

21 世纪高等学校规划教材  
Textbook Series of 21st Century



# 电气控制 及 PLC 应用

DIANQIKONGZHI  
JI PLC YINGYONG

何波 主编  
于军琪 段中兴 副主编



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

TM571.2/13

2008

21 世纪高等学校规划教材  
Textbook Series of 21st Century



# 电气控制 及 PLC 应用

DIANQIKONGZHI  
JI PLC YINGYONG

主 编 何 波  
副主编 于军琪 段中兴  
编 写 冯增喜 张小红  
李 喆 孙继武  
陈登峰  
主 审 武维善



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

全书共分为 9 章, 主要包括电气控制线路设计和可编程控制器技术与应用两部分。具体内容包括常用低压电器、电气控制线路的基本环节和典型应用、电气控制系统的设计方法、楼宇自控中的电气控制、可编程控制器概述、S7-200 系列 PLC 的硬件结构和软件概述、S7-200 系列 PLC 基本指令系统及其应用、S7-200 系列 PLC 特殊应用指令、可编程控制器系统设计。每章的结尾附有适量的习题及思考题。本书在编写过程中力求理论联系实际, 注重对学生工程实践能力的训练和培养, 充分体现了教材内容的实用性和先进性。

本书可作为普通高等院校自动化、电气工程及其自动化、机电一体化、测控技术与仪器等相关专业的教学用书, 也可供从事工业控制系统设计的工程技术人员参考和使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制及 PLC 应用/何波主编. —北京: 中国电力出版社, 2008

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-6701-9

I. 电… II. 何… III. ①电气控制—高等学校—教材 ②可编程序控制器—程序设计—高等学校—教材  
IV. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 011029 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2008 年 2 月第一版 2008 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 463 千字

定价 28.50 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

## 前 言

“电气控制技术”和“可编程控制器”是高等学校自动化及其相关专业应用性很强的专业课程。近年来，随着教育部对我国高校各专业课程设置的改革，已将这两门课程合并为一门课程——“电气控制与可编程控制”，本书正是在这一前提下编写的。

本书在编写过程中力求理论联系实际，注重对学生工程实践能力的训练和培养，充分体现教材内容的实用性和先进性。结合作者多年的工程实践和教学经验，从便于教师授课和学生理解的角度出发，在书中的相关章节列举了大量的工程实例，由浅入深，以促进学生对所学内容的掌握，并逐步锻炼其独立解决实际问题的能力。

本书从工程实际出发，旨在培养学生的独立分析和设计能力，详细地讲述了电气控制技术及 PLC 应用技术，系统地阐述了电气控制系统的分析与设计方法，并以 SIMATIC S7-200 系列小型 PLC 为主，着重讲述了 PLC 的工作原理、指令系统和编程方法，以及 PLC 控制系统的设计原则、设计方法和步骤。

通过本书的讲解，能够使学生熟练运用逻辑方法及顺序控制的思想进行简单的电气控制线路设计，通过必要的实验环节使学生掌握 SIMATIC S7-200 系列 PLC 的硬件结构及编程方法，并能根据工艺过程和控制要求进行 PLC 系统设计，进而加强学生实践技能的锻炼。

本书第 1 章由于军琪编写；第 2、3、7 章由何波编写；第 4 章由于军琪、冯增喜编写；第 5 章由段中兴编写；第 6 章由孙继武、陈登峰编写；第 8 章由李喆编写；第 9 章由张小红和何波编写。全书由何波主编，并负责组织与统稿。西安建筑科技大学武维善教授对本书的全部内容进行了认真的审阅，并提出了许多宝贵的意见；张小红为本书做了大量的文字编辑和校正工作；书中部分内容参考了相关的文献资料。在此编者对以上同志及参考文献的作者一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加上编写时间比较仓促，书中难免存在疏漏和不当之处，敬请各位专家、读者批评指正。

编 者

2007 年 10 月

## 目 录

### 前言

<b>第 1 章 常用低压电器</b> .....	1
1.1 低压电器的定义与分类 .....	1
1.2 电磁式低压电器 .....	2
1.3 熔断器 .....	16
1.4 热继电器 .....	18
1.5 主令电器 .....	21
1.6 低压开关和低压断路器 .....	24
习题及思考题 .....	28
<b>第 2 章 电气控制线路的基本环节和典型应用</b> .....	30
2.1 电气控制线路的绘制原则、图形符号及文字符号 .....	30
2.2 电动机的基本起、停控制线路 .....	36
2.3 电气控制线路的联锁控制规律 .....	37
2.4 电动机的典型控制线路 .....	42
2.5 电气控制线路设计举例 .....	54
习题及思考题 .....	58
<b>第 3 章 电气控制系统的设计方法</b> .....	60
3.1 电气控制系统设计的基本原则与步骤 .....	60
3.2 电气控制系统的经验设计方法 .....	62
3.3 电气控制系统的逻辑设计方法 .....	72
3.4 顺序控制设计方法 .....	83
习题及思考题 .....	91
<b>第 4 章 电气控制在楼宇自控中的应用</b> .....	94
4.1 各类水泵的电气控制 .....	94
4.2 空调系统的电气控制 .....	102
习题及思考题 .....	119
<b>第 5 章 可编程控制器概述</b> .....	120
5.1 可编程控制器的产生和发展 .....	120
5.2 可编程控制器的定义和分类 .....	121
5.3 可编程控制器的组成及系统配置 .....	123
5.4 可编程控制器的工作原理 .....	129
5.5 可编程控制器的特点和应用领域 .....	135
习题及思考题 .....	138

