

第一章 常用低压电器

第一节 电器的基本知识

一、电器的定义及分类

(一) 电器的定义

电器是一种能根据外界的信号（机械力、电动力和其它物理量），自动或手动接通和断开电路，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节用的电器元件或设备。简言之，电器就是一种能控制电的工具。

(二) 电器的分类

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，构造各异。其分类方法很多，下面介绍几种常用的分类方法。

1. 按工作电压分

(1) 低压电器：指工作电压在交流 1200V 或直流 1500V 以下的各种电器。例如接触器、继电器、自动开关、刀开关、电阻器等。

(2) 高压电器：指工作电压在交流 1200V 或直流 1500V 以上的各种电器。例如高压断路器、隔离开关、高压熔断器、避雷器等。

2. 按工作原理分

(1) 电磁式电器：根据电磁感应原理工作的电器。例如交直流接触器、各种电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器：电器的工作是依靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器。例如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、压力继电器等。

3. 按用途分

(1) 控制电器：用于控制电路和控制系统的电器。例如接触器、各种控制继电器、控制器、启动器等。

(2) 主令电器：用于自动控制系统中发送控制指令的电器。例如控制按钮、主令开关、行程开关、万能转换开关等。

(3) 保护电器：用于保护电路及用电设备的电器。例如熔断器、热继电器、各种保护继电器、避雷器等。

(4) 配电电器：用于电能的输送和分配的电器。例如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动开关等。

(5) 执行电器：用于完成某种动作或传动功能的电器。例如电磁铁、电磁离合器等。

4. 按操作方式分

(1) 手动电器：指需要人工直接操作才能完成指令任务的电器。例如刀开关、转换开关、控制按钮等。

(2) 自动电器：指不需人工操作，而是按照电的或非电的信号自动完成指令任务的电器。例如自动开关、交直流接触器、继电器、高压断路器等。

由上可知，同一电器可属于多种类别。如交、直流接触器既是低压电器类，又可归入电磁式电器和自动电器类。因此至今电器并没有一个严格的分类。

本章主要介绍在电力拖动系统和自动控制系统中常用的一些低压电器，如接触器、继电器、行程开关、熔断器等。

二、电磁式电器

电磁式电器在电气控制系统中使用量最大，其类型也很多。各类电磁式电器在工作原理和构造上基本相同，就其结构而言，由两个主要部分组成，即：检测部分——电磁机构和执行元件——触点系统，其次还有灭弧系统和其它缓冲机构等。

（一）电磁机构

1. 电磁机构的结构形式及分类 电磁机构由线圈、铁芯（亦称静铁芯或磁轭）和衔铁（亦称动铁芯）三部分组成。常用的磁路结构有下列三种，见图 1-1 所示。

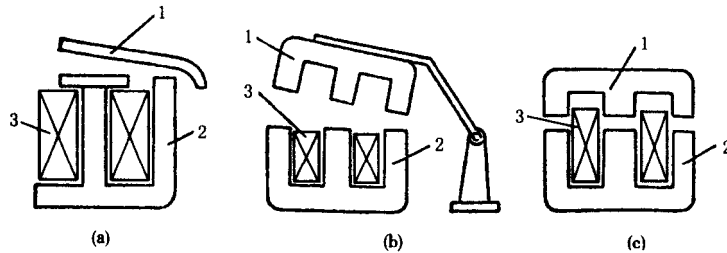


图 1-1 常用的磁路结构
1—衔铁 2—铁芯 3—电磁线圈

(1) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯：如图 1-1(a) 所示，这种结构广泛应用于直流电器中。

(2) 衔铁沿轴转动的拍合式铁芯：如图 1-1(b) 所示 其铁芯形状有 E 形和 U 形两种 此结构多用于触点容量较大的交流电器中。

(3) 衔铁作直线运动的双 E 型直动式铁芯：如图 1-1(c) 所示 多用于交流接触器、继电器以及其它交流电磁机构的电磁系统。

电磁机构可分为直流和交流两大类。凡线圈中通以直流电的电磁铁都称之为直流电磁铁。通常直流电磁铁的衔铁和铁芯均由软钢或工程纯铁制成。因其铁芯不发热，只有线圈发热，所以直流电磁铁的电磁线圈做成高而薄的瘦高型，且不设线圈骨架，使线圈与铁芯直接接触，易于散热。

交流电磁铁由于其线圈通过的激磁电流为交流，其铁芯存在磁滞和涡流损耗，这样线圈和铁芯都要发热，所以交流电磁铁的电磁线圈设有骨架，使铁芯与线圈隔离，并将线圈制成短而厚的矮胖型，有利于线圈和铁芯的散热。交流电磁铁的铁芯由电工钢片叠压而成，以减少涡流。

另外，根据电磁线圈在电路中的联接方式可分为串联线圈（又称电流线圈）和并联线圈（又称电压线圈）

串联（电流）线圈串接于线路中，流过的电流较大。为减少对电路的影响，所用的线圈导线粗，匝数少，线圈的阻抗较小；而并联（电压）线圈并联在线路上，为减小分流作用，降低对原电路的影响，需较大的阻抗，所以线圈导线细而匝数多。

2. 吸力特性与反力特性的配合 电磁式电器的基本工作原理示意图如图 1-2 所示 当电磁线圈中通入电流时, 线圈中产生磁通作用于衔铁, 产生电磁吸力, 从而使衔铁产生机械位移, 带动触点动作。当线圈断电后, 衔铁失去电磁吸力, 由复位弹簧将其拉回原位。因此作用在衔铁上的力有两个: 即电磁吸力与反力。电磁吸力由电磁机构产生, 反力则由复位弹簧和触点弹簧所产生。

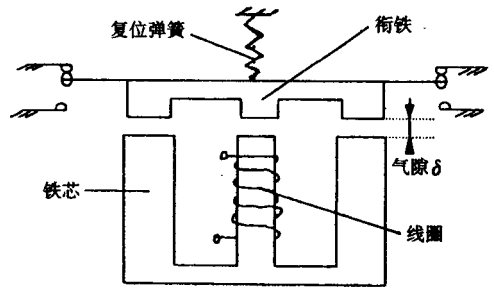


图 1-2 电磁式电器工作原理示意图

电磁吸力可由下式表示:

$$F = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

式中 F 为电磁吸力 N (牛顿), B 为气隙磁感应强度 T (特斯拉), S 为磁极截面积 m^2 (平方米)

当线圈中通以直流电时, 电磁吸力 F 为恒定值。当线圈通中以交流电时, 由于外加正弦交流电压, 其气隙磁感应强度亦按正弦规律变化, 即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-2)$$

$$\text{代入 (1-1) 式可得: } F = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \quad (1-3)$$

$$\text{由 (1-3) 式可见电磁吸力最大值为: } F_{\max} = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \quad (1-4)$$

$$\text{电磁吸力的最小值为: } F_{\min} = 0 \quad (1-5)$$

所谓吸力特性, 是指电磁吸力随衔铁与铁芯间气隙 δ 变化的关系曲线。不同的电磁机构, 有不同的吸力特性。图 1-3 表示一般电磁铁的吸力特性。

对于直流电磁铁, 其励磁电流的大小与气隙无关, 衔铁动作过程中为恒磁势工作, 电磁吸力随气隙的减小而增加, 所以吸力特性曲线比较陡峭 (如图 1-3 中的曲线 1)。而交流电磁铁的励磁电流与气隙成正比, 在动作过程中为恒磁通工作, 但考虑到漏磁通的影响, 其吸力随气隙的减小略有增加, 所以吸力特性比较平坦 (如图 1-3 中的曲线 2)。

