



机电工程类专业“互联网+”创新型精品教材

电气控制与PLC

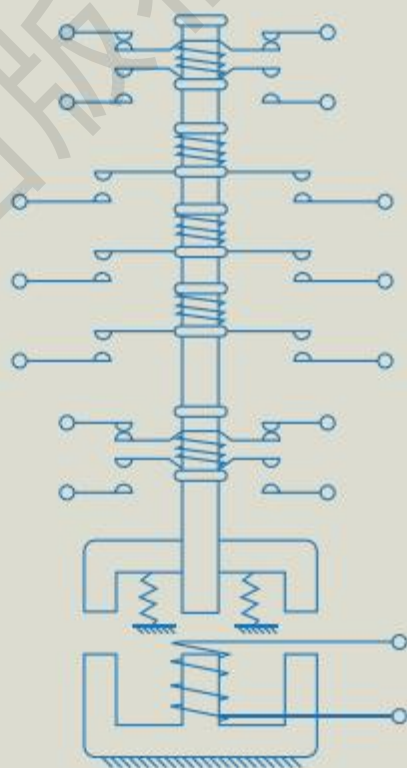
DIANQI KONGZHI YU PLC

主 编 刘子贵

电气控制与PLC

主 编
刘子贵

北京出版集团公司
北京出版社



北京出版集团公司
北 京 出 版 社

内 容 提 要

本书以高级维修电工职业技能资格证所要求的知识、技能为目标,以典型任务为载体,详细介绍了常见电气控制电路,典型设备电气控制电路分析,FX_{2N}系列 PLC 基本指令、步进指令和应用指令的应用,PLC 与变频器的综合应用等内容,培养学生 PLC 控制系统的设计、安装与调试等能力。

本书可作为高职高专机电一体化技术、电气自动化和数控技术等相关专业的教材,也可供工程技术人员自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC / 刘子贵主编. — 北京 : 北京出版社, 2016.7 (2023 重印)
ISBN 978-7-200-12196-4

I. ①电… II. ①刘… III. ①电气控制—高等职业教育—教材②PLC 技术—高等职业教育—教材 IV.
①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 112726 号

电气控制与 PLC

DIANQI KONGZHI YU PLC

主 编: 刘子贵
出 版: 北京出版集团公司
北 京 出 版 社
地 址: 北京北三环中路 6 号
邮 编: 100120
网 址: www.bph.com.cn
总 发 行: 北京出版集团公司
经 销: 新华书店
印 刷: 定州市新华印刷有限公司
版 次: 2016 年 7 月第 1 版 2023 年 4 月修订 2023 年 5 月第 4 次印刷
开 本: 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张: 14.5
字 数: 247 千字
书 号: ISBN 978-7-200-12196-4
定 价: 38.00 元

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393

目 录

1	模块一	常见电气控制电路
1	任务 1	电动机自锁控制电路的分析与安装
16	任务 2	电动机正、反转控制电路的分析与安装
26	任务 3	工程机械的行程和位置控制电路分析与安装
34	任务 4	电动机降压启动控制电路的分析与安装
43	任务 5	电动机制动控制电路的分析与安装
49	模块二	典型设备电气控制电路分析
49	任务 1	YH10-30 型油压机控制电路的分析
58	任务 2	C650 车床控制电路的分析
65	任务 3	X62W 铣床控制电路的分析
78	模块三	PLC 基本指令的应用
78	任务 1	继电器控制系统的 PLC 改造
93	任务 2	3 台电动机顺序启动控制程序设计
106	任务 3	产品出入库数量监控程序设计
115	任务 4	电动机 Y— Δ 降压启动控制程序设计
125	模块四	PLC 步进指令的应用
125	任务 1	自动运料小车控制程序设计
135	任务 2	机械手自动分拣大、小球控制程序设计
144	任务 3	组合钻床控制程序设计
151	模块五	PLC 应用指令的应用
151	任务 1	8 台电动机顺序启动控制程序设计
156	任务 2	电动机手动/自动选择控制程序设计
160	任务 3	停车场车位控制程序设计
170	模块六	PLC 与变频器的综合应用
170	任务 1	PLC 开关量信号控制变频器的调速控制
179	任务 2	PLC 模拟量信号控制变频器的调速控制
191	任务 3	PLC 通过 RS-485 通信实现变频调速
208	附 录	FX_{2N} 系列 PLC 应用指令一览表
214	参考答案	
225	参考文献	

模块一 常见电气控制电路

内容要点 |

- 常用低压电器的结构、工作原理、型号规格和技术参数等。
- 电动机的顺序启动、降压启动和制动等常见控制电路。
- 常见控制电路的接线及其调试。

能力目标 |

- 认识常用低压电器实物并能正确选型。
- 能够熟练分析常见控制电路原理图。
- 能完成常见电气控制电路的安装、调试和维修工作。

任务 1 电动机自锁控制电路的分析与安装

【任务导入】

电动机自锁控制电路是一种广泛采用的连续运行的控制线路，简称长动，即按下启动按钮后，电动机连续运转；按下停止按钮或者电动机过载时，电动机停止，并能够实现电路的短路保护。

【知识预备】

一、基本概念

- 电器：在电能的产生、输送、分配和应用中，起着开关、控制、调节和保护作用的电气设备称为电器。
- 低压电器：是指工作在交流电压 1 200 V、直流电压 1 500 V 以下的各种电器。

二、刀开关

刀开关是一种手动配电电器，它主要用来隔离电源、手动接通或断开交直流电路，也可用于不频繁地接通与分断额定电流以下的负载，如小型电动机、电炉等。刀开关也称为开启式负荷开关。

1. 结构与型号

如图 1-1 所示为开启式刀开关的结构。它主要由手柄、动触点、静触点和底板组成，其中导电部分都固定在瓷底板上，且用胶盖盖着，所以当闸刀合上时，操作人员

不会触及带电部分。胶盖还具有下列保护作用：（1）将各极隔开，防止因极间飞弧导致电源短路；（2）防止电弧飞出盖外，灼伤操作人员；（3）防止金属零件掉落在闸刀上形成极间短路。如图 1-2 所示为装有熔丝的熔断式刀开关，它提供了短路保护功能。

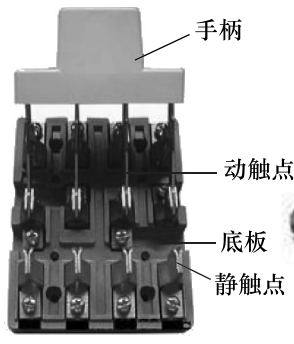


图 1-1 开启式刀开关的结构

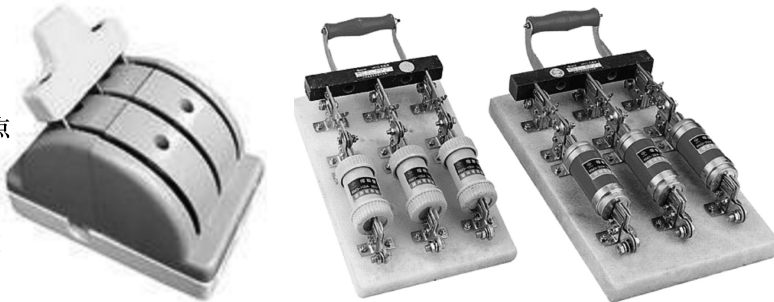


图 1-2 熔断式刀开关

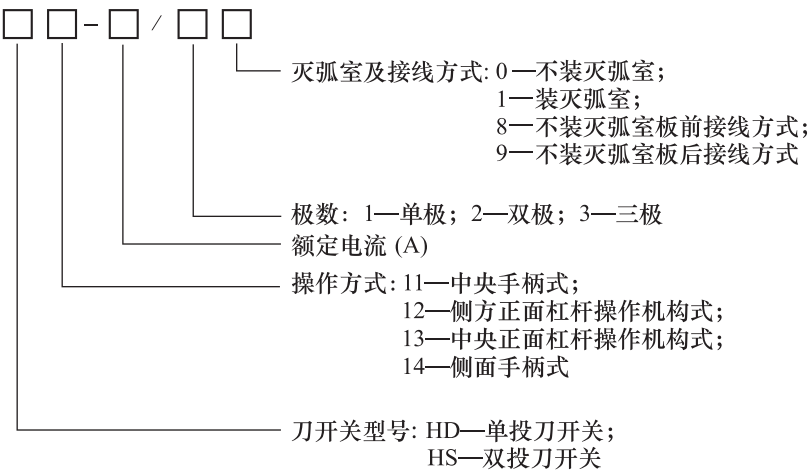
2. 主要技术参数与选择

刀开关种类很多，有双极（额定电压 250 V）和三极（额定电压 380 V）的刀开关等，额定电流有 10~100 A 不等，其中 60 A 及以下的才用来控制电动机。正常情况下，刀开关一般能接通和分断其额定电流，因此，对于普通负载可根据负载的额定电流来选择刀开关的额定电流。

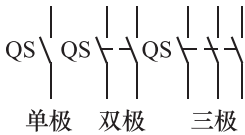
（1）用于照明电路时可选用额定电压 220 V 或 250 V，额定电流等于或大于电路最大工作电流的双极开关。

（2）用于电动机的直接启动，可选用额定电压为 380 V 或 500 V，额定电流等于或大于电动机额定电流 3 倍的三极开关。

3. 刀开关的型号含义和电气符号



(a) 型号含义



(b) 电气符号

图 1-3 刀开关型号含义与电气符号

4. 安装与使用

(1) 胶盖刀开关必须垂直安装在控制屏或开关板上, 不能倒装, 否则有可能在分断状态时闸刀开关松动落下, 造成误接通。

(2) 操作胶盖刀开关时, 不能带重负载, 因为 HK1 系列瓷底胶盖闸刀开关不设专门的灭弧装置, 它仅利用胶盖防止电弧灼伤。

(3) 如果要带一般性负载操作, 动作应迅速, 使电弧较快熄灭, 一方面不易灼伤人手, 另一方面也可减少电弧对动触头和静夹座的损坏。

三、熔断器

熔断器是一种保护电器, 在电路中起短路保护的作用。熔断器串接于被保护电路中, 能在电路发生短路或严重过电流时快速自动熔断, 从而切断电路电源, 起到保护作用。

1. 结构与分类

熔断器由熔断管(或座)、熔断体、填料、导电部件等组成。

熔断管: 由硬质纤维或瓷质绝缘材料制成封闭或半封闭式管状外壳, 熔断体装于其内, 有利于熔断体熔断时熄灭电弧。

熔断体: 由金属材料制成不同的丝状、带状、片状或笼状。

填料: 广泛应用的填料是石英砂, 主要有两个作用, 即作为灭弧介质和帮助熔断体散热, 从而有助于提高熔断器的限流能力和分断能力。

熔断器按结构形式可分为瓷插式、螺旋式、无填料封闭管式、有填料封闭管式等。各种熔断器外观图如图 1-4 所示。



(a) 螺旋式熔断器 (b) 螺栓连接熔断器 (c) 圆筒形帽熔断器 (d) 有填料封闭管式熔断器

图 1-4 各种熔断器外观图

2. 主要技术参数

(1) 熔断器额定电流: 保证熔断器能长期安全工作的额定电流。

(2) 熔断体额定电流: 在正常工作时熔断体不熔断的工作电流。

3. 熔断器的选择

熔断器的额定电压要大于或等于电路的额定电压, 而熔断器额定电流要依据负载情况进行选择。

(1) 电阻性负载或照明电路。这类负载启动过程很短, 运行电流较平稳, 一般按

负载额定电流的 1~1.1 倍选用熔断体的额定电流，进而选定熔断器的额定电流。

(2) 电动机控制电路。这类负载的启动电流为额定电流的 4~7 倍，对于单台电动机，一般选择熔断体的额定电流为电动机额定电流的 1.5~2.5 倍；对于多台电动机，熔断体的额定电流应大于或等于其中最大容量电动机的额定电流的 1.5~2.5 倍，再加上其余电动机的额定电流之和。

为防止发生越级熔断，上、下级（供电干线、支线）熔断器间应有良好的协调配合，为此，应使上一级（供电干线）熔断器的熔断体额定电流比下一级（供电支线）大 1~2 个级差。

4. 熔断器的型号含义和电气符号

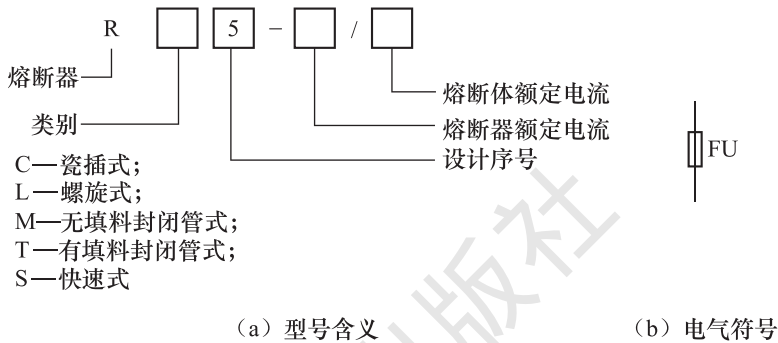


图 1-5 熔断器的型号含义和电气符号

四、按钮

按钮是一种短时接通或断开小电流电路的电器，它不直接控制主电路的通断，而是在控制电路中发出手动“指令”去控制接触器、继电器等电器，再由它们去控制主电路，故称为“主令电器”。

1. 外形与结构

按钮由按钮帽、复位弹簧、桥式触点、外壳等组成。它通常制成具有动合（常开）触点和动断（常闭）触点的复合式结构，其外形如图 1-6 所示。



图 1-6 按钮的外形

2. 工作原理

常态下，按钮有一对动合（常开）触点和一对动断（常闭）触点。按下按钮时，动断（常闭）触点先断开，然后动合（常开）触点闭合。松开手后在反力弹簧的作用下，两对触点复位。按钮结构如图 1-7 所示。

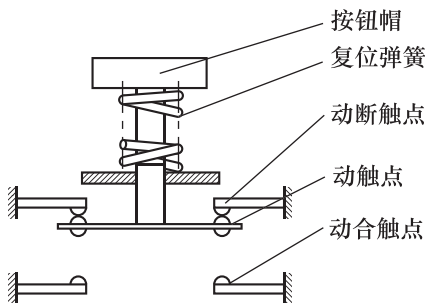
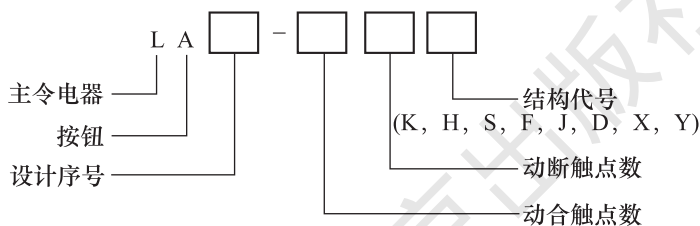


图 1-7 按钮结构示意图

3. 常见系列、型号含义及电气符号

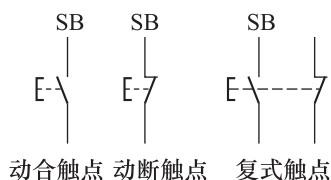
常见按钮有 LA 系列和 LAY1 系列。LA 系列按钮的额定电压为交流 500 V、直流 440 V，额定电流为 5 A；LAY1 系列按钮的额定电压为交流 380 V、直流 220 V，额定电流为 5 A。按钮帽有红、绿、黄、白等颜色，一般红色用作停止按钮，绿色用作启动按钮。



结构代号含义：

K—开启式；H—保护式；S—防水式；F—防腐式；
J—紧急式；D—带指示灯式；X—旋钮式；Y—钥匙式

(a) 型号含义



(b) 电气符号

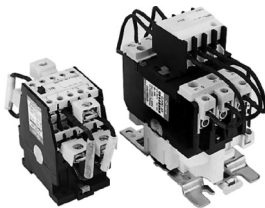
图 1-8 按钮的型号含义与电气符号

五、接触器

接触器是电气控制系统中使用量大、涉及面广的一种低压控制电器，用来频繁地接通和分断交直流主回路和大容量控制电路。其主要控制对象是电动机，能实现远距离控制，配合继电器可以实现定时操作、联锁控制及各种定量控制和失压、欠压保护。接触器的外观如图 1-9 所示。



