新世纪电气及自动化类规划系列教材

可编程控制器及其应用

主　编　马小军

副主编　束长宝　王阿根

参　编　苏　磊　高　峰　王鑫国

主　审　林锦国

东南大学出版社

新世纪电气及自动化类规划系列教材
编　委　会

主　　任　三江学院　　周泽存

副 主 任　苏州大学　　张茂青

江苏大学　　赵德安

扬州大学　　陈　虹

南京工业大学　马小军

常州工学院　　张立臣

盐城工学院　　陈　荣

徐州师范大学　张彩荣

泰州科技学院　陆汉栋

成贤学院　　计有为

三江学院　　王　尧

执行编委　施　恩　朱　珉

编　　委（按姓氏笔画排列）

马小军　王　尧　王其生　计有为　许必熙

孙宇新　孙宪君　束长宝　杜逸鸣　杨建宁

杨　栋　张立臣　张茂青　张俊芳　张家海

张彩荣　张植保　陆汉栋　陈劲操　陈　荣

陈　虹　罗慧芳　周泽存　周淑阁　赵德安

胡国文　都洪基　钱显毅　郭建江　谢秉正

内 容 提 要

本书内容涉及电器、控制、计算机、通信等领域，并紧密联系实践，面向工程，内容综合、实用。

全书共分 7 章，主要内容有常用电气控制基础，可编程控制器基础，三菱 FX_{2n} 系列、西门子 S7-200 可编程控制器，可编程控制器控制系统设计，可编程控制器通信与网络，可编程控制器的应用。为配合教学，每章附有习题与思考题。

本书可作为本科院校“电气工程及其自动化”、“自动化”、测控技术及电子信息类专业的教材，也可作为工程技术人员、技师培训的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

可编程控制器及其应用/马小军主编. —南京：东南大学出版社，2007.4
（新世纪电气及自动化类规划系列教材）
ISBN 978-7-5641-0698-0

Ⅰ.可… Ⅱ.马… Ⅲ.可编程控制器—高等学校—教材 Ⅳ.TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 033372 号

可编程控制器及其应用

出版发行	东南大学出版社
出 版 人	江 汉
社 址	南京市四牌楼 2 号
邮 编	210096
电 话	025-83792954 025-83793865(传真)
电 邮	zhu_min_seu@163.com
经 销	江苏省新华书店
印 刷	扬中市印刷有限公司
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	19.25
字 数	480 千字
版 次	2007 年 4 月第 1 版
印 次	2007 年 4 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5641-0698-0/TP·109
印 数	1—4000 册
定 价	30.00 元

（凡因印装质量问题，请与我社读者服务部联系。电话：025-83793865）

前　言

本书是新世纪电气及自动化规划系列教材之一，由新世纪电气及自动化类系列教材编审委员会组织编写。

可编程控制器是一门成熟的技术，但还在不断地完善和发展。本书编写的指导思想是，将传统的电气控制技术与现代电气控制应用相结合，把介绍典型可编程控制器与其应用实例相结合，使学生在理论与实践结合、动手能力方面得到训练，以适应社会发展的需要。

本书内容涉及电器、控制、计算机、通信等领域，并紧密联系实践，面向工程，内容综合、实用。在编写过程中，编者查阅了大量公开或内部发行的工程技术专著和教材资料，吸取了许多有益知识，借用了其中一些内容和程序，在此向本书所列参考文献的作者致以衷心的感谢。

参加本书编写的作者均是多年从事电气控制技术、可编程控制器应用技术的教学、科研人员，他们是：南京工业大学马小军、王鑫国，扬州大学束长宝，盐城工学院王阿根，南京理工大学泰州科技学院苏磊，南京金陵科技学院高峰等六位老师。马小军任主编，束长宝、王阿根任副主编。本书由南京工业大学自动化学院林锦国教授主审。

本书在编写过程中得到南京工业大学、扬州大学、盐城工学院等相关院、系领导及同志们的大力支持。特别是林锦国教授，通审全文，并提出了宝贵的意见和建议。在此向他们表示真诚的感谢！

本书可作为电气工程与自动化类本科、高职高专的“可编程控制器”等课程使用。本书介绍的是目前应用较多的两种可编程控制器型号，各院校可根据自身实际情况，选讲其中一种型号的内容，另外型号可进行一般性介绍。实践环节应安排总学时数的四分之一。

