

高等职业教育建筑电气技术系列教材

建筑电气控制技术

侯进旺 主编


 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



● ISBN 7-111-12156-2/TU·298(课)

● 策划: 贡克勤 / 封面设计: 张静

高等职业教育建筑电气技术系列教材

建筑供配电技术	戴绍基	主编
建筑电气控制技术	侯进旺	主编
建筑电气照明技术	赵德申	主编
现代建筑信息及传输技术	苏海滨	主编
防雷·接地及电气安全技术	杨金夕	主编

ISBN 7-111-12156-2



9 787111 121565 >

地址: 北京市百万庄大街22号

邮政编码: 100037

联系电话: (010) 68326294

网址: <http://www.cmpbook.com>

定价: 23.00 元

E-mail: online@cmpbook.com

高等职业教育建筑电气技术系列教材

建筑电气控制技术

主 编 侯进旺
参 编 屈保中 杨晓青 冯 硕
主 审 潘天任

机械工业出版社

本书主要讲述现代建筑中的电气控制技术，分为两大部分——现代建筑中传统的继电器接触器控制技术和新型的可编程控制器控制技术。全书共有八章，主要包括建筑中常用的电器元件、继电器接触器控制的基本控制电路、建筑电气控制技术的设计、建筑中常用的电气设备的控制原理、电梯的电气控制技术、可编程控制器的基本工作原理及其在建筑中的应用、建筑电气控制技术实验。本书配有适量的思考题和习题，方便学生自学和教师施教。

该书基本概念清楚，内容通俗易懂，具有较强的实用性和先进性，可作为高等职业技术学院建筑电气专业以及建筑学院非电类专业教材，同时也适用于职工大学、业余大学、中专学校的相应专业，本书对有关建筑电气工程技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑电气控制技术/侯进旺主编. —北京: 机械工业出版社, 2003.6

(高等职业教育建筑电气技术系列教材)

ISBN 7-111-12156-2

I. 建… II. 侯… III. 房屋建筑设备-电气控制-高等学校: 技术学校-教材 IV. TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 036065 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 贡克勤

责任编辑: 王保家 版式设计: 张世琴 责任校对: 韩 晶

封面设计: 张 静 责任印制: 付方敏

北京忠信诚胶印厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·16.25 印张·399 千字

定价: 23.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

高等职业教育建筑电气技术系列教材编审委员会

名誉主任：姜立增

顾问：潘天任

主任：戴绍基

委员：(以姓氏笔画为序)

朱吉顶	陈运根	苏海滨	杨全夕
杨晓青	张彦礼	张平泽	屈保中
郑荣进	赵德申	侯进旺	徐小俊
栗建胜			

前 言

本书是根据 2001 年 6 月全国建筑电气自动化专业教材编审工作会议上制定的编写大纲进行编写的。

随着现代化建设的发展,电气自动化技术在现代建筑中起的作用越来越重要。从传统的继电器-接触器控制到现代的计算机控制,各种控制方式的控制系统都得到了广泛应用。因此全国有许多大专院校,特别是目前我国蓬勃发展的高等职业技术学院相继开设了建筑电气自动化专业,为满足该专业的教学需要,我们编写了此教材。

本书主要讲述现代建筑中的电气控制技术,包括两大部分——传统的继电器-接触器控制技术和现代的可编程序控制器控制技术。传统的继电器-接触器控制技术主要介绍常用的建筑电器元件的结构、原理、型号及选用方法;继电器-接触器控制的基本控制规律、典型控制线路;建筑电气控制技术的设计方法;现代建筑中常用的电气设备的控制原理分析;电梯的电气控制技术。由于可编程序控制器作为新型的控制器的应用迅速发展,为此,本书的第二部分以欧姆龙小型机为主(同时也介绍三菱电机、松下电工的产品)介绍了可编程序控制器的基本结构、工作原理、指令系统;可编程序控制器在建筑中的应用。为了便于教学,本书还编写了建筑电气控制技术实验指导。本书配有适量的思考题和习题,方便学生自学和教师施教。

本书具有很强的实用性,可作为建筑电气自动化专业的教材,还可以作为从事建筑电气控制的工程技术人员以及相关人员的参考书。

本书由佛山职业技术学院的侯进旺、杨晓青和河南工业职业技术学院的屈保中、冯硕共同编写,主编为侯进旺。前言及第二章的第一、二、三节,第四章由侯进旺编写;第一章及第二章的第四、五、六节由杨晓青编写;第五章及第六章的第一、二、三节由屈保中编写;第三章和第八章由冯硕编写;第七章由侯进旺、屈保中两人编写。

原机械工业部深圳设计研究院潘天任研究员级高级工程师担任本书的主审,他对本书提供了非常珍贵的修改意见,在此特向他表示衷心感谢。本书在编写期间,参考了有关文献和教材,在此也向这些作者表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错漏之处,恳请各位读者给予批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 常用低压电器 1

