

主 编 王整风  
副主编 韩 莉 王 广

# 电器控制技术与PLC

## 原理 ④ 应用

地震出版社

# 电气控制技术与 PLC 原理及应用

主 编 王整风

副主编 韩 莉 王 广

江苏工业学院图书馆  
藏书章

地震出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

电气控制技术与 PLC 原理及应用/王整风主编. —北京: 地震出版社, 2007. 9  
ISBN 978-7-5028-3268-1

I. 电… II. 王… III. ①电气控制②可编程序控制器  
IV. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 160187 号

**地震版 XT200700273**

**电气控制技术与 PLC 原理及应用**

主 编 王整风

副主编 韩 莉 王 广

责任编辑: 张平

责任校对: 庞娅萍 孙铁磊 郭京平

---

出版发行: **地震出版社**

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68721982

传真: 68721982

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68721982

传真: 68467972

E-mail: seis@mailbox.rolcn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京振兴源印务有限公司

---

版 (印) 次: 2007 年 9 月第一版 2007 年 9 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 516 千字

印张: 27

书号: ISBN 978-7-5028-3268-1/T·29 (3981)

定价: 42.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

# 前 言

电气控制技术是电气信息类专业学生应掌握的基本专业知识，具有较强的实用性。在电气控制领域，微机技术的应用已普及至整个人类生存的空间，并正在迅速影响和改变着人们的生活。以微处理器技术为基础的可程序控制器(Programmable Logic Controller)也正在使工业自动化的进程加快。可程序控制器以其可靠性高、抗干扰能力强、使用简单、方便以及较好的性能价格比等突出优点，目前已在工业控制应用领域中广泛应用，是现代工业自动控制的三大支柱之一。

可程序控制器是集自动控制、计算机和通讯技术三者于一体的工业控制装置。广大工程技术人员已经认识到可程序控制器的优越性，并已引起对可程序控制器的高度重视。国内的一些高等院校已陆续将可程序控制器的应用引入教学。但由于可程序控制器各厂家生产的产品自成系列，兼容性差，给想在短时间内掌握这门技术带来了诸多不便，尤其对一些急于掌握该技术的非电气专业技术人员造成一定的不便。本书为方便读者，在简要介绍电气控制的有关基本知识外，较为详细地介绍了可程序控制器的构成、工作原理及编程基本知识，以使读者尽快掌握可程序控制器的应用。

本书选择了日本三菱FX系列小型可程序控制器作为目标机型，叙述了可程序控制器的原理、应用及编程方法。同时也兼顾了各种类型可程序控制的一般结构、原理和特点。以便读者在熟悉一种机型的基础上，对其余机型触类旁通。为了教学的方便，在本书后附有与该书匹配的实验，以在实践教学环节方面使用。

本书共分十一章，由王整风任主编，韩莉、王广任副主编，其中第五章、第七章由王整风编写；第三章、第四章由董燕飞编写；第十章由韩莉编写；第二章、第八章由任琪梅编写；第六章由赵红梅编写；第一章、第九章由王广编写；第十一章由樊晓虹编写；全书由王整风统稿。

由于编者水平有限，书中难免出现不妥、疏漏和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2007年10月

# 目 录

<b>第一章 常用低压电器</b> .....	1
第一节 低压电器的基本知识 .....	1
第二节 电磁式接触器 .....	11
第三节 电磁式继电器 .....	16
第四节 熔断器 .....	26
第五节 低压开关 .....	30
第六节 低压断路器 .....	33
第七节 主令电器 .....	38
小结 .....	45
思考与练习 .....	45
<b>第二章 电气控制电路基本环节</b> .....	47
第一节 电气控制系统图 .....	47
第二节 三相笼式异步电动机的起动控制 .....	52
第三节 三相绕线式异步电动机的起动控制 .....	62
第四节 三相异步电动机的联锁控制 .....	64
第五节 三相异步电动机的制动控制 .....	67
第六节 电气控制系统常用的保护环节 .....	74
小结 .....	76
思考与练习 .....	77
<b>第三章 典型机械设备的电气控制电路分析</b> .....	79
第一节 电气控制电路分析基础 .....	79
第二节 车床电气控制电路 .....	81
第三节 钻床电气控制电路分析 .....	85
第四节 T68 镗床电气控制电路分析 .....	89
第五节 铣床电气控制电路分析 .....	95
小结 .....	102

