



临沂大学优秀校本教材

王君普 主编

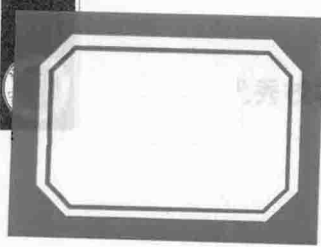
# 电气控制与三菱PLC应用技术 及实验实训

**Dianqi Kongzhi Yu Sanling PLC Yingyong  
Jishu Ji Shiyan Shixun**



山东人民出版社

Shandong People's Publishing House



本教材

# 电气控制与三菱PLC

## 应用技术及实验实训

Dianqi Kongzhi Yu Sanling PLC Yingyong Jishu Ji Shiyan Shixun

主 编 王君普

副主编 王增玉 张兴强

参 编 刘士彩 王道俊 李玉廷 王 涛



山东人民出版社

Shandong People's Publishing House

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与三菱PLC应用技术及实验实训 / 王君普主编. — 济南: 山东人民出版社, 2014. 7  
ISBN 978-7-209-08403-1

I. ①电… II. ①王… III. ①电气控制②plc技术  
IV. ①TM571.2 ②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 144588 号

责任编辑: 杨刚

电气控制与三菱PLC应用技术及实验实训

王君普 主编

---

山东出版传媒股份有限公司

山东人民出版社出版发行

社址: 济南市经九路胜利大街39号 邮编: 250001

网址: <http://www.sd-book.com.cn>

发行部: (0531) 82098027 82098028

新华书店经销

日照市恒远印务有限公司印装

规格 16开 (184 mm × 260 mm)

印张 25.5

字数 500千字

版次 2014年7月第1版

印次 2014年7月第1次

ISBN 978-7-209-08403-1

定价 48.00元

---

如有质量问题, 请与印刷厂调换。电话: (0633) 8285999

## 临沂大学教材建设指导委员会

主任：杨波

副主任：谢亚非 姜同松 刘占仁

委员：（以姓氏笔画为序）

王自刚 孔繁金 申洪源 白金山 朱文玉 任世忠

刘恩允 江兆林 许汝贞 孙世军 孙令民 孙成通

孙成明 李中国 李同胜 李晓东 张问银 张根柱

陈建国 郑秀文 孟凡胜 赵光怀 姜秀全 徐玉如

徐东升 奚凤兰 彭文修 蒋学华 谢楠

---

## 《电气控制与三菱PLC应用技术及实验实训》 编委会

主编：王君普

副主编：王增玉 张兴强

参编：刘士彩 王道俊 李玉廷 王涛

# 前 言

本书是根据高等工科院校电气工程及其自动化、自动化、电气自动化技术等专业的“电气控制与 PLC”课程的教学大纲组织编写的。

本书从工程应用的角度,全面介绍了常用低压电器、电气控制的基本线路及电气控制原理图的分析 and 设计方法,在此基础上详细介绍了目前国内广泛使用的三菱 FX 系列 PLC 的工作原理、硬件结构、FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 的编程元件与指令系统、梯形图程序的设计、编程软件的使用与仿真、PLC 控制系统设计与调试的方法与步骤以及在实际应用中应注意的问题等。全书内容共分八章,包括常用低压电器、常用电气控制的基本线路、可编程控制器的组成与工作原理、可编程控制器的基本指令、可编程控制器的功能指令、编程软件的使用与仿真、PLC 控制系统的设计、实验与实训,附录 B 列出了包含 FX<sub>3U</sub> 系列 PLC 的功能指令。各章均配有适量的习题供读者练习使用。

本书总结了编者多年来理论和实验、实训教学的经验,编写了详细的实验与实训指导,共设置 17 个实验项目和 1 个 PLC 综合实训项目,供选择使用。其中实训项目——《星—三角减压起动 PLC 触摸屏控制系统的设计安装与调试》为 2012 年国家级大学生创新创业训练项目《可编程控制器工学结合实验实训装置的设计与开发》(项目编号 201210452010)的研究成果。这些实验实训项目,可以有效地培养学生 PLC 控制系统设计、安装与调试的综合能力。