由于编写时间仓促及编者学识水平有限，加之受教材篇幅限制，书中难免存在缺漏和不当之处，敬请各位专家和广大读者批评指正。

编　者

2006 年 9 月

目　　录

1　常用电气控制基础 …… (1)
1.1　常用低压电器 …… (1)
1.1.1　电器的分类 …… (1)
1.1.2　电器的作用 …… (2)
1.1.3　电磁式控制电器的工作原理 …… (2)
1.1.4　接触器 …… (6)
1.1.5　电磁式继电器 …… (7)
1.1.6　常用非电磁类继电器 …… (10)
1.1.7　刀开关与低压断路器 …… (13)
1.1.8　熔断器 …… (14)
1.1.9　主令电器 …… (17)
1.2　电气控制系统的基本控制环节和控制规律 …… (19)
1.2.1　电气控制系统的电路图及绘制原则 …… (19)
1.2.2　电气控制系统的基本环节 …… (21)
1.2.3　电气控制系统的基本控制规律 …… (22)
1.3　三相异步电动机的控制电路 …… (28)
1.3.1　三相异步电动机的启动控制电路 …… (28)
1.3.2　三相异步电动机的制动控制电路 …… (31)
1.4　三相异步电动机的调速电路 …… (35)
1.4.1　三相异步电动机的调速原理 …… (35)
1.4.2　双速电动机的控制电路 …… (36)
1.4.3　电动机的变频调速控制 …… (36)
1.5　电动机的保护 …… (39)
1.6　电气控制电路综合举例 …… (40)
习题与思考题 …… (42)
2　可编程控制器的基础知识 …… (44)
2.1　可编程控制器概述 …… (44)
2.1.1　可编程控制器的由来 …… (44)
2.1.2　可编程控制器的定义 …… (45)
2.2　可编程控制器的特点、分类和技术指标 …… (46)
2.2.1　可编程控制器的特点 …… (46)

2.2.2 可编程控制器的分类 …… (47)
2.2.3 可编程控制器的技术指标 …… (48)
2.3 可编程控制器的应用领域和发展趋势 …… (49)
2.3.1 可编程控制器的应用领域 …… (49)
2.3.2 可编程控制器的发展阶段及发展趋势 …… (50)
2.4 可编程控制器的基本组成及工作原理 …… (52)
2.4.1 可编程控制器的基本组成 …… (52)
2.4.2 可编程控制器的工作原理 …… (57)
2.5 可编程控制器的编程语言 …… (59)
2.6 可编程控制器与其他控制器的比较 …… (61)
习题与思考题 …… (62)
3 三菱 FX_{2N} 系列可编程控制器 …… (63)
3.1 FX_{2N} 系列可编程控制器的结构组成 …… (63)
3.1.1 FX_{2N} 系列可编程控制器基本单元的外形结构 …… (63)
3.1.2 FX_{2N} 系列可编程控制器的主要种类及型号 …… (64)
3.1.3 FX_{2N} 系列可编程控制器的软元件 …… (65)
3.1.4 输入、输出继电器(X、Y) …… (67)
3.1.5 辅助继电器(M) …… (67)
3.1.6 状态继电器(S) …… (69)
3.1.7 定时器(T) …… (70)
3.1.8 计数器(C) …… (74)
3.1.9 数据寄存器(D) …… (80)
3.1.10 指针(P、I) …… (82)
3.2 基本逻辑指令及编程方法 …… (83)
3.2.1 单接点指令 …… (84)
3.2.2 连接导线指令 …… (86)
3.2.3 回路分支导线指令 …… (88)
3.2.4 接点逻辑取反指令 …… (89)
3.2.5 逻辑线圈指令 …… (92)
3.2.6 空操作和结束指令 …… (96)
3.2.7 编程注意事项 …… (97)
3.3 步进顺控指令及编程方法 …… (99)
3.3.1 步进梯形图指令与状态转移图 …… (99)
3.3.2 SFC 图的跳转与分支 …… (101)
3.4 功能指令及编程方法 …… (106)
3.4.1 功能指令的图形符号和指令 …… (107)
3.4.2 功能指令的格式及说明 …… (107)
3.4.3 功能指令应用举例 …… (109)
3.5 FX_{2N} 系列可编程控制器的模拟量处理方法 …… (111)

3.5.1 概述 …… (111)
3.5.2 FX-4AD 的模拟量输入模块 …… (112)
3.5.3 FX-2DA 的模拟量输出模块 …… (117)
3.6 FX 系列编程软件的使用 …… (119)
3.6.1 概述 …… (119)
3.6.2 编程软件的基本操作 …… (120)
3.6.3 程序编辑操作 …… (122)
3.6.4 程序的传送 …… (124)
3.6.5 程序的监控 …… (125)
3.7 编程实例 …… (125)
习题与思考题 …… (130)
4 西门子 S7-200 可编程控制器 …… (133)
4.1 S7 系列可编程控制器概述 …… (133)
4.1.1 概述 …… (133)
4.1.2 S7-200 系列可编程控制器的系统组成 …… (133)
4.1.3 S7-200 的 CPU22X 系列可编程控制器的主要技术数据 …… (134)
4.2 S7-200 CPU 存储器的数据类型及寻址方式 …… (138)
4.3 S7-200 可编程控制器的指令系统 …… (144)
4.3.1 基本逻辑指令 …… (144)
4.3.2 定时器、计数器和比较指令 …… (147)
4.3.3 程序控制指令 …… (154)
4.3.4 算术指令 …… (156)
4.3.5 逻辑运算指令 …… (163)
4.3.6 传送指令 …… (165)
4.3.7 移位和循环指令 …… (167)
4.3.8 转换指令 …… (171)
4.3.9 编码和译码指令 …… (174)
4.3.10 特殊指令 …… (176)
4.4 S7-200 可编程控制器的程序设计 …… (176)
4.4.1 系统的运行方式 …… (177)
4.4.2 S7-200 可编程控制器的程序结构设计 …… (177)
4.5 编程实例 …… (179)
习题与思考题 …… (185)
5 可编程控制器控制系统设计 …… (186)
5.1 可编程控制器控制系统设计的内容和步骤 …… (186)
5.1.1 可编程控制器控制系统设计的基本原则 …… (186)
5.1.2 可编程控制器控制系统设计的基本内容 …… (186)
5.1.3 可编程控制器控制系统设计的基本步骤 …… (187)

