

# 现代电气

## 及可编程控制技术

主编 王永华 副主编 王东云 宋寅卯 郑安平



北京航空航天大学出版社

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

# 现代电气及可编程控制技术

主 编 王永华

副主编 王东云 宋寅卯 郑安平



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)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 SIEMENS S7-200 CPU22 \* 系列可编程序控制器的原理和应用,并给出了大量实例;(4)附有思考题、练习题和实验指导书,另外还介绍了 S7-200 可编程序控制器上机编程软件的使用。

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。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代电气及可编程控制技术/王永华等编著. —北京:  
北京航空航天大学出版社,2002.9

ISBN 7-81077-212-0

I. 现… II. 王… III. ①电气控制装置②可编程序控制器 IV. TM571

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 039124 号

### 现代电气及可编程控制技术

主 编 王永华

副主编 王东云 宋寅卯 郑安平

责任编辑 金友泉

责任校对 陈 坤

\*

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:pressell@publica.bj.cninfo.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

\*

开本:787×1 092 1/16 印张:19.5 字数:499 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-212-0/TP·118 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)时,以现在最流行的、有较高性能价格比的 SIEMENS S7-200 CPU22 \* 系列小型 PLC 为对象,使大家接触到最新的 PLC 产品。

全书共分十一章。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电子器件的内容。第二章讲解常用控制线路基本环节的设计和工作原理。在“降压启动”小节中增加了软启动器的应用;在“调速”小节中增加了变频调速器的原理和新型变频器的使用;最后特别讲解了电气控制线路的“简单设计法”。第三章分析了电气控制线路的一般步骤和典型的工厂电气设备的电气原理图。第四章叙述了可编程序控制器的基本概念和概况。第五章介绍了 PLC 的内部元器件性能和寻址方式。第六章结合例子详细介绍了 S7-200 CPU22 \* 系列 PLC 的基本指令和程序控制指令,结合实例讲解了常用典型电路的程序设计和 PLC 程序的“简单设计法”。第七章重点讲解 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做了特别说明。第八章以简洁的方法介绍了 S7-200 PLC 的功能指令系统。第九章详细讲解了 PLC 的网络通讯原理,介绍了 S7-200 PLC 的通讯功能和通讯指令的应用,另外还对 PLC 与变频器的通讯连接也做了介绍。第十章讲解了 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。第十一章是 S7-200 PLC 编程软件的使用简介。本书的附录还提供了 S7-200 PLC 的速查参考资料和实验指导书。

本书的前言、绪论、第二章的 2.6 节、第六章、第七章、第十章的 10.1、10.2 节及附录 B 由郑州轻工业学院王永华编写;第一章由郑州轻工业学院宋寅卯编写;第二章、第十一章及实验一和实验二由郑州轻工业学院郑安平编写;第三章由郑州轻工业学院裴旭明编写;第四章由郑州轻工业学院杨存祥编写;第五章、第八章由中原工学院王东云编写;第九章、第十章的 10.3 节及实验三到实验五由中原工学院陈玉国编写。本书由王永华任主编,负责全书的组织、统稿和改稿。郑州轻工业学院谢宋和教授担任本书的主审,在认真审阅的同时提出了许多宝贵的意见。郑州轻工业学院黄布毅副院长对本书的编写和 PLC 实验中心的建设给予了很多关心和支持,另外信息与控制工程系崔光照主任和自动化实验室王成群主任对本书的编写提供了不少帮助,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,所以书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。作者电子信箱地址:zziliwyh@163.com。

