



高等学校教材

现代工厂 电气控制

张凤池 曹荣敏 主编

北京)

.2-43



机械工业出版社
China Machine Press

高等学校教材

现代工厂电气控制

主编 张凤池 曹荣敏
参编 周雅莉 魏秀琨 刘丽华 管 萍
主审 赵 刚

机械工业出版社

本书集理论与实践于一体,通过继电控制、可编程序控制器、变频调速器三大部分介绍了现代工业自动化实用技术。全书共分十章:第一、二章介绍了继电控制的基础知识;第三章对可编程序控制器进行了概述;第四、五章叙述了CPM1A规格、型号及包括格式、符号、应用在内的指令系列;第六、七章说明了编程器的基本使用及编程方法;第八章为可编程序控制器的通信网络技术;第九、十章阐述了变频调速器的基础知识及其具体应用。全书提供了大量的程序实例及实际应用实例,每章后均附有习题与思考题。

本书内容充实,通俗易懂,例题丰富,实用性强,是一本较好的提倡以实验为主导、培养学生工程实践能力、学习和掌握电气控制技术的教科书。本书可作为高等院校自动化、自动控制、机械类等有关专业学生的教材,也可供其它有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代工厂电气控制/张凤池、曹荣敏主编. —北京:机械工业出版社, 2000.5
高等学校教材
ISBN 7-111-07550-1

I. 现… II. 张… III. 工厂-电气控制-高等学校-教材
IV. TM571.2

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第45934号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:贡克勤 版式设计:霍永明 责任校对:林去菲
封面设计:李雨桥 责任印制:路琳
成都新华印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2000年5月第1版第1次印刷
787mm×1092mm $1/16$ ·14印张·340千字
0 001—6 000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)68993821、68326677-2527

前 言

随着科学技术的飞速发展，控制技术在各领域中得到越来越广泛的应用，小到单台自动化装置，大到全自动化工厂，都要靠控制系统的支持才能得以实现。

可编程序控制器具有很强的逻辑控制功能，以其可靠性极高、耐恶劣环境能力强、使用极方便三大特点，被广泛用于需要继电器控制的场合，并迅速占领了工业生产自动化领域。

面对这一形势，自动化专业的学生急需进行工程实践能力的培养，尽快掌握自动化控制的实用技术，以适合于现代化工厂的需要。为此，我们根据目前高等院校教育改革的原则意见，参照本科教学特点，编写此书。本书将通过继电控制、可编程序控制器、变频调速器三大部分，介绍现代工业自动化实用技术，以实际应用为重点，给出大量的应用实例。本书可作为自动化、自动控制、机械类专业本科生的教材，并对相关专业的师生也有所帮助。

本书共分为十章，教学时数为 60 学时，使用时可根据学时数对内容作取舍。

考虑到继电控制目前在国内还在使用，所以安排了第一、二两章的内容，主要讲解继电控制的基础知识。

第三至七章讲述可编程序控制器的基本内容及实际应用，其内容极为丰富。

考虑到可编程序控制器是综合了计算机技术、自动化技术和通信技术的一种新型工业控制装置，所以第八章讲解了用可编程序控制器与计算机构成简单的集散控制系统的应用技术，使可编程序控制器部分的内容更加完整、更加丰富。

目前变频调速器应用广泛，在交流调速技术中，变频调速传动是现代电力传动的一个主要发展方向，是日常生活和工业生产等领域所依赖的基本技术之一。因此安排了第九、十两章的内容，主要讲解变频调速器的基本知识及典型应用。

第六章编程器的使用，内容较简单，这是因为考虑到更详细的内容将在实验指导书中讲解。

本书由北京机械工业学院张凤池副教授、曹荣敏讲师主编，赵刚副教授主审。编写分工为：前言（曹荣敏）、第一、二章（周雅莉）、第三至七章（张凤池）、第八章（魏秀琨、刘丽华）、第九、十章（曹荣敏）、习题（管萍）。

本书在编写过程中得到自动化系许多教师及实验室人员的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，错误与不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

1999 年 5 月于北京

目 录

前言	
第一章 常用低压电器	1
第一节 非自动切换电器	1
第二节 自动切换电器	3
习题与思考题	10
第二章 电器控制线路	12
第一节 电器控制线路的绘制原则、图形 及文字符号	12
第二节 电动机的基本控制环节	12
第三节 电动机的基本控制方法	15
第四节 电动机的保护	17
第五节 电器控制线路的一般设计方法	19
第六节 电器控制线路的逻辑设计方法	23
习题与思考题	25
第三章 可编程序控制器概述	27
第一节 可编程序控制器的产生与特点	27
第二节 可编程序控制器的组成与工作 原理	28
第三节 可编程序控制器的性能指标	30
习题与思考题	31
第四章 CPM1A 综述	32
第一节 CPM1A 规格与型号	32
第二节 CPM1A 的地址分配及系统配置	39
习题与思考题	50
第五章 CPM1A 指令系统	51
第一节 顺序指令	51
第二节 定时器/计数器指令	64
第三节 数据比较和传送指令	70
第四节 数据移位指令	80
第五节 递增递减指令系统及特殊指令	85
第六节 运算指令	86
第七节 控制指令	101
第八节 输入输出指令	108
第九节 中断控制	111
习题与思考题	126
第六章 编程器的使用	129
习题与思考题	131
第七章 PLC 编程	132
第一节 编程基本知识	132
第二节 编程方法	144
习题与思考题	169
第八章 可编程序控制器的通信 网络	171
第一节 串行通信与 RS-232C 标准	171
第二节 网络结构与访问控制技术	176
第三节 PLC 通信网络	178
第四节 SYSMAC 软件编程和监控基础	185
习题与思考题	190
第九章 变频调速器	191
第一节 电动机的调速及变频器的分类	191
第二节 变频器原理	194
第三节 变频器对不同控制对象的系统 设计	197
第四节 MICRO MASTER 型变频器的 使用	200
习题与思考题	208
第十章 变频器的应用	209
第一节 电梯	209
第二节 空调设备	211
习题与思考题	214
附录 电工系统图常用图形符号	215
参考文献	218

