



教育部职业教育与成人教育司推荐教材

数控专业教学用书

# 电气控制与PLC

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编  
中国机械工业教育协会

李向东 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

GUIHUA JIAOCAI

gz



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
数控专业教学用书

# 电气控制与 PLC

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编  
中国机械工业教育协会

主 编 李向东  
副主编 赵建光 王 虹  
参 编 师素文 郭 军  
主 审 林 彬



机械工业出版社

本书是教育部职业教育与成人教育司推荐的五年制高职统编规划教材。全书分为三篇共十五章：第一篇为低压电气控制，主要介绍了常用低压电器、基本环节控制电路、普通机床电气控制；第二篇为可编程序控制器（PLC），包括 PLC 的基础知识，日本松下电工 FPI 系列硬件系统配置、指令系统、特殊功能及功能模块、编程软件的使用、PLC 系统的安装与维护，其他系列的 PLC 简介等；第三篇为调速系统，主要介绍了自动控制系统的的基本知识、直流调速系统和随动系统、交流调速系统；最后还介绍了电气控制和 PLC 技术在典型数控机床中的应用实例，根据课程能力培养目标安排了实验和实训教学内容。

本书最适用于五年制高职数控技术应用、机电技术应用等专业教学使用，同时适用于数控技术应用专业领域两年制和三年制高职教学选用，也可供有关工程技术人员阅读参考。

## 图书在版编目（CIP）数据

电气控制与 PLC/李向东主编. —北京：机械工业出版社，2005.1

数控专业教学用书

ISBN 7-111-15787-7

I. 电… II. 李… III. ①电气控制—高等学校：技术学校—教材②可编程序控制器—程序设计—高等学校：技术学校—教材 IV. TM571

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 130361 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：王世刚 汪光灿 责任编辑：汪光灿 版式设计：冉晓华

责任校对：申春香 封面设计：姚毅 责任印制：杨曦

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm  $\frac{1}{16}$ ·16.75 印张·415 千字

定价：22.00 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、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书以机械教育发展中心和机械工业教育协会制定的数控技术应用专业五年制高职教学计划为依据,是国家机械职业教育数控专业教学指导委员会组织编写的高职高专规划教材,主要适用于五年制高职数控技术应用和机电技术应用等专业教学,同时适用于数控技术应用专业领域两年制和三年制高职教学使用,也可供有关工程技术人员阅读参考。

本教材在编写过程中,遵循适用、应用的原则,以电器控制和 PLC 应用能力培养为根本出发点,突出职业教育特点,力图使学生通过按本教材安排的基础知识学习和训练,能够掌握电器控制和 PLC 在工业控制中的应用技术。在内容编排上,着重基本概念和基本原理的阐述,理论部分坚持必须、够用的原则,避免繁琐的理论推导,注重理论联系实际,增加了应用实例,使本书既有实用性,又有系统性;增加了调速系统,拓宽了专业面;图、表、文字有机结合,版面生动,阅读性强;编入了实验和实训内容,实现了理论知识和能力训练的相互结合;本教材列出了有关技术资料作为附录,方便学生查阅。

本书由山西机电职业技术学院李向东任主编,参加本书编写的有赵建光(第一、二、三章、第十四章第一节及附录 A);师素文(第五、六、七、八章及附录 B);郭军(第四、十一章);王虹(第十二、十三章),李向东(第九、十、十四章第二节,第十五章及附录 C)。由天津大学林彬教授担任主审。

本书建议教学时数为 80 学时左右,实训教学为两周。

本书编写过程中参考了大量文献和书籍,在此,对这些文献的作者深表感谢。

限于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请各位读者提出批评指正。

**编者**

**2004 年 10 月**

# 目 录

## 前言

## 第一篇 低压电气控制

<b>第一章 常用低压电器</b> .....	1	第二节 交流电动机的基本控制线路	28
第一节 低压电器的基本知识	1	第三节 交流异步电动机的减压起动控制线路	33
第二节 接触器	3	第四节 交流异步电动机的制动控制线路	38
第三节 继电器	5	本章小结	42
第四节 熔断器	13	习题与思考题	42
第五节 低压开关和低压断路器	16	<b>第三章 普通生产机械设备电气控制</b> .....	43
第六节 主令电器	19	第一节 卧式车床的电气控制	43
本章小结	23	第二节 普通铣床的电气控制	47
习题与思考题	23	本章小结	52
<b>第二章 机床电气控制电路的基本控制环节</b> .....	24	习题与思考题	52
第一节 电气控制线路的绘图原则及标准	24		

## 第二篇 可编程序控制器

<b>第四章 可编程序控制器的基础知识</b> .....	53	第三节 基本控制指令	80
第一节 PLC的一般硬件结构	53	第四节 比较指令	87
第二节 PLC的程序设计语言	55	第五节 常用高级指令	93
第三节 PLC的工作方式	56	第六节 编程方法及实用程序介绍	98
第四节 PLC的主要性能指标及分类	58	本章小结	104
第五节 PLC的特点、应用领域和发展趋势	59	习题与思考题	104
本章小结	61	<b>第七章 FP1的特殊功能及功能模块</b> .....	107
习题与思考题	61	第一节 FP1的特殊功能及指令	107
<b>第五章 FP1系列的硬件系统配置</b> .....	62	第二节 FP1的功能模块	112
第一节 FP1系列产品类型和技术性能	62	第三节 FP1的通信与网络	114
第二节 FP1系列主控单元和扩展单元的面板	64	本章小结	119
第三节 FP1的内部寄存器及I/O配置	65	习题与思考题	120
本章小结	67	<b>第八章 FPWIN-GR编程软件的使用</b> .....	121
习题与思考题	67	本章小结	130
<b>第六章 FP1的指令系统</b> .....	68	习题与思考题	130
第一节 基本顺序指令	68	<b>第九章 PLC系统的安装与维护</b> .....	131
第二节 基本功能指令	76	第一节 PLC的安装与接线	131
		第二节 PLC的维护	134

