

高等职业教育机电类专业教材

电力驱动与 PLC控制技术

主 编 谢忠志
副主编 王 磊 张 盛 李曙生
参 编 常 俊 杨 洁

清华大学出版社

高等职业教育机电类专业教材

电力驱动与 PLC控制技术

主 编 谢忠志

副主编 王 磊 张 盛 李曙生

参 编 常 俊 杨 洁

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书包括传统的继电器接触器控制和 PLC 控制两部分的内容。按照项目导向、任务驱动的思路来进行学习。其中继电器接触器控制部分以电动机的基本控制、起动、制动、调速为主要环节;PLC 控制部分以三菱 FX2N 系列为对象,以实际应用项目来教学,依次介绍 PLC 的基本指令、顺序控制、功能指令等内容。

本书可供高等职业技术学院、技师学院、电大、职业培训机构的机电、数控、电气类专业选用,也可作为专业工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电力驱动与 PLC 控制技术/谢忠志主编. --北京:清华大学出版社,2013

高等职业教育机电类专业教材

ISBN 978-7-302-33094-3

I. ①电… II. ①谢… III. ①电力传动—高等职业教育—教材 ②plc 技术—高等职业教育—教材
IV. ①TM921 ②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 153028 号

责任编辑:孙 坚 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:13.5 字 数:295 千字

版 次:2013 年 9 月第 1 版 印 次:2013 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:28.00 元

产品编号:053134-01

序

高职教育是培养高技能人才的一种新型模式,经过十多年的探索和积累,已取得长足的发展和可喜的进步。但是,随着经济、社会 and 科技的快速发展,高素质技术工人的数量和技术结构已远远不能满足各行各业的需求。高职教育面临着新的机遇,也面临着新的挑战。

与本科教育和中职教育相比,高职教育所培养的是具有较强理论知识和操作技能的应用型、操作型人才,是高级蓝领。面对激烈的社会竞争和复杂多变的就业环境,高职学生只有扎实地掌握相关理论知识,熟练地掌握操作技能,具备了较高的综合能力和综合素质,才能得到企业的青睐,获得就业的优势,这也才能令人信服地表明我们高职教育模式和教育方法所取得的成功。

十多年来高职教育的发展过程,也是我们不断探索和提高的过程。在取得成绩的同时,我们更清醒地认识到还存在许多不足之处,特别是缺乏专用教材的状况迫切需要加以改进。

教材是教学之本。学校和生源的差异性,以及专业技能的多样性,也就决定了教材的差异性和多样性。正是从高职教育的现状和要求出发,并且结合各兄弟院校在教学改革和教材建设中的成功经验,我们邀请有关专家和长期活跃在教学一线、具有丰富教学经验的老师,精心编写了这套高等职业教育机电类专业教材。

本套教材坚持以培养高职学生实践技能为重点,坚持基础理论与实际应用相结合的指导思想,力求体现“精炼”、“实用”和“创新”的理念。内容涵盖机电类专业(包括机械制造专业、数控技术专业、机电一体化专业等)所必需的基础知识和基本技能,主要采用项目教学和任务驱动的编写方式。淡化理论分析,强调实际应用。本次先行出版的教材有:机械基础、电工电子技术、机械制图、电力驱动与 PLC 控制技术、数控技术与数控设备、传感器与检测技术、数控机床原理与故障检修等。这些教材中,有些是在相关学校已使用过多轮的成熟的教材,有的还曾被评为国家级精品教材,这次又按新的要求再次进行了修订,质量又有进一步提高。

我们衷心希望本套教材能对目前高职院校机电专业的教学工作有所帮助,并恳切希望得到专家和广大师生的批评指正,以便通过不断的改进和补充,使之更加符合高职机电类技能人才的培养要求。

王一平

2013 年 8 月

前言

电气系统控制技术从传统的继电器-接触器控制发展到自动控制,是随着元器件的不断更新和计算机技术的不断发展而形成的一种必然趋势。当前,现代生产企业主要以可编程控制(PLC)技术、变频器技术、总线控制技术为核心,因此学习和掌握电力驱动与 PLC 技术是工程技术人员的现实任务。

