

电气控制基础

本模块导读

本模块主要分为三个项目展开教学，项目一为常用低压电器元件的选用与维修，主要介绍低压开关、熔断器、主令电器、接触器、继电器等常用电器的工作原理、用途、型号、规格、符号及其安装、故障维修；项目二为电气控制系统图的识读和绘制，通过介绍系统掌握电气控制系统图的识读和绘制方法；项目三为分析和设计电气控制线路的基本方法，主要介绍直接起动控制线路、顺序连锁控制线路、互锁控制线路、位置原则（行程限位）的控制线路、时间原则的控制线路、速度原则的控制线路等控制原理，通过对典型电器控制系统的分析，提高分析电气线路的能力，建立抽象动作概念，学会正确选择和合理使用常用电器设计电气控制线路，为后继模块的学习打下良好基础。

学习目标

知识目标

- 了解低压电器的定义，理解常用低压电器的工作原理和结构特点。
- 掌握常用低压电器元件的识别、选用与符号，掌握电气控制系统图的识读和绘制。
- 掌握分析和设计电气控制线路的基本方法。

能力目标

- 能解释常用低压电器的工作原理和结构特点。
- 能写出低压电器的型号、规格、符号，能正确识别和检测常用低压电器。
- 能正确分析和设计常用电气控制电路，能规范绘制电气控制电路图。
- 能正确使用常用电工安装检测工具、仪表，能独立按布线规则连接与检测电气控制线路。

- 能处理低压电器的常见故障。
- 培养制订、实施工作计划的能力和方案设计与评估决策能力。

项目一 常用低压电器元件的选用与维修

一、低压电器的基本知识

低压电器通常是指工作在交流 50 Hz 或 60 Hz、额定电压 1 200 V 及以下，或直流额定电压 1 500 V 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器。

(一) 电器的分类

电器是用来接通、断开、调节、控制、保护电路的电工器具。完全由控制电器组成的自动控制系统，称为继电器—接触器控制系统，简称电器控制系统。

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，结构各异。下面是几种常用的电器分类。

1. 按工作电压等级分类

(1) 高压电器。用于交流电压 1 200 V 以上、直流电压 1 500 V 以上电路中的电器。如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器等。

(2) 低压电器。用于交流 50 Hz (或 60 Hz)，额定电压为 1 200 V 及以下；直流额定电压 1 500 V 及以下的电路中的电器。如接触器、继电器等。

2. 按动作原理分类

(1) 手动电器。用手或依靠机械力进行操作的电器。如手动开关、控制按钮、行程开关等。

(2) 自动电器。借助于电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的电器。如接触器、各种类型的继电器、电磁阀等。

3. 按用途分类

(1) 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、电动机启动器等。

(2) 主令电器。用于自动控制系统中发送动作指令的电器。如按钮、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。如熔断器、热继电器、各种保护继电器、避雷器等。

(4) 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。

(5) 配电电器。用于电能的输送和分配的电器。如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动空气开关等。

4. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器。依据电磁感应原理进行工作的电器。如接触器、各种类型的电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器。依靠外力或某种非物理量的变化而动作的电器。如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、温度继电器等。

(二) 电器的作用

低压电器能够依据操作信号或外界现场信号的要求，自动或手动地改变电路的状态、参

数,实现对电路或被控对象的控制、保护、测量、指示和转换。低压电器的作用有以下几个方面。

(1) 控制作用。如电梯的上下移动、快慢速自动切换与自动停层等。

(2) 保护作用。能根据设备的特点,对设备、环境及人身实行自动保护,如电机的过热保护、电网的短路保护、漏电保护等。

(3) 测量作用。利用仪表及与之相适应的电器,对设备、电网或其他非电参数进行测量,如电流、电压、功率、转速、温度、湿度等。

(4) 调节作用。低压电器可对一些电量和非电量进行调整,以满足用户的要求,如柴油机油门的调整、房间温湿度的调节、照度的自动调节等。

(5) 指示作用。利用低压电器的控制、保护等功能,检测出设备运行状况与电气电路工作情况,如绝缘监测、保护掉牌指示等。

(6) 转换作用。在用电设备之间转换或对低压电器、控制电路分时投入运行,以实现功能切换,如励磁装置手动与自动的转换,供电的市电与自备电的切换等。

当然,低压电器的作用远不止这些,随着科学技术的发展,新功能、新设备会不断出现,常用低压电器的主要种类和用途如表 1-1-1 所示。

对低压配电电器的要求是灭弧能力强、分断能力好,热稳定性能好、限流准确等。对低压控制电器,则要求其动作可靠、操作频率高、寿命长并具有一定的负载能力。

表 1-1-1 常见低压电器的主要种类及用途

序号	类别	主要品种	用途
1	断路器	塑料外壳式断路器	主要用于电路的过负荷保护、短路、欠电压、漏电压保护,也可用于不频繁接通和断开的电路
		框架式断路器	
		限流式断路器	
		漏电保护式断路器	
		直流快速断路器	
2	刀开关	开关板用刀开关	主要用于电路的隔离,有时也能分断负荷
		负荷开关	
		熔断器式刀开关	
3	转换开关	组合开关	主要用于电源切换,也可用于负荷通断或电路的切换
		换向开关	
4	主令电器	按钮	主要用于发布命令或程序控制
		限位开关	
		微动开关	
		接近开关	
		万能转换开关	
5	接触器	交流接触器	主要用于远距离频繁控制负荷,切断带负荷电路
		直流接触器	

续表

序号	类别	主要品种	用途
6	起动器	磁力起动器	主要用于电动机的起动
		星三起动器	
		自耦减压起动器	
7	控制器	凸轮控制器	主要用于控制回路的切换
		平面控制器	
8	继电器	电流继电器	主要用于控制电路中,将被控量转换成控制电路所需电量或开关信号
		电压继电器	
		时间继电器	
		中间继电器	
		温度继电器	
		热继电器	
9	电磁铁	制动电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等场合
		起重电磁铁	
		牵引电磁铁	
10	熔断器	有填料熔断器	主要用于电路短路保护,也用于电路的过载保护
		无填料熔断器	
		半封闭插入式熔断器	
		快速熔断器	
		自复熔断器	

