

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

电气运行与控制

肖耀南 主编

高等教育出版社

内容提要

本书主要内容包括常用低压电器、电气控制的基本环节、常用机电设备的控制、设备运行与维护、可编程控制器(PLC)概述、FX2系列 PLC的指令系统与编程方法以及可编程控制器的应用。

本书整体构架为继电器控制、PLC控制和设备运行与维护三大模块,具有重点突出,实用性、应用性强的特点。对工厂电气控制设备的工作原理、运行、维护原理进行了分析,对新知识、新技术进行了介绍,突出实践能力的培养。

本书以培养技术应用性人才为目标,是电气运行与控制专业主干教材,也可作为维修电工培训教材,亦可供有关专业师生、现场工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气运行与控制 肖耀南主编. —北京:高等教育出版社,2004.7

ISBN 7 - 04 - 014939 - 7

.电... .肖... . 电力系统运行 -高等学校:技术学校 -教材 电气控制 -高等学校:技术学校 -教材 . TM732 TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第062180号

策划编辑 李宇峰 责任编辑 李刚 封面设计 于涛 责任绘图 郝林
版式设计 王艳红 责任校对 俞声佳 责任印制

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010 - 82028899

购书热线 010 - 64054588
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 15.5
字 数 370 000

版 次 年 月第1版
印 次 年 月第 次印刷
定 价 19.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是根据高职培养目标——生产、建设、管理、服务一线的技术应用性人才而编写的。编写中充分汲取了高职教育多年来的改革成果,强调应用性和实践性。书中紧密结合工厂及生活中的实际情况,注重介绍目前应用较多的新型低压电器、工厂常用的电气控制线路及设备运行与维护的经验。

本书从应用角度出发,将“继电器控制”、“PLC控制”、“设备运行与维护”融为一体,在了解各种电器基本原理的情况下,重点介绍了各种低压电器的作用、应用场合、主要技术参数、现场使用较多的国产及进口产品型号。在了解电气原理图绘制规则的基础上,介绍了组成电器控制线路的基本规律及现场中使用较多的交直流电动机的典型起动、制动、行程、调速控制线路。为提高学生应用能力,较详细地分析了工厂常用电气控制设备的工作原理及设备运行与维护的经验。

PLC在电气控制当中得到了广泛应用,本书讲述了PLC的产生与发展,工厂常用可编程控制器的指令系统与编程方法及其在工业控制中的应用。

本书教学为60课时,学时方案建议如下表,仅供参考。

序号	章节	名 称	课 时
1	第 1章	常用低压电器	6
2	第 2章	电气控制的基本环节	8
3	第 3章	常用机电设备的控制	14
4	第 4章	设备运行与维护	4
5	第 5章	可编程控制器(PLC)概述	4
6	第 6章	FX2系列 PLC的指令系统与编程方法	14
7	第 7章	可编程控制器的应用	10
8		合 计	60

本书由湖南铁道职业技术学院肖耀南主编,华满香副主编,湖南铁道职业技术学院邓缙、刘小春,河南工业职业技术学院王本轶参编。其中肖耀南编写第4、7章,邓缙编写第1章,刘小春编写第2章,王本轶编写第3章,华满香编写第5、6章。全书由肖耀南统稿。本书由李乃夫主审。

赵承荻同志对本书提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

编者

2004年2月

目 录

第 1 章 常用低压电器	1	第 5 章 可编程控制器 (PLC)概述	135
1.1 低压电器的基本知识.....	1	5.1 可编程控制器的产生与发展.....	135
1.2 低压电器的电磁机构及执行机构.....	2	5.2 可编程控制器的组成与工作原理.....	138
1.3 熔断器.....	9	本章小结	143
1.4 低压开关、低压断路器.....	14	思考与练习	143
1.5 主令电器	19	第 6 章 FX2 系列 PLC 的指令系统	
1.6 接触器	23	与编程方法	144
1.7 继电器	28	6.1 PX2 系列 PLC 内部各编程元件及	
1.8 新型低压电器介绍	34	功能.....	144
本章小结.....	37	6.2 基本指令及程序设计.....	150
思考与练习.....	37	6.3 步进指令及程序设计.....	161
第 2 章 电气控制的基本环节	39	6.4 功能指令及程序设计.....	170
2.1 电气制图与电路分析	39	6.5 其他常用系列 PLC 简介	187
2.2 电气控制的逻辑代数分析方法	41	本章小结	199
2.3 单相异步电动机的控制	43	思考与练习	199
2.4 三相异步电动机的控制	45	第 7 章 可编程控制器的应用	202
2.5 电气控制的其他典型环节	61	7.1 PLC 在物料传送中的应用	202
本章小结.....	64	7.2 PLC 在电镀生产线上的应用.....	205
思考与练习.....	64	7.3 PLC 在组合机床控制中的应用.....	209
第 3 章 常用机电设备的控制	66	7.4 PLC 在三层轿外按钮控制电梯中的	
3.1 常用切削机床的控制	66	应用.....	214
3.2 起重运输设备的电气控制	84	7.5 PLC 在集选控制电梯中的应用.....	217
3.3 组合机床的电气控制.....	111	7.6 PLC 使用时的注意事项和 PLC 维护与	
本章小结	124	故障诊断	228
思考与练习	124	本章小结	232
第 4 章 设备运行与维护	126	思考与练习	233
4.1 设备的技术状态.....	126	附录 电气图常用图形及文字符号	234
4.2 设备的运行.....	128	参考文献	240
4.3 设备的维护与事故.....	131		
本章小结	134		
思考与练习	134		

