



全国高等职业教育规划教材

电气控制与PLC应用

主编 牛百齐 曹秀海

- 内容编排新颖、层次清晰，循序渐进，通俗易懂。
- 知识系统连贯，前后呼应，重点突出，方便教学。
- 理论联系实际，突出技能，举例典型，快速应用。

电子课件下载网址 www.cmpedu.com



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

电气控制与 PLC 应用

主 编 牛百齐 曹秀海
副主编 张恒艳 江文莉 姜 源



机械工业出版社

本书紧密围绕高职高专教育的培养目标,结合教育教学改革与实践经验,以培养学生职业能力为主要任务,合理安排基础理论和实践知识的比例,通俗易懂,方便教学。

全书共8章,第1~2章介绍了常用低压电器及电气控制系统的基本电路;第3章介绍了PLC的基础知识和西门子S7-200系列PLC的结构、原理及使用的编程软件;第4~7章介绍了S7-200系列PLC的基本指令和功能指令系统、编程方法及控制系统的设计方法;第8章介绍了PLC的通信与网络。

本书可作为高职高专院校电气自动化、机电一体化、机械制造与自动化等专业的教材,也可作为相关专业的职业技能培训教材,及从事自动化控制工程的技术人员的参考书。

需要本书配套授课电子教案的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ:1239258369,电话:010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与PLC应用/牛百齐,曹秀海主编. —北京:机械工业出版社,2014.6

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-47551-4

I. ①电… II. ①牛…②曹… III. ①电气控制—高等教育—教材②plc技术—高等教育—教材 IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第170009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:王颖 曹帅鹏 版式设计:赵颖喆

责任校对:刘怡丹 责任印制:李洋

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2014年10月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.25印张·370千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-47551-4

定价:34.80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

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着科学技术的迅猛发展,可编程序控制器(PLC)技术已广泛应用于自动化控制领域。它以微处理器为核心,将计算机技术、自动控制技术及通信技术融为一体。PLC 具有控制能力强、可靠性高、配置灵活、编程简单、使用方便和易于扩展等优点,已经成为工业控制领域的主流设备,并与 CAD/CAM、机器人技术一起,被誉为当代工业自动化的三大支柱。

本书作者紧密围绕高职高专教育的培养目标,结合教育教学改革与实践经验,以培养学生职业能力为主要任务,编写了本书。与同类书相比较,本书具有以下特点:

1) 内容新颖,符合认知规律。在内容编排上由易到难、循序渐进,内容阐述力求简明扼要、通俗易懂;

2) 结合实际,突出应用。将理论教学,技能训练紧密结合,列举了大量的典型应用实例,并附有习题,以提高学习者的应用能力;

3) 立足基础,重视方法训练。在分析电气控制电路和 PLC 指令的基础上,介绍了编程方法及 PLC 控制系统的设计方法,利于学习者迅速掌握电气控制技术。

4) 知识系统、连贯,重点突出,方便教学。兼顾继电器控制技术和可编程控制器应用技术,前后承接,相互呼应。

本书参考学时数为 60~90 学时,教学时可结合具体专业实际,对教学内容和教学学时数进行适当调整。

本书由济宁职业技术学院牛百齐、曹秀海任主编,济宁技师学院张恒艳、山东体育学院江文莉、珠海城市职业技术学院姜源任副主编,参加编写的还有李汉挺、马妍霞、梁海霞、孙萌、孙尧等老师。全书由牛百齐统稿。

在编写过程中,参考了许多专家同行的文献和资料,在此谨致诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中不妥、疏漏或错误之处在所难免,诚请专家、同行批评指正,也希望得到读者的意见和建议。

编 者

目 录

前言

第1章 常用低压电器	1
1.1 低压电器的基本知识	1
1.1.1 低压电器的分类	1
1.1.2 低压电器的电磁机构与执行机构	2
1.2 低压开关电器	4
1.2.1 刀开关	4
1.2.2 组合开关	6
1.2.3 低压断路器	7
1.3 接触器	9
1.3.1 接触器的结构及工作原理	9
1.3.2 接触器的选用	11
1.4 继电器	12
1.4.1 电磁式继电器	13
1.4.2 热继电器	15
1.4.3 时间继电器	16
1.4.4 速度继电器	19
1.5 熔断器	19
1.6 主令电器	21
1.6.1 控制按钮	21
1.6.2 行程开关	22
1.7 实训 常用低压电器的识别	24
1.8 习题	26
第2章 电气控制系统的基本电路	27
2.1 电气制图及电路图	27
2.1.1 电气图形符号和文字符号	27
2.1.2 常用电气工程图	29
2.2 三相异步电动机直接起动控制电路	32
2.2.1 三相异步电动机起停控制电路	33
2.2.2 三相异步电动机正、反转控制电路	34
2.2.3 工作台自动往返控制电路	37
2.2.4 其他控制电路	38
2.3 三相异步电动机的减压起动控制电路	39
2.3.1 定子串电阻减压起动控制电路	40
2.3.2 星形-三角形 (Y- Δ) 减压起动控制电路	41
2.3.3 自耦变压器减压起动电路	42
2.4 三相异步电动机的制动控制电路	43

