




21世纪电气信息学科立体化系列教材

电气控制与PLC技术及应用

—— 西门子 S7-300 系列

主 编 熊 凌 谭建豪
副主编 周红军 王冬梅 乔志刚

 21世纪电气信息学科立体化系列教材

电气控制与PLC技术及应用

—— 西门子 S7-300 系列

主 编 熊 凌 谭建豪
副主编 周红军 王冬梅 乔志刚



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

内 容 简 介

本书是华中科技大学出版社 21 世纪电气信息学科立体化系列教材之一。本书以 S7-300 系列 PLC 为对象,从工程实际出发,列举了大量的应用实例,详细介绍了电气控制与 PLC 应用技术。全书共分 9 章,内容包括:低压电器、电气控制线路基础、PLC 概述、S7-300 PLC 硬件组成、STEP 7 软件使用、STEP 7 基本指令、STEP 7 编程、PLC 闭环控制和冶炼过程定氧加铝 PLC 控制系统的设计实例。

本书可供高等院校自动化类、机电类、电子信息科学类、电气信息类、仪器仪表类各专业师生作为“PLC 技术”课程教材使用,对现场工程科技人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 技术及应用:西门子 S7-300 系列/熊凌,谭建豪主编. — 武汉:华中科技大学出版社, 2014. 11

ISBN 978-7-5680-0518-0

I. ①电… II. ①熊… ②谭… III. ①电气控制-高等学校-教材 ②plc 技术-高等学校-教材
IV. ①TM571.2 ②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 269613 号

电气控制与 PLC 技术及应用——西门子 S7-300 系列

熊 凌 谭建豪 主编

策划编辑:王红梅

责任编辑:余 涛

封面设计:秦 茹

责任校对:马燕红

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×960mm 1/16

印 张:24 插页:2

字 数:510 千字

版 次:2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:43.80 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



21世纪电气信息学科立体化系列教材

编审委员会

顾问：

潘 垣（中国工程院院士，华中科技大学）

主任：

吴麟章（湖北工业大学）

委员：（按姓氏笔画排列）

王 斌（三峡大学电气信息学院）

余厚全（长江大学电子信息学院）

陈铁军（郑州大学电气工程学院）

吴怀宇（武汉科技大学信息科学与工程学院）

陈少平（中南民族大学电子信息工程学院）

罗忠文（中国地质大学信息工程学院）

周清雷（郑州大学信息工程学院）

谈宏华（武汉工程大学电气信息学院）

钱同惠（江汉大学物理与信息工程学院）

普杰信（河南科技大学电子信息工程学院）

廖家平（湖北工业大学电气与电子工程学院）

前言

本书是为适应应用型本科自动化类、机电类、电子信息科学类、电气信息类、仪器仪表类专业的教学需要而编写的。

西门子 S7-300 系列 PLC 作为现代化的自动控制装置已广泛应用于冶金、化工、机械、电力、矿业等有控制需要的各个行业,可以用于开关量控制、模拟量控制、数字控制、闭环控制、过程控制、运动控制、机器人控制、模糊控制、智能控制以及分布式控制等各种控制领域,是生产过程自动化必不可少的智能控制设备。

PLC 技术是自动化及相关专业的专业课,到目前为止,西门子 S7-300 系列 PLC 是市场占有率最高的 PLC 产品,掌握西门子 S7-300 系列 PLC 的组成原理、编程方法和应用技巧,是每一位自动化及相关专业技术人员必须具备的基本能力之一。

本书的主要特点如下。

(1)突出实用性。从常用电气控制线路、西门子 STEP 7 基本指令及编程方法的基础例题到 PLC 闭环控制的应用、冶炼过程定氧加铝 PLC 控制系统设计,所讲解的内容都来自工程实例,有较强的针对性和实用性。

(2)注重创新思维。在注重基础性的同时,注重创新思维,在 STEP 7 指令系统和 STEP 7 编程的章节,同一例题,使用不同的编程指令和编程方式,可让读者从中感受到编程的灵活性,掌握更多编程技巧。

(3)注重 PLC 最新发展。本书介绍了最新的 PLC“一网到底”的理念,介绍了西门子 PROFINET 网络。

本书由武汉科技大学熊凌主编并统稿,第 1、2 章由武汉科技大学王冬梅编写,第 3 章由武汉科技大学熊凌编写,第 4、5 章由湖南大学谭建豪编写,第 6 章由武汉理工大学华夏学院乔志刚编写,第 7、8、9 章由武汉科技大学周红军编写。武汉科技大学程耕国教授审阅了书稿,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此深表谢意!