第 1 章 常用低压电器

学习目标

1. 了解各种常用低压电器的结构、基本工作原理、技术参数。
2. 掌握常用低压电器的符号、选择、参数整定、维护以及在电气控制系统中的应用等。

1.1 低压电器的基本知识

低压电器是组成成套电气设备的基础元件。在实际应用中,所选用的低压电器直接决定控制系统的优劣。因此,电气工程技术人员必须熟悉常用低压电器的用途、结构、基本工作原理、型号与规格,并能正确地选择、使用与维修。

低压电器通常是指工作在交流电压小于等于 1 200 V 或直流电压小于等于 1 500 V 的电路中,根据外界的信号和使用要求,通过一个或多个元件的组合,能手动或自动分合,在电路中起通断、控制、保护或调节作用的电器设备,例如按钮、继电器、接触器等。低压电器是电力拖动自动控制系统中的基本组成元件。

1.1.1 分类

低压电器的用途广泛,品种繁多,原理结构各不相同,分类方法也很多。为了概括地了解这些常用的低压电器,可以从以下几个方面对其加以分类:

按操作方式可以分为手动电器和自动电器两大类。手动电器是指由人工直接操作才能完成任务的电器,例如刀开关、旋钮、按钮、转换开关等。自动电器是指不需人工直接操作,能够按照外界的信号或使用要求,自动地完成接通、分断电路任务的电器,例如低压断路器、接触器、熔断器、继电器、执行电器等。

按用途可以分为低压配电电器及低压控制电器两大类。低压配电电器主要应用于低压供电系统,用于电能的输送和分配,例如刀开关、低压断路器、熔断器等。低压控制电器主要用于各种控制系统和控制电路中,例如万能转换开关、控制按钮、接触器、继电器、电磁阀。

按照工作原理可以分为电磁式电器和非电量控制电器。例如接触器、电磁式继电器等是根据电磁感应原理来工作的,属于电磁式电器。刀开关、行程开关、按钮、压力继电器、温度继电器等属于非电量控制电器,它们是靠外力或非电量的作用而动作的。

电器的分类方法概括如下:

		手动操作电器	
			自动切换电器
	按工作职能分	自动控制电器	自动控制电器
			自动保护电器
			稳压与调压电器
		其他电器	起动与调速电器
			检测与变换电器
			牵引与传动电器
	按电压等级分	低压电器	
电器的分类		高压电器	
			接触器
			继电器
	按使用系统分	电力拖动自动控制系统用电器	自动空气断路器
		电力系统用电器	其他电器
		自动化通信系统用电器	
		有触点电器	
	按有无触点分	无触点电器	
		混合式电器	

1.1.2 组成

从结构上看,低压电器一般由两个基本部分组成。一个是感测部分,它直接接收外界输入的信号,并通过转换、放大、判断,做出有规律的反应,使执行部分动作,输出相应的指令,实现控制目的。自动电器的感测部分大多由电磁机构组成,手动电器的感测部分通常为操作手柄。另一组成部分则是执行部分,即触点系统。它根据指令,执行电路的接通、分断等任务。对于断路器类的低压电器还具有中间传递部分,它负责把感测和执行两部分联系起来,使它们协调一致,按一定的规律动作。

在电气控制电路中,电磁式电器的使用量较大,其类型也很多。各类电磁式电器在工作原理和结构上基本相同,都是由电磁机构和触点系统组成。触点系统存在接触电阻和电弧的物理现象,对电器系统的安全运行影响较大,而电磁机构的电磁吸力和反力则是决定电器性能的主要因素之一。因此,掌握触点结构、电弧的产生原理、灭弧装置的结构和作用以及电磁吸力和反力等低压电器的基本问题,对于正确地设计、选用和使用低压电器元件是至关重要的。

1.2 低压电器的电磁机构及执行机构

1.2.1 电磁机构

电磁机构是电磁式继电器和接触器等设备的重要组成部分之一。其工作原理是将电磁能转换为机械能,从而带动触点动作,使触点闭合或断开。

电磁机构由吸引线圈、铁心、衔铁、铁轭和气隙等组成。电磁机构中的线圈、铁心是静止不动的,只有衔铁是可动的。衔铁可以直动,也可以绕某一支点转动,如图 1.1 所示。当吸引线圈施