2.4.1 反接制动控制电路	43
2.4.2 能耗制动控制电路	45
2.5 三相异步电动机的调速控制电路	46
2.5.1 改变磁极对数的调速	47
2.5.2 改变转差率的调速	48
2.5.3 变频调速	48
2.6 实训	49
2.6.1 三相异步电动机点动与单向旋转控制电路	49
2.6.2 三相异步电动机正、反转控制电路	51
2.6.3 Y- Δ 减压起动控制电路	52
2.7 习题	54
第3章 PLC 基础知识与 S7-200 PLC 介绍	56
3.1 PLC 基础知识	56
3.1.1 PLC 概述	56
3.1.2 PLC 的基本结构与工作原理	62
3.1.3 PLC 的编程语言	66
3.2 S7-200 PLC 介绍	68
3.2.1 S7-200 PLC 的硬件结构及性能	68
3.2.2 PLC 的内部元件及寻址方式	71
3.2.3 PLC 的寻址方式	75
3.3 STEP7-Micro/WIN 编程软件	77
3.3.1 编程软件安装与启动	77
3.3.2 STEP7-Micro/WIN 窗口组成	78
3.3.3 S7-200 PLC 的通信设置	81
3.3.4 STEP7-Micro/WIN 软件的使用	82
3.4 实训 PLC 的接线与编程软件的使用	88
3.5 习题	90
第4章 S7-200 PLC 的基本指令及应用	91
4.1 位操作类指令	91
4.1.1 触点指令	91
4.1.2 输出指令	92
4.1.3 逻辑指令	93
4.1.4 逻辑堆栈指令	95
4.1.5 正、负跳变触点指令	99
4.1.6 置位、复位操作指令	100
4.2 定时器与计数器指令	101
4.2.1 定时控制指令	101
4.2.2 计数控制指令	107
4.2.3 定时器指令和计数器指令的应用扩展	109
4.3 比较操作指令	110
4.4 PLC 控制系统设计	112
4.4.1 PLC 控制系统设计的原则、步骤	112
4.4.2 PLC 程序结构与编程规则	113

4.4.3 梯形图的经验设计法	116
4.4.4 梯形图的继电器控制电路转换法	117
4.5 实训	121
4.5.1 实训1 电动机控制	121
4.5.2 实训2 传送带的 PLC 控制	123
4.6 习题	125
第5章 程序控制指令及应用	127
5.1 程序控制指令	127
5.1.1 结束、暂停及看门狗复位指令	127
5.1.2 跳转与标号指令	128
5.1.3 循环指令	129
5.1.4 子程序操作指令	130
5.1.5 顺序控制指令	131
5.2 顺序功能图	133
5.2.1 顺序功能图的基本概念	133
5.2.2 顺序功能图的结构形式	135
5.2.3 顺序功能图设计法	137
5.3 顺序控制梯形图的设计方法	138
5.3.1 使用起保停电路的梯形图设计方法	138
5.3.2 以转换条件为中心的顺序控制梯形图设计方法	142
5.3.3 使用 SCR 指令的顺序控制梯形图设计方法	144
5.4 实训	147
5.4.1 实训1 电动机手动/自动控制选择程序	147
5.4.2 实训2 电动机Y- Δ 减压起动控制	149
5.5 习题	151
第6章 数据处理、运算指令及应用	153
6.1 数据传送指令	153
6.1.1 单一传送指令	153
6.1.2 数据块传送指令	154
6.1.3 字节交换、字节立即读写指令	155
6.2 数据移位指令	156
6.2.1 左右移位指令	156
6.2.2 循环移位指令	157
6.2.3 寄存器移位指令	159
6.3 数据转换指令	160
6.3.1 数据类型转换指令	160
6.3.2 编码、译码指令	162
6.3.3 七段显示码指令	163
6.4 算术运算指令	164
6.4.1 加/减运算类指令	164
6.4.2 乘除法运算指令	165
6.4.3 自增和自减指令	166
6.4.4 数学函数指令	167

