

可编程序控制器 原理及应用

吴中俊 黄永红 主编

可编程序控制器原理及应用

吴中俊 黄永红 主编



机械工业出版社

本书针对高等院校普遍将“工厂电气控制技术”和“可编程控制器原理及应用”两门课程合并为一门课程的趋势，从实际工程应用和教学需要出发，介绍了电气控制的基本知识；以 SIEMENS S7-200 PLC 为背景机，重点介绍了可编程控制器的工作原理、系统配置、指令系统、编程软件、设计方法等内容；简要介绍了 S7-300、S7-400 可编程控制器及 PLC 的网络通信知识。有关章节附有习题及思考题。

本书可作为高等学校工业自动化、电气工程及其自动化、机电一体化、计算机应用等本科专业的教材，也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

可编程序控制器原理及应用/吴中俊，黄永红主编.—北京：机械工业出版社，2003.8
ISBN 7-111-12516-9
I.可… II.①吴… ②黄… III.可编程序控制器
IV.TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 075394 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：吉 玲

封面设计：陈 沛 责任印制：路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·16 印张·395 千字

0 001—5 000 册

定价：26.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本书购书热线电话（010）68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着科学技术的发展,电气控制技术在各领域中得到越来越广泛的应用。可编程序控制器(PLC)的应用使电气控制技术发生了根本的变化。PLC 是以微处理器为基础,综合了计算机技术、半导体技术、自动控制技术、数字技术和网络通信技术发展起来的一种通用工业自动控制装置。PLC 以其可靠性高、灵活性强、使用方便的优越性,迅速占领了工业控制领域。从运动控制到过程控制,从单机自动化到生产线自动化乃至工厂自动化,从工业机器人、数控设备到柔性制造系统(FMS),从集中控制系统到大型集散控制系统,PLC 均充当着重要角色,并展现出了强劲的态势。PLC 作为先进的、应用势头最强的工业控制器风靡全球。PLC 技术、CAD/CAM 技术和工业机器人成为现代工业控制的三大支柱。

PLC 技术是电气控制技术中的一朵奇葩。经过 30 多年的发展,PLC 已形成了完整的工业控制器产品系列,其功能从初期的主要用于替代继电-接触器控制的简单功能,发展到目前的具有接近于计算机的强有力的软硬件功能。PLC 用于包括逻辑运算、数值运算、数据传送、过程控制、位置控制、高速计数、中断控制、人机对话、网络通信等功能的控制领域。PLC 源于替代继电-接触器控制,它与传统的电气控制技术有着密不可分的联系。因而,要学习 PLC 技术,必须先了解传统的电气控制技术。为此,本书在第一章简要介绍了常用控制电器的结构、原理、使用方法,介绍了基本电气控制电路、控制原理等电气控制基础知识,使读者对传统的电气控制技术有个粗略的了解,以便为进一步学习 PLC 奠定必要的基础。第二、三章介绍了 PLC 的概况。第四~七章以西门子公司的 S7-200 小型 PLC 为目标机型,对 PLC 的基本组成、工作原理、系统配置、指令系统、STEP7 编程软件、控制系统的设计方法等内容进行介绍。使读者掌握 PLC 应用的初步知识,为进一步学习和提高打好基础,在使用其他机型的 PLC 时也可触类旁通、相互参照。第八章简要介绍了西门子公司的 S7-300、S7-400 中、大型 PLC 的系统配置及指令系统,以满足读者继续学习和应用中、大型 PLC 的要求。第九章介绍了 PLC 的网络通信。

本书可作为高等学校工业自动化、电气工程及自动化、计算机应用、机电一体化等有关专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书由吴中俊、黄永红主编。其中:第一章由吴中俊、黄永红编写,第二~五章由吴中俊编写,第六章由黄永红编写,第七章由吴中俊、黄永红、杨东编写,第八章由王东宏、刁小燕编写,第九章由黄永红、张新华、潘伟编写。

本书由李金伴教授主审,并提出了许多宝贵的建议和意见,在此表示真挚的感谢。

上海东电自动控制有限公司为本书的编写提供了大量的资料,并给予了大力支持和帮助,在编写过程中还得到了赵德安、刘星桥等同志的关心和支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2003 年 3 月

