



# 工厂电气控制技术

(第3版)



汪倩倩 汤焯琳◎主编



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高职高专课程改革项目研究成果

# 工厂电气控制技术

(第3版)

主 编 汪倩倩 汤焯琳

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

---

图书在版编目 (CIP) 数据

工厂电气控制技术 / 汪倩倩, 汤焯琳主编. —3 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 9 (2019. 10 重印)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 7577 - 4

I. ①工… II. ①汪… ②汤… III. ①工厂 - 电气控制 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM571. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 201627 号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)  
(010) 82562903 (教材售后服务热线)  
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 19

字 数 / 449 千字

版 次 / 2019 年 9 月第 3 版 2019 年 10 月第 2 次印刷

定 价 / 48.00 元

责任编辑 / 王艳丽

文案编辑 / 王艳丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

本书是根据高职高专电气自动化技术专业的培养目标，并参照相关行业的职业技能鉴定规范及高级技术工人等级考核标准编写的。

为了适应新技术发展对“工厂电气控制技术”课程的教学需要并且符合目前高职教育项目导向和任务驱动的课程改革方向，本书在编写过程中坚持理论联系实际、突出能力培养的原则。

全书分为两大部分：“电气控制”部分与“PLC 控制”部分。“电气控制”部分包括“常用低压电器的认识与使用”“车床的电气控制”“磨床的电气控制”“钻床的电气控制”“铣床的电气控制”“电气控制系统的设计”共 6 个项目。每个项目分“知识训练”和“技能训练”两部分，在“知识训练”部分介绍元件及相关控制线路的工作原理，在“技能训练”部分安排了若干项目，要求学生按规范工艺要求装配相应的电路，进行通电实验，排查故障。“PLC 控制部分”包括“运料小车的 PLC 控制”“公路交通信号灯的 PLC 控制”“电炉恒温控制系统的 PLC 控制”共 3 个项目。每个项目下有若干个子任务，“知识链接”部分介绍和本项目相关的知识点，“项目实施”部分要求学生按照设计要求接线，编程调试，以培养学生的工程实践能力。这样，学生既掌握了知识点，又具有较强的动手能力，基本可达到培养目标。

本书适用于电气自动化技术专业及相近专业、学制三年的高等职业教育的教学，建议课时分配如下表所示。

序 号	内 容	学 时	知识训练	技能训练	
第一部分 电气控制	项目一	常用低压电器的认识与使用	8	4	4
	项目二	车床的电气控制	12	4	8
	项目三	磨床的电气控制	8	4	4
	项目四	钻床的电气控制	8	4	4
	项目五	铣床的电气控制	8	4	4
	项目六	电气控制系统的设计	4	2	2
第二部分 PLC 控制	项目七	运料小车的 PLC 控制	12	4	8
	项目八	公路交通信号灯的 PLC 控制	8	4	4
	项目九	电炉恒温控制系统的 PLC 控制	12	4	8
总 计		80	34	46	

## 前 言

---

本书由江苏信息职业技术学院汪清清、汤焯琳主编。本书在编写过程中得到了曹菁教授、杨春生副教授的支持，部分校企合作企业提供了大量实际的企业案例，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平及编写时间有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

## 第一部分 电气控制

项目一 常用低压电器的认识与使用	1
知识要求	1
技能要求	1
知识训练	1
知识训练一 低压电器基本知识	1
知识训练二 低压电器的基本结构和工作原理	2
知识训练三 常用低压电器	9
知识训练四 低压电器的常见故障及维修	27
知识训练五 常用电工工具及电工仪表的使用	29
知识训练六 常用电工材料的认识	36
知识训练七 导线的连接	37
技能训练	44
技能训练一 万用表、钳型电流表、兆欧表的使用	44
技能训练二 常用导线的连接与绝缘恢复	46
技能训练三 常用低压电器的识别与检测	47
技能训练四 常用低压电器的拆装与检修	48
知识拓展	50
安全用电	50
思考题与习题	55
项目二 车床的电气控制	56
知识要求	56
技能要求	56
知识训练	56
知识训练一 低压电器介绍	56
知识训练二 电气原理图的绘制	64
知识训练三 电气控制线路的基本规律	67
知识训练四 普通车床的电气控制线路	77

