



普通高等教育“十二五”规划教材

S7-200/300/400

可编程控制器 原理及应用实例

李 冰 郑秀丽 孙 蓉 韩之涛 张兰勇 编著



(附光盘)



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通 规划教材

可编程控制器原理 及应用实例

编著 李 冰 郑秀丽 孙 蓉
韩之涛 张兰勇
主审 杨贵杰



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书共分四篇：第一篇电气控制与 PLC 基础理论，第二篇 S7-200 系列 PLC，第三篇 S7-300/400 系列 PLC，第四篇 PLC 控制系统设计方法，本书从电气控制基础、可编程控制器的基础知识介绍 PLC，详细介绍 S7-200/300/400PLC 的硬件组成、编程语言、指令系统和编程软件的使用方法，以及数字量控制系统梯形图设计方法和 PLC 控制系统设计方法，书中以材料分拣教学模型控制系统、五层电梯教学模型控制系统和八层电梯教学模型控制系统等实例为主线，帮助读者深入了解 PLC 控制系统。

本书可作为普通高等学校电气工程及其自动化、自动化、机电一体化等专业的教材，也可作为相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

可编程控制器原理及应用实例 / 李冰等编著. —北京：中国电力出版社，2011.12

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-2522-7

I. ①可… II. ①李… III. ①可编程序控制器—高等学校—教材 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 274136 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 12 月第一版 2011 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 619 千字

定价 46.00 元 (含 1CD)

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

可编程序控制器(PLC)是应用十分广泛的微机控制装置,是自动控制系统的关键设备。专为工业现场应用而设计的,它采用可编程序的存储器,用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时/计数和算术运算等操作的指令,并通过数字式或模拟式的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。目前 PLC 已广泛应用于冶金、矿业、机械、轻工等领域,为工业自动化提供了有力的工具,为此,各高校的电气自动化、机电一体化等相关专业相继开设了有关可编程序控制器原理及应用的课程。可编程序控制器课程是一门实践性很强的课程,要学好可编程序控制器,除了在课堂上做基本的传授外,通过实验手段进行自动控制系统的模拟设计与程序调试,进一步验证、巩固和深化控制器原理知识与硬软件设计知识是必不可少的;通过实验还可以加强对常见工控设备的认识 and 了解。

本书就是基于这样一个出发点,以目前用得较普遍的西门子 S7-200/300 中小型 PLC 为实训样机,结合材料分拣教学模型、五层电梯教学模型、八层电梯教学模型,从工程实践出发,由易到难,循序渐进,在典型应用的基础上,逐步解决实际问题。

本书中,李冰编写了第 1~4 章,郑秀丽编写了第 6、9 章和第 10 章,孙蓉编写了第 12 章和附录,韩之涛编写了第 5、7 和第 8 章,张兰勇编写了第 11、13 和第 14 章,其他参与编写和资料整理的人员有邵娜莎、张震寰、曹华姿、王犇、张航、李成刚、冯雨、陈卓等,在此对他们的辛勤工作表示感谢!

本书的编写得到了哈尔滨工程大学自动化学院控制工程实验教学中心吕淑萍教授的大力支持,在此,笔者表示深切的谢意;本书参考、引用了一些文献资料,在本书问世之际,向这些文献资料的作者表示衷心的感谢。

因作者水平有限,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。



目 录

前言

第一篇 电气控制与 PLC 基础理论

第 1 章 电气控制基础	1
1.1 常用低压电器	1
1.2 电气控制系统的基本控制电路	8
1.3 电气控制系统的设计	17
思考与练习	19
第 2 章 PLC 概述	20
2.1 PLC 的产生与发展	20
2.2 PLC 的特点与功能	21
2.3 PLC 的结构与分类	23
2.4 常用的 PLC 产品	25
思考与练习	28
第 3 章 PLC 的组成与原理	29
3.1 PLC 的组成	29
3.2 PLC 的工作原理	34
3.3 继电器控制与 PLC 控制的比较	39
3.4 PLC 编程语言	40
思考与练习	42

第二篇 S7-200 系列 PLC

第 4 章 S7-200 系列 PLC 简介	43
4.1 S7-200 综述	43
4.2 S7-200 硬件组成	43
4.3 S7-200 的通信功能	47
思考与练习	49
第 5 章 S7-200 系列 PLC 的指令系统	50
5.1 S7-200 的编程语言	50
5.2 S7-200 的指令系统	50
思考与练习	68
第 6 章 STEP 7-Micro/WIN 32 编程软件的使用方法	69
6.1 STEP 7-Micro/WIN 概述	69