本书是根据教育部高职高专自动化教指委审定的关于控制技术课程教学大纲编写的系列规划教材之一。编写过程始终围绕以就业为导向、以能力为本位,理论知识必需、够用,重在加强实践能力的培养原则,教材实用、适用、先进。全书由浅入深共分为 9 个与生产实际相近的项目,每个项目有与之对应的任务,共 12 个。在教师的引导下,学生通过对任务的实施,加深对电机控制的基本电路、典型电路、机床控制、PLC 基本指令、步进指令、功能指令、变频器等理论知识的巩固,强化设计和动手能力,最后由教师实施考评。

本教材适用于高等职业院校数控技术、电气自动化、机电一体化及相关专业教学,也可作为电气工程技术人员培训教材和自学教材。

本书由泰州职业技术学院谢忠志主编,并编写了项目一、项目四、项目八、项目九,泰州职业技术学院李曙生编写了项目五,正德职业技术学院王磊编写了项目二、项目六,硅湖职业技术学院张盛编写了项目三、项目七。泰州技师学院鲁劲柏审阅了全书。另外,在编写过程中正德职业技术学院的杨洁老师帮助绘制了很多图、表,来自企业一线泰州锋陵智能电气有限公司的常俊提出了很多有借鉴价值的企业生产案例,在此表示由衷的感谢!

本书配有电子教学参考资料包,有电子课件、习题答案,如有需要,免费赠与。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏和错误之处,欢迎各位读者和专家提出宝贵意见,不胜感谢!

编者

2013 年 7 月

目 录

项目一 三相异步电动机的直接起动控制	1
1.1 常用低压电器	1
1.2 常用的低压控制电器	3
1.2.1 低压开关	3
1.2.2 按钮	6
1.2.3 低压熔断器	6
1.3 安全用电常识	8
1.3.1 触电的原因和危害	8
1.3.2 触电的种类和形式	8
1.3.3 安全措施	8
1.3.4 触电的急救	9
1.4 接触器	10
1.4.1 定义及组成	10
1.4.2 工作原理	10
1.5 热继电器	11
1.5.1 定义及组成	11
1.5.2 工作原理	12
1.5.3 选用原则	12
1.6 电气控制系统图基本知识	12
1.6.1 电气图中的图形符号	12
1.6.2 认识电气图	13
1.6.3 电气控制线路的安装	14
任务1 三相异步电动机的点动与连续运行控制线路的安装与调试	16
1.7 正反转控制线路	19
1.7.1 倒顺开关控制的可逆旋转控制电路	19
1.7.2 接触器联锁电气线路	20
任务2 三相异步电动机的接触器联锁正反转控制线路的安装与调试	21
拓展训练	23
习题一	24

项目二 三相异步电动机的降压启动控制	26
2.1 降压启动	26
2.1.1 笼型电动机定子绕组串电阻降压启动控制线路	26
2.1.2 绕线型转子异步电动机启动控制线路	29
2.2 Y—△降压换接启动控制线路	31
2.2.1 按钮切换	31
2.2.2 时间继电器自动切换	31
任务 3 Y—△降压启动控制线路的安装与调试	32
拓展训练	35
习题二	35
项目三 三相异步电动机的制动控制	36
3.1 机械制动	36
3.2 电气制动控制电路	37
3.2.1 速度继电器	37
3.2.2 反接制动控制电路	38
任务 4 三相异步电动机的反接制动控制线路的安装与调试	40
任务 5 三相异步电动机能耗制动控制线路的安装与调试	43
3.2.3 能耗制动控制电路	43
拓展训练	48
习题三	48
项目四 三相异步电动机的调速控制	50
4.1 变频调速	50
4.1.1 概述	50
4.1.2 三菱 FR-A540 变频器	51
4.1.3 FR-A540 系列变频器的接线	52
4.1.4 变频器的操作模式	55
4.1.5 变频器常用控制功能与参数设定	56
4.2 变极调速	63
4.2.1 概述	63
4.2.2 变极原理	63
任务 6 三相异步电动机的变极调速控制线路的安装与调试	64
拓展训练	65
习题四	67

