

普通高等教育“十三五”规划教材

电气控制 与 PLC 技术

主编 蒋小辉 韩宏亮



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

电气控制 与 PLC 技术

主编 蒋小辉 韩宏亮



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书从教学与工程实际出发，在介绍常用低压电器的结构、动作原理及基于接触器、继电器的控制系统设计基础上，系统的介绍西门子 S7-200 PLC 系统的机构、工作原理、编程指令及设计方法。本书中结合大量应用实例详细介绍 S7-200 PLC 的基本指令、功能指令等的用法和 S7-300 PLC 硬件与软件设计、PLC 控制系统的应用设计等。本书内容深入浅出、贴近工程实际、实用性强，符合高校教育面向应用型的发展要求。

本书可作为普通高等院校电气工程及其自动化、自动化、机械设计制造及其自动化、机电一体化等相关专业及高职、高专相关专业的教材，也可作为电气技术人员的参考书及培训教材。

图书在版编目（C I P）数据

电气控制与PLC技术 / 蒋小辉, 韩宏亮主编. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2017. 1
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-4939-5

I. ①电… II. ①蒋… ②韩… III. ①电气控制—高等学校—教材②PLC技术—高等学校—教材 IV. ①TM571

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第025125号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 电气控制与 PLC 技术 DIANJI KONGZHI YU PLC JISHU
作 者	主编 蒋小辉 韩宏亮
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 21 印张 498 千字
版 次	2017 年 1 月第 1 版—2017 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—2500 册
定 价	42.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

普通应用型本科高校是我国高等教育的发展方向。对于电气工程类专业而言,应用型本科教育首先在于教学内容的改革。但是,目前大多《电气控制与 PLC 技术》教材编写仍然存在注重理论教学、淡化实践教学等问题,因此造成学生运用技术能力得不到足够的培养。然而恰恰“电气控制与 PLC 技术”是一门实用性比较强、应用比较广泛的课程,因此本书在编写上切合高校转型发展的方向,强化实践教学,注重同时培养学生的理论知识与实践动手能力。

可编程控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 自引入到国内以来,先后在冶金、化工、机械等领域被大量应用。随着智能电网、数字化电站的建设,电力系统对自动化控制程度要求的提高,PLC 被逐渐应用到电力系统中。目前国内应用的 PLC 有:德国西门子公司生产的 LOGO、S7-200、S7-300、S7-400、S7-1200 等系列;法国施耐德公司生产的 Quantum、Premium、Micro、M340 等系列;日本三菱公司生产的 Q、FX3G 系列等;日本欧姆龙公司生产的紧凑型 PLC。随着日系 PLC 退出中国市场,德国西门子公司 PLC 在国内市场份额以及在电力系统应用比例的增加,需要一本以电力系统自动化控制为基础结合西门子 PLC 的教材。但是目前关于“电气控制与可编程控制器”类教材的内容大多以三菱的 FX3G 系列为基础结合机床控制。本书正是基于此种目的编写。

本书内容主要分为 4 大部分,第 1 部分包括第 1~3 章,主要介绍常用低压电器、电气控制的基本知识及设计;第 2 部分包括 4~8 章,主要介绍西门子 S7-200 系列 PLC 的基本结构、工作原理、I/O 扩展模块及功能模块、数据类型、寻址方式、基本指令、功能指令及 STEP 7 编程软件的使用等内容;第 3 部分包括第 9 章,主要介绍西门子 S7-300 系列 PLC 的组态、编程、网络技术及应用等内容;第 4 部分包括第 10 章,主要介绍 PLC 系统的应用实例及系统设计方法。

本书实例丰富,附录中含有大量的应用实例,具有很强的实用性和参考性,各个章节均配有相应的习题,便于读者掌握和巩固所学知识。本书不仅适用于初学者入门学习,也可满足对 PLC 控制系统设计有更高要求的读者深

