

► 高等学校应用型本科“十三五”规划教材



- 低压电器及典型电气控制线路
- 三菱FX_{2N}及升级版FX_{3G}、FX_{3U}系列PLC软硬件基础知识
- PLC与变频器、触摸屏、组态软件相结合的综合应用
- 可编程序控制系统设计师职业资格考试

电气控制与PLC应用技术

► 主编 赵晶

高等学校应用型本科 |

电气控制与 PLC 应用技术

主 编 赵 晶

副主编 关健生

参 编 孔祥松 杨贵志 仲训皋 张哲铭

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书面向当今控制技术和工程实际应用,在注重学生知识面拓宽的同时,突出他们工程应用能力的培养。

本书分为三个部分,共 10 章。第一部分(第 1、2 章)介绍常用低压电器的基础知识、电气控制线路的设计方法以及常用的典型控制线路。第二部分(第 3~9 章)以国内广泛使用且具有很高的性价比的三菱公司 FX_{2N} 系列 PLC 为主要对象,适当增加了 FX_{1N} 和 FX_{2N} 升级版 FX_{3G}、FX_{3U} 系列 PLC 的内容,介绍了 PLC 的软硬件结构、工作原理、功能和特点、分类和指标、编程语言、开发软件、系统配置、指令系统等内容,并从工程应用出发,详细介绍了指令系统的编程技巧和编程实例、PLC 控制系统的设计方法等,还介绍了 PLC 与变频器、触摸屏、组态软件相结合的设计及其综合应用案例。为了配合职业技能的训练,本书第三部分(第 10 章)重点介绍了可编程序控制系统设计师职业资格考试和考试大纲。为了便于学习,各章后配有适量的习题。

本书不仅可作为高等学校本科自动化、电气工程、电子信息、机电一体化及相关专业的教材,也可作为工程技术人员的自学用书或职业技能考试的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 应用技术/赵晶主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2017.1

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4329-8

I. ① 电… II. ① 赵… III. ① 电气控制 ② PLC 技术 IV. ① TM571.2 ② TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 325805 号

策 划 秦志峰

责任编辑 秦志峰

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 18

字 数 421 千字

印 数 1~3000 册

定 价 36.00 元

ISBN 978-7-5606-4329-8/TM

XDUP 4621001-1

如有印装问题可调换

西安电子科技大学出版社

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

编审专家委员会名单

主 任：鲍吉龙(宁波工程学院副院长、教授)

副主任：张国云(湖南理工学院副院长、教授)

彭 军(重庆科技学院电气与信息工程学院院长、教授)

刘黎明(南阳理工学院软件学院院长、教授)

庞兴华(南阳理工学院机械与汽车工程学院副院长、教授)

机电组

组 长：庞兴华(兼)

成 员：(成员按姓氏笔画排列)

丁又青(重庆科技学院机械与动力工程学院副院长、教授)

王志奎(南阳理工学院机械与汽车工程学院副院长、教授)

刘振全(天津科技大学电子信息与自动化学院副院长、副教授)

何高法(重庆科技学院机械与动力工程学院院长助理、教授)

胡文金(重庆科技学院电气与信息工程学院系主任、教授)

电子与通信组

组 长：张国云(兼)

彭 军(兼)

成 员：(成员按姓氏笔画排列)

王天宝(成都信息工程学院通信学院院长、教授)

朱清慧(南阳理工学院电子与电气工程学院院长、教授)

安 鹏(宁波工程学院电子与信息工程学院副院长、副教授)

杨光松(集美大学信息工程学院副院长、教授)
苏世栋(运城学院物理与电子工程系副主任、副教授)
沈汉鑫(厦门理工学院光电与通信工程学院副院长、副教授)
钮王杰(运城学院机电工程系副主任、副教授)
唐德东(重庆科技学院电气与信息工程学院副院长、教授)
谢 东(重庆科技学院电气与信息工程学院自动化系主任、教授)
湛腾西(湖南理工学院信息与通信工程学院教授)
楼建明(宁波工程学院电子与信息工程学院副院长、副教授)

计算机大组

组 长: 刘黎明(兼)

成 员: (成员按姓氏笔画排列)

毕如田(山西农业大学资源环境学院副院长、教授)
向 毅(重庆科技学院电气与信息工程学院院长助理、教授)
刘克成(南阳理工学院计算机学院院长、教授)
李富忠(山西农业大学软件学院院长、教授)
何明星(西华大学数学与计算机学院院长、教授)
张晓民(南阳理工学院软件学院副院长、副教授)
范剑波(宁波工程学院理学院副院长、教授)
赵润林(山西运城学院计算机科学与技术系副主任、副教授)
黑新宏(西安理工大学计算机学院副院长、教授)
雷 亮(重庆科技学院电气与信息工程学院计算机系主任、副教授)

前 言

可编程控制器(Programmable Logic Controller, PLC),是以微处理器为基础,综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术发展起来的一种新型工业控制装置。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,不仅可以取代传统的继电器控制系统,还可以进行复杂的生产过程控制和应用于工厂自动化网络,已跃居工业生产三大支柱的首位,被广泛应用于各种生产机械和生产过程的自动控制中。