本书在编写过程中参考了大量西门子网站资料、教材和文献,在此,本书的编者向有关作者致以衷心的感谢!

对于教材中仍可能存在一些错误和不足,恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 10 月

目 录

1 低压电器	(1)
1.1 概述.....	(1)
1.2 开关电器.....	(4)
1.3 熔断器.....	(6)
1.4 接触器.....	(10)
1.5 继电器.....	(14)
1.6 主令电器.....	(26)
1.7 本章小结.....	(34)
习题 1.....	(34)
2 电气控制线路基础	(35)
2.1 电气控制线路图的识图及绘制原则.....	(35)
2.2 电气控制的保护.....	(39)
2.3 三相异步电动机的启动控制.....	(42)
2.4 三相异步电动机的制动控制.....	(55)
2.5 三相异步电动机的调速控制.....	(58)
2.6 电气控制综合举例.....	(61)
2.7 本章小结.....	(64)
习题 2.....	(64)
3 PLC 概述	(65)
3.1 PLC 的定义.....	(65)
3.2 PLC 的产生与发展.....	(66)
3.3 PLC 的硬件组成和工作原理.....	(69)
3.4 PLC 的特点、分类和功能.....	(75)
3.5 PLC 与继电器控制、微机控制等的区别.....	(78)
3.6 本章小结.....	(81)
习题 3.....	(81)
4 S7-300 PLC 硬件组成	(82)
4.1 S7-300 PLC 的组成与结构.....	(82)
4.2 S7-300 PLC 的模块.....	(87)
4.3 S7-300 硬件安装.....	(103)

4.4	模块接线	(105)
4.5	S7-300 PLC 扩展能力	(108)
4.6	S7-300 PLC 通信技术	(112)
4.7	本章小结	(122)
	习题 4	(122)
5	STEP 7 软件使用	(123)
5.1	STEP 7 概述	(123)
5.2	STEP 7 的安装	(125)
5.3	STEP 7 的使用	(130)
5.4	一个简单的例子	(153)
5.5	程序的下载与调试	(156)
5.6	S7-PLCSIM 仿真软件	(160)
5.7	本章小结	(165)
	习题 5	(165)
6	STEP 7 基本指令	(167)
6.1	数据类型	(167)
6.2	STEP 7 指令基础	(171)
6.3	位逻辑指令	(179)
6.4	定时器指令	(192)
6.5	计数器指令	(207)
6.6	数据处理和运算指令	(214)
6.7	逻辑控制指令	(239)
6.8	程序控制指令	(244)
6.9	其他指令	(247)
6.10	本章小结	(248)
	习题 6	(249)
7	STEP 7 编程	(252)
7.1	STEP 7 编程语言	(252)
7.2	STEP 7 程序结构	(258)
7.3	数据块	(266)
7.4	逻辑块的结构	(270)
7.5	逻辑块编程	(273)
7.6	使用多重背景数据块	(292)
7.7	SFC、SFB 一览表	(299)
7.8	本章小结	(304)
	习题 7	(304)

8 PLC 闭环控制	(305)
8.1 PID 控制概述	(305)
8.2 数字 PID 控制器	(306)
8.3 模拟量的闭环控制功能	(308)
8.4 闭环控制中的应用	(326)
8.5 本章小结	(340)
习题 8	(340)
9 冶炼过程定氧加铝 PLC 控制系统的设计实例	(341)
9.1 冶炼过程定氧加铝系统介绍	(341)
9.2 控制系统设计	(343)
9.3 本章小结	(374)
参考文献	(375)

