



普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十三五”规划教材

Application technology of
programmable logical controller

可编程序控制器 应用技术

第2版

◎ 李建兴 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气工程

“三五”规划教材

可编程序控制器应用技术

第2版

主 编 李建兴

参 编 陈 炜 马 莹



机械工业出版社

本书以国内广泛使用的 FX 系列、S7 系列和 CP1E 系列小型 PLC 为背景,介绍了 PLC 的工作原理、特点、硬件结构、编程元件与指令系统,并从工程应用出发详细介绍了梯形图程序的设计方法,PLC 系统设计与调试方法,PLC 在实际应用中应注意的问题。本书不仅介绍了 PLC 在开关量、模拟量控制系统中的应用,同时还突出了 PLC 网络通信及应用、现场总线技术及应用等。为了便于学习,本书增加了电器控制的基础知识和 PLC 实验实践训练的内容,且各章配有适量的习题。

本书可作为高等学校本科自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程等相关专业教材,也可供工程技术人员自学或作为培训教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

可编程序控制器应用技术/李建兴主编. —2 版. —北京:机械工业出版社, 2016. 10

普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十三五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 55647 - 3

I. ①可… II. ①李… III. ①电气控制 - 教材②可编程序控制器 - 教材 IV. ①TM921.5②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 302718 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:王雅新 责任编辑:王雅新 徐凡

责任印制:常天培 责任校对:刘秀丽 任秀丽

北京京丰印刷厂印刷

2017 年 6 月第 2 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 19.25 印张 · 476 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 55647 - 3

定价: 39.80 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

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

第 2 版前言

本书第 1 版出版至今已经 12 年了，感谢兄弟院校一直在关注和使用本书。为了更好地适应技术发展的需要，作者结合 20 多年从事 PLC 教学与应用实践的体会，参考国内外相关文献，在保留第 1 版教材风格的基础上，主要针对可编程序控制器（PLC）的技术发展和产品更新换代，对第 1 版进行了修订。

本书以 PLC 应用为主线，编写中力求由浅入深，通俗易懂，理论联系实际，以使用广泛的三菱公司 FX 系列、欧姆龙公司 CPM 系列和西门子公司 S7-200 系列 PLC 为背景，详细介绍了其指令系统及应用，PLC 程序设计方法，PLC 控制系统设计和 PLC 应用实践等。为适应工业互联网时代的需要，本书还介绍了 PLC 网络通信及应用，现场总线技术及应用等技术。为了便于学习，本书还有电气控制基础知识的介绍和供读者进行实验实践训练的指导书。

本书可作为高等学校本科自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程等相关专业的教材，也可供工程技术人员自学或作为培训教材使用。

本书由福建工程学院李建兴教授主编、陈炜和马莹老师参编。

感谢福州大学邱公伟教授、上海大学陈伯时教授、上海海事大学汤天浩教授、扬州大学李新兵教授、上海工程技术大学戎志强教授以及北华航天工业学院孙东辉教授对本书编写的大力支持。

限于本书的篇幅和作者的学识，书中疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作教材的教师登录 www.cmpedu.com 注册下载或发邮件到 ljsx@fjut.edu.cn 索取。

编者

第 1 版前言

可编程序控制器 (PLC), 是以微处理器为核心的通用自动控制装置。它具有控制功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于扩展、通用性强等一系列优点, 不仅可以取代继电器控制系统, 还可以进行复杂的生产过程控制和应用于工厂自动化网络, 被誉为现代工业生产自动化的三大支柱之一。

本书编写时力求由浅入深、通俗易懂、理论联系实际和注重应用。以在国内使用较广泛的日本三菱公司 FX 系列、欧姆龙公司 CPM1A 系列和西门子公司 S7-200 系列 PLC 为背景, 详细介绍了其指令系统及应用, PLC 程序设计的方法与技巧以及 PLC 控制系统设计中应注意的问题。为了适应新的发展需要, 本书还介绍了 PLC 在模拟量过程控制系统中的应用, 同时还突出了 PLC 网络通信、现场总线等新技术。为了便于学习, 本书增加了电气控制的基础知识, 加强了实践训练部分的内容, 且各章配有适量的习题。