编 者

2002 年 5 月

# 目 录

## 绪 论

## 第一章 常用低压电器

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1.1 概 述 .....                | 3  |
| 1.1.1 电器的定义 .....            | 3  |
| 1.1.2 电器的分类 .....            | 3  |
| 1.1.3 常用低压电器的分类 .....        | 3  |
| 1.2 常用电磁式低压电器 .....          | 4  |
| 1.2.1 电磁式低压电器的基本<br>原理 ..... | 4  |
| 1.2.2 电磁式接触器 .....           | 9  |
| 1.2.3 电磁式继电器 .....           | 12 |
| 1.2.4 电磁式执行器 .....           | 15 |
| 1.3 常用其他低压电器 .....           | 16 |
| 1.3.1 主令电器 .....             | 16 |
| 1.3.2 信号继电器 .....            | 19 |
| 1.3.3 保护电器 .....             | 21 |
| 1.3.4 低压断路器 .....            | 27 |
| 1.4 常用电子式电器 .....            | 29 |
| 1.4.1 固态继电器 .....            | 29 |
| 1.4.2 晶体管时间继电器 .....         | 31 |
| 1.4.3 接近开关 .....             | 33 |
| 1.4.4 光电开关 .....             | 35 |
| 1.4.5 热敏电阻式温度继电器<br>.....    | 38 |
| 本章小结 .....                   | 39 |
| 思考题与练习题 .....                | 39 |

## 第二章 电气控制线路的基本环节

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 2.1 电气控制线路图的图形、文字<br>符号及绘制原则 .....         | 40 |
| 2.1.1 电气控制系统图中的常<br>用电气图形符号和文字<br>符号 ..... | 40 |
| 2.1.2 电气控制线路图的绘制                           |    |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 原则 .....                        | 44 |
| 2.2 三相笼型异步电动机基本控<br>制线路 .....   | 46 |
| 2.2.1 全压启动控制线路 .....            | 46 |
| 2.2.2 正反转控制线路 .....             | 47 |
| 2.2.3 点动控制线路 .....              | 48 |
| 2.2.4 多点控制线路 .....              | 49 |
| 2.2.5 顺序控制线路 .....              | 49 |
| 2.2.6 自动循环控制线路 .....            | 50 |
| 2.3 三相笼型异步电动机降压启<br>动控制线路 ..... | 51 |
| 2.3.1 定子电路串电阻降压启<br>动控制线路 ..... | 51 |
| 2.3.2 星形—三角形降压启动<br>控制线路 .....  | 52 |
| 2.3.3 自耦变压器降压启动控<br>制线路 .....   | 52 |
| 2.3.4 软启动控制线路 .....             | 54 |
| 2.4 三相笼型异步电动机制动控<br>制线路 .....   | 55 |
| 2.4.1 反接制动控制线路 .....            | 55 |
| 2.4.2 能耗制动控制线路 .....            | 58 |
| 2.5 三相笼型异步电动机的速度<br>控制线路 .....  | 60 |
| 2.5.1 基本概念 .....                | 60 |
| 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<br>用 .....     | 62 |
| 2.6 电气控制线路的简单设计法<br>.....       | 66 |
| 2.6.1 概 述 .....                 | 66 |
| 2.6.2 简单设计法介绍 .....             | 66 |
| 2.6.3 简单设计法设计举例<br>.....        | 69 |
| 本章小结 .....                      | 70 |
| 思考题与练习题 .....                   | 70 |

### 第三章 典型生产机械电气控制 线路分析

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 3.1 电气控制线路分析基础            | 72 |
| 3.1.1 电气控制线路分析的内容与要求      | 72 |
| 3.1.2 电气原理图阅读分析的方法与步骤     | 73 |
| 3.2 C650 卧式车床电气控制线路分析     | 73 |
| 3.2.1 机床的主要结构和运动形式        | 74 |
| 3.2.2 电力拖动及控制要求           | 74 |
| 3.2.3 电气控制线路分析            | 75 |
| 3.2.4 C650 卧式车床电气控制线路的特点  | 78 |
| 3.3 T68 卧式镗床电器控制线路分析      | 78 |
| 3.3.1 主要结构和运动形式           | 78 |
| 3.3.2 电力拖动和控制要求           | 79 |
| 3.3.3 电气控制线路分析            | 79 |
| 3.4 X62W 型卧式铣床电气控制线路      | 83 |
| 3.4.1 主要结构和运动形式           | 83 |
| 3.4.2 电力拖动和控制要求           | 83 |
| 3.4.3 电气控制线路分析            | 84 |
| 3.4.4 X62W 卧式万能铣床电气控制线路特点 | 89 |
| 本章小结                      | 89 |
| 思考题与练习题                   | 89 |

### 第四章 可编程序控制器概述

|                  |
|------------------|
| 4.1 可编程序控制器的产生和定 |
|------------------|

