高等职业教育“十三五”精品工程规划教材

电气控制与 PLC 应用技术（三菱系列）

（第 4 版）

吕爱华　编著

电子工业出版社版权所有
盗版必究

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书根据高职高专人才培养的目标，采用项目化、理实一体化、任务驱动等先进的教学方法，以“工学结合，项目引导，教学做一体化”为原则编写。以工作任务引领的方式将相关知识点融入到完成工作任务所必备的工作项目中，使学生掌握必要的基本理论知识，并使学生的实践能力、职业技能、分析问题和解决问题的能力不断提高。

本书从实际工程应用和便于教学出发，主要介绍了电气控制中的典型电路、FX_{2N} 系列 PLC 原理及应用。全书共 7 个项目：三相异步电动机基本控制电路的接线与调试，常用机床电气控制电路分析、安装与接线，FX_{2N} 系列 PLC 的基本指令的编程及应用，FX_{2N} 系列 PLC 的步进指令的编程及应用，FX_{2N} 系列 PLC 的功能指令的编程及应用，PLC 控制应用系统设计、接线与调试，以及模拟量模块和 PLC 通信。

本书可作为高等专科学校、高等职业院校的机械制造及自动化、机电一体化、电气自动化、应用电子技术等相近专业的教材，也可作为广大工程技术人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

电气控制与 PLC 应用技术：三菱系列/ 吕爱华编著．—4 版．—北京：电子工业出版社，2022.6

ISBN 978-7-121-43822-6

Ⅰ. ①电… Ⅱ. ①吕… 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（2022）第 111649 号

责任编辑：郭乃明

印　　刷：

装　　订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编　100036

开　　本：787×1092　1/16　印张：18.75　字数：480 千字

版　　次：2011 年 8 月第 1 版

2022 年 6 月第 4 版

印　　次：2022 年 6 月第 1 次印刷

定　　价：49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：QQ34825072。

前　言

本书第 3 版自 2018 年出版以来，得到了高职院校师生的喜爱与支持，被广泛选用。为了适应新时代工业电气自动化控制技术发展的需要，结合当前我国高等职业教育的发展趋势，本书编者在第 3 版的基础上进行了修订，进一步使教材结构符合职业教育教学规律。

本书根据高等职业教育人才培养的目标，以“工学结合，项目引导，教学做一体化”为原则编写。与生产实际紧密联系，将电气控制与 PLC 应用知识点融入完成工作任务所必备的工作项目中，使学生掌握必要的基本理论知识，并使学生的实践能力、职业技能、分析问题和解决问题的能力不断提高。

本次修订的特点是：实例可操作性更强；更加直观、易学；强化技术应用。这次修订着重参考了读者的建议和意见，主要修订内容如下：

- 对本书第 3 版中部分项目任务中所存在的一些疏漏之处进行了校正和更改。
- 在项目 1 中删除了空气阻尼式时间继电器相关内容，增加了数字式时间继电器的应用。
- 将第 2 版项目 6 中任务 2 和任务 3 整合在一起，删除了不常用的组合机床的 PLC 控制，增加了变频器 FR-700 系列的接线和参数设置，以及多段速的 PLC 控制系统的设计、接线与调试。
- 为了适应现代 PLC 新技术的需求，增加了项目 7 模拟量模块和 PLC 通信。

本书共包含 7 个项目：

项目 1　三相异步电动机基本控制电路的接线与调试；

项目 2　常用机床电气控制电路分析、安装与接线；

项目 3　FX_{2N} 系列 PLC 基本指令的编程及应用；

项目 4　FX_{2N} 系列 PLC 步进指令的编程及应用；

项目 5　FX_{2N} 系列 PLC 功能指令的编程及应用；

项目 6　PLC 控制应用系统设计、接线与调试；

项目 7　模拟量模块和 PLC 通信。

各项目分成若干任务，各任务以任务描述、任务目标、知识储备、技能操作、知识拓展为主线，各项目后附有能力训练和考核评价，以便读者自学和检查学习质量。

本书可作为高等职业教育机械制造及自动化、机电一体化、电气自动化、应用电子技术等专业的教材，也可作为相关工程技术人员的参考书。

本书由襄阳汽车职业技术学院吕爱华编著。本书的编写得到了编者所在学院领导和同事们的大力支持与帮助，编者参考了大量相关的书籍资料，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编　者

2021 年 12 月

电子工业出版社版权所有
盗版必究

目　录

项目 1　三相异步电动机基本控制电路的接线与调试 …… （1）

项目描述 …… （1）

知识目标 …… （1）

技能目标 …… （1）

任务 1　三相异步电动机启动控制电路的接线与调试 …… （1）

任务描述 …… （1）

任务目标 …… （1）

知识储备 …… （2）

一、相关低压电器 …… （2）

二、直接启动控制电路分析 …… （11）

技能操作 …… （12）

知识拓展　复杂点动与多地控制电路分析 …… （13）

任务 2　自动往返控制电路的接线与调试 …… （15）

任务描述 …… （15）

任务目标 …… （16）

知识储备 …… （16）

一、相关低压电器 …… （16）

二、自动往返控制电路分析 …… （18）

技能操作 …… （21）

知识拓展　多台电动机顺序控制电路 …… （22）

任务 3　三相异步电动机降压启动控制电路的接线与调试 …… （24）

任务描述 …… （24）

任务目标 …… （24）

知识储备 …… （24）

一、相关低压电器 …… （24）

二、Y-Δ降压启动控制电路 …… （28）

技能操作 …… （29）

知识拓展　自耦变压器和延边三角形降压启动控制电路 …… （31）

任务 4　三相异步电动机的制动控制电路的接线与调试 …… （33）

任务描述 …… （33）

任务目标 …… （33）

知识储备 …… （33）

一、相关低压电器 …… （33）

二、反接制动控制电路的分析 …… （34）

技能操作 …… （35）

电子工业出版社版权所有 盗版必究

知识拓展　能耗制动控制电路 ……（37）
任务 5　三相异步电动机的调速控制电路的接线与调试 ……（37）
任务描述 ……（37）
任务目标 ……（38）
知识储备 ……（38）
一、调速控制方法 ……（38）
二、双速异步电动机定子绕组的连接 ……（39）
三、双速电动机调速控制电路分析 ……（39）
技能操作 ……（40）
知识拓展　变频器在机床上的应用 ……（42）
项目 1 能力训练 ……（43）
项目 2　常用机床电气控制线路分析、安装与接线 ……（47）
项目描述 ……（47）
知识目标 ……（47）
技能目标 ……（47）
任务 1　C650 卧式车床控制电路的分析、安装与接线 ……（47）
任务描述 ……（47）
任务目标 ……（48）
知识储备 ……（48）
一、电气控制线路的绘制 ……（48）
二、电气原理图 ……（49）
三、电气安装图 ……（50）
四、机床电气控制系统电路分析步骤 ……（52）
五、机床电气故障检修的方法 ……（53）
六、C650 卧式车床 ……（53）
技能操作 ……（58）
知识拓展　Z3040 摇臂钻床电气控制 ……（59）
一、Z3040 摇臂钻床运动形式和控制要求 ……（59）
二、Z3040 摇臂钻床控制电路 ……（61）
任务 2　X62W 万能铣床控制电路的分析、安装与接线 ……（64）
任务描述 ……（64）
任务目标 ……（64）
知识储备 ……（64）
一、主要结构与运动分析 ……（64）
二、电气控制电路的特点 ……（65）
三、主电路分析 ……（65）
四、控制电路分析 ……（67）
五、常见故障分析 ……（69）
技能操作 ……（70）

电子工业出版社版权所有
盗版必究

知识拓展　双面单工液压传动组合机床的电气控制……（72）
一、压力继电器的结构和工作原理 ……（72）
二、组合机床的组成结构 ……（73）
三、组合机床的工作特点 ……（73）
四、双面单工液压传动组合机床的电气控制 ……（74）
项目 2 能力训练 ……（76）
项目 3　FX_{2N} 系列 PLC 的基本指令的编程及应用 ……（79）
项目描述 ……（79）
知识目标 ……（79）
技能目标 ……（79）
任务 1　编程软件的应用 ……（79）
任务描述 ……（79）
任务目标 ……（79）
知识储备 ……（80）
一、PLC 定义及产生 ……（80）
二、PLC 的特点 ……（80）
三、PLC 的应用 ……（81）
四、PLC 的分类 ……（82）
五、PLC 的主要性能指标 ……（83）
六、PLC 的编程语言 ……（84）
七、GX-Developer V8 编程软件的使用 ……（85）
八、GX Simulator 仿真软件的使用 ……（90）
技能操作 ……（93）
知识拓展　用 GX-Developer V8 编辑单流程结构 SFC 程序 ……（94）
任务 2　三相异步电动机点动/长动的 PLC 控制 ……（100）
任务描述 ……（100）
任务目标 ……（101）
知识储备 ……（101）
一、PLC 的组成与工作原理 ……（101）
二、FX 系列 PLC 的型号 ……（104）
三、FX 系列 PLC 的基本构成 ……（104）
四、FX2N 系列 PLC 的外部结构及接线 ……（105）
五、FX3U 系列 PLC 的外部结构及其接线 ……（107）
六、PLC 内部继电器 ……（109）
七、相关基本指令 ……（111）
八、梯形图的基本规则和技巧 ……（113）
技能操作 ……（115）
知识拓展　多台电动机的 PLC 顺序控制 ……（116）
任务 3　三相异步电动机正、反转的 PLC 控制 ……（117）

电子工业出版社版权所有 盗版必究

任务描述 …… （117）
任务目标 …… （117）
知识储备 …… （117）
一、电路块连接指令 ORB、ANB …… （117）
二、置位与复位指令 SET、RST …… （118）
技能操作 …… （119）
知识拓展　PLC 控制的四组抢答器 …… （120）
任务 4　PLC 控制三相异步电动机 Y-Δ降压启动 …… （122）
任务描述 …… （122）
任务目标 …… （122）
知识储备 …… （122）
一、定时器（T） …… （122）
二、定时器（T）的应用 …… （123）
三、相关基本指令 …… （125）
技能操作 …… （128）
知识拓展　PLC 控制的自动送料装车系统 …… （129）
任务 5　液体混合装置的 PLC 控制 …… （131）
任务描述 …… （131）
任务目标 …… （131）
知识储备 …… （131）
一、脉冲触点指令 LDP、LDF、ANDP、ANDF、ORP、ORF …… （131）
二、脉冲输出指令 PLS、PLF …… （132）
三、分频程序 …… （133）
四、取反指令 INV …… （133）
技能操作 …… （134）
知识拓展　三节传送带接力传送的 PLC 控制 …… （137）
任务 6　自控轧钢机的 PLC 控制（计数器 C） …… （138）
任务描述 …… （138）
任务目标 …… （138）
知识储备 …… （138）
一、计数器（C）基本知识 …… （138）
二、计数器的扩展 …… （140）
技能操作 …… （141）
知识拓展　声光报警的 PLC 控制 …… （143）
项目 3 能力训练 …… （144）
项目 4　FX_{2N} 系列 PLC 的步进指令的编程及应用 …… （149）
项目描述 …… （149）
知识目标 …… （149）
技能目标 …… （149）

电子工业出版社版权所有 盗版必究

任务 1　彩灯闪烁的 PLC 控制 …… （149）
任务描述 …… （149）
任务目标 …… （149）
知识储备 …… （150）
一、状态转移图 …… （150）
二、状态继电器（S） …… （153）
三、步进顺控指令 …… （153）
四、初始状态编程 …… （154）
五、区间复位指令 ZRST …… （155）
技能操作 …… （155）
知识拓展　LED 数码管的 PLC 控制 …… （157）
任务 2　电动机正、反转能耗制动的 PLC 控制 …… （158）
任务描述 …… （158）
任务目标 …… （158）
知识储备 …… （158）
技能操作 …… （159）
知识拓展　大、小球分拣操作系统的 PLC 控制 …… （161）
任务 3　步进指令实现交通信号灯的 PLC 控制 …… （164）
任务描述 …… （164）
任务目标 …… （164）
知识储备 …… （164）
一、并行分支的编程方式 …… （164）
二、并行汇合的编程方式 …… （165）
三、分支、汇合的组合 …… （165）
技能操作 …… （167）
知识拓展　专用镗床系统的 PLC 控制 …… （170）
任务 4　工业全自动洗衣机的 PLC 控制 …… （171）
任务描述 …… （171）
任务目标 …… （172）
知识储备 …… （172）
一、跳转 …… （172）
二、循环 …… （172）
技能操作 …… （172）
知识拓展　工作台自动往返运行的 PLC 控制 …… （176）
项目 4 能力训练 …… （177）
项目 5　FX_{2N} 系列 PLC 的功能指令的编程及应用 …… （180）
项目描述 …… （180）
知识目标 …… （180）
技能目标 …… （180）

电子工业出版社版权所有
盗版必究

任务 1　使用功能指令实现交通信号灯的 PLC 控制 …… （180）
任务描述 …… （180）
任务目标 …… （181）
知识储备 …… （181）
一、功能指令格式 …… （181）
二、数据表示方法 …… （182）
三、传送、比较类、数据交换和交替输出指令及应用 …… （183）
四、交替输出指令 …… （187）
技能操作 …… （187）
知识拓展　定时控制器的 PLC 控制 …… （190）
任务 2　多工作方式的小车行程的 PLC 控制 …… （191）
任务描述 …… （191）
任务目标 …… （191）
知识储备 …… （192）
一、条件跳转指令 …… （192）
二、子程序调用与返回指令 …… （192）
三、中断指令 …… （193）
四、主程序结束指令 …… （194）
五、监控定时器指令 …… （194）
六、程序循环指令 …… （194）
七、数据转换指令 …… （195）
技能操作 …… （196）
知识拓展　密码锁的 PLC 控制 …… （198）
任务 3　LED 七段数码管的 PLC 控制 …… （201）
任务描述 …… （201）
任务目标 …… （201）
知识储备 …… （201）
一、算术运算指令 …… （201）
二、加 1 和减 1 指令 …… （203）
三、逻辑与、或、异或和求补指令 …… （204）
四、七段译码指令 …… （205）
五、解码与编码指令 …… （206）
技能操作 …… （206）
知识拓展　8 站小车呼叫的 PLC 控制系统 …… （208）
任务 4　工业机械手的 PLC 控制 …… （210）
任务描述 …… （210）
任务目标 …… （210）
知识储备 …… （210）
一、循环移位指令 …… （210）

电子工业出版社版权所有 盗版必究

二、移位指令 …… （211）
三、字右移和字左移指令 …… （212）
技能操作 …… （213）
知识拓展　流水灯光的 PLC 控制 …… （216）
项目 5 能力训练 …… （217）
项目 6　PLC 控制应用系统设计、接线与调试 …… （219）
项目描述 …… （219）
知识目标 …… （219）
技能目标 …… （219）
任务 1　电梯 PLC 控制应用系统设计、接线与调试 …… （219）
任务描述 …… （219）
任务目标 …… （220）
知识储备 …… （220）
一、PLC 控制系统的规划与设计 …… （220）
二、PLC 选型与硬件系统设计 …… （221）
三、PLC 软件设计与程序调试 …… （223）
四、节省 I/O 点数的方法 …… （223）
技能操作 …… （227）
知识拓展　步进电动机的 PLC 控制系统的应用 …… （232）
任务 2　离心机的 PLC 多段速控制系统的设计、接线与调试 …… （235）
任务描述 …… （235）
任务目标 …… （235）
知识储备 …… （236）
一、认识三菱变频器 …… （236）
二、三菱 FR-700 系列变频器的接线图 …… （237）
技能操作 …… （239）
知识拓展　分拣单元 PLC 控制系统设计 …… （243）
项目 6 能力训练 …… （245）
项目 7　模拟量模块和 PLC 通信 …… （248）
项目描述 …… （248）
知识目标 …… （248）
技能目标 …… （248）
任务 1　电热水炉温度的 PLC 控制 …… （248）
任务描述 …… （248）
任务目标 …… （248）
知识储备 …… （249）
一、模拟量模块 …… （249）
二、模拟量输入模块 FX2N-2AD …… （249）
三、模拟量输出模块 FX2N-2DA …… （252）
四、缓冲存储器 BFM 的读写操作指令 FROM 和 TO …… （253）

电子工业出版社版权所有
盗版必究

技能操作 …… （255）
知识拓展　高层恒压供水自动控制系统 …… （257）
任务 2　送风和循环系统的通信控制 …… （259）
任务描述 …… （259）
任务目标 …… （259）
知识储备 …… （260）
一、数据通信基本概念 …… （260）
二、N:N 网络通信 …… （261）
三、并行通信 …… （263）
技能操作 …… （266）
知识拓展　PLC 控制三台电动机网络通信 …… （270）
项目 7 能力训练 …… （273）
附录 A　电气图常用文字及图形符号 …… （275）
附录 B　FX_{2N} 系列可编程控制器应用指令表 …… （277）
附录 C　FX_{2N} 特殊辅助继电器和数据寄存器表 …… （288）

电子工业出版社版权所有
盗版必究

项目 1　三相异步电动机基本控制电路的接线与调试

项目描述

本项目主要介绍三相异步电动机基本控制电路的接线与调试，通过 5 个基本任务来掌握低压电器的控制原理、使用方法及简单的故障维修，学会根据电气控制原理图连接实物电路的方法和技巧，最终使学生能够通过技能操作独立分析控制原理，能够掌握电气控制电路的设计思想。

