路瞬时断开,这一点在使用时应特别注意。

热继电器按相数分为两相结构和三相结构的热继电器。三相结构热继电器按功能又可分为不带断相保护和带断相保护两种类型。在使用热继电器保护三相异步电动机时,如果所保护的电动机是Y接法,则可以使用两相或三相热继电器;如果电动机是 Δ 接法,则必须采用带断相保护的三相热继电器。

2) 热继电器的结构和工作原理

图 3.15 是热继电器的结构原理示意图。从图中可以看出,热继电器主要由热元件、双金属片和触点等组成。热元件用于产生热效应,由镍铬合金等电阻材料制成。双金属片由两种热膨胀系数不同的金属碾压而成。由于两种金属紧密地贴合在一起,因此当产生热效应时,双金属片向膨胀系数小的一侧弯曲,并带动触点动作。

使用时,双金属片 14(左侧为热膨胀系数小的材料)和热元件 15 直接串接在欲保护的电动机主电路中,电动机的工作电流流过热元件,使之产生热量,加热双金属片。当电动机正常运行时,热元件产生的热量使双金属片略有弯曲,但并不足以使触点动作。当电动机过载时,热元件中流过超过整定值的电流,其发热量增加,使双金属片的弯曲位移进一步加大,带动导板 16 向左移动,并通过补偿双金属片 1 和推杆 8 将串接在电动机控制电路中的常闭触点 10 打开,于是断开接触器线圈的电源,从而切断电动机主电路。同时,热元件因失电而逐渐降温,热量逐渐减少。经过一段时间的冷却后,双金属片恢复到原来的状态,触点也自动复位。如果使用手动复位方式,则在热继电器动作后,待双金属片冷却下来,才能按下手动复位按钮 7 进行复位。

热继电器的文字符号为 FR,图形符号如图 3.16 所示。

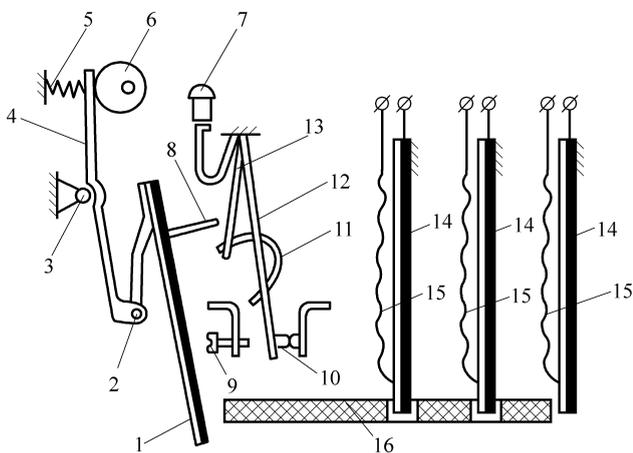


图 3.15 热继电器结构原理示意图

1—补偿双金属片; 2, 3—轴; 4—连杆; 5—压簧; 6—电流调节凸轮;
7—手动复位按钮; 8—推杆; 9—复位调节螺钉; 10—常闭触点; 11—弓形弹簧片; 12, 13—片簧; 14—双金属片; 15—热元件; 16—导板



图 3.16 热继电器图形符号

4. 熔断器

熔断器是基于电流的热效应原理和发热元件的热熔断原理设计的,具有一定的瞬动特性,用于配电线路和用电设备的短路保护。它结构简单,使用方便,分断能力较强,限流性能良好,是应用最为普遍的保护器件之一。

1) 熔断器的结构和工作原理

熔断器主要由熔断管(盖、座)和熔体两部分组成。熔断管(盖、座)一般由陶瓷、绝缘钢板或玻璃纤维等制成,用于安装熔体,并在熔体熔断时起到灭弧作用。熔体是熔断器的主要部分,通常由低熔点的铅、锡、锌、铜、银及其合金制成丝状、片状、带状或笼状。

使用时,熔断器的熔体串接于被保护的电路中。当电路工作正常时,熔体中流过的电流不足以使其熔断。当电路发生短路时,熔体中流过较大的电流,当电流产生的热量达到熔体的熔点时,熔体自行熔断,从而切断电路,起到保护作用。

2) 熔断器的分类

从结构型式上分,熔断器有插入式、无填料封闭管式、有填料封闭管式及螺旋式。从用途上分,熔断器有一般工业用熔断器、半导体器件保护用快速熔断器和特殊熔断器(如自复式熔断器)。

(1) 插入式熔断器

如图 3.17 所示,瓷座 6 和瓷盖 1 的两端分别固装着静触点 5 和动触点 3。瓷座中间有一空腔 4,与瓷盖中段的凸出部分共同形成灭弧室。由软铝丝或铜丝制成的熔体 2 沿着瓷盖的凸出部分跨接在两个动触点上。使用时,将瓷盖插入瓷座内,依靠熔丝将线路接通。

这种熔断器结构简单,尺寸小,更换方便,价格低廉,但分断能力较小,一般多用于照明线路和小容量电动机的短路保护。

(2) 无填料封闭管式熔断器

如图 3.18 所示,熔管 2 的两端由铜帽 5 封闭,管内无填料。熔体 3 为变截面锌片,由螺钉固定在熔断器两端的触刀 1 上,并装于绝缘管内。当发生短路时,熔体在最细处熔断,并且多处同时熔断,有助于提高分断能力。熔体熔断时,电弧被限制在熔管内,不会向外喷出,故使用起来较为安全。另外,在熔断过程中,熔管内产生大量气体,气体压力达到 $30\sim 80\text{atm}$ (标准大气压, $1\text{atm}=101\,325\text{Pa}$)。在此大气压的作用下,电弧受到剧烈的压缩,加强了复合作用,促使电弧很快熄灭,从而提高了熔断器的分断能力。

这种熔断器常用于低压电力线路或成套配电设备的短路保护,其特点是可拆卸,即当熔体熔断后,用户可自行拆开并更换熔体。

(3) 有填料封闭管式熔断器

如图 3.19 所示,这种熔断器的熔管包括管体、熔体、触刀、熔断指示器、熔断体盖板和石英砂等。瓷质管体内装有工作熔体和指示器熔体。熔体采用紫铜箔冲制的网状熔片并联而

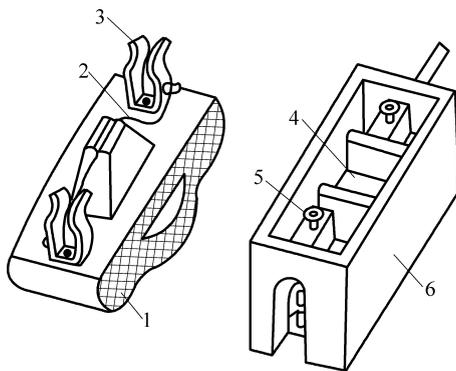


图 3.17 插入式熔断器

1—瓷盖; 2—熔体; 3—动触点;
4—空腔; 5—静触点; 6—瓷座