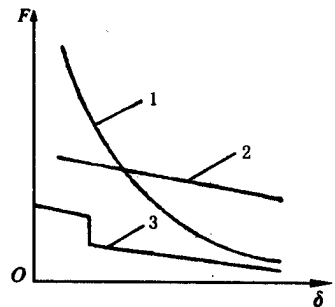


图 1-3 电磁铁的吸力特性
1—直流电磁铁吸力特性
2—交流电磁铁吸力特性 3—反力特性

所谓反力特性是指反作用力 F_r 与气隙 δ 的关系曲线 (如图 1-3 中的曲线 3 所示)。为了使电磁机构能正常工作, 其吸力特性与反力特性配合必须得当。在衔铁吸合过程中, 其吸力特性必须始终处于反力特性上方, 即吸力要大于反力, 反之衔铁释放时, 吸力特性必须位于反力特性下方, 即反力要大于吸力 (此时的吸力是由剩磁产生的)。在吸合过程中还须注意吸力特性位于反力特性上方不能太高, 否则会影响到电磁铁寿命。

3. 交流电磁机构上短路环的作用 由式 1-3 可看出, 交流电磁机构的电磁吸力是一个两倍电源频率的周期性变量。当电磁吸力的瞬时值大于反力时, 衔铁吸合; 当电磁吸力的瞬时值小于反力时, 衔铁释放。电源电压变化一个周期, 衔铁吸合两次、释放两次, 随着电源电压的变化, 衔铁周而复始地吸合与释放, 使得衔铁产生振动和噪音, 为此需采取有效措施, 消除振动与噪音。

具体解决办法是在铁芯端面开一个小槽，在槽内嵌入铜质短路环(分磁环)如图 1-4 所示。加上短路环后，铁芯中的磁通被分成两部分，即不穿过短路环的 ϕ_1 和穿过短路环的 ϕ_2 ， ϕ_1 和 ϕ_2 大小接近，而相位差约 90° 电角度 因而两相磁通不会同时过零。由于电磁吸力与磁通的平方成正比，所以由两相磁通产生的合成电磁吸力始终大于反力 使衔铁与铁芯牢牢吸合 这样就消除了振动和噪音。

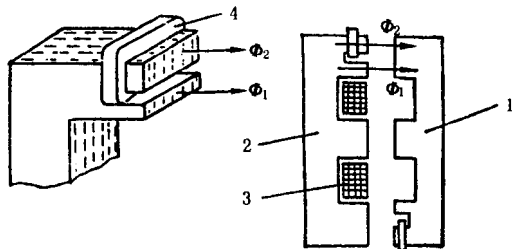


图 1-4 交流电磁铁的短路环
1—衔铁 2—铁芯 3—线圈 4—短路环

一般短路环包围 $2/3$ 的铁芯端面，通常用黄铜、康铜或镍铬合金等材料制成。它是一个无断点的铜环，且没有焊缝。

(二) 触点系统

1. 触点材料 触点是电器的执行机构，它在衔铁的带动下起接通和分断电路的作用。因此，要求触点导电、导热性能良好。触点通常用铜制成，但铜质触点表面容易产生氧化膜，使触点的接触电阻增大，从而使触点的损耗增大，温度上升。所以有些电器，如继电器和小容量的电器，其触点常采用银质材料，与铜质触点相比，银质触点除具有更好的导电导热性能外，触点的氧化膜电阻与纯银相差无几，而且氧化膜的生成温度很高，所以，银质触点具有较低且稳定的接触电阻。对于中等容量的低压电器，在结构设计上，触点采用滚动接触，可将氧化膜去掉，这种结构的触点也常采用铜质材料。

2. 触点的结构形式 触点主要有两种结构形式：桥式触点和指形触点（如图 1-5 所示）。触点的接触形式有三种，即点接触、线接触和面接触。图 1-5(a) 是两个点接触的桥式触点，它主要适用于电流不大且压力小的场合；图 1-5(b) 是两个面接触的桥式触点，两个触点串于同一电路中，电路的接通和断开由两个触点共同完成。桥式触点多为面接触，适用于大容量、大电流的场合（如交流接触器）。图 1-5(c) 为指形触点，其接触方式为线接触，接触区为一直线，触点接通或分断时产生滚动摩擦，既可消除触点表面的氧化膜；又可缓冲触点闭合时的撞击，改善触点的电器性能。这种指形触点适用于接电次数多，电流大的场合。

电器的触点又有常开（动合）和常闭（动断）之分，在无外力作用而处于静止状态时，触点间是断开状态的称为常开触点，反之称为常闭触点。

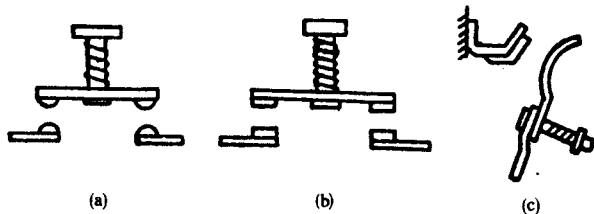


图 1-5 触点的结构形式

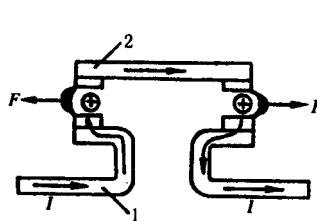


图 1-6 电动力灭弧示意图
1—静触点 2—动触点

(三) 灭弧系统

1. 电弧 在通电状态下，动、静触点脱离接触时，如果被开断电路的电流超过某一数值

(根据触点材料的不同其值在 0.25~1A 间)开断后加在触点间隙或称弧隙两端电压超过某一数值(根据触点材料的不同其值在 12~20V 间)时,则触点间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触点间气体在强电场下产生的放电现象,产生高温并发出强光和火花。电弧的存在既烧损触点金属表面,降低电器的寿命,又延长了电路的分断时间,严重时会引起火灾或其他事故,因此应采取措施迅速熄灭电弧。

2. 常用的灭弧方法 在电器中常用的灭弧方法和灭弧装置有以下几种:

(1) 电动力灭弧:桥式触点在分断时本身就具有电动力吹弧功能,不用任何附加装置,便可使电弧迅速熄灭。图 1-6 是一种桥式结构双断口触点。当触点打开时,在断口中产生电弧,电弧电流在断口中电弧周围产生图中以 \oplus 表示的磁场(由右手定则确定)在该磁场作用下电弧受力为 F ,其方向指向外侧,如图 1-6 中所示(由左手定则确定)在 F 的作用下,电弧向外运动并拉长,冷却而迅速熄灭。这种灭弧方法结构简单,无需专门的灭弧装置,多用于小容量交流接触器中。

(2) 磁吹灭弧:磁吹灭弧的原理如图 1-7 所示。在触点电路中串入一个吹弧线圈,设电弧电流为 I ,方向如图所示,该线圈产生的磁通由铁芯 3 经过导磁夹板 5 引向触点周围,其方向如图中“ \times ”符号所示(由右手定则确定);当触点断开产生电弧后,电弧电流所产生的磁通方向如图中“ \otimes ”和“ \odot ”符号所示。这两个磁通在电弧下方方向相同(叠加),在电弧上方方向相反(相减)。因此,电弧下方的磁场强于上方的磁场。在下方磁场作用下,电弧受电动力 F 的作用(F 的方向如图 1-7 所示)被吹离触点,经引弧角 4 进入灭弧罩,并将热量传递给罩壁,使电弧冷却熄灭。

