

高等院校通用教材

现代电气控制及 PLC应用技术

王永华 主编 宋寅卯 陈玉国 郑安平 副主编



 北京航空航天大学出版社
<http://www.buaapress.com.cn>

现代电气控制及 PLC 应用技术

王永华 主 编
宋寅卯 陈玉国 郑安平 副主编

北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

内 容 简 介

本书从实际工程应用和便于教学需要出发,介绍和讲解了继电器接触式控制系统和可编程序控制器控制系统的工作原理、设计方法和实际应用。和其他同类的教材相比,本书主要有以下特点:(1)介绍了一些新型器件,讲解了软启动器和变频器的使用;(2)对传统的电气控制系统的内容进行了较大幅度的删节,给出并讲解了电气控制线路和可编程序控制器程序的“简单设计法”;(3)系统介绍和讲解了最新版本的 SIEMENS S7-200 CPU22*(V1.21)系列可编程序控制器的原理和应用,并给出了大量实例并讲解其基本指令的用法和功能图(SFC)的编程;(4)对 S7-200 PLC 的功能指令和通信功能进行了详细的讲解,并简单介绍了 S7-200 PLC 新模块的特点;(5)附有思考题、练习题和实验指导书;(6)介绍了 S7-200 可编程序控制器上机编程软件的使用;(7)附有作者精心挑选并经修改过的 S7-200 PLC 资料速查表。

本书是作者在自己最近出版的同类教材的基础上精心修订和编写而成的,相信它会是一本值得大家使用的书。

本书可作为大专院校、电大和业余大学的自动控制、电气技术、机电一体化及相关专业的“电气控制及可编程序控制器”或类似课程的教材,也可供有关工程技术人员参考使用,同时它也是广大从事和电气控制技术专业有关的电工和技术人员的一本很好的自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代电气控制及 PLC 应用技术/王永华等编著.

—北京:北京航空航天大学出版社,2003.9

ISBN 7-81077-346-1

I. 现… II. 王… III. ①电气设备—自动控制

②可编程序控制器—程序设计 IV. TM762

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 045843 号

现代电气控制及 PLC 应用技术

王永华 主 编

宋寅卯 陈玉国 郑安平 副主编

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:82317024 传真:82328026

<http://www.buaapress.com.cn>

E-mail: bhpess@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:19.75 字数:506 千字

2003 年 09 月第 1 版 2003 年 09 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-346-1 定价:27.00 元

前 言

目前高等院校已普遍将“工厂电气控制技术”和“可编程序控制器原理及应用”两门课程合并为“电气控制及可编程序控制器”一门课程。针对这种教学安排和电气控制技术及可编程序控制器的最新发展,我们组织编写了这本教材。

在编写过程中,编者力求做到语言通畅、叙述清楚、讲解细致,所有的内容都为了便于实际应用和教学,尽可能多地融进自己的经验和成果。本书还结合电气控制技术的最新发展,对一些传统的教学内容进行了较大篇幅的删节,增加了许多新的内容,重要的是本书在讲解可编程序控制器(PLC,全书简称)时,以现在最流行的、有较高性能价格比的 SIEMENS S7-200 CPU22*(V1.21)系列小型 PLC 为对象,使大家接触到最新的 PLC 产品。

全书共分十章。第一章主要介绍低压电器的原理、用途和选用,其中增加了许多新型器件的内容。第二章讲解常用控制线路基本环节的设计和工作原理,并用较大篇幅,结合实例讲解了软启动器和新型变频器的应用,还特别讲解了电气控制线路的“简单设计法”,最后简单介绍了传统的电气控制线路分析基础。第三章叙述了可编程序控制器的基本概念和概况。第四章介绍了 S7-200 PLC 的内部元器件和寻址方式。第五章结合例子详细介绍了 S7-200 CPU22*系列 PLC 的基本指令,讲解了常用典型电路的程序设计和 PLC 程序的“简单设计法”。第六章重点讲解 PLC 的功能图编程方法和 S7-200 PLC 顺序控制指令的使用,其中对使用 S7-200 PLC 顺序控制指令时的注意事项作了特别说明。第七章以简洁流畅的方法介绍了 S7-200 PLC 的功能指令,并给出了许多例子。第八章详细讲解了 PLC 的网络通信原理,介绍了 S7-200 PLC 的通信功能和通信指令的使用,另外还对最新的通信模块作了介绍。第九章讲解了 PLC 在实际应用中的设计步骤,并给出了两个大型的较全面的实例供大家参考,最后从诸多方面讲解了 PLC 在实际应用中应注意的问题。第十章是 S7-200 PLC 编程软件的使用简介。本书的附录还提供了实验指导书和作者精心挑选并修订过的 S7-200 PLC 的参考资料。

本书既可以供少学时(如 40 学时)使用,也可以供多学时(如 65 学时)使用。两者的区别在于是对第七章、第八章和第九章作简单介绍,还是详细讲解。另外实验的多少也有不同。

本书由王永华任主编,负责全书的组织、统稿和改稿。前言、绪论、第二章的 2.6 节、第四章、第五章、第六章、第七章、第九章的前两节及附录 B 由王永华编写;其余部分由宋寅卯、陈玉国、郑安平、杨存祥、张东初、刘慧琴和卢刚共同编写。

特别感谢北航出版社的金友泉老师、西门子(中国)有限公司的王东滨先生以及杨涟老师和作者指导毕业设计的学生们,他们为本书的出版、编写和校对等提供了许多帮助,另外本书部分章节的编写参考了有关资料(见参考文献),在此我们对这些同志和参考文献的作者表示衷心的感谢!

