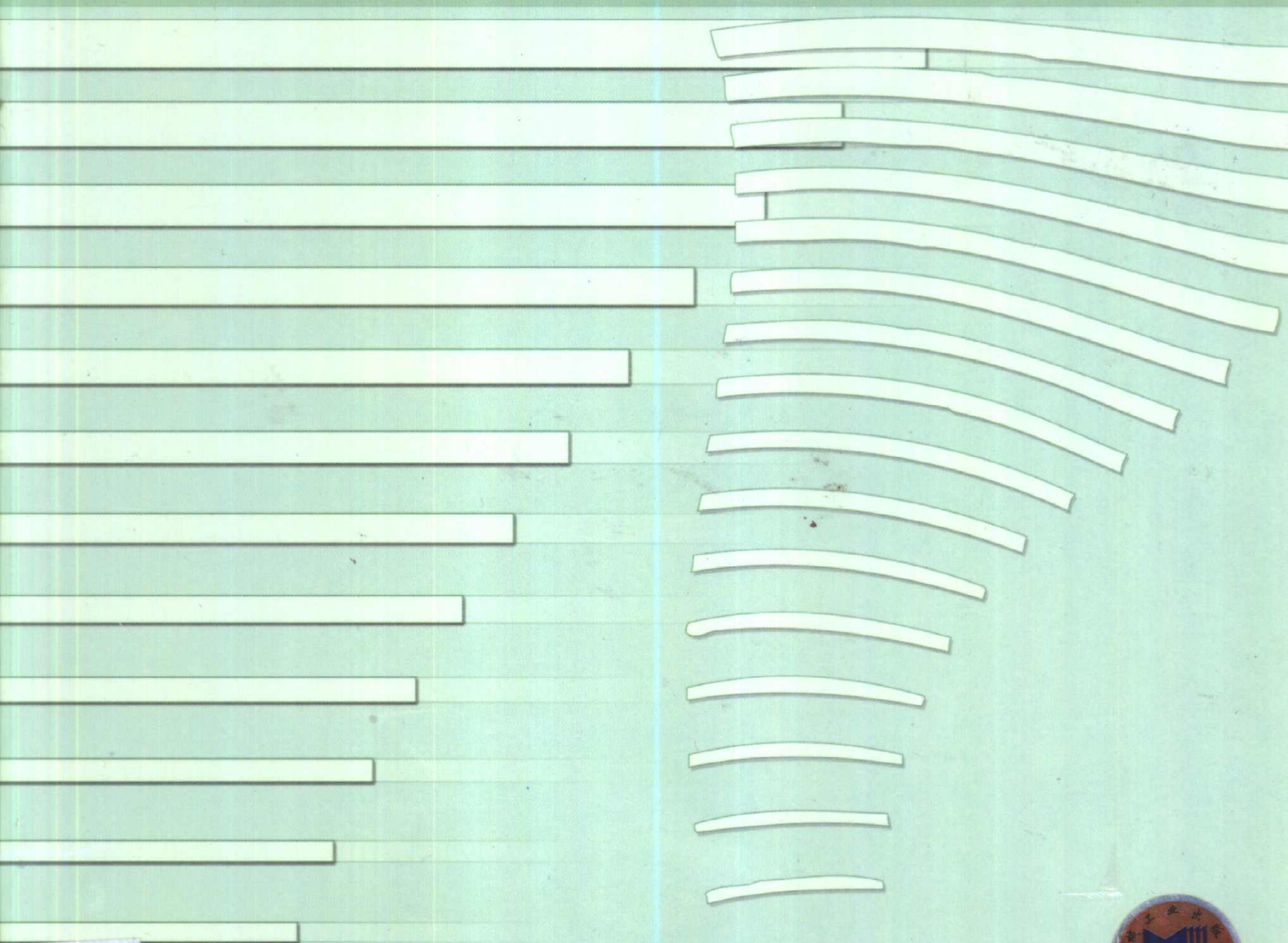


# 电器与可编程控制器 应用技术

广东工业大学 邓则名 邝穗芳 程良伦 编



116

7-4-2-42  
232(3)

普通高等教育机电类规划教材

# 电器与可编程控制器应用技术

第2版

广东工业大学 邓则名 邝穗芳 程良伦 编



机械工业出版社

本书从便于教学和工程应用出发,较系统地介绍了常用低压电器,电器控制线路基本环节及设计方法,典型生产机械电气控制线路,F<sub>1</sub>系列和C系列(P型)可编程序控制器的基本结构,工作原理,指令系统,编程方法,PLC控制系统的设计,应用实例,西门子S7系列PLC,S7-200PLC指令系统,PLC网络控制及其应用实例,并附有适量的习题。