第一章 常用低压电器

电器就是电能的控制器具，它能对电能进行分配、控制、调节。其控制作用就是接通或断开电路中的电流，因此，“开”和“关”是其最基本和最典型的功能。低压电器指的是工作在交直流电压 1200V 以下的电路中的电气设备，即所谓“控制电器”。

电器的种类很多，分类的方法也很多。按照操作方式的不同，控制电器可以分为非自动切换电器和自动切换电器两类。非自动切换电器是用手或依靠机械力进行操作的，例如各种手动开关、控制按钮或行程开关等。自动切换电器则主要是借助于电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的，例如接触器和各种类型的继电器等。

第一节 非自动切换电器

一、控制按钮

控制按钮的作用主要是发布命令，控制其它电器的动作，短时接通或断开小电流。其结构原理图见图 1-1a。

在常态（未加外力）时，静触点 2、6 与桥式动触点 3 闭合，习惯上称为常闭触点；静触点 4、5 与桥式动触点 3 分断，称为常开触点。当按下按钮时，桥式动触点 3 先和静触点 2、6 分断，所以也称触点 2、6 为动断触点，桥式动触点 3 再和静触点 4、5 闭合，它也称为动合触点。

按下按钮时，常闭触点先断开，常开触点再闭合；按下再放开时，由于复位弹簧的作用，常开触点先恢复断开，常闭触点再恢复闭合。

控制按钮触点的电路符号见图 1-1b，用虚线将属于同一触点的常开和常闭触点连接起来，表示它们是相互关联的一对。

二、行程开关

行程开关又称限位开关，是一种根据运动部件的行程位置而切换电路的电器，其作用主要是限定运动部件的行程。

行程开关的种类很多，以运动形式分为直动式和转动式；按其结构可以分为直动式、滚动式和微动式；按触点性质分为有触点式和无触点式。

下面着重介绍有触点的行程开关，它是利用机械运动部件的碰撞来控制触点动作。

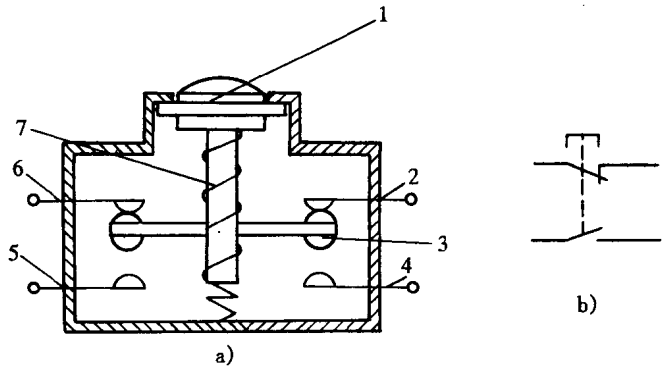


图 1-1 按钮

a) 结构原理图 b) 符号

1—按钮 2、4、5、6—静触点 3—动触点 7—弹簧

1. 直动式行程开关

直动式行程开关的结构原理图见图 1-2a。

由图 1-2 可以知道，直动式行程开关的动作原理与控制按钮相似，所不同的是它用运动部件的撞块来碰撞行程开关的推杆。使用时，首先将行程开关安装在适当位置，当预装在生产机械运动部件上的撞块压下推杆时，行程开关的常闭触点 3 打开，常开触点 4 闭合；撞块离开推杆 1 时，恢复弹簧 2 将推杆和触点恢复原状。

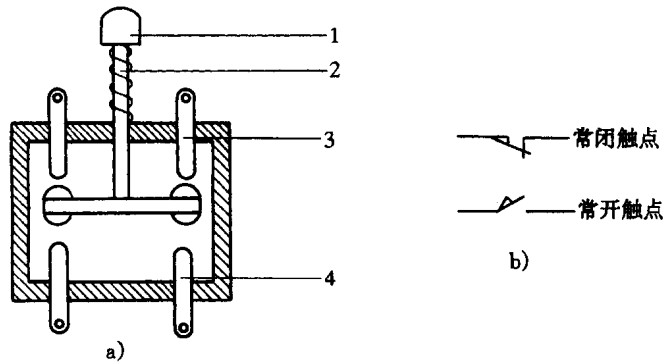


图 1-2 直动式行程开关

a) 结构原理图 b) 电路符号

1—推杆 2—恢复弹簧 3—常闭触点 4—常开触点

直动式行程开关的优点是结构简单、成本较低，缺点是触点的分合速度取决于撞块移动速度，若撞块移动速度太慢，则触点不能瞬时切断电路，使电弧在触点上停留的时间过长，易于烧蚀触点。因此，这种开关不宜用在撞块移动速度小于 0.4m/min 的场合。

2. 滚动式行程开关

为克服直动式行程开关的缺点，还可以采用能瞬时动作的滚动式行程开关，见图 1-3。

当撞块向左推动滚轮 1 时，上转臂 2 以中心支点为中心向左移动，由盘形弹簧 3 带动下转臂 4 向右转动，于是滑轮 6 向右滚动，此时弹簧 11 被压缩而储存能量，当下转臂 4 转过中点推开压板 7 时，横板 10 在压缩弹簧 11 的作用下迅速做顺时针转动，从而使常闭触点 8 迅速断开。而常开触点 9 迅速闭合，撞块离开滚轮后，在恢复弹簧 5 的作用下恢复原状。

