



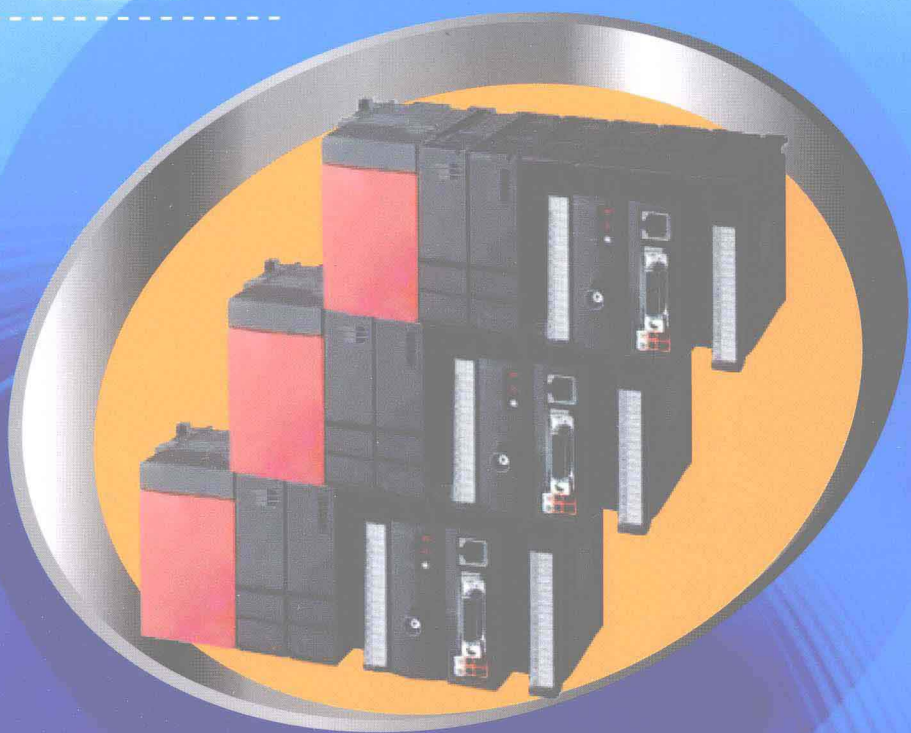
高职高专“十一五”规划教材

电气控制与PLC应用

DIANQI KONGZHI YU PLC YINGYONG

孙康岭 张海鹏 主编

谭毅 副主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

电气控制与 PLC 应用

孙康岭 张海鹏 主编
谭 毅 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书从实际应用和教学的角度,首先介绍了常用低压电器的原理、结构、电气参数、选用原则,介绍了典型继电器接触器控制电路;然后以西门子 S7-200 系列 PLC 为对象,介绍了 PLC 的基础知识、指令系统、编程软件的使用、数字量控制系统梯形图的多种程序设计方法,将 PLC 技术与电气控制相关知识紧密结合起来。

在强调基本应用知识、基本操作技能的同时,本书对子程序和中断程序的设计方法、高速计数器和高速脉冲输出的应用、PID 控制技术等内容结合实例作了详细的介绍,并配备了精选的习题和内容丰富的实验指导书。另外,本书有配套电子教案,可赠送给用书的学校和老师。

本书可作为高职高专院校机电类专业、电气自动化专业及其他相关专业的教材,也可供工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 应用/孙康岭,张海鹏主编. —北京:化学工业出版社,2009.2
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-04639-0

I. 电… II. ①孙…②张… III. ①电气控制-高等学校:技术学院-教材②可编程控制器-高等学校:技术学院-教材 IV. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 004732 号

责任编辑:韩庆利
责任校对:徐贞珍

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

装订:北京市顺板装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 9½ 字数 235 千字 2009 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:17.00 元

版权所有 违者必究

编写人员名单

主 编	孙康岭	张海鹏			
副主编	谭 毅				
参 编	耿国卿	刘永海	裴桂玲	杨兆伟	
	李 琦	李文峰	韩冬雁	张 晔	
	程春艳	亓 涛	王凤兰	张群英	

前 言

计算机技术已深入应用到社会生活的方方面面，以可编程序控制器（PLC）为核心的新型电气控制系统已逐步取代了传统的继电器控制系统。

本书以广泛应用的具有较高性价比的西门子 S7-200 系列 PLC 为对象，介绍了 PLC 在电气控制中的应用。

本书主要具有如下特点。

（1）从实际应用和教学的角度，介绍了常用低压电器的原理、结构、电气参数、选用原则，介绍了典型继电器接触器控制电路。之所以这样做是因为 PLC 只是作为控制电路的核心，还需要一定数量的常用低压电器的配合才能达到控制外围设备的目的；而且 PLC 的理论体系中大量采用了继电器等传统元件的概念，学习传统元件能更好地理解 PLC；再者，无论是改造传统的控制电路，还是重新设计 PLC 控制系统，典型继电器接触器控制电路都具有一定的借鉴意义。基于以上原因，常用低压电器及继电器接触器控制电路部分的学习是必需的，但要进行精简，作为学习 PLC 的基础。本书就是这样处理的。

