

电气与 PLC 控制技术

DIANQI YU PLC KONGZHI JISHU

(第2版)

张 艳 主编

河南科学技术出版社

· 郑州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电气与 PLC 控制技术/张艳主编. --2 版. --郑州: 河南科学技术出版社, 2025. 5. --
ISBN 978-7-5725-2059-4

I. TM571. 2; TM571. 6

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025657F0V 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市郑东新区祥盛街 27 号 邮编: 450016

电话: (0371) 65788865

网址: www.hnstp.cn

出 版 人: 乔 辉

策划编辑: 王向阳

责任编辑: 王莉香

责任校对: 刘逸群

封面设计: 张 伟

责任印制: 徐海东

印 刷: 河南省环发印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 19.25 字数: 468 千字

版 次: 2025 年 5 月第 2 版 2025 年 5 月第 3 次印刷

定 价: 45.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系并调换。

项目一 X62W 型铣床电气控制系统的 装调与故障检修

项目介绍

一、X62W 型铣床的结构组成与功能

X62W 型卧式万能铣床是一种通用的多用途机床，可以用来加工平面、斜面和沟槽等，还可以铣削直齿齿轮和螺旋面及凸轮和弧形槽，具有主轴转速高、调速范围宽、操作方便、加工范围广、性能优越、结构先进等特点。

X62W 型铣床的主要结构组成如图 1-0-1 所示，有底座、床身、悬梁、铣刀轴、工作台和升降台等。

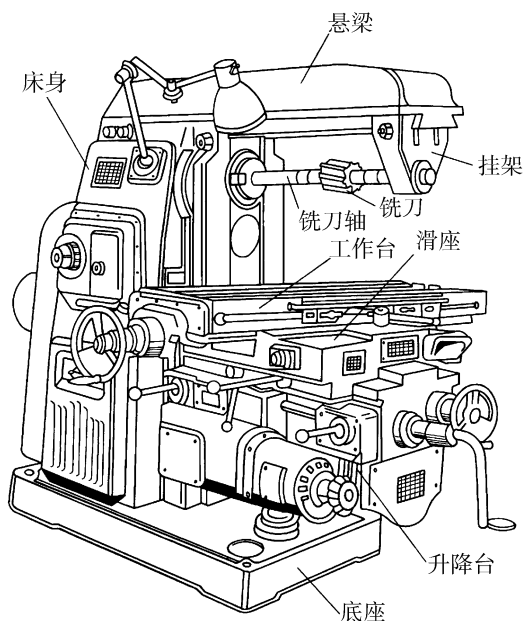


图 1-0-1 X62W 型铣床主要结构组成

箱形的床身固定在底座上，床身内装有主轴的传动机构和变速操纵机构。主轴的转动是由主轴电动机通过弹性联轴器来驱动传动机构，当机构中的一个双联滑动齿轮块啮合时，主轴即可旋转。

工作台面的移动由进给电动机驱动，通过机械机构使工作台进行运动。床身的前面有垂直导轨，升降台可以沿着它上下移动。在升降台上的水平导轨上，装有可在平行于主轴轴线方向移动的溜板，借助横溜板做横向（前后）移动。工作台面能直接在溜板上部的导轨上做纵向（左、右）移动。这样，固定在工作台上的工件可做上、下、前、后、左、右 6 个方向的移动。另外，还可实现圆工作台的运动。

二、X62W 型铣床电气控制系统的功能

(一) 主轴运动控制系统

铣床的主轴上安装有铣刀，通过主轴电动机的正反转可以实现顺铣和逆铣。由于主轴上装有飞轮，转动惯量很大，为提高工作效率，主电动机停车时进行制动停止。为了便于操作，对主轴进行两地控制。

为保证主轴变速后利于齿轮的啮合，主轴变速时，先将变速手柄拉出，旋转变速盘选择好速度后，再将变速手柄快速推回原位。在此过程中，电动机反向瞬时冲动一下。这是利用变速手柄通过电气控制系统与机械上的联动机构进行控制的。

(二) 进给运动控制系统

铣床主轴转动后才能进行进给运动，工作台左、右、前、后、上、下六个方向的进给运动由同一台进给电动机控制，但在同一时间内，只允许一个方向上的运动。使用圆工作台工作时，这六个方向的进给运动必须停止。

工作台有左右（纵向）操作、前后（横向）上下（升降）十字操作两个手柄与机械上的离合器配合，来选择进给运动的方向。在用圆工作台工作时，应先将进给左右操作手柄和前后上下十字操作手柄置于中间位置，然后把圆工作台开关转换为工作状态。

工作台进给变速时电动机能瞬间冲动，以利于齿轮的啮合。

为提高劳动生产率，铣床在不做铣切加工时，工作台在纵向、横向和垂直三种运动形式六个方向上都可以实现快速进给。主轴电动机启动后，将进给操作手柄扳到所需位置，工作台按照选定的速度和方向做常速进给移动时，再按下快速进给按钮，摩擦离合器合上，减少中间传动装置，使工作台按运动方向做快速进给运动。当松开快速进给按钮时，摩擦离合器断开，快速进给运动停止，工作台仍按常速进给时的速度继续运动。

(三) 冷却泵控制系统

冷却液的供给由电气控制系统控制冷却泵电动机实现。

三、项目的工作任务

分析 X62W 型铣床电气控制线路中各个基本控制环节，以及整台机床电气线路的工作原理；按照电气原理图选择电器元件，完成电路的安装接线与调试运行；根据电路的故障现象，分析与检修电路中的常见故障。

任务一 初步认识电气控制系统

教学目标

- ◆ 了解机床电气控制系统的构成及其与机床运动的关系。
- ◆ 了解继电器控制系统的特点及应用。
- ◆ 掌握常用低压电器元件的结构、工作原理、用途、型号规格及使用方法。
- ◆ 正确识别常用低压电器及其图形和文字符号，并能正确选择和使用。
- ◆ 掌握电气原理图、电气设备安装布置图和电气接线图的基本概念。

◆通过实践操作引导学生弘扬劳动精神，培养其吃苦耐劳的作风、勇于探索的创新精神，增强社会责任感。

◆通过规范操作，建立安全文明生产意识、标准意识，养成良好的职业素养，培养严谨的治学精神、精益求精的工匠精神。

◆通过小组合作完成实训任务，培养学生的责任意识、沟通表达能力、团结合作意识，提升团队协作能力。

情境描述



扫一扫

CA6140 型车床铣床的电气控制是通过接触器控制系统来实现的，这种控制系统由按钮、开关、继电器、接触器等电器元件组成控制线路，能通过对电动机的启动、停止、正反转、点动、制动等运行方式的控制，实现对机床主轴、刀架、照明的控制。

试操作机床电气控制系统，观察控制柜面板上指示灯及控制柜内器件的运行情况，认识电器元件和电气原理图，从而对电气控制有初步的认识。

工作任务

1. 操作 CA6140 型车床电气控制柜，观察各电器元件的动作情况。
2. 观察各电器元件，分析其工作原理及各组成部分的作用。
3. 识读电气控制柜的电气原理图，找出与电器元件符号对应的各实物元件。

知识准备

一、继电器-接触器控制系统的组成与特点

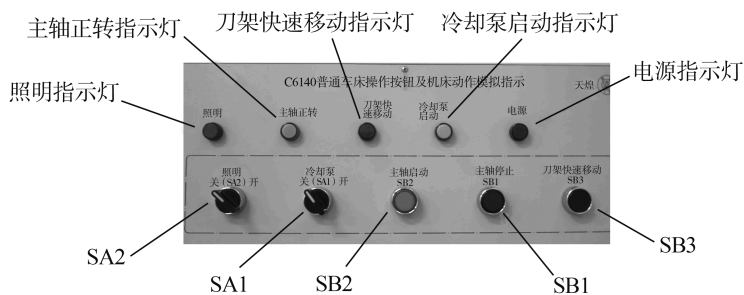
电气控制技术是以各类电动机为动力的传动装置和系统为对象来实现生产过程自动化的控制技术。不同的控制对象对电动机的控制要求不同，因此需要的电气控制系统也各不相同。根据其控制方式的不同，电气控制系统可分为继电器-接触器控制系统、可编程逻辑控制器（PLC）控制系统和计算机控制系统。其中，继电器-接触器控制系统是许多机械设备经常采用的最基本的电气控制系统，也是学习其他控制方法的基础。下面通过对 CA6140 型车床模拟电气柜操作的介绍，了解继电器-接触器控制系统的组成与特点。

（一）CA6140 型普通车床模拟电气控制柜的操作与演示



扫一扫

CA6140 型普通车床模拟电气控制柜的操作面板和柜内电气线路板如图 1-1-1 所示。



(a) 操作面板

图 1-1-1 CA6140 型普通车床模拟电气控制柜

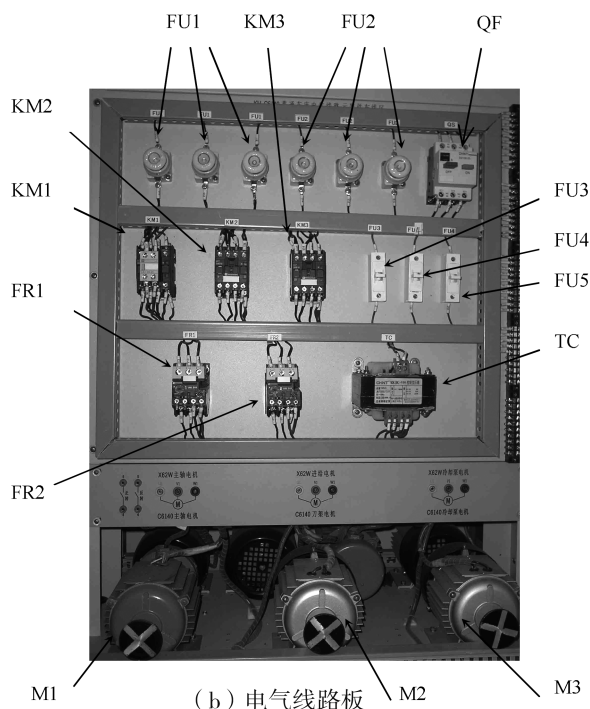


图 1-1-1 CA6140 型普通车床模拟电气控制柜 (续)

操作电气控制柜操作面板上的开关与按钮，观察电气柜内电器元件的动作和各电动机的动作、指示灯情况，如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 电器元件的动作情况

操作步骤	操作	现象
1	闭合开关 QF	电源指示灯 HL 亮
2	将转换接通开关 SA1 转到“开”	照明灯 EL 亮
3	按下启动按钮 SB2	电器元件 KM1 动作，电动机 M1 转动； 松开 SB2 后，M1 继续转动
4	按下停止按钮 SB1	电器元件 KM1 复位，电动机 M1 停止
5	不按下启动按钮 SB2，仅接通开关 SA2	KM2 不动作，电动机 M2 不转动
6	按下启动按钮 SB2 后，接通开关 SA2	KM2 动作，电动机 M2 转动
7	按下停止按钮 SB1	电动机 M1 停止，电动机 M2 也停止
8	按下按钮 SB3，然后松开	按下 SB3 时，电器元件 KM3 动作，电动机 M3 转动； 松开 SB3 时，KM3 复位，电动机 M3 停止

由操作过程及现象可以看出：

按下启动按钮 SB2，主轴电动机 M1 开始转动；松开启动按钮 SB2，电动机 M1 继续运行，要使其停止，必须按停止按钮 SB1。电动机的这种控制方式叫作长动控制。

按下按钮 SB3, 刀架快速移动, 电动机 M3 转动; 松开 SB3, 电动机 M3 立即停止, 不能连续转动。电动机 M3 的这种控制方式叫作点动控制。

主轴电动机 M1 启动后, 接通 SA1, 冷却泵电动机 M2 才能启动。如果不启动 M1, 单独接通 SA1, 电动机 M2 不转动。电动机 M1、M2 的这种控制方式叫作顺序控制。

(二) 继电器-接触器控制系统的组成与优缺点

由 CA6140 车床模拟电气控制柜的操作与控制可以看出, 其电气控制系统有三个基本组成部分, 即输入部分、输出部分和逻辑控制部分。按钮和开关是输入部分, 它们把人和外部设备的各种控制信号或命令传递给控制系统; 各种执行元件是输出部分, 如接触器、电磁阀、指示灯等, 它们直接执行命令或把控制系统的输出信号传递给执行电动机; 逻辑控制部分是按照电气控制的要求设计的, 由各继电器、接触器构成的各种长动、点动、顺序控制电路, 实现一定的控制功能。