本书注重实用,联系实际,深入浅出,便于教学。本书可作为高等院校本科自动化、电气工程及其自动化专业及相近专业“电气自动控制设备”、“电器与可编程序控制器”或类似课程的教材,也可作为各类院校专科层次相关专业类似课程的选用教材,并可作为电子技术、电气技术、自动化技术工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电器与可编程序控制器应用技术/邓则名、邝穗芳、程良伦编.—2版.  
—北京:机械工业出版社,1997.1  
普通高等教育机电类规划教材  
ISBN 7-111-05285-4

I.电… II.①邓…②邝…③程… III.①电器-应用-高等学校-教材②可编程序控制器-应用-高等学校-教材 IV.TM5

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第12214号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
责任编辑:贡克勤 版式设计:冉晓华 责任校对:韩晶  
封面设计:鞠杨 责任印制:路琳  
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
2002年5月第2版·第1次印刷  
787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·16.25印张·401千字  
26 001—31 000册  
定价:22.00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、68326677-2527  
封面无防伪标均为盗版



## 第 2 版前言

《电器与可编程控制器应用技术》自 1997 年出版发行以来，承蒙各高等学校师生、电气自动化工程技术人员和读者的支持和喜爱，至 2002 年 1 月已进行了第 6 次印刷，累计已发行 26000 册。借此机会，编者对各单位和读者致以深切的谢意！

根据同行专家提出的宝贵意见，结合我国各地选用各种不同类型可编程序控制器的实际情况，在总结教学经验的基础上，对原教材进行必要的修改、充实和提高。

在修订中，在保留原教材的结构、特点和风格的基础上，我们对原教材内容进行了必要的删改与补充。删去的主要内容有：应用越来越少的电机扩大机及其控制系统这一章；部分应用实例（把原来分布在第八、十一和十三章中的实例集中编排在同一章）；全部附录等。同时新增加的主要内容有：日本欧姆龙可编程序控制器、德国西门子 S7 系列型可编程序控制器；可编程序控制器网络控制与通信及其它一些内容。保留并精简优化原教材中 F1 系列可编程序控制器的内容，并自成体系。第十一章应用实例，全部程序均在 F1 系列 PLC 上运行通过。现在各个院校理论教学学时普遍减少，因此，建议授课时主要选讲其中一种可编程序控制器的内容，其它类型可编程序控制器的内容可进行一般介绍。

修订后的本教材共十四章，第一至第三章由邝穗芳讲师编写，前言和第四章至第十二章由邓则名副教授编写，第十三章和第十四章由程良伦副教授编写，邓则名副教授对全书负责统编。

本教材可作为高等院校（包括成人教育高校和广播电视大学等）自动化专业电气工程及其自动化或相近专业本科（专科也可选用）“电气控制设备”、“电器与可编程序控制器”和类似课程的教材，也可供电子技术、电气技术和自动化技术工程技术人员参考。

在修订本教材过程中，得到广东工业大学教务处、自动化学院及自动化教研室教师们、机械工业出版社和贡克勤高级工程师以及其他同志的有力支持和帮助，沈起奋副教授对第四~十二章内容和第二篇习题，进行了认真的审校，并提出很多有益的见解，硕士研究生高军礼和李芳帮助编者做了一些具体的工作。在编写本教材的第 1 版和第 2 版时，编者参考并吸收了不少教材和专著中的优点和一些内容。在编写第 1 版教材时也得到有关单位和人士的大力支持，在这里不再一一列出，编者在此对所有的这些单位和个人以及在第 1 版和第 2 版教材中所列主要参考文献的作者一并表示衷心的感谢！

由于编者能力有限，错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

## 第 1 版前言

本书是根据高等学校电气工程及其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：

一要结合实际情况。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 PLC 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，每个实用线路都做较具体的分析外，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做一般性介绍，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、PLC 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 PLC 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。

本书可作为高校本科工业自动化、电气技术及相近专业的《工厂电气控制设备》及类似课程的教材，也可作为大专、电大、业余大学选用教材，并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，以及冯焱生教授、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

