



21世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information  
Science and Technology

# 电气控制技术与 PLC

徐文尚 陈霞 武超 编著



附赠电子教案

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

# 电气控制技术与 PLC

徐文尚 陈霞 武超 编著



机械工业出版社

# 出版说明

随着科学技术的不断进步，整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展，社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中，电气信息类（Electrical and Information Science and Technology）包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时，也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下，只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去，才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的，期间，与高等院校相关课程的主讲教师进行了广泛的交流和探讨，旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业教材。

本套教材涵盖多层面专业课程，定位准确，注重理论与实践、教学与教辅的结合，在语言描述上力求准确、清晰，适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

# 前 言

“电气控制技术与 PLC”是自动化、机械制造及其自动化、机电一体化及数控专业、机械设备维修与管理专业必修的一门专业课。本课程的任务是使学生学习必要的电气控制技术方面的基本知识，掌握电气控制系统的分析和设计方法，为今后的工作打下坚实的基础。本课程的主要内容是介绍电气控制线路中常用的低压电器，基本电气控制线路，煤矿固定设备典型电气控制线路，可编程序控制器（PLC）原理，可编程序控制器应用及典型案例。

本书首先介绍了各种控制电器、保护电器的结构、工作原理、型号、部分技术参数、选择与使用，以及图形符号与文字符号，为正确选择和使用低压电器打基础。

本书以国内广泛使用的西门子公司 S7-200 系列 PLC 为背景，介绍了 PLC 的工作原理、特点、硬件结构、编程元件与指令系统，并从工程应用出发详细介绍了梯形图程序的常用设计方法、PLC 系统设计与调试方法、PLC 在实际应用中需要注意的问题。

书中不同于一般电气控制技术教材的特点是以煤矿通、压、排、提生产为背景，结合煤矿固定设备典型电气控制线路，讲述了煤矿生产中的通风、压风、排水、提升等固定设备典型电气控制线路和工作原理。从电气控制电路设计、工作原理、机械特性等多角度进行分析，将电力拖动基本原理和电气控制技术及应用全面融合。

通过本书的学习，首先使学生掌握低压电器的工作原理，电器控制线路的基本环节，具有对一般电气控制线路的独立分析能力。掌握机电设备电气控制的基本理论和基本方法，尤其具备对煤矿通风、压风、排水、提升系统典型电气控制系统进行分析和应用的初步能力，为进一步深造和从事机电控制方面的工程实践打下必要的基础。其次，掌握 PLC 的工作过程及特点，熟练应用 PLC 的指令进行编程，并绘制梯形图和流程图，了解 PLC 的功能指令及用法，了解 PLC 在生产设备电气控制中的应用，培养学生具有设计和改进一般生产设备电气控制线路的基本能力。

本书的主要特色有两个，一个是将电气控制电路与煤矿机电设备控制分析相结合，必要之处均用电动机拖动的机械特性加以分析。作者在教学过程中深有体会，通过将“电气控制电路”和“电机与拖动理论”相结合的讲解，使学生能够更深刻地领会、把握电气控制技术原理、应用的手段与方法。学生学习过程中将所学知识与生产实际对号入座，拉近了理论知识和生产实际的距离。另一个特色是本书采用了煤矿生产中通风、压风、排水、提升系统等固定控制设备的电气控制系统的典型案例，对于有志于了解煤矿、服务煤矿的学生具有很好的入门作用和启迪作用。之前，作者在讲授“电气控制技术与 PLC”课程的过程中希望找一本结合煤矿生产讲授电气控制技术的通俗易懂的简明教材，很可惜没有找到。大多数《电气控制技术与 PLC》教材以机床电气控制为背景，个别专门介绍煤矿固定设备控制技术的教材，内容复杂、庞大，且不以电气控制技术讲授为重点，短短几十个学时，要把电气控制元器件、典型电路和 PLC 的原理及其应用讲清楚，非常困难。因此萌发了编写此书的想法，经不懈努力终于完成，相信会受到广大师生的欢迎。