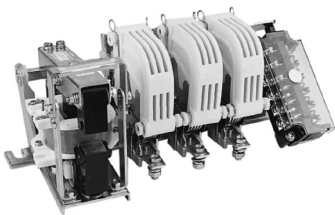
(a) CJ20 接触器（控制交流电动机）



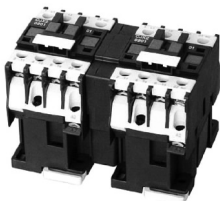
(b) CJ16 (19) 接触器（控制功率补偿的电容器）



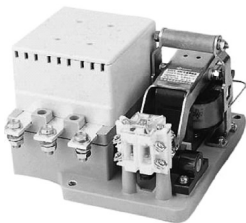
(c) CJ20接触器（控制交流电动机）



(d) CJ12接触器（控制起重设备）



(e) CJX-N接触器（控制电动机正、反转）



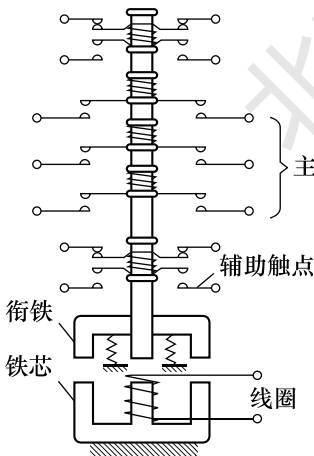
(f) CJT1接触器（控制大容量电动机）

图 1-9 接触器的外观

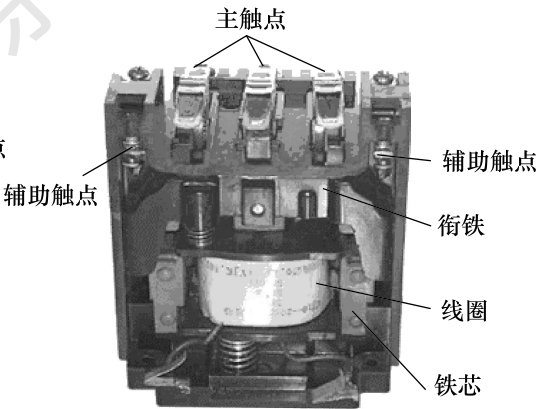
1. 结构

(1) 电磁机构

如图 1-10 所示，电磁机构包括线圈、铁芯和衔铁，是接触器的重要组成部分，用来带动触点实现闭合与断开。其作用是把电能转化成机械能。



(a) 接触器结构示意图



(b) 接触器实物结构图

图 1-10 接触器的结构

(2) 触头系统

如图 1-10 所示，触头是接触器的执行部分，包括主触点和辅助触点。主触点的作用是接通和分断主电路，控制较大的电流，它有 3 对触点，接在主电路中；而辅助触点和线圈接在控制电路中，以满足各种控制方式的要求，其中线圈未通电时处于断开状态的触点称为动合（常开）触点，而处于闭合状态的触点称为动断（常闭）触点。

(3) 灭弧装置

灭弧装置用来保证触点在断开电路时，产生的电弧能够可靠地熄灭，减少电弧对触点的损伤。为了迅速熄灭断开时的电弧，通常接触器都装有灭弧装置，一般采用半封式纵缝陶土灭弧罩，并配有强磁吹弧回路。

2. 工作原理

电磁机构是接触器的动力元件，触头系统是接触器的执行元件。当接触器线圈通电后，在铁芯中产生磁通及电磁吸力，电磁吸力克服弹簧弹力使得衔铁吸合，带动触点机构动作，动断（常闭）触点断开，动合（常开）触点闭合，互锁或接通线路；当线圈失电或线圈两端电压显著降低时，电磁吸力小于弹簧弹力，使得衔铁释放，触点机构复位，解除互锁或断开线路。

3. 主要技术参数

(1) 额定电压。接触器铭牌上的额定电压是指主触点的额定电压。交流电压有 220 V、380 V、500 V，直流电压有 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点的额定电流，有 5 A、10 A、20 A、40 A、60 A、100 A、150 A、250 A、400 A、600 A。

(3) 吸引线圈额定电压。交流电压有 36 V、110 V、220 V、380 V，直流电压有 24 V、48 V、220 V、440 V。

(4) 通断能力。通断能力可分为最大接通电流和最大分断电流。最大接通电流是指触点闭合时不会造成触点熔焊时的最大电流值，最大分断电流是指触点断开时能可靠灭弧的最大电流。一般情况下，通断能力是额定电流的 5~10 倍，当然，这一数值与电路的电压等级有关，电压越高，通断能力越小。

(5) 电气寿命和机械寿命。接触器的电气寿命是指在规定使用类别的正常操作条件下，不需修理或更换零件的负载操作次数。目前接触器的机械寿命已达 1 000 万次以上，电气寿命是机械寿命的 5%~20%。

(6) 额定操作频率。额定操作频率（次/h）是指允许每小时接通的最多次数。交流接触器最高为 600 次/h，直流接触器可高达 1 200 次/h。

4. 常见接触器的型号含义和电气符号

常用的交流接触器有 CJ20、CJX1、CJX2 等系列，直流接触器有 CZ18、CZ21、CZ22、CZ10、CZ2 等系列。

5. 接触器的选择

(1) 接触器主触点的额定电压应大于或等于被控电路的额定电压。

(2) 接触器主触点的额定电流应大于或等于 1.3 倍的电动机的额定电流。

(3) 接触器线圈额定电压的选择。当线路简单、使用电器较少时，可选用 220 V 或 380 V；当线路复杂、使用电器较多时或在不太安全的场所，可选用 36 V 或 110 V。

(4) 接触器的触头数量、种类应满足控制线路要求。

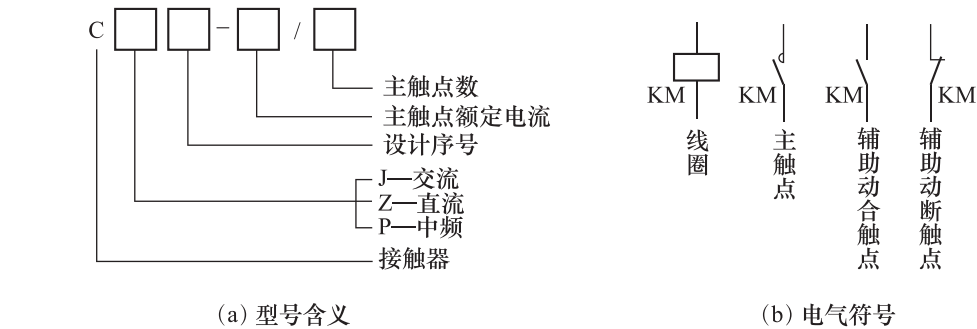


图 1-11 接触器的型号含义和电气符号

(5) 操作频率的选择。当通断电流较大或通断频率超过规定数值时，应选用额定电流大一级的接触器型号；否则，会使触头严重发热，甚至熔焊在一起，造成电动机等负载缺相运行。

六、热继电器

热继电器是利用电流的热效应来推动动作机构，使触头系统闭合或分断的保护电器。其主要用于电动机的过载保护、断相保护、电流不平衡运行的保护及其他电气设备发热状态的控制，在电路中起过载保护作用。热继电器的外形如图 1-12 所示。

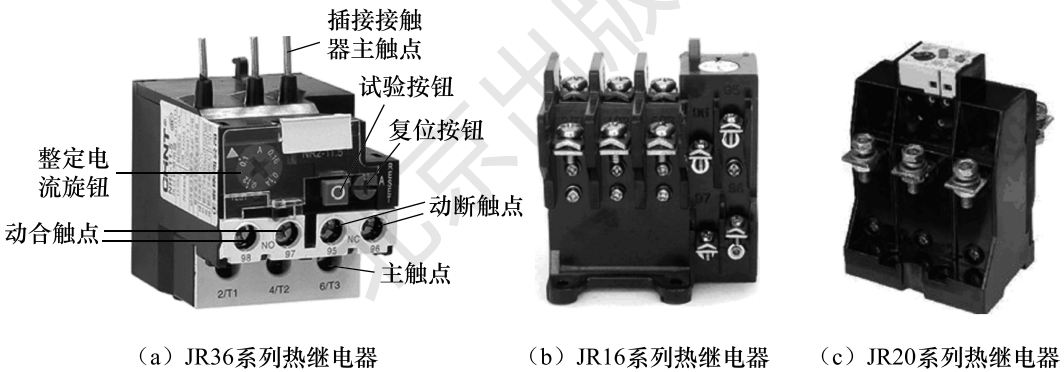


图 1-12 热继电器的外形

1. 结构

如图 1-13 所示，热继电器主要由热元件、双金属片和触点组成。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。触点可使执行机构完成电路的通断。

2. 工作原理

使用时，把热元件串接于电动机的主电路中，而动断（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，流过热元件的电流增大，双金属片弯曲位移增大，推动导板使动断（常闭）触点断开，从而切断电动机控制电路，以起到保护作用。热继电器动作后，要等双金属片冷却后自动复位，或者手动按下复位按钮

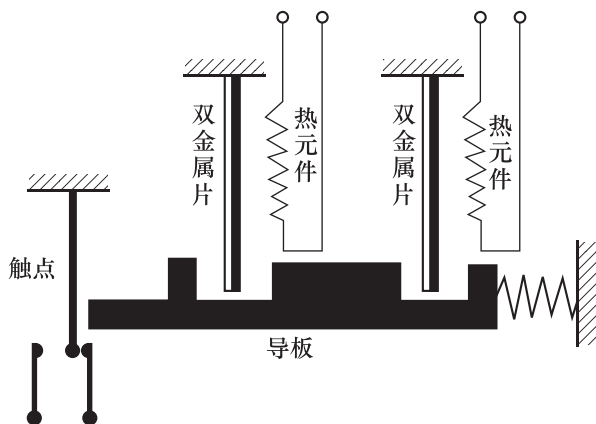


图 1-13 双金属片热继电器结构示意图

才能复位。热继电器由于热惯性，当电路短路时不能立即动作使电路断开，因此，不能作短路保护装置。

3. 热继电器的型号含义及电气符号

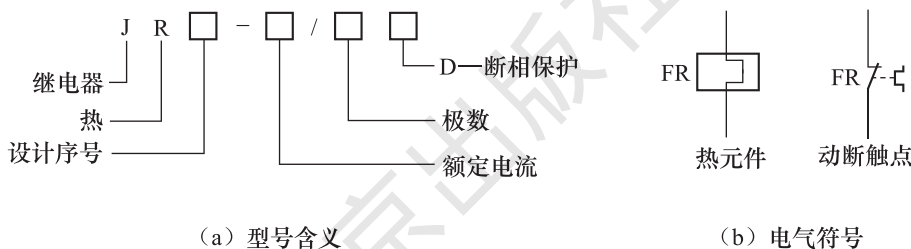


图 1-14 热继电器的型号含义及电气符号

4. 热继电器的选择

(1) 热继电器的类型选择。一般轻载启动、长期工作的电动机或间断长期工作的电动机，选择两相结构的热继电器；电源电压的均衡性和工作环境较差或较少有人看管的电动机，或多台电动机的功率差别较大，可选择三相结构的热继电器；而三角形连接的电动机，应选用带断相保护装置的热继电器。

(2) 热继电器的额定电流的选择。热继电器的额定电流应略大于电动机的额定电流。

(3) 热继电器的整定电流选择。热继电器的整定电流是指热继电器长期不动作的最大电流，超过此值即动作。一般将热继电器的整定电流调整到等于电动机的额定电流；对过载能力差的电动机，可将热继电器的整定电流调整到电动机额定电流的 0.6~0.8；对启动时间较长、拖动冲击性负载或不允许停车的电动机，热继电器的整定电流应调整到电动机额定电流的 1.1~1.15 倍。

【任务实施】

一、电路分析

如图 1-15 所示，首先合上电源开关 QS。

启动过程：

按下 SB2→KM 线圈得电 { KM 主触点闭合→电动机 M 运转
KM 辅助动合触点闭合，自锁

停止过程：

按下 SB1→KM 线圈失电 { KM 主触点分断→电动机 M 停转
KM 辅助动合触点分断，解锁

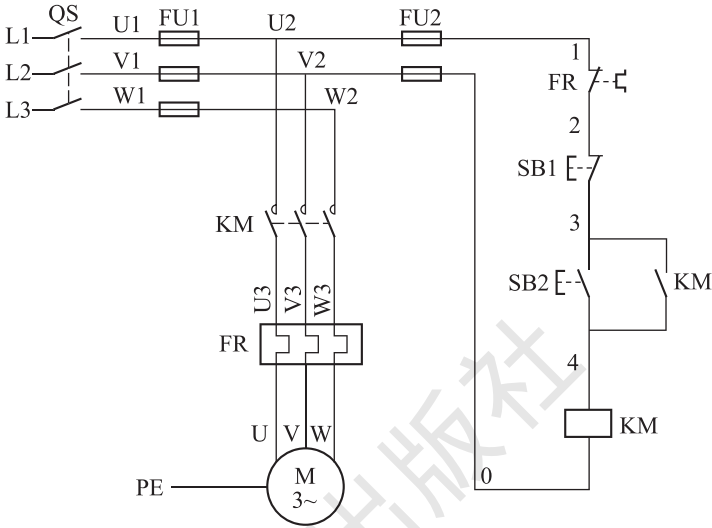


图 1-15 电动机自锁控制电路

二、安装和调试

- 1. 按如图 1-16 所示配齐所用电器元件，并进行质量检验。
- 2. 在控制板上按照图 1-16 所示的电器位置图安装电器元件。

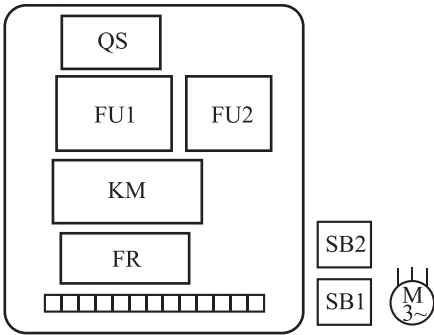


图 1-16 电动机自锁控制电路元件布置图

- 3. 按如图 1-17 所示的电动机自锁电路的接线图进行板前明线布线和套编码套管。布线做到整齐、横平竖直、分布均匀，走线合理；套编码套管正确，严禁损伤线芯和导线绝缘；接点牢靠，不得松动，不得压绝缘层，不反圈，不露线芯太长等。
- 4. 安装电动机，要求安装牢固平稳，以防止在换向时产生滚动而引起事故。
- 5. 可靠连接电动机和按钮金属外壳的保护接地线。

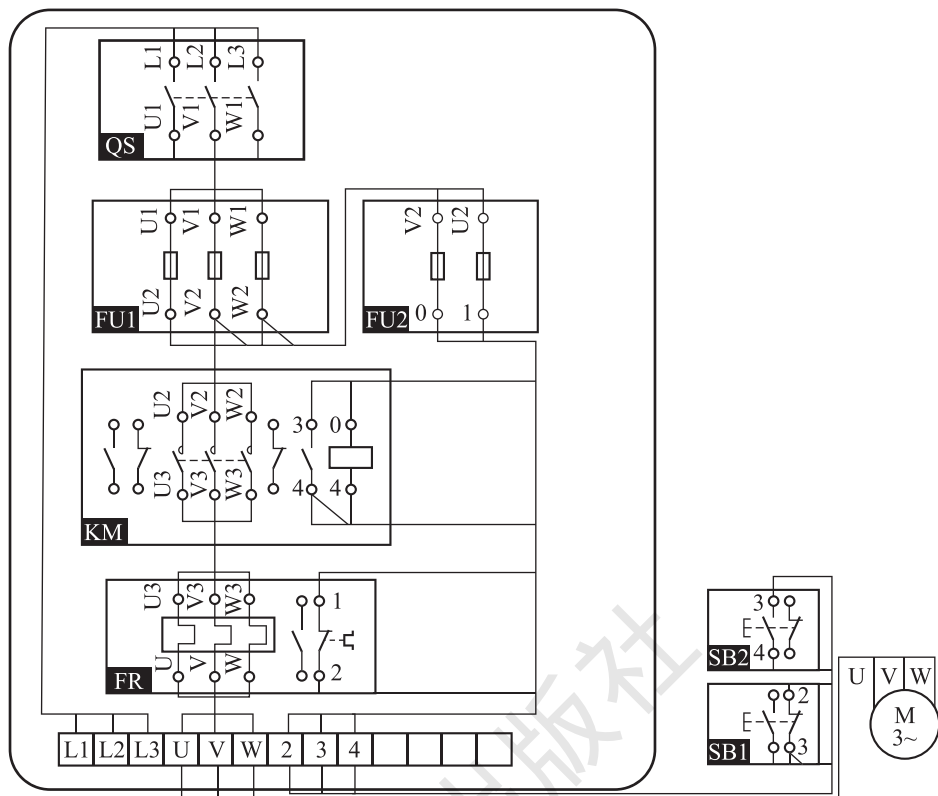


图 1-17 电动机自锁控制电路接线图

6. 连接电源、电动机等控制板外部的导线。

7. 安装完毕后，必须经过认真检查后，方可通电。检查方法如下：

(1) 对照电路图或接线图进行粗查。从电路图的电源端开始，逐段核对接线及接线端子处的线号是否正确，检查导线接点是否牢固；否则，带负载运行时会产生闪弧现象。

(2) 用万用表进行通断检查。先查主电路，此时断开控制电路，将万用表置于欧姆挡，将其表笔分别放在 U1—U2、V1—V2、W1—W2 之间的线端上，读数应接近于零；人为将接触器 KM 吸合，再将表笔分别放在 U1—V1、V1—W1、U1—W1 之间的接线端子上，此时万用表的读数应为电动机绕组的值（此时电动机应为△接法）。再检查控制电路，此时应断开主电路，将万用表置于欧姆挡，将其表笔分别放在 U2—V2 线端上，读数应为“∞”；按下按钮 SB2 时，读数应为 KM 线圈的电阻值。