本书内容通俗易懂、理论联系实际,章节内容可根据学时和教学需要选用。

本书由王君普任主编,王增玉、张兴强任副主编。参加编写的还有刘士彩、王道俊、李玉廷、王涛。

由于编者水平有限,书中难免有不足和错误之处,恳请读者批评指正。

# CONTENTS | 目 录

前 言 /1

## 第 1 章 常用低压电器 /1

---

- 1.1 电器的基本知识 /1
- 1.2 开关电器 /7
- 1.3 熔断器 /15
- 1.4 主令电器 /18
- 1.5 接触器 /24
- 1.6 继电器 /28

## 第 2 章 常用电气控制的基本线路 /46

---

- 2.1 电气控制系统图的类型及有关规定 /46
- 2.2 笼型异步电动机全压起动控制 /50
- 2.3 笼型异步电动机降压起动控制 /55
- 2.4 三相绕线异步电动机起动控制 /59
- 2.5 三相异步电动机的调速控制 /63
- 2.6 三相异步电动机的制动控制 /67
- 2.7 固态降压起动器控制 /73
- 2.8 电气控制的其他环节 /76
- 2.9 直流电动机的控制线路 /81
- 2.10 生产机械电气控制线路分析 /84
- 2.11 电气控制系统设计 /90

**第3章 可编程控制器的组成与工作原理 /106**

- 3.1 概述 /106
- 3.2 PLC的基本组成 /115
- 3.3 PLC的编程器件及功能 /130
- 3.4 PLC的工作原理 /143
- 3.5 PLC的技术指标 /148

**第4章 可编程控制器的基本指令 /152**

- 4.1 基本指令及编程应用 /152
- 4.2 PLC的步进梯形图指令及编程应用 /184

**第5章 可编程控制器的功能指令 /211**

- 5.1 概述 /211
- 5.2 程序流向控制类指令(FNC00~FNC09) /214
- 5.3 传送与比较类指令(FNC10~FNC19) /220
- 5.4 算术与逻辑运算类指令(FNC20~FNC29) /230
- 5.5 循环与移位类指令(FNC30~FNC39) /236
- 5.6 其他功能指令 /243

**第6章 编程软件的使用与仿真 /254**

- 6.1 SWOPC—FXGP/WIN—C 编程软件的使用 /254
- 6.2 GX Developer Ver. 8 编程软件的使用 /265
- 6.3 GX Simulator Ver. 6 仿真软件的使用 /285

**第7章 PLC控制系统的设计 /290**

- 7.1 PLC控制系统设计的内容和步骤 /290
- 7.2 PLC控制系统的硬件设计 /293
- 7.3 PLC控制系统的软件设计 /298
- 7.4 PLC在模拟量控制中的应用 /300

7.5 提高 PLC 控制系统可靠性的措施 /312

7.6 PLC 控制系统的维护 /318

## 第 8 章 实验与实训 /323

8.1 电气实验 /324

8.2 PLC 实验 /332

8.3 PLC 实训 /358

附录 A 常用电器元件图形符号和文字符号一览表 /381

附录 B FX 系列 PLC 功能指令一览表 /386

附录 C FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 的特殊软元件 /394

参考文献 /402



## 常用低压电器

## 1.1 电器的基本知识

电器是指能自动或手动接通和断开电路,以及对电路或非电现象进行切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件。完全由控制电器组成的自动控制系统,称为继电器—接触器控制系统,简称电气控制系统。

## 一、电器的分类

## 1. 按电压等级分

**低压电器:**通常是指在交流 1200V 以下或直流 1500V 以下电路中起通断、控制、保护和调节作用的电气设备。采用电磁原理构成的低压电器,称为电磁式低压电器;利用集成电路或电子元件构成的低压电器,称为电子式低压电器;利用现代控制原理构成的低压电器,称为自动化电器、智能化电器或可通信电器等。

