

高等学校教材

# 电器与可编程控制器应用技术

邓则名 邝穗芳 编



机械工业出版社

# 前 言

本书是根据高等学校电气工程及自动化专业《工厂电气控制设备(技术)》课程的教学大纲,并充分考虑到电气技术的实际应用和发展情况而编写的。在编写过程中力求做到:

一要结合实际。精选传统电器及继电器控制内容,压缩应用范围越来越有局限性的电机扩大机及其控制系统的篇幅,删除应用越来越少的磁放大器和顺序控制器的内容,大幅度增加应用越来越广泛的可编程序控制器的内容,这是本书的一个特点。

二要突出应用。着重介绍常用低压电器、电器控制基本线路、典型生产机械电气控制线路,可编程序控制器实际应用线路,包括采用可编程序控制器对电动机进行控制的多种实用基本线路,这就把电动机的继电器控制和PC控制两种线路对应起来,这是本书的另一个特点。

三要便于教学。除了尽可能深入浅出,通俗易懂,每个实用线路都作较具体的分析外,针对以往在组织教学时,有的在工厂电气控制设备课程中对可编程序控制器作一般性介绍,在计算机控制技术课程中又作简要讲述,还要专门讲授可编程序控制器课的情形,在本书中较全面、系统地介绍了可编程序控制器及其应用技术,这不仅节省学时,而且也是进行教学改革与课程建设的有益尝试。鉴于上述这些特点,本书也便于有一定电气技术基础的人员自学。

全书共两篇。第一篇共四章,主要介绍常用低压电器的结构、原理、用途及选用原则、电器控制基本环节与线路设计的一般原则与方法、典型生产机械的电气控制线路,简介电机扩大机。第二篇共九章,主要讲述可编程序控制器的组成结构、工作过程、F和F<sub>1</sub>系列可编程序控制器的指令系统(包括F<sub>1</sub>系列的功能指令)、编程方法与技巧、编程举例、PC控制系统的设计与维护、应用实例(所有实例均给出在F<sub>1</sub>系列PC机上运行通过的指令程序)、F<sub>1</sub>-20P编程器的结构功能和使用方法、利用F<sub>1</sub>-20P简易编程器对EPROM写入和读出及比较程序的方法等。每篇的末尾都附有适量的习题。

本书可作为高校、大专、电大和业余大学工业自动化、电气技术及相近专业的《工厂电气控制设备》及类似课程的选用教材,也可供电气工程技术人员参考。

本书第一篇由广东工业大学邝穗芳讲师编写,广东工业大学沈起奋副教授审阅。第二篇由广东工业大学邓则名副教授编写,广东工业大学王鸿贵教授审阅,沈起奋副教授也提出宝贵意见。在本书编写过程中,得到广东工业大学教务处、自动化教研室等单位,以及冯堃生教授、陈林康副教授、黄小波助理工程师的支持,在此,编者对上述单位和个人以及所列主要参考文献的作者,一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

1996.6 于广州 广东工业大学

# 目 录

## 前言

## 第一篇 电 器 控 制

第一章 常用低压控制电器 .....	1	第六节 其它典型控制环节 .....	62
第一节 概述 .....	1	第七节 电器控制线路的设计	
第二节 接触器 .....	3	方法 .....	64
第三节 继电器 .....	12	第三章 生产机械的电气控制 .....	76
第四节 熔断器 .....	25	第一节 普通车床的电气控制 .....	76
第五节 低压开关和低压断路器 .....	29	第二节 平面磨床的电气控制 .....	78
第六节 主令电器 .....	34	第三节 摇臂钻床的电气控制 .....	80
第七节 低压电器的产品型号 .....	38	第四节 铣床的电气控制 .....	82
第二章 电器控制线路的基本原		第五节 桥式起重机的电气控制 .....	85
则和基本环节 .....	40	第四章 电机扩大机及其控制	
第一节 电器控制线路的绘制 .....	40	系统 .....	93
第二节 三相异步电动机的起		第一节 电机扩大机的结构、	
动控制 .....	47	原理和特性 .....	93
第三节 三相异步电动机的正		第二节 电机扩大机速度负反	
反转控制 .....	55	馈调速系统 .....	95
第四节 三相异步电动机的调		第三节 电机扩大机的性能和	
速控制 .....	56	特点 .....	100
第五节 三相异步电动机的制		第一篇习题 .....	101
动控制 .....	60		

## 第二篇 可编程序控制器应用技术

第五章 可编程序控制器概论 .....	104	第一节 F 系列 PC 的型号、单	
第一节 可编程序控制器的产		元和技术特性 .....	114
生与功能特点 .....	104	第二节 输入与输出继电器的编	
第二节 PC 的应用与发展概况 .....	106	号及功能 .....	119
第六章 可编程序控制器的基本		第三节 辅助继电器与特殊辅助	
结构与工作原理 .....	108	继电器的编号及功能 .....	120
第一节 PC 的基本结构 .....	108	第四节 定时器 T 与计数器 C .....	122
第二节 PC 的基本工作原理 .....	109	第八章 PC 的指令系统及编程	
第三节 PC 的性能指标及分类 .....	110	方法 .....	124
第四节 PC 与其它工业控制系		第一节 PC 的常用编程语言 .....	124
统的比较 .....	112	第二节 PC 的指令系统及编程	
第七章 F 系列可编程序控制器 .....	114	方法 .....	125

第三节	编程基本规则与技巧	136			
第四节	编程举例	138			
第九章	编程器的结构功能与使用操作	148			
第一节	编程器的结构类型与功能用途	148			
第二节	编程器的编程工作方式	150			
第三节	编程器监控工作方式	154			
第十章	F <sub>1</sub> 系列可编程序控制器	157			
第一节	F <sub>1</sub> 系列PC的结构功能与器件编号	157			
第二节	F <sub>1</sub> 系列PC的基本指令及编程方法	160			
第三节	步进指令STL/RET及编程方法	162			
第四节	多流程步进控制的处理方法	164			
第五节	步进指令应用举例	169			
第六节	功能指令及编程方法	172			
第十一章	PC控制系统的设计	185			
第一节	PC控制系统设计简述	185			
第二节	扩展计数值和定时值的范围	187			
第三节	输入输出点数的简化	189			
第四节	PC控制系统设计举例	192			
第五节	ROM写入器的功能与操作	204			
第六节	F <sub>1</sub> /F <sub>2</sub> 系列PC与EEPROM之间程序的传送与比较	205			
第十二章	PC的安装与维护	207			
第一节	PC的安装与抗干扰措施	207			
第二节	PC系统的试运行与维护	209			
第三节	PC系统的故障检查	210			
第十三章	可编程序控制器的实际应用介绍	214			
第二篇习题		234			
附录		240			
附录A	FX <sub>2</sub> 系列PC简介	240			
附录B	几种常见的国外PC性能一览表	245			
附录C	国产PC一览表	247			
附录D	PC控制中常用术语中英文对照表	248			
参考文献		250			

