

第1章 电气控制中的常用低压电器

【本章导学】

本章主要介绍电气控制中常用低压电器的基本结构、特性原理、技术参数及其选用等，要求学生熟练掌握常用低压电器元件的特点，学会分析低压器件的局部特征和整体功能，能够对电器元件的常见故障进行分析排查，并能够在项目实践中对其进行合理的选择和使用，为进行电气控制线路的分析和设计打好基础。

【本章主要知识点】

- 电磁式低压电器的工作原理和基本结构。
- 接触器、中间继电器、时间继电器、热继电器、熔断器的特性与选用。
- 断路器、主令电器的结构、原理、特性与选用。

【本章思政目标】

高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务，绿色、循环、低碳的电力能源对推动社会经济高质量发展具有重要作用，低压电器是构成电气控制和电力系统的单元器件，是电力能源高效、低碳使用的基本保证。通过学习低压电器的相关知识培养学生严谨治学的态度、勤于思考的习惯、勇于创新的精神，具备良好的职业道德。

1.1 电磁式低压电器基础知识



电磁式低压电器基本知识

1.1.1 电器的概念和分类

电器是指在电能的生产、输送、分配和应用过程中，起切换、控制、保护、检测、变换和调节作用的电气设备。电器的种类繁多、用途广泛、结构各异，常见的分类方法如下几种：

(1) 按工作电压等级分类。

- 低压电器：工作于交流 1200V 以下或直流 1500V 以下电气线路中的电器。
- 高压电器：工作于交流 1200V 以上或直流 1500V 以上电气线路中的电器。

(2) 按操作方式分类。

- 手动电器：需要人工直接操作才能完成指令任务的电器，如按钮、刀开关等。
- 自动电器：按照电的或非电的信号自动完成指令任务的电器，如接触器、熔断器等。

(3) 按用途分类。

- 控制电器：用于各种控制电路和控制系统的电器，如接触器、继电器等。
- 主令电器：用于发送控制指令的电器，如按钮、接近开关等。
- 保护电器：用于保护电路及用电设备的电器，如熔断器、热继电器等。

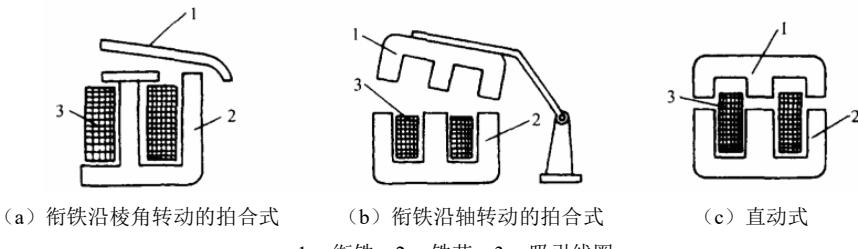
- 配电电器：用于电能输送和分配的电器，如自动空气开关、隔离开关等。
 - 执行电器：用于完成某种动作或传动功能的电器，如电磁铁、电磁离合器等。
- （4）按工作原理分类。
- 电磁式电器：依据电磁感应原理工作的电器，如接触器、中间继电器等。
 - 非电量控制电器：靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，如按钮、热继电器等。

1.1.2 电磁式低压电器

电磁式低压电器在电气控制线路中是使用最多、类型最多的一种，各类电磁式低压电器的原理和结构基本相同。电磁式低压电器通常由电磁机构、触点系统和灭弧装置三部分组成。经常使用的接触器、中间继电器、断路器等都属于电磁式低压电器。

1.1.2.1 电磁机构

（1）电磁机构的结构和分类。电磁机构是电磁式低压电器的感测部件，其作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触点动作使之闭合或断开，从而实现电路的接通或分断。电磁机构由吸引线圈、铁芯和衔铁组成，其动作原理是：当给吸引线圈通以一定的电流时产生磁场吸力，带动衔铁运动完成触点的断开和闭合，实现触点所在电路的分断和接通。根据衔铁相对铁芯的运动方式，电磁机构可分为直动式和拍合式两种，其中拍合式又可分为衔铁沿棱角转动或沿轴转动两种，如图 1-1 所示。



吸引线圈用来将电能转换为磁能，按通入电流性质不同，电磁机构可分为直流电磁机构和交流电磁机构，其吸引线圈分别称为直流电磁线圈和交流电磁线圈。直流电磁线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，线圈与铁芯直接接触，易于线圈散热。交流电磁线圈由于铁芯存在磁滞和涡流损耗，易造成铁芯发热，因此铁芯与衔铁用硅钢片叠制而成，线圈设有骨架使铁芯和线圈隔开，并将线圈做成短而厚的形状，从而改善线圈和铁芯的散热。

（2）电磁机构的工作原理。吸引线圈通入电流后产生电磁吸力，电磁机构使衔铁吸合的力与气隙长度的关系曲线称为吸力特性，使衔铁释放的力与气隙长度的关系曲线称为反力特性。常用吸力特性和反力特性表征电磁机构的工作原理。吸引线圈通电时电磁吸力大于弹簧反力，衔铁被铁芯吸住；吸引线圈断电时电磁吸力消失，衔铁在弹簧作用下与铁芯脱离，即衔铁释放。

1) 电磁机构的吸力特性。电磁机构的吸力特性反映的是其电磁吸力与气隙长度的关系。由于电流的种类对吸力特性的影响很大，所以下面对交、直流电磁机构的吸力特性分别讨论。

①交流电磁机构的吸力特性。交流电磁线圈阻抗主要取决于线圈电抗，根据电磁理论公式：

$$U \approx E = 4.44 f N \Phi \quad (1-1)$$

$$\Phi = \frac{U}{4.44 f N} \quad (1-2)$$

式中, U 为线圈电源电压, E 为感应电势, f 为电源频率, N 为线圈匝数, Φ 为线圈磁通。

根据式 (1-2), 给线圈加上一定频率的固定电压后, N 、 U 、 f 不变, 故线圈 Φ 近似为常数, 而 $F \propto \Phi^2$, 所以电磁力 F 近似不变。根据磁路定律公式:

$$\Phi = IN / R_m = IN / (\delta / \mu_0 S) = IN \mu_0 S / \delta \quad (1-3)$$

式中, R_m 为线圈磁阻, μ_0 为导磁系数, δ 为线圈与衔铁间气隙长度, S 为铁芯截面积。

根据式 (1-3), 当线圈接通电源后, 由于 Φ 近似为常数, 衔铁尚未动作时的 δ 最大, 故此时线圈电流最大, 可达到吸合后额定电流的 10~15 倍。所以交流电磁线圈如果通电后衔铁卡住不能吸合, 线圈通过电流长时间远远大于额定电流, 那么很可能发热烧毁。在电气控制中, 采用交流电磁机构的低压电器必须防止出现衔铁被卡住这个现象。

② 直流电磁机构的吸力特性。直流电磁机构由直流电流产生磁场, 稳态时磁路对电路没有影响, 线圈电流与磁路气隙 δ 无关, 即线圈 IN 不变, S 、 μ_0 为定值, 由式 (1-3) 得:

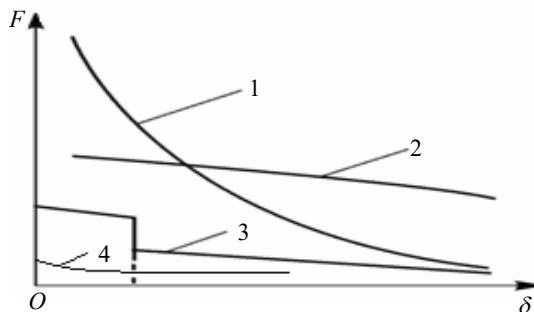
$$F \propto \Phi^2 \propto (1/\delta)^2 \quad (1-4)$$