6.5 逻辑运算指令	169
6.6 实训	171
6.6.1 实训1 模拟喷泉系统控制	171
6.6.2 实训2 PLC 控制小车的运行方向	173
6.7 习题	175
第7章 特殊功能指令及应用	176
7.1 中断指令	176
7.1.1 中断事件与中断优先级	176
7.1.2 中断指令	178
7.1.3 中断程序的建立	179
7.2 高速计数器指令应用	180
7.2.1 高速计数器的概念	181
7.2.2 高速计数器指令	183
7.2.3 高速脉冲输出指令应用	185
7.3 PID 算法及指令	193
7.3.1 PID 算法	193
7.3.2 PID 回路控制指令	195
7.3.3 PID 回路指令输入/输出变量数值转换	196
7.4 实训 高速计数器指令的使用	199
7.5 习题	203
第8章 PLC 通信与网络	204
8.1 通信的基本知识	204
8.1.1 基本概念和术语	204
8.1.2 工业局域网基础	207
8.2 S7-200 PLC 的网络通信协议与通信实现	209
8.2.1 S7-200 PLC 的网络通信协议	209
8.2.2 通信的实现	214
8.3 S7-200 PLC 的通信指令	216
8.3.1 S7-200 PLC 的网络读/写指令	216
8.3.2 S7-200 PLC 的发送和接收指令	219
8.4 实训 两台 PLC 之间的通信实验	223
8.5 习题	226
附录	227
附录 A S7-200 PLC 错误代码信息	227
附录 B S7-200 的特殊存储器 (SM) 标志位	230
参考文献	236

第 1 章 常用低压电器

低压电器是电气控制中的基本组成元器件，随着电子技术、自动控制技术和计算机应用技术的迅猛发展，一些电气元器件可能被电子电路所取代，但是由于电气元器件本身也朝着新的领域扩展，表现在元器件的性能提高，元器件的应用范围扩展，新型元器件的应用等，且某些电气元器件有其特殊性，所以不可能被完全取代。另一方面可编程序控制器控制技术是计算机技术与继电器控制技术相结合的产物，而且 PLC 的输入、输出仍然与低压电器密切相关，因此应熟悉常用低压电器的原理、结构、型号、规格和用途，并能正确选择、使用与维护。掌握继电器控制技术是学习和掌握 PLC 应用技术所必需的基础。

1.1 低压电器的基本知识

电器是指根据特定的信号和控制要求，能接通与断开电路，改变电路参数，实现对电路或非电路对象的保护、控制、切换、检测和监视等功能的电气设备。按照工作电压等级，电器分为高压电器和低压电器。高压电器是用于交流电压 1200V、直流电压 1500V 及以上电路中的电器。例如高压断路器、高压隔离开关和高压熔断器等。低压电器是用于交流 50Hz（或 60Hz），额定电压为 1200V 以下，直流额定电压 1500V 的电器。例如：接触器、继电器等。

1.1.1 低压电器的分类

低压电器的种类繁多、结构各异、功能多样。常用低压电器的分类方法有以下几种。

1. 按动作方式分类

1) 手动电器：用手或依靠机械力进行操作的电器，如手动开关、控制按钮和行程开关等主令电器。

2) 自动电器：借助于电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的电器，如接触器，各种类型的继电器，电磁阀等。

2. 按用途分类

1) 低压配电电器：低压配电电器主要有刀开关、组合开关、负荷开关和自动开关等。

2) 低压控制电器：在电力拖动自动控制系统中，低压控制电器主要有接触器、继电器和控制器等。

3) 低压保护电器：低压保护电器主要用于电路与电气设备的安全保护，有断路器、热继电器、熔断器、电压继电器和电流继电器等。

4) 低压主令电器：低压主令电器用于发送控制信号，有按钮、行程开关、主令开关和万能转换开关等。

5) 低压执行电器：通常用于传送动力、驱动负载，主要有电磁阀、电磁铁等。

3. 按工作原理分类

- 1) 电磁式电器：依据电磁感应原理来工作，如接触器、电磁式继电器等。
- 2) 非电量控制电器：依靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器和温度继电器等。

1.1.2 低压电器的电磁机构与执行机构

电磁式电器在电气控制电路中的使用量最大，类型也很多。各类电磁式电器在构造上基本相同，主要由电磁机构和执行机构两部分组成。电磁机构按电源种类可分为交流和直流两种，执行机构主要是触点系统。

1. 电磁机构

电磁机构的主要作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触点动作、接通或分断电路。

电磁机构由铁心、衔铁和线圈等部分组成。其作用原理是：当线圈中有电流通过时，产生电磁吸力，电磁吸力克服弹簧的反作用力，使衔铁与铁心闭合，衔铁带动连接机构运动，从而带动相应触点动作，完成通、断电路的控制作用。接触器常用的电磁系统结构如图 1-1 所示。

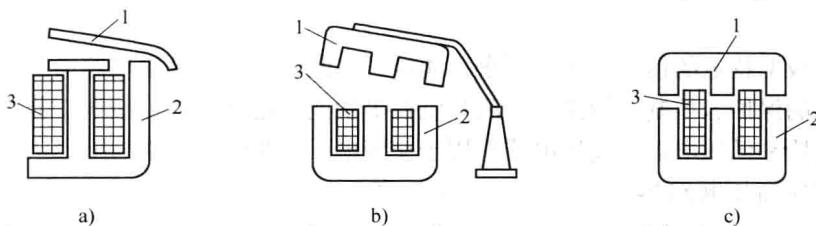


图 1-1 常用的电磁系统结构

a) 绕棱角转动的拍合式 b) 绕轴转动的拍合式 c) 双 E 形直动式
1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