继电器-接触器控制系统的优点是, 对于简单的控制系统, 其线路简单、维修方便、价格低廉、便于掌握, 因此, 继电器-接触器控制系统得到了广泛应用。由于其电路是由固定的接线组成, 所以继电器-接触器控制系统的缺点是, 控制功能不能随意更改、功能少、通用性和灵活性差, 对于控制要求比较多的电路, 设备体积大、接线复杂、触点多、可靠性不高等。

由于科学技术不断地发展, 低压电器正向小型化、耐用方面发展, 使继电器-接触器控制系统性能不断提高, 因此, 继电器-接触器控制系统在今后的电气控制技术中仍然占有比较重要的地位。

二、常用低压电器

低压电器是指工作在交流 1 200 V 或直流 1 500 V 及以下电路中, 能自动或手动地接通或断开电路、改变电路参数, 以实现通断、保护、控制、调节或转换作用的电器。也就是说, 它是一种能根据外界的信号和要求, 手动或自动地接通、断开电路, 以实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件或设备。

低压电器种类繁多, 功能各样, 构造各异, 用途广泛, 工作原理各不相同, 常用低压电器的分类方法也很多, 表 1-1-2 列出了常用低压电器的分类和用途。

表 1-1-2 常用低压电器的分类和用途

分类方法	名称	常用的电器元件	用途
按用途 和控制对 象分类	低压配电 电器	刀开关、转换开关、 熔断器、空气断路器等	主要用于低压配电系统中, 实现电能的输送、分配及用电设备保护等。对配电电器的技术要求是, 当系统发生故障时能够准确动作、可靠工作, 断流能力强、限流效果好, 在规定条件下具有足够的动稳定性与热稳定性, 不会损坏电器
	低压控制 电器	接触器、继电器、主 令电器等	主要用于电气控制系统中, 实现发布命令、控制系统状态及执行动作等。对控制电器的技术要求是, 寿命长、体积小、重量轻, 且动作迅速、准确、可靠, 有相应的转换能力

续表

分类方法	名称	常用的电器元件	用途
按操作方式分类	自动电器	接触器、继电器等	用于依靠电器本身参数的变化而自动完成接通、分断、启动、反向、停止等动作或状态变化的场合
	手动电器	按钮、转换开关、刀开关等	用于依靠人工直接操作完成接通、分断、启动、反向、停止等动作切换的场合
按触点类型分类	有触点电器	接触器、刀开关、按钮等	利用触点的接通和分断来切换电路
	无触点电器	接近开关、霍尔开关、电子式时间继电器、固态继电器等	无可分离的触点，主要利用电子元件的开关效应，即导通和截止来实现电路的通、断控制
按工作原理分类	电磁式电器	接触器、各种电磁式继电器等	根据电磁感应原理来工作
	非电量控制电器	转换开关、行程开关、速度继电器、压力继电器、温度继电器等	依靠外力或非电物理量信号（如速度、压力、温度等）的变化而动作
按功能分类	刀开关	负荷开关、熔断器式刀开关、双投式刀开关、组合开关等	主要用于电路的隔离，有时也能分断负荷
	断路器	塑料外壳式断路器、框架式断路器、限流式断路器等	主要用于电路的过负荷保护及短路、欠电压、漏电压保护，也可用于不频繁接通和断开的电路
	熔断器	有填料熔断器、无填料熔断器、快速熔断器、自复熔断器等	主要用于电路短路保护，也用于电路的过载保护
	接触器	交流接触器、直流接触器	主要用于远距离频繁控制负荷，切断带负荷电路
	继电器	电流继电器、电压继电器、时间继电器、热继电器、中间继电器等	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
	控制器	凸轮控制器、平面控制器等	主要用于控制回路的切换
	主令电器	按钮、行程开关、微动开关、万能转换开关等	主要用于发布命令或程序控制
	启动器	磁力启动器、自耦变压器启动器、星三角启动器等	主要用于电动机的启动
	电磁铁	制动电磁铁、起重电磁铁、牵引电磁铁等	主要用于起重、牵引、制动等处

在选用低压电器时常根据型号来进行选用，以下就按功能分类介绍对 CA6140 车床模拟电气控制柜中主要的低压电器。

(一) 电源开关电器

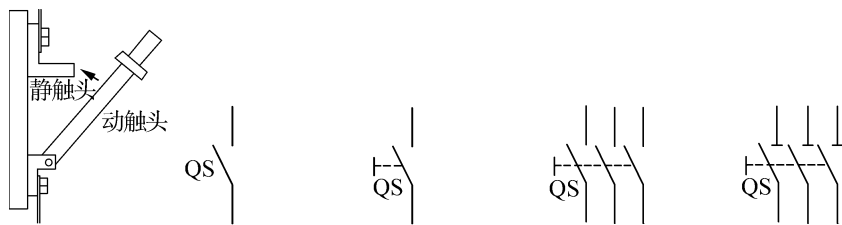
电源开关广泛应用于配电和电力拖动控制系统，用作电源的隔离、电气设备的保护和控制。

1. 刀开关

刀开关是一种手动电器，根据有无灭弧装置分为隔离开关和负荷开关。隔离开关没有灭弧装置，不能直接切断、接通大电流的线路；其容量比较大，额定电流为 100~1 500A，主要用于供电线路的电源隔离或操作空载线路或电流很小的线路，如小型空载变压器、电压互感器等。负荷开关带有灭弧装置，可以直接切断、接通负荷电路。

(1) 刀开关的结构：常用的刀开关有 HD 型单投刀开关、HS 型双投刀开关、HR 型熔断器式刀开关、HK 型闸刀开关、HH 型铁壳开关等。HD 型单投刀开关、HS 型双投刀开关、HR 型熔断器式刀开关主要用作成套配电装置中的隔离开关；HK 型闸刀开关一般用作电气设备及照明线路的电源开关；HH 型铁壳开关装有灭弧装置，一般可用于电气设备的启动、停止控制。下面分别介绍一下这几种刀开关的结构及工作原理。

1) 单投开关：HD 型单投刀开关按极数分为单极、双极、三极，其结构示意图及图形符号如图 1-1-2 所示。当刀开关用作隔离开关时，其图形符号上加有一横杠，如图 1-1-2 (e) 所示。



(a) 结构示意图 (b) 一般符号 (c) 手动符号 (d) 三极单投刀开关 (e) 三极单投隔离开关

图 1-1-2 HD 型单投刀开关

2) 双投开关：HS 型双投刀开关作用和单投刀开关类似，常用于双电源的切换或双供电线路的切换等，其结构示意图及图形符号如图 1-1-3 所示。由于双投刀开关具有机械互锁的结构特点，因此可以防止双电源的并联运行和两条供电线路同时供电。

3) 刀熔开关：HR 型熔断器式刀开关也称刀熔开关，它实际上是将刀开关和熔断器组合成一体的电器。刀熔开关操作方便，并简化了供电线路，在供电线路上应用很广泛。

4) 闸刀开关：HK 型开启式负荷开关俗称闸刀开关或胶壳刀开关，由熔丝、触刀、触点座和底座等组成，如图 1-1-4 (a) 所示。由于它结构简单、价格便宜、使用维修方便，故得到了广泛应用。该类型的开关主要用作电气照明电路和电热电路、小容量电动机电路的不频繁控制开关，也可用作分支电路的配电开关。闸刀开关装有熔丝，可起短路保护作用。

在安装闸刀开关时，手柄要向上，不得倒装或平装，以避免由于重力自动下落而引起误动合闸。接线时，应将电源线接在上端，负载线接在下端，这样拉闸后刀开关的刀片与

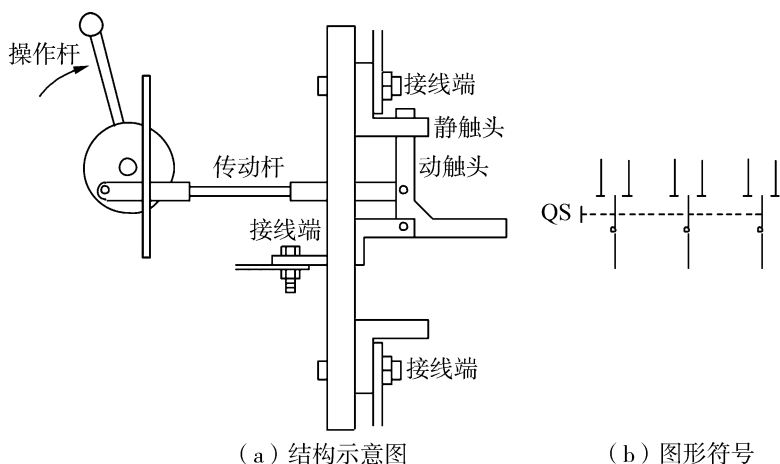


图 1-1-3 HS 型双投刀开关

电源隔离，既便于更换熔丝，又可防止可能发生的意外事故。

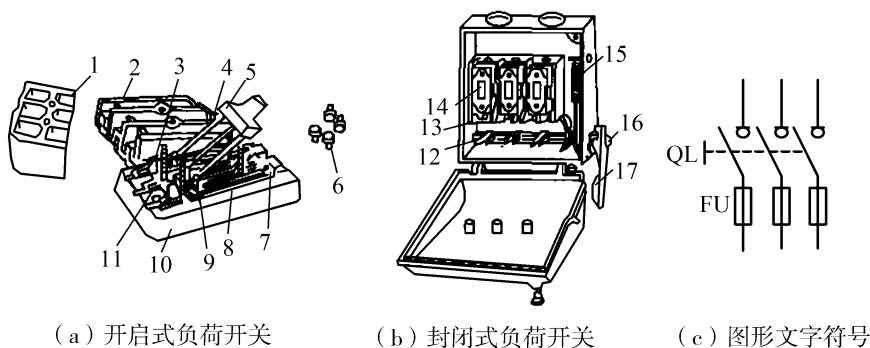


图 1-1-4 负荷开关

1. 上胶盖；2. 下胶盖；3. 插座；4. 触刀；5. 操作手柄；6. 固定螺母；7. 进线端；8. 熔丝；9. 触点座；10. 底座；11. 出线端；12. 触刀；13. 插座；14. 熔断器；15. 速断弹簧；16. 转轴；17. 操作手柄

5) 铁壳开关：HH 型封闭式负荷开关俗称铁壳开关，主要由钢板外壳、触刀开关、操作机构、熔断器等组成，如图 1-1-4 (b) 所示。铁壳开关带有灭弧装置，能够通、断负荷电流，熔断器用于切断短路电流。一般用在小型电力排灌、电热器、电气照明线路的配电设备中，用于不频繁地接通与分断电路，也可以直接用于异步电动机的非频繁全压启动控制。

铁壳开关的操作结构有两个特点：一是采用储能合闸方式，即利用一根弹簧以执行合闸和分闸的功能，使开关闭合和分断时的速度与操作速度无关。它既有助于改善开关的动作性能和灭弧性能，又能防止触点停滞在中间位置。二是设有联锁装置，以保证开关合闸后便不能打开箱盖，而在箱盖打开后，不能再合开关，起到安全保护的作用。

HK 型开启式负荷开关和 HH 型封闭式负荷开关都是由负荷开关和熔断器组成的，其图形符号也由手动负荷开关 QL 和熔断器 FU 组成，如图 1-1-4 (c) 所示。

(2) 刀开关的型号：刀开关的型号含义如图 1-1-5 所示。

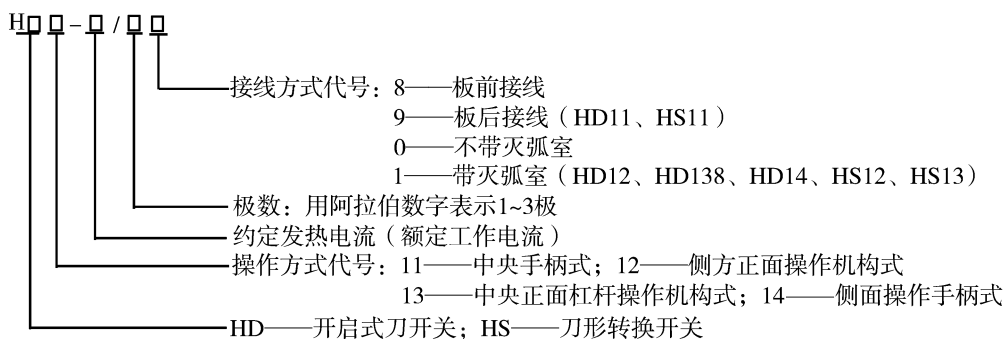


图 1-1-5 刀开关的型号含义

（3）刀开关的选用原则：

1) 根据电压和极数选择：控制单阻负载时，选用 220V 或 250V 双极开关；控制三相负载时，选用 380V 三相开关。

2) 根据额定电流选择：用于照明电路或其他阻性负载时，开关额定电流应大于或等于各负载额定电流之和；用于电动机或感性负载时，开关额定电流是最大一台电动机额定电流的 2.5 倍与其他负载额定电流之和。