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 义                        | 91  |
| 4.1.1 可编程序控制器的产生         | 91  |
| 4.1.2 可编程序控制器的定义         | 92  |
| 4.2 可编程序控制器的特点           | 93  |
| 4.3 可编程序控制器的应用和发展        | 94  |
| 4.3.1 国内外发展状况            | 94  |
| 4.3.2 发展趋势               | 94  |
| 4.3.3 应用领域               | 95  |
| 4.4 可编程序控制器的分类           | 96  |
| 4.5 可编程序控制器的系统组成         | 97  |
| 4.5.1 中央处理单元(CPU)        | 98  |
| 4.5.2 存储器                | 98  |
| 4.5.3 输入/输出单元            | 98  |
| 4.5.4 电源部分               | 99  |
| 4.5.5 扩展接口               | 99  |
| 4.5.6 通讯接口               | 99  |
| 4.5.7 编程器                | 100 |
| 4.5.8 其他部件               | 100 |
| 4.6 可编程序控制器与继电器控制系统的区别   | 100 |
| 4.7 可编程序控制器的工作原理         | 101 |
| 4.7.1 可编程序控制器的工作方式与运行框图  | 101 |
| 4.7.2 可编程序控制器的工作过程       | 102 |
| 4.7.3 可编程序控制器对输入/输出的处理原则 | 103 |
| 4.8 可编程序控制器的编程语言和程序结构    | 103 |
| 4.8.1 可编程序控制器的编程语言       | 103 |
| 4.8.2 可编程序控制器的程序结构       | 105 |

|                                       |     |                                       |     |
|---------------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| 本章小结 .....                            | 105 | 6.1.10 定时器 .....                      | 131 |
| 思考题 .....                             | 106 | 6.1.11 计数器 .....                      | 135 |
| <b>第五章 S7-200 系列 PLC 的硬件系统及内部资源</b>   |     | 6.1.12 比较指令 .....                     | 137 |
| 5.1 概 述 .....                         | 107 | 6.1.13 NOT 及 NOP 指令 .....             | 139 |
| 5.2 SIMATIC S7-200 系列 PLC 的硬件系统 ..... | 107 | 6.2 程序控制指令 .....                      | 139 |
| 5.2.1 S7-200 系列 PLC 系统基本构成 .....      | 108 | 6.2.1 结束及暂停指令 .....                   | 139 |
| 5.2.2 主机结构 .....                      | 108 | 6.2.2 看门狗 WDR(Watchdog Reset)指令 ..... | 140 |
| 5.2.3 输入/输出的扩展 .....                  | 110 | 6.2.3 跳转及标号指令 .....                   | 141 |
| 5.2.4 主机性能指标 .....                    | 113 | 6.2.4 循环指令(FOR 和 NEXT) .....          | 141 |
| 5.3 SIMATIC S7-200 系列 PLC 的内部资源 ..... | 114 | 6.2.5 子程序 .....                       | 142 |
| 5.3.1 软元件 .....                       | 114 | 6.2.6 与 ENO 指令 .....                  | 145 |
| 5.3.2 CPU 存储区域的直接寻址 .....             | 115 | 6.3 可编程序控制器初步编程指导 .....               | 146 |
| 5.3.3 CPU 存储区域的间接寻址 .....             | 120 | 6.3.1 梯形图编程的基本规则 .....                | 146 |
| 本章小结 .....                            | 121 | 6.3.2 语句表编程的基本规则 .....                | 148 |
| 思考题与练习题 .....                         | 122 | 6.4 典型的简单电路编程 .....                   | 148 |
| <b>第六章 可编程控制器的基本指令及程序设计</b>           |     | 6.4.1 延时脉冲产生电路 .....                  | 148 |
| 6.1 可编程控制器的基本逻辑指令及举例 .....            | 123 | 6.4.2 瞬时接通/延时断开电路 .....               | 149 |
| 6.1.1 逻辑取及线圈驱动指令 .....                | 123 | 6.4.3 延时接通/延时断开电路 .....               | 149 |
| 6.1.2 触点串联指令 .....                    | 124 | 6.4.4 脉冲宽度可控制电路 .....                 | 150 |
| 6.1.3 触点并联指令 .....                    | 124 | 6.4.5 计数器的扩展 .....                    | 151 |
| 6.1.4 串联电路块的并联连接指令 .....              | 125 | 6.4.6 长定时电路 .....                     | 151 |
| 6.1.5 并联电路块的串联连接指令 .....              | 125 | 6.4.7 闪烁电路 .....                      | 152 |
| 6.1.6 置位(Set)、复位(Reset)指令 .....       | 126 | 6.4.8 报警电路 .....                      | 153 |
| 6.1.7 立即指令 .....                      | 127 | 6.5 可编程序控制器程序的简单设计法及应用举例 .....        | 155 |
| 6.1.8 边沿脉冲指令 .....                    | 128 | 6.5.1 可编程序控制器程序的简单设计法 .....           | 155 |
| 6.1.9 逻辑堆栈操作指令 .....                  | 129 | 6.5.2 应用举例 .....                      | 156 |
|                                       |     | 本章小结 .....                            | 160 |
|                                       |     | 思考题与练习题 .....                         | 160 |

