



“十三五”普通高等教育规划教材

DIANQIKONGZHI YU PLC

电气控制与PLC

(第二版)

于桂音 邓洪伟 主编

扫一扫



配套数字资源



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

电气控制与PLC

(第二版)

主编 于桂音 邓洪伟
编写 姜殿波 孙 凯 刘发英
主审 王振臣



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材。

本书从教学角度出发,兼顾实际工程应用,系统地介绍了电气控制技术、可编程控制器原理和应用,重点介绍了电气控制和 PLC 的分析与设计的一般方法。全书共十章,第一至三章介绍电气控制中常用低压电器、电气控制电路的基本环节、典型电气控制系统和设计方法;第四至九章介绍 PLC 基础,以西门子公司 S7-200 系列 PLC 为重点,介绍了 PLC 的结构及工作原理、基本指令系统、功能图与顺序控制指令、功能指令以及控制系统程序的分析和设计方法;第十章介绍了 S7-200 系列 PLC 网络与通信。

本书可作为高等学校电气信息类相关专业教材,也可作为成人高等教育、高职高专教育教材,同时可供相关工程技术人员参考。

为方便学生学习,本书配有免费资源,扫描二维码可获取 PLC 编程软件及其应用、S7-200 系列 PLC 快速参考信息、MICROMASTER420 变频器参数表,以及教学课件等。



配套数字资源

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC/于桂音,邓洪伟主编. —2 版. —北京:中国电力出版社,2019.2 (2019.6 重印)

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5198-1906-4

I. ①电… II. ①邓…②于… III. ①电气控制—高等学校—教材②PLC 技术—高等学校—教材
IV. ①TM571.2②TM571.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 068939 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:乔 莉(010-63412535)

责任校对:黄 蓓 太兴华

装帧设计:赵姗姗 王英磊

责任印制:钱兴根

印 刷:北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次:2010 年 7 月第一版 2019 年 2 月第二版

印 次:2019 年 6 月北京第六次印刷

开 本:787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张:17.5

字 数:429 千字

定 价:45.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换

前 言

本书是根据目前高等学校普遍将“工厂电气控制技术(设备)”和“可编程控制器(原理及应用)”两门课程合并为“电气控制与 PLC”一门综合性教材,同时考虑工程实际应用并在理论和应用上充分考虑到电气控制技术是学习 PLC 的基础而编写的。

在本书的编写内容中,融入了编者多年的教学和科研经验与应用实例,以实际应用和便于教学为目的出发,着重介绍了常用低压电器、电气控制电路的基本环节、典型生产机械电气控制电路、可编程控制器及其应用技术,系统地阐述了电气控制和 PLC 的分析与设计的一般方法。

本书在内容编排上本着深入浅出、通俗易懂、循序渐进的编写原则,保留了传统的电器及继电控制系统内容,删除了应用范围较窄的磁放大器、电机扩大机及顺序控制器等内容,大幅度增加了电气控制和 PLC 应用工程实例、设计方法和技巧。

本书由山东理工大学邓洪伟、于桂音担任主编,山东理工大学姜殿波、孙凯、刘发英参与编写。具体分工如下:第二、六章由于桂音编写,第一、三、七章由邓洪伟编写,第八、九章由姜殿波编写,第十章和附录由孙凯编写,第四、五章由刘发英编写,于桂音教授负责全书的组织和统稿。

本书由燕山大学王振臣教授主审;另外,书中部分章节的编写参考了一些专家、学者的有关文献;同时,本书在编写过程中还得到了许多专家和同行的大力支持和热情帮助,并提出了许多建设性的建议和意见。在此一并表示衷心的感谢。

鉴于编者的水平,书中难免有不完善与不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2018 年 12 月

目 录

前言

第一章 常用低压电器	1
第一节 概述	1
第二节 接触器	2
第三节 继电器	8
第四节 主令电器	18
第五节 熔断器	27
第六节 低压开关和低压断路器	30
本章小结	36
习题与思考题	36
第二章 电气控制电路的基本环节	38
第一节 电气控制电路的绘制	38
第二节 三相笼型异步电动机启动控制电路	44
第三节 三相异步电动机的正反转控制	52
第四节 三相异步电动机的调速控制	53
第五节 三相异步电动机的制动控制	62
第六节 其他典型控制环节	65
第七节 电气控制电路的设计方法	67
第八节 电气控制电路中的保护措施	75
本章小结	79
习题与思考题	79
第三章 电气控制电路的应用	82
第一节 车床电气控制电路	82
第二节 摇臂钻床的电气控制电路	85
第三节 磨床电气控制电路	87
第四节 30/5t 桥式起重机电气控制电路	89
本章小结	94
习题与思考题	94
第四章 PLC 概念及工作原理	95
第一节 PLC 概述	95
第二节 PLC 的组成	97
第三节 PLC 的分类和应用	99
第四节 PLC 的工作原理	101

