

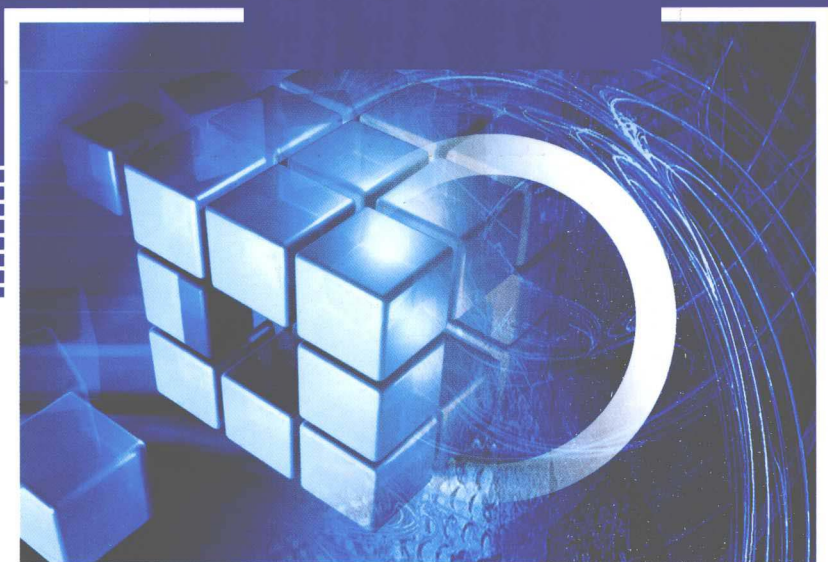


21世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

电气控制与PLC应用

dianqikongzhi yu PLC yingyong

■ 主 编 雷冠军 孔祥伟
■ 副主编 马红雷 刘 辉
朱利强 王冰玉



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书共七章,以实践教学为主线,把基本知识贯穿在项目中。其中前三章是电气控制部分,主要介绍基本控制电路和典型机械设备电气控制系统。后四章是可编程控制器部分,主要介绍可编程控制器的结构、工作原理、基本指令、设计方法和编程技巧。

本书可作为高等院校机电一体化、自动化、电器技术、应用电子、数控技术及相近专业的教材,也可供电气工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 应用/雷冠军,孔祥伟主编. —北京:北京理工大学出版社,2010.2

ISBN 978-7-5640-3008-7

I. ①电… II. ①雷… ②孔… III. ①可编程序控制器-高等学校-教材 ②电气控制-高等学校-教材 IV. ①TP332.3 ②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 015562 号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市南阳印刷有限公司

开 本/710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张/13.25

字 数/248 千字

版 次/2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

印 数/1~2000 册

定 价/25.00 元

责任校对/陈玉梅

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书主要介绍了电气控制技术及系统设计、可编程控制器原理和应用，系统地阐述了电气控制和可编程控制器的分析与设计的一般方法。全书共分为七章，每个章节包含若干个项目，通过项目来阐述所要掌握的理论知识和要实践的内容，达到理论联系实际。前三章介绍的是电气控制，主要内容包括电气控制线路的基本环节、典型机械设备电气控制系统分析、一般控制电路的设计和检修方法。后四章通过四个项目介绍的是可编程控制器，以日本松下电工 FPO 系列机型为基础，主要内容包括可编程控制器结构及工作原理、指令系统、梯形图及编程方法和可编程控制器的应用。每章节都附有适量的思考习题和练习。