**高压电器:**交流 1200V 以上或直流 1500V 以上电路中的电器。

## 2. 按用途分

**控制电器:**用来控制电路和控制系统的电器。如接触器、各类继电器、起动器等。

**主令电器:**自动控制系统中,用来发出控制“指令”控制其他电器自动动作的电器。如按钮、转换开关、主令开关、行程开关等。

**保护电器:**用来保护电源、电路及用电设备,使它们不致在短路、过载状态下运行,免遭损坏的电器。如熔断器、热继电器、断路器、电压继电器、电流继电器、避雷器等。

**配电电器:**用于低压供电系统中电能的输送和分配的电器。如刀开关、断路器、隔离开关等。

**执行电器:**用来完成某种动作或传递功率的电器。如电动机、电磁铁(牵引、制动)、

电磁离合器、电磁阀等。

对低压配电电器的要求是灭弧能力强、分断能力好、热稳定性能好、限流准确等。对低压控制电器,则要求其动作可靠、操作频率高、寿命长并具有一定的负载能力。

### 3. 按动作方式分

自动电器:按照信号或某个物理量的变化而自动动作的电器。如接触器、继电器等。

手动电器:通过人力或外力操作而动作的电器。如各种开关、控制按钮、转换开关等。

### 4. 按动作原理分

电磁式电器:根据电磁感应原理工作的电器。如交直流接触器、电磁继电器、电磁阀等。

非电量控制电器:依靠外力(人力或机械力)或某种非电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、热继电器等。

常见低压电器的主要种类及用途见表 1-1。

## 二、电磁式电器的基本结构与工作原理

电磁式电器主要由电磁机构和触头系统两大部分组成。

### 1. 电磁机构

电磁机构是电器元件的感测部件,它的作用是将电磁能转换为机械能并带动触点闭合或断开。它通常采用电磁铁的形式,由电磁线圈、静铁心(铁心)、动铁心(衔铁)等组成,其中动铁心与动触点支架相连。如图 1-1 所示。

#### (1) 电磁铁的工作原理

电磁线圈通电时产生磁场,使动、静铁心磁化互相吸引,当动铁心被吸引向静铁心时,与动铁心相连的动触点也被拉向静触点,使其闭合接通电路。电磁线圈断电后,磁场消失,动铁心在复位弹簧的作用下回到原位,并牵动动、静触点复位。常用电磁机构的结构形式如图 1-2 所示。

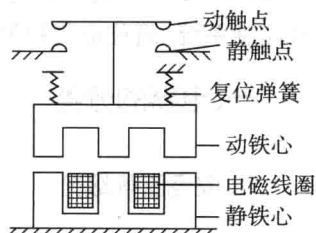
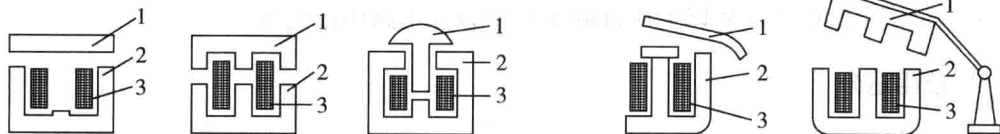