1

低压电器

1.1 概述

目前电力拖动系统已向无触点、连续控制、弱电化、微机控制等方向发展。但是,由于继电器-接触器控制系统所用的控制电器结构简单、价格低廉,且能满足生产机械的通常的生产要求,因此,目前仍然获得了广泛的应用。低压电器是继电器-接触器控制系统的基本组成元件,其性能直接影响着系统的可靠性、先进性以及经济性,是电气控制技术的基础。本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理以及使用方法等相关知识,并根据当前电器发展状况简要介绍新型电器元器件。

1.1.1 低压电器的概念和分类

低压电器是一种能根据外界的信号和要求,手动或自动地接通、断开电路,以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件或设备。根据我国现行低压电器基本标准的规定,将工作在交流 1200 V(50 Hz)以下、直流 1500 V 以下的电器称为低压控制电器。低压电器的种类繁多,按其用途可分为配电电器、保护电器、主令电器、控制电器和执行电器等。具体分类及用途如表 1-1 所示。

表 1-1 常用低压电器的分类及用途

类 别	电 器 名 称	用 途
配电电器	刀开关	主要用于低压供电系统。对这类电器的主要技术要求是:分断能力强,限流效果好,动稳定性和热稳定性好
	熔断器	
	断路器	
保护电器	热继电器	主要用于对电路和电气设备进行安全保护。对这类电器的主要技术要求是:具有一定的通断能力,反应灵敏度高,可靠性高
	电流继电器	
	电压继电器	
	漏电保护断路器	

续表

类 别	电 器 名 称	用 途
主令电器	按钮	主要用于发送控制指令。对这类电器的技术要求是：操作频率要高，抗冲击，电气和机械寿命要长
	行程开关	
	万能转换开关	
	主令控制器	
	接近开关	
控制电器	接触器	主要用于电力拖动系统的控制。对这类电器的主要技术要求是：有一定的通断能力，操作频率要高，电气和机械寿命要长
	时间继电器	
	速度继电器	
	压力继电器	
	中间继电器	
执行电器	电磁铁	主要用于执行某种动作和实现传动功能
	电磁阀	
	电磁离合器	

1.1.2 电磁式低压电器的基本结构和工作原理

低压电器种类繁多，广泛应用于各种场合。其中，电磁式低压电器是低压电器中最典型也是应用最广泛的一种电器。控制系统中的接触器和继电器就是两种最常用的电磁式低压电器。虽然电磁式低压电器的类型很多，但它们的工作原理和构造基本相同，一般都由电磁机构、触头以及灭弧装置三部分组成。

1. 电磁机构

电磁机构是低压电器的感测部件，主要由电磁线圈、铁芯以及衔铁三部分组成，其作用是将电磁能转换成机械能，带动触头动作，以控制电路的接通或断开。电磁线圈按接入电流的种类不同，可分为直流线圈和交流线圈，与之对应的电磁机构有直流电磁机构和交流电磁机构。

常用的交流电磁结构主要有以下三种形式，即：衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯，多用于直流电器中，如图 1-1(a)所示；衔铁沿轴转动的拍合式铁芯，多用于触头容量较大的交流电器中，如图 1-1(b)所示；衔铁直线运动的双 E 形直动式铁芯，多用于交流接触器、继电器中，如图 1-1(c)所示。

在交流电磁机构中，由于铁芯存在磁滞和涡流损耗，铁芯和线圈均易发热，因此在铁芯与线圈之间留有散热间隙；线圈做成有骨架的、短而厚的矮胖型，以便于散热；铁芯采用硅钢片叠成，以减小涡流。