（2）以西门子 S7-200 系列 PLC 为例，介绍了 PLC 的基础知识、指令系统、编程软件的使用、数字量控制系统梯形图的多种程序设计方法，顺序控制设计法是重中之重。

（3）在强调基本应用知识、基本操作技能的同时，本书对子程序和中断程序的设计方法、高速计数器和高速脉冲输出的应用、PID 控制技术等难点内容结合实例作了详细的介绍，可操作性强，实用价值高。

（4）配备了精选的习题和内容丰富的实验指导书，便于教学和自学。

总之，本书理论联系实际，结合实例，实习操作内容丰富，叙述通俗易懂，易于学生练习掌握，突出了实践教学。另外，本书配套有电子教案，可赠送给用书的学校和老师，如有需要可发邮件至 hqlbook@126.com 索取。

本书可作为高职高专院校机电类专业、电气自动化专业及其他相关专业的教材，也可供工程技术人员参考使用。

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2009 年 1 月

目 录

第1章 电气控制基础	1
1.1 电器基本知识	1
1.1.1 电器的分类	1
1.1.2 电器的作用	2
1.2 接触器	3
1.2.1 交流接触器	3
1.2.2 直流接触器	5
1.2.3 接触器的符号与型号说明	5
1.2.4 接触器的选用	6
1.3 继电器	7
1.3.1 电磁式继电器	7
1.3.2 时间继电器	9
1.3.3 其他非电磁类继电器	10
1.4 开关	13
1.4.1 低压隔离器	13
1.4.2 低压断路器	14
1.5 熔断器	16
1.6 主令电器	18
习题	23
第2章 基本电气控制电路	24
2.1 电气图绘制规则和符号	24
2.2 基本控制规律	25
2.2.1 手动长动与点动控制线路	25
2.2.2 自锁控制电路	26
2.2.3 互锁控制电路	27
2.2.4 顺序控制电路	28
2.2.5 多地控制电路	29
2.2.6 行程控制电路	30
习题	30
第3章 PLC 基础	31
3.1 PLC 概述	31
3.2 PLC 的基本结构	35
3.3 PLC 的工作原理	40
3.3.1 扫描工作方式	40
3.3.2 S7-200PLC 的工作方式	42
3.3.3 PLC 的 I/O 滞后现象	42
3.4 PLC 控制系统与电器控制系统	

的比较	43
习题	44
第4章 S7-200 PLC 的配置及基本指令	45
4.1 概述	45
4.2 S7-200 系列 PLC 的硬件配置	46
4.3 S7-200 系列 PLC 的编程元件	50
4.3.1 S7-200 系列 PLC 的存储器空间	50
4.3.2 S7-200 中的数据	52
4.4 位逻辑指令	55
4.4.1 标准触点指令	55
4.4.2 输出指令	56
4.4.3 立即指令	57
4.4.4 取反及跳变指令	57
4.4.5 复杂逻辑指令	57
4.5 定时器和计数器	61
4.5.1 定时器	61
4.5.2 计数器	64
习题	67
第5章 STEP 7-Micro/WIN 编程软件的使用	68
5.1 STEP7-Micro/WIN32 编程软件的安装	68
5.2 STEP7-Micro/WIN32 编程软件的主要功能	69
5.3 STEP7-Micro/WIN32 编程软件的使用	71
习题	75
第6章 数字量控制系统梯形图程序设计方法	76
6.1 梯形图的基本概念和编程规则	76
6.2 PLC 程序的经验设计法	77
6.3 PLC 程序的继电器电路转换法	79
6.3.1 设计方法和步骤	79
6.3.2 设计注意事项	82
6.4 PLC 程序的顺序控制设计法与顺序功能图	83
6.4.1 顺序控制设计法的设计步骤	83
6.4.2 顺序控制设计法中顺序功能图的绘制	84
6.5 顺序控制梯形图的编程方法	86
6.5.1 使用启保停电路的编程方法	86
6.5.2 以转换为中心的顺序控制梯形图设计方法	89
6.5.3 使用 SCR 指令的顺序控制梯形图设计方法	92
习题	96
第7章 PLC 的功能指令	97
7.1 数据处理指令	97
7.2 程序控制类指令	105
7.2.1 空操作	105
7.2.2 结束及暂停	105

