



高等职业教育“十一五”机电类专业规划教材

电气控制系统与 可编程控制器

常晓玲 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电气控制系统与 可编程控制器

第2版

机械工业出版社

高等职业教育“十一五”机电类专业规划教材

电气控制系统与 可编程控制器

主 编 常晓玲
副主编 何大庆 姚永刚
参 编 任胜杰 王艳芳
主 审 马西秦



机械工业出版社

本书为高等职业教育“十一五”机电类专业规划教材。本书从常用低压电器的工作原理及应用方法开始,系统地介绍了常规电气电路的基本控制原则和基本控制环节,分析了典型生产机械的常规电气控制电路,叙述了三菱FX_{2N}和西门子S7两种可编程控制器的工作原理及应用方法,介绍了常规电气控制系统、PLC控制系统的设计方法及设计步骤。另外,结合现代制造技术的发展,阐述了数控设备的电气控制系统及CNC系统内置PLC(PMC)的程序设计方法,并结合近年来工业控制组态软件及人机界面的广泛应用,扼要介绍了组态王软件和触摸屏产品的应用实例。PLC与PMC程序结构均有丰富的设计实例。

本书的特点是:本着专业技术课程切合工程应用的教学原则,层次清晰地构建了电气控制技术从常规控制到微机化PLC控制的完整体系,并延伸到数控机床的电气控制系统和CNC系统内置PLC的程序结构。注重理论联系实际,突出现代电气控制的新技术和新产品。各章均有丰富的设计实例和习题,有利于学生掌握电气控制原理和工程设计方法。

本教材可作为高职高专机电类专业的现代电气控制技术教材,也可作为各类成人教育的电气控制与PLC相关课程教材,还可以供机电行业的工程技术人员用作参考书或培训教材。

为方便教师教学,本书配有电子教案,请发邮件至wangyx@mail.machineinfo.gov.cn索取。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制系统与可编程控制器/常晓玲主编. —北京:机械工业出版社, 2006.10

高等职业教育“十一五”机电类专业规划教材

ISBN 7-111-20171-X

I. 电... II. 常... III. ①电气控制系统 - 高等学校: 技术学校 - 教材 ②可编程程序控制器 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. ①TM921.5 ②TP332.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第124587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:王玉鑫 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣
封面设计:姚毅 责任印制:杨曦
北京机工印刷厂印刷
2007年1月第1版第1次印刷
184mm×260mm·16.25印张·401千字
0 001—4 000册
定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294
编辑热线电话(010)68354423
封面无防伪标均为盗版

前 言

“电气控制系统与可编程控制器”(PLC)是高职高专机电类专业中应用性很强的专业课。近年来随着计算机技术、自动控制技术、现代制造技术的迅速发展,电气控制技术已由继电器、接触器硬接线的常规控制转向以计算机为核心的软件控制,PLC和CNC(计算机数字控制)系统是典型的现代电气控制装置,它们具有抗干扰能力强、可靠性和性价比高、编程方便、结构模块化、易于网络化等技术特点,可与多种智能化电气传动产品相连接,实现各种生产设备或工业过程的自动控制。

为了适应新技术发展对电气控制技术课程的教学需要,我们遵循结合工程实际、突出技术应用的原则编写了这本教材。编写本书的指导思想是:

1. 为培养学生熟练使用低压电器,掌握电气控制基本环节,分析典型设备电气控制系统,设计电气控制电路的能力,本教材仍包含常用低压电器、电气电路的基本控制原则和基本控制环节、典型生产机械的电气控制电路和电气控制系统设计等基本教学内容。

2. 根据近年来的教改情况,集中分析车、铣、镗、起重机等典型生产机械的电气控制电路。精简了常规电气控制电路分析的篇幅。

3. 为培养学生应用PLC进行电气电路设计和控制软件编写的能力,本教材选择了有代表性的三菱FX_{2N}、西门子S7两个系列PLC产品,讲授PLC的原理与应用。

4. 随着CNC系统技术的迅速发展,考虑到基本的电气控制电路和单纯的PLC控制系统已不能满足现代数控机床电气控制系统的教学要求,本教材引入了数控设备的电气控制系统及内置PLC技术等新内容。

5. 在PLC系统设计实例中,扼要介绍了与PLC产品关系密切的工业控制组态软件、工业级人机界面的使用方法。以增加学生对工控机新产品的认识。

全书共分八章,第一章介绍常用低压电器的结构、工作原理、主要技术参数及选用、安装、维护方法;第二章介绍电气电路的基本控制原则和基本控制环节;第三章分析典型生产机械的电气控制电路;第四章归纳常规电气控制系统的设计方法与步骤;第五、六章讲述三菱FX_{2N}、西门子S7两个系列可编程控制器的性能规格、指令系统及编程应用方法;第七章分析数控设备的电气控制电路,介绍FANUC、SIEMENS数控系统的内部数据结构及内置PLC编程方法;第八章叙述PLC控制系统的设计方法和设计实例。各章均有一定数量的设计实例、思考题与习题,有利于学生加强训练、巩固概念、掌握工程设计方法。

本书由常晓玲教授任主编,何大庆、姚永刚两位副教授任副主编。参加编写的有:何大庆(第一章),王艳芳(第二章,第三章,第八章第一、二节),任胜杰(第四章,第五章,第八章第三、四节),姚永刚(第六章),常晓玲(第七章,第八章第五节)。