本章小结 .....	135	第二节 三菱公司的 FX 系列 .....	140
习题与思考题 .....	135	第三节 西门子公司的 S7 系列 .....	144
<b>第十章 其他系列 PLC 简介</b> .....	<b>136</b>	本章小结 .....	<b>148</b>
第一节 OMRON 公司的 PLC 产品 .....	136	习题与思考题 .....	148
<b>第三篇 调速系统</b>			
<b>第十一章 自动控制系统的概述</b> .....	<b>149</b>	实验二 三相笼型异步电动机的可逆 旋转控制 .....	214
第一节 开环控制与闭环控制 .....	149	实验三 三相笼型异步电动机 Y— $\Delta$ 减压 起动控制 .....	216
第二节 自动控制系统的组成及示例 .....	151	实验四 PLC 的使用与基本指令的练习 .....	218
第三节 自动控制系统的分类 .....	153	实验五 PLC 高级指令的练习 .....	220
第四节 自动控制系统的性能指标 .....	154	实验六 PLC 编程练习 .....	221
本章小结 .....	155	实验七 PLC 功能模块的使用 .....	222
习题与思考题 .....	155	实验八 晶闸管直流调速系统主要单元的 调试 .....	223
<b>第十二章 直流调速系统和随动系统</b> .....	<b>156</b>	实验九 单闭环不可逆直流调速系统实验 .....	225
第一节 单闭环直流调速系统 .....	156	实训一 常用生产机械设备现场参观 .....	231
第二节 双闭环直流调速系统 .....	160	实训二 X62W 万能铣床电气控制电路的 联接 .....	232
第三节 位置随动控制系统 .....	173	实训三 电镀自动线控制系统 .....	233
本章小结 .....	181	实训四 抢答器系统 .....	234
习题与思考题 .....	182	实训五 时钟控制系统 .....	234
<b>第十三章 交流调速系统</b> .....	<b>183</b>	实训六 自动售货机控制系统 .....	235
第一节 交流调速系统和串级调速 .....	183	实训七 三层电梯的自动控制系统 .....	236
第二节 交流电动机的变频调速系统 .....	189	<b>附录</b> .....	<b>238</b>
本章小结 .....	196	附录 A 常用电气图形、文字符号 .....	238
习题与思考题 .....	197	附录 B FP1 寄存器和高级指令表 .....	243
<b>第十四章 典型数控机床的应用</b> .....	<b>198</b>	附录 C FANUC PMC 指令系统 .....	253
第一节 数控车床的电气控制 .....	198	<b>参考文献</b> .....	<b>262</b>
第二节 PLC 在数控机床中的应用 .....	208		
本章小结 .....	211		
<b>第十五章 实验和实训</b> .....	<b>212</b>		
实验一 三相笼型异步电动机点动、 正转控制 .....	212		

# 第一篇 低压电气控制

## 第一章 常用低压电器

### 第一节 低压电器的基本知识

低压电器通常指工作在交流 1200V 以下、直流 1500V 以下电路中的电器。常用的低压电器主要有、接触器、继电器、刀开关、断路器、转换开关、行程开关、按钮、熔断器等。

#### 一、低压电器的分类

低压电器种类繁多，功能多样，构造各异，用途广泛。分类方法很多，通常有如下分类：

##### 1. 按用途或控制对象分

(1) 低压配电电器 主要应用于低压配电系统中。要求系统发生故障时准确动作、可靠工作，在规定的条件下具有相应的动稳定性与热稳定性，使电器不会被损坏，如刀开关、转换开关、熔断器、断路器等。

(2) 低压控制电器 主要用于电气传动系统中。要求寿命长、体积小、重量轻且动作迅速、准确、可靠，如接触器、继电器、启动器、主令电器、电磁铁等。

##### 2. 按动作方式分

(1) 自动切换电器 依靠自身参数的变化或外来信号的作用，自动完成接通或分断等动作。如接触器、继电器等。

(2) 非自动切换电器 主要是用外力（如人力）直接操作来进行切换的电器。如刀开关、转换开关、按钮等。

##### 3. 按执行功能分

(1) 有触头电器 有可分离的动触头、静触头，并利用触头的接通和分断来切换电路，如接触器、刀开关、按钮等。

(2) 无触头电器 无可分离的触头。主要利用电子元件的开关效应，即导通和截止来实现电路的通、断控制，如接近开关、霍尔开关、电子式时间继电器等。

##### 4. 按工作原理分

(1) 电磁式电器 根据电磁感应原理来动作的电器，如交流、直流接触器，各种电磁式继电器，电磁铁等。

(2) 非电量控制电器 依靠外力或非电量信号（如速度、压力、温度等）的变化而动作的电器。如转换开关、行程开关、速度继电器、压力继电器、温度继电器等。

## 二、低压电器的电磁系统

低压电器一般由两个基本部分组成，即感受机构和执行机构。感受机构感受外界信号的变化，作出有规律的反应；而执行机构则是根据指令信号，执行电路的通、断控制。

在各种低压电器中，根据电磁感应原理来实现通、断控制的电器很多，它们的结构相似、原理相同，感受机构是电磁系统，执行机构则是触头系统及灭弧系统。

电磁系统是电磁式电器的感受机构，其作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触头动作，实现对电路的通、断控制。