本书可作为高等学校自动化、电气工程、电子信息、机电一体化等相关专业的教材, 也可供工程技术人员自学或作为培训教材使用。

本书由福建工程学院李建兴主编。参加编写的有扬州大学李新兵 (第一章、第四章)、上海工程技术大学戎自强 (第三章)、华北航天工业学院孙东辉 (第五章)、湖南工程学院刘美俊 (第八章)、福建工程学院陈炜 (附录)、福建工程学院李建兴 (第二章、第六章、第七章等), 全书由李建兴统稿。

本书由福州大学邱公伟教授主审。邱公伟教授对全书进行了认真的审阅, 并提出了许多宝贵的意见, 在此致以衷心的感谢。感谢上海大学陈伯时教授和上海海运学院汤天浩教授以及各校参加审稿的老师对本书编写的大力支持。

由于编者水平有限, 书中难免有错误和不妥之处, 恳请读者批评指正。

本书配有电子教案, 欢迎选用本书作教材的教师索取, 索取邮箱: wbj@mail.machineinfo.gov.cn。

编者

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第一章 电气控制基础 1

第一节 常用低压电器元件 1

第二节 基本电器控制线路 22

第三节 典型电器控制系统 29

习题 34

第二章 可编程序控制器基础知识 36

第一节 概述 36

第二节 PLC 控制系统与电器控制系统的比较 40

第三节 PLC 的基本组成 42

第四节 PLC 的工作原理 49

第五节 PLC 的性能指标与发展趋势 51

第六节 国内外 PLC 产品简介 53

习题 57

第三章 FX 系列可编程序控制器及指令系统 58

第一节 FX 系列 PLC 硬件配置及性能指标 58

第二节 FX 系列 PLC 的编程元件 67

第三节 FX 系列 PLC 的基本指令 76

第四节 FX 系列 PLC 的功能指令 82

习题 105

第四章 其他常用 PLC 及指令系统 108

第一节 CP1E 系列 PLC 概述 108

第二节 CP1E 系列 PLC 指令系统 118

第三节 S7 系列 PLC 概述 127

第四节 S7-200CN 系列 PLC 指令系统 136

习题 151

第五章 可编程序控制器的程序设计方法 152

第一节 梯形图的编程规则 152

第二节 典型梯形图程序 154

第三节 PLC 程序的经验设计法 160

第四节 PLC 程序的顺序控制设计法 162

第五节 PLC 程序的逻辑设计法 177

第六节 PLC 程序的移植设计法 181

第七节 PLC 程序及调试说明 184

习题 186

第六章 可编程序控制器控制系统的设计 187

第一节 PLC 控制系统设计的基本原则与内容 187

第二节 PLC 的选择 189

第三节 PLC 与输入输出设备的连接 193

第四节 减少 I/O 点数的措施 197

第五节 PLC 在开关量控制系统中的应用 200

第六节 PLC 在模拟量闭环控制中的应用 205

第七节 提高 PLC 控制系统可靠性的措施 215

第八节 PLC 控制系统的维护和故障诊断 219

习题 221

第七章 可编程序控制器通信与网络技术 223

第一节 PLC 通信基础 223

第二节 PC 与 PLC 通信的实现 233

第三节 PLC 网络 243

第四节 现场总线技术 250

第五节 PLC 网络应用实例——三菱 PLC 网络在汽车总装线上的应用 264

习题 266

第八章 可编程序控制器应用实践 267

第一节 PLC 编程软件的使用 267

第二节 PLC 基本实验 275

第三节 PLC 综合实践 282

第四节 PLC 控制系统的施工设计 286

附录 290

附录 A FX 系列 PLC 功能指令一览表 290

附录 B FX 系列 PLC 错误代码一览表 296

参考文献 302

第一章 电气控制基础

本章主要通过介绍电气控制领域中常用低压电器元件的原理、用途、型号、规格及符号等基本知识，了解和熟悉由低压电器构成的简单电器控制线路，并通过对典型设备电器控制系统的分析，学会正确选择和合理使用常用电器元件，学会分析和设计电气控制线路的基本方法，为后继章节的学习打下基础。