# 目 录

第 2 版前言	
第 1 版前言	
<b>第一篇 电器控制技术</b> .....	1
<b>第一章 常用低压控制电器</b> .....	1
第一节 概述 .....	1
第二节 接触器 .....	3
第三节 继电器 .....	13
第四节 熔断器 .....	25
第五节 低压开关和低压断路器 .....	30
第六节 主令电器 .....	36
第七节 低压电器的产品型号 .....	39
<b>第二章 电器控制线路的基本原则和基本环节</b> .....	42
第一节 电器控制线路的绘制 .....	42
第二节 三相异步电动机的起动控制 .....	49
第三节 三相异步电动机的正反转控制 .....	57
第四节 三相异步电动机的调速控制 .....	58
第五节 三相异步电动机的制动控制 .....	62
第六节 其它典型控制环节 .....	65
第七节 电器控制线路的设计方法 .....	67
<b>第三章 生产机械的电气控制</b> .....	78
第一节 卧式车床的电气控制 .....	78
第二节 平面磨床的电气控制 .....	80
第三节 摇臂钻床的电气控制 .....	82
第四节 铣床的电气控制 .....	84
第五节 桥式起重机的电气控制 .....	87
第一篇习题 .....	95
<b>第二篇 可编程序控制器应用技术</b> .....	98
<b>第四章 概述</b> .....	98
第一节 可编程序控制器的产生与功能特点 .....	98
第二节 PLC 的应用与发展概况 .....	100
<b>第五章 可编程序控制器的基本结构与工作原理</b> .....	102
第一节 PLC 的基本结构 .....	102
第二节 PLC 的基本工作原理 .....	103
第三节 PLC 的性能指标及分类 .....	105
第四节 PLC 与其它工业控制系统的比较 .....	106
<b>第六章 F<sub>1</sub> 系列可编程序控制器的内部继电器</b> .....	109
第一节 F <sub>1</sub> 系列 PLC 的型号、单元和输入输出方式 .....	109
第二节 F <sub>1</sub> 系列 PLC 内部继电器的编号及功能 .....	112
<b>第七章 F<sub>1</sub> 可编程序控制器的基本指令及编程方法</b> .....	117
第一节 PLC 的常用编程语言 .....	117
第二节 F <sub>1</sub> 可编程序控制器的基本指令及编程方法 .....	118
第三节 C660/C661 “计数器对”的用法 .....	128
第四节 编程的基本规则与技巧 .....	130
<b>第八章 F<sub>1</sub> 可编程序控制器步进与功能指令及编程方法</b> .....	133
第一节 步进指令 STL/RET 及编程方法 .....	133
第二节 多流程步进控制的处理方法 .....	135
第三节 F <sub>1</sub> 可编程序控制器功能指令及编程方法 .....	140
<b>第九章 F<sub>1</sub> - 20P 简易编程器</b> .....	153
第一节 编程器的结构类型与功能用途 .....	153
第二节 编程器的编程工作方式 .....	155
第三节 编程器的监控工作方式 .....	159
<b>第十章 可编程序控制器控制系统的设计</b> .....	162
第一节 PLC 控制系统设计概述 .....	162
第二节 扩展设定计数值和定时值范围	

	的方法 .....	164		指令 .....	207
第三节	输入输出点数简化的方法 .....	166	第十三章	西门子 S7 系列 PLC .....	216
第四节	F <sub>1</sub> /F <sub>2</sub> 系列 PLC 与 EEPROM 之间 程序的传送与比较 .....	169	第一节	西门子 S7 系列 PLC 简介 .....	217
第五节	PLC 的安装与抗干扰措施 .....	170	第二节	西门子 S7-200 PLC 指令系统 .....	218
第六节	PLC 系统的调试运行与维护 .....	173	第十四章	PLC 的网络控制 .....	240
第十一章	可编程序控制器的应用 实例 .....	175	第一节	工业以太网 .....	240
第十二章	欧姆龙小型可编程序 控制器 .....	200	第二节	PROFIBUS 现场总线 .....	241
第一节	C 系列 P 型 PLC 概述 .....	200	第三节	过程或现场级通信 AS-I 接口 .....	244
第二节	C 系列 P 型 PLC 的器件及其 编号 .....	202	第四节	MPI 网络 .....	243
第三节	C 系列 P 型 PLC 的基本指令 .....	204	第五节	PPI 网络 .....	243
第四节	C 系列 P 型 PLC 的常用功能		第六节	PLC 网络控制应用实例 .....	244
			第二篇习题	.....	246
			参考文献	.....	253

# 第一篇 电器控制技术

## 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 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、电动机起动器等。

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

漏电保护器

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、规格的上万件低压电器元件。

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 1953~1957 年试制成功低压断路器、接触器等 12 大类，几百种产品，20 世纪 60 年代大功率半导体器件与有触头

