




教育部高等职业教育示范专业规划教材  
(电气工程及自动化类专业)

# 电气控制与PLC应用技术 项目式教程 (三菱机型)

晏华成 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

赠电子课件、思考  
与练习题参考答案

教育部高等职业教育示范专业规划教材  
(电气工程及其自动化类专业)

# 电气控制与 PLC 应用技术项目式 教程 (三菱机型)

主 编 晏华成  
副主编 陈忠仁 宋俊锡  
参 编 龙涛元 宋国翠 岳宝华  
主 审 阮友德



机械工业出版社

本书遵循“教、学、做”一体化的编写思路，全书由6个模块26个项目组成，每个项目都由任务导入、相关知识、项目实施、知识拓展和思考与练习5部分组成。所选项目包括电动机常用控制电路的安装与调试、常用机床控制电路的分析与故障排除、FX系列PLC基本逻辑指令及其应用、PLC步进顺控指令及其应用、PLC功能指令及其应用和PLC、触摸屏及变频器的综合应用。行业中应用得较多的触摸屏、变频器、步进电动机等技术均引入教材，以提高教材的实用性。

本书可作为高职高专院校机电一体化技术专业、机械制造及自动化专业、电气自动化技术专业及相关专业的教材和参考书，也可作为相关技术培训的教材及参考书。

为方便教学，本书提供免费的电子课件、思考与练习题参考答案及参考程序，凡选用本书作为授课教材的学校，均可来电索取。咨询电话：010-88379375；E-mail：cmpgaozhi@sina.com。

## 图书在版编目(CIP)数据

电气控制与PLC应用技术项目式教程(三菱机型)/晏华成主编. —北京:机械工业出版社, 2012.7

教育部高等职业教育示范专业规划教材.(电气工程及自动化类专业)  
ISBN 978-7-111-38501-1

I. ①电… II. ①晏… III. ①电气控制—高等职业教育—教材 ②plc技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM571.2 ②TM571.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第111679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:于宁 责任编辑:于宁 曹雪伟

版式设计:刘怡丹 责任校对:张晓蓉

封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.25印张·378千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38501-1

定价:29.00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 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649 封面无防伪标均为盗版

读者购书热线:(010)88379203

# 前 言

随着科学技术的发展,电气控制技术已发展到了一定的高度。传统电气控制技术的内容发生了很大变化,有些已被淘汰;但其基础的部分对任何先进的控制系统来说仍是必不可少的。PLC的出现取代了继电器—接触器逻辑控制系统,它是当今电气自动化领域中不可替代的重要控制器件。为了适应高职高专课程改革的需要,本书对传统的《工厂电气控制技术》和《PLC原理及应用》两门课程的内容进行了有机的整合,力求突出高职教育的岗位性、技能性和实践性等特点。

本书遵循“教、学、做”一体化的编写思路,由电动机常用控制电路的安装与调试、机床常用控制电路的分析与故障排除、PLC基本逻辑指令及其应用、PLC步进顺控指令及其应用、PLC功能指令及其应用以及PLC、触摸屏及变频器的综合应用共6个模块组成,每个模块由一些项目组成,本书所有的项目均选用实际中应用较多的项目,在每个项目中讲述知识点,知识点以完成项目够用为原则,然后讲述项目的实施方法和步骤,避免枯燥的理论讲解。在知识拓展部分介绍一些新技术,目前行业中很少应用的技术只作简单介绍,行业中应用得较多的触摸屏、变频器、步进电动机等技术均引入教材,以提高教材的实用性。

本书由中山火炬职业技术学院晏华成任主编,中山职业技术学院陈忠仁、中山市奥美森工业有限公司宋俊锡任副主编,中山火炬职业技术学院龙涛元、宋国翠、岳宝华参加了部分章节的编写。本书由深圳职业技术学院阮友德主审,阮老师对本书提出了许多宝贵意见和建议,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 模块一 电动机常用控制电路的

