

高职高专机电类专业规划教材
国家级精品课程配套教材

电气控制与PLC 应用技术教程 (FX系列)

● 徐茜 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件、习题解答、
模拟试卷及答案

高职高专机电类专业规划教材

国家级精品课程配套教材

电气控制与 PLC 应用技术 教程（FX 系列）

主 编 徐 茜
副主编 杨 红
参 编 姚卫丰 吴 锋
主 审 钟江生



机械工业出版社

本书为国家级精品课程“电气控制与 PLC”配套教材。

全书内容共分 3 篇。第 1 篇为继电器—接触器控制篇,介绍了常用低压电器、电气控制系统的基本控制电路以及典型电气控制系统分析;第 2 篇为可编程序控制器及其应用篇,以三菱 FX 系列 PLC 为载体,介绍了可编程序控制器及其工作原理、三菱 FX 系列可编程序控制器应用基础、FX 系列 PLC 的基本逻辑指令、顺序功能图编程和步进指令、FX 系列 PLC 的功能指令及其应用、PLC 的工程应用;第 3 篇为实践篇,集中了 18 个典型的实训项目(包括 2 个综合项目)。本书编写过程中,突出理论联系实际,力求内容简洁、通俗易懂。

本书可作为高职高专院校电气自动化技术、智能楼宇、机电一体化等专业的教材,也可供从事相关领域技术工作的工程技术人员参考。

为方便教学,本书配有电子课件、习题解答、模拟试卷及答案等,凡选用本书作为授课教材的教师,均可来电免费索取。咨询电话:010-88379758; E-mail: wangzongf@163.com。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 应用技术教程:FX 系列/徐茜主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 8

高职高专机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-42933-3

I. ①电… II. ①徐… III. ①电气控制—高等职业教育—教材②plc 技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 161562 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 责任编辑:于宁

版式设计:霍永明 责任校对:姜艳丽

责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.5 印张·457 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-42933-3

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

本书是国家级精品课程“电气控制与 PLC”配套教材。

2003 年我校“电气控制与 PLC”课程被遴选为教育部第一批国家精品课程，2004 年我们组织编写了《电气控制与 PLC 实用技术》讲义，结合教师编制的实训项目单，在教学中使用。十年过去了，讲义和实训项目单几经修订，最近一次修订于 2011 年完成并使用。

美国教育家约翰·杜威（John Dewey，1859—1952）关于教育有过一段精彩表述：“学校的责任是启发学生对学科的兴趣，并从中学习解决问题的方法和思考方式，让学生从实验（活动）中掌握知识，而不是由教师报告他人的学习成果。”这一观念影响了美国高等工科教育一百多年。本书正是遵循这种理念编写的。

本书具有如下特点：

1. 本书以当前广泛应用并代表未来发展趋势的电气控制新技术为背景，选材新颖实用，力求满足我国高等职业教育的特点。

2. 在本书编写过程中，力求简洁明了、通俗易懂。回归传统教材体系，将依托工业环境组织教学的实践部分单独成篇，既方便教学，又不失教材的可读性。

3. 本书从电气产品使用的角度，简述各类自动化产品的结构原理、功能和特点，着重介绍产品的应用及控制系统设计分析方法。

4. 基础理论以够用为度，本书配有大量简单实用的工程案例，增加了实际操作的趣味性，同时也易于理解。

5. 本书论述力求深入浅出，在介绍结构原理时做到图文并茂，电器选型、指令的使用等均配有示例，每章末附有思考与练习题，便于学生自学。教学组织方面，依据课程学时多少，建议以第三篇实训项目为线展开教学。项目验收以达到“强化训练”要求为目标。项目完成后，要求学生撰写项目报告。

本书由深圳职业技术学院徐茜任主编，杨红任副主编，参加编写的还有姚卫丰、吴锋。其中，姚卫丰编写了第 1、2 章，徐茜编写了第 3~7、10 章，杨红编写了第 8 章，吴锋编写了第 9 章，全书由徐茜统稿。深圳职业技术学院钟江生教授担任本书的主审。在本书编写过程中，得到了深圳职业技术学院张磊、林玲、黄志昌、廖申雪及工业中心许多老师的帮助，在讲义使用过程中，老师和同学们提出了许多宝贵的意见和建议，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中难免存在错误和不妥之处，恳请大家指正。

编者

目 录

前言

第 1 篇 继电器—接触器控制篇

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 概述	1
1.2 低压电器的电磁机构及执行机构	1
1.2.1 电磁机构	2
1.2.2 触头系统	2
1.2.3 灭弧系统	3
1.3 接触器	4
1.3.1 接触器的结构	4
1.3.2 接触器的主要技术参数	5
1.3.3 接触器型号含义、图形符号和文字符号	5
1.3.4 接触器的选用	6
1.4 继电器	6
1.4.1 电流继电器和电压继电器	7
1.4.2 中间继电器	8
1.4.3 时间继电器	8
1.4.4 热继电器	10
1.4.5 速度继电器	13
1.4.6 压力继电器	14
1.4.7 液位继电器	14
1.4.8 干簧继电器	14
1.5 低压开关及低压断路器	15
1.5.1 刀开关	15
1.5.2 组合开关	16
1.5.3 低压断路器	17
1.6 熔断器	18
1.6.1 熔断器的工作原理及特性	18
1.6.2 常用熔断器的种类及技术数据	19
1.6.3 熔断器的技术参数	19
1.6.4 熔断器的选用	19
1.6.5 熔断器使用维护注意事项	20
1.7 主令电器	20
1.7.1 按钮	21
1.7.2 行程开关	22

