



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高等专科教育自动化类专业规划教材

PLC 原理及应用

李长久 主编

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等专科教育自动化类专业规划教材

PLC 原理及应用

主 编 李长久
副主编 安宏伟
参 编 蔡文轩 甄玉杰
主 审 邹振春



机械工业出版社

本书从实际工程应用和教学需要出发,首先简要介绍了常用低压电器、继电-接触器控制系统、电气控制系统图的绘制等基本知识。然后以西门子 S7-200 系列 PLC 为背景,介绍了 PLC 的工作原理、系统特性、硬件构成、指令系统、编程语言及程序结构等内容。在此基础上,根据作者多年 PLC 系统设计、调试经验,重点介绍了 PLC 系统软、硬件设计与调试等内容。最后以实例形式对 PLC 控制系统的设计进行总结。本书内容由浅入深,注重理论和实际应用相结合,所举示例均为工程实例。本书不仅介绍了 PLC 在开关量、模拟量控制系统中的应用,同时还介绍了 PLC 网络通信、现场总线、人机界面等技术。

本书可作为高等专科学校及应用型本科院校工业自动化、电气工程及其自动化、机电一体化、计算机应用及相关专业的教材,也可作为工业自动化技术人员的培训教材和自学参考书。

为方便教学,本书提供免费电子教案。凡选用本书作为授课用教材的学校均可来电索取,咨询电话:010-88379758。

图书在版编目(CIP)数据

PLC 原理及应用/李长久主编. —北京:机械工业出版社, 2006. 8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等专科教育自动化类专业规划教材
ISBN 7-111-19504-3

I. P... II. 李... III. 可编程序控制器—高等学校—教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 072983 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于宁 高倩 责任编辑:高倩 版式设计:冉晓华
责任校对:罗莉华 封面设计:鞠杨 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12.75 印张 · 312 千字

0001—4000 册

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

在工业化大生产中，随着 PLC 技术的普及应用，社会上对 PLC 技术人才的需求明显增加。高职高专电气类、机电类专业已将《可编程序控制器》列为应用型专业课程。

可编程序控制器简称 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。尤其现代的可编程序控制器，其功能已经大大超过了逻辑控制的范围，还包括运动控制、闭环过程控制、数据处理、通信网络等。它不仅可以取代传统的继电-接触器控制系统，进行复杂的生产过程控制，还可以应用于工厂自动化网络。目前 PLC 与 CAD/CAM、机器人技术一起并称为当代工业自动化的三大支柱。因此，PLC 应用技术已成为自动化类、机电一体化等专业学生就业时必须掌握的一项技能。

本书从应用的角度出发，系统地介绍了 PLC 硬件组成、工作原理和性能指标，以国内使用较多的西门子公司 S7-200 系列 PLC 为样机，详细介绍了其指令系统、PLC 程序设计的方法与技巧、PLC 控制系统的设计和调试等。为了适应新的发展需要，本书还介绍了 PLC 通信方面的知识，并以实例形式介绍了 PLC 模拟量的处理、人机界面 TD200 的应用等。

本书在编写时力求由浅入深、通俗易懂、淡化理论、注重应用。

全书共分 8 章，内容包括：继电-接触器控制系统，PLC 软、硬件组成及工作原理，S7-200 系列 PLC 系统特性及硬件构成，S7-200 系列 PLC 的编程语言及程序结构，S7-200 系列 PLC 基本指令系统及应用，S7-200 系列 PLC 通信及网络，PLC 控制系统设计与调试和 PLC 应用系统设计实例。每章后附有小结及习题。

本书由承德石油高等专科学校李长久担任主编。参加编写的有承德石油高等专科学校李长久(第 1 章、第 7 章、第 8 章)、潍坊学院安宏伟(第 2 章、第 3 章)、承德石油高等专科学校蔡文轩(第 4 章、第 5 章、附录)、承德石油高等专科学校甄玉杰(第 6 章)。全书由李长久统稿。

本书由承德石油高等专科学校邹振春副教授任主审，他对本书的内容、结构及文字方面提出了许多宝贵的建议，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免有不足和错漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 继电-接触器控制系统 1