目 录

前言

第一章 电气控制基础	1
第一节 常用低压电器	1
一、电器的基本知识	1
二、接触器	3
三、继电器	5
四、主令电器	10
五、熔断器	11
六、低压断路器	12
第二节 基本电气控制电路	13
一、电气图中的图形符号及文字符号	13
二、三相笼型异步电动机全电压起动控制电路	14
三、三相笼型异步电动机减压起动控制电路	19
四、三相绕线转子异步电动机起动控制电路	20
五、三相异步电动机的制动控制电路	21
六、其他典型的控制电路	22
七、组成电气控制电路的基本规律	24
八、电动机控制的保护环节	25
习题与思考题	26
第二章 可编程序控制器概述	28
第一节 PLC 的由来和定义	28
一、PLC 的由来	28
二、PLC 的定义	28
第二节 PLC 的发展概况和发展趋势	29
一、PLC 的发展概况	29
二、PLC 的发展趋势	30
第三节 PLC 的主要功能和特点	32
一、PLC 的主要功能	32
二、PLC 的特点	33
第四节 PLC 的分类	34
一、按 PLC 的控制规模分类	34
二、按 PLC 的结构形式分类	34
习题与思考题	35
第三章 可编程序控制器的基本组成和工作原理	36
第一节 PLC 的基本组成和各部分的作用	36
一、PLC 的基本组成	36

二、PLC 各部分的作用	36
第二节 PLC 对继电器控制系统的仿真	38
一、模拟继电器控制的编程方法	38
二、梯形图	39
第三节 PLC 的工作原理	40
一、建立 I/O 映像区	40
二、循环扫描的工作方式	40
三、输入、输出延迟响应	42
习题与思考题	45
第四章 S7-200 可编程序控制器的系统配置	46
第一节 S7-200 PLC 系统的基本组成	46
一、基本单元 (S7-200 CPU 模块)	46
二、个人计算机 (PC) 或编程器	48
三、STEP7-Micro/WIN32 编程软件	48
四、通信电缆	48
五、人机界面	48
第二节 S7-200 的接口模块	49
一、数字量模块	49
二、模拟量模块	52
三、智能模块	55
第三节 S7-200 的系统配置	55
一、允许主机所带模块的数量	55
二、CPU 输入、输出映像区的大小	56
三、内部电源的负载能力	57
习题与思考题	58
第五章 S7-200 可编程序控制器的指令系统	59
第一节 S7-200 编程的基本概念	59
一、编程语言	59
二、数据类型	60
三、存储器区域	61
四、寻址方式	66
五、用户程序的结构	67
六、编程的一般规约	68
第二节 S7-200 的基本指令及编程方法	68
一、基本逻辑指令	70
二、立即 I/O 指令	71
三、逻辑堆栈指令	72
四、取非触点指令和空操作指令	74
五、正/负跳变触点指令	75
六、定时器和计数器指令	75

七、顺序控制继电器指令	79
八、移位寄存器指令	80
九、比较触点指令	81
第三节 S7-200 的功能指令	82
一、传送指令	82
二、数学运算指令	83
三、逻辑运算指令	86
四、移位和循环移位指令	88
五、数据转换指令	89
六、表功能指令	94
七、程序控制指令	96
八、中断指令	99
九、PID 回路指令	103
十、高速计数器指令	109
十一、高速脉冲输出指令	113
十二、时钟指令	116
习题与思考题	118
第六章 STEP7-Micro/WIN32 编程软件介绍	120
第一节 软件安装及硬件连接	120
一、软件安装	120
二、硬件连接	120
三、通信参数的设置和修改	121
第二节 编程软件的主要功能	121
一、基本功能	121
二、主界面各部分功能	122
三、系统组态	124
第三节 编程软件的使用	127
一、项目生成	127
二、程序的编辑和传送	128
三、程序的打印输出	132
第四节 程序的监控和调试	133
一、选择扫描次数	133
二、用状态表监控程序	133
三、在 RUN 方式下编辑程序	135
四、梯形图程序的状态监视	135
五、S7-200 的出错处理	136
第七章 可编程序控制器的控制系统设计	137
第一节 PLC 控制系统设计的内容和步骤	137
一、PLC 控制系统设计的内容	137
二、PLC 控制系统设计的步骤	137

第二节 PLC 控制系统的硬件配置	138
一、选择 PLC 机型	138
二、开关量 I/O 模块的选择	139
三、模拟量 I/O 模块的选择	141
四、智能 I/O 模块的选择	141
第三节 PLC 控制系统应用程序的设计	141
一、应用程序设计的内容及步骤	142
二、应用程序的设计方法	143
三、梯形图程序的编写规则	150
四、应用程序设计过程中应注意的几个问题	151
第四节 PLC 应用程序的基本环节及设计技巧	152
一、应用程序的基本环节	152
二、应用程序的设计技巧	157
第五节 PLC 在工业控制中的应用	159
一、深孔钻组合机床的 PLC 控制	159
二、四台电动机的顺序起、停控制 (一)	162
三、四台电动机的顺序起、停控制 (二)	163
四、节日彩灯的 PLC 控制	163
五、十字路口交通信号灯的 PLC 控制	165
六、遥控自卸车模型的 PLC 控制	170
七、游泳池水处理系统的 PLC 控制	171
第六节 提高 PLC 控制系统可靠性的措施	181
一、PLC 安装的环境条件	182
二、抗干扰措施	182
习题与思考题	185
第八章 S7-300 和 S7-400 可编程序控制器的系统配置及编程	186
第一节 S7-300 和 S7-400 的系统配置	186
一、S7-300 的结构及功能特点	186
二、S7-300 系统的基本组成	186
三、S7-300 的系统配置	188
四、S7-300 的数字量模块	188
五、S7-300 的模拟量模块	189
六、S7-300 的电源模块	190
七、S7-300 的 I/O 编址	190
八、S7-400 系统简介	191
第二节 S7-300 和 S7-400 的指令系统	192
一、基本概念	192
二、基本指令	194
第三节 S7-300 和 S7-400 应用系统的编程	199
一、SETP7 软件包	199