电磁系统由铁心、衔铁和线圈等部分组成。其作用原理是：当线圈中有电流通过时，产生电磁吸力，电磁吸力克服弹簧的反作用力，使衔铁与铁心闭合，衔铁带动连接机构运动，从而带动相应触头动作，完成通、断电路的控制作用。接触器常用的电磁系统结构，如图 1-1 所示。

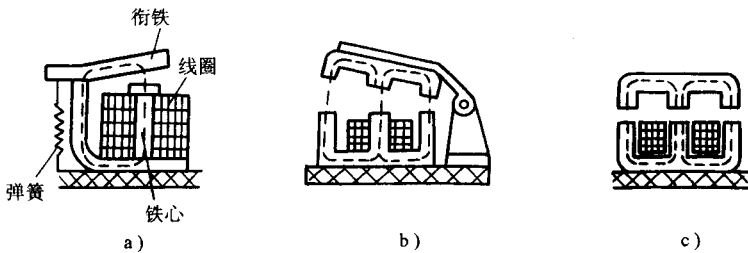


图 1-1 接触器电磁系统结构图

图 1-1a 为衔铁绕棱角转动的拍合式结构，适用于直流感触器。

图 1-1b 为衔铁绕轴转动的拍合式结构，适用于触头容量较大的交流接触器。

图 1-1c 为衔铁直线运动的螺管式结构，适用于交流接触器、继电器等。

电磁式电器分为直流与交流两大类。直流电磁铁铁心由整块铸铁铸成，而交流电磁铁的铁心则用硅钢片叠成，以减小铁损（磁滞损耗及涡流损耗）。

图 1-1 中线圈的作用是将电能转化为磁场能。按通过线圈电流性质的不同，分为直流线圈和交流线圈两种。

实际应用中，由于直流电磁铁仅有线圈发热，所以线圈匝数多、导线细，制成细长形，且不设线圈骨架，线圈与铁心直接接触，利于线圈的散热。而交流电磁铁由于铁心和线圈均发热，所以线圈匝数少、导线粗，制成短粗形，吸引线圈设有骨架，且铁心与线圈隔离，利于铁心和线圈的散热。

## 三、低压电器的触头系统

### 1. 触头系统材料

触头是电器的执行机构，起接通和断开电路的作用。若要使触头具有良好的接触性能，通常采用铜质材料制成。由于在使用中，铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜，使触头接触电阻增大，容易引起触头过热，影响电器的使用寿命，因此，对于电流容量较小的电器（如接触器、继电器等），常采用银质材料作为触头材料，因为银的氧化膜电阻率与纯银相似，从而避免触头表面氧化膜电阻率增加而造成触头接触不良。

### 2. 触头系统结构形式



触头系统主要有以下几种结构形式：

(1) 桥式触头 图 1-2a、图 1-2b 为桥式触头，其中图 a 为点接触的桥式触头，而图 b 为面接触的桥式触头。点接触型适用于电流不大且触头压力小的场合；面接触型适用于电流较大的场合。

(2) 指形触头 图 1-2c 为指形触头，其接触区为一直线，触头在接通与分断时产生滚动摩擦，可以去掉氧化膜，故其触头可以用纯铜制造，特别适合于触头分合次数多、电流大的场合。

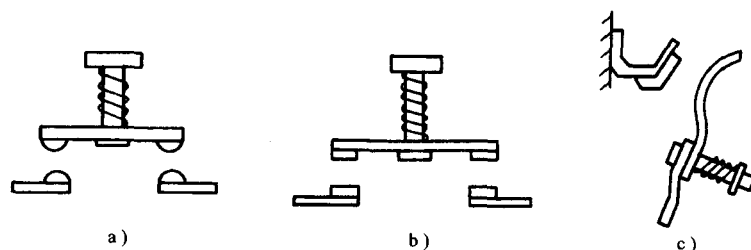


图 1-2 触头系统的结构形式

a) 桥式触头 b) 桥式触头 c) 指形触头

## 第二节 接 触 器

接触器是用于远距离频繁地接通与断开交直流主电路及大容量控制电路的一种自动切换电器。其主要控制对象是电动机，也可以用于控制其他电力负载、电热器、电照明、电焊机与电容器组等。接触器具有操作频率高、使用寿命长、工作可靠、性能稳定、维护方便等优点，同时还具有低电压释放保护功能，在电力拖动自动控制系统中被广泛应用。

按控制电流性质不同，接触器分交流接触器和直流接触器两大类。

### 一、交流接触器

交流接触器常用于远距离、频繁地接通和分断额定电压至 1140V、电流至 630A 的交流电路。如图 1-3 所示为交流接触器结构示意图及符号，它分别由电磁系统、触头系统、灭弧装置和其他部件等组成。

(1) 电磁系统 由吸引线圈、动铁心（衔铁）、静铁心组成，主要完成电能向机械能的转换。

(2) 触头系统 交流接触器触头系统包括主触头和辅助触头。主触头用于通断主电路，辅助触头用于控制辅助电路。主触头容量大，有三对或四对常开触头；辅助触头容量小，通常有两对常开、常闭触头，且分布在主触头两侧。

(3) 灭弧装置 容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置，对于小容量的接触器，常采用双断口桥形触头以利灭弧，其上有陶土灭弧罩。对于大容量的接触器常采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧结构。

(4) 其他部件 包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触头压力弹簧、传动机构及接线端子、外壳等。