5.2 可编程控制器控制系统的硬件设计 …… (189)
5.2.1 可编程控制器的选择 …… (189)
5.2.2 减少 I/O 点数的措施 …… (194)
5.3 可编程控制器控制系统的软件设计 …… (197)
5.3.1 经验设计法 …… (197)
5.3.2 逻辑设计法 …… (198)
5.3.3 移植设计法 …… (199)
5.3.4 顺序控制设计法 …… (200)
5.4 基本程序的编制 …… (207)
5.4.1 启动、保持和停止 …… (207)
5.4.2 多输出控制 …… (208)
5.4.3 多地点控制 …… (208)
5.4.4 优先控制 …… (208)
5.4.5 顺序启动控制 …… (209)
5.4.6 断开延时 …… (209)
5.4.7 定时范围扩展电路 …… (209)
5.4.8 自动与手动切换电路 …… (210)
5.4.9 闪烁控制 …… (211)
5.4.10 分频电路 …… (211)
5.5 可编程控制器控制系统的设计举例 …… (211)
习题与思考题 …… (214)
6 可编程控制器通信与网络 …… (215)
6.1 PLC 通信基础知识 …… (215)
6.2 可编程控制器与计算机通信 …… (221)
6.2.1 可编程控制器与计算机通信概述 …… (222)
6.2.2 可编程控制器与 PC 的通信实现 …… (223)
6.3 典型可编程控制器网络通信方法介绍 …… (229)
6.3.1 可编程控制器网络类型及通信协议 …… (229)
6.3.2 典型的 PLC 网络结构 …… (235)
6.4 典型可编程控制器网络系统应用分析 …… (239)
习题与思考题 …… (241)
7 可编程控制器的应用 …… (242)
7.1 可编程控制器与文本显示器的编程应用 …… (242)
7.1.1 可编程文本显示器 MD204L 的功能 …… (242)
7.1.2 AutoView 的使用 …… (244)
7.1.3 文本显示器与 PLC 的连接方法 …… (247)
7.2 可编程控制器与组态软件的集成应用 …… (248)
7.2.1 可编程控制器与 MCGS 通信的硬件连接 …… (249)

7.2.2　可编程控制器地址和可编程控制器通信参数的设置 …… (249)
7.2.3　MCGS 工程设计 …… (250)
7.2.4　MCGS 与可编程控制器的常见通信故障的排除 …… (256)
7.3　电镀自动生产线的可编程控制器控制 …… (256)
7.3.1　电镀自动生产线的基本情况 …… (256)
7.3.2　可编程控制器的 I/O 接线 …… (257)
7.3.3　电镀自动生产线主电路 …… (258)
7.3.4　可编程控制器的操作面板 …… (259)
7.3.5　电镀自动生产线可编程控制器的控制程序 …… (259)
7.4　可编程控制器与变频器的配合应用 …… (261)
7.4.1　可编程控制器控制电动机的正反转 …… (264)
7.4.2　变频与工频的切换控制 …… (265)
7.4.3　多挡转速控制 …… (267)
7.4.4　S7-200 和 MM440 联机实现三段固定频率控制 …… (269)
附录 A　常用电气图形和文字符号表 …… (273)
附录 B　FX_{2N}功能指令的格式与说明 …… (275)
附录 C　S7-200 系列基本型号端子连接图 …… (279)
附录 D　S7-200 编程软件的使用 …… (281)
参考文献 …… (298)

1 常用电气控制基础

1.1 常用低压电器

随着科技进步与经济发展，电能的应用日益普及。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。

1.1.1 电器的分类

电器是用于接通和断开电路或调节、控制和保护电路及电气设备的电工器具。由控制电器组成的自动控制系统，称为继电器-接触器控制系统，简称继电接触器控制系统。

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，构造各异。下面是几种常用的电器分类。

1）按工作电压的等级分

（1）高压电器　用于交流电压 1 200 V、直流电压 1 500 V 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 50 Hz（或 60 Hz），额定电压为 1 200 V 以下；直流额定电压 1 500 V 以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器。例如：接触器、继电器等。