## 第七章 可编程序控制器顺序控制指令及应用

|                  |     |
|------------------|-----|
| 7.1 功能图的产生及基本概念  | 162 |
| 7.1.1 功能图的产生     | 162 |
| 7.1.2 功能图的基本概念   | 162 |
| 7.1.3 功能图的构成规则   | 163 |
| 7.2 顺序控制指令       | 164 |
| 7.2.1 顺序控制指令介绍   | 164 |
| 7.2.2 举例说明       | 164 |
| 7.2.3 使用说明       | 165 |
| 7.3 功能图的主要类型     | 166 |
| 7.3.1 单流程        | 166 |
| 7.3.2 可选择的分支和联接  | 166 |
| 7.3.3 并行分支和联接    | 167 |
| 7.3.4 跳转和循环      | 169 |
| 7.4 顺序控制指令应用举例   | 171 |
| 7.4.1 选择和循环电路举例  | 171 |
| 7.4.2 并行分支和联接举例  | 174 |
| 7.4.3 选择和跳转功能图举例 | 177 |
| 本章小结             | 180 |
| 思考题与练习题          | 180 |

## 第八章 S7-200 系列 PLC 的功能指令

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 8.1 传送、移位和填充指令                    | 181 |
| 8.1.1 传送类指令                       | 182 |
| 8.1.2 移位与循环指令                     | 184 |
| 8.1.3 字节交换指令 SWAP<br>(SWAP bytes) | 188 |
| 8.1.4 填充指令 FILL                   | 188 |
| 8.2 运算和数学指令                       | 189 |
| 8.2.1 加法指令                        | 189 |
| 8.2.2 减法指令                        | 190 |
| 8.2.3 乘法指令                        | 191 |
| 8.2.4 除法指令                        | 192 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 8.2.5 数学函数指令                          | 194 |
| 8.2.6 增、减指令                           | 196 |
| 8.2.7 逻辑运算                            | 198 |
| 8.3 表功能指令                             | 200 |
| 8.3.1 表存数指令 AD_T_TBL<br>(ADd ToTABLE) | 200 |
| 8.3.2 表取数指令                           | 201 |
| 8.3.3 表查找指令 TBL_FIND<br>(TABLEFIND)   | 202 |
| 8.4 转换指令                              | 203 |
| 8.4.1 数据类型转换                          | 203 |
| 8.4.2 编码和译码                           | 206 |
| 8.4.3 七段码 SEG(SEGment)                | 207 |
| 8.4.4 字符串转换                           | 208 |
| 8.5 时钟                                | 208 |
| 8.6 中断                                | 210 |
| 8.6.1 中断源                             | 210 |
| 8.6.2 中断调用                            | 212 |
| 8.6.3 中断程序                            | 214 |
| 8.7 高速计数输入与高速脉冲<br>输出指令               | 215 |
| 8.7.1 高速计数                            | 215 |
| 8.7.2 高速脉冲输出                          | 220 |
| 8.8 PID 回路指令                          | 226 |
| 本章小结                                  | 230 |
| 练习题                                   | 231 |

