



电气控制 与 PLC 项目式教程

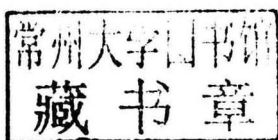
● 主编 李新卫 王益军

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电气控制与 PLC 项目式教程

主 编 李新卫 王益军

副主编 石 钰



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 项目式教程 / 李新卫, 王益军主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2018.1
ISBN 978-7-5682-5131-0

I. ①电… II. ①李… ②王… III. ①电气控制-高等学校-教材②PLC 技术-高等学校-教材 IV. ①TM921.5②TM571.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 000454 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 16.5

字 数 / 387 千字

版 次 / 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 64.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 黄拾三

责任印制 / 李 洋

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

可编程控制器是适应现代工业控制的多功能控制器，近年来在工业自动控制、机电一体化系统、改造传统产业等方面得到了广泛的应用。“电气控制与 PLC”是高等院校自动化类专业开设的一门专业核心课程。该课程将继电器-接触器控制、PLC、变频器及触摸屏融合到一起，与生产实际紧密结合，是培养高等院校学生机电工程实践能力和创新能力的一门重要课程。

本书紧扣维修电工（中级）、可编程序系统设计师（四级）和中小企业对生产设备维修保养工作岗位的要求，联合企业工程师，精选企业典型工作过程，将继电器-接触器控制、PLC 基本指令、PLC 步进梯形图指令、PLC 功能指令等内容有机结合起来，设计了 5 个工作项目，22 个典型工作任务，如下表所示，使学生熟悉传统继电器-接触器控制电路，掌握利用 PLC 进行一般控制系统设计和改造的技能，成为企业所需要的技术技能型人才。

序号	项目	工作任务	建议学时
一	电动机基本电气控制电路的设计与安装	任务一 电动机点动与自锁控制电路的分析与安装	6
		任务二 电动机正反转启动电路的分析与安装	4
		任务三 笼型异步电动机Y-Δ启动控制电路的分析与安装	4
		任务四 异步电动机制动电路的分析与安装	4
		任务五 异步电动机行程控制电路的分析与安装	4
二	PLC 基本指令应用	任务一 认识 PLC	6
		任务二 电动机自锁电路 PLC 控制	6
		任务三 电动机正反转 PLC 控制	4
		任务四 三相异步电动机Y-Δ降压启动 PLC 控制	4
		任务五 电动机带动传送带的 PLC 控制	4
		任务六 电动机单按钮启停 PLC 控制	2
三	PLC 步进梯形图指令编程与应用	任务一 凸轮旋转工作台的 PLC 控制	6
		任务二 工件自动分拣系统 PLC 控制	4
		任务三 组合钻床的 PLC 控制	4
四	PLC 功能指令编程与应用	任务一 用 PLC 功能指令实现电动机Y-Δ降压启动	4
		任务二 五站运料小车运行方向 PLC 控制	4
		任务三 反应釜压力实时报警系统 PLC 控制	6
		任务四 小型轧钢机 PLC 控制	6
		任务五 机械手传送工件的 PLC 控制	6
五	PLC 综合系统设计	任务一 三台 PLC 数据通信	6
		任务二 自动线输送带多段速运行 PLC 系统设计	8
		任务三 基于触摸屏的自动送料装置系统设计	8

本书力求简明扼要，突出重点。归纳起来，本书具有以下特点。

(1) 校企合作开发课程项目，以典型机械产品的控制系统为载体规划教学内容。在教材结构的组织方面，以企业项目构建教学体系，以典型工作任务为教学主线，将知识点和技能训练融于各个任务中，将知识点做了较为精密的整合，由浅入深、循序渐进，强调实用性、可操作性和可选择性。

(2) 本书将电气控制基础、PLC、变频器和触摸屏等现代电气控制的内容整合在一起，包括 5 个教学项目，22 个典型工作任务，从电气控制的基础知识到 PLC 基本指令、步进梯形图指令、功能指令最终到 PLC 综合系统应用，整个教学内容注重实用、理论联系实际，便于开展理实一体化教学。

(3) 本书配备有全方位立体化的教学资源。本门课程为山东省精品课程和山东省优质资源共享课立项课程，读者随时可以登录相应网站获取教材、电子教案、授课视频等教学资源进行自主学习，还可以登录学习平台与教师进行互动交流。