第一节 常用低压电器元件

一、电器的基本知识

(一) 电器的分类

电器是接通和断开电路或调节、控制和保护电路及电气设备用的电工器具。由控制电器组成的自动控制系统，称为继电器—接触器控制系统，简称电器控制系统。

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 及以上、直流电压 1500V 及以上电路中的电器。例如高压断路器、高压隔离开关及高压熔断器等。

(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 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，如刀开关、按钮及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、各种类型的继电器和电磁阀等。

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、继电器和电动机起动器等。

(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、行程开关和万能转换开关等。

(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、各种保护继电器和避雷器等。

(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，例如断路器、隔离开关和刀开关等。

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的电器，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、速度继电器及温度继电器等。

(二) 低压电器的作用

低压电器能够依据操作信号或外界现场信号的变化,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、指示和调节。低压电器的作用有:

(1) 控制作用 如控制电梯的上下移动、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,如电机的过载保护、电网的短路保护和漏电保护等。

(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、温度和湿度等。

(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,低压电器的作用远不止这些,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及用途如表 1-1 所示。

表 1-1 常见的低压电器的主要种类及用途

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、欠电压及漏电保护,也可用于不频繁接通和断开电路
		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
		行程开关	
		光电开关	
		接近开关	
		万能转换开关	

(续)

序号	类别	主要品种	用途
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	起动器	磁力起动器	主要用于电动机的起动
		Y/ Δ 起动器	
		自耦减压起动器	
7	控制器	凸轮控制器	主要用于控制回路的切换
		主令控制器	
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、牵引及制动等
		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、热稳定性能好及限流准确等。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。

二、接触器

接触器是一种用来接通或断开负载主电路的自动电器。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、电焊机和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、结构简单经济等特点, 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, 接触器可分为交流接触器和直流接触器两大类。

(一) 交流接触器

1. 交流接触器结构与工作原理

图 1-1 所示为交流接触器的外形与结构示意图。交流接触器由以下四部分组成。

(1) 电磁机构 电磁机构由线圈、动铁心(衔铁)和静铁心组成, 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。辅助触点用于控制电路，起电气联锁作用，故又称联锁触点，一般常开、常闭各两对。

(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，采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧。

(4) 其他部件 包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构及外壳等。

电磁式接触器的工作原理如下：线圈通电后，在铁心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。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。

2. 交流接触器的分类

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转子异步电动机的转子回路中，起动时用于短接起动绕组；三极接触器用于三相负荷，例如在三相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起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通断元件。由于晶闸管导通时所需的触发电压很小，而且通断时无火花产生，因而可用于高操作频率的设备和易燃、易爆和无噪声的场合。

3. 交流接触器的基本参数

(1) 额定电压 指主触点额定工作电压，应大于等于负载的额定电压。接触器常规定几种额定电压，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 和 660V 等。

(2) 额定电流 指主触点在额定工作条件下的电流值。常用额定电流等级为 5A、10A、

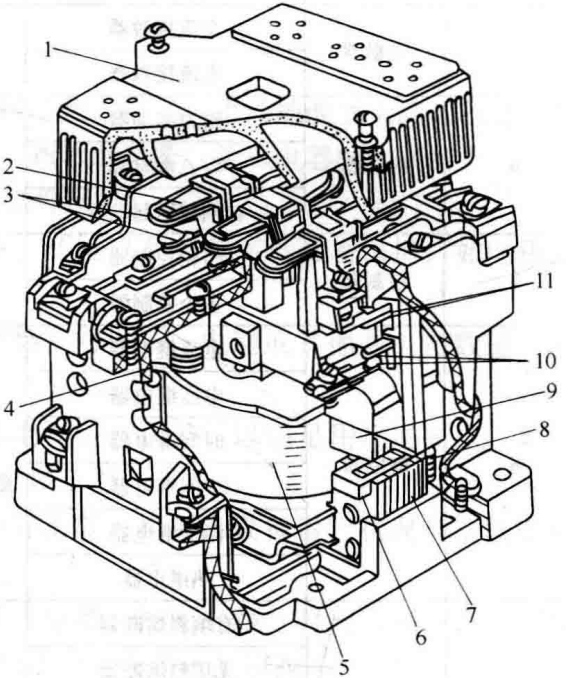


图 1-1 交流接触器结构示意图
1—灭弧罩 2—触点压力弹簧片 3—主触点
4—反作用弹簧 5—线圈 6—短路环
7—静铁心 8—弹簧 9—动铁心
10—辅助常开触点 11—辅助常闭触点