## 目 录

知识训练五 电气装配的工艺要求 .....	81
知识训练六 控制线路中的故障检修方法 .....	84
技能训练 .....	85
技能训练一 按钮、时间继电器检测 .....	85
技能训练二 交、直流电压继电器动作电压的整定 .....	86
技能训练三 三相异步电动机单向运行控制线路板制作 .....	87
技能训练四 三相异步电动机正反转运行控制线路板的制作 .....	90
技能训练五 三相异步电动机能耗制动控制电路的安装 .....	91
技能训练六 三相异步电动机反接制动控制线路的安装 .....	93
技能训练七 C620 - 1 型车床的电气控制线路板的制作 .....	94
技能训练八 C620 - 1 型普通车床电气控制线路的检修 .....	95
知识拓展 .....	96
思考题与习题 .....	98
<b>项目三 磨床的电气控制</b> .....	<b>100</b>
知识要求 .....	100
技能要求 .....	100
知识训练 .....	100
知识训练一 电流继电器概述 .....	100
知识训练二 平面磨床的电气控制线路 .....	101
技能训练 .....	107
技能训练一 M7130 型卧轴距台平面磨床的操作 .....	107
技能训练二 M7130 型卧轴距台平面磨床电气控制线路的检修 .....	107
知识拓展 .....	108
思考题与习题 .....	113
<b>项目四 钻床的电气控制</b> .....	<b>114</b>
知识要求 .....	114
技能要求 .....	114
知识训练 .....	114
知识训练一 行程开关概述 .....	114
知识训练二 电气控制线路基本规律——行程控制 .....	116
知识训练三 摇臂钻床的电气控制线路 .....	120
技能训练 .....	126
技能训练一 自动往复运动控制电路的安装 .....	126
技能训练二 Z35 型摇臂钻床的操作 .....	128
技能训练三 Z35 型摇臂钻床电气控制线路的检修 .....	128
知识拓展 .....	129
接近开关 .....	129
思考题与习题 .....	130

<b>项目五 铣床的电气控制</b> .....	132
知识要求 .....	132
技能要求 .....	132
知识训练 .....	132
知识训练一 电气控制线路基本规律 .....	132
知识训练二 铣床的电气控制线路 .....	134
技能训练 .....	142
技能训练一 电动机两地控制线路的安装训练 .....	142
技能训练二 电动机顺序控制电路的安装 .....	144
技能训练三 X62W 型万能铣床电气线路的安装 .....	146
技能训练四 X62W 型万能铣床的操作 .....	146
技能训练五 X62W 型万能铣床电气线路的维修 .....	146
知识拓展 .....	147
电气控制线路基本规律 .....	147
思考题与习题 .....	153
<b>项目六 电气控制系统的设计</b> .....	155
知识要求 .....	155
技能要求 .....	155
知识训练 .....	155
知识训练一 电气控制系统的设计与安装 .....	155
知识训练二 CA6140 型卧式车床电气控制系统的设计 .....	177
技能训练 .....	181
技能训练一 棒齿铣床电气控制系统设计 .....	181
技能训练二 锅炉上煤机控制 .....	182
技能训练三 碾煤粉机控制系统的设计 .....	183
技能训练四 水冷系统自动投切控制 .....	183
思考题与习题 .....	184

## 第二部分 PLC 控制

<b>项目七 运料小车的 PLC 控制</b> .....	187
知识要求 .....	187
技能要求 .....	187
任务一 单台电动机启/停的 PLC 控制 .....	187
任务二 电动机正反转的 PLC 控制 .....	202
任务三 皮带运输机的 PLC 控制 .....	212
任务四 生产线产品计数控制 .....	219
项目实施 运料小车的 PLC 控制 .....	222