3) 根据产品质量选择：检查各刀片与对应夹座是否直线接触，开合是否同步，夹座对刀片接触压力是否足够。

2. 组合开关

组合开关由动触头、静触头、绝缘连杆转轴、手柄、定位机构及外壳等部分组成，其动、静触头分别叠装于数层绝缘壳内，当转动手柄时，每层的动触片随转轴一起转动，相应的动触点与静触点接触或分离，从而使电路接通或断开。

组合开关控制容量比较小，结构紧凑，常用于空间比较狭小的场所，如机床和配电箱等。一般用于电气设备中控制非频繁接通或分断电路、换接电源或负载，也可以控制小容量异步电动机的运转。

常用的组合开关产品有 HZ5、HZ10 和 HZ15 系列。组合开关有单极、双极和多极之分，机床电气控制线路中一般采用三极组合开关。图 1-1-6 所示为常见的组合开关。



（a）HZ10D 系列组合开关 （b）HZ25D 系列组合开关 （c）HZ15A 系列组合开关

图 1-1-6 常见的组合开关

HZ10 组合开关的结构示意图及图形符号如图 1-1-7 所示。

组合开关的选用可参照刀开关的选用原则。用于控制小型异步电动机的运转时，开关的额定电流一般取电动机额定电流的 1.5~2.5 倍。

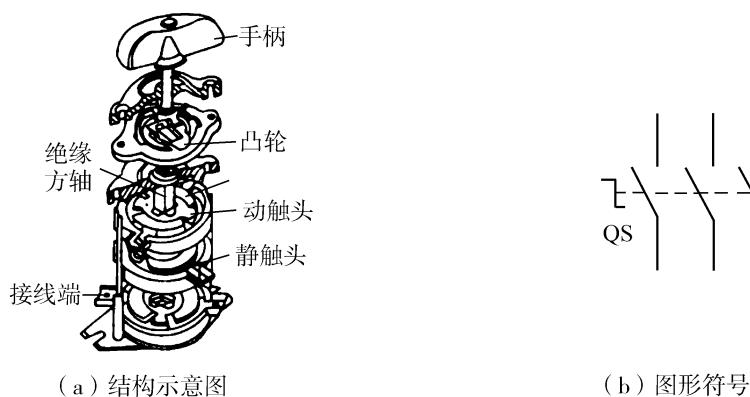


图 1-1-7 HZ10 组合开关的结构示意图和图形符号

3. 断路器

低压断路器俗称自动开关或空气开关，用于低压配电电路中不频繁的通断控制，在电路发生短路、过载、欠压等故障时能自动分断故障电路，是一种集控制与多重保护于一身的电器。它在针对人身安全、设备安全及配电系统的可靠性方面都有突出的作用。图 1-1-8 所示为常见的断路器。



图 1-1-8 常见的断路器

(1) 断路器的结构：断路器主要由三个基本部分组成，即触头、灭弧系统和各种脱扣器，包括过电流脱扣器、失压（欠电压）脱扣器、热脱扣器、分励脱扣器和自由脱扣器。

图 1-1-9 所示是断路器工作原理示意图及图形符号。断路器开关是靠操作机构手动或电动合闸的，触头闭合后，自由脱扣机构将触头锁在合闸位置上。当电路发生上述故障时，通过各自的脱扣器使自由脱扣机构动作，自动跳闸以实现保护作用。

1) 过电流脱扣器：过电流脱扣器用于线路的短路和过电流保护，当线路的电流大于整定的电流值时，其所产生的电磁力使挂钩脱扣，动触点在弹簧的拉力下迅速断开，实现断路器的跳闸功能。

2) 热脱扣器：热脱扣器用于线路的过负荷保护，工作原理和热继电器相同，由发热元件、双金属片组成。当线路过载到一定值时，由于温度过高，双金属片受热弯曲并带动自由脱扣机构，使断路器主触头断开，实现长期过载保护。

3) 失压（欠电压）脱扣器：失压（欠电压）脱扣器用于失压保护。失压脱扣器的线圈直接接在电源上，处于吸合状态，断路器可以正常合闸；当停电或电压很低时，失压脱扣器的吸力小于弹簧的反力，弹簧使动铁芯向上使挂钩脱扣，实现断路器的跳闸功能。

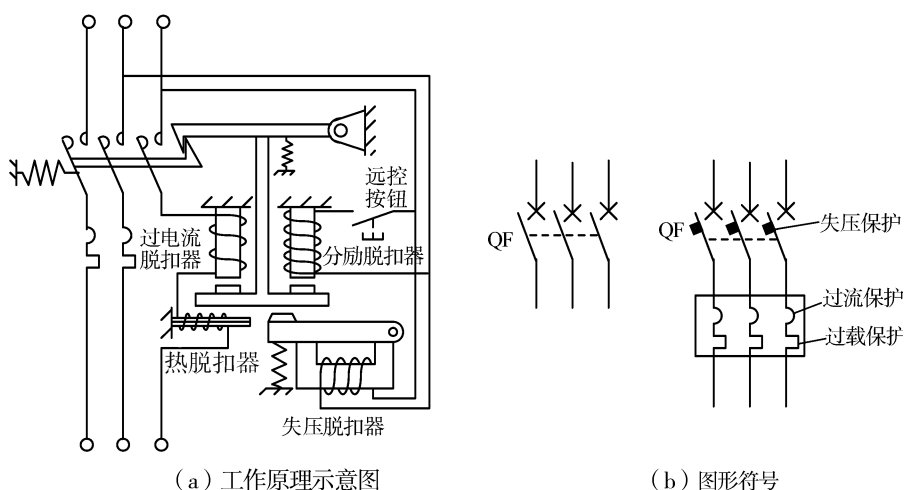


图 1-1-9 断路器

4) 分励脱扣器：分励脱扣器用于远方跳闸。当在远方按下按钮时，分励脱扣器得电产生电磁力，使其脱扣跳闸。

不同断路器的保护是不同的，使用时应根据需要选用。在图形符号中也可以标注其保护方式，如图 1-1-9 所示断路器图形符号中标注了失压、过流、过载三种保护方式。

(2) 低压断路器的型号：低压断路器的型号含义如图 1-1-10 所示。

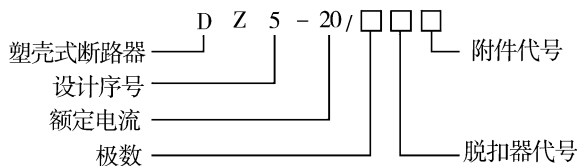


图 1-1-10 低压断路器的型号含义

(3) 断路器的选用：低压断路器的选择应从以下几方面考虑。

1) 断路器类型的选择：应根据使用场合和保护要求来选择。如一般选用塑壳式；短路电流很大时选用限流型；额定电流比较大或有选择性保护要求时选用框架式；控制和保护含有半导体器件的直流电路时，应选用直流快速断路器等。

2) 断路器额定电压、额定电流应大于或等于线路、设备的正常工作电压和工作电流。

3) 断路器极限通断能力大于或等于电路最大短路电流。

4) 欠电压脱扣器额定电压等于线路额定电压。

5) 过电流脱扣器的额定电流大于或等于线路的最大负载电流。

(二) 熔断器

熔断器是基于电流的热效应和发热元件热熔断原理来设计的，具有一定的瞬时特性，在电路中主要起短路保护作用，用来保护线路。

熔断器的熔体串接于被保护的电路中，当电路发生短路故障时，熔断器中的熔体被瞬间熔断而分断电路，实现对电路的短路保护和严重过载保护。熔断器具有结构简单、体积小、重量轻、使用维护方便、价格低廉、分断能力较强、限流能力良好等优点，因此在电

路中得到广泛应用。

1. 熔断器的结构原理及分类

熔断器由熔体和安装熔体的绝缘底座（或称熔管）组成。熔体由易熔金属材料铅、锌、锡、铜、银及其合金制成，形状常为丝状或网状。由铅锡合金和锌等低熔点金属制成的熔体，因不易灭弧，多用于小电流电路；由铜、银等高熔点金属制成的熔体，易于灭弧，多用于大电流电路。

熔断器串接于被保护电路中，电流通过熔体时产生的热量与电流平方和电流通过的时间成正比，电流越大，则熔体熔断时间越短，这种特性称为熔断器的反时限保护特性或安秒特性，如图 1-1-11 所示。图中 I_N 为熔断器额定电流，熔体允许长期通过额定电流而不熔断。

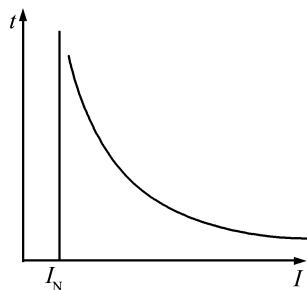


图 1-1-11 熔断器的反时限保护特性

熔断器种类很多，按结构分为开启式熔断器、半封闭式熔断器和封闭式熔断器；按有无填料分为有填料式熔断器和无填料式熔断器；按用途分为工业用熔断器、保护半导体器件熔断器及自复式熔断器等。常用的熔断器有瓷插式熔断器 [图 1-1-12 (a)]、螺旋式熔断器 [图 1-1-12 (b)]、RM10 型密封管式熔断器和 RT 型有填料密封管式熔断器等。

瓷插式熔断器主要用于低压分支电路的短路保护，因其分断能力较弱，多用于照明电路和小型动力电路中。常用的产品有 RC1A 系列。

螺旋式熔断器熔芯内装有熔丝，并填充石英砂，用于熄灭电弧，分断能力强。熔体的上端盖有一熔断指示器，一旦熔体熔断，指示器马上弹出，可透过瓷帽上的玻璃孔观察到。常用产品有 RL6、RL7 和 RLS2 等系列。

封闭管式熔断器可分为无填料式熔断器和有填料式熔断器两种，常用的型号有 RM10 型（无填料封闭管式熔断器）和 RT0 型（有填料封闭管式熔断器）。无填料封闭管式熔断器在低压电网成套配电设备中做短路保护和连续过载保护。其特点是可以拆卸，即当其熔体熔断后，用户可以按要求自行拆开，重新装入新的熔体。有填料封闭管式熔断器具有较强的分断能力，用于较大电流的电力输配电系统中，也可用于熔断器式隔离器、开关熔断器等设备中。

2. 熔断器的主要技术参数及选用

(1) 熔断器的主要技术参数：包括额定电压、熔体额定电流、熔断器额定电流、极限分断能力等。

- 1) 额定电压是指保证熔断器能长期正常工作的电压。
- 2) 熔体额定电流是指可长期通过熔体而不使熔体熔断的电流。
- 3) 熔断器额定电流是指保证熔断器能长期正常工作的电流。
- 4) 极限分断能力是指熔断器在额定电压下所能断开的最大短路电流。在电路中出现的最大电流一般是指短路电流值，所以，极限分断能力也反映了熔断器分断短路电流的能力。

(2) 熔断器的选用：选用熔断器时应使熔断器额定电压与保护电路工作电压一致，熔

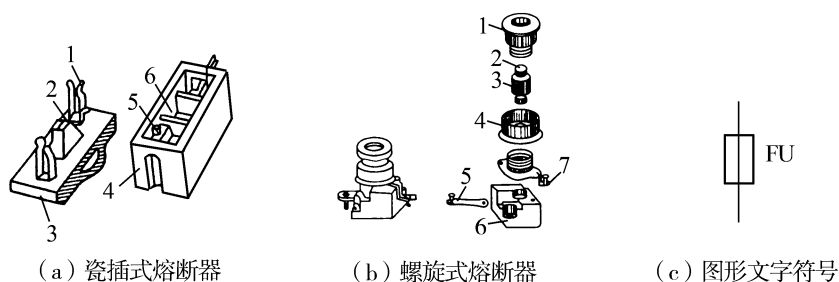


图 1-1-12 熔断器结构示意图及图形文字符号

体的额定电流应按以下几种情况分别考虑。

1) 在不会产生冲击电流的电路(如照明电路)中,应使熔体的额定电流等于或稍大于线路工作电流。即

$$I_R \geq I$$

式中, I_R ——熔体额定电流;