思考与练习 .....	102
<b>第四章 PLC 概述 .....</b>	<b>103</b>
第一节 可编程序控制器的产生 .....	103
第二节 可编程序控制器的特点和应用范围 .....	106
第三节 可编程序控制器的发展趋势 .....	109
小结 .....	111
思考与练习 .....	111
<b>第五章 可编程序控制器的基本组成和工作原理 .....</b>	<b>112</b>
第一节 可编程序控制器的基本组成 .....	112
第二节 可编程序控制器的工作原理 .....	119
第三节 可编程序控制器的编程语言 .....	125
第四节 可编程序控制器的一般技术指标 .....	128
第五节 可编程序控制器的分类 .....	132
小结 .....	133
思考与练习 .....	134
<b>第六章 基本逻辑指令 .....</b>	<b>135</b>
第一节 概述 .....	135
第二节 输入输出指令 (LD/LDI/OUT) .....	136
第三节 触点串联 (AND/ANI) .....	138
第四节 触点并联 (OR/ORI) .....	141
第五节 串联电路块的并联 (ORB) .....	144
第六节 并联电路块的串联 (ANB) .....	146
第七节 多重输出电路 (MPS/MRD/MPP) .....	148
第八节 自保持与解除 (SET/RST) .....	155
第九节 空操作指令 (NOP) .....	158
第十节 脉冲输出 (PLS/PLF) .....	160
第十一节 定时器、计数器 (OUT/RST) .....	162
第十二节 主控触点 (MC/MCR) .....	172
第十三节 程序结束 (END) .....	175
小结 .....	175
思考与练习 .....	175

<b>第七章 功能指令</b> .....	179
第一节 功能指令通则 .....	181
第二节 程序流控制指令 (FNC00~FNC09) .....	185
第三节 传送和比较指令 (FNC10~FNC19) .....	192
第四节 四则运算及逻辑运算指令 (FNC20~FNC29) .....	198
第五节 循环移位指令 .....	206
第六节 数据处理指令 (FNC40~FNC49) .....	210
第七节 高速处理指令 (FNC50~FNC59) .....	214
第八节 方便指令 (FNC60~FNC69) .....	223
第九节 外部 I/O 设备指令 (FNC70~FNC79) .....	230
小结 .....	235
思考与练习 .....	235
<b>第八章 可编程序控制器软件设计基础</b> .....	237
第一节 PLC 系统设计概述 .....	237
第二节 软件设计内容 .....	241
第三节 可编程序控制器程序设计步骤 .....	244
第四节 程序设计标准 .....	246
第五节 可编程序控制器应用程序的设计方法 .....	248
第六节 常用基本环节编程 .....	257
小结 .....	284
思考与练习 .....	284
<b>第九章 可编程序控制器系统设计及应用</b> .....	286
第一节 可编程序控制器系统设计的基本原则和步骤 .....	286
第二节 可编程序控制器应用举例 .....	288
小结 .....	305
思考与练习 .....	306
<b>第十章 可编程序控制器的通信及网络</b> .....	309
第一节 通信网络的基础知识 .....	309
第二节 三菱 PLC 的通信网络 .....	327
第三节 CC-Link 开放式现场总线网 .....	329

第四节	Q 主站 CC-Link 网络实例 .....	345
小结	.....	354
思考与练习	.....	354
<b>第十一章</b>	<b>试验</b> .....	355
第一节	基本指令的编程练习 .....	355
第二节	装配流水线控制的模拟 .....	361
第三节	三相异步电动机的 Y/ $\Delta$ 换接起动控制 .....	366
第四节	LED 数码显示控制 .....	368
第五节	五相步进电动机控制的模拟 .....	373
第六节	十字路口交通灯控制的模拟 .....	376
第七节	液体混合装置控制的模拟 .....	381
第八节	电梯控制系统的模拟 .....	385
第九节	四节传送带的模拟 .....	396
<b>附录</b>	<b>FX2 系列的特殊软元件</b> .....	404
<b>参考文献</b>	.....	421



# 第一章 常用低压电器

## 第一节 低压电器的基本知识

低压电器是指工作在直流 1200V、交流 1500V 及以下的电路中，以实现电路或非电对象的控制、检测、保护、变换、调节等作用的电器。采用电磁原理构成的低压电器，称为电磁式低压电器；利用集成电路或电子元件构成的低压电器，称为电子式低压电器；利用现代控制原理构成的低压电器，称为自动化电器、智能化电器或可通信电器等。