- 第一节 低压电器的作用、分类和基本原理 1
- 第二节 接触器 9
- 第三节 继电器 16
- 第四节 熔断器 34
- 第五节 刀开关、低压断路器及漏电保护器 37
- 第六节 主令电器 48
- 思考题与习题 53

第二章 典型电气控制电路 54

- 第一节 建筑电气图的基本知识 54
- 第二节 三相异步电动机直接起动控制电路及其控制规律 59
- 第三节 三相笼型异步电动机减压起动控制电路及其控制规律 66
- 第四节 三相绕线转子异步电动机的起动控制电路及其控制规律 73
- 第五节 三相异步电动机的制动控制电路及其控制规律 76
- 第六节 三相异步电动机的变频调速控制电路 81
- 思考题与习题 82

第三章 建筑电气继电器-接触器控制电路的设计 84

- 第一节 电气控制装置设计的一般原则、基本内容和设计步骤 84
- 第二节 电气控制原理电路设计的步骤与方法 87
- 第三节 电气控制设计中的电气保护及其实现 91
- 第四节 电气控制装置工艺设计 94
- 第五节 设计举例 97
- 思考题与习题 101

第四章 常用建筑电气设备控制

电路分析 103

- 第一节 排风、排烟风机和正压风机的电气控制 103
- 第二节 排水泵的电气控制 109
- 第三节 生活给水泵的电气控制 114
- 第四节 消防泵的电气控制 121
- 思考题与习题 131

第五章 电梯的电气控制 132

- 第一节 电梯的分类、结构 132
- 第二节 电梯的主参数、基本规格及型号 138
- 第三节 交流双速集选电梯电气控制系统 139
- 第四节 电梯电气设备的安装和调整 155
- 第五节 电梯的消防控制系统 158
- 第六节 电梯的群控系统 161
- 思考题与习题 167

第六章 可编程序控制器 168

- 第一节 可编程序控制器概述 168
- 第二节 欧姆龙 C 系列可编程序控制器及其指令系统 173
- 第三节 三菱电机 F1 系列可编程序控制器及其指令系统 191
- 第四节 松下电工 FP1 系列可编程序控制器及其指令系统 202
- 思考题与习题 208

第七章 可编程序控制器的设计与应用 209

- 第一节 可编程序控制器设计 209
- 第二节 可编程序控制器在民用建筑中的应用 211
- 思考题与习题 230

第八章 建筑电气实验 232

- 第一节 继电器-接触器控制实验 232

实验一	三相异步电动机点动和 自锁控制	232	实验四	F1 系列 PLC 的基本操作练习 ...	237
实验二	三相异步电动机的正反转及 Y- Δ 起动控制	233	实验五	彩灯控制程序	241
实验三	三相异步电动机能耗制动和反 接制动控制	235	实验六	三相异步电动机的正反停控制及 Y- Δ 减压起动控制程序	243
第二节	可编程序控制器实验	237	实验七	步进电动机控制程序	245
			实验八	三层楼电梯控制程序	247
			参考文献	252

第一章 常用低压电器

第一节 低压电器的作用、分类和基本原理

一、低压电器的作用和分类

(一) 低压电器的作用与建筑电气控制系统

1. 电器、低压电器及其作用

所谓电器就是能对电能的产生、输送、分配和应用起控制、调节、检测和保护等作用的电气设备(元件)的总称。电器一般以工作电压直流 1200V、交流 1000V 为界划分为低压电器和高压电器。按其作用电器有配电电器和控制电器之分,控制电器的基本作用就是接通和断开电路。

2. 电气控制技术及系统

电气控制技术就是利用控制装置,对被控对象的运动方式或工作状态实施自动控制的综合技术。而电气控制系统则是利用电气控制技术使被控对象完成规定目标的所有相互关联单元的组合的统称。

通常电气控制系统包括控制装置和被控对象两部分。电器是组成控制装置的重要部件,一般也把这种电器称为控制电器,常用的控制电器有开关、按钮、接触器、继电器等。如果系统的控制装置是由开关、按钮、接触器、继电器等控制电器组成,所组成的控制系统称为继电-接触器控制系统。由于继电器、接触器等电器只有“通”、“断”两种状态,系统中各控制信号是断续的,因此继电-接触器控制系统也称为断续控制系统。

3. 建筑电气控制技术及系统

建筑电气控制技术就是在建筑领域中应用的电气控制技术。实现这种应用的电气控制系统称为建筑电气控制系统,如生活供水泵、消防泵、电梯、空调的电气控制系统等。通常这类控制传统采用继电-接触器控制,但随着微型计算机及半导体技术的发展,在建筑领域中越来越多地采用计算机控制系统,如专用的单片机控制系统、可编程序控制器(PLC)控制系统等。本书主要讲述传统的继电-接触器控制系统,并用适当的篇幅介绍 PLC 在建筑中的应用。

