



21世纪应用型本科院校规划教材
“十三五”江苏省高等学校重点教材

电气控制技术与PLC

■主 编 倪 伟 刘 斌 侯志伟
■副主编 张 敏 金德飞 王文杰 殷永华



 南京大学出版社



21世纪应用型本科院校规划教材
“十三五”江苏省高等学校重点教材
教材编号2016-2-100

电气控制技术与PLC

■主 编 倪 伟 刘 斌 侯志伟
■副主编 张 敏 金德飞 王文杰 殷永华



扫码加入读者圈
轻松掌握重难点

 南京大学出版社

内容简介

本书将传统继电接触控制技术与可编程控制器、触摸屏技术相结合,在简单介绍常规电气控制元件与技术的基础上,以 SIEMENS S7300 PLC 为对象,系统介绍了 S7300 PLC 的结构、工作原理、指令系统与编程方法,WinCC Flexible 组态技术,以及模拟量模块、PID 模块、高速计数模块、轴定位模块、触摸屏的应用,并从工程应用角度出发,配以项目案例、插图,分析与讲解 PLC 控制系统的设计与实现,图文并茂,实用性强,便于读者阅读与学习。

本书可作为高等学校和职业院校电气自动化、自动化、机电一体化等自动化类专业教学用书,亦可作为从事自动化技术工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术与 PLC / 倪伟, 刘斌, 侯志伟主编. —
南京: 南京大学出版社, 2017. 6

21 世纪应用型本科院校规划教材

ISBN 978-7-305-19670-6

I. ①电… II. ①倪… ②刘… ③侯… III. ①电气控制—高等学校—教材 ②PLC 技术—高等学校—教材
IV. ①TM921.5 ②TM571.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 303866 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

出 版 人 金鑫荣

丛 书 名 21 世纪应用型本科院校规划教材

书 名 电气控制技术与 PLC

主 编 倪 伟 刘 斌 侯志伟

责任编辑 吴 华 编辑热线 025-83596997

照 排 南京理工大学资产经营有限公司

印 刷 南京人文印务有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 29 字数 706 千

版 次 2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

印 数 1~3000

ISBN 978-7-305-19670-6

定 价 69.80 元

网 址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

微信服务号: njyuyexue

销售咨询热线: (025)83594756



扫一扫教师
可免费申请教学资源

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

本书针对应用型本科教学特点,以知识内容为主,以电子媒体为辅,以工程案例为背景,融入 PLC 技术的最新发展成果,是 21 世纪应用型本科院校规划教材。

以继电器接触控制为主的电气控制技术是传统机电设备主要的控制方式,随着计算机技术的成熟和生产过程的日益复杂,PLC 技术得到了迅速发展,逐步取代电气控制技术,广泛应用于机械、冶金、化工、石化、食品、制药等各领域,并与机器人技术、CAD/CAM 技术一起成为现代工业自动化的三大支柱。由于 PLC 技术是在继电器接触控制技术的基础上发展起来的,学习继电器接触控制技术对学习 PLC 技术具有支撑与促进作用。因此,本书首先介绍以继电器接触控制为主的电气控制技术,并在此基础上重点介绍 PLC 及触摸屏应用技术。

本书以目前主流机型西门子 S7—300 系列 PLC 为背景,首次将继电器接触控制系统、PLC 系统、触摸屏系统三者有机结合,以关键知识点为主线,以微视频、FLASH、操作演示等为辅,以工程案例为背景,构建电子资源库、手机客户端、教材相结合的立体化教材,彰显了工程应用特色,实现与行业企业职业需求的“无缝对接”。同时从应用视角将 S7300—PID、高速计数器、轴定位以及触摸屏系统知识融入教材,既体现了应用的层次性、系统性,又确保了控制系统设计的完整性。

本书分为上篇电气控制技术、下篇 PLC 两个部分,共 10 章,由淮阴工学院自动化学院倪伟教授组织编写,倪伟、刘斌、侯志伟任主编。其中,金德飞、殷永华编写上篇第 1 章、下篇第 4 章、第 7 章,刘斌、侯志伟编写上篇第 2 章、下篇第 1 章、第 2 章,张敏、王文杰编写上篇第 3 章、下篇第 3 章,倪伟编写下篇第 5 章、第 6 章。全书由倪伟教授统稿,由南京航空航天大学周波教授审定。

限于编者的水平,书中疏漏与不妥之处在所难免,敬请专家、同仁、读者批评指正。书中内容的编写参考了有关教材和文献,在此一并表示感谢!