上式说明, 直流电磁机构的吸力 F 与气隙 δ 的平方成反比, δ 越小, 电磁力越大。由于衔铁闭合前后激磁线圈的电流不变, 所以直流电磁机构适用于动作频繁的场合, 且吸合后电磁吸力大, 工作可靠性高。但是, 当直流电磁机构的激磁线圈断电时, 磁势就由 IN 快速变为接近于零, 电磁机构的磁通也相应发生急剧变化, 这样会导致在激磁线圈中感生很大的反电势, 可达线圈额定电压 10 倍以上, 会使线圈过压而损坏, 为此常在直流电磁线圈两侧并联放电保护回路。

2) 电磁机构的反力特性。电磁机构使衔铁释放的力大多是利用弹簧的反力, 由于弹簧的反力 F 与其机械变形的位移量 x 成正比, 其反力特性可写成:

$$F = Kx \quad (1-5)$$

3) 吸力特性与反力特性的配合。只有吸力特性与反力特性配合得当, 才能保证电磁机构正常工作。当线圈通电, 电磁机构欲使衔铁吸合, 在整个吸合过程中吸力必须大于反力。如果吸力过大造成衔铁吸合时产生很大的冲击力, 使衔铁与铁芯柱端面造成严重的机械磨损。当线圈断电时必须使弹簧反力足以断开电磁机构。电磁机构吸力特性与反力特性的配合曲线如图 1-2 所示。



1—直流吸力特性; 2—交流吸力特性; 3—反力特性; 4—剩磁吸力

图 1-2 电磁机构吸力特性与反力特性的配合曲线

由于铁磁物质存有剩磁，使电磁机构的励磁线圈断电后仍有一定的剩磁吸力存在，剩磁吸力随气隙增大而减小，如图 1-2 中曲线 4 所示。

4) 交流电磁机构的过零问题。对于单相交流电磁机构，电磁吸力是一个两倍于电源频率的周期性变量。当电磁机构在工作中时，衔铁始终受到弹簧反力的作用。电磁吸力存在过零点，过零时吸合后的衔铁在弹簧反力的作用下被拉开，过零后随着吸力增大衔铁又被吸合。这样，在交流电每周期内衔铁吸力要两次过零，衔铁随之动作，如此周而复始，会使衔铁产生强烈的振动并发出噪声，容易造成线圈松散。

通常在铁芯上增加短路环来解决交流电磁机构过零问题。在铁芯端部开一个槽，槽内嵌入被称作短路环的铜环，如图 1-3 (a) 所示。短路环把铁芯中的磁通分为两部分，不穿过短路环的磁通 Φ_1 超前于穿过短路环的磁通 Φ_2 一定的相位，它们产生的电磁力 F_1 和 F_2 也存在一定的相位差，二者的合力为电磁线圈的电磁力 F ，合力 F 永远大于反作用力，从而消除了机构的振动和噪声，如图 1-3 (b) 所示。

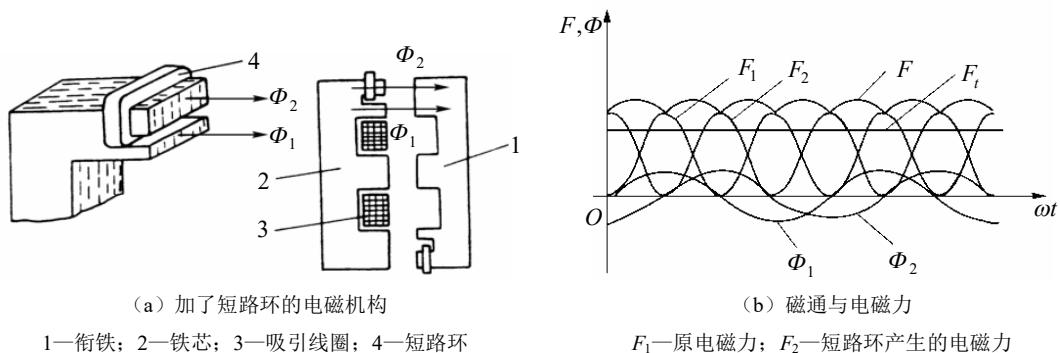


图 1-3 交流电磁铁短路环的作用

5) 电磁机构的输入/输出特性。把吸引线圈的输入电压或电流作为输入量，衔铁的位置作为输出量，则电磁机构衔铁位置与吸引线圈电压或电流的关系称为电磁机构的输入/输出特性，也称为继电器特性。由于磁场的影响，电磁机构的输入/输出特性曲线为矩形曲线，如图 1-4 所示。

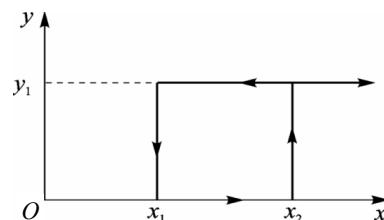


图 1-4 电磁机构的输入/输出特性曲线

1.1.2.2 触点系统

触点又称触头，是电磁式低压电器的功能执行部分，起接通和分断电路的作用。由于触点串接在电路中，所以要求其导电、导热性能好，通常用铜、银、镍及其合金材料制成，对于一些特殊用途的微型继电器和小容量的电器，触点采用银质材料制成。

(1) 触点接触形式。触点通常由动、静触点组合而成，动触点可以滑动或移动，静触点

固定不动，二者成对配置。触点接触形式一般有点接触、线接触和面接触3种，如图1-5所示。其中，点接触形式的触点只能用于小电流的电器中，如接触器的辅助触点和继电器的触点；线接触形式的触点接触区域是一条直线，其触点在通断过程中有滚动动作，多用于中容量的电器；面接触形式的触点允许通过较大的电流，一般在接触表面上镶有合金，以减小触点接触电阻和提高耐磨性，多用于较大容量接触器的主触点。

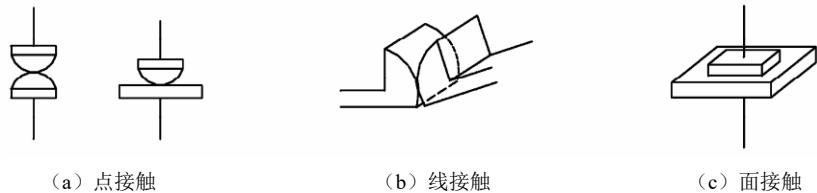


图1-5 触点的3种接触形式

(2)触点结构。在常用的继电器和接触器中，触点的结构形式主要有单断点指形触点和双断点桥式触点两种。

单断点指形触点只有一个断口，多用于接触器的主触点，如图1-6所示。开始接触时，动静触点在A点接触，靠弹簧的压力由B点滚到C点，断开时的运动方向相反。这种结构的优点为闭合、断开过程中有滚动运动，能自动清除表面的氧化物，触点接触压力大，电动稳定性高；缺点为触点开距大，增大了电器体积，触点闭合时冲击能量大，影响机械寿命。

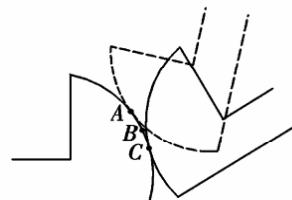


图1-6 单断点指形触点的接触过程

双断点桥式触点具有两个有效灭弧区域，具备一定灭弧效果，触点开距小，使电器结构紧凑、体积小，触点闭合时冲击能量小，有利于提高机械寿命。图1-7所示是桥式触点断开和闭合状态。这种结构的缺点是触点不能自动净化，触点材料必须用银或银的合金，每个触点的接触压力小，电动稳定性较低。