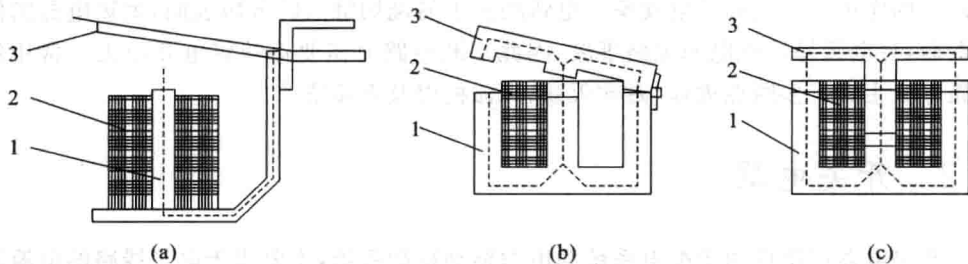


图 1-1 常用交流电磁结构形式

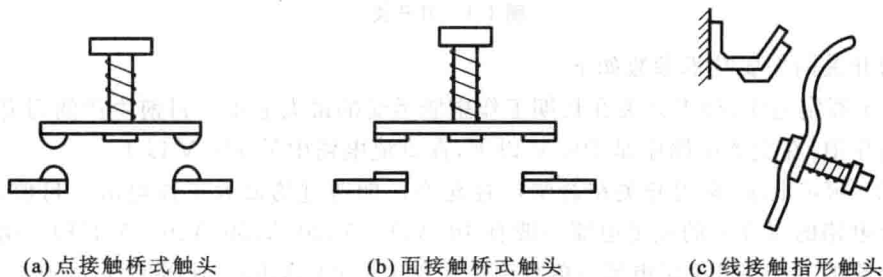
1—铁芯;2—线圈;3—衔铁

在直流电磁机构中,由于电流恒定,电磁机构中不存在涡流损失,铁芯不会发热,只有线圈发热。因此,铁芯和衔铁用软钢或工程纯铁制成,线圈做成无骨架、高而薄的瘦高型,以便于线圈自身散热。

2. 触头

触头又称触点,是有触点电器的执行部分,用于控制电路的接通与断开。触头由动、静触点两部分组成。

触头的接触形式主要有点接触形式(如球面对球面、球面对平面)、面接触形式(如平面对平面)及线接触形式(如圆柱对平面、圆柱对圆柱)等三种。其中,点接触形式的触点主要用于小电流的电器中,如接触器的辅助触点和继电器的触点;面接触形式的触点因接触面大,允许流过较大的电流,但接触表面一般镶有合金,以减小触点接触电阻、提高耐磨性,多用于较大容量接触器的主触点;线接触形式的触点的接触区域是一条直线,触点在通断过程中有滚动动作,多用于中等容量电器的触点,如直流接触器的主触点。在常用的继电器和接触器中,触头的结构形式主要有点接触桥式触头、面接触桥式触头和线接触指形触头等三种,如图 1-2 所示。



(a) 点接触桥式触头

(b) 面接触桥式触头

(c) 线接触指形触头

图 1-2 触头的结构形式

3. 灭弧装置

当切断电路时,触点之间由于电场的存在易产生电弧。电弧实际上是触点间气体

在强电场作用下产生的放电现象。电弧的发生易烧灼触点的金属表面,缩短电器的使用寿命,且电弧易造成电源短路事故,因此切断电路时需要迅速将电弧熄灭。常用的灭弧方法主要有多断点灭弧、磁吹灭弧、灭弧栅以及灭弧罩。

1.2 开关电器

开关电器广泛应用于配电系统和电力拖动控制系统,主要用于电气线路的电源隔离、电气设备的保护和控制。常用的开关电器主要有刀开关、低压断路器、隔离开关、转换开关(组合开关)、自动空气开关(空气断路器)等。

1.2.1 刀开关

刀开关主要用于电源隔离,用于切断非频繁地接通和断开的、容量较小的低压配电线路,如不经常启动及制动、容量小于 7.5 kW 的异步电动机。刀开关是一种结构最简单、应用最广泛的手动电器,主要由操作手柄、触刀、静触头、绝缘底板等组成。刀开关按刀数可分为单极、双极和三极等三种样式。图 1-3 所示的为刀开关的实物图、图形及符号。