(3) 用兆欧表进行绝缘检查。将 U 或 V 或 W 与兆欧表的接线柱 L 相连，电动机的外壳和兆欧表的接线柱 E 相连，测量其绝缘电阻应大于或等于 1 MΩ。

8. 在老师的监督下，通电试车。合上开关 QS，按下启动按钮 SB2，观察接触器是否吸合，电动机是否运转。在观察中，若遇到异常现象，应立即停车，检查故障。常见的故障一般分为主电路故障和控制电路故障两类。若接触器吸合，此时电动机不转，则故障可能出现在主电路中；若接触器不吸合，则故障可能出现在控制电路中。

9. 通电试车完毕，切断电源。

【总结与思考】

一、任务总结

1. 自锁控制的实现

如图 1-15 所示，依靠接触器自身辅助动合（常开）触点使其线圈保持通电的现象称为自锁（或称自保），这种控制能够实现电动机的连续运转，若删除了 KM 动合（常开）触点，则变成了点动控制。

2. 短路保护的实现

熔断器 FU1、FU2 分别对主电路和控制电路进行短路保护。为了扩大保护范围，在电路中，熔断器应安装在靠近电源端，通常安装在电源开关下面。

3. 过载保护的实现

图中由热继电器 FR 对电动机进行过载保护。当电动机工作电流长时间超过额定值时，FR 的动断（常闭）触点会自动断开控制回路，使接触器线圈失电，从而使电动机停转，实现过载保护。

4. 欠压和失压保护的实现

如图 1-15 所示，由于接触器本身的电磁机构还能实现欠压和失压保护，当电源电压过低或失去电压时，接触器的衔铁自行释放，电动机断电停转；而当电压恢复正常时，要重新操作启动按钮才能使电动机再次运转，这样可以防止重新通电后因电动机自行运转而发生意外事故。

二、任务思考

如图 1-15 所示，能否省掉熔断器 FU2，用热继电器 FR 来实现控制电路的短路保护功能？为什么？

【知识拓展】

万能转换开关

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。万能转换开关还可以用于直接控制小容量电动机的启动、调速和换向。如图 1-18 所示。

如图 1-19 所示，万能转换开关是由多组相同结构的触点组件叠装而成的多回路控制电器，它由操作机构、定位装置和触点三部分组成。



(a) LW5系列万能转换开关



(b) LW6系列万能转换开关

图 1-18 万能转换开关外观图

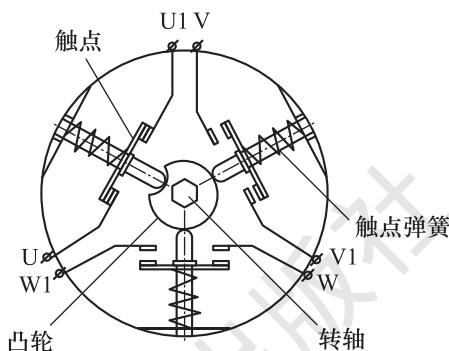


图 1-19 LW6 万能转换开关结构示意图

常用万能转换开关有 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启动。LW5 系列万能转换开关按手柄的操作方式可分为自复式和定位式两种。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一挡位时，不能自动返回原位而停在该挡位。万能转换开关的型号含义及电气符号如图 1-20 所示。

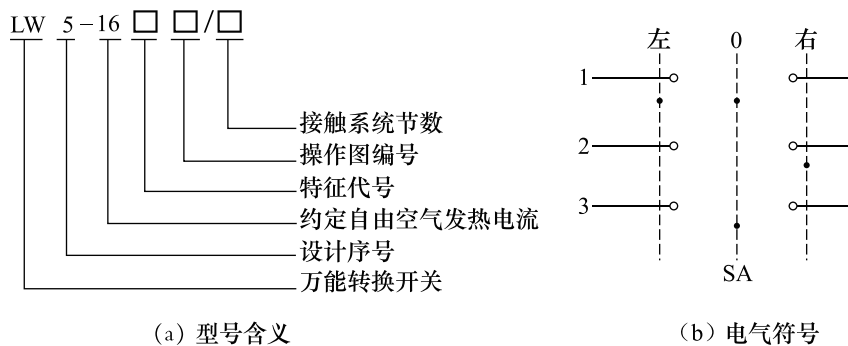


图 1-20 万能转换开关的型号含义及电气符号

如转换开关 LW5-16 YH3/3 中字母和数字分别表示的是：

LW——万能转换开关；

- 5——设计序号；
16——约定自由空气发热电流；
Y——电压；
H——转换的“换”的拼音首字母；
3——三相；
3——三节。

职业技能知识点考核

1. 填空题

- (1) 刀开关主要用来隔离电源、手动接通或断开交直流电路，也可用于_____地接通与分断额定电流以下的负载。
- (2) 刀开关必须垂直安装在控制屏或开关板上，不能_____，即接通状态时手柄朝_____，否则有可能在分断状态时闸刀开关松动落下，造成误接通。
- (3) 熔断器_____于被保护电路中，能在电路发生短路或严重过电流时快速自动熔断，从而切断电路电源，起到保护作用。
- (4) 按钮是一种短时接通或断开_____电流电路的电器，它不直接控制主电路的通断。
- (5) 按钮帽做成不同颜色用以区分按钮作用，一般用红色表示_____按钮，绿色表示_____按钮。
- (6) 接触器的结构主要由_____、_____和灭弧装置等组成。
- (7) 接触器的触点分为主触点和辅助触点，其中前者用于通断较大电流的_____，后者用于通断小电流的_____。
- (8) 线圈未通电时处于断开状态的触点称为_____，而处于闭合状态的触点称为_____。
- (9) 选用接触器时，其主触点的额定电压应_____或_____被控电路的额定电压，主触点的额定电流应_____或_____电动机的额定电流。
- (10) 热继电器是利用_____工作的保护电器，主要用于电动机的_____保护，不宜作为_____保护装置。

2. 选择题

- (1) 在低压电器中，用于短路保护的电器是（ ）。
A. 接触器 B. 熔断器 C. 热继电器 D. 时间继电器
- (2) 在电气控制线路中，若对电动机进行过载保护，则选用的低压电器是（ ）。
A. 接触器 B. 熔断器 C. 热继电器 D. 时间继电器

(3) 下列属于主令电器的是 ()。

- A. 接触器 B. 熔断器 C. 热继电器 D. 按钮

(4) 用于频繁地接通和分断交流主电路和大容量控制电路的低压电器是 ()。

- A. 按钮 B. 交流接触器 C. 热继电器 D. 时间继电器

(5) 熔断器在电路中的作用是 ()。

- A. 普通的过载保护 B. 短路保护和严重过载保护
C. 欠压、失压保护 D. 过电流保护

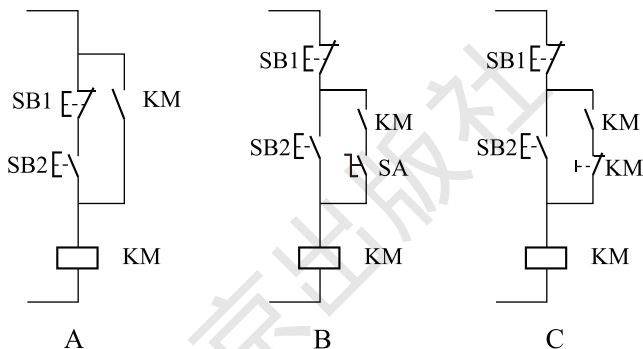
(6) 热继电器在电路中的作用是 ()。

- A. 过载保护 B. 短路保护和严重过载保护 C. 欠压、失压保护

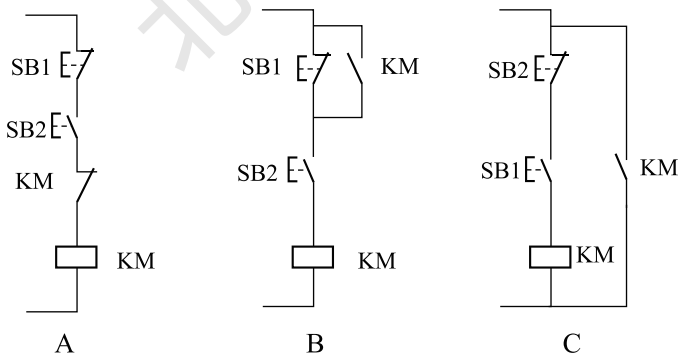
(7) 低压电器是指工作在交流电压 () V 以下的电器装置。

- A. 1 500 B. 1 200 C. 1 000 D. 2 000

(8) 下面的电路中, () 能实现点动和自锁工作。



(9) 下面的电路中, () 按正常操作时能实现点动工作。



3. 简答题

(1) 熔断器与热继电器在用于保护交流三相异步电动机时, 能不能相互取代? 为什么?

(2) 电路中 QS、FU、KM、FR 和 SB 分别是什么电器元件的文字符号?

(3) 交流接触器的主触点、辅助触点和线圈各接在什么电路中? 应如何连接?

(4) 电动机的启动电流很大, 启动时热继电器该不该动作? 为什么?

任务 2 电动机正、反转控制电路的分析与安装

【任务导入】

在生产加工过程中，除了要求电动机实现单向运行外，往往还要求电动机能实现反向运行。如改变机床工作台的运动方向、起重机吊钩的上升或下降等，都是由电动机的正、反转控制来实现的。根据三相交流电动机的工作原理可知，如果将接至电动机的三相电源线中的任意两相对调，就可以实现电动机的反转。

【知识预备】

一、低压断路器

低压断路器（也称自动空气开关）是一种既可以接通和分断正常负荷电流与过负荷电流，又可以接通和分断短路电流的开关电器。在电路中，低压断路器除起控制作用外，还具有一定的保护功能，如过负荷、短路、过载、欠压、漏电保护等。低压断路器可以手动直接操作，也可以电动操作，还可以远方遥控操作。



图 1-21 低压断路器的外形

1. 结构与工作原理

如图 1-22 所示，低压断路器主要由触头、灭弧装置、操作机构、保护装置等组成。低压断路器的保护装置由各种脱扣器来实现。低压断路器的脱扣器形式有过电流脱扣器、热脱扣器、欠电压脱扣器、分励脱扣器等。

(1) 过电流脱扣器

当线路中出现短路故障时，过电流脱扣器 12 的线圈电流急剧上升，磁力增大，衔铁吸合，通过杠杆推动自由脱扣机构，在分闸弹簧的作用下，主触点断开，实现短路保护。

(2) 热脱扣器

当出现过载现象时，热脱扣器 9 的电流增大，双金属片弯曲变形，通过杠杆推动

自由脱扣机构，在分闸弹簧的作用下，主触点断开，实现过载保护。

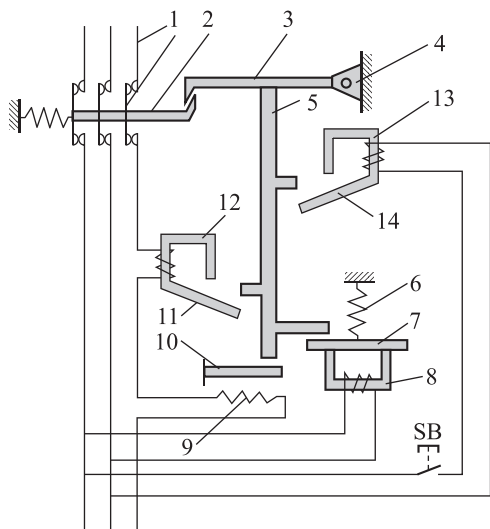


图 1-22 低压断路器的结构示意图

1—主触点；2、3—自由脱扣机构；4—轴；5—杠杆；6—弹簧；7、11、14—衔铁；
8—欠电压脱扣器；9—热脱扣器；10—双金属片；12—过电流脱扣器；13—分励脱扣器

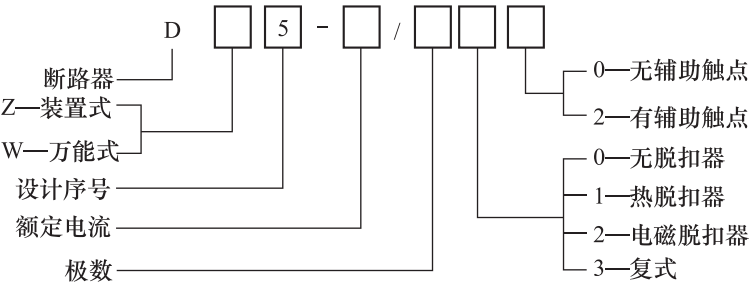
(3) 欠电压脱扣器

当电源停电或电压过低时，欠电压脱扣器 8 的线圈电流产生的吸力不足以克服弹簧力，衔铁释放，通过杠杆推动自由脱扣机构，在分闸弹簧的作用下，主触点断开，实现欠电压保护。

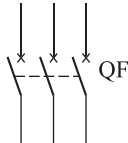
(4) 分励脱扣器

按下 SB 按钮，分励脱扣器 13 的线圈得电，衔铁吸合，通过杠杆推动自由脱扣机构，在分闸弹簧的作用下，主触点断开，实现低压断路器的远程分闸控制。

2. 型号含义和电气符号



(a) 型号含义



(b) 电气符号

图 1-23 低压断路器的型号含义和电气符号

3. 分类

低压断路器的分类方式很多，按极数分为单极式、二极式、三极式和四极式，按灭弧介质分为空气式和真空式（目前国产多为空气式），按操作方式分为手动操作、电动操作和弹簧储能机械操作，按安装方式分为固定式、插入式、抽屉式、嵌入式等，

按结构形式分为 DW15、DW16、CW 系列万能式（又称框架式）和 DZ5 系列、DZ15 系列、DZ20 系列、DZ25 系列塑壳式低压断路器。低压断路器的容量范围很大，最小为 4 A，最大可达 5 000 A。

在控制线路中，常用塑壳式低压断路器作为电源引入开关或作为控制和保护不频繁启动、停止的电动机开关以及用于宾馆、机场、车站等大型建筑的照明电路。其操作方式多为手动，主要有扳动式和按钮式两种。万能式（框架式）低压断路器主要用于供电系统。

4. 主要技术参数

(1) 额定电压

低压断路器的额定电压是指与通断能力及使用类别相关的电压值。对多相电路而言，是指相间的电压值。

(2) 额定电流

① 低压断路器壳架等级额定电流用尺寸和结构相同的框架或塑料外壳中能装入的最大脱扣器额定电流表示。

② 低压断路器额定电流。低压断路器额定电流是指在规定条件下低压断路器可长期通过的电流，又称为脱扣器额定电流。对带可调式脱扣器的低压断路器而言，是可长期通过的最大电流。

例如，DZ10—100/330 型低压断路器壳架等级额定电流为 100 A，脱扣器额定电流等级有 15 A、20 A、25 A、30 A、40 A、50 A、60 A、80 A、100 A，共计 9 种。其中最大的额定电流 100 A 与壳架等级额定电流一致。

(3) 额定短路分断能力

额定短路分断能力是指低压断路器在额定频率和功率因数等规定条件下，能够分断的最大短路电流值。

5. 选择

(1) 低压断路器的额定电压和额定电流应大于或等于被保护线路的正常工作电压和负载电流。

(2) 热脱扣器的整定电流应等于所控制负载的额定电流。

(3) 过电流脱扣器的瞬时脱扣整定电流应大于负载正常工作时可能出现的峰值电流。用于控制电动机的低压断路器，其瞬时脱扣整定电流：

$$I_Z = K I_{st}$$

式中： K ——安全系数，可取 1.5~1.7； I_{st} ——电动机的启动电流。

(4) 欠电压脱扣器额定电压应等于被保护线路的额定电压。

(5) 低压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。

二、电气系统图

电气系统图一般有 3 种：电气原理图、电器元件布置图、电气安装接线图。

1. 电气原理图

电气原理图用图形和文字符号表示电路中各个电器元件的连接关系和电气工作原理，它并不反映电器元件的实际大小和安装位置。

现以 CW6132 型普通车床的电气原理图为例说明绘制电气原理图应遵循的一些基本原则，如图 1-24 所示。

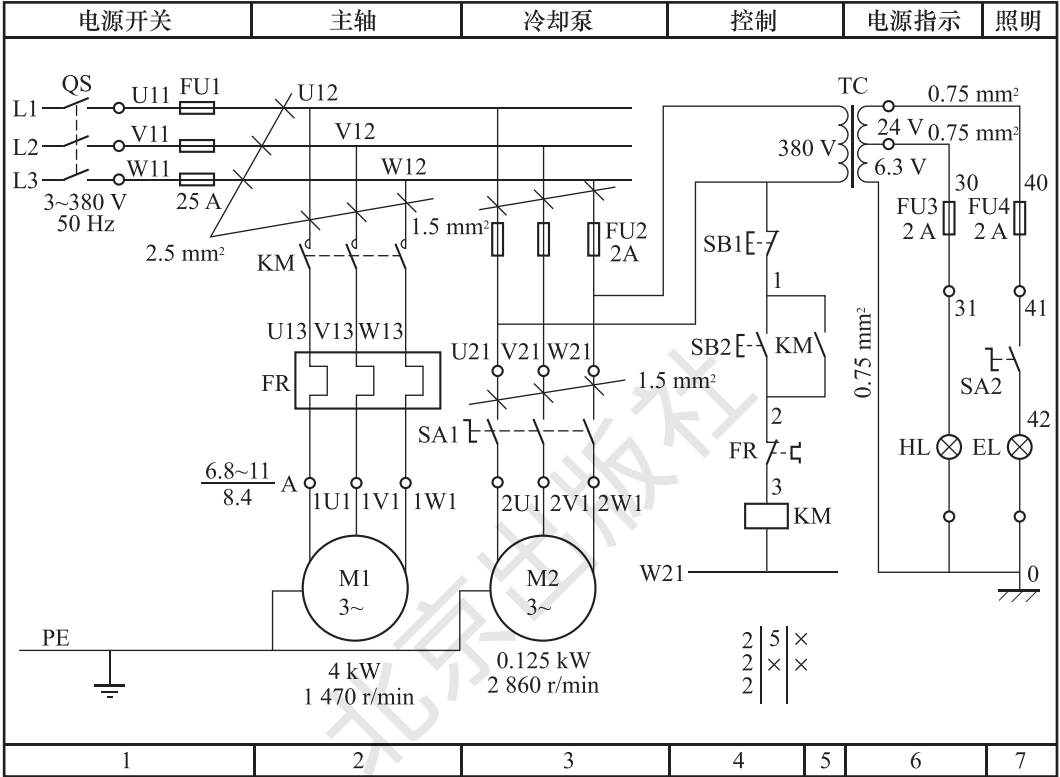


图 1-24 CW6132 型普通车床的电气原理图

(1) 电气原理图一般分为主电路、控制电路和辅助电路 3 部分。如图 1-24 所示，1、2、3 区为主电路，包括从电源到电动机的电路，电路中电流较大。图中 4、5 区为控制电路，电路中电流较小，实现控制逻辑关系的电路。图中 6、7 区为辅助电路，一般具有照明、信号指示和检测等功能。