本书在编写时力求由浅入深、理论与工程结合、强化应用,安排了电气控制与可编程控制器两大部分内容。电气控制部分以应用最为广泛的继电接触器控制为主;可编程控制器部分以当今工业自动化领域具有代表性的 PLC 产品——三菱 FX_{2N} 系列 PLC 为主,适当增加了 FX_{1N} 和 FX_{2N} 升级版机型 FX_{3G}、FX_{3U} 系列 PLC 的内容。本书在拓宽理论知识的同时,突出工程实际的应用。

本书共 10 章。第 1 章介绍常用低压电器的结构原理、工作特性和选用原则,使学生能正确选用、安装、检测和维修常用低压电器;第 2 章着重讲解基本电气控制线路,使学生掌握设计、分析电气控制线路的基本方法,培养解决工程实际问题的能力;第 3 章主要介绍 PLC 的基础知识、编程语言及开发软件,让学生建立对 PLC 的基本认识;第 4 章介绍三菱 PLC 的系统配置,为后续的指令系统学习奠定基础;第 5 章介绍三菱 FX 系列 PLC 的基本逻辑指令及其编程技巧和工程实例,以熟练掌握基本指令的实际应用;第 6 章介绍 PLC 步进顺序控制指令、顺序编程思想和方法,旨在能应用 PLC 设计较为复杂的综合型控制系统和编写相关程序,培养学生的工程应用能力;第 7~9 章为 PLC 与变频器、触摸屏、组态软件相结合的综合应用,侧重解决工业应用过程中遇到的实际问题,从而培养学生的综合分析能力和解决问题能力;第 10 章与职业培训相结合,介绍了可编程序控制系统设计师资格考试及其大纲。书后附有相关的三级理论模拟试卷及参考答案。

书中设置了一些编程实例和工程案例,通过对例题的逐一讲解,力求将知识点和能力点相结合。借助一个机型的详细介绍,达到举一反三的目的,既便于组织教学,又便于读者自学。每章后都提供适量的习题,以供读者练习。

本书由厦门理工学院赵晶担任主编,厦门理工学院关健生担任副主编。本书的具体编写分工为:赵晶老师和关健生老师合编了第 1 章,赵晶老师编写了第 2~5 章,杨贵志老师编写了第 6 章,仲训皋老师编写了第 7 章,孔祥松老师编写了第 8 章,关健生老师和孔祥松老师合编了第 9 章,关健生老师编写了第 10 章。赵晶老师负责全书内容的规划和统稿。

作者在编写过程中参考了其他教材和相关厂家的资料,同时本书获得了厦门理工学院教材出版基金的资助,在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之受到设备条件的限制,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 10 月

目 录

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 低压电器的基础知识	1
1.1.1 低压电器的定义	1
1.1.2 低压电器的分类	1
1.1.3 低压电器的组成	2
1.2 接触器	3
1.2.1 接触器的结构和工作原理	3
1.2.2 交、直流接触器	4
1.2.3 接触器的选择原则	5
1.2.4 接触器使用注意事项	5
1.3 继电器	6
1.3.1 电流继电器	6
1.3.2 电压继电器	7
1.3.3 中间继电器	7
1.3.4 时间继电器	7
1.3.5 热继电器	8
1.3.6 速度继电器	9
1.4 熔断器	10
1.4.1 熔断器的结构和工作原理	10
1.4.2 熔断器的分类	11
1.4.3 熔断器的选择	12
1.5 刀开关	13
1.5.1 HD 型单刀单投刀开关	13
1.5.2 HK 型闸刀开关	14
1.5.3 HH 型铁壳开关	15
1.5.4 组合开关	16
1.6 低压断路器	17
1.6.1 低压断路器的分类	17
1.6.2 低压断路器的结构和工作原理	17
1.6.3 低压断路器的图形符号和 文字符号	18
1.7 主令电器	18
1.7.1 控制按钮	18
1.7.2 万能转换开关	19
1.7.3 行程开关	20
习题	21
第 2 章 基本电气控制线路	23
2.1 电气控制线路的设计方法	23
2.1.1 电气控制线路概述	23
2.1.2 电气原理图的绘制原则	23
2.1.3 电气控制线路的一般设计方法	24
2.2 电气控制线路的保护环节	27
2.2.1 短路保护	27
2.2.2 过载保护	28
2.2.3 过流保护	29
2.2.4 失压保护	29
2.2.5 欠压保护	30
2.3 常用的典型控制线路	30
2.3.1 三相鼠笼式异步电动机的典型 控制线路	30
2.3.2 三相绕线式异步电动机启动 控制线路	46
2.3.3 直流电动机控制线路	48
2.4 组成电气控制线路的基本规律	52
习题	52
第 3 章 PLC 概述	55
3.1 PLC 的产生与定义	55
3.1.1 PLC 的产生	55
3.1.2 PLC 的定义	56
3.2 PLC 的基本结构	56
3.2.1 硬件系统	56
3.2.2 常用的 I/O 接口	57
3.2.3 软件系统	59
3.2.4 用户环境	59
3.3 PLC 的工作原理	60
3.3.1 PLC 的等效电路	60
3.3.2 PLC 的工作方式	60