1.7.3 万能转换开关	24
1.7.4 凸轮控制器	25
思考与练习题	25
第 2 章 电气控制系统的基本控制电路	27
2.1 电气控制系统图	27
2.1.1 电气控制系统图的分类	27
2.1.2 电气控制系统图中的图形符号和文字符号	28
2.1.3 电气原理图的绘制原则	31
2.2 电气控制线路的逻辑代数分析法	34
2.2.1 电气元器件的逻辑表示	34
2.2.2 电路状态的逻辑表示	35
2.2.3 电路化简的逻辑法	35
2.3 常用基本控制电路	36
2.3.1 异步电动机的起动控制电路	36
2.3.2 笼型异步电动机正反转控制电路	42
2.3.3 笼型异步电动机的制动控制电路	44
2.3.4 笼型异步电动机调速控制电路	46
2.3.5 异步电动机的其他基本控制电路	48
思考与练习题	52
第 3 章 典型电气控制系统分析	54
3.1 组合机床的电气控制电路	55
3.1.1 机床的结构、组成及运动	55
3.1.2 机床的驱动及控制要求	56
3.1.3 机床控制电路分析	56
3.2 小型冷库的电气控制电路	60
3.2.1 主电路	60
3.2.2 控制、显示及报警电路	60
思考与练习题	63
第 2 篇 可编程序控制器及其应用篇	
第 4 章 可编程序控制器及其工作原理	64

4.1 PLC 的特点	64	6.1.12 触点上沿/下降沿检测指令 LDP、ANDP、ORP、LDF、 ANDF、ORF	100
4.2 PLC 的应用与发展	66	6.1.13 空操作指令 NOP	101
4.3 PLC 的基本结构和工作原理	67	6.1.14 程序结束指令 END	101
4.3.1 PLC 的基本结构	67	6.2 PLC 梯形图编程规则	102
4.3.2 PLC 的工作原理	69	6.2.1 梯形图设计规则	102
4.3.3 输出响应滞后	71	6.2.2 输入信号的最高频率问题	104
思考与练习题	71	6.3 PLC 逻辑指令应用	104
第5章 三菱 FX 系列可编程序控 制器应用基础	72	6.3.1 简单程序	104
5.1 国内外 PLC 产品简介	72	6.3.2 实例一：抢答显示系统	106
5.1.1 美国 PLC 产品	72	6.3.3 实例二：料箱盛料过少报警 系统	108
5.1.2 欧洲 PLC 产品	73	6.3.4 实例三：按钮人行道	110
5.1.3 日本 PLC 产品	73	思考与练习题	113
5.1.4 国内 PLC 产品	74	第7章 顺序功能图编程和步进指令	115
5.2 三菱 FX 系列 PLC 硬件配置及性能 指标	74	7.1 顺序功能图的基本特点	115
5.2.1 FX 系列型号命名	74	7.2 顺序功能图编程	116
5.2.2 FX 系列 PLC 硬件配置	75	7.2.1 简单流程顺序功能图编程	116
5.2.3 FX 系列 PLC 性能指标	77	7.2.2 复杂流程顺序功能图编程	119
5.3 电源及输入输出回路接线	79	7.3 步进指令简介	123
5.4 PLC 编程语言及分类	81	7.3.1 步进指令 STL、RET	123
5.5 三菱 FX 系列 PLC 的编程软元件	82	7.3.2 顺序功能图与梯形图的转换	124
思考与练习题	88	7.3.3 多分支顺序功能图的处理	124
第6章 FX 系列 PLC 的基本逻辑 指令	89	7.3.4 步进指令应用实例	127
6.1 PLC 基本逻辑指令简介	89	思考与练习题	130
6.1.1 指令格式	89	第8章 FX 系列 PLC 的功能指令及 其应用	132
6.1.2 逻辑取及线圈驱动指令 LD、 LDI、OUT	92	8.1 功能指令的分类及用途	132
6.1.3 触点串联指令 AND、ANI	93	8.2 功能指令的表达形式及使用要素	132
6.1.4 触点并联指令 OR、ORI	93	8.2.1 功能指令的表达形式	132
6.1.5 串联电路块的并联连接指令 ORB	94	8.2.2 数据长度和指令类型	133
6.1.6 并联电路块的串联连接指令 ANB	95	8.3 常用功能指令	135
6.1.7 多重输出指令 MPS、MRD、 MPP	95	8.3.1 程序流向控制指令	135
6.1.8 主控及主控复位指令 MC、 MCR	97	8.3.2 传送与比较指令	139
6.1.9 置位与复位指令 SET、RST	98	8.3.3 算术与逻辑运算指令	144
6.1.10 脉冲输出指令 PLS、PLF	99	8.3.4 循环移位与移位指令	149
6.1.11 取反指令 INV	100	8.3.5 数据处理指令	156
		8.3.6 高速处理指令	161
		8.3.7 方便指令	169
		8.3.8 外部 I/O 设备指令	180
		8.3.9 外围设备指令	190