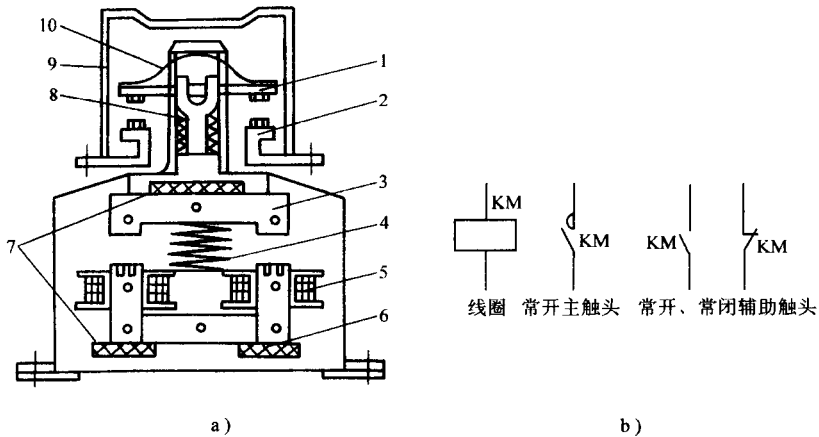


图 1-3 交流接触器

a) 结构示意图 b) 图形与文字符号

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

## 二、直流接触器

直流接触器主要用来远距离接通与分断额定电压至 440V、额定电流至 630 A 的直流电路或频繁地操作和控制直流电动机起动、停止、反转及反接制动。

直流接触器的结构和工作原理与交流接触器类似。在结构上也是由电磁系统、触头系统、灭弧装置等部分组成。只不过铁心的结构、线圈形状、触头形状和数量、灭弧方式以及吸力特性、故障形式等方面有所不同而已。

## 三、接触器的主要技术参数

接触器的主要技术参数有额定电压、额定电流、寿命、操作频率等。

(1) 额定电压 是指接触器主触头的额定电压。一般情况下，交流有 220V、380V、660V，在特殊场合额定电压可高达 1140V；直流主要有 110V、220V、440V 等。

(2) 额定电流 是指接触器主触头的额定工作电流。它是在一定的条件（额定电压、使用类别和操作频率等）下规定的，目前常用的电流等级为 10 ~ 800A。

(3) 吸引线圈的额定电压 交流有 36V、127V、220V 和 380V。直流有 24V、48V、220V 和 440V。

(4) 机械寿命和电气寿命 接触器的机械寿命一般可达数百万次以至一千万次；电气寿命一般是机械寿命的 5% ~ 20%。

(5) 线圈消耗功率 可分为启动功率和吸持功率。对于直流接触器，两者相等，对于交流接触器，一般启动功率约为吸持功率的 5 ~ 8 倍。

(6) 额定操作频率 接触器的额定操作频率是指每小时允许的操作次数，一般为 300 次/h、600 次/h、1200 次/h。

(7) 动作值 是指接触器的吸合电压和释放电压。规定接触器的吸合电压大于线圈额定电压的 85% 时应可靠吸合，释放电压不高于线圈额定电压的 70%。

#### 四、接触器的常用型号及电气符号

常用的交流接触器有 CJ10、CJ12、CJ10X、CJ20、CJX2、3TB、3TD、LC1-D、LC2-D 等系列。

CJ10、CJ12 系列为早期全国统一设计系列产品，但目前仍在广泛地使用。

CJ10X 系列为消弧接触器，是近年发展起来的新产品，适用于条件差、频繁启动和反接制动电路中。

CJ20 系列为全国统一设计的新产品。

常用的直流接触器有 CZ0、CZ18 系列、CZ21、CZ22 系列等。

近年来从国外引进的产品有德国的 B 系列、3TB 系列接触器，法国的 LC1-D、LC2-D 系列接触器，它们符合国际标准，具有许多特点。如 B 系列具有通用部件多和附件多的特点，这种接触器除触头系统外，其余零部件均可通用。临时装配的附件有辅助触头（高达 8 对）、气囊式延时器、机械联锁、自锁继电器，以及对主触头进行串、并联改接用的接线板等。其安装方式有螺钉固定式与卡轨式两种。此外，采用“倒装”式结构，即主触头系统在后面，磁系统在前面，其优点是：安装方便，更换线圈容易，并缩短主触头的连接导线。国产的 CJX1 和 CJX2 系列交流接触器也具有这些特点。

#### 五、接触器的选择

接触器是控制功能较强、应用广泛的自动切换电器，其额定工作电流或额定功率是随使用条件及控制对象的不同而变化的。为尽可能经济地、正确地使用接触器，必须对控制对象的工作情况及接触器的性能有较全面的了解，选用时应根据具体使用条件正确选择。主要考虑以下几方面：

- 1) 根据负载性质选择接触器类型。
- 2) 额定电压应不小于主电路工作电压。
- 3) 额定电流应不小于被控电路额定电流。对于电动机负载还应根据其运行方式适当增减。
- 4) 吸引线圈的额定电压、频率与所控制电路的选用电压、频率相一致。

### 第三节 继电器

继电器是一种根据电气量（电压、电流等）或非电气量（温度、压力、转速、时间等）的变化接通或断开控制电路的自动切换电器。

继电器的种类繁多、应用广泛。按输入信号的不同分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、温度继电器、速度继电器、压力继电器等。按工作原理可分为电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、热继电器和电子式继电器等。按用途可分为控制继电器、保护继电器等。按动作时间可分为瞬时继电器、延时继电器等。本节以电磁式继电器为主介绍几种常用的继电器。

## 一、电磁式继电器

电磁式继电器结构简单、价格低廉、使用维护方便，广泛地应用于控制系统中。常用的电磁式继电器有电压继电器、电流继电器、中间继电器等。

### 1. 电磁式继电器的结构与工作原理

电磁式继电器的结构和工作原理与接触器相似，即感受机构是电磁系统，执行机构是触头系统。它主要用于控制电路中，触头容量小（一般在 5A 以下），触头数量多且无主、辅之分，无灭弧装置，体积小，动作迅速、准确，控制灵敏、可靠等。