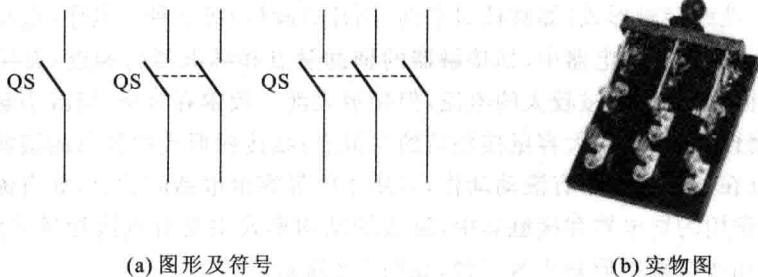


图 1-3 刀开关

刀开关的主要技术参数如下。

(1) 额定电压:即刀开关在长期工作中能承受的最大电压。目前生产的刀开关的额定电压值,在交流电路中是 500 V 以下,在直流电路中是 440 V 以下。

(2) 额定电流:即刀开关在合闸位置允许长期通过的最大工作电流。目前,用于小电流电路的刀开关的额定电流一般有 10 A、15 A、20 A、30 A、60 A 五种。用于大电流电路的刀开关的额定电流一般有 100 A、200 A、400 A、600 A、1000 A、1500 A 六种。

(3) 稳定性电流:即发生短路事故时,刀开关不产生形变、破坏或触刀自动弹出的现象的最大短路峰值电流。刀开关的稳定性电流一般为其对应的额定电流的数十倍。

(4) 操作次数:刀开关的使用寿命分为机械寿命和电气寿命两种。机械寿命是指刀开关不带电时所能达到的操作次数;电气寿命是指在额定电压下刀开关能可靠地分

断额定电流的总次数。

所有这些技术参数是刀开关选型的主要依据。选型时,刀开关的额定电压、额定电流应分别大于或等于分断电路中各负载额定电压、额定电流的总和。

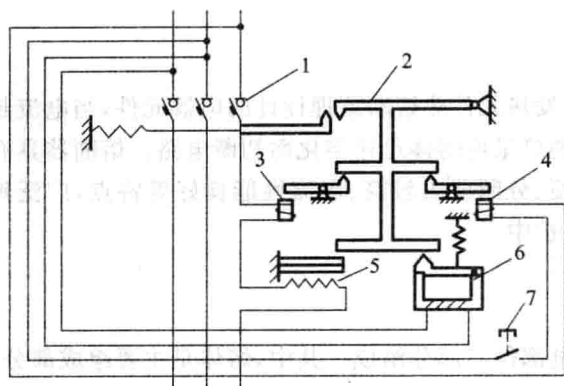
1.2.2 低压断路器

低压断路器也称为自动空气开关,用于接通和分断负载电路,以及控制不频繁启动的电动机;当电路发生严重的过载、短路或欠电压等故障时能自动切断电路,是广泛应用于低压配电线路中的一种保护电器。低压断路器的分类:按极数可分为单极、双极、三极和四极低压断路器;按灭弧介质可分为空气式和真空式低压断路器。

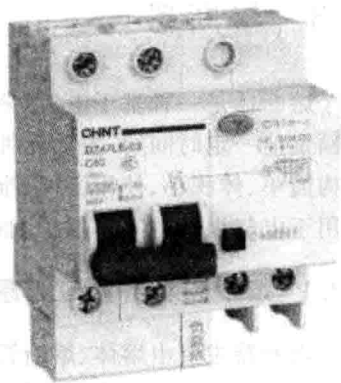
1. 低压断路器的结构与工作原理

低压断路器由三个基本部分组成:主触头、灭弧装置和脱扣器。主触头是断路器的执行元件,用于接通和分断主电路。脱扣器是断路器的感受元件,主要有过电流脱扣器、热脱扣器、欠电压脱扣器、自由脱扣器等,如图 1-4 所示。

低压断路器的工作原理是:利用操作机构将电路中的开关手动或电动合闸,主触头闭合,自由脱扣器将触头锁定在合闸位置上。电路出现故障时,各脱扣器感测到故障信号后,经自由脱扣器使主触头分断,从而起到保护作用。



(a) 结构图



(b) 实物图

图 1-4 低压断路器

1—主触头;2—自由脱扣器;3—过电流脱扣器;4—分励脱扣器;

