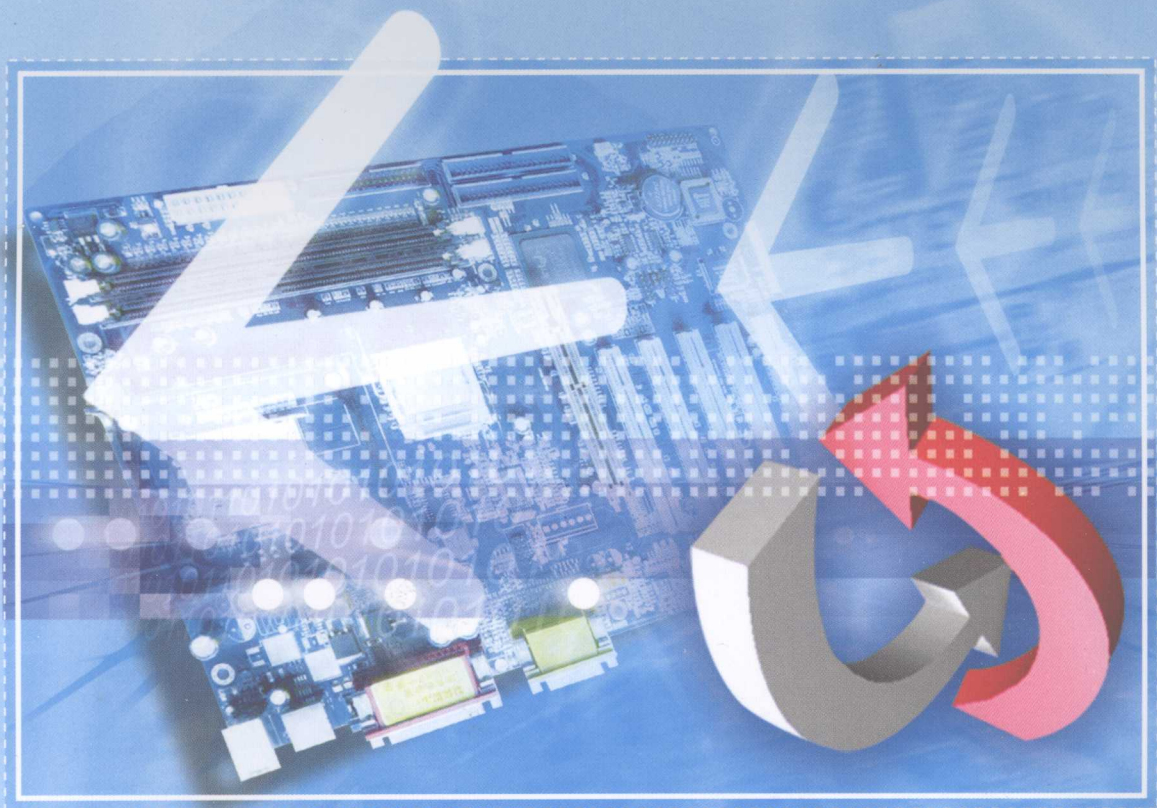


高等学校教材

电器与PLC控制技术

第二版

张万忠 刘明芹 主编



化学工业出版社

电器与 PLC 控制技术

第二版

张万忠 刘明芹 主编



错误代码

0000

无错误报警

0001

执行 HDEF 之前, HSC 禁止

0002

输入中断分配冲突并分配给 HSC

0003

到 HSC 的输入分配冲突

0004

在 HSC 的输入分配冲突

0005

第一个 HSC/PLS 未执行完之前, 又在执行同编号的第二个 HSC/PLS

0006

同轴地址错误

0007

TOLW(高实时时钟)或 TOLK(低实时时钟)数据错误

0008

PLW(高实时时钟)或 PLK(低实时时钟)数据错误

0009

在程序执行 MVT 或 MCV 时, 通信口 0 又执行另一条

0010

HSC 执行时, 又使用 HIDE 指令再定义该 HSC

0011

PLS 执行时, 又使用 HIDE 指令再定义该 PLS

0012

PLS 执行时, 又使用 MVT 指令再定义该 PLS

0013

PLS 执行时, 又使用 MCV 指令再定义该 PLS

0014

PLS 执行时, 又使用 MVT 指令再定义该 PLS

0015

PLS 执行时, 又使用 MCV 指令再定义该 PLS

0016

PLS 执行时, 又使用 MVT 指令再定义该 PLS

0017

PLS 执行时, 又使用 MCV 指令再定义该 PLS

0018

PLS 执行时, 又使用 MVT 指令再定义该 PLS

0019

PLS 执行时, 又使用 MCV 指令再定义该 PLS



化学工业出版社

北京

本书兼顾工程应用及教学需要,介绍了常用低压电器、变频器、继电器接触器控制电路及可编程控制器应用技术,系统阐述了电气控制分析及设计的一般方法。全书共三篇十四章,第一至四章为第一篇,介绍了常用低压电器、变频器及继电器接触器构成的基本应用电路。第五至十二章为第二篇,介绍了 S7-200 系列可编程控制器基本指令、功能指令、高速计数、高速输出、中断、通信、模拟量处理及 PID 指令等内容。第三篇含第十三、十四章,介绍电气控制系统工程设计及应用实例。本书第二版更新了第一版中相对陈旧的电器,增加了变频器应用的内容,加强了电气控制新技术的介绍,内容更加充实,实例与生产实际更加接近,更能满足教学的需要。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、机械制造及其自动化等相关专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