二、常用低压配电电器（开关）

开关是最普通、使用最早的电器。其作用是分合电路、开断电流。常用的有刀开关、隔离开关、负荷开关、转换开关（组合开关）、自动空气开关（空气断路器）等。

开关有有载运行操作、无载运行操作、选择性运行操作之分；又有正面操作、侧面操作、背面操作几种；还有不带灭弧装置和带灭弧装置之分。刀口接触类型有面接触和线接触两种，线接触形式，刀片容易插入，接触电阻小，制造方便。开关常采用弹簧片以保证接触良好。

（一）低压刀开关

低压刀开关是一种低压手动非电量控制配电（控制）电器。

1. 结构和符号

常用的 HD 系列和 HS 系列刀开关的外形如图 1-1-1 所示。刀开关的图形和文字符号如图 1-1-2 所示。刀开关的主要类型有：大电流刀开关、负荷开关、熔断器式刀开关。常用的产品有 HD11~HD14 和 HS11~HS13 系列刀开关。

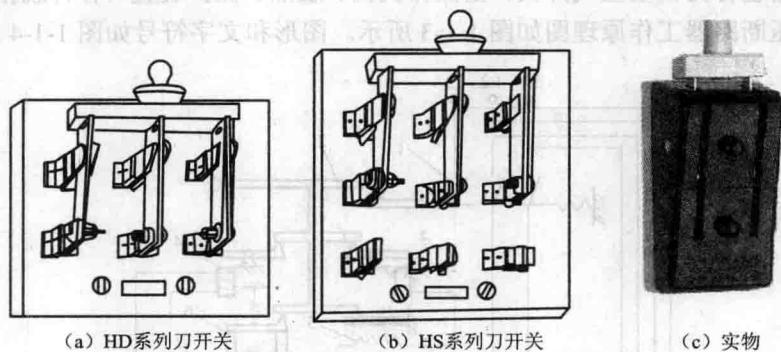


图 1-1-1 HD 系列、HS 系列刀开关外形图

2. 作用

刀开关是手动电器中结构最简单的一种，主要用作电源隔离、配电开关，也可用来控制非频繁（每小时不能大于 15~20 次）地接通和分断容量较小的低压配电线路。

3. 安装方法

应安装在控制箱的右上方，并且上方不能安装其他电器，接线时应将电源线接在上端，负载接在下端，这样拉闸后刀片与电源隔离，可防止意外事故发生。

4. 选用

选择刀开关时应考虑以下两个方面。

(1) 刀开关结构形式的选择。应根据刀开关的作用和装置的安装形式来选择，如是否带灭弧装置，若分断负载电流时，应选择带灭弧装置的刀开关；根据装置的安装形式来选择，是否是正面、背面或侧面操作形式，是直接操作还是杠杆传动，是板前接线还是板后接线的结构形式。

(2) 刀开关的额定电流的选择。一般应等于或大于所分断电路中各个负载额定电流的总和。对于电动机负载，应考虑其起动电流，所以应选用额定电流大一级的刀开关。若再考虑电路出现的短路电流，还应选用额定电流更大一级的刀开关。

QA 系列、QF 系列及 QSA (HH15) 系列隔离开关用在低压配电中，HY122 带有明显断口的数模化隔离开关，广泛用于楼层配电、计量箱、终端组电器中。

HR3 熔断器式刀开关，具有刀开关和熔断器的双重功能，采用这种组合开关，可以简化配电装置结构，经济实用，越来越广泛地用在低压配电屏上。

HK1 系列、HK2 系列开启式负荷开关（胶壳刀开关），用作电源开关和小容量电动机非频繁起动的操作开关。

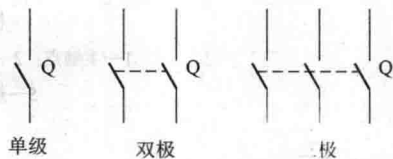


图 1-1-2 刀开关的图形、文字符号

HH3 系列、HH4 系列封闭式负荷开关（铁壳开关），操作机构具有速断弹簧与机械连锁，用于非频繁起动、28 kW 以下的三相异步电动机。

（二）低压断路器

1. 低压断路器结构、符号和工作原理

低压断路器也称为自动空气开关，由操作机构、触点、保护装置（各种脱扣器）、灭弧系统等组成。低压断路器工作原理图如图 1-1-3 所示。图形和文字符号如图 1-1-4 所示。

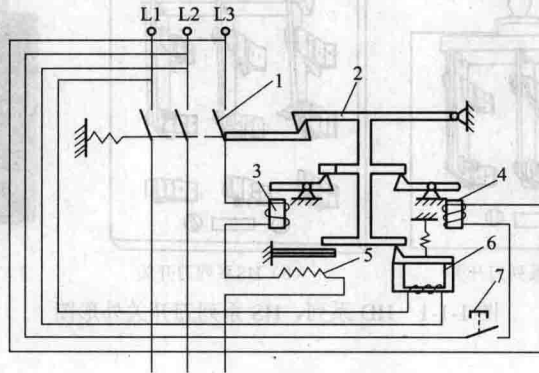
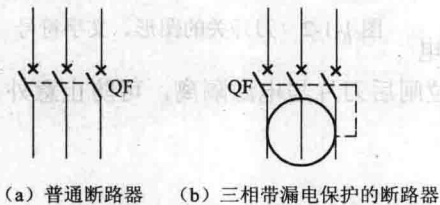