7.2.3 看门狗	106
7.2.4 跳转	106
7.2.5 子程序指令	106
7.2.6 程序循环	108
7.2.7 与 ENO 指令	108
7.3 特殊指令	108
7.3.1 时钟指令	108
7.3.2 中断	109
7.3.3 高速计数	112
7.3.4 高速脉冲输出	117
7.3.5 PID 回路指令	119
习题	123
第 8 章 PLC 控制系统的设计	124
8.1 PLC 控制系统设计的基本原则与步骤	124
8.2 PLC 的选择	126
8.3 提高 PLC 控制系统可靠性的措施	129
习题	133
附录	134
附录 A 实验指导书	134
A.1 编程软件的练习	134
A.2 定时器、计数器应用实验	135
A.3 使用启保停电路的顺控程序的编程实验	136
A.4 以转换为中心的顺序控制程序的编程实验	137
A.5 彩灯控制程序的编程实验	137
A.6 子程序的编程实验	138
A.7 中断程序的编程实验	138
附录 B S7-200 的特殊存储器 (SM) 标志位	139
参考文献	143

第 1 章

电气控制基础

以继电器、接触器为基础的电气控制技术具有相当重要的地位，可编程序控制器（PLC）是计算机技术与继电器、接触器控制技术相结合的产物，其输入、输出与低压电器密切相关。掌握继电接触器控制技术也是学习和掌握 PLC 应用技术必需的基础。

1.1 电器基本知识

电器是根据外界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接通、切断、保护、控制、调节等作用的设备。

1.1.1 电器的分类

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，结构各异。下面是几种常用的电器分类。

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。例如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器等。

（2）低压电器 用于交流 50Hz（或 60Hz），额定电压为 1200V 以下；直流额定电压 1500V 及以下的电路中的电器。例如接触器、继电器等。

2. 按动作原理分类

（1）手动电器 用手或依靠机械力进行操作的电器，如手动开关、控制按钮、行程开关等主令电器。

（2）自动电器 借助于电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的电器，如接触器、各种类型的继电器、电磁阀等。

3. 按用途分类

（1）控制电器 用于各种控制电路和控制系统的电器，例如接触器、继电器、电动机启动器等。

（2）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、万能转换开关等。

（3）保护电器 用于保护电路及用电设备的电器，如熔断器、热继电器、各种保护继电器、避雷器等。

（4）执行电器 用于完成某种动作或传动功能的电器，如电磁铁、电磁离合器等。

（5）配电电器 用于电能的输送和分配的电器，例如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动空气开关等。

此种分类方式说法不一，也有人把主令电器、执行电器归入控制电器。

4. 按工作原理分类

（1）电磁式电器 依据电磁感应原理来工作，如接触器、各种类型的电磁式继电器等。

（2）非电量控制电器 依靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，如刀开关、行

程开关、按钮、速度继电器、温度继电器等。

1.1.2 电器的作用

低压电器能够依据操作信号或外界现场信号的要求，自动或手动地改变电路的状态、参数，实现对电路或被控对象的控制、保护、测量、指示、调节等。低压电器的作用如下。

- (1) 控制作用 如电梯的上下移动、快慢速自动切换与自动停层等。
- (2) 保护作用 能根据设备的特点，对设备、环境以及人身实行自动保护，如电动机的过热保护、电网的短路保护、漏电保护等。
- (3) 测量作用 利用仪表及与之相适应的电器，对设备、电网或其他非电参数进行测量，如电流、电压、功率、转速、温度、湿度等。
- (4) 调节作用 低压电器可对一些电量和非电量进行调整，以满足用户的要求，如柴油机油门的调整、房间温湿度的调节、照度的自动调节等。
- (5) 指示作用 利用低压电器的控制、保护等功能，检测出设备运行状况与电气电路工作情况，如绝缘监测、保护掉牌指示等。
- (6) 转换作用 在用电设备之间转换或对低压电器、控制电路分时投入运行，以实现功能切换，如励磁装置手动与自动的转换，供电的市电与自备电的切换等。