3.4 PLC 的功能与特点.....62	5.1.1 FX _{2N} 系列 PLC 基本逻辑指令..... 105
3.4.1 PLC 的功能.....62	5.1.2 梯形图编程注意事项..... 117
3.4.2 PLC 的特点.....63	5.2 基本指令系统的编程技巧与 工程实例..... 119
3.5 PLC 的分类和性能指标.....64	5.2.1 基本指令系统的编程技巧..... 119
3.5.1 PLC 的分类.....64	5.2.2 常用基本环节编程..... 120
3.5.2 PLC 的性能指标.....65	5.2.3 编程实例..... 125
3.6 PLC 的应用和发展.....66	5.2.4 低压电器控制系统设计..... 130
3.6.1 PLC 的应用.....66	习题..... 135
3.6.2 PLC 的发展.....67	第 6 章 PLC 步进顺序控制及其应用..... 139
3.7 PLC 的编程语言.....68	6.1 基于 SFC 图的步进顺序控制方法..... 139
3.7.1 梯形图语言.....68	6.1.1 SFC 图的组成元素..... 140
3.7.2 指令助记符语言.....69	6.1.2 SFC 图的结构..... 142
3.7.3 顺序功能图.....70	6.2 基于步进梯形图的步进顺序 控制方法..... 146
3.7.4 PLC 编程示例.....70	6.2.1 步进梯形图指令..... 147
3.8 PLC 的软件开发.....71	6.2.2 步进梯形图的组成元素..... 148
3.8.1 工程建立.....71	6.2.3 基于步进梯形图的顺序控制结构 实现方法..... 149
3.8.2 程序编辑.....73	6.3 步进顺序控制编程技巧与工程实例..... 151
3.8.3 仿真测试.....74	6.3.1 步进顺序控制编程技巧..... 151
习题.....76	6.3.2 简易机械手控制器..... 154
第 4 章 三菱 PLC 的系统配置.....78	6.3.3 多种液体混合装置控制器..... 160
4.1 三菱 FX 系列 PLC 产品及技术性能.....78	6.3.4 多级传送带控制器..... 162
4.1.1 FX 系列 PLC 的产品类型和硬件 配置.....78	6.3.5 十字路口交通信号灯控制器..... 164
4.1.2 FX 系列 PLC 的性能指标.....83	习题..... 167
4.1.3 FX 系列 PLC 型号的说明.....84	第 7 章 PLC 与变频器及其应用..... 168
4.2 FX 系列 PLC 内部软元件及其 I/O 配置.....85	7.1 变频器概述..... 168
4.2.1 PLC 软元件的数值类型.....85	7.1.1 变频器的基本概念..... 168
4.2.2 FX 系列 PLC 软元件的分类及 编号.....86	7.1.2 变频器的基本结构及调速原理..... 171
4.2.3 位元件型软元件.....88	7.2 变频器的额定参数、技术指标与产品 选型..... 173
4.2.4 字数据型软元件.....90	7.2.1 变频器的额定参数..... 173
4.2.5 指针型软元件.....101	7.2.2 变频器的技术指标..... 174
4.2.6 常数型软元件.....102	7.2.3 变频器的产品选型..... 175
习题.....103	7.3 变频器的基本应用..... 176
第 5 章 三菱 FX 系列 PLC 的基本逻辑指令 及其应用.....104	7.3.1 三菱 FR-A540 变频器端子 接线图简介..... 176
5.1 基本逻辑指令系统.....104	

