

现代电气控制及

PLC

XIANDAI DIANQI
KONGZHI
JI PLC YINGYONG JISHU

应用技术

主编 封孝辉 王长利



国防工业出版社

National Defense Industry Press

现代电气控制及 PLC 应用技术

主 编 封孝辉 王长利
副主编 甘金颖 隋晓梅
参 编 任宏德 闫文忠

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要以实际理论为基础,紧密联系工程实践。全书共分8章,分别介绍了电磁继电器控制和 PLC 控制技术两部分内容。主要内容有常用低压电器、继电器—接触器控制系统的基本电路、电气控制线路设计基础、电气控制在生产中的应用、可编程序控制器概述、基本组成及工作原理、S7-200PLC 的指令系统、PLC 控制系统的设计与应用等。重点为电磁继电器基本控制电路与应用和 PLC 程序设计与应用系统设计。着力培养学生分析设计电气控制电路和 PLC 控制系统的能力。

本书适用于普通高等工科院校电气工程及其自动化、自动化、机械设计及其自动化、机电一体化等专业,也可供高职高专相关专业或从事相关领域技术工作的工程技术人员参考,还可作为相关行业的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代电气控制及 PLC 应用技术/封孝辉,王长利主编.
—北京:国防工业出版社,2013.1
ISBN 978-7-118-08443-6

I. ①现... II. ①封... ②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(2012)第 272538 号

※
国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 286 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

现代电气控制与 PLC 应用技术是一门实用性很强的技术学科,既体现了电气控制技术发展的现状,又体现了电气控制技术发展的方向。本书是根据目前高等学校教学改革的需要,将工厂电气控制设备和可编程应用两门课程合并而编写的,同时充分考虑了电气控制技术的实际应用和发展状况,力求在本书的编写中体现实用性和先进性。

本书分为传统的电磁继电器控制线路分析与设计和可编程控制器原理与应用两部分。为培养学生电气控制线路分析和设计能力,第一部分详细讲述了常用的低压电器的结构及工作原理、常用的基本控制电路以及工程应用和设计;第二部分以西门子公司 S7 - 200 系列可编程控制器为主,详细介绍了可编程控制器的原理与应用技术。

本书从教育规律和实际工程应用的需要出发,循序渐进地介绍电气控制的原理、设计方法和可编程控制器的技术应用。

本书在教学过程中,可根据不同专业、课时多少进行删减,由于前后两部分既联系又独立,故也可供分别开设“电器控制技术”及“可编程序控制器应用技术”两门课程的院校选用。

本书由华北科技学院封孝辉、王长利主编。第 1 章、第 2 章由封孝辉编写,第 3 章由王长利编写,第 4 章由隋晓梅编写,第 5 章、第 6 章由甘金颖编写,第 7 章由任宏德编写,第 8 章由闫文忠编写。全书封孝辉统稿。

本书在编写过程中,参考了许多专家和学者发表的论文和著作,以及一些产品的说明书,作者在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免出现错误及不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 概述	1
1.1.1 常用低压电器的分类	1
1.1.2 常用低压电器的基础知识	1
1.2 熔断器	7
1.2.1 熔断器的结构及工作原理	7
1.2.2 常用典型熔断器	8
1.2.3 熔断器的选用原则	10
1.3 低压隔离器	11
1.3.1 刀开关	11
1.3.2 开闭式负荷开关	12
1.3.3 组合开关	12
1.3.4 熔断器式隔离器	13
1.3.5 隔离器、刀开关的选用原则	14
1.4 低压断路器	14
1.4.1 低压断路器的结构及工作原理	14
1.4.2 常用典型低压断路器	16
1.4.3 低压断路器的选用原则	17
1.5 接触器	18
1.5.1 电磁式接触器的结构及工作原理	18
1.5.2 常用典型接触器	19
1.5.3 接触器的选用原则	20
1.6 继电器	21
1.6.1 继电器特性	21
1.6.2 电磁继电器	21
1.6.3 时间继电器	24
1.6.4 热继电器	26
1.6.5 速度继电器	29
1.7 主令电器	30
1.7.1 控制按钮	31
1.7.2 行程开关	31