第五节 PLC 的硬件基础	105
第六节 PLC 的软件基础	110
第七节 PLC 与其他工业控制装置的比较	111
第八节 PLC 的发展趋势	113
本章小结	114
习题与思考题	114
第五章 S7-200 系列 PLC	115
第一节 概述	115
第二节 S7-200 系列 PLC 内部继电器	120
第三节 S7-200 系列 PLC 的寻址方式	125
本章小结	127
习题与思考题	127
第六章 S7-200 系列 PLC 基本指令及应用	128
第一节 PLC 的布尔指令	128
第二节 程序控制指令	139
第三节 PLC 初步编程指导	142
第四节 典型简单电路和环节的 PLC 程序设计	143
本章小结	149
习题与思考题	149
第七章 功能图与顺序控制指令	151
第一节 概述	151
第二节 功能图主要类型	152
第三节 功能图及顺序控制指令的应用	155
本章小结	163
习题与思考题	163
第八章 S7-200 系列 PLC 的功能指令简介	165
第一节 传送指令	165
第二节 移位、循环、填充指令	167
第三节 字节交换指令	170
第四节 数学、函数指令	174
第五节 FOR/NEXT 指令	178
第六节 高速计数器指令	179
第七节 中断指令	184
第八节 PID 指令	190
第九节 通信指令	196
第十节 实时时钟指令	199
本章小结	200
习题与思考题	201

第九章 S7-200 系列 PLC 的应用举例	202
第一节 PLC 的系统设计	202
第二节 PLC 应用程序的典型环节及设计技巧	204
第三节 PLC 数字量控制系统的设计应用	207
第四节 PLC 模拟量控制系统的设计及应用	222
本章小结	234
习题与思考题	234
第十章 S7-200 系列 PLC 网络与通信	236
第一节 通信与网络概述	236
第二节 PLC 与计算机之间的通信	240
第三节 PLC 与 PLC 之间的通信	245
第四节 S7-200 系列 PLC 的通信指令及应用举例	250
本章小结	256
习题与思考题	258
附录 SM 特殊存储区赋值和功能	259
参考文献	271

第一章 常用低压电器

第一节 概 述

本章主要介绍继电—接触器控制系统的基本知识,着重介绍在低压控制系统中常见电器的机械结构、工作原理、特性、用途、技术参数、使用与选择、调整与整定等问题,为实际工作中对电气电路的检修和维护及其设计打下良好的基础。

一、电器的分类

电器是指在电能的生产、输送、分配和使用中起到控制、调节、检测、转换及保护作用的电工器械,主要用于电路的接通、断开或控制、调节和保护等作用。在工业、农业、交通、国防以及人民生活中有很多用电属低压供电,因此本章主要介绍常用低压电器。

电器的功能很多,用途及型号规格繁多,为有效掌握电器,需加以分类。

1. 按工作电压等级分类

(1) 高压电器:用于交流电压 1200V、直流电压 1500V 及以上电路中的电器,例如高压熔断器、高压隔离开关、高压断路器等,主要用于电路的接通、断开及保护。

(2) 低压电器:用于交流电压 1200V、直流电压 1500V 以下电路中的电器,例如继电器、接触器、按钮、低压断路器(自动空气开关)等,主要用于电路的接通和断开、控制及保护等。

2. 按用途分类

(1) 低压配电电器:用于低压供电系统中电能的输送和分配的电器,例如刀开关、自动开关、隔离开关等。这类电器要求有较强的分断能力,限流效果好、动热稳定性好等。

(2) 低压控制电器:在电力拖动控制系统中起到控制及保护作用的电器,例如按钮、刀开关、接触器、继电器、凸轮控制器等。这类电器要求有一定的通断能力、操作频率高、电气和机械寿命长等。

(3) 低压主令电器:用于自动控制系统中发送动作指令的电器,例如按钮、行程开关、主令开关、转换开关等。这类电器要求操作频率高、抗冲击、电气和机械寿命长等。

(4) 低压保护电器:用于对电路或设备进行保护的电器,例如熔断器、热继电器、电流继电器、电压继电器、避雷器等。这类电器要求有一定的通断能力、反应灵敏、可靠性高、动作时间短、动热稳定性好等。