# 第一篇 电器控制

## 第一章 常用低压控制电器

### 第一节 概述

随着科技进步与经济发展、电能的应用越来越广泛，电器对电能的生产、输送、分配与应用起着控制、调节、检测和保护的作用。在电力输配电系统和电力拖动自动控制系统中应用极为广泛。

随着电子技术、自控技术和计算机应用的迅猛发展，一些电器元件可能被电子线路所取代，但是由于电器元件本身也朝着新的领域扩展（表现在提高元件的性能、生产新型的元件，实现机、电、仪一体化，扩展元件的应用范围等），且有些电器元件有其特殊性，故是不可能完全被取代的。

本书介绍的低压控制电器元件，多数由专业化的元件制造厂家生产，就自动化专业的技术人员来说，主要是能正确地选用电器元件，因此本书不涉及元件的设计，而着重于应用。

#### 一、电器的分类

电器是接通和断开电路或调节、控制和保护电路及电气设备用的电工器具。

电器的功能多，用途广，品种规格繁多，为了系统地掌握，必须加以分类。

##### （一）按工作电压等级分

1. 高压电器 用于交流电压 1200V、直流电压 1500V 及以上电路中的电器，例如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器等。

2. 低压电器 用于交流 50Hz（或 60Hz）额定电压为 1200V 以下、直流额定电压为 1500V 及以下的电路内起通断、保护、控制或调节作用的电器（简称电器），例如接触器、继电器等。

##### （二）按动作原理分

1. 手动电器 人手操作发出动作指令的电器，例如刀开关、按钮等。

2. 自动电器 产生电磁吸力而自动完成动作指令的电器，例如接触器、继电器、电磁阀等。

##### （三）按用途分

1. 控制电器 用于各种控制电路和控制系统的电器，例如接触器、继电器、电动机启动器等。

2. 配电电器 用于电能的输送和分配的电器，例如高压断路器。

3. 主令电器 用于自动控制系统中发送动作指令的电器，例如按钮、转换开关等。

4. 保护电器 用于保护电路及用电设备的电器，例如熔断器、热继电器等。  
 5. 执行电器 用于完成某种动作或传送功能的电器，例如电磁铁、电磁离合器等。

## 二、电力拖动自动控制系统中常用的低压控制电器

接触器：交流接触器

直流接触器

继电器：电磁式继电器：电压继电器

电流继电器

中间继电器

时间继电器：直流电磁式

空气阻尼式

半导体式

热继电器

干簧继电器

速度继电器

熔断器：瓷插式

螺旋式

有填料封闭管式

无填料密闭管式

快速熔断器

自复式

低压断路器：框架式

塑料外壳式

快速直流断路器

限流式

位置开关：直动式

滚动式

微动式

按钮、刀开关等。

## 三、我国低压控制电器的发展概况

低压电器是组成电气成套设备的基础配套元件。低压电器使用量大面广，可分为低压配电电器和低压控制电器。

由发电厂生产的电能 80% 以上是以低压电形式付诸使用，每生产 1 万 kW 的发电设备，需生产 4 万件各种低压电器元件与之配套使用。一套 1700mm 连轧机的电气设备中需使用成千品种、规格的十几万件低压电器元件。

从刀开关、熔断器等最简单的低压电器算起，到多种规格的低压断路器、接触器、继电器以及由它们组成的成套电气控制设备都随着国民经济的发展而发展。

解放前，我国的低压电器工业基本上是一片空白，解放后，从 1953 年到 1957 年试制成功低压断路器、接触器等 12 大类，几百种产品，60 年代大功率半导体器件与有触点电器相互结合协调发展。

改革开放以来，低压电器制造工业有了飞速发展，1981年低压电器产品已发展到12大类，380个系列，1200多个品种，几万种规格。特别是先进技术的引进，加快了新产品的问世。从德国BBC公司、AEG公司和美国西屋公司引进的ME系列低压断路器、B系列交流接触器、T系列热继电器、NT和NGT系列熔断器等产品制造技术，基本上实现了国产化，有的产品还返销到国外。我国自行生产的DW15-2500框架式低压断路器，额定电压380V、分断能力为60kA，符合IEC国际标准，结构紧凑、新颖，使用维修方便，电动操作方式并附有应急和维修手柄，保护性能齐全。引进先进技术而开发的新产品B105交流接触器符合IEC和VDE标准，体积小，重量轻，结构紧凑，使用方便，机械寿命达到1000万次，在额定电压380V、使用类别为AC-3时电寿命达到100万次。RT20系列有填料封闭式熔断器，功耗低、分断能力高达120kA。DW15C-1000、1600抽屉式框架断路器主要技术性能指标与引进的同类产品相当，而价格明显低于引进同类产品。

当前，我国低压电器的主攻方向是，抓新产品的研制、开发工作，加强基础技术理论的研究。具体体现在提高电器元件的性能，大力发展机电一体化产品，研制开发智能化电器、电动机综合保护电器、有触点和无触点的混合式电器、模数化终端组合电器和节能电器。模数化终端组合电器是一种安装终端电器的装置，主要特点是实现了电器尺寸模数化、安装轨道化、外形艺术化和使用安全化，是理想的新一代配电装置。带微处理器的框架式低压断路器具有多段保护、接地、过载预警、欠电压保护、逆功率脱扣、试验、测量、自诊断、显示等多功能。