(2) 电气原理图中所有电器元件的图形符号和文字符号必须符合国家规定的统一标准。电器元件采用分离画法，即同一电器的各个部分可以不画在一起，但必须用同一个文字符号标注。同类电器须在文字符号后加上序号以示区分，如 FU1~FU4。

(3) 在电气原理图中，所有电器的可动部分均按原始状态画出，即继电器、接触器的触点应按其线圈未得电时的状态画出；对于按钮、行程开关等主令电器应按其未受外力作用时画出。

(4) 动力电路的电源线应水平画出；主电路应垂直于电源线画出；控制电路和辅助电路应垂直地画在两条或几条水平电源线之间；耗能元件（如线圈、电磁阀、照明

- 灯、信号灯等）应接在下面一条电源线一侧，而各种控制触点应接在另一条电源线上。
- (5) 应尽量减少线条数量，避免线条交叉。
- (6) 电气原理图上应标出各个电源电路的电压值、极性 or 频率及相数。
- (7) 为方便阅图，在电气原理图中可将图幅分成若干个图区，图区的代号用英文字母表示，一般可省略，列的代号用阿拉伯数字表示，其图区编号写在图的下面，并在图的顶部标明各图区电路的作用。
- (8) 在继电器、接触器线圈下方均列有触点表以说明线圈和触点的从属关系，即“符号位置索引”。

2. 电器元件布置图

电器元件布置图反映各电器元件的实际安装位置，在图中电器元件用实线框表示，而不必按其外形画出。图中往往还需留有 10% 以上的备用面积及导线管（槽）的位置，以供走线和改进设计时用。图中还需要标注出必要的尺寸。如图 1-25 所示。

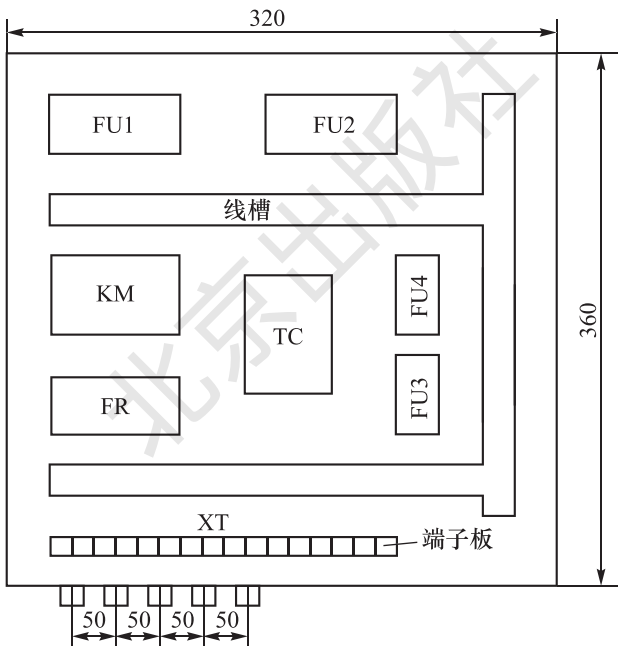


图 1-25 CW6132 型普通车床的电器元件布置图

3. 电气安装接线图

电气安装接线图反映的是电气设备各控制单元内部元件之间的接线关系，如图 1-26 所示。

- (1) 各电器元件按在底板上的实际位置绘出，一个元件所有部件应画在一起并用虚线框起来。
- (2) 接线图中元件图形符号、文字符号、接线端子符号应与原理图一致。
- (3) 走向相同的相邻导线可绘成一根线，走线通道应尽量少。
- (4) 安装底板内、外的电器元件之间的连线应通过接线端子板连接。

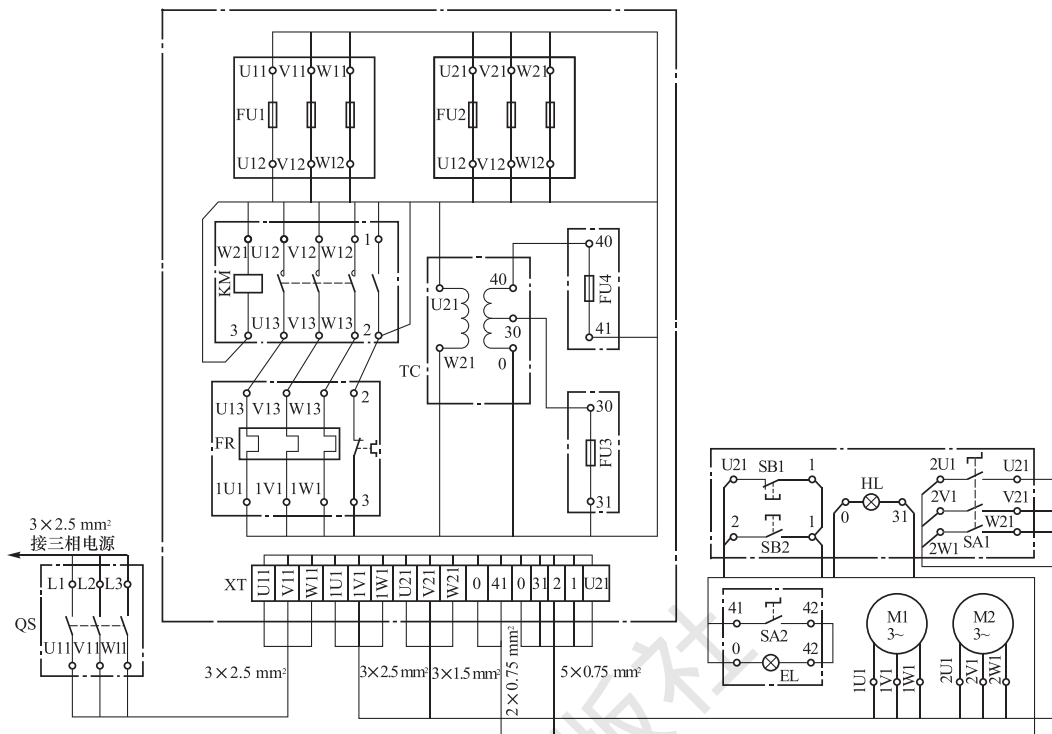


图 1-26 CW6132 型普通车床的电气安装接线图

【任务实施】

一、电路分析

如图 1-27 所示，若先按下正转启动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电并自锁，电动机开始正转；若先按下反转启动按钮 SB3，接触器 KM2 线圈得电并自锁，电动机开始反转。

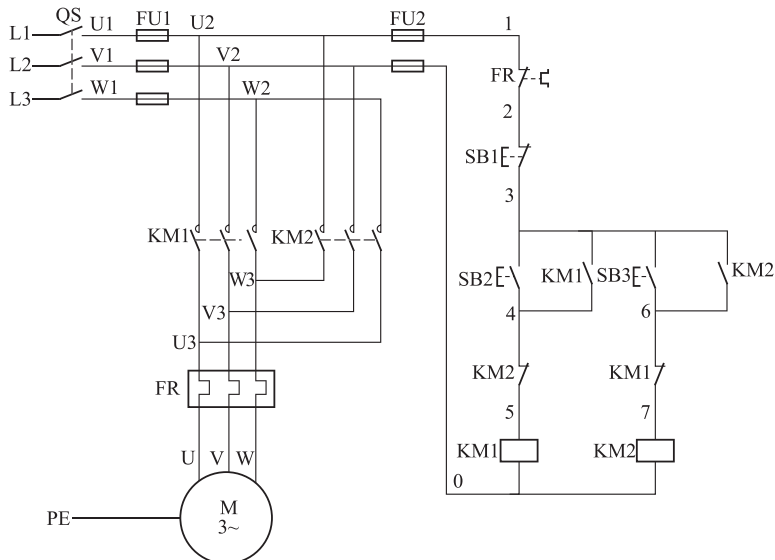


图 1-27 电动机正、反转控制电路

先合上电源开关 QS，正转启动过程如下：

按下 SB2→KM1 线圈得电 { KM1 主触点闭合→电动机 M 正转
KM1 辅助动断触点分断，对 KM2 互锁
KM1 辅助动合触点闭合，自锁

停止过程如下：

按下 SB1→KM1 线圈失电 { KM1 主触点分断→电动机 M 停转
KM1 辅助动断触点闭合，互锁解锁
KM1 辅助动合触点分断，自锁解锁

反转启动过程如下：

按下 SB3→KM2 线圈得电 { KM2 主触点闭合→电动机 M 反转
KM2 辅助动断触点分断，对 KM1 互锁
KM2 辅助动合触点闭合，自锁

二、安装和调试

- 1. 按如图 1-28 所示配齐所用电器元件，并进行质量检验。
- 2. 在控制板上按照如图 1-28 所示的电器位置图安装电器元件。

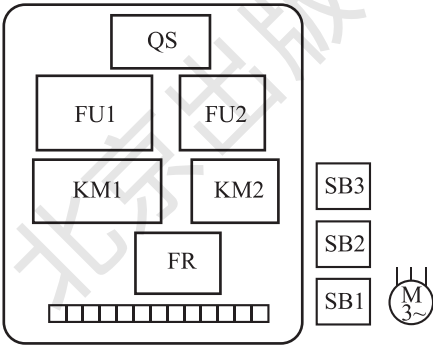


图 1-28 电动机正、反转控制电路的电器元件布置图

- 3. 按如图 1-29 所示的接线图进行板前明线布线和套编码套管。

布线做到整齐、横平竖直、分布均匀，走线合理；套编码套管正确，严禁损伤线芯和导线绝缘；接点牢靠，不得松动，不得压绝缘层，不反圈，不露线芯太长等。

- 4. 安装完毕后，必须经过认真检查后，方可通电。
- 5. 通电试车，若遇到异常现象，应立即停车，检查故障。

【总结与思考】

一、任务总结

1. 控制电路的通用性

该控制电路可以应用于许多场合，如机床工作台的进给方向、电梯的升降、小车

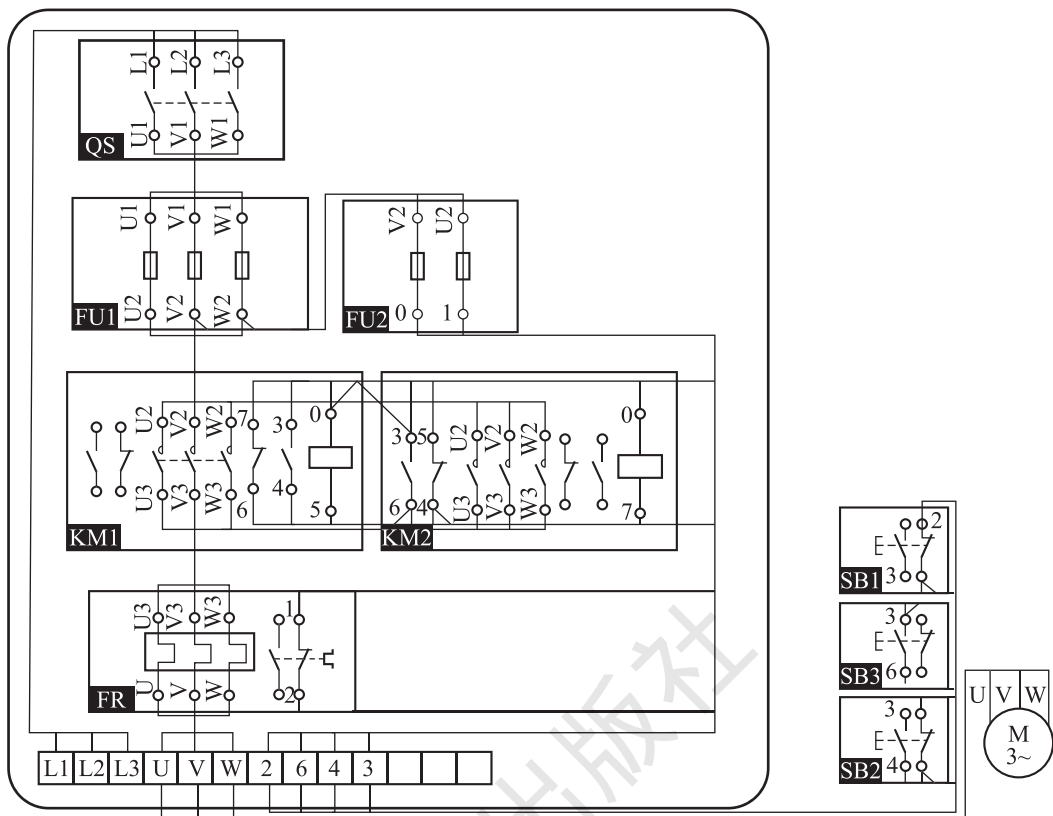


图 1-29 电动机正、反转控制电路的接线图

的前进与后退（左移与右移）等，都是由电动机正、反转实现的控制动作。

2. 互锁控制的实现

电动机的正转与反转是不能共存的动作，而且接触器 KM1 和 KM2 同时得电会造成电源相间短路，因此，分别将两个接触器 KM1、KM2 的辅助动断（常闭）触点串接在对方的线圈回路中，这样可以产生互相制约的作用，即一个接触器通电时，其辅助动断（常闭）触点会断开，使另一个接触器的线圈支路不能通电，这种控制方法称为互锁（也称为联锁）。

3. 正、反转切换分析

如图 1-27 所示，电动机的正转与反转启动不可直接相互切换，如按下启动按钮 SB2，电动机正转；按下启动按钮 SB3 后，电动机无法反转，需要按下停止按钮 SB1 后方可切换转向。

二、任务思考

如图 1-27 所示，如何完善控制电路才能让电动机的正转与反转启动可直接相互切换？

【知识拓展】

漏电保护器

漏电保护器（又叫漏电保护开关）是一种电气安全装置。将漏电保护器安装在低压电路中，在电气设备发生漏电或出现接地故障，且达到保护器所限定的动作电流值时，漏电保护器能在非常短的时间内立即动作，自动断开电源进行保护。断路器与漏电保护器（脱扣器）两部分合并起来就构成一个完整的漏电断路器，具有过载、短路、漏电等保护功能。如图 1-30 所示。

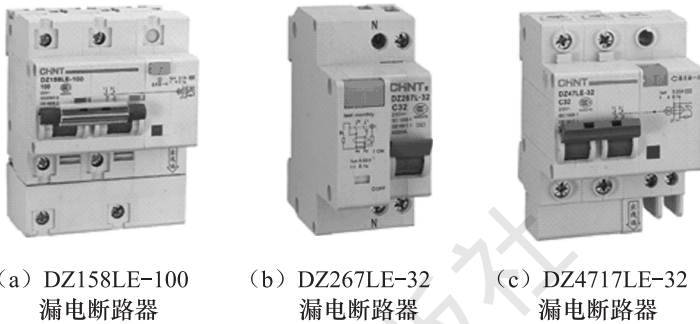


图 1-30 漏电断路器的外形

一、分类

按动作方式可分为电压动作型和电流动作型，按动作机构可分为开关式和继电器式，按极数和线数可分为单极二线、二极二线、二极三线等。

二、选择

- 1. 以防止人身触电为目的，安装在线路末端，选用高灵敏度、快速型漏电保护器。
- 2. 防止触电和设备接地并用的分支线路，选用中灵敏度、快速型漏电保护器。
- 3. 以防止由漏电引起的火灾和保护线路、设备为目的的干线，应选用中灵敏度、延时型漏电保护器。
- 4. 保护单相线路（设备）时，选用单极二线或二极二线漏电保护器。
- 5. 保护三相线路（设备）时，选用三极四线产品。
- 6. 既有三相又有单相时，选用三极四线或四极四线产品。