2）按动作原理分

（1）手动电器　用手或依靠机械力进行操作的电器，如手动开关、控制按钮、行程开关等主令电器。

（2）自动电器　借助于电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的电器，如接触器、各种类型的继电器、电磁阀等。

3）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，如接触器、继电器、电动机启动器等。

（2）主令电器　用于自动控制系统中发送动作指令的电器，如按钮、行程开关、万能转换开关等。

（3）保护电器　用于保护电路及用电设备的电器，如熔断器、热继电器、各种保护继电器、避雷器等。

（4）执行电器　用于完成某种动作或传动功能的电器，如电磁铁、电磁离合器等。

（5）配电电器　用于电能的输送和分配的电器，如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动空气开关等。

4）按工作原理分

（1）电磁式电器　依据电磁感应原理来工作，如接触器、各种类型的电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器　依靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、温度继电器等。

1.1.2 电器的作用

低压电器是构成电气控制电路的最基本元件，它们性能的优劣、状态的好坏、维修是否及时将直接影响到控制电路的正常工作。低压电器能够依据操作信号或外界现场信号的要求，自动或手动地改变电路的状态、参数，实现对电路或被控对象的控制、保护、测量、指示、调节。它的工作过程是将一些非电信号或电量信号转变为非通即断的开关信号或随信号变化的模拟量信号，实现对被控对象的控制。低压电器的作用主要有以下几种。

(1) 控制作用　如电梯的上下移动、快慢速自动切换与自动停层等。

(2) 保护作用　能根据设备的特点，对设备、环境以及人身实行自动保护，如电机的过热保护、电网的短路保护、漏电保护等。

(3) 测量作用　利用仪表及与之相适应的电器，对设备、电网或其他非电参数进行测量，如电流、电压、功率、转速、温度、湿度等。

(4) 调节作用　低压电器可对一些电量和非电量进行调整，以满足用户的要求，如柴油机油门的调整、房间温湿度的调节、光照度的自动调节等。

(5) 指示作用　利用低压电器的控制、保护等功能，检测出设备运行状况与电气电路工作情况，如绝缘监测、保护掉牌指示等。

(6) 转换作用　在用电设备之间转换或对低压电器、控制电路分时投入运行，以实现功能切换，如励磁装置手动与自动的转换，供电的市电与自备电的切换等。

对低压配电电器要求是灭弧能力强、分断能力好、热稳定性能好、限流准确等。对低压控制电器，则要求其动作可靠、操作频率高、寿命长、并具有一定的负载能力。

1.1.3 电磁式控制电器的工作原理

电磁式电器在电气控制线路中使用量最大，类型也很多，各类电磁式电器在工作原理和构造上基本相同。就结构而言，大都由两个主要部分组成：感测部分——电磁机构；执行部分——触点系统。

1) 电磁机构

电磁机构是电磁式电器的感测部分，它的主要作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触点动作、接通或分断电路。电磁机构由吸引线圈、铁心、衔铁等几部分组成。

(1) 常用的磁路结构　常用的磁路结构如图 1-1 所示，可分为三种型式。

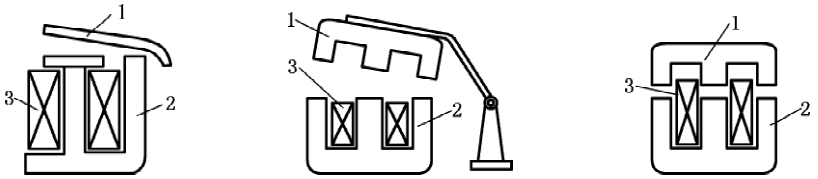


图 1-1　常用的磁路结构

1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

① 衔铁绕棱角转动的拍合式铁心，如图 1-1(a)所示。这种结构广泛应用于直流电器中。

② 衔铁绕轴转动的拍合式铁心，如图 1-1(b)所示。其铁心形状有 E 形和 U 形两种。此种结构多用于触点容量较大的交流电器中。

③ 衔铁直线运动的双 E 型直动式铁心，如图 1-1(c)所示。这种结构多用于交流接触器、继电器中。

电磁式电器分为直流电磁式电器与交流电磁式电器两大类，都是利用电磁铁的原理制成。通常直流电磁铁的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成，而交流电磁铁的铁心则是用硅钢片叠铆而成。

(2) 吸引线圈　吸引线圈的作用是将电能转换成磁场能量。按通入线圈的电流种类不同，可分为直流线圈和交流线圈。

对于直流电磁式电器，因其铁心不发热，只有线圈发热，所以直流电磁式电器的吸引线圈做成高而薄的瘦高型，且不设线圈骨架，使线圈与铁心直接接触，易于散热。

对于交流电磁式电器，由于其铁心存在磁滞和涡流损耗，这样线圈和铁心都发热，所以交流电磁式电器的吸引线圈设有骨架，使铁心与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖型，这样有利于铁心和线圈的散热。