项目五 机床电气控制	68
5.1 普通车床的电气控制	68
5.1.1 概述	68
5.1.2 普通车床的电气控制线路	69
5.1.3 电气线路常见故障分析	71
5.2 平面磨床的电气控制	72
5.2.1 概述	72
5.2.2 M7130 型平面磨床的电气控制线路	72
5.2.3 电气线路常见故障分析	76
5.3 铣床的电气控制	76
5.3.1 概述	76
5.3.2 X62W 卧式万能铣床的电气控制线路	77
5.4 摇臂钻床的电气控制	79
5.4.1 概述	79
5.4.2 Z3050 型摇臂钻床的电气控制线路分析	80
5.4.3 Z3050 型摇臂钻床常见电气故障的诊断与检修	82
5.5 数控机床	82
5.5.1 简介	83
5.5.2 数控机床的特点	83
5.5.3 数控机床组成	84
5.5.4 数控机床的分类	85
5.5.5 数控机床的控制对象	89
5.5.6 典型数控系统简介	89
5.5.7 电气部分	90
任务 7 CA6140 车床的电气控制线路的安装与调试	95
拓展训练	97
习题五	97
项目六 FX 系列 PLC 的基本指令及应用	99
6.1 PLC 概述	99
6.1.1 PLC 定义	99
6.1.2 PLC 的主要产品	99
6.1.3 PLC 的组成及工作原理	100
6.1.4 PLC 的特点	101
6.2 三菱 FX2N 系列简介	101
6.2.1 型号意义	101
6.2.2 参数及技术指标	102
6.2.3 外部接线	104

6.3 三菱 FX2N 编程元件	105
6.3.1 FX 系列 PLC 软元件	105
6.3.2 SW7D5C-GPPW-C 软件及使用	108
6.3.3 FX 系列 PLC 编程语言	115
6.4 FX 系列 PLC 基本指令	117
任务 8 三相异步电动机的连续运行控制的 PLC 设计	122
6.5 指令介绍	125
6.5.1 主控与主控复位指令 MC、MCR	125
6.5.2 多重输出指令(MPS、MRD、MPP)	126
任务 9 三相异步电动机的正反转控制的 PLC 设计	127
拓展训练	129
习题六	129
项目七 步进指令的应用	131
7.1 状态转移图	131
7.1.1 定义	131
7.1.2 组成要素	131
7.1.3 结构	132
7.2 STL 指令的编程方法	133
7.2.1 步进顺控指令 STL、RET	133
7.2.2 初始状态编程	134
7.2.3 单序列的编程	134
7.2.4 选择性序列的编程	135
7.2.5 并行序列的编程	135
7.3 使用起、保、停电路的编程方式	137
任务 10 十字路口交通信号灯控制的 PLC 设计	139
拓展训练	143
习题七	143
项目八 FX 系列 PLC 的功能指令及应用	144
8.1 功能指令概述	144
8.1.1 功能指令格式	144
8.1.2 数据表示方法	145
8.2 FX 系列 PLC 功能指令的介绍	146
8.2.1 程序流程控制功能指令	146
8.2.2 比较与传送指令	149
8.2.3 四则逻辑运算指令	152
8.2.4 循环移位指令与移位指令	153
8.2.5 数据处理指令	154