加一定的电压或通以电流时,产生励磁磁场及吸力,并转换为机械能,从而带动衔铁运动使触点动作,以完成触点的断开或闭合。

1. 电磁机构的分类

根据磁路的形状和衔铁运动方式的不同,电磁机构可分为多种形式和类型。

(1) 按磁路系统形状,可分为 U 形、E 形两种

如图 1.1 (a)、(b)、(g)所示为 U 形磁铁。

(c)、(d)、(f)所示为 E 形磁铁。

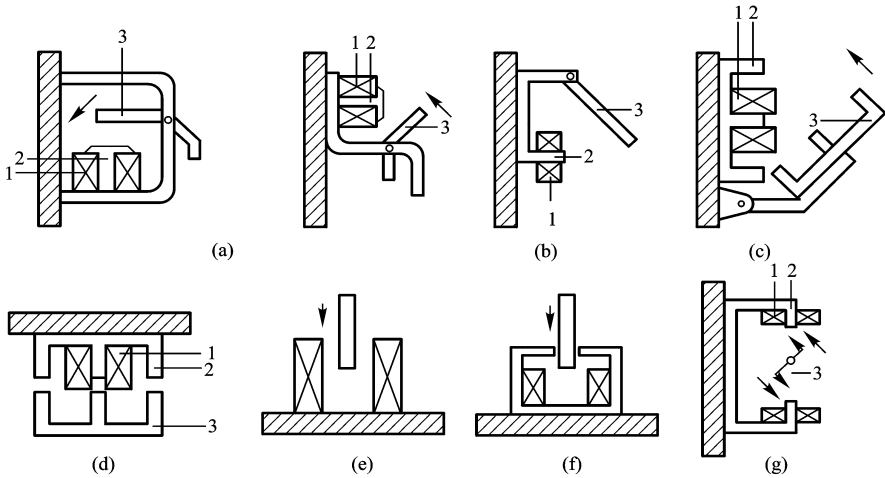


图 1.1 常用电磁机构的形式

1—线圈; 2—铁心; 3—衔铁

(2) 按衔铁运行方式分又可分为如下几类

衔铁沿铁轭的棱角转动的拍合式铁心,如图 1.1(a)所示。其衔铁绕铁轭的棱角转动。此种形式的电磁机构广泛用于直流电磁式电器,例如直流接触器、直流继电器等。此类铁心一般用工程软铁制成。

衔铁沿轴转动的拍合式铁心,如图 1.1(b)所示。其衔铁绕轴转动。此类电磁机构广泛用于较大容量的交流电磁式电器中,例如交流接触器等。此类铁心一般用硅钢片叠成。

衔铁在线圈内作直线运动的直动式铁心,如图 1.1(d)所示。此种形式的电磁机构广泛用于容量小于等于 40 A 的交流接触器、交流电压继电器、中间继电器及时间继电器中。

吸引线圈按通电种类可分为交流电磁线圈和直流电磁线圈。为了减小因涡流造成的能量损耗和温升,对于用交流电磁线圈的电磁机构,其铁心和衔铁用硅钢片叠成。对于采用直流电磁线圈的电磁机构,其铁心和衔铁可以用整块电工软钢制作。工作时串联于电路中的线圈称为电流线圈。为了不影响电路中负载的端电压和电流,此类线圈要求电阻较小,因此,电流线圈的导线截面积较大,其线圈匝数较少,如图 1.2(a)所示。工作时并联于电路中的线圈称为电压线圈。其特点是匝数多,线径较细,如图 1.2(b)所示。

2. 电磁机构的工作特性

电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来表达。电磁机构使衔铁吸合的力与气隙的

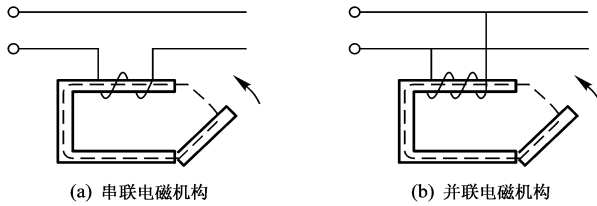


图 1.2 电磁机构中线圈接入电路的方式

关系曲线称为吸力特性,吸力特性随励磁电流种类(交流或直流)和线圈的连接方式的不同而有所差异。电磁机构使衔铁释放的力与气隙的关系曲线称为反力特性。二者间的配合关系将直接影响电磁式电器的工作可靠性。

(1) 电磁机构的吸力特性

电磁机构的吸力与很多因素有关,但综合起来,一般有如下两种情况:

当铁心与衔铁端互相平行并且气隙较小时,吸力可近似地按下式求得

$$F = 4 \times 10^6 B^2 S \tag{1.1}$$

式中: B 为气隙磁通密度 (T); S 为极靴面积 (m^2); F 为电磁吸力 (N)

当极靴面积 S 为常数时,吸力 F 与磁通密度 B^2 成正比

$$F \propto B^2 \tag{1.2}$$

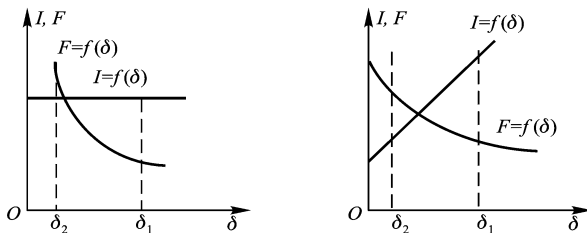
交流电磁机构其交流吸引线圈的阻抗主要取决于线圈的电抗,电阻可忽略,电阻压降也可忽略,则

$$U - E = 4.44f N \tag{1.3}$$

$$= U / 4.44fN \tag{1.4}$$

式中: U 为线圈电压 (V); E 为线圈感应电动势 (V); f 为线圈外加电压的频率 (Hz); Φ 为气隙磁通 (Wb); N 为线圈匝数。

当频率 f 匝数 N 和外加电压 U 均为常数时,由式 (1.4) 可知,磁通 Φ 亦为常数,由式 (1.1) 可知,此时电磁吸力 F 为常数,这就说明,吸力 F 与气隙的大小无关。实际上考虑到漏磁的作用,吸力 F 随气隙减小而略有增加,其吸力特性如图 1.3 (b) 所示。当气隙变化时, I 与 Φ 成线性关系。图 1.3 (b) 所示为 $F = f(\delta)$ 与 $I = f(\delta)$ 的关系曲线。



(a) 直流电磁机构的吸力特性

(b) 交流电磁机构的吸力特性

图 1.3 电磁机构的吸力特性

从上述结论还可看出,对于一般 U形交流电磁结构,在励磁线圈通电而衔铁尚未动作的瞬间,其电流将达到吸合后额定电流的 5~6倍。对于 E形电磁机构,其电流可达到额定电流的 10~15倍。如果衔铁卡住不能吸合或者动作频繁,交流励磁线圈很可能因长时间工作在电流过大的状态下烧毁。所以,在可靠性要求较高或频繁动作的控制系统,一般不采用交流电磁机构,而采用直流电磁机构。