2) 电磁系统的吸力特性与反力特性

电磁式电器是根据电磁铁的基本原理而设计，电磁吸力是影响其可靠工作的一个重要参数。对于如图 1-2 所示的电磁机构，电磁吸力 $F_X \propto B^2 S$(B 为气隙磁感应强度，$B = IN$)，可由下式表示：

$$F_X = \frac{\mu_0 S}{2\delta^2} I^2 N^2 \tag{1-1}$$

式中：I——线圈中通过的电流；

N——线圈匝数；

S——气隙截面积；

δ——气隙宽度；

F_X——电磁吸力；

μ_0——真空磁导率，$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m。

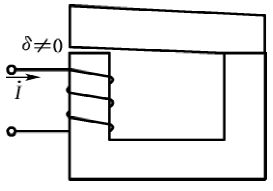


图 1-2　电磁机构

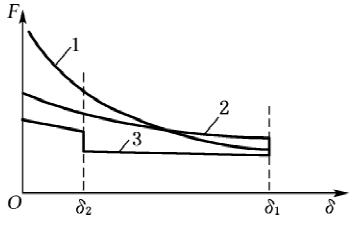


图 1-3　电磁机构的电磁吸力特性和反力特性

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

(1) 直流电磁机构的电磁吸力特性　从式(1-1)可以看出，对于固定线圈通以恒定的直流电流时，其电磁力仅与气隙的平方(δ^2)成反比，吸力特性为二次曲线。当外施电压为常数且线圈电阻不变时，吸合电流($I = U/R$)与气隙长度无关。吸力特性曲线如图 1-3 所示。

直流电磁机构在吸合时，气隙较小，吸力也就较大，因此对于依靠弹簧复位的电磁铁来

说，在线圈断电时，由于剩磁产生的吸力，使复位比较困难，会造成一些保护用继电器的性能不能满足要求，如在吸力较小的直流电压型电器中，如衔铁上一般都装有一片 0.1 mm 厚非磁性磷铜片，增加在吸合时的空气间隙。在吸力较大的直流电压型电器中，如直流接触器，铁心的端面上加有极靴，减小在闭合状态下的吸力，使衔铁复位自如。

（2）交流电磁机构的电磁吸力特性　与直流电磁机构相比，交流电磁机构的吸力特性有较大的不同。对于交流电磁机构多与电路并联使用，当外施电压 U 及频率 f 为常数时，忽略线圈电阻压降：

$$U \approx E = 4.44 f \Phi N \tag{1-2}$$

Φ 为常数（对于固定线圈，匝数 N 为常数），由式(1-1) 可知电磁吸力 $F_X \propto B^2 S$ 亦为常数。即交流电磁机构的吸力特性为一条与气隙长度无关的直线，实际上考虑衔铁吸合前后漏磁的变化时，F_X 随 δ 的减小而略有增加。对于并联电磁机构，由磁路欧姆定律 $NI \approx \Phi R_m$ 可知（R_m 为气隙磁阻，随 δ 的变化成正比变化），在线圈通电而衔铁尚未吸合瞬间，吸合电流随 δ 的变化成正比变化；并为衔铁吸合后的额定电流的很多倍，U 形电磁机构可达 5 ～ 6 倍，E 形电磁机构可达 10 ～ 15 倍。所以，在可靠性要求较高或要求频繁动作的控制系统中，一般采用直流电磁机构而不采用交流电磁机构。

由于交流电磁机构的磁通是交变的，会在磁心中感应出涡流，使铁心的磁通幅值减小，相位滞后，电能损耗及铁心发热。为解决这一问题，铁心采用矫顽力很小的硅钢片叠加在一起做成，硅钢片之间相互绝缘。因此，交流电磁机构的剩磁很小。一般不会产生衔铁被剩磁吸住而不能释放复位的现象。

电磁机构的复位是依靠弹簧的弹力实现的，因此在吸合过程中，电磁吸力必须克服弹簧的弹力 F_r，电磁吸力 F_X 与弹力 F_r 相比，应大一些，但不宜相差太大。对于交流电磁机构，由于电流是交变的，吸力也是脉动的，电流为零时，吸力也为零。所以在 50 Hz 的电源加在线圈上，吸力为 100 Hz 的脉动吸力，F_X 小于弹力 F_r 时，衔铁将在弹簧的作用下移动，而当吸力 F_X 大于弹力 F_r 时衔铁将克服弹簧力而吸合。如此周而复始，使衔铁产生振动，发出噪声，因此，必须采取有效措施，消除振动和噪声。