PLC 已器申

第二版

张万忠 刘明芹 主编

图书在版编目 (CIP) 数据

电器与 PLC 控制技术/张万忠,刘明芹主编. —2 版.
北京:化学工业出版社,2008.5
高等学校教材
ISBN 978-7-122-02583-8

I. 电… II. ①张…②刘… III. ①电气设备-自动控制-高等学校-教材②可编程序控制器-高等学校-教材
IV. TM762

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 052444 号

责任编辑:王丽娜 郝英华

装帧设计:凯悦洪翔

责任校对:李 林

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$ 字数 502 千字 2008 年 7 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《电器与 PLC 控制技术》一书第一版出版已有五个年头，这期间本书被数十所高校选为教材，获得了广大读者的欢迎及支持。有不少读者称赞本书实例多，工程氛围强；讲解细致，内容安排得体，既有利于教学又方便学生自学。也有读者指出本书的不足，如所列电器型号已较陈旧，书中涉及的个别电气标准已经停用，希望做出修订；还有使有本教材的教师建议，应将通用变频器的教学列入电器的教学内容。正是在这种情况下，我们决定编写本书的第二版。

第二版所做的重要修订如下。

- ① 替换了陈旧的电器型号及已不使用的工业标准。
- ② 删减了电子电器的部分内容，并将其余的内容并入第一、二章。
- ③ 结合变频器日益广泛的应用，增写了第三章：通用变频器及其应用技术。
- ④ 为了加强学生对工程的感性认识，增强了 PLC 产品系列化、产品安装接线、产品性能指标及编程软件的介绍。
- ⑤ 进一步加强了编程思路、编程方法的介绍。

经以上修订后的本书第二版内容更加完整，重点更加突出。除了电器、变频器、可编程控制器教学内容前后呼应外，全书注重工程应用能力的培养，与工程实际的联系更加密切。更有利于教学过程的组织及学生自学能力的提高。

第二版仍分为三篇。共十三章。第一篇含第一至四章，介绍低压电器、变频器及继电器接触器电路。第二篇含第五至十二章，介绍 S7-200 系列 PLC 及其应用技术。第二篇含第十三、十四章，介绍电器及 PLC 控制系统工程设计及应用实例。第一至三章及第十四章由刘明芹负责编写，第七至十三章由张万忠负责编写，钱入庭编写了第四至六章。全书由张万忠统稿，王建林担任主审。参加本书编写工作的还有：王民权、武红军、胡全斌、孙晋、孙远强、吴志宏等同志。

本书在编写过程中得到了北京西门子办事处的支持，提供了部分资料，在此表示感谢。由于编者水平有限，书中错误及不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者
2007 年 12 月

第一版前言

《工厂电气控制技术》及《可编程控制器》是高等院校电类专业要素关联密切的两门专业课程。近年来,随着自动化技术的不断发展,PLC 逐渐代替复杂的电器及接线而成为控制设备的核心。因而,在教学中削减电气控制中复杂的电路分析,加强 PLC 程序设计,将两门课程合二为一的教学设计,已被越来越多的学校所接受。而编写一本将继电器控制与 PLC 控制技术整合到一起的教材也是为了适应学校教学的需要。

本书力图兼顾《工厂电气控制技术》及《可编程控制器》两门课程的教学重点,并使它们前后承接、相互呼应。比如,在介绍低压电器的工程应用知识时,注意突出电磁式电器的工作模式,为 PLC 器件的学习打下基础;在介绍继电器基本电路时,突出接线逻辑实现的技巧,为 PLC 经验法编程的学习做出铺垫;在介绍典型机械控制电路时注意突出工程环境对控制的要求,为后续的可编程控制器系统设计提供工程氛围。

目前市面上可编程控制器的品种繁多,本书本着“解剖一只麻雀”的思想仅介绍其中的一种。在 PLC 选型时,几经比较,编者选中了西门子 S7-200 系列 PLC 中的最新品种——S7-22X 系列,该型号的 PLC 指令丰富,功能强大,在国内市场占有率有上正处于上升趋势。而且,该机型的指令及编程运作与计算机通用编程语言更加接近,对学生的知识融合更加有利。

本书可作为工业电气自动化、电气技术、机电一体化及相关专业的本、专科教学教材,也可以作为工程技术书籍供工程技术人员参考。

本书分为三篇共 13 章。第一篇含一~四章,介绍低压电器及继电器电路基础。第二篇含五~十二章,介绍 S7-200 系列 PLC 及其指令。第三篇含第十三章及第十四章,介绍电器及 PLC 控制系统工程设计及应用实例。一~四章及十四章的第一节由刘明芹编写,五~十三章及十四章的第二节由张万忠编写,全书由张万忠统稿,王建林担任主审。