I ——线路工作电流。

2) 对于一台异步电动机,由于电动机的启动电流较大,其熔断器可按下式选择:

$$I_R = (1.5 \sim 2.5) I_{ed} \quad \text{或} \quad I_R = I_{st} / 2.5$$

式中, I_{ed} ——电动机额定电流, A;

I_{st} ——异步电动机的电流, A。

3) 对于多台电动机,由一个熔断器保护时,可按下式选择:

$$I_R \geq I_m / 2.5$$

式中, I_m ——可能出现的最大电流。

若所有电动机不同时启动, I_m 为容量最大一台电动机的启动电流加上其他电动机的额定电流。

(三) 交流接触器

接触器按其主触头通过电流的种类不同,可分为交流接触器和直流接触器两种,主要用于控制电动机、电热设备、电焊机、电容器组等,能频繁地接通或断开直流、交流主电路,是一种大容量控制电路的自动切换电器。它具有低压释放保护功能,并且用于频繁操作和远距离控制,是电力拖动自动控制线路中使用最广泛的电器元件。

图 1-1-13 所示是几种常用的交流接触器。

1. 交流接触器的结构

交流接触器结构示意图及图形文字符号如图 1-1-14 所示。交流接触器由电磁系统、触头系统和灭弧系统及附件等部分组成。

(1) 电磁系统:由电磁线圈、动铁芯(衔铁)、静铁芯等组成。电磁线圈通电时产生磁场,使动、静铁芯磁化互相吸引,当动铁芯被吸引向静铁芯时,与动铁芯相连的动触点也被拉向静触点,从而接通电路。电磁线圈断电后,磁场消失,动铁芯在复位弹簧作用下回到原位,牵动动、静触点,分断电路。电磁线圈分为电压线圈和电流线圈,电压线圈并



图 1-1-13 常用的交流接触器

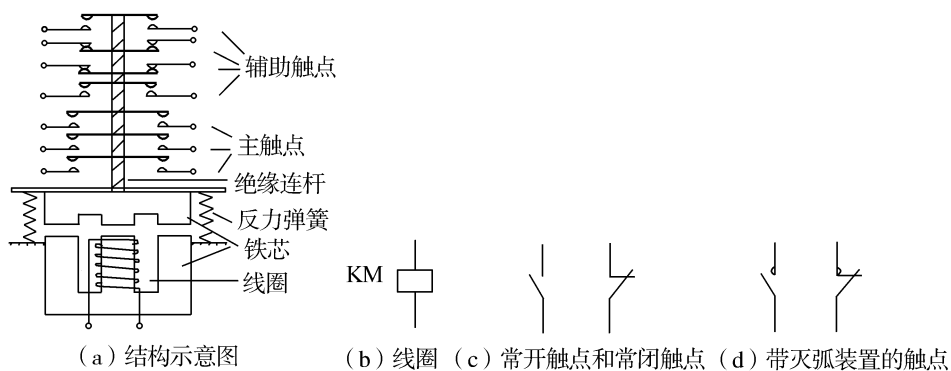


图 1-1-14 交流接触器

联在电路中，电流线圈串联在电路中。

(2) 触头系统：交流接触器的触头系统包括主触头和辅助触头。主触头用于通断主电路；辅助触头用于控制电器，起电气联锁或控制作用。

(3) 灭弧装置：各种有触点电器都是通过触点的开、闭来通、断电路的，其触头在闭合和断开（包括熔体在熔断时）的瞬间，都会在触头间隙中由电子流产生弧状的火花，称为电弧。容量在 10 A 以上的接触器都有灭弧装置，对于小容量的接触器，常采用双断口桥形触头以利于灭弧；对于大容量的接触器，常采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧结构。

(4) 其他部件：交流接触器除上述三个主要部件外，还有外壳、传动机构、接线桩、复位弹簧、缓冲装置、触点压力弹簧等附件。常用的交流接触器有 CJ10 和 CJ12 系列。

2. 接触器的技术参数

(1) 额定电压：接触器铭牌上的额定电压是指主触头的额定电压。交流有 127 V、220 V、380 V、500 V，直流有 110 V、220 V、440 V。

(2) 额定电流：接触器铭牌上的额定电流是指主触头的额定电流，有 5 A、10 A、20 A、60 A、100 A、150 A、250 A、400 A、600 A。

(3) 吸引线圈的额定电压：交流有 36 V、110 V、127 V、220 V、380 V，直流有 24 V、220 V、440 V。

(4) 电气寿命和机械寿命（以万次表示）。

(5) 额定操作频率：接触器的额定操作频率是指每小时允许的操作次数，一般为 300

次/h、600 次/h 和 1 200 次/h。

(6) 动作值：是指接触器的吸合电压和释放电压。规定：接触器的吸合电压大于线圈额定电压的 85%时应可靠吸合；释放电压不高于线圈额定电压的 70%。

3. 交流接触器的选用原则

(1) 根据接触器所控制的负载性质来选择接触器的类型。

(2) 接触器的额定电压不得低于被控制电路的最高电压。

(3) 接触器的额定电流应大于被控制电路的最大电流。接触器在频繁启动、制动和正反转的场合时，一般其额定电流降一个等级来选用。

(4) 电磁线圈的额定电压应与所接控制电路的电压相一致。

(5) 接触器的触头数量和种类应满足主电路和控制线路的要求。

电动机工作特点与接触器的选择见表 1-1-3。

表 1-1-3 电动机工作特点与接触器的选择

电动机工作情况	电动机工作特点	典型案例	接触器的选择
一般任务 (笼型或绕线型异步电动机)	笼型或绕线型异步电动机，工作频率不高，满载运行时断开，有少量点动	升降机、传送带、电梯、冲床、通风机、搅拌机等	通常选用 CJ10 系列接触器，额定电压或电流等于或稍大于电动机额定电压和电流
重任务 (笼型或绕线型异步电动机)	平均操作频率在 100 次/h 以上，电动机工作于点动、反接制动、反向和低速断开状态	升降设备、车床、钻床、铣床、磨床等	当电动机功率小于 20 kW 时，选用 CJ10Z 系列重任务交流接触器；当电动机功率超过 20 kW 时，应选用 CJ20 系列。对于大容量绕线型异步电动机，可选用 CJ12 系列
特重任务 (笼型或绕线型异步电动机)	操作频率在 1 000 ~ 1 200 次/h，甚至达 3 000 次/h，电动机工作于频繁点动，反接制动，可逆运行	镗床、港口起重设备、印刷机等	在满足电寿命的前提下，可选用 CJ10Z 系列；当控制容量较大时，选用 CJ12 系列

(四) 热继电器

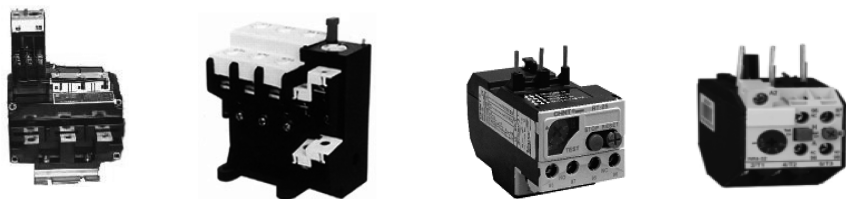
三相异步电动机在实际运行中，常会遇到电气或机械等原因引起的过电流（过载和断相）现象。如果过电流不严重，持续时间短，绕组不超过允许温升，这种过电流是允许的；如果过电流情况严重，持续时间较长，则会加快电动机绝缘老化，甚至烧毁电动机。因此，在电动机回路中应设置电动机保护装置。常用的电动机保护装置种类很多，使用最多、最普遍的是双金属片式热继电器。

1. 热继电器的结构和工作原理

热继电器是一种利用电流热效应原理工作的电器，它主要与接触器配合使用，用于对三相异步电动机的过载和断相保护。

常见的热继电器有 JR20、JR36、NR2、NR3 和 NR4 系列，如图 1-1-15 所示。

热继电器主要由双金属片、热元件、触头系统等组成。图 1-1-16 所示是双金属片式热继电器的结构示意图与其图形符号。



(a) JR20系列热继电器 (b) JR36系列热继电器 (c) NR2系列热继电器 (d) NR4系列热继电器



图 1-1-15 几种常见的热继电器

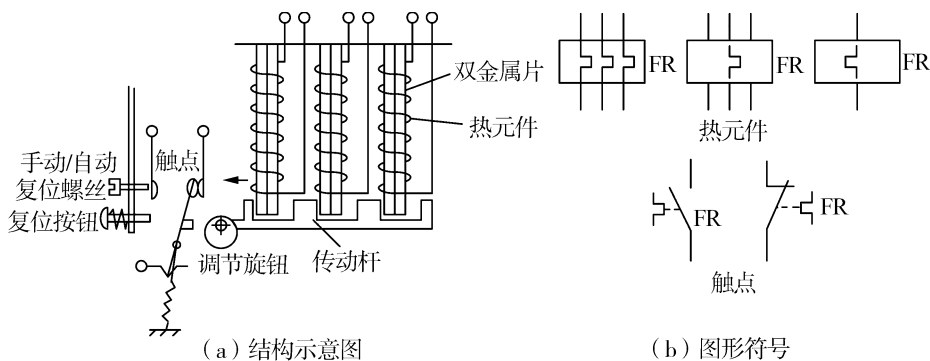


图 1-1-16 双金属片式热继电器

双金属片是热继电器的感测元件，由两种线膨胀系数不同的金属通过机械碾压方法形成一体。线膨胀系数大的（如铁镍铬合金、铜合金或高铝合金等）称为主动层，线膨胀系数小的（如铁镍类合金）称为被动层。由于两种线膨胀系数不同的金属紧密地贴合在一起，当产生热效应时，双金属片向膨胀系数小的一侧弯曲，由弯曲产生的位移带动触头动作。

热元件一般由铜镍合金、镍铬铁合金或铁铬铝合金等电阻材料制成，其形状有圆丝、扁丝、片状和带材几种。热元件串接于电动机的定子电路中，通过热元件的电流就是电动机的工作电流。当电动机发生过电流且超过整定值时，双金属片热量增大而发生弯曲，经过一定时间后，使触点动作，通过控制电路切断电动机的工作电源。同时，热元件也因失电而逐渐降温，经过一段时间的冷却，双金属片恢复到原来的状态。当电动机正常运行时，其工作电流通过热元件产生的热量不足以使双金属片变形，热继电器不会动作。

热继电器动作电流的调节是通过调节旋钮来实现的。调节旋钮为一个偏心轮，旋转调节旋钮可以改变传动杆和动触点之间的传动距离，距离越长动作电流就越大，反之动作电流就越小。

热继电器复位方式有自动复位和手动复位两种。将复位螺丝旋入，使常开的静触点向动触点靠近，这样动触点在闭合时处于不稳定状态，在双金属片冷却后动触点返回，此为自动复位方式。如将复位螺丝旋出，触点不能自动复位，为手动复位方式。在手动复位方式下，须在双金属片恢复原状时按下复位按钮才能使触点复位。

2. 热继电器的选用

热继电器主要用于电动机的过载保护,使用中应考虑电动机的工作环境、启动情况、负载性质等因素,具体应根据以下几方面的原则来选择。

(1) 热继电器结构形式的选择:在一般情况下,可选用两相结构的热继电器;对于工作条件恶劣的电动机或电网电压不平衡时,可选用三相结构的热继电器;星形接法的电动机可选用两相或三相结构热继电器;对三角形接线的电动机,可选用带断相保护装置的热继电器。三角形接线的电动机,一相断线后,流过热继电器的线电流与流过电动机绕组的相电流的增加比例是不同的,其中最严重的一相比其余串联的两相绕组内的电流要大一倍,增加的比例也最大。

(2) 整定电流的选择:根据电动机的实际负载选用热继电器的整定电流(所谓整定电流,是指当发热元件通过的电流值超过此值的 20% 时,热继电器应在 20 min 内动作),热继电器的整定电流一般为电动机额定电流的 1.05~1.1 倍。当电动机过载能力较差时,应使热继电器的整定电流为电动机额定电流的 3/5~4/5。

(3) 下列情况下选择热继电器时,应使其整定电流比电动机额定电流大一些:电动机负载惯性转矩非常大,启动时间长;电动机所带动的设备,不允许任意停电;电动机拖动的为冲击性负载,如冲床、剪床等设备。

(4) 对于重复短时工作的电动机(如起重机电动机),由于电动机不断重复升温,热继电器双金属片的温升跟不上电动机绕组的温升,电动机将得不到可靠的过载保护。因此,不宜选用双金属片热继电器,而应选用过电流继电器或能反映绕组实际温度的温度继电器来进行保护。