7.3.2 变频器的运行与操作.....	179	9.2.1 设计任务分析.....	221
7.3.3 变频器常用参数的设置.....	184	9.2.2 基于 PLC 的自动分拣 生产线控制.....	223
7.3.4 PLC 与变频器的基本应用	188	9.3 恒压供水调速系统的设计	225
习题.....	196	9.3.1 设计任务分析.....	225
第 8 章 触摸屏的基本结构与 GT 组态软件的应用	197	9.3.2 基于 PLC 的恒压供水调速控制....	226
8.1 触摸屏概述.....	197	9.4 机械手控制系统的设计	229
8.1.1 触摸屏的基本概念.....	197	9.4.1 设计任务分析.....	229
8.1.2 触摸屏的基本功能.....	198	9.4.2 基于 PLC 的机械手设计	230
8.1.3 触摸屏的发展趋势.....	198	9.5 中央空调冷冻水系统的设计.....	233
8.2 触摸屏的基本结构及工作原理	199	9.5.1 设计任务分析.....	233
8.2.1 触摸屏的基本结构.....	199	9.5.2 基于 PLC 的中央空调冷冻水 系统设计.....	233
8.2.2 触摸屏的工作原理.....	200	习题.....	237
8.3 触摸屏与外围设备的连接	200	第 10 章 可编程序控制系统设计师 职业资格考试	238
8.3.1 触摸屏通信接口	200	10.1 可编程序控制系统设计师职业资格考试 简介及申报条件	238
8.3.2 触摸屏与 PLC 的连接	201	10.1.1 职业资格考试简介.....	238
8.3.3 触摸屏与 PLC 联机工作原理	202	10.1.2 职业资格考试申报条件.....	238
8.4 三菱触摸屏 GT 组态软件的安装	203	10.2 可编程序控制系统设计师职业资格 考试大纲	239
8.4.1 触摸屏组态软件简介.....	204	10.2.1 四级可编程序控制系统设计师 考试大纲.....	239
8.4.2 触摸屏组态软件 GT 的安装	204	10.2.2 三级可编程序控制系统设计师 考试大纲.....	241
8.5 GT 软件的应用.....	207	10.2.3 二级可编程序控制系统设计师 考试大纲.....	242
8.5.1 新建项目	207	10.2.4 一级可编程序控制系统设计师 考试大纲.....	243
8.5.2 画面创建	212	附录 1 常用电器的图形符号及文字符号	246
8.5.3 画面仿真调试	214	附录 2 三菱 FX 系列 PLC 功能指令一览表 ..	250
8.5.4 项目的上传与下载.....	215	附录 3 常见的错误代码.....	255
8.6 GT 软件画面设置.....	215	附录 4 可编程序控制系统设计师（三级） 理论模拟试卷与参考答案	260
8.6.1 GOT 的画面配置	215		
8.6.2 GT 软件画面切换设置	215		
习题.....	216		
第 9 章 PLC、变频器和触摸屏的综合 应用	217		
9.1 三层电梯控制系统的设计	217		
9.1.1 设计任务分析	217		
9.1.2 基于 PLC 的三层电梯控制	220		
9.2 自动分拣生产线的设计	221		
参考文献	276		



第1章 常用低压电器

本章主要通过对常用低压电器的结构、工作原理、用途、型号、规格及符号等知识的介绍,使读者掌握正确选用、安装、检测和维修常用低压电器的方法。

1.1 低压电器的基础知识

电器是所有电工器械的简称。凡是根据外接特定的信号和要求,自动或手动接通或断开电路,断续或连续改变电路参数,实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节作用的电气设备,统称为电器。电器的种类有很多,低压电器只是电器中的一类。

1.1.1 低压电器的定义

根据我国现行标准规定,工作在交流 50 Hz(或 60 Hz)、额定电压 1200 V 以下或直流额定电压 1500 V 以下的电路,起通断、控制、保护与调节等作用的电器称为低压电器。

1.1.2 低压电器的分类

低压电器的功能多、用途广、品种规格繁多,为了系统地掌握,必须加以分类。

1. 按动作特点分类

(1) 手动电器:由操作人员手动发出动作指令或依靠机械力进行操作的电器,如刀开关、按钮等。

(2) 自动电器:不需要人工操作,按照电信号或非电信号自动完成接通、分断电路任务的电器,如接触器、继电器、电磁阀等。

2. 按用途分类

(1) 控制电器:用于各种控制电路和控制系统,实现特定控制目的的电器,如接触器、继电器、电动机启动器等。控制电器要求工作准确可靠、寿命长、操作频次高。

(2) 配电电器:用于电能的输送和分配的电器,如刀开关、低压断路器等。配电电器要求有足够的热稳定性和电稳定性,灭弧能力强、分断能力好,在系统产生故障的情况下,动作准确、可靠。

(3) 主令电器:用于自动控制系统中发送动作指令的电器,如按钮、万能转换开关、行程开关等。主令电器为系统提供了人机交互的手段。



(4) 保护电器：用于保护电路、用电设备和人身安全的电器，如熔断器、热继电器、避雷器等。

(5) 执行电器：用于完成某种动作或传送功能的电器，如电磁铁、电磁离合器等。

3. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器：依据电磁感应原理来工作的电器，如交直流接触器、各类电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器：利用外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，如刀开关、速度继电器、压力继电器、温度继电器等。

1.1.3 低压电器的组成

低压电器中大部分为电磁式电器，各类电磁式电器的工作原理和构造基本相同，是由检测部分和执行部分组成的。其中，检测部分为电磁机构，执行部分为触点系统。

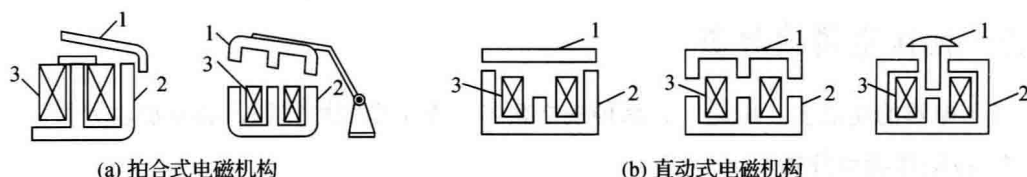
1. 电磁机构

1) 电磁机构的作用

电磁机构又称为磁路系统，其主要作用是将电磁能转换为机械能，并带动触点动作，从而接通或断开电路。

2) 电磁机构的结构及工作原理

电磁机构主要由动铁芯(衔铁)、静铁芯和电磁线圈三部分组成。按照衔铁的运动方式可以分为拍合式和直动式，图 1-1(a)和图 1-1(b)所示的是拍合式和直动式电磁机构常用的几种结构形式。