编 者

目 录



扫码加入读者圈

轻松解决重难点

上篇 电气控制技术

第1章 常用低压电器	3
1.1 概述	3
1.2 开关电器	8
1.3 主令电器	11
1.4 熔断器	15
1.5 接触器	18
1.6 继电器	21
习题与思考题	27
第2章 电气控制的基本环节	28
2.1 电气图概述	28
2.2 三相笼型异步电动机的点动与连续控制	32
2.3 三相笼型异步电动机的正反转控制	35
2.4 三相笼型异步电动机的降压起动控制	37
2.5 三相绕线式异步电动机的起动控制	40
2.6 三相异步电动机的制动控制	43
2.7 三相异步电动机的调速控制	47
2.8 三相异步电动机的多点控制和顺序控制	49
2.9 电气控制系统的保护环节	50
习题与思考题	52
第3章 典型生产机械电气控制线路	54
3.1 电气控制线路分析基础	54
3.2 C650 型普通车床电气控制线路分析	55
3.3 M1720 平面磨床电气控制线路分析	60
3.4 T68 型卧式镗床电气控制线路分析	64
3.5 X62W 型卧式万能铣床电气控制线路分析	68
3.6 起重机电气控制线路分析	75
习题与思考题	82

下 篇 PLC

第 1 章 可编程控制器的基本知识	85
1.1 可编程控制器的产生与定义	85
1.2 可编程控制器的结构	86
1.3 可编程控制器的分类与功能	94
1.4 可编程控制器的工作原理	96
1.5 可编程控制器的软件及编程语言	99
习题与思考题	104
第 2 章 S7-300 系列 PLC 的硬件系统	105
2.1 S7-300 PLC 简介	105
2.2 S7-300 CPU 模块	106
2.3 S7-300 信号模块(SM)	108
2.4 S7-300 功能模块(FM)	117
2.5 S7-300 接口模块与电源模块	123
2.6 S7-300 通信处理器模块(CP)	124
2.7 S7-300 编程元件	124
2.8 S7-300 硬件组态	126
习题与思考题	129
第 3 章 S7-300 指令系统	131
3.1 STEP 7 的数据类型及指令结构	131
3.2 位逻辑指令	142
3.3 数据传送与转换指令	167
3.4 运算指令	174
3.5 移位指令	183
3.6 控制指令	185
3.7 S7-300 的标准系统功能模块简介	191
习题与思考题	193
第 4 章 S7-300 的组织块及中断处理	196
4.1 组织块概述	196
4.2 循环执行组织块	198
4.3 定期执行组织块和中断处理	199
4.4 事件驱动组织块和中断处理	204

4.5 启动组织块和中断处理	219
4.6 背景组织块	220
习题与思考题	221
第5章 特殊功能组件的应用	222
5.1 模拟量输入/输出	222
5.2 PID 控制	230
5.3 高速计数器	247
5.4 轴定位功能	266
习题与思考题	303
第6章 HMI 与 WinCC Flexible	304
6.1 HMI 与 WinCC Flexible 概述	304
6.2 WinCC Flexible 编程环境	307
6.3 变量	310
6.4 报警	324
6.5 配方	330
6.6 数据记录与趋势视图	337
6.7 用户	344
6.8 脚本编辑器	347
6.9 画面组态编辑器	360
6.10 项目仿真与传送	378
习题与思考题	384
第7章 可编程控制器应用系统的设计	386
7.1 可编程控制器控制系统总体设计	386
7.2 STEP 7 的结构化程序设计	392
7.3 程序设计实例	404
7.4 模拟仿真软件 PLCSIM 简介	447
习题与思考题	454
参考文献	456

