

电气控制 应用技术

DIANQI KONGZHI YINGYONG JISHU

刘法治 杨青杰 王超 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专“十二五”规划教材

电气控制应用技术

刘法治 杨青杰 王 超 等编著



机械工业出版社

本书是以电气类、机械类、电子类等相关专业大学生所必须掌握的电气控制知识和应用技术为主要内容编写的。主要内容包括：常用低压电器、基本电气控制电路、典型电气控制系统分析、电气控制系统设计基础、PLC 的基本知识、松下电工 FP1 系列 PLC 及其指令系统、PLC 控制系统设计等。

本书从电气控制技术的应用出发，既系统地介绍了传统的继电-接触器系统与先进的 PLC 系统的结构原理、基本电路和典型系统分析方法，又详细介绍了两种控制系统的应用设计方法，展现了继电-接触器控制技术与 PLC 技术互相融合、综合化和开放性的发展趋势，体现了实用性与先进性。

本书可作为电气类、机械类、电子类等相关专业大学生教材，也可作为电工技术爱好者自学用书和相关应用领域工程技术人员的培训教材或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

高职高专“十二五”规划教材

电气控制应用技术/刘法治, 杨青杰, 王超等编著. —北京: 机械工业出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-111-40642-6

I. ①电… II. ①刘… ②杨… ③王… III. ①电气控制—高等学校—教材

IV. ①TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 288086 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 林春泉 责任编辑: 吕 潇

版式设计: 霍永明 责任校对: 刘秀芝

封面设计: 路恩中 责任印制: 刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·418 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-40642-6

定价: 39.90 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社 服 务 中 心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国工业化进程的加快,各行各业中机械设备大量增加,机电一体化产品越来越多,机电液一体化技术的应用越来越广泛。对电气类、机械类和电子类等专业的学生而言,掌握电气控制知识和应用技术显得十分必要。进入新世纪以来,虽然高校的教材大都能够反映新技术、新工艺和新成果,但在大学生总体知识结构的设计方面,仍然需要进行不断改革,以培养能够适应社会进步的创新型人才。就电气控制方面的教材而言,多数教材偏重介绍 PLC (可编程序控制器) 原理与应用,介绍继电-接触器控制方面的知识偏少,对电气控制系统的结构设计不够重视,而继电-接触器控制方面的系统知识是学习更先进电气控制系统的基础。于是导致学生学完电气控制技术课程后,对电气控制系统的设计问题依然非常陌生,对于如何根据生产工艺要求设计电气控制原理图,如何选用电气元件等硬件组装成实际的电气控制系统等,均知之甚少。因此,加强电气控制系统设计方面的训练,使学生真正成为具有机电一体化知识的复合型创新人才,仍是教学改革中需要深入探索的实际问题。本书试图从教材改革的角度在这方面进行尝试。

本书从电气控制技术的应用出发,系统地介绍了传统的继电-接触器系统与先进的 PLC 系统的结构原理、基本电路、典型系统分析方法等知识,比较详细地讨论了继电-接触器控制系统的设计方法,并结合实例系统地介绍了设计步骤。同时结合实际应用,较为详细地讨论 PLC 控制系统的设计方法和设计过程,以及 PLC 控制系统与继电-接触器控制系统的异同。使学生学完本课程后,能够正确选用电气元件,设计电气控制系统原理图,熟悉电气元件的选用、安装、接线和调试,从而加强学生对原理图与实际电气元件结构的认识与选用,培养学生的动手能力和创新能力。

全书共八章。第 1~4 章重点介绍了常用低压电器、基本电气控制电路、典型电气控制系统分析、电动机的保护、电气控制电路的设计及电气元件的选择。第 5~8 章介绍了 PLC 及其应用,讲述其基础知识、基本原理。介绍了 PLC 的结构、工作方式、编程语言、编程指令,从应用角度出发,介绍了 PLC 控制系统的设计内容、步骤及应用实例。

本书在编写过程中,既注意反映我国控制技术的现状,也注意了新技术发展的需要。在内容上,尤其注重基础理论和实践相结合,电气元件工作原理、性能特点与基本控制电路相结合,基本控制电路与典型控制系统相结合,突出应用性,强调系统性,力求先进性。

本书由刘法治、杨青杰、王超等编著。编写分工如下:刘法治、魏秋红共同编写第 1、6 章,王超、王红军共同编写绪论、第 2 章,孙志辉、李余钱共同编写第 3 章,王占合编写第 4 章,乔卫红编写第 5 章,杨青杰、薛海莉共同编写第 7 章,田丰庆缩写第 8 章,刘法治编写附录。

编者在本书编写过程中，参考了大量的书刊、技术资料、图片等相关文献，得到多位有经验同事和朋友的大力支持和热情帮助，在本书出版之际，对相关文献资料的作者、同仁及朋友的鼎力相助表示衷心感谢。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中不妥和错漏之处，恳请广大同行和读者给予批评指正。

作 者

2012 年 10 月

目 录

前言

绪论	1
第 1 章 常用低压电器	4
1.1 概述	4
1.1.1 低压电器的分类与应用	4
1.1.2 低压电器的主要技术参数	5
1.1.3 低压电器选用的一般原则	5
1.1.4 低压电器选用的注意事项	6
1.2 电磁式电器的结构和工作原理	6
1.2.1 电磁系统组成	6
1.2.2 电磁特性	7
1.2.3 触点	8
1.2.4 灭弧装置	9
1.3 低压配电电器	10
1.3.1 刀开关	10
1.3.2 负荷开关	12
1.3.3 组合开关	15
1.3.4 低压断路器	16
1.3.5 低压熔断器	18
1.4 接触器	21
1.4.1 接触器的类型	21
1.4.2 交流电磁接触器的结构、原理及技术参数	21
1.4.3 交流接触器与直流接触器的差异	23
1.4.4 交流接触器的选用与使用安全注意事项	24
1.5 继电器	25
1.5.1 中间继电器	25
1.5.2 电流、电压继电器	27
1.5.3 固体继电器	28
1.5.4 时间继电器	29
1.5.5 热继电器	32
1.5.6 速度继电器	34
1.5.7 漏电保护器	35
1.6 低压主令电器	37
1.6.1 按钮	37
1.6.2 位置开关	39
1.6.3 接近开关	40
1.6.4 万能转换开关	42

习题与思考题	43
第2章 基本电气控制电路	44
2.1 概述	44
2.1.1 按控制功能分类	44
2.1.2 按控制规律分类	44
2.2 电气控制电路基本知识	45
2.2.1 电气控制电路图绘制原则、图形和文字符号	45
2.2.2 电气控制电路图绘制方法	47
2.2.3 电路图的阅读方法	55
2.3 三相笼型异步电动机的起动控制电路	58
2.3.1 直接起动控制电路	58
2.3.2 减压起动控制电路	59
2.4 三相笼型异步电动机正反转控制电路	64
2.4.1 正反转控制电路	65
2.4.2 行程控制电路	67
2.5 三相笼型异步电动机制动控制电路	68
2.5.1 机械制动控制电路	68
2.5.2 电气制动控制电路	70
2.6 双速异步电动机高低速控制电路	73
2.6.1 Δ -YY双速异步电动机定子绕组的联结	73
2.6.2 双速异步电动机手动变速控制电路	73
2.6.3 双速异步电动机自动变速的控制电路	74
2.7 机床液压系统的电气控制电路	75
2.7.1 机床中常用的液压元件	76
2.7.2 液压动力部件控制电路	81
2.8 其他基本控制电路	84
2.8.1 点动控制	84
2.8.2 联锁与互锁	85
2.8.3 多点控制	87
习题与思考题	87
第3章 典型电气控制系统分析	89
3.1 分析电气控制系统的方法与步骤	89
3.1.1 分析电气控制系统的方法	89
3.1.2 分析电气控制系统的步骤	90
3.2 车床的电气控制系统	90
3.2.1 卧式车床结构和运动	90
3.2.2 电力拖动特点与控制要求	91
3.2.3 CD6140A 型卧式车床电气控制系统分析	91
3.2.4 C650 型卧式车床电气控制系统分析	93
3.3 摇臂钻床电气控制系统	96
3.3.1 主要结构及运动形式	96
3.3.2 拖动方式与控制要求	97
3.3.3 电气控制系统分析	97

3.4 铣床电气控制系统	101
3.4.1 卧式铣床的主要结构和运动	101
3.4.2 电力拖动特点及控制要求	102
3.4.3 电气控制系统分析	102
习题与思考题	108
第4章 电气控制系统设计基础	109
4.1 电气控制系统设计的内容和原则	109
4.1.1 电气控制系统设计的基本内容	109
4.1.2 电气控制系统设计的一般原则	109
4.1.3 电力拖动方案确定的原则	110
4.1.4 电气控制方案确定的原则	111
4.2 电气控制系统的设计方法和步骤	111
4.2.1 电气控制系统的设计方法	111
4.2.2 电气控制系统设计的一般步骤	112
4.3 继电-接触器控制系统的设计	113
4.3.1 继电-接触器控制系统电气原理图的设计	113
4.3.2 电气原理图设计中应注意的技术问题	115
4.4 电气控制电路设计中的元器件选择	120
4.4.1 电动机的选择	120
4.4.2 机床常用电器的选择	122
4.5 电气控制电路设计举例	126
4.5.1 单电动机控制电路	126
4.5.2 设计 CA6140 型卧式车床的电气控制电路	129
习题与思考题	133
第5章 PLC 的基本知识	136
5.1 PLC 的产生与发展	136
5.2 PLC 的特点及分类	137
5.2.1 PLC 的特点	137
5.2.2 PLC 的分类	138
5.3 PLC 的主要技术指标和应用场合	140
5.3.1 PLC 的主要技术指标	140
5.3.2 PLC 的应用场合	141
5.4 PLC 的基本结构、工作原理和编程语言	142
5.4.1 PLC 的系统结构	142
5.4.2 PLC 的各部分作用	143
5.4.3 PLC 的工作原理	146
5.4.4 PLC 的编程语言	148
习题与思考题	150
第6章 松下电工 FP1 系列 PLC	151
6.1 FP1 系列 PLC 性能简介	151
6.2 FP1 的内部寄存器及 I/O 配置	153
6.2.1 FP1 的内部寄存器配置	153

6.2.2 FP1 的 I/O 地址分配	157
习题与思考题	158
第 7 章 FP1 的指令系统	159
7.1 FP1 的基本指令	160
7.1.1 基本顺序指令	160
7.1.2 基本功能指令	168
7.1.3 基本控制指令	172
7.1.4 比较指令	182
7.2 FP1 的高级指令概述	185
7.2.1 FP1 高级指令的一般格式及操作数	185
7.2.2 高级指令的类型	186
7.3 FP1 的高级指令	187
7.3.1 数据传送指令	187
7.3.2 算术运算指令	193
7.3.3 数据比较指令	197
7.3.4 逻辑运算指令	199
7.3.5 数据转换指令	200
7.3.6 数据移位指令	209
7.3.7 位操作指令	213
7.3.8 特殊指令	215
习题与思考题	218
第 8 章 PLC 控制系统设计	220
8.1 PLC 控制系统设计概述	220
8.1.1 PLC 控制系统设计的方法和原则	220
8.1.2 PLC 控制系统设计的内容和步骤	221
8.2 PLC 控制系统硬件设计	222
8.2.1 PLC 控制系统主电路和控制电路设计	222
8.2.2 PLC 的选型	223
8.3 PLC 控制系统软件设计	226
8.3.1 程序设计内容和原则	226
8.3.2 编程技巧举例	228
8.4 PLC 代替继电-接触器控制系统的应用	230
8.4.1 电动机正反转控制电路	230
8.4.2 电动机间歇运动	231
8.4.3 电动机减压起动控制电路	232
8.4.4 电动机制动控制电路	233
8.5 PLC 控制系统的典型应用	236
8.5.1 设备顺序起动-循环控制	236
8.5.2 锅炉点火和熄火控制	238
8.5.3 行车方向控制	239
8.6 调试与测试	241
习题与思考题	241

附录 A	Y 系列三相异步电动机型号规格	243
附录 B	常用电器主要型号规格	246
附录 C	特殊内部继电器表	253
附录 D	特殊数据寄存器表	255
附录 E	FP1 系统寄存器表	258
参考文献		261

绪 论

电气控制技术是随着科学技术的不断发展及生产工艺的不断提高而得到飞速发展的。从最早的手动控制发展到自动控制，从简单的控制线路发展到复杂的控制系统，从有触点硬接线的继电-接触器控制系统发展到以计算机为中心的软件控制系统。随着新的电气元件的不断出现和计算机技术的发展，电气控制技术也在持续发展。现代电气控制技术正是综合应用了计算机、自动控制、电子技术、精密测量等许多先进的科学技术成果而迅速发展起来的。

1. 电气控制技术的发展概况

作为生产机械动力的电动机拖动，已由最早的采用成组拖动方式→单独拖动方式→生产机械的不同运动部件分别由不同的电动机拖动多电动机拖动方式，发展成今天无论是自动化功能还是生产安全性方面都相当完善的电气自动化系统。

19 世纪末，直流发电机、交流发电机和直流电动机、异步电动机的相继问世，揭开了电气控制技术的序幕。20 世纪初，电动机逐步取代蒸汽机用来驱动生产机械。最初用一台电动机经大轴（或地轴）由皮带传动，用来驱动若干台生产设备，因此传动路线长、效率低、结构复杂。为了简化机械传动系统，出现了一台机器的几个运动部件由几台电动机分别拖动，这种方式称为多电动机拖动。在这种情况下，机械的电气控制系统不但可对各台电动机的起动、制动、反转和停车等进行控制，还具有对各台电动机之间实行协调、联锁、顺序切换和显示工作状态的功能。对生产过程比较复杂的系统还要求对影响产品质量的各种工艺参数，如温度、压力、流量、速度和时间等能够自动测量和自动调节，这样就构成了功能相当完善的电气自动化系统。到 20 世纪 30 年代，电气控制技术的发展推动了电器产品的进步，继电器、接触器、按钮和开关等元器件形成了功能齐全的多种系列，基本控制已形成规范，并可以实现远距离控制。这种主要用于控制交流电动机的系统通常称为继电-接触器控制系统。

继电-接触器控制具有使用的单一性，即一台控制装置只能针对某一种固定程序的设备，其控制方式是断续的，所以又称为断续控制系统。其优点是控制器件结构简单、价格低廉，维护容易，抗干扰能力强，控制方式简单直接等，至今仍是机床和其他许多机械设备广泛采用的基本电气控制形式，也是学习更先进电气控制系统的基础。这种控制系统的缺点是采用固定接线方式，灵活性差，控制装置体积大、功耗大、工作频率低、触点易损坏，可靠性差。

20 世纪 30 年代中后期，机械加工企业为了提高生产效率，采用机械化流水作业的生产方式，对不同类型的零件分别组成自动生产线。随着产品机型的更新换代，生产线承担的加工对象也随之改变，这就需要改变控制程序，使生产线的机械设备按新的工艺过程运行，而继电-接触器控制系统是采用固定接线的，很难适应这个要求。大型自动生产线的控制系统使用的继电器数量很多，这种有触点的电器工作频率较低，在频繁动作情况下寿命较短，从而造成系统故障，使生产线的运行可靠性降低。为了解决这个问题，20 世纪 60 年代初期利用电子技术研制出矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统来代替继电-接触器控制系统，

对复杂的自动控制系统则采用电子计算机控制, 由于这些控制装置本身存在某些不足, 均未能获得广泛应用。1968 年美国最大的汽车制造商——通用汽车 (GM) 公司为适应汽车型号的不断更新, 提出将计算机的完备功能以及灵活性、通用性好等优点与继电-接触器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来, 做成一种能适应工业环境的通用控制装置, 同时, 依据现场电气操作维护人员和工程技术人员的技能和习惯, 把编程方法和程序输入方式加以简化, 使得不熟悉计算机的人员也能很快地掌握它的使用技术。根据这一设想, 美国数字设备公司 (DEC) 于 1969 年率先研制出第一台可编程序控制器 (Programmable Logic Controller, PLC), 在通用汽车公司的自动装配线上试用获得成功。从此以后, 许多国家的著名厂商竞相研制, 各自形成系列, 而且品种更新很快, 功能不断增强, 从最初的以逻辑控制为主发展到能进行模拟量控制, 具有数据运算、数据处理和通信联网等多种功能。PLC 的另一个突出优点是可靠性很高, 平均无故障运行时间可达 10 万小时以上, 可以大大减少设备维修费用和因停产造成的经济损失。当前, PLC 已经成为电气自动控制系统中应用最为广泛的核心装置, 在工业自动化控制领域占有十分重要的地位。

数控技术也是电气自动控制的一个重要分支, 它综合应用了计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的最新技术成就。它既有专用机床生产率高的优点, 又兼有通用机床工艺范围广、使用灵活的特点, 能实现自动加工复杂表面、精度高, 发展前景广阔。20 世纪 40 年代末, 为了适应中小批量机械加工生产自动化的需要, 人们应用近代科学成就, 成功研制出数控机床。数控机床的控制系统, 最初是由硬件逻辑电路构成的专用数控装置 (Numerical Control, NC), 因其成本昂贵, 工作可靠性差, 逻辑功能固定, 后来研制成功直接数字控制 (Direct Numerical Control, DNC)、计算机数控 (Computer Numerical Control, CNC) 系统等数控系统。最近 20 多年来, 机电一体化、机电光仪一体化等交叉学科的发展, 使得数控技术进入了一个崭新的阶段。随着微电子技术的发展, 由小型或微型计算机再加上通用或专用大规模集成电路组成的 CNC 性能更为完善, 在机械制造、电气控制及自动化领域相继出现了自适应控制 (Adaptive Control, AC) 系统, 柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, FMS), 计算机集成制造 (Computer Integrated Manufacturing, CIM) 系统, 综合运用计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM)、智能机器人、集散控制系统 (Distributed Control System, DCS)、现场总线控制系统等多项高新技术, 形成了从产品设计与制造和生产管理的智能化生产的完整体系, 将自动制造技术推进到更高的水平。

2. 本课程的性质与任务

本课程是一门实践性很强的专业课。电气控制技术在生产过程、科学研究和其他各个领域中的应用十分广泛。其主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象, 介绍和讲解继电-接触器控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、基本控制电路、典型机械的电气控制电路、电气控制系统的设计方法和实际应用。

继电-接触器控制系统是学习更先进电气控制系统的基础。首先, 继电-接触器控制系统在小型电气系统中仍普遍使用, 而且是组成电气控制系统的基础; 其次, 在大型电气系统中尽管 PLC 取代了继电器, 但它所取代的主要是逻辑控制部分, 而电气控制系统中的信号采集和驱动输出部分仍然要由电气元器件及控制电路来完成。继电-接触器控制系统是该门课程相当重要的内容。

PLC 是近几十年来发展起来的一种新型工业控制器, 由于它将计算机的编程灵活、功能齐全、应用面广等优点与继电-接触器系统的控制简单、使用方便、抗干扰能力强、价格便宜等优点结合起来, 其本身又具有体积小、重量轻、耗电省等特点, 因此在工业生产过程控制中的应用越来越广泛。PLC 也是该门课程的重要内容。

该课程的目标是让学生掌握一门非常实用的工业控制技术, 并且着力培养和提高学生对电气控制系统的分析和设计的基本能力。

变频调速是通过改变定子供电频率以改变同步转速来实现调速的方法。在调速过程中从高速到低速都可以保持有不大的转差率, 因而具有高效率、宽范围、高精度的调速性能。变频调速是异步电动机的一种比较合理和理想的调速方法。异步电动机变频调速类似于直流电动机改变电枢电压和磁场磁通的调速, 但异步电动机本身具有体积小、重量轻、成本低、惯性小、效率高和工作可靠等一系列宝贵优点, 因此异步电动机的变频调速得到快速发展并受到极大的重视, 在电动机调速领域内占据了最重要的地位。随着电力半导体器件特别是可关断器件的发展, 变频调速装置的性能/价格比在不断提高, 其应用范围也在不断扩大。特别是在长期需要以较低转速运转、工作在环境恶劣下的设备以及需要多台电机共用一套变频电源或多台电机需要精确协调运转等场合, 异步电动机变频调速更是应当优先选用的方案。因此, 书中也介绍和讨论了各种变频装置和系统的组成原理。

电气控制技术是机电类专业学生所必须掌握的最基础的实际应用课程之一, 具体要求如下:

- 1) 熟悉常用控制电器的工作原理和用途, 达到能正确地使用和选用的目的, 并了解一些新型元器件的用途。
- 2) 熟练掌握电气控制电路的基本环节, 并具备阅读和分析电气控制电路的能力, 从而能设计简单的电气控制电路, 较好地掌握电气控制电路的简单设计方法。
- 3) 了解电气控制电路分析的步骤, 熟悉典型生产设备的电气控制系统的工作原理, 具有从事电气设备的安装调试、运行和维护等技术工作能力。
- 4) 了解电气控制电路设计的基础, 能够根据要求设计一般的电气控制电路。
- 5) 掌握 PLC 的基本原理及编程方法, 能够根据工艺过程和控制要求正确地选用 PLC, 设计控制系统, 编制用户程序, 经调试应用于生产过程控制。
- 6) 具有设计和改进一般机械设备电气控制电路的基本能力。

第1章 常用低压电器

1.1 概述

在工业、农业、交通运输等部门中使用的各种生产机械，多数是靠电动机拖动运行，电动机的开停、调速等通常是由低压电器构成的继电-接触器控制系统进行控制的。因此，熟练掌握电气元件的结构和工作原理，将有助于掌握电气控制电路的分析和设计的方法。

电器是根据外界特定的信号和要求，自动或手动接通和断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路或非用电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气器件。电器的种类繁多，构造各异。根据其工作电压高低，电器可分为高压电器和低压电器。低压电器是指工作在交流电压小于1200V，直流电压小于1500V的电路中的电器。

低压电器广泛应用于发电厂、变电站、工矿企业、交通运输、农业、国防工业等电力输配电系统与电气自动控制设备以及计算机控制系统等领域中。它对电能的产生、输送、分配与应用起着开关、控制、保护与调节等作用。

1.1.1 低压电器的分类与应用

常用低压电器的分类。由于低压电器的职能、品种和规格的多样化，其分类方法有多种。

1. 按动作方式的不同分为自动切换电器和手动切换电器

1) 自动切换电器指依靠电器本身参数的变化而自动完成动作或状态变化的电器，如接触器、继电器等。

2) 手动切换电器指依靠人工直接操作完成动作切换的电器，如按钮、刀开关等。

2. 按用途的不同分为配电电器、控制电器、主令电器、保护电器、执行电器

1) 低压配电电器：主要用于低压供电系统。如刀开关、负荷开关、组合开关、断路器以及熔断器等。对这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动态稳定及热稳定性好。

2) 低压控制电器：主要用于电力拖动控制系统。如接触器、继电器、控制器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，操作频率高，电器和机械寿命要长。

3) 低压主令电器：主要用于发送控制指令的电器。如按钮、主令开关、行程开关和万能开关等。对这类电器的主要技术要求是操作频率要高，抗冲击，电器和机械寿命要长。

4) 低压保护电器：主要用于对电路和电气设备进行安全保护的电器。如熔断器、热继电器、电压继电器、电流继电器和避雷器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，反应要灵敏，可靠性要高。

5) 低压执行电器：主要用于执行某种动作和传动功能的电器。如电磁铁、电磁离合器等。

大多数电器既可作控制电器，也可作保护电器，它们之间没有明显的界线。如电流继电

器既可按“电流”参量来控制电动机，又可用于保护电动机不致过载；又如行程开关既可用于控制工作台的往返运动及行程长度，又可作为终端开关保护工作台不致闯到导轨外面去。

另外，低压电器按工作原理分电磁式电器、非电量控制电器；按输出触点的工作形式分有触点电器、无触点电器；按灭弧介质分空气、真空、油等低压电器；按工作条件分一般工业用电器、船用电器、化工用电器、矿用电器、牵引用电器、航空用电器等。也有按外壳防护等级、安装类别等来分类的。

1.1.2 低压电器的主要技术参数

1. 额定电压

1) 额定工作电压：指在规定条件下，保证电器正常工作的工作电压值。

2) 额定绝缘电压：指规定条件下，用来度量电器及其部件的绝缘强度距离的标称电压值。除非另有规定，一般为电器最大额定工作电压。

3) 额定脉冲耐受电压：指在系统发生最大过电压时，电器能够耐受电压的能力，额定绝缘电压和额定脉冲耐受电压共同决定绝缘水平。

2. 额定电流

1) 额定工作电流：指在规定条件下，保证开关电器正常工作的电流值。

2) 额定发热电流：指在规定条件下，电器处于非封闭状态，开关电器在8h工作制下，各部件温升不超过极限值时所能承载的最大电流。

3) 额定封闭发热电流：指电器处于封闭状态下，在所规定的最小外壳内，开关电器在8h工作制下，各部件的温升不超过极限值时所承载的最大电流。

4) 额定持续电流：指在规定的条件下，开关电器在长期工作制下，各部件的温升不超过规定极限值时所能承载的最大电流值。

3. 操作频率与通电持续率

开关电器每小时内可能实现的最高操作循环次数称为操作频率。通电持续率是电器工作于断续周期工作制时有载时间与工作周期之比，通常以百分数表示。

4. 机械寿命和电寿命

机械开关电器在需要修理或更换机械零件前所能承受的无载操作次数，称为机械寿命。在正常工作条件下，机械开关电器无需修理或更换零件的负载操作次数称为电寿命。

对于有触点的电器，其触点在工作中除机械磨损外，尚有比机械磨损更为严重的电磨损。因而，电器的电寿命一般小于其机械寿命。设计电器时，要求其电寿命为机械寿命的20%~50%。

1.1.3 低压电器选用的一般原则

目前，我国大约生产的低压电器有130多个系列，品种近千种，规格上万类，用途多样。如何正确地选用低压电器（选用合理、使用正确、技术和经济相互兼顾）非常重要。由于品种繁多，低压电器的选用方法有其特殊性，选用时应遵循的基本原则如下：

1) 安全原则：使用安全可靠是对任何电路的基本要求，保证电路和用电设备的可靠运行是正常生活与生产的前提。

2) 经济原则: 经济性包括电器本身的经济价值和使用该种电器产生的价值。前者要求合理适用, 后者必须保证运行可靠, 不致因故障而引起各类经济损失。

1.1.4 低压电器选用的注意事项

- 1) 了解控制对象 (如电动机或其他用电设备) 的分类和使用环境。
- 2) 确认有关的技术数据。如控制对象的额定电压、额定功率、操作特性、启动电流倍数、操作频度和工作制等。
- 3) 了解电器的正常工作条件。如环境空气温度、相对湿度、海拔、允许安装方位、震动和有害气体等方面的能力。
- 4) 了解电器的主要技术性能。如用途、种类、额定电压、控制能力、接通能力、分断能力、工作制和使用寿命等。

1.2 电磁式电器的结构和工作原理

各类电磁式电器在工作原理和结构上基本相同, 从结构上来看, 主要由两部分组成, 其一为检测部分, 即电磁系统; 其二为执行部分, 即触点系统。

1.2.1 电磁系统组成

电磁系统实质上是一种电磁铁, 一般由电磁线圈 (吸力线圈)、动铁心 (衔铁) 和静铁心等组成, 主要作用是通过电磁感应原理将电能转换成机械能, 带动触点动作, 完成接通或分断电路的功能。电磁式电器触点在线圈未通电状态时有常开 (或称动合) 和常闭 (或称动断) 两种状态, 分别称为常开 (或称动合) 触点和常闭 (或称动断) 触点。当电磁线圈有电流通过, 电磁系统动作时, 触点改变原来的状态, 常开 (或称动合) 触点将闭合, 使与其相连电路接通; 常闭 (或称动断) 触点将断开, 使与其相连电路断开。

根据衔铁相对铁心的运动方式, 电磁机构可分为直动式和拍合式两种, 如图 1-1 所示为

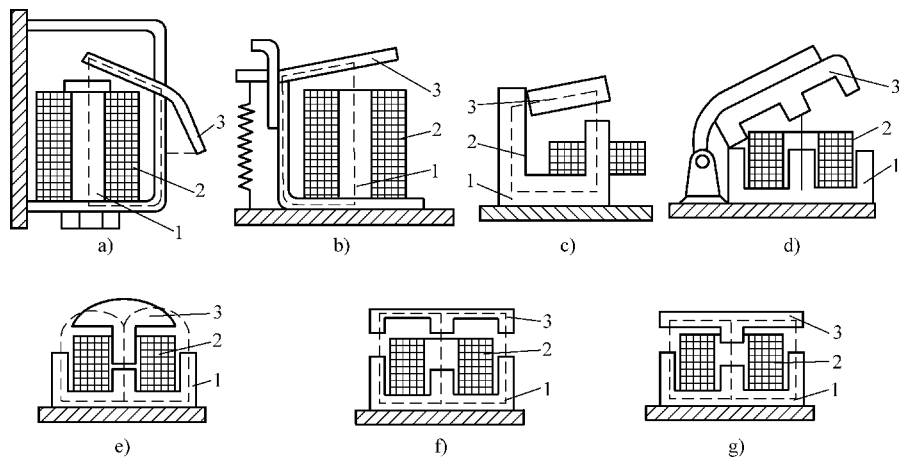


图 1-1 不同结构的电磁系统

1—铁心 2—线圈 3—衔铁

不同结构的电磁系统，其中图 a、b、c 和 d 为拍合式电磁铁，其中图 a 和 b 的铁心是螺管式结构，其衔铁绕铁轭的棱角转动，磨损较小，铁心用软铁制成，适用于直流继电器和接触器。图 c 和 d 的衔铁绕定轴转动，用于交流接触器，铁心用硅钢片叠成，图 c 的铁心是 U 形结构，图 d 的铁心为双山形结构。e、f 和 g 为直动式电磁铁，其衔铁在线圈内作直线运动，多用于交流接触器和继电器，图 e 和 g 的铁心为单山形，也可以做成螺管式结构，图 f 的铁心为双山形结构。

吸引线圈是电磁铁的心脏，其作用是将电能转换为磁能，是产生磁力的装置。按通入电流种类的不同可分为直流型线圈和交流型线圈。直流型线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，使线圈与铁心直接接触，易于散热；交流型线圈由于铁心存在磁滞和涡流损耗，铁心也会发热，为了改善线圈和铁心的散热情况，线圈设有骨架，使铁心与线圈隔离，并将线圈制成短而厚的矮胖型。另外，根据线圈在电路中的连接形式，可分为串联线圈和并联线圈。串联线圈主要用于电流检测类电磁式电器中，大多数电磁式电器线圈都按照并联接入方式设计。为了减少对电路电压分配的影响，串联线圈常采用扁铜条或粗铜线绕制，匝数少，线圈的阻抗较小。并联线圈为减少电路的分流作用，需要较大的阻抗，常采用绝缘较好的细电磁线绕制，匝数多。

1.2.2 电磁特性

1. 电磁吸力与吸力特性

电磁铁线圈通电以后，铁心吸引衔铁带动触点改变原来状态进而接通或分断电路的力称为电磁吸力。电磁吸力是影响电磁式电器可靠工作的一个重要参数，电磁吸力可按下式计算，即

$$F = \frac{B^2 S \times 10^7}{8\pi} \quad (1-1)$$

式中， F 为电磁吸力 (N)； B 为气隙中的磁感应强度 (T)； S 为磁极截面积 (m^2)。当截面积为常数时，吸力 F 与气隙中的磁感应强度 B^2 成正比，也可以认为 F 与磁通 Φ^2 成正比。电磁系统的吸力特性反映了电磁吸力与气隙的关系。磁感应强度 B 与气隙宽度 δ 及外加电压大小有关，所以，对于直流电磁铁，外加电压恒定，电磁吸力的大小只与气隙有关。但对于交流电磁铁，由于外加正弦交流电压，在气隙宽度一定时，其气隙磁感应强度也按正弦规律变化，即 $B = B_m \sin \omega t$ 。所以，吸力公式为

$$F = \frac{10^7 S B_m^2 \sin^2 \omega t}{8\pi} \quad (1-2)$$

电磁吸力也按正弦规律变化，最小值为零，最大值为

$$F_m = \frac{10^7 S B_m^2}{8\pi} \quad (1-3)$$

电磁式电器在吸合或释放过程中，气隙是变化的，电磁吸力也将随气隙的变化而变化，这种特性称为吸力特性，电磁铁吸力特性曲线如图 1-2 所示。

2. 交流接触器短路环的作用

电磁吸力由电磁机构产生，当电磁线圈断电时使触点恢复常态的力称为反力，电磁电器中反力由复位弹簧和触头产生，衔铁吸合时要求电磁吸力大于反力，衔铁复位时要求反力大

于电磁吸力（此时是剩磁产生的电磁吸力）。当电磁吸力的瞬时值大于反力时，铁心吸合；当电磁吸力的瞬时值小于反力时，铁心释放。

因此，对于单相交流电磁系统，由于交流磁通过零时吸力也为零，吸合后的衔铁在反力作用下会被拉开。磁通过零后吸力增大，当吸力大于反力时衔铁又吸合。这样，在交流电每周期内衔铁吸力要两次过零，使衔铁产生强烈的振动和噪声，甚至使铁心散开。为避免衔铁振动，解决的办法是在铁心端面开一小槽，在槽内嵌入一个铜制分磁环（或称短路环），如图 1-3 所示为短路环的结构，加上短路环后，磁通被分为大小接近、相位相差约 90° 电角度的两相磁通，如图 1-4 所示为产生的磁通和吸力的变化规律。当电磁系统的交变磁通穿过短路环所包围的截面时，环中产生了涡流。根据电磁感应定律可知，此涡流产生的磁通 Φ_2 在相位上滞后于短路环没有包围的截面中的磁通 Φ_1 。这样，铁心中有两个相位不同的磁通 Φ_1 和 Φ_2 。电磁系统的吸力为它们产生的吸力 F_1 和 F_2 之和。只要此合力始终大于反力，衔铁的振动现象就可消除。

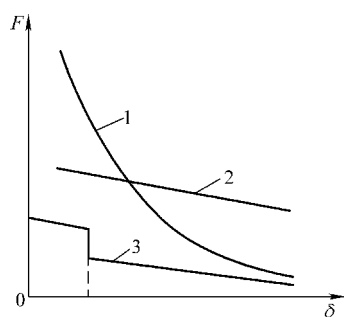


图 1-2 电磁铁吸力特性曲线

1—直流电磁铁吸力特性 2—交流电磁铁吸力特性 3—反力特性

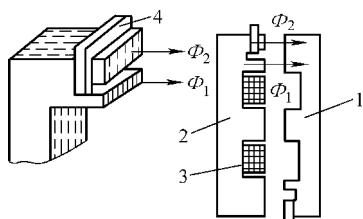


图 1-3 短路环的结构

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

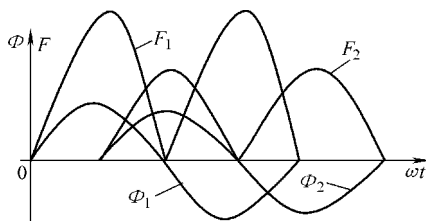


图 1-4 磁通和吸力的变化规律

1.2.3 触点

触点是用来接通或断开电路的，其结构形式很多。按其接触形式分为点接触、线接触和面接触 3 种，如图 1-5 所示，其中图 a 为点接触，图 b 为线接触，图 c 为面接触。点接触允许通过的电流较小，常用于继电器的触点或接触器的辅助触点。线接触和面接触允许通过的电流较大，常用于大电流场合，如刀开关、接触器的主触点等。为减少接触电阻，使接触更加可靠，需在触点间施加一定的压力。压力一般是靠反作用弹簧或触点本身的弹性变形而获得。

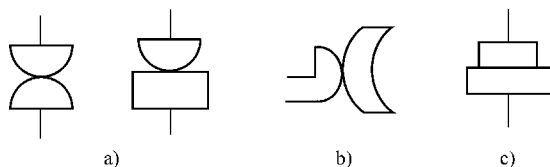


图 1-5 触点接触形式

不同接触形式的触点结构形式图 1-6 所示，其中图 a 为采用点接触的桥式触点，图 b 为

采用面接触的桥式触点，图 c 为采用线接触的指形触点。

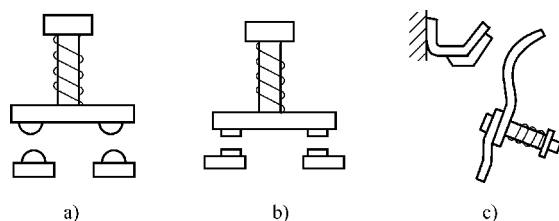


图 1-6 触点结构形式

1.2.4 灭弧装置

触点接触前的瞬间，两触点间距离极小，电场强度极大，在高热和强电场作用下，触点金属体内部的自由电子从阴极表面逸出，飞向阳极，这些自由电子在电场中运动时撞击中性气体分子，使之激励和游离，产生正离子和电子，这些电子在强电场作用下继续向阳极移动时还要撞击其他中性分子。因此，在触头间隙中产生了大量的带电粒子，使气体导电形成了炽热的电子流即电弧。电弧产生高温并发出强光，将触点烧损，并使电路的切断时间延长，严重时会引起火灾或其他事故，因此必须采取灭弧措施。

1) 电力吹弧：其原理如图 1-7a 所示，它是利用桥式结构双断口触点系统进行灭弧，双断口就是在一个回路中有两个产生和断开电弧的间隙。一般用于交流接触器等交流电器。当触点打开时，在断口中产生电弧。静触点和动触点在弧区内产生图中所示的磁场，根据左手定则，电弧电流要受到一个指向外侧的力 F 的作用而向外运动，迅速离开触点而熄灭。电弧的这种运动，一是会使电弧本身被拉长，二是电弧穿越冷却介质时要受到较强的冷却作

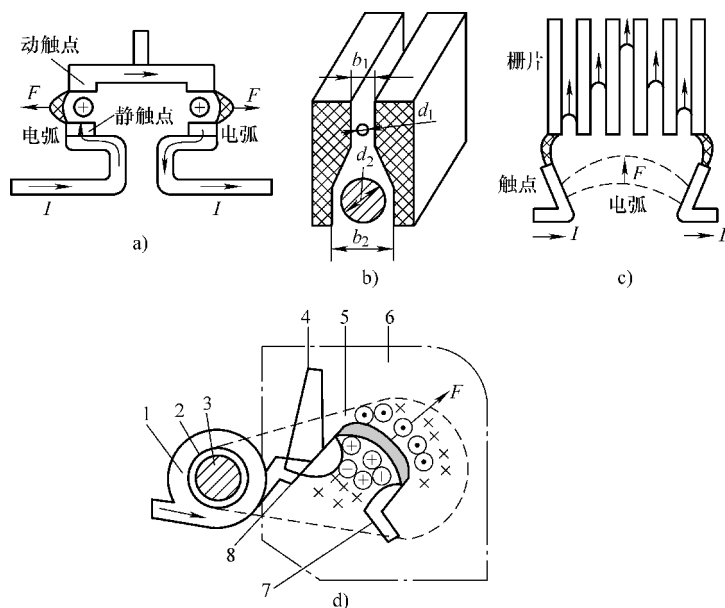


图 1-7 常用灭弧装置工作原理

1—磁吹线圈 2—绝缘线圈 3—铁心 4—引弧角 5—导磁夹板 6—灭弧罩 7—动触点 8—静触点

用,这都有助于熄灭电弧。最主要的还是两断口处的每一电极近旁,在交流过零时都能出现150~250V的介质绝缘强度。

2) 窄缝灭弧室:其原理如图1-7b所示。由于磁吹灭弧装置一般都带有灭弧罩,灭弧罩通常用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。其作用有二,一是引导电弧纵向吹出,以此防止发生相间短路;二是使电弧与灭弧室的绝缘壁接触,从而迅速冷却,增强去游离作用,迫使电弧熄火。灭弧罩的绝缘壁之间的缝隙可大可小,凡是宽度比电弧直径小的缝(图中缝宽 b_1 小于电弧直径 d_2)称为窄缝;反之,宽度比电弧直径大的缝(图中缝宽 b_2 大于电弧直径 d_2)称为宽缝。窄缝将电弧的弧柱直径压缩(如压缩为 d_1),使电弧同缝壁紧密接触,加强冷却和降低游离作用。同时,也加大了电弧运动的阻力,使其运动速度下降,缝壁温度上升,并在壁面产生表面放电。总之,缝宽的大小需要综合考虑。也有采用数个窄缝的多纵缝灭弧室,将电弧引入纵缝,分割成若干股直径较小的电弧,以增强灭弧作用。

3) 栅片灭弧:其原理图1-7c所示。触点切断时产生的电弧在磁吹力和电动力作用下被拉长后,推向一组静止的金属片,这组金属片称为栅片,它们彼此间是互相绝缘的,电弧进入栅片后,被分割成一段段串联的电弧,每一栅片又相当于一个电极,使每段短电弧的电压达不到燃弧电压。同时栅片还具有冷却作用,致使电弧迅速熄灭。

4) 磁吹灭弧:其磁吹灭弧示意图1-7d所示。在触点电路中串入吹弧线圈,该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围,其方向由右手定则确定(为图中 $\times$ 所示),触点间的电弧所产生的磁场,其方向为 $\odot$ 和 $\odot$ 所示。这两个磁场在电弧下方的方向相同(叠加),在弧柱上方的方向相反(相减),所以弧柱下方的磁场强于上方的磁场。在下方磁场作用下,电弧受力的方向为 F 所指的方向,在 F 的作用下,电弧被吹离触点,经引弧角引进灭弧罩,使电弧熄灭。

为了强化灭弧效果,一般要同时采取几种灭弧装置。

1.3 低压配电电器

低压配电电器包括低压开关和熔断器等。低压开关一般为非自动切换电器,常用的主要类型有刀开关、负荷开关、组合开关、低压断路器等。它在电路中主要起隔离、转换、接通和分断电路的作用。

1.3.1 刀开关

刀开关根据不同的工作原理、使用要求、结构形式和组成特点分类,刀开关产品的主要类型有:大电流刀开关、负荷开关、熔断器式刀开关等。常用的产品有:HD11~HD14(单投)和HS11~HS13(双投)系列刀开关;HK1、HK2系列开启式负荷开关(俗称胶盖开关);HH3、HH4系列封闭式负荷开关(俗称铁壳开关);HR3系列熔断器式刀开关等。另外,刀开关按极数分为单极、双极和三极;按操作方式分为直接手柄操作方式、杠杆操作机构式和电动操作机构式;按刀开关转换方向分单投和双投等。

1. 大电流刀开关

刀开关是一种刀楔形触头的、结构比较简单的手动控制电器,主要用于配电设备中隔离电源,使线路出现明显断开点。刀开关在低压电路中,刀开关用于不频繁接通和分断的交、

直流低压 ($\leq 500\text{V}$) 电路, 或用于将电路与电源隔离。

在机电设备中, 刀开关主要用作电源开关, 一般不能用来闭合或断开电动机的工作电流, 因其没有专用的灭弧罩或只具有很简单的灭弧装置, 所以不能带负荷闭合刀开关, 不能用来切断故障电流, 只有主电路的接触器或空气开关断开以后, 才可通过拉下刀开关来隔离供电电源。在各系列刀开关中, $100 \sim 400\text{A}$ 均采用单刀片, $600 \sim 1500\text{A}$ 均采用双刀片。

刀开关由操作手柄、刀片、触头座和底板等组成, 常见的刀开关结构如图 1-8a 所示。转动手柄后, 刀片与刀夹座相接, 从而接通电路。图 1-8b 为其图形符号, 其文字符号为 QS。一般刀开关由于触头分断速度慢, 灭弧困难, 仅用于切断小电流电路, 若用刀开关切断较大电流的电路, 特别是切断直流电路时, 为了使电弧迅速熄灭以保护开关, 可采用带有快速断弧刀片的刀开关, 如图 1-9 所示, 图中主刀片用弹簧与断弧刀片相连, 在切断电路时, 主刀片首先从尾座脱出, 这时断弧刀片仍留在刀夹座内, 电路尚未断开, 无电弧产生, 当主刀片拉到足够远时, 在弹簧的作用下, 断弧刀片与刀夹座迅速脱离, 使电弧很快拉长而熄灭。

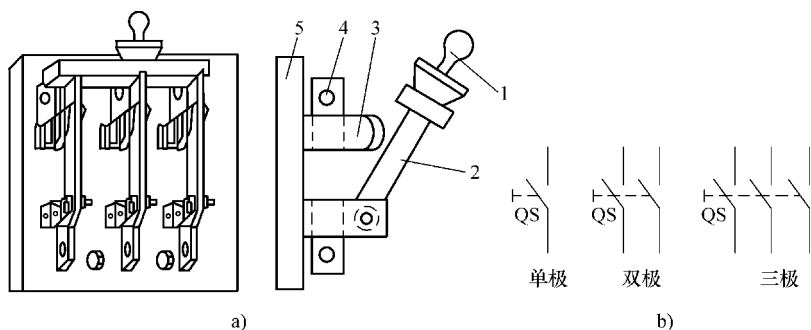


图 1-8 常见的开关

a) 刀开关的结构图 b) 图形符号

1—刀片支架和手柄 2—刀片 (动触头) 3—刀夹座 (静触头) 4—接线端子 5—绝缘底板

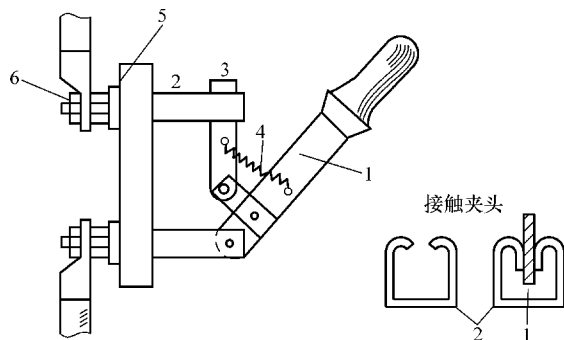


图 1-9 具有断弧刀片的刀开关

1—主刀片 2—刀夹座 3—断弧刀片 4—刀片快断弹簧 5—底座 6—接线端子

常用的三极刀开关长期允许通过电流有 100 、 200 、 400 、 600A 和 1000A 5 种。

刀开关在安装时, 注意手柄要向上, 不能倒装或平装。因为在分断电流时, 刀片和触点

座间会产生电弧。正确安装时,作用在电弧上的电动力和热空气的上升方向一致,就使得电弧迅速拉长而熄灭。如果倒装了,热空气的拉弧作用正好相反,阻止电弧拉长,使电弧不易熄灭,容易烧坏刀片及触点座,甚至造成极间短路。倒装还有一个不利之处就是,开关可能会因振动或松动而使刀片自动下落,引起误合闸,对人身和设备安全造成隐患。

刀开关的技术参数有额定电压、额定电流、分断能力、机械寿命和电寿命。

在选用刀开关时,其额定电压应等于或大于电路额定电压,其额定电流应等于或稍大于电路工作电流;如果回路中有电动机,则应按电动机的起动电流来计算。此外,还要考虑电路中可能出现的最大短路峰值电流是否在该额定电流等级所对应的峰值电流以下。刀开关的极数和操作方式可根据实际需要选定。

接线时,要将电源线接在上面,负载线接在下面,这样当拉闸后,刀片与电源隔离,负载线就没有电压,以保证检修的安全。

2. 熔断器式刀开关

熔断器式刀开关即熔断器式隔离开关,是以熔断体或带有熔断体的载熔件作为动触点的较大规格的一种隔离开关,具有一定的接通分断能力和短路分断能力。主要用于中央配电屏、动力箱及电缆、导线的过载和短路保护。例如,RT0系列有填料式熔断器作为触刀,做成两断口带灭弧的刀开关,极限分断能力达到5kA,在正常供电情况下接通和切断电源由刀开关承担。当线路发生过载或短路故障时,由熔断器切断故障电流,其操作方式有前面侧方操作、前面中央操作和侧面操作等。

常用的型号有HR3、HR5、HR6及RT0系列。其中HR3系列刀开关主要用于交流50Hz、额定电压380V或直流额定电压440V、额定电流100~600A的工业企业配电网中,作为电气设备及线路的过负载和短路保护用,并在正常供电情况下不频繁接通和分断交、直流电路。

熔断器式刀开关的选用:选用时应按使用的电源电压和负载的额定电流选择外,还必须根据使用场合、操作方式、维修方式等,要符合开关的型式特点。

熔断器式刀开关安装使用安全注意事项如下:

1) 应垂直安装在配电盘上,并保证在合闸时刀片与刀夹座接触良好。

2) RT0型熔断器应固定在带有弹簧钩子的锁板的绝缘梁上。在正常运行时,保证熔断器不脱扣,而当熔体因故障熔断后,只需按下钩子便可以很方便地更换熔断器。

1.3.2 负荷开关

负荷开关有开启式负荷开关和封闭式负荷开关等几种,也称熔断器式刀开关。

1. 开启式负荷开关

(1) 开启式负荷开关的结构

开启式负荷开关俗称胶盖刀开关(或刀开关),在电路中的作用是不频繁地接通和分断有负载电路;以及小容量线路的短路保护。图1-10a是HK系列开启式负荷开关的结构图,主要由瓷底座、静触点、触刀、瓷柄、熔体和胶盖等构成。图1-10b为其图形符号,其文字符号为QS。其结构简单,价格低廉,常用作照明电路和电热电路的电源开关,也可用来控制5.5kW以下异步电动机的起动与停止。因其无专门的灭弧装置,故不宜频繁分合电路。现在工厂机床电气控制系统中已很少使用这种电器。

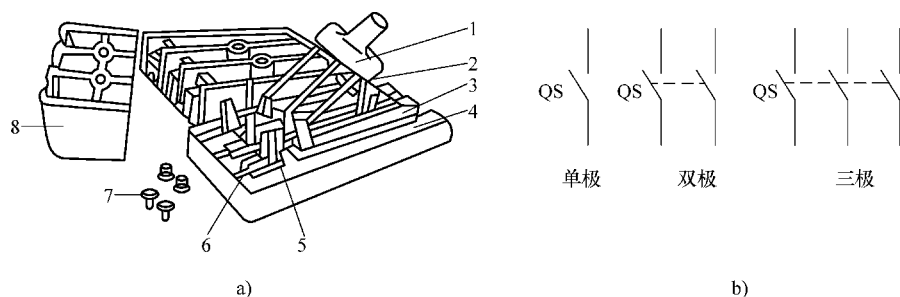


图 1-10 开启式负荷开关的结构图与图形符号

a) 开启式负荷开关的结构图 b) 图形符号

1—瓷柄 2—动触点（闸刀） 3—出线座 4—瓷底座 5—静触点 6—进线座 7—胶螺帽 8—胶盖

刀开关种类很多，有两极的（额定电压 250V）和三极的（额定电压 380V），额定电流由 10A 至 100A 不等，其中 60A 及以下的才用来控制电动机。

（2）开启式负荷开关的选用与使用注意事项

选用刀开关时应注意，刀开关的额定电压应等于或大于电路额定电压，其额定电流应等于（在开启闭合通风良好的场合）或稍大于（在封闭的开关柜内或散热条件较差的工作场合，一般选 1.15 倍）工作电流。在开关柜内使用还应考虑操作方式，如杠杆操作机构、螺旋式操作机构等。当用刀开关控制电动机时，考虑其起动电流可达（4~7）倍的额定电流，选择刀开关的额定电流应是电动机额定电流的 3 倍左右。

开启式负荷开关的安装使用安全注意事项如下：

- 1) 开启式负荷开关必须垂直安装在配电板或控制箱上，并且电源进线孔在上方。
- 2) 接线时电源进线和出线不能接反，否则更换熔丝时易发生触电事故。
- 3) 分断负载时，应尽快拉闸，以减小电弧的影响。
- 4) 使用过程中若发现动触点和静触点接触歪斜，应及时修复，否则会由于接触电阻增大，使动触点和静触点因过热而损坏。
- 5) 开关在合闸时，应保证三相触点同时合闸，而且要接触良好，如果接触不良或有一相没合上，会使电动机因缺相运行而烧毁。
- 6) 更换熔丝必须在开关断开的情况下进行。换上的新熔丝应与原熔丝规格相同。

2. 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关一般用于小型电力排灌、电热器、电气照明线路的配电设备中，用于不频繁地接通与分断电路，也可以直接用于异步电动机的非频繁全压启动控制。图 1-11 所示为封闭式负荷开关的外形结构，主要由钢板外壳、触刀开关、操作机构、熔断器等组成，其图形符号、文字符号与开启式负荷开关相同。

（1）封闭式负荷开关特点

封闭式负荷开关与刀开关相比具有以下特点：

- 1) 触头设有灭弧室（罩），电弧不会喷出，能够通断负荷电流，可不必顾虑会发生相间短路事故。
- 2) 熔断丝的分断能力高，一般为 5kA，高者可达 50kA 以上。
- 3) 多数操作机构由储能合闸式装置和机械联锁装置组成。前者可使开关的合闸和分闸

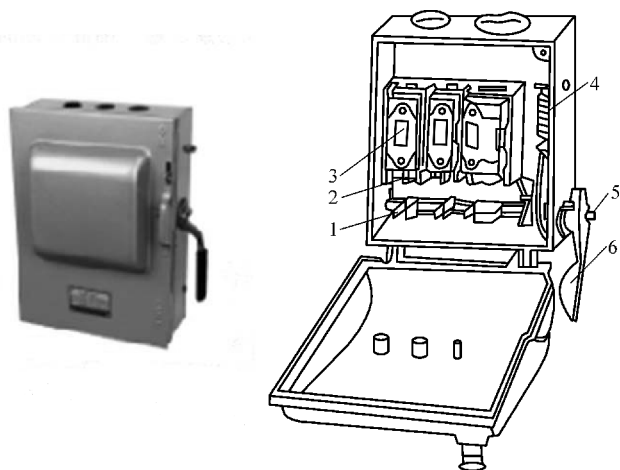


图 1-11 封闭式负荷开关外形结构

1—刀式动触头 2—夹座 3—熔断器 4—速断弹簧 5—转轴 6—手柄

速度与操作速度无关，从而改善开关的动作性能和灭弧性能；后者则保证了在合闸状态下打不开箱盖及箱盖未关妥前合不上闸，提高了安全性。

4) 有坚固的封闭外壳，可保护操作人员免受电弧灼伤。

(2) 封闭式负荷开关的选用与使用安全注意事项

封闭式负荷开关有 HH3、HH3、HH10、HH11 等系列，其额定电流从 10A 到 400A 可供选择，其中 60A 及以下的可用于异步电动机的全压起动控制开关。

用封闭式负荷开关控制电加热和照明电路时，可按电路的额定电流选择。用于控制异步电动机时，由于开关的通断能力为 $4I_N$ ，而电动机全压起动电流却在 (4~7 倍) 额定电流以上，故开关的额定电流应为电动机额定电流的 1.5 倍以上。

封闭式负荷开关安装使用安全注意事项如下：

1) 封闭式负荷开关必须垂直安装在配电板上，安装高度以操作方便和安全为原则，一般安装高度为离地面 1.3~1.5m 之间。

2) 封闭式负荷开关的外壳接地螺钉必须可靠接地或接零。

3) 封闭式负荷开关的电源和负载的进出线必须穿过开关的进出线孔，同时在进出线孔加装绝缘垫圈。

4) 采用管子敷线时，管子应穿入进出线孔，并用管扣螺母拧紧，露出螺母的丝扣为 2~4 扣。如果管子不进出线孔，也可接一股金属软管和封闭式负荷开关连接，金属软管两端均采用软管接头固定。

5) 封闭式负荷开关的接线形式有两种形式，一是电源线和封闭式负荷开关的静触点相连，负载引出线接开关熔丝下的下桩头。这种接线形式在开关拉闸后，闸刀与熔丝不带电，便于维修和更换熔丝。另一种接线形式是电源接开关熔丝下的下桩头，负载接开关的静触点。这种接线在开关的闸刀发生故障时熔丝熔断，切断电源。

6) 操作时，不允许面对着开关进行操作，以免万一发生故障伤人，应用左手操作合闸。

7) 更换熔丝必须在开关断开的情况下进行。换上的新熔丝应与原熔丝规格相同。

8) 封闭式负荷开关不允许随意放在地面上使用。

1.3.3 组合开关

组合开关又称转换开关，它实际上也属于刀开关的范畴。常用的组合开关有 HZ5、HZ10、HZW 系列。主要用于交流 50Hz、额定电压 380V、额定电流 60A 及以下的电路中，不频繁地接通和断开电源引入开关，用作 7.5kW 以下小功率电动机起动、停止、变速、换向的控制开关，用作控制电路换接的开关，也可用作局部照明电路的开关。

组合开关的结构如图 1-12a 所示，组合开关沿转轴自下而上分别安装了三层开关组件，每层上均有一个动触点、一对静触点及一对接线端子，各层分别控制一条支路的通与断，形成组合开关的三极。当手柄每转过一定角度，就带动固定在转轴上的三层开关组件中的三个动触点同时转动至一个新位置，在新位置上分别与各层的静触点接通或断开。组合开关图形符号如图 1-12d 所示，其文字符号为 QS。

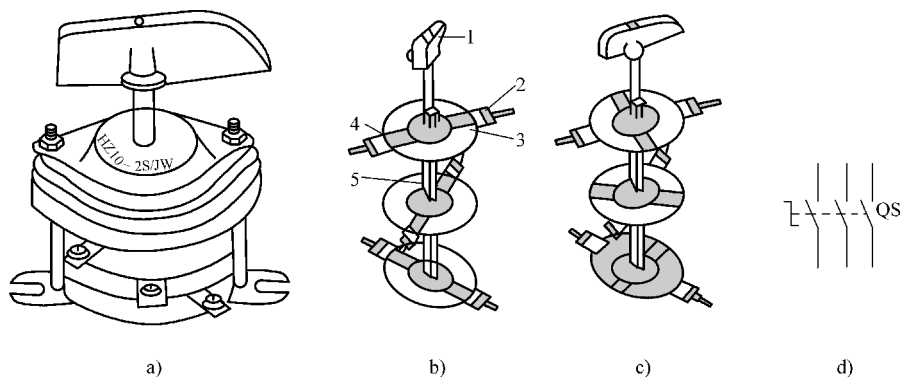


图 1-12 组合开关外形结构与图形符号

a) 外形 b) 接通位置 c) 断开位置 d) 图形符号

1—手柄 2—转轴 3—弹簧 4—凸轮 5—绝缘垫板

组合开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、通断能力、机械寿命、电寿命等。组合开关有单极、双极、三极、四极几种，额定持续电流有 10、25、60、100A 等多种。

选用组合开关要注意，组合开关用作隔离开关时，其额定电流应为低于被隔离电路中各负载电流的总和；用于控制电动机时，其额定电流一般取电动机额定电流的 1.5 ~ 2.5 倍。应根据电气控制电路中实际需要，确定组合开关接线方式，正确选择符合接线要求的组合开关规格。

组合开关安装使用安全注意事项如下：

- 1) 组合开关安装时，应使手柄保持水平旋转位置。
- 2) 由于组合开关通断能力较低，故不能用来分断故障电流。用作电动机正反转控制时，必须在电动机完全停止转动后才能接通电源。
- 3) 当负载的功率因数为 0.8 ~ 0.5 时，组合开关应降低容量使用，否则会影响开关的寿命，当负载的功率因数小于 0.5 时，由于熄弧困难，不宜采用 HZ 系列组合开关。
- 4) 使用组合开关时，应保持开关清洁，面板和触点不能有油污。

1.3.4 低压断路器

低压断路器俗称断路器、空气开关，是低压配电网和电力拖动系统中非常重要的一种电器。当电路发生故障时能自动切断电路，有效地保护串接在它后面的电气设备。在正常情况下，用于不频繁地接通和断开电路及控制电动机运行状态。其保护参数可以人为整定，使用方便、操作安全、工作可靠。常见的故障保护功能有：过电流（含短路）保护、欠电压保护、过载保护等。在跳闸（脱扣）故障排除后手动复位，一般不需要更换零部件，因此是目前使用最广的低电压器之一。

1. 低压断路器的结构和工作原理

(1) 低压断路器的结构

低压断路器按照结构型式分为框架式和塑料外壳式两大类。框架式断路器为敞开式结构，适用于大容量配电装置；塑料外壳式断路器的特点是外壳用绝缘材料制作，具有良好的安全性，广泛用于电气控制设备及建筑物内作电源线路保护，以及对电动机进行过载和短路保护。

低压断路器由触点系统、灭弧装置、各种可供选择的脱扣器与操作机构、自由脱扣机构等部分组成。低压断路器所装脱扣器主要有电磁脱扣器（用于短路保护）、热脱扣器（用于过载保护）、失压脱扣器、过励脱扣器以及由电磁和热脱扣器组合而成的复式脱扣器等。

(2) 低压断路器工作原理

低压断路器工作原理图如图 1-13a 所示。图中选用了过载、欠电压和热脱扣等三种脱扣器。低压断路器的主触点靠操作机构手动分合闸，在正常工作状态下能接通和分断工作电流。并有自由脱扣机构将主触点锁在合闸位置上。其中，触点 2 合闸时，与转轴相连的锁扣 3 扣住跳扣 4，使弹簧 1 受力而处于储能状态。正常工作时，热脱扣器的发热元件 13 温升不高，不会使双金属片弯曲到顶动连杆 7 的程度；电磁脱扣器 6 的线圈磁力不大，不能吸引衔铁 8 去拨动连杆 7，开关处于正常供电状态。当电路发生短路或过电流故障时，过电流脱扣器的衔铁 8 被吸合，将拨动连杆 7，使跳扣 4 被顶离锁扣 3，弹簧 1 的张力使触点 2 分离切

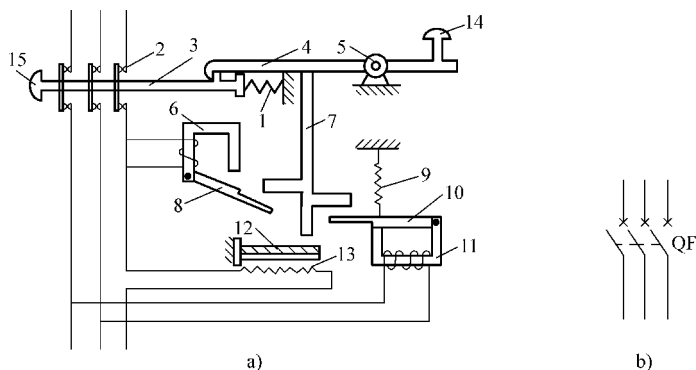


图 1-13 低压断路器工作原理图和图形符号

a) 工作原理图 b) 图形符号

1、9—弹簧 2—触点 3—锁扣 4—跳扣 5—转轴 6—电磁脱扣器 7—连杆 8、10—衔铁
11—欠电压脱扣器 12—双金属片 13—发热元件 14—停止按钮 15—接通按钮

断主电路，及时有效地切除高达数十倍额定电流的故障电流；当电网电压过低或为零时，脱钩器 11 的线圈的磁场力减弱，衔铁 10 受弹簧 9 拉力向上移动，顶起连杆 7 使跳扣 4 与锁扣 3 分开切断回路，起到失电压保护作用。从而在过电流与零压时保证了电路及电路中设备的安全；当电动机出现过载故障时，热脱扣机构动作使低压断路器触点分离，保证了电动机的安全运行。低压断路器根据不同用途可配备不同的脱扣器。低压断路器电气图形符号及文字符号如图 1-13b 所示。

常用的低压断路器有 DW15、DW16、CW 系列框架式断路器和 DZ5 系列、DZ15 系列、DZ20 系列、DZ25 系列塑壳式断路器。几种常用断路器外形结构如图 1-14 所示。

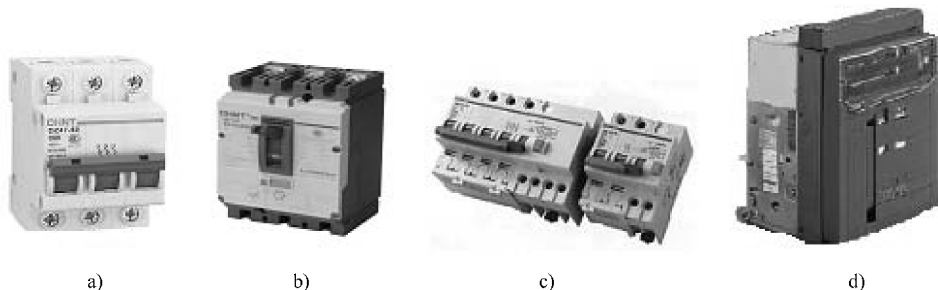


图 1-14 常见断路器外形结构

a) 微型断路器 b) 塑壳断路器 c) 漏电断路器 d) 空气断路器

近年来还引进国外先进技术生产的 ME、AE、AH 及 3WE 具有高分断能力的万能式断路器和美国西屋公司制造技术的 H 系列及德国西门子公司制造技术的 DZ108 等系列塑壳式断路器。我国生产带漏电保护功能的低压断路器有 DZ15LE、DZL18、DZL20、DZL25 等系列漏电断路器。

低压断路器的主要参数有：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、分断时间等。

2. 低压断路器的选用和使用注意事项

(1) 低压断路器的选用

选用低压断路器的总原则是保证低压断路器脱扣器的动作电流整定值要小于单相短路电流的 $2/3$ ，以确保动作可靠。

1) 能满足正常工作需要，能躲过正常电流峰值，能承受短时电流的冲击而不损坏并切除故障。

2) 使用时除要求额定电压大于或等于线路电压外，用于控制时，还要求电磁脱扣器的瞬时动作电流为负载电流的 6 倍；用于电动机保护时，要求塑壳式低压断路器脱扣器整定为起动电流的 1.7 倍，万能式整定为 1.35 倍；用于通断电路时，其额定电流和脱扣器动作电流均应大于或等于电路中电流总和。

3) 选用低压断路器作多台电动机短路保护时，脱扣器动作电流应为容量最大一台电动机起动电流的 1.3 倍加上其余电动机额定电流的总和。

除有上述电流、电压要求外，选用时还要考虑类型、等级、规格等方面以及上下级保护匹配等问题。

(2) 低压断路器安装使用安全注意事项

1) 低压断路器安装前先检查其脱扣器的额定电流是否与被控线路、电动机等的额定电流相符, 核实有关参数, 满足要求方可安装。

2) 低压断路器不易安装在震动的地方, 以免造成开关内部零件松动。低压断路器一般应垂直安装在配电板上, 灭弧室应位于上部。

3) 操作手柄或传动杠杆的开合位置应正确, 操作力不应大于产品允许规定的值。

4) 触点在闭合、断开过程中, 可动部分与灭弧室的零件不应有卡住现象。

5) 触点开关应紧密可靠, 接触电阻小。

6) 对低压断路器要定期检修 (半年至少一次) 并清污, 尤其是触点的油污与杂质。如发现触点表面粗糙或粘有金属熔化后产生的颗粒, 应清除它们, 以保证触点良好接触, 以免影响操作和影响绝缘。

7) 定期检查脱扣器及时限机构的整定值, 对长期未用而重新投入使用的, 应认真检查接线是否良好, 是否正确可靠, 并进行绝缘测量等质检工作。有延时的还要检查其延时。

8) 过电流脱扣器的整定值一旦调好后就不允许随意变动, 而且使用时间长了要检查其弹簧是否生锈卡住, 以免影响其动作。

9) 在低压断路器分断短路电流以后, 应在切除上一级电源的情况下, 及时地检查其触点状况并清除灭弧室内壁、栅片上的烟尘与金属颗粒。

10) 操作机构在使用一定次数后 (通常为机械寿命的 $1/4$ 左右, 机械寿命在 $2000 \sim 20000$ 次), 应给操作机构添加润滑油。

1.3.5 低压熔断器

熔断器是低压配电网络和电力拖动系统中最简单、最常用的一种安全保护电器, 广泛应用于电网及用电设备的短路保护或过载保护。当线路或电气设备发生短路或严重过载时, 通过熔断器的电流达到或超过了某一规定值时, 熔体熔断自动切断电路, 从而使线路或电气设备脱离电源, 起到保护作用。

1. 熔断器的分类

熔断器的类型很多, 按外观可分为螺旋式、管式、插入式等, 按结构可分为开启式、半封闭式和封闭式。封闭式熔断器又分为有填料、无填料管式和有填料螺旋式等。按用途分有工业用熔断器、保护半导体器件熔断器、具有两段保护特性的快慢动作熔断器、自复式熔断器等。

2. 熔断器的结构与主要技术参数

(1) 熔断器的结构

熔断器主要由熔体, 安装熔体的熔管和绝缘底座三部分组成。熔体是熔断器的核心, 制成丝状或片状。熔体的材料一种是由低熔点金属铅、锡合金或锌等导电性能差的金属制成, 多用于小电流的电路; 另一种是由高熔点金属铜、银等导电性能好的金属制成, 多用于大电流的电路。新型的熔体通常设计成灭弧栅状和具有变截面片状结构。熔管是装熔体的外壳, 由陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维制成, 在熔体熔断时兼有灭弧作用。绝缘底座是熔断器的座, 用于外接引线和固定熔管的作用。

熔断器的外形结构如图 1-15a、b、c 所示, 其图形符号和文字符号 1-15d。

(2) 熔断器的主要技术参数

熔断器的主要技术参数有额定电压、额定电流、熔体额定电流等级、极限分断能力等。

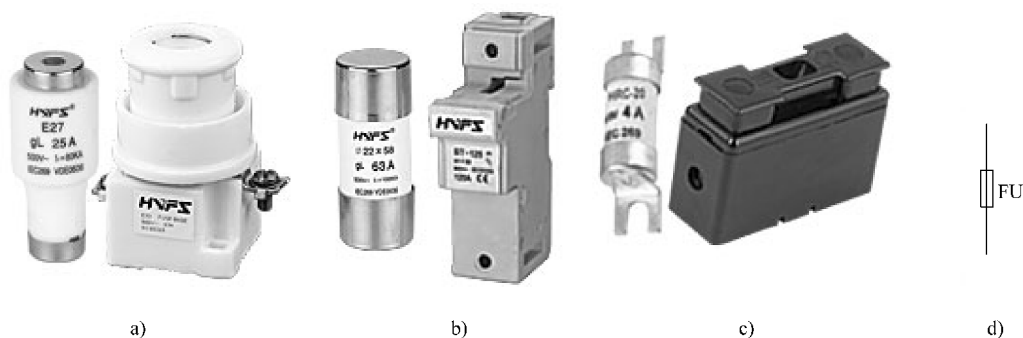


图 1-15 熔断器的外形结构和图形符号

a) 螺旋式熔断器 b) 圆筒形帽熔断器 c) 螺栓连接熔断器 d) 图形符号

1) 熔断器的额定电压：指熔断器长期正常工作时能够承受的电压。其额定电压值一般等于或大于电气设备的额定电压。

2) 熔断器的额定电流：指熔断器长期正常工作时，各部件温升不超过规定值时所能承受的电流。

3) 熔体额定电流：指在规定的工作条件下，电流长时间通过熔体而熔体不熔断的最大电流。

熔断器的额定电流与熔体的额定电流是两个不同的概念。熔断器的额定电流等级比较少，熔体的额定电流等级比较多，通常一个额定电流等级的熔断器可以配用若干个额定电流等级的熔体，但熔体的额定电流最大不能超过熔断器的额定电流值。

熔断器流过熔体的电流与熔断时间的关系为：流过熔体的电流越大，熔断所需的时间就越短。

4) 熔断器的极限分断能力：通常是指熔断器在额定电压及一定功率因素条件下，能分断的最大短路电流值。在电路中出现的最大电流值一般是指短路电流值。因此，极限分断能力也是反映了熔断器分断短路电流的能力。体现了短路瞬间保护特性。

由上可知，熔断器对过载反应是很不灵敏的，当电气设备发生轻度过载时，熔断器将持续很长时间才熔断，有时甚至不熔断。因此，熔断器一般不宜作为过载保护，主要用作短路保护。

(3) 熔断器的选用

熔断器的选用主要包括熔断器的类型、额定电压、额定电流和熔体额定电流等。熔断器的类型主要由设计电气控制系统时综合分析确定，熔断器的额定电压应大于或等于实际电路的工作电压，因此确定熔体的额定电流和熔断器额定电流是选用熔断器的主要任务。

1) 熔断器类型的选择：选择类型时，主要依据负载保护要求和短路电流的大小。用于电动机过载保护，则一般要求熔断器容量不大，也不要求限流，但希望其安秒特性平稳；用于配电时，如短路电流较大或有易燃品的地方，则选高分断能力或要求带限流作用的，如 RT0 系列有填料封闭管式熔断器；在经常发生故障的地方，最好用可拆式的，如 RC1A、RL1、RM10 等系列熔断器；在机床控制电路中，选用 RL 系列螺旋式熔断器；用于晶闸管的保护，选用 RLS 或 RS 系列快速熔断器等。

2) 熔体额定电流的确定：熔断器的容量主要反映为熔体电流及断流能力等参数，确定起来比较复杂，要视负载特性与应用场合综合考虑。负载主要区分为冲击负载（如电动机）

和非冲击负载（如一般照明线路）。熔体额定电流的计算遵循下列原则：

① 用熔断器保护电动机时，要同时承担过载保护，需仔细确定熔体的额定电流。要求在轻过载时动作，则熔体的额定电流应尽量接近电动机的额定电流；同时要保证电动机正常起动，则又要求熔体不能在启动时误动作。综合上述两方面，熔体额定电流的选择可参阅相关资料选取，也可用如下方法选取为

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{MN} \quad (1-4)$$

式中， I_{RN} 为熔体的额定电流； I_{MN} 为电动机的额定电流。

② 对于感应式电动机，取 I_{RN} 为

$$I_{RN} \geq (1 \sim 1.25) I_{MN} \quad (1-5)$$

③ 对起动时间较长的某些笼型异步电动机，可按 3 倍 I_{MN} 考虑。连续工作制直流电动机，选与其 I_{MN} 相等的 I_{RN} ；反复工作制时，一般直流电动机选 I_{RN} 为 1.25 倍的 I_{MN} 。

④ 对用作异步机短路保护的熔断器，其熔体额定电流 I_{RN} 的确定，主要区别不同应用情况。如保护单台电动机，则熔体额定电流的选择方法同前；如保护多台电动机，则熔体额定电流按如下的公式计算为

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{MNm} + \sum I_{MN} \quad (1-6)$$

式中， I_{MNm} 为多台电动机中额定电流最大值； $\sum I_{MN}$ 为其余电动机额定电流的总和。

⑤ 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。

3) 熔断器额定电流的确定：一般熔断器额定电流大于或等于熔体额定电流，通常大一级，特殊情况可小一级，这取决于熔管质量和过载情况。熔断器的分断能力应大于电路中可能出现的最大短路电流。

4) 依据动作特性校验所选熔断器以及上下级的配合。前者是熔断器自身特性与保护对象的匹配问题，在要求时才进行校验。后者是熔断器之间的配合问题，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。

(4) 低压熔断器的安装使用安全注意事项

1) 熔断器及熔体的容量应符合设计要求。

2) 安装熔断器除保证足够的电气距离外，还应保证足够的间距，以保证拆卸，更换熔体方便。

3) 安装熔体必须保证接触可靠，否则将造成接触电阻过大而发热或断相，引起负载缺相运行烧毁电动机。

4) 安装熔体时不能有机机械损伤，否则使截面积变小，电阻增大，发热增加，保护特性变坏，动作不准确。且注意新熔体的规格尺寸，形状与原熔体相同。

5) 有熔体指示的熔芯，其指示器方向应安装在便于观察侧。

7) 瓷插式熔断器应垂直安装，熔体不允许用多根较小熔体代替一根较大的熔体，否则会影响熔体的熔断时间。瓷质熔断器底座安装在金属板上时应垫软绝缘衬垫。

8) 螺旋式熔断器是进线应接在底座的中心端上，出线应接在螺纹壳上，以防调换熔体时发生触电事故。

9) 拆换熔断器通常应不带电进行切换，有些熔断器允许带电情况下更换，但也要注意切断负载，以免发生危险。

10) 快速熔断器的熔体不能用普通熔断器的熔体代替。

11) 对 RM10 系列熔断器, 在切断过三次相当于分断能力的电流后, 必须更换熔管, 以保证能可靠地切断所规定分断能力的电流。

1.4 接触器

接触器是电力系统和自动控制系统中应用非常广泛的一种自动切换电器, 用作正常条件下频繁地接通或断开交直流主电路及大容量控制电路, 主要用于控制电动机、无感或微感电力负载 (如电阻炉、白炽灯等) 以及电力设备 (如电容器柜、电力变压器等)。它还具有欠电压、零电压释放保护功能, 并且可以实现远距离控制, 同时还具有控制容量大、工作可靠、操作频率高、使用寿命长、体积小及重量轻等优点, 因此在电力拖动系统中得到了广泛的应用。

1.4.1 接触器的类型

接触器按触点系统的驱动机构, 分为电磁接触器、气体接触器、液压接触器以及用晶闸管组成的无触点接触器。每种又可以细化分成多类, 如交、直流接触器; 单极、双极、三极和多极接触器; 有灭弧室、无灭弧室接触器; 常开式、常闭式及混合式接触器; 真空式、空气式接触器等。

其中交流接触器应用最为广泛, 直流接触器则应用范围较小。交流接触器通常有 3 对主触点, 直流接触器有 2 对主触点。接触器的动、静触点一般置于灭弧罩内。常用的交流接触器型号有 CJ20、CJ40 等系列, 引进的产品采用积木式结构, 可以根据需要加装辅助触点、空气延时触点、热继电器及机械联锁附件。接触器的安装方式有螺钉固定和快速卡装式 (卡装在标准导轨上) 两种。

1.4.2 交流电磁接触器的结构、原理及技术参数

1. 交流电磁接触器的结构

交流电磁接触器有电磁机构、触点系统、灭弧装置和其他部件构成, 其外形结构如图 1-16a 所示, 其图形符号见图 1-16b, 其文字符号为 KM。

(1) 电磁机构

电磁机构由电磁线圈 5、动铁心 (衔铁) 9 和静铁心 7 组成, 其作用是将电磁能转换成机械能, 产生电磁吸力带动触点动作。

(2) 触点系统

包括主触点 3 和辅助触点 10、11。主触点用于接通或断开主电路, 通常为三对常开触点。辅助触点用于控制电路, 起电气联锁作用, 故又称联锁触点, 一般有常开触点和常闭触点各两对。

(3) 灭弧装置

电流容量在 10A 以上的接触器在主触点处都设有灭弧装置, 对于小容量的接触器, 常采用双断口触点灭弧、电动力灭弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧, 对于大容量的接触器, 采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧。

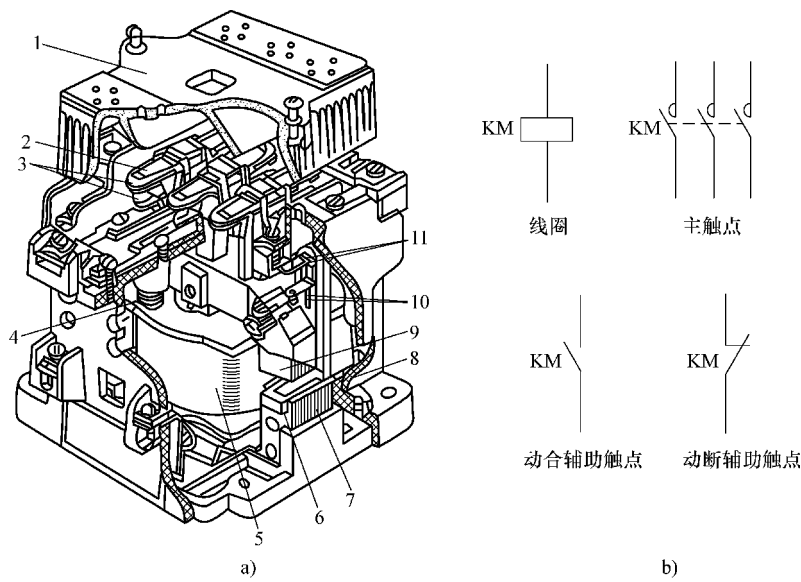


图 1-16 电磁接触器的结构、图形和文字符号

a) 电磁接触器的结构 b) 图形和文字符号

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

(4) 其他部件

包括反作用弹簧4、缓冲弹簧8、触点压力弹簧片2、传动机构及外壳等。

2. 交流电磁接触器的工作原理

交流电磁接触器的工作原理如图 1-17 所示：当接触器的电磁线圈 C 通电后，线圈中流

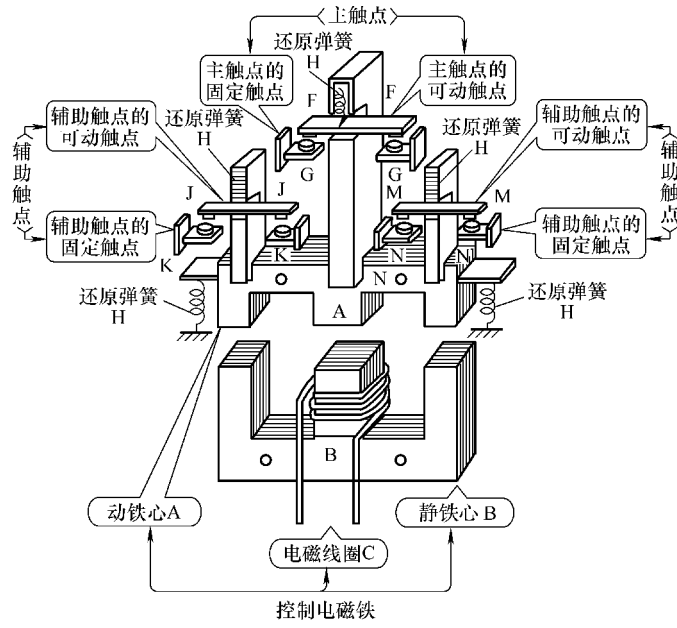


图 1-17 交流电磁接触器的工作示意图

过的电流产生磁场,使静铁心产生足够大的电磁吸力,克服反作用弹簧的反作用力,将衔铁A吸合。衔铁通过传动机构带动可动触点F、J、M闭合,实现互锁或接通线路;当接触器线圈断电时,由于电磁吸力消失,衔铁在反作用弹簧的作用下释放,各触点随之复位,断开线路或解除互锁。接触器的主触点用于通断主电路,其额定电流较大,可达几百安;辅助触点用于接通或断开控制电路,其额定电流为0~5A。

3. 主要技术参数

电磁接触器的主要参数有:主触点的额定电流、电压、数量,辅助触点的额定电流、电压、数量、类型,线圈的电源种类,使用寿命、操作频率、外形尺寸、安装方式等。

(1) 电磁接触器的额定电压

是指主触点的额定电压。交流电有220V、380V和500V,在特殊场合应用的额定电压可达1140V,直流电主要有110V、220V和440V。

(2) 电磁接触器的额定电流

是指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为10A~800A。

(3) 吸引线圈的额定电压

常用交流有36V、127V、220V和380V,直流有24V、48V、220V和440V。

(4) 机械寿命和电气寿命

因为电磁接触器是频繁操作电器,应有较高的机械和电气寿命,该指标是产品质量的重要指标之一。

(5) 额定操作频率

是指每小时允许的操作次数,一般为300次/h、600次/h和1200次/h。

(6) 动作值

是指接触器的吸合电压和释放电压。规定接触器的吸合电压大于线圈额定电压的85%时应可靠吸合,释放电压不高于线圈额定电压的70%。

1.4.3 交流接触器与直流接触器的差异

按照接触器的主触点控制的主回路电流是交流还是直流分为交流或直流接触器,与接触器线圈中电流的形式无关。交流接触器与直流接触器结构大体相同,都有电磁动作机构、触点系统和灭弧装置三大部分构成,其工作原理完全相同,控制方式完全相同,但具体结构和用途存在差异。

1) 电磁机构不同:交流接触器的电磁铁由E型铁心和线圈构成,因为铁心中通过交变磁通,铁心中有磁滞损耗和涡流损耗,所以会产生热量。因此,一方面铁心用硅钢片叠压而成,以减少铁心损耗。另一方面将线圈制成短粗形状,并用骨架将线圈与铁心隔离,以免铁心的热量传给线圈。另外,交流接触器的动铁心端面处装有短路环(也叫分磁环),其作用是消除铁心振动,降低噪声。

直流接触器电磁部分的采用转动式动铁心,铁心中磁通恒定,没有磁滞损耗和涡流损耗,工作中不产生热量,所以铁心用软铁做成,线圈绕成细长形状且与铁心接触较紧密,不用骨架,目的是将线圈的热量通过铁心散发出去。

2) 灭弧措施不同:交流接触器一般单独采用栅片灭弧,因为交流电有过零特性,故具

有自灭弧能力。而直流电弧没有自灭弧能力，所以直流接触器采用栅片和磁吹两种措施联合灭弧，触点采用耐电弧能力更强的材料制成，动触点和静触点的间距更大，触点面积更大。

3) 自身耗能不同：交流接触器的铁心会产生涡流和磁滞损耗，而直流接触器没有铁心损耗；交流接触器的线圈在刚接通的瞬间起动电流大，消耗功率大，而在触点吸合后所需的维持电流较小，消耗的功率也小，直流接触器线圈通直流电，电流数值能满足起动和维持吸合的双重需要。因此，直流接触器自身耗能大于交流接触器。

4) 选用方法不同：选用接触器的依据是电源电压和负载电流。选用交流接触器时在电压参数合适的前提下，接触器电流参数越大，电路工作越可靠，寿命越长。但选用直流接触器时，电流参数应等于或接近负载电流数值。

由于以上差异，交流接触器和直流接触器一般情况下是不能混用的，在特殊场合，交流接触器与直流接触器可以相互代用，但代用时需增设辅助电路。

1.4.4 交流接触器的选用与使用安全注意事项

1. 交流接触器的选用

1) 依据接触器所控制负载的使用类别、工作性质、负载轻重、电流类别选择接触器类别。

2) 依据被控对象的功率和操作情况，确定接触器的容量等级。

3) 根据对控制回路要求选择线圈的参数。根据使用地点周围环境选择相应的规格。由于被控对象千差万别，难以有简单统一的选择方法，通常要注意下列参数的确定。

① 接触器主触点额定工作电压。要求其大于或等于主电路额定电压。

② 接触器吸引线圈的额定电压及工作频率。要求两者必须与接入此线圈的控制电路的额定电压及频率相等。

③ 额定电流等级确定。按技术条件规定的使用类别使用时，接触器的额定电流应大于或等于负载的额定电流。还要注意的是接触器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，主触点的额定工作电流应大于或等于负载的电流。当实际使用条件不同时，这个电流值也将随之改变。按轻任务使用类别设计的接触器用于重任务时，应降低容量使用，如降一个等级使用。对反复短时工作的接触器，其额定电流应大于负载的等效热稳定电流，对于电动机负载，接触器主触点额定电流常按下列经验公式计算为

$$I_N = \frac{P_N \times 10^3}{KU_N} \quad (1-7)$$

式中，经验系数 $K=1 \sim 1.4$ ； I_N 为主触点额定电流（A）； P_N 为电动机的额定功率（W）； U_N 为电动机的额定电压（V）。

④ 吸引线圈的额定电压。其应与控制电路电压相一致，接触器在线圈额定电压 85% ~ 105% 时应能可靠地吸合。

⑤ 选择接触器型号时，要同时考虑负载、主电路、控制电路的要求来确定型号与触点数量。主触点和辅助触点的数量应能满足控制系统的需要。

2. 接触器的安装使用安全注意事项

1) 接触器安装前应先检查线圈的电压是否与电源的电压相符。然后检查各个触点接触

是否良好，有无卡阻现象。最后将铁心极面上的防锈油擦净，以免油垢黏滞造成断电不能释放的故障。

2) 在安装接触器时，其底面应与地面垂直，倾斜应小于 5° 。

3) 组装时勿使螺钉、垫圈等零件落入接触器内，以免造成机械卡阻和短路故障。

4) 接触器触点表面应经常保持清洁，不允许涂油，当触点表面因电弧作用而形成金属小珠时，应及时铲除，但银及银合金触点表面产生的氧化膜，由于接触电阻很小，不必锉修，否则将缩短触点的寿命。

5) 不允许将交流接触器接到直流电源上，否则会烧毁线圈。

6) 直流接触器在结构上无短路环，其灭弧装置在耐压性能等方面与交流接触器不同，要加以注意。

1.5 继电器

继电器是一种根据某种输入信号（电量或非电量）的变化，接通或断开控制电路，从而实现自动控制和保护电力拖动装置的电器。其输入量可以是电压、电流等电气量，也可以是温度、时间、速度、压力等非电气量。当输入量达到一定值时，输出量将发生跳跃式变化。通常应用于自动控制电路中，在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。

继电器的种类很多，按输入量可分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器、热继电器、速度继电器以及温度、压力、计数、光继电器等；按工作原理可分为电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、电子式继电器等；按用途可分为控制继电器、保护继电器等。

电磁式继电器的结构、工作原理与接触器相似，继电器在电路所起的作用是控制触点的断开或闭合，而触点又是控制电路通断的，从这一点来看继电器与接触器是相同的。但继电器与接触器又有区别，主要表现在两方面：一是输入信号不同。继电器的输入信号可以是各种物理量，如电压、电流、时间、速度、压力等，而接触器的输入量只能是电压。二是所控制的电路不同。继电器主要用于小电流电路，反映控制信号，其触点通常接在控制电路中，故无主触点和辅助触点之分，触点电流容量较小（一般在5A以下），且无灭弧装置，而接触器用于控制电动机等大功率、大电流电路及主电路。

1.5.1 中间继电器

1. 中间继电器的结构与工作原理

中间继电器实质上是一种电磁式电压继电器，在控制电路中起逻辑变换和状态记忆的功能，当其他继电器的触点数或触点容量不够时，可借助中间继电器来扩大它们的触点数或触点容量，从而起到中间转换的作用。中间继电器的电磁线圈属于电压线圈，但它触点数量较多（一般有4对动合触点，4对动开触点），触点容量较大（额定电流为5~10A），动作灵敏。

中间继电器由电磁机构和触点系统组成。其工作原理为：当线圈外加额定控制电压为 $(85\% \sim 110\%) U_N$ 时，电磁机构中的衔铁吸合，带动触点动作；线圈电压为 $(20\% \sim 75\%) U_N$ 时衔铁释放，触点复位。常用的中间继电器有JZ7、JZ14等系列，中间继电器的结构、图

形符号和文字符号如图 1-18 所示。

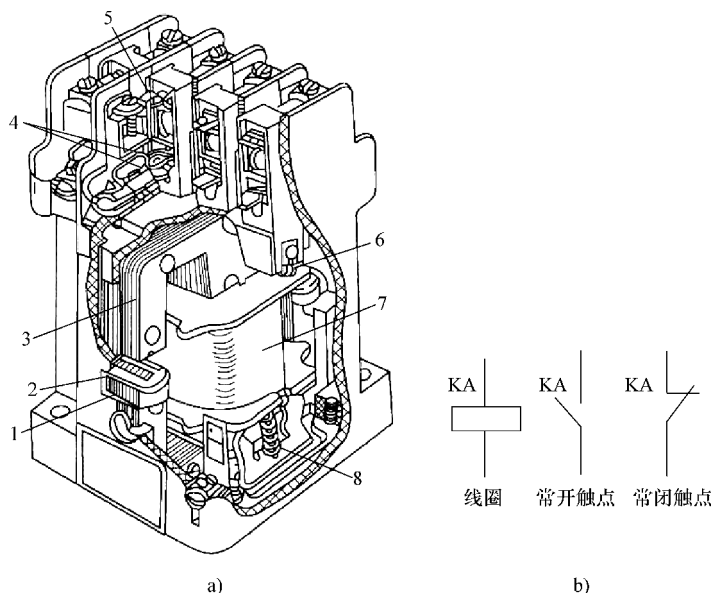


图 1-18 JZ7 型中间继电器的结构、图形和文字符号

a) 结构 b) 图形和文字符号

1—静铁心 2—短路环 3—动铁心 4—常开触点 5—常闭触点 6—复位弹簧 7—线圈 8—反作用弹簧

图 1-19 所示为常用中间继电器的外形结构。此图表明，中间继电器的工作原理虽然相同，但具体结构千差万别，形状各异，工作性能也有一定差别。因此，在选用中间继电器时，除了要充分考虑技术参数外，其外形结构及其对安装空间的影响，也必须适当关注。

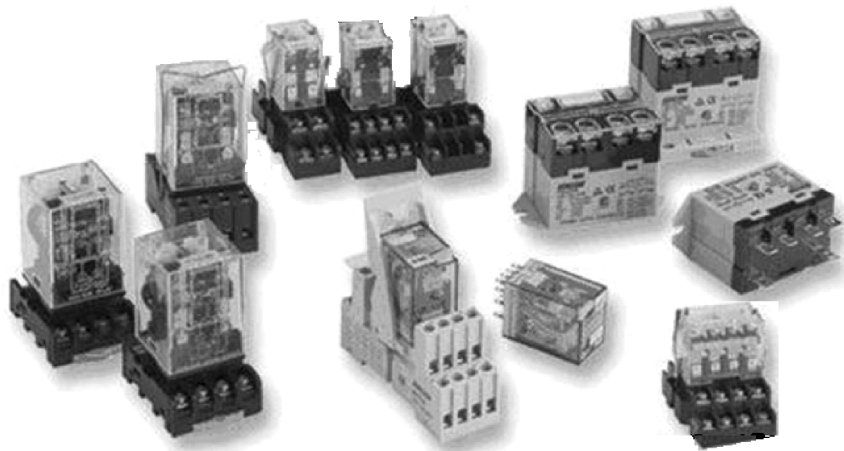


图 1-19 中间继电器的外形结构

2. 中间继电器的选用

根据中间继电器在控制电路中的作用，选用中间继电器时应遵循以下原则。

1) 触点的额定电压及额定电流应大于控制电路所使用的额定电压及控制电路的工作

电流。

- 2) 触点的种类和数量应满足控制电路的需要。
- 3) 电磁线圈的电压等级应与控制电路电源电压相同。
- 4) 使用过程中的操作频率不超过继电器许用操作频率。

一般情况下, 选用可根据中间继电器的触点数量、种类及吸引线圈的额定电压来确定型号。

1.5.2 电流、电压继电器

1. 电流继电器

根据线圈中电流大小而动作的继电器称为电流继电器。电磁式电流继电器的线圈与被测电路串联, 当电路中电流达到设定值时, 触点动作。为降低负载效应对被测测量电路参数的影响, 其线圈的匝数少, 导线粗、阻抗小。电流继电器除用于电流型保护的场合外, 还经常用于按电流原则控制的场合。

电流继电器按线圈电流的种类可分为交流电流继电器和直流电流继电器; 按动作电流的大小又可分为过电流继电器和欠电流继电器。过电流继电器是当被测电路发生短路及过电流(超过整定电流)时, 输出触点动作; 欠电流继电器是当被测电路电流过低时, 输出触点复位。

如图 1-20a 所示为电流继电器的结构图。其工作原理请读者自行分析。图 1-20b 所示为电流继电器的图形文字符号, 其中“ $I>$ ”为过电流线圈, “ $I<$ ”为欠电流线圈。

