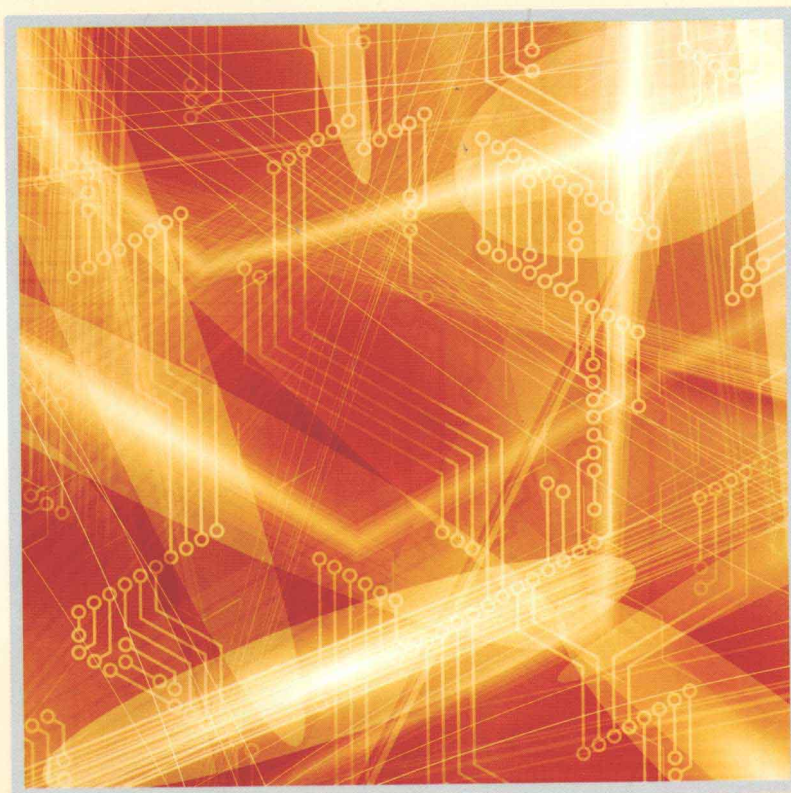


现代电气控制设备

陈 辉 蔡华锋 主 编
陈 俊 余 瑜 副主编



PLC
PLC
PLCPLC
PLC
PLCPLC
清华大学出版社



内 容 简 介

本书以国内广泛使用的欧姆龙公司 CPH 系列 PLC 为例,以接触器-继电器控制系统为基础,介绍 PLC 的工作原理、特点、硬件结构、编程软件与指令系统,并从工程应用实际出发,详细介绍梯形图程序的常用设计方法、PLC 系统设计与调试方法及 PLC 实际应用中应注意的问题。

本书不仅介绍了 PLC 在开关量、模拟量控制系统中的应用与 PLC 网络通信,同时以工程应用实例介绍了 PLC 控制系统在顺序系统、变频系统和伺服系统中的应用。

本书可作为高等院校电气工程及自动化、机电一体化及其他相关专业的 PLC 教材,也可供工程技术人员自学或作为培训教材使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

现代电气控制设备/陈辉,蔡华锋主编. —北京:清华大学出版社,2012.9

ISBN 978-7-302-29004-9

I. ①现… II. ①陈… ②蔡… III. ①PLC 技术 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 122850 号

责任编辑:钟志芳

封面设计:刘超

版式设计:文森时代

责任校对:张兴旺

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京世知印务有限公司

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:27.25

字 数:630 千字

版 次:2012 年 9 月第 1 版

印 次:2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:47.00 元

产品编号:045521-01

前 言

可编程控制器简称 PLC，是以微处理器为核心的工业自动控制通用装置。它具有控制功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于扩展、通用性强等一系列优点，不仅可以取代继电器控制系统，还可以进行复杂的生产过程控制并应用于工厂自动化网络，被誉为现代工业生产自动化的三大支柱之一。

学习和掌握 PLC 应用技术已成为工程技术人员的紧迫任务。学习 PLC 需要了解的前修知识是接触器-继电器控制系统，因此，本书从常用低压电气控制系统入手，建立控制思想，随后重点介绍 PLC 的基础知识与实际应用。

本书以国内广泛使用的欧姆龙公司 CP1H 系列 PLC 为背景，以接触器-继电器控制系统为基础，介绍了 PLC 的工作原理、特点、硬件结构、编程元件与指令系统，并从工程应用角度出发，详细介绍了梯形图程序的常用设计方法、PLC 系统设计与调试方法及 PLC 在实际应用中应注意的问题，同时以工程应用实例介绍了 PLC 控制系统在顺序系统、变频系统和伺服系统中的应用。

全书共分 7 章，包括电气控制基础、可编程控制器基础知识、CP1H 系列可编程控制器、欧姆龙 CP1H 系列指令系统、可编程控制器控制系统的设计、可编程控制器的通信与网络、现代电气控制技术工程应用实践等内容，书后附有 CP1H 系列功能指令一览表、CP1H 系列 PLC 资源一览表和 CP1H 系列 PLC 异常及其处理。

本书力求由浅入深、通俗易懂、理论联系实际，注重常规应用，可作为高等院校自动化、电气工程、电子信息、机电一体化及相关专业本科生的教材，也可供工程技术人员自学或作为培训教材使用。

