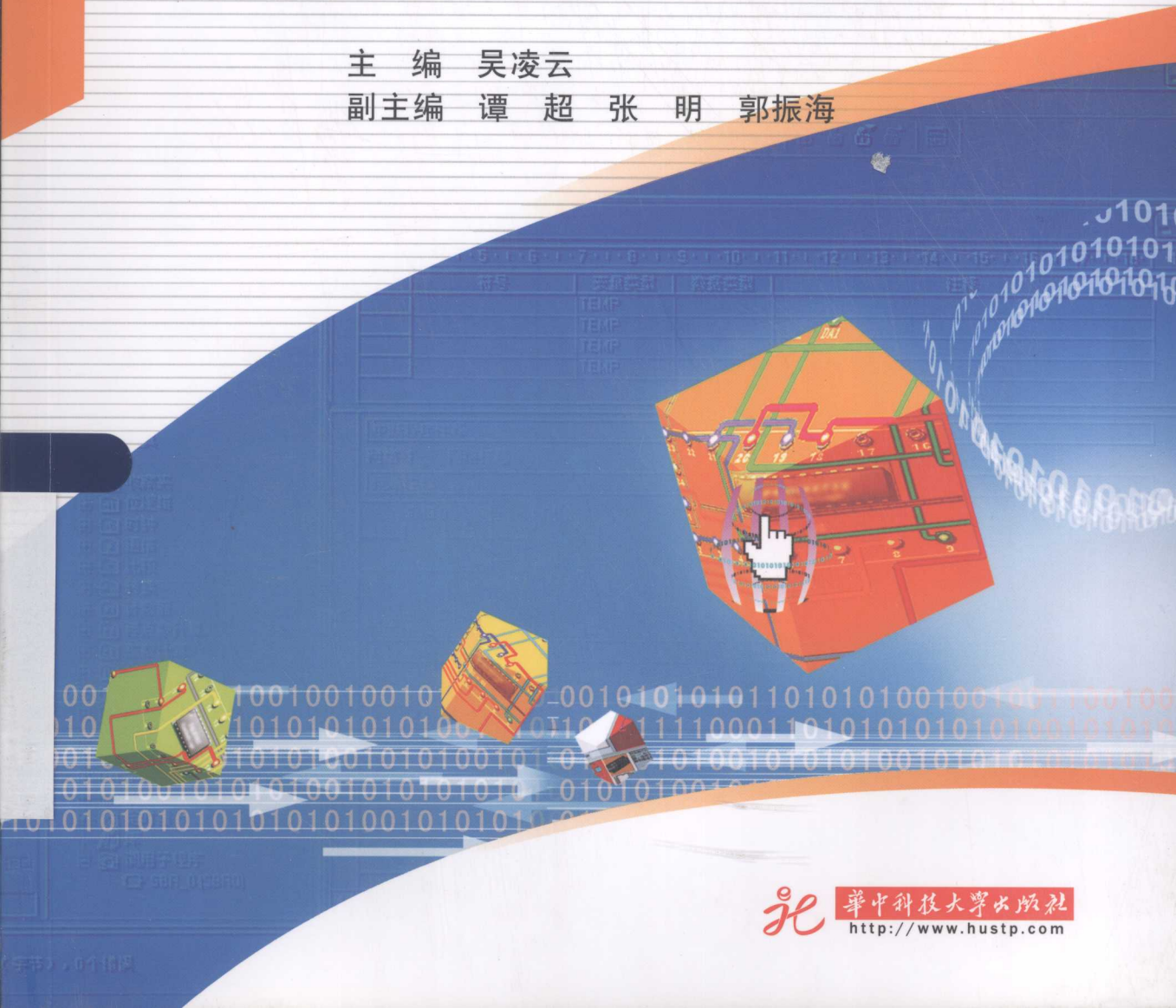
21世纪电气信息学科立体化系列教材

电气控制与PLC技术及应用

——西门子S7-200系列

主　编　吴凌云
副主编　谭　超　张　明　郭振海



華中科技大學出版社
http://www.hustp.com

C14011315

TM571.2
49

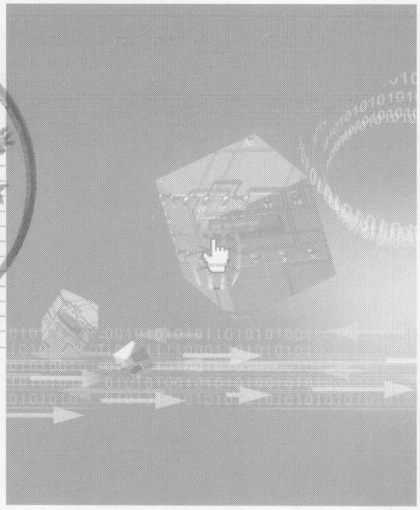
21世纪电气信息学科立体化系列教材

电气控制与PLC技术及应用

——西门子S7-200系列

主　编　吴凌云
副主编　谭　超　张　明　郭振海

北京航空航天大学
藏书
图书馆



北航　C1697569

華中科技大學出版社
http://www.hustp.com
中国·武汉

TM571.2
49

内容简介

本书从实际工程应用和便于教学出发，将内容分成两部分。第一部分由第1章组成，简明扼要地介绍了电气控制系统中常用的低压电器、电气控制线路和新的电气控制系统图形符号、文字符号国家标准；第二部分由第2～10章组成，介绍了可编程序控制器(PLC)的基础和实际应用，以西门子公司S7-200CN为对象，介绍S7-200系列PLC的硬件组成、工作原理、指令系统、控制程序设计方法、通信与网络，以及控制系统工程应用。本书还介绍了STEP 7-Mirco/WIN编程软件的使用，详细介绍了PLC在模拟量控制中的应用，并附有实验指导书。

本书可作为高等院校的自动化、电气技术、机电一体化及其他相关专业的“电气控制与PLC技术及应用”课程或类似课程的教材，也可作为培训机构相关课程的教材，并可供有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与PLC技术及应用——西门子S7-200系列/吴凌云　主编. —武汉：华中科技大学出版社，2013.10

ISBN 978-7-5609-9460-4

Ⅰ. 电…　Ⅱ. 吴…　Ⅲ. ①电气控制-高等学校-教材　②PLC技术-高等学校-教材　Ⅳ. ①TM571.2　②TM571.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第243055号