6.2 输入梯形逻辑程序	72
6.3 建立通信和下载程序	76
6.4 材料分拣控制系统	78
思考与练习	98

第三篇 S7-300/400 系列 PLC

第 7 章 S7-300/400 系列 PLC 简介	99
7.1 S7-300 综述	99
7.2 S7-300 硬件组成	102
7.3 S7-400 综述	120
7.4 S7-400 硬件组成	123
7.5 ET 200 分布式 I/O 硬件组成	130
思考与练习	136
第 8 章 S7-300/400 的通信功能	137
8.1 S7 通信分类	137
8.2 MPI 网络	138
8.3 PROFIBUS	145
8.4 工业以太网	164
8.5 点对点通信	170
8.6 AS-i 网络	177
思考与练习	182
第 9 章 S7-300/400 系列 PLC 的指令系统	184
9.1 S7-300/400 的编程语言	184
9.2 S7-300/400 的存储区	185
9.3 S7-300/400 的指令系统	192
思考与练习	211
第 10 章 S7-300/400 用户程序结构	213
10.1 用户程序基本结构	213
10.2 数据块	216
10.3 组织块	220
思考与练习	228
第 11 章 STEP 7 编程软件的使用方法	229
11.1 STEP 7 编程软件简介	229
11.2 组态	230
11.3 使用符号编程	235
11.4 在 OB1 中创建程序	236
11.5 创建一个带有功能块和数据块的程序	237
11.6 编程一个功能 (FC)	239

11.7 编程共享数据块	240
11.8 编程多重背景	240
11.9 S7-PLCSIM 仿真软件的使用	242
11.10 系统调试	245
思考与练习	248
第 12 章 PLC 控制系统实例	249
12.1 五层电梯控制系统	249
12.2 八层电梯控制系统	256
12.3 实例分析	269
思考与练习	292

第四篇 PLC 控制系统设计方法

第 13 章 数字量控制系统梯形图设计方法	295
13.1 梯形图编程规则	295
13.2 梯形图程序的优化	296
13.3 梯形图的经验设计法	297
13.4 顺序控制设计方法	302
思考与练习	322
第 14 章 PLC 控制系统设计	324
14.1 PLC 控制系统概述	324
14.2 控制系统 PLC 的选择	328
14.3 PLC 控制系统的软/硬件设计	334
14.4 PLC 控制系统的可靠性设计	341
14.5 PLC 控制系统的抗干扰设计	348
思考与练习	356
附录 1 常用电气图形符号表	357
附录 2 S7-200 指令表	359
附录 3 S7-300/400 指令表	379
附录 4 S7-200 特殊寄存器 (SM) 标志位	383
附录 5 系统组织块 OB 简表	388
附录 6 系统功能块 SFC 简表	390
附录 7 系统功能块 SFB 简表	393
参考文献	395

第一篇 电气控制与 PLC 基础理论

第 1 章 电气控制基础

1.1 常用低压电器

1.1.1 概述

电器是一种根据外界的信号（机械力，电动力和其他物理量），自动或手动接通或断开电路，从而断续或连续地改变电路参数或状态，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节用的电气元件或设备。

在工业、农业、交通、国防以及人们生活等一切用电部门中，大多数采用低压供电。低压电器是用于额定电压（交流 1200V，直流 1500V）及以下能够根据外界施加的信号或要求，自动或手动地接通和断开电路，从而断续或连续地改变电路参数或状态，以实现对电路或非电对象切换、控制、保护、检测、变换以及调节的电气设备。

低压电器在现代工业生产和日常生活中起着非常重要的作用。据一般统计，发电厂发出的电能有 80% 以上是通过低压电器分配使用的，每新增加 1 万 kW 发电设备，约需使用 4 万件以上各类低压电器与之配套。在成套电气设备中，有时与主机配套的低压电器部分的成本接近甚至超过主机的成本。在电气控制设备的设计、运行和维护过程中，如果低压电器元件的品种规格和性能参数选用不当，或者个别器件出现故障，可能导致整个控制设备无法工作，有时甚至会造成重大的设备或人身事故。

低压电器种类繁多，工作原理和结构形式也不同，但一般均有感受部分和执行部分两个共同的基本部分。

（1）感受外界的信号，并通过转换、放大和判断，做出有规律的反应。在非自动切换电器中，它的感受部分有操作手柄、顶杆等多种形式；在有触头的自动切换电器中，感受部分大多是电磁机构。

（2）根据感受部分的指令，对电路执行“开”“关”等任务。有的低压电器具有把感受和执行两部分联系起来的中间传递部分，使它们协同一致，按一定规律动作，如断路器类的低压电器。

1.1.2 低压电器的电磁机构及执行机构

电磁式电气是指电磁力为驱动力的电气，它在低压电器中占有十分重要的地位，在电气控制系统中应用最为普遍。各种类型的电磁式电器主要由电磁机构和执行机构所组成，电磁机构按其电源种类可分为交流和直流两种，执行机构则可分为触头和灭弧装置两部分。