全书由湖北工业大学陈辉和蔡华锋担任主编，湖北工业大学陈俊和余瑜担任副主编。具体分工为：第 1 章由余瑜编写，第 2、3 章由陈辉编写，第 4 章由陈俊编写，第 5、6、7 章由蔡华锋编写，陈辉负责本书的最后统稿和编排工作。

本书在编写过程中得到了湖北工业大学教师们的支持和帮助，在此向程琼、廖东初等教授表示衷心感谢。另外，还要对书中所列参考文献的作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足和疏漏之处，希望广大教师、学生和专业技术人员给予批评、指正。

编 者

目 录

第 1 章 电气控制基础	1
1.1 常用低压电器	1
1.1.1 常用低压电器的分类	1
1.1.2 接触器	2
1.1.3 控制继电器	4
1.1.4 主令电器	12
1.1.5 刀开关	18
1.1.6 熔断器	20
1.1.7 断路器	20
1.1.8 控制器	22
1.1.9 电器的文字符号和图形符号	23
1.2 基本电气控制系统设计原则	28
1.2.1 电力拖动方案的确定和电动机的选择	29
1.2.2 电气原理图的绘制	29
1.2.3 设计电气控制线路的一般原则	30
1.2.4 电气控制线路设计方法	35
1.3 典型电气控制系统	42
1.3.1 三相鼠笼式异步电动机的启动控制线路	42
1.3.2 三相鼠笼式异步电动机的降压启动线路	47
1.3.3 三相鼠笼式异步电动机的制动控制线路	50
1.3.4 绕线式异步电动机控制线路	53
1.4 电气控制系统制图工具	57
1.4.1 AutoCAD 的安装	57
1.4.2 电气工程 CAD 制图规范	59
1.4.3 AutoCAD 2011 制图基础	63
1.4.4 常用电气元件的绘制	73
1.4.5 电动机控制电路图的绘制	75
第 2 章 可编程控制器基础知识	79
2.1 概述	79
2.2 PLC 与其他控制系统的比较	85
2.3 PLC 的基本组成	87

2.4	PLC 的工作原理.....	90
2.5	PLC 的性能指标及发展历史与趋势.....	92
2.5.1	PLC 的性能指标.....	92
2.5.2	PLC 的发展历史.....	94
2.5.3	PLC 的发展趋势.....	96
2.5.4	PLC 行业就业前景.....	96
2.6	国外典型的 PLC 产品介绍.....	97
2.6.1	PLC 系列产品的分类.....	97
2.6.2	PLC 的应用范围.....	99
2.6.3	国外典型的 PLC 产品介绍.....	99
2.7	IEC 61131 标准介绍.....	129
第 3 章	CP1H 系列可编程控制器.....	131
3.1	CP1H 系列产品概述.....	131
3.1.1	CP1H 系列产品的设计思路.....	131
3.1.2	CP1H 系列产品的功能与应用.....	132
3.1.3	CP1H 系列产品的其他功能.....	134
3.1.4	CP1H 系列产品的软件特点.....	135
3.1.5	CP1H 系列产品的性能特点.....	136
3.2	CP1H CPU 系列分类与结构介绍.....	137
3.2.1	CP1H CPU 系列产品分类与编号识别方法.....	137
3.2.2	CP1H CPU 物理结构.....	138
3.3	CP1H 的功能介绍.....	144
3.3.1	中断功能简介.....	144
3.3.2	输入中断（直接模式）.....	147
3.3.3	输入中断（计数器模式）.....	151
3.3.4	定时中断.....	154
3.3.5	高速计数器中断.....	156
3.3.6	外部中断.....	165
3.3.7	高速计数器功能简介.....	165
3.3.8	脉冲输出.....	178
3.4	CP1H 的 I/O 存储器与分配.....	184
3.4.1	各 I/O 存储区域简介.....	185
3.4.2	输入/输出继电器与 I/O 分配.....	188
3.5	应用实例.....	200
第 4 章	欧姆龙 CP1H 系列指令系统.....	210
4.1	PLC 编程介绍.....	210

4.1.1 PLC 的编程语言简介.....	210
4.1.2 梯形图的几点说明.....	211
4.2 CX-P 编程软件的介绍.....	212
4.2.1 CX-P 软件的安装.....	212
4.2.2 CX-P 软件的使用.....	215
4.2.3 PLC 与计算机的连接.....	220
4.2.4 编程规则.....	221
4.3 CP1H 系列指令系统.....	222
4.3.1 指令格式.....	222
4.3.2 指令分类.....	222
4.3.3 常用基本指令.....	225
4.3.4 其他时序输入/输出指令.....	232
4.3.5 时序控制指令.....	236
4.3.6 定时器和计数器指令.....	240
4.3.7 数据传送指令.....	245
4.3.8 数据比较指令.....	249
4.3.9 数据移位指令.....	253
4.3.10 数据转换指令.....	256
4.3.11 数据运算指令.....	258
4.3.12 逻辑运算指令.....	260
4.3.13 子程序指令.....	261
4.3.14 中断控制指令.....	264
4.3.15 高速计数/脉冲输出指令.....	268
4.3.16 数据控制指令.....	272
4.3.17 调试与错误诊断指令.....	276
4.3.18 特殊指令.....	280
习题.....	281
第 5 章 可编程控制器控制系统的设计.....	283
5.1 PLC 控制系统设计的基本原则与步骤.....	283
5.1.1 PLC 控制系统设计的基本原则.....	283
5.1.2 PLC 控制系统设计的步骤.....	284
5.2 PLC 控制系统硬件设计.....	286
5.2.1 PLC 的选择.....	286
5.2.2 PLC 与输入/输出设备的连接.....	291
5.2.3 减少 I/O 点数的措施.....	295
5.3 PLC 控制系统软件设计.....	299
5.3.1 梯形图概述.....	299