### 一、低压电器的分类

低压电器的种类繁多，按其结构、用途及所控制的对象的不同，可以有不同的分类方式，以下介绍三种分类方式。

#### 1. 根据用途和控制对象

①按用途和控制对象的不同，可将低压电器分为配电电器和控制电器。

##### 1) 配电电器

这类电器用于低压电力网，包括刀开关、转换开关、空气断路器和熔断器等。对配电电器的主要技术要求是断流能力强，限流效果好，在系统发生故障时保护动作准确，工作可靠，有足够的热稳定性和动稳定性。

##### 2) 控制电器

这类电器用于电力拖动及自动控制系统，包括接触器、启动器和各种控制继电器等。对控制电器的主要技术要求是操作频率高，寿命长，有相应的转换能力。

#### 2. 根据操作方式

按操作方式的不同，可将低压电器分为自动电器和手动电器。

##### 1) 自动电器

通过电磁（或压缩空气）做功来完成接通、分断、启动、反向和停止等动作的电器称为自动电器。常用的自动电器有接触器、继电器等。

## 2) 手动电器

通过人力做功来完成接通、分断、启动、反向和停止等动作的电器称为手动电器。常用的手动电器有刀开关、转换开关和主令电器等。

## 3. 根据工作原理

按工作原理的不同,可将低压电器分为电磁式电器和非电量控制电器。电磁式电器是依据电磁感应原理来工作的电器,如接触器、各类电磁式继电器等。非电量控制电器是靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器,如行程开关、速度继电器等。

另外,低压电器按工作条件还可划分为一般工业电器、船用电器、化工电器、矿用电器、牵引电器及航空电器等几类。对应于不同类型低压电器的防护型式,对其耐潮湿、耐腐蚀、抗冲击等性能的要求是不同的。

## 二、低压电器基本结构

从结构上看,电器一般都具有两个基本组成部分,即感测部分和执行部分。感测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,输出相应的指令,实现控制的目的。对于有触点的电磁式电器,感测部分是电磁机构,执行部分是触头系统。

### (一) 电磁机构

#### 1. 电磁机构的结构形式

电磁机构由吸引线圈、铁心和衔铁组成。吸引线圈通过一定的电压和电流产生磁场及吸力,并通过气隙转换成机械能,从而带动衔铁运动使触头动作,完成触头的断开和闭合,实现电路的分断和接通。图 1-1 是几种常用电磁机构的结构形式,根据衔铁相对铁心的运动方式,电磁机构有直动式与拍合式,拍合式又有衔铁沿棱角转动和衔铁沿轴转动两种。

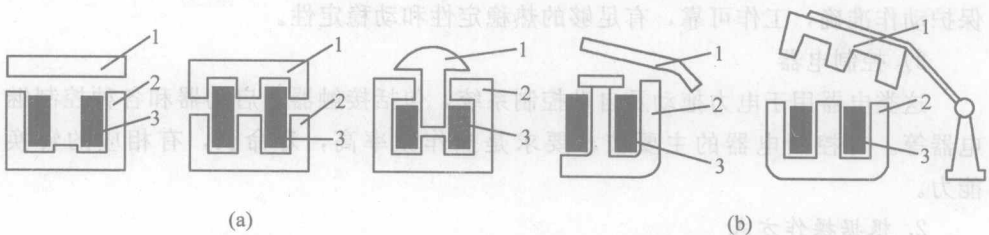


图 1-1 电磁机构

(a) 直动式电磁机构; (b) 拍合式电磁机构

1. 衔铁; 2. 铁心; 3. 线圈

吸引线圈用来将电能转换为磁能，按吸引线圈通入电流性质不同，电磁机构分为直流电磁机构和交流电磁机构，其线圈称为直流电磁线圈和交流电磁线圈。直流电磁线圈一般做成无骨架、高而薄的形状，线圈与铁心直接接触，易于线圈散热；交流电磁线圈由于铁心存在磁滞和涡流损耗，造成铁心发热，为此铁心与衔铁用硅钢片叠制而成，且为改善线圈和铁心的散热，线圈设有骨架，使铁心和线圈隔开，并将线圈做成短而厚的形状。另外，根据线圈在电路中的连接方式，又有串联线圈和并联线圈。串联线圈采用粗导线、匝数少，所以又称为电流线圈；并联线圈匝数多，线径较细，所以又称为电压线圈。