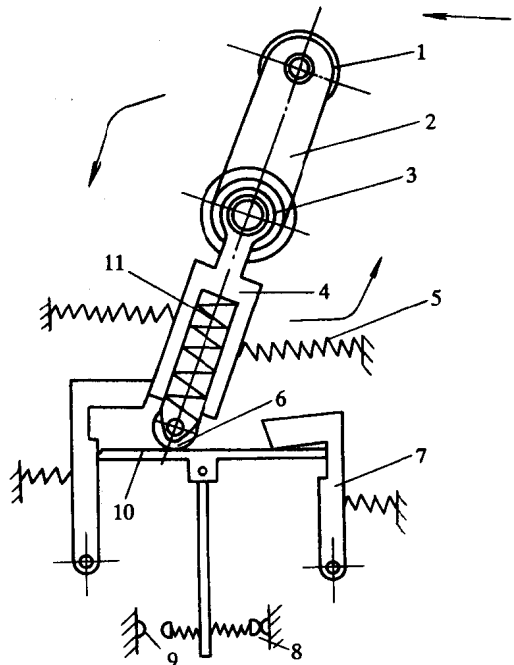


图 1-3 单滚轮式行程开关

1—滚轮 2—上转臂 3—盘形弹簧 4—下转臂

5—恢复弹簧 6—滑轮 7—压板 8—常闭触点

9—常开触点 10—横板 11—压缩弹簧

滚动式行程开关的优点是触点的通断速度不受运动部件速度的影响，动作快；缺点是结构复杂，价格较贵。

3. 微动开关

为克服直动式结构的缺点，还可以采用有弯片状弹簧的瞬动结构，见图 1-4。

微动开关是由撞块压动推杆使片状弹簧变形，从而使触点动作的。当撞块离开推杆后，片状弹簧恢复原状，触点复位。

微动开关的特点是：

1) 外形尺寸小，质量轻。触点工作电压为

380V，工作电流为 3A。

2) 推杆的动作行程小，因而显得灵敏。

3) 推杆动作压力小，只需 50~70N 就能使其动作。

微动开关的缺点是不耐用。

行程开关常闭触点和常开触点的电路符号见图 1-2b。

三、刀开关

刀开关是手动电器中构造最简单的一种。它由操作手柄、刀刃、静刀夹和绝缘底板组成。推动手柄，使刀刃紧紧地插入静刀夹中，电路就被接通。

刀开关的种类很多，有几十种规格。通常根据刀片的数量分为三类：单刀开关、双刀开关和三刀开关，见图 1-5。

刀开关的体积较大，操作费力，每小时内所允许的接通次数很低。因此，刀开关主要在车间的配电线路中作为电源的引入开关或隔离开关使用，主要用来接通或切断长期工作设备的电源。

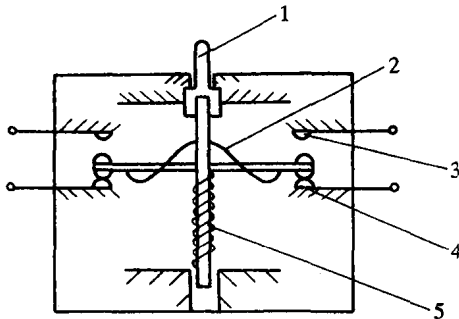


图 1-4 微动行程开关原理图

1—推杆 2—弯形片状弹簧 3—常开触点

4—常闭触点 5—恢复弹簧

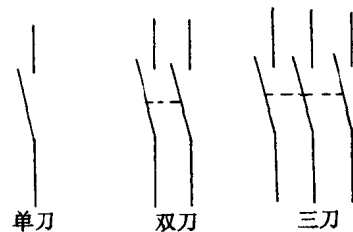


图 1-5 刀开关

第二节 自动切换电器

一、接触器

接触器是用来接通或切断电动机或其它负载主电路的一种控制电器。通常分为交流接触器和直流接触器。

(一) 接触器的结构

接触器由触点系统、电磁机构、弹簧、灭弧装置和支架底座等部分组成。其结构原理图见图 1-6a。

1. 电磁机构

电磁机构的作用是将电磁能转化为机械能并带动触点断开与闭合。电磁机构通常采用电磁铁形式，由吸引线圈、铁心及衔铁等组成。为减小涡流的影响，铁心和衔铁大都用成形的硅钢片叠成。

2. 触点系统

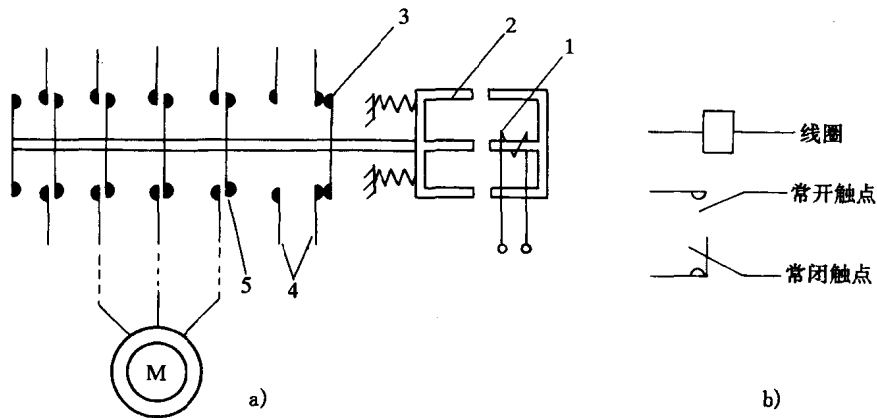


图 1-6 接触器

a) 结构原理图 b) 电路符号

1—铁心 2—衔铁 3、5—动触点 4—静触点

触点系统包括三对主触点和数对辅助触点，一般采用桥式触点结构。主触点体积较大，允许通过大电流，用以通断主电路，多为三对常开触点；辅助触点体积较小，允许通过较小电流，只能通断控制电路，通常有两对常开，两对常闭触点。触点是接触器的执行工作部分。