### 安装与调试 ..... 1

#### 项目一 电动机的点动控制电路的

##### 分析与安装 ..... 1

##### 一、任务导入 ..... 1

##### 二、相关知识 ..... 1

##### 学习情境1 低压电器的基本知识 ... 1

##### (一) 低压电器的分类 ..... 1

##### (二) 低压电器的基本结构 ..... 2

##### 学习情境2 低压断路器 ..... 4

##### 学习情境3 熔断器 ..... 6

##### 学习情境4 控制按钮 ..... 7

##### 学习情境5 接触器 ..... 9

##### (一) 结构 ..... 9

##### (二) 工作原理 ..... 9

##### (三) 常用接触器 ..... 9

##### (四) 接触器的主要技术参数及 型号的含义 ..... 10

##### (五) 接触器的选用 ..... 11

##### 学习情境6 电动机点动控制电路的 分析 ..... 11

##### 三、项目实施 ..... 12

##### 四、知识拓展——刀开关 ..... 13

##### 五、思考与练习 ..... 13

#### 项目二 电动机的连续运行控制电路的

##### 分析与安装 ..... 14

##### 一、任务导入 ..... 14

##### 二、相关知识 ..... 14

##### 学习情境1 电气控制系统的基本 基础知识 ..... 14

##### (一) 图形符号和文字符号 ..... 15

##### (二) 电路图 ..... 15

##### (三) 元器件布置图 ..... 17

##### (四) 接线图 ..... 17

##### 学习情境2 继电特性和 热继电器 ..... 17

##### (一) 继电特性 ..... 17

##### (二) 热继电器 ..... 19

##### 学习情境3 电动机的连续运行 控制电路 ..... 21

##### 三、项目实施 ..... 22

##### 四、知识拓展——电动机的点动与 连续运行电路 ..... 22

##### 五、思考与练习 ..... 23

#### 项目三 电动机的正反转控制电路的

##### 分析与安装 ..... 23

##### 一、任务导入 ..... 23

##### 二、相关知识 ..... 23

##### 学习情境1 电动机正反转控制 电路 ..... 23

##### 学习情境2 电动机自动往返控制 电路 ..... 25

##### 三、项目实施 ..... 25

##### 四、知识拓展 ..... 27

##### (一) 行程开关 ..... 27

##### (二) 接近开关 ..... 27

##### 五、思考与练习 ..... 28

#### 项目四 电动机的顺序控制电路的

##### 分析与安装 ..... 29

##### 一、任务导入 ..... 29

##### 二、相关知识 ..... 29

##### 学习情境1 电动机主电路的顺序 控制电路 ..... 29

##### 学习情境2 电动机控制电路的顺序 控制电路 ..... 29

##### 三、项目实施 ..... 31

##### 四、知识拓展 ..... 31

##### (一) 时间继电器 ..... 31

|  |    |  |    |
|--|----|--|----|
| (二) 电动机的多地控制电路·····                        | 33 | (二) 电气原理图设计·····                         | 54 |
| 五、思考与练习·····                               | 33 | (三) 电气工艺设计·····                          | 56 |
| 项目五 电动机减压起动控制电路的<br>分析与安装·····             | 34 | 五、思考与练习·····                             | 58 |
| 一、任务导入·····                                | 34 | 项目二 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路的<br>分析与常见故障排除····· | 59 |
| 二、相关知识·····                                | 34 | 一、任务导入·····                              | 59 |
| 学习情境 1 定子串电阻减压起动<br>电路·····                | 34 | 二、相关知识·····                              | 59 |
| 学习情境 2 Y/ $\Delta$ 减压起动电路·····             | 34 | 学习情境 电气控制电路的检修···                        | 59 |
| 学习情境 3 定子串接自耦变压器<br>减压起动电路·····            | 36 | (一) 检修工具·····                            | 59 |
| 学习情境 4 绕线式异步电动机<br>转子绕组串接电阻<br>起动电路·····   | 36 | (二) 检修步骤·····                            | 59 |
| 三、项目实施·····                                | 38 | (三) 检修方法·····                            | 60 |
| 四、知识拓展——电磁式继电器·····                        | 40 | 三、项目实施·····                              | 63 |
| 五、思考与练习·····                               | 42 | 四、知识拓展——Z3040 型摇臂钻床常见<br>故障分析·····       | 65 |
| 项目六 电动机的制动控制电路的<br>分析与安装·····              | 42 | 五、思考与练习·····                             | 66 |
| 一、任务导入·····                                | 42 | 项目三 T68 型卧式镗床常见故障分析·····                 | 66 |
| 二、相关知识·····                                | 42 | 一、任务导入·····                              | 66 |
| 学习情境 1 机械制动控制电路·····                       | 42 | 二、相关知识·····                              | 67 |
| 学习情境 2 电气制动控制电路·····                       | 43 | 学习情境 卧式镗床的主要结构及<br>运动情况·····             | 67 |
| 三、项目实施·····                                | 47 | 三、项目实施·····                              | 68 |
| 四、知识拓展·····                                | 47 | 四、知识拓展——T68 型镗床常见<br>故障分析·····           | 71 |
| (一) 速度继电器·····                             | 47 | 五、思考与练习·····                             | 72 |
| (二) 剩余电流断路器·····                           | 48 | <b>模块三 PLC 基本逻辑指令及其应用</b> ···            | 73 |
| 五、思考与练习·····                               | 50 | 项目一 认识 PLC·····                          | 73 |
| <b>模块二 常用机床控制电路的分析与<br/>    故障排除</b> ····· | 51 | 一、任务导入·····                              | 73 |
| 项目一 CA6140 型普通车床电气控制电路的<br>分析·····         | 51 | 二、相关知识·····                              | 74 |
| 一、任务导入·····                                | 51 | 学习情境 1 PLC 的产生及定义·····                   | 74 |
| 二、相关知识·····                                | 51 | 学习情境 2 PLC 的应用领域·····                    | 75 |
| 学习情境 电气控制电路的分析<br>方法·····                  | 51 | 学习情境 3 PLC 的分类·····                      | 75 |
| 三、项目实施·····                                | 52 | 三、项目实施·····                              | 76 |
| 四、知识拓展——电气控制系统的设计<br>方法·····               | 54 | 四、知识拓展·····                              | 79 |
| (一) 设计的基本原则·····                           | 54 | (一) PLC 的内部结构·····                       | 79 |
|  |    | (二) FX 系列 PLC 型号·····                    | 81 |
|  |    | 五、思考与练习·····                             | 83 |
|  |    | 项目二 电动机起保停的 PLC 控制·····                  | 83 |
|  |    | 一、任务导入·····                              | 83 |
|  |    | 二、相关知识·····                              | 84 |