5.3.2	梯形图的编程规则	300
5.4	PLC 控制系统的调试与检查	307
5.4.1	PLC 调试方法及步骤	307
5.4.2	PLC 故障检查	309
5.5	PLC 控制系统的安装与维护	312
5.5.1	PLC 的安装	313
5.5.2	PLC 的维护	315
5.6	PLC 控制系统的施工设计	316
5.6.1	绘图原则	316
5.6.2	电气布置图的绘制	317
5.6.3	电气接线图的绘制	318
5.6.4	电气控制柜(箱)的设计	319
第 6 章	可编程控制器的通信与网络	320
6.1	可编程控制器通信基础	320
6.1.1	数据通信概述	320
6.1.2	数据通信的传输方式	321
6.1.3	数据通信的主要技术指标	321
6.1.4	PLC 串行通信接口	322
6.1.5	通信介质	324
6.2	可编程控制器网络基础	326
6.2.1	局域网的拓扑结构	327
6.2.2	网络协议	327
6.3	欧姆龙 PLC 网络系统	329
6.3.1	欧姆龙 PLC 网络系统概述	329
6.3.2	信息层网络以太网	330
6.3.3	Controller Link 控制器网	331
6.3.4	CompoBus/D 设备网	333
6.3.5	CompoBus/S 器件网	335
6.4	欧姆龙 PLC 的串行通信系统	336
6.4.1	欧姆龙 PLC 的串行通信系统概述	336
6.4.2	上位链接通信	336
6.4.3	无协议通信	338
6.4.4	一对一 PLC 链接	340
6.4.5	NT 链接通信	341
6.5	欧姆龙 PLC 与上位机链接应用实例	342
6.5.1	上位机与 PLC 通信目标	342
6.5.2	HOSTLINK 通信协议与设置	342

6.5.3 VB 与 CP1H 通信实践.....	346
第 7 章 现代电气控制技术工程应用实践.....	351
7.1 PLC 在顺序控制系统中的应用.....	351
7.1.1 顺序控制设计方法简介.....	351
7.1.2 大米加工碾米系统概述.....	354
7.1.3 碾米系统资源分配.....	356
7.1.4 碾米系统程序设计.....	357
7.2 PLC 在变频器控制系统中的应用.....	366
7.2.1 变频器的工作原理与选型.....	366
7.2.2 变频器多段速控制.....	371
7.2.3 变频器无极调速控制.....	376
7.2.4 变频器与 PLC 通信.....	378
7.3 PLC 在伺服控制系统中的应用.....	384
7.3.1 伺服电机的选型原则.....	384
7.3.2 伺服控制系统电路设计.....	387
7.3.3 伺服系统控制程序.....	389
7.4 PLC 与组态王应用实例.....	390
7.4.1 组态王 6.52 软件介绍.....	390
7.4.2 组态王 6.52 实例详解.....	401
7.4.3 组态王 6.52 与 CP1H 连接.....	414
参考文献.....	416
附录 1 CP1H 系列 PLC 功能指令一览表.....	417
附录 2 CP1H 系列 PLC 资源一览表.....	423
附录 3 CP1H 系列 PLC 异常及其处理.....	424

第 1 章 电气控制基础

1.1 常用低压电器

在工矿企业的电气控制设备中，基本上都采用低压电器。因此，低压电器是电气控制系统的基本组成元件，控制系统的优劣和低压电器的性能有直接关系。可编程控制器在电气控制系统中需要大量的低压控制电器才能组成一个完整的控制系统，因此，熟悉低压电器的结构、工作原理和使用方法是学习可编程控制器的基础。

低压电器是指额定电压等级在交流 1200V、直流 1500V 以下的电器。在我国工业控制电路中最常用的三相交流电压等级为 380V，只有在特定行业环境下才使用其他电压等级，如煤矿井下的电钻用 127V、运输机用 660V、采煤机用 1140V 等。

单相交流电压等级最常见的为 220V，机床、热工仪表和矿井照明等采用 127V 电压等级，其他电压等级，如 6V、12V、24V、36V 和 42V 等，一般用于安全场所的照明、信号灯以及作为控制电压。

直流常用电压等级有 110V、220V 和 440V，主要用于动力；6V、12V、24V 和 36V 主要用于控制；在电子线路中还有 5V、9V 和 15V 等电压等级。

1.1.1 常用低压电器的分类

低压电器种类繁多、功能多样、构造各异、用途广泛，其工作原理各不相同。常用低压电器的分类方法较多，下面进行介绍。

1. 按用途或控制对象分类

(1) 配电电器：主要用于低压配电系统中。要求系统发生故障时准确动作、可靠工作，在规定条件下具有相应的动稳定性与热稳定性，使电器不会被损坏。常用的配电电器有刀开关、转换开关、熔断器、断路器等。