今后，通过深化改革，随着国民经济发展，我国的电器工业将会大大缩短与先进国家的差距，发展到更高的水平，以满足国内外市场的需要。

## 第二节 接 触 器

接触器是电力拖动和自动控制系统中使用量大面广的一种低压控制电器，用来频繁地接通和分断交直流主回路和大容量控制电路。主要控制对象是电动机，能实现远距离控制，并具有欠（零）电压保护。

### 一、结构和工作原理

接触器主要由电磁系统、触头系统和灭弧装置组成，结构简图如图1-1所示。

#### (一) 电磁系统

电磁系统包括动铁心（衔铁）、静铁心和电磁线圈三部分，其作用是将电磁能转换成机械能，产生电磁吸力带动触头动作。

① 电磁系统的结构形式根据铁心形状和衔铁运动方式，可分为三种：衔铁绕棱角转动拍合式、衔铁绕轴转动拍合式、衔铁直线运动螺管式。如图1-2所示。

图1-2a中，衔铁绕磁轭的棱角而转动，磨

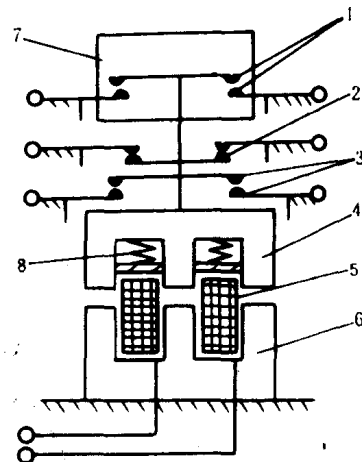


图 1-1 接触器结构简图

- 1—主触头 2—常闭辅助触头 3—常开辅助触头  
4—动铁心 5—电磁线圈 6—静铁心  
7—灭弧罩 8—弹簧

损较小，铁心用软铁做成，适用于直流接触器；图 1-2b 中，衔铁绕轴转动，铁心用硅钢片叠成，用于交流接触器；图 1-2c 中，衔铁在线圈内作直线运动，用于交流接触器。

② 电磁系统按铁心形状分为 U 形（如图 1-2a 所示）和 E 形（如图 1-2b 和 c 所示）。

③ 电磁系统按电磁线圈的种类可分为直流线圈和交流线圈两种。

电磁系统的工作情况常用吸力特性和反力特性来表示。

1. 吸力特性 电磁系统的电磁吸力与气隙的关系曲线称为吸力特性。吸力特性随励磁电流的种类（交流或直流），励磁线圈的连接方式（并联或串联）不同而不同，电磁吸力可近似地按下式求得

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S$$

式中， $F$  为电磁吸力； $B$  为气隙磁感应强度； $S$  为铁心截面积。

当铁心截面积  $S$  为常数时，电磁吸力  $F$  与  $B^2$  成正比，也可认为  $F$  与气隙磁通  $\phi^2$  成正比，即  $F \propto \phi^2$ 。励磁电流的种类对吸力特性有很大影响，所以下面对交、直流电磁机构的吸力特性分别讨论。

(1) 交流电磁机构的吸力特性 设线圈外加电压  $U$  不变，交流电磁线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗，电阻忽略不计，

$$U \approx E = 4.44 f \phi N, \phi = \frac{U}{4.44 f N}$$

式中， $U$  为线圈外加电压； $E$  为线圈感应电动势； $f$  为电压频率； $\phi$  为气隙磁通； $N$  为电磁线圈的匝数。

当电压频率  $f$ 、电磁线圈的匝数  $N$  和线圈外加电压  $U$  为常数时，气隙磁通  $\phi$  也为常数，则电磁吸力也为常数，即  $F$  与气隙  $\delta$  大小无关。实际上，考虑到漏磁通的影响，电磁吸力  $F$  随气隙  $\delta$  的减少略有增加。交流电磁机构的吸力特性如图 1-3 所示。由于交流电磁机构的气隙磁通  $\phi$  不变， $IN$  随气隙磁阻（也即随气隙  $\delta$ ）的变化成正比变化，所以交流电磁线圈的电流  $I$  与气隙  $\delta$  成正比变化。

(2) 直流电磁机构的吸力特性 因线圈外加电压  $U$  和线圈电阻不变，流过线圈的电流  $I$  也为常数，即不受气隙  $\delta$  变化的影响，根据磁路定律  $\phi = JN/R_m \propto 1/R_m$ ，式中， $R_m$  为气隙磁阻，

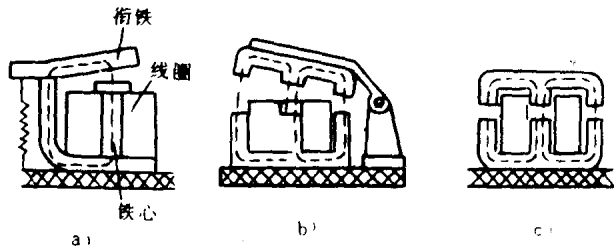


图 1-2 接触器电磁系统的结构图

- a) 衔铁绕棱角转动拍合式 b) 衔铁绕轴转动拍合式  
c) 衔铁直线运动螺管式

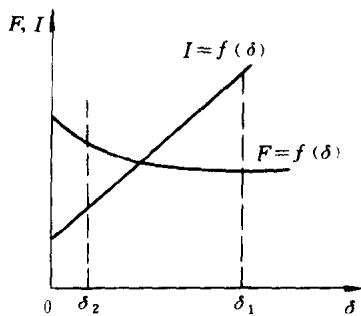


图 1-3 交流电磁机构的吸力特性

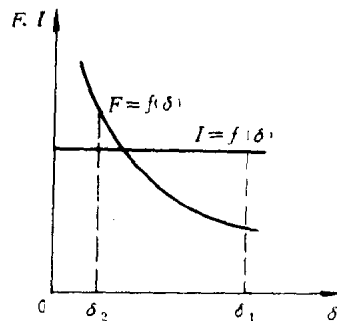


图 1-4 直流电磁机构的吸力特性



则  $F \propto \phi^2 \propto 1/R_m^2 \propto 1/\delta^2$ ，即电磁吸力  $F$  与气隙  $\delta$  的平方成正比。直流电磁机构的吸力特性如图 1-4 所示。