三、使用方法

- 1. 在选定漏电保护器的极数时，必须与被保护的线路的线数相适应。
- 2. 一般每月要做一次功能试验。生产现场的漏电开关在电工接完线后要做功能试验。
- 3. 无论是单相负荷还是三相与单相的混合负荷，相线与零线均应穿过零序电流互感器。
- 4. 安装漏电保护器时，一定要注意线路中中性线 N 的正确接法，即中性线一定要

穿过零序电流互感器，而保护零线 PE 绝不能穿过零序电流互感器。若将保护零线接漏电保护器，漏电保护器处于漏电保护状态而切断电源，即保护零线一旦穿过零序电流互感器就再也不能用作保护线。

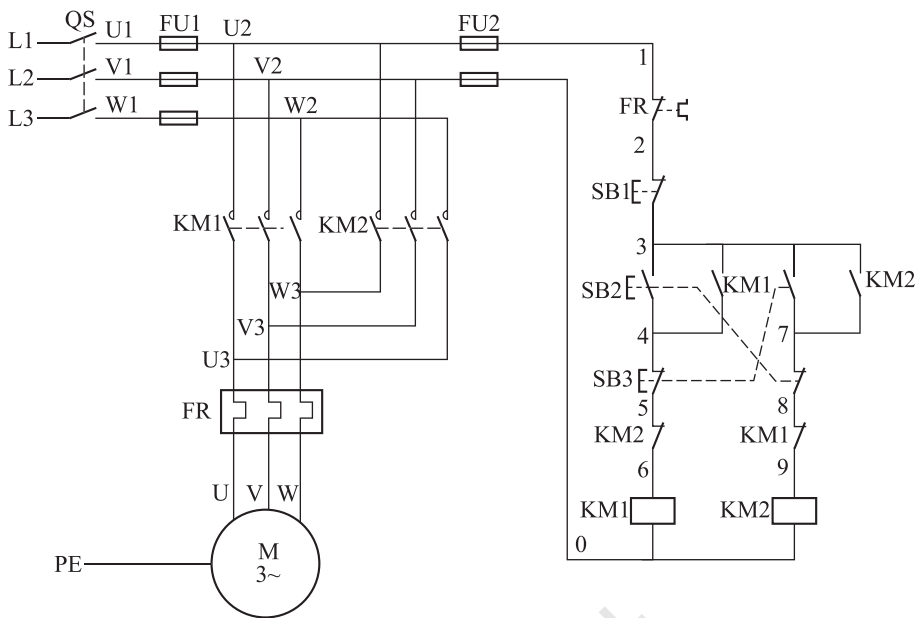
职业技能知识点考核

1. 填空题

- (1) 低压断路器主要由_____、_____、_____和保护装置等组成。
- (2) 低压断路器的保护装置由各种脱扣器来实现。低压断路器的脱扣器形式有_____脱扣器、_____脱扣器、_____脱扣器和分励脱扣器等。
- (3) 低压断路器的额定电压和额定电流应_____或_____被保护线路的正常工作电压和负载电流。
- (4) 电气系统图一般分为_____、_____和_____三种。
- (5) 电气原理图一般分为_____电路、_____电路和_____电路三部分。
- (6) 在电气原理图中，所有电器的可动部分均按_____状态画出。

2. 选择题

- (1) 下列不属于机械设备电气系统图的是（ ）。
 - A. 电气原理图
 - B. 电器元件布置图
 - C. 电气安装接线图
 - D. 电器结构图
- (2) 在设计机械设备的电气控制工程图时，首先设计的是（ ）。
 - A. 安装接线图
 - B. 电气原理图
 - C. 电器元件布置图
 - D. 电气互连图
- (3) 关于电气原理图，下列说法正确的是（ ）。
 - A. 必须使用国家统一规定的图形符号和文字符号
 - B. 必须使用地方统一规定的图形符号和文字符号
 - C. 必须使用国际电工组织统一规定的图形符号和文字符号
 - D. 以上都不对
- (4) 电气原理图中（ ）。
 - A. 不反映元件的大小
 - B. 反映元件的大小
 - C. 反映元件的实际位置
 - D. 以上都不对
- (5) 如下图所示，对三相异步电动机控制功能描述正确的是（ ）。
 - A. 正转、反转动作切换必须经过“停止”操作
 - B. 正转、反转动作可以直接切换
 - C. 以上描述都不对



- (6) 欲改变交流电动机的运转方向，可采取的方法是（ ）。
- A. 三相电源线中任意切断一相 B. 三相电源线中任意两相对调
- C. 定子串电阻 D. 转子串电阻
- (7) 欲使接触器 KM1 和接触器 KM2 实现互锁控制，需要（ ）。
- A. 在 KM1 的线圈回路中串入 KM2 的常开触点
- B. 在 KM1 的线圈回路中串入 KM2 的常闭触点
- C. 在两接触器的线圈回路中互相串入对方的常开触点
- D. 在两接触器的线圈回路中互相串入对方的常闭触点

3. 简答题

- (1) 简述电气原理图的绘制原则。
- (2) 电气控制电路的主电路和控制电路各有什么特点？
- (3) 两个交流接触器控制的电动机正、反转控制电路，为防止电源相间短路，必须实现什么控制？

任务 3 工程机械的行程和位置控制电路分析与安装

【任务导入】

工农业生产中有很多机械设备都有行程和位置控制要求，例如，机床的工作台、高炉的加料设备等要求工作台在一定距离内能自动往返运动，它是通过行程开关来检测往返运动的相对位置，进而控制电动机的正、反转来实现的。因此，把这种控制称

为位置控制或行程控制。那么，行程开关是如何控制设备进行自动往返运动的呢？

【知识预备】

一、行程开关

行程开关是一种利用生产机械的某个运动部件对开关操作机构的碰撞而使触头动作发出控制信号的主令电器，又称限位开关，用于控制工程机械设备的行程和终端限位保护。根据结构可分为直动式、单滚轮式和双滚轮式行程开关，如图 1-31 所示。

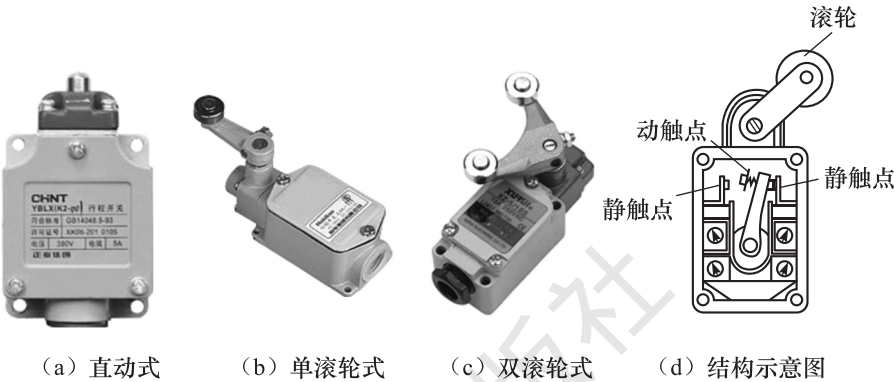


图 1-31 行程开关外形与结构示意图

1. 结构工作原理

如图 1-31 (d) 所示，行程开关由触头系统、操作机构和外壳组成。当生产机械的运动部件碰撞到滚轮时，动触点向左运动，导致动合（常开）触点闭合、动断（常闭）触点断开。当生产机械的运动部件离开滚轮时，在弹簧的作用下，动触点向右运动，导致动合（常开）触点复位断开、动断（常闭）触点复位闭合。

2. 型号含义和电气符号

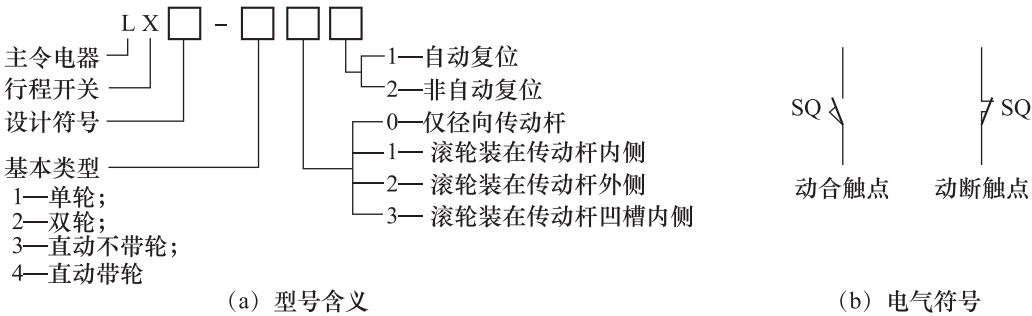


图 1-32 行程开关的型号含义和电气符号

二、接近开关

1. 工作原理

接近开关是一种无接触式物体检测的电子开关量传感器，它利用电磁感应原理来

工作，不需要与运动部件进行机械接触就可以操作。当物体移向接近开关并进入感应距离时，使其输出一个电信号，导致接近开关的动合（常开）触点闭合、动断（常闭）触点断开。如图 1-33 所示。



图 1-33 接近开关的外形与电气符号

2. 接近开关分类

- (1) 按工作原理可以分为以下几种类型。高频振荡型：用以检测各种金属体；电容型：用以检测各种导电或不导电的液体或固体；光电型：用以检测所有不透光物体；超声波型：用以检测不透过超声波的物体；电磁感应型：用以检测导磁或不导磁金属。
- (2) 按其外形可分为圆柱形、方形、沟形、穿孔（贯通）形和分离形。圆柱形比方形安装方便，但其检测特性相同；沟形的检测部位是在槽内侧，用于检测通过槽内的物体；穿孔形可用于小螺钉或滚珠之类的小零件和由浮标组装成的水位检测装置等。
- (3) 按供电方式可分为直流型和交流型。按输出形式又可分为直流两线制、直流三线制、直流四线制、交流两线制和交流三线制。

3. 接近开关的主要用途

- (1) 检验距离

检测电梯、升降设备的停止、启动、通过位置；检测车辆的位置，防止两物体相撞；检测工作机械的设定位置，移动机器或部件的极限位置；检测回转体的停止位置，阀门的开或关位置；检测气缸或液压缸内的活塞移动位置。
- (2) 尺寸控制

金属板冲剪的尺寸控制装置；自动选择、鉴别金属件长度；检测自动装卸时物堆高度；检测物品的长、宽、高和体积。
- (3) 检测物体是否存在

检测生产包装线上有无产品包装箱；检测有无产品零件。
- (4) 转速与速度控制

控制传送带的速度；控制旋转机械的转速；与各种脉冲发生器一起控制转速和转数。
- (5) 计数及控制

检测生产线上通过的产品数；高速旋转轴或盘的转数计量；零部件计数。
- (6) 检测是否异常

检测瓶盖有无；产品合格与不合格判断；检测包装盒内的金属制品缺乏与否；区

分金属与非金属零件；产品有无标牌检测；起重机危险区报警；安全扶梯自动启停。

(7) 计量控制

产品或零件的自动计量；检测计量器、仪表的指针范围而控制数据或流量；检测浮标控制侧面高度、流量；检测不锈钢桶中的铁浮标；仪表量程上限或下限的控制；流量控制，水平面控制。

【任务实施】

一、电路分析

如图 1-34 所示，工作台运动示意图中的行程开关 SQ1、SQ2 分别为工作台左、右进给的换向开关，机械挡铁固定在运动部件上，行程开关 SQ3、SQ4 分别为左、右限位控制。该电路一般用于导轨磨床、龙门刨床上。

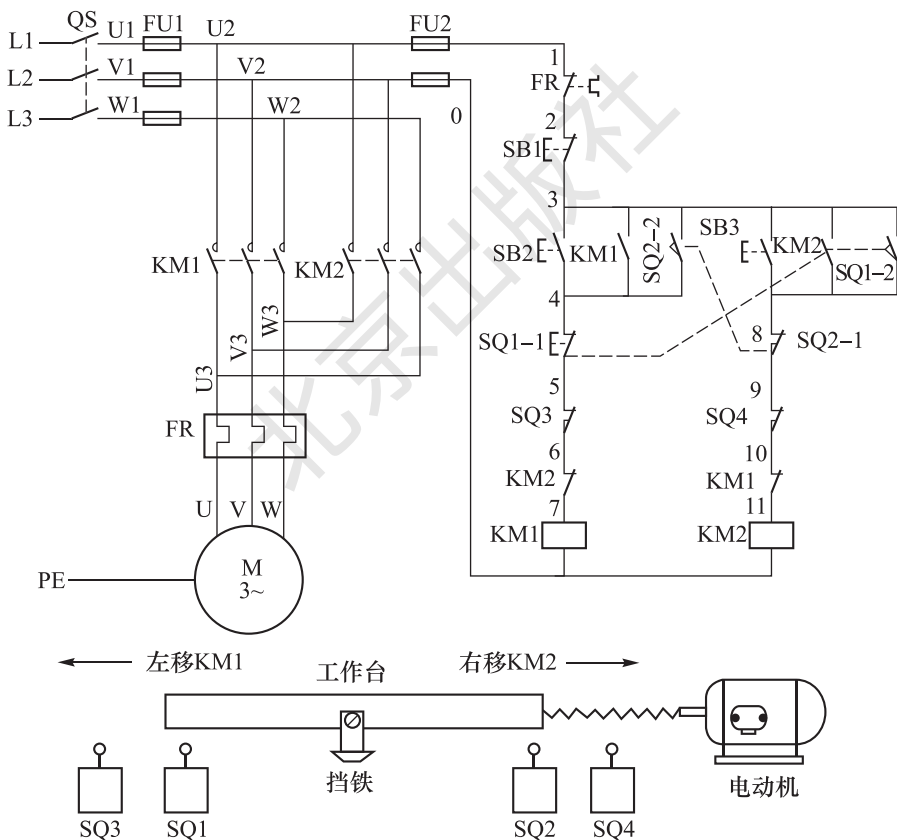


图 1-34 行程与位置控制电路及工作台运动示意图

首先合上电源开关 QS，按下按钮 SB2，KM1 线圈得电，其主触点 KM1 闭合，自锁触点 KM1（3—4）闭合形成自锁，电动机持续正转，工作台左移至 SQ1 位置后，SQ1-1 常闭触点（4—5）断开，KM1 线圈失电，电动机停止正转，工作台停止左移。SQ1-2 常开触点（3—8）闭合，KM2 线圈得电，其主触点 KM2 闭合，自锁触点

KM2（3—8）闭合形成自锁，电动机持续反转，工作台右移至 SQ2 位置后，SQ2 - 1 常闭触点（8—9）断开，KM2 线圈失电，电动机停止反转，工作台停止右移。

SQ2 - 2 常开触点（3—4）闭合，KM1 线圈得电自锁，电动机持续正转，工作台左移至 SQ1 位置后又右移，如此反复，在规定的行程内做自动往返运动。

若先按下 SB3，工作台先右移，与上述过程类似。按下 SB1，控制电路断电，工作台停止运行。

电动机控制工作台不断重复上述过程，在规定的行程内做自动往返运动。设备运动工作台的左、右限位行程开关安装图如图 1 - 35 所示。



图 1 - 35 设备运动工作台的左、右限位行程开关安装图

二、安装和调试

- 1. 按如图 1 - 34 所示将所需的元器件配齐并画出其电器位置图和安装接线图。
- 2. 按照前面所讲的方法进行元器件安装和配线。
- 3. 经检查无误后进行通电操作。按下启动按钮 SB2，观察电动机是否按照自动往返的过程进行动作。

【总结与思考】

一、任务总结

1. 控制电路的通用性

该电路适用于油压机执行机构的冲压和回程的反复运动、铣床工作台的左右移动、高炉的加料设备的自动往返运动等控制场合，一般具有换向和限位两种行程开关。

2. 位置与行程控制的实现方法

该电路是在电动机正、反转控制电路的基础上增加了 4 个行程开关 SQ1~SQ4，SQ1 和 SQ2 实现位置控制，SQ3 和 SQ4 实现行程（限位）控制。

3. 接近开关的选用

虽然行程开关价格相对便宜，但需要机械触发才能工作，易受粉尘和水汽等因素影响，使用寿命短。因此，现在越来越多的控制场合已经开始选用接近开关。由于接近开关不用接触物体，所以使用寿命长，而且具有操作频率高、定位精度高、能适应

恶劣工作环境的特点。

二、任务思考

如图 1-34 所示，若选用接近开关来实现行程和位置控制，那么应该选择哪种类型的接近开关？如何改造控制电路？

【知识拓展】

电动机顺序启动控制

在多个电动机驱动的生产机械上，各台电动机所起的作用不同，设备有时要求某些电动机按一定顺序启动并工作，以保证操作过程的合理性和设备工作的可靠性。例如，铣床工作台（放置工件）的进给电动机必须在主轴（刀具）电动机启动的条件下才能启动。这就对电动机启动过程提出了顺序控制的要求，而实现顺序控制要求的电路称为顺序控制电路。那么采用什么样的措施才能实现多台电动机的顺序启动呢？

常用的顺序启动控制电路有两种，一种是主电路的顺序启动控制，另一种是控制电路的顺序启动控制。

一、主电路的顺序启动控制电路分析

如图 1-36 所示，电动机 M1、M2 分别通过接触器 KM1、KM2 来控制，接触器 KM2 的 3 个主触点串在接触器 KM1 主触点的下方。这就保证了只有当 KM1 闭合、电动机 M1 启动运转后，KM2 才能使电动机 M2 得电启动，满足电动机 M1、M2 顺序启动的要求。图 1-36 中，启动按钮 SB2、SB3 分别用于两台电动机的启动控制，按钮 SB1 用于电动机的同时停止控制。