由于本书编者水平有限,编写时间仓促,虽已尽心尽力,多次修改,但书中难免仍有错误和不足之处,敬请读者批评指正。作者电子信箱地址:wyh@zzuli.edu.cn。

编 者

2003 年 5 月

目 录

绪 论

第一章 常用低压电器

1.1 电器的基本知识	3
1.1.1 电器的定义和分类	3
1.1.2 电磁式低压电器的基本 结构和工作原理	4
1.2 接触器	10
1.2.1 接触器的用途及分类	10
1.2.2 接触器的结构及工作 原理	10
1.2.3 接触器的技术参数	11
1.2.4 接触器的选择	12
1.3 继电器	13
1.3.1 电磁式继电器	13
1.3.2 热继电器	15
1.3.3 时间继电器	18
1.3.4 速度继电器	19
1.3.5 温度继电器	20
1.3.6 液位继电器	21
1.3.7 固态继电器	21
1.4 开关电器	23
1.4.1 刀开关	23
1.4.2 低压断路器	23
1.5 熔断器	26
1.5.1 熔断器的结构和分类	26
1.5.2 熔断器的保护特性	27
1.5.3 熔断器的技术参数	28
1.5.4 熔断器的选择	28
1.6 主令电器	29
1.6.1 控制按钮	29
1.6.2 转换开关	31
1.6.3 行程开关	32

1.6.4 接近开关	32
1.6.5 光电开关	33
1.6.6 指示灯	34
本章小结	35
思考题与练习题	35

第二章 电气控制线路基础

2.1 电气控制线路图的图形、文字 符号及绘制原则	37
2.1.1 常用电气图形符号和 文字符号	37
2.1.2 电气控制线路图的绘制 原则	41
2.2 三相笼型异步电动机的基本 控制线路	43
2.2.1 全压启动控制线路	43
2.2.2 正反转控制线路	44
2.2.3 点动控制线路	45
2.2.4 多点控制线路	46
2.2.5 顺序控制线路	46
2.2.6 自动循环控制线路	47
2.3 三相笼型异步电动机降压 启动控制线路	48
2.3.1 星形—三角形降压启动 控制线路	48
2.3.2 自耦变压器降压启动 控制线路	49
2.3.3 软启动器及其使用	50
2.4 三相笼型异步电动机制动 控制线路	56
2.4.1 反接制动控制线路	56
2.4.2 能耗制动控制线路	58
2.5 三相笼型异步电动机速度 控制线路	61
2.5.1 基本概念	61
2.5.2 变极调速控制线路	61

2.5.3 变频调速与变频器的 使用	63
2.6 电气控制线路的简单设计法	68
2.6.1 概 述	68
2.6.2 简单设计法介绍	68
2.6.3 简单设计法设计举例	71
2.7 典型生产机械电气控制线路 分析	72
2.7.1 电气控制线路分析基础	72
2.7.2 C650 卧式车床电气控制 线路分析	73
本章小结	78
思考题与练习题	78

第三章 可编程序控制器概述

3.1 PLC 的产生和定义	80
3.1.1 PLC 的产生	80
3.1.2 PLC 的定义	81
3.2 PLC 的特点	82
3.3 PLC 的应用和发展	83
3.3.1 PLC 的发展状况	83
3.3.2 PLC 的发展趋势	83
3.3.3 PLC 的应用领域	85
3.4 PLC 的分类	86
3.5 PLC 的系统组成	87
3.6 PLC 与继电器控制系统的 区别	90
3.7 PLC 的工作原理	91
3.7.1 PLC 的工作方式与运行 框图	91
3.7.2 PLC 工作过程的中心 内容	93
3.7.3 PLC 对输入/输出的处理 原则	94
3.8 PLC 的编程语言和程序结构	94

3.8.1 PLC 的编程语言	94
3.8.2 PLC 的程序结构	96
本章小结	96
思考题	97

第四章 S7-200 系列 PLC 的 硬件系统及内部资源

4.1 概 述	98
4.2 S7-200 系列 PLC 的硬件 系统	98
4.2.1 硬件系统基本构成	99
4.2.2 主机结构及性能特点	99
4.2.3 输入/输出的扩展	100
4.3 S7-200 系列 PLC 的内部 资源及寻址方式	102
4.3.1 软元件	102
4.3.2 CPU 存储区域的直接 寻址	105
4.3.3 CPU 存储区域的间接 寻址	108
本章小结	109
思考题与练习题	109

第五章 PLC 的基本指令及 程序设计

5.1 PLC 的基本逻辑指令及举例	110
5.1.1 逻辑取及线圈驱动指令	110
5.1.2 触点串联指令	111
5.1.3 触点并联指令	111
5.1.4 串联电路块的并联连接 指令	112
5.1.5 并联电路块的串联连接 指令	112
5.1.6 置位、复位指令	113
5.1.7 RS 触发器指令	114
5.1.8 立即指令	115