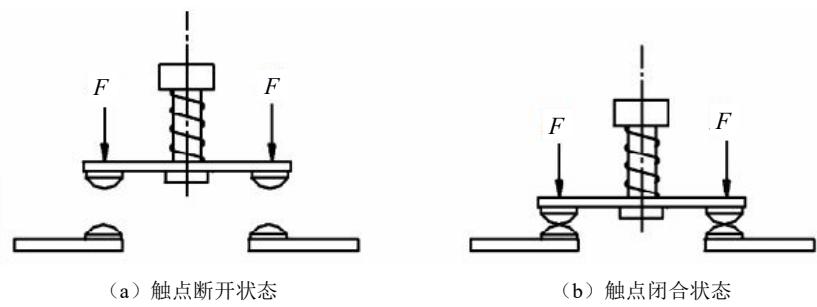


图1-7 双断点桥式触点的位置示意图

1.1.2.3 电弧的产生和灭弧方法

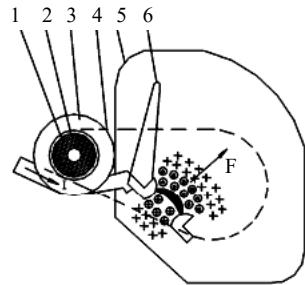
当电磁机构的触点在通电状态下脱离接触的瞬间，动、静触点的间隙很小，电路电压几乎全部降落在触点之间，形成很高的电场强度。触点表面的自由电子大量溢出，快速移动并撞击触点间隙中的气体，产生大量的电子和离子，形成炽热的电子流，在触点间产生强烈的火花，称为电弧。电弧会产生高温，使触点烧蚀，并使电路切断时间延长，甚至不能断开，从而造成电器损坏或产生火灾等严重事故，因此必须采取措施消灭或减小电弧。常用的灭弧方法有磁吹式灭弧、栅片灭弧、桥式双断口灭弧等。

（1）磁吹式灭弧。该方法的原理是使电弧处于磁场中间，使电磁场力“吹”长电弧，使其进入冷却装置，加速电弧冷却，促使电弧迅速熄灭。

图 1-8 所示是磁吹式灭弧的原理图，其磁场由与触点电路串联的吹弧线圈 3 产生，当电流逆时针流经吹弧线圈时，其产生的磁通经铁芯 1 和导磁夹板 4 引向触点周围。触点周围的磁通方向为由纸面流入，由左手定则可知，电弧在吹弧线圈磁场中受一向上的力作用，电弧向上运动，被拉长并吹入灭弧罩 5 中，将热量传递给灭弧罩壁，促使电弧熄灭。

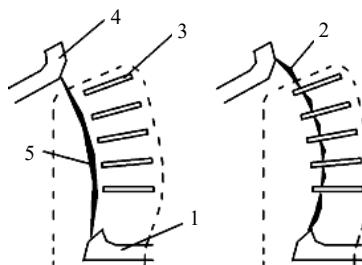
这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧，电弧电流越大，吹弧能力越强，且不受电路电流方向影响，当电流方向改变时磁场方向随之改变，结果电磁力方向不变。该方法被广泛地应用于直流接触器中。

（2）栅片灭弧。灭弧栅由多片镀铜的薄钢片（称为栅片）制成，置于触点的上方，栅片之间相互绝缘，片间距离为 2~5mm，如图 1-9 所示。



1—铁芯；2—绝缘管；3—吹弧线圈；
4—导磁夹板；5—灭弧罩；6—熄弧角

图 1-8 磁吹式灭弧原理



1—静触点；2—短电弧；3—灭弧栅片；
4—动触点；5—长电弧

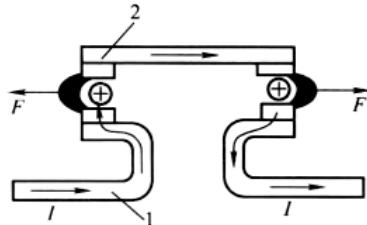
图 1-9 栅片灭弧原理

当触点分断电路时，触点之间产生电弧，电弧电流产生磁场，由于钢片磁阻比空气磁阻小得多，使灭弧栅上方磁通非常稀疏，而灭弧栅处的磁通非常密集，这种上疏下密的磁场将电弧拉入灭弧栅中，进入灭弧栅后，电弧被栅片分割成许多短电弧，当交流电压过零时电弧自然熄灭。采用灭弧栅，一方面电源电压不足以维持电弧，两栅片间必须有 150~250V 的电压，电弧才能重燃；另一方面由于栅片的散热作用，电弧自然熄火后很难重燃。

栅片灭弧的效果交流时要比直流时强得多，因此常用在交流电磁机构中。

（3）桥式双断口灭弧。在交流继电器和接触器中常采用桥式触点，这种触点有两个断点，这种双断口触点在分断时形成两个断点电弧，从而形成磁场，如图 1-10 所示。根据左手定则，电弧电流受到一个指向外侧的力 F 的作用，电弧向外运动被拉长，加快冷却而熄灭。

这种灭弧方法不用任何附加装置，灭弧效果相对较弱，常应用于小容量交流接触器中。



1—静触点；2—动触点

图 1-10 桥式双断口灭弧原理



接触器

1.2 接触器

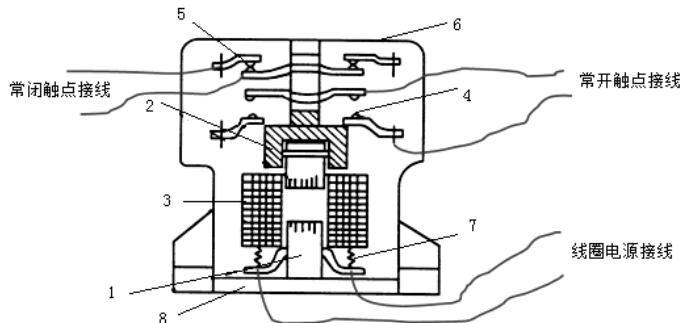
接触器是一种用来自动接通或断开大电流电路的电器，其控制对象包括电动机、电热器、电焊机、电炉变压器等，具有控制容量大、低电压释放保护、寿命长、能远距离控制等优点，是电气线路中使用最广泛的电气元件之一。

接触器有多种类型，按驱动方式可分为电磁式接触器、气动接触器和液压式接触器；按灭弧介质可分为空气电磁式接触器、油浸式接触器和真空接触器等；按主触点控制的电流性质可分为交流接触器、直流接触器；按电磁机构的励磁方式可分为直流励磁操作与交流励磁操作。电气线路中常用的是电磁式交流接触器和电磁式直流接触器，简称为交流接触器和直流接触器。

1.2.1 交流接触器

1.2.1.1 交流接触器的结构

交流接触器主要由电磁机构、触点系统、灭弧罩及其他附件组成，结构如图 1-11 所示。



1—铁芯；2—衔铁；3—线圈；4—动合动触点；5—动断静触点；6—灭弧罩；7—反力弹簧；8—底座

图 1-11 交流接触器的结构

(1) 电磁机构。电磁机构由线圈、衔铁和铁芯等组成，依靠它产生的电磁吸力可以驱使触点动作。在铁芯头部的平面上装有短路环，能阻止交变电流过零时磁场消失，使衔铁与铁芯始终保持一定的吸力，从而消除了振动现象。

（2）触点系统。触点系统包括主触点和辅助触点。主触点一般容量较大，用于接通和分断主电路，常用的是动合触点。辅助触点容量较小，用于控制电路，起到电气连锁作用，故又称为连锁触点，一般有动合、动断触点。

线圈未得电时，处于断开状态的触点称作动合触点，又称常开触点；线圈未得电时处于闭合状态的触点称作动断触点，又称常闭触点。主触点用于通断主电路，通常为三对（三极）常开触点；辅助触点常用于控制电路，起电气联锁作用，一般有常开、常闭触点各两对。

（3）灭弧罩。额定电流在 20A 以上的交流接触器通常都设有陶瓷灭弧罩，它能迅速切断触点在分断时所产生的电弧，以避免烧坏触点或熔焊。

（4）其他附件。其他附件包括反力弹簧、触点压力簧片、缓冲弹簧、短路环、底座和接线柱等。反力弹簧的作用是当线圈失电时使衔铁和触点复位；触点压力簧片的作用是增大触点闭合时的压力，增大触点的接触面积；缓冲弹簧的作用是吸收衔铁被吸合时的冲击力，起到保护底座的作用。