8.2.6 高速处理指令.....	155
任务 11 三相异步电动机Y/△起动控制的 PLC 设计	157
拓展训练.....	158
习题八.....	158
项目九 PLC 应用系统设计.....	160
9.1 PLC 应用系统的设计方法	160
9.1.1 PLC 系统的规划与设计	160
9.1.2 PLC 选型与硬件系统设计	161
9.1.3 PLC 软件设计与程序调试	161
9.2 节省 I/O 点数的方法	162
9.2.1 节省输入点的方法.....	162
9.2.2 节省输出点的方法.....	164
9.3 综合实例	165
9.3.1 自动分拣系统.....	165
9.3.2 自动传送控制系统.....	169
任务 12 工业机械手的 PLC 控制系统的设计	171
拓展训练.....	175
参考文献.....	179

三相异步电动机的直接起动控制

学习目标

1. 熟悉低压开关、按钮、熔断器、交流接触器、热继电器等常用低压电器的一般结构、原理、符号和作用。
2. 熟悉安全用电常识,熟悉急救知识。
3. 通过对三相异步电动机起动控制线路的实际接线,掌握电气原理图、电气安装接线图的绘制,熟悉调试方法和常见故障的排除。

1.1 常用低压电器

1. 定义

凡是对电能的生产、输送、分配和使用起控制、调节、检测、转换及保护作用的电工器械称为电器。电器按其工作电压等级可分为高压电器和低压电器。用于交流 50 Hz 或 60 Hz 额定电压 1200 V 以下,直流额定电压 1500 V 以下的电路内起接通、断开、保护、控制或调节作用的电器称为低压电器。

低压电器是电力拖动与自动控制系统的基本组成元件,控制系统的优劣与所用的低压电器的性能有直接关系。作为电气工程技术人員,必須掌握常用低压电器的结构与工作原理,掌握其使用与维护等方面的知识和技能。

2. 分类

1) 按低压电器的用途和所控制的对象分

(1) 低压配电电器 主要用于低压配电系统中。对这类电器的要求是系统发生故障时,动作准确、工作可靠,在規定的时间,通过允許的短路电流时,其电动力和热效应不会损坏电器,如刀开关、断路器。

(2) 低压控制电器 主要用于电气传动系统中。对这类电器的要求是有相应的转换能力,操作频率高,电寿命和机械寿命长,工作可靠,如接触器、继电器、主令电器。

2) 按低压电器的动作方式分

(1) 自动切换电器 依靠电器本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的电器,如接触器、继电器。

(2) 非自动切换电器 主要依靠外力(如手控)直接操作来进行切换的电器,如按钮、低压开关。

3) 按低压电器的执行机构分

(1) 有触点电器 具有可分离的动触点和静触点,利用触点的接触和分离以实现电路的接通和断开控制,如接触器、继电器等。

(2) 无触点电器 没有可分离的触点,主要利用半导体元器件的开关效应来实现电路的通断控制,如接近开关、固态继电器等。

3. 电磁式电器

电磁式电器在低压电器中占有十分重要的地位,在电气控制系统中应用最为普遍,如接触器、自动空气开关(断路器)、电磁式继电器等。

电磁式电器主要由电磁机构和执行机构组成。电磁机构按其电源种类可分为交流和直流两种,执行机构则可分为触头系统和灭弧装置两部分。

1) 电磁机构

电磁机构由线圈、铁芯(静铁芯)和衔铁(动铁芯)等几部分组成。从常用铁芯的衔铁运动形式上看,其结构形式大致可分为拍合式和直动式两大类,如图 1-1 所示。

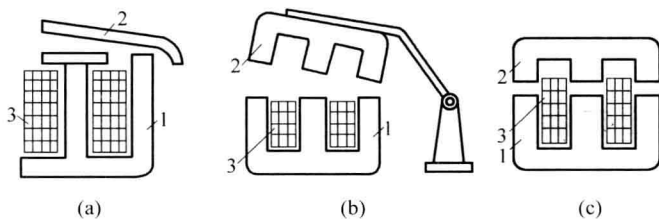


图 1-1 电磁机构几种结构形式

1—铁芯; 2—衔铁; 3—吸引线圈

当线圈中有工作电流通过时,电磁吸力克服弹簧的反作用力,使得衔铁与铁芯闭合,由连接机构带动相应的触头动作。

2) 触头系统

在工作过程中可以分开与闭合的电接触称为可分合接触,又称为触头。触头是成对的,一为动触头,一为静触头。触头有时又包含主触头、副触头(辅助触头)。

触头的作用是接通或分断电路,因此要求触头要具有良好的接触性能,电流容量较小的电器(如接触器、继电器)常采用银质材料作触头,这是因为银的氧化膜电阻率与纯银相似,可以避免表面氧化膜电阻率增加而造成接触不良。