(五) 按钮

按钮是一种结构简单、使用广泛的手动电器,在控制电路中用于手动发出控制信号以控制接触器、继电器等,是一种最常用的主令电器。主令电器用于控制电路中,以开关接点的通断形式来发布控制命令,使控制电路执行对应的控制任务。主令电器应用广泛,种类繁多,常见的有按钮、行程开关、接近开关、万能转换开关、主令控制器、选择开关、足踏开关等。

1. 按钮的结构与工作原理

按钮一般用于交流电压 500 V 以下,直流电压 440 V 以下,额定电流 5 A 以下的线路中。按钮常用来短间接通或断开小电流控制的电路,其结构简单、控制方便。按钮不直接控制主电路,而是在控制电路中发出手动控制信号。图 1-1-17 所示为几种常见的按钮。

按钮由按钮帽、复位弹簧、桥式触点和外壳等组成,其结构示意图及图形符号如图 1-1-18 所示。触点采用桥式触点,触点又分常开触点(动合触点)和常闭触点(动断触点)两种。

按外形和操作方式,按钮可以分为平按钮[图 1-1-18(a)]和急停按钮[图 1-1-18(b)],除此之外还有旋钮、拉式钮及钥匙式、万向操纵杆式、带灯式按钮等多种类型。

按触点动作方式,按钮可以分为直动式按钮和微动式按钮两种。图 1-1-18 中所示的按钮均为直动式按钮,其触点动作速度和手按下的速度有关。而微动式按钮的触点动作变换速度快,和手按下的速度无关,其动作原理如图 1-1-19 所示。动触点由变形簧片组成,



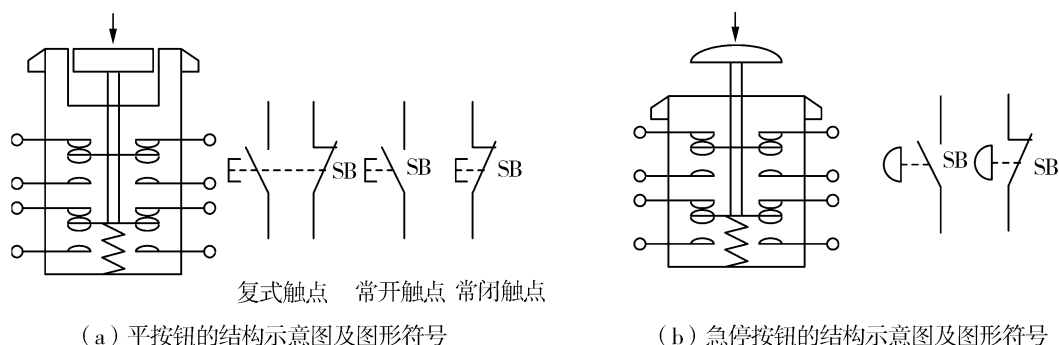
(a) 机械按钮

(b) 急停按钮

(c) 带铁壳的按钮



图 1-1-17 几种常见的按钮



复式触点 常开触点 常闭触点

(a) 平按钮的结构示意图及图形符号

(b) 急停按钮的结构示意图及图形符号

图 1-1-18 按钮结构示意图及图形符号

当弯形簧片受压向下运动至低于平形簧片的位置时，弯形簧片迅速变形，将平形簧片触点弹向上方，实现触点瞬间动作。

小型微动式按钮也叫作微动开关，可以用于各种继电器和限位开关中，如时间继电器、压力继电器和限位开关等。

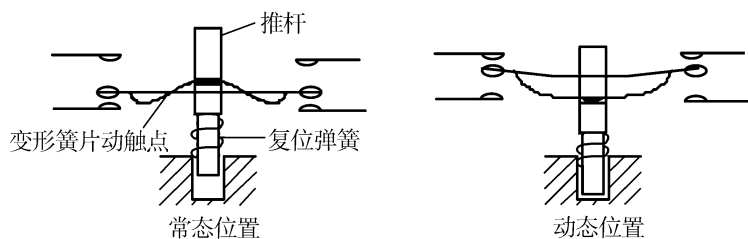


图 1-1-19 微动式按钮动作原理

按钮一般为复位式按钮，也有自锁式按钮，最常用的按钮为复位式平按钮，如图 1-1-18 (a) 所示。

按钮常因颜色不同而适用于不同的场合。例如，红色按钮用于“停止”“断电”“事故”等。如表 1-1-4 所示，列出了按钮颜色的含义。

表 1-1-4 按钮颜色的含义

颜色	含义	举例
红	处理事故	紧急停机；扑灭燃烧
	“停止”或“断电”	正常停机；停止一台或多台电动机；装置的局部停机；切断一个开关；带有“停止”或“断电”功能的复位
绿	“启动”或“通电”	正常启动；启动一台或多台电动机；装置的局部启动；接通一个开关装置（投入运行）
黄	参与	防止意外情况；参与抑制反常的状态；避免不需要的变化（事故）
黑、灰、白	无特定用意	除单功能的“停止”或“断电”按钮外的任何功能

2. 按钮的选用

按钮的选择通常根据以下几方面的原则：

- (1) 根据使用场合，选择控制按钮的种类，如开启式按钮、防水式按钮、防腐式按钮等。
- (2) 根据用途，选用合适的型式，如钥匙式按钮、紧急式按钮、带灯式按钮等。
- (3) 按控制回路的需要，确定不同的按钮数，如单钮、双钮、三钮、多钮等。
- (4) 按工作状态指示和工作情况的要求，选择按钮及指示灯的颜色。

三、电气控制系统图

反映或表示电气控制系统中各电器元件及其连接关系的图称为电气控制系统图。电气控制系统图由电动机、电器元件和电路组成，为了便于设计、分析、安装调试和维修，电气控制系统图中的图形符号和文字符号必须按照国家统一规定的最新标准来表示。

常用的电气控制系统图包括电气原理图、电气设备安装布置图和电气接线图三类。

(一) 电气原理图

电气原理图是用来表示电气线路的工作原理及各电器元件之间的相互作用和关系的图，它并不反映各电器元件的结构尺寸、实际安装位置和实际接线情况。电气原理图适用于分析研究电路的工作原理，并且作为其他电气图的依据，在设计部门和生产现场得到广泛的应用。

图 1-1-20 所示为电动机启保停（启动、保持、停止）电路的电气原理图，现以此图为例介绍电气原理图的组成及绘制原则。

1. 电气原理图的组成

电气原理图一般由电源电路、主电路、控制电路和辅助电路等组成。

电源电路为后续电路提供电能，一般由电源开关和电源保护电器组成。

主电路包括从电源到电动机的动力电路，是大电流通过的部分，用粗实线画在原理图的左边。

控制电路是通过小电流的电路，一般由按钮、电器元件的线圈、接触器的辅助触点、继电器的触点等组成，用细实线画在原理图的右边。

辅助电路通过的电流也为小电流，由变压器、整流电源、照明灯和信号灯等低压电路组成。

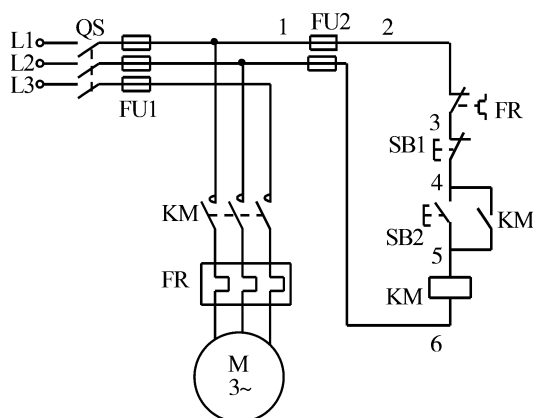


图 1-1-20 启停电路的电气原理

2. 绘制电气原理图应遵循的原则

(1) 电气原理图中所有电器元件都应采用国家标准中统一规定的图形符号和文字符号表示。

(2) 电气原理图中电器元件的布局应根据便于阅读的原则安排。电源电路画成水平线，三相交流电源相序 L1、L2、L3 自上而下依次画出，中性线 N 和保护地线 PE 依次画在相线之下。直流电源的“+”画在上边，“-”画在下边，电源开关要水平画出。主电路垂直于电源线画在图纸左侧，其他电路安排在图纸右侧。

(3) 无论主电路还是辅助电路，均按元件的功能布置，尽可能按动作顺序从上到下、从左到右排列。同一功能的电器元件集中在一起，耗能元件接于下方的水平电源线，各种触点接在上方电源线和耗能元件之间。

(4) 电气原理图中，当同一电器元件的不同部分（如线圈、触点）分散在不同位置时，为了表示是同一元件，要在电器元件的不同部件处标注统一的文字符号。对于几个同类器件，要在其文字符号后加数字序号，以示区别。

(5) 电气原理图中，所有电器元件的触点部分均按没有通电或没有外力作用时的平常状态画出。如接触器、电磁式继电器等触点是线圈未通电时的状态；按钮、行程开关等触点是受到外力作用时的状态；开关电器触点按断开状态画出。当元件触点的图形符号垂直放置时，以“左开右闭”原则绘制，即垂直线左侧的触点为常开触点，右侧的触点为常闭触点；当图形符号水平放置时，以“上闭下开”原则绘制，即水平线上方的触点为常闭触点，下方的触点为常开触点。

(6) 电气原理图中，应尽量减少线条和避免线条交叉。各导线之间交叉相连时，在导线交叉处画实心圆点，两导线交叉但不连接的交叉点不画实心圆点。

(二) 电气设备安装布置图

电气设备安装布置图表示电气设备或元器件在机械设备和电气控制柜中的实际安装位置。各电器元件的安装位置是由机床的结构和工作要求决定的，拖动、执行、检测等器件应安装在生产机械的相应工作部位；控制按钮、操作开关、经常调节的电位器、指示灯、指示仪表等安装在控制面板上；行程开关应放在能取得信号的位置；控制电器、保护电器等安装在控制柜内。

如图 1-1-21 所示为电动机启停保（启动、保持、停止）电路接线板上的电气设备安装布置图。

（三）电气接线图

电气接线图表示各电气设备和各元器件之间的实际接线情况。

电气接线图是根据电气原理图、电气设备安装布置图绘制的。绘制接线图时，应把各电器元件的各个部件（如触点和线圈）画在一起，文字符号、元件连接关系、线路编号等都必须与电气原理图一致，不在同一控制柜或操作台上的电器元件的电气连接必须通过端子排进行，各接线端子的编号应与电气原理图的导线编号一致。

如图 1-1-22 所示为电动机启停保（启动、保持、停止）电路的电气接线图，图中画出了接线板、操作面板等之间的接线情况。

电气设备安装布置图和电气接线图主要用于安装接线、线路检查维护及故障处理等。

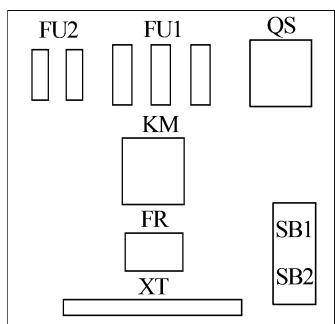


图 1-1-21 电气设备安装布置

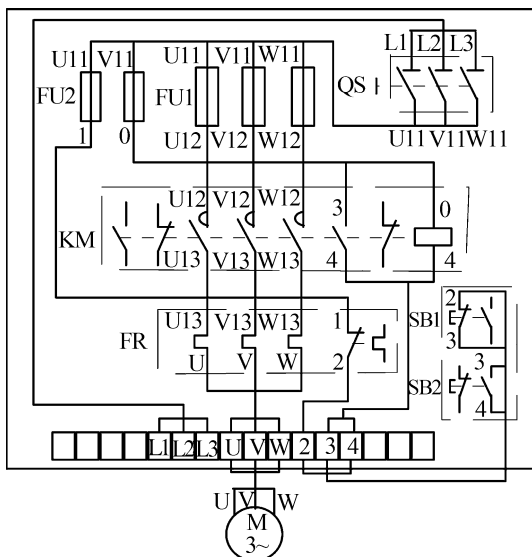


图 1-1-22 电气接线

任务实施

一、器材准备

- ◆ CA6140 型车床实训考核模拟电气柜 1 台。
- ◆ 常用低压电器元件若干个。
- ◆ 常用电工用具 1 套。
- ◆ 万用表 1 只。

二、CA6140 型车床模拟电气控制柜的操作

按表 1-1-1 所示操作电气柜操作面板上的开关与按钮，观察电气柜内电器元件的动作和各电动机的动作、指示灯情况。

记录 CA6140 型车床模拟电气控制柜操作过程和柜内电器元件工作时的现象，填表 1-1-5。

表 1-1-5 工作时的现象

操作	现象	
	接触器	电动机
将转换开关 SA1 转到“开”		
按下启动按钮 SB2		
按下停止按钮 SB1		
不按下启动按钮 SB2，仅接通开关 SA2		
按下启动按钮 SB2 后，接通开关 SA2		
按下按钮 SB3，然后松开		