知识目标

（1）掌握常用低压电气元件的工作原理和应用。

（2）掌握异步电动机电气控制原理图的识图方法，能够熟练识读电路图。

（3）会设计异步电动机启动、停止、正反转、降压启动、制动等控制电路。

技能目标

（1）能熟练识别常用低压电器，并能对其拆装与检验。

（2）能根据电气控制原理图熟练连接异步电动机启动、停止、正反转、降压启动、制动、调速等电路。

（3）能够在通电试车中排除电路故障。

任务 1　三相异步电动机启动控制电路的接线与调试

任务描述

使用刀开关或接触器、热继电器控制三相异步电动机的直接启动，通过操作按钮来实现异步电动机的点动/连续控制。

任务目标

（1）熟悉按钮、刀开关、熔断器、接触器、热继电器等低压电器的作用及工作原理。

（2）能够识别三相异步电动机启动控制的电气原理图，并根据电气控制原理图进行实际电路的连接。

（3）掌握三相异步电动机直接启动、点动、连续控制电路的接线、调试及故障处理。

电子工业出版社版权所有 盗版必究

知识储备

一、相关低压电器

低压电器是指工作在交流电压小于 1200V，直流电压小于 1500V 的电路中起通断、保护、控制或调节作用的各种电气设备。

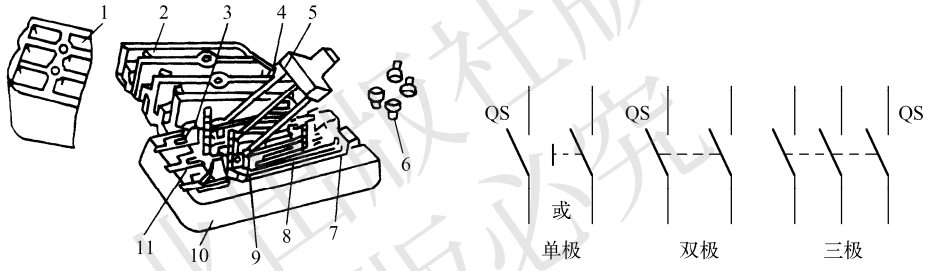
01　刀开关

1．刀开关

刀开关在电路中的作用是：隔离电源，以确保电路和设备维修的安全；分断负载，如不频繁地接通和分断容量不大的低压电路或直接启动小容量电动机。

1）开启式负荷开关

开启式负荷开关由操作手柄、熔丝、触刀、触点座和底座组成，结构示意图如图 1.1 所示，其文字符号为 QS。此种刀开关装有熔丝，可起短路保护作用。



（a）胶壳刀开关结构图　　（b）刀开关的符号

1—上胶盖；2—下胶盖；3—插座；4—触刀；5—瓷柄；6—胶盖紧固螺母；7—出线座；8—熔丝；9—触刀座；10—瓷底板；11—进线座

图 1.1　开启式负荷开关外形结构及符号

开启式负荷开关俗称胶盖瓷底刀开关。刀开关是带有动触点——闸刀，并通过它与底座上的静触点——刀夹座相合（或分离），以接通（或分断）电路的一种开关。

2）封闭式负荷开关

封闭式负荷开关又称为铁壳开关，一般用于电力排灌或电热器、电气照明线路的配电设备中，用来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。

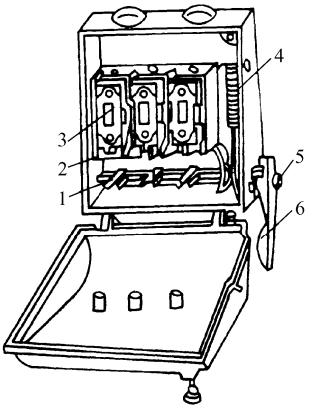
铁壳开关主要由钢板外壳、触刀、操作机构、熔丝等组成，如图 1.2 所示。

铁壳开关的操作结构有两个特点：一是采用储能合闸方式，即利用一根弹簧执行合闸分闸功能，使开关的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；二是设有连锁装置，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。

2．刀开关的主要技术参数及型号

刀开关的主要技术参数有：额定电流（长期通过的最大允许电流）、额定电压（长期工作所承受的最大电压）以及分断能力等。选择刀开关时，刀开关的额定电压应大于或等于线

路的额定电压，额定电流应大于或等于线路的额定电流。刀开关有 HD（单投）、HS（双投）、HK（开启式）、HR（熔断器式）和 HH（封闭式负荷）等系列，它们都适用于交流 50Hz、额定电压至 500V，直流额定电压至 400V、额定电流至 1500A 的成套配电装置中，在非频繁地手动接通和分断电路中使用，或作为隔离开关使用，其型号含义如图 1.3 所示。



1—触刀；2—夹座；3—熔断器；
4—速断弹簧；5—转轴；6—手柄

图 1.2　铁壳开关结构图

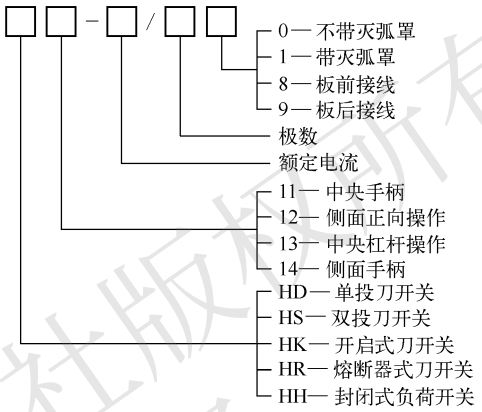


图 1.3　刀开关型号的含义

3．刀开关安装和使用的注意事项

刀开关在安装时，手柄要向上，不得倒装或平装，避免由于重力自动下落，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电源隔离，既便于更换熔丝，又可防止可能发生的意外事故。拉闸和合闸时，动作要迅速，一次拉合到位，使电弧尽快熄灭。

02　低压断路器

4．低压断路器

低压断路器俗称自动空气开关，是一种既有手动开关作用，又能对欠电压、过载和短路等故障进行自动保护的开关电器，它是低压配电网中一种重要的保护电器。低压断路器具有保护功能多样、动作值可调、分断能力高、操作方便、安全等优点，得到了广泛的应用。

1）低压断路器的外形结构及符号

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。低压断路器的符号如图 1.4 所示。

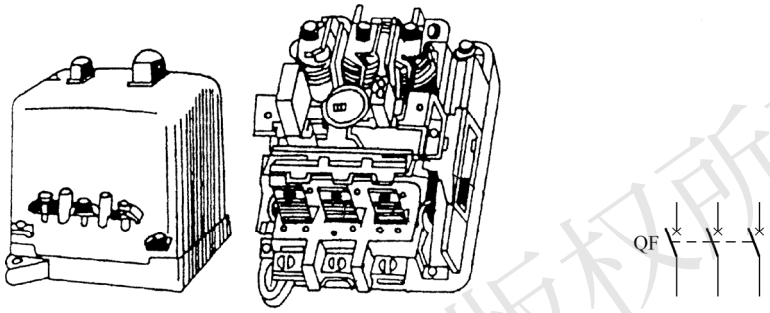
2）低压断路器的工作原理

低压断路器的工作原理示意图如图 1.5 所示。

开关的主触点是靠操作机构手动或电动合闸的，由自由脱扣机构将主触点锁在合闸位置上。当主电路发生过载时，热元件 12 产生的热量增加，使双金属片 13 弯曲变形，推动杠杆 8 向上运动，使搭钩 3 与锁扣 5 脱开，在反作用弹簧 4 的作用下断路器主触点断开，切断电路，实现过载保护；当主电路发生短路故障时，短路电流超过过电流脱扣器的瞬时脱扣整定

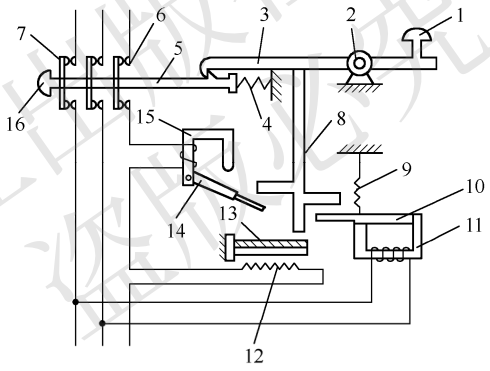
电子工业出版社版权所有 盗版必究

电流，脱扣器产生足够大的吸力将衔铁 14 吸合，通过杠杆推动搭钩与锁扣脱开，切断电路，使用电设备不会因短路而烧毁；当电路电压正常时，失压或欠压脱扣器的衔铁 10 被吸合，断路器的主触点能够闭合；当电路出现失压或电压下降到某一值时，铁芯磁力消失，衔铁被释放，在拉力弹簧 9 的作用下，衔铁撞击杠杆使搭钩与锁扣分开，主触点断开，起到失压或欠压保护。



（a）内部结构　　（b）符号

图 1.4　低压断路器的内部结构和符号



1—分断按钮；2—转轴座；3—搭钩；4—反作用弹簧；5—锁扣；
6—静触点；7—动触点；8—杠杆；9—拉力弹簧；10—欠压脱扣器衔铁；
11—欠压脱扣器；12—热元件；13—双金属片；14—电磁脱扣器衔铁；
15—电磁脱扣器；16—接通按钮

图 1.5　低压断路器的工作原理示意图

3）低压断路器的主要技术参数及型号

低压断路器的主要技术参数有：额定工作电压、壳架额定电流等级、极数、脱扣器类型及额定电流、短路分断能力等。低压断路器的主要型号有 DW10、DW15、DZ5、DZ10、DZ20 等系列，其型号含义如图 1.6 所示。

5．熔断器

03　熔断器

熔断器是根据电流超过规定值一定时间后，以其自身产生的热量使熔体熔化，从而使电路断开的原理制成的一种电路保护器。熔断器广泛应用于低压配电系统、控制系统及用电设备中，作为短路和过电流保护，使用时将它串联在被保

电子工业出版社版权所有 盗版必究

护电路中。

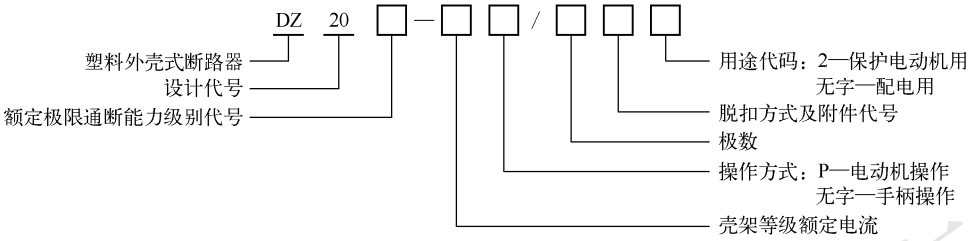
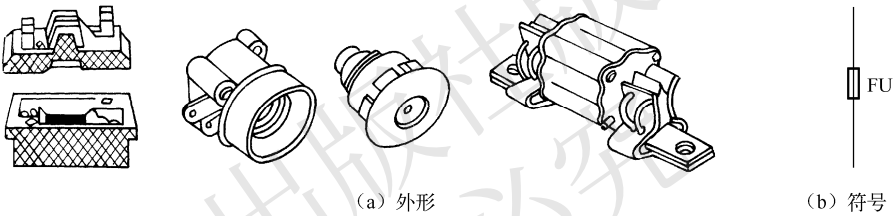


图 1.6　DZ20 系列低压断路器的型号含义

1）熔断器外形结构及符号

熔断器常见的类型有瓷插式、螺旋式、卡装式、有填料封闭管式、无填料封闭管式等，品种规格很多。瓷插式熔断器、螺旋式熔断器、有填料封闭管式熔断器外形及符号如图 1.7 所示。



（a）外形　　（b）符号

图 1.7　熔断器外形及图形符号

瓷插式熔断器的电源线和负载连接线分别接在瓷底座两端静触点的接线柱上，瓷盖中间凸起部分的作用是将熔体熔断产生的电弧隔开，使其迅速熄灭。较大容量熔断器的灭弧室中还垫有熄灭电弧用的石棉织物。

螺旋式熔断器电源线应当接在瓷底座的下接线端，负载线接到金属螺纹壳的上接线端。

熔体一般由熔点低、易于熔断、导电性能良好的合金材料制成：在小电流的电路中，常用铅合金或锌做成的熔体（熔丝）；对大电流的电路，常用铜或银做成的片状熔体。

2）熔断器的主要技术参数及型号

① 额定电压：指熔断器长期工作时和分断后能够承受的电压，其值一般等于或大于电气设备的额定电压。

② 额定电流：指熔断器长期工作时，各部件温升不超过规定值时所能承受的电流。厂家为了减少熔断器额定电流的规格，熔断器的额定电流等级比较少，而熔体的额定电流等级比较多，即在一个额定电流等级的熔断器内可以分装几个额定电流系统的熔体，但熔体的额定电流最大不超过熔断器的额定电流。

③ 极限分断能力：指熔断器在规定的额定电压和功率因数（或时间常数）的条件下能分断的最大电流值，在电路中出现的最大电流值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。

常见熔断器的型号有 RCIA、RM10、RL6、RL7、RT12、RT14、RT15、RT17 等系列，熔断器型号含义如图 1.8 所示。

电子工业出版社版权所有 盗版必究

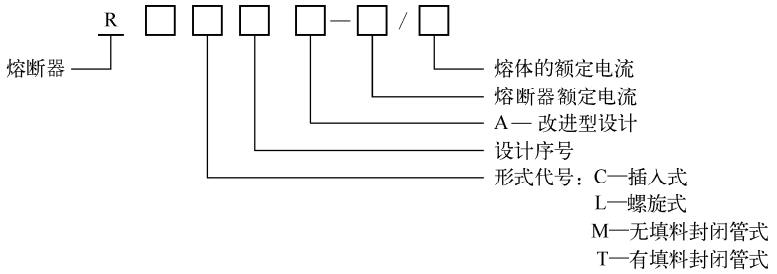


图 1.8　熔断器的型号含义

3）熔断器的选择

熔断器的选择主要是选择熔断器的种类、额定电压、熔断器额定电流和熔体额定电流等。

熔断器的种类通常在电控系统整体设计时确定，熔断器的额定电压应大于或等于实际电路的工作电压，因此确定熔体电流是选择熔断器的主要任务，具体来说有下列几条原则：

① 电路上、下两级都装设熔断器时，为使两级保护相互配合良好，两级熔体额定电流的比值不小于 1.6∶1。

② 对于照明线路或电阻炉等没有冲击性电流的负载，熔体的额定电流应大于或等于电路的工作电流，即

$$I_{\mathrm{fN}} \geqslant I_{\mathrm{e}}$$

式中，I_{fN} 为熔体的额定电流；

I_{e} 为电路的工作电流。

③ 保护一台异步电动机时，考虑电动机冲击电流的影响，熔体的额定电流按下式计算：

$$I_{\mathrm{fN}} \geqslant (1.5 \sim 2.5) I_{\mathrm{N}}$$

式中，I_{N} 为电动机的额定电流。

④ 保护多台异步电动机时，若各台电动机不同时启动，则应按下式计算：

$$I_{\mathrm{fN}} \geqslant (1.5 \sim 2.5)\, I_{\mathrm{Nmax}} + \sum I_{\mathrm{N}}$$

式中，I_{Nmax} 为容量最大的一台电动机的额定电流；

$\sum I_{\mathrm{N}}$ 为其余电动机额定电流的总和。

特别注意：线路中各级熔断器熔体额定电流要相应配合，保持前一级熔体额定电流必须大于下一级熔体额定电流。

6．控制按钮

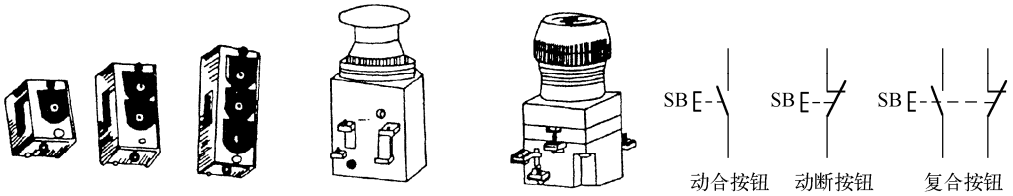
04　控制按钮

控制按钮是一种结构简单、应用广泛的主令电器。它用来手动控制小电流的控制电路，从而实现远距离控制主电路通断的目的。

1）控制按钮的外形结构及符号

按钮由按钮帽、复位弹簧、桥式触点和外壳等组成。触点额定电流 5A 以下，其外形结构如图 1.9（a）、（b）、（c）所示，图形符号如图 1.9（d）所示。

按钮在结构上有按钮式、紧急式、钥匙式、旋钮式和保护式五种，可根据使用场合和具体用途来选用。



（a）LA10 系列按钮　（b）LA18 系列按钮　（c）LA19 系列按钮　（d）符号

图 1.9　控制按钮的外形和图形符号

启动按钮带有常开触点，手指按下按钮，常开触点闭合；手指松开，常开触点复位。停止按钮带有常闭触点，手指按下按钮，常闭触点断开；手指松开，常闭触点复位。复合按钮有常开触点和常闭触点，手指按下按钮，常闭触点先断开，常开触点后闭合；手指松开时，常开触点先复位，常闭触点后复位。

控制按钮可做成单式（一个按钮）、复式（两个按钮）和三联式（三个按钮）的形式。为便于识别各个按钮的作用，避免误操作，通常在按钮上做出不同标志或涂以不同颜色，一般红色按钮表示停止按钮，绿色按钮表示启动按钮。

2）控制按钮的主要技术参数及型号

控制按钮的主要技术参数有额定电压（380V AC/220V DC）和额定电流（5A）。选择按钮时主要考虑按钮的结构形式、操作方式、触点对数、按钮颜色以及是否需要指示灯等要求。LA25 系列是全国统一设计的按钮新型号，其常用的型号有 LA2、LA10、LA18、LA19、LA20 等系列。国外的有德国 BBC 公司的 LAZ 系列。控制按钮型号含义如图 1.10 所示。

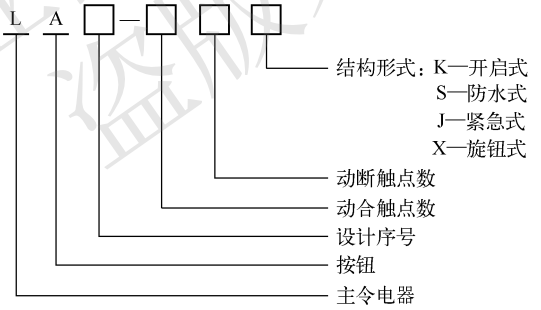


图 1.10　控制按钮型号含义

7．接触器

05　接触器

接触器在机床电路及自动控制电路中作为自动切换电路，用来远距离频繁地接通和断开交直流主回路和大容量控制电路，同时具有欠电压、零电压释放保护的功能。接触器按其主触点通过电流的种类不同可分为直流接触器和交流接触器两种，目前在控制电路中多采用交流接触器。

1）交流接触器的外形结构和符号

交流接触器常用于远距离接通和分断电压至 1140V、电流至 630A 的交流电路。其结构和符号如图 1.11 所示，它由电磁机构、触点系统、灭弧装置及其他部件组成。