1. 电磁机构

电磁机构的主要作用是将电磁能量转换成机械能量，将电磁机构中吸引线圈的电流转换成电磁力，带动触头动作，完成通断电路的控制作用。

电磁机构通常采用电磁铁的形式，由吸引线圈、铁心（亦称静铁心或磁轭）和衔铁（也称动铁心）三部分组成。其作用原理是当线圈中有工作电流通过时，电磁吸力克服弹簧的应

作用力,使得衔铁与铁心闭合,由连接机构带动相应的触头动作。

从常用铁心的衔铁运动形式上看,铁心主要可分为拍合式和直动式两大类,图 1-1 为直动式电磁机构示意图,一般衔铁由硅钢片叠制而成,多用于触头为中、小容量的交流接触器和继电器中。图 1-2 所示为拍合式电磁机构,第一个为衔铁沿棱角转动的拍合式铁心,其铁心材料由电工软铁制成,它广泛用于直流电器中。第二个为衔铁沿轴转动的拍合式铁心,其铁心形状有 E 形和 U 形两种,其铁心材料由硅钢片叠成,多用于触头容量较大的交流电路中。

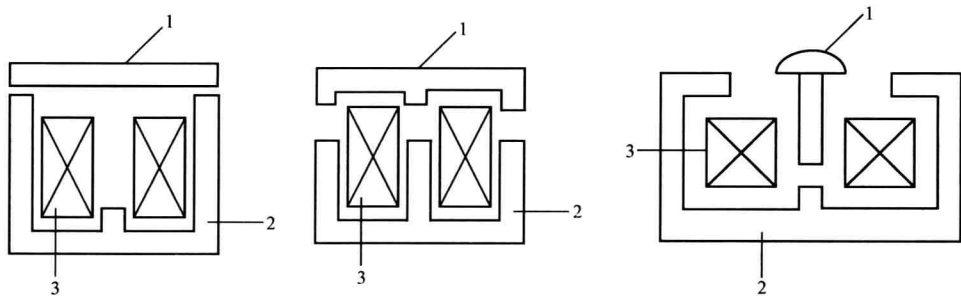


图 1-1 直动式电磁机构

1—衔铁; 2—铁心; 3—吸引线圈

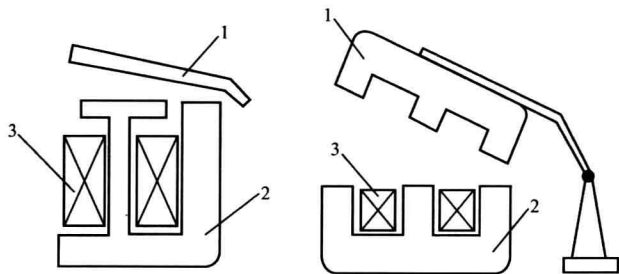


图 1-2 拍合式电磁机构

1—衔铁; 2—铁心; 3—吸引线圈

电磁线圈由漆包线绕制而成,可分为交流、直流两大类,当线圈通过工作电流时产生足够的磁动势,从而在磁路中形成磁通,使衔铁获得足够的电磁力,克服反作用力而吸合。

在交流电流产生的交变磁场中,为避免因磁通过零点造成衔铁的抖动,需在交流电器铁心的端部开槽,嵌入一铜短路环,也叫分磁环,使环内感应电流产生的磁通与环外磁通不同时过零,使电磁吸力 F 总是大于弹簧的反作用力,将衔铁牢牢地吸住,因而可以消除交流铁心的抖动和噪声。

还应指出,对电磁式电器而言,电磁机构的作用是使触头实现自动化操作,因电磁机构实质上是电磁铁的一种,电磁铁还有很多其他用途,例如牵引电磁铁,有拉动式和推动式两种,可以用于远距离控制和操作各种机构;阀用电磁铁,可以远距离控制各种气动阀、液压阀以实现机械自动控制;制动电磁铁则用来控制自动抱闸装置,实现快速停车;起重电磁铁用于起重搬运磁性货物件等。

2. 触头系统

触头的作用是接通或分断电路,因此要求触头具有良好的接触性能,电流容量较小的电器(如接触器、继电器等)常采用银质材料作触头,这是因为银的氧化膜电阻率与纯银相似,可以避免触头表面氧化膜电阻率增加而造成接触不良。

触头的结构有桥式和指式两类,桥式触头又分为点接触式[见图 1-3 (a)]和面接触式[见图 1-3 (b)],点接触式适用于电流不大的场合,面接触式适用于电流较大的场合。图 1-3 (c)

为指形触头，指形触头在接通与分断时产生滚动摩擦，可以去掉氧化膜，故其触头可以用紫铜制造，特别适合于触头分合次数多、电流大的场合。

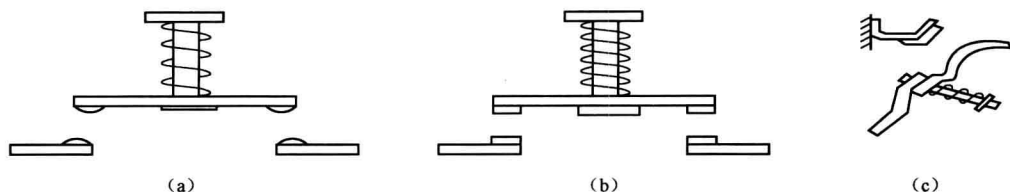


图 1-3 交流接触器触头的结构形式

(a) 点接触式；(b) 面接触式；(c) 指形触头

3. 灭弧系统

在分断电流瞬间，触头间的气隙中就会产生电弧，电弧的高温能将触头烧损，并可能造成其他事故，因此，应采用适当措施迅速熄灭电弧。

熄灭电弧的主要措施有：迅速增加电弧长度（拉长电弧），使得单位长度内维持电弧燃烧的电场强度不够而使电弧熄灭；使电弧与流体介质或固体介质相接触，加强冷却和去游离作用，使电弧加快熄灭。电弧有直流电弧和交流电弧两类，交流电流有自然过零点，故其电弧较易熄灭。