5.1.9	边沿脉冲指令	116
5.1.10	逻辑堆栈操作指令	117
5.1.11	定时器	119
5.1.12	计数器	123
5.1.13	比较指令	126
5.1.14	NOT 及 NOP 指令	128
5.2	程序控制指令	128
5.2.1	结束及暂停指令	128
5.2.2	看门狗指令	129
5.2.3	跳转及标号指令	130
5.2.4	循环指令	131
5.2.5	子程序	132
5.2.6	与 ENO 指令	135
5.3	PLC 初步编程指导	136
5.3.1	梯形图编程的基本规则	136
5.3.2	LAD 和 STL 编程形式的区别	137
5.4	典型的简单电路编程	138
5.4.1	延时脉冲产生电路	138
5.4.2	瞬时接通/延时断开电路	139
5.4.3	延时接通/延时断开电路	139
5.4.4	脉冲宽度可控制电路	140
5.4.5	计数器的扩展	141
5.4.6	长定时电路	141
5.4.7	闪烁电路	142
5.4.8	报警电路	143
5.5	PLC 程序的简单设计法及应用举例	145
5.5.1	PLC 程序的简单设计法	145
5.5.2	应用举例	146
	本章小结	150
	思考题与练习题	150

第六章 S7-200 PLC 顺序控制指令及应用

6.1	功能图的产生及基本概念	153
6.1.1	功能图的产生	153
6.1.2	功能图的基本概念	153
6.1.3	功能图的构成规则	154
6.2	顺序控制指令	155
6.2.1	顺序控制指令介绍	155
6.2.2	举例说明	155
6.2.3	使用说明	156
6.3	功能图的主要类型	157
6.3.1	单流程	157
6.3.2	可选择的分支和联接	157
6.3.3	并行分支和联接	158
6.3.4	跳转和循环	160
6.4	顺序控制指令应用举例	161
6.4.1	选择和循环电路举例	161
6.4.2	并行分支和联接电路举例	165
6.4.3	选择和跳转电路举例	168
	本章小结	171
	思考题与练习题	171

第七章 S7-200 PLC 的功能指令

7.1	传送、移位和填充指令	173
7.1.1	传送类指令	173
7.1.2	移位与循环指令	174
7.1.3	字节交换指令	177
7.1.4	填充指令	177
7.2	运算和数学指令	178
7.2.1	加法指令	178
7.2.2	减法指令	178
7.2.3	乘法指令	178
7.2.4	除法指令	179

7.2.5	数学函数指令	181
7.2.6	增/减指令	183
7.2.7	逻辑运算指令	184
7.3	表功能指令	186
7.4	转换指令	189
7.4.1	数据类型转换指令	189
7.4.2	编码和译码指令	192
7.4.3	段码指令	192
7.4.4	ASCII 码转换指令	193
7.4.5	字符串转换指令	196
7.5	字符串指令	197
7.6	时钟指令	200
7.7	中断	201
7.7.1	几个基本概念	202
7.7.2	中断指令	204
7.7.3	中断程序	205
7.8	高速计数器指令	206
7.8.1	高速计数器介绍	206
7.8.2	高速计数器指令	208
7.8.3	高速计数器的使用 方法	208
7.9	高速脉冲输出指令	212
7.9.1	几个基本概念	212
7.9.2	高速脉冲指令及特殊 寄存器	212
7.9.3	PTO 的使用	214
7.9.4	PWM 的使用	218
7.10	PID 回路指令	221
7.10.1	PID 算法	221
7.10.2	PID 回路指令及使用	221
	本章小结	225
	练习题	226

第八章 PLC 的网络通信技术 及应用

8.1	通信网络的基础知识	227
8.1.1	数据通信方式	227

8.1.2	网络概述	230
8.2	S7-200 的通信与网络	231
8.2.1	S7 系列 PLC 网络 层次的结构	231
8.2.2	S7-200 PLC 网络 的通信协议	232
8.2.3	网络配置实例	236
8.2.4	网络部件	238
8.3	S7-200 通信指令	239
8.3.1	网络读/网络写指令	239
8.3.2	发送与接收指令	242
8.3.3	USS 通信指令	247
8.4	S7-200 的通信扩展模块	248
8.4.1	EM241 调制解调器 模块	248
8.4.2	CP243-1 工业以太网 通信处理器模块	248
	本章小结	249
	思考题与练习题	249

第九章 现代 PLC 控制系统 综合设计实例

9.1	PLC 控制系统设计步骤及 内容	250
9.1.1	分析评估及控制任务	251
9.1.2	PLC 的选型	251
9.1.3	I/O 地址分配	252
9.1.4	系统设计	252
9.1.5	系统调试	252
9.2	双恒压无塔供水控制系统 设计	253
9.2.1	工艺过程	253
9.2.2	系统控制要求	254
9.2.3	控制系统的 I/O 点及 地址分配	254
9.2.4	PLC 系统选型	255
9.2.5	电气控制系统原理图	

.....	255
9.2.6 系统程序设计	258
9.3 薄刀式分切压痕机控制系统	264
9.3.1 工艺过程	264
9.3.2 系统控制要求	264
9.3.3 控制系统的 I/O 点及地址分配	265
9.3.4 PLC 系统选型	265
9.3.5 电气控制系统原理图	265
9.3.6 系统程序设计	267
9.4 PLC 在工程应用中要注意的一些实际问题	272
9.4.1 PLC 的安装	272
9.4.2 电源的设计	272
9.4.3 系统的接地	273
9.4.4 电缆设计与铺设	274
9.4.5 PLC 输出端的保护	274
本章小结	275
思考题与练习题	275

第十章 编程软件的使用

10.1 编程软件安装	276
10.1.1 系统要求	276
10.1.2 软件安装	276
10.1.3 硬件连接	277
10.1.4 参数设置	277
10.1.5 在线联系	278
10.1.6 建立、修改 PLC 通信参数	278
10.2 软件功能	278
10.2.1 基本功能	278
10.2.2 界面	279
10.2.3 各部分功能	279
10.2.4 系统组态	281
10.3 编程	281
10.3.1 程序文件操作	281