电子工业出版社版权所有 盗版必究

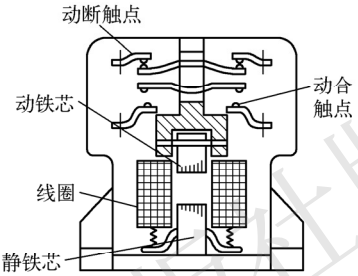
① 电磁机构。电磁系统包括电磁线圈、铁芯和衔铁，是接触器的重要组成部分，依靠它带动触点的闭合与断开。

② 触点系统。触点是接触器的执行部分，它包括主触点和辅助触点。主触点的作用是接通和分断主回路，控制较大的电流；而辅助触点在控制回路中，用以满足各种控制方式的要求。

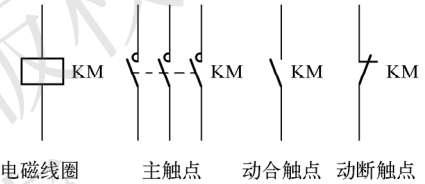
③ 灭弧装置。灭弧装置用来保证在触点断开电路时，产生的电弧能可靠地熄灭，减少电弧对触点的损伤。为使接触器可靠工作，必须使电弧迅速熄灭，故要采用灭弧装置。容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置。

④ 其他部件。包括反作用弹簧、触点压力弹簧、传动机构及外壳等。

（a）外形



（b）结构示意



（c）符号

图 1.11　交流接触器的结构示意、外形和符号

2）交流接触器的工作原理

当接触器线圈通电后，线圈电流产生磁场，静铁芯产生电磁吸力将衔铁吸合。衔铁带动触点系统动作，使常闭触点断开，常开触点闭合，两者是联动的。当线圈断电时，电磁吸力消失，衔铁在反作用弹簧力的作用下释放，使触点系统随之复位。

3）直流接触器

直流接触器主要用来远距离接通与分断额定电压至 440V、额定电流至 630A 的直流电路，它可频繁地操作和控制直流电动机启动、停止、反转及反接制动。

直流接触器的结构与工作原理基本上与交流接触器相同，即由线圈、铁芯、衔铁、触点、灭弧装置组成，所不同的是除触点电流和线圈电压为直流外，其触点大都采用滚动接触的指形触点，辅助触点则采用点接触的桥形触点。铁芯由整块钢或铸铁制成，线圈则制成长而薄的圆筒形。为保证衔铁可靠地释放，常在铁芯与衔铁之间垫有非磁性垫片。

由于直流电弧不像交流电弧那样有自然过零点，更难熄灭，因此，直流接触器常采用磁吹式灭弧装置。

4）接触器的主要技术参数及型号

接触器的主要技术参数有额定电压、额定电流、寿命、操作频率等。

① 额定电压：是指接触器主触点的额定电压。一般情况下，交流有 220V、380 V、660V，在特殊场合额定电压可高达 1140 V；直流主要有 l10V、220V、440V 等。

② 额定电流：是指接触器主触点的额定工作电流。它是在一定的条件（额定电压、使用类别和操作频率等）下规定的，目前常用的电流等级 10～800A。

③ 吸引线圈的额定电压。交流有 36V、127V、220V 和 380V，直流有 24V、48 V、220V 和 440V。

④ 机械寿命和电气寿命。接触器的机械寿命可达数百万次以至一千万次；电气寿命一般是机械寿命的 5%～20%。

⑤ 线圈消耗功率。可分为启动功率和吸持功率。对于直流接触器两者相等；对于交流接触器，一般启动功率约为吸持功率的 5～8 倍。

⑥ 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，一般有 300 次/h、600 次/h、1200 次/h。

⑦ 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%。

交流接触器的型号含义如图 1.12 所示。

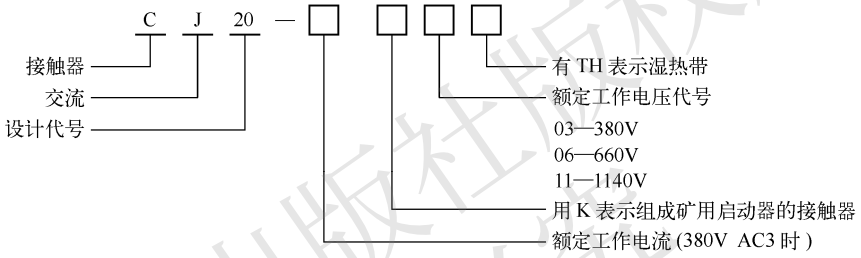


图 1.12　交流接触器的型号含义

5）接触器的选用

选择接触器时应从其工作条件出发，主要考虑下列因素：

① 控制交流负载应选用交流接触器；控制直流负载应选用直流接触器。

② 接触器的使用类别应与负载性质相一致。

③ 主触点的额定工作电压应大于或等于负载电路的电压。

④ 主触点的额定工作电流应大于或等于负载电路的电流。还要注意的是，接触器的主触点的额定工作电流是在规定条件下（额定工作电压、使用类别、操作频率等）能够正常工作的电流值，当实际使用条件不同时，这个电流值也将随之改变。

⑤ 吸引线圈的额定电压应与控制回路电压相一致，接触器在线圈额定电压 85%及以上时应能可靠地吸合。

⑥ 主触点和辅助触点的数量应能满足控制系统的需要。

06　热继电器

8．热继电器

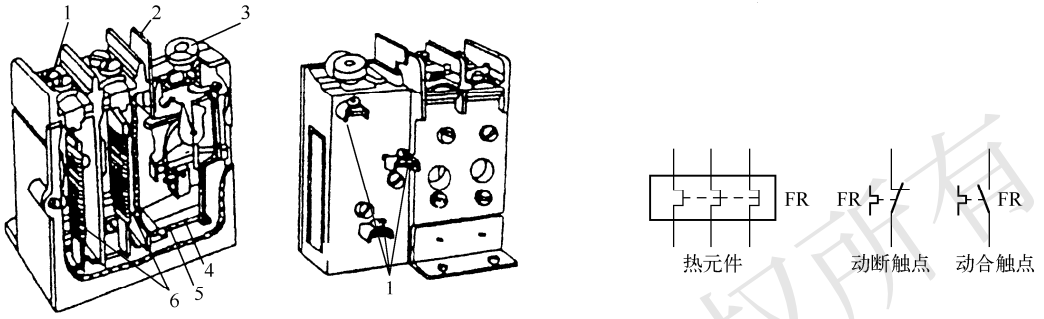
热继电器是利用电流的热效应来切断电路的保护电器，主要用于三相异步电动机的过载、缺相及三相电流不平衡的保护。电动机工作时如果长时间严重过载，绕组温升超过允许值，将会加剧绕组绝缘老化，甚至会烧坏绕组，缩短电动机的使用寿命。

1）热继电器的结构和符号

热继电器的结构如图 1.13（a）所示，图 1.13（b）为热继电器的符号。

热继电器的形式有多种，其中以双金属片式最多。双金属片式热继电器主要由双金属片

热元件、动作机构、触点系统、整定装置及复位按钮等组成。复位按钮是热继电器动作后进行手动复位的按钮，可以防止热继电器动作后，因故障未被排除而电动机又启动而造成更大的事故。



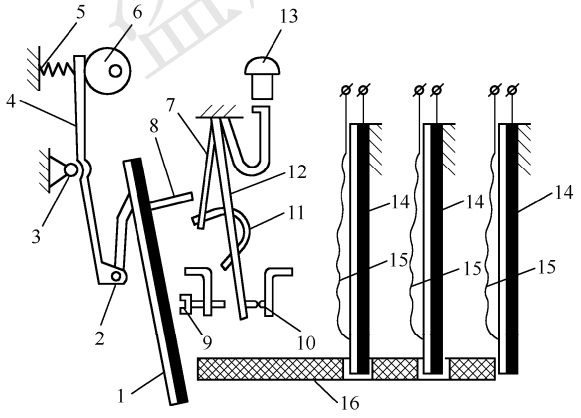
（a）结构　　（b）符号

1—接线柱；2—复位按钮；3—调节旋钮；4—动断触点；5—动作机构；6—热元件

图 1.13　热继电器的结构和符号

2）热继电器的工作原理

热继电器的动作原理示意图如图 1.14 所示。热继电器正常工作时，热元件感知电流，将热量传到主双金属片 14 上，主双金属片受热发生弯曲变形不足以使继电器动作；过载时，热元件上电流过大，主双金属片弯曲变形加剧，向右推动导板 16，使常闭触点动作切断控制电路（保护主电路）；热继电器动作后，经过一段时间的冷却自动复位，也可按复位按钮 13 手动复位（根据使用要求通过复位调节螺钉 9 来自由选择复位方式）。旋转凸轮 6 置于不同位置可以调节热继电器的整定电流。



1—补偿双金属片；2—销子；3—支撑；4—杠杆；5—弹簧；6—凸轮；
7、12—片簧；8—推杆；9—调节螺钉；10—触点；11—弓簧；
13—复位按钮；14—主双金属片；15—发热元件；16—导板

图 1.14　热继电器的动作原理示意图

3）热继电器主要技术参数及型号含义

热继电器主要技术参数有：热继电器额定电流、相数、热元件额定电流、整定电流及调

节范围等。常用的热继电器有 JR16、JR16D、JR20 等系列。热继电器的型号含义如图 1.15 所示。

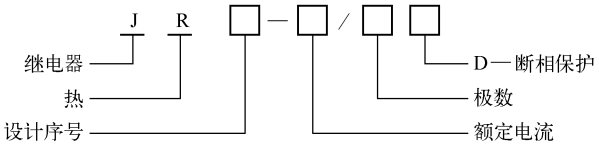


图 1.15　热继电器的型号含义

二、直接启动控制电路分析

1．手动控制电路分析

手动控制就是通过刀开关把电动机直接接入电网，加上额定电压。手动控制主要用来不频繁地接通与分断小型电动机，它是三相异步电动机最简单的控制方法。对于大中容量的电动机，一般需要用接触器、继电器来控制。如图 1.16 所示。

合上刀开关 QS（引入三相电源），三相异步电动机经熔断器 FU、热继电器 FR 得电启动，断开 QS，电动机失电停转。

2．点动控制电路分析

点动控制就是按下启动按钮时，电动机得电启动，松开按钮时，电动机失电停转。点动控制多用于机床刀架、横梁、立柱等快速移动和机床对刀等场合，是机床中常用的电路。电路原理图如图 1.17 所示。

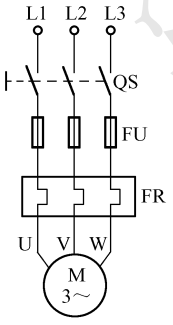


图 1.16　三相异步电动机的手动控制电路

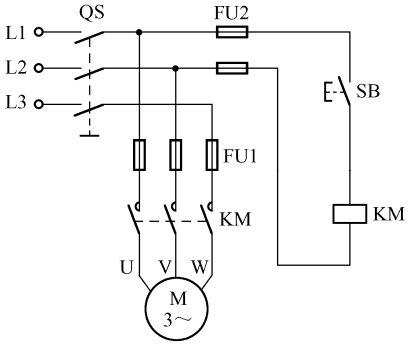


图 1.17　三相异步电动机的点动控制电路

合上刀开关 QS（引入三相电源），按下按钮 SB，接触器 KM 线圈得电，接触器 KM 主触点闭合，电动机接通电源启动运行。

松开按钮 SB，接触器 KM 线圈失电，接触器 KM 主触点恢复断开，电动机断电停转。

注意：当控制电路停止使用时，必须断开 QS。

3．连续控制电路分析

连续控制就是按下启动按钮时电动机转动工作，松开启动按钮时电动机不会停止转动。

电子工业出版社版权所有 盗版必究

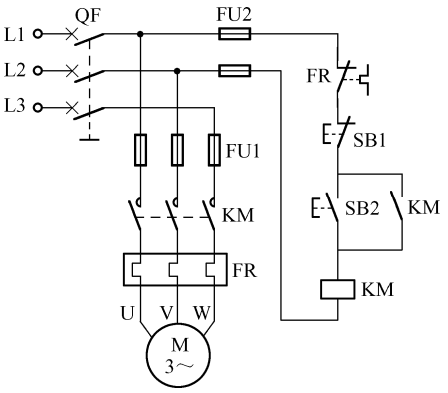


图 1.18　连续运转控制电路

连续控制多用于控制电动机长期连续运行，适用于需要长时间单向运行的机械设备等场合。电路原理图如图 1.18 所示。

启动控制：合上断路器 QF（引入三相电源），按下启动按钮 SB2 ，接触器 KM 线圈得电，KM 主触点闭合（同时与 SB2 并联的 KM 动合辅助触点闭合），电动机 M 通电运转。当松开按钮 SB2 时，KM 线圈仍可通过与 SB2 并联的 KM 动合辅助触点保持通电，从而使电动机连续运转。

自锁触点：通常利用接触器自身的辅助触点保持线圈通电的现象称为自锁。起到自锁作用的动合辅助触点称为自锁触点。

停机控制：按下停止按钮 SB1，接触器 KM 线圈失电，KM 主触点、辅助触点断开，电动机断电停止运转。

07　电动机自锁控制电路

注意：当控制电路停止使用时，必须断开 QS。

技能操作

1. 操作目的

（1）掌握三相异步电动机直接启动、点动、连续运转控制电路的工作原理。

（2）进一步熟悉异步电动机控制电路的接线方法。

（3）学会直接启动、点动、连续运转控制电路的故障分析及排除方法。

2. 操作器材

按照表 1.1 所示配齐所有工具、仪表及电气元件，并进行质量检验。

表 1.1　工具、仪表及器材

工具	验电笔、一字螺丝刀、十字螺丝刀、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、电工刀
仪表	万用表
器材	三相异步电动机 1 台
	三极刀开关 1 个，三极低压断路器 1 个
	螺旋式熔断器 5 个
	常开按钮 1 个，常闭按钮 1 个
	热继电器 1 个
	交流接触器 1 个
	端子板 1 组
	控制板 1 块
	导线若干（主电路所用导线的颜色规格应与辅助电路有区别）
	紧固体若干
	编码套管若干

电子工业出版社版权所有 盗版必究

3．操作步骤

① 在控制板上合理布置电气元件。

② 按控制原理图 1.16、图 1.17、图 1.18 接好线路（电动机Δ形连接）。注意接线时，先接负载端再接电源端，先接主电路，后接辅助电路，接线顺序从上到下。

③ 通电之前，必须征得指导老师同意，并由指导老师接通三相电源，同时在场监护。

④ 学生闭合电源开关 QF 后，用验电笔检查熔断器出线端，氖管亮说明电源接通。

⑤ 直接启动控制时，合上电源刀开关 QS，观察电动机是否正常运行。

⑥ 点动控制时，按下启动按钮 SB，观察电动机是否正常运行。

⑦ 连续控制时，按下启动按钮 SB2，观察电动机是否正常运行，有无自锁，比较按下与松开 SB2 电动机和接触器的运行情况有无变化。

⑧ 实践完毕切断实践线路电源。

4．注意事项

① 电动机使用的电源电压和绕组接法必须与铭牌上规定的相一致。

② 不要随意更改线路和带电触摸电气元件。

③ 电动机、刀开关及按钮的金属外壳必须可靠接地。

④ 电源进线应接在螺旋式熔断器的下接线柱，出线则应接在上接线柱。

⑤ 按钮内接线时，用力不可过猛，以防螺钉滑扣。

⑥ 电动机过载热继电器动作后，如要再次启动电动机，必须待热元件冷却后，才能使热继电器复位，一般自动复位时间不大于 5min，手动复位时间不大于 2min。

⑦ 用验电笔检查故障时，必须检查验电笔是否符合使用要求。

⑧ 通电试验时，注意观察电动机、各电气元件及线路各部分工作是否正常，如发现异常情况，必须立即切断电源。

5．故障分析

（1）按下启动按钮，电动机不能启动的故障原因是什么？

（2）画出实践中出现故障的电路图，分析故障原因并写出排除故障的过程。

6．思考题

（1）三相异步电动机连续控制线路接好后，发现只能点动控制，不能连续控制，为什么？

（2）什么是自锁触点？

知识拓展　复杂点动与多地控制电路分析

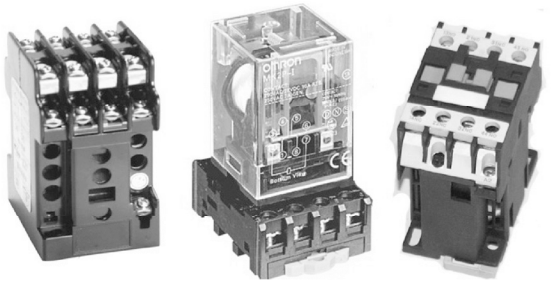
1．中间继电器

中间继电器可以将一个输入信号变成多个输出信号，用来增加控制回路或放大信号，因为其在控制电路中起中间控制作用，故称为中间继电器。中间继电器体积小，动作灵敏度高，并在 10A 以下电路中可代替接触器起控制作用。

根据负载电源类型不同，中间继电器分为交流和直流两大类，交流中间继电器多用于机床电气控制系统，直流中间继电器多用于电子电路和计算机控制电路。

1）中间继电器的外形结构和符号

中间继电器的外形结构如图 1.19（a）所示，如图 1.19（b）所示为中间继电器的符号。



（a）外形结构图

（b）符号

图 1.19　中间继电器的外形结构和符号

中间继电器实质上是一种电压继电器，它由电磁机构和触点系统组成。中间继电器仅用于控制电路，基本结构与接触器类似，触点数量较多。触点一般有 8 动合、6 动合 2 动断、4 动合 4 动断三种组合形式；无主触点和灭弧装置，起中间放大作用。

