

21 世纪普通高等教育电气信息类规划教材

电气控制与 PLC应用技术

(三菱FX系列)

张万忠 刘明芹 主编

DIANQI KONGZHI
YU PLC
YINGYONG
JISHU

化学工业出版社

21 世纪普通高等教育电气信息类规划教材

电气控制与 PLC 应用技术

(三菱 FX 系列)

张万忠 刘明芹 主编



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。全书共四篇十四章,第一~三篇为第一篇,介绍常用低压电器及继电器接触器构成的基本应用电路。第四章独立成篇,介绍了三菱 FR-A700 变频器及其应用方法。第五~十二章为第三篇,介绍了三菱 FX 系列 PLC 基本指令、应用指令、高速计数、高速输出、中断、通信、模拟量处理及 PID 处理等指令及应用。第四篇含第十三章及第十四章,介绍电气控制系统工程设计及应用实例。本书以机电设备的工业电气控制为中心,应用实例具体而丰富,知识脉络清晰,教学知识点分布合理,工程氛围浓厚,能很好地满足素质教育的需要。

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教材。也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 应用技术 (三菱 FX 系列) / 张万忠, 刘明
芹主编. —北京: 化学工业出版社, 2012. 6

21 世纪普通高等教育电气信息类规划教材

ISBN 978-7-122-14297-9

I. 电… II. ①张… ②刘… III. ①电气控制-高
等学校-教材②PLC 技术-高等学校-教材 IV. TM571

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 099496 号

责任编辑: 郝英华

文字编辑: 吴开亮

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 史利平

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 装: 北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19 1/4 字数 528 千字 2012 年 9 月北京第 1 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: 39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着科学技术的发展，电气控制与 PLC 应用技术在各个领域得到了越来越广泛的应用。培养电器及 PLC 应用技能的课程也在电类相关专业的高等教育中占有越来越重要的地位。

当前工业控制装备的重要特点是广泛应用以计算机为核心的电力电子设备。在工业控制系统中，可编程控制器是计算机的代表。变频器及伺服驱动器是电力电子技术的代表。但是，传统电器也是不可缺少的。因而，当今的工业控制人才必须是通晓传统电器、计算机技术及工业电力电子设备的全面人才。而且，割裂地学习传统电器、PLC 技术及变频器的应用是不合适的。“电器与 PLC”课程的教学应将传统电器、PLC 技术及变频器的应用糅合在一门课程中，通过综合教学使学生掌握当代工业控制系统的成型技术。

本书正是以这样一种宗旨编写的，涵盖了传统电器、继电器应用，变频器应用及 PLC 应用技术。更重要的是专章介绍了脉冲计数定位技术，模拟量控制及通信技术，使课程的培训重点更加明确，更加实用，更加贴近现代工业控制现场。也使学生学以致用，学有所成，成为学生实实在在的就业能力。

本书以我国工业现场占及率较高的三菱公司设备为载体，提供了十分丰富的产品数据。本书围绕工业控制系统设计的要素介绍工业控制设备的应用，旨在使学生在较短的学习时间内掌握工业控制系统设计的关键技术。本书图文并茂，知识点结构合理，内容安排符合青年科技预备人才的学习过程，也有利于教学组织。

本书分为四篇十四章，第一～三篇为第一篇，介绍常用低压电器及继电器接触器构成的基本应用电路。第四章独立成篇，介绍三菱 FR-A700 系列变频器及其应用方法。第五～十二章为第三篇，介绍三菱 FX 系列 PLC 基本指令、应用指令、高速计数、高速输出、中断、通信、模拟量处理及 PID 处理等指令及应用。第四篇含第十三章及第十四章，介绍电气控制系统工程设计及应用实例。本书第一～三篇及第十四章由刘明芹负责编写，第七～十三章由张万忠负责编写，钱入庭编写了第四～六章。全书由张万忠统稿。参加本书稿编写工作的还有：王民权、武红军、胡全斌、孙远强、吴志宏等。

本书在编写过程中得到了上海三菱办事处的支持，提供了部分资料。在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免。敬请读者批评指正。