入研究的需要。

本书由蒋小辉、三峡电力职业学院韩宏亮任主编，并由蒋小辉统稿，朱新春、杨洲、张昌胜任副主编，参编人员有何煌、郑晓东、李莉，主审由黄敬尧担任。

我们力求精益求精，但由于编者的水平有限，书中难免有错误和不足之处，敬请读者指正。

编者

2016年9月

目 录

前言

第 1 章 电气控制常用低压电器	1
1.1 电器概述	1
1.2 电磁式低压电器	3
1.3 接触器	8
1.4 电磁式继电器	10
1.5 热继电器	15
1.6 信号继电器	16
1.7 熔断器	18
1.8 低压开关电器	19
1.9 主令器	22
1.10 电磁执行元件	25
本章小结	27
习题	27
第 2 章 继电接触器控制系统的基本电路	28
2.1 电气控制线路的图形、文字符号及绘制原则	28
2.2 并励直流电动机的基本控制电路	34
2.3 三相笼型异步电动机的控制电路	37
本章小结	55
习题	56
第 3 章 电气控制系统的设计	57
3.1 电气控制系统设计的基本原则	57
3.2 电气控制系统的设计方法	64
习题	69
第 4 章 PLC 概述及构成原理	72
4.1 PLC 的产生及定义	72
4.2 PLC 的特点及分类	74
4.3 PLC 的应用范围	77
4.4 PLC 的发展过程及趋势	78
4.5 PLC 的基本原理	79
4.6 可编程控制器的硬件资源	86

4.7 PLC 的工作原理	88
4.8 PLC 的编程语言	91
本章小结	94
习题	94
第 5 章 S7-200 系列的 PLC 构成	96
5.1 S7-200 系列 PLC 系统结构	97
5.2 S7-200 系列 PLC 的内部元器件	109
5.3 S7-200 CPU 存储器区域的寻址方式	114
本章小结	117
习题	118
第 6 章 S7-200 PLC 编程软件及应用	119
6.1 S7-200 PLC 编程系统概述	119
6.2 STEP 7-Micro/Win V4.0 的功能	122
6.3 程序编辑及运行	127
6.4 程序调试运行监控与调试	132
本章小结	138
第 7 章 S7-200 系列 PLC 的基本指令	139
7.1 基本逻辑指令	139
7.2 程序控制指令	153
7.3 PLC 的梯形图程序设计方法及应用实例	163
7.4 基本指令的应用实例	191
本章小结	201
习题	201
第 8 章 S7-200 系列 PLC 功能指令	205
8.1 数据处理指令	205
8.2 运算指令	209
8.3 表功能指令	217
8.4 转换指令	220
8.5 中断指令	225
8.6 高速处理指令	227
8.7 PID 指令	231
8.8 功能指令的应用实例	239
本章小结	247
习题	247
第 9 章 SIMATIC S7-300 PLC 硬件与软件设计	250
9.1 S7-300 概述	250

9.2 S7-300 的 CPU 模块	254
9.3 S7-300 的输入/输出模块	255
9.4 S7-300 的编程语言	259
9.5 STEP 7 指令系统简介	260
9.6 编程方式与程序块、数据块	266
9.7 S7-300 的网络通信	274
本章小结	278
习题	278
第 10 章 PLC 控制系统的应用设计	280
10.1 PLC 控制系统的总体设计	280
10.2 减少 PLC 输入和输出点数的方法	285
10.3 提高 PLC 控制系统可靠性的措施	287
10.4 塔架起重机加装夹轨器后的大车行走控制系统的设计	292
10.5 机械手控制系统的应用设计	297
本章小结	303
习题	304
附录 A 实训项目	306
项目 A.1 电热水壶控制回路设计	306
项目 A.2 电钻控制回路设计	307
项目 A.3 并励直流电动机正/反转控制实训	307
项目 A.4 S7-200 PLC 编程软件使用实训	307
项目 A.5 人行道按钮控制信号灯实训	308
项目 A.6 五星彩灯和数码管控制实训	309
项目 A.7 S7-200 PLC 简单通信实训	309
项目 A.8 送料小车控制系统的设计	310
项目 A.9 压铸机控制系统的设计	310
项目 A.10 全自动洗衣机控制系统的设计	311
项目 A.11 化学反应过程控制系统的设计	312
项目 A.12 电镀生产线控制系统的设计	313
项目 A.13 自动售货机控制系统的设计	314
项目 A.14 打乒乓球的模拟控制系统的设计	314
附录 B S7-200 的特殊存储器	316
附录 C S7-200 CPU 接线规范	324