## 2. 电磁机构工作原理

当吸引线圈通入电流后，产生磁场，磁通经铁心、衔铁和工作气隙形成闭合回路，产生电磁吸力，将衔铁吸向铁心；与此同时，衔铁还受到反作用弹簧的拉力，只有当电磁吸力大于弹簧反力时，衔铁才可靠地被铁心吸住。而当吸引线圈断电时，电磁吸力消失，衔铁在弹簧作用下，使衔铁与铁心脱离，即衔铁释放。电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来表述。

(1) 当电磁机构吸引线圈通电后，电磁机构使衔铁释放（复位）的力与气隙的关系曲线称为反力特性；铁心吸引衔铁吸合的力与气隙的关系曲线称为吸力特性。

(1) 反力特性 电磁机构使衔铁释放的力大多是利用弹簧的反力，由于弹簧的反力  $F_n$  与其机械变形的位移量  $X$  成正比，其反力特性可写成

$$F_n = K_1 X \quad (1-1)$$

式中  $K_1$ ——系数。

## 2) 吸力特性

电磁机构的吸力与很多因素有关，当铁心与衔铁端面互相平行，且气隙较小时，吸力可按下式求得：

$$F = 4B^2 S \times 10^5 \quad (1-2)$$

式中  $F$ ——电磁机构衔铁所受的吸力，单位为 N；

$B$ ——气隙的磁感应强度，单位为 T；

$S$ ——吸力处端面积，单位为  $m^2$ 。

当端面积  $S$  为常数时，吸力  $F$  与  $B^2$  成正比，也可以认为  $F$  与磁通  $\phi^2$  成正比，与端面积  $S$  成反比，即：

$$F \propto \frac{\phi^2}{S} \quad (1-3)$$

电磁机构的吸力特性是指电磁吸力与气隙的相互关系。

由式 (1-2) 可知：当线圈中通以直流电时， $B$  不变， $F$  为恒值；当线圈中通以交流电时，磁感应强度为交变量，即：

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-4)$$

由式 (1-2) 和式 (1-4) 可得：

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

由式 (1-5) 可知：交流电磁铁的电磁吸力在 0 (最小值)  $\sim F_m$  (最大值) 之间变化，其吸力曲线如图 1-2 所示。在一个周期内，当电磁吸力的瞬时值大于反力  $F_n$  时，铁心吸合，当电磁吸力的瞬时值小于反力时，铁心释放。当电源电压变化一个周期时，电磁铁吸合两次、释放两次，使电磁机构产生剧烈的振动和噪音，因而不能正常工作。

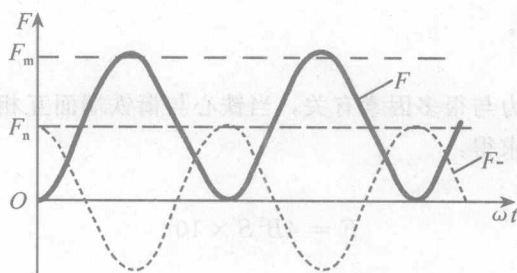


图 1-2 交流电磁铁吸力变化情况

### 3. 短路环的作用

为了消除交流电磁铁产生的振动和噪音，可在铁心的端面开一小槽，在槽内嵌入铜制的短路环，如图 1-3 所示。加上短路环后，磁通被分成大小相近、相位相差约  $90^\circ$  的两相磁通  $\phi_1$  和  $\phi_2$ ，因此两相磁通不会同时为零。由于电磁吸力与磁

通的平方成正比，因此由两相磁通产生的合成电磁吸力较为平坦，在电磁铁通电期间电磁吸力始终大于反力，使铁心牢牢吸合，从而可消除振动和噪音。

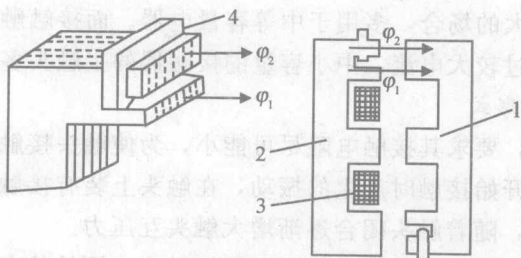


图 1-3 交流电磁铁的短路环

1. 衔铁；2. 铁心；3. 线圈；4. 短路环

## (二) 触头系统

触头也称为触点，是电磁式电器的执行部分，起接通和分断电路的作用。因此，要求触头导电导热性能好，通常用铜、银、镍及其合金材料制成，有时也在铜触头表面电镀锡、银或镍。对于一些特殊用途的电器如微型继电器和小容量的电器，触头采用银质材料制成。