10.3.2 编辑程序	282
10.4 调试及运行监控	286
10.4.1 选择扫描次数	286
10.4.2 状态图表监控	286
10.4.3 运行模式下的编辑	287
10.4.4 程序监视	288
本章小结	289

附录 A 实验指导书

实验一 异步电动机可逆运行实验	290
实验二 S7-200 PLC 编程软件使用实验	291
实验三 抢答器程序设计实验	291
实验四 人行道按钮控制交通灯程序设计实验	292
实验五 水位控制程序设计实验	294

附录 B S7-200 PLC 快速参考信息

表 B-1 S7-200 PLC 的 CPU 规范	295
表 B-2 S7-200 PLC 的 CPU 输入规范	296
表 B-3 S7-200 PLC 的 CPU 输出规范	297
表 B-4 S7-200 PLC 的 CPU 存储器范围和特性总汇	298
表 B-5 S7-200 PLC [CPU (V1.21)] 指令系统速查表	299
表 B-6 常用特殊继电器 SM0 和 SM1 的位信息	301
图 B-1 CPU 224 外围典型接线图	302

参考文献

绪 论

1. 电气控制技术的发展

电气控制技术是随着科学技术的不断发展及生产工艺不断提出新的要求而得到飞速发展的。在控制方法上,主要是从手动控制到自动控制;在控制功能上,是从简单的控制设备到复杂的控制系统;在操作方式上,由笨重到轻巧;在控制原理上,从有触点的继电接触式控制系统到以计算机为核心的“软”控制系统。随着新的电器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了计算机、自动控制、电子技术和精密测量等许多先进科学技术成果,并得到飞速发展。现在 PLC、CAD/CAM 和 Robot 组成了当代工业自动化技术的三大技术支柱。

我们知道,工业生产的各个领域,无论是过程控制系统还是电气控制系统,都有大量的开关量和模拟量信号。开关量又称为数字量,如电动机的启停,阀门的开闭,电子元件的置位与复位,按钮及位置检测开关的状态和定时器及计数器的状态等;模拟量又称为连续量,如温度、流量、压力和液位等。对这些信号和对象的处理就要使用自动控制的方法来完成。

20 世纪 70 年代以前,电气自动控制的任務基本上都由继电接触式控制系统完成。该系统主要由继电器、接触器和按钮等组成,它取代了原来的手动控制方式。由于这种控制系统具有结构简单、价格低廉、抗干扰能力强等优点,所以当时使用得十分广泛,至今仍在许多简单的机械设备中应用。但这种控制系统的缺点也是非常明显的,它采用固定的硬接线方式来完成各种控制逻辑,实现系统的各种控制功能,所以灵活性差;另外,由于机械式的触点工作频率低,易损坏,因此可靠性低。

社会的发展和进步对各行各业提出了越来越高的要求。机械加工企业为了提高生产效率和市场竞争力,采用了机械化流水线作业的生产方式,对不同的产品零件分别组成自动流水线。产品不断地更新换代,也同时要求相应的控制系统随之改变。在这种情况下,硬连接方式的继电接触式控制系统就不能满足经常更新的要求了。这是因为,一是成本高,二是周期长。后来出现的矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统取代过继电接触式控制系统,由于这些控制装置仍是硬连接,装置体积大,功能少,本身存在某些不足,虽然提高了控制系统的通用性和灵活性,但均未得到广泛的应用。

随着大规模集成电路和微处理器的发展和應用,在 1969 年出现了世界上第一台以软件手段来实现各种控制功能的革命性控制装置——可编程序逻辑控制器。它把计算机的功能完备、通用性和灵活性好等优点和继电接触式控制系统的操作方便、简单易懂、价格低廉等优点结合起来,因此它是一种适应于工业环境的通用控制装置。现在的可编程序控制器和原来的控制系统相比,增加了算术运算、数据转换、过程控制、数据通信等功能,已可以完成大型而复杂的控制任务。可编程序控制器作为工业自动化的技术支柱之一,在工业自动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。它综合了计算机、自动控制、伺服驱动系

统、精密检测与新型机械结构等多方面的最新技术成就。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,使得数控技术也得到了飞速的发展。因此在机械制造、电气控制及自动控制领域内相继出现了直接数字(DDC)系统、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(SIMS)、综合运用计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、集散控制系统(DCS)、智能机器人和智能制造等高新技术。这些高新技术把整个自动控制和自动制造技术推动到了更高的水平。

说到自动控制技术的最新发展,我们必须提及现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)。FCS 是在计算机网络技术、通信技术和微电子技术飞速发展的基础上,与自动控制技术相结合的产物。它是继集散控制系统(DCS)之后的新一代控制系统,也是现在工业自动化的研究开发热点之一。FCS 是用于现场仪表、设备之间以及现场与控制系统之间的一种全数字、双向串行、多节点的通信系统。它把具有数字计算和通信能力的现场仪表和执行器件连接成网络系统,按公开、规范的通信协议,在现场与上位机或网络之间实现数据传输和信息交换,FCS 适应了工业自动控制系统向分散化、智能化和网络化发展的方向,它的出现导致了传统的自动化仪表和控制系统在结构和功能上的重大变革。电气控制系统作为 FCS 中底层网络的重要组成部分,这就要求新型的检测器件、执行器件和智能控制器(如 PLC)必须具备和现场总线通信的能力。FCS 的发展和越来越多的应用宣告了工业自动控制系统一个新时代的到来。