上 篇

电气控制技术

第 1 章 常用低压电器

传统的继电器-接触器控制技术是近代电气控制的基础,并且仍被广泛应用,即使是采用各种可编程控制器,一些检测与执行电器也被大量使用。本章从应用方面介绍常用低压电器的结构、工作原理、用途、主要参数与选用方法。

1.1 概 述

电器是一种电气设备,它可根据外界指令自动或手动地接通和断开电路,断续或连续地改变电路参数,实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节。

1.1.1 电器的分类

1. 按电压等级分

高压电器和低压电器,低压电器通常是指在交流额定电压 1200V、直流额定电压 1500V 及以下的电器产品。

2. 按用途分

- 控制电器 用于控制电路中逻辑控制用电器。如接触器、继电器等。
- 保护电器 用于保护电路、电气及用电设备的电器。如熔断器、热继电器等。
- 主令电器 用于控制系统中发送控制指令的电器。如主令控制器、控制按钮、转换开关等。

- 执行电器 用于完成某种动作的电器。如电磁阀、电磁离合器等。

3. 按动作方式分

- 手动电器 电器的动作由操作人员手工控制。如控制按钮、转换开关、主令控制器等。
- 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。如根据电压电流变化而动作的电磁式电器、由运动物体撞击触碰而动作的行程开关、根据转速变化的速度继电器等。

4. 按动作原理分

- 电磁式电器 根据电磁感应原理而动作的电器,如交直流接触器、电磁阀、各类电磁式继电器。
- 非电量控制电器 根据外力或其他非电物理量的变化而动作的电器。如由运动物体触碰、撞击而动作的行程开关,由操作员手工控制动作的控制按钮,由根据热量温度而动作的热继电器等。

1.1.2 表示方法

低压电器产品包括以下 12 大类:刀开关和刀形转换开关、熔断器、断路器、控制器、接触器、起动器、继电器、主令电器、电阻器及变阻器、调整器、电磁铁、其他低压电器(触电保护器、信号灯与接线盒等)。

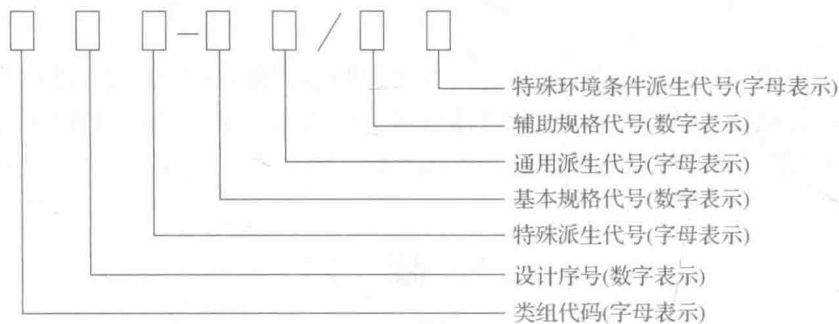


图 1-1 低压电器表示方法

1.1.3 电磁式电器

电磁式电器指的是根据电压电流的变化由电磁力驱动而动作的电器。电磁式电器一般可分为电磁机构(感测机构)和触头机构(执行机构)两部分。

1. 电磁机构

(1) 结构与工作原理

如图 1-2 所示,电磁机构包括电磁线圈 3 和铁芯,铁芯由静铁芯 2 和动铁芯 1(即衔铁)组成。静铁芯固定,线圈不通电时在反作用力弹簧的作用下,衔铁离开铁芯形成气隙;当线圈施加足够的电压或电流后,形成的电磁力吸合衔铁,驱动与之相连的触头机构动作,从而改变电路的连接状态。

- ① 图 1-2(a)为沿棱角转动的拍合式铁芯,主要应用于直流电磁机构。
- ② 图 1-2(b)为沿轴转动的拍合式铁芯,多用于触点容量较大的交流电磁机构。
- ③ 图 1-2(c)为双 E 形直动式铁芯,多用于交流接触器、继电器中。