(2) 控制电器：主要用于电气传动系统中。要求寿命长、体积小、重量轻且动作迅速、准确、可靠。常用的控制电器有接触器、继电器、启动器、主令电器、电磁铁等。

2. 按动作方式分类

(1) 自动电器：依靠自身参数的变化或外来信号的作用，自动完成接通或分断等动作，如接触器、继电器等。

(2) 手动电器：用手动操作来进行切换的电器，如刀开关、转换开关、按钮等。

3. 按触点类型分类

(1) 有触点电器：利用触点的接通和分断来切换电路，如接触器、刀开关、按钮等。

(2) 无触点电器：无可分离的触点，主要利用电子元件的开关效应，即导通和截止来实现电路的通、断控制，如接近开关、霍尔开关、电子式时间继电器、固态继电器等。

4. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器：根据电磁感应原理动作的电器，如接触器、继电器、电磁铁等。

(2) 非电量控制电器：依靠外力或非电量信号（如速度、压力、温度等）的变化而动作的电器，如转换开关、行程开关、速度继电器、压力继电器、温度继电器等。

5. 按低压电器型号分类

为了便于了解文字符号和各种低压电器的特点，采用我国《国产低压电器产品型号编制办法》(JB 2930—81.10) 的分类方法，将低压电器分为 13 个大类。每个大类用一个字母作为该产品型号的首字母，第二个字母则表示该类电器的各种形式。

(1) 刀开关 H，例如 HS 为双投式刀开关（刀型转换开关），HZ 为组合开关。

(2) 熔断器 R，例如 RC 为瓷插式熔断器，RM 为密封式熔断器。

(3) 断路器 D，例如 DW 为万能式断路器，DZ 为塑壳式断路器。

(4) 控制器 K，例如 KT 为凸轮控制器，KG 为鼓型控制器。

(5) 接触器 C，例如 CJ 为交流接触器，CZ 为直流接触器。

(6) 启动器 Q，例如 QJ 为自耦变压器降压启动器，QX 为星三角启动器。

(7) 控制继电器 J，例如 JR 为热继电器，JS 为时间继电器。

(8) 主令电器 L，例如 LA 为按钮，LX 为行程开关。

(9) 电阻器 Z，例如 ZG 为管型电阻器，ZT 为铸铁电阻器。

(10) 变阻器 B，例如 BP 为频敏变阻器，BT 为启动调速变阻器。

(11) 调整器 T，例如 TD 为单相调压器，TS 为三相调压器。

(12) 电磁铁 M，例如 MY 为液压电磁铁，MZ 为制动电磁铁。

(13) 其他 A，例如 AD 为信号灯，AL 为电铃。

在选用低压电器时常根据型号来进行选用。

1.1.2 接触器

接触器主要用于控制电动机、电热设备、电焊机和电容器组等，能频繁地接通或断开交流主电路，实现远距离自动控制。它具有低电压释放保护功能，广泛应用在电力拖动自动控制线路中。

接触器分为交流接触器和直流接触器两大类型。下面对交流接触器进行介绍。

如图 1.1 所示为交流接触器的结构示意图及图形符号。

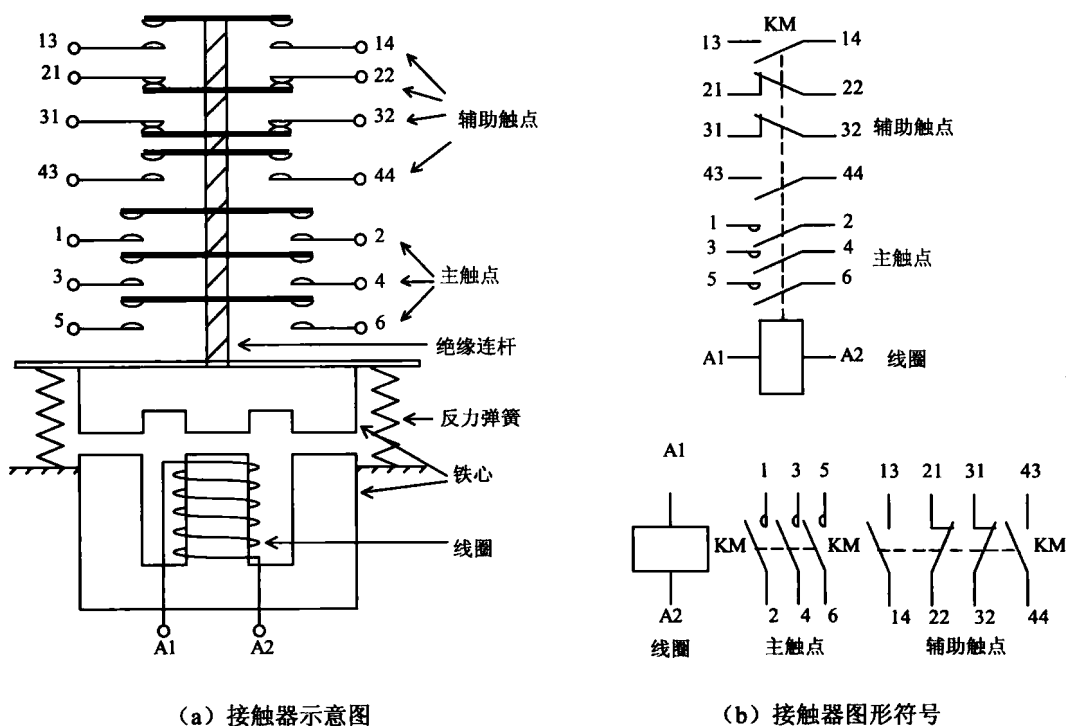


图 1.1 交流接触器的结构示意图及图形符号

1. 交流接触器的组成部分

交流接触器包括以下组成部分。

(1) 电磁机构：由线圈、动铁心（衔铁）和静铁心组成。

(2) 触头系统：包括主触头和辅助触头。主触头用于通断主电路，有 3 对或 4 对常开触头；辅助触头用于控制电路，起电气联锁或控制作用，通常有两对常开触头和两对常闭触头。