这种灭弧方式称为串联磁吹灭弧方式,它利用电弧电流本身灭弧,因而电弧电流越大,吹弧能力也越强。磁吹力的方向与电流方向无关。磁吹灭弧广泛应用于直流接触器中。

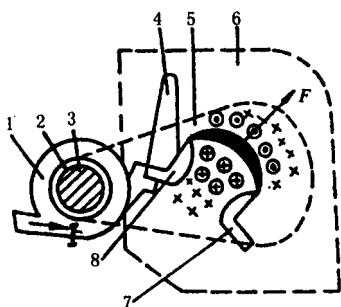


图 1-7 磁吹灭弧示意图

1—磁吹线圈 2—绝缘套 3—铁芯 4—引弧角
5—导磁夹板 6—灭弧罩 7—动触点 8—静触点

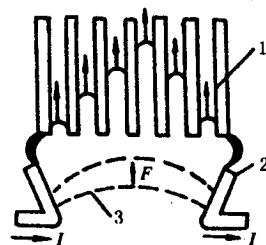


图 1-8 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片 2—触点 3—电弧

(3) 栅片灭弧:栅片灭弧装置示意图如图 1-8 所示,当电器触点分开时,所产生的电弧在吹弧电动力的作用下被推向一组静止的金属片内。这组金属片称为栅片,由多片镀锌薄铜片组成,它们彼此间相互绝缘。当电弧进入栅片后,被分割成一段段串联的短弧,而栅片就是这些短弧的电极,且交流电弧在电弧电流过零瞬间会使每两片灭弧栅片间出现 150~250V 的介质强度,使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强,以致外加电压无法维持,电弧迅速熄灭。此外栅片还能吸收电弧热量,使电弧迅速冷却。这样当电弧进入栅片后就会很快熄灭。由于栅

片灭弧的灭弧效果在交流时要比直流时强得多，所以交流电器宜采用栅片灭弧。

(4) 灭弧罩：比灭弧栅片更简单的灭弧装置是采用由陶土和石棉水泥做的耐高温的灭弧罩，用以降温和隔弧。它可用于交直流灭弧。

第二节 接触器

接触器是一种用于频繁地接通或断开交直流主电路及大容量控制电路的自动切换电器。在功能上接触器除能自动切换外，还具有刀开关类手动开关所不能实现的远距离操作功能和失压（或欠压）保护功能；它不同于自动开关，虽有一定的过载能力，但却不能切断短路电流，也不具备过载保护的功能。接触器生产方便、价格低廉，主要用于控制电动机、电热设备、电焊机、电容器组等负载。

一般接触器都由下列部分组成：电磁机构、触点系统、灭弧系统、复位弹簧机构或缓冲装置、支架与底座。按流过接触器主触点电流的性质不同可分为交流接触器和直流接触器。下面分别加以介绍。

一、交流接触器

交流接触器用于控制电压至 380V、电流至 600A 的交流电路，以及频繁地启动和控制交流电动机的控制电路。常用交流接触器外观图如图 1-9 所示。接触器的结构与电磁式电器相同，也由电磁机构、触点系统和灭弧系统等部分组成。其电磁机构是接触器的感测元件，由线圈、铁芯、衔铁和复位弹簧几部分组成。对于额定电流为 40A 及以下的产品，电磁机构采用衔铁做直线运动的双 E 直动式，如 CJ10、CJ20、3TH、3TB 系列；而对于额定电流为 60A 及以上各等级的交流接触器一般采用衔铁绕轴转动的单 E 拍合式结构，如 CJ12、CJ12B 系列。

接触器的触点有主触点和辅助触点之分。主触点用于通断主电路，通常为三对（三相）常开的触点；辅助触点常用于控制电路，起电气联锁作用，故又称联锁触点，一般常开、常闭各两对。主辅触点一般采用双断点桥式结构，电路的通断由主辅触点共同完成。

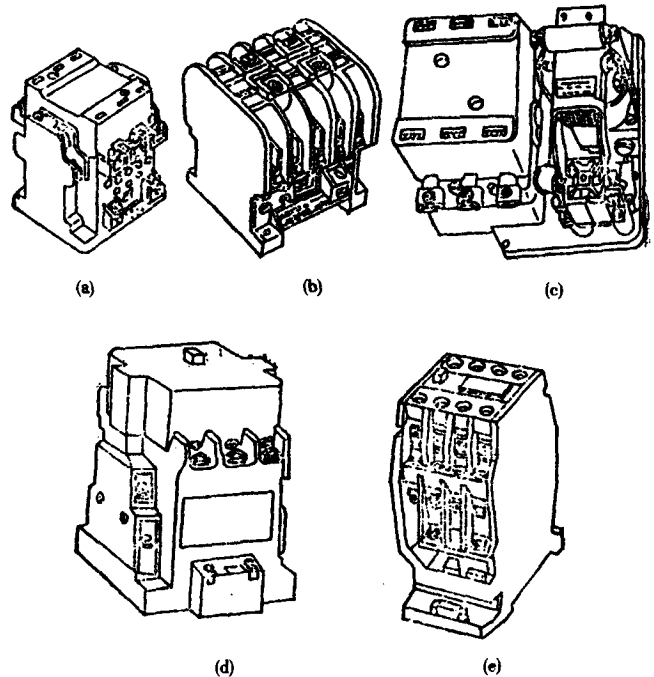


图 1-9 交流接触器

(a) CJ0-20型 (b) CJ10-10型 (c) CJ10-60型
(d) CJ20-40型 (e) 3TB、3TH 系列接触器

接触器的灭弧系统利用了双断点的桥式触点具有电动力吹弧的作用，所以 10A 以下交流接触器常采用半封闭式陶土灭弧罩或采用相间隔弧板灭弧；10A 以上的接触器都有灭弧装置，采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧。

直动式交流接触器触点系统与灭弧装置均在上部、辅助触点对称地设置在外壳的两侧。

接触器除了电磁结构、触点及灭弧系统外，还有作用弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构及外壳等部件。

交流接触器的工作原理是：当线圈通电后，线圈电流在铁芯中产生磁通，该磁通对衔铁产生克服复位弹簧反力的电磁吸力，使衔铁带动触点动作。触点动作时，常闭触点先断开，常开触点后闭合。当线圈中的电压值降低到某一数值时（无论是正常控制还是欠压、失压故障，一般降至 85%线圈额定电压时），铁芯中的磁通下降，电磁力减小，当减小到不足以克服复位弹簧的反力时，衔铁在复位弹簧的反力作用下复位，使主辅触点的常开触点断开，常闭触点恢复闭合。这也是接触器的失压保护功能。

所谓触点的常开（常闭）是指线圈中不通电时触点的状态。即常开（常闭）触点就是线圈不带电时断开（闭合）的触点。

常用的交流接触器有 CJ10 系列（也已逐步淘汰）可取代 CJ0、CJ8 等系列老产品；CJ12、CJ12B 系列，可取代 CJ1、CJ2、CJ3 等系列老产品；新产品有 CJ20、CJX1、CJX2 系列。

