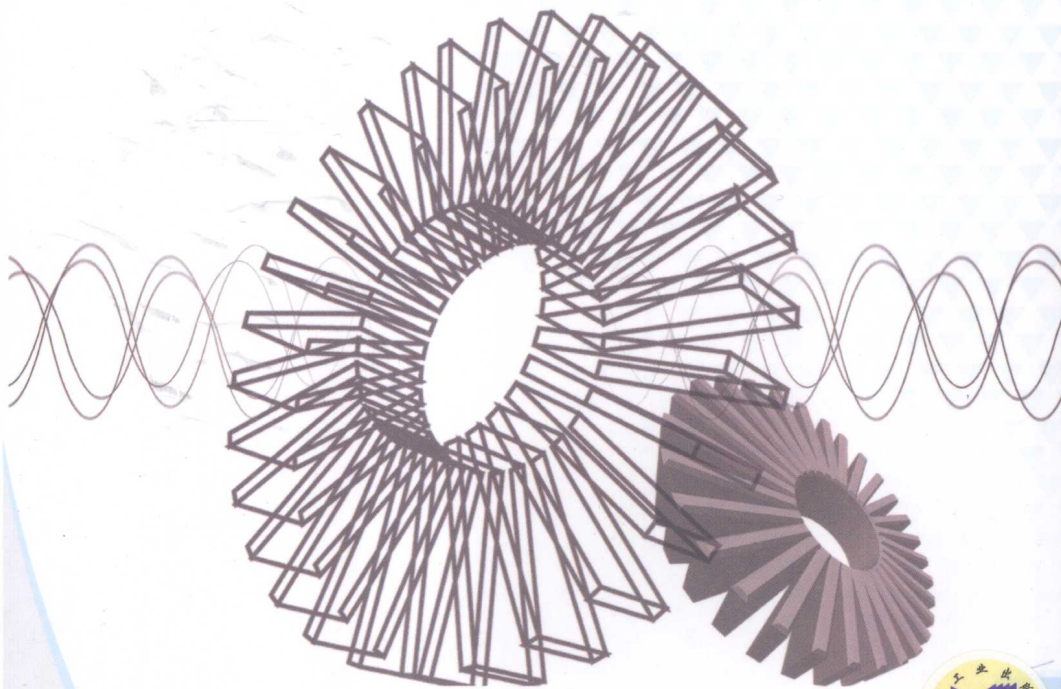




高职高专“十一五”机电一体化专业规划教材

# 机电控制 与PLC

张 铮 主编



赠电子教案



 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS

高职高专“十一五”机电一体化专业规划教材

# 机电控制与PLC

主 编 张 铮

副主编 张 豪

参 编 李锋刚 郝小星 张爱红

工业学院图书馆  
藏书章



机械工业出版社

本书共8章。第1章介绍常用低压电器的工作原理、功用、图形及文字符号等；第2章介绍继电器与接触器电气控制环节；第3章介绍普通金属切削机床和数控机床电气控制线路；第4章介绍PLC组成、工作原理及顺序控制功能图等；第5章介绍FX2N系列PLC系统配置、外部接线及指令系统等；第6章介绍FX2N编程软件、控制基本环节、电气控制替代应用、机床PLC控制应用实例等；第7章介绍S7—300系列PLC控制系统组成、外部接线、机架组态及其指令系统；第8章介绍S7—300系列PLC的线性化编程、结构化编程及顺控编程等实例。另外附录配有主要电气元件技术参数，方便选用电气元件时查阅。

本书主要作为高职高专的电气技术、机电一体化技术、机械制造与自动化、数控技术、数控设备应用与维护等专业的教材，也可供相近专业学生、教师及企业技术人员参考。

### 图书在版编目（CIP）数据

机电控制与PLC/张铮主编. —北京：机械工业出版社，  
2008.1

高职高专“十一五”机电一体化专业规划教材  
ISBN 978 - 7 - 111 - 23035 - 9

I. 机… II. 张… III. ①机电一体化—控制系统—高等学校：技术学校—教材②可程序控制器—高等学校：技术学校—教材 IV. TH - 39 TP332.3

中国版本图书馆CIP数据核字（2007）第190537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：王海峰

责任编辑：葛晓慧 责任校对：魏俊云

封面设计：马精明 责任印制：洪汉军

高等教育出版社印刷厂印刷

2008年2月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·381千字

0001—4000册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 23035 - 9

定价：24.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：(010)68326294

购书热线电话：(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010) 88379756

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书以高职机电类各专业相关岗位必需的电气控制与 PLC 知识为基础,融通维修电工、数控机床装调维修工等职业技能训练的应知应会内容。

根据高职高专教材“理论知识以必需够用为度,强化技能训练”的理念,内容选择上突出读图、绘图、电气元器件选用、电气控制基本环节、PLC 控制系统组成和外围接线、基本控制程序编制、程序的下载和上传等与机电类各专岗位技能训练密切相关的内容,不选仅在设计岗位或设计过程中才用到的理论知识。内容编排上遵循由浅入深、循序渐进的高职学生的认知规律。通过软件编制的 PLC 程序均通过了调试,确保学生和教师按本书所述步骤练习可以获得相应操作结果。