1.1 常用低压电器 1

1.1.1 开关电器 1

1.1.2 熔断器 3

1.1.3 接触器 3

1.1.4 继电器 5

1.1.5 主令电器 10

1.2 电气控制系统图的绘制 13

1.2.1 电气控制系统图中的图形符号和文字符号 14

1.2.2 电气原理图 15

1.2.3 电器元件布置图 17

1.2.4 电气安装接线图 18

1.3 基本控制电路 18

1.3.1 自锁与互锁控制电路 18

1.3.2 顺序控制电路 21

1.3.3 点动与连续控制电路 21

1.3.4 多点控制电路 22

1.3.5 往复循环控制电路 23

小结 24

习题 24

第 2 章 PLC 软、硬件组成及工作原理 25

2.1 概述 25

2.1.1 PLC 的定义 25

2.1.2 PLC 的产生与发展趋势 25

2.1.3 PLC 与其他工业控制系统的比较 27

2.1.4 PLC 的特点及应用领域 29

2.2 PLC 的硬件组成 31

2.2.1 CPU 模块 31

2.2.2 输入/输出模块 32

2.2.3 电源模块 35

2.2.4 外部设备 35

2.2.5 PLC 的配置 35

2.3 PLC 的软件系统 36

2.3.1 系统程序 36

2.3.2 用户程序 37

2.4 PLC 的工作原理 37

2.4.1 接线程序控制与存储程序控制 37

2.4.2 PLC 的循环扫描工作过程 38

2.5 PLC 的主要指标 41

2.6 PLC 的分类 41

小结 42

习题 43

第 3 章 S7-200 系列 PLC 系统特性及硬件构成 44

3.1 S7-200 系列 PLC 系统特性 44

3.1.1 概述 44

3.1.2 系统结构与典型产品特性 44

3.1.3 系统内部资源介绍 46

3.1.4 系统 I/O 地址分配 48

3.1.5 CPU 模块 I/O 接线 49

3.2 S7-200 系列 PLC 扩展模块简介 50

3.2.1 数字量扩展模块 50

3.2.2 模拟量扩展模块 50

3.2.3 通信模块 51

3.2.4 EM241 调制解调器模块 53

3.2.5 EM253 位控模块 53

3.3 S7-200 系列 PLC 系统供电 54

3.3.1 交流电源系统的外部接线 54

3.3.2 直流电源系统的外部接线 54

3.3.3 PLC 内部电源 55

小结 55

习题	55	5.2 位逻辑指令	78
第4章 S7-200 系列 PLC 的编程语言 及程序结构	57	5.2.1 触点指令	78
4.1 常见编程语言简介	57	5.2.2 线圈指令	80
4.1.1 梯形图	57	5.2.3 RS 触发器指令	82
4.1.2 语句表	58	5.2.4 逻辑堆栈指令	83
4.1.3 顺序功能图	58	5.3 定时器、计数器指令和比较指令	84
4.1.4 功能块图	58	5.3.1 定时器指令	84
4.2 梯形图的特点与编程规则	59	5.3.2 计数器指令	88
4.2.1 梯形图的特点	59	5.3.3 比较指令	90
4.2.2 梯形图编程的基本规则	60	5.4 运算指令	93
4.2.3 梯形图与继电-接触器控制 电路比较	61	5.4.1 算术运算指令	94
4.3 PLC 的程序结构	61	5.4.2 逻辑运算指令	99
4.3.1 用户程序	62	5.5 数据处理指令	102
4.3.2 数据块	63	5.5.1 传送类指令	102
4.3.3 系统块	63	5.5.2 移位指令	103
4.4 PLC 程序编辑器的选择	64	5.5.3 字节交换指令	107
4.4.1 STL 编辑器	64	5.5.4 存储器填充指令	107
4.4.2 LAD 编辑器	64	5.6 程序控制指令与子程序指令	107
4.4.3 FBD 编辑器	65	5.6.1 程序控制指令	107
4.5 STEP7-Micro/WIN 编程软件简介	65	5.6.2 子程序指令	110
4.5.1 STEP7-Micro/WIN 编程软件 安装	65	小结	113
4.5.2 STEP7-Micro/WIN 编程软件 项目窗口	66	习题	113
4.5.3 程序的创建、下载和运行	67	第6章 S7-200 系列 PLC 通信及 网络	115
小结	73	6.1 工业数据通信及控制网络	115
习题	74	6.1.1 工业数据通信特点	115
第5章 S7-200 系列 PLC 基本指令 系统及应用	75	6.1.2 串行通信	115
5.1 指令及结构	75	6.1.3 现场总线技术	116
5.1.1 指令的组成	75	6.2 S7-200 系列 PLC 的网络通信	119
5.1.2 操作数	76	6.2.1 S7 系列 PLC 的网络结构与 协议	119
5.1.3 寻址方式	77	6.2.2 S7-200 系列 PLC 的通信方式 与硬件选择	123
5.1.4 S7-200 系列 PLC 的编程数据 类型	77	6.2.3 S7-200 系列 PLC 通信参数的 设置	125
		6.2.4 S7-200 系列 PLC 的通信指令	126
		6.2.5 S7-200 系列 PLC 通信实例	129
		小结	131

习题	131	应用	152
第 7 章 PLC 控制系统设计与调试	132	8.1.1 控制要求、工艺过程、控制原理分析	152
7.1 PLC 控制系统设计的内容与步骤	132	8.1.2 PLC 选型和资源配置	152
7.1.1 PLC 系统设计的原则与内容	132	8.1.3 PLC 程序说明	154
7.1.2 PLC 控制系统设计的一般步骤	133	8.1.4 设计小结	154
7.2 PLC 控制系统的硬件设计	134	8.2 PLC 在时序控制中的应用	155
7.2.1 PLC 机型的选择	134	8.2.1 控制要求、工艺过程、控制原理分析	155
7.2.2 PLC 容量估算	135	8.2.2 PLC 选型和资源配置	156
7.2.3 输入/输出模块的选择	135	8.2.3 控制程序说明	158
7.2.4 电源模块的选择	137	8.2.4 设计小结	158
7.2.5 分配输入/输出点	137	8.3 PLC 模拟量的处理	159
7.2.6 输出点的保护	138	8.3.1 控制要求、工艺过程、控制原理分析	160
7.2.7 安全回路设计	139	8.3.2 PLC 选型和资源配置	160
7.3 PLC 控制系统的软件设计	139	8.3.3 控制程序说明	162
7.3.1 PLC 应用软件设计的内容	140	8.3.4 设计小结	167
7.3.2 PLC 控制系统软件设计一般步骤	140	8.4 文本显示器 TD200 的应用	170
7.3.3 常用基本环节编程	142	8.4.1 控制要求、工艺过程、控制原理分析	170
7.4 PLC 控制系统的抗干扰设计	144	8.4.2 PLC 选型和资源配置	171
7.4.1 抗电源干扰的措施	145	8.4.3 TD200 配置和控制程序说明	172
7.4.2 控制系统的接地设计	145	8.4.4 设计小结	182
7.4.3 抗 I/O 干扰设计	146	附录	183
7.5 PLC 控制系统的调试	147	附录 A 电气图常用图形符号及文字符号表	183
7.5.1 应用程序离线调试	147	附录 B S7-200 系列 PLC 特殊存储器标志	188
7.5.2 控制系统硬件检查	147	附录 C S7-200 系列 PLC 中断事件	194
7.5.3 应用程序在线调试	149	参考文献	196
7.5.4 现场调试	149		
小结	150		
习题	150		
第 8 章 PLC 应用系统设计实例	152		
8.1 PLC 在三相异步电动机控制中的			