3. 灭弧装置

当触点分断通电的电路时，如果触点间电压在 $10 \sim 12\text{V}$ 之间，电流在 $80 \sim 100\text{mA}$ 之间，在拉开的两个触点间将出现强烈的火花。这是一种气体放电现象，通常称为电弧。为减轻电弧对触点的烧蚀作用，通常采用灭弧装置。常用的灭弧装置有磁吹式灭弧装置、灭弧栅、灭弧罩等。

(二) 接触器的工作原理

当接触器的线圈加上交流电压时，就在线圈中产生交变电流。于是在衔铁和静铁心组成的磁路中产生磁通，从而产生电磁吸力。当电磁吸力大于弹簧的反作用力时，衔铁就被吸合。这时所有固定在绝缘支架上的动触点也被拉下，使两对辅助常闭触点打开，三对主常开触点、两对辅助常开触点闭合。当外加电压消失后，电磁力消失，衔铁在反力弹簧的作用下释放而恢复原位，使触点系统恢复原状。

接触器线圈及触点的电路符号见图 1-6b。

二、继电器

继电器是一种根据特定形式的输入信号（电压、电流、速度、时间等）而动作的自动控制电器，主要用来反映各种控制信号。其触点通常接在各种控制电路中。

继电器的种类繁多，分类方法也很多，常用的分类方法有：

按反映信号的不同分为电压继电器、电流继电器、功率继电器、时间继电器、温度继电器等。

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、电子式继电器、热继电器等。

按动作时间分为快速继电器、延时继电器、一般继电器。

按执行环节作用原理分为有触点继电器、无触点继电器。

按用途分为电器控制系统用继电器、电力系统用继电器。

这里主要介绍电器控制系统用的电磁式（电流、电压、中间）继电器，时间继电器、热继电器和速度继电器。

继电器的主要特性是输入-输出特性，见图 1-7。

当继电器输入量 X 由 0 增加到 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，输出量由 Y_1 降到零； X 再减小， Y 值永为零。

在图 1-7 中， X_2 称为继电器吸合值，欲使继电器动作，输入量必须大于此值。

X_1 称为继电器释放值，欲使继电器释放，输入量必须小于此值。 $K = X_1/X_2$ 称为继电器的返回系数，它是继电器的重要参数之一。

另一个重要参数是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时所需的时间；释放时间是指从线圈失电到衔铁完全释放时所需要的时间。

（一）时间继电器

凡是在敏感元件获得信号后，执行元件要延迟一段时间才动作的电器叫时间继电器。这里指的延时区别于一般电磁继电器从线圈得到电信号到触点闭合的固有动作时间。时间继电器的种类很多，按动作原理可分为空气阻尼式、电磁式、电动机式、半导体式等。这里只介绍常用的空气阻尼式时间继电器。

图 1-8a 是通电后开始延时的空气阻尼式时间继电器的结构原理图。它是利用空气通过小孔节流原理来获得延时动作的。

当铁心线圈 1 通电后，将衔铁 2 吸合，使衔铁与活塞 4 之间有一段距离。在弹簧 3 的作用下，活塞 4 向下移动。由于与活塞杆相连的橡皮膜向下运动时造成气室上层空气稀薄，活塞受气室下层空气压力不能迅速下降，此时随着空气由进气孔 8 进入气室，活塞才逐渐下移。经过一段时间后，才能触动微动开关的杠杆 11，使微动开关 10 动作。

铁心线圈断电后，衔铁依靠弹簧的恢复作用向上运动，将气室中空气经排气孔迅速排出。

从铁心线圈通电吸引衔铁起，到微动开关动作时止这段时间，即为延时时间。用螺钉 9 调节进气孔的大小，可以调节延时时间的长短。空气阻尼式时间继电器的延时时间为 0.4~180s。