当然，低压电器作用远不止这些，随着科学技术的发展，新功能、新设备会不断出现，常用低压电器的主要种类和用途如表 1-1 所示。

表 1-1 常用低压电器的主要种类和用途

序号	类 别	主 要 品 种	用 途
1	断路器	塑料外壳式断路器	主要用于电路的过负荷保护、短路、欠电压、漏电压保护,也可用于不频繁接通和断开的电路
		框架式断路器	
		限流式断路器	
		漏电保护式断路器	
		直流快速断路器	
2	刀开关	开关板用刀开关	主要用于电路的隔离,有时也能分断负荷
		负荷开关	
		熔断器式刀开关	
3	转换开关	组合开关	主要用于电源切换,也可用于负荷通断或电路的切换
		换向开关	
4	主令电器	按钮	主要用于发布命令或程序控制
		限位开关	
		微动开关	
		接近开关	
		万能转换开关	
5	接触器	交流接触器	主要用于远距离频繁控制负荷,切断带负荷电路
		直流接触器	
6	启动器	磁力启动器	主要用于电动机的启动
		星三启动器	
		自耦减压启动器	

续表

序号	类 别	主 要 品 种	用 途
7	控制器	凸轮控制器	主要用于控制回路的切换
		平面控制器	
8	继电器	电流继电器	主要用于控制电路中,将被控量转换成控制电路所需电量或开关信号
		电压继电器	
		时间继电器	
		中间继电器	
		温度继电器	
		热继电器	
9	熔断器	有填料熔断器	主要用于电路短路保护,也用于电路的过载保护
		无填料熔断器	
		半封闭插入式熔断器	
		快速熔断器	
		自复熔断器	
10	电磁铁	制动电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等地方
		起重电磁铁	
		牵引电磁铁	

对低压配电电器要求是灭弧能力强、分断能力好,热稳定性能好、限流准确等。对低压控制电器,则要求其动作可靠、操作频率高、寿命长并具有一定的负载能力。

1.2 接 触 器

接触器,是一种用来自动接通或断开大电流电路的电器。它可以频繁地接通或分断交直流电路,并可实现远距离控制。其主要控制对象是电动机,也可用于电热设备、电焊机、电容器组等其他负载。它还具有低电压释放保护功能,接触器具有控制容量大、过载能力强、寿命长、设备简单经济等特点,是电力拖动自动控制线路中使用最广泛的电器元件。

按照所控制电路的种类不同,接触器可分为交流接触器和直流接触器两大类。

1.2.1 交流接触器

1. 结构

分为 3 部分,如图 1-1 所示。

(1) 电磁系统 包括动、静铁芯,吸引线圈和反作用弹簧,其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 包括主触点和辅助触点。主触点用于通断主电路,通常为三对常开触点(动合触点)。辅助触点用于控制电路,起联锁、逻辑运算作用,故又称联锁触点,一般常开触点、常闭触点(动断触点)都有。

(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,常采用双断口触点灭弧、电动力灭弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧。对于大容量的接触器,

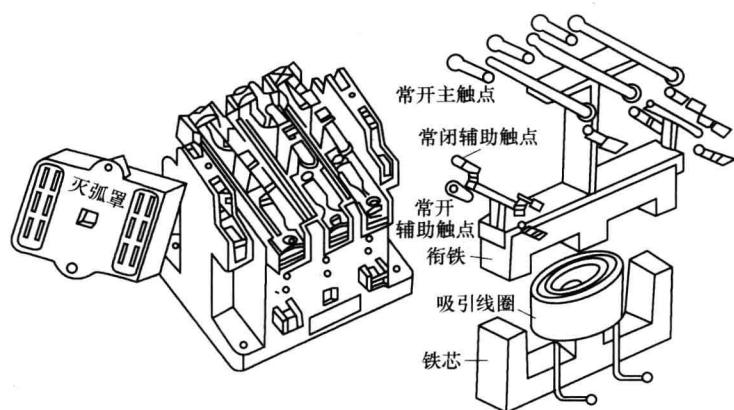


图 1-1 交流接触器结构

采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧。

2. 工作原理

电磁式接触器的工作原理如下：线圈通电后，在铁芯中产生磁通及电磁吸力。此电磁吸力克服弹簧反力使得衔铁吸合，带动触点机构动作，常闭触点打开，常开触点闭合，互锁或接通线路。线圈失电或线圈两端电压显著降低时，电磁吸力小于弹簧反力，使得衔铁释放，触点机构复位，断开线路或解除互锁。

3. 分类

交流接触器的种类很多，其分类方法也不尽相同。按照一般的分类方法，大致有以下几种。

（1）按主触点极数分 可分为单极、双极、三极、四极和五极接触器。单极接触器主要用于单相负荷，如照明负荷、焊机等，在电动机能耗制动中也可采用；双极接触器用于绕线式异步电机的转子回路中，启动时用于短接启动绕组；三极接触器用于三相负荷，例如在电动机的控制及其他场合，使用最为广泛；四极接触器主要用于三相四线制的照明线路，也可用来控制双回路电动机负载；五极交流接触器用来组成自耦补偿启动器或控制双笼型电动机，以变换绕组接法。