全书由马西秦副教授审定,审阅中提出了许多宝贵意见,特此致谢。

限于编者水平,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。此外在本书的编写过程中参阅了多种同类教材和著作,特向其编、著者致谢。

编 者

目 录

前言

第一章 低压电器	1
第一节 低压熔断器	1
第二节 低压隔离器	7
第三节 主令电器	9
第四节 低压断路器	13
第五节 接触器	19
第六节 继电器	25
思考题与习题	34
第二章 电气电路的基本控制原则和基本控制环节	36
第一节 电气控制系统图的类型及有关标准	36
第二节 三相笼型异步电动机全压起动和正反转控制	40
第三节 三相笼型异步电动机的减压起动控制	44
第四节 三相绕线转子异步电动机起动控制	49
第五节 三相异步电动机的制动控制	51
第六节 三相笼型异步电动机的调速控制	56
第七节 直流电动机的控制	58
第八节 电气控制系统的保护环节	64
思考题与习题	66
第三章 典型生产机械电气控制电路分析	67
第一节 电气控制电路的分析基础	67
第二节 车床的电气控制电路分析	68
第三节 X62W 型卧式万能铣床的电气控制电路分析	73
第四节 T68 型卧式镗床的电气控制电路分析	81
第五节 起重机械电气控制电路分析	86
思考题与习题	93
第四章 电气控制系统的设计	94

第一节 电气控制系统设计的基本内容	94
第二节 电气控制原理电路的基本设计的方法和步骤	95
第三节 电气控制电路设计的主要参数计算和电器元件选择	98
第四节 电气控制装置的工艺设计	102
思考题与习题	105
第五章 FX_{2N} 系列可编程控制器	106
第一节 可编程控制器的基础知识	106
第二节 可编程控制器的工作方式及编程语言	111
第三节 FX _{2N} 系列 PLC 的性能规格与内部资源	114
第四节 FX _{2N} 系列 PLC 的基本指令编程方法	118
第五节 FX _{2N} 系列 PLC 的功能图与步进梯形图	129
第六节 FX _{2N} 系列 PLC 的应用指令编程方法	131
第七节 FX _{2N} 系列可编程控制器的应用	139
思考题与习题	146
第六章 S7 系列可编程控制器	149
第一节 S7—200 系列微型 PLC 的组成及性能	149
第二节 S7—300 系列 PLC 的组成及编址	153
第三节 S7 系列 PLC 的寻址方式	156
第四节 S7 系列 PLC 的指令系统	158
第五节 模拟量 PID 指令及应用方法	183
思考题与习题	187
第七章 数控设备的电气控制系统及内置 PLC	189
第一节 数控车床的电气控制系统分析	189
第二节 数控加工中心的电气控制系统分析	192
第三节 数控系统内置 PLC 概述	202

第四节	西门子 CNC 系统的内置 PLC	203	第四节	PLC 控制的恒压供水系统及组态软件的应用	234
第五节	FANUC 数控系统的内置 PLC	208	第五节	触摸屏人机界面在半自动内圆磨床 PLC 控制系统中的应用	240
	思考题与习题	222	附录	电气图常用图形与文字符号新旧标准对照表	248
第八章	PLC 控制系统的设计	223	参考文献		254
第一节	PLC 的设计步骤及内容	223			
第二节	PLC 的编程要求和编程方法	227			
第三节	FX _{2N} 控制的五层电梯自动控制 系统	228			

第一章 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 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。

低压电器种类繁多，用途广泛，按应用场所提出的不同要求可以分为配电电器与控制电器两大类。配电电器主要用于低压配电系统中。配电系统对电器的要求是：在系统发生故障的情况下，动作准确，工作可靠，有足够的热稳定性和电稳定性。常见的配电电器有低压隔离器（刀开关）、熔断器、断路器等。控制电器主要用于电力拖动控制系统和用电设备的通断控制，对控制电器的要求是：工作准确可靠，操作频率高，寿命长等。常见的控制电器有：继电器、接触器、按钮、行程开关、变阻器、主令开关、热继电器、起动机、电磁铁等。

通常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、起动机、控制继电器、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）。

第一节 低压熔断器

一、概述

熔断器是一种利用金属导体为熔体串联于电路中，当过载或短路电流通过熔体时，因其自身发热而熔断，从而分断电路的电器。

熔断器主要作短路保护之用，有时也可作为过载保护之用。通过熔断器的熔化特性和熔断特性的配合以及熔断器与其他电器的配合，在一定的短路电流范围内可达到选择性保护。

由于熔断器的结构简单，具有较高的分断能力、使用方便、体积小、重量轻以及价格便宜等优点，因而在工农业生产中使用极为广泛。

二、熔断器的种类和型号

熔断器是一种最简单有效的保护电器。在使用时，熔断器串接在所保护的电路中，作为电路及用电设备的短路和严重过载保护，主要用作短路保护。熔断器主要由熔体（俗称保险丝）和安装熔体的熔管（或熔座）两部分组成，如图 1-1 所示。熔体由易熔金属材料铅、锌、锡、银、铜及其合金制成，通常制成丝状和片状。熔管是装熔体的外壳，由陶瓷、绝缘钢纸制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。