<b>第 6 章 SIMATIC S7-200 系列 PLC 的硬件结构和软件概述</b> .....	139
6.1 S7-200 系列 PLC 的系统组成 .....	139
6.2 S7-200 系列 PLC 的内部元件及其编址方式 .....	146
6.3 S7-200 系列 PLC 的寻址方式 .....	153
6.4 STEP 7-Micro/WIN 编程软件简介 .....	156
习题及思考题 .....	164
<b>第 7 章 S7-200 系列 PLC 基本指令系统及其应用</b> .....	165
7.1 基本逻辑指令 .....	165
7.2 定时器指令 .....	172
7.3 计数器指令 .....	177
7.4 比较指令 .....	180
7.5 数据处理指令 .....	182
7.6 数据运算类指令 .....	189
7.7 移位指令 .....	198
7.8 程序控制指令 .....	203
7.9 步进控制指令及顺序控制 .....	212
7.10 表操作指令 .....	223
习题及思考题 .....	227
<b>第 8 章 S7-200 系列 PLC 特殊应用指令</b> .....	230
8.1 实时时钟指令 .....	230
8.2 高速计数器指令 .....	231
8.3 高速脉冲输出指令 .....	240
8.4 PID 回路控制指令 .....	247
8.5 通信指令 .....	253
习题及思考题 .....	263
<b>第 9 章 可编程控制器系统设计</b> .....	265
9.1 可编程控制器应用系统的总体设计 .....	265
9.2 PLC 应用系统的硬件设计 .....	268
9.3 PLC 控制系统的可靠性设计 .....	272
9.4 PLC 系统实际应用实例 .....	280
习题及思考题 .....	292
<b>参考文献</b> .....	296

## 第 1 章 常用低压电器

随着社会的发展,电能在工农业生产、国防、交通等领域以及人们的日常生活中起着越来越重要的作用,在这些领域中,大多采用的是低压供电。低压供电的输送、分配和保护,以及电气设备的运行和控制都是靠各类低压电器来实现的,因此,低压电器的应用十分广泛。本章将主要介绍在电力拖动自动控制系统中常用的低压电器,如接触器、继电器、主令电器等,旨在为电气控制系统和 PLC 控制系统的设计奠定基础。

### 1.1 低压电器的定义与分类

低压电器是构成电气控制系统最常用的器件,了解它的定义、分类、作用和用途,对于系统的设计、分析和维护都是十分必要的。

#### 1.1.1 低压电器的定义

低压电器是指工作在交、直流额定电压 1200V 以下,能根据外界信号(如机械力、电力或其他物理量)和要求,自动或手动地接通或断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节作用的电气设备。

低压电器是构成控制系统的最基本元件,其性能的优劣、状态的好坏、维修是否方便将直接影响到控制系统能否正常工作。近年来,随着电子技术、自动控制技术和计算机技术的发展,低压电器的种类越来越多,性能也越来越好。由于在多数工业控制系统中,电气控制技术仍然占有相当重要的地位,因此低压电器的使用非常普遍。

#### 1.1.2 低压电器的分类

由于低压电器的种类繁多、功能多样、规格和性能各异,结构和工作原理也各不相同,因此有不同的分类方法,通常按用途可将低压电器划分为以下几类。

(1) 低压配电电器:是指用于低压供电系统,完成电能输送和分配的电器。对这类电器的主要技术要求是分断能力强、限流效果好、动稳定性能及热稳定性能好,如低压断路器、隔离开关、刀开关、自动开关及转换开关等。

(2) 低压控制电器:是指用于电力拖动自动控制系统设计的电器。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力、操作频率高、电器的机械寿命长,如接触器、继电器、电磁阀和各种控制器等。

(3) 低压主令电器:是指控制系统中用于发送控制指令的电器。对这类电器的主要技术要求是操作频率高、抗冲击能力强、电器的机械寿命长,如按钮、主令控制器、行程开关和万能转换开关等。

(4) 低压保护电器:是指用于对控制线路和电气设备实施电气保护的电器。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力、可靠性高、反应灵敏,如熔断器、热继电器、电压继电器、电流继电器和安全继电器等。

(5) 低压执行电器：是指用于执行某种动作和传动功能的电器。如电磁铁、电磁离合器等。

低压电器还可按使用场合分为一般工业用电器、特殊工矿用电器、安全电器、农用电器等；按操作方式可分为手动电器和自动电器；按工作原理可分为电磁式低压电器、非电量控制低压电器等。其中，电磁式低压电器是采用电磁现象完成信号的检测和工作状态转换的，这类电器是低压电器中应用最为广泛、结构最典型的一类。

### 1.1.3 常用的低压控制电器

常用的低压控制电器如图 1-1 所示。

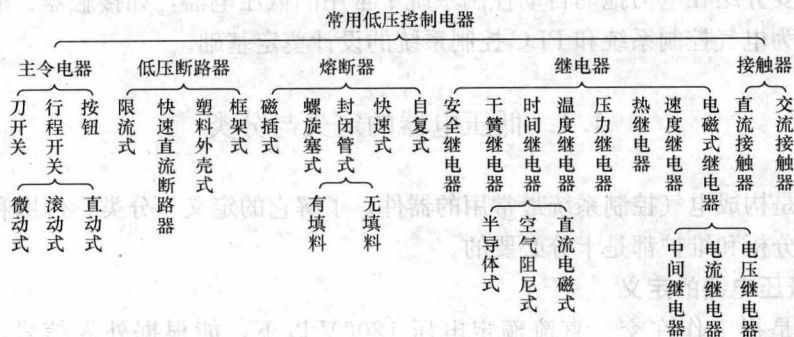


图 1-1 常用的低压控制电器

各低压电器的结构和动作特性将在后续各节中详细介绍。

## 1.2 电磁式低压电器

电磁式低压电器是低压电器中最典型也是应用最为广泛的一种电器。电气控制线路中的接触器和继电器是两种最为常用的电磁式低压电器。各类电磁式低压电器的构造和工作原理基本相同，主要由电磁机构（感测部分）和触点系统（执行部分）组成。