第 1 章 电气控制常用低压电器

主要内容

本章主要讲述了常用低压电器的功能、机构、动作原理及文字符号。

学习要求

1. 掌握常用低压电器的功能、机构。
2. 掌握常用低压电器的动作原理及文字符号。
3. 能够简单识别及分析工业领域及家用低压电器的功能与结构。

电气控制是以各类电动机为动力的传动装置，以系统为对象，利用各种电气元件（特别是低压电器）的逻辑组合来实现生产过程的自动化控制。低压电器（Low-voltage Apparatus）是电气控制系统的基本元件，对电气控制系统起着通断、控制、保护和调节的作用。本章主要介绍常见的接触器、继电器、低压断路器、万能转换开关、熔断器等低压电气设备的基本结构、功能及工作原理。

1.1 电 器 概 述

电器是指能根据特定的信号和要求，自动或手动地接通或断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气设备。电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，结构各异，工作原理也各有不同。

1.1.1 电器的作用

电器是构成控制系统的最基本元件，它的性能将直接影响电气控制系统工作的可靠性与稳定性。电器的作用在于依据操作信号、实际测量信号的要求，自动或手动地改变系统的状态、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电量信号或非电信号转变为开关信号或模拟量信号，实现对被控对象的控制。其主要作用如下。

（1）控制与调节作用。通过切换电路的通断、电流的大小，实现对执行机械的启停、正反转及加速、减速等状态转换的作用，如泵的启停、阀门的开关、加热器的功率增加与减小。

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

（3）测量作用。利用仪表、仪器对实际工作待测物理量（包括电量与非电量）转化与测量，如电流、电压、功率、转速、温度、压力、位移物理量的测量等。

（4）指示作用。显示检测出的电气设备运行状况与电气电路工作情况，如显示电动机的工作、故障等状态。

（5）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，如被控装置操作的手动与自动的转换、供电系统的市电与自备电源的切换等。

1.1.2 电器的分类

(1) 按电压等级分，可分为高压电器 (High - voltage Apparatus)、低压电器 (Low - voltage Apparatus)。常用低压电器是按照电器的工作电压等级进行划分的。通常将工作电压直流 1200V、交流 1500V 以下的电气元件称为低压电器。低压电器被广泛地应用于工业电气和建筑电气控制系统中，它是实现继电—接触器控制的主要电气元件。高于直流 1200V、交流 1500V 的电气元件称为高压电器。

(2) 按用途分可以分为以下 5 种。

1) 执行电器。执行电器主要用于执行某种动作和传动功能。这类低压电器有电磁铁、电磁离合器等。随着电子技术和计算机技术的进步，近几年又出现了利用集成电路或电子元件构成的电子式电器，利用单片机构成的智能化电器，以及可直接与现场总线连接的具有通信功能的电器。

2) 控制电器。控制电器主要用于各种控制电路和控制系统。这类电器有接触器、继电器、转换开关、电磁阀等。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。

3) 主令电器。主令电器主要用于发送控制指令。这类电器有按钮、主令开关、行程开关和万能转换开关等。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。

4) 保护电器。保护电器主要用于对电路和电气设备进行安全保护。这类低压电器有熔断器、热继电器、安全继电器、电压继电器、电流继电器和避雷器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，反应要灵敏，可靠性要高。