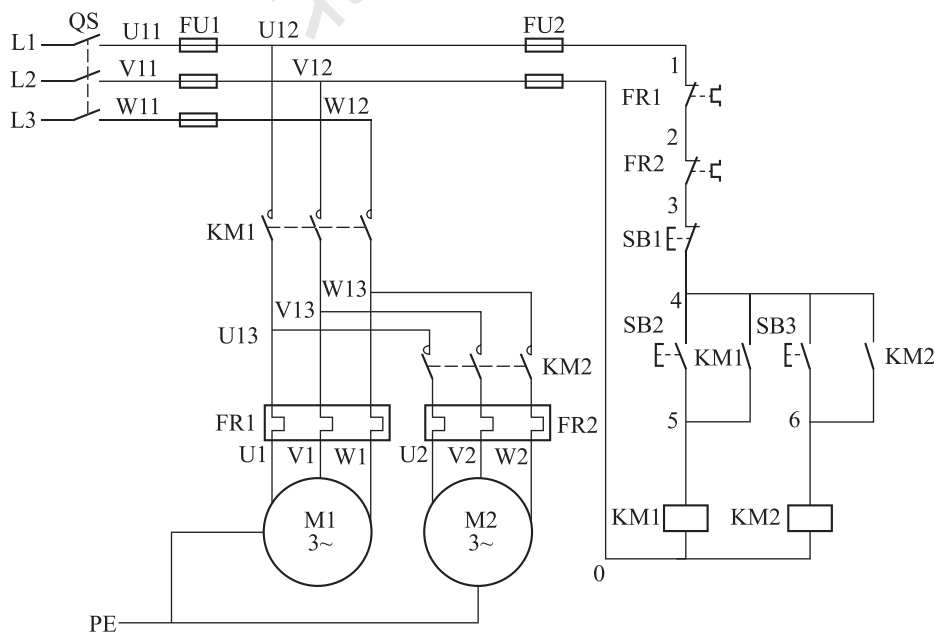


图 1-36 主电路的顺序启动控制电路

二、控制电路的顺序启动控制电路分析

图 1-37 (a) 中，接触器 KM2 的线圈串联在接触器 KM1 自锁触点的下方，这就保证了只有当 KM1 线圈得电自锁、电动机 M1 启动后，KM2 线圈才能得电自锁，使电动机 M2 启动。接触器 KM1 的辅助动合（常开）触点具有自锁和顺序控制的双重功能。

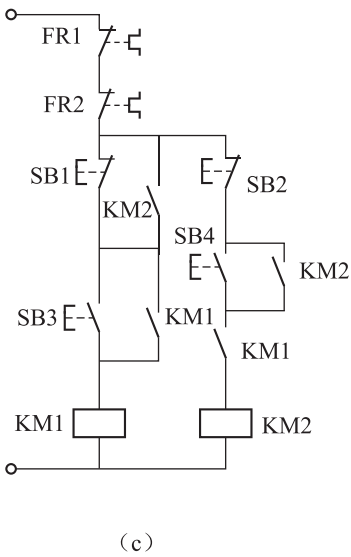
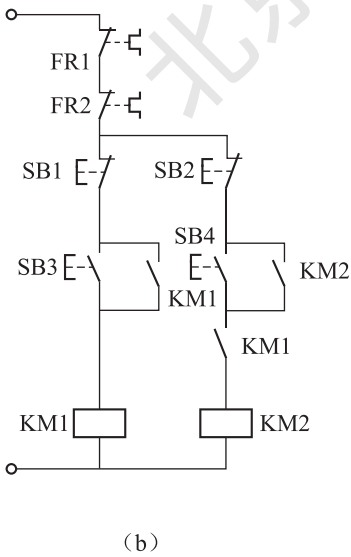
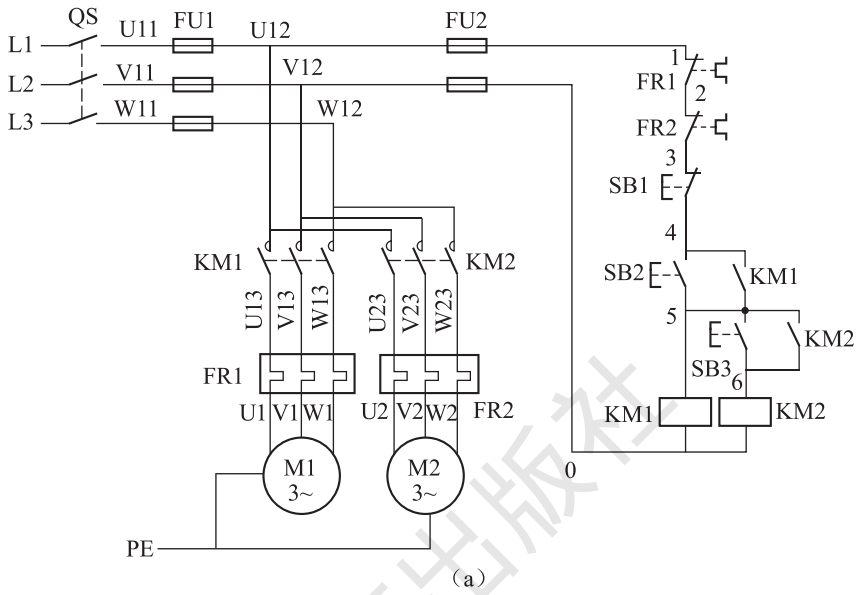


图 1-37 控制电路的顺序启动控制电路

如图 1-37 (b) 所示，用一个 KM1 辅助动合（常开）触点作为顺序控制触点，串联在接触器 KM2 的线圈回路中。当接触器 KM1 线圈得电自锁、辅助动合（常开）触点 KM1 闭合后，接触器 KM2 线圈才能得电工作，同样实现顺序启动控制的要求。在

该线路中,按下停止按钮 SB1 和 SB2 可以分别控制两台电动机使其停转。

如图 1-37 (c) 所示的电路,除具有顺序启动控制功能以外,还能实现逆序停车的功能。接触器 KM2 的辅助动合(常开)触点与停止按钮 SB1 并联,只有接触器 KM2 线圈失电(电动机 M2 停转)后,操作 SB1 才能使接触器 KM1 线圈失电,从而使电动机 M1 停转,即实现电动机 M1、M2 顺序启动、逆序停车的控制功能。

职业技能知识点考核

1. 填空题

(1) 行程开关又称为限位开关,由_____、_____和_____组成,用于控制工程机械设备的_____和_____保护。

(2) 接近开关利用_____原理来工作,不需要与运动部件进行机械接触就可以操作。

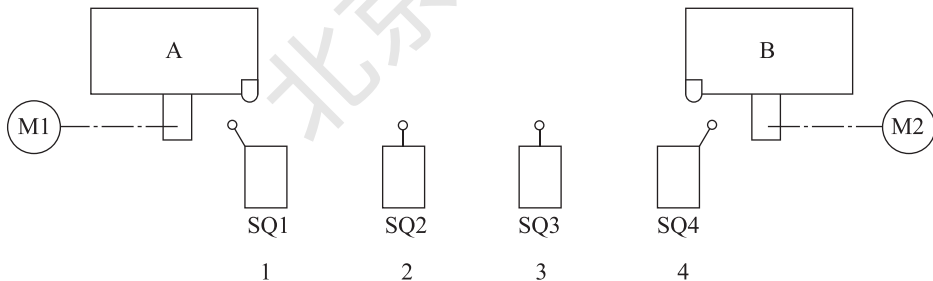
2. 简答题

(1) 简述行程开关和接近开关的区别。

(2) 简述接近开关的主要用途有哪些。

3. 设计题

如图所示,按下启动按钮后能依次完成下列动作。



(1) 运动部件 A 从 1 到 2;

(2) 接着 B 从 3 到 4;

(3) 接着 A 从 2 回到 1;

(4) 接着 B 从 4 回到 3。

试画出电气控制线路图(提示:用 4 个位置开关,装在原点和终点)。

任务 4 电动机降压启动控制电路的分析与安装

【任务导入】

三相异步电动机直接启动的电流为额定电流的 $4\sim 7$ 倍, 过大的启动电流, 一方面会造成电网电压显著下降, 直接影响在同一电网工作的其他电动机及用电设备正常运行; 另一方面电动机频繁启动会严重发热, 加速线圈老化, 缩短电动机的寿命。容量小的电动机才允许采取直接启动, 容量较大的笼型异步电动机因启动电流较大, 一般都采用降压启动方式来启动。

降压启动是指利用启动设备将电压适当降低后加到电动机的定子绕组上进行启动, 待电动机启动运转后, 再使其电压恢复到额定值正常运转。由于电流随电压的降低而减小, 所以降压启动达到了减小启动电流的目的。同时, 由于电动机转矩与电压的平方成正比, 所以降压启动将导致电动机的启动转矩大大降低。因此, 降压启动只适用于对启动转矩要求不高的场合, 一般在空载或轻载下启动。

常见的降压启动方法有: 定子绕组串电阻(电抗)启动、自耦变压器降压启动、Y- Δ 降压启动。

【知识预备】

一、继电器的分类与工作原理

1. 继电器的分类

继电器是根据一定的信号(如电流、电压、时间和速度等物理量)的变化来接通或分断小电流电路和电器的自动控制电器。

继电器实质上是一种传递信号的电器, 它根据特定形式的输入信号而动作, 从而达到控制的目的。继电器一般不用来直接控制主电路, 而是通过接触器或其他电器来对主电路进行控制, 因此与接触器相比较, 它的触点通常接在控制电路中, 触点断流容量较小(5 A 以下), 一般不需要灭弧装置, 但对继电器动作的准确性要求较高。

继电器的种类很多, 按输入信号可分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器、压力继电器、温度继电器等; 按工作原理可分为电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、电子式继电器、热继电器等; 按用途可分为控制继电器和保护继电器; 按输出形式可分为有触点继电器和无触点继电器。继电器的型号含义如图 1-38 所示。

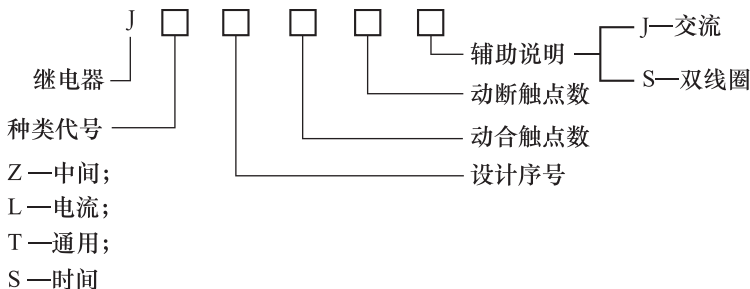


图 1-38 继电器的型号含义

2. 电磁式继电器的结构及工作原理

如图 1-39 所示，电磁式继电器的结构和工作原理与电磁式接触器相似，也是由电磁机构和触头系统组成的。电磁机构由线圈 1、铁芯 2、衔铁 7 组成。触头系统由于其触点都接在控制电路中，电流较小，故不装灭弧装置。当通过线圈 1 的电流超过某一定值时，电磁吸力大于反作用弹簧力，衔铁 7 吸合，带动绝缘支架动作，使动断（常闭）触点 9 断开、动合（常开）触点 10 闭合。另外，通过调节螺钉 6 能够调节反作用力的大小，即调节继电器的动作参数值。

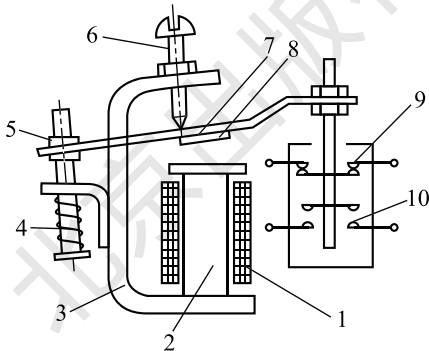


图 1-39 电磁式继电器的结构示意图

1—线圈；2—铁芯；3—磁轭；4—弹簧；5—调节螺母；6—调节螺钉；

7—衔铁；8—非磁性垫片；9—动断（常闭）触点；10—动合（常开）触点

二、时间继电器

在自动控制系统中，有时需要继电器得到信号后不立即动作，而是需要顺延一段时间后再动作并输出控制信号，以达到按时间顺序进行控制的目的，时间继电器就能实现这种功能。它按原理分为空气阻尼式时间继电器、晶体管式时间继电器、单片机式时间继电器等；按延时方式可分为通电延时型时间继电器和断电延时型时间继电器（图 1-40）。

1. 通电延时型时间继电器

通电延时型时间继电器是指线圈通电后触点延时动作，即当线圈通电时，其延时动合（常开）触点需要延时一段时间后才闭合、延时动断（常闭）触点需要延时一段时间后才断开；当线圈失电时，其延时动合（常开）触点迅速断开、延时动断（常闭）

触点迅速闭合。

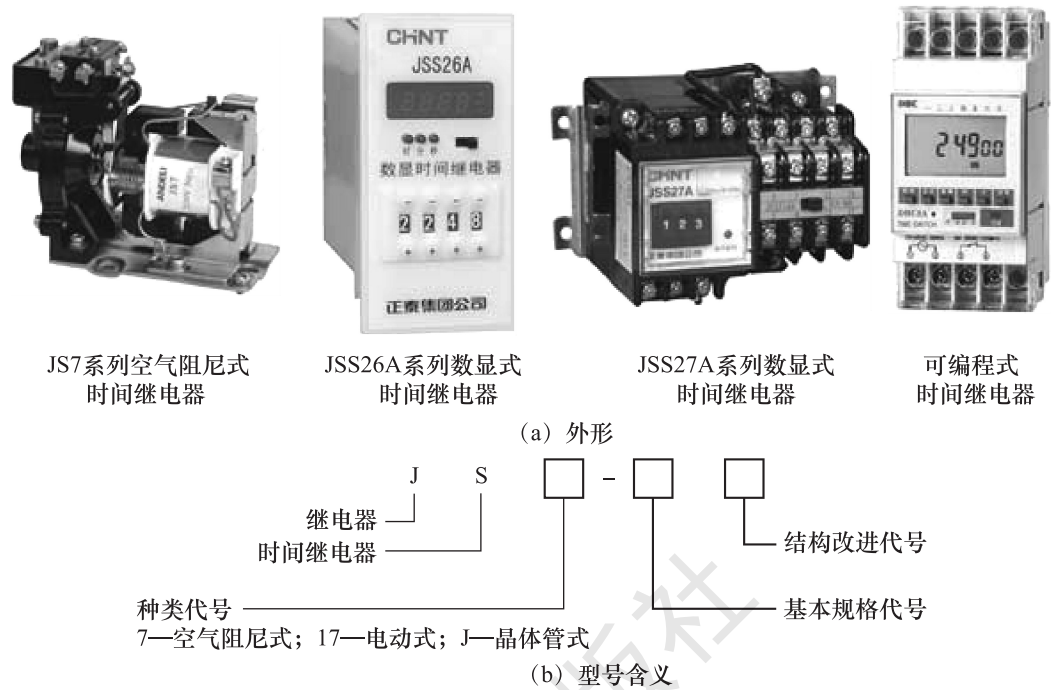


图 1-40 时间继电器的外形和型号含义

2. 断电延时型时间继电器

断电延时型时间继电器是指线圈断电后触点延时动作，即当线圈通电时，其延时动合（常开）触点迅速闭合、延时动断（常闭）触点迅速断开；当线圈失电时，其延时动合（常开）触点需要延时一段时间再断开、延时动断（常闭）触点需要延时一段时间再闭合。

3. 时间继电器的电气符号

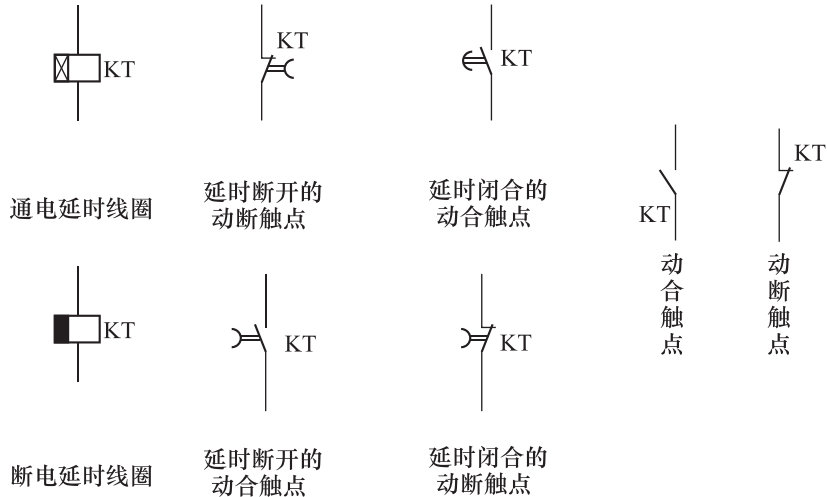


图 1-41 时间继电器的电气符号

4. 时间继电器的选择

(1) 根据控制电路对延时触点的要求选择延时方式，即通电延时型或断电延时型。

(2) 根据延时范围和精度要求选择时间继电器类型。

(3) 根据使用场合、工作环境选择时间继电器类型。在延时精度不高的场合，可选用空气阻尼式时间继电器；在要求延时精度高、延时范围较大的场合，可选用晶体管式时间继电器。目前电气设备中较多使用晶体管式时间继电器。