熔断器按结构形式可分为半封闭插入式熔断器、自复

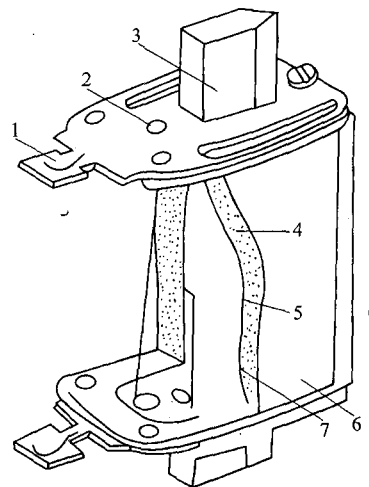


图 1-1 熔断器的结构示意图

1—盖板 2—指示器 3—触刀 4—载
熔体 5—填料 6—熔管 7—熔体

式熔断器、无填料密闭管式熔断器、有填料密闭管式熔断器、螺旋式熔断器等。其中有填料密闭管式熔断器又可分为刀形触点熔断器、螺栓连接熔断器、圆筒形帽熔断器。图 1-2 所示为几种常用的熔断器以及熔断器的电气符号。

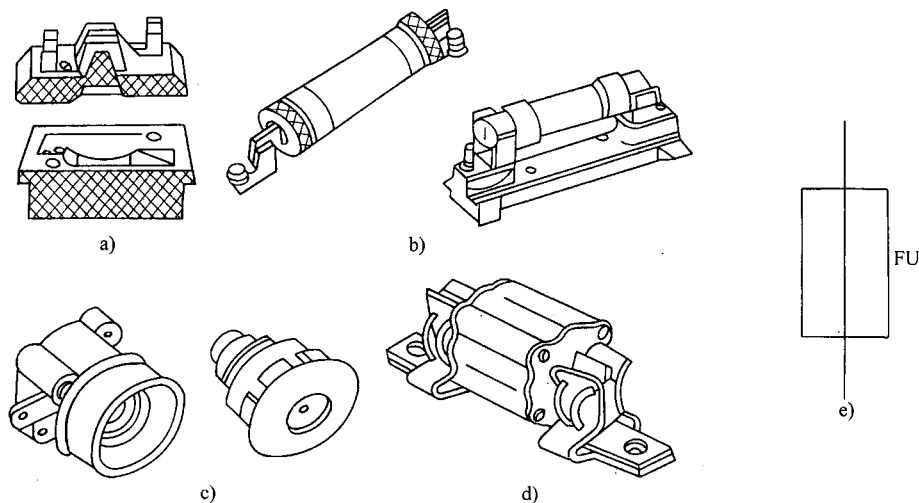
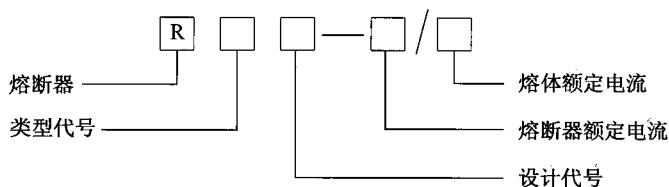


图 1-2 熔断器及其电气符号

a) 瓷插式熔断器 b) 无填料封闭管式熔断器 c) 螺旋式熔断器 d) 有填料封闭管式熔断器 e) 图形符号

熔断器的常用型号有：RL6、RL7、RT12、RT14、RT15、RT16 (NT)、RT18、RT19 (AM3)、RO19、RO20、RTO 等，在选用时可根据使用场合酌情选择。

熔断器型号说明如下：



三、熔断器的工作过程和特性

熔断器在使用时，串接在其所保护的线路中。当该线路发生过载或短路时，线路电流增大，熔体发热，当熔体温度升高到熔体的熔点时，熔体熔断并分断电路，以达到保护线路的目的。此时应注意：熔断器受熔断能力限制，在选用时应按短路动稳定、热稳定性能进行校验。

1. 熔断器工作的物理过程

熔断器工作的物理过程是指熔断器分断过载或短路电流时的物理过程，如图 1-3 所示。这个过程可分为四个阶段：

(1) 熔体升温阶段 熔体的温度因流过过载或短路电流而由正常工作时的温度 θ_0 升到其熔化温度 θ_t (即熔点)，但熔体仍为固态，经过的时间为 t_1 。

(2) 熔体熔化阶段 熔体中的部分金属开始由固态转化为液态。由于熔体熔化需吸收热量，故在 t_2 时间内，其温度始终保持为 θ_t 。

(3) 熔体金属气化阶段 已熔化的熔体金属被继续加热，直至达到气化温度 θ_q 为止，所经过的时间为 t_3 。

(4) 燃弧阶段 从熔体断裂出现间隙，继之产生电弧直到电弧熄灭电路完全断开为止，所经过的时间为 t_4 。

上述四个阶段中，从电流超过临界值的瞬时起到熔体发生熔化和蒸发为止的这段时间称作弧前时间，即图 1-3 的 t_1 、 t_2 、 t_3 之和。此后，从产生电弧直到电弧完全熄灭的这段时间 t_4 ，称作燃弧时间。弧前时间与燃弧时间之和称为熔断时间。

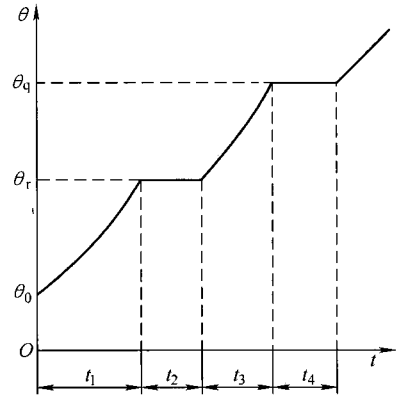


图 1-3 熔体熔断过程

2. 熔断器的主要技术参数和特性

(1) 额定电压 指熔断器长期工作时和熔断后所能承受的电压。应该注意，熔断器的额定电压是它的各个部件（熔断器支持件、熔体）的额定电压的最低值。熔断器的交流额定电压有：220V，380V，415V，500V，600V，1140V；直流额定电压有：110V，220V，440V，800V，1000V，1500V。