## 目 录

项目八 公路交通信号灯的 PLC 控制 .....	225
知识要求 .....	225
技能要求 .....	225
任务一 彩灯闪烁电路的 PLC 控制 .....	225
任务二 大、小球分拣机械臂装置的 PLC 控制 .....	231
项目实施 公路交通信号灯的 PLC 控制 .....	236
项目九 电炉恒温控制系统的 PLC 控制 .....	244
知识要求 .....	244
技能要求 .....	244
任务一 彩灯的 PLC 控制 .....	244
任务二 模拟量输入值的采集 .....	255
任务三 定时中断指令的应用 .....	259
任务四 PID 回路表的初始化程序 .....	263
项目实施 电炉恒温控制系统的 PLC 控制 .....	271
思考题与习题答案 .....	274
附    录 .....	290
参考文献 .....	296

# 第一部分 电气控制

## 项目一

### 常用低压电器的认识与使用

#### 知识要求

1. 掌握常用低压电器的基本结构、工作原理、选用和在控制线路中的作用。
2. 熟悉低压电器常见故障的检测与排除方法。

#### 技能要求

1. 熟悉低压电器的选用及安装技能。
2. 熟练掌握常用低压电器的拆装并掌握其故障的检测与排除方法。
3. 掌握常用电工工具和仪表的使用方法，掌握基本的电工操作工艺。

#### 知识训练

低压电器一般是指在交流 50 Hz、额定电压 1 200 V、直流额定电压 1 500 V 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。由于在大多数用电行业及人们的日常生活中一般都使用低压设备，采用低压供电，而低压供电的输送、分配和保护以及设备的运行和控制是靠低压电器来实现的，因此低压电器的应用十分广泛，直接影响低压供电系统和控制系统的质量。

### 知识训练一 低压电器基本知识

#### 一、低压电器的分类

低压电器的种类繁多，作用多样，原理结构各异，可以从以下几个方面加以分类。

##### 1. 按操作方式分

- (1) 手动电器。手动直接操作控制电路的接通与关断，如刀开关、按钮和转换开关等。
- (2) 自动电器。无须人工直接操作，而是依靠参数本身的变化或外来信号的作用，自动完成接通或关断等动作，如低压断路器、接触器和继电器等。

##### 2. 按工作原理分

- (1) 电磁式电器。根据电磁感应原理来工作的电器，如交直流接触器、电磁式继电器

## 项目一 常用低压电器的认识与使用

器等。

(2)非电量控制电器。靠外力或非电物理量的变化而动作的电器，如刀开关、按钮、速度继电器、温度继电器等。

### 3. 按用途分

(1)配电电器。用于正常或事故状态下接通和断开用电设备和供电电网的电器，如刀开关、自动开关、转换开关以及熔断器等。对这类电器要求其分断能力强、限流效果好、动稳定及热稳定性能好。

(2)控制电器。用于完成电动机的启动、调速、反转和制动的电器，如接触器、继电器、转换开关以及电磁阀等。对这类电器要求其有一定的通断能力、操作频率高、电器和机械寿命长。

## 二、低压电器的作用

低压电器能够依据操作信号或外界现场信号的要求，自动或手动地改变系统的状态和参数，实现对电路或被控对象的控制、保护、测量、指示和调节。它可以将一些电量信号或非电信号转变为非通即断的开关信号或随信号变化的模拟量信号，实现对被控对象的控制。

常用低压电器的作用见表 1-1。

表 1-1 常用低压电器的作用表

编 号	类 别	作 用
1	断路器	主要用于电路的过载、短路、欠压和失压保护，也可用于不需要频繁接通和断开的电路
2	熔断器	主要用于电路短路保护，也用于电路的过载保护
3	接触器	主要用于远距离频繁控制负载，切断带负荷的电路
4	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
5	刀开关	主要用于不频繁地接通和分断电路
6	主令电器	主要用于发布控制命令，改变控制系统的工作状态
7	转换开关	主要用于电源切换，也可用于负荷通断或电路切换
8	启动器	主要用于电动机的启动
9	电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等场合
10	控制器	主要用于控制回路的切换