### 1.2.1 电磁机构

电磁机构是电磁式低压电器的关键部分，其作用是利用电磁感应原理将电能转换成机械能，将电磁机构中吸引线圈的电流转换成电磁力，从而带动触点动作，以完成接通或断开电路的功能。

电磁机构主要由吸引线圈、铁心和衔铁组成，其结构形式按衔铁相对铁心的运动方式可分为直动式和拍合式，如图 1-2 和图 1-3 所示。在图 1-3 中，拍合式又分为衔铁沿棱角转动和衔铁沿轴转动两种形式。

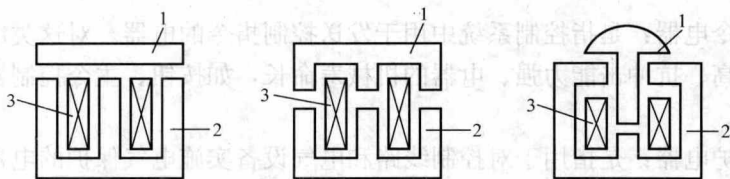


图 1-2 直动式电磁机构

1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈



直动式电磁机构多用于交流接触器和交流继电器中。衔铁沿棱角转动的拍合式电磁机构多用于直流低压电器中。衔铁沿轴转动的拍合式电磁机构的铁心形状有E形和U形两种，多用于触点容量较大的交流低压电器中。

吸引线圈的作用是将电能转换为磁能。线圈通入电流时，会在铁心上产生磁通，衔铁在电磁吸力的作用下产生位移，从而带动触点系统动作。按照线圈通入电流种类的不同，吸引线圈可分为直流线圈和交流线圈。

对于直流线圈，铁心不发热，只有线圈发热，所以直流电磁式低压电器的线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高形，使线圈与铁心直接接触，易于线圈散热。铁心和衔铁通常由铸钢、铸铁或软钢制成。

对于交流线圈，除线圈发热外，由于铁心存在涡流和磁滞损耗，铁心也会发热。为了改善线圈和铁心的散热情况，在线圈中设有骨架，并将线圈制成短而厚的矮胖形，同时将铁心与线圈隔开，以增加铁心的散热面积。铁心通常由硅钢片迭压而成，以减小交变磁场在铁心中产生的涡流及磁滞损耗。

按照线圈在电路中的连接形式，吸引线圈可分为串联线圈（电流型线圈）和并联线圈（电压型线圈）。串联线圈串接在线路中，可用于电流检测，为减少对电路分压的影响，串联线圈采用的导线较粗、匝数少，因此线圈的阻抗较小。并联线圈并接在线路中，为减少电路的分流作用，需较大的阻抗，通常线圈的导线细、匝数多。

### 1.2.2 电磁吸力与反力特性

电磁机构工作时，由于线圈通电产生磁通并作用于衔铁，从而产生电磁吸力；线圈断电时，衔铁在复位弹簧拉力作用下复位。因此作用于衔铁的力有两个，即电磁吸力和反力。电磁机构的工作情况可由吸力特性和反力特性来表征。

#### 1. 吸力特性

电磁机构产生的电磁吸力与气隙之间的关系称为吸力特性。电磁吸力是反映电磁式低压电器工作可靠性的一个非常重要的参数，其计算式为

$$F = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

式中： $F$  为电磁吸力，N； $B$  为气隙磁感应强度，T； $S$  为磁极（或气隙）的截面积， $m^2$ 。当  $S$  为常数时， $F$  与  $B^2$  成正比。

对于直流电磁机构，外加电压和线路电阻恒定时，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

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

则有

$$F \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{R_m}\right)^2 \quad (1-3)$$

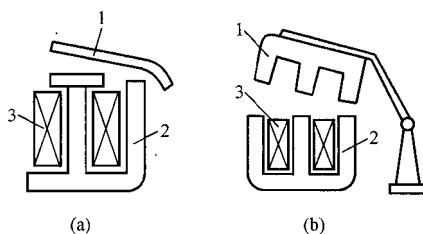


图 1-3 拍合式电磁机构  
(a) 沿棱角转动；(b) 沿轴转动  
1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

式中： $I$  为线圈中流过的电流，A； $N$  为线圈匝数。由于  $R_m \propto \delta$ ，电磁吸力  $F$  与磁阻  $R_m$  的平方成反比，因此  $F$  与气隙  $\delta$  的平方也成反比，故吸力特性为二次曲线形状，如图 1-4 中曲线 1 所示，它表明衔铁闭合前后吸力的变化很大。

对于交流电磁机构，由于外加交变电压，当气隙一定时，其气隙磁感应强度也为交变量，且按正弦规律变化，即

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

由吸力公式得

$$F = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \sin^2 \omega t \quad (1-5)$$