(二) 低压电器的分类

低压电器种类繁多,结构各异,作用不同,使用的场合也不一样,本章主要介绍建筑领域电力拖动及控制系统中的低压电器。

低压电器除可分为低压配电电器(常用的有刀开关、转换开关、熔断器、低压断路器等)和低压控制电器(常用的有继电器、接触器、按钮等)外,还可以按操作方式的不同,分为非自动电器和自动电器两类。例如,刀开关、按钮由人力直接操作,属于非自动电器;接触器、继电器是由电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的,属于自动电器。

按电器的输出形式的不同，可分为：

有触头控制电器——电器通断电路的功能由触头来实现，如刀开关、按钮、接触器、继电器等。

无触头控制电器——电器通断电路的功能不是通过触头的接触，而是根据输出信号的高低电平来实现的，如晶闸管、晶体管的导通与阻断或截止等。

另外，按使用的场合分类，可以分为一般工业用电器、特殊工矿用电器、农用电器、船舶用电器、航空用电器等。

二、电磁式低压电器基本原理

低压控制电器中的继电器、接触器大多数是电磁式的。电磁式低压电器主要由三部分组成：电磁机构、触头系统和灭弧装置。如图 1-1 所示。它主要是利用电磁吸力，通过机械联动机构，使其触头系统接通或断开电路，完成对被控对象的控制。

(一) 电磁机构

1. 电磁机构的结构型式

如图 1-2 所示，电磁机构主要由吸引线圈、静铁心、动铁心和气隙四部分组成。其中铁心的结构形式有单 E 形、双 E 形、U 形和甲壳螺管形，动作形式有直动式和转动式。其原理是：当吸引线圈通入电流后，产生磁场，磁通经静铁心、动铁心（也称为衔铁）和工作气隙形成闭合回路，产生电磁吸力，该电磁吸力克服作用在动铁心上弹簧的反作用拉力，将动铁心吸向静铁心，动铁芯带动触头动作。

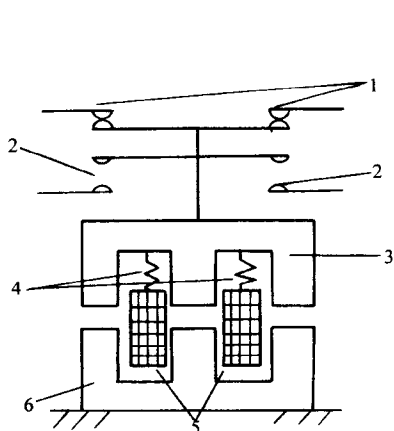


图 1-1 电磁式低压电器的结构

1—常闭触头 2—常开触头 3—动铁心
4—反力弹簧 5—线圈 6—静铁心

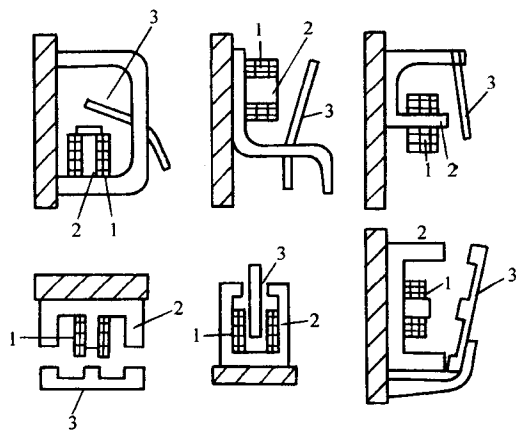


图 1-2 常用电磁机构的形式

1—线圈 2—静铁心 3—动铁心

2. 电磁机构的特性

电磁机构的工作情况常用吸力特性和反力特性来表征。电磁吸力与气隙长度的关系称为吸力特性；电磁机构运动部分的静阻力与气隙长度的关系称为反力特性。静阻力的大小与反力弹簧、摩擦力及衔铁的重量有关。

(1) 电磁机构的吸力特性 线圈通电时，磁路中产生磁动势 ($F = IN$)，在此磁动势的

作用下，磁路中会产生磁通 ($\Phi = IN/R_m$)，由麦克斯韦公式可近似求出此磁通产生的电磁吸力 F_x ：

$$F_x = \frac{B^2 S}{2\mu_0} = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 S} \quad (1-1)$$

式中 B ——气隙的磁感应强度 (T)， $B = \frac{\Phi}{S}$

Φ ——气隙磁通 (Wb)；

S ——气隙截面积 (m^2)；

μ_0 ——真空磁导率， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$ ；

F_x ——电磁吸力 (N)。

对于已制造好的电磁机构， $S = \text{常数}$ ，即 $F_x \propto \Phi^2$ 。

由磁路欧姆定律：

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} = \frac{IN}{\delta} \mu_0 S \quad (1-2)$$