图 1-1 电磁机构示意图



(a) 直动式电磁机构

(b) 拍合式电磁机构

1—衔铁 2—铁心 3—线圈

图 1-2 常用电磁机构的结构形式

表 1-1 常见低压电器的主要种类及用途

序号	类别	主要品种	用途
1	断路器	塑料外壳式断路器	主要用于电路的过电流、短路、欠电压、漏电保护,也可用于不频繁接通和断开电路
		框架式断路器	
		限流式断路器	
		漏电保护式断路器	
		直流快速断路器	
2	刀开关	隔离开关	主要用于电路的隔离,有时也能分断负荷
		负荷开关	
		熔断器式刀开关	
3	主令电器	按钮	主要用于发布命令或程序控制
		转换开关	
		位置开关	
		万能转换开关	
		凸轮控制器	
4	接触器	交流接触器	主要用于远距离频繁控制负荷,切断带负荷电路
		直流接触器	
5	起动机	磁力起动机	主要用于电动机的起动机
		星三角起动机	
		自耦减压起动机	
		电流继电器	
		电压继电器	
6	继电器	时间继电器	主要用于控制电路中,将被控量转换成控制电路所需电量或开关信号
		中间继电器	
		速度继电器	
		热继电器	
7	熔断器	有填料熔断器	主要用于电路短路保护,也用于电路的严重过载保护
		无填料熔断器	
		半封闭插入式熔断器	
		快速熔断器	
		自复熔断器	
8	电磁铁	制动电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等地方
		起重电磁铁	
		牵引电磁铁	

## (2) 电磁铁的分类

①按电磁线圈通入的励磁电流不同,可分为直流电磁铁和交流电磁铁。通入直流电的线圈称直流线圈,通入交流电的线圈称交流线圈。直流线圈通电,铁心不会发热,只有线圈发热,因此线圈与铁心接触以利散热,线圈做成无骨架、高而薄的瘦高型,以改善线圈自身散热。铁心和衔铁由软钢或工程纯铁制成。

对于交流线圈,除线圈发热外,由于铁心中有涡流和磁滞损耗,铁心也会发热。为了改善线圈和铁心的散热情况,在铁心与线圈之间留有散热间隙,而且把线圈做成有骨架的矮胖型。铁心用硅钢片叠成,以减少涡流。

②按电磁线圈接入电路的方式不同,可分为串联线圈(即电流线圈)和并联线圈(即电压线圈)。

## (3) 电磁铁的特点

交流电磁铁的磁通是交变的,线圈磁场对衔铁的吸引力也是交变的。交流电磁铁产生的电磁吸力可表示为:

$$F_{at} = \frac{F_{dm}}{2} - \frac{F_{dm}}{2} \cos 2\omega t = F_0 - F_0 \cos 2\omega t \quad (1-1)$$

式中,  $F_{dm}$  为电磁吸力最大值,  $F_{dm} = \frac{10^7}{8\pi} B_m^2 S$ ,  $F_0$  为电磁吸力平均值,  $F_0 = \frac{F_{dm}}{2}$ 。

因此,交流电磁铁的电磁吸力是随时间变化而变化的。当交流电流为零时,线圈磁通为零,对衔铁的吸引力也为零,此时,弹簧反力大于电磁吸力,衔铁在复位弹簧作用下将产生释放趋势。但由于电磁吸力的频率是电源频率的 2 倍,衔铁不可能完全吸合和释放,从而出现持续的抖动和撞击,发出噪声,加速动、静铁心接触面的磨损,并引起触点结合不良,严重时还会使其烧蚀。

解决方法是加装短路环,如图 1-3 所示。其中 1 为短路环,2 为铁心。短路环把极面上的交变磁通分成两个相差约  $90^\circ$  电角度的磁通,两部分吸力就不会同时达到零值,合成后的吸力就不会有零值的时刻,如果使合成后的吸力在任一时刻都大于弹簧拉力,就消除了振动和噪音。

