



普通高等教育“十二五”规划教材

◎ 自动化专业 规划教材



PLC技术实用教程

——基于西门子S7-300

◎ 弭洪涛 孙铁军 牛国成 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”规划教材
自动化专业规划教材

PLC 技术实用教程

——基于西门子 S7-300

弭洪涛 孙铁军 牛国成 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以西门子 S7-300 系列 PLC 为主, 系统介绍 PLC 应用基础、工作原理、硬件配置、指令系统及编程方法、应用系统设计、工业控制网络及 STEP7 应用和 WinCC 入门等内容, 体系完整、通俗易懂, 并通过大量实验及工程案例使理论学习和工程实践相结合, 便于初学者使用。

本书可作为电气信息类、自动化类、机械类等工科专业的本科教材, 也可供从事相关技术工作的工程技术人员自学和参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

PLC 技术实用教程: 基于西门子 S7-300 / 弭洪涛等编著. —北京: 电子工业出版社, 2011.3
(自动化专业规划教材)

ISBN 978-7-121-12704-5

I. ①P… II. ①弭… III. ①可编程序控制器—高等学校—教材 IV. ①TN332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 259411 号

责任编辑: 韩同平 特约编辑: 李佩乾

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18 字数: 496 千字

印 次: 2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

可编程序控制器(PLC)自 20 世纪 70 年代出现以来,以极高的发展速度遍布全世界,在各行各业都得到了广泛的应用。它综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术,是一种新型的、通用的自动控制装置。它以功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于编程及适应在工业环境下应用等一系列优点,成为现代工业控制的三大支柱(CAD/CAM、机器人、PLC)之一。

近年来,PLC 发展很快,新产品、新技术不断涌现,尤其是西门子 PLC 以其强大的功能和广泛的应用一直稳居市场占有率第一的位置。为了适应这种情况,作者根据多年的教学和工程应用经验编写了本教材。本书是北华大学吉林省精品课程“PLC 应用技术”的配套教材。

全书共 10 章。第 1 章为 PLC 应用基础,介绍学习 PLC 的电气基础、硬件基础、软件基础和网络基础;第 2 章为西门子 PLC 硬件系统,主要介绍西门子 PLC 的硬件配置和内部资源;第 3 章介绍 SIMATIC 管理器——STEP7 的基本使用方法;第 4 章介绍西门子 S7-300 PLC 的指令系统;第 5 章通过实例介绍 PLC 应用系统的设计方法;第 6 章详细介绍西门子 PLC 的程序结构及编程技术;第 7 章介绍西门子 PLC 应用系统的基本调试方法;第 8 章介绍模拟量闭环控制系统的设计方法;第 9 章介绍西门子 PLC 的通信网络及应用;第 10 章为西门子组态软件 WinCC 入门。

本书建议的授课学时数为 72~90 学时,具体授课内容可根据需要适当增减。

全书由北华大学弭洪涛等编著。第 1、3 章由弭洪涛执笔;第 2 章由麻丹丹执笔;第 4、5 章由颜闽秀执笔;第 6 章由辛平执笔;第 7 章由曹晶人执笔;第 8 章由孙铁军执笔;第 9 章由牛国成执笔;第 10 章由胡冬梅执笔。

本书在编写过程中,参阅了大量文献和资料,在此对这些参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不当和谬误之处,恳请有关专家和广大读者不吝赐教。

编著者

目 录

绪论	(1)	3.2 创建及编辑项目	(69)
第 1 章 PLC 应用基础	(3)	3.3 硬件组态与参数设置	(72)
1.1 电气技术基础	(3)	3.3.1 硬件组态的任务及步骤	(72)
1.1.1 接触器	(3)	3.3.2 CPU 参数设置	(73)
1.1.2 继电器	(8)	3.3.3 I/O 模块参数设置	(77)
1.1.3 主令电器	(12)	习题	(81)
1.1.4 刀开关	(14)	第 4 章 西门子 PLC 软件系统	(82)
1.1.5 自动开关	(14)	4.1 概述	(82)
1.1.6 熔断器	(15)	4.1.1 编程语言	(82)
1.1.7 典型控制线路	(16)	4.1.2 数据类型	(85)
1.2 PLC 硬件基础	(19)	4.1.3 操作数	(89)
1.2.1 PLC 的组成	(19)	4.1.4 寻址方式	(89)
1.2.2 PLC 的输入/输出单元	(21)	4.2 位指令	(92)
1.2.3 PLC 的工作原理	(27)	4.2.1 基本逻辑指令	(92)
1.3 PLC 软件基础	(32)	4.2.2 置位和复位指令	(97)
1.4 PLC 网络基础	(34)	4.2.3 RS 和 SR 触发器	(98)
1.4.1 数据通信	(34)	4.2.4 跳变沿检测指令	(100)
1.4.2 局部网络	(36)	4.3 字指令	(102)
1.4.3 网络协议	(37)	4.3.1 装入与传送指令	(102)
习题	(38)	4.3.2 定时器指令	(103)
第 2 章 西门子 PLC 硬件系统	(40)	4.3.3 计数器指令	(109)
2.1 概述	(40)	4.3.4 转换指令	(112)
2.1.1 西门子 PLC 分类	(40)	4.3.5 比较指令	(115)
2.1.2 S7-300/400 PLC 的组成	(40)	4.3.6 移位指令	(117)
2.1.3 S7-300 PLC 的结构	(44)	4.3.7 数据运算指令	(121)
2.2 硬件配置	(46)	4.4 控制指令	(126)
2.2.1 CPU 模块	(46)	4.4.1 逻辑控制指令	(126)
2.2.2 I/O 模块	(51)	4.4.2 程序控制指令	(128)
2.2.3 分布式 I/O	(60)	4.4.3 主控继电器指令	(130)
2.3 S7-300 PLC 的内部资源	(61)	4.4.4 数据块指令	(132)
习题	(66)	习题	(132)
第 3 章 SIMATIC 管理器——STEP7 入门	(67)	第 5 章 PLC 应用系统设计	(135)
3.1 概述	(67)	5.1 PLC 应用系统的硬件设计	(135)
3.1.1 安装 STEP7	(67)	5.1.1 PLC 选型	(135)
3.1.2 使用 STEP7 的基本步骤	(68)	5.1.2 PLC 容量估算	(136)
3.1.3 STEP 7 的启动	(68)	5.1.3 I/O 模块的选择	(137)
		5.1.4 分配 I/O 点	(137)