本书共分 8 章,主要内容有:第 1 章常用低压电器,介绍常用低压电器的工作原理、功用、图形及文字符号等,附录配套主要电气元件技术参数,供选用时查阅;第 2 章电气控制基本环节,介绍继电器与接触器电气控制环节;第 3 章机床电气控制线路,介绍普通金属切削机床和数控机床电气控制线路,为学生从事电气维修提供必需的基本知识;第 4 章 PLC 控制基础,介绍 PLC 组成、工作原理和顺序控制功能图等 PLC 基础知识;第 5 章 FX2N 系列 PLC,介绍 FX2N 系列 PLC 系统配置、外部接线及指令系统等;第 6 章 FX2N 应用编程,介绍 FXGP 编程软件、FX2N 系列 PLC 的控制基本环节、电气控制 PLC 替代应用及机床 PLC 控制应用实例等;第 7 章 S7—300 系列 PLC,介绍 S7—300 系列 PLC 控制系统组成、外部接线、机架组态及其指令系统;第 8 章 S7—300 应用编程,结合 STEP 7 编程软件、S7—PLCSIM 仿真软件,着重介绍 S7—300 系列 PLC 的线性化编程、结构化编程及顺控编程等。通过编程实例,训练学生 PLC 实际应用能力。

本书由无锡职业技术学院张铮任主编、无锡职业技术学院张豪任副主编,其中第 1 章、第 2 章由山西机电职业技术学院李锋刚编写,第 3 章、第 6 章及附录由张铮编写,第 4 章由太原理工大学郝小星编写,第 5 章由无锡职业技术学院张爱红编写,第 7 章、第 8 章由张豪编写,全书由张铮统稿。

江南大学平雪良教授担任主审,提出了许多建设性的修改意见,在此表示诚挚的谢意。

限于编者水平,书中或有错漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第1章 常用低压电器 ..... 1

- 1.1 组合开关 ..... 1
- 1.2 低压断路器 ..... 4
- 1.3 熔断器 ..... 6
- 1.4 变压器 ..... 9
- 1.5 交流接触器 ..... 10
- 1.6 继电器 ..... 15
- 1.7 主令电器 ..... 24
- 1.8 定制电气图库 ..... 28
- 思考题 ..... 30

## 第2章 电气控制基本环节 ..... 32

- 2.1 起动控制环节 ..... 32
- 2.2 正反转控制环节 ..... 40
- 2.3 制动控制环节 ..... 42
- 2.4 调速控制环节 ..... 43
- 2.5 控制保护环节 ..... 47
- 思考题 ..... 50

## 第3章 机床电气控制线路 ..... 51

- 3.1 电气制图规则 ..... 51
- 3.2 C650 车床电气控制 ..... 54
- 3.3 XA6132 铣床电气控制 ..... 57
- 3.4 TK1640 数控车床电气控制 ..... 60
- 思考题 ..... 65

## 第4章 PLC 控制基础 ..... 66

- 4.1 PLC 基本组成 ..... 66
- 4.2 PLC 工作原理 ..... 69
- 4.3 PLC 顺序控制功能图 ..... 77
- 4.4 数控机床 PLC ..... 79
- 思考题 ..... 81

## 第5章 FX2N 系列 PLC ..... 82

- 5.1 FX2N 系统配置 ..... 82

- 5.2 FX2N 外部连接 ..... 87

- 5.3 FX2N 编程元件 ..... 90

- 5.4 FX2N 基本指令 ..... 99

- 5.5 FX2N 功能指令 ..... 106

- 5.6 FX2N 顺控指令 ..... 108

- 思考题 ..... 114

## 第6章 FX2N 应用编程 ..... 115

- 6.1 FX2N 编程软件 ..... 115

- 6.2 PLC 控制基本环节 ..... 120

- 6.3 电气控制替代应用 ..... 126

- 6.4 机床 PLC 控制实例 ..... 134

- 思考题 ..... 141

## 第7章 S7—300 系列 PLC ..... 143

- 7.1 S7—300 系统组成 ..... 143

- 7.2 S7—300 机架组态 ..... 149

- 7.3 位逻辑指令 ..... 158

- 7.4 定时计数指令 ..... 164

- 7.5 数据处理指令 ..... 169

- 7.6 控制指令 ..... 175

- 思考题 ..... 178

## 第8章 S7—300 应用编程 ..... 180

- 8.1 S7—300 线性化编程 ..... 180

- 8.2 S7—300 结构化编程 ..... 192

- 8.3 S7—300 顺控编程 ..... 202

- 思考题 ..... 218

## 附录 ..... 219

- 附录 A 组合开关（转换开关）型号及  
主要技术参数 ..... 219

- 附录 B 低压断路器型号及主要技术  
参数 ..... 221

- 附录 C 熔断器型号及主要技术参数 ..... 225

- 附录 D 控制变压器型号规格参数 ..... 227

- 附录 E 交流接触器型号及主要技术

|                          |     |                        |     |
|--------------------------|-----|------------------------|-----|
| 参数 .....                 | 227 | 附录 J 按钮型号及主要技术参数 ..... | 239 |
| 附录 F 电磁继电器型号及技术参数 .....  | 233 | 附录 K 行程开关型号及主要技术       |     |
| 附录 G 热继电器型号及主要技术参数 ..... | 235 | 参数 .....               | 240 |
| 附录 H 时间继电器型号及主要技术        |     |                        |     |
| 参数 .....                 | 237 | 参考文献 .....             | 241 |
| 附录 I 速度继电器型号及主要技术        |     |                        |     |
| 参数 .....                 | 239 |                        |     |