在一些要求可靠性较高或操作频繁的场所，一般不采用交流电磁机构而采用直流电磁机构，这是因为一般 U 形铁心的交流电磁机构的励磁线圈通电而衔铁尚未吸合的瞬间，电流将达到衔铁吸合后额定电流的 5~6 倍；E 形铁心电磁机构则达到额定电流的 10~15 倍。如果衔铁卡住不能吸合或者频繁操作时，交流励磁线圈则可能被烧毁。

2. 反力特性 电磁系统的反作用力与气隙的关系曲线称为反力特性。

反作用力包括弹簧力、衔铁自身重力、摩擦阻力等。图 1-5 中所示曲线 3 即为反力特性曲线。

图中  $\delta_1$  为起始位置， $\delta_2$  为动、静触头接触时的位置。在  $\delta_1 \sim \delta_2$  区域内，反作用力随气隙减小而略有增大，到达位置  $\delta_2$  时，动、静触头接触，这时触头上的初压力作用到衔铁上，反作用力骤增，曲线发生突变。在  $\delta_2 \sim 0$  区域内，气隙越小，触头压得越紧，反作用力越大，其曲线比  $\delta_1 \sim \delta_2$  段陡。

3. 反力特性与吸力特性的配合 为了保证使衔铁能牢牢吸合，反作用力特性必须与吸力特性配合好，如图 1-5 所示。在整个吸合过程中，吸力都必须大于反作用力，即吸力特性高于反力特性，但不能过大或过小，吸力过大时，动、静触头接触时以及衔铁与铁心接触时的冲击力也大，会使触头和衔铁发生弹跳，导致触头的熔焊或烧毁，影响电器的机械寿命；吸力过小时，会使衔铁运动速度降低，难以满足高操作频率的要求。因此，吸力特性与反力特性必须配合得当，才有助于电器性能的改善。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，使之与吸力特性有良好配合。

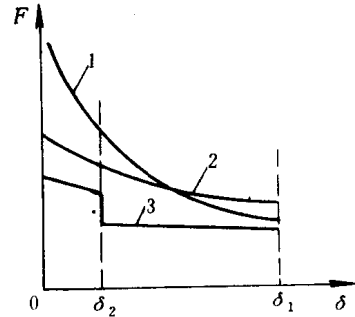


图 1-5 吸力特性和反力特性  
1—直流接触器吸力特性 2—交流接触器吸力特性 3—反力特性

## (二) 触头系统

触头是接触器的执行元件，用来接通或断开被控制电路。

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。

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（即线圈未通电）断开，线圈通电后闭合的触头叫常开触头；原始状态闭合，线圈通电后断开的触头叫常闭触头（线圈断电后所有触头复原）。

触头按其结构形式可分为桥型触头和指型触头，如图 1-6 所示。

触头按其接触形式可分为点接触、线接触和面接触三种，如图 1-7 所示。

图 1-7a 为点接触，它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或继电器触头。图 1-7b 为线接触，它的接触区域是一条直线。触头的通断过程是滚动式进行的。开始接通时，

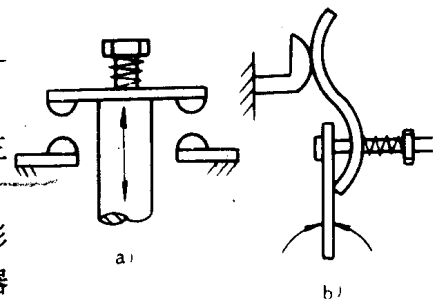


图 1-6 触头结构形式图  
a) 桥形触头 b) 指形触头

静、动触头在 A 点处接触，靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点。断开时作相反运动。这样可以自动清除触头表面的氧化物，触头长期正常工作的位置不是在易灼烧的 A 点而是在工作点 C 点，保证了触头的良好接触。线接触多用于中容量的电器，如接触器的主触头。图 1-7c 为面接触，它允许通过较大的电流。这种触头一般在接触表面上镶有合金，以减少触头接触电阻和提高耐磨性，多用于大容量接触器的触头。

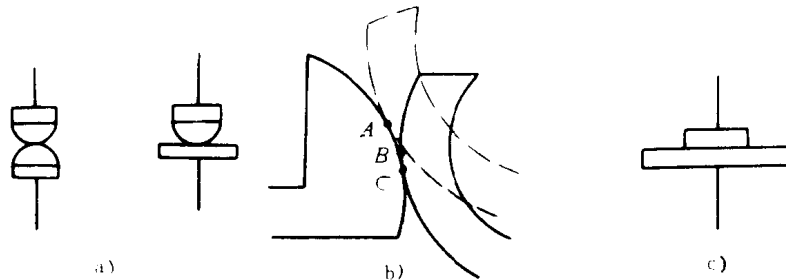


图 1-7 触头接触形式图

a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触

### (三) 灭弧装置

当触头断开瞬间，触头间距离极小，电场强度极大，触头间产生大量的带电粒子，形成炽热的电子流，产生弧光放电现象，称为电弧。电弧的出现，既妨碍电路的正常分断，又会使触头受到严重腐蚀，为此必须采取有效的措施进行灭弧，以保证电路和电器元件工作安全可靠。要使电弧熄灭，应设法降低电弧的温度和电场强度。常用的灭弧装置有灭弧罩、灭弧栅和磁吹灭弧装置。

1. 灭弧罩 灭弧罩通常用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。其作用是分隔各路电弧，以防止发生短路。另外，由于电弧与灭弧罩接触，故能使电弧迅速冷却而熄灭。灭弧罩常用于交流接触器中。

2. 灭弧栅 灭弧栅的灭弧原理如图 1-8 所示。灭弧栅片由许多镀铜薄钢片组成，片间距离为 2~3mm，安放在触头上方的灭弧罩内。一旦出现电弧，电弧周围产生磁场，电弧被导磁钢片吸入栅片内，且被栅片分割成许多串联的短弧，当交流电压过零时电弧自然熄灭，两栅片间必须有 150~250V 电压，电弧才能重燃。这样，一方面电源电压不足以维持电弧，同时由于栅片的散热作用，电弧熄灭后就很难重燃，它常用于交流接触器。