本书在编写过程中得到了北京西门子办事处的支持,提供了部分资料,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中错误及不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2003 年 4 月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 电器及继电器接触器电路基础

第一章 电磁式低压电器	3
第一节 低压电器分类及电磁式电器的结构及工作原理	3
第二节 电磁式接触器	7
第三节 电磁式继电器	10
习题及思考题	15
第二章 其他常用低压电器	16
第一节 低压开关及低压断路器	16
第二节 熔断器	23
第三节 热继电器	26
第四节 控制继电器	29
第五节 剩余电流动作保护器	35
习题及思考题	38
第三章 继电器接触器控制系统	39
第一节 电气控制线路图纸及绘制原则、图形符号	39
第二节 继电器接触器控制电路组成的单元电路	42
第三节 交流异步电动机常用电气控制电路	46
第四节 直流电动机常用电气控制电路	51
第五节 电气控制电路的读图方法	53
第六节 电动机控制电路中常用的保护环节	54
习题及思考题	56
第四章 通用变频器及其应用技术	58
第一节 变频器的结构及工作原理	58
第二节 西门子 MM440 通用变频器简介	62
第三节 通用变频器基本操控方式及应用举例	69
第四节 通用变频器选择使用的几个工程问题	87
习题及思考题	90

第二篇 S7-200 系列 PLC 及其指令

第五章 可编程控制器及其工作原理	93
第一节 可编程控制器的产生与发展	93
第二节 可编程控制器的用途及特点	94
第三节 PLC 的硬件组成	96

第四节	PLC 的软件及应用程序编程语言	100
第五节	可编程控制器的工作原理及运行方式	103
第六节	PLC 的主要性能指标	106
习题及思考题	.....	106
第六章	S7-200 系列可编程控制器资源及配置	108
第一节	S7-200 系列构成及性能简介	108
第二节	系统配置及安装接线	113
第三节	编程软元件及寻址	115
第四节	S7-200 的指令系统	122
第五节	STEP7-Micro/WIN32 编程软件简介	126
习题及思考题	.....	134
第七章	S7-200 系列 PLC 基本指令及经验编程法	135
第一节	S7-200 系列可编程控制器基本指令	135
第二节	梯形图及语句表的结构规则	144
第三节	梯形图程序的经验设计法	145
习题及思考题	.....	155
第八章	S7-200 系列 PLC 顺控继电器指令及顺序控制编程方法	157
第一节	顺序控制编程的初步认识	157
第二节	顺序功能图的主要概念、基本类型及编程	159
第三节	顺控继电器指令及编程应用	163
习题及思考题	.....	169
第九章	S7-200 系列 PLC 功能指令及应用	172
第一节	功能指令的分类及用途	172
第二节	功能指令的表达形式及使用要素	172
第三节	传送比较类指令及应用	174
第四节	数学运算类指令及应用	178
第五节	数据处理类指令及应用	183
第六节	程序控制类指令及应用	191
第七节	其他功能指令	201
习题及思考题	.....	205
第十章	S7-200 系列 PLC 脉冲处理指令及应用	207
第一节	高速计数器及高速计数器指令	207
第二节	高速计数器的配置及高速计数器程序实例	212
第三节	高速脉冲输出功能	214
第四节	PTO 及 PWM 功能的配置与编程	217
习题及思考题	.....	222
第十一章	S7-200 系列 PLC 模拟量单元及 PID 指令	223
第一节	S7-200EM235 模拟量工作单元	223
第二节	EM235 模拟量单元应用实例	227
第三节	PID 控制及 PID 指令	230
第四节	数据运算类程序的编制	235

习题及思考题	236
第十二章 S7-200 系列 PLC 通信指令及应用	237
第一节 S7-200 系列 PLC 支持的通信协议及组网器件	237
第二节 配置 PPI 通信	241
第三节 配置自由口通信	246
习题及思考题	255

第三篇 电器及 PLC 控制系统设计及应用

第十三章 电器及 PLC 控制系统的应用设计	257
第一节 工业电气控制系统规划设计的基本原则	257
第二节 继电器接触器控制系统设计的步骤与基本内容	257
第三节 可编程控制器控制系统设计的步骤及基本内容	264
习题及思考题	278
第十四章 电器及可编程控制系统应用实例	279
第一节 继电器接触器控制系统在机床控制中的应用	279
第二节 S7-200 系列 PLC 在生产装备电气控制中的应用	286
附录	308
附录 A 常用电器的图形符号	308
附录 B 特殊存储器 (SM) 标志位	309
附录 C 错误代码	312
参考文献	314

绪 论

一、本课程的性质与任务

本课程是一门实用性很强的专业课，其主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象，介绍继电器接触器控制系统、变频器及 PLC 控制系统的工作原理、典型机械的电气控制线路以及以变频器、PLC 为核心的控制系统的设计方法。当前，变频器及 PLC 控制系统应用十分普遍，已经成为实现工业自动化的主要手段，是教学的重点所在。但是，一方面，根据我国当前的情况，继电器接触器控制仍然是工厂设备最基本的电气控制方式，而且低压电器正在向小型化、智能化、长寿命发展，出现了功能多样的电子式电器，使继电器接触器控制系统性能不断提高。因此，继电器接触器在今后的电气控制技术中仍然占有相当重要的地位。另一方面，PLC 是计算机技术与继电器接触器控制技术相结合的产物，PLC 的输入、输出仍然与低压电器密切相关，因此掌握继电器接触器控制技术也是学习和掌握 PLC 应用技术所必需的基础。本课程的培养目标是培养学生继电器接触器、变频器及 PLC 工程应用能力，具体要求如下。