近年来引进德国西门子的有 3TH、3TB、3TF、3TD 系列。3TF 系列是在 3TB 系列基础上改进设计的新品；3TD 系列为机械联锁可逆接触器，由两台同型号的交流接触器 3TF 构成，通过机械联锁机构互锁，用于控制交流电动机的正转与反转；3TB、3TF 系列接触器具有设计紧凑、机械寿命长、电寿命高、噪音小、技术经济指标优越、外形尺寸小、安装方便等优点，并符合 VDE、IEC 标准要求；近年来常用的产品还有施耐德电气公司（Schneider Electric）的 CT 系列接触器、CTR 断路接触器及 BBC 公司的 B 型系列产品。

表 1-1 中列出了 3TB40 系列交流接触器主要技术参数供参考，其它产品的技术参数可参见各生产厂家的产品说明书。

表 1-1 3TB40 系列交流接触器的主要技术参数

接触器型号	额定绝缘电压 /V	380V 时额定工作电流/A		可控电动机功率/kW		机械寿命 / $\times 10^6$ 次	在 AC3 使用类别下		在 AC4 使用类别下		约定发热电流 /A
		使用类别 AC3	使用类别 AC4	380	660		电寿命 / $\times 10^6$ 次	操作频率/次/h	电寿命 / $\times 10^6$ 次	操作频率/次/h	
3TB40	660	9	3.3	4	5.5	10	1.0	0.2	250	20	
3TB41		12	4.3	5.5	7.5					20	
3TB42		16	7.7	7.5	11					34	
3TB43		22	8.5	11	11					34	
3TB44		32	15.6	15	23					45	

二、直流接触器

直流接触器主要用于电压至 440V、电流 600A 以下的直流电路。其结构与工作原理基本上与交流接触器相同，即由线圈、铁芯、衔铁、触点、灭弧装置等部分组成。不同的是其主触点通过的电流为直流，铁芯由整块钢或铸铁制成，线圈做成长而薄的圆筒形以利于散热。为

了保证衔铁可靠地释放，常需在铁芯与衔铁之间垫有非磁性垫片。

由于直流电弧不象交流电弧有自然过零点，所以熄弧困难些，对直流接触器常采用磁吹式灭弧装置灭弧，并装有隔板及陶土灭弧罩。

直流接触器的常用产品型号有 CZ0 系列，可取代 CZ1、CZ2、CZ6 等系列。

表 1-2 列出了 CZ0 系列直流接触器的主要技术参数，供参考。

表 1-2 CZ0 系列直流接触器的主要技术参数

型号	额定电压 /V	额定电压 /V	操作频率/次/h	主触点型式及对数		辅助触点型式及对数		电磁线圈电压 /V	线圈消耗功率 /W
				常开	常闭	常开	常闭		
CZ0-40/20	440	40	1200	2	—	2	2	22、48、110、220、440	22
CZ0-40/02		40	600	—	2	2	2		24
CZ0-100/10		100	1200	1	—	2	2		24
CZ0-100/01		100	600	—	1	2	1		24
CZ0-100/20		100	120	2	—	2	2		30
CZ0-150/10		150	1200	1	—	2	2		30
CZ0-150/01		150	600	—	1	2	1		25
CZ0-150/20		150	1200	2	—	2	2		40
CZ0-250/10		250	600	1	—	5 (其中一对常开,另 4 对可任意组合成常开或常闭)			31
CZ0-250/20		250	600	2	—				40
CZ0-400/10		400	600	1	—				28
CZ0-400/20		400	600	2	—				43
CZ0-600/10		600	600	1	—				50

三、接触器的主要技术参数及型号含义

(一) 主要技术参数

(1) 额定电压：接触器铭牌上的额定电压是指主触点能承受的额定电压。通常用的电压等级：直流接触器有 110V、220V 和 440V；交流接触器有 110V、220V、380V、500V 等档次。

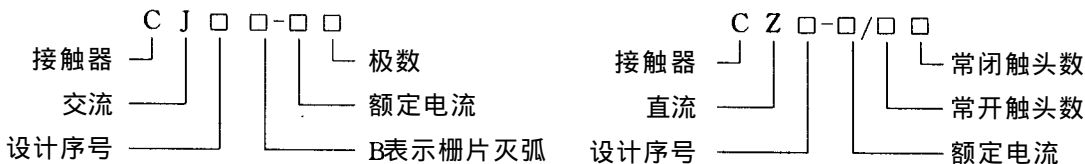
(2) 额定电流：接触器铭牌上的额定电流是指主触点的额定电流，即允许长期通过的最大电流。有 5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A 和 600A 几个等级。

(3) 电磁线圈的额定电压：交流有 36V、110V、220V 和 380V；直流有 24V、48V、220V、440V。

(4) 电寿命和机械寿命：以万次表示。

(5) 额定操作频率以(次/h)表示。

(二) 型号含义



四、接触器的选择与使用

(一) 接触器的选择

1. 接触器的类型选择 根据接触器所控制负载的轻重和负载电流的类型，来选择直流接触器或交流接触器。

2. 额定电压的选择 接触器的额定电压应大于或等于负载回路的电压。

3. 额定电流的选择 接触器的额定电流应大于或等于被控回路的额定电流。对于电动机负载可按下列经验公式计算：

$$I_C = \frac{P_N \times 10^3}{K U_N} \quad (1-5)$$

式中： I_C 为流过接触器主触点电流 (A)； P_N 为电动机的额定功率 (kW)； U_N 为电动机的额定电压 (V)； K 为经验系数，一般取 1~1.4。

选择接触器的额定电流应大于等于 I_C ，也可查手册根据其技术数据确定。接触器如用在电动机频繁启动、制动或正反转的场合，一般将其额定电流降一个等级来选用。

4. 电磁线圈的额定电压选择 电磁线圈的额定电压应与所接控制电路的电压相一致。对简单控制电路可直接选用交流 380V、220V 电压，对线路复杂、使用电器较多者，应选用 110V 或更低的控制电压。

5. 接触器的触点数量、种类选择 接触器的触点数量和种类应根据主电路和控制电路的要求选择。如辅助触点的数量不能满足要求时，可通过增加中间继电器的方法解决。

(二) 接触器的使用及维护

1. 接触器安装前应检查线圈额定电压等技术数据是否与实际相符，并将铁芯极面上的防锈油脂或粘结在极面的锈垢用汽油擦净，以免多次使用后被油垢粘住，造成接触器断电时不能释放。然后再检查各活动部分（应无卡阻、歪曲现象）和各触点是否接触良好。

2. 安装时，接触器一般应垂直安装，其倾斜角不得超过 5°。注意不要把螺钉等其它零件掉落到接触器内。

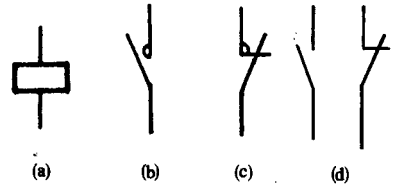


图 1-10 接触器的图形符号

(a) 线圈 (b) 常开触点
(c) 常闭触点 (d) 辅助触点

五、接触器的图形、文字符号

接触器的图形符号见图 1-10，其文字符号为 KM。

第三节 继电器

继电器是一种根据某种输入信号的变化来接通或断开控制电路，实现自动控制和保护电力拖动装置的自动电器。其输入量可以是电压、电流等电气量，也可以是温度、时间、速度、压力等非电气量。