低压控制电器常用的具体灭弧方法有以下几种。

(1) 机械灭弧：通过机械装置将电弧迅速拉长，这种方法多用于开关电器中。

(2) 磁吹灭弧：在一个与触头串联的磁吹线圈产生的磁场作用下，电弧受电磁力的作用而拉长，被吹入由固体介质构成的灭弧罩内，与固体介质相接触，电弧被冷却而熄灭。

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

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

1.1.3 常用低压电器

电气控制中常用的低压电器有接触器、继电器、熔断器和断路器等，它们的工作原理不同，因此它们的应用场合也不相同。

一、接触器

1. 作用与分类

电磁式接触器是利用电磁吸力的作用使主触头闭合或分断电动机电路或其他负载电路的控制电器。用它可以实现频繁地远距离操作，它具有比工作电流大数倍乃至十几倍的接通和分断能力，但不能分断短路电流。由于它体积小、价格便宜和维护方便，因而用途十分广泛。接触器最主要的用途是控制电动机的起动、反转、制动和调速等，因此它是电力拖动控制系统中最重要也是最常用的控制电器。

接触器按其主触头控制电路中电流种类分类,有直流接触器和交流接触器。它们的线圈电流种类既有与各自主触头电流相同的,但也有不同的,如对于重要场合使用的交流接触器,为了工作可靠,其线圈可采用直流励磁方式。按其主触头的极数(即主触头的个数)来分,直流接触器有单极和双极两种;交流接触器有三极、四极和五极三种。其中用于单相双回路控制可采用四极,用于多速电动机的控制或自耦合减压启动控制可采用五极的交流接触器。接触器按控制电路操作电压的种类分类,有交流操作、直流操作和交直流两用操作三种;按是否可逆分类,有不可逆型(标准型)和可逆型两种;按励磁的方式分类,有长期励磁(标准型)和瞬时励磁(机械锁扣型)两种。

2. 工作原理

当交流接触器线圈通电后,在铁心中产生磁通。由此在衔铁气隙处产生吸力,使衔铁产生闭合动作,主触头在衔铁的带动下也闭合,于是接通了主电路。同时衔铁还带动辅助触头动作,使原来打开的辅助触头闭合,而使原来闭合的辅助触头打开。当线圈断电或电压显著降低时,吸力消失或减弱,衔铁在释放弹簧作用下打开,主、辅触头又恢复到原来状态。这就是接触器的工作原理。直流接触器的结构和工作原理与交流接触器基本相同。

3. 选用

接触器使用广泛,额定工作电流或额定功率是随使用条件不同而变化。只有根据不同使用条件正确选用,才能保证接触器可靠运行,充分发挥其技术经济效益。

接触器的类别和用途见表 1-1 所示。

表 1-1 接触器的类别和用途

电流种类	使用类别	用 途
AC 交流	AC1	无感或微感负载
	AC2	绕线式电动机的启动和分断
	AC3	笼型电动机的启动和分断
	AC4	笼型电动机的启动、反接制动、反向和点动
DC 直流	DC1	无感或微感负载
	DC2	并励电动机的启动、反接制动、反向和点动
	DC3	串励电动机的启动、反接制动、反向和点动

交流接触器的选用根据接触器所控制负载的工作任务(轻任务、一般任务或重任务)来选择相应使用类别的接触器,生产中广泛使用中小容量的笼型电动机,而且其中大部分的负载是一般任务,它相当于 AC3 使用类别。对于控制机床电动机的接触器,其负载情况比较复杂,既有 AC3 类的,也有 AC4 类的,还有 AC3 和 AC4 类混合的负载,这些都属于重任务的范畴。

如果负载明显地属于重任务类,则应选用 AC4 类使用类别的接触器。如果负载为一般任务与重任务混合的情况,则应根据实际情况选用 AC3 或 AC4 类接触器;若确定选用 AC3 类接触器,它的容量应降低一级使用,即使这样,其寿命仍将会有不同程度的降低。适用于 AC2 类的接触器,一般也不宜用来控制 AC3 及 AC4 类的负载,因为它的接通能力较低,在频繁接通这类负载时容易发生触头熔焊现象。根据电动机(或其他负载)的功率和操作情况来确定接触器主触头的电流等级。当接触器的使用类别与所控制负载的工作任务相对应时,一般