触头的结构有桥式和指式两类。图 1-2(a)所示为两个点接触的桥式触头,图 1-2(b)为两个面接触的桥式触头,图 1-2(c)所示为指式触头。

3) 灭弧装置

触头在分断电流的瞬间,在触头间的气隙中就会产生电弧,电弧的温度很高,能将触头烧损,并可能造成其他事故,因此,应采用适当措施迅速熄灭电弧。

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。

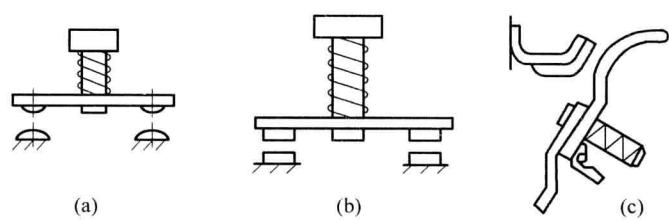


图 1-2 触头的结构形式

(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。

4. 主要参数

主要参数按 GB 2455—1985 执行。

(1) 额定工作电压 是指在规定条件下,能保证电器正常工作的电压值,通常是指触点的额定电压值。有电磁机构的控制电器还规定了电磁线圈的额定工作电压。

(2) 额定工作电流 是指根据电器的具体使用条件确定的电流值,它和额定电压、电网频率、额定工作制、使用类别、触点寿命及防护等级等因素有关,同一开关电器可以对应不同使用条件以规定不同的工作电流值。

(3) 接通能力 是指开关闭合时不会造成触点熔焊的能力。

(4) 断开能力 是指开关断开时能可靠灭弧的能力。

1.2 常用的低压控制电器

1.2.1 低压开关

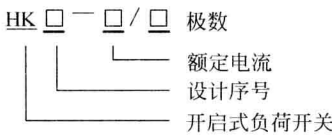
低压开关主要作隔离、转换及接通和分断电路用,多数用作机床电路的电源开关和局部照明电路的开关,有时也可用来直接控制小容量电动机的起动、停止和正反转。低压开关一般为非自动切换电器,常用的有开启式负荷开关、封闭式负荷开关、组合开关和低压断路器。