1.7.3	转换开关	32
1.7.4	主令控制器	33
1.7.5	主令电器的选用原则	34
习题	34
第2章	继电器—接触器控制系统的基本电路	35
2.1	电气控制线路的绘制	35
2.1.1	常用电气元件的图形符号和文字符号	35
2.1.2	电气线路图	38
2.1.3	阅读和分析电气控制线路图的方法	39
2.2	三相异步电动机的起动控制线路	41
2.2.1	鼠笼式异步电动机全压起动控制	41
2.2.2	鼠笼式异步电动机降压起动控制线路	44
2.2.3	绕线式异步电动机起动控制线路	50
2.2.4	用电子式软起动器进行起动的控制线路	53
2.3	三相异步电动机的正反转控制线路	54
2.3.1	电动机可逆运行的手动控制线路	54
2.3.2	电动机可逆运行的自动控制线路	56
2.4	三相异步电动机制动控制线路	57
2.4.1	电磁机械制动控制线路	57
2.4.2	反接制动控制线路	59
2.4.3	能耗制动控制线路	64
2.5	三相异步电动机的调速控制线路	67
2.6	其他典型控制线路	71
2.6.1	多地点控制线路	71
2.6.2	顺序起停控制线路	71
2.6.3	步进控制线路	72
2.6.4	多台电动机同时起停电路	73
习题	73
第3章	电气控制线路设计基础	75
3.1	电气控制系统的主要内容	75
3.1.1	电气控制系统设计的一般原则	75
3.1.2	电气控制系统设计的基本内容	82
3.1.3	电气控制系统设计步骤	83
3.2	电气控制系统的设计方法	83
3.2.1	经验设计法	84
3.2.2	经验设计法的设计举例	85
3.2.3	逻辑设计法	87

3.2.4	逻辑设计法的设计举例	90
3.3	电气控制线路工艺设计基础	91
3.3.1	电气设备总体配置设计	91
3.3.2	电器元件布置图的设计与绘制	91
3.3.3	电器部件接线图的绘制	92
3.3.4	电气柜、箱及非标准零件图的设计	93
3.3.5	各类元器件及材料清单的汇总	93
3.3.6	编写设计说明书	93
	习题	94
第4章	电气控制在生产中的应用	96
4.1	普通车床的电气控制	96
4.1.1	普通车床的主要工作情况	96
4.1.2	C650型卧式普通车床结构及动作要求	96
4.1.3	主电动机的控制	97
4.1.4	刀架快速移动控制	98
4.1.5	冷却泵电动机的控制	98
4.2	桥式起重机的电气控制系统	98
4.2.1	桥式起重机的概述	98
4.2.2	控制要求	98
4.2.3	10t桥式起重机电气控制	99
4.3	智能大厦生活水泵的电气控制系统	102
4.3.1	控制要求	102
4.3.2	电气控制线路	102
	习题	105
第5章	可编程序控制器概述	106
5.1	可编程序控制器的产生与发展	106
5.2	可编程序控制器的定义	108
5.3	可编程序控制器的特点	108
5.4	可编程序控制器与其他工业控制装置的比较	110
5.5	可编程序控制器的分类	110
5.6	可编程序控制器的应用领域	114
	习题	115
第6章	可编程序控制器的基本组成及工作原理	116
6.1	PLC的基本组成与各部分的作用	116
6.2	PLC的编程语言	119
6.2.1	梯形图语言	120
6.2.2	指令(语句)表	121

090	6.2.3 顺序功能图	121
119	6.2.4 功能块图	122
119	6.2.5 结构化文本	122
119	6.3 PLC 的工作原理	122
150	6.3.1 PLC 的工作过程	122
150	6.3.2 PLC 的工作原理	124
150	6.3.3 PLC 的响应时间	126
159	6.4 SIMATIC S7-200 系列 PLC	127
140	6.4.1 S7-200 PLC 的基本组成	127
160	6.4.2 主机结构及性能特点	128
160	6.4.3 扩展模块	129
167	6.5 S7-200 系列 PLC 的内部资源分配	130
167	6.5.1 S7-200 系列 CPU 存储器的划分与访问	130
170	6.5.2 S7-200 系列 CPU 存储器划分与访问	132
180	6.6 S7-200 PLC 的存储区	133
180	6.6.1 存储区及其寻址	133
180	6.6.2 数据类型	138
180	6.6.3 数据在存储器中的存取方式	138
180	6.6.4 数据在存储器中的寻址	139
180	6.7 S7-200 系列 CPU 的程序结构	139
180	6.8 S7-200PLC 的指令格式	140
180	习题	142
	第 7 章 S7-200 PLC 的指令系统	144
180	7.1 S7-200 PLC 的基本逻辑指令	144
180	7.1.1 逻辑取及线圈驱动指令	144
180	7.1.2 触点串联指令	145
180	7.1.3 触点并联指令	145
180	7.1.4 串联电路块的并联指令	145
180	7.1.5 并联电路块的串联指令	146
180	7.1.6 逻辑堆栈指令	147
180	7.1.7 取反指令和空操作指令	148
180	7.1.8 置位、复位指令	149
180	7.1.9 脉冲生成指令	150
180	7.1.10 定时器指令	150
180	7.1.11 计数器指令	153
180	7.1.12 顺控继电器指令	154
180	7.1.13 比较指令	156