## 第九章 PLC 的网络通讯技术及应用

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 9.1 通讯网络的基础知识                 | 232 |
| 9.1.1 数据通讯方式                  | 232 |
| 9.1.2 网络概述                    | 234 |
| 9.2 S7-200 的通讯与网络             | 236 |
| 9.2.1 S7 系列 PLC 网络层<br>次结构和协议 | 236 |
| 9.2.2 网络部件                    | 240 |
| 9.3 S7-200 PLC 的通讯指令          | 242 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 9.3.1 网络读/网络写指令 | 242 |
| 9.3.2 发送与接收指令   | 244 |
| 9.3.3 USS 通讯指令  | 250 |
| 本章小结            | 255 |

## 第十章 现代 PLC 控制系统综合设计实例

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 10.1 可编程序控制器控制系统设计步骤及内容 | 256 |
| 10.1.1 分析评估控制任务         | 257 |
| 10.1.2 可编程序控制器的选型       | 257 |
| 10.1.3 I/O 地址分配         | 257 |
| 10.1.4 系统设计             | 258 |
| 10.1.5 系统调试             | 258 |
| 10.2 双恒压无塔供水控制系统设计      | 259 |
| 10.2.1 工艺过程             | 259 |
| 10.2.2 系统控制要求           | 259 |
| 10.2.3 控制系统的 I/O 点及地址分配 | 260 |
| 10.2.4 可编程序控制器选型        | 260 |
| 10.2.5 电器控制系统原理图        | 261 |
| 10.2.6 系统程序设计           | 264 |
| 10.3 薄刀式分切压痕机控制系统       | 270 |
| 10.3.1 生产线的工艺过程         | 270 |
| 10.3.2 控制系统的工艺要求        | 270 |
| 10.3.3 控制系统的 I/O 点及地址分配 | 271 |
| 10.3.4 可编程序控制器选型        | 271 |
| 10.3.5 系统原理图            | 271 |

|               |     |
|---------------|-----|
| 10.3.6 系统程序设计 | 273 |
|---------------|-----|

## 第十一章 S7-200 PLC 编程软件的使用

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 11.1 编程软件安装          | 278 |
| 11.1.1 系统要求          | 278 |
| 11.1.2 软件安装          | 278 |
| 11.1.3 硬件连接          | 279 |
| 11.1.4 参数设置          | 279 |
| 11.1.5 在线联系          | 280 |
| 11.1.6 建立修改 PLC 通讯参数 | 280 |
| 11.2 编程软件功能          | 280 |
| 11.2.1 基本功能          | 280 |
| 11.2.2 界面            | 281 |
| 11.2.3 各部分功能         | 281 |
| 11.2.4 系统组态          | 283 |
| 11.3 编程              | 283 |
| 11.3.1 程序文件操作        | 283 |
| 11.3.2 编辑程序          | 284 |
| 11.4 调试及运行监控         | 288 |
| 11.4.1 选择扫描次数        | 288 |
| 11.4.2 状态图表监控        | 288 |
| 11.4.3 运行模式下编辑       | 289 |
| 11.4.4 程序监视          | 290 |
| 本章小结                 | 291 |

## 附录 A 实验指导书

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 实验一 异步电动机可逆运行实验         | 292 |
| 实验二 S7-200 PLC 编程软件使用实验 | 292 |
| 实验三 抢答器程序设计实验           | 293 |
| 实验四 人行道按钮控制交通灯程序设计实验    | 294 |
| 实验五 水位控制程序设计实验          | 295 |

**附录 B S7-200 PLC 快速参考  
信息**

- 表 B-1 常用特殊继电器 SM0  
和 SM1 的位信息 ... 297
- 表 B-2 S7-200 CPU 存储器

范围和特性汇总 ..... 297

表 B-3 S7-200 CPU 指令系

统速查表 ..... 299

**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,由于机械性的触点工作频率低,易损坏,因此可靠性差。

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应用,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、数据通讯等功能,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技术的支柱之一,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。

## 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。该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。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,并了解一些新型的元器件用途。

(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) 了解电气控制线路分析的步骤,熟悉典型生产设备的电气控制系统的工作原理。

(4) 熟悉可编程序控制器的基本概况和工作原理。

(5) 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。

(6) 掌握和了解可编程序控制器的网络和通讯原理,会编制简单的通讯程序。

(7) 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

## 1.1 概 述

### 1.1.1 电器的定义

电器是一种根据外界施加的信号和技术要求,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,而采用电磁现象完成上述功能的低压电器称为电磁式低压电器。