# 第1章 常用低压电器

电器指能够按外界施加的信号或要求，手动或自动地接通或断开电路，断续或连续地改变电路参数，对电路或非电对象进行切换、控制、保护、检测和调节的电气器件或设备。低压电器则通常指工作在额定交流电压 1200V 以下或直流电压 1500V 以下电路中的电器。

低压电器一般按基本用途分为配电电器和控制电器两类。配电电器主要有组合开关、低压断路器、熔断器、变压器；控制电器主要包括接触器、继电器和主令电器（包括按钮、行程开关、转换开关）。

低压电器分类方法还有：按操作方式分为自动电器与手动电器；按工作原理分为电磁式电器与非电量控制电器；按有无触点分为有触点电器、无触点电器与混合式电器；按电器配置分为单个电器与成套电器；按使用场合分为一般工业用电器、化工电器、矿用电器、牵引电器、航空电器、船用电器等。

## 1.1 组合开关

组合开关经常作为转换开关使用，但在电气控制线路中也作为隔离开关使用，起不频繁接通和分断电气控制线路的作用。

### 1.1.1 组合开关结构

组合开关外形和结构如图 1-1 所示，组合开关沿转轴 4 自下而上分别安装了三层开关组件，每层上均有一个动触头 8、一对静触头 9 及一对接线柱 1，各层分别控制一条支路的通与断，形成组合开关的三极。当手柄 3 每转过一定角度，就带动固定在转轴上的三层开关组件中的三个动触头同时转动至一个新位置，在新位置上分别与各层的静触头接通或断开。

根据组合开关在电路中的不同作用，组合开关图形与文字符号有两种。当在电路中用作隔离开关时，其图形符号如图 1-2 所示，其文字标注符号为 QS，有单极、双极和三极之分，机床电气控制线路中一般采用三极组合开关。

图 1-3 所示是组合开关作转换开关使用时的图形符号，图示是一个三极组合开关，图中 I 与 II 分别表示组合开关手柄转动的两个操作位置，I 位置线上的三个空点右方画了三个黑点，

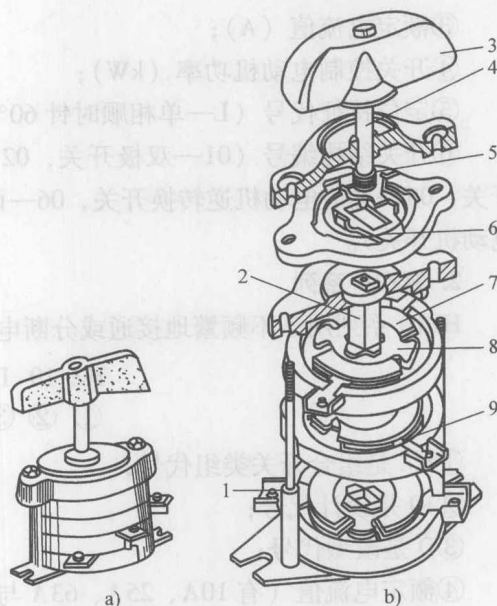


图 1-1 组合开关示意图

a) 外形 b) 结构

1—接线柱 2—绝缘杆 3—手柄 4—转轴 5—弹簧  
6—凸轮 7—绝缘垫板 8—动触头 9—静触头

表示当手柄转动到 I 位置时, L1、L2 与 L3 支路线分别与 U、V、W 支路线接通;而 II 位置线上三个空点右方没有相应黑点,表示当手柄转动到 II 位置时, L1、L2 与 L3 支路线与 U、V、W 支路线处于断开状态。文字标注符号为 SA。

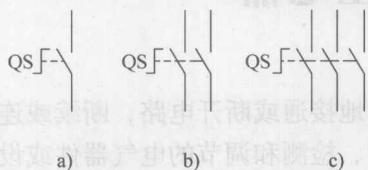


图 1-2 组合开关作隔离开关时的

图形和文字符号

a) 单级 b) 双极 c) 三极

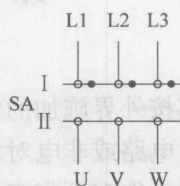


图 1-3 组合开关作转换开关时的

图形和文字符号

### 1.1.2 组合开关系列

电气控制线路中常用的组合开关系列规格有 HZ5、HZ10、HZ15、3LB 等。

#### 1. HZ5 系列

HZ5 系列适用于交流 50Hz (或 60Hz)、电压 380V 及以下、电流至 60A 的电气控制线路中,作为电源引入开关或异步电动机控制开关使用。HZ5 系列型号标注形式为:

HZ 5 - □ / □ □ □  
① ② ③ ④ ⑤ ⑥

① HZ 是组合开关类组代号;

② 5 是设计代号;

③ 额定电流值 (A);

④ 开关控制电动机功率 (kW);

⑤ 定位特征代号 (L—单相顺时针 60°, M—双向 60°);