|                                   |     |  |     |
|-----------------------------------|-----|--|-----|
| 学习情境 1 输入继电器与输出继电器 .....          | 84  | 学习情境 3 脉冲式触头指令 .....                   | 110 |
| 学习情境 2 可编程序控制器的软件 .....           | 85  | 三、项目实施 .....                           | 111 |
| 学习情境 3 逻辑取及驱动线圈指令 .....           | 86  | 四、知识拓展 .....                           | 112 |
| 学习情境 4 触头串、并联指令 .....             | 87  | (一) 定时器和计数器构成长延时电路 .....               | 112 |
| 学习情境 5 PLC 的工作原理 .....            | 88  | (二) 脉冲输出指令 .....                       | 112 |
| 学习情境 6 GX Developer 编程软件的使用 ..... | 91  | (三) PLC 应用系统的设计步骤 .....                | 113 |
| 三、项目实施 .....                      | 96  | (四) PLC 的选型 .....                      | 115 |
| 四、知识拓展 .....                      | 97  | 五、思考与练习 .....                          | 115 |
| (一) 输入为常闭触头的处理方法 .....            | 97  | 项目五 电动机 Y/ $\Delta$ 减压起动的 PLC 控制 ..... | 116 |
| (二) 置位与复位指令 .....                 | 98  | 一、任务导入 .....                           | 116 |
| 五、思考与练习 .....                     | 99  | 二、相关知识 .....                           | 116 |
| 项目三 3 台电动机顺序起停的 PLC 控制 .....      | 99  | 学习情境 1 电路块连接指令 .....                   | 116 |
| 一、任务导入 .....                      | 99  | 学习情境 2 多重输出电路指令 .....                  | 117 |
| 二、相关知识 .....                      | 100 | 学习情境 3 主控触头指令 .....                    | 119 |
| 学习情境 1 定时器 .....                  | 100 | 三、项目实施 .....                           | 120 |
| 学习情境 2 辅助继电器 .....                | 100 | 四、知识拓展 .....                           | 121 |
| 学习情境 3 常数 .....                   | 102 | (一) 程序设计的方法 .....                      | 121 |
| 学习情境 4 空操作和程序结束指令 .....           | 102 | (二) 梯形图的基本规则 .....                     | 124 |
| 三、项目实施 .....                      | 103 | 五、思考与练习 .....                          | 127 |
| 四、知识拓展 .....                      | 104 | 模块四 PLC 步进顺控指令及其应用 .....               | 128 |
| (一) 得电延时接通电路 .....                | 104 | 项目一 彩灯循环点亮的 PLC 控制 .....               | 128 |
| (二) 失电延时断开电路 .....                | 104 | 一、任务导入 .....                           | 128 |
| (三) 定时器接力电路 .....                 | 104 | 二、相关知识 .....                           | 128 |
| (四) 定时器累计计时电路 .....               | 105 | 学习情境 1 状态继电器 .....                     | 128 |
| (五) 振荡电路 .....                    | 105 | 学习情境 2 顺序功能图 .....                     | 129 |
| (六) 电动机逆序停止控制电路 .....             | 106 | 学习情境 3 步进顺控指令 .....                    | 129 |
| 五、思考与练习 .....                     | 107 | 学习情境 4 顺序功能图与步进梯形图之间的转换 .....          | 130 |
| 项目四 电动机循环正反转的 PLC 控制 .....        | 107 | 三、项目实施 .....                           | 130 |
| 一、任务导入 .....                      | 107 | 四、知识拓展——SFC 编程注意事项 .....               | 133 |
| 二、相关知识 .....                      | 107 | 五、思考与练习 .....                          | 134 |
| 学习情境 1 计数器 .....                  | 107 | 项目二 电镀生产线的 PLC 控制 .....                | 134 |
| 学习情境 2 三相异步电动机正反转控制 (互锁环节) .....  | 109 | 一、任务导入 .....                           | 134 |
|                                   |     | 二、相关知识 .....                           | 135 |
|                                   |     | 学习情境 单流程的程序设计 .....                    | 135 |
|                                   |     | 三、项目实施 .....                           | 135 |

|                                |     |   |     |
|--------------------------------|-----|---|-----|
| 四、知识拓展·····                    | 137 | (四) 传送指令的应用·····                                | 158 |
| (一) 三相电动机循环正反转<br>控制系统·····    | 137 | 五、思考与练习·····                                    | 158 |
| (二) 步进梯形图程序中电动机的<br>过载保护·····  | 137 | 项目二 数码管循环点亮的 PLC 控制·····                        | 159 |
| 五、思考与练习·····                   | 138 | 一、任务导入·····                                     | 159 |
| 项目三 电动机正反转能耗制动的<br>PLC 控制····· | 138 | 二、相关知识·····                                     | 159 |
| 一、任务导入·····                    | 138 | 学习情境 1 加 1 运算指令 INC 和减<br>1 运算指令 DEC·····       | 159 |
| 二、相关知识·····                    | 139 | 学习情境 2 比较指令 CMP·····                            | 160 |
| 学习情境 选择性流程及其编程·····            | 139 | 学习情境 3 区间比较指令 ZCP·····                          | 160 |
| 三、项目实施·····                    | 140 | 学习情境 4 七段译码指令<br>SEGD·····                      | 161 |
| 四、知识拓展——跳转流程的<br>程序编制·····     | 142 | 三、项目实施·····                                     | 161 |
| 五、思考与练习·····                   | 143 | 四、知识拓展——二进制数算术运算<br>指令·····                     | 162 |
| 项目四 按钮式人行横道指示灯的<br>PLC 控制····· | 143 | 五、思考与练习·····                                    | 165 |
| 一、任务导入·····                    | 143 | 项目三 彩灯循环点亮的 PLC 控制·····                         | 165 |
| 二、相关知识·····                    | 143 | 一、任务导入·····                                     | 165 |
| 学习情境 并行性流程及其编程·····            | 143 | 二、相关知识·····                                     | 165 |
| 三、项目实施·····                    | 145 | 学习情境 1 右循环移位指令<br>ROR 和左循环移位<br>指令 ROL·····     | 165 |
| 四、知识拓展——复杂流程的程序<br>编制·····     | 147 | 学习情境 2 带进位的右循环指令<br>RCR 和带进位的左循环<br>指令 RCL····· | 165 |
| 五、思考与练习·····                   | 149 | 三、项目实施·····                                     | 167 |
| <b>模块五 PLC 功能指令及其应用</b> ·····  | 151 | 四、知识拓展——位右移指令 SFTR 和<br>位左移指令 SFTL·····         | 168 |
| 项目一 8 盏流水灯的 PLC 控制·····        | 151 | 五、思考与练习·····                                    | 169 |
| 一、任务导入·····                    | 151 | 项目四 8 站小车呼叫系统的 PLC 控制·····                      | 170 |
| 二、相关知识·····                    | 151 | 一、任务导入·····                                     | 170 |
| 学习情境 1 功能指令的表达<br>形式·····      | 151 | 二、相关知识·····                                     | 170 |
| 学习情境 2 数据长度和指令<br>类型·····      | 152 | 学习情境 1 解码指令 DECO·····                           | 170 |
| 学习情境 3 操作数·····                | 152 | 学习情境 2 编码指令 ENCO·····                           | 171 |
| 学习情境 4 区间复位指令<br>ZRST·····     | 155 | 学习情境 3 触头比较指令·····                              | 171 |
| 三、项目实施·····                    | 155 | 三、项目实施·····                                     | 173 |
| 四、知识拓展·····                    | 157 | 四、知识拓展·····                                     | 175 |
| (一) 取反传送指令 CML·····            | 157 | (一) 置 1 位总和指令 SUM·····                          | 175 |
| (二) 块传送指令 BMOV·····            | 157 | (二) 置 1 位判别指令 BON·····                          | 175 |
| (三) 多点传送指令 FMOV·····           | 158 | (三) 平均值指令 MEAN·····                             | 176 |
|                                |     | 五、思考与练习·····                                    | 177 |