(5) 低压执行电器:用于完成某种动作或传送功能的电器,例如电磁铁、电磁离合器等。这类电器要求结构紧凑、灵活、动作力强等。

3. 按动作原理分类

(1) 手动电器:人手操作发出动作指令的电器,例如刀开关、按钮等。

(2) 自动电器:产生电磁力或机械外力等而自动完成动作指令的电器,例如接触器、继电器、行程开关、电磁阀等。

二、常用的低压控制电器

常用低压电器按照种类分类如图 1-1 所示。

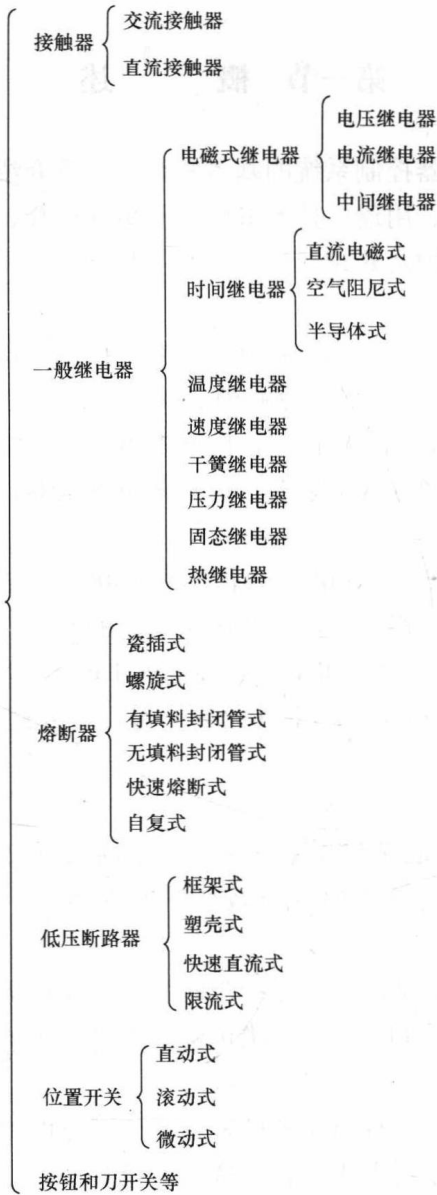


图 1-1 常用低压电器分类

第二节 接 触 器

接触器是电力拖动和自动控制系统中使用量大且涉及面较广的一种低压电器，用来频繁接通和断开交、直流主电路和大容量的控制电路，主要控制对象为电动机负载，能够实现远距离控制，能分断比工作电流大数倍乃至数十倍的电流，但是不能分断短路电流。

一、交流接触器的结构和工作原理

(一) 交流接触器的结构

交流接触器的结构一般由电磁机构、触点系统、灭弧系统、反力弹簧、支架和底座五部分组成。

1. 电磁机构

电磁机构由线圈、铁心和衔铁组成。铁心和衔铁一般由硅钢片叠加而成，形状采用 E 形，动作方式为直动式，个别采用绕轴转动的拍合式；线圈由绝缘漆包铜线绕制成短而粗的筒状，套在铁心的心柱。图 1-2 所示为常见交流接触器的外形图。图 1-3 为交流接触器工作原理示意图。

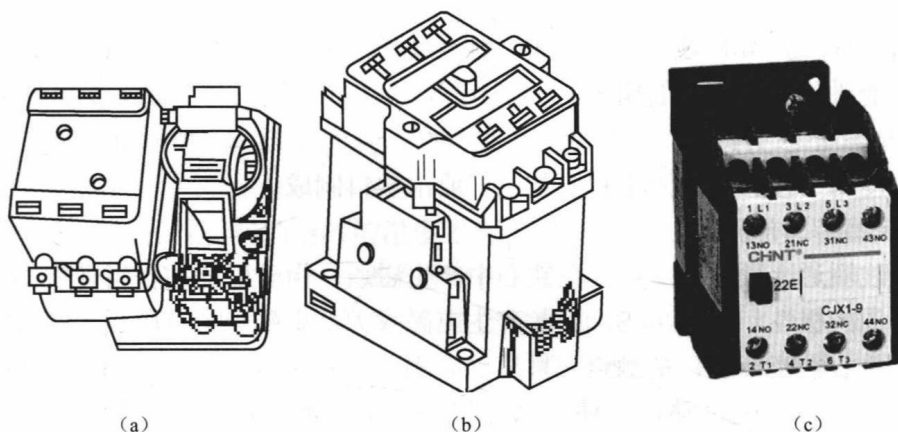


图 1-2 常见交流接触器的外形图

(a) CJ10-60 型；(b) CJ20-40 型；(c) CJX1 型

由于交流接触器铁心的磁通是交变的，当磁通为零时，电磁吸力也为零，吸合后的衔铁在反力弹簧的作用下将被拉开，磁通过零后吸力又逐渐变大，当吸力大于反力弹簧的作用力时，衔铁又被铁心吸合。如此线圈通以交流电，产生的电磁力大小随电流变化而变化，在一个周期内有两次降到零，从而产生衔铁的强烈振动和噪声。为解决这一问题，在交流接触器的铁心的端面安装一个短路（铜）环。短路环包围铁心端面约 $2/3$ 的面积。使短路环包围铁心产生的磁通和没有包围铁心产生的磁通在相位上相差近 90° ，使任何时刻端面上的磁通永远不为零，从而消除振动和噪声。