电磁吸力按正弦函数平方的规律变化，其最小值为零，最大值为

$$F_m = \frac{10^7}{8\pi} S B_m^2 \quad (1-6)$$

交流电磁机构的励磁电流与气隙成正比，在动作过程中为恒磁通工作，但考虑到漏磁通的影响，其吸力随气隙的减小略有增加，所以吸力特性比较平坦，如图 1-4 中曲线 2 所示。

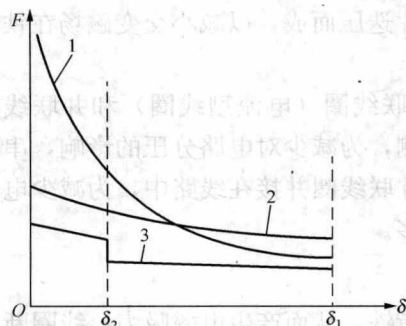


图 1-4 吸力特性与反力特性

1—直流电磁机构吸力特性；2—交流电磁机构吸力特性；3—反力特性

## 2. 反力特性

衔铁受到的反作用力（包括电磁机构转动部分的静阻力）与气隙之间的关系称为反力特性。反力的大小与复位弹簧、摩擦阻力及衔铁的质量有关。反力特性如图 1-4 中曲线 3 所示。

为了保证电磁机构能正常工作，其吸力特性与反力特性必须配合恰当。在衔铁吸合过程中，其吸力必须始终大于反力，也就是要保证吸力特性高于反力特性。但要注意吸力不能过大，否则会影响电磁机构的寿命。在使用中可以通过调节复位弹簧或触点的初压力来改变反力特性，使之与吸力特性良好配合。

## 3. 单相交流电磁机构中短路环的使用

对于单相交流电磁机构，由于磁通是交变的，当磁通为零时电磁吸力也为零，此时吸合后的衔铁会在反力的作用下被拉开。也就是说由于交流电源频率的变化，电磁吸力每个周期有两次过零点。而磁通过零后吸力又随之增大，当吸力大于反力时衔铁再次吸合。所以衔铁将产生强烈的振动或噪声（嗡嗡声），甚至导致铁心松动使电器无法正常工作。对此，解决的方法是在铁心的端部开一个槽，槽内嵌入铜环（或闭合的线圈），称为短路环（或分磁环），如图 1-5 所示。短路环将铁心端面分成  $S_1$  和  $S_2$  两部分，其中， $S_1$  部分穿过短路环。当线圈通入交流电后，在短路环中就有感应电流（涡流）产生，进而产生磁通  $\Phi_m$ 。根据电磁感应定律，在  $\Phi$  与  $\Phi_m$  的作用下，铁心端面上产生两个相位不同的交变磁通  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$ ，相应的电磁吸力为  $f_1$  和  $f_2$ ，则作用在衔铁上的吸力合力为  $f_1 + f_2$ 。由于两个磁通不同时为零，因此合力始终大于零。只要此合力始终大于反力，衔铁的振动现象就会消除。

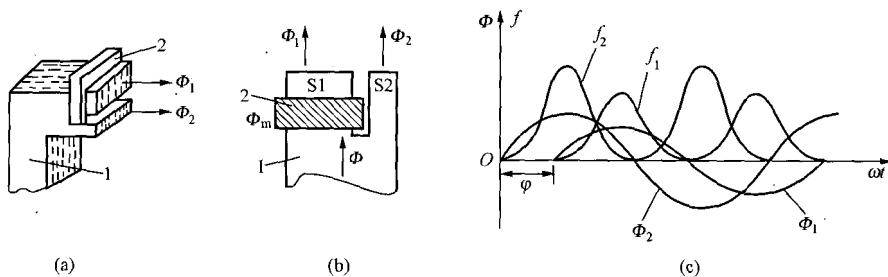


图 1-5 短路环结构及工作原理

(a) 短路环的安装；(b) 磁通的变化；(c) 电磁吸力

1—铁心；2—短路环

磁通  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  之间的相位差  $\varphi$  可通过改变开槽位置或短路环的匝数来调整，进而调整吸力合力的大小。

### 1.2.3 触点系统及常用的灭弧装置

触点也称为触头，是电磁式低压电器的执行部分，用于接通或断开被控制的电路。

#### 1. 触点的接触形式

触点的结构形式很多，按其接触形式可分为 3 种，即点接触、线接触和面接触，如图 1-6 所示。

(1) 点接触形式。触点间的接触面小，常用于通断电流较小的电路，如继电器触点。

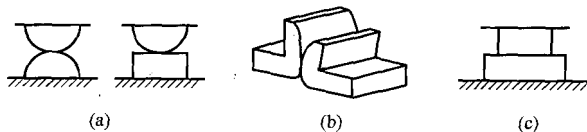


图 1-6 触点的接触形式

(a) 点接触；(b) 线接触；(c) 面接触

(2) 线接触形式。触点间的接触区域为一条直线，这类触点也称为指

形触点，为保证接触良好而常采用滚动接触的方法。这类触点多用于中等容量电器中，如接触器的主触点。

(3) 面接触形式。触点间接触面很大，允许通过较大的电流。

通常一对触点由动触点和静触点组成。

#### 2. 电接触状态与接触电阻

触点在闭合时（动、静触点完全接触）有工作电流通过的状态，称为电接触状态。电接触状态的好坏将影响触点的可靠性和使用寿命。由于触点表面的不平整或氧化膜的存在，使得动、静触点闭合后，不可能完全紧密地接触。从微观上看，仅是在一些凸起点周围存在着有效接触，并形成收缩状的电流线。局部区域电流密度的加大，使得该区域的电阻远远大于金属导体的电阻，这种电阻称为接触电阻。