编者

2012 年 6 月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 电器及继电器接触器控制技术

第一章 电磁式低压电器	3
第一节 低压电器的结构及分类	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	14
第二章 其他常用低压电器	15
第一节 刀开关及低压断路器	15
第二节 主令电器	18
第三节 熔断器	21
第四节 热继电器	24
第五节 控制用继电器	26
习题及思考题	30
第三章 基于继电器接触器的电力拖动控制电路	31
第一节 电气控制图纸、图形及文字符号	31
第二节 继电器接触器控制系统及其单元电路	34
第三节 三相异步电动机控制电路	37
第四节 直流电动机控制电路	44
第五节 电气原理图的读图分析方法	46
习题及思考题	56

第二篇 通用变频器及其应用技术

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 三菱 FR-A740 系列通用变频器简介	61
第三节 通用变频器的基本操控方式及应用举例	71
第四节 通用变频器使用的几个工程问题	76
习题及思考题	79

第三篇 三菱 FX 系列 PLC 及其应用技术

第五章 可编程控制器及其工作原理	80
第一节 可编程控制器概述	80

第二节	PLC 的硬件及软件	82
第三节	PLC 的编程元件及编程语言	84
第四节	PLC 的工业应用模式及工作原理	88
第五节	PLC 的主要性能指标	92
习题及思考题		93
第六章	三菱 FX 系列可编程控制器资源及配置	94
第一节	FX 系列 PLC 规格及性能	94
第二节	FX 系列 PLC 机箱配置及接线	98
第三节	FX 系列 PLC 编程元件及地址	102
第四节	FX 系列 PLC 的指令系统	109
第五节	FX 系列 PLC 的编程环境	109
习题及思考题		115
第七章	FX 系列 PLC 基本指令及逻辑控制应用技术	116
第一节	FX 系列 PLC 基本指令	116
第二节	基于 PLC 的电力拖动控制技术	122
第三节	梯形图程序的经验设计法	125
习题及思考题		130
第八章	FX 系列 PLC 步进指令及状态编程法	132
第一节	顺序控制编程的初步认识	132
第二节	顺序功能图的基本类型及编程	134
第三节	FX 系列 PLC 步进指令及编程应用	138
第四节	步进指令在分支汇合状态转移图中的编程	141
习题及思考题		149
第九章	FX 系列 PLC 应用指令及应用	151
第一节	应用指令的分类及使用要素	151
第二节	程序控制指令及编程	153
第三节	数据比较、传送、移位指令及编程	159
第四节	数据运算与表格操作指令及编程	168
第五节	PLC 控制与时钟处理指令	175
第六节	简化编程指令	178
习题及思考题		181
第十章	FX 系列 PLC 脉冲处理指令及运动控制技术	183
第一节	脉冲量与运动控制	183
第二节	FX 系列 PLC 的高速计数器	185
第三节	FX 系列 PLC 高速计数指令及应用	187
第四节	高速脉冲输出及脉冲输出指令	190
习题及思考题		196
第十一章	FX 系列 PLC 模拟量处理及 PID 指令	197
第一节	FX 系列 PLC 特殊功能模块的读写指令	198
第二节	模拟量输入模块 FX _{2N} -4AD	199
第三节	模拟量输出模块 FX _{2N} -4DA	204
第四节	模拟量的闭环调节及 PID 指令应用	208
习题及思考题		214

第十二章 FX 系列可编程控制器通信技术 216

第一节 FX 系列 PLC 通信基础 216

第二节 并行链接与 N：N 通信 222

第三节 计算机链接与无协议通信 228

第四节 变频器通信指令及应用 237

习题及思考题 239

第四篇 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 240

第一节 工业电气控制系统规划设计的基本原则 240

第二节 继电器接触器控制系统设计的步骤与内容 240

第三节 PLC 控制系统设计的步骤与内容 247

习题及思考题 258

第十四章 电器及 PLC 控制系统应用实例 260

第一节 继电器接触器控制系统在机床控制中的应用 260

第二节 FX 系列 PLC 在生产装备电气控制中的应用 268

附 录

附录 A 常用电器的图形符号 283

附录 B FX 系列 PLC 产品规格表 284

附录 C FX 系列 PLC 特殊辅助继电器/数据寄存器表 293

附录 D FX 系列 PLC 应用指令总表 301

参考文献

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，说明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动机拖动，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动机拖动的多电动机拖动方式，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器控制系统。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、价格低廉等优点结合起来,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动机一统天下的局面,让交流电动机成为调速系统的主角。而结构简单、维修简便的交流电动机在调速控制中的广泛应用对于运动控制系统降低造价、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控制技术