电器相互结合协调发展。

目前我国低压电器产品约 600 多个系列，产值约 120 亿元，生产企业 1000 多家，市场销售的产品可谓“三代同堂”。第一代产品：20 世纪 60~70 年代初，仅有 17 个系列，自行开发，填补我国低压电器工业空白；第二代产品：20 世纪 70 年代末~80 年代，产品进入更新换代的时期，分自行开发、技术引进、达标攻关三条线进行，开发新产品技术指标明显提高，保护特性较完善，体积缩小，适应成套装置要求；第三代产品：20 世纪 90 年代，抓住主要产品系列，跟踪国外先进技术，开发生产高性能、小型化、电子化、智能化、组合化、模块化、多功能化产品。

至今，我国低压电器经过 50 多年发展，目前已形成比较完善的体系，品种、规格、性能、产量上基本满足我国国民经济的发展需要。同时先进技术的引进，加快了新产品问世，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。我国开发生产的大容量智能化的“万能式断路器”，DW45 系列分别有智能型、多功能型和一般型。CJ45 系列交流接触器，电流等级分别有 9~800A、12~14 个规格，采用积木式模块化结构。模块包括辅助触头、延时、机械联锁、过电压保护、节能、通信接口等。智能型电子式继电器带有通信接口，并能与第三代交流接触器组合成智能型起动机。

进入 21 世纪，以及随着我国加入“WTO”，我国的低压电器如何适应新形势，如何跟上发达国家的先进水平，如何更好地满足我国现代化发展的需要，这是一个重大的课题。新世纪发展指导思想，应考虑我国低压电器现状、国外新技术发展趋势以及面临的市场需要的形势。外国产品大量进入中国电器市场，带来一定的冲击。目前外国产品占领我国高档产品市场达 80% 以上，并向中档市场渗透。随着我国加入“WTO”，更进一步促进外国产品的进入。所以，我们必须加速我国第三代、第四代高性能产品开发，尽快完善产品系列，加大我国产品的推广力度，明显提高产品可靠性和外观质量。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、有触头和无触头的混合式电器、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。过程控制、生产自动化、配电系统及智能化楼宇等场合采用现场总线系统，对低压电器提出了可通信的要求。现场总线系统的发展与应用将从根本上改变传统的低压配电与控制系统及其装置，给传统低压电器带来改革性变化。发展智能化可通信低压电器势在必行，其特征是：①产品中装有微处理器；②产品带有通信接口，能与现场总线连接；③采用标准化结构，具有互换性，采用模数化结构；④保护功能齐全，具有外部故障记录显示、参数测量显示、内部故障自诊断、进行双向通信等。

今后，通过深化改革，随着国民经济的发展，我国的电器工业将会大大缩短与世界先进国家的差距，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，磨损较小，铁心用软铁做成，适用于直直接触器；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。

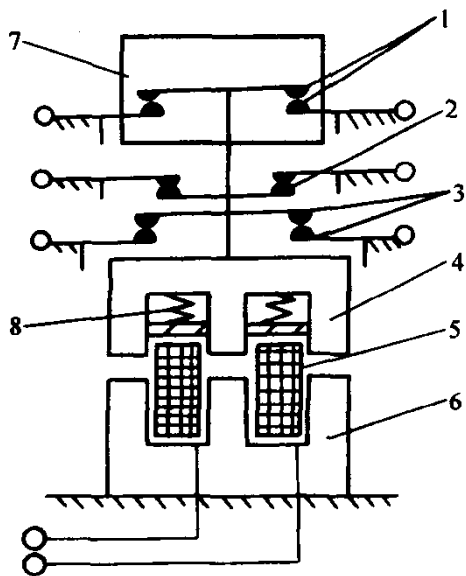


图 1-1 接触器结构简图

- 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

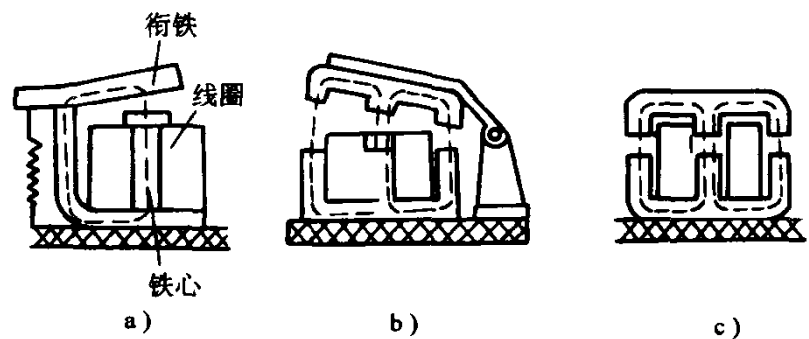


图 1-2 接触器电磁系统的结构图

- 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

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，

则 
$$U \approx E = 4.44 f \Phi N \quad \Phi = \frac{U}{4.44 f N}$$

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  $\Phi = IN/R_m \propto 1/R_m$ ，式中， $R_m$  为气隙磁阻，则  $F \propto \Phi^2 \propto 1/R_m^2 \propto 1/\delta^2$ ，即电磁吸力  $F$  与气隙  $\delta$  的平方成反比。直流电磁机构的吸力特性如图 1-4 所示。