应使主触头的电流等级与所控制的负载相当,或稍大一些。如不对应,只能降级使用。例如,用 AC3 类的接触器控制 AC3 与 AC4 混合类负载时,电寿命将降低。

所以,接触器是否降级使用,取决于电寿命的要求,而电寿命又决定于操作频率,若操作频率很低,也可不降低使用;反之,降级使用。另外操作频率也不是可以任意提高,因为一则灭弧有困难,再则线圈也会因发热厉害而损坏。如当接触器控制电容器、日光灯或钠灯时,由于接通时的冲击电流可达额定值的几十倍,所以从接通方面来考虑,宜选用 AC4 类的接触器,若选用 AC3 类的接触器,则应降低到 70%~80%额定容量来使用。接触器线圈的电流种类和电压等级应与控制电路相同。触头数量和种类应满足主电路和控制电路的要求。

二、继电器

1. 作用与分类

电磁式继电器根据外来信号(电压或电流),利用电磁原理使衔铁产生闭合动作,从而带动触头动作,使控制电路接通或断开,实现控制电路的状态改变。值得注意的是,继电器的触头不能用来接通和分断负载电路,这也是继电器的作用与接触器的作用的区别。

继电器的分类按输入信号不同有电压继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器、中间继电器、信号继电器和相序继电器。按线圈电流种类不同有交流继电器和直流继电器。按使用范围不同有控制继电器(用于电力拖动系统以实现过程自动化和做某些保护)、保护继电器(用于电力系统作继电保护)、通信继电器(用于电信和遥控系统)和安全继电器(用于人身和设备安全保护)。按动作的原理不同有电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、电子式继电器和热继电器。

2. 电磁式电压、电流继电器

(1) 触头的动作与线圈动作电压大小有关的继电器称为电压继电器,它用于电力拖动系统和变压器系统的电压保护和控制,使用时电压继电器的线圈与负载并联。其线圈的匝数多而线径细。按线圈电流的种类可分为交流和直流电压继电器,按吸合电压大小又可分为过电压和欠电压继电器。

(2) 触头的动作与否与线圈动作电流大小有关的继电器叫做电流继电器,使用时电流继电器的线圈与负载串联。其线圈的匝数少而线径粗。根据线圈的电流种类有交流继电器和直流继电器,按吸合电流大小又可分为过电流继电器和低(欠)电流继电器。

3. 时间继电器

从得到输入信号(线圈的通电或断电)开始,经过一定的延时后才输出信号(触头的闭合或断开)的继电器,称为时间继电器。时间继电器的延时方式有两种。

(1) 通电延时:接受输入信号后延迟一定的时间,输出信号才发生变化。当输入信号消失后,输出瞬时复原。

(2) 断电延时:接受输入信号时,瞬时产生相应的输出信号。当输入信号消失后,延迟一定的时间,输出才复原。

4. 中间继电器

中间继电器的作用是将一个输入信号变成多个输出信号或将信号放大(即增大触头容量)的继电器。

5. 热继电器

在电力拖动控制系统中,当三相交流电动机出现长期带负荷欠电压下运行、长期过负载运

行以及长期单相运行等不正常情况时,会导致电动机绕组严重过热乃至烧坏,为了充分发挥电动机的过载能力,保证电动机的正常启动和运转,并考虑到当电动机一旦出现长时间过载时又能自动切断电路,从而研制出了能随过载程度而改变动作时间的电器,这就是热继电器。显见,热继电器在电路中是用于三相交流电动机的过载保护。但须指出的是,由于热继电器中发热元件有热惯性,在电路中不能做瞬时过载保护,更不能做短路保护。因此,它不同于过电流继电器和熔断器。按相数来分,热继电器有单相、两相和三相式共三种类型,每种类型按发热元件的额定电流又有不同的规格和型号。三相式热继电器常用于三相交流电动机做过载保护。按职能来分,三相式热继电器又有不带断相保护和带断相保护两种类型。

6. 信号继电器

(1) 温度继电器。电动机出现过载电流时,会使其绕组温升过高,而利用发热元件间接地反映出绕组温升的高低,热继电器就可以起到电动机过载保护的作用。然而,即使电动机不过载,但由于电网电压升高,会导致铁损耗增加而使铁心发热,这样也会使绕组温升过高或者电动机环境温度过高以及通风不良等,同样会使绕组温度过高,这后两种原因的出现,若用热继电器已显得无能为力。为此,出现了按温度原则动作的继电器,这就是温度继电器。温度继电器是设在电动机发热部位,如电动机定子槽内、绕组端部等,可直接反映该处发热情况,无论是电动机本身出现过载电流引起温度升高,还是其他原因引起电动机温度升高,温度继电器都可起保护作用,不难看出,温度继电器具有“全热保护”作用。温度继电器大体上有两种类型,一种是双金属片式温度继电器,另一种是热敏电阻式温度继电器。

(2) 速度继电器。感应式速度继电器是依靠电磁感应原理实现触头动作的,因此,它的电磁系统与一般电磁式电器不同,而与交流电动机的电磁系统相似,即由定子和转子组成其电磁系统,感应式速度继电器在结构上主要由定子、转子和触头三部分组成。