电磁机构的作用是将电磁能转换成机械能，产生电磁吸力带动触点动作。

2. 触点系统

触点是接触器的执行元件，用来接通和断开被控制的电路。

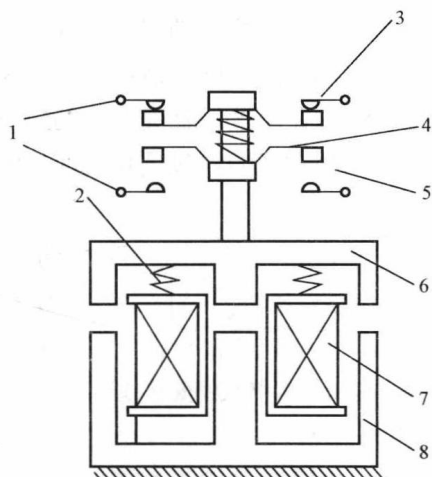


图 1-3 交流接触器工作原理示意图

1—静触点；2—反力弹簧；3—动断触点；
4—动触点；5—动合触点；6—动衔铁；
7—线圈；8—静铁心

触点分为主触点和辅助触点,主触点用来接通和断开主电路,接通时通过的电流较大;辅助触点用来接通和断开控制电路,接通时通过的电流较小。

触点的结构形式分为桥式触点和指形触点。

触点按原始状态可分为动合触点和动断触点,原始状态为线圈未通电或无外力作用时的状态。

触点按接触面积大小可分为点接触、线接触和面接触三种。

3. 灭弧系统

根据接触器主触点的容量大小决定是否装有灭弧装置,直流接触器和交流接触器电流在 20A 以上均需要装设熄弧罩或栅片或磁吹熄弧装置。

4. 反力弹簧

反力弹簧由释放弹簧和触点弹簧组成,触点动作后由弹簧的反作用力使触点恢复到原始状态,但是不能进行弹簧松紧的调节。

5. 支架和底座

支架和底座用于接触器的固定和安装,一般由塑料制成。

(二) 接触器的工作原理

当接触器线圈通上额定电压后,在铁心中产生磁通,由于磁通的作用使铁心和衔铁的两个表面产生不同的极性,即 N 和 S,因此产生电磁吸力,电磁吸力克服反力弹簧的作用力,使衔铁动作与铁心紧密接触,主触点(只有动合触点)在衔铁的带动下闭合,接通主电路,辅助触点也在衔铁的带动下动作,动合触点闭合,动断触点断开。当线圈失电或电压明显下降时,电磁吸力为零或很小,衔铁在反力弹簧的作用下与铁心分开,使触点恢复到原始状态。

二、直流接触器的结构和工作原理

直流接触器线圈通以直流电流,主触点接通和断开直流主电路。

直流接触器线圈通以直流电流,铁心中不会产生涡流和磁滞损耗,所以不会发热。为了方便加工,铁心用整块钢块制成。为了使线圈散热良好,通常将线圈绕制成长而薄的圆筒状。其他结构与交流接触器完全相同。

对于直流接触器额定电流在 250A 及以上,往往采用串联的双线圈,连接方法如图 1-4

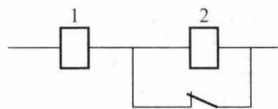


图 1-4 直流接触器双线圈接线图

所示,图中线圈 1 为启动线圈,线圈 2 为保持线圈,接触器的一个动断触点与保持线圈并联,启动瞬间线圈 1 通电,线圈 2 短接,电流很大,电磁吸力很大,使触点可靠动作,当触点动作后其动断触点断开,两线圈串联,电流变小,但仍可保持衔铁吸合,从而延长电磁线圈的使用寿命和达到节电的目的。

三、电接触及灭弧装置

触点是电磁式继电器的执行部分,电器通过触点的动作来使电路通断。触点在闭合状态下动静触点完全接触,此时有工作电流通过,此状态称电接触。电接触的状况将影响触点工作的可靠性和安全性及其使用寿命。影响电接触工作情况的主要因素是触点的接触电阻,因为接触电阻大时,触点发热温度升高,从而使触点发生熔焊或者烧坏,影响触点的使用寿命和其他电路的正常工作。

接触电阻的大小与触点的接触形式、触点的接触压力大小、触点使用的材料、触点的表面状况、环境条件、使用频率等因素有关。

（一）触点的接触形式

触点接触形式有点接触、线接触和面接触三种形式。接触面积的大小直接影响触点通过电流的大小。

当动、静触点闭合后，不可能紧密地结合，只是在一些突出的部分有效结合，从而使电流有效通过，由于在过渡区域电流只通过接触的凸起点，形成收缩状的电流线，使此区域的电流密度很大，同时接触面积减少，从而增大该区域的接触电阻。由于接触电阻的存在，会造成电压损失，同时产生附加功率损耗，使触点的温度升高，造成不良影响。因此需采取一定措施减少接触电阻。