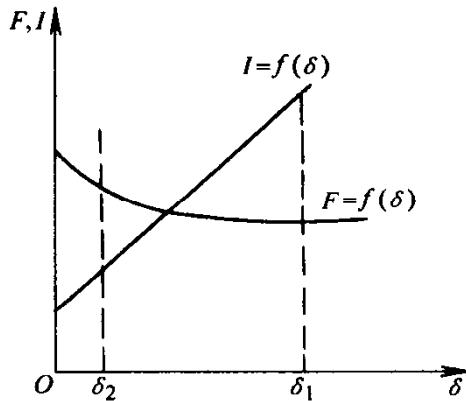


图 1-3 交流电磁机构的吸力特性

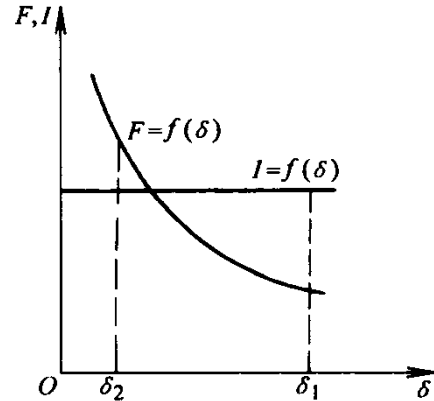


图 1-4 直流电磁机构的吸力特性

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

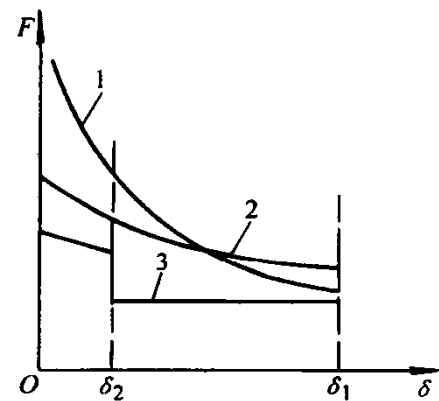


图 1-5 吸力特性和反力特性  
1—直流接触器吸力特性 2—交流接触器吸力特性 3—反力特性

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。

## (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。

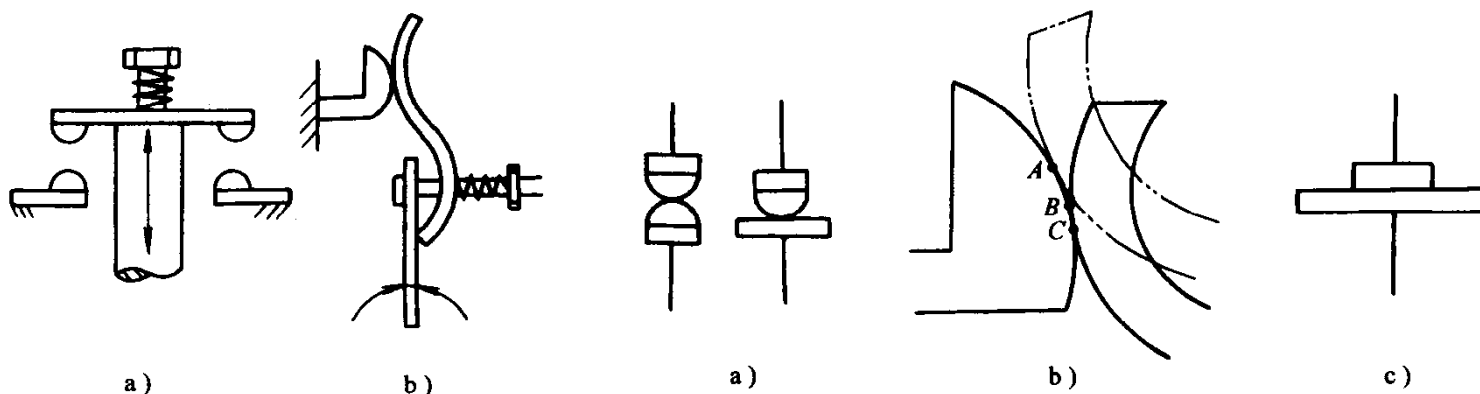


图 1-6 触头结构形式图

a) 桥形触头 b) 指形触头

图 1-7 触头接触形式图

a) 点接触 b) 线接触 c) 面接触

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，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。