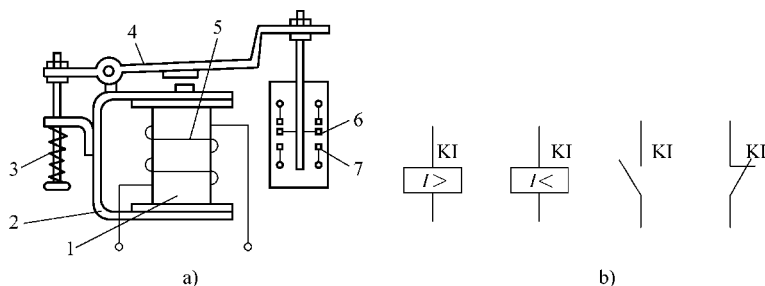


图 1-20 电流继电器

a) 结构 b) 图形和文字符号

1—铁心 2—磁轭 3—反作用弹簧 4—衔铁 5—电流线圈 6—动触点 7—静触点

过电流继电器, 工作时负载电流流过线圈, 当负载电流不超过整定值时, 衔铁不产生吸合动作。当负载电流高出整定电流时衔铁产生吸合动作。过电流继电器主要用于过电流和短路保护, 它比熔断器的结构复杂, 但过载保护性能优于熔断器, 而且事故后不必像熔断器那样更换元件, 可重复使用, 常用于电动机过载及短路保护中。一般选取线圈额定电流(整定电流)等于最大负载电流。过电流继电器整定范围为(110%~400%)额定电流, 其中交流过电流继电器为(110%~400%) I_N , 直流过电流继电器为(70%~300%) I_N 。常用的电流继电器的型号有 JL12、JL15 等。

欠电流继电器, 当线圈电流达到或大于动作电流值时, 衔铁吸合动作; 当线圈电流低于动作电流值时衔铁立即释放。正常工作时, 由于负载电流大于线圈动作电流, 衔铁处于吸合

状态。当电路的负载电流降至线圈释放电流值以下时，衔铁释放，所以欠电流继电器的动作电流为释放电流而不是吸合电流。欠电流继电器动作电流整定范围是：吸合电流为 $30\% \sim 50\% I_N$ ，释放电流为 $10\% \sim 20\% I_N$ 。欠电流继电器用于欠电流保护或控制，如直流电动机励磁绕组的弱磁保护、电磁吸盘中的欠电流保护、绕线式异步电动机起动时电阻的切换控制等。常用的电流继电器的型号有 JL14—Q 等。

选用电流继电器时，主要根据是主电路内的电流种类和额定电流。首先根据对负载的保护作用（是过电流还是欠电流）来选用电流继电器的类型，线圈电流的种类要与负载电路一致。其次电流继电器的动作电流整定范围满足保护电流的需要。最后，要根据控制电路的要求选择触点的类型（是常开还是常闭）和数量。

2. 电压继电器

电压继电器是根据输入电压大小而动作的继电器。它的结构与电流继电器类似，但其线圈为电压线圈，其匝数多、导线细、阻抗大。在使用时，电压继电器要并联在电路中。

电压继电器按电压性质分为交、直流电压继电器两种，按动作电压值的不同分为欠电压继电器和过电压继电器两种。如图 1-21 所示为电压继电器的图形文字符号，其中 $U >$ 为过电压线圈， $U <$ 为欠电压线圈。

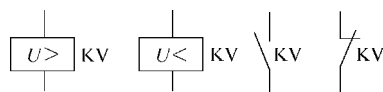


图 1-21 电压继电器的图形符号

对于过电压继电器，当线圈电压为额定值时，衔铁不产生吸合动作。当电路电压大于其线圈电压的整定值（ $110\% \sim 115\% U_N$ ）时，衔铁才产生吸合动作。主要用于对电路或设备作过电压保护。由于直流电路中一般不会出现波动较大的过电压现象，因此，在产品中没有直流过电压继电器。

对于欠电压和零电压继电器，当线圈电压达到线圈额定电压值（ $20\% \sim 50\%$ ） U_N 时，衔铁吸合动作，当线圈电压低于线圈额定电压某一值（对欠电压继电器为（ $40\% \sim 70\%$ ） U_N ，对零电压继电器为（ $5\% \sim 25\%$ ） U_N ）时衔铁立即释放。欠电压继电器有交流欠电压继电器和直流欠电压继电器之分，在电路中起欠电压保护作用。

选用电压继电器时，主要根据是被保护电路内的电压种类和电压等级。首先是根据在控制电路中的作用（是过电压还是欠电压）来选用电压继电器的类型，线圈电压的种类要与负载电路一致。再是电压继电器的动作电压范围满足保护电压的需要。最后，要根据控制电路的要求选择触点的类型（是常开还是常闭）和数量。

1.5.3 固体继电器

固体继电器（Solid State Relay, SSR），是 20 世纪 70 年代后期发展起来的一种新型无触点继电器，可以取代传统的继电器和小容量接触器。固体继电器与通常的电磁继电器不同：无触点、输入电路与输出电路之间光（电）隔离、由分立元件、半导体微电子电路芯片和电力电子器件组装而成，如图 1-22 所示。以阻燃型环氧树脂为原料，采用灌封技术将其封闭在外壳中、使与外界隔离，具有良好的耐压、防腐、防潮抗震动性能。固体继电器可以实现用微弱的控制信号（几毫安到几十毫安）控制 0.1 A 直至

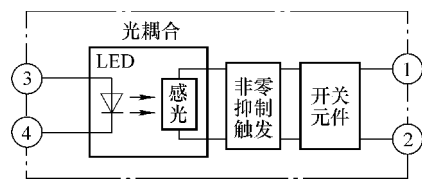


图 1-22 固态继电器的内部结构

几百 A 电流负载，进行无触点接通或分断。

由于固体继电器接通和断开负载时，不产生火花，又具有高稳定、高可靠、无触点、寿命长，与 TTL 和 CMOS 集成电路有着良好的兼容性等优点，广泛应用在电动机调速、正反转控制、调光、家用电器、烘箱加温控温、输变电电网的建设与改造、电力拖动、印染、塑料加工、煤矿、钢铁、化工和军用等方面。

固体继电器由输入电路、驱动电路和输出电路三部分组成。根据输出电流类型的不同，固体继电器分为交流和直流两种类型。交流固体继电器（AC-SSR）以双向晶闸管为输出开关器件，用来通、断交流负载；直流固体继电器（DC-SSR）以功率晶体管为开关器件，用来通、断直流负载。从外部接线来看，固体继电器是一种四端器件，两个输入端，两个输出端（AC-SSR 对应为双向晶闸管的阴阳两极，DC-SSR 对应为晶体管的集电极和发电极）。输入端接控制信号，输出端与负载、电源串联，SSR 实际是一个受控的电力电子开关，其等效电路如图 1-23a 所示。当输入端给定一个控制信号时，输出端导通；输入端无控制信号时，输出端关断截止。如图 1-23b 所示为图形符号。

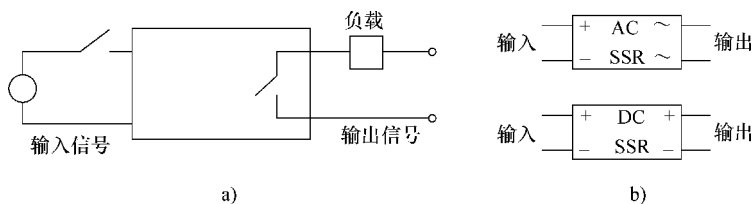


图 1-23 固体继电器的等效电路图和图形符号

a) 等效电路 b) 图形符号

交流固体继电器根据触发信号方式不同分为过零型触发（Z 型）和非过零型或随机型（P 型）触发两种，过零型和非过零型之间的区别主要在于负载交流电流导通的条件。过零触发型电源电压处在非过零区，其输出端负载无电流，只有当电源电压到达过零区时，输出端负载中才有电流流过；非过零触发型不管电源电压处在什么状态，输入端施加信号电压时，输出端负载立刻导通。非过零型触发在输入端控制信号撤销时输出端负载立即截止；过零触发型要等到电源电压到达过零区时，输出端负载才关断（复位）。即过零型触发具有电压过零时开启，负载电流过零时关断的特性。常用的交流 AC-SSR 有 GTJ6 系列，JGC-F 系列，JGX-F 和 JGX-3/F 系列等。

固体继电器输入电路采用光耦隔离器件，抗干扰能力强。输入信号电压 3V 以上，电流 100mA 以下，输出点的工作电流达到 10A，故控制能力强。当输出负载容量很大时，可用固体继电器驱动功率管，再去驱动负载。使用时还应注意固体继电器的负载能力随温度的升高而降低。其他使用注意事项请参阅固体继电器的产品使用说明。

1.5.4 时间继电器

时间继电器是一种按照时间原则工作的继电器，根据预定时间来接通或分断电路。时间继电器的延时类型有通电延时型和断电延时型两种形式；结构分为空气式、电动式、电磁式、电子式（晶体管、数字式）等类型。

常用 JS 系列时间继电器的外形如图 1-24 所示。



图 1-24 常用 JS 系列时间继电器

1. 空气式时间继电器

空气式时间继电器由电磁系统、触点系统（两个微动开关）、空气室和传动机构等部分组成。它是通过利用空气的阻尼作用来实现延时的（即利用空气通过小孔节流的原理来获得延时动作）。其中电磁系统包括线圈、衔铁、铁心、反力弹簧及弹簧片等；触点系统包括两对瞬时触点（一对瞬时闭合，另一对瞬时断开）和两对延时触点；空气室内有一块橡皮膜和活塞，随空气量的增减而移动，气室有调节螺钉可以调节延时的长短；传动机构包括推板、推杆、杠杆、及宝塔式弹簧等。常用空气式时间继电器 JS7-A 系列有通电延时和断电延时两种类型。图 1-25 所示为 JS7-A 型空气阻尼式时间继电器的工作原理图。

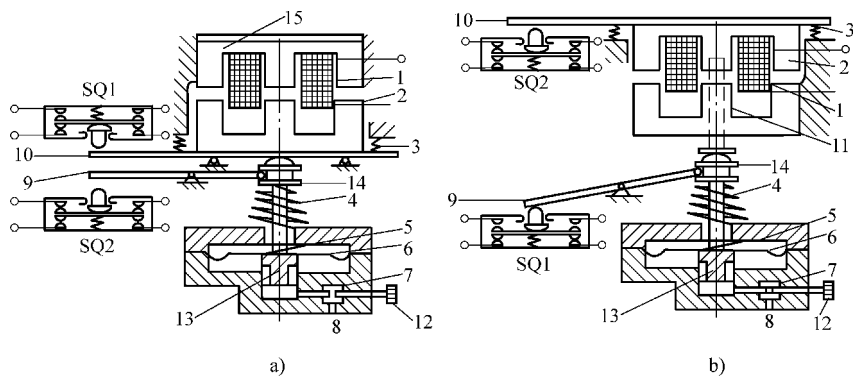


图 1-25 JS7-A 型空气阻尼式时间继电器工作原理图

a) 通电延时型 b) 断电延时型

1—线圈 2—衔铁 3—复位弹簧 4、5—弹簧 6—橡皮膜 7—节流孔 8—进气孔 9—杠杆
10—推板 11—推杆 12—调节螺钉 13—活塞 14—活塞杆 15—固定铁心

图 1-25a 所示为通电延时型时间继电器，其工作原理如下：

当线圈 1 通电时，衔铁 2 克服反力弹簧（复位弹簧）3 的阻力与固定铁心 15 立即吸合，活塞杆 14 在宝塔弹簧 4 的作用下向上移动，使与活塞 13 相连的橡皮膜 6 也向上运动，但受到进气孔 8 进气速度的限制，这时橡皮膜下面形成空气稀薄的空间，与橡皮膜上面的空气形成压力差，对活塞的移动产生了阻尼作用。空气由气孔进入气囊，经过一段时间，活塞才能完成全部行程而压动微动开关 SQ2，使常闭触点延时断开，常开触点延时闭合。延时时间的长短决定于节流孔 7 的节流程度，进气越快，延时越短，旋动调节螺钉 12 可调节进气孔的

大小,从而达到调节延时时间长短的目的。延时范围分为 $0.4 \sim 180\text{s}$ 和 $0.4 \sim 60\text{s}$ 两种规格。微动开关 SQ1 在衔铁吸合后,通过推板 10 立即动作,使常闭触点瞬时断开,常开触点瞬时闭合。

当线圈 1 断电时,衔铁 2 在弹簧 3 的作用下,通过活塞杆 14 将活塞 13 推向最下端,这时橡皮膜 6 下方气室内的空气通过橡皮膜、弹簧 5 和活塞的局部迅速从橡皮膜上方气室缝中排掉,使得微动开关 SQ2 的常闭触点瞬时闭合,常开触点瞬时断开,而 SQ1 触点也立即复位。

空气式断电延时型时间继电器与空气式通电延时型时间继电器的原理与结构均相同,只是将其电磁机构翻转 180° 安装,即为断电延时型。

图 1-25b 所示为断电延时型时间继电器,其工作原理如下:当线圈 1 通电时,衔铁 2 被吸合,带动推板 10 压合微动开关 SQ2,使常闭触点瞬时断开,常开触点瞬时闭合。与此同时,衔铁 2 压动推杆 11,使活塞杆 14 克服弹簧 4 的阻力向下移动,通过杠杆 9 使微动开关 SQ1 也瞬时动作,常闭触点断开,常开触点闭合,没有延时作用。

当线圈 1 断电时,衔铁 2 在复位弹簧 3 的作用下瞬时释放,通过推板 10 使 SQ2 触点瞬时复位。与此同时活塞杆在塔式弹簧 4 及气室各部分元件作用下延时复位,使 SQ1 各触点延时动作。

时间继电器的电气图形符号及文字符号如图 1-26 所示。

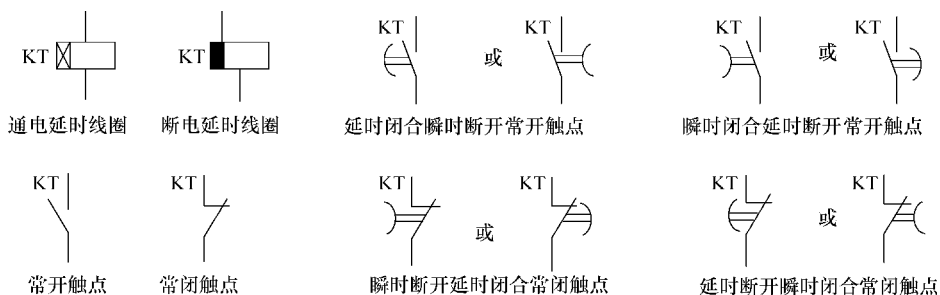


图 1-26 时间继电器的电气图形符号及文字符号

2. 电动式时间继电器

电动式时间继电器由同步电动机、齿轮减速机构、电磁离合系统及执行机构组成,电动式时间继电器延时时间长,可达数十小时,延时精度高,但结构复杂,体积较大,常用产品有 JS10、JS11 系列和 7PR 系列。

3. 电子式时间继电器

电子式时间继电器有晶体管式(阻容式)和数字式(又称计数式)等两种不同的类型。晶体管式时间继电器是基于电容充、放电工作原理延时工作的。数字式时间继电器由脉冲发生器、计数器、数字显示器、放大器及执行机构组成,具有定时精度高、延时时间长、调节方便等优点,通常还带有数码输入、数字显示等功能,应用范围广,可取代阻容式、空气式、电动式等时间继电器。常用的晶体管式时间继电器有 JSJ、JS14、JS20、JSF、JSCF、JSMJ、JJSB、ST3P 等系列。常用的数字式时间继电器有 JSS14、JSS20、JSS26、JSS48、JS11S、JS14S 等系列。

4. 时间继电器的选用

时间继电器的选用主要是延时方式和参数配合问题,选用时要考虑以下几个方面:

1) 延时方式的选择:时间继电器有通电延时或断电延时两种,应根据控制电路的要求来选用。动作后复位时间要比固有动作时间长,以免产生误动作,甚至不延时,这在反复延时电路和操作频繁的场所,尤其重要。

2) 类型选择:对延时精度要求不高的场合,一般采用价格较低的电磁式或空气阻尼式时间继电器;反之,对延时精度要求较高的场合,可采用电子式时间继电器。

3) 线圈电压选择:根据控制电路电压来选择时间继电器吸引线圈的电压。

4) 电源参数变化的选择:在电源电压波动大的场合,采用空气阻尼式或电动式时间继电器比采用晶体管式好,而在电源频率波动大的场合,不宜采用电动式时间继电器,在温度变化较大处,则不宜采用空气阻尼式时间继电器。

5. 时间继电器调整和使用注意事项

1) JS7-A 系列时间继电器通电延时和断电延时可在规定时间范围内自行调整,但由于此时时间继电器无刻度,要准确调整延时时间就比较困难。平时应经常清除灰尘和油污,以免增大延时的误差。

2) JS11 系列时间继电器通电延时范围调节后,如需精确延时,应首先接通同步电动机电源,以减少电动机起动引起的误差。对通电延时时间继电器,调节整定延时时间必须在断开离合电磁铁线圈电源后才能进行;对断电延时时间继电器,调节整定延时时间必须在接通离合电磁铁线圈电源后才能进行。

3) JS20 系列晶体管时间继电器在使用前必须核对额定工作电压与将接入的电源电压是否相符,直流型的不要将电源的正负极性接错;接线时必须按接线端子图正确接线,触点电流不允许超过额定电流;继电器与底座间有扣攀锁紧,在拔出继电器本体要先扳开扣攀,然后缓慢地拔出继电器。

1.5.5 热继电器

热继电器用来对连续运行的电动机进行过载保护的一种电器,以防止电动机过热而烧毁。大部分热继电器除了具有过载保护功能以外,还具有断相保护、温度补偿、自动与手动复位等功能。从结构原理上看,热继电器有双金属片式和电子式两类。

1. 热继电器的结构及工作原理

双金属片式热继电器的结构原理如图 1-27 所示,热继电器主要由双金属片、加热元件、动作机构、触点系统、整定装置及手动复位装置等组成。工作时,其常闭触点串在控制电路,热元件接在电动机的主回路。双金属片作为温度检测元件,由两种膨胀系数不同的金属片压焊而成,当加热元件 A、B、C 加热后,两层金属片因伸长率(膨胀系数)不同而弯曲。加热元件串接在电动机定子绕组中,在电动机正常运行时电流较小,热元件产生的热量不会使双金属片产生较

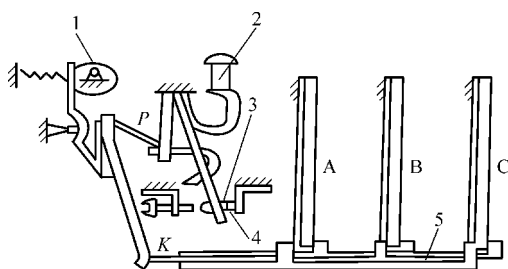


图 1-27 热继电器结构原理图

1—凸轮 2—复位按钮 3—动触点
4—常闭静触点 5—外导板

大的弯曲,故热继电器正常工作时不动作;当电动机过载时,流过热元件的电流加大,经过一定的时间,热元件产生的热量使双金属片的弯曲程度超过一定值时,就通过导板推动热继电器的触点动作(常开触点闭合、常闭触点断开)。通常用其串接在接触器线圈电路的常闭触点来切断接触器线圈电流,使电动机主电路断开。从而实现过载保护功能。热继电器动作后一般不能立即复位,需待电流正常后,双金属片复原后再按复位按钮,才能使之回到正常状态。

热继电器电气图形符号分为热元件和触点两部分,触点有动合(常开)动断(常闭)两类,电气图形及文字符号如图1-28所示。

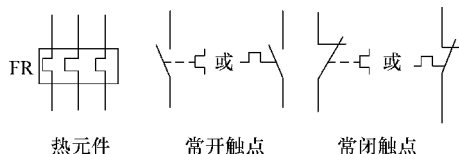


图1-28 热继电器电气图形符号

图1-29所示为几种常用热继电器的外形。此图表明,热继电器的工作原理虽然相同,但具体结构因附加功能不同而不同,使用性能也有一定差别。因此,在选用热继电器时,在满足性能要求的前提下,外形结构及其对安装空间的影响,也应当加以考虑。



图1-29 常用热继电器外形

2. 热继电器的保护方式

热继电器的保护方式有两相和三相保护两大类。两相保护的热继电器装有两个发热元件,分别串接到三相电路中的两相。当三相平衡较好时可用两相保护,否则采用三相保护继电器,以保证反映任何一相过载。

热继电器不能作为短路保护,因为金属片弯曲要一个时间过程,其动作时间特性不能满足分断故障电流的速度要求。

3. 热继电器主要技术参数

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。热元件的额定电流是指热元件的最大整定电流值,热继电器的额定电流是指热继电器可以安装热元件的最大额定电流值。热继电器(热元件)的整定电流是指热元件能够长期通过而不致引起热继电器动作的最大电流值。通常热继电器的整定电流是按电动机的额定电流整定的。对于某一热元件的热继电器,可以手动调节整定电流旋钮,带动偏心轮机构,调整双金属片与导板的距离,能在一定范围内调节其电流的整定值,起到可靠保护电动机的作用。

用于电动机热保护继电器的常用的系列有JR16、JR20、JR28、JR36系列热继电器,NRE6、NRE8系列电子式过载继电器。引进生产的法国TE公司LR-D系列,德国西门子公

司的 3UA 系列,德国 ABB 公司的 T 系列等热继电器。

4. 热继电器的选用

热继电器选用是否恰当,是它能否可靠地进行过载保护的关键。选用时主要考虑的因素有:额定电流或热元件整定电流,要求其均应大于被保护电路或设备的正常工作电流。作为电动机保护时,要考虑其型号、规格和特性、正常起动时的起动时间和起动电流、负载的性质等。在接线上,星形联结的电动机应选普通两相或三相保护继电器,三角形联结的电动机要选带断相保护的热继电器。在额定电流配合上,热元件的额定电流要大于电动机的额定电流;热继电器的额定电流要大于或等于电动机的额定电流,一般整定为相等,如电动机冲击性大或起动时间较长,则整定值要适当高些。用于异步电动机保护的热继电器在同一电压等级,可有多种不同的动作电流整定值。总之,选用热继电器时要注意下列几点:

1) 根据电动机额定电压和额定电流计算出热元件的电流范围,然后选型号及电流等级。

2) 根据热继电器与电动机的安装条件不同,环境不同,对热元件电流要做适当调整。如高温场合热元件的电流应放大 1.05 ~ 1.20 倍。一般情况下,热元件的整定电流为电动机额定电流的 0.95 ~ 1.05 倍。如果电动机过载能力较差,热元件的整定电流可取电动机额定电流的 0.6 ~ 0.8 倍。另外,整定电流应留有一定的上下限调整范围。

3) 设计成套电气装置时,热继电器尽量远离发热电器。

4) 通过热继电器的电流与整定电流之比称之为整定电流倍数。其值越大发热越快,动作时间越短。

5) 对于点动(断续控制)、重载起动、频繁正反转及带反接制动等运行的电动机,一般不用热继电器作过载保护。

5. 热继电器安装使用注意事项

1) 热继电器只能作为电动机的过负载保护,不能作为短路保护使用。因为发生短路时,表明电路已出事故,必须立即切断电源,把故障压缩到最小范围,用热继电器作保护元件就不能达到这个要求。

2) 在安装热继电器时,应清除触点表面尘污,以免因接触电阻太大或电路不通影响热继电器的动作性能。

3) 热继电器必须按照产品说明书中规定的方法安装。当它与其他电器装在一起时,应注意将它装在其他电器的下方,以免其动作特性受到其他电器发热的影响。

1.5.6 速度继电器

速度继电器分为电磁式和电子式速度继电器。电磁式速度继电器是根据电磁感应原理制成的,是一种检测旋转体的转速和转向的继电器,当转速达到规定值后继电器动作,广泛用于生产机械运动部件的速度控制和反接控制快速停车,例如用于三相笼型电动机的反接制动电路中。此处仅介绍电磁式速度继电器的工作原理。在机床控制中,常用的速度继电器有 JY1 和 JFZO 系列两种。

1) 电磁式速度继电器的结构和工作原理

电磁式速度继电器的主要由转子、定子及触点三部分组成,具体外形结构和内部结构如图 1-30 所示。电磁式速度继电器的转子是一个圆柱永久磁铁,使用时一般连接于转动轴或

电动机轴上,与转动轴或电动机轴同步旋转。定子是一个笼型空心圆环,由硅钢片叠成,并装有笼型绕组。定子空套在转子上,能独自偏摆。当转轴或电动机转动时,速度继电器的转子随之转动,这样就在速度继电器的转子和定子圆环之间的气隙中产生旋转磁场、感应电势并产生感应电流,此电流与旋转的转子磁场作用产生转矩,使定子偏转,其偏转角度与转轴或电动机的转速成正比。当偏转到一定角度时,与定子连接的摆锤推动动触点,使动断触点断开,电动机转速进一步升高后,摆锤继续偏摆,使动触点与静触点的动合触点闭合。当转轴转速下降到 100r/min 左右或停止时,由于笼型绕组的电磁力不足,摆锤偏转角度随之下落,动触点在簧片作用下复位(动合触点断开、动断触点闭合)。当转轴的旋转方向改变时,继电器的转子与定子的转向也改变,这时定子就可以触动另外一组触点,使之断开与闭合。

电磁式速度继电器的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 $1000 \sim 3600\text{r/min}$ 。

速度继电器主要根据转轴或电动机的额定转速来选择。安装接线时,要注意正反向的触点不能接错,否则就不能起到应有的作用。使用电磁式速度继电器作反接制动时,应将永久磁铁装在被控制电动机的同一根轴上,而将其触点串联在控制电路中,与接触器、中间继电器配合,以实现反接制动。

2) 电磁式速度继电器的图形符号及文字符号

速度继电器的转轴连接示意和触点的电气图形符号及文字符号如图 1-31 所示,速度继电器有正转和反转两组切换触点,电气符号中“ n ”可以用“ $n >$ ”表示正转,“ $n <$ ”表示反转。

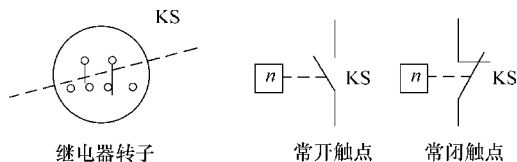


图 1-31 速度继电器的电气图形符号及文字符号

1.5.7 漏电保护器

漏电保护器又叫漏电保安器、剩余电流断路器,是一种行之有效的防止人身触电的保护

装置。它是一种在规定条件下,当漏电电流达到或超过给定值时,能够自动断开的组合电器。其型号很多,常见的有单相、三相等漏电保护开关,另外还有漏电插头、插座等产品,其外形如图 1-32 所示。

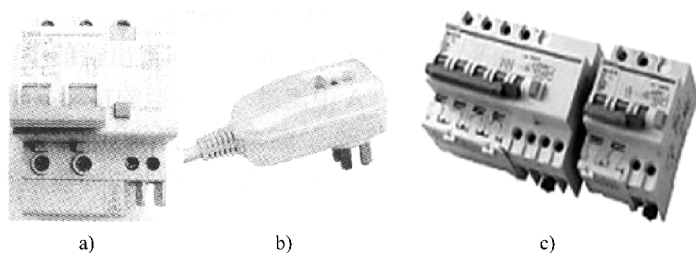


图 1-32 漏电保护器的外形

a) 单相漏电保护开关 b) 漏电保护插头 c) 三相漏电保护开关

1. 漏电保护器的结构和工作原理

漏电保护器有电压型和电流型之分,电压型漏电保护器已基本淘汰,现在常用的电流型漏电保护器。主要由主开关、零序电流互感器、漏电脱扣器、电子控制板等部件组成。

单相漏电保护器的工作原理如图 1-33 所示,当无漏电电流时,零序电流互感器 TA 的一次电流矢量和为零,TA 无感应电流输出,脱扣器不动作,正常向负载供电。当被保护电路漏电或人身触电时,通过零序电流互感器的一次线圈的矢量和不等于零,零序电流互感器的二次线圈产生感应电压,并通过电子放大器 A 进行放大,线圈 L 得电吸合,带动漏电保护器上的开关 QS 动作,切断电源,从而起到了防止人身触电的保护作用。漏电保护器对电气设备的漏电电流极为敏感。当人体接触了漏电的用电器时,产生的漏电电流只要达到 $10 \sim 30\text{mA}$,就能使漏电保护器在极短的时间(如 0.1s)内跳闸,切断电源。

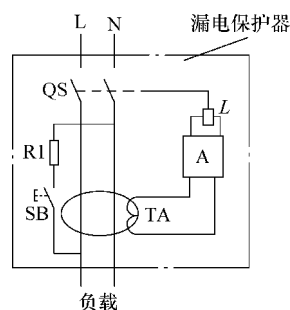


图 1-33 漏电保护器的工作原理

SB 为试验按钮,它和电阻 $R1$ 组成试验回路,试验回路的两端接在 TA 输入端和输出端的不同相的导线上,以便按下 SB 时,在 TA 中流过一个模拟的接地故障电流,检查漏电保护器是否正常。

如图 1-34 所示为三相漏电保护器工作原理。当正常工作时,不论三相负载是否平衡,通过零序电流互感器主电路的三相电流相量之和等于零,故其二次绕组中无感应电动势产生,漏电保护器工作在闭合状态。如果发生漏电或触电事故,三相电流之和便不再等于零,而等于某一电流值 I_s 。 I_s 会通过人体、

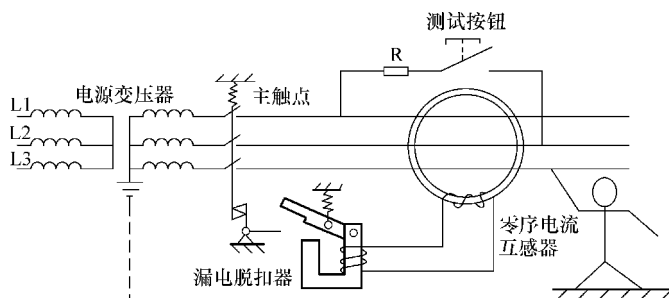


图 1-34 三相漏电断路器工作原理

大地、变压器中性点形成回路，这样零序电流互感器二次侧产生与 I_0 对应的感应电动势，加到脱扣器上，当 I_0 达到一定值时，脱扣器动作，推动主开关的锁扣，断开主电路。

2. 漏电保护器的选择

(1) 型式的选用

电压型漏电保护器已基本被淘汰，一般情况下，应优先选用电流型漏电保护器，可选择带有过载和短路双重保护功能的漏电保护器，以省去断路器、熔断器，减少元器件和费用。

(2) 极数的选用

单相 220V 电源供电的电气设备，应选用二极的漏电保护器；三相三线制 380V 电源供电的电气设备，应选用三相漏电保护器；三相四线制 380V 电源、供电的电气设备，或者单相设备与三相设备共用电路，应选用三相四线式、四相四线式漏电保护器。

(3) 参数的选择

漏电保护器的额定电流值不应小于实际负载电流。为保证漏电保护的灵敏度，最好采用分两级保护。上一级采用中、低灵敏度的，下一级选用高灵敏度的。

作为安全防火，漏电动作电流可选用 50 ~ 100mA 的漏电保护器。作为人身安全保护用，应选用漏电动作电流不大于 30mA 的漏电保护器。

(4) 可靠性的选用

为了使漏电保护器真正起到漏电保护作用，其动作必须正确可靠，即应具有合适的灵敏度和动作的快速性。灵敏度（即漏电保护器的额定漏电动作电流），是指人体触电后促使漏电保护器动作的流过人体电流的数值。灵敏度低，流过人体的电流太大，起不到漏电保护作用；灵敏度过高，又会造成漏电保护因线路或电气设备在正常微小的漏电下而误动作，使电源切断。家庭装于配电板（箱）上的漏电保护器，其灵敏度宜在 15 ~ 30mA 左右；装于某一支路或仅针对某一设备或家用电器（如空调器、电风扇等）用的漏电保护器，其灵敏度可选 5 ~ 10mA。

快速性是指通过漏电保护器的电流达到起动电流时，能否迅速地动作。合格的漏电保护器动作时间不应大于 0.1s，否则对人身安全仍有威胁。

1.6 低压主令电器

主令电器是用于自动控制系统中发出控制指令或信号的电器。由于它主要是发出操作指令，从而称之主令电器。其信号指令通过接触器、继电器或其他电器，使电路接通或分断来实现生产机械的自动控制。常用的主令电器有按钮、行程开关、万能转换开关、主令控制器、脚踏开关等。

1.6.1 按钮

按钮又称控制按钮，是发出控制指令或信号的电器开关，是一种手动且可以自动复位的主令电器。在控制电路中用作短间接通和断开小电流（5A 及以下）控制电路。

1. 按钮的外形结构与工作原理

按钮由按钮帽、复位弹簧、桥式动触头、静触点和外壳等组成，触点又分常开触点

(动断触点) 和常闭触点 (动合触点) 两种, 通常制成具有常开触点和常闭触点的复合式结构。其结构示意图及图形符号如图 1-35 示。

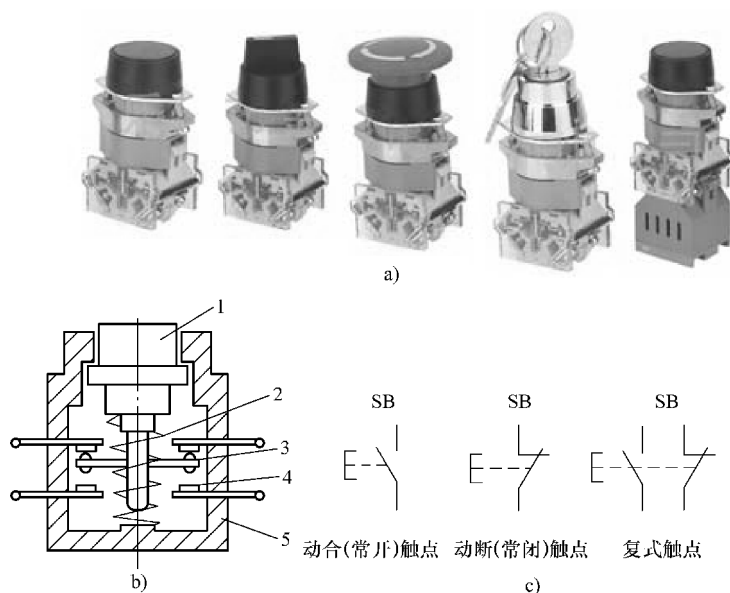


图 1-35 按钮外形结构和图形符号

a) 外形结构 b) 内部结构 c) 图形符号

1—按钮帽 2—复位弹簧 3—桥式动触头 4—静触点 5—外壳

按钮的工作原理如下: 按钮被按下时, 桥式动触点下移, 常闭静触点断开、常开静触点接通; 松开按钮在复位弹簧的作用下, 桥式动触点复位, 常开静触点断开、桥式动触点经过一定行程 (时间) 后, 常闭静触点闭合复位。

按钮的结构形式和操作方法有多种多样, 可以满足不同控制系统的要求, 适用于不同工作场合。按钮按触点结构和用途不同, 分为启动按钮 (常开按钮)、停止按钮 (常闭按钮) 和复合按钮。按功能分为自动复位和带锁定功能两种形式; 按操作方式有一般式、蘑菇头急停式、旋转式、钥匙式等; 按颜色有红、绿、黑、黄、蓝、白、灰等, 通常以红色表示停止, 绿色表示启动, 黑色表示点动。按钮并非人按才动作, 根据实际需要, 也有扳、旋、拨等动作方式。

我国自行设计的常用按钮有 LA2、LA4、LA10、LA18、LA19、LA20、LA25 等系列。引进国外技术生产的有 LAY3、LAY5、LAY8、LAY9 系列和 NP2、3、4、5、6 等系列。其中 LA2 系列按钮有一对常开和一对常闭触点, 具有结构简单、动作可靠、坚固耐用的优点。LA18 系列按钮采用积木式结构, 触点数量可按需要进行拼装。LA19 系列为按钮与信号灯的组合, 按钮兼作信号灯灯罩, 用透明塑料制成。

2. 按钮的主要参数和选用

按钮的主要参数有额定电压 (AC380V/DC220V)、额定电流 (5A)。

选用按钮时应遵循以下原则:

- 1) 根据使用场合, 选择控制按钮的种类, 如开启式、防水式、防腐式等。
- 2) 根据用途, 选用合适的结构形式和操作方法, 如钥匙式、紧急式、带灯式等。

- 3) 按控制回路的需要, 确定额定电压、额定电流、触点数量及种类等参数。
- 4) 按工作状态指示和工作情况的要求, 选择按钮及指示灯的颜色。

3. 安装注意事项

1) 按钮安装在面板上, 应布置整齐, 排列合理。如根据电动机起动的先后顺序, 从上到下或从左到右排列布置; 相邻按钮间距为 50 ~ 100mm; 倾斜安装时与水平面的倾角不宜小于 30°。

2) 同一机床部件的几种不同的工作状态 (如上、下; 前、后; 左、右等), 应使每一对相反状态的按钮安装在一起。以便操作方便, 不易误操作。

3) 为了应付紧急情况, 当面板上按钮较多时, 总停车按钮应安装在显眼而容易操作的地方, 并有鲜明的标记。

4) 按钮安装应牢固, 接线正确, 接线螺钉应拧紧, 减少接触电阻。按钮操作时应灵活, 可靠, 无卡阻。

5) 触点应保持清洁, 防止接线时触碰。

1.6.2 位置开关

用于机械运动部件位置检测的开关主要有行程开关、接近开关和光电开关等器件。在机床电路中应用最普遍的是行程开关。行程开关又称限位开关, 作用与按钮相同, 只是其触点的动作不是用手按动, 而是利用生产机械某些运动部件上的挡铁, 碰撞行程开关, 使其触点动作, 来分断或接通控制电路。其行程开关主要用于检测运动机械的位置, 控制运动部件的运动方向、行程长短以及限位保护。

行程开关按其结构可分为通用式、微动式、机械触头式和高精度式等; 行程开关按外壳防护形式分为开启式、防护式、及防尘式; 按动作速度分为瞬动和慢动 (蠕动); 按复位方式分为自动复位和非自动复位; 按接线方式分为螺钉式、焊接式及插入式; 按操作头的型式分为直杆式 (柱塞式)、直杆滚轮式 (滚轮柱塞式)、转臂式、万向式、叉式 (双轮式)、铰链杠杆式等; 常用的行程开关有 LX2、LX19、LXK1、LXK3 等系列和 LXW5、LXW11 等系列微动行程开关。

1. 行程开关的外形结构与工作原理

(1) 行程开关

行程开关的结构分为操作机构、触点系统和外壳三个部分, 其操作机构根据其感知物体位置的動作方式可分为滚珠摆杆型、可调式滚珠摆杆型、可调式摆杆型、密封柱塞型、密封滚珠柱塞型、盘簧型等各种类型和样式。滚珠摆杆型行程开关的内部结构如图 1-36a 所示。当运动机械的挡铁压到滚轮上时, 杠杆连同转轴一起转动, 并推动撞块。当撞块被压到一定位置时, 推动微动开关动作, 使常开触点分断, 常闭触点闭合。当运动机械的挡铁离开后, 复位弹簧使行程开关各部位部件恢复常态。通用行程开关的外形如图 1-36b 所示。

(2) 微动行程开关

微动行程开关是一种小型高精度限位开关, 常用在安装空间小, 定位精度要求高的场合。图 1-36c 是微动行程开关的外观图。

2. 行程开关的主要技术参数及符号

行程开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、触头接触时间、动作力、动作角度或

工作行程、触头数量、结构形式和操作频率等。

行程开关的图形符号见图 1-36d, 其文字符号为 SQ

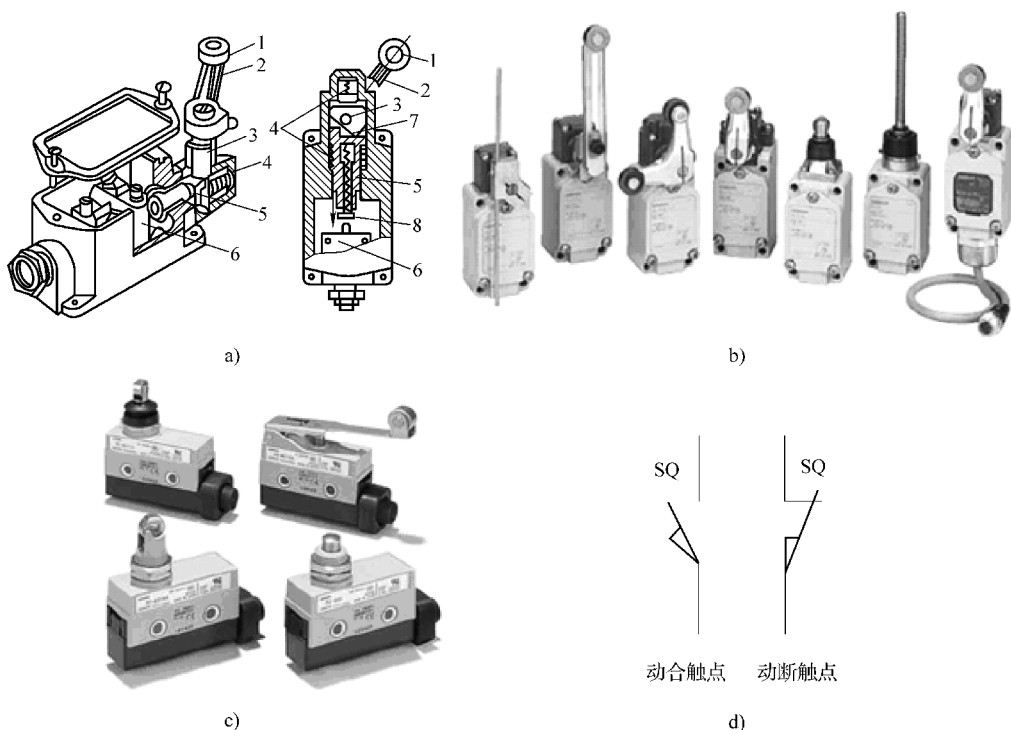


图 1-36 通用行程开关的结构

a) 通用行程开关内部结构 b) 通用行程开关外形结构 c) 微动行程开关的外形结构 d) 微动行程开关符号
1—滚轮 2—杠杆 3—转轴 4—复位弹簧 5—撞块 6—微动开关 7—凸轮 8—调节螺钉

3. 行程开关的选用

在选用行程开关时应根据动作要求及触点数量和安装位置来选用, 一般应遵循下述原则:

- 1) 根据控制对象和使用地点来确定是选用行程开关类型。
- 2) 根据使用安装条件来确定防护型式, 如开启式或保护式。
- 3) 根据控制回路的电压和电流选择系列。
- 4) 根据机械与行程开关的传送力与位移关系来选择合适的头部型式。

行程开关安装时应注意滚轮的方向不能装反, 与挡铁碰撞的位置应符合控制电路的要求, 并确保能可靠与挡铁碰撞。

1.6.3 接近开关

接近开关是代替行程开关等接触式检测方式, 以无接触方式检测物体的接近和被检测对象有无的传感器的总称, 它不但可完成行程控制和限位保护, 还可用于高频计数、测速、液位控制、零件尺寸检测、加工程序的自动衔接等。由于它具有非接触式检测触发、响应速度快、可在不同的检测距离内动作、输出信号稳定、工作可靠、寿命长、重复定位精度高以及能适应恶劣的工作环境等特点, 所以在机床、纺织、印刷和塑料等工业生产中应用广泛。

接近开关根据其输出配线方式有两线和三线之分; 根据其输出驱动电源的类型可分为交

流开关型、直流开关型、交直流两用型输出；根据其输出驱动方式可分为 PNP 输出、NPN 输出、继电器输出；根据其输出开关方式可分为常开输出、常闭输出、常开 + 常闭输出。根据其是否需要电源可分为有源型和无源型两种。

1. 常用接近开关

常用接近开关的外形如图 1-37a 所示，图形符号和文字符号如图 1-37b 所示。接近开关按检测对象不同分为通用型（主要检测黑色金属，如铁等）、所有金属型（在相同的检测距离内检测任何金属）、有色金属型（主要检测铝一类的有色金属）。按工作原理不同分为电感式接近开关、电容式接近开关、霍尔接近开关、光电式接近开关、热释电式接近开关、超声波式接近开关、其他型式的接近开关等。

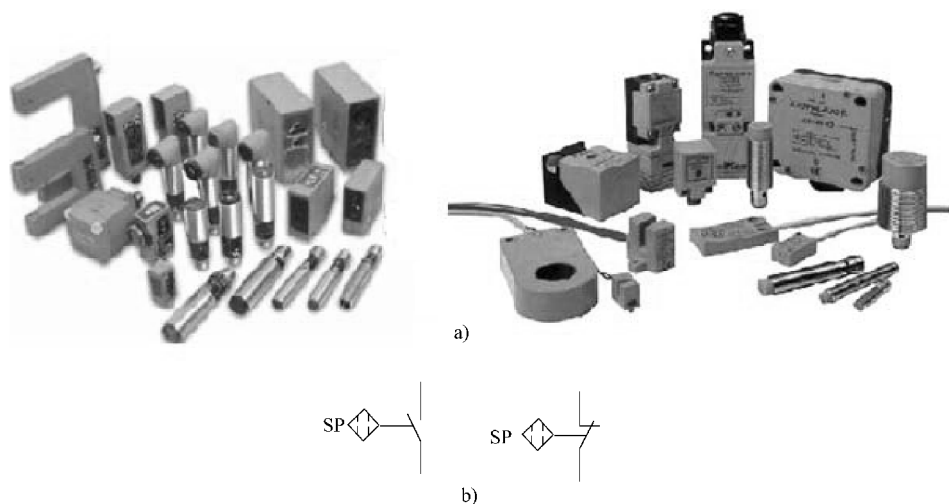


图 1-37 常用接近开关的外形、图形符号和文字符号

(1) 电感式接近开关

电感式接近开关由振荡器、开关电路及放大输出电路三大部分组成。振荡器产生一个交变磁场。当导电物体接近这一磁场并达到感应距离时，在导电物体内部产生涡流，从而导致振荡衰减以至停振。振荡器振荡及停振的变化被后级放大电路处理并转换成开关信号，触发输出驱动控制器件，从而达到非接触式检测之目的。

电感式接近开关可做成螺纹型、圆柱型、方型、扁平型、矮圆柱型、槽型、组合型、特殊型、贯穿型等，用户可根据实际需要选择相应的形状。这种接近开关价格便宜，能检测可导电的各类金属材料，因此在机械行业得到了广泛的应用。

(2) 电容式接近开关

电容式接近开关由两同轴金属电极板构成，电极板 A 和 B 连接在高频振荡器的反馈回路中，当被测物体接近传感器时，引起电极板 A、B 之间的耦合电容增加，电路开始振荡，振荡的振幅由数据分析电路测得，并形成开关信号。

这种接近开关不但可以检测金属导体，而且还可以检测不导电的非金属体，也可以检测绝缘的液体或粉状物体等。其产品形状与电感式接近开关相似。

(3) 霍尔接近开关

霍尔元件是一种磁敏元件，利用霍尔元件做成的开关，叫做霍尔开关。当磁性物件接近霍

尔开关时,检测面上的霍尔元件因产生霍尔效应而使开关内部电路状态发生变化,由此识别附近有磁性物体存在,进而控制开关的通或断。这种接近开关的检测对象必须是磁性物体。

与电感式接近开关相比,霍尔接近开关具有可穿过金属进行检测,能安装在金属中,可并排紧密安装等优点。缺点是检测距离受磁场强度及接近方向影响。霍尔传感器常适用于气动、液动、气缸和活塞泵的位置测定,也可作限位开关用。

(4) 光电式接近开关

光电式接近开关是利用光的各种性质,检测物体的有无或位置的变化并转换为开关电信号输出的传感器。光电式接近开关由发光的投光部分(大多使用可见光和红外光)和接受光线的受光部分构成。如果投射的光线因检测物体的接近或位置变化而被遮掩或反射,到达受光部分的量将会发生变化,受光部分将检测出这种变化,并转换为电气信号进行输出。

光电式接近开关按检测方式分为对射型、扩散反射型、回归反射型、距离设定型和限定反射型。

2. 接近开关的主要技术参数

接近开关的主要技术参数有类型、输出方式、输出状态、电源类型及电压、检测距离、动作频率、响应时间、重复精度等参数。

3. 接近开关的选用

1) 根据被测对象、应用场所、环境要求等选择接近开关的类型。在一般的工业生产场所,通常选用涡流式接近开关和电容式接近开关。因为这两种接近开关对环境的要求较低。当被测对象是导电物体或可以固定在一块金属物上的物体时,一般选用涡流式接近开关,因为它的响应频率高、抗干扰性能好、价格较低。若所测对象是非金属(或金属)、液位高度、粉状物高度、塑料、烟草等,则应选用电容式接近开关。这种开关的响应频率低,但稳定性好。安装时应考虑环境因素的影响。若被测物为导磁材料或者为了区别与它一起运动的物体而把磁钢埋在被测物体内时,应选用霍尔接近开关,它的价格最低。

在环境条件比较好、无粉尘污染的场合,可采用光电接近开关。因光电接近开关工作时对被测对象几乎无任何影响,在要求较高的传真机上和烟草机械上被广泛地使用。

在防盗系统中,自动门通常使用热释电接近开关、超声波接近开关、微波接近开关。有时为了提高识别的可靠性,往往组合使用上述几种接近开关。

2) 根据现场具体的控制要求确定工作频率、可靠性及精度、检测距离、安装尺寸、触点形式、触点数量及输出形式、电源类型、电压等级等参数,然后选择具体的型号。

1.6.4 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机构转动,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,作为电气控制电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。万能转换开关按用途分主令控制和控制电动机两种。

图 1-38 所示为 LW6 系列万能转换开关某一层的结构示意图,它主要由触点座、操作定位机构、凸轮、手柄等部分组成,其操作位置有 0~12 个,触点底座有 1~10 层,每层底座均可装三对触点。每层凸轮均可做成不同形状,当操作手柄带动凸轮转动到不同位置时,可

使各对触点按设置的规律接通和分断，因而这种开关可以组成数百种控制电路方案，以适应各种复杂要求，故被称为“万能”转换开关。常用的万能转换开关有 LW5、LW6、LW12 等系列。

万能转换开关的触点在电路中的图形符号如图 1-39a 所示。图形符号中“每行水平的两条实线表示一对触点，垂直的虚线表示操作手柄位置。各对触点在不同操作位置的通断状态是在该触点与相应虚线的相交位置的下方涂黑圆点表示接通，没有涂黑圆点表示断开。另一种是用触点通断状态接通表来表示，图 1-39b 中以“×”表示触点闭合，空白表示断开。万能转换开关的文字符号为 SA。

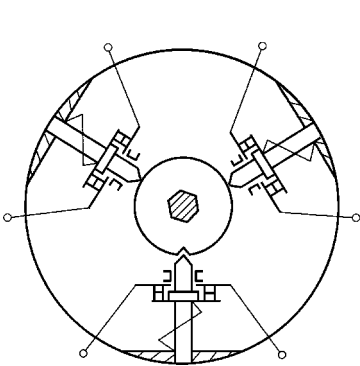


图 1-38 万能转换开关

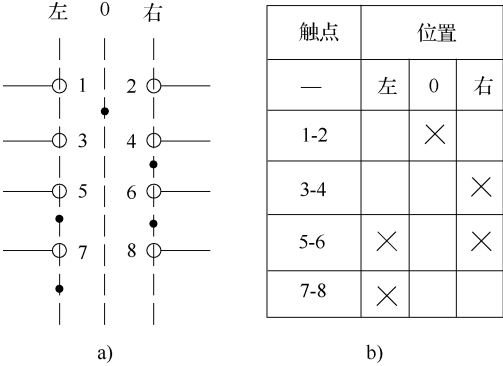


图 1-39 万能转换开关的图形符号和文字符号

a) 图形符号 b) 接通表表示

万能转换开关根据用途、接线方式、所需触点挡数和额定电流来选用。

安装时注意事项：

- 1) 万能转换开关的安装位置应与其他电气元件或机床的金属部分有一定的间隔，以免在通断过程中可能因电弧喷出发生对地短路故障。
- 2) 安装时一般应水平安装在屏板上，但也可倾斜或垂直安装。应尽量使手柄保持水平旋转位置。

习题与思考题

- 1-1 刀开关在安装时，为什么不得倒装？如果将电源线接在刀开关下端，有什么问题？
- 1-2 哪些低压电器可以保护线路的短路？
- 1-3 交流接触器和直流接触器能否掉换使用？为什么？
- 1-4 两个线圈为 AC110V 的交流接触器同时动作时，能否将两个接触器的线圈串联到 AC220V 的控制回路中？
- 1-5 热继电器在电路中起什么作用？其工作原理是什么？热继电器触点动作后，能否自动复位？
- 1-6 空气阻尼式时间继电器的延时原理是什么？如何调节延时的长短？
- 1-7 比较熔断器与热继电器作用的不同？两者可以相互替代吗？
- 1-8 低压断路器在电路中可以起到哪些保护作用？
- 1-9 一台长期工作的三相交流异步电动机的额定功率为 13kW，额定电压为 380V，额定电流为 25.5A，试按电动机需要选择接触器和热继电器的型号、规格。
- 1-10 两台电动机不同时起动，一台电动机额定电流为 14.8A，另一台电动机额定电流为 6.47A，试选择用作短路保护时熔断器的额定电流及熔体的额定电流。

第2章 基本电气控制电路

继电-接触器电气控制电路由继电器、接触器、按钮、行程开关、保护元件等器件，用导线按一定的次序和组合方式连接组成，可实现对电动机的起动、调速、反转和制动等运转性能的控制，以及对电力拖动系统的保护，满足生产工艺要求实现生产加工自动化。各种生产机械的加工对象和工艺过程要求不同，控制电路就不同。但无论是简单的还是复杂的控制电路，都是由一些基本控制电路按照需要组合而成的，熟悉这些基本控制电路是分析和设计电气控制系统的基础。因此，掌握这些基本控制电路的控制原理及其特点，具有重要的实际意义和应用价值。本章讨论电气控制系统中常见的基本控制电路。

2.1 概述

电气控制电路可按不同方法进行分类。如按电路的工作原理分为基本控制电路和典型设备控制电路；按控制功能分为主电路和辅助电路；按控制规律分为联锁控制电路和变化参量控制电路等。此外，尚可按照逻辑关系、组成结构等方法进行分类。

2.1.1 按控制功能分类

电气控制电路是用导线将电动机、电器、仪表等电气元件连接起来，并实现电动机的某种控制要求的电气系统。不同的生产机械，对电动机的起动、正反转、制动、保护、自锁及互锁等方面有不同要求。为了实现这些要求，用各种电器组成的电气控制系统各个部分的功能就不同，为了方便地分析电气控制系统的组成特点和工作原理，一般可按控制功能将其分为主电路和辅助电路两个部分。

1. 主电路

主电路是从电源向用电设备供电的路径，一般由组合开关、主熔断器、接触器的主触点、热继电器的热元件以及电动机等组成，结构比较简单，电气元件数量较少。但主电路通过的电流较大。

2. 辅助电路

控制电路一般包括控制电路、信号电路、照明电路及保护电路等。控制电路由继电器和接触器的线圈、继电器的触点、接触器的辅助触点、主令电器的触点、信号灯和照明灯等电气元件组成。控制电路比主电路要复杂些，电气元件较多，常由多个基本控制电路组成。辅助电路通过的电流都较小，一般不超过 5A。

2.1.2 按控制规律分类

按联锁控制的规律和按控制过程中变化参量进行控制的规律是组成电器控制电路的基本规律。据此电气控制电路也可按控制规律分为联锁控制电路和变化参量控制电路。

1. 联锁控制电路

凡是生产线上某些环节或一台设备的某些部件之间具有互相制约或互相配合的控制,均称为联锁控制。实现联锁控制的基本方法是采用反映某一运动的联锁触点控制另一运动的相应电气元件,从而达到联锁工作的要求。联锁控制的关键是正确选择联锁触点。一般而言,选择联锁触点遵循的原则为:要求甲接触器动作时,乙接触器不能动作,则需将甲接触器的常闭辅助触点串在乙接触器的线圈电路中;要求甲接触器动作后乙接触器方能动作,则需将甲接触器的常开辅助触点串在乙接触器的线圈电路中;要求乙接触器线圈先断电释放后方能使甲接触器线圈断电释放,则须将乙接触器常开辅助触点并在甲接触器的线圈电路中的停止按钮上。常见的联锁控制电路有起动停止控制电路、正反转控制电路、顺序控制电路等。

2. 变化参量控制电路

任何一个生产过程的进行,总伴随着一系列的参数变化,如机械位移、温度、流量、压力、电流、电压、转矩等。原则上说,只要能检测出这些物理量,便可用它来对生产过程进行自动控制。对电气控制来说,只要选定某些能反映生产过程中的参数变化的电气元件,例如各种继电器和行程开关等,由它们来控制接触器或其他执行元件,实现电路的转换或机械动作,就能对生产过程进行控制,此即按控制过程中变化参量进行控制。常见的有按时间变化、转速变化、电流变化、位置变化参量进行控制的电路,分别称为时间、速度、电流和行程原则的自动控制。这些控制电路一般要使用具有相应功能的电气元件才能实现,如按时间变化进行控制一般要使用时间继电器,按电流变化进行控制要使用电流继电器等。

2.2 电气控制电路基本知识

电气控制系统是由电气设备及电气元件按照一定要求连接而成的。为了表达生产机械电气控制系统的结构、工作原理等设计意图,同时也为了便于电气系统的安装、调整、使用和维修,必须用统一的工程图形来表达,这种工程图称为电气控制系统图。

电气控制系统图一般有三种:电气原理图(又称电路图)、电气元件布置图、电气安装接线图。电气控制系统图是根据国家标准,用规定的文字符号、图形符号及规定的画法绘制而成。在图上用不同的图形符号表示各种电气元件,用不同的文字符号表示电气元件的名称、序号和电气设备或线路的功能、状况和特征,还要标上表示导线的线号与接点编号等。

2.2.1 电气控制电路图绘制原则、图形和文字符号

在绘制电气原理图时,电气元件的图形符号和文字符号必须符合国家标准的规定,不能采用任何非标准符号。图形符号中的主要结构一般要用粗实线绘制,机械连接用虚线绘制,文字符号要用仿宋体。为了便于掌握引进的先进技术和先进设备,便于国际交流和满足国际市场的需要,国家标准局参照国际电工委员会(IEC)颁布的有关文件,制定了我国电气设备有关国家标准,包括JB/T 2626—2004《电力系统继电器、保护及自动化装置 常用电气技术的文字符号》、JB/T 6524—2004《电力系统继电器、保护及自动化装置 电气简图用图形符号》、GB/T 4728 系列标准《电气简图用图形符号》,电气控制电路中的图形和文字符号必须符合最新的国家标准。一些常用电气系统原理图所用的图形符号和一些常用电工设备文字符号见表2-1。

表 2-1 常用电气图形符号和文字

名 称		图 形 符 号	文 字 符 号	名 称		图 形 符 号	文 字 符 号
导线	导线的连接			断路器	不标注保护方式		
	导线不连接				标注过流、过载保护且自动释放		
电动机	三相笼型异步电动机		M	继电器、接触器动合触点的一般符号			KA (或 KM)
	三相绕线式异步电动机			继电器、接触器动断触点的一般符号			
	单相交流电动机			行程开关	动合触点		SQ
	直流电动机				动断触点		
单相变压器			T	继电器、接触器电磁线圈的一般符号			KA (或 KM)
熔断器			FU	通电延时线圈			KT
电源开关	单极开关		Q	断电延时线圈			
	三极开关			过电流继电器的线圈			KA
	手动三极开关		QS	按钮开关	动合触点		SB
时间继电器	延时闭合的动合触点		KT		动断触点		
	延时断开的动合触点		热继电器	热元件(三相)		FR	
	延时断开的动断触点			动断触点			
	延时闭合的动断触点		速度继电器	动合触点		BS	
	延时闭合与延时断开的			动断触点			
	延时闭合与延时断开的		欠压继电器的线圈			BV	
接触器	带灭弧装置的动合触点(三极)		KM	控制器或操作开关			SA
	带灭弧装置的动断触点			电磁吸盘			YH
				电磁铁(三相)			YA
				信号指示灯			HL
				照明灯			EL

2.2.2 电气控制电路图绘制方法

电气控制系统图中的电气原理图、电气元件布置图、电气安装接线图等,以不同的表达方式反映同一工程问题的不同侧面,其间又有一定的对应关系,一般情况下需要对照起来阅读。

1. 电气原理图

电气原理图习惯上称电路图,是电气控制系统图中最重要的工程图,国家标准规定,在绘制电气控制系统的电路图时,必须按其工作顺序排列,用图形和文字符号详细表示控制装置、电路的基本构成和连接关系,并不反映电气元件的实际尺寸和安装位置。绘制电气控制电路图,是为了便于阅读和分析电路,按照简明、清晰、易懂的原则,根据电气控制系统的工作原理进行绘制。图中包括所有电气元件的导电部分和接线端子,但并不反映电气元件的实际结构。电气控制系统的电路图一般分为主电路和辅助电路两个部分。主电路是电气控制电路中强电流通过的部分,是由电动机以及与其相连接的电气元件(如组合开关或断路器、接触器的主触点、热继电器的热元件、熔断器等)所组成的电路图。辅助电路包括控制电路、照明电路、信号电路及保护电路。辅助电路中通过的电流较小。控制电路是由按钮、接触器、继电器的电磁线圈和辅助触点以及热继电器的触点等组成。这种电路能够清楚地表明电路的功能,对于分析电路的工作原理十分方便。在实际的电气控制电路图中,主电路一般比较简单,电气元件数量较少;而辅助电路比主电路要复杂,电气元件也较多,有的辅助电路是很复杂的,由多个单元电路组成。每个单元电路中又有若干个小支路,每个小支路中有1个或几个电气元件。这样复杂的控制电路分析起来是比较困难的,要求有坚实的理论基础和丰富的实践经验。

在电气控制系统的电路图中,主电路图与辅助电路图是相辅相成的,其控制作用实际上是由辅助电路控制主电路。对于不太复杂的电气控制电路,主电路和辅助电路可绘制在同一张图上。

下面结合 CA6140 型卧式车床电气控制电路图(见图 2-1),说明电路图的绘制原则和特点。

1) 在电气控制系统的电路图中,主电路和辅助电路应分开绘制。电路图可水平或垂直布置。垂直布置时,电源线水平画,其他电路垂直画,控制电路中的耗能元件画在电路的最下端。水平布置时,电源线垂直画,其他电路水平画,控制电路中的耗能元件(如线圈、电磁铁、信号灯等)画在电路的最右端。

当电路垂直(或水平)布置时,电源电路一般画成水平(或垂直)线,三相交流电源相序 L1、L2、L3 由上到下(或由左到右)依次排列画出,中线 N 和保护地线 PE 画在相线之下(或之右)。直流电源则按正端在上(或在左)、负端在下(或在右)画出。电源开关要水平(或垂直)画出。

主电路,即每个受电的动力装置(如电动机)及保护电器(如熔断器、热继电器的热元件等)应垂直电源线画出。主电路可用单线表示,也可用多线表示。

控制电路和信号电路应垂直(或水平)画在两条或几条水平(或垂直)电源线之间。电器的线圈、信号灯等耗电元件直接与下方(或右方) PE 水平(或垂直)线连接,而控制触点连接在上方(或左方)水平(或垂直)电源线与耗电元件之间。

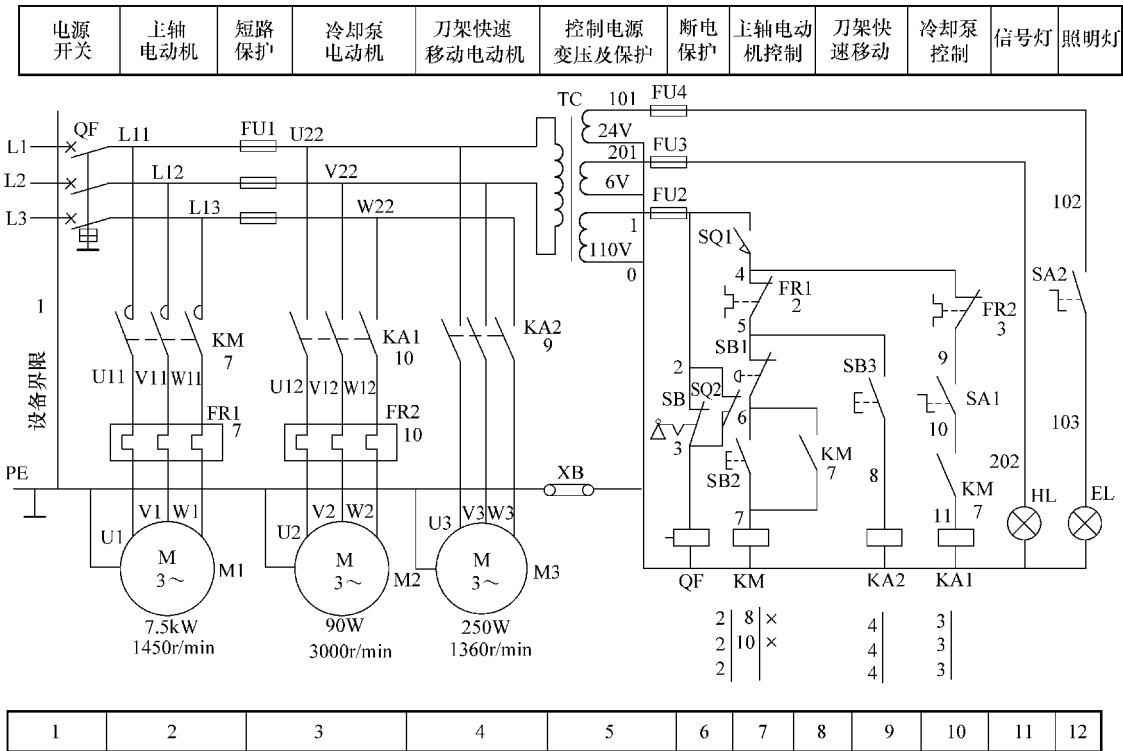


图 2-1 CA6140 型卧式车床电气控制电路图

无论主电路还是辅助电路，均应按功能布置，各电气元件一般应按生产设备动作的先后顺序从上到下或从左到右依次排列，可水平布置或垂直布置。看图时，要掌握控制电路编排上的特点，也要一列列或一行行地进行分析。

2) 电路图涉及大量的电气元件（如接触器、继电器开关、熔断器等），为了表达控制系统的设计意图，便于分析系统工作原理，在绘制电气控制电路图时所有电气元件不画出实际外形，而采用统一的图形符号和文字符号来表示。同一电气元件的不同部分（如线圈、触点）分散在图中，如接触器主触点画在主电路中，接触器线圈和辅助触点画在控制电路中，为了表示是同一电气元件，要在电器的不同部分使用同一文字符号来标明。对于几个同类电气元件，在表示名称的文字符号后面加上一个数字序号，以示区别。如图 2-1 中的接触器 KM 和中间继电器 KA1、KA2，热继电器 FR1、FR2，按钮 SB、SB1、SB2、SB3，熔断器 FU1、FU2、FU3、FU4 等。

3) 在电路图中，所有电器的可动部分均按原始状态画出，即对于继电器、接触器的触点，应按其线圈不通电时的状态画出；对于手动电器，应按其手柄处于零位时的状态画出；对于按钮、行程开关等主令电器，应按其未受外力作用时的状态画出。

具有循环运动的机械设备，应在电路图上绘出工作循环图。转换开关、行程开关等应绘出动作程序及触点工作状态表。由若干元件组成的具有特定功能的环节，可用虚线框括起来，并标注出环节的主要作用，如速度调节器、电流继电器等。

对于电路和电气元件完全相同并重复出现的环节，可以只绘出其中一个环节的完整电

路,其余相同环节可用虚线方框表示,并标明该环节的文字符号或环节的名称。该环节与其他环节之间的连线可在虚线方框外面给出。

对于外购的成套电气装置,如稳压电源、电子放大器、晶体管、时间继电器等,应将其详细电路与参数标在电路图上。

4) 应尽量减少线条数量和避免线条交叉。各导线之间有电联系时,应在导线交叉处画实心圆点。根据图面布置需要,可以将图形符号旋转绘制,一般按逆时针方向旋转 90° ,但其文字符号不可倒置。

根据电路图的简易或复杂程度,既可完整地画在一起,也可按功能分块绘制,但整个电路的连接端,应统一用字母或数字加以标志,这样可方便地查找和分析其相互关系。

5) 在电气控制系统的主电路中,线号由文字符号和数字标号构成。文字符号用来标明主回路中电气元件和电路的种类和特征,如三相电动机绕组用U、V、W表示。数字标号由二位数字构成,并遵循回路标号的一般原则。即三相交流电源的引入线采用L1、L2、L3来标记,1、2、3分别代表三相电源的相别,中性线用N表示。经电源开关后标号变为L11, L12, L13,由于电源开关两端属于不同的线段,因此加一个十位数“1”。电源开关之后的三相交流电源主电路分别按U、V、W顺序标志,分级三相交流电源主电路采用文字代号U、V、W的前面加阿拉伯数字1、2、3等标记,如1U、1V、1W及2U、2V、2W等。各电动机分支电路各接点标记采用三相文字代号后面加数字来表示,数字中的个位数字表示电动机代号,十位数字表示该支路各接点的代号,U21为电动机M1支路的第二个接点代号,依次类推。电动机定子3组首端分别用U、V、W标记,尾端分别用U'、V'、W'标记。双绕组的中点则用U''、V'', W''标记。

电动机动力电路应从电动机绕组开始自下而上标号。对图2-1所示三电动机控制电路,以电动机M1的电路为例,电动机定子绕组的标号为U1、V1、W1(或首端用U1、V1、W1表示,尾端用U1'、V1'、W1'表示),在热继电器FR1的上触点的另一组线段,标号为U11, V11, W11,再经接触器KM1的上触点,与三相电源线相连,并分别与L1、L2、L3同电位,因此不再用标号。电动机M2、M3回路的标号可依次类推。这个电路的各回路因共用一个电源,省去了标号中的百位数字。

若主电路是直流回路,则按数字标号的个位数的奇偶性来区分回路的极性。正电源侧用奇数,负电源侧用偶数。

辅助回路的标号采用阿拉伯数字编号,一般由三位或三位以下的数字组成。标注方法按“等电位”原则进行,在垂直绘制的电路中,标号顺序一般由上而下编号,凡是被线圈、绕组、触点或电阻、电容等元件所间隔的线段,都应标以不同的电路标号。无论是直流还是交流的辅助回路,标号的标注都有以下两种方法。

一种是先编好控制回路电源引线线号,“1”通常标在控制线的最上方,然后按照控制回路从上到下、从左到右的顺序,以自然序数递增,每经过一个触点,线号依次递增,电位相等的导线线号相同,接地线作为“0”号线。如图2-1所示。

另一种是以压降元件为界,其两侧的不同线段分别按标号的个位数的奇偶性来依序标号。有时回路中的不同线段较多,标号可连续递增到两位奇偶数,如“11、13、15”,“12、14、16”等。压降元件包括接触器线圈、继电器线圈、电阻、照明灯和电铃等。在垂直绘制的回路中,线号采用自上而下或自上至中、自下至中的方式编号,这里的“中”指压降

元件所在位置，线号一般标在连接线的右侧。在水平绘制的电路中，线号采用自左而右或自左至中、自右至中的方式，这里的“中”同样是指压降元件所在位置，线号一般标注于连接线的上方。

无论哪种标号方式，电路图与接线图上相应的线号应一致。

6) 在电路图中一般将图分成若干个图区，以便阅读查找。在电路图的下方（或右方）沿横坐标（或纵坐标）方向划分图区，并用数字 1, 2, 3, …（或字母 A, B, C, …）标明，同时在图的上方（或左方）沿横坐标（或纵坐标）方向划分图区，分别用文字标明该图区电路的功能和作用，使读者能清楚地知道某个电气元件或某部分电路的功能，以便于理解整个电路的工作原理。如图 2-1 所示，1 区对应的为“电源开关”QS。

电路图上的接触器、继电器的线圈与受其控制的触点的从属关系（即触点位置）应按下述方法标明：

在每个接触器线圈的文字符号 KM 的下面画两条竖直线（或水平线），分成左、中、右（或上、中、下）3 栏，把受其控制而动作的触点所处的图区号数字，按表 2-2 规定的内容填上。对备而未用的触点，在相应的栏中用记号“×”标出或不标出任何符号。接触器线圈符号下的数字标记见表 2-2。

表 2-2 接触器线圈符号下的数字标记

栏 目	左 栏	中 栏	右 栏
触点类型	主触点所处的图区号	辅助常开触点所处的图区号	辅助常闭触点所处的图区号
举例：KM 2 8 × 2 10 × 2	表示 3 对主触点均在图区 2	表示一对辅助常开触点在图区 8，另一对常开触点在图区 10	表示 2 对辅助常闭触点未用

在每个继电器线圈的文字符号 KT 下面画一条竖直线（或水平线），分成左、右（或上、下）2 栏，把受其控制而动作的触点所处的图区号数字，按表 2-3 规定的内容填上，同样，对备而未用的触头在相应的栏中用记号“×”标出或不标出任何符号。继电器线圈符号下的数字标记见表 2-3。

表 2-3 继电器线圈符号下的数字标记

栏 目	左 栏	右 栏
触点类型	常开触点所处的图区号	常闭触点所处的图区号
举例：KA 4 4 4	表示 3 对常开触点均在图区与	表示常闭触点未用

电路图中触点文字符号下面的数字表示该电器线圈所处的图区号。如图 2-1 所示在图区 4 标有 KA2，表示中间继电器 KA2 的线圈在图区 9。

7) 在电路图上一般还要标出各个电源电路的电压值、极性或频率及相数。对某些元器件还应标注其特性，如电阻、电容的数值等。不常用的电器，如位置传感器、手动开关等，还要标注其操作方式和功能等。在完整的电路图中，有时还要标明主要电气元件的型号、文

字符、有关技术参数和用途。例如电动机的用途、型号、额定功率、额定电压、额定电流、额定转速等。全部电气元件的型号、文字符号、用途、数量、安装技术数据，均应填写在元件明细表内。

2. 电气元件布置图

电气元件布置图主要是用来表明电气设备上所有电机、电器的实际安装位置，电器位置图的设计依据是电路图，是按电气元件的实际安装位置绘制的，根据电气元件布置最合理、连接导线最经济等原则来安排。为生产机械电气控制设备的制造、安装、维修提供必要的资料。以机床电器布置图为例，它主要由机床电气设备布置图、控制柜及控制板电气设备布置图、操纵台及悬挂操纵箱电气设备布置图等组成。电器布置图可按电气控制系统的复杂程度集中绘制或单独绘制。但在绘制这类图时，机床轮廓先用细实线或点划线表示，所有能见到的以及需要表示清楚的电气元件、设备，均用粗实线绘制出简单的外形轮廓，如图 2-2 和表 2-4 所示。

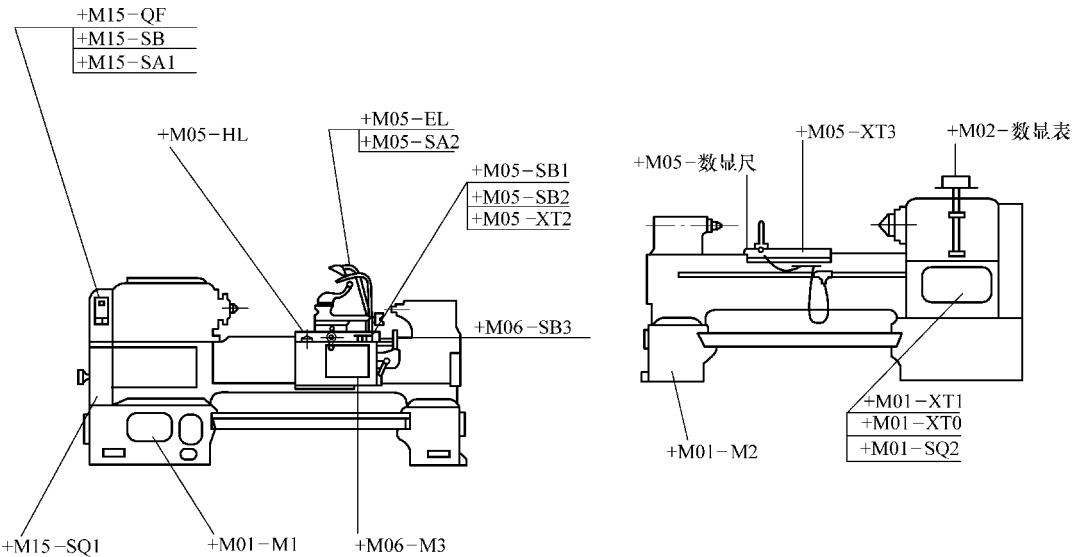


图 2-2 CA6140 型卧式车床电器位置图

表 2-4 位置代号索引

序 号	部 件 名 称	代 号	安 装 元 件
1	床身底座	+ M01	- M1、- M2、- XT0、- XT1、- SQ2
2	床鞍	+ M05	- HL、- EL、- SB1、- SB2、- XT2、- XT3、- SA2 数显尺
3	溜板	+ M06	- M3、- SB3
4	传动带罩	+ M15	- QF、- SB、- SA1、- SQ1
5	床头	+ M02	数显表

控制柜（或控制箱）内电器板（又称配电板）上电气元件的布置应注意以下问题：

- 1) 体积大和较重的电气元件应安装在电器板的下面，而发热元件应安装在电器板的上面。

3) 需要经常维护、检修、调整的电气元件的安装位置不宜过高或过低, 要保证日常维护的方便性。

5) 电气元件布置不宜过密,要留有一定的间距,若采用板前走线槽配线方式,应适当加大各排电器间距,以利布线和维护。线槽应平整、无扭曲变形,内壁应光滑、无毛刺。线槽接口应平直、严密,槽盖应齐全、平整、无翘角。并列安装时,槽盖应便于开启。线槽的连接应连续无间断。每节线槽的固定点不应少于两个。在转角、分支处和端部均应有固定点,并紧贴墙面固定。断路器和漏电断路器等元件的接线端子与线槽直线距离 30mm。连接元件的铜接头过长时,应适当放宽元件与线槽间的距离。用于连接电气柜进线的开关或熔断器座的排列位置要考虑进线的转弯半径距离。接触器和热继电器的接线端子与线槽直线距离 30mm。其他载流元件与线槽直线距离 30mm。控制端子与线槽直线距离 20mm。动力端子与线槽直线距离 30mm。中间继电器和其他控制元件与线槽直线距离 20mm。

图 2-3 所示为某机床电器板上电器位置示意图（图中单位为 mm）。由于电器位置图本质上反映了电器安装板的工作图特征，是设计和加工电器板（电器安装板）的重要依据，所以每个电气元件的安装尺寸及其公差范围，应严格按照有关国家标准和电器安装说明书确定，各电器之间要设计有足够的间距，以保证各电器的顺利安装。每个电器的代号应与电路图一致。在电器位置图设计中，还要根据进出线的数量和采用导线规格，选择进出线方式，并选用适当接线端子板或接线插件，按一定顺序标上进出线的接线号。

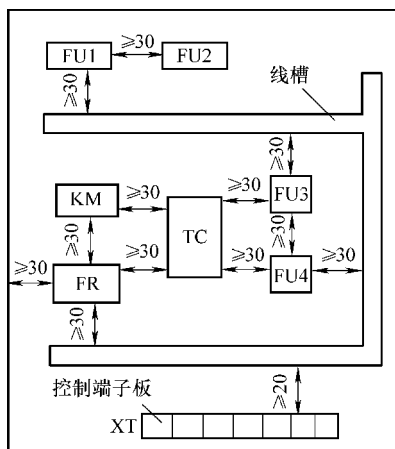


图 2-3 某机床电器板上电器位置示意图

电气控制电路安装接线图，是为了安装电气设备和电气元件进行配线或检修电气故障服务的。在图中可显示出电气设备中各元件的空间位置和接线情况，可在安装或检修时对照原理图使用。它是根据电器位置布置、依据合理经济等原则安排的，表明电气设备各单元之间

的接线关系,要标出所需的数据,如接线端子号,连接导线参数等,以便于安装接线、线路检查、线路维修和故障处理。安装接线图与电路图在绘图上有很大区别。电气控制电路图以表明电气设备、装置和控制元件之间的相互控制关系为出发点,使人能明确分析出电路工作过程为目标。电气安装接线图以表明电气设备、装置和控制元件的具体接线为出发点,以接线方便、布线合理为目标。

电气安装接线图常与电气控制电路图、电气元件布置图配合使用。它有以下特点:

1) 图中表示的电气元件、部件、组件、成套装置都尽量用简单外形轮廓表示(如圆形、方形、矩形等),必要时可用图形符号表示。各电气元件位置应与电器位置图中基本一致。

在电气安装接线图中,电气设备、装置和电气元件都是按照国家规定的电气图形符号绘出,而不考虑其真实结构。各电气元件的图形符号、文字符号等均与电气控制电路图一致。

2) 电气安装接线图必须标明每条线所接的具体位置,每条线都有具体明确的线号。

3) 每个电气设备、装置和电气元件都有明确的位置,并应与实际安装位置一致,而且将每个电气元件的不同部件都画在一起,并用虚线框起来,如一个接触器是将其线圈、主触点、辅助触点都绘制在一起,并用虚线框起来。有的电气元件用实线框图表示出来,其内部结构全部略去,只画出外部接线,如半导体集成电路在电路图中只画出集成块的外部接线,在实线框内只标出电气元件的型号。

4) 不在同一控制箱和同一配电板上的各电气元件的连接是经接线端子板连接的,电气互联关系以线束表示,连接导线应标明导线参数(型号、规格、数量、截面积、颜色等),一般不标注实际走线路径。各电气元件的文字符号及端子板编号应与电气控制电路图一致,并按电气控制电路图和穿线管尺寸的接线进行连接。在同一控制箱或同一块配电板上的各电气元件之间的导线可直接连接。

5) 走线相同的多根导线可用单线表示。

6) 用连续的实线表示端子之间实际存在的导线。当穿越图面的连接线较长时,可将其中断,并在中断处加注相应的标记。

7) 电气接线图一律采用细线条,走线方式有板前走线及板后走线两种,一般采用板前走线。对于简单电气控制部件,电气元件数量较少,接线关系不复杂,可直接画出元件间的连线。但对于复杂部件,电气元件数量多,接线较为复杂,一般是采用走线槽方式连线,只需在各电气元件上标出接线号,不必画出各元件间的联线。

8) 部件的进出线除大截面导线外,都应经过接线板,不得直接进出。

图2-4所示为根据图2-1电气原理图绘制的接线图,它表示机床电气设备各个单元之间的接线关系,并标注出外部接线所需的数据,根据机床设备的接线图就可以进行机床电气设备的总装接线。对某些较为复杂的电气设备,电气安装板元件较多时,还可以画出安装板的接线图。对于简单设备,仅画出接线图就可以了。实际工作中,接线图常与电气原理图结合起来使用,CA6140型车床的电气安装接线如图2-4所示。

图2-4表明了该电气设备中电源进线、按钮板、照明灯、行程开关、电动机与机床安装板接线端之间的连接关系,标注了所采用的包塑金属软管的直径和长度,也有标注连接导线的根数、截面积及颜色等。其他元件与安装板的连接关系这里不再赘述。

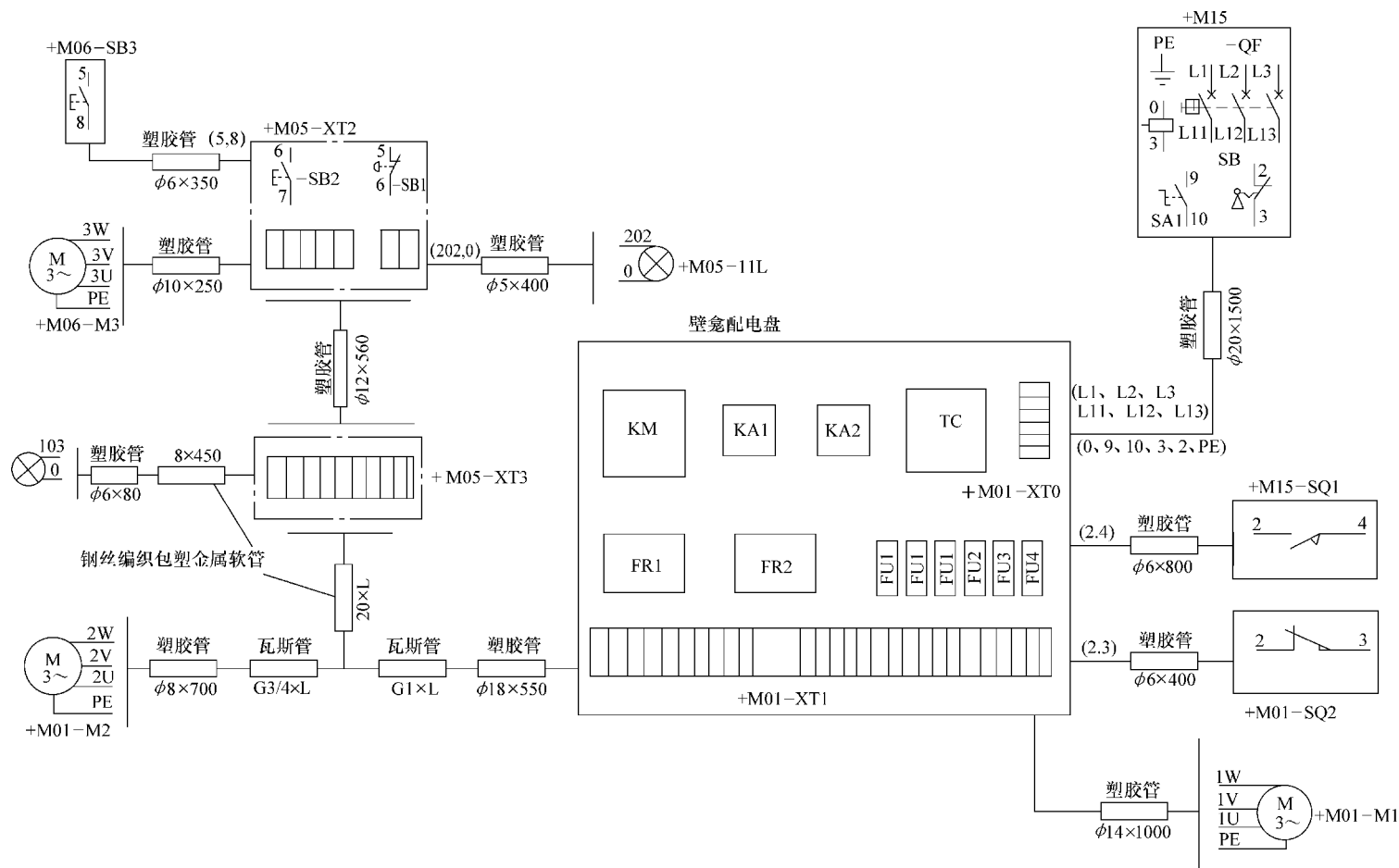


图 2-4 CA6140 型车床电气安装接线图

2.2.3 电路图的阅读方法

阅读和分析电气控制电路图的方法主要有两种,即查线看图法(直接看图法或跟踪追击法)和逻辑代数法(间接读图法)。此处结合图 2-1 重点介绍查线看图法。

1. 看主电路的步骤

(1) 看清主电路中的用电设备

用电设备指消耗电能的用电器具或电气设备,如电动机等,看电路图首先要弄清楚有几个用电设备,它们的类别、用途、接线方式及一些不同要求等。如图 2-1 中的用电设备就是三台电动机 M1、M2 和 M3,以电动机为例,应了解下列内容。

1) 类别:有交流电动机(感应电动机、同步电动机)、直流电动机等。一般生产机械中所用的电动机以交流笼型感应电动机为主。

2) 用途:有的电动机是带动油泵或水泵的,有的是带动塔轮再传到某种生产机械上。

3) 接线:有的电动机是Y(星)形联结或YY(双星)形联结,有的电动机是 Δ (三角)形联结,有的电动机是Y- Δ (星-三角)形即Y形起动、 Δ 形运行接线。

4) 运行要求。有的电动机要求始终一个速度,有的电动机则要求具有两种速度(低速和高速),还有的电动机是多速运转的,也有的电动机有几种正向转速和一种反向转速,正向做功,反向为空载返回等。

对起动方式、正反转、调速及制动的要求,各电动机之间是否相互有制约的关系(还可通过控制电路来分析)。

图 2-1 中有 3 台电动机 M1、M2 和 M3。M1 是主轴电动机, M2 是冷却泵电动机, M3 是工作台快速运动电动机。

(2) 要弄清楚用电设备是用什么电气元件控制的

控制电气设备的方法很多,有的直接用开关控制,有的用各种启动器控制,有的用接触器或继电器控制。图 2-1 中的 M1 电动机是用接触器控制的。当接触器 KM1 得电吸合时,电动机 M1 起动;当继电器 KA1 得电吸合时,电动机 M2 起动;当继电器 KA2 得电吸合时,电动机 M3 起动。

(3) 了解主电路中所用的控制电器及保护电器

这里控制电器是指除常规接触器以外的其他电气元件,如电源开关(组合开关及断路器)、万能转换开关等。保护电器是指短路保护器件及过载保护器件,如断路器中电磁脱扣器及热过载脱扣器的规格;熔断器、热继电器及过电流继电器等元件的用途及规格。一般来说,对主电路作如上内容的分析以后,即可分析辅助电路。

在图 2-1 中,3 条主电路中接有电源开关 QF、热继电器 FR1,分别对电动机 M1 起短路保护和过载保护作用、FR2 对电动机 M2 起过载保护作用,熔断器 FU1 对电动机 M2、M3 和控制电路起短路保护作用。

(4) 看电源

要了解电源电压等级,是 380V 还是 220V,是配电屏供电还是从发电机组接出来的。一般生产机械所用电源通常均是三相 380V、50Hz 的交流电源,对需采用直流电源的设备,往往都是采用直流发电机供电或采用整流装置供电。随着电子技术的发展,特别是大功率整流管及晶闸管的出现,一般情况下,都由整流装置来获得直流电。

在图 2-1 中,电动机 M1、M2、M3 的电源均为三相 380V。主电路由三相电源 L1、L2、L3—电源开关 QF—接触器 KM—热继电器 FR1—笼型异步电动机 M1 组成。第二条支路为接在熔断器 FU1 端子—中间继电器 KA1—热继电器 FR2—笼型异步电动机 M2 组成。第三支路为接在熔断器 FU1 端子—中间继电器 KA2—笼型异步电动机 M3 组成。

2. 看辅助电路的步骤

由于各种不同类型的生产机械对电力拖动有各不相同的要求,在电路图上就有种种不相同的辅助电路,故此处结合图 2-1 介绍分析辅助电路的方法和步骤。辅助电路一般包含控制电路、信号电路和照明电路。分析电路时可根据主电路中的电动机和执行电器的控制要求,逐一找出控制电路中的控制环节,将控制电路“化整为零”,按功能不同划分成若干个局部控制电路进行分析。如果控制电路较复杂,则可先排除照明、显示等与控制关系不密切的电路,集中精力分析控制电路。分析控制电路的最基本的方法是“查线看图”法。

(1) 看电源

首先看清电源的种类,是交流的还是直流的。其次,要看清辅助电路的电源是从什么地方接来的,及其电压等级。一般是从主电路的两条相线上接来,其电压为单相 380V,也有从主电路的一条相线和零线上接来,电压为单相 220V。此外,也可以从专用隔离电源变压器接来,电压有 127V、110V、36V、6.3V 等。变压器的一端应接地,各二次线圈的一端也应接在一起并接地。辅助电路为直流时,直流电源可从整流器、发电机组或放大器上接来,其电压一般为 24V、12V、6V、4.5V、3V 等。辅助电路中的一切电气元件的线圈额定电压必须与辅助电路电源电压一致,否则,电压低时电气元件不动作;电压高时,则会把电气元件线圈烧坏。在图 2-1 中,辅助电路的电源是从专用隔离电源变压器接来,电压为 110V。

(2) 了解控制电路中所采用的各种继电器、接触器的用途

如采用了一些特殊结构的继电器,还应了解它们的动作原理。只有这样,才能理解它们在电路中如何动作和具有何种用途。

(3) 根据控制电路来研究主电路的动作情况

控制电路总是按动作顺序画在两条水平线或两条垂直线之间的。因此,也就可从左到右或从上到下进行分析。对复杂的辅助电路,在电路中整个辅助电路构成一条大支路,这条大支路又分成几条独立的小支路,每条小支路控制一个用电器或一个动作。当某条小支路形成闭合回路有电流流过时,在支路中的电气元件(接触器或继电器)则动作,把用电设备接入或切除电源。在控制电路中一般是靠按钮或转换开关把电路接通的,必须随时结合主电路的动作对控制电路进行分析,只有全面了解主电路对控制电路的要求以后,才能真正掌握控制电路的动作原理,要注意各个动作之间是否有互相制约的关系,不可孤立地看待各部分的动作原理。

在图 2-1 中,控制电路的电源由控制变压器 TC 二次侧输出 110V 电压提供。在正常工作时,位置开关 SQ1 的常开触头闭合。打开床头皮带罩后, SQ1 断开,切断控制电路电源,以确保人身安全。钥匙开关 SB 和位置开关 SQ2 在正常工作时是断开的, QF 线圈不通电。断路器 QF 能合闸。打开配电盘壁龛门时, SQ2 闭合, QF 的线圈通电,断路器 QF 自动断开。

控制电路有 4 条支路,即 QF 的线圈,接触器 KM 的线圈, KA1、KA2 的线圈支路,其动作过程如下。

断开钥匙开关 SB,合上电源开关 QF,主电路和辅助电路均有电压,辅助电路由线段

U22、V22 引出。

1) 主电动机 M1 的控制: M1 启动: 按下启动按钮 SB2, 接触器 KM 线圈通电吸合, KM 主触点 (2 区) 闭合, KM 常开辅助触点 (8 区) 闭合而自锁, 主轴电动机 M1 启动运行; 同时 KM 常开辅助触点 (10 区) 闭合, 为 KA1 得电作准备。

M1 停止: 按下停止按钮 SB1, 接触器 KM 线圈断开失电, KM 常开触点断开, M1 失电停转。

主轴的正反转是采用多片摩擦离合器实现的。

2) 冷却泵电动机 M2 的控制: 由于主轴电动机 M1 和冷却泵电动机 M2 在控制电路中采用顺序控制, 所以, 只有当主轴电动机 M1 启动后, 即 KM 常开触点 (10 区) 闭合, 合上旋钮开关 SA1, 冷却泵电动机 M2 才可能启动。当 M1 停止运行时, M2 自行停止。

3) 刀架快速移动电动机 M3 的控制: 刀架快速移动电动机 M3 的启动是由安装在进给操作手柄顶端的按钮 SB3 控制, 它与中间继电器 KA2 组成点动控制电路。刀架移动方向 (前、后、左、右) 的改变, 是由进给操作手柄配合机械装置实现的。如需要快速移动, 按下 SB3 即可。

综上所述, 电动机的启动由接触器或继电器控制, 而接触器或继电器的吸合或释放则由开关或按钮控制。这种开关或按钮-接触器或继电器-电动机的控制形式, 是生产机械自动化的基本形式。

4) 研究电气元件之间的相互关系。电路中的所有电气元件都不是孤立存在的, 而是相互联系、相互制约的。这种互相控制的关系有时存在于一条支路中, 有时存在于几条支路中。图 2-1 的电路比较简单, 没有相互控制的电气元件, 看图时可省略这一步。

5) 研究其他电气设备和电气元件。如整流设备、照明灯等, 对于这些电气设备和电气元件, 只要知道它们的线路走向、电路的来龙去脉即可。图 2-1 中, 控制变压器 TC 的二次侧分别输出 24V 和 6V 电压, 作为车床低压照明灯和信号灯的电源。EL 作为车床的低压照明灯, 由开关 SA2 控制; HL 为电源信号灯。它们分别由 FU4 和 FU3 作为短路保护。

上述看图方法和步骤, 是一种通用方法, 需通过具体线路的分析逐步掌握, 要在实践中不断总结, 才能提高看图能力。

3. 查线看图法的要点

通过上面的讨论, 可总结查线看图法的要点如下:

1) 从主电路入手, 根据各台电动机和执行电器的控制要求分析控制内容, 要注意找出电动机启动、转向控制、调速、制动等基本控制电路。

2) 根据主电路中各电动机和执行电器的控制要求, 逐一找出控制电路中的控制环节, 将控制电路“化整为零”, 按功能不同划分成若干个局部控制电路进行分析。如果控制电路较复杂, 则可先排除照明、显示等与控制关系不密切的电路。

3) 控制电路中执行元件的工作状态显示、电源显示、参数测定、故障报警以及照明电路等部分, 大部分由控制电路中的元件控制, 因此要对照控制电路对这部分电路进行分析。

4) 分析联锁与保护环节。生产机械对于安全性、可靠性有很高的要求, 为实现这些要求, 除合理选择拖动和控制方案外, 在控制电路中一般要设置电气保护和必要的电气联锁。在电气控制电路图的分析过程中, 电气联锁与电气保护环节是重要内容, 不能遗漏。

5) 在某些控制电路中, 会设置一些与主电路、控制电路关系不密切、相对独立的特殊

环节。如产品计数装置、自动检测系统、晶闸管触发电路、自动调温装置等。这些环节往往自成系统,要运用电子技术、交流技术、自控系统、检测与转换等知识逐一分析。

6) 通过“化整为零”,逐步分析各局部电路的工作原理以及各部分之间的控制关系后,要“集零为整”,检查整个控制电路,消除错漏。要从整体的角度进一步检查和理解各控制环节之间的联系,充分理解电路图中各个电气元件的作用、工作过程及主要参数。

2.3 三相笼型异步电动机的起动控制电路

电动机起动是指电动机的转子由静止状态变为正常运转状态的过程。笼型异步电动机有两种起动方式,即直接起动(或全压起动)和降压起动。直接起动是一种简单、可靠、经济的起动方法,在小型(容量一般在 10kW 以下)电动机中广泛使用。电动机直接起动时,起动电流为额定电流的 4~7 倍,过大的起动电流一方面将会造成电网电压显著下降,影响在同一电路上的其他用电设备的正常运行,另一方面电动机频繁起动会严重发热,加速线圈老化,缩短电动机的寿命。因而对容量较大的电动机,采用减压起动,以减小起动电流。电动机是否能直接起动,通常要根据启动次数、电动机容量、起动电流、变压器容量以及生产设备的机械特性等因素来确定,也可用下面试验公式确定。

$$I_Q/I_N = 3/4 + P_H/4P_N \quad (2-1)$$

式中, I_Q 为电动机起动电流(A); I_N 为电动机额定电流(A); P_H 为电源变压器容量(kV·A); P_N 为电动机容量(kW)。

2.3.1 直接起动控制电路

1. 采用刀开关直接起动控制

用刀开关、转换开关或封闭式负荷开关控制电动机的起动和停止,是简单和经济的手动控制方法。但由于刀开关的控制容量有限,仅适用于不频繁起动的小容量(通常 $P_N \leq 5.5\text{kW}$) 电动机,且不能实现远距离的自动控制,图 2-5 所示为控制电路原理图。其中 M 为被控三相异步电动机, QS 是开关, FU 是熔断器。直接起动电动机的控制过程为:合上开关 QS,电动机通电并旋转;断开 QS,电动机断电并停转。开关是电动机的控制电器,熔断器是电动机的保护电器。冷却泵、小型台钻、砂轮机等的电动机一般采用这种起动控制方式。

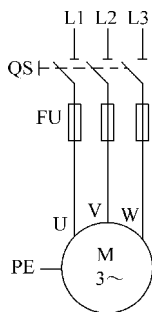


图 2-5 刀开关直接起动控制电路

2. 采用接触器直接起动控制

图 2-6 所示为接触器控制电动机单向旋转的电路。主电路由刀开关 QS、熔断器 FU1、接触器 KM 的动合主触点、热继电器 FR 的发热元件和电动机 M 组成。控制电路由熔断器 FU2、热继电器 FR 的动断触点 FR、停止按钮 SB1、起动按钮 SB2、接触器 KM 的线圈及其动合辅助触点 KM 组成。

接触器直接起动控制电路的工作原理如下:

1) 起动控制:合上电源开关 QS,按下启动按钮 SB2,接触器 KM 线圈通电吸合,主触

点闭合,电动机 M 得电起动;同时接触器动合辅助触点闭合,使 KM 线圈绕过 SB2 触点经 KM 自身动合辅助触点 KM 通电,当松开 SB2 时, KM 线圈仍通过自身动合辅助触点继续保持通电,从而使电动机连续运转。这种依靠接触器自身辅助触点保持线圈通电的电路,称为自保电路,而与 SB2 并联动合辅助触点称为自锁触点(或自锁触点)。

2) 停止控制:按下停止按钮 SB1→接触器 KM 线圈断电释放→接触器 KM 的动合主触点及动合辅助触点均断开→电动机 M 失电停转。当松开 SB1 时,由于 KM 自锁触点已断开,故接触器线圈不可能通电,电动机继续断电停机。

3) 短路保护:由熔断器 FU 实现主电路、控制电路的短路保护。短路时, FU 的熔体熔断,切断电路。熔断器可作为电路的短路保护,但达不到过载保护的目的。

4) 过载保护:由热继电器 FR 实现。由于热继电器的热惯性比较大,即使热元件流过的电流几倍于电动机额定电流,热继电器也不会立即动作。因此,在电动机起动时间不太长的情况下,热继电器是经得起电动机起动电流冲击而不动作的。只有在电动机长时间过载情况下,串联在主电路中的热继电器 FR 的三相热元件使双金属片受热产生变形,进而使串联在控制电路中的热继电器 FR 的动断触点断开,控制电路失电断开,接触器 KM 线圈失电,其主触点释放,切断主电路,使电动机断电停转,实现对电动机的过载保护。

5) 欠电压保护:电动机正常运行时,当电源电压下降,电动机的电流就会上升,电压下降越严重,电流上升得就越高,这样就会烧坏电动机。在具有自锁功能的控制电路中,当电动机运转时,若电源电压降低(一般在工作电压的 85% 以下)时,接触器的磁通则变得很弱,电磁吸力不足,衔铁在复位弹簧的作用下释放,自锁触点断开,失去自锁,同时主触点也断开,电动机断电并得到保护。

6) 失电压保护:电动机运行时,遇到电源临时停电,在恢复供电时,如果未加防范措施,电动机就会自行起动,很容易造成设备及人身事故。采用了自锁控制电路后,由于自锁触点和主触点在停电时已同时断开,这样控制电路和主电路都不会自行接通。在恢复供电时,如果没有按下起动按钮 SB2,电动机就不会自行起动。这种在突然断电时能自动切断电动机电源的保护为失压(或零压)保护。可避免多台电动机同时启动造成电网电压的严重下降。

此种电路不仅能实现电动机频繁起动控制,而且可实现远距离的自动控制,故是最常用的简单控制电路。

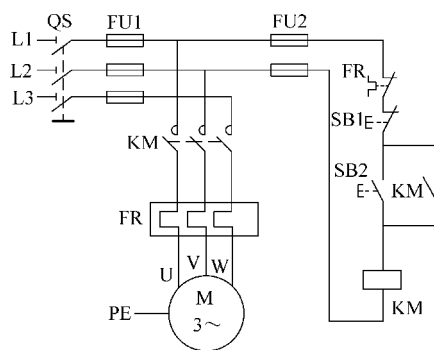


图 2-6 接触器控制电动机单向旋转的电路

2.3.2 减压起动控制电路

减压起动是指在电源电压不变的情况下,起动电动机时通过某种方法(改变连接方式或增加起动设备),降低加在电动机定子绕组上的电压,待电动机转速接近额定转速后,再将电压恢复到额定值。由于电动机的起动电流与电压成正比,所以降低起动电压可以减小起动电流,也就减小了对电网的影响。但电动机的转矩与电压的平方成正比,将使电动机的起动转矩也大为降低,因而减压起动只适用于对起动转矩要求不高或空载、轻载下起动的设

备。一般情况下,当电动机功率大于 7.5kW 时,应考虑对电动机采取减压起动控制,以减小电动机的起动电流,保证电网的正常供电。常用的减压起动方式有定子电路串电阻(或电抗)减压起动、星形-三角形($\text{Y}-\Delta$)减压起动、自耦变压器减压起动和延边三角形减压起动等。

1. 定子串电阻(或电抗)减压起动控制电路

图 2-7 所示为定子绕组串接电阻减压起动控制电路。电动机起动时在定子绕组中串接电阻,使定子绕组电压降低,从而限制了起动电流。待电动机转速接近额定转速时,再将串接电阻短接,电动机即可在额定电压下运行。该电路是根据起动过程中时间的变化,利用时间继电器延时动作来控制各电气元件的先后顺序动作,时间继电器的延时时间按起动过程所需时间整定。

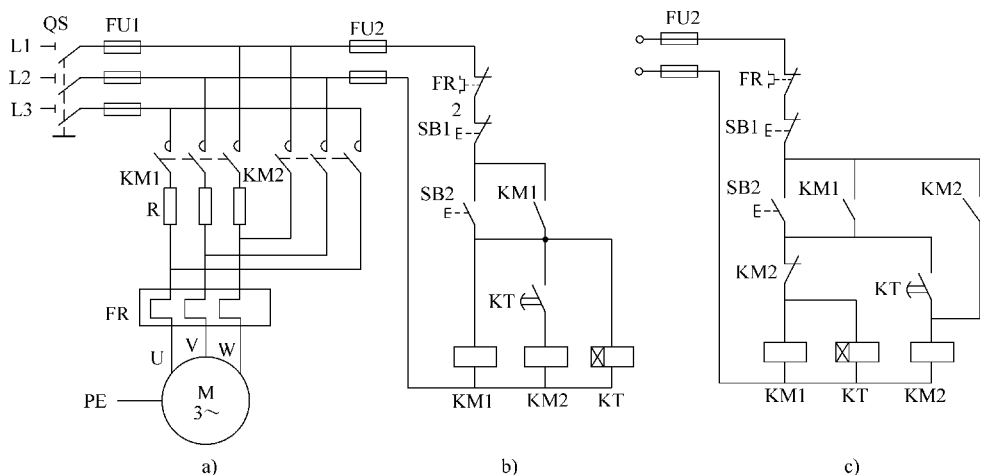


图 2-7 定子绕组串接电阻降压起动控制电路

主电路由转换开关 QS、熔断器 FU1、接触器 KM1 和 KM2 主触点、电阻 R、热继电器 FR、电动机 M 组成,如图 2-7a 所示;控制电路由熔断器 FU2、热继电器 FR 常闭触点、停车按钮 SB1 常闭触点、起动按钮 SB2 常开触点、时间继电器 KT 线圈及延时闭合常开触点、接触器 KM1 和 KM2 线圈及辅助常开常闭触点组成,如图 2-7b 所示。图 2-7c 所示为改进的控制电路。

图 2-7b 部分控制电路工作原理如下:合上刀开关 QS,按下起动按钮 SB2 时, KM1 线圈立即通电吸合并自锁,电动机 M 串联电阻减压起动,与此同时,时间继电器 KT 线圈得电吸合并开始计时,当电动机 M 的转速上升到一定值(即启动达到一定时间)时,时间继电器 KT 也达到整定的延时值,其延时闭合的动合触点闭合,使 KM2 通电吸合, KM2 的主触点闭合,将起动电阻 R 短接,电动机在额定电压下进入稳定正常运转。

此电路虽然简单,但 KM1 线圈及 KT 线圈始终得电,既不安全(一般时间继电器线圈按短时工作设计),也没必要,且会使能耗增加,缩短接触器与继电器的使用寿命缩短。为了提高控制电路的安全性、可靠性和经济性,设计的改进控制电路如图 2-7c 所示。

图 2-7c 所示的控制电路的工作原理如下:合上电源总开关 QS,按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈通电自锁,电动机 M 串电阻减压起动。同时时间继电器 KT 线圈得电吸合并

开始计时,当电动机 M 的转速上升到一定值时,即 KT 延时时间到,KT 的延时闭合常开触点闭合,接通 KM2 线圈的电源,接触器 KM2 线圈通电自锁,其主触点将限流电阻 R 短接,电动机 M 全压运转。同时,串接在 KM1 线圈回路的 KM2 常闭触点断开,使接触器 KM1 和时间继电器 KT 断电,从而延长了接触器 KM1 和时间继电器 KT 的使用寿命,节省了电能,提高了电路的可靠性。停车时,按下停车按钮 SB1,线圈 KM2 断电释放,电动机 M 停转。

串电阻减压起动的起动电阻一般采用由电阻丝绕制的板式电阻或铸铁电阻,电阻功率大、通流能力强,为减少起动过程中能量损耗,往往将电阻改成电抗器。此种启动方法不受定子绕组接线形式的限制,设备简单,启动过程平滑,但也有启动过程中能量损耗较大的缺点。故适用于启动要求平稳、电动机轻载或空载及启动不频繁的场合。

2. 星-三角 (Y-Δ) 减压起动控制电路

Y-Δ减压起动控制电路是在电动机起动时将定子绕组接成星 (Y) 形,每相绕组承受的电压为电源的相电压 (220V),随着电动机转速的升高,到起动结束后再将定子绕组换接成三角形 (Δ) 联结,每相绕组承受的电压为电源线电压 (380V),此时电动机进入额定电压下正常运行。笼型异步电动机采用 Y-Δ减压起动时,由于加在每相绕组上的起动电压只有三角形接法的 $1/\sqrt{3}$,起动电流为三角形接法的 $1/3$,起动转矩也只有 Δ 联结的 $1/3$ 。与其他减压起动方法相比,Y-Δ减压起

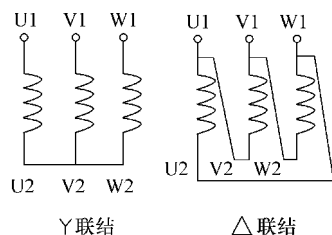


图 2-8 电动机定子绕组 Y 和 Δ 联结电路

动投资少,电路简单,凡是正常运行时定子绕组接成的 Δ 联结的笼型异步电动机,均可采用这种减压起动方法。但因起动转矩特性较差,故只适用于轻载或空载起动的场合。图 2-8 所示为电动机定子绕组 Y 和 Δ 联结电路。

Y-Δ减压起动电路中应用最广的是使用接触器、时间继电器自动控制电路,其控制电路如图 2-9 所示。电路中除有熔断器、热元件外,还有三个接触器 KM1、KM2、KM3。其中 KM1 电源接触器,用于通断主电路,KM3 和 KM2 分别为控制接触器和运行接触器。当 KM3 吸合时电动机为 Y 联结,实现减压起动。在起动结束后 KM2 动作,电动机电源变为 Δ 联结,

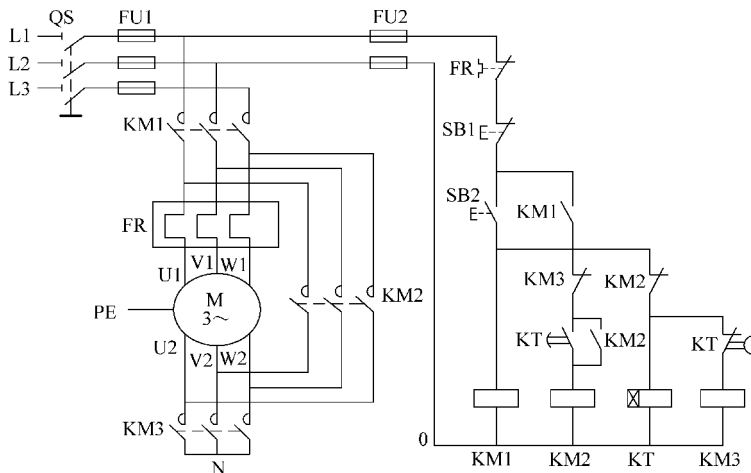


图 2-9 Y-Δ减压起动控制电路

实现正常运行。其工作原理如下：

合上电源开关 QS 后，按下起动按钮 SB2，接触器 KM1、时间继电器 KT、接触器 KM3 线圈通电吸合。KM1 的常开辅助触点闭合自锁，接触器 KM1、KM3 主触点将电动机 M 绕组接成 Y 联结减压起动。同时，接触器 KM3 的常闭辅助触点断开，切断接触器 KM2 线圈回路电源，使得在接触器 KM3 吸合时，接触器 KM2 不能吸合。经过一定时间后电动机转速升高至一定值时，电动机电流下降，时间继电器 KT 延时达到整定值，KT 的延时断开常闭触点断开，切断接触器 KM3 线圈回路的电源，接触器 KM3 失电释放，KM3 的常闭辅助触点复位闭合，接通接触器 KM2 线圈回路电源，同时 KT 的延时闭合常开触点闭合。接触器 KM2 线圈通电吸合自锁，其主触点与接触器 KM1 主触点将电动机 M 绕组接成 Δ 联结全压运行。而接触器 KM2 的常闭辅助触点断开，切断时间继电器 KT 和接触器 KM3 线圈的电源通路，时间继电器 KT 失电释放，并保障在接触器 KM2 吸合时接触器 KM3 不能吸合。利用 KM2 的常闭辅助触点断开时间继电器 KT 线圈的电源，使 KT 退出运行，这样可延长时间继电器 KT 的寿命并节约电能。停车时按下 SB1，接触器 KM1、KM2 的线圈相继断电释放，电动机 M 停转。

3. 自耦补偿减压起动控制电路

自耦补偿降压启动是利用自耦变压器 TM 来进行减压的。在自耦变压器减压起动控制电路中，电动机起动电流的限制是依靠自耦变压器的减压作用来实现的。自耦变压器按星形联结，电动机起动时，将电源电压加到自耦变压器一次侧，电动机定子绕组接到自耦变压器二次侧，构成减压起动电路。起动一定时间，当电动机转速升高到预定值后，将自耦变压器切除，电源电压通过接触器直接加于定子绕组，电动机进入全压运行。

自耦补偿减压起动控制电路的优点是起动转矩和起动电流可以调节，缺点是设备庞大，成本较高。因此，这种方法适用于额定电压 220V/380V、接法为 Y/ Δ 、容量较大的三相交流笼型异步电动机的不频繁起动。常用的自耦补偿起动装置分为手动和自动两种操作形式。手动操作的自耦补偿起动器有 QJ3、QJ5 等型号；自动操作的自耦补偿起动装置有 XJ01、CTZ 等系列。在实际应用中，自耦变压器二次侧有三个抽头，使用时应根据负载情况及供电系统要求选择一个合适抽头。下面以 XJ01 系列自耦补偿起动器的控制电路为例，介绍自耦补偿起动器的工作原理。

图 2-10 所示为使用 XJ01 系列自耦补偿起动电路，自耦补偿减压起动电路由主电路、控

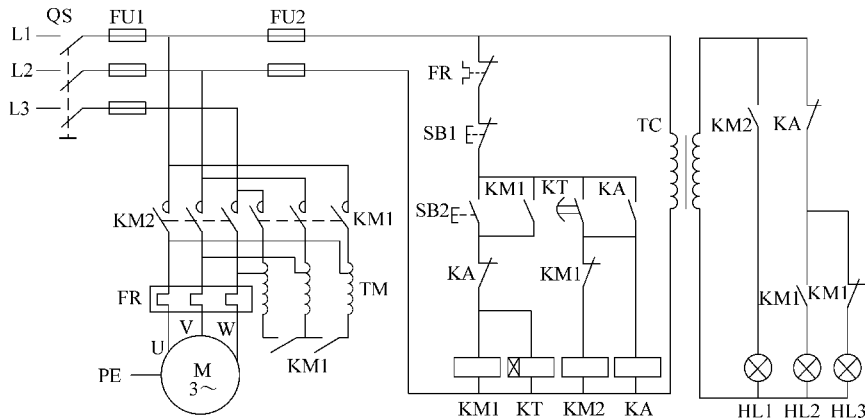


图 2-10 自耦补偿减压起动电路

制电路和指示电路所组成。主电路由转换开关 QS、熔断器 FU1、接触器 KM1 和 KM2 主触点、自耦变压器 TM、热继电器 FR、电动机 M 组成；控制电路由熔断器 FU2、热继电器 FR 常闭触点、停车按钮 SB1 常闭触点、起动按钮 SB2 常开触点、时间继电器 KT 线圈及延时闭合常开触点、中间继电器 KA 线圈及常开常闭触点、接触器 KM1 和 KM2 线圈及辅助常开常闭触点组成。指示电路由 KA 常闭触点、KM1 辅助常开常闭触点、KM2 辅助常开触点、指示灯 HL1、HL2 和 HL3 组成。其中主电路中自耦变压器 TM 和接触器 KM1 的三对常开主触点构成自耦变压器的减压起动电路，接触器 KM2 主触点用以实现电动机全压运行。控制电路中选用中间继电器 KA，用以增加触点个数和提高控制电路设计的灵活性。指示电路中用三个信号灯作电路工作状态指示，HL1 灯亮，显示电动机全压运行状态；HL2 灯亮，显示减压起动过程；HL3 灯亮，显示电源有电，电动机处于停车状态。

自耦补偿减压起动控制电路工作原理如下：合上电源开关 QS 后，指示灯 HL3 亮。按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈通电自锁，三对常开主触点闭合，电动机 M 经自耦变压器 TM 降压启动。KM1 的常闭触点断开，对接触器 KM2 实现互锁；KM1 的常闭触点断开，切断指示灯 HL3 回路电源，指示灯 HL3 熄灭；KM1 的常开触点闭合，指示灯 HL2 亮，显示减压起动。同时，时间继电器 KT 线圈通电延时，为电动机正常运转做准备，经过一定时间，电动机 M 转速升高至一定值，电动机电流下降，时间继电器 KT 延时达到整定值，KT 的延时闭合常开触点闭合，中间继电器 KA 线圈通电，KA 的常开触点闭合自锁，同时 KA 的常闭触点断开，切断指示灯 HL2、HL3 回路电源，指示灯 HL2、HL3 熄灭。KA 的常闭触点断开，切断时间继电器 KT 和接触器 KM1 线圈的电源通路，接触器 KM1 线圈断电释放，所有触点复位，其主触点断开，将自耦变压器 TM 切除。当接触器 KM1 的常闭触点复位后，接触器 KM2 线圈立即通电，其主触点闭合，电动机 M 全压运行。接触器 KM2 的常开触点闭合，指示灯 HL1 亮，显示全压运行。利用 KA 的常闭触点断开 KT 线圈，使 KT 退出运行，这样可延长时间继电器的寿命并节约电能。停车时，按下停车按钮 SB1，使 KM2、KA 的线圈相继断电释放，电动机 M 停转。

4. 延边三角形减压起动控制电路

延边三角形减压启动的方法是在每相定子绕组中引出一个抽头，电动机启动时将一部分定子绕组接成 Δ 联结，另一部分定子绕组接成Y联结，使整个绕组接成延边三角形联结，其绕组连接情况如图 2-11 所示。经过一段时间，电动机启动结束后，再将定子绕组接成 Δ 联结全压运行。电动机定子绕组作延边三角形接线时，每相定子绕组所承受的电压大于Y联结

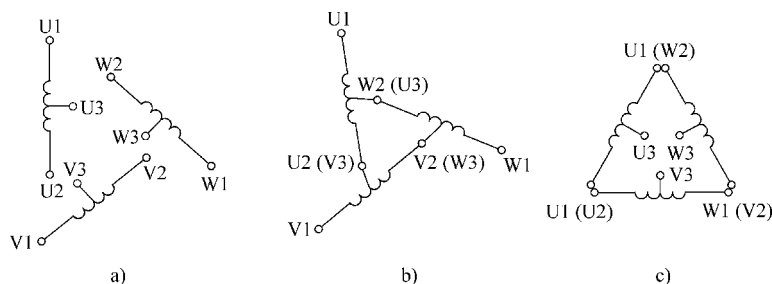


图 2-11 延边三角形电动机定子绕组示意图

a) 原始状态 b) 起动时 c) 正常运转

时的相电压，而小于 Δ 联结时的相电压。这样，在不增加其他起动设备的前提下，既起到减压限流的作用，又不致使电动机起动转矩太低。并且电动机每相绕组电压的大小可随电动机绕组抽头位置的改变而调节，从而克服了Y- Δ 减压起动时启动电压偏低、起动转矩偏小的缺点。但延边三角形减压起动方法仅适用于定子绕组有抽头的特殊三相交流异步电动机。

图 2-12 所示为延边三角形减压起动控制电路。主电路中接触器 KM1 和 KM3 主触点闭合，电动机作延边三角形联结起动；接触器 KM1 和 KM2 主触点闭合时，电动机作三角形接法全压运行。

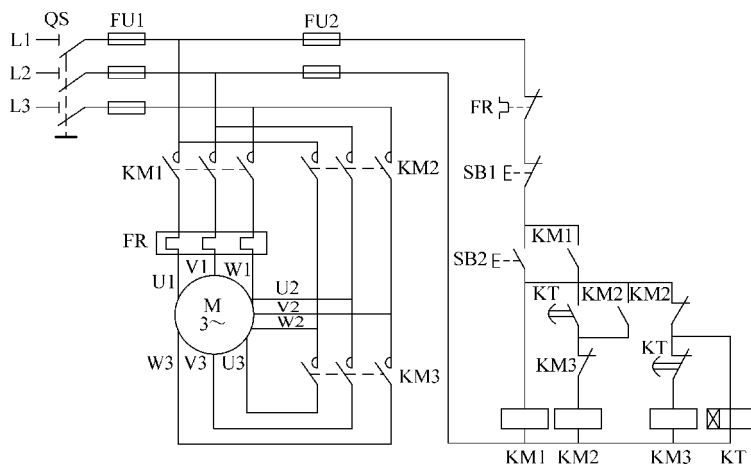


图 2-12 延边三角形减压起动控制电路

控制电路工作原理如下：合上电源开关 QS 后，按下起动按钮 SB2，接触器 KM1、时间继电器 KT、接触器 KM3 线圈通电吸合。KM1 的常开辅助触点闭合自锁，接触器 KM1、KM3 主触点闭合将电动机 M 绕组接成延边三角形减压起动。同时，接触器 KM3 的常闭辅助触点断开，切断接触器 KM2 线圈回路电源，使得在接触器 KM3 吸合时，接触器 KM2 不能吸合。经过一定时间后电动机转速升高至一定值时，电动机电流下降，时间继电器 KT 延时达到整定值，KT 的延时闭合常开触点闭合，延时断开常闭触点断开，切断接触器 KM3 线圈回路的电源，接触器 KM3 线圈失电释放，同时 KM3 的常闭辅助触点复位闭合，接通接触器 KM2 线圈回路电源，接触器 KM2 线圈通电吸合自锁，其主触点闭合与接触器 KM1 主触点将电动机 M 绕组接成 Δ 联结全压运行。而接触器 KM2 的常闭辅助触点断开，切断时间继电器 KT 和接触器 KM3 线圈的电源通路，时间继电器 KT 失电释放，触点瞬时复位，并保障接触器 KM2 对接触器 KM3 实现互锁。图中利用接触器 KM2 的常闭辅助触点断开 KT 线圈的电源，使 KT 退出运行，这样可延长时间继电器的寿命并节约电能。停车时，按下 SB1 停车按钮，接触器 KM1、KM2 线圈相继断电释放，电动机 M 停转。

2.4 三相笼型异步电动机正反转控制电路

电动机正反转控制电路是电动机中常见的基本控制电路，是利用电动机电源的换相原理来实现电动机正反转控制的。常见的电动机正反转控制电路有转换开关正反转控制电路、接

触器互锁正反转控制电路、按钮互锁正反转控制电路以及接触器按钮双重互锁正反转控制电路等。

2.4.1 正反转控制电路

1. 接触器互锁正反转控制电路

接触器互锁正反转控制电路如图 2-13 所示。其主电路由转换开关 QS、熔断器 FU1、接触器 KM1、KM2 主触点、热继电器 FR 热元件、电动机 M 组成；控制电路由熔断器 FU2、热继电器 FR 常闭触点、停车按钮 SB1 常闭触点、启动按钮 SB2、SB3 常开触点、接触器 KM1、KM2 线圈及辅助常开常闭触点组成。其中 QS 为电源总开关，熔断器 FU1 为电路总短路保护，熔断器 FU2 为控制电路短路保护，热继电器 FR 为过载保护，接触器 KM1 控制电动机 M 正转电源的通断，接触器 KM2 控制电动机 M 反转电源的通断，按钮 SB1 为电动机 M 的停车按钮，SB2 为电动机的正转起动按钮，SB3 为电动机的反转起动按钮。

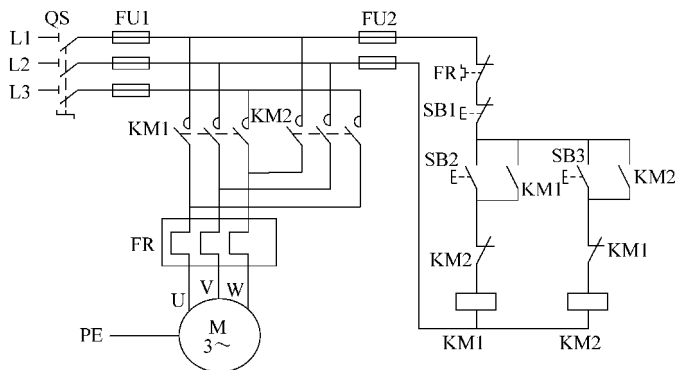


图 2-13 接触器互锁正反转控制电路

电路工作原理如下：合上电源开关 QS。当需要电动机正转时，按下正转起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电吸合，其主触点闭合接通电动机 M 的正转电源，电动机 M 起动正转。同时，接触器 KM1 的辅助常开触点闭合自锁，使得松开按钮 SB2 时，接触器 KM1 线圈仍然能够保持通电吸合。而串接在接触器 KM2 线圈回路的接触器 KM1 辅助常闭触点断开，切断接触器 KM2 线圈回路的电源，使得在接触器 KM1 得电吸合，电动机 M 正转时，接触器 KM2 不能得电，电动机 M 不能接通反转电源。这种利用接触器常闭辅助触点互相控制的方法叫接触器互锁，实现互锁作用的辅助常闭触点叫做互锁触点。当电动机 M 需要停车时，按下停车按钮 SB1，接触器 KM1 线圈失电释放，所有常开、常闭触点复位，电动机 M 停车。

同理，当需要电动机 M 反转时，按下反转起动按钮 SB3，接触器 KM2 线圈得电吸合，其主触点闭合接通电动机 M 的反转电源，电动机 M 起动反转。同时，接触器 KM2 的辅助常开触点闭合自锁，使得松开按钮 SB3 时，接触器 KM2 线圈仍然能够保持通电吸合。而串接在接触器 KM1 线圈回路的接触器 KM2 辅助常闭触点断开，切断接触器 KM1 线圈回路的电源，使得在接触器 KM2 得电吸合，电动机 M 反转时，接触器 KM1 不能得电，电动机 M 不能接通正转电源。当需要停车时，按下停车按钮 SB1，接触器 KM2 线圈失电释放，所有常开、常闭触点复位，电动机 M 断电停车。

由上述分析可知，接触器互锁正反转控制电路的优点是工作安全可靠，缺点是操作不

便。因电动机从正转变为反转时，必须先按下停止按钮后，才能按反转起动按钮，否则由于接触器的互锁作用，不能实现反转。为克服此线路的不足，可采用按钮互锁或按钮和接触器双重互锁的正反转控制电路。

2. 按钮互锁正反转控制电路

按钮互锁正反转控制电路如图 2-14 所示。其主电路与接触器互锁正反转控制电路完全相同，而控制电路利用复合按钮互锁取代接触器互锁，按钮 SB2 不仅为电动机的正转起动按钮，而且作为反转的互锁按钮，按钮 SB3 不仅为电动机的反转起动按钮，而且作为正转的互锁按钮。当电动机从正转变为反转时，直接按下反转起动按钮 SB3 即可实现，不必先按停车按钮 SB1。当电动机从反转变为正转时，直接按下正转起动按钮 SB2 即可实现。

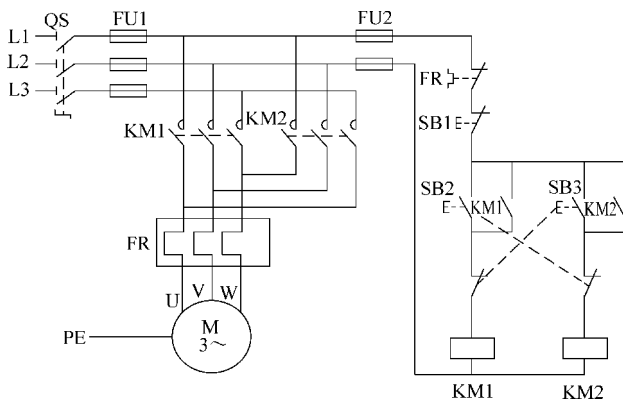


图 2-14 按钮互锁正反转控制电路

电路工作原理如下：合上电源开关 QS。当需要电动机正转时，按下正转起动按钮 SB2，其串接在接触器 KM2 线圈回路的常闭触点立即断开，并接的常开触点随之闭合，接触器 KM1 线圈得电自锁，其主触点闭合接通电动机 M 的正转电源，电动机 M 起动正转。同理，当需要电动机 M 反转时，按下反转起动按钮 SB3，其串接在接触器 KM1 线圈回路的常闭触点立即断开，并接的常开触点随之闭合，接触器 KM2 线圈得电自锁，其主触点闭合接通电动机 M 的反转电源，电动机 M 起动反转。当需要停车时，按下停车按钮 SB1，接触器 KM1 或 KM2 线圈失电释放，所有常开、常闭触点复位，电动机 M 断电停车。

这种电路的优点是操作方便。缺点是容易产生电源两相短路故障。例如，当正转接触器 KM1 发生主触点熔焊或被杂物卡住等故障时，即使 KM1 线圈失电，主触点也不能分断，这时若直接按下反转按钮 SB2，KM2 得电动作，触点闭合，必然造成电源两相短路故障。故在实际工作中，经常采用按钮、接触器双重互锁的正反转控制电路。

3. 接触器按钮双重互锁正反转控制电路

接触器按钮双重互锁正反转控制电路具有接触器互锁和按钮互锁两种正反转控制电路的优点，操作方便，工作安全可靠。其电路原理如图 2-15 所示。

电路工作原理如下：合上电源开关 QS。当需要电动机正转时，按下正转起动按钮 SB2，按钮 SB2 串接在接触器 KM2 线圈回路的常闭触点立即断开。接触器 KM1 线圈得电自锁，其主触点闭合接通电动机 M 的正转电源，电动机 M 起动正转。同时串接在接触器 KM2 线圈回路的接触器 KM1 辅助常闭触点断开，对接触器 KM2 线圈实现互锁。

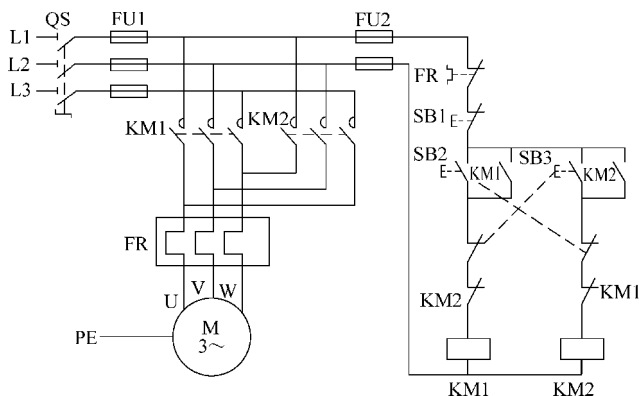


图 2-15 接触器按钮双重互锁正反转控制电路原理

同理，当需要电动机 M 反转时，按下反转起动按钮 SB3，按钮 SB3 串接在接触器 KM1 线圈回路的常闭触点立即断开。接触器 KM2 线圈得电自锁，其主触点闭合接通电动机 M 的反转电源，电动机 M 起动反转。同时串接在接触器 KM1 线圈回路的接触器 KM2 辅助常闭触点断开，对接触器 KM1 线圈实现互锁。

当需要停车时，按下停车按钮 SB1，接触器 KM1 或 KM2 线圈失电释放，所有常开、常闭触点复位，电动机 M 断电停车。

2.4.2 行程控制电路

在生产过程中，常需要控制生产设备运动部件的行程，并使其在一定范围内自动往复循环。例如混凝土搅拌机的提升降位、桥式吊车的自动往返、龙门刨床和导轨磨床的工作台及和动力头滑台等，实现这种控制主要依靠行程开关。图 2-16 所示为使用行程开关的工作台自动往返控制电路。从电路图下方工作台自动往返示意图可知，在机床床身上装有四个行程开关，SQ1 和 SQ2 行程开关用来实现工作台的自动往返，SQ3 和 SQ4 用作两端的极限位置保护。在工作台端部装有挡铁，挡铁 1 只能操作 SQ1、SQ3，挡铁 2 只能操作 SQ2、SQ4。挡铁压下行程开关后，工作台停止并换向，使工作台作往复运动。通过调整挡铁在工作台上的位置实现对往返行程的调节，挡铁间的距离增大，行程就长，反之行程就短。

图 2-16 自动往返控制电路和图 2-15 双重互锁正反转控制电路相似。行程开关 SQ1 和 SQ2 的作用相当于图 2-15 的正转和反转复合按钮，这里的按钮 SB2 和 SB3 作正向或反向起动用。SQ3 和 SQ4 的作用是，当换向用的行程开关 SQ1、SQ2 失灵，工作台越过限定位置时，挡铁就压下 SQ3 或 SQ4，其动断触点切断控制电路电源，迫使电动机停转，防止工作台因超出极限位置而发生事故。SB1 为停止按钮。

自动往返控制电路的工作原理如下：合上电源开关，按下 SB2，接触器 KM1 线圈得电自锁，其主触点闭合接通电动机 M 的正转电源，电动机 M 起动正转，工作台左移；同时串接在接触器 KM2 线圈回路中的接触器 KM1 辅助常闭触点断开，对接触器 KM2 线圈实现互锁。

工作台左移至挡铁压下 SQ2，其常闭触点先断开，KM1 线圈断电，其主触点断开，电动机 M 停转，工作台停止左移运动，并解除对 KM2 的互锁；SQ2 的常开触点后闭合，KM2 线

圈得电自锁，其主触点闭合，电动机 M 反转，工作台右移；同时串接在接触器 KM1 线圈回路中的接触器 KM2 辅助常闭触点断开，对接触器 KM1 线圈实现互锁。

工作台右移至挡铁压下 SQ1，其常闭触点先断开，KM2 线圈断电，其主触点断开，电动机 M 停转，工作台停止右移运动，并解除对 KM1 的互锁；SQ1 的常开触点后闭合，KM1 线圈得电自锁，其主触点闭合接通电动机 M 的正转电源，电动机 M 正转，工作台左移；同时串接在接触器 KM2 线圈回路中的接触器 KM1 辅助常闭触点断开，对接触器 KM2 线圈实现互锁。重复上述过程，工作台在一定范围内往返运动。

由上述工作原理可以看出，工作台每经过一个自动往复循环，电动机要进行两次反转制动过程，将出现较大的电流和机械冲击。

因此，这种电路只适用于电动机容量较小，循环周期较长，电动机转轴具有足够刚性的拖动系统中。另外，在选择接触器容量时应比一般情况下选择的容量大一些。

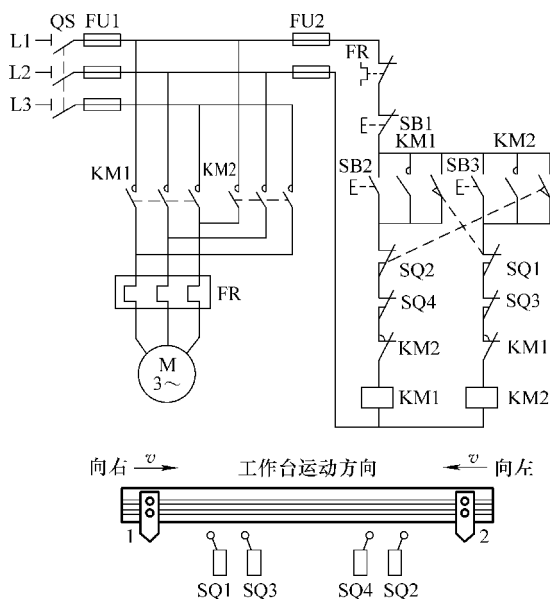


图 2-16 自动往返控制电路

2.5 三相笼型异步电动机制动控制电路

电源切断后，三相异步电动机因惯性会经过一段时间才能安全停转，这将影响劳动生产率。为了实现快速、准确、安全停车，就必须采取制动措施。常用的制动方法有机械制动和电气制动。机械制动有电磁抱闸制动、电磁离合器制动等；电气制动有反接制动、能耗制动、发电回馈制动等。

2.5.1 机械制动控制电路

1. 电磁抱闸制动

电磁抱闸制动是靠闸瓦抱紧与电动机同轴的制动轮来实现的。电磁抱闸制动方式的制动力矩大，制动迅速，停车准确，缺点是制动越快冲击振动越大。电磁抱闸制动有断电电磁抱闸制动和通电电磁抱闸制动。

(1) 断电电磁抱闸制动控制电路

断电电磁抱闸制动在电磁铁线圈一旦断电或未通电时电动机都处于抱闸制动状态，例如电梯、吊车、卷扬机等设备。图 2-17 所示为断电电磁抱闸制动控制电路。电路工作原理如下：

合上电源开关 QS。按下起动按钮 SB2，接触器 KM2 线圈得电，主触点闭合，电磁铁 YA 线圈接入电源，电磁铁心向上移动，抬起制动闸，松开制动轮。同时接在接触器 KM2 常开触点闭合，接触器 KM1 线圈得电自锁，主触点闭合，电动机起动运转。按下停车按钮

SB1, 接触器 KM1、KM2 线圈失电释放, 所有触点复位, 电动机和电磁铁绕组均断电, 制动闸在弹簧作用下紧压在制动轮上, 依靠摩擦力使电动机快速停车。为了避免电动机在起动前瞬时出现转子被掣住不转的短路运行状态, 在电路中接触器 KM2 先得电, 使得电磁铁 YA 线圈先通电待制动闸松开后, 电动机才接通电源。

(2) 通电电磁抱闸制动控制电路

通电电磁抱闸制动则是在平时制动闸总是在松开的状态, 通电后才能抱闸。例如机床等需要经常调整加工件位置的设备往往采用这种方法。图 2-18 所示为通电电磁抱闸制动控制电路。电路工作原理如下:

合上电源开关 QS。按下起动按钮 SB2, 接触器 KM1 线圈通电吸合并自锁, 其主触点闭合接通电动机 M 电源, 电动机 M 起动运转。而接触器 KM1 的常闭触点断开, 对接触器 KM2 实现互锁。即在接触器 KM1 线圈吸合 (电动机 M 运转) 时, 接触器 KM2 线圈不能吸合。当需要电动机 M 停车时, 按下停车按钮 SB1, SB1 的常闭触点首先断开, 切断接触器 KM1 线圈回路的电源, KM1 失电释放, 其主触点断开, 切断电动机 M 电源; 而后按钮 SB1 的常开触点闭合, 接通接触器 KM2 线圈回路电源, 接触器 KM2 线圈通电吸合, 其主触点闭合接通电磁铁 YA 线圈电源, YA 通电对断电后的电动机 M 进行抱闸制动, 使电动机 M 迅速停转。松开 SB1, 完成抱闸制动。

2. 电磁离合器制动

电磁离合器制动是采用电磁离合器实现制动的, 其体积小, 传动转矩大, 制动方式比较平稳且迅速, 并且可以安装在机床等的机械设备内部。图 2-19 所示为机械摩擦制动的电磁离合器的动作原理, 主要由制动电磁机构 (动铁心、静铁心和励磁线圈) 和动、静摩擦片等组成。电磁机构静铁心固定, 动铁心与静摩擦片相连, 动摩擦片与传动轴通过键或法兰连接。其工作原理如下:

当电动机静止时, 电磁离合器励磁线圈 3 无电, 制动弹簧 6 将静摩擦片 4 紧紧地压在动

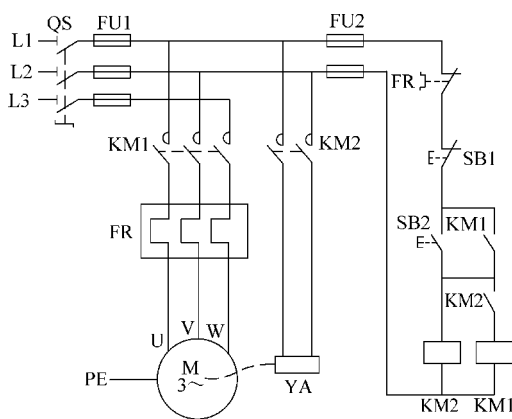


图 2-17 断电电磁抱闸制动控制电路

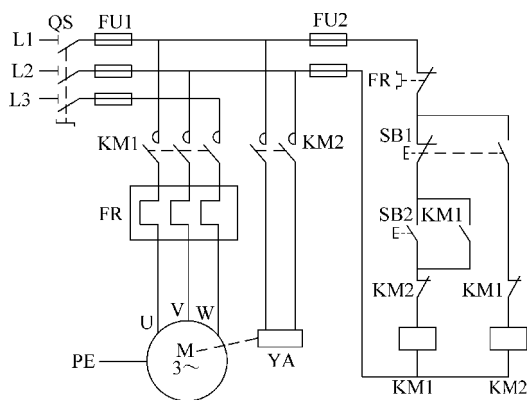


图 2-18 通电电磁抱闸制动控制电路

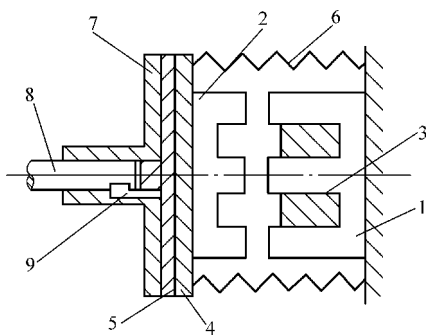


图 2-19 电磁离合器的动作原理

1—静铁心 2—动铁心 3—励磁线圈 4—静摩擦片
5—动摩擦片 6—制动弹簧 7—法兰 8—传动轴 9—键

摩擦片 5 上,此时电动机通过传动轴 8 被制动。当电动机通电时,电磁离合器励磁线圈 3 同时得电,电磁铁的动铁心 2 被静铁心 1 吸合,使与动铁心 2 固定在一起的静摩擦片 4 与动摩擦片 5 (和电动机轴相连) 分开,于是动摩擦片 5 和传动轴 8 随电动机正常转动;当电动机停车时,电磁离合器励磁线圈 3 断电,制动弹簧 6 立即将静摩擦片 4 和动铁心 2 推向转动的动摩擦片 5,在弹簧力的作用下,动、静摩擦片间产生足够大的摩擦力,使电动机断电后立即制动。电磁离合器制动控制电路与电磁抱闸制动控制电路类似,请读者自行分析。

2.5.2 电气制动控制电路

1. 反接制动控制电路工作原理

反接制动就是当电动机停车时,通过改变电动机电源相序使电动机制动。由于电源相序改变,定子绕组产生的旋转磁场方向也与原方向相反,而转子因惯性仍按原方向旋转,于是在转子电路中产生相反的感应电流。转子受到一个与原转动方向相反的力矩的作用,从而使电动机转速迅速下降,实现制动。反接制动控制电路主要由速度继电器 KS 来实现。一般的速度继电器有两对常开触点和两对常闭触点,可分别用于正、反向运行的反接制动。当电动机起动运行后,转速达到 120r/min 时,常开触点闭合,常闭触点断开。停车时,当电动机转速小于 100r/min 时,常开、常闭触点复位。反接制动控制电路有单向反接制动控制电路和双向反接制动控制电路。由于反接制动比较简单,效果较好,但能量消耗较大,因此中型车床和铣床主轴的制动常采用此方法。

(1) 单向运行反接制动控制电路

图 2-20 所示为单向起动反接制动控制电路,其中 KM1 为正转运行接触器, KM2 为反接制动接触器, KS 为速度继电器,其转轴与电动机 M 的转轴同轴相连。当需要电动机 M 运行时,按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈通电吸合,其主触点闭合接通电动机 M 的电源,电动机 M 起动运行。而接触器 KM1 常闭触点断开,使得在接触器 KM1 线圈吸合,电动机 M 运行时,接触器 KM2 线圈

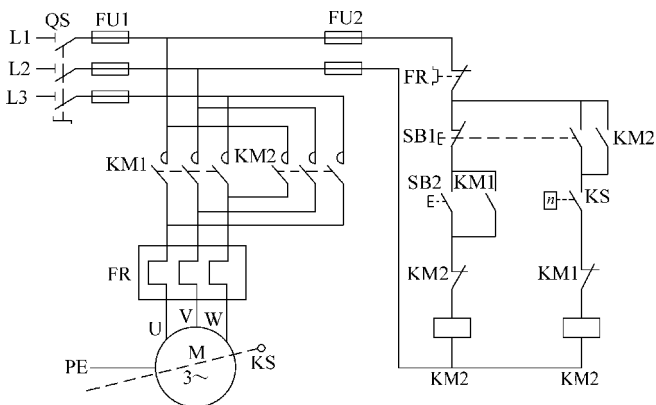


图 2-20 单向起动反接制动控制电路

不能吸合。在电动机 M 起动后,其转速上升到 120r/min 时,速度继电器 KS 的常开触点闭合,为接触器 KM2 线圈电源的接通做准备。当需要电动机 M 停止时,按下停车按钮 SB1,其常闭触点首先断开,切断接触器 KM1 线圈的电源,接触器 KM1 失电释放,电动机 M 断电。同时接触器 KM1 的常闭触点复位闭合,但因惯性作用,电动机 M 不能立即停止。然后按钮 SB1 的常开触点闭合,接通接触器 KM2 线圈回路的电源, KM2 通电吸合并自锁,其主触点闭合接通电动机 M 的反转电源,使电动机 M 产生一个反向旋转力矩。这个反向旋转力矩与电动机惯性转动的方向相反,故使电动机 M 的转速迅速下降。当电动机 M 转速下降为 100r/min 时,速度继电器 KS 的常开触点复位断开,切断接触器 KM2 线圈的电源, KM2 失电释放,完成单向反接制动控制过程。

(2) 双向运行反接制动控制电路

图 2-21 所示为双向起动反接制动控制电路。其中 KM1 既是正转运行接触器，又是反转运行时的反接制动接触器；KM2 既是反转运行接触器，又是正转运行时的反接制动接触器；中间继电器 KA 完成电动机正、反向起动的反接制动控制；速度继电器 KS 有两对常开触点，分别用于控制电动机正转和反转时反接制动时间。双向反接制动控制电路的控制原理同单向反接制动基本相同，不同之处是双向反接制动控制电路中电动机 M 在正、反向运行需要停止时，均可反接制动停车。其电路工作原理如下：

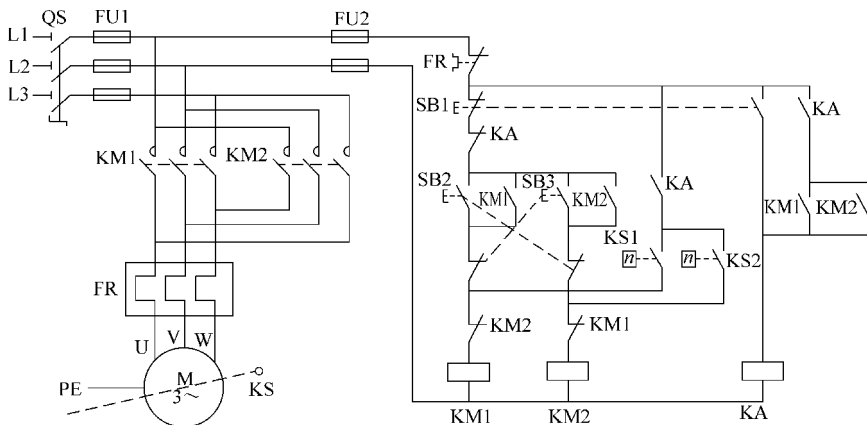


图 2-21 双向起动反接制动控制电路

合上电源开关 QS。当需要电动机 M 正转时，按下正转起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈通电吸合并自锁，其主触点闭合接通电动机 M 正转电源，电动机 M 启动正转。同时接触器 KM1 的常闭辅助触点断开，对接触器 KM2 实现互锁，当电动机 M 的正转速度达到 120r/min 时，速度继电器 KS 的正转常开触点 KS2 闭合，为接通接触器 KM2 线圈电源及电动机 M 正转反接制动做好准备。当需要电动机 M 停转时，按下停车按钮 SB1，SB1 的常闭触点首先断开，切断接触器 KM1 线圈电源，接触器 KM1 线圈失电释放，主触点断开电动机 M 正转电源。然后 SB1 的常开触点闭合，接通中间继电器 KA 线圈的电源，中间继电器 KA 通电吸合，其常闭触点断开，而常开触点闭合，接触器 KM2 线圈通电吸合，其常开辅助触点闭合，使得松开按钮 SB1 时，中间继电器 KA 线圈不会失电，而 KM2 主触点闭合接通电动机 M 的反转电源，使电动机 M 产生一个反向旋转的力矩，电动机 M 转速迅速下降。当转速下降至 100r/min 时，速度继电器 KS 的常开触点复位断开，切断接触器 KM2 线圈的电源，KM2 失电释放，其常开辅助触点复位断开，中间继电器 KA 断电释放，所有常开常闭触点复位，为下一次电动机 M 起动及制动做准备。电动机 M 反转的起动和制动与正转的原理相同。请读者自行分析。

2. 能耗制动控制电路

能耗制动是一种应用广泛的电气制动方法。当电动机脱离三相交流电源以后，立即将直流电源接入定子的两相绕组，使绕组中流过直流电流，产生了一个恒定的静止直流磁场。而此时电动机的转子切割直流磁场，在转子绕组中产生感应电流。在静止磁场和感应电流相互作用下，产生一个阻碍转子转动的制动力矩，因此电动机转速迅速下降，从而达到制动的目

的。当电动机转速降至零时，转子导体与磁场之间无相对运动，感应电流消失，电动机停转，再将直流电源切除，制动结束。

能耗制动时产生的制动力矩的大小与接入定子绕组中的直流电流大小、电动机的转速及转子电路中的电阻有关。电流越大，产生的静止磁场就越强，而转速越高，转子切割磁力线的速度就越大，产生的制动力矩就越大。但对笼型异步电动机，增大制动力矩只能通过增大接入定子绕组中的直流电流来实现，但接入的直流电流又不能太大，否则会烧坏定子绕组。一般直流电流的大小取为电动机额定电流的 0.5 ~ 1 倍。在机床上常用的有变压器全波整流单向运行能耗制动电路。

图 2-22 所示为按时间原则控制的单向能耗制动控制电路。其工作原理如下：当电动机 M 需要转动时，按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电吸合并自锁，电动机 M 单向运行。而接触器 KM1 的常闭辅助触点断开，使得在接触器 KM1 得电时，接触器 KM2 和时间继电器 KT 线圈不能吸合。当需要电动机 M 停车时，按下停车按钮 SB1 时，SB1 的常闭触点首先断开，切断接触器 KM1 线圈电源，KM1 失电释放，主触点断开，电动机 M 脱离三相交流电源。然后按钮 SB1 的常开触点闭合，使接触器 KM2 与时间继电器 KT 线圈相继得电吸合，KT 瞬动常开触点闭合、KM2 常开辅助触点闭合构成自锁，接触器 KM2 主触点闭合，将两相电源通过变压器 TC 减压，整流器 VC 桥式整流及电阻 R 限流后的直流电压接至电动机 M 的两相定子绕组上，对电动机 M 进行能耗制动，电动机 M 转速迅速下降。而接触器 KM2 的常闭辅助触点断开，对接触器 KM1 实现互锁。当电动机转速接近零时，时间继电器 KT 的延时断开常闭触点断开，接触器 KM2 线圈失电释放，切断通入电动机 M 的两相直流电源，完成电动机 M 能耗制动过程。同时，接触器 KM2 的常开辅助触点复位，使时间继电器 KT 失电释放，所有触点复位。

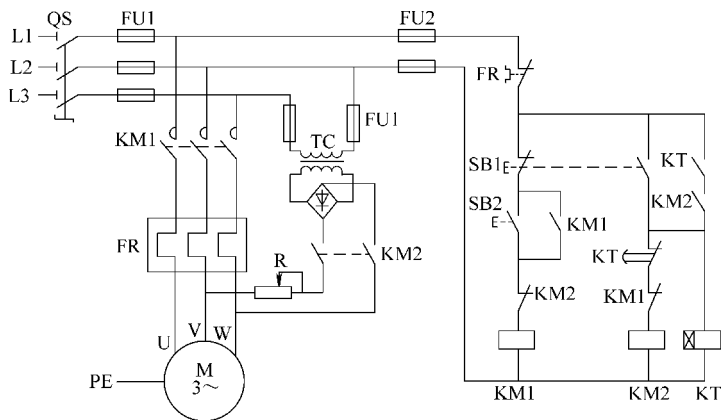


图 2-22 能耗制动控制电路

从能量角度看，能耗制动是把电动机转子运行所储存的动能转变为电能，且又消耗在电动机转子的制动上，与反接制动相比，能量损耗少，制动停车准确。所以，能耗制动适用于电动机容量大，要求制动平稳和起动频繁的场所。但制动速度较反接制动慢一些，另外能耗制动需整流电路。

2.6 双速异步电动机高低速控制电路

机床在加工工件的过程中,常常需要对机床进行变速。一般普通的机床采用机械变速箱取得相应的转速。但是,对于调速要求高的机床,需要采用多速电动机拖动,以提高它的调速范围。

多速电动机采用改变电动机定子绕组极数的方法来改变电动机的同步转速的,这种调速方法称为变极调速,一般只适用于笼型异步电动机。笼型异步电动机常用的变极调速方法有两种:一是改变定子绕组的接线,即改变定子绕组每相的电流方向;一是在定子绕组上设置具有不同极对数的两套互相独立的绕组,又使每套绕组具有改变电流方向的能力。变极调速是有级调速,速度变换是阶跃式的。用变极调速方式构成的多速电动机一般有双速、三速、四速之分。这种调速方法简单、可靠、成本低,因此在有级调速能够满足要求的机械设备中,广泛采用多速电动机作为主拖动电机,如镗床、铣床等。这里主要讨论双速电动机的控制。

2.6.1 Δ - Y 双速异步电动机定子绕组的联结

双速异步电动机绕组有6个接线端,分别为U1、V1、W1, U2、V2、W2。图2-23所示为双速异步电动机定子绕组的 Δ - Y 接线图。图2-23a为 Δ 联结,用于低速运行;图2-23b为 Y 联结,用于高速运行。当需要电动机低速运行时,三相电源从接线端U1、V1、W1进入双速电动机绕组中,另外三个接线端U2、V2、W2空着不接,双速电动机绕组按三角形接法为低速运行。当需要电动机高速运行时,三相电源从接线端U2、V2、W2进入双速电动机绕组中,而U1、V1、W1三个接线端短接在一起,此时电动机绕组接成 Y 联结,双速电动机高速运行。

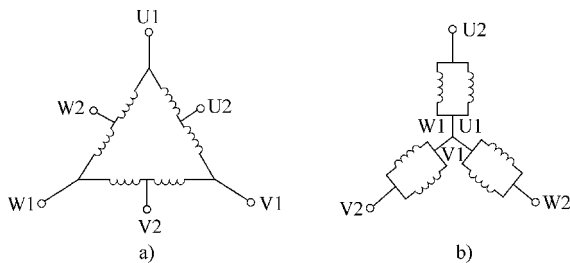


图2-23 双速电动机定子绕组 Δ - Y 接线图

2.6.2 双速异步电动机手动变速控制电路

图2-24所示为按钮接触器控制双速电动机电路原理图。主电路中,当接触器KM1吸合,KM2、KM3断开时,三相电源从接线端U1、V1、W1进入双速电动机M绕组中,双速电动机M绕组接成 Δ 联结,实现低速运行。而当接触器KM1断开,KM2、KM3吸合时,三相电源从接线端U2、V2、W2进入双速电动机M绕组中,双速电动机M绕组接成 Y 联结高速运行。即SB2、KM1控制双速电动机M低速运行;SB3、KM2、KM3控制双速电动机M

高速运行。其工作原理如下：

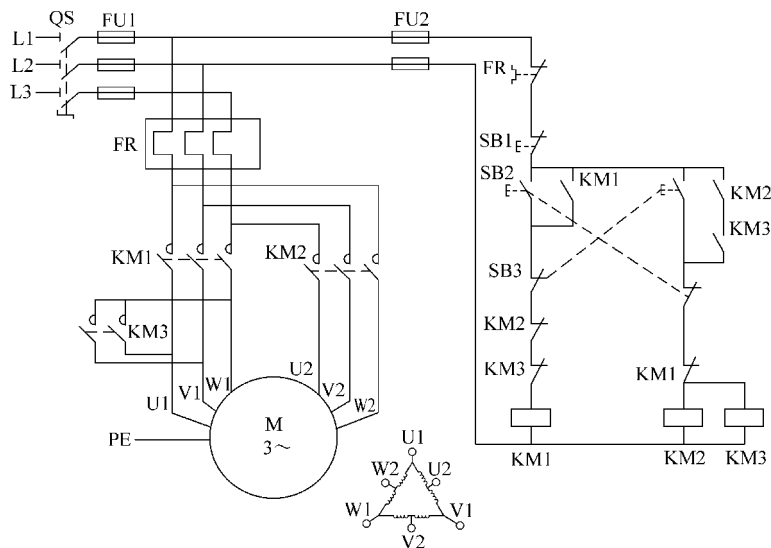


图 2-24 按钮接触器控制双速电动机电路

合上电源开关 QS，当需要双速电动机低速运行或从高速运行转换为低速运行时，按下低速运行起动按钮 SB2，其常闭触点先断开，切断接触器 KM2、KM3 线圈回路电源的通路，使接触器 KM2、KM3 在需要接触器 KM1 吸合时处于失电断开状态。而后 SB2 的常开触点闭合，接通接触器 KM1 线圈电源，接触器 KM1 通电吸合并自锁，其主触点闭合，三相电源通过 KM1 主触点到接线端 U1、V1、W1 从而进入双速电动机 M 的绕组中，将双速电动机 M 的绕组接成三角形接法，双速电动机 M 低速起动运行。而 KM1 的常闭辅助触点断开，与接触器 KM2、KM3 实现互锁，使接触器 KM2、KM3 在接触器 KM1 吸合时处于失电断开状态。当需要电动机 M 高速运行或从低速运行转换为高速运行时，按下高速运行起动按钮 SB3，其常闭触点先断开，切断接触器 KM1 线圈回路电源的通路，接触器 KM1 所有触点复位。而后 SB3 的常开触点闭合，接通接触器 KM2、KM3 线圈电源，接触器 KM2、KM3 通电吸合并自锁，主触点闭合，三相电源通过 KM2 主触点到接线端 U2、V2、W2 进入双速电动机 M 的绕组中，同时 U1、V1、W1 通过 KM3 的主触点并接，将双速电动机 M 绕组接成 YY 形接法，双速电动机 M 高速起动运行。KM2、KM3 常闭辅助触点断开，与接触器 KM1 实现互锁，即接触器 KM2、KM3 吸合时接触器 KM1 处于失电断开状态。当需要电动机 M 停车时，按下停车按钮 SB1 即可。

在双速电动机的控制电路中存在一个高、低速转换同向的问题，即电动机在低速运行时，如果转向是正转（逆时针方向旋转），而在转换为高速时为反转（顺时针方向旋转），这就说明双速电动机在高、低速转换时不同向，解决这种问题的方法是将双速电动机 M 的接线端 U1、V1、W1 或 U2、V2、W2 中的任意两相调换即可。

2.6.3 双速异步电动机自动变速的控制电路

时间继电器接触器控制双速电动机的电路如图 2-25 所示。其工作原理如下：合上电源

开关 QS, 当需要双速电动机 M 低速运行时, 按下低速起动按钮 SB2, 接触器 KM1 通电吸合自锁, 三相电源经接触器 KM1 主触点到接线端 U1、V1、W1 进入双速电动机 M 的绕组中, 双速电动机 M 绕组接成三角形接法低速起动运行。而 KM1 的常闭辅助触点断开, 与接触器 KM2、KM3 实现互锁。若需要双速电动机高速运行时, 按下高速运行起动按钮 SB3, 时间继电器 KT 线圈通电吸合并开始计时。同时 KT 的瞬动常开触点闭合自锁, 当时间继电器 KT 整定时间到后, KT 的延时断开常闭触点断开, 接触器 KM1 线圈失电, 所有触点复位, KT 延时闭合常开触点闭合, 接通接触器 KM2、KM3 线圈电源, 接触器 KM2、KM3 通电吸合, 三相电源经接触器 KM2 主触点到接线端 U2、V2、W2 进入双速电动机 M 绕组中, 同时 U1、V1、W1 通过 KM3 的主触点并接, 双速电动机 M 绕组接成 Δ 联结高速运行。KM2、KM3 常闭辅助触点断开, 与接触器 KM1 实现互锁。当需要双速电动机 M 停车时, 按下停车按钮 SB1 即可。当双速电动机 M 只需要高速运行时, 可直接按下起动按钮 SB3, 接触器 KM1 通电吸合自锁, 则双速电动机 M 绕组接成三角形低速起动, 经过一定时间, 时间继电器切断接触器 KM1 线圈电源, 自动切换到高速运行。

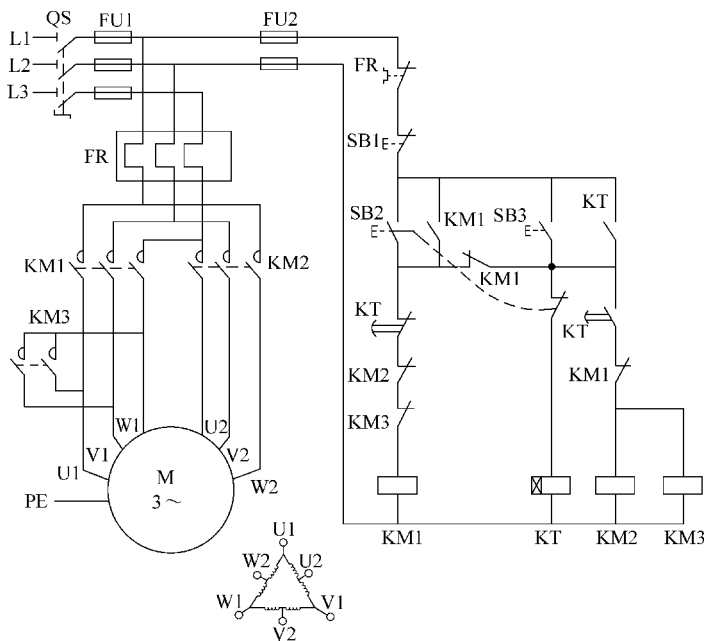


图 2-25 时间继电器接触器控制双速电动机电路

2.7 机床液压系统的电气控制电路

液压传动系统容易获得很大的转矩, 其传动平稳均匀, 准确可靠, 控制方便, 易于实现自动化。液压传动系统和电气控制系统相结合的电液控制系统在组合机床、自动化机床、生产自动线、数控机床等生产设备上应用广泛。

液压传动系统一般由四个部分组成:

1) 动力装置: 包括液压泵等。液压泵将电动机输出的机械能转换为油液的压力能, 供

给液压系统的压力油液，从而推动液压系统的工作。

2) 执行机构：包括液压缸或液压马达。液压缸用于直线运动的油缸，油液马达用于旋转运动，它们把油液的压力能转换为机械能，从而带动工作部件运动。

3) 控制调节机构：包括换向阀、节流阀、溢流阀等。它们都起控制作用，实现油液传动系统中的不同性能要求。

4) 辅助装置：包括油箱、滤油器、压力表、油管 and 管接头等元件。

2.7.1 机床中常用的液压元件

1. 液压泵和液压马达

(1) 液压泵的工作原理。液压系统中工作介质为压力油液，而压力油液来源于液压泵。液压泵是一种能量转换装置，它把驱动它的原动力的机械能转换为油液的液压能，供液压系统使用，它是液压系统的能源。

机床液压系统中使用的液压泵都是容积泵，其工作原理可用图 2-26 所示的柱塞泵来说明。图中柱塞 2 依靠弹簧 3 紧压在凸轮 1 上，凸轮 1 的旋转使柱塞 2 作往复运动。柱塞 2 向右移动时，密封的工作油腔 4 的容积由小变大，产生了真空，大气压力迫使油箱中的油液通过吸油管顶开单向阀 5 进入油腔 4，这就是吸油过程。当柱塞 2 向左移动时，油腔 4 的容积由大变小，其中的油液顶开单向阀 6 流向液压系统中去，这就是压油过程。随着凸轮 1 不断旋转，泵就不断地吸油和压油，把机械能转换成油液的压力能。

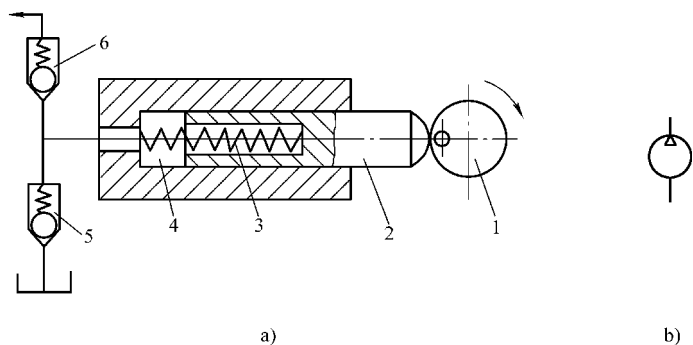


图 2-26 柱塞泵

a) 容积泵工作原理 b) 职能符号

1—凸轮 2—柱塞 3—弹簧 4—工作油腔 5、6—单向阀

(2) 液压马达的工作原理。液压马达也是一种能量转换装置，其工作原理和液压泵的转换过程相反，它是把油液的压力能转换成机械能，驱使机床上的工作部件运动的。就液压系统来说，液压马达是一个执行元件。机床液压系统中使用的液压马达都是容积式电动机，其工作原理从原则上讲是把容积式泵倒过来使用，输入压力油液，输出转速和转矩。也就是说，容积式液压泵和液压马达原则上是互逆的。大部分的液压泵可作液压马达使用，反之亦然。当然它们在结构的细节上还是有差异的，这里主要讨论液压泵。

2. 液压阀

液压系统的控制装置称为阀。液压阀是用来控制或调节液压系统中油液的方向、压力、流量，以满足机床工作性能要求的控制装置。液压阀的类型很多，我们仅对机床上常用的几

种液压阀的结构、工作原理和性能特点作简要介绍。

1) 方向控制阀：用来控制液压系统中液压的方向，以实现执行机构变换运动方向的要求，如单向阀、换向阀等。

2) 压力控制阀：用来控制液压系统中的压力，以实现执行机构所要求的力或转矩，如溢流阀、安全阀、顺序阀、减压阀、背压阀等。

3) 流量控制阀：用来控制液压系统中油液的流量，以实现执行机构所要求的运动速度，如节流阀、调速阀等。

4) 组合阀：按照不同用途，把上述控制阀中的某些阀组合起来制成结构紧凑的独立单元，叫做组合阀。组合阀是按它所完成的功用来命名的，如电磁换向阀、单向行程调速阀等。

3. 方向控制阀

控制油液流动方向的阀称为方向控制阀，简称方向阀。它包括单向阀和换向阀等。

(1) 单向阀

普通单向阀的作用是使油液只能沿一个方向流动，而不允许反方向流动。图 2-27 所示为普通单向阀的结构及其职能符号图。压力油液从阀体左端通口流入时，它可以方便地克服弹簧 3 作用在阀芯上的力，而使阀芯向右移动打开阀口，并通过阀芯上的径向孔从阀体右端通口流出。但是当压力油液从阀体右端流入时，它和弹簧 3 一起使阀芯锥面压紧在阀孔上，使阀口关闭，油液就无法通过。

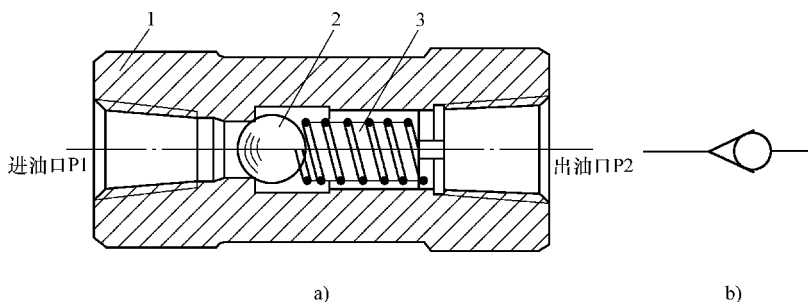


图 2-27 普通单向阀的结构及其职能符号图

a) 单向阀结构 b) 职能符号

1—阀体 2—阀芯 3—弹簧

(2) 电磁换向阀

换向阀在液压系统中用以改变液流方向、实现运动换向、接通或关断油路。机床液压系统中使用的换向阀种类很多，常用的主要是滑阀。滑阀式换向阀的结构主体是阀体和阀芯，滑阀滑体上开了许多通口，阀芯通过移动可以停止在不同的工作位置上，从而接通或关断相应油路。根据阀体上所开口数目和阀芯移动位置的数量，可以分为二位二通、二位三通、二位四通、三位四通、三位五通阀等。

在电液控制系统中，常用电磁铁推动换向阀阀芯来改变液流方向，电磁换向阀就是利用电磁铁推动滑阀移动来控制液流流动方向的。电磁阀有交流电磁阀和直流电磁阀两种，以电磁铁所用的电源种类而定。这里以三位四通电磁换向阀为例加以介绍。

图 2-28 所示为三位四通电磁换向阀，图中 1 和 3 为复位弹簧，2 为阀芯，4 为推杆。当

电磁铁断电时,两边的弹簧1和3使阀芯2处于中间位置。当右边电磁铁通电时,阀芯通过推杆4将阀芯2推向左端,这时进油口P和油口B相通,油口A和回油口O相通。当左边电磁铁通电时,阀芯2被推向右端,这时油口A和进油口P、油口B与回油口O分别相通,实现油路的换向。由于受到电磁力较小的限制,电磁换向阀的流量一般在 $63\text{L}/\text{min}$ 以下;流量大时,一般采用液动控制或电液控制。液动换向阀是靠压力油液改变阀芯位置的,电液动换向阀是由电磁换向阀和液动阀组合而成,电磁换向阀起先导作用,它改变控制油液的方向,借以改变液动滑阀的阀芯位置,所以能够用较小的电磁铁来控制较大流量的油液,由液动阀控制主油路换向。图2-29a、b分别为液动换向阀和电液动换向阀的图形符号。

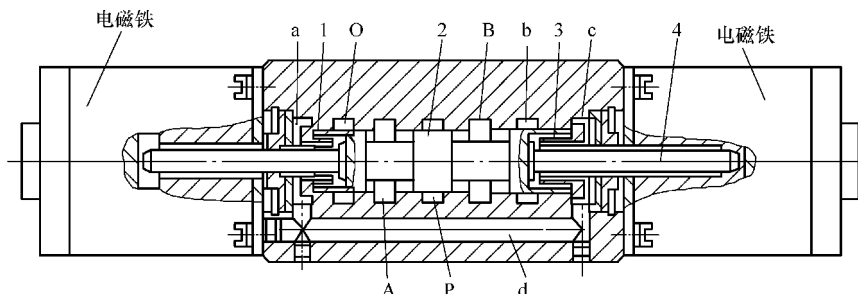


图 2-28 三位四通阀结构

1、3—弹簧 2—阀芯 4—推杆

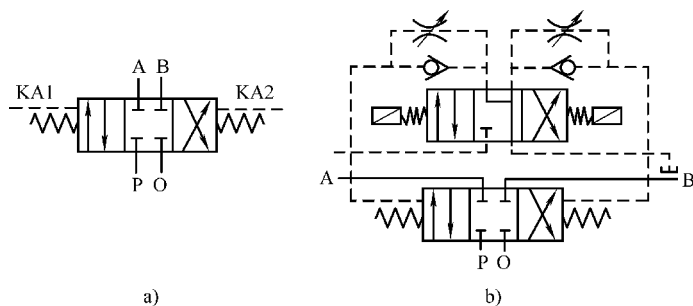


图 2-29 三位四通换向阀图形符号

a) 液动换向阀职能符号 b) 电液动换向阀职能符号

4. 压力控制阀

压力控制阀是利用阀芯上液压作用力和弹簧力保持平衡来进行工作的,平衡状态的任何破坏都会使阀芯位置产生变化,其结果不是改变阀口的开度大小(如溢流阀、减压阀),就是改变阀口的通道(如安全阀、顺序阀)。

(1) 溢流阀

溢流阀是液压系统中最常见的元件,它的主要功能是保持系统压力基本恒定,防止系统过载,造成背压,使系统卸荷等。机床液压系统中常用的溢流阀有直动式和先导式两种,直动式溢流阀用于低压,先导式溢流阀用于高压。这里仅介绍直动式溢流阀。

图2-30a所示为直动式溢流阀的结构图,它由阀体5、阀芯4、上盖3、弹簧2和螺帽1等主要部件组成,通口P和O分别为溢流阀的进油口和回油口。当压力油液从通口P经油

腔 c、径向孔 e、阻尼孔 f 进入油腔 d，阀芯的底面受到油液的压力。由于阀芯顶部原来作用着一个弹簧力，因此阀芯的工作位置由这两个力的大小来决定。当通 P 处压力不足以使作用在阀芯底面上的力超过弹簧力时，阀芯 4 处于最低位置，通口 P 与 O 不相通，回油口 O 无油液流出，当通口 P 处压力升高到作用在阀芯底面上的力超过弹簧力时，阀芯 4 上升，阀口开度处于某种大小，油腔 b 与油腔 c 相通，油液从回油口 O 排出。这时压力油液作用在阀芯 4 上的力 P_A (P 为进口处压力， A 为阀芯截面积) 就和此时开度下作用在阀芯上的弹簧力 FS 保持平衡，通口 P 处压力也基本稳定在某一数值上，这就是直动式溢流阀控制压力的原理。转动调整螺帽 1 可以调整弹簧 2 力的大小，从而调整了通口 P 的油液压力。图 2-30b 所示为其职能符号图。

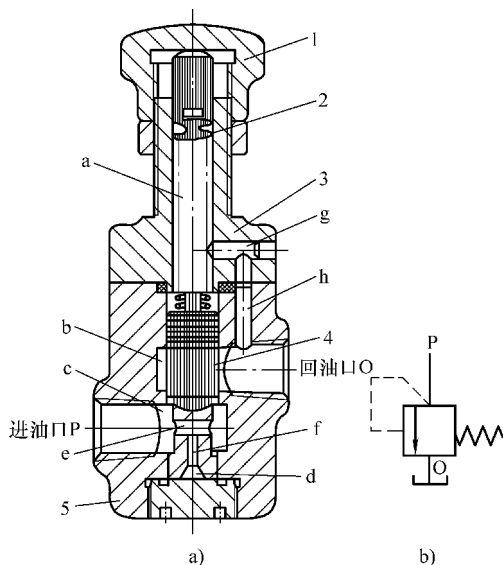


图 2-30 直动式溢流阀

a) 结构图 b) 职能符号

1—螺帽 2—弹簧 3—上盖 4—阀芯 5—阀体

(2) 顺序阀

顺序阀是利用系统中压力的变化去控制油路的，即用来控制液压系统中各执行元件动作的先后顺序。

顺序阀的结构和工作原理与溢流阀完全相同，唯一的差异在于顺序阀出口处不接通油箱，而接通某个执行元件。为此，必须使油腔 a (见图 2-30) 不通过孔道 h 与回油口 O 相通，而是经孔道 g 直接流回油箱。顺序阀也有直动式与先导式之分，直动式顺序阀用于中、低压系统，先导式顺序阀用于高压系统。顺序阀的职能符号图如图 2-31 所示。

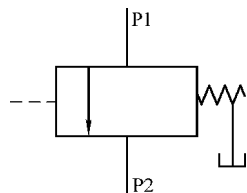


图 2-31 顺序阀职能符号

5. 流量控制阀

控制油液流量的阀称为流量控制阀，简称流量阀。流量控制阀是靠改变阀口通流截面积的大小或油液通道的长短来控制流量阀阀口油液流量，以实现调节执行元件（油缸或液压马达）的运动速度的。常用的流量控制阀有普通的节流阀、各种类型的调速阀以及由它们组合而成的组合阀等。

机床上使用的流量控制阀应满足如下要求：具有足够的调速范围，能保证稳定的最小流量，温度和压力变化对流量影响小，调节方便，泄漏小等。

(1) 普通节流阀

图 2-32 所示为普通节流阀的结构图和职能符号图，它的节流孔道是轴向三角形槽式。油液从进油口 P1 流入，经孔道 A 和阀芯 2 左端三角形节流槽进入孔道 B 再从出油口 P2 流出。阀芯 2 在弹簧 1 的作用下始终贴紧在推杆 3 上。

机床液压系统中采用节流阀来控制执行元件的速度时，一般情况下都采用定量泵带溢流阀的结构。

(2) 调速阀

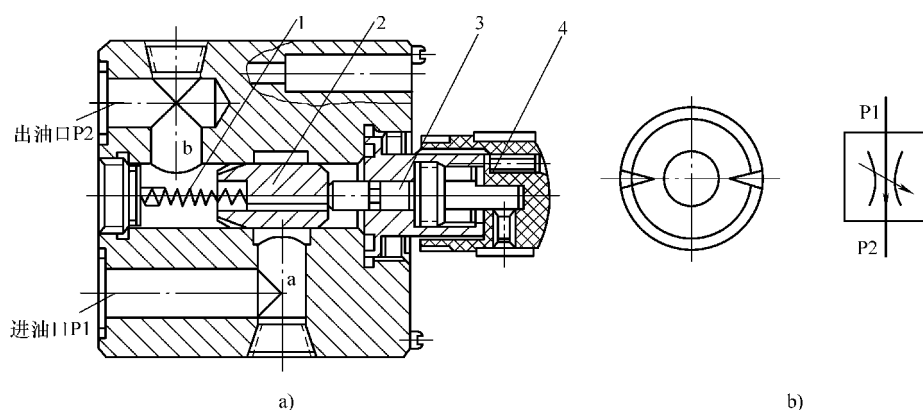


图 2-32 普通节流阀

a) 结构图 b) 职能符号

1—弹簧 2—阀芯 3—推杆 4—调整螺帽

图 2-33a 所示为普通调速阀的结构图，它是一个由减压阀和节流阀串联而成的组合阀。高压油液 P_1 从右侧进油口流入，经减压阀 2 的缝隙 X_R 二进入油腔 d，将压力减为 P_2 ，再经节流阀 3 上的节流缝隙 X_T 将压力降为 P_3 ，最后从出油口流出去。油腔 d 通过孔道 f 和阻尼孔 b 与油腔 e 和 c 相连，出油口则通过孔道 g 与油腔 a 相连，因此阀芯就在弹簧力、液压作用力、上下端面油液压力的作用下处在某个平衡位置上。

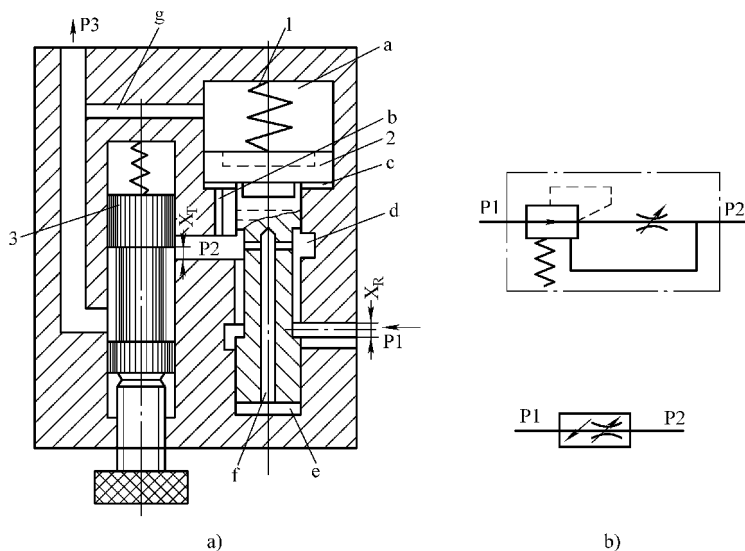


图 2-33 普通调速阀

a) 结构图 b) 职能符号

1—弹簧 2—减压阀 3—节流阀

无论调速阀出口处压力 P_3 变化，还是调速阀进口出压力 P_1 变化，减压阀阀芯都会因其上、下端油液压力的变化而自动调整其位置，从而维持 P_2 - P_3 基本上恒定。

图 2-33b 所示为其职能符号图及简化职能符号图。

6. 压力继电器

压力继电器以液压系统的压力变化作为输入信号使继电器动作。压力继电器一般用在机床的液压、气压和水压系统中或用于气压给水设备、消防设备等系统中的保护。

压力继电器由微动开关、调节螺母1、压缩弹簧2、顶杆3、橡皮薄膜4和缓冲器5等组成，其图形符号及结构见图2-34。压力继电器装在油路（水路或气路）的分支路中，当压力超过整定值时，通过缓冲器、橡皮薄膜抬起顶杆，使微动开关动作；若管路中压力等于或低于整定值，顶杆脱离微动开关使触点复位。压力继电器调节方便，只需放松或拧紧调整螺母即可改变控制压力。

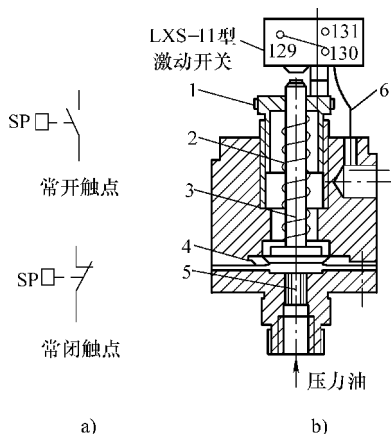


图 2-34 压力继电器

a) 图形符号 b) 结构

1—调节螺母 2—压缩弹簧 3—顶杆 4—橡皮薄膜 5—缓冲器 6—导线

2.7.2 液压动力部件控制电路

组合机床上最主要的通用部件是动力头和动力滑台，它们是完成刀具切削运动和进给运动的部件。通常将能同时完成切削运动和进给运动的动力部件称之为动力头，而将只能完成进给运动的动力部件称之为动力滑台。动力滑台按结构分为机械动力滑台和液压动力滑台。机械动力滑台和液压动力滑台都是完成进给运动的动力部件，两者区别仅在于进给的驱动方式不同。动力滑台与动力头相比较，前者配置成组合机床更为灵活。在动力头上只安装多轴箱，而滑台还可安装各种切削头，组成卧式、立式组合机床及其自动线，以完成钻、扩、铰、镗、刮端面、倒角、铣削和攻螺纹等加工工序，安装分级进给装置后，也可用来钻深孔。

1. 液压动力头控制电路

液压动力头的自动工作循环是由控制电路控制液压系统来实现的。图2-35所示为动力头一次工作进给液压系统及其电气控制电路图，因为电磁阀没有触点，对短信号无自锁能力，所以要使用中间继电器，系统可工作于自动和手动两种工作方式。

(1) 自动工作方式

把选择开关SA拨在“自动”位置，系统按行程控制原理实现自动工作循环，动力头快

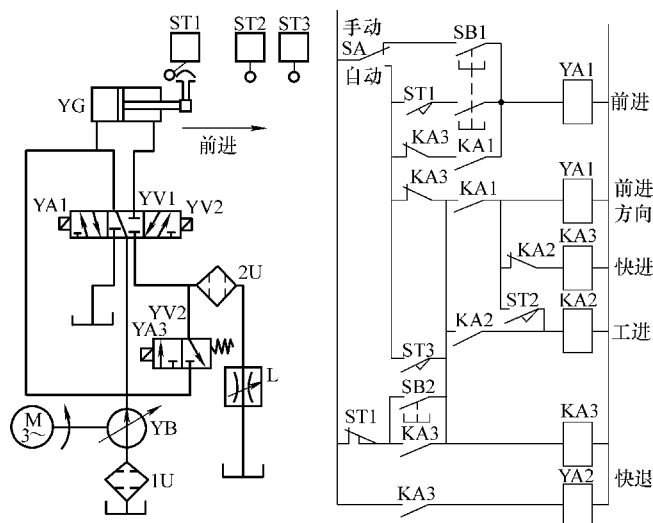


图 2-35 动力头一次工作进给电气控制电路

进→工作进给→快速退回到原位。其工作流程如图 2-36 所示。

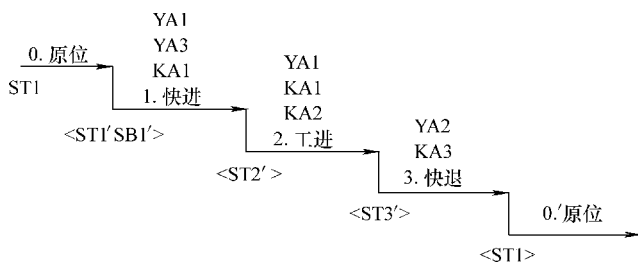


图 2-36 工作流程图

1) 动力头原位停止。动力头由液压缸 YG 带动，可做前后进给运动。当电磁阀线圈 YA1、YA2、YA3 都断电时，电磁阀 YV1 处于中间位置，动力头停止不动。动力头只有在原位时，行程开关 ST1 被挡铁压动，其动合触点闭合，此时起动按钮 SB1 才能按下有效，在工作流程图中用 ST1 同 SB1 “与” 来表明这点。

2) 动力头快进。按起动按钮 SB1，中间继电器 KA1 得电动作并自锁，其动合触点闭合使电磁阀线圈 YA1、YA3 通电。YA1 通电后三位五通换向阀 YV2 处于左位，液压油把液压缸的活塞推向右端，动力头向前运动。此时由于 YA3 也通电，除了工进油路外，还经二位三通换向阀 YV2 处于右位，将液压缸左腔内的回油排入大腔，加大了油的流量，所以动力头快速向前运动。

3) 动力头工进。在动力头快进过程中，当挡铁压动行程开关 ST2 时，其动合触点闭合，使 KA2 得电动作，KA2 的动断触点断开，使 YA3 断电，使动力头自动转为工作进给状态。KA2 的动合触点接通自锁电路（如果挡铁的长度超过行程开关 ST2 与 ST3 间的距离时，就不用此触头）。

4) 动力头快退。当动力头工作进给到期望点时，由行程开关 ST3 检测并发出信号，其

动合触头闭合使 KA3 得电动作并自锁。KA3 动作的结果是：其动断触点断开，使 YA1、YA3 断电，其动合触头闭合，使 YA2 得电，三位五通换向阀 YV2 处于右位，油路换向得以实现，液压缸活塞左移，动力头快速退回。动力头退回原位后，ST1 被压动，其动断触点断开，使 KA3 断电，因此 YA2 也断电，动力头停止。

(2) 手动工作方式

将选择开关 SA 拨在“手动”位置。此时按动按钮 SB1 也可接通 KA1 使电磁阀线圈 YA1、YA3 通电，动力头快进。但由于 KA1 不能自锁，因此放松 SB1 后，动力头立即停止，这种工作方式称为手动或点动。

SB2 是后退按钮，当动力头不在原位需要后退时，按下 SB2，使 KA3 得电动作，YA2 得电，动力头做快退运动，直到退回原位，ST1 被压下，KA3 断电，动力头停止。

2. 液压动力滑台控制电路

液压动力滑台与机械滑台的区别在于，液压动力滑台进给运动的动力是压力油，而机械滑台的动力来自于电动机。液压动力滑台由滑台、滑座、油缸及挡铁等部分组成，由油缸拖动滑台在滑座上移动。液压滑台具有典型的自动工作循环，它通过电气控制电路控制液压系统来实现。液压滑台的工进速度由调速阀来调节，可实现无级调速。电气控制电路一般采用行程、时间原则及压力控制方式。

(1) 液压动力滑台工作循环形式

液压动力滑台配置不同的控制电路，可完成多种自动循环。动力滑台的基本工作循环形式如下。

1) 一次工作进给。快进→工进→(延时停留)→快退，可用于钻孔、扩孔、镗孔和加工盲孔、刮端面等。

2) 二次工作进给。快进→一次工进→二次工进→延时停留→快退，可用于镗孔完后又要车削或刮端面等。

3) 跳跃进给。快进→一次工进→快进→二次工进→延时停留→快退，例如，镗削两层壁上的同心孔，可采用跳跃进给自动工作循环。

4) 双向工作进给。快进→正向工进→反向工进→快退，例如，用于正向工进粗加工，反向工进精加工。

5) 分级进给。快进→工进→快退，快进→工进→快退→……→快进→工进→快退，主要用于钻深孔。

(2) 液压动力滑台控制电路

具有一次工作进给的液压动力滑台电气控制电路见图 2-37，根据液压系统原理图，液压与电气控制的工作过程如下：

1) 滑台原位停止。因滑台由油缸 YG 驱动，当电磁铁 YA1、YA2 均为断电状态时，油缸内压力油不流动，滑台原位停止，并压下行程开关 SQ1，使其常开触点闭合，常闭触点断开。

2) 滑台快进。按下按钮 SB1，继电器 KA1 通电并自锁，电磁铁 YA1 通电，使电液动换向阀（三位五通）处于左位，压力油使液动换向阀也处于左位，压力油经电液换向阀 5 及行程阀 8 流入滑台油缸左腔，使缸体左移，油缸右腔排出的油经电液换向阀 5 及单向阀 4 也进入油缸左腔，使滑台实现快进。此时，SQ1 复位，其常开触点断开，常闭触点闭合。

3) 滑台工进。当挡铁压下行程阀 8 时，压力油经调速阀 6 进入液压缸左腔，此时流入

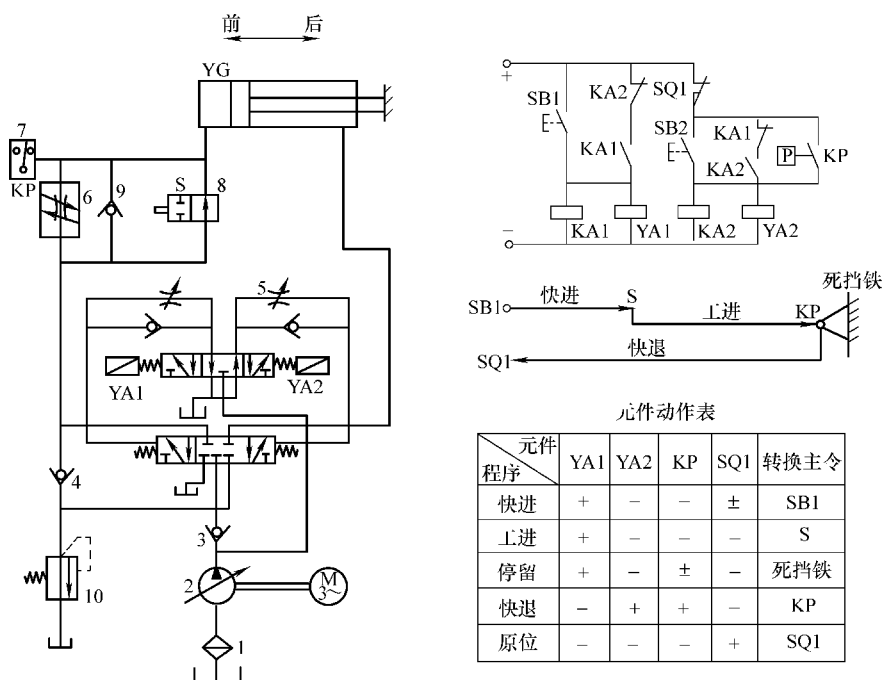


图 2-37 具有一次工作进给液压动力滑台电气控制电路

1—油箱 2—变量液压泵 3、4、9—单向阀 5—电液换向阀

6—节流调速阀 7—压力继电器 8—行程阀 10—溢流阀 YG—油缸

油缸左腔的油液较少，滑台由快进转为工进，多余的压力油经溢流阀 10 流回油箱。通过调节调速阀 6 的流量可调节滑台的工进速度。

4) 死挡铁停留。当液压滑台工进到被死挡铁挡住的位置时，液压缸左腔油压开始升高。油压升高到压力继电器 KP 的动作值时，所经过的时间就是滑台的延时停留时间。

5) 滑台快退。当压力继电器 KP 动作时，KP 的常开触点闭合，电磁铁 YA2 和继电器 KA2 线圈通电，电磁铁 YA1 和继电器 KA1 断电，并由 KA2 触点实现自锁，使电液换向阀处于右位，油缸右腔进油，滑台快速向后退。退回原位后压下 SQ1，其常闭触点断开，YA2 断电。电液换向阀 5 回到中间位置，液压滑台原位停止。当滑台不在原位时（即 SQ1 常开触点断开），若需要快退，可按下按钮 SB2，此时 KA2 和 YA2 通电，滑台快退。退至原位时，压下 SQ1，YA2 断电，滑台停在原位。

在上述电路中，如果要求停留的时间可调，则用行程开关和时间继电器取代压力继电器 KP 即可。若滑台工进到终点后，不需要延时停留，即工作循环改为快进→工进→快退，在死挡铁处加装行程开关，去掉 KP 即可。

2.8 其他基本控制电路

2.8.1 点动控制

在实际工作中，经常要求控制电路既能长动控制又能点动控制，如图 2-38 所示。所谓

长动，即电动机连续不断地工作。所谓点动，即按按钮时电动机转动工作，放开按钮时，电动机停止工作。点动常用于生产设备的调整，如机床的刀架、横梁、立柱的快移，机床的调整对刀等。

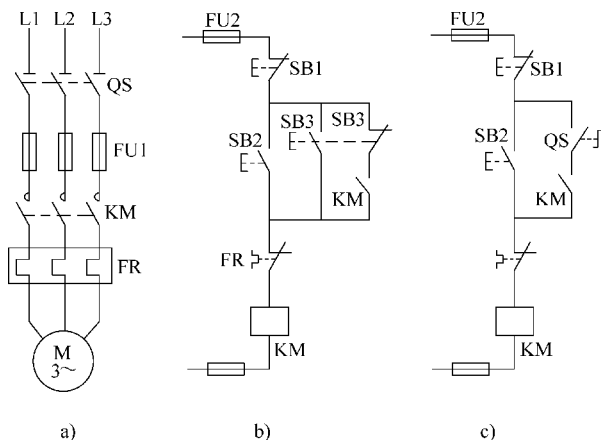


图 2-38 点动控制电路

a) 主电路 b) 点动与长动控制电路 c) 用选择开关实现点动与长动切换的控制电路

图 2-38a 为主电路。图 2-38b 为点动与长动控制电路，当按下复合按钮 SB3 时，其常闭触点断开，防止自锁；其常开触点闭合，KM 线圈得电，电动机 M 起动运转。当松开 SB3，其常开触点先断开，常闭触点后闭合，这样确保 KM 线圈失电，电动机 M 停转，因此，SB3 为点动控制按钮。当按下 SB2 时，为长动运行，其原理简略。图 2-34c 为用选择开关实现点动与长动切换的控制电路。点动控制和连续控制的区别是控制电路能否自锁。

2.8.2 联锁与互锁

1. 联锁（联锁）

在机械设备中，为了保证操作正确、安全可靠，有时需要按一定的顺序对多台电动机进行起停操作。例如，铣床上要求的主轴旋转后，工作台方可移动；某些机床主轴必须在液压泵起动后才能起动等。像这种要求一台电动机起动后另一台才能启动的控制方式，称为电动机的联锁控制（或顺序控制）。

图 2-39 所示为两台电动机 M1 和 M2 的联锁控制电路，其中图 2-39b 的控制电路主要特点是：M1 起动后 M2 才能起动，M1 和 M2 同时停止。在控制电路中，将接触器 KM1 的常开动合触点串入接触器 KM2 的线圈电路中，保证了只有 KM1 线圈接通，即 M1 起动后，M2 才能起动。若按下 SB2，接触器 KM1 线圈得电，M1 起动，同时串联在 KM2 线圈电路中 KM1 的常开触点闭合，KM2 线圈电路才有可能接通。这时再按下 SB3，KM2 得电，M2 才能起动。当 M1 或 M2 在运行时，按下停止按钮 SB1，电动机 M1 和电动机 M2 同时断电停转。

图 2-39c 的控制电路的特点是：按下 SB2，M1 起动后，再按 SB4，M2 才能起动，M1 和 M2 可单独停止。由于 KM2 的自锁触点包括了 KM1 联锁触点，当 KM2 因线圈得电吸合，KM2 的自锁触点自锁后，KM1 对 KM2 失去了控制作用，SB1 和 SB3 可以单独使 KM1 和 KM2 线圈断电，使电动机 M1 和 M2 单独停转。

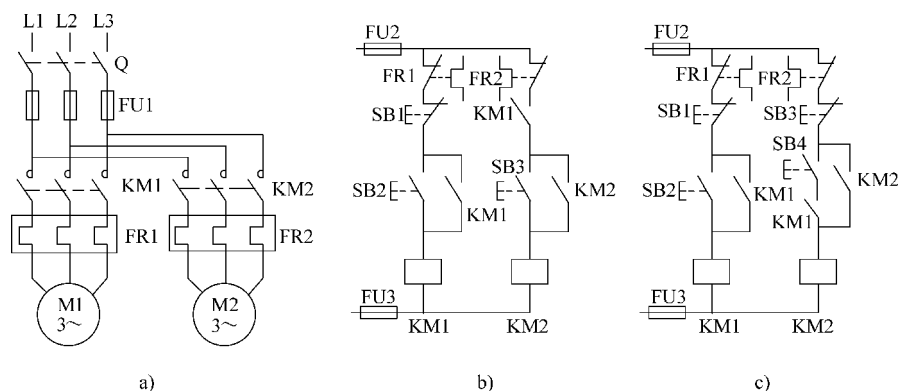


图 2-39 两台电动机 M1 和 M2 的联锁控制电路

图 2-39b、c 所示的接触器 KM2 必须在接触器 KM1 动作后才能动作，从而实现了铣床上主轴电动机转动后，进给电动机才能起动的要求。

2. 互锁

互锁实际上是一种联锁关系，之所以这样称呼，是为了强调触点之间的互锁作用。例如，常常有这种要求，两台电动机 M1 和 M2 只能有一台工作，不允许同时工作。如图 2-40 所示的控制电路，KM1 动作后，它的动断触点就将 KM2 接触器的线圈断开，这样就控制了 KM2 再动作；反之也一样。此时，KM1 和 KM2 的两对常闭触点，常称作“互锁”触点。这种互锁关系在所述的电动机正反转线路中，可保证正反向接触器 KM1 和 KM2 的主触点不能同时闭合，以防止电源短路。

在操作比较复杂的机床中，常用操作手柄和行程开关形成联锁。如 X62W 铣床进给运动的联锁关系，铣床工作

台可做纵向（左右）、横向（前后）和垂直（上下）方向的进给运动。由纵向进给手柄操作纵向运动，横向与垂直方向的运动由另一进给手柄操纵。

铣床工作时，工作台各方向的进给是不允许同时进行的，因此各方向的进给运动必须互相联锁。实际上，操纵进给的两个手柄都只能扳向一种操作位置，即接通一种进给，因此只要使两个操作手柄不能同时起到操作的作用，就达到了联锁的目的。通常采取的电气联锁方案是当两个手柄同时扳动时，就立即切断进给电路，可避免事故。

图 2-41 所示为 X62W 铣床进给运动的联锁控制电路。图中 KM4、KM5 是进给电动机正反转接触器。假设纵向进给手柄已经扳动，则 QS1 或 QS2 已被压下，此时虽然将左边一条支路（34-44-12）切断，但由于右边一条支路（34-19-12）仍接通，故 KM4 或 KM5 仍能得电。如果再扳动横向垂直进给手柄而使 QS3 或 QS4 也动作时，右边一条支路（34-19-12）也将被切断，因此接触器 KM4 或 KM5 将失电，使进给运动自动停止。

KM3 是主轴电动机接触器，只有 KM3 得电主轴起动后，KM3 动合触点（4-34）闭合才能接通进给回路。主电动机停止，KM3 动合触点（4-34）打开，进给也自动停止。这种联

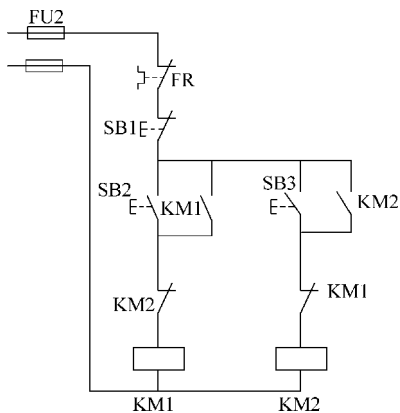


图 2-40 两台电动机互锁控制电路

锁可防止意外事故。

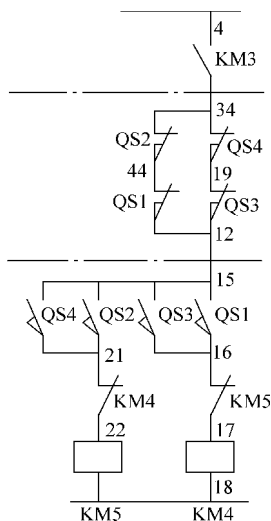


图 2-41 X62W 铣床进给运动的控制电路

2.8.3 多点控制

在大型机床设备中，为了操作方便，常要求能在多个地方进行控制。如图 2-42a 所示把起动按钮并联连接，停止按钮串联连接，分别安置在三个地方，就可三地操作。

在大型机床上，为了保证操作安全，要求几个操作者都发出主令信号（按起动按钮），设备才能工作，常采用图 2-42b 所示按钮串联的控制电路。

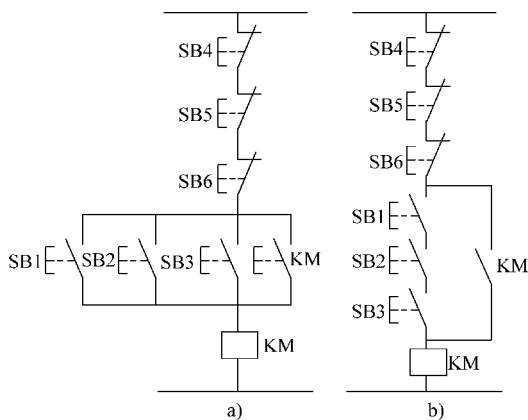


图 2-42 多点控制电路

习题与思考题

- 2-1 三相笼型异步电动机起动方式有哪两种？各有什么特点？分别适用于什么场合？
- 2-2 试叙述“自锁”、“互锁”的含义，并举例说明各自的作用。
- 2-3 试画出某机床主电动机控制电路图要求：

- 1) 可正反转;
- 2) 可点动、两处起停;
- 3) 可反接制动;
- 4) 有短路和过载保护;
- 5) 有安全工作照明及电源信号灯。

2-4 试设计两台笼型电动机 M1 和 M2 的顺序起动、停止的控制电路。具体要求如下:

- 1) M1、M2 能顺序起动,并能同时或分别停止。
- 2) M1 起动后 M2 起动,M1 可点动,M2 可单独停止。
- 3) M1 先起动,经 10s 后 M2 自行起动。
- 4) M1 起动后 M2 才能起动,停止时,M2 停止后 M1 才能停止。

2-5 试设计工作台前进-退回控制路。工作台由电动机 M 驱动,行程开关 ST1、ST2 分别装在工作台的原位和终点。要求满足如下:

- 1) 前进-后退停止到原位;
- 2) 工作台到达终点后停一下再后退;
- 3) 工作台在前进中能立即后退到原位;
- 4) 有终端保护。

2-6 要实现工作台的往复运动,如何改变上题的控制电路?