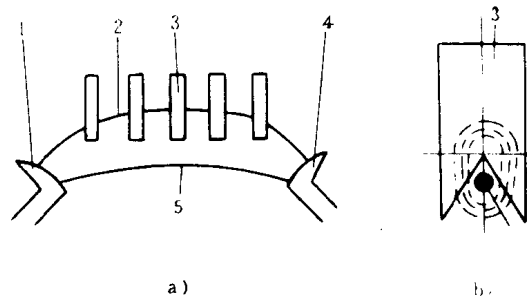


图 1-8 灭弧栅灭弧原理

a) 栅片灭弧原理 b) 电弧进入栅片的图形

1—静触头 2—短电弧 3—灭弧栅片

4—动触头 5—长电弧

3. 磁吹灭弧装置 磁吹灭弧装置的工作原理如图 1-9 所示。在触头电路中串入一吹弧线圈，它产生的磁通通过导磁颊片引向触头周围；电弧所产生的磁通方向如图 1-9 所示。

可见在弧柱下吹弧线圈产生的磁通与电弧产生的磁通是相加的，而在弧柱上面的彼此抵

消，因此就产生一个向上运动的力将电弧拉长并吹入灭弧罩中，熄弧角和静触头相连接，其作用是引导电弧向上运动，将热量传递给罩壁，促使电弧熄灭。由于这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧的，故电弧电流越大，灭弧的能力也越强。它广泛应用于直流感触器。

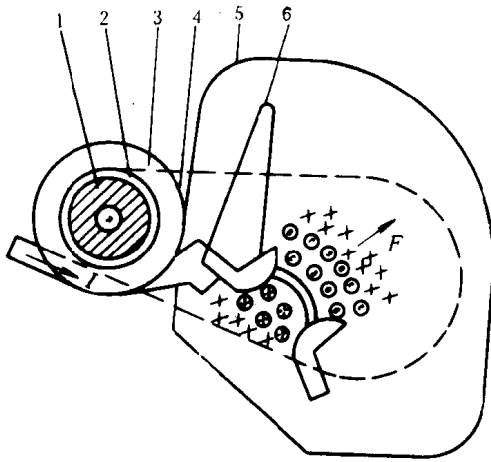


图 1-9 磁吹灭弧装置工作原理

1—铁心 2—绝缘管 3—吹弧线圈  
4—导磁片 5—灭弧罩 6—熄弧角

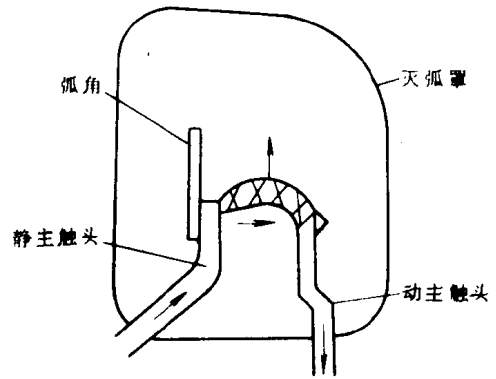


图 1-10 多纵缝灭弧装置

4. 多纵缝灭弧装置 如图 1-10 所示，多纵缝灭弧装置取消了磁吹线圈。在主触头上方装着开有纵向缝隙（缝隙上宽下窄）的灭弧装置。在静主触头上装有铁板制成的弧角，它吸引电弧向上运动，将电弧拉长并冷却。电弧进入缝隙后把热量传给灭弧罩，促使电弧熄灭。

接触器的图形符号、文字符号如图 1-11 所示。

#### (四) 接触器的工作原理

掌握了接触器的结构，就容易了解其工作原理。当电磁线圈通电后，线圈电流产生磁场，使静铁心产生电磁吸力吸引衔铁，并带动触头动作：常闭触头断开；常开触头闭合，两者是联动的。当线圈断电

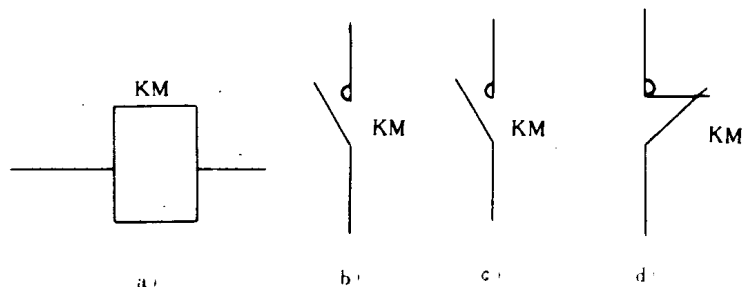


图 1-11 接触器的图形、文字符号

a) 线圈 b) 主触头 c) 常开辅助触头 d) 常闭辅助触头

时，电磁吸力消失，衔铁在释放弹簧的作用下释放，使触头复原：常开触头断开，常闭触头闭合。

## 二、交流接触器

接触器按其主触头所控制主电路电流的种类可分为交流接触器和直流接触器两种。

交流接触器线圈通以交流电，主触头接通、分断交流主电路，如图 1-12 所示。

当交变磁通穿过铁心时，将产生涡流和磁滞损耗，使铁心发热。为减少铁损，铁心用硅钢片冲压而成。为便于散热，线圈做成短而粗的圆筒状绕在骨架上。

由于交流接触器铁心的磁通是交变的，故当磁通过零时，电磁吸力也为零，吸合后的衔

铁在反力弹簧的作用下将被拉开，磁通过零后电磁吸力又增大，当吸力大于反力时，衔铁又被吸合。这样，交流电源频率的变化，使衔铁产生强烈振动和噪声，甚至使铁心松散。因此交流接触器铁心端面上都安装一个铜制的短路环。短路环包围铁心端面约 2/3 的面积，如图 1-13 所示。