7.1.14	程序控制指令	157
7.2	S7-200 PLC 的功能指令	162
7.2.1	传送指令	162
7.2.2	交换字节指令	163
7.2.3	数学运算指令	164
7.2.4	移位和循环移位指令	169
7.3	编程的一般规则	172
7.3.1	基本概念	172
7.3.2	梯形图编程规则	172
7.3.3	编程举例	173
	习题	176
第 8 章	PLC 控制系统的设计与应用	177
8.1	PLC 控制系统设计的基本原则和步骤	177
8.2	PLC 控制系统的硬件设计	177
8.2.1	PLC 机型的选择	178
8.2.2	模块的选择	179
8.2.3	I/O 地址分配	180
8.3	PLC 控制系统的软件设计	180
8.3.1	经验设计法	180
8.3.2	顺序功能图法	180
8.4	PLC 控制系统的应用举例	187
8.4.1	PLC 在智力竞赛抢答装置中的应用	187
8.4.2	PLC 在燃油锅炉控制系统中的应用	188
	习题	191
	参考文献	193

第1章 常用低压电器

1.1 概述

电器是所有电工器械的总称。凡是对电能的生产、输送、分配和使用起控制、调节、检测、转换及保护等作用的电气设备都可称为电器。

我国现行标准将电器按其工作电压等级分为高压电器和低压电器。凡工作在交流50Hz、额定电压1200V及其以下或直流电压1500V及其以下的电路中的电器统称为低压电器。

1.1.1 常用低压电器的分类

低压电器的种类繁多,构造各异,分类方法也很多。常见的低压电器按用途可以分为以下几类。

1. 低压配电电器

主要用于低压供电系统。这类低压电器有刀开关、自动空气开关、隔离开关、转换开关以及熔断器等。对这类电器的主要技术要求是分断能力强,限流效果好,动稳定及热稳定性性能好。

2. 低压控制电器

主要用于电力拖动控制系统。这类低压电器有接触器、继电器、控制器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力,操作频率高,电器和机械寿命要长。

3. 低压主令电器

主要用于发送控制指令的电器。这类电器有按钮、主令开关、行程开关和万能开关等。对这类电器的主要技术要求是操作频率要高,抗冲击,电器和机械寿命要长。

4. 低压保护电器

主要用于对电路和电气设备进行安全保护的电器。这类低压电器有熔断器、热继电器、电压继电器、电流继电器和避雷器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力,反应灵敏,可靠性要高。

5. 低压执行电器

主要用于执行某种动作和传动功能的电器。这类低压电器有电磁铁、电磁离合器等。本书涉及的电力拖动自动控制系统常用低压电器主要有以下几种:熔断器,隔离器,刀开关,低压断路器,接触器,继电器,主令电器(控制按钮、行程开关转换开关主令控制器)。

1.1.2 常用低压电器的基础知识

1. 电磁式低压电器的基本结构

从结构上看,电器一般由两个基本部分(感受部分和执行部分)组成。感受部分接受

外界输入的信号,并通过转换、放大与判断做出有规律的反应,使执行部分动作;执行部分则按照感受部分对外界输入信号的反应进行相应的动作,从而接通或分断电路,实现控制的目的。

在常用低压控制电器中大部分为电磁式电器。对于有触点的电磁式电器,其感受部分就是电磁机构,执行部分就是触头系统。

2. 电磁机构

1) 电磁机构的组成和工作原理

电磁机构是电磁式电器的重要组成部分,它的主要作用是将电磁能量转换成机械能量,带动触头动作,从而接通或分断电路。电磁机构通常采用电磁铁的形式,由吸引线圈、铁芯和衔铁三部分组成,其结构形式按衔铁的运动方式一般可分为直动式和转动式(拍合式)两种,如图 1.1 所示。