第 1 章 继电-接触器控制系统

在机械化生产过程中,任何复杂的生产过程控制最终都要落实到对生产机械各零部件的动作的时间和空间控制上,然而这些生产机械的运动部件大多是由电动机驱动的。因此,对电动机的控制成为了保证生产过程和加工工艺合乎预定要求的关键。在对电动机的各种控制方式中,继电-接触器控制是最传统,也是应用最广泛的一种。它是一种以由触点的继电器、接触器、熔断器、开关等低压电器设备组成控制电路,来控制电动机主回路的控制方式。任何复杂的电气控制电路,都是由一些基本的单元电路组成的,要掌握一个控制电路的原理,必须了解其中各个电器元件的结构、动作原理以及它们的控制作用。电器的种类很多,分类方法也很多,本章主要介绍生产实际中常用的低压电器设备的结构、分类、工作原理等,另外,还介绍了一些电气控制图的绘制方法。

1.1 常用低压电器

电器是一种能根据外界的信号和要求,手动或自动地接通或断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测,变换和调节用的电气设备。简言之,电器就是一种能控制电的工具。

电器按其工作电压等级可分成高压电器和低压电器。低压电器通常是指用于交流额定电压 1200V、直流额定电压 1500V 及以下的电路中,起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。常用的低压电器有开关电器、熔断器、接触器、继电器、主令电器等。

1.1.1 开关电器

开关电器广泛应用于配电系统和拖动控制系统,用作电源的隔离、电气设备的保护和控制。常用的开关电器有刀开关和低压断路器。

1. 刀开关

刀开关是低压配电电器中结构最简单、应用最广泛的手动电器。主要用在低压配电装置中,用于不频繁地手动接通和分断交直流电路或需要进行隔离的场合,有时也用于小容量不频繁起动、停止的电动机直接控制。刀开关一般由手柄、触刀、静插座、铰链支座和绝缘底板等组成。

图 1-1 所示为 HK2 系列刀开关的结构和外形图。图 1-2 所示为刀开关的图形及文字符号。这种刀开关结构简单,操作方便。熔丝(又称保险丝)动作(即熔断)后,只需更换熔丝即可。刀开关根据控制回路的电源种类、电压等级和负载的额定电流(或额定功率)进行选择。

2. 低压断路器

低压断路器又称自动空气断路器或称自动空气开关,是一种既能实现手动开关作用又能自动进行欠电压、失电压、过载和短路保护的电器。

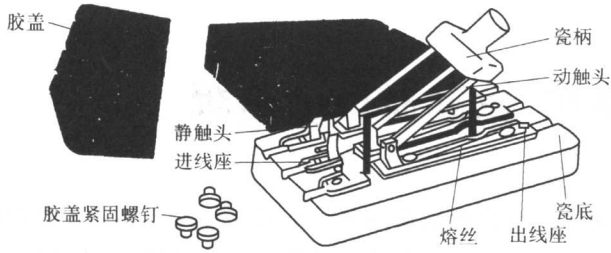


图 1-1 HK2 系列刀开关的结构和外形图

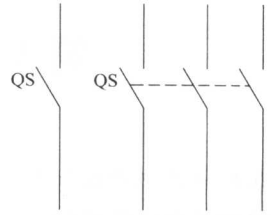


图 1-2 刀开关的图形及文字符号

低压断路器有单极、双极、三极、四极 4 种，可用于电源电路、照明电路、电动机主电路的分合及保护等。图 1-3 所示为 DZ47-63 系列低压断路器。图 1-4 所示为低压断路器的图形及文字符号。

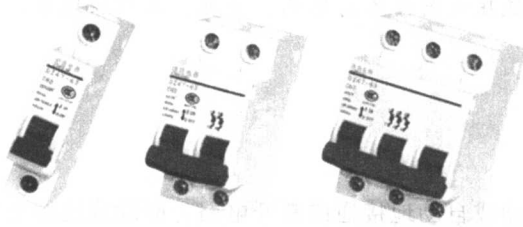


图 1-3 DZ47-63 系列低压断路器

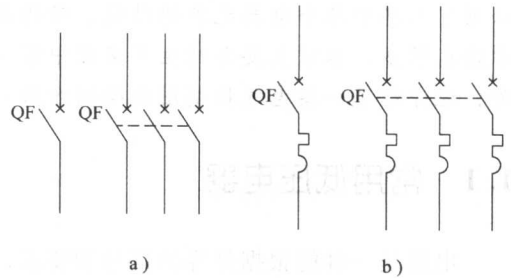


图 1-4 低压断路器的图形及文字符号

a) 国家标准图形符号 b) 实际工程中常用图形符号

(1) 低压断路器的工作原理 图 1-5 所示为低压断路器的工作原理图，当主触头 2 闭合时，传动杆 3 被锁扣 4 钩住，电路接通。如果电路出现过电流现象，则过电流脱扣器 6 的衔铁吸合，顶杆将锁扣 4 顶开，主触头在分闸弹簧 1 的作用下复位，断开主电路，起到保护作用。如果出现过载现象，热脱扣器 7 将锁扣 4 顶开，如果出现欠电压、失电压现象，欠电压、失电压脱扣器 8 将锁扣 4 顶开。分励脱扣器 9 可由操作人员控制，使低压断路器跳闸。