(2) 额定电流 熔断器在长期工作制下，各部件温升不超过极限允许温升所能承载的电流值，习惯上，把熔体支持件的额定电流称为熔断器额定电流。通常某级额定电流允许选用不同的熔体电流，而熔体支持件的额定电流代表了一起使用的熔体额定电流的最大值。

熔体额定电流规定有：2A，4A，6A，8A，10A，12A，16A，20A，25A，32A，(35A)，40A，50A，63A，80A，100A，125A，150A，200A，250A，315A，400A，500A，630A，800A，1000A，1250A。

(3) 极限分断能力 指熔断器在规定的使用条件下，能可靠分断的最大短路电流值。

(4) 截断电流特性 指在规定的条件下，截断电流与预期电流的关系特性。截断电流是指熔体分断期间电流到达的最大瞬时值。

(5) 时间—电流特性 熔断器的时间—电流特性亦称保护特性，它是熔断器的基本特性，表示熔断器的弧前（或熔断）时间与流过熔体电流的关系，如图 1-4 所示。熔断器的时间—电流特性是反时限特性，流过熔体的电流越大，熔化（或熔断）时间越短。因为熔体在熔化和气化过程中，所需热量是一定的。在一定的过载电流范围内，当电流恢复正常时，熔断器不会熔断，可继续使用。

由图 1-4 可知，当流过熔体的电流值为 I_R 时，熔化时间为无穷大，熔体才能够达到其稳定温升并熔断；如果通过熔体的电流小于此值，熔体就不可能熔断。最小熔化电流 I_R 与熔体的额定电流 I_N 之比为熔化系数 K_R ，它是表

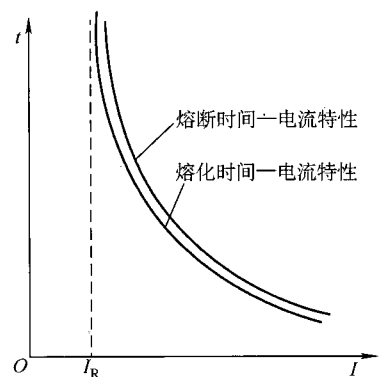


图 1-4 熔断器的保护特性曲线

征熔断器保护小倍数过载时的灵敏度的指标。一般低压熔断器的 K_R 值在 1.2~1.5 之间。

(6) I^2t 特性 当分断电流甚大时，以弧前时间—电流特性表征熔断器的性能已不够了，因为此时燃弧时间在整个熔断时间内并不能忽略。通常，当熔断器弧前时间小于 0.1s

时，熔断器的保护特性用 I^2t 特性表示。 I^2t 特性在产品标准中有规定。

四、熔体材料与形状

1. 熔体材料

熔体是熔断器的核心部分，熔体材料直接影响到熔断器的性能。熔体材料有低熔点和高温金属两类。低熔点材料有锡、锌、铅及其合金。高温材料有铜、银，近年来也采用铝来代替银。低熔点材料因熔点低，最小熔化电流及熔化系数小，有利于过载保护，比较容易解决在小倍数过载工作下，导电触刀温度过高的问题。但低熔点材料亦有不足之处，即分断能力较小。因为在长度和电阻相同的条件下，低熔点材料电阻率较大，熔体的面积势必较大，熔断时产生的金属蒸气较多，对熄灭电弧不利，以致分断能力下降。反之，高温材料电阻率小，熔体面积较小，熔断后金属蒸气少，易于熄灭电弧，因而具有高分断能力。但高温材料熔点高，小倍数过载时，熔断器中的其他导体温度过高，熔化系数也较大。

2. 冶金效应

由于低熔点材料和高温材料各具有其优缺点，克服其缺点，从而同时满足两种不同的要求。为达到这个目的，通常采用“冶金效应”，即在高温点的金属熔体上焊纯锡（或锡镉合金），当熔体通过过载电流时，首先锡溶剂熔化，然后高温点的金属原子溶解于锡溶剂中，而成为合金，其熔点比高温金属低，同时它的电阻率也增大，致使局部发热剧增而首先熔断，缩短了熔化时间。这样，熔化系数就大为减小，过载保护性能大为改善。另一方面，由于熔体本身仍为高温材料，锡桥或锡珠体积又很小（一般情况下，锡溶剂的体积不应超过焊接处高温金属熔体体积的5倍），因而固有的高分断能力依然得以保持。应该指出，当通过短路电流时，由于熔体熔化时间极短，“冶金效应”不起作用。

3. 熔体形状

熔体的形状大体有两种：丝状和片状。丝状熔体多用于小电流场合，片状的熔体是用薄金属片冲成，有宽窄不等的变截面，也有在带形薄片上冲出一些孔，不同的熔体形状可以改变熔断器的时间—电流特性。对变截面熔体而言，其狭窄部分的段数取决于额定电流和电压，熔断器额定电压高时，要求狭窄部分的段数就多，用石英砂作填料的变截面熔体，单片熔体的熔断器额定电流大约在10~63A，熔断器的额定电流大于上述值时，可用两个或几个熔体并联。