（二）影响接触电阻的因素和相应措施

（1）接触压力。增加触点接触的压力，可使触点接触的凸起部分发生变形，使触点的接触面积加大，减少接触电阻。因此在触点的动触点上安装一个弹簧使之压力增大，同时还有利于触点的返回。

（2）触点材料。各种材料的电阻的温度系数不尽相同，应采用温度系数小的材料来减少接触电阻，要求越小越好。实际中一般采用铜作为基础，然后在此基础上镀银或嵌银。

（3）触点表面状况。触点表面温度升高使金属表面氧化程度加大，生成金属氧化物，使接触电阻增大，增加电压和功率损耗。因此在小容量的触点中采用镀银或嵌银，大容量的触点采用具有滑动接触的指形触点，每次接触在滑动的基础上磨去金属氧化物，减少接触电阻或灰尘，增加导电性能。

（三）灭弧的工作原理

触点在通电的状态下动静触点脱离接触时产生电弧。电弧是电气设备运行中出现的一种强烈的电游离现象，其特点是光亮很强和温度很高。电弧的产生对供电系统和设备的安全运行有很大影响。首先，电弧延长了电路开断时间，尤其是分断短路电流时，使短路电流在电路中的时间加长，使短路电流对电路和设备造成更大的伤害或者永久性破坏；同时电弧的高温可能烧坏触点或者电气设备及其导线电缆；还可能引起电路弧光短路，甚至引起火灾和爆炸事故；强烈的弧光可能损伤人的视力，严重的可致人眼失明。因此，在开关设备的结构设计上要保证操作时电弧能迅速熄灭。

1. 电弧的产生

电弧产生的根本原因是触点本身及周围的介质中含有大量的可游离的质子。这样在内部和外部因素的作用下形成大量的可游离的电子从而形成电弧。具体原因有以下四个方面：

（1）热电发射。当开关触点分断电流时，阴极表面由于大电流逐渐收缩集中而出现灼热的光斑，温度很高，因而使触点表面分子中外层价电子吸收足够的热量而发射到触点之间的间隙中去，形成自由电子。

（2）高电场发射。开关触点分断之初，电场强度很大，在这种高电场的作用下，触点表面的电子可能被强拉出来，使之进入触点间隙，形成自由电子。

（3）碰撞游离。当触点间隙存在大量的电子，在高电场的作用下，高速向阳极移动，电子在移动的过程中碰撞中性质子，使之分解为正负离子，离子的数量继续增加，从而形成新一轮的碰撞，产生更多的离子，结果使触点间隙的自由电子的数量越来越多，形成“雪崩”

现象。当离子的浓度达到一定数量时，介质击穿而发生电弧。

（4）热游离。电弧的温度很高，表面的温度达 3000~4000℃，弧心温度可达 10000℃，在此高温，电弧中的中性质子可游离为正负离子，从而进一步加强了电弧中的游离。触点越分开，电弧越大，热游离也越显著。

由于上述四方面原因的综合作用，触点在分断电流时产生电弧并得以维持。

2. 电弧的熄灭

电弧熄灭的条件是触点间隙的电弧去游离率大于游离率，即电弧中消失的离子率大于离子产生的速率。

3. 具体灭弧方法

（1）速拉灭弧法。速拉灭弧法是指迅速拉长电弧，使其电场强度骤降，离子的复合迅速增加，从而有利于电弧的熄灭。

（2）冷却灭弧法。冷却灭弧法是指降低电弧的温度，可使电弧中的热游离减弱，正负离子的复合增强，有助于电弧加速熄灭。

（3）吹弧灭弧法。吹弧灭弧法是指利用外力来吹动电弧，使电弧温度降低，离子复合和扩散加强，从而加速电弧的熄灭。外力主要有气流（空气、六氟化硫）、油流（变压器油）、电磁力、电动力等。吹弧的方向有横、纵两个方向。

（4）长弧切短弧灭弧法。由于电弧的电压降主要降落在阴极和阳极上，利用金属片将电弧切割成若干段短弧，则电弧上的电压降近似地增大若干倍，而阴极和阳极的压降减小，有利于电弧的熄灭，同时使用金属片还有冷却的作用，从而加速电弧的熄灭。

（5）粗弧分细灭弧法。粗弧分细灭弧法是指将一个粗大的电弧分成平行的几个细电弧，使电弧与周围介质的接触面积增加，改善电弧的散热条件，降低电弧的温度，从而使电弧中离子的复合和扩散得到加强，使电弧迅速熄灭。