时间继电器有两个延时触点，一个是延时断开，一个是延时闭合。此外，还有两个瞬动的触点。显然，微动开关 13 在通电和断电的瞬间动作，瞬动触点也随之瞬动。

时间继电器的线圈、延时触点、瞬动触点的电路符号见图 1-8b。

空气阻尼式时间继电器的优点是延时调节平滑，通用性强。既可以用于交流，也可以用于直流（仅需改变线圈）。而且还可以做到通电延时或断电延时，结构简单，价格便宜。其

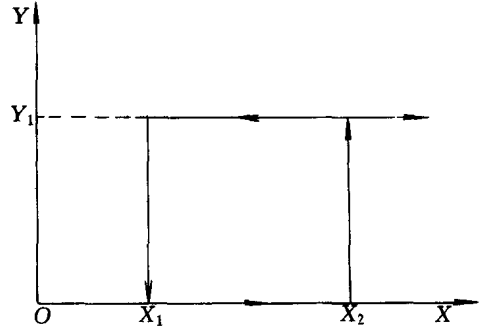


图 1-7 继电器特性曲线

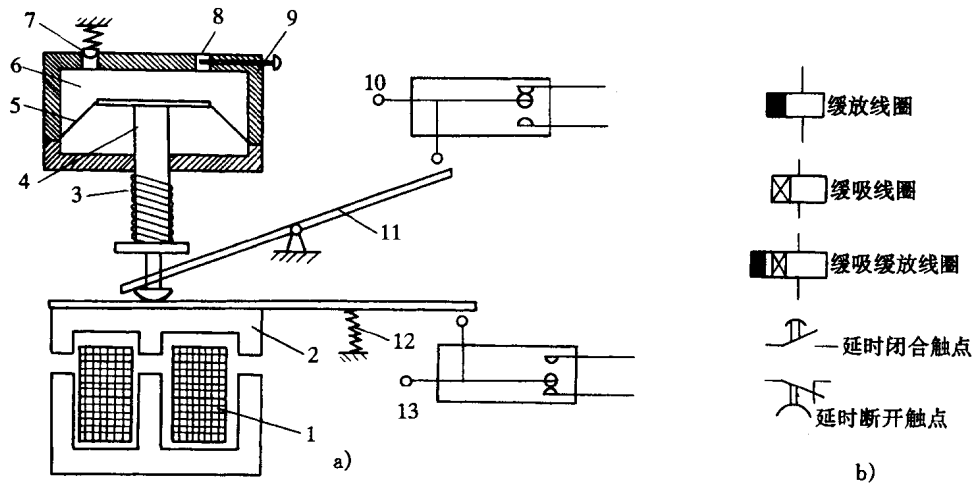


图 1-8 时间继电器

a) 结构原理图 b) 电路符号

1—铁心线圈 2—衔铁 3—弹簧 4—活塞 5—橡皮膜 6—气室 7—排气孔
8—进气孔 9—螺钉 10—微动开关 11—杠杆 12—弹簧 13—微动开关

缺点是，延时误差大（可达 $\pm 10\%$ ），当环境温度、湿度变化时，延时时间要变化。另外，延时时间不能太长。

（二）电流继电器、电压继电器、中间继电器

电流继电器、电压继电器、中间继电器均属于电磁式继电器。其结构和动作原理与接触器大致相同，由铁心、衔铁、线圈、释放弹簧和触点等部分组成。但是前者在结构上体积较小，动作灵敏，没有庞大的灭弧装置，触点的种类和数量也较多。

电流继电器是反映电流变化的控制电器，而电压继电器是反映电压变化的控制电器。当继电器线圈上的电流或电压达到动作值时，电磁机构就将衔铁吸合，使触点系统动作。当电流或电压减小到释放值时，触点系统就恢复常态。

电流继电器与电压继电器在结构上的区别主要是线圈不同。电流继电器的线圈与负载串联以反映负载电流，故它的线圈匝数少而导线粗。电压继电器的线圈与负载并联以反映负载电压，其线圈匝数多而导线细。

电流与电压继电器根据其用途又可分为过电流与过电压继电器、欠电流与欠电压继电器。前者是电流或电压超过规定值时衔铁吸合，后者是电流或电压低于规定值时衔铁释放。

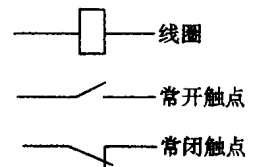
中间继电器实质上是一种电压继电器，但它的触点数量较多，容量较大。起到了中间放大（触点数量和容量）的作用。

电流、电压和中间继电器的线圈及触点电路符号见图 1-9。

（三）速度继电器

速度继电器常用于反接制动电路中。

图 1-10a 为 JY1 型感应式速度继电器的结构原理图。其结构和工作原理与笼型电动机相似。它的转子是圆柱形铁镍合金制成的永久磁铁，转子的外面有一个圆环。圆环内装有如笼

图 1-9 电磁式继电器
电路符号

型电动机转子的短路绕组。此圆环装在另一套轴承上，可以转动一定的角度。当被控制的电动机带动速度继电器的转子旋转时（速度继电器与电动机同轴连接），永久磁铁的磁通切割圆环内的短路绕组，在绕组内感应出电动势和电流。此电流和永久磁铁的磁场作用产生转矩，使继电器的定子柄向旋转方向转动，拨动簧片，使常闭触点打开，常开触点闭合。同时压缩反力弹簧，使定子柄不能继续转动。当速度继电器的转速接近零时（约 100r/min ），转子磁场切割绕组的相对速度减小，因而产生的转矩也减小，于是定子柄在重力作用下，要恢复到中心稳定位置，而簧片在弹簧力作用下，使触点系统恢复原状。触点 8 是转子顺时针旋转时动作，而触点 7 是转子逆时针旋转时动作。

速度继电器的电路符号见图 1-10b。

（四）热继电器

热继电器是应用电流的热效应原理来工作的电器。主要用来防止电动机或其它负载过载以及作为三相电动机的断相保护。

热继电器的保护性能用安-秒特性表示。由图 1-11 可以看出，安-秒特性是反时限性的，即热继电器的动作时间是随电流的增加而减小。

电动机在不同的负载下工作时的电流与绕组达到允许温升所需要的时间之间的关系，称为电动机的过载特性（见图 1-11 中的区域 1）。热继电器的保护特性应当与电动机的过载特性接近重合。