思考与练习题	199	使用	226
第 9 章 PLC 的工程应用	201	实训项目 7 GX Developer 编程软件及其	
9.1 PLC 应用系统设计及 PLC 选型	201	使用	241
9.1.1 PLC 应用系统设计	201	实训项目 8 抢答显示系统 (FX 系列 PLC	
9.1.2 PLC 选型	203	硬件认识)	254
9.2 PLC 应用程序的设计方法	204	实训项目 9 料箱盛料过少报警系统	
9.2.1 基本环节的编程实例	204	(定时器、计数器应用)	255
9.2.2 应用程序设计方法	208	实训项目 10 基于 PLC 的三相异步电动机	
9.3 PLC 的安装维护和故障诊断	210	Y- Δ 减压起动控制	257
9.3.1 工作环境	211	实训项目 11 基于 PLC 的三相异步电动机	
9.3.2 安装与布线注意事项	211	循环正反转控制	260
9.3.3 PLC 的维护与故障诊断	211	实训项目 12 彩灯循环顺序控制	262
9.4 PLC 的应用实例	212	实训项目 13 数码管循环点亮 PLC 控制	264
9.4.1 步进电动机 PLC 控制	212	实训项目 14 交通信号灯控制	266
9.4.2 PLC 在电梯控制中的应用	213	实训项目 15 简易机械手 PLC 控制	269
思考与练习题	217	实训项目 16 传送带机传送 PLC 控制	271
第 3 篇 实践篇		实训项目 17 工业洗衣机 PLC 控制 (综合	
第 10 章 电气控制与 PLC 实训项目 ...	219	项目 1)	273
实训项目 1 三相异步电动机直接起动		实训项目 18 工业气动物料分拣传送 PLC	
控制	219	控制 (综合项目 2)	274
实训项目 2 三相异步电动机 Y- Δ 减压		附录	277
起动控制	220	附录 A FX2N 软元件一览表	277
实训项目 3 三相异步电动机正反转		附录 B FX3U 软元件一览表	278
控制	222	附录 C FX3U 基本逻辑指令一览表	279
实训项目 4 三相异步电动机行程控制	223	附录 D FX 系列 PLC 常见特殊辅助继电	
实训项目 5 三相异步电动机能耗制动		器一览表	281
控制	225	附录 E FX2N 系列 PLC 功能指令汇	
实训项目 6 FX-20P 简易编程器及其		总表	285
		参考文献	289

第 1 篇 继电器—接触器控制篇

第 1 章 常用低压电器

1.1 概述

低压电器是用于额定电压交流 1200V 或直流 1500V 及以下能够根据外界施加的信号或要求，自动或手动地接通和断开电路，从而断续或连续地改变电路参数或状态，以实现电路或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换以及调节的电器设备。低压电器的品种规格繁多，构造各异，分类方法也很多，常用低压电器的分类如图 1-1 所示。

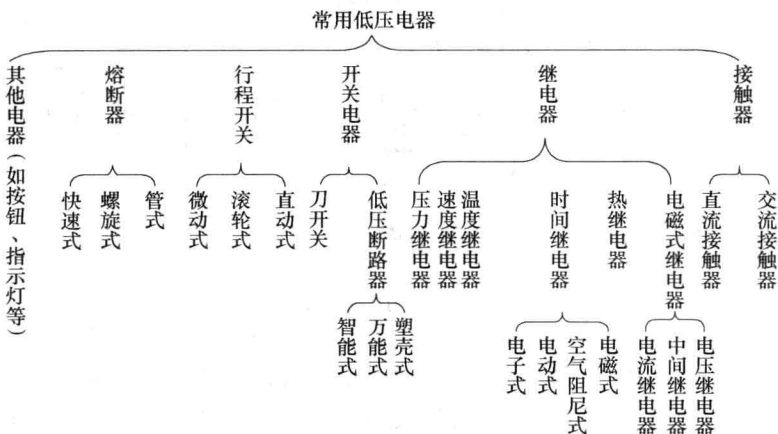


图 1-1 常用低压电器的分类

近年来，我国低压电器发展迅速，通过自行设计和从国外著名厂家引进技术，产品品种和质量都有明显的提高，符合新的国家标准、部颁标准和达到国际电工委员会（IEC）标准的产品不断增加，而能耗高、性能差的电器产品逐步被取代。

当前，低压电器继续沿着体积小、重量轻、安全可靠、使用方便的方向发展，主要是通过利用微电子技术提高传统电器的性能；在产品品种方面，已出现了许多电子化的新型控制电器，如接近开关、光敏开关、电子式时间继电器、固态继电器与接触器、电子式电机保护器和半导体起动器等，以不断适应控制系统迅速电子化的需要。

1.2 低压电器的电磁机构及执行机构

从结构上看，电器一般都具有两个基本组成部分，即感测部分和执行部分。感测部分是

接收外界输入的信号,并通过转换、放大、判断,做出有规律的反应,使执行部分动作,输出相应的指令,实现控制目的。对于电磁式电器,感测部分大都是电磁机构,而执行部分则是触头系统。

1.2.1 电磁机构

电磁机构的主要作用是将电磁能量转换成机械能量,将电磁机构中吸引线圈的电流转换成电磁力,带动触头动作,完成通断电路的控制作用。

电磁机构通常采用电磁铁的形式,由吸引线圈、铁心(亦称静铁心或磁轭)和衔铁(亦称动铁心)三部分组成。其作用原理:当线圈中有工作电流通过时,电磁吸力克服弹簧的反作用力,使衔铁与铁心闭合,由连接机构带动相应的触头动作。

常用的磁路结构如图 1-2 所示,可分为三种形式,即衔铁沿棱角转动的拍合式铁心,如图 1-2a 所示,这种形式广泛应用于直流电器中;衔铁沿轴转动的拍合式铁心,如图 1-2b 所示,其铁心形状有 E 形和 U 形两种,此种结构多用于触头容量较大的交流电器中;衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心,如图 1-2c 所示,它多用于交流接触器、继电器中。