山东科技大学徐文尚教授担任本书主编，并编写第 2、3 章和 5.1 节，陈霞副教授编写第 4 章和 5.3、5.4 节，武超博士编写第 1、6、7 章、5.2 节和附录，全书由徐文尚教授统稿。作者的研究生杨政、王秀景、梁子登做了大量的图形文字编辑工作，在此对他们的辛勤劳动表示感谢。

由于编者能力有限，且时间仓促，书中难免有不当之处，敬请各位专家同行不吝赐教，在此一并谢过！

作 者

# 目 录

出版说明

前言

第 1 章 常用低压电器 .....	1
1.1 常用低压电器的分类与作用 .....	1
1.1.1 常用低压电器的分类 .....	1
1.1.2 电器的作用 .....	2
1.1.3 电弧的产生及灭弧方法 .....	4
1.2 主令电器 .....	7
1.2.1 按钮 .....	7
1.2.2 转换开关 .....	9
1.2.3 刀开关 .....	10
1.2.4 组合开关 .....	12
1.2.5 行程开关 .....	15
1.3 接触器 .....	18
1.3.1 交流接触器的组成部分 .....	18
1.3.2 接触器的主要技术参数和类型 .....	19
1.3.3 接触器的选择 .....	21
1.4 控制继电器 .....	21
1.4.1 电磁式继电器 .....	22
1.4.2 中间继电器 .....	23
1.4.3 电流继电器和电压继电器 .....	24
1.4.4 时间继电器 .....	26
1.4.5 热继电器 .....	30
1.4.6 速度继电器 .....	33
1.4.7 液位继电器 .....	33
1.4.8 压力继电器 .....	34
1.4.9 固态继电器 .....	34
1.4.10 可编程通用逻辑控制继电器 .....	37
1.5 熔断器 .....	38
1.5.1 熔断器的结构原理及分类 .....	38
1.5.2 熔断器的主要技术参数 .....	38
1.5.3 常用的熔断器 .....	38
1.5.4 熔断器的选择 .....	40
1.6 断路器 .....	41
1.6.1 断路器的结构和工作原理 .....	42

1.6.2	智能化断路器	43
1.6.3	低压断路器的选择原则	44
1.7	漏电保护器	45
1.7.1	漏电保护器工作原理	46
1.7.2	漏电保护器分类	47
1.7.3	基本参数	47
1.7.4	漏电保护器的选择原则	48
1.8	控制器	49
1.9	起动器	50
1.10	电阻器	50
1.11	变阻器与电压调整器	51
1.12	电磁铁	51
1.13	其他常用电器	52
1.13.1	信号灯	52
1.13.2	报警器	53
1.13.3	温控开关	54
1.13.4	压力开关	55
1.13.5	液压控制元件	56
1.13.6	干簧继电器与干簧管	56
1.13.7	水银湿簧开关	57
1.14	电气技术的文字符号和图形符号	58
	本章小结	65
	习题与思考题	66
<b>第2章</b>	<b>电气控制线路基本环节</b>	<b>67</b>
2.1	电气控制的基本原则	67
2.1.1	行程控制原则	67
2.1.2	电流控制原则	68
2.1.3	速度控制原则	68
2.1.4	时间控制原则	69
2.2	电气控制线路设计基本原则	70
2.2.1	电气控制线路的基本要求	70
2.2.2	电气原理图介绍与要求	70
2.2.3	电气元件布置图	71
2.2.4	安装接线图	72
2.2.5	绘图原则	72
2.3	电动机控制线路中的典型环节	72
2.3.1	三相交流异步电动机简单的起、保、停电气控制线路	72
2.3.2	起动和停止控制	73
2.3.3	可逆控制	74