触头闭合且有工作电流通过时的状态称为电接触状态。电接触状态时触头之间的电阻称为接触电阻，其大小直接影响电路工作情况。接触电阻较大，电流流过触头时造成较大的电压降，这对弱电控制系统影响较严重；同时电流流过触头时电阻损耗大，将使触头发热导致温度升高，严重时可使触头熔焊。这样既影响工作的可靠性，又降低了触头的寿命。触头接触大小主要与触头的接触形式、接触压力、触头材料及触头表面状况等有关。

### 1. 触头的接触形式

触头的接触形式有点接触、线接触和面接触三种，如图 1-4 所示。

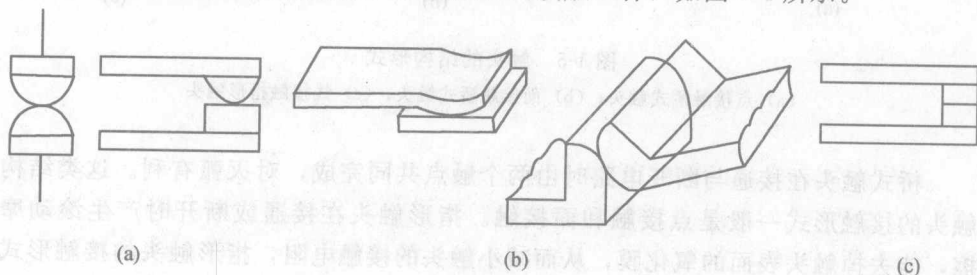


图 1-4 触头的接触形式

(a) 点接触；(b) 线接触；(c) 面接触

点接触由两个半球形触头或一个半球形与一个平面形触头构成，常用于小电流的电器中，如接触器的辅助触头和继电器触头。线接触常做成指形触头结构，它们的接触区是一条直线，触头通、断过程是滚动接触并产生滚动摩擦，适用于通电次数多，电流大的场合，多用于中等容量电器。面接触触头一般在接触表面镶有合金，允许通过较大电流，中小容量的接触器的主触头多采用这种结构。

## 2. 触头的结构形式

触头在接触时，要求其接触电阻尽可能小，为使触头接触更加紧密，减小接触电阻，同时消除开始接触时产生的振动，在触头上装有接触弹簧，使触头刚刚接触时产生初压力，随着触头闭合逐渐增大触头互压力。

触头按其原始状态可分为常开触头和常闭触头。原始状态时（吸引线圈未通电时）触头断开，线圈通电后闭合的触头叫常开触头（动合触头）。原始状态闭合，线圈通电断开的触头叫常闭触头（动断触头）。线圈断电后所有触头回复到原始状态。

按触头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，允许通过较大的电流，辅助触头用于接通或断开控制电路，只能通过较小的电流。

触头的结构形式主要有桥式触头和指形触头，如图 1-5 所示。

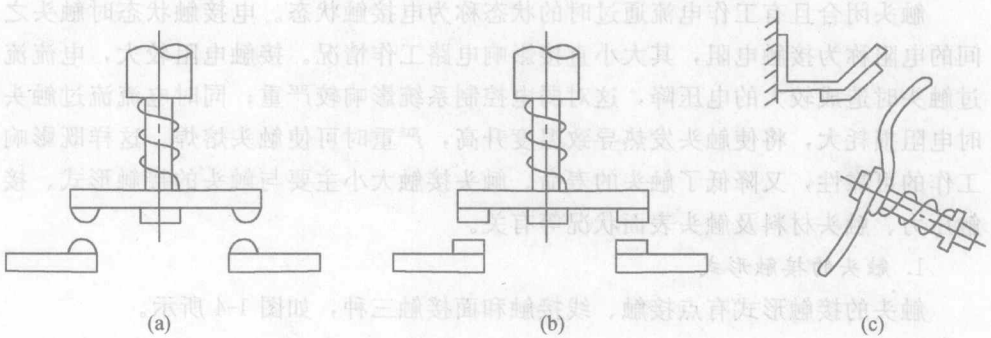


图 1-5 触头的结构形式

(a) 点接触桥式触头；(b) 面接触桥式触头；(c) 线接触指形触头

桥式触头在接通与断开电路时由两个触点共同完成，对灭弧有利。这类结构触头的接触形式一般是点接触和面接触。指形触头在接通或断开时产生滚动摩擦，能去掉触头表面的氧化膜，从而减小触头的接触电阻，指形触头的接触形式一般采用线接触。