5—热脱扣器;6—欠电压脱扣器;7—停止按钮

当电路发生短路或严重过载时,过电流脱扣器的衔铁吸合,使脱扣机构动作,主触点断开电路;当电路过载时,热脱扣器的热元件发热使双金属片向上弯曲,推动自由脱扣机构动作;当电路欠压时,欠电压脱扣器的衔铁释放,也使得自由脱扣机构动作;分励脱扣器主要用于远距离控制,在正常工作时,其线圈是断电的;在需要远距离控制

时,按下按钮,使线圈通电,衔铁带动自由脱扣机构动作,使主触点断开。

2. 低压断路器的主要技术参数

(1) 额定电压:即断路器在长时间工作时所能允许的最大工作电压,通常不小于电路的额定电压。

(2) 额定电流:即断路器在长时间工作时所能允许的最大持续工作电流。

(3) 通断能力:指断路器在规定的电压、频率以及规定的线路参数下,所能接通和分断的短路电流值。

(4) 分断时间:指断路器切断故障电流所需的时间。

3. 低压断路器的选择

低压断路器的主要技术参数是选择低压断路器的主要依据,一般应遵循以下规则:

(1) 额定电流、电压应不小于线路、设备的正常工作电压和工作电流;

(2) 热脱扣器的整定电流与所控制的负载的额定电流一致;

(3) 欠电压脱扣器的额定电压等于线路的额定电压;

(4) 过流脱扣器的额定电流不小于线路的最大负载电流。

1.3 熔断器

熔断器是一种基于电流热效应和发热元件热熔断原理设计的电器元件,当电流超过额定值一定时间后,发热元件产生的热量使熔体迅速熔化而切断电路。熔断器具有结构简单、体积小、使用方便、维护方便、分断能力较高、限流性能良好等特点,广泛应用于电气设备的短路保护和过流保护中。

1.3.1 熔断器的结构与工作原理

熔断器主要由熔体、熔断管及导电部件三部分组成。其中,熔体是主要组成部分,它既是感测元件又是执行元件;一般由易熔金属材料(铅、锡、锌、银、铜及其合金)制成丝状、片状、带状或笼状,串联于被保护电路中。熔断管一般由硬质纤维或瓷质绝缘材料制成半封闭式或封闭式管状外壳,熔体装于其内,其作用是便于安装熔体和利于熔体熔断后熄灭电弧;熔断管中的填料一般使用石英砂,起分断电弧且吸收热量的作用,可使电弧迅速熄灭。

熔断器工作时熔体串联在被保护电路中,负载电流流过熔体,熔体发热。当电路正常工作时,熔体的最小熔化电流大于额定电流,熔体不会熔断;当电路发生短路或过电流时,熔体的最小熔化电流小于电路工作电流,熔体的温度升高并逐渐达到熔体金属熔化温度,熔体自行熔断,从而分断故障电路,起到保护作用。

1.3.2 熔断器的保护特性

熔断器的保护特性亦称熔化特性,是指流过熔体的熔化电流与熔化时间之间的关系,如图 1-5 所示。在保护特性中,有一条熔断电流与不熔断电流的分界线,与之对应的电流就是最小熔化电流 I_{\min} 和熔体额定电流 I_N 。当通过熔体的电流大于或等于 I_{\min} 时,熔体熔断;当通过熔体的电流小于 I_{\min} 时,熔体不熔断;在通过熔体的电流是额定电流 I_N 时,熔体不熔断。熔断器的保护特性,具有反时限特性,即流过熔体的电流越大,熔断时间越短;在一定的过载电流范围内,熔断器不会立即熔断,可继续使用。