1. 开启式负荷开关

1) 结构和符号

HK 系列开启式负荷开关的结构和符号如图 1-3 所示。

2) 开启式负荷开关的型号及含义



3) 选用

(1) 用于照明和电热负载时,选用额定电压 220 V 或 250 V,额定电流不小于电路所有负载额定电流之和的两极开关。

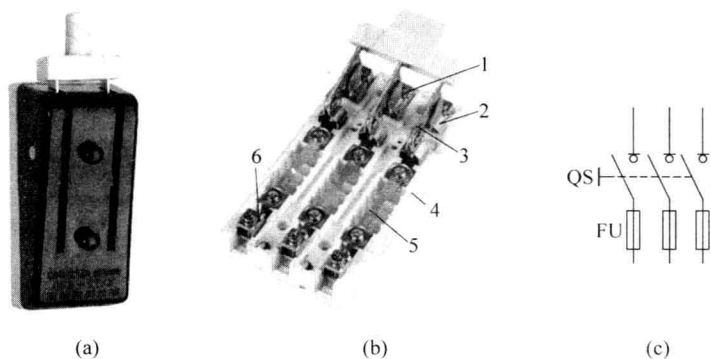


图 1-3 HK 系列开启式负荷开关

(a) 外形；(b) 结构；(c) 符号

1—进线座；2—静触头；3—动触头；4—瓷底座；5—熔体；6—出线座

(2) 用于控制电动机的直接起动和停止时,选用额定电压 380 V 或 500 V,额定电流不小于电动机额定电流 3 倍的三极开关。

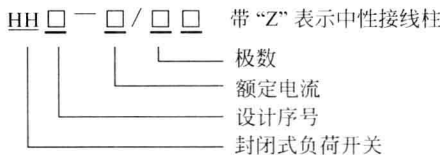
注意：HK 开启式负荷开关用于一般的照明电路和功率小于 5.5 kW 的电动机控制线路中。但这种开关没有专门的灭弧装置,其刀式动触头和静夹座易被电弧灼伤引起接触不良,因此不宜用于操作频繁的电 路。在安装时,手柄要向上,不得倒装或平装。接线时,应将电源线接在上端,负载线接在下端。

2. 封闭式负荷开关

1) 结构和符号

HH3 系列封闭式负荷开关的结构和符号如图 1-4 所示。

2) 封闭式负荷开关的型号及含义



3) 动作原理

封闭式负荷开关的操作机构具有以下两个特点：

一是采用储能分合闸方式,这种储能操作机构是一端装在外壳上,另一端扣在操作手柄转轴上的弹簧。当转动操作手柄使开关合闸或分闸时,在开始阶段,闸刀不移动,只使弹簧被拉伸,从而储存一定的能量,一旦转轴转过了一定角度,弹簧力就使动触刀迅速地插入或离开静夹座,其分合速度与手柄操作速度无关。这样一来,大大提高了开关的合闸和分闸速度,缩短了开关的通断时间,因而也提高了开关的通断能力,降低了触头系统的电气磨损,延长了开关的使用寿命。

二是设有联锁装置,保证开关在合闸状态开关盖不能开启,而当开关盖开启时又不能合

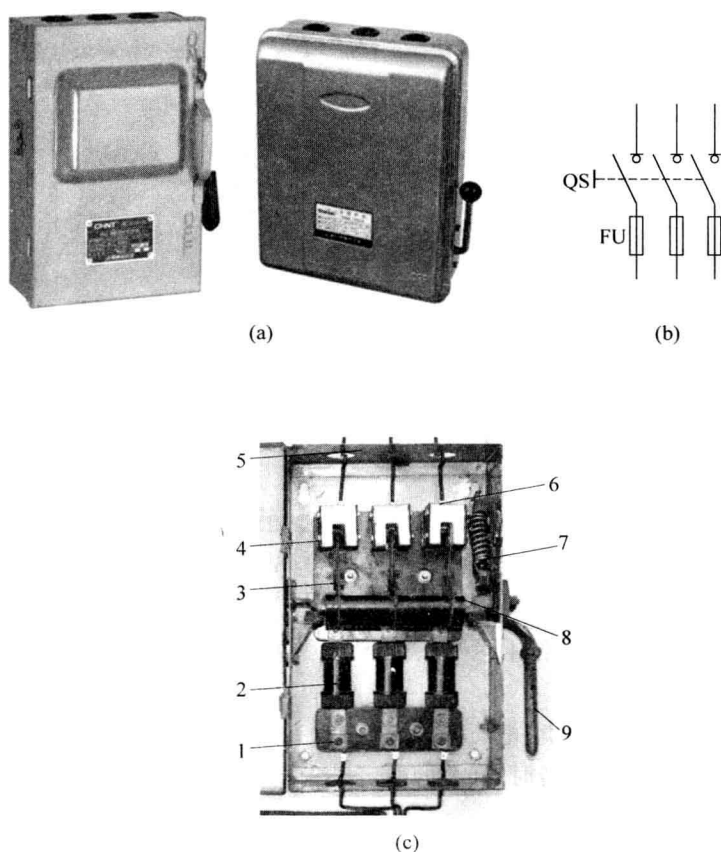


图 1-4 HH3 系列封闭式负荷开关

(a) 外形; (b) 符号; (c) 结构

1—出线孔; 2—熔断器; 3—动触刀; 4—静夹座; 5—进线孔;