2-7 试设计一次工作进给的液动力滑台的液压系统与电气控制图,其液压与电气控制的工作过程示意图如题图 2-43 所示,其中 SB1 为按钮,ST1、ST2、ST3、ST4 为行程开关,YA 为电磁阀的电磁阀线圈。要求满足如下:

- 1) 能手动与自动转换;
- 2) 能点动快进控制;
- 3) 能手动快退控制。

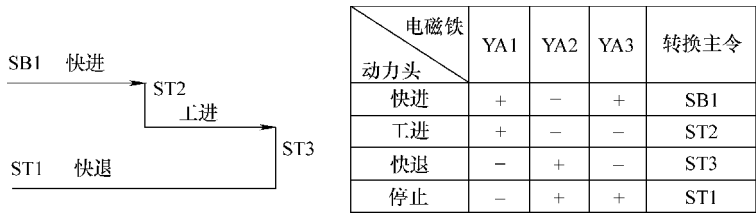


图 2-43 一次工作进给工作过程示意图

第3章 典型电气控制系统分析

工业生产中使用的机械设备种类繁多，虽然其电气控制电路和拖动控制方式各不相同，但多数是建立在继电-接触器基本控制电路基础之上的。本章通过对典型机械设备电气控制系统的分析，一方面进一步熟悉电气控制系统的组成以及各种基本控制电路在机械设备中的应用，使读者掌握分析电气控制系统的方法和步骤，培养阅读电气控制图的能力；另一方面通过对几种具有代表性的机械设备电气控制系统及其工作原理的分析，加深读者对机械设备中机械、液压与电气控制紧密配合的认识，为培养电气控制系统的设计、安装、调试及维护的工作能力奠定基础。

3.1 分析电气控制系统的方法与步骤

机械设备的电气控制系统一般是由若干基本控制电路组合而成，结构相对复杂，为能够正确认识控制系统的工作原理和特点，必须采用合理的方法步骤进行分析。

3.1.1 分析电气控制系统的方法

1. 机械设备概况调查

通过阅读机械设备的有关技术资料、了解设备的基本结构及工作原理、设备的传动系统类型及驱动方式，主要技术性能和规格、运动要求及机械设备操作方法。

2. 电气控制系统及电气元件的关系分析

1) 在主电路中找出该机械设备共有几台电动机和其他设备，以及它们是由哪些接触器控制；弄清每台电动机的起动方法，有无反转、调速、联锁及制动等。

2) 根据主电路中每台电动机或其他设备的接触器主触点文字符号，在控制电路中找出相对应接触器的线圈。

3) 在控制电路中，把每个接触器（或继电器）线圈回路中所串并联的其他元件（如接触器辅助触点、继电器触点以及按钮、转换开关、行程开关的接线点等）都找出来，分析它们相互的关系，弄清哪个先动作，哪个后动作，在什么情况下动作，什么情况下不动作。也就是说，要弄清控制电路中各种电气元件相互联系、相互制约的关系。

4) 对机械设备电路中的保护装置及照明、指示信号电路等，主要弄清它们在什么情况下起作用，以及是通过哪些元件起作用的。

5) 电路与实物对号。在掌握机械电气设备电气原理图的基础上对照电气原理图、电气接线图和安装图，找到每个电动机、每个控制元件的安装位置以及每个元件、每个设备连线的走向，直到完全和原理图、接线图和安装图对上号为止。

3. 机械系统与电气控制系统的关系分析

在了解被控设备所采用的电气控制系统结构、电气元件作用的基础上，还应明确机械系统与电气系统之间的联结关系，即信息采集传递和运动输出的形式和方法。信息采集传递是

指信号通过设备上的各种操作手柄、挡铁以及各种信息检测机构等，作用在主令信号发出元件上，并传递到电气控制系统中的过程；运动输出是指电气控制系统中的执行元件将驱动力作用到机械系统中的相应点，并实现设备要求的各种动作。

掌握了机械及电气控制系统的基本情况，即可对设备电气控制系统进行具体的分析。通常在分析电气控制系统时，首先将控制电路进行划分，整体控制电路经“化整为零”后形成简单明了、控制功能单一或由少数简单控制功能组合的局部电路，这样可给分析电气控制系统带来很大的方便。进行电路划分时，可依据驱动形式，将电路初步划分为电动机控制电路部分和液压传动控制电路部分；根据被控电动机的台数，将电动机控制电路部分再加以划分，使每台电动机的控制电路成为一个局部电路部分；对控制要求复杂的电路部分，也可以进一步细分，使每一个基本控制电路或若干个基本控制电路成为一个局部分析电路单元。

3.1.2 分析电气控制系统的步骤

根据上述电气控制系统的分析方法，对电气控制系统的分析步骤归纳如下：

1) 设备运动分析：分析生产工艺要求的各种运动及其实现方法，对有液压驱动的设备要进行液压系统工作状态分析。

2) 主电路分析：确定动力电路中用电设备的数目、接线状况及控制要求，控制执行件的设置及动作要求，包括交流接触器主触点的位置，各组主触点分、合的动作要求，限流电阻的接入和短接等。

3) 控制电路分析：分析各种控制功能实现的方法及其电路工作原理和特点。经过“化整为零”，分析每一个局部电路的工作原理以及各部分之间的控制关系之后，还必须“集零为整”，统观整个电路的保护环节以及电气原理图中其他辅助电路（如检测、信号指示、照明等电路）。检查整个控制电路，看是否有遗漏，特别要从整体角度，进一步检查和理解各控制环节之间的联系，理解电路中每个元件所起的作用。

3.2 车床的电气控制系统

车床是金属切削机床中应用最为广泛的一种，它能完成多种多样的表面加工，包括车削各种轴类、套筒类和盘类零件的回转表面，如内外圆柱面、圆锥面、环槽及成型回转面；车削端面及各种常用螺纹；配合钻头、铰刀等还可进行孔加工。车床的类型很多，主要有卧式车床、立式车床、转塔车床和仿形车床等。在各种车床中，应用最多的是普通车床。

本节以 CD6140A 系列卧式车床、C650 型卧式车床的电气控制系统为例，介绍电气控制系统的一般分析过程。

3.2.1 卧式车床结构和运动

图 3-1 所示为 CD6140A 型卧式车床的外形结构图，它主要由床身、主轴、主轴变速箱、尾座、进给箱、丝杠、光杠、刀架和溜板箱等组成。

车床的切削运动主要分为两部分，主轴通过卡盘带动工件的旋转运动称为主运动；溜板带动刀架的往复直线运动称为进给运动。中小型机床的主运动和进给运动一般都是由一台电动机拖动，车床工作时，绝大部分功率消耗在主轴运动上。

车削速度是指工件与刀具接触点的相对速度。根据工件的材料性质、车刀材料及几何形状、工件直径、加工方式及冷却条件的不同,要求主轴有不同的切削速度。主轴变速是由主轴电动机经 V 带传递到主轴变速箱来实现的。CD6140A 型车床的主轴正转速度有 24 种 ($10 \sim 1400\text{r/min}$), 反转速度有 12 种 ($14 \sim 1580\text{r/min}$)。

车床的进给运动是刀架带动刀具的直线运动。溜板箱把丝杠或光杠的转动传递给刀架部分, 变换溜板箱外的

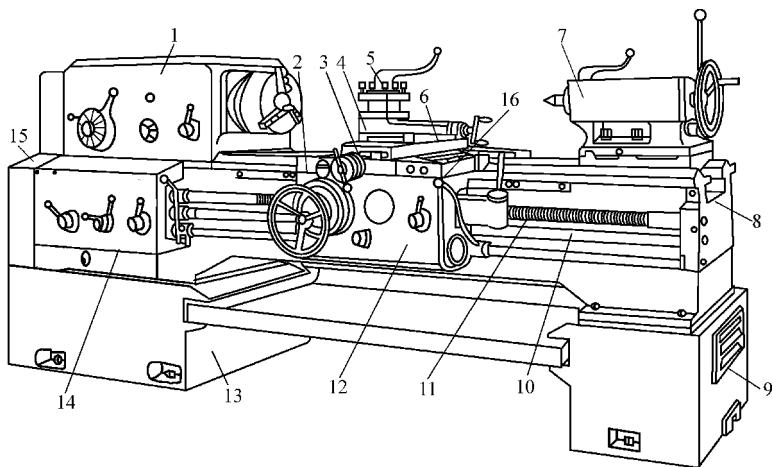


图 3-1 CD6140A 型卧式车床外形图

- 1—主轴箱 2—纵溜板 3—横溜板 4—转盘 5—方刀架 6—小溜板
7—尾架 8—床身 9—右床座 10—光杠
11—丝杠 12—溜板箱 13—左床座 14—进给箱 15—挂轮架 16—操纵手柄

手柄位置, 经刀架部分使车刀做纵向或横向进给。

车床的辅助运动为车床上除切削运动以外的其他一切必需的运动, 如尾架的纵向移动, 工件的夹紧与放松等。

3.2.2 电力拖动特点与控制要求

1. 主电动机控制要求

1) 主拖动电动机一般选用三相笼型异步电动机, 不进行电气调速。采用齿轮箱进行机械有级调速。为减小振动, 主拖动电动机通过几条 V 带 (传动带) 将动力传递到主轴箱。

2) 在车削螺纹时, 要求主轴有正、反转, 由主拖动电动机正反转或采用机械方法来实现。

3) 主拖动电动机的启动、停止采用按钮操作。

4) 刀架移动和主轴转动有固定的比例关系, 以便满足对螺纹的加工需要。

2. 冷却泵电动机控制要求

车削加工时, 由于刀具及工件温度过高, 有时需要冷却, 因而应该配有冷却泵电机 M2, 且要求在主拖动电动机启动后, 方可决定冷却电动机开动与否, 而当主拖动电动机停止时, 冷却泵电动机应立即停止。

3. 快速移动电动机控制要求

快速移动电动机 M3, 可根据需要随时手动控制起停。

4. 必须有超载、短路、欠电压、失电压的保护器件, 具有安全的局部照明装置

3.2.3 CD6140A 型卧式车床电气控制系统分析

CD6140A 型卧式车床的电气控制系统及电气元件符号说明如图 3-2 所示, 图中所用的电气元件与功能说明如表 3-1。下面就根据“化整为零”的原则对 CD6140A 型卧式车床的主

电路以及控制电路进行具体地分析。

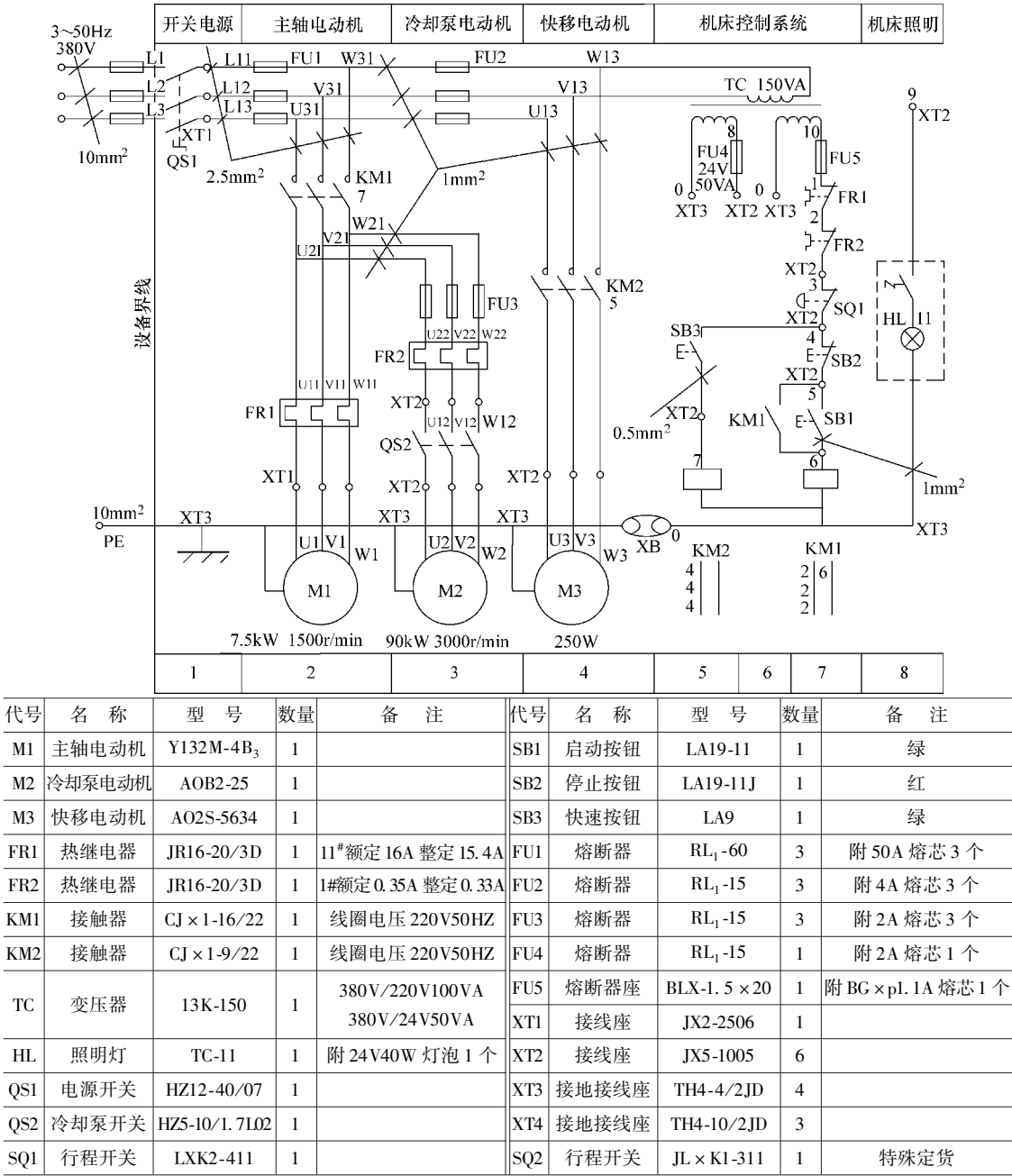


图 3-2 CD6140A 型卧式车床的电气控制系统及电气元件符号说明

1. 主电路分析

车床的电源采用三相 380V 交流电源，由组合开关 QS1 引入，主电路中包含三台电动机的驱动电路。主轴电动机 M1 由接触器 KM1 控制，热继电器 FR1 作过载保护，熔断器 FU1 作短路保护，接触器 KM1 作欠电压保护。冷却泵电动机 M2 由接触器 KM1 和组合开关 QS2

表 3-1 电气元件符号及功能说明表

符 号	名称及用途	符 号	名称及用途
M1	主电动机	SB1	总停按钮
M2	冷却泵电动机	SB2	主电动机正向点动按钮
M3	快速移动电动机	SB3	主电动机正转按钮
KM1	主电动机正转接触器	SB4	主电动机反转按钮
KM2	主电动机反转接触器	SB5	冷却泵电动机停止按钮
KM3	短接限流电阻接触器	SB6	冷却泵电动机起动按钮
KM4	冷却泵电动机起动接触器	TC	控制变压器
KM5	快移电动机起动接触器	FU1 ~6	熔断器
KA	中间继电器	FR1	主电动机过载保护热继电器
KT	通电延时时间继电器	FR2	冷却泵电动机过载保护热继电器
SQ	快移电动机点动行程开关	R	限流电阻
SA	选择开关	EL	照明灯
SR	速度继电器	TA	电流互感器
PA	电流表	QS	隔离开关

1. 主电路分析

车床的电源采用三相 380V 交流电源，由隔离开关 QS 引入，主电路中包含三台电动机的驱动电路。主电动机 M1 电路分为三部分：交流接触器 KM1、KM2 的主触点分别控制主电动机 M1 的正转和反转；交流接触器 KM3 的主触点用于控制限流电阻 R 的接入与切除，在主轴点动调整时，R 的串入可限制起动电流；电流表 PA 用来监视主电动机 M1 的绕组电流，由于 M1 功率很大，所以电流表 PA 接入电流互感器 TA 回路。机床工作时，可调整切削用量，使电流表 PA 的电流接近主电动机 M1 额定电流值（经 TA 后减小了的电流值），以便提高生产率和充分利用电动机的潜力。为防止在主电动机起动时对电流表造成冲击损坏，在线路中设置了时间继电器 KT 进行保护，当主电动机正向或反向起动时，KT 线圈通电，当延时时间未到时，电流表 PA 就被 KT 延时动断触点短路，延时结束才会有电流通过。速度继电器 SR 的速度检测部分与主电动机的输出轴相连，在反接制动时依靠它及时切断反相序电源。

冷却泵电动机 M2 的起动与停止由接触器 KM4 的主触点控制，快速移动电动机 M3 由接触器 KM5 控制。

为保证主电路的正常运行，分别由熔断器 FU1、FU4、FU5 对电动机 M1、M2、M3 实现短路保护，由热继电器 FR1、FR2 对 M1 和 M2 进行过载保护，快速移动电动机 M3 由于是短时工作制，所以不需要过载保护。

2. 控制电路分析

控制电路因电气元件很多，故通过控制变压器 TC 同三相电网进行电气隔离，从而提高了操作和维修时的安全性，其所需的 110V 交流电源也由控制变压器 TC 提供，由 FU3 作短路保护。按照“化整为零”方法进行分析，控制电路可划分为主电动机 M1、冷却泵电动机 M2 及快移电动机 M3 的三部分控制电路。主电动机 M1 控制电路较复杂，因而还可进一步对

其控制电路进行划分，下面对各局部控制电路逐一进行分析。

(1) 主电动机的点动调整控制

由图 3-4a 可知，当按下点动按钮 SB2 时，接触器 KM1 线圈通电，其主触点闭合，由于 KM3 线圈并没接通，因此电流必须经限流电阻 R 进入主电动机，从而减小了起动电流，此时电动机 M1 正向直接起动。KM3 线圈未得电，其辅助动合触点不闭合，中间继电器 KA 不工作，所以虽然 KM1 的辅助动合触点已闭合，但不自锁。因而松开 SB2 后，KM1 线圈立即断电，主电动机 M1 停转。这样就实现了主电动机的点动控制。

(2) 主电动机的正反转控制

车床主轴的正反转是通过主电动机的正反转来实现的，主电动机 M1 的额定功率为 30kW，但只是车削加工时消耗功率较大，而起动时负载很小，因此起动电流并不很大，在非频繁点动的一般工作时，仍可采用全压直接起动。

分析图 3-4a，当按下正向起动按钮 SB3 时，交流接触器 KM3 线圈和通电延时时间继电器 KT 线圈同时得电。KT 通电，其位于 M1 主电路中的延时动断触点短接电流表 PA，延时断开后，电流表接入电路正常工作，从而使其免受起动电流的冲击；KM3 通电，其主触点闭合，短接限流电阻 R，辅助动合触点闭合，使得 KA 线圈得电。KA 动断触点断开，分断反接制动电路；动合触点闭合，一方面使得 KM3 在 SB3 松手后仍保持通电，进而 KA 也保持通电，另一方面使得 KM1 线圈通电并形成自锁，KM1 主触点闭合，此时主电动机 M1 正向直接起动。

SB4 为反向起动按钮，反向直接起动过程同正向类似，不再赘述。

(3) 主电动机的反接制动控制

图 3-4b 为主电动机反接制动的局部控制电路。C650 车床停车时采用反接制动方式，用速度继电器 SR 进行检测和控制，下面以正转状态下的反接制动为例说明电路的工作过程。

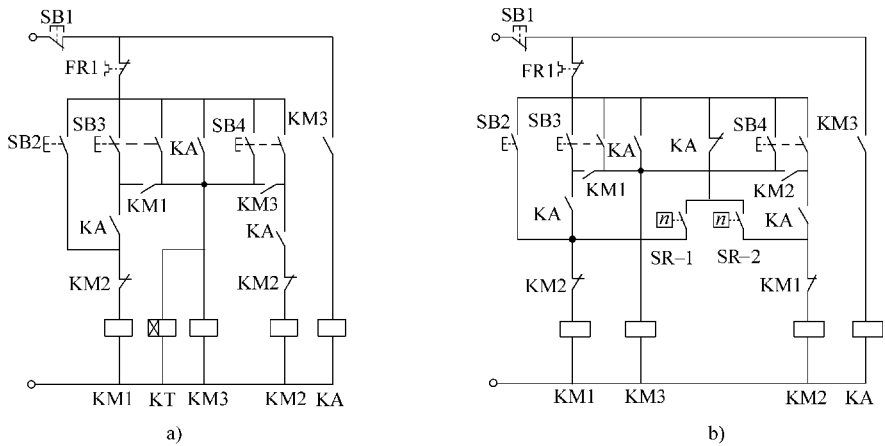


图 3-4 主电动机 M1 的控制电路

当主电动机 M1 正转运行时，由速度继电器工作原理可知，此时 SR 的动合触点 SR-2 闭合。当按下总停按钮 SB1 后，原来通电的 KM1、KM3、KT 和 KA 线圈全部断电，它们的所有触点均被释放而复位。当松开 SB1 后，由于主电动机的惯性转速仍很大，SR-2 的动合触

点继续保持闭合状态,使反转接触器 KM2 线圈立即通电,其电流通路是:SB1→FR1→KA 动断触点→SR-2→KM1 动断触点→KM2 线圈。这样主电动机 M1 开始反接制动,反向电磁转矩将平衡正向惯性转动转矩,电动机正向转速很快降下来。当转速接近于零时,SR-2 动合触点复位断开,从而切断了 KM2 线圈通路,至此正向反接制动结束。反转时的反接制动过程与上述过程类似,只是在此过程中起作用的为速度继电器的 SR-1 动合触点。

反接制动过程中由于 KM3 线圈未得电,因此限流电阻 R 被接入主电动机主电路,以限制反接制动电流。

通过对主电动机控制电路的分析,我们看到中间继电器 KA 在电路中起着扩展接触器 KM3 触点的作用。

(4) 冷却泵电动机的控制

冷却泵电动机 M2 的起停按钮分别为 SB6 和 SB5,通过它们控制接触器 KM4 线圈的得电与断电,从而实现对冷却泵电动机 M2 的长动控制。它是一个典型的电动机直接起动控制环节。

(5) 刀架的快速移动

转动刀架手柄,行程开关 SQ 被压,其动合触点闭合,使得接触器 KM5 线圈通电, KM5 主触点闭合,快速移动电动机 M3 就起动运转,其输出动力经传动系统最终驱动溜板箱带动刀架做快速移动。当刀架手柄复位时, M3 立即停转。该控制电路为典型的电动机点动控制。

另由图 3-3 所示的卧式车床电气控制系统可知,控制变压器 TC 的二次侧还有一路电压为 36V (安全电压),提供给车床照明电路。当开关 SA 闭合时,照明灯 EL 点亮;开关 SA 断开时,EL 就熄灭。

3.3 摇臂钻床电气控制系统

钻床用途非常广泛,它主要利用钻头、钻精度要求不太高的孔,另外还可用来绞孔、扩孔以及攻丝等。钻床的结构形式可分为立式钻床、卧式钻床、台式钻床、深孔钻床和摇臂钻床等。其中,摇臂钻床可以在立柱上进行旋转移动,主轴箱又可以在摇臂上移动。在加工工件方面,摇臂钻床钻孔时可以调整安装于主轴上的钻头在水平面上的位置,使钻头对准被加工孔的中心,而工件则固定不动,因而适合于在大中型零件上进行钻孔、扩孔、绞孔以及攻丝等工作。下面以 Z3040 型摇臂钻床为例进行分析。

3.3.1 主要结构及运动形式

Z3040 型摇臂钻床主要由底座、内立柱、外立柱、摇臂、主轴箱、工作台等部分组成,如图 3-5 所示。内立柱固定在底座上,在它外面套着空心的外立柱,外立柱可绕着不动的内立柱回转 360°。摇臂一端的套筒部分与外立柱滑动配合,借助于丝杠,摇臂可沿着外立柱上下移动,但两者不能做相对转动,因此摇臂与外立柱一起相对内立柱回转采用手动。主轴箱是一个复合的部件,它包括主轴旋转和进给运动的全部传动变速和操作机构。主轴箱是安装在摇臂的导轨上,可以通过手轮操作使它沿着摇臂上的水平导轨移动。当需要钻孔时,可利用夹紧机构将主轴箱紧固在摇臂上,摇臂紧固在外立柱上,外立柱紧固在内立柱上,以保证加工时的稳定。

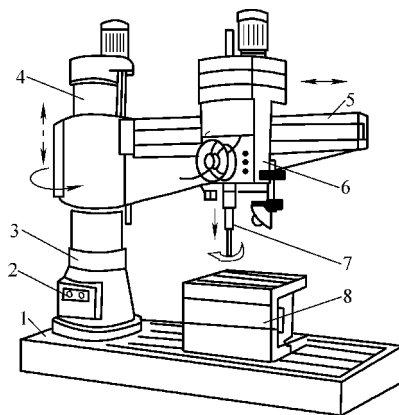


图 3-5 Z3040 型摇臂钻床结构示意图

1—底座 2—电源开关箱 3—内立柱 4—外立柱 5—摇臂 6—主轴箱 7—主轴 8—工作台

加工工件时，根据工件的高度不同，可将摇臂进行升降调整。但在升降之前，摇臂应自动松开，然后进行升降运动，当升降到所需位置时，摇臂应自动夹紧在立柱上。摇臂连同外立柱绕内立柱的回转运动是依靠人力推动完成，但回转前必须先将外立柱松开。主轴箱沿摇臂上导轨的水平移动也是手动的，移动前也必须先将主轴箱松开。摇臂钻床的主运动是主轴带动钻头的旋转运动；进给运动是钻头的上下运动；辅助运动是指主轴箱沿摇臂水平移动，摇臂沿外立柱上下移动以及摇臂连同外立柱一起相对于内立柱的回转运动。

3.3.2 拖动方式与控制要求

1) 由于摇臂钻床的相对运动部件较多，因此采用 4 台电动机拖动，以简化传动装置。主轴的旋转及轴向移动由电动机 M1 承担，只要求单向旋转。主轴的正反转通过机械转换来实现，主轴钻速和进刀量用变速机构调节，调速范围较宽。

2) 摇臂的升降是由电动机 M2 来完成的，摇臂的升降要设计有限位保护。

3) 摇臂的夹紧放松、立柱本身的夹紧放松、主轴箱的夹紧放松都是由电动机 M3 配合液压装置自动进行的。

4) 钻床加工时，需要对刀具及工件进行冷却，由冷却泵电动机 M4 输送冷却液。

5) 为了安全，电路中应具有必要的保护环节。

3.3.3 电气控制系统分析

Z3040 型摇臂钻床电气控制系统原理如图 3-6 所示，其工作原理分析如下。

1. 主电路的分析

主电路中有 4 台电动机。M1 是主轴电动机，带动主轴旋转和使主轴作轴向进给运动，作单方向旋转。M2 是摇臂升降电动机，可作正反向运行。M3 是液压泵电动机，其作用是供给夹紧装置压力油，实现摇臂和立柱的夹紧和松开，可作正反向运行。M4 是冷却泵电动机，供给钻孔时所需的冷却液，作单方向旋转，由开关 QS2 控制。机床的总电源由组合开关 QS1 控制。

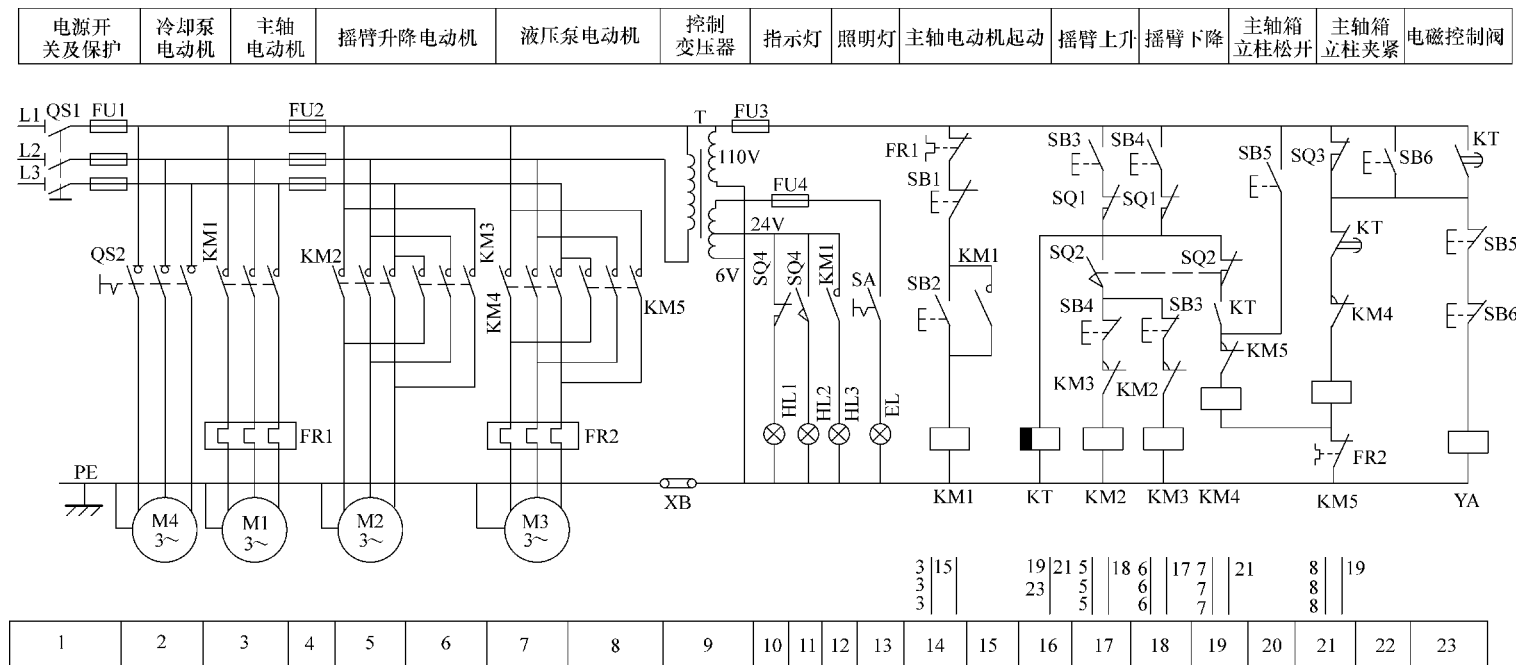


图 3-6 Z3040 型摇臂钻床电气控制原理图

2. 控制电路分析

(1) 主轴电动机 M1 的控制

1) M1 的起动: 按下起动按钮 SB2, 接触器 KM1 的线圈得电, 位于 15 区的 KM1 自锁触点闭合, 位于 3 区的 KM1 主触点接通, 电动机 M1 旋转。

2) M1 的停止: 按下 SB1 接触器 KM1 的线圈失电, 位于 3 区的 KM1 常开主触点断开, 电动机 M1 停转。在 M1 的运转过程中如发生过载, 则串在 M1 电源回路中的过载保护元件 FR1 动作, 使其位于 14 区的常闭触点 FR1 断开, 同样也使 KM1 的线圈失电, 电动机 M1 停转。

(2) 摇臂升降电动机 M2 的控制

1) 摇臂升降的起动原理: 按上升 (或下降) 按钮 SB3 (或 SB4), 时间继电器 KT 得电吸合, 位于 19 区的 KT 动合触点和位于 23 区的延时断开动合触点闭合, 接触器 KM4 和电磁铁 YA 同时得电, 液压泵电动机 M3 旋转, 供给压力油, 推动活塞和菱形块, 使摇臂松开 (如图 3-7 所示)。松开到位压限位开关 SQ2 的位于 19 区的动断触点断开。接触器 KM4 断电释放, 电动机 M3 停转。同时位于 17 区的 SQ2 动合触点闭合, 接触器 KM2 (或 KM3) 得电吸合。摇臂升降电动机 M2 起动运转, 带动摇臂上升 (或下降)。

2) 摇臂升降的停止原理: 当摇臂上升 (或下降) 到所需位置时, 松开按钮 SB3 (或 SB4), 接触器 KM2 (或 KM3) 和时间继电器 KT 失电, M2 停转, 摇臂停止升降。位于 21 区的 KT 延时闭合动断触点经 1 ~ 3s 延时后闭合, 使接触器 KM5 得电吸合, 电动机 M3 反转, 供给压力油。摇臂夹紧后, 位于 21 区的限位开关 SQ3 常闭触点断开, 使接触器 KM5 和电磁铁 YA 失电, YA 复位, 液压泵电动机 M3 停转。摇臂升降结束。

3) 摇臂升降中各器件的作用: 限位开关 SQ2 及 SQ3 用来检查摇臂是否松开或夹紧。如果摇臂没有松开, 位于 17 区的 SQ2 常开触点就不能闭合, 因而控制摇臂上升或下降的 KM2 或 KM3 就不能吸合, 摇臂就不会上升或下降。SQ3 应调整到保证夹紧后能够动作, 否则, 会使液压泵电动机 M3 处于长时间过载运行状态。时间继电器 KT 的作用是保证升降电动机断开并完全停止旋转 (摇臂完全停止升降) 后, 才能夹紧。限位开关 SQ1 是摇臂上升或下降至极限位置的保护开关。SQ1 与一般限位开关不同, 其两对常闭触点不同时动作。当摇臂升至上限值时, 位于 17 区的 SQ1 的一对触点动作, 接触器 KM2 失电, 升降电机 M2 停转, 上升运动停止。但是位于 18 区的 SQ1 另一组触点仍保持闭合, 所以可按下按钮 SB4, 接触器 KM3 动作, 控制摇臂升降电动机 M2 反向旋转, 摇臂下降。反之, 当摇臂在下极限位置时, 控制过程类似。

(3) 主轴箱与立柱的夹紧与放松控制

立柱与主轴箱均采用液压夹紧与松开, 且两者同时动作。当进行夹紧或松开时, 要求电磁铁 YA 处于释放状态。

按松开按钮 SB5 (或夹紧按钮 SB6), 接触器 KM4 (或 KM5) 得电吸合, 液压泵电动机 M3 正转或反转, 供给压力油。压力油经 2 位 6 通阀 (此时电磁铁 YA 处于释放状态) 进入立柱夹紧液压缸的松开 (或夹紧) 油腔和主轴箱夹紧液压缸的松开 (或夹紧) 油腔, 推动活塞和菱形块, 使立柱和主轴箱分别松开 (或夹紧)。松开后行程开关 SQ4 复位 (或夹紧后动作), 松开指示灯 HL1 (或夹紧指示灯 HL2) 亮。图 3-7 所示为 Z3040 型钻床夹紧机构液压系统原理。

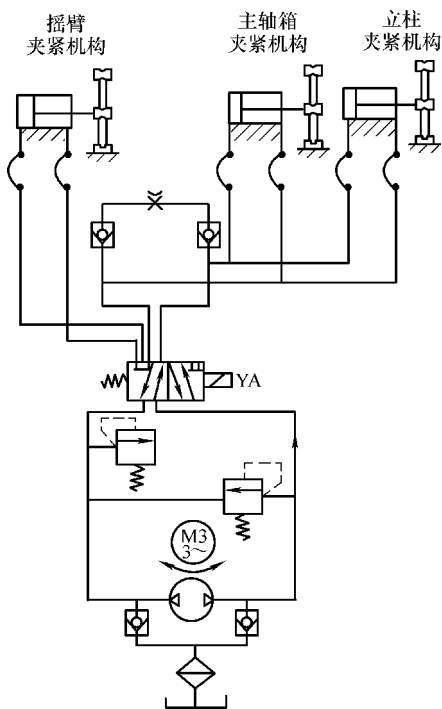


图 3-7 Z3040 型钻床夹紧机构液压系统原理

Z3040 型摇臂钻床电气元件目录表见表 3-2。

表 3-2 Z3040 型摇臂钻床电气元件目录表

符 号	名称及用途	符 号	名称及用途
M1	主电动机	FU1	熔断器，电源总保护
M2	摇臂升降电动机	FU2	熔断器，保护摇臂升降、液压泵电动机等
M3	液压泵电动机	FU3	熔断器，保护照明、指示电路
M4	冷却泵电动机	FU4	熔断器，保护控制电路
KM1	主轴旋转接触器	FR1	M1 电动机过载用热继电器
KM2	摇臂上升接触器	FR2	M3 电动机过载用热继电器
KM3	摇臂下降接触器	T	控制变压器
KM4	主轴箱、立柱、摇臂放松接触器	SB1	主电动机停止按钮
KM5	主轴箱、立柱、摇臂夹紧接触器	SB2	主电动机起动按钮
KT	摇臂上升、下降用时间继电器	SB3	摇臂上升起动按钮
SQ1	摇臂升、降极限保护用行程开关	SB4	摇臂下降起动按钮
SQ2	摇臂夹紧、放松用行程开关	SB5	主轴箱、立柱和摇臂放松按钮
SQ3	摇臂夹紧用行程开关	SB6	主轴箱、立柱和摇臂夹紧按钮
SQ4	主轴箱与立柱夹紧、放松指示用行程开关	HL1	主轴箱与立柱放松指示信号灯
QS1	电源引入用转换开关	HL2	主轴箱与立柱夹紧指示信号灯
QS2	冷却泵电动机控制用组合开关	HL3	主轴电动机旋转指示信号灯
YA	主轴箱、立柱、摇臂放松、夹紧用电磁铁	EL	机床工作灯
SA	机床工作灯开关		

3.4 铣床电气控制系统

铣床的种类很多，按结构可分为立式铣床、卧式铣床、龙门铣床、仿形铣床和专用铣床，其中以卧式和立式万能铣床应用最为广泛。铣床可用来加工平面、斜面和沟槽等。如果装上分度头，可以铣切直齿齿轮和螺旋面，装上圆工作台还可加工凸轮和弧形槽。下面以卧式 X62W 万能铣床为例分析其电气控制电路。

3.4.1 卧式铣床的主要结构和运动

卧式万能升降台铣床具有主轴转速高、调速范围宽、操作方便和加工范围广等特点，主要由床身、主轴、悬梁、刀杆支架、工作台、升降工作台、底座、滑座等部分组成，X62W 型铣床结构简图如图 3-8 所示。

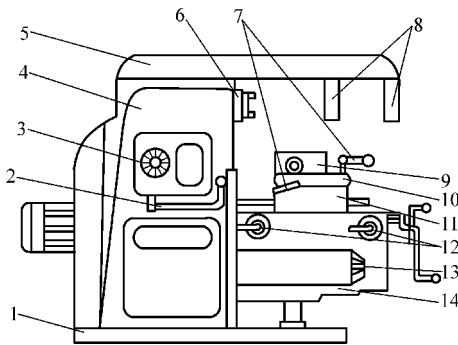


图 3-8 X62W 型铣床结构示意图

- 1—底座 2—主轴变速手柄 3—主轴变速盘 4—床身 5—悬梁 6—主轴 7—纵向操纵手柄 8—刀杆支架
9—工作台 10—回转盘 11—横向溜板 12—十字手柄 13—进给变速柄与盘 14—升降台

铣床床身内装有主轴的传动机构和变速操纵机构，由主轴带动铣刀旋转。一般中小型铣床都采用三相笼型异步电动机拖动，主轴的旋转运动是主运动，它有顺铣和逆铣两种加工方式，并且同工作台的进给运动之间无严格传动比要求，所以主轴由主电动机拖动。

床身的前侧面装有垂直导轨，升降台可沿导轨上下移动。在升降台上面装有水平工作台，它不仅可随升降台上下移动，还可以在平行于主轴轴线方向（横向，即前后）和垂直于轴线方向（纵向，即左右）移动。因此水平工作台可在上下、左右及前后方向上实现进给运动或调整位置，运动部件在各个方向上的运动由同一台进给电动机拖动。

矩形工作台上还可以安装圆工作台，使用圆工作台可铣削圆弧、凸轮。进给电动机经机械传动链，通过机械离合器在选定的进给方向上驱动工作台进给，进给运动的传动框图如图 3-9 所示。

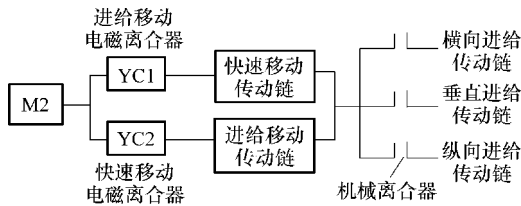


图 3-9 进给运动的传动框图

3.4.2 电力拖动特点及控制要求

1) 中小型铣床一般均采用三相笼型异步电动机拖动。主运动是铣刀的旋转运动,进给运动是工件相对于铣刀的运动;由于主轴的旋转运动和进给运动之间没有内在联系的要求,分别用一台电动机拖动;为了适应顺铣和逆铣两种铣削方式的需要,主轴电动机应能正转和反转;为防止刀具和机床的损坏,要求主轴转动后、才允许有进给运动,进给运动停止后,主轴旋转才能停止或同时停止;为了缩短停车时间,主轴停车时,采用电磁离合器制动。

2) 工作台的进给运动有六个方向的运动,即上下、左右和前后运动,因此进给电动机应能正、反转。为了提高生产效率,要求六个方向都能实现空行程的快速移动。从安全角度考虑,同一时间内只允许有一个方向的进给运动。

3) 在主轴变速和进给变速的过程中,为了使变速滑移齿轮容易啮合;变速时电动机稍微转动一下,即点动一下,这个动作称为变速冲动。

3.4.3 电气控制系统分析

X62W 万能铣床控制系统原理如图 3-10 所示,其工作原理分析如下。

1. 主电路分析

在主电路中, QS 为电源总开关。FU1 为总电源的短路保护。在机床中共有三台电动机, M1 为主轴电动机, M2 为进给电动机, M3 为冷却泵电动机。主轴电动机 M1 的起动与停止由接触器 KM1 控制,转换开关 SA5 作为主轴的正反转换向开关。SA5 的通断情况见表 3-3。热继电器 FR1 作为主轴电动机的过载保护。

进给电动机 M2 的正反转由接触器 KM2 和 KM3 控制,热继电器 FR2 作为过载保护。冷却泵电动机 M3 接在 KM1 主触点之后,只有当主轴电动机 M1 起动后,才能起动。转换开关 SA3 直接控制 M3 的起停,热继电器 FR3 作为它的过载保护。

2. 控制电路分析

(1) 主轴电动机控制

1) 主轴的起动 合上电源开关 QS,并用 SA5 选择主轴的旋转方向。控制电路中选择开关 SA2 扳到主轴电动机正常工作的位置,此时 SA2-1 触点闭合,SA2-2 触点断开。主轴的起停可以在两处控制,一处设在工作台前,另一处设在床身的侧面。起动时,按起动按钮 SB3 或 SB4,接触器 KM1 得电并自锁,电动机 M1 拖动主轴旋转。

在主轴电动机起动后,用 SA3 使冷却泵电动机 M3 起动。

热继电器 FR1 和 FR3 的动断触点串在主轴的控制电路中,当 M1 和 M3 中任意一个电动机过载,热继电器的动断触点打开,KM1 线圈释放,M1 和 M3 都停止。

2) 主轴的停车及制动 当按下 SB1 或 SB2,接触器 KM1 线圈断电,切断主轴电源,但主轴转动系统由于惯性仍在旋转,若将停止按钮按到底,使其动合触点闭合,主轴制动离合器因线圈通电而吸合,使主轴迅速制动而停止。主轴换向开关动作表见表 3-3。

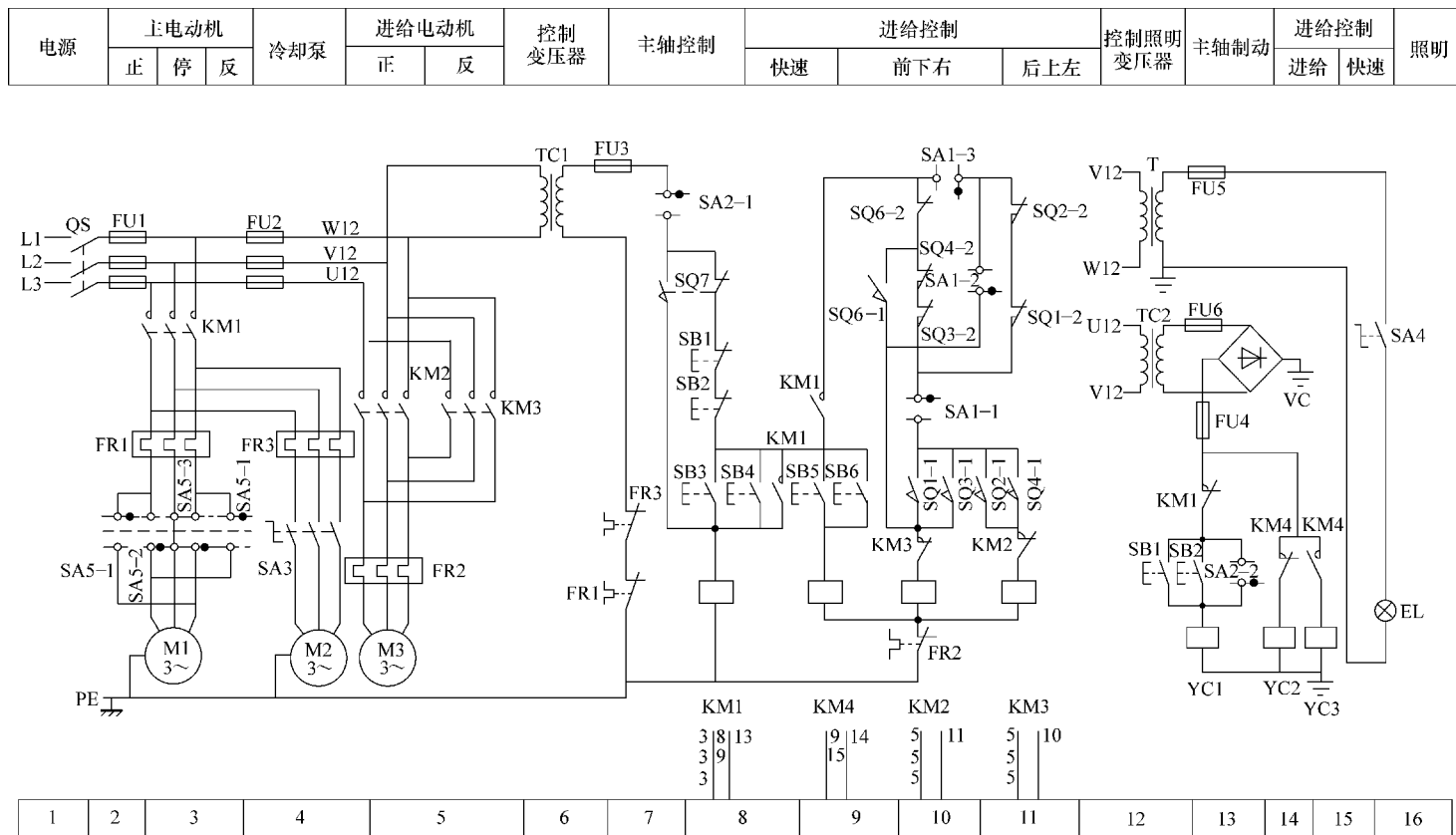


表 3-3 主轴换向开关动作表

触 点 位 置	操 作 手 柄		
	正 转	停 止	反 转
SA5-1	-	-	+
SA5-2	+	-	-
SA5-3	+	-	-
SA5-4	-	-	+

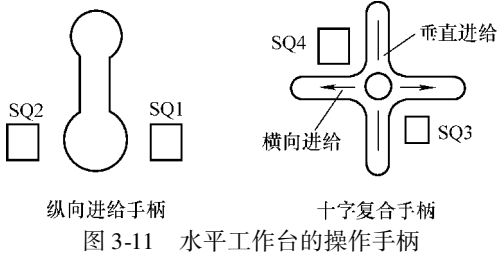
注：+表示闭合，-表示断开。

3) 主轴变速冲动 主轴变速时，先将变速手柄拉到前面，将变速盘转到所需的转速，然后将变速手柄推回去。就在推回去的过程中要压动行程开关 SQ7，其动合触点闭合一下，接触器 KM1 短时吸合，主轴电动机短时得电并转动一下，使变速后的齿轮易于啮合。另外，在拉出变速手柄时，也会短时压动 SQ7，SQ7 的动断触点瞬间断开，使 KM1 线圈线路断开。这样即使原先主电动机在转动，在变速时，电动机 M1 也会自动停止转动。

4) 主轴换刀制动 主轴换刀时，应使主轴不能转动，以免发生人身事故。在换刀时，只要将转换开关 SA2 扳到换刀位置，它的一个触点断开了控制电路电源，保证主轴电动机不会得电，以确保人身安全；另一个触点接通了主轴制动电磁离合器 YC1，使主轴不能转动。换完刀后再将转换开关 SA2 扳回工作位置，断开主轴离合器，接通控制电路电源。

(2) 进给电动机 M3 控制

当主轴电动机起动后，方可进行进给运动。水平工作台的进给运动是通过操作手柄来完成的。水平工作台移动方向由各自的操作手柄来选择，如图 3-11 所示。一般卧式万能升降台铣床工作台有两种操作手柄，一种为纵向（左右）操作手柄，有右、中、左三个位置；另一种为横向（前后）和垂直（上下）十字复合操作手柄，该手柄有五个位置，即上、下、前、后和中间位置。



1) 平工作台纵向（左右）进给运动控制 水平工作台局部控制电路如图 3-12a 所示，先将圆工作台的转换开关 SA1 扳在断开位置，见表 3-5，SA1-1、SA1-3 闭合，SA1-2 断开，为进给运动的控制做好准备。

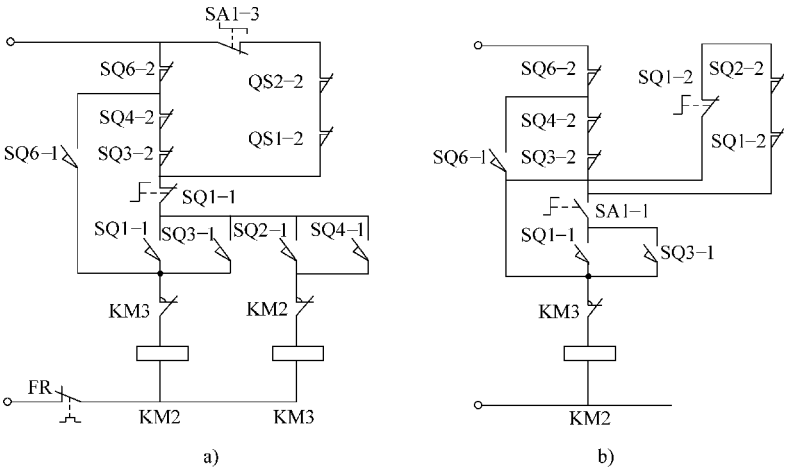


图 3-12 工作台控制

操纵工作台纵向进给运动的手柄有两个,一个装在工作台底座顶面的正中间,另一个装在工作台底座的左下方,它们之间有机械联锁,只要操纵一个就可以了。

水平工作台纵向进给运动由纵向操作手柄与行程开关 SQ1、SQ2 联合控制。主轴电动机起动后,若要工作台向右进给,需将纵向手柄扳向右,通过其联动机构将纵向进给离合器挂上,接通纵向进给运动的机械传动链,同时压动行程开关 SQ1。使 SQ1 动合触点 SQ1-1 闭合,动断触点 SQ1-2 断开,于是接通进给电动机 M2 正转接触器 KM2 线圈电路,其主触点闭合, M2 正转,驱动工作台向右移动进给。KM2 线圈通电的电流通路从 KM1 辅助动合触点开始,电流经 SQ6-2→SQ4-2→SQ3-2→SA1-1→SQ1-1→KM3 辅助动断触点到 KM2 线圈。从此电流通路中不难看到,如果操作者误将十字复合手柄扳向工作位置时,则 SQ4-2 和 SQ3-2 中必有一个断开,使 KM2 线圈无法通电。这样就可实现工作台左、右移动同前、后及上、下移动之间的联锁控制。水平工作台向左移动时电路的工作原理与向右时相似,不再赘述。

如将纵向手柄扳到中间位时,纵向机械离合器脱开,行程开关 SQ1 与 SQ2 不受压,因此进给电动机 M2 不转动,工作台停止移动。工作台的左右终端安装有限位挡块,当工作台运行到达终点位时,左右操作手柄在挡块作用下处于中间停车位置,用机械方法使 SQ1 或 SQ2 复位,从而将 KM2 或 KM3 断电,实现了限位保护。

2) 工作台横向(前后)和垂直(上下)进给运动控制 工作台的横向进给和垂直进给是通过操纵十字手柄来完成的。十字手柄有两个,分别装在工作台左侧的前、后方,它们之间有机械联锁,同时只能对一个进行操纵。

水平工作台横向和垂直进给运动的选择和联锁通过十字复合手柄和行程开关 SQ3、SQ4 联合控制,当操作手柄向下或向前扳动时,通过联动机构将控制垂直或横向运动方向的机械离合器合上,即可接通该运动方向的机械传动链。同时压动行程开关 SQ3,使 SQ3 动合触点 SQ3-1 闭合,动断触点 SQ3-2 断开,于是接通进给电动机 M2 正转接触器 KM2 线圈电路,其主触点闭合, M2 正转,驱动工作台向下或向前移动进给。KM2 线圈通电的电流通路仍从 KM1 辅助动合触点开始,电流经 SA1-3→SQ2-2→SQ1-2→SA1-1→SQ3-1→KM3 辅助动断触点到 KM2 线圈。上述电流通路中的动断触点 SQ2-2 和 SQ1-2 用于工作台前后及上下移动同左右移动之间的联锁控制。

当十字复合操作手柄向上或向后扳动时,将压动行程开关 SQ4,使得控制进给电动机 M2 反转的接触器 KM3 线圈得电, M2 反转,驱动工作台向上或向后移动进给。其联锁控制原理与向下或向前移动控制类似。

十字复合操作手柄扳在中间位置时,横向或垂直方向的机械离合器脱开,行程开关 SQ3 与 SQ4 均不受压,因此进给电动机停转,工作台停止移动。在床身上同样也设置了上、下和前、后限位保护用的终端撞块,当工作台移动到极限位置时,挡块撞击十字手柄,使其回到中间置,切断电路,使工作台在进给终点停车。

3) 水平工作台进给运动的联锁控制。在同一时间内,工作台只允许向一个方向移动,为防止机床运动干涉造成设备事故,各运动方向之间必须进行联锁。而操作手柄在工作时,只存在一种运动选择,因此铣床进给运动之间的联锁由两操作手柄之间的联锁来实现。

联锁控制电路由两条电路并联组成,纵向操作手柄控制的行程开关 SQ1、SQ2 的动断触点串联在一条支路上,十字复合操作手柄控制的行程开关 SQ3、SQ4 的动断触点串联在另一

条支路上。进行某一方向的进给运动时,需扳动一个操作手柄,这样只能切断其中一条支路,另一条支路仍能正常通电,使接触器 KM2 或 KM3 的线圈得电。若进给运动时由于误操作扳动另一个操作手柄,则两条支路均被切断,接触器 KM2 或 KM3 立即断电,使工作台停止移动,从而对设备进行了保护。

4) 水平工作台的快速移动。在进行对刀时,为了缩短对刀时间,要求水平工作台不做铣削加工时应能快速移动。由图 3-9 所示的传动框图可知,水平工作台在进给方向选定后是快速移动还是进给运动,取决于电磁离合器 YC2、YC3 线圈的得电与断电。快速移动为手动控制,在主轴电动机起动以后,按下起动按钮 SB5 或 SB6,接触器 KM4 便以“点动方式”通电。其辅助动断触点断开,进给电磁离合器 YC2 线圈失电,断开工作进给传动链;KM4 辅助动合触点闭合,使快移动作电磁离合器 YC3 线圈得电,接通快速移动传动链,水平工作台沿给定的进给方向快速移动。当进入铣削行程时,松开按钮 SB5 或 SB6, KM4 线圈失电,其辅助动断触点复位,接通进给传动链,水平工作台就以原方向继续工作进给状态移动。

5) 水平工作台变速时的点动。与主轴变速类似,水平工作台变速同样由机械系统完成。为了使变速时齿轮易于啮合,进给电动机 M2 控制电路中也设置了点动控制环节。变速应在工作台停止移动时进行,具体的操作过程是:在主电动机 M1 起动以后,拉出变速手柄,同时转动至所需要的进给速度,再将手柄推回原位。变速手柄在复位的过程中压动点动行程开关 SQ6,使得 SQ6-2 断开, SQ6-1 闭合,短时接通 KM2 的线圈电路,使进给电动机 M2 转动。KM2 线圈通电的电流通路为从 KM1 辅助动合触点开始,电流经 SA1-3→SQ2-2→SQ1-2→SQ3-2→SQ4-2→SQ6-1→KM3 辅助动断触点到 KM2 线圈。可见,若左、右操作手柄和十字手柄中有一个不在中间停止位置,此电流通路便被切断。变速手柄复位后,松开行程开关 SQ6。与主轴瞬时点动操作相同,也要求手柄复位时迅速、连续,一次不到位,应立即拉出变速手柄,再重复瞬时点动的操作,直到齿轮处于良好啮合状态,保证工作正常进行。

(3) 圆工作台控制

为了扩大铣床的加工能力,还可在水平工作台上安装圆工作台,以实现圆弧、凸轮的铣削加工。圆工作台工作时,要求所有进给系统要停止工作,即水平工作台的两个操作手柄均扳在中间停止位置,只允许圆工作台绕轴心转动。

当工件在圆工作台上安装好以后,用快速移动方法将工件和铣刀之间的位置调整好,扳动工作台选择开关 SA1,使其置于圆工作台“接通”位置。此时触点 SA1-2 闭合,触点 SA1-1 与 SA1-3 断开。圆工作台局部控制电路见图 3-12b。在主轴电动机 M1 起动以后,工作台选择开关 SA1 的触点 SA1-2 闭合,接通接触器 KM2 的线圈电路,其主触点闭合,进给电动机 M2 正转,拖动圆工作台转动,该铣床中圆工作台只能单方向旋转。控制电路由主轴电动机控制接触器 KM1 的辅助动合触点开始,工作电流经 SQ6-2→SQ4-2→SQ3-2→SQ1-2→SQ2-2→SA1-2→KM3 辅助动合触点→KM2 线圈。由上述电流通路可见,圆工作台的控制电路中串联了水平工作台的四个工作行程开关 SQ1~SQ4 的动合触点,因此水平工作台任一操作手柄只要扳到工作位置,都会压动行程开关,从而切断圆工作台的控制电路,使其立即停止转动,以此实现水平工作台进给运动和圆工作台转动之间的联锁保护控制。表 3-4 为圆工作台换向开关 SA1 的动作表。

表 3-4 圆工作台换向开关 SA1 动作表

触 点 \ 位 置	圆 工 作 台	
	接 通	断 开
SA1-1	-	+
SA1-2	+	-
SA1-3	-	+

注：“+”表示闭合，“-”表示断开

3. 照明及信号电路

该卧式铣床的局部照明由控制变压器 TC 供给 36V 安全电压，照明灯 EL 由转换开关 SA4 控制，FU5 实现照明电路的短路保护。

X62W 万能铣床电气元件目录表见表 3-5。

表 3-5 X62W 万能铣床电气元件目录

代 号	名 称	型 号	规 格	数 量	用 图
M1	主轴电动机	Y132-4-B3	7.5kW、380V、1450r/min	1	驱动主轴
M2	进给电动机	Y90L-4	1.5kW、380V、1400r/min	1	驱动进给
M3	冷却泵电动机	JCB-22	125W、380V、2790r/min	1	驱动冷却砂泵
QS1	开关	HZ10-60/3J	60A、380V	1	电源总开关
QS2	开关	HZ10-10/3J	10A、380V	1	冷却泵开关
SA1	开关	LS2-3A		1	换刀开关
SA2	开关	HZ10-10/3J	10A、380V	1	圆工作台开关
SA3	开关	HZ3-133	10A、500V	1	M1 换向开关
FU1	熔断器	RL1-60	60A、熔体 50A	3	电源短路保护
FU2	熔断器	RL1-15	15A、熔体 10A	3	进给短路保护
FU3、FU6	熔断器	RL1-15	15A、熔体 4A	2	整流、控制电路适中保护
FU4、FU5	熔断器	RL1-15	15A、熔体 2A	2	直流、照明电路短路保护
FR1	热继电器	JR0-40	整定电流 16A	1	M1 过载保护
FR2	热继电器	JR0-10	整定电流 0.43A	1	M3 过载保护
FR3	热继电器	JR0-10	整定电流 3.4A	1	M2 过载保护
T2	变压器	BK-100	380/36V	1	整流电源
TC	变压器	BK-150	380/110V	1	控制电路电源
T1	照明变压器	BK-50	50VA、380/24V	1	照明电源
VC	整流器	2CZ *4	5A、50V	1	整流用
KM1	接触器	CJ0-20	20A、线圈电压 110V	1	主轴启动
KM2	接触器	CJ0-10	10A、线圈电压 110V	1	快速进给
KM3	接触器	CJ0-10	10A、线圈电压 110V	1	M2 正转
KM4	接触器	CJ0-10	10A、线圈电压 110V	1	M2 反转
SB1、SB2	按钮	LA2	绿色	2	启动 M1

(续)

代 号	名 称	型 号	规 格	数 量	用 图
SB3、SB4	按钮	LA2	黑色	2	快速进给点动
SB5、SB6	按钮	LA2	红色	2	停止、制动
YC1	电磁离合器	B1KL-		1	主轴制动
YC2	电磁离合器	B1KL-		1	正常进给
YC3	电磁离合器	B1KL-		1	快速进给
SQ1	位置开关	LX3-11K	开启式	1	主轴冲动开关
SQ2	位置开关	LX3-11K	开启式	1	进给冲动开关
SQ3	位置开关	LX3-131	单轮自动复位	M2 正、反转及联锁	
SQ4	位置开关	LX3-131	单轮自动复位		
SQ5	位置开关	LX3-11K	开启式		
SQ6	位置开关	LX3-11K	开启式		

习题与思考题

- 3-1 说明机床电气原理图分析的基本方法与步骤。
- 3-2 试述车床主轴正反转控制与铣床主轴正反转控制有何不同。
- 3-3 试述 CD6140A 车床主电动机的起动过程。
- 3-4 试述 C650 车床主电动机的制动过程。
- 3-5 在 C650 车床电气控制电路中，可以用 KM3 的辅助触点替代 KA 的触点吗？为什么？
- 3-6 Z3040 摇臂钻床电路中有哪些联锁和保护？
- 3-7 Z3040 摇臂钻床电路中，行程开关 SQ1 ~ SQ4 的作用是什么？
- 3-8 X62W 万能铣床电气控制电路中设置主轴及进给瞬时点动控制环节的作用是什么？请简述主轴变速时瞬时点动控制的工作原理。
- 3-9 X62W 万能铣床是如何实现水平工作台各方向进给联锁控制的？
- 3-10 请简述 X62W 万能铣床控制电路中圆工作台工作过程及联锁保护原理。

第4章 电气控制系统设计基础

在生产实际中，早期生产机械的电气控制采用继电-接触器控制系统设计。随着电气技术、电子技术、计算机技术、检测技术以及自动控制理论的迅速发展，以及生产工艺水平的不断提高，生产机械的结构、使用功能、动作程序、自动化程序也相应复杂，使生产机械电力拖动的控制方式发生了深刻的变革。经过研制和创新，各种新型的工业控制器及标准系列控制系统应运而生，例如可编程控制、数字程序控制、微机控制以及计算机联网控制等，从而使电气控制方案有了较广阔的选择空间。但是，传统的继电-接触器控制系统设计的理论与方法，仍然是可编程控制、数字程序控制、微机控制以及计算机联网控制等的基础。另外，中小型生产设备的电气控制系统大多数仍采用继电-接触器控制系统。因此，掌握继电-接触器控制系统的设计方法和过程，对于学习现代电气控制系统的设计具有重要实际意义。

4.1 电气控制系统设计的内容和原则

4.1.1 电气控制系统设计的基本内容

- 1) 拟定电气控制系统设计任务书。
- 2) 确定电力拖动方案和控制方案。
- 3) 设计电气原理图。
- 4) 选择电动机、电气元件，并制订电气元件明细表。
- 5) 设计操作台、电气柜及非标准电气元件。
- 6) 设计机床电气设备布置总图、电气安装图以及电气接线图。
- 7) 编写电气说明书和使用操作说明书。

以上各项电气设计内容，必须以相关国家标准为纲领。根据机床的总体技术要求和控制线路的复杂程度不同，内容可增可减，某些图样和技术文件可适当合并或增删。

4.1.2 电气控制系统设计的一般原则

由于电气控制系统是整个生产机械的一部分，所以在设计前要收集相关资料，进行必要的调查研究。应遵循的基本原则是：

- 1) 最大限度地满足生产需求，实现生产机械和加工工艺对电气控制系统的要求。
- 2) 在满足控制要求前提下，电气控制电路应力求安全、可靠、经济、实用、使用维护方便，不要盲目追求自动化和高指标。尽量选用标准的、常用的或经过实际考验的电路和环节。
- 3) 妥善处理机械与电气关系。很多生产机械是采用机电结合控制方式来实现控制要求的，要从工艺要求、制造成本、结构复杂性、使用维护方便等方面，协调处理好二者关系。
- 4) 正确、合理地选用电气元件，确保控制系统安全可靠地工作。

- 5) 为适应生产的发展和工艺的改进,在选择控制设备时,设备能力留有适当余量。
- 6) 谨慎积极地采用新技术、新工艺。
- 7) 设计中贯彻最新的国家标准。电路图中的图形符号及文字符号一律按国家标准绘制。
- 8) 在满足以上条件下,尽量做到造型美观、操作容易、维护方便。

4.1.3 电力拖动方案确定的原则

所谓电力拖动方案指根据生产机械的精度、工作效率、结构、运动部件的数量、运动要求、负载性质、调速要求以及投资额等条件去确定电动机的类型、数量、传动方式及拟订电动机的起动、运行、调速、转向和制动等控制要求。它是电气设计的主要内容之一,作为电气控制原理图设计及电气元件选择的依据,是以后各部分设计内容的基础和先决条件。

1. 确定拖动方式

电力拖动方式有以下两种:

- 1) 单独拖动:一台设备由一台电动机拖动。
- 2) 多电动机拖动:一台设备由多台电动机分别驱动各个工作机构,通过机械传动链将动力传送到每个工作机构。

电气传动发展的趋势是多电动机拖动,这样不仅能缩短机械传动链,提高传动效率,而且能简化总体结构,便于实现自动化。具体选择时可根据工艺及结构来决定电动机的数量。

2. 确定调速方案

不同对象有不同的调速要求。为了达到一定的调速范围,可采用齿轮变速箱、液压调速装置、双速或多速电动机以及电气的无级调速传动方案。无级调速有直流调压调速、交流调压调速和变频变压调速等几种类型。目前,变频变压调速技术的使用越来越广泛。在选择调速方案时,可参考以下几点:

- 1) 重型或大型设备主运动及进给运动,应尽可能采用无级调速,这有利于简化机械结构,缩小体积,降低制造成本。
- 2) 精密机械设备如坐标镗床、精密磨床、数控机床以及某些精密机械手,为了保证加工精度和动作的准确性,以及便于自动控制,也应采用无级调速方案。
- 3) 一般中小型设备如普通机床,当没有特殊要求时,可选用经济、简单、可靠的三相笼型异步电动机,配以适当级数的齿轮变速箱。为了简化结构,扩大调速范围,也可采用双速或多速的笼型异步电动机。在选用三相笼型异步电动机的额定转速时,应满足工艺条件要求。

3. 电动机的调速特性与负载特性相适应

不同机电设备的各个工作机构,具有各不相同的负载特性,如机床的主轴运动为恒功率负载,而进给运动为恒转矩负载。在选择电动机调速方案时,要使电动机的调速特性与负载特性相适应,否则将会引起拖动工作不正常,致使电动机不能充分合理地使用。例如,双速笼型异步电动机,当定子绕组由三角形联结改接成双星形联结时,转速增加1倍,功率却增加很少。因此,它适用于恒功率传动。对于低速为星形联结的双速电动机改接成双星形联结后,转速和功率都增加1倍,而电动机所输出的转矩却保持不变,它适用于恒转矩传动。他励直流电动机的调磁调速属于恒功率调速,而调压调速则属于恒转矩调速。分析调速性质和

负载特性,找出电动机在整个调速范围内的转矩、功率与转速的关系,以确定负载需要恒功率调速,还是恒转矩调速,为合理确定拖动方案、控制方案以及电动机和电动机容量的选择提供必要的依据。

4.1.4 电气控制方案确定的原则

设备的电气控制方法很多,有继电-接触器控制、无触点逻辑控制、可编程序控制器(PLC)控制和计算机控制等。总之,合理地确定控制方案,是实现简便可靠、经济适用的电力拖动控制系统的重要前提。

控制方案的确定,应遵循以下原则:

1) 控制方式与拖动需要相适应。控制方式并非越先进越好,而应该以经济效益为标准。

对于控制逻辑简单、加工程序基本固定的机床,采用继电-接触器控制方式较为合理;对于经常改变加工程序或控制逻辑复杂的机床,则采用 PLC 较为合理。

2) 控制方式与通用化程度相适应。通用化指生产机械加工不同对象的通用化程度,它与自动化是两个概念。对于某些加工一种或几种零件的专用机床,它的通用化程度很低,但它可以有较高的自动化程度,这种机床宜采用固定的控制电路;对于单件、小批量且可加工形状复杂零件的通用机床,则采用数字程序控制,或采用 PLC 控制,因为它们可以根据不同的加工对象来设定不同的加工程序,因而有较好的通用性和灵活性。

3) 控制方式应最大限度满足工艺要求。根据加工工艺要求,控制电路应具有自动循环、半自动循环、手动调整、紧急快退、保护性联锁、信号指示和故障诊断等功能,以最大限度满足工艺要求。

4) 控制电路的电源应可靠。简单的控制电路可直接用电网电源,元件较多、电路较复杂的控制装置,可将电网电压隔离降压,以降低故障率。对于自动化程度较高的生产设备,可采用直流电源,有助于节省安装空间,方便与同无触点元件连接,且元件动作平稳,操作维修也较安全。

影响方案确定的因素较多,最后选定方案的技术水平和经济水平,取决于设计人员的设计经验和对设计方案的灵活运用。

4.2 电气控制系统的设计方法和步骤

4.2.1 电气控制系统的设计方法

当生产机械的电力拖动方案和控制方案确定后,就可以进行电气控制系统原理图的设计。电气控制系统原理图的设计方法有两种,即经验设计法(又称一般设计法)和逻辑设计法。

1. 经验设计法

经验设计法是根据生产机械的工艺要求和加工过程,利用各种典型的基本控制环节,加以修改、补充、完善,最后得出最佳方案。若没有典型的控制环节可以采用,则按照生产机械的工艺要求逐步进行设计。

经验设计法的设计过程比较简单,灵活性较大,但设计人员必须熟悉基本控制电路,掌握多种典型电路的设计资料,同时具有丰富的实践经验。由于是依靠经验进行设计,故没有固定模式,通常是先采用一些典型的基本控制电路,实现工艺基本要求,然后逐步完善其功能,并加上适当的联锁与保护环节。初步设计出来的电路可能有好几种,需加以分析比较,多次修改,甚至通过试验加以验证,检验电路的安全和可靠性,最后确定比较合理、完善的设计方案。

用经验设计法一般应遵循以下几个原则:最大限度地实现生产机械和工艺对电气控制电路的要求;确保控制电路工作的可靠性和安全性;控制电路应力求简单、经济;尽可能地使操作简单、维修方便。

2. 逻辑设计法

逻辑设计法即逻辑分析设计方法,是根据生产工艺要求,利用逻辑代数来分析、化简、设计控制电路的方法,这种设计方法能够确定实现一个开关量逻辑功能的自动控制电路所必需的、最少的中间继电器的数目,以达到使控制电路最简洁的目的。

逻辑设计法是利用逻辑代数这一数学工具来设计自动控制电路的,同时也可以用来分析简化电路。逻辑设计法是把自动控制电路中的继电器、接触器等电气元件线圈的通电和断电、触点的闭合和断开视为是逻辑变量,线圈的通电状态和触点的闭合状态设定为“1”,线圈的断电状态和触点的断开状态设定为“0”。首先根据工艺要求将这些逻辑变量关系表示为逻辑函数的关系式,再运用逻辑函数基本公式和运算规律,对逻辑函数式进行化简;然后根据简化的逻辑函数式画出相应的电气原理图;最后经进一步检查、完善,得到既满足工艺要求,又经济合理、安全可靠的最佳设计控制系统原理图。

用逻辑函数来表示控制元件的状态,实质上是以触点的状态作为逻辑变量,通过简单的“逻辑与”、“逻辑或”、“逻辑非”等基本运算,得到运算结果,此结果就表示了电气控制系统的结构。

总的来说,逻辑设计法较为科学,设计的自动控制电路比较简洁、合理,但是当自动控制电路比较复杂时,设计工作量比较大,过程繁琐,容易出错,因此用于简单的自动控制系统设计。但如果将较复杂的、庞大的控制系统模块化,用逻辑设计方法完成每个模块的设计,然后用经验设计法将这些模块组合起来形成完整的自动控制系统,逻辑设计法也能表现出一定的优越性。

4.2.2 电气控制系统设计的一般步骤

电气控制系统原理图设计的一般步骤为:

- 1) 根据选定的拖动方案和控制方式设计系统的原理框图,拟订出各部分的主要技术要求和主要技术参数。

- 2) 根据各部分的要求,设计出原理框图中各个部分的具体电路。在进行具体线路的设计时,一般应先设计主电路,然后设计控制电路、辅助电路、联锁与保护环节等。

- 3) 绘制电气系统原理图。初步设计完成后,应仔细检查,看电路是否符合设计要求,并反复修改,尽可能使之完善和简化。

- 4) 合理选择电气原理图中的每个电气元件,并制订出元器件目录清单。

4.3 继电-接触器控制系统的设计

4.3.1 继电-接触器控制系统电气原理图的设计

中小型生产机械的继电-接触器控制电路，一般都不复杂，大多数都是由按钮、继电器、接触器等元件组成的系统来实现其控制的，因此在设计时，前面所讲述的电气设计的某些内容可以省略。其重点就是设计继电-接触器控制电路及选择电气元件。

当生产机械的控制方案确定后，可根据各电动机的控制任务不同，参照典型电路逐一分别设计局部电路，然后再根据各部分的相互关系综合而成完整的控制电路。

1. 主电路设计

中小型生产机械的继电-接触器控制电路的主电路，一般都比较简单，大多数都是由接触器主触点、热继电器热敏元件等元件组成，来实现其拖动电动机单方向旋转，或由两个接触器控制，实现其拖动电动机正、反方向旋转。

2. 控制电路设计

控制电路的设计应在满足生产机械电气控制系统具体要求的前提下，工作要可靠，力求操作、安装及维修方便。继电-接触器控制电路有一个共同的特点，是通过触点的“通”和“断”，控制电动机或其他电气设备来完成运动机构的动作。即使是复杂的控制电路，很大一部分也是动合和动断触点组合而成的。为了设计方便，把它们的相互关系归纳为以下几个方面。

(1) 动合触点串联

当要求几个条件同时具备时，才使电器线圈得电动作，可用几个常开触点与线圈串联的方法实现。如图4-1a中，K1、K2、K3都动作接通时，继电器KM才动作，这种关系在逻辑线路中称“与”逻辑。

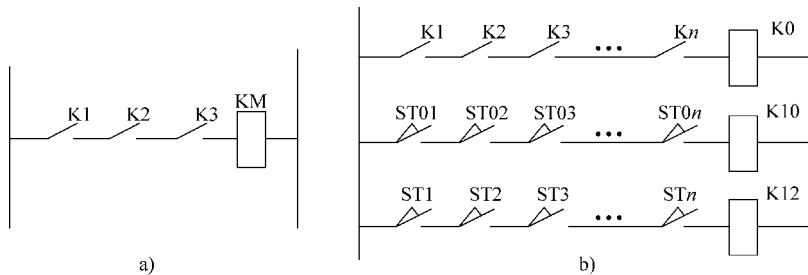


图 4-1 某组合机床各动力头自动循环控制的部分线路

图4-1b所示为自动线各动力头加工完成后恢复原位，使夹具拨销松开的控制电路。在零件加工过程中，各动力头自动工作循环是由各动力头所属的机床控制系统自行控制的。必须每个动力头都进给到终点时，相应地接通继电器K1、K2、K3、…、Kn（分别在各自的机床控制电路中）使其各触点闭合，接通继电器K0，可发出加工完毕信号。只有动力头退回原位，限位开关ST01、ST02、ST03、…、ST0n都被压下，才能接通K10，各动力头加工完成，并返回原位后，各发出夹具拨销放松的信号。这一动作完成后，各限位开关ST1、

ST2、ST3、…、ST_n 都被压下，使 K12 动作发出信号。

很明显 K1、K2、K3、…、K_n 动合触点串联，ST01、ST02、ST03、…、ST0_n 触点的串联，以及 ST1、ST2、ST3、…、ST_n 触点的串联都是“与”的关系，缺一不可。

(2) 动合触点并联

当在几个条件中，只要求具备其中任一条件，所控制的继电器线圈就能得电，这时可用几个动合触点并联来实现。如图 4-2a 所示，只要 K1、K2、K3 其中之一动作，KM 就得电动作。这种关系在逻辑线路中，叫“或”逻辑。

图 4-2b 中，SB3、SB4 为两地控制起动按钮，只要其中之一动作，接触器 KM 就动作，具备条件之一即可。

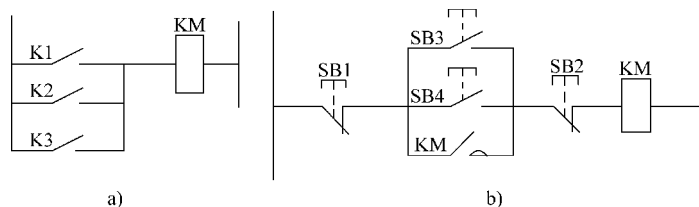


图 4-2 两地控制电路

(3) 动断触点串联

当几个条件仅具备一个时，继电器线圈就断电，可用几个动断触点与控制的电器线圈串联的方法来实现。如图 4-2b 中 SB1、SB2 两个停止按钮，其中一个动作，接触器就断电。图 4-3 中的 SB0 各停止按钮也是如此（按钮 SB0 是紧急停车用，通常在自动线几处分设）。

(4) 动断触点并联

当要求几个条件都具备时，电器线圈才断电，可用几个动断触点并联，再与控制的继电器线圈串联的方法来实现。图 4-3 所示为某自动线预停控制电路，自动线预停时，可按“预停”按钮 SB3，由动断触点 K3、K10 和 K12 所组成的并联电路与接触器 KM0 线圈串联（KM0 是自动线控制电路送电用接触器）是为了保证，只有当所有动力头已经退回原位（K10 动作）、夹具拔销松开（K12 动作）、且原来已发出“预停”信号时（K3 动作），才能使 KM0 断电释放，将控制电路的电源切断。

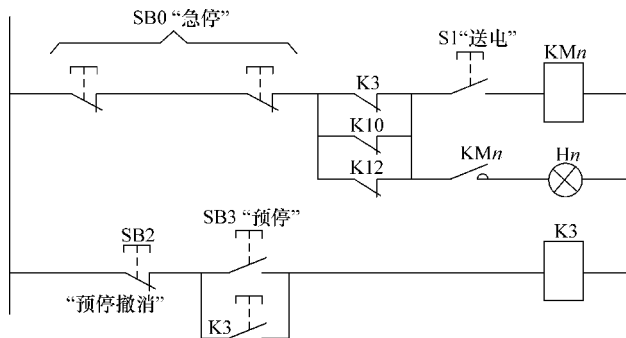


图 4-3 某自动线预停控制电路

一般保护电器应既能保证控制电路长期正常运行，又能起到保护电动机及其他电气设备

的作用。一旦电路出故障，它的触点就应以“通”转为“断”。

4.3.2 电气原理图设计中应注意的技术问题

为确保电气控制系统工作的可靠性和安全性，简化电路，减少电器触点，提高电路可靠性、合理性，在设计电气控制系统原理图时，必须注意以下技术问题。

1. 尽量减少控制电路中电源的种类

电源有交流和直流两大类，接触器和继电器等电器也有交流和直流两大类，设计时要尽量采用同一类电源，控制电压等级应符合标准等级。在控制电路比较简单，电气元件不多的情况下，可直接采用电网电压，即交流 380V、220V 供电，以省去控制变压器。对于比较复杂的控制电路，控制电路应采用控制电源变压器，将控制电压由交流 380V、220V 降至 110V、36V、24V、6.3V，一般机床照明电路采用 36V 以下电源。一般这些不同的电压等级，尽量由一个控制变压器实现的。

直流控制电路多用 220V 或 110V。对于直流电磁铁、电磁离合器，尽量用 24V 直流电源供电。

2. 尽量减少电器的数量和种类

尽量采用标准件和尽可能选用相同型号的电器，设计电路时，应减少不必要的触点以简化电路，提高电路的可靠性。若把如图 4-4a 所示电路改接成如图 4-4b 所示电路，就可以减少一个触点，既有利于减少电器，又增加工作可靠性。

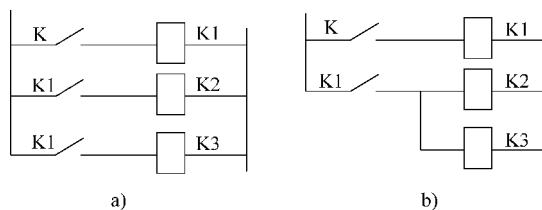


图 4-4 触点的合理使用

3. 合理使用电器触点

在复杂的继电-接触器控制电路中，各类接触器、继电器数量较多，使用的触点也多，线路设计应注意以下问题。

1) 主副触点的使用量不能超过限定对数，因为各类接触器、继电器的主副触点数量是一定的。设计时应注意尽可能减少触点使用数量，采用逻辑设计化简方法，改变触点的组合方式，以减少触点使用数量。在简化过程中也应注意触点的额定电流，并考虑对其他回路的影响。在图 4-5 中，列举了一些触点简化的例子。

2) 检查触点容量是否满足控制要求，避免因使用不当而出现触点烧坏、熔焊的故障，要合理安排接触器主副触点的位置，避免用小容量继电器去切断大容量负载。总之，要计算触点断流容量是否满足被控制负载的要求，还要考虑负载性质（阻性、容性、感性等），以保证触点工作寿命和可靠性。

4. 尽量减少导线数量和缩短连接导线的长度

在设计控制电路时，要考虑各电器之间的实际接线情况，特别要注意电器柜、操作台和

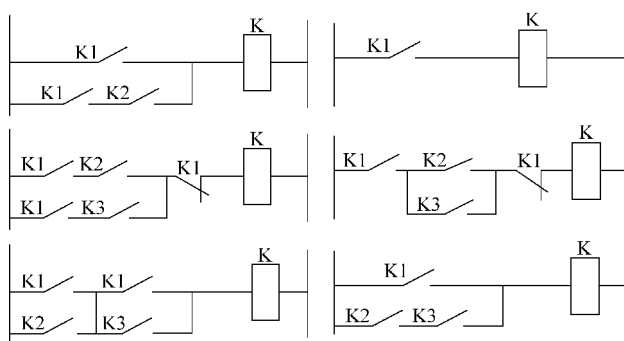


图 4-5 触点化简和合并

位置开关之间的连接线。例如，如图 4-6b、d 所示的接线就不合理，因为按钮通常是安装在操作台上，而接触器则安装在电器柜内，同一电器（接触器 KM 线圈和辅助常开触头）上的元件却不能就近连接。而图 4-6a、c 所示的接线是合理的，从图 4-6a 看，向操作台的实际引线是 3 条，而图 4-6b 则是 4 条；如图 4-6c、d 考虑到 SB1 与 SB3、SB2 与 SB4 分别两地操作，则图 4-6c 就比图 4-6d 少用了连接导线。