二、应用系统的程序结构	200
三、组织块功能	201
四、循环程序的处理过程	202
五、编程的基本方法及步骤	203
第九章 可编程序控制器的通信及网络	207
第一节 通信及网络的基本知识	207
一、数据通信	207
二、网络	212
第二节 S7 系列 PLC 的网络类型及配置	216
一、字符数据格式	216
二、通信协议	217
三、通信设备	218
四、S7 系列 PLC 产品组建的几种典型网络	221
五、通信参数的设置	223
六、S7-200 的参数设置	225
第三节 S7-200 网络及应用	226
一、网络指令及应用	226
二、自由口指令及应用	229
附录	239
附录 A 常用电器的图形符号及文字符号	239
附录 B 特殊存储器 (SM) 标志位	240
附录 C 错误代码	243
附录 D S7-200 可编程序控制器指令集	245
参考文献	247

第一章 电气控制基础

第一节 常用低压电器

一、电器的基本知识

(一) 电器的定义及分类

电器是一种能根据外界的信号（机械力、电动力和其他物理量），自动或手动接通和断开电路，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。

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，构造各异。其分类有按工作电压分和按用途分等几种方法。本节主要介绍在电力拖动系统和自动控制系统中发挥重要作用的一些常用低压电器，如接触器、继电器、行程开关、熔断器等。介绍它们的工作原理、选用原则等内容，以便为学习和设计可编程序控制器控制系统打下基础。

(二) 电磁式电器

电磁式电器在电气控制系统中使用量最大，其类型也很多。各类电磁式电器在工作原理和构造上基本相同，就其结构而言，主要由两个主要部分组成，即检测部分——电磁机构和执行部分——触点^①系统，其次还有灭弧系统和其他缓冲机构等。

1. 电磁机构吸力特性与反力特性的配合

电磁式电器的基本工作原理如图 1-1 所示。其电磁机构由线圈、铁心（亦称静铁心或磁轭）和衔铁（亦称动铁心）三部分组成。电磁式电器的工作原理是：当吸引线圈通电后，电磁系统即把电能转变为机械能，所产生的电磁吸力克服释放弹簧与触点弹簧的反力使铁心吸合，并带动触点支架使动、静触点接触闭合。当吸引线圈断电或电压显著下降时，由于电磁吸力消失或过小，衔铁在弹簧反力作用下返回原位，同时带动动触点脱离静触点，将电路切断。

可见，作用在衔铁上的力有两个：即电磁吸力与反力。电磁吸力由电磁机构产生，反力则由复位弹簧和触点弹簧所产生。

电磁吸力可由下式表示：

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

式中 F ——电磁吸力 [N（牛顿）]；

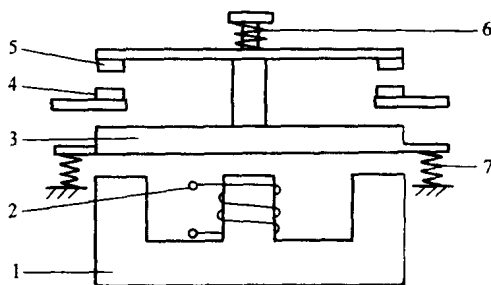


图 1-1 电磁式电器工作原理示意图

1—铁心 2—线圈 3—衔铁 4—静触点
5—动触点 6—触点弹簧 7—释放弹簧

① 低压电器中均用触头，但为全书统一起见，均用触点。

B ——气隙磁感应强度 [T (特斯拉)];

S ——磁极截面积 [m^2 (平方米)].

当线圈中通以直流电时,电磁吸力 F 为恒定值。当线圈中通以交流电时,由于外加正弦交流电压,其气隙磁感应强度亦按正弦规律变化,即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-2)$$

代入式 (1-1) 可得:

$$F = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \quad (1-3)$$

由式 (1-3) 可见,电磁吸力最大值为:

$$F_{\max} = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \quad (1-4)$$

电磁吸力的最小值为:

$$F_{\min} = 0 \quad (1-5)$$

所谓吸力特性是指电磁吸力随衔铁与铁心间气隙 δ 变化的关系曲线。不同的电磁机构,有不同的吸力特性。对于直流电磁机构,其励磁电流的大小与气隙无关,衔铁动作过程中为恒磁动势工作,电磁吸力随气隙的减小而增加,所以吸力特性曲线比较陡峭,如图 1-2 的曲线 1 所示。而交流电磁结构的励磁电流与气隙成正比,在动作过程中为恒磁通工作,但考虑到漏磁通的影响,其吸力随气隙的减小略有增加,所以吸力特性比较平坦,如图 1-2 的曲线 2 所示。