2）中间继电器的工作原理

中间继电器的工作原理与交流接触器相同，当电磁线圈得电时，铁芯被吸合，触点动作，即动合触点闭合，动断触点断开；电磁线圈断电后，铁芯释放，触点复位。

3）中间继电器的型号含义

常用的中间继电器有 JZ7、JZ15、JZ17 等系列，中间继电器的型号含义如图 1.20 所示。

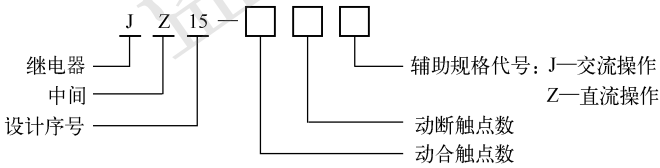
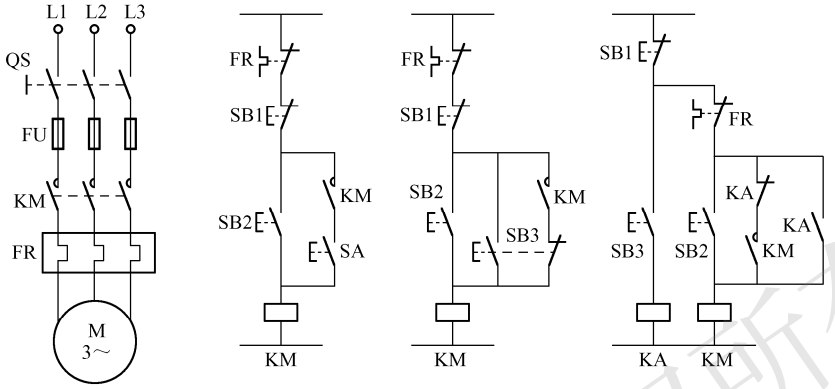


图 1.20　中间继电器的型号含义

2．复杂的点动控制电路分析

如图 1.21（b）所示是带手动开关 SA 的点动控制电路，打开 SA 将自锁触点断开，可实现点动控制；合上 SA 可实现连续控制。如图 1.21（c）所示增加了一个点动用的复合按钮 SB3，点动时用其常闭触点断开接触器 KM 的自锁触点，实现点动控制；连续控制时，可按启动按钮 SB2。如图 1.21（d）所示是用中间继电器实现点动的控制电路，点动时按 SB3，中间继电器 KA 线圈得电，中间继电器 KA 的常闭触点断开接触器 KM 的自锁触点，KA 的常开触点闭合，使接触器 KM 线圈通电，电动机点动运转；松开 SB3，中间继电器 KA 线圈失电，常开触点断开，使接触器 KM 线圈失电，电动机停机，实现点动控制；连续控制时，按下 SB2，接触器 KM 线圈得电并自锁，KM 主触点闭合，电动机 M 得电连续运转；需要停机

时，按下 SB1 即可。



（a）主电路　（b）控制电路　（c）控制电路　（d）控制电路

图 1.21　实现点动的几种控制电路

要求：能够识别三相异步电动机的几种点动控制电路原理图（见图 1.21），并根据电气原理图进行实物电路连接。

3．多地控制电路分析

有些生产设备和机械，为了操作方便，需要在几个不同地方进行操作和控制，即实现多地控制。多地控制是用多组启动按钮、停止按钮来进行控制的，就是把各启动按钮的常开触点并联连接，各停止按钮的常闭触点串联连接，这样在任何地方按启动按钮，接触器线圈都能通电，电动机都能启动运行；在任何地方按停止按钮，接触器线圈都能断电释放，电动机都能停止运行。图 1.22 为三地控制电路图。

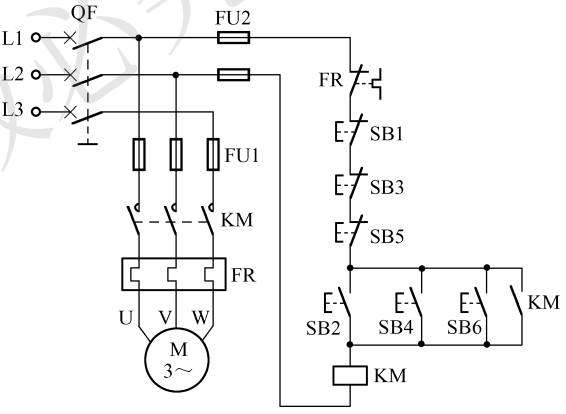


图 1.22　三相异步电动机三地控制电路图

要求：能够识别三相异步电动机的三地控制电路原理图（见图 1.22），并根据电气原理图进行实物电路连接。

任务 2　自动往返控制电路的接线与调试

任务描述

许多生产机械都需要正、反两个方向运动和控制生产机械运动部件在一定的行程范围内自动地往返循环，利用接触器、行程开关可控制三相异步电动机的正、反转和行程控制。它们的控制电路适用于机床主轴的正、反转、工作台的前进与后退、起重机的升降、组合机床

电子工业出版社版权所有 盗版必究

的滑台。

任务目标

（1）熟悉复式控制按钮的作用和工作原理，掌握行程开关的工作原理。

（2）熟悉三相异步电动机改变转向的方法。

（3）能够识别三相异步电动机自动往返控制的电气原理图，并根据电气控制原理图进行实物电路的连接。

（4）掌握三相异步电动机自动往返控制的基本操作方法和故障处理。

08　行程开关

知识储备

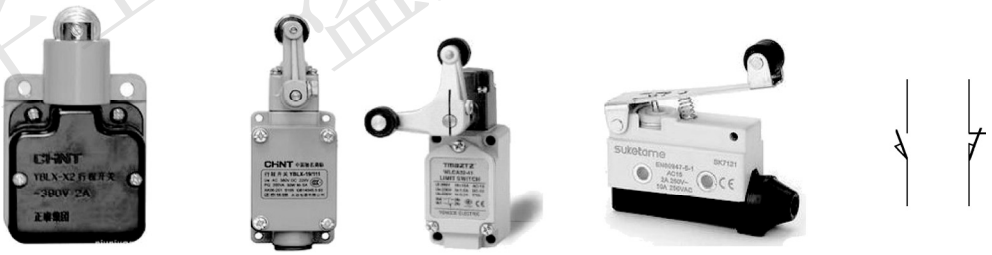
一、相关低压电器

1. 行程开关

行程开关又称位置开关或限位开关，其作用是将机械位移转换成电信号，使电动机运行状态发生改变，即按一定行程自动停车、反转、变速或循环，以此来控制机械运动或实现安全保护。行程开关按结构分为机械结构的接触式有触点行程开关和电气结构的非接触式接近开关。

1）有触点行程开关

机械结构的接触式行程开关是依靠移动机械上的撞块碰撞其可动部件，使常开触点闭合、常闭触点断开来实现对电路的控制。当工作机械上的撞块离开可动部件时，行程开关复位，触点恢复其原始状态。机械式行程开关分为直动式、滚动式和微动式三种，其外形结构和符号如图 1.23 所示。



（a）直动式　（b）滚动式　（c）微动式　（d）符号SQ

图 1.23　行程开关的外形结构及符号

① 行程开关的结构和符号。行程开关主要由操作机构、触点系统和外壳等组成。直动式行程开关的结构如图 1.23（a）所示，它的动作原理与按钮相同，但它的缺点是触点分合速度取决于生产机械的移动速度，当移动速度低于 0.4m/min 时，触点分断太慢，易受电弧烧蚀。为此，应采用盘形弹簧瞬时动作的滚轮式行程开关，如图 1.23（b）所示。当生产机械的行程比较小、面作用力也很小时，可采用具有瞬时动作和微小行程的微动开关，如图 1.23（c）所示。行程开关的图形文字符号如图 1.23（d）所示。

② 行程开关的主要技术参数及型号。行程开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、

电子工业出版社版权所有 盗版必究

触点换接时间、动作力、动作角度或工作行程、触点数量、结构形式和操作频率等。常用的行程开关有 LX19、LXW5、LXK3、LX32、LX33 等系列。新型 3SE3 系列行程开关额外负担工作电压为 500V，额定电流为 10A，其机械、电气寿命比常见行程开关更长。行程开关的型号含义如图 1.24 所示。

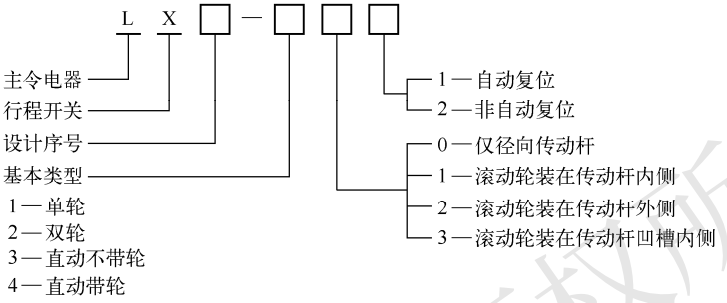


图 1.24　行程开关的型号含义

2）接近开关

在生产过程中完成对运动部件位置检测的常用器件就是电子接近开关，它可在物体与接近开关处于一定距离（不需要接触）时输出电信号，自动控制系统则根据电子接近开关的输出来判断被检测物体是否到达指定的位置。

电子接近开关根据被检测物体种类的不同和检测原理的不同，可以分为许多种类。常用的有电感式接近开关、电容式接近开关、磁性接近开关、光电接近开关等。

接近开关外形及文字符号如图 1.25 所示。

（a）电感式接近开关　（b）电容式接近开关　（c）磁性接近开关　（d）光电接近开关　（e）符号

图 1.25　接近开关外形及符号

下面介绍几种接近开关的工作原理。

① 电感式接近开关的检测原理：电感式接近开关的内部有一个振荡器，振荡器的线圈组成了检测界面，当电感式接近开关通电工作时，在线圈的周围产生交变磁场，当有金属物体进入磁场时，其感生的涡流产生的附加磁场阻止了线圈周围磁场的交变，使振荡停止，从而使开关输出状态发生改变。

电感式接近开关主要用于金属部件的位置检测，所以被检测的运动部件必须是金属材料才能被电感式接近开关检测到。

② 电容式接近开关的内部也有一个振荡器，振荡器的电容位于检测面上，当有介电常数大于 1 的物体（金属或非金属）接近检测面时，其耦合电容值发生了改变，电路开始振荡，从而使得开关的输出状态发生改变，达到检测的目的。

电子工业出版社版权所有 盗版必究

电容式接近开关不仅可以用于检测金属部件、非金属部件的运动位置，还可以检测液体、流体的液面，甚至可以检测颗粒状、粉状物的物料位置。

③ 磁性接近开关一般用于检测磁性物体的运动，但也可以检测贴有磁铁块的运动物体的位置，经常用于活塞的位置检测，有时也作为限位开关使用。当磁性目标接近时，磁性接近开关输出开关信号，其检测距离随检测物体磁场强弱变化而变化。

④ 光电接近开关是通过把光强度的变化转换成电信号的变化来实现检测的。光电接近开关在一般情况下由发射器、接收器和检测电路三部分构成。发射器对准物体发射光束，发射的光束一般来源于发光二极管和激光二极管等半导体光源，光束不间断地发射，或者改变脉冲宽度。接收器由光电二极管或光电三极管组成，用于接收发射器发出的光线。检测电路用于滤出有效信号。常用的光电接近开关又可分为漫反射式、反射式、对射式等几种，它们中大多数的动作距离都可以调节。

光电接近开关具有灵敏度高、频率响应快、重复定位精度高、工作稳定可靠、使用寿命长等优点，在自动控制系统中已获得广泛应用。其主要系列型号有 LJ2、LJ6、LXJ6、LXJ18 和 3SC、LXT3 等。

09　电动机正反转控制电路

二、自动往返控制电路分析

1. 接触器互锁的正、反转控制电路分析

在生产过程中，往往要求电动机能实现正、反两个方向的转动。由三相异步电动机的工作原理可知，改变电动机定子绕组的电源相序，就可使电动机转动方向改变。为此，只要用两只交流接触器就能实现这一要求。如果这两个接触器同时工作，这两根电源线将通过它们的主触点引起电源短路，所以在正、反转控制电路中，对实现正、反转的两个接触器之间要互相连锁，保证它们不能同时工作。电动机的正、反转控制电路，实际上由互相连锁的两个相反方向的单向运行电路组成。接触器互锁正、反转控制电路如图 1.26 所示。

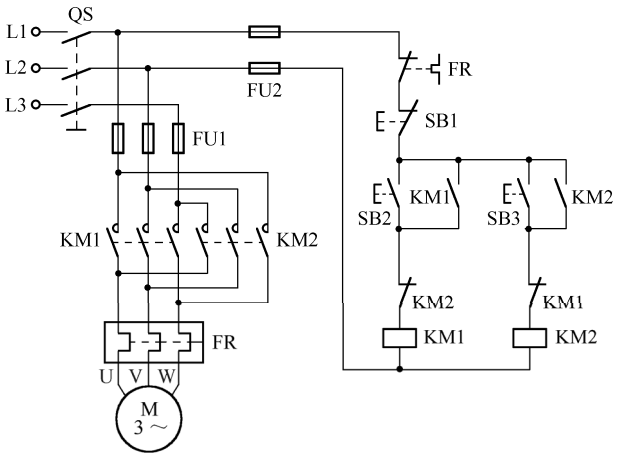


图 1.26　接触器互锁正、反转控制电路

① 合上电源开关 QS。

② 正转：按下正转启动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈通电自锁，其辅助常闭触点断开，切断了接触器 KM2 的控制电路，KM1 主触点闭合，主电路按顺相序（L1→L2→L3）接通，电动机正转。

③ 停转：按下停止按钮 SB1，KM1 线圈断电，其常开触点断开，电动机停转。KM1 辅助常闭触点恢复闭合，为电动机反转做好准备。

④ 反转：按下反转启动按钮 SB3，则 KM2 线圈通电自锁，主电路按逆相序（L3→L2→L1）接通，电动机反转。同理，KM2 的常闭触点切断 KM1 的控制电路，使 KM1 线圈无法通电。

接触器辅助触点这种互相制约的关系称为“互锁”或“联锁”。这种互锁关系，能保证即使某一接触器发生触点熔焊或有杂物卡住，KM1 和 KM2 的主触点也不会同时闭合，避免了发生短路事故。

2．按钮、接触器双重联锁的正、反转控制电路分析

为了提高劳动生产率，减少辅助时间，要求直接按反转按钮使电动机换向。为此，可将启动按钮 SB2、SB3 换接成复合按钮。当要求电动机由正转变为反转时，直接用复合按钮的常闭触点来断开转向相反的接触器线圈的通电回路。正、反转控制电路如图 1.27 所示。

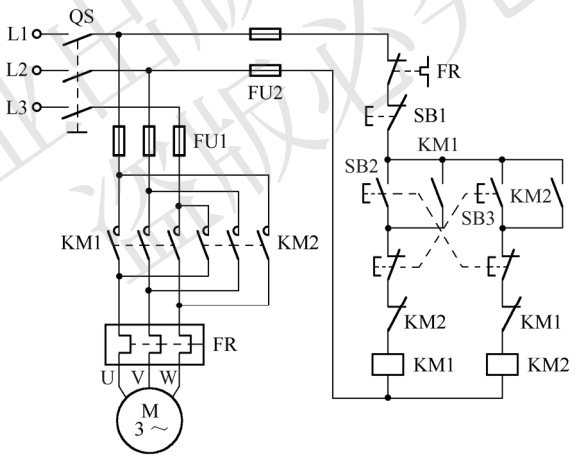


图 1.27　按钮、接触器双重联锁的正、反转控制电路

① 合上电源开关 QS。

② 正转：按下正转启动按钮 SB2。SB2 的常闭触点先断开对 KM2 互锁；将复合按钮 SB2 按到底，其常开触点闭合，使接触器 KM1 线圈得电，KM1 常闭触点断开对 KM2 互锁，KM1 的自锁触点和主触点闭合，电动机得电正转。

③ 反转：按下反转启动按钮 SB3。SB3 的常闭触点先断开，使 KM1 线圈失电，KM1 的各触点复位，解除对 KM2 的互锁，电动机失电；接着，SB3 的常开触点闭合，接触器 KM2 线圈得电。KM2 常闭触点断开对 KM1 互锁，KM2 的自锁触点和主触点闭合，电动机得电反转。

电子工业出版社版权所有 盗版必究

④ 停止：按下停止按钮 SB1，接触器 KM1 或 KM2 线圈失电，其触点复位，电动机断电停转。

3．自动往返的正、反转控制电路

机械设备中如机床的工作台、高炉的加料设备等均要自动往返运行，而自动往返的可逆运行通常是利用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、反转来实现生产机械的往复运动。

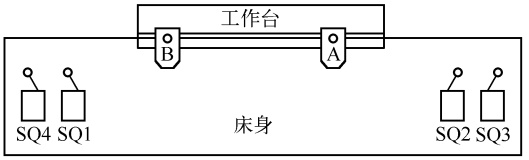


图 1.28　机床工作台往复运动的示意图

如图 1.28 所示为机床工作台往复运动的示意图。行程开关 SQ1、SQ2 分别固定安装在床身上，反映加工终点与原位。撞块 A、B 固定在工作台上，随着运动部件的移动分别压下行程开关 SQ1、SQ2，使其触点动作，改变控制电路的通断状态，使电动机正、反向运转，实现运动部件的自动往返运动。

如图 1.29 所示为往复自动循环的控制电路，图中 SQ1 为反向转正向行程开关，SQ2 为正向转反向行程开关，SQ3、SQ4 为正、反向极限保护行程开关。合上电源开关 QS，按下正转启动按钮 SB2，KM1 线圈通电并自锁，电动机正向启动旋转，拖动工作台向右前进，当前进到位，撞块 A 压下 SQ2，其常闭触点断开，线圈 KM1 断电，电动机停转，但 SQ2 常开触点闭合，又使线圈 KM2 通电并自锁，电动机由正转变为反转，拖动工作台后退，即向左移动。当后退到位时，撞块 B 压下 SQ1，使其常闭触点断开，常开触点闭合，使线圈 KM2 断电，KM1 线圈通电并自锁，电动机由反转变为正转，拖动工作台变后退为前进，如此周而复始地自动往复工作。按下停止按钮 SB1 时，电动机停止，工作台停止运动。当行程开关 SQ1、SQ2 失灵，则由极限保护行程开关 SQ3、SQ4 实现保护，避免运动部件因超出极限位置而发生事故，实现了限位保护。