三、识别电器元件

- (1) 观察各电器元件，分析各组成部分的作用。
- (2) 观察几个按钮、交流接触器和热继电器，找出常开触点、常闭触点、线圈等，分别填表 1-1-6、表 1-1-7 和表 1-1-8。

表 1-1-6 按钮型号及工作参数

型号	触点数量		额定电压	额定电流	颜色
	常开触点	常闭触点			

表 1-1-7 交流接触器型号及工作参数

型号	主触点		辅助触点		线圈		额定操作频率
	额定电流/A	对数	额定电流/A	对数	电压/V	功率/W	

表 1-1-8 热继电器型号及工作参数

型号	热元件		常开触点		常闭触点	
	额定电流/A	个数	标号	对数	标号	对数

四、识读电气原理图

识读 CA6140 型车床模拟电气控制柜电气原理图，找出与电器元件符号对应的各实物元件。

- (1) 在实物元件 KM1 中找出电路图上的 KM1 主触点、KM1 (5-6)、KM1 (7-8)、KM1 线圈。
- (2) 在实物元件 FR1 中找出接入主电路中的热元件、控制电路中的常闭触点。
- (3) 在实物元件 SB1 中找出电路图上的停止按钮 SB1 接入电路中的触点。

检测评价

任务完成后，请对照任务要求对完成任务的情况进行检测与评价。检测评价标准见附录二的附表 2-1。

知识拓展

继电器

继电器是根据某种输入信号来接通或断开电路，以实现远距离控制和保护的自动控制电器。继电器用于电路的逻辑控制，具有逻辑记忆功能，能组成复杂的逻辑控制电路，主要用于将某种如电压、电流等电量或如温度、压力、速度、时间等非电量的变化量转换为开关量，实现对电路的自动控制功能。

继电器的种类很多，按输入信号的性质可分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器、压力继电器等；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、电子式继电器等；按用途可分为控制继电器、保护继电器等。

在控制电路中用的继电器大多数是电磁式继电器。电磁式继电器具有结构简单，价格低廉，使用维护方便，触点容量小（一般在 5 A 以下），触点数量多且无主、辅之分，无灭弧装置，体积小，动作迅速、准确，控制灵敏、可靠等特点，广泛地应用于低压控制系统中。

电磁式继电器的结构和工作原理与接触器相似，主要由电磁机构和触点组成。电磁式继电器也分直流和交流两种。图 1-1-23 (a) 所示为直流电磁式继电器结构示意图，在线圈两端加上电压或通入电流，产生电磁力，当电磁力大于弹簧反力时，吸动衔铁使常开、常闭触点动作；当线圈的电压或电流下降或消失时衔铁释放，触点复位。

电磁式继电器与接触器的区别是：继电器可对多种输入量的变化做出反应，而接触器只有在一定的电压信号下才能动作；继电器用于切换小电流的控制电路和保护电路，而接

触器用来控制大电流电路；继电器没有灭弧装置，也无主、辅触点之分，等等。

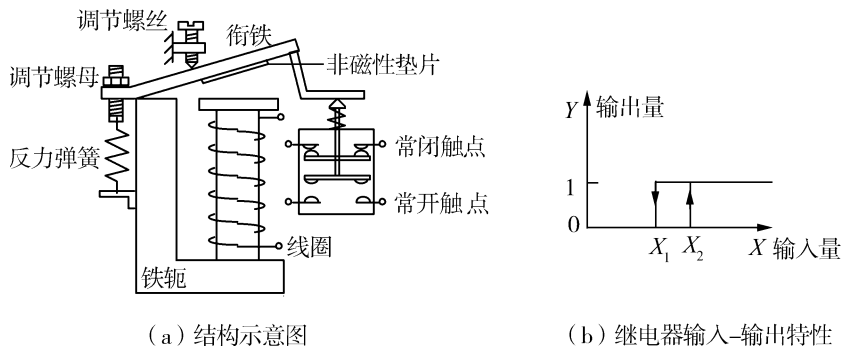


图 1-1-23 直流电磁式继电器

一、电流继电器

电流继电器的输入量是电流，它是根据输入电流大小而动作的继电器。电流继电器的线圈串入电路中，以反映电路电流的变化，其线圈匝数少、导线粗、阻抗小。电流继电器可分为欠电流继电器和过电流继电器。

图 1-1-24 所示为常见的电流继电器及其图形符号。

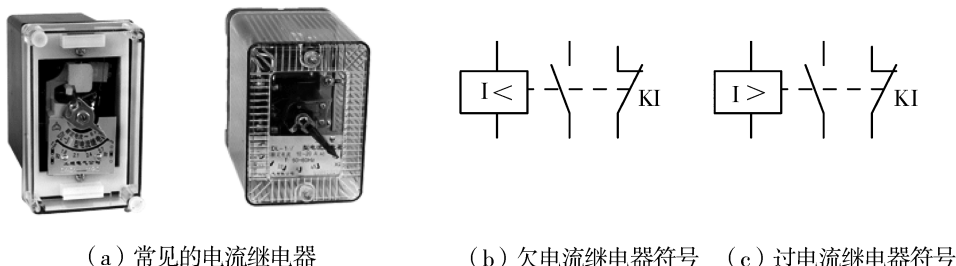


图 1-1-24 电流继电器及其符号

欠电流继电器用于欠电流保护或控制，如直流电动机励磁绕组的弱磁保护、电磁吸盘中的欠电流保护、绕线式异步电动机启动时电阻的切换控制等。欠电流继电器的动作电流整定范围为线圈额定电流的 30%~65%。需要注意的是，欠电流继电器在电路正常工作，电流正常不欠电流时，欠电流继电器处于吸合动作状态，常开触点处于闭合状态，常闭触点处于断开状态；当电路出现不正常现象或故障现象导致电流下降或消失时，继电器中流过的电流小于释放电流而动作。所以，欠电流继电器的动作电流为释放电流，而不是吸合电流。

过电流继电器用于过电流保护或控制，如起重机电路中的过电流保护。过电流继电器在电路正常工作时流过正常工作电流，正常工作电流小于继电器所整定的动作电流，继电器不动作，当电流超过动作电流整定值时才动作。过电流继电器动作时其常开触点闭合，常闭触点断开。过电流继电器整定范围为 $(110\% \sim 400\%) I_N$ ，其中交流过电流继电器为 $(110\% \sim 400\%) I_N$ ，直流过电流继电器为 $(70\% \sim 300\%) I_N$ 。

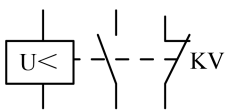
常用的电流继电器的型号有 JL12、JL15 等。

二、电压继电器

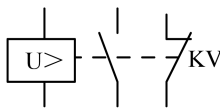
电压继电器的输入量是电路的电压，电压继电器根据输入电压大小而动作。电压继电器工作时并联在电路中，因此线圈匝数多、导线细、阻抗大，反映电路中电压的变化，用于电路的电压保护。图 1-1-25 所示为常见的电压继电器及其图形符号。



(a) 常见的电压继电器



(b) 欠电压继电器图形符号



(c) 过电压继电器图形符号

图 1-1-25 电压继电器及其图形符号

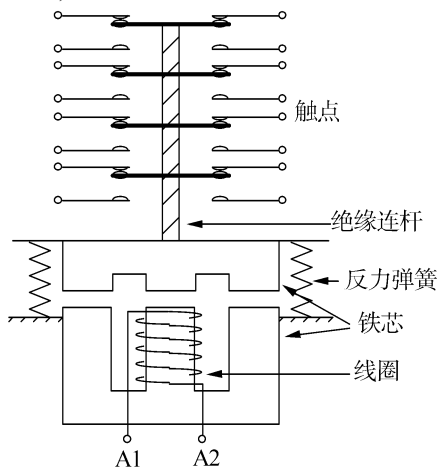
与电流继电器类似，电压继电器可分为过电压继电器和欠电压继电器。对于过电压继电器，当线圈电压为额定电压时，衔铁不产生吸合动作，只有当线圈电压高于其额定电压某一个值时其衔铁才产生吸合动作。所以，称为过电压继电器。过电压继电器在电路中起过电压保护作用。对于欠电压继电器，当线圈的承受电压低于其额定电压时，衔铁就产生释放动作。其特点是释放电压很低，在电路中起低电压保护作用。

过电压继电器动作电压范围为 $(105\% \sim 120\%) U_N$ ；欠电压继电器吸合电压动作范围为 $(20\% \sim 50\%) U_N$ ，释放电压调整范围为 $(7\% \sim 20\%) U_N$ 。零电压继电器是欠电压继电器的一种特殊形式，是当继电器的端电压降至零或接近消失时才动作的电压继电器。

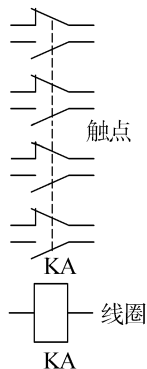
电压继电器常用在电力系统继电保护中，在低压控制电路中使用较少。

三、中间继电器

中间继电器在控制电路中起信号的传递、放大、切换和逻辑控制等作用，主要用于扩展触点数量、实现逻辑控制等。中间继电器是最常用的继电器之一，它的结构和工作原理与接触器基本相同，如图 1-1-26 所示。



(a) 结构示意图



(b) 图形符号

图 1-1-26 中间继电器

中间继电器实质上是一种电压继电器，它是根据输入电压的有或无而动作的，一般触点对数多，触点容量额定电流为 $5\sim 10\text{ A}$ 。中间继电器体积小，动作灵敏度高，一般不用于直接控制电路的负荷，但当电路的负荷电流在 $5\sim 10\text{ A}$ 时，也可代替接触器起控制负荷的作用。

常用的中间继电器型号有JZ7、JZ14、JZC4等。图1-1-27所示为几种常见的中间继电器。



(a) JZ7系列中间继电器 (b) JZY1系列中间继电器 (c) JZC4系列中间继电器

图 1-1-27 常见的中间继电器

思考与练习



扫一扫

1. 继电器-接触器控制系统由几部分组成？
2. 继电器-接触器控制具有哪些优点和缺点？
3. 试述交流接触器的工作原理。
4. 热继电器能否用于短路保护？为什么？
5. 熔断器、热继电器、接触器、组合开关、按钮在电动机控制电路中各起什么作用？
6. 电动机的启动电流大，在电动机启动时，热继电器会不会动作？为什么？
7. 简述绘制电气原理图的原则。

任务二 电动机长动控制电路的装调

教学目标

- ◆掌握电动机点动、长动控制的工作原理。
- ◆进一步熟悉常用的低压电器元件，并能正确使用。
- ◆识读电气原理图，能按电路图安装接线。
- ◆能根据故障现象，分析、排除电动机点动与长动控制电路的故障。
- ◆掌握电气控制线路的分析方法，培养分析电路的能力。
- ◆通过实践操作引导学生弘扬劳动精神，培养其吃苦耐劳的作风、勇于探索的创新精神，增强社会责任感。
- ◆通过规范操作，建立安全文明生产意识、标准意识，养成良好的职业素养，培养严谨的治学精神、精益求精的工匠精神。

◆通过小组合作完成实训任务，培养学生的责任意识、沟通表达能力、团结合作意识，提升团队协作能力。

情境描述



扫一扫

在 X62W 型铣床电气线路中，当按下主轴启动按钮时，主轴电动机启动，主轴开始旋转；当松开启动按钮时，主轴电动机继续旋转；如要使电动机停止，则需要按下停止按钮。电动机的这种连续运行的方式叫作长动运行方式，其控制电路称为长动控制电路（文中电动机的连续运行方式均用“长动”表示）。试根据电气原理图完成电动机长动控制电路的安装接线并调试运行。

工作任务

1. 分析长动控制电路的工作原理。
2. 根据控制要求选择元器件，按照电气原理图完成安装接线。
3. 分析并排除长动控制电路中的常见故障。

知识准备

一、点动控制与长动控制的概念

点动是指按下按钮时电动机才旋转，松开按钮后，电动机即断电停止运行的工作方式。电动机点动控制的应用场合很多，例如 CA6140 型普通车床的刀架快速移动电动机就是点动控制，T68 卧式镗床快速移动电动机的正、反转也是点动控制。另外，有些机床主轴在调整时也需要点动控制。