### 1.1.2 电器的分类

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。

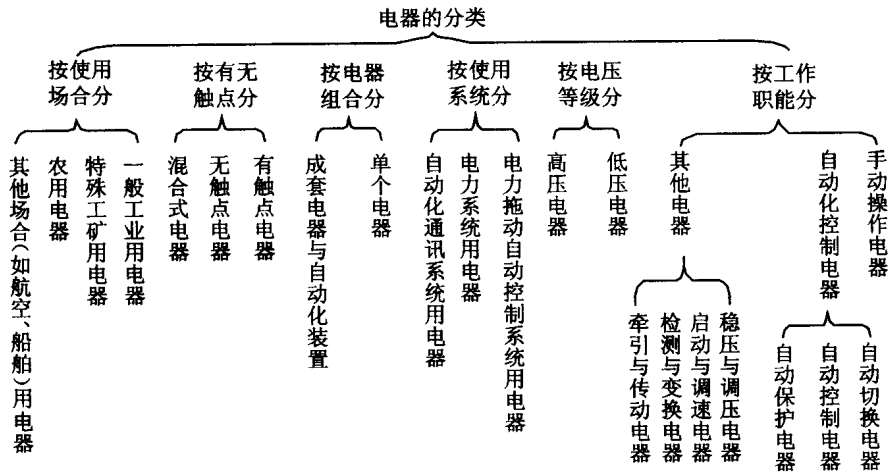


图 1-1 电器的分类

### 1.1.3 常用低压电器的分类

低压电器是指工作在交、直流电压 1 200 V 以下的电器,常用低压电器的分类如图 1-2 所示。

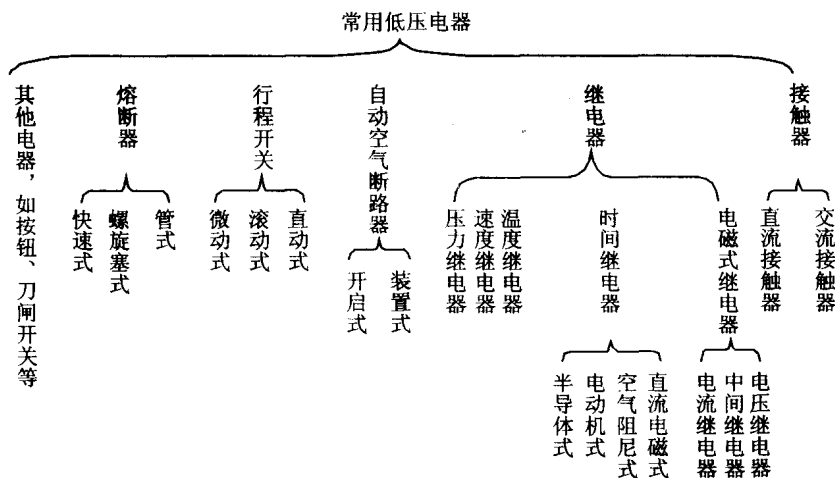


图 1-2 常用低压电器分类

## 1.2 常用电磁式低压电器

### 1.2.1 电磁式低压电器的基本原理

采用电磁现象实现低压电器功能的电器称为电磁式低压电器。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:电磁机构、触头系统及灭弧装置。

#### 1. 电磁机构原理

##### (1) 电磁机构

电磁机构是电磁式低压电器的感测部分,它的主要作用是将电磁能量转换成机械能量,带动触头动作,从而实现电路的接通或分断。

电磁机构由吸引线圈、铁心、衔铁等几部分组成。

① 磁路结构 常用的磁路结构如图 1-3 所示,可分为三种形式。即衔铁沿棱角转动的拍合式铁心,如图 1-3(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 1-3(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;衔铁沿直线运动的双 E 型直动式铁心,如图 1-3(c)所示,它多用于交流接触器和继电器中。