20A、40A、60A (63A)、100A、150A、250A、400A 和 600A (630A) 等。

(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，而不是标在接触器外壳铭牌上，使用时应加以注意。

(6) 操作频率 接触器在吸合瞬间，吸引线圈需消耗比吸合状态大 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，电气寿命约是机械寿命的 5%~20%。

(二) 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。

(三) 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。

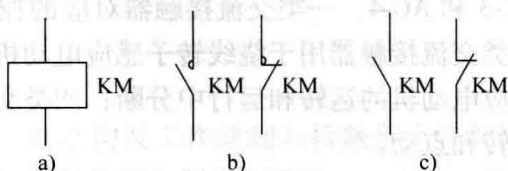
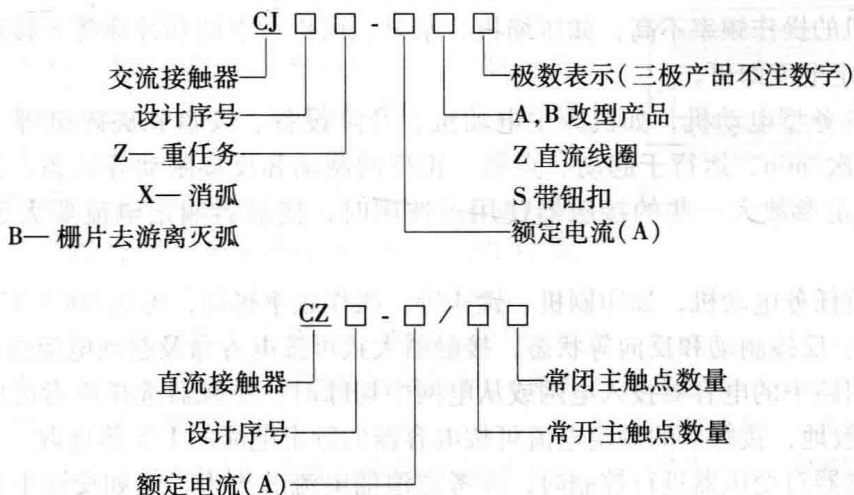


图 1-2 接触器的图形符号

a) 线圈 b) 主触点 c) 辅助触点

2. 接触器的型号说明



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 对主触点。

我国生产的交流接触器常用的有 CJ20、CJ12、CJX 及 NC 等系列及其派生系列产品，CJ0、CJ10 系列及其改型产品已逐步被 CJ20、CJX 和 NC 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，我国近年来还引进生产了一些满足 IEC 标准的交流接触器。例如，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，并适用于不频繁地起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，而且消除了电磁噪声。引进的 3TB 系列、B 系列等交流接触器符合 IEC947、VDE0660 和 GB14048 等标准。主要供远距离接通和分断电路，并适用于频繁地起动及停止交流电动机。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。

（四）接触器的选用

交流接触器的选用，应根据负荷的类型和工作参数合理确定。具体分为以下步骤。

1. 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 AC-1、AC-2、AC-3 和 AC-4。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转子感应电动机的起动和停止；三类交流接触器的典型用途是笼型感应电动机的运转和运行中分断；四类交流接触器用于笼型感应电动机的起动、反接制动、反转和点动。

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) 接触器的线圈电压，一般应低一些为好，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、空调和冲床等，接触器额定电流不小于负载额定电流即可。

3) 对重任务型电动机，如机床主电动机、升降设备、绞盘和破碎机等，其平均操作频率超过 100 次/min，运行于起动、点动、正反向制动和反接制动等状态。为了保证电寿命，可选择额定参数大一些的接触器使用。选用时，接触器额定电流要大于电动机额定电流。