由于接触电阻的存在，不仅会造成一定的电压损失，还会增加铜损耗，造成触点温度升高。温度升高又会加快触点表面的氧化过程，使接触电阻增加。极端情况下易使触点产生熔焊现象，既影响电路工作的可靠性，又降低了触点的寿命。因此实际中应采取必要的措施来减小接触电阻，主要有以下几种方法。

(1) 增加动、静触点的接触压力，使接触时的凸起点发生形变而增加有效接触面积，从

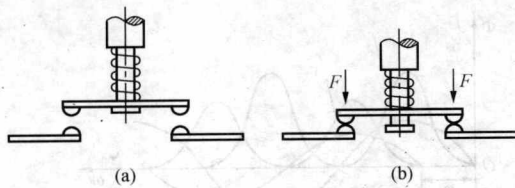


图 1-7 触点开闭时的位置示意图

(a) 触点打开; (b) 触点闭合

而减小接触电阻。通常可在动触点上安装触点弹簧,如图 1-7 所示。

(2) 触点材料的电阻系数越小,接触电阻也越小。而金属中银的电阻系数最小,其氧化物与金属银的导电率非常接近,但金属银的价格较高,所以常采用在铜质底座上镀银或嵌银的方法,以减小接触电阻。

(3) 由于温度的升高会加速触点金属表面的氧化过程,尤其在大容量的低压电器中,严重的氧化会使接触点之间形成绝缘而导致电路断路。因此,可采用滚动接触的指形触点,每次闭合时动、静触点间的相对摩擦过程可有效去除氧化膜,从而增加触点的导电性。

另外,现场恶劣的工作环境也有可能影响触点的导电性,如环境中的尘埃、悬浮在空气中的油渍等。所以应定期使用无水乙醇或其他药水对触点进行擦拭,保持其表面的清洁。

### 3. 触点的分类

按照可承担负载电流的大小,可将触点分为主触点和辅助触点,主触点允许流过的电流大。按照动作特点划分,可将触点分为常开触点和常闭触点。常开触点也称为动合触点,此类触点在线圈失电时(电磁机构不动作)处于断开状态,而在线圈得电时处于闭合状态。常闭触点也称为动断触点,此类触点在线圈失电时处于闭合状态,而在线圈得电时处于断开状态。

### 4. 电弧的产生及常用的灭弧装置

当触点切断电路时,如果被断开电路的电流(或电压)超过一定数值,由于气体放电,就会在动、静触点间产生强烈的火花,称为电弧。电弧会产生高温并发出强光,通常会烧损触点表面,影响电器的工作状态,降低电器的使用寿命,严重时会引起火灾或造成人身伤害事故。因此,在电器中应采取适当的措施尽可能快地熄灭电弧。

为使电弧熄灭,应设法降低电弧的温度和电场强度,如增大电弧长度、加大散热面积等。低压电器中常用的灭弧装置如下:

(1) 磁吹式灭弧装置。在触点电路中串入吹弧线圈,如图 1-8 所示。吹弧线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围,其方向如图 1-8 中“ $\times$ ”符号所示。触点间产生电弧时,设其磁场方向如“ $\otimes$ ”和“ $\odot$ ”所示。可见,在电弧下方两磁通由于方向相同而彼此叠加,电弧上方两磁通由于方向相反而彼此抵消,因此产生向上运动的力  $F$  将电弧拉长,并通过引弧角吹入灭弧罩中,热量传递给罩壁,促使电弧熄灭。

由于这种灭弧装置是利用电弧电流来灭弧的,因而电弧电流越大,吹弧的能力越强,灭弧效果也越好。它广泛应用于直流低压电器中。

(2) 灭弧栅。灭弧栅由一组彼此间相互绝缘、安放在触点上方的薄钢片组成,如图 1-9 所示。当电弧靠近栅片时,引起电弧磁场的变化[图(b),下密上疏],在该磁场作用下使电弧受到力  $F$  的作用而向上运动,进入栅片后被分割成许多串联的短电弧。在交流电路中,当电压过零时电弧自然熄灭,而电弧重燃必须有 150~250V 的电压。也就是说,对于所有

的短电弧来说, 若想重燃, 则每段短电弧都必须有这么大的电压。显然电源电压不足以维持电弧重燃, 再加上栅片的散热作用, 电弧进入栅片后很快被熄灭。

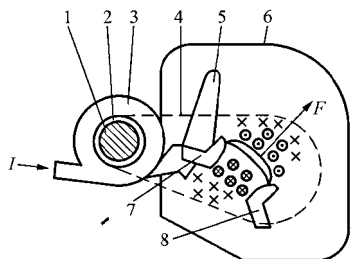


图 1-8 磁吹式灭弧装置示意图  
1—铁心; 2—绝缘管; 3—吹弧线圈;  
4—导磁夹板; 5—引弧角; 6—灭弧罩; 7—静触点; 8—动触点

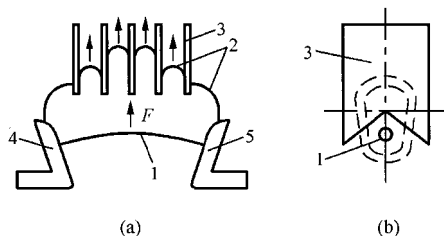


图 1-9 灭弧栅灭弧原理  
(a) 灭弧原理; (b) 电弧进入栅片示意图  
1—长电弧; 2—短电弧; 3—灭弧栅片;  
4—静触点; 5—动触点

灭弧栅是一种常用的交流灭弧装置。

(3) 多断点灭弧。如图 1-10 所示的桥式触点, 触点在断开时本身就具有吹弧能力。因为相邻的两根导体通入方向相反的电流时, 两导体相互排斥。两侧的电弧在力  $F$  的作用下被向外拉长, 因此也称为电力吹弧。同时由于有两处断点, 对于交流电路, 每处断点要使电弧熄灭后重燃均需  $150 \sim 250\text{V}$  的电压, 显然电源电压也无法维持。