继电器种类很多，分类的方法也很多，常用的分类方法有：

按输入量的物理性质可分为：电压继电器、电流继电器、功率继电器、时间继电器、速度继电器、温度继电器等；

按工作原理可分为：电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、热继电器、电子式继电器等；

按输出形式可分为：有触点继电器、无触点继电器等。

按用途可分为电气控制系统用继电器和电力系统用保护继电器。本节仅介绍用于电力拖动自动控制系统的继电器。

无论继电器的输入量是电气量或非电气量，继电器工作的最终目的是控制触点的分断或闭合，而触点又是控制电路通断的，从这一点来看继电器与接触器是相同的，但它与接触器又有区别，主要表现在以下两方面：

1. 所控制的线路不同 继电器主要用于小电流电路，反应控制信号。其触点通常接在控制电路中，触点容量较小（一般在 5A 以下），且无灭弧装置；而接触器用于控制电动机等大功率、大电流电路及主电路。

2. 输入信号不同 继电器的输入信号可以是各种物理量，如电压、电流、时间、速度、压力等，而接触器的输入量只有电压。

继电器的工作特点是它具有跳跃式的输入输出特性，其特性曲线如图 1-11 所示。

当继电器输入量 x 由零增加至 x_1 以前，继电器输出量为零。当输入量增加到 x_2 时继电器吸合 通过其触点的输出量为 y_1 若 x 再增加， y 值不变。当 x 减小到 x_1 时，继电器释放，输出由 y_1 降到零， x 再减小， y 值仍为零。

在图 1-11 中 x_2 称为继电器吸合值，欲使继电器动作，输入量必须大于此值； x_1 称为继电器释放值，欲使继电器释放，输入量必须小于此值； $K = x_1/x_2$ 称为继电器的返回系数，它是继电器的重要参数之一。不同场合要求不同的 K 值。例如一般继电器要求低返回系数， K 值在 0.1

~0.4 之间，这样当继电器吸合后，输入值波动较大时不致引起误动作；欠电压继电器则要求高返回系数， K 值在 0.6 以上。设某继电器 $K = 0.66$ ，吸合电压为额定电压的 90%，则电压低于额定电压的 60% 时继电器释放，起到欠电压保护作用。 K 值是可以调节的，具体方法随着继电器结构不同而有所差异。

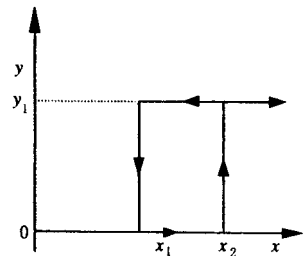


图 1-11 继电器特性曲线

一、电磁式继电器

电磁式继电器是应用得最早、最多的一种继电器，其结构和工作原理与接触器大体相同，也由铁芯、衔铁、线圈、复位弹簧和触点等部分组成。其典型结构如图 1-12 所示。

电磁式继电器按电磁线圈电流的种类不同可分为直流电磁式继电器和交流电磁式继电器，按其在电路中的联接方式可分为电流继电器、电压继电器和中间继电器。

（一）电磁式电流继电器

电磁式电流继电器的线圈与被测电路串联，以反应电路中电流的变化而动作。为降低负载效应和对被测量电路参数的影响，其线圈匝数少，导线粗，阻抗小。电流继电器除用

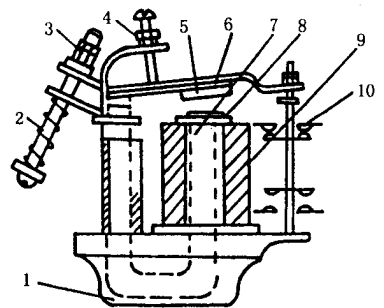


图 1-12 电磁式继电器典型结构
1—底座 2—反力弹簧 3、4—调节螺钉 5—非磁性垫片 6—衔铁 7—铁芯 8—极靴 9—电磁线圈 10—触点系统

于电流型保护的场合外，还经常用于按电流原则控制的场合。电流继电器有欠电流继电器和过电流继电器两种。

1. 欠电流继电器 线圈中通入 30%~65% 的额定电流时继电器吸合，当线圈中的电流降至额定电流的 10%~20% 时继电器释放。因此，当电路工作正常时，欠电流继电器始终是吸合的，而当电路由于某种原因使电流降低到某一整定值时，继电器释放，输出信号，从而改变电路的状态。

2. 过电流继电器 其结构、原理与欠电流继电器相似，不同的是过电流继电器在电路工作正常时不动作，而当电流超过某一整定值时才动作，发出信号。整定范围通常为 1.1~4 倍额定电流。由于过电流继电器在正常情况下（即电流在额定值附近）是释放的，只有当电路发生过载或短路故障时，继电器才吸合，所以具有短时工作的特点，交流过电流继电器可不装短路环。

（二）电磁式电压继电器

电压继电器的结构与电流继电器相似，不同的是其线圈与被测电路并联，其线圈的匝数多，导线细、阻抗大。

电压继电器根据所接电路电压值的变化，处于吸合或释放状态。根据动作电压的不同，电压继电器有过电压、欠电压和零电压继电器三种。过电压继电器在电路电压正常时释放，而在发生过电压故障（1.1~1.5 U_n ）时吸合；欠电压、零电压继电器在电路电压正常时吸合，而发生欠压（0.4~0.7 U_n ）、零压（0.05~0.25 U_n ）以下时释放。

（三）电磁式中间继电器

中间继电器的电磁线圈属于电压线圈，但它触点数量较多（一般有 4 副常开 4 副常闭共 8 对）触点容量较大（额定电流为 5~10A），动作灵敏。其主要用途是：当其它继电器的触点数量或触点容量不够时，可借助中间继电器来扩大触点数目或触点容量，起到中间转换作用。

电磁式继电器在运行前，须将它的吸合值和释放值调整到控制系统所要求的范围内。一般可通过调整复位弹簧的松紧程度和改变非磁性垫片的厚度来实现。

（四）电磁式继电器的主要产品

常用的电磁式继电器有 JT3 系列直流电磁式和 JT4 系列交流电磁式继电器。这两个系列均是老产品。新产品有 JT9、JT10、JL12、JL14、JZ7、JZ8、DZ-6、DZ-10 等系列，其中 JL14 系列为交直流电流继电器，JZ7 系列为交流中间继电器，DZ-6 系列为通用中间继电器。

（五）电磁式继电器的选用

电磁式继电器主要包括电流继电器、电压继电器和中间继电器。选用它们时主要根据保护或控制对象对继电器的要求，如触点的数量、种类、返回系数、控制电路的电压、电流、负载性质等来选择。

（六）电磁式继电器的图形、文字符号

电磁式继电器的图形符号基本是相同的，如图 1-13 所示。电流继电器的文字符号是 KI，电压继电器的文字符号为 KV，而中间继电器的文字符号为 KA。

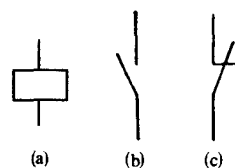


图 1-13 电磁式继电器的图形符号
(a) 电磁线圈 (b) 常开触点 (c) 常闭触点

二、时间继电器

凡是在敏感元件获得信号后，执行元件要延迟一段时间才动作的电器叫做时间继电器。这

里指的延时区别于一般电磁式继电器从线圈得电到触点闭合的固有动作时间。时间继电器经常用于按时间原则进行控制的场合，其种类很多，下面对电力拖动控制系统中常用的空气阻尼式和晶体管式时间继电器加以介绍。