5) 配电电器。配电电器主要用于供、配电系统中，进行电能输送和分配。这类电器有刀开关、自动开关、隔离开关、转换开关及熔断器等。对这类电器的主要技术要求是分断能力强、限流效果好、动稳定及热稳定性性能好。

(3) 按工作方式分，可分为手动操作电器、自动控制电器、手/自混合电器。

(4) 按电器组合分，可分为单个电器、成套电器与自动化装置。

(5) 按有无触点分，可分为有触点电器、无触点电器、混合式电器。

(6) 按使用场合分，可分为一般工业用电器、特殊工矿用电器、农用电器、其他场合（如航空、船舶、热带、高原）用电器。

常用低压电器的主要种类及主要用途见表 1.1。

表 1.1 常用低压电器的主要种类及主要用途

序号	类别	主要种类	主 要 用 途
1	断路器	框架式断路器	主要用于电路的过负载、短路、欠电压、漏电保护，也可用于不需要频繁接通和断开的电路
		塑料外壳式断路器	
		快速直流断路器	
		限流式断路器	
		漏电保护式断路器	

续表

序号	类别	主要种类	主 要 用 途
2	接触器	交流接触器	主要用于远距离频繁控制负载，切断带负荷电路
		直流接触器	
3	继电器	电磁式继电器	主要用于控制电路中，将被控量转换成控制电路所需电量或开关信号
		时间继电器	
		温度继电器	
		热继电器	
		速度继电器	
		干簧继电器	
4	熔断器	瓷插式熔断器	主要用于电路短路保护，也用于电路的过载保护
		螺旋式熔断器	
		有填料封闭管式熔断器	
		无填料封闭管式熔断器	
		快速熔断器	
		自复式熔断器	
5	主令电器	控制按钮	主要用于发布控制命令，改变控制系统的工作状态
		位置开关	
		万能转换开关	
		主令控制器	
6	刀开关	胶盖闸刀开关	主要用于不频繁接通和分断电路
		封闭式负荷开关	
		熔断器式刀开关	
7	转换开关	组合开关	主要用于电源切换，也可用于负荷通断或电路切换
		换向开关	
8	控制器	凸轮控制器	主要用于控制回路的切换
		平面控制器	
9	起动器	电磁起动器	主要用于电动机的启动
		星/三角起动器	
		自耦减压起动器	
10	电磁铁	制动电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等场合
		起重电磁铁	
		牵引电磁铁	

1.2 电磁式低压电器

电磁式低压电器是电气控制系统中最典型、应用最广泛、类型众多的一种电器。它的

工作原理和构造基本相同。就结构而言,电磁式低压电器一般都具有两个基本组成部分,即感测部分和执行部分。感测部分接收外界输入的信号,并通过转换、放大、判断,做出有规律的反应,使执行部分动作,输出相应的指令,实现控制的目的。执行部分则是触点。对于有触点的电磁式电器,感测部分大都是电磁机构。对于非电磁式的自动电器,感测部分因其工作原理不同而各有差异,但执行部分仍是触点。

1.2.1 电磁机构及原理

1. 电磁机构

电磁机构是电磁式低压电器的感测元件,其主要作用是通过电磁感应原理将电能转换成机械能,带动触点动作,完成回路的接通或分断。一般而言,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,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。