(3) 压力继电器。压力继电器广泛用于各种气压和液压控制系统中,通过检测气压或液压的变化,发出信号,控制电动机的起停,从而提供保护。

(4) 液位继电器。某些锅炉和水柜需根据液位的高低变化来控制水泵电动机的起停,这一控制可由液位继电器来完成。

(5) 干簧继电器。干簧继电器由于其结构小巧、动作迅速、工作稳定、灵敏度高等优点,近年来得到广泛的应用。干簧继电器的主要部分是干簧管,它由一组或几组导磁簧片封装在惰性气体(如氩、氮等气体)的玻璃管中组成开关元件。导磁簧片又兼作接触簧片,即控制触头,也就是说,一组簧片起开关电路和磁路双重作用。

三、熔断器

熔断器在结构上主要由熔断管(或盖、座)、熔体及导电部件等组成。而其中熔体是主要部分,它既是感测元件又是执行元件。熔断管一般由硬质纤维或瓷质绝缘材料制成半封闭式或封闭式管状外壳,而熔体则装于其内。熔断管的作用是便于安装熔体和有利于熔体熔断时熄灭电弧。熔体(又称为熔件)是由不同金属材料(铅锡合金、锌、铜或银)制成丝状、带状、片状或笼状,它串接于被保护电路。熔体的作用是当电路发生短路或过载故障时,通过熔体的电流使其发热,当达到溶化温度时熔体自行熔断,从而分断故障电路。显见,熔断器在电路中做过载和短路保护之用。熔断器的种类很多,按结构来分有半封闭插入式、螺旋式熔断器、无填料密封管式和有填料密封管式熔断器。按用途来分有一般工业用熔断器、半导体器件保护用快速熔断器和特殊熔断器(如具有两段保护特性的快慢动作熔断器、自复式熔

断器)。

四、开关电器

开关电器广泛用于配电系统和电力拖动控制系统,用做电源的隔离、电气设备的保护和控制。常用的有刀开关和低压断路器。

1. 刀开关

刀开关俗称闸刀开关,是一种结构最简单、应用最广泛的一种手动电器,主要用于接通和切断长期工作设备的电源及不经常启动及制动、容量小于 7.5kW 的异步电动机。刀开关主要由操作手柄、触刀、触头和底座组成。依靠手动来实现触刀插入触头座与脱离触头座的控制。按刀数可分为单极、双极和三极。刀开关在选择时,应使其额定电压等于或大于电路的额定电压。其电流应等于或大于电路的额定电流的 3 倍。刀开关在安装时,手柄要向上,不得倒装或平装,避免由于重力自由下落,而引起误动作和合闸。接线时,应将电源线接在上端。

2. 低压断路器

低压断路器旧称自动空气开关,为了和 IEC 标准一致,故改用此名。低压断路器可用来分配电能,不频繁地启动异步电动机,对电源电路及电动机等实行保护,当它们发生严重的过载或短路及欠电压等故障时能自动切断电路,其功能相当于熔断器式断路器与过电流、欠电压、热继电器的组合,而且在分断故障电流后一般不需要更换零部件,因而获得了广泛的应用。使用低压断路器来实现短路保护比熔断器优越,因为当三相电路短路时,很可能只有一相的熔断器熔断,造成单相运行。对于低压断路器来说,只要造成短路都会使开关跳闸,将三相同时切断。低压断路器还有其他自动保护作用,所以性能优越。但它结构复杂,操作频率低,价格较贵,因此适用于要求较高的场合,如电源总配电盘。

低压断路器的主要参数有额定电压、额定电流、通断能力和分断时间。额定电压是指断路器在长期工作时的允许电压。通常它等于或大于电路的额定电压。额定电流是指断路器在长期工作时的允许持续电流。通断能力是指断路器在规定的电压、频率以及规定的电路参数(交流电路为功率因数,直流电路为时间常数)下,所能接通和分断的短路电流值。分断时间是指断路器切断故障电流所需要的时间。

五、主令电器

1. 按钮

按钮是一种结构简单、应用广泛的主令电器。在低压控制电路中,用于手动发出控制信号,短时接通或断开小电流的控制电路。按钮常作为可编程控制器的输入信号元件。一般由按钮帽、复位弹簧、桥式动静触头 and 外壳等组成。按钮常为复合式即同时具有动合、动断触头。按下按钮帽时动断触头先断开,然后动合触头闭合(即先断后合)。去掉外力后,在复位弹簧的作用下,动合触头断开,动断触头复位。按钮的结构形式可分为按钮式、紧急式、旋钮式及钥匙式等,还有带指示灯和不带指示灯的,带指示灯的按钮帽用透明塑料制成,兼作指示灯罩。还有一种带锁键的按钮,当按下后不自动复位,需再按一次后才复位。为了标明各个按钮的作用,避免误操作,通常将按钮做成红、绿、黑、白等颜色,以示区别。一般红色表示停止按钮,绿色表示启动按钮。红色蘑菇头的表示急停按钮。选用时根据所需要的触头对数、动作要求、是否需要带指示灯、使用场合以及颜色等要求选用。其额定电压有 500V、直流 400V,额定电流为 5A。