4) 对特重任务电动机，如印刷机、镗床等，操作频率很高，可达 600 ~ 12000 次/h，经常运行于起动、反接制动和反向等状态，接触器大致可按电寿命及起动电流选用等。

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。

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。

7) 对于电热设备，如电阻炉、电热器等，负载的冷态电阻较小，因此起动电流相应要大一些。选用接触器时可不用考虑起动电流，直接按负载额定电流选取。

8) 由于气体放电灯起动电流大，起动时间长，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。

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，如果冷却条件较差，选用接触器时，接触器的额定电流按负载额定电流的110%~120%选取。对于长时间工作的电动机，由于接触器触点的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降低30%使用。

三、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作用的自动电器。

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、速度继电器和压力继电器等。

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 and 无触点两类。

按用途可分为控制用与保护用继电器等。

(一) 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、最多的一种型式，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，电磁式继电器原理如图1-3所示。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。

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1-4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1-5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1-5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

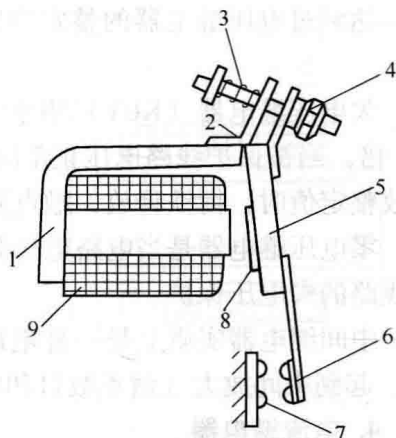


图 1-3 电磁式继电器原理图

- 1—铁心 2—旋转棱角 3—释放弹簧
4—调节螺母 5—衔铁 6—动触点
7—静触点 8—非磁性垫片 9—线圈

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。

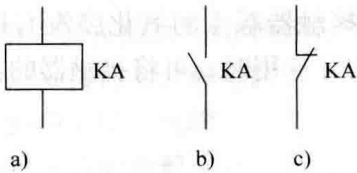


图 1-4 电磁式继电器图形、文字符号

a) 线圈 b) 常开触点 c) 常闭触点

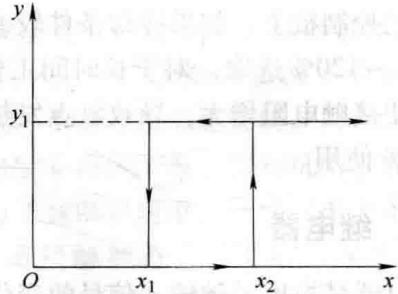


图 1-5 继电器特性曲线

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

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。

电压继电器可分为过电压继电器、欠电压继电器、零电压继电器和中间继电器。

过电压继电器 (KOV) 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，触点动作，控制接触器及时分断被保护电路。

欠电压继电器 (KUV) 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，用于线路的失电压保护。

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，触点额定电流可达 5A，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。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 (KUC) 用于电路的欠电流保护，吸合电流为线圈额定电流 30% ~ 65%，

释放电流为额定电流 10% ~ 20%，因此，在电路正常工作时，衔铁是吸合的，只有当电流降低到整定的释放值时，衔铁释放，触点动作，从而控制接触器及时分断电路。

过电流继电器 (KOC) 在电路正常工作时不动作，吸合电流整定范围通常为额定电流 1.1 ~ 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的吸合值时，衔铁吸合，触点动作，从而控制接触器及时分断电路，对电路起过电流保护作用。

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 和 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。

(二) 时间继电器

时间继电器是一种利用机械、电磁或电子等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、电动式和电子式等。

时间继电器图形符号及文字符号如图 1-6 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心上增加一个阻尼铜套，即可构成时间继电器，其结构示意图如图 1-7 所示。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产生感应电势，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