2. 本课程的性质、内容和任务

本课程是一门实用性很强的专业课。电气控制技术在生产过程、科学研究和其他各个领域的应用十分广泛。本课程的主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍和讲解继电器接触式控制系统和可编程序控制器控制系统的工作原理、设计方法和实际应用。其中可编程序控制器的飞速发展和其强大的功能使它已成为实现工业自动化的主要手段之一。所以本课程的重点是可编程序控制器,但这并不意味着继电器接触式控制系统就不重要了。这是因为:首先,继电器接触式控制在小型电气系统中还普遍使用,而且它是组成电气控制系统的基础;其次,尽管可编程序控制器取代了继电器,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。所以对继电器接触式控制系统的学习是非常必要的。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,以及培养和提高学生的实际应用和动手能力。

电气控制技术是电类专业学生所必须掌握的最基础的实际应用课程,具体要求是:

- (1) 熟悉常用控制电器的工作原理和用途,达到正确使用和选用的目的,同时要了解一些新型元器件的用途。
- (2) 熟练掌握电气控制线路的基本环节,并具备阅读和分析电气控制线路的能力,使之能设计简单的电气控制线路,较好地掌握电气控制线路的简单设计法。
- (3) 熟悉可编程序控制器的基本概况,深刻领会可编程序控制器的工作原理。
- (4) 熟练掌握可编程序控制器的基本指令系统和典型电路的编程,掌握可编程序控制器的程序设计方法;熟练掌握功能图的编程方法。掌握和熟悉可编程序控制器功能指令的使用。
- (5) 掌握和了解可编程序控制器的网络和通信原理,会编制简单的通信程序。
- (6) 了解可编程序控制器的实际应用程序的设计步骤和方法。

第一章 常用低压电器

低压电器是电力拖动控制系统、低压供配电系统的基本组成元件,其性能的优劣直接影响着系统的可靠性、先进性和经济性,是电气控制技术的基础。因此,必须熟练掌握低压电器的结构、工作原理并能正确使用。本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理以及使用方法等有关知识,同时根据电器发展状况,对新型电器元件予以简单介绍。

1.1 电器的基本知识

1.1.1 电器的定义和分类

电器就是根据外界施加的信号和要求,能手动或自动地断开或接通电路,断续或连续地改变电路参数,以实现了对电或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节的电工器械。低压电器通常指工作在交直流电压 1 200 V 以下的电器。采用电磁原理完成上述功能的低压电器称为电磁式低压电器。

电器的种类很多,分类方法也很多。常见的分类方法如图 1-1 所示。

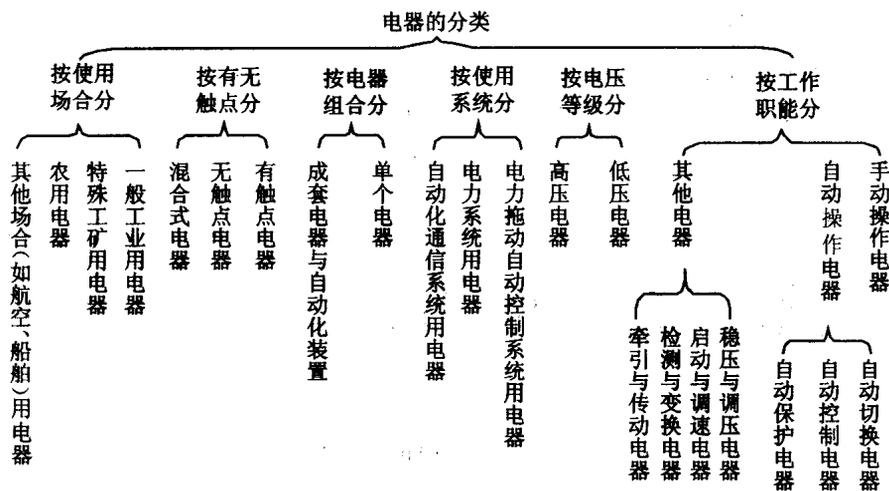


图 1-1 电器的分类

常用低压电器的分类如图 1-2 所示。

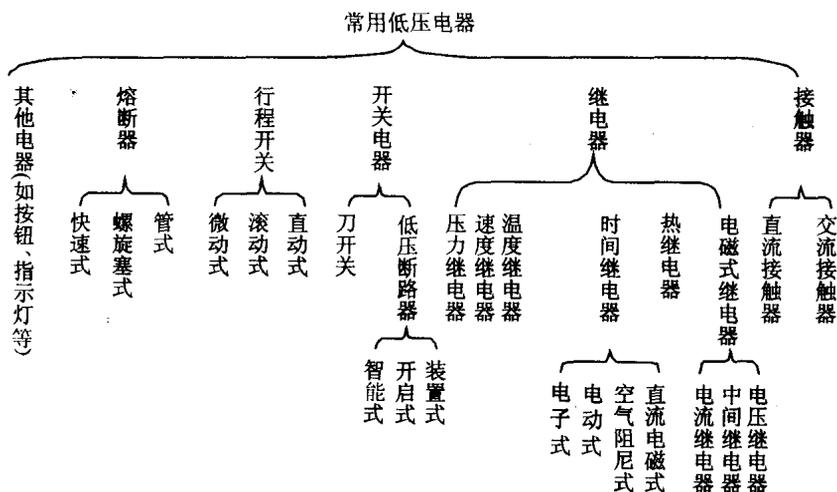


图 1-2 常用低压电器分类

1.1.2 电磁式低压电器的基本结构和工作原理

电磁式低压电器在电气控制线路中使用量最大,其类型也很多,各类电磁式低压电器在工作原理和构造上亦基本相同。就其结构而言,大都由三个主要部分组成,即触头、灭弧装置和电磁机构。