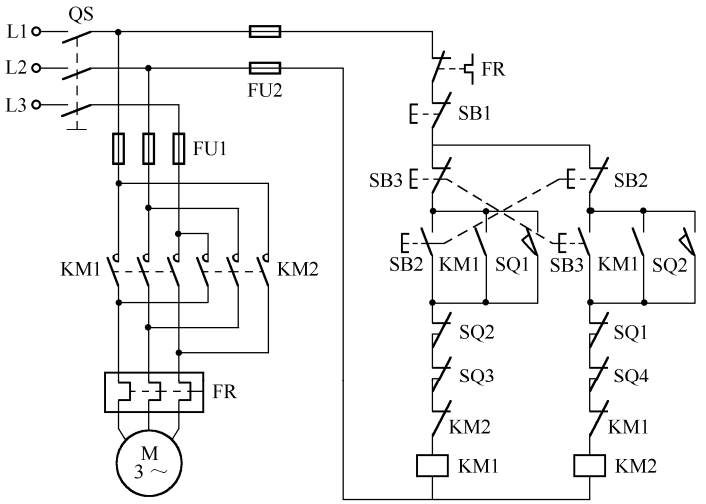


图 1.29　自动往返的控制电路

技能操作

1．操作目的

（1）掌握三相笼形异步电动机正、反转控制和自动往返控制电路的工作原理，加深理解电路中电气联锁与机械联锁的原理。

（2）进一步熟悉异步电动机控制电路的接线方法。

（3）学会正、反转控制和自动往返电路的故障分析及排除方法。

2．操作器材

按照表 1.2 所示配齐所有工具、仪表及电气元件，并进行质量检验。

表 1.2　工具、仪表及器材

工具	验电笔、一字螺丝刀、十字螺丝刀、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、电工刀
仪表	万用表
器材	三相异步电动机 1 台
	三极刀开关 1 个
	螺旋式熔断器 5 个
	常开按钮 2 个，常闭按钮 1 个
	热继电器 1 个
	行程开关 1 个
	交流接触器 2 个
	端子板 1 组
	控制板 1 块
	导线若干（主电路所用导线的颜色规格应与辅助电路有区别）
	紧固体若干
	编码套管若干

3．操作步骤

（1）在控制板上合理布置电气元件。

（2）按控制原理图接好线路（电动机Δ形连接）。注意接线时，先接负载端再接电源端，先接主电路，后接辅助电路，接线顺序从上到下。

（3）通电之前，必须征得指导老师同意，并由指导老师接通三相电源，同时在场监护。

（4）学生闭合电源开关 QS 后，用验电笔检查熔断器出线端，氖管亮说明电源接通。

（5）正、停、反控制时，先按下启动按钮 SB2，观察并记录电动机的运转情况（特别是电动机的转向），注意观察有无互锁作用；再按下停止按钮 SB1，使电动机停转；然后按下按钮 SB3，观察并记录电动机的运转情况（特别是电动机的转向），注意观察有无互锁作用。

（6）正、反、停控制时，先按下启动按钮 SB2，观察并记录电动机的运转情况（特别是电动机的转向），注意观察有无互锁作用；再按下反转按钮 SB3，观察并记录电动机的运转情况，注意观察有无互锁作用；然后按下停止按钮 SB1，使电动机停转。

电子工业出版社版权所有 印刷必究

（7）自动往返控制时，按下启动按钮 SB2，观察电动机的运转方向及工作台移动方向；当工作台上安装的挡铁压下右行限位开关 SQ2 时，观察电动机的运转方向及工作台移动方向；当工作台上安装的挡铁压下左行限位开关 SQ1 时，观察电动机的运转方向及工作台移动方向。按下停止按钮 SB1，电动机停转。

（8）操作实践完毕切断电源。

注意：出现故障后，若要带电检修，必须有指导老师在场监护。

4．注意事项

（1）不要随意更改电路和带电触摸电气元件。

（2）电动机、刀开关及按钮的金属外壳必须可靠接地。

（3）电源进线应接在螺旋式熔断器的下接线柱，出线则应接在上接线柱。

（4）按钮内接线时，用力不可过猛，以防螺钉滑扣。

（5）接触器的互锁触点接线必须保证正确，否则会造成主电路中电源两相短路事故。

（6）用验电笔检查故障时，必须检查验电笔是否符合使用要求。

（7）通电时，注意观察电动机、各电气元件及线路各部分工作是否正常，如发现异常情况，必须立即切断电源。

5．故障分析

（1）分析分别按下正、反转按钮，电动机旋转方向不变的故障原因。

（2）画出操作实践中出现故障的电路图，分析故障原因并写出排除故障的过程。

6．思考题

（1）若频繁持续操作 SB2 和 SB3，会产生什么现象？为什么？

（2）同时按下 SB2 和 SB3，会不会引起电源短路？为什么？

（3）当电动机正常正向/反向运行时，很轻地碰一下反向启动按钮 SB3/正向启动按钮 SB2，但未将按钮按到底，电动机运行状况如何？为什么？

（4）在工作台挡铁没有撞到限位开关 SQ1 情况下，压下按钮 SB2，电动机及工作台的工作情况是怎样的？

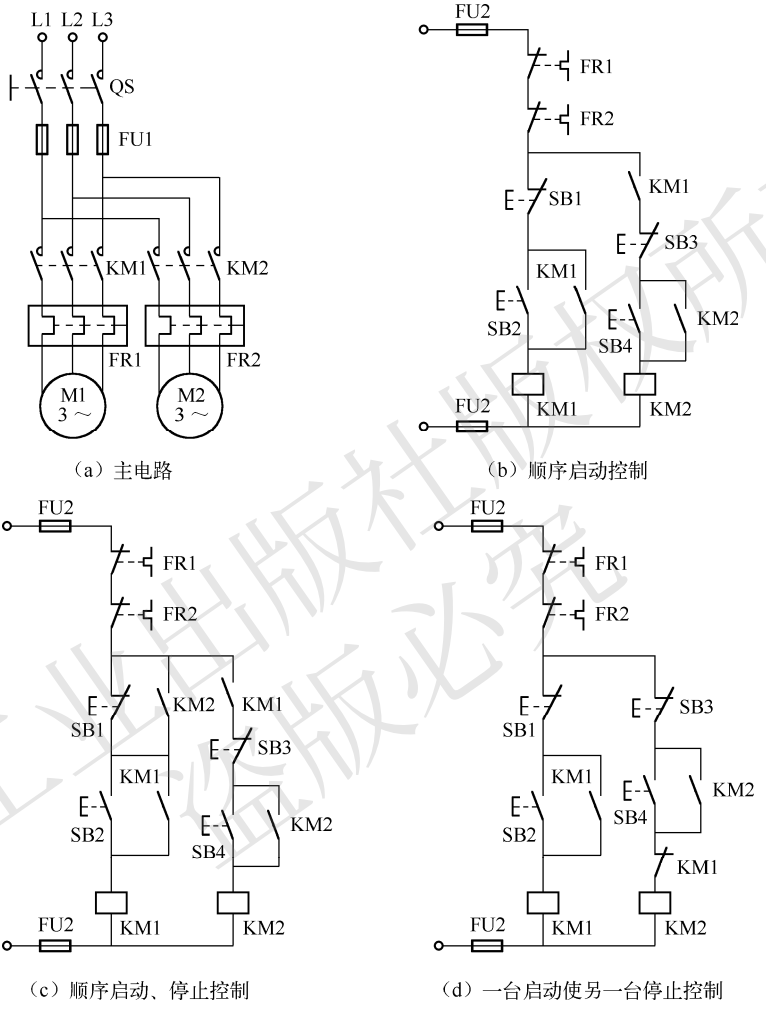
知识拓展　多台电动机顺序控制电路

在装有多台电动机的生产机械上，各电动机所起的作用不同，有时需要按一定的顺序启动才能保证操作过程的合理和工作的安全可靠。例如，在铣床上就要求先启动主轴电动机，然后才能启动进给电动机。又如，带有液压系统的机床，一般都要先启动液压泵电动机，然后才能启动其他电动机。这些顺序关系反映在控制电路上，称为顺序控制。

如图 1.30 所示是两台电动机 M1 和 M2 的顺序控制电路。如图 1.30（a）所示为主电路，如图 1.30（b）、（c）、（d）所示为顺序控制电路，其中，如图 1.30（b）所示中当接触器 KM1 动作后才允许接触器 KM2 动作，为此将接触器 KM1 的常开触点串联在接触器 KM2 的线圈电路中。这样按下启动按钮 SB2，KM1 线圈通电并自锁，电动机 M1 启动运转。KM1 常

电子工业出版社版权所有 盗版必究

开辅助触点闭合，通过 SB4 启动按钮控制接触器 KM2 通电吸合并自锁，电动机 M2 启动运转。按下各自的停止按钮 SB1 或 SB3，实现 Ml 或 M2 的停止。如图 1.30（b）所示为顺序联锁启动电路。



（a）主电路　（b）顺序启动控制

（c）顺序启动、停止控制　（d）一台启动使另一台停止控制

图 1.30　两台电动机的顺序控制电路

如图 1.30（c）所示为顺序启动与停止的联锁控制电路。它是在图 1.30（b）的基础上，将 KM2 的常开辅助触点并联在停止按钮 SB1 常闭触点两端。这样即使先按下 SB1，由于 KM2 线圈仍通电，电动机 Ml 不会停转，只有先按下 SB3，电动机 M2 先停后，再按下 SB1 才能使 Ml 停转。实现启动时先启动 Ml 才可启动 M2，停车时先停 M2 后才可停止 Ml 的顺序联锁控制。

如图 1.30（d）所示为电动机 M2 先启动，一旦启动 Ml 后，M2 立即停止的联锁控制电路，为此，将 KM1 的常闭辅助触点串联在 KM2 的线圈电路中，这样，在 Ml 未启动前，可通过按钮 SB4 使 KM2 线圈通电并自锁，电动机 M2 启动运转，一旦按下启动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈通电并自锁，电动机 Ml 启动运转；同时 KM1 常闭辅助触点断开，切断接触

电子工业出版社版权所有 盗版必究

器 KM2 线圈的回路，KM2 线圈断电释放，M2 便停止运转。

要求：能够识别三相异步电动机的顺序控制电路原理图（见图 1.30），并根据电气原理图进行实物电路连接。

任务 3　三相异步电动机降压启动控制电路的接线与调试

任务描述

大容量的笼形异步电动机（大于 10kW）因启动电流较大，一般采用降压启动的方式来启动，以减小启动电流，防止电动机电枢过热，并减少对电网的冲击。具体的方法是启动时，首先降低电动机定子绕组上的电压，待启动后再将电压恢复到额定值，使电动机在正常电压下运行。本任务是利用时间继电器的电气控制线路来完成异步电动机的降压启动控制。

任务目标

（1）熟悉组合开关、时间继电器的作用及工作原理。

（2）熟悉三相异步电动机的连接方法。

（3）能够识别三相异步电动机 Y-Δ降压启动控制的电气原理图，并根据电气控制原理图进行实物电路的连接。

（4）掌握三相异步电动机 Y-Δ降压启动控制的基本操作方法和故障处理。

知识储备

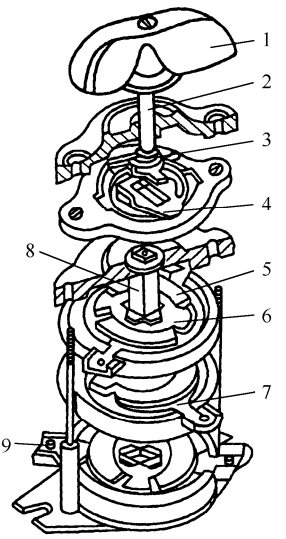
一、相关低压电器

1. 组合开关

组合开关又称转换开关，是一种多触点、多位置式，可控制多个回路的电器。

组合开关具有体积小、性能可靠、操作方便、安装灵活等优点，多用于机床电气控制线路中电源的引入开关，起着隔离电源作用，还可作为直接控制小容量异步电动机不频繁启动和停止的控制开关。

（1）组合开关的外形、结构和符号。组合开关由动触点（动触片）、静触点（静触片）、转轴、手柄、定位机构及外壳等部分组成。其动、静触点分别叠装于数层绝缘壳内。如图 1.31 所示为 HZ10 组合开关结构示意图，当转动手柄时，每层的动触点随方形转轴一起转动，从而实现对电路的通、断控制。组合开关同样也有单极、双极和三极之分，如图 1.32 所示。



1—手柄；2—转轴；3—弹簧；4—凸轮；5—绝缘垫板；6—动触点；7—静触点；8—绝缘方轴；9—接线柱

图 1.31　HZ10 组合开关外形及结构示意图

HZ10 系列组合开关应安装在控制箱内，其操作手柄最好在它的前面或侧面。开关为断

开状态时应使手柄在水平旋转位置。

（2）组合开关的主要技术参数及型号。组合开关的常用产品有 HZ5、HZ10、HZ12、HZ15 等系列。主要参数技术有额定电压、额定电流和极数等。组合开关的型号含义如图 1.33 所示，其中，类型是指凡不标出类型代号（拼音字母）者，是同时通断或交替通断的产品；有 P 代号者，是两位转换的产品；有 S 代号者，是三位转换的产品；有 Z 代号者，是供转接电阻用的产品；有 X 代号者，是控制电动机进行星形—三角形降压启动的产品。

交替通断的产品，其极数标志部分有两位数字：第一位表示在起始位置上接通的电路数；第二位表示总的通断电路数。两位转换的产品，其极数标志前无字母代号者，是有一位断路的产品；极数标志前有字母代号 B 者，是有两位断路的产品；极数标志前有数字代号者，是无断路的产品。

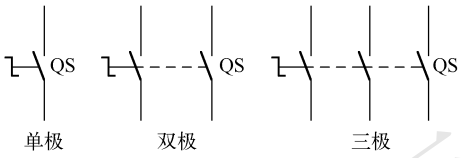


图 1.32　组合开关的符号

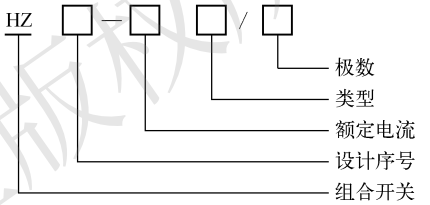


图 1.33　组合开关的型号含义

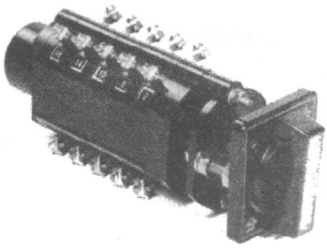
2．万能转换开关

万能转换开关是一种多挡位、多段式、控制多回路的主令电器，当操作手柄转动时，带动开关内部的凸轮转动，从而使触点按规定顺序闭合或断开。万能转换开关一般用于交流 500V、直流 440V、约定发热电流 20A 以下的电路，用于电气控制线路的转换和配电设备的远距离控制、电气测量仪表转换，也可用于小容量异步电动机、伺服电动机、微电动机的直接控制。

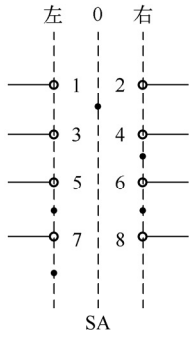
（1）万能转换开关的外形和符号。万能转换开关外形和符号如图 1.34 所示，它依靠操作手柄带动转轴和凸轮转动，使触点动作或复位，从而按预定的顺序接通与分断电路，同时由定位机构确保其动作的准确可靠。操作时，手柄带动转轴和凸轮一起旋转，当手柄转到不同的位置时，可使每层的各触点按预先设置的规律接通或断开，故这种开关可以组成多种接线方案。

万能转换开关的触点在电路中的图形符号如图 1.34 所示，图形符号中“第一横线”代表一对触点，而用三条竖线分别代表手柄位置，哪一对触点接通就在代表该位置虚线上的触点下面用黑点“●”表示。触点的通断也可用接通表来表示，表中的“×”表示触点闭合，空白表示触点断开。

（2）万能转换开关的主要技术参数及型号。万能转换开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、额定绝缘电压、约定发热电流、电寿命（次）、机械寿命（次）、操作频率（次/h）等。常用万能转换开关有 LW5、LW6、LWl2-16 等系列，它们多用于电力拖动系统中对线路或电动机实行控制。LW6 系列型号含义如图 1.35 所示。



（a）外形



（b）图形符号

触点	位置		
—	左	0	右
1-2		×	
3-4			×
5-6	×		×
7-8	×		

（c）通断表

图 1.34　万能转换开关的外形、符号以及通断表

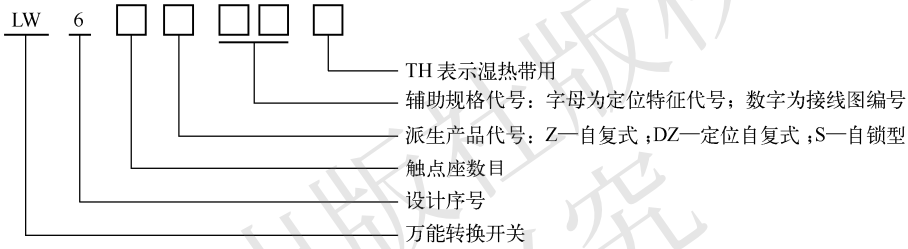


图 1.35　万能转换开关型号含义

3．时间继电器

10　时间继电器

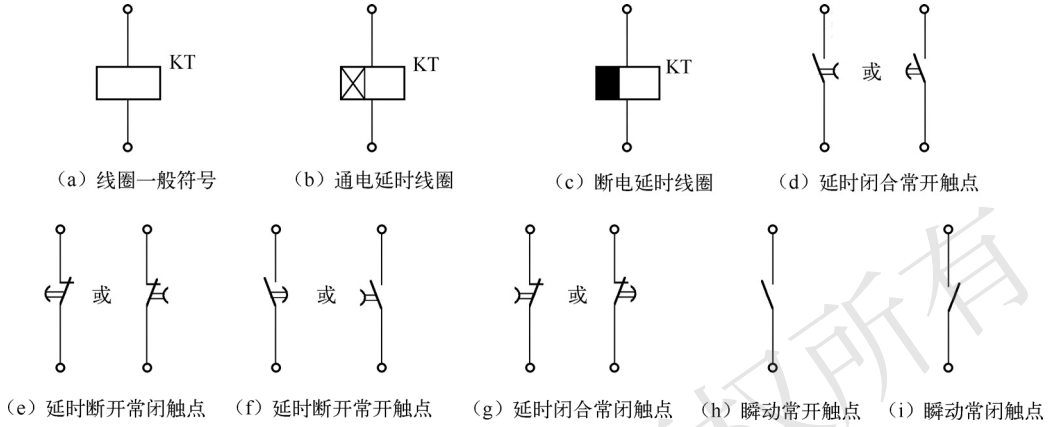
时间继电器是电路中控制动作时间的继电器，它是一种利用电磁原理或机械动作原理来实现触点延时接通或断开的控制电器，按其动作原理可分为电磁式、电动式、空气阻尼式、电子式、数字式等类型。目前应用最广泛的是电子式和数字式时间继电器，常见的时间继电器的外形结构如图 1.36 所示。