- ① 熟悉常用低压电器的结构原理、用途，具有合理选择、使用常用低压电器的能力。
- ② 熟悉掌握继电器接触器控制线路的基本环节，具有阅读和分析继电器接触器构成的电气控制线路原理图的能力。
- ③ 了解变频器的工作原理，掌握通用变频器的基本应用方法。
- ④ 掌握 PLC 的基本原理及编程方法，能够根据生产过程和控制要求进行系统设计和编写应用程序。
- ⑤ 熟悉典型设备的电气控制系统，具有从事电气设备安装、调试、维修及管理的基本知识。

二、电气控制技术的发展概况

电气控制技术是随着科学技术的不断发展、生产工艺不断提出新的要求而迅速发展的。从最早的手动控制到自动控制，从简单的控制设备发展到复杂的控制系统，从有触点的硬接线控制系统发展到以计算机为中心的存储控制系统。现代电气控制技术综合应用了计算机、自动控制、电子技术、精密测量等许多先进的科学技术成果。作为生产机械动力的电机拖动，已由最早的采用成组拖动方式到单独拖动方式，再到生产机械的不同运动部件分别由不同电机拖动的多电机拖动方式，发展到今天无论是自动化功能还是生产安全性能都相当完善的电气自动化系统。

继电器接触式控制系统主要由继电器、接触器、按钮、行程开关等组成，其控制方式是断续的，所以又称为断续控制系统。由于这种系统具有结构简单、价格低廉、维护容易、抗干扰能力强等优点，至今仍是被机床和其他许多机械设备广泛采用的基本电气控制形式，也是学习更先进电气控制的基础。这种控制系统的缺点是采用固定的接线方式，灵活性差，工作频率低，触点易损坏，可靠性差。

从 20 世纪 30 年代开始，生产企业为了提高生产效率，采用机械化流水作业的生产方

式，对不同类型的产品分别组成生产线。随着产品类型的更新换代，生产线承担的加工对象也随之改变，这就需要改变控制程序，使生产线的机械设备按新的工艺过程运行，而继电器接触器控制系统采取固定接线方式，很难适应这种要求。大型生产线的控制系统使用的继电器数量很多，这种有触点的电器工作频率很低，在频繁动作的情况下寿命较短，从而造成系统故障，使生产线的运行可靠性降低。为了解决这个问题，20世纪60年代初期利用电子技术研制出矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统来代替继电器接触式控制系统。对复杂的自动控制系统则采用计算机控制，但由于这些控制装置本身存在某些不足，均未能获得广泛应用。1968年美国最大的汽车制造商——通用汽车（GM）公司，为适应汽车型号不断更新的要求，提出把计算机的完备功能以及灵活性、通用性好等优点和继电器接触器控制系统的简单易懂、操作方便、价格低等优点结合起来，做成一种能适应工业环境的通用控制装置，并把编程方法及程序输入方法简化，使不熟悉计算机的人员也能很快掌握其使用技术。根据这一设想，美国数字设备公司（DEC）于1969年率先研制出第一台可编程控制器（简称PLC），并在通用汽车公司的自动装配线上试用成功。从此以后，许多国家的著名厂商竞相研制，各自成为系列，而且品种更新很快，功能不断增强，从最初的逻辑控制为主发展到能进行模拟量控制，具有数字运算、数据处理和通信联网等多种功能。PLC另一个突出的优点是可靠性很高，平均无故障运行时间可达10万小时以上，可以大大减少设备维修费用和停产造成的经济损失。当前PLC已经成为电气自动化控制系统中应用最为广泛的核心控制装置。

20世纪后期电气控制领域还有一个重大的进步是通用变频器的出现。通用变频器是电力电子技术、计算机技术、自动控制理论高度发展的结果。它的出现一扫高性能调速系统由直流电机一统天下的局面，让交流电机成为调速系统的主角。而结构简单、维修简便的交流电机在调速控制中的广泛应用对于定位、调速系统降低造价，提高运行性能具有十分重大的意义。另一方面，变频器在风机、水泵等负载上的大量应用在节能方面也具有重大的意义。

从机械加工行业来说，20世纪后半叶，数控技术也获得了重要的发展。从1952年美国研制成功第一台三坐标数控铣床后，随着微电子技术的发展，由小型或微型计算机再加上通用或专用大规模集成电路组成的计算机数控装置（CNC）在机床控制中大显身手。出现了具有自动更换刀具功能的数控加工中心机床（MC），工件在一次装夹中可以完成多种工序的加工。数控技术还在绘图机械、坐标测量机、激光加工机、火焰切割机等设备上得到了广泛应用，取得了良好效果。