电气控制与PLC技术及应用——西门子S7-200系列　　吴凌云　主编

策划编辑：王红梅
责任编辑：王红梅
封面设计：秦　茹
责任校对：封力煊
责任监印：周治超
出版发行：华中科技大学出版社(中国·武汉)
　　武昌喻家山　　邮编：430074　　电话：(027)81321915
录　　排：武汉市洪山区佳年华文印部
印　　刷：华中理工大学印刷厂
开　　本：787mm×960mm　1/16
印　　张：20.5　插页：2
字　　数：416千字
版　　次：2013年10月第1版第1次印刷
定　　价：39.80元

本书若有印装质量问题，请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线：400-6679-118　竭诚为您服务
版权所有　侵权必究

21世纪电气信息学科立体化系列教材

编审委员会

顾问：

潘　垣（中国工程院院士，华中科技大学）

主任：

吴麟章（湖北工业大学）

委员：（按姓氏笔画排列）

王　斌（三峡大学电气信息学院）

余厚全（长江大学电子信息学院）

陈铁军（郑州大学电气工程学院）

吴怀宇（武汉科技大学信息科学与工程学院）

陈少平（中南民族大学电子信息工程学院）

罗忠文（中国地质大学信息工程学院）

周清雷（郑州大学信息工程学院）

谈宏华（武汉工程大学电气信息学院）

钱同惠（江汉大学物理与信息工程学院）

普杰信（河南科技大学电子信息工程学院）

廖家平（湖北工业大学电气与电子工程学院）

01401315

前言

“电气控制与可编程序控制器技术”是高等院校电类专业重要的专业基础课，它包含原来的“工厂电气控制技术”和“可编程序控制器原理及应用”两门课的内容。随着科学技术的发展，电气控制技术也发展到了一个新阶段，特别是可编程序控制器(PLC)技术，它是综合了继电接触控制、计算机控制、自动控制技术和通信技术的一门新兴技术，其应用越来越广泛。由于传统的继电接触控制与PLC控制源于同一体系，只是发展阶段不同，而最基础的部分对任何先进的控制来说仍是必不可少的。因此，本书在编写过程中，对传统的继电接触控制部分的内容进行了精心组织、合理删减，做到简明扼要；而对PLC控制技术则重点介绍，力求做到强调实际应用和方便教学讲解。