## 知识训练二 低压电器的基本结构和工作原理

低压电器由感应和执行两个部分组成。感应部分接收外界输入的信号，并通过转换、放大与判断作出有规律的反应，使执行部分动作，输出相应的指令，实现控制的目的。对于有触头的电磁式低压电器来说，感应部分大多是电磁机构，而执行部分是触头系统。

## 一、电磁机构的原理

### 1. 电磁机构

电磁机构通常采用电磁铁的形式，它由吸引线圈、铁芯和衔铁 3 部分组成，其主要作用是通过电磁感应原理将电能转换成机械能，带动触头动作，完成接通或分断电路的功能。

电磁结构按铁芯形式分为单 E 形、单 U 形、甲壳螺管形、双 E 形等。电磁结构按衔铁相对铁芯的动作方式分为直动式和拍合式两种，如图 1-1 及图 1-2 所示。如图 1-2 所示，拍合式电磁机构又分为衔铁沿棱角转动和衔铁沿轴转动两种。直动式电磁机构多用于交流接触器、继电器中，衔铁沿棱角转动的拍合式电磁机构则广泛应用于直流电器中。

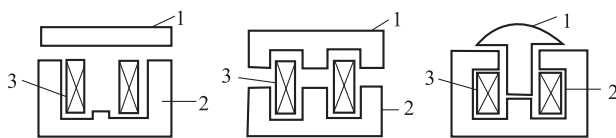


图 1-1 直动式电磁机构

1—衔铁；2—铁芯；3—吸引线圈

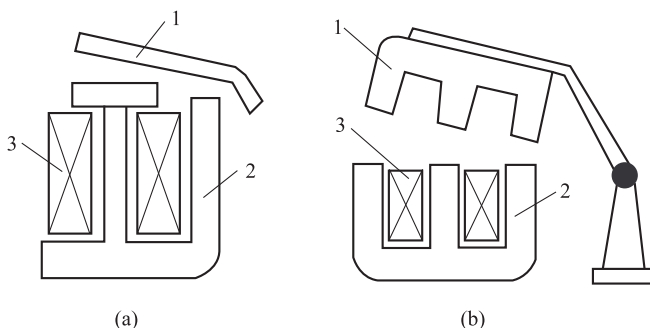


图 1-2 拍合式电磁机构

(a) 衔铁沿棱角转动；(b) 衔铁沿轴转动

1—衔铁；2—铁芯；3—吸引线圈

电磁式电器按电磁铁铁芯的构成可分为直流和交流两类，直流电磁铁的铁芯由整块钢材或工程纯铁制成，而交流电磁铁的铁芯则由硅钢片叠铆而成。

### 2. 吸引线圈

线圈是电磁铁的心脏，也是电能与磁场能量转换的场所，按通入电流种类不同可分为直流型线圈和交流型线圈。直流型线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，使线圈与铁芯直接接触，易于散热。交流型线圈由于铁芯存在磁滞和涡流损耗，发热情况较为严重，因此设有骨架，使铁芯与线圈隔离，并将线圈制成短而厚的矮胖型，从而改善线圈和铁芯的散热情况。

大多数电磁铁线圈并接在电源电压两端，称为电压线圈，其匝数多、阻抗大、电流小，常用绝缘性能较好的电磁线绕制而成。当需反映电流时，线圈则串接于电路中成为电流线圈，其匝数少、导线粗、阻抗较小，常用扁铜带或粗铜线绕制。