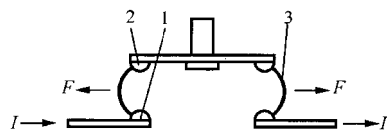


图 1-10 桥式触点示意图  
1—静触点; 2—动触点; 3—电弧

这种方法不需要任何附加装置, 常用于交流电路中。为加强灭弧效果, 可将同一电器的两个或多个触点串联起来当作一个触点使用, 这组触点便形成多断点。

#### 1.2.4 电磁式接触器

接触器是用来接通和断开电动机或其他负载主电路的一种控制电器, 它具有控制容量大、过载能力强、寿命长、操作频率高、设备简单经济等特点, 是电力拖动自动控制系统中重要的控制电器之一。其中, 电磁式接触器的使用最为广泛。

接触器的触点系统按可承载电流的大小可分为主触点和辅助触点。主触点允许流过的电流较大, 用于通、断负载主电路; 辅助触点允许流过的电流较小, 常用在控制电路中。

接触器按其主触点所控制的电路电流种类可分为交流接触器与直流接触器。接触器线圈的电流种类可以与其主触点电流种类相同, 也可以不同, 如对于某些重要场合使用的交流接触器, 为了使工作更加可靠, 其线圈常采用直流励磁方式。接触器按其主触点的个数来分, 直流接触器有单极和双极两种, 而交流接触器有三极、四极、五极 3 种。

##### 1. 接触器的结构和工作原理

图 1-11 所示为交流接触器的结构示意图, 它由以下 4 个部分组成:

(1) 电磁机构。电磁机构由线圈、铁心和衔铁组成, 其作用是将电磁能转换成机械能, 产生电磁吸力, 吸引衔铁运动并带动触点系统动作。

(2) 触点系统。包括主触点和辅助触点。主触点通常为常开触点, 并带有灭弧装置; 辅

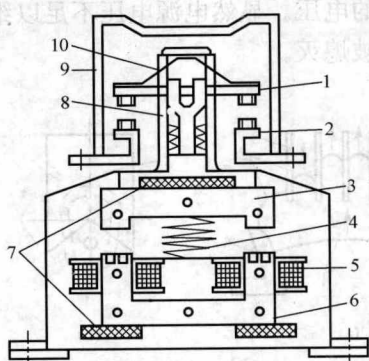


图 1-11 交流接触器结构示意图

1—动触点；2—静触点；3—衔铁；4—复位弹簧；5—线圈；6—铁心；7—垫毡；8—触点弹簧；9—灭弧罩；10—触点压力弹簧

助触点容量较小、无灭弧装置，一般有多对常开触点和常闭触点。

(3) 灭弧装置。容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置。

(4) 其他辅助部件。主要包括反作用弹簧、释放弹簧、触点压力弹簧、传动机构、支架及外壳等。

当接触器线圈得电后，就会在铁心中产生磁通及电磁吸力，衔铁在电磁吸力的作用下带动动触点移动，使常开触点闭合、常闭触点打开。当线圈失电或线圈两端电压显著降低时，电磁吸力就会小于弹簧反力，使得衔铁释放，触点系统复位。

直流接触器的结构和工作原理与交流接触器基本相同，仅在电磁机构上有所不同。

接触器的图形符号和文字符号如图 1-12 所示。

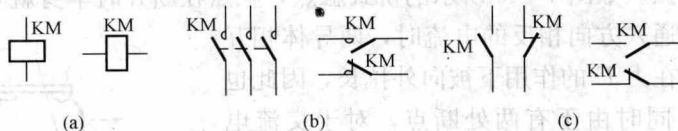


图 1-12 接触器的图形符号和文字符号

(a) 线圈；(b) 主触点；(c) 辅助触点

## 2. 接触器的基本技术参数

接触器的基本技术参数有主触点的个数和电流种类、额定电压、额定电流、额定通断能力、线圈额定电压、允许操作频率、机械寿命和电寿命、使用类别等。

(1) 主触点的个数。按接触器主触点的个数（极数）来分，有两极、三极、四极和五极接触器。

(2) 额定电压。接触器铭牌上的额定电压是指主触点的额定工作电压。常用的额定电压等级：

直流接触器为 110、220、440、660V。

交流接触器为 220、380、500、660V。

(3) 额定电流。接触器铭牌上的额定电流是指主触点的额定工作电流。常用的额定电流等级：

直流接触器为 25、40、60、80、100、150、250、400、600A。

交流接触器为 5、10、20、40、60、100、150、250、400、600A。

(4) 通断能力。它是指接触器主触点在规定条件下能可靠接通和断开的电流值。在此电流值下接通电路时，主触点不应造成熔焊；断开电路时，主触点不应发生长时间燃弧。

根据接触器使用类别不同，对主触点的通断能力要求也不一样。电力拖动控制系统中，常用的接触器使用类别及用途见表 1-1。

接触器的使用类别通常标注在产品铭牌上或产品手册中。按照规定，AC1 和 DC1 类允许通断额定电流；AC2、DC3 和 DC5 类允许通断 4 倍的额定电流；AC3 类允许接通 6 倍的额定电流和断开 4 倍的额定电流；AC4 类允许通断 6 倍的额定电流。