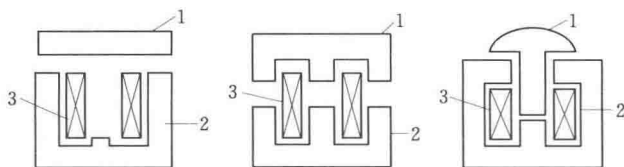


图 1.1 直动式电磁机构

1—衔铁; 2—铁芯; 3—吸引线圈

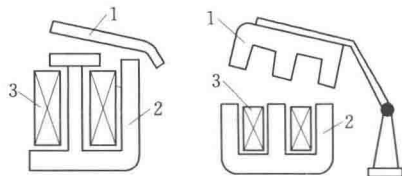


图 1.2 拍合式电磁机构

1—衔铁; 2—铁芯; 3—吸引线圈

直动式电磁机构多用于交流接触器、继电器中。衔铁沿棱角转动的拍合式电磁机构广泛应用于直流电器中。

电磁式电器分为直流和交流两类,都是利用电磁铁的原理制成。通常,直流电磁铁的铁芯是用整块钢材或工程纯铁制成,而交流电磁铁为了防止产生过大的涡流,其铁芯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为电磁能,即产生磁通。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。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(如低压断路器中电磁脱扣器的线圈),然而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。

3. 灭弧系统

触点分断电路时,由于热电子发射和强电场的作用,使气体游离,从而在分断瞬间产生电弧。电弧的高温能将触点烧损,缩短电气的使用寿命,又延长了电路的分断时间。因

此,应采用适当措施迅速熄灭电弧。

低压控制电器常用的灭弧方法有以下几种。

(1) 电动力灭弧。

电动力灭弧示意图如图 1.3 所示,桥式触点在分断时本身具有电动力灭弧功能,不用任何附加装置,便可使电弧迅速熄灭。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

(2) 磁吹灭弧。

在触点电路中串入灭弧线圈,如图 1.4 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(如图 1.4 中的 $\times$,所示),触点间的电弧所产生的磁场,其方向用 $\otimes$ 、 $\odot$ 表示。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,电弧受力的方向为力 F 所指的方向,在力 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。

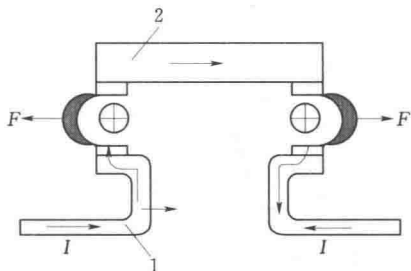


图 1.3 电动力灭弧示意图

1—静触点; 2—动触点

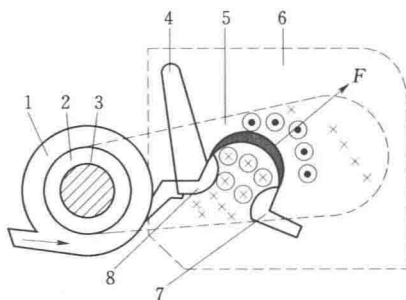


图 1.4 磁吹灭弧示意图

1—磁吹线圈; 2—绝缘套; 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。

灭弧栅片是一组薄铜片,它们彼此间相互绝缘,如图 1.5 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。每两片电弧之间都有 150~250V 的绝缘强度,使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强,以致外电压无法维持,电弧迅速熄灭。由于栅片灭弧效应在交流时要比直流强得多,所以交流电器常常采用栅片灭弧。

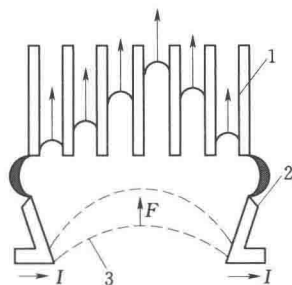


图 1.5 灭弧栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片; 2—触点; 3—电弧

1.2.2 电磁吸力及其特性

电磁机构工作时,线圈得电产生的磁通作用于衔铁,产生电磁吸力,并使衔铁产生机械位移;线圈失电,磁通消失,电磁力消失,衔铁在复位弹簧的作用下回到原位。因此作用在衔铁的力有两个,即电磁吸力和弹簧反力。电磁吸力由电磁机构产生,弹簧反力由复位弹簧和触点产生。铁芯吸合时要求电磁吸力大于反力,即衔铁位移的方向与电磁吸力方向相同,衔铁复位时情况则相反(此时线圈断电,只有剩磁产生的电磁吸力)。