图 1.36　时间继电器外形

时间继电器有通电延时型和断电延时型两种类型。通电延时型时间继电器的动作原理是：线圈通电时，触点延时动作；线圈断电时，触点瞬时复位。断电延时型时间继电器的动作原理是：线圈通电时，触点瞬时动作；线圈断电时，触点延时复位。时间继电器的图形符

电子工业出版社版权所有 盗版必究

号如图 1.37 所示，文字符号用 KT 表示。



（a）线圈一般符号　（b）通电延时线圈　（c）断电延时线圈　（d）延时闭合常开触点

（e）延时断开常闭触点　（f）延时断开常开触点　（g）延时闭合常闭触点　（h）瞬动常开触点　（i）瞬动常闭触点

图 1.37　时间继电器的图形符号

1）电子式时间继电器

电子式时间继电器由晶体管、集成电路和电子元器件等构成，目前已有采用单片机控制的时间继电器。它利用 RC 电路中电容两端电压不能跃变，只能按指数规律逐渐变化的原理获得延时。因此只要改变充电回路的时间常数即可改变延时时间。电子式时间继电器的型号含义如图 1.38 所示。

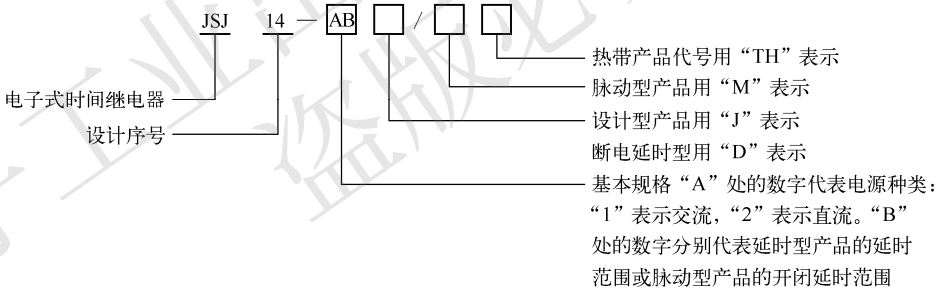


图 1.38　电子式时间继电器的型号含义

电子式时间继电器的主要技术参数有：工作电压（V）、延时触点数量（通电延时和断电延时）、瞬时动作触点数量（动合和动断）、延时范围（s）、功率损耗（W）、机械寿命（万次）等。常用电子式时间继电器有 JSJ、JSB、JS14、JS15、JS14A、JS20 等系列。

2）数字式时间继电器

数字式时间继电器可通过调整键“－”和“+”设置定时时间，时间单位可在 s（秒）、m（分）、h（小时）之间切换，时间延时范围为 0.1s～99h。如图 1.39 和图 1.40 所示为 DH48S 系列数字式时间继电器，图 1.39 是安装好的时间继电器，图 1.40 是数字式时间继电器的接线图，图中②、⑦之间接直流或交流电源。该时间继电器是通电延时型，其中延时闭合的动合触点共有 2 对（①与③、⑥与⑧）、延时断开的动断触点共有 2 对（①与④、⑤与⑧）。

电子工业出版社版权所有 盗版必究

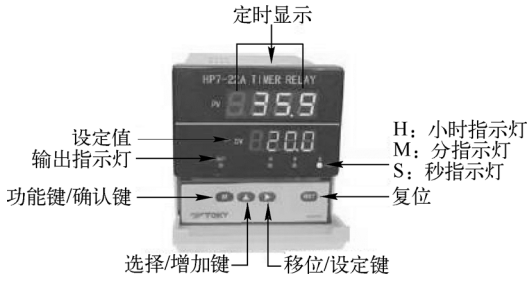


图 1.39　安装好的时间继电器

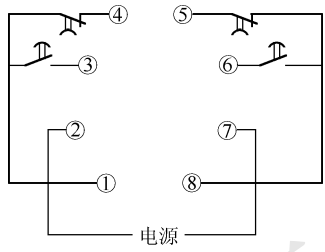


图 1.40　时间继电器的接线图

3）时间继电器的选用

时间继电器形式多样，各具特点，选择时应从以下几方面考虑：

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继电器类型。

③ 根据使用场合、工作环境选择时间继电器的类型。如电源电压波动大的场合可选用空气阻尼式，环境温度变化大的场合不宜选用空气阻尼式和电子式时间继电器。

二、Y-Δ降压启动控制电路

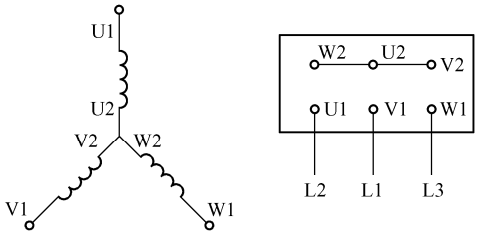
11　电动机星-三角形降压启动控制电路

对于正常运行状态下定子绕组接成Δ连接且容量较大的三相笼形异步电动机，可采用 Y-Δ降压启动控制。电动机启动时，定子绕组接成星形连接，每相绕组电压降为电源电压额定值的 $1/\sqrt{3}$，启动电流值降为全压启动时电流值的 1/3。待电动机转速上升到接近额定转速时，将定子绕组换接成Δ连接，电动机进入全压下的正常运转状态。

1. 电动机定子绕组的两种连接方式

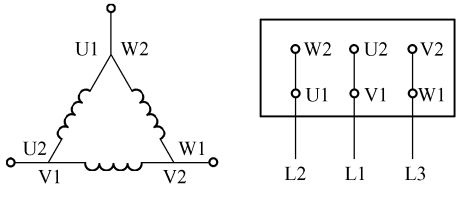
（1）定子绕组的 Y 连接。电动机的 Y 连接如图 1.41 所示，将 U2、V2、W2 短接，U1、V1、W1 接三相电源 L1、L2、L3，同时将电动机外壳接地。

（2）定子绕组的Δ连接。电动机的Δ连接如图 1.42 所示，将 U1 与 W2、V1 与 U2、W1 与 V2 短接，将 U1、V1、W1 接三相电源 L1、L2、L3。



（a）定子绕组Y连接　（b）定子绕组Y连接示意图

图 1.41　电动机的 Y 连接



（a）定子绕组Δ连接　（b）定子绕组Δ连接示意图

图 1.42　电动机的Δ连接

图 1.43 为 Y-Δ降压启动控制电路图。启动时，合上主电路电源开关 QS，接通控制电路电源，按下启动按钮 SB2，时间继电器 KT 和接触器 KM1、KM2 的线圈主触点同时得

电，KM1 常开触点闭合自锁，KM1 和 KM2 的主触点均闭合，使得电动机 Y 连接启动。经过一定时间延时后，电动机转速提高到接近额定转速，时间继电器 KT 延时动断触点断开，使接触器 KM2 线圈失电，其各触点恢复，断开电动机 Y 连接；KT 延时动合触点闭合，接触器 KM3 线圈得电，KM3 自锁触点闭合自锁，KM3 主触点闭合，使得电动机Δ连接运行。按下停止按钮 SB1，接触器 KM1、KM3 线圈失电，各触点复位，电动机断电停转。

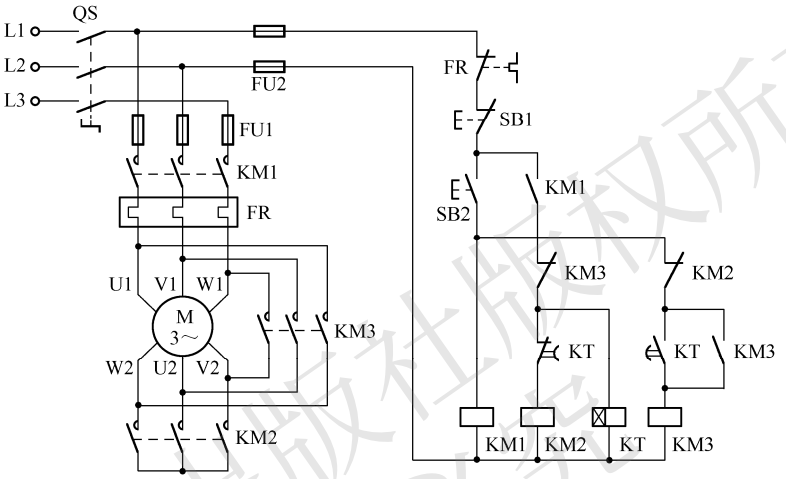


图 1.43　Y-Δ降压启动控制电路

注意：当控制电路停止使用时，必须断开 QS。

技能操作

1．操作目的

（1）了解空气阻尼式时间继电器的结构、原理和使用方法。

（2）掌握 Y-Δ降压启动控制电路工作原理。

（3）进一步熟悉电路的接线方法、故障分析及排除方法。

2．操作器材

按照表 1.3 所示配齐所有工具、仪表及电气元件，并进行质量检验。

表 1.3　工具、仪表及器材

工具	验电笔、一字螺丝刀、十字螺丝刀、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、电工刀
仪表	万用表
器材	三相异步电动机 1 台
	三极组合开关 1 个
	螺旋式熔断器 5 个
	常开按钮 1 个，常闭按钮 1 个
	热继电器 1 个

电子工业出版社版权所有 盗版必究

续表

器材	时间继电器 1 个
	交流接触器 3 个
	端子板 1 组
	控制板 1 块
	导线若干（主电路所用导线的颜色规格应与辅助电路有区别）
	紧固体若干
	编码套管若干

3．操作步骤

（1）在控制板上合理布置电气元件。

（2）断开电源，按控制原理图接好线路。接线时要保证电动机定子绕组连接的正确性。控制 Y 连接的接触器 KM2 的进线必须按要求从定子绕组的末端引入，即 U2、V2、W2 端；控制Δ连接的接触器 KM3 的主触点闭合时，应保证定子绕组 U1 端与 W2 端、V1 端与 U2 端、W1 端与 V2 端连接。

（3）通电之前，必须征得指导老师同意，并由指导老师接通三相电源，同时在场监护。

（4）学生闭合电源开关 QS 后，用验电笔检查熔断器出线端，氖管亮说明电源接通。

（5）先按下启动按钮 SB2，观察并记录电动机的运转情况；然后按下停止按钮 SB1，使电动机停转。如出现故障应会自行排除。

（6）调节时间继电器的延时时间，重新启动电动机，记录启动的时间值。调节时间继电器的延时时间，重新启动电动机，记录启动的时间值。

（7）实践完毕切断实践线路电源。

4．注意事项

（1）不要随意更改线路和带电触摸电气元件。

（2）电动机的金属外壳必须可靠接地。

（3）电源进线应接在螺旋式熔断器的下接线柱，出线则应接在上接线柱。

（4）按钮内接线时，用力不可过猛，以防螺钉滑扣。

（5）用验电笔检查故障时，必须检查验电笔是否符合使用要求。

（6）Y−Δ降压启动控制的电动机应有 6 个出线端子且定子绕组在Δ连接时的额定电压等于三相电源的线电压。

（7）通电试验时，注意观察电动机、各电气元件及线路各部分工作是否正常，如发现异常情况，必须立即切断电源。

5．故障分析

（1）合上电源开关 QS，按下 SB2，KM1 和 KM2 得电动作，电动机启动，但时间继电器延时时间已过，电路仍无切换动作，分析故障原因，并排除故障。

（2）若在操作实践过程中出现故障，画出错接的电路图，对故障原因进行分析。

6．思考题

（1）若把图 1.43 中时间继电器的延时常开、常闭触点，错接成瞬时动作的常开、常闭触点，电路的工作状态如何变化？

（2）若把图 1.43 中按钮 SB3 的常开触点与常闭触点接反了，电路的工作状态如何变化？

（3）请设计一个用断电延时的时间继电器控制的 Y-Δ降压启动控制电路。

知识拓展　自耦变压器和延边三角形降压启动控制电路

1．自耦变压器降压启动控制电路

对于容量较大的正常运行时定子绕组接成星形（Y 形）的笼形异步电动机，可采用自耦变压器来降低电动机的启动电压。

如图 1.44 所示为自耦变压器降压启动控制电路。启动时，合上电源开关 QS，按启动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈和时间继电器 KT 线圈得电，KT 瞬时动作的常开触点闭合自锁，接触器 KM1 主触点闭合，将电动机定子绕组经自耦变压器接至电源，定子绕组得到的电压是自耦变压器的二次电压，电动机降压启动。经过一段延时后，时间继电器延时断开常闭触点，使 KM1 失电，自耦变压器从电网上切除。而延时常开触点闭合，接触器 KM2 线圈得电，于是电动机直接接到电网上全压运行。

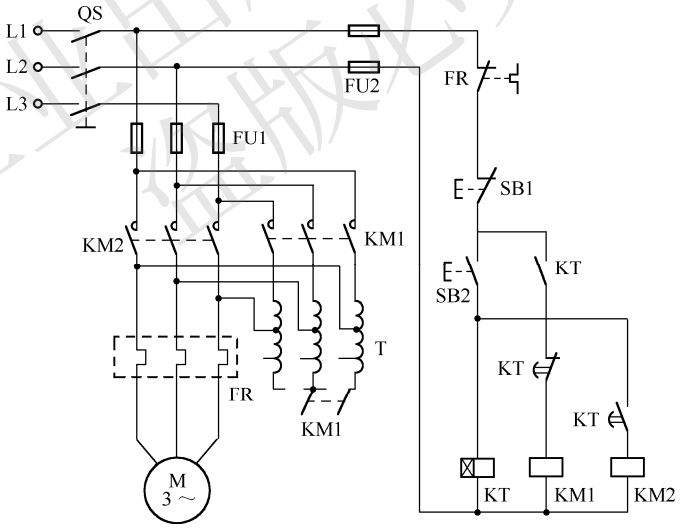


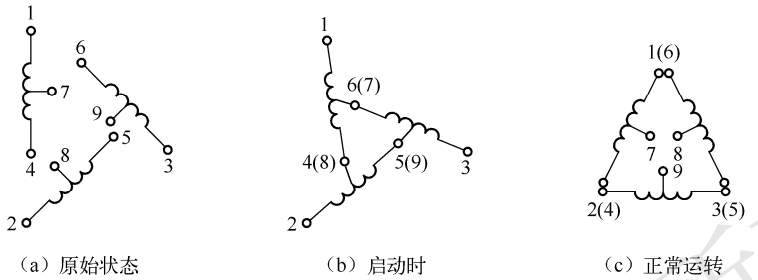
图 1.44　自耦变压器降压启动控制电路

要求：能够识别三相异步电动机的自耦变压器降压启动控制电路原理图（见图 1.44），并能根据电气原理图进行实物电路连接。

2．延边三角形降压启动控制电路

延边三角形降压启动是既不增加专用启动设备，还可适当提高启动转矩的一种降压启动方法。延边三角形的启动方法是在每相定子绕组中引出一个抽头，启动时将一部分定子绕组

接成三角形，另一部分接成 Y 形，称为延边三角形连接；启动结束时，再将定子绕组接成三角形（Δ形）运行。绕组连接如图 1.45 所示。



（a）原始状态　　（b）启动时　　（c）正常运转

图 1.45　延边绕组示意图

延边三角形降压启动控制电路如图 1.46 所示。合上电源开关 QS，按下启动按钮 SB2，接触器 KM1 得电并自锁，KM1 主触点闭合，定子绕组接点 1、2、3 接通电源，同时时间继电器 KT 线圈通电进行延时；接触器 KM3 线圈通电，KM3 主触点闭合，定子绕组接点 4–8、5–9、6–7 连接使电动机成延边三角形启动。当时间继电器延时时间到，KT 延时打开动断触点断开，使接触器 KM3 线圈断电；KT 延时闭合动合触点闭合，接触器 KM2 线圈通电并自锁，KM2 主触点闭合，定子绕组接点 1–6、2–4、3–5 连接成三角形运行。同时 KM2 的常闭触点断开，KT 线圈失电，使 KT 各触点复位，为下一次启动做准备。

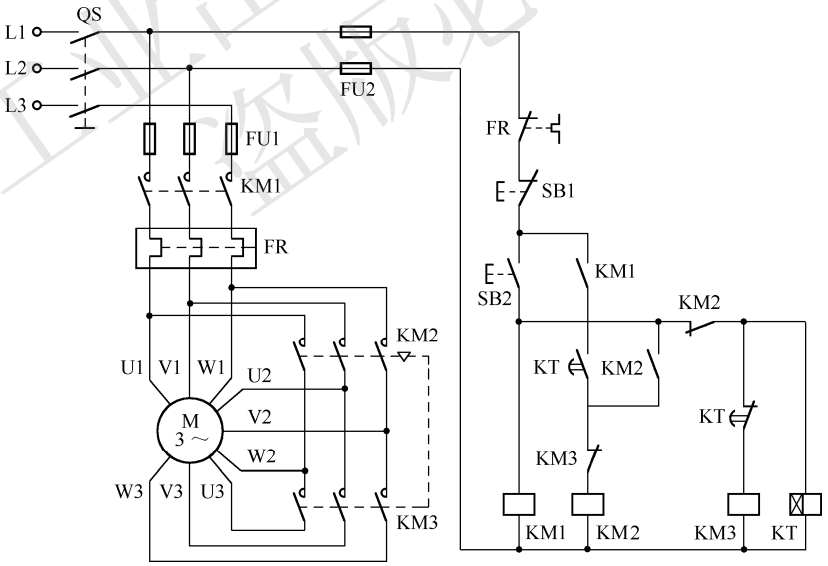


图 1.46　延边三角形降压启动控制电路

要求：能够识别三相异步电动机的延边三角形降压启动控制电路原理图（见图 1.46），并能根据电气原理图进行实物电路连接。

电子工业出版社版权所有

任务 4　三相异步电动机的制动控制电路的接线与调试

任务描述

由于转子惯性的关系，三相异步电动机从切断电源到完全停止旋转，需要持续一段时间，这不能满足某些生产机械的工艺要求。如卧式镗床、万能铣床、组合机床等，无论是从提高生产效率，还是从安全及准确定位等方面考虑，都要求电动机能迅速停车，所以要对电动机进行制动控制。本任务是利用速度继电器的电气控制线路来完成异步电动机的反接制动控制。