### 2. 电磁式电压、电流、中间继电器

(1) 电流继电器 电流继电器是根据输入电流大小而动作的继电器。电流继电器的线圈串入电路中，以反映电路电流的变化，其线圈匝数少、导线粗、阻抗小。按用途不同电流继电器可分为：欠电流继电器、过电流继电器。欠电流继电器的吸引线圈吸合电流为线圈额定电流的 30% ~ 65%，释放电流为额定电流的 10% ~ 20%。它用于欠电流保护或控制，如电磁吸盘中的欠电流保护。过电流继电器在电路正常工作时不动作，当电流超过某一定值时才动作，整定范围为 110% ~ 400% 的额定电流，其中交流过电流继电器为 110% ~ 400%  $I_N$ ，直流过电流继电器为 70% ~ 300%  $I_N$ 。过电流继电器用于过电流保护或控制，如起重机电路中的过电流保护。

(2) 电压继电器 电压继电器是根据输入电压大小而动作的继电器。与电流继电器类似，电压继电器可分为欠电压继电器、过电压继电器和零电压继电器。过电压继电器动作电压范围为 105% ~ 120%  $U_N$ ；欠电压继电器吸合电压动作范围为 20% ~ 50%  $U_N$ ，释放电压调整范围为 7% ~ 20%  $U_N$ ；零电压继电器当电压降低至 5% ~ 25%  $U_N$  时动作，它们分别起过压、欠压、零压保护。

电压继电器工作时并入电路中，因此线圈匝数多，导线细，阻抗大，用于反映电路中电压的变化。

(3) 中间继电器 中间继电器实质是一种电压继电器，触头对数多，触头容量较大（额定电流 5 ~ 10A），其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），起到信号中转的作用。

中间继电器体积小，动作灵敏度高，并在 10A 以下电路中可代替接触器起控制作用。

### 3. 电磁式继电器常用型号

常用电磁式继电器有：JL14、JL18、JZ15、3TH80、3TH82 及 JZC2 等系列。其中 JL14 系列为交直流电流继电器，JH18 系列为交直流过电流继电器，JT18 系列为直流通用继电器，JZ15 为中间继电器，3TH80、3TH82 与 JZC2 类似，为接触器式继电器。

### 4. 电磁式继电器的选择原则与符号

继电器是组成各种控制系统的基础元件，选用时应综合考虑继电器的适用性、功能特点、使用环境、工作制、额定工作电压及额定工作电流等因素，做到合理选择。电磁式继电器的图形与文字符号如图 1-4 所示。

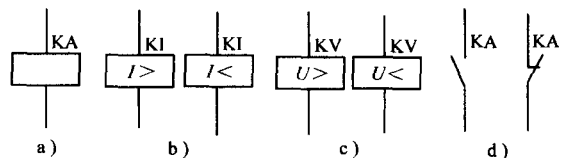


图 1-4 电磁式继电器的图形与文字符号  
a) 线圈一般符号 b) 过电流、欠电流继电器线圈  
c) 过电压、欠电压继电器线圈 d) 常开、常闭触头

## 二、时间继电器

时间继电器是一种根据电磁原理或机械动作原理来实现触头系统延时接通或断开的自动切换电器。其种类很多，按其动作原理可分为电磁式、空气阻尼式、电动式与电子式时间继电器。按延时方式可分为通电延时型与断电延时型两种时间继电器。

### 1. 直流电磁式时间继电器

直流电磁式时间继电器是利用电磁系统在电磁线圈断电后磁通延缓变化的原理而工作的。在直流电磁式电压继电器的铁心上增加一个阻尼铜套，构成直流电磁式时间继电器。当线圈通电时，因磁路中气隙大、磁阻大、磁通小，铜套阻尼作用不明显，其固有动作时间约为 0.2s，近乎瞬动。而当线圈断电时，磁通变化量大，铜套阻尼作用显著，使衔铁延时释放，从而实现延时作用。

电磁式时间继电器具有结构简单、运行可靠、寿命长、允许通电次数多等优点，但延时时短（最长不超过 5s），延时精度不高，体积大且仅适用于直流电路中作断电延时时间继电器，从而限制了它的应用。

常用的直流电磁式时间继电器有 JT3 和 JT18 系列。

### 2. 空气阻尼式时间继电器

空气阻尼式时间继电器也称气囊式时间继电器，它是利用空气阻尼原理获得延时。它由电磁机构、延时机构和触头系统三部分组成。可以做成通电延时型，也可以做成断电延时型，电磁机构可以是直流的，也可以是交流的。现以 JS23 系列通电延时型时间继电器为例介绍其工作原理。如图 1-5 所示为 JS23 系列通电延时型时间继电器结构原理图及符号。

JS23 系列时间继电器由一个具有四个瞬动触头的中间继电器为主体，加上一个延时机构组成。延时机构包括波纹状气囊、排气阀门、具有细长环形槽的延时片、调时旋钮及动作弹簧等。图 1-5a 为电磁线圈处于断电状态，衔铁释放，阀杆 8 上移，压缩波纹状气囊 6 与阀门弹簧 7，使阀门打开，推出气囊内空气，为通电延时作准备。当继电器线圈通电后，衔铁被吸，松开阀杆，阀门弹簧复原，阀门被关闭，气囊在动作弹簧 5 的作用下有伸长的趋势。此时外界空气在气囊内外压力差的作用下经过滤气片 2 及延时片的延时环形槽渐渐进入气囊，当气囊伸长到能触动脱扣机构时，延时触头动作。从继电器线圈通电至延时触头动作这段时间即为延时时间。