具体办法是在铁心端部开一个槽，槽内嵌入称为短路环（或称分磁环）的铜环，如图 1-4 所示。当励磁线圈通入交流电后，在短路环中就有感应电流产生，该感应电流又会产生一个磁通。短路环把铁心中的磁通分为两部分，即不穿过短路环的 Φ_1 和穿过短路环的 Φ_2，由于短路环的作用，使 Φ_1 与 Φ_2 产生相移，即不同时为零，使合成吸力始终大于反作用力，从而消除了振动和噪声，如图 1-5 所示。短路环通常包围 2/3 的铁心截面，它一般用铜、康铜或镍铬合金等材料制成。

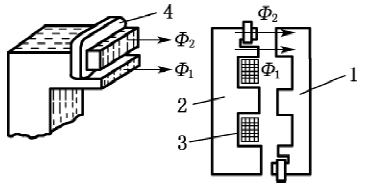


图 1-4　交流电磁铁的短路环

1—衔铁；2—铁心；3—线圈；4—短路环

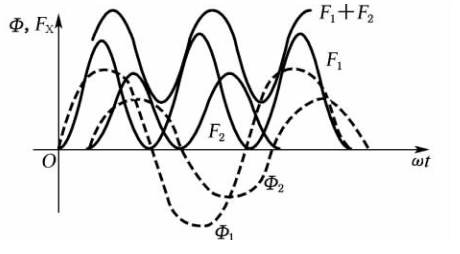


图 1-5　加短路环后的磁通与吸力

(3) 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 1-3 中所示曲线 3 即为反力特性曲线。

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 1-3 所示。在整个吸合过程中，吸力都必须大于反作用力，但不能过大或过小。吸力过大，动、静触点接触时以及衔铁与铁心接触时的冲击力也大，会使触点和衔铁发生弹跳导致触点的熔焊或烧毁，影响电器的机械寿命；吸力过小，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。在实际应用中，可调整反力弹簧或触点初压力以改变反力特性，使之与吸力特性有良好配合。

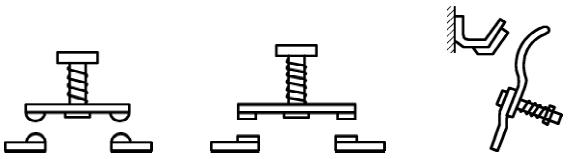
3) 电器的触点系统

触点是电器的执行部分，起接通和断开电路的作用。触点的结构型式很多，按其所控制的电路可分为主触点和辅助触点。主触点用于接通或断开主电路，允许通过较大的电流；辅助触点用于接通或断开控制电路，只能通过较小的电流。

触点按其原始状态可分为常开触点和常闭触点：原始状态时断开，线圈通电后闭合的触点叫常开触点；原始状态时闭合，线圈通电后断开的触点叫常闭触点。

触点按其结构形式可分为桥式触点和指形触点，如图 1-6 所示。

(1) 桥式触点　图 1-6(a)为两个点接触的桥式触点，图 1-6(b)是两个面接触的桥式触点，两个触点串于同一条电路中，电路的接通与断开由两个触点共同完成。点接触型式适用于电流不大、触点压力小的场合；面接触型式适用于大电流的场合。



(a) 桥式触点　(b) 桥式触点　(c) 指形触点

图 1-6　触点的结构型式

(2) 指形触点　图 1-6(c)为指形触点，其接触区为一直线，触点接通或断开时产生滚动摩擦，以利于去掉氧化膜。指形触点适用于接电次数多、电流大的场合。

为了使触点接触得更加紧密，以减小接触电阻，并消除开始接触时产生的振动，在触点上装有接触弹簧，在刚刚接触时产生初压力，并随着触点闭合增大触点互压力。

触点要求导电、导热性能良好，通常用铜制成。但铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜，将增大触点的接触电阻，使损耗电能增大，触点温度上升。所以，有些电器，如继电器和小容量的电器，其触点常采用银质材料，这不仅在于其导电和导热性能均优于铜质触点，更主要的是其氧化膜的电阻率与纯银相似(氧化铜则不然，其电阻率可达纯铜的十余倍以上)，而且要在较高的温度下才会形成，同时又容易粉化。因此，银质触点具有较低和稳定的接触电阻。对于大中容量的低压电器，在结构设计上，触点采用滚动接触；另外，可将氧化膜去掉，保证触点接触可靠。

4) 电弧的产生及灭弧方法

在大气中开断电路时，如果被开断电路的电流超过某一数值，开断后加在触点间隙(或称弧隙)两端电压超过某一数值时，触点间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触点间气体在强电场作用下产生的放电现象，产生高温并发出强光，将触点烧损，并使电路的切断时间延长，严重时会引起火灾或其他事故，因此，在电器中应采取适当措施熄灭电弧。常用的灭弧