(2) 电磁机构的反力特性

电磁机构使衔铁释放的力一般有两种:一种是利用弹簧的反力,一种是利用衔铁的自然重力。在忽略电磁机构运动部件重力的情况下,电磁机构的反力主要由释放弹簧和触点弹簧的反力构成,用 F_r 来表示。由于弹簧的作用力与其长度成线性关系,所以反力特性曲线都是直线段,如图 1.4所示。

δ_1 为气隙的初始值,即最大值, δ_2 为动、静触点开始接触时的气隙长度。在衔铁闭合过程中,当气隙由 δ_1 逐渐减小时,反力逐渐增大,当到达 δ_2 处时,由于触点弹簧预先被压缩了一段,因而,由触点弹簧产生的压力作用在衔铁上造成反力突增,曲线也突变。当 δ_2 进一步减小时,释放弹簧与触点弹簧同时作用,使反力变化增大,气隙越小,触点压得越紧,反力越大。

由以上分析可知,气隙减小的过程就是触点闭合的过程。改变释放弹簧的张弛度,可以改变反力特性曲线的位置。若将释放弹簧拧紧,则反力特性曲线上移,若将释放弹簧放松,则反力特性曲线下移。

(3) 吸力特性与反力特性的配合

吸力特性与反力特性之间的配合关系如图 1.4所示,其目的是在保证衔铁产生可靠吸合动作的前提下,尽量减小衔铁和铁心柱端面间的机械磨损和触点的电磨损。电磁机构欲使衔铁吸合,在整个吸合过程中,吸力都必须大于反力。从图中可以看出,即吸力特性曲线必须处于反力特性曲线的上方,但也不能过大,否则会影响电器的机械寿命。当切断电磁机构的励磁电流以释放衔铁时,其反力特性必须大于剩磁吸力才能保证衔铁可靠释放。所以在特性图上,电磁机构的反力特性必须介于电磁吸力特性与剩磁吸力特性之间,如图 1.4所示。在使用中常常调整反力弹簧或触点弹簧的初压力,其目的就是为了改变反力特性,以使之与吸力特性良好配合。

在实际使用中,无论是直流还是交流,只要线圈两端电压大于释放电压,闭合状态的电磁机构产生的吸力都必须大于反力弹簧产生的反力。直流电磁机构在这方面毫无问题。但对于单相交流电磁机构,由于磁通是交变的,当磁通为零时,吸力也为零,吸合后的衔铁在反作用弹簧的作用下将被拉开。磁通过零后吸力增大,当吸力大于反力时,衔铁又吸合。衔铁的吸力随交流电源每个周期两次过零,因而衔铁会产生强烈振动与噪声,甚至使铁心松散。为了解决这个问题,通常在铁心端面上装一个铜制的分磁环,或称短路环,如图 1.5所示。

顾名思义,短路环就像一匝两端接在一起的线圈,一般镶嵌在静铁心端面的槽内。短路环把端面 S 分成两部分,即环内部分 S_1 和环外部分 S_2 。电磁机构的交变磁通穿过短路环所包围的截面 S_2 在环中产生涡流。根据电磁感应定律,此涡流产生的磁通 Φ_2 在相位上落后于 S_1 中的磁通 Φ_1 ,由 Φ_1 、 Φ_2 产生的吸力 F_1 、 F_2 如图 1.5(b)所示。作用在衔铁上的力是 F_1 和 F_2 的合力,只要

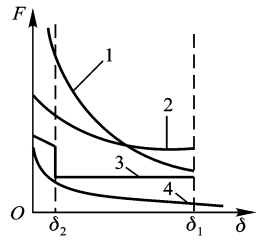


图 1.4 吸力特性和反力特性

- 1—直流电磁机构的吸力特性;
- 2—交流电磁机构的吸力特性;
- 3—反力特性;
- 4—剩磁吸力特性

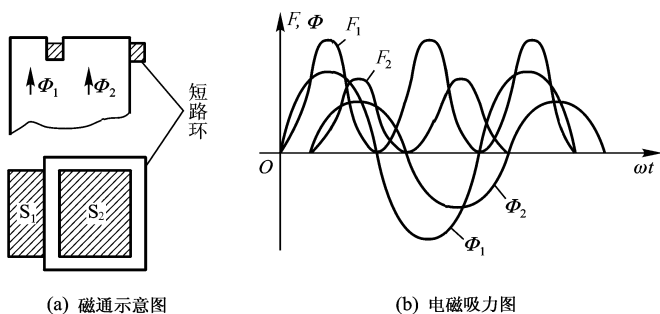


图 1.5 加短路环后的磁通和电磁吸力图

此合力始终超过其反力,衔铁的振动现象就会消失。

1.2.2 执行机构

电磁式电器的执行机构包含触点和灭弧装置两大部分。触点是电磁式电器的主要执行部分,在电路中起接通和分断的作用,灭弧装置则是电磁式电器可靠工作的重要保障。下面逐一介绍。

1. 触点

触点用来接通或断开被控制的电路,它的结构形式很多,按其接触形式可分为三种:点接触、线接触和面接触,如图 1.6 所示。图 1.6(a)所示为点接触,它由两个半球或一个半球与一个平面触点构成,由于接触区域是一个点或面积很小的面,允许通过的电流很小,所以它常用于电流较小的电器中,例如接触器的辅助触点或继电器的触点。图 1.6(b)所示为线接触,它的接触区域是一条直线或一条窄面,允许通过的电流较大,常用于中等容量的主触点。触点在通断过程中,是滚动接触,如图 1.7 所示。开始接触时,静动触点在 A 点接触,靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点,即 A—B—C 变化。断开时则做相反的运动,即 C—B—A,这样可以自动清除触点表面的氧化膜,从而更好地保证触点的良好接触。这种结构的触点,一般采用铜制材料。图 1.6(c)所示为面接触,它是两个平面形触点相接触。由于接触区域有一定的面积,常用于大容量的接触器中,做主触点用。这种触点一般在接触表面镶有合金,以减小触点接触电阻和提高耐磨性。