表 1-1 常用的接触器使用类别及用途

电流种类	使用类别	用途
交流 (AC)	AC1	无感或微感负载、电阻炉
	AC2	绕线式电动机的起动和停止
	AC3	鼠笼式电动机的起动和停止
	AC4	鼠笼式电动机的起动、反接制动、反向和点动
直流 (DC)	DC1	无感或微感负载、电阻炉
	DC3	并励电动机的起动、反接制动、反向和点动
	DC5	串励电动机的起动、反接制动、反向和点动

(5) 线圈额定电压。它是指接触器正常工作时线圈上所加的电压值。一般交流负载用交流接触器，直流负载用直流接触器，但对动作频繁的交流负载可使用有直流线圈的交流接触器。常用的线圈电压等级：

直流线圈为 24、48、110、220、440V。

交流线圈为 36、110、127、220、380V。

直流接触器断开时产生的过电压可达 10~20 倍额定电压，所以不宜采用高电压等级。但电压太低可能导致触点动作不可靠，故常采用 110V 和 220V。

(6) 操作频率。它是指接触器每小时允许的操作次数。交流接触器的操作频率最高为 600 次/h，直流接触器最高为 1200 次/h。操作频率会影响到接触器的电气寿命和灭弧罩的工作条件，交流接触器还会影响到线圈的温升。

(7) 寿命。寿命主要包括电气寿命和机械寿命。目前接触器的机械寿命可达  $10^7$  次以上，电气寿命约是机械寿命的 5%~20%。

### 3. 接触器的型号

接触器的型号定义如图 1-13 所示。

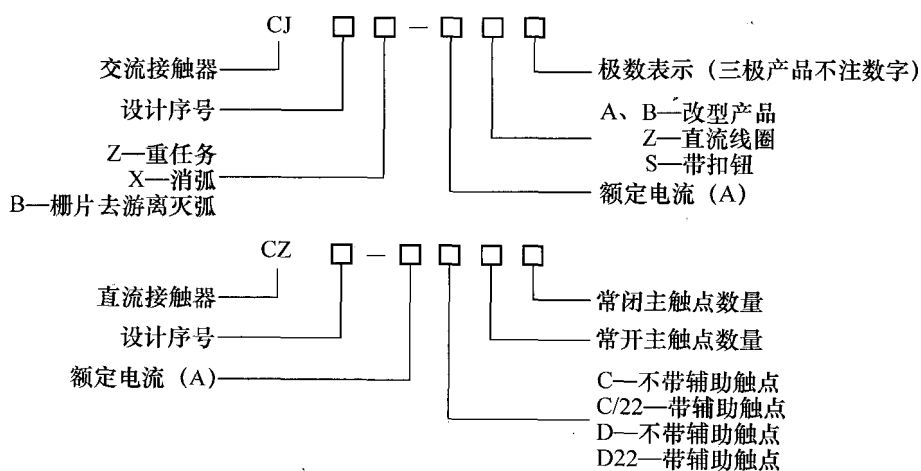


图 1-13 接触器的型号定义

例如，CJ10Z-40/3 为交流接触器，设计序号 10，重任务型，额定电流 40A，主触点为 3 极；CJ12T-250/3 为改型后的交流接触器，设计序号 12，额定电流 250A，3 个主触点。

我国常用的交流接触器主要有 CJ10、CJ12、CJXI、CJ20 等系列及其派生系列产品；直流接触器有 CZ18、CZ21、CZ22、CZ10 和 CZ2 等系列。引进的产品应用较多的有德国西门子的 3TB 系列和 BBC 公司的 B 系列，法国 TE 公司的 LC1 系列等。

#### 4. 接触器的选用

接触器应用广泛，其额定工作电流或额定功率是随使用条件的不同而变化的。只有根据不同使用条件正确选用，才能保证接触器安全可靠地运行。

(1) 接触器极数与电流种类的确定。主电路的电流种类决定了是选择直流接触器还是交流接触器。三相交流系统中一般选用三极接触器，当需要同时控制中性线时，就选用四极交流接触器。单相交流和直流系统中常选用两极或三级并联，一般场合选用电磁式接触器，易燃易爆场合应选用防爆型及真空接触器。

(2) 根据接触器所控制的负载的类型选择相应使用类别的接触器。如负载是一般任务，则选用 AC3 类别；如负载为重任务，则应选用 AC4 类别；如负载是一般任务与重任务混合，则可根据实际情况选用 AC3 或 AC4 类接触器。

(3) 根据负载的功率和操作情况来确定接触器主触点的电流等级。当接触器使用类别与所控制负载的工作任务相对应时，可按控制负载电流值来决定接触器主触点的额定电流值；若不对应，则应降级使用。

(4) 根据接触器主触点接通与断开主电路的电压等级来决定接触器的额定电压。

(5) 接触器吸引线圈的额定电压由所连接的控制电路确定。

(6) 接触器的触点数（主触点或辅助触点）和种类（常开或常闭）应按照主电路和控制电路的具体要求来选用。

#### 1.2.5 电磁式继电器

继电器是根据某种特定输入信号的变化来接通或断开电路的控制电器。与接触器不同，继电器不能用于接通或断开负载主电路，只能用于控制电路中，实现电路的自动控制和保护功能。继电器的输入参量可以是电压、电流等电气量，也可以是温度、压力、时间、速度等非电气量。