下面来分析热继电器的结构与工作原理。图 1-12a 为热继电器的结构原理图。它主要由发热元件、双金属片等组成。

双金属片是由两种不同膨胀系数的金属制成，左侧层为低膨胀系数的金属，右侧层为高膨胀系数的金属。当发热元件中的电流大到一定值并经过一段时间后，发热元件发出的热量使金属片 2 向左弯曲，带动连动片 3 向左移动，同时温度补偿片 4 在连动片 3 的作用下，以 A 点为中心顺时针转动。温度补偿片 4 的弯曲部分离开了凸盘 9，凸盘在弹簧 5 的作用下顺时针转动，常闭触点 12 打开，常开触点 11 闭合，动作完毕。当发热元件中的电流小于额定电流时，发热元件发出的热量减少，双金属片恢复原位，温度补偿片 4 在弹簧的作用下要恢复原位，但此时被凸盘 9 的凸起部分挡住，恢复不了原位，故动触点不能恢复原状。即故障消除后，热继电器的触点不能自动复位。要复位必须按下复

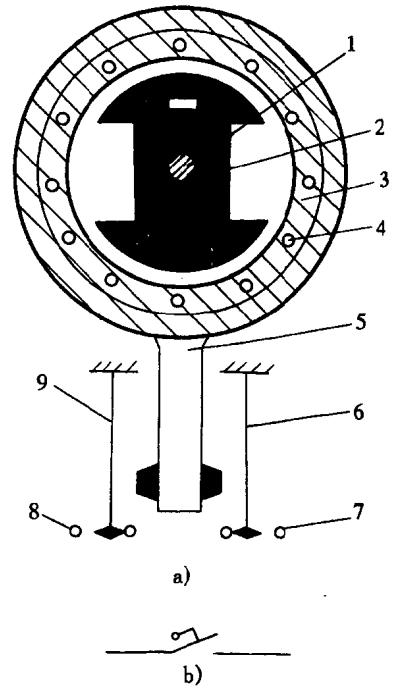


图 1-10 感应式速度继电器
1—电动机轴 2—转子 3—定子
4—绕组 5—定子柄 6、9—簧片
7、8—触点

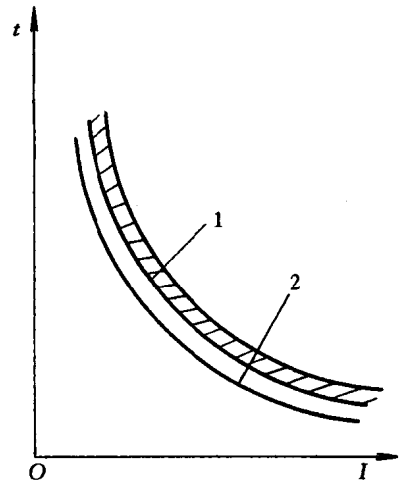


图 1-11 热继电器的保护特性
1—笼型电动机的过载特性
2—热继电器的保护特性

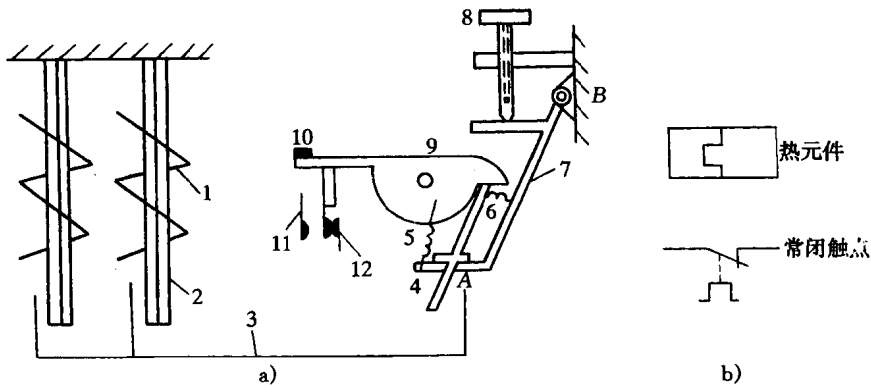


图 1-12 热继电器

a) 结构原理图 b) 电路符号

1—发热元件 2—双金属片 3—连动片 4—温度补偿片 5、6—弹簧 7—支架
8—电流调节盘 9—凸盘 10—复位按钮 11—常开触点 12—常闭触点

位按钮 10，使凸盘逆时针转动，凸盘的凸起部分抬起，温度补偿片 4 在弹簧 6 的作用下恢复原位，触点恢复原状，为下次工作做好准备。

电流调节盘 8 是用以调节热继电器的动作电流的。当电流调节盘逆时针转动时，电流调节盘上移，支架 7 在弹簧 5 的作用下，以 B 为支点向左移动。则温度补偿片 4 在弹簧 6 的作用下也向左移动。这样，温度补偿片 4 和连动片 3 凸起部分的距离就加大。此时，只有在流过发热元件中的电流更大时，连动片才能带动温度补偿片动作，使触点动作。与此相反，当电流调节盘顺时针转动时，热继电器的动作电流就要减小。

温度补偿片 4 的另一个重要作用是用作温度补偿。当周围介质的温度升高时，双金属片也要向左弯曲（见图 1-13 中的虚线），如果没有温度补偿片的补偿作用，即假设温度补偿片和周围温度无关，那么温度补偿片的位置不变（见图 1-13 中温度补偿片的实线部分），即双金属片和温度补偿片的相对位置发生变化，这样，实际的动作电流就要减小。由于温度补偿片的温度补偿作用，它在周围介质温度升高时，和双金属片一样，产生相同的弯曲（见图 1-13 中温度补偿片的虚线位置）。因此，双金属片和温度补偿片的位置不变，从而保证了热继电器的动作电流与周围介质的温度无关。