图 1-1-3 低压断路器工作原理图

- 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—欠电压脱扣器；7—停止按钮



(a) 普通断路器 (b) 三相带漏电保护的断路器

图 1-1-4 低压断路器图形和文字符号

低压断路器的主触点是靠手动操作或电动合闸的。主触点闭合后，自由脱扣机构将主触点锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联，欠电压脱扣器的线圈和电源并联。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器的衔铁吸合，使自由脱扣机构动作，主触点断开主电路；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；当电路欠电压时，欠电压脱扣器的衔铁释放，也使自由脱扣机构动作。分励脱扣器则作为远距离控制用，在正常工作时，其线圈是断电的，在需要距离控制时，按下起动按钮，使线圈通电，衔铁带动自由脱扣机构动作，使主触点断开。

2. 低压断路器典型产品

低压断路器主要分类方法是以结构形式分类，即开启式和装置式两种。开启式又称为框架式或万能式，装置式又称为塑料壳式。

1) 装置式低压断路器

装置式低压断路器有绝缘塑料外壳，内装触点系统、灭弧室及脱扣器等，可手动或电动（对大容量断路器而言）合闸。有较高的分断能力和动稳定性，有较完善的选择性保护功能，广泛用于配电线路。

目前常用的有 DZ15、DZ20、DZ47 和 C45N（目前已升级为 C65N）等系列产品。其中 C45N（C65N）断路器具有体积小，分断能力高、限流性能好、操作轻便，型号规格齐全、可以方便地在单极结构基础上组合成二极、三极、四极断路器的优点，广泛使用

在 60 A 及以下的民用照明支干线及支路中（多用于住宅用户的进线开关及商场照明支路开关）。DZ47 系列低压断路器实物图如图 1-1-5 和图 1-1-6 所示。

2) 框架式低压断路器

框架式低压断路器一般容量较大，具有较高的短路分断能力和较高的动稳定性。适用于交流 50 Hz，额定电流 380 V 的配电网中作为配电干线的主保护。



图 1-1-5 DZ47-60 低压断路器实物图

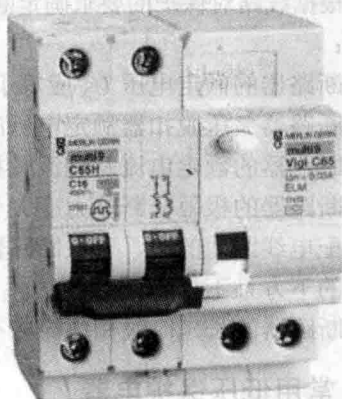


图 1-1-6 DZ47LE-32 漏电断路器实物图

框架式断路器主要由触点系统、操作机构、过电流脱扣器、分励脱扣器及欠压脱扣器、附件及框架等部分组成，全部组件进行绝缘后装于框架结构底座中。

目前我国常用的框架式低压断路器有 DW15、ME、AE、AH 等系列。DW15 系列断路器是我国自行研制生产的，全系列有 1 000、1 500、2 500 和 4 000 A 等几个型号。

ME、AE、AH 等系列断路器是利用引进技术生产的。它们的规格型号较为齐全（ME 开关电流等级从 630 ~ 5 000 A 共 13 个等级），额定分断能力较 DW15 更强，常用于低压配电干线的主保护。

3) 智能化断路器

目前国内生产的智能化断路器有框架式和塑料外壳式两种。框架式智能化断路器主要用于智能化自动配电系统中的主断路器，塑料外壳式智能化断路器主要用在配电网中分配电能和作为线路及电源设备的控制与保护，亦可用作三相笼型异步电动机的控制。智能化断路器的特征是采用了以微处理器或单片机为核心的智能控制器（智能脱扣器），它不仅具备普通断路器的各种保护功能，同时还具备实时显示电路中的各种电气参数（电流、电压、功率、功率因数等），对电路进行在线监视、自行调节、测量、试验、自诊断、可通信等功能，能够对各种保护功能的动作参数进行显示、设定和修改，保护电路动作时的故障参数能够存储在非易失存储器中以便查询，国内 DW45、DW40、DW914(AH)、DW18(AE-S)、DW48、DW19(3WE)、DW17(ME) 等智能化框架断路器和智能化塑壳断路器，都配有 ST 系列智能控制器及配套附件，ST 系列智能控制器是国家机械部“八五”至“九五”期间的重点项目。产品性能指标达到国际 20 世纪 90 年代先进水平。它采用积木式配套方案，可直接安装于断路器本体中，无须重复二次接线，并可多种方案任意组合。

3. 作用

可用来接通和分断负载电路，也可用来控制不频繁起动的电动机。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或全部的功能总和，是低压配电网中一种重要的保护电器。

低压断路器具有多种保护功能（过载、短路、欠电压保护等）、动作值可调、分断能力高、操作方便、安全等优点，所以目前被广泛应用。

4. 低压断路器的选用原则

(1) 根据线路对保护的要求确定断路器的类型和保护形式——确定选用框架式、装置式或限流式等；

(2) 断路器的额定电压 U_N 应等于或大于被保护线路的额定电压；

(3) 断路器欠压脱扣器额定电压应等于被保护线路的额定电压；

(4) 断路器的额定电流及过流脱扣器的额定电流应大于或等于被保护线路的计算电流；

(5) 断路器的极限分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。

三、常用低压保护电器

(一) 熔断器

1. 熔断器结构、符号和工作原理

熔断器的结构一般分成熔体座和熔体等部分。熔断器是串联在被保护电路中的，当电路电流超过一定值时，熔体因发热而熔断，使电路被切断，从而起到保护作用。熔体的热量与通过熔体电流的平方及持续通电时间成正比，当电路短路时，电流很大，熔体急剧升温，立即熔断，当电路中电流值等于熔体额定电流时，熔体不会熔断。熔断器的图形和文字符号如图 1-1-7 所示。

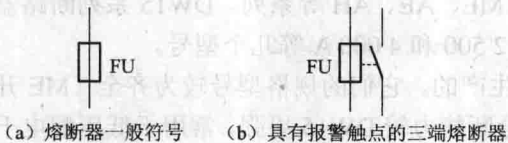


图 1-1-7 熔断器的图形和文字符号

图 1-1-7 所示。

2. 常用熔断器典型产品

1) 插入式熔断器 (RC1A 系列)