(3) 灭弧装置：容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置。对于小容量的接触器，常采用双断口桥形触头以利于灭弧；对于大容量的接触器，常采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧结构。

(4) 其他部件：包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触头压力弹簧、传动机构及外壳等。

接触器上标有端子标号，线圈为 A1、A2，主触头 1、3、5 接电源侧，2、4、6 接负荷侧。辅助触头用两位数表示，前一位为辅助触头顺序号，后一位的 3、4 表示常开触头，1、2 表示常闭触头。

接触器的控制原理很简单，当线圈接通额定电压时产生电磁力，克服弹簧反力，吸引动铁心向下运动，动铁心带动绝缘连杆和动触头向下运动使常开触头闭合，常闭触头断开；当线圈失电或电压低于释放电压时，电磁力小于弹簧反力，常开触头断开，常闭触头闭合。

2. 接触器的主要技术参数和类型

(1) 额定电压：接触器的额定电压是指主触头的额定电压。交流额定电压有 220V、380V 和 660V，在特殊场合应用的额定电压高达 1140V；直流额定电压主要有 110V、220V

和 440V。

(2) 额定电流: 接触器的额定电流是指主触头的额定工作电流。它是在一定条件(额定电压、使用类别和操作频率等)下规定的, 目前常用的电流等级为 10A~800A。

(3) 吸引线圈的额定电压: 交流额定电压有 36V、127V、220V 和 380V; 直流额定电压有 24V、48V、220V 和 440V。

(4) 机械寿命和电气寿命: 接触器是频繁操作电器, 应有较高的机械和电气寿命, 该指标是产品质量的重要指标之一。

(5) 额定操作频率: 接触器的额定操作频率是指每小时允许的操作次数, 一般为 300 次/h、600 次/h 和 1200 次/h。

(6) 动作值: 动作值是指接触器的吸合电压和释放电压。规定接触器的吸合电压大于线圈额定电压的 85%时应可靠吸合, 释放电压不高于线圈额定电压的 70%。

常用的交流接触器有 CJ10、CJ12、CJ10X、CJ20、CJX1、CJX2、3TB 和 3TD 等系列。

3. 接触器的选择

选择接触器时应注重以下几点。

(1) 根据负载性质选择接触器的类型。

(2) 额定电压应大于或等于主电路工作电压。

(3) 额定电流应大于或等于被控电路的额定电流。对于电动机负载, 还应根据其运行方式适当增大或减小。

(4) 吸引线圈的额定电压与频率要与所在控制电路选用的电压和频率一致。

1.1.3 控制继电器

控制继电器用于电路的逻辑控制, 继电器具有逻辑记忆功能, 能组成复杂的逻辑控制电路, 用于将某种电量(如电压、电流)或非电量(如温度、压力、转速、时间等)的变化量转换为开关量, 以实现电路的自动控制功能。

继电器的种类很多, 按输入量可分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、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、电子式继电器等; 按用途可分为控制继电器、保护继电器等; 按输入量变化形式可分为有无继电器和量度继电器。

有无继电器是根据输入量的有或无来动作的, 无输入量时继电器不动作, 有输入量时继电器动作, 如中间继电器、通用继电器、时间继电器等。

量度继电器是根据输入量的变化来动作的, 工作时其输入量是一直存在的, 只有当输入量达到一定值时继电器才动作, 如电流继电器、电压继电器、热继电器、速度继电器、压力继电器、液位继电器等。

1.1.3.1 电磁式继电器

控制电路中的继电器大多数是电磁式继电器。电磁式继电器具有结构简单、价格低廉、

使用维护方便、触点容量小（一般在 5A 以下）、触点数量多且无主辅之分、无灭弧装置、体积小、动作迅速准确、控制灵敏、可靠等特点，广泛地应用于低压控制系统中。常用的电磁式继电器有电流继电器、电压继电器、中间继电器以及各种小型通用继电器等。

电磁式继电器的结构和工作原理与接触器相似，主要由电磁机构和触点组成。电磁式继电器也有直流和交流两种。如图 1.2 (a) 所示为直流电磁式继电器的结构示意图，在线圈两端加上电压或通入电流，产生电磁力，当电磁力大于弹簧反力时，吸动衔铁使常开、常闭触点动作；当线圈的电压或电流下降或消失时，释放衔铁，触点复位。

1. 电磁式继电器的整定

继电器的吸动值和释放值可以根据保护要求在一定范围内调整，现以图 1.2 (a) 所示的直流电磁式继电器为例予以说明。

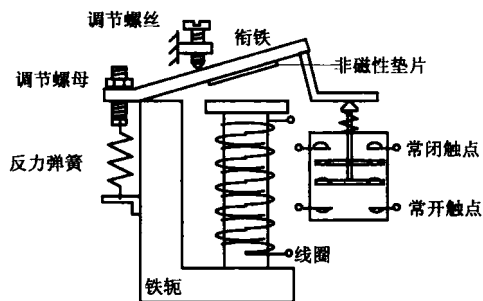
(1) 转动调节螺母，调整反力弹簧的松紧程度可以调整动作电流（电压）。弹簧反力越大，动作电流（电压）越大；反之越小。