⑥ 开关结构编号 (01—双极开关, 02—三极开关, 03—四极开关, 04—两种电压双极开关, 05—感应电动机逆转换开关, 06—两种电压三极开关, 07—星三角起动机, 08—双速电动机开关)。

#### 2. HZ10 系列

HZ10 系列用于不频繁地接通或分断电气控制线路,其型号标注形式为:

HZ 10 D - □ □ / □  
① ② ③ ④ ⑤ ⑥

① HZ 是组合开关类组代号;

② 10 是设计代号;

③ D 是改型代号;

④ 额定电流值 (有 10A、25A、63A 与 100A);

⑤ 开关类型 (P—两种电路转换, S—三种电路转换, G—四种电路转换);

⑥ 极数。

#### 3. HZ15 系列

HZ15 系列是在 HZ10 系列基础上的改型产品,其型号标注形式为:

HZ 15 - □ / □ □ □  
①      ② ③ ④

①额定电流值；

②极数；

③断路与限位的代号（0—有断路，1—有断路限位，2—无断路）；

④转换电路数。

#### 4. 3LB 系列

3LB 系列是引进德国 Siemens 公司技术制造的产品，主要用于三相异步电动机负荷启动与变速换向等。3LB 系列型号标注形式为：

3LB □ □ □ □ - □ / □ □ □ □  
①   ②   ③   ④      ⑤   ⑥

①3LB 是组合开关代号；

②基本规格代号；

③两位数字构成的开关形式代号类型；

④触头元件数量；

⑤两位数字构成的线路符号；

⑥手柄形式代号（00—无手柄，01—普通黑色手柄，02—普通红色手柄，03—长形黑色手柄，04—长形红色手柄，51—圆形黑色手柄，52—圆形红色手柄）。

### 1.1.3 组合开关主要技术参数

根据组合开关型号可查阅更多技术参数，表征组合开关性能的主要技术参数有：

#### 1. 额定电压

指在规定条件下，开关在长期工作中能承受的最高电压。

#### 2. 额定电流

指在规定条件下，开关在合闸位置允许长期通过的最大工作电流。

#### 3. 通断能力

指在规定条件下，在额定电压下能可靠接通和分断的最大电流值。

#### 4. 机械寿命

指在需要修理或更换机械零件前所能承受的无载操作次数。

#### 5. 电气寿命

指在规定的正常工作条件中，不需要修理或更换零件的情况下，带负载操作的次数。

### 1.1.4 组合开关选用

组合开关用作隔离开关时，其额定电流应为低于被隔离电路中各负载电流的总和；用于控制电动机时，其额定电流一般取电动机额定电流的 1.5~2.5 倍。

应根据电气控制线路中实际需要，确定组合开关接线方式，正确选择符合接线要求的组合开关规格。

## 1.2 低压断路器

低压断路器又称自动开关、空气开关，不但能用于正常情况时不频繁接通和断开电路，而且当电路中出现过载、短路以及失电压等故障时，能自动切断故障电路，有效地保护串接在后面的电气设备，因此在电气控制线路中使用广泛。

### 1.2.1 低压断路器结构

图 1-4 是低压断路器结构示意图。主触头 1 由操作机构手动或电动合闸，在合闸位置上自由脱扣机构 2 将主触头锁扣在闭合状态。电气控制线路正常工作时，过电流脱扣器 3 上的线圈所产生的吸力不能将上方的摆杆吸合。

电气控制线路中出现短路故障时，短路过电流使过电流脱扣器线圈吸力增加，将线圈上方的摆杆式衔铁吸合，使之绕支点逆时针转动，自由脱扣机构上升并和主触头脱扣，主触头在拉簧作用下左移分断电路。

电气控制线路中出现过载故障时，热脱扣器 5 的线圈因发热而对上方的双金属片进行加热，因双金属片的下层金属材料的线胀系数大于上层，加热后双金属片产生上翘，推动自由脱扣机构上升而使主触头脱扣分断电路。

电气控制线路中出现失电压现象时，失电压脱扣器件 6 的线圈的吸力减少而不能吸合上方的衔铁，从而使衔铁上升，导致自由脱扣机构随之上升，使主触头脱扣而分断电路。

分励脱扣器 4 则作为远程控制分断电路用，受按钮 7 控制，合上远地的按钮，则分励脱扣器线圈吸合上方的摆杆式衔铁，自由脱扣机构上升，使主触头分断电路。

低压断路器在电气原理图中的图形和文字符号如图 1-5 所示。

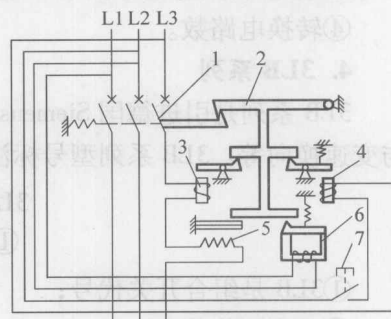


图 1-4 低压断路器示意图

1—主触头 2—自由脱扣机构 3—过电流脱扣器 4—分励脱扣器 5—热脱扣器 6—失电压脱扣器 7—按钮

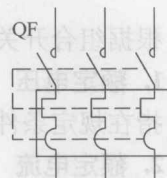


图 1-5 低压断路器图形和文字符号

### 1.2.2 低压断路器系列

电气控制线路中常用的低压断路器系列规格有 DZ15、DZ20、T、H、3VE、C45 等系列。

#### 1. DZ15 系列

DZ15 系列断路器具有明显快分快合功能，在操作机械的电气控制线路中用于配电、电动机与照明线路的过载保护和短路保护。

#### 2. DZ20 系列

DZ20 系列除了具有快速闭合和断开能力外，还配有报警触头，在电气控制线路中用于配电。DZ 系列型号标注形式为：

DZ □ □ - □ □ / □ □ □ □  
① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨

①DZ 是断路器代号，表示塑料外壳式断路器；

②设计代号;