由于要使双金属片加热到一定温度，热继电器才会动作，所以脉冲电流不会使热继电器动作。甚至热元件流过短路电流时，热继电器也不会立即动作。所以它不能用来执行短路保护。

电动机等用电设备若长期过载运行，会超过额定电流值而使电动机过热，降低使用寿命甚至损坏。热继电器是对电动机等用电

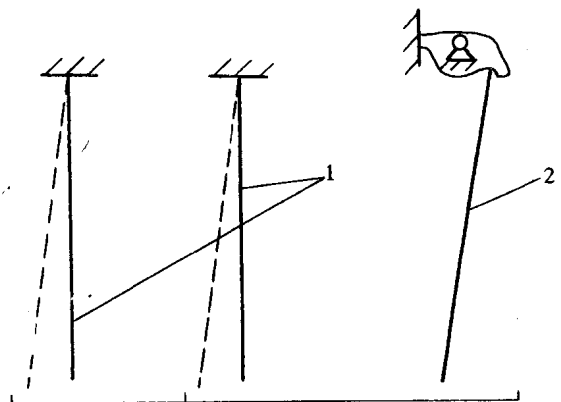


图 1-13 温度补偿片的作用

1—双金属片 2—温度补偿片

设备实行过载保护的电器。

上述热继电器是两相结构的，它可以用作感应电动机均衡过载时的保护，但不适用于定子为 Δ 联结的感应电动机的断相保护。如果三相电动机有一相断线或一相熔丝熔断，由于热继电器动作电流是按电动机额定电流整定的，在Y联结时相电流等于线电流，所以Y联结可以用两只热元件或不带断相保护的三只热元件的继电器保护。 Δ 联结时相电流只有线电流的 $1/\sqrt{3}$ ，因而流过电动机绕组的相电流小于线电流。而热元件串接在线路中，因此要按额定线电流整定，整定值较大。一相断线，其余两相热继电器可能达不到动作值而电动机绕组已过热。所以 Δ 联结必须采用带断相保护的热继电器。

热继电器的热元件和触点的电路符号见图 1-12b。

三、熔断器

1. 熔断器的分类

熔断器是一种利用熔化作用而切断电路的保护电器。熔断器主要由熔体和熔断管两部分组成。其中熔体是主要部分，它既是敏感元件又是执行元件，由易熔金属如铅、锌、锡等制成，熔断管一般用瓷、玻璃或硬制纤维制成。

熔断器的种类很多，按熔体热惯性的的大小可分为无热惯性、大热惯性、小热惯性三种，热惯性越小，熔化越快。

按熔体形状分为丝状、片状、笼状三种。

按支架结构分为插入式、螺旋式和管式三种。

熔断器的符号见图 1-14。



图 1-14 熔断器

2. 熔断器的作用原理

熔断器的熔体与被保护的电路串联，当被保护的电路短路时，短路电流流过熔体，使之被加热，部分熔体溶解气化而被熔断，于是产生电弧，电弧使熔体继续熔化，直到间隙足够大时，电弧才熄灭，将被保护的电路与电源切断，达到保护的目。

熔体在通过正常电流时要求不熔断，而在短路时应熔断。一般电工设备在通过电流时所产生的热量与电流的平方和电流通过的时间成正比。因此电流越大，要求熔断的时间越短，才能保证被保护的的设备不超过允许的温升，即熔断器熔体的保护特性为安-秒特性，见图 1-15，其数值见表 1-1。

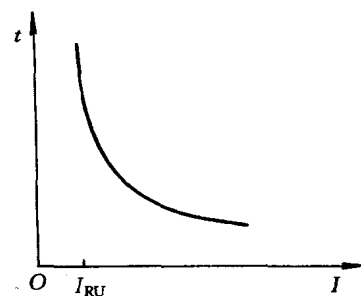


图 1-15 熔断器的安-秒特性

表 1-1 熔断器的熔化电流和熔化时间

熔化电流	$1.25I_{RU}$	$1.6I_{RU}$	$2I_{RU}$	$2.5I_{RU}$	$3I_{RU}$	$4I_{RU}$
熔化时间	∞	1h	40s	8s	4.5s	2.5s

四、自动空气断路器

自动空气断路器相当于刀开关、熔断器、热继电器和欠电压继电器的组合，是一种既能手动开关操作又能自动进行欠电压、失电压、过载和短路保护的电器。

断路器的种类很多，根据其结构形式可分为框架式（万能式）和塑料外壳式（装置式）；根据操作机构的不同可分为手动操作、电动操作和液压传动操作；根据触点数目可分为单

极、双极和三极；根据动作速度可分为有延时动作、普通速度和快速动作等。尽管断路器种类很多，结构也非常复杂，但是不论哪一种断路器，它总是由触点系统、灭弧系统、保护装置和传动机构等组成。

断路器的结构原理图见图 1-16a。

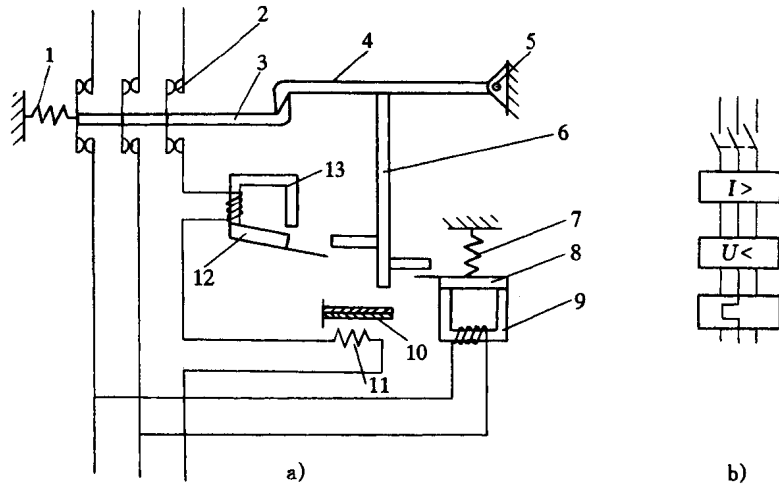


图 1-16 断路器

a) 结构原理图 b) 电路符号

1—弹簧 2—触点 3—锁键 4—搭钩 5—轴 6—杠杆 7—弹簧 8、12—衔铁
9—欠电压脱扣器 10—热脱扣器双金属片 11—加热电阻丝 13—过电流脱扣器