2.3.4	联锁控制 .....	75
2.3.5	多地点控制 .....	76
2.4	三相交流异步电动机控制 .....	76
2.4.1	三相交流异步电动机直接起动控制线路 .....	76
2.4.2	三相交流异步电动机减压起动控制线路 .....	77
2.4.3	三相交流异步电动机制动控制线路 .....	79
2.4.4	双速交流异步电动机调速控制线路 .....	84
2.4.5	位置控制线路 .....	85
2.5	绕线转子交流异步电动机串电阻起动控制的特点和原则 .....	86
2.6	电气设计的注意事项 .....	88
2.6.1	最大限度地实现生产机械和工艺的要求 .....	88
2.6.2	对控制线路电流、电压的要求 .....	89
2.6.3	控制线路应简单经济 .....	89
2.6.4	保证控制线路工作的可靠和安全 .....	90
	本章小结 .....	92
	习题与思考题 .....	93
<b>第3章</b>	<b>煤矿典型固定设备电气控制 .....</b>	<b>96</b>
3.1	煤矿主要通风设备控制 .....	96
3.1.1	主要通风设备概述 .....	96
3.1.2	通风机常用电气控制举例 .....	97
3.2	煤矿主要压气设备的电气控制 .....	104
3.2.1	矿井空气压缩设备概述 .....	104
3.2.2	空气压缩机的电气控制举例 .....	105
3.3	煤矿主要排水设备的电气控制 .....	113
3.3.1	矿井排水设备概述 .....	113
3.3.2	排水设备的电气控制举例 .....	116
3.4	煤矿主要提升设备的电气控制 .....	120
3.4.1	矿井提升设备概述 .....	120
3.4.2	矿井交流提升电气控制形式、分类与控制原则 .....	122
3.4.3	矿井交流提升电气控制系统举例 .....	129
	本章小结 .....	138
	习题与思考题 .....	138
<b>第4章</b>	<b>可编程序控制器原理 .....</b>	<b>140</b>
4.1	PLC 的组成 .....	140
4.1.1	PLC 发展简介 .....	140
4.1.2	PLC 的硬件系统 .....	141
4.1.3	PLC 的软件系统 .....	145
4.2	PLC 扫描工作过程 .....	147
4.3	PLC 的技术性能指标 .....	149



4.4	西门子可编程序控制器介绍 .....	150
4.4.1	西门子 S7-200 PLC 的特点 .....	150
4.4.2	西门子 S7-200 PLC 的工作原理 .....	150
4.5	PLC 的基本编程元件 .....	152
4.6	基本指令介绍 .....	154
4.7	其他重要功能指令 .....	168
4.7.1	数学运算指令 .....	168
4.7.2	逻辑运算指令 .....	172
4.7.3	移位和循环指令 .....	174
4.7.4	数据转换指令 .....	176
4.7.5	程序控制指令 .....	182
4.7.6	中断指令 .....	186
	本章小结 .....	188
	习题与思考题 .....	189
<b>第 5 章</b>	<b>煤矿电气设备 PLC 控制系统设计 .....</b>	<b>190</b>
5.1	基于 PLC 的煤矿地面皮带机控制系统设计 .....	190
5.1.1	煤矿皮带机简介 .....	190
5.1.2	煤矿皮带集控系统 .....	190
5.1.3	部分元器件介绍 .....	192
5.1.4	系统功能操作说明与程序 .....	193
5.2	基于 PLC 的煤矿空气压缩机监控系统设计 .....	196
5.2.1	空气压缩机简介 .....	196
5.2.2	螺杆式空气压缩机概述 .....	198
5.2.3	软起动器的应用 .....	199
5.2.4	空压机控制系统的总体方案设计 .....	200
5.3	基于 PLC 的煤矿排水系统设计 .....	208
5.3.1	煤矿排水系统简介 .....	208
5.3.2	煤矿排水系统 .....	209
5.3.3	离心式水泵排水系统 .....	211
5.3.4	排水系统总体设计 .....	212
5.3.5	部分元器件介绍 .....	213
5.3.6	主程序 .....	216
5.4	煤矿副井提升系统 PLC 控制系统设计 .....	216
5.4.1	煤矿提升系统简介 .....	216
5.4.2	煤矿提升机提升过程分析 .....	218
5.4.3	煤矿提升机总体设计 .....	219
5.4.4	部分检测元器件介绍 .....	221
	本章小结 .....	224
	习题与思考题 .....	224