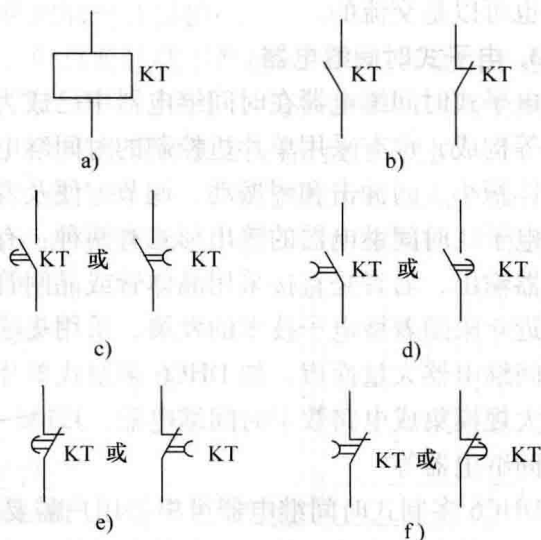


图 1-6 时间继电器图形符号及文字符号

- a) 线圈 b) 瞬时动作触点 c) 延时闭合的常开触点
d) 延时断开的常开触点 e) 延时断开的常闭触点
f) 延时闭合的常闭触点

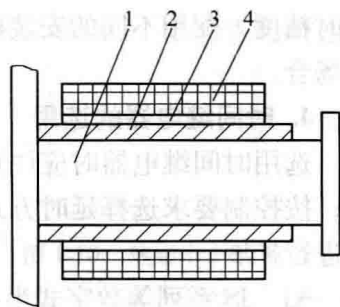


图 1-7 带有阻尼铜套的铁心示意图

- 1—铁心 2—阻尼铜套
3—绝缘层 4—线圈

构直接带动的瞬动触点，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。

3. 电子式时间继电器

电子式时间继电器在时间继电器中已成为主流产品，它是采用晶体管或集成电路和电子元件等构成，也有采用单片机控制的时间继电器。电子式时间继电器具有延时范围广、精度高、体积小、耐冲击和耐振动、调节方便及寿命长等优点，所以发展很快，应用广泛。

电子式时间继电器的输出形式有两种：有触点式和无触点式，前者是用晶体管驱动小型继电器输出，后者是直接采用晶体管或晶闸管输出。

近年来随着微电子技术的发展，采用集成电路、功率电路和单片机等电子元件构成的新型时间继电器大量面市。如 DHC6 多制式单片机控制时间继电器、J5S17、J3320 和 JSZ13 等系列大规模集成电路数字时间继电器，J5145 等系列电子式数显时间继电器，J5G1 等系列固态时间继电器等。

DHC6 多制式时间继电器可根据用户需要选择最合适的制式，使用简便的方法就能达到以往需要较复杂接线才能达到的控制功能。这样既节省了中间控制环节，又大大提高了电气控制的可靠性。

DHC6 多种制式时间继电器采用单片机控制，LCD 显示，具有 9 种工作制式、正计时、倒计时任意设定、8 种延时时段、延时范围从 0.01s ~ 999.9h 任意设定，设定完成之后可以锁定按键，防止误操作。其外观如图 1-8 所示。

J5S17 系列时间继电器由大规模集成电路、稳压电源、拨动开关、四位 LED 数码显示器、执行继电器及塑料外壳等几部分组成。采用 32kHz 石英晶体振荡器，安装方式有面板式和装置式两种。装置式插座可用 M4 螺钉固定在安装板上，也可以安装在标准 35mm 安装卡轨上。

J5S20 系列时间继电器是四位数字显示的小型时间继电器，它采用晶体振荡作为时基基准，采用大规模集成电路技术，不但可以实现长达 9999h 的长延时，还可保证其延时精度。配用不同的安装插座及附件可应用在面板安装、35mm 标准安装导轨及螺钉安装场合。

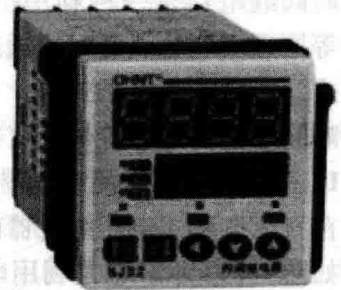


图 1-8 DHC6 多种制式时间继电器

4. 时间继电器的选用

选用时间继电器时应注意：其线圈（或电源）的电流种类和电压等级应与控制电路相同；按控制要求选择延时方式和触点型式；校核触点数量和容量，若不够时，可用中间继电器进行扩展。