### 3. 减小接触电阻的方法

首先触头材料选用电阻系数小的材料，使触头本身的电阻尽量减小；其次增加触头的接触压力，一般在动触头上安装触头弹簧；还可以改善触头表面状况，尽量避免或减小触头表面氧化膜形成，在使用过程中尽量保持触头清洁。

### (三) 电弧的产生和灭弧方法

#### 1. 电弧的产生及危害

在自然环境下开断电路时，如果被开断电路的电流（电压）超过某一数值时（根据触头材料的不同其值约在  $0.25 \sim 1\text{A}$ ， $12 \sim 20\text{V}$  之间），在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。这时触头间隙中的气体被游离产生大量的电子和离子，在强电场作用下，大量的带电粒子作定向运动，使绝缘的气体变成了导体。电流通过这个游离区时所消耗的电能转换为热能和光能，由于光和热的效应，产生高温并发出强光，使触头烧蚀，并使电路切断时间延长，甚至不能断开，造成严重事故。为此，必须采取措施熄灭或减小电弧。

#### 2. 电弧产生的过程

电弧产生的原因主要经历四个物理过程：

##### 1) 强电场放射

触头在通电状态下开始分离时，其间隙很小，电路电压几乎全部降落在触头间很小的间隙上，使该处电场强度很高，强电场将触头阴极表面的自由电子拉出到气隙中，使触头间隙的气体中存在较多的电子，这种现象称为强电场放射。

##### 2) 撞击电离

触头间的自由电子在电场作用下，向正极加速运动，经一定路程后获得足够的动能，在其前进途中撞击气体原子，将气体原子分裂成电子和正离子。电子在向正极运动过程中将撞击其他原子，使触头间隙中气体电荷越来越多，这种现象称为撞击电离。

##### 3) 热电子发射

撞击电离产生的正离子向阴极运动，撞击在阴极上使阴极温度逐渐升高，并使阴极金属中电子动能增加，当阴极温度达到一定程度时，一部分电子有足够动能将从阴极表面逸出，再参与撞击电离。由于高温使电极发射电子的现象称为热电子发射。

##### 4) 高温游离

当电弧间隙中的气体温度升高，使气体分子热运动速度加快，当电弧温度达到或超过  $3000^\circ\text{C}$  时，气体分子发生强烈的不规则热运动并造成相互碰撞，使中性分子游离成为电子和正离子。这种因高温使分子撞击所产生的游离称为高温游离。

### 3. 灭弧原理

由以上分析可知，在触头刚开始分断时，首先是强电场放射。当触头完全打开时，由于触头间距离增加，电场强度减弱，维持电弧存在主要靠热电子发射、撞击电离和高温游离，而其中又以高温游离作用最大。但是在气体分子电离的同时，还存在消电离作用。消电离是指正负带电粒子相互结合成为中性粒子。对于复合消电离只有在带电粒子运动速度较低时才有可能。因此冷却电弧，将电弧挤入绝缘的窄缝里，迅速导出电弧内部热量，降低温度，减小离子的运动速度，以便加强复合过程。同时，高度密集的高温离子和电子，要向周围密度小、温度低的介质方面扩散，使弧隙中的离子和电子浓度降低，电弧电流减小，使高温游离大为减弱。

### 4. 灭弧的基本方法

灭弧的基本方法有：

- (1) 拉长电弧，从而降低电场强度；
- (2) 用电磁力使电弧在冷却介质中运动，降低弧柱周围的温度；
- (3) 将电弧挤入绝缘壁组成的窄缝中以冷却电弧；
- (4) 将电弧分成许多串联的短弧，增加维持电弧所需的临界电压降。

### 5. 常用的灭弧装置

常用灭弧装置有：

#### 1) 电动力吹弧

图 1-6 是一种桥式结构双断口触头，当触头断开电路时，在断口处产生电弧，电弧电流在两电弧之间产生图中所示的磁场，根据左手定则，电弧电流将受到指向外侧的电动力  $F$  的作用，使电弧向外运动并拉长，从而迅速冷却并熄灭。此外，还具有将一个电弧分为两个，以此来削弱电弧的作用。这种灭弧方法常用于小容量的交流接触器中。