本书可作为高等院校机电一体化、自动化、电器技术、应用电子、数控技术及相近专业的教材，也可供电气工程技术人員参考。

由于编者学识和水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请使用本书的师生和广大读者批评指正。

编 者

目 录

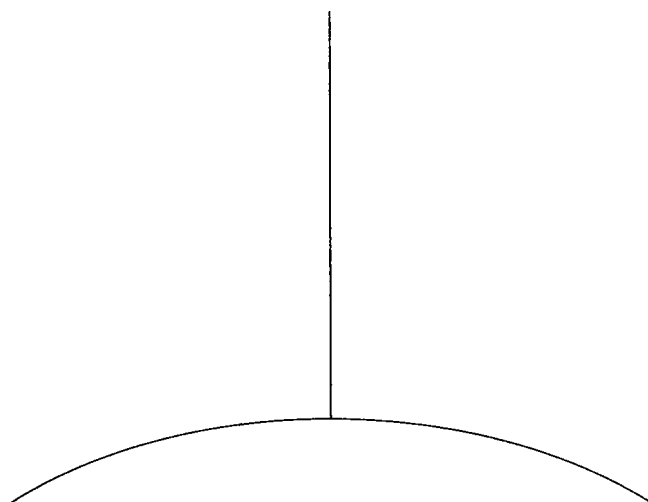
第一篇 电气控制

第一章 小车往复运动的继电 - 接触器控制系统	(3)
项目一 小车往复运动前进的点动控制	(3)
项目二 小车往复运动前进的连续运行控制	(14)
项目三 小车往复运动前进、后退的手动控制	(19)
项目四 小车往复运动前进、后退的自动控制	(24)
习题一	(32)
第二章 三节皮带顺序启停的继电 - 接触器控制	(33)
项目一 两台电动机的顺序启停继电 - 接触器控制	(33)
项目二 三节皮带顺序启停的继电 - 接触器控制	(45)
习题二	(53)
第三章 C650 卧式车床电气控制	(55)
项目一 三相异步电动机制动控制线路	(55)
项目二 定子绕组串电阻降压启动	(61)
项目三 C650 卧式车床的电气控制线路分析	(66)
习题三	(84)

第二篇 可编程控制

第四章 认识 PLC	(89)
习题四	(112)
第五章 PLC 编程元件和基本逻辑指令应用	(114)
项目一 三相电动机的全压启停控制	(114)
项目二 三相电动机的正反转控制	(124)
项目三 三相异步电动机的Y/ Δ 降压启动控制	(132)
项目四 洗手间的冲水清洗控制	(139)
项目五 进库物品的统计监控	(143)
项目六 LED 数码管显示设计	(147)
习题五	(154)
第六章 PLC 编程方法的应用	(156)
项目一 广场喷泉电路设计	(156)

项目二 多种液体自动混合控制	(162)
习题六	(176)
第七章 PLC 高级指令应用	(180)
项目一 行车方向控制	(180)
项目二 自动售货机控制程序	(188)
项目三 机械手控制	(197)
习题七	(205)
参考文献	(206)



第一篇

电 气 控 制

第一章

小车往复运动的 继电 - 接触器控制系统

以小车往复运动的继电 - 接触器控制为载体, 通过本章的学习, 能够根据工程实际需求选用合适的电动机, 能够熟练掌握常用低压电器的符号与作用, 能够掌握电气控制线路国家统一的绘图原则和标准, 并根据国家标准绘制电动机的基本控制线路的电气原理图和电气安装接线图, 能够完成控制线路的安装与检修。

项目一 小车往复运动前进的点动控制

一、项目目标

以小车往复运动前进的点动控制为载体, 通过本项目任务的学习, 能够熟悉低压开关、按钮、交流接触器等常用低压电器的符号与作用。能够绘制出点动控制线路的电气原理图和电气安装接线图, 能够正确分析其控制线路工作原理和电动机的保护设置, 并能够正确选择低压电器并判断其是否完好, 完成控制线路的安装与检修。

二、项目准备

(一) 项目分析

点动控制电路常用于短时工作制电气设备或需精确定位的场合, 如门窗的启闭控制或吊车吊钩移动控制等。点动控制基本环节一般是在接触器线圈中串接常开控制按钮, 在实际控制线路中有时也用继电器常开触头代替按钮控制。

(二) 相关知识

1. 低压刀开关

刀开关是手动电器中结构最简单的一种, 主要用作电源隔离开关, 也可用来非频繁地接通和分断容量较小的低压配电线路。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。