自20世纪70年代以来，电气控制相继出现了直接数字控制（DDC）系统、柔性制造系统（FMS）、计算机集成制造系统（CIMS）、智能机器人、集散控制系统（DCS）、现场总线控制系统等多项高新技术，形成了从产品设计及制造到生产管理的智能化生产的完整体系，将自动化生产技术推进到了更高的水平。

综上所述，电气控制技术的发展始终是伴随着社会生产规模的扩大，生产水平的提高而前进的。电气控制技术的进步反过来又促进了社会生产力的进一步提高；同时，电气控制技术又是与微电子技术、电力电子技术、检测传感技术、机械制造技术等紧密联系在一起的。当前，科学技术继续在突飞猛进地向前发展，电气控制技术必将给人类带来更加繁荣的明天。

第一篇 电器及继电器接触器电路基础

第一章 电磁式低压电器

内容提要：低压供电在工农业生产、国防、交通及生活等领域应用广泛，低压电的产生、输送、分配和应用都离不开低压电器。电磁式电器无论在结构上，操作方法上都是低压电器的代表性器件。本章介绍电磁式低压电器的结构、工作形式、应用及最常用的两种电磁式低压电器——接触器及继电器。

低压电器指工作在交流 1000V、直流 1200V 额定电压以下的电路中，实现对电路或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节的电器。低压电器可分为手动低压电器及自动低压电器。随着电子技术、自动控制技术和计算机技术的迅猛发展，自动电器正在不断增加，不少传统低压电器也有不断被电子线路取代的趋势。但即使是在计算机为主的工业控制系统中，继电器、接触器控制技术仍占有相当重要的地位。低压电器因其特殊性，是不可能完全被取代的。

第一节 低压电器分类及电磁式电器的结构及工作原理

一、低压电器的分类

低压电器种类很多，功能、规格、工作原理也各不相同。按用途可分为以下几类。

1. 低压配电电器

用于供电系统中进行电能的输送和分配的电器。对这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动稳定及热稳定性能好。这类电器有低压断路器、隔离开关、刀开关、自动开关等。

2. 低压控制电器

用于各种控制电路和控制系统的电器。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，操作频率要高，电器和机械寿命要长。如接触器、继电器、启动器、各种控制器等。

3. 低压主令电器

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要高，抗冲击，电器和机械寿命要长。这类电器有按钮、主令开关、行程开关和万能转换开关等。

4. 低压保护电器

用于对电路和用电设备进行保护的电器。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，可靠性要高，反应要灵敏。如熔断器、热继电器、电压继电器、电流继电器等。

5. 低压执行电器

用于完成某种动作和传动功能的电器。常用的有电磁铁、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、牵引电器等；按操作方式分为手动电器和自动电器；按工作原理分为电磁式电器、非电

量控制电器。采用电磁现象完成信号检测及工作状态转换是电磁式低压电器的特征。电磁式低压电器是传统低压电器中结构最典型、应用最广泛的一类。

二、电磁机构原理

各类电磁式电器在工作原理和结构上基本相同，从结构上来看，主要由两部分组成，其一为检测部分，即电磁机构，其二为执行部分，即触头系统。

1. 电磁机构组成

电磁机构由线圈、铁芯和衔铁组成，主要作用是通过电磁感应原理将电能转换成机械能，带动触头动作，完成接通或分断电路的功能。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。根据衔铁相对铁芯的运动方式，电磁机构可分为直动式和拍合式两种，如图 1-1 及图 1-2 所示。在图 1-2 中，拍合式又可分为衔铁沿棱角转动和衔铁沿轴转动两种。

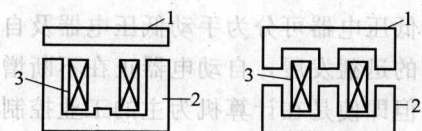


图 1-1 直动式电磁机构

1—衔铁；2—铁芯；3—吸引线圈

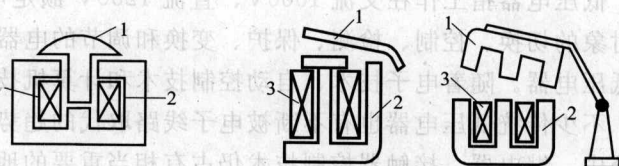


图 1-2 拍合式电磁机构

1—衔铁；2—铁芯；3—吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁能。按通入电流种类不同可分为直流型线圈和交流型线圈。直流型线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，使线圈与铁芯直接接触，易于散热。交流型线圈由于铁芯存在磁滞和涡流损耗，铁芯也会发热，为了改善线圈和铁芯的散热情况，线圈设有骨架，使铁芯与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖型。另外，根据线圈在电路中的连接形式，可分为串联线圈和并联线圈。串联线圈主要用于电流检测类电磁式电器中，大多数电磁式电器线圈都按照并联接入方式设计。为减少对电路电压分配的影响，串联线圈采用粗导线制造，匝数少，线圈的阻抗较小。并联线圈为减少电路的分流作用，需要较大的阻抗，一般线圈的导线细，匝数多。