第一章 电磁式低压电器

内容提要：供电及电气控制系统都离不开低压电器。电磁式电器无论在结构上、操动方式上都是低压电器的代表性器件。本章从电磁式低压电器的结构、工作形式中引出电气控制的根本分析模式——某一“线圈”的得电或失电，引出电路中哪些接线状态发生变化。

低压电器指工作在交流 1200V、直流 1500V 额定电压以下的电路中，用于电器、电路或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节的电器。低压电器在工业控制系统中占有重要的地位。

第一节 低压电器的结构及分类

一、低压电器的分类

低压电器种类很多，功能、规格、工作原理及技术要求各不相同。对于低压电器的使用者来说，了解低压电器的用途是重要的。按用途，低压电器可分为以下几类。

1. 低压配电电器

用于供电系统电能输送和分配的电器。这类电器的主要技术要求是分合能力强，限流效果好，动稳定及热稳定性性能好。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。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，电气和机械寿命长。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。这类电器的主要技术要求是操作频率高，电气和机械寿命长，抗冲击。这类电器包括按钮、主令开关、行程开关和万能转换开关等。

4. 低压保护电器

用于电路和用电设备保护的电器。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、电流继电器等。

5. 低压执行电器

用于完成某种动作和传动功能的电器。电动机是用得最多的执行电器。常用的还有电磁铁、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、工矿用特种电器、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等。按动作原理分为电磁式电器、非电量控

制电器等。

二、低压电器的结构

低压电器一般由工作机构、操动机构及灭弧机构三大部分组成。

(一) 工作机构

低压电器的根本用途是接通及分断电路，触头也称为触点，是接通及分断电路的根本器件，即低压电器的工作机构。对触头的工作要求是导电、导热性能好。

触头闭合有工作电流通过时，触头的接触电阻大小影响触头的工作情况，接触电阻大时触头易发热，温度升高，从而使触头产生熔焊现象，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

触头有点接触、线接触和面接触三种接触形式，如图 1-1 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，电流较大的场合。面接触适用于大电流的场合。

2. 触头的结构形式

触头由静触头和动触头两部分组成。触头动作时动触头动作而静触头不动。依触头动作前的自然状态可分为常开触头（动合）及常闭触头（动断）。常开触头指动作前处于断开状态的触头，常闭触头指动作前处于接通状态的触头。触头依结构及接触形式分为桥式触头及指形触头等基本种类。

(1) 桥式触头 如图 1-2 所示，为桥式触头结构。桥式触头常同时安装结构及动作对称的常开和常闭触点。图 1-2 中，常开触点闭合时，常闭触点断开。

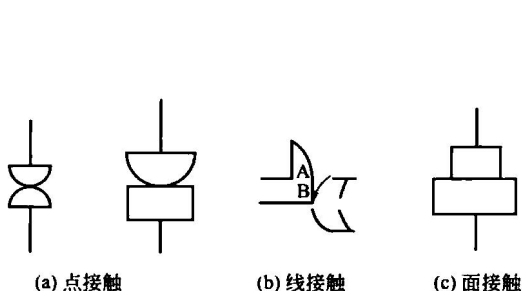


图 1-1 触头的接触形式

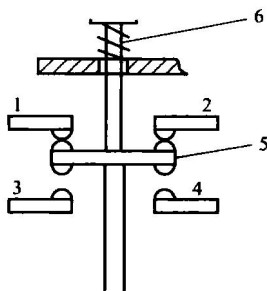


图 1-2 桥式触头的结构

1, 2—常闭触点；3, 4—常开触点；
5—桥式触点；6—复位弹簧

(2) 指形触头 如图 1-3 所示，指形触头以动触头形似手指而得名。指形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