|                           |     |                           |     |
|---------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 项目五 机械手的 PLC 控制 .....     | 177 | 项目一 触摸屏控制步进电动机的           |     |
| 一、任务导入 .....              | 177 | 正反转 .....                 | 206 |
| 二、相关知识 .....              | 178 | 一、任务导入 .....              | 206 |
| 学习情境 1 跳转指令 CJ            |     | 二、相关知识 .....              | 206 |
| (FNC 00) .....            | 178 | 学习情境 1 步进电动机控制            |     |
| 学习情境 2 主程序结束指令 FEND       |     | 原理分析 .....                | 206 |
| (FNC 06) .....            | 179 | 学习情境 2 触摸屏概述 .....        | 207 |
| 三、项目实施 .....              | 179 | 学习情境 3 触摸屏画面制作软件的         |     |
| 四、知识拓展——IST 指令的应用 .....   | 184 | 使用 .....                  | 209 |
| 五、思考与练习 .....             | 188 | 三、项目实施 .....              | 214 |
| 项目六 PLC 在恒温控制系统中的应用 ..... | 191 | 四、知识拓展 .....              | 221 |
| 一、任务导入 .....              | 191 | (一) 脉冲输出指令 PLSY .....     | 222 |
| 二、相关知识 .....              | 191 | (二) 步进电动机驱动器 .....        | 222 |
| 学习情境 1 数据变换指令 BCD         |     | (三) 应用案例 .....            | 223 |
| 和 BIN .....               | 191 | 五、思考与练习 .....             | 224 |
| 学习情境 2 特殊功能模块 .....       | 192 | 项目二 触摸屏、变频器、PLC 在恒压       |     |
| 学习情境 3 特殊功能模块的读写操         |     | 供水系统中的应用 .....            | 225 |
| 作指令 FROM 和 TO .....       | 192 | 一、任务导入 .....              | 225 |
| 学习情境 4 FX2N-2AD 型模拟量      |     | 二、相关知识 .....              | 225 |
| 输入模块 .....                | 194 | 学习情境 1 PID 控制概述 .....     | 225 |
| 学习情境 5 FX2N-2DA 型模拟量      |     | 学习情境 2 PLC 的 PID 指令 ..... | 227 |
| 输出模块 .....                | 197 | 学习情境 3 变频器的操作模式 .....     | 228 |
| 三、项目实施 .....              | 200 | 三、项目实施 .....              | 229 |
| 四、知识拓展——FX0N-3A 型模拟输入/    |     | 四、知识拓展——PLC 控制系统可靠性       |     |
| 输出模块 .....                | 202 | 设计 .....                  | 233 |
| 五、思考与练习 .....             | 205 | 五、思考与练习 .....             | 235 |
| 模块六 PLC、触摸屏及变频器的综合        |     | 参考文献 .....                | 236 |
| 应用 .....                  | 206 |                           |     |

# 模块一 电动机常用控制电路的安装与调试

## 项目一 电动机的点动控制电路的分析与安装

### 一、任务导入

图 1-1 所示为三相异步电动机的手动控制电路。当合上刀开关 Q 时，电动机运行；当断开刀开关 Q 时，电动机停止运行。此电路虽然简单，但由于刀开关不宜带负载操作，在电路中仅起隔离电源的作用。因此，在频繁起动、停止的场合，使用这种手动控制方法既不方便，也不安全，而且还不能进行远距离自动控制。那么，如何才能实现既方便又安全的自动控制呢？这就需要采用按钮和接触器来进行控制。

### 二、相关知识

在电能的生产、输送、分配和使用中，起着控制、调节、检测、转换及保护作用的所有电工器械，简称为电器。我国现行标准将工作在交流 50Hz、额定电压 1 200V 及以下和直流额定电压 1 500V 及以下电路中的电器称为低压电器。

#### 学习情境 1 低压电器的基本知识

低压电器种类繁多，它作为基本元器件已广泛用于发电厂、变电所、工矿企业、交通运输和国防工业等电力输配电系统和电力传动控制系统中。

#### (一) 低压电器的分类

低压电器的品种、规格很多，作用、构造及工作原理各不相同，因而有多种分类方法。

##### 1. 按用途分

低压电器按它在电路中所处的地位和作用可分为控制电器和配电电器两大类。控制电器是指电动机完成生产机械要求的起动、调速、反转和停止等动作所用的电器；配电电器是指正常或事故状态下接通或断开用电设备和供电电网所用的电器。

##### 2. 按动作方式分

低压电器按它的动作方式可分为自动电器和手动电器两大类。前者是依靠自身参数的变化或外来信号的作用，自动完成接通或分断等动作；后者主要是需要操作人员用手直接操作来进行切换。

##### 3. 按有无触头分

低压电器按它有无触头可分为有触头电器和无触头电器两大类。有触头电器有动触头和静触头之分，利用触头的合与分来实现电路的通与断；无触头电器没有触头，主要利用晶体管的导通与截止来实现电路的通与断。