（2）按灭弧介质分 可分为空气式接触器、真空式接触器等。依靠空气绝缘的接触器用于一般负载，而采用真空绝缘的接触器常用在煤矿、石油、化工企业及电压在 660V 和 1140V 等一些特殊的场合。

（3）按有无触点分 可分为有触点接触器和无触点接触器。常见的接触器多为有触点接触器，而无触点接触器属于电子技术应用的产物，一般采用晶闸管作为回路的通断元件。由于可控硅导通时所需的触发电压很小，而且回路通断时无火花产生，因而可用于高操作频率的设备和易燃、易爆、无噪声的场合。

4. 基本参数

（1）额定电压 指主触点额定工作电压，应等于负载的额定电压。一只接触器常规定几个额定电压，同时列出相应的额定电流或控制功率。通常，最大工作电压即为额定电压。常用的额定电压值为 220V、380V、660V 等。

（2）额定电流 接触器触点在额定工作条件下的电流值。380V 三相电动机控制电路中，额定工作电流可近似等于控制功率的两倍。常用额定电流等级为 5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A、600A。

(3) 通断能力 可分为最大接通电流和最大分断电流。最大接通电流是指触点闭合时不会造成触点熔焊时的最大电流值；最大分断电流是指触点断开时能可靠灭弧的最大电流。一般通断能力是额定电流的 5~10 倍。当然，这一数值与开断电路的电压等级有关，电压越高，通断能力越小。

(4) 动作值 可分为吸合电压和释放电压。吸合电压是指接触器吸合前，缓慢增加吸合线圈两端的电压，接触器可以吸合时的最小电压。释放电压是指接触器吸合后，缓慢降低吸合线圈的电压，接触器释放时的最大电压。一般规定，吸合电压不低于线圈额定电压的 85%，释放电压不高于线圈额定电压的 70%。

(5) 吸引线圈额定电压 接触器正常工作时，吸引线圈上所加的电压值。一般该电压数值以及线圈的匝数、线径等数据均标于线包上，而不是标于接触器外壳铭牌上，使用时应加以注意。

(6) 操作频率 接触器在吸合瞬间，吸引线圈需消耗比额定电流大 5~7 倍的电流，如果操作频率过高，则会使线圈严重发热，直接影响接触器的正常使用。为此，规定了接触器的允许操作频率，一般为每小时允许操作次数的最大值。

(7) 寿命 包括电寿命和机械寿命。目前接触器的机械寿命已达一千万次以上，电寿命约是机械寿命的 5%~20%。

1.2.2 直流接触器

直流接触器的结构和工作原理基本上与交流接触器相同。在结构上也是由电磁机构、触点系统和灭弧装置等部分组成。由于直流电弧比交流电弧难以熄灭，直流接触器常采用磁吹式灭弧装置灭弧。