本书由李新卫、王益军担任主编，虽然本书作为校本教材已经试用多年，但由于编写时间仓促，加之水平有限，难免有不当之处，恳请有关专家、广大读者及同行们批评指正，以便改进。同时，对本书所有引用的参考文献的作者深表感谢。

编 者

目 录

项目一 电动机基本电气控制电路的设计与安装	1
任务一 电动机点动与自锁控制电路的分析与安装	1
一、任务描述	1
二、背景知识	2
三、任务实施	12
四、知识进阶	16
五、技能强化——点动与自锁混合控制电路	17
六、思考与练习	18
任务二 电动机正反转启动电路的分析与安装	18
一、任务描述	18
二、背景知识	19
三、任务实施	22
四、知识进阶——电气线路故障检修步骤	22
五、思考与练习	25
任务三 笼型异步电动机Y- Δ 启动控制电路的安装与调试	25
一、任务描述	25
二、背景知识	26
三、任务实施	31
四、知识进阶	31
五、思考与练习	32
任务四 异步电动机制动电路的分析与安装	33
一、任务描述	33
二、背景知识	33
三、任务实施	36
四、知识进阶——制动电磁铁	38
五、思考与练习	39
任务五 异步电动机行程控制电路的分析与安装	40
一、任务描述	40
二、背景知识	40
三、任务实施	43
四、知识进阶——接近开关	43
五、技能强化——电动机自动往返循环控制	44

六、思考与练习	45
项目二 PLC 基本指令应用	46
任务一 认识 PLC	46
一、任务描述	46
二、背景知识	47
三、任务实施——认识 FX _{3U} 系列 PLC	52
四、知识进阶——PLC 编程语言	57
五、思考与练习	59
任务二 电动机自锁电路 PLC 控制	59
一、任务描述	59
二、背景知识	60
三、任务实施	68
四、知识进阶	70
五、技能强化——电动机两地控制 PLC 程序设计	71
六、思考与练习	72
任务三 电动机正反转 PLC 控制	73
一、任务描述	73
二、背景知识	73
三、任务实施	76
四、知识进阶	78
五、技能强化——工作台自动往返 PLC 控制	80
六、思考与练习	81
任务四 三相异步电动机 Y- Δ 降压启动 PLC 控制	82
一、任务描述	82
二、背景知识	83
三、任务实施	87
四、知识进阶——用定时器实现的指示灯闪烁电路	91
五、技能强化——三台电动机顺序启动 PLC 程序设计	91
六、思考与练习	92
任务五 电动机带动传送带的 PLC 控制	93
一、任务描述	93
二、背景知识	93
三、任务实施	96
四、知识进阶	98
五、技能强化——会议大厅入口人数统计报警控制程序设计	99
六、思考与练习	100
任务六 电动机单按钮启停 PLC 控制	101
一、任务描述	101
二、背景知识	101

三、任务实施	102
四、知识进阶	104
五、技能强化——洗手间的冲水清洗控制	107
六、思考与练习	108
项目三 PLC 步进梯形图指令编程与应用	109
任务一 凸轮旋转工作台的 PLC 控制	109
一、任务描述	109
二、背景知识	110
三、任务实施	120
四、知识进阶——复杂转移条件的程序处理	122
五、技能强化——流水灯的顺序控制	123
六、思考与练习	124
任务二 工件自动分拣系统 PLC 控制	125
一、任务描述	125
二、背景知识	125
三、任务实施	128
四、知识进阶——由“启-保-停”电路实现顺序功能图与梯形图之间的转换	130
五、思考与练习	131
任务三 组合钻床的 PLC 控制	131
一、任务描述	131
二、背景知识	132
三、任务实施	135
四、知识进阶——组合流程和虚拟状态	137
五、技能强化——按钮式人行横道交通灯控制程序设计	138
六、思考与练习	139
项目四 PLC 功能指令编程与应用	141
任务一 用 PLC 功能指令实现电动机 Y- Δ 降压启动	141
一、任务描述	141
二、背景知识	141
三、任务实施	144
四、知识进阶	146
五、技能强化——利用功能指令实现喷泉控制	148
六、思考与练习	149
任务二 五站运料小车运行方向 PLC 控制	150
一、任务描述	150
二、背景知识	150
三、任务实施	153
四、知识进阶——交换指令	155
五、技能强化——传送带工件数量统计 PLC 程序设计	156