1—衔铁；2—铁芯；3—电磁线圈

图 1-1 电磁机构常用的结构形式

电磁机构的工作原理：当电磁线圈通电后，线圈电流产生磁场，衔铁获得足够的电磁吸力，克服弹簧的反作用力，产生位移使衔铁与静铁芯吸合。衔铁复位时，复位弹簧将衔铁拉回原位。

3) 交流电磁系统的短路环

在单相交流电磁机构中，由于通的是交变的电流，所以磁通 Φ 也是交变的。当磁通 Φ 过零时，电磁吸力消失，衔铁在弹簧作用下被拉开或有被拉开的趋势；磁通 Φ 过零后电磁吸力又增大，当吸力大于反作用力时，衔铁被吸合。于是，在交流电流的作用下，衔铁产生强烈的振荡和噪声，甚至使铁芯松散。

为避免因线圈中交流电流过零时磁通过零造成衔铁抖动，需在交流电磁机构铁芯的端部开槽，嵌入一个铜制的短路环以消除振动，确保衔铁的可靠吸合，如图 1-2 所示。



安装短路环后, 气隙磁通 Φ 被分为两个部分, 一个部分是不穿过短路环的磁通 Φ_1 , 另一个部分是穿过短路环的磁通 Φ_2 。根据电磁感应定律, 磁通 Φ_2 在相位上滞后 Φ_1 约 90° 电角度, 两相磁通不会同时过零。 Φ_1 与 Φ_2 产生的吸力 f_1 与 f_2 共同作用在衔铁上, 产生合成电磁吸力 F 。由于电磁吸力与磁通的平方成正比, F 较为平坦, 因此只要吸力始终大于反力, 衔铁的振荡现象就会消失。

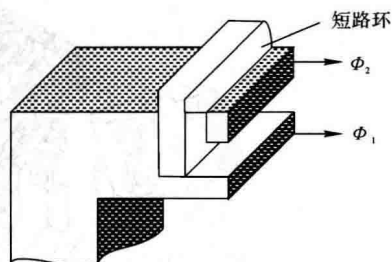


图 1-2 交流电磁铁的短路环

2. 触点系统

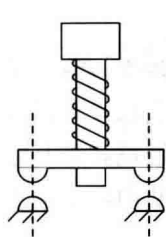
1) 作用

触点是有触点电器的执行部分, 通过触点的闭合、断开来控制电路的通、断。

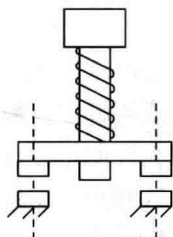
2) 结构与分类

触点按照非激励状态可以分为常开触点和常闭触点。非激励状态即线圈未通电状态, 此时如果触点断开, 在线圈通电后才闭合的称为常开触点; 反之, 称为常闭触点。

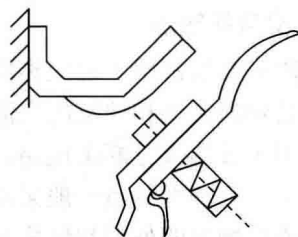
触点按照其结构形式分类, 有桥式触点和指式触点两种。点接触的桥式触点如图 1-3(a) 所示, 适用于电流不大且触点压力较小的场合; 面接触的桥式触点如图 1-3(b) 所示, 适用于电流较大的场合; 指式触点如图 1-3(c) 所示, 其接触区域为一直线, 触点在接通和断开时产生的滚动摩擦可以去除表面的氧化膜, 适用于触点分断次数较多、电流较大的场合。



(a) 点接触桥式触点



(b) 面接触桥式触点



(c) 指式触点

图 1-3 触点的结构形式

1.2 接 触 器

接触器是机床电气控制系统中使用量较大、涉及面较广的一种低压控制电器, 它可以用来频繁地接通和分断交直流主回路及大容量控制电路。大多数情况下, 其主要控制对象是电动机, 也可以用于其他电力负载, 如电热器、电焊机、电炉变压器等。接触器不仅可以自动地接通、断开电炉, 还可以实现远距离控制, 并具有欠(零)电压保护。接触器在电气控制系统中应用非常广泛。