（6）狭沟灭弧法。狭沟灭弧法是指使电弧在固体介质所形成的狭沟中燃烧，改善电弧的冷却条件，从而使电弧中离子的复合得到加强，使电弧迅速熄灭。

（7）真空灭弧法。真空灭弧法是指将触点放置在真空容器里，由于真空的介质较少，形成的离子的数量较小，因此电弧也很小，在电流过零时立即熄灭。

四、交、直流接触器技术参数及选用原则

（一）接触器的参数

1. 技术参数

（1）额定电压。接触器的额定电压是指主触点的额定电压，其等级见表 1-1。

（2）额定电流。接触器的额定电流是指主触点的额定电流，其等级见表 1-1。

表 1-1 接触器的额定电压和额定电流等级表

参 数	交 流 接 触 器	直 流 接 触 器
额定电压（V）	127, 220, 380, 500, 660	110, 220, 440, 660
额定电流（A）	5, 10, 20, 40, 60, 100, 150, 250, 400, 600	5, 10, 20, 40, 60, 100, 150, 250, 400, 600

（3）线圈的额定电压。线圈的额定电压是指线圈的外加额定电压，注意线圈电压的种类，直流和交流接触器分别选择直流和交流负载。其额定电压等级见表 1-2。

表 1-2 接触器线圈的额定电压等级表

直流线圈 (V)	交流线圈 (V)
24, 48, 110, 220, 440	36, 110, 127, 220, 380

(4) 接通和分断能力。接通和分断能力是指主触点在规定的条件下能可靠地接通和分断的电流数值，使用时注意控制对象不同其主触点的分断和接通能力不同。

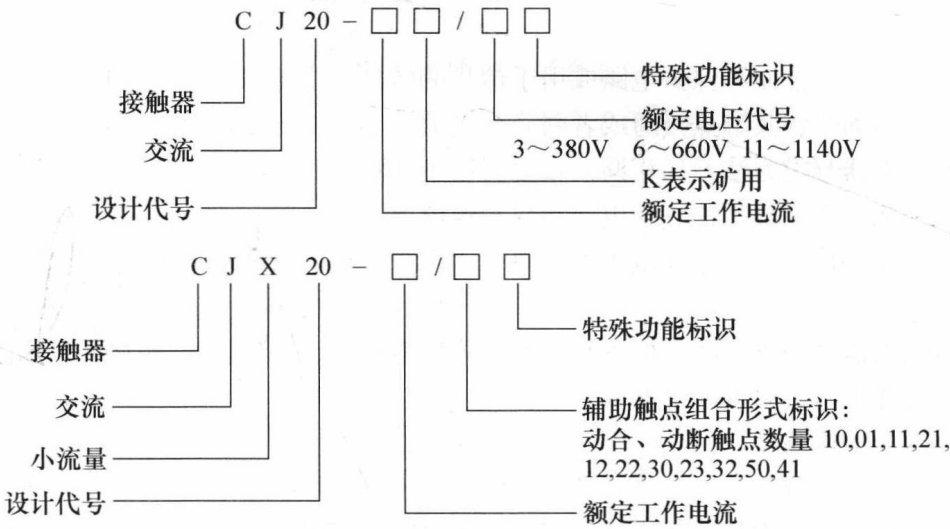
具体情况见表 1-3。

表 1-3 常见接触器使用类别及其典型用途表

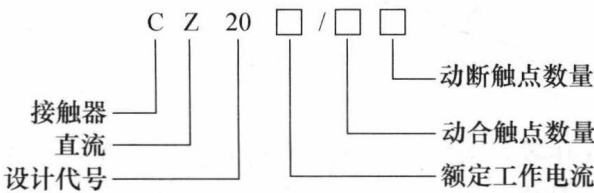
电 流 种 类	使 用 类 别	典 型 用 途
AC 交流	AC1 AC2 AC3 AC4	电阻负载、无感或微感负载 绕线式电动机的启动和停止 笼型电动机的启动和停止 笼型电动机的启动、反接制动、反转、点动和停止
DC 直流	DC1 DC2 DC3	电阻负载、无感或微感负载 并励电动机的启动、反接制动、反转、点动和停止 串励电动机的启动、反接制动、反转、点动和停止

2. 型号的含义

(1) 交流接触器的型号含义如下：



(2) 直流接触器的型号含义如下：



3. 接触器图形符号和文字符号

采用国家标准符号，可以水平绘制，也可垂直绘制，如图 1-5 所示。

(二) 接触器的选用

接触器是控制各种电路或设备的主要器件，用途很广泛。额定工作电流或额定功率随使用条件不同而变化，因此要根据使用条件、主电路、控制电路、负载性质等情况合理选用，

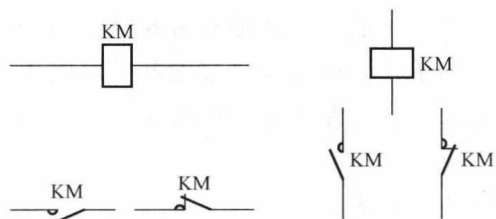


图 1-5 接触器图形符号和文字符号

使其充分发挥技术经济作用, 保证设备和电路的可靠运行。

1. 交流接触器的选用

根据接触器控制负载的工作任务即负载的大小和性质来确定相应的接触器及其使用类别。具体有以下几个方面:

- (1) 根据使用性质确定接触器类别。
- (2) 根据控制性质确定接触器的额定电压和电流及其控制线圈的额定电压。
- (3) 根据控制性质确定接触器的触点类型和数量。
- (4) 根据控制性质确定接触器所能控制的功率大小。
- (5) 根据控制性质确定接触器的操作频率并注意使用寿命。
- (6) 根据控制性质确定接触器的拖动能力。

2. 直流接触器的选用

方法同交流接触器的选用, 只是注意使用场合和控制负载情况。

第三节 继 电 器

继电器主要用于控制和保护电路或用于信号的转换。当输入信号的物理量变化达到某一数值时, 继电器动作, 其触点接通或者断开交直流小容量的控制电路。

常用的继电器分类方法不尽相同, 主要有以下几种:

- (1) 按用途分类, 分为控制继电器和保护继电器。
- (2) 按动作原理分类, 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、热继电器等。
- (3) 按输入信号分类, 分为电压继电器、电流继电器、中间继电器、时间继电器、速度继电器、压力继电器、温度继电器等。

一、电磁式继电器

1. 结构与工作原理

电磁式继电器的结构和工作原理与接触器相似, 由电磁系统、触点系统和释放弹簧等组成。由于继电器用于控制电路, 通过的电流很小, 无需灭弧装置。

2. 特性

电磁式继电器的特性是输入和输出特性, 具体的特性曲线如图 1-6 所示。

当继电器输入信号 x 由零增大到 x_2 以前, 继电器输出为零, 也就是说继电器不动作, 当继电器输入信号 x 由零增大到 x_2 时, 继电器动作, 触点发生变化, 动合触点变成闭合, 动断触点变成断开, 若输入继续增大, 继电器的状态保持不变。当输入信号减小到 x_1 时继电器释放, 触点回到原始状态, 即动合触点变成断开, 动断触点变成闭合。再减小输入信号至零保持。此时 x_2 称继电器动作值, 又称

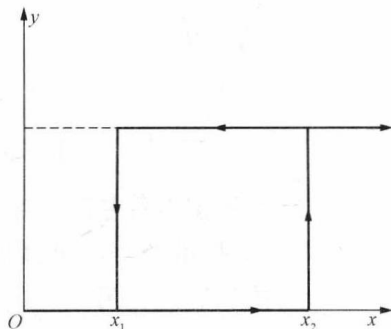


图 1-6 继电器输入、输出特性曲线

继电器吸合值； x_1 称返回值又称继电器的释放值。一般情况下， $x_1 < x_2$ ， $k = x_1/x_2$ ， k 称继电器的返回系数，是继电器的一个重要参数。

造成动作值和返回值不等的原因是铁磁性材料在反复磁化的过程中存在磁滞的问题，即磁感应强度和磁场强度不同步，在磁化时存在剩磁和矫顽力，结果使 x_1 和 x_2 不等。

返回系数的调整方法有如下几种：

- (1) 可通过调节释放弹簧的松紧程度，拧紧时 k 值也增大，放松时 k 值也减小。
- (2) 改变铁心与衔铁之间的距离。
- (3) 改变铁心与衔铁间非磁性垫片的厚度。
- (4) 改变线圈的匝数或者改变线圈的连接方式。

总之，改变继电器的动作值的方法很多，对继电器来说主要是通过磁路的欧姆定律来实现的。磁路的欧姆定律为 $\Phi = \frac{IN}{R_m}$ ，磁通等于磁动势与磁阻之比，即通过改变磁阻和磁动势来实现。改变磁阻的方法有改变磁路的长度和磁导率，一般常用改变气隙的大小和导磁垫片的厚度的方法；改变磁动势的方法一般为改变线圈的匝数和串并联关系。

对于 k 的调整，要看不同的场合和用途，一般继电器要求 k 值较低，数值可设为 0.1~0.4，这样在输入信号波动时不至于使继电器误动作，提高抗干扰性能；对于欠电压继电器则要求有较高的返回系数，可设在 0.6 以上。

继电器的另一个参数是吸合时间和释放时间。吸合时间是指从线圈接收输入信号到衔铁完全吸合所需的时间，释放时间是指线圈输入信号消失后衔铁完全释放所需的时间。

一般继电器的吸合与释放时间为 0.05~0.15s，快速继电器为 0.005~0.05s。其大小影响继电器的操作频率。

(一) 电压继电器

电压继电器反映的是电压信号，结构与前面介绍的完全相同，只是在线圈的结构不同，其匝数多，导线截面细。使用时电压线圈与负载并联。电压继电器分欠电压继电器和过电压继电器两种。