六、思考与练习	157
任务三 反应釜压力实时报警系统 PLC 控制	157
一、任务描述	157
二、背景知识	158
三、任务实施	168
四、知识进阶	170
五、技能强化——停车场车位数量 PLC 控制	171
六、思考与练习	172
任务四 小型轧钢机 PLC 控制	172
一、任务描述	172
二、背景知识	173
三、任务实施	177
四、知识进阶	179
五、思考与练习	181
任务五 机械手传送工件的 PLC 控制	181
一、任务描述	181
二、背景知识	182
三、任务实施	186
四、知识进阶	190
五、技能强化——用位移指令编写 4 台电动机顺序启动控制程序	191
六、思考与练习	192
项目五 PLC 综合系统设计	193
任务一 三台 PLC 数据通信	193
一、任务描述	193
二、背景知识	194
三、任务实施	199
四、知识进阶——如何提高 PLC 控制系统的可靠性	202
五、思考与练习	204
任务二 自动线传送带多段速运行 PLC 系统设计	204
一、任务描述	204
二、背景知识	205
三、任务实施	214
四、知识进阶——如何减少 PLC 输入/输出点数	218
五、技能强化——用模拟量输出模块来控制电动机运行频率	219
六、思考与练习	221
任务三 基于触摸屏的自动送料装置系统设计	222
一、任务描述	222
二、背景知识	223
三、任务实施	233

四、知识进阶——PLC 控制系统的日常维护	236
五、思考与练习	238
附录	240
附录一 三菱 FX _{3U} 系列 PLC 软继电器	240
附录二 三菱 FX _{3U} 系列 PLC 基本指令	242
附录三 三菱 FX _{3U} 系列 PLC 功能指令	244
参考文献	252

项目一 电动机基本电气控制电路的设计与安装

本项目主要介绍常用低压电器的结构、工作原理、性能指标和选用原则，几种常见的基本电气控制电路和三相异步电动机控制电路。重点介绍如何应用继电器—接触器来控制普通三相异步电动机的启动、停止、连续运行、正反转、降压启动、电气制动等控制电路。并结合当前电气控制技术的发展，介绍了软启动器等现代低压电气元件及其应用。

知识目标

- (1) 知道常用低压电器的结构、工作原理、型号规格、使用方法及其在控制电路中的作用。
- (2) 知道三相异步电动机启动、制动和正反转运行等控制电路的分析方法。
- (3) 学会常用电动机控制电路的工作原理和安装调试方法。

能力目标

- (1) 能根据控制要求，选择合适型号的低压电器。
- (2) 能根据控制要求，绘制典型电动机控制电路原理图，并能按照电气原理图进行装配。
- (3) 能读懂电气控制图纸，掌握常用电气控制电路的安装、调试和维修方法。

任务一 电动机点动与自锁控制电路的分析与安装

一、任务描述

异步电动机主要用作动力源，去拖动各种生产机械。和其他电动机比较，它具有结构简单、制造容易、价格低廉、运行可靠、维护方便、效率较高等一系列优点。异步电动机的缺点是不能经济地在较大范围内平滑调速，以及必须从电网吸收滞后的无功功率，使电网功率因数降低。异步电动机应用极为广泛。例如，在工业方面，各种金属切削机床、轻工机械、矿山机械、通风机、压缩机等；在农业方面，如水泵、脱粒机、粉碎机及其他农副产品加工机械等都是用异步电动机来拖动的。此外，与人们日常生活密切相关的电扇、洗衣机等设备中都使用了异步电动机。

电动机的单向点动控制线路常用于电动葫芦的操作、地面操作的小型车及某些机床辅助运动的电气控制。通过这种简单的电气控制线路的学习，可以熟悉安装控制线路的基本步骤。自锁控制线路常用于只需要单方向运转的小功率电动机的控制，如小型通风机、水泵及皮带