(2) 改变非磁性垫片的厚度。非磁性垫片越厚，衔铁吸合后磁路的气隙和磁阻就越大，释放电流（电压）也就越大；反之越小，而吸引值不变。

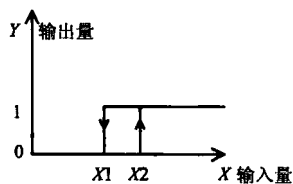
(3) 转动调节螺丝，可以改变初始气隙的大小。在反作用弹簧力和非磁性垫片厚度一定时，初始气隙越大，吸引电流（电压）越大；反之越小，而释放值不变。

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，又称为继电特性，如图 1.2 (b) 所示。



(a) 直流电磁式继电器结构示意图



(b) 继电器输入-输出特性

图 1.2 直流电磁式继电器结构示意图及输入输出特性

当继电器输入量 X 由 0 增加至 X_2 之前，输出量 Y 为 0。当输入量增加到 X_2 时，继电器吸合，输出量 Y 为 1，表示继电器线圈得电，常开触点闭合，常闭触点断开。当输入量继续增大时，继电器动作状态不变。

在输出量 Y 为 1 的状态下，输入量 X 减小至小于 X_2 时 Y 值仍不变，当 X 再继续减小至小于 X_1 时，继电器释放，输出量 Y 变为 0， X 再减小， Y 值仍为 0。

在继电特性曲线中， X_2 称为继电器吸合值， X_1 称为继电器释放值。 $k=X_1/X_2$ ，称为继电器的返回系数，它是继电器的重要参数之一。

返回系数 k 值可以调节，不同场合对 k 值的要求不同。例如，一般控制继电器要求 k

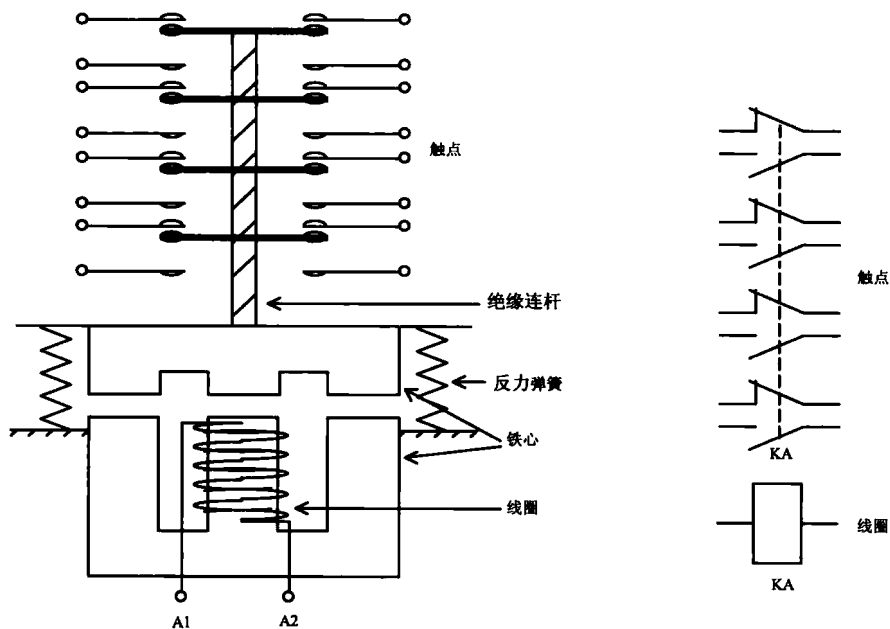
值低些,在 $0.1\sim 0.4$ 之间,这样继电器吸合后,输入量波动较大时不致引起误动作;保护继电器要求 k 值高些,一般在 $0.85\sim 0.9$ 之间。 k 值是反映吸力特性与反力特性配合紧密程度的一个参数,一般 k 值越大,继电器灵敏度越高; k 值越小,灵敏度越低。

1.1.3.2 中间继电器

中间继电器是最常用的继电器之一,其结构和接触器基本相同,如图 1.3 (a) 所示,其图形符号如图 1.3 (b) 所示。

中间继电器在控制电路中具有逻辑变换和状态记忆的功能,可用于扩展触点的容量和数量。另外,在控制电路中还可以调节各继电器、开关之间的动作时间,防止电路误动作。中间继电器实质上是一种电压继电器,它是根据输入电压的有或无而动作的,一般触点对数多,触点容量额定电流为 $5\text{A}\sim 10\text{A}$ 左右。中间继电器体积小,动作灵敏度高,一般不用于直接控制电路的负荷,但当电路的负荷电流在 $5\text{A}\sim 10\text{A}$ 以下时,也可代替接触器起控制负荷的作用。中间继电器的工作原理和接触器一样,触点较多,一般为 4 常开和 4 常闭触点。