本书第1章简要地介绍了电气控制系统中常用的低压电器和常用的电气控制线路，并全面使用新的电气控制系统图形符号和文字符号国家标准，为后续PLC内容的介绍打下了基础；第2～5章是PLC的基础部分，以西门子公司S7-200CN为对象，介绍了S7-200系列PLC硬件组成、工作原理和基本指令，通过大量的编程实例，深入浅出地介绍了应用程序设计方法，包括经验设计法和顺序控制设计法，这些方法易学易用；第6章介绍了S7-200 PLC的高级指令及简单程序设计；第7章介绍了STEP 7-Mirco/WIN编程软件的使用方法；第8章介绍了PLC的通信与网络和通信程序的设计方法；第9章介绍了PID闭环控制器设计及PLC在模拟量控制中的应用；第10章介绍了PLC控制系统的设计并给出多个PLC控制系统工程实例。在附录中还有实验指导书，各章的后面配有思考题与练习题。

本书可作为高等院校的自动化、电气技术、机电一体化及其他相关专业的“电气控制与PLC技术及应用”课程或类似课程的教材，也可作为培训机构相关课程的教材，并可供有关工程技术人员参考使用。

本书由吴凌云担任主编，谭超、张明、郭振海任副主编。其中，第2、3、5、7章和附录C由吴凌云编写；第1、4章由谭超编写；第8、9、10章由张明编写；第6章和附录A、B由郭振海编写；全书由吴凌云统稿和定稿。

在本书的编写过程中，编者参考了许多同行的教材和著作，也参考了西门子公司

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

S7-200 使用手册等资料，还参考了许多网络上查找的资料，在此向这些作者表示衷心的感谢！也感谢研究生黄玲提供的帮助！

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不准确的地方，恳请读者批评指正。

编　者

2013 年 8 月

目　录

1　常用低压电器及电气控制线路基础……(1)
1.1　概述……(1)
1.2　常用低压控制电器……(2)
1.3　电气控制线路基础……(28)
1.4　常用电气控制线路……(41)
思考题与练习题……(58)
2　PLC概述……(60)
2.1　PLC的产生及发展……(60)
2.2　PLC的定义及特点……(62)
2.3　PLC的分类及功能……(64)
2.4　PLC与其他控制系统的比较及应用……(66)
思考题与练习题……(67)
3　PLC的硬件组成与工作原理……(68)
3.1　PLC的基本结构……(68)
3.2　PLC的组成部分……(69)
3.3　PLC的工作原理……(74)
3.4　S7-200 PLC硬件系统的组成……(78)
3.5　S7-200 PLC的数据存储器及寻址方式……(83)
思考题与练习题……(94)
4　PLC程序设计基础及基本指令……(95)
4.1　PLC的编程语言及程序结构……(95)
4.2　位逻辑指令……(98)
4.3　逻辑堆栈指令……(104)
4.4　定时器与计数器指令……(108)
思考题与练习题……(115)
5　PLC的应用程序设计方法……(117)
5.1　梯形图的编程规则……(117)
5.2　典型控制功能的程序设计……(120)
5.3　PLC程序的经验设计法……(126)
5.4　PLC程序的顺序控制设计法……(133)
思考题与练习题……(146)

6 S7-200 PLC的高级指令 …… (149)
6.1 程序控制指令 …… (149)
6.2 比较指令 …… (154)
6.3 传送、移位和循环移位指令 …… (156)
6.4 数学运算指令 …… (163)
6.5 逻辑运算指令 …… (169)
6.6 转换指令 …… (172)
6.7 子程序指令 …… (181)
6.8 中断指令 …… (185)
思考题与练习题 …… (192)
7 STEP 7-Micro/WIN V4.0编程软件使用指南 …… (193)
7.1 编程系统的建立 …… (193)
7.2 程序的编写与调试 …… (197)
7.3 用编程软件调试与监控程序 …… (204)
7.4 数据块和系统块的使用 …… (209)
思考题与练习题 …… (213)
8 PLC的通信与网络 …… (214)
8.1 通信与网络概述 …… (214)
8.2 S7-200 PLC的网络类型及配置 …… (218)
8.3 S7-200 PLC的通信指令与通信实例 …… (225)
8.4 S7-200 PLC的通信扩展模块 …… (235)
思考题与练习题 …… (237)
9 PLC在模拟量控制中的应用 …… (238)
9.1 闭环控制系统与PID控制器设计 …… (238)
9.2 PID参数自整定 …… (247)
9.3 模拟量PID控制实例 …… (252)
思考题与练习题 …… (261)
10 PLC控制系统的设计 …… (262)
10.1 PLC控制系统的设计与调试步骤 …… (262)
10.2 PLC控制系统工程实例 …… (264)
思考题与练习题 …… (293)
附录 …… (294)
附录A S7-200的SIMATIC指令集简表 …… (294)
附录B S7-200的特殊寄存器(SM)标志位 …… (299)
附录C 实验指导书 …… (303)
参考文献 …… (324)