5.1.5 设计安全回路	(138)	8.1 概述	(189)
5.2 PLC 应用系统的软件设计	(138)	8.2 S7-300 模拟量输入模块和 模拟量输出模块	(191)
5.3 设计举例	(140)	8.3 模拟量 PID 控制程序设计	(192)
习题	(141)	8.3.1 PID 控制基本公式	(192)
第 6 章 S7-300 程序结构及 编程技术	(143)	8.3.2 PID 控制参数选择	(193)
6.1 STEP7 中的程序对象	(143)	8.4 模拟量程序设计实例	(194)
6.2 功能块与功能的调用	(147)	8.4.1 栽培室温度控制	(194)
6.2.1 堆栈	(147)	8.4.2 PID 控制程序实现	(198)
6.2.2 局域数据类型	(148)	8.4.3 温度控制	(199)
6.2.3 编程方式	(149)	8.4.4 恒压供水系统	(201)
6.3 建立符号表	(150)	8.4.5 3 种液体自动混合系统	(207)
6.3.1 定义符号	(150)	习题	(211)
6.3.2 符号表	(151)	第 9 章 西门子 PLC 通信网络 及应用	(212)
6.3.3 逻辑块的生成	(153)	9.1 SIMATIC NET 通信系统概述	(212)
6.4 在 STEP7 中创建程序	(155)	9.2 MPI 网络	(214)
6.4.1 在 OB1 中创建程序	(155)	9.2.1 MPI 网络概述	(214)
6.4.2 创建一个有功能块和 数据块的程序	(159)	9.2.2 全局数据通信的组态	(216)
6.4.3 编程一个功能	(162)	9.2.3 无组态的 MPI 通信方法	(218)
6.4.4 编程一个多重背景	(164)	9.2.4 需要配置连接的通信	(220)
6.4.5 编程实例	(166)	9.3 PROFIBUS 通信网络	(221)
习题	(174)	9.3.1 PROFIBUS 硬件接口种类	(221)
第 7 章 PLC 应用系统的调试	(175)	9.3.2 PROFIBUS 网络拓扑结构	(223)
7.1 用变量表调试程序	(175)	9.3.3 PROFIBUS 支持的通信协议 与服务	(226)
7.1.1 概述	(175)	9.3.4 PROFIBUS-DP 的应用	(226)
7.1.2 创建变量表	(176)	9.4 工业以太网	(235)
7.1.3 使用变量表	(178)	9.4.1 工业以太网简介	(236)
7.2 用程序状态功能调试程序	(180)	9.4.2 工业以太网的接口	(238)
7.2.1 程序状态功能的启动	(180)	9.4.3 工业以太网的传输介质	(239)
7.2.2 程序状态的显示	(181)	9.4.4 工业以太网拓扑结构	(240)
7.2.3 单步与断点功能的使用	(183)	9.4.5 工业以太网编程与应用	(240)
7.2.4 HOLD 模式	(184)	习题	(249)
7.2.5 编程数据块状态	(184)	第 10 章 组态软件 WinCC 入门及 应用	(250)
7.3 利用仿真软件 S7-PLCSIM 调试程序	(185)	10.1 WinCC 软件的主要功能	(250)
7.3.1 S7-PLCSIM 简介	(185)	10.2 WinCC 工程项目开发的一般 过程	(251)
7.3.2 S7-PLCSIM 的使用方法	(186)	10.3 WinCC 的安装与卸载	(252)
7.3.3 S7-PLCSIM 应用举例	(187)	10.4 创建 WinCC Explorer 项目	(255)
习题	(188)	10.4.1 启动 WinCC 并创建一个	
第 8 章 模拟量闭环控制系统 设计	(189)		

项目	(255)	10.5 显示过程值	(266)
10.4.2 选择并安装 PLC 或驱动器 ...	(256)	10.6 打印变量记录运行系统报表	(270)
10.4.3 定义变量	(257)	10.7 客户机/服务器操作	(273)
10.4.4 创建并编辑过程画面.....	(260)	习题	(276)
10.4.5 设置运行系统属性	(264)	参考文献.....	(277)
10.4.6 激活项目	(265)		

绪 论

20 世纪 60 年代末,随着现代工业生产自动化水平的日益提高及微电子技术的飞速发展,对工业控制器的要求也越来越高。1968 年,美国通用汽车公司(GM)要求制造商为其装配线提供一种新型的通用程序控制器,并提出 10 项招标指标:①编程简单,可在现场修改程序;②维护方便,最好是插件式;③可靠性高于继电器控制柜;④体积小于继电器控制柜;⑤可将数据直接送入管理计算机;⑥在成本上可与继电器控制柜竞争;⑦输入可以是交流 115V;⑧输出为交流 115V、2A 以上,能直接驱动电磁阀等;⑨在扩展时,原系统只需很小变更;⑩用户程序存储器容量至少能扩展到 4KB。这就是著名的 GM10 条。GM10 条的提出,直接引发了现代工业的一场技术革命。如果说各种电控制器、电子计算机技术的发展是可编程序控制器出现的物质基础,那么 GM10 条就是可编程序控制器出现的直接原因。