1.2.1.2 接触器的工作原理

当交流接触器线圈通电后，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。主触点在衔铁的带动下闭合，于是接通了主电路，同时衔铁带动辅助触点动作，使原来断开的辅助触点闭合，而原来闭合的辅助触点断开。

当线圈断电或电压显著降低时，电磁吸力消失或减弱，衔铁在释放弹簧作用下打开，主触点和辅助触点在衔铁带动下恢复到不带电状态。

1.2.1.3 交流接触器的型号、技术参数和电气符号

（1）交流接触器的型号。常见的交流接触器型号有 CJ20、CJ21、CJ26、CJ29、CJ35、CJ40、B、3TB 和 3TF 系列等。其中，CJ20 是 20 世纪 80 年代我国统一设计的产品，CJ40 是在 CJ20 基础上更新设计的产品，CJ21 是引进德国芬纳尔公司技术生产的产品，3TB 和 3TF 是引进德国西门子公司技术生产的产品，B 系列是引进德国原 BBC 公司技术生产的产品，此外还有 CJ 系列大功率交流接触器。

以 CJ20 系列交流接触器为例，其型号含义如图 1-12 所示。

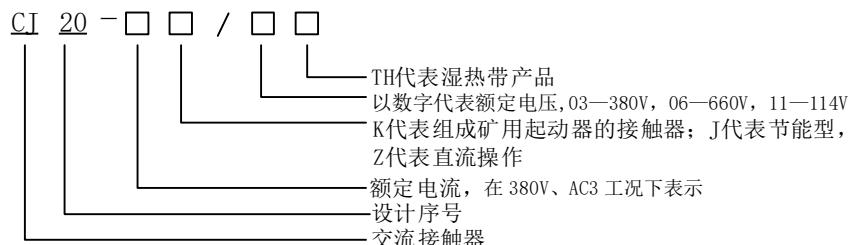


图 1-12 CJ20 系列交流接触器型号

（2）交流接触器的主要技术参数。

1) 额定电压。交流接触器铭牌上的额定电压是指主触点的额定电压，交流电压的等级有 220V、380V 和 660V 等。

2) 额定电流。接触器铭牌上的额定电流是指主触点工作时的额定电流，交流电流的等级

有 5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A 和 600A 等。

3) 吸引线圈的额定电压。吸引线圈交流电压的等级有 36V、110V、220V 和 380V 等。

4) 辅助触点的额定电流。辅助触点在规定条件下能可靠地接通和分断的电流值。

例如, CJ20 系列交流接触器的技术参数见表 1-1。

表 1-1 CJ20 系列交流接触器的技术参数

| 型号 | 频率/Hz | 辅助触点的额定电流/A | 吸引线圈的额定电压/V | 额定电流/A | 额定电压/V | 可控制电动机最大功率/kW |
|----------|-------|-------------|-----------------------|--------|---------|---------------|
| CJ20-10 | 50 | 5 | 36、110、127 220、380 | 10 | 380/220 | 4/2.2 |
| CJ20-16 | | | | 16 | 380/220 | 7.5/4.5 |
| CJ20-25 | | | | 25 | 380/220 | 11/5.5 |
| CJ20-40 | | | | 40 | 380/220 | 22/11 |
| CJ20-63 | | | | 63 | 380/220 | 30/18 |
| CJ20-100 | | | | 100 | 380/220 | 50/28 |
| CJ20-160 | | | | 160 | 380/220 | 85/48 |
| CJ20-250 | | | | 250 | 380/220 | 132/80 |
| CJ20-400 | | | | 400 | 380/220 | 220/115 |

(3) 交流接触器的电气符号。交流接触器的图形符号和文字符号如图 1-13 所示。

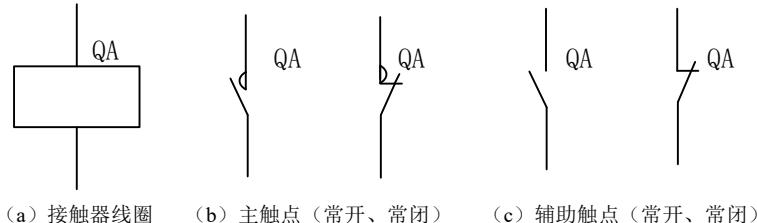


图 1-13 交流接触器的图形符号和文字符号

1.2.1.4 接触器的选择与维护

选择接触器时主要考虑因素如下:

(1) 依据负载电流性质决定接触器的类型, 即直流负载选用直流接触器, 交流负载选用交流接触器, 其触点数应满足主电路和控制电路的要求。

(2) 根据负载工作任务选择相应类别接触器。交流接触器使用类别代号为 AC1~AC4, 通常标注于其铭牌上。笼型和绕线型电动机使用类别为 AC2、AC3 和 AC4: 生产中广泛使用中小容量的笼型电动机, 大部分负载是一般任务, 相当于 AC3 类; 负载属于操作复杂的重任务类, 应选用 AC4 类接触器; 负载为一般任务与重任务混合的情况, 选用 AC3 类或 AC4 类。常见交流接触器的使用类别及其典型用途见表 1-2。

表 1-2 常见交流接触器的使用类别及其典型用途

| 电流种类 | 使用类别 | 最大通断能力 | 典型用途 |
|---------|------|---------------|---------------------|
| 交流 (AC) | AC1 | 接通、分断额定电流 | 无感或微感负载、电阻炉 |
| | AC2 | 接通、分断 4 倍额定电流 | 绕线式电动机的启动和分断 |
| | AC3 | 接通、分断 6 倍额定电流 | 笼型电动机的启动和分断 |
| | AC4 | 接通、分断 6 倍额定电流 | 笼型电动机的启动、反接制动、反向和点动 |

(3) 选择交流接触器主触点的额定电压与额定电流。

$$U_{KMN} \geq U_{CN} \quad (1-6)$$

$$I_{KMN} \geq I_N = \frac{P_{MN} \times 10^3}{KU_{MN}} \quad (1-7)$$

式中, U_{KMN} 为交流接触器额定电压, U_{CN} 为负载额定线电压, I_{KMN} 为交流接触器额定电流, I_N 为交流接触器主触点电流, P_{MN} 为电动机功率, U_{MN} 为电动机额定线电压, K 为经验常数 (K 为 1~1.4)。

(4) 交流接触器线圈的额定电压应与控制电路的电压一致, 对于简单控制电路, 可直接选用 AC380V、AC220V 电压。

(5) 三相鼠笼电动机控制线路中选择交流接触器的经验法。对于额定电压 AC380V 的交流接触器, 依据电动机功率确定额定电流: 5.5kW 以下的电动机, 交流接触器的额定电流约为电动机额定数值的 2~3 倍; 5.5~11kW 的电动机, 交流接触器的额定电流约为电动机额定数值的 2 倍; 11kW 以上的电动机, 交流接触器的额定电流约为电动机额定数值的 1.5~2 倍。

交流接触器的维护要点如下:

(1) 安装前, 应先检查线圈的额定电压等技术数据是否与实际相符, 然后将铁芯极面上的防锈油脂或锈垢用汽油擦净, 以免多次使用后被油垢粘住, 造成接交流触器断电时不能释放。

(2) 安装交流接触器时, 一般应垂直安装, 如有倾斜, 其倾斜角也不得超过 5°。安装有散热孔的交流接触器时, 为了利于散热, 降低线圈的温度, 应将散热孔放在上下位置处。