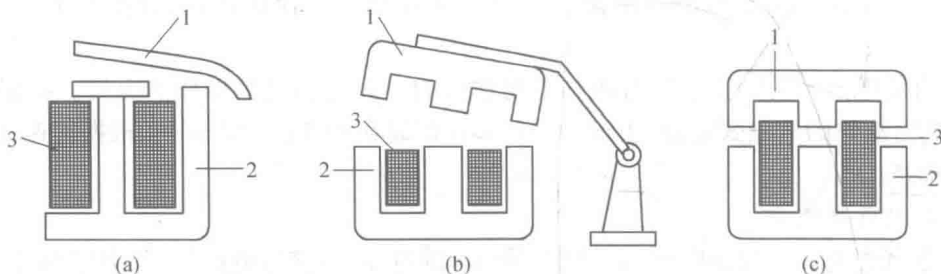


图 1-2 常用磁路结构

电磁式电器分为直流与交流两大类。直流电磁铁因为线圈通电衔铁吸合后磁通量恒定不变,故铁芯中不存在磁滞与涡流损耗,铁芯常用整块铸铁或工程纯铁制成。交流电磁铁因

为铁芯中磁通量按正弦规律变化,为了减小磁滞与涡流损耗,铁芯由硅钢片叠铆而成。为了方便散热,考虑到直流电磁机构中只有线圈发热,吸引线圈与铁芯之间应该尽量多地接触,故线圈往往做成瘦长型且与铁芯之间不设骨架。而交流电磁机构铁芯中存在较大的磁滞与涡流损耗,吸引线圈与铁芯应该隔离并减小接触面以方便各自散热,吸引线圈往往做成矮胖型并与铁芯之间设骨架。

(2) 电磁机构的吸力特性

电磁线圈通电后,铁芯吸引衔铁的力,称为电磁吸力。电磁吸力的计算公式为

$$F = \frac{10^7 \Phi^2}{8\pi S} \quad (1-1)$$

空气隙中的磁通 Φ 可近似看作与铁芯的磁通相等,单位是韦伯(Wb); S 为空气隙的有效面积,单位是平方米(m^2); F 为电磁吸力,单位是牛顿(N)。

直流电磁机构的励磁电流是恒定不变的直流,其磁动势 $F_m = Ni$ 也是恒定不变的。但随着衔铁的吸合,空气隙变小,吸合后空气隙将消失,磁路的磁阻显著减小,因而磁通 Φ 会增大。由式(1-1)可知,吸合后的电磁力要比吸合前大得多。

交流电磁机构的励磁电流是交变的,它所产生的磁场也是交变的,因此,电磁力的大小也是交变的。

$$\text{设空气隙处的磁通为} \quad \Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad (1-2)$$

将其代入式(1-1)中,可得交流电磁机构的电磁吸力为:

$$f = \frac{1}{2} F_m - \frac{1}{2} F_m \cos 2\omega t \quad (1-3)$$

交流电磁机构的电磁吸力是脉动的,电磁吸力的瞬时值曲线如图 1-3 所示,其平均值为:

$$F = \frac{1}{2} F_m = \frac{10^7 \Phi_m^2}{16\pi S} \quad (1-4)$$

在交流铁芯线圈、变压器及交流电动机中,施加的外部电压为:

$$U \approx E = 4.44 f N \Phi_m \quad (1-5)$$

由式(1-5)可知

$$\Phi_m \approx \frac{U}{4.44 f N} \quad (1-6)$$

在外加电压一定的条件下,交流磁路中主磁通的最大值基本不变。因此,交流电磁铁在吸合衔铁的过程中,电磁吸力的平均值随气隙的变化较小。又由于主磁通等于磁动势与磁阻之比,而吸合过程中磁路的磁阻显著减小,可知随着气隙的减小,磁动势必然减小,所以交流电磁机构吸合后的励磁电流要比吸合前显著减小。也就是说,交流电磁铁吸合前的励磁电流要比吸合后的励磁电流大得多。因此,交流电磁铁在工作时衔铁和铁芯之间吸合必须保持良好,否则,线圈中会因长期通过较大的电流而过热烧毁。