- 1) 衔铁绕棱角转动的拍合式铁心如图 1-1a 所示，这种结构广泛应用于直流电器中。
- 2) 衔铁绕轴转动的拍合式铁心如图 1-1b 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。
- 3) 衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心，如图 1-1c 所示，这种结构多用于交流接触器、继电器中。

电磁式电器分为直流与交流两大类。直流电磁铁铁心由整块铸铁铸成。而交流电磁铁的铁心则用硅钢片叠成，以减小铁损（磁滞损耗及涡流损耗）。

图 1-1 中线圈的作用是将电能转化为磁场能。按通过线圈电流性质的不同分为直流线圈和交流线圈两种。

在实际应用中，由于直流电磁铁仅有线圈发热，所以线圈的匝数多、导线细，制成细长形，且不设线圈骨架，线圈与铁心直接接触，利于线圈的散热。而交流电磁铁由于铁心和线圈均发热，所以线圈匝数少、导线粗，制成短粗形，吸引线圈设有骨架，且铁心与线圈隔离，利于铁心和线圈的散热。

2. 触点系统

(1) 触点系统材料

触点是电器的执行机构，起接通和断开电路的作用。为使触点具有良好的接触性能，通

常采用铜质材料制成；由于在使用中，铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜，使触点接触电阻增大，引起触头过热，影响电器的使用寿命，因此，对于电流容量较小的电器（如接触器、继电器等）常采用银质材料作为触点材料，因为银的氧化膜电阻率与纯银相似，从而避免了触点表面氧化膜电阻率增加而造成触点接触不良。

（2）触点系统的结构形式

触点系统主要有以下几种结构形式：

1) 桥式触点：图 1-2a、图 1-2b 为桥式触点，其中图 1-2a 为点接触的桥式触点，而图 1-2b 为面接触的桥式触点；点接触型适用于电流不大且触头压力小的场合；面接触型则适用于电流较大的场合。

2) 指形触点：图 1-2c 为指形触点，其接触区为一直线，触点在接通与分断时产生滑动摩擦，可以去掉氧化膜，故其触点用纯铜制造，特别适合于触点分合次数多、电流大的场合。

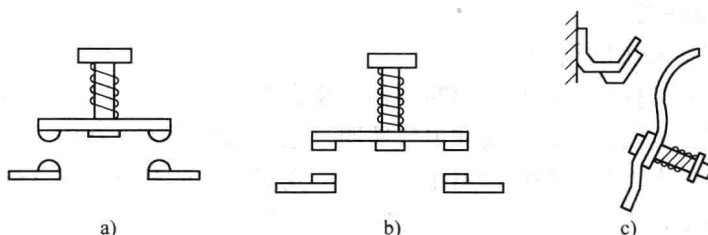


图 1-2 触点的结构形式

a) 点触式桥式触点 b) 面触式桥式触点 c) 指形触点

3. 灭弧系统

触点在分断电流的瞬间，在触点间的气隙中就会产生电弧，电弧的高温能将触点烧坏，并可能造成其他事故，因此，应采取适当的措施迅速熄灭电弧。

熄灭电弧的主要措施有：① 迅速增加电弧长度（拉长电弧）使得单位长度内维持电弧燃烧的电场强度不够而使电弧熄灭。② 使电弧与流体介质或固体介质相接触，加强冷却和去游离作用，使电弧加快熄灭。

低压电器常用的灭弧方法有：

1) 机械灭弧法：通过机械装置将电弧迅速拉长，这种方法多用于开关电器中。

2) 磁吹灭弧：在一个与触点串联的磁吹线圈产生的磁场作用下，电弧受电磁力的作用而拉长，被吹入由固体介质构成的灭弧罩内，与固体介质接触，电弧被迅速冷却而熄灭。

3) 窄缝灭弧：在电弧形成的磁场电动力的作用下，可使电弧拉长并进入灭弧罩的窄缝中，几条纵缝可将电弧分割成数段且与固体介质相接触，电弧迅速熄灭。这种结构多用于交流接触器上。

4) 栅片灭弧法：当触点分开时，产生的电弧在电动力的作用下被推入一组金属栅片中而被分割成数段，彼此绝缘的金属栅片的每一片都相当于一个电极，因而就有许多个阴阳极压降，使电弧无法继续维持而熄灭。交流电器常常采用栅片灭弧法，如图 1-3 所示。