如图 1-1-8 所示，插入式熔断器结构简单，由熔断器瓷底座和瓷盖两部分组成。熔丝用螺钉固定在瓷盖内的铜闸片上，使用时将瓷盖插入底座，拔下瓷盖便可更换熔丝。由于该熔断器使用方便、价格低廉而应用广泛。它常用于 380 V 及以下电压等级的线路末端，作为配电支线或电气设备的短路保护用。熔断器额定电流为 5~200 A，但极限分断能力较差，由于该熔断器为半封闭结构，熔丝熔断时有声光现象，对易燃易爆的工作场合应禁止使用。

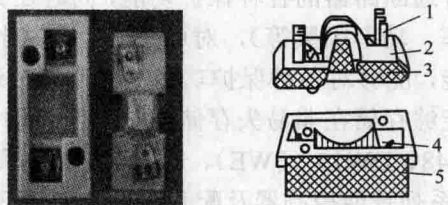


图 1-1-8 插入式熔断器

1—动触点；2—熔体；3—瓷盖；4—静触点；5—瓷底座

2) 螺旋式熔断器 (RL1 系列)

如图 1-1-9 所示。螺旋式熔断器由瓷帽、熔管和底座等组成。熔管内装有石英砂、熔丝

和带小红点的熔断指示器。当从瓷帽玻璃窗口观测到带小红点的熔断指示器自动脱落时，表示熔丝熔断了。熔管的额定电压为交流 500 V，额定电流为 2~200 A。常用于机床控制线路。

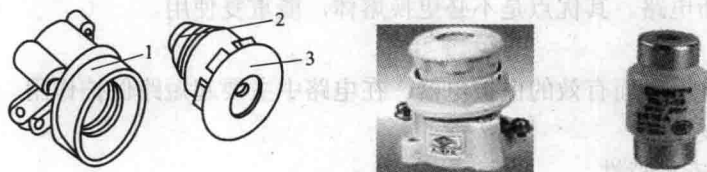


图 1-1-9 螺旋式熔断器

1—底座；2—熔管；3—瓷帽

3) 封闭式熔断器

封闭式熔断器分有填料熔断器 (RT0 系列) 和无填料熔断器 (RM10 系列) 两种，如图 1-1-10 和图 1-1-11 所示。有填料熔断器一般用方形瓷管，内装石英砂及熔体，分断能力强，用于电压等级 500 V 以下、电流等级 1 kA 以下的配电装置中。无填料密闭式熔断器将熔体装入密闭式圆筒中，分断能力稍小，RM10 系列的极限分断能力比 RC1A 熔断器有所提高，适用于 500 V 以下、600 A 以下电力网或配电设备中。



图 1-1-10 无填料密闭管式熔断器

1—铜圈；2—熔断管；3—管帽；4—插座；5—特殊垫圈；6—熔体；7—熔片

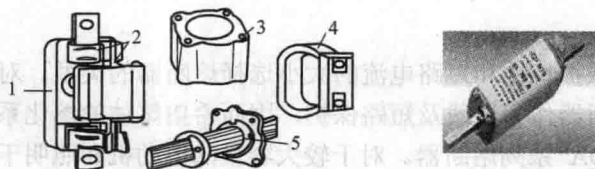


图 1-1-11 有填料封闭管式熔断器

1—瓷底座；2—弹簧片；3—管体；4—绝缘手柄；5—熔体

4) 快速熔断器

它主要用于半导体整流元件或整流装置的短路保护。由于半导体元件的过载能力很低，只能在极短时间内承受较大的过载电流，因此要求短路保护具有快速熔断的能力。快速熔断器的结构和有填料封闭式熔断器基本相同，但熔体材料和形状不同，它是用银片冲制的有 V 形深槽的变截面熔体。如图 1-1-12 所示。

5) 自复熔断器

采用金属钠作熔体，在常温下具有高电导率。当电路发生短



图 1-1-12 快速熔断器实物图

路故障时，短路电流产生高温使钠迅速气化，气态钠呈现高阻态，从而限制了短路电流。当短路电流消失后，温度下降，金属钠恢复原来的良好导电性能。自复熔断器只能限制短路电流，不能真正分断电路。其优点是不必更换熔体，能重复使用。

3. 作用

熔断器是一种简单而有效的保护电器。在电路中主要起短路保护作用。

4. 熔断器的选择

1) 熔断器的安秒特性

熔断器的动作是靠熔体的熔断来实现的，当电流较大时，熔体熔断所需的时间就较短。

而电流较小时，熔体熔断所需用的时间就较长，甚至不会熔断。

因此对熔体来说，其动作电流和动作时间特性即熔断器的安秒特性，为反时限特性，如图 1-1-13 所示。

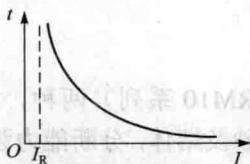


图 1-1-13 熔断器的安秒特性

每一熔体都有一最小熔化电流。对应于不同的温度，最小熔化电流也不同。虽然该电流受外界环境的影响，但在实际应用中可以不加考虑。一般定义熔体的最小熔断电流与熔体的额定电流

之比为最小熔化系数，常用熔体的熔化系数大于 1.25，也就是说额定电流为 10 A 的熔体在电流 12.5 A 以下时不会熔断。熔断电流与熔断时间之间的关系如表 1-1-2 所示。

由此可以看出，熔断器只能起到短路保护作用，不能起过载保护作用。如确需在过载保护中使用，必须降低其使用的额定电流，如 8 A 的熔体用于 10 A 的电路中，作短路保护兼作过载保护用，但此时的过载保护特性并不理想。