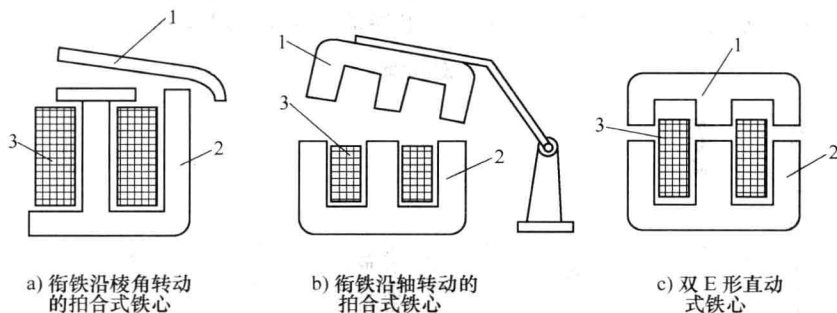


图 1-2 常用的磁路结构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁能,即产生磁通,衔铁在电磁吸力作用下产生机械位移使铁心吸合。通入直流电的线圈称为直流线圈,通入交流电的线圈称为交流线圈。

对于直流线圈,铁心不发热,只有线圈发热,因此线圈常做成无骨架、高而薄的瘦高型,以改善线圈自身散热。铁心和衔铁由软钢或工程纯铁制成。

对于交流线圈,除线圈发热外,由于铁心中有涡流损耗和磁滞损耗,铁心也会发热。为了改善线圈和铁心的散热情况,在铁心与线圈之间留有散热间隙,而且通常把线圈做成有骨架的矮胖型。铁心用硅钢片叠成,以减少涡流。

1.2.2 触头系统

触头是电磁式电器的执行元件,电器通过触头的动作来分合被控制的电路。触头的作用是接通和分断电路,接触情况的好坏将影响触头的工作可靠性和使用寿命,因此要求触头具有良好的接触性能。

触头的形式有三种,即点接触、线接触和面接触,如图 1-3 所示。点接触是由两个半球或一个半球和一个平面形触头构成。由于接触区域是一个点或面积很小的面,允许通过电流很小,所以常用于电流较小的电器中,如继电器触头和接触器的辅助触头。线接触由两个圆

柱面形的触头构成, 又称为指形触头, 它的接触区域是一条直线或一条窄面, 允许通过的电流较大, 常用作中等容量接触器的主触头。面接触是两个平面形触头接触, 由于接触区有一定的面积, 可以通过很大的电流, 常用于大容量的接触器中, 做主触头用。

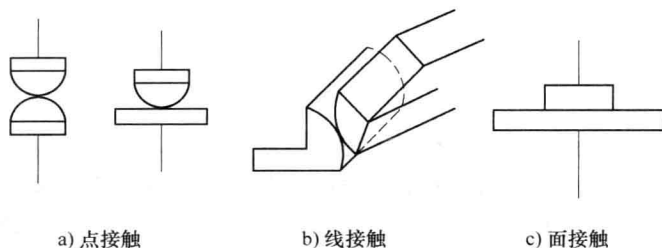


图 1-3 触头的三种形式

1.2.3 灭弧系统

电弧是在触头由闭合状态过渡到断开状态的过程中产生的。触头的断开过程是逐步进行的, 开始时接触面积逐渐减小, 接触电阻随之增加, 温升随之增加, 电弧的高温能将触头烧损, 并可能造成其他事故, 因此, 应采用适当措施迅速熄灭电弧。

1. 常用的灭弧方法

1) 迅速增大电弧长度。电弧长度增加, 使触头间隙增加, 电场强度降低, 同时又使散热面积增大, 降低电弧温度, 使自由电子和空穴复合的运动加强, 因而电荷容易熄灭。

2) 冷却。使电弧与冷却介质接触, 带走电弧热量, 也可使自由电子和空穴的复合运动得以加强, 从而使电弧熄灭。

2. 常用的灭弧装置

1) 电动力吹弧。电动力吹弧如图 1-4 所示, 图中所示的桥式触头在分断时本身就具有电动力吹弧功能, 不用任何附加装置, 便可使电弧迅速熄灭。这种方法多用于小容量交流接触器中。

2) 磁吹灭弧。在一个与触头串联的磁吹线圈产生的磁场作用下, 电弧受电磁力的作用而拉长, 被吹入由固体介质构成的灭弧罩内, 与固体介质相接触, 电弧被冷却而熄灭。

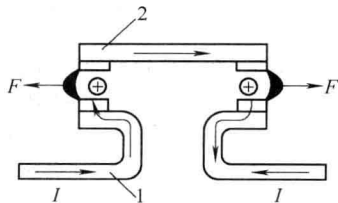


图 1-4 电动力吹弧
1—静触头 2—动触头

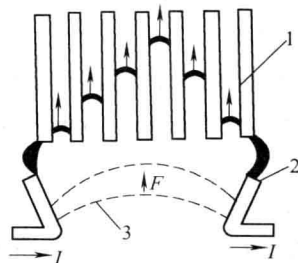


图 1-5 栅片灭弧
1—灭弧栅片 2—触头 3—电弧

3) 栅片灭弧。灭弧栅是由一组薄金属栅片 (一般为铜片) 组成, 如图 1-5 所示。当触头分开时, 产生的电弧在电动力的作用下被推入一组金属栅片中而被分割成数段, 彼此绝缘的金属栅片的每一片都相当于一个电极, 因而就有许多个阴阳极电压降。对交流电弧来说,