三、中间继电器

中间继电器实质上是一种电压继电器。它的特点是触点数目较多，且没有主辅触点之分，电流容量可增大，起到中间放大触点数目和电流容量的作用。如图 1-42 所示。

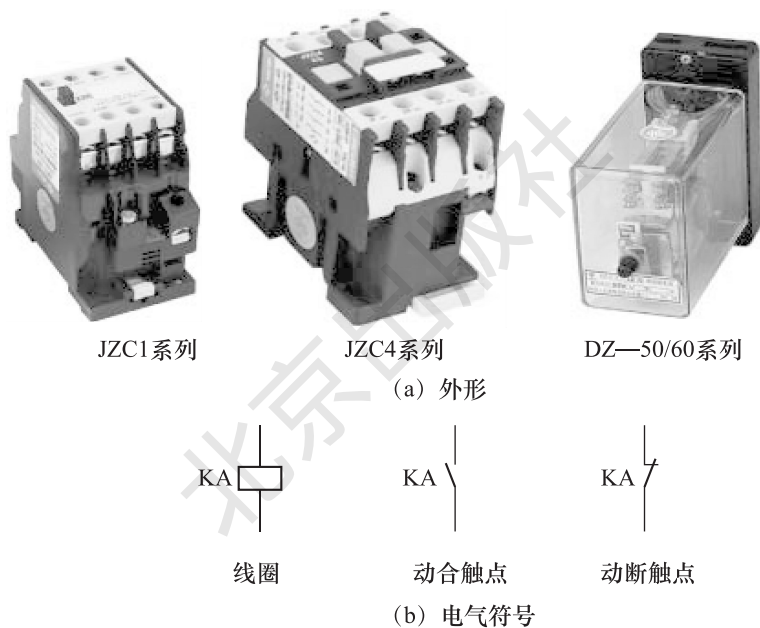


图 1-42 中间继电器的外形和电气符号

【任务实施】

一、定子串电阻降压启动控制电路分析

启动时在电动机的定子绕组中串接电阻，通过电阻的分压作用，使电动机定子绕组上的电压减小；待启动完毕后，将电阻切除，使电动机在额定电压（全压）下正常运转。如图 1-43 所示。其工作原理如下：

按下启动按钮 SB2 后，KM1、KT 线圈得电自锁，主触点 KM1 闭合，电流流经电阻 R，电动机 M 降压启动。KT 定时一段时间后，其延时动合触点（4—6）闭合，KM2 线圈得电，主触点 KM2 闭合，自锁触点 KM2（3—6）闭合形成自锁，切断电阻 R，电动机 M 全压稳定运行。

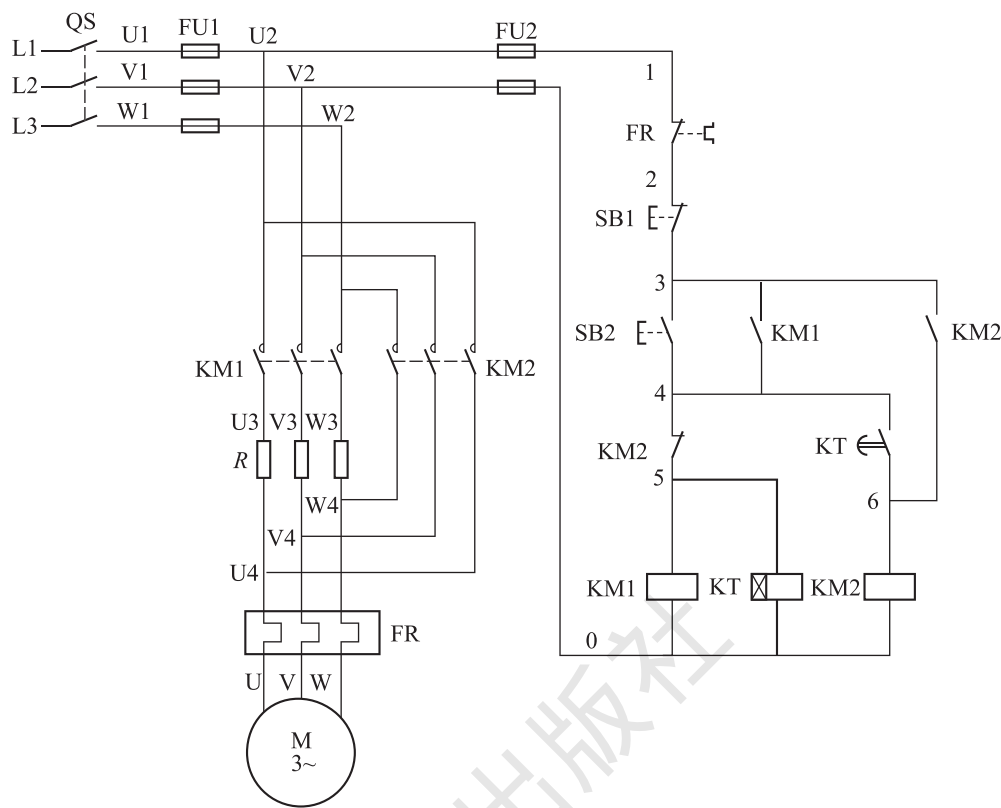


图 1-43 定子串电阻降压启动控制电路

二、自耦变压器降压启动控制电路分析

自耦变压器降压启动是指电动机启动时利用自耦变压器来降低加在电动机定子绕组上的启动电压。待启动一定时间，转速升高到预定值后，将自耦变压器切除，电动机定子绕组直接接上电源电压全压运行。如图 1-44 所示，自耦变压器降压启动控制电路由主电路、控制电路和指示电路组成。主电路中自耦变压器 T 和接触器 KM1 的主触点构成自耦变压器启动器，控制电路的中间继电器 KA，用以增加触点个数和提高控制电路设计的灵活性。电动机工作原理如下：

按下启动按钮 SB2 后，KM1、KT 线圈得电自锁，主触点 KM1 闭合，电动机 M 经自耦变压器 T 降压启动。KM1 辅助动合触点（12—14）闭合，降压启动指示灯 HL2 点亮，停止指示灯 HL1 熄灭。KT 定时一段时间后，KT 延时动合触点（3—7）闭合，KA 线圈得电自锁，KA 动断触点（4—5、11—12）断开，导致 KM1、KT 线圈失电，主电路切除自耦变压器 T，降压启动指示灯 HL2 熄灭，降压启动结束。KA 线圈得电后，其动合触点（3—7、3—8）闭合，KM2 线圈得电，其主触点和辅助动合触点（11—15）闭合，电动机 M 全压运行，全压运行指示灯 HL3 点亮。

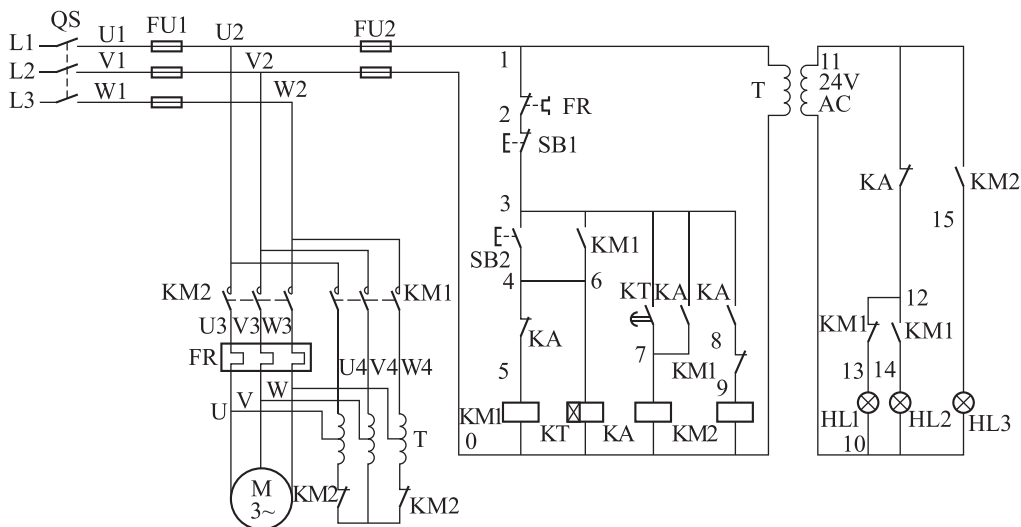


图 1-44 自耦变压器降压启动控制电路

三、Y— Δ 降压启动控制电路分析

电动机的定子绕组为星形接法时每相绕组上电压为 220 V，为三角形接法时每相绕组上电压为 380 V。Y— Δ 降压启动是指电动机启动时，把定子绕组接成星形，以降低启动电压，限制启动电流，待电动机启动后，再把定子绕组改接为三角形，使其全压运行。

如图 1-45 所示，主电路中接触器 KM1 和 KM3 的主触点闭合时定子绕组为星形连接（启动），KM1、KM2 主触点闭合时定子绕组为三角形连接（运行），其工作原理如下：

按下启动按钮 SB2 后，KM1、KM3 和 KT 线圈得电，KM1、KM3 主触点闭合，电动机 M 定子绕组接成 Y 形降压启动。KT 定时一段时间后，KT 延时动合触点（8—9）闭合，KM2 线圈得电自锁，KM2 主触点闭合，KM3 线圈失电，其主触点断开，电动机 M 全压运行。

【总结与思考】

一、任务总结

1. 直接启动的应用场合

鼠笼式和绕线式三相异步电动机是否可以直接启动，取决于它们的容量大小。小容量的电动机绝大部分可以直接启动，大容量的电动机需要采取降压启动方式。直接启动的优点是所需设备少，启动方式简单，成本低。

2. 定子串电阻降压启动的应用场合

定子串电阻降压启动方法适用于鼠笼式异步电动机，因为鼠笼式电动机的启动电

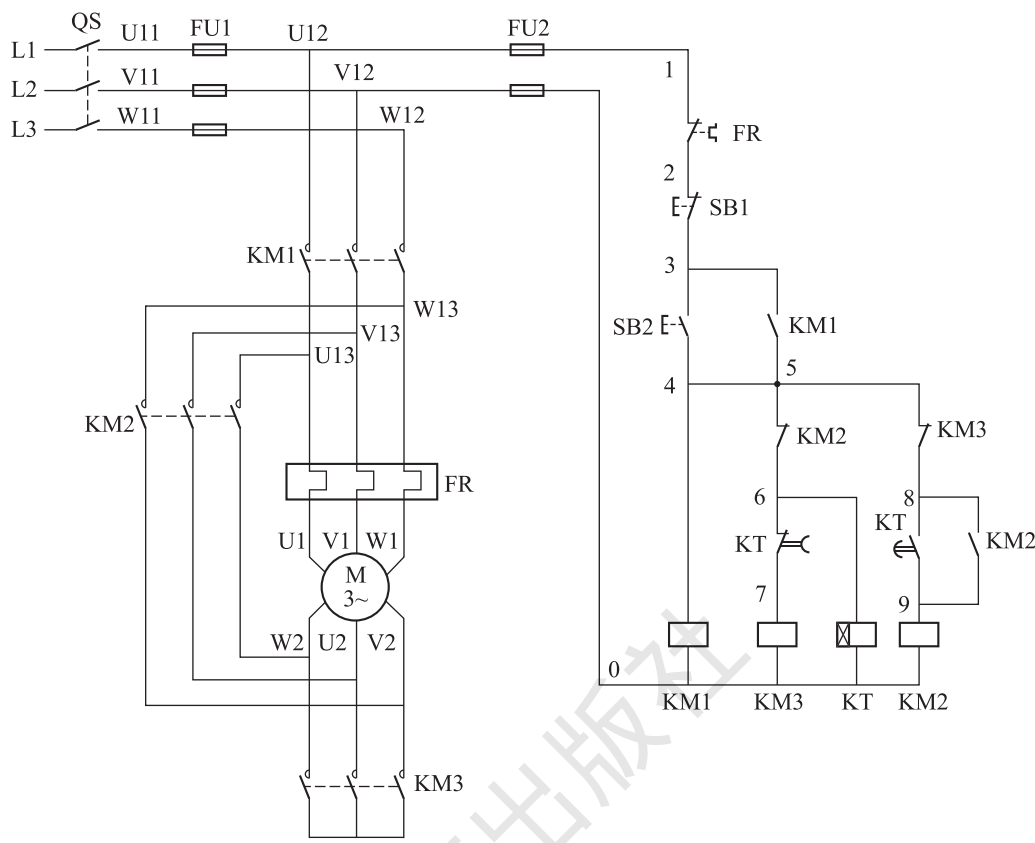


图 1-45 Y-Δ降压启动控制电路

抗是固定的，定子串电阻的方法限制了定子绕组的电压，从而降低了定子绕组的启动电流。其缺点是减小了电动机启动转矩；在电阻上功率损耗较大；如果启动频繁，则电阻的温升很高，对于精密设备会产生一定的影响。

3. 自耦变压器降压启动的应用场合

自耦变压器降压启动方法适用于鼠笼式异步电动机，用于启动较大容量的电动机，启动转矩可以通过改变抽头的连接位置得到改变。其优点是可以直接人工操作控制，也可以用交流接触器自动控制，经久耐用，维护成本低，适合所有的空载、轻载启动异步电动机使用，在生产实践中得到广泛应用。但自耦变压器投资大，而且不允许频繁启动，它仅适用于星形或三角形连接的、容量较大的电动机。

4. Y-Δ降压启动的应用场合

Y-Δ降压启动方法适用于鼠笼式异步电动机，这种降压启动方法简单、经济，但启动电压较低，所以只适用于轻载或空载启动，同时只适用于铭牌上标有Δ形接法的电动机。

二、任务思考

如图 1-44 所示，分析中间继电器 KA 在该控制电路中起到了哪些作用。

【知识拓展】

电动机软启动

电动机的启动可分为硬启动和软启动两种方式。定子串电阻、自耦变压器、Y- Δ 等降压启动方式属于硬启动方式，一般采用带断相保护功能的热继电器来实现过载和断相保护，它有很多缺陷，已经成为一种即将被淘汰的启动和保护方式。

软启动器是一种集电动机软启动、软停车、轻载节能和多种保护功能于一体的新型电动机控制装置，串接于电源与被控电动机之间，控制其内部晶闸管的导通角，使电动机输入电压从零以预设函数关系逐渐上升，直至启动结束，赋予电动机全电压，即为软启动。在软启动过程中，电动机启动转矩逐渐增加，转速也逐渐增加。

电子式软启动已经成功替代了硬启动。它具有启动电流小，连续平滑启动和加速，启动转矩由小到大连续变化的优点，并且比硬启动增加了几种实用的保护功能，较好地解决了传统的启动和保护中存在的问题。

另外，变频器也是一种软启动方式，但它比普通软启动具有更多的优越性，不仅可以实现缓慢的软启动，具有较好的节能作用；而且还能与其他自控器件有效组合，组成成熟的自动控制系统，其输出不仅改变了电压，而且改变了频率。变频器具备所有软启动器的功能，但它的价格比软启动器要贵得多，结构也复杂得多。

职业技能知识点考核

1. 填空题

(1) 通电延时型时间继电器是指线圈通电后触点延时动作，即当线圈通电时，其延时动合（常开）触点要延时一段时间才_____，延时动断（常闭）触点要延时一段时间才_____。

(2) 中间继电器实质上是一种电压继电器。它的特点是触点数目较多，且没有主、辅触点之分，电流容量可增大，起到中间放大_____和_____的作用。

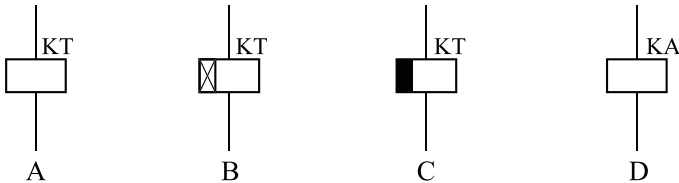
2. 选择题

(1) 时间继电器的作用是（ ）。

- A. 短路保护
- B. 过电流保护
- C. 延时通断主回路
- D. 延时通断控制回路

- (2) 在延时精度要求不高、电源电压波动较大的场合，应选用（ ）。
- A. 空气阻尼式时间继电器
 - B. 晶体管式时间继电器
 - C. 电动式时间继电器
 - D. 上述三种都不合适

(3) 通电延时型时间继电器的线圈图形符号为（ ）。



- (4) 通电延时型时间继电器，它的延时触点动作情况是（ ）。
- A. 线圈通电时触点延时动作，断电时触点瞬时动作
 - B. 线圈通电时触点瞬时动作，断电时触点延时动作
 - C. 线圈通电时触点不动作，断电时触点瞬时动作
 - D. 线圈通电时触点不动作，断电时触点延时动作
- (5) 断电延时型时间继电器，它的延时触点动作情况是（ ）。
- A. 线圈通电时触点延时动作，断电时触点瞬时动作
 - B. 线圈通电时触点瞬时动作，断电时触点延时动作
 - C. 线圈通电时触点不动作，断电时触点瞬时动作
 - D. 线圈通电时触点不动作，断电时触点延时动作
- (6) 50 kW 以上的笼型电动机，进行启动时应采取（ ）。
- A. 全压启动
 - B. 降压启动
 - C. 刀开关直接启动
 - D. 接触器直接启动
- (7) 三相感应电动机启动时，启动电流很大，可达额定电流的（ ）。
- A. 4~7 倍
 - B. 2~2.5 倍
 - C. 10~20 倍
 - D. 5~6 倍