电磁式电器是根据电磁铁的基本原理设计的，电磁吸力是决定其能否可靠工作的一个重要参数。

电磁吸力 F 大小为

$$F \propto B^2 S \quad (1.1)$$

式中 B ——气隙磁感应强度。

1. 直流电磁机构（图 1.6）的电磁吸力特性

$$F = \frac{\mu_0 S}{2\delta^2} I^2 N^2 \quad (1.2)$$

式中 I ——线圈中通过的电流，A；

N ——线圈的匝数，匝；

S ——气隙截面积， m^2 ；

δ ——气隙宽度，m；

F ——电磁吸力，N；

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

从式 (1.2) 可以看出，对于固定线圈通以恒定直流电流时，其电磁力 F 仅与 δ^2 成反比。吸力特性曲线如图 1.7 中曲线 1 所示。由此看出曲线 1 比较陡，衔铁闭合前后吸力很大，气隙越小，吸力越大。衔铁吸合前后吸引线圈励磁电流不变，故直流电磁机构适用于运动频繁的场所，且衔铁吸合后电磁吸力大，工作可靠。但是直流电磁机构的吸引线圈失电时，磁动势急速减小为零，电磁机构的磁通发生相应的急剧变化，励磁线圈中产生极大的感应电动势，此感应电动势一般是线圈额定励磁电压的 10~20 倍，容易使线圈过压而烧坏。通常，直流线圈采用反并联二极管与限流电阻来消除这类危害。同时，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。在吸力较小的直流电压型电器中，衔铁上一般都装有一片 0.1mm 厚非磁性磷钢片，增加在吸合时的空气间隙，使衔铁易于复位。在吸力较大的直流电压型电器中，如直流接触器，铁芯的端面上加有极靴，减小在闭合状态下的吸力，使衔铁复位自如。

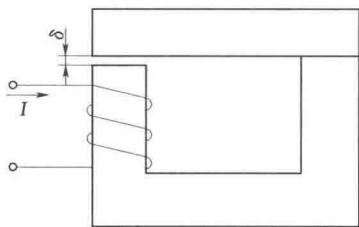


图 1.6 直流电磁机构

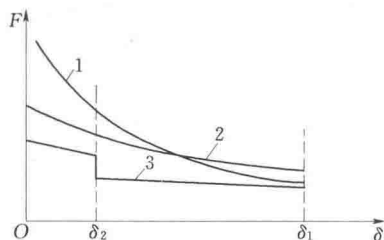


图 1.7 电磁吸力特性曲线

1—直流电磁机构；2—交流电磁机构；3—反力特性

2. 交流电磁机构的电磁吸力特性

交流电磁机构与直流电磁机构相比，其吸力特性有较大的不同。交流电磁机构在电路中通常并联使用，当外加电压 U 及频率 f 为常数时，忽略线圈电阻压降，有

$$U \approx E = 4.44 f \Phi N \quad (1.3)$$

$$\Phi \approx \frac{U}{4.44fN} = BS \quad (1.4)$$

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1.5)$$

式中 U ——线圈电压, V;

E ——线圈感应电动势, V;

f ——线圈电压的频率, Hz;

N ——线圈匝数;