近阴极处,在电弧过零时就会出现一个 150 ~ 250V 的介质强度,使电弧无法继续维持而熄灭。由于栅片灭弧装置的灭弧效果在交流时要比直流时强很多,因此交流电器常常采用栅片灭弧。

1.3 接触器

接触器是一种可以自动地接通或断开大电流电路的电器,是一种通用型很强的电器,主要用来控制电动机,也可用来控制电容器、电阻炉和照明器等电力负载。它具有低电压释放保护功能,具有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,即使在先进的可编程序控制器应用系统中,也一般不能被取代。

接触器的触头系统可以用电磁铁、压缩空气或液体压力等驱动,因而可分为电磁式接触器、气动式接触器和液压式接触器,其中电磁式接触器应用最为广泛。电磁式接触器是利用电磁吸力的作用使主触头闭合或分断电动机电路或其他负载电路的控制电器。根据接触器主触头通过的电流种类,可分为交流接触器和直流接触器。

1.3.1 接触器的结构

接触器主要由触头系统、电磁机构、灭弧装置、反力装置、支架和底座等组成。图 1-6 所示为交流接触器的结构示意图。

1. 触头系统

触头是接触器的执行元件,用来接通和断开电路。触头系统由主触头和辅助触头组成,主触头接在控制对象的主电路中(常常串联在低压断路器之后)控制其通断,辅助触头一般容量较小,用来切换控制电路。每对触头均由静触头和动触头组成,动触头与电磁机构的衔铁相连。当接触器的电磁线圈得电时,衔铁带动动触头动作,使接触器的常开触头闭合,常闭触头断开。

2. 电磁机构

电磁机构由线圈、铁心和衔铁组成,铁心一般都是双 E 形直动式铁心,有的采用衔铁沿轴转动的拍合式铁心。

3. 灭弧装置

交流接触器分断大电流电路时,往往会在动、静触头之间产生很强的电弧。电弧一方面会烧伤触头,另一方面会使电路切断时间延长,甚至会引起其他事故。因此,灭弧是接触器的主要任务之一。

容量相对较小(10A 以下)的交流接触器一般采用的灭弧方法是双断口触头和电动力吹弧;容量相对较大(20A 以上)的交流接触器一般采用栅片灭弧。

4. 反力装置

反力装置由释放弹簧和触头组成,它们均不能进行弹簧松紧的调节。

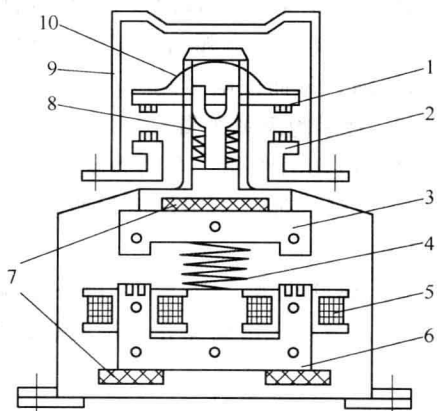


图 1-6 交流接触器的结构示意图

- 1—动触头 2—静触头 3—衔铁 4—缓冲弹簧 5—电磁线圈 6—铁心 7—垫毡
8—触头弹簧 9—灭弧罩
10—触头压力簧片

5. 支架和底座

支架和底座用于接触器的固定和安装。

1.3.2 接触器的主要技术参数

1. 额定电压

接触器铭牌上的额定电压是指主触头的额定工作电压，其等级如下：

直流接触器 220V, 440V, 660V。

交流接触器 220V, 380V, 500V, 660V, 1140V。

2. 额定电流

接触器铭牌上的额定电流是指在正常工作条件下主触头允许通过的长期工作电流，一般按下面等级制造：

直流接触器等级 25A, 40A, 60A, 100A, 150A, 250A, 400A, 600A。

交流接触器等级 10A, 15A, 25A, 40A, 60A, 100A, 150A, 250A, 400A, 600A。

3. 线圈的额定电压

线圈的额定电压等级如下：

直流线圈 24V, 48V, 220V。

交流线圈 36V, 127V, 220V, 380V。

4. 动作值

动作值是指接触器的吸合电压与释放电压。原部颁标准规定接触器在额定电压 85% 以上时，应可靠吸合。释放电压不高于线圈额定电压的 70%。

5. 接通与分断能力

接通与分断能力是指接触器的主触头在规定的条件下能可靠地接通和分断的电流值，在该电流时不应该发生熔焊、飞弧和过分磨损等。

6. 机械寿命和电气寿命

接触器是频繁操作电器，应有较长的机械寿命和电气寿命。目前有些接触器的机械寿命已达到一千万次以上；电气寿命是机械寿命的 5% ~ 20%。

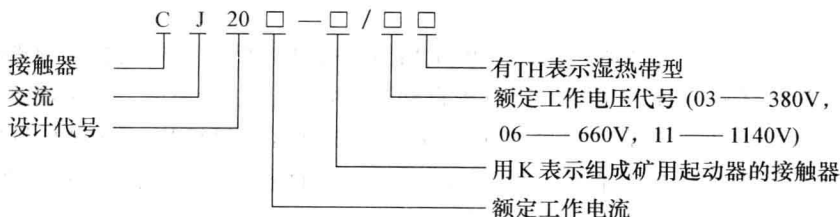
7. 操作频率

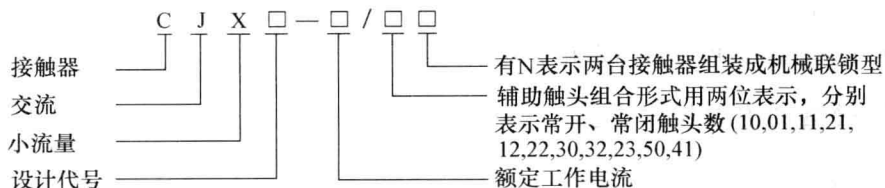
操作频率是指每小时接通的次数。交流接触器最高为 600 次/h；直流接触器可高达 1200 次/h。