4. 填充材料

在绝缘管中装入填充材料（简称填料）是加速灭弧，提高熔断器分断能力的有效措施，对于填料要求：热容量大，在高温作用下，不会产生气体，热导率高，其形状最好是卵圆形，颗粒大小要适当。填料必须清洁，不能含有铁等金属或有机物质，填充前必须经去铁、清洗和干燥处理。

目前，常用的填料有石英砂（ SiO_2 ）和三氧化二铝砂（ Al_2O_3 ）。尽管三氧化二铝砂的性能优于石英砂，但由于石英砂的价格较为便宜，目前均多采用石英砂。

因填料能把熔体上的热能传给壳体，所以为了获得一致的性能，在生产过程中，填料的填充密度必须保持恒定。因为低的填充密度，电弧会使空气迅速膨胀，影响弧柱电压和电流变化率。

5. 熔管材料

熔管是熔断体主要零件之一，起包容熔体和填料并起散热和隔弧的作用，因而要求熔管

机械强度高，耐热性及耐弧性好。目前，有填料熔断器的熔管一般采用的是瓷、氧化铝电瓷和高温电瓷材料。无填料熔断器的熔管材料为钢纸管、三聚氰胺玻璃管或硅有机玻璃布管。

熔管的形状以方管形和圆管形为主，但熔管的内腔均为圆形或近似圆形，以能在相同的几何尺寸下，有最大的容积，同时圆形的内腔能均匀承受电弧能量造成的压力，有利于提高熔断器的分断能力。几种常用熔断器的技术参数见表 1-1 ~ 表 1-4。

表 1-1 RT12 系列熔断器技术数据

额定电压/V	415			
熔断器代号	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
熔断器额定电流/A	20	32	63	100
熔体额定电流/A	4, 6, 10, 16, 20	20, 25, 32	32, 40, 50, 63	63, 80, 100
极限分断能力/kA	80 ($\cos\varphi = 0.1 \sim 0.2$)			

表 1-2 RT15 系列熔断器技术数据

额定电压/V	415				
熔断器代号	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	
额定电流/A	熔断器	100	200	315	400
	熔体	40, 50, 63, 80, 100	125, 160, 200	250, 315	350, 400
极限分断能力/kA	80 ($\cos\varphi = 0.1 \sim 0.2$)				

表 1-3 NT、RT16、RT17 系列熔断器技术数据

型号	熔断体额定电流/A	额定电压/V	底座型号、额定电流/A
NT00C RT16—000	4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 60, 80, 100	500	Sist101 160
NT100 RT16—00	4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 6, 80, 100 125, 160	500 660 500	
NT0 RT16—0	6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 6, 80, 100 125, 160	500 500 600	Sist160 160
NT1 RT16—1	80, 100, 125, 160, 200 224, 150	500 500 660	Sist201 250
NT2 RT16—2	125, 160, 200, 224, 250, 300, 315 355, 400	500 600 500	Sist401 400
NT3 RT16—3	315, 355, 400, 425 500, 630	500 660 500	Sist601 630
RT17	800, 1000	380	Sist1001 1000

注：Sist 为 NT 系列的底座型号。RT16 的底座以尺码表示规格，如 000, 00, 1, 2, 3, 在型号中已表示。

表 1-4 RL6、RL7 系列熔断器技术数据

型号	额定电压 /V	额定电流/A		极限分断能力 (有效值)	熔体额定耗散功率/W	约定时间和约定电流			
		支持件	熔体			熔断体额定电流	约定不熔断电流	约定熔断电流	约定时间 /h
RL16	500	25	2,4,6,10,16,20,25	50kA ($\cos\varphi = 0.1 \sim 0.2$)	4	$I_N \leq 4A$	$1.5I_N$	$2.1I_N$	1
		63	35,50,63		7				
		100	80,100		9	$4A < I_N < 16A$	$1.5I_N$	$1.9I_N$	1
		200	125,160,200		19	$16A \leq I_N \leq 63A$			1
RL7	660	25	2,4,6,10,16,20,25	50kA ($\cos\varphi = 0.1 \sim 0.2$)	6.3	$63A < I_N \leq 160A$	$1.25I_N$	$1.6I_N$	2
		63	35,50,63		13.4	$160A < I_N \leq 200A$			2
		100	80,100		16.8				

五、熔断器的选用与维护

1. 熔断器的选用

1) 熔断器类型的选择主要根据使用场合来选择不同的类型。例如，作电网配用电，应选择一般工业用熔断器；作硅元件保护用，应选择保护半导体器件的快速熔断器；供家庭使用，宜选用螺旋式或半封闭插入式熔断器。