1 常用低压电器及电气控制线路基础

1.1 概述

电器是一种控制电能的工具，它对电能的生产、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。根据工作电压的大小，电器通常分为高压电器和低压电器两类。

低压电器通常指的是工作在交流 1200 V、直流 1500 V 及以下电路中，用来实现对电路或对象的控制、检测、保护、变换和调节等作用的电器。其中，利用电磁原理制成的低压电器，称为电磁式低压电器；利用集成电路或者电子元器件构成的低压电器，称为电子式低压电器；利用微机控制技术制成的低压电器，称为智能低压电器。

低压电器是机电设备电气控制系统中的基本组成元件，控制系统的优劣与所用的低压电器的质量及结构直接相关。电气技术人员只有掌握低压电器的基本知识和常用低压电器的结构及工作原理，才能正确选用、检测和调整常用低压电器元件。同时掌握低压电器组成的继电接触器控制技术也是学习可编程序控制器即 PLC 应用技术所必需的基础。

1.1.1 低压电器的分类

低压电器的种类繁多，通常分为低压配电电器和低压控制电器两类。

1. 低压配电电器

低压配电电器主要用于低压供电系统。当电路出现过载、短路、欠压、失压、断相或漏电等不正常状态时，低压配电电器会起保护作用，自动断开故障电路。因此，对低压配电电器的主要技术要求是在故障情况下工作可靠，有足够的动稳定性及热稳定性。电器的动稳定性是指电器受短路电流的电动力作用而不致损坏的能力；电器的热稳定性是指电器承受规定时间内短路电流产生的热效应而不致损坏的能力。这类低

压电器有低压断路器、熔断器、刀开关和转换开关等。

2. 低压控制电器

低压控制电器主要用于电力传动控制系统。这类低压电器有接触器、继电器、控制器及主令电器等。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，电气和机械寿命要长。

低压电器按使用场合，可分为一般工作用电器、特殊工矿用电器、安全电器、船用电器以及牵引电器等几类；按操作方式，可分为自动电器与手动电器两类；按工作原理，可分为电磁式电器和非电量控制电器两类。

电磁式低压电器是传统低压电器中结构最典型、应用最广泛的一种，其特征是采用电磁现象完成信号检测及工作状态转化。

1.1.2 低压电器的组成

低压电器一般由两部分组成，一个是感受部分，它感受外界信号，作为有规律反应的信号，在自动控制电器中，感受部分大多由电磁机构组成；在手动控制电器中，感受部分通常是操作手柄等。另一个是执行部分，如触点系统，它能根据感受部分的指令执行电路接通、断开等任务。对于自动空气开关类的低压电器，还具有中间(传递)部分，其任务是把感受部分和执行部分联系起来协同一致，按一定的规律动作。

1.2 常用低压控制电器

1.2.1 接触器

接触器是用来接通或分断电动机主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自动控制。由于其体积小、价格低、寿命长、维护方便，因而用途十分广泛。

1. 接触器的用途及分类

接触器最主要的用途是控制电动机的启停、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之一。它具有低电压释放保护功能和比工作电流大数倍乃至十几倍的接通和分断能力，但不能分断短路电流。它是一种执行电器，即使在现在的PLC控制系统和现场总线控制系统中也不能被取代。

接触器种类很多，按驱动力大小，可分为电磁式、气动式和液压式三类，以电磁式应用最为广泛；按接触器主触点在控制电路中所控制的电流种类，分为交流接触器和直流接触器两种；按其主触点的极数(即主触点的对数)，分为单极、双极、三极、四极和五极等多种。本节介绍应用广泛的电磁式接触器。

2. 接触器的结构及工作原理

1) 接触器的结构

图 1-1 所示的为交流接触器的结构剖面示意图，它由以下五个部分组成。

(1) 电磁机构　电磁机构由线圈、铁芯和衔铁组成，其作用是将电磁能转换成机械能，带动触点(或触头)动作。线圈分为直流线圈和交流线圈等两类。

(2) 触点系统　触点是接触器的执行元件，用来接通和断开电路。按所控制的电路，触点分为主触点和辅助触点两类，主触点用于主电路或大容量控制电路，允许通过较大的电流，采用常开触点，一般设灭弧装置；辅助触点用于控制电路，只能通过较小的电流，有常开和常闭辅助触点，不设灭弧装置。按触点的结构分为桥式触点和指形触点两种形式。按触点的接触形式分为点接触、线接触和面接触三种形式。