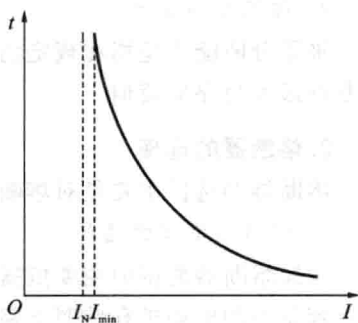


图 1-5 熔断器的保护特性

定义 $K_r = I_{\min} / I_N$ 为熔断器的熔化系数,即最小熔化电流 I_{\min} 与熔体额定电流 I_N 的比值,用来反映熔断器保护小倍数过载时的灵敏度。当小倍数过载时, K_r 较小,过载保护有利,但不宜太小;若 K_r 接近于 1,熔体在额定电流下的工作温度将会过高,而且还可能因为保护特性本身的误差而发生熔体在额定电流下也熔断的现象,从而影响熔断器工作的可靠性。

熔化系数主要取决于熔体的材料、结构以及工作温度。不同材料的熔断器有着不同的熔断特性。低熔点的金属材料(如铅锡合金、锌等)作为熔体时,熔化所需热量小,熔化系数较小,有利于过载保护;但由于电阻系数较大、熔体截面积较大,熔断时易产生较多的金属蒸汽不利于灭弧,不利于分断,因此分断能力较低。高熔点的金属材料(如银、铝、铜等)作为熔体时,熔化所需热量大,熔化系数较大,熔断器易过热,且不利于过载保护;但由于电阻系数低、熔体截面积较小,有利于灭弧,因此分断能力高。因此,不同熔体材料的熔断器,在电路中起保护作用的侧重点是不同的。

1.3.3 熔断器的主要参数及选择

1. 熔断器的主要参数

1) 额定电压

指熔断器长期工作时和分断后能够承受的电压,其值一般等于或大于电气设备的额定电压。熔断器的交流额定电压有 220 V、380 V、415 V、500 V、600 V、1140 V;直流额定电压有 110 V、220 V、440 V、800 V、1000 V、1500 V。

2) 额定电流

指熔断器长期工作时,各部件温升不超过规定值时所能承受的电流。额定电流有两种:一种是熔断管的额定电流,也称熔断器额定电流;另一种是熔体的额定电流。厂

家为了减少熔断管的规格,熔断管的额定电流等级比较少;熔体的额定电流等级比较多。也就是说,在一个额定电流等级的熔断管内可以分几个额定电流等级的熔体,但熔体的额定电流最大不能超过熔断管的额定电流。

3) 极限分断能力

极限分断能力是指在规定的额定电压和功率因数(或时间常数)的条件下,能可靠分断的最大短路电流值。

2. 熔断器的选择

熔断器的选择主要是对熔断器类型的选择和熔体额定电压、电流的选择。

1) 熔断器类型的选择

选择熔断器类型的主要依据是:使用场合、负载的保护特性以及短路电流的大小。对于容量小的电动机和照明支路,一般考虑过载保护,通常选用铅锡合金熔体的 RQA 系列的熔断器;对于容量较大的电动机和照明干路,则需着重考虑短路保护和分断能力,通常选用具有较高分断能力的 RM10 和 RL1 系列的熔断器;当短路电流很大时,则应选用具有有限流作用的 RT0 和 RT12 系列的熔断器。

2) 熔体额定电压和电流的选择

(1) 熔断器的额定电压必须等于或大于熔断器所在电路的额定电压。

(2) 保护无启动过程的平稳负载(如照明线路、电阻、电炉等)时,熔体额定电流应略大于或等于负载电路中的额定电流。

(3) 保护单台长期工作的电机的熔体电流应按最大启动电流选取,也可按下式选取:

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

式中: I_{RN} ——熔体额定电流;

I_N ——电机额定电流。

如果电机频繁启动,式中系数 1.5~2.5 适当放大至 3~3.5,具体应根据实际情况而定。

(4) 保护多台设备长期工作的电机可按下式选取:

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{N_{\max}} + \sum I_N$$

式中: $I_{N_{\max}}$ ——容量最大的单台电机的额定电流;

$\sum I_N$ ——其余电机额定电流之和。

3. 熔断器的型号和电气符号

熔断器的典型产品有 R16、R17、RL96、RLS2 系列螺旋式熔断器,RL1B 系列带断相保护螺旋式断路器,RT14 系列有填料封闭式断路器。熔断器各型号的含义和电气图形符号如图 1-6 所示。