1.2.1 接触器的结构和工作原理

接触器主要由电磁系统、触点系统和灭弧装置组成, 外观结构如图 1-4(a) 所示, 内部结构如图 1-4(b) 所示。

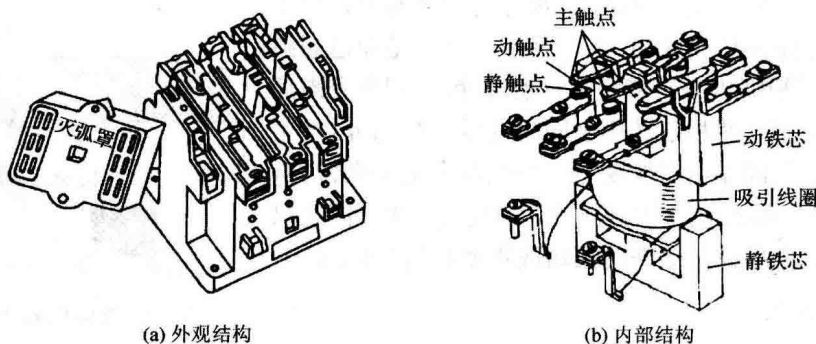


图 1-4 接触器的外观和内部结构

对于电磁式的接触器来说，其工作原理与电磁式电器的工作原理是相同的，即当电磁线圈通电后，线圈电流产生磁场，使静铁芯产生电磁吸力吸引衔铁，并带动触点动作，使常闭触点断开，常开触点闭合，两者是联动的。当电磁线圈断电时，电磁力消失，衔铁在松开弹簧的作用下释放，使触点复原，即常开触点断开，常闭触点闭合。

1.2.2 交、直流接触器

按照接触器主触点所控制主电路电流的种类，接触器可以分为交流接触器和直流接触器。

1. 交流接触器

交流接触器常用于远距离接通和分断额定电压至 1140 V、额定电流至 630 A 的交流电路，以及频繁启动和控制的交流电动机。交流接触器一般有 3 对主触点和 4 对辅助触点。主触点用于接通或分断主电路，辅助触点用在控制电路中，具有常闭触点和常开触点各 2 对。主触点和辅助触点一般采用双断点的桥式触点，电路的接通和分断由两个触点共同完成。交流接触器的外形和结构示意图如图 1-5 所示。

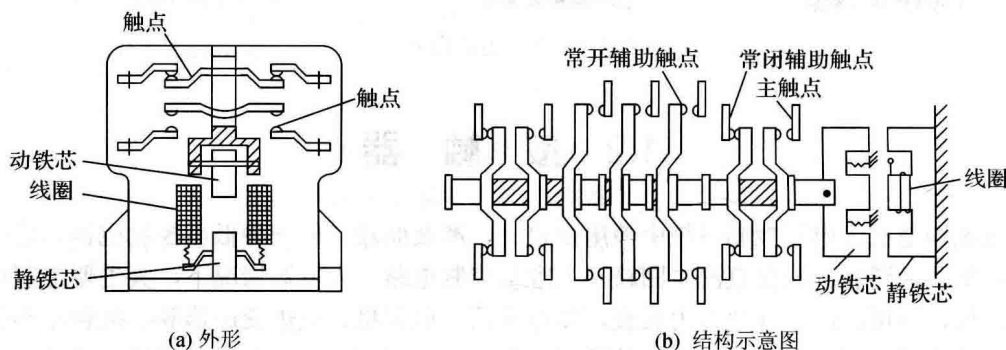


图 1-5 交流接触器

当交流接触器的吸引线圈通电后，电磁系统即把电能转换为机械能，所产生的电磁吸力克服反作用弹簧与触点弹簧的反作用力，使铁芯吸合，并带动触点支架使动合触点接触闭合、动断触点分断，接触器处于得电状态。当吸引线圈失电或电压显著下降时，由于电磁吸力消失或过小，使衔铁释放，在恢复弹簧的作用力下，衔铁和所有触点都恢复常态，接触器处于失电状态。



当交变磁通穿过铁芯时,将会产生涡流和磁滞损耗,使铁芯发热。为减少铁损,铁芯可采用硅钢片冲压而成;为便于散热,线圈可做成短而粗的圆筒状绕在骨架上;为防止交变磁通使衔铁产生强烈的振动和噪声,在交流接触器铁芯端面上都安装一个铜制的短路环。交流接触器的灭弧装置通常采用灭弧罩和灭弧栅。

2. 直流接触器

直流接触器主要用于远距离接通和分断额定电压 440 V、额定电流 600 A 的直流电路,如频繁地使直流电动机启动、停止、反转和反接制动等。直流接触器的结构和工作原理基本与交流接触器相同,它也是由铁芯、线圈、衔铁、灭弧装置等部分组成的。所不同的是,除触点电流和线圈电压为直流外,其触点大部分采用滚动接触的指式触点,辅助触点则采用点接触的桥式触点。铁芯由整块钢或铸铁制成,线圈制成长而薄的圆筒形。为保证衔铁可靠释放,常在铁芯与衔铁之间垫有非磁性垫片。由于直流电弧不像交流电弧有自然过零点,所以更难熄灭,因此,直流接触器常采用磁吸式灭弧装置。

接触器的图形符号和文字符号如图 1-6 所示。



图 1-6 接触器的图形符号和文字符号

1.2.3 接触器的选择原则

在选择接触器时,应根据实际控制电路的要求和从其工作条件出发,主要考虑下列因素:

- (1) 控制交流负载应选用交流接触器,控制直流负载应选用直流接触器。
- (2) 接触器的使用类别应与负载性质相一致。
- (3) 主触点的额定工作电压应大于或等于负载电路的电压。
- (4) 主触点的额定工作电流应大于或等于负载电路的电流。