常用的中间继电器型号有 JZ7、JZ14 等。



(a) 中间继电器结构示意图

(b) 中间继电器图形符号

图 1.3 中间继电器结构示意图及图形符号

1.1.3.3 电流继电器和电压继电器

1. 电流继电器

电流继电器的输入量是电流,它是根据输入电流大小而动作的继电器。电流继电器的线圈串入电路中,以反映电路电流的变化,其线圈匝数少、导线粗、阻抗小。电流继电器

可分为欠电流继电器和过电流继电器。

欠电流继电器用于欠电流保护或控制，如直流电动机励磁绕组的弱磁保护、电磁吸盘中的欠电流保护、绕线式异步电动机启动时电阻的切换控制等。欠电流继电器的动作电流整定范围为线圈额定电流的 30%~65%。需要注意的是，欠电流继电器在电路正常工作时，电流正常不欠电流时，欠电流继电器处于吸合动作状态，常开接点处于闭合状态，常闭接点处于断开状态；当电路出现不正常现象或故障导致电流下降或消失时，继电器中流过的电流小于释放电流而动作，所以欠电流继电器的动作电流为释放电流而不是吸合电流。

过电流继电器用于过电流保护或控制，如起重机电路中的过电流保护。过电流继电器在电路正常工作时流过正常工作电流，正常工作电流小于继电器所整定的动作电流时，继电器不动作，当电流超过动作电流整定值时才动作。过电流继电器动作时其常开接点闭合，常闭接点断开。过电流继电器整定范围为（110%~400%）额定电流，其中交流过电流继电器为（110%~400%） I_N ，直流过电流继电器为（70%~300%） I_N 。

常用的电流继电器的型号有 JL12、JL15 等。

电流继电器作为保护电器时，其图形符号如图 1.4 所示。

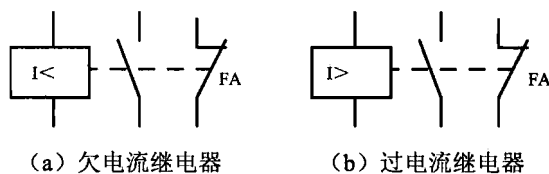


图 1.4 电流继电器的图形符号

2. 电压继电器

电压继电器的输入量是电路的电压，它根据输入电压大小而动作。电压继电器可分为欠电压继电器、过电压继电器和零电压继电器 3 种。过电压继电器动作电压范围为（105%~120%） U_N ；欠电压继电器吸合电压动作范围为（20%~50%） U_N ，释放电压调整范围为（7%~20%） U_N ；零电压继电器当电压降低至（5%~25%） U_N 时动作，它们分别起过压、欠压、零压保护。电压继电器工作时并联在电路中，因此线圈匝数多、导线细、阻抗大，反映电路中电压的变化，用于电路的电压保护。

电压继电器常用在电力系统继电保护中，在低压控制电路中使用较少。

电压继电器作为保护电器时，其图形符号如图 1.5 所示。

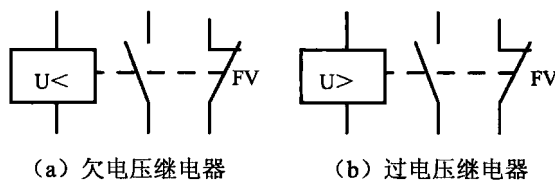


图 1.5 电压继电器的图形符号

1.1.3.4 时间继电器

时间继电器在控制电路中用于时间的控制。其种类很多，按动作原理可分为电磁式、

空气阻尼式、电动式和电子式等；按延时方式可分为通电延时型和断电延时型。下面以 JS7 型空气阻尼式时间继电器为例说明其工作原理。

空气阻尼式时间继电器是利用空气阻尼原理获得延时的，它由电磁机构、延时机构和触头系统 3 部分组成。电磁机构为直动式双 E 型铁心，触头系统借用 LX5 型微动开关，延时机构采用气囊式阻尼器。

空气阻尼式时间继电器可以做成通电延时型，也可改成断电延时型，电磁机构可以是直流的，也可以是交流的，如图 1.6 所示。

现以通电延时型时间继电器为例介绍其工作原理。

图 1.6 (a) 所示为通电延时型时间继电器线圈不得电时的情况，当线圈通电后，动铁心吸合，带动 L 型传动杆向右运动，使瞬动接点受压，其接点瞬时动作。活塞杆在塔形弹簧的作用下，带动橡皮膜向右移动，弱弹簧将橡皮膜压在活塞上，橡皮膜左方的空气不能进入气室，形成负压，只能通过进气孔进气，因此活塞杆只能缓慢地向右移动，其移动的速度和进气孔的大小有关（通过延时调节螺丝调节进气孔的大小可改变延时时间）。经过一定的延时后，活塞杆移动到右端，通过杠杆压动微动开关（通电延时接点），使其常闭触头断开，常开触头闭合，起到通电延时作用。

当线圈断电时，电磁吸力消失，动铁心在反力弹簧的作用下释放，并通过活塞杆将活塞推向左端，这时气室中的空气通过橡皮膜和活塞杆之间的缝隙排掉，瞬动接点和延时接点迅速复位，无延时。

如果将通电延时型时间继电器的电磁机构反向安装，就可以改为断电延时型时间继电器，如图 1.6 (c) 所示。线圈不得电时，塔形弹簧将橡皮膜和活塞杆推向右侧，杠杆将延时接点压下（注意，原来通电延时的常开接点现在变成了断电延时的常闭接点，原来通电延时的常闭接点现在变成了断电延时的常开接点），当线圈通电时，动铁心带动 L 型传动杆向左运动，使瞬动接点瞬时动作，同时推动活塞杆向左运动，如前所述，活塞杆向左运动不延时，延时接点瞬时动作。线圈失电时动铁心在反力弹簧的作用下返回，瞬动接点瞬时动作，延时接点延时动作。