## (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。

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。

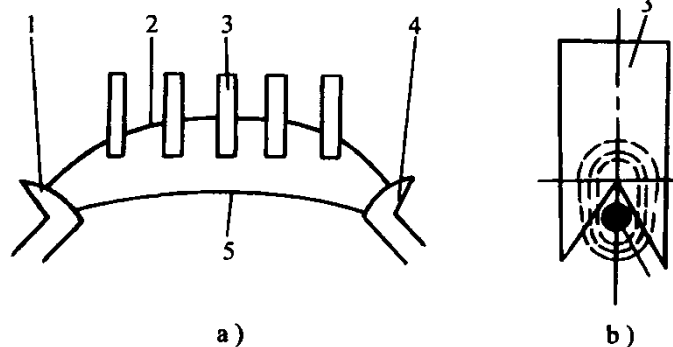


图 1-8 灭弧栅灭弧原理

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

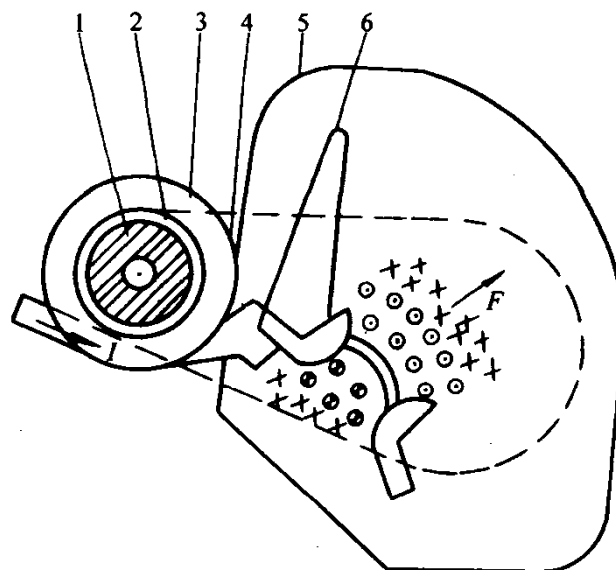


图 1-9 磁吹灭弧装置工作原理

1—铁心 2—绝缘管 3—吹弧线圈

4—导磁颊片 5—灭弧罩 6—熄弧角

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。它广泛应用于直流接触器。

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（缝隙下宽上窄）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。