还要注意的是,接触器主触点的额定工作电流是在规定条件下(额定工作电压、使用类别、操作频率等)能够正常工作的电流值。当实际使用条件不同时,该电流值也将随之改变。

对于电动机负载,可按下列经验公式计算:

$$I_C = \frac{P_N \times 10^3}{K U_N} \quad (1.1)$$

式中: I_C 为接触器主触点电流(A); P_N 为电动机的额定功率(kW); U_N 为电动机的额定电压(V); K 为经验系数,一般取 1~1.4。

(5) 吸引线圈的额定电压应与控制回路的电压相一致,接触器在线圈额定电压的 85% 及以上时才能可靠地吸合。

(6) 主触点和辅助触点的数量应能满足控制系统的需要。

1.2.4 接触器使用注意事项

接触器在使用时应注意以下事项:



(1) 因为分断负荷时有火花和电弧产生, 开启式的接触器不能用于易燃、易爆的场所和导电性粉尘多的场所, 也不能在无防护措施的情况下在室外使用。

(2) 使用接触器时, 应注意触点和线圈是否过热, 三相主触点一定要保持同步动作, 分断时电弧不得太大。

(3) 交流接触器在控制电机或线路时, 必须与过电流保护器配合使用, 接触器本身无过电流保护性能。

(4) 短路环和电磁铁吸合面要保持完好、清洁。

(5) 接触器安装在控制箱或防护外壳内时, 由于散热条件差, 环境温度较高, 应适当降低容量使用。

1.3 继 电 器

继电器主要在控制电路和保护电路中作信号转换用, 它具有输入电路(又称感应元件)和输出电路(又称执行元件)。当感应元件中的输入量(如电流、电压、温度、压力等)变化到某一定值时继电器动作, 执行元件便接通和断开控制回路。

继电器的种类繁多, 常用的有电流继电器、电压继电器、中间继电器、时间继电器、热继电器以及温度继电器、压力继电器、计数继电器、频率继电器等。

电压继电器、电流继电器和中间继电器属于电磁式继电器, 其结构、工作原理与电磁式接触器相似, 由电磁系统、触点系统和释放弹簧等组成。由于继电器可以用于控制电路, 流过触点的电流较小, 所以不需要灭弧装置。

1.3.1 电 流 继 电 器

电流继电器的线圈串接在被测量电路中, 以反映电路电流的变化。为了不影响电路工作情况, 电流继电器线圈匝数少, 导线粗, 线圈阻抗小, 这样通过电流时电流继电器的压降就较小, 在不影响负载电路电流的情况下, 仍可获得需要的磁动势。电流继电器有欠电流继电器和过电流继电器两类。欠电流继电器的吸引电流为线圈额定电流的 30%~65%, 释放电流为额定电流的 10%~20%。因此, 在电路正常工作时, 衔铁一直是吸合状态。只有当电流降低到某一整定值时, 继电器释放, 输出信号。过电流继电器在电路正常工作时不动作, 当电流超过某一整定值时才动作, 整定值的范围通常为 1.1~4.0 倍额定电流。

在机床电气控制系统中, 电流继电器主要根据主电路的电流种类和额定电流来选择。

电流继电器的图形符号和文字符号如图 1-7 所示。电流继电器线圈中用 $I >$ (或 $I <$) 表示过电流(或欠电流)继电器。

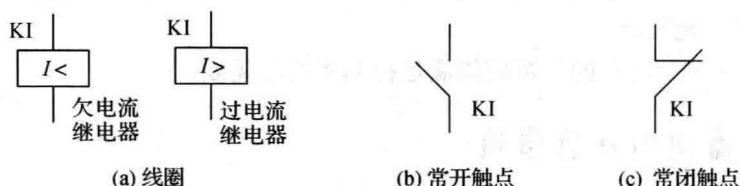


图 1-7 电流继电器的图形符号和文字符号



1.3.2 电压继电器

电压继电器的结构与电流继电器相似，不同的是电压继电器线圈为并联的电压线圈，所以匝数多、导线细、阻抗大。

电压继电器按动作电压值的不同，有过电压继电器、欠电压继电器和零电压继电器之分。过电压继电器在电压为额定电压的 110%~115% 以上时有保护动作；欠电压继电器在电压为额定电压的 40%~70% 时有保护动作；零电压继电器在电压降至额定电压的 5%~25% 时有保护动作。

电压继电器的图形符号和文字符号如图 1-8 所示。电压继电线圈中用 $U<$ (或 $U>$) 表示欠电压(或过电压)继电器。

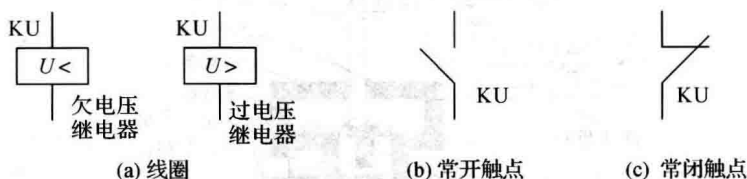


图 1-8 电压继电器的图形符号和文字符号

1.3.3 中间继电器

中间继电器实质上是电压继电器的一种，其触点数较多(有 6 对或更多)，触点电流容量较大，动作灵敏。其主要用途是当其他继电器的触点数或触点容量不够时，可借助中间继电器来扩大它们的触点数或触点容量，从而起到中间转换的作用。此外，中间继电器还可以作为信号传递、互锁、隔离等作用。