## 二、电磁机构的特性

电磁吸力由电磁机构产生，衔铁在吸合时，电磁吸力必须始终大于反力，衔铁复位时要求反力大于电磁吸力。因此，电磁吸力是决定其能否可靠工作的一个重要参数。

当电磁机构的气隙  $\delta$  较小，磁通分布比较均匀时，电磁机构的吸力  $F_{\text{吸力}}$  可近似地以下式求得：

$$F_{\text{吸力}} = \frac{1}{2\mu_0} B^2 S \quad (1-1)$$

式中  $\mu_0$ ——空气导磁系数， $\mu_0 = 0.4\pi \times 10^{-6} \text{H/m}$ ；

$S$ ——极靴面积；

$B$ ——磁感应强度。

当  $S$  为常数时， $F_{\text{吸力}}$  与  $B^2$  成正比。

### 1. 直流电磁机构的电磁吸力特性

对于具有电压线圈的直流电磁机构，因为外加电压和线圈电阻不变，流过线圈的电流为常数，与磁路的气隙大小无关。根据磁路定律

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \propto \frac{1}{R_m} \quad (1-2)$$

则

$$F_{\text{吸力}} \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{R_m}\right)^2$$

从而可以推出电磁吸力  $F_{\text{吸力}}$  与气隙  $\delta$  间的关系为

$$F_{\text{吸力}} = \frac{1}{2} (IN)^2 \mu_0 S \frac{1}{\delta^2} [N] \quad (1-3)$$

从式(1-3)可以看出，对固定线圈通以恒定直流电流时，其电磁吸力  $F_{\text{吸力}}$  仅与  $\delta^2$  成反比，故电磁吸力特性为二次曲线形状，如图 1-3 中的曲线 1。衔铁吸合前、后吸力很大，气隙越小，吸力越大，但衔铁吸合前、后吸引线圈的励磁电流不变，故直流电磁机构适用于运动频繁的场所且衔铁吸合后电磁吸力大，工作可靠。

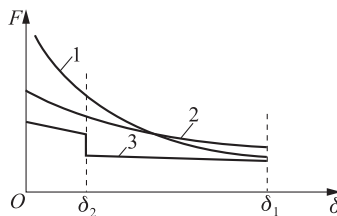


图 1-3 电磁吸力特性

1—直流电磁机构；2—交流电磁机构；3—反力特性

### 2. 交流电磁机构的电磁吸力特性

与直流电磁机构相比，交流电磁机构的电磁吸力特性有较大的不同。交流电磁机构多与电路并联使用，当外加电压  $U$  及频率  $f$  为常数时，忽略线圈电阻压降，则

$$U (\approx E) = 4.44 f \Phi N \quad (1-4)$$

式中  $U$ ——线圈电压(V);  
 $E$ ——线圈感应电动势(V);  
 $f$ ——线圈电压的频率(Hz);  
 $N$ ——线圈匝数;  
 $\Phi$ ——气隙磁通(Wb)。

当外加电压  $U$ 、频率  $f$  和线圈匝数  $N$  为常数时, 气隙磁通  $\Phi$  也为常数。由式(1-4)可知, 电磁吸力  $F_{\text{吸力}}$  也为常数, 即交流电磁机构的吸力与气隙无关。实际上, 考虑衔铁吸合前、后漏磁的变化时,  $F_{\text{吸力}}$  随  $\delta$  的减小而略有增加, 如图 1-3 中的曲线 2。

对于交流并联电磁机构, 在线圈通电而衔铁尚未吸合的瞬间, 吸合电流随  $\delta$  的变化成正比变化, 为衔铁吸合后的额定电流的很多倍, U 形电磁机构可达 5~6 倍, E 形电磁机构可达 10~15 倍。若衔铁卡住不能吸合或衔铁频繁动作, 交流励磁线圈很可能因电流过大而烧毁。所以, 在可靠性要求较高或要求频繁动作的控制系统中, 一般采用直流电磁机构, 而不采用交流电磁机构。