所谓反力特性是指反作用力 F_r 与气隙 δ 的关系曲线,如图 1-2 的曲线 3 所示。为了使电磁机构能正常工作,其吸力特性与反力特性配合必须得当。在衔铁吸合过程中,其吸力特性必须始终处于反力特性上方,即吸力要大于反力;反之,衔铁释放时,吸力特性必须位于反力特性下方,即反力要大于吸力(此时的吸力是由剩磁产生的)。在吸合过程中还须注意吸力特性位于反力特性上方不能太高,否则会影响到电磁机构寿命。

2. 交流电磁机构上短路环的作用

由式 (1-3) 可看出,交流电磁机构的电磁吸力是一个两倍于电源频率的周期性变量。当电磁吸力的瞬时值大于反力时,衔铁吸合;当电磁吸力的瞬时值小于反力时,衔铁释放。电源电压变化一个周期,衔铁吸合两次、释放两次,随着电源电压的变化,衔铁周而复始地闭合与释放,使得衔铁产生振动和噪声,为此须采取有效措施,消除振动与噪声。

具体解决办法是在铁心端面开一个小槽,在槽内嵌入铜质短路环(分磁环),如图 1-3 所

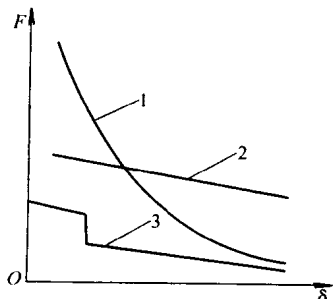


图 1-2 吸力特性与反力特性的配合

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

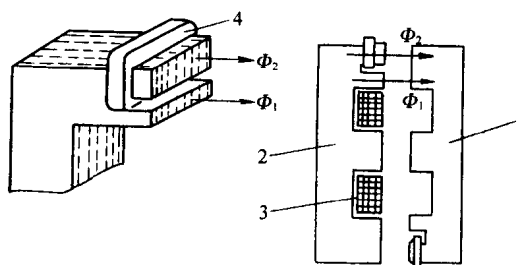


图 1-3 交流电磁铁的短路环

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

示。加上短路环后,铁心中的磁通被分成两部分,即不穿过短路环的主磁通 ϕ_1 和穿过短路环的磁通 ϕ_2 , ϕ_1 和 ϕ_2 大小接近,而相位差约 90° 电角度,因而两相磁通不会同时过零。由于电磁吸力与磁通的二次方成正比,所以由两相磁通产生的合成电磁吸力始终大于反力,使衔铁与铁心牢牢吸合,这样就消除了振动和噪声。

一般短路环包围 $2/3$ 的铁心端面,通常用黄铜、康铜或镍铬合金等材料制成。它是一个无断点的铜环,且没有焊缝。

3. 触点系统

触点是电器的执行机构,它在衔铁的带动下起接通和分断电路的作用。因此,要求触点导电、导热性能良好。触点通常用铜或银质材料制成。触点主要有两种结构形式:桥式触点和指形触点。触点的接触形式有三种,即点接触、线接触和面接触。点接触的桥式触点主要适用于电流不大且压力小的场合;桥式触点多为面接触,适用于大容量、大电流的场合(如交流接触器);指形触点的接触方式为线接触,接触区为一直线,触点接通或分断时产生滚动摩擦,既可消除触点表面的氧化膜,又可缓冲触点闭合时的撞击,改善触点的电气性能。指形触点适用于接电次数多,电流大的场合。

电器的触点又有常开(动合)触点和常闭(动断)触点之分。在无外力作用而处于静止状态时,触点间是断开状态的,称为常开触点,反之称为常闭触点。

4. 灭弧系统

在通电状态下,动、静触点脱离接触时,如果被分断电路的电流超过某一数值(根据触点材料的不同,其值在 $0.25\sim 1\text{A}$ 之间),或分断后加在触点间隙(或称弧隙)两端电压超过某一数值(根据触点材料的不同,其值在 $12\sim 20\text{V}$ 之间)时,则触点间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触点间气体在强电场下产生的放电现象,产生高温并发出强光和火花。电弧的存在,既烧损触点金属表面,降低电器的寿命,又延长了电路的分断时间,严重时会引起火灾或其他事故,因此应采取措施迅速熄灭电弧。