6—灭弧罩; 7—速断弹簧; 8—转轴; 9—手柄

闸。联锁装置的采用,既有助于充分发挥外壳的防护作用,又保证了更换熔丝等操作的安全。

4) 选用

封闭式负荷开关的额定电压应不小于工作电路的额定电压;额定电流应等于或稍大于电路的工作电流。用于控制电动机工作时,考虑到电动机的起动电流较大,应使开关的额定电流不小于电动机额定电流的 3 倍。

3. 组合开关

1) 结构和符号

HZ10-10/3 型组合开关的结构和符号如图 1-5 所示。

组合开关由动触头(动触点)、静触头(静触点)、转轴、手柄、定位机构及外壳等部分组成。

转换开关又称组合开关,一般用于电气设备中不频繁通断电路、换接电源和负载,以及

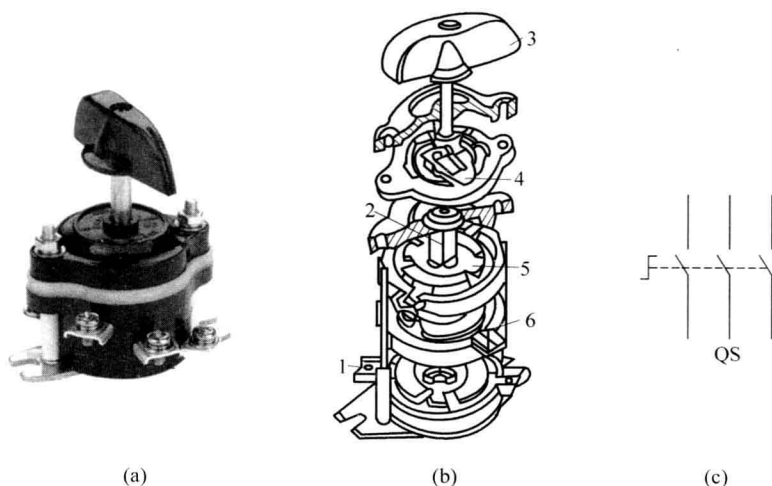


图 1-5 HZ10-10/3 型组合开关

(a) 外形; (b) 结构; (c) 符号

1—接线端; 2—绝缘方轴; 3—手柄; 4—凸轮; 5—动触头; 6—静触头

小功率电动机不频繁的起停控制。

2) 选用

组合开关应根据电源种类、电压等级、所需触头数、接线方式和负载容量进行选用。用于控制小型异步电动机的运转时,开关的额定电流一般取电动机额定电流的 1.5~2.5 倍。

1.2.2 按钮

按钮是用人力操作,具有储能(弹簧)复位的主令电器。

按钮的一般结构示意图及图形、文字符号如图 1-6 所示。

按钮的颜色有红、绿、黑、黄、蓝以及白、灰等多种,供不同场合选用。“停止”和“急停”按钮必须是红色;“起动”按钮的颜色是绿色。

1.2.3 低压熔断器

1. 结构和符号

熔断器主要由熔体、安装熔体的熔管和熔座三部分组成,如图 1-7 所示。

2. 作用

低压熔断器是低压配电系统和电力拖动系统中的保护电器。在使用时,熔断器串接在所保护的电路中,当该电路发生过载或短路故障时,通过熔断器的电流达到或超过了某一规定值,以其自身产生的热量使熔体熔断而自动切断电路,起到保护作用。电气设备的电流保护有过载延时保护和短路瞬时保护两种主要形式。