<b>第 6 章 变频调速器</b> .....	<b>227</b>
6.1 变频调速器简介 .....	227
6.1.1 变频调速的基本原理 .....	228
6.1.2 变频调速的控制方式 .....	229
6.1.3 变频控制的优势 .....	230
6.1.4 变频器技术的发展动向 .....	231
6.2 通用变频器的基本构成及其分类 .....	233
6.2.1 变频器的基本构成 .....	233
6.2.2 变频器调速方式 .....	236
6.2.3 变频器控制方式 .....	239
6.3 通用变频器内部结构和主要功能 .....	242
6.3.1 通用变频器的内部结构 .....	242
6.3.2 通用变频器的主要功能 .....	244
6.3.3 软起动器与变频器的简单比较 .....	245
6.4 变频器的应用 .....	245
6.4.1 变频器的选择 .....	245
6.4.2 通用变频器标准接线 .....	246
6.4.3 变频器与 PLC 连接 .....	249
6.4.4 风机的变频调速 .....	249
6.4.5 变频器在恒压供水系统中的应用 .....	251
本章小结 .....	253
习题与思考题 .....	253
<b>第 7 章 PLC 在工业应用中的若干问题</b> .....	<b>254</b>
7.1 PLC 系统的抗干扰技术 .....	254
7.1.1 适合的工作环境 .....	254
7.1.2 采用性能优良的电源, 抑制电网引入的干扰 .....	255
7.1.3 合理的安装与布线 .....	255
7.1.4 正确的接地 .....	256
7.1.5 必要的安全保护环节 .....	256
7.1.6 对变频器干扰抑制 .....	257
7.2 PLC 的程序调试 .....	257
7.2.1 程序调试的前提——接线正确 .....	257
7.2.2 PLC 程序现场调试 .....	258
7.2.3 程序模拟调试 .....	258
7.2.4 STEP7 的调试手段 .....	259
7.2.5 程序注释和归档 .....	261
7.3 系统的故障诊断 .....	261
7.3.1 PLC 故障/诊断的 LED 指示灯 .....	261
7.3.2 常见故障、诊断方法与故障的处理 .....	262

7.3.3 故障自诊断和自处理程序 .....	265
7.4 节省 I/O 点的几种方法 .....	266
7.4.1 减少输入点数的措施 .....	266
7.4.2 减少输出点数的措施 .....	268
7.5 停车按钮类型 .....	272
7.5.1 停车按钮使用常闭型 .....	272
7.5.2 停车按钮使用常开型 .....	273
7.6 PLC 输出类型的选择及使用中的注意事项 .....	273
7.6.1 继电器和晶体管输出工作原理 .....	273
7.6.2 继电器与晶体管输出的主要差别 .....	273
7.6.3 继电器与晶体管输出选型原则 .....	274
7.6.4 驱动感性负载的影响 .....	274
7.6.5 使用中应注意的事项 .....	274
本章小结 .....	275
习题与思考题 .....	275
附录 .....	276
附录 A 低压电器实训 .....	276
实训一 常用开关电器的拆装 .....	276
实训二 交流接触器的拆装 .....	277
实训三 常用继电器的拆装 .....	277
附录 B S7-200 的出错代码 .....	278
附录 C PLC 基本指令实验指导书 .....	280
实验一 基本逻辑指令 .....	280
实验二 定时器及计数器指令 .....	281
实验三 跳转指令 .....	283
实验四 置位/复位及脉冲指令 .....	284
实验五 移位寄存器指令 .....	284
实验六 常用功能指令 .....	286
附录 D “电气控制技术与 PLC” 课程设计任务书 .....	289
任务一 交通信号灯 PLC 控制系统 .....	290
任务二 四层电梯模型 PLC 控制系统 .....	293
附录 E “电气控制技术与 PLC” 课程设计指导书 .....	295
参考文献 .....	297