③额定分断能力代号 (Y——一般型, J——较高型, G——最高型, C——经济型);

④壳体等级额定电流 (A);

⑤派生代号 (P—电动操作, L—漏电操作);

⑥极数;

⑦脱扣器代号 (0—无脱扣器, 1—热脱扣器, 2—电磁脱扣器, 3—复式脱扣器);

⑧附件代号 (0—不带附件, 2—分励脱扣器, 3—欠电压脱扣器, 4—分励脱扣器辅助触头, 5—分励欠电压脱扣器, 6—两组辅助触头, 7—欠电压脱扣器辅助触头);

⑨附件辅助代号 (0—无报警触头, 8—有报警触头)。

### 3. T 系列

T 系列是引进日本寺崎电气公司技术生产的产品, T 系列有 TO 标准型、TG 高断开能力型等多种, 国内代号为 DZ949, 在电气控制线路中适用于不频繁闭合和断开的场合, 该系列断路器具有过载和短路保护功能。

### 4. H 系列

H 系列是引进美国西屋公司技术生产的产品, 适用于电气控制线路中的配电, 正常工作条件可用于不频繁转换。

### 5. 3VE 系列

3VE 系列是引进德国 Siemens 公司技术制造的产品, 国内代号为 DZ108。在电气控制线路中常用于电动机过载保护、短路保护, 加上附件后还可进行远距离控制和保护。3VE 系列型号标注形式为:

3V □ □ □ □

① ② ③ ④ ⑤

①3V 是断路器代号;

②使用类别代号 (E—电动机保护型, N—只有短路保护, A—只有过载保护, T—配电保护型);

③基本规格代号 (1—20A, 3—32A, 4—63A);

④3 位数字组成的辅助触头代号 (005—3VE1 无辅助触头, 015—3VE1 辅助触头、一合—动断, 025—3VE1 辅助触头、二动合, 035—3VE1 辅助触头、二动断, 000—3VE3 无辅助触头, 200—3VE4 无辅助触头);

⑤脱扣器电流整定范围代号 (例 2BU—3VE1, 脱扣器电流整定范围为 0.1 ~ 0.16A, 2MA—3VE3, 脱扣器电流整定范围为 10 ~ 16A, CL—3VE4, 脱扣器电流整定范围为 6.3 ~ 10A 等)。

### 6. C45 系列

C45 系列是引进法国梅兰日兰公司技术制造的产品, 国内型号为 DZ47。作为照明配电系统、电动机动力配电系统和电气控制线路的过载保护与短路保护。

## 1.2.3 低压断路器主要技术参数

### 1. 额定电压

指断路器在规定条件下长期运行所能承受的工作电压, 一般为线电压。常用有交流

220V、380V、500V、660V 等。

### 2. 额定电流

指在规定条件下断路器可长期通过的电流，又称为脱扣器额定电流。

### 3. 额定短路接通能力

指断路器在额定频率和功率因数等规定条件下，能够接通短路电流的能力，用最大预期峰值电流表示。

### 4. 额定短路分断能力

指断路器在额定频率和功率因数等规定条件下，能够分断的最大短路电流值。

### 5. 额定短时耐受电流

指断路器在规定试验条件下，在指定短时间内所能承受的电流值。

### 6. 动作时间

指从电气控制线路出现短路瞬间开始到触头分离、电弧熄灭、电路被完全分断所需要的全部时间，又称为全分断时间，一般为 30 ~ 60ms。

### 7. 使用寿命

包括电气寿命和机械寿命。指在规定的正常负载及不更换零部件条件下正常操作的次数，一般电气寿命为 0.2 ~ 1.2 万次，机械寿命为 0.2 ~ 2 万次。

## 1.2.4 低压断路器选用

低压断路器的额定电流和额定电压应不低于电气控制线路中设备正常工作电流和工作电压，极限通断能力应不低于电路的最大短路电流，欠电压脱扣器的额定电压应等于电气控制线路的额定电压，过电流脱扣器的额定电流应不低于电气控制线路的最大负载电流。

## 1.3 熔断器

熔断器是一种最简单有效的保护电器。在使用时，熔断器串接在所保护的电路中，用作电路及用电设备的短路保护。

### 1.3.1 熔断器结构

熔断器主要有插入式、螺旋式、密闭管式等类型。

#### 1. 插入式熔断器

图 1-6 所示是插入式熔断器，主要由瓷盖、瓷座、动触头、静触头和熔丝等组成。常用产品有 RC1A 系列，主要用于低压分支电路的短路保护。

#### 2. 螺旋式熔断器

图 1-7 所示是螺旋式熔断器的外形和结构示意图，主要由瓷帽、熔管、瓷套、上接线端、下接线端和底座等组成。熔管由电工陶瓷制成，熔管内装有熔体和石英砂填料，熔管上盖中有一个熔断指示器，当熔体熔断时指示器跳出显示熔体熔断。主要用于低压配电柜线路中的短路保护，螺旋式熔断器型号标