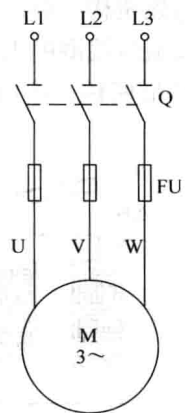


图 1-1 三相异步电动机的手动控制电路

#### 4. 按工作原理分

低压电器按它的工作原理可分为电磁式电器和非电量控制电器两大类。电磁式电器由感受部分（即电磁机构）和执行部分（即触头系统）组成，它由电磁机构控制电器动作，即由感受部分接受外界输入信号，使执行部分动作，实现控制目的；非电量控制电器由非电磁力控制电器触头的动作，如行程开关、速度继电器等。

##### （二）低压电器的基本结构

低压电器一般都有两个基本部分，即感受部分和执行部分。感受部分感受外界信号，并做出反应。自动电器的感受部分大多由电磁机构组成；手动电器的感受部分通常为电器的操作手柄。执行部分根据控制指令，执行接通或断开电路的任务。下面简单介绍电磁式低压电器的电磁机构和触头系统。

##### 1. 电磁机构

电磁机构一般由线圈、铁心及衔铁等几部分组成。

按流过线圈的电流种类分有交流电磁机构和直流电磁机构；按电磁机构的形状分有 E 形和 U 形两种；按衔铁的运动形式分有拍合式和直动式两大类，如图 1-2 所示。

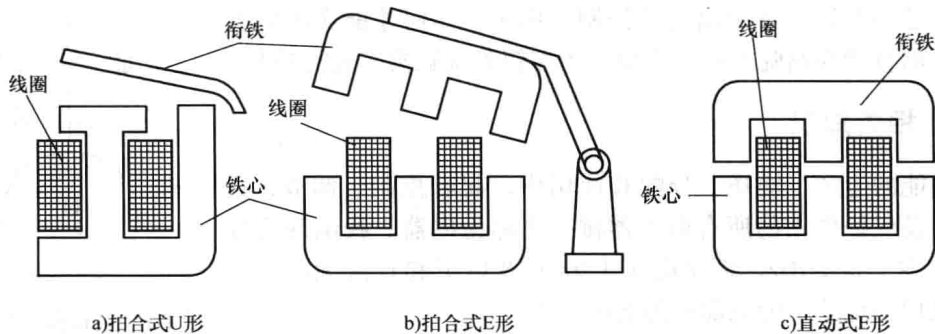


图 1-2 常用的电磁机构

（1）铁心 交流电磁机构和直流电磁机构的铁心（衔铁）有所不同，直流电磁铁由于通入的是直流电，其铁心不发热，只有线圈发热，因此线圈和铁心接触以利于散热，线圈形状做成无骨架、瘦高型，以改善自身的散热。

交流电磁铁由于通入的是交流电，铁心中存在磁滞损耗和涡流损耗，线圈和铁心都发热，所以交流电磁铁的线圈有骨架，使铁心和线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖型，以利于铁心和线圈的散热。铁心用硅钢片叠加而成，以减少涡流损耗。

（2）线圈 线圈是电磁机构的“心脏”，按接入线圈电源种类的不同，可分为直流线圈和交流线圈。根据励磁的需要，线圈可分为串联和并联两种，前者称为电流线圈，后者称为电压线圈。

（3）工作原理 当线圈中有工作电流通过时，通电线圈产生磁场，于是电磁吸力克服弹簧的反作用力使衔铁与铁心闭合，由连接机构带动相应的触头动作。

（4）短路环的作用 当线圈中通以直流电时，气隙磁场感应强度不变，直流电磁铁的电磁吸力为恒值。当线圈中通以交流电时，气隙磁场感应强度为交变量，交流电磁铁的电磁吸力在 0 和最大值之间变化，会产生剧烈的振动和噪声，因此交流电磁机构一般都有短路环，如图 1-3 所示，其作用是将磁通分相，使合成后的电磁吸力在任一时刻都大于反力，并

且能消除振动和噪声。

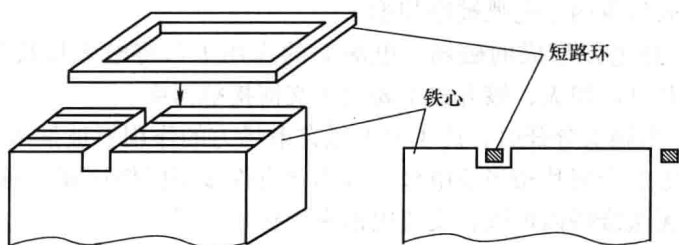


图 1-3 交流电磁机构上的短路环示意图

## 2. 触头系统

触头是用来接通或断开电路的，其结构形式有很多种。下面介绍常见的几种分类方式。

(1) 按其接触形式分 触头按其接触形式可分为点接触型、面接触型和线接触型 3 种，如图 1-4 所示。

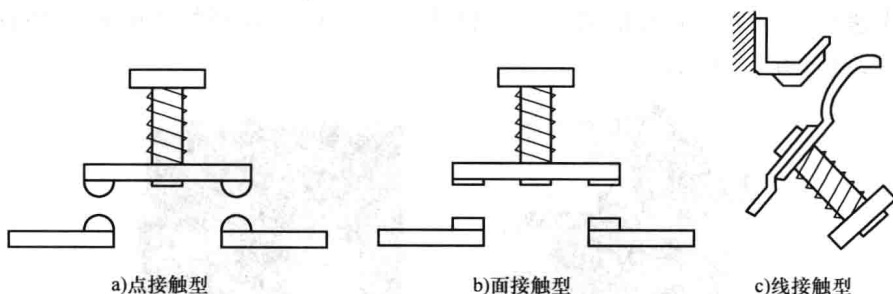


图 1-4 常见的触头结构

点接触型允许通过的电流较小，常用于继电器电路或辅助触头。面接触型和线接触型允许通过的电流较大，常用于大电流的场合，如刀开关、接触器的主触头等。

(2) 按控制的电路分 触头按控制的电路可分为主触头和辅助触头。主触头用于接通或断开主电路，允许通过较大的电流。辅助触头用于接通或断开控制电路，只允许通过较小的电流。