常用刀开关的外形如图 1-1 所示。

刀开关的图形和文字符号如图 1-2 所示。

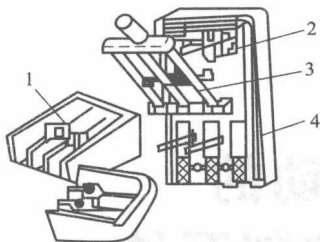


图 1-1 刀开关的外形图

1—胶盖；2—刀座；3—刀片；4—瓷座

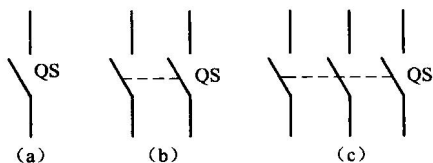


图 1-2 刀开关的图形和文字符号

(a) 单极；(b) 双极；(c) 三极图

刀开关按极数可分为单极、双极与三极。按转换方式分为单投、双投。常用的产品有 HD11 ~ HD14 和 HS11 ~ HS13 系列刀开关。

2. 低压断路器

低压断路器也称为自动空气开关，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。它的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、失电压、漏电保护等）、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。

(1) 结构和工作原理。低压断路器由操作机构、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 1-3 所示。

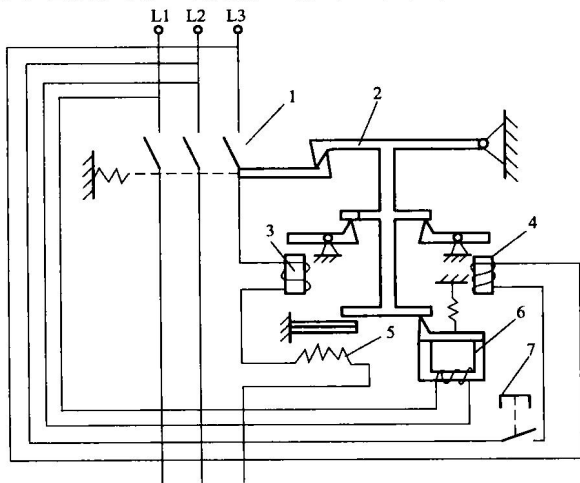


图 1-3 低压断路器工作原理图

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

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，在需要远距离控制时，按下启动按钮，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 装置式断路器。装置式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。

② 框架式低压断路器。框架式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 的配电网络中作为配电干线的主保护。

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络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。

3. 熔断器

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。熔断器主要由熔体和安装熔体的绝缘管（绝缘座）组成。使用时，熔体串接于被保护的电路中，当电路发生短路故障时，熔体被瞬时熔断而分断电路，起到保护作用。

(1) 常用的熔断器。熔断器按其结构形式有插入式（瓷插式）、螺旋式、有填料密封管式等，品种规格很多。

① 插入式熔断器。如图 1-4 所示，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。

② 螺旋式熔断器。如图 1-5 所示。熔体上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，它常用于机床电气控制设备中。螺旋式熔断器分断电流较大，可用于电压等级 500 V 及其以

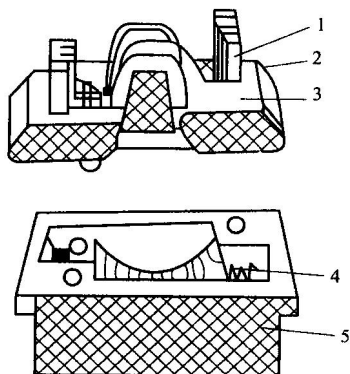


图 1-4 插入式熔断器

1—动触点；2—熔体；3—瓷插件；
4—静触点；5—瓷座

下、电流等级 200 A 以下的电路中作短路保护。

③ 封闭式熔断器。封闭式熔断器分有填料熔断器和无填料熔断器两种，如图 1-6 和图 1-7 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 以下的电路中。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，用于 500 V 以下、600 A 以下电力网或配电设备中。