(3) 交流接触器的触点应定期清扫和保持整洁, 但不允许涂油, 触点表面因电弧作用形成金属小珠时应及时清除。

1.2.1.5 交流接触器的常见故障分析

交流接触器的常见故障现象、故障原因和排除方法见表 1-3。

表 1-3 交流接触器常见故障的分析

| 故障现象 | 故障原因 | 排除方法 |
|------------|--------------------------------------|--------------|
| 交流接触器不吸合 | 交流接触器线圈断线或电源电压过低、线圈额定电压低于电源电压、铁芯机械卡阻 | 检测电压、机械机构 |
| 线圈失电时铁芯不释放 | 极面有油污或尘埃附着、交流接触器主触点发生熔焊、反力弹簧损坏 | 清洁、触点检查、更换弹簧 |
| 主触点熔焊 | 触点弹簧压力过小、负载侧短路、控制回路电压过低或触点表面有突起的金属颗粒 | 更换元件、检测电压、清洁 |

续表

| 故障现象 | 故障原因 | 排除方法 |
|----------|--------------------------------|--------------|
| 电磁铁芯噪声过大 | 电源电压过低、铁芯短路环断裂、触点弹簧压力过大或铁芯极面油污 | 检测电压、更换元件、清洁 |
| 线圈过热或烧毁 | 电源电压过高、操作频率过快或线圈匝间短路 | 检测相应处电压、回路 |

1.2.2 直流接触器

直流接触器主要用于额定电压最大至 440V，额定电流最大至 1600A 的直流电力线路中，作为远距离接通和分断电路，控制直流电动机的频繁启动、停止和反向。

直流电磁机构通以直流电，铁芯中无磁滞和涡流损耗，因而铁芯不发热。触点系统也有主触点与辅助触点，主触点一般做成单极或双极，单极直流接触器用于一般的直流回路中，双极直流接触器用于分断后电路完全隔断的电路以及控制电动机的正反转电路中。由于通断电流大、通电次数多，故采用滚滑接触的指形触点。辅助触点由于通断电流小，常采用点接触的桥式触点。

直流接触器一般采用磁吹式灭弧，常用的直流接触器型号有 CZ18、CZ21、CZ22 等系列。直流接触器的结构和工作原理与交流接触器类似，仅在电磁机构方面有所不同，此处不再赘述。

1.3 继电器

继电器是一种根据外界输入的信号来控制电路中电流通断的自动切换电器，输入信号可以为电量或非电量。继电器一般由感测机构、中间机构和执行机构组成，当感应元件中的输入量（如电流、电压、温度、压力等）变化时，感测机构把检测到的电量或非电量传递给中间机构，中间机构把检测值与设定值进行比较，当达到设定值时继电器开始动作，执行元件便接通或断开控制电路，其触点通常接在控制电路中完成一定逻辑控制。

继电器的种类繁多，常用的有电磁式继电器、时间继电器、热继电器、速度继电器，以及温度、压力、计数、频率继电器等，它们的作用都是在控制电路中实现逻辑控制，但原理结构不尽相同。

继电器与接触器都是用来实现自动闭合或断开电路的，但它们的作用有许多不同之处：继电器一般用于控制小电流的电路中，触点额定电流不大于 5A，不加灭弧装置；接触器一般用于控制大电流的主电路中，主触点额定电流不小于 5A，往往有灭弧装置；接触器一般只能对电压的变化作出反应，而各种继电器可以在各种电量或非电量作用下动作。

1.3.1 电磁式继电器

电磁式继电器可以分为电磁式电压继电器和电磁式电流继电器，其结构和工作原理与电磁式接触器相似，主要由电磁机构和触点系统组成。



电磁式继电器

1.3.1.1 电磁式电压继电器

电磁式电压继电器按使用特点可分为中间继电器、过电压继电器和欠电压继电器。

(1) 中间继电器。中间继电器在结构上是一个电压继电器, 是用来转换控制信号的中间元件, 它的触点数量较多、动作灵敏, 按电压可分为两类: 一类是用于交直流电路中的 JZ 系列, 另一类是用于直流电路的各种继电保护线路中的 DZ 系列。

中间继电器的主要技术参数有额定电压、额定电流、触点对数及线圈电压种类和规格等, 选用时要注意线圈的电压种类和电压等级应与控制电路一致。另外, 要根据控制电路的需求来确定触点的形式和数量, 当一个中间继电器的触点数量不够用时, 可以将两个中间继电器并联使用, 以增加触点的数量。

中间继电器的主要用途有两个: 一是当电压或电流继电器触点容量不够时, 可借助中间继电器来控制, 即将中间继电器作为执行元件; 二是当其他继电器或接触器触点数量不够时, 可用中间继电器来切换电路。中间继电器文字符号为 KF, 其型号表示和电气符号如图 1-14 所示。

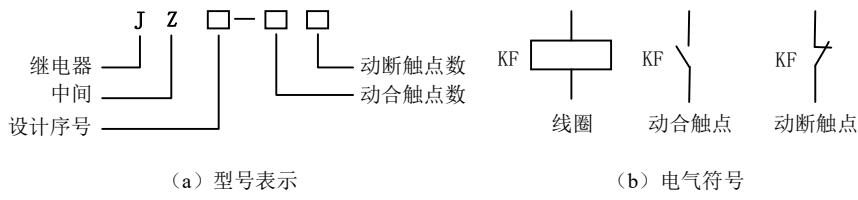


图 1-14 中间继电器的型号表示和电气符号

(2) 过电压继电器。过电压继电器在电路中用于过电压保护。当线圈电压高于其额定电压时 (其整定值一般为 105%~120% 额定电压), 衔铁才会有吸合动作; 当线圈所接电路电压降低到继电器释放电压时, 衔铁才返回释放状态, 相应触点也返回原来状态, 其电气符号如图 1-15 所示。

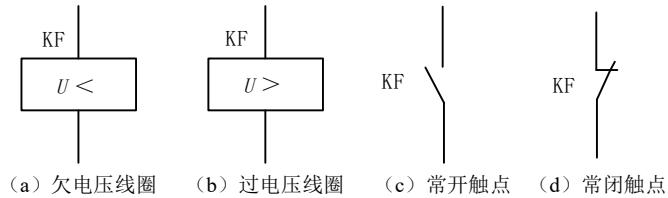


图 1-15 电磁式电压继电器的电气符号

(3) 欠电压继电器。欠电压继电器在电路中用于欠电压保护。当线路电压正常时, 铁芯与衔铁是吸和的, 当线圈电压低于其整定电压值时, 衔铁就释放, 带动触点动作, 对电路实现欠电压保护。欠电压继电器的整定值一般为额定电压的 40%~70%, 其电气符号如图 1-15 所示。

1.3.1.2 电磁式电流继电器

电磁式电流继电器线圈串接在电路中, 用来反映电路电流的大小, 触点的动作与线圈电流大小直接有关。按线圈电流的种类, 可分为交流电流继电器与直流电流继电器; 按吸合电流大小可分为过电流继电器和欠电流继电器。

过电流继电器的任务是当电路发生短路及过电流时立即将电路切断。正常工作时, 线圈中流有负载电流, 但不产生吸合动作。当出现比负载工作电流大的吸合电流时, 衔铁才产生吸合动作, 从而带动触点动作。过电流继电器的动作电流整定范围如下: 交流过流继电器为 (110%~350%) I_N , 直流过流继电器为 (70%~300%) I_N 。

欠电流继电器的任务是当电路电流过低时立即将电路切断。欠电流继电器正常工作时,由于电路的负载电流大于吸合电流而使衔铁处于吸合状态;当电路的负载电流降低至释放电流时,则衔铁释放,触点动作。欠电流继电器动作电流整定范围如下:吸合电流为(30%~50%) I_N ,释放电流为(10%~20%) I_N 。欠电流继电器一般是自动复位的。