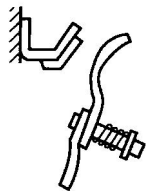


图 1-3 指形触头的结构

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) 操动机构

操动机构为使触头动作的机构。手动电器的操动机构为操作手柄。如刀

开关的手柄,按钮的按钮帽,即为操动机构。自动电器的操动机构指检测动作信号及产生动作动力的机构。现实中应用最多的操动机构为电磁机构。

1. 电磁机构的组成

电磁机构由线圈、铁芯和衔铁组成,根据衔铁相对铁芯的运动方式可分为直动式和拍合式两种。图 1-4 及图 1-5 分别为直动式电磁机构及拍合式电磁机构。两图中 1 为动铁芯也即为衔铁,2 为静铁芯,3 为线圈。电磁机构在线圈通入电流,产生磁场并吸引衔铁向静铁芯运动时,带动动触头向静触头运动,从而完成接通或分断电路的功能。触头动作的规律是常开触头接通电路而常闭触头断开电路。

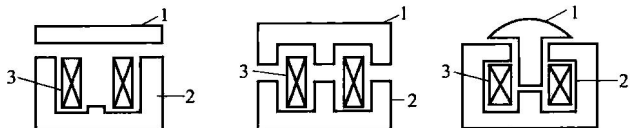


图 1-4 直动式电磁机构

1—衔铁; 2—铁芯; 3—吸引线圈

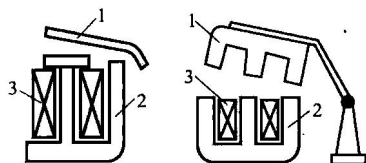


图 1-5 拍合式电磁机构

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,可分为串联接入线圈和并联接入线圈。串联线圈主要用于电流检测类电磁式电器中,并联线圈主要用于电压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。为减少接入线圈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动作,从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重要参数,电磁吸力可按下式计算,即

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

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。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。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

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

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 1-6 所示。图中显示,直流电磁吸力随气隙的变化较剧烈。而交流电磁吸力随气隙的变化较平缓。

(2) 交流接触器短路环的作用 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。因而, 交流电源电压变化一个周期, 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 1-7 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, 由两相磁通合成的电磁吸力变化较为平坦, 使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。

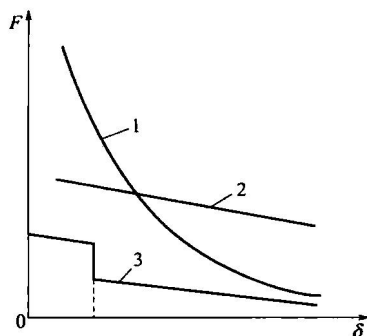


图 1-6 电磁吸力特性曲线

1—直流电磁吸力特性；2—交流电磁吸力特性；3—反力特性

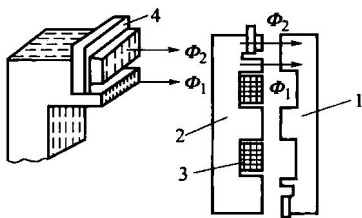


图 1-7 交流电磁铁的短路环

1—衔铁；2—铁芯；3—线圈；4—短路环

（三）灭弧机构

通电状态下动、静触头脱离接触时, 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, 产生电弧。电弧烧损触头金属表面, 降低电器的寿命, 又延长了电路的分断时间, 所以分断电流较大的电器都配有灭弧机构。

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 1-8 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, 同时也产生如图中所示的磁场, 根据左手定则, 电弧电流要受到指向外侧的力 F 的作用, 使其迅速离开触头而熄灭, 这种灭弧方法多用于小容量交流电器中。

（2）磁吹灭弧 在触头电路中串入吹弧线圈, 如图 1-9 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 所指的方向, 在 F 的作用下, 电弧被吹离触头区, 经引弧角引进灭弧罩, 使电弧熄灭。