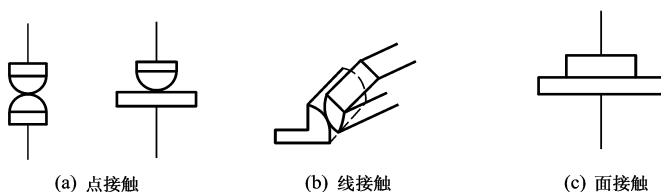


图 1.6 触点的三种接触形式

触点有四种工作状态,即闭合过程、闭合状态、断开过程、断开状态。在理想情况下,触点断开时的接触电阻为无穷大,触点闭合时其接触电阻为零。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。但实际上,在闭合状态时,由于触点表面的不平与氧化层的存在,两个触点的接触处有一定的电阻。若接触电阻太大,就可能导致被控电路压降过大或不通。为了减小此接触电阻,需在触点间加一定的压力,由于安装时弹簧被预先压缩了一段,因而产生了一个初压力 F_1 ,如图 1.8(b)所示。触点闭合后由于弹簧在超行程内继续变形而产生一终压力 F_2 ,如图 1.8(c)所示。弹簧压缩的距离 L 称为触点的超行程,即从静、动触点开始接触到触点向前压紧的距离。有了超行程,在触点磨损情况下,仍具有一定压力,但磨损严重时应予更换。

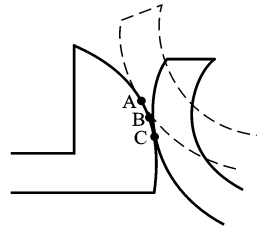


图 1.7 指形触点的接触过程

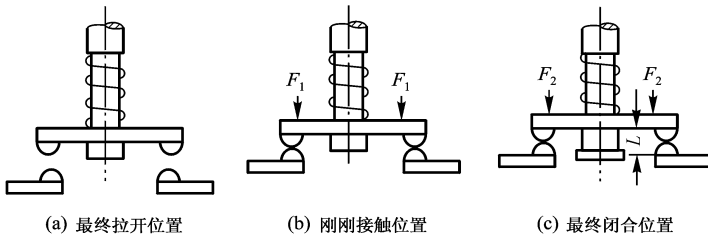


图 1.8 触点的位置示意图

为了减小接触电阻,在实际应用当中,常在铜基触点上镀金或嵌银。此外,由于一般金属氧化物的电阻系数均比金属本身大得多,所以一旦金属表面生成氧化物之后,会使接触电阻增大,严重的会形成绝缘导致电路不通。因此,在小容量的电器中,可采用银或镀银触点。在大容量电器中,可采用具有滚动作用的触点,这样在每次闭合过程中都可以磨去氧化膜,从而增强触点的导电性。

触点按其原始状态可分为动合触点和动断触点。线圈通电后闭合的触点称为动合触点,断开的触点称为动断触点。线圈断电后,所有触点复原,即动合触点断开,动断触点闭合。按触点控制的电路可分为主触点和辅助触点。主触点用于接通或断开主电路,它允许通过较大的电流。辅助触点用于接通或断开控制电路,它只允许通过较小的电流。

2. 电弧的产生及灭弧装置

电弧是在触点由闭合状态过渡到断开状态的过程中产生的。触点的断开是一个过程,开始时触点的接触面积逐渐减少,接触电阻随之增加,温度随之升高。当接触器触点切断电路时,如果电路中电压超过 $10 \sim 12 \text{ V}$ 和电流超过 $80 \sim 100 \text{ mA}$,在分开的两个触点之间将出现强烈的火花,即产生电弧。电弧实际上是触点间气体在强电场的作用下产生的放电现象。所谓气体放电,就是气体中有大量的带电粒子做定向运动。触点分断瞬间,由于间隙很小,电路电压几乎全部降落在触点之间,在触点间形成很强的电场。阴极中的自由电子会逸出到气隙中并向正极加速运动。前进中的自由电子碰撞中性粒子,使其分裂为电子和正离子。电子在向正极运动过程中,又将撞击其他粒子,这种现象称为撞击电离。经撞击电离后产生的正离子向阴极运动,撞击阴极表面并使其温度升高。当阴极温度达到一定程度时,一部分电子将从阴极逸出再参与撞击电离。此时,间隙内产生弧光并使温度继续升高。当电弧的温度达到 $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ 或更高时,触点间的原子以很高的速度做不规则的运动并相互剧烈撞击,结果原子也产生电离。这种因高温使原子撞击

所产生的电离称为热游离。上述几种电离的结果,使得触点间出现大量的离子流,这就是电弧。电弧对电器的影响主要有以下几个方面:

触点虽已打开,但由于电弧的存在,使要断开的电路实际上并没有断开。

由于电弧的温度很高,严重时可使触点熔化。

电弧向四周喷射,会使电器及其周围的物质损坏甚至造成短路,引起火灾。

基于以上几个方面的原因,在电路中应采取适当的灭弧措施。

根据上述电弧产生的物理过程可知,欲使电弧熄灭,其基本方法有降低电场强度、降低电弧温度以加强消电离作用。当电离速度低于消电离速度,则电弧熄灭。

触点在通断过程中产生的电弧会烧损触点,造成其他故障。对于通断大电流电路的电器,例如接触器、低压断路器等,这个问题尤为突出。因此要有较完善的灭弧装置才能保证它的安全运行,常用的灭弧装置有以下几种:

(1) 磁吹式灭弧装置

磁吹灭弧方法是利用电弧在磁场中受力,将电弧拉长,并使电弧在冷却的灭弧罩窄缝隙中运动,产生强烈的消电离作用,从而将电弧熄灭,其原理如图 1.9 所示。在触点电路中串联一个具有铁心的吹弧线圈 3,它产生的磁通过导磁夹片 4 引向触点周围,其方向用图中“ \otimes ”符号表示。电弧产生后,电弧自身也产生一个磁场,其磁通方向如图中“ \odot ”符号所示。产生的电弧可看成是一个载流导体,电流的方向由静触点流向动触点。这时根据左手定则可以确定电弧向上运动。由于强烈的电磁力将电弧向上侧推动,并使电弧急速进入灭弧罩,电弧被拉长并且冷却而很快熄灭。由于电磁线圈串联在主电路中,所以作用于电弧的磁场力随电弧电流的大小而改变,电弧电流越大,灭弧能力越强,而且磁吹力的方向与电流的方向无关,因此,磁吹灭弧装置适用于交直流控制电器中。

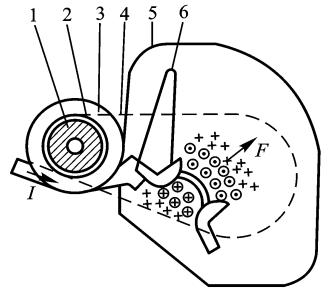


图 1.9 磁吹式灭弧装置

- 1—铁心; 2—绝缘管; 3—吹弧线圈;
- 4—导磁夹片; 5—灭弧罩; 6—熄弧角

(2) 桥式结构双断口灭弧

图 1.10 所示是一种桥式结构双断口触点。流过触点两端的电流方向相反,将产生相互排斥的电动力。当触点打开时,在断口中产生电弧,电弧电流在两电弧之间产生磁场。根据左手定则,电弧电流要受到一个指向外侧的电动力的作用,使电弧向外运动并拉长,使它迅速穿越冷却介质而加快电弧冷却并熄灭。此外,也具有将一个电弧分为两个来削弱的作用。根据这个原理,若采用两极或三极接触器控制电路时,根据需要可将两个极或三个极串联起来当作一个触点使用,这组触点便成为多断点,从而加强了灭弧效果。

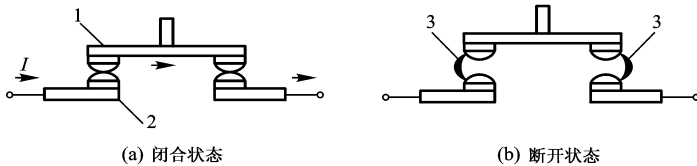


图 1.10 桥式触点

- 1—动触点; 2—静触点; 3—电弧

(3) 灭弧栅灭弧

灭弧栅的灭弧原理如图 1.11 所示。灭弧栅 3 由多个镀铜薄钢片组成,彼此之间互相绝缘,片间距离为 2~3 mm,安放在触点上方的灭弧罩(图中未画出)内。一旦发生电弧,电弧周围产生磁场,导磁铜片将电弧吸入栅片,电弧被栅片分割成数段串联的短弧。这样每两片灭弧栅片可以看作一对电极,而每对电极间都有 150~250 V 的绝缘强度,使整个灭弧栅的绝缘强度大大增强,而每个栅片间的电压不足以达到电弧燃烧电压,同时栅片吸收电弧热量,使电弧迅速冷却而很快熄灭。当触点上所加的电压是交流电压时,由于交流电每个周期有两次过零点,所以电压过零时电弧自然熄灭。另外,由于灭弧栅对交流电弧还有“阴极效应”,更有利于电弧的熄灭。这是因为当电弧电流过零时,间隙中的电子和正离子的运动方向要随触点电极极性的改变而改变。在触点的电极极性改变后,由于正离子的质量比电子的质量大得多,所以原阳极附近的电子能很快地向相反的方向运动,而正离子几乎不动。这样一来,使得新阴极附近缺少电子而产生断流区,从而使电弧熄灭。要使电压过零后电弧重新燃起,两栅片间必须要有 150~250 V 的电压。由于灭弧栅总的重燃电压所需值大于电源电压,因此电弧自然熄灭后就很难重燃。这种装置常用于交流灭弧。

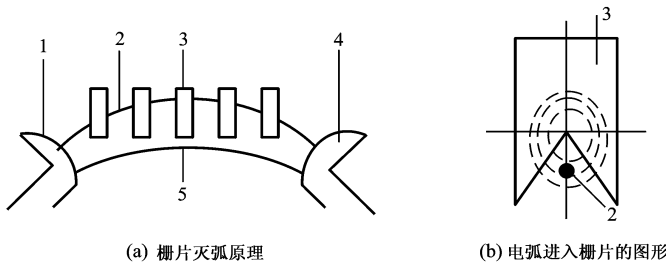


图 1.11 灭弧栅灭弧原理

1—静触点;2—短电弧;3—灭弧栅片;4—动触点;5—长电弧

(4) 灭弧罩灭弧

灭弧罩是用陶土和石棉水泥做成的耐高温的一种灭弧装置,它比灭弧栅也更为简单。电弧进入灭弧罩后,可以降低弧温和隔弧,可用于交流和直流灭弧。

1.3 熔断器

熔断器是一种当电流超过规定值一定时间后,以它本身产生的热量使熔体熔化而分断电路的电器。简言之,熔断器是一种利用熔化作用而切断电路的保护电器。其主体是低熔点金属丝或金属薄片制成的熔体,串联在被保护的电路中。在正常情况下,熔体相当于一根导线,当发生短路或过载时,电流很大,熔体因过热熔化而切断电路。