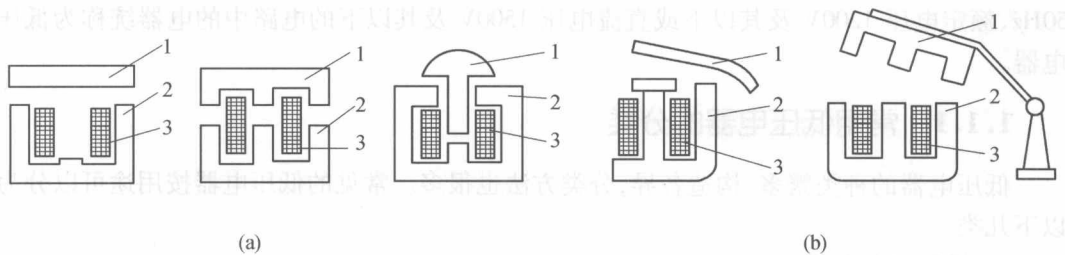


图 1.1 常见的电磁机构
(a) 直动式; (b) 转动式(拍合式)。
1—衔铁; 2—铁芯; 3—吸引线圈。

电磁机构的工作原理:当吸引线圈通入电流后,产生磁场,磁通经铁芯、衔铁和工作气隙形成闭合回路,产生电磁吸力,衔铁在电磁吸力的作用下产生机械位移,被铁芯吸合。与此同时,衔铁还要受到弹簧的拉力等与电磁吸力方向相反的反力的作用。只有当电磁吸力大于反力时,衔铁才能可靠地被铁芯吸住。电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来表述。

吸引线圈通入的电流可能是直流电也可能是交流电。通入直流电的线圈称为直流线圈,通入交流电的线圈称为交流线圈。直流线圈产生恒定磁通,铁芯中没有磁滞损耗和涡流损耗,只有线圈本身的铜损,因此铁芯不发热,只有线圈发热,故无骨架,线圈与铁芯接触,且将线圈做成高而薄的细长形以利散热。相应的铁芯和衔铁用软钢或工程纯铁制成。交流线圈除线圈发热外,因铁芯中有磁滞和涡流损耗铁芯也要发热,故有骨架,使线圈和铁芯相互隔开且将线圈做成粗短形以改善线圈和铁芯的散热情况。相应的铁芯和衔铁用硅钢片叠成,以减小铁损。

另外,根据线圈在电路中的连接方式可分为串联线圈(又称电流线圈)和并联线圈(又称电压线圈)。串联线圈串接于线路中,流过的电流大,为减小对电路的影响,线圈的导线粗,匝数少,阻抗较小;并联线圈并联在线路上,为减小分流作用,降低对原电路的影响,需要其阻抗较大,所以线圈的导线细,匝数多。

2) 电磁吸力和电磁机构的特性

(1) 电磁吸力。根据麦克斯韦公式,吸引线圈通入电流后产生的电磁吸力为

$$F = 4B^2S \times 10^5 \quad (1.1)$$

式中： F 为电磁吸力(N)； B 为工作气隙磁感应强度(T)； S 为铁芯截面积(m²)。

当线圈中通以直流电时， F 为恒值。当线圈中通以交流电时，磁感应强度为交变量，即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1.2)$$

由式(1.1)和式(1.2)可得

$$\begin{aligned} F &= 4S \times 10^5 B_m^2 \sin^2 \omega t = 2B_m^2 S (1 - \cos^2 \omega t) \times 10^5 \\ &= 2B_m^2 S \times 10^5 - 2B_m^2 S \times 10^5 \cos^2 \omega t \end{aligned} \quad (1.3)$$

由式(1.3)可知，虽然磁感应强度是正、负交变的，但电磁吸力却是脉动的，方向不变。式(1.3)的吸力由两部分组成：第一项为平均吸力 F_{av} ，其值为最大吸力的 1/2；第二项为以 2 倍电源频率变化的交变量，即

$$F_- = F_{av} \cos^2 \omega t$$

电磁吸力的变化情况如图 1.2 所示。

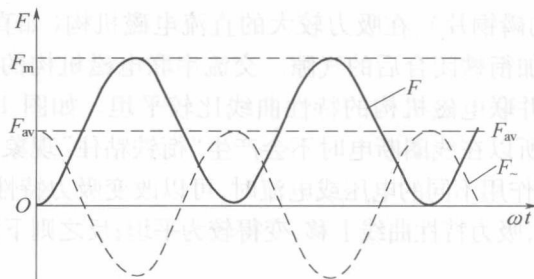


图 1.2 线圈中通以交流电时电磁吸力的变化情况

从式(1.3)和图 1.2 看出，电磁吸力按正弦函数平方的规律变化，变化频率为电源频率的两倍，最小值为零，最大值为 F_m ，即

$$F_m = 4SB_m^2 \times 10^5 = 2F_{av} \quad (1.4)$$

当电磁吸力的瞬时值大于反力时，铁芯吸合；当电磁吸力的瞬时值小于反力时，铁芯释放。所以电源电压每变化一个周期，铁芯将吸合两次，释放两次，从而使电磁机构产生剧烈的振动和噪声，对电器工作十分不利。