GM10 条提出后,美国数字设备公司(DEC)经过一年多的努力,研制出第一台这种控制器,并在 GM 公司的汽车生产线上首次应用成功。当时,把这种控制器称为可编程序逻辑控制器(Programmable logic controller, PLC),用来取代继电器控制柜,功能仅限于执行继电器逻辑、定时和计数控制等。

这种控制器出现后,其名称和定义不统一。为此,美国电气制造商协会(National Electrical Manufacturers Association, NEMA)于 1980 年正式将其命名为可编程序控制器(Programmable Controller, PC)。其定义为:PC 是一种数字式电子装置,它使用了可编程序的存储器以存储指令,用以执行诸如逻辑、顺序、定时、计数及算术运算等功能,并通过数字的或模拟的输入、输出接口控制生产机械或生产过程。

由于个人计算机(Personal Computer)的缩写也为 PC,为避免混淆,国内外一些刊物和资料仍将可编程序控制器简称为 PLC。本书下面除特殊情况外,一般亦采用 PLC 这种简称。

1987 年 2 月,国际电工委员会颁布了可编程控制器标准草案第三稿,该草案中对可编程控制器给出的定义是:“可编程控制器是一种数字运算操作系统,专为工业环境下应用而设计。它采用了可编程序的存储器,用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令,并通过数字式或模拟式的输入和输出,控制各种类型的生产机械和生产过程。可编程控制器及其外围设备,都按易于与工业系统连成一个整体、易于扩充其功能的原理设计。”按照以上定义,PLC 是一种工业用计算机,因而它必须有很强的抗干扰能力,这是与一般的微机系统不同的。其存储器可存储执行多种操作的指令,是可以通过软件编程的控制器,所以又与以往继电器接触控制装置有质的区别。它具有控制能力强、操作方便灵活、价格便宜、可靠性高等特点,不仅可以取代传统的继电器接触控制系统,还可以构成复杂的工业过程控制网络,是一种适应现代工业发展的新型控制器。

20 世纪 70 年代中末期,可编程控制器进入实用化发展阶段,计算机技术已全面引入 PLC 中,使其功能发生了飞跃。更高的运算速度、超小型体积、更可靠的工业抗干扰设计、模拟量运算、PID 功能及极高的性价比奠定了 PLC 在现代工业中的地位。20 世纪 80 年代初,PLC 在先进工业国家中已获得广泛应用。这个时期 PLC 发展的特点是大规模、高速度、高性能、产品系列化;世界上生产 PLC 的国家日益增多,产量日益上升。这标志着 PLC 已步入成熟阶段。

20 世纪 80 年代至 90 年代中期,是 PLC 发展最快的时期,年增长率一直保持在 30~40%。在这时期,PLC 处理模拟量能力、数字运算能力、人机接口能力和网络能力得到大幅度

提高, PLC 逐渐进入过程控制领域, 在某些应用上已取代了在过程控制领域处于统治地位的 DCS 系统。

20 世纪末期, PLC 的发展特点是更加适应现代工业的需要。从控制规模上来说, 这个时期发展了大型机和超小型机; 从控制能力上来说, 诞生了各种各样的特殊功能单元, 用于压力、温度、转速、位移等各式各样的控制场合; 从产品的配套能力来说, 生产了各种人机界面单元、通信单元, 使应用可编程控制器的工业控制设备的配套更加容易。目前, PLC 在机械制造、石油化工、冶金钢铁、汽车、轻工业等领域的应用都得到了长足的发展。

从技术上看, 计算机技术的新成果会更多地应用于 PLC 的设计和制造上, 会有运算速度更快、存储容量更大、智能更强的品种出现; 从产品规模上看, 会进一步向超小型及超大型方向发展; 从产品的配套性上看, 产品的品种会更丰富、规格更齐全, 完美的人机界面、完备的通信设备会更好地适应各种工业控制场合的需求; 从市场上看, 各国各自生产多品种产品的情况会随着国际竞争的加剧而打破, 会出现少数几个品牌垄断国际市场的局面, 而且会出现国际通用的编程语言; 从网络的发展情况来看, PLC 和其他工业控制计算机组网构成大型的控制系统的其发展方向。目前的计算机集散控制系统(DCS, Distributed Control System)中已有大量的 PLC 的应用。伴随着计算机网络的发展, PLC 作为自动化控制网络和国际通用网络的重要组成部分, 将在工业及工业以外的众多领域发挥越来越大的作用。

第 1 章 PLC 应用基础

PLC 是在继电接触控制和计算机控制的基础上发展起来的一门应用技术,是一种专用于工业现场的智能控制器。因此,要学好 PLC,掌握 PLC 应用技术,必然要涉及电气技术、计算机硬件和软件技术、工业通信网络技术 etc 知识。

1.1 电气技术基础

电器是对电能的生产、输送、分配和应用起控制、调节、检测及保护等作用的工具之总称,如开关、熔断器、变阻器等。

为了便于讨论、突出共性,通常把能够按照外界指定信号手动或自动地接通和断开电路,实现对电路控制的电器称为控制电器,如熔断器、开关等。

很显然,由控制电器的定义可知,其功能是接通或断开电路;且其功能与外界指定的信号有关。外界指定信号对控制电器的作用即为控制电器的输入;控制电器对电路的通、断功能即为控制电器的输出。控制电器的输出只有通、断两种状态,其输入也只能有两种状态。因此,控制电器是一种双态元件。我们把控制电器接通电路的状态记作输出置“1”状态,断开电路记作输出置“0”状态,则控制电器可以被看成一种逻辑元件。