电磁式电流继电器的电气符号如图1-16所示。

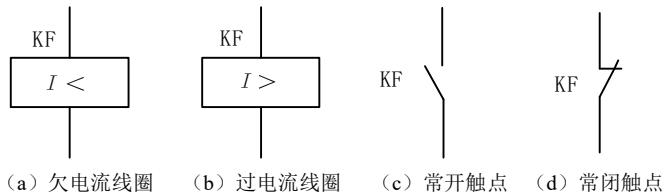


图1-16 电磁式电流继电器的电气符号

1.3.2 时间继电器



得到输入信号(线圈的通电或断电)后,经过一定的延时才输出信号(触点的闭合或断开)的继电器称为时间继电器。时间继电器通常应用在电气控制线路中要求时间逻辑控制功能的场合,是一类重要的低压电器。

常用的时间继电器主要有空气阻尼式、直流电磁式、电动式、电子式、数字式等。

空气阻尼式时间继电器又称气囊式时间继电器,是利用气囊中的空气通过小孔节流的原理来获得延时动作的。空气阻尼式时间继电器结构简单,价格低廉,延时范围可到上百秒,但是延时误差较大,难以精确地整定延时时间,常用于延时精度要求不高的交流控制电路。

直流电磁式时间继电器是用阻尼的方法来延缓磁通变化的速度,以达到延时目的。它具有结构简单、运行可靠、寿命长、允许通电次数多等优点,但体积和重量较大。它仅适用于直流电路,延时时间较短。

电动式时间继电器由同步电动机、减速齿轮机构、电磁离合系统及执行机构组成,电动式时间继电器的延时精度高,延时可调范围大(由几分钟到几小时),但结构复杂,价格贵。

电子式时间继电器由晶体管组成,具有寿命长、精度高、体积小、延时范围大、控制功率小等优点,随着电子技术的发展,电子式时间继电器的应用日益广泛。

数字式时间继电器由集成电路、功率电路、微处理器等先进的电子器件构成,较之电子式时间继电器来说,延时范围可成倍增加,调节精度可提高两个数量级以上,控制功率和体积也更小。数字式时间继电器功能特别强,有通电延时、断电延时、定时吸合、循环延时等多种延时形式和十几种延时范围供用户选择。

时间继电器的延时方式有通电延时、断电延时两种。

(1) 通电延时:接收输入信号后延迟一定时间,输出信号才发生变化;当输入信号消失后,输出瞬时复原。

(2) 断电延时:接收输入信号时,瞬时产生相应的输出信号;当输入信号消失后,延迟一定时间输出才复原。

时间继电器的电气符号如图1-17所示。线圈有通电延时、断电延时两种;延时触点有通电延时闭合常开触点、通电延时断开常闭触点、断电延时断开常开触点、断电延时闭合常闭触点等。

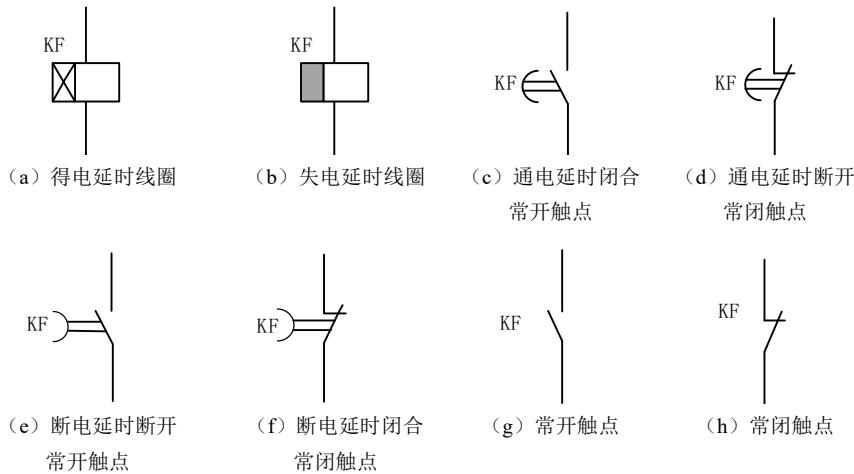


图 1-17 时间继电器的电气符号

选用时间继电器时应从以下几方面考虑：

- (1) 电流种类和电压等级：线圈的电流种类和电压等级应与控制电路的相同。
- (2) 延时方式：根据控制电路的要求来选择延时方式，即通电延时型和断电延时型。
- (3) 触点形式和数量：根据控制电路要求来选择触点形式及触点数量。
- (4) 延时精度：空气阻尼式适用于延时精度不高的场合，电子式适用于延时精度高的场合。
- (5) 操作频率：时间继电器的操作频率不宜过高，否则会影响其寿命，甚至导致失调。

1.3.3 热继电器



热继电器

热继电器是利用电流的热效应对电动机或其他用电设备进行过载保护的控制电器，主要用于电动机的过载保护、断相保护、电流不平衡运行保护及其他电气设备发热状态的控制。

按在电路中热元件串接相数的不同，热继电器可分为单极式、两极式和三极式。其中，三极式又可分为带有断相保护装置和不带断相保护装置两类。按复位方式，热继电器可分为自动复位式和手动复位式。按动作方式，热继电器可分为双金属片式、热敏电阻式和易熔合金式。其中，双金属片式使用广泛，本节主要以此种类型为例进行介绍。热继电器的外形结构如图 1-18 所示。

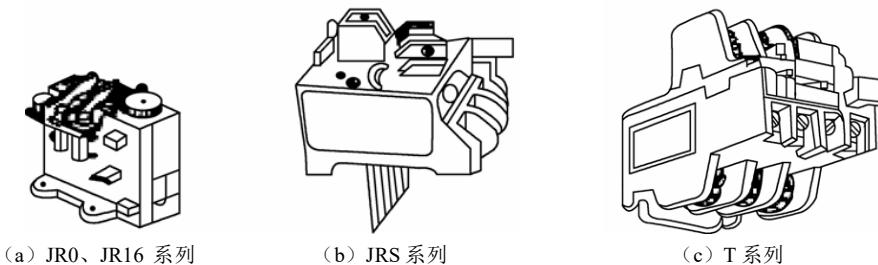
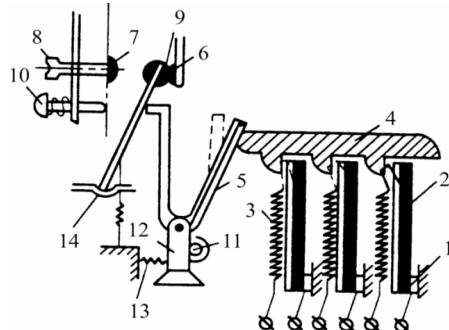


图 1-18 热继电器的外形结构

1.3.3.1 热继电器的结构及工作原理

热继电器主要由热元件、双金属片、触点系统等组成。双金属片是热继电器的感测元件，

由两种不同线膨胀系数的金属片经机械碾压而成。热继电器的结构原理如图 1-19 所示。



1—支撑件；2—双金属片；3—热元件；4—推动导板；5—补偿双金属片；6、7、9—触点；
8—复位螺钉；10—按钮；11—调节旋钮；12—支撑件；13—压簧；14—推杆

图 1-19 热继电器的结构示意图

热元件由双金属片及环绕其上的电阻丝组成，电阻丝发热时可把热能传递到双金属片上。当热元件与电动机定子绕组串接时，定子绕组电流即为流过热元件电流。当电动机正常运行时，热元件产生的热量虽能使双金属片 2 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 4，并通过补偿双金属片 5 与推杆 14 将触点 9 和 6 分开，触点 9 和 6 串接于接触器线圈回路，断开后使接触器线圈失电，接触器主触点断开电动机电源以保护电动机。

调节旋钮 11 是用来调节整定电流的，旋转旋钮 11 改变了补偿双金属片与导板间的距离，即改变了热继电器动作时主双金属片所需的弯曲位移，以及改变了整定动作电流值。

温度补偿双金属片可在规定范围内补偿环境温度对热继电器的影响。如周围环境温度升高，则双金属片 2 向右弯曲的程度加大，此时温度补偿双金属片 5 也向右弯曲，使导板与温度补偿双金属片的距离不变，从而使环境温度变化获得补偿。