常用的灭弧方法有电力灭弧、磁吹灭弧、栅片灭弧、灭弧罩几种。

二、接触器

接触器是一种用于频繁地接通或断开交直流主电路及大容量控制电路的自动切换电器。在功能上,接触器除能自动切换外,还具有刀开关类手动开关所不能实现的远距离操作功能和失压(或欠电压)保护功能;它不同于断路器等,虽有一定的过载能力,但却不能切断短路电流,也不具备过载保护的功能。接触器生产方便、价格低廉。在可编程序控制器控制系统中,接触器常作为输出执行元件,用于控制电动机、电热设备、电焊机、电容器组等负载。

(一) 接触器的组成及工作原理

目前使用的接触器是电磁式电器的一种,其结构与电磁式电器相同,一般也由电磁机构、触点系统、灭弧系统、复位弹簧机构或缓冲装置、支架与底座等几部分组成。电磁机构是接触器的感测元件,由线圈、铁心、衔铁和复位弹簧几部分组成。

接触器的工作原理是:当吸引线圈通电后,线圈电流在铁心中产生磁通,该磁通对衔铁产生克服复位弹簧反力的电磁吸力,使衔铁带动触点动作。触点动作时,常闭触点先断开,常开触点后闭合。当线圈中的电压值降低到某一数值时(无论是正常控制还是欠电压、失电压故障,一般降至 85% 线圈额定电压),铁心中的磁通下降,电磁吸力减小,当减小到不足以克服复位弹簧的反力时,衔铁在复位弹簧的反力作用下复位,使主、辅触点的常开触点断开,常闭触点恢复闭合。这也是接触器的失压保护功能。

接触器的触点有主触点和辅助触点之分。主触点用于通断主电路，通常为三对（三极）常开的触点。辅助触点常用于控制电路，起电气联锁作用，一般常开、常闭各两对。主、辅触点一般采用双断点桥式结构，电路的通断由主、辅触点共同完成。

接触器按流过主触点电流性质的不同，可分为交流接触器和直流接触器；而按电磁结构的操作电源不同，可分为交流励磁操作和直流励磁操作的接触器两种。通常所说的交流/直流接触器是指前一种分类方法，两者不能混淆。

（二）接触器的主要技术参数

（1）额定电压 接触器铭牌上的额定电压是指主触点能承受的额定电压。通常用的电压等级：直流接触器有 110V、220V 和 440V；交流接触器有 110V、220V、380V、500V 等档次。

（2）额定电流 接触器铭牌上的额定电流是指主触点的额定电流，即允许长期通过的最大电流。有 5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A 和 600A 几个等级。

（3）吸引线圈的额定电压 交流有 36V、110V、220V 和 380V；直流有 24V、48V、220V、440V。

（4）电寿命和机械寿命 以万次表示。

（5）额定操作频率 以（次/h）表示，即允许每小时接通的最多次数。

（三）接触器的选择与使用

1. 接触器的类型选择

根据接触器所控制负载的轻重和负载电流的类型，来选择直流接触器或交流接触器。

2. 额定电压的选择

接触器的额定电压应大于或等于负载回路的电压。

3. 额定电流的选择

接触器的额定电流应大于或等于被控回路的额定电流。对于电动机负载可按下列经验公式计算：

$$I_C = \frac{P_N \times 10^3}{KU_N} \quad (1-6)$$

式中 I_C ——流过接触器主触点的电流（A）；

P_N ——电动机的额定功率（kW）；

U_N ——电动机的额定电压（V）；

K ——经验系数，一般取 1~1.4。

选择接触器的额定电流应大于或等于 I_C 。接触器如使用在电动机频繁起动、制动或正反转的场合，一般将其额定电流降一个等级来选用。

4. 吸引线圈的额定电压选择

吸引线圈的额定电压应与所接控制电路的电压相一致。对简单控制电路可直接选用交流 380V、220V 电压，对电路复杂、使用电器较多者，应选用 110V 或更低控制电压。

5. 接触器的触点数量、种类选择

接触器的触点数量和种类应根据主电路和控制电路的要求选择。如辅助触点的数量不能满足要求时，可通过增加中间继电器的方法解决。

接触器安装前应检查线圈额定电压等技术数据是否与实际相符，并要将铁心极面上的防

锈油脂或粘结在极面上的锈垢用汽油擦净, 以免多次使用后被油垢粘住, 造成接触器断电时不能释放。然后再检查各活动部分(应无卡阻、歪曲现象)和各触点是否接触良好。另外, 接触器一般应垂直安装, 其倾斜角不得超过 5° 。注意不要把螺钉等其他零件掉落到接触器内。

三、继电器

继电器是一种根据某种输入信号的变化来接通或断开控制电路, 实现自动控制和保护的电器。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。

继电器种类很多, 常用的有电压继电器、电流继电器、功率继电器、时间继电器、速度继电器、温度继电器等。本节仅介绍用于电力拖动和自动控制系统的继电器。

无论继电器的输入量是电气量或非电气量, 其工作方式都是当输入量变化到某一定值时, 继电器触点动作, 接通或断开控制电路。从这一点来看, 继电器与接触器是相同的, 但它与接触器又有区别: 首先, 继电器主要用于小电流电路, 触点容量较小(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; 其次, 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有电压。