# 第1章 常用低压电器

本章主要介绍电气控制领域中常用低压电器，如开关电器、主令电器、接触器、继电器、断路器、熔断器等的工作原理、用途、型号、规格及符号等知识。学会正确选择和合理使用常用低压电器，为后继章节的有触点控制系统和可编程序控制器控制技术学习打下基础。

## 1.1 常用低压电器的分类与作用

根据外界特定的信号和要求自动或手动接通或断开电路，断续或连续改变电路参数，实现对电路或非电对象的接通、切换、保护、检测、控制、调节作用的设备称为电器。

低压电器是工矿企业的电气控制系统中的基本组成元件，电气控制系统性能的优劣和低压电器的性能有直接的关系。作为电气工程技术人员，只有掌握低压电器的基本知识和常用低压电器的结构及工作原理，并能准确选用、检测和调整常用低压电器元件，才能够分析和设计电气控制系统。

低压电器是指额定电压等级在交流 50Hz、1200V、直流 1500V 以下的电器。在我国工业控制电路中最常用的三相交流电压等级为 380V，只有在特定行业环境下才用其他电压等级，如煤矿井下的电钻用 127V、运输机用 660V、采煤机用 1140V 等。

单相交流电压等级最常见的为 220V，机床、热工仪表和矿井照明等采用 127V 电压等级，其他电压等级如 6、12、24、36 和 42V 等一般用于安全场所的照明、信号灯以及作为控制电压。

直流常用电压等级有 110、220 和 440V，主要用于动力电源。6、12、24 和 36V 主要用于控制电源。在电子线路中还有 5、9 和 15V 等电压等级。

低压电器种类繁多，功能各样，构造各异，用途广泛，工作原理各不相同，常用低压电器的分类方法也很多。

### 1.1.1 常用低压电器的分类

#### 1. 按用途或控制对象分类

① 配电电器。主要用于低压配电系统中。要求系统发生故障时准确动作、可靠工作，在规定条件下具有相应的动稳定性与热稳定性，使电器不会被损坏。常用的配电电器有刀开关、转换开关、熔断器、断路器等。

② 控制电器。主要用于电气传动系统中。要求寿命长、体积小、重量轻且动作迅速、准确、可靠。常用的控制电器有接触器、继电器、起动器、主令电器、电磁铁等。

#### 2. 按动作方式分类

① 自动电器。依靠自身参数的变化或外来信号的作用，自动完成接通或分断等动作，如接触器、继电器等。

② 手动电器。用手动操作来进行切换的电器，如刀开关、转换开关、按钮等。

### 3. 按触点类型分类

① 有触点电器。利用触点的接通和分断来切换电路，如接触器、刀开关、按钮等。

② 无触点电器。无可分离的触点。主要利用电子元件的开关效应，即导通和截止来实现电路的通、断控制，如接近开关、霍尔开关、电子式时间继电器、固态继电器等。

### 4. 按工作原理分类

① 电磁式电器。根据电磁感应原理动作的电器，如接触器、继电器、电磁铁等。

② 非电量控制电器。依靠外力或非电量信号（如速度、压力、温度等）的变化而动作的电器，如转换开关、行程开关、速度继电器、压力继电器、温度继电器等。

### 5. 按低压电器型号分类

为了便于了解文字符号和各种低压电器的特点，采用我国《国产低压电器产品型号编制办法》(JB 2930—81.10)的分类方法，将低压电器分为 13 个大类。每个大类用一个汉语拼音字母作为该产品型号的首字母，第二个汉语拼音字母表示该类电器的各种形式。