2) 熔断器的额定电压必须等于或高于熔断器安装处的电路额定电压。

3) 电路保护用熔断器熔体的额定电流基本上可按电路的额定负载电流来选择，但其极限分断能力必须大于电路中可能出现的最大故障电流。

4) 在电动机回路中作短路保护时，应考虑电动机的起动条件，按电动机的起动时间长短选择熔体的额定电流。

① 对起动时间不长的场合，可按下式决定熔体的额定电流 I_{fu} ：

$$I_{fu} = I_{st}/(2.5 \sim 3) = I_N(1.5 \sim 2.5)$$

式中 I_{st} ——电动机的起动电流；

I_N ——电动机的额定电流。

② 对起动时间长或较频繁起动的场合，按下式决定熔体的额定电流 I_{fu} ：

$$I_{fu} = I_{st}/(1.6 \sim 2)$$

③ 对于多台并联电动机的电路，考虑到电动机一般不同时起动，故熔体的电流可按下列式计算：

$$I_{fu} = I_{st \cdot \max}/(2.5 \sim 3) + \sum I_N$$

或

$$I_{fu} = I_N(1.5 \sim 2.5) + \sum I_N$$

式中 $I_{st \cdot \max}$ ——最大一台电动机的起动电流；

$\sum I_N$ ——其余电动机额定电流之和。

5) 为了防止越级熔断、扩大停电事故范围，各级熔断器间应有良好的协调配合，使下一级熔断器比上一级的先熔断，从而满足选择性保护要求。选择时，上下级熔断器应根据其

保护特性曲线上的数据及实际误差来选择。一般老产品的选择比为 2:1，新型熔断器的选择比为 1.6:1。例如，下级熔断器额定电流为 100A，上级熔断器的额定电流最小也要为 160A，才能达到 1.6:1 的要求，若选择比大于 1.6:1 会更可靠地达到选择性保护。值得注意的是这样将会牺牲保护的快速性，因此实际应用中应综合来考虑。

6) 保护半导体器件用熔断器的选择。在变流装置中作短路保护时，应考虑到熔断器熔体的额定电流是用有效值表示，而半导体器件的额定电流是用通态平均电流 $I_{T(av)}$ 表示的，应将 $I_{T(av)}$ 乘以 1.57 换算成有效值。因此，熔体的额定电流可按下式计算：

$$I_{fn} = 1.57 I_{T(av)}$$

2. 熔断器的安装和维护

1) 安装熔断器除保证足够的电气距离外，还应保证足够的间距，以保证拆卸、更换熔体方便。

2) 安装前应检查熔断器的型号、额定电压、额定电流、额定分断能力等参数是否符合规定要求。

3) 安装熔体必须保证接触良好，不能有机机械损伤。

4) 安装引线要有足够的截面积，而且必须拧紧接线螺钉，避免接触不良。

5) 在运行中应经常注意熔断器的指示器，以便及时发现相熔体熔断的情况，防止缺相运行。如果检查发现熔体已经腐蚀、损伤或熔断，应更换同一型号规格的熔断器，不允许用其他型号熔断器代用（除非已通过验证）。

6) 熔断器插入与拔出要用规定的把手，不要直接用手拔熔体（熔断后外壳温度很高，以免烫伤），也不可不用合适的工具插入与拔出。更换时，必须在不带电的情况下进行。

7) 使用时应经常清除熔断器上及导电插座上的灰尘和污垢。

第二节 低压隔离器

低压隔离器也称刀开关，主要用于电气线路中隔离电源，也可作为不频繁地接通和分断空载电路或小电流电路之用。

刀开关按极数分，有单极、双极和三极；按结构分，有平板式和条架式；按操作方式分，有直接手柄操作、正面旋转手柄操作、杠杆操作和电动操作；按转换方式分，有单投、双投。另外，还有一种采用叠装式触点元件组成旋转操作的称为组合开关或转换开关。

一、刀开关的结构

刀开关又称闸刀开关，是结构最简单的手动电器，由静插座、手柄、动触刀、铰链支座和绝缘底板组成，典型结构如图 1-5 所示。静插座由导电材料和弹性材料制成，固定在绝缘材料制成的底

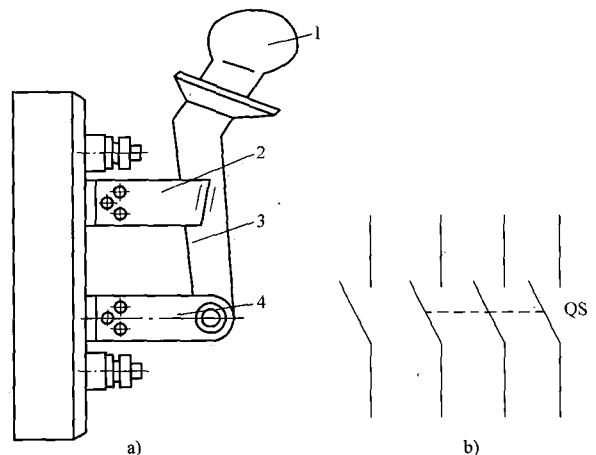


图 1-5 刀开关的典型结构及符号

a) 结构 b) 图形符号

1—手柄 2—静插座 3—动触刀 4—铰链支座

板上。动触刀与下支座铰链连接，连接处依靠弹簧保证必要的接触压力，绝缘手柄直接与触刀固定。能分断额定电流的刀开关装有灭弧罩，保证分断电路时安全可靠，灭弧罩由绝缘纸板和钢栅片拼铆而成。在低压电路中，用于不频繁接通和分断电路，或用来将电路与电源隔离。

图 1-6 为 HZ10 系列组合开关结构图及电气符号。它是一种凸轮式的作旋转运动的刀开关。组合开关也有单极、双极、三极和多极结构，主要用于电源引入或 5.5kW 以下电动机的直接起动、停止、反转、调速等场合。