(3) 按原始状态分 触头按原始状态可分为常开触头和常闭触头。当线圈不带电时，动、静触头是分开的称为常开触头；当线圈不带电时，动、静触头是闭合的称为常闭触头。

## 3. 电弧的产生与熄灭

(1) 电弧的产生 在动、静触头分开瞬间，因两触头间距极小，电场强度极大，在高温及强电场的作用下，金属内部的自由电子从阴极表面逸出，奔向阳极。

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。同时撞击其他中性分子，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。电弧产生高温并有强光，可将触头烧损，并使电路的切断时间延长，严重时可引起事故或火灾。

(2) 电弧的分类 电弧分直流电弧和交流电弧，交流电弧有自然过零点，故其电弧较易熄灭。

### (3) 灭弧的方法

1) 机械灭弧：通过机械将电弧迅速拉长，该方式用于开关电路。

2) 磁吹灭弧：在一个与触头串联的磁吹线圈产生的磁力作用下，电弧被拉长且被吹入由固体介质构成的灭弧罩内，电弧被冷却熄灭。

3) 窄缝灭弧：在电弧形成的磁场、电场力的作用下，将电弧拉长进入灭弧罩的窄缝中，使其分成数段并迅速熄灭，该方式主要用于交流接触器中。

4) 栅片灭弧：当触头分开时，产生的电弧在电场力的作用下被推入一组金属栅片而被分成数段，彼此绝缘的金属片相当于电极，因而就有许多阴阳极压降，对交流电弧来说，在电弧过零时使电弧无法维持而熄灭，交流电器常用栅片灭弧。

### 学习情境 2 低压断路器

低压断路器（俗称为自动开关）用来分配电能、不频繁起动电动机、对供电线路及电动机等进行保护。用于正常情况下的接通和分断操作以及严重过载、短路及欠电压等故障时自动切断电路，在分断故障电流后，一般不需要更换零件，且具有较大的接通和分断能力，因而获得了广泛应用。

低压断路器按用途分有配电（照明）、限流、灭磁、漏电保护等几种；按动作时间分有一般型和快速型；按结构分有框架式（万能式 DW 系列）和塑料外壳式（装置式 DZ 系列），其实物图如图 1-5 所示。

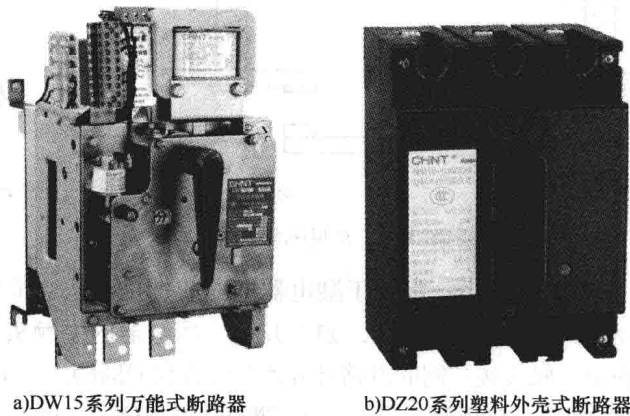


图 1-5 各类断路器

低压断路器的型号含义及图形、文字符号如图 1-6 所示。

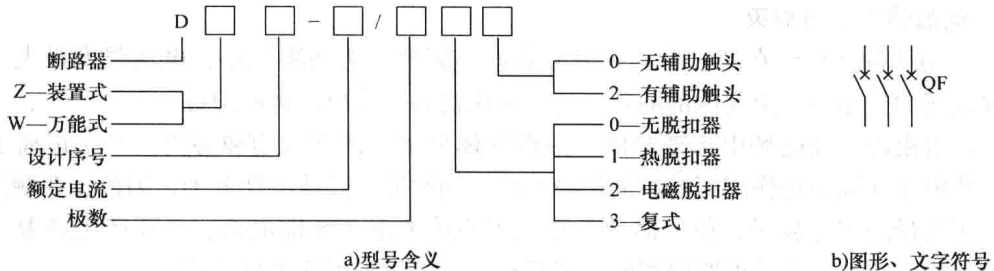


图 1-6 低压断路器的型号含义及图形、文字符号

### 1. 结构

低压断路器主要由触头系统、灭弧装置、保护装置、操作机构等组成。低压断路器的触头系统一般由主触头、弧触头和辅助触头组成。灭弧装置采用栅片灭弧方法，灭弧栅一般由

长短不同的钢片交叉组成，放置在由绝缘材料组成的灭弧室内，构成低压断路器的灭弧装置。保护装置由各类脱扣器（过电流、欠电压、失电压及热脱扣器等）构成，以实现短路、欠电压、失电压、过载等保护功能。低压断路器有较完善的保护装置，但构造复杂，价格较贵，维修麻烦。

## 2. 工作原理

低压断路器的工作原理如图 1-7 所示。

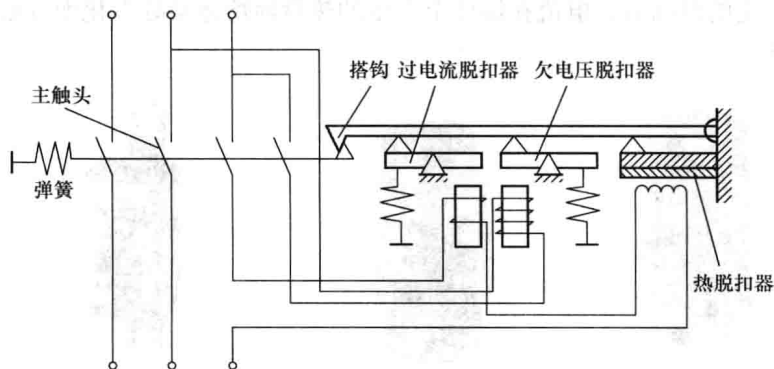


图 1-7 低压断路器的工作原理图

图中低压断路器的 3 个主触头串联在被保护的三相主电路中，由于搭钩钩住弹簧，使主触头保持闭合状态。当线路正常工作时，过电流脱扣器中线圈所产生的吸力不能将它的衔铁吸合。当线路发生短路时，过电流脱扣器的吸力增加，将衔铁吸合，并撞击杠杆把搭钩顶上去，在弹簧的作用下切断主触头，实现了短路保护。线路上电压下降或失去电压时，欠电压、失电压脱扣器的吸力减小或失去吸力，衔铁被弹簧拉开，撞击杠杆把搭钩顶开，切断主触头，实现了失电压、欠电压保护。当线路过载时，热脱扣器的双金属片受热弯曲，也把搭钩顶开，切断主触头，实现了过载保护。