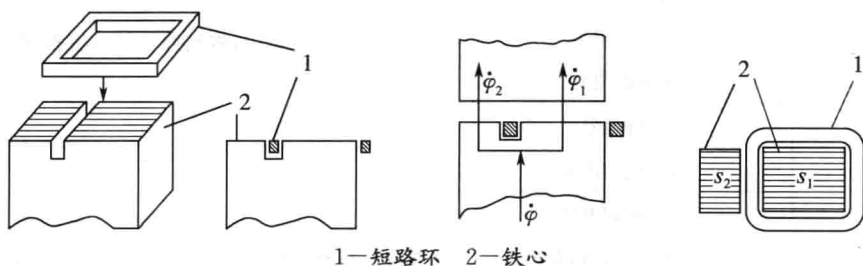


图 1-3 交流电磁铁的短路环示意图

## 2. 触头系统

触头系统属于执行部件。它的作用是通过触点的开闭来接通或断开电路。

### (1) 电接触

触头按其接触形式分为点接触、线接触、面接触,如图 1-4 所示。点接触的容量小,通常用于控制电器或开关电器的辅助触点。线接触应用最广,接触处的压力较大,接触电

阻较小,触头的自洁作用较强。面接触需要有较大的压力才能接触良好,自洁作用差,常用于电流较大的固定连接(如母线)和低压开关电器(如刀开关和插入式熔断器)。

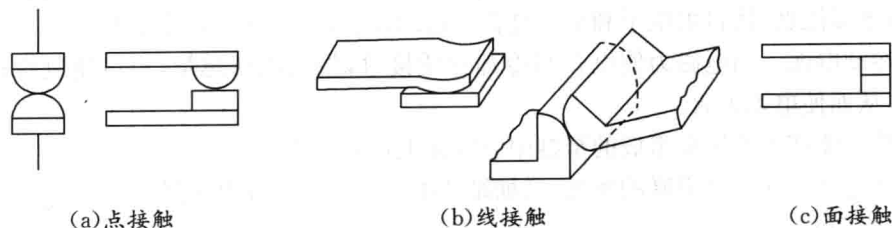


图 1-4 触头的接触形式

## (2) 触头分类

按功能分:主触头和辅助触头。主触头用于接通和分断主电路,允许通过较大的电流;辅助触头用于接通和分断二次电路,只能通过较小的电流,还能起自锁和互锁作用。

按结构分:桥式触头和指形触头。桥式触头又分为点接触桥式触头和面接触桥式触头,其结构形式如图 1-5 所示。

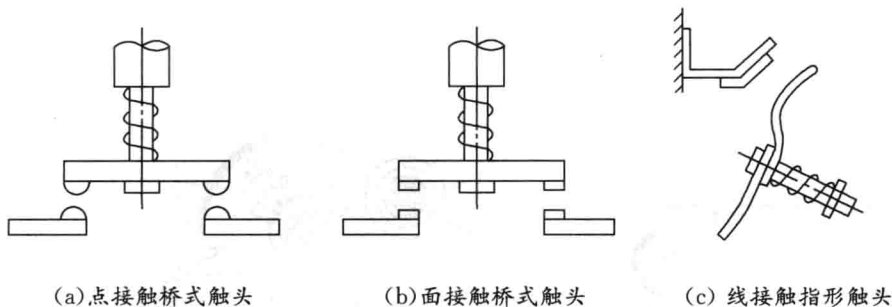


图 1-5 触头的结构形式

按位置分:静触头和动触头。静触头固定不动,动触头能由连杆带着移动。

按初始位置分:常闭触头和常开触头。常闭触头常态时动、静触头相互闭合,又称动断触头。常开触头常态时动、静触头分开,又称动合触头。

## (3) 接触电阻

接触对导体件呈现的电阻称为接触电阻。接触电阻是指动静触头闭合时在过渡区域所形成的电阻。在理想情况下,触点闭合时其接触电阻为零,触点断开时接触电阻为无穷大,在闭合过程中接触电阻瞬时由无穷大变为零,在断开过程中接触电阻瞬时由零变为无穷大。

常用减小接触电阻的方法:①触头材料选用电阻系数小的材料,使触头本身的电阻尽量减小。②增加触头的接触压力,一般在动触头上安装触头弹簧。③改善触头表面状况,尽量避免或减小表面氧化膜形成,在使用过程中尽量保持触头清洁。

## 3. 电弧与灭弧

电弧:触头在闭合和断开(包括熔体在熔断时)的瞬间,都会在触头间隙中由电子流产生弧状的火花,这种由电气原因造成的火花称电弧,是气体自放电形式之一。电弧外部有白炽弧光,内部有很高的温度和密度很大的电流。电弧的存在既烧损触头金属表面,降低电器的寿命,又延长了电路的分断时间,所以必须迅速消除。