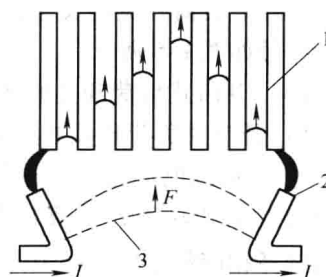


图 1-3 金属栅片灭弧示意图
1—灭弧栅片 2—触点 3—电弧

1.2 低压开关电器

开关是低压电器中最常用的电器之一，其作用是分合电路、接通或断开电流。常用的开关有刀开关、组合开关和低压断路器等。

1.2.1 刀开关

刀开关又称为隔离开关，它是手动控制电器中最简单，使用较广泛的一种低压电器。主要用作隔离电源，分断负载，也可用于不频繁地接通和分断容量不大的低压电路或直接起动小容量电动机。若在刀开关上安装熔体或熔断器，可组成既有通断电路又有保护作用的负荷开关。常用的负荷开关有开启式和封闭式两种类型。

1. 开启式负荷开关

(1) 开启式负荷开关的结构

开启式负荷开关又称开启式开关熔断器组，俗称为胶盖瓷底刀开关，由于它结构简单，价格便宜，使用维修方便，广泛应用在电气照明、电动机控制等电路中。

开启式负荷开关由刀开关和熔断器组合而成。瓷底板上装有进线座、静触点、熔体、出线座及刀片式动触点，工作部分用胶木盖罩住，以防电弧灼伤人手。图 1-4 所示为常用的 HK 系列开启式负荷开关的外形结构。

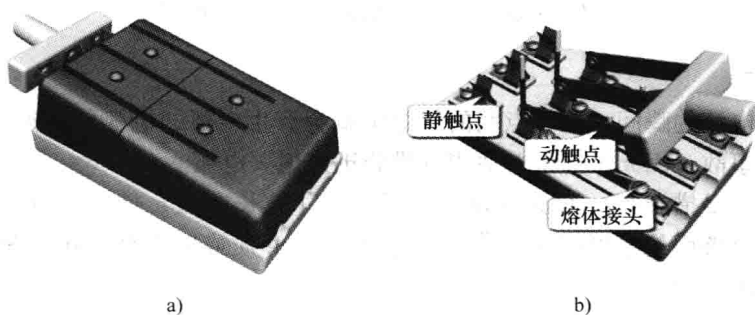


图 1-4 HK 系列开启式负荷开关的结构示意图
a) 外形 b) 内部结构

(2) 开启式负荷开关的型号及符号

开启式负荷开关的文字符号为 QS，型号和图形符号如图 1-5 所示。

(3) 开启式负荷开关的选用与注意事项

1) 开启式负荷开关的选用。

① 按负载电流选择：选择时，应根据控制对象的类型和功率，计算出相应的负载电流，然后选择相应额定电流的刀开关。此额定电流一般应等于或大于所分断电路中各个负载电流的总和。对于电动机负载，应考虑其起动电流，所以应选额定电流大一级的刀开关。若考虑电路可能出现的短路电流，还应选用额定电流更大一级的刀开关。

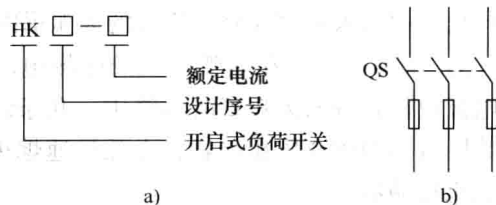


图 1-5 开启式负荷开关的型号及图形符号
a) 型号 b) 图形符号

② 按用途和安装位置选择：选用刀开关时，还要根据刀开关的用途和安装位置选用合适的型号和操作方式。同时根据刀开关的作用和装置的安装形式来选用是否带灭弧装置，及选用是正面、背面，还是侧面操作形式。

2) 开启式负荷开关使用注意事项。

① 安装时应将开启式负荷开关垂直安装在控制柜的开关板上，且合闸状态时手柄向上，不允许倒装或平装，以防止发生误合闸事故。

② 电源进线应接在静触头一边的进线端，用电设备应接在动触头一边的出线端。当开启式负荷开关控制照明和电热负载时，须安装熔断器作短路和过载保护。在刀开关断开时，闸刀和熔丝均不得通电，以确保更换熔丝时的安全。

③ 当开启式负荷开关用作电动机的控制开关时，应将开关的熔体部分用铜导线直连，并在出线端加装熔断器作短路保护。在更换熔体时务必把闸刀断开；在分闸和合闸操作时，为避免出现电弧，动作应果断迅速。

2. 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关又称封闭式开关熔断器组，俗称为铁壳开关，主要用于手动不频繁地接通和断开带负载的电路，也可用于控制 15kW 以下的交流电动机的不频繁直接起动和停止。

(1) 封闭式负荷开关的结构

封闭式负荷开关主要由刀开关、熔断器、操作机构和外壳组成。图 1-6 所示为 HH4 型封闭式负荷开关的结构。

封闭式负荷开关在操作机构上有两个优点：一是采用了弹簧储能分合闸，有利于迅速熄灭电弧，从而提高开关的通断能力；二是设有联锁装置，以保证开关在合闸状态下开关盖不能开启，而当开关盖开启时又不能合闸，确保操作安全。