延时时间的调节是通过转动调时旋钮 3 改变空气流经延时片上环形槽长度来实现，调时旋钮上的铭牌的分度线能粗略地指示出整定的延时值。

空气阻尼式时间继电器结构简单，延时范围大，寿命长，价格低廉，且不受电源电压及频率波动的影响，但延时精度较低，一般适用于延时精度不高的场合。

常用的空气阻尼式时间继电器为 JS23 系列，用于替代 JSJ-A、JSJ-B、JS-16 系列。

### 3. 电子式时间继电器

电子式时间继电器具有体积小、机械结构简单、延时长、调节范围宽、精度高、使用寿命长等特点，并随电子技术飞速发展，应用必将日益广泛。

电子式时间继电器按延时原理分有阻容充电延时型和数字电路型；按输出形式分有触头型和无触头型。如图 1-6 所示为采用场效应管做成的通电延时型时间继电器电路图。JS20 系

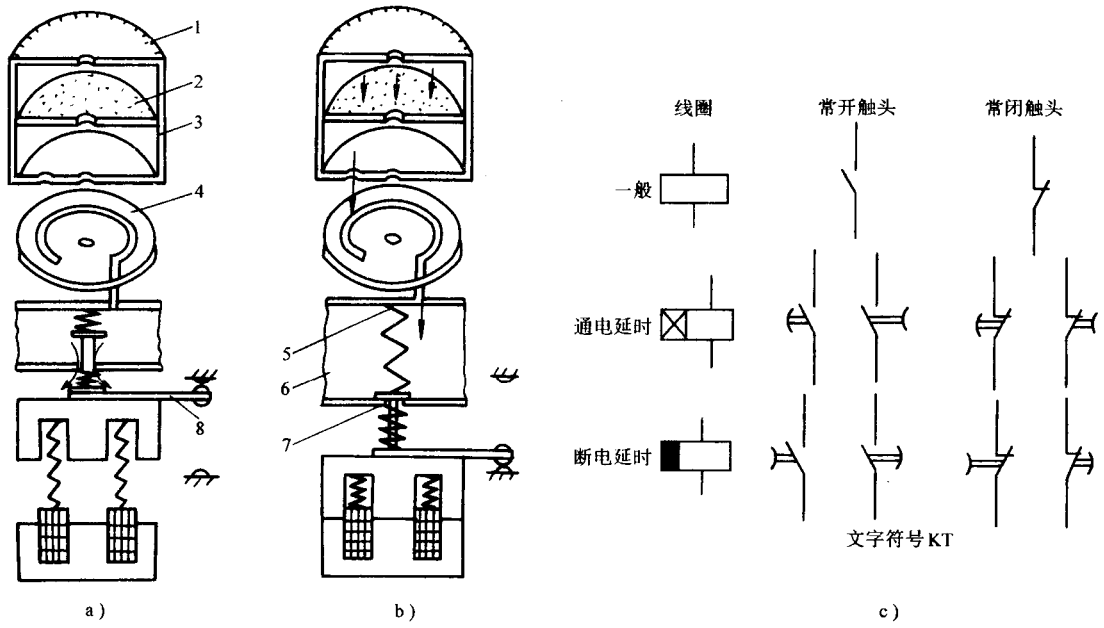


图 1-5 JS23 系列通电延时型时间继电器

a) 排气阶段示意图 b) 进行延时动作阶段示意图 c) 时间继电器图形文字符号

1—铭牌 2—滤气片 3—调时旋钮 4—延时片 5—动作弹簧 6—波纹状气囊 7—阀门弹簧 8—阀杆

列场效应管时间继电器由稳压电源、RC 充放电电路、电压鉴别电路、输出电路和指示电路等部分组成。

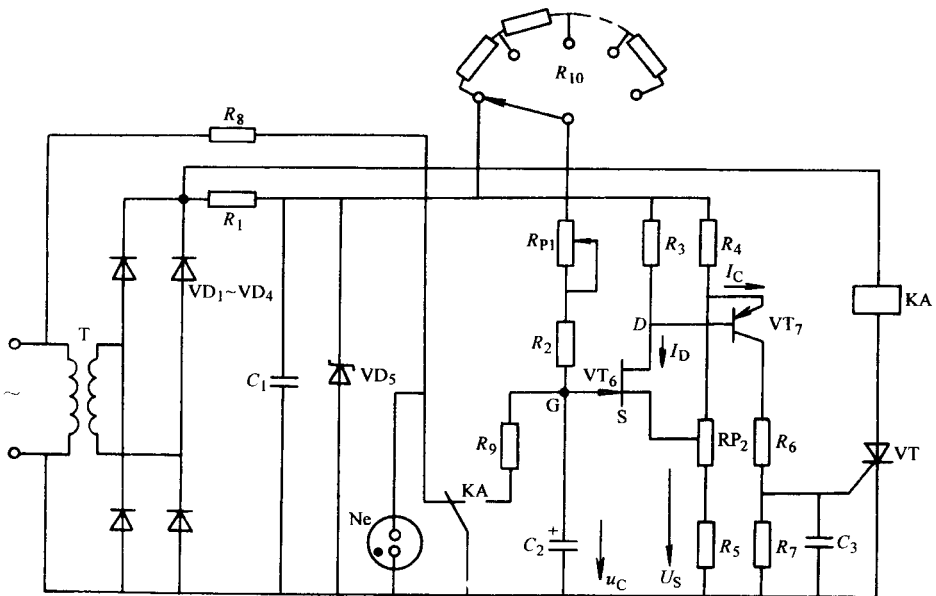


图 1-6 JS20 系列场效应晶体管时间继电器电路原理图

电路工作原理：接通电源，通过稳压二极管  $VD_5$  提供的稳定电压经波段开关选择的串联电阻  $R_{10}$ 、 $R_{P1}$ 、 $R_2$  向  $C_2$  充电，电容  $C_2$  上的电压由零按指数规律上升，此时，场效应