(一) 空气阻尼式时间继电器

空气阻尼式时间继电器又称气囊式时间继电器，它是利用空气通过小孔时产生阻尼的原理获得延时的。它由电磁系统、延时机构和触点三部分构成。电磁机构为双 E 直动型，触点系统借用 LX5 型微动开关，延时机构采用气囊式阻尼器。

空气阻尼式时间继电器的电磁机构可以是直流的或是交流的，它既可做成通电延时型，也可做成断电延时型。如国产的 JS7 型时间继电器只要改变电磁机构的安装方向，便可实现不同的延时方式，当衔铁位于铁芯和延时机构之间时为通电延时型，如图 1-14(a)所示；当铁芯位于衔铁和延时机构之间时为断电延时，如图 1-14(b)所示。下面以通电延时型为例介绍其工作原理。

在图 1-14(a)中，当线圈 1 通电后，衔铁 3 被铁芯 2 吸合而向上运动，活塞杆 6 在塔形弹簧 8 的作用下，带动活塞 12 及橡皮膜 10 向上移动。由于橡皮膜 10 下方的空气较稀薄形成负压，活塞杆 6 只能缓慢上移，其移动速度决定了延时的长短。移动速度由进气孔 14 的大小来定，可通过调节螺杆 13 来调整。进气孔大，移动速度快，延时短；进气孔小，移动速度慢，延时较长。在活塞杆 6 向上移动过程中，杠杆 7 随之作反时针旋转。当活塞杆 6 移到与已吸合的衔铁接触时停止移动，同时，杠杆 7 压动微动开关 15，使其常闭触点打开、常开触点闭合，起到通电延时的作用（即线圈通电后触点延时动作）。延时时间为线圈通电到微动开关触点动作之间的时间间隔。

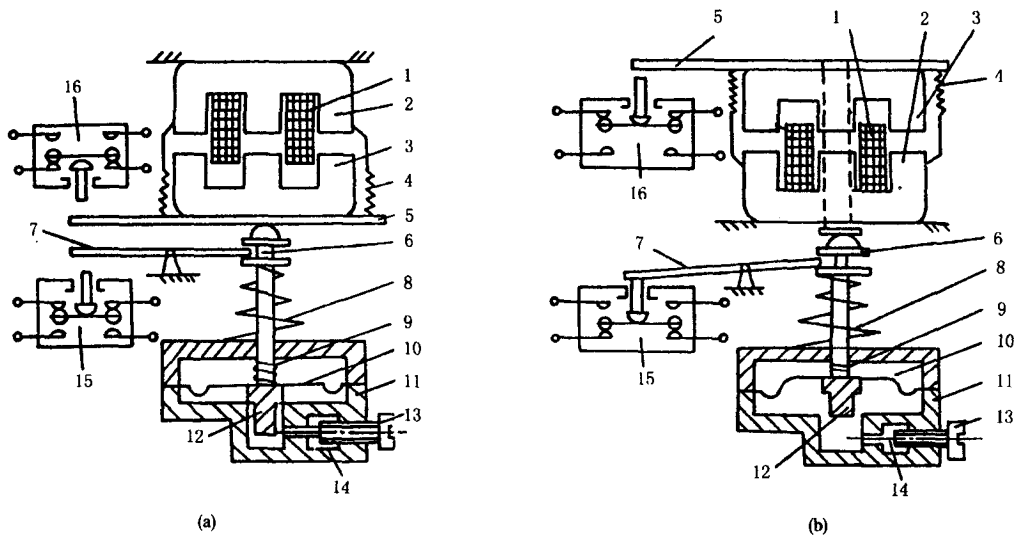


图 1-14 JS7-A 系列时间继电器动作原理

(a) 通电延时型 (b) 断电延时型

1—线圈 2—铁芯 3—衔铁 4—反力弹簧 5—推板 6—活塞杆 7—杠杆 8—塔形弹簧 9—弱弹簧
10—橡皮膜 11—空气室壁 12—活塞 13—调节螺杆 14—进气孔 15、16—微动开关

而当线圈 1 断电后，电磁吸力消失，衔铁 3 在反力弹簧 4 的作用下释放，并通过活塞杆

6 带动活塞 12 和橡皮膜 10 向下移动，并压缩弹簧 8，这时橡皮膜 10 下方气室内的空气通过橡皮膜 10、弱弹簧 9 和活塞 12 的肩部所形成的单向阀，迅速从橡皮膜 10 上方的气室缝隙中排出，使得杠杆 7 和微动开关 15 能迅速复位。

线圈 1 通电和断电时，微动开关 16 在推板 5 的作用下都能瞬时动作，它是时间继电器的瞬动触点。

空气阻尼式时间继电器的特点是：延时范围可达 0.4~180s，结构简单，电磁干扰小，寿命长、价格低。但其延时误差大（±10%~±20%），无调节刻度指示，难以精确整定延时值。在对延时精度要求较高的场合，不宜使用。

国产空气阻尼式时间继电器产品型号有 JS7 系列、JS7-□A 系列和 JS11 系列，A 为改进产品。表 1-3 列出 JS7-□A 系列产品的的主要技术参数供参考。

表 1-3 JS7-□A 系列产品的的主要技术参数

型号	线圈额定电压/U/V	触头参数						380V 及 $\cos\varphi = 0.3 \sim 0.4$ 时的通断电电流值/(I/A)	延时范围/(t/s)	重复误差	最大操作频率/(次/h)	
		数量										
		通电延时		断电延时		瞬动						接通
常开	常闭	常开	常闭	常开	常闭							
JS7-1A	交流 24、	1	1					3	0.3	分 0.4~60 及 0.4~180 两级	<15%	在通电持续率为 40% 时为 600
JS7-2A	36、110、	1	1			1	1					
JS7-3A	127、220、			1	1							
JS7-4A	380、及 420			1	1	1	1					

(二) 晶体管式时间继电器

晶体管式时间继电器又称半导体式时间继电器，它是利用 RC 电路电容器充电时，电容电压不能突变，只能按指数规律逐渐变化的原理来获得延时的。因此，只要改变 RC 充电回路的时间常数（改变电阻值），即可改变延时时间。继电器的输出形式分有触点式和无触点式，有触点式是用晶体管驱动小型电磁式继电器，而无触点式是采用晶体管或晶闸管输出。

图 1-15 为 JSJ 型晶体管式时间继电器的原理图，现以 JSJ 为例来说明晶体管式时间继电器的工作原理。

工作原理：接通电源后，变压器副边 18V 负电压通过 KA 线圈、 R_5 使得 V_5 获得偏流而导通、从而使 V_6 截止。此时 KA 的线圈中电流较小，不足以使 KA 吸合，所以继电器 KA 不动作。同时变压器副边 12V 的正电压经 V_2 半波整流后，经过可调电阻 R_1 、 R 、继电器常闭触点 KA 向电容 C 充电使 a 点电位逐渐升高。当 a 点电位高于 b 点并使 V_3 导通时，在 12V 正电压作用下 V_5 截止， V_6 通过 R_3 获得偏流而导通。 V_6 导通后继电器线