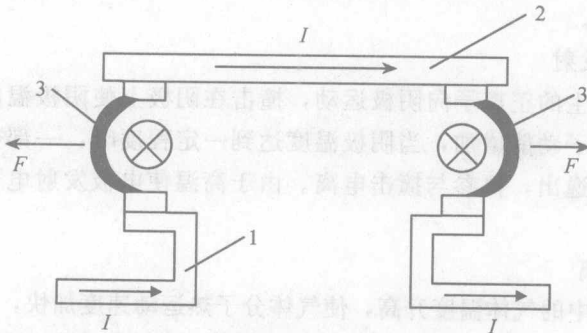


图 1-6 双断口电动力吹弧

1. 静触头；2. 动触头；3. 电弧



## 2) 磁吹灭弧

为加强弧区的磁场强度，以获得较大的电弧运动速度，在触头电路中串入磁吹线圈，如图 1-7 所示。该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触头周围。磁吹线圈产生的磁场与电弧电流产生的磁场相互叠加，这两个磁场在电弧下方方向相同，在电弧上方方向相反，所以电弧下方的磁场强于上方的磁场。在下方磁场作用下，电弧受力方向为  $F$  所指的方向，在  $F$  的作用下，电弧被吹离触头，经引弧角引进灭弧罩，使电弧熄灭。这种灭弧方法常用于直流灭弧装置中。

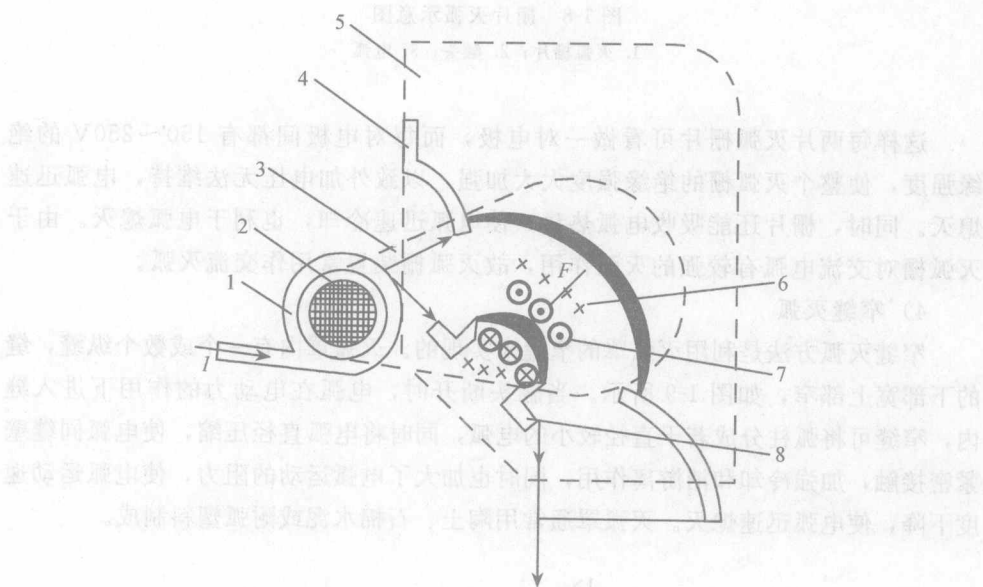


图 1-7 磁吹灭弧原理

1. 磁吹线圈；2. 铁心；3. 导磁夹板；4. 引弧角；5. 灭弧罩；  
6. 磁吹线圈磁场；7. 电弧电流磁场；8. 动触头

## 3) 栅片灭弧

灭弧栅是由多片镀铜薄钢片（称为栅片）和石棉绝缘板组成。灭弧栅被放在电器触头上方的灭弧室内，彼此之间互相绝缘，片间距离约  $2\sim 5\text{mm}$ 。当触头分断电路时，在触头之间产生电弧，电弧电流产生磁场，由于钢片磁阻比空气磁阻小得多，使灭弧栅上方的磁通非常稀疏，而灭弧栅处的磁通非常密集，这种上疏下密的磁场将电弧拉入灭弧罩中，电弧进入灭弧栅后，被分割成一段段串联的短弧，如图 1-8 所示。

图 1-8 栅片灭弧原理

灭弧栅由多片镀铜薄钢片和石棉绝缘板组成。