① 刀开关 H。例如 HS 为双投式刀开关（刀型转换开关），HZ 为组合开关。

② 熔断器 R。例如 RC 为瓷插式熔断器，RM 为密封式熔断器。

③ 断路器 D。例如 DW 为万能式断路器，DZ 为塑壳式断路器。

④ 控制器 K。例如 KT 为凸轮控制器，KG 为鼓型控制器。

⑤ 接触器 C。例如 CJ 为交流接触器，CZ 为直流接触器。

⑥ 起动器 Q。例如 QJ 为自耦变压器降压起动器，QX 为星形-三角形起动器。

⑦ 控制继电器 J。例如 JR 为热继电器，JS 为时间继电器。

⑧ 主令电器 L。例如 LA 为按钮，LX 为行程开关。

⑨ 电阻器 Z。例如 ZG 为管型电阻器，ZT 为铸铁电阻器。

⑩ 变阻器 B。例如 BP 为频敏变阻器，BT 为起动调速变阻器。

⑪ 调整器 T。例如 TD 为单相调压器，TS 为三相调压器。

⑫ 电磁铁 M。例如 MY 为液压电磁铁，MZ 为制动电磁铁。

⑬ 其他 A。例如 AD 为信号灯，AL 为电铃。

在选用低压电器时常根据型号来进行选用，所以本书按型号分类对上述低压电器的分类进行说明。

## 1.1.2 电器的作用

电器是构成控制系统的最基本组件，它的性能将直接影响控制系统能否正常工作。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、参数，实现对电路或被控对象的控制、保护、测量、指示、调节。它的工作过程是将一些电量信号或非电量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。

电器的主要作用如下。

① 控制作用。如电梯的上下移动、快慢速自动切换与自动停层等。

② 保护作用。能根据设备的特点，对设备、环境以及人身安全实行自动保护，如电动机的过热保护、电网的短路保护、漏电保护等。

③ 测量作用。利用仪表及与之相适应的电器，对设备、电网或其他非电参数进行测

量，如电流、电压、功率、转速、温度、压力等。

④ 调节作用。低压电器可对一些电量和非电量进行调整，以满足用户的要求，如电动机速度的调节、柴油机油门的调整、房间温度和湿度的调节、光照度的自动调节等。

⑤ 指示作用。利用电器的控制、保护等功能，显示检测出的设备运行状况与电气电路工作情况。

⑥ 转换作用。在用电设备之间转换或对低压电器、控制电路分时投入运行。以实现功能切换，如被控装置操作的手动与自动的转换、供电系统的市电与自备电源的切换等。

当然，电器的作用远不止这些，随着科学技术的发展，新功能、新设备会不断出现。常用低压电器的主要种类及用途见表 1-1。

表 1-1 常用低压电器的主要种类及用途

序号	类别	主要品种	用途
1	断路器	塑料外壳式断路器	主要用于电路的过负荷保护、短路、欠电压、漏电压保护，也可用于不频繁接通和断开的电路
		框架式断路器	
		限流式断路器	
		漏电保护式断路器	
		直流快速断路器	
2	刀开关	开关板用刀开关	主要用于电路的隔离，有时也能分断负荷
		负荷开关	
		熔断器式刀开关	
3	转换开关	组合开关	主要用于电源切换，也可用于负荷通断或电路的切换
		换向开关	
4	主令电器	按钮	主要用于发布命令或程序控制
		限位开关	
		微动开关	
		接近开关	
		万能转换开关	
5	接触器	交流接触器	主要用于远距离频繁控制负荷，切断带负荷电路
		直流接触器	
6	起动器	磁力起动器	主要用于电动机的起动
		星形-三角形起动器	
		自耦减压起动器	
7	控制器	凸轮控制器	主要用于控制回路的切换
		平面控制器	
8	继电器	电流继电器	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
		电压继电器	
		时间继电器	
		中间继电器	
		温度继电器	
		热继电器	

(续)

序号	类别	主要品种	用途
9	熔断器	有填料熔断器	主要用于电路短路保护，也用于电路的过载保护
		无填料熔断器	
		半封闭插入式熔断器	
		快速熔断器	
		自复熔断器	
10	电磁铁	制动电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等地方
		起重电磁铁	
		牵引电磁铁	

低压电器种类繁多，一般有数百个，且不同品牌和型号的低电压器，其外观各异、参数表示方式和设置方法也不一样，功能上也有很大差别，但使用方法差别不大。实际工作中，并不需要对每种低压电器的参数都非常熟悉和了解，只要对一些常用的低压电器基本了解，在实践中不断掌握其选型和使用方法就可以了。