方法有：电动力灭弧（如图 1-7）、磁吹式灭弧、栅片灭弧、灭弧罩灭弧（常用于交流接触器中）、窄缝灭弧等。

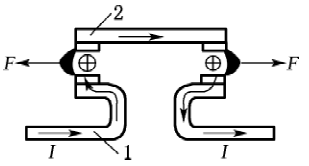


图 1-7　电动力灭弧示意图

1—静触点；2—动触点

1.1.4　接触器

接触器是一种用来自动接通或断开大电流电路的电器。它可以频繁地接通或断开交直流电路，并可实现远距离控制。其主要控制对象是电动机，也可用于电热设备、电焊机、电容器组等其他负载。它具有低电压释放保护功能，还具有控制容量大、过载能力强、寿命长、设备简单经济等特点，是电力拖动自动控制线路中使用最为广泛的电器元件之一。

按照所控制电路的种类，接触器可分为交流接触器和直流接触器两大类。由于交流接触器使用更广泛，因此本书重点介绍交流接触器。

1）交流接触器

（1）交流接触器的结构与工作原理

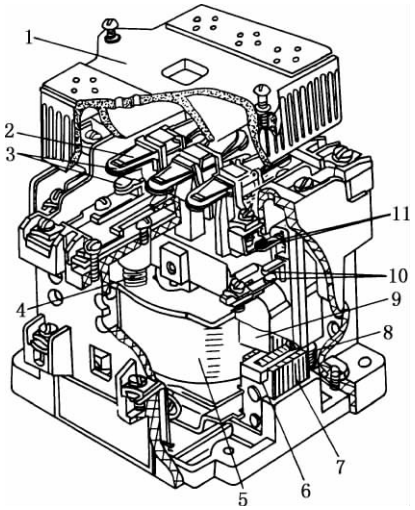


图 1-8　CJ10-20 型交流接触器

1—灭弧罩；2—触点压力弹簧片；3—主触点；4—反作用弹簧；5—线圈；6—短路环；7—静铁心；8—弹簧；9—动铁心；10—辅助常开触点；11—辅助常闭触点

图 1-8 为交流接触器的外形与结构示意图。交流接触器由以下四个部分组成。

① 电磁机构　电磁机构由线圈、动铁心（衔铁）和静铁心组成，其作用是将电磁能转换成机械能，产生电磁吸力带动触点动作。

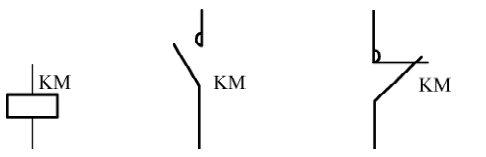
② 触点系统　包括主触点和辅助触点。主触点用于通断主电路，通常为三对常开触点。辅助触点用于控制电路，起电气联锁作用，故又称联锁触点，一般有常开、常闭触点各两对。

③ 灭弧装置　容量在 10 A 以上的接触器都有灭弧装置，对于小容量的接触器，常采用双断口触点灭弧、电动力灭弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧。对于大容量的接触器，采用纵缝灭弧罩灭弧及栅片灭弧。

④ 其他部件　包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构及外壳等。

电磁式接触器的工作原理如下：线圈通电后，在铁心中产生磁通及电磁吸力。此电磁吸力克服弹簧反力使得衔铁吸合，带动触点机构动作，常闭触点打开，常开触点闭合，互锁或接通线路。线圈失电或线圈两端电压显著降低时，电磁吸力小于弹簧反力，使得衔铁释放，触点机构复位，断开线路或解除互锁。

接触器的图形符号如图 1-9 所示，文字符号为 KM。



（a）线圈　（b）常开主触点　（c）常闭主触点

图 1-9　接触器的图形及文字符号

（2）交流接触器的基本参数

① 额定电压　指主触点额定工作电压，应等于负载的额定电压。一只接触器常规定几个

额定电压，同时列出相应的额定电流或控制功率。通常，最大工作电压即为额定电压。常用的额定电压值为 220 V、380 V、660 V 等。

② 额定电流　接触器触点在额定工作条件下的电流值。380 V 三相电动机控制电路中，额定工作电流可近似等于控制功率的两倍。常用额定电流等级为 5 A、10 A、20 A、40 A、60 A、100 A、150 A、250 A、400 A、600 A。

③ 通断能力　可分为最大接通电流和最大分断电流。最大接通电流是指触点闭合时不会造成触点熔焊时的最大电流值；最大分断电流是指触点断开时能可靠灭弧的最大电流。一般通断能力是额定电流的 5～10 倍。当然，这一数值与开断电路的电压等级有关，电压越高，通断能力越小。

④ 动作值　可分为吸合电压和释放电压。吸合电压是指接触器吸合前，缓慢增加吸合线圈两端的电压，接触器吸合时的最小电压。释放电压是指接触器吸合后，缓慢降低吸合线圈两端的电压，接触器释放时的最大电压。一般规定，吸合电压不低于线圈额定电压的 85%，释放电压不高于线圈额定电压的 70%。