1. 触 头

触头是一切有触点电器的执行部件,这些电器通过触头的动作来接通或断开被控制电路的。触头通常由动、静触点组合而成。

(1) 触点的接触形式

触点的接触形式有点接触(如球面对球面、球面对平面等)、线接触(如圆柱对平面、圆柱对圆柱等)和面接触(如平面对平面)三种,如图 1-3 所示。

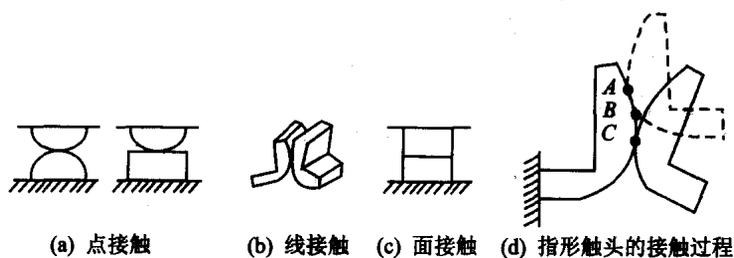


图 1-3 触点的接触形式

三种接触形式中,点接触形式的触点只能用于小电流的电器中,如接触器的辅助触点和继电器的触点;面接触形式的触点允许通过较大的电流,一般在接触表面上镶有合金,以减小触点接触电阻和提高耐磨性,多用于较大容量接触器的主触点;线接触形式的触点接触区域是一条直线,其触点在通断过程中有滚动动作,如图 1-3(d)所示。开始接触时,动静触点在 A 点接触,靠弹簧的压力经 B 点滚到 C 点,断开时作相反运动,这样可以清除触点表面的氧化膜。同时长期工作的位置是在 C 点而不是在易烧灼的 A 点,从而保证了触点的良好接触。这种滚

动接触多用于中等容量的触点,如接触器的主触点。

(2) 触头的结构形式

在常用的继电器和接触器中,触头的结构形式主要有单断点指形触头和双断点桥式触头两种。

图 1-3(b)所示为单断点指形触头。该触头的特点是只有一个断口,一般多用于接触器的主触点。其优点为:闭合、断开过程中有滚滑运动,能自动清除表面的氧化物,触头接触压力大,电动稳定性高。其缺点是:触头开距大,从而增大了电器体积;触头闭合时冲击能量大,不利于机械寿命的提高。

图 1-4 为双断点桥式触头。这种触头的优点是:具有两个有效灭弧区域,灭弧效果很好;触点开距小,使电器结构紧凑、体积小;触头闭合时冲击能量小,有利于提高机械寿命。这种触头的缺点是:触头不能自动净化,触头材料必须用银或银的合金;每个触点的接触压力小,电动稳定性较低。

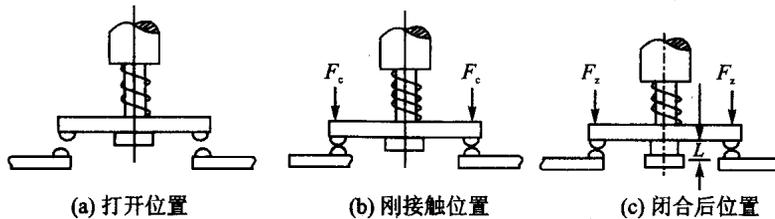


图 1-4 双断点桥式触头的结构

(3) 触点的初压力、终压力和超程

为了减小接触电阻及减弱触头接触点的振动,需要在触点间加一定的压力。此压力一般由弹簧产生。当动触点与静触点刚接触时,由于安装时动触点的弹簧已经被预先压缩了一段,因而产生了一个初压力 F_c ,如图 1-4(b)所示。初压力的作用是削弱接触振动,它可以通过调节触点弹簧预压缩量来增减。触点闭合后,弹簧在运动机构的作用下被进一步压缩,运动机构运动终止时,弹簧产生的压力为终压力 F_z ,如图 1-4(c)所示。终压力的作用是减小接触电阻。弹簧被进一步压缩的距离 L 称为触点的超程,超程越大终压力亦越大。

2. 电弧的产生和灭弧方法

电弧实际上是一种气体放电现象。所谓气体放电,就是气体中有大量的带电质点作定向运动。当动、静触点于通电状态下脱离接触的瞬间,动、静触点的间隙很小,电路电压几乎全部降落在触点之间,在触点间形成很高的电场强度,以致发生场致发射。发射的自由电子在电场作用下向阳极加速运动。高速运动的电子撞击气体原子时产生撞击电离。电离出的电子在向阳极运动过程中又将撞击其他原子,又使其他原子电离。撞击电离的正离子则向阴极加速运动,撞在阴极上会使阴极温度逐渐升高,到达一定温度时,会发生热电子发射。热发射的电子又参与撞击电离。这样,在触头间隙中形成了炽热的电子流即电弧。显然,电压越高,电流越大,电弧功率也越大;弧区温度越高,游离程度越激烈,电弧亦越强。

电弧的存在既妨碍了电路及时可靠地分断,又会使触头受到损伤。为此,必须采取适当且有效的措施,以保护触头系统,降低它的损伤,提高它的分断能力,从而保证整个电器的工作安全可靠。常用的灭弧方法有以下几种。