表 1-1-2 熔断电流与熔断时间之间的关系

熔断电流	1.25~1.3 I_N	1.6 I_N	2 I_N	2.5 I_N	3 I_N	4 I_N
熔断时间	∞	1 h	40 s	8 s	4.5 s	2.5 s

2) 熔断器的选择

主要依据负载的保护特性和短路电流的大小选择熔断器的类型。对于容量小的电动机和照明支线，常采用熔断器作为过载及短路保护，因而希望熔体的熔化系数适当小些。通常选用铅锡合金熔体的 RQA 系列熔断器。对于较大容量的电动机和照明干线，则应着重考虑短路保护和分断能力宜选用具有较高分断能力的 RM10 和 RL1 系列的熔断器；当短路电流很大时，宜采用具有限流作用的 RT0 和 RT12 系列的熔断器。

熔体的额定电流可按以下方法选择。

(1) 保护无起动过程的平稳负载如照明线路、电阻、电炉等时，熔体额定电流略大于或等于负荷电路中的额定电流。

(2) 保护单台长期工作的电机时，熔体电流可按最大起动电流选取，也可按下式选取

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N$$

式中， I_{RN} ——熔体额定电流；

I_N ——电动机额定电流。

如果电动机频繁起动，式中系数可适当加大至 3~3.5，具体应根据实际情况而定。

(3) 保护多台长期工作的电机（供电干线）时，熔体电流可按下式选取

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{N\max} + \sum I_N$$

式中, $I_{N\max}$ ——容量最大单台电机的额定电流;

$\sum I_N$ ——电动机额定电流之和。

3) 熔断器的级间配合

为防止发生越级熔断、扩大事故范围,上、下级(即供电干、支线)线路的熔断器间应有良好配合。选用时,应使上级(供电干线)熔断器的熔体额定电流比下级(供电支线)的大1~2个级差。

(二) 热继电器

1. 继电器结构、符号和工作原理

热继电器主要由热元件、双金属片和触点组成,如图1-1-14所示。热元件由发热电阻丝做成,双金属片由两种热膨胀系数不同的金属辗压而成,当双金属片受热时,会出现弯曲变形。使用时,把热元件串接于电动机的主电路中,而常闭触点串接于电动机的控制电路中。

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的触点动作。当电动机过载时,双金属片弯曲位移增大,推动导板使常闭触点断开,从而切断电动机控制电路以起保护作用。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复位。热继电器动作电流的调节可以借助旋转凸轮于不同位置来实现。热继电器实物图如图1-1-15所示,其图形及文字符号如图1-1-16所示。

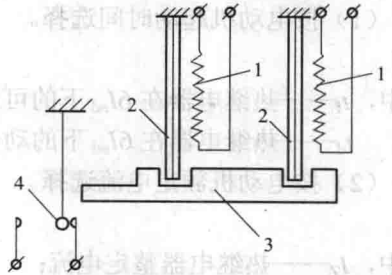


图 1-1-14 热继电器原理示意图

1—热元件; 2—双金属片; 3—导板; 4—触点复位

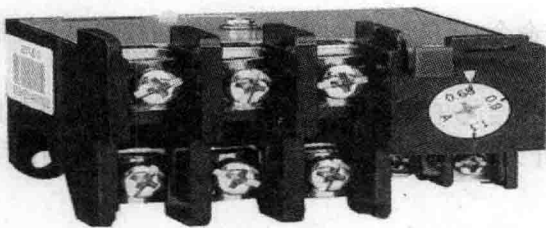


图 1-1-15 JR36-20 型热继电器实物图

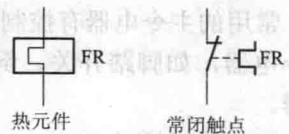


图 1-1-16 热继电器的图形及文字符号

2. 常用热继电器的典型产品

我国目前生产的热继电器主要有JR0、JR1、JR2、JR9、R10、JR15、JR16等系列, JR1、JR2系列热继电器采用间接受热方式,其主要缺点是双金属片靠发热元件间接加热,热耦合较差;双金属片的弯曲程度受环境温度影响较大,不能正确反映负载的过流情况。

JR15、JR16等系列热继电器采用复合加热方式并采用了温度补偿元件,因此较能正确反映负载的工作情况。

JR1、JR2、JR0和JR15系列的热继电器均为两相结构,是双热元件的热继电器,可以用作三相异步电动机的均衡过载保护和定子绕组为Y联接的三相异步电动机的断相保护,但不

能用作定子绕组为 Δ 联接的三相异步电动机的断相保护。

JR16 和 JR20 系列热继电器均有带有断相保护的热继电器，具有差动式断相保护机构。热继电器的选择主要根据电动机定子绕组的联接方式来确定热继电器的型号，在三相异步电动机电路中，对 Y 联接的电动机可选两相或三相结构的热继电器，一般采用两相结构的热继电器，即在两相主电路中串接热元件。对于三相感应电动机，定子绕组为 Δ 联接的电动机必须采用带断相保护的热继电器。

3. 热继电器的作用

热继电器 (FR) 主要用于电力拖动系统中电动机负载的过载保护。

电动机在实际运行中，常会遇到过载情况，但只要过载不严重、时间短，绕组不超过允许的温升，这种过载是允许的。但如果过载情况严重、时间长，则会加速电动机绝缘的老化，缩短电动机的使用年限，甚至烧毁电动机，因此必须对电动机进行过载保护。