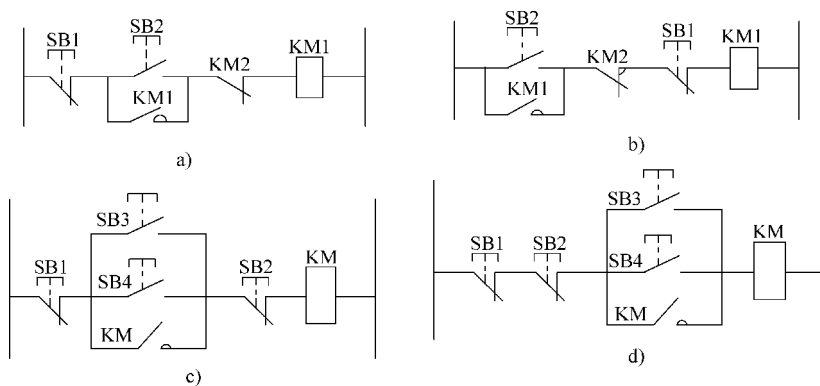


图 4-6 电气元件合理连线

5. 应正确连接电器的线圈

1) 在设计控制电路时，电器线圈的一端应接在电源的同一端。如图 4-7a 所示，继电器、接触器以及其他电器的线圈一端，统一接在电源的同一侧，使所有电器的触点在电源的另一侧。这样当某一电器的触点发生短路故障时，不致引起电源短路。同时安装接线也方便。

2) 电器线圈不能串联使用。两个交流电器的线圈串联使用时，至少一个线圈至多得到 1/2 的电源电压，又由于吸合的时间不尽相同，只要有一个电器吸合动作，它的线圈上的压降也就增大，从而使另一电器达不到所需要的动作电压。如图 4-7b 中，KM1 与 KT 串联使用是错误的，应如图 4-7a 中 KM1 和 KT 两电器线圈并联使用。

对于电感较大的电器线圈，如电磁阀、电磁铁或直流电机励磁线圈等，则不宜与相同电压等级的接触器或中间继电器的线圈直接并联工作，否则在接通或断开电源时，会造成后者的误动作。

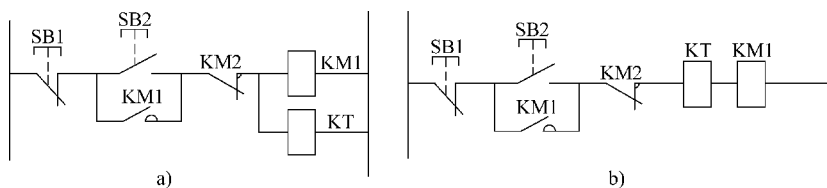


图 4-7 正确连接电器的线圈

6. 尽量减少通电电器的数量

图 4-8 所示为三相异步电动机串电阻减压起动的控制电路，图 4-8a 中，电动机起动后，接触器 KM1 和时间继电器 KT 就失去了作用，但仍然需要长期通电，以保证对起动电阻短接，从而使能耗增加，电器寿命缩短。采用如图 4-8b 所示电路，就可以在电动机起动后切除 KM1 和 KT，既节约了电能，又延长了电器的使用寿命。时间继电器用来传递时间信号，在其完成传递任务后，应尽可能切除。

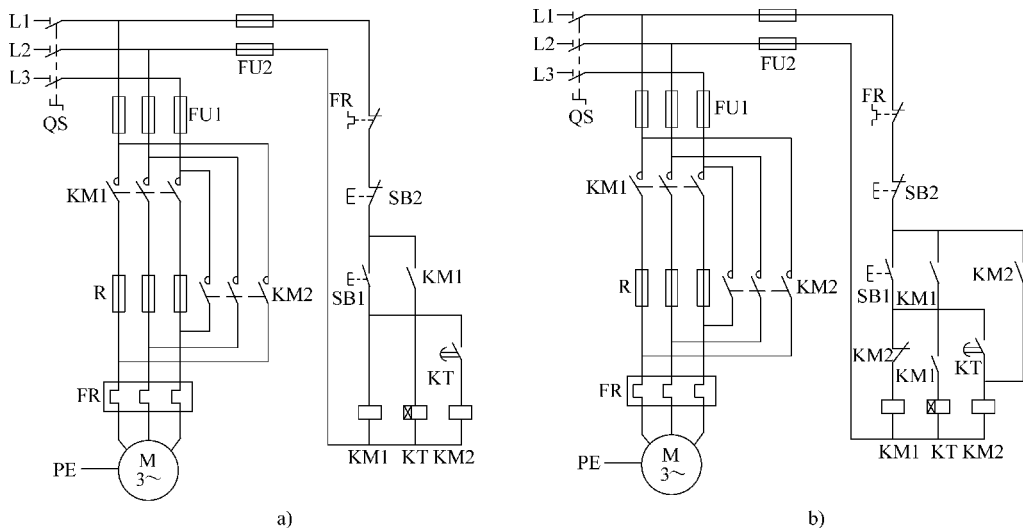


图 4-8 三相异步电动机串电阻减压起动电路

7. 尽量减少控制环节

要避免采用许多电器依次动作才能接通另一个电器的控制电路。在图 4-9a、b 所示电路中，接触器 KM1 得电动作后，接触器 KM2 才能得电动作，接触器 KM2 得电动作后，接触器 KM3 才能得电动作。接触器 KM3 的得电动作要通过接触器 KM1 和 KM2 两个电器的动作，若接成如图 4-9c 所示电路，接触器 KM3 的动作只需接触器 KM1 一个电器动作，而且只需使用一对触点，接触器 KM3 工作更为可靠。

8. 应避免出现寄生回路

在控制电路出现故障或动作过程中，意外接通或非正常接通的电路叫寄生回路。在设计电路时要避免出现寄生回路，因为它会破坏电气元件和控制电路的动作顺序，损坏电器。图 4-10a 所示电路是一个具有指示灯和过载保护的反正转控制电路。在正常工作时，能完成正反转起动、停止和信号指示，但当热继电器 FR 动作时，电路就出现了寄生回路。这时虽然 FR 的常闭触点已断开，但由于存在寄生回路，仍有电流沿着图 4-10a 中虚线所示的路径流

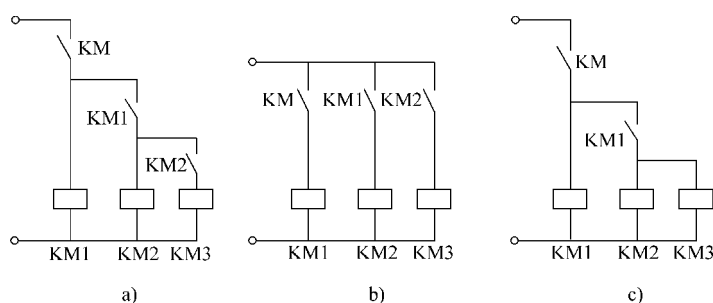


图 4-9 减少控制环节电路

过 KM1 线圈，使正转接触器 KM1 不能可靠释放，起不到过载保护作用。对于图 4-10b 所示电路，当 SA 接通时，接触器 KM1、KM2 能正常工作。而当 SA 断开时，产生寄生回路。如图 4-10b 中虚线所示，时间一长，接触器 KM1、KM2 线圈会因电压不正常而烧毁。

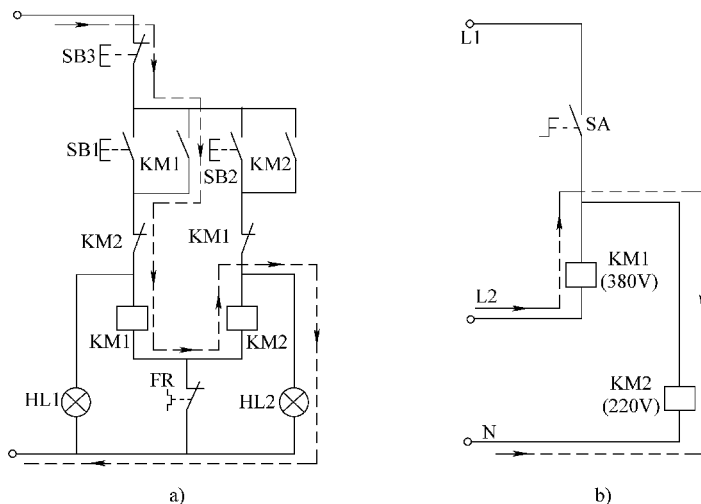


图 4-10 寄生回路

9. 避免“临界竞争和冒险现象”的产生

图 4-11a 所示电路的本意是，按下 SB2 后，接触器 KM1 和时间继电器 KT 线圈得电，电动机 M1 运转（接触器 KM1 控制），经过时间继电器 KT 延时，电动机 M1 停转，电动机 M2 运转（接触器 KM2 控制）。该电路在实际工作中会产生有时能正常转换，有时不能正常转换，原因在于图 4-11a 所示电路设计不可靠，存在“临界竞争”现象。即时间继电器 KT 延时到后，其延时常闭触点总是先断开而延时常开触点后闭合，当延时常闭触点先断开后，时间继电器 KT 线圈随即断电，由于线圈磁场不能突变为零和衔铁复位需要时间，故有时延时常开触点来得及闭合，但有时因受到某些干扰而失控，接触器 KM2 线圈不能得电，电动机 M2 不能运转。若将时间继电器 KT 延时常闭触点换为接触器 KM2 常闭触点，则电路就绝对可靠了，改进后的电路如图 4-11b 所示。请读者自行分析其工作原理。

10. 综合考虑机床使用维修、电器保护等问题

1) 电路设计要考虑操作、使用、调试与维修的方便，以及检测仪表、信号指示、报

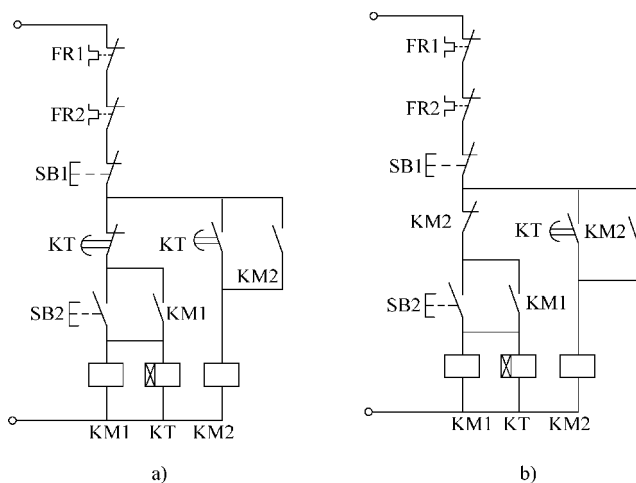


图 4-11 临界竞争电路与改进

警、照明等要求。例如设置必要的显示，随时反映系统的运行状态与关键参数，考虑到刀具调整与运动机构修理必要的单机点动、单步及单循环动作，必要的照明易损触点及电气元件的备用等。

2) 在设计控制电路时应考虑各种联锁关系，以及电气系统具有的各种电气保护措施，例如过载、短路、欠电压、零位、限位等保护措施。

电气控制系统除了能满足被控设备生产工艺的控制要求外，在电气控制系统的设计与运行中，还必须考虑到系统有发生故障和不正常工作情况的可能性。因为发生这些情况时，会引起电流增大，电压和频率降低或升高，致使电气设备和电能用户的正常工作遭到破坏，可能会导致设备的损毁。因此控制电路中的保护环节是电气控制系统中不可缺少的组成部分。控制电路中常用的保护环节有短路保护、过载保护、过电流保护、零电压保护和欠电压保护等。

短路保护的常用方法是采用熔断器、低压断路器或专门的短路保护装置。异步电动机过载保护常采用热继电器或电动机保护器作为保护元件。

零电压（失电压）保护是指防止因某种原因造成电源突然断电，尔后电源又恢复通电时，电动机的自行起动或电气元件自行投入工作而设置的保护，可避免电动机因自行起动，可能造成人身事故或机械设备损坏；电热类电器因自行通电，可能引起火灾等。常采用能自动复位按钮和接触器来控制电动机的起动和停止，因其控制电路中的自锁环节而具有零电压（失电压）保护的作用，若采用不能自动复位的手动开关、行程开关等和接触器组成电路，控制电动机、电热类电器，则必须设有专门的零电压继电器。

另外有欠电压和过电压、欠电流和过电流及限位保护等。

当电网电压降低时，异步电动机在欠电压下运行，在负载一定情况下，电动机的主磁通下降，电流将增加。由于电压降低幅度不足以使熔断器熔断，也不会使过电流继电器和热继电器动作，因此上述电流保护器件无法对欠电压起到保护作用。能够保证在电网电压降到额定电压以下，如额定电压的 60% ~ 80% 时，自动切除电源，而使电动机或电气元件停止工作的保护环节，称为欠电压保护。通常采用欠电压继电器来实现欠电压保护，其方法是将欠

电压继电器线圈跨接在电源上，其常开触点串接在接触器控制回路中。当电网电压低于欠电压继电器整定值时，欠电压继电器动作使接触器释放。如图 4-12 所示，当电源电压正常时，欠电压继电器触点处于动作状态，其常开触点 KV 吸合，而当电源电压下降至其整定值时，其触点复位。常开点脱开，切断继电器 KV 线圈的控制支路，KV 触点复位，致使接触器 KM1、KM2 失电，切断了电动机的电源，从而实现了欠电压保护。

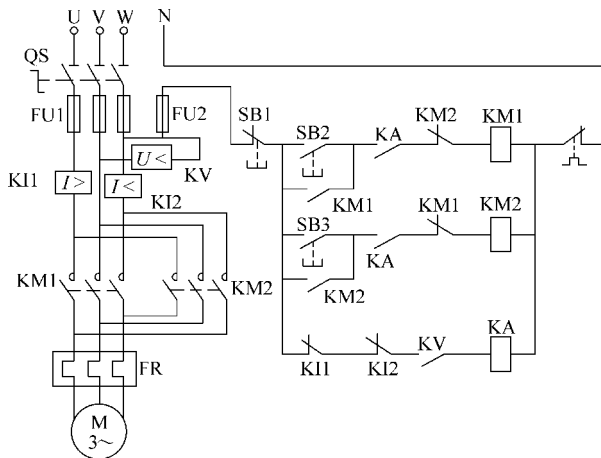


图 4-12 交流异步电动机常用保护

图 4-12 所示为交流异步电动机常用的保护类型示意图，具体选用时应有取舍。图中所示保护电路有：主电路采用熔断器 FU1 作为短路保护，控制电路用熔断器 FU2 作为短路保护；热继电器 FR 用作过载保护；电流继电器 KI1、KI2 用作电动机工作时的过电流、欠电流保护；按钮 SB2、SB3 并接的 KM1、KM2 常开辅助触点构成的自锁环节兼作零电压（失电压）保护；欠电压继电器 KV 作电动机的欠电压保护。另外线路中串接的 KM1、KM2 常闭触点构成的互锁环节起到了电动机正反转的联锁保护作用。电路发生短路故障时，由熔断器 FU1、FU2 切断故障；电路发生过载故障时，热继电器 FR 动作，事故处理完毕热继电器可以自动复位或手动复位，使电路重新工作。

4.4 电气控制电路设计中的元器件选择

4.4.1 电动机的选择

正确地选用电动机对机床的结构及整个拖动系统的设计具有重要的影响。合理地选择电动机是从驱动机床的具体对象、加工规范，也就是要从机床的使用条件出发，经济、合理、安全等多方面考虑，使电动机能够安全可靠地运行。电动机的选择包括电动机结构形式、电动机的额定电压、额定转速、额定功率和电动机的容量等技术指标的选择。

1. 电动机选择的基本原则

1) 电动机的机械特性应满足生产机械提出的要求，要与负载的负载特性相适应。保证运行稳定且具有良好的起动、制动性能。

- 2) 工作过程中电动机容量能得到充分利用,使其温升尽可能达到或接近额定温升值。
- 3) 电动机结构形式满足机械设计提出的安装要求,并能适应周围环境工作条件。
- 4) 在满足设计要求前提下,应优先采用结构简单、价格便宜、使用维护方便的三相笼型异步电动机。

2. 电动机结构形式的选择

- 1) 从工作方式上,根据不同工作制,相应选择连续、短时及断续周期性工作的电动机。
- 2) 从安装方式上分卧式和立式两种。卧式安装时电动机的转轴处于水平位置,立式安装时转轴垂直于地面。两种安装方式的电动机使用的轴承不同。

电动机的转轴伸出到端盖外面与负载连接的部分称为轴伸。电动机有单轴伸和双轴伸两种,通常情况下为单轴伸。

- 3) 按不同工作环境选择电动机的防护形式,开启式适用于干燥、清洁的环境;防护式适用于干燥和灰尘不多,没有腐蚀性和爆炸性气体的环境;封闭式分自扇冷式、他扇冷式和密封式三种,前两种用于多腐蚀性气体、多灰尘、多潮湿与侵蚀的环境,后一种用于浸入水中的机械;防爆式用于有爆炸危险的环境中。

按机床电气设备通用技术条件中规定,机床应采用全封闭扇冷却式电动机。机床上推荐使用防护等级最低为IP44的交流电动机。在某些场合下,还必须采用强迫通风。

3. 电动机额定电压的选择

电动机的电压等级、相数、频率都要与供电电源一致。因此,电动机的额定电压应根据其运行场所的供电电源的电压等级来确定。

- 1) 我国的交流供电电源,低压电网电压为380V,高压通常为3kV、6kV或10kV。中等功率(约200kW)以下的交流电动机,额定电压一般为380V,也有额定电压为220V;大功率的交流电动机,额定电压一般为3kV或6kV;额定功率为1000kW以上的电动机,额定电压可以是10kV。

- 2) 直流电动机的额定电压一般为110V、220V、440V、660V或1000V,最常用的电压等级为220V。直流电动机一般由单独的电源供电,选择额定电压时通常只要考虑与供电电源配合即可。

4. 电动机额定转速的选择

对电动机本身来说,额定功率相同的电动机,额定转速越高,体积就越小,造价就越低,效率也越高,转速较高的异步电动机的功率因数也较高。所以,选用额定转速较高的电动机可能是较好的。但是,如果生产机械要求的转速较低,那么选用较高转速的电动机时,就需要增加一套传动比较大、体积较大且价格昂贵的减速传动装置。因此,在选择电动机的额定转速时,应根据机械的要求和传动装置的具体情况加以选定。异步电动机的转速有3000r/min、1500r/min、1000r/min、750r/min、600r/min等几种。

5. 电动机容量的选择

电动机容量的选择有两种方法:分析计算法和调查统计类比法。

(1) 分析计算法

该方法是根据生产机械负载图,在产品目录上预选一台功率相当的电动机,再用此电动机的技术数据和生产机械负载图中的参数进行计算,求出电动机的负载图,最后按电动机的负载图从发热方面进行校验,并检查电动机的过载能力是否满足要求;如若不行,则重新计

算直至合格为止。此法计算工作量大,负载图绘制较难,实际使用不多。

(2) 调查统计类比法

该方法是在不断总结经验的基础上,选择电动机容量的一种实用方法,此法比较简单,对同类型设备的拖动电动机容量进行统计和分析,从中找出电动机容量与设备参数的关系,得出相应的计算公式。以下为典型机床的统计分析法公式(电动机容量用 P ,单位为kW):

1) 卧式车床主电动机的功率:

$$P = 36.5D^{1.54} \quad (4-1)$$

式中, P 为主拖动电机功率(kW), D 为工件最大直径(m)。

2) 立式车床主电动机的功率:

$$P = 20D^{0.88} \quad (4-2)$$

式中, D 为工件最大直径(m)。

3) 摇臂钻床主电动机的功率:

$$P = 0.0646D^{1.19} \quad (4-3)$$

式中, D 为最大钻孔直径(mm)。

4) 卧式镗床主电动机的功率:

$$P = 0.004D^{1.7} \quad (4-4)$$

式中, D 为镗杆直径(mm)。

4.4.2 机床常用电器的选择

完成电气控制电路的设计之后,应开始选择所需要的控制电器。控制电器正确、合理的选用,是控制线路安全、可靠工作的重要条件。机床电器的选择,主要是根据电器产品目录上的各项技术指标(数据)来进行的。

1. 低压配电电器的选择

(1) 刀开关的选择

刀开关主要作用是接通和切断长期工作设备的电源。也用于控制不频繁操作的小功率电动机。开启式负荷开关当用于控制不频繁操作的5.5kW以下异步电动机时,其额定电流不要小于电动机额定电流的3倍。封闭式负荷开关当用于控制不频繁操作的小功率异步电动机时,其额定电流可按大于电动机额定电流的1.5倍来选择。但不宜用于其额定电流超过60A以上负载的控制,以保证可靠灭弧及用电安全。

一般刀开关的额定电压不超过500V,额定电流有10A到上千安培的多种等级。常见的HK系列、HH系列刀开关附有熔断器,不带熔断器式刀开关主要有HD型及HS型,带熔断器式刀开关有HR3系列。

刀开关主要根据电源种类、电压等级、电动机容量、所需极数及使用场合来选用。现在工厂机床电气控制系统中已很少使用这种电器。

(2) 组合开关的选择

组合开关主要是作为电源引入开关,所以也称电源隔离开关,它也可以起停5kW以下的异步电动机,但每小时的接通次数不宜超过10~20次,开关的额定电流一般取电动机额定电流的1.5~2.5倍。

组合开关主要根据电源种类、电压等级、所需触点数及电动机容量进行选用。常用的组

合开关有 HZ5、HZ10、HZW 系列。其中 HZ10 系列的额定电流为 10、25、60 和 100A 四种,适用于交流 50Hz 额定电压 380V、直流额定电压 220V,额定电流 60A 以下的电气设备中。

(3) 断路器

断路器又称自动空气断路器。断路器在机床上应用得很广泛,这是因为断路器既能接通或分断正常工作电流,也能自动分断过载或短路电流,分断能力大,有欠电压、过载和短路保护作用。

选择断路器应考虑其主要参数:额定电压、额定电流和允许切断的极限电流等,断路器脱扣器的额定电流应等于或大于负载允许的长期平均电流;断路器的极限分断能力要大于,至少要等于电路最大短路电流。

断路器脱扣器电流整定应按下面原则:

- 1) 欠电压脱扣器额定电压应等于主电路额定电压;
- 2) 热脱扣器的整定电流应与被控对象(负载)额定电流相等;
- 3) 电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流:

$$I_z \geq K I_{pk} \quad (4-5)$$

式中, I_z 为瞬时动作的整定电流; I_{pk} 为线路中的尖峰电流; K 为考虑整定误差和起动电流允许变化的安全系数。对于动作时间在 0.02s 以上的自动断路器,取 $K = 1.35$; 对于动作时间在 0.02s 以下的自动断路器,取 $K = 1.7$ 。

机床常用的断路器产品有 DZ 系列, DW 系列。

(4) 电源开关联锁机构

电源开关联锁机构与相应的断路器和组合开关配套使用,用于接通电源或断开电源和柜门开关联锁,以达到打开柜门后切断电源,将柜门关闭后才能接通电源的效果,以起到安全保护作用。电源开关联锁有 DJL 系列和 JDS 系列。

(5) 熔断器的选择

熔断器选择内容主要是熔断器种类、额定电压、额定电流等级和熔体的额定电流。熔断器的类型主要由设计电气控制系统时,总体考虑确定,熔断器的额定电压应按大于或等于所保护电路的电压来选择,确定熔体的额定电流和熔断器额定电流是选用熔断器的主要任务。

1) 对于如照明线路等没有冲击电流的负载,应使熔体的额定电流等于或稍大于线路工作电流 I_N :

$$I_{NF} \geq I_N \quad (4-6)$$

式中, I_{NF} 为熔体额定电流 (A); I_N 为电路工作电流 (A)。

2) 对于单台电动机:

$$I_{NF} = (1.5 \sim 2.5) I_{NM} \quad (4-7)$$

式中, I_{NF} 为熔体额定电流 (A); I_{NM} 为电动机额定电流 (A)。

轻载起动或起动时间较短,式 (4-7) 的系数取 1.5,重载起动或起动次数较多、起动时间较长时,系数取 2.5。

3) 对于多台电动机:

$$I_{NF} = (1.5 \sim 2.5) I_{NM_{\max}} + \sum I_M \quad (4-8)$$

式中, $I_{NM_{\max}}$ 为容量最大的电动机的额定电流 (A); $\sum I_M$ 为其余各台电动机额定电流之和,若有照明电路也应计入。

4) 对输配电电路, 熔体的额定电流应小于线路的安全电流。

熔体额定电流确定以后, 就可确定熔断器额定电流, 应使熔断器额定电流大于或等于熔体额定电流。

熔断器种类很多, 有插入式、填料封闭管螺旋式及快速熔断器等, 有 RL1 系列、RC1 系列、RT0 系列、RS0 系列等,

(6) 控制变压器容量的选择

控制变压器一般用于降低控制电路或辅助电路电压, 以保证控制电路安全可靠。选择控制变压器有以下原则:

- 1) 控制变压器一、二次电压应与交流电源电压、控制电路电压及辅助电路电压要求相符。
- 2) 应保证变压器二次侧的交流电磁器件在起动时能可靠地吸合。
- 3) 电路正常运行时, 变压器温升不应超过允许温升。

4) 控制变压器若按长期运行的温升来考虑, 这时变压器容量应大于或等于最大工作负荷的功率。控制变压器容量的近似计算公式为:

$$S \geqslant K_L \Sigma S_i \tag{4-9}$$

式中, S 为控制变压器容量; ΣS_i 为电磁器件吸持总功率 ($V \cdot A$); K_L 为变压器容量的储备系数, 一般 K_L 取 $1.1 \sim 1.25$ 。

常用交流电器的起动与吸持功率如下所示:

电器型号	起动功率 $S_{qd} (V \cdot A)$	吸持功率 $S_{xc} (V \cdot A)$	S_{qd}/S_{xc}
JZ7	75	12	6.3
CJ10-5	35	6	5.8
CJ10-10	65	11	5.9
CJ10-20	140	22	6.4
CJ10-40	230	32	7.2
CJ0-10	77	14	5.5
CJ0-20	156	33	4.75
CJ0-40	280	33	8.5
MQ1-5101	≈ 450	50	9
MQ1-5111	≈ 1000	80	12.5
MQ1-5121	≈ 1700	95	18
MQ1-5131	≈ 2200	130	17
MQ1-5141	≈ 10000	480	21

2. 自动控制电器的选择

(1) 接触器的选择

接触器用于带有负载主电路的自动接通或切断。分直流、交流两类, 机床中应用最多的是交流接触器。

选择接触器主要依据以下技术数据:

- 1) 电源种类: 交流或直流。

- 2) 主触点额定电压、额定电流。
- 3) 辅助触点种类、数量及触点额定电流。
- 4) 电磁线圈的电源种类, 频率和额定电压。
- 5) 额定操作频率 (次/h), 即允许的每小时接通的最多次数。

交流接触器的选择主要考虑主触点的额定电流、额定电压、线圈电压等。

- 1) 主触点额定电流 I_N 可根据下面经验公式进行选择:

$$I_N \geq P_N \times 10^3 / KU_N \quad (4-10)$$

式中, I_N 为接触器主触点额定电流 (A); K 为比例系数, 一般取 $1 \sim 1.4$; P_N 为被控电动机额定功率 (kW); U_N 为被控电动机额定线电压 (V)。

- 2) 交流接触器主触点额定电压一般按高于线路额定电压来确定。

3) 根据控制电路的电压决定接触器的线圈电压。为保证安全, 一般接触器吸引线圈选择较低的电压。但如果在控制电路比较简单的情况下, 为了省去变压器, 可选用 380V 电压。值得注意的是, 接触器产品系列是按使用类别设计的, 所以要根据接触器负担的工作任务来选用相应的产品系列。

- 4) 接触器辅助触点的数量, 种类应满足线路的需要。

机床常用的接触器有 CJ10、CJ12、CJ20 系列等交流接触器和 CZ0 系列直流接触器。

(2) 中间继电器的选择

中间继电器主要在电路中起信号传递与转换作用, 用它可实现多路控制, 并可将小功率的控制信号转换为大容量的触点动作, 以驱动电气执行元件工作, 中间继电器触点多, 可以扩充对其他电器的控制作用。

选用中间继电器, 主要依据控制电路的电压等级, 同时还要考虑触点的数量、种类及容量, 满足控制电路的要求。

在机床上常用的中间继电器型号有 JZ7 系列、JZ8 系列两种。JZ8 为交直流两用的继电器。

(3) 热继电器的选择

热继电器用于电动机的过载保护, 热继电器的选择应考虑电动机的工作环境、起动情况和负载性质等因素, 主要是根据电动机的额定电流来确定其型号与规格。

- 1) 热继电器的热元件额定电流选择。一般可按下式选取:

$$I_R = (0.95 \sim 1.05) I_N \quad (4-11)$$

式中, I_R 为热元件的额定电流; I_N 为电动机的额定电流。

对于如下情况: 电动机负载惯性转矩非常大, 起动时间长; 电动机所带动的设备, 不允许任意停电; 电动机拖动的为冲击性负载, 如冲床、剪床等设备。则按下式选取:

$$I_R = (1.15 \sim 1.5) I_N \quad (4-12)$$

2) 热继电器结构形式的选择。在一般情况下, 可选用两相结构的热继电器; 对在电网电压严重不平衡、工作环境恶劣条件下工作的电动机, 可选用三相结构的热继电器; 对于三角形接线的电动机, 为了实现断相保护, 则可选用带断相保护装置的热继电器。

热继电器的整定电流值是指热元件通过的电流超过其值的 20% 时, 热继电器应当在 20min 内动作, 选用时整定电流应与电动机额定电流一致。热继电器选好后, 还需根据电动机的额定电流来调整它的整定值

常用的热继电器有 JR1、JR2、JR16 等系列。JR16B 系列是双金属片式热继电器, 它电

流整定范围广，并有温度补偿装置，适用于长期工作或间歇工作的交流电动机的过载保护，而且具有断相运转保护装置。

(4) 时间继电器的选择

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) 根据控制电路的所需要的延时触点延时方式来选择，即通电延时型或断电延时型。
- 2) 根据延时准确度要求和延时长、短要求来选择。
- 3) 根据使用场合、工作环境选择合适的时间继电器。

3. 低压主令电器的选择

(1) 控制按钮的选择

- 1) 根据用途，选用合适的形式，如普通式、手把旋钮式、钥匙式和紧急式等。
- 2) 按控制回路的需要，确定不同的按钮数，如单钮、双钮、三钮和多钮等。
- 3) 根据使用场合所需要的触点数、触点形式及作用，选择控制按钮的种类和颜色，如开启式、保护式、防水式和防腐式等

- 4) 按工作状态指示和工作情况的要求，选择按钮及指示灯的颜色。

机床常用的按钮为 LA 系列。

(2) 行程开关的选择

行程开关可按下列要求进行选择：

- 1) 根据应用场合及控制对象选择，有一般用途行程开关和起重设备用行程开关。
- 2) 根据安装环境选择防护形式，如开启式或保护式。
- 3) 根据控制回路的电压和电流选择行程开关系列。
- 4) 根据机械与行程开关的传动与位移关系选择合适的头部形式。

(3) 万能转换开关的选择

万能转换开关可按下列要求进行选择。

- 1) 按额定电压和工作电流选择合适的万能转换开关系列。
- 2) 按操作需要选定手柄形式和定位特征。
- 3) 按控制要求参照转换开关样本确定触点数量和接线图编号。
- 4) 选择面板形式及标志。

(4) 接近开关的选择

接近开关可按下列要求进行选择：

- 1) 接近开关价格较高，用于工作频率高、可靠性及精度要求均较高的场合。
- 2) 按应答距离要求选择型号、规格。
- 3) 按输出要求是有触点还是无触点以及触点数量，选择合适的输出形式。

4.5 电气控制电路设计举例

4.5.1 单电动机控制电路

设计一台电动机能耗制动控制电路。已知：电动机型号为 Y100L2—4、功率 3.0kW、额定电流 6.82A，转速 1430r/min；控制要求如下：

- 1) 可实现正反转;
- 2) 停车时, 可实现能耗制动;
- 3) 能耗制动采用自动控制;
- 4) 电路具有必要的保护措施;
- 5) 控制电路电源电压 380V。

设计出符合上述控制要求的电气控制电路, 编写设计说明书。

1. 电气控制电路设计

(1) 主电路

三相电源通过组合开关 QS1 引入, 供给电动机 M、制动及控制电路。熔断器 FU1 作为电动机 M 的短路保护元件, FR 为电动机 M 的过载保护热继电器。FU2 作为控制电路的短路保护元件, FU3 作为制动回路的短路保护元件。电动机 M 的正、反转由接触器 KM1 和 KM2 控制, 制动回路由 KM3 控制。由此组成的主电路见图 4-13 的左半部分。

(2) 控制电路

电路工作原理如下: 合上电源开关 QS。当需要电动机正转时, 按下正转起动按钮 SB2, 接触器 KM1 线圈得电吸合, 其主触点闭合接通电动机 M 的正转电源, 电动机 M 起动正转。同时, 接触器 KM1 的辅助常开触点闭合自锁, 使得松开按钮 SB2 时, 接触器 KM1 线圈仍然能够保持通电吸合。串接在接触器 KM2 线圈回路的接触器 KM1 的一对辅助常闭触点断开, 切断接触器 KM2 线圈回路的电源, 使得在接触器 KM1 得电吸合, 电动机 M 正转时, 接触器 KM2 不能得电, 电动机 M 不能接通反转电源。而串接在接触器 KM3 线圈回路的接触器 KM1 的另一对辅助常闭触点断开, 保证电动机 M 能耗制动主电路断开。

当电动机 M 需要停车时, 按下停车按钮 SB1, SB1 的常闭触点断开, 接触器 KM1 线圈失电释放, KM1 的常开主触点断开, 切断电动机 M 的正转电源, 辅助常开、常闭触点复位, 而 SB1 的常开触点闭合, 接通接触器 KM3 和时间继电器 KT 线圈回路, 电动机 M 开始能耗制动, 同时接触器 KM3 和时间继电器的辅助常触点开闭自锁, 使得松开按钮 SB1 时, 保持能耗制动控制电路通电。当时间继电器 KT 定时时间到, 切断电动机 M 能耗制动电路, 能耗制动结束, 如图 4-13 所示。

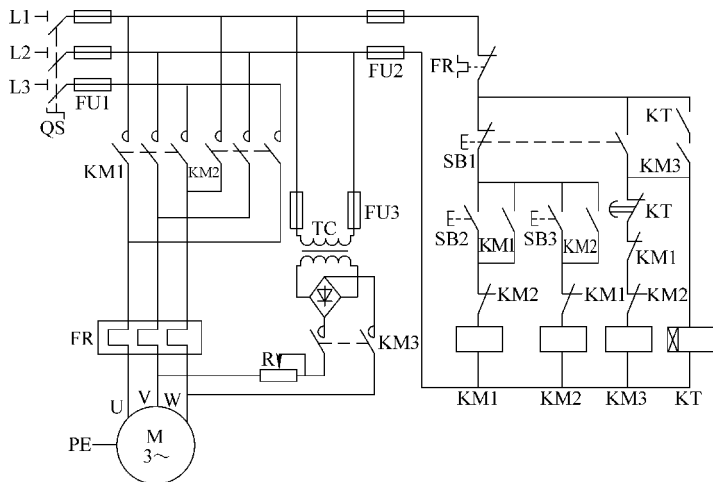


图 4-13 电动机能耗制动控制电路

电动机 M 反转和反转能耗制动的原理略。

2. 电气元件选择

(1) 电源开关的选择

QS 选用三极组合开关。根据 $I = (1.5 \sim 2.5) I_{\text{NM}} = (1.5 \sim 2.5) \times 6.82\text{A} = 10.23 \sim 17.05\text{A}$ ，并保证留有足够的余量，可选用 HZ10—25/3 型组合开关。

(2) 熔断器的选择

FU1、FU2、FU3 熔断器额定电流可按式 (4-6)、式 (4-7) 选择。

1) FU1 保护主电动机， $I_{\text{NF}} = (1.5 \sim 2.5) I_{\text{NM}} = (1.5 \sim 2.5) \times 6.82\text{A} = 10.23 \sim 17.05\text{A}$ ，选 RL1—60 型熔断器，配 20A 的熔体。

2) FU2 保护控制电路，估算控制电路电流选 RL1—15 型熔断器，配用 2A 的熔体。

3) FU3 保护能耗制动主电路，按 $I_{\text{NF}} = 0.5 I_{\text{NM}}$ 左右估算制动主电路电流，选 RL1—15 型熔断器配用 5A 的熔体。

(3) 接触器的选择

根据电动机 M 的额定电流情况及式 (4-10)， $I_{\text{N}} = 6.82\text{A}$ ，接触器 KM1、KM2 和 KM3 均选用 CJ10—10 型交流接触器，线圈电压为 380V。

(4) 热继电器的选择

根据电动机工作情况，热元件额定电流按式 (4-11) 选取， $I_{\text{R}} = (0.95 \sim 1.05) \times 6.82\text{A} = 6.48 \sim 7.16\text{A}$ 。用于电动机 M 的过载保护时，选 JR20—20/3 (11A) 型热继电器，整定电流调节范围为 6.8 ~ 11A，工作时将热元件额定电流调整至 6.82A。

(5) 时间继电器的选择

根据延时方式和触点类型确定。JS7—1 (2) 线圈电压 380V，延时时间为 0.4 ~ 60s。

(6) 按钮的选择

根据所需触点数和按钮颜色确定。

(7) 控制变压器的选择

一次电压 380V，二次电压 220V 或 36V，可查专用整流变压器，这里选用 BK-200 型控制变压器。

3. 电气元件明细表

电气元件明细表见表 4-1。

表 4-1 电动机能耗制动电气元件明细表

符 号	名 称	型 号	规 格	数 量
M	电动机	Y100L2—4	功率 3.0kW、额定电流 6.82A	1
QS	组合开关	HZ10—25/3	3 极，500V，25A	1
KM1、KM2、KM3	交流接触器	CJ10—10	线圈电压 380V	3
FR	热继电器	JR16B—20/3	热元件 11A、整定 6.82A	1
FU1	熔断器	RL1—60	熔体 20A	3
FU2	熔断器	RL1—15	熔体 2A	2
FU3	熔断器	RL1—15	熔体 5A	2
SB1	停止按钮	LA2	红色	1
SB2、SB3	起动按钮	LA2	绿色、黑色各 1	2
KT	时间继电器	JS7—1 (2)	线圈电压 380V，0.4 ~ 60s	1
TC	控制变压器	BK—200	200VA 380/36V	1

4.5.2 设计 CA6140 型卧式车床的电气控制电路

1. 机床电气传动的特点及控制要求

1) 主拖动电动机一般选用三相笼型异步电动机, 不进行电气调速, 采用齿轮箱进行机械有级调速。机床主运动和进给运动由电动机 M1 集中传动, 主轴运动的正反向 (满足螺纹加工要求) 是采用多片摩擦离合器实现的。主拖动电动机的起动、停止采用按钮操作。

2) 车削加工时, 由于刀具及工件温度过高, 有时需要冷却, 因而应该配有冷却泵电动机 M2, 且要求在主拖动电动机起动后, 方可决定冷却泵开动与否, 而当主拖动电动机停止时冷却泵电动机应立即停止。

3) 刀架快速移动由单独的快速电动机 M3 拖动。

4) 进给运动的纵向往右运动, 横向前后运动, 以及快速移动, 都集中由一个手柄操纵。

5) 必须有过载、短路、欠电压、失电压保护。

6) 具有安全的局部照明装置。

电动机型号:

主电动机 M1: Y132—4—B3、7.5kW、380V、15.4A、1440r/min;

冷却泵电动机 M2: AOB—25、90W、380V、0.32A、3000r/min;

快速移动电动机 M3: AOS—5634、250W、380V、1.55A、1360r/min;

2. 电气控制电路设计

(1) 主电路

根据电气传动的要求, 由接触器 KM、KA1、KA2 分别控制电动机 M1、M2 及 M3。

机床的三相电源通过断路器 QF 引入, 供给主运动电动机 M1、冷却泵电动机 M2、快速移动电动机 M3 及控制回路。QF 作为电动机 M1 的短路保护元件, FR1 为电动机 M1 的过载保护热继电器。FU1 作为电动机 M2、M3 和控制变压器 TC 的短路保护元件, FR2 为电动机 M2 的过载保护热继电器。刀架快速移动电动机 M3 由于是点动控制, 故未设过载保护。

(2) 控制电路

从车床的拖动方案可知, 控制回路应有三个基本控制环节, 如图 4-14 所示。

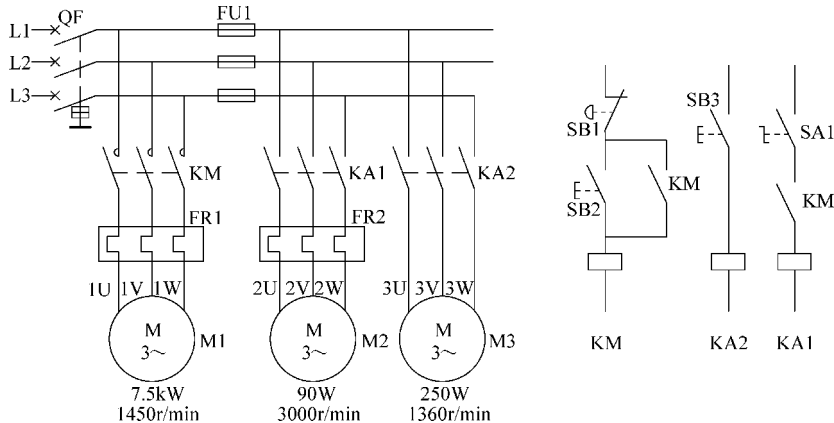


图 4-14 控制回路设计

一是主轴拖动电动机 M1 的控制环节。考虑到操作方便，主电动机 M1 在刀架拖板上设置停止和起动按钮 SB1、SB2 进行操纵，接触器 KM 辅助常开触点与控制按钮组成自锁控制电路。

二是冷却泵电动机 M2 的控制环节。由于主轴电动机 M1 和冷却泵电动机 M2 在控制电路中采用顺序控制，所以，只有当主轴电动机 M1 起动后，即 KM 辅助常开触点闭合时，装在床头板上的旋转开关 SA1，由它与中间继电器 KA1 组成控制电路，控制冷却泵电动机 M2 进行起停。转动旋转开关 SA1，冷却泵电动机 M2 才可能起动。当 M1 停止运行时，M2 自行停止。

三是快速电动机 M3 的控制环节。M3 工作时间短，为了操作灵活，由按钮 SB3 与中间继电器 KA2 组成点动控制电路。刀架移动方向（前、后、左、右）的改变，是由进给操作手柄配合机械装置实现的。如需要快速移动，按下 SB3 即可。

(3) 信号指示与照明电路

控制变压器 TC 的二次侧分别输出 24V 和 6V 电压，作为车床低压照明灯和信号灯的电源。EL 作为车床的低压照明灯，由开关 SA2 控制；HL 为电源信号灯。它们分别由 FU4 和 FU3 作为短路保护。如图 4-15 所示。

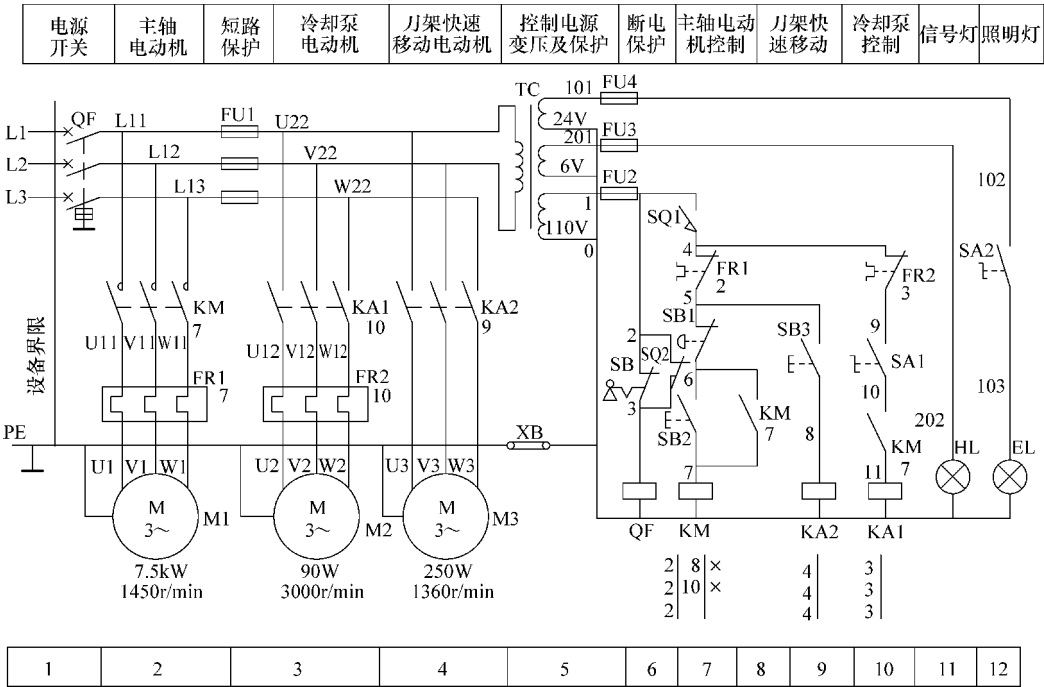


图 4-15 CA6140 型卧式车床电路图

(4) 控制电路电源

考虑安全可靠及满足照明指示灯的要求，采用变压器供电，控制电路 110V，照明 24V，指示灯 6V。同时，断路器 QF 的线圈与钥匙开关 SB、位置开关 SQ2 及 SQ1 组成安全保护电路。

控制电路的电源由控制变压器 TC 二次侧输出 110V 电压提供。在正常工作时，位置开

关 SQ1 的常开触点闭合。打开床头皮带罩后, SQ1 断开, 切断控制电路电源, 以确保人身安全。钥匙开关 SB 和位置开关 SQ2 在正常工作时是断开的, QF 线圈不通电, 断路器 QF 能合闸。打开配电盘壁龛门时, SQ2 闭合, QF 线圈通电, 断路器 QF 自动断开。如图 4-15 所示。

(5) 绘制电气原理图

根据各局部线路之间互相关系和电气保护线路, 画成电气原理图, 如图 4-15 所示。

3. 选择电气元件

(1) 电源引入开关 QF 的选择

QF 既有电源隔离开关功能, 并不用它来直接起停电动机, 可按电动机额定电流来选, 显然应该根据三台电动机来选。同时又具有电动机 M1 的短路保护功能。考虑安全可靠和电动机 M1 的短路保护, 选用 AM2—40 型三极断路器、额定电流为 20A。

(2) 熔断器的选择

FU1、FU2、FU3、FU4 熔断器电流可按公式选择。

1) FU1 是对 M2、M3 两台电动机进行保护的熔断器。熔体额定电流为:

$$I_{NF} = (1.5 \sim 2.5) I_{NM\max} + \sum I_M = (1.5 \sim 2.5) \times 1.55A + 0.32A = 2.65 \sim 4.20A,$$

可选用 BZ001 型熔断器、配用熔体 6A。

2) FU2 保护控制电路, 选用 BZ001 型熔断器, 配用 1A 的熔体。

3) FU3 保护信号电路, 选用 BZ001 型熔断器, 配用 1A 的熔体。

4) FU3 保护照明电路, 选用 BZ001 型熔断器, 配用 2A 的熔体。

(3) 接触器的选择

根据主电动机 M1 的额定电流 $I_N = 15.4A$, 控制电路电源 110V, 需要主触点三对, 动合辅助触点两对, 根据上述情况, 接触器 KM1 选用 CJ10~20、线圈电压 110V。

(4) 中间继电器的选择

根据控制电路的电压等级, 同时考虑触点的数量、种类及容量满足控制电路的要求, KA1、KA2 选用 JZ7—44、线圈电压 110V, 触点电流 5A, 可完全满足要求。

(5) 热继电器的选择。

根据电动机 M1 工作情况, FR1 的热元件额定电流按选择公式选取, $I_R = (0.95 \sim 1.05) \times 15.4A = 14.63 \sim 16.17A$ 。选 JR20-20/3 (22A) 型热继电器, 整定电流调节范围为 14~22A, 工作时将热元件额定电流调整至 15.4A。

同理, 冷却泵电动机 M2 额定电流为 0.32A, $I_R = (0.95 \sim 1.05) \times 0.32A = 0.304 \sim 0.336A$, FR2 应选用 JR20—20/3 (0.5A) 型热继电器, 整定电流调节范围为 0.32~0.5A, 工作时将热元件额定电流调整至 0.32A。

(6) 控制变压器的选择

变压器最大负载时是 KM1、KA1 及 KA2 同时工作, 因为:

$$S \geq K_L \sum S_{XC} = 1.2(12 \times 2 + 22) = 55.2V \cdot A$$

所以可知变压器容量应大于 55.2VA。考虑到照明灯等其他电路容量, 可选用 JBK2—100 型变压器或 JBK2—150 型变压器, 电压等级: 380V/110V/24V/6V, 可满足辅助回路的各种电压需要。

(7) 按钮的选择

根据所需触点数和按钮颜色确定。

其他各元件的选用见表 4-2。

4. 制定电气元件明细表

电气元件明细表要注明各元器件的型号、规格及数量等，见表 4-2。

表 4-2 CA6140 型车床的电气元件明细表

代 号	名 称	型号及规格	数 量	用 途	备 注
M1	主轴电动机	Y132—4—B3、7.5KW、1450r/min	1	主传动用	
M2	冷却泵电动机	AOB—25、90W、3000r/min	1	输送冷却液用	
M3	快速移动电动机	AOS—5634、250W、1360r/min	1	溜板快速移动用	
FR1	热继电器	JR16—20/3、15.4A	1	M1 的过载保护	
FR2	热继电器	JR16—20/3、0.32A	1	M2 的过载保护	
KM	交流接触器	CJ10—20、线圈电压 110V	1	控制 M1	
KA1	中间继电器	JZ7—44、线圈电压 110V	1	控制 M2	
KA2	中间继电器	JZ7—44、线圈电压 110V	1	控制 M3	
SB1	按钮	LAY3—01ZS/1 红色	1	停止 M1	
SB2	按钮	LAY3—10/3.11 绿色	1	起动 M1	
SB3	按钮	LA9 黑色	1	起动 M3	
SA1	旋转开关	LAY3—10X/2	1	控制 M2	
SQ1、SQ2	位置开关	JWM6—11	2	断电保护	
HL	信号灯	ZSD—0、6V	1	刻度照明	无灯罩
QF	断路器	AM2—40、20A	1	电源引入	
TC	控制变压器	JBK2—100、 380V/110V/24V/6V	1		110V、50VA、 24V、45VA
EL	机床照明灯	JC11	1	工作照明	
SA2	旋转开关	LAY3—01X/2	1	控制 EL	
SB	旋钮开关	LAY3—01Y/2	1	电源开关锁	带钥匙
FU1	熔断器	BZ001、熔体 6A	3		
FU2	熔断器	BZ001、熔体 1A		控制电路短路保护	
FU3	熔断器	BZ001、熔体 1A		信号电路短路保护	
FU4	熔断器	BZ001、熔体 2A		照明电路短路保护	

5. 绘制 CA6140 型卧式车床电器位置图和接线图

机床的电气接线图是根据电气原理图及各电气设备安装的布置图来绘制的。安装电气设备或检查线路故障都要依据电气接线图。接线图要表示出各电气元件的相对位置及各元件的相互接线关系，因此要求接线图中各电气元件的相对位置与实际安装的位置一致，并且同一个电器的元件画在一起。还要求各电气元件的文字符号与原理图一致。对各部分线路之间接线和对外部接线都应通过端子板进行，而且应该注明外部接线的去向。

为了看图方便，对导线走向一致的多根导线合并画成单线，可在元件的接线端标明接线的编号和去向。

接线图还应标明接线用导线的种类和规格，以及穿管的管子型号、规格尺寸。成束的接

线应说明接线根数及其接线号，如图 4-16 所示。

CA6140 型卧式车床电器位置图如图 4-16 和表 4-3 所示，接线图如图 4-17 所示。

表 4-3 位置代号索引

序 号	部 件 名 称	代 号	安 装 元 件
1	床身底座	+ M01	- M1、- M2、- XT0、- XT1、- SQ2
2	床鞍	+ M05	- HL、- EL、- SB1、- SB2、- XT2、- XT3、- SA2 数显尺
3	溜板	+ M06	- M3、- SB3
4	传动带罩	+ M15	- QF、- SB、- SA1、- SQ1
5	床头	+ M02	数显表

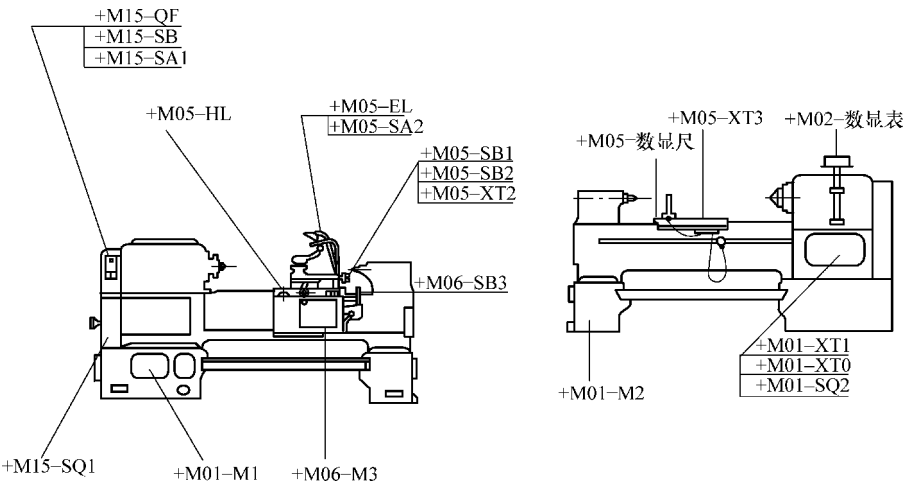


图 4-16 CA6140 型卧式车床电器位置图

习题与思考题

- 4-1 生产设备的电气控制系统设计包括哪些内容，应当遵循哪些原则？
- 4-2 电气控制系统的设计方法有哪些，各有什么特点？
- 4-3 电动机的选择一般包括哪些内容？
- 4-4 三级胶带输送系统，分别由 M1、M2、M3 三台电动机驱动，控制要求：

1) 起动时，按 M1—M2—M3 顺序；

2) 停车时，按 M3—M2—M1 顺序；

3) 上述动作之间要有一定时间间隔。试设计电气控制电路。
- 4-5 设计一台电动机的控制电路。已知：电动机额定功率为 5.5kW，额定电压为 380V，额定电流为 11.25A，起动电流是额定电流的 7 倍。控制要求：

1) 用按钮进行起动和停止控制；

2) 有短路保护和过载保护；

3) 控制电路电源电压 380V。
- 试设计符合上述控制要求的电气控制电路，并选用接触器、按钮、熔断器、热继电器、电源开关等电器的型号和规格。

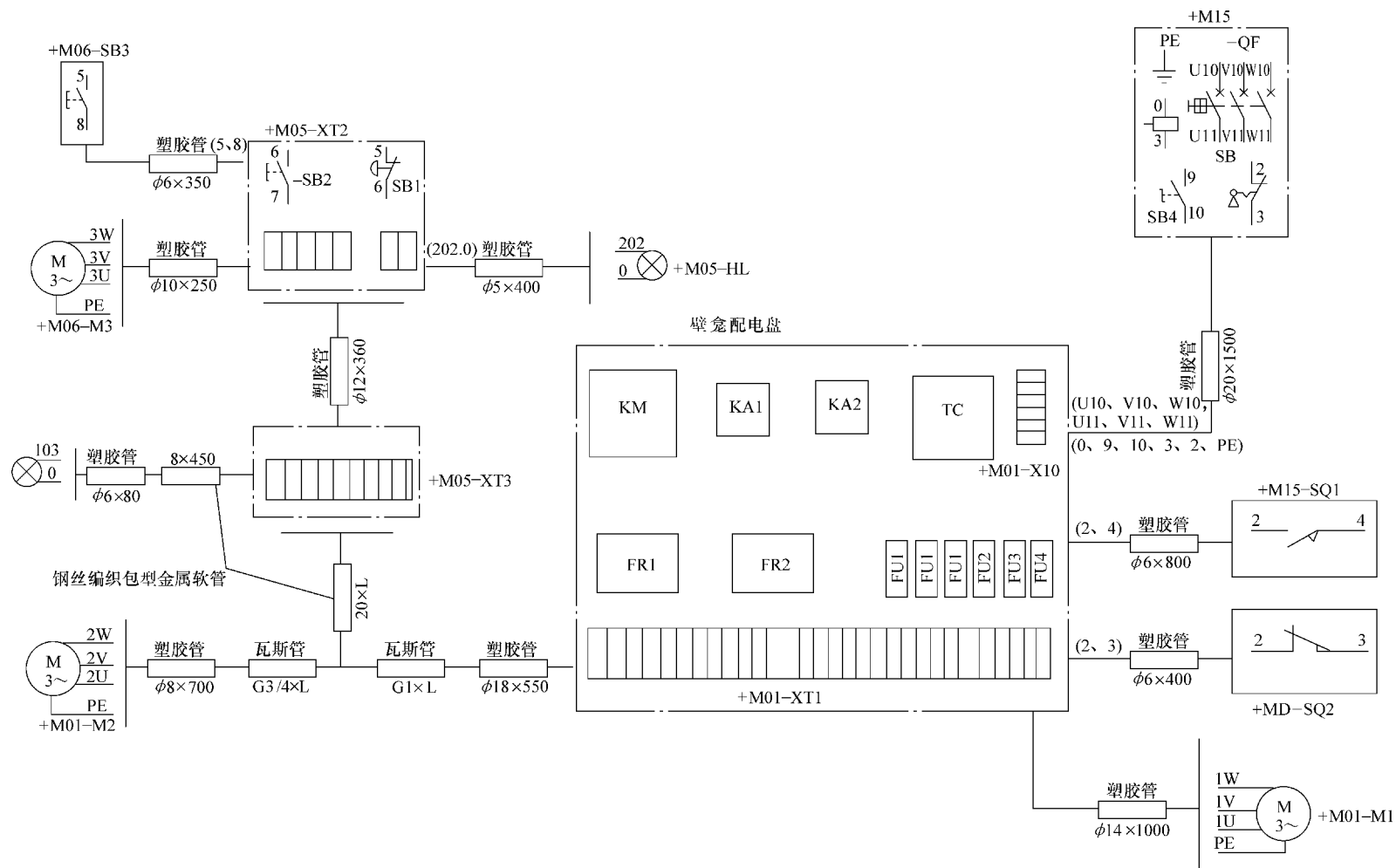


图 4-17 CA6140 型车床接线图

4-6 试设计两台电动机 M1、M2 的顺序起动控制电路。已知：电动机 M1 的功率为 5.5kW，额定电流为 11.6A，转速为 1440r/min；M2 的功率为 0.15kW、额定电流为 0.43A；控制电路电源电压为 380V。控制要求如下：

- 1) M1 起动后 M2 起动；
- 2) M1 可单独点动；
- 3) M1 和 M2 可同时停止，M2 也可以单独停止。

设计出符合上述控制要求的电气控制电路，进行电气控制电路工作原理分析，选取接触器、按钮、熔断器、热继电器、电源开关等电器的型号和规格，并制定元件明细表。

第 5 章 PLC 的基本知识

PLC (Programmable Logic Controller, 可编程序控制器) 是一种在传统的继电-接触器控制系统的基础上, 与微电子技术、计算机技术、自动控制技术和通信技术相结合而不断发展完善起来的新型工业自动控制装置, 具有使用方便、编程简单、可靠性高、易于维护等优点, 在工业控制领域应用得十分广泛。目前已从小规模的单机顺序控制发展到过程控制、运动控制等诸多领域, 无论是老设备的技术改造还是新系统的开发, 设计人员都倾向于采用它来进行设计, 目前被广泛应用于自动化控制的各个领域。本章讨论 PLC 控制系统。

5.1 PLC 的产生与发展

20 世纪初期, 继电-接触器控制系统开始在生产机械控制系统中得到广泛应用。它具有结构简单、价格低廉、容易操作等优点, 适应于工作模式固定, 控制要求比较简单场合, 目前应用仍比较广泛。

从 20 世纪 30 年代开始, 机械加工企业为了提高生产效率, 采用机械化流水作业的生产方式, 对不同类型的部件或产品分别组成自动生产线。随着产品机型的更新换代, 生产线承担的加工对象也随之改变, 这就必须相应地改变硬接线结构, 对于大型自动生产线等复杂控制系统, 使用的继电器数量很多, 硬件接线相当麻烦。此外, 机械电气式器件本身的不足影响了控制系统的各种性能, 无法适应现代工业发展的需要。

20 世纪 60 年代, 电子技术的发展推动了控制电路的电子化, 晶体管等无触点器件的应用促进了控制装置的小型化和可靠性的提高。60 年代中期, 小型计算机被应用到过程控制领域, 大大提高了控制系统的性能, 但当时计算机价格昂贵, 编程很不方便, 输入/输出信号与工业现场不兼容, 因而没能在工业控制中得到推广与应用。

20 世纪 60 年代末期, 西方工业国家出现经济大萧条, 作为工业龙头的汽车工业受到沉重打击。美国通用汽车公司 (General Motors Corporation, GM) 为了在激烈的市场竞争中战胜对手, 摆脱困境, 制定出多品种、小批量、不断推出新车型来吸引顾客的战略。1968 年, GM 为了适应产品品种不断更新、减少更换控制系统的费用和周期, 因此, 要求制造商为其装配线提供一种新型的通用程序控制器, 并提出 10 项招标指标:

- 1) 编程简单方便, 可在现场修改程序;
- 2) 硬件维护方便, 采用插件式结构;
- 3) 可靠性要高于继电-接触器控制系统;
- 4) 体积小于继电-接触器控制系统;
- 5) 可将数据直接送入管理计算机;
- 6) 成本可与继电-接触器控制系统竞争;
- 7) 输入可以是 AC115V;
- 8) 输出在 AC115V、2A 以上, 能直接驱动电磁阀和接触器等;

9) 扩展时, 原有系统只需要很小的改动;

10) 用户程序存储器的容量至少可扩展到 4KB。

1969 年, 美国的数据设备公司 (Data Equipment Corporation, DEC) 开发出世界上第一台能满足上述要求的样机, 在 GM 的汽车装配线上获得成功。这种新型的工业控制装置以其简单易懂、操作方便、可靠性高、使用灵活、体积小、寿命长等一系列优点很快就推广到其他工业领域。随后德国、日本等国相继引进这一技术, 迅速在工业控制中得到了广泛应用。1974 年, 我国开始研制 PLC, 1977 年开始工业应用。

随着微电子技术的发展, 大规模集成电路和通用微处理器广泛应用, 使得 PLC 功能不断增强, 不仅能够执行逻辑运算、定时、计数控制, 而且增加了算术运算、数据处理、数据通信等功能。20 世纪 80 年代到 90 年代初期, 以 16 位和 32 位微处理器用于 PLC, 使 PLC 开始向大规模、高速度、高性能和网络化方向发展, 形成了多种系列化产品, 结构紧凑、功能强大、性能价格比高的新一代产品和多种不同性能的分布式网络系统相继出现。形成了面向工程技术人员、易为工程技术人员掌握的图形语言。随着 PLC 的更新换代, 其处理器的处理速度不断加快, 功能不断增多, 现已具有逻辑控制功能、过程控制功能、运动控制功能、闭环控制、数据采集和处理功能、联网通信功能, 是名副其实的多功能控制器。

5.2 PLC 的特点及分类

5.2.1 PLC 的特点

PLC 是在微处理器的基础上发展起来的一种新型的控制器, 是一种基于计算机技术、专为在工业环境下应用而设计的电子控制装置, 它采用存储器存储用户指令, 通过数字或模拟的输入/输出完成一系列逻辑、顺序、定时、计数、运算等功能, 控制各种类型的机电一体化设备和生产过程。PLC 把微型计算机技术和继电-接触器控制技术融合在一起, 兼具计算机的功能完备、灵活性强、通用性好以及继电-接触器控制系统的简单易懂、维修方便的特点, 主要体现在以下几个方面。

1. 可靠性高, 抗干扰能力强

工业现场的各种电磁干扰非常严重, 因此工业生产对控制系统的可靠性要求很高。PLC 是专为工业控制设计的, 能适应工业现场的恶劣环境。在 PLC 的设计和制造过程中采取了一系列的抗干扰措施, 使 PLC 的平均无故障时间 (Mean Time Between Failures, MTBF) 通常在 200000h 以上。具体措施是在软件和硬件两方面都进行了完善的可靠性设计。软件方面除了采用数字滤波技术和数字校验等技术外, 还设置了自检和故障诊断程序, 并采用周期扫描工作方式, 对输入输出集中处理的工作方式, 有效地提高了自身的抗干扰能力, 保证系统可靠运行。硬件方面采用电磁屏蔽、光电隔离、硬件滤波和接地等技术, 选用优质器件, 简化安装, 对印制电路板的设计、加工和焊接工艺严格要求。对模板和机箱进行完善的电磁兼容性设计, 有效地减少空间干扰 (如电磁波等)、通道干扰 (如输入、输出线等)、电源干扰, 环境温度、灰尘、有害气体的影响, 避免震动冲击引起器件损坏。

2. 功能强大, 扩展灵活方便

PLC 不仅具有基本的逻辑运算、定时、计数和顺序控制功能, 还有网络通信、故障诊断

与自检、数值处理、A-D 转换和 D-A 转换等能力。由于采用模块化设计,可以方便的扩展多种特殊功能模块,如触摸屏、高速计数、位置控制、运动控制等,可根据不同的需求方便地进行组合,构成满足各种控制要求的自动化系统。能够利用强大的网络通信功能,实现单机自动化、生产线自动化到车间、工厂综合自动化,以及计算机集成制造系统、智能制造系统。

3. 编程简单, 修改方便

PLC 大多采用梯形图进行编程,因梯形图符号及其含义与传统的电气控制电路相似,形象直观,易学易懂,一般的电工和工艺人员都可以在短时间内学会,使用起来得心应手。能够通过上位机用梯形图方便地修改程序,程序直接下装,使编程更容易方便。

4. 体积小, 质量小, 功耗低

由于 PLC 及其特殊功能模块中广泛应用微电子技术,其结构紧凑,体积小,质量小,功耗低,使得系统安装维护工作量大大降低。

5. 安装简单, 维修方便

PLC 可以在各种工业环境下直接安装运行,使用时只需将现场的各种输入/输出设备与 PLC 相应的 I/O 端相连接,系统便可以投入运行。由于 PLC 的故障率很低,并且有完善的诊断和显示功能,当 PLC 或外部的输入装置及执行机构发生故障时,如果是 PLC 本身的原因,在维修时只需要更换插入式模块及其他易损件即可,既方便又减少影响生产的时间。有些 PLC 还允许带电拔插 I/O 模块,更方便了实际应用。

6. 系统设计与调试周期短

用 PLC 进行系统设计时,用程序代替继电器硬接线,控制柜的设计及安装接线工作量大为减少,设计和施工可同时进行,缩短了施工周期。同时,由于用户程序大都可以在实验室模拟调试,调好后再将 PLC 控制系统在生产现场进行联机调试,调试方便、快速、安全,因此大大缩短了设计、施工、调试和投运周期。

5.2.2 PLC 的分类

目前 PLC 生产厂家的产品种类众多,型号规格也不统一,其分类也没有统一的标准,通常有三种分类方法。

1. 按结构型式分类

根据结构形式不同 PLC 可分为整体式、模块式和单板式三种。

(1) 整体式

整体式是把 PLC 的各组成部分(I/O 接口电路、CPU、存储器等)安装在一块或少数几块印制电路板上,并连同电源一起装在机壳内形成一个单一的整体。输入、输出接线端子及电源进线分别在机箱的上、下两侧,并有相应的发光二极管显示输入/输出状态。面板上留有编程器的插座、扩展单元的接口插座等。其特点是简单紧凑、体积小、重量轻、价格较低。通常小型或超小型 PLC 常采用这种结构,如松下电工的 FP1 型产品。整体式 PLC 的主机可通过扁平电缆与 I/O 扩展单元、智能单元(如 A-D、D-A 单元)等相连接。这类机适合于单机控制的场合。

从结构形式上,PLC 可分为整体式和模块式两类。一般小型 PLC 多为整体式结构。小型 PLC 的 CPU、电源、I/O 单元等都集中配置在一起,有些产品则全部装在一块电路板上,

结构紧凑,体积小,重量轻,容易装配在设备的内部,适合于设备的单机控制。整体式 PLC 的缺点是主机的 I/O 点数固定,使用不够灵活,维修也不够方便。

(2) 模块式

模块式是把 PLC 的各基本组成部分做成独立的模块,如 CPU 模块(包含存储器)、输入模块、输出模块、电源模块等。其他各种智能单元和特殊功能单元也制成各自独立的模块。然后以搭积木的方式将它们组装在一个具有标准尺寸并带有若干个插槽的机架内构成完整的系统。框架上有电源及开关,对整个系统供电。每个模块都有弹性锁扣将模板固定在框架中。框架上有地址开关,以便系统识别。通常中型或大型 PLC 常采用这种结构,如 FP3 型产品(FP3 型 PLC 为松下电工已开发的中型控制单元)就采用了模块式结构。此种结构的 PLC 具有组装灵活、对现场的应变能力强、便于扩展和维修方便等优点,用户可根据需要灵活方便地将各种功能模块及扩展单元(如 A-D、D-A 单元和各种智能单元等)插入机架底板的插槽中,以组合成不同功能的控制系统。

(3) 单板式

松下电工的单板式 PLC 在编程上完全与整体式或模块式的 PLC 相同,只是结构更加紧凑,体积更加小巧,价格也相对便宜,是松下公司功能完备而且独特的产品。目前有 FP-M 和 FP-C 两大系列,非常适用于安装在空间很小或成本要求很严的场合,如大批量生产的轻工机械等产品。

2. 按功能分类

按 PLC 所具有的功能不同,可分为高、中、低三档。

(1) 低档机

低档机具有逻辑运算、定时、计数、移位及自诊断、监控等基本功能,有些还有少量模拟量输入/输出(即 A-D、D-A 转换)、算术运算、数据传送、远程 I/O 和通信等功能,常用于开关量控制、定时/计数控制、顺序控制及少量模拟量控制等场合。由于其价格低廉、实用,是 PLC 中量大面广的产品。

(2) 中档机

中档机除具有低档机的功能外,还有较强的模拟量输入/输出、算术运算、数据传送与比较、数制转换、子程序调用、远程 I/O 以及通信联网等功能,有些还具有中断控制、PID(比例微分积分)回路控制等功能。适用于既有开关量又有模拟量的较为复杂的控制系统,如过程控制、位置控制等。

(3) 高档机

高档机除了进一步增加以上功能外,还具有较强的数据处理、模拟调节、特殊功能的函数运算、监视、记录、打印等功能,以及更强的通信联网、中断控制、智能控制、过程控制等功能,可用于更大规模的过程控制系统,构成分布式控制系统,形成整个工厂的自动化网络。高档 PLC 因其外部设备配置齐全,可与计算机系统结为一体,可采用梯形图、流程图及高级语言等多种方式编程。它是集管理和控制于一体,实现工厂高度自动化的重要设备。

3. 按 I/O 点数和程序容量分类

按 I/O 点数和程序容量分类是常用的分类方法。PLC 的 I/O 点数是指其具有的输入/输出端子总数,用来衡量 PLC 的控制规模。I/O 点数越多,从外部接收的输入信号和向外部发出的输出信号也就越多,用户程序存储器容量也越大,指令系统功能越完善,适用的控制系

统越复杂。按 I/O 点数一般可分为超小型机、小型机、中型机和大型机四类，见表 5-1。超小型机和小型机属于低档机，中型机、大型机对应中档机和高档机。

表 5-1 PLC 分类

分 类	I/O 点数	程 序 容 量
超小型机	64 点以内	256 ~ 1000B
小型机	64 ~ 256	1 ~ 3. 6KB
中型机	256 ~ 2048	3. 6 ~ 13KB
大型机	2048 以上	13KB 以上

5.3 PLC 的主要技术指标和应用场合

5.3.1 PLC 的主要技术指标

PLC 的性能指标是指反映 PLC 性能高低的一些相关的技术指标，主要包括输入/输出点数、内存容量、扫描速度、指令条数、内部继电器和寄存器种类和数量、各种运算处理能力等。下面予以简要介绍。

1. 输入/输出点数（I/O 点数）

I/O 点数指 PLC 外部的输入、输出端子数，这是一项很重要的技术指标，因为在选用 PLC 时，要根据控制对象的 I/O 点数要求确定机型。主机的 I/O 点数不够时可接扩展 I/O 模块，但因为扩展模块内一般只有接口电路、驱动电路而没有 CPU，它通过总线电缆与主机相连，由主机的 CPU 进行寻址，故最大扩展点数受 CPU 的 I/O 寻址能力的限制。

2. 内存容量

一般以 PLC 所能存放用户程序的多少来衡量内存容量的。在 PLC 中程序指令是按“步”存放的（一条指令少则一“步”，多则十几“步”，一“步”占一个地址单元，一个地址单元一般占两个字节）。例如，一个内存容量为 1000 步的 PLC，可推知其内存为 2KB。

注意：内存容量实际是指用户程序容量，不包括系统程序存储器的容量，程序容量和最大 I/O 点数大体成正比。

3. 扫描速度

扫描速度一般指执行 1000 步指令所需要的时间，单位为 ms/k。有时也用执行一步指令所需的时间计，单位为 $\mu\text{s}/\text{步}$ 。早期的 PLC 一般为 $1\mu\text{s}/\text{步}$ 左右，现在的速度则快得多，如 FP0 系列 PLC 已经达到 $0.04\mu\text{s}/\text{步}$ ，1000 步的运算只需要 $40\mu\text{s}$ ，大型机速度更高。因此，PLC 的处理速度可以满足绝大多数的工业控制要求。

4. 指令条数

PLC 指令系统拥有的指令种类和数量是衡量其软件功能强弱的重要指标。PLC 具有的指令种类及条数越多，则其软件功能越强，编程就越灵活，越方便。PLC 指令一般分为基本指令和高级指令两部分。

5. 内部继电器和寄存器

PLC 内部有许多继电器和寄存器，用以存放变量状态、中间结果和数据等，还有许多具

有特殊功能的辅助继电器和寄存器,如定时器、计数器、系统寄存器、索引寄存器等。通过使用它们,可使用户编程方便灵活,以简化整个系统的设计。因此内部继电器、寄存器的配置情况常是衡量 PLC 硬件功能的一个指标。

6. 编程语言及编程手段

PLC 所具有的编程语言及编程手段也是衡量其性能的一项指标。编程语言一般分为梯形图语言、助记符语言、系统流程图语言等几类,不同厂家的 PLC 编程语言类型有所不同,语句也各异。编程手段主要是指采用何种编程装置,编程装置一般分为手持编程器和带有相应编程软件的计算机两种。

7. 智能模块

主控模块可实现基本控制功能,智能模块的配置则可实现一些特殊的专门功能。因此,智能模块的配置反映了 PLC 功能的强弱,是衡量 PLC 产品档次高低的一个重要标志。目前各生产厂家都在开发功能模块上投入很大力量,使其发展很快,种类日益增多,功能也越来越强。主要有 A-D 和 D-A 转换模块、高速计数模块、位置控制模块、PID 控制模块、速度控制模块、温度控制模块、远程通信模块、高级语言编辑模块以及各种物理量转换模块等。这些智能模块不但能使 PLC 进行开关量顺序控制,而且能进行模拟量控制、定位控制和速度控制等。特别是网络通信模块的迅速发展,实现了 PLC 之间、PLC 与计算机的通信,使得 PLC 可以充分利用计算机和互联网的资源,实现远程监控。

5.3.2 PLC 的应用场合

随着微电子技术的快速发展,PLC 的制造成本不断下降,而其功能却大大增强,逐步缩小了与工业控制计算机之间的差距。目前在先进工业国家中 PLC 已成为工业控制的标准设备,已经广泛应用到石油、化工、机械、钢铁、交通、电力、轻工、采矿、水利、环保等各个领域,包括从单机自动化到工厂自动化,从机器人、柔性制造系统到工业控制网络。PLC 日益跃居工业自动化三大支柱〔即 PLC、机器人(Robot)和计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)〕的首位。

从 PLC 所具有的功能来看,它的应用可大致归纳为如下几类。

1. 逻辑控制

PLC 在开关逻辑控制方面得到了最广泛的应用。用 PLC 可取代传统继电-接触器系统和顺序控制器,实现单机控制、多机控制及生产线自动控制,如各种机床、自动电梯、高炉上料、注塑机械、包装机械、印刷机械、纺织机械、装配生产线、电镀流水线、货物的存取、运输和检测等的控制。

2. 运动控制

运动控制是通过配合 PLC 使用的专用智能模块,可以对步进电动机或伺服电动机的单轴或多轴系统实现位置控制,从而使运动部件能以适当的速度或加速度展现平滑的直线运动或圆弧运动。可用于精密金属切削机床、成型机械、装配机器人、机械手等设备的控制。

3. 过程控制

过程控制是通过配用 A-D、D-A 转换模块及智能 PID 模块实现对生产过程中的温度、压力、流量、速度等连续变化的模拟量进行单回路或多回路闭环调节控制,使这些物理参数保

持在设定值上。在各种加热炉、锅炉控制以及在化工、轻工、食品、制药、建材等许多领域的生产过程中有着广泛的应用。

4. 机械加工的数控控制

PLC 和计算机数控（CNC）装置组合成一体，可以实现数值控制，组成数控机床。现代的 PLC 具有数字运算、数据传输、转换、排序、查表和位操作等功能，可以完成数据的采集、分析和处理。预计今后几年 CNC 系统将变成以 PLC 为主体的控制和管理系统。

5. 机器人控制

随着工厂自动化网络的形成，使用机器人的领域将越来越广泛，应用 PLC 可实现对机器人的控制。德国西门子制造的机器人就是采用该公司生产的 16 位 PLC 组成的控制装置进行控制的，一台控制设备可对具有 3，…，6 轴的机器人进行控制。

6. 多级控制

多级控制是指利用 PLC 的网络通信功能模块及远程 I/O 控制模块实现多台 PLC 之间的连接、PLC 与上位计算机的连接，以达到上位计算机与 PLC 之间及 PLC 与 PLC 之间的指令下达、数据交换和数据共享，这种由 PLC 进行分散控制、计算机进行集中管理的方式，能够完成较大规模的复杂控制，甚至实现整个工厂生产的自动化。

5.4 PLC 的基本结构、工作原理和编程语言

5.4.1 PLC 的系统结构

PLC 的类型繁多，功能和指令系统也不尽相同，但其结构和工作原理则大同小异，一般由中央处理单元、存储器、输入/输出接口、电源、编程器、扩展接口和外部设备接口等几个主要部分构成，其内部也是采用总线结构来进行数据和指令的传输。

如图 5-1 所示，PLC 的内部采用总线结构进行数据和指令的传输。外部的各种输入信号经输入电路输入，寄存在数据存储器中，接着根据控制程序进行运算处理后，送到输出电路输出，实现各种控制功能。由此可见，PLC 的基本结构由控制部分、输入和输出部分组成。

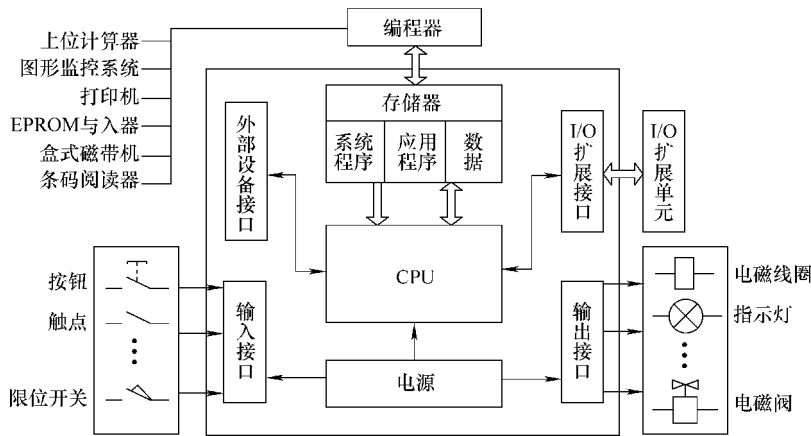


图 5-1 PLC 的硬件结构

5.4.2 PLC 的各部分作用

1. 中央处理单元 (CPU)

PLC 中 CPU 也是整个系统的核心部件, 主要由运算器、控制器、寄存器及实现它们之间联系的地址总线、数据总线和控制总线构成, 此外还有外围芯片、总线接口及有关电路。CPU 在很大程度上决定了 PLC 的整体性能, 在 PLC 系统中的作用类似于人体的中枢神经, 是 PLC 的运算、控制中心, 用来实现逻辑运算、算术运算并对整机进行协调控制。

CPU 的主要功能有: 在编程时接受并存储从编程器输入的用户程序和数据, 或者对程序、数据进行修改、更新, 进入运行状态后, CPU 以扫描方式接收用户现场输入装置的状态和数据并存入输入状态表和数据寄存器中, 形成所谓现场输入的“内存映像”; 在从存储器逐条读取用户程序, 经命令解释后, 按指令规定的功能产生有关的控制信号, 开启或关闭相应的控制门电路, 分时分路地进行数据的存取、传送、组合、比较、变换等操作, 完成用户程序中规定的各种逻辑或算术运算任务, 根据运算结果更新有关标志位的状态和输出映像寄存器的内容, 再据输出状态表的位状态或数据寄存器的有关内容实现输出控制、数据通信等功能。在每个工作循环中要对 PLC 进行自我诊断, 若无故障继续进行工作, 否则保持现场状态, 关闭全部输出通道后停止运行, 等待处理, 避免故障扩散造成大的事故。

2. 存储器

存储器主要用于存储程序及数据, 是 PLC 不可缺少的组成单元。PLC 中的存储器一般包括系统程序存储器和用户程序存储器两部分。系统程序存储器用于存储整个系统的监控程序, 一般为 ROM (Read Only Memory, 只读存储器), 具有掉电不丢失信息的特性, 如掩膜 ROM、OTP (One Time Program) ROM、EPROM (Erasable Programmable ROM, 可擦除可编程只读存储器)、EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM, 电可擦除可编程只读存储器) 或闪存 (Flash Memory)。用户程序存储器用于存储用户根据工艺要求设计的控制程序, 早期一般采用 RAM (Random Access Memory, 随机存取存储器), 需要后备电池在掉电后保存程序, 目前则倾向于采用 EEPROM 或闪存, 免去了后备电池的麻烦。有些 PLC 的存储器容量固定, 不能扩展, 有的则可以扩展存储器。

3. 输入/输出 (I/O) 接口

(1) 输入单元

PLC 的输入单元包括输入部件和输入接口电路。输入部件用于检测生产过程中的各种开关量、数字量或模拟量等, 如限位开关、手动开关、编码器、数字开关以及其他传感器的输出信号。输入接口电路用于现场输入信号与 CPU 之间的连接和信号转换。一般是通过光电隔离和滤波把 PLC 和外部电路隔开, 以提高 PLC 的抗干扰能力。PLC 的输入模块一般有三种类型, 即直流 12 ~ 24V 输入, 交流 100 ~ 120V、200 ~ 240V 输入, 交/直流输入, 输入电流为毫安级。三种输入模块的结构基本相同。FP1 可以用 CPU 模块提供的 24V 直流电源作为输入回路的内部电源, 还可为接近开关、光电开关之类的传感器提供 24V 直流电源。

输入信号包括数字量和模拟量两种类型。图 5-2 所示为数字量输入接口电路。PLC 的输入信号可为直流信号或交流信号, 故数字量输入接口电路分为直流输入型和交流输入型两种。图 5-2a 为直流输入型数字量输入接口电路, 图中 COM 是输入信号的公共点。输入信号经电阻 R1、R2 分压后与光耦合器输入匹配。现场开关闭合 (ON) 时, 光耦合器中的光敏

二极管有电流而发光，光敏晶体管由截止进入饱和导通状态，当 PLC 系统程序扫描检测到该信号后获得输入为“1”的信号。由图 5-2a 可知，按钮 SB 接通时，光耦合器导通，同时装在 PLC 面板上的输入指示灯（发光二极管）点亮，说明该输入端有信号输入，为用户监视和维护系统运行提供了方便。其中直流电源可由外部供给，也可为 PLC 内部提供。

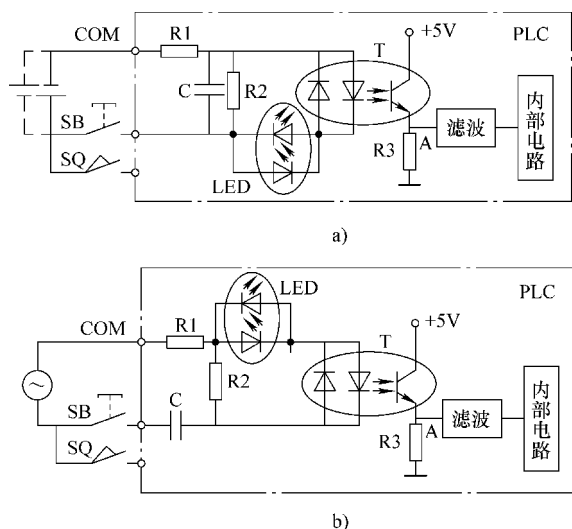


图 5-2 PLC 输入接口

交流开关量信号的输入接口电路如图 5-2b 所示，其中的交流电源由外部供给。其工作原理与直流输入电路基本相同，只是采用 R、C 电路实现光耦合器的输入匹配。

模拟量输入接口单元是把现场连续变化的模拟量标准信号，转换为 PLC 能够处理的由若干位表示的数字量信号。模拟量输入接口又称为 A-D 转换输入接口。在工业生产过程中，诸如温度、压力、流量、液位等连续变化的物理量，经过传感器变换为相应的 4 ~ 20mA 或 1 ~ 5V、-10 ~ 10V、0 ~ 10V 的模拟量标准电流电压信号，模拟量输入接口单元接收模拟量信号后，经过滤波、A-D 转换、光耦隔离，把它转换成二进制数字量信号，送给 CPU 进行处理。根据 A-D 转换的分辨率不同，模拟量输入接口单元能提供 8 位、10 位、12 位或 16 位等精度不同的数字量信号。图 5-3 所示为模拟量输入接口单元的原理框图。

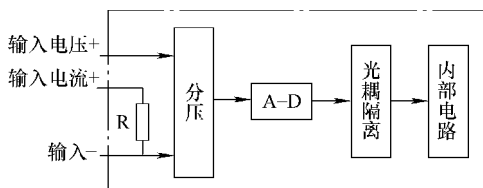


图 5-3 模拟量输入接口单元的原理框图

(2) 输出单元

PLC 的输出单元包括输出部件和输出接口电路。输出部件用于控制或驱动负载，如继电器线圈、接触器线圈、电磁阀线圈、信号指示灯等。输出接口电路用于 CPU 与现场输出部件之间的连接和信号转换。输出信号包括开关量和模拟量两种，故输出接口电路也分为开关

量和模拟量两种。图 5-4 所示为开关量输出接口电路。PLC 的输出信号可以是直流信号或交流信号，开关量输出接口电路分为继电器输出型、晶体管输出型和晶闸管输出型三种。每种输出接口电路都采用电气隔离，输出部件的工作电源由外部提供，分别如图 5-4a、b、c、d 所示。

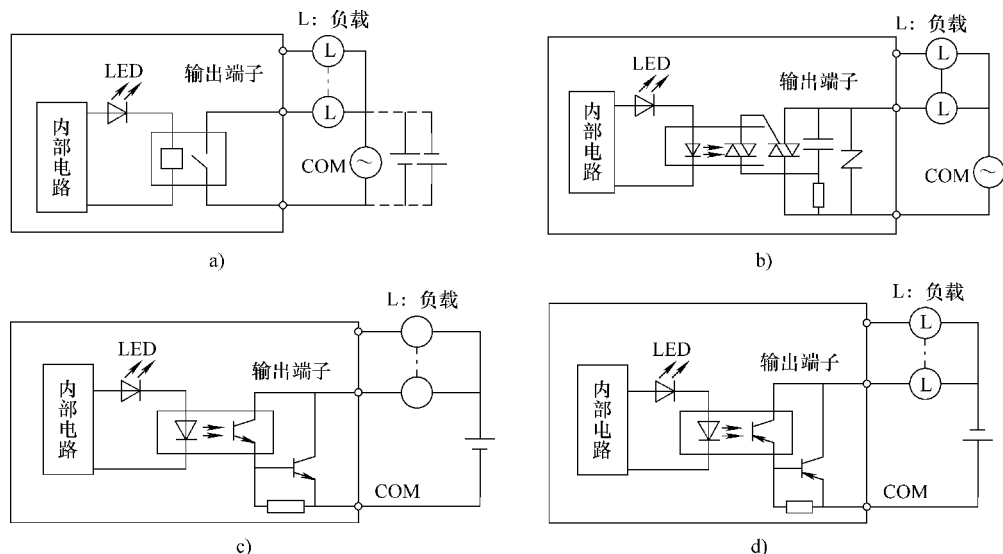


图 5-4 开关量输出接口电路

a) 继电器输出型 b) 晶闸管输出型 c) 晶体管输出型 (NPN) d) 晶体管输出型 (PNP)

其中继电器输出型为有触点输出方式，可用于接通或断开开关频率较低的直流负载或交流负载回路，这种方式存在继电器触点的电气寿命和机械寿命问题；晶闸管输出型和晶体管输出型皆为无触点输出方式，开关动作快、寿命长，可用于接通或断开开关频率较高的负载回路，其中晶闸管输出型常用于带交流电源负载，晶体管输出型则用于带直流电源负载。

4. 电源

PLC 的电源是指将外部输入的交流电经过整流、滤波、稳压等处理后转换成满足 PLC 的 CPU、存储器、输入/输出接口等内部电路工作需要的直流电源电路或电源模块。为避免或减小电源间干扰，输入/输出接口电路的电源彼此相互独立。现在许多 PLC 的直流电源采用直流开关稳压电源，这种电源稳压性能好、抗干扰能力强，不仅可提供多路独立的电压供内部电路使用，而且还可为输入设备提供标准电源。

5. 输入/输出 (I/O) 扩展接口

若主机单元（带有 CPU）的 I/O 点数不能满足输入/输出设备点数需要时，可通过此接口用扁平电缆线将 I/O 扩展单元（不带有 CPU）与主机单元相连，以增加 I/O 点数。A-D、D-A 单元一般也通过该接口与主机单元相接。PLC 的最大扩展能力主要受 CPU 寻址能力和主机驱动能力的限制。

6. 外部设备接口

外部设备是 PLC 系统不可分割的一部分，主要包括以下几种类型：

(1) 编程设备

常见的编程设备有简易编程器、智能图形编程器和基于 PC 的专用编程软件,用于输入和编辑程序,对系统作一些设定,监控 PLC 及 PLC 所控制的系统的工作状况。编程设备是 PLC 的开发应用、监控运行和检查维护不可缺少的部件,但不直接参与现场控制。

(2) 监控设备

监控设备有数据监视器和图形监视器,直接监视数据或通过画面监视数据。

(3) 存储设备

存储设备有存储卡、磁盘或只读存储器,用于永久性地存储用户程序,使用户程序不丢失,如 EPROM 和 EEPROM 存储卡及其写入器等。

(4) 输入/输出设备

输入/输出设备用于接收现场的输入信号或送出输出信号,一般有条码读入器、输入模拟量的电位器和打印机等。

(5) 网络通信设备

PLC 具有通信联网的功能,借助于网络通信设备,如调制解调器模块、现场总线通信模块等使 PLC 与 PLC 之间、PLC 与上位计算机以及其他智能设备之间能够交换信息,形成一个统一的整体,实现集散式控制。现在几乎所有的 PLC 新产品都有通信联网功能,和计算机一样具有 RS-232C 或 RS-422 接口,通过双绞线、同轴电缆或光缆实现通信。

当然,PLC 之间的通信网络是各厂家专用的,一些生产厂家采用工业标准总线实现 PLC 与计算机之间的通信,并向标准通信协议靠拢,这将使不同机型的 PLC 之间、PLC 与计算机之间可以方便地进行通信与联网。

5.4.3 PLC 的工作原理

由于 PLC 以微处理器为核心,在本质上是一台微型计算机,故具有微机的许多特点,但它的工作方式却与微机有很大不同。微机一般采用等待输入、响应处理的工作方式,没有输入时就一直等待输入,如常见的键盘操作或鼠标点击等 I/O 扫描方式,若有键按下或鼠标点击等 I/O 变化,则转入相应的子程序,若无则继续扫描等待。而 PLC 对 I/O 操作、数据处理等则采用循环扫描的工作方式。

1. PLC 的工作流程

在 PLC 中,用户程序按先后顺序存放,在没有中断或跳转指令时,对每个程序,CPU 从第一条指令开始执行,按指令步序号逐条顺序执行用户程序,直至遇到结束符后又返回第一条指令,如此周而复始不断循环,每一个循环称为一个扫描周期。顺序扫描工作方式简单直观,简化程序设计,并为 PLC 可靠运行提供保证。有些情况下也插入中断方式,允许中断正在扫描运行的程序,以处理紧急任务。

PLC 是采用循环扫描的工作方式,工作流程如图 5-5 所示。每个周期都要经过系统自诊断、通信处理、输入扫描、程序执行、输出刷新五个阶段。全过程扫描一次所需的时间称为扫描周期。在系统自诊断阶段,PLC 检查 CPU 模块内部硬件是否正常,监视定时器复位以及完成其他内部处理。在通信处理阶段,PLC 完成与智能模块或外设的通信,完成数据的接收和发送任务。当 PLC 处于运行状态时,要完成五个阶段的全部工作。当 PLC 处于停止(STOP)状态时,只完成内部处理和通信处理工作。PLC 在扫描周期内统一采样所有的输入端状态,然后扫描执行用户程序,最后在用户程序扫描结束后统一刷新输出端状态。由于

CPU 的运算处理速度很高, 从而使得 PLC 外部出现的结果从宏观上似乎是同时完成的。

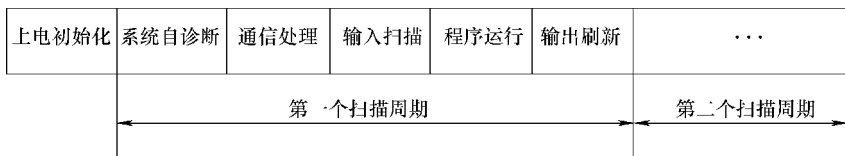


图 5-5 PLC 的工作流程图

2. PLC 的扫描过程

PLC 在运行状态下, 工作流程包括内部处理、通信处理、输入采样、程序执行、输出刷新五个阶段, 一个周期的扫描过程主要可分为输入采样、程序执行和输出刷新三个阶段, 如图 5-6 所示。扫描周期是 PLC 的重要参数之一, 它反映 PLC 对输入信号的灵敏度或滞后程度。通常工业控制要求 PLC 的扫描周期在 6 ~ 30ms 以下。

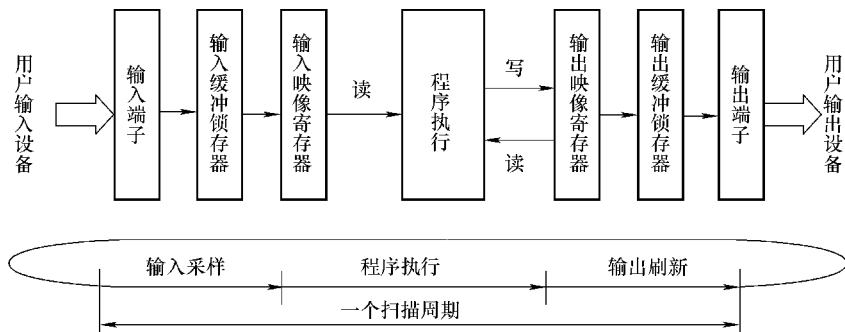


图 5-6 PLC 的扫描工作过程

(1) 系统诊断及处理阶段

在每一次扫描程序前对 PLC 及其系统作一次自检, 包括 PLC 自检、对警戒时钟 (Watch Dog Timer, WDT) 又称“看门狗”定时器清零等。CPU 检测 PLC 各器件的状态, 若发现异常, 除了出错指示灯 (ERROR) 亮之外, 还判断故障的性质。如属于一般性故障, 则只报警不停机, 等待处理。对于严重故障, PLC 就切断一切外界联系, 停止用户程序的执行。这样有助于及时发现或提前预报系统的故障, 提高系统的可靠性。WDT 是在 PLC 内部设置的一个硬件时钟, 用于监视 PLC 的扫描周期。WDT 预先设定好时间, 每个扫描周期都要监视扫描时间是否超过规定值。如果程序运行正常, 在每个扫描周期的公共处理阶段对 WDT 进行清零 (复位)。如果程序在执行过程中进入死循环, 或者执行了非预定的程序, WDT 不能及时清零而造成超时溢出, 则给出报警信号或停止 PLC 工作。

(2) 通信处理阶段

在 CPU 对 PLC 自检、对警戒时钟 WDT 清零结束后, PLC 检查是否有与编程器、智能模块或上位机等通信请求, 如果没有, 则自动进入下一阶段。

(3) 输入扫描阶段

CPU 按顺序逐个采集所有输入端子上的信号, 而不论输入端子上是否接线。将全部输入信号状态按顺序读取输入缓冲锁存器, 并刷新写入到输入映像寄存器中。只有在采样刷新

时刻, 输入映像寄存器中的内容才与输入信号一致, 其他时间范围内无论输入接点状态作如何变化, 输入映像寄存器的内容保持不变, 直到下一个扫描周期的输入采样阶段, 才读入输入接点的新状态。这种采集输入信号的方式, 虽然每个信号被采集的时间有先后, 但因 PLC 的扫描周期很短, 其时差在一般工程应用中可忽略, 故认为输入信息的采集是同时完成的, 输入采样阶段是一个集中批处理过程。

(4) 程序执行阶段

程序执行即解释和执行存放在用户程序存储器中的用户程序。在执行阶段, CPU 对用户程序按顺序进行扫描, 扫描顺序总是从上到下, 从左至右。每扫描到一条指令, 所需信息均从输入映像寄存器、输出映像寄存器及其他寄存器中读取, 并进行处理, 再将程序执行结果写入元件映像寄存器中保存, 这样上面的执行结果立即被后面将要扫描到的指令利用。若遇到程序跳转指令, 按跳转条件决定程序跳转地址。所有要输出的状态并不立即驱动外部负载, 而是将其写入输出映像寄存器中, 待输出刷新阶段集中进行批处理, 即执行用户程序阶段也是集中批处理过程。在这一阶段, 除输入映像寄存器外, 其他元件映像寄存器的内容随着程序的执行而不断变化。

(5) 输出刷新阶段

当所有指令执行完毕后, 将元件映像寄存器中所有输出映像寄存器的状态同时送到输出锁存器中, 再通过信号隔离电路驱动功率放大电路, 由输出端子向外部输出控制信号, 驱动外部相应执行元件工作。输出刷新阶段也是集中批处理过程。

在输出刷新阶段结束后, CPU 进入下一个扫描周期, 周而复始直至 PLC 停机或切换到 STOP 工作状态。

显然扫描周期的长短主要取决于程序的长短。扫描周期越长, 响应速度越慢。输入/输出的逻辑关系上存在的滞后现象就越严重。但 PLC 的扫描周期一般只有几十毫秒或更少, 两次采样之间的时间很短, 对于一般输入量 (如开关量) 来说可以忽略, 可以认为输入信号一旦变化, 就能立即进入输入映像存储器内。同样, 对于变化较慢的一般的工业设备控制过程来说, 也可以认为输出信号是及时的。

在实际应用中, 这种滞后现象可起到滤波作用。对慢速控制系统来说, 滞后现象反而增加了系统的抗干扰能力。但对控制时间要求较严格、响应速度要求较快的系统, 就必须考虑滞后对系统性能的影响, 在设计中尽量缩短扫描周期。

输入/输出响应滞后不仅与扫描方式和 I/O 硬件电路的延时有关, 还与程序设计的指令安排有关。为了缩短扫描周期, 提高响应速度, 可采用分时、分批的程序设计方法。

5.4.4 PLC 的编程语言

为了广大电气工程技术人员的学习应用及有利于推广普及, 通常 PLC 不采用微机的编程语言, 而采用梯形图语言、指令助记符语言、控制系统流程图语言、布尔代数语言等。在这些语言中, 最常用的是梯形图、指令助记符语言。

本书主要介绍梯形图语言和助记符语言。应该指出, 由于 PLC 的设计和生产至今尚无国际统一标准, 因而不同厂家生产的 PLC 所用语言和符号也不尽相同。但它们的梯形图语言的基本结构和功能是大同小异的, 所以了解其中一种就很容易学会其他。本节只介绍一些有关 PLC 编程语言的基本知识, 在以后的章节中将结合具体产品详细介绍。

1. 梯形图语言

梯形图编程语言是在继电-接触器控制系统电路图基础上简化了符号演变而来的,在形式上沿袭了传统的继电-接触器控制图,作为一种图形语言,它将 PLC 内部的编程元件(如继电器的触点、线圈、定时器和计数器等)和各种具有特定功能的命令用专用图形符号、标号定义,并按逻辑要求及连接规律组合和排列,从而构成了表示 PLC 输入及输出之间控制关系的图形。由于它在继电-接触器的基础上加进了许多功能强大、使用灵活的指令,并将微机的特点结合进去,使逻辑关系清晰直观,编程容易,可读性强,所实现的功能也大大超过传统的继电-接触器控制电路,所以很受用户欢迎。它是目前使用最为普遍的一种 PLC 编程语言,如图 5-7 所示。

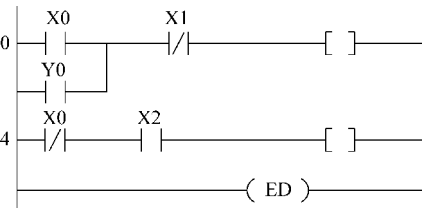


图 5-7 梯形图语言程序

(1) 梯形图的基本符号

在梯形图中,分别用符号—|—、—|/—表示 PLC 编程元件(软继电器)的常开触点和常闭触点,用符号—[]—表示其线圈。与传统的控制图一样,每个继电器和相应的触点都有自己的特定标号,以示区别,其中有些对应 PLC 外部的输入、输出,有些对应内部的继电器和寄存器。它们并非是物理实体,而是“软继电器”,每个“软继电器”仅对应 PLC 存储单元中的一位。该位状态为“1”时,对应的继电器线圈接通,其常开触点闭合、常闭触点断开;状态为“0”时,对应的继电器线圈不通,其常开、常闭触点保持原态。另外,有一些在 PLC 中进行特殊运算和数据处理的指令,也被看做是一些广义的、特殊的输出元件,常用类似于输出线圈的方括号加上一些特定符号来表示。这些运算或处理一般是以前面的逻辑运算作为其触发条件。

(2) 梯形图的编写规则

- 1) 梯形图必须按从左到右、从上到下的顺序书写,CPU 也是按此顺序执行程序。
- 2) 每个输出线圈组成一个梯级,每个梯形图是由多个梯级(逻辑行)组成的。每层逻辑行起始于左母线,终止于右母线。线圈总是处于最右边,且不能直接与左边母线相连。
- 3) 由于梯形图中的线圈和触点均为“软继电器”,所以同一标号的触点可以反复使用,次数不限,这也是 PLC 区别于传统控制的一大优点。但为了防止输出出现混乱,规定同一标号的线圈只能使用一次。
- 4) 编写梯形图时,应尽量做到“上重下轻、左重右轻”。
- 5) 梯形图中的触点可以任意串、并联,但输出线圈只能并联,不能串联。
- 6) 梯形图中的“输入触点”仅受外部信号控制,而不能由内部继电器的线圈将其接通或断开,所以在梯形图中只能出现“输入触点”,而不可能出现“输入继电器的线圈”。
- 7) 梯形图中的触点画在水平线上,不画在垂直线上。
- 8) 程序结束时应有结束指令,一般用“END”或“ED”表示。

2. 助记符语言

助记符语言类似于计算机汇编语言,它用一些简洁易记的文字符号描述 PLC 的各种指令。对于同一厂家的 PLC 产品,其助记符语言与梯形图语言是相互对应的,可互相转换。助记符语言常用于手持编程器中,因其显示屏幕小,不便于输入和显示梯形图。而梯形图语言则多用于计算机编程环境中。图 5-8 是与图 5-7 所示的梯形图相对应的指令助记符语言程序。

地址	指令	数据
0	ST	X0
1	OR	Y0
2	AN/	X1
3	OT	Y0
4	ST/	X0
5	AN	X2
6	OT	Y1
7	ED	

图 5-8 助记符语言程序

习题与思考题

- 5-1 PLC 有哪些特点?
- 5-2 PLC 与微机有哪些区别?
- 5-3 PLC 如何分类?
- 5-4 PLC 有哪些主要性能指标?
- 5-5 PLC 有哪些编程语言? 各有什么特点?
- 5-6 PLC 主要由哪几部分组成, 各有什么作用?
- 5-7 简述 PLC 的扫描工作原理。在扫描工作过程中, 输入映像寄存器和输出映像寄存器各起什么作用?