解决的办法是在铁芯端面开一个小槽，在槽内嵌入铜质短路环，如图 1.3 所示。加上短路环后，磁通被分为大小接近、相位相差约 90° 电角度的两相磁通 Φ_1 和 Φ_2 ，因两相磁通不会同时过零，又由于电磁吸力与磁通的二次方成正比，故由两相磁通产生的合成电磁吸力变化较为平坦，使电磁铁通电期间电磁吸力始终大于反力，铁芯牢牢吸合，这样就消除了振动和噪声，一般短路环包围 2/3 的铁芯端面。

(2) 电磁机构的特性。电磁机构的特性通常是指吸力特性和反力特性，二者间的配合关系将直接影响电磁式电器的工作可靠性。吸力特性是指电磁吸力 F 与工作气隙 δ 之间的关系。对于直流电磁机构，在外加电压或电流不变时，吸力只与工作气隙的平方成反比，故吸力特性曲线为二次曲线形状，如图 1.4 所示。

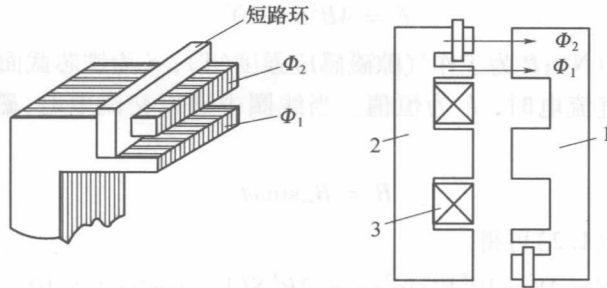


图 1.3 交流铁芯短路环
1—衔铁；2—铁芯；3—线圈。

图 1.4 中 δ_m 为衔铁打开后的气隙, δ_k 为衔铁闭合后的气隙。由图 1.4 中曲线 1 可知, 衔铁打开后的吸力比闭合后的吸力要小得多。衔铁在闭合状态时, 绝对做不到使气隙为零, 此时的吸力为最大吸力 F_m 。但衔铁闭合后由于磁路磁阻较小, 在线圈断电后由于导磁体剩磁所产生的吸力足以克服释放弹簧的反力, 会使衔铁打不开。为了避免这种“衔铁粘住”现象, 通常在吸力较小的直流电磁机构(如直流继电器)的衔铁上装一非磁性垫片(厚度为 0.1mm 的磷铜片), 在吸力较大的直流电磁机构(如直流接触器)的铁芯柱端面上加装极靴, 以增加衔铁闭合后的气隙。交流串联电磁机构的特性曲线形状与直流电磁机构近似, 但交流并联电磁机构的特性曲线比较平坦。如图 1.4 中曲线 2 所示, 且导磁体不存在有剩磁, 所以在线圈断电时不会产生“衔铁粘住”现象。

在同一电磁机构中作用不同的电压或电流时, 可以改变吸力特性曲线的位置。当线圈外加电压或电流增大时, 吸力特性曲线上移, 变得较为平坦; 反之则下移, 如图 1.5 所示。

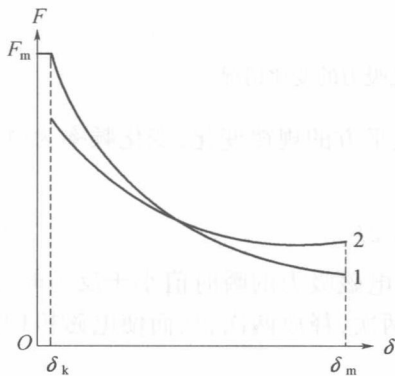


图 1.4 电磁机构的吸力特性
1—直流电磁机构的吸力特性;
2—交流电磁机构的吸力特性。

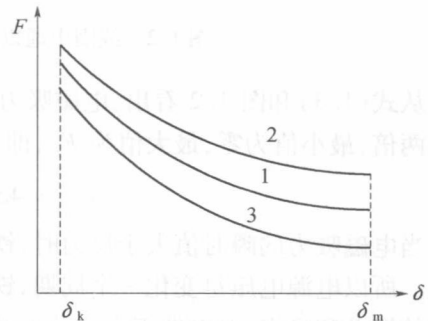


图 1.5 改变电压或电流时的吸力特性
1—原吸力特性；2—增加电压或电流时的吸力特性；
3—减小电压或电流时的吸力特性。

反力特性是指电磁机构中与电磁吸力方向相反的反力(释放弹簧、触点弹簧以及运动部件的重力与摩擦力等对衔铁的作用力) F 反与气隙 δ 之间的关系。由于弹簧的作用力与长度呈线性关系, 所以若反力中只考虑弹簧力则反力特性曲线都是直线段, 如图 1.6 中曲线 1 所示。