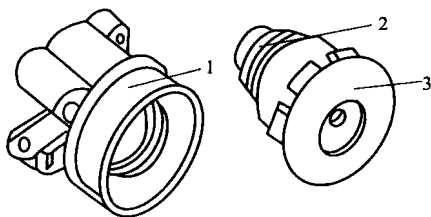


图 1-5 螺旋式熔断器
1—底座；2—熔体；3—瓷帽

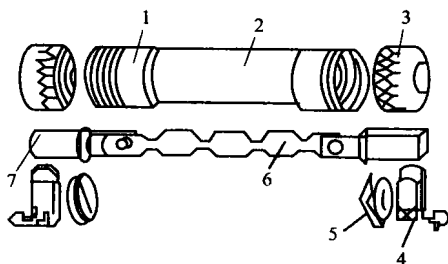


图 1-6 无填料封闭管式熔断器
1—铜圈；2—熔断管；3—管帽；4—插座；
5—特殊垫圈；6—熔体；7—熔片

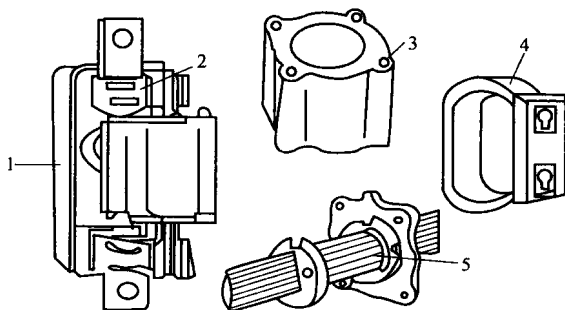


图 1-7 有填料封闭管式熔断器
1—瓷底座；2—弹簧片；3—管体；4—绝缘手柄；5—熔体

前面介绍的熔断器，属常用熔断器，下面两种为新型熔断器。

① 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，它是以银片冲制的有 V 形深槽的变截面熔体。

② 自复熔断器。采用金属钠作熔体，在常温下具有高电导率。当电路发生短路故障时，短路电流产生高温使钠迅速汽化，汽态钠呈现高阻态，从而限制了短路电流。当短路电流消失后，温度降低，金属钠恢复原来的良好导电性能。自

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**。

常用的熔断器有管式熔断器 R1 系列、螺旋式熔断器 RL1 系列、填料封闭式熔断器 RT0 系列及快速熔断器 RS0、RS3 系列等。

(2) 符号。熔断器的文字符号为 FU，图形符号如图 1-8 所示。



图 1-8 熔断器图形和电气符号

4. 控制按钮

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连锁。

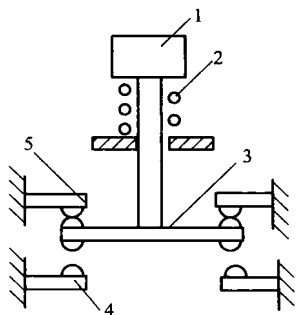


图 1-9 按钮开关结构示意图
1—按钮帽；2—复位弹簧；3—动触点；
4—常开静触点；5—常闭静触点

如图 1-9 所示，控制按钮由按钮帽、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”。

在电气控制线路中，常开按钮常用来启动电动机，也称启动按钮，常闭按钮常用于控制电动机停车，也称停车按钮，复合按钮用于连锁控制电路中。

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。其中 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。

按钮选择的主要依据是**使用场所、所需要的触点数量、种类及颜色**。按钮开关的图形符号及文字符号见图 1-10。

5. 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

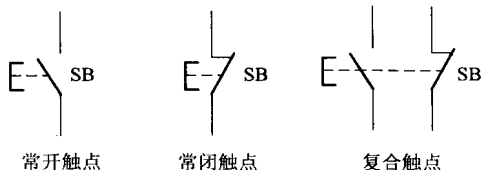


图 1-10 按钮开关的图形和文字符号

地接通或分断交流、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。如图 1-11 所示为交流接触器的外形与结构示意图。交流接触器由以下几部分组成:

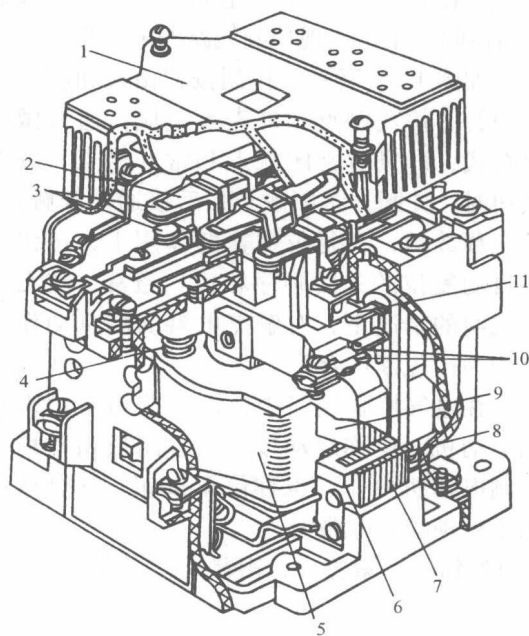


图 1-11 CJ10-20 型交流接触器

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

a. 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。

b. 触点系统包括主触点和辅助触点。主触点用于通断主电路,通常为三对常开触点。辅助触点用于控制电路,起电气连锁作用,故又称连锁触点,一般常开、常闭各两对。

c. 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,常采用双断口触点灭弧、电动力灭弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧。对于大容量的接触器,采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧。

d. 短路环是嵌装在铁芯某一端的铜环,由于交流电磁铁通入交流电,磁场交变,产生的吸力是脉动的,这会引起衔铁振动。

加入短路环后,由于在短路环中产生的感应电流阻碍了穿过它的磁通变化,使磁极的两部分磁通之间出现相位差,因而两部分磁通所产生的吸力不会同时过零,即一部分磁通产生的瞬时力为 0 时,另一部分磁通产生的瞬时力不会是 0,其合力始终不会有零值出现,这样就可减少振动及噪声。

e. 其他部件包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构及外壳等。

电磁式接触器的工作原理如下:线圈通电后,在铁芯中产生磁通及电磁吸

力。此电磁吸力克服弹簧反力使得衔铁吸合，带动触点机构动作，常闭触点打开，常开触点闭合、互锁或接通线路。线圈失电或线圈两端电压显著降低时，电磁吸力小于弹簧反力，使得衔铁释放，触点机构复位，断开线路或解除互锁。

② 交流接触器的分类。交流接触器的种类很多，其分类方法也不尽相同。按照一般的分类方法，大致有以下几种。

- a. 按主触点极数分可分为单极、双极、三极、四极和五极接触器。
- b. 按灭弧介质分可分为空气式接触器、真空式接触器等。
- c. 按有无触点分可分为有触点接触器和无触点接触器。

(2) 直流接触器。

直流接触器的结构和工作原理基本上与交流接触器相同，在结构上也是由电磁机构、触点系统和灭弧装置等部分组成。由于直流电弧比交流电弧难以熄灭，直流接触器常采用磁吹式灭弧装置灭弧。

(3) 接触器的主要技术参数。

① 额定电压。接触器铭牌额定电压是指主触点上的额定电压。通常用的电压等级为：直流接触器有 220 V、440 V 和 660 V；交流接触器有 220 V、380 V 和 500 V。

② 额定电流。接触器铭牌额定电流指主触点的额定电流。常用的电流等级为：直流接触器有 25 A、40 A、60 A、100 A、150 A、250 A、400 A 和 600 A；交流接触器有 5 A、10 A、20 A、40 A、60 A、100 A、150 A、250 A、400 A 和 600 A。

③ 线圈的额定电压。即接触器线圈正常工作的电压。常用的等级为：直流线圈有 24 V、48 V、220 V 和 440 V；交流线圈有 36 V、127 V、220 V 和 380 V。一般情况下，交流负载选用交流接触器，直流负载选用直流接触器，但交流负载频繁动作时可采用直流吸引线圈的接触器。常用的额定电压是直流 110 V、220 V；交流 220 V、380 V。