1.3.3.2 热继电器的保护特性

当电动机运行中出现过载电流时，必将引起绕组发热。根据热平衡关系，电动机通电时间与其过载电流的平方成反比，所以电动机的过载特性具有反时限特性，该曲线如图 1-20 中的曲线 1 所示，图中 β 为电动机工作电流与额定电流之比。

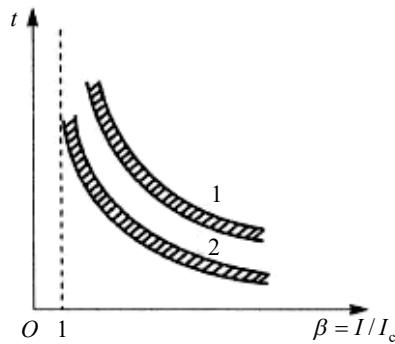


图 1-20 热继电器保护特性与电动机过载特性曲线

为了适应电动机的过载特性而又起到过载保护作用，要求热继电器也应具有如同电动机过载特性那样的反时限特性。热继电器中通过的过载电流与其触点动作时间之间的关系称作热继电器的保护特性，该曲线如图 1-20 中的曲线 2 所示。考虑各种误差影响，电动机的过载特性曲线和热继电器的保护特性曲线是带状曲线。

当电动机出现过载时，图 1-20 中曲线 1 的下方是安全的，如果发生过载，热继电器就会在电动机未达到其允许的过载极限之前动作切断电动机电源，从而完成保护作用。

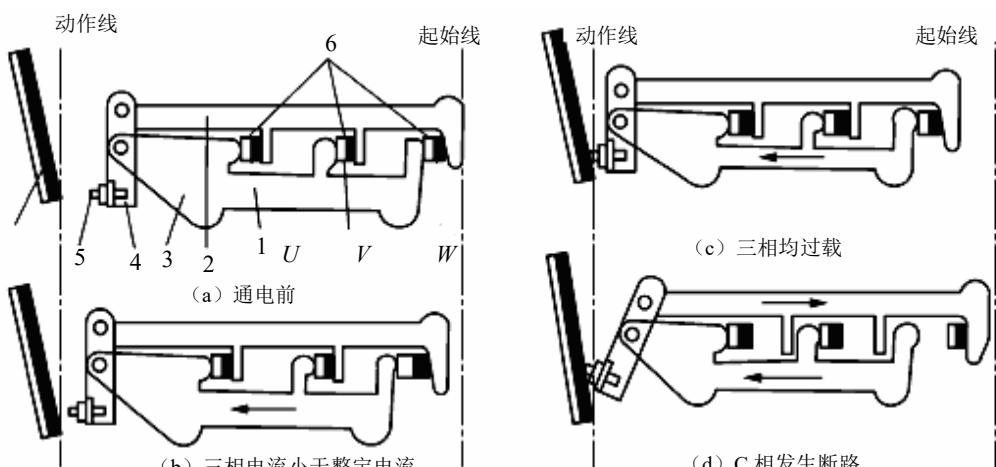
1.3.3.3 具有断相保护功能的热继电器

当三相电动机绕组同时出现过载时，热继电器因为通过热元件电流增大，就能起到保护作用。但是在三相电动机的运行中，由于熔丝断开、接触不良、线路开路等原因造成电动机缺相运行是导致电动机绕组烧坏的常见故障。此时对于 Y 形和△形接法的三相电动机相电流存在不同的情况。

在 Y 形运行的三相电动机控制线路中，当电动机三相绕组中有一相出现断路时，另外两相绕组电流增大，流过电动机绕组的电流和流过热继电器的电流增加的比例相同，因此普通的两相热继电器可以对 Y 形运行的电动机做出保护。

电动机△形连接时，当发生一相断路时，因为电动机的相电流与线电流不等，流过电动机绕组的电流和流过热继电器的电流增加比例不同。而热元件串联在电动机的电源进线中，热继电器是按线电流来整定的，整定电流较大，断相时另外两相电流明显增大，但不一定超过整定值或超过得有限，热继电器无法对电动机绕组起到有效保护，此时电动机定子绕组便有过热烧毁的危险。所以，△形接法的电动机必须采用带断相保护的热继电器。

带断相保护的热继电器是在普通三相热继电器基础上增加一个差动机构，即有 3 个热元件分别接于三相电路中，导板采用差动机构，差动机构由上导板 1、下导板 2 及装有顶头 4 的杠杆 3 组成，如图 1-21 所示。当线路发生故障 W 相断开时，该相双金属片逐渐冷却，向右弯曲推动上导板向右移动，而其他两相双金属片在发热作用下向左弯曲，推动下导板向左移动，产生了差动作用，再通过杠杆放大，迅速推动补偿双金属片 5 动作，使动断触点断开。



1—上导板；2—下导板；3—杠杆；4—顶头；5—补偿双金属片；6—主双金属片

图 1-21 有断相保护功能的热继电器

1.3.3.4 热继电器的型号与电气符号

热继电器的型号表示如图 1-22 所示。

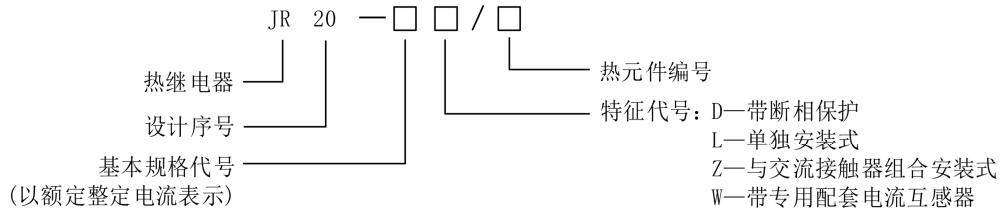


图 1-22 热继电器的型号表示

热继电器的文字符号为 BB, 图形符号如图 1-23 所示。

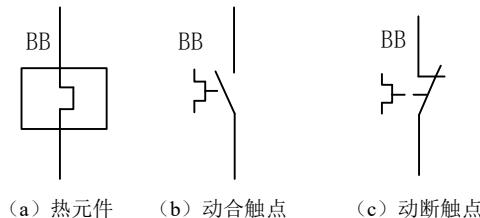


图 1-23 热继电器的电气符号

1.3.3.5 热继电器的选择

选用热继电器时应按电动机形式、工作环境、启动情况及负荷情况等综合加以考虑。

(1) 热继电器的极数选择。轻载启动、长期工作的电动机或间断长期工作的电动机，一般可选择二相结构的热继电器；△形联结的电动机，应选用带断相保护装置的热继电器；电源电压的均衡性较差或无人看管的电动机，或多台电动机的功率差别较显著时，应选择三相结构的热继电器。

(2) 热继电器的整定电流。整定电流是指长期通过发热元件而不使热继电器动作的最大电流。原则上热继电器的额定电流应略大于电动机的额定电流。热继电器选定后，再根据电动机的额定电流调整热继电器的整定电流，使整定电流与电动机的额定电流相等。对于过载能力较差的电动机，把整定电流调整为电动机额定电流的 60%~80%。当电动机启动时间较长或电动机的负载是冲击性的负载（如冲床等）时，热继电器的整定电流应稍大于电动机的额定电流。