### 1.1.3 电弧的产生及灭弧方法

#### 1. 电器的触头

触头是电磁式电器的执行部分，起接通或断开电路的作用。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，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。

电磁式电器触头在线圈未通电状态时有常开（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，使与其相连的电路接通；常闭（动断）触头将断开，使与其相连的电路断开。能与机械联动的触头称动触头，固定不动的触头称静触头。

触头的主要结构形式如图 1-1 所示。

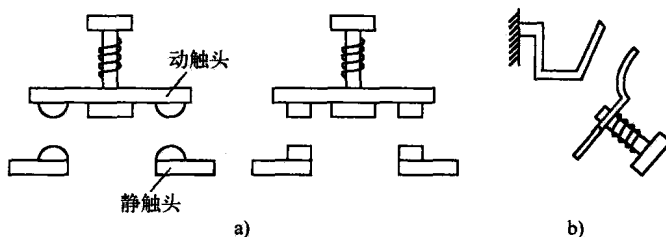


图 1-1 触头的结构形式

a) 桥式触头 b) 指形触头（线接触）

① 桥式触头。电磁式电器通常同时具有常开和常闭两种触头，桥式常闭触头与常开触头结构及动作对称，一般在常开触头闭合时，常闭触头断开。图 1-1 中静触头的两个触点串接于同一条电路中，当衔铁被吸向铁心时，与衔铁固连在一起的动触头也随着移动，当与静触头接触时，便使同静触头相连的电路接通。电路的接通与断开由两个触头共同完成。

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。

## 2. 电接触

触头在闭合状态下，动、静触头完全接触，并有电流通过时，称为电接触。电接触时触头的接触电阻大小将影响其工作情况。接触电阻大时触头易发热，温度升高，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。

触头的接触形式有点接触、线接触和面接触3种，如图1-2所示。点接触适用于电流不大，触头压力小的场合。线接触适用于接电次数多，电流大的场合。面接触适用于大电流的场合。

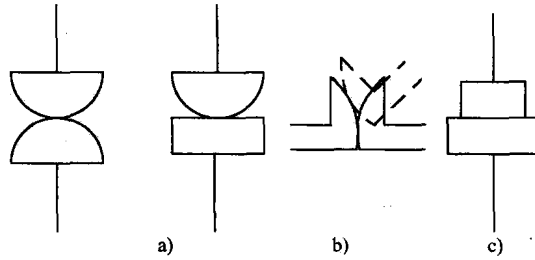


图1-2 触头的接触形式

a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触

减小触头接触电阻的方法主要如下：

① 增加接触压力可使触点的接触面积增加，从而减小接触电阻。一般在动触点上安装一个触点弹簧。

② 选择电阻系数小的材料，减小接触电阻。如在触点上镀银或嵌银，以减小接触电阻。

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

## 3. 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，会产生高温（弧柱中心可达 $10000^{\circ}\text{C}$ 左右，电弧表面也会达到 $3000\sim 4000^{\circ}\text{C}$ ）并发出强光（白炽弧光），将触头烧损，烧坏绝缘材料，并使电路的切断时间延长，严重时会引起火灾或其他事故，电弧在电动力、热力作用下能移动，易造成飞弧短路和伤人，使事故扩大。因此，在电器中应采取适当措施熄灭电弧。

## 4. 常用的灭弧方法

常用的灭弧方法有以下几种：

① 电动力灭弧。该方法如图1-3所示。桥式触头在分断时具有电动力吹弧功能。当触头打开时，在断口中产生电弧，同时也产生如图1-3所示的磁场。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，迅速离开触头而熄灭。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器等交流电器中。