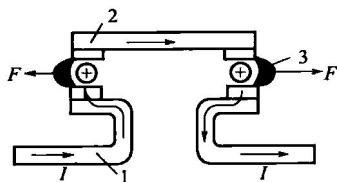


图 1-8 双断口结构触头的

电动力吹弧效应

1—静触头；2—动触头；3—电弧

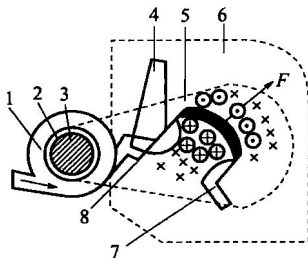


图 1-9 磁吹灭弧示意图

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

(3) 栅片灭弧 灭弧栅是一组薄钢片，它们彼此间相互绝缘，如图 1-10 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，这就使每段短弧上的电压达不到燃弧电压，电弧迅速熄灭。此外，栅片还能吸收电弧热量，加速电弧的冷却。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 1-11 所示，当触头断开时，电弧在电动力的作用下进入缝内，窄缝的分割降压、压缩及冷却去游离作用，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。

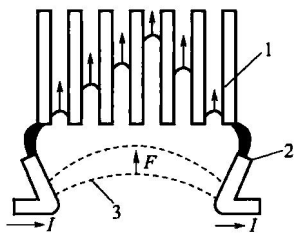


图 1-10 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片；2—触点；3—电弧

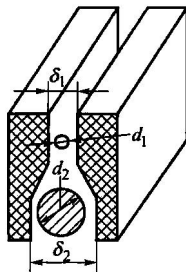


图 1-11 窄缝灭弧室的断面

第二节 电磁式接触器

接触器是用来远距离频繁接通与分断交、直流主电路及大容量控制电路的电磁式电器，主要用于控制电动机、电焊机、电容器组等设备，具有供电电压降低时自动释放的保护功能，是电力拖动控制系统中使用最广泛的负荷开关之一。

按控制电流种类不同，接触器分为直流接触器和交流接触器。按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。

一、接触器的结构及工作原理

以下以交流接触器为例说明接触器的结构及工作原理。

1. 交流接触器的结构

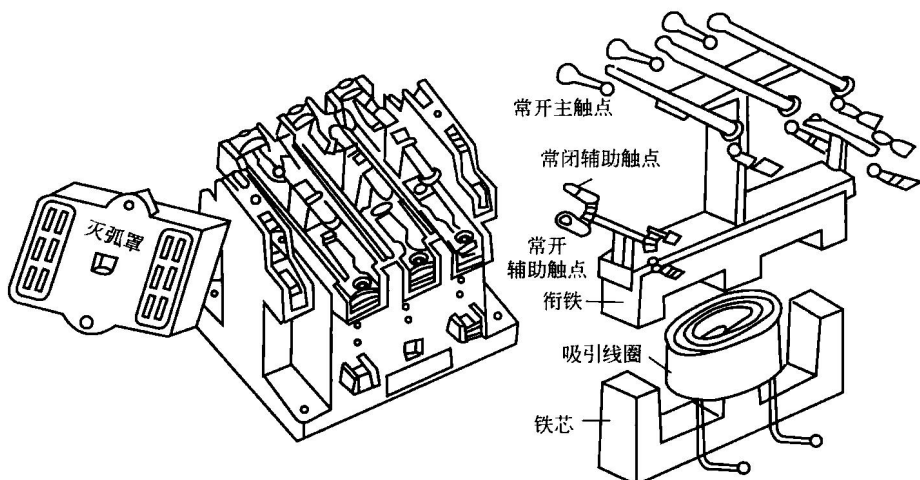


图 1-12 交流接触器结构示意图

交流接触器的结构示意图如图 1-12 所示。它主要由电磁机构、触点系统、灭弧装置和其他辅助部件组成。

其中，触点分为主触点及辅助触点。主触点用于接通或断开主电路或大电流电路。辅助触点用于控制电路，起电气联锁作用。主触点一般容量较大，多为常开触点。辅助触点容量较小，通常是常开和常闭成对的，当线圈得电后，衔铁在电磁吸力的作用下吸向铁芯，同时带动全部动触点移动，实现全部触点状态的切换。