1.3.1 熔断器的结构及安秒特性

熔断器的结构主要由熔体和熔壳两部分组成,它们的外形结构和图形文字符号如图 1.12~图 1.14 所示,其中图 1.12 所示为 RC 型瓷插式熔断器,图 1.13 所示为 RL 型螺旋式熔断器,图 1.14 所示为熔断器的图形和文字符号。

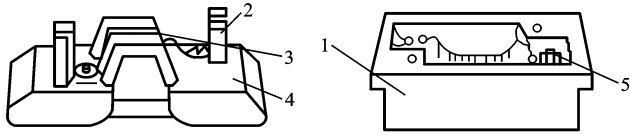


图 1.12 瓷插式熔断器

1—瓷底座；2—动触点；3—熔体；4—瓷插件；5—静触点

熔体材料分为低熔点材料和高熔点材料两大类。目前常用的低熔点材料有锡铅合金、锡铅合金、锌等。这种材料熔点低，但导体性能较差，因而不易灭弧，多用于小电流的电路。高熔点材料有铜、银、铝等，它们熔点高，导体性能好，易于灭弧，多用于大电流电路。

熔断器的熔体与被保护的电路串联，当电路正常工作时，流过熔体的电流小于或等于它的额定电流。由于熔体发热温度尚未达到熔体熔点，所以熔体不会熔断，电路仍保持接通。当电路发生短路或严重过载时，熔体中流过很大的故障电流，当电流产生的热量达到熔体的熔点时，熔体熔断而切断电路，从而达到保护的目的。电流越大，熔断越快，熔断器的这一特性称为安秒特性或保护特性，如表 1.1 和图 1.15 所示。表中 I_n 为电路中的额定电流。

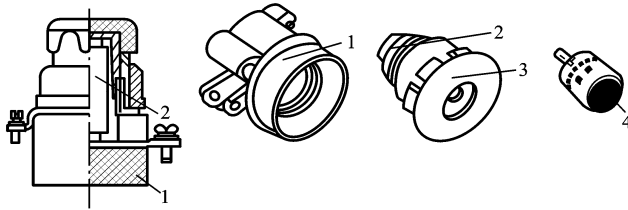


图 1.13 螺旋式熔断器

1—瓷底座；2—熔体；3—瓷帽；4—熔断指示器

表 1.1 熔断器的熔化电流与熔化时间

熔断电流	$1.25 I_n$	$1.6 I_n$	$2 I_n$	$2.5 I_n$	$3 I_n$	$4 I_n$
熔断时间		1 h	40 s	8 s	4.5 s	2.5 s



图 1.14 熔断器的
图形和文字符号

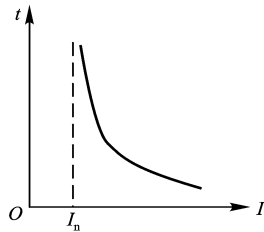


图 1.15 熔断器的安秒特性

1.3.2 熔断器的主要技术参数

在选配熔断器时，经常需要考虑以下几个参数：

(1) 额定电压

熔断器的额定电压是指熔断器长期工作时和分断后能够承受的电压,它取决于线路的额定电压,其值一般等于或大于电器设备的额定电压。

(2) 额定电流

熔断器的额定电流是指熔断器长期工作时,各部件温度不超过规定值时所能承受的电流。熔断器的额定电流等级比较少,而熔体的额定电流等级比较多。

(3) 熔体的额定电流

熔体的额定电流是指长期通过熔体而不熔断的最大电流值。

(4) 熔体的熔断电流

熔体的熔断电流是指通过熔体并使其熔化的最小电流值。

(5) 极限分断能力

极限分断能力是指熔断器在规定的额定电压和功率因素的条件下,能分断的最大短路电流值,在电路中出现的最大电流值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。

1.3.3 常用的熔断器

常用的熔断器有瓷插式和螺旋式两种,常用的 RC1A 系列瓷插式熔断器的额定电压为 380 V,主要用做低压分支电路的短路保护。熔体的额定电流等级有 2 A、4 A、6 A、10 A、...、200 A。熔体的额定电流、熔断电流与其线径大小有关。

1. 瓷插式熔断器

RC1A 系列瓷插式熔断器结构如图 1.12 所示,它由瓷底座 1、动触点 2、熔体 3 和静触点 5 组成,瓷插件 4 的突出部分与瓷底座之间的间隙形成灭弧室。

RC1A 系列熔断器用于频率为 50 Hz 额定电压为 380 V 及以下的交流电路末端,作为供配电系统导线及电气设备的短路保护,也可作为民用照明等电路的保护。

2. RM10 系列无填料封闭管式熔断器

该系列熔断器由熔断管、熔体和静插座等部分组成,如图 1.16 所示。它的优点是更换熔体方便,使用比较安全,恢复供电较快,广泛用于低压电力线路或成套配电装置的连续过载及短路保护。

RM 10 系列无填料封闭管式熔断器技术数据见表 1.2。

表 1.2 RM 10 系列无填料封闭管式熔断器技术数据

型 号	额定电流 /A	熔体额定电流 /A	极限分断能力 /kA
RM10 - 15	15	6 10 15	1、2
RM10 - 60	60	15、20、25、35、45、60	3、5