4. 热继电器的熔断选择

(1) 按电动机起动时间选择。

$$t_f = (0.5 \sim 0.7) t_d$$

式中， t_f ——热继电器在 $6I_{ed}$ 下的可返回时间；

t_d ——热继电器在 $6I_{ed}$ 下的动作时间。

(2) 按电动机额定电流选择。

$$I_Z = (0.95 \sim 1.05) I_{ed}$$

式中， I_Z ——热继电器整定电流；

I_{ed} ——电动机额定电流。

(3) 按断相保护要求选择。对于星形接法的电动机，采用三极热继电器即可；对于三角形接法的电动机，应采用带断相运转保护装置的热继电器。

四、主令电器

控制系统中，主令电器是一种专门发布命令、直接或通过电磁式电器间接作用于控制电路的电器。常用来控制电力拖动系统中电动机的起动、停车、调速及制动等。

常用的主令电器有控制按钮、行程开关、接近开关、万能转换开关、主令控制器及其他主令电器，如脚踏开关、倒顺开关、紧急开关、钮子开关等。本节仅介绍几种常用的主令电器。

(一) 控制按钮

1. 控制按钮的作用

控制按钮是一种结构简单、使用广泛的手动主令电器，它可以与接触器或继电器配合，对电动机实现远距离的自动控制，用于实现控制线路的电气联锁。

在电器控制线路中，常开按钮常用来起动电动机，也称起动按钮；常闭按钮常用于控制电动机停车，也称停车按钮；复合按钮用于联锁控制电路中。

2. 控制按钮的结构、符号和工作原理

图 1-1-17 所示为控制按钮的实物图。如图 1-1-18 所示，控制按钮是由按钮帽、复位弹簧、桥式触点和外壳等组成，通常做成复合式，即具有常闭触点和常开触点。按下按钮时，先断开常闭触点，后接通常开触点；按钮释放后，在复位弹簧的作用下，按钮触点自动复位的先

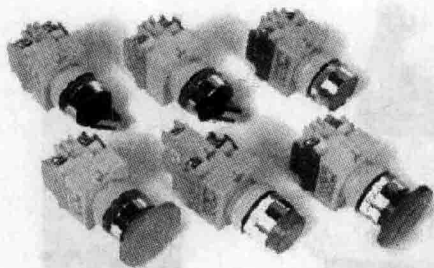


图 1-1-17 Y090-1 型控制按钮实物图

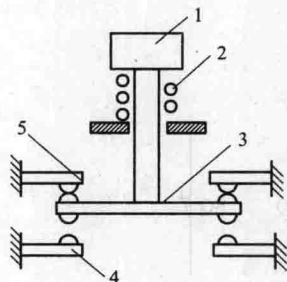


图 1-1-18 按钮开关结构示意图

1—按钮帽；2—复位弹簧；3—动触点；
4—常开静触点；5—常闭静触点



图 1-1-19 按钮开关的图形和文字符号

后顺序相反。通常，在无特殊说明的情况下，有触点电器的触点动作顺序均为“先断后合”。控制按钮的图形及文字符号如图 1-1-19 所示。

3. 控制按钮的典型产品

控制按钮的种类很多，在结构上有掀钮式、紧急式、钥匙式、旋钮式、带灯式和打碎玻璃按钮。常用的控制按钮有 LA2、LA18、LA20、LAY1 和 SFAN-1 型系列按钮。SFAN-1 型为消防打碎玻璃按钮。LA2 系列为仍在使用的老产品，新产品有 LA18、LA19、LA20 等系列。其中 LA18 系列采用积木式结构，触点数目可按需要拼装至六常开六常闭，一般装成二常开二常闭。LA19、LA20 系列有带指示灯和不带指示灯两种，前者按钮帽用透明塑料制成，兼作指示灯罩。

4. 按钮的熔断选择

按钮选择的主要依据是其使用场所、所需要的触点数量、种类及颜色。

(二) 行程开关

1. 行程开关的作用

行程开关又称限位开关，用于控制机械设备的行程及限位保护。在实际生产中，将行程开关安装在预先安排的位置，当装于生产机械运动部件上的模块撞击行程开关时，行程开关的触点动作，实现电路的切换。因此，行程开关是一种根据运动部件的行程位置而切换电路的电器，它的作用原理与按钮类似。行程开关广泛用于各类机床和起重机械，用以控制其行程、进行终端限位保护。在电梯的控制电路中，还利用行程开关来控制开关轿门的速度、自动开关门的限位，轿厢的上、下限位保护。

2. 行程开关的结构、符号和工作原理

行程开关的图形及文字符号如图 1-1-20 所示，图 1-1-21 所示为行程开关的实物图。

行程开关按其结构可分为直动式、滚轮式、微动式和组合式 4 种类型。

(1) 直动式行程开关。其结构原理如图 1-1-22 所示，其动作原理与按钮开关相同，但其触点的分合速度取决于生产机械的运行速度，不宜用于速度低于 0.4 m/min 的场合。

(2) 滚轮式行程开关。其结构原理如图 1-1-23 所示，当被控机械上的撞块撞击带有滚轮的撞杆时，撞杆转向右边，带动凸轮转动，顶下推杆，使微动开关中的触点迅速动作；当运动机械返回时，在复位弹簧的作用下，各部分动作部件复位。