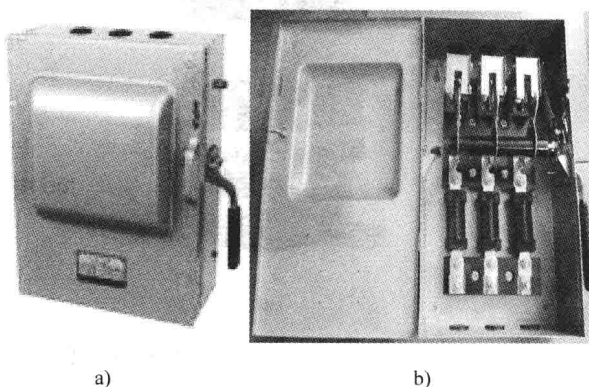


图 1-6 封闭式负荷开关的结构示意图
a) 外形 b) 内部结构

(2) 封闭式负荷开关的型号及符号

封闭式负荷开关的文字符号和图形符号与开启式负荷开关相同，其型号如图 1-7 所示。

(3) 封闭式负荷开关的选用及注意事项

1) 封闭式负荷开关的选用。

在选用封闭式负荷开关时，应使其额定电压大于或等于电路的额定电压，其额定电流大于或等于电路的额定电流。对于电热器和照明电路，可根据额定电流选择；对于电动机，封闭式负荷开关的额定电流可选电动机额定电流的 1.5 倍。

2) 使用封闭式负荷开关的注意事项。

封闭式负荷开关在使用中应注意开关的金属外壳须可靠接地或接零，防止因意外漏电而发生触电事故，接线时应将电源线接在夹座的接线端上，负载接在熔断器一端。

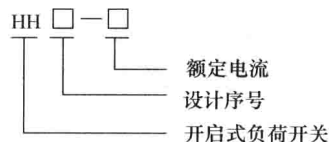


图 1-7 封闭式负荷开关的型号

封闭式负荷开关不允许随意放在地上，也不允许面向开关进行操作，以免在开关无法切断短路电流的情况下，铁壳爆炸飞出伤人。

1.2.2 组合开关

组合开关又称为转换开关，常用于交流 380V、直流 220V 以下的电气控制电路中，供手动不频繁地接通或分断电路，也可控制 3kW 以下小容量异步电动机的起动、停止和正反转。它体积小、灭弧性能比刀开关好，接线方式多，操作方便。

1. 组合开关的结构及工作原理

组合开关由动触点（动触片）、静触点（静触片）、转轴、手柄、定位机构及外壳等组成，其动、静触点分别叠装在绝缘壳内。如图 1-8 所示为 HZ10-10/3 型组合开关结构示意图。当转动手柄时，每层的动触点随方形转轴一起转动，从而实现对电路的通、断控制。

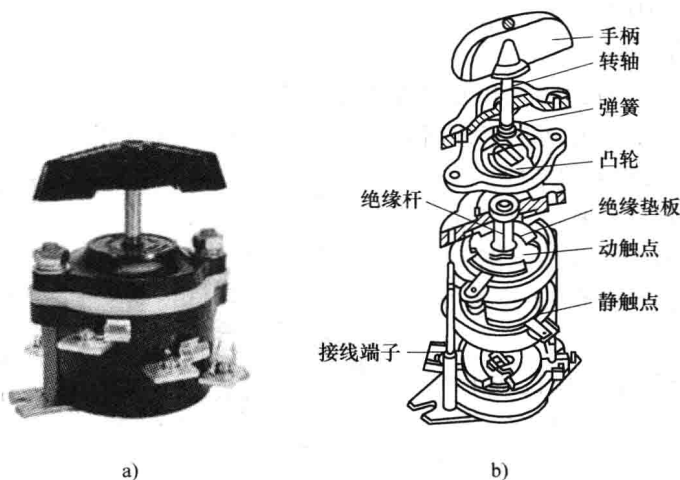


图 1-8 HZ10-10/3 型组合开关的结构示意图

a) 外形 b) 结构

这种组合开关有三对静触点，每一对静触点的一端固定在绝缘垫板上，另一端伸出盒外，并附有接线端，以便和电缆及用电设备的导线相连接。三对动触点由两个铜片和灭弧性能良好的绝缘钢纸板铆接而成，和绝缘垫板一起套在装有手柄的绝缘杆上，手柄能沿任意一个方向每次旋转 90°，带动三对触点分别与三对静触点接通或断开。顶盖部分由凸轮、弹簧及手柄等构成操作机构，此操作机构由于采用了弹簧储能能使开关快速闭合及分断，保证了开关在切断负载电流时所产生的电弧能迅速熄灭，其分断与闭合的速度和手柄旋转速度无关。