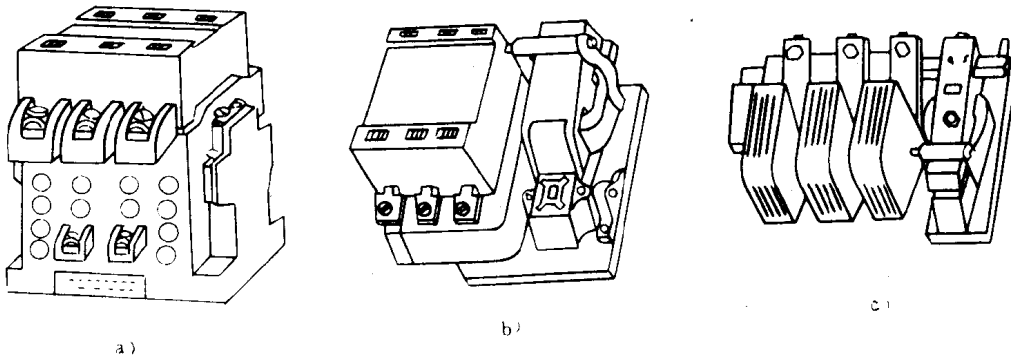


图 1-12 交流接触器

a) CJ10-40 交流接触器 b) CJ10-60 交流接触器 c) CJ12 系列交流接触器

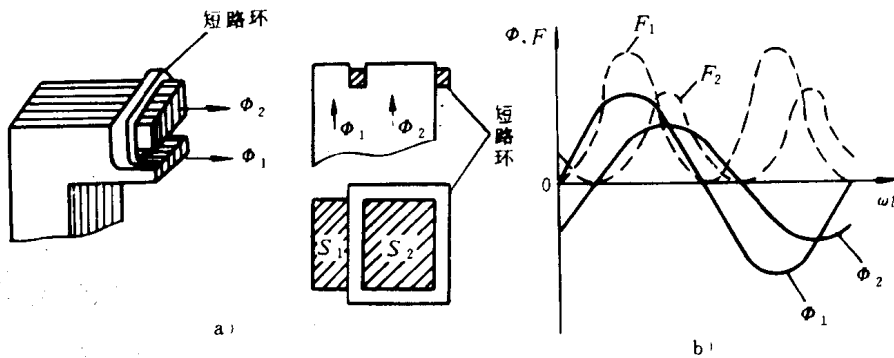


图 1-13 交流接触器铁心的短路环

a) 结构图 b) 电磁吸力图

当交变磁通穿过短路环所包围的截面积  $S_2$  在环中产生涡流时，根据电磁感应定律，此涡流产生的磁通  $\phi_2$  在相位上落后于短路环外铁心截面  $S_1$  中的磁通  $\phi_1$ ，由  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  产生的电磁吸力为  $F_1$ 、 $F_2$ ，作用在衔铁上的合成电磁吸力是  $F_1 + F_2$ ，只要此合力始终大于其反力，衔铁就不会产生振动和噪声。对于 100A 及以上的交流接触器必须采取节能措施。我国首创的接触器无声节电装置，具有节电与消除振动和噪声的优点。不同的厂家，采用的方案也不同，但通常都采用交流起动、直流保持的运行方式。图 1-14 所示为常用的一种交流接触器无声节电装置线路图。其工作过程是：按下起动按钮  $SB_1$ ，当电源极性瞬间

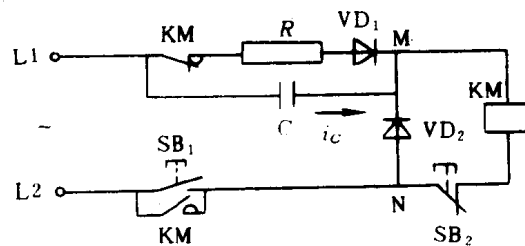


图 1-14 交流接触器无声节电装置线路

为L1正、L2负时，电流经常闭辅助触头KM、限流电阻R、二极管VD<sub>1</sub>、接触器电磁线圈构成回路。当续流二极管VD<sub>2</sub>的M点电位低于N点电位时，VD<sub>2</sub>导通起到电磁线圈续流的作用。当接触器通电后，常闭辅助触头断开，VD<sub>1</sub>不导通，如电源极性仍为L1正、L2负时，则电流经降压电容C而通过电磁线圈形成回路，同时KM自锁，完成交流起动的过程而转入吸合状态。

据实验统计，在交流接触器电磁系统消耗的有功功率中，铁心损耗约占70%，短路环损耗约占25%，线圈铜耗仅占5%左右。采用直流保持后，铁心损耗和短路环的损耗不存在了，只要很小的保持电流就足以使接触器可靠地处于闭合状态。

交流接触器的灭弧装置通常采用灭弧罩和灭弧栅进行灭弧。

### 三、直流接触器

直流接触器线圈通以直流电流，主触头接通、切断直流主电路，直流接触器外形如图1-15所示。

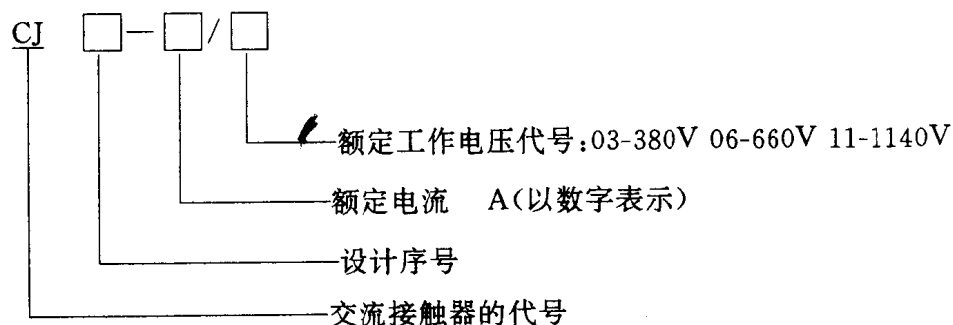
直流接触器的线圈流以直流电，铁心中不会产生涡流和磁滞损耗，所以不会发热。为方便加工，铁心用整块钢块制成。为使线圈散热良好，通常将线圈绕制成长而薄的圆筒状。

对于250A以上的直流接触器往往采用串联双绕组线圈，直流接触器双绕组线圈接线图，如图1-16所示。图中，线圈1为起动线圈，线圈2为保持线圈，接触器的一个常闭辅助触头与保持线圈并联连接。在电路刚接通瞬间，保持线圈被常闭触头短接，可使起动线圈获得较大的电流和吸力。当接触器动作后，常闭触头断开，两线圈串联通电，由于电源电压不变，所以电流减小，但仍可保持衔铁吸合，因而可以省电和延长电磁线圈的使用寿命。