(3) 灭弧装置　在触点断开的瞬间，由于触点间距离很小，电场强度很大，因此，触点间产生大量的带电离子从而形成电子流，即产生电弧。电弧的出现既影响电路的正常分断，又使触点受到严重腐蚀，为此，必须采取有效的措施进行灭弧，以保证电路和电器的工作安全可靠。常用的灭弧装置有灭弧栅、电动力灭弧装置和磁吹灭弧装置。

(4) 反力装置　该装置由释放弹簧和触点弹簧组成。线圈断电时，释放弹簧用于衔铁复位，触点弹簧用于触点复位。

(5) 支架和底座　它用于接触器的固定和安装。

2) 接触器的工作原理

在图 1-1 所示结构的交流接触器线圈通电后，线圈电流产生磁场，使铁芯产生电磁吸引力吸引衔铁，并带动触点动作：常开的主触点闭合，于是接通了主电路；同时，常开的辅助触点闭合，而常闭的辅助触点断开。当线圈断电或电压显著降低时，电磁吸力消失或减弱(小于反力)，衔铁在释放弹簧的作用下释放，使触点复原：常开触点断开，常闭触点闭合。

3) 接触器的图形符号和文字符号

接触器在电路图中的图形符号和文字符号如图 1-2 所示。

3. 接触器的主要技术参数

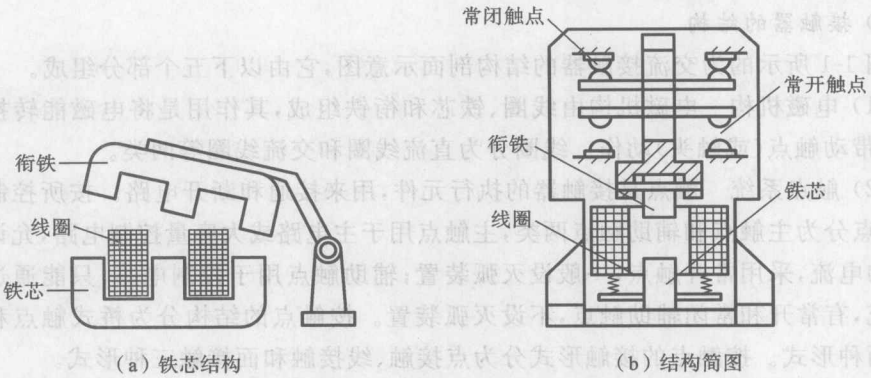
(1) 额定电压　指主触点的额定电压，在接触器铭牌上标注。常用的有交流 220 V、380 V 和 660 V，直流 110 V、220 V 和 440 V。

(2) 额定电流　指主触点的额定电流，在接触器铭牌上标注。它在一定条件(额定电压、使用类别和操作频率等)下规定了多种电流等级，其范围是 10～800 A。

(3) 线圈的额定电压　指加在线圈上的电压。常用的线圈电压有：交流 220 V 和 380 V，直流 24 V 和 220 V。

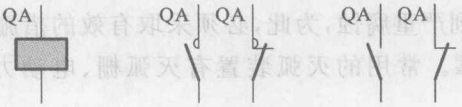
(4) 接通和分断能力　指主触点在规定条件下能可靠地接通和分断的电流值。

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com



(a) 铁芯结构　　(b) 结构简图

图 1-1　交流接触器的结构简图



(a) 线圈　　(b) 主触点　　(c) 辅助触点

图 1-2　接触器的图形符号和文字符号

在此电流值下，接通电路时主触点不应发生熔焊，分断电路时主触点不应发生长时间燃弧。

接触器的使用类别不同，对主触点的接通和分断能力的要求也不一样，而使用类别则根据控制对象(负载)的控制方式而定。在低压电器基本标准中规定的使用类别比较多，但在电力拖动控制系统中，常见的接触器使用类别及其典型用途如表 1-1 所示。

表 1-1　常见接触器使用类别及其典型用途

电流类别	使用类别	典型用途
交流(AC)	AC1	无感或微感负载、电阻炉
	AC2	绕线式电动机的启动和分断
	AC3	鼠笼式电动机的启动和分断
	AC4	鼠笼式电动机的启动、反转制动、反向和点动
直流(DC)	DC1	无感或微感负载、电阻炉
	DC3	并励电动机的启动、反接制动、反向和点动
	DC5	串励电动机的启动、反向制动、反向和点动

(5) 额定操作频率　指接触器每小时的操作次数。交流接触器的最高为 600 次/h，而直流接触器的最高为 1200 次/h。操作频率直接影响接触器的使用寿命，对于交流