(1) 灭弧的基本方法

①拉长电弧。电弧长度增加,使触点间隙增加,电场强度降低,同时又使散热面积增大,降低电弧温度,使自由电子和空穴复合的运动加强,因而电荷容易熄灭。

②冷却电弧。用电磁力使电弧与冷却介质接触,带走电弧热量,也可使复合运动得以加强,从而使电弧熄灭。

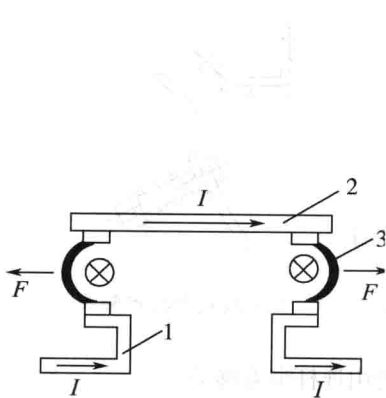
③将电弧挤入绝缘壁组成的窄缝中以冷却电弧而灭弧。

④将电弧分成许多串联的短弧,增加维持电弧所需的临界电压降。

(2) 常用的灭弧装置

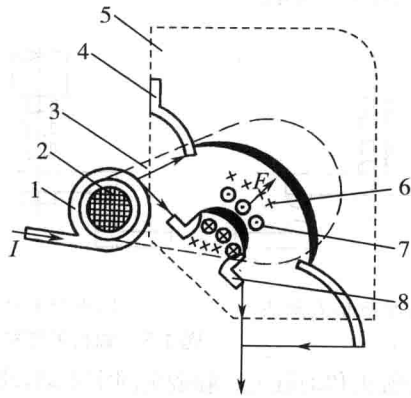
①电动力灭弧。如图 1-6 所示,双断点桥式触头在分断电路时具有电动力吹弧功能,不用任何附加装置,便可使电弧迅速熄灭。同时这种结构把电弧分成两段,降低了起弧电压。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

②磁吹式灭弧。如图 1-7 所示,在触点电路中串入吹弧线圈,靠磁吹力的作用将电弧拉长,在空气中迅速冷却,使电弧迅速熄灭。多用于直流接触器。



1—静触头 2—动触头  
3—电弧

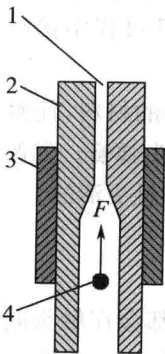
图 1-6 双断点电动力灭弧



1—磁吹线圈 2—铁心 3—导磁夹板 4—引弧角 5—灭弧罩  
6—磁吹线圈磁场 7—电弧电流磁场 8—动触头

图 1-7 磁吹灭弧原理

③窄缝灭弧。如图 1-8 所示,电弧在电动力作用下进入窄缝内,与缝壁紧密接触,加强冷却和消电离作用,使电弧迅速熄灭。适用于交、直流接触器。



1—纵缝 2—介质 3—磁性夹板 4—电弧

图 1-8 窄缝灭弧

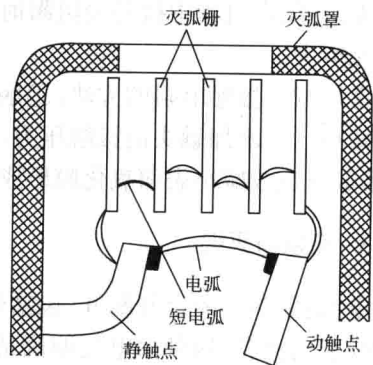


图 1-9 灭弧栅灭弧

④灭弧栅灭弧。如图 1-9 所示,灭弧栅是由数片镀铜薄钢片制成的栅状装置,彼此绝缘,每两片栅片间有 150V~250V 的绝缘强度,当触点断开产生电弧时,电弧进入栅片内,被分割为数段,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。对交流电弧来说,近阴极处,在电弧过零时就会熄灭。对于电弧较弱的接触器,只采用灭弧罩即可,对电弧较强的接触器,常采用灭弧栅熄弧。适用于大电流的刀开关、大容量交流接触器。