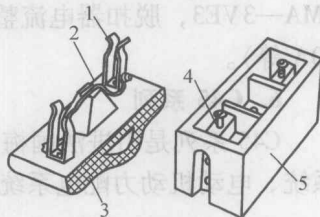


图 1-6 插入式熔断器

1—动触头 2—熔丝 3—瓷盖  
4—静触头 5—瓷座

注形式为:

RL □ - □ □ / □ □  
① ② ③ ④ ⑤ ⑥

- ①RL 是螺旋式熔断器代号;
- ②设计代号;
- ③极数 (3P—三相, 单相不标注);
- ④熔断器支持件额定电流;
- ⑤熔体额定电流;
- ⑥ 接线方式 (Sa—导电排式)。

### 3. 密闭管式熔断器

图 1-8 所示是密闭管式熔断器外形图, 主要由熔管、熔体和夹座组成, 分为无填料式和有填料式两种。

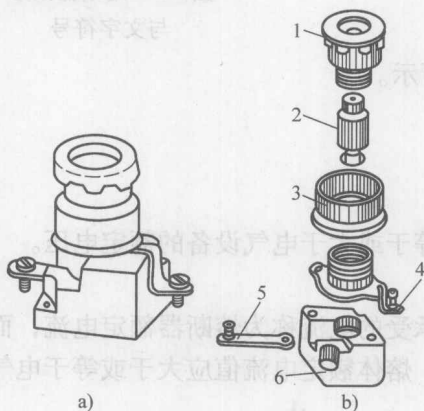


图 1-7 螺旋式熔断器

a) 外形 b) 结构

1—瓷帽 2—熔管 3—瓷套 4—上接线端  
5—下接线端 6—底座

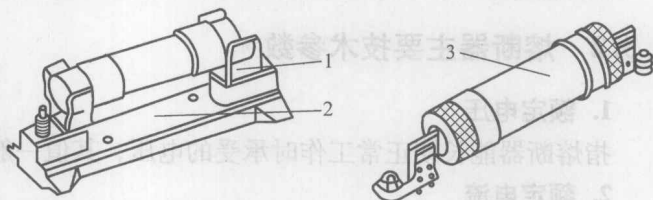


图 1-8 密闭管式熔断器

1—夹座 2—底座 3—熔管

(1) 无填料密闭管式熔断器 无填料密闭管式熔断器是一种可拆卸熔断器, 其特点是当熔体熔断时, 管内产生高压, 能加速灭弧。熔体熔断后可拆开更换新熔体。主要用于频繁发生过载和短路故障的场合。无填料密闭管式熔断器型号标注形式为:

RM □ - □  
① ② ③

- ①RM 是无填料密闭管式熔断器代号;
- ②设计代号;
- ③熔断器额定电流值。

(2) 有填料密闭管式熔断器 有填料密闭管式熔断器在熔管中填充了石英砂等介质材料, 石英砂具有较好的导热性能和绝缘性能, 其颗粒可吸收电弧能量, 使电弧快速冷却, 加快了灭弧能力。主要用于电缆、导线、电动机、变压器以及其他电器设备的短路保护。

有填料密闭管式熔断器型号主要有 RT 与 NT 两种。RT 系列标注形式为:

RT □ - □ □ / □  
① ② ③ ④ ⑤

- ①RT 是有填料密闭管式熔断器代号;
- ②设计代号;
- ③熔断器额定电流;
- ④接线方式 (Q—底座板前接线形式, H—底座板后接线形式);
- ⑤熔体额定电流。

NT 系列熔断器是引进德国 AEG 公司技术生产的产品, 是一种具有高分断能力有填料密闭管式熔断器, 国内代号为 RT16。其型号标注形式为:

NT □ - □ / □  
① ② ③ ④

- ①NT 是低压高分断有填料密闭管式熔断器代号;
- ②熔体尺寸;
- ③熔断器额定电流;
- ④熔体的额定电流。

熔断器在电气原理图中的图形与文字符号如图 1-9 所示。



图 1-9 熔断器图形  
与文字符号

### 1.3.2 熔断器主要技术参数

#### 1. 额定电压

指熔断器能长期正常工作时承受的电压, 其值一般等于或大于电气设备的额定电压。

#### 2. 额定电流

熔断器长期工作时各部件温升不超过规定值时所能承受的电流称为熔断器额定电流, 而熔体能长期流过而不被熔断的电流则称为熔体额定电流。熔体额定电流值应大于或等于电气设备的额定电流。

#### 3. 分断能力

指熔断器在额定电压等规定工作条件下可以分断的预期短路电流值, 也就是熔断器可以分断的最大短路电流值。

#### 4. 保护特性

又称安秒特性, 指熔体的熔化电流  $I$  与熔断时间  $t$  的关系。电流通过熔体时产生的热量与电流通过时间成正比, 电流越大, 则熔体熔断时间越短, 其特征曲线如图 1-10 所示。