将式 (1-2) 代入式 (1-1) 得：

$$F_x = \frac{(IN)^2 \mu_0 S}{2\delta^2} \quad (1-3)$$

式中 δ ——气隙长度 (mm)；

N ——线圈的匝数。

讨论：

1) 直流电磁机构：对于直流电磁机构，由直流电流励磁，当外加电压一定，稳态时磁路对电路无影响，所以励磁电流不受气隙变化的影响，电流 $I = U/R = \text{常数}$ ，此时

$$F_x = \frac{(IN)^2 \mu_0 S}{2} \cdot \frac{1}{\delta^2} \propto \frac{1}{\delta^2}$$

即直流电磁机构的电磁吸力 F_x 与气隙长度 δ 的二次方成反比， F_x 与 δ 是双曲线关系，吸力特性如图 1-3 所示。它表明衔铁闭合前后吸力变化很大，电磁线圈接通电源初始，由于气隙比较大，电磁吸力比较小，在衔铁吸合过程中，随着气隙的减小电磁吸力在增加。

由于衔铁闭合前后励磁线圈中的电流不变，所以直流电磁机构适用于动作频繁的场所，且吸合后电磁吸力大，工作可靠性好。

需要指出的是，当直流电磁机构的线圈断电时，磁动势 (IN) 急剧降为接近于零，磁路中的磁通也发生急剧变化，因此在线圈两端会产生很大的感应电动势，该感应电动势可达线圈额定电压的 10~20 倍，如果不采取措施，易使线圈因过电压而损坏。此时，可以给线圈提供一个放电回路，这也是为什么通常在直流电磁机构的励磁线圈两端并一个二极管的原因。如图 1-4 所示，正常工作时由于二极管两端加的是反向电压，故二极管不导通，放电回路不通；线圈断电时，线圈中的磁场能量通过二极管得到释放，通常放电电阻 R 可取线

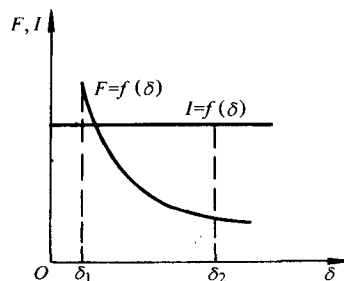


图 1-3 直流电磁机构的吸力特性

圈电阻的6~8倍。

2) 交流电磁机构：交流电磁机构励磁线圈的阻抗主要取决于线圈的电抗（电阻很小）。

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

$$\Phi = \frac{U}{4.44 f N} \quad (1-5)$$

式中 U ——线圈电压 (V)；

E ——线圈感应电动势 (V)；

f ——线圈外加电压的频率 (Hz)；

Φ ——气隙磁通 (Wb)；

N ——线圈匝数。

对于一个制造好的线圈，匝数 N 是一个常数，外加交流电压 U 和频率 f 不变时，由式 (1-5) 可知，磁通 Φ 也为常数，由式 (1-1) 知，此时电磁吸力 F_x 为常数（因为交流励磁，电压、磁通都随时间作周期性变化，其电磁吸力也作周期性变化。此处 F_x 为常数是指电磁吸力的幅值不变）。由于外加电压 U 与气隙 δ 的变化无关，所以其吸力 F_x 亦与气隙 δ 的大小无关。实际上，考虑到漏磁通的影响，吸力 F_x 随气隙 δ 的减小略有增加。其吸力特性如图 1-5 所示。

虽然交流电磁机构的气隙磁通 Φ 近似不变，但气隙磁阻 R_m 随气隙 δ 的长度而改变。根据磁路定律：

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} = \frac{IN}{\frac{\delta}{\mu_0 S}} = \frac{(IN) (\mu_0 S)}{\delta} \quad (1-6)$$

可知，交流励磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比。一般 U 形交流电磁机构，励磁线圈通电瞬间，由于衔铁尚未吸合，气隙 δ 较大，其电流可达到吸合后额定电流的 5~6 倍；E 形电磁机构则达 10~15 倍额定电流。如果衔铁卡住吸不上或者频繁动作，交流励磁线圈很可能烧毁。

(2) 剩磁的吸力特性 由于铁磁物质有剩磁，它使电磁机构在励磁线圈断电后仍然保持一定的磁性吸力。剩磁的吸力随气隙 δ 的增大而减小。剩磁的吸力特性如图 1-6 中曲线 4 所示。

(3) 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身重力。

弹簧的反力与其形变的位移 X 成正比，其反力特性可写成：

$$F_{f1} = K_1 X$$

自身的重力与气隙 δ 的大小无关，如果气隙的方向与重力一致，其反力特性可写成：

$$F_{f2} = K_2$$

考虑到常开触头闭合时超行程机构的弹力作用，上述两种反力特性曲线如图 1-6 中曲线 3 所示。其中 δ_1 为电磁机构气隙的初始值； δ_2 为动静触头开始接触时的气隙长度。由于