## 1.2 开关电器

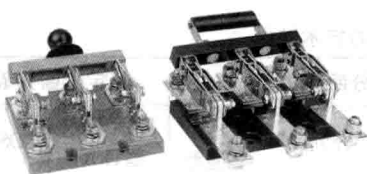
开关电器是最普通、使用最早的电器。其作用是分合电路、通断电流。常用的开关电器有刀开关、转换开关、低压断路器、漏电断路器等。

### 一、低压刀开关

刀开关又叫闸刀开关,是一种结构简单且应用广泛的手动低压电器,广泛用于照明电路和小容量(5.5KW 以下)、不频繁起动的电动机电路中,或用于电路与电源的隔离。刀开关一般与熔断器串联使用,以便在短路或过负荷时熔断器熔断而自动切断电路。

#### 1. 刀开关的主要类型与结构

刀开关的主要类型有大电流隔离开关、开启式负荷开关(胶盖开关)、封闭式负荷开关(铁壳开关)、熔断器式刀开关等。刀开关的额定电压通常为 250V 和 500V,额定电流在 1500A 以下。常用的刀开关如图 1-10 所示。



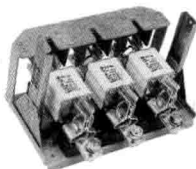
(a)刀开关 HD/HS 系列



(b)开启式负荷开关 HK2 系列



(c)封闭式负荷开关 HH3、HH4 系列



(d)HR3 系列熔断器式隔离开关

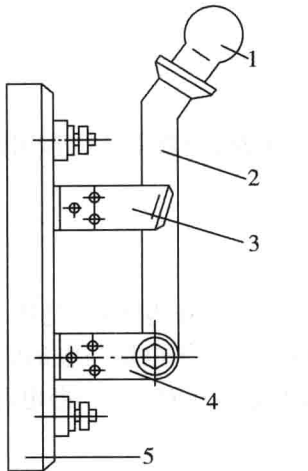
图 1-10 常用的刀开关

HD/HS 系列单投/双投刀开关适用于交流 50Hz、额定电压至 380V,直流 220V 额定电流至 1500A 的成套配电装置中,作为手动不频繁接通和分断交、直流电路或隔离开关用。HK1、HK2 系列开启式负荷开关主要用于照明电路,供手动不频繁的接通和分断负荷电流及短路保护,在适当降低容量使用时也可作为交流感应电动机的不频繁直接启动

及停止之用。HH3、HH4 系列封闭式负荷开关(铁壳开关),操作机构具有速断弹簧与机械联锁,主要适用于交流 50Hz,额定工作电压至 380V,额定工作电流至 800A 的电路中,作为手动不频繁地接通与分断有负载电路及过载与短路保护之用。HR3、HR5、HR6 系列熔断器式刀开关具有刀开关和熔断器的双重功能,结构简单,经济实用,已经越来越广泛地被用在低压配电屏上。