管  $VT_6$  的负栅偏压值逐渐减小,但只要  $U_{GS}$  的绝对值还大于场效应管的阻断电压  $U_P$  的绝对值,即  $|U_C - U_S| > |U_P|$ ,则场效应管  $VT_6$  就不会导通,直至  $U_C$  上升至  $|U_C - U_S| < |U_P|$  时,晶体管  $VT_6$  开始导通产生电流  $I_D$ ,  $D$  点电位下降使  $VT_7$  趋于导通,并使场效应管的  $U_S$  降低,使负栅偏压越来越小,晶体管  $VT_7$  迅速由截止变为导通,并触发晶闸管  $VT$  使其导通,同时  $KA$  动作。从时间继电器接通电源  $C_2$  开始充电到  $KA$  动作为止的这段时间即为通电延时动作时间。 $KA$  动作后,  $C_2$  经  $KA$  常开触头对电阻  $R_9$  放电,同时氛泡  $Ne$  起辉,并使  $VT_6$ 、 $VT_7$  截止为下次延时作准备。此时晶闸管  $VT$  仍保持导通,除非切断电源,使电路恢复到原来状态,继电器  $KA$  才释放。

JS20 系列电子式时间继电器产品品种齐全、延时时间长、线路简单、调节方便、温度补偿性能好,延时误差小,触头容量较大。但延时易受温度与电源波动的影响,抗干扰能力差,维护不便,价格较高。常用的产品除 JS20 外,还有 JSS 系列数字式时间继电器、引进的 ST3P 系列电子式时间继电器以及 SCF 系列高精度电子式时间继电器等。

#### 4. 时间继电器的选择原则

时间继电器型式多样,各具特点,选择时应从以下几方面考虑:

- 1) 根据控制电路对延时触头的要求选择延时方式,即通电延时型或断电延时型。
- 2) 根据延时范围和精度要求选择继电器类型。
- 3) 根据使用场合、工作环境选择时间继电器的类型。如电源电压波动大的场合可选空气阻尼式或电动式时间继电器,电源频率不稳定场合不宜选用电动式;环境温度变化大的场合不宜选用空气阻尼式和电子式时间继电器。

### 三、热继电器

热继电器是利用电流的热效应原理来切断电路的保护电器。电动机在运行中常会遇到过载情况,但只要过载不严重,绕组不超过允许温升,这种过载是允许的。但如果过载情况严重,时间长,则会加速电动机绝缘的老化,甚至烧毁电动机。热继电器就是专门用来对连续运行的电动机实现过载及断相保护,以防电动机因过热而烧毁的一种保护电器。

#### 1. 热继电器的结构及工作原理

热继电器主要由热元件、双金属片和触头组成,如图 1-7 所示。

热元件由发热电阻丝做成。双金属片做为热继电器的感受机构,由两种热膨胀系数不同的金属辗压而成,当双金属片受热膨胀时,会产生弯曲变形。在实际应用中,把热元件串接于电动机的主电路中,而常闭触头串接于电动机控制电路中。电动机正常运行时产生的热量使双金属片弯曲变形的程度不足以使热继电器触头动作。当电动机过载时,双金属片弯曲位移增大,推动导板使常闭触头断开,切断电动机控制回路,从而实现了对电动机的过载保护。

热继电器动作后,经一段时间冷却自动复位或经手动复位。其动作电流的调节可通过旋转凸轮旋钮于不同位置来实现。

在三相异步电动机的电路中,一般采用两相结构的热继电器(即在两相主电路中串接热元件),在特殊情况下,在没有串接热元件的一相有可能过载(如三相电源严重不平衡、电动机绕组内部短路等故障),则热继电器不动作,此时需采用三相结构的热继电器。

#### 2. 带断相保护的热继电器

电动机断相运行是电动机烧毁的主要原因之一。对于电动机绕组为 Y 形接法的过载保

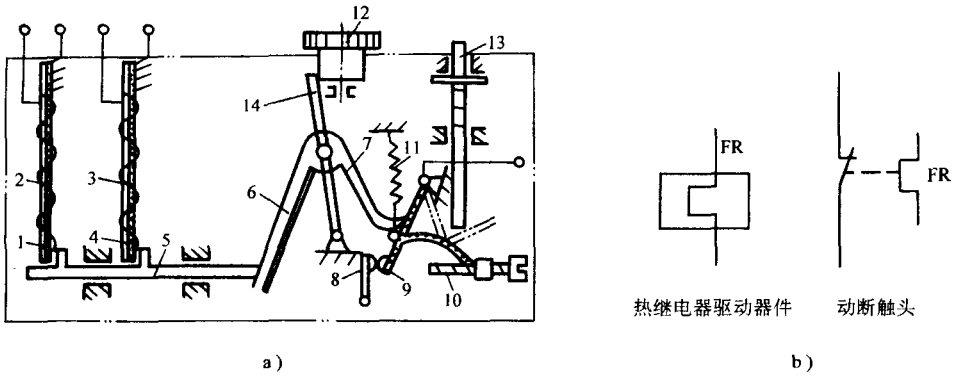


图 1-7 双金属片热继电器

a) 结构示意图 b) 图形与文字符号

- 1、4—主双金属片 2、3—加热元件 5—导板 6—温度补偿片 7—推杆 8—静触头 9—动触头  
10—调节螺钉 11—弹簧 12—凸轮旋钮 13—手动复位按钮 14—支撑杆