尽管继电器的种类繁多, 但它们都有一个共性, 即继电特性, 其特性曲线如图 1-4 所示。

当继电器输入量 x 由零增加至 x_1 以前, 继电器输出量为零。当输入量增加到 x_2 时, 继电器吸合, 通过其触点的输出量突变为 y_1 , 若 x 再增加, y 值不变。当 x 减小到 x_1 时, 继电器释放, 输出由 y_1 突降到零, x 再减小, y 值仍为零。

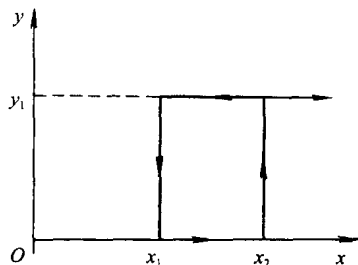


图 1-4 继电器特性曲线

在图 1-4 中, x_2 称为继电器的吸合值, 欲使继电器动作, 输入量必须大于此值; x_1 称为继电器的释放值, 欲使继电器释放, 输入量必须小于此值; $K=x_1/x_2$ 称为继电器的返回系数, 它是继电器的重要参数之一。不同场合要求不同的 K 值, K 值可根据不同的使用场合进行调节, 调节方法随着继电器结构不同而有所差异。下面介绍常用的几种继电器。

(一) 电磁式继电器

电磁式继电器是应用得最早、最多的一种继电器, 其结构和工作原理与接触器大体相同, 也由铁心、衔铁、线圈、复位弹簧和触点等部分组成。其典型结构如图 1-5 所示。

电磁式继电器按输入信号的性质可分为电磁式电流继电器、电磁式电压继电器和电磁式中间继电器。

1. 电磁式电流继电器

电磁式电流继电器的线圈与被测电路串联, 以反应电路中电流的变化而动作。为降低负载效应对被测测量电路参数的影响, 其线圈匝数少, 导线粗, 阻抗小。电流继电器常用于按电流原则控制的场合。如电动机的过载及短路保护、直流电动机的磁场控制及失磁保护。电流继电器有欠电流继电器和过电流继电器

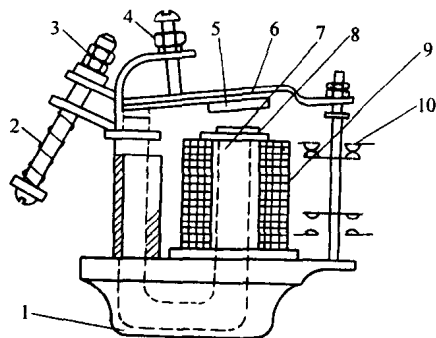


图 1-5 电磁式继电器典型结构

1—底座 2—反力弹簧 3、4—调节螺钉

5—非磁性垫片 6—衔铁 7—铁心

8—极靴 9—电磁线圈 10—触点系统

两种。

2. 电磁式电压继电器

电压继电器的结构与电流继电器相似,不同的是其线圈与被测电路并联,需要电抗大,所以线圈的匝数多而导线细。

电压继电器根据所接电路电压值的变化,处于吸合或释放状态。根据动作电压的不同,电压继电器有过电压、欠电压和零电压继电器三种。过电压继电器在电路电压正常时释放,而在发生过电压故障($1.1\sim 1.5U_c$)时吸合;欠电压、零电压继电器在电路电压正常时吸合,而发生欠电压($0.4\sim 0.7U_c$)、零电压($0.05\sim 0.25U_c$ 以下)时释放。

3. 电磁式中间继电器

中间继电器的吸引线圈属于电压线圈,但它的触点数量较多(一般有4副常开、4副常闭共8对),触点容量较大(额定电流为 $5\sim 10A$),且动作灵敏。其主要用途是:当其他继电器的触点数量或触点容量不够时,可借助中间继电器来扩大触点数或触点容量,起到中间转换的作用。

电磁式继电器在运行前,须将它的吸合值和释放值调整到控制系统所要求的范围内。一般可通过调整复位弹簧的松紧程度和改变非磁性垫片的厚度来实现。在可编程序控制器控制系统中,电压继电器、中间继电器常作为输出执行元件。

4. 电磁式继电器的选用

电磁式继电器主要包括电流继电器、电压继电器和中间继电器。选用时主要根据保护或控制对象对继电器的要求,考虑触点的数量、种类、返回系数以及控制电路的电压、电流、负载性质等来选择。

(二) 时间继电器

在敏感元件获得信号后,执行元件要延迟一段时间才动作的继电器叫做时间继电器。这里指的延时区别于一般电磁式继电器从线圈得电到触点闭合的固有动作时间。时间继电器常用于按时间原则进行控制的场合。其种类很多,按工作原理划分,时间继电器可分为电磁式、空气阻尼式、晶体管式和数字式等。下面对继电器-接触器控制系统中常用的空气阻尼式和晶体管式时间继电器加以介绍。