扫一扫，
查看教学课件

运输机等机械设备。本任务是设计、安装并调试异步电动机单向启动控制线路。

二、背景知识


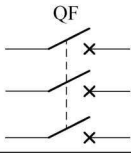
凡是能自动或手动接通和断开电路，以及对电路或非电路现象能进行切换、控制、保护、检测、变换和调节的元器件统称为电器。按工作电压高低，可分为高压电器和低压电器两大类。高压电器是指额定电压 3 kV 及以上的电器；低压电器是指交流电压 1 000 V 或直流电压 1 200 V 以下的电器。低压电器是电力拖动自动控制系统的基本组成元件。

电动机控制线路是由各种低压电器按照一定的控制要求连接而成的。在本次学习任务中，我们将用到低压断路器、交流接触器、按钮、熔断器等低压电器。下面首先认识一下这些电器。

（一）低压断路器

低压断路器又叫自动空气开关或自动空气断路器，简称断路器。它是低压配电网和电力拖动系统中常用的一种配电电器。低压断路器按结构形式可分为塑壳式（又称装置式）、框架式（又称万能式）、限流式、直流快速式、灭磁式（用于励磁回路，作为灭磁和过压保护用）、真空式和漏电保护式等几类。常用低压断路器的外观、功能及特点如表 1-1 所示。

表 1-1 常用低压断路器的外观、功能及特点

外观	
电气符号	
功能	集控制和多种保护功能于一体，在正常情况下可用于不频繁地接通和断开电路以及控制电动机的运行。当电路发生短路、过载和失压等故障时，能自动切断故障电路，保护供电线路和电气设备
特点	低压断路器具有操作安全、安装使用方便、工作可靠、动作值可调、分断能力较高、兼顾多种保护、动作后不需要更换元件等优点，因此得到广泛应用

在电力拖动系统中常用的低压断路器是 DZ 系列塑壳式断路器，下面以 DZ5-20 型断路器为例介绍低压断路器。

1. 低压断路器的型号及含义

低压断路器的型号及含义如图 1-1 所示。

2. 低压断路器的结构与工作原理

DZ5-20 型断路器由动触头、静触头、灭弧装置、操作机构、热脱扣器、电磁脱扣器、

外壳等部分组成。

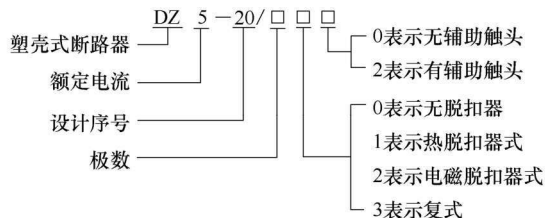


图 1-1 低压断路器的型号及含义

断路器的工作原理示意图如图 1-2 所示。使用时断路器的三副主触头串联在被控制的三相电路中，按下接通按钮时，外力使锁扣克服反作用弹簧的反力，将固定在锁扣上面的动触头与静触头闭合，并由锁扣锁住搭钩使动、静触头保持闭合，开关处于接通状态。

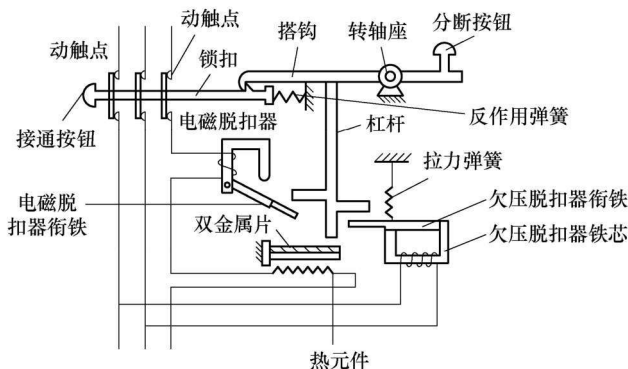


图 1-2 断路器的工作原理示意图

当电路发生过载时，过载电流流过热元件产生一定的热量，使双金属片受热向上弯曲，通过杠杆推动搭钩与锁扣脱开，在反作用弹簧的推动下，动、静触头分开，从而切断电路，使用电设备不致因过载而烧毁。

当电路发生短路时，短路电流超过电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流，电磁脱扣器产生足够大的吸力将衔铁吸合，通过杠杆推动搭钩与锁扣脱开，从而切断电路，实现短路保护。