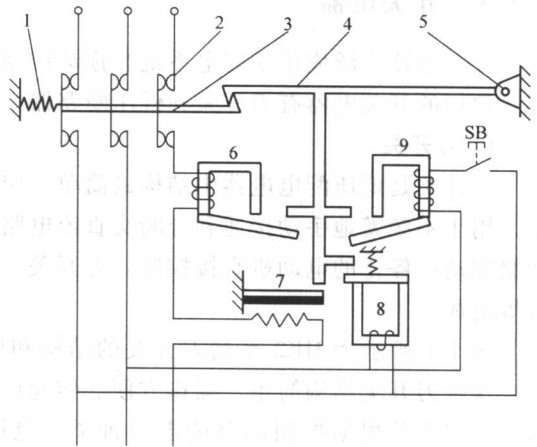


图 1-5 低压断路器工作原理图

1—分闸弹簧 2—主触头 3—传动杆 4—锁扣
5—轴 6—过电流脱扣器 7—热脱扣器
8—欠电压、失电压脱扣器 9—分励脱扣器

(2) 低压断路器的主要技术参数

1) 额定电压：断路器长期工作时的允许电压。

2) 额定电流：脱扣器允许长期通过的电流。如果电路中通过的电流大于额定电流一定数量时，脱扣器动作，断开主触头。

3) 壳架等级额定电流：壳架中能安装的最大脱扣器的额定电流。

4) 通断能力：能够接通和分断短路电流的能力。

5) 保护特性: 断路器动作时间与动作电流的关系。

低压断路器的品种繁多, 典型产品有 DZ15 系列、DZ20 系列、3VE 系列、DZ47-63 系列等。选用时一定要参照生产厂家产品样本介绍的技术参数进行。

1.1.2 熔断器

熔断器是一种应用广泛、简单有效的保护电器, 其主体是低熔点的金属丝或金属薄片制成的熔体, 串联在被保护的电路中。在正常情况下, 熔体相当于一根导线, 当发生短路或过载时, 熔体因过热熔化而切断电路, 从而保护电器设备的安全。熔断器主要由熔体和绝缘底座组成。图 1-6 所示为 RL1、RT18 熔断器, 图 1-7 所示为熔断器图形及文字符号。表 1-1 所示为熔体的安秒特性列表。

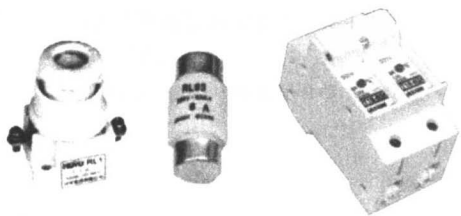


图 1-6 RL1、RT18 熔断器



图 1-7 熔断器图形及文字符号

表 1-1 常用熔体的安秒特性

熔体通过电流/A	$1.25I_N$	$1.6I_N$	$1.8I_N$	$2I_N$	$2.5I_N$	$3I_N$	$4I_N$	$8I_N$
熔断时间/s	∞	3600	1200	40	8	4.5	2.5	1

表中, I_N 为熔体额定电流, 通常取 $2I_N$ 为熔断器的熔断电流, 其熔断时间约为 $30 \sim 40s$ 。因此, 熔断器对轻度过载反应迟钝, 一般只能作短路保护用。

熔断器的主要技术参数包括额定电压、额定电流和极限分断能力。

1) 额定电压: 熔断器长期工作时能够正常工作的电压。

2) 额定电流: 熔断器长期工作时允许通过的最大电流。熔断器一般是起保护作用的, 负载正常工作时, 电流是基本不变的, 熔断器的熔体要根据负载的额定电流进行选择, 只有选择合适的熔体, 才能起到保护电路的作用。

3) 极限分断能力: 熔断器在规定的额定电压下能够分断的最大电流值。它取决于熔断器的灭弧能力, 与熔体的额定电流无关。

1.1.3 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。它具有控制容量大、低电压释放保护、寿命长、能远距离控制等优点, 所以在电气控制系统中应用十分广泛。

根据接触器触头控制负载的不同可分为直流接触器(用作接通和分断直流电路的接触器)和交流接触器(用作接通和分断交流电路的接触器)两种, 在此主要介绍常用的电磁式交流接触器。图 1-8 所示为交流接触器结构示意图, 图 1-9 所示为交流接触器图形及文字符号。