2. 行程开关

行程开关又称限位开关或位置开关,是一种利用生产机械某些运动部件的撞击来发出控制信号的小电流主令电器,主要用于生产机械的运动方向、行程大小控制或位置保护等。行程开关的种类很多,按动作方式分为瞬动型和蠕动型;按头部结构分为直动、滚轮直动、杠杆、单轮、双轮、滚轮摆杆可调、弹簧杆等。

3. 接近开关和光电开关

接近开关是一种非接触式的、无触头行程开关,当运动着的物体接近它到一定距离内时,它就能发出信号,从而进行相应的操作。接近开关不仅能代替有触头行程开关来完成行程控制和限位保护,还可用于高频计数、测速、液面检测、检测零件尺寸、加工程序的自动衔接等。由于它具有无机械磨损、工作稳定可靠、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,在工业生产方面已逐渐得到推广应用。接近开关按其工作原理分有高频振荡型、电容型、感应电桥型、永久磁铁型、霍尔效应型等,其中高频振荡型最为常用。其主要技术参数有动作距离、重复精度、操作频率、复位行程等。

光电开关是另一种类型的非接触式检测装置,它有一对光的发射和接收装置。根据两者的位置和光的接收方式分为对射式和反射式,作用距离从几厘米到几十米不等。选用时,要根据使用场合和控制对象确定检测元件的种类。例如,当被测对象运动速度不是太快时,可选用一般用途的行程开关;而在工作频率很高,对可靠性及精度要求也很高时,应选用接近开关;不能接近被测物体时,应选用光电开关。

1.2 电气控制系统的基本控制电路

电气控制在生产、科学研究及其他各个领域的应用十分广泛,其涉及面很广。各种电气控制设备的种类繁多、功能各异,但就其控制原理、基本控制电路、设计方法等方面均相类同。本节介绍几种典型的控制电路,作为学习控制系统电路图绘制的基础。

电气控制系统中,把各种有触头的接触器、继电器、按钮、行程开关等电器元件,用导线按一定方式连接起来组成电气控制电路。电气控制系统用于实现对电力拖动系统的控制和过程控制。电气控制系统也称为继电—接触器控制系统,其特点是结构简单、直观、易掌握、价格低廉、维护方便、运行可靠。应用可编程控制器时,也需要绘制电气控制系统的电路图。电气控制电路是多种多样、千差万别的。但是,无论电气控制电路有多复杂,它们都是由一些比较简单的基本电气控制电路有机地组合而成的。因此,掌握典型的电气控制电路,将有助于我们掌握阅读、分析、设计电气控制电路的方法。

1.2.1 电气制图及电路图

生产机械的种类繁多,其电气控制设备也各不相同,但电气控制系统的设计原则和设计方法基本相同。作为一个电气工程技术人員,必须掌握电气控制电路设计的基本原则、设计内容和设计方法,以便根据生产机械的拖动要求及工艺需要去设计技术图纸,常用电气符号和用途见附录 1。

1. 电气电路图及其绘制原则

电气控制电路的表示方法有两种:一种是安装图,另一种是原理图。由于它们的用途不同,绘制原则亦有所差别,这里重点介绍电气控制电路原理图。绘制电气控制电路原理图,

是为了便于阅读和分析电路,常采用简明、清晰、易懂的原则,根据电气控制电路的工作原理来绘制。图中包括所有电气元件的导电部分和接线端子,但并不按照电气元件的实际布置来绘制。

电气控制原理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、接触器的主触头、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、继电器的吸引线圈和辅助触头,以及热继电器的触头等组成。这种控制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。

绘制电气控制原理图应遵循以下原则:

(1) 所有电动机、电气元件等都应采用国家统一规定的图形符号和文字符号来表示。

(2) 主电路用粗实线绘制在图面的左侧或上方,辅助电路用细实线绘制在图面的右侧或下方。无论是主电路还是辅助电路或其元件,均应按功能布置,尽可能按动作顺序排列。对因果次序清楚的简图,尤其是电路图和逻辑图,其布局顺序应该是从左到右、从上到下。

(3) 在原理图中,同一电路的不同部分(如线圈、触头)分散在图中,为了表示是同一元件,要在电气元件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或下标加上一个数字序号,以资区别,如KM1、KM2等。

(4) 所有电气元件的可动部分均以自然状态画出。所谓自然状态是指各种电气元件在没有通电和没有外力作用时的状态。对于接触器、电磁式继电器等是指其线圈未加电压,而对于按钮、行程开关等则是指其尚未被压合。

(5) 原理图上应尽可能减少线条和避免线条交叉。各导线之间有电的联系时,在导线的交点处画一个实心圆点。根据图面布置的需要,可以将图形符号旋转 90° 或 180° 或 45° 绘制,即图面可以水平布置,或者垂直地布置,也可以采用斜的交叉线。一般来说,原理图的绘制要求层次分明,各电气元件以及它们的触头的安排要合理,并应保证电气控制电路运行可靠,节省连接导线,以便施工、维修方便。