④ 额定操作频率。额定操作频率是指每小时接通次数。交流接触器最高为 600 次/h；直流接触器可高达 1 200 次/h。

(4) 接触器的符号与型号说明。

① 接触器的符号。接触器的图形符号如图 1-12 所示，文字符号为 KM。

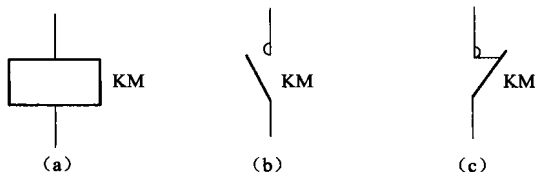
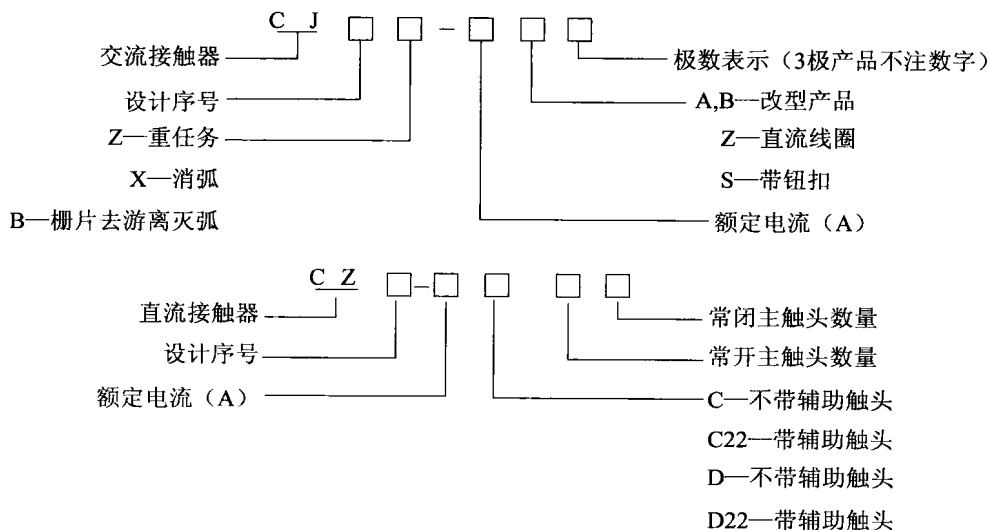


图 1-12 接触器的图形和文字符号

(a) 线圈；(b) 常开触点；(c) 常闭触点

② 接触器的型号说明。



例如：CJ10Z - 40/3 为交流接触器，设计序号 10，重任务型，额定电流 40 A，3 个主触点。CJ12T - 250/3 为改型后的交流接触器，设计序号 12，额定电流 250 A，3 个主触点。

我国生产的交流接触器常用的有 CJ10，CJ12，CJX1，CJ20 等系列及其派生系列产品，CJ0 系列及其改型产品已逐步被 CJ20、CJX 系列产品取代。上述系列产品一般具有三对常开主触点，常开、常闭辅助触点各两对。直流接触器常用的有 CZ0 系列，分单极和双极两大类，常开、常闭辅助触点各不超过两对。

(5) 低压控制电器常用的具体灭弧方法有以下几种：

- ① 机械灭弧。通过极限装置将电弧迅速拉长。这种方法多用于开关电器中。
- ② 磁吹灭弧。在一个与触头串联的磁吹线圈产生的磁场作用下，电弧受电磁力的作用而拉长，被吹入由固体介质构成的灭弧罩内，与固体介质相接触，电弧被冷却而熄灭。

③ 窄缝（纵缝）灭弧法。在电弧所形成的磁场电动力的作用下，可使电弧拉长并进入灭弧罩的窄（纵）缝中，几条纵缝可将电弧分割成数段并且与固体介质相接触，电弧便迅速熄灭。这种结构多用于交流接触器上。