在衔铁闭合过程中, 当气隙 δ_m 减小时, 反力逐渐增大, 如曲线 1 中的 ab 段所示, 这一

段为释放弹簧的反力变化。到达 δ_n 位置时,动静触点刚刚接触,这时触点弹簧的初压力作用到衔铁上,反力突增,如曲线中的 bc 段所示。当气隙 δ_n 再减小时,释放弹簧与触点弹簧同时起作用,使反力变化增大,如曲线中 cd 段所示,这一段为释放弹簧与触点弹簧的合成反力变化。

改变释放弹簧的松紧,可以改变反力特性曲线的位置。若将释放弹簧拧紧,则反力特性曲线平行上移,如图 1.6 中曲线 2 所示;反之,反力特性曲线平行下移,如图 1.6 中曲线 3 所示。

为了使电磁机构能正常工作,衔铁吸合时,吸力必须始终大于反力,即吸力特性始终处于反力特性的上方;衔铁释放时,吸力特性必须位于反力特性的下方,如图 1.7 所示。

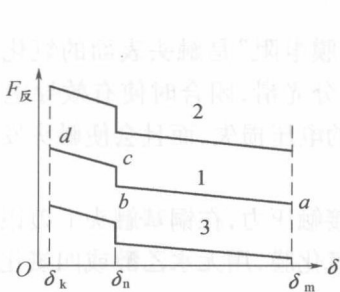


图 1.6 电磁机构的反力特性
1—释放弹簧不变时的反力特性;
2—拧紧释放弹簧时的反力特性;
3—放松释放弹簧时的反力特性。

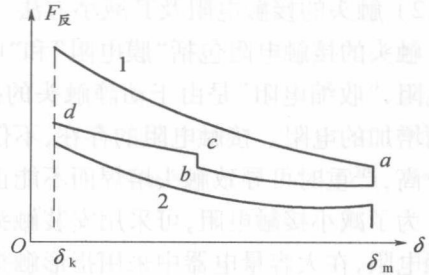


图 1.7 吸力特性与反力特性的配合
1—吸合时最小吸力特性;
2—释放时允许最大吸力特性。

从图 1.7 中可见,在吸力特性与反力特性曲线之间,有一块面积,这块面积代表了衔铁在运动过程中积聚的能量。此块面积越大,衔铁积聚的能量越大,其动作速度也越大,衔铁和铁芯接触、动触点和静触点接触时的冲击力也越大,严重时会导致衔铁和铁芯间的严重机械磨损及触点的熔焊与烧损。因此,吸力特性与反力特性应尽可能靠近,以利于改善电器的性能。

3. 触头系统

触头是一切有触点电器的执行部分,这些电器就是通过在衔铁带动下触头的动作来接通与分断电路的。因此,触头工作的好坏也直接影响整个电路的工作性能。

1) 触头的结构形式和接触方式

触头主要有两种结构形式:桥式触头和指形触头,桥式触头的结构形式如图 1.8 所示。触头的接触方式一般有三种,点接触、线接触和面接触,如图 1.9 所示。

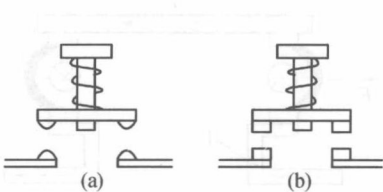


图 1.8 桥式触头结构形式

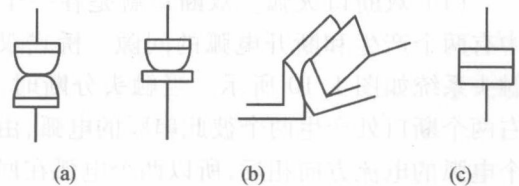


图 1.9 触头的接触方式
(a) 点接触; (b) 线接触; (c) 面接触。

(1) 桥式触头的两个触头串于同一个电路中,电路的通断由两个触头同时完成。桥式触头多为面接触方式,允许通过很大的电流,常用于大容量的接触器中做主触头用。指形触头多为线接触方式,它的接触区域是一条直线或一条窄面,允许通过的电流也比较大,常用于中等容量的接触器中,做主触头用。由于指形触头在通断过程中是滚动接触,以既可产生摩擦自动消除触头表面的氧化膜,保证触头的良好接触,又可缓冲触头闭合时的撞击能量,改善触头的电器性能。