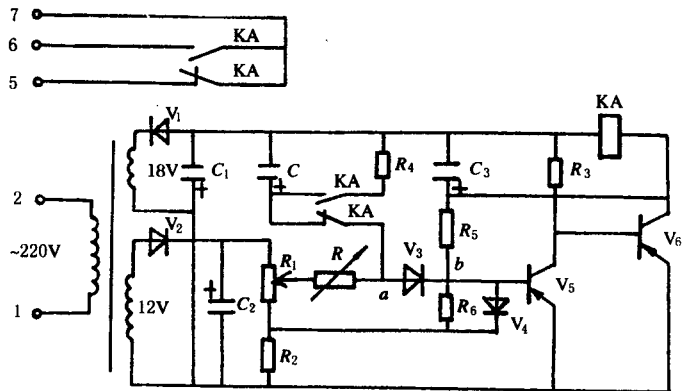


图 1-15 JSJ 型晶体管时间继电器原理图

圈 1 通电和断电时，微动开关 16 在推板 5 的作用下都能瞬时动作，它是时间继电器的瞬动触点。

圈 KA 中的电流上升，达到继电器动作值时使 KA 动作，其常闭触点打开，断开 C 的充电回路，常开触点闭合，使 C 通过 R_1 放电，为下次充电做准备。继电器 KA 的其它触点则分别接通或分断其它电路。当电源断开后，继电器 KA 释放。所以这种继电器为通电延时型的，断电延时只有几秒钟。调节 R_1 可改变延时时间。

常见的晶体管式时间继电器的产品有 JSJ、JS13、JS14、JS15、JS20、JS14A、JS14P 等系列。它们的主要技术参数可参见《常用高低压电器手册》和各厂家的产品样本。

晶体管式时间继电器具有延时范围广（如 JR14A 系列中的一种产品，延时范围为 90~900 秒）、精度高、体积小、耐冲击和耐振动、调节方便、寿命长，因此应用很广泛，但晶体管式时间继电器的延时易受电源电压波动的影响，抗干扰性差。

除了上述空气阻尼式、晶体管式时间继电器外，目前应用广泛的还有数字式时间继电器，如 JSS1、JSS2 系列产品。它们采用 MOS 大规模集成电路，工作可靠、功能强、精度高，并采用拨码开关整定延时时间，直观性、重复性好，延时范围宽，有些产品如 JS14S、JSS1、JSS2 系列还带有延时时间显示功能，特别适合于需要多功能、延时范围广、需反复整定延时时间的场合。如搅拌机上用的数显时间继电器。

（三）时间继电器的选用

选用时间继电器时，首先应考虑满足控制系统所提出的工艺要求和控制要求，并根据对延时方式的要求选用通电延时型或断电延时型。对于延时要求不高和延时时间较短的，可选用价格相对较低的空气阻尼式；当要求延时精度较高、延时时间较长时，可选用晶体管式或数字式；在电源电压波动大的场合，采用空气阻尼式比用晶体管式的好，而在温度变化较大处，则不宜采用空气阻尼式时间继电器。总之，选用时除了考虑延时范围、准确度等条件外，还要考虑控制系统对可靠性、经济性、工艺安装尺寸等要求。

（四）时间继电器的图形、文字符号

时间继电器的文字符号为 KT 图形符号见图 1-16 所示。画图时注意小圆弧的方向为：由圆弧边缘向圆心的运动方向为触点的延时动作方向。

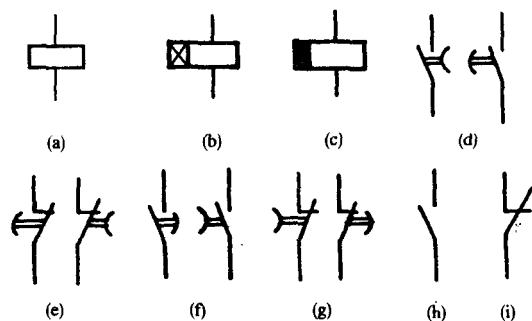


图 1-16 时间继电器的图形符号

(a) 线圈一般符号 (b) 通电延时线圈 (c) 断电延时线圈 (d) 延时闭合常开触点 (e) 延时断开常闭触点 (f) 延时断开常开触点 (g) 延时闭合常闭触点 (h) 瞬动常开触点 (i) 瞬动常闭触点

三、热继电器

热继电器是利用电流的热效应原理来工作的保护电器。主要用于交流电动机及电气设备的过载保护，还常和交流接触器配合组成磁力起动器。热继电器有两相结构、三相结构和三相带断相保护装置等三种类型。

（一）热继电器的结构和工作原理

热继电器主要由热元件、双金属片、触点、复位弹簧和电流调节装置等部分组成。图 1-17 为两相热继电器结构示意图。双金属片是热继电器的感测元件，它由两种不同线膨胀系数的金属用机械碾压而成。线膨胀系数大的称为主动层，常用线膨胀系数高的铜或铜镍铬合金制

成，膨胀系数小的称为被动层，常用线膨胀系数低的铁镍合金制成。在加热之前，两双金属片长度基本一致，热元件串接在电动机定子绕组中，电动机定子绕组电流即为热元件上流过的电流。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，但还不足以使热继电器动作；当电动机过载时，流过热元件的电流增大，热元件产生的热量增加，使被其缠绕的双金属片受热膨胀，弯曲程度加大，最终使双金属片推动导板使热继电器的触点动作，切断电动机的控制电路，使主电路停止工作。热继电器动作后一般不能自动复位，要等双金属片冷却后，按下复位按钮才能复位。

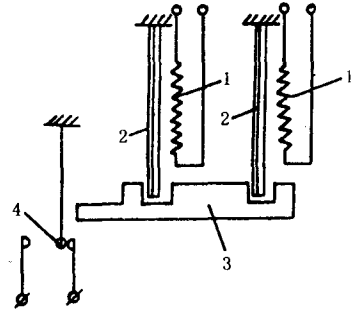


图 1-17 两相结构热继电器工作原理示意图
1—热元件 2—双金属片 3—导板
4—触点

二相结构的热继电器使用时将两只热元件分别串接在任两相电路中；三相结构热继电器使用时将三只热元件分别串接在三相电路中。三相结构中有三相带断相保护和不带断相保护两种。下面介绍带断相保护热继电器的动作原理。

（二）带断相保护热继电器

JR16 系列带断相保护热继电器的结构示意图如图 1-18 所示。

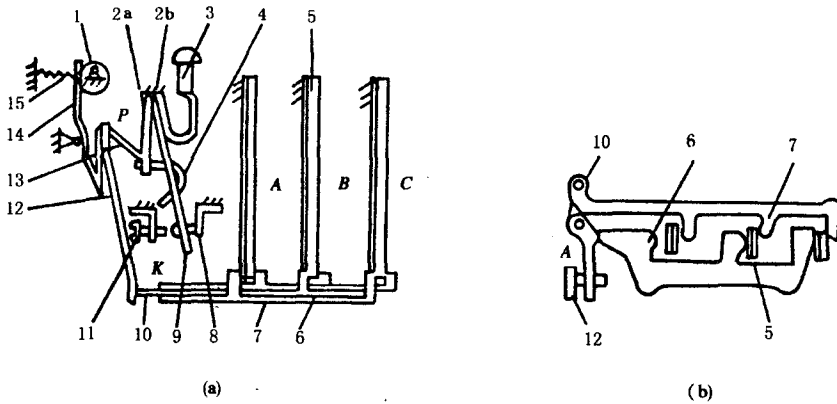


图 1-18 JR16 系列热继电器结构示意图

(a) 结构示意图 (b) 差动式断相保护示意图

1—电流调节凸轮 2a、2b—簧片 3—手动复位按钮 4—弓簧 5—主双金属片 6—外导板 7—内导板 8—常闭静触点 9—动触点 10—杠杆 11—复位调节螺钉 12—补偿双金属片 13—推杆 14—连杆 15—压簧