任务目标

（1）熟悉速度继电器的作用及工作原理。
（2）熟悉三相异步电动机的反接制动原理。
（3）能够根据电气控制原理图进行电路的连接和故障处理。
（4）能改进、设计三相异步电动机制动线路。

知识储备

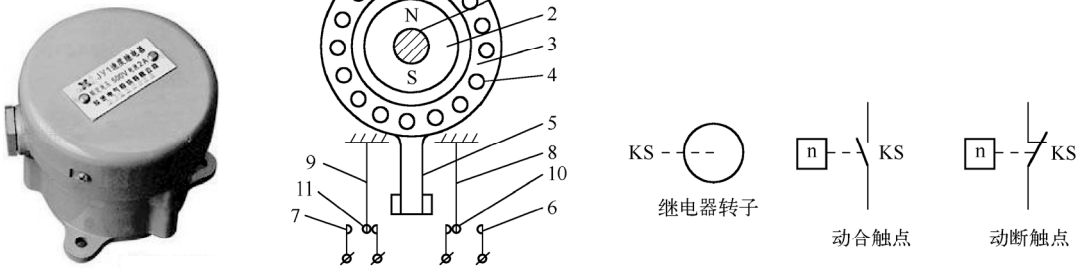
一、相关低压电器

速度继电器是根据电动机转轴的转速来切换电路的自动电器。它主要用于笼形异步电动机的反接制动控制中，故称为反接制动继电器。

12　速度继电器

1. 速度继电器外形、结构和符号

速度继电器外形、结构和符号如图 1.47 所示。速度继电器主要由转子、定子和触点三部分组成，转子是一个圆柱形永久磁铁，定子是一个笼形空心圆环，由硅钢片叠成，并装有笼形的绕组。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。



（a）外形　（b）结构示意图　（c）符号

1—转轴；2—转子；3—定子；4—绕组；5—摆锤；6、7—静触点；8、9—簧片；10、11—动触点

图 1.47　速度继电器外形、结构和符号

电子工业出版社版权所有 盗版必究

2．速度继电器的工作原理

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，使定子随着转子的转动方向偏摆，通过定子柄拨动触点，使常开触点闭合，常闭触点断开。当电动机转速下降到接近零时，转矩减小，定子柄在弹簧力的作用下恢复原位，触点也复位。

速度继电器有两组触点（各有一对动合触点和一对动断触点），可分别控制电动机正、反转的反接制动。

3．速度继电器的主要技术参数和型号

常用的速度继电器有 JY1 和 JFZ0 型。现以 JY1 型速度继电器为例，它的主要技术参数包含：动作转速（一般不低于 120r/min），复位转速（约在 100r/min 以下）；工作时，允许的转速高达 1000～3600 r/min。速度继电器的型号含义如图 1.48 所示。

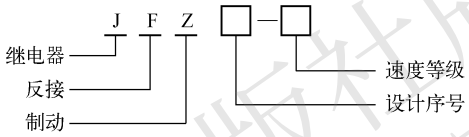


图 1.48　速度继电器的型号含义

13　反接制动控制电路

二、反接制动控制电路的分析

电动机从切断电源到完全停止旋转，由于系统惯性作用，转子要经一段时间才能停止转动，为了缩短辅助时间，提高生产效率，使停机位置准确，并为了安全生产，要求电动机能迅速停车，一般采用机械制动和电气制动，机械制动采用电磁抱闸或液压装置制动，电气制动是在电动机上产生一个与原转动方向相反的电磁制动转矩，迫使电动机迅速停转。电气制动有反接制动和能耗制动两种。

反接制动是靠改变定子绕组中三相电源的相序，产生一个与转子惯性转动方向相反的电磁转矩，使电动机迅速停下来，制动到接近零转速时，再将反相序电源切除。通常采用速度继电器来检测速度的过零点，并及时切除三相反相序电源。

如图 1.49 所示是电动机单向反接制动控制电路，图中 KM1 为单向运行接触器，KM2 为反接制动接触器，KS 为速度继电器，R 为反接制动电阻。

电路工作原理：电动机转动时，速度继电器 KS 的常开触点闭合，为反接制动时接触器 KM2 线圈通电做好准备；停车时，按下复合按钮 SB1，KM1 线圈断电释放，电动机脱离三相电源以惯性转动。同时接触器 KM2 线圈通电吸合并自锁，使电动机定子绕组中三相电源的相序相反，电动机进入反接制动状态，转速迅速下降。当电动机转速接近零时，速度继电器 KS 的常开触点复位，KM2 线圈断电释放，切断了电动机的反相序电源，反接制动结束。

反接制动时，由于旋转磁场的相对速度很大，定子电流也很大。为了减小冲击电流，可在主回路中串入电阻 R 来限制反接制动的电流。

反接制动的优点是设备简单，调整方便，制动迅速，价格低；其缺点是制动冲击大，

电子工业出版社版权所有 盗版必究

制动能量损耗大，不宜频繁制动，且制动准确度不高，故适用于要求制动迅速、系统惯性较大、制动不频繁的场合。

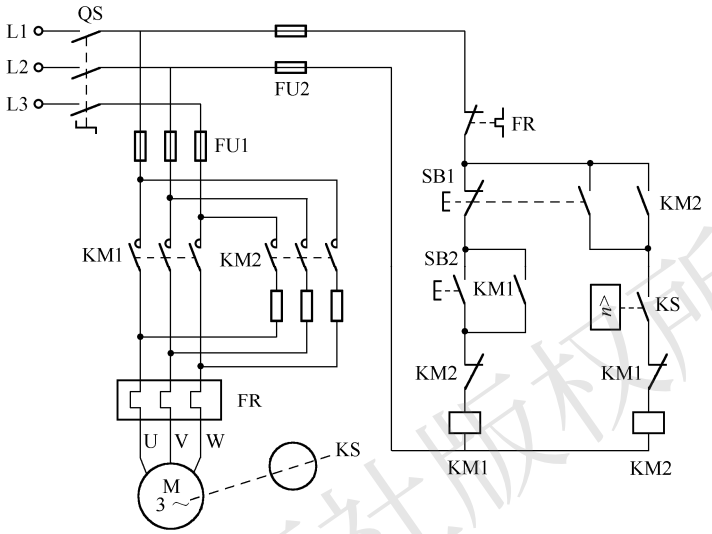


图 1.49　电动机单向反接制动控制电路

技能操作

1．操作目的

（1）了解速度继电器的结构、原理和使用方法。
（2）掌握反接制动控制电路工作原理。
（3）进一步熟悉电路的接线方法、故障分析及排除方法。

2．操作器材

按照表 1.4 所示配齐所有工具、仪表及电气元件，并进行质量检验。

表 1.4　工具、仪表及器材

工具	验电笔、一字螺丝刀、十字螺丝刀、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、电工刀
仪表	万用表
器材	三相异步电动机 1 台
	三极组合开关 1 个
	螺旋式熔断器 5 个
	常开按钮 1 个，常闭按钮 1 个
	热继电器 1 个
	速度继电器 1 个
	电阻 3 个
	交流接触器 3 个

电子工业出版社版权所有 盗版必究

续表

器材	端子板 1 组
	控制板 1 块
	导线若干（主电路所用导线的颜色规格应与辅助电路有区别）
	紧固体若干
	编码套管若干

3．操作步骤

（1）在控制板上合理布置电气元件。

（2）断开电源，按控制原理图接好线路，注意接线时，先接负载再接电源；先接主电路，后接辅助电路，接线顺序从上到下。

（3）通电之前，必须征得指导老师同意，并由指导老师接通三相电源，同时在场监护。

（4）学生闭合电源开关 QS 后，用验电笔检查熔断器出线端，氖管亮说明电源接通。

（5）先按下启动按钮 SB2，观察并记录电动机的运转情况；然后按下停止按钮 SB1，一段时间后，观察速度继电器动作情况和电动机动作情况。

（6）操作实践完毕切断电源。

4．注意事项

（1）不要随意更改线路和带电触摸电气元件。

（2）电动机的金属外壳必须可靠接地。

（3）电源进线应接在螺旋式熔断器的下接线柱，出线则应接在上接线柱。

（4）按钮内接线时，用力不可过猛，以防螺钉滑扣。

（5）用验电笔检查故障时，必须检查验电笔是否符合使用要求。

（6）接触器 KM1 与 KM2 的互锁触点接线必须保证正确，否则会造成主电路中电源两相短路事故。

（7）制动时，停止按钮 SB1 要按到底。

（8）通电时，若制动不正常，可检查速度继电器是否符合规定要求。若要调节速度继电器的调整螺钉，则必须断开电源，否则会出现相对地短路而引起事故。

（9）通电时，注意观察电动机、各电气元件及线路各部分工作是否正常，如发现异常情况，必须立即切断电源。

5．故障分析

（1）按下制动按钮 SB1，电动机不能制动的故障原因。

（2）按下制动按钮 SB1，电动机能制动，但不能停止而接着反转的故障原因。

（3）按下制动按钮 SB1，能制动但效果不明显的故障原因。

6．思考题

（1）当停止按钮 SB1 没按到底，会出现什么情况？

（2）制动电阻 R 的大小对制动有什么影响？

（3）请设计一个正、反双向运行和双向反接制动控制的电路。

14　能耗制动控制电路

知识拓展　能耗制动控制电路

能耗制动是在三相异步电动机脱离三相交流电源后，迅速给定子绕组通入直流电流，产生恒定磁场，利用转子感应电流与恒定磁场的相互作用达到制动的目的。此制动方法是将电动机旋转的动能转变为电能，消耗在制动电阻上，故称为能耗制动。

如图 1.50 所示为三相异步电动机能耗制动电路，图中 KM1 为单向运行接触器，KM2 为能耗制动接触器，KT 为时间继电器，T 为整流变压器，UR 为桥式整流电路。

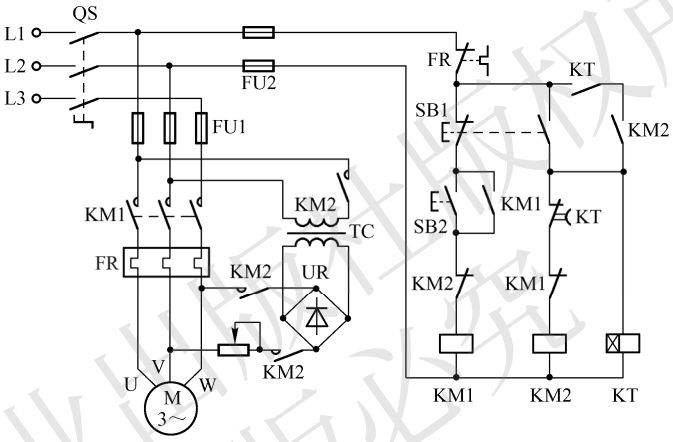


图 1.50　三相异步电动机能耗制动的控制动原理图

电路工作原理：电动机现已处于单向运行状态，所以 KM1 通电自锁。若要使电动机停止转动，按下停止按钮 SB1，接触器 KM1 断电释放，电动机脱离三相电源，接触器 KM2 和时间继电器 KT 同时通电吸合并自锁，KM2 主触点闭合，将直流电源接入定子绕组，电动机进入能耗制动状态。当转子转速接近零时，时间继电器延时断开常闭触点动作，KM2 线圈断电释放，断开能耗制动直流电源。常开辅助触点 KM2 复位，断开 KT 线圈电路，电动机能耗制动结束。

能耗制动的优点是制动准确、平稳、能量消耗小；缺点是需要一套整流设备，故适用于要求制动平稳、准确和启动频繁的容量较大的电动机。

要求：能够识别三相异步电动机的能耗制动控制电路原理图（见图 1.50），并根据电气原理图进行实物电路连接。

任务 5　三相异步电动机的调速控制电路的接线与调试

任务描述

在生产实践中，许多生产机械的运行速度需要根据加工工艺要求而人为调节，这种负载不变，人为调节转速的过程称为调速。通过改变传动机构转速比的调速方法称为机械调速，

通过改变电动机参数而改变转速的方法称为电气调速。在不同的生产要求下，选择合适的调速方法，既能节省成本，又能提高生产效率。

任务目标

（1）熟悉三相异步电动机的调速原理。
（2）掌握三相异步电动机常用的电气调速方法。
（3）掌握双速电动机定子绕组的连接方法。

知识储备

一、调速控制方法

由三相异步电动机转速公式 $n=60f_1(1-S)/P$ 可知，三相异步电动机调速有改变定子绕组磁极对数 P 、改变转差率 S 和改变电源频率 f_1 三种方法。

1．变极调速

在电源频率恒定的条件下，改变异步电动机的磁极对数，可以改变其同步转速，从而使电动机在某一负载下的稳定运行转速发生变化，达到调速目的。因为只有当定子、转子极数相等时才能产生平均电磁转矩，对于绕线转子异步电动机，在改变定子绕组接线来改变极对数的同时，也应改变转子绕组接线，以保持定子、转子极对数相同，这将使绕线转子异步电动机变极接线和控制复杂化。但是因为笼形转子绕组的极对数是感应产生的，当改变定子绕组磁极对数时，其转子磁极对数可自动跟随定子变化而保持相等，所以变极调速一般用于笼形异步电动机。

2．变频调速

三相异步电动机变频调速具有优异的性能，调速范围大，调速的平滑性好，可实现无级调速；调速时异步电动机的机械特性硬度不变，稳定性好；变频时电压按不同规律变化可实现恒转矩，以适应不同负载的要求。变频调速是现代电力传动的一个主要发展方向，已广泛应用于工业自动控制中。根据转速公式可知，当转差率 S 变化不大时，异步电动机的转速 n 基本上与电源频率 f_1 成正比。连续调节电源频率，就可以平滑地改变电动机的转速。但是，电动机正常运行时，由电动机拖动课程可知：$U_1 \approx E_1 = 4.44 f_1 N_1 k_{w1} \Phi_0$ 。可以看出，若端电压 U_1 不变，则当频率 f_1 减小时，主磁通 Φ_0 将增加，这将导致磁路过分饱和，励磁电流增大，功率因数降低，铁芯损耗增大；而当 f_1 增大时，Φ_0 将减小，电磁转矩及最大转矩下降，过载能力降低，电动机的容量也得不到充分利用。所以单一地调节电源频率，将导致电动机运行性能的恶化。为使电动机能保持较好的运行性能，要求在调节 f_1 的同时，改变定子电压 U_1，以维持 Φ_0 不变，保持电动机的过载能力不变。

3．改变转差率调速

改变转差率调速的方法有改变电源电压、改变转子回路电阻和电磁转差离合器等。改变转差率调速的特点是电动机同步转速保持不变。

电子工业出版社版权所有 盗版必究

1）改变定子电压调速

改变外加电压时，电动机的同步转速 n_1 是不变的，临界转差率 S_m 也保持不变，由于 $T_m \propto U_1^2$，电压降低时，最大转矩 T_m 按平方比例下降。当负载转矩不变，电压下降时，转速将下降（转差率 S 上升）。这种调速方法，当转子电阻较小时，能调节速度的范围不大；当转子电阻大时，可以有较大的调节范围，但损耗也随之增大。

2）改变转子电阻调速

由电动机拖动课程可知：绕线转子异步电动机转子串电阻后，同步转速不变，最大转速不变，临界转差率 S_m 增大，机械特性的斜率变大，且电阻越大。调速特征：在一定的负载转矩下，电阻越大，转速越低，这种调速为有级调速，调速平滑性差，损耗较大，调整范围有限，但调速方法简单，调速电阻可同时作为制动电阻使用，适用于重载下调速（例如起重机的拖动系统）。

二、双速异步电动机定子绕组的连接

交流电动机定子绕组磁动势的极对数取决于绕组中电流的方向，因此改变绕组接线使绕组内电流方向改变，就能够改变极对数 P。常用的单绕组变极电动机，其定子上只装一套绕组，就是利用改变绕组连接方式，来达到改变极对数 P 的目的。

在电动机定子的圆周上，电角度是机械角度的 2 倍，当极对数改变时，必然引起三相绕组的空间相序发生变化，此时若不改变外接电源相序，则变极后，不仅使电动机转速发生变化，而且电动机的旋转方向也发生了变化，为保证变极调速前后电动机旋转方向不变，在改变三相异步电动机定子绕组接线的同时，必须将三相电中的两相给予调换，使电动机接入的电源相序改变。

如图 1.51 所示是 4/2 极双速异步电动机定子绕组接线示意图，其中图（a）是Δ连接，定子绕组 U1、V1、W1 三端与电源连接，U2、V2、W2 接线端悬空，此时电动机磁极为 4 极（二对磁极），同步转速为 1500r/min，是低速运行。每相绕组中的两个线圈串联，电流参考方向如图（a）中箭头所示。图（b）所示是 YY 形连接，接线端 U1、V1、W1 连在一起，U2、V2、W2 接电源，此时电动机磁极为 2 极（一对磁极），同步转速为 3000r/min，是高速运行。每相绕组中的两个线圈并联，电流参考方向如图（b）中箭头所示。