④ 栅片灭弧法。当触头分开时，产生的电弧在电动力的作用下被推入一组金属栅片中而被分割成数段，彼此绝缘的金属栅片的每一片都相当于一个电极，因此就有许多个阴阳极压降。对交流电弧来说，近阴极处，在电弧过零时就会出现一个 150 ~ 250 V 的介质强度，使电弧无法继续维持而熄灭。由于栅片灭弧效应交流时要比直流时强得多，所以交流电器常常采用栅片灭弧。

三、项目实施

主电路由电源开关、熔断器和接触器主触点组成，控制电路由熔断器、按钮和接触器线圈组成。

(一) 电路分析

如图 1-13 所示，合上电源开关 QS，按下按钮 SB，按钮动合触头闭合，接触器 KM 线圈得电，铁芯中产生磁通，接触器 KM 的衔铁在电磁吸力的作用下，迅速带动常开触头闭合，三相电源接通，电动机启动。当按钮 SB 松开时，按钮动合触头断开，接触器 KM 线圈失电，在复位弹簧的作用下触点断开，电动机停止转动。由于在按钮按下时电动机才转动，按钮松开时电动机停止，这样就能实现点动控制，满足任务要求。

(二) 具体实施

1. 根据电气原理图画出电气接线图

由开关、熔断器、接触器的主触头、热继电器的热元件组成的部分称为主电路。主电路中的各部分与被控制电动机相串联。由于主电路几乎是固定不变的，我们只画出控制电路的接线图。首先在原理图上标出各个节点，注意不要少标，也不要多标。具体如图 1-14 所示。

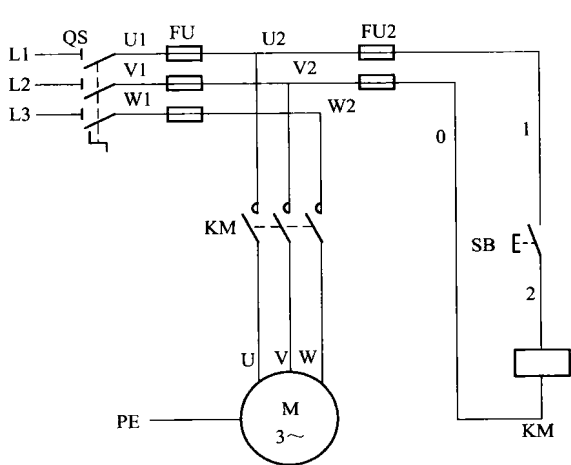


图 1-13 电动机的点动控制电路

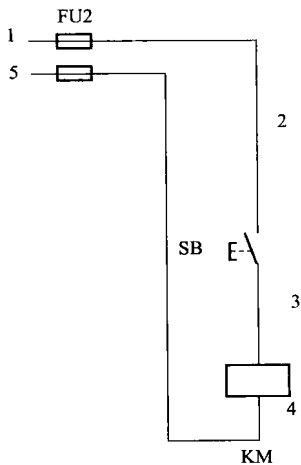


图 1-14 点动控制电路标号图

2. 拆分电路

根据自己所标注的号码，把电路图拆分，同类的器件放在一起，以便于接线。拆分的结果如图 1-15 所示。

3. 接线

在接线板上摆好所需要的器件，如图 1-15 把相同的数字连接在一起，就完

成接线。

4. 调试

按照实验室操作规程和实验要求验证调试直至正常运行,并记录实验过程中出现的故障及解决故障的方法。

四、知识拓展:低压电器的使用及选择

1. 刀开关的选择

刀开关选择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,应考虑其启动电流,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。

2. 低压断路器的选择

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,如确定选用框架式、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。

3. 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 1-16 所示。

从这里可以看出,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

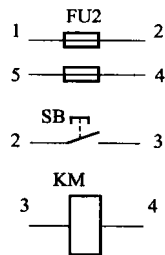


图 1-15 点动控制
电路拆分图