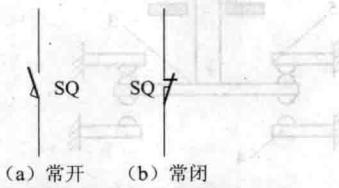


图 1-1-20 行程开关的图形及文字符号

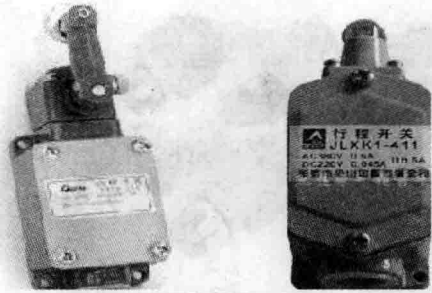


图 1-1-21 JLXK1-411 型行程开关的实物图

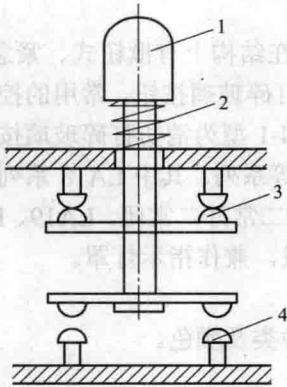


图 1-1-22 直动式行程开关

1—推杆；2—弹簧；3—动断触点；4—动合触点

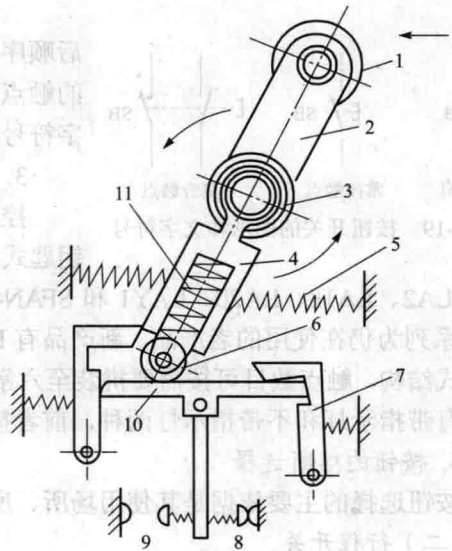


图 1-1-23 滚轮式行程开关

1—滚轮；2—上转臂；3、5、11—弹簧；4—套架；6—滑轮；
7—压板；8、9—触点；10—横板

滚轮式行程开关又分为单滚轮自动复位式和双滚轮（羊角式）非自动复位式两种，双滚轮行程开关具有两个稳态位置，有“记忆”作用，在某些情况下可以简化线路。

(3) 微动式行程开关。其结构如图 1-1-24 所示。常用的有 LXW-11 系列产品。

(三) 接近开关

1. 接近开关的作用

接近式位置开关是一种非接触式的位置开关，简称接近开关。它由感应头、高频振荡器、放大器和外壳组成。当运动部件与接近开关的感应头接近时，就使其输出一个电信号，从而起到“开”、“关”的控制作用。可用于高速计数、测速、液面控制、检测物体的存在、检测零件尺寸等许多场合。

2. 接近开关的结构、符号和工作原理

接近开关分为电感式和电容式两种。接近开关的图形及文字符号如图 1-1-25 所示，图 1-1-26 所示为接近开关的实物图。

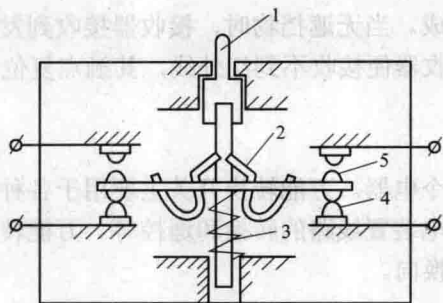


图 1-1-24 微动式行程开关

1—推杆；2—弹簧；3—压缩弹簧；4—动断触点；5—动合触点

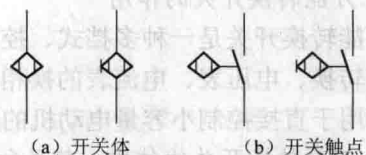


图 1-1-25 接近开关图形及文字符号

电感式接近开关的感应头是一个具有铁氧体磁芯的电感线圈，只能用于检测金属体。振荡器在感应头表面产生一个交变磁场，当金属块接近感应头时，金属中产生的涡流吸收了振荡的能量，使振荡减弱以至停振，因而产生振荡和停振两种信号，经整形放大器转换成二进制的开关信号，从而起到“开”、“关”的控制作用。

电容式接近开关的感应头是一个圆形平板电极，与振荡电路的地线形成一个分布电容，当有导体或其他介质接近感应头时，电容量增大而使振荡器停振，经整形放大器输出电信号。电容式接近开关既能检测金属，又能检测非金属及液体。

常用的电感式接近开关型号有 LJ1、LJ2 等系列，电容式接近开关型号有 LXJ15、TC 等系列产品。

(四) 红外线光电开关

1. 红外线光电开关作用

红外线光电开关也是一种非接触式的开关，当运动部件遮挡红外线时，就使其输出一个电信号，从而起到“开”、“关”的控制作用，光电开关和接近开关的用途已远超出一般行程控制和限位保护，可用于高速计数、测速、液面控制、检测物体的存在、检测零件尺寸等许多场合。

2. 红外线光电开关的结构、符号和工作原理

红外线光电开关有对射式和反射式两种，图 1-1-27 所示为反射式光电开关的实物图。反射式光电开关是利用物体对光电开关发射出的红外线反射回去，由光电开关接收，从而判断是否有物体存在。如有物体存在，光电开关接收到红外线，其触点动作，否则其触点复位。

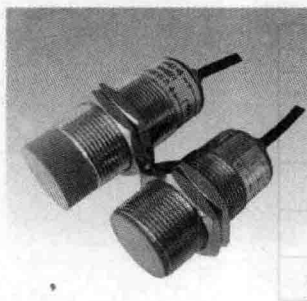


图 1-1-26 接近开关实物图

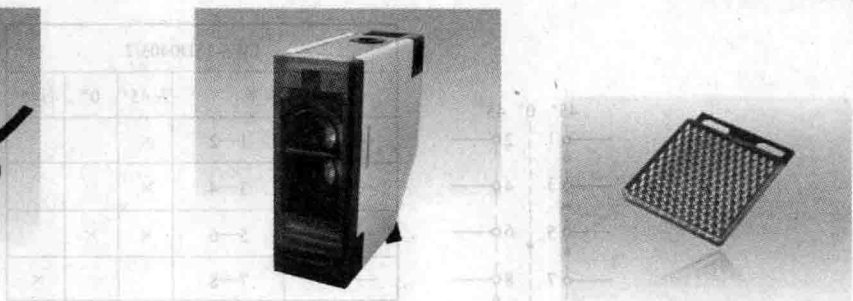


图 1-1-27 WL34-R230 型反射板光电开关、镜面反射板实物图

对射式光电开关是由分离的发射器和接收器组成。当无遮挡物时，接收器接收到发射器发出的红外线，其触点动作；当有物体挡住时，接收器便接收不到红外线，其触点复位。

(五) 万能转换开关

1. 万能转换开关的作用

万能转换开关是一种多挡式、控制多回路的主令电器。万能转换开关主要用于各种控制线路的转换、电压表、电流表的换相测量控制、配电装置线路的转换和遥控等。万能转换开关还可用于直接控制小容量电动机的起动、调速和换向。