Φ ——气隙磁通, Wb。

当外加电压 U 、频率 f 和线圈匝数 N 为常数时, 则气隙磁通 Φ 也为常数, 由式 (1.1) 可知, 电磁吸力 $F \propto B^2 S$ 也为常数, 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。但实际上, 考虑衔铁吸合前后漏磁的变化时, F 随 δ 的变大而略有减小。对于并联电磁机构, 由磁路欧姆定律 $NI = \Phi R_m$ 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, 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。若衔铁卡住不能吸合, 或衔铁频繁动作, 交流励磁线圈很可能因电流过大而烧毁。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。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 与弹簧弹力 F_r 相比应大一些, 但不宜相差太大。由于交流电磁铁的磁通是交变的, 线圈磁场对衔铁的作用力随着交流电的变化而变化, 所以当 50Hz 的电源加在线圈上时, 吸力为 100Hz 的脉动吸力, 如图 1.8 所示。当脉动的吸力 F 小于弹簧弹力 F_r 时, 衔铁将在弹簧的作用下移动, 而当吸力 F 大于弹簧弹力 F_r 时, 衔铁将克服弹簧力而吸合, 从而产生振动和噪声。当交流电流过零时, 线圈磁通为零, 对衔铁的吸引力也为零, 衔铁在复位弹簧作用下将产生释放趋势, 这就使动、静铁芯之间的吸引力加速动、静铁芯接触面积的磨损, 引起结合不良, 严重时还会使触点烧蚀。为了消除这一弊端, 在铁芯柱面的一部分嵌入一只铜环, 名为短路环, 如图 1.9 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。短路环把铁芯中的磁通分为两部分, 即不穿过短路环的 Φ_1 和穿过短路环的中 Φ_2 , Φ_1 与 Φ_2 之间存在相位差, 不同时为零, 使合成吸力始终大于反作用力, 从而消除振动和噪声。

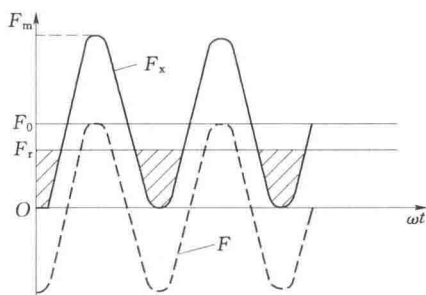


图 1.8 交流电磁机构实际吸力曲线

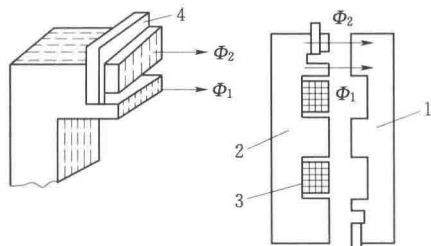


图 1.9 交流电磁铁的短路环

1—衔铁; 2—铁芯; 3—线圈; 4—短路环

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 1.7 所示的曲线 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 1.7 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芯接触时的冲击力也大，会使触点和衔铁发生弹跳，导致触点熔焊或烧毁，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。

1.3 接 触 器

接触器是一种自动的电磁式电器，适用于远距离频繁接通或断开交直流主电路及大容量控制电路。其主要控制对象是电动机，也可用于控制其他负载，如电焊机、电容器、电阻炉等。它不仅能实现远距离自动操作和欠电压释放保护及零电压保护功能，而且控制容量大，工作可靠，操作频率高，使用寿命长。常用的接触器分为交流接触器和直流接触器两类。

1.3.1 接触器结构和工作原理

图 1.10 所示为交流接触器结构，交流接触器由以下 4 个部分组成。

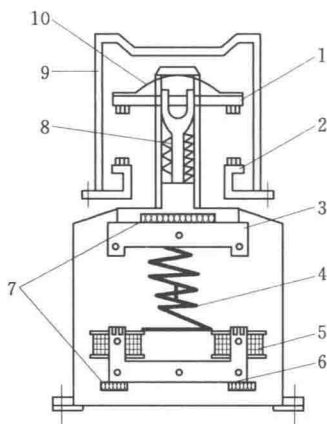


图 1.10 CJ20 交流接触器结构示意图

- 1—动触桥；2—静触点；3—衔铁；4—缓冲弹簧；5—电磁线圈；6—静铁芯；
7—垫毡；8—触点弹簧；9—灭弧罩；10—触点压力片

1. 电磁机构

电磁机构由电磁线圈、铁芯和衔铁组成，其功能是操作触点的闭合和断开。

2. 触点系统

触点系统包括主触点和辅助触点。主触点用在通断电流较大的主电路中，一般由 3 对常开触点组成，体积较大。辅助触点用以通断小电流的控制电路，体积较小，它有“常开”“常闭”触点（“常开”“常闭”是指电磁系统未通电动作前触点的状态）。常开触点（又称动合触点）是指线圈未通电时，其动、静触点是处于断开状态的，当线圈通电后就闭合。常闭触点（又称动断触点）是指在线圈未通电时，其动、静触点是处于闭合状态的，当线圈通电后，则断开。