控制电器按动力的不同,分为自动控制电器和非自动控制电器两类。例如,刀开关由人力直接操作,属于非自动控制电器;接触器由电磁力操作,则属于自动控制电器。

按控制电器工作电压的高低,以交流 1200V、直流 1500V 为界,可划分为高压控制电器和低压控制电器两大类。

1.1.1 接触器

接触器是利用电磁吸力的作用使主触点接通或断开电动机电路或其他负载电路的控制电器。用它可以实现频繁的远距离操作,它具有比工作电流大数倍的接通和分断能力。接触器最主要的用途是控制电动机的启动、正反转、制动和调速等。因此,它是电力拖动控制系统中最重要也是最常用的控制电器。

接触器按主触头流过电流的性质分为交流接触器和直流接触器。

1. 接触器的结构及工作原理

电磁式接触器包括以下几部分,如图 1-1 所示。

(1) 触点

触点有主触点和辅助触点之分。主触点尺寸较大,并附有灭弧装置,接在主电路中,用于控制主电路通断;辅助触点用于控制辅助电路的通断,通过的电流较小。

主触点用来接通和分断被控电路。触点由动触点与静触点构成,其结构型式主要有桥式触点和指形触点,如图 1-2 所示。

为了使动、静触点接触紧密,减小接触电阻,在触点上装有弹簧以增加触点间的压力。桥式触点有两个断口,增加了断弧距离,利用触头回路产生的电动力拉长电弧,使电弧易于熄灭。指形触点在动、静触点的接触过程中有一个滚动过程,可使触点表面的氧化层脱落,所以

接触电阻小，可以通过较大的电流。

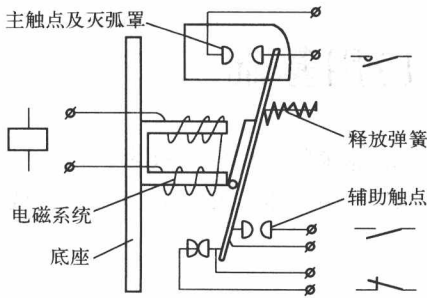


图 1-1 接触器的结构

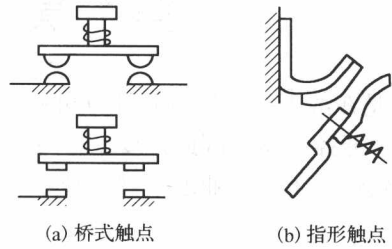


图 1-2 触点结构

触点按其动作状态可分为常开触点和常闭触点。常开触点是指在其线圈不通电状态下，该接点是断开状态，当其线圈通电时，该接点就闭合。故常开接点又称动合接点。另一种是常闭触点，指线圈在不通电状态是闭合的，当其线圈通电时，该接点断开。常闭接点又称动断接点。

(2) 灭弧

当接触器接点切断电路时，如果电路中电压超过 $10\sim 12\text{V}$ 或电流超过 100mA ，此时两个触点之间将产生火花，形成气体放电现象，通常称为电弧。所谓气体放电，就是气体中大量带电质点做定向运动。若触点分离瞬间触点间形成很强的电场强度，就会引起冲撞电离，甚至产生热电子发射和热电离，产生电子流，从而形成电弧。电弧可能灼伤触点表面，甚至使触点熔焊而不能正常工作。

为减少电弧的危害，常采用灭弧装置，使电弧迅速熄灭。在直流接触器中常在主触点电路中串入吹弧线圈，形成磁吹式灭弧装置，如图 1-3 所示；在交流接触器中常采用桥式触头的电动力灭弧及灭弧罩、灭弧栅、多点灭弧等。图 1-4 所示为栅片灭弧原理。

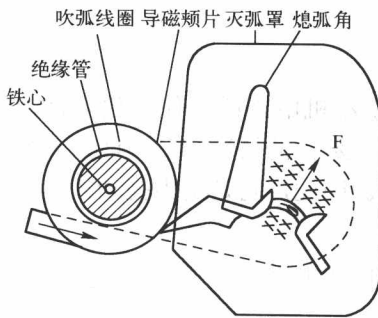


图 1-3 磁吹式灭弧装置

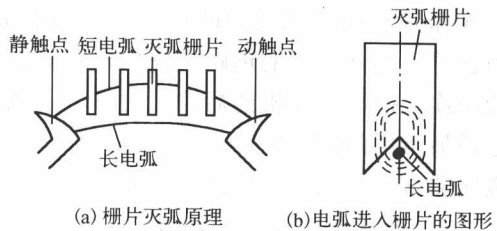


图 1-4 灭弧栅灭弧原理

(3) 电磁机构

电磁机构由线圈、铁心和衔铁组成。

电磁机构的分类如下：

- 按衔铁的运动方式分为衔铁沿棱角转动的拍合式铁心，如图 1-5(a)和(b)所示，其衔铁绕铁轭的棱角转动，磨损较小，铁心用软铁制成，适用于直流继电器和接触器；衔铁沿轴转动的拍合式铁心，如图 1-5(c)和(d)所示，其衔铁绕轴而转动，用于交流接触器，铁心用硅钢片制成；衔铁做直线运动的直动式铁心，如图 1-5(e)~(g)所示，衔铁在线圈内呈直线运动，多用于交流继电器和接触器中。