1.2.3 接触器的符号与型号说明

1. 接触器的符号

接触器的图形符号如图 1-2 所示，文字符号为 KM。

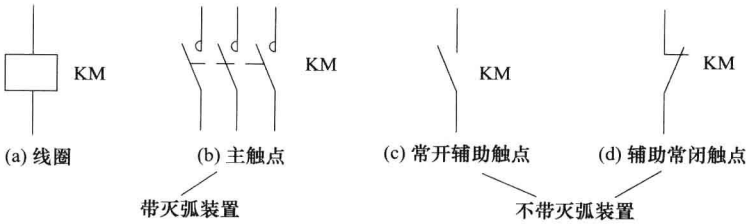


图 1-2 接触器的图形符号

2. 接触器的型号说明

图 1-3 是交流接触器的型号组成，图 1-4 是直流接触器的型号组成。

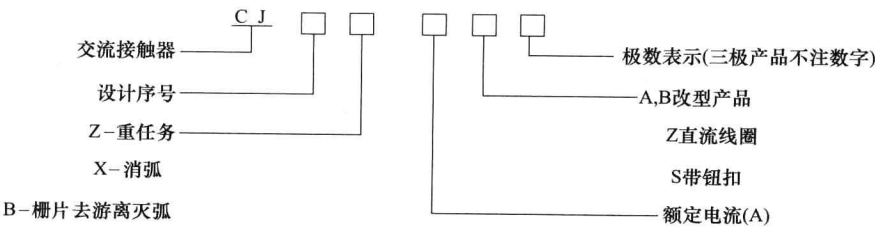


图 1-3 交流接触器型号组成

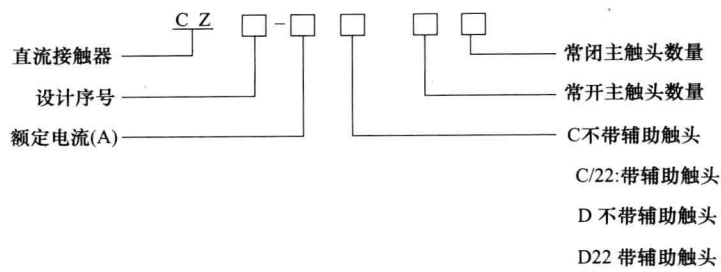


图 1-4 直流接触器型号组成

例如：CJ10Z-40/3 为交流接触器，设计序号 10，重任务型，额定电流 40A，主触点为 3 极。CJ12T-250/3 为改型后的交流接触器，设计序号 12，额定电流 250A，3 个主触点。

我国生产的交流接触器常用的有 CJ10、CJ12、CJX1、CJ20 等系列及其派生系列产品，CJ0 系列及其改型产品已逐步被 CJ20、CJX 系列产品取代。上述系列产品一般具有三对常开主触点，常开、常闭辅助触点各两对。直流接触器常用的有 CZ0 系列，分单极和双极两大类，常开、常闭辅助触点各不超过两对。

除以上常用系列外，我国近年来还引进了一些生产线，生产了一些满足 IEC 标准的交流接触器，下面作以简单介绍。

CJ12B-S 系列锁扣接触器用于交流 50Hz，电压 380V 及以下、电流 600A 及以下的配电电路中，供远距离接通和分断电路用，并适宜于不频繁地启动和停止交流电动机。具有正常工作时吸引线圈不通电、无噪声等特点。其锁扣机构位于电磁系统的下方。锁扣机构靠吸引线圈通电，吸引线圈断电后靠锁扣机构保持在锁住位置。由于线圈不通电，不仅无电力损耗，而且消除了磁噪声。

由德国引进的西门子公司的 3TB 系列、BBC 公司的 B 系列交流接触器等具有 20 世纪 80 年代初水平。它们主要供远距离接通和分断电路，并适用于频繁地启动及控制交流电动机。3TB 系列产品具有结构紧凑、机械寿命和电气寿命长、安装方便、可靠性高等特点。额定电压为 220~660V，额定电流为 9~630A。

1.2.4 接触器的选用

接触器的选用，应根据负荷的类型和工作参数合理选用。具体分为以下步骤。

1. 选择接触器的类型

根据电路中负载电流的种类选择接触器的类型。交流接触器按负荷种类一般分为一类、二类、三类和四类，分别记为 AC1、AC2、AC3 和 AC4。一类交流接触器对应的控制对象是无感或微感负荷，如白炽灯、电阻炉等；二类交流接触器用于绕线式异步电动机的启动和停止；三类交流接触器的典型用途是鼠笼型异步电动机的运转和运行中分断；四类交流接触器用于笼型异步电动机的启动、反接制动、反转和点动。启动接触器的电源是直流电时，就必须用直流接触器。

2. 选择接触器的额定参数

根据被控对象和工作参数如电压、电流、功率、频率及工作制等确定接触器的额定参数。

① 接触器的额定电压应大于或等于负载回路的额定电压，吸引线圈的额定电压应与所接控制电路的额定电压等级一致。接触器的线圈额定电压，一般应选低一些为好，这样对接触器的绝缘要求可以降低，使用时也较安全。但为了方便和减少设备，常按实际电网电压

选取。

② 电动机的操作频率不高,如压缩机、水泵、风机、空调、冲床等,接触器额定电流大于负荷额定电流即可。接触器类型可选用 CJ10、CJ20 等。

③ 对重任务型电机,如机床主电机、升降设备、绞盘、破碎机等,其平均操作频率超过 100 次/min,运行于启动、点动、正反向制动、反接制动等状态,可选用 CJ10Z、CJ12 型的接触器。为了保证电寿命,可使接触器降容使用。选用时,接触器额定电流大于电机额定电流。

④ 对特重任务电机,如印刷机、镗床等,操作频率很高,可达 600~12000 次/h,经常运行于启动、反接制动、反向等状态,接触器大致可按电寿命及启动电流选用,接触器型号选 CJ10Z、CJ12 等。

⑤ 交流回路中的电容器投入电网或从电网中切除时,接触器选择应考虑电容器的合闸冲击电流。一般地,接触器的额定电流可按电容器的额定电流的 1.5 倍选取,型号选 CJ10、CJ20 等。