2. 万能转换开关的结构、符号和工作原理

图 1-1-28 所示为万能转换开关单层的结构示意图，图 1-1-29 所示为万能转换开关的实物图。

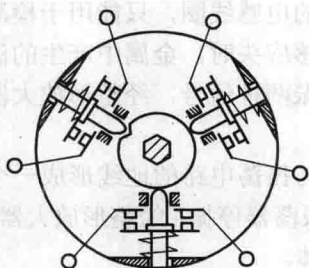


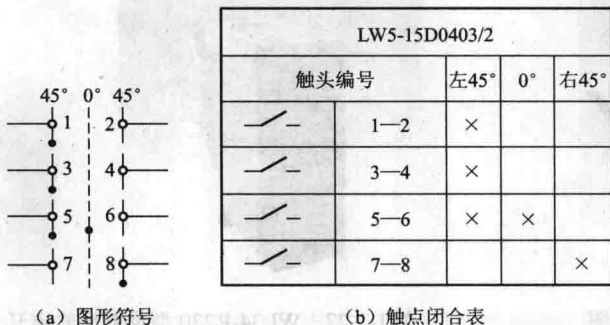
图 1-1-28 万能转换开关结构示意图



图 1-1-29 HZ5B 型万能转换开关实物图

常用产品有 LW5 和 LW6 系列。LW5 系列可控制 5.5 kW 及以下的小容量电动机；LW6 系列只能控制 2.2 kW 及以下的小容量电动机。用于可逆运行控制时，只有在电动机停车后才允许反向起动。LW5 系列万能转换开关手柄的操作方式可分为自复式和自定位式两种。所谓自复式是指用手拨动手柄于某一挡位时，手松开后，手柄自动返回原位；定位式则是指手柄被置于某挡位时，不能自动返回原位而停在该挡位。

万能转换开关的手柄操作位置是以角度表示的。不同型号的万能转换开关的手柄有不同万能转换开关的触点，电路图中的图形符号如图 1-1-30 所示。但由于其触点的分合状态与操作手柄的位置有关，所以，除在电路图中画出触点图形符号外，还应画出操作手柄与触点分合状态的关系。图中当万能转换开关打向左 45° 时，触点 1—2、3—4、5—6 闭合，触点 7—8 打开；打向 0° 时，只有触点 5—6 闭合；当开关打向右 45° 时，触点 7—8 闭合，其余打开。



(a) 图形符号

(b) 触点闭合表

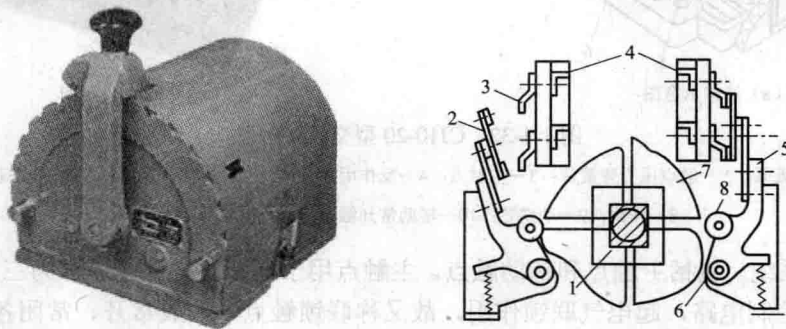
图 1-1-30 万能转换开关的图形符号

(六) 主令控制器

主令控制器是一种频繁对电路进行接通和切断的电器。通过它的操作，可以对控制电路发布命令，与其他电路联锁或切换。常配合磁力起动器对绕线式异步电动机的起动、制动、调速及换向实行远距离控制，广泛用于各类起重机械的拖动电动机的控制系统中。

主令控制器一般由外壳、触点、凸轮、转轴等组成，与万能转换开关相比，它的触点容量大，操纵挡位也较多。主令控制器的动作过程与万能转换开关相类似，也是由一块可转动的凸轮带动触点动作。

常用的主令控制器有 LK5 和 LK6 系列，其中 LK5 系列有直接手动操作、带减速器的机械操作与电动机驱动等三种型式的产品。LK6 系列是由同步电动机和齿轮减速器组成定时元件，由此元件按规定的顺序，周期性地分合电路。控制电路中，主令控制器触点的图形符号及操作手柄在不同位置时的触点分合状态表示方法与万能转换开关相似。从结构上讲，主令控制器分为两类：一类是凸轮可调式主令控制器；一类是凸轮固定式主令控制器。图 1-1-31 所示为凸轮可调式主令控制器的外形及结构原理图。



(a) 外形图

(b) 结构原理图

图 1-1-31 凸轮可调式主令控制器

1—凸轮块；2—动触点；3—静触点；4—接线端子；5—支杆；6—转动轴；7—凸轮块；8—小轮

五、常用低压控制电器

(一) 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。它可以频繁地接通或分断交直流电路，并可实现远距离控制。其主要控制对象是电动机，也可用于电热设备、电焊机、电容器组等其他负载。它还具有低电压释放保护功能。接触器具有控制容量大、过载能力强、寿命长、设备简单经济等特点，是电力拖动自动控制线路中使用最广泛的电器元件。

按照所控制电路的种类，接触器可分为交流接触器和直流接触器两大类。

1. 交流接触器

1) 交流接触器结构与工作原理

图 1-1-32 所示为交流接触器的外形与结构示意图。交流接触器由以下 4 部分组成。

(1) 电磁机构。电磁机构由线圈、动铁芯（衔铁）和静铁芯组成，其作用是将电磁能转换成机械能，产生电磁吸力带动触点动作。