② 磁吹灭弧。电弧在电磁力作用下产生运动的现

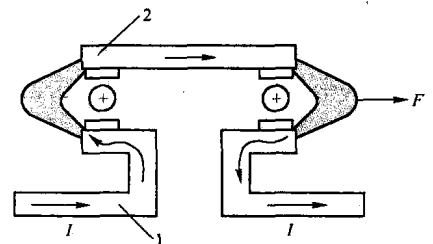


图1-3 电动力灭弧示意图

1—静触头 2—动触头



象，叫电磁吹弧。由于电弧在周围介质中运动，它起着与气吹同样的效果，从而达到熄弧的目的。这种灭弧的方法在低压开关电器中应用得更为广泛。

磁吹灭弧示意图如图 1-4 所示。在触点电路中串入吹弧线圈，该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围，其方向由右手定则确定（为图 1-4 中×所示），触点间的电弧所产生的磁场，其方向为⊗和⊙所示。这两个磁场在电弧下方方向相同（叠加），在弧柱上方方向相反（相减），所以弧柱下方的磁场强于上方的磁场。在下方磁场作用下，电弧受力的方向为F所指的方向，在F的作用下，电弧被吹离触点，经引弧角引进灭弧罩，使电弧熄灭。

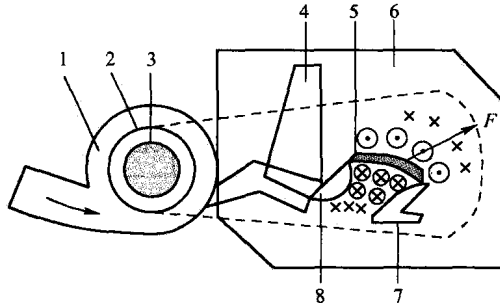


图 1-4 磁吹灭弧示意图

- 1—磁吹线圈 2—绝缘套 3—铁心 4—引弧角  
5—磁导夹板 6—灭弧罩 7—动触头 8—静触头

③ 栅片灭弧。灭弧栅是一组薄钢片，它们彼此间相互绝缘。栅片灭弧示意图如图 1-5 所示。当电弧进入栅片时被分割成一段段串联的短弧，而栅片就是这些短弧的电极，这样就使每段短弧上的电压达不到燃弧电压。同时每两片灭弧片之间都有 150~250V 的绝缘强度，使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强，以致外加电压无法维持，电弧迅速熄灭。此外，栅片还能吸收电弧热量，使电弧迅速冷却。基于上述原因，电弧进入栅片后就会很快熄灭。由于栅片灭弧装置的灭弧效果在电流为交流时要比直流时强得多，因此在交流电器中常采用栅片灭弧。实质是将电弧分为多个串联的短弧的方法来灭弧。

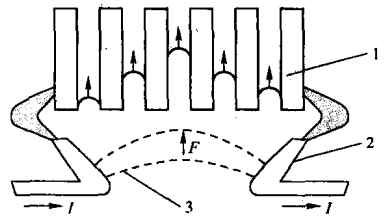


图 1-5 栅片灭弧示意图

- 1—灭弧栅片 2—触头 3—电弧

④ 窄缝灭弧。这种灭弧方法是利用灭弧罩的窄缝来实现的。灭弧罩内有一个或数个纵缝，缝的下部宽，上部窄，如图 1-6 所示，当触头断开时，电弧在电动力的作用下进入缝内，窄缝可将电弧柱分成若干直径较小的电弧，同时可将电弧直径压缩，使电弧同缝紧密接触，加强冷却和去游离作用，使电弧熄灭加快。灭弧罩通常用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。

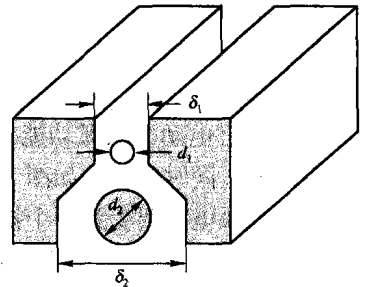


图 1-6 窄缝灭弧罩的断面

⑤ 其他方式。吹弧时由于电弧被拉长变细，弧隙的电导下降，电弧的温度下降。按吹弧气流的产生方法和吹弧方向的不同，吹弧还有以下几种：油气吹弧、压缩空气或六氟化硫（SF<sub>6</sub>）气体吹弧、产气管吹弧。在高压开关