### 3. 电磁吸力特性与反力特性的配合

电磁铁中的衔铁除受电磁吸力作用外, 同时还受到与电磁力方向相反的作用力。这些反作用力包括弹簧力、衔铁自身重力、摩擦阻力等。电磁系统的反作用力与气隙的关系曲线称为反力特性曲线, 如图 1-3 中的曲线 3 即反力特性曲线。

为了使电磁铁能正常工作, 在整个吸合过程中, 电磁吸力必须始终大于反力, 即电磁吸力特性曲线始终处于反力特性曲线的上方, 如图 1-3 所示。但电磁吸力不能过大或过小, 电磁吸力过大, 动、静触头接触时以及衔铁与铁芯接触时的冲击力也大, 会使触头和衔铁发生弹跳, 导致触头熔焊或烧毁, 影响电器的机械寿命。电磁吸力过小, 会使衔铁运动速度降低, 难以满足高操作频率的要求。因此, 电磁吸力特性与反力特性必须配合得当。在实际应用中, 可调整反力弹簧或触头初压力以改变反力特性, 使之与电磁吸力特性有良好的配合。

### 4. 短路环

电磁机构在工作中, 衔铁始终受到反作用弹簧、触头弹簧等反作用力  $F_{\text{反力}}$  的作用。在电磁机构的使用过程中, 尽管  $F_{\text{吸力}}$  的平均值大于  $F_{\text{反力}}$ , 但在某些时候  $F_{\text{吸力}}$  仍会小于  $F_{\text{反力}}$ 。当  $F_{\text{吸力}} < F_{\text{反力}}$  时, 衔铁开始释放, 当  $F_{\text{吸力}} > F_{\text{反力}}$  时, 衔铁又被吸合, 周而复始, 从而使衔铁产生振动, 发出噪声, 还会造成电器结构松散、寿命降低, 同时使触头接触不良, 易于熔焊和烧损。因此, 必须采取措施抑制振动和噪声。

解决该问题的具体办法是在铁芯端部开一个槽, 在槽内嵌入铜环, 称为短路环(或分磁环), 如图 1-4 所示。当励磁线圈通入交流电后, 在短路环中就有感应电流产生, 该感应电流又会产生一个磁通。短路环把铁芯中的磁通分为两部分, 即不穿过短路环的  $\Phi_1$  和穿过短路环的  $\Phi_2$ , 短路环的作用使  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  产生相移, 这两个磁通不会同时过零, 而由这两个磁通产生的合成电磁吸力变化较为平坦, 使合成电磁吸力始终大于反作用力, 从而消除振动和噪声。

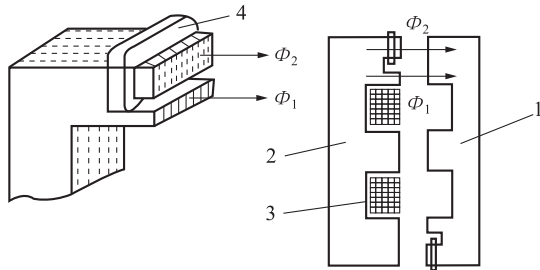


图 1-4 交流电磁铁的短路环  
1—衔铁；2—铁芯；3—线圈；4—短路环

### 三、电接触

触头是电磁式电器的执行部分，起接通或断开电路的作用。在闭合状态下动、静触头完全接触，并有工作电流通过，称为电接触。电接触的好坏将影响触头的工作可靠性和使用寿命。影响电接触的主要因素是触头的接触电阻，接触电阻太大，容易使触头发热而温度升高，使触头产生熔焊现象，从而降低触头的使用寿命。

#### 1. 触头的分类

触头的结构形式很多，按其所控制的电路可分为主触头和辅助触头。主触头用于接通或断开主电路，容许通过较大的电流。辅助触头用于接通或断开控制电路，只能通过较小的电流。

电磁式电器的触头在线圈未通电状态下有常开(或动合)和常闭(或动断)两种状态，分别称为常开(或动合)触头和常闭(或动断)触头。当电磁线圈中有电流通过，电磁机构动作时，触头改变原来的状态，常开(动合)触头将闭合，使其与相连的电路接通，常闭(动断)触头将断开，使其与相连的电路断开。能与机械联动的触头称为动触头，固定不动的触头称为静触头。触头的结构主要有图 1-5 所示的几种形式。