第 6 章 松下电工 FP1 系列 PLC

PLC 的一个重要特点就是给用户提供了丰富的软件和硬件资源，其中硬件资源是整个系统的基础，软件资源则主要是指令系统。本章主要介绍 FP1 系列 PLC 的系统资源配置，指令系统下一章详细介绍。

6.1 FP1 系列 PLC 性能简介

FP1 系列 PLC 是松下电工推出的一种功能很强的小型机，在设计过程中采用先进的方法及组件，使其具有通常只在大型 PLC 中才具备的功能。虽然是小型机，但其功能较完善，性能价格比高，适用于工业现场的单机控制，特别适合在轻工业等中、小型企业中使用。

FP1 主机控制单元内有高速计数器，可输入频率高达 10kHz 的脉冲，并可同时输入两路脉冲。另外还可输出频率可调的脉冲信号，具有 8 个中断源的中断优先权管理。通过主机上配有的 RS-422 或 RS-232 接口，可实现 PLC 与 PC 之间的通信，将 PC 上的梯形图程序直接传送到 PLC 中去。FP1 系列的硬件配置较全，主机可通过外接 I/O 扩展单元扩展 I/O 点。FP1 的智能单元主要有 A-D、D-A 模块。当需要对模拟量进行测量和控制时，可以连接智能单元。使用 FP1 的 I/O 链接（link）单元，通过远程 I/O 可实现与主 FP 系统进行 I/O 数据通信，从而实现一台主控制单元对多台控制单元的控制。

1. FP1 系列 PLC 的产品规格类型。

FP1 有多种规格的产品，其中型号以字母 C 开头的为主机（主控单元），以字母 E 开头的为扩展单元（扩展模块），后面的数字为 I/O 点数。FP1 主机有 C14、C16、C24、C40、C56、C72 型等多种规格，其中 C14 与 C16 为紧凑小巧型，而 C24、C40、C56、C72 具有高级处理功能。扩展单元有 E8、E16、24、E40 四种规格，形成系列化产品。例如 C40 即表示该种型号的输入和输出点数之和为 40。表 6-1 列出了 FP1 的主要产品规格类型。

2. FP1 系列 PLC 的技术性能

PLC 的功能是否强大，很大程度上取决于它的技术性能。由于 FP1 具有结构紧凑、硬件配置全、软件功能强等特点，虽然属于小型机，但它的某些技术性能是一些同档次机型的小型机所不具备的。表 6-2 为 FP1 系列 PLC 控制单元技术性能表。

表 6-1 FP1 系列 PLC 产品规格简表

品 名	类 型	I/O 点数	内部寄存器	工 作 电 压	输 出 形 式
C14	标准型	8/6	EEPROM	DC24V 或 AC100 ~ 240V	继电器、晶体管 (NPN、PNP)
C16	标准型	8/8			
C24 C24C	标准型 带 R5-232 口和时钟/日历	16/8	RAM		

(续)

品 名	类 型	I/O 点数	内部寄存器	工 作 电 压	输 出 形 式
C40 C40C	标准型 带 R5-232 口和时钟/日历	24/16	RAM	DC24V 或 AC100 ~ 240V	继电器、晶体管 (NPN、PNP)
C56 C56C	标准型 带 R5-232 口和时钟/日历	32/24			
C72 C72C	标准型 带 R5-232 口和时钟/日历	40/32			
E8		8/0 4/4 0/8	—	—	继电器、晶体管 (NPN、PNP)
E16		16/0 8/8 0/16	—		
E24		16/8	—	DC24V 或 AC100 ~ 240V	
E40		24/16	—		

表 6-2 FPI 系列 PLC 控制单元技术性能一览表

项 目		C14	C16	C24	C40	C56	C72
主机 I/O 点数		8/6	8/8	16/8	24/16	32/24	40/32
最大 I/O 点数		54	56	104	120	136	152
运行速度		1.6μs/步					
程序容量		900 步		2720 步		5000 步	
程序存储器类型		EEPROM（无电池）		RAM（备用电池）和 EPROM			
指令数	基本	41		80		81	
	高级	85		111		111	
内部继电器（R）		256 点		1008 点			
特殊内部继电器（R）		64 点		64 点			
定时器/计数器（T/C）		128 点		144 点			
数据寄存器（OT）		256 字		1660 字		6144 字	
特殊数据寄存器（OT）		70 字		70 字			
索引寄存器（x、IY）		2 字		2 字			
主控指令（MC/MCE）点数		16 点		32 点			
跳转标记（LBL）个数 （用于 MP、LOOP 指令）		32 个		64 个			
微分点数（OF 或 OFF）		点数不限制					
步进数		64 级		128 级			
子程序个数		8 个		16 个			
中断个数		—		9 个程序			

(续)

项 目		C14	C16	C24	C40	C56	C72	
特殊功能	高速计数	X0, X1 为计数输入, 可加/减计数。单相输入时计数最高频率为 10kHz, 两路两相输入时最高频率为 5kHz X2 为复位输入						
	手动拨盘寄存器	1 点		2 点	4 点			
	脉冲捕捉输入	4 点		共 8 点				
	中断输入	—		共 8 点				
	定时中断	—		10ms ~ 30s 间隔				
	脉冲输出	1 点 (Y7)					2 点 (Y6、Y7)	
		脉冲输出频率: 45Hz ~ 4.9kHz						
	固定扫描	2.5msX 设定值 (160ms 或更小)						
	输入滤波时间	1 ~ 128ms						
	自诊断功能	“看门狗” 定时器, 电池检测, 程序检测						

6.2 FP1 的内部寄存器及 I/O 配置

6.2.1 FP1 的内部寄存器配置

FP1 系列 PLC 控制单元的内部寄存器的配置情况见表 6-3。

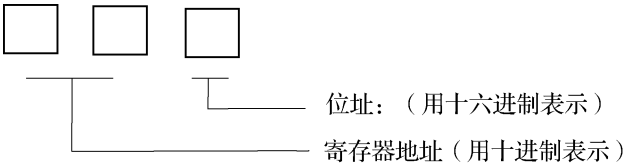
表 6-3 FP1 系列 PLC 控制单元的内部寄存器配置表

名 称	符号 /（位/字）	编 号		
		C14、C16	C24、C40	C56、C72
输入继电器	X/位	208 点：X0 ~ X12F		
	WX/字	13 字：WX0 ~ WX12		
输出继电器	Y/位	208 点：Y0 ~ Y12F		
	WY/字	13 字：WY0 ~ WY12		
通用内部继电器	R/位	256 点：R0 ~ R15F	1008 点：R0 ~ R62F	
	WR/字	16 字：WR0 ~ WR15	63 字：WR0 ~ WR62	
特殊内部继电器	R/位	64 点：R9000 ~ R903F		
	WR/字	4 字：WR900 ~ WR903		
定时器	T/位	100 点：T0 ~ T99		
计数器	C/位	28 点：C100 ~ C127	44 点：C100 ~ C143	
定时器/计数器设定值寄存器	SV/字	128 字：SV0 ~ SV127	144 字：SV0 ~ SV143	
定时器/计数器设定值寄存器	EV/字	128 字：EV0 ~ EV127	144 字：EV0 ~ EV143	
通过数据寄存器	DT/字	256 字： DT0 ~ DT255	1660 字： DT0 ~ DT1659	6144 字： DT0 ~ DT6143
特殊数据寄存器	DT/字	70 字：DT9000 ~ DT9069		

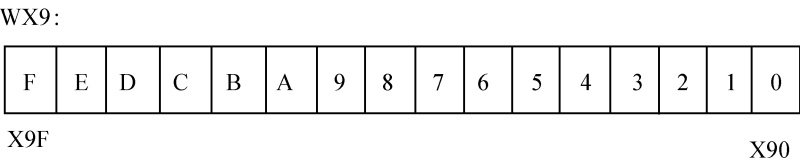
(续)

名 称	符号 / (位/字)	编 号		
		C14、C16	C24、C40	C56、C72
系统寄存器	/字	No. 0 ~ No. 148		
索引寄存器	IX/字 IY/字	IX、IY 各一个		
十进制常数寄存器	K	16 位常数 (字): K - 32768 ~ K32767		
		32 位常数 (双字): K - 2147483648 ~ K2147483647		
十六进制常数寄存器	H	16 位常数 (字): H0 ~ HFFFF		
		32 位常数 (双字): H0 ~ HFFFFFFFF		

表 6-3 中的 X、WX 均为 I/O 区的输入继电器，可直接与输入端子传递信息。Y、WY 为 I/O 区的输出继电器，可向输出端子传递信息。X 和 Y 是按位寻址的，而 WX 和 WY 只能按“字”（即 16 位）寻址。有的指令只能对位寻址，而有的指令只能对“字”寻址。X 与 Y 的地址编号规则完全相同。下面以 X 为例说明如下：



例如，X90 表示寄存器 WX9 的第 0 位，X9F 表示寄存器 WX9 中的第 F 号位。图示如下：



字地址为 0 时可以省略字地址数字，只给位地址即可。例如：字寄存器 WX0 的各位则可写为 X0 ~ XF。注意最后面的一位数字一定要有，且一定是位址。

例如，若 X4 为“ON”，则 WX0 的第四位为“1”

若 WY3 = 5，则表明 Y30 和 Y32 两个触点“ON”。

表 6-3 中 R 和 WR 的编号规则与 X、WX 和 Y、WY 相同。

FP1 提供的寄存器，有的具有“继电器”的功能，即它们有自己的“线圈”和“触点”。故在 PLC 中又常称这类寄存器为“继电器”。例如输入继电器 X、输出继电器 Y、内部继电器 R、定时器 T、计数器 C 等。但都属于“软继电器”，因这些编程用的继电器的工作线圈没有工作电压等级、功耗大小和电磁惯性等问题，触点没有数量限制，没有机械磨损和电蚀等问题。在不同的指令操作下，其工作状态可以无记忆，也可以有记忆，还可以作脉冲数字元件使用。

1. 输入继电器

PLC 的输入继电器是接受外部开关信号或传感器的信号的窗口，每个输入继电器的编号与接线端子编号应一致，其内部提供电子常开/常闭两种触点供编程时使用，使用次数不限。

需注意的是,输入继电器只能由外部信号来驱动,而不能由内部指令来驱动,其触点也不能直接输出去驱动执行元件。

2. 输出继电器

PLC 的输出继电器是将控制执行结果向外输出信号的窗口。驱动外设(如接触器、电磁阀)动作。每个输出继电器的编号与接线端子编号应一致,其内部提供电子常开/常闭两种触点供编程时使用,使用次数不限。输出继电器必须是由 PLC 控制程序执行的结果来驱动。每个输出继电器只有一个输出端口,且当它作为 OT 和 KP 指令输出时,不允许重复使用同一输出继电器,否则 PLC 不予执行。如果需要重复输出,则需改变系统寄存器 No. 20 的设置。

3. 内部继电器

PLC 内有很多的内部继电器,其线圈与输出继电器一样,由 PLC 内各软元件的触点驱动。内部继电器也称中间继电器,没有向外的任何联系,只供内部编程使用。其电子常开/常闭触点使用次数不受限制。但是,这些触点不能直接驱动外部负载,外部负载的驱动必须通过输出继电器来实现。FP1 中的内部继电器分为通用内部继电器和特殊内部继电器两类。

(1) 通用内部继电器

FP1 中的通用内部继电器共有 1008 个,地址按十六进制编号,地址范围是 R0 ~ R62F。这类继电器的触点和线圈在程序中都可以使用,但线圈只能用 1 次,对应的常开和常闭触点则可以无限制地重复使用。通用内部继电器既可以单个使用,形式如 R9、R3B 等,也可以由 16 个组成一个字单元使用,形式如 WR2、WR15 等。

(2) 特殊内部继电器

特殊内部继电器也叫专用内部继电器,地址范围是 R9000 ~ 903F,共 64 个。每一个有专门的用途,用户不能占用。这些继电器不能用于输出,只能做内部触点用,不能作为 OT 或 KP 指令的操作数使用。其主要功能如下:

1) 标志继电器:当自诊断和操作等发生错误时,对应于该编号的继电器触点闭合,以产生标志。此外也用于产生一些强制性标志、设置标志和数据比较标志等。

2) 特殊控制继电器:为了控制更加方便,FP1 提供了一些不受编程控制的特殊继电器。例如,初始闭合继电器 R9013,它的功能是只在运行中第一次扫描时闭合,从第二次扫描开始断开并保持打开状态。

3) 信号源继电器:R9018 ~ R901E 这 7 个继电器都是不用编程就能自动产生脉冲信号的继电器。例如,R901A 为一个 0.1s 时钟脉冲继电器,它的功能是其触点以 0.1s 为周期重复通断动作(ON: 0.05s, OFF: 0.05s) 这些特殊内部继电器的具体功能请读者查阅相关的编程手册。

4. 定时器 (T)

定时器 (T) 触点的通断由定时器指令 (TM) 的输出决定。定时器根据时钟脉冲累积计时,当所计时间达到设定值时,对应的触点动作,时钟脉冲有 10ms (TMR)、100ms (TMX) 和 1s (TMY) 3 种。定时器可以用用户程序存储器内的常数 K 作为设定值,也可以用数据寄存器 (DT) 的内容作为设定值。默认设置下,FP1 有 100 个定时器,地址范围是 T0 ~ T99,设定值范围是 K1 ~ K32767, K 表示十进制数。

每个定时器只有一个输入,有两个数据寄存器,一个为设定值寄存器 SV,另一个是经

过值（当前值）寄存器 EV，编号与对应的定时器一致，见表 6-4。编程时，设定值由用户确定。与常规定时器一样，线圈通电时，定时器的当前值开始减计数计时，在当前值计到 0 时，相应的常开/常闭触点动作，常开的闭合，常闭的断开。线圈断电时自动复位，所有的触点释放，不保存中间数值，当前值又变为设定值。需要注意的是，PLC 中的定时器没有常规的时间继电器一样的瞬动触点。

表 6-4 定时器/计数器与 SV、EV 对应示意表

定时器/计数器编号	设定值寄存器 (SV)	经过值寄存器 (EV)
T0	SV0	EV0
...	...	...
T99	SV99	EV99
C100	SV100	EV100
...	...	...
C143	SV143	EV143

5. 计数器 (C)

FP1 中的计数器是 16 位减法计数器，都有两个输入，一个用于计数，一个用于复位。每个计数器也有两个数据寄存器，一个为设定值寄存器 SV，另一个是经过值（当前值）寄存器 EV，编号与对应的计数器一致，如表 5-4 所示。每一个计数脉冲上升沿使原来的数值减 1，在当前值减到 0 时停止计数，同时触点动作，常开触点闭合，常闭触点断开。当复位控制信号的上升沿到来时，计数器复位，触点断开，设定值又写入当前值存储单元，重新进入计数状态。默认设置下，C14 和 C16 型有 28 个计数器，C24 以上型号有 44 个计数器。计数器的地址从 100 开始。如果改变系统寄存器 No. 5 的设置值，则可以改变计数器的起始地址，从而改变定时器和计数器的个数，但是定时器与计数器的总和是不变的。计数器的设定值范围是 K1 ~ K32767，K 表示十进制数。与定时器不同的是，如果在计数过程中系统断电，计数器的当前值能自动保存下来，系统上电运行时计数器接着断电时的当前值继续计数。

6. 通用数据寄存器和特殊数据寄存器

通用数据寄存器 (DT) 用来存储各种数据，如外设采集进来的各种数据，或运算、处理的中间结果等。同 R 继电器不同，它是纯粹的寄存器，不带任何触点。特殊数据寄存器 (DT) 是具有特殊用途的寄存器，在 FP1 内部共设有 70 个，编号从 DT9000 ~ DT9069，特殊数据寄存器都是为特殊目的而配置的。它的具体用途读者可查阅相关的编程手册，每个数据寄存器由一个字 (16bit) 组成，数据寄存器的地址编号用十进制数表示。

7. 索引寄存器 (IX、IY)

在 FP1 系列的 PLC 内部有两个索引寄存器 IX 和 IY，这是两个 16 位寄存器。索引寄存器的存在使得编程变得十分灵活和方便。许多其他类型的小型 PLC 都不具备这种功能。索引寄存器的作用有以下两类。

(1) 作数据寄存器使用

当索引寄存器 IX 和 IY 作为数据寄存器使用时，可作为 16 位寄存器单独使用；当索引寄存器用作 32 位寄存器时，IX 作低 16 位，IY 作高 16 位；当把它作为 32 位操作数编程时，如果指定 IX 为低 16 位，则高 16 位自动指定为 IY。

(2) 其他操作数的修正值

索引寄存器还可以以索引指针的形式与寄存器或常数一起使用，可起到寄存器地址或常数修正值作用。

1) 地址修正值功能（适用于 WX、WY、WR、SV、EV 和 DT）。这个功能类似于计算机的变址寻址功能。当索引寄存器与上述寄存器连在一起编程时，操作数的地址发生移动，移动量为索引寄存器（IX 或 IY）的值。当索引寄存器用作地址修正值时，IX 和 IY 可单独使用。

例如：有指令为 [F0 MV, DT2, IXDT80]，执行后的结果如下：

当 IX = K30 时，DT2 中的数据被传送至 DT110。当 IX = K50 时，DT2 中的数据被传送至 DT130。

2) 常数修正值功能（对 K 和 H）。当索引寄存器与常数（K 或 H）一起编程时，索引寄存器的值被加到源常数上（K 或 H）。

例如：有指令为 [F0 MV, IXK30, DT90]，执行后的结果如下：

当 IX = K20 时，传送至 DT80，内容为 K50。当 IX = K50 时，传送至 DT80，内容为 K80。

注意：索引寄存器不能用索引寄存器来修正；当索引寄存器用作地址修正值时，要确保修正后的地址不要超出有效范围；当索引寄存器用作常数修正值时，修正后的值可能上溢或下溢。

8. 常数寄存器（K、H）

常数寄存器主要用来存放 PLC 输入数据，十进制常数以数据前加字头 K 来表示，十六进制常数以数据前加字头 H 来表示。

在 FP1 的 PLC 内部还有一些系统寄存器，它们是存放系统配置和特殊功能参数的寄存器。其详细的功能介绍请参见《松下可编程序控制器编程手册》。

6.2.2 FP1 的 I/O 地址分配

表 6-5 为 FP1 的 I/O 地址分配表。由表 6-5 可以看出，控制单元、初级扩展单元、次级扩展单元、I/O 链接单元和智能单元（A-D 转换单元和 D-A 转换单元）的 I/O 分配是固定的。

由表 6-3 和表 6-5 所给的 X、Y 后面的数据可知，FP1 系列 PLC 的 I/O 点数共有 416 点（输入 X0 ~ X12F 共 208 点，输出 Y0 ~ Y12F 也是 208 点），但受外部接线端子和主机驱动能力的限制，最多可扩展 152 点（C72 型），其余的可作内部寄存器使用。

表 6-5 FP1 系列的 I/O 地址分配表

品 种	型 号	输入端编号	输出端编号
控制单元	C14	X0-X7	Y0-Y4, Y7
	C16	X0-X7	Y0-Y7
	C24	X0-XF	Y0-Y7
	C40	X0-XF, X10-X17	Y0-YF
	C56	X0-XF, X10-X1F	Y0-YF, Y10-Y17
	C72	X0-XF, X10-X1F X20-X27	Y0-YF, Y10-Y1F

(续)

品 种	型 号		输入端编号	输出端编号
初级扩展单元	E8	输入类型	X30-X37	—
		I/O 类型	X30-X33	Y30-Y33
		输出类型	—	Y30-Y37
	E16	输入类型	X30-X3F	—
		I/O 类型	X30-X37	Y30-Y37
		输出类型	—	Y30-Y3F
	E24	I/O 类型	X30-X3F	Y30-Y37
	E40	I/O 类型	X30-X3F, X40-X47	Y30-Y3F
次级扩展单元	E8	输入类型	X50-X57	—
		I/O 类型	X50-X53	Y50-Y53
		输出类型	—	Y50-Y57
	E16	输入类型	X50-X5F	—
		I/O 类型	X50-X57	Y50-Y57
		输出类型	—	Y50-Y5F
	E24	I/O 类型	X50-X5F	Y50-Y57
	E40	I/O 类型	X50-X5F, X60-X67	Y50-Y5F
I/O 链接单元			X70 ~ X7F (WX7) X80 ~ X8F (WX8)	Y70 ~ Y7F (WY7) Y80 ~ Y8F (WY8)
A-D 转换单元		通道 0	X90 ~ X9F (WX9)	—
		通道 1	X100 ~ X10F (WX10)	—
		通道 2	X110 ~ X11F (WX11)	—
		通道 3	X120 ~ X12F (WX12)	—
D-A 转换单元	单元号 0	通道 0	—	Y90 ~ Y9F (WY9)
		通道 1	—	Y100 ~ Y10F (WY10)
	单元号 1	通道 0	—	Y110 ~ Y11F (WY11)
		通道 1	—	Y120 ~ Y12F (WY12)

习题与思考题

- 6-1 FP1 系列 PLC 主控单元有哪几种类型？它们的主要技术性能有什么区别？
- 6-2 FP1 的继电器有哪些种类？各有什么特性？
- 6-3 通用数据寄存器和特殊数据寄存器有哪主要区别？
- 6-4 现有一台 FP1 系列 PLC 的 C24 型主机，若需扩展至输入 32 点，输出 16 点，应选择何种扩展单元？并确定 I/O 口的地址编号。
- 6-5 试根据实际 PLC 系统所需的 I/O 点数选择 FP1 系列 PLC 的控制单元和扩展单元，并确定 I/O 口的地址编号。
- 1) 输入 24 点，输出 6 点，共 30 点。
- 2) 输入 32 点，输出 16 点，共 48 点。

第 7 章 FP1 的指令系统

PLC 是通过程序来实现具体的控制功能的。程序设计就是采用一定的编程语言把一个控制任务描述出来。尽管国内外 PLC 生产厂家采用的编程语言各不相同，但在表达方式上一般都有梯形图、指令表、逻辑功能图和高级语言等几种形式，其中梯形图和指令表是最常用的编程方式。

梯形图是一种图形语言，沿用了电气工程师们熟悉的继电器控制系统的原理图形式，如继电器触点、线圈、串并联等术语和图形符号等，并和计算机的特点结合起来，增加了许多功能强而又使用灵活的指令，使得编程更加容易。梯形图具有形象、直观等特点，很容易被具有电控基础的工程技术人员接受。梯形图语言多用于计算机软件编程环境。

指令表就是使用英文名称的缩写来表示 PLC 的各种功能的助记符，类似微机的汇编语言，但远比汇编语言容易理解和掌握。这些助记符语言构成的可以完成控制任务的指令组合就是语句表，指令由助记符和操作数两部分组成。助记符是指令功能的符号表示，操作数是指令中的参数或保存参数的存储单元（继电器）的地址。助记符语言常用于手持编程器。

FP1 指令系统包含 190 多条指令，内容十分丰富，不仅可以实现继电器-接触器系统中的基本逻辑操作，还能完成数学运算、数据处理、中断、通信等复杂功能。考虑到实用性和学习的方便，本节将分类重点介绍一些常用的指令，并配合举例进行说明；对于其他指令，不做说明，详细用法请参见《松下可编程序控制器编程手册》。表 7-1 中给出了松下 FP1 系列 PLC 常用型号的指令统计表。

表 7-1 FP1 系列 PLC 指令统计表

分 类 名 称		C14/C16	C24/C40	C56/C
基 本 指 令	顺序指令	19	19	19
	功能指令	7	7	8
	控制指令	15	18	18
	条件比较指令	0	36	36
高 级 指 令	数据传输指令	11	11	11
	数据运算及比较指令	36	41	41
	数据转换指令	16	26	26
	数据移位指令	14	14	14
	位操作指令	6	6	6
	特殊功能指令	7	18	19
总计		131	196	198

FP1 的指令按照功能可分为两大类，即基本指令和高级指令。其中基本指令主要是指直接对输入/输出触点进行操作的指令，高级指令是指扩展功能指令。

7.1 FP1 的基本指令

松下 FP1 系列 PLC 的基本指令分为基本顺序指令、基本功能指令、基本控制指令和比较指令 4 大类，共计 81 条。限于篇幅，我们仅介绍常用的一些指令，其他指令可参阅有关手册。

7.1.1 基本顺序指令

基本顺序指令反映了继电器控制电路各元件的基本连接关系，用于执行以位（bit）为单位的逻辑操作，共有 19 条。各条指令及其功能见表 7-2。

表 7-2 指令及其功能

指 令		功 能	步 数
名 称	助 记 符		
初始加载	ST	以常开触点开始逻辑运算的指令	1
初始加载非	ST/	以常闭触点开始逻辑运算的指令	1
输出	OT	向指定继电器（Y/R）输出运算结果	1
非	/	将该指令处的运算结果取反	1
与	AN	串联一个常开触点	1
与非	AN/	串联一个常闭触点	1
或	OR	并联一个常开触点	1
或非	OR/	并联一个常闭触点	1
组与	ANS	对逻辑块进行与操作	1
组或	ORS	对逻辑块进行或操作	1
入栈	PSHS	存储运算结果	1
读栈	RDS	读出 PSHS 指令存储的运算结果	1
出栈	POPS	读出和复位 PSHS 指令存储的运算结果	1
上升沿微分	DF	在输入信号由 OFF 变 ON 时产生一个宽度为一个扫描周期的脉冲	1
下降沿微分	DF/	在输入信号由 ON 变 OFF 时产生一个宽度为一个扫描周期的脉冲	1
置位	SET	将指定继电器（Y/R）置位（ON）	3
复位	RST	将指定继电器（Y/R）复位（OFF）	3
保持	KP	将指定继电器（Y/R）置位或复位并保持	1
空操作	NOP	空操作	1

1. 初始加载和输出指令 ST、ST/、OT

(1) 指令功能

ST：逻辑运算开始。表示与母线连接的常开触点，或逻辑块开始的常开触点。

ST/：逻辑运算开始。表示与母线连接的常闭触点，或逻辑块开始的常闭触点。

ST 和 ST/的操作数：X、Y、R、C、T。

OT：线圈驱动指令，将运算结果输出到指定的继电器。

OT 的操作数：Y、R。

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-3。

表 7-3 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图												
	<table><tr><td>0</td><td>ST</td><td>X0</td></tr><tr><td>1</td><td>OT</td><td>Y0</td></tr><tr><td>2</td><td>ST/</td><td>X1</td></tr><tr><td>3</td><td>OT</td><td>Y1</td></tr></table>	0	ST	X0	1	OT	Y0	2	ST/	X1	3	OT	Y1	
0	ST	X0												
1	OT	Y0												
2	ST/	X1												
3	OT	Y1												

程序解释：

1) 当 X0 为“ON”时，Y0 得电输出 (ON)；X0 为“OFF”时，Y0 失电 (OFF)。

2) 当 X1 为“ON”时，Y1 失电 (OFF)；X1 为“OFF”时，Y1 得电输出 (ON)。

说明：这里所说的 X0 为“ON”，是指当输入继电器 X0 外部连接的开关信号接通时其线圈得电的状态，此时对应的触点动作，常开触点闭合，常闭触点断开。X0 为“OFF”是指当输入继电器 X0 外部连接的开关信号断开时其线圈失电的状态，此时对应的触点为常态，常开触点断开，常闭触点闭合。下面类似的解释意义一样，不再重复说明。

2. 非指令/

“/”指令的功能是将该指令前的运算结果取反，可以单独使用，也可以和 ST、AN、OR 连用，构成 ST/、AN/、OR/。

“/”指令在编程应用时的梯形图、指令表和时序图见表 7-4。

表 7-4 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图															
	<table><tr><td>0</td><td>ST</td><td>X0</td></tr><tr><td>1</td><td>AN</td><td>X1</td></tr><tr><td>2</td><td>OT</td><td>Y0</td></tr><tr><td>3</td><td>/</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>OT</td><td>Y1</td></tr></table>	0	ST	X0	1	AN	X1	2	OT	Y0	3	/		4	OT	Y1	
0	ST	X0															
1	AN	X1															
2	OT	Y0															
3	/																
4	OT	Y1															

程序解释：

1) 当 X0、X1 都为“ON”时，Y0 得电输出 (ON)，Y1 失电 (OFF)。

2) 当 X0、X1 中任一个为“OFF”时，Y0 失电 (OFF)，Y1 得电输出 (ON)。

3. 与和与非指令 AN、AN/

(1) 指令功能

AN：串联常开触点。
AN/：串联常闭触点。
AN 和 AN/的操作数：X、Y、R、C、T
(2) 编程实例
梯形图、指令表和时序图见表 7-5。

表 7-5 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图
	0 ST X0 1 AN X1 2 AN/ X2 3 OT Y0	

程序解释：
只有当 X0、X1 都为“ON”而 X2 为“OFF”时，Y0 得电输出，否则 Y0 失电。

(3) 指令使用说明

- 1) 串联单个常开触点时使用 AN 指令，串联单个常闭触点时使用 AN/指令。
- 2) AN 和 AN/可以连续使用，并且连续使用同一个或不同继电器的常开和常闭触点的次数没有限制。

4. 或和或非指令 OR、OR/

(1) 指令功能

OR：并联常开触点。
OR/：并联常闭触点。
OR 和 OR/的操作数：X、Y、R、C、T

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-6。

表 7-6 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图
	0 ST X0 1 OR X1 2 OR/ X2 3 OT Y0	

程序解释：

只要 X0 为“ON”、X1 为“ON”、X2 为“OFF”三个中任意一个条件具备时，Y0 得电输出（ON），否则 Y0 失电。

(3) 指令使用说明

OR 和 OR/将触点并联，进行逻辑“或”。OR 和 OR/可以连续使用。

5. 组与和组或指令 ANS、ORS

(1) 指令功能

ANS：实现逻辑块的逻辑“与”运算。

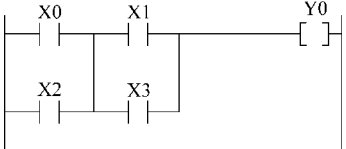
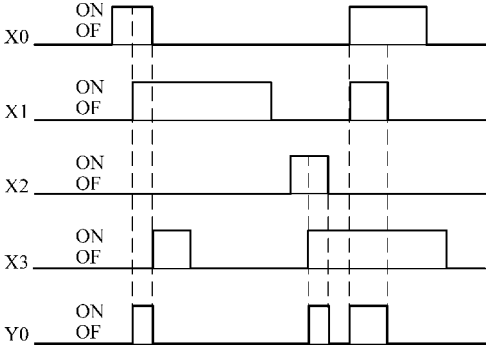
ORS：实现逻辑块的逻辑“或”运算。

ANS 和 ORS 指令没有操作数，操作对象是该指令助记符前的逻辑块。

(2) 编程实例

1) ANS 指令在编程应用时的梯形图、指令表和时序图见表 7-7。

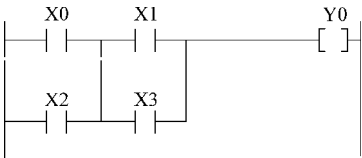
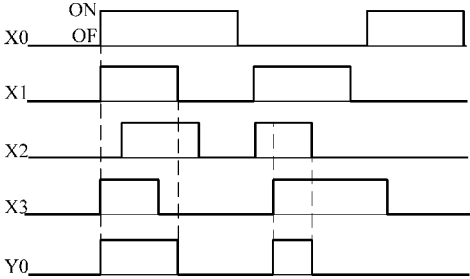
表 7-7 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图																		
	<table><tr><td>0</td><td>ST</td><td>X0</td></tr><tr><td>1</td><td>OR</td><td>X2</td></tr><tr><td>2</td><td>ST</td><td>X1</td></tr><tr><td>3</td><td>OR</td><td>X3</td></tr><tr><td>4</td><td>ANS</td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>OT</td><td>Y0</td></tr></table>	0	ST	X0	1	OR	X2	2	ST	X1	3	OR	X3	4	ANS		5	OT	Y0	
0	ST	X0																		
1	OR	X2																		
2	ST	X1																		
3	OR	X3																		
4	ANS																			
5	OT	Y0																		

程序解释：在 X0、X2 其中一个为“ON”时，同时 X1、X3 其中一个也为“ON”时，Y0 得电输出（ON）。

2) ORS 指令在编程应用时的梯形图、指令表和时序图见表 7-8。

表 7-8 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图																		
	<table><tr><td>0</td><td>ST</td><td>X0</td></tr><tr><td>1</td><td>AN</td><td>X1</td></tr><tr><td>2</td><td>ST</td><td>X2</td></tr><tr><td>3</td><td>AN</td><td>X3</td></tr><tr><td>4</td><td>ORS</td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>OT</td><td>Y0</td></tr></table>	0	ST	X0	1	AN	X1	2	ST	X2	3	AN	X3	4	ORS		5	OT	Y0	
0	ST	X0																		
1	AN	X1																		
2	ST	X2																		
3	AN	X3																		
4	ORS																			
5	OT	Y0																		

程序解释：当 X0、X1 同时为“ON”和 X2、X3 同时为“ON”这两个条件至少具备一个时，Y0 得电输出（ON），否则 Y0 失电（OFF）。

(3) 指令使用说明

ANS 和 ORS 指令用在较复杂的有多个逻辑块的梯形图中，指令表编程有两种方法：一种是先输入两个逻辑块，用 ANS（或 ORS）指令将其串联或并联，然后再输入一个逻辑块，再 ANS（或 ORS）……依此类推；另一种方法是先将各个逻辑块输入，然后连续使用 ANS（或 ORS）指令将其全部串联（或并联），见表 7-9。

表 7-9 多个逻辑块串联（并联）

梯 形 图	指 令 表（一）	指 令 表（二）
	0 ST X0	0 ST X0
	1 OR X3	1 OR X3
	2 ST X1	2 ST X1
	3 OR X4	3 OR X4
	4 ANS	4 ST X3
	5 ST X3	5 OR X5
	6 OR X5	6 ANS
	7 ANS	7 ANS
	8 OT Y0	8 OT Y0
	0 ST X0	0 ST X0
	1 AN X1	1 AN X1
	2 ST X2	2 ST X2
	3 AN X3	3 AN X3
	4 ORS	4 ST X4
	5 ST X4	5 AN X5
	6 AN X5	6 ORS
	7 ORS	7 ORS
	8 OT Y0	8 OT Y0

例 7-1 组与和组或指令综合应用。如图 7-1 所示。

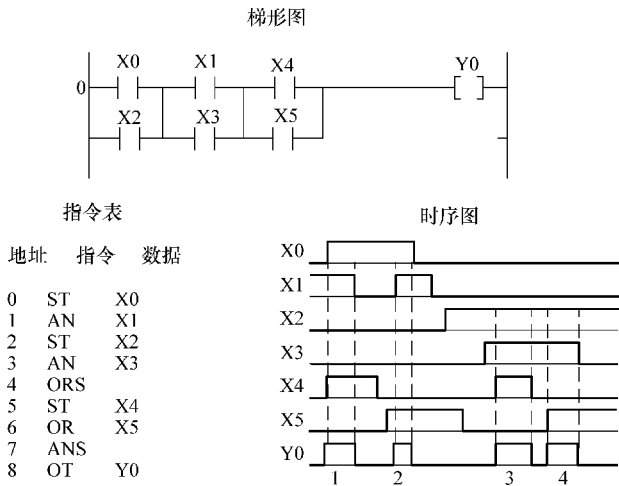


图 7-1 组与和组或指令综合应用

例题说明

从图 7-1 的时序图上看，该例的逻辑关系显得比较复杂，但是仔细分析就可发现 Y0 有四个接通段，分别代表了该例子的四种有效组合。

- 1) 当 X0、X1 接通且 X4 接通时，Y0 接通，对应图中第 1 段接通情况。
- 2) 当 X0、X1 接通且 X5 接通时，Y0 接通，对应图中第 2 段接通情况。
- 3) 当 X2、X3 接通且 X4 接通时，Y0 接通，对应图中第 3 段接通情况。
- 4) 当 X2、X3 接通且 X5 接通时，Y0 接通，对应图中第 4 段接通情况。

掌握 ANS、ORS 的关键主要有两点：一是要理解好串、并联关系，二是要形成块的概念。

6. 入栈、读栈和出栈指令 PSHS、RDS、POPS

(1) 指令功能

PSHS：将该指令前的运算结果存储起来（入栈），以供反复使用，表示分支结构的开始。

RDS：读出由 PSHS 指令存储的运算结果（读栈），用以引出中间的分支结构（支路）。

POPS：读出并清除由 PSHS 指令存储的运算结果（出栈），用以引出最后一个分支结构。

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-10。

表 7-10 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图																														
	<table><tr><td>0</td><td>ST</td><td>X0</td></tr><tr><td>1</td><td>PSHS</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>AN</td><td>X1</td></tr><tr><td>3</td><td>OT</td><td>Y0</td></tr><tr><td>4</td><td>RDS</td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>AN</td><td>X2</td></tr><tr><td>6</td><td>OT</td><td>R0</td></tr><tr><td>7</td><td>POPS</td><td></td></tr><tr><td>8</td><td>AN</td><td>X3</td></tr><tr><td>9</td><td>OT</td><td>Y1</td></tr></table>	0	ST	X0	1	PSHS		2	AN	X1	3	OT	Y0	4	RDS		5	AN	X2	6	OT	R0	7	POPS		8	AN	X3	9	OT	Y1	
0	ST	X0																														
1	PSHS																															
2	AN	X1																														
3	OT	Y0																														
4	RDS																															
5	AN	X2																														
6	OT	R0																														
7	POPS																															
8	AN	X3																														
9	OT	Y1																														

(3) 指令使用说明

PSHS 指令：用在梯形图分支点处最上面的支路，将分支处左边的运算结果保存起来；

RDS 指令：用在 PSHS 指令支路以下，POPS 指令以上的所有支路，它能反复读出由 PSHS 指令存储的运算结果，以供后面程序使用；

POPS 指令：用在梯形图分支点处最下面的支路，也就是最后一次使用 PSHS 的存储结果，它的功能是读出由 PSHS 指令存储的运算结果，同前面支路进行逻辑运算，然后将 PSHS 指令存储的内容清除，结束分支结构的编程。

例 7-2 堆栈指令与组与/组或指令综合应用，如图 7-2 所示。

7. 保持指令 KP

(1) 指令功能

KP 指令使 R 或 Y 置位或复位并保持当前状态，相当于一个锁存器，只在复位信号到来

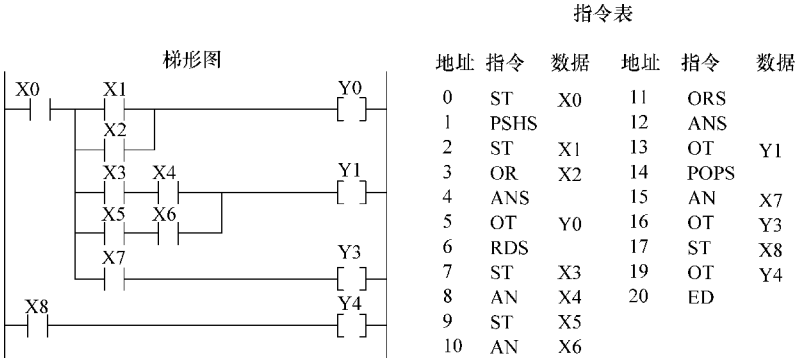


图 7-2 堆栈指令与组与/组或指令综合应用

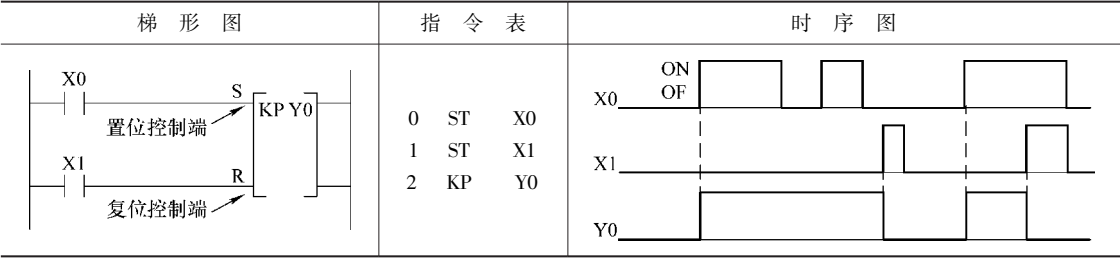
时改变状态。

KP 的操作数为 R 或 Y。

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-11。

表 7-11 梯形图、指令表和时序图



程序解释：

当 X0 为“ON”时，Y0 得电输出（ON）并保持；X1 为“ON”时，Y0 失电（OFF）。

(3) 指令使用说明

1) KP 指令不能对同一线圈重复使用。

2) KP 指令的控制：当置位端接通时，输出得电并保持，无论置位端的信号如何变化；只有当复位端接通时才停止输出。

3) 复位控制端比置位控制端的优先级高：当复位端和置位端同时接通时，复位端起作用，停止输出。

4) 两个控制端可以由多个触点按一定的逻辑关系组成。在进行指令编程时应先写出两个控制端的各个触点的逻辑关系，最后写出 KP 指令。

5) 当工作方式改变（从 RUN 变为 PROG）或 PLC 失电时，KP 指令不再保持。

8. 上升沿和下降沿微分指令 DF、DF/

(1) 指令功能

DF：上升沿微分，在检测到信号上升沿时使对象仅接通一个扫描周期。

DF/：下降沿微分，在检测到信号下降沿时使对象仅接通一个扫描周期。

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-12。

表 7-12 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图																		
	<table><tr><td>0</td><td>ST</td><td>X0</td></tr><tr><td>1</td><td>DF</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>OT</td><td>Y0</td></tr><tr><td>3</td><td>ST</td><td>X0</td></tr><tr><td>4</td><td>DF/</td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>OT</td><td>Y1</td></tr></table>	0	ST	X0	1	DF		2	OT	Y0	3	ST	X0	4	DF/		5	OT	Y1	
0	ST	X0																		
1	DF																			
2	OT	Y0																		
3	ST	X0																		
4	DF/																			
5	OT	Y1																		

程序解释：

在 X0 接通（由“OFF”变为“ON”）时，Y0 得电（ON）一个扫描周期；当 X0 断开（由“ON”变为“OFF”）时，Y1 得电（ON）一个扫描周期。

9. 置位和复位指令 SET、RST

(1) 指令功能

SET：置位指令，强制对象接通并保持。

RST：复位指令，强制对象断开并保持。

SET 和 RST 的操作数为 R 或 Y。

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-13。

表 7-13 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图												
	<table><tr><td>0</td><td>ST</td><td>X0</td></tr><tr><td>1</td><td>SET</td><td>Y0</td></tr><tr><td>4</td><td>ST</td><td>X1</td></tr><tr><td>5</td><td>RST</td><td>Y0</td></tr></table>	0	ST	X0	1	SET	Y0	4	ST	X1	5	RST	Y0	
0	ST	X0												
1	SET	Y0												
4	ST	X1												
5	RST	Y0												

程序解释：

当 X0 为“ON”时，Y0 得电并保持；当 X1 为“ON”时，Y0 失电（OFF）并保持。

(3) 指令使用说明

SET 和 RST 指令的功能和 KP 指令相似，不同的是 SET 与 RST 是相互独立的，不存在优先级，只按程序的先后顺序执行。当 SET 指令执行条件具备后，不管控制触点如何变化，输出始终保持接通；而当 RST 指令执行条件具备后，不管控制触点如何变化，输出始终保持断开。与 OT 和 KP 指令不同的是，对于编号相同的继电器（R 和 Y）可以不限次数地重复使用 SET 和 RST 指令。

10. 空操作指令 NOP

空操作（NOP）指令不产生任何实际的操作。在没有输入用户程序时，程序存储器中的各地址单元均自动存放着 NOP 指令。在程序中插入 NOP 指令可对程序进行分段，或作为查找标记，以便于检查、修改和调试程序。

7.1.2 基本功能指令

基本功能指令包括定时器指令、计数器指令和寄存器移位指令三类。定时器和计数器的功能则相当于继电-接触器控制系统中的时间继电器和计数器，而寄存器则是 PLC 特有的。

1. TMR、TMX、TMY（定时器）指令

(1) 指令功能：

TMR：以 0.01s 为计时单位设置延时值的定时器；

TMX：以 0.1s 为计时单位设置延时值的定时器；

TMY：以 1s 为计时单位设置延时值的定时器。

操作数为：SV 和常数

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-14。

表 7-14 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图
	0 ST X0 1 TMX 2 K 50 4 ST T2 5 OT Y0	

(3) 程序解释：

当 X0 接通（ON）时，定时器开始延时，5s 后定时器的常开接点（T2）闭合（ON），这时输出 Y0 接通（ON）。

(4) 指令使用说明

1) TM 指令是一个减计数型预置定时器，在定时器被接通后开始计时，延时时间到，则相应的定时器常开接点闭合，常闭接点断开。

2) 如果定时器数量不够，可以通过系统寄存器 No. 5 调整计数器的起始编号以改变定时器和计数器的数量分配。

3) 定时器预置时间为：定时器计时单位 × 预置值（K）

上述程序中定时时间为（TMX2，K50）： $0.1s \times 50 = 5s$

例 7-3 采用十进制常数设定预置值。如图 7-3 所示

例题说明：

1) 当 PLC 工作方式为 RUN 时，设定的十进制常数“K50”被传送到设定值存储单元 SV2。

2) 在输入端 X0 为“ON”的瞬间，SV2 中的设定值传送到经过值（当前值）存储单元

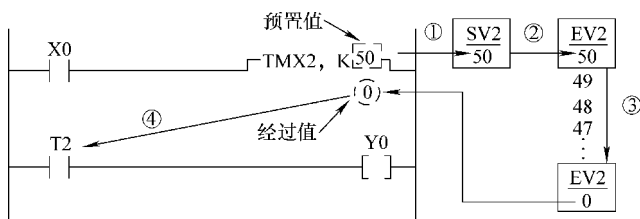


图 7-3 采用十进制常数设定预置值

EV2 中。

3) 当输入端 X0 为“ON”时，PLC 每次扫描，每经过 0.1s 从 EV2 中常数“K50”减去 1。

4) 当经过值存储单元 EV2 中的数据减为 0 时，定时器 T2 的触点闭合，Y0 得电输出。

例 7-4 用 F0 [MV] 指令改变定时器设定值。如图 7-4 所示。

例题说明：

利用编程工具可改变预置区 (SV) 的值，甚至在 RUN 方式下也能改变。

工作过程：若 X0 没闭合只闭合 X1 时延时为 5s，先闭合 X0 后闭合 X1 时延时为 2s，而先闭合 X1 后闭合 X0 时延时仍为 5s，即预置的直接设定值具有优先权。

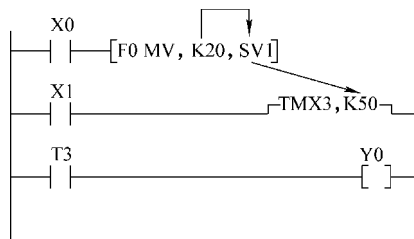


图 7-4 修改定时器中设定的预置值

(5) 关于定时器的其他说明

1) 在定时器工作期间，如果定时器的输入信号断开，则定时器被复位。

2) 定时器预置区 EV 是定时器预置时间的存储区。

3) 当 EV 中的数据减到 0 时，定时器的触点动作，常开的闭合，常闭的断开。

4) 每个 SV、EV 为一个字，即 16 位存储器，并与定时器的编号对应。

5) 在定时器工作期间，如果 PLC 失电或者工作方式由 RUN 切换到 PROG，则定时器复位。若想保持运行中的状态，可以通过设置系统寄存器 No. 6 来实现。

6) 定时器操作是在定时器指令扫描期间执行，因此使用定时器时，应保证 TM 指令在每个扫描周期只能扫描一次（在使用 INT、JP、LOOP 指令时要注意）。

7) 定时器可以串联使用，也可以并联使用。串联使用时，第二个定时器在第一个定时器计到 0 时开始定时；并联使用可以按不同的时间去控制不同的对象。

2. CT (计数器) 指令

(1) 指令功能

CT：采用减计数型预置计数的方式，在每个计数触发信号的上升沿进行计数，预值置减“1”。当计数值减为“0”时，计数器 ON，其接点动作（常开接点闭合，常闭接点断开）。

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-15。

表 7-15 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图
	0 ST X0 1 ST X1 2 CT 100 K 6 4 ST C100 5 OT Y0	

(3) 程序解释：

当检测到触发信号 X0 的第 6 个上升沿时，计数器 ON，C100 接点闭合，输出 Y0 接通并保持。当复位信号 X1 接通时，经过值“EV100”复位，Y0 断开。在 X1 断开后重新恢复计数。

(4) 指令使用说明

- 1) CT 指令为减计数型预置计数器。
- 2) 如果计数器数量不够，可以通过系统寄存器 No. 5 调整计数器的起始编号以改变定时器和计数器的数量分配。

例 7-5 用十进制常数设定预置值（设定值）。如图 7-5 所示。

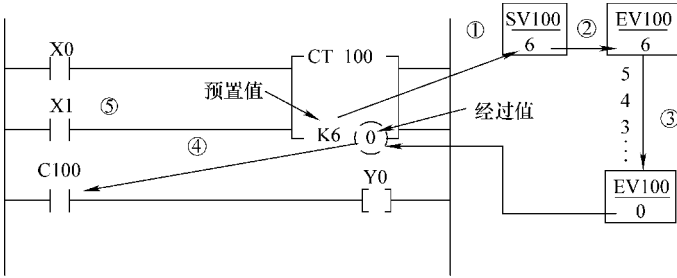


图 7-5 采用十进制常数设定预置值

例题说明：

- 1) 当 PLC 的工作方式为 RUN 时，设定的十进制常数 K6 被传送到设定值存储单元 SV100。
- 2) 当复位端 X1 由“ON”变为“OFF”时，SV100 中的预置值（设定值）传送到当前值存储单元 EV100。
- 3) 在触发端 X0 的每一个上升沿（由“OFF”变为“ON”）到来时，EV100 中的数减 1。
- 4) ④当 EV100 中的数据减为 0 时，计数器触点 C100 接通，Y0 得电输出。
- 5) 当复位信号 X1 接通（由“OFF”变为“ON”）时，EV100 复位，Y0 失电。在复位信号 X1 断开（由“ON”变为“OFF”）时，SV100 中的设定值再次传送到 EV100。

例 7-6 用 F0 [MV] 指令改变计数器设定值。如图 7-6 所示。

例题说明：

利用编程工具可改变设定值 SV，而且在 RUN 方式下也能改变。

图 7-6 中，当 X2 接通时，将原来设定的数值 100 改为 30，即预置的直接设定值具有优先权。若 X2 没闭合，则计数值仍为 100。

(5) 关于计数器指令的其他事项

1) 在使用计数器指令时，一定要分别输入触发信号和复位信号，二者不是并联关系。

2) 计数器预置区是计数器预置参数的存储区。

3) 当 EV 中的数减到 0 时，计数器触点动作，常开触点闭合，常闭触点断开。

4) 每个计数器都有一对编号与计数器相同的字存储单元 SV、EV。

5) 在计数器工作期间，如果 PLC 失电或者工作方式由 RUN 切换到 PROG，计数器的当前值仍然保持，计数器不会复位。若需要将计数器设置为非保持型，可以通过改变系统寄存器 No. 6 的设置来实现。

6) 当触发信号和复位信号同时到达时，复位信号优先。

3. SR（左移寄存器）指令

(1) 指令功能

SR：相当于一个串行输入寄存器，作用是在移位脉冲上升沿到来时将 16 位的内部字继电器（WR）的数据左移一位，最高位溢出。当数据输入端为“ON”时，移位脉冲信号前沿到来时向 R0 移入“1”，反之在脉冲到来时移入“0”。复位信号到来时，参与移位的内容全部复位（变为“0”）。操作数为 WR

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-16。

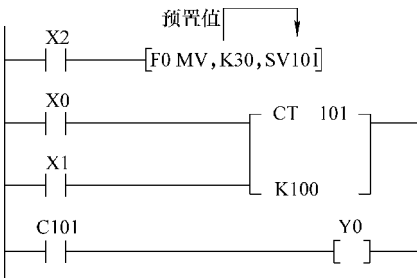


图 7-6 修改计数器设定的预置值

表 7-16 梯形图、指令表和时序图

梯 形 图	指 令 表	时 序 图
	<pre>0 ST X0 1 ST X1 2 ST X2 3 SR WR3</pre>	

(3) 程序解释:

在 X2 为 OFF 状态时, 移位输入 X1 接通, 内部继电器 WR3 (即内部继电器 R30 到 R3F) 的内容左移一位。如果数据输入 X0 位 ON, 左移一位后 R30 置 1; 如果数据输入 X0 位 OFF, 左移一位后 R30 置 0。在复位输入 X2 接通 (上升沿) 时, WR3 的内容被清除 (WR3 所有位变为 0)。

(4) 指令使用说明

1) 移位, 如图 7-7 所示。

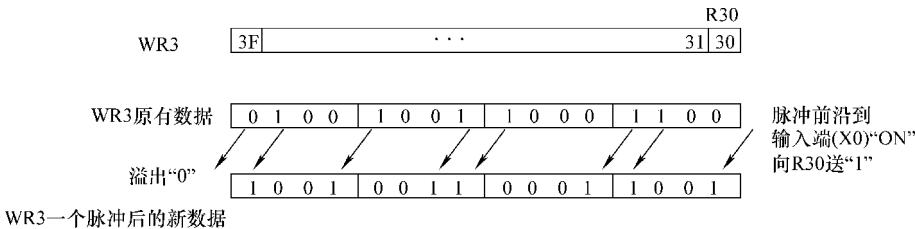


图 7-7 移位

2) 复位, 如图 7-8 所示。

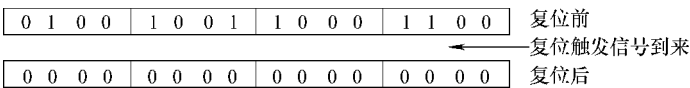


图 7-8 复位

3) 使用 SR 指令编程时, 必须有数据输入、移位和触发信号

7.1.3 基本控制指令

基本控制指令在 PLC 的指令系统中占有重要的位置, 可以用来决定程序的执行顺序和流程。可以根据系统的要求设计成一个按一定流程执行的程序, 使得程序更加整齐清晰, 逻辑过程更加易读。

1. MC 和 MCE (主控和主控结束) 指令

(1) 指令功能

当预置的触发信号接通时, MC 和 MCE 之间的指令执行; 否则不执行。

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-17。

(3) 程序解释:

输出 Y0 不受 MC 和 MCE 指令控制。当触发信号 X1 接通时, MC 和 MCE 之间的指令执行, X0 控制 Y1, X2 控制 Y2; 在 X1 断开时, Y1 和 Y2 断开。

(4) 指令使用说明

1) 当预置的触发信号接通 (ON) 时, 执行 MC 和 MCE 间的程序。

2) 当预置的触发信号接通 (OFF) 时, MC 和 MCE 间的程序操作见表 7-18。

表 7-17 梯形图、指令表和时序图

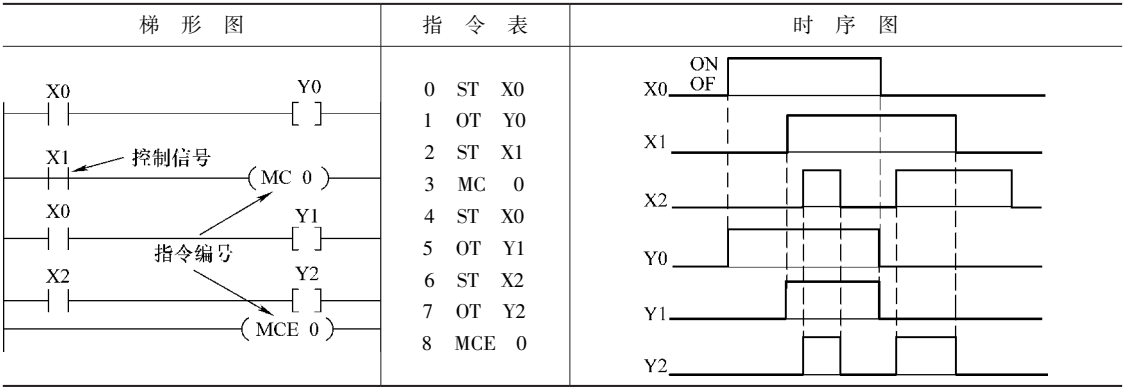


表 7-18 MC 和 MCE 之间的指令操作

指 令	状 态
OT	全部 OFF
KP	保持触发信号 OFF 以前的状态
SET	
RST	
TM 和 F137 (STMR)	复位
CT 和 F118 (UDC)	保持触发信号 OFF 以前的经过值
SR 和 F119 (LRSR)	
DF 和 DF/	微分指令无效。如需要进行微分指令操作，必须将微分指令换到 MC 和 MCE 指令之外。
其他指令	不执行

注：此时该段程序只是处于停控状态，PLC 仍然扫描这段程序。

3) MC 指令不能直接从母线开始，在 MC 指令前必须有接点输入。

4) 在程序中，主控指令可以嵌套，但 MC 和 MCE 必须成对出现且编号相同，也不能颠倒顺序。更不允许出现两个或多个相同编号的主控指令对。如图 7-9 所示。

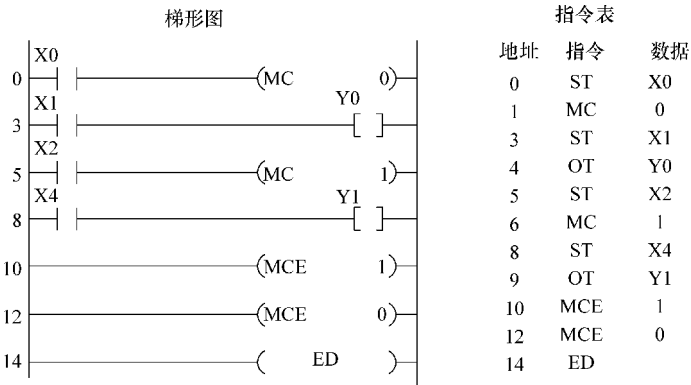


图 7-9 主控指令嵌套

5) 输出 Y0 不受 MC 和 MCE 指令控制。当触发信号 X1 接通时, MC 和 MCE 之间的指令执行, X0 控制 Y1, X2 控制 Y2; 在 X1 断开时, Y1 和 Y2 断开。

2. JP 和 LBL (跳转和标号) 指令

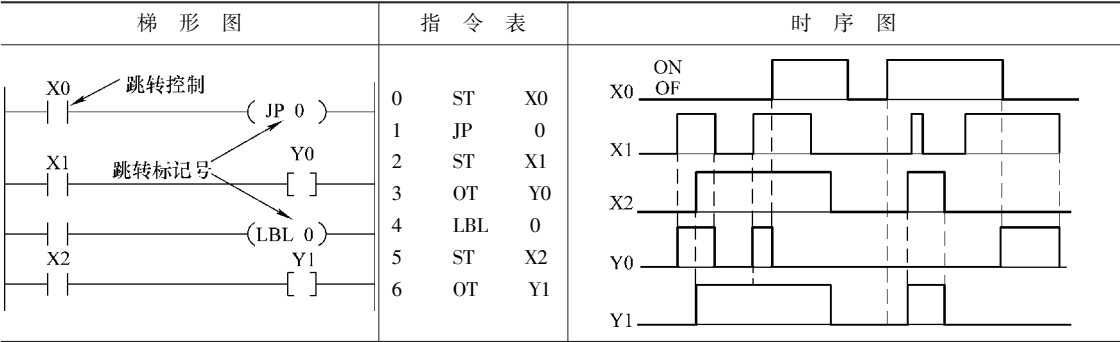
(1) 指令功能

当 JP 指令前的预置触发信号接通时, 跳转到与 JP 指令同编号的 LBL 处, 并执行后续程序。而 JP 与 LBL 之间的指令不执行。

(2) 编程实例

梯形图、指令表和时序图见表 7-19。

表 7-19 梯形图、指令表和时序图



(3) 程序解释:

当控制条件 X0 接通 (ON) 时, 程序由 JP0 跳转至 LBL0, 接着执行下面的程序。

(4) 指令使用说明

- 1) JP 指令跳过位于 JP 和编号相同 (编号为 0 ~ 63) 的 LBL 指令间的所有指令。当执行 JP 指令时, 跳转指令执行的时间不计入扫描时间。
- 2) 程序中可以使用多个编号相同的 JP, 但不允许出现相同编号的 LBL。
- 3) LBL 可供相同编号的 JP 和 LOOP 指令使用。
- 4) 在一对 JP 和 LBL 指令中间可以嵌套使用, 如图 7-10 所示。

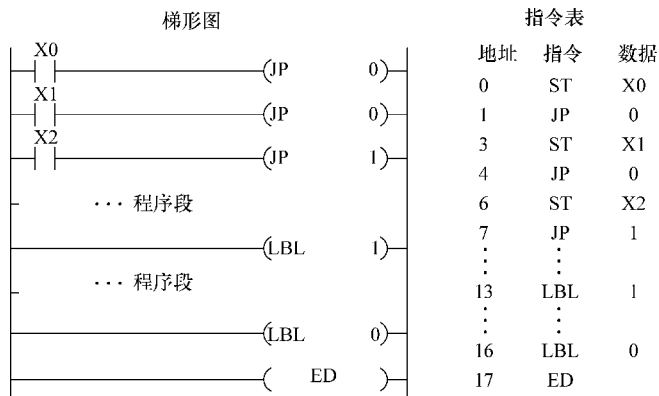


图 7-10 跳转指令嵌套

5) 不能从结束指令 ED 以前的程序跳转到 ED 以后的程序中去; 不能在子程序或中断程

序与主程序之间跳转；不能在步进区和非步进区进行跳转。

例 7-7 跳转指令应用：图 7-11 所示为一手动/自动工作方式切换梯形图

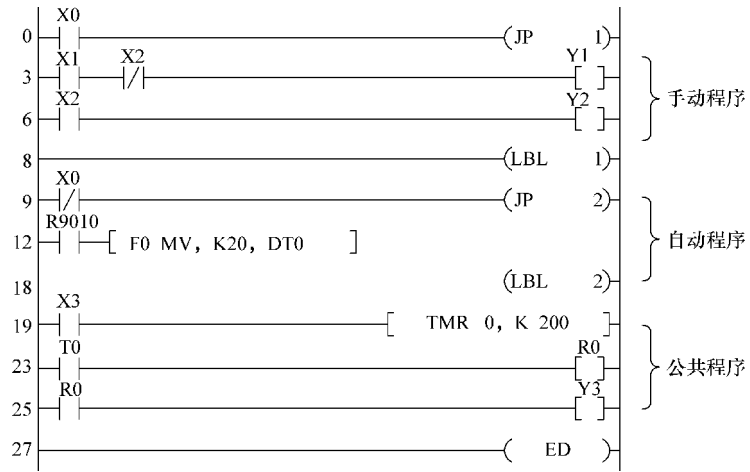


图 7-11 手动/自动工作方式切换梯形图

例题说明：

图 7-11 所示的梯形图中，X0 表示手动、自动方式选择开关。当 X0 闭合时，转移条件成立，程序将跳过手动程序，直接执行自动程序然后执行公共程序；若 X0 断开，则执行手动程序后跳过自动程序去执行公共程序。这种用一个按钮进行手动、自动工作方式切换的编程方法广泛用于生产线上自动循环和手动 调节之间的切换。

3. LOOP 和 LBL（循环和标号）指令

(1) 指令功能

预置触发信号接通时，反复执行 LOOP 指令和同编号的 LBL 指令之间的程序，每执行一次，预置数据寄存器的内容减“1”直到 DT0 中的数据为“0”时退出循环。

操作数为：WY、WR、SV、EV、DT、IX 和 IY。

(2) 编程实例

梯形图和指令表见表 7-20。

表 7-20 梯形图和指令表

梯 形 图	指 令 表																														
	<table><tr><td>.</td><td></td><td></td></tr><tr><td>.</td><td></td><td></td></tr><tr><td>.</td><td></td><td></td></tr><tr><td>15</td><td>LBL</td><td>2</td></tr><tr><td>.</td><td></td><td></td></tr><tr><td>.</td><td></td><td></td></tr><tr><td>.</td><td></td><td></td></tr><tr><td>25</td><td>ST</td><td>X2</td></tr><tr><td></td><td>LOOP</td><td>2</td></tr><tr><td></td><td>DT</td><td>0</td></tr></table>	.			.			.			15	LBL	2	.			.			.			25	ST	X2		LOOP	2		DT	0
.																															
.																															
.																															
15	LBL	2																													
.																															
.																															
.																															
25	ST	X2																													
	LOOP	2																													
	DT	0																													

(3) 程序解释：

当预置触发信号断开时，跳过 LOOP1 和 LBL1 指令间的所有程序。在预置触发信号接通时，反复循环执行 LOOP 指令和同编号的 LBL 指令之间的程序，每执行一次，预置数据寄存器的内容减“1”直到 DT0 中的数据为“0”结束循环。

(4) 指令使用说明

- 1) 有 LOOP 指令必有同号的 LBL 指令，编号为 0 ~ 63。
- 2) 在同一程序段中，LOOP 指令可以嵌套使用，但不允许出现相同编号的 LBL。
- 3) 如果数据区的预置值为“0”，LOOP 指令无法执行（无效）。
- 4) LBL 指令在 LOOP 指令上面，执行循环命令的整个过程包含在一个扫描周期内，所以不可以太长，否则会导致扫描周期过长影响到 PLC 的响应速度
- 5) 循环跳转指令可以嵌套使用。
- 6) 不能从结束指令 ED 以前的程序跳转到 ED 以后的程序中去；也不能在子程序或中断程序与主程序之间跳转；不能在步进区和非步进区进行跳转。

4. ED 和 CNDE（结束和条件结束）指令

指令功能：ED 为无条件结束；CNDE 为条件结束。

例 7-8 如图 7-12 所示。

例题说明：

当控制触点 X0 闭合时，条件结束指令 CNDE 起作用，返回程序起始地址，当前的扫描结束，进入下一次扫描；否则，控制触点 X0 断开，继续执行下面的指令扫描，当遇到 ED 指令，才结束当前的扫描。CNDE 指令只适用于主程序中使用。

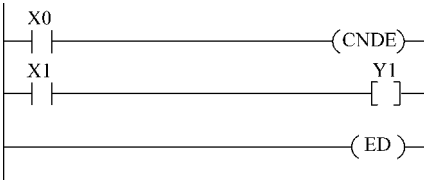


图 7-12 梯形图

5. CALL、SUB 和 RET（子程序）指令

(1) 指令功能

- CALL：执行制定的子程序。
- SUB：表示子程序的开始。
- RET：表示子程序的结束。

(2) 编程实例

梯形图和指令表见表 7-21。

表 7-21 梯形图和指令表

梯 形 图				指 令 表			
10	X0	… 程序段(主程序)	(CALL 1)	…	10	ST	X0
		… 程序段(主程序)		…	11	CALL	1
20			(ED)	…	20	ED	
21			(SUB 1)	…	21	SUB	1
		… 程序段(子程序)		…	30	RET	
30			(RET)	…			

(3) 程序解释:

当 X0 接通时, 程序从主程序转到编号为 1 的子程序的起始地址 SUB 1 处, 开始执行子程序; 当执行到 RET 处时, 子程序执行完毕, 返回到主程序调用处, 从 CALL 1 指令的下一条指令继续执行随后的主程序。

当 X0 断开时, 不调用子程序, 继续执行主程序。

(4) 指令使用说明

1) 子程序必须在 ED 指令之后。由 SUB 开始, RET 结束必不可少。

2) CALL 指令可以用在主程序区、中断程序区和子程序区。同一程序可以多次使用同一标号的 CALL 指令。标号为 0 ~ 15。

3) 不能重复使用同一标号的 SUB 指令。

4) 子程序可以嵌套使用, 但最多只可以嵌套 4 层。

5) 使用一个 RET 指令可以控制多个子程序。

6) 如果 CALL 指令的触发信号处于断开状态, 不执行子程序。此时, SUB 和 RET 间的各指令运行状态见表 7-22。

表 7-22 SUB 和 RET 间各指令运行状态

指 令	状 态
OT、KP、SET、RST	保持触发信号刚断开前的状态
TM 和 F137 (STMR)	不执行定时器指令。如果每次扫描都不执行该指令, 无法保证准确的时间
CT 和 F118 (UDC)	保持触发信号刚断开前的经过值
SR 和 F119 (LRSR)	
DF 和 DF/	存储触发信号刚断开前 DF 和 DF/指令的触发状态
其他	均不执行

6. 步进控制指令 SSTP、NSTP、NSTL、CSTP 和 STPE

(1) 指令功能

SSTP: 表示进入步进程序。SSTP 指令始终位于过程 n 的程序的起始地址处。

NSTP: 以脉冲方式进入步进程序。当检测到控制触点的上升沿时, 程序进入下一个步进程序段, 并将前面的程序用过的数据区清除, 输出关断, 定时器复位。

NSTL: 以扫描方式进入步进程序。只要控制触点闭合, 程序进入下一个步进程序段, 并将前面的程序用过的数据区清除, 输出关断, 定时器复位。

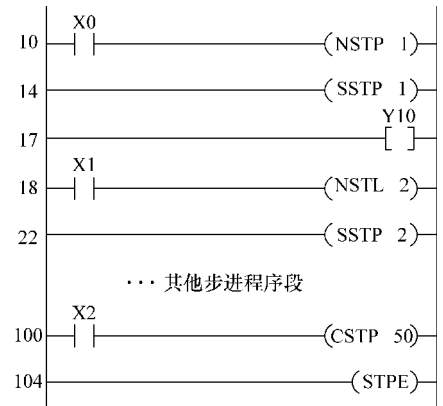
CSTP: 清除指定标记的步进指令, 当最后一个步进程序段结束时, 使用这条指令清除数据区, 输出关断, 定时器复位。

STPE: 结束整个步进过程。

(2) 编程实例

梯形图和指令表见表 7-23。

表 7-23 梯形图和指令表

梯 形 图	指 令 表
	<pre>... 10 ST X0 11 NSTP 1 14 SSTP 1 17 OT Y10 18 ST X1 19 NSTL 2 22 SSTP 2 ... 100 ST X2 101 CSTP 50 104 STPE</pre>

程序解释：

当检测到 X0 的上升沿时，执行过程 1（从 SSTP1 ~ SSTP2）。当 X1 接通时，清除过程 1，并开始执行过程 2（从 SSTP2 开始）。当 X2 通时，清除过程 50，步进程序执行结束。

(3) 指令使用说明

- 1) 步进程序中允许输出 OT 直接同左母线相连。
- 2) 步进程序中不能使用 MC 和 MCE、JP 和 LBL、LOOP 和 LBL、ED 和 CNDE 指令。
- 3) 在步进程序区中，识别一个过程是从一个 SSTP 指令开始到下一个 SSTP 指令，或一个 SS 指令到 STPE 指令，即步进程序区全部结束。
- 4) 当 NSTP 或 NSTL 前面的控制触点接通时，程序进入下一段步进程序。这里的控制触点和步进控制程序区结束指令 STPE 都是必需的。
- 5) 下一个步进过程的开始同时也清除上一个步进过程。因为既没有下一个步进过程来清除，也不能自清除，所以，最后一个步进过程必须用 CSTP 指令清除，而且步进控制程序区结束应有 STEP 指令。
- 6) 尽管在每个步进程序段中的程序都是相对独立的，但在各段程序中的输出继电器、内部继电器、定时器、计数器不能出现相同的编号，否则按出错处理。

7. 中断指令：INT、ICTL、IRET

(1) 指令功能

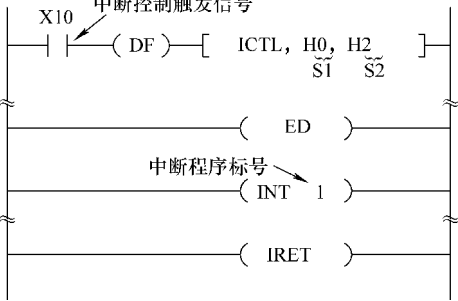
- ICTL：中断控制指令，用于设定中断的类型及参数。
- INT：中断程序开始标志。
- IRET：中断程序结束标志。

为了提高 PLC 的实时控制能力，提高 PLC 与外部设备配合运行的工作效率以及 PLC 处理突发事件的能力，FP1 设置了中断功能。中断就是中止当前正在运行的程序，去执行为要求立即响应信号而编制的中断服务程序，执行完毕再返回原先被中止的程序并继续运行。

(2) 编程实例

梯形图和指令表见表 7-24。

表 7-24 梯形图和指令表

梯 形 图	指 令 表
	10 ST X10 11 DF 12 ICTL H 0, H 2 . . . 20 ED 21 INT 1 . . . 30 IRET

程序解释：

当检测到中断控制触发信号 X10 的上升沿时，中断源 X1 被允许，其他中断源被禁止。在 X10 上升沿处正在执行的指令立即停止，转而执行 INT1 和 IRET 指令间的中断程序。中断程序执行完毕后，返回到 ICTL 指令处，按顺序执行 ICTL 指令下面的程序。

(3) 指令使用说明

1) FP1 的中断类型：FP1-C24 以上机型均有中断功能，其中断功能有两种类型，一种是外部中断，又叫硬件中断，一种是定时中断，又叫软件中断。

① 外部中断共有 8 个中断源 X0 ~ X7，对应中断入口为

- X0 - INT0 X4 - INT4
- X1 - INT1 X5 - INT5
- X2 - INT2 X6 - INT6
- X3 - INT3 X7 - INT7

其优先级别为 INTO 最高，INT7 最低。FP1 规定中断信号的持续时间应大于或等于 2ms。

使用前应先通过对系统寄存器 No. 403 的设置来设定 8 个中断源是否使能。No. 403 的低 8 位 bit0 ~ bit7 对应输入继电器 X0 ~ X7。当某位设定成 1 时，则该位对应的输入继电器 X 就可以作为中断源使用；当某位设定成 0 时，则该位对应的输入继电器仍作为普通输入端使用。

② 内部定时中断是通过软件编程来设定每间隔一定的时间去响应一次中断服务程序，定时中断的中断入口为 INT24。

2) 中断的实现：

① 对于内部定时中断，是通过编程来实现的，定时中断的时间，由中断命令控制字设定。

② 对于外部中断，应先设定系统寄存器 No. 403 的值，然后再设定中断控制字，并按中

断程序的书写格式编写程序。当中断源脉冲信号的上升沿到来后即响应中断，停止执行主程序，并按中断优先权的高低依次执行各中断服务子程序。子程序结束后，返回到主程序。值得指出的是：与普通微机不同，PLC 的中断是非嵌套的，也就是说，在执行低级中断时，若有高级中断到来，并不立即响应高级中断，而是在执行完当前中断后，才响应高级中断。

3) 中断控制字的设置：ICTL 是中断控制字指令，有两个操作数 S1 和 S2。它可以是常数 H，也可以是某个寄存器的数据。其中 S1 设置中断类型，S2 设置中断参数。ICTL 指令必须和 DF 指令连用，以保证只在触发信号的上升沿时执行一次。

① S1 的设定：S1 设定中断的控制操作如图 7-13 所示。S1 设定中断的类型和含义见表 7-25。

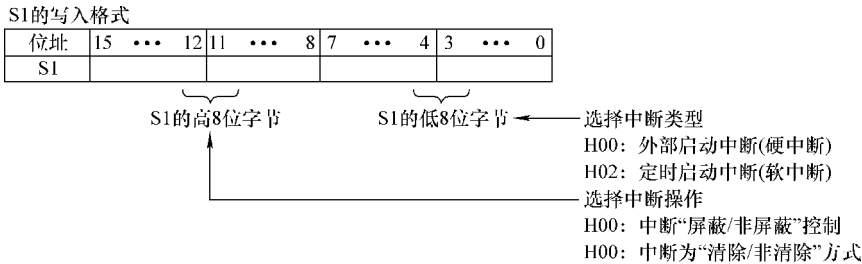


图 7-13 S1 的设定

表 7-25 ICTL 指令中 S1 的设定及含义

中 断 类 型	S1 中的设定值	状 态
外部中断 (包括高速计数器中断)	H0000 (缩写为 H0)	当 S1 的设定值为 H0 时，所有外部中断（包括高速计数器中断）为屏蔽/非屏蔽状态，每个中断源的状态由 S2 设定
	H0100 (缩写为 H100)	当 S1 的设定值为 H100 时，表示已执行的中断源可以清除，选择清除哪些中断源，由 S2 设定
定时中断	H0002 (缩写为 H2)	当 S1 的设定值为 H2 时，为内部定时中断方式，中断时间间隔由 S2 设定

② S2 的设定：S2 须根据 S1 中的控制字来设定中断状态。具体设定及含义见表 7-26。

表 7-26 ICTL 指令中 S2 的设定及含义

中 断 类 型	S1 设定的值	含 义
外部启动中断 (包括高速计数器启动中断)	H0	S2 高 8 位不用，低 8 位中 0 ~ 7 位对应 X0 ~ X7 这 8 个外部中断源，写入“0”表示“禁止（屏蔽）”，写入“1”表示“允许（非屏蔽）”，只有相应的位写入“1”时，其对应的中断源才有效
	H100	S2 高 8 位不用，低 8 位中 0 ~ 7 位对应 X0 ~ X7 这 8 个外部中断源，写入“0”表示“复位（清除）”，写入“1”表示“保持有效（不清除）”，只有相应的位写入“0”时，其对应的中断源才复位
定时启动中断	H2	定时启动中断，中断时间间隔 = S2 × 10（ms），而 S2 的设定范围为 K0 ~ K3000，其中 K0 表示不执行定时启动中断

(4) 指令使用注意事项

- 1) 使用外部中断之前，首先设置系统寄存器 No. 403。
- 2) ICTL 指令应和 DF 指令配合使用。
- 3) 中断子程序应放在主程序结束指令 ED 之后。
- 4) INT 和 IRET 指令必须成对使用。
- 5) 中断子程序中不能使用定时器指令 TM。
- 6) 中断子程序的执行时间不受扫描周期的限制。
- 7) 中断子程序可以使用子程序调用指令。

例 7-9 定时启动中断应用，如图 7-14 所示。

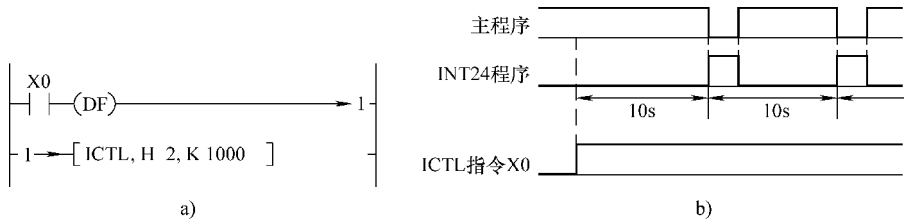


图 7-14 定时启动中断
a) 梯形图 b) 时序图

例题说明：

图 7-14a 中，中断指令参数 S1 设为 H2，规定为“定时启动中断”。S2 用来设定中断间隔，间隔时间 = $K1000 \times 10\text{ms} = 10\text{s}$ 。当中断控制信号 X0 接通时，中断控制程序 24 (INT24) 每隔 12s 执行一次。

例 7-10 外部硬中断应用，如图 7-15 所示。

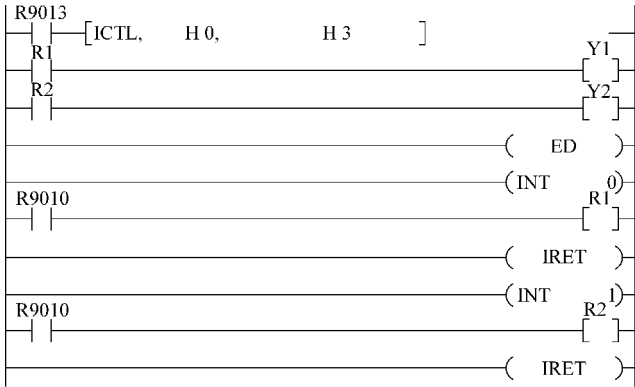


图 7-15 外部硬中断举例

例题说明：

图中 7-15 中包含 2 个中断程序（INT0 和 INT1）。主程序中，中断控制指令 ICTL 的第一个参数 S1 = H0，表示设置成外部硬中断；第二参数 S2 = H3，即允许 X0、X1 中断。

在程序运行之前，首先设定系统寄存器 No. 403 的值为 H3。上电后运行程序，无中断时 Y1 和 Y2 全为 OFF 状态。来中断时则应按如下方式响应：

X0 中断则 Y1 为 ON；X1 中断则 Y2 为 ON。

X0、X1 同时来中断，则按优先权的排队顺序响应，即先响应 X0，再响应 X1。

X0、X1 均中断，则按中断到来的先后顺序响应之。

7.1.4 比较指令

对于 FP1 系列，只有 FP1-C24 以上机型才具有比较指令。共有各种类型的比较指令共有 36 条，比较指令与基本顺序指令 ST、AN、OR 类似。不同的是基本顺序指令的操作数是各类继电器，而比较指令的操作数可以是两个相互比较的存储单元。比较指令分为单字（16 位）比较和双字（32 位）比较，两个操作数可以是 WX、WY、WR、SV、EV、DT、IX、IY 和常数。如表 7-27 所示。

表 7-27 比较指令

指 令			功 能	步 数	适用型号		
中文名称	助 记 符	C14			C24	C56	
		C16			C40	C72	
单 字 比 较	相等时开始	ST =	比较两个单字（16bit）数据，按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON：当 S1 = S2 OFF：当 S1 ≠ S2	5	×		
	相等时与	AN =		5	×		
	相等时或	OR =		5	×		
	不相等时开始	ST < >	比较两个单字（16bit）数据，按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON：当 S1 ≠ S2 OFF：当 S1 = S2	5	×		
	不相等时与	AN < >		5	×		
	不相等时或	OR < >		5	×		
	大于时开始	ST >	比较两个单字（16bit）数据，按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON：当 S1 > S2 OFF：当 S1 ≤ S2	5	×		
	大于时与	AN >		5	×		
	大于时或	OR >		5	×		
	不小于时开始	ST > =	比较两个单字（16bit）数据，按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON：当 S1 ≥ S2 OFF：当 S1 < S2	5	×		
	不小于时与	AN > =		5	×		
	不小于时或	OR > =		5	×		
	小于时开始	ST <	比较两个单字（16bit）数据，按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON：当 S1 < S2 OFF：当 S1 ≥ S2	5	×		
	小于时与	AN <		5	×		
	小于时或	OR <		5	×		
	不大于时开始	ST < =	比较两个单字（16bit）数据，按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON：当 S1 ≤ S2 OFF：当 S1 > S2	5	×		
	不大于时与	AN < =		5	×		
	不大于时或	OR < =		5	×		

(续)

指 令		功 能	步 数	适用型号		
				C14 C16	C24 C40	C56 C72
双 字 比 较	相等时开始	STD =	比较两个单字 (32bit) 数据, 按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON: 当 (S1 + 1, S1) = (S2 + 1, S2) OFF: 当 (S1 + 1, S1) ≠ (S2 + 1, S2)	9	×	
	相等时与	AND =		9	×	
	相等时或	ORD =		9	×	
	不相等时开始	STD < >	比较两个单字 (32bit) 数据, 按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON: 当 (S1 + 1, S1) ≠ (S2 + 1, S2) OFF: 当 (S1 + 1, S1) = (S2 + 1, S2)	9	×	
	不相等时与	AND < >		9	×	
	不相等时或	ORD < >		9	×	
	大于时开始	STD >	比较两个单字 (32bit) 数据, 按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON: 当 (S1 + 1, S1) > (S2 + 1, S2) OFF: 当 (S1 + 1, S1) ≤ (S2 + 1, S2)	9	×	
	大于时与	AND >		9	×	
	大于时或	ORD >		9	×	
	不小于时开始	STD > =	比较两个单字 (32bit) 数据, 按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON: 当 (S1 + 1, S1) ≥ (S2 + 1, S2) OFF: 当 (S1 + 1, S1) < (S2 + 1, S2)	9	×	
	不小于时与	AND > =		9	×	
	不小于时或	ORD > =		9	×	
	小于时开始	STD <	比较两个单字 (32bit) 数据, 按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON: 当 (S1 + 1, S1) < (S2 + 1, S2) OFF: 当 (S1 + 1, S1) ≥ (S2 + 1, S2)	9	×	
	小于时与	AND <		9	×	
	小于时或	ORD <		9	×	
	不大于时开始	STD < =	比较两个单字 (32bit) 数据, 按下列结果分别执行 Start、AND 或 OR 操作 ON: 当 (S1 + 1, S1) ≤ (S2 + 1, S2) OFF: 当 (S1 + 1, S1) > (S2 + 1, S2)	9	×	
	不大于时与	AND < =		9	×	
	不大于时或	ORD < =		9	×	

1. 比较指令的组成格式

(1) 比较指令的组成

比较指令由 3 部分组成

1) 第一部分为助记符, 分别由 ST、AN、OR 开始, 用于指定条件满足后要进行的操作是开始、逻辑与、逻辑或;

2) 第二部分为比较运算符, 主要有等于 (=)、大于 (>)、小于 (<)、大于等于 (>=)、小于等于 (<=) 和不等 (<>) 共 6 种关系, 满足关系则为真、不满足则为假;

3) 第三部分为比较操作数, 可以为常数, 即通常所说的直接寻址方式, 也可以为寄存器的值, 即通常所说的间接寻址方式。第二部分比较运算符指定进行的操作即是针对这两个数。