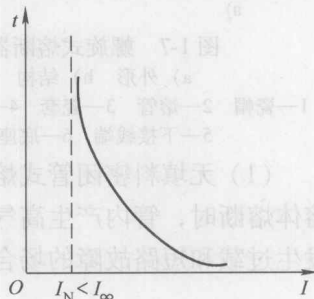


图 1-10 熔断器保护特性曲线

图中  $I_{\infty}$  为最小熔化电流或称临界电流, 即通过熔体的电流小于此电流时不会熔断, 所以选择熔体额定电流  $I_N$  应小于  $I_{\infty}$ 。

#### 5. 熔断器熔化系数

通常将熔断器熔体额定电流与最小熔化电流之比  $I_N/I_{\infty}$  称为熔化系数, 一般  $I_N/I_{\infty} \approx 1.5 \sim 2$ , 该系数反映熔断器在过载时的保护特性。若要使熔断器能保护小过载电流, 则熔化系数应低; 为避免电动机起动时的短时电流, 熔体熔化系数应选得高一些。

### 1.3.3 熔断器选用

#### 1. 熔断器类型选用

对于小功率电动机或照明线路, 一般考虑过电流保护, 应选较小熔化系数的熔体材料,

如铅锡合金或 RC1A 系列熔断器。对于大功率电动机或照明线路,除考虑过电流保护外还要考虑短路时的分断短路电流的能力。预期短路电流较小时,可选用熔体为铜质的 RC1A 系列和熔体为锌质的 RM10 系列熔断器;预期短路电流较大时,宜选用具有高分断能力的 RL6 系列螺旋式熔断器;预期短路电流很大时,需选用具有更高分断能力的 RT12 或 RT14 系列熔断器。

## 2. 熔断器额定电压选择

额定电压应大于或等于所在电气控制线路的额定电压。

## 3. 熔体额定电流选择

对于电炉、照明等电阻性负载的短路保护,  $I_N \geq 1.1I$ , 其中  $I_N$  为熔体额定电流,  $I$  为电路工作电流。

保护一台电动机时,考虑到电动机起动冲击电流的影响,  $I_N \geq (1.5 \sim 2.5)I_{NM}$ , 其中  $I_{NM}$  为电动机额定电流。

保护多台电动机时,  $I_N \geq (1.5 \sim 2.5)I_{Nmax} + \sum I_{NM}$ , 其中  $I_{Nmax}$  为最大功率电动机额定电流;  $\sum I_{NM}$  为其余电动机额定电流的总和。

# 1.4 变压器

变压器是利用电磁感应原理,以相同频率在多个绕组之间实现变换交流电压、变换交流电流或变换阻抗的静止电气设备。

## 1.4.1 控制变压器

控制变压器适用于频率为 50 ~ 60Hz、输入电压不超过交流 660V 的电路,常作为各类机电设备中一般电器的控制电源、局部照明及指示灯的电源。其电气图形符号和文字符号如图 1-11 所示。

机电设备常用的控制变压器有 JBK、BK 两个系列。JBK 系列标注形式为

J B K □ - □ - □  
① ② ③ ④ ⑤ ⑥

- ①J 表示机床;
- ②B 表示变压器;
- ③K 表示控制;
- ④设计代号;
- ⑤额定容量 (VA);
- ⑥铁心形式 (C—插片式, P—卷片)。

BK 系列标注形式为

B K □ - □  
① ② ③ ④

- ①B 表示变压器;
- ②K 表示控制;

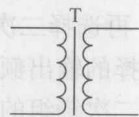


图 1-11 双绕组变压器  
电气图形和文字符号

③设计代号;

④额定容量 (VA)。

### 1.4.2 三相变压器

电气控制线路中常用三相绕组共用一个铁心的三相心式变压器。各相的高压绕组首端和末端分别用  $U_1$ 、 $V_1$ 、 $W_1$  和  $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  表示, 而各相低压绕组的首端和末端分别用  $u_1$ 、 $v_1$ 、 $w_1$  和  $u_2$ 、 $v_2$ 、 $w_2$  表示。高压绕组可采用星形或三角形联结, 而低压绕组则采用星形联结, 各自的电气图形和文字符号如图 1-12 所示。

三相变压器系列标注形式为

S □ □ □ □ □ - □ / □

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧

①S 表示三相变压器;

②绝缘代号 (C—成型固体绝缘, G—空气绝缘, 油浸式绝缘不表示);

③冷却代号 (F—风冷, P—强迫液循环冷却, 自然冷却不表示);

④调压代号 (2—有载调压, 无载调压不表示);

⑤绕组导线代号 (1—铝线, 铜线不表示);

⑥设计序号;

⑦额定容量 (kVA);