(1)桥式触头。图 1-5 中静触头的两个触头串接于同一条电路中，当衔铁被吸向铁芯时，与衔铁固连在一起的动触头也随之移动，当与静触头接触时，接通同静触头相连的电路。在常开触头闭合的同时，其常闭触头断开。

(2)指形触头。触头接通或分断时产生滚动摩擦，以利于去掉触头表面的氧化膜。指形触头适用于接电次数多、电流大的场合。

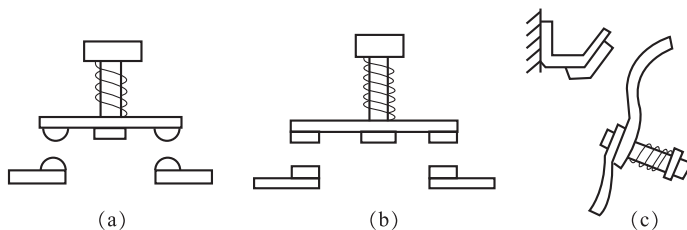


图 1-5 触头的结构形式  
(a)；(b)桥式触头；(c)指形触头(线接触)

## 2. 触头的接触形式

触头的接触形式有点接触、线接触和面接触3种,如图1-6所示。点接触由两个半球或一个半球与一个平面形的触头构成,由于接触区域是一个点或面积很小的面,容许通过的电流很小,所以它常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。线接触由两个圆柱面形的触头构成,由于这种接触形式在通断过程中是滑动接触,故可以自动清除触头表面的氧化膜,从而更好地保证触头的良好接触。其常用于中等容量接触器的主触头。面接触是两个平面形的触头相接触,由于接触区域有一定的面积,可以通过很大的电流,所以常用于大容量的接触器中,做主触头用。

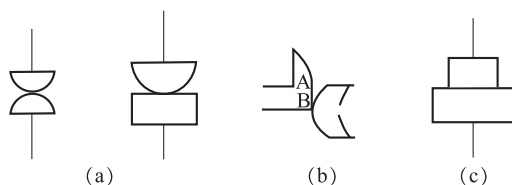


图1-6 触头的接触形式

(a)点接触;(b)线接触;(c)面接触

## 3. 接触电阻

电接触时触头的接触电阻将影响其工作情况。在理想情况下,触头闭合时其接触电阻为零,触头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。实际上,在闭合状态时耦合触头间有接触电阻存在,如果接触电阻太大,可能导致被控电路压降过大或不通。在断开状态时要求触头间有一定的绝缘电阻,绝缘电阻不足可能导致击穿放电,被控电路被接通。

接触电阻大时触头易发热,温度升高,从而使触头易产生熔焊现象,既影响工作的可靠性,又降低了触头的寿命。触头接触电阻的大小主要与触头的接触形式、接触压力,触头材料及触头的表面状况有关。

减小触头接触电阻的方法如下:

(1)增加接触压力,可以增加接触面积,使接触电阻减小,这可通过在动触头上安装一个触头弹簧来实现。

(2)材料的电阻系数越小,接触电阻也越小。在金属中银的电阻系数最小,但银比铜的价格高,实际中常在铜基触头上镀银或嵌银,以减小接触电阻。

(3)改善触头的表面状况,尽量避免或减少触头表面氧化物的形成。注意保持触头表面清洁,避免聚集尘埃。

## 四、电弧的产生和灭弧方法

### 1. 电弧的产生

在大气中断开电路时,如果被断开电路的电流超过某一数值,断开后加在触头间隙(或称弧隙)两端的电压超过某一数值时,触头间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触头间气体在强电场作用下产生的放电现象,是一种带电质点(电子或离子)的急流,内部有很高的温度,其成因有两个:

(1)触头分断瞬间,由于间隙很小,电压几乎全部加在触头之间,在触头间形成很强

的电场, 阴极中的自由电子会逸出到间隙中并向阳极加速运动。前进中的自由电子中途碰撞中性粒子(气体或原子), 使其分裂为电子和正离子, 电子在向阳极运动的过程中又碰撞其他粒子, 这就是碰撞电离。

(2) 经碰撞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逐渐升高, 当温度达到一定值时, 部分电子将从阴极表面逸出并参与碰撞电离, 此时间隙内产生弧光并使温度继续升高, 当弧温达到  $8\ 000 \sim 10\ 000\ \text{K}$ , 触头间的中性粒子以很高的速度作不规则的运动并相互剧烈碰撞, 也产生电离, 这是高温作用使中性粒子碰撞产生的热电离。

这两种电离导致触头间产生大量的离子流, 这就是电弧。电弧形成后, 热电离占主导地位。

电弧会将触头烧损并使电路的分断时间延长, 严重时会引起火灾或其他事故, 因此在电器中应采取适当措施熄灭电弧。

### 2. 灭弧方法

(1) 电动力灭弧。当触头打开时, 在断口中产生两个彼此串联的电弧, 根据左手定则, 电弧电流要受到一个指向外侧的力  $F$  的作用, 使其向外运动并拉长, 在这一过程中电弧受到空气冷却而很快熄灭, 如图 1-7 所示。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器等交流电器中。

(2) 灭弧栅灭弧。灭弧栅由多个镀铜薄钢片组成, 彼此之间互相绝缘, 片间距离为  $2 \sim 3\ \text{mm}$ , 这些金属片称为栅片, 安放在触头上方的灭弧罩内, 如图 1-8 所示。当电弧进入栅片时被分割成一段段串联的短弧, 栅片就是这些短弧的电极, 栅片能导出电弧的热量。由于电弧被分割成许多段, 每一栅片相当于一个电极, 有许多个阳极压降和阴极压降, 有利于电弧的熄灭。此外, 栅片还能吸收电弧热量, 使电弧迅速冷却, 因此电弧进入栅片后就会很快熄灭。

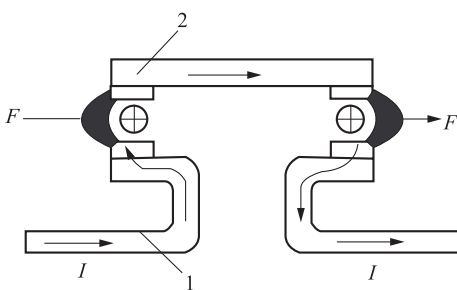


图 1-7 电动力灭弧示意

1—静触头; 2—动触头

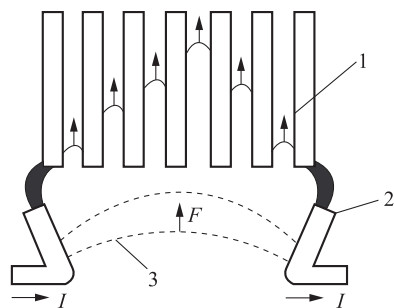


图 1-8 栅片灭弧示意

1—灭弧栅片; 2—触头; 3—电弧

由于栅片灭弧装置的灭弧效果在电流为交流时要比电流为直流时强得多, 因此在交流电器中常采用栅片灭弧。

(3) 灭弧罩灭弧。比灭弧栅更为简单的是采用一个陶土和石棉水泥做成的耐高温灭弧罩, 灭弧罩可以降低弧温和隔弧。这种灭弧装置主要应用在直流接触器的主触头上。

(4) 磁吹灭弧。在触头电路中串入一个具有铁芯的吹弧线圈 1, 如图 1-9 所示。它产