2. 电磁特性

(1) 电磁吸力与吸力特性 电磁铁线圈通电以后，铁芯吸引衔铁带动触点改变原来状态进而接通或分断电路的力称为电磁吸力，电磁吸力是影响电磁式电器可靠工作的一个重要参数，直流电磁的电磁吸力可按下式计算，即

$$F = \frac{B^2 S \times 10^7}{8\pi}$$

式中， F 为电磁吸力，N； B 为气隙中磁感应强度，T； S 为磁铁截面积， m^2 。磁感应强度 B 与气隙宽度 δ 及外加电压大小有关，所以，对于直流电磁铁，外加电压恒定，电磁吸力的大小只与气隙有关。但对于交流电磁铁，由于外加正弦交流电压在气隙宽度一定时，其气隙磁感应强度也按正弦规律变化，即 $B = B_m \sin \omega t$ ，所以，吸力公式为

$$F = \frac{10^7 S B_m^2 \sin \omega t}{8\pi}$$

电磁吸力也按正弦规律变化，最小值为零，最大值为

$$F_m = \frac{10^7 SB_m^2}{8\pi}$$

电磁式电器在吸合或释放过程中，气隙是变化的，电磁吸力也将随气隙的变化而变化，这种特性称为吸力特性，电磁吸力特性曲线如图 1-3 所示。

(2) 交流接触器短路环的作用 电磁吸力由电磁机构产生，当电磁线圈断电时使触点恢复常态的力称为反力，电磁电器中反力由复位弹簧和触头产生，衔铁吸合时要求电磁吸力大于反力，衔铁复位时要求反力大于电磁力（此时是剩磁产生的电磁吸力），当电磁吸力的瞬时值大于反力时，铁芯吸合；当电磁吸力的瞬时值小于反力时，铁芯释放。所以交流接触器在电源电压变化一个周期内，电磁铁吸合两次，释放两次，电磁机构产生剧烈的振动和噪声，因而不能正常工作。解决的办法是在铁芯端面开一小槽，在槽内嵌入铜质短路环，如图 1-4 所示。加上短路环后，磁通被分为大小接近、相位相差约 90° 电角度的两相磁通，因两相磁通不会同时过零，故由两相磁通产生的合成电磁吸力变化较为平坦，使电磁铁通电期间电磁吸力始终大于反力，铁芯牢牢吸合，这样就消除了振动和噪声，一般短路环包围 $2/3$ 的铁芯端面。

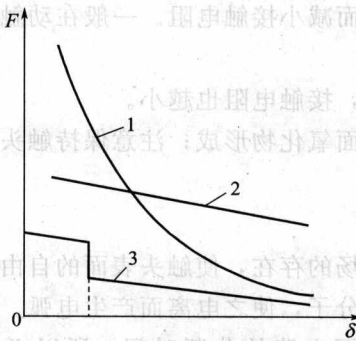


图 1-3 电磁铁吸力特性

1—直流电磁铁吸力特性；2—交流电磁铁吸力特性；3—反力特性

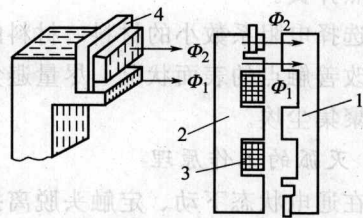


图 1-4 交流电磁铁的短路环

1—衔铁；2—铁芯；3—线圈；4—短路环

三、电接触及灭弧工作原理

(一) 电接触

触头也称为触点，是电磁式电器的执行部分，电器就是通过触头的动作来接通或断开被控制电路的，所以要求触头导电导热性能要好。电接触状态就是触头闭合并有工作电流通过时的状态。这时触头的接触电阻的大小将要影响其工作情况。接触电阻大时触头易发热，温度升高，从而使触头易产生熔焊现象，这样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。

1. 触头的接触形式

触头的接触形式有点接触、线接触和面接触三种，如图 1-5 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。

2. 触头的结构形式 触头主要有以下几种结构形式。

(1) 桥式触头 如图 1-6(a)、(b) 所示，为桥式常开（或动合）触头的结构。电磁式

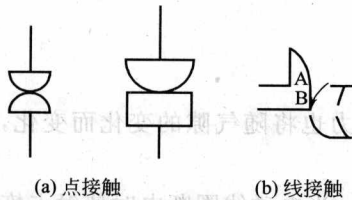


图 1-5 触头的接触形式

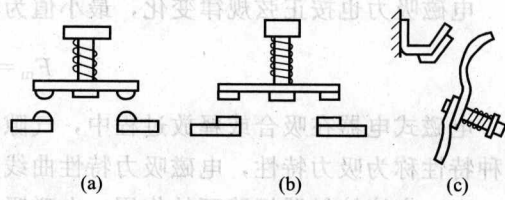


图 1-6 触头的结构形式

电器通常同时具有常开（动合）和常闭（动断）两种触头，桥式常闭（或动断）触头与常开（或动合）触头结构及动作对称，一般在常开（动合）闭合时，常闭（动断）断开。图中定触头的两个触点串于同一条电路中，当衔铁被吸向铁芯时，与衔铁固连在一起的动触头也随着移动，当与定触头接触时，便使同定触头相连的电路接通。电路的接通与断开由两个触点共同完成。触点的接触形式一般是点接触和面接触。