- 按磁系统形状可分为 U 形(见图 1-5(c))和 E 形(见图 1-5(d))两种。

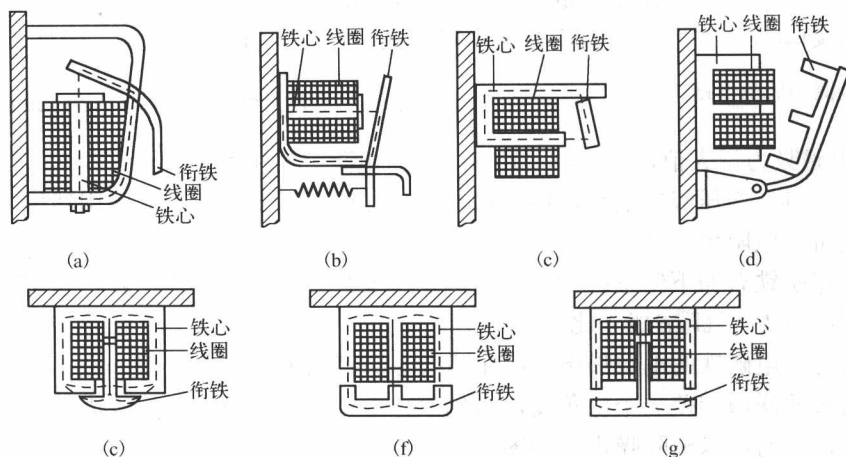


图 1-5 常用电磁机构

- 按激磁线圈的种类可分为交流电磁机构和直流电磁机构两种。
- 按激磁线圈的连接方式可分为并联(电压线圈)和串联(电流线圈)两种。

交流电磁铁在铁心中存在磁滞和涡流损耗(铁损),引起铁心发热。为了减少磁滞和涡流损耗,铁心用硅钢片叠铆而成;直流电磁铁线圈通直流电,无磁滞和涡流损耗,铁心不发热,可以用整块软钢或工程纯铁制成。

交流线圈匝数少、电阻小(靠感抗限制线圈电流)、铜损小,为增加铁心散热面积,线圈制成短而粗的形状,且带有骨架。直流线圈匝数多、电阻大(靠电阻限流)、铜损大,线圈本身会发热,因此做成长而薄的形状,且不带骨架(线圈与铁心直接接触),利于线圈散热。

电磁机构的吸力特性可以用下式表示:

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S \quad (1-1)$$

式中, B 为气隙磁感应强度,单位 T; S 为气隙截面积,单位 m^2 。

对于直流电磁铁来说,线圈电流 I 不变,则气隙磁通

$$\Phi = \frac{NI}{R_c} \propto \frac{1}{R_c} \quad (1-2)$$

式中, R_c 为闭合磁路磁阻,等于铁心磁阻与气隙磁阻 R_0 之和。而 $R_c \approx R_0 \propto \delta$, 其中, δ 为气隙长度。因此,

$$F \propto \Phi^2 \propto \frac{1}{R_c^2} \propto \frac{1}{\delta^2}$$

可得到如下结论: ①直流电磁铁电磁吸力与气隙的平方成反比。②直流电磁铁线圈电流 I 与气隙 δ 无关。可见,直流电磁机构适于频繁操作,其吸力特性曲线如图 1-6 所示。

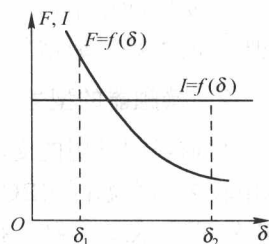


图 1-6 直流电磁机构的吸力特性曲线

需要指出的是,当直流电磁机构的激磁线圈断电时,磁势就由 NI 急速变为接近于零。电磁机构的磁通也发生相应的急速变化,因而就会在激磁线圈中感生很大的反电势。此反电势可达线圈额定电压的 10~20 倍,易使线圈因过压而损坏。为减小此反电势,可在激磁线圈上并联一个放电电阻 R 。这样,在线圈断电时,该电阻与线圈形成一个放电电路,使原先储于磁场中的能量得以转换成热能消耗在电阻上,而不致产生过压。从降低过电压出发,电阻 R 宜小一些,但这都会导致长期工作时能量的损耗增大。为解决这个矛盾,可以与电阻串联一个二极管

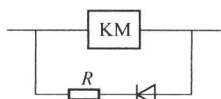


图 1-7 直流线圈的放电电路

(见图 1-7)，使正常工作时放电电路不通电。通常，放电电阻的电阻值可取线圈电阻的 6~8 倍。

对于交流电磁铁来说，由于 $B = B_m \sin \omega t$ ，于是

$$F = \frac{1}{2} F_m - \frac{1}{2} F_m \cos 2\omega t = F_0 (1 - \cos 2\omega t) \quad (1-3)$$

式中， F_m 为电磁吸力最大值， $F = 4 \times 10^5 BS$ ； F_0 为电磁吸力平均值， $F_0 = F_m/2$ 。

另外，对于具有电压线圈的交流电磁铁，当外加电压不变时，交流吸引线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗，电阻可忽略。

对于交流电磁铁有如下结论：① F 随时间周期变化，且有过零点，将产生电磁噪声；② 交流电磁铁线圈电流 I 与气隙 δ 成正比。

为了抑制交流电磁铁的电磁噪声，可在其铁心端部 2/3 处开一个槽，嵌入短路铜环，由于环内和环外通过的磁通相差一个电角度，且幅值也不相同，各自产生的吸力叠加后在任何瞬间合力均不为零，从而可以消除噪声，如图 1-8 所示。