直流接触器灭弧较困难，一般采用灭弧能力较强的磁吹灭弧装置。

### 四、接触器的主要技术数据和选用原则

#### (一) 接触器的型号及代表意义



常用的CJ20系列交流接触器技术数据如表1-1所示。

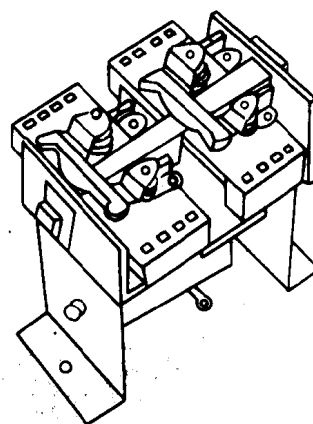


图 1-15 直流接触器外形图

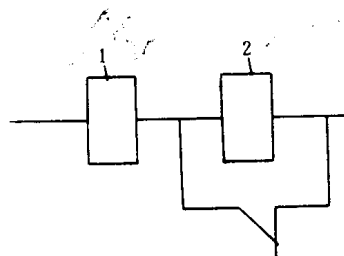
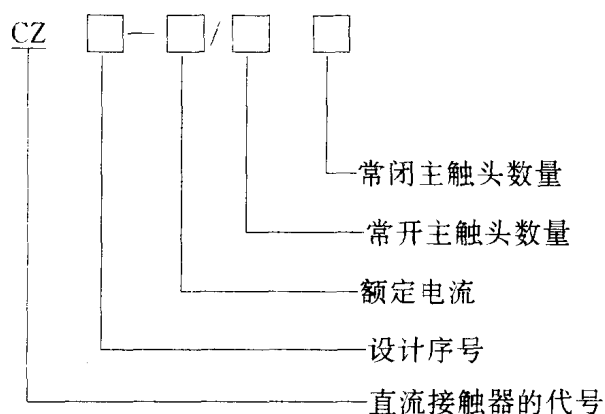


图 1-16 直流接触器双绕组线圈接线图

表 1-1 常用的 CJ20 系列交流接触器技术数据

型号	约定发热电流 (A)	额定工作电压 (V)	额定工作电流 (A)	外形尺寸 (mm) (宽×高×深)	安装尺寸 (mm) (孔数-孔径) (孔宽、孔高)	结构特征	机/电寿命 (万次) (操作频率) (次/h)		
CJ20-10	10	220	10	44.5×67.5×107 F≥10	4-φ5+ $\delta^3$	辅助触头 10A, 2 接通、2 分断 螺钉安装	1000/100 1200		
		380	10		35±0.31				
		660	5.8		55±0.37				
CJ20-16	16	220	16	44.5×73×116.5 F≥10	4-φ5+ $\delta^3$				
		380	16		35±0.31				
		660	13		60±0.37				
CJ20-25	32	220	25	52.5×90.5×122 F≥10	4-φ5+ $\delta^3$				
		380	25		40±0.195				
		660	16		80±0.37				
CJ20-40	55	220	40	86.5×111.5×118 F≥30	4-φ5+ $\delta^3$				
		380	40		70±0.37				
		660	25		80±0.37				
CJ20-63	80	220	63	116×142×146 F≥60	4-φ5.8+ $\delta^3$				
		380	63		100±0.4				
		660	40		90±0.4				
CJ20-100	125	220	100	120×145×150 F≥70	4-φ7+ $\delta^{58}$	辅助触头 16A, 其组合形式为 42、33、24 螺钉安装	600/120 1200		
		380	100		108±0.435				
		660	63		92±0.435				
CJ20-160	200	220	160	146×187×178 F≥80	4-φ9+ $\delta^{58}$				
		380	160		130±0.5				
		660	100		130±0.5				
CJ20-160/11		1140	80	146×197×190					
CJ20-250	315	220	250	190×235×230 F≥100	4-φ9+ $\delta^{58}$			辅助触头 16A, 其组合形式为 42、33、24 螺钉安装	300/60 600
		380	250		160±0.5				
CJ20-250/06			660		200				
CJ20-400	400	220	400	245×294×262 F≥110	4-φ9+ $\delta^{58}$				
		380	400		210±0.5				
		660	250		180±0.5				
CJ20-630	630	220	630	245×294×272 F≥120	4-φ11+ $\delta^7$	辅助触头 16A, 其组合形式为 42、33、24 螺钉安装	300/12 120		
		380	630		210±0.575				
CJ20-630/06			660		400				
CJ20-630/11	400	1140	400	245×294×287 F≥120	4-φ11+ $\delta^7$ 210±0.575 180±0.5				



常用的 CZ18 系列直流接触器技术数据如表 1-2 所示。

表 1-2 常用的 CZ18 系列直流接触器技术数据

型号	约定发热电流 (A)	额定工作电压 (V)	额定工作电流 (A)	外形尺寸 (mm) (宽×高×深)	安装尺寸 (mm) (孔数-孔径) (孔宽、孔高)	结构特征	机/电寿命 (万次) 操作频率 (次/h)
CZ18-40/10 CZ18-40/20	40	440	40	120 ×166×142 138	2- $\phi$ 7 28×137	40A、80A 的辅助触头 为 6A，其余 规格为 10A， 其组合形式 为 22	500/50 1200 (其余) 600 (160A)
CZ18-80/10 CZ18-80/20	80		80	138×185×160	2- $\phi$ 7 28×157		
CZ18-160B/10 CZ18-160/10	160		160	142×323×304 142×273×229	4- $\phi$ 9 70×240		
CZ18-315B/10 CZ18-315/10	315		315	148×366×349 148×325×269	4- $\phi$ 9 90×270	主触头组 合型式 10、 20 (160A 及 以上仅有 10) B 形带绝 缘底板	300/30 600
CZ18-630B/10 CZ18-630/10	630		630	176×466×442 176×426×342	4- $\phi$ 11 110×320		
CZ18-1000B/10 CZ18-1000/10	1000		1000	180×550×510 180×131×410	4- $\phi$ 13 130×390		

近年来我国由德国引进了西门子公司 3TB 型系列、BBC 公司的 B 型系列等交流接触器。

3TB 型产品结构紧凑、寿命长、技术经济指标优越、外形尺寸小、安装方便、符合 VDE、IEC 标准要求。3TB 型交流接触器技术数据如表 1-3 所示。

## (二) 接触器选用原则

1. 额定电压 接触器的额定电压是指主触头的额定电压，应等于负载的额定电压。通常电压等级分为交流接触器 380、660 及 1140V；直流接触器 220、440、660V。