接触器还影响线圈的温升。

4. 接触器的选择

接触器使用广泛，其额定工作电流或额定控制功率随使用条件不同而不同，只有根据不同使用条件正确选用，才能保证接触器可靠运行。在选用接触器时，一般交流负载选用交流接触器，直流负载选用直流接触器。接触器的选用主要依据以下几个方面。

1）接触器使用类别的选择

根据所控制负载的工作任务选择相应类别的接触器。生产中广泛使用中小容量的鼠笼式电动机，其中大部分控制负载是一般任务，即控制电动机的启停，相当于AC3使用类别。对于控制机床电动机的接触器，其负载情况比较复杂，既有AC3类的也有AC4类的，还有AC1和AC4类混合的负载，这些都属于重任务范畴。如果负载明显属于重任务类，则应选用AC4类接触器。如果负载为一般任务与重任务混合的，则应根据实际情况选用AC3或AC4类接触器。若确定选用AC3接触器，它的容量应降低一级使用，即使这样，其寿命仍有不同程度的降低。

用于AC2类的接触器，一般不宜用来控制AC3及AC4类的负载，因为它的接触能力较差，在频繁接通这类负载时容易发生触点熔焊现象。

2）接触器主触点电流等级的选择

根据电动机（或其他负载）的功率和操作情况来确定接触器主触点的电流等级。当接触器的使用类别与所控制负载的工作任务相对应时，一般主触点的电流等级应与所控制的负载相当，或稍大一些。若不对应，例如，用AC3类的接触器控制AC3与AC4混合类负载，则需降低电流等级使用。

3）接触器线圈电压等级的选择

接触器的线圈电压和额定电压是两个不同的概念，线圈电压应和控制电路的电源电压类型和等级相同。

4）触点数目的选择

接触器的触点数目应能满足控制线路的要求。各种类型的接触器触点数目是不同的。交流接触器的主触点有3对（常开触点），一般有4对辅助触点（两对常开触点，两对常闭触点）。

直流接触器的主触点一般有两对（常开触点），辅助触点有4对（两对常开触点，两对常闭触点）。

1.2.2 继电器

继电器是一种利用电流、电压、时间、温度和速度等信号的变化，使其触点接通或断开，用于交、直流小容量控制电路的电器，它在控制系统中起控制与保护电路或信号转换的作用。控制电路的功率一般不大，因此对继电器触点的额定电流与转换能力要

求不高，也不需采用灭弧装置。

继电器的用途广泛，种类很多，常用的分类方法是：按用途，继电路分为控制继电器和保护继电器两类；按输入信号的不同，分为电流继电器、电压继电器、时间继电器、温度继电器、压力继电器、速度继电器、中间继电器等几类；按动作原理，分为电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器和电子式继电器等几类。

1. 继电器的结构与工作原理

任何一种继电器，不论它们的动作原理、结构形式、使用场合如何变化，都具有两个基本结构：一是能反映外界输入信号的感应机构；二是对被控电路实现通、断控制的执行机构。

感应机构由变换机构和比较机构组成，变换机构将输入的电量或非电量变换成适合执行机构动作的某种特定物理量，如电磁式继电器的铁芯和线圈能将输入的电压或电流信号变换为电磁力；比较机构用于对输入量的大小进行判断，当输入量达到规定值时才发出命令使执行机构动作，如电磁式继电器的反力弹簧，由于事先的压缩产生了一定预压力，只有当电磁力大于此力时触点系统才动作。图1-3所示的为电磁式继电器的结构图，它与接触器的结构相似，但不含灭弧装置。

执行机构能实现对电路的通、断控制，对有触点的继电器是触点的吸合、释放动作；对无触点的半导体继电器则是晶体管的截止、饱和两种状态。

2. 继电器的特性

继电器的主要特性为输入/输出特性，又称为继电特性，其曲线如图1-4所示。

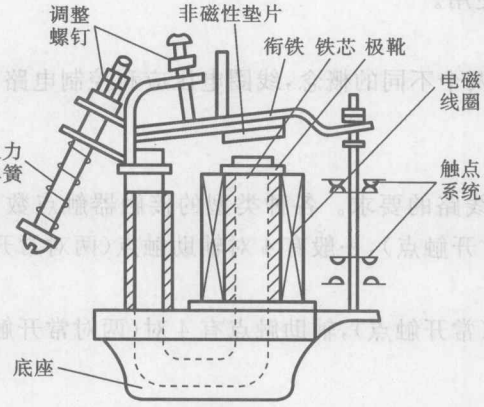


图1-3 电磁式继电器的结构图

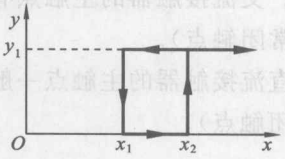


图1-4 继电特性曲线

当继电器输入量 x 由0增至 x_1 以前，输出量 y 为0。当输入量增加到 x_1 时，继电器吸合，输出量为 y_1；若 x 继续增大至 x_2，y_1 值保持不变。当 x 减小到 x_1 时，继电器释放，输出量由 y_1 降到0，x 再减小，y 保持为0。