1. 空气阻尼式时间继电器

空气阻尼式时间继电器又称气囊式时间继电器,它是利用空气通过小孔时产生阻尼的原理获得延时的。它由电磁系统、延时机构和触点三部分构成。电磁机构为双E直动型,触点系统借用LX5型微动开关,延时机构采用气囊式阻尼器。

空气阻尼式时间继电器的电磁机构可以是直流的或是交流的,它既可做成通电延时型,也可做成断电延时型。如国产的JS7型时间继电器只要改变电磁机构的安装方向,便可实现不同的延时方式,当衔铁位于铁心和延时机构之间时为通电延时型,如图1-6所示;当铁心位于衔铁和延时机构之间时为断电延时型。下面以通电延时型为例介绍其工作原理。

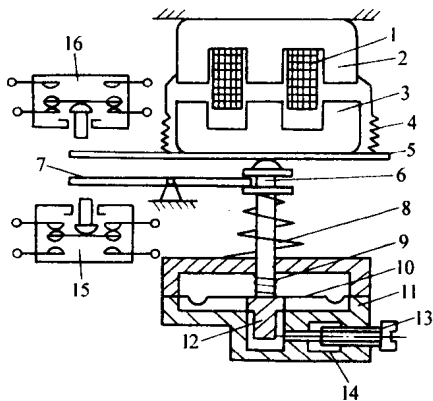


图 1-6 时间继电器工作原理示意图

在图1-6中,当线圈1通电后,衔铁3被铁心2吸合而向上运动,活塞杆6在塔形弹簧

8 的作用下, 带动活塞 12 及橡皮膜 10 向上移动。由于橡皮膜 10 下方的空气较稀薄形成负压, 活塞杆 6 只能缓慢上移, 其移动速度决定了延时的长短。移动速度由进气孔 14 的大小来定, 可通过调节螺杆 13 来调整。进气孔大, 移动速度快, 延时短; 进气孔小, 移动速度慢, 延时较长。在活塞杆 6 向上移动过程中, 杠杆 7 随之作反时针旋转。当活塞杆 6 移到与已吸合的衔铁接触时停止移动, 同时, 杠杆 7 压动微动开关 15, 使其常闭触点打开、常开触点闭合, 起到通电延时的作用 (即线圈通电后触点延时动作)。延时时间为线圈通电到微动开关触点动作之间的时间间隔。

而当线圈 1 断电后, 电磁吸力消失, 衔铁 3 在反力弹簧 4 的作用下释放, 并通过活塞杆 6 带动活塞 12 和橡皮膜 10 向下移动, 并压缩弹簧 8, 这时橡皮膜 10 下方气室内的空气通过橡皮膜 10、弱弹簧 9 和活塞 12 的肩部所形成的单向阀, 迅速从橡皮膜 10 上方的气室缝隙中排出, 使得杠杆 7 和微动开关 15 能迅速复位。

线圈 1 通电和断电时, 微动开关 16 在推板 5 的作用下都能瞬时动作, 它是时间继电器的瞬动触点。

空气阻尼式时间继电器的特点是: 延时范围可达 $0.4 \sim 180\text{s}$, 结构简单, 电磁干扰小, 寿命长、价格低。但其延时误差大 ($\pm 10\% \sim \pm 20\%$), 无调节刻度指示, 难以精确整定延时值。在对延时精度要求较高的场合, 不宜使用。

空气阻尼式时间继电器的主要技术数据有线圈额定电压、触点数目及延时范围等, 可根据需要选用。

2. 晶体管式和数字式时间继电器

晶体管式时间继电器又称半导体式时间继电器, 它是利用 RC 电路的电容器充电时, 电容电压不能突变, 只能按指数规律逐渐变化的原理来获得延时的。因此, 只要改变 RC 充电回路的时间常数 (改变电阻值), 即可改变延时时间。继电器的输出形式分有触点式和无触点式, 有触点式是用晶体管驱动小型电磁式继电器, 而无触点式是采用晶体管或晶闸管输出。

晶体管式时间继电器延时范围广、精度较高、体积小、耐冲击和耐振动、调节方便、寿命长, 因此应用很广泛, 但晶体管式时间继电器的延时易受电源电压波动的影响, 抗干扰性差。

除了上述空气阻尼式、晶体管式时间继电器外, 目前应用广泛的还有数字式时间继电器。它们采用 MOS 大规模集成电路, 工作可靠、功能强、精度高, 并采用拨码开关整定延时时间, 直观性、重复性好, 延时范围宽, 有些产品还带有延时时间显示功能, 特别适合于需要多功能、延时范围广、需反复整定延时时间的场合。如搅拌机上用的数显时间继电器。