可手动使触点 2 分断，触点 2 串接到需要接通和断开的电路中。要使断路器接通外电路，可通过手动操作机构使其闭合（图中未画出）。过电流脱扣器 13 的线圈与主电路串联，当线路工作正常时，所产生的电磁吸力不能将衔铁 12 吸合。只有当电路短路或产生很大过电流时，其电磁吸力加大，将衔铁 12 吸合，撞击杠杆 6，顶开搭钩 4，于是在弹簧 1 的作用下，触点 2 打开，切断线路。

欠电压脱扣器 9 的线圈并联在主电路中，当线路电压正常时，欠电压脱扣器 9 产生的电磁吸力能够克服弹簧 7 的拉力，而将衔铁 8 吸合。如果线路电压降到某一值时，电磁吸力小于弹簧 7 的拉力，衔铁 8 被弹簧 7 拉开，衔铁 8 撞击杠杆 6，使触点 2 分断。

当线路发生过载时，过载电流通过热脱扣器 11 而使双金属片 10 受热弯曲，撞击杠杆 6，使触点 2 断开。

自动空气断路器的电路符号见图 1-16b。

习题与思考题

- 1-1 什么是低压电器？它可以分为哪两类？常用低压电器有哪些？
- 1-2 何谓行程开关？按其结构可分为哪几种？各有哪些特点？
- 1-3 画出控制按钮、行程开关、刀开关的电路符号图。
- 1-4 为什么接触器要装有灭弧装置？常用的灭弧装置有哪些？
- 1-5 试述接触器的工作原理？

- 1-6 何谓继电器的返回系数、吸合时间、释放时间？
- 1-7 画出时间继电器的线圈及触点的电路符号图。
- 1-8 电流继电器与电压继电器有何区别？
- 1-9 为什么两相结构的热继电器不适用于定子为三角形接法的感应电动机的断相保护？
- 1-10 熔断器的用途是什么？何谓熔断器的安-秒特性？
- 1-11 自动空气开关的用途是什么？
- 1-12 画出热继电器、速度继电器、熔断器的电路符号图。

第二章 电器控制线路

由按钮、继电器、接触器等低压控制电器组成的电器控制线路，具有线路简单，维修方便，便于掌握，价格低廉等许多优点，多年来在各种生产机械的电气控制领域中，一直获得广泛的应用。

第一节 电器控制线路的绘制原则、图形及文字符号

电器控制线路的表示方法有两种：一种是安装图，一种是原理图。

安装图是按照电器实际位置和实际接线线路，用规定的图形符号画出来的，这种电路便于安装。原理图是根据工作原理而绘制的。

在绘制电器控制原理图时，一般应遵循以下原则（以图 2-1 为例）：

1) 所有电动机、电器等元件都应采用国家统一规定的图形符号和文字符号来表示。

2) 电器控制线路分主电路和控制电路。一般主电路画在左侧或上方，控制电路画在右侧或下方。

3) 同一电路的不同部分（如线圈、触点）分散在图中不同部位，为易于识别，规定使用同一文字符号标明，对于几个同类电器，则用不同数字同一文字符号表示。

4) 电器控制线路的全部触点均按“平常状态”绘出，“平常状态”对于接触器、继电器等是指线圈未通电时的触点状态，对按钮、行程开关等是指没有受到外力时的触点状态。

5) 电路或元件应按功能布置，并尽可能按其工作顺序排列。对因果次序清楚的简图，尤其是电路图和逻辑图，其布局顺序应是从左到右和从上到下。

电气设备常用基本图形符号及文字符号见附录中表 A-1~表 A-7。

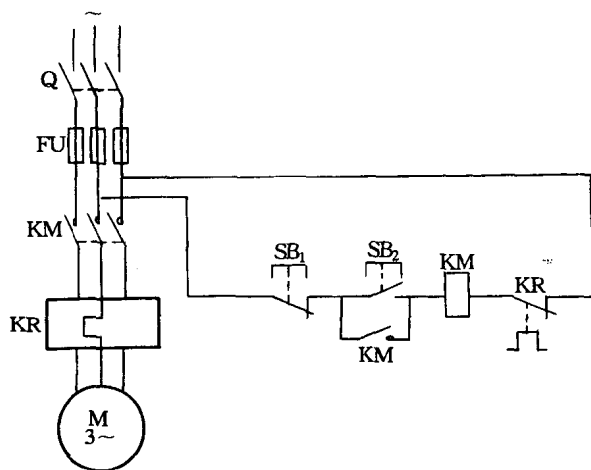


图 2-1 笼型电动机启动、停止控制线路

第二节 电动机的基本控制环节

任何一个复杂的电器控制线路，总是由一些基本的控制环节、基本控制方法和保护环节，根据生产工艺的要求，按照一定的规律组合起来的。因此，掌握这些基本内容是学习电器控制线路的基础。这一节介绍基本控制环节。