NJ、JS 系列等数字式半导体时间继电器具有体积小、延时精度高、寿命长、工作稳定可靠、安装方便、触点容量大和产品规格全等优点，广泛用于电力拖动、顺序控制及各种生产过程的自动控制中。

（三）其他非电磁类继电器

非电磁类继电器的感测元件接受非电量信号（如温度、转速、位移及机械力等）。常用的非电磁类继电器有：热继电器、速度继电器、干簧继电器和永磁感应继电器等。

1. 热继电器

热继电器主要用于电力拖动系统中电动机负载的过载保护。

电动机在实际运行中，常会遇到过载情况，但只要过载不严重、时间短，绕组不超过允许的温升，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，缩短电动机的使用年限，甚至烧毁电动机，因此必须对电动机进行过载保护。

(1) 热继电器结构与工作原理 热继电器主要由热元件、双金属片和触点组成，如图 1-9 所示，热元件由发热电阻丝做成。双金属片由两种热膨胀系数不同的金属辗压而成，当双金属片受热时，会出现弯曲变形。使用时，把热元件串接于电动机的主电路中，而常闭触点串接于电动机的控制电路中。

当电动机正常运行时，热元件产生的热量虽能使双金属片弯曲，但还不足以使热继电器的触点动作。当电动机过载时，双金属片弯曲位移增大，推动导板使常闭触点断开，从而切断电动机控制电路以起到保护作用。热继电器动作后一般不能马上自动复位，要等双金属片冷却后按下复位按钮复位。热继电器动作电流的调节可以借助旋转凸轮于不同位置来实现。

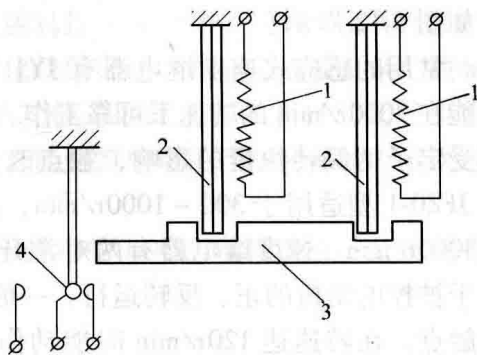


图 1-9 热继电器原理示意图

1—热元件 2—双金属片 3—导板
4—动触点（复位）

(2) 热继电器的型号及选用 我国目前生产的热继电器主要有 JR、NR 等系列，JR 系列热继电器采用间接受热方式，其主要缺点是双金属片靠发热元件间接加热，热耦合较差；双金属片的弯曲程度受环境温度影响较大，不能正确反映负载的过电流情况。JR36 等系列热继电器采用复合加热方式并采用了温度补偿元件，因此较能正确反映负载的工作情况。NR 系列多为与接触器接插安装形式。

JR 系列中部分型号的热继电器为两相结构，是双热元件的热继电器，可以用作三相异步电动机的均衡过载保护和 Y 联结定子绕组的三相异步电动机的断相保护，但不能用作定子绕组为 Δ 联结的三相异步电动机的断相保护。

JR16、JR20、JR36 和 NR 系列热继电器均带有断相保护功能，具有三相差动式断相保护机构。在三相异步电动机电路中，对 Y 联结的电动机可选两相或三相结构的热继电器，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。对于三相异步电动机，定子绕组为 Δ 联结的电动机必须采用带断相保护的热继电器。热继电器的图形及文字符号如图 1-10 所示。

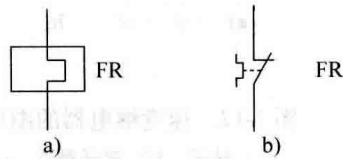


图 1-10 热继电器的图形及文字符号

a) 热元件 b) 常闭触点

2. 速度继电器

速度继电器是通过感测电动机转速，依靠电磁感应原理实现触点动作的。感应式速度继电器的原理如图 1-11 所示。

从结构上看，速度继电器与交流电机相类似，速度继电器主要由定子、转子和触点三部分组成。定子的结构与笼型异步电动机相似，是一个笼型空心圆环，由硅钢片冲压而成，并装有笼型绕组。转子是一个圆柱形永久磁铁。