线圈通电时，常闭触点先断开，常开触点后闭合；线圈断电时，常开触点先复位（断开），常闭触点后复

位（闭合），其中间存在一个很短的时间间隔。分析电路时，应注意这个时间间隔。

3. 灭弧系统

容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置，常采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧结构。

4. 其他部分

其他部分包括弹簧、传动机构、接线柱及外壳等。

当交流接触器线圈通电后，在铁芯中产生磁通，由此在衔铁气隙处产生吸力，使衔铁向下运动（产生闭合作用），在衔铁带动下，使动断（常闭）触点断开，动合（常开）触点闭合。当线圈断电或电压显著降低时，吸力消失或减弱，衔铁在弹簧的作用下释放，各触点恢复原来位置。这就是接触器的工作原理。

接触器的图形符号如图 1.11 所示，文字符号为 KM。

直流接触器的结构和工作原理与交流接触器基本相同，仅有电磁机构方面不同。

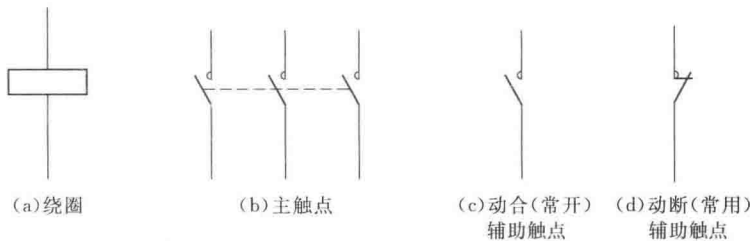


图 1.11 接触器图形符号

1.3.2 接触器的型号及主要技术参数

目前我国常用的交流接触器主要有 CJ20、CJX1、CJX2、CJ12 和 CJ10 等系列，引进产品应用较多的有引进德国 ABB 公司制造技术生产的 B 系列、德国西门子公司的 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、和 CZ10、CZ2 等系列，CZ18 系列是取代 CZ0 系列的新产品。

1. 型号含义

交流、直流接触器型号的含义如图 1.12 和图 1.13 所示。

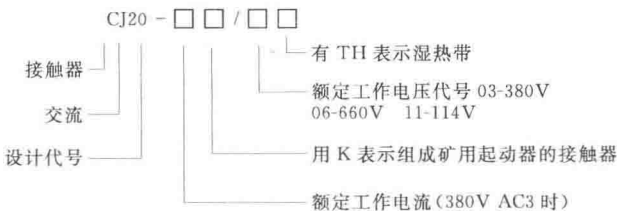


图 1.12 交流接触器型号

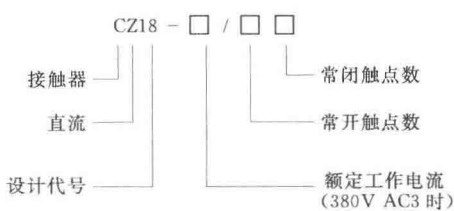


图 1.13 直流接触器型号

2. 主要技术参数

- (1) 额定电压，是指主触点的额定工作电压。
- (2) 额定电流，是指主触点的额定电流。表 1.2 列出了交、直流接触器的电压、电流额定值。

表 1.2 接触器的额定电压和额定电流的等级表		
项目	直 流 接 触 器	交 流 接 触 器
额定电压/V	110、220、440、660	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