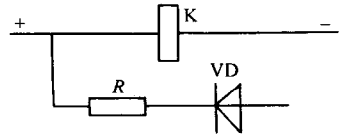


图 1-4 直流通圈的放电电路

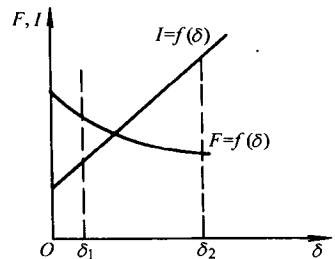


图 1-5 交流电磁机构的吸力特性

超行程机构的弹力作用，反力特性在 δ_2 处有一突变。

(4) 吸力特性与反力特性的配合 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，但也不能过大，否则会影响电器的机械寿命；当电磁机构的励磁线圈断电后，衔铁要想完全获得释放，反力必须大于剩磁吸力。从特性图上看，就是吸力特性（图 1-6 中曲线 1、2）要在反力特性（图 1-6 中曲线 3）的上方，反力特性位于电磁吸力特性和剩磁吸力特性之间，如图 1-6 中各曲线所示。

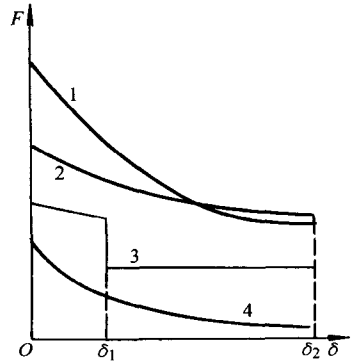


图 1-6 剩磁的吸力特性、反力特性
 1—直流吸力特性
 2—交流吸力特性
 3—反力特性
 4—剩磁吸力特性

(5) 短路环的作用 实际中，在单相交流电磁机构的铁心端面安装一个铜环——通常称作短路环。对于单相电磁机构，由于交流磁通过零时，其电磁吸力也为零，吸合后的衔铁在反力的作用下将有被拉开的趋势，当磁通过零后，电磁吸力迅速增大，当吸力大于反力时，衔铁又被吸合。这样在交流电每个周期内电磁吸力两次过零，就会使衔铁产生强烈的振动和噪声，严重时会使铁心松散。为避免衔铁振动，在铁心端面安装一个铜制短路环（也叫分磁环）。其原理是：如图 1-7 所示，当交流电磁机构中的磁通穿过短路环所包围的截面时，就会在短路环中产生感应电流，该感应电流产生的磁通阻止原磁通的变化，使通过短路环内的合成磁通 Φ_1 在相位上滞后于短路环外铁心中的磁通 Φ_2 。这样，铁心中有两个相位不同的磁通 Φ_1 和 Φ_2 ，电磁机构的电磁吸力为它们产生的吸力 F_1 和 F_2 之和。只要此合力始终大于反力，衔铁的振动现象就被消除了。

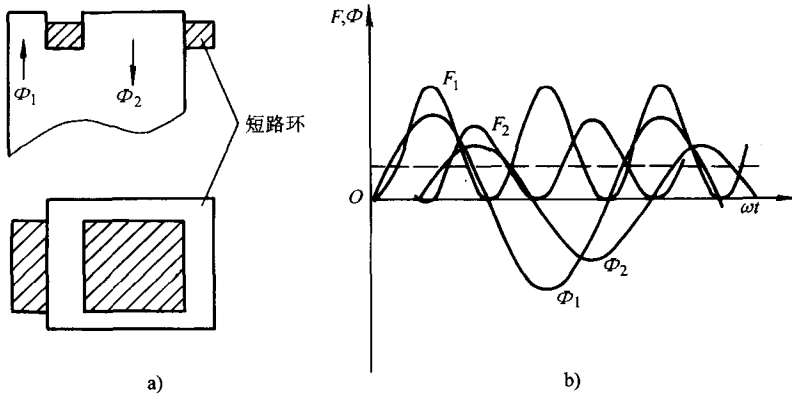


图 1-7 加短路环后的磁通和电磁吸力

(二) 触头系统

触头是一切有触头电器的执行部件，这些电器就是通过触头的动作来接通或分断电路的。根据触头所处的状态及其作用，可分为常开触头、常闭触头、主触头和辅助触头等。所谓常开和常闭触头是以该电器的电磁机构未动作前触头所在的状态是分断的或是接通的来命名的。如果电器的电磁机构未动作前触头是断开的，则该触头称为常开触头（也称为动合触

头)；如果电器的电磁机构未动作前触头是闭合的，则该触头称为常闭触头（也称为动断触头）。如果触头是用于通断大电流电路的，称为主触头；如果触头是用于通断小电流电路的，则称为辅助触头。触头有动触头和静触头。动触头是随衔铁而动作的触头；静触头是不作运动的触头。