⑥ 用接触器对变压器进行控制时,应考虑浪涌电流的大小。例如交流电弧焊机、电阻焊机等,一般可按变压器额定电流的 2 倍选取接触器,型号选 CJ10、CJ20 等。

⑦ 对于电热设备,如电阻炉、电热器等,负荷的冷态电阻较小,因此启动电流相应要大一些。选用接触器时可不用考虑启动电流,直接按负荷额定电流选取。型号可选用 CJ10、CJ20 等。

⑧ 由于气体放电灯启动电流大、启动时间长,对于照明设备的控制,可按额定电流 1.1~1.4 倍选取交流接触器,型号可选 CJ10、CJ20 等。

⑨ 接触器额定电流是指接触器在长期工作下的最大允许电流,持续时间 $\leq 8\text{h}$,且安装于敞开的控制板上,接触器额定电流应大于或等于被控主回路的额定电流。如果冷却条件较差(如接触器安装在箱柜内),选用接触器时,接触器的额定电流按负荷额定电流的 110%~120%选取。对于长时间工作的电动机,由于其氧化膜没有机会得到清除,使接触电阻增大,导致触点发热超过允许温升。实际选用时,可将接触器的额定电流减小 30%使用。

⑩ 参考电工标准。

1.3 继 电 器

继电器是根据某种输入信号的变化,接通或断开控制电路,实现自动控制和保护功能的自动电器。用于控制与保护电路中作信号转换用的电器,具有输入电路(感应元件)和输出电路(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。继电器用于控制电路,流过触点的电流小,一般不需要灭弧装置。

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、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。

按输出形式可分为有触点和无触点两类,按用途可分为控制用与保护用继电器等。

1.3.1 电磁式继电器

1. 电磁式继电器的结构与工作原理

电磁式继电器是应用得最早、最多的一种形式。其结构及工作原理与接触器大体相同。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，流过触点的电流比较小（一般 5A 以下），故不需要灭弧装置。



图 1-5 电磁式继电器
图形、文字符号

常用的电磁式继电器有电压继电器、中间继电器和电流继电器。电磁式继电器的图形、文字符号如图 1-5 所示。

2. 电磁式继电器的特性

继电器的主要特性是输入-输出特性，又称继电特性，继电特性曲线如图 1-6 所示。当继电器输入量 X 由零增至 X_2 以前，继电器输出量 Y 为零。当输入量 X 增加到 X_2 时，继电器吸合，输出量为 Y_1 ；若 X 继续增大， Y 保持不变。当 X 减小到 X_1 时，继电器释放，输出量由 Y_1 变为零，若 X 继续减小， Y 值均为零。

图 1-6 中， X_2 称为继电器吸合值，欲使继电器吸合，输入量必须等于或大于 X_2 ； X_1 称为继电器释放值，欲使继电器释放，输入量必须等于或小于 X_1 。

$K_f = X_1 / X_2$ ，称为继电器的返回系数，它是继电器重要参数之一。 K_f 值是可以调节的。

例如一般继电器要求低的返回系数， K_f 值应在 0.1~0.4 之间，这样当继电器吸合后，输入量波动较大时不致引起误动作；欠电压继电器则要求高的返回系数， K_f 值在 0.6 以上。设某继电器 $K_f = 0.66$ ，吸合电压为额定电压的 90%，则电压低于额定电压的 50% 时，继电器释放，起到欠电压保护作用。

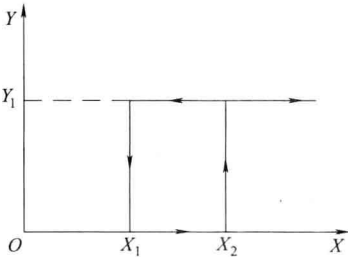


图 1-6 继电特性曲线

另一个重要参数是吸合时间和释放时间。吸合时间是指从线圈接受电信号到衔铁完全吸合所需的时间；释放时间是指从线圈失电到衔铁完全释放所需的时间。一般继电器的吸合时间与释放时间为 0.05~0.15s，快速继电器为 0.005~0.05s，它的大小影响继电器的操作频率。

3. 电压继电器、中间继电器

电压继电器用于电力拖动系统的电压保护和控制。其线圈并联接入主电路，感测主电路的线路电压；触点接于控制电路，为执行元件。

按吸合电压的大小，电压继电器可分为过电压继电器和欠电压继电器。

过电压继电器 (FV) 用于线路的过电压保护，其吸合整定值为被保护线路额定电压的 1.05~1.2 倍。当被保护的线路电压正常时，衔铁不动作；当被保护线路的电压高于额定值，达到过电压继电器的整定值时，衔铁吸合，触点机构动作，控制电路失电，控制接触器及时分断被保护电路。