(2) 比较指令的格式, 如图 7-16 所示。

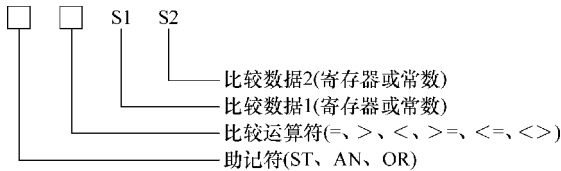


图 7-16 比较指令的一般格式

2. 编程实例

由上述分析可见，比较指令虽然数量较多，但规律性很强，因此只需掌握其典型用法和规律，很容易触类旁通。下面简单举例说明，其他指令具体用法请参见技术手册。

例 7-11 单字加载比较指令。梯形图、指令表如图 7-17 所示。

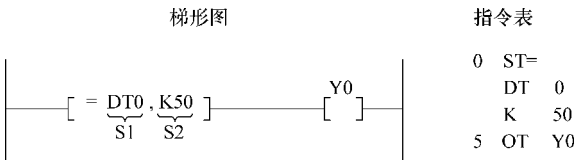


图 7-17 单字加载比较指令

例题说明：

数据寄存器 DT0 的内容与常数 K50 比较，如果 DT0 = K50 时，Y0 为“ON”。

例 7-12 单字串联比较指令。梯形图、指令表如图 7-18 所示。

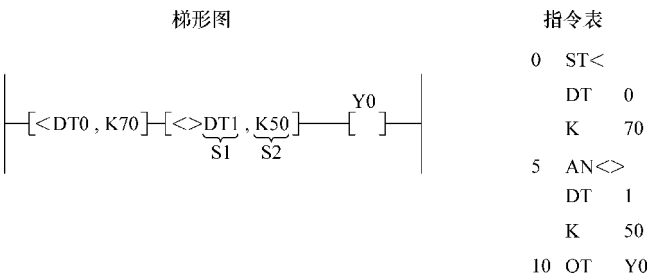


图 7-18 单字串联比较指令

例题说明：

将数据寄存器 DT0 的内容和常数 K70 比较，数据寄存器 DT1 的内容和常数 K50 比较，如果 DT0 < K70，且 DT1 ≠ K50，则 Y0 为“ON”。

例 7-13 双字串联比较指令。梯形图、指令表如图 7-19 所示

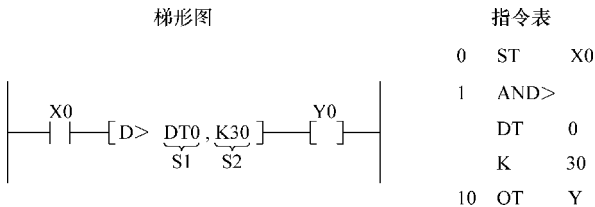


图 7-19 双字串联比较指令

例题说明：

将数据寄存器（DT1，DT0）的内容和常数 K30 比较，如果（DT1，DT0）> K30 且 X0 为“ON”时，Y0 为“ON”。

在程序中可以连续使用多个双字串联比较指令。根据比较条件，将（S1 + 1，S1）指定的双字数据和（S2 + 1，S2）指定的双字数据进行比较，触点的通断取决于比较结果。

例 7-14 单双字比较指令总合应用。梯形图、指令表如图 7-20 所示

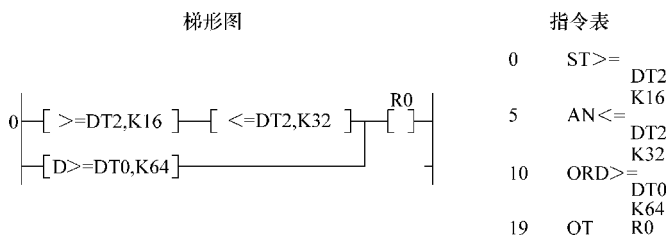


图 7-20 单双字加载比较指令

例题说明：

根据 DT2 中的数据范围，或 (DT1, DT0) 中的内容，来决定 R0 的输出状态。设 DT2 中数据用 x 表示，(DT1, DT0) 中数据用 y 表示，则当 $16 \leq x \leq 32$ ，或者 $y \geq 64$ 时，R0 导通，输出为 ON；否则，R0 断开，输出为 OFF。

7.2 FP1 的高级指令概述

从表 7-1 可见，FP1 系列 PLC 除基本指令以外，还有 100 多条高级指令，使得编程能力大大扩展，所以高级指令又称为扩展功能指令。高级指令有两种类型，即 F 型和 P 型。F 型是当控制触点（触发信号）闭合时，每个扫描周期都要执行的指令；而 P 型是当检测控制触点（触发信号）闭合的上升沿时执行一次，如果在控制过程中需要只执行一次高级指令，可在 F 型高级指令的前面串联微分指令 (DF) 来实现，因此 P 型指令很少使用。

7.2.1 FP1 高级指令的一般格式及操作数

1. FP1 高级指令的一般格式

与基本功能指令书写格式不同，高级指令是用功能编号表示的，由大写字母“F”、指令功能号、助记符和操作数组成，其书写格式如图 7-21 所示。

图 7-21 中： F_n 是指令功能号，不同的功能号规定了指令的不同功能。指令助记符是用指令功能的英文缩写表示，如高级指令 F0，助记符 MV 是英文 MOVE（移动）的缩写。S 是源操作数或源数据区，D 是目的操作数或目的数据区，分别指定操作数或其地址、性质和内容。

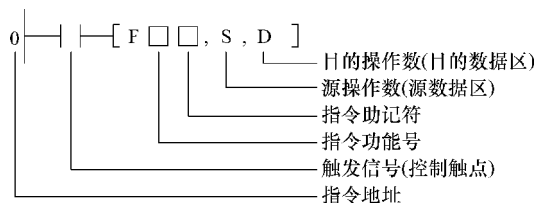


图 7-21 高级指令的一般格式

2. 高级指令的操作数

- 1) 高级指令的操作数可以有一个、两个或者三个。
- 2) 高级指令的源操作数 S 可以是寄存器，也可以是常数；而目标操作数 D 只能是寄存器。
- 3) 高级指令的操作数可以是单字（16 位）和双字（32 位）的数据；若为位操作指令，还可以是位（1 位）数据。对于处理双字的指令，只需给出低 16 位的寄存器名即可。
- 4) 部分指令中所使用的数据长度二进制位（bit）、十六进制位（digit）、字节（Byte）

与字（word）之间的关系见表 7-28。

表 7-28 字数据 DTO（HABCD）

digit3				digit2				digit1				digit0			
A				B				C				D			
bit（15~12）				bit（11~8）				bit（7~4）				bit（3~0）			
1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1

例 7-15 高级指令操作数长度示例。

若数据寄存器 DTO 中存放的数据为十六进制常数 HABCD，则 DTO 作为操作数在不同高级指令中使用，各长度单位（bit、digit、字节与字）之间的关系见表 7-29。

7.2.2 高级指令的类型

1. 高级指令的分类

按照指令的功能，高级指令可分为以下 8 种类型。

- 1) 数据传送指令：16 位、32 位数据，以及位数据的传送、复制、交换等功能。
- 2) 算术运算指令：二进制数和 BCD 码的加、减、乘、除等算术运算。
- 3) 数据比较指令：16 位或 32 位数据的比较。
- 4) 逻辑运算指令：16 位数据的与、或、异或和异或非运算。
- 5) 数据转换指令：16 位或 32 位数据按指定的格式进行转换。
- 6) 数据移位指令：16 位数据进行左移、右移、循环移位和数据块移位等。
- 7) 位操作指令：16 位数据以位为单位，进行置位、复位、求反、测试以及位状态统计等操作。
- 8) 特殊功能指令：包括时间单位的变换、I/O 刷新、进位标志的置位和复位、串口通信及高速计数器指令等。

2. 在使用高级指令时的注意事项

- 1) 高级指令不能直接从左母线引出，前面必须加控制触点，当控制触点闭合时，每个扫描周期执行一次高级指令，高级指令后边不能再串接控制触点，只能并接输出点或其他高级指令。
- 2) 在编程时，如果多条高级指令连续使用同一触发信号，则不必每次都写出该触发信号。如图 7-22 所示。

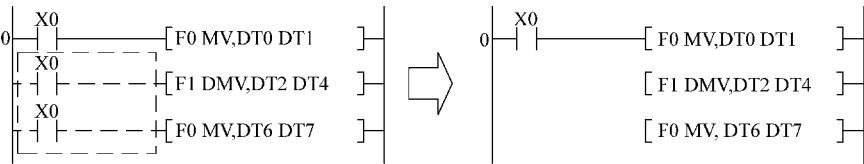


图 7-22 梯形图

- 3) 输入高级指令时，不需输入助记符 F 输入功能号后，助记符自动生成。
- 4) 高级指令中的源操作数一般可以是常数或继电器/寄存器，但目的操作数一般只能

是继电器/寄存器。

5) 高级指令中的操作数一般都有一定的限制，在使用时需要特别注意。

7.3 FP1 的高级指令

高级指令内容很多，而同一类指令的功能和用法却大同小异。为了节省篇幅，下面每类指令均给出列表，且每类选取具有代表性的指令举例说明，其他的指令在此基础上可参考列表中的功能说明或使用手册，举一反三，学习掌握。

7.3.1 数据传送指令

数据传送指令及操作数见表 7-29。该类指令的功能是将源操作数中的数据，按照规定的要求，复制到目的操作数中去，可分为数据传送、位传送、数字传送、块传送及复制、寄存器交换等。

表 7-29 数据传送指令及操作数

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用寄存器										索引 修 正 值
				继电器			定时/ 计数器		寄 存 器	索引 寄存器		常数		
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F0 （MV）	16 位数据传输	5	S											
			D	×								×	×	
F1 （DMV）	32 位数据传输	7	S								×			
			D	×							×	×	×	
F2 （MV/）	16 位数据取反传输	5	S											
			D	×								×	×	
F3 （DMV/）	32 位数据取反传输	7	S								×			
			D	×							×	×	×	
F5 （BTM）	位传输	7	S											
			n											
			D	×								×	×	
F6 （DGT）	十六进制数据传输	7	S											
			n											
			D	×								×	×	
F10 （BKMV）	块传输	7	S1							×	×	×	×	
			S2							×	×	×	×	
			D	×						×	×	×	×	
F11 （COPY）	块复制	7	S											
			D1	×						×	×	×	×	
			D2	×						×	×	×	×	

(续)

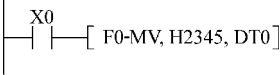
指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用寄存器										
				继电器			定时/ 计数器		寄 存器	索引 寄存器		常数		索引 修正值
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F15 (XCH)	两个单字 (16bit) 数据交换	5	D1	×								×	×	
			D2	×						×	×	×		
F16 (DXCH)	两个双字 (32bit) 数据交换	5	D1	×							×	×	×	
			D2	×							×	×		
F17 (SWAP)	16 位数据高低字节互换	3	D	×								×	×	

1. 数据传送：F0 (MV)、F1 (DMV)、F2 (MV/)、F3 (DMV/)

例 7-16 F0 (MV) 16 位数据传送示例

F0 (MV) 是 16 位数的传送指令，其功能是将 16 位二进制常数或 16 位数据存储单元中的数据传送到另一个 16 位数据存储单元中，指令格式及操作数范围见表 7-30。

表 7-30 指令格式及操作数范围

梯 形 图		布尔非梯形图	
		地 址	指 令
		0 1	ST X1 F0 (MV) H 2345 DT0
S	16 位常数或 16 位数据存储单元，参数没有限制		
D	16 位数据存储单元，参数为除常数和 WX 以外的操作数		

例题说明：当控制触点 X0 闭合时，每个扫描周期都要重复将十六进制常数 H2345 传送到内部字寄存器 DT0 中。

F0 (MV) 指令对源操作数没有要求，而目的操作数不能是输入继电器 WX 和常数 K、H，原因很明显：目的操作数是用来保存结果的，自然不能用输入继电器和常数。后面介绍的其他指令也有类似情况。

例 7-17 F3 (DMV/) 32 位数的求反传送示例

F3 (DMV/) 为 32 位数的求反传送指令，其功能是将 32 位二进制常数或 32 位数据存储单元中的数据取反后传送到另一个 32 位数据存储单元中，指令格式及操作数范围见表 7-31。

表 7-31 指令格式及操作数范围

梯 形 图		布尔非梯形图	
		地 址	指 令
		0 1 2	ST X0 DF F3 (DMV/) WR2 DT0

(续)

梯 形 图		布尔非梯形图	
		地 址	指 令
S	32 位常数或 32 位数据存储单元，参数没有限制		
D	32 位数据存储单元，参数为除常数和 WX 以外的操作数		

例题说明：当触发信号 X0 闭合，仅在检测到 X0 闭合的上升沿时，执行内部继电器 WR3、WR2 中的数据求反并传送到数据寄存器 DT1、DT0 中一次。

与上例相比，该例有 5 点不同，下面加以详细说明。

1) 在控制触点后，增加了微分指令 DF，表示该指令仅在检测到控制触点 X0 闭合时执行一次；

2) F3 (DMV/) 指令助记符的第一个字符为“D”，表示该指令为双字操作，目的操作数为 DT0 寄存器，表示数据保存在寄存器 DT1、DT0 构成的 32 位单元中。在以后的双字操作指令中也遵循这一原则，即由相邻 2 个 16 位寄存器联合构成一个 32 位寄存器，默认指定的是低 16 位寄存器。如果低 16 位区已指定为 (S、D)，则高位自动指定为 (S + 1, D + 1)，本例中：

$$S + 1 \text{ (高位)} = WR3, S \text{ (低位)} = WR2$$

$$D + 1 \text{ (高位)} = DT1, D \text{ (低位)} = DT0$$

3) F3 (DMV/) 指令助记符的最后一个字符为“/”，表示在进行传送时，要对被传送的数据先进行取反，然后将结果送往目的寄存器区。

4) 源操作数和目的操作数都用寄存器方式寻址，源操作数在执行指令后内容不变，目的操作数则被覆盖，相当于执行数据拷贝操作

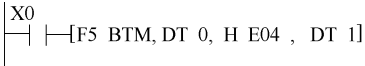
5) 与 F0 (MV) 指令不同的是，S 和 D 不能用 IY 寄存器。IX 和 IY 除用作索引寄存器外，还可以用作通用寄存器。当用作通用 16 位寄存器时，二者可单独使用；当用作 32 位存储区时，二者联用，IX 存低 16 位，IY 存高 16 位，因此程序中只能引用 IX，IY 由系统自动引用，无论是 S 还是 D 均如此。这个规则对于所有的双字 (32-bit) 指令都适用。

2. 位传输：F5 (BTM)、F6 (DGT)

例 7-18 F5 (BTM) 16 位二进制数的位传送示例

F5 (BTM) 为位传送指令，其功能是将一个 16 位二进制数的任意指定位，拷贝到另一个 16 位二进制数据中的任意指定位中去，源操作数和目的操作数所指定的地址，由 n 设定。指令格式及操作数范围见表 7-32。

表 7-32 指令格式及操作数范围

梯 形 图		布尔非梯形图	
		地 址	指 令
	0		ST X0 F5 (BTM)
	1		DT 0 H E04
			DT 1

(续)

梯 形 图		布尔非梯形图	
		地 址	指 令
S	16 位常数或 16 位数据存储单元，参数没有限制		
n	16 位常数或存储单元，指定源操作数和目的存储单元的位地址，除 WX 以外		
D	16 位数据存储单元，参数为除常数和 WX 以外的操作数		

在 F5 (BTM) 指令中，S 为源操作数，是被传送的 16 位常数或寄存器中的数据；D 为目的的操作数，表示接收数据的 16 位目的寄存器；n 是 16 位的操作数，又称传输控制码，它指明了源操作数中哪一位数据将被传送以及传送到目的操作数中的哪一位置。在 n 中，bit0 ~ bit3 用以指定源操作数中哪一位将被传送，bit8 ~ bit11 用以指定被传送数据放在目的操作数的什么位置，bit4 ~ bit7、bit12 ~ bit15 这 8 位未用，可随便取值，不影响结果，为简便计，一般均取为 0。因此，本例中源区位地址取为 H5，目的区位地址取为 HB。n 的设置参见如图 7-23 所示。

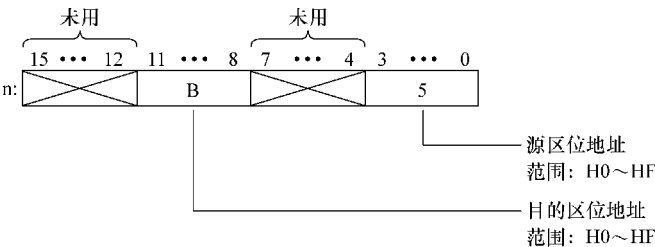


图 7-23 F5 (BTM) 指令的传输控制码定义

例题说明：当触发信号 X0 接通时，数据寄存器 DT0 中第 4 位数据被传送到 DT1 的第 14 位上。如图 7-24 所示。DT0 中的数据由前面的程序赋值，DT1 中的数据可能已经赋值，也可能没有赋值，但是执行完该指令后，DT1 的第 14 位被赋值为 1。

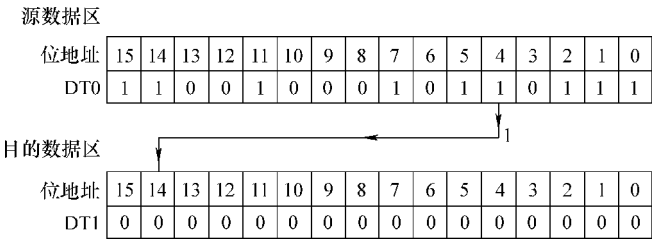
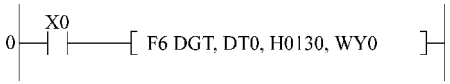


图 7-24 例 7-18 中传递情况

例 7-19 F6 (DGT) 16 位十六进制数 (digit) 的位传送示例

F6 (DGT) 为十六进制数 (digit) 的传送指令，其功能是将一个 16 位常数或存储单元中的十六进制数的若干位 (1 ~ 4 位) 传送到另一个 16 位存储单元的指定位中。每一个单元为 4 位十六进制数，地址为 D3 ~ D0，指令格式及操作数范围见表 7-33。

表 7-33 指令格式及操作数范围

梯 形 图		布尔非梯形图	
		地 址	指 令
		0 1	ST X0 F6 (DGT) DT 0 H0130 WY 0
S	16 位常数或 16 位数据存储单元，参数没有限制		
n	16 位常数或 16 位存储单元，指定源操作数和目的存储单元的位地址，除 WX 以外		
D	16 位数据存储单元，参数为除常数和 WX 以外的操作数		

对于 F6 (DGT)，在 n 的定义上有所不同，一是数据操作的最小单位为十六进制的 1 位，即 1digit，相当于二进制的 4bits；二是要拷贝的数据不像 F5 那样只有 1 位，而是有效范围内的任意位，因此还需要指定参与操作的位数。n 的设置可参考图 7-25。

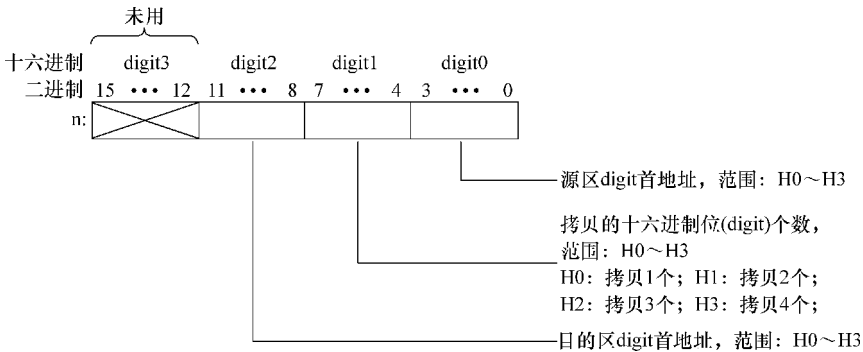


图 7-25 F6 (DGT) 指令的传输控制码定义

由图中可见，n 的 bit12 ~ bit15 未用，以十六进制表示，即 digit3 未用。

为了能够表示数据段，采用的是“首地址 + 段长度”的表示方式，即由 digit2 表示目的区首地址、digit1 表示要拷贝的数据段位数、digit0 表示源区首地址，这样进行操作的数据区地址就可唯一确定。

例题说明：当触发信号 X0 接通时，源区数据寄存器 DT0 中 4 个十六进制位 (digit0 ~ digit3) 拷贝到目的区 WY0 中的 4 个十六进制位 (digit1 ~ digit3, digit0)，将 n 取值为 H0130，其含义如图 7-26 所示，执行情况如图 7-27 所示。

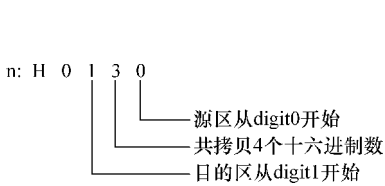


图 7-26 F6 (DGT) 指令的传输控制码示例

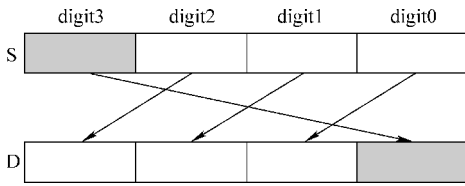


图 7-27 F6 (DGT) 指令执行结果

3. 块传输指令：F10 (BKMV)、F11 (COPY)

(1) F10 (BKMV)：区块传输指令。其功能为将指定的存储单元中的数据块（从源存

储单元的首地址 S1 到末地址 S2 的数据) 传送到另一个指定的存储单元开始的存储区中, 要求 S1 和 S2 应为同一类型的寄存器, 且 $S2 \geq S1$ 。

(2) F11 (COPY): 块拷贝指令。其功能是将指定的一个常数或存储单元中的数据复制到另一个指定的存储单元开始的存储区中 (从目的存储单元的首地址 D1 到末地址 D2), 要求 D1 和 D2 应为同一类型的寄存器, 且 $D2 \geq D1$ 。

例 7-20 F10 (BKMV) 数据块传送示例

F10 (BKMV) 为数据块传送指令, 指令格式及操作数范围见表 7-34。

表 7-34 指令格式及操作数范围

梯 形 图		布尔非梯形图	
		地 址	指 令
		0 1	ST X1 F10 (BKMV) WR 0 WR 5 DT6
S1	源存储单元的首地址, 参数为除了常数和 IX/IY 以外的操作数		
S2	源存储单元的末地址, 参数为除了常数和 IX/IY 以外的操作数		
D	目的存储单元的首地址, 参数为除常数、WX、IX/IY 以外的操作数		

例题说明: 当触发信号 X1 接通时, 该指令将 WR0 ~ WR5 的连续 6 个单元的数据块分别传送到 DT6 开始的 6 个单元 (DT6 ~ DT12) 中。

4. 数据交换指令: F15 (XCH)、F16 (DXCH)、F17 (SWAP)

(1) F15 (XCH): 16 位数据交换。其功能是将 D1 和 D2 寄存器中的 16 位数据互相交换。

(2) F16 (DXCH): 32 位数据交换。其功能是将 (D1 + 1, D1) 寄存器中的 32 位数据与 (D2 + 1, D2) 中的 32 位数据互换。

(3) F17 (SWAP): 16 位数据的高低字节互换。其功能是将 D 寄存器中的 16 位数据高 8 位和低 8 位互换。

例 7-21 F17 (SWAP) 16 位数据高/低字节互换示例

F17 (SWAP) 为 16 位数据高/低字节互换指令, 其指令格式及操作数范围见表 7-35 所示。

表 7-35 指令格式及操作数范围

梯 形 图		布尔非梯形图	
		地 址	指 令
		0 1	ST X1 F17 (SWAP) DT 5
D	16 位数据存储单元, 参数为除常数和 WX 以外的操作数		

例题说明：若 DT5 = H5678，当触发信号 X1 接通时，DT5 中的高字节和低字节数据互相交换，即指令执行一次后，DT1 = H7856。

7.3.2 算术运算指令

算术运算指令共有 32 条，其中二进制数（BIN）算术运算指令和 BCD 算术运算指令各 16 条，这类指令规律性很强，因此，书中仅对其规律加以总结分析，掌握规律后，结合表 7-36和表 7-37，不难掌握这类指令。

表 7-36 BIN（二进制）数据算术运算指令及操作数

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可 用 寄 存 器										索引修正值
				继电器			定时/计数器		寄存器	索引寄存器		常数		
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F20(+)	16 位数据加 (D) + (S)→(D)	5	S											
			D	×							×	×		
F21(D +)	32 位数据加 (D + 1, D) + (S + 1, S) →(D + 1, D)	7	S								×			
			D	×							×	×	×	
F22(+)	16 位数据加 (S1) + (S2)→(D)	7	S1											
			S2											
			D	×								×	×	
F23(D +)	32 位数据加 (S1 + 1, S1) + (S2 + 1, S2) →(D + 1, D)	7	S1								×			
			S2								×			
			D	×							×	×	×	
F25(-)	16 位数据减 (D) - (S)→(D)	5	S											
			D	×								×	×	
F26(D -)	32 位数据减 (D + 1, D) - (S + 1, S) →(D + 1, D)	7	S								×			
			D	×							×	×	×	
F27(-)	16 位数据减 (S1) - (S2)→(D)	5	S1											
			S2											
			D	×								×	×	
F28(D -)	32 位数据减 (S1 + 1, S1) - (S2 + 1, S2) →(D + 1, D)	11	S1								×			
			S2								×			
			D	×							×	×	×	
F30(*)	16 位数据乘 (S1) × (S2)→(D + 1, D)	7	S1											
			S2											
			D	×							×	×	×	
F31(D *)	32 位数据乘(S1 + 1, S1) × (S2 + 1, S2)→(D + 1, D)	11	S1								×			
			S2								×			
			D	×						×	×	×	×	

(续)

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可 用 寄 存 器										索引 修正值
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数		
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F32(%)	16 位数据除 (S1)/(S2)→(D) ...(DT9015)	7	S1											
			S2											
			D	×							×	×		
F33(D%)	32 位数据除(S1 + 1, S1)/ (S2 + 1, S2)→(D + 1, D) ...(DT9016, DT9015)	7	S1								×			
			S2								×			
			D	×						×	×	×		
F35(+1)	16 位数据加 1 (D) + 1→(D)	3	D	×								×	×	
F36(D + 1)	32 位数据加 1 (D + 1, D) + 1→(D + 1, D)	3	D	×							×	×	×	
F37(-1)	16 位数据减 1 (D) - 1→(D)	3	D	×								×	×	
F38(D - 1)	32 位数据减 1 (D + 1, D) - 1→(D + 1, D)	3	D	×							×	×	×	

表 7-37 BCD 算术运算指令及操作数

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可 用 寄 存 器										继电器
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数		
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F40(B +)	4 位 BCD 数加 (D) + (S)→(D)	5	S											
			D	×								×	×	
F41(DB +)	8 位 BCD 数加 (D + 1, D) + (S + 1, S) →(D + 1, D)	7	S								×			
			D	×							×	×	×	
F42(B +)	4 位 BCD 数加 (S1) + (S2)→(D)	7	S1											
			S2											
			D	×								×	×	
F43(DB +)	8 位 BCD 数加 (S1 + 1, S1) + (S2 + 1, S2) →(D + 1, D)	11	S1								×			
			S2								×			
			D	×							×	×	×	
F45(B -)	4 位 BCD 数减 (D) - (S)→(D)	5	S											
			D	×								×	×	
F46(DB -)	8 位 BCD 数减 (D + 1, D) - (S + 1, S) →(D + 1, D)	7	S								×			
			D	×							×	×	×	

(续)

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用 寄 存 器										
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数		继电器
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F47(B-)	4 位 BCD 数减 (S1) - (S2)→(D)	7	S1											
			S2											
			D	×								×	×	
F48(D-)	8 位 BCD 数减 (S1 + 1, S1) - (S2 + 1, S2) →(D + 1, D)	11	S1								×			
			S2								×			
			D	×							×	×	×	
F50(B*)	4 位 BCD 数乘 (S1) × (S2)→(D + 1, D)	7	S1											
			S2											
			D	×							×	×	×	
F51(DB*)	8 位 BCD 数乘 (S1 + 1, S1) × (S2 + 1, S2)→ (D + 3, D + 2, D + 1, D)	11	S1								×			
			S2								×			
			D	×						×	×	×	×	
F52(B%)	4 位 BCD 数除 (S1)/(S2)→(D) ...(DT9015)	7	S1											
			S2											
			D	×								×	×	
F53(DB%)	8 位 BCD 数除 (S1 + 1, S1)/(S2 + 1, S2)→ (D + 1, D) ...(DT9016, DT9015)	11	S1								×			
			S2								×			
			D	×							×	×	×	
F55 (B + 1)	16 位数据加 1 (D) + 1→(D)	3	D	×								×	×	
F56 (DB + 1)	32 位数据加 1 (D + 1, D) + 1→(D + 1, D)	3	D	×							×	×	×	
F57 (B - 1)	16 位数据减 1 (D) - 1→(D)	3	D	×								×	×	
F58 (DB - 1)	32 位数据减 1 (D + 1, D) - 1→(D + 1, D)	3	D	×							×	×	×	

1. 指令分类

按照进位制可分为二进制 BIN 算术运算指令和 BCD 码算术运算指令，各为 16 条指令，后者在指令中增加大写字母“B”以示区别。这两类指令除码制不同外，概念及格式上是一一对应的，甚至在指令功能编号上，均是相差 20。对于同样的运算，在 BIN 码指令中，参与运算的是 16 位或 32 位二进制数，而在 BCD 码指令中，参与运算的是 4 位或 8 位 BCD 码数据，对应的也是 16 位或 32 位二进制数。如 [F20 + S, D] 和 [F40 B + S, D]，前者表示将 S 和 D 中的 16 位二进制（BIN）数相加，结果送到 D 中去，后者表示将 S 和 D 中的 4 位 BCD 码数据相加，结果送到 D 中去。这两条指令在功能上十分类似，仅是操作数采用的码

制不同，其规律性是显而易见的。

按照参与运算的数据字长（位数）可以分为单字（16bit）和双字（32bit）指令，后者在助记符中以大写字母“D”区别，在 FPI 的其他指令中也是采用这种方式。如 [F25 - S, D] 和 [F26 D - S, D]，前者是 16 位的减法运算，可表示为 $(D) - (S) \rightarrow (D)$ ，即将 D 寄存器中的数减去常数 S 或 S 寄存器中的数，然后将结果存到 D 寄存器中；后者为 32 位减法运算，这时虽然只有低位寄存器被指定，操作数寄存器的高位连续的寄存器就要自动参与计算，可以表示为 $(D + 1, D) - (S + 1, S) \rightarrow (D + 1, D)$ ，含义是将 $(D + 1, D)$ 两个连续寄存器中的 32 位数据减去常数 S 或 $(S + 1, S)$ 两个连续寄存器中的 32 位数据，结果存于 $(D + 1, D)$ 中。

按照运算规则可分为加、减、乘、除四则运算，以及加 1、减 1 共 6 种基本运算。其中，加 1 和减 1 可以看做是加、减运算的特例，执行步数为 3 步，而普通加、减运算执行步数最少也为 5 步，因此，在有些程序中适当选用加 1 和减 1 指令可起到提高扫描速度的作用。

按照参与运算的操作数的多少可分为一操作数、二操作数和三操作数。一个操作数的情况仅见于加 1 和减 1 指令，类似于递增或递减计数器的功能。二操作数的情况仅用于加、减运算，以 D 表示被加数或被减数，以 S 表示加数或减数，同时运算结果直接存于 D 中。三操作数则分别用于加、减、乘、除四种运算，以 S1 表示被加（减、乘、除）数，以 S2 表示加（减、乘、除）数，运算结果存于 D 中。

2. 操作数的数据范围

- 1) 16 位二进制数：-32768 ~ 32767 或 H8000 ~ H7FFF。
- 2) 32 位二进制数：-2147483648 ~ 2147483647 或 H80000000 ~ H7FFFFFFF。
- 3) 4 位 BCD 码：0 ~ 9999。
- 4) 8 位 BCD 码：0 ~ 99999999。

3. 运算标志

算术运算要影响标志继电器，包括特殊内部继电器 R9008、R9009 和 R900B。这里仅对影响情况做简单概括，详细情况需要结合具体的指令，参考手册学习掌握。

1) R9008：错误标志。当有操作错误发生时，R9008 接通一个扫描周期，并把发生错误的地址存入 DT9018 中。

2) R9009：进位、借位或溢出标志。当运算结果溢出或由移位指令将其置 1 时，R9009 接通一个扫描周期。

3) R900B：0 结果标志。当比较指令中比较结果相同，或是算术运算结果为 0 时，R900B 接通一个扫描周期。

4. 注意事项

算术运算一般都是一次性的，而 PLC 采用的是扫描执行方式，因此该类指令常常和微分指令（DF）联合使用。下面举例对算术指令加以说明。

例 7-22 用算术运算指令完成下列算式，各步结果存放在 DT0 ~ DT6 中要求 X1 闭合时开始运算，X0 闭合时各单元清零，且清零优先。

$$\frac{(1235 + 750) \times 1567 - 5600}{256}$$

解：使用二进制（BIN）运算指令实现时，梯形图如图 7-28 所示。同样的功能也可采用 BCD 码运算指令实现。



图 7-28 算术运算指令综合示例

7.3.3 数据比较指令

数据比较指令是一类比较常用的指令，包括 16 位或 32 位数据比较指令、一个 16 位或 32 位数据与数据区间进行比较、数据块比较等 5 条指令。比较的结果用特殊内部继电器 R9009、R900A、R900B 和 R900C 的状态来表示，见表 7-38 和表 7-39。

表 7-38 数据传送指令及操作数

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用寄存器										索引 修正 值
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数		
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F60（CMP）	16 位数据比较	5	S1											
			S2											
F61（DCMP）	32 位数据比较	9	S1								×			
			S2								×			
F62（WIN）	16 位数据区间比较	7	S1											
			S2											
			S3											
F63（DWIN/）	32 位数据区间比较	13	S1								×			
			S2								×			
			S3								×			
F64（BCMP）	数据块比较	7	S1											
			S2							×	×	×	×	
			S3							×	×	×	×	

1. 16 位或 32 位数据比较指令：F60 (CMP)、F61 (DCMP)

这两种指令的功能基本相同：即当控制触点闭合时，将 S1 指定数据与 S2 指定数据进行比较，比较的结果反映到标志位中。

例 7-23 F60 (CMP) 指令应用示例，如图 7-29 所示。

F60 (CMP) 为 16 位数据的比较指令，其功能是将 S1 指定的 16 位数据与 S2 指定的 16

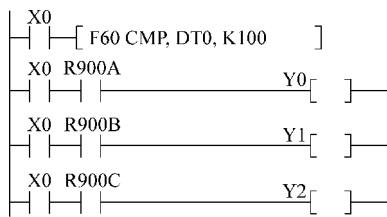


图 7-29 F60（CMP）指令示例

位数据进行比较，比较的结果存储在特殊内部继电器 R900A ~ R900C 中。F60（CMP）指令对标志位影响见表 7-39。

表 7-39 16 位数据比较指令 F60（CMP）对标志位影响

		标志位结果			
		R900A	R900B	R900C	R9009
		> 标志	= 标志	< 标志	进位标志
有符号数比较	S1 < S2	OFF	OFF	ON	—
	S1 = S2	OFF	ON	OFF	OFF
	S1 > S2	ON	OFF	OFF	—
数据或无符号二进制数比较	S1 < S2	—	OFF	—	ON
	S1 = S2	OFF	ON	OFF	OFF
	S1 > S2	—	OFF	—	OFF

例题说明：当触发信号 X0 接通时，将数据寄存器 DT0 中的数据与十进制常数（K100）进行比较，当 DT0 > K100 时，R900A 为“ON”，输出继电器 Y0 接通。当 DT0 = K100 时，R900B 为“ON”，Y1 接通。DT0 < K100 时，R900C 为“ON”，Y2 接通。本例的程序也可以用堆栈操作指令 PSHS、RDS 和 POPS 来编写。

注意事项：

- 1) 指令中 S1、S2 既可以是常数，也可以存放数据的寄存器
- 2) 如果程序中多次使用 F60（CMP）指令，则标志继电器的状态总是取决于前面 最临近的比较指令。为了保证使用中不出现混乱，一个办法是在比较指令和标志 继电器前使用相同的控制触点来进行控制；另一个办法是在比较指令后立即使用 相关的标志继电器。

2. 16 位和 32 位数据区间比较指令：F62（WIN）、F63（DWIN）

这两种指令的功能类似：当控制触点闭合时，将 S1 指定数据与 S2 指定下限、S3 指定上限的数据区间中的数据比较，比较的结果反映到标志位中。

例 7-24 F62（WIN）指令应用示例，如图 7-30 所示。

F62（WIN）为 16 位数据块的比较指令，其功能是将 S1 指定的 16 位常数或 16 位存储单元中的数据与 S2 和 S3 指定的数据块相比较，以检查 S1 是否在数据块的下限 S2 和上限 S3 之间，或大于 S3，或小于 S2，

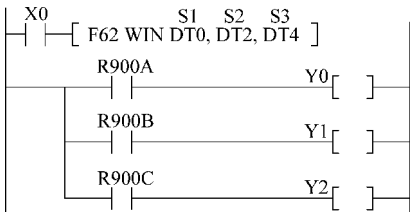


图 7-30 F62（WIN）指令示例

比较的结果存储在 R900A、R900B 和 R900C 中。F62 (WIN) 对标志位影响如表 7-40。

表 7-40 16 位数据区间比较指令 F62 (WIN) 对标志位影响

	标志位结果		
	R900A	R900B	R900C
	> 标志	= 标志	< 标志
$S1 < S2$	OFF	OFF	ON
$S2 \leq S1 \leq S3$	OFF	ON	OFF
$S1 > S3$	ON	OFF	OFF

例题说明：当触发信号 X0 接通时，将数据寄存器 DT0 中的内容与数据寄存器 DT2 中的内容（数据区段的下限）和 DT4 中的内容（数据区段的上限）进行比较，比较结果存储在特殊内部继电器 R900A ~ R900C 中

当 DT0 数据 > DT4 数据时，R900A 为“ON”，输出继电器 Y0 接通。当 DT2 数据 $\leq$ DT0 数据 $\leq$ DT4 数据时，R900B 为“ON”，Y1 接通。当 DT0 数据 < DT2 数据时，R900C 为“ON”，Y2 接通。

3. 数据块比较指令：F64 (BCMP)

F64 (BCMP) 为数据块比较指令。

该指令功能为：当控制触点闭合时，根据 S1 指定的比较参数，包括数据块的起点和长度，比较由 S2 指定首地址的数据块和由 S3 指定首地址的数据块中的内容，当两个数据块完全相同时，特殊内部继电器 R900B 接通。

S1 指定的比较参数的定义如图 7-31 所示。

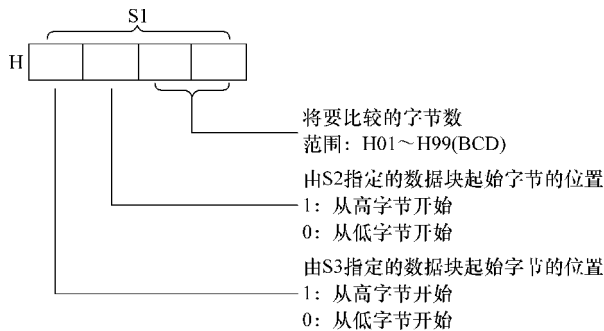


图 7-31 数据块比较指令中 S1 的设置

7.3.4 逻辑运算指令

逻辑运算指令见表 7-41，包括与、或、异或和异或非 4 种。其功能为当触发信号接通时，将 S1 和 S2 指定的 16 位常数或 16 位存储单元中的数据进行逻辑运算，结果存储在由 D 指定的 16 位存储单元中。如果 S1 和 S2 指定的是十进制常数，则被转换成 16 位二进制数进行运算。

表 7-41 逻辑运算指令及操作数

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用寄存器										索引 修正 值
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数		
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F65 （WAN）	16 位数据与	7	S1											
			S2											
			D	×							×	×		
F66 （WOR）	16 位数据或	7	S1											
			S2											
			D	×							×	×		
F67 （XOR）	16 位数据异或	7	S1											
			S2											
			D	×							×	×		
F68 （XNR）	16 位数据异或非	7	S1											
			S2											
			D	×							×	×		

7.3.5 数据转换指令

数据转换指令包含各种数制、码制之间的相互转换以及数据的求反、求补、取绝对值；符号位的扩展等操作、解码、编码、译码、数据分离、数据组合、数据查表等数据变换指令，见表 7-42。通过这些指令，在程序中可以较好地解决 PLC 输入、输出的数据类型与内部运算数据类型不一致的问题。这些指令运用得当还可以实现各种复杂控制。

表 7-42 数据转换指令及操作数

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用寄存器										索引 修正 值	
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数			
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H		
F70（BCC）	计算区块检查码 并存放在 D 中	9	S1												
			S2							×	×	×	×		
			S3												
			D	×						×	×	×	×		
F71（HEXA）	十六进制数→ ASCII	7	S1								×	×	×	×	
			S2												
			D	×							×	×	×	×	
F72（AHEX）	ASCII 码→ 十六进制数	7	S1								×	×	×	×	
			S2												
			D	×							×	×	×	×	

(续)

[illegible]

(续)

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用寄存器										
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数		索引 修正 值
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F88 (DABS)	32 位二进制数取绝对值	3	D	×								×	×	
F89 (EXT)	16 位数据符号位扩展	3	D	×							×	×	×	
F90 (DECO)	指定数据解码	7	S							×	×	×	×	
			n											
			D	×								×	×	
F91 (SEGT)	16 位数据 七段显示解码	5	S											
			D	×						×	×	×		
F92 (ENCO)	指定数据解码	7	S							×	×	×	×	
			n											
			D	×						×	×			
F93 (UNIT)	16 位数据组合	7	S							×	×	×	×	
			n											
			D	×								×	×	
F94 (DIST)	16 位数据分离	7	S											
			n											
			D	×						×	×	×	×	
F95 (ASC)	字符→ASCII	15	S	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×
			D	×							×	×	×	×
F96 (SRC)	32 位表数据查找	7	S1											
			S2	×						×	×	×	×	
			S3	×						×	×	×	×	

1. 区块检查码计算指令：F70 (BCC)

F70 (BCC) 指令常用于数据通信时检查数据传输是否正确。该指令是 FP1 指令系统中惟一的一条四操作数的指令。

指令功能：根据 S1 中的值所指定的计算方法，计算由 S2 指定首地址，长度为 S3（字节数）的 16 位寄存器区的检查码 BCC，区块检查码结果存放在 D 指定的 16 位寄存器的低 8 位中。

该指令用于检测信息传输过程中的错误，其中 S1 指定了使用十进制数据计算区块检查码 BCC 的方法。当 S1 = K0 时，作加法运算；当 S1 = K1 时，作减法运算；当 S1 = K2 时，作异或运算。S2 参与计算的数据区首地址。S3 参与计算

的数据字节数。D 存放计算结果的寄存器。

例 7-25 区块检查码计算指令示例。如图 7-32 所示。

例题说明：当触发信号 X0 接通时，通过执行异或运

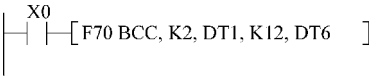


图 7-32 区块检查码计算指令示例

算, 计算从数据寄存器 DT0 开始的 12 个字节 ASCII 码数的区块检查码 (BCC), 结果存储在 DT6 的低字节。

2. 码制变换指令: F71 ~ F83

1) F71 ~ F83 是 8 条三操作数的码制变换指令, 分别实现十六进制数据、BCD 码、16 位二进制数据、32 位二进制数据与 ASCII 间的互换, 其操作数 S1、S2 和 D 的意义如下:

S1 为参加变换的常数或寄存器, 32 位数据时指的是低 16 位寄存器地址。S2 为指定参加变换的字节数 (二进制) 或字符数 (ASCII), 视指令而定。

D 为存放变换结果的 16 位寄存器或 32 位数据的低 16 位寄存器地址。可用除 WX、IX、IY、K、H 外的寄存器。

例 7-26 F76 (ABIN) 指令应用示例, 如图 7-33 所示。

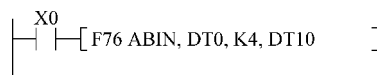


图 7-33 F76 (ABIN)
指令应用示例

F76 (ABIN) 是将 ASCII 码数转换成二进制数的指令, 其功能是根据 S2 指定的内容, 将起始于 S1 指定的 16 位存储单元的 ASCII 数转换成 16 位二进制数, 结果存储在由 D 指定的存储单元中。被转换的 ASCII 码数在 S1 中要颠倒顺序存储, S2 设定被转换的 ASCII 码数的字节数。

例题说明: 当 X0 接通时, 在 DT0 和 DT1 中的 4 个 ASCII 码数转换成 16 位二进制数, 结果存储在 DT10 中, 如图 7-34 所示。

源地址	DT1		DT0	
ASCII(H)	33	32	31	2D
ASCII(B)	0011 0011	0011 0010	0011 0001	0010 1101



目的地址	DT10高字节		DT10低字节	
十进制数	-123			
二进制数	1111	1111	1000	0101

图 7-34 S2 = K4 时的结果

注意事项: 如果由 S1 和 S2 指定的区域大于要转换的数据, 要确保在存储 ASCII 码数时, 从高字节开始存储在 S1 和 S2 指定的区域中, 将多余的字节置为 “0” (ASCII 为 H30) 或 “空格” (ASCII 为 H20)。

2) F80 ~ F83 是 4 条双操作数的码制变换指令, 分别实现 16 位和 32 位二进制数据与 BCD 码数据间的互换, 其操作数 S 和 D 的意义如下:

S 为参加变换的常数或寄存器。D 为存放变换结果的 16 位寄存器或 32 位数据的低 16 位寄存器地址。

例 7-27 F80 (BCD) 指令应用示例, 如图 7-35 所示。

F80 (BCD) 是将 16 位二进制数转换成 4 位 BCD 码数的指令, 其功能是将 S 指定的 16 位二进制数转换成 BCD 码数, 结果存储在 D 中, 被转换的数据要在 K0 (H0) ~ K9999 (H270F) 的范围内。

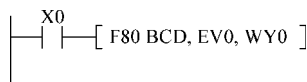


图 7-35 F80 (BCD)
指令应用示例

例题说明: 当触发信号 X0 接通时, 定时器当前值存储单元 EV0 中的数据被转换成 4 位 BCD 码数, 结果存储在输出继电器 WY0 中, 如图 7-36 所示。

3. 数据计算指令：F84 ~ F88

F84 ~ F88 这 5 条指令是将 D 指定的 16 位数据或 32 位二进制数据分别求反、求补、取绝对值，并将结果存储在 D 或 (D + 1, D) 中。操作数 D 不可用寄存器 WX、K、H。

源地址	EV0			
二进制	0000	1001	0010	1001



目的地址	WY0			
十进制	2	3	4	5
BCD(B)	0010	0011	0100	0101

图 7-36 指令的执行结果

4. 16 位数据符号位扩展指令：F89 (EXT)

F89 (EXT) 是 16 位二进制数符号位的扩展指令，其功能为将 D 指定的 16 位数据的符号位全部复制到 D + 1 寄存器的各个位中，保留 D 寄存器，扩展结果作为 32 位数据存储于 (D + 1, D) 中。用该指令可将 16 位数据转变为 32 位数据。

例 7-28 F89 (EXT) 指令应用示例。如图 7-37。

例题说明：当触发信号 X0 接通时，该指令将 DT0 中数据的符号位复制到 DT1 中，存放在 DT0 和 DT1 中的数据就可作为 32 位二进制数来处理，如图 7-38 所示。其中 DT0 中的数据 HFB2E 是 “- 1234” 的补码。若 DT0 = H1234，则指令执行后 DT0 = H1234，DT1 = H0，即将 DT0 的符号位 “0” 扩展到 DT1 中，DT1 中的每一位都是 0。

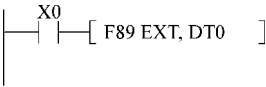


图 7-37 F89 (EXT) 指令应用举例

源地址	DT0			
二进制	1111	1101	0010	1110
十六进制	F	B	2	E



目的地址	DT1				DT0			
二进制	1111	1111	1111	1111	1111	1101	0010	1110
十六进制	F	F	F	F	F	B	2	E

图 7-38 指令的执行结果

5. 编码/解码指令：F90 ~ F92

1) F90 (DECO) 是解码指令，其功能是将 S 指定的 16 位二进制数根据 n 的设定进行解码，解码的结果存储在起始于 D 指定的存储单元的区域中。

其中，S 为参与解码的数据或寄存器，n 用十六进制数规定待解码的起始位和解码的位数，如图 7-39 所示。解码的位数与结果的关系见表 7-43。

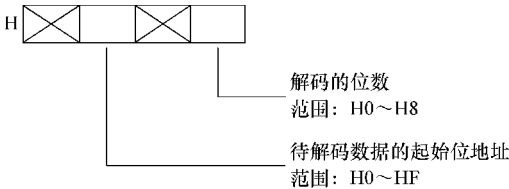


图 7-39 n 的格式示意图

表 7-43 解码的位数与结果的对应关系

解码的位数	存储结果的单元数/字	结果的有效位
1	1	2
2	1	4
3	1	8
4	1	16
5	2	32
6	4	64
7	8	128
8	16	256

例 7-29 F90（DECO）指令应用示例。如图 7-40 所示。

例题说明：当触发信号 X0 接通时，将 WX1 中第 7 位开始的 5 位二进制数解码，结果存储在 DT0 中，5 位二进制数为“01010”，对应的位地址是 K10，解码后将目的单元的第 10 位置 1，其余的数据位全为 0，如图 7-41 所示。

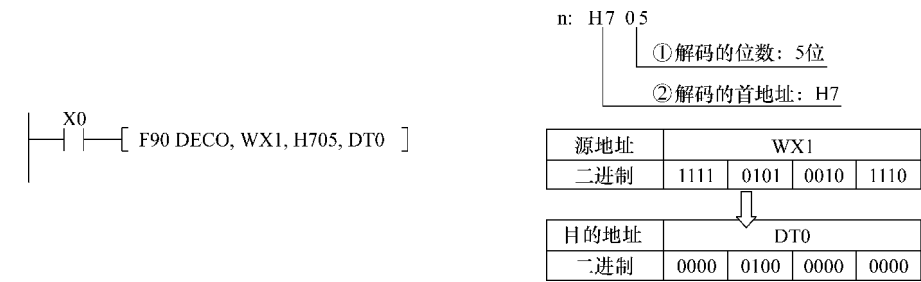


图 7-40 F90（DECO）指令应用示例

图 7-41 解码的结果

如果解码条件 n 规定的起始位地址为 H0（位地址为 0），解码的位数为 H4（4 位），即对 4 位数据解码时，解码结果（16 位二进制数）见表 7-44。

表 7-44 n = 4 解码结果的对应关系

待解码的数据 [二进制（十进制）]	解 码 结 果			
	15 ~ 12	11 ~ 8	7 ~ 4	3 ~ 0
0000（K0）	0000	0000	0000	0001
0001（K1）	0000	0000	0000	0010
0010（K2）	0000	0000	0000	0100
0011（K3）	0000	0000	0000	1000
0100（K4）	0000	0000	0001	0000
0101（K5）	0000	0000	0010	0000
0110（K6）	0000	0000	0100	0000
0111（K7）	0000	0000	1000	0000
1000（K8）	0000	0001	0000	0000

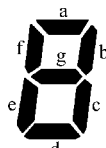
(续)

待解码的数据 [二进制 (十进制)]	解 码 结 果			
	15 ~ 12	11 ~ 8	7 ~ 4	3 ~ 0
1001 (K9)	0000	0010	0000	0000
1010 (K10)	0000	0100	0000	0000
1011 (K11)	0000	1000	0000	0000
1100 (K12)	0001	0000	0000	0000
1101 (K13)	0010	0000	0000	0000
1110 (K14)	0100	0000	0000	0000
1111 (K15)	1000	0000	0000	0000

2) F91 (SEGT) 是十六进制数的 7 段解码指令，其功能是将 S 指定的 4 位十六进制数转换成 7 段 LED 数码管（共阴）显示对应的字形码，结果存储在起始于 D 指定的 16 位存储单元的存储区域中。其中，S 为被译码的数据或寄存器。D 为存放译码结果的寄存器首地址。

在执行该指令时，将每 4 位二进制码译成 7 位的 7 段显示码，数码的前面补 0 变成 8 位。7 段转换结果见表 7-45。

表 7-45 7 段解码表

解码的数据		7 段字形码 的对应关系	7 段解码的结果 (B)								7 段解码的结果 (H)	7 段显示
十 六 进 制	二 进 制		/	g	f	e	d	c	b	a		
H0	0000		0	0	1	1	1	1	1	1	3F	0
H1	0001		0	0	0	0	0	1	1	0	06	1
H2	0010		0	1	0	1	1	0	1	1	5B	2
H3	0011		0	1	0	0	1	1	1	1	4F	3
H4	0100		0	1	1	0	0	1	1	0	66	4
H5	0101		0	1	1	0	1	1	0	1	6D	5
H6	0110		0	1	1	1	1	1	0	1	7D	6
H7	0111		0	0	1	0	0	1	1	1	27	7
H8	1000		0	1	1	1	1	1	1	1	7F	8
H9	1001		0	1	1	0	1	1	1	1	6F	9
HA	1010		0	1	1	1	0	1	1	1	77	A
HB	1011		0	1	1	1	1	1	0	0	7C	b
HC	1100		0	0	1	1	1	0	0	1	39	C
HD	1101		0	1	0	1	1	1	1	0	5E	d
HE	1110		0	1	1	1	1	0	0	1	79	E
HF	1111		0	1	1	1	0	0	0	1	71	F

例 7-30 F91 (SEGT) 指令应用举例。如图 7-42 所示。

功能说明：

当触发信号 X0 接通时，DT0 中的数据被转换成 4 位十六进制数对应的 7 段字形码，结果存储在 WY1 和 WY0 中，如图 7-43 所示。

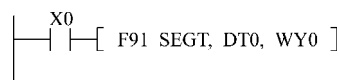


图 7-42 F91 (SEGT)
指令应用举例

源地址	DT0高字节		DT0低字节	
十六进制	5	6	E	F
二进制	0101	0110	1110	1111
	↓ ↓		↓ ↓	
目的地址	WY1		WY0	
十六进制	6D	7D	79	71
二进制	0110 1101	0111 1101	0111 1001	0111 0001
7段显示	5	6	E	F

图 7-43 指令的执行结果

3) F92 (ENCO) 为编码指令，其功能是将 S 指定的 16 位二进制数根据 n 的规定进行编码，结果存储在起始于 D 指定的 16 位存储单元的存储区域中，存储结果的单元中无效位设置为 0

其中，S 为被编码的数据或寄存器首地址，n 为编码控制字或存放控制字的寄存器。控制字 n 的格式如图 7-44 所示。

nL 为 n 的 bit0 ~ bit3，用于设定编码数据的有效位长度，nL 的取值范围为 H1 ~ H8。S 的有效位长度 = 2nL。

nH 为 n 的 bit8 ~ bit11，用于设定 D 寄存器从哪位开始存放结果，nH 取值范围为 H0 ~ HF。

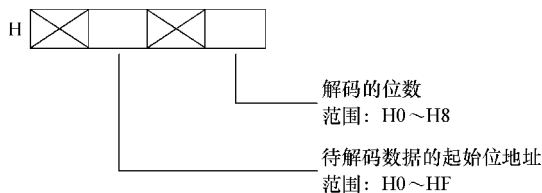


图 7-44 n 的格式示意图

6. 数据组和/分离指令：F93、F94

1) F93 (UNIT) 是 16 位二进制数的组合指令，其功能是将 S 指定的 1 ~ 4 个 16 位存储单元的最低 4 位取出来组合成一个字，结果存储在 D 指定的 16 位存储单元中。

S：存放被组合数据的寄存器首地址

n：规定了被组合数据的个数，范围 n = K0 ~ K4。当 n = K0 时，不执行该命令。

D：存放组合结果的寄存器。当 n < K4 时，D 中未被占用的高位数据位被自动复位为 0。

2) F94 (DIST) 是 16 位二进制数的分离指令，其功能是将 S 指定的 4 位十六进制数分离，结果依次存储在 D 开始的 1 ~ 4 个 16 位存储单元的低 4 位（位地址 0 ~ 3），其余的数据位保持不变。

S：参与分离的数据或寄存器

n：规定了分离数据的个数，范围 n = K0 ~ K4。当 n = K0 时，不执行该命令。

D：存放组合结果的寄存器首地址。分离结果只存放在寄存器的低四位中，D 中未被占用的高位数据位被自动复位为 0。

7. 字符→ASCII 转换指令：F95 (ASC)

F95 (ASC) 是将字符常数转换成 ASCII 码的指令，其功能是将 S 指定的字符常数（以

M 开始) 转换成对应的 ASCII 码, 结果存储在 D 指定的 16 位存储单元开始的存储区域中。规定 S 指定的字符个数不得多于 12 个, 即 D 指定的 16 位寄存器区不得多于 6 个。

8. 表数据查找指令：F96 (SRC)

F96 (SRC) 是在 16 位存储单元中查找指定数据的指令, 其功能是在 S2 (首地址) 和 S3 (末地址) 指定的存储区域中查找与 S1 的内容相同的数据。

(1) 首地址 S2 和末地址 S3 必须满足如下条件:

- 1) S2 和 S3 属于同一类型的操作数。
- 2) $S2 \leq S3$, 数据从 S2 ~ S3 进行搜寻。

(2) 当查找完成时, 查找结果存储如下:

- 1) 与 S1 的内容相同的数据个数存储在特殊数据寄存器 DT9037 中。
- 2) 从 S2 开始的第一个存储单元算起, 第一次发现该数据的位置被存储在特殊数据寄存器 DT9038 中。

例 7-31 F96 (SRC) 指令应用示例。如图 7-45 所示。

例题说明: 当触发信号 X0 接通时, 该指令在 DT10 ~ DT20 中查找与 DT0 内容相同的数。查找完成后, 查找到与 DT0 内容相同的数据的次数存储在 DT9037。从 DT10 开始, 第一次发现该数据的位置存储在 DT9038, 如图 7-46 所示。

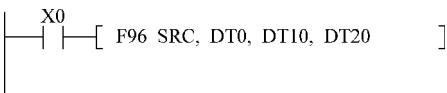


图 7-45 F96 (SRC) 指令应用示例

源地址(S1)	DT0			
十六进制数	1	2	3	4

目的地址	D3	D2	D1	D0	地址
DT10	4	5	5	1	0(S2)
DT11	1	2	3	4	1
DT12	A	6	8	4	2
DT13	1	2	3	4	3
DT14	8	5	D	3	4
DT15	1	2	4	5	5
DT16	1	2	3	4	6
DT17	3	5	7	F	7
DT18	F	A	B	3	8
DT19	1	2	3	4	9
DT20	A	2	B	5	10(S3)



个数地址	DT9037			
数据(B)	0000	0000	0000	0100
数据(K)	K4			

位置地址	DT9038			
数据(B)	0000	0000	0000	0001
数据(K)	K1			

图 7-46 数据查找指令的执行结果

1. 16 位数据的左/右移位指令

该类移位指令只是针对 16 位二进制数据，根据循环情况的不同又可分为普通（非循环）移位指令、循环移位指令和包含进位标志的循环移位指令三种情况。其区别主要在于移入位的数据处理上，简单地说，普通（非循环）移位指令不循环，移入位直接依次补 0；循环移位指令移入位则由移出位补入；包含进位标志的循环移位指令移入位由进位标志依次补入。

这里要注意的是，为了便于理解，也可将一次移动 n 位的过程理解成移动 n 次，每次移动 1 位，实际上指令是一次完成移位的。

(1) 普通（非循环）移位指令：F100（SHR）、F101（SHL）

F100（SHR）：将寄存器 D 中的 16 位数据右移 n 位，高位侧移入数据均为 0，低位侧向右移出 n 位，且第 n 位移入进位标志位 CY（R9009）中。

F101（SHL）：将寄存器 D 中的 16 位数据左移 n 位，高位侧向左移出 n 位，且第 n 位移入进位标志位 CY（R9009）中，低位侧移入数据均为 0。

其中， n 用于设定移位的位数，为常数或 16 位寄存器，取值范围为 K0 ~ K255 或 H0 ~ HFF。

例 7-32 F101（SHL）数据左移指令示例，如图 7-47 所示

例题说明：当触发信号 X0 接通时，数据寄存器 DT0 中的数据被左移 4 位。数据左移后，最后一位移出的数据（位地址为 12）传送到特殊内部继电器 R9009（进位标志）中，DT0 的低 4 位为 0，如图 7-48 所示。

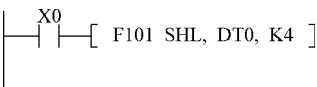


图 7-47 数据左移指令示例

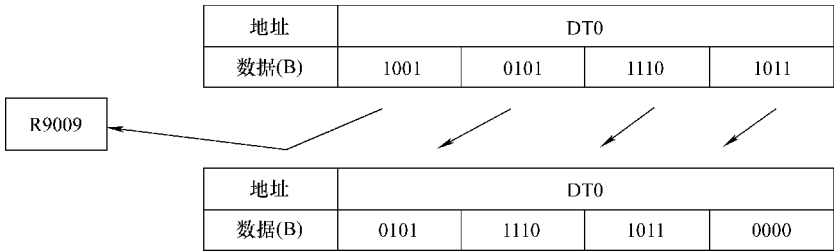


图 7-48 $n = K4$ 时左移指令的执行结果

(2) 循环移位指令：F120（ROR）、F121（ROL）

F120（ROR）：寄存器 D 中的 16 位数据右移 n 位，低位侧移出的 n 位依次移入高位侧，同时移出的第 n 位复制到进位标志位 CY（R9009）中。

F121（ROL）：寄存器 D 中的 16 位数据左移 n 位，高位侧移出的 n 位依次移入低位侧，同时移出的第 n 位复制到进位标志位 CY（R9009）中。

注意事项：

- 1) 这两条指令与 F100 和 F101 的区别在于：这里是循环移位，而不是补 0。
- 2) 当 $n \geq 16$ 时，其结果与减去 16 的倍数后相同。例如， $n = K17$ 时与 $n = K1$ 的结果相同， $n = K52$ 时与 $n = K4$ 的结果相同。

例 7-33 F120（ROR）数据循环右移指令示例，如图 7-49 所示。

例题说明：当触发信号 X0 接通时，数据寄存器 DT0 中的数据被循环右移 5 位。右移后，最后一位移出的数（位地址为 4）传送到 R9009 中，DT0 中的低 5 位（0~4 位）右移到高 5 位（11~15 位）中，如图 7-50 所示。

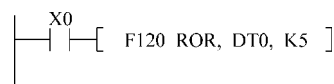


图 7-49 数据循环右移指令示例

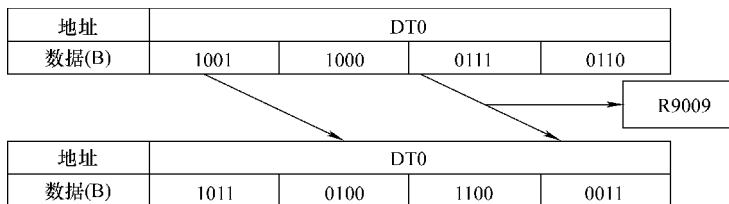


图 7-50 $n = K5$ 时循环右移指令的执行结果

(3) 包含进位标志的循环移位指令：F122 (RCR)、F123 (RCL)：

F122 (RCR)：寄存器 D 中的 16 位数据和进位标志位数据一起循环右移 n 位。

F123 (RCL)：寄存器 D 中的 16 位数据和进位标志位数据一起循环左移 n 位。

注意当 $n \geq 16$ 时，其结果与减去 16 的倍数后相同。例如， $n = K25$ 时与 $n = K9$ 的结果相同， $n = K68$ 时与 $n = K4$ 的结果相同。

2. 十六进制数的左/右移位指令：F105 (BSR)、F106 (BSL)

F105 (BSR)：寄存器 D 中的 4 位十六进制数右移 1 位，相当于右移二进制的 4bits，移出的低 4bits 数据送到特殊数据寄存器 DT9014 的低 4bits，同时 D 的高 4bits 变为 0。

F106 (BSL)：寄存器 D 中的 4 位十六进制数左移 1 位，相当于左移二进制的 4bits，移出的高 4bits 数据送到特殊数据寄存器 DT9014 的低 4bits，同时 D 的低 4bits 变为 0。

指令运行情况如图 7-51。

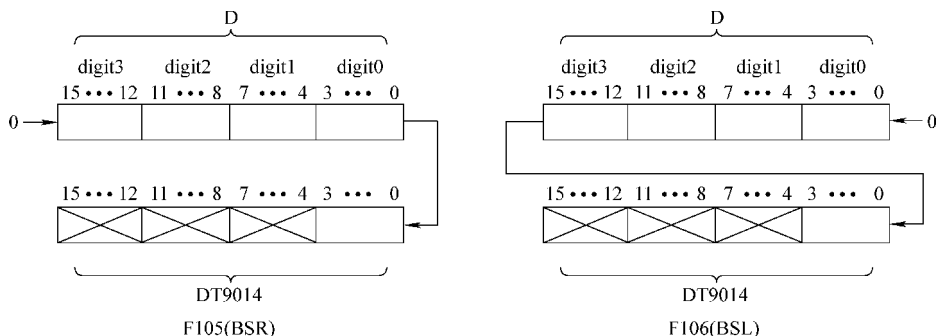


图 7-51 十六进制数的左/右移位指令移位示意图

3. 数据区按字左/右移位指令：F110 (WSHR)、F111 (WSHL)

F110 (WSHR)：由 D1 为首地址，D2 为末地址定义的 16 位寄存器数据区，整体右移一个字，相当于二进制的 16-bit。执行后，首地址寄存器的原数据丢失，末地址寄存器为 0。

F111 (WSHL)：由 D1 为首地址，D2 为末地址定义的 16 位寄存器数据区，整体左移一个字，相当于二进制的 16-bit。执行后，首地址寄存器为 0，末地址寄存器的原数据丢失。

注意：D1 和 D2 应是同一类型的寄存器，且末地址寄存器号应大于或等于首地址寄存器号，即 $D2 \geq D1$ 。指令运行情况如图 7-52 所示。此外，还要注意的是首尾地址的编排顺序是

左边为末地址、右边为首地址。

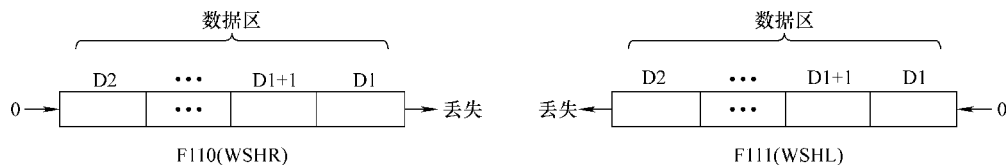


图 7-52 数据区按字左/右移位指令移位示意图

4. 十六进制数据区的左/右移位指令：F112 (WBSR)、F113 (WBSL)

F112 (WBSR)：由 D1 为首地址，D2 为末地址定义的 16 位寄存器数据区，整体右移一个十六进制位（相当于二进制的 4 位），执行后，首地址寄存器 D1 的低 4 位丢失，末地址寄存器 D2 的高 4 位全补 0。

F113 (WBSL)：由 D1 为首地址，D2 为末地址定义的 16 位寄存器数据区，整体左移一个十六进制（相当于二进制的 4 位），执行后，首地址寄存器 D1 的低 4 位全补 0，末地址寄存器 D2 的高 4 位全丢失。

5. 可逆计数与左/右移位指令：F118 (UDC)、F119 (LRSR)

在 FP1 系列 PLC 中，可逆计数和左/右移位指令各 1 条，是对普通计数器 CT 和移位寄存器 SR 指令功能的补充和加强。

(1) F118 (UDC)

F118 (UDC) 是可逆计数器指令，也称为加/减计数器。与普通计数器不同，可逆计数器有 3 个输入信号，分别是加/减触发信号（加/减计数控制信号）、计数触发信号（加/减脉冲信号）和复位触发信号，3 个输入信号是互相独立的，不是或（并联）的关系。

当加/减计数控制信号接通（ON）时，在每一个计数触发信号的上升沿进行加 1 计数，断开（OFF）则进行减 1 计数。当复位触发信号接通（ON）时，计数器被复位，计数器的当前值存储单元 D 变为 0。计数器的复位触发信号断开（OFF）时，设定值存储单元 S 中的数据传送给当前值存储单元 D，设定值的范围是 -32768 ~ 32767。一般将比较指令或数据比较指令 F60 (CMP) 与可逆计数器结合起来使用，以完成相应的控制功能。

例 7-34 F118 (UDC) 是可逆计数器指令示例，如图 7-53 所示

例题说明：当检测到复位触发信号 X2 的下降沿时，DT10 中的数据被传送到 DT0 中，计数器开始工作；当检测到 X2 的上升沿时，即复位信号有效，DT0 被清 0，计数器停止工作。

X0 为加/减控制信号，当其为 ON 时，进行加计数，为 OFF 时，进行减计数。

X1 为计数输入信号，检测到其上升沿时，根据 X0 的状态，执行加 1 或减 1 计数。

这里，DT10 相当于 CT 指令中的预置值寄存器 SV，DT0 相当于经过值寄存器 EV。当 DT0 中的结果为 0 时，特殊内部寄存器 R900B 接通，内部寄存器 R50 有输出。

例 7-35 可逆计数器指令应用，如图 7-54 所示。

例题说明：若 X0 闭合，则对输入触发脉冲 X1 进行加计数，反之就进行减计数。3 个触

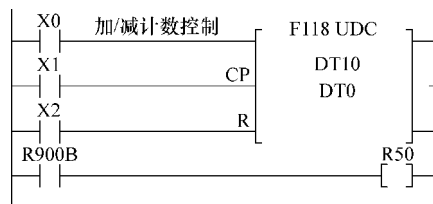


图 7-53 F118 (UDC) 是可逆计数器指令示例

发信号同时有效时, 复位信号优先。当 $WR0 = K20$ 时, $R900B$ 得电 (ON), $Y0$ 随之得电输出。在计数过程中, 若当前值单元中的数据超过一个字的符号数范围 ($-32768 \sim 32767$), 进位标志 $R9009$ 得电 (ON)。当前值计到 0 时, 则 $R900B$ 得电 (ON)。

(2) F119 (LRSR)

F119 (LRSR) 是左/右移位寄存器指令, 将一个存储单元或数据块中的二进制数进行左/右移动 1-bit。与移位寄存器指令 SR 不同, F119 (LRSR) 有 4 个输入信号, 分别是左/右移位触发信号 (左/右移位控制信号)、数据输入信号、移位触发信号 (移位脉冲信号) 和复位触发信号, 4 个输入信号是互相独立的, 不是或 (并联) 的关系, 要求 $D1$ 、 $D2$ 为同类型的存储单元, 且 $D1 \leq D2$ 。

例 7-36 左/右移位指令举例, 如图 7-55 所示。

例题说明: 当 $X3$ 为 ON 时, 复位信号有效, $DT0$ 和 $DT9$ 均被清 0, 移位寄存器停止工作。当 $X3$ 为 OFF 时, 移位寄存器正常工作。这时, 由移位触发信号 $X2$ 的上升沿触发移位操作, 移动的方向由 $X0$ 决定, 若 $X0$ 为 ON, 表示进行数据左移, 为 OFF, 表示进行数据右移。至于移入的数据为 1 还是为 0, 则取决于 $X1$ 的状态, 若 $X1$ 接通, 移入数据为 1, 否则, 移入数据为 0。

这里, $DT0$ 指定移位区首地址, $DT9$ 指定末地址, $DT0 \sim DT9$ 构成了连续的 16 位寄存器区, 移位操作使所有位同时进行, 整个区域按照高位在左侧、低位在右侧的顺序排列。

7.3.7 位操作指令

位操作就是指被操作的对象不是字, 而是字中的某一位或几位。FP1 系列 PLC 具有较强的位操作能力, 可以进行 16 位数据的位置位 (置 1)、位复位 (清 0)、位求反以及位测试, 还可计算 16 位或 32 位数据中, 位值为 “1” 的位数。位操作指令共有 6 条, 可分为位处理指令和位计算指令两类。如表 7-47 所示。

表 7-47 位操作指令及操作数

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用寄存器										索引 修正 值
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数		
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F130 （BTS）	16 位数据中某 一位置位	5	D	×								×	×	
			n											
F131 （BTR）	16 位数据中 某一位复位	5	D	×								×	×	
			n											

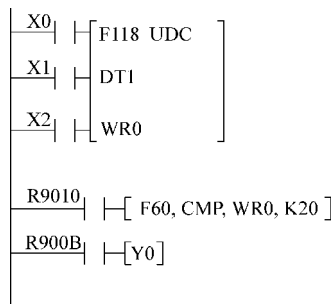


图 7-54 可逆计数器指令应用

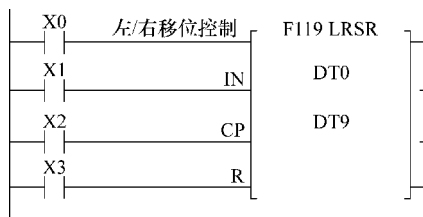


图 7-55 左/右移位指令举例

(续)

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用寄存器										
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数		索引 修正 值
				WX	WY	WR	SV	EV	DT	IX	IY	K	H	
F132 (BTI)	16 位数据中 某一位求反	5	D	×								×	×	
			n											
F133 (BTT)	测试 16 位数据中 某一位的状态 是为“0” 还是为“1”	5	D	×								×	×	
			n											
F135 (BCU)	统计 16 位数据 中“1” 的位数	5	S											
			D	×								×	×	
F136 (DBCUC)	统计 32 位数据 中“1” 的位数	7	S								×			
			D	×							×	×	×	

由于这些指令可以对寄存器中数据的任意位进行控制和运算，所以在编程中有时可以起到重要作用。同样一种控制要求，用一般的基本指令实现，程序往往比较复杂；如果利用好位操作指令，可取得很好的效果，使程序变得更为简洁

1. 位处理指令：F130 (BTS) ~ F133 (BTT)

F130 (BTS) ~ F132 (BTI) 3 条指令的功能是对位进行运算处理，分别对 D 寄存器中、位地址为 n 的数据位进行置位（置 1）、复位（清 0）、求反。其中，由于 n 用来表示 16 位数据的位地址，因此取值范围为 K0 ~ K15。

F133 (BTT) 指令用于测试 16 位数据 D 中任意位 n 的状态为“0”还是为“1”。测试的结果存储在内部继电器 R900B 中，如果测试结果为 0，则 R900B = 1；测试结果为 1，R900B = 0。

例 7-37 位置位指令示例，如图 7-56。

例题说明：当触发信号 X0 接通时，WY0 的第 8 位被置 1，即 Y7 的线圈得电输出（ON），其他继电器（YF ~ Y8、Y6 ~ Y0）保持不变，如图 7-57 所示。

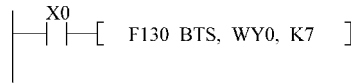


图 7-56 位置位指令示例

地址	WY0			
数据(B)	1010	0101	0110	1011

↓

地址	WY0			
数据(B)	1010	0101	1110	1011

图 7-57 n = K7 时置位指令的执行结果

例 7-38 位测试指令示例，如图 7-58 所示。

例题说明：当触发信号 X0 接通时，测试 DT6 (A46B) 中第 11 位的状态，DT6 的第 11 位为 0 即为 OFF 状态，则特殊内部继电器 R900B 接通（ON），使输出继电器 Y0 接通。如图 7-59 所示。

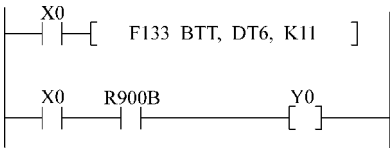


图 7-58 位测试指令示例

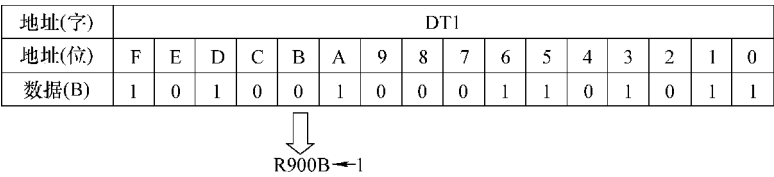


图 7-59 n = K9 时位测试指令的操作

2. 位计算指令：F135（BCU）、F136（DBCU）

F135（BCU）和 F136（DBCU）的功能是分别统计 S 指定的 16 位和 32 位数据中位值为“1”的位的个数，并把统计的结果存储于 D 指定的存储区中。

7.3.8 特殊指令

FP1 型 PLC 除具有以上高级指令外，还包括一些能完成某些特定功能的指令，如进位标志位的置位、清零、串行通信、并行打印输出、自诊断错误代码设定、信息显示的处理等，见表 7-48。

表 7-48 特殊指令及操作数

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用寄存器										
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数		索引 修正 值
				W X	W Y	W R	S V	E V	D T	I X	I Y	K	H	
F137（STMR）	辅助定时器	5	S								×			
			D	×						×	×	×	×	×
F138（HMSS）	时/分/秒数据→ 秒数据	5	S								×	×	×	
			D	×							×	×	×	
F139（SHMS）	秒数据→时/分/ 秒数据	5	S								×	×	×	
			D	×							×	×	×	
F140（STC）	进位标志位 （R9009）置位	1		未用										
F141（CLC）	进位标志位 （R9009）复位	1		未用										
F143（IORF）	刷新部分 I/O	5	D1			×	×	×	×	×	×	×	×	
			D2			×	×	×	×	×	×	×	×	
F144（TRNS）	串行口数据通信	5	S	×	×	×	×	×		×	×	×	×	
			n											
F147（PR）	并行打印输出	5	S							×	×	×	×	×
			D	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×
F148（ERR）	自诊断错误代码设定	3	n	×	×	×	×	×	×	×	×			×
F149（MSG）	屏幕显示指定 的字符信息	13	S	×	×	×		×	×	×	×	M*		×

指 令	功 能	步 数	操 作 数	可用寄存器										索引 修正 值	
				继电器			定时/ 计数器		寄存 器	索引 寄存器		常数			
				W X	W Y	W R	S V	E V	D T	I X	I Y	K	H		
F157（CADD）	时间累加： (S1 + 2, S1 + 1, S1) + (S2 + 1, S2)→ (D + 2, D + 1, D)	9	S1								×	×	×	×	
			S2									×			
			D	×						×	×	×	×		
F158（CSUB）	时间递减： (S1 + 2, S1 + 1, S1) - (S2 + 1, S2)→ (D + 2, D + 1, D)	9	S1								×	×	×	×	
			S2									×			
			D	×							×	×	×	×	

注：* 以 M 开始的字符常数。

1. F137 (STMR)

F137 (STMR) 是辅助定时器指令，工作时以 0.01s 为单位进行定时（定时范围 0.01 ~ 327.67s），可作为普通定时器的补充。一般的 PLC 定时器都是以 0.1s 为单位进行定时，若有分辨率更高的定时控制要求，通常就采用辅助定时器来实现，在 FP1 的 PLC 中可用 TMR 来代替。其功能是经过设定值 ×0.01s 后，将特殊内部继电器 R900D 置为 1（ON）。

例 7-39 辅助定时器指令举例，如图 7-60 所示。

例题说明：当触发信号 X0 接通 10s 时，R900D 被置为 1（ON）。若在定时过程中或定时时间到时触发信号 X0 断开，当前值存储单元 DT0 被复位为 0，R900D 被复位为 0（OFF）。

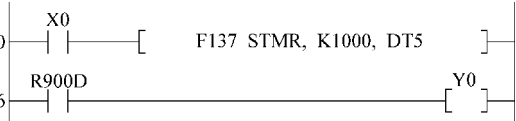


图 7-60 辅助定时器指令举例

2. 时间变换指令：F138 (HMSS)、F139 (SHMS)

FP1-C24 以上机型均有日历及实时时钟功能。使用手持编程器或编程软件将年、月、日、时、分、秒、星期等的初值设置到特殊数据寄存器 DT9054 ~ DT9057 中，即可实现自动计时，即使断电后，计时也不会间断。校表时，采用舍入法，DT9058 是 30s 校表寄存器，当 DT9058 置入“1”时，若秒位显示小于 30s 则舍去，若大于 30s，则分位加“1”。

1) F138 (HMSS)

F138 (HMSS) 时间变换指令。其功能是将以时/分/秒 (h/m/s) 格式表示的时间数据，变换成以秒 (s) 为单位的时间数据。将 (S + 1, S) 中存放的时/分/秒数据转换为秒数据，结果存放于寄存器 (D + 1, D) 中。在这里，S 和 D 中的数据均用 BCD 码表示。

2) F139 (SHMS)

F139 (SHMS) 时间变换指令。其功能是将以秒为单位的时间数据，变换成以时/分/秒格式表示的时间数据。功能与 F138 完全相反。

3. 进位位 (CY) 的置位和复位指令：F140 (STC)、F141 (CLC)

F140 (STC) 和 F141 (CLC) 指令是 FP1 高级指令中仅有的两条无操作数的指令，其功能是将特殊内部继电器 R9009（进位标志位）置位和复位，即将 R9009 置为 1 或者清 0。

4. 刷新部分 I/O 指令: F143 (IORF)

PLC 在循环扫描的工作过程中, 只有在输入扫描和输出刷新阶段才进行 I/O 刷新, 在执行程序时不处理 I/O 刷新任务。利用 I/O 刷新指令 F143 (IORF), 即使在执行程序阶段, 也可将指定的输入/输出继电器立即刷新, 实现无滞后 (由扫描时间造成的) 地刷新输入或输出。

当触发信号 X0 接通时, D1 和 D2 指定的 WY0 ~ WY1 被立即刷新, 避免由扫描时间造成的延时。使用时要保证 D1 和 D2 是同一类型的操作数, 并且 $D1 \leq D2$ 。

5. 串行数据通信指令: F144 (TRNS)

F144 (TRNS) 的功能是通过 RS-232 串行口与外设通信, 将以 S 为起始地址的 n 个字节的数据寄存器中的数据从串行通信口发送或接收。一般型号末端带“C”的 PLC 带有 RS-232 串行口。

其中, 寄存器 S 为发送或接收数据的寄存器区首地址, 且 S 只能使用数据寄存器 DT。S 用作发送或接收监视之用, 之后的、S + 1, S + 2, … 存放着发送或接收的数据。也就是说, S + 1 为发送和接收数据的首地址, 数据存放在 S + 1 及以后的寄存器中。n 则用来设定要发送的字节数。

1) 数据发送: 特殊内部继电器 R9039 是发送标志继电器, 发送过程中 R9039 为 OFF 状态, 发送结束后, 其为 ON 状态。其间, S 用来监控将要发送的字节数, 从 S + 1 开始存放要发送的数据, n 用来设定要发送的字节数。当执行指令时, 首先将 n 装入 S 中, 每发送一个字节, S 寄存器的内容减 1, 直至 S 的内容为 0, 发送完毕。

2) 数据接收: 特殊内部继电器 R9038 是接收标志继电器, 接收过程中 R9038 为 OFF 状态, 接收结束后, 其为 ON 状态。其间, 从外设传来的数据存放在接收缓冲区第二个字开始的区域中, 即从 S + 1 开始的寄存器中。接收缓冲区的第一个字, 即 S, 用来监控接收到的字节数, 缓冲区由系统寄存器 No. 417 和 No. 418 指定。例如 No. 417 = K200, No. 418 = K4, 则表示从外设接收的 8 个字节 (4 个字) 的数据存放于数据寄存器 DT201 开始的区域中, DT200 用于记录接收到的字节数。此时, 操作数 S 无实际意义, n 应设置成 0。当执行指令时, 先将 0 装入缓冲区第一个寄存器中, 每接收一个字节, 该寄存器的内容加 1, 当接收到由系统寄存器 No. 413 指定的结束符后, 数据接收完毕。S 中的数据即是接收到的字节数。

在使用 F144 指令进行数据传送时, 需要对系统寄存器 No. 412 ~ No. 418 进行设置, 此外还要对一些有关参数, 如波特率等进行设置, 详情请参阅 FPI 可编程序控制器的技术手册。

进行串行通信操作时, 一般要配合数据传输指令。如典型的传送操作, 先用 FO (MV) 指令将被传送的数据写到从 S + 1 开始的区域, 然后用 F144 (TRNS) 指令将数据传到外设。而 S 中则由系统动态保存为尚未传出的数据个数。

6. 并行打印输出指令: F147 (PR)

F147 (PR) 的功能是将从 S 开始的 6 个存储单元中的 12 个 ASCII 码数字字符输出到由 D 指定的 WY 中, 本指令只适用于 C24 以上晶体管输出型的 PLC 具有并行打印输出功能。

在具体应用中, 打印机的控制码必须设置为被打印数据的最后一个字, ASCII 字符从低地址开始顺序输出。若输出的数据不是 ASCII 形式, 可采用相应的数据转换指令将其从二进制、BCD 码、十六进制或字符常数转换成 ASCII 形式。ASCII 字符为 8 位二进制, 对应由 Y0 ~ Y7 输出, 加上打印机的一位选通信号 (由 Y8 自动发出打印脉冲), 只需占用一个字单

元中的 9 个输出继电器，其余的不用。

在一个扫描周期内不能同时执行几个 F174 指令，因此将特殊内部继电器 R9033 设为打印输出控制继电器，打印开始自动变为 ON，打印结束自动变为 OFF。

7. 自诊断错误设置指令：F148 (ERR)

F148 (ERR) 的功能是将某特殊状态设置为自诊断错误类型，存放到 DT9000 中，将 R9000 置为 1 (ON)，并使出错指示灯 (ERROR LED) 闪烁；或者将由自诊断错误 E45、E50 或 E200 ~ E299 引起的错误状态复位。F148 指令的运行由 n 决定， n 为自诊断错误代码，设置范围为 0 和 100 ~ 299。

$n=0$ ：清除由自诊断错误 E45、E50 或 E200 ~ E299 引起的错误状态；

$n=100 \sim 299$ ：将指令的触发信号设置为第 n 号自诊断错误。具体内容请参见技术手册的错误代码表。

8. 信息显示指令：F149 (MSG)

F149 (MSG) 的功能是将 S 指定的字符常数 (以 M 开始的字符串) 显示在 FP 编程器 II 的屏幕上。

9. 时间运算指令：F157 (CADD)、F158 (CSUB)

(1) F157 (CADD)

F157 (CADD) 的功能是在 (S1 + 2, S1 + 1, S1) 指定的日期 (年、月、日) 和时间 (时、分、秒) 数据中加上 (S2 + 1, S2) 指定的时间数据，所得的结果 (年、月、日、时、分、秒) 存放在 (D + 2, D + 1, D) 中，日期、时间数据均用 BCD 码表示。

(2) F158 (CSUB)

F158 (CSUB) 的功能同 F157 (CADD) 类似，只是相加变为相减运算，具体用法请参见技术手册。

习题与思考题

7-1 SET (RST)、KP 和 OT 指令有什么区别？

7-2 使用 MC 和 MCE、JP 和 LBL 指令时应注意什么问题？

7-3 使用 CALL、SUB 和 RET 指令时应注意什么问题？

7-4 将图 7-61 所示的梯形图进行等效变换后转换成指令语句。

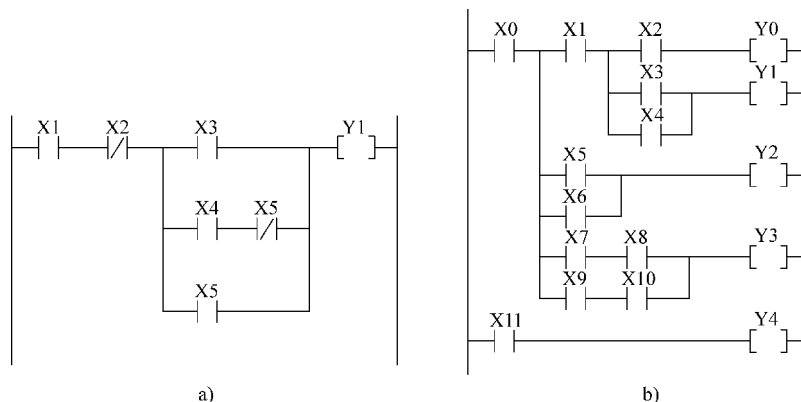


图 7-61

7-5 将图 7-62 所示的指令语句转换成梯形图。

0	ST	X0	21	TM	T2	0	ST	R9013	31	OT	R2
1	OR	R0		K	120	1	F0	(MV)	32	ST=	
2	AN/	R1	25	ST	T2		K	3		EV	100
3	AN/	X1	26	TM	T3		SV	100		K	3
4	OT	R0		K	300	6	ST	X0	37	OT	R3
5	ST	X1	30	ST	R1	7	DF		38	ST	R2
6	OR	R1	31	OR	R0	8	ST	X0	39	OR	R1
7	AN/	R0	32	AN/	T3	9	DF		40	AN/	R3
8	AN/	X0	33	OT	Y0	10	AN	R0	41	OT	Y1
9	OT	R1	34	ST	R1	11	CT	100	42	ST	R2
10	ST	R0	35	AN/	T2		SV	100	43	OR	R0
11	TM	T0	36	OR	T0	14	ST=		44	AN/	R3
	K	300	37	OT	Y1		EV	100	45	OT	Y2
15	ST	T0	38	ST	T1		K	0	46	ST	R2
16	TM	T1	39	AN/	R1	19	OT	R0	47	OR	R1
	K	120	40	OT	Y2	20	ST=		48	AN/	R3
20	ST	R1	41	ED			EV	100	49	DT	Y3
							K	1	50	ED	
						25	OT	R1			
						26	ST=				
							EV	100			
							K	2			

图 7-62

7-6 使用定时器指令设计一个程序，要求 Y1 在 X1 接通后 10s 接通，在 X1 断开后 2s 自动断开。时序图如图 7-63 所示。

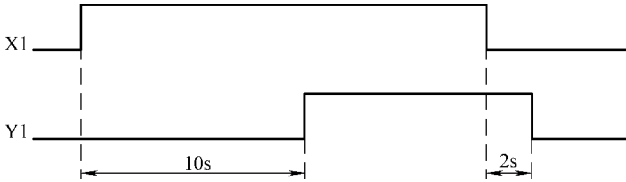


图 7-63

7-7 试设计一个四输入-四输出的智力抢答器的梯形图。要求任何一个抢答对象按下按钮后，均使其其他对象按键无效。抢答器设有一非自锁的复位按钮 X0，按一下 X0 后可重新抢答。

7-8 试用定时器实现频率为 5Hz 的方波，并用计数器计数，1h 后停止，驱动 Y0 输出，画梯形图，写出助记符程序。

7-9 分别用二进制运算指令（BIN）和 BCD 码运算指令完成下式的计算：

$$\frac{(51235 + 7506) \times 1567 - 5600}{356}$$

要求：X0 闭合时开始计算，X1 闭合时各单元全部清 0。

第 8 章 PLC 控制系统设计

PLC 控制系统指以 PLC 为核心组成的电气控制系统，实现对生产设备和工业过程的自动控制。PLC 控制系统设计的好坏直接影响着产品的质量和企业的生产效率，关系到企业的经济效益。PLC 控制系统设计，通常可以分为硬件设计与软件设计两大部分，学习和掌握 PLC 控制系统的设计方法很有意义。

8.1 PLC 控制系统设计概述

8.1.1 PLC 控制系统设计的方法和原则

1. 系统设计的基本方法

对于一个 PLC 控制系统的设计大体上是围绕着以下四个基本问题展开的：要做什么？怎样去做？用什么去做？采用什么方法去做？

解决第一个问题，就是了解系统的概况，熟悉被控制的对象，根据受控对象的工艺要求和特点，明确 PLC 系统必须要做的工作和必须具备的功能。

解决第二个问题，就是进行 PLC 系统的分析，通过分析系统功能实现的可能性及实现的基本方法和条件，提出 PLC 系统的基本规模和布局。

解决第三个问题，就是根据系统功能设计和系统分析的结果，确定 PLC 的机型和系统的具体配置。

解决第四个问题，就是将系统的整体分解为硬件实现和软件实现，并同时去实施。

总之，必须遵循一些共同的原则，使 PLC 应用系统的设计方法符合科学化，形成工程化，趋于标准化。

2. 系统设计的基本原则

与其他电气控制系统一样，PLC 控制系统也是为了实现被控对象（生产设备或生产过程）的工艺要求，以提高生产效率和产品质量。因此，在设计 PLC 控制系统时，应遵循以下基本原则。

1) 最大限度地满足被控对象的控制要求：充分发挥 PLC 的功能，最大限度地满足被控对象的控制要求，是设计 PLC 控制系统的首要原则这就要求设计人员在设计前就要深入现场进行调查研究，收集控制现场的等有关资料，了解与机械装置的工作原理，拟定电气控制方案，与机械装置设计人员共同解决设计中出现的各种问题。

2) 保证 PLC 控制系统安全可靠：保证 PLC 控制系统能够长期安全、可靠、稳定运行，是设计控制系统的重要原则。这就要求设计者在系统设计、元器件选择、软件编程上要全面考虑，以确保控制系统安全可靠。例如应该保证 PLC 程序不仅在正常条件下运行，而且在非正常情况下（如突然掉电再上电、按钮按错等）也能正常工作。

3) 在满足控制要求的前提下，力求控制系统简单、经济、实用，维修方便。

4) 要考虑生产发展和工艺改进,在选择 PLC 参数时,应适当留有余地。

8.1.2 PLC 控制系统设计的内容和步骤

1. 系统设计的基本内容

1) 根据被控对象的特性及用户的要求,拟定 PLC 控制系统的技术条件和设计指标,并写出详细的设计任务书,作为整个控制系统设计的依据。

2) 参考相关产品资料,选择输入设备(按钮、操作开关、限位开关和传感器等)、输出设备(继电器、接触器和信号灯等执行元件)以及由输出设备驱动的控制对象(电动机、电磁阀等)。

3) 选择 PLC。PLC 是 PLC 控制系统的核心部件,正确选择 PLC,对确保整个控制系统的技术经济性能指标起着重要作用。选择 PLC 包括机型的选择、容量的选择、I/O 点数的选择、电源模块以及特殊功能模块的选择等。

4) 分配 I/O 接点。通过绘制 PLC 输入/输出端子接线图分配 I/O 接点,并要考虑具体的安全保护措施。

5) 编制控制程序。包括编制梯形图、语句表(即程序清单)或控制系统流程图。控制程序是实现控制系统正常工作的软件,是保证控制系统安全可靠工作的关键。控制程序一般要经过反复调试、修改,直到满足要求为止。

6) 有时候还需对控制台或控制柜进行结构设计。

7) 编写技术文件。包括说明书、电气图及电气元件明细表等。

2. 系统设计的一般步骤

根据 PLC 控制系统的基本设计原则和设计内容,可归纳 PLC 控制系统的一般设计步骤,如图 8-1 所示。此图表明,在绘制 I/O 接线图之后,设计工作分为 2 部分,一是进行控制程序设计,二是进行硬件设计。一般情况下,二者可同时进行。

在编制控制程序时,对于简单的控制系统,可以省略绘制程序流程图的步骤,直接编制梯形图。控制程序设计是很关键的步骤,设计内容比较复杂,必须足够重视。不仅要熟知控制要求,同时还要有一定的电气设计的实践经验。一般情况下,要根据梯形图列写指令表,把程序写入 PLC 的用户存储器中时,编程软件会自动检查程序是否正确,并对程序进行离线调试和修改,直到满足要求为止。

硬件安装工作包括控制台(柜)设计制造和电气元件安装接线等,现场施工完成后,要进行联机调试,检查接线或修改程序,直到满足要

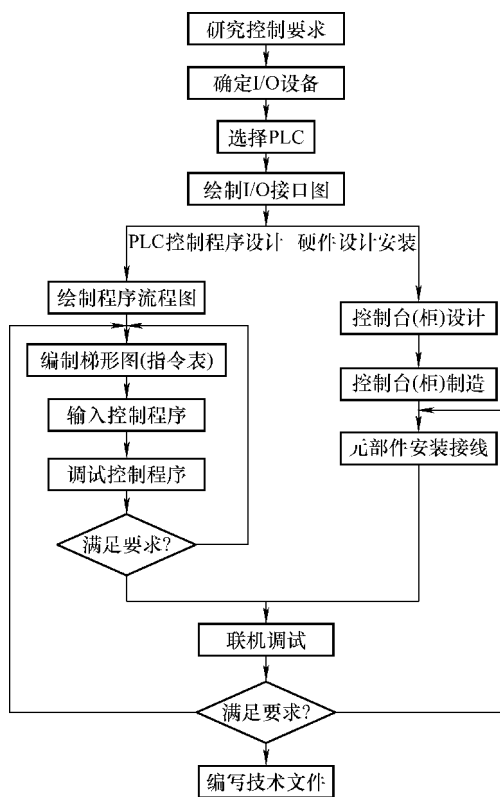


图 8-1 PLC 控制系统设计步骤

求。最后要整理和编写技术文件，从而完成 PLC 控制系统的全部设计工作。

8.2 PLC 控制系统硬件设计

在完成控制系统的总体规划（方案设计）后，可以进行控制系统的技术设计。技术设计是对系统进行的原理、安装、施工、调试、维修等方面的具体设计。技术设计必须认真、仔细，确保全部图样与技术文件的完整、准确、齐全、系统、统一，并贯彻国际、国内有关标准。