1.3.3 接触器型号含义、图形符号和文字符号

1. 交流接触器型号的含义

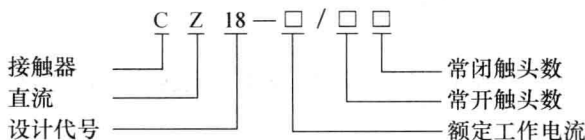
交流接触器型号的含义如下：





2. 直流接触器型号的含义

直流接触器型号的含义如下:



3. 接触器的图形符号和文字符号

接触器在电路中的图形符号和文字符号如图 1-7 所示。

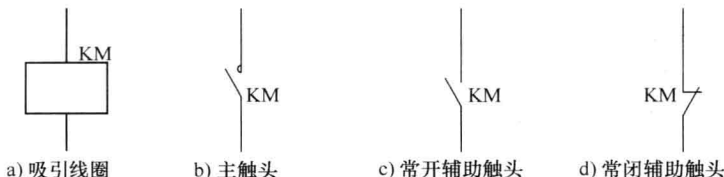


图 1-7 接触器的图形符号和文字符号

1.3.4 接触器的选用

选用接触器时, 应从其工作条件出发主要考虑下列因素:

- 1) 控制交流负载时, 应选用交流接触器; 控制直流负载时应选用直流接触器。
- 2) 接触器的使用类型应与负载性质相一致。
- 3) 主触头的额定电压应大于或等于负载电路的电压。
- 4) 主触头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, 接触器主触头的额定工作电流是在规定条件下 (额定工作电压、使用类型、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, 这个电流也随之改变。
- 5) 吸引线圈的额定电压应与控制回路电压相一致, 接触器线圈两端电压在额定电压 85% 及以上时应能可靠吸合。

1.4 继电器

继电器是一类通过检测各种电量或非电量信号, 接通或断开小电流控制电路的电器, 被广泛用于电动机或线路的保护以及生产过程自动化的控制。一般来说, 继电器通过测量环节输入外部信号 (如电压、电流、温度、压力等) 并传递给中间机构, 将它与设定值 (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动作, 从而闭合或分断电路, 达到控制电路的目的。

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电路中，控制小电流电路，触头额定电流不大于 5A，所以不加灭弧装置；而接触器一般用于主电路中，控制大电流电路，主触头额定电流不小于 5A，需加灭弧装置。其次，接触器一般只能对电压的变化做出反应，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。

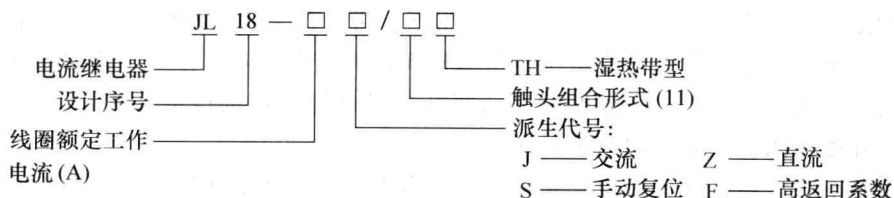
继电器的种类很多，按输入信号的性质分为：电压继电器、电流继电器、时间继电器、温度继电器、速度继电器及压力继电器等。按工作原理分为：电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、热继电器和电子式继电器等。按输出形式分为：有触头继电器和无触头继电器两类。按用途分为：控制用继电器和保护用继电器等。本节只介绍几种常用的继电器。

1.4.1 电流继电器和电压继电器

根据输入（线圈）电流大小而动作的继电器称为电流继电器，按用途还可分为过电流继电器和欠电流继电器。过电流继电器的任务是当电路发生短路及过电流时立即将电路切断，因此过电流继电器线圈通过的电流小于整定电流时继电器不动作，只有超过整定电流时，继电器才动作。过电流继电器的动作电流整定范围为：交流过电流继电器为 $(110\% \sim 350\%) I_N$ ，直流过电流继电器为 $(70\% \sim 300\%) I_N$ 。欠电流继电器的任务是当电路电流过低时立即将电路切断，因此欠电流继电器线圈通过的电流大于或等于整定电流时，继电器吸合，只有电流低于整定电流时，继电器才释放。欠电流继电器动作电流整定范围为：吸合电流为 $(30\% \sim 50\%) I_N$ ，释放电流为 $(10\% \sim 20\%) I_N$ 。欠电流继电器一般是自动复位的。

与此类似，电压继电器是根据输入电压大小而动作的继电器，过电压继电器动作电压整定范围为 $(105\% \sim 120\%) U_N$ ，欠电压继电器吸合电压调整范围为 $(30\% \sim 50\%) U_N$ ，释放电压调整范围为 $(7\% \sim 20\%) U_N$ 。