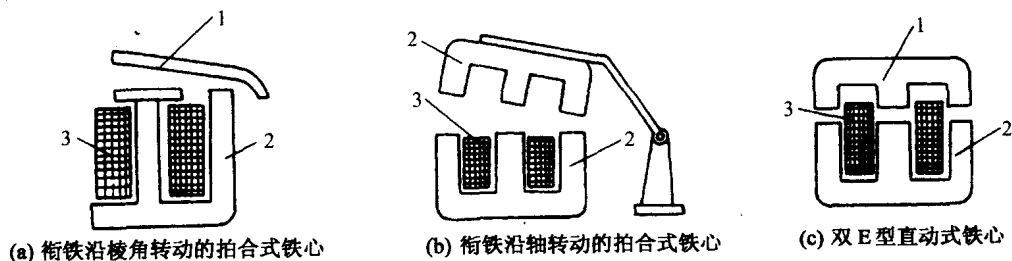


图 1-3 常用的磁路结构

1—衔铁;2—铁心;3—吸引线圈

② 吸引线圈 吸引线圈的作用是将电能转换成磁场能量。按通入吸引线圈的电流种类不同,可分为直流线圈和交流线圈。

电磁式电器分为直流与交流两大类,它们都利用电磁铁的原理而制成。通常直流电磁铁的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成,而交流电磁铁的铁心则用硅钢片叠铆而成。

对于直流电磁铁,因其铁心不发热,只有线圈发热,所以直流电磁铁的吸引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;对于交流电磁铁,由于其铁心存在磁滞和涡流损耗,这样线圈和铁心都发热,所以交流电磁铁的吸引线圈设有骨架,使铁心与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖型,这样做有利于铁心和线圈的散热。

### (2) 电磁吸力与吸力特性

电磁式低压电器是根据电磁铁的原理而设计,电磁吸力是影响其可靠工作的一个重要参数。电磁铁的吸力可按式求得

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

式中:  $F_{at}$  为电磁吸力(N),  $B$  为气隙中磁感应强度(T),  $S$  为磁极截面积( $m^2$ )。

在气隙值  $\delta$  及外加电压值一定时,对于直流电磁铁,电磁吸力是一个恒定值,但对于交流电磁铁,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

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

将式(1-2)代入式(1-1)后得

$$F_{at} = \frac{F_{atm}}{2} - \frac{F_{atm}}{2} \cos 2\omega t = F_0 - F_0 \cos 2\omega t \quad (1-3)$$

式中:  $F_{atm} = \frac{10^7}{8\pi} B_m^2 S$  为电磁吸力最大值;  $F_0 = F_{atm}/2$  为电磁吸力平均值。

因此交流电磁铁的电磁吸力是随时间变化而变化的。交流电磁铁在工作过程中,决定其能否将衔铁吸住的是平均吸力  $F_0$  的大小。所以我们通常说的交流电磁铁的吸力,就是指它的平均吸力。

电磁式电器在衔铁吸合或释放过程中,气隙  $\delta$  是变化的,因此,电磁吸力也将随  $\delta$  的变化而变化。

所谓吸力特性,是指电磁吸力  $F_{at}$  随衔铁与铁心间气隙  $\delta$  变化的关系曲线。不同的电磁机构,有不同的吸力特性,图 1-4 表示一般电磁铁的吸力特性。

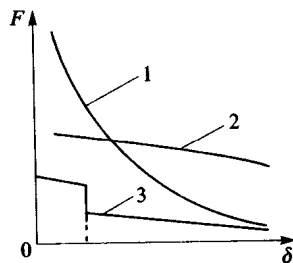


图 1-4 电磁铁的吸力特性

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

对于直流电磁铁,其励磁电流的大小与气隙无关,动作过程中为恒磁势工作,其吸力随气隙的减小而增加,所以吸力特性曲线比较陡峭。而交流电磁铁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。

### (3) 反力特性和返回系数

所谓反力特性是指反作用力  $F_r$  与气隙  $\delta$  的关系曲线,如图 1-4 中的曲线 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。