PLC 控制系统的技术设计，通常可以分为硬件设计与软件设计两大部分。第一阶段应首先完成系统的硬件设计。一般来说，PLC 控制系统硬件设计包括控制系统主回路设计，控制回路设计，PLC 输入输出回路设计；控制柜、操纵台的机械结构设计；控制柜、操纵台的电气元件安装设计；电气连接设计等。

8.2.1 PLC 控制系统主电路和控制电路设计

1. 主电路设计

PLC 控制系统的主电路设计与其他电气控制系统无原则性区别。但必须符合有关标准的规定，并结合 PLC 控制系统的自身特点充分考虑系统的可靠性与安全性

(1) 主电路设计的内容

主电路通常包括如下部分：

- 1) 电机主电路，包括用于电机通断控制的接触器、电机保护的断路器等；
- 2) 各种动力驱动装置的电源回路与动力回路，如驱动器电源输入回路及其通断控制的接触器、保护断路器、伺服电动机的电枢回路、直流电机的励磁回路等；
- 3) 各种控制变压器的一次侧输入电路，包括通断控制的接触器、保护断路器等；
- 4) 用于供给控制系统各部分主电源的电源输入与控制电路，包括用于电源变压器、整流器件、稳压器件，以及用于电源回路控制的接触器、保护断路器等。

(2) 电源总开关

根据 EN60204—1（VDE0113 第 1 部分）标准规定，为了使得整个控制系统与电网隔离，机械设备的电气控制装置必须安装电源总开关。

(3) 保护装置的安装

为了对设备主电路进行可靠、有效的保护，设备中每一独立的部件都必须安装用于短路、过电流保护的保护器件（如断路器等），保护器件必须具有足够的分断能力，必须能够可靠分断被保护的用电设备或电动机。

出于调试、维修的需要与系统的可靠性与安全性的考虑，原则上应对不同类型的主电路，如电机主电路、驱动主电路等，在每一部件独立安装保护器件的基础上对每一大类分类安装总保护断路器。

对于输入输出点数、种类较多，构成复杂，控制要求较高的控制系统，当外部输入输出信号共用电源时，应采用分组的形式进行供电，每组通过独立的保护断路器进行保护与通断控制。

(4) 接地与抗干扰

从安全角度考虑,控制系统应安装总接地母线,用于电位平衡与接地。与主电路连接的各种独立电气控制装置,应有专门的、符合要求的接地连接线与设备接地母线进行连接,以防止干扰,提高可靠性。

系统中容易产生干扰或是容易受到外部干扰的电气控制装置,如 PLC、数控装置(CNC)、伺服驱动器、变频器等,应通过隔离变压器、滤波电抗器等与电源进行连接,以抑制线路干扰。

系统中需要通断的大功率负载,应在线路上安装浪涌电压吸收器,以抑制负载通断产生的过电压与干扰。

2. 控制电路设计

PLC 控制系统的控制回路设计的基本要求与最高准则:必须保证系统运行的可靠性与安全性。控制电路的设计不仅要考虑设备的正常运行情况,更要考虑到当设备中的机械部件、电气元件发生故障以及出现误操作、误动作等情况下的紧急处理。控制电路设计必须具有“冗余”,操作元件必须具有保护等,无论出现何种情况,控制电路必须能保证设备的安全、可靠停机,并是不会对操作、维修者与设备造成伤害。控制电路一般有 AC220V (或 AC230V) 与 DC24V 两种,其组成与作用如下。

(1) AC220V 控制电路。PLC 控制系统中的 AC220V (或 AC230V) 控制电路,一般包括以下线路:

1) 用于电气控制系统的 AC220V (或 AC230V) 安全电路,如紧急分断电路、“双手控制”电路等、安全防护门控制电路。

2) 电气控制装置、电机、设备的起动停止控制电路。

3) 主电路中的 AC220V (或 AC230V) 接触器的通断控制电路。根据系统的安全、可靠性的需要,考虑线路“互锁”控制。

4) 各种驱动装置、控制装置的 AC220V (或 AC230V) 辅助控制电路等。

(2) DC24V 控制回路。PLC 控制系统中的 DC24V 控制电路一般包括以下控制电路:

1) DC24V 辅助继电器/接触器接点控制电路。

2) 用于电气控制系统的 DC24V 紧急分断电路与安全电路。

3) DC24V 电磁阀、电磁离合器等执行元件的驱动、控制电路。

4) DC24V 制动器、防护门联锁控制电路等。

总之,在保证安全、可靠的前提下,控制电路的动作设计应尽可能简洁、明了,方便操作与维修。控制电路的控制电压应符合标准规定,电压种类不宜过多,以降低生产制造成本,提高系统可靠性。电路中的元器件选择应尽可能统一、规范,生产厂家不宜过多,以方便采购供应与维修服务。

3. 控制柜、操纵台的机械结构设计。

控制柜、操纵台的电气元件安装设计,电器的连接设计属于安装与连接的范畴。设计的目的是用于指导、规范现场生产与施工,为系统安装、调试、维修提供帮助,并提高系统的可靠性与标准化程度。

8.2.2 PLC 的选型

PLC 是一种通用的智能化工业控制设备,其档次和功能面向各种各样的应用,众多的生

产厂家提供了各种系列、各种功能的产品。目前常见的国内外 PLC 产品有几百种型号。这为用户提供了广泛的选择余地，但也给一般用户的选型带来一些不便。PLC 机型选择的基本原则应是在功能满足要求的情况下，保证可靠，维护使用方便以及最佳的性能价格比。具体应考虑以下几个方面。

1. PLC 的形式与规模的选择

(1) 功能合理

PLC 的选型前提是在功能上应满足生产过程的工艺要求。对于只含有开关量控制的系统，一般的小型 PLC 即可满足要求，不需要特别考虑 PLC 的扫描速度。

对于以开关量为主、带少量模拟量控制的系统，可选用带 A-D、D-A 转换、加减运算、数据传送功能的小容量、高性能的低档机型，如 FP1、FP3 等系列。这类 PLC 除了开关量处理外，还具有较强的算术运算和数据处理等功能。对于模拟量控制，就需要考虑 PLC 的扫描速度。

复杂的控制系统一般含有较多的开关量输入/输出，如对模拟量的控制要求也较高，可考虑选用中档和高档机型，如 FP10、FP10S、FP10SH 等系列的 PLC。中、高档 PLC 都具有模拟量输入/输出、PID 运算、闭环控制和快速响应等功能，但价格较高。对于更复杂的控制系统，其控制点既多又分散，一般要求较快的响应速度，并具有数据处理、文件管理、分析决策等功能，就要选用具有通信联网等功能的 PLC 系统，以组成分布式工业控制网络。

(2) 是否在线编程

PLC 的特点之一是使用灵活。当被控设备的工艺过程改变时，只需要编程器重新修改程序，就能满足新的控制要求，给生产带来很大方便。

PLC 的编程分为离线编程和在线编程两种。离线编程的 PLC，其特点是主机和编程器共用一个 CPU，在编程器上有一个“编程/运行”选择开关或按键，选择编程状态时，CPU 将失去对现场的控制，只为编程器服务，这就是所谓的“离线”编程。程序编好后，如选择运行状态，CPU 则去执行程序而对现场进行控制，这时，CPU 对编程指令按步作出响应。此类 PLC 由于编程器和主机共用一个 CPU，因此节省了大量的硬件和软件，编程器的价格也比较便宜。中、小型 PLC 多采用离线编程。

在线编程的 PLC，其特点是主机和编程器各有一个 CPU，编程器的 CPU 可以随时处理由键盘输入的各种编程指令；主机的 CPU 则完成对现场的控制，并在一个扫描周期末尾和编程器通信，编程器把编好或改好的程序发送给主机，在下一个扫描周期主机将按照新送入的程序控制现场，这就是所谓的“在线”编程。此类 PLC 由于增加了硬件和软件，故价格高，但应用领域较宽。大型 PLC 多采用在线编程。

是否在线编程，应根据被控设备工艺要求来选择。对于产品定型的设备和工艺不常变动的设备，应选用离线编程的 PLC；反之，可考虑选用在线编程的 PLC。

2. PLC 的机型与容量的选择

(1) PLC 机型的选择

根据控制系统的功能要求和容量来选择 PLC，首先是 PLC 生产厂家的选择，在完成相同功能的情况下，选择厂家在考虑可靠性的同时兼顾经济性。接下来根据生产厂家提供的技术资料选择机型，注意考虑输出类型（如晶体管型、继电器型和晶闸管型）、I/O 点数和工作电源等。若电气控制柜还需与其他控制柜联网运行，选型时还需考虑有无联网功能。对于

工艺过程相对稳定、使用环境相对较差的场合,宜选用整体式 PLC。对于较复杂的系统,可选用模块式 PLC,以便于调整、扩充以及快速方便地判断与处理故障。

此外,对于一个单位而言,应尽量使机型统一,以便于系统的设计、管理、使用和维护。

(2) PLC 容量的选择

PLC 容量包括输入/输出点数和用户程序存储器两个方面。

1) 输入/输出点数(I/O 点数)的估算 根据被控对象的输入信号与输出信号的总点数,再考虑 15%~20% 的备用量,以便以后的调整和扩充。

2) 用户程序存储器容量的估算 用户程序存储器容量与许多因素有关,如 I/O 点数、运算处理量以及程序的结构等,因此不可能预先准确地计算出程序容量,只能作粗略地估算。一些项目所占的存储空间可参照以下原则进行估算:

开关量输入:5~10 步/点。

开关量输出:3~5 步/点。

模拟量输入/输出:50~80 步/通道。

定时器/计数器:3~5 步/个。

通信接口:200 步/个。

数据处理:5~10 步/量。

最后按所估算的总步数再加 100% 的备用量。需要注意的是,有些小型 PLC 的用户程序存储器容量是固定的,在选择时要充分考虑。

3. 开关量输入/输出模块的选择

不同的开关量 I/O 模块的电路组成不同,开关量 I/O 模块的选择主要是根据点数、电路结构、电压形式、电压范围等方面。

(1) 开关量输入模块的选择

PLC 的开关量输入模块用来检测来自现场(如按键、行程开关、接近开关等)的通断信号,并经过隔离、放大、整形和电平转换等处理后输入 PLC 内部。对开关量输入模块,主要是选择点数和输入电压形式,输入电压一般有 24V 的直流和 110V 或 220V 的交流。选择输入模块应考虑以下几点:

1) 输入模块的工作电压应尽量与现场输入设备(有源的)的一致,可以省掉转换环节。

2) 高密度的输入模块,如 32 点或 64 点,因受工作电压、工作电流和环境温度的限制,一般可同时接通的点数不得超过该模块输入点数的 60%。

(2) 开关量输出模块的选择

PLC 的输出模块是将其内部的低电平控制信号经隔离后转换成外部所需电平的输出信号,以驱动外部负载。对开关量输出模块,主要是选择其点数和输出方式。输出方式有晶体管、晶闸管和继电器三种。选择输出模块应考虑以下几点:

1) 输出方式 继电器输出可任意使用交流或直流工作电源,价格相对便宜,输出电压适应范围广,导通压降小,承受瞬时过电压和过电流的能力强,具有隔离作用。但继电器触点的响应速度慢,工作寿命较短,适用于动作不频繁的交直流负载。在驱动感性负载时,最高通断频率一般不超过 1Hz。晶体管(使用直流工作电源)和晶闸管输出(使用交流工作电源)都为无触点开关输出,适用于驱动动作频繁的负载。

2) 输出电压(电流) 输出模块的输出电压(电流)必须大于负载电压(电流)的额定值,并留有足够的余量。

3) 允许同时接通的输出点数 在选用输出模块时,不但要看一个输出点的驱动能力,还要保证不超过公共端(COM端)所允许的电流值。

4. 模拟量输入/输出模块的选择

(1) 模拟量输入模块的选择

对于输入连续变化的电压、压力、流量等物理量,需采用相应的传感器或变送器转变为一定范围内的电压或电流信号,然后使用模拟量模块输入到PLC中。模拟量输入模块按通道分为2、4、8通道等规格,按电路结构分为普通型和隔离型,按输入信号形式和范围有 $-10\sim 10\text{V}$ 、 $0\sim 5\text{V}$ 、 $1\sim 5\text{V}$ 、 $0\sim 20\text{mA}$ 、 $4\sim 20\text{mA}$ 等。有的模块可设定电流还是电压,甚至可设定范围,选择输入模块应考虑以下几点:

1) 输入方式及范围:根据输入设备来选择电压型或电流型输入方式的模块,电流型的抗干扰能力高于电压型。模块的输入有效范围越大,其适应性较强,但绝对误差偏大。

2) 转换分辨率:分辨率与系统的控制精度有关。一般的模块有12位以上的分辨率,可以满足一般的要求。如输入信号范围可变,可分辨的最小的信号单位也随之变化。

3) 转换速度:转换速度与控制系统的实时性有关。模块的转换速度有快有慢,考虑到滤波效果,模拟量输入模块大多采用积分式A/D转换,转换速度一般为毫秒级。通常各通道的转换以串行方式进行,如因转换速度而影响控制性能时,可选用专用的高速模块。

(2) 模拟量输出模块的选择

模拟量输出模块能输出被控设备所需的规定信号范围的电压或电流,如 $0\sim 5\text{V}$ 、 $-10\sim 10\text{V}$ 或 $4\sim 20\text{mA}$ 等。模拟量输出模块的选择考虑与模拟量输入模块相同。为了满足特殊的需求,可选用相应的专用智能模块。

此外还要考虑与PLC的I/O口相连的输入/输出设备的选型,包括输入设备(如按钮、行程开关、传感器、变送器等)和输出设备(继电器、接触器、调节阀、信号指示灯等)的选型,以及由输出设备驱动的各种控制对象(如电动机、电磁阀等)的选型,选择此类设备要考虑备件的通用性。

以上简要地介绍了PLC选型的一般依据和通常需考虑的几个因素,设计者应根据实际的需要综合考虑,选择性能价格比合适的产品,完全满足被控对象的控制要求,充分发挥PLC的功能,并兼顾到系统的扩充性。

8.3 PLC 控制系统软件设计

学习PLC的目的是能把它应用到实际的工业控制系统中去。PLC程序设计的主要任务就是根据系统的控制要求将工艺流程图转换为梯形图,编制出程序,然后用编程器输入PLC中。它是PLC应用中的关键问题,程序的编写是软件设计的具体体现。

8.3.1 程序设计内容和原则

1. 程序设计内容和方法

(1) 编程内容

编程是一个系统工作,它包含了对控制对象的分析理解,一直到程序调试的全过程。

1) 明确控制系统要求。确定控制任务是设计 PLC 控制系统十分重要的部分。在设计中首先必须确定控制系统的 I/O 点数,它决定了 PLC 的系统配置,然后确定控制系统动作发生的顺序和相应的动作条件。

2) I/O 分配。据控制系统的功能确定哪些是发送(输入)给 PLC 的信号,哪些是接收来自 PLC 的信号(输出),分别给出对应的地址。并根据程序的需要合理使用定义过的内部辅助继电器、定时器和计数器等资源。

3) 绘制梯形图。明确输入、输出以及它们之间的关系之后,按照实际的要求编写梯形图。

4) 将梯形图转换成助记符,编写指令表。如果借助于计算机和编程软件,可省去这一步。

5) 利用编程器或编程软件将程序输入到 PLC 中。

6) 检查程序并纠正错误。

7) 模拟调试和现场调试,并将调试好的程序备份到 EEPROM 中。

(2) 编程方法

在编写 PLC 程序时,可以根据自己的实际情况采用不同的方法。

1) 经验法:经验法是运用自己的经验或者借鉴别人已经成熟的实例进行设计,可以对已有相近或类似的实例按照控制系统的要求进行修改,直至满足控制系统的要求。在工作中要尽可能地积累经验和收集资料,不断丰富设计经验。

2) 解析法:PLC 的逻辑控制实际上就是逻辑问题的综合,可以根据组合逻辑或者时序逻辑的理论,并运用相应的解析方法,对其进行逻辑关系的求解。然后由求解的结果或画出梯形图,或直接编写指令。解析法比较严谨,可以避免编程的盲目性。

3) 图解法:图解法是采用画图的方法进行 PLC 程序设计,常见的方法有梯形图法、时序图(波形图)法和流程图法。

梯形图法是最基本的方法,无论经验法还是解析法,在把 PLC 程序等价为梯形图后就要用到梯形图法。

时序图(波形图)法适合于时间控制系统,先把对应信号的波形画出来,再根据时序用逻辑关系去组合,就可以把程序设计出来。

流程图法是用框图表示 PLC 程序的执行过程及输入条件与输出间的关系,在使用步进指令编程时,使用该方法设计是很方便的。

图解法和解析法不是彼此独立的,解析法中要画图,图解法中要列出解析表达式,只是两种方法的侧重点不一样。

(3) 计算机辅助设计

计算机辅助设计是利用 PLC 通过上位链接单元与计算机实现链接,运用计算机进行编程。该方法需要有相应的编程软件,现有的软件主要是将梯形图转换成指令的软件。

2. 编程原则

1) 输出线圈(包括输出继电器、辅助继电器、保持继电器和定时器/计数器等)在程序中只能使用一次,但接点可以无限次使用。

2) 梯形图的每一行都是从左边的母线开始,线圈接在最右边,触点不能放在线圈的右

边。在继电器的原理图中，热继电器的触点可以加在线圈的右边，而 PLC 的梯形图是不允许的。

3) 线圈不能直接与左边的母线相连。如果需要可以通过一个没有使用的内部辅助继电器的动断触点或者使用特殊继电器（常 ON）来连接。

4) 一般情况下，在梯形图中某个编号的继电器线圈只能出现一次，而继电器的触点可无限次使用。

5) 输出线圈可以并联但不能串联。

6) 不准使用没有定义过的接点和线圈。

7) 一段程序必须以 ED 指令结束。

8) 定时器/计数器不能直接产生外部输出信号，必须用 OT 编程到一个输出。

在梯形图的竖线上不能安排任何元件。

3. 编程技巧

利用一些编程技巧可以有利于程序的简洁、直观和易于理解，还可以节省编程的存储空间和减少不易发现的错误。

1) 输入继电器、输出继电器、辅助继电器、定时器/计数器的接点在程序中不受限制，多次使用可以简化程序和节省存储单元。

2) 在不使程序复杂难懂的情况下应尽可能少占用内存。

3) 由于定时器/计数器的编号必须在 0 ~ 143 范围内，且不能重复使用，所以编程时的可以这样分配：定时器从 0 开始递增使用，而计数器从 143 开始递减使用。这就可以防止定时器和计数器使用相同的编号。

4) 在对复杂的梯形图进行调试时可以在任何地方插入 ED 指令，分段进行调试以提高调试的效率。

5) 由于 PLC 的扫描方式是从左到右，由上而下的顺序进行扫描，上一梯级的执行结果会影响下一级的输入，所以在编程时必须考虑控制系统逻辑上的先后关系

8.3.2 编程技巧举例

下面就一些例子说明编程技巧的优越性。利用编程技巧可以使程序更加简洁、直观和节省程序的存储空间。

1) 在每一行中串联触点多的支路应放在上方，否则语句增多、程序变长，如图 8-2 所示。

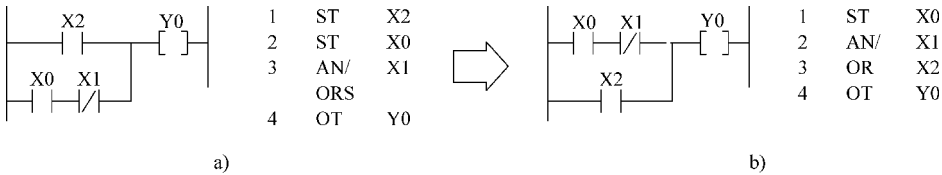


图 8-2 触点串联
a) 不合理 b) 合理

2) 在每个梯形图中并联触点多的电路应放在左方，如图 8-3 所示。

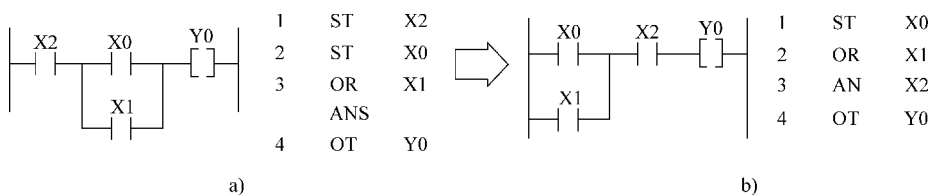


图 8-3 触点并联

a) 不合理 b) 合理

3) 在并联线圈的电路中,从分支点到线圈之间无触点的线圈应放在上方,否则就必须采用堆栈指令进行编程,程序就会更复杂,如图 8-4 所示。

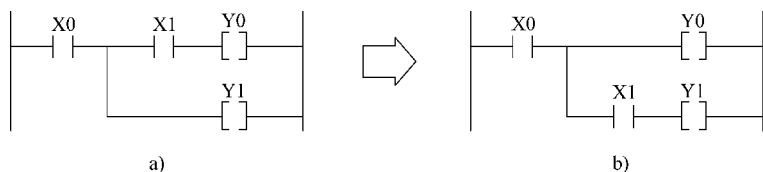


图 8-4 线圈并联

a) 不合理 b) 合理

4) 较复杂结构梯形图进行适当的变换后, 其可读性和直观性更强, 还节约了存储空间, 如图 8-5 所示。

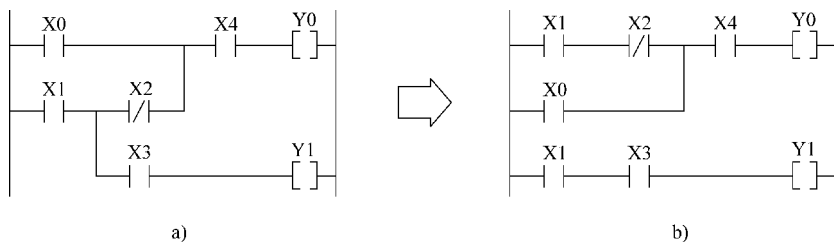


图 8-5 结构变换

a) 不合理 b) 合理

5) 桥式电路不能编程应根据其功能进行等效变换, 如图 8-6 所示。

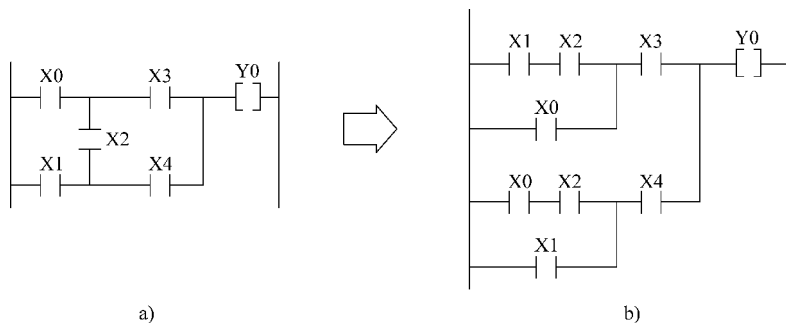


图 8-6 无法编程的梯形图等效变换

a) 不允许 b) 等效

8.4 PLC 代替继电器-接触器控制系统的应用

8.4.1 电动机正反转控制电路

在实际生产中，往往要求控制电路能对电动机实现正反转控制。以便实现生产现场的主轴的正反转、工作台的前进与后退、起重机起吊物体的上升与下放、电梯的升降等。

1. 继电器-接触器控制电路

图 8-7a 所示为继电器接触器控制的电动机正反转工作原理图。

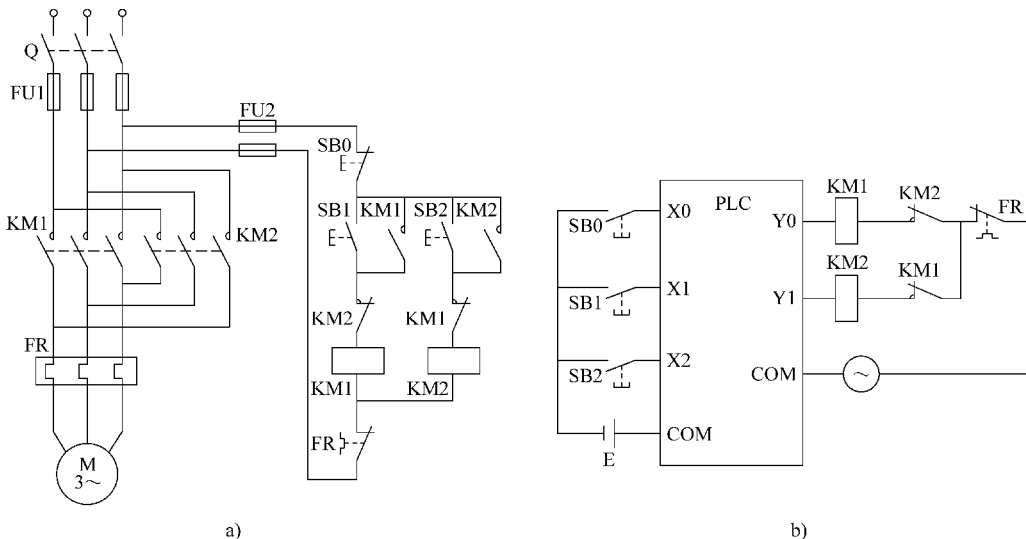


图 8-7 电动机正反转控制的外部接线图

a) 继电器-接触器控制 b) PLC 控制

工作原理：按下正转控制按钮 SB1，KM1 线圈带电并实现自锁，其常开接点闭合，使得电动机正转。当需要反向转动时，先按下停止控制按钮 SB0，首先 KM1 线圈断电，再按下反转控制按钮 SB2，然后 KM2 线圈带电并实现自锁，其常开接点闭合，使得电动机反转。

2. PLC 控制电路

(1) 确定 I/O 点数及其分配

停止按钮 SB0、正转起动按钮 SB1、反转起动按钮 SB2，这三个外部按钮须接在 PLC 的三个输入端子上，可分别分配为 X0，X1，X2 来接收输入信号；正转接触器线圈 KM1 和反转接触器线圈 KM2 须接在两个输出端子上，可分别分配为 Y0 和 Y1。共需用 5 个 I/O 点。

外部接线如图 8-7b 所示为 PLC 控制的电动机正反转工作原理图。

工作原理图：按下 SB1，电动机正转；按下 SB2，则反转。在正转时，如要求反转，必须先按下 SB0。自锁和互锁触点是内部的“软”触点，不占用 I/O 点。并采用了软、硬双重互锁。

(2) 编制梯形图和指令语句表

本例的梯形图的地址和指令语句表见表 8-1。

表 8-1 梯形图的地址和指令

梯 形 图	地 址	指 令
	0	ST X1
	1	OR Y0
	2	AN/ X0
	3	AN/ Y1
	4	OT Y0
	5	ST X2
	6	OR Y1
	7	AN/ X0
	8	AN/ Y0
	9	OT Y1
	10	ED

8.4.2 电动机间歇运动

在实际生产中，电动机间歇运动可用于机床的自动间歇控制和润滑控制。

1. 继电-接触器控制电路

图 8-8a 所示为继电-接触器控制的电动机间歇运动工作原理图

控制原理如下：合上主电路电源开关 Q 和控制电路开关 S 后，时间继电器 KT1 线圈得电并开始计时。当 KT1 延时时间到，KT1 的延时动合触点闭合，使接触器 KM 得电，电动机 M 开始运转；同时时间继电器 KT2 线圈得电并开始计时，KT2 的延时动作时间就是电动机的运转时间。当 KT2 的延时时间到，KT2 的延时动合触点闭合使中间继电器 KA 得电，KA 的动断触点断开，使 KT1、KM、KT2 及 KA 线圈全失电，电动机停转，各继电器复位。由于开关 S 处于闭合状态，又一次使 KT1 引线圈得电，控制系统再一次重复以上过程。这样，电动机 M 停转一段时间，运转一段时间，周期性地间歇工作。电动机的停转时间由时间继电器 KT1 决定，而运转时间由时间继电器 KT2 决定。中间继电器 KA 的作用是当它得电时控制系统复位。

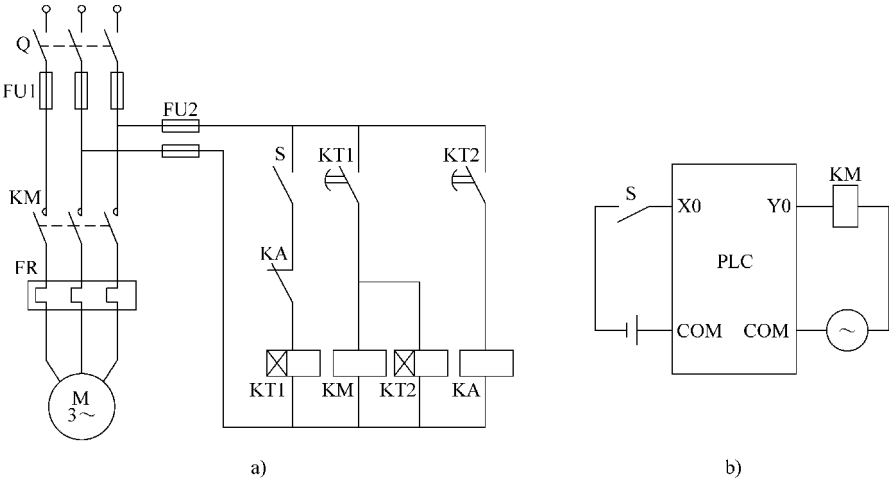


图 8-8 电动机间歇运动控制

a) 继电-接触器控制 b) PLC 控制

2. PLC 控制电路

(1) 确定 I/O 点数及其分配

上述电动机间歇运动控制系统若采用 PLC 控制，则控制电路变得非常简单。控制电路开关 S 接在 PLC 的一个输入端子上，用 X0 来接收输入信号；接触器线圈 KM 接在一个输出端子上，为 Y0。共需用 2 个 I/O 点，如图 8-8b 所示。系统的控制元件减少了，同时控制的精度大大提高了，修改、变更也极为方便。

(2) 编制梯形图和指令语句表

本例的梯形图的地址和指令语句表见表 8-2。

表 8-2 梯形图的地址和指令

梯 形 图	地 址	指 令
	0	ST X0
	1	AN/ R1
	2	TMX 1
	3	K 100
	4	ST T1
	5	TMX 2
	6	K 150
	7	OT Y1
	8	ST T2
	9	OT R1
		ED

控制原理：合上主电路电源开关 Q 和控制电路开关 S 后，输入继电器 X0 的动合触点闭合，定时器 TMX1 的线圈通电，经过延时设定时间 10s 后，它的动合触点闭合，定时器 TMX2 和输出继电器线圈 Y1 接通，接触器 KM 得电吸合，电动机起动运行。定时器 TMX2 经过 15s 的延时时间后，TMX2 的动合触点闭合，辅助继电器 R1 线圈接通，R1 动断触点断开，TMX1 线圈失电，进而使 TMX2、Y1、R1 线圈断开，电动机停下来。此时 R1 的动断触点又接通 X0 线圈，电动机停转的时间等于 TMX1 的延时时间（10s），10s 后 TMX1 的动合触点又接通 TMX2 和 Y1 线圈，KM 又得电吸合，电动机又起动运行，延时 15S 后又停止运行。电动机就这样周而复始地间歇运行下去。只有控制件关 S 断开，电动机才停止运转

8.4.3 电动机减压起动控制电路

电动机全压起动控制电路简便，但其起动电流很大（为额定电流的 6~7 倍），而过大的启动电流将会降低电动机寿命，同时使得变压器副边电压大幅度下降，导致电动机本身的启动转矩减小，甚至导致电动机无法正常启动。所以必须对大容量电动机实现减压启动控制。根据电动机工作方式的不同需要采用不同的方法实现，常用的有：自耦调压器减压启动、串电阻减压启动和Y-Δ减压启动等。下面以Y-Δ减压启动为例来说明。

1. 继电器接触器控制电路

图 8-9 所示为继电器接触器控制的电动机Y-Δ减压启动电路工作原理图。

工作原理：按下启动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈得电并自锁，KM3 线圈得电，它们的常开主触点闭合，电动机接入电源，并以 Y 接法开始运行；同时时间继电器 KT 线圈得电，经过延时后，其常闭触点断开，切断 KM3 线圈的电源，使得 KM3 断电，常开触点断开、常闭触点闭合；KT 的常开触点闭合，接触器 KM2 线圈得电，KM2 主触点闭合；使得电动机由 Y 联结切换为 Δ 联结运行。

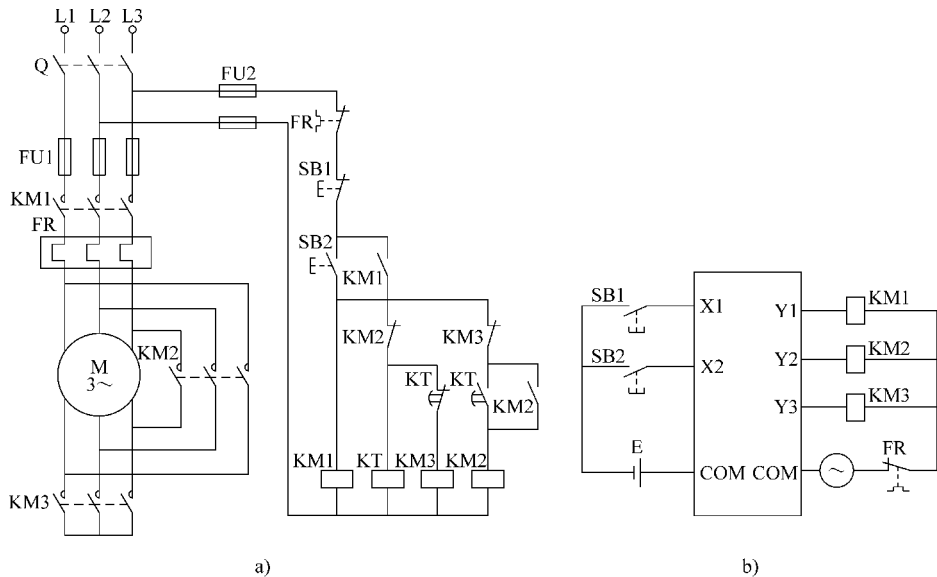


图 8-9 接触器控制的电动机Y-Δ减压起动电路
a) 继电-接触器控制 b) PLC 控制

2. PLC 控制电路

1) 确定 I/O 点数及其分配。I/O 点数及其分配见表 8-3，外部接线如图 8-9b 所示。

表 8-3 PLC 控制 I/O 分配表

输 入		输 出	
SB1	X1	KM1	Y1
SB2	X2	KM2	Y2
		KM3	Y3

2) 编制梯形图和指令语句表。本例的梯形图和指令语句表见表 8-4。

表 8-4 梯形图和指令表

梯 形 图	地 址	指 令	地 址	指 令
	0	ST X2		
	1	OR R0		
	2	AN/ X1	14	AN/ T0
	3	PSHS	15	OT Y3
	4	OT R0	16	ST T0
	5	POPS	17	TMX 1
	6	AN Y2		K 10
	7	OR/ T0	20	ST T1
	8	OT Y1	21	AN/ Y3
	9	ST R0	22	OT Y2
	10	TMX 0	23	ED
		K 50		
	13	ST R0		

8.4.4 电动机制动控制电路

电动机从切断电源到安全停止转动，由于惯性的关系总要经过一段时间，影响了劳动效

电，其主触点短接电阻 R，电动机起动结束。

2. PLC 控制电路

I/O 点数及其分配见表 8-5。

表 8-5 PLC 控制 I/O 分配表

输 入		输 出	
SB1	X1	KM1	Y1
SB2	X2	KM2	Y2
SB3	X3	KM3	Y3
FR	X4		
KS-Z	X5		
KSF	X6		

本例的梯形图和指令语句表见表 8-6。

表 8-6 梯形图和指令表

梯 形 图	指 令 表
	ST/ X4 PSHS AN X2 OR R1 AN/ X1 AN/ X3 AN/ R2 OT R1 RDS AN/ X1 AN R4 OR R1 AN/ Y2 OT Y1 RDS AN X3 OR R2 AN/ X1 AN/ X2 AN/ R1 OT R2 RDS AN/ X1 AN R3 OR R2 AN/ Y1 OT Y2 RDS AN Y1 OR R3 AN X5 OT R3 RDS AN Y2 OR R4 AN X6 OT R4 POPS ST R1 AN R3 ST R2 AN R4 ORS OT Y3 ED

8.5 PLC 控制系统的典型应用

8.5.1 设备顺序起动-循环控制

1. 控制要求

设某工件加工过程共需 4 道工序 36s 才能完成。工件加工过程的时序如图 8-11 所示。4 道工序的加工设备分别由输出继电器 Y0、Y1、Y2 和 Y3 启动。当闭合运行控制开关 X0 后，输出继电器 Y0 接通，延时 6s 后，Y1 接通，同时关断 Y0；再延时 8s 后，Y2 接通，同时关断 Y1；又延时 10s 后，最后 Y3 接通，同时关断 Y2；Y3 接通并保持 12s 后，Y0 又接通，同时 Y3 关断。可见该工件的加工控制是顺序控制，当第 4 道工序加工完毕后，又回到第一道工序重新执行，以后周而复始。这里 X0 为一自锁按钮，X0 为 ON 时，起动并运行；X0 为 OFF 时停机。

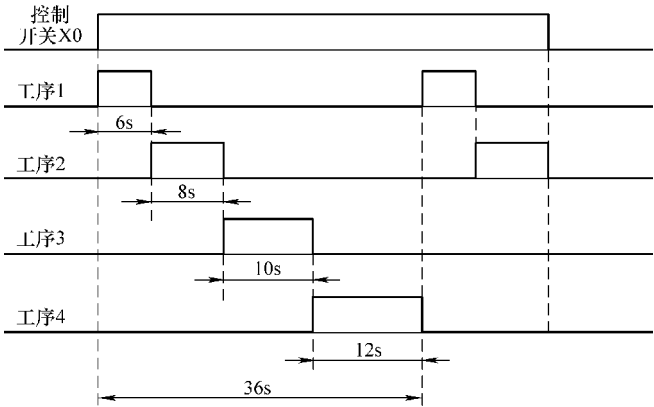


图 8-11 某工件加工过程时序图

2. 根据要求设计控制系统

(1) I/O 点分配表（见表 8-7）

表 8-7 I/O 点分配表

PLC 点名称	连接的外部设备	功能说明
X0	按钮 SB	启动/停止
Y0	控制继电器 0	控制工序 1
Y0	控制继电器 1	控制工序 2
Y1	控制继电器 2	控制工序 3
Y2	控制继电器 3	控制工序 3

(2) 控制梯形图

方法 1：如图 8-12 所示，利用 4 个定时器的串联来实现 4 道工序的分级定时控制。一个循环内总的控制时间为 $6s + 8s + 10s + 12s = 36s$ 。当 X0 闭合时，通过定时器的通断依次启动

下一道工序同时关闭上一道工序，循环往复，直至 X0 断开，停止运行。

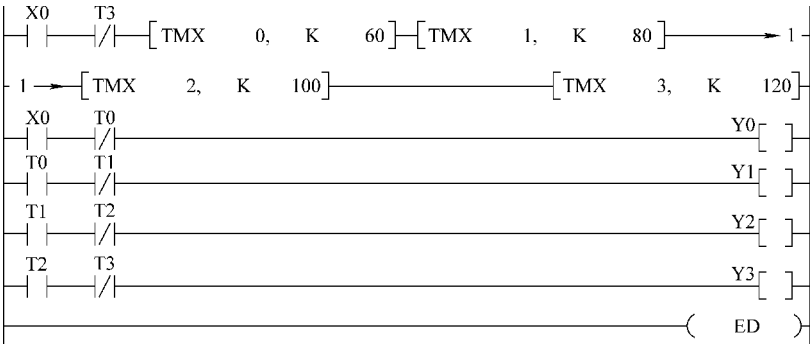


图 8-12 梯形图

方法 2：如图 8-13 所示，利用 4 个定时器实现 4 道工序分级定时控制另一种编程方法。

方法 3：如图 8-14 所示，利用 1 个定时器结合比较指令实现的。用 1 个定时器设置全过程时间，并用 3 条比较指令来判断和启动各道工序。定时器的预定值为总加工时间 36s（K360），当 X0 闭合后，Y0 通电，进行第一道工序，6s 后其经过值寄存器 EV 的值减为 K300，Y1 通电，启动第二道工序，同时停止第一道工序。依次类推。图中每个输出支路都串联了运行控制开关 X0，以便随时停止每道工序的加工。

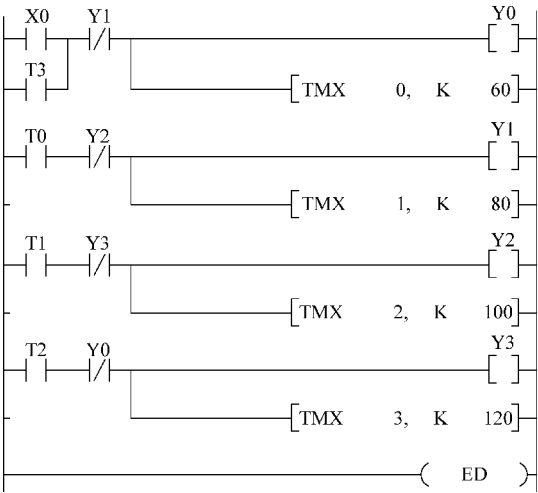


图 8-13 梯形图

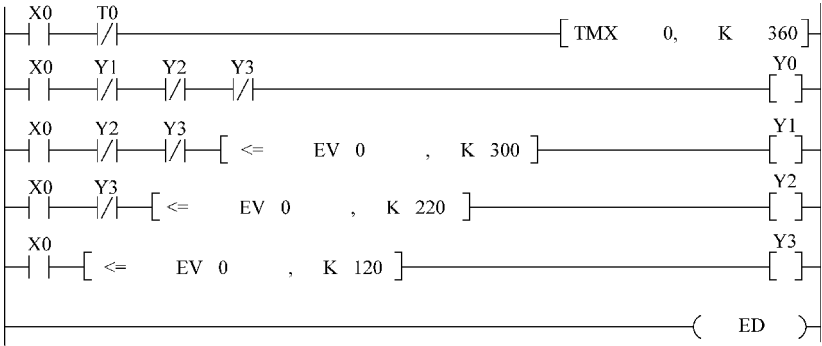


图 8-14 梯形图

方法 4：如图 8-15 所示，利用 1 个计数器结合比较指令实现的。不过使用计数器时必须结合时钟脉冲继电器，这里借助于 0.1s 时钟脉冲继电器进行定时控制，再结合比较指令，进行顺序和循环控制，以完成工件的加工。

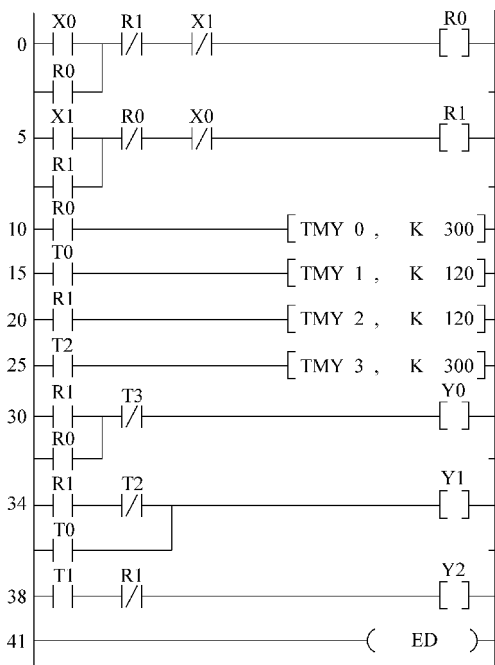


图 8-17 梯形图

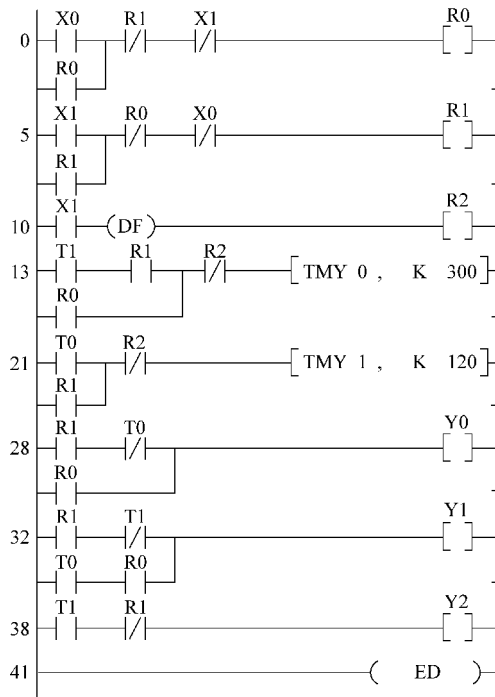


图 8-18 梯形图

图 8-17 程序利用了 4 个时间继电器，但程序的逻辑关系比较简单易懂。

图 8-18 程序利用了 2 个时间继电器，节约了 2 个时间继电器，但控制逻辑相对复杂些。

8.5.3 行车方向控制

1. 控制要求

某车间有 5 个工作台，小车往返工作台之间运料，如图 8-19 所示。每个工作台设有一个到位开关 (ST) 和一个呼叫开关 (SB)。

1) 小车初始时应停在 5 个工作台任意一个到位开关位置上。

2) 设小车现在停于 m 号工作台 (此时 ST_m 动作)。这时 n 号工作台呼叫 (SB_n 动作)。若 $m > n$ 小车主行，直至 ST_n 动作到位停车。若 $m < n$ 小车主行，直至 ST_n 动作到位停车。若 $m = n$ 小车主行不动。

2. 根据要求设计控制系统

(1) I/O 分配表 (见表 8-9)

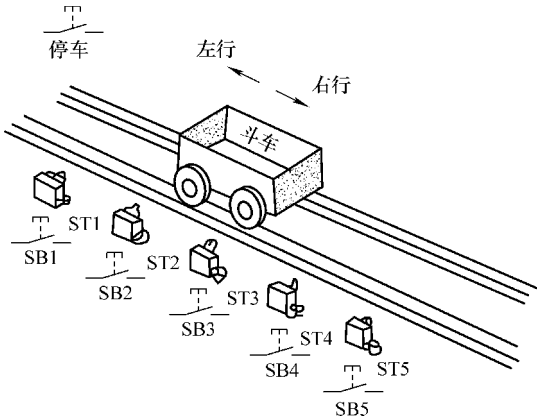


图 8-19 行车方向控制示意图

表 8-9 I/O 点分配表

PLC 点名称	连接的外部设备	功 能 说 明
X0	蓝按钮 SB0	控制运行
X1	行程开关 ST1	控制 1 号位停车
X2	行程开关 ST2	控制 2 号位停车
X3	行程开关 ST3	控制 3 号位停车
X4	行程开关 ST4	控制 4 号位停车
X5	行程开关 ST5	控制 5 号位停车
X6	蓝按钮 SB1	1 号位呼叫开关
X7	蓝按钮 SB2	2 号位呼叫开关
X8	蓝按钮 SB3	3 号位呼叫开关
X9	蓝按钮 SB4	4 号位呼叫开关
XA	蓝按钮 SB5	5 号位呼叫开关
Y0	控制继电器 1	控制停运
Y1	控制继电器 2	控制左行
Y2	控制继电器 3	控制右行

(2) 行车方向控制梯形图（见图 8-20）

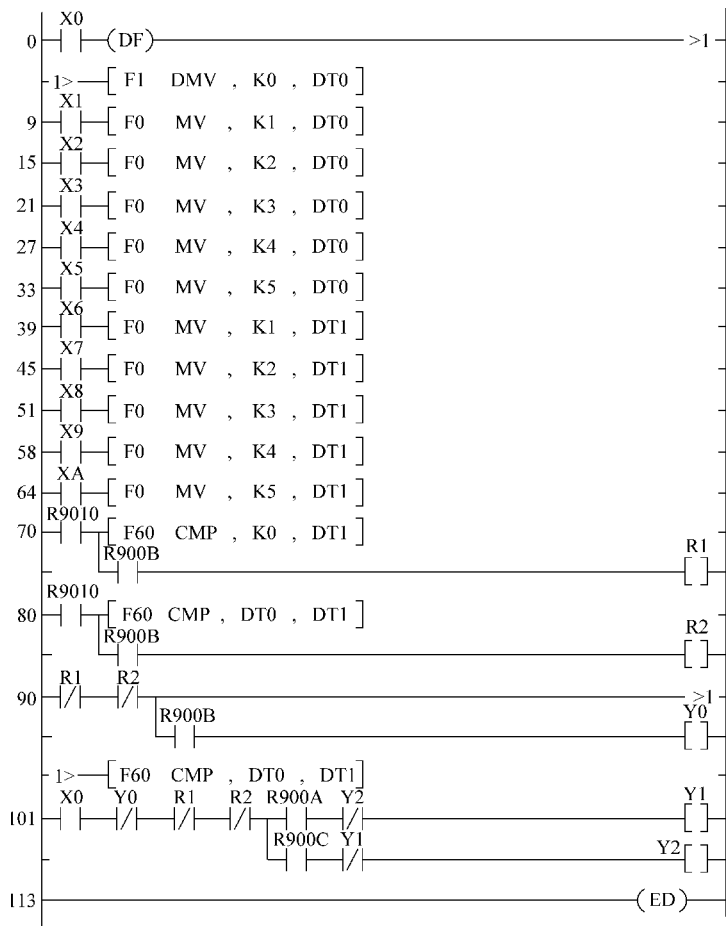


图 8-20 行车方向控制梯形图

DT0 中存放到位开关 (ST) 的号码, DT1 中存放呼叫开关 (SB) 的号码。

① DT0 中的数据大于 DT1 中数据时, 则小车主行, 反之则右行。

② 初始时小车主应停在某一位到开关处, 否则小车主不能启动。

此例中的编程技巧为:

① 利用传送指令进行位置和呼叫号的存储。

② 利用比较指令实现行车方向判断。这些控制在传统继电控制中难以实现。

8.6 调试与测试

实际应用系统的调试分为软件和硬件两部分, 通常这两部分是相互关联、紧密联系的。一般情况下是先进行软件部分的调试, 但最重要、最费时的调试是软硬件联调和现场调试。PLC 控制系统的实质是利用计算机实现控制功能, 因此, PLC 控制系统的调试与通用计算机应用系统基本一样, 一些在调试通用计算机应用系统所用的方法也能用于 PLC 控制系统的调试, 如仿真模拟法、程序隔离法、跟踪执行法和边界参数法等。

由于 PLC 自身的特点, 如循环扫描的工作方式或较多的输入/输出操作等, 因此有一些特殊的调试手段和方法, 如信号时序法、信号组合法等。在信号时序法中, 特别要注意脉冲触发的信号、定时器和计数器的工作过程及脉冲继电器的特性等。

系统测试一般可从以下几点来进行:

- 1) 是否具备设计所规定的全部功能。
- 2) 是否达到设计所规定的技术指标 (精度、控制稳定性、响应速度等)。
- 3) 应变能力 (在发生意外事件时, 系统能否作出正确的响应)。
- 4) 抗干扰能力。

在调试过程中如果能灵活有效地利用系统寄存器和错误报警继电器, 通常可以大大提高调试效率。当然, 调试过程是较多地依靠开发人员的经验进行的, 每个设计者有各自的方法和习惯, 主要靠自己不断摸索, 不断总结。

习题与思考题

8-1 有一台电动机, 要求当按下启动按钮时, 电动机运转 10s, 停止 5s, 重复执行 6 次操作, 电动机自动停机。试画出梯形图, 并写出指令表。

8-2 用 PLC 分别实现下述三种控制:

- 1) 电动机 M1 启动后, 电动机 M2 才能启动; M2 停止后, M1 才能停止。
- 2) 电动机 M1 既能正向启动、点动, 又能反向启动、点动。
- 3) 电动机 M1 启动后, 经过 30s 后 M2 能自行启动。M2 启动后 M1 立即停止。

8-3 试设计一个 PLC 控制系统, 要求第一台电动机启动 10s 后, 第二台电动机自行启动, 运行 5s 后, 第一台电动机停止并同时使第二台电动机自行启动, 再运行 15s 后, 电动机全部停止。设计梯形图并写出指令表。

8-4 某三相异步电动机具有正反向启动控制、正反向点动控制, 正反向连续运行过程中能实现串电阻反接制动, 点动过程中也串电阻。要求用 PLC 实现上述控制, 试设计主电路、PLC 外部接线图和梯形图程序。

8-5 某一个控制系统的执行机构由 3 台电机 M1 ~ M3 构成, 系统有自动和手动两种工作方式, 由切换

开关 SW 选择，SW 闭合时为自动方式，反之为手动方式。在自动方式下，按起动按钮 SB1（常闭）后 M1 起动，工作 5min 后停机，随后 M2 自动起动，工作 3min 后停机，同时 M3 自动起动，先正转 10min，接着反转 10min 后停机，然后 M1 又自动起动，如此循环 20 次后自动停机。在循环过程中按停止按钮 SB2（常开）则停机。在手动方式下，按钮 SB1 和 SB2 分别是 M1 和 M2 的点动按钮，SB3（常开）、SB4（常闭）和 SB5（常闭）分别是 M3 的正转起动、反转起动和停止按钮。试完成 I/O 分配和程序设计，并画出 I/O 接线图。

附录 A Y 系列三相异步电动机型号规格

型号	额定功率 /kW	满 载 时				堵转电流 额定电流 /A	堵转转矩 额定转矩 /A	最大转矩 额定转矩 /A	转动惯量 /kg · m ²	净重 (Ba) (kg)
		转速 /(r/min)	电流/A	效率 (%)	功率因数 cosφ					
Y801-2	0.75	2830	1.81	75	0.84	7.0	2.2	2.2	0.00075	16
Y801-2	1.1		2.52	77	0.86				0.00090	17
Y90S-2	1.5	2840	3.44	78	0.85				0.0012	22
Y90L-2	2.2		4.74	82	0.86				0.0014	25
Y100L-2	3.0	2870	6.39						0.0029	33
Y112M-2	4.0	2890	8.17	85.5	0.87				0.0055	45
Y132S1-2	5.5	2900	11.1						0.0109	64
Y132S2-2	7.5		15.0	86.2	0.88		0.0126		70	
Y160M1-2	11	2930	21.8	87.2			0.0377		117	
Y160M2-2	15		29.4	88.2			0.0449		125	
Y160L-2	18.5		35.5	89	0.0550	147				
Y180M-2	22	2940	42.2		0.075	180				
Y200L1-2	20	2950	96.9	90	0.124	240				
Y200L2-2	37		69.8	90.5	0.139	255				
Y225M-2	45	2970	83.9	91.5	0.233	309				
Y250M-2	55		103		0.312	403				
Y280S-2	75		140		0.597	544				
Y280M-2	90		167	92	0.675	620				
Y315S-2	110	2980	203	92.5	1.8	1.18	980			
Y315M1-2	132		242	93		1.82	1080			
Y315M2-2	160		292	93.5		2.08	1160			
Y881-4	0.55	1390	1.51	73	6.5	2.2	2.2	0.0018	17	
Y802-4	0.75		2.01	74.5				0.0021	18	
Y90S-4	1.1	1400	2.75	78	0.78			0.0021	22	
Y90L-4	1.5		3.65	79	0.79			0.0027	27	
Y100L1-4	2.2	1430	5.03	81	0.82			0.0054	34	
Y100L2-4	3.0		6.82	82.5	0.81			0.0067	38	
Y112M-4	4.0	1440	8.77	84.5	0.82			0.0095	43	
Y132S-4	5.5		11.6	85.5	0.84			0.0214	68	
Y132M-4	7.5		15.4	87	0.85			0.0296	81	

(续)

型号	额定功率 /kW	满 载 时				堵转电流 额定电流 /A	堵转转矩 额定转矩 /A	最大转矩 额定转矩 /A	转动惯量 /kg·m ²	净重 (Ba) (kg)	
		转速 /(r/min)	电流/A	效率 (%)	功率因数 cosφ						
Y160M-4	11	1460	22.6	88	0.84	7.0	2.0	2.2	0.0747	123	
Y160L-4	15		30.3	88.5	0.85				0.0918	144	
Y180M-4	18.5	1470	35.9	91	0.86				0.139	182	
Y180L-4	22		42.5	91.5					0.158	190	
Y200L-4	30		56.8	92.2	0.87				0.262	270	
Y225S-4	37	1480	69.8	91.8					0.406	284	
Y225M-4	45		84.2	92.3	0.88		1.9		0.469	320	
Y250M-4	55		103	92.6			2.0		0.66	427	
Y280S-4	75		140	92.7					1.12	562	
Y280M-4	90	1490	164	93.5	0.89		1.9		1.46	667	
Y315S-4	110		201	93.5					3.11	1000	
Y315M1-4	132		240	94			1.8		3.62	1100	
Y315M2-4	160		289	94.5					4.13	1160	
Y90S-6	0.75	910	2.25	72.5	0.70	6.0	2.0	0.0029	23		
Y90L-6	1.1		3.15	73.5	0.72			0.0035	25		
Y100L-6	1.5	940	3.97	77.5	0.74			0.0069	33		
Y112M-6	2.2		5.61	80.5	0.74			0.138	45		
Y132S-6	3.0	960	7.23	83	0.76			6.5	1.8	0.0286	63
Y132M1-6	4.0		9.40	84	0.77					0.0357	73
Y132M2-6	5.5		12.6	85.3	0.78					0.0449	84
Y160M-6	7.5	970	17.0	86						0.0881	119
Y160L-6	11		24.6	87						0.116	147
Y180L-6	15		31.4	89.5	0.81					0.207	195
Y200L1-6	18.5		37.7	89.8	0.83	0.315	220				
Y200L2-6	22	44.6	90.2	0.360		250					
Y225M-6	30	980		59.5	0.85	0.547	292				
Y250M-6	37		72	90.8	0.86	1.7	0.834	408			
Y280S-6	45		85.4	92	0.87	1.8	1.39	536			
Y280M-6	55		104				1.65	595			
Y315S-6	75	990	141				92.8	4.11	990		
Y315M1-6	90		169	93.2		4.78	1080				
Y315M2-6	110		206	93.5		1.6	5.45	1150			
Y315M3-6	132		246	93.8			6.12	1210			
Y132S-8	2.2	710	5.81	81	0.71	5.5	2.0	4.0314	63		
Y132M-8	3.0		7.72	82	0.72			0.0295	79		

(续)

型号	额定功率 /kW	满 载 时				堵转电流	堵转转矩	最大转矩	转动惯量 /kg·m ²	净重 (Ba) (kg)
		转速 /(r/min)	电流/A	效率 (%)	功率因数 cosφ	额定电流 /A	额定转矩 /A	额定转矩 /A		
Y160M1-8	4.0	720	9.91	84	0.73	6.0	2.0	2.0	0.0753	118
Y160M2-8	5.5		13.3	85	0.74				0.0931	119
Y150L-8	7.5		17.7	86	0.75	5.5			0.126	145
Y180L-8	11	730	25.1	86.5	0.77	6.0	1.7		0.203	184
Y200L-8	15		34.1	88	0.76		1.8		0.399	250
Y225S-8	18.5		41.3	89.5			1.7		0.491	266
Y225M-8	22	740	47.6	90	0.78	6.0	1.8		0.547	292
Y250M-8	30		63.0	90.5	0.80				0.834	405
Y280S-8	37		78.2	91	0.79				1.39	520
Y280M-8	45		93.2	91.7	0.80		1.6		1.65	592
Y315M-8	55	114	92	0.80	4.79	1000				
Y315M1-8	75	152	92.5	0.81	5.58	1100				
Y315M2-8	90	179	93	0.82	6.37	1160				
Y315M3-8	110	218	93.3		7.23	1230				
Y315S-10	45	590	101	91.5	0.74	6.5	1.4		4.79	990
Y315M2-10	55		123	92					6.37	1150
Y315M3-10	75		164	92.5	0.75				7.15	1220

附录 B 常用电器主要型号规格

表 B-1 CJ12B 系列交流接触器

项目 型号	主 触 点			辅 助 触 点			380V 时 控制电 机最大 功率/kW	接 通 与 分 断 能 力			电 寿 命 次 数 /万次	机 械 寿 命 /万次	操 作 频 率 /(次/h)	吸引线圈在 380V 时消耗功率	
	额定工作 电压/V	额定工作 电流/A	极 数	额定电压 /V	额定电流 /A	数 量		电压 /V	接通电流 /A	分断电流 /A				起 动 /V · A	吸 持 /W
CJ12B-100	380	100	2、3、 4、5、	交 流 380 或 直 流 220	10	六对触点可 组成五合一 分或四分二 合或三分三合	50	399	1200	1000	JK2 类 15	300	600	三极 925	三极 22
CJ12B-150		150					75		1800	1500				三极 1450	三极 30
CJ12B-250		250					125		3000	2500				三极 2100	三极 45
CJ12B-400		400					200		4000	3200	JK2 类 10	200	300	三极 4180	三极 85
CJ12B-600		600					300		6000	4800				三极 5600	三极 70

表 B-2 CJ20 系列交流接触器

项目 型号	主 触 点			辅 助 触 点				380V 时控制电动机	接通与分断能力			380V 时电寿命	机械寿命次数 /万次	操作频率 /(次/h)	吸引线圈在 380V 时消耗功率	
	额定工作电压/V	额定工作电流/A	极数	额定电压/V	额定电流/A	额定发热电流/A	数量	最大功率 /kW	电压/V	接通电流/A	分断电流/A	次数 /万次			起动 /V · A	吸持 /W
CJ20-63	380	63	3	交流至 380 直流至 220	交流 300	6	二 常分 二 常合	30	380	756	630	JK3 类 120	1000	JK3 类 1200 JK4 类 300	388	16. 5
	660	40						35	660	480	400	JK4 类 8				
CJ20-160	380	160			直流 60		85	380	1600	1280	JK3 类 1200	JK4 类 1. 5			855	32
	660	100					85	660	1200	1000						
CJ20-160/11	1140	80			交流 500		85	1140	960	800						
CJ20-250	380	250					直流 60	132	380	2500	2000	JK3 类 60	300	JK3 类 600 JK4 类 120	1710	65. 6
CJ20-250/06	660	200			190			660	2000	1600	JK4 类 1					
CJ20-630	380	630			直流 60		300	380	6300	5040	JK3 类 60 JK4 类 0. 5	3577			118	
CJ20-630/11	660	400					350	660	4000	3200						
	1140	400					400	1140	4000	3200						

表 B-3 3TB 系列交流接触器					
接触器型号	额定发热 电流/A	380V 时额定工作 电流/A	660V 时额定工作 电流/A	可控电动机功率/kW	
				380V	660V
3TB40	22	9	7.2	4	5.5
3TB41	22	12	9.5	5.5	7.5
3TB42	35	16	13.5	7.5	11
3TB43	35	22	13.5	11	11
3TB44	55	32	18	15	15

表 B-4 JZ7、JZ8 系列中间继电器								
型号	线圈参数			触点参数			动作 时间 /s	操作 频率 /(次/h)
	额定电压/V		消耗 功率	触点数	最大断开容量			
	交流	直流			感性负载	阻性负载		
JZ7-44	12、24、36、48、 110、127、220、 380、420、 440、500		12VA	4 开 4 闭	$\cos\varphi=0.4$ $L/R=5\text{ms}$ 交流 380V5A 500V3.5A 直流 220V0.5A	交流 380V5A 500V3.5A 直流 220V1A		1200
JZ7-62				6 开 2 闭				
JZ7-80				8 开				
JZ-□□J/Z□ JZ-□□J/（SZ）□ JZ-□□J/（PZ）□	110、127、 220、380	12	交流	6 开 2 闭 4 开 4 闭 2 开 6 闭			0.05	2000
		24	10VA					
		48						
		110	直流					
		220	7.5W					

注：JZ7 系列适用于交流电压 500V、电流 5A 以下的控制电路。

表 B-5 JY1 型速度继电器、JFZ0 型反接制动继电器						
型 号	触 点 容 量		触 点 数 量		额定工作转速 /(r/min)	允许操作频率 /(次/h)
	额定电压/V	额定电流/A	正转时动作	反转时动作		
JY1 JFZ0	380	2	1 组转换触点	1 组转换触点	100 ~ 3600 300 ~ 3600	< 30

表 B-6 JS7-A 空气阻尼式时间继电器											
型号	触点容量		延时触点数量				不延时触点的数量		线圈电压 /V	延时整定 范围 /s	操作频率 /(次/h)
	电压 /V	额定 电流 /A	线圈通电后 延时		线圈断电后 延时						
			动合	动断	动合	动断	动合	动断			
JS7-1A	380	5	1	1					60Hz: 36、 110、127、 220、380、 440	0.4 ~ 60 0.4 ~ 180 (误差不 大于正 负 10%)	600
JS7-2A	380	5	1	1							
JS7-3A	380	5			1	1	1	1			
JS7-4A	380	5			1	1	1	1			

表 B-7 RL1 系列熔断器			
型 号	熔断器额定电流/A	熔体额定电流等级	交流 380V 时极限分断能力 /(A, 有效值)
RL1-15	15	2、4、5、6、10、15	2000
RL1-60	60	20、25、30、35、40、50、60	5000
RL1-100	100	60、80、100	
RL1-200	200	100、125、150、200	

表 B-8 RC1 系列熔断器			
型 号	熔断器额定电流/A	熔体额定电流等级	交流 380V 时极限分断能力 /(A, 有效值)
RC1-10	10	1、4、6、10	500
RC1-15	15	6、10、15	500
RC1-30	30	20、25、30	1500
RC1-60	60	40、50、60	1500
RC1-100	100	80、100	3000
RC1-200	200	120、150、200	3000

表 B-9 RLS 系列螺旋式快速熔断器						
型 号	熔断器 额定电流 /A	熔体额定电流等级 /A	极限分断电流 (kA, 有效值) $\cos\varphi\leq 0.25$	外形尺寸/mm		
				长	宽	高
RLS-10	10	3、5、10	50	62	39	62
RLS-50	50	15、20、25、30、40、50		78	55	77
RLS-100	100	60、80、100		118	82	110

表 B-10 RT0 系列熔断器							
型号	额定电流 /A	熔体额定电流等级 /A	极限分断电流		外形尺寸/mm		
			交流 380V	直流 440V	长	宽	高
RT0-100	100	30、40、50、60、80、100	50kA (有效值) $\cos\varphi = 0.2\sim 0.3$	25kA $T < 15\text{ms}$	180	55	85
RT0-200	200	80、100、120、150、200			200	60	95
RT0-400	400	150、200、250、300、350、400			220	70	105
RT0-600	600	350、400、450、500、550、600			260	80	125
RT0-1000	1000	700、800、900、1000			350	90	175

表 B-11 HK 系列刀开关					
型 号	额定电压 /V	额定电流 /A	控制相应的电动机功率 /kW	熔 丝 规 格	
				含铜量不少于 (%)	线径不小于/mm
HK2-10/2	250	10	1. 1	99. 9	0. 25
HK2-15/2	250	15	1. 5	99. 9	0. 41
HK2-30/2	250	30	3. 0	99. 9	0. 56
HK2-15/3	500	15	2. 2	99. 9	0. 45
HK2-30/3	500	30	4. 0	99. 9	0. 71
HK2-60/3	500	60	5. 5	99. 9	1. 12

表 B-12 HH 系列封闭式负荷开关

型 号	额定电流 /A	刀开关极限通断能力 (在 110% 额定电压时)			熔断器极限分断能力			控制 电动机 最大功率 /kW
		通断电流 /A	功率因数	通断次数	分断电流 /A	功率因数	分断次数	
HH3-15/3	15	60	0.4	10	750	0.4	2	3.0
HH3-30/3	30	120			1500			7.5
HH3-60/3	60	240			3000			13
HH3-100/3	100	250	0.8					
HH3-200/3	200	300						
HH4-15/3 HH4-15/3Z	15	60	0.5	10	750	0.8	2	3.0
HH4-30/3 HH4-30/3Z	30	120			1500	0.7		7.5
HH4-60/3 HH4-60/3Z	60	240	0.4		3000	0.6		13

表 B-13 HS 系列双投刀开关

型 号	额定电压/V	额定电流/A	极 数	操 作 方 式	接 线 方 式
HS10-40/1 HS10-40/2 HS10-40/3 HS10-40/4	220	40	1 2 3 4	中央手柄	板后接线
HS11-200/1 HS11-200/2 HS11-200/3	380	200	1 2 3	中央手柄	板后接线
HS11-400/1 HS11-400/2 HS11-400/3		400	1 2 3		
HS11-600/1 HS11-600/2 HS11-600/3		600	1 2 3		
HS11-1000/1 HS11-1000/2 HS11-1000/3	380	1000	1 2 3	中央手柄	板后接线
HS13-200/21 HS13-200/23	380	200	2 3	中央杠杆	板前或板后检修
HS13-400/21 HS13-400/23		400	2 3		
HS13-600/21 HS13-600/23		600	2 3		
HS13-1000/21 HS13-1000/23		1000	2 3		

表 B-14 LAYL 系列按钮

电 流 种 类	额定工作电压/V	额定控制容量/V · A 或 W	约定发热电流/A
交流	380	300	6
	220		
	110		
直流	220	60	
	110		

正常使用数据				
电 流 种 类	使用类别号	接 通	分 断	操 作 参 数
		I (A) U (V) cosφ/T0.89	I (A) U (V) cosφ/T0.89	通断时间 (s)
AC	AC-15	7.9 380 0.3	0.79 380 0.3	0.05 ≤ t < 1
		13.6 220	1.36 220	
DC	DC-14	2.7 220 15	0.27 220 1.5	T0.95 × 10 ⁻⁸ 0.05 < t < 1
		5.5 110	0.55 110	

工频试验电压有效值 2500V
操作频率 1200 次/h

表 B-15 LA 系列按钮

型 号	额定电压 /V	额定电流 /A	触 点 数		钮数	按 钮 颜 色	结 构 形 式
			动 合	动 断			
LA2	500	5	1	1	1	黑、红、绿	开启式
LA4-2K	500	5	2	2	2	黑、红、绿、红	开启式
LA4-2H			2	2	2	黑、红、绿、红	保护式
LA4-3H			3	3	3	黑、红、绿	保护式
LA8-1	500	5	2	2	1	黑或绿	开启式
LA10-1	500	5	1	1	1	黑、绿或红	开启式
LA2-A	500	5	1	1	1	红色（蘑菇形）	
LA18-22	500	5	2	2	1	红、绿、黑或白	元件
LA18-44			4	4			
LA18-66			6	6			
LA18-22J	500	5	2	2	1	红	元件 （紧急式）
LA18-44J			4	4			
LA18-66J			6	6			
LA18-22X2	500	5	2	2	1	黑	元件 （旋钮式）
LA18-44X			4	4			
LA18-22X3			2	2			
LA18-66X			6	6			
LA18-22Y	500	5	2	2	1		元件（钥匙式）
LA18-66Y			6	6			
LA19-11	500	5	1	1	1	红、黄、兰、白或绿 紧急式为红色；指示 灯为交流可直流 6.3、 16 或 24V	元件
LA19-11J			1	1			元件（紧急式）
LA19-11D			1	1			元件（带指示灯）
LA19-11JD			1	1			元件（带指示灯、 紧急式）

注：型号中“X2”和“X3”分别表示二位和三位旋钮。

表 B-16 DW 系列自动断路器

技术指标 型号	脱扣器 额定电流 I_H/A	脱扣器 可调范围		保护特性			极限通断能力/A			寿命 (次)	
		电磁式	半导体式	长延时动作可调范围	短延时动作可调范围	瞬时动作可调范围	短延时	瞬时		机械寿命	电寿命
								有效值	峰值		
DWX15-200	100 ~ 200	(0.64 ~ 12) I_H		1.1 I_H < 20min 动 1.51 I_H < 3min 动		10 I_H 12 I_H		50000		20000	10000
DWX15-400	300 ~ 400									10000	5000
DWX15-600	300 ~ 600									70000	
DW15-200	100 ~ 200		(0.4 ~ 20) I_H	6 I_H 可 返回时 间 > 5s	(3 ~ 10) I_H 延时 0.2s	(10 ~ 12) I_H (8 ~ 20) I_H	20 I_H	20000		20000	10000
DW15-400	300 ~ 400									25000	
DW15-600	300 ~ 600									30000	5000
DW15-1000	600 ~ 1000	(0.7 ~ 10) I_H	(0.7 ~ 20) I_H	1.3 I_H < 1h 动 2 I_H < 10min	(3 ~ 10) I_H 延时 0.4s	(1 ~ 3) I_H (3 ~ 10) I_H (10 ~ 20) I_H	20 I_H	40000		5000	2500
DW15-1500	1500										
DW15-2500	1500 ~ 2500		(0.7 ~ 14) I_H	动 3 I_H 可 返回时 间 > 8s	(3 ~ 6) I_H 延时 0.4s	(1 ~ 3) I_H (3 ~ 10) I_H (7 ~ 14) I_H	14 I_H	60000		5000	500
DW15-4000	2500 ~ 4000										

注：保护特性可分为：

- 1) 过载长延时动作。保护线路不因长期过载而损坏。
- 2) 短路短延时动作。对一般短路断路器能选择性地延时一段时间后再动作（就可在排除故障的过程中减少停电范围）。
- 3) 特大短路瞬时动作。对严重短路事故断路器瞬时断开电路（从而保护其他受电设备免受短路大电流的破坏）。

表 B-17 BK 系列控制变压器

型 号	额定功率/V · A	一次额定电压/V		二次额定电压/V	
BK-50	50	(1) 110	(2) 220	(1) 12、24	(2) 36、6.3
		(3) 380	(4) 420	(3) 36 ~ 6.3	(4) 127、110
		(5) 440 ~ 220	(6) 380 ~ 220	(5) 127 ~ 6.3	
BK-100	100	(1) 110	(2) 220	(1) 12、24、6.3	(2) 36
		(3) 380	(4) 420	(3) 36 ~ 6.3	(4) 127
		(5) 440 ~ 220	(6) 380 ~ 220	(5) 127 ~ 6.3 (7) 127 ~ 36	(6) 127 ~ 12 (8) 127 ~ 36 ~ 6.3
BK-150	150	(1) 220、110	(2) 380	(1) 36 ~ 6.3	(2) 127 ~ 6.3
		(3) 420	(4) 440 ~ 220	(3) 127 ~ 12 ~ 6.3	(4) 127 ~ 36 ~ 6.3
		(5) 380 ~ 220			
BK-300	300	(1) 220、110	(2) 380	(1) 36 ~ 6.3、12、24、36	
		(3) 420	(4) 440 ~ 220	(2) 127 ~ 6.3	
		(5) 380 ~ 220		(3) 127 ~ 12 ~ 6.3 (4) 127 ~ 36 ~ 6.3	
BK-400	400	(1) 220、110	(2) 380	(1) 127 ~ 6.3	
		(3) 420	(4) 440 ~ 220	(2) 127 ~ 12 ~ 6.3	
		(5) 380 ~ 220		(3) 127 ~ 36 ~ 6.3	

(续)

型 号	额定功率/V · A	一次额定电压/V		二次额定电压/V
BK-500	500	(1) 220、110 (3) 420 (5) 380 ~ 220	(2) 380 (4) 440 ~ 220	(1) 24、36、127 (2) 127 ~ 12 ~ 6.3 (3) 127 ~ 36 ~ 6.3 (4) 127 ~ 6.3
BK-1000	1000	(1) 220、110 (3) 420 (5) 380 ~ 220	(2) 380 (4) 440 ~ 220	(1) 36、127 (2) 127 ~ 6.3 (3) 127 ~ 12 ~ 6.3 (4) 127 ~ 36 ~ 6.3

附录 C 特殊内部继电器表

位址	用 途	说 明	可 用 性		
			C14/C16	C24/C40	C56/C72
R9000	自诊断错误标志	当自诊断错误发生时变成 ON，错误代码在于 DT9000 中	A	A	
R9005	电池异常标志（非保持）	当电池异常时瞬间接通	N/A		
R9006	电池异常标志（保持）	当电池异常时接通并保持此状态			
R9007	操作错误标志（保持）	当操作错误发生时接通且保持，错误地址存于 DT9017 中	A		
R9008	操作错误标志（非保持）	当操作错误发生时瞬间接通，错误地址存于 DT9018 中			
R9009	进位标志	当运算出现溢出或被某移位指令置“1”时瞬间接通，也可用于 F60/F61 作标志			
R900A	> 标志	执行 F60/F61 时，当 S1 > S2 时瞬间接通			
R900B	= 标志	执行 F60/F61 时，当 S1 = S2 时瞬间接通			
R900C	< 标志	执行 F60/F61 时，当 S1 < S2 时瞬间接通			
R900D	辅助定时器触点	执行 F137 指令，当设定值递减为 0 时变成 ON	N/A	A	
R900E	RS-422 口错误标志	当 RS-422 口操作发生错误时接通	A	A	
R900F	扫描周期常数错误标志	当扫描周期常数发生错误时接通			
R9010	常闭继电器	常闭			
R9011	常开继电器	常开			
R9012	扫描脉冲继电器	每次扫描交替开闭			
R9013	运行初期闭合继电器	只在运行每一次扫描时合上，从第二次扫描开始断开并保持断开状态			
R9014	运行初期断开继电器	只在运行每一次扫描时合上，从第二次扫描开始断开并保持闭合状态			
R9015	步进开始时闭的继电器	仅在开始执行步进指令（SSTP）的第一次扫描到来时瞬间合上			
R9018	0.01s 时钟脉冲断电器	以 0.01s 为周期重复通/断动作，占空比为 1：1	A	A	
R9019	0.02s 时钟脉冲断电器	以 0.02s 为周期重复通/断动作，占空比为 1：1			
R901A	0.1s 时钟脉冲断电器	以 0.1s 为周期重复通/断动作，占空比为 1：1			
R901B	0.2s 时钟脉冲断电器	以 0.2s 为周期重复通/断动作，占空比为 1：1			
R901C	1s 时钟脉冲断电器	以 1s 为周期重复通/断动作，占空比为 1：1			
R901D	2s 时钟脉冲断电器	以 2s 为周期重复通/断动作，占空比为 1：1			
R901E	1min 时钟脉冲断电器	以 1min 为周期重复通/断动作，占空比为 1：1			
R901F	未使用				
R9020	运行方式标志	当 PLC 工作方式置为“RUN”时闭合	N/A	A	
R9026	信息标志	当信息显示指令 F149（MSG）执行时闭合			
R9027	远程方式标志	当 PLC 工作方式置为“REMOTE”时闭合	A		
R9029	强制标志	在强制通/断操作期间合上			

(续)

位址	用 途	说 明	可 用 性		
			C14/C16	C24/C40	C56/C72
R902A	中断标志	当外部中断允许时闭合	N/A	A *	
R902B	中断错误标志	当中断错误发生时闭合			
R9032	RS-232C 口选择标志	在系统寄存器 No. 412 中当 RS-232C 口被选择 用作一般通信时闭合 (即 No. 412 的值为 K2)			
R9033	打印/输出标志	当打印/输出指令 (F147) 执行时闭合			
R9036	I/O 链接错误标志	当 I/O 链接发生错误时闭合	A		
R9037	RS-232C 错误标志	当 RS-232C 出现错误时闭合, 错误码存于 DT9059 中	N/A	A *	
R9038	RS-232C 接收完毕标志	当使用串行通信指令 (F144) 接收到结束符 时该触点闭合			
R9039	RS-232C 发送完毕标志	当数据由串行通信指令 (F144) 发送完毕时 该触点闭合, 当数据正被串行通信指令 (F144) 发送时该触点断开			
R903A	高速计数器 (HSC) 控制标志	当高速计数器被 F162、F163、F164 和 F165 指令控制时合上	A	A	
R903B	凸轮控制标志	当执行凸轮控制指令 (F165) 时闭合			

注: A 表示可用;
N/A 表示不可用;
A * 表示只有 C24C、C40C、C56C 和 C72C 类型可用。

附录 D 特殊数据寄存器表

位址	用 途	说 明	可 用 性		
			C14/C16	C24/C40	C56/C72
DT9000	存放自诊断错误代码	当自诊断错误发生时，错误代码存入 DT9000 中	A		
DT9014	辅助寄存器（用于 F105 和 F106）	当执行 F105（BSR）或 F106（BSL）指令时，用于存放溢出位（bit3 ~ bit0）			
DT9015	辅助寄存器（除法余数）	当执行 F32 或 F52 时，存放除法运算的余数，当执行 F33 或 F53 时，存放除法运算的余数的低 16 位			
DT9016	辅助寄存器（除法余数）	当执行 F33 或 F53 时，存放除法运算的余数的高 16 位			
DT9017	操作错误地址寄存器（保持型）	当检测到错误操作时，错误操作地址存于 DT9017 中，且保持其状态			
DT9018	操作错误地址寄存器（非保持型）	当检测到错误操作时，用于存放最后的错误操作的最终地址			
DT9019	2.5ms 振铃计数器寄存器	DT9019 中的数据每 2.5ms 增加 1，通过计算时间差值可确定某些过程的经过时间			
DT9022	扫描时间寄存器（当前值）	用于存放当前扫描时间。扫描时间用下式计算：扫描时间 = 数据 × 0.1ms			
DT9023	扫描时间寄存器（最小值）	最小扫描时间存于 DT9023 中。 扫描时间 = 数据 × 0.1ms			
DT9024	扫描时间寄存器（最大值）	存放最大扫描时间。 扫描时间 = 数据 × 0.1ms			
DT9025	中断屏蔽状态寄存器	用于监视中断屏蔽状态，每位对应一个中断源 0：禁止 1：允许	N/A		A
DT9027	定时中断时间常数寄存器	监视定时中断时间。 中断时间（ms） = 时间常数 × 10ms			
DT9030	信息 0 寄存器	当执行信息显示指令 F149 时，指定信息被分别在于 DT9030 ~ DT9035			
DT9031	信息 1 寄存器				
DT9032	信息 2 寄存器				
DT9033	信息 3 寄存器				
DT9034	信息 4 寄存器				
DT9035	信息 5 寄存器				
DT9037	查找指令用寄存器 1	当执行 F96 指令时，存放已找到符合条件数据个数	A		
DT9038	查找指令用寄存器 2	当执行 F96 指令时，存放所找到的第一个数据的地址与该指令操作数 S2 所指定的数据区首地址之间的相对地址			

(续)

位址	用 途	说 明	可 用 性		
			C14/C16	C24/C40	C56/C72
DT9040	可调输入寄存器 (V0)	电位器 (V0, V1, V2 和 V3) 的值存于: C14 和 C16 系列: V0→DT9040; C24 系列: V0→DT9040; V1→DT9041 C40, C56 和 C72 系列: V0→DT9040; V1→DT9041; V2→DT9042; V3→DT9043;	A	A	A
DT9041	可调输入寄存器 (V1)		N/A		
DT9042	可调输入寄存器 (V2)				
DT9043	可调输入寄存器 (V3)				
DT9044	高速计数器经过值寄存器 (低 16 位)	存放高速计数器经过值低 16 位数	A		
DT9045	高速计数器经过值寄存器 (高 16 位)	存放高速计数器经过值高 16 位数			
DT9046	高速计数器预置值寄存器 (低 16 位)	存放高速计数器预置值低 16 位数			
DT9047	高速计数器预置值寄存器 (高 16 位)	存放高速计数器预置值高 16 位数			
DT9052	高速计数器控制寄存器	用于控制高速计数器的工作状态	N/A	A *	
DT9053	时钟/日历监视寄存器	以 BCD 码形式显示时、分, 用于监视时间, 不可改写			
DT9054	时钟/日历监视和设置寄存器 (分/秒)	时钟/日历数据以 BCD 码形式存于 DT9054、DT9055、DT9056 和 DT9057 中, 可用于设置和监视时钟/日历, 可用编程器或编程软件定入			
DT9055	时钟/日历监视和设置寄存器 (日/时)				
DT9056	时钟/日历监视和设置寄存器 (年/月)				
DT9057	时钟/日历监视和设置寄存器 (星期)				
DT9058	时钟校准寄存器 (30s 修正)	当对 bit0 写入 1, 即可补正 30s			
DT9059	通信异常代码寄存器	RS-232C 口通信错误代码存于 DT9059 高 8 位区, 编程口错误代码存于 DT9059 低 8 位区	N/A	A *	
DT9060	步进过程监视寄存器 (过程号: 0 ~ 15)	工作: 1: 停止; 0: bit0 ~ bit15 对应 step0 ~ step15	A		
DT9061	步进过程监视寄存器 (过程号: 16 ~ 31)	工作: 1: 停止; 0: bit0 ~ bit15 对应 step16 ~ step31			
DT9062	步进过程监视寄存器 (过程号: 32 ~ 47)	工作: 1: 停止; 0: bit0 ~ bit15 对应 step32 ~ step47			
DT9063	步进过程监视寄存器 (过程号: 48 ~ 63)	工作: 1: 停止; 0: bit0 ~ bit15 对应 step48 ~ step63			
DT9064	步进过程监视寄存器 (过程号: 64 ~ 79)	工作: 1: 停止; 0: bit0 ~ bit15 对应 step64 ~ step79			

(续)					
位址	用 途	说 明	可 用 性		
			C14/C16	C24/C40	C56/C72
DT9064	步进过程监视寄存器 (过程号: 64 ~ 79)	工作: 1: 停止; 0: bit0 ~ bit15 对应 step64 ~ step79	A		
DT9065	步进过程监视寄存器 (过程号: 80 ~ 95)	工作: 1: 停止; 0: bit0 ~ bit15 对应 step80 ~ step95			
DT9066	步进过程监视寄存器 (过程号: 96 ~ 111)	工作: 1: 停止; 0: bit0 ~ bit15 对应 step96 ~ step111			
DT9067	步进过程监视寄存器 (过程号: 112 ~ 127)	工作: 1: 停止; 0: bit0 ~ bit15 对应 step112 ~ step127			

注: A 表示可用;
N/A 表示不可用;
A * 表示只有 C24C、C40C、C56C 和 C72C 类型可用。

附录 E FP1 系统寄存器表

地址	分类	定 义	默 认 值	设定范围及说明
0	用户 存储区 设定	反映程序容量	K1、K3 或 K5	根据 PLC 类型自动指定： C14/C16 系列（900 步）：K1 C24/C40 系列（2720 步）：K3 C56/C72 系列（5000 步）：K5
4		设定无备份电池时的工作 状态 ^① （C24、C40、C56 和 C72 系列）	K0	当备份电池电压过低或断开时，该参数对应指定 FP1 的工作状态为： K0：“ERR”灯亮，指示出错 K1：“ERR”灯不亮，不作错误处理
5	内部 I/O 的 设定	设定计数器起始地址（定 时器个数）	K100	指定计数器起始地址，取值范围 C14/C16 系列：K0 ~ K128 C24/C40/C56/C72 系列：K0 ~ K144 设定若为上限值，则全部区域被用作定时器
6		为定时器/计数器区域设定 保持区首地址	K100	指定定时器/计数器保持区首地址，取值范围 C14/C16 系列：K0 ~ K128 C24/C40/C56/C72 系列：K0 ~ K144 建议设为与系统寄存器 No. 5 相同值，这样，定时 器为非保持型，计数器为保持型
7		设定内部继电器保持区首 地址	K10	以字为单位指定内部继电器保持区首地址，取值 范围 C14/C16 系列：K0 ~ K128 C24/C40/C56/C72 系列：K0 ~ K144 例如：若 C14 系列系统寄存器 No. 7 设定为 K6，则 非保持区：R0 ~ R5F 保持区： R60 ~ R15F
8	内部 I/O 的 设定	设定数据寄存器保持区首 地址	K0	指定数据寄存器保持区首地址，取值范围： C14/C16 系列：K0 ~ K256 C24/C40 系列：K0 ~ K1660 C56/C72 系列：K0 ~ K6144 如果设定为上限值，则所有区域均为非保持区
14		设定步进区的保持/非保 持区	K1	指定步进操作的保持/非保持状态 K0：保持 K1：非保持
20	异常 运行 模式 设定	设定“重复输出”时的工 作状态	K0	当程序出现“重复输出”时，该参数对应指定 FP1 的工作状态为： K0：“ERR”灯亮，指示出错 K1：“ERR”灯不亮，不作为总体检查错误
26		操作错误发生时工作状态 设定	K0	当检测出操作错误后，该参数对应指定 FP1 的工 作状态为： K0：FP1 停止运行 K1：FP1 继续运行

(续)

地址	分类	定 义	默 认 值	设定范围及说明
31	系统 时间 设定	设定多帧通信的等待时间		当用计算机链接方式执行多帧通信时, 该参数对应指定两个限定符之间的最大等待时间设定范围: K4 ~ K32760: 10ms ~ 81.9s (等待时间 = 设定值 × 2.5ms)
34		设定扫描时间常数	K0	设定固定扫描时间。设定范围: K0: 该功能不使能 K1 ~ K64: 2.5ms ~ 160ms (扫描时间 = 设定值 × 2.5ms)
400	高数 计数 器设定	高速计数器工作方式设定 ^②	H0	设定高速计数器的工作方式 (X0、X1 为脉冲输入端, X2 为复位输入端) H0: 不使用高速计数及复位功能 H1: X0、X1 两路双相输入, X2 无复位功能 H2: X0、X1 两路双相输入, X2 可复位 H3: X0 加输入, X2 无复位功能 H4: X0 加输入, X2 可复位 H5: X1 减输入, X2 无复位功能 H6: X1 减输入, X2 可复位 H7: X0/X1 加/减输入, X2 无复位功能 H8: X0/X1 加/减输入, 可复位
402	其他 特殊 功能 设定	脉冲捕捉输入功能设定 ^②	H0	bit0 ~ bit7 对应设定 X0 ~ X7 是否具有脉冲捕捉功能。 “0”不使能, “1”使能 取值范围: C14/C16 系列 (X0 ~ X3): H0 ~ HF C24/C40/C56/C72 系列 (X0 ~ X7): H0 ~ HFF
403		输入端中断请求功能设定 ^②	H0	bit0 ~ bit7 对应设定 X0 ~ X7 是否具有中断请求功能。 “0”不使能, “1”使能 取值范围: C14/C16 系列 (X0 ~ X3): 无此功能 C24/C40/C56/C72 系列 (X0 ~ X7): H0 ~ HFF
404	其他 特殊 功能 设定	设定 X0 ~ X1F 的输入延时 滤波时间 ^②	H1111 (全部 2ms)	每个系统寄存器分为 4 组, 每组对应设定 8 个输入端的延时时间 例如: 在 No. 404 的 bit0 ~ bit7 (低 4 位) 置入常数 H3, 则 X0 ~ X7 的延时时间为 8ms 不同的时间常数对应的延时时间为: H0 = 1ms; H1 = 2ms; H2 = 4ms; H3 = 8ms; H4 = 16ms; H5 = 32ms; H6 = 64ms; H7 = 128ms;
405		设定 X20 ~ X3F 的输入延时 滤波时间	H1111 (全部 2ms)	
406		设定 X40 ~ X5F 的输入延时 滤波时间	H1111 (全部 2ms)	
407		设定 X60 ~ X7F 的输入延时 滤波时间	H1111 (全部 2ms)	
410	通信 功能 设定	编程口 (RS-422 口) 站号 设定	K1	当通过编程口 (RS-422) 执行计算机链接通信时, 此寄存器可指定站号。站号范围: K1 ~ K32
411		编程口 (RS-422 口) 通信 格式 (字符位数) 和调制解 调器设定	H0	使用编程口 (RS-422) 口时, 该寄存器用来设定通信格式和调制解调器的兼容性 bit0 设定通信格式 (字符位数) 该位为 “0”: 位数为 “8” 该位为 “1”: 位数为 “7” Bit15 设定调制解调器的兼容性 0: 不允许 1: 允许

(续)

地址	分类	定 义	默 认 值	设定范围及说明
412	通信 功能 设定	设定 RS-232C 串行口通信方式	K0	选择 RS-232C 串口功能 K0: RS-232C 串行口不使用 K1: RS-232C 串行口用于计算机链接通信 K2: RS-232C 串行口用于一般通信
413		设定 RS-232C 串行口通信格式	H3	bit0 设置字符位 0: 7 位; 1: 8 位 bit1、bit2 设置奇偶校验 00: 无 01: 奇 10: 无; 11: 偶 bit3 设置停止位 0: 1 位; 1: 2 位 bit4、bit5 设置结束符 00: CR 01: CR + LF 10: CR; 11: EXT bit6 设置头码 0: 没有 STK 码; 1: 带 STK 码 只有当 No. 412 设为 K2, 该项设置方有效
414		RS-232C 串行口波特率设定	K1	K0: 19200b/s; K1: 9600b/s; K2: 4800b/s; K3: 2400b/s; K4: 1200b/s; K5: 600b/s; K6: 300b/s;
415		RS-232C 串行站号设定	K1	当 RS-232C 串行口用于计算机链接通信方式时, 此寄存器可指定站号。设置范围: K1 ~ K32
416		RS-232C 串口调制解调器通信设定 ^③	H0	H0: 通信不允许 H8000: 通信允许
417		从 RS-232C 串口接收数据的首地址设定	K0	当执行一般通信时, 该参数设定作为从 RS-232C 串口接收数据的缓冲器数据寄存器的首地址 取值范围: C24C/C40C 型: K0 ~ K1660 C56C/C72C 型: K0 ~ K6144
418		从 RS-232C 串口接收数据的缓冲器容量	K1660	该参数对应设定缓冲器的字节数 取值范围: C24C/C40C 型: K0 ~ K1660 C56C/C72C 型: K0 ~ K6144

注: 系统寄存器的设定、变更必须在 PROG 模式下进行。

① 只限于 2.7 或 2.7 以上版本、并在型号后面带有“B”符号的 FP1 机型。

② 当系统寄存器 No. 400、No. 402、No. 403 和 No. 404 同时设定时, 它们的优先权排序是: No. 400、No. 402、No. 403、No. 404。

③ 调制解调通信设置功能只限于 2.7 或 2.7 以上版本, 并在型号后面带有“B”符号的 C24/C40/C56/C72 机型。

参 考 文 献

- [1] 王炳实. 机床电气控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [2] 熊幸明. 工厂电气控制技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [3] 王得胜, 韩红彪. 电气控制系统设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [4] 王本铁. 机电设备控制基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [5] 齐占庆, 王振臣. 机床电气控制技术 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [6] 顾德英, 罗长杰, 等. 现代电气控制技术 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.
- [7] 鲁远栋. 机床电气控制技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [8] 戴明宏, 张君霞. 电气控制与 PLC 应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [9] 常斗南, 等. 可编程序控制器原理·应用·实践 [M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [10] 周美兰, 周封, 王岳宇. PLC 电气控制与组态设计 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [11] 松下电工株式会社. 可编程序控制器 (FP 系列) FP1/FM 编程手册.
- [12] 松下电工株式会社. 可编程序控制器 (FP 系列) FP1 硬件技术手册.
- [13] 姚永刚. 机床电器与可编程序控制器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [14] 常晓玲, 等. 电气控制系统与可编程序控制器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [15] 李国厚, 杨青杰, 洪源. PLC 原理与应用设计 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.



地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术 / 电气控制

ISBN 978-7-111-40642-6

策划编辑◎林春泉/封面设计◎路恩中

ISBN 978-7-111-40642-6



定价: 39.90元