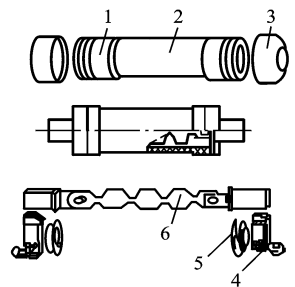


图 1.16 无填料封闭管式熔断器

1—铜圈; 2—熔断管; 3—管帽;
4—插座; 5—垫圈; 6—熔体

续表

型 号	额定电流 /A	熔体额定电流 /A	极限分断能力 /kA
RM10 - 100	100	60, 80, 100	10
RM10 - 200	200	100, 125, 160, 200	
RM10 - 350	350	200, 225, 260, 300, 350	
RM10 - 600	600	350, 430, 500, 600	12
RM10 - 1000	1 000	600, 700, 850, 1 000	

3. 有填料封闭管式熔断器

有填料封闭管式熔断器广泛应用于各种低压电气线路和设备中作为短路和过电流保护,其结构如图 1.17所示。典型产品有 NT(RT16、RT17)系列和 RT20系列。

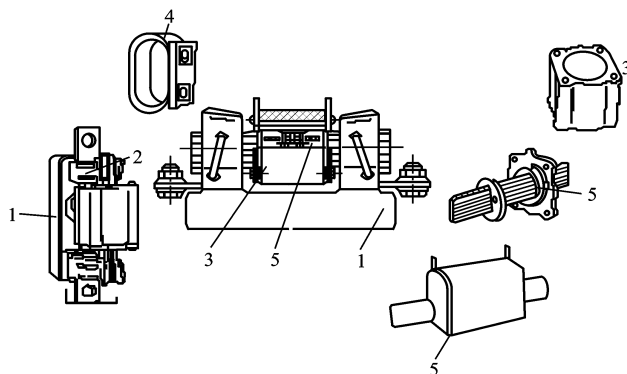


图 1.17 有填料封闭管式熔断器

1—瓷底座; 2—弹簧片; 3—管体; 4—绝缘手柄; 5—熔体

4. 螺旋式熔断器

螺旋式熔断器结构图如图 1.13所示。它适用于电气线路中,作输配电设备、电缆、导线过载和短路保护元件。

常用的螺旋式熔断器有 RL6系列,其主要技术参数见表 1.3。

表 1.3 螺旋式熔断器的主要技术参数

型号	额定电压 /V	额定电流 /A	熔体额定电流 /A	极限分断能力 /kA
RL6 - 25	500	25	2 4 6 10 16 20 25	50
RL6 - 63		63	35 50 63	

5. 半导体器件保护用熔断器

由于半导体器件的过载能力很低,只能在极短时间内承受较大的过载电流,因此要求短路保护具有快速熔断的特性。目前常用的半导体保护性熔断器有 NGT型和 RSQ RS3系列快速熔断器,其中 NGT型熔断器具有分断能力强、限流特性好、周期性负载特性稳定、低功率损耗等优点,能可靠地保护半导体器件晶闸管及其成套装置。快速熔断器的选择与其接入电路的方式有关,以三相硅整流式三相晶闸管电路为例,快速熔断器接入电路的方式常见的有接入交流侧和接入

整流桥臂两种 如图 1.18所示。

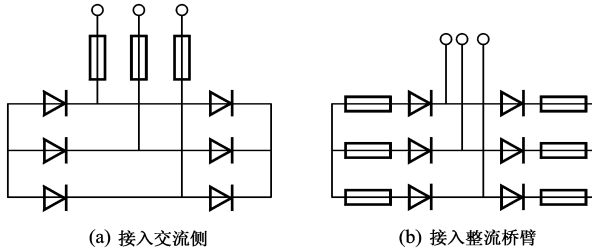


图 1.18 快速熔断器接入整流电路方式

6. 自复式熔断器

自复式熔断器是一种采用气体、超导材料或液态金属钠等作熔体的一种限流元件。它本身不能分断电路,而是与低压断路器串联使用,以提高分断能力。当故障消除后,它又能迅速复原,重新投入运行。因此,这种限流元件被称为自复式熔断器或永久熔断器。从工作原理上来看,自复式熔断器实质上是一个非线性电阻。为了抑制分断时出现的过电压,并保证断路器的脱扣机构始终有一动作电流,以保证其工作的可靠性,自复式熔断器要并联一附加电阻 R,一般为 80 ~ 120 M,如图 1.19所示。

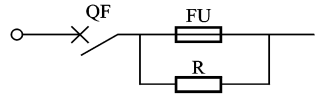


图 1.19 自复式熔断器应用电路

自复式熔断器的优点是不必更换熔体,能重复使用,能实现自动重合闸。另外,还有一种熔断信号器,它并联于熔断器,本身对线路不起保护作用,一旦熔体熔断,信号器随之立即动作,指示器以足够的力推动与之相连的微动开关,接信号源报警或作用于其他开关电器,使三极开关分断,防止线路的断相运行。

1.3.4 熔断器的选择和注意事项

对于不同负载,熔断器额定电流的选择方法不同:

用于保护负载电流比较平稳的照明或电热设备,以及一般控制电路的熔断器,其熔体额定电流 I_{RTn} 与熔断器额定电压 U_{RTn} 一般按线路计算电流和线路电压确定

$$\frac{U_{RTn}}{I_{RTn}} = \frac{U_n}{I_n} \quad (1.5)$$

$$I_{RTn} = I_n \quad (1.6)$$

式中: U_n 为线路额定电压; I_n 为负载额定电流。

用于保护电动机的熔断器,应按电动机的起动电流倍数考虑避开电动机起动电流的影响。

用于保护单台长期工作的电动机,按下式计算

$$I_{RTn} = (1.5 \sim 2.5) I_n \quad (1.7)$$

用于保护频繁起动的电动机,按下式计算

$$I_{RTn} = (3.5 \sim 8) I_n \quad (1.8)$$

用于保护多台电动机时,则应按下式计算