⑤ 吸引线圈额定电压　接触器正常工作时，吸引线圈上所加的电压值。一般该电压数值以及线圈的匝数、线径等数据均标于线包上，而不是标于接触器外壳铭牌上，使用时应加以注意。

⑥ 操作频率　接触器在吸合瞬间，吸引线圈需消耗比额定电流大 5～7 倍的电流，如果操作频率过高，则会使线圈严重发热，直接影响接触器的正常使用。为此，规定了接触器的允许操作频率，一般为每小时允许操作次数的最大值。

⑦ 寿命　包括电气寿命和机械寿命。目前接触器的机械寿命已达一千万次以上，电气寿命约是机械寿命的 5%～20%。

我国生产的交流接触器常用的有 CJ10、CJ12、CJX1、CJ20 等系列及其派生系列产品，CJ0 系列及其改型产品已逐步被 CJ10、CJX 系列产品取代。上述系列产品一般具有三对常开主触点，常开、常闭辅助触点各两对。直流接触器常用的有 CZ0 系列，分单极和双极两大类。单极和双极均可制成常开或常闭触点型式。常开、常闭辅助触点各不超过两对。

2）交流接触器的选用

接触器的选用，应根据负荷的类型和工作参数合理选用。详见本书所列的有关参考文献。

1.1.5　电磁式继电器

继电器是根据某种输入信号的变化，接通或断开控制电路，实现自动控制和保护电力拖动装置的自动切换电器。

继电器的种类很多，按输入信号的性质分为：电压继电器、电流继电器、时间继电器、温度继电器、速度继电器、压力继电器等。按工作原理可分为：电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、热继电器和电子式继电器等。按输出形式可分为：有触点和无触点继电器两类。按用途可分为：控制用与保护用继电器等。

1）电磁式继电器的结构与工作原理

电磁式继电器是应用得最早、最多的一种型式。其结构及工作原理与接触器大体相同。由电磁系统、触点系统和释放弹簧等组成，电磁式继电器原理如图 1-10 所示。由于继电器用于控制电路，流过触点的电流比较小（一般在 5 A 以下），故不需要灭弧装置。电磁式继电器的图形及文字符号如图 1-11 所示。

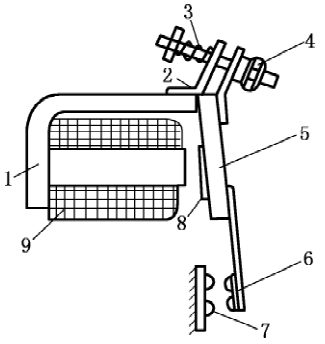


图 1-10 电磁式继电器原理图

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

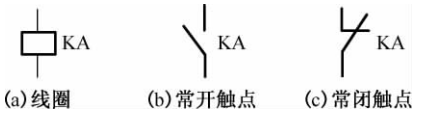


图 1-11 电磁式继电器图形及文字符号

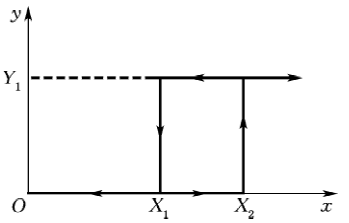


图 1-12 继电特性曲线

常用的电磁式继电器有电压继电器、电流继电器和时间继电器等。

2）电磁式继电器的特性

继电器的主要特性是输入-输出特性，又称继电特性，继电特性曲线如图 1-12 所示。当继电器输入量 X 由零增至 X_1 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。若继续增大 X，Y 保持 Y_1 不变。若 X 减小到 X_1，继电器释放，输出量由 Y_1 减小到零；若 X 继续减小，Y 值均为零。

图 1-12 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。

$K_f = X_1/X_2$ 称为继电器的返回系数，它是继电器的重要参数之一。K_f 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_f 也随之增大；放松时，K_f 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_f 增大；减薄时，X_1 减小，K_f 减小）来达到。不同场合要求不同的 K_f 值。例如，一般继电器要求低的返回系数，K_f 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_f 值在 0.6 以上。设某继电器 $K_f = 0.66$，吸合电压为额定电压的 90%，则电压低于额定电压的 50% 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 0.05～0.15 s，快速继电器为 0.005～0.05 s，它的大小影响继电器的操作频率。

3）电磁式继电器的类型

（1）电压继电器

电压继电器用于电力拖动系统的电压保护和控制。其线圈并联接入主电路，感测主电路的线路电压；触点接于控制电路，为执行元件。

按吸合电压的大小，电压继电器可分为过电压继电器和欠电压继电器。

① 过电压继电器　过电压继电器（FV）用于线路的过电压保护，其吸合整定值为被保护线路额定电压的 1.05～1.2 倍。当被保护的线路电压正常时，衔铁不动作；当被保护线路