(1) 多断点灭弧

在交流继电器和接触器中常采用桥式触头(如图 1-4 所示),这种触头有两个断点。交流电压在过零后,若一对断点处电弧重燃需要 150~250 V 电压,则两对断点就需要 300~500 V 电压。若断点电压达不到此值,则电弧因不能重燃而熄灭。一般交流继电器和小电流接触器采用桥式触点灭弧,而不再加设其他灭弧装置。

(2) 磁吹式灭弧

这种灭弧的原理是使电弧处于磁场中间,电磁场力“吹”长电弧,使其进入冷却装置,加速电弧冷却,促使电弧迅速熄灭。

图 1-5 是磁吹式灭弧的原理图。其磁场由与触点电路串联的吹弧线圈 1 产生,当电流逆时针流经吹弧线圈时,其产生的磁通经铁心 3 和导磁夹板 5 引向触点周围。触点周围的磁通方向为由纸面流入,如图中“×”符号所示。由左手定则可知,电弧在吹弧线圈磁场中受一向上方向的力 F 的作用,电弧向上运动,被拉长并被吹入灭弧罩 6 中。引弧角 4 和静触点 8 相连接,引导电弧向上运动,将热量传递给灭弧罩壁,促使电弧熄灭。

这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧,电弧电流越大,吹弧能力越强,且不受电路电流方向影响(当电流方向改变时,磁场方向随之改变,结果电磁力方向不变)。它广泛地应用于直流接触器中。

(3) 灭弧栅

灭弧栅的原理如图 1-6 所示。灭弧栅片 1 是由镀铜薄钢片组成,灭弧栅是由许多灭弧栅片组成,片间距离为 2~3 mm,安放在触点上方的灭弧罩内(图中未画出灭弧罩)。一旦产生电弧,电弧周围产生磁场,导磁的钢片将电弧吸入栅片,电弧被栅片分割成许多串联的短电弧。交流电压过零时,电弧自然熄灭。电弧要重燃,两栅片间必须有 150~250 V 电弧压降。这样,一方面电源电压不足以维持电弧,同时由于栅片的散热作用,电弧自然熄灭后很难重燃。这是一种常用的交流灭弧装置。

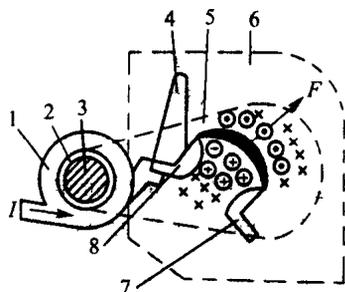


图 1-5 磁吹式灭弧原理图

1—吹弧线圈;2—绝缘套;3—铁心;4—引弧角
5—导磁夹板;6—灭弧罩;7—动触点;8—静触点

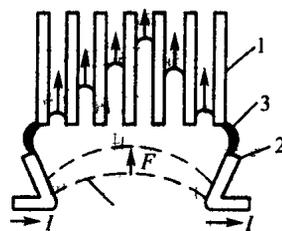


图 1-6 栅片灭弧原理图

1—灭弧栅片;2—触点;3—电弧

(4) 灭弧罩

上面提到的磁吹式灭弧和灭弧栅灭弧都带有灭弧罩,它通常用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。其作用一是分隔各路电弧,以防止发生短路。二是使电弧与灭弧罩的绝缘壁接触,使电弧迅速冷却而熄灭。

3. 电磁机构

电磁机构是电磁式低压电器的感测部件,它的作用是将电磁能量转换成机械能量,带动触头动作使之闭合或断开,从而实现电路的接通或分断。

电磁机构由磁路和激磁线圈两部分组成。磁路主要包括铁心、衔铁和空气隙。激磁线圈通以电流后激励磁场,通过气隙把电能转换为机械能,带动衔铁运动以完成触点的闭合或断开。

常用的磁路结构可分为三种形式,如图 1-7 所示。即衔铁沿棱角转动的拍合式铁心,如图 1-7(a)所示,这种形式广泛应用于直流电器中。衔铁沿轴转动的拍合式铁心,如图 1-7(b)所示,其铁心形状有 E 形和 U 形两种,此种结构多用于触点容量较大的交流电器中。衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心,如图 1-7(c)所示,它多用于交流接触器、继电器中。

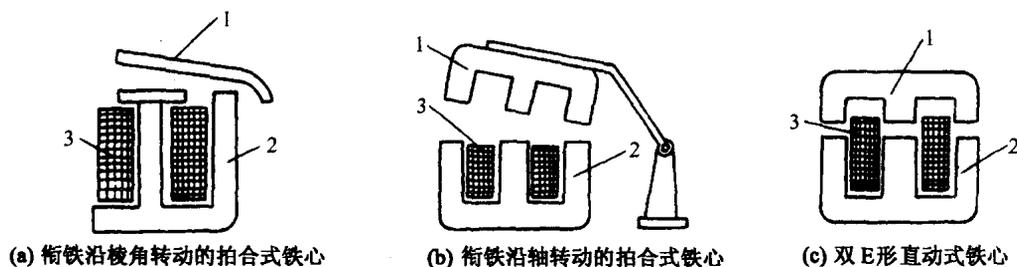


图 1-7 常用的磁路结构

1—衔铁;2—铁心;3—吸引线圈

激磁线圈的作用是将电能转换成磁场能量。按通入激磁线圈的电流种类不同,可分为直流线圈和交流线圈。与之对应的有直流电磁机构和交流电磁机构。

对于直流电磁机构,因其铁心不发热,只有线圈发热,所以通常直流电磁机构的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成,而且它的激磁线圈做成高而薄的瘦高型,且不设线圈骨架,使线圈与铁心直接接触,易于散热。