交流并联激磁的电磁铁，虽然交流电磁机构的气隙磁通 Φ 近似不变，但气隙磁阻随气隙长度 δ 而变化。根据磁路定律可知，交流激磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比(见图 1-9)。在电磁铁的工作过程中，线圈电流随工作气隙的增大而增大，最大气隙(打开位置)时线圈的启动电流常为闭合位置的工作电流的 7~8 倍，甚至十几倍。当衔铁被卡住或频繁操作时，会造成线圈过热而烧毁。

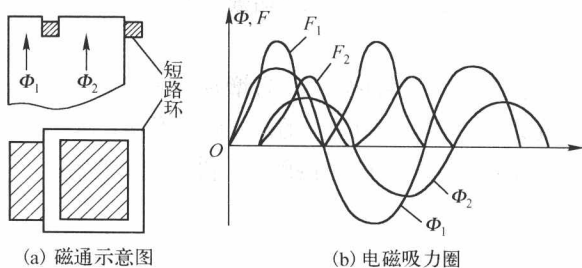


图 1-8 加短路环后的磁通和电磁吸力

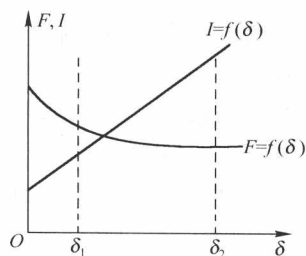


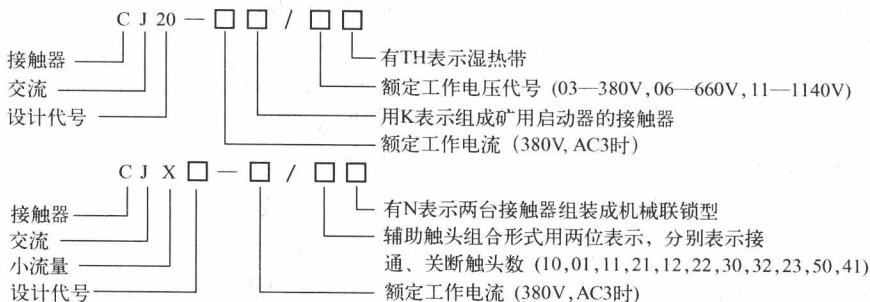
图 1-9 交流吸力特性曲线

在实际应用中，对频繁操作的交流接触器一般也采用直流电磁机构。为了克服吸合瞬间电磁吸力的不足，通常采用双线圈形式。

2. 接触器的型号

目前我国常用的交流接触器主要有 CJ20、CJX1、CFX2、CJ12 和 CJ10 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、罗克韦尔自动化公司的 Bulletin 100-C/104-C 接触器等。

CJ20、CJX 接触器型号的含义如下：

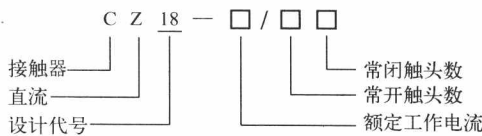


CJ10、CJ12 系列是早期全国统一设计的系列产品。CJ20 系列交流接触器是全国统一设计的新型接触器，主要适用于交流 50Hz、电压 660V 及以下、电流 630A 及以下的电气线路中，结构型式为直动式、立体布置、双断点结构。CJ20—63 型及以上的交流接触器采用压铸铝底座，并以增强耐弧塑料底板和高强度陶瓷灭弧罩组成三段式结构。全系列接触器结构紧凑，便于检修和更换线圈。触头系统的动触桥为船形结构，因而具有较高的强度和较大的热容量。静触头选用型材并配以铁质引弧角，使之既具有形状的稳定性和便于电弧向外运动。触头材料选用银氧化镉，具有较高的抗熔焊和耐电磨损的性能。灭弧罩分纵缝式和栅片式两种。采用双线圈的 U 形铁心，气隙置于静铁心底部中间位置，使之释放可靠。辅助触头在主触头的两侧，采用无色透明聚碳酸酯做成的封闭式结构，以防灰尘侵入，确保接触良好。图 1-10 为 CJ20—63 型交流接触器的结构示意图。CJ20 接触器的吸引线圈电压有 36V、127V、220V、380V 四个等级，吸合电压为 $80\% \sim 110\% U_N$ ，当电压小于 $75\% U_N$ 时释放。

B 系列交流接触器是我国接触器主要生产厂引进德国 BBC 公司技术生产的。其特点是，采用倒装式结构，即磁系统在前面而触头系统紧靠安装面，使吸引线圈更换方便，并缩短了主触头接线；通用件和附件多，接触器的零部件大都通用，可以配装气囊式继电器、机械联锁、自锁继电器等；具有可拆卸的触头，其数量可根据需要配置，最多可配置 8 对触头。目前国产的 CJX1 和 CJX2 系列小容量交流接触器也具有上述特点。

国内常用的直流接触器有 CZ18、CZ21、CZ22 和 CZ10、CZ2 等系列，CZ18 系列直流接触器是取代 CZ0 系列的新产品。

直流接触器型号含义如下：



接触器的图形符号和文字符号如图 1-11 所示。

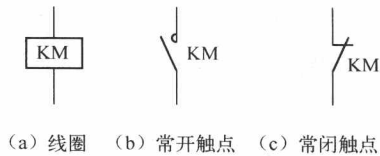


图 1-11 接触器的图形符号和文字符号

3. 接触器的主要技术指标

- ① 额定电压。接触器铭牌标注的额定电压是指主触点上的额定电压。常见的电压等级有：
直流接触器 220V、440V、660V。
交流接触器 220V、380V、500V。
- ② 额定电流。指主触点的额定电流。其中：
直流接触器 25A、40A、60A、100A、150A、250A、400A、600A。
交流接触器 5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A。
- ③ 线圈的额定电压。通常的电压等级有：
直流线圈 24V、48V、220V、440V。
交流线圈 36V、127V、220V、380V。
- ④ 额定操作频率；指每小时接通次数。