接触器的其他辅助部件包括复位弹簧、缓冲弹簧、触头压力弹簧、传动机构、支架及底座等。

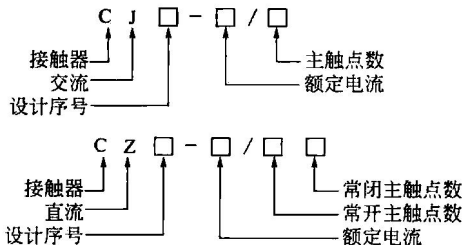
2. 交流接触器的工作原理

当线圈通电电压大于线圈额定电压的 85% 时，线圈磁场力克服复位弹簧拉力，使衔铁带动触点动作，使常闭触点先断开，常开触点后闭合。当线圈断电或电压降到较低值时，电磁吸力消失或减弱，衔铁在复位弹簧的作用下释放，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。

接触器型号的表达及含义如下：



二、接触器的主要技术参数

电器的主要技术参数指电器的额定值。额定值是电器长期正常工作的使用值。额定值标示在电器的铭牌上。接触器的额定值有以下几项。

(1) 额定电压 接触器铭牌上标注的额定电压是指主触点的工作电压。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也如表 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) 线圈额定电压 指接触器电磁系统线圈的额定电压。常用的电压等级如表 1-2 所示。一般交流线圈用于交流接触器，直流线圈用于直流接触器，但交流负载在频繁动作时可采用直流线圈的交流接触器。线圈的额定电压可与触点的额定电压相同或不同。

表 1-2 接触器线圈的额定电压等级表 单位：V

直流线圈	交流线圈
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（此值远大于额定值）。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。

接通及分断能力与使用类别有关。因而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。接触器在电力拖动控制系统使用时，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	笼型异步电动机的启动、运转中分断
	AC-4	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 CJ20 系列交流接触器主要技术数据。

接触器图形符号和文字符号 如图 1-13 所示。

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		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

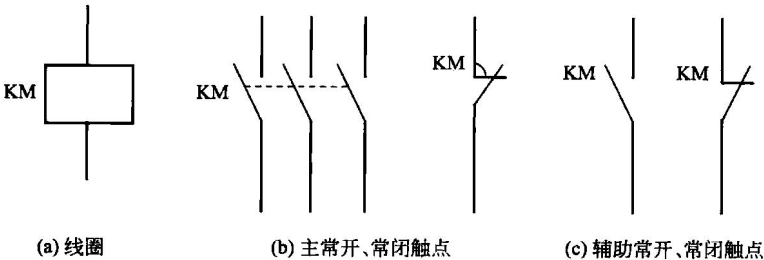


图 1-13 接触器的图形及文字符号

三、接触器的选用

一般根据接触器所控制的负载性质来选择接触器的类型。生产中广泛使用中小容量的笼型电动机，而且是一般负载，它相当于 AC-3 使用类别。控制机床电动机的接触器，负载比较复杂，有用 AC-3、AC-4，也有用 AC-1 和 AC-4 混合的。根据电动机（或其他负载）的功率和操作情况来确定接触器主触点的电流等级时，如接触器的使用类别与所控制负载的工作任务相对应，一般应使主触点的电流等级与所控制负载的电流等级相当，或稍大一些。即额定电流应大于或等于被控回路的额定电流。吸引线圈的额定电压应与所接控制电路的电压一致。触点数量和种类应满足主电路和控制线路的要求。

接触器接入电路使用时，主触点接入主电路，辅助触点及线圈接入控制电路。

第三节 电磁式继电器

一、电磁式继电器的结构和特性

继电器指控制电路中根据某种输入信号的变化接通或断开电路，实现控制或保护目的的电器。与接触器的输入信号单纯为电压不同，继电器的输入信号种类很多，可以是电量，也可以是时间、压力、速度等非电量。其中采用电压及电流量，利用电磁力形成动作的继电器为电磁