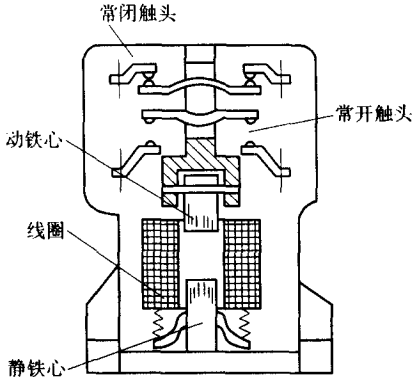


图 1-8 交流接触器结构示意图

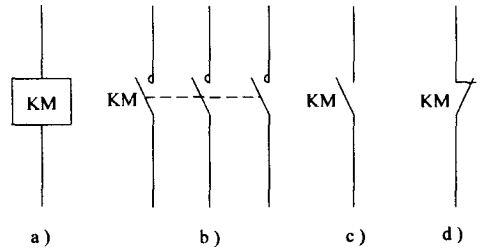


图 1-9 交流接触器图形及文字符号

a) 线圈 b) 主触头

c) 动合辅助触头 d) 动断辅助触头

1. 交流接触器的结构

交流接触器主要由以下 4 部分组成。

- 1) 电磁系统：包括线圈、动铁心、静铁心。
- 2) 触头系统：包括主触头、辅助触头。接触器的触头的作用是接通和断开主电路，辅助触头一般接在控制电路中，完成电路的自锁、互锁等控制功能。
- 3) 灭弧室：触头通断时产生很大电弧会烧坏主触头，为了迅速切断触头通断时的电弧，一般容量稍大些的交流接触器都有灭弧室。
- 4) 其他部分：包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触头压力弹簧片、传动机构、短路环、接线柱等。

2. 交流接触器的工作原理

接触器的线圈和静铁心固定不动，当线圈得电时，铁心线圈产生电磁吸力，将动铁心吸合，由于动触头与动铁心固定在同一根轴上，因此动铁心带动动触头运动，与静触头接触，使电路接通。当线圈断电时，吸力消失，动铁心依靠反作用弹簧的作用而复位，动触头断开，电路被切断。

3. 接触器的主要技术参数

接触器的主要技术参数有极数和电流种类、额定工作电压、额定工作电流（或额定控制功率）、线圈额定电压、线圈的起动功率和吸持功率、额定通断能力、允许操作频率、机械寿命和电寿命、使用类别等。

- 1) 极数：即接触器主触头个数。有两极、三极和四极之分。用于三相异步电动机的控制一般选用三极接触器。
- 2) 电流种类：接触器分为直流接触器和交流接触器。直流接触器用于直流主电路接通与断开，交流接触器用于交流主电路的接通与断开。
- 3) 额定工作电压：主触头之间的正常工作电压，即主触头所在电路的电源电压。交流接触器额定工作电压有 127V、220V、380V、500V、660V 等。直流接触器额定工作电压有 110V、220V、380V、500V、660V 等。
- 4) 额定工作电流：主触头正常工作的电流值。交流接触器的额定工作电流有 10A、

20A、40A、60A、100A、150A、400A、600A等。直流接触器的额定工作电流有40A、80A、100A、150A、400A、600A等。

5) 线圈额定电压: 电磁线圈正常工作的电压值。交流线圈主要有127V、220V、380V等, 直流线圈有24V、36V、110V、220V、440V等。

6) 机械寿命和电气寿命: 机械寿命为接触器在空载情况下能够正常工作的操作次数。电气寿命为接触器有载操作次数。

7) 使用类别: 不同的负载对接触器的触头要求不同, 要选择相应使用类别的接触器。AC1类主要用于无感或微感负载、电阻炉; AC2类主要用于绕线转子异步电动机的起动、制动; AC3类主要用于笼型异步电动机的起动、运转中分断; AC4类主要用于笼型异步电动机的起动、反接制动、反向起动和点动等。

常用典型交流接触器有CJX1、CJX2、CJ20、CJ40、B、LC1-D、STB、3TF等系列。

4. 接触器的选择

1) 接触器的类型: 根据电路中负载电流的种类进行选择。交流负载应选用交流接触器, 直流负载应选择直流接触器。如果控制系统中主要是交流负载, 直流电动机或直流负载的容量较小, 也可以都选用交流接触器来控制, 但触头的额定电流应选的大一些。

2) 额定工作电压: 接触器的额定工作电压应等于或大于负载的额定电压。

3) 额定工作电流: 被选用的接触器的额定工作电流应不小于负载电路的额定电流。对电动机的控制, 也可根据所控制的电动机最大功率进行选择。如果所选接触器是用在控制电动机的频繁起动、正反转或反接制动等场合, 应将接触器的额定电流降低使用, 一般需降低一个等级。

4) 线圈工作电压和辅助触头容量: 如果控制线路比较简单, 所用接触器的数量较少, 则交流接触器的线圈电压一般直接选用380V或220V。如果控制线路比较复杂, 使用的电器又比较多, 为了安全起见, 线圈额定电压可选低一些。交流接触器线圈的额定电压应视控制电路的情况而定。有时为了提高接触器的最大操作频率, 交流接触器也有采用直流线圈的, 一般选线圈的额定电压和直流控制电路的电压一致。

1.1.4 继电器

继电器是一种根据电量(电压、电流等)或非电量(温度、时间、转速等)的变化控制触点动作、接通或断开控制回路, 以实现自动控制和保护电力拖动装置的电器。继电器一般由感测机构、中间机构和执行机构3个基本部分组成。感测机构把感测到的电量或非电量传递给中间机构, 将它与整定值进行比较, 当达到整定值时, 中间机构便令执行机构动作, 从而接通或断开电路。

尽管继电器与接触器都是用来自动接通和断开电路, 但也有不同之处。首先, 继电器一般用于控制回路中, 控制小电流电路, 触点额定电流一般不大于5A, 所以不加灭弧装置; 而接触器一般用于主回路中, 控制大电流电路, 主触点额定电流一般不小于5A, 需加灭弧装置。其次, 接触器一般只能对电压的变化作出反应, 而各种继电器可以在相应的各种电量或非电量作用下动作。