## 3. 常用低压断路器

(1) 万能式低压断路器 它又称敞开式低压断路器，具有绝缘衬底的框架结构底座，所有的构件组装在一起，用于配电网路的保护。主要型号有 DW10 和 DW15 两个系列，目前在工厂、企业最常用的是 DW10 系列，它的额定电压为交流 380V、直流 440V，额定电流有 200A、400A、600A、1000A、1500A、2500A 及 4000A 共 7 个等级。

(2) 装置式低压断路器 它又称塑料外壳式低压断路器，具有模压绝缘材料制成的封闭型外壳，将所有构件组装在一起，用作配电网路的保护和电动机、照明电路及电热器等的控制开关。主要型号有 DZ5、DZ10、DZ20 等系列，DZ5—20 表示额定电流为 20A 的 DZ5 系列塑料外壳式低压断路器。

## 4. 选型

- 1) 低压断路器的额定电流和额定电压应大于或等于线路、设备的正常工作电压和工作电流。
- 2) 低压断路器的极限通断能力应大于或等于电路最大短路电流。
- 3) 欠电压、失电压脱扣器的额定电压等于线路的额定电压。
- 4) 过电流脱扣器的额定电流大于或等于线路的最大负载电流。

### 学习情境3 熔断器

#### 1. 熔断器的工作原理和保护特性

熔断器是一种结构简单、使用方便、价格低廉的保护电器，广泛用于供电线路和电气设备的短路保护，其实物图如图 1-8 所示。熔断器由熔体和安装熔体的熔断管（或座）等部分组成。熔体是熔断器的核心，通常用低熔点的铅锡合金、锌、铜、银的丝状或片状材料制成，新型的熔体通常设计成灭弧栅状和具有变截面的片状结构。当通过熔断器的电流超过一定数值并经过一定的时间后，电流在熔体上产生的热量使熔体某处熔化而分断电路，从而保护了电路和设备。



图 1-8 熔断器实物图

熔断器熔体熔断时的电流值与熔断时间的关系称为熔断器的保护特性曲线，也称为熔断器的安-秒特性，如图 1-9 所示。

由特性曲线可以看出，流过熔体的电流越大，熔断所需的时间越短。熔体的额定电流  $I_{Te}$  是熔体长期工作而不致熔断的电流。

熔断器的型号含义和图形、文字符号如图 1-10 所示。

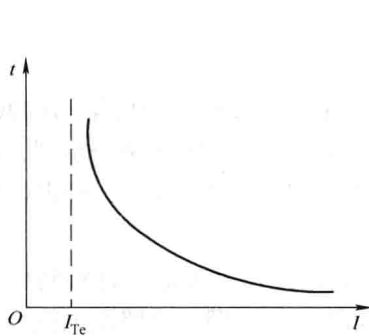


图 1-9 熔断器的安-秒特性

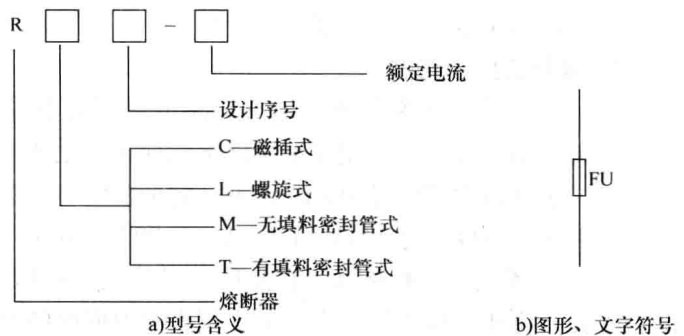


图 1-10 熔断器的型号含义和图形、文字符号

#### 2. 特点及用途

低压熔断器按形状可分为管式、插入式和螺旋式等；按结构可分为半密封插入式、无填料密封管式和有填料密封管式等。

在电气控制系统中经常选用螺旋式熔断器，它有明显的分断指示，不用任何工具就可取下或更换熔体。

RLS2 系列是快速熔断器，用以保护半导体硅整流器件及晶闸管，可取代老产品 RLS1 系列。

RT12、RT15 等系列是有填料密封管式熔断器，瓷管两端铜帽上焊有连接板，可直接安



装在母线排上。RT12、RT15 系列带有熔断指示器，熔断时红色指示器弹出。

RT14 系列熔断器带有撞击器，熔断时撞击器弹出，既可作熔断信号指示，也可触动微动开关以切断接触器线圈电路，使接触器断电，实现三相电动机的断相保护。

### 3. 主要参数

低压熔断器的主要参数如下：

1) 额定电压：指熔断器长期工作时和分断后能够承受的电压，其值一般等于或大于电气设备的额定电压。

2) 额定电流：熔断器的额定电流  $I_{ge}$  表示熔断器的规格。熔体的额定电流  $I_{Tc}$  表示熔体在正常工作时不熔断的工作电流。熔体的熔断电流  $I_b$  表示使熔体开始熔断的电流，它与熔体额定电流的关系为： $I_b > (1.3 \sim 2.1) I_{Tc}$ 。

3) 极限分断能力（熔断器的断流能力  $I_d$ ）是指熔断器在规定的额定电压和功率因数（或时间常数）的条件下，能分断的最大电流值。在电路中出现的最大电流值一般指短路电流值，所以极限分断能力也反映了熔断器分断短路电流的能力。