长动是指按下按钮时电动机启动运行，松开按钮后电动机仍然通电继续运行的工作方式。机床在正常加工过程中，需要主轴电动机的连续旋转，车床的刀架、铣床的工作台等也需要连续的运动，这些都是长动控制。电动机的长动控制电路能实现启动、保持、停止，也叫作启保停控制电路。

二、点动控制电路

如图 1-2-1 所示为电动机点动控制电路电气原理。闭合电源开关 QS，接通三相交流电源后，可实现如下控制。

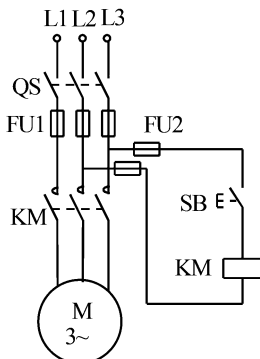


图 1-2-1 电动机点动控制电路电气原理



扫一扫

(一) 电动机的启动

按下按钮SB → 控制电路中交流接触器KM的线圈通电 → 主电路中KM的主触点闭合 → 电动机M与电源接通，启动运行

(二) 电动机的停止

松开按钮SB → 控制电路中KM的线圈断电 → 主电路中KM的主触点断开 → 电动机M与电源脱离，停止运行

由上述控制过程可知，要使点动控制电路中的电动机运行，必须始终用手按住启动按钮。

三、长动控制电路

如图 1-2-2 所示为电动机长动控制电路电气原理。

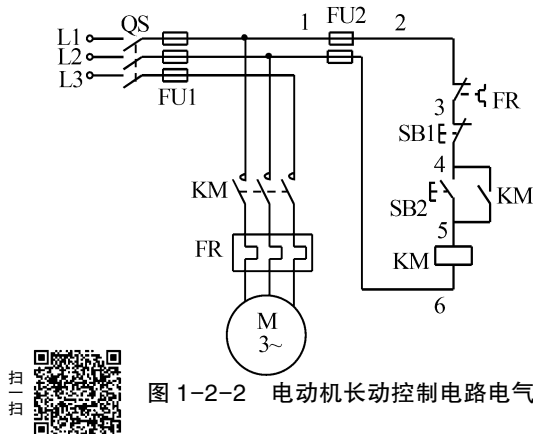


图 1-2-2 电动机长动控制电路电气原理

(一) 电动机的启动

闭合电源开关 QS，接通三相交流电源后，可实现如下控制：

按下按钮SB2 → KM线圈得电 → 主电路中KM主触点闭合 → 电动机通电运行
 → KM辅助常开触点(4-5)闭合 → 松开按钮SB2 → KM辅助常开触点(4-5)不断开 → KM线圈继续通电 → 电动机继续运行

(二) 电动机的停止

电动机停止控制过程如下：

按下按钮 SB1 → KM 线圈断电 → KM 主触点断开 → 电动机断电停止运行

由上述控制过程可知，启保停控制电路中，松开启动按钮，交流接触器继续通电，电

动机继续运行。

用接触器本身的辅助常开触点使其线圈保持连续通电的控制环节叫作“自锁”。与启动按钮并联的该辅助常开触点称为自锁触点。

可以看出,点动控制与长动控制的区别是控制电路是否有“自锁”。

(三) 电路中的保护环节

电动机的长动控制电路中有零压保护、欠压保护、过载保护、短路保护等。

(1) 零压保护:也叫作失压保护,是电动机正在运行时,遇到电源突然停电,电路自动切断电动机电源,在供电恢复时电路不会自行接通的保护。如果未加防范而使电路在供电恢复时自行接通,电动机自行启动,很容易造成设备或人身事故。采用接触器自锁控制的电路,由于控制电路的自锁触点和主电路中的主触点在停电时已经断开,在供电恢复时,电路不会自行接通。

(2) 欠压保护:电动机运行过程中,若电源电压下降,电动机的电流就会增大,电压下降严重时,可能烧坏电动机。在接触器自锁电路中,当电源电压下降很多时(一般低至额定电压的85%以下),接触器的电磁吸力小于复位弹簧的反作用力,衔铁释放,主触点和自锁触点断开,电动机断电停止,从而实现欠压保护。

(3) 过载保护:由热继电器FR作过载保护。当电动机过载时,流过主电路中热继电器热元件的电流较大,控制电路中常闭触点断开,使接触器KM的线圈断电,其主触点和自锁触点都断开,从而使电动机断电停止,起到过载保护作用。

(4) 短路保护:由FU1、FU2分别作主电路和控制电路的短路保护。当主电路或控制电路有短路时,FU1或FU2自动、迅速地熔断,切断故障电路,从而起到保护电路的作用。

任务实施

一、器材准备

- ◆交流接触器1个、按钮2个、熔断器2组、刀开关1个、热继电器1个。
- ◆三相交流异步电动机1台。
- ◆常用电工用具1套、万用表1只。
- ◆导线若干。

二、安全生产和文明生产要求



扫一扫

(一) 安全生产要求

- (1) 遵守实验室安全操作规程,穿戴好电工劳保用品。
- (2) 工具及仪表使用要安全、正确。
- (3) 在指定的实验台上进行操作,并经指导教师许可后方可进行作业。
- (4) 施工前应对所有电器元件逐一检查,有损坏的,须及时更换,确保操作人员的人身安全。
- (5) 严禁带电安装及接线。
- (6) 带电检修故障时,必须有指导教师在现场监护,并确保用电安全。
- (7) 电路接线完毕后确认无误,经指导教师检查后方可通电试车。

(8) 实验结束后,必须先断开电源再拆除线路。

(二) 文明生产要求

- (1) 遵守实验室管理制度。
- (2) 实验操作中要求态度端正、认真负责、一丝不苟、精益求精。
- (3) 实验结束后拆除所有接线,清理施工现场,恢复设备原状,将工具、仪器仪表摆放整齐,保持地面整洁。经指导老师许可后方可离开现场。

三、电路的装调

根据图 1-2-2 所示电动机长动控制电路的电气原理图安装接线及调试运行。装调步骤如下。

(一) 选择与检测元器件



扫一扫

识读电气原理图,选择所需的低压电器元件,记录其型号、规格、数量。逐个检测电气设备和元件,看其规格和质量是否合格。不同的低压电器有不同的检测方法与内容:对于交流接触器与热继电器,应在不通电的情况下,用万用表检查接触器线圈、热继电器的热元件是否完好,各触点的分、断情况是否良好等,在电动机铭牌上查出额定电流值,调整热继电器的整定电流;对于电动机,要用兆欧表检测电动机的绝缘性,并记下质量检测情况,填写电器元件记录表 1-2-1,然后正确选配导线的规格和数量、接线端子板型号等。

表 1-2-1 电器元件记录表

元件名称	电气符号	型号	数量	额定电压	额定电流	主要作用	检测情况
交流接触器							
按钮							
熔断器							
刀开关							
热继电器							
电动机							

(二) 布置元器件

在接线板上安装电器元件,并在各电器元件附近做好与电气原理图上相同代号的标记。电动机长动控制电路的元器件布置如图 1-2-3 所示。

元器件在接线板上的安装工艺要求与布置原则如下:

- (1) 利于安装配线:功能相似的元器件组合在一起,外形尺寸或质量相近的元器件组合在一起。
- (2) 元器件的安装位置要合理、整齐、匀称、间距适当,便于维修查线和更换元器件。
- (3) 强电和弱电要分开:必要时,把弱电部分屏蔽起来,防止外界干扰。

(4) 考虑质量与元器件发热情况：体积大、较重的元器件安装在下面，发热量较大的元器件安装在上面。

(5) 尽可能减少导线数量和长度：将接线关系密切的元器件按顺序组合在一起。

(6) 接线板的进、出线一般采用接线端子连接。

(7) 元器件的安装要松紧适度，保证既不松动，又不因过紧而损坏元器件。

(8) 刀开关在安装时，瓷底应与地面垂直，合闸后手柄应向上，不得倒装或平装。电源应在刀开关的上方，负载应在刀开关的下方，保证分闸后负载端不带电。组合开关安装应使手柄旋转在水平位置为分断状态。

(9) 选择合理的导线走向，布置好接线槽，并安装接线板外部的所有电器。

(三) 安装附件的使用

安装附件是电气控制系统中电气控制柜和配电箱中必不可少的物品，主要用于控制柜中元器件和导线的固定与安装。常用的安装附件如下：

(1) 线槽：线槽又称为走线槽、配线槽等，是用来将电源线、数据线等线材规范地整理、固定在墙上或者天花板上的电工用具，可以使电气控制柜内走线美观、整洁，如图1-2-4 (a) 所示。

(2) 扎线带：扎线带是用于捆扎东西的带子，设计有止退功能，只能越扎越紧，也有可拆卸的扎线带，如图1-2-4 (b) 所示。

(3) 配线标志管：配线标志管是将数字或字母印在塑料管上面，并分割成小段，使用时可以随意组合，将其套在导线的接头端，用来标记导线，如图1-2-4 (c) 所示。

(4) 接线端子、接线插：接线端子是用于方便实现电气连接的一种配件产品，它其实就是一段封在绝缘塑料里面的金属片，两端可接入导线，有螺丝用于紧固或者松开，如图1-2-4 (d) 所示。如果两根导线有时需要连接，有时又需要断开，这时就可以用接线端子把它们连接起来，并且可以随时断开，而不必把它们焊接起来或者缠绕在一起，十分方便、快捷，而且它很适合大量的导线互联。在将导线连接到接线端子上时，通常还需要接线插（俗称线鼻子），如图1-2-4 (e) 所示，用于电线尽头处，套上它后可以更好地连接导线，并使导线方便、可靠地连接到接线端子或接线座上。

(5) 热收缩管：热收缩管一般用在电线电缆等的裸露、连接、交叉部分，起到绝缘防护等功能。热收缩管具有阻燃、绝缘、耐温性能，柔软有弹性，受热（70~90℃）会收缩，广泛应用于各种线束、焊点等的绝缘保护，如图1-2-4 (f) 所示。

(6) 安装导轨：安装导轨用来安装各种标准卡槽，一般由铝合金制成，如图1-2-4 (g) 所示。

(四) 按电气原理图接线



扫一扫

电动机长动控制电路连接后的情况如图1-2-5 所示。

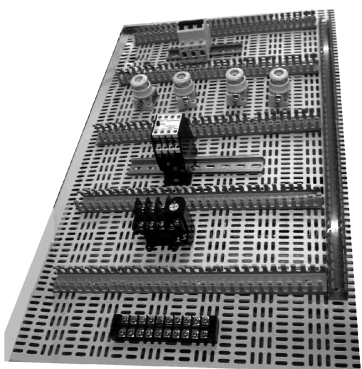
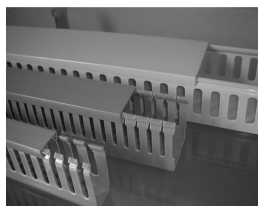


图 1-2-3 电路的元件布置



(a) 线槽



(b) 扎线带



(c) 配线标志管



(d) 接线端子



(e) 接线插



(f) 热收缩管



(g) 安装导轨

图 1-2-4 安装附件

1. 接线步骤

(1) 按照工艺要求进行布线，并在导线线头上套装与电路图相同线号的号码管。

(2) 接线的一般顺序是先接主电路，再接控制电路。

(3) 主电路与控制电路接线完成后，通过接线端子与电动机连接。

(4) 清理安装场地。接线完毕后应清理工作台及接线板，以防止线头、螺钉等小部件遗留在接线板上造成短路等事故。

2. 技术要求

(1) 按图安装接线。

(2) 电器元件接线正确、牢固。

(3) 布线整齐、平直、合理。

(4) 导线绝缘层剥削合适，剥皮的长短要适当，不能损伤芯线。

(5) 接线时导线应不压绝缘层，不反圈，不露铜丝过长，接点牢靠，接触良好。

(6) 有些接线端子不适合连接软导线，可在剥好的线端套上接线头，压线时要压得可靠，不能松动，既不压线过长压到绝缘皮，又不露导体过多。

(7) 接线时把线号管或配线标志管套在导线的接头端，用于配线标识。

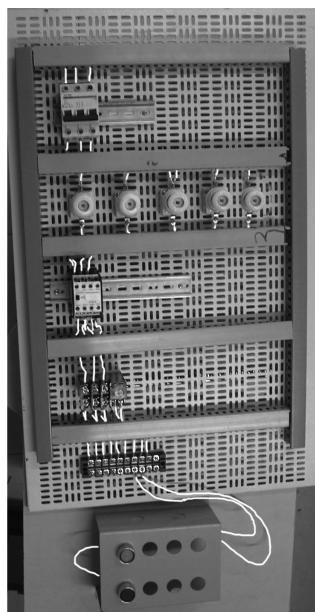


图 1-2-5 连接后的电路

3. 电动机的接线方式

三相交流电动机的定子绕组可按 Δ 形或Y形方式进行接线。

(1) 电动机 Δ 形连接方式：三相绕组的首尾相连，即U1、V1、W1端子分别与W2、U2、V2端子相接，然后将各绕组的首端U1、V1、W1分别与电源三相线相连。