1. 分类方法

继电器的种类和形式很多, 主要按以下方法分类。

- 1) 按用途可分为控制继电器和保护继电器。
- 2) 按工作原理可分为电磁式继电器、感应式继电器、热式继电器、机械式继电器、电动式继电器和电子式继电器等。
- 3) 按反应的参数(动作信号)可分为电流继电器、电压继电器、时间继电器、速度继电器、压力继电器等。
- 4) 按动作时间可分为瞬时继电器(动作时间小于 0.05s)和延时继电器(动作时间大于 0.15s)。
- 5) 按输出形式可分为有触点继电器和无触点继电器。

2. 电磁式继电器

电磁式继电器是以电磁力作为驱动力的继电器，是自动控制电路中用得最多的一种继电器。主要可分为电流继电器、电压继电器、中间继电器。图 1-10 所示为电流继电器，图 1-11 所示为电压继电器，图 1-12 所示为小型继电器，图 1-13 所示为继电器图形及文字符号。

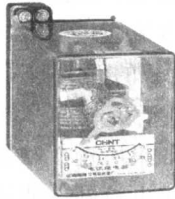


图 1-10 电流继电器



图 1-11 电压继电器



图 1-12 小型继电器

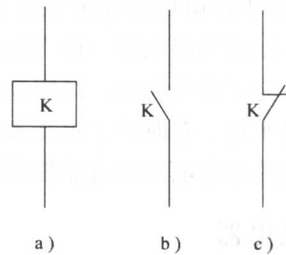


图 1-13 继电器图形及文字符号
a) 线圈 b) 动合触点 c) 动断触点

(1) 电磁式继电器的结构与工作原理 它与接触器动作原理基本相同，当线圈通电以后，铁心被磁化，产生足够大的电磁力，吸动衔铁并带动簧片，使动触点和静触点闭合或分开；当线圈断电后，电磁吸力消失，衔铁依靠弹簧的反作用力返回原来的位置，动触点和静触点又恢复到原来分开或闭合的状态。应用时只要把需要控制的电路接到触点上，就可利用继电器达到控制的目的。

电流继电器的线圈串联在被测量的电路中，以反映电路电流的变化。为了不影响电路的正常工作，电流继电器线圈匝数少、线径粗、线圈阻抗小。除一般用于控制的电流继电器外，还有保护用的过电流继电器和欠电流继电器。

电压继电器是根据线圈两端电压大小而接通或断开的继电器。这种继电器线圈匝数多、线径细、线圈阻抗大，并联在电路中。电压继电器有过电压、欠电压和零电压继电器。

器之分。

中间继电器在结构上是一个电压继电器，但它的触点数多、触点容量大(额定电流5~10A)，是用来转换控制信号的中间元件。它的输入是线圈的通电或断电，输出为触点的作用，其主要用途是当其他电器的触点数量或触点容量不够时，借助中间继电器来扩大它们的触点数量或触点容量。

(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，电磁式继电器的输入-输出特性如图1-14所示，这一矩形曲线称为继电器特性曲线。

在继电器输入量 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，通过其触点的输出量为 y_1 ，若 x 再增加， y 值不变。当 x 减小到 x_1 时，继电器释放，输出 y_1 降到零， x 再减小， y 值恒为零。图中， x_2 称为继电器的吸合值，欲使继电器动作，输入量 x 必须大于此值； x_1 称为继电器的释放值，欲使继电器释放，输入量 x 必须小于此值。 $K = x_1/x_2$ 称为继电器的返回系数，它是继电器的重要参数之一。

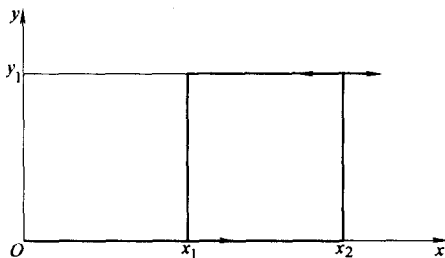


图 1-14 电磁式继电器的输入-输出特性曲线

(3) 电磁式继电器的主要参数

- 1) 灵敏度：使继电器动作的最小功率称为继电器的灵敏度。
- 2) 额定电压和额定电流：对于电压继电器，它的线圈额定电压为该继电器的额定电压；对于电流继电器，它的线圈额定电流为该继电器的额定电流。
- 3) 吸合电压或吸合电流：使继电器衔铁开始运动时线圈的电压(对电压继电器)或电流(对电流继电器)称为吸合电压或吸合电流。
- 4) 释放电压或释放电流：继电器衔铁开始释放时线圈的电压或电流。
- 5) 返回系数：释放电压(或电流)与吸合电压(或电流)的比值，用 K 表示， K 值恒小于1。
- 6) 吸合时间和释放时间：吸合时间是从线圈接受电信号到衔铁完全吸合所需的时间；释放时间是线圈断电到衔铁完全释放所需的时间。它们的大小影响继电器的操作频率。一般继电器的吸合时间和释放时间为0.05~0.15s，快速继电器可达0.005~0.05s。
- 7) 整定值：根据控制系统的要求，预先设定继电器某一个吸合值或释放值，这个吸合值(电压或电流)或释放值(电压或电流)就称为整定值。