图 1-4 中曲线 1 为直流电磁铁的吸力特性,曲线 2 为交流电磁铁的吸力特性,曲线 3 为弹簧的反力特性曲线。无论交流或直流电磁机构,当吸力 > 反力时,电磁机构吸合,否则释放。

返回系数 β 是衡量电磁机构灵敏度的重要参数,定义为释放电压(电流)与吸合电压(电流)的比值。返回系数越大,灵敏度越高。

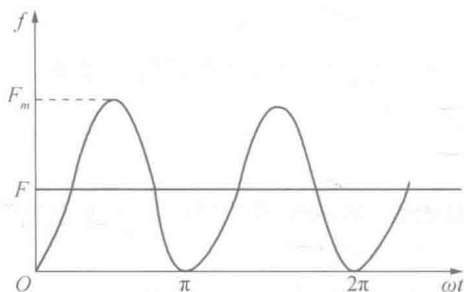


图 1-3 交流电磁铁的磁势

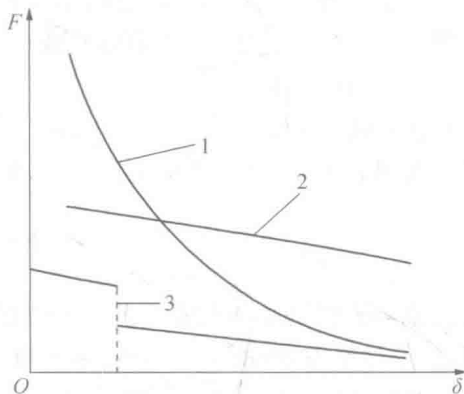


图 1-4 吸力特性与反力特性

在使用单相交流电源的电磁机构中,由于电磁吸力的瞬时值是脉动的,且有过零点,吸合后会出现震颤和噪声,影响受控电路稳定通电。因此,对单相交流电磁机构,可在铁芯端面上,取一部分截面嵌入一个闭合的短路环。由该短路环产生的感应电流建立的磁场(比原磁场滞后)与原磁场共同作用,克服磁场过零点,才能保持足够的电磁吸力,使电磁机构工作稳定。

2. 触头机构

(1) 触头的结构形式

触头是电器的执行部分,根据外力动作(电磁式电器指的是吸合衔铁的电磁力)起接通与分断电路的作用。一个触点分动触头与静触头,动触头受力离开静触头,该触点处于断开状态,静触头与动触头受力被压合,该触点处于接通状态。在电磁式电器中,静触头固定,动触头经机械装置与衔铁相连。有些触点在不受外力时处于接通状态,称为常闭触点(动断触点);有些触点在不受外力作用时处于断开状态,称为常开触点(动合触点)。

触头要求导电、导热性能好,通常用铜制成。但铜表面易氧化生成氧化铜,将大大增加触头的接触电阻,使触头损耗增加、温度上升。所以有些电器(以小容量电器为主)的触头常采用银质材料,不仅在于银的导电与导热性能优于铜,更主要的是氧化银的导电率与银相近,而且形成温度更高,且容易粉化。大、中容量的电器在结构设计上,动静触头之间采用滚动接触(如图 1-5(c)),在通断过程中可将氧化层磨去,这种结构的触头也常采用铜材料。