护采用三相结构热继电器即可；对于 $\Delta$ 形接法的电动机，当发生故障时，若线电流达到额定电流，则在电动机绕组内部，电流较大的那一相绕组的相电流将超过额定相电流。因热元件串接于电源进线中，故热继电器不动作，此时电动机长期运行绕组会因过热而烧毁。为此需采用带断相保护的热继电器。

JR16 系列为带断相保护的热继电器。带断相保护热继电器的导板结构采用是差动形式，如图 1-8 所示。图中元件 1、2、4 组成差动结构，元件 3 为双金属片，虚线表示动作位置。图 1-8a 为断电时的位置。当电流为额定电流时三个热元件正常发热，其端部均向左弯曲并推动上、下导板同时左移，但程度不足以使继电器触头动作，如图 1-8b 所示。当电流过载到达整定的动作值时，双金属片弯曲较大，推动导板使触头动作，实现过载保护，如图 1-8c 所示。当一相（设 W 相）断路时，该相热元件温度由原来正常发热状态下降，双金属片由弯曲状态伸直，推动上导板向右移；由于 U、V 相电流较大，故推动下导板向左移，使杠杆扭转，继电器动作，从而实现断相保护，如图 1-8d 所示。

### 3. 热继电器的主要技术参数

热继电器的主要技术参数包括额定电压、额定电流、相数、热元件编号及整定电流调节范围等。

热继电器的整定电流是指热继电器的热元件允许长期通过又不致引起继电器动作的最大电流值。对于某一热元件，可通过调节其电流调节旋钮，在一定范围内调节其整定电流。

### 4. 常用型号及电气符号

常用的热继电器有 JRS1、JR20、JR16、JR15、JR14 等系列，引进产品有 T 系列，3UP、LRI-D 等系列。

JR20、JRS1 系列具有断相保护、温度补偿、整定电流值可调、手动脱扣、手动复位、动作后的信号指示等功能。安装方式上除采用分立结构外，还增设了组合式结构，可通过导电杆与挂钩直接插接，可直接电气连接在 CJ20 接触器上。

根据 ABB 公司技术标准生产的新型 T 系列热继电器的规格齐全，其整定电流可达 500A，并常与 B 系列交流接触器组合成电磁起动器。另外，作为 T 系列的派生产品 T-DV



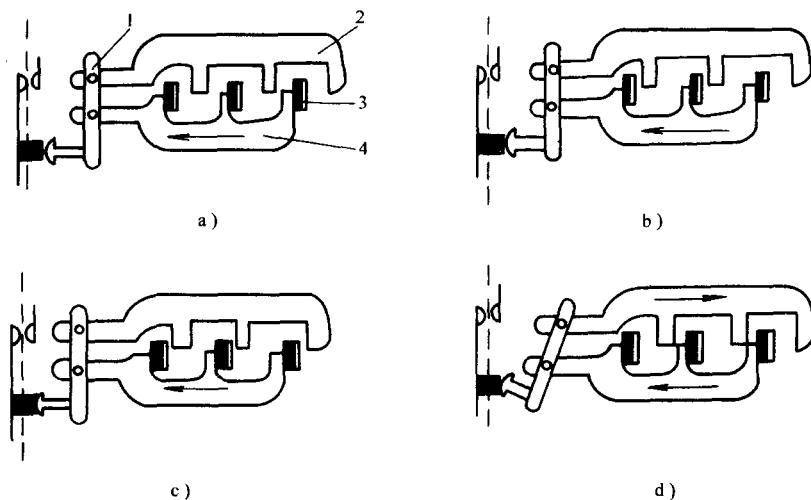


图 1-8 带断相保护的热继电器结构图

a) 断电 b) 正常运行 c) 过载 d) 单相断电  
1—杠杆 2—上导板 3—双金属片 4—下导板

系列，其整定电流可达 850A，也是与新型接触器 EB 系列、EA 系列配套的产品。T 系列热继电器符合 IEC、VDE 等国标准，可取代同类进口产品。

#### 5. 热继电器的选择原则

热继电器主要用于电动机的过载保护，使用中应考虑电动机的工作环境、起动情况、负载性质等因素，具体应按以下几个方面来选择。

1) 热继电器结构形式的选择：星形联结的电动机可选用两相或三相结构热继电器；三角形联结的电动机应选用带断相保护装置的三相结构热继电器。

2) 根据被保护电动机的实际起动时间选取 6 倍额定电流下具有相应可返回时间的热继电器。一般热继电器的可返回时间大约为 6 倍额定电流下动作时间的 50% ~ 70%。

3) 热元件额定电流一般可按下式确定

$$I_N = (0.95 \sim 1.05) I_{MN}$$

式中  $I_N$ ——热元件额定电流；

$I_{MN}$ ——电动机的额定电流。

对于工作环境恶劣、起动频繁的电动机，则按下式确定

$$I_N = (1.15 \sim 1.5) I_{MN}$$

热元件选好后，还需用电动机的额定电流来调整它的整定值。

4) 对于重复短时工作的电动机(如起重机电动机)，由于电动机不断重复升温，热继电器双金属片的温升跟不上电动机绕组的温升，电动机将得不到可靠的过载保护。因此，不宜选用双金属片热继电器，而应选用过电流继电器或能反映绕组实际温度的温度继电器来进行保护。

#### 四、速度继电器

速度继电器是根据电磁感应原理制成的，主要用作笼型异步电动机的反接制动，故又称为反接制动继电器。