对于电磁式继电器，为反映继电器吸合特性与释放特性配合的紧密程度，引入了返回系数的概念，它是继电器的重要参数之一。在图 1-4 所示曲线中，x_2 称为继电器吸合值或动作值；x_1 称为继电器释放值或复归值，返回系数 k 可表示为

$$k=x_1/x_2$$

继电器的返回系数 k 是可以根据使用要求进行调节的，通过调节反力弹簧的松紧程度（拧紧时，x_1 和 x_2 同时增大，k 增大；放松时，k 减小）来改变 k 的大小，也可通过调整非磁性垫片的厚薄（增厚时，x_1 增大，k 增大）来改变 k 值。

3. 电磁式继电器

常用的电磁式继电器有电压继电器、电流继电器和中间继电器三类。

1）电压继电器

触点的动作与线圈电压大小有关的继电器称为电压继电器，它用于电力拖动系统的电压保护和控制。使用时，电压继电器的线圈与负载并联，其线圈的匝数多而线径细。按线圈电流的种类，可分为交流电压继电器和直流电压继电器两类；按吸合电压大小，又可分为过电压继电器和欠电压继电器两类。

对于过电压继电器，当线圈为额定电压时，衔铁不产生吸合动作；只有当线圈电压高于其额定电压的某一值（如额定电压的 105%～120%）时，衔铁才产生吸合动作，对电路实现过电压保护。因为直流电路不会产生波动较大的过电压现象，所以没有直流过电压继电器产品。交流过电压继电器在电路中起过电压保护作用。

对于欠电压继电器，当线圈的电压低于其额定电压（如额定电压的 30%～50%）时，衔铁产生释放动作，对电路实现欠电压保护。

电压继电器的图形符号和文字符号如图 1-5(a)所示。

2）电流继电器

触点的动作与线圈电流大小有关的继电器称为电流继电器。使用时，电流继电器的线圈与负载串联，其线圈的匝数少而线径粗。这样线圈上的压降很小，不会影响负载电路的电流。根据线圈的电流种类，电流继电器分为交流电流继电器和直流电流继电器两类；按吸合电流大小，电流继电器可分为过电流继电器和欠电流继电器两类。

电路正常工作时，过电流继电器不产生吸合动作，但当电路中工作电流超过某一整定值时，过电流继电器的衔铁才产生吸合动作，从而带动触点动作。在电力拖动系统中，冲击性的过电流故障时有发生，常采用过电流继电器可对电路实现过电流保护。

电路正常工作时，欠电流继电器处于吸合状态，但当电路中工作电流减小到某一整定值时，欠电流继电器的衔铁产生释放动作，从而带动触点动作，对电路起欠电流保护作用。

在直流电路中，由于某种原因而引起负载电流的降低或消失会导致严重的后果（如直流电动机的励磁回路断线），因此，有直流低电流继电器产品，但没有交流低电流

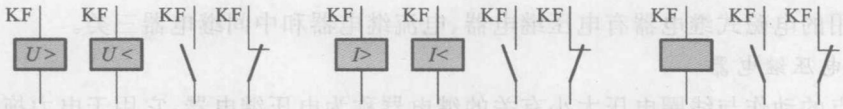
继电器产品。

电流继电器图形符号和文字符号如图1-5(b)所示。

3）中间继电器

中间继电器在控制电路中起信号传递、放大、切换和逻辑控制等作用。它实质上是一种电压继电器，主要用于扩展触点数量，实现逻辑控制。中间继电器也有交、直流之分，可分别用于交流控制电路和直流控制电路。它的特点是触点数量较多，电流容量可增大，起到中间放大(触点数目和电流容量)的作用。

中间继电器的图形符号和文字符号如图1-5(c)所示。



(a) 电压继电器　(b) 电流继电器　(c) 中间继电器

图1-5　电磁式继电器的图形符号和文字符号

4. 热继电器

热继电器是利用电流流过热元件时产生的热量，使双金属片发生弯曲而推动执行机构动作的一种保护电器。它主要用于交流电动机的过载保护、断相保护以及其他电器设备发热状态的控制等。