图 1-19 为带差动式断相保护热继电器的动作原理示意图。图中 (a) 为通电前的位置；(b) 为三相热元件均流过额定电流时的情况，此时三个双金属片受热相同，同时向左弯曲，内外导板一起平行左移一小段距离，但不足以使常闭触点断开，电路继续保持通电状态；(c) 为三相均匀过载的情况，此时三相双金属片都因过热向左弯曲，推动内外导板向左移动较大的距离，经补偿双金属片、推杆并借助片簧和弓簧使常闭触点断开，从而达到切断控制电路，保护电动机过载的目的；(d) 为电动机发生一相断线故障（图中是右边的一相）的情况，此时该双金属片逐渐冷却，向右移动，带动内导板右移，而其余两相双金属片因继续受热而左移，并使外导板继续左移，这样内外导板产生差动，通过杠杆的放大作用使常闭触点断开，从而切断控制电路，使主电路停止工作。

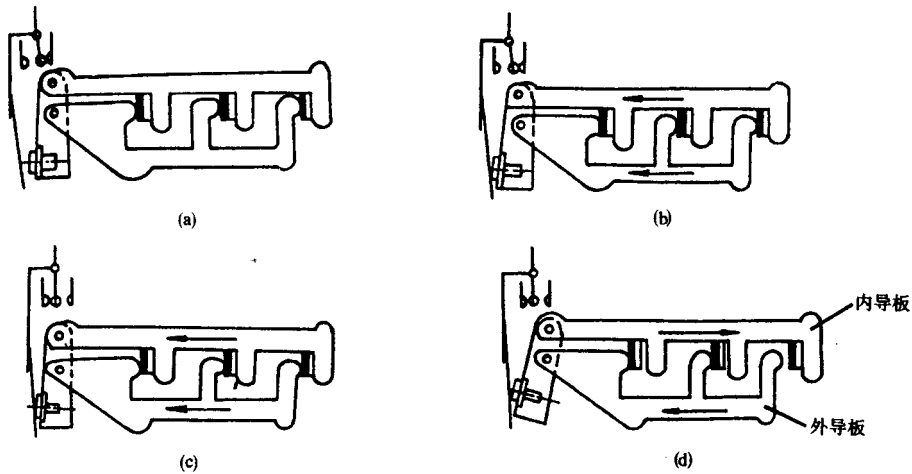


图 1-19 差动式断相保护装置动作原理图
 (a) 通电以前 (b) 三相通有额定电流 (c) 三相均衡过载 (d) 电动机发生一相断线故障

(三) 热继电器的主要产品

我国生产的热继电器两相结构产品有 JR1、JR2、JR0、JR15 四个系列。JR1、JR2 系列热继电器的双金属片是靠热元件间接加热的（如前面介绍的一样），热耦合较差，双金属片的弯曲程度易受环境温度的影响；而 JR0、JR15 新品从结构上做了改进，采用双金属片和热元件同时串联在负载电路里的复合加热方式，再加上使用了温度补偿元件，工作更可靠。JR1、JR2、JR0、JR15 四个系列均是两相结构，主要用作 Y 形接法感应电动机均衡过载时的保护，而不适用于感应电动机定子为三角形接法的断相保护；JRS、JR16 和 JR16B 系列有带断相保护装置的；而 T 系列是引进德国 BBC 公司的产品，与接触器可插接安装；引进的产品还有西门子的 3UA 系列，它是带断相保护的三相结构热继电器，具有脱扣指示功能，并能自动与手动复位，可与接触器插接安装，也可独立安装，外形小巧、美观；引进产品还有施耐德电气公司的 LR2D 系列热过载继电器。表 1-4 列出了 JR16B 系列热继电器的技术参数供参考，其它产品的技术数据可参见各厂家的样本手册。

(四) 热继电器的选用

热继电器只能用作电动机的过载保护，而不能作为短路保护使用。热继电器的选择主要根据电动机的额定电流来确定热继电器的型号及热元件的额定电流等级。对于星形接法的电动机及电源对称性较好的场合，可选用两相或三相结构的；对于三角形接法的电动机，应选用带断相保护的三相式热继电器。热继电器的额定电流应大于或至少等于被保护电动机的额定电流。若电动机的启动时间较长（超过 5s），热元件的额定电流可调节到电动机额定电流的 1.1~1.5 倍。

热继电器如和其它电器设备装在一起时，应将热继电器安装在其它电器的下方，以免受热后产生误动作。

(五) 热继电器的图形、文字符号

热继电器的文字符号为 FR，图形符号如图 1-20 所示。



图 1-20 热继电器的图形、文字符号
 (a) 热元件 (b) 常闭触点

示。

表 1-4 JR16B 系列热继电器的主要技术参数

型 号	额定电流/A	热 元 件 等 级	
		热元件额定电流/A	热元件额定电流调节范围/A
JR16B-20/3 JR16B-20/3D	20	0.35	0.25~0.35
		0.50	0.32~0.50
		0.72	0.45~0.72
		1.1	0.68~1.1
		1.6	1.0~1.6
		2.4	1.5~2.4
		3.5	2.2~3.5
		5.0	3.2~5.0
		7.2	4.5~7.2
		11.0	6.8~11.0
		16.0	10.0~16.0
JR16B-60/3 JR16B-60/3D	60	22.0	14.0~22.0
		32.0	20.0~32.0
		45.0	28.0~45.0
		63.0	40.0~63.0
JR16B-150/3 JR16B-150/3D	150	63.0	40.0~63.0
		85.0	53.0~85.0
		120.0	75.0~120.0
		160.0	100.0~160.0

四、速度继电器

(一) 速度继电器的结构与工作原理

速度继电器是利用速度原则对电动机进行控制的自动电器，常用作笼型异步电动机的反接制动控制，因此亦称之为反接制动继电器。

JY1 型速度继电器原理结构图如图 1-21 所示。它主要由转子、定子和触点三部分组成。转子是一个圆柱形永久磁铁，其轴与被控制电动机的轴相连接。定子是一个笼型空心圆环，由矽钢片叠成，并装有笼形绕组。定子空套在转子上，能独自偏摆。当电动机转动时，速度继电器的转子随之转动，这样就在速度继电器的转子和定子圆环之间的气隙中产生旋转磁场而感应电势并产生电流，此电流与旋转的转子磁场作用产生转矩，使定子偏转，其偏转角度与电动机的转速成正比。当偏转到一定角度时，与定子连接的摆锤推动触点，使常闭触点分断，当电动机转速进一步升高后，摆锤继续偏摆，使动触点与静触点的常开触点闭合。当电机转速下降时，摆锤偏转角度随之下降，动触点在簧片作用下复位（常开触点打开、常闭触点闭合）。

(二) 速度继电器的主要产品及技术数据

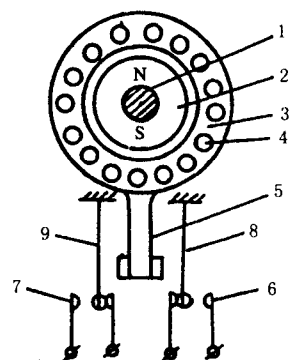


图 1-21 速度继电器原理示意图

- 1—转轴 2—转子 3—定子
4—绕组 5—摆锤 6、7—静触点 8、9—簧片