(2) 点接触方式的触头因允许通过的电流很小,所以只能用于电流较小的电器中,如继电器的触头和接触器的辅助触头就常采用这种接触方式。

2) 触头的接触电阻及其减小方法

触头的接触电阻包括“膜电阻”和“收缩电阻”。“膜电阻”是触头表面的氧化膜产生的电阻,“收缩电阻”是由于动静触头的接触面不是十分光滑,闭合时使有效导电面积减小而增加的电阻。接触电阻的存在,不仅会造成一定的电压损失,而且会使触头发热而温度升高,严重时可导致触头熔焊而不能正常工作。

为了减小接触电阻,可采用安装触头弹簧以增加接触压力,在铜基触头上镀银以减小接触电阻,在大容量电器中采用指形触头以自动清除氧化膜,用无水乙醇或四氯化碳及时擦拭触头以清除触头表面尘垢等方法解决。

3) 触头分断时电弧的产生及常用灭弧方法

触头分断时,在刚出现断口之际,由于两触头间距离极小,其间将形成很强的电场,使阴极中的自由电子溢出到气隙中并向阳极加速运动,这称为场致发射。场致发射的电子在前进途中撞击气体原子,使之电离,分裂成为电子和正离子,这称为撞击电离。电离产生的电子在向阳极运动的过程中又将撞击其他原子使其电离,电离产生的正离子则向阴极运动,撞击阴极使阴极温度逐渐升高,从而发射出电子,这称为热电子发射。发射的热电子在向阳极运动的过程中再参与撞击电离。当隙间温度升高到一定程度后,气体原子相互间的剧烈碰撞也会产生电离,这称为热游离。以上发射、电离和游离的结果,在触头间隙间产生大量的带电粒子,在电场作用下,大量带电粒子作定向运动形成电流,于是绝缘的气体就变成了导体,致使两个触头间出现强烈的火花,这就是所谓的“电弧”。可以看出,电弧的产生实际上是一种气体放电现象。

电弧的存在不仅延迟了电路的分断时间,其高温还易烧损触头和电器中的其他部件甚至引起火灾和爆炸事故,因此应采取适当措施迅速将其熄灭。常用的灭弧方法有以下几种。

(1) 双断口灭弧。双断口就是在一个回路中有两个产生和断开电弧的间隙。桥式双断口触头系统如图 1.10 所示。当触头分断时,在左右两个断口处产生两个彼此串联的电弧,由于两个电弧的电流方向相反,所以两个电弧在回路磁场产生的电动力 F 的作用下,向两侧方向运动,使电弧受到拉长和冷却,迅速熄灭。

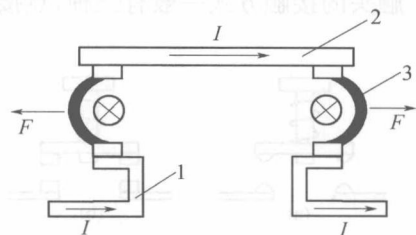


图 1.10 双断口灭弧
1—静触头; 2—动触头。

(2) 磁吹灭弧。在一个与触头串联的磁吹

线圈产生的磁场作用下,电弧受到电磁力的作用而被拉长,被吹入由固体介质构成的灭弧罩内,与固体介质接触而被冷却熄灭,如图 1.11 所示。

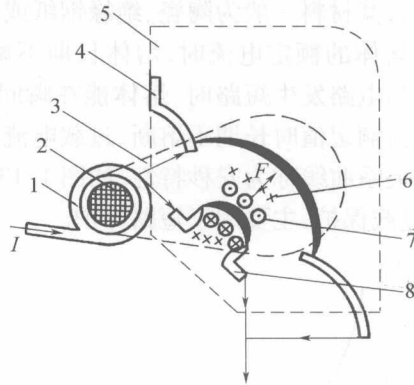


图 1.11 磁吹灭弧示意图

- 1—磁吹线圈; 2—绝缘线圈; 3—铁芯; 4—引弧角;
5—导磁夹板; 6—灭弧罩; 7—静触点; 8—动触点。

(3) 金属栅片灭弧。图 1.12 为金属栅片灭弧的示意图。当触头分断时,产生的电弧在电动力的作用下被推入一组金属栅片中而被分割成许多串联的短弧,此时彼此绝缘的栅片就成为短弧的电极。要维持电弧燃烧必须在电极附近有一定的电压降,称为临极压降。一对临极压降为 $12\text{V} \sim 20\text{V}$ 。由于电弧被分割成许多串联的短弧后使所需的总的电压降增大,从而使电源电压不足以继续维持电弧,再加上金属栅片要吸收电弧的热量,所以电弧将迅速熄灭。