(2) 电动机Y形连接方式：三相绕组的末端相连，即U2、V2、W2端子相接于一点上，然后将各绕组的首端U1、V1、W1分别与电源三相线相连。

电动机定子绕组接线如图1-2-6所示，其接线原理如图1-2-7所示。

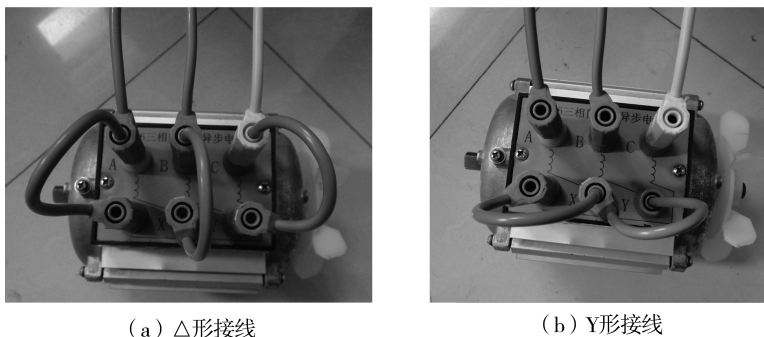


图 1-2-6 电动机定子绕组接线

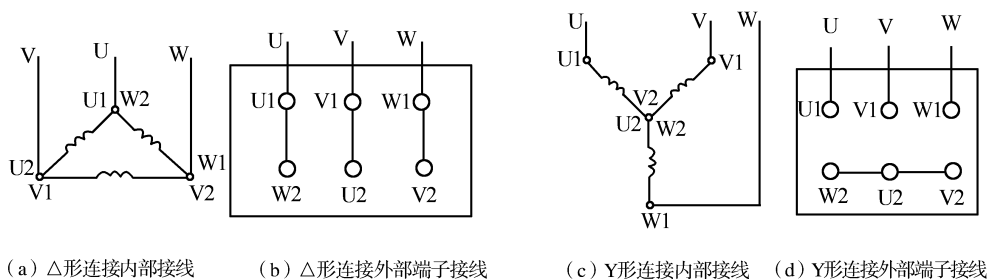


图 1-2-7 电动机定子绕组接线原理

(五) 电路的检测



扫一扫

接线完成后，应对主电路及控制电路分别进行检测。

(1) 通电前检测：在通电运行前，应对主电路及控制电路分别进行检测，一般采用万用表的电阻挡检测，重点检查是否短路。检查电路工作情况时，可在电路不通电的情况下，按下相应的按钮或接触器触点，测量各点通断情况。若发现异常，则逐级检查元器件或导线，及时排除故障。

(2) 通电检测：在电路检查正确无误后，方可进行通电测量。通电测量应在教师指导下进行。首先，接通电源开关，测量电源电压是否正常。其次，在电动机运行时可以使用钳形电流表测量电动机的电流数值，确定电动机运转是否正常。

(六) 功能调试



扫一扫

在电路检查正确无误后，方可进行通电试车。通电时应由教师接通电源并现场监护。描述电动机正常工作时的现象，填写表1-2-2。

表 1-2-2 电动机正常工作时的现象

操作	现象	
	接触器 KM	电动机 M
按下按钮 SB2		
松开按钮 SB2		
按下按钮 SB1		

通电试车时，学生应正确操作，认真观察各电器元件、线路、电动机的工作情况，与工作要求进行比较，看其是否正常。若在操作过程中出现故障，应立即切断电源，对照电气原理图查找原因并排除故障，在调整或修复后方能再次通电试车，直至电路工作正常。如需带电检查，必须有教师在场监护。

在实验过程中，把出现的故障现象和排除方法记录在表 1-2-3 中。

表 1-2-3 电路故障分析与排除

故障现象	故障原因	排除方法

(七) 断电拆线

实验完成后，应先切断电动机的三相交流电源，然后拆除线路。最后要整理现场，将各电气设备和实验物品按规定位置安放整齐，并把有关试验仪器及设备上交指导教师。

四、电路中的常见故障分析与排除



扫一扫

电动机长动控制电路中的常见故障分析及排除方法见表 1-2-4。

表 1-2-4 电路中的常见故障分析及排除方法

故障现象	原因	排除方法
接通电源或按下启动按钮时，熔体立即熔断	电路中有短路	仔细检查电路，看是主电路还是控制电路的故障，然后逐级检查，缩小故障范围
接触器不动作，电动机不能转动	可能是电源输入异常，也可能是控制电路有故障	若按下启动按钮，接触器不动作，说明接触器线圈没有通电，则先检查电源输入是否正常。若正常，则控制电路有故障，应先逐级检查控制电路部分，待控制电路故障排除后，接触器通电动作，再观察电动机是否运行

续表

故障现象	原因	排除方法
接触器动作，电动机不能转动	主电路有故障	若按下启动按钮，接触器动作，说明接触器线圈已通电，控制电路完好，应逐级检查主电路部分
电动机发出异常声音而不能转动或转速很慢	电动机缺相运行，主电路某一相电路开路	检查主电路是否存在线头松脱、接触器某对主触点损坏、熔断器的熔体熔断或电动机的接线有一相断开等
只能点动控制	接触器自锁失灵	检查自锁电路中接触器 KM 的自锁触点及接线情况
接通电源时，没有按下按钮而电动机自行启动	启动按钮被短接	检查控制电路中启动按钮 SB2 的触点及接线
电动机不能停止	可能是接触器的主触点烧焊，也可能是停止按钮被卡住不能断开或被短接	检查接触器和停止按钮的触点及接线

检测评价

任务完成后，请对照任务要求对完成任务的情况进行检测与评价。检测评价标准见附录二的附表 2-2 与附表 2-3。

知识拓展

一、既能长动控制又能点动控制的电路

在实际应用中，有时除了要求电动机能长期工作外，还需要电动机能点动调整，进行短期工作。既能长动控制又能点动控制的电路如图 1-2-8 所示。分析图中的电路是实现长动还是点动，关键在于分析电路中有没有自锁。

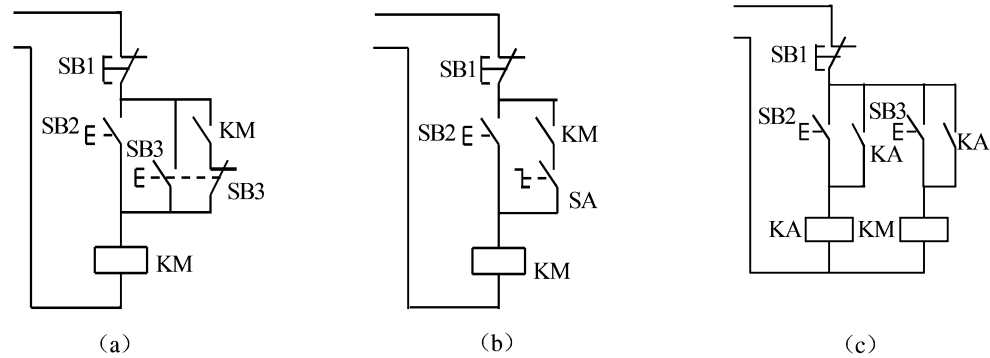


图 1-2-8 既能长动控制又能点动控制的电路

(一) 用按钮实现长动控制和点动控制

图 1-2-8 (a) 所示是用按钮实现长动控制和点动控制的电路。按钮 SB3 实现点动控制，其原理是：按下 SB3 时，其常闭触点先断开，防止自锁；其常开触点后接通，使 KM 线圈得电。当松开 SB3 后，其常开触点先复位断开，常闭触点后复位接通，确保 KM 断电。按钮 SB2 实现长动控制。

(二) 用开关实现长动控制和点动控制

图 1-2-8 (b) 所示是用转换开关实现长动控制和点动控制的电路。当开关 SA 闭合时，自锁触点起作用，为长动控制；当开关 SA 断开时，自锁电路断开，只能进行点动控制。

(三) 用中间继电器实现长动控制和点动控制

图 1-2-8 (c) 所示是用中间继电器实现长动控制和点动控制的电路。按下按钮 SB2，中间继电器 KA 线圈得电自锁，KA 的常开触点使 KM 线圈得电；松开按钮 SB2，由于 KA 不断电，KM 亦继续得电，从而实现长动控制；按下按钮 SB3，由于 KA 线圈不得电，KM 线圈无自锁，只能实现点动控制。

二、多地点控制电路

在许多大型机床中，为操作方便，常需要在多处对电动机进行控制，叫作多地点控制。

图 1-2-9 所示为两地控制电路，可以在甲、乙两地实现对电动机启停控制。按钮 SB11 和 SB12 安装在甲地，按钮 SB21 和 SB22 安装在乙地，接线方法是两地的启动按钮相并联，停止按钮相串联。

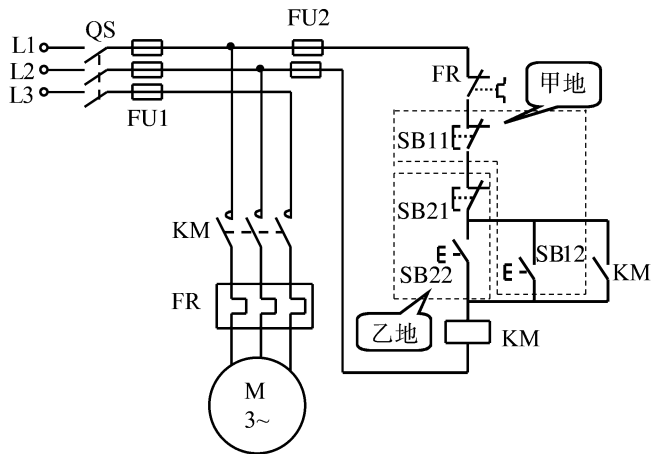


图 1-2-9 两地控制电路



思考与练习



扫一扫

1. 在图 1-2-2 所示长动控制电路中，若主电路有一相熔体已熔断，会发生什么现象？若控制电路有一相熔体已熔断，又会发生什么现象？

2. 什么是“自锁”？电动机点动、长动控制有何不同？

3. 三相异步电动机在运行中断了一相，电动机会有什么现象发生？若停转后，再启动，又有什么现象发生？

4. 试设计可以从两地对一台电动机既能实现长动控制又能实现点动控制的电路。

5. 试设计由异步电动机拖动物料提升机的控制系统。在某品牌空调内机生产线上设计了专用的空中物料通道，避免人行通道和物料通道的交叉。如图 1-2-10 所示，当物料由自动线输送到物料提升机入口时，触发行程开关，自动线停止运行，提升机电机开始工作，把物料提升至空中物料通道。



扫一扫

图 1-2-10 提升机提升物料

任务三 电动机正反转控制电路的装调

教学目标

- ◆ 掌握三相交流异步电动机正反转的原理。
- ◆ 识读三相交流异步电动机正反转的电气原理图，能正确选用电器元件，按电路图安装接线。
- ◆ 掌握电气原理图的分析方法，能根据故障现象分析、排除三相交流异步电动机正反转电路的故障。
- ◆ 通过实践操作引导学生弘扬劳动精神，培养其吃苦耐劳的作风、勇于探索的创新精神，增强社会责任感。
- ◆ 通过规范操作，建立安全文明生产意识、标准意识，养成良好的职业素养，培养严谨的治学精神、精益求精的工匠精神。
- ◆ 通过小组合作完成实训任务，培养学生的责任意识、沟通表达能力、团结合作意识，提升团队协作能力。

情境描述



扫一扫

在 X62W 型铣床操作面板上，改变铣床顺铣和逆铣转换开关的位置，就能改变主轴的旋转方向；改变工作台左右（纵向）操作手柄的位置，工作台向左或向右的移动方向也可以改变。这些电气控制功能是通过三相交流异步电动机的正反转控制电路实现的。

试分析电动机正反转控制电路的电气原理图，完成电路的安装接线及有关故障排除。

工作任务

1. 分析三相交流异步电动机正反转控制电路的工作原理。
2. 根据控制要求选择元器件，按照电气原理图完成安装接线。
3. 分析并排除三相交流异步电动机正反转控制电路中的常见故障。