想一想：根据断路器工作原理示意图和电磁脱扣器动作过程，分析欠压脱扣器的动作过程。需手动分断电路时，按下分断按钮即可。

（二）交流接触器

接触器是一种自动的电磁式开关，是电力拖动自动控制线路中使用最广泛的电气元件。因它不具有短路保护功能，常与熔断器、热继电器等保护电器配合使用。接触器的外观与结构、电气符号、功能及特点如表 1-2 所示。

接触器按主触头通过的电流种类，分为交流接触器和直流接触器两种。本任务中介绍交流接触器。交流接触器的种类很多，目前常用的有我国自行设计生产的 CJ0、CJ10、CJ20、CJX1、CJX2、CJX4、CJX8、CJT1、CJK1 和 CJW1 等系列，以及从国外引进先进技术生产的 B、SK、LC1-D、3TB、3TF 等系列。下面以 CJ10 系列为例介绍交流接触器。

表 1-2 接触器的外观与结构、电气符号、功能及特点

<p>外观与结构</p>	
<p>电气符号</p>	
<p>功能</p>	<p>远距离频繁地接通或断开交直流主电路及大容量控制电路。其主要控制对象是电动机，也可用于控制其他负载，如电热设备、电焊机以及电容器组等</p>
<p>特点</p>	<p>具有控制容量大、工作可靠、操作频率高、使用寿命长等优点，在电力拖动系统中得到了广泛应用</p>

1. 交流接触器的型号及含义

交流接触器的型号及含义如图 1-3 所示。

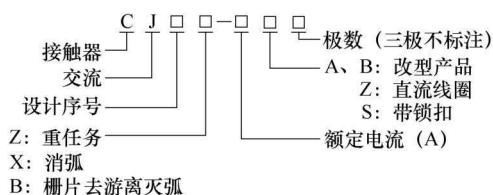


图 1-3 交流接触器的型号及含义

2. 交流接触器的结构与工作原理

交流接触器的结构及各部分作用如表 1-3 所示。

表 1-3 交流接触器的结构及各部分作用

结构	各部分组成/类型	图例	各部分作用
电磁系统	1—铁芯（静铁芯） 2—线圈 3—衔铁（动铁芯）		利用电磁线圈的通电或断电，使衔铁和铁芯吸合或释放，从而带动动触头与静触头闭合或分断，实现接通或断开电路的目的
触头系统	主触头 辅助触头（常开触头、常闭触头）		主触头用于通断电流较大的主电路，一般由三对接触面积较大的常开触头组成。辅助触头用于通断电流较小的控制电路，一般由两对常开触头和两对常闭触头组成
灭弧装置	双断口电动力灭弧		交流接触器在断开大电流或高电压电路时，在动、静触头之间会产生很强的电弧。电弧是触头间气体在强电场作用下产生的放电现象，电弧的产生，一方面会灼伤触头，减少触头的使用寿命；另一方面会使线路切断时间延长，甚至造成弧光短路或引起火灾事故。因此希望触头间的电弧能尽快熄灭
	纵缝灭弧		
	栅片灭弧 1—灭弧片 2—触头 3—电弧		
辅助部件	反作用弹簧 缓冲弹簧 触头压力弹簧 传动机构	<p>反作用弹簧安装在动铁芯和线圈之间，在线圈断电后，推动衔铁释放，使各触头恢复原状态。</p> <p>缓冲弹簧安装在静铁芯与线圈之间，其作用是缓冲衔铁在吸合时对静铁芯和外壳的冲击力，保护铁芯和外壳。</p> <p>触头压力弹簧安装在动触头上面，其作用是增加动、静触头间的压力，从而增大接触面积，减少接触电阻，防止触头过热灼伤。</p> <p>传动机构的作用是在衔铁或反作用弹簧的作用下，带动动触头实现与静触头的接通或分断</p>	

交流接触器的工作原理：当接触器的线圈通电后，线圈中流过的电流产生磁场，磁通穿过铁芯和衔铁构成闭合回路，将铁芯和衔铁磁化，在铁芯和衔铁相对的端面上产生异性磁极，当相互吸引的电磁力大于反作用弹簧的作用力时，衔铁吸合，通过传动机构带动辅助常闭触头断开，三对主触头和辅助常开触头闭合。当接触器线圈断电或电压显著下降时，由于电磁吸力消失或过小，衔铁在反作用弹簧的作用下复位，带动各触头恢复到原始状态。交流接触器工作原理示意图如图 1-4 所示。