1. 触头的接触形式

触头的结构形式主要有球面、平面和圆柱形。触头的接触形式有点接触（如球面对球面、球面对平面等）、线接触（如圆柱对平面、圆柱对圆柱等）和面接触（如平面对平面）三种。如图 1-8 所示，其中图 a 是点接触；图 b 是线接触；图 c 是面接触。

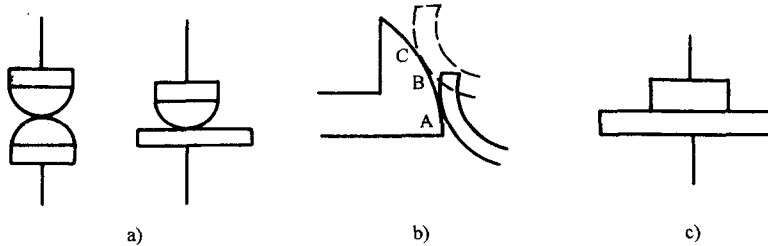


图 1-8 触头的接触形式

a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触

三种形式中，点接触的动静触头接触点数量少，用于控制小电流电路的电器中，如接触器的辅助触头和继电器的触头。面接触的接触头多，用于控制较大电流电路的电器中，如接触器的触头，这种触头的表面一般镶有合金，以减小接触面的接触电阻和提高其耐磨性。线接触的接触区域是一条直线，用于控制中小电流电路的电器中，如中等容量接触器的触头，这种触头在接触或分断过程中都有滚动动作，如图 1-8b 所示。开始接触时，触头接触点在 A 点，靠弹簧的压力经 B 点滚到 C 点；断开时做相反的动作。这样可以清除触头表面的氧化膜，同时长期工作的位置是在 C 点而不是易烧灼的 A 点，从而保证了触头的良好接触。

2. 触头的接通、分断过程和电弧的产生

(1) 触头的接通过程及接触电阻 有触头电器是靠其触头闭合接通被控电路的。一般来讲，触头的接触面越大，其接触电阻越小，触头接通电路的性能越好。所以触头一般都选用电导率高的金属材料做成。但不管什么金属材料做成的触头，即使加工精度再高，触头的表面也不可能是理想光滑的，即两个触头的金属接触表面总是凸凹不平的，只有少数的点才能真正接触上。因此，当触头接通电路时，触头的通电截面很小。另外，金属在空气中难免被氧化或硫化，在其表面生成氧化膜或硫化膜，而后的电阻率比金属本身大得多，这都会使触头接触处的电阻（通常称为触头接触电阻）增大，使触头两端电压增加，触头通过电流时发热，损耗增加。

接触电阻的大小与触头的接触形式、接触压力、触头材料电阻率、力学性能、表面状况有关。

减小接触电阻常用的方法之一是在触头之间加一定的压力，为此在动触头处安装一个触头弹簧，如图 1-9 所示。触头弹簧在安装时已被预先压缩一段，因而在动触头与静触头刚接触时就有一个初始压力 F_1 ，触头闭合后由于弹簧在超行程内继续变形而产生一个终压力 F_2 。弹簧压缩的距离称为触头的超行程，此超行程使得触头即使在磨损情况下仍具有一定

的压力，从而使触头接触可靠，接触面积增大，接触电阻减小。若触头磨损严重应予以更换。

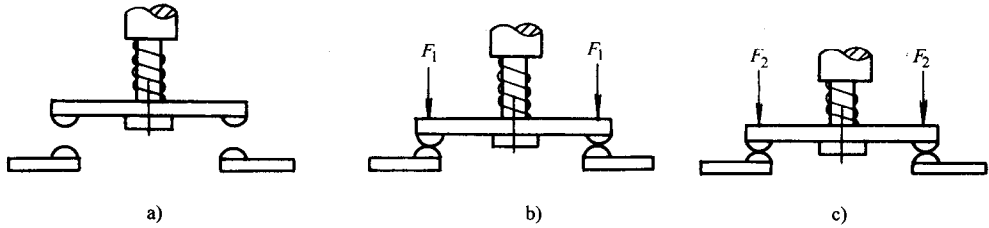


图 1-9 双断点桥式触头

a) 最终断开位置 b) 刚刚接触位置 c) 最终闭合位置

采用电阻率小的触头材料也可以减小接触电阻。在金属材料中，银的电阻率最小，因此，常采用铜触头上镀银或镶银的方法来减小接触电阻。

另外，采用“指形触头”可以有效减小接触电阻。“指形触头”在接触过程中一般都有一个滚动动作，如图 1-8b) 所示，可以清除触头表面的氧化膜，改善触头的接触状况，减小接触电阻。