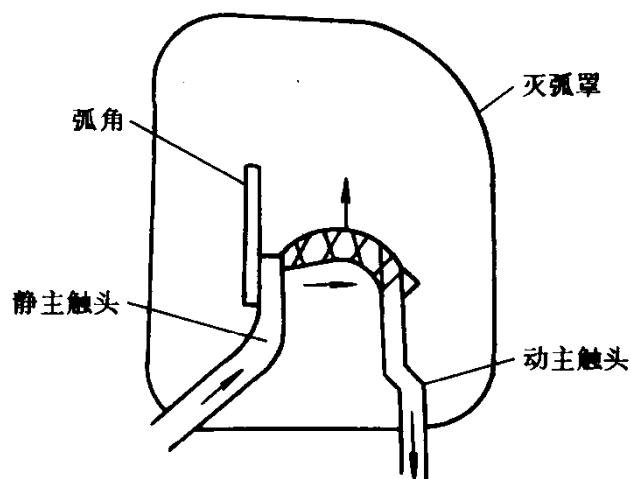


图 1-10 多纵缝灭弧装置

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。

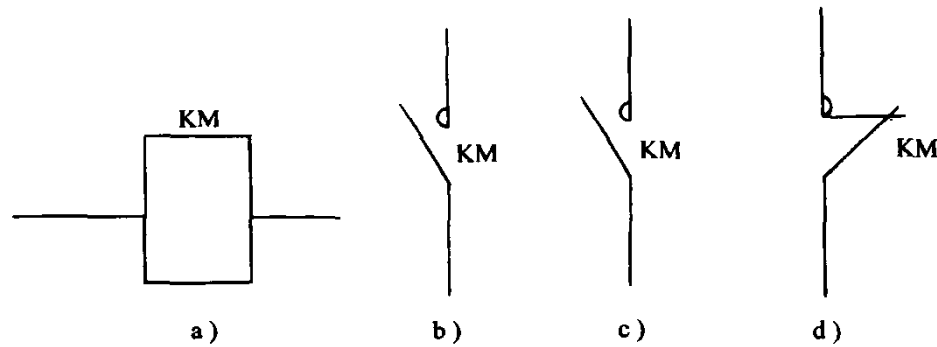


图 1-11 接触器的图形、文字符号

a) 线圈 b) 主触头 c) 常开辅助触头 d) 常闭辅助触头

## 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。

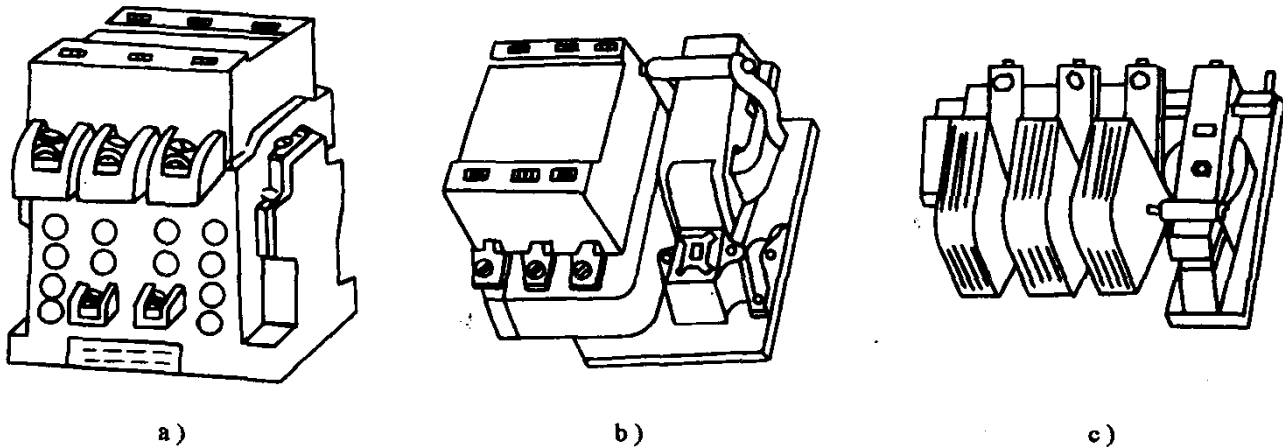


图 1-12 交流接触器

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

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。

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  $SB_1$ ，当电源极性瞬间为  $L_1$  正、 $L_2$  负

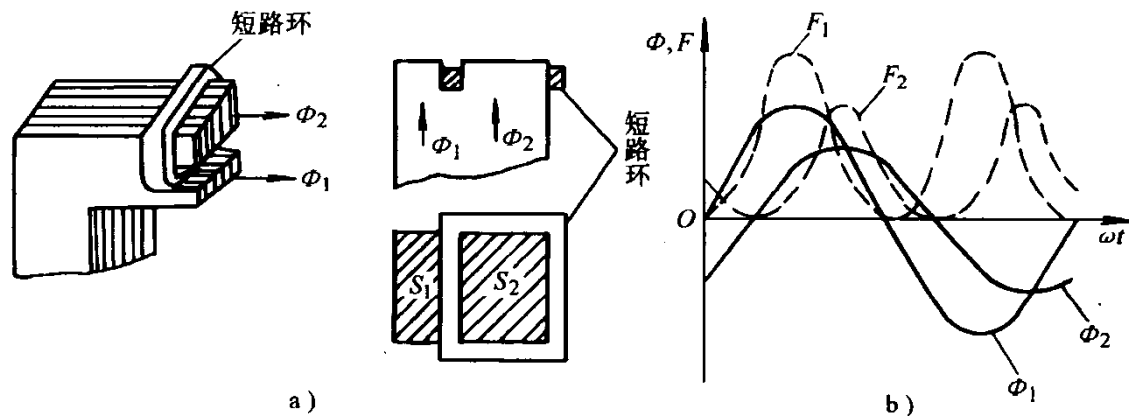


图 1-13 交流接触器铁心的短路环

a) 结构图 b) 电磁吸力图

时，电流经常闭辅助触头 KM、限流电阻  $R$ 、二极管  $VD_1$ 、接触器电磁线圈构成回路。当续流二极管  $VD_2$  的  $M$  点电位低于  $N$  点电位时， $VD_2$  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， $VD_1$  不导通，如电源极性仍为  $L_1$  正、 $L_2$  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。