(4) 电磁式继电器的选择

- 1) 先了解必要的条件。控制电路的电源电压，能提供的最大电流；被控制电路中的电压和电流；被控电路需要几组、什么形式的触点等。选用继电器时，一般控制电路的电源电压可作为选用的依据。控制电路应能给继电器提供足够的工作电流，否则继电器吸合是不稳定的。
- 2) 确定使用条件后，可查找相关资料，确定需要继电器的型号和规格。
- 3) 注意控制柜的容积，若用于一般用途，除考虑控制柜容积外，小型继电器主要考虑安装布局。
- 4) 要注意交流与直流之分。

3. 时间继电器

感测机构在感受外界信号后，经过一段时间才能使执行机构动作的继电器，称为时间继

电器。对于电磁式时间继电器，当线圈在接受信号以后（通电或失电），其对应的触头使某一控制电路延时断开或闭合。时间继电器主要有空气阻尼式、电动式、晶体管式及直流电磁式等几大类。延时方式有通电延时和断电延时 2 种。

空气阻尼式时间继电器是根据空气阻尼的原理制成的。它主要由电磁系统、工作触点（微动开关）、延时机构等组成。衔铁位于铁心和延时机构之间的为通电延时型；铁心位于衔铁和延时机构之间的为断电延时型。图 1-15 所示为 JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器，这种产品被广泛地应用于机床的电气传动控制系统中。

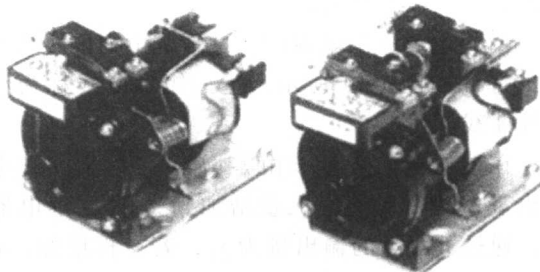


图 1-15 JS7-A 系列时间继电器

常用电子式、数字式时间继电器主要有 JS11、JS20、JS14P、ST3P 等系列。图 1-16 所示为 JS11 系列时间继电器；图 1-17 所示为 ST3P 系列时间继电器。电子式时间继电器利用旋转刻度盘设定时间，数字式时间继电器利用数字按键设定时间，同时可通过数码管或液晶显示屏显示计时情况，其时间精度远远高于空气阻尼式时间继电器。现在电子式、数字式时间继电器的应用范围越来越广泛了。



图 1-16 JS11 系列时间继电器

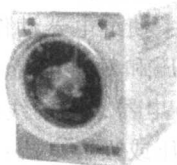


图 1-17 ST3P 系列时间继电器

使用时间继电器时需要注意各种触点类型和符号，图 1-18 所示为时间继电器图形及文字符号。

4. 热继电器

热继电器是一种具有反时限过载保护特性的过电流继电器，广泛用于电动机的过载保护，也可以用于其他电气设备的过载保护。

电动机工作时，正常的温升是允许的，但是如果电动机在过载情况下工作，就会过度发热造成绝缘材料迅速老化，使电动机寿命大大缩短。为了防止上述情况产生，常采用热继电器作电动机的过载保护。

热继电器是一种当电流通过发

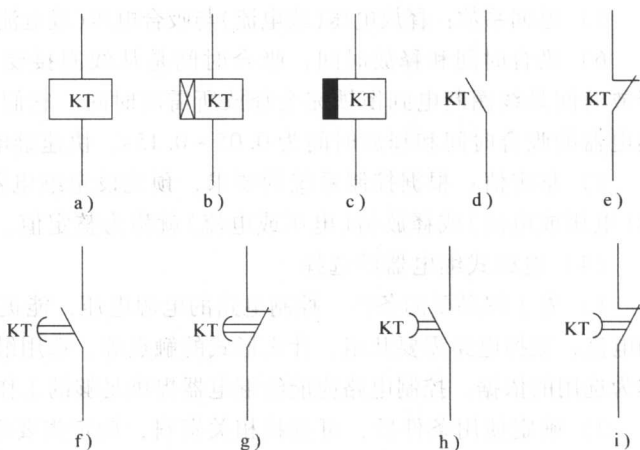


图 1-18 时间继电器图形及文字符号

- a) 线圈一般符号 b) 通电延时线圈 e) 断电延时线圈
- d) 瞬动动合触点 e) 瞬动动断触点
- f) 延时闭合的动合触点 g) 延时断开的动断触点
- h) 延时断开的动合触点 i) 延时闭合的动断触点

热元件时产生热量，从而使检测元件受热弯曲，推动执行机构动作的保护电器。它主要用来保护电动机或其他负载免于过载，并且可以作为三相电动机的断相保护等。图 1-19 所示为热继电器，图 1-20 所示为热继电器图形及文字符号。

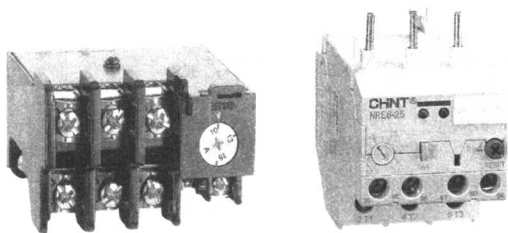


图 1-19 热继电器

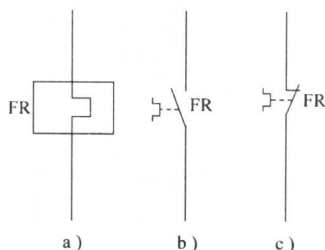


图 1-20 热继电器图形及文字符号

a) 驱动元件 b) 动合触点 c) 动断触点

(1) 热继电器的结构和工作原理 如图 1-21 所示，热继电器主要由感温元件(或称热元件)、触点系统、动作机构、复位按钮、电流调节装置、温度补偿元件等组成。感温元件由双金属片及绕在双金属片外面的电阻丝组成。双金属片是由两种膨胀系数不同的金属以机械碾压的方式而结合在一起。使用时，将电阻丝串联在主电路中，触点串联在控制电路中。当过载电流流过电阻丝时，双金属片受热膨胀，因为两片金属的膨胀系数不同，所以就弯向膨胀系数较小的一面，利用这种弯曲的位移动作，使热继电器的触点动作，从而断开控制电路，使接触器线圈失电，接触器主触点断开，电动机停止工作，起到过载保护的作用。在过载故障排除后，要使电动机再次起动，一般需几分钟，待双金属片冷却，恢复原状后再按复位按钮，使热继电器的触点复位。