(2) 触头的分断过程 如前所述，触头接通从本质上讲实际是许多点的接触。因此，在两个触头分开时，势必最终要出现只有一个点在接触的现象。如果原先触头处于闭合状态，触头有电流通过，此时该点处的电流密度就会非常大，致使触头金属熔化，并随着触头的互相分离形成熔化的高温金属液桥。一旦金属液桥被拉断，触头就会完全分开，而在断口处立即产生电弧。如果随着触头的分离，电弧被熄灭，则相应的电路才会被断开。

(3) 电弧的产生 电器的触头在分断电路时，当触头间的电压达到 $10\sim 12\text{V}$ 、电流达到 $80\sim 100\text{mA}$ 时，在触头分离瞬间，就会产生电弧。电弧实际上是一种气体放电现象，即气体中有大量的带电质点作定向运动。在触头分离瞬间，动、静触头的间隙很小，电路电压几乎全部降落在触头之间，在触头间形成很高的电场强度，在此强电场的作用下，气体被游离，产生大量的电离子，气体由绝缘体变为导体，形成放电回路。电流在通过这个游离区时所消耗的电能为热能 and 光能，产生光电效应——电弧。

电弧的产生，由于能生成很高的温度，一方面要烧灼甚至熔化触头，减少电器寿命，降低电器的工作可靠性；另一方面还延迟了电路的切断时间，不能及时分断电路。此外，电弧向四周喷射还会导致电器和周围物质烧蚀，甚至造成相间短路、引起火灾和爆炸事故。

触头间产生大量的电子和离子的原因主要有 4 个：

① 强电场发射：触头开始分离时，电路电压几乎全部加在触头的气隙间，因而气隙的场强很高，此强电场将阴极表面的电子拉出形成强电场发射。

② 撞击游离：触头间隙间的自由电子在电场力的作用下，加速向正极运动，获得一定的动能后，撞击中性分子，使其外层游离，成为带负电的电子和带正电的离子，进一步增强了触头间的离子浓度。

③ 热电子发射：撞击游离中，产生的正离子向阴极运动，撞击在阴极上，使阴极的温度升高，一部分电子从阴极逸出参与撞击游离（这种由温度升高引起的电子逸出称为热电子发射），增加了间隙中的离子、电子的浓度，从而产生弧光。

④高温游离：当触头间隙中气体温度升高到 $8000 \sim 10000\text{K}$ 以上时，气体分子强烈的热运动造成碰撞，使中性分子游离成离子和电子。

当触头刚开始分断时，由于气隙小，电场强，此时主要是强电场发射，电子从阴极被拉出，随之电子撞击中性分子，形成撞击游离，同时阴极温度升高形成热电子发射，致使触头间隙中的电子、离子的浓度大大增加，形成弧光，电弧一旦形成，温度迅速升高，此时高温游离占主导地位，特别是当触头表面的金属蒸气进入弧隙后，高温游离的作用更为显著。由此可见，电压越高，电流越大，即电弧功率越大，弧区温度越高，电弧的游离因素就越强。

当然，气隙还有去游离的因素，因为已游离的正离子和电子在空间相遇时要进行复合，重新形成中性的气体分子，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，使弧隙内的离子和电子浓度降低，电弧电阻增加，电弧电流减小，热游离大为削弱。

所以，电弧是游离和去游离的统一体，触头分断是切断电流，应使电弧尽快熄灭。为此，应抑制游离因素而加强去游离因素，若去游离因素处于主导地位，就能使电弧熄灭。

3. 灭弧方法和灭弧装置

为使电弧熄灭，可采用将电弧拉长、使弧柱降温、将电弧分段等方法。灭弧装置就是基于这些原理来设计的。

(1) 电动力吹弧 图 1-10 是一种双断口触头系统。所谓双断口就是在一个回路中有两个产生和断开的间隙。当触头断开电路时，在断口处产生电弧。静触头 1 和动触头 2 在弧区内产生图中所示的磁场，根据左手定则，电弧电流将受到均指向外侧方向的电磁力 F 的作用而使电弧向外侧方向移动，一方面使电弧拉长，另一方面使电弧温度降低，有助于电弧熄灭。