电路正常工作时，欠电压继电器吸合，当电路电压减小到某一规定的数值（一般为额定电压的 30%~50%）时，欠电压继电器释放，对电路或设备实现欠电压保护。

电路正常工作时，过电压继电器不动作，当电路电压增大到某一规定的数值（一般为额定电压的 105%~120%）时，过电压继电器动作，对电路或设备实现过电压保护。

零电压继电器是在电路电压减小到某一规定的数值（一般为额定电压的 5%~25%）时释放，对电路或设备实现零电压保护。

(二) 电流继电器

电流继电器反映的是电流信号，结构与前面介绍的完全相同，只是在线圈的结构上不同，其匝数少，导线截面粗。使用时电流线圈与负载串联。电流继电器分欠电流继电器和过电流继电器两种。

电路正常工作时，欠电流继电器吸合，当电路电流减小到某一规定的数值时欠电流继电器释放，对电路或设备实现欠电流保护。

电路正常工作时，过电流继电器不动作，当电路电流增大到某一规定的数值时，过电流继电器动作，对电路或设备实现过电流保护。

电流继电器的动作值或返回值根据电路的实际需要进行整定，具体方法与继电器的返回系数的调整方法相同。

（三）中间继电器

中间继电器实质是电压继电器的一种形式，其特点是触点的数目比较多，电流容量增大，同时起到扩大触点数目的作用。

二、时间继电器

时间继电器是指从得到输入信号（继电器线圈通电或断电）经一段时间延时才有规定的输出信号（继电器的触点闭合和断开），时间继电器在电路中起延时作用。其外形如图 1-7 所示。

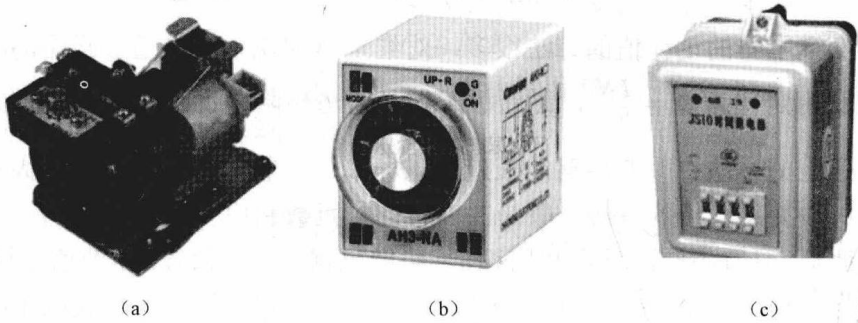


图 1-7 时间继电器的外形

（a）空气阻尼式；（b）电子式；（c）电动式

时间继电器有以下两种分类方式：

（1）按延时方式分类。

通电延时型：接收输入信号（线圈通电开始计时）经一段时间后输出信号输出，输入信号消失，输出信号立即消失。

断电延时型：接收输入信号（线圈通电）立即有输出信号输出，输入信号消失，输出信号经一段时间后消失。

（2）按工作原理分类。时间继电器按工作原理可分为电磁式、空气阻尼式、半导体式、电动式等。

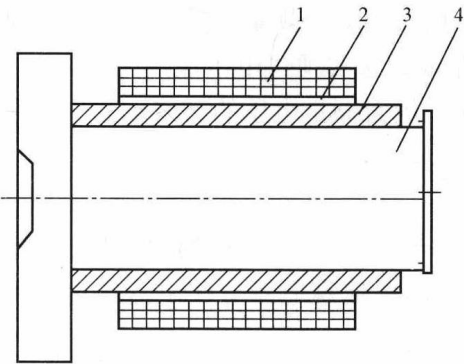


图 1-8 带有阻尼铜套的铁心结构

1—线圈；2—绝缘层；3—阻尼铜套；4—铁心

（一）电磁式时间继电器

电磁式时间继电器一般用在直流控制电路。它是利用电磁阻尼原理，在直流电压继电器的铁心上增加一个阻尼铜套，利用涡流作用达到延时的目的。

1. 结构

带有阻尼铜套的铁心结构如图 1-8 所示。

2. 工作原理

当继电器线圈通电，由于衔铁处于释放位置，气隙大、磁阻大、磁通小，铜套阻尼作用也小，因此铁心吸合时的延时不显著，一般认为是瞬时的。当继电器断电时，磁通量的变化大，铜套的阻尼作用也大，触点延时效应，起到阻尼作用。这种继电器具有延时断开动合触点和延时闭合动断触点的作用，即断电延时。