1）热继电器的作用和分类

在电力拖动控制系统中，当三相交流电动机出现长期带负载欠电压运行、长期过载运行以及长期单相运行等不正常情况时，电动机绕组会发生严重过热乃至烧坏。为了充分发挥电动机的过载能力，保证电动机的正常启动和运转，而当电动机出现长时间过载时又能自动切断电路，从而出现了能随过载程度而改变动作时间的电器，这就是热继电器。

热继电器是利用电流的热效应原理以及发热元件热膨胀原理设计的，用于三相交流电动机的过载保护。由于热继电器中发热元件有热惯性，在电路中不能作瞬时过载保护，更不能作短路保护。因此，它不同于过电流继电器和熔断器。

热继电器按极数，分为单极、两极和三极式三种类型，三极式热继电器常用于三相交流电动机的过载保护。按功率，三极式热继电器又分为带断相保护和不带断相保护两种类型。

2）电动机的过载特性和热继电器的保护特性

由于热继电器的触点动作时间与被保护的电动机过载程度有关，所以在分析热继电器工作原理之前，首先要明确电动机在不超过允许温升的条件下，电动机的过载电流与电动机通电时间的关系，即电动机的过载特性。

当电动机运行中出现过载电流时，必将引起绕组发热。根据热平衡关系，可得出

在允许温升条件下，电动机通电时间与其过载电流的平方成反比的结论。根据这个结论，可以得知电动机的过载特性具有反时限特性，如图 1-6 的曲线 1 所示。

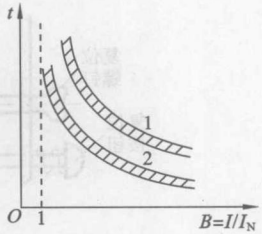


图 1-6 电动机的过载特性和热继电器的保护特性

图中，纵坐标为时间 t，横坐标 $B=I/I_N$。其中，I 为工作电流，I_N 为额定电流。当电动机的过载电流较小时，允许电动机通电时间较长；反之，允许电动机通电时间较短。

为了适应电动机的过载特性同时起到过载保护作用，要求热继电器也应具有如同电动机过载特性那样的反时限特性。为此，热继电器必须具有电阻性发热元件，利用过载电流流过电阻发热元件时产生的热效应使感测元件动作，从而带动触点动作来实现保护作用。热继电器中通过的过载电流与其触点动作时间之间的关系，称为热继电器的保护特性，如图 1-6 的曲线 2 所示。考虑到各种误差的影响，电动机的过载特性和热继电器的保护特性都不是一条曲线，而是一条带子。显然，误差越大，带子越宽；误差越小，带子越窄。

由图 1-6 的曲线 1 可知，电动机出现过载时，工作在曲线 1 的下方是安全的。因此，热继电器的保护特性应出现在电动机过载特性的邻近下方，这样，如果发生过载，热继电器就会在电动机达到其允许的过载极限之前动作，切断电动机电源，使电动机免遭损坏。

3）热继电器工作原理

热继电器主要由热元件、双金属片、触点系统等组成。热元件由发热电阻丝制成；双金属片由两种线膨胀系数不同的金属片经机械碾压而成，线膨胀系数大的称为主动层，线膨胀系数小的称为被动层。双金属片受热会产生弯曲变形。图 1-7 所示的是热继电器的结构原理图。热元件串接在电动机的定子绕组中，电动机定子绕组电流即为流过热元件的电流。

当电动机正常运行时，热元件产生的热量虽能使双金属片弯曲，但还不足以使继电器动作。当电动机过载时，热元件产生的热量增大，使双金属片弯曲位移增大，经过一定时间后，双金属片弯曲而推动导板，并通过补偿双金属片与推杆将动触点和常闭触点分开，动触点和常闭触点为热继电器串联于接触器线圈控制回路的常闭触点，断开后，使接触器线圈失电，同时接触器的主触点断开电动机的电源以保护电动机。

调节旋钮是一个偏心轮，它与支撑件构成一个杠杆，转动偏心轮，改变它的半径即可改变补偿双金属片与导板的接触距离，从而达到调节整定热继电器动作值的目的。此外，调节复位螺钉可改变常开触点的位置，使热继电器能工作在手动复位和自动复位两种工作状态。调试手动复位时，在故障排除后要手动按下复位按钮才能使动触点恢复与静触点接触的位置。

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com