(2) 指形触头 如图 1-6(c) 所示，触头接通或分断时产生滚动摩擦，能去掉触头表面的氧化膜。触点的接触形式一般是线接触。

3. 减少接触电阻的方法

(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 材料的电阻系数越小，接触电阻也越小。

(3) 改善触点的表面状况 尽量避免或减小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。

(二) 灭弧的工作原理

触头在通电状态下动、定触头脱离接触时，由于电场的存在，使触头表面的自由电子大量溢出，在高热和强电场的作用下，电子运动撞击空气分子，使之电离而产生电弧。电弧的存在既烧损触头金属表面，降低电器的寿命，又延长了电路的分断时间，所以必须迅速消除。

1. 常用的灭弧原理

(1) 迅速拉大电弧长度而降低单位长度电弧的电压 迅速使触点间隙增加，电弧长度增长，电场强度降低，同时又使散热面积增大，降低电弧温度，使自由电子和空穴复合的运动加强，可以使电弧容易熄灭。

(2) 冷却 使电弧与冷却介质接触，带走电弧热量，也可使复合运动得以加强，从而使电弧熄灭。

2. 常用的灭弧装置

(1) 电动力吹弧 如图 1-7 所示。桥式触点在分断时具有电动力吹弧功能，当触点打开时，在断口中产生电弧，同时也产生如图所示的磁场，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，使其迅速离开触点而熄灭，这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

(2) 磁吹灭弧 在触点电路中串入吹弧线圈，如图 1-8 所示。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（为图中 \times 所示），触点间的电弧所产生的磁场，其方向为 \oplus 和 \odot 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

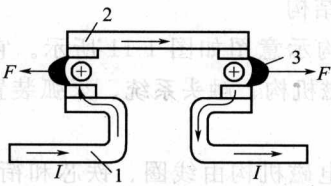


图 1-7 双断口结构的电动力吹弧效应

1—静触头；2—动触头；3—电弧

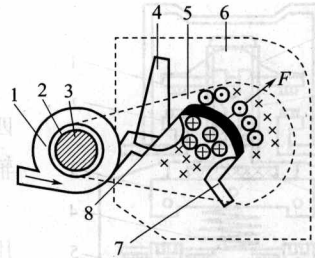


图 1-8 磁吹灭弧示意图

1—磁吹线圈；2—绝缘线圈；3—铁芯；
4—引弧角；5—导磁夹板；6—灭弧罩；
7—动触点；8—静触点

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。

(3) 栅片灭弧 灭弧栅是一组薄钢片，它们相互绝缘，如图 1-9 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。

(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 1-10 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。

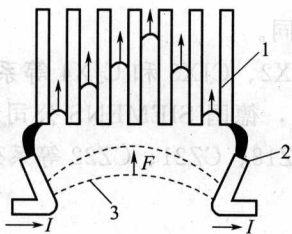


图 1-9 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片；2—触点；3—电弧

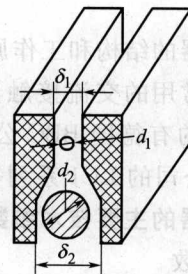


图 1-10 窄缝灭弧室的断面

第二节 电磁式接触器

电磁式接触器是用来接通与分断负荷电流的电磁式电器。主要用于控制电动机、电焊机、电容器组等设备，具有低压释放的保护功能，适用于频繁操作和远距离控制，是电力拖动自动控制系统中使用最广泛的电器元件之一。

接触器按其分断电流的种类可分为直流接触器和交流接触器；按其主触点的极数可分为单极、双极、三极、四极、五极几种，单极、双极多为直流接触器。

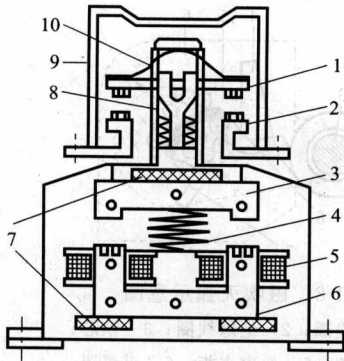


图 1-11 CJ20 系列交流接触器

- 1—动触头；2—静触头；3—衔铁；
- 4—弹簧；5—线圈；6—铁芯；
- 7—垫毡；8—触头弹簧；
- 9—灭弧罩；10—触头压力弹簧

一、接触器的结构及工作原理

1. 交流接触器的结构

交流接触器的结构示意图如图 1-11 所示。它主要由四大部分组成，即电磁机构、触头系统、灭弧装置和其他辅助部件。

(1) 电磁机构 电磁机构由线圈、铁芯和衔铁组成，用作产生电磁吸力，带动触头动作。

(2) 触头系统 触头分为主触头及辅助触头。主触头用于接通或断开主电路或大电流电路，辅助触头用于控制电路，起控制其他元件接通或分断及电气连锁作用；主触头一般容量较大，辅助触头容量较小。辅助触头结构上通常是常开和常闭成对的，当线圈通电后，衔铁在电磁吸力的作用下吸向铁芯，同时带动动触头移动，使其与常闭触点的定触头分开，与常开触点的定触头接触，实现常闭触头断开，常开触头闭合。辅助触头一般不能用来分断主电路。