⑧高压绕组电压等级 (kV)。

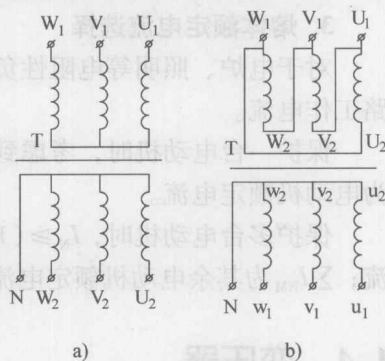


图 1-12 三相变压器电气图形和文字符号

a) 星-星联结 b) 三角-星联结

### 1.4.3 变压器选用

变压器选用主要依据变压器的额定值。根据接至一次绕组上的电源电压选定一次额定电压  $U_1$ , 再选择二次额定电压  $U_2$ 、 $U_3$  等。带负载时变压器二次电压最大可能有 5% 的降压, 因此选择的输出额定电压应略高于负载额定电压。

各二次绕组的额定电流 ( $I_2$ 、 $I_3$  等) 应不小于额定负载电流, 二次侧的额定容量  $S_{N2}$  则由总容量确定, 计算公式为  $S_{N2} = U_2 \times I_2 + U_3 \times I_3 + \dots$ 。

## 1.5 交流接触器

接触器是一种用于频繁地接通或切断带有负载的主电路的自动控制电器。按照接触器主触头通过电流的种类, 可分为交流接触器和直流接触器。

### 1.5.1 交流接触器结构

接触器主要由电磁系统、触头系统、灭弧装置等部分组成, 如图 1-13 所示。

#### 1. 电磁系统

电磁系统作用是操作触头闭合与分断, 包括线圈、动铁心和静铁心。线圈一般采用电压线圈通入单相交流电, 为了减少交变磁场在铁心中产生的涡流与磁滞损耗, 防止铁心过热,

一般用硅钢片叠铆而制成铁心。交流接触器的线圈电压为额定电压的 85% ~ 105% 时能够正常工作, 电压过低或过高都会造成线圈过热而损坏。

由于交流电磁铁吸力是脉动的, 当电磁吸力小于作用在动铁心上的弹簧力时, 动铁心将从静铁心闭合处分开, 使铁心释放; 当电磁吸力大于弹簧力时, 动铁心又被吸合。电源电压变化一个周期, 电磁铁吸合两次, 对于频率为 50Hz 的交流电源, 1s 内电磁铁将吸合 100 次, 由此造成动铁心剧烈振动并产生噪声, 降低了电磁铁的使用寿命。

消除动铁心振动的方法是在电磁铁铁心端面上开一小槽, 并在小槽内嵌入铜质短路环, 如图 1-14 所示。加入短路环后, 线圈内形成两个大小相近、相位相差 90° 的两相磁通  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$ 。两相磁通产生的合成电磁力在电磁铁通电期间始终不为零且大于弹簧反力, 使铁心牢牢吸合, 消除了动铁心的振动和噪声。

## 2. 触头系统

交流接触器的触头通常用纯铜制成。触头在动铁心带动下起分断和闭合电路的作用。接触器的触头系统分为主触头和辅助触头, 主触头用以通断电流较大的主电路, 一般由三对动合触头组成, 体积较大。辅助触头用以通断小电流的控制电路, 有动合、动断两种, 体积较小。

辅助触头一般采用点接触桥式结构, 而主触头则采用面接触桥式和线接触指式结构。触头结构如图 1-15 所示。

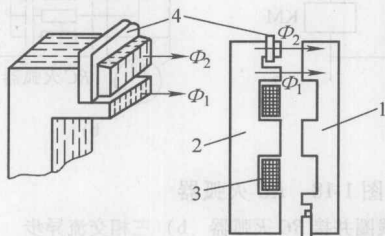


图 1-14 交流电磁铁短路环作用

1—动铁心 2—静铁心 3—线圈  
4—短路环

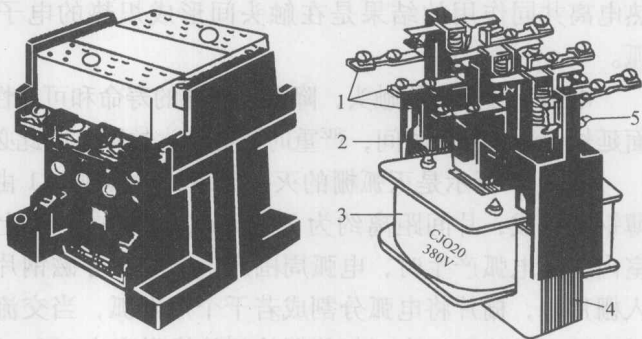


图 1-13 接触器

1—主触头（三对） 2—动铁心 3—线圈 4—静铁心  
5—辅助触头

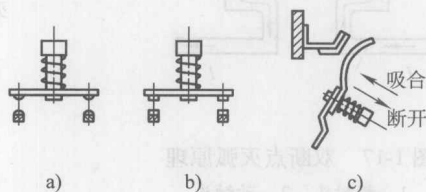


图 1-15 交流接触器触头结构

a) 点接触桥式 b) 面接触桥式  
c) 线接触指式

## 3. 灭弧装置

接触器触头在分离瞬间, 因动触头与静触头之间的间隙很小, 电路电压几乎全部降落在触头之间, 在触头间形成了很强的电场。在强电场作用下, 金属内部的自由电子就从阴极逸出并向阳极加速运动, 在电场中高速运动的自由电子就会撞击气隙间的中性气体分子并使之分离为正离子和电子, 分离出的电子在强电场作用下也向阳极移动又去撞击其他中性分子,