4. 接触器的选用原则

选用接触器可按下列步骤进行:

① 根据负载性质确定工作任务类别。一般交流负载用交流线圈的交流接触器, 直流负载用直流线圈的直流接触器, 但交流负载频繁动作时可采用直流线圈的交流接触器。

② 根据类别确定接触器系列。

③ 根据负载额定电压确定接触器的额定电压, 一般二者相等。

④ 根据负载电流确定接触器的额定电流, 并根据实际条件加以修正。例如, 当接触器安装在箱柜内时, 由于冷却条件变差, 电流要降低 70%~20% 使用; 当接触器工作于长期工作制, 通电持续率不超过 40% 时, 若敞开安装, 电流允许提高 10%~25%, 若箱柜安装, 允许提高 5%~10%。

⑤ 选定吸引线圈的电压。

⑥ 根据负载情况复核操作频率, 看是否在额定范围之内。

1.1.2 继电器

继电器是一种根据特定形式的输入信号(如电流、电压、转速、时间、温度等)的变化而动作的自动控制电器。它与接触器不同, 主要用于反应控制信号, 其触点通常接在控制电路中。一般来说, 继电器由承受机构、中间机构和执行机构三部分组成。承受机构反映继电器的输入量, 并传递给中间机构, 将它与预定的量(即整定值)进行比较, 当达到整定值时(过量或欠量), 中间机构就使执行机构产生输出量, 从而闭合或分断电路。

继电器的特点是具有跳跃式的输入-输出特性曲线, 如图 1-12 所示。当继电器获得一个输入信号 x 时, 不论信号幅值多大, 只要尚未达到动作幅值 x_2 , 则继电器不动作, 输出信号 y 等于零, 这时继电器的工作点在 $0 \sim a$ 之间。当输入信号达到动作值 x_2 时, 继电器立即动作, 其工作点瞬时从 a 点跳到 b 点, 输出一个 y_1 的信号。在这以后, 即使继续增大输入信号, 输出信号仍为 y_1 不变。在继电器动作后, 如果输入信号减弱了, 工作点并不沿折线 $b-a-O$ 变化, 而是沿 $b-c$ 变化, 即在 x 略小于动作值 x_2 时, 继电器并不释放, 继续输出信号 y_1 。只有当 x 减小到继电器的释放值 x_1 时, 它才释放, 不再有信号输出。此时, 继电器的工作点沿折线 $b-c-d-O$ 变化, 恢复原状。

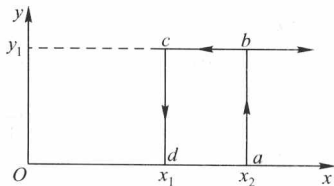


图 1-12 继电器特性曲线

根据继电器的作用, 要求继电器反映灵敏准确、动作迅速、工作可靠、结构坚固、使用耐久。 $k = x_1 / x_2$ 称为继电器的返回系数, 它是继电器的重要参数之一, k 值可通过调节释放弹簧的松紧程度或调整铁心与衔铁间非磁性垫片的厚度来改变。一般继电器要求有低的返回系数, k 值应在 0.1~0.4 之间; 欠压继电器则要求有高的返回系数, k 值应在 0.6 以上。

另外三个重要参数是灵敏度、吸合时间与释放时间。灵敏度是指使继电器动作所需的最小功率; 吸合时间是指从线圈接受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。其大小影响继电器的操作频率。

继电器按输入信号的性质可分为: 电压继电器、电流继电器、速度继电器、舌(干)簧继电器、时间继电器、温度继电器等。按动作原理可分为: 电磁式继电器、感应式继电器、热继电器、电动式继电器、电子式继电器等。这里主要介绍电器控制系统上用的电磁式(电压、电流、中间)继电器、时间继电器、热继电器和速度继电器等。

1. 电磁式继电器

电磁式继电器与接触器类似，其典型结构如图 1-13 所示。常用的电磁式继电器有电流继电器、电压继电器和中间继电器。

(1) 电流继电器

电流继电器的线圈是电流线圈，它与负载串联以反应负载电流的变化，故它的线圈匝数少而导线粗，这样通过电流时的压降很小，不会影响负载电路的电流，而导线粗、电流大仍可获得需要的磁势。

根据实际应用的要求，除一般用的电流继电器外，还有控制与保护用的过电流继电器和欠电流继电器。

过电流继电器在正常工作时衔铁不动作，当电流超过某一整定值时，衔铁动作，于是常开触点闭合，常闭触点断开。一般交流过电流继电器调整在 $(110 \sim 400)\%I_N$ 动作，直流过电流继电器调整在 $(70 \sim 300)\%I_N$ 动作。

欠电流继电器是当电流降低到某一整定值时，继电器释放。所以电路电流正常时，衔铁吸合。

(2) 电压继电器

电压继电器的线圈是电压线圈，导线细、电阻大，与负载并联以反映电路电压的变化。

电压继电器有过电压、欠电压、零电压继电器等。零电压继电器是电压降低到接近零时衔铁才释放的继电器。一般来说，过电压继电器在电压为 $(110 \sim 115)\%U_N$ 以上时动作，对电路进行过电压保护；欠电压继电器在电压为 $(40 \sim 70)\%U_N$ 时动作，对电路进行欠电压保护；零电压继电器当电压降至 $(5 \sim 35)\%U_N$ 时动作，对电路进行零压保护。