2. 组合开关的型号及符号

组合开关的文字符号为 QS，其型号和图形符号如图 1-9 所示。

3. 组合开关的选用及注意事项

1) 组合开关的选用。

选用组合开关要考虑电源的种类、电压等级、所需触点数及电动机的功率等因素。用于照明或电热电路时，组合开关的额定电流应等于或大于被控制电路中各负载电流的总和。用

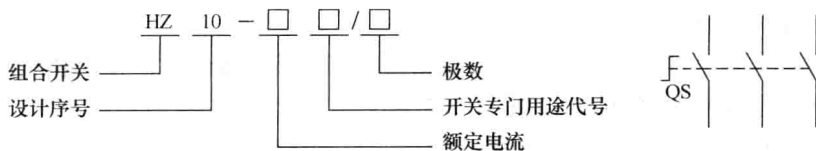


图 1-9 组合开关的型号和图形符号

a) 型号 b) 图形符号

于电动机电路时，组合开关的额定电流应取电动机额定电流的 1.5 倍。组合开关的通断能力较低，不能用来分断故障电流。用于控制异步电动机的正反转时，必须在电动机停转后才能反向起动，且每小时的接通次数不能超过 15 ~ 20 次。

2) 使用组合开关的注意事项。

在安装和使用组合开关时，应把其安装在控制箱或壳体内，操作手柄最好安装在控制箱的前面或侧面。开关为断开状态时手柄应在水平位置。若需在箱内操作，最好将组合开关安装在箱内上方，若附近有其他电器，则需采取隔离措施或者绝缘措施。

1.2.3 低压断路器

低压断路器又称为自动空气开关，它集控制与保护功能于一体，相当于刀开关、熔断器、热继电器和欠电压继电器的组合，用于不频繁接通和断开的电路，以及控制电动机的运行。当电路中发生严重过载、短路及失电压等故障时，能自动切断故障电路，有效地保护电气设备。断路器具有操作安全，使用方便，工作可靠，动作值可调，分断能力较高，兼顾多种保护，动作后不需要更换组件等优点，因此得到广泛应用。

1. 低压断路器的类型

断路器的种类很多，按低压断路器的结构可分为塑壳式低压断路器（装置式）和框架式低压断路器（万能式）两大类。

框架式断路器：绝缘衬底的框架结构底座将所有的构件组装在一起，用于配电网的保护。主要型号有 DW10 和 DW15 系列。

塑壳式断路器：用模压绝缘材料制成的封闭型外壳将所有的构件组装在一起，用作配电网的保护和电动机、照明电路、电热器等控制开关。主要型号有 DZ5、DZ10、DZ20 等系列。

几种常见的低压断路器外形如图 1-10 所示。

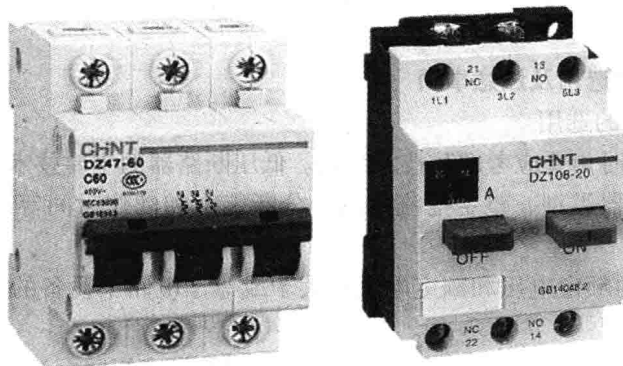


图 1-10 常见低压断路器的外形

2. 低压断路器的结构

低压断路器主要由触点、操作机构、脱扣器和灭弧装置等组成。操作机构有直接手柄操作、杠杆操作、电磁铁操作和电动机驱动4种。脱扣器又分电磁脱扣器、热脱扣器、复式脱扣器、欠电压脱扣器和分励脱扣器5种。图1-11为低压断路器的工作原理图。

3. 断路器的工作原理

断路器的工作原理如图1-11所示。图中断路器处于闭合状态，三个主触点串联在被控制的三相主电路中，按下按钮1时，固定在传动杆3上的动触点与静触点闭合，并由锁扣锁住传动杆，使动、静触点保持闭合，开关处于接通状态。在正常工作中，各脱扣器均不动作，而当电路发生过载、短路和欠电压等故障时，分别通过各自的脱扣器使锁扣被顶杆顶开，动触点与静触点断开，实现保护作用。