① 点接触式桥式触头(如图 1-5(a))。动触头与静触头被压合后,其导电簧片将桥式触头两侧的触点串联于同一电路中。适用于电流不大、触头压力小的场合。

② 面接触式桥式触头(如图 1-5(b))。适用于较大电流的场合。

③ 指形触头(如图 1-5(c))。接触面为一直线,触头接通断开时产生滚动摩擦,可以磨去氧化膜。适用于通断频繁的大电流场合。

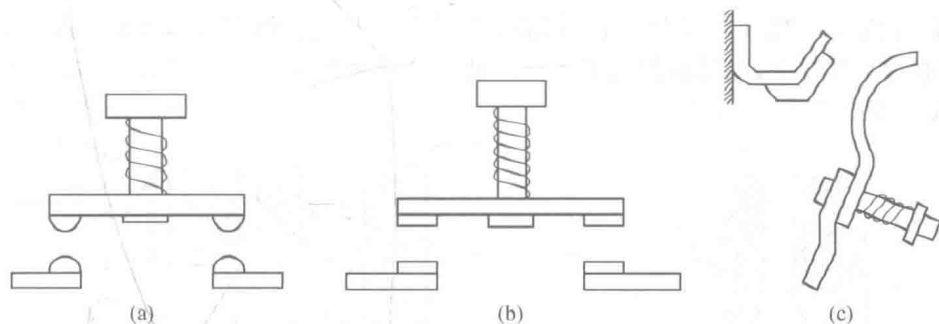


图 1-5 触头结构形式

此外,为了使触头接触紧密,减小接触电阻并消除开始接触时的振动,在触头上装有接触弹簧,在刚接触时产生初压力,并随着闭合度的增大而增大触头压力。

(2) 电弧的产生及灭弧方法

当工作电压与电流超过一定数值的电路突然断电时,触头间空气在强电场的作用下会产生电离放电现象,在触头间隙产生大量带电粒子,形成炽热的电子流即电弧。电弧伴随高温、高热和强光,可能造成电路不能正常切断、烧毁触头,并引起火灾等其他事故,因此,对切换较大电流的触头系统必须采取灭弧措施。

常见的灭弧方法有以下几种:

① 电动力灭弧。如图 1-6 所示,采用桥式触头的结构形式,当触点断开时,静触头 1、动触头 2 断口处将产生电弧,在电动力 F 的作用下使电弧向外运动而被拉长,加快冷却并熄灭。

② 磁吹灭弧。如图 1-7 所示,在触头电路中串入一个磁吹线圈,工作时负载电流在线圈中产生磁场,随着触点的断开,形成电弧的带电粒子,由于在磁场中运动而受到磁力的作用,迫使电弧拉长并被吹入灭弧罩而冷却熄灭。



扫码可见
“电动力灭弧原理”

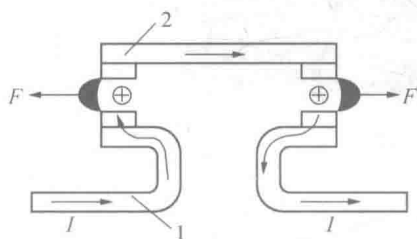
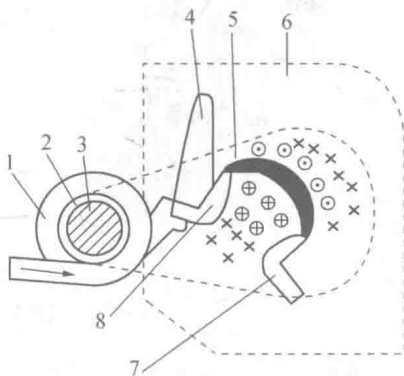


图 1-6 桥式触头电动力灭弧



1—磁吹线圈 2—绝缘套 3—铁芯 4—引弧角
5—导磁夹板 6—灭弧罩 7—动触头 8—静触头

图 1-7 磁吹灭弧

③ 窄缝灭弧。如图 1-8 所示,在灭弧罩内仅有一个上宽下窄的窄缝,电弧在电动力的作用下进入窄缝内,电弧与窄缝壁紧密接触,从而加强冷却与消电离。

④ 栅片灭弧。如图 1-9 所示,采用彼此绝缘的多片镀铜薄钢片构成灭弧栅片,电弧产生时,在电动力作用下,电弧被拉入灭弧栅而被分割成数段短弧,增强消电离能力并使电弧迅速冷却与熄灭。