2. 电气控制电路的设计方法

电气控制系统的设计,一般包括确定拖动方案、选择电动机容量和设计电气控制电路。电气控制电路的设计方法通常有经验设计法和逻辑设计法两种。

(1) 经验设计法。它是根据生产工艺要求,利用各种典型的电路环节,直接设计控制电路。这种设计方法比较简单,但要求设计人员必须熟悉大量的控制电路、掌握多种典型电路的设计资料、同时具有丰富的设计经验。在设计过程中往往还要经过多次反复地修改、试验,才能使电路符合设计的要求。即使这样,设计出来的电路不一定最简单,所用的电气元件及触头不一定最少,所得出的方案不一定是最佳方案。

(2) 逻辑设计法。它是根据生产工艺的要求,利用逻辑代数来分析、设计电路的。用这种方法设计的电路比较合理,特别适合完成较复杂的生产工艺所要求的控制电路。但是相对而言逻辑设计法难度较大,不易掌握。

3. 电气电路中的保护措施

电气控制系统必须在安全可靠的条件下来满足生产工艺的要求,因此在电路中还必须设有各种保护装置,避免由于各种故障造成电气设备和机械设备的损坏,以及保证人身的安全。

保护环节也是所有自动控制系统不可缺少的组成部分,保护的内容是十分广泛的,不同类型的电动机、生产机械和控制电路有着不同的要求。本节集中介绍低压电动机最常用的保护。常用的保护装置有短路电流保护、过电流保护、热保护、零电压和欠电压保护、弱磁保护以及超速保护等。

4. 电气控制系统设计的基本原则

(1) 电气控制方式应与设备的通用化和专用化程度相适宜,既要考虑控制系统的先进性,又要与具体国情和企业实力相适应。脱离实际的盲目追求自动化和高技术指标是不可取的。

(2) 设备的电力拖动方案和控制方式应符合设计任务书提出的控制要求和技术、经济标准,拖动方案和控制方式应在经济、安全的前提下,最大限度地满足机械设备的加工工艺要求。

(3) 合理地选择元器件,在保证电气性能的基础上降低生产制造成本。

(4) 操作维修方便,外形结构美观。

1.2.2 电气控制电路的逻辑代数分析

电气控制的基本思路是一种逻辑思维,只要符合逻辑控制规律、能保证电气安全、并满足生产工艺的要求,就可以认为是一种好的设计方法,如果选用比较先进的电气元件实现设计功能,那么这种设计就具备一定的先进性。当然,再进一步就应考虑其经济性和实用性等。电气控制电路的实现可以是继电器—接触器逻辑控制方法、可编程逻辑控制方法及计算机控制(单片机、可编程控制器等)方法等,而继电器—接触器逻辑(以下简称继电逻辑)控制方法是基本的方法,是各种控制方法的基础。

继电逻辑控制装置或系统是由各种开关电器组合,并通过物理连线的方式实现逻辑控制功能的。它的优点是电路图较直观形象,装置结构简单、价格便宜、抗干扰能力强,因此广泛应用于各类生产设备及控制系统中,它可以方便地实现简单的、复杂的集中控制、远距离控制和生产过程自动控制。

1. 电气控制逻辑函数的定义

由继电器、接触器组成的控制电路中,电器元件只有两种状态,线圈通电或断电、触头闭合或断开。这两种不同状态,可以用逻辑值表示,也就是说,可以用逻辑代数来描述这些电气元件在电路中所处的状态和连接方法。

在逻辑代数中,用“1”和“0”表示一种开关状态。同理,也可表示开关电器元件的逻辑状态。我们在分析继电逻辑控制电路时,元件状态是以线圈通电或断电来判定的。该元件线圈通电时,其本身的动合触头闭合、动断触头断开。对于开关电器我们规定正逻辑为:线圈通电为“1”状态,失电为“0”状态;元件的动合触头,规定闭合状态为“1”状态,断开状态为“0”状态,线圈没通电的触头状态称为原始状态。负逻辑则相反。按照以上约定,开关电器的线圈和其动合触头的状态用同一字符来表示,例如,KM(接触器),其动断触头的状态则用该字符的“非”来表示,即 $\overline{K}$ 。若元件为“1”状态,则表示其线圈,继电器吸合,其动合触头闭合、动断触头断开。“通电”、“闭合”都是“1”状态,断开则为“0”状态。若元件为“0”状态,则与上述相反。作了这些规定之后,逻辑代数还有一些我们应该掌握的运算规律、公式和定律。运用逻辑代数做数学工具,可以使继电逻辑控制系统设计的更为合理,电路能充分发挥元件的作用,使所用元件数量最少。

电气控制电路逻辑函数的数学意义是:数学确定的变量,在所有符号规定的取值情况下,经逻辑运算后,函数均取“1”值。电气控制电路逻辑函数的物理意义是:一个逻辑函数取“1”