继电器的主要技术参数包括额定参数、吸合时间和释放时间、整定参数（继电器的动作值和释放值，大部分控制继电器的动作值是可调的）、触点的通断能力和使用寿命等。

继电器的种类很多。按输入参量的种类来分，有电压继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器、温度继电器、压力继电器等；按线圈

电流种类来分，有交流继电器和直流继电器；按动作原理来分，有电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、电子式继电器、热继电器等；按动作时间来分，有瞬动式继电器和时间继电器。在控制系统中，使用最多的是电磁式继电器。这里主要介绍电磁式电压继电器、电流继电器、时间继电器和中间继电器。

##### 1. 电磁式继电器的结构

电磁式继电器与接触器类似，是由电磁机构、触点、释放弹簧等组成的，如图 1-14 所示。

电磁式继电器的工作原理与接触器相同，线圈通电后铁心上产生磁通，在电磁吸力的作用下衔铁带动触点

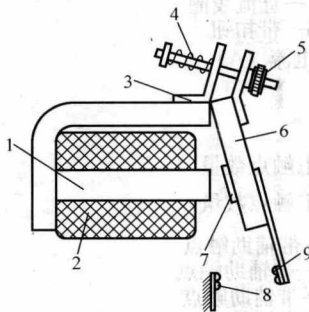


图 1-14 电磁式继电器结构示意图

1—铁心；2—线圈；3—旋转棱角；4—释放弹簧；5—调节螺母；6—衔铁；7—非磁性垫片；8—静触点；9—动触点



运动,使得常开触点闭合、常闭触点断开,从而接通或断开控制电路。继电器仅用于控制电路中,流过触点的电流较小,故不需要灭弧装置。

## 2. 继电器特性

继电器的主要特性是输入—输出特性,又称继电特性,继电器特性曲线如图 1-15 所示。

当继电器输入量  $x$  由 0 增至  $x_2$  以前,继电器输出量  $y$  为 0。当输入量增加到  $x_2$  时,继电器吸合,输出量为  $y_1$ 。若再增大输入量  $x$ ,则输出量  $y$  保持不变。此后逐渐减小  $x$ ,当  $x$  减小到  $x_1$  时,继电器释放,输出量由  $y_1$  变为 0。若再减小  $x$ ,则输出量一直为 0。

特性曲线中,  $x_1$  称为继电器的释放值,  $x_2$  称为继电器的吸合值。欲使继电器吸合动作,输入量就必须大于等于吸合值;欲使继电器释放动作,输入量就必须小于等于释放值。定义继电器的返回系数为:

$$K_f = x_1/x_2 \quad (1-7)$$

它是继电器的重要参数之一。不同场合下要求不同的返回系数值。例如一般继电器要求较低的返回系数,  $K_f$  值在 0.1~0.4 之间,这样当继电器吸合后,输入量波动较大时不致引起误动作;欠电压继电器则要求较高的返回系数,  $K_f$  值通常在 0.6 以上。设某继电器  $K_f = 0.66$ ,若吸合电压为额定电压的 90%,则当电压低于额定电压的 60%时,继电器释放,起到欠电压保护作用。

返回系数值是可以调节的。如调节释放弹簧的松紧程度:拧紧时,  $x_1$  与  $x_2$  同时增大,  $K_f$  也随之增大;放松时,  $K_f$  减小。如调整铁心与衔铁间非磁性垫片的厚度:增厚时,  $x_1$  与  $x_2$  同时增大,  $K_f$  增大;减薄时,  $K_f$  减小。

电磁式继电器的另一个重要参数是吸合时间和释放时间。吸合时间是指从线圈接收信号到衔铁完全吸合所需的时间;释放时间是指从线圈失电到衔铁完全释放所需的时间。一般

继电器的吸合时间与释放时间为 0.05~0.15s,快速继电器为 0.005~0.05s,其大小可影响继电器的操作频率。一般的电磁式电压、电流继电器的图形符号和文字符号如图 1-16 所示。

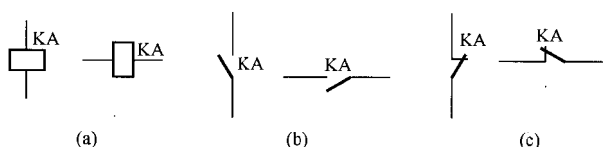


图 1-16 一般电磁式电压、电流继电器的图形符号和文字符号

(a) 线圈; (b) 常开触点; (c) 常闭触点

## 3. 电磁式电压继电器

触点的动作与线圈的电压大小有关的继电器称为电压继电器。使用时,电压继电器的线圈并接在电路上,对所接电路的电压做出反应,常用于电气控制系统的电压保护和控制。按线圈电流的种类,可将电压继电器分为交流电压继电器和直流电压继电器;按吸合电压的大小,可分为过电压继电器、欠电压继电器和零电压继电器。

(1) 过电压继电器。当线圈处于额定工作电压状态时,过电压继电器的衔铁不产生动作;只有当线圈电压高于被保护电路的额定值并达到过电压继电器的吸合整定值时,衔铁才带动触点系统动作,接通或断开相应的控制电路。由于直流电路不会产生波动较大的过电压