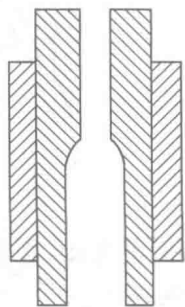


图 1-8 窄缝灭弧

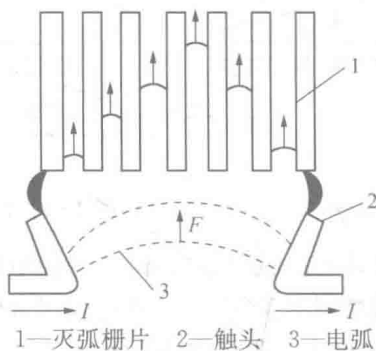


图 1-9 栅片灭弧

1.2 开关电器

开关电器广泛用于配电线路的电源隔离、通断控制以及保护,主要有以下几种类型。

1.2.1 刀开关

刀开关亦称低压隔离器,俗称闸刀开关,如图 1-10 所示,主要用于电气线路中隔离电源,也可不频繁地接通和分断容量较小的低压供电线路。

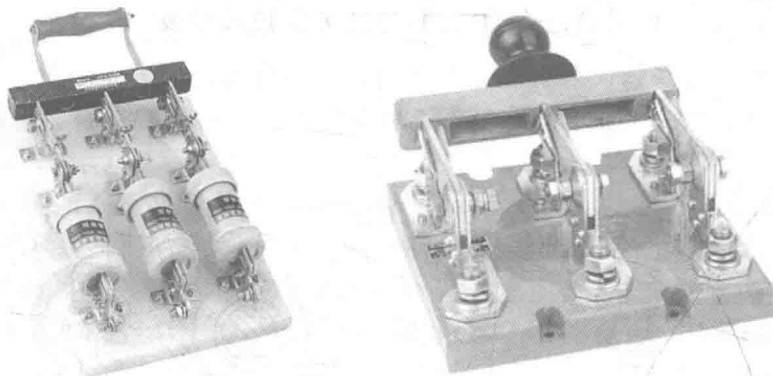


图 1-10 刀开关

1. 刀开关和刀形转换开关的结构

(1) 刀开关的结构

刀开关由手柄 1、静插座 2、动触刀 3、铰链支座 4 和绝缘底板 5 组成,如图 1-11 所示。刀开关的文字符号与图形符号如图 1-12 所示。

(2) 刀开关的型号及主要技术参数

① 刀开关的型号及含义如图 1-13 所示。

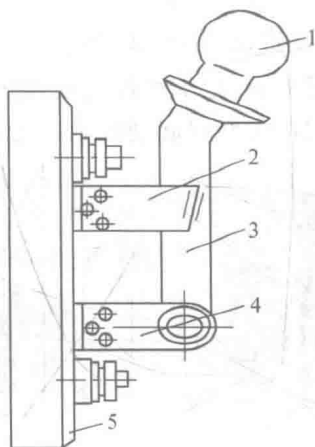


图 1-11 刀开关结构

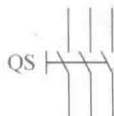


图 1-12 刀开关文字与图形符号

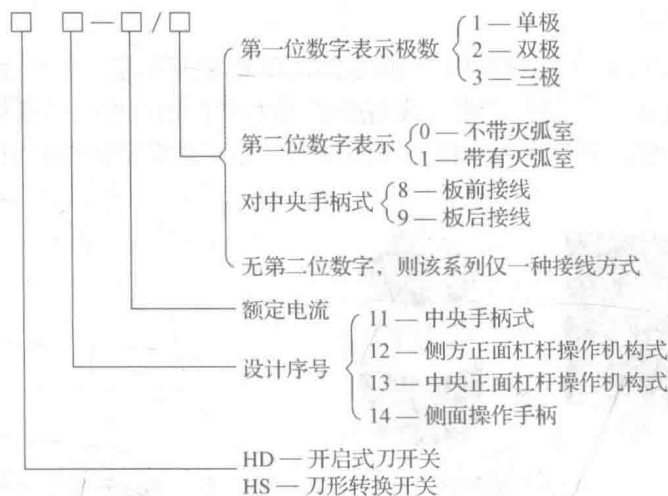


图 1-13 刀开关规格型号

② 主要技术参数:

(a) 额定电压 在长期工作中刀开关能承受的最大电压称为额定电压。一般交流为 500V 以下、直流 440V 以下。

(b) 额定电流 刀开关在合闸位置允许长期通过的最大工作电流称为额定电流。小电流刀开关的额定电流有 10A、15A、20A、30A、60A 等五级。

(c) 操作次数 机械寿命(不带电)、电寿命(额定电压)情况下所能达到的操作次数。

(d) 动稳定性电流 是指发生短路事故时,不产生变形、破坏或触刀自动弹出等现象时的最大短路电流峰值。

(e) 热稳定性电流 发生短路事故时,如果能在一定时间(通常是 1s)内通以某一短路电流,并不会因温度急剧上升而发生熔焊现象,则这一短路电流就称为刀开关的热稳定性电流。通常,刀开关的 1s 热稳定性电流为其额定电流的数十倍。

2. 开启式负荷开关

开启式负荷开关如图 1-14(a)所示,它由电源接线座、刀片式动触点、熔丝、负载接线座、瓷底板、静触点、胶木盖组成。主要用作电气线路照明、电加热控制或分支电路的配电开关,三极开启式负荷开关可用于小容量笼型异步电机的非频繁起动控制。



图 1-14 开启式/封闭式负荷开关外形及图形符号

3. 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关如图 1-14(b)所示,亦称铁壳开关,它由手柄、转轴、速断弹簧、熔断器、夹座、闸刀、外壳前盖组成。主要用于电气线路照明、电加热控制或电力排灌等配电设备,用来非频繁地接通和分断电路,同时,亦可用于三相交流异步电机的非频繁全电压起动控制。

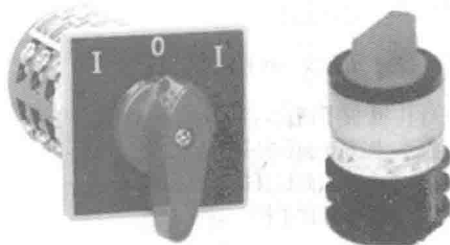


图 1-15 转换开关外形图

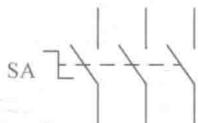


图 1-16 转换开关文字与图形符号

1.2.2 转换开关

转换开关又称组合开关,一般用于电气设备中非频繁地接通和分断电路、换接电路和负载、测量三相电压,并用于 5.5kW 以下电动机的直接起动、停止、反转、调速等,如图 1-15、图 1-16 所示。

如图 1-17 所示,转换开关由静触片 1、动触片 2、绝缘垫板 3、凸轮 4、弹簧 5、转轴 6、手柄 7、绝缘杆 8、接线柱 9 组成。它是一种凸轮式旋转刀开关,有单极、双极、三极和多极结构。普通类型的转换开关是各极同时通断,如控制屏或试验台上的钥匙总开关,特殊类型的转换开关交替通断(每个挡位部分触头接通,部分触头断开),如 Y/△启动器、感应电机的倒—顺—停转换开关、用于切换配电屏三相交流电压指示的转换开关。在实际产品名称中,较复杂的转换开关也称万能转换开关。

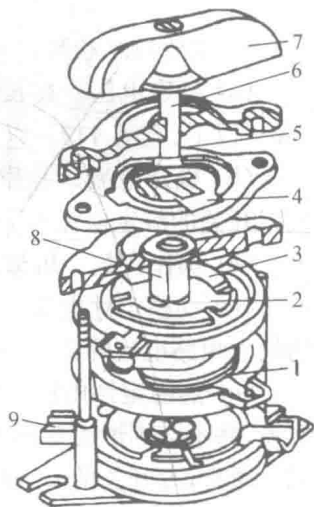


图 1-17 转换开关的结构