如果线路电流大于熔断器的断流能力，熔丝熔断时电弧不能熄灭，可能引起爆炸或其他事故。低压熔断器的几个主要参数之间的关系为： $I_d > I_b > I_{ge} \geq I_{Tc}$ 。

### 4. 选型

熔断器的选型主要是选择熔断器的形式、额定电流、额定电压以及熔体额定电流。熔断器的额定电压应大于或等于实际电路的工作电压；熔断器额定电流应大于或等于所装熔体的额定电流。

熔体额定电流的选择是熔断器选择的核心，其选择方法如表 1-1 所示。

表 1-1 熔体额定电流的选择

| 负载性质        |               | 熔体额定电流 ( $I_{Tc}$ )  |
|-------------|---------------|--|
| 电炉和照明等电阻性负载 |               | $I_{Tc} \geq I_N$ (负载额定电流)   |
| 单台电动机       | 线绕式电动机        | $I_{Tc} \geq (1 \sim 1.25) I_N$  |
|             | 笼型电动机         | $I_{Tc} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N$   |
|             | 起动时间长的某些笼型电动机 | $I_{Tc} \geq 3I_N$   |
|             | 连续工作制直流电动机    | $I_{Tc} = I_N$   |
|             | 反复短时工作制直流电动机  | $I_{Tc} = 1.25I_N$   |
| 多台电动机       |               | $I_{Tc} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{Nmax} + \sum I_{de}$ ( $I_{Nmax}$ 为最大一台电动机额定电流, $\sum I_{de}$ 为其他电动机额定电流之和) |

### 学习情境 4 控制按钮

主令电器是用来发布命令、改变控制系统工作状态的电器，它可以直接作用于控制电路，也可以通过电磁式电器的转换对主电路实现控制。

由于它是一种专门发号施令的电器，故称为主令电器。主令电器应用广泛，种类繁多，常用的主令电器有控制按钮、行程开关、转换开关、凸轮控制器等。

控制按钮俗称按钮，是一种结构简单、应用广泛的主令电器，一般情况下它不直接控制主电路的通断，而在控制电路中发出手动“指令”去控制接触器、继电器等电器，再由它们去控制主电路，也可用来转换各种信号线路与电气连锁线路等。

控制按钮的实物图和结构图如图 1-11 所示，它由按钮帽、复位弹簧、桥式触头和外壳



等组成。其图形符号如图 1-12 所示, 其文字符号为 SB。

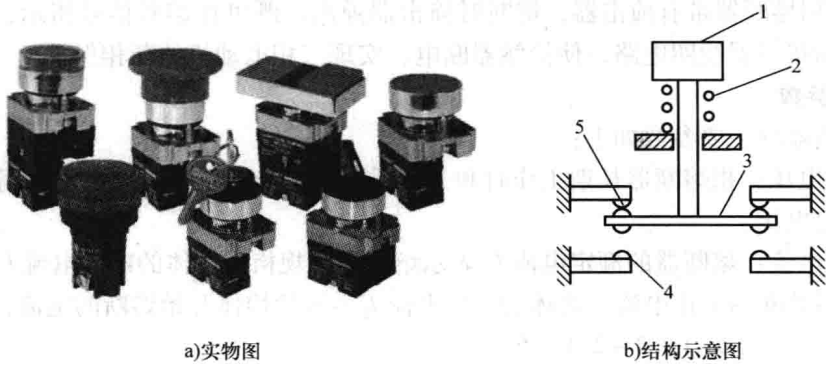


图 1-11 控制按钮

1—按钮帽 2—复位弹簧 3—动触头 4—常开静触头 5—常闭静触头

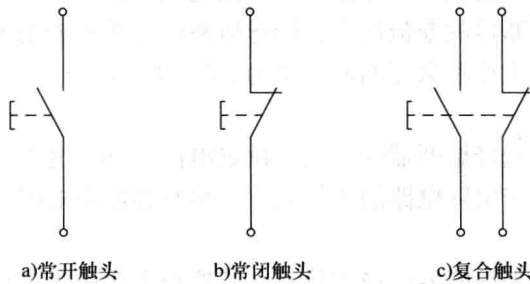


图 1-12 控制按钮的图形符号

常开(动合)按钮,未按下时,触头是断开的,按下时触头闭合接通;当松开后,按钮在复位弹簧的作用下复位断开。

常闭(动断)按钮与常开按钮相反,未按下时,触头是闭合的,按下时触头断开;当手松开后,按钮在复位弹簧的作用下复位闭合。

复合按钮是将常开与常闭按钮组合为一体的按钮。未按下时,常闭触头是闭合的,常开触头是断开的。按下时常闭触头首先断开,继而常开触头闭合;当松开后,按钮在复位弹簧的作用下,首先将常开触头断开,继而将常闭触头闭合。

控制按钮使用时应注意触头间的清洁,防止油污、杂质进入造成短路或接触不良等事故,在高温下使用的控制按钮应加紧固垫圈或在接线柱螺钉处加绝缘套管。

为了便于识别各个控制按钮的作用,避免误动作,通常在按钮帽上作出不同标记或涂上不同颜色,一般红色表示停止,绿色表示起动等。在机床电气设备中,常用的按钮有 LA-18、LA-19、LA-20、LA-25 系列按钮。

控制按钮型号的含义如图 1-13 所示。

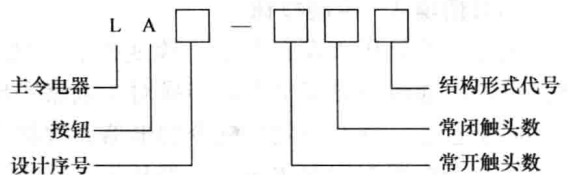


图 1-13 控制按钮型号的含义

其中,结构形式代号的含义如下:

K——开启式, S——防水式, J——紧急式, X——旋钮式, H——保护式, F——防腐式, Y——钥匙式, D——带灯按钮。