下面以 JL18 系列电流继电器为例，介绍其规格表示方法和型号意义：



电流继电器和电压继电器的图形符号和文字符号如图 1-8 所示。

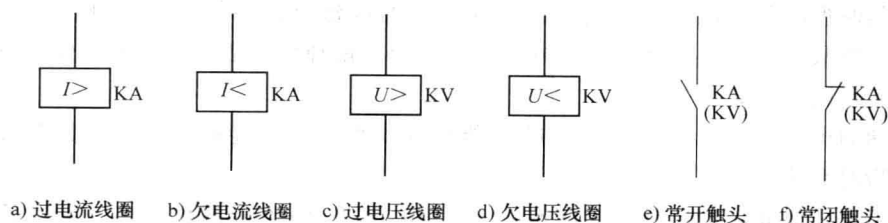


图 1-8 电流继电器和电压继电器的图形符号和文字符号

1.4.2 中间继电器

中间继电器的作用是将一个输入信号变成多个输出信号或将信号放大（即增大触头容量）的继电器。中间继电器在结构上是一个电压继电器，但它的触头数多、触头容量大（额定电流为 5~10A），是用来转换控制信号的中间元件。其输入是线圈的通电或断电信号，输出信号为触头的动作，主要用途是当其他继电器的触头数或触头容量不够时，可借助中间继电器扩大它们的触头数或触头容量。

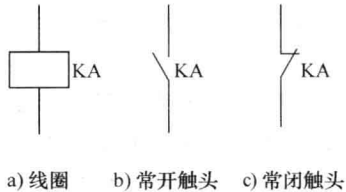


图 1-9 中间继电器的图形符号和文字符号

中间继电器的图形符号和文字符号如图 1-9 所示。

1.4.3 时间继电器

在生产中经常需要按一定的时间间隔来对生产机械进行控制，例如电动机的减压起动需要一定的时间，然后才能加上额定电压；在一条自动线中的多台电动机，常需要分批起动，在第一批电动机起动后，需经过一定时间，才能起动第二批等。这类自动控制称为时间控制。时间控制通常是利用时间继电器来实现的。

时间继电器是一种利用电磁原理或机械动作原理实现触头延时接通或断开的自动控制电器。其种类很多，常用的有电磁式、空气阻尼式、电动式和电子式等。电子式时间继电器按其构成分为晶体管式时间继电器和数字式时间继电器。这里仅介绍空气阻尼式时间继电器和晶体管式时间继电器。

1. 空气阻尼式时间继电器

空气阻尼式时间继电器由电磁机构、工作触头及气室三部分组成，它的延时是靠空气的阻尼来实现的。常见的型号有 JS7-A 系列，如图 1-10 所示，按其控制原理分为通电延时和断电延时两种类型。现以通电延时型为例说明其工作原理。当线圈 1 得电后衔铁（动铁心）3 被铁心 2 吸合，活塞杆 6 在塔形弹簧 8 的作用下，带动活塞 12 及橡胶膜 10 向上移动，橡胶膜下方气室空气变得稀薄，形成负压，活塞杆 6 只能缓慢地向上移动，其移动速度由进气孔气隙的大小来决定。经过一定延时后，活塞杆通过杠杆 7 压动微动开关 15，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，衔铁释放，橡胶膜下方气室内的空气通过活塞肩部所形成的单向阀迅速排出，使活塞杆、杠杆、微动开关等迅速复位。由线圈得电到触头动作的一段时间即为时间继电器的延时时间，其大小可以通过调节螺钉 13 调节进气孔气隙大小来改变。

断电延时型时间继电器的结构、工作原理与通电延时型相似，只是电磁铁安装方向不同，即当衔铁吸合时推动活塞复位，排出空气。当衔铁释放时活塞杆在弹簧作用下使活塞向下移动，实现断电延时。

在线圈通电和断电时，微动开关 16 在推板 5 的作用下都能瞬时动作，其触头即为时间继电器的瞬时触头。

空气阻尼式时间继电器延时时间有 0.4~180s 和 0.4~60s 两种规格，具有延时范围较宽、结构简单、工作可靠、价格低廉及寿命长等优点，是机床交流控制电路中常用的时间继电器，它的缺点是延时精度较低。

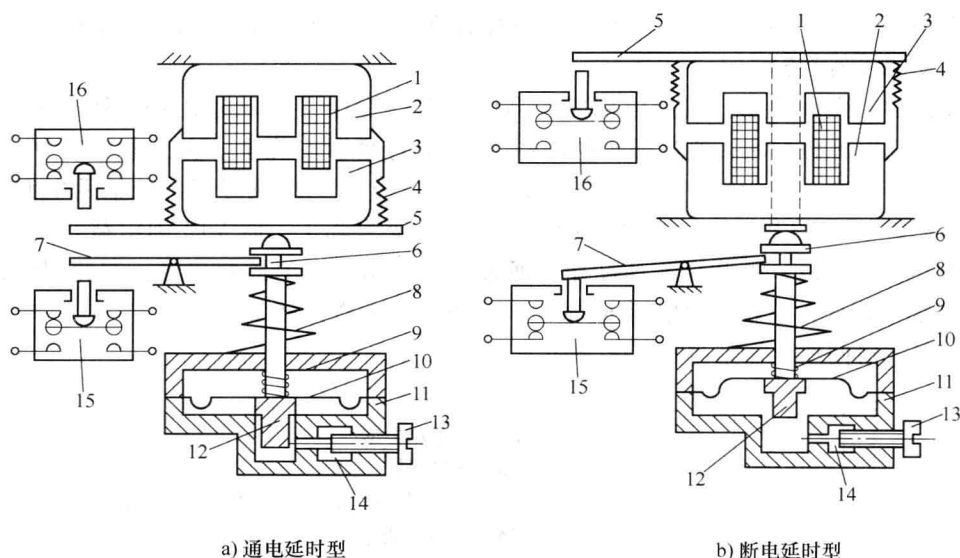
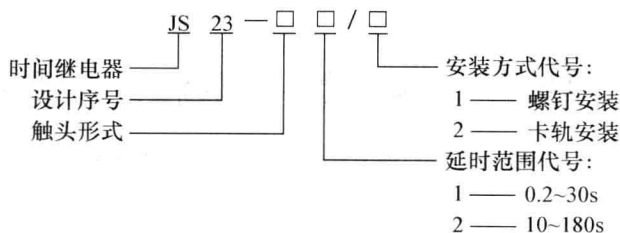