返回系数是指释放电压(或电流)与吸合电压(或电流)的比值,用  $\beta$  表示。

具有电压线圈的电磁机构,其返回系数为

$$\beta_v = U_{re}/U_{at} \quad (1-4)$$

对于具有电流线圈的电磁机构,其返回系数为

$$\beta_i = I_{re}/I_{at} \quad (1-5)$$

返回系数是反映电磁式电器灵敏度的一个参数, $\beta$ 值大,电器灵敏度就高;反之,则灵敏度低。

### (4) 单相交流电磁机构上短路环的作用

根据交流电磁吸力公式可知,单相交流电磁机构的电磁吸力是一个两倍电源频率的周期性变量。它有两个分量:一个是恒定分量  $F_0$ ,其值为最大吸力值的一半;另一个是交变分量  $F_{\omega}$ ,其值  $F_{\omega} = F_0 \cos 2\omega t$ ,其幅度值为最大吸力值的一半,并以两倍电源频率变化,总的电磁吸力  $F_{at}$  在从 0 到  $F_{atm}$  的范围内变化,其吸力曲线如图 1-5 所示。

电磁机构在工作中,衔铁始终受到反作用弹簧、触头弹簧等作用力  $F_r$  的作用。尽管电磁吸力的平均值  $F_0$  大于  $F_r$ ,但在某些时候  $F_{at}$  仍将小于  $F_r$  (如图 1-5 中画有斜线部分)。当  $F_{at} < F_r$  时,衔铁开始释放;当  $F_{at} > F_r$  时,衔铁又被吸合,如此周而复始,从而使衔铁产生强烈的振动,发出噪声。为此必须采取有效措施,消除振动和噪声。

具体办法是在铁心端部开一个槽,槽内嵌入称为短路环(或称分磁环)的铜环,如图 1-6 所示。当励磁线圈通入交流电后,在短环中就有感应电流产生,该感应电流又会产生一个磁通。短路环把铁心中的磁通分为两部分,即不穿过短路环的  $\Phi_1$  和穿过短路环的  $\Phi_2$ 。磁通  $\Phi_1$  由电磁铁线圈电流  $I_1$  产生,而  $\Phi_2$  则由  $I_1$  及短路环中的电流  $I_2$  共同产生。电流  $I_1$  与  $I_2$  的相位不同,故  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  的相位也不同,亦即  $\Phi_1$  与  $\Phi_2$  不同时为零,使合成吸力始终大于反作用力,从而消除了振动和噪声。短路环通常包围三分之二的铁心截面,它一般用铜、康铜或镍铬合金等材料制成。

## 2. 触 头

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

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 1-7 所示。

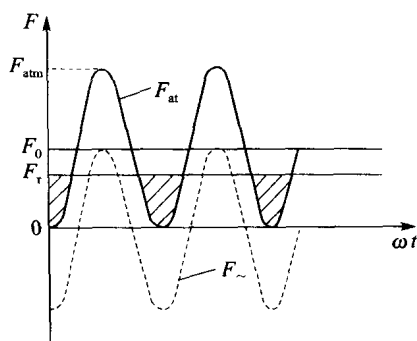


图 1-5 交流电磁机构实际吸力曲线

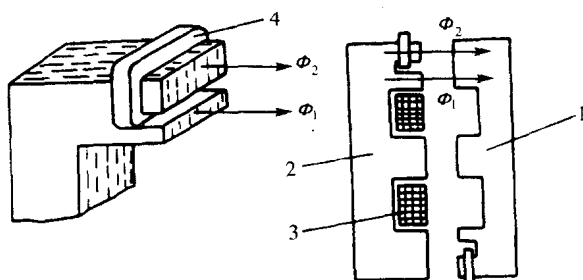


图 1-6 交流电磁铁的短路环

1—衔铁；2—铁心；3—线圈；4—短路环

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，以减少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 1-7(b)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。

触点的结构形式主要有单断点指形触头和双断点桥式触头。

图 1-7(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。

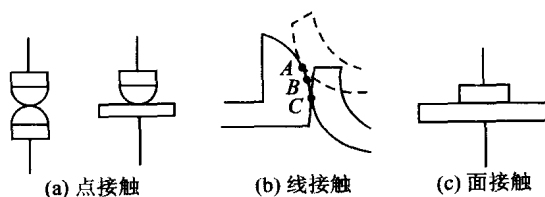


图 1-7 触点的三种接触形式

图 1-8 为双断点桥式触头的结构示意图。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。

### 3. 电弧的产生和灭弧

电弧实际上是一种气体放电现象。所谓气体放电，就是在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