(3) 对于工作时间较短、间歇时间较长的电动机（如摇臂钻床的摇臂升降电动机等），以及虽然长期工作，但过载可能性很小的电动机（如排风机电动机等）可以不设过载保护。

1.3.3.6 热继电器的常见故障分析

热继电器常见故障的分析和排除见表 1-4。

表 1-4 热继电器常见故障的分析和排除

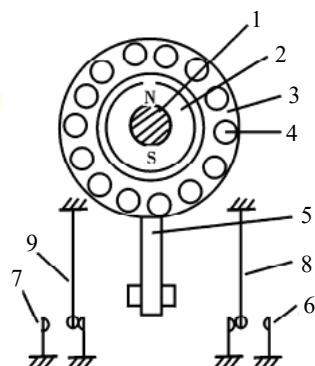
| 故障现象 | 原因分析 | 故障排除 |
|---------------|--|-------------------|
| 电动机过载时热继电器不动作 | 热继电器的动作机构卡死或导板脱出，热继电器的额定值选得太大，整定电流调节太大，热元件烧毁 | 重新调节、整定热继电器，更换热元件 |

续表

| 故障现象 | 原因分析 | 故障排除 |
|---------|------------------------------------|----------------|
| 热继电器误动作 | 热继电器的整定电流调节偏小, 电动机操作频率过快, 受强烈的冲击振动 | 调节整定电流, 采取减震措施 |
| 热元件烧断 | 负载侧短路或电流过大 | 更换合适的热继电器 |
| 控制电路不通 | 热继电器触点接触不良、弹性消失或未复位 | 更换或复位 |

1.3.4 速度继电器

速度继电器是通过电动机的转速信号和电磁感应原理来控制触点动作的电器, 当转速达到规定值时触点动作, 其结构主要由定子、转子和触点系统等组成, 如图 1-24 所示。



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

图 1-24 速度继电器的结构

定子是一个笼型空心圆环, 由硅钢片叠成, 并嵌有笼型导条; 转子是一个圆柱形永久磁铁; 触点系统有正向运转时动作和反向运转时动作的触点各一组, 每组有一对常闭和常开触点。

电动机旋转时, 与电动机同轴相连的速度继电器的转子旋转, 产生旋转磁场, 从而在定子笼型短路绕组中产生感应电流。感应电流与永久磁铁的旋转磁场相互作用产生电磁转矩, 从而使定子随永久磁铁转动的方向偏转。定子偏转一定角度时, 摆杆推动簧片, 触点动作。

速度继电器的文字符号为 BS, 图形符号如图 1-25 所示。

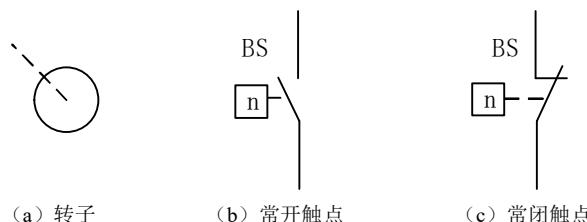


图 1-25 速度继电器的电气符号

常用的速度继电器有 JY1 和 JFZO 系列。JY1 系列可在 700~3600r/min 范围内可靠地工作, JFZO-1 型适用于 300~1000r/min, JFZO-2 型适用于 1000~3600r/min。两种系列均具有两对常开、常闭触点, 触点额定电压为 380V, 额定电流为 2A。



低压断路器

1.4 低压断路器

开关电器是广泛应用于配电系统和电气控制的低压器件，实现电源的隔离、电气设备的保护等功能。过去常用的开关电器是闸刀开关，这是一种手动器件，其结构简单、价格低廉，但是一般只具有短路保护功能，安全性能较低，目前已逐渐被低压断路器所代替。

低压断路器也称为自动空气开关，是一种既有手动开关作用又能自动进行欠电压、失电压、过载和短路保护的开关电器。通俗地讲，低压断路器是一种可以自动切断故障线路的保护开关，既可用来接通和分断负载电路，也可用来控制不频繁启动的电动机，其功能相当于闸刀开关、过电流继电器、失压继电器、热继电器及漏电保护器等电器部分功能的总和，是低压配电网中一种重要的保护电器，其外观如图 1-26 所示。



图 1-26 低压断路器的外观

1.4.1 低压断路器的结构及工作原理

低压断路器的分类标准有多种：按极数可分为单极式、两极式、三极式和四极式；按保护形式可分为电磁脱扣式、热脱扣式、复合脱扣式和无脱扣式；按结构形式可分为框架式 DW 系列（又称万能式）和塑壳式 DZ 系列（又称装置式）两大类。低压断路器的结构基本相同，主要由主触点、脱扣机构、过电流脱扣器、热脱扣器、欠电压脱扣器和按钮等组成，如图 1-27 所示。低压断路器的三个触点串联在三相主电路中，过电流脱扣器线圈和热脱扣器热元件与主电路电源串联，分励脱扣器和失压脱扣器线圈与主电路电源并联。

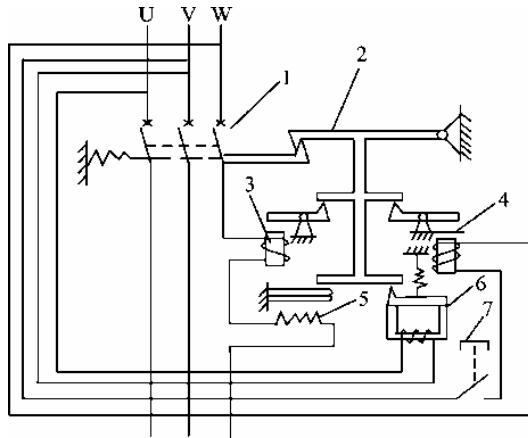
低压断路器的主触点是靠手动操作或电动合闸的。低压断路器投入运行时，主触点闭合，脱扣机构将主触点锁在合闸位置上，电路处于正常工作状态。

过电流脱扣器实现过流保护，当主电路电流超过整定值时，过电流脱扣器线圈磁场的吸力拉动衔铁推动自由脱扣机构动作，断路器跳闸。

热脱扣器用于过载保护，当电路过载时热脱扣器的热元件发热使双金属片向上弯曲，推动自由脱扣机构动作。

失压脱扣器用于电路欠压保护，当电路电压低于额定电压整定值或为零时，欠电压脱扣器的衔铁释放，使自由脱扣器机构动作。

分励脱扣器用于远程控制，在需要远程控制时，按下启动按钮，使线圈得电，衔铁带动脱扣机构动作，使主触点断开。



1—主触点；2—自由脱扣机构；3—过电流脱扣器；4—分励脱扣器；5—热脱扣器；6—失压脱扣器；7—按钮

图 1-27 低压断路器的结构

1.4.2 低压断路器的技术参数

低压断路器的电气符号如图 1-28 所示，主要技术参数如下：

- (1) 额定电压：断路器在长期工作时的允许电压，通常等于或大于电路的额定电压。
- (2) 额定电流：断路器在长期工作时的允许持续电流。
- (3) 通断能力：断路器在规定的电压、频率及规定的线路参数下，所能接通和分断的短路电流值。
- (4) 分断时间：断路器切断故障电流所需的时间。

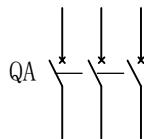


图 1-28 低压断路器的电气符号

1.4.3 低压断路器的选用

- (1) 断路器的额定电压和额定电流应大于或等于线路、设备的正常工作电压和电流。
- (2) 热脱扣器的整定电流应与所控制负载（如电动机）的额定电流一致。
- (3) 欠电压脱扣器的额定电压应等于线路的额定电压。
- (4) 过电流脱扣器的额定电流 I_Z 应大于或等于被保护线路的计算电流。对于单台电动机， $I_Z \geq kI_q$ ， I_q 为单台电动机的启动电流， k 为安全系数，取值为 1.5~1.7；对于多台电动机， $I_Z \geq kI_{q_{max}} + \sum I_e$ ， $I_{q_{max}}$ 为最大一台电动机的启动电流， $\sum I_e$ 为其他电动机额定电流之和。
- (5) 断路器的极限通断能力应大于线路的最大短路电流的有效值。
- (6) 配电线路中的上、下级断路器的保护特性应协调配合，下级的保护特性应位于上级保护特性的下方且不相交。
- (7) 断路器的长延时脱扣电流应小于导线允许的持续电流。