图 1-10 JS7-A 系列时间继电器

1—线圈 2—铁心 3—衔铁 4—反力弹簧 5—推板 6—活塞杆 7—杠杆 8—塔形弹簧 9—弱弹簧
10—橡胶膜 11—空气室壁 12—活塞 13—调节螺钉 14—进气孔 15、16—微动开关

我国生产的新产品 JS23 系列可取代 JS7-A、B 及 JS17 等老产品。JS23 系列时间继电器的型号意义如下：



2. 晶体管式时间继电器

晶体管式时间继电器是以 RC 电路电容充电时，电容器上的电压逐步上升的原理为延时基础。其特点是延时范围广、精度高、体积小、方便调节、寿命长，是目前发展最快、最有前途的电子器件。图 1-11 所示是采用非对称双稳态触发器的晶体管式时间继电器原理图。

整个电路可分为主电源、辅助电源、双稳态触发器及其附属电路等几部分。主电源是带电容滤波的半波整流电路，它是双稳态触发器和输出继电器的工作电源。辅助电源也是带电容滤波的半波整流电路，它与主电源叠加起来作为 R 、 C 环节的充电电源。另外，在延时过程结束、

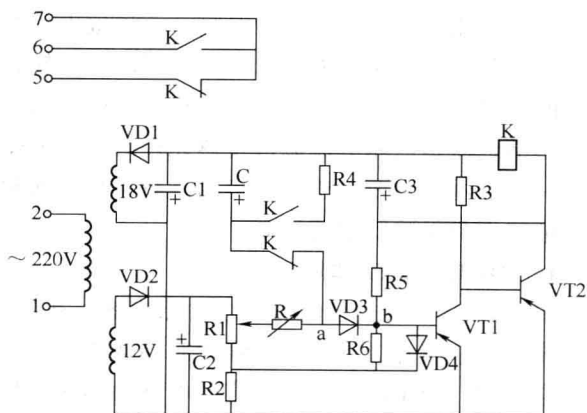


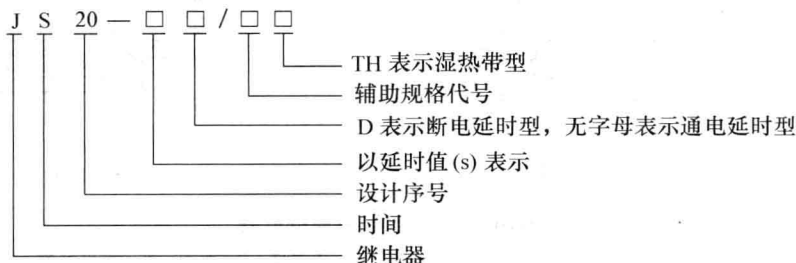
图 1-11 晶体管式时间继电器原理图

在延时过程结束、

二极管 VD3 导通后, 辅助电源的正电压又通过 R 和 VD3 加到晶体管 VT1 的基极上, 使之截止, 从而使触发器翻转。

触发器的工作原理是: 接通电源时, 晶体管 VT1 处于导通状态, VT2 处于截止状态。主电源与辅助电源叠加后, 通过可变电阻 R_1 和 R 对电容器 C 充电。在充电过程中, a 点的电位逐渐升高, 直至 a 点的电位高于 b 点的电位, 二极管 VD3 则导通, 使辅助电源的正电压加到晶体管 VT1 的基极上。这样, VT1 就由导通变为截止, 而 VT2 则由截止变为导通, 使触发器翻转。于是, 继电器 K 便动作, 通过触头发出相应的控制信号。与此同时, 电容器 C 经由继电器的常开触头对电阻 R_4 放电, 为下一步工作做准备。

晶体管式时间继电器型号及其含义如下:



时间继电器的图形符号和文字符号如图 1-12 所示。



图 1-12 时间继电器的图形符号和文字符号

1.4.4 热继电器

在电力拖动控制系统中, 当三相交流电动机出现长期带负荷欠电压运行、长期过载运行以及长期单相运行等不正常情况时, 会导致电动机绕组严重过热乃至烧坏。为了充分发挥电动机的过载能力, 保证电动机的正常起动和运转, 而当电动机一旦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。

热继电器是依靠电流流过发热元件时产生的热, 使双金属片发生弯曲而推动执行机构动作的一种电器, 主要用于电动机的过载保护、断相保护及电流不平衡运行的保护, 还可用于其他电气设备发热状态的控制。

1. 热继电器的工作原理

图 1-13 所示为热继电器的结构原理图, 热继电器主要由热元件、双金属片和触头三部分组成。双金属片 2 是用两种线膨胀系数不同的金属片通过机械碾压而成, 一端固定, 另一端为自由端。当串联在电动机定子电路中的热元件有电流通过时, 热元件产生的热量使两金属片伸长。由于线膨胀系数不同, 而且它们又紧密结合在一起, 所以, 双金属片 2 就会发生弯曲。电动机正常运行时, 双金属片 2 的弯曲程度不足以使热继电器动作。当电动机过载时, 热元件中产生的热量增大, 使双金属片弯曲程度加大, 经过一段时间后, 双金属片 2 弯