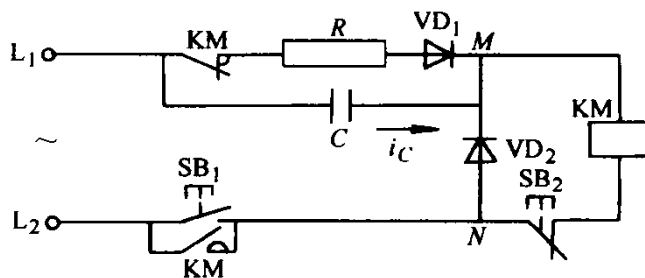


图 1-14 交流接触器无声节电装置线路

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。

直流接触器的线圈通以直流电，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

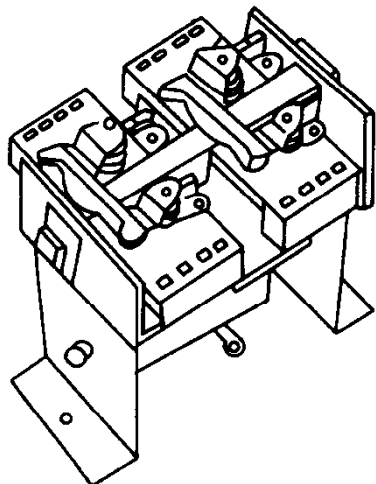


图 1-15 直流接触器外形图

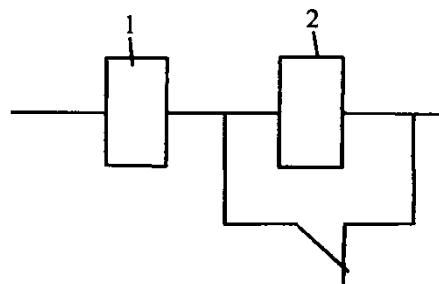


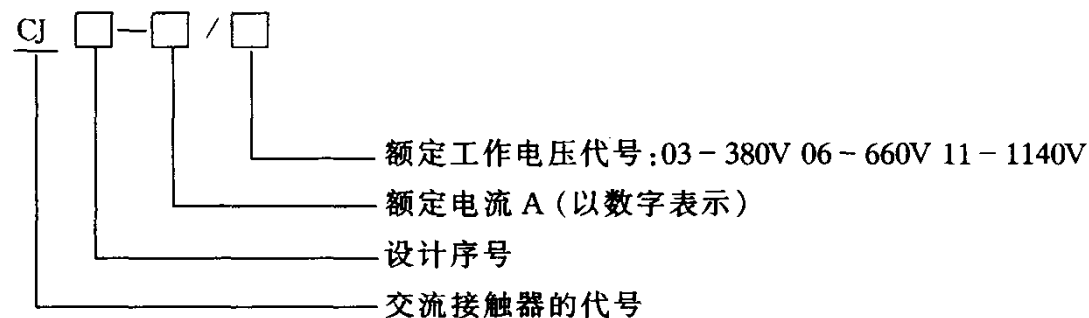
图 1-16 直流接触器双绕组线圈接线图

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，因而可以节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。

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 (宽/mm×高/mm ×深/mm)	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 $F \geq 10^{\text{D}}$	$4 - \phi 5^{+0.3}_0$	辅助触头 10A, 2 接通、2 分断 螺钉安装	1000/100 1200
		380	10		$35 \pm 0.31$		
		660	5.8		$55 \pm 0.37$		
CJ20-16	16	220	16	44.5×73×116.5 $F \geq 10$	$4 - \phi 5^{+0.3}_0$		
		380	16		$35 \pm 0.31$		
		660	13		$60 \pm 0.37$		
CJ20-25	32	220	25	52.5×90.5×122 $F \geq 10$	$4 - \phi 5^{+0.3}_0$		
		380	25		$40 \pm 0.195$		
		660	16		$80 \pm 0.37$		
CJ20-40	55	220	40	86.5×111.5×118 $F \geq 30$	$4 - \phi 5^{+0.3}_0$		
		380	40		$70 \pm 0.37$		
		660	25		$80 \pm 0.37$		
CJ20-63	80	220	63	116×142×146 $F \geq 60$	$4 - \phi 5.8^{+0.3}_0$	600/120 1200	
		380	63		$100 \pm 0.4$		
		660	40		$90 \pm 0.4$		
CJ20-100	125	220	100	120×145×150 $F \geq 70$	$4 - \phi 7^{+0.58}_0$		
		380	100		$108 \pm 0.435$		
		660	63		$92 \pm 0.435$		