3. 简答题

什么是降压启动？常见的降压启动方法有哪些？如何选择应用场合？

任务 5 电动机制动控制电路的分析与安装

【任务导入】

由于机械惯性的原因，高速旋转的电动机从切断电源到停止转动要经过一定的时间，这样往往满足不了某些生产工艺快速、准确停车的控制要求，这就需要对电动机进行制动控制。

所谓制动，就是给正在运行的电动机加上一个与原转动方向相反的制动转矩，迫使电动机迅速停转。电动机常用的制动方法有机械制动和电气制动两大类。采用什么元器件可以构成电动机制动控制电路呢？

【知识预备】

速度继电器

速度继电器是利用转轴的转速来切换电路的自动电器，它主要用于鼠笼式异步电动机的反接制动控制中，故也称为反接制动继电器。

如图 1-46 所示，速度继电器主要由定子、转子和触点三部分组成。定子的结构与笼型异步电动机相似，是一个笼型空心圆环，由硅钢片冲压而成，并装有笼型绕组。转子是一个圆柱形永久磁铁。

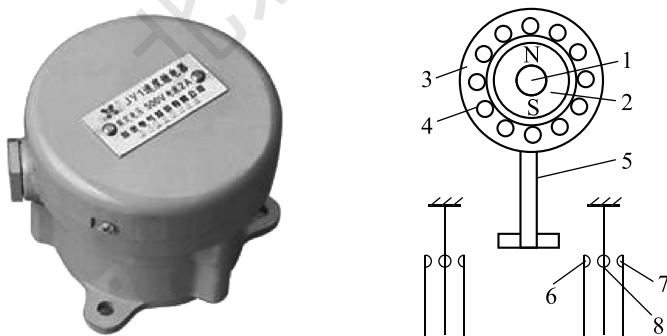


图 1-46 速度继电器的外形及结构示意图

1—转轴；2—转子；3—定子；4—绕组；5—摆锤；6、7—静触点；8—动触点

速度继电器的轴与电动机的轴相连接，转子固定在轴上，定子与轴同心。当电动机转动时，速度继电器的转子随之转动，绕组切割磁场产生感应电动势和电流，此电流和永久磁铁的磁场作用产生转矩，定子向轴的转动方向偏摆，通过摆锤拨动触点，使动断（常闭）触点断开、动合（常开）触点闭合。当电动机转速下降到接近零时，转矩减小，摆锤在弹簧力的作用下恢复原位，触点复位。

常用的速度继电器有 JY1 型和 JFZO 型两种。其中，JY1 型可在 $700 \sim 3\,600 \text{ r/min}$

范围内可靠地工作；JFZO-1 型适用于 300~1 000 r/min；JFZO-2 型适用于 1 000~3 600 r/min。它们具有两个动合（常开）触点，两个动断（常闭）触点，触点额定电压为 380 V，额定电流为 2 A。一般速度继电器的转轴在 130 r/min 左右即能动作，在 100 r/min 时触头即能恢复到正常位置。可以通过调节螺钉来改变速度继电器动作的转速，以适应控制电路的要求。

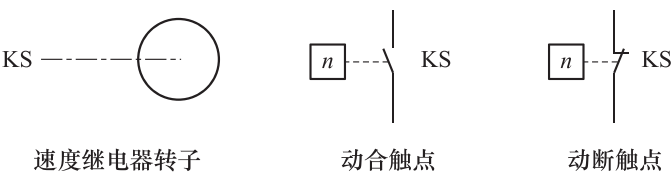


图 1-47 速度继电器的电气符号

【任务实施】

三相交流异步电动机产生一个和转子转速方向相反的电磁转矩，使电动机的转速能够迅速下降，这种制动方式称为电气制动。常用的电气制动方法有能耗制动和反接制动两种。

一、能耗制动控制电路分析

能耗制动是在切断三相交流电源之后，定子绕组通入直流电流，在定子、转子之间的气隙中产生静止磁场，惯性转动的转子导体切割磁场，形成感应电流，产生与惯性转动方向相反的电磁力矩而使电动机迅速停转，并在制动结束后将直流电源切断。这种制动方法把转子及拖动系统的动能转换为电能并以热能的形式迅速消耗在转子电路中，因而称为能耗制动。

如图 1-48 所示，接触器 KM1、KM2 的主触点用于电动机工作时接通三相电源，并可实现正、反转控制，接触器 KM3 主触点用于制动时接通全波整流电路提供的直流电源，电路中的电阻 R 起限制和调节直流制动电流以及调节制动强度的作用。工作原理如下：

按下启动按钮 SB2 后，KM1 线圈得电自锁，KM1 主触点闭合，电动机 M 正转。按下停止按钮 SB1 后，KM1 线圈失电，其主触点断开，同时，KM3、KT 线圈得电，KM3 动合触点（2—13）和 KT 瞬动动合触点（9—13）闭合，形成自锁控制，KM3 主触点闭合，电动机定子绕组通入直流电流，形成能耗制动。KT 定时一段时间后，KT 延时动断触点（9—10）断开，KM3 线圈失电，切断主电路直流电源，制动结束。

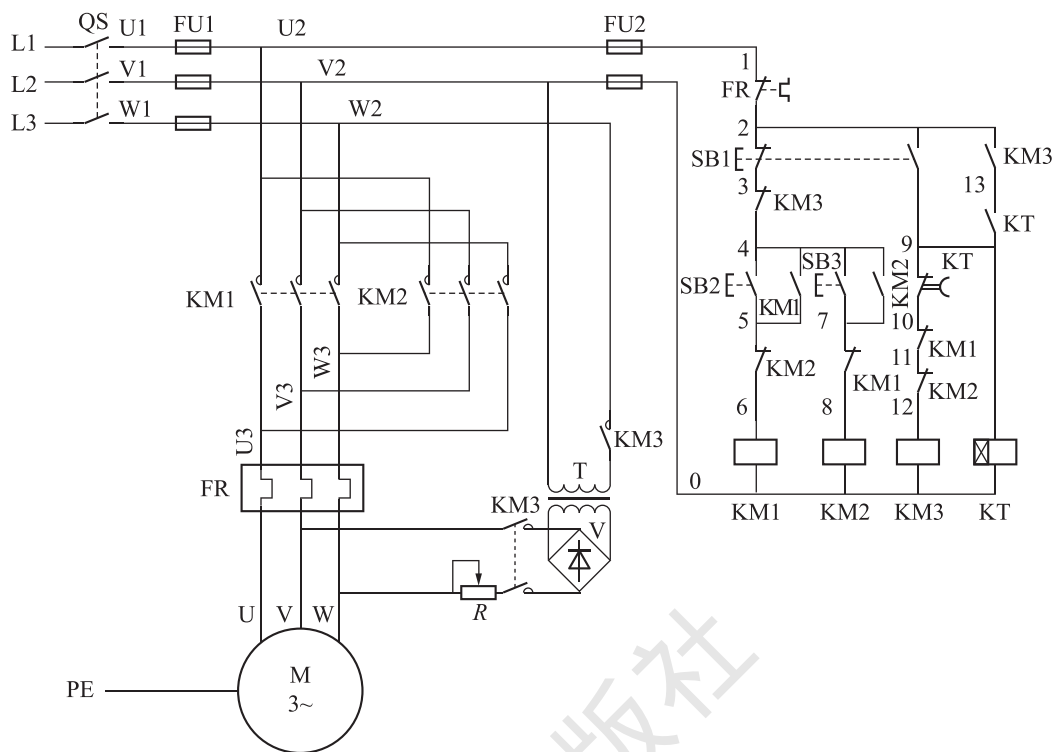


图 1-48 能耗制动控制电路

二、反接制动控制电路分析与安装

依靠改变三相异步电动机定子绕组中三相电源的相序产生制动力矩，迫使电动机迅速停转的方法称为反接制动。通常采用速度继电器检测转速的过零点，并及时切断反接电源，以免电动机反向运转。

如图 1-49 所示，主电路中接触器 KM1 用于接通电动机工作相序电源，KM2 用于接通反接制动电源。电动机反接制动电流很大，通常在制动时串接电阻 R 以限制反接制动电流。按下启动按钮 SB2，KM1 线圈得电并自锁，电动机开始运转，当电动机的速度达到速度继电器的动作速度时，速度继电器 KS 的动合（常开）触点闭合，为电动机反接制动做准备。制动时，按下停止按钮 SB1，KM1 线圈失电，由于速度继电器 KS 的动合（常开）触点在惯性转速作用下仍然闭合，使 KM2 线圈得电自锁，电动机实现反接制动。当其转子的转速小于 100 r/min 时，KS 的动合（常开）触点复位断开，KM2 线圈失电，制动过程结束。

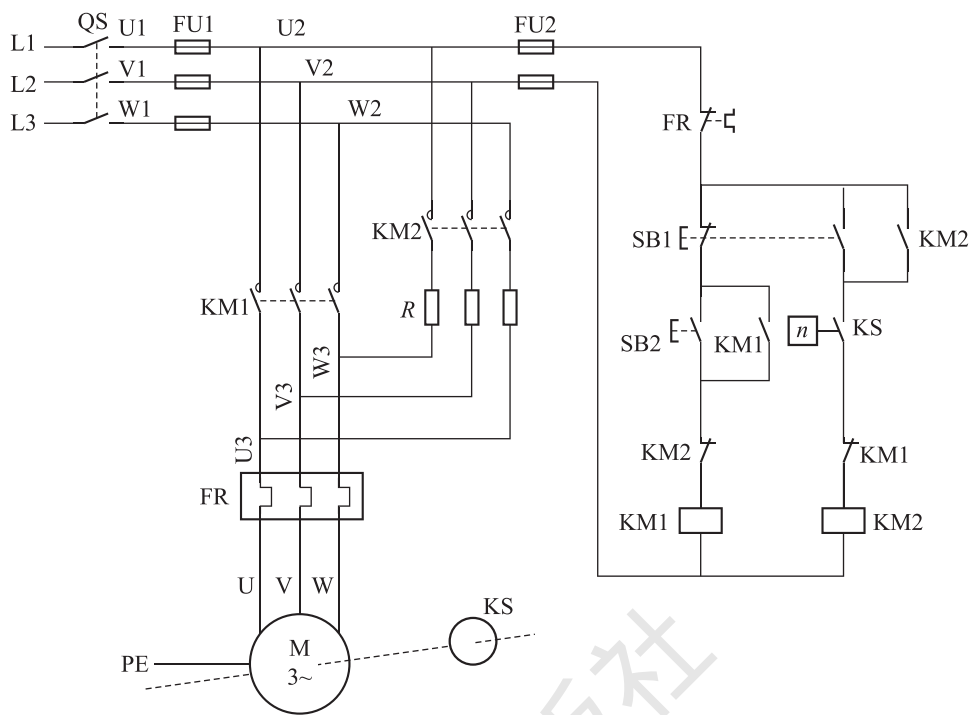


图 1-49 反接制动控制电路

【总结与思考】

一、任务总结

1. 能耗制动控制的应用场合

如图 1-48 所示，控制电路按照时间原则进行制动控制；还可以按照速度原则进行控制，用速度继电器替代时间继电器，达到制动的目的。能耗制动的制动效果与通入定子绕组的直流电流的大小和电动机转速有关，在转速一定时，直流电流越大，制动效果越好，所以能耗制动仅适用于电动机容量较大、要求制动平稳和制动频繁的场所，并且需要一个支流电源装置，控制线路相对复杂。能耗制动比反接制动所消耗的能量少，其制动电流比反接制动要小得多，不如反接制动的制动效果好。

2. 反接制动控制的应用场合

如图 1-49 所示，反接制动时，必须在电动机每相定子绕组中串联一定的电阻，以限制反接制动电流，避免绕组过热或与机械冲击。反接制动的优点是制动转矩大，制动效果显著。但其制动不平稳，而且能量损耗大，因此常用于制动不频繁、功率小于 10 kW 的中小型机床中。

二、任务思考

- 1. 如图 1-48 所示，若按照速度原则进行控制，如何改造控制电路？
- 2. 如图 1-48 和图 1-49 所示，主电路都串联了电阻 R，分别起到了什么作用？

【知识拓展】

机械制动控制电路

利用机械装置使电动机断开电源后迅速停转的方法称为机械制动。机械制动常用的方法之一是电磁抱闸制动。电磁抱闸制动装置由电磁操作机构和弹簧力机械抱闸机构组成。如图 1-50 所示,合上电源开关 QS,按下启动按钮 SB2 后,接触器 KM 线圈得电自锁,主触点闭合,电磁铁线圈 YB 通电,衔铁吸合,使制动器的闸瓦和闸轮分开,电动机 M 启动运转。停车时,按下停止按钮 SB1 后,接触器 KM 线圈断电,自锁触点和主触点分断,使电动机和电磁铁线圈 YB 同时断电,衔铁与铁芯分开,在弹簧拉力的作用下闸瓦紧紧抱住闸轮,电动机迅速停转。

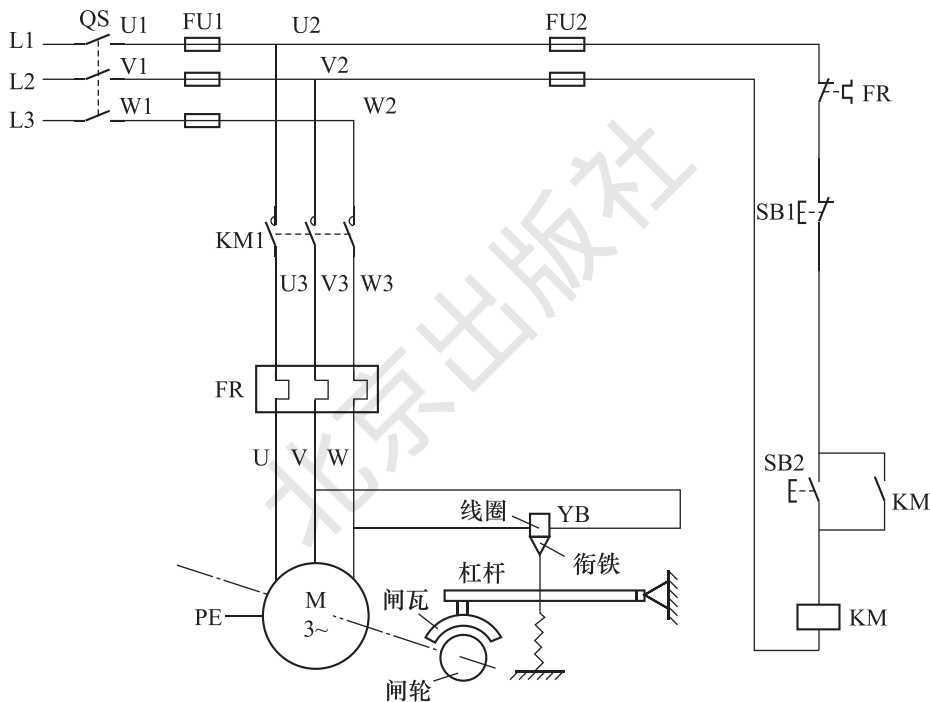


图 1-50 电磁抱闸制动装置的结构及其控制电路

电磁抱闸制动适用于各种传动机构的制动,且多用于起重电动机的制动。

职业技能知识点考核

1. 填空题

(1) 电动机制动就是给正在运行的电动机加上一个与原转动方向_____的制动转矩迫使电动机迅速停转。

(2) 三相异步电动机常用的电气制动方法有_____制动和_____制动两种。

- (3) 速度继电器是利用转轴的_____来切换电路的自动电器，主要由_____、_____和_____三部分组成。
- (4) 电动机能耗制动的控制原则有_____原则控制和_____原则控制两种。
- (5) 电动机反接制动时，当电动机转速接近于_____时，应及时断开电源防止反转。

2. 选择题

- (1) 三相异步电动机反接制动的优点是（ ）。
A. 制动平稳 B. 能耗较小 C. 制动迅速 D. 定位准确
- (2) 三相异步电动机采用能耗制动时，当按下停止按钮时，将（ ）。
A. 转子回路串入电阻 B. 定子任意两相绕组进行反接
C. 转子绕组进行反接 D. 定子绕组送入直流电
- (3) 三相异步电动机反接制动时，采用对称电阻接法，在限制制动转矩的同时，也限制了（ ）。
A. 制动电流 B. 启动电流 C. 制动电压 D. 启动电压
- (4) 如图 1-49 所示，三相异步电动机反接制动时，速度继电器所起到的作用是（ ）。
A. 过载保护 B. 过压保护 C. 欠压保护 D. 速度检测

3. 简答题

- (1) 什么叫能耗制动？什么叫反接制动？各有什么特点及适用于什么场合？
- (2) 如图 1-49 所示，若将速度继电器 KS 的正转动作触点和反转动作触点接错，电路将会出现什么现象？