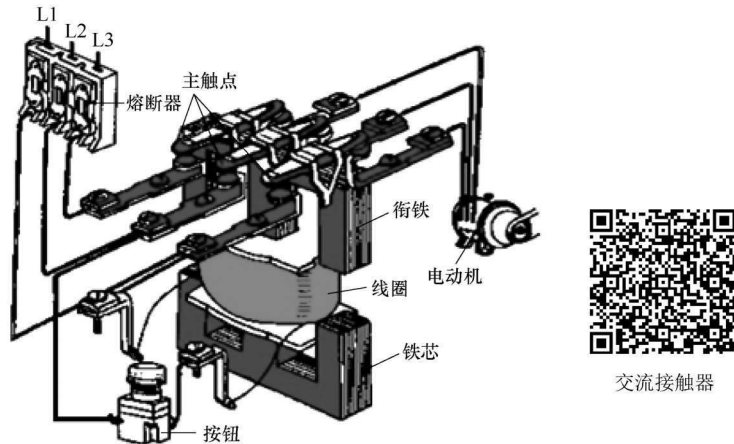


图 1-4 交流接触器工作原理示意图

3. 交流接触器的选用

电气控制系统中，交流接触器可按下列方法选用。

1) 选择接触器主触头的额定电压

接触器主触头的额定电压应大于或等于控制线路的额定电压。

2) 选择接触器主触头的额定电流

接触器控制电阻性负载时，主触头的额定电流应等于负载的额定电流。控制电动机时，主触头的额定电流应大于或稍大于电动机的额定电流。或按下列经验公式计算（仅适用于 CJ0、CJ10 系列）：

$$I_C = \frac{P_N \times 10^3}{K U_N}$$

式中 K ——经验系数，一般取 1~1.4；

P_N ——被控制电动机的额定功率（kW）；

U_N ——被控制电动机的额定电压（V）；

I_C ——接触器主触头电流（A）。

如果接触器使用在频繁启动、制动及正反转的场合，应选用主触头额定电流大一个等级的接触器。

3) 选择接触器吸引线圈的电压

当控制线路简单，使用电器较少时，为节省变压器，可直接选用 220 V 或 380 V；线路复杂，使用电器超过 5 个时，从人身和设备安全考虑，线圈电压要选低一些，可用 36 V 或

110 V 电压的线圈。

4) 选择接触器的触头数量及类型

接触器的触头数量、类型应满足控制线路的要求。

(三) 按钮

按钮是由人体某一部分（一般为手指或手掌）所施加力来操作，并具有储能（弹簧）复位功能的一种控制开关。按钮的外观及功能如表 1-4 所示。

表 1-4 按钮的外观及功能

外观	
功能	按钮的触头允许通过的电流较小，一般不超过 5 A，因此一般情况下它不直接控制主电路的通断，而是在控制电路中发出指令或信号去控制接触器、继电器等电器，再由它们去控制主电路的通断、功能转换或连锁

想一想：你见过的按钮有哪几种颜色？查找资料，看看每种颜色都代表什么含义？

1. 按钮的型号及含义

按钮的型号及含义如图 1-5 所示。

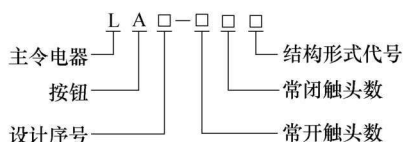


图 1-5 按钮的型号及含义

其中结构形式代号的含义为：

- K—开启式，适用于嵌装在操作面板上；
- H—保护式，带保护外壳，可防止内部零件受机械损伤或人偶然触及带电部分；
- S—防水式，具有密封外壳，可防止雨水侵入；
- F—防腐式，能防止腐蚀性气体进入；
- J—紧急式，带有红色大蘑菇钮头（突出在外），作紧急切断电源用；
- X—旋钮式，用旋钮旋转进行操作，有通和断两个位置；
- Y—钥匙操作式，用钥匙插入进行操作，可防止误操作或供专人操作；
- D—光标按钮，按钮内装有信号灯，兼作信号指示；
- M—蘑菇头式；
- ZS—自锁式。

2. 按钮的结构及分类

按钮的结构及分类如表 1-5 所示。