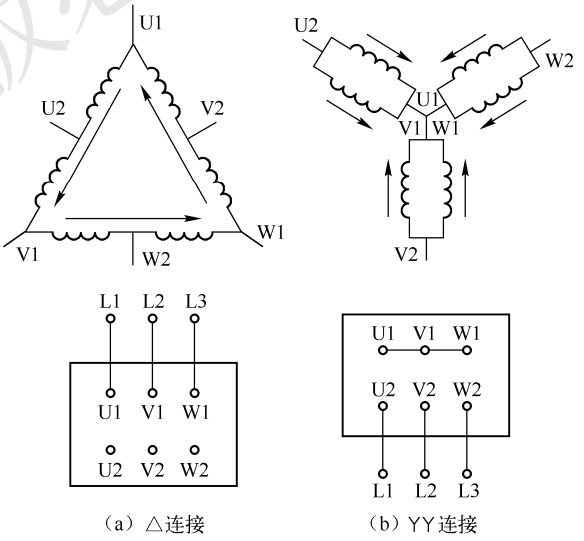


图 1.51　双速异步电动机定子绕组接线示意图

三、双速电动机调速控制电路分析

利用时间继电器可使电动机在低速启动后自动切换至高速状态。如图 1.52 所示为双速电动机自动加速控制电路。

15　电动机调速控制电路

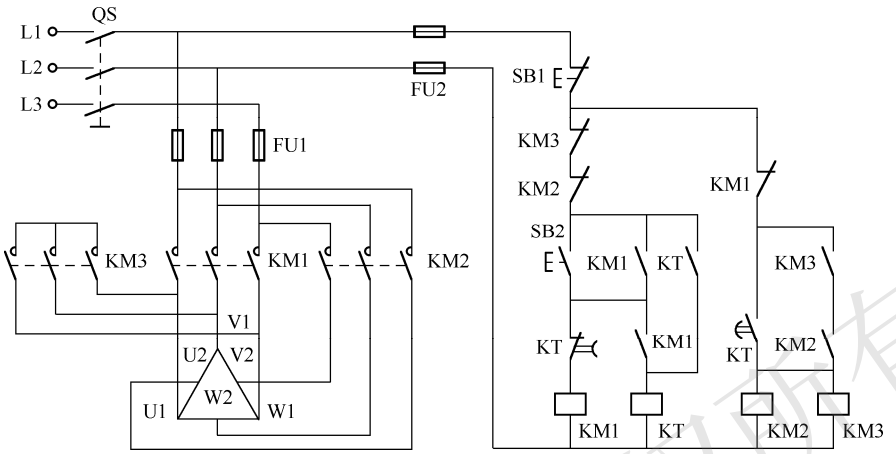


图 1.52　双速电动机自动加速控制电路

合上三相电源开关 QS，接通控制电路电源。按下 SB2，接触器 KM1 线圈通电并自锁，其辅助常开触点接通 KT 线圈，KM1 主触点同时闭合，电动机定子绕组为三角形连接，电动机低速运行。经过延时，KT 延时断开常闭触点断开，KM1 线圈失电，KT 延时闭合，常开触点闭合，KM2、KM3 线圈同时得电并自锁，电动机由Δ低速运转自动切换为双星形高速运转。若按下停止按钮 SB1，接触器 KM2、KM3 线圈断电释放，电动机停转。

技能操作

1．操作目的

（1）掌握时间继电器控制双速电动机电路工作原理。
（2）进一步熟悉电路的接线方法、故障分析及排除方法。

2．操作器材

按照表 1.5 所示配齐所有工具、仪表及电气元件，并进行质量检验。

表 1.5　工具、仪表及器材

工具	验电笔、一字螺丝刀、十字螺丝刀、尖嘴钳、斜口钳、剥线钳、电工刀
仪表	万用表
器材	三相异步电动机 1 台
	三极组合开关 1 个
	螺旋式熔断器 5 个
	常开按钮 1 个，常闭按钮 1 个
	热继电器 1 个
	交流接触器 3 个
	端子板 1 组

电子工业出版社版权所有 盗版必究

续表

器材	控制板 1 块
	导线若干（主电路所用导线的颜色规格应与辅助电路有区别）
	紧固体若干
	编码套管若干

3．操作步骤

（1）在控制板上合理布置电气元件。

（2）断开电源，按控制原理图接好线路，注意接线时，先接负载再接电源；先接主电路，后接辅助电路，接线顺序从上到下。

（3）通电之前，必须征得指导老师同意，并由指导老师接通三相电源，同时在场监护。

（4）学生闭合电源开关 QS 后，用验电笔检查熔断器出线端，氖管亮说明电源接通。

（5）按下启动按钮 SB2，观察并记录电动机的运转情况；然后按下停止按钮 SB1，观察电动机动作情况。

（6）操作实践完毕切断电源。

4．注意事项

（1）不要随意更改线路和带电触摸电气元件。

（2）电动机、刀开关及按钮的金属外壳必须可靠接地。

（3）电源进线应接在螺旋式熔断器的下接线柱，出线则应接在上接线柱。

（4）按钮内接线时，用力不可过猛，以防螺钉滑扣。

（5）用验电笔检查故障时，必须检查验电笔是否符合使用要求。

（6）接线时，注意主电路中接触器 KM1、KM2 在两种转速下电源相序的改变，如果接错，电动机的转向将发生变化，换向时将产生很大的冲击电流。

（7）控制双速电动机Δ形接法的接触器 KM1 和 YY 形接法的 KM2 的主触点不能对调接线，否则不但无法实现双速控制要求，而且会在 YY 形运转时造成电源短路事故。

（8）通电试车前，要复验一下电动机的接线是否正确，并测试绝缘电阻是否符合要求。

（9）通电时，注意观察电动机、各电气元件及线路各部分工作是否正常，如发现异常情况，必须立即切断电源。

5．故障分析

（1）双速电动机从低速运行到高速运行的转向改变的故障原因。

（2）双速电动机只能在低速以Δ形运行，无法转入 YY 形连接运行的故障原因。

6．思考题

（1）对于三相笼形异步电动机，有几种调速方法？

（2）为什么双速电动机通常先要低速启动后再转入高速运行？

（3）双速电动机变速时对相序有什么要求？

电子工业出版社版权所有 盗版必究

知识拓展　变频器在机床上的应用

1．变频器的基本结构

按变频原理来分，变频器可分为交—交和交—直—交两种形式。交—交变频器可将工频交流电直接变换成频率、电压均可控制的交流电，称为直接式变频器，而交—直—交变频器则是先把工频交流电通过整流变成直流电，然后再把直流电变换成频率、电压均可控制的交流电，又称间接式变频器。通用变频器多是交—直—交变频器，其基本结构图如图 1.53 所示，由主回路、整流器、中间直流环节、逆变器和控制回路组成。变频器外形如图 1.54 所示。

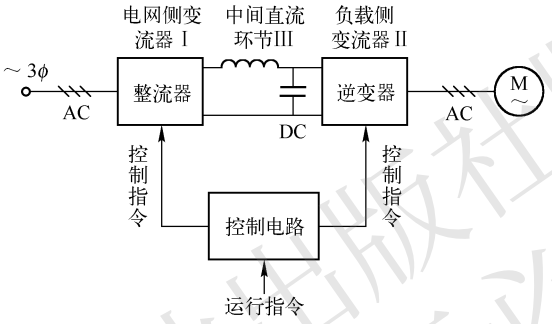


图 1.53　交—直—交变频器基本结构

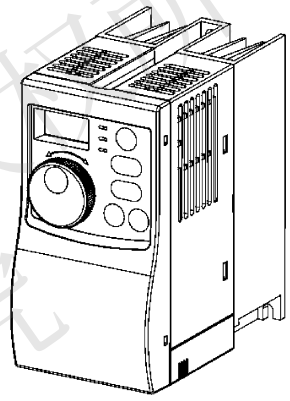


图 1.54　变频器外形图

2．变频器在机床上的应用

机床加工大体上为两类：以车床为代表的工件旋转加工和以钻床、铣床、磨床为代表的刀具或磨具旋转加工。

铣床、钻床要求调速范围比较大，一般需要与机械变速机构配合，在进行切削螺纹等特殊加工时速度精度要求较高。磨床是最早采用变频器的机床设备，磨床采用的电动机主轴对额定运行频率一般要求为 200～2000Hz。随着开关器件的发展及开关频率的提高，通用变频器的控制性能大大提高，采用通用 V / F 型变频器，已经足够满足铣床、钻床、磨床及机床主轴等对于驱动的要求。

① 主回路应用接线图。主回路应用接线图如图 1.55 所示，图中 QF 为输入空气开关，R、S、T 为变频器三相交流输入端子，U、V、W 为变频器输出端子。

② 控制回路接线图。对于不同厂家生产的变频器，根据用户需求，一般有三种接线方式可供选择，以方便实现启动、正反转、点动、急停及故障复位等运行控制功能。需要注意的是控制端子的名称，不同的厂家略有不同。

③ 控制方式。两线控制方式 1：接线如图 1.56 所示，图中 FWD 为正转运行端子，REV 为反转运行端子，JOG 为点动运行端子，RESET 为故障复位端子，FRS 为自由停车或者外部故障输入端子，COM 为输入端子公共地。外部 SA1、SA2 为带自锁功能的常开开关，SB1、SB2 为不带自锁功能的常开按钮开关，SA3 为不带自锁功能的常闭按钮开关。SA1 闭合、SA2

断开，变频器正转运行；SA1 断开，SA2 闭合，变频器反转运行；SA1、SA2 断开或者 SA1、SA2 闭合，变频器均停机。

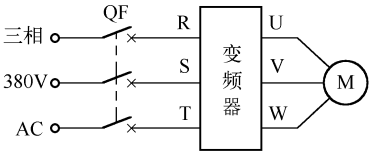


图 1.55　主回路应用接线图

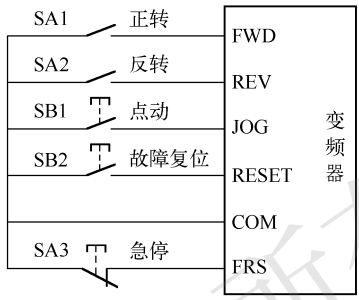


图 1.56　两线控制方式 1

两线控制方式 2：接线如图 1.57 所示，图中 FWD/REV 为正转/反转方向切换端子，RUN/STOP 为启动/停止命令端子。SA2 闭合、SA1 断开，变频器反转运行；SA2 闭合，SA1 闭合，变频器正转运行；SA1、SA2 断开或者 SA1、SA2 闭合，变频器均停机。

三线控制方式：如图 1.58 所示，图中 FWD/REV 为正转/反转切换端子，RUN 为启动命令端子，AUX 为停止命令（辅助命令）端子。在常闭按钮 SB1 于常态时，常开按钮 SB2 闭合一次，变频器将进入运行状态。运行方向由 SA1 的状态决定，SA2 断开时，变频器反转运行；SA1 闭合时，变频器正转运行。在运行过程中，如果常闭按钮 SB1 断开一次，则变频器停机。

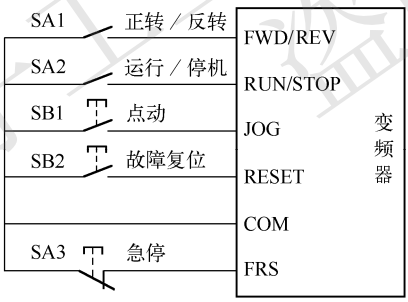


图 1.57　两线控制方式 2

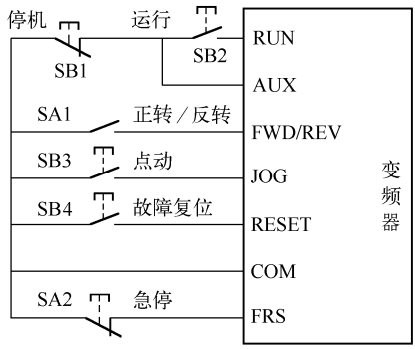


图 1.58　三线控制方式

项目 1 能力训练

一、填空题

1.1　刀开关在安装时，手柄要_____，不得_____，避免由于重力自动下落，引起误动合闸。接线时，应将_____接在刀开关的上端，_____接在刀开关的下端。

1.2　转换开关由_____、_____、_____、_____、_____及外壳等部分组成。

1.3　螺旋式熔断器在装接使用时，_____应当接在下接线端，_____接到上接线端。

电子工业出版社版权所有 盗版必究

1.4　自动空气开关又称_____，其热脱扣器作为_____保护用，电磁脱扣机构作为_____保护用，欠电压脱扣器作为_____保护用。

1.5　接触器按其主触点通过电流的种类不同可分为_____和_____接触器两种。

1.6　交流接触器由_____、_____、_____及其他部件组成。

1.7　热继电器是利用电流的_____效应而动作的。它的发热元件应_____于电动机电源回路中。

1.8　中间继电器的结构和原理和_____相同，故也称为_____继电器。

1.9　三相笼形异步电动机的控制电路一般由_____、_____、_____组成。

1.10　三相笼形异步电动机的启动方式有_____和_____，直接启动时，电动机启动电流（I_S）为_____的 4～7 倍。

1.11　依靠接触器自身的辅助触点保持线圈通电的电路称为_____电路，起到自锁作用的动合辅助触点称为_____。

1.12　多地控制是用多组_____、_____来进行控制的，就是把各启动按钮的常开触点_____连接，各停止按钮的常闭触点_____连接。

1.13　三相笼形异步电动常用的降压启动有_____、_____、_____、_____。

1.14　Y-Δ降压启动是指电动机启动时，定子绕组接成_____，以降低启动电压，限制启动电流，待电动机转速上升到接近_____时，将定子绕组换接成_____，电动机进入全压下的正常运转状态。

1.15　反接制动是靠改变定子绕组中三相电源的相序，产生一个与_____方向相反的电磁转矩，使电动机迅速停下来，制动到接近_____时，再将反相序电源切除。

二、判断题（正确的打 √，错误的打×）

1.16　刀开关、铁壳开关、组合开关的额定电流要大于实际电路电流。（　　）

1.17　刀开关若带负载操作时，其动作越慢越好。（　　）

1.18　选择刀开关时，刀开关的额定电压应大于或等于线路的额定电压，额定电流应大于或等于线路的额定电流。（　　）

1.19　熔断器应用于低压配电系统和控制系统及用电设备中，作为短路和过电流保护，使用时并联在被保护电路中。（　　）

1.20　中间继电器有时可控制大容量电动机的启、停。（　　）

1.21　交流接触器除通断电路外，还具备短路和过载保护作用。（　　）

1.22　在接触器正、反转控制电路中，若正转接触器和反转接触器同时通电会发生两相电源短路。（　　）

1.23　点动控制就是按下按钮就可以启动并连续运转的控制方式。（　　）

1.24　反接制动适用于要求制动迅速、系统惯性较大、制动不频繁的场合。（　　）

1.25　能耗制动法是将电动机旋转的动能转变为电能，消耗在制动电阻上。（　　）

三、选择题

1.26　下列电器哪一种不是自动电器（　　）。

A．组合开关　　B．直流接触器　　C．继电器　　D．热继电器

1.27　接触器的常态是指（　　）。

A．线圈未通电情况　　B．线圈带电情况

C．触点断开时　　D．触点动作

1.28　复合按钮在按下时其触点动作情况是（　　）。

A．动合先闭合　　B．动断先断开

C．动合、动断同时动作　　D．动断动作，动合不动作

1.29　下列电器不能用来通断主电路的是（　　）。

A．接触器　　B．自动空气开关　　C．刀开关　　D．热继电器

1.30　中间继电器的结构及原理与（　　）。

A．交流接触器相类似　　B．热继电器相类似

C．电流继电器相类似　　D．电压继电器相类似

1.31　交流接触器在不同的额定电压下，额定电流（　　）。

A．相同　　B．不相同　　C．与电压无关　　D．与电压成正比

1.32　采用交流接触器、按钮等构成的鼠笼形异步电动机直接启动控制电路，在合上电源开关后，电动机启动、停止控制都正常，但转向反了，原因是（　　）。

A．接触器线圈反相　　B．控制回路自锁触点有问题

C．引入电动机的电源相序错误　　D．电动机接法不符合铭牌标注

1.33　由接触器、按钮等构成的电动机直接启动控制回路中，如漏接自锁环节，其后果是（　　）。

A．电动机无法启动　　B．电动机只能点动

C．电动机启动正常，但无法停机　　D．电动机无法停止

1.34　热继电器中的双金属片弯曲是由于（　　）。

A．机械强度不同　　B．热膨胀系数不同

C．温差效应　　D．受外力的作用

1.35　在鼠笼形异步电动机反接制动过程中，当电动机转速降至很低时，应立即切断电源，防止（　　）。

A．损坏电动机　B．电动机反转　　C．电动机停转　　D．电动机失控

四、问答题

1.36　低压电器按用途和控制对象可分成哪几类?

1.37　常用的开关电器包括哪些？各有什么作用？

1.38　熔断器有哪些用途?一般应如何选用?

1.39　刀开关、万能转换开关的作用是什么？它们分别如何选择？

1.40　交流接触器线圈误接入直流电源或直流电磁线圈误接入交流电源，会出现什么情况？为什么？

1.41　什么是时间继电器？时间继电器按工作原理和结构分哪几类？按延时方式可分哪几类？

1.42　什么是继电器？它与接触器的主要区别是什么？在什么情况下可用中间继电器代替接触器启动电动机？

1.43　三相笼形异步电动机是如何改变转动方向的？

1.44　动合触点串联或并联，在电路中起什么样的控制作用？动断触点串联或并联，在电路中起什么样的控制作用？

1.45　电动机能耗制动与反接制动各有何优缺点？分别适用于什么场合？

1.46　三相笼形异步电动机调速方法有哪几种？

五、设计题

1.47　设计一个控制线路，三台笼形异步电动机工作情况如下：M1 先启动，经 15s 后 M2 自行启动，运行 25s 后 M1 停机并同时使 M3 启动，再运行 25s 后全部停机。

1.48　设计一控制电路，控制一台电动机，要求：（1）可正、反转；（2）可正向点动，两处启停控制；（3）可反接制动；（4）有短路和过载保护。

1.49　一台电动机为 Y/Δ 接法，允许轻载启动，请设计满足下列要求的控制电路：（1）采用手动和自动控制降压启动；（2）实现连续运转和点动工作，且当点动工作时要求处于减压状态工作；（3）具有必要的联锁和保护环节。

1.50　请设计一个两地控制的电动机正、反转控制电路，要求有过载、短路保护环节。

项目 1 考核评价表

考核项目	评价标准	评价方式	考核方式	分数权重	按任务评价				
					一	二	三	四	五
电路分析	正确分析电路原理	教师评价	答辩	0.1					
接线安装	按图接线正确、规范合理、美观，无线头松动、压皮、露铜及损伤绝缘层		操作	0.3					
通电试车	按照要求和步骤正确检查、调试电路		操作	0.3					
安全生产及工作态度	自觉遵守安全文明生产规程，认真主动参与学习	小组互评	口试	0.2					
团队合作	具有与团队成员合作的精神		口试	0.1					
综合评价（此栏由指导教师填写）									

电子工业出版社版权所有
盗版必究