时间继电器的线圈和延时接点的图形符号都有两种画法，线圈中的延时符号可以不画，接点中的延时符号可以画在左边或右边，但是圆弧的方向不能改变，如图 1.6 (b) 和图 1.6 (d) 所示。

空气阻尼式时间继电器的优点是结构简单、延时范围大、寿命长、价格低廉，且不受电源电压及频率波动的影响，其缺点是延时误差大、无调节刻度指示，一般适用延时精度要求不高的场合。常用的产品有 JS7-A、JS23 等系列，其中 JS7-A 系列的主要技术参数为延时范围，分 0.4s~60s 和 0.4s~180s 两种，操作频率为 600 次/h，触头容量为 5A，延时误差为 $\pm 15\%$ 。在使用空气阻尼式时间继电器时，应保持延时机构的清洁，防止因进气孔堵塞而失去延时作用。

在选用时间继电器时，应根据控制要求选择其延时方式，根据延时范围和精度选择继电器的类型。

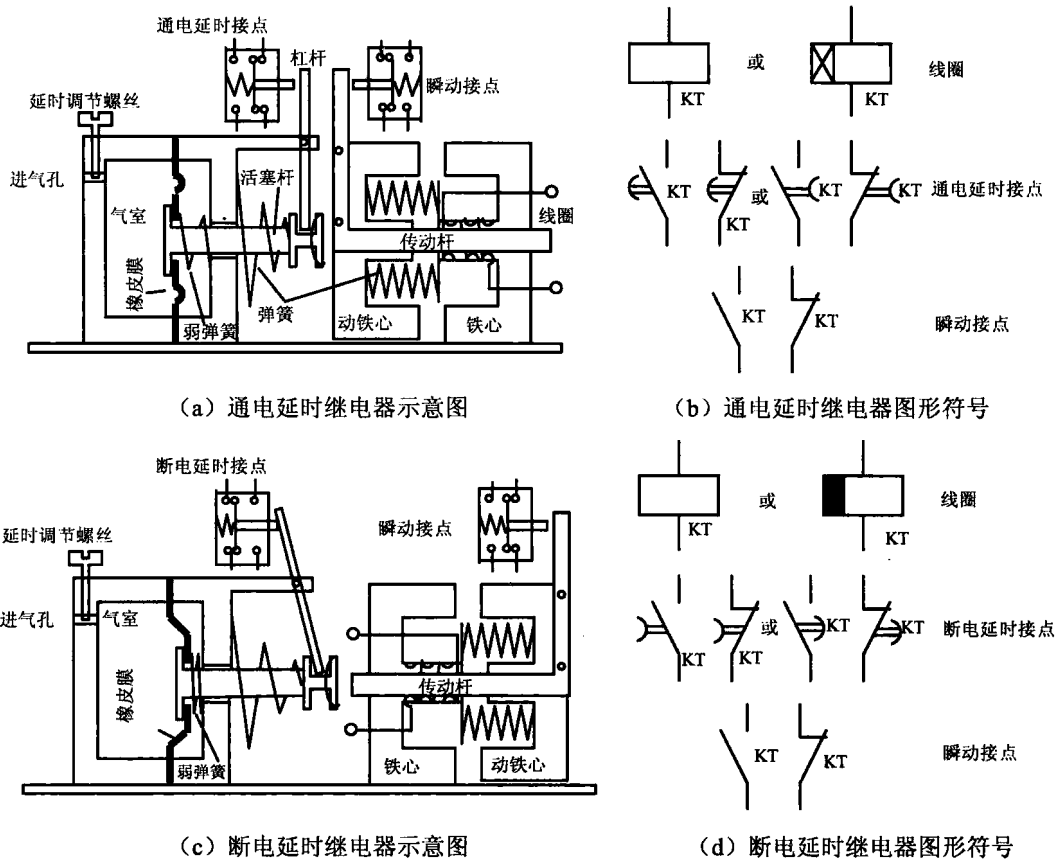


图 1.6 空气阻尼式时间继电器示意图及图形符号

1.1.3.5 热继电器

热继电器主要用于电气设备（主要是电动机）的过负荷保护。热继电器是一种利用电流热效应原理工作的电器，具有与电动机容许过载特性相近的反时限动作特性，主要与接触器配合使用，用于对三相异步电动机的过负荷和断相保护。

三相异步电动机在实际运行中，常会遇到因电气或机械原因等引起的过电流（过载和断相）现象。如果过电流不严重，持续时间短，绕组不超过允许温升，这种过电流是允许的；如果过电流情况严重，持续时间较长，则会加快电动机绝缘老化，甚至烧毁电动机，因此，在电动机回路中应设置电动机保护装置。常用的电动机保护装置种类很多，使用最多、最普遍的是双金属片式热继电器。目前，双金属片式热继电器均为三相式，有带断相保护和不带断相保护两种。

1. 热继电器的工作原理

如图 1.7 (a) 所示是双金属片式热继电器的结构示意图，图 1.7 (b) 所示是其图形符号。由图可见，热继电器主要由双金属片、热元件、复位按钮、传动杆、拉簧、调节旋钮、