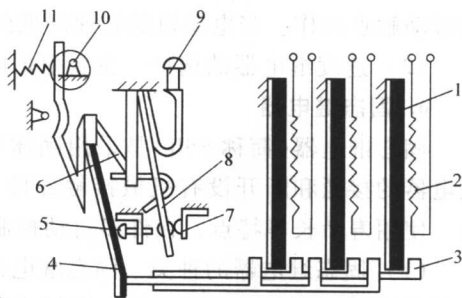


图 1-21 双金属片式热继电器结构图

1—主双金属片 2—电阻丝 3—导板
4—补偿双金属片 5—螺钉 6—推杆
7—静触点 8—动触点 9—复位按钮
10—调节凸轮 11—弹簧

(2) 热继电器的选用

- 1) 应按实际安装情况选择热继电器的安装方式。
- 2) 原则上热继电器的额定电流应按电动机的额定电流选择。
- 3) 在不频繁起动的场合，要保证热继电器在电动机起动过程中不产生误动作。
- 4) 对于三角形接法电动机，应选用带断相保护装置的热继电器。
- 5) 当电动机工作于重复短时工作制时，要注意确定热继电器的允许操作频率。

5. 速度继电器

速度继电器是利用速度信号来切换电路的自动电器。常用于电动机反接制动的控制电路中，当反接制动的转速下降到接近零时，其触点动作切断电路。速度继电器由转子、定子和触点 3 部分组成。速度继电器与电动机同轴，触点串接在控制电路中。图 1-22 所示为速度继电器的结构原理图及图形文字符号。

(1) 速度继电器的工作原理 与笼型异步电动机相似，转子是永久磁铁，与电动机同

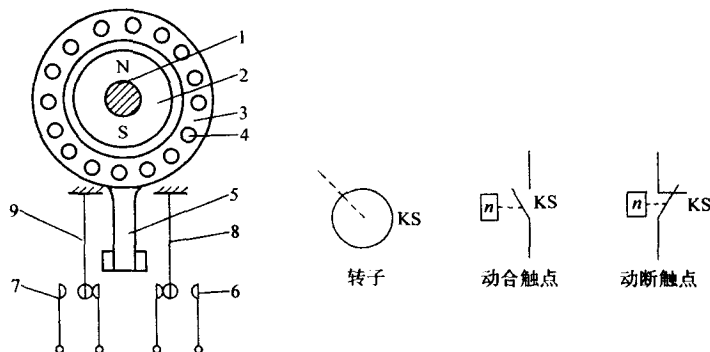


图 1-22 速度继电器结构原理图和图形文字符号

1—电动机轴 2—转子 3—定子 4—绕组
5—定子柄 6、7—静触点 8、9—动触点

轴连接。当电动机转动时带动永久磁铁一起转动，相当于一个旋转磁场。定子的短路绕组切割磁力线产生感应电流，该电流在转子磁场作用下产生电磁转矩，使定子转动一定角度，从而带动触点动作。当电动机的转速降低到一定数值(如小于 100r/min)时，触点复位。

(2) 速度继电器的选择 主要根据电动机的额定转速、控制要求等来进行选择。

6. 固态继电器

固态继电器(简称 SSR)是采用固体半导体元件组装而成的一种无触点开关。由于固态继电器的接通和断开没有机械接触部件，因此，具有控制功率小、开关速度快、工作频率高、使用寿命长等特点，在许多自动控制装置中得到了广泛应用。

(1) 固态继电器的种类 固态继电器是四端器件，其中两端为输入端，两端为输出端，中间采用隔离器件，以实现输入端与输出端之间的隔离。

- 1) 按切换负载性质分，有直流固态继电器和交流固态继电器。
- 2) 按输入与输出之间的隔离分，有光隔离固态继电器和磁隔离固态继电器。
- 3) 按控制触发信号方式分，有过零型、非过零型、有源触发型和无源触发型。

(2) 固态继电器使用注意事项

- 1) 固态继电器的选择应根据负载的类型来确定，并要采取有效的过压保护。
- 2) 输出端应采用 RC 浪涌吸收电路或非线性压敏电阻来吸收瞬变电压。
- 3) 过电流保护应采用专门保护半导体器件的熔断器。
- 4) 安装时采取相应的散热方式。
- 5) 切忌负载侧两端短路，以免固态继电器损坏。

固态继电器与传统的继电器相比，其不足之处是漏电流大，触点单一，使用温度范围窄，过载能力差等。

1.1.5 主令电器

主令电器是自动控制系统中用于发送控制指令的电器。主令电器应用广泛、种类繁多。常用的主令电器有控制按钮、行程开关、接近开关、光电开关等。

1. 控制按钮

控制按钮是发出控制指令和信号的电器，是一种手动而且一般可以自动复位的主令电