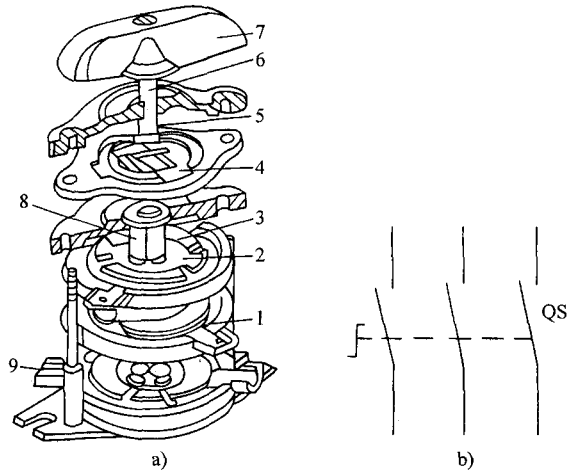


图 1-6 HZ10 系列组合开关结构图及电气符号

- 1—静触片 2—动触片 3—绝缘垫板
- 4—凸轮 5—弹簧 6—转轴 7—手柄
- 8—绝缘杆 9—接线柱

二、刀开关的型号及主要技术参数

1. 刀开关的型号

刀开关的型号及含义如图 1-7 所示。

2. 主要技术参数

刀开关的主要技术参数包括以下几条：

1) 额定电压。刀开关在长期工作中能承受的最大电压称为额定电压。目前生产的刀开关的额定电压，一般为交流 500V 以下，直流 440V 以下。

2) 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。大电流刀开关的额定电流一般分 100A, 200A, 400A, 600A, 1000A 及 1500A 等六级。

3) 操作次数。刀开关的使用寿命分机械寿命和电寿命两种：

机械寿命指刀开关在不带电的情况下所能达到的操作次数。

电寿命指刀开关在额定电压下能可靠地分断额定电流的总次数。

4) 电稳定性电流。发生短路事故时，刀开关不产生变形、破坏或触刀自动弹出的现象时的最大短路电流峰值就是刀开关的电稳定性电流。通常，刀开关的电稳定性电流为其额定电流的数十倍。

5) 热稳定性电流。发生短路事故时，如果刀开关能在一定时间（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。

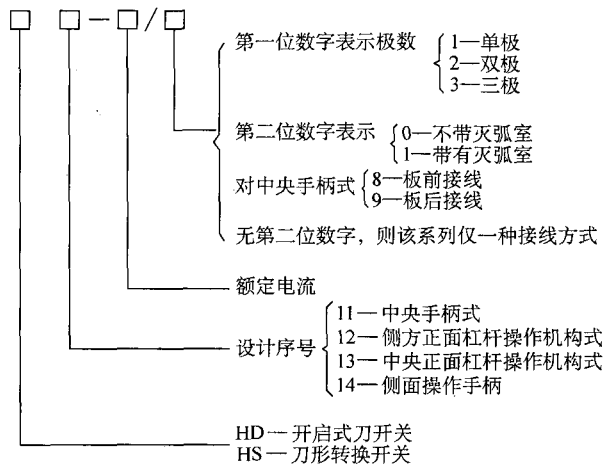


图 1-7 刀开关的型号及含义

三、刀开关的选用与安装

1. 刀开关的选用

选用刀开关时必须注意以下几点：①按刀开关的用途和安装位置选择合适的型号和操作方式。②刀开关的额定电流和额定电压必须符合电路要求。③校验刀开关的动稳定性和热稳定性，如不满足要求，就应选大一级额定电流的刀开关。

2. 刀开关的安装

刀开关在安装时必须注意以下几点：①刀开关安装时应做到垂直安装，使闭合操作时的手柄操作方向从下向上合，断开操作时的手柄操作方向从上向下分，不允许采用平装或倒装，以防止产生误合闸。②刀开关安装后应检查闸刀和静插座的接触是否成直线和紧密。③母线与刀开关接线端子相连时，不应存在极大的扭应力，并保证接触可靠。在安装杠杆操作机构时，应调节好连杆的长度，使刀开关操作灵活。

第三节 主令电器

主令电器用于发布操作命令以接通和分断控制电路。常见类型有按钮开关、位置开关、万能转换开关和主令控制器等。

一、按钮开关

按钮开关分为自动复位式和自锁式。按钮开关一般采用人力（手指、手掌、钥匙等）操作，受力后动作，自动复位式按钮在受力结束后自动复位，带有自锁的按钮则保持动作，待复位操作时才恢复原状。主要用于电气控制电路中，用于发布命令及电气联锁。

图 1-8 为按钮开关的一般结构。主要由按钮帽、复位弹簧、桥式动触点、动合静触点、动断静触点和装配基座（图中未画出）等组成。操作时，将按钮帽往下按，桥式动触点就向下运动，先与动断静触点（动断触点）分断，再与动合静触点（动合触点）接通，一旦操作人员的手指离开按钮帽，在复位弹簧的作用下，动触点向上运动，恢复初始位置。在复位过程中，先是动合触点分断，然后是动断触点闭合。图 1-9 是按钮的外形图和电气符号。

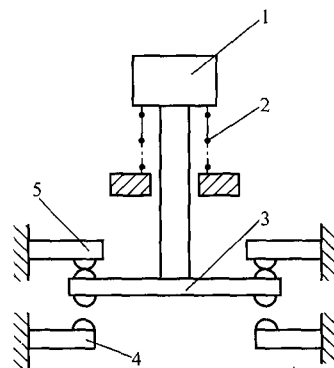


图 1-8 按钮一般结构示意图

- 1—按钮帽 2—复位弹簧
3—桥式动触头 4—动合静触点
5—动断静触点

按钮的使用场合非常广泛，规格品种很多。目前生产的按钮产品有 LA10、LA18、LA19、LA20、LA25、LA30 等系列，引进产品有 LAY3、LAY4、PBC 系列等。其中 LA25 是通用型按钮的更新换代产品。