熔断器广泛用于低压配电线路和电气设备中,主要起短路保护和严重过载保护的作用。

3. 熔体的选用

(1) 对照明和电热等电流较平稳、无冲击电流的负载的短路保护,熔体的额定电流应等

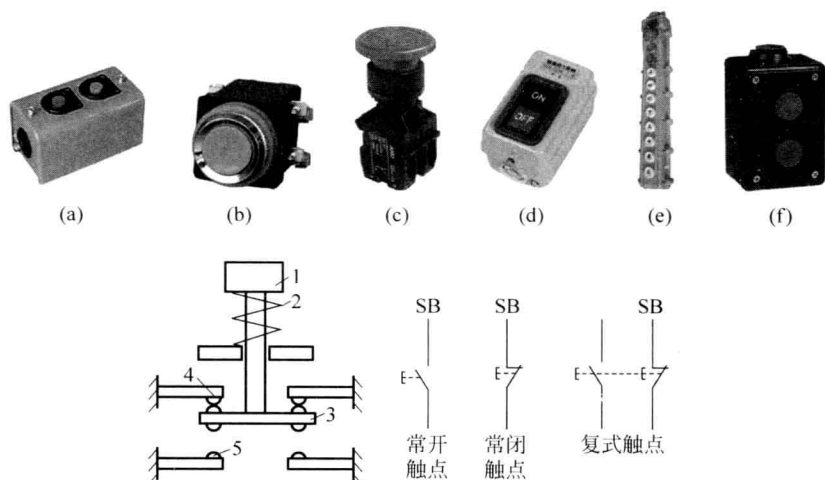


图 1-6 按钮外形、结构示意图及图形、文字符号

(a) LA10 系列; (b) LA19 系列; (c) LA13 系列; (d) BS 系列; (e) COB 系列; (f) LA4 系列

1—按钮帽; 2—复位弹簧; 3—动触点; 4—常闭静触点; 5—常开静触点

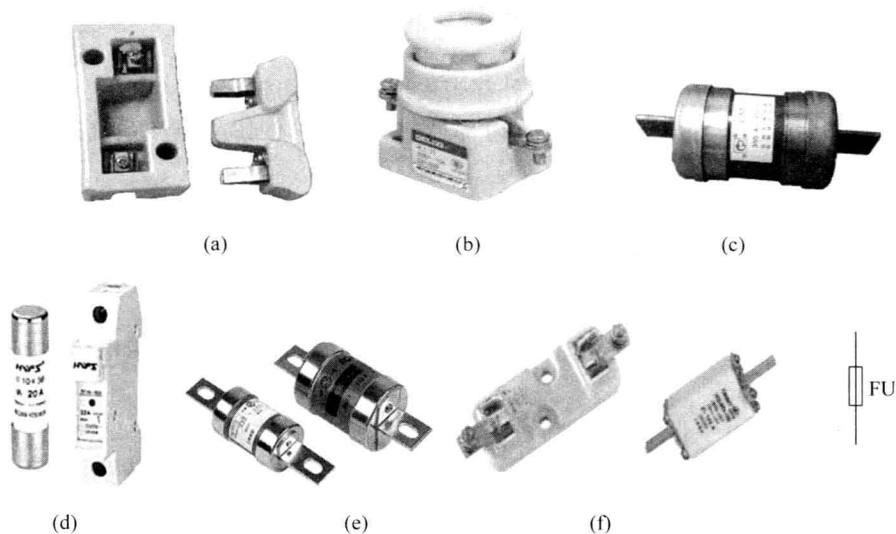


图 1-7 几种低压熔断器的外形和符号

(a) 瓷插式; (b) RL1、RLS 系列螺旋式; (c) RM10 系列无填料封闭管式; (d) RT18 系列圆筒帽形;

(e) RT15 系列螺栓连接; (f) RT0 系列有填料封闭管式

于或稍大于负载的额定电流。

(2) 对一台不经常起动且起动时间不长的电动机的短路保护, 熔体的额定电流 I_{RN} 应大于或等于电动机额定电流 I_N 的 1.5~2.5 倍, 即

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N$$

(3) 对一台起动频繁且连续运行的电动机的短路保护, 熔体的额定电流 I_{RN} 应大于或等于电动机额定电流 I_N 的 3~3.5 倍, 即