3. 时间继电器的选用

选用时间继电器时, 首先应考虑满足控制系统所提出的工艺要求和控制要求, 并根据对延时方式的要求选用通电延时型或断电延时型。对于延时要求不高和延时时间较短的, 可选用价格相对较低的空气阻尼式; 当要求延时精度较高、延时时间较长时, 可选用晶体管式或数字式; 在电源电压波动大的场合, 采用空气阻尼式比用晶体管式的好, 而在温度变化较大处, 则不宜采用空气阻尼式时间继电器。总之, 选用时除了考虑延时范围、准确度等条件外, 还要考虑控制系统对可靠性、经济性、工艺安装尺寸等要求。

(三) 热继电器

热继电器是利用电流流过热元件时产生的热量, 使双金属片发生弯曲而推动执行机构动作的一种保护电器。主要用于交流电动机的过载保护、断相及电流不平衡运行的保护及其他电气设备发热状态的控制。热继电器还常和交流接触器配合组成电磁起动器。

1. 热继电器的结构和工作原理

热继电器主要由热元件、双金属片、触点、复位弹簧和电流调节装置等部分组成。图 1-7 为热继电器的工作原理示意图。双金属片是热继电器的感测元件，它由两种不同线膨胀系数的金属用机械碾压而成。线膨胀系数大的称为主动层，常用线膨胀系数高的铜或铜镍铬合金制成；膨胀系数小的称为被动层，常用线膨胀系数低的铁镍合金制成。在加热之前，两双金属片长度基本一致，热元件串接在电动机定子绕组电路中，电动机定子绕组电流即为热元件上流过的电流。当电动机正常运行时，热元件产生的热量虽能使双金属片弯曲，但还不足以使热继电器动作；当电动机过载时，流过热元件的电流增大，热元件产生的热量增加，使被其缠绕的双金属片受热膨胀，弯曲程度加大，最终使双金属片推动导板使热继电器的触点动作，切断电动机的控制电路，使主电路停止工作。通过调节压动螺钉就可整定热继电器的动作电流值。

热继电器根据拥有热元件的多少，可分为单相结构、两相结构、三相结构三种类型。根据复位方式，热继电器可分为自动复位和手动复位两种。两相结构的热继电器使用时将两只热元件分别串接在任两相电路中；三相结构热继电器使用时将三只热元件分别串接在三相电路中。三相结构中有三相带断相保护和不带断相保护两种。

热继电器的动作时间与通过电流之间的关系特性呈现反时限特性，如图 1-8 中曲线 2 所示，合理调整它与电动机在保证绕组正常使用寿命的条件下所具有的反时限容许过载特性曲线（图 1-8 中的曲线 1）之间的关系，就能保证电动机在发挥最大效率的同时安全工作。

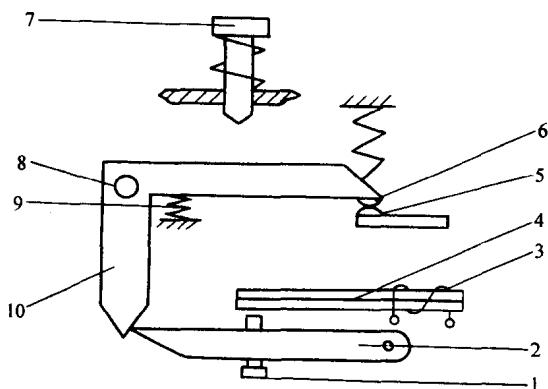


图 1-7 热继电器工作原理示意图

- 1—压动螺钉 2—扣板 3—加热元件 4—双金属片
5—静触点 6—动触点 7—复位按键 8—支点
9—弹簧 10—扣钩

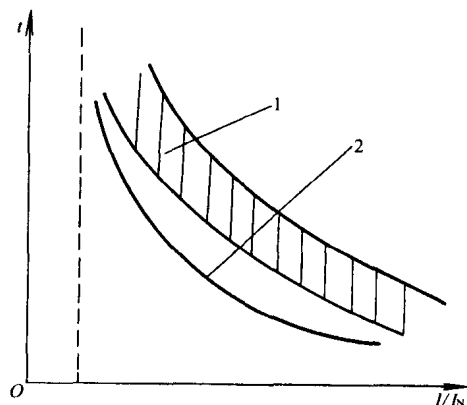


图 1-8 热继电器保护特性与电动机过载特性的配合

- 1—电动机的过载特性曲线
2—热继电器的保护特性曲线

2. 热继电器的选用

热继电器只能用作电动机的过载保护，而不能作为短路保护使用。热继电器的主要技术数据有热继电器的额定电流、热元件的极数及额定电流等。表 1-1 列出了 JR16B 系列热继电器的主要技术参数，供参考。

热继电器的选择主要根据下面几点：

(1) 在长期工作制下，按电动机的额定电流来确定热继电器的型号及热元件的额定电流等级。热元件的额定电流 I_{RT} 应接近或略大于电动机的额定电流 I_N ，即