LA25 系列控制按钮为积木式结构，采用插接式连接。采用独立的接触单元，具有任意组合动合触点、动断触点对数的优点。相邻触点元件在电气上是分开的，其基座采用耐电弧的聚碳酸酯塑料，静、动触点采用滚动式点接触，接触可靠。按钮安装时，钮头部分的套管穿过安装板，旋扣在底座上，板后用 M4 螺钉顶紧，安装方便，固定牢固。

二、位置开关

位置开关主要用于将机械位移转变为电信号，用来控制生产机械的动作。位置开关包括：行程开关、微动开关、限位开关及由机器部件或机械操作的其他控制开关。这里着重介

绍行程开关和微动开关。

1. 行程开关

行程开关是一种按工作机械的行程，发出操作命令的位置开关。主要用于机床、自动生产线和其他生产机械的限位及流程控制。结构与工作原理如下：

1) 直动式行程开关。图 1-10 为直动式行程开关结构图。其动作原理与控制按钮类似，只是它用运动部件上的撞块来碰撞行程开关的推杆。直动式行程开关虽结构简单，但是触点的分合速度取决于撞块移动的速度。若撞块移动速度太慢，则触点就不能瞬时切断电路，使电弧在触点上停留时间过长，易于烧蚀触点。因此，这种开关不宜用在撞块移动速度小于 0.4m/min 的场合。

2) 滚轮旋转式行程开关。为克服直动行程开关的缺点，可采用能瞬时动作的滚轮旋转式结构，内部结构如图 1-11 所示。当滚轮 1 受到向左的外力作用时，上转臂 2 向左下方转动，推杆 4 向右转动，并压缩右边弹簧 8，同时下面的小滚轮 5 也很快沿着擒纵件 6 向右转动，小滚轮滚动又压缩弹簧 7，当滚轮 5 走过擒纵件 6 的中点时，盘形弹簧 3 和弹簧 7 都使擒纵件 6 迅速转动，因而使动触点迅速地右边的静触点分开，并与左边的静触点闭合。这样就减少了电弧对触点的损坏，并保证了动作的可靠性。这类行程开关适用于低速运动的机械。

滚轮式行程开关的复位方式有自动复位和非自动复位两种。自动复位式是依靠本身的恢复弹簧来复原；非自动复位式在 U 形的结构摆杆上装有两个滚轮，当撞块推动其中一个滚轮时，摆杆转过一定的角度，使开关动作。撞块离开滚轮后，摆杆并不自动复位，直到撞块在返回行程中再反向推动另一滚轮时，摆杆才回到原始位置，使开关复位。这种开关由于具有“记忆”曾被压动过的特性，因此在某些情况下可使控制电路简化，而且根据不同需要，行程开关的两个滚轮可以布置在同一平面内或分别布置在两个平行平面内。图 1-12 是滚轮式行程开关的外形图及行程开关在电路中的电气符号，其中图 a 所示的单轮行程开关

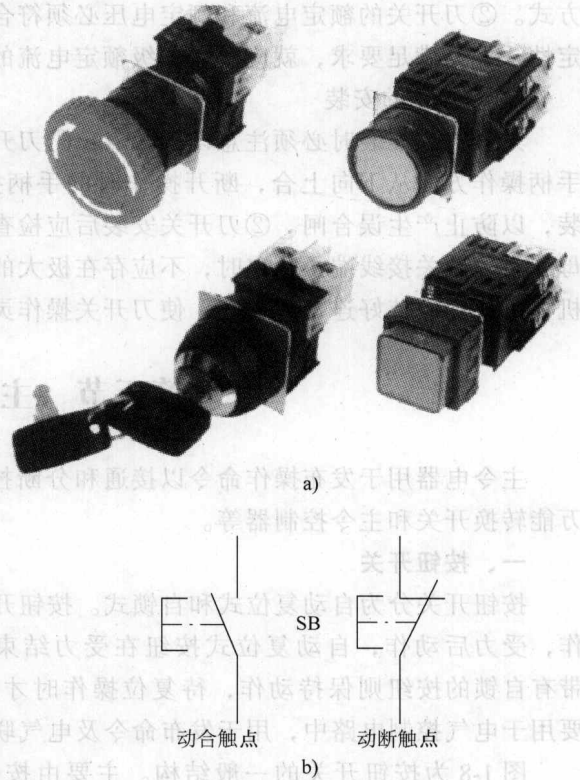


图 1-9 按钮的外形和电气符号

a) 外形图 b) 电气符号

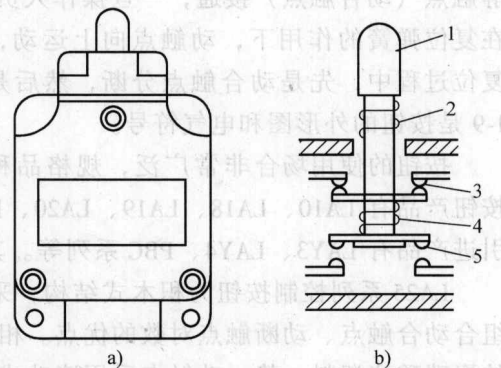


图 1-10 直动式行程开关

a) 外形图 b) 结构原理图

1—顶杆 2—弹簧 3—动断触点

4—触点弹簧 5—动合触点