(3) 灭弧装置 容量较大的接触器都有灭弧装置，对于小容量的接触器，常采用电动力吹弧、灭弧罩等，对于大容量的接触器，采用窄缝灭弧罩及栅片灭弧。

(4) 其他辅助部件 包括反力弹簧、缓冲弹簧、触头压力弹簧、传动机构、支架及底座等。

2. 交流接触器的工作原理

当线圈通电后，线圈电流产生磁场，使铁芯产生电磁吸力将衔铁吸合。与衔铁固连在一起的动触头动作，使常开触头闭合，常闭触头断开，进而完成电路的分断。当线圈断电或电压较低时，电磁吸力消失或减弱，衔铁在反力弹簧的作用下释放，触头复位，实现低压释放的保护功能。

直流接触器的结构和工作原理基本上与交流接触器相同。

目前我国常用的交流接触器主要有 CJ20、CJX1、CJX2、CJX3 和 CJX4 等系列；引进产品应用较多的有德国 BBC 公司制造技术生产的 B 系列，德国 SIEMENS 公司的 3TB 系列，法国 TE 公司的 LC1 系列等。常用的直流接触器有 CZ18、CZ21、CZ22 等系列。

二、接触器的主要技术参数及型号含义

1. 技术参数

(1) 额定电压 接触器铭牌上标注的额定电压是指主触点的额定电压。常用的额定电压等级如表 1-1 所示。

(2) 额定电流 接触器铭牌上标注的额定电流是指主触点的额定电流。常用的额定电流等级如表 1-1 所示。表中的电流值是接触器安装在敞开式控制屏上，触点工作不超过额定温升，负荷为间断-长期工作制时的电流值。

表 1-1 接触器额定电压和额定电流的等级表

技术参数	直流接触器	交流接触器
额定电压/V	110,220,440,660	127,220,380,500,660
额定电流/A	5,10,20,40,60,100,150,250,400,600	5,10,20,40,60,100,150,250,400,600

(3) 线圈的额定电压 常用的线圈额定电压等级如表 1-2 所示。选用时一般交流负载用交流接触器，直流负载用直流接触器，但交流负载在频繁动作时可采用直流线圈的交流接触器。

表 1-2 接触器线圈的额定电压等级表

直流线圈/额定电压/V	交流线圈/额定电压/V
24,48,110,220,440	36,110,127,220,380

(4) 额定操作频率 指每小时的操作次数。交流接触器和直流接触器最高为 1200 次/h。操作频率直接影响到接触器的电寿命和灭弧罩的工作条件，对于交流接触器还影响到线圈的温升。

(5) 接通和分断能力 指主触点在规定条件下能可靠地接通和分断的电流值。在此电流值下，接通时主触点不应发生熔焊；分断时主触点不应发生长时间燃弧。电路中超出此值电流的分断任务则由熔断器、自动开关等保护电器承担。

接触器还有个使用类别的问题。这是由于接触器用于不同负载时，对主触点的接通和分断能力的要求不一样。而不同类别时接触器是根据其不同控制对象（负载）的控制方式所规定的。根据低压电器基本标准的规定，接触器的使用类别比较多。其中，在电力拖动控制系统中，接触器常见的使用类别及其典型用途如表 1-3 所示。

表 1-3 接触器使用类别及典型用途

电流种类	使用类别	典型用途
AC 交流	AC-1	无感或微感负载、电阻炉
	AC-2	绕线式电动机的启动和分断
	AC-3	鼠笼型异步电动机的启动、运转中分断
	AC-4	鼠笼型异步电动机的启动、反接制动、反向和点动
DC 直流	DC-1	无感或微感负载、电阻炉
	DC-3	并励电动机的启动、反接制动、点动
	DC-5	串励电动机的启动、反接制动、点动

接触器的使用类别代号通常标注在产品的铭牌或工作手册中。表 1-3 中要求接触器主触点达到的接通和分断能力为：AC-1 和 DC-1 类允许接通和分断额定电流；AC-2、DC-3 和 DC-5 类允许接通和分断 4 倍的额定电流；AC-3 类允许接通 6 倍的额定电流和分断额定电流；AC-4 类允许接通和分断 6 倍的额定电流。表 1-4 列出了 CJ20 系列交流接触器主要技术数据。

表 1-4 CJ20 系列交流接触器主要技术数据

型 号	主触头		额定绝缘电压/V	辅助触头对数	额定工作电压/V	线圈电压/V	额定操作频率/(次/h)	可控制电器的最大功率/kW	
	对数	额定电流/A						220V	380V
CJ20-10	3	10	660	2 常开 2 常闭	220、380、660	AC:36、127、220、380 DC:48、110、220、	1200/600	2.2	4
CJ20-16	3	16						4.5	7.5
CJ20-25	3	25						5.5	11
CJ20-40	3	40						11	22
CJ20-63	3	63		2 常开 2 常闭或 4 常开 2 常闭				18	30
CJ20-100	3	100						28	50
CJ20-160	3	160						48	85
CJ20-250	3	250						4 常开 2 常闭或 3 常开 3 常闭	600/300	80	132