中间继电器主要依据被控制电路的电压等级，触点的数量、种类及容量来选用。机床上常用的中间继电器有交流中间继电器和交直流两用中间继电器。

中间继电器的图形符号和文字符号一般是相同的，如图 1-9 所示。

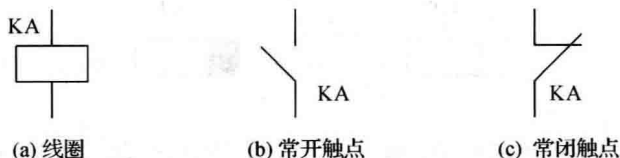


图 1-9 中间继电器的图形符号和文字符号

1.3.4 时间继电器

时间继电器是一种用来实现触点延时接通或断开的控制电器，按其动作原理与构造的不同，可分为电磁式、空气阻尼式、电动式和晶体管式等类型。机床控制线路中应用较多的是空气阻尼式时间继电器。

空气阻尼式时间继电器是利用空气阻尼的原理获得延时的，它通常由延时机构、电磁机构和触点系统组成。电磁机构为双 E 直动式，触点系统借用 LX5 型微动开关，延时机构采用气囊式阻尼器。电磁机构可以是直流的，也可以是交流的；既有通电延时型，又有断



电延时型。当衔铁位于铁芯和延时机构之间时，为通电延时型；当铁芯位于衔铁和延时机构之间时，为断电延时型。

图 1-10 是 JS7-A 通电延时型时间继电器。工作时，线圈通电，动静铁芯吸合，活塞杆在塔形弹簧的作用下带动活塞和橡皮膜缓慢向上移动，经过一段时间延时后，杠杆压动延时开关动作，常开触点闭合，常闭触点断开起到通电延时作用。线圈断电，动静铁芯释放，空气通过单向阀迅速被排掉，瞬时延时触点系统迅速复位，不延时。

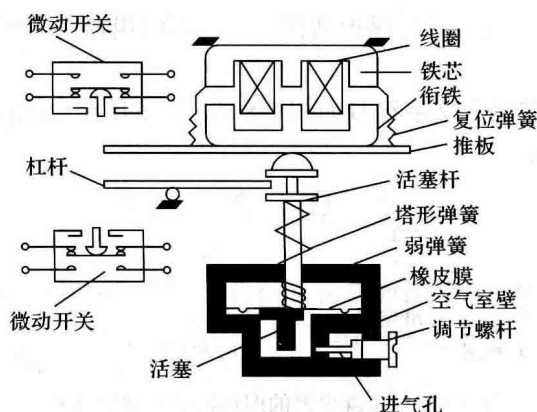


图 1-10 JS7-A 空气阻尼式通电延时型时间继电器

随着半导体技术特别是集成电路技术的进一步发展，电子式时间继电器在时间继电器中已成为主流产品。电子式时间继电器是采用晶体管或集成电路和电子元件等构成的。电子式时间继电器具有延时范围广、精度高、体积小、耐冲击、耐振动、调节方便及寿命长等优点，所以发展很快，应用较广泛。

时间继电器主要是根据控制回路所需要的延时触点的延时方式、瞬时触点的数目以及使用条件来选择的。线圈(或电源)的电流种类和电压等级应与控制电路相同。触点数量和容量不够时，可用中间继电器进行扩展。

时间继电器的图形符号和文字符号如图 1-11 所示。

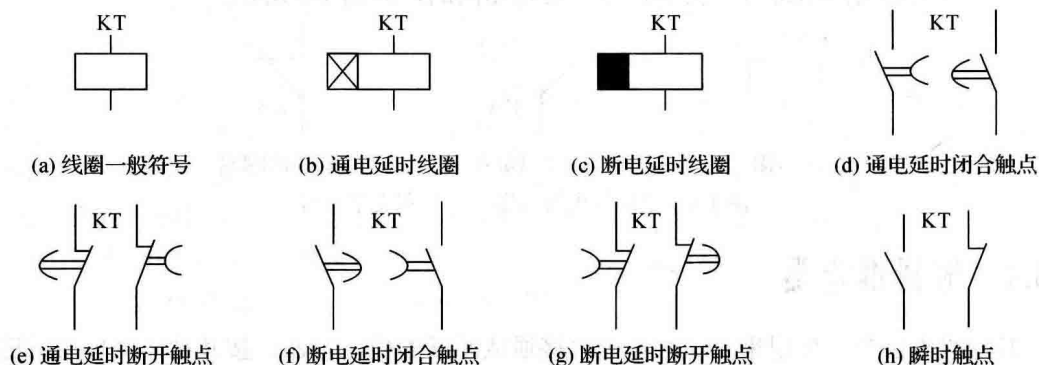


图 1-11 时间继电器的图形符号和文字符号

1.3.5 热继电器

热继电器是利用电流的热效应原理来保护设备，使器件免受长期过载的危害。它主要