对于交流电磁机构,由于其铁心存在磁滞和涡流损耗,这样铁心和线圈都发热,所以通常交流电磁机构的铁心用硅钢片叠铆而成,而且它的激磁线圈设有骨架,使铁心与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖型,这样有利于铁心和线圈的散热。

4. 电磁机构的工作原理

电磁机构的工作原理常用吸力特性和反力特性来表征。电磁机构使衔铁吸合的力与气隙长度的关系曲线称为吸力特性,电磁机构使衔铁释放(复位)的力与气隙长度的关系曲线称为反力特性。

(1) 反力特性 电磁机构使衔铁释放的力主要是弹簧的反力(忽略衔铁自身质量),弹簧的反力与其形变的位移 X 成正比,其反力特性可写成

$$F_{\text{反}} = K_1 X \quad (1-1)$$

考虑到常开触点闭合时超行程机构的弹力作用,上述反力特性如图 1-8 的曲线 3 所示,其中 δ_1 为电磁机构气隙的初始值; δ_2 为动、静触头开始接触时的气隙长度。由于超程机构的弹力作用,反力特性在 δ_2 处有一突变。

(2) 吸力特性 电磁机构的电磁吸力可以按下式求得

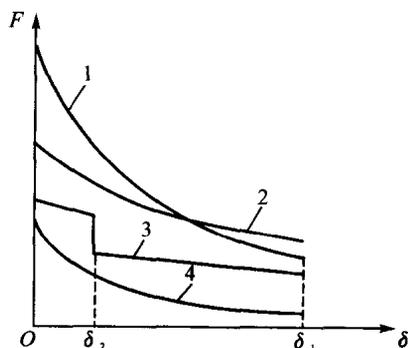


图 1-8 吸力特性和反力特性

1—直流电磁机构吸力特性；2—交流电磁机构吸力特性；
3—反力特性；4—剩磁吸力特性

(电阻相对很小),则

$$U \approx E = 4.44 f \Phi N \quad (1-4)$$

$$\Phi = U / 4.44 f N \quad (1-5)$$

式中: U 为线圈电压(V), E 为线圈感应电势(V), f 为线圈外加电压的频率(Hz), Φ 为气隙磁通(Wb), N 为线圈匝数。

当频率 f 、匝数 N 和外加电压 U 都为常数时,由式(1-5)可知磁通 Φ 也为常数。由式(1-3)可知,此时电磁吸力 F 为常数(因为交流激磁时,电压、磁通都随时间作周期性变化,其电磁吸力也作周期变化,此处 F 为常数是指电磁吸力的幅值不变)。由于线圈外加电压 U 与气隙 δ 的变化无关,所以其吸力 F 也与气隙 δ 的大小无关。实际上,考虑到漏磁通的影响,吸力 F 随气隙 δ 的减小略有增加。其吸力特性如图 1-8 的曲线 2 所示,可以看出特性曲线比较平坦。

虽然交流电磁机构的气隙磁通 Φ 近似不变,但气隙磁阻 R_m 随气隙 δ 而变化。根据磁路定律

$$\Phi = IN / R_m = IN / (\delta / \mu_0 S) = (IN) \times (\mu_0 S) / \delta \quad (1-6)$$

可知,交流激磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比。一般 E 形交流电磁机构,激磁线圈通电而衔铁尚未动作时, δ 最大,其电流可达到吸合后额定电流的 10~15 倍,如果衔铁卡住不能吸合或者频繁动作,交流线圈很可能烧毁。所以在可靠性要求高或操作频繁的场所,一般不采用交流电磁机构。

② 直流电磁机构的吸力特性 直流电磁机构由直流电流激磁。稳态时,磁路对电路无影响,所以可认为其激磁电路不受气隙变化的影响。即其磁势 IN 不受气隙变化的影响,电路在恒磁势下工作。由式(1-3)和式(1-6)可知,此时

$$F \propto \Phi^2 \propto (1/\delta)^2 \quad (1-7)$$

即直流电磁机构的吸力 F 与气隙 δ 的平方成反比。其吸力特性如图 1-8 的曲线 1 所示。可以看出特性曲线比较陡峭,它表明衔铁闭合前后吸力变化很大,气隙越小吸力则越大。

由于衔铁闭合前后激磁线圈的电流不变,所以直流电磁机构适合于动作频繁的场所,且吸合后电磁吸力大,工作可靠性高。

需要指出的是,当直流电磁机构的激磁线圈断电时,磁势就由 IN 急速变为接近于零。电

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

式中: F 为电磁吸力(N), B 为气隙中磁感应强度(T), S 为磁极截面积(m^2)。当端面积 S 为常数时,吸力 F 与磁密强度 B^2 成正比,也可以认为 F 与磁通 Φ^2 成正比,即

$$F \propto \Phi^2 \quad (1-3)$$

电磁机构的吸力特性反映的是其电磁吸力与气隙长短的关系。由于激磁电流的种类对吸力特性的影响很大,所以要对交、直流电磁机构的吸力特性分别进行讨论。

① 交流电磁机构的吸力特性 交流电磁机构激磁线圈的阻抗主要取决于线圈的电抗