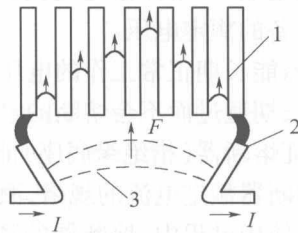


图 1.12 金属栅片灭弧示意图

- 1—灭弧栅片; 2—触头; 3—电弧。

1.2 熔断器

熔断器是一种利用物质过热熔化的性质制作的保护电器。当电路发生严重过载或短路时,将有超过限定值的电流通过熔断器将熔断器的熔体熔断而切断电路,达到保护的目。

1.2.1 熔断器的结构及工作原理

熔断器主要由熔体和安装熔体的熔管或熔座两部分组成。其中熔体是主要部分,它既是感受元件又是执行元件,与被保护的电路串联。熔体可做成丝状、片状、带状或笼状,

其材料有两类:一类为低熔点材料,如铅、锌、锡及铅锡合金等;另一类为高熔点材料,如银、铜、铝等。熔断器接入电路时,熔体是串接在被保护电路中的。熔管是熔体的保护外壳,可做成封闭式或半封闭式,其材料一般为陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维。

熔断器熔体中的电流为熔体的额定电流时,熔体长期不熔断;当电路发生严重过载时,熔体在较短时间内熔断;当电路发生短路时,熔体能在瞬间熔断。熔体的这个特性称为反时限保护特性。即电流为额定值时长期不熔断,过载电流或短路电流越大,熔断时间就越短。电流与熔断时间的关系曲线称为安秒特性,如图 1.13 所示。由于熔断器对过载反应不灵敏,所以不宜用于过载保护,主要用于短路保护。

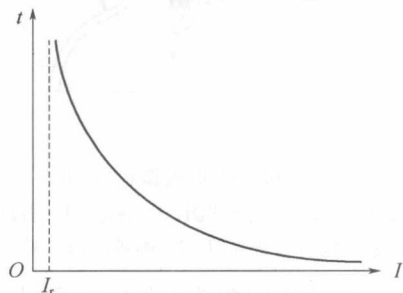


图 1.13 熔断器的安秒特性

图 1.13 中的电流 I_r 为最小熔化电流。当通过熔体的电流等于或大于 I_r 时,熔体熔断;当通过的电流小于 I_r 时,熔体不能熔断。根据对熔断器的要求,熔体在额定电流 I_N 时绝对不应熔断,即 $I_r > I_N$ 。

熔断器主要技术参数包括额定电压、熔体额定电流、熔断器额定电流、极限分断能力等。其值一般等于或大于电气设备的额定电压。

- (1) 额定电压:指保证熔断器能长期正常工作的电压。
- (2) 熔体额定电流:指熔体长期通过而不会熔断的电流。
- (3) 熔断器额定电流:指保证熔断器(指绝缘底座)能长期正常工作的电流。

实际应用中厂家为了减少熔断器额定电流的规格,额定电流等级比较少,而熔体的额定电流等级较多。应该注意的是使用过程中,熔断器的额定电流应大于或等于所装熔体的额定电流。

(4) 极限分断能力:指熔断器在规定的额定电压和功率因素(时间常数)的条件下,能分断的最大电流值。在电路中出现最大电流一般是指短路电流值,所以,极限分断能力也反映了熔断器分断短路电流的能力。

1.2.2 常用典型熔断器

熔断器的种类很多,按用途分为一般工业用熔断器、半导体器件保护用快速熔断器和特殊熔断器(如具有两段保护特性的快慢动作熔断器、自复式熔断器)。按结构可分为半封闭式插插式、螺旋式、无填料密封管式和有填料密封管式。

1. RC1A 系列瓷插式熔断器

RC1A 系列瓷插式熔断器是一种常见的结构简单的熔断器,俗称“瓷插险”。它由瓷插座和瓷插头组成。瓷插座上两端装有静插座和接线螺钉,中间有一空隙,与瓷插头的凸