表 1-3 3TB 型交流接触器技术数据

接触器型号	约定发热电流 (A)	380V 时 额定工作电流 (A)	660V 时 额定工作电流 (A)	可控电动机功率 (kW)		接触器在 AC-3 使用类别下的操作频率和电寿命(次)		接触器在 AC-4 使用类别下电寿命数据		
								可控电动机功率 (kW)		电寿命 (次)
				380V	660V	操作频率 $750h^{-1}$	操作频率 $1200h^{-1}$	380V	660V	操作频率 $300h^{-1}$
3TB40	22	9	7.2	4	5.5	—	$1.2 \times 10^6$	1.4	2.4	$2 \times 10^5$
3TB41	22	12	9.5	5.5	7.5	—	$1.2 \times 10^6$	1.9	3.3	
3TB42	35	16	13.5	7.5	11	—	$1.2 \times 10^6$	3.5	6	
3TB43	35	22	13.5	11	11	—	$1.2 \times 10^6$	4	6.6	
3TB44	55	32	18	15	15	$1.2 \times 10^6$		7.5	11	

2. 额定电流 接触器的额定电流是指主触头的额定电流,应等于或稍大于负载的额定电流(按接触器设计时规定的使用类别来确定)。CJ20 系列交流接触器额定电流等级有 10、16、32、55、80、125、200、315、400、630A。CZ18 系列直流接触器额定电流等级有 40、80、160、315、630、1000A。

3. 电磁线圈的额定电压 电磁线圈的额定电压等于控制回路的电源电压,通常电压等级分为交流线圈 36、127、220、380V;直流线圈 24、48、110、220V。

使用时,一般交流负载用交流接触器,直流负载用直流接触器,但对于频繁动作的交流负载,可选用带直流电磁线圈的交流接触器。

4. 触头数目 接触器的触头数目应能满足控制线路的要求。各种类型的接触器触头数目不同。交流接触器的主触头有三对(常开触头),一般有四对辅助触头,(两对常开、两对常闭),最多可达到六对(三对常开、三对常闭)。

直流接触器主触头一般有两对(常开触头);辅助触头有四对(两对常开、两对常闭)。

5. 额定操作频率 接触器额定操作频率是指每小时接通次数。通常交流接触器为 600 次/h;直流接触器为 1200 次/h。

### 第三节 继电器

继电器主要用于控制与保护电路或作信号转换用。当输入量变化到某一定值时,继电器动作,其触头接通或断开交、直流小容量的控制回路。

随着现代科技的高速发展,继电器的应用越来越广泛。为了满足各种使用要求,人们研制了一批批新结构、高性能、高可靠性的继电器。

继电器的种类很多,常用的分类方法有:

按用途分:有控制继电器和保护继电器;

按动作原理分:有电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、电子式继电器和热继电器。

按输入信号的不同来分:有电压继电器、中间继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器等。



## 一、电磁式继电器

常用的电磁式继电器有电压继电器、中间继电器和电流继电器。

### (一) 电磁式继电器的结构与工作原理

电磁式继电器的结构和工作原理与接触器相似，是由电磁系统、触头系统和释放弹簧等组成，电磁式继电器原理如图 1-17 所示。由于继电器用于控制电路，所以流过触头的电流比较小，故不需要灭弧装置。电磁式继电器的图形、文字符号如图 1-18 所示。

### (二) 电磁式继电器的特性

继电器的主要特性是输入-输出特性，又称继电器特性，继电器特性曲线如图 1-19 所示。

当继电器输入量  $x$  由零增至  $x_2$  以前，继电器输出量  $y$  为零。当输入量增加到  $x_2$  时，继电器吸合，输出量为  $y_1$ ，若  $x$  再增大， $y_1$  值保持不变。当  $x$  减小到  $x_1$  时，继电器释放，输出量由  $y_1$  降到零， $x$  再减小， $y$  值均为零。

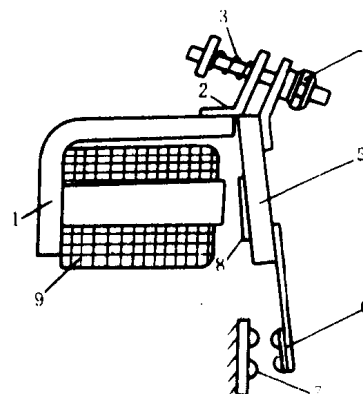


图 1-17 电磁式继电器原理图

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



图 1-18 电磁式继电器图形、文字符号

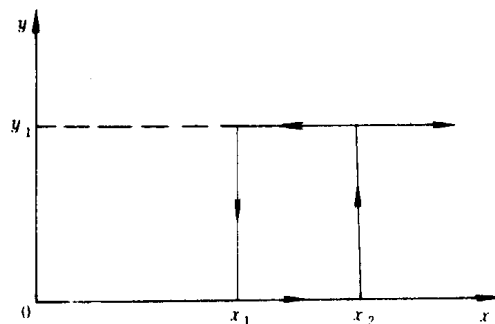


图 1-19 继电器特性曲线

在图 1-19 中， $x_2$  称为继电器吸合值，欲使继电器吸合，输入量必须等于或大于  $x_2$ ； $x_1$  称为继电器释放值，欲使继电器释放，输入量必须等于或小于  $x_1$ 。

$k = x_1/x_2$  称为继电器的返回系数，它是继电器重要参数之一。 $k$  值是可以调节的，可通过调节释放弹簧的松紧程度（拧紧时， $x_1$  与  $x_2$  同时增大， $k$  也随之增大；放松时， $k$  减小）或调整铁心与衔铁间非磁性垫片的厚薄（增厚时  $x_1$  增大、 $k$  增大；减薄时  $k$  减小）来达到。不同场合要求不同的  $k$  值。例如一般继电器要求低的返回系数， $k$  值应在 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高的返回系数， $k$  值应在 0.6 以上。设某继电器  $k=0.66$ ，吸合电压为额定电压的 90%，则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。

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受电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，它的大小影响继电器的操作频率。

### (三) 电压继电器