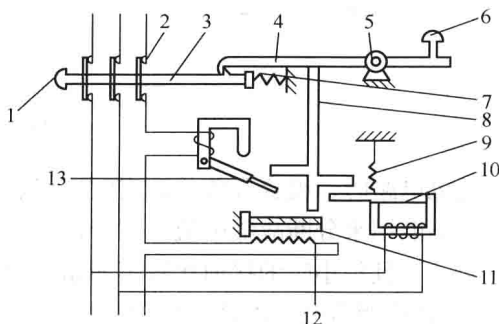


图1-11 低压断路器的工作原理图

- 1—按钮 2—触点 3—传动杆 4—锁扣 5—轴
6—分断按钮 7—分闸弹簧 8—顶杆 9—拉力弹簧
10—欠电压/失电压脱扣器 11—双金属片
12—过载脱扣器 13—短路电流脱扣器

1) 过载保护。

当电路发生过载时，过载电流流过热元件产生一定的热量，使过载脱扣器的双金属片受热向上弯曲，通过顶杆推动锁扣脱开，在分闸弹簧的推动下，动、静触点分开，从而切断电路，使用电设备不致因过载而烧毁。

2) 短路保护。

当电路发生短路故障时，短路电流流过短路电流脱扣器，使短路电流脱扣器产生足够大的吸力将衔铁吸合，通过顶杆推动锁扣分开，从而切断电路，实现短路保护。

3) 欠电压/失电压保护。

当电路电压正常时，欠电压/失电压脱扣器的衔铁被吸合，衔铁与顶杆脱离，断路器的主触点保持闭合；当电路电压消失或下降到某一数值时，欠电压/失电压脱扣器的吸力消失或减小到不足克服拉力弹簧的拉力时，衔铁在拉力弹簧的作用下撞击杠杆，将搭扣顶开，使触点分断。由此可看出，欠电压/失电压脱扣器电路无电压或电压过低时，不能接通电路。

4. 低压断路器型号及符号

低压断路器型号及含义如图1-12a所示，低压断路器的文字符号为QF，其图形符号如图1-12b所示。

5. 低压断路器的选用及注意事项

(1) 低压断路器的选用

选用低压断路器时主要应考虑其技术参数。低压断路器的主要技术参数有额定电压、额定电流、极数、脱扣器类型、整定电流范围、分断能力和动作时间等。选用时应注意以下几点：

① 低压断路器的额定电压和额定电流应大于或等于电路中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的最大短路电流；

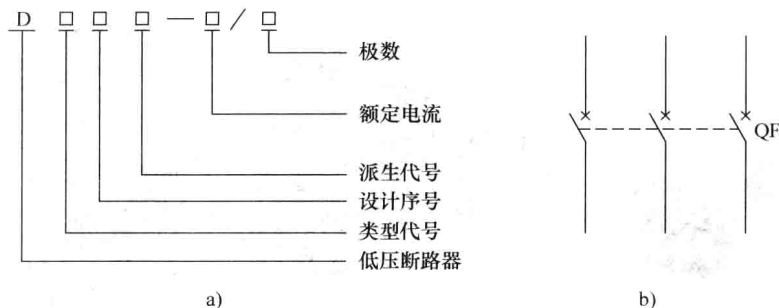


图 1-12 低压断路器型号和图形符号
a) 型号及含义 b) 图形符号

- ③ 欠电压脱扣器的额定电压等于电路的额定电压；
- ④ 过电流脱扣器的额定电流大于或等于电路的最大负载电流。

(2) 低压断路器的使用注意事项

- ① 使用时应保证灭弧罩完好无损，严禁无灭弧罩使用或使用破损灭弧罩；
- ② 低压断路器用作电源开关或电动机控制开关时，应在电源进线侧加装刀开关等，以形成明显的断开点；
- ③ 如果分断的是短路电流，应及时检查触点系统，若有电灼烧痕应及时修理或更换；
- ④ 低压断路器上的积灰应定期清除，并定期检查各脱扣器的动作值，给操作机构加合适的润滑剂；
- ⑤ 断路器的整定电流分为过载和短路两种，运行时应定期校核整定电流值。

1.3 接触器

接触器是一种可用来较频繁地接通和断开中、远距离用电设备主电路及其他大容量用电负载的电磁式控制电器，主要的控制对象是电动机，也可以用于控制其他电力负载，如电热设备、照明电路和电容器组等，是电力拖动控制系统中最重要也是最常用的控制电器之一。

接触器按其控制电路的种类，分为交流接触器和直流接触器两大类。由于交流接触器应用更为广泛，本节重点介绍。

1.3.1 接触器的结构及工作原理

1. 交流接触器的结构

交流接触器主要由电磁机构、触点系统、灭弧装置及辅助部件构成。图 1-13 为 CJ20 型交流接触器的外形与结构示意图。

(1) 电磁机构

电磁机构是由线圈、静铁心、衔铁（动铁心）等组成。线圈通电时产生磁场，衔铁被静铁心吸引，带动触点动作，使控制电路接通或分断。为了限制涡流的影响，动、静铁心采用 E 形硅钢片叠压铆接而成。衔铁被吸合时会发生振动，为了克服这一缺点，可在衔铁的铁心端面上嵌入一只铜环（一般称其为短路环）。

(2) 触点系统