刀开关由操纵手柄、触刀、触刀插座和绝缘底板等组成。图 1-11 为其结构简图。

刀开关的型号及含义如图 1-12。



1—操纵受柄 2—触刀 3—静插座 4—支座 5—绝缘底板

图 1-11 低压刀开关结构简图

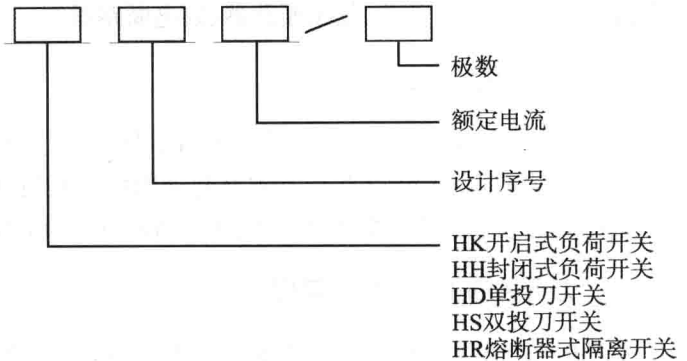


图 1-12 刀开关的型号及含义

HR5 系列熔断器式隔离开关的技术数据见表 1-2。

表 1-2 HR5 系列隔离开关的技术数据

额定电压 $U_e$ (V)	约定发热电流 $I_{th}$ (A)	额定发热电流 $I_e$ (A)	使用类别	额定接通和分断能力						额定熔断短路电流值			
				接通			分断			通断次数	电流有效值(kA)	$\text{COS}\phi$	通断次数
				$I/I_e$	$U/U_e$	$\text{COS}\phi$	$I_c/I_e$	$U_r/U_e$	$\text{COS}\phi$				
380	100	100	AC-23B	10	1.05	0.45	8	1.05	0.45	接通和分断各5次	100	0.2	各1次
	200	200				0.35			0.35				
	400	400											
	630	630											
660	100	100	AC-22B	3	1.05	0.65	3	1.05	0.65	接通和分断各5次	50	0.25	各1次
	200	200											
	400	315											
	630	425											



## 2. 刀开关的选用

刀开关的选用主要考虑回路额定电压、长期工作电流(额定电流)以及短路电流所产生的动、热稳定性(动稳定电流/热稳定电流)等因素。刀极数与电源进线相数相同。刀开关的额定电流应大于其所控制的最大负荷电流。用于直接起停 3KW 及以下的三相异步电动机时,刀开关的额定电流必须大于电动机额定电流的 3 倍。若不直接起停,额定电流只需稍大于电动机额定电流。

## 3. 安装注意事项

刀开关安装时,底座应与地面垂直,手柄向上,不得倒装或平装。倒装时手柄可能因自重落下而引起误合闸,危及人身和设备安全。

刀开关的图形符号和文字符号如图 1-13 所示。

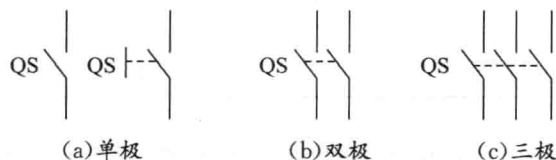
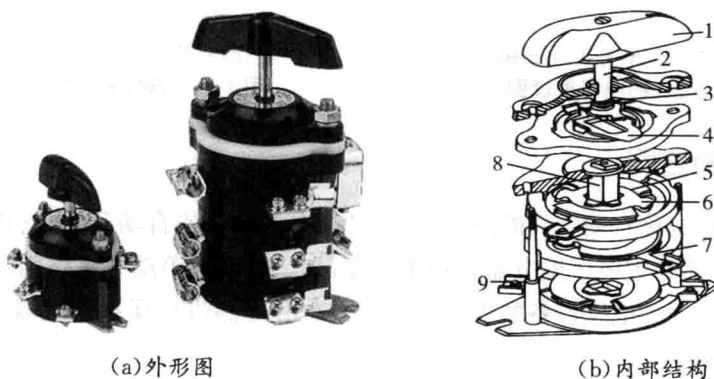


图 1-13 刀开关的符号

## 二、转换开关

转换开关又称组合开关,一般在电气设备中用于不频繁地接通和分断电路、接通电源和负载、测量三相电压以及控制小容量异步电动机的正反转和星—三角降压起动等。可实现多条线路、不同连接方式的转换。常用 HZ10 系列组合开关的外形和结构如图 1-14 所示。



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

图 1-14 HZ10 系列组合开关的外形和结构图

转换开关实质上是一种特殊刀开关,只不过刀片是转动的。由数层动、静触片组装在绝缘盒内而成,动触点装在转轴上,用手柄转动转轴使动触片与静触片接通与断开。一般各极同时通断,也有交替通断。

转换开关有单极、双极、多级。转换开关的主要参数有额定电压、额定电流、极数等。额定电流等级有 6A、10A、25A、60A、100A 等。常用产品有 HZ5、HZ10 系列和新型组合