(3) 中间继电器

中间继电器实质上也是一个电压线圈的继电器。它具有触点多(6 对甚至更多)、触点电流大(额定电流为 $5 \sim 10A$)、动作灵敏(动作时间小于 $0.05s$)等特点。可以用它来增加控制电路的回路数或放大信号。

(4) 电磁继电器的整定方法

根据系统要求，使继电器预先达到某一个动作值，称为整定值。

图 1-14 示出了电磁继电器的吸力特性与反力特性的配合关系。其中，衔铁所受反力包括：恢复弹簧的作用力、触头弹簧的作用力及可动部分的重量。图中， a_0f_0 为释放弹簧反作用力(含可动部分重量)。在气隙为 δ_0 时，常闭触头开始打开，至 δ_1 时完全打开；在气隙为 δ_2 时，常开触点开始闭合，至 δ_3 时完全闭合。总的反力特性为 $abcdef$ 。

由图 1-14 可知，反力弹簧对衔铁吸合动作产生反力，衔铁吸合时，吸力特性必须始终大于反力特性；释放时，吸力特性必须始终低于反力特性。线圈动作电压(或电流)、返回电压(或电流)的大小均受反作用弹簧松紧的影响。为了调整返回电压(或电流)，可以在衔铁闭合面内人为地装一层非磁性垫片，这个垫片

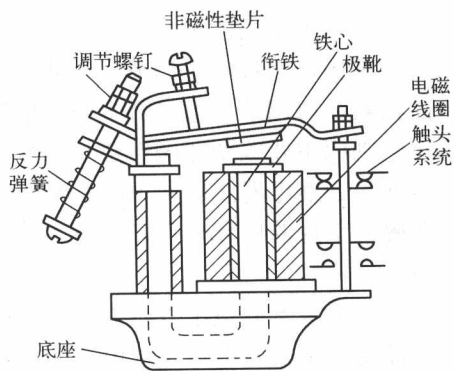


图 1-13 电磁式继电器典型结构

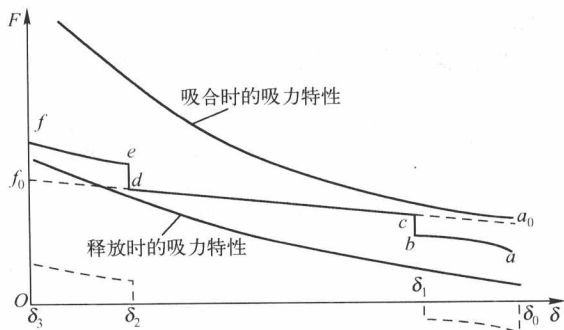


图 1-14 吸力特性与反力特性的配合

的厚薄影响着闭合后磁路的磁阻,从而也改变了返回电压(或电流)的大小。

由上面分析可知,电磁继电器的整定方法就是改变反作用弹簧的松紧和非磁性垫片的厚薄。

对电压继电器的整定:用电压表并接于线圈两端,用滑线电阻调节线圈两端电压。如欲整定动作电压,则将电压调节到所要求的动作值,断开电源(滑线电阻不要改变)。调节反作用弹簧的松紧,每调节一次,合上一次电源,直到合上电源后,衔铁刚好动作为止。如欲整定返回电压,则应主要改变非磁性垫片的厚度(如果吸合电压没有固定要求,也可调节反作用弹簧)。这时应先让继电器闭合,再改变滑线电阻,将线圈电压减小,直到电压达到所要求的值,再调节非磁性垫片的厚度(每次调节都应先断开线圈电压),直至达到在所要求的返回电压下衔铁打开为止。

电流继电器的整定方法与上面一样,只不过改用电流表串接在线圈回路内。

需要指出的是电磁式继电器的整定值只能在小范围内变化,因为如果弹簧太紧,就有可能使线圈吸不动衔铁,不能闭合。如果太松,则有可能不能释放,造成动作不可靠。

继电器的图形符号和文字符号如图 1-15 所示。

2. 时间继电器

从得到输入信号起,到产生相应的输出信号(如触点的通断等),有一个符合一定准确度的延时过程的继电器(时间继电器),它在电路中起控制动作时间的作用。时间继电器的延时方式有两种:通电延时型——接受输入信号后要延迟一段时间,输出信号才发生变化;当输入信号消失后,输出即时复原。断电延时型——当接受输入信号时,

立即产生相应的输出信号;但当输入信号消失后,继电器需经过一定的延时,输出才复原。

时间继电器是在电路中启用作时间控制作用的继电器,应用范围很广,从某些简单生产机械到尖端科学部门都需要用到它,特别是电力拖动系统和各种自动控制系统,其程序安排大多依靠时间继电器来完成。

时间继电器的种类很多,从设计原理上分有电磁式、空气阻尼式、电动机式和晶体管式时间继电器。

罗克韦尔自动化公司生产的接触器和继电器大多可以通过加入扩展的定时模块附件直接起到时间继电器的作用。此外,罗克韦尔自动化公司也生产专用的时间继电器,其中 Bulletin 700-FE 系列是经济型时间继电器,可分为单功能继电器和多功能继电器。单功能继电器具有 4 种固定功能和 4 个时间设定范围。多功能继电器具有 4 种计时功能和 4 个事件设定范围。4 种计时功能是吸合延时、复位延时、瞬间延时、上电接通式交替接通。KOP 系列是电子式时间继电器。

时间继电器的图形符号和文字符号如图 1-16 所示。



图 1-16 时间继电器的图形符号和文字符号

3. 热继电器

热继电器主要用于电动机的过载、断相及电流不平衡的保护,以及其他电气设备发热状态