欠电压继电器 (KV) 用于线路的欠电压保护，其释放整定值为线路额定电压的 0.1~0.6 倍。当被保护线路电压正常时，衔铁可靠吸合；当被保护线路电压降至欠电压继电器的释放整定值时，衔铁释放，触点机构复位，控制接触器及时分断被保护电路。

零电压继电器是当电路电压降低到 5%~25% U_N 时释放，对电路实现零电压保护。用于线路的失压保护。

中间继电器实质上是一种电压继电器。它的特点是触点数目较多，电流容量可增大，起到中间放大（触点数目和电流容量）的作用。

4. 电流继电器

电流继电器用于电力拖动系统的电流保护和控制。其线圈串联接入主电路，用来感测主电路的线路电流；触点接于控制电路，为执行元件。电流继电器反映的是电流信号。常用的电流继电器有欠电流继电器和过电流继电器两种。

欠电流继电器（KA）用于电路起欠电流保护，吸引电流为线圈额定电流 $30\% \sim 65\%$ ，释放电流为额定电流 $10\% \sim 20\%$ ，因此，在电路正常工作时，衔铁是吸合的，只有当电流降低到某一整定值时，继电器释放，控制电路失电，从而控制接触器及时分断电路。

过电流继电器（FA）在电路正常工作时不动作，整定范围通常为额定电流 $1.1 \sim 4$ 倍，当被保护线路的电流高于额定值，达到过电流继电器的整定值时，衔铁吸合，触点机构动作，控制电路失电，从而控制接触器及时分断电路。对电路起过流保护作用。

JT4 系列交流电磁继电器适合于交流 50Hz ， 380V 及以下的自动控制回路中作零电压、过电压、过电流和中间继电器使用，过电流继电器也适用于 60Hz 交流电路。

通用电磁式继电器有：JT3 系列直流电磁式和 JT4 系列交流电磁式继电器，均为老产品。新产品有：JT9、JT10、JL12、JL14、JZ7 等系列，其中 JL14 系列为交直流电流继电器，JZ7 系列为交流中间继电器。

1.3.2 时间继电器

时间继电器是一种利用电磁原理或机械动作原理实现触点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、电动式等。

时间继电器图形符号及文字符号如图

1-7 所示。

1. 直流电磁式时间继电器

在直流电磁式电压继电器的铁芯上增加一个阻尼铜套，即可构成时间继电器。它是利用电磁阻尼原理产生延时的，由电磁感应定律可知，在继电器线圈通断电过程中铜套内将感应电势，并流过感应电流，此电流产生的磁通总是反对原磁通变化。

电器通电时，由于衔铁处于释放位置，气隙大，磁阻大，磁通小，铜套阻尼作用相对也小，因此衔铁吸合时延时不显著（一般忽略不计）。

而当继电器断电时，磁通变化量大，铜套阻尼作用也大，使衔铁延时释放而起到延时作用。因此，这种继电器仅用作断电延时。

这种时间继电器延时较短，JT3 系列最长不超过 5s ，而且准确度较低，一般只用于要求不高的场合。

2. 空气式时间继电器

空气阻尼式时间继电器，是利用空气阻尼原理获得延时的。它由电磁系统、延时机构和触点三部分组成，电磁机构为直动式双 E 型，触点系统是借用 LX5 型微动开关，延时机构采用气囊式阻尼器。

空气阻尼式时间继电器，既具有由空气室中的气动机构带动的延时触点，也具有由电磁机构直接带动的瞬时触点，可以做成通电延时型，也可做成断电延时型。电磁机构可以是直流的，也可以是交流的。

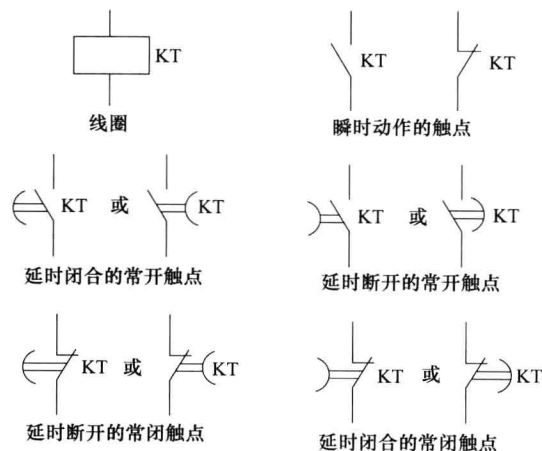


图 1-7 时间继电器图形符号及文字符号