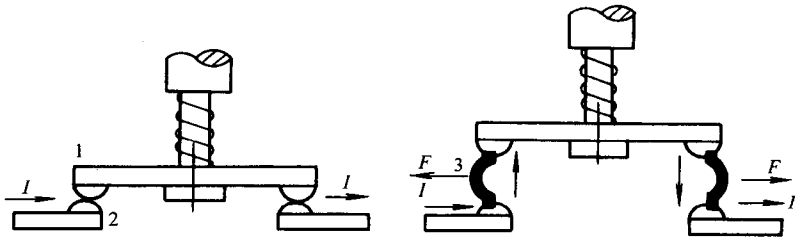


图 1-10 双断口结构的电动力吹弧

1—静触头 2—动触头 3—电弧

这种灭弧方法简单，无需专门的灭弧装置。一般用于交流电器，同时由于交流电流有自动过零，此时电弧更容易熄灭。

(2) 金属栅片灭弧装置 这种灭弧装置的原理如图 1-11a 所示。灭弧室 4 内部装有许多间距为 $2 \sim 3\text{mm}$ 钢板冲成的金属栅片 3，栅片外表面镀铜，以增大传热能力和防止生锈，每个栅片上冲有三角形的缺口。安装时，将上下栅片的缺口错开，如图 1-11b 所示。当发生电弧时，电弧周围产生磁场，导磁钢片的磁阻由于较空气小得多，在栅片下部磁场较强，所以磁场将电弧吹进栅片，电弧被栅片分割成许多串联的小电弧，如图 1-11c 所示。当交流电流过零时，电弧自然熄灭。只有两栅片间有 $150 \sim 200\text{V}$ 的电压时，电弧才能重燃。一方面电源电压不足以使电弧重燃，另一方面由于栅片的散热作用，电弧自然熄灭后很难重燃。这是一种常见的交流电器的灭弧装置。

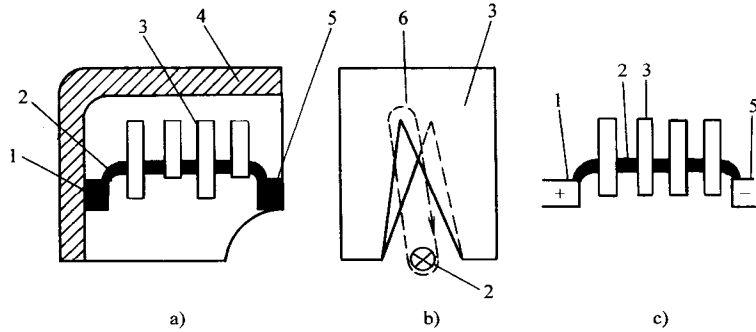


图 1-11 金属栅片灭弧装置

a) 灭弧装置的原理结构 b) 栅片形状 c) 栅片将电弧分成短弧

1—动触头 2—电弧 3—金属栅片 4—灭弧室 5—静触头 6—磁通

(3) 灭弧罩 采用陶土和石棉水泥烧制而成的耐高温的灭弧罩来降温 and 隔弧，可用于直流和交流灭弧。

(4) 磁吹式灭弧装置 磁吹灭弧也是利用电弧电流本身产生的磁场将电弧吹向灭弧罩。为了增大弧区内的磁场强度，以获得较大的电弧运动速度，安装一个与触头相串联或并联的线圈（也称为磁吹线圈），使电弧电流通过线圈以产生足够的磁场，如图 1-12 所示。由图可知，磁吹线圈产生的磁场集中经过铁心和导磁夹板进入电弧空间。于是电弧在磁场力的作用下在灭弧罩内部迅速向上运动并在引弧角附近拉到最长。在电弧的运动过程中，一方面拉长，另一方面又被冷却，致使电弧迅速熄灭。引弧角除有引导电弧运动的作用外，还有保护触头的作用。

应当注意，当线圈与触头是串联连接时，磁吹力的方向与电流的方向无关；当线圈与触头是并联连接时，如果触头的电流方向改变，为了防止电弧被反向磁吹，此时应使磁吹线圈的极性同时改变。否则磁吹力反向，造成电弧不易熄灭，甚至损害电器。磁吹灭弧装置多用于直流电器中。

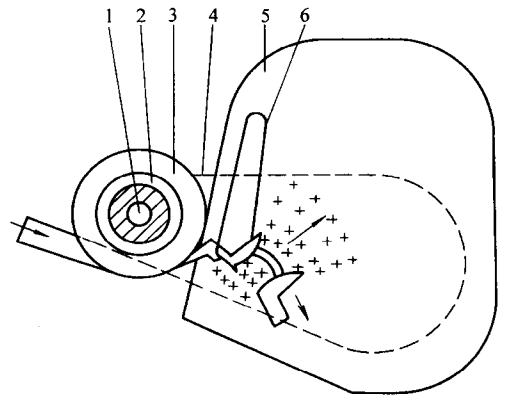


图 1-12 磁吹灭弧装置的工作原理

1—铁心 2—绝缘管 3—磁吹线圈

4—导磁夹板 5—灭弧罩 6—引弧角

第二节 接 触 器

一、接触器的作用与分类

接触器是用来远距离频繁接通或切断较大负载电流电路的一种电磁式控制电器。其主要控制对象是电动机，也可用于控制其它电力负载如电热器、照明负载、电焊机、电容器组等。其特点是控制容量大、操作频率高、使用寿命长、工作可靠、性能稳定、维护简便，是一种用途非常广泛的电器。接触器具有比工作电流大数倍乃至十几倍的接通和分断能力，但不能用于分断短路电流。