

新世纪高校机电类规划教材

电气控制及可编程序控制器

主 编 林明星
副主编 董爱梅 张华强 宋丽娜
参 编 范文利 陈广庆 衣秋杰 刘廷瑞
主 审 齐明侠



机械工业出版社

本书主要介绍电气控制技术中的继电器接触器逻辑控制系统和可编程序控制器,主要包括常用低压电器元件,典型基本控制线路,继电器接触器逻辑控制线路的设计原理,分析方法,电动机直流、交流调速系统,可编程序控制器的工作原理,编程指令,应用程序设计,网络通信以及应用实例等。可编程序控制器以广泛应用的 OMRON 公司的 CPM1A 系列小型机为对象,并将其他公司常用的可编程序控制器作为附录介绍。

本书可作为高等学校机电类专业的课程教材,也可作为工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制及可编程序控制器 /林明星主编 .—北京:机械工业出版社, 2004.8

新世纪高校机电类规划教材

ISBN 7-111-14435-X

I. 电... II. 林... III. ①电气控制-高等学校-教材②可编程序控制器-高等学校-教材 IV. TM921.5②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 045692 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:高文龙 邓海平

责任编辑:高文龙 版式设计:张世琴 责任校对:张晓蓉

封面设计:姚毅 责任印制:

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·7.75 印张·300 千字

定价: 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

封面无防伪标均为盗版

新世纪高校机电类规划教材

编审委员会

顾 问：艾 兴（院士）

领导小组：

张 慧	师忠秀	梁景凯	高文龙
赵永瑞	赵玉刚		

委 员：

张 慧	张进生	宋世军	沈敏德
赵永瑞	程居山	赵玉刚	齐明侠
师忠秀	王守城	姜培刚	梅 宁
昃向博	梁景凯	方世杰	高文龙
邓海平	尚书旗	姜军生	刘镇昌

前 言

电气控制技术在现代化的生产和实践中发挥着越来越大的作用，最初的电气控制主要是继电器接触器逻辑控制系统，随着生产技术的进步和生产过程的复杂化，可编程序控制器（PLC）技术得到了广泛应用，并且发展极为迅速，现已成为电气控制技术的主流。PLC、机器人、CAD/CAM 技术已被列为工业自动化的三大支柱。虽然 PLC 可以取代继电器接触器逻辑控制，但在传统的机电传动控制中，继电器接触器逻辑控制仍是主要的电气控制方式，而且 PLC 本身就是继电器接触器逻辑控制技术上发展起来的，学习好继电器接触器逻辑控制系统也是学习 PLC 的基础，因此本书首先介绍继电器接触器逻辑控制系统，在此基础上再介绍 PLC 的原理和应用。

本课程是机电专业必修的专业基础课，在专业领域里，对于提高学生实践和工程训练的能力、增强分析问题和解决问题的能力具有重要作用。因此在编写中，尽可能多地融进我们自己的经验和成果。在教材编写上，将低压电器元件和电气控制线路基本环节结合起来，对电器元件的结构作基本介绍，主要讲述电气控制基本线路，并简单介绍了日益发展的智能电器。考虑到部分专业课程的安排，并对电动机调速进行了简单介绍，对于电动机调速系统，虽然在生产和自动控制中占有非常重要的地位，但我们认为不是本课程的重点，在其他的自动控制教材中都有详细论述；PLC 技术重点介绍了 OMRON 公司的整体式的 CPM1A 系列小型机，对 PLC 的内部结构和工作原理只作简单介绍，侧重编程指令和梯形图，并突出 PLC 的网络通信功能和具体应用。在应用实例中，突出了新技术和新成果的发展，增加了许多 PLC 的新应用（如垂直提升平移式立体停车库等）。最后对其他常用公司的 PLC 做了简单介绍，便于进一步学习和应用。

本书由山东大学林明星教授主编（编写绪论、第六章第一节、附录 C），参加编写人员有山东理工大学的董爱梅副教授（编写第一、二章）、哈尔滨工业大学（威海）的张华强副教授（编写第七、八章和附录 A、B）、中国海洋大学的宋丽娜（编写第三、四章）、山东建筑工程学院的范文利（编写第六章第二、三、四、五节）以及山东科技大学的陈广庆（编写第五章）、衣秋杰和刘廷瑞老师也参加了部分章节的编写工作。全书由林明星教授修改和统稿，石油大学的齐明侠教授主审，齐教授在百忙之中审阅了全书，并提出了许多修改意见，在此谨表谢意。

在本书的编写过程中，得到了山东科技大学赵永瑞教授、史大光教授和山东

理工大学赵玉刚教授的大力支持和帮助，机械工业出版社给予了热情的帮助和指导，同时我们参考并引用了国内外许多优秀教材和论著等资料，在此向他们表示衷心的感谢。

限于编者的水平，书中错误和不足之处在所难免，恳请读者批评指正，将不胜感谢。

编者

2004年3月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 继电器控制线路的基本环节	5
第一节 常用低压电器	5
第二节 电气原理图的画法	16
第三节 笼型电动机的起动控制线路	17
第四节 电动机正反转控制线路	19
第五节 电动机制动控制线路	22
第六节 双速电动机高低速控制线路	24
习题与思考题	25
第二章 电气控制线路分析	26
第一节 电气控制线路分析基础	26
第二节 C650 卧式车床电气控制线路分析	28
第三节 X62W 卧式万能铣床电气控制线路分析	31
第四节 T68 卧式镗床电气控制线路分析	38
习题与思考题	43
第三章 电气控制线路设计	44
第一节 电气控制线路设计的一般原则及内容	45
第二节 电气控制线路设计的基本规律	47
第三节 电气控制线路的经验设计方法	54
第四节 电气控制线路的逻辑设计方法	57
习题与思考题	65
第四章 电动机调速系统	67
第一节 直流调速系统	67
第二节 交流传动调速系统	75
习题与思考题	81
第五章 可编程序控制器基础知识	82
第一节 PLC 的由来与发展	82
第二节 PLC 的基本功能和特点	85
第三节 PLC 的结构组成和分类	88
第四节 PLC 的工作方式及编程语言	90
第五节 PLC 与继电器控制系统的比较	92

习题与思考题	93
第六章 OMRON 公司的可编程序控制器及编程指令	94
第一节 CPM1A 系列小型机简介	94
第二节 CPM1A 的基本指令	107
第三节 CPM1A 的数据比较与传送指令	118
第四节 CPM1A 的数据移位与转换指令	125
第五节 CPM1A 的数据运算指令	134
第六节 CPM1A 的子程序控制与中断控制指令	142
第七节 CPM1A 的特殊指令	152
第八节 CPM1A 的编程工具	154
习题与思考题	157
第七章 可编程序控制器网络通信及可编程序终端	160
第一节 概述	160
第二节 OMRON PLC 主从总线结构网络	165
第三节 OMRON PLC 的其他通信网络	179
第四节 PLC 的可编程序终端	190
习题与思考题	193
第八章 可编程序控制器控制系统设计	195
第一节 概述	195
第二节 PLC 控制系统设计的原则和方法	197
第三节 PLC 在控制系统中的应用	208
第四节 PLC 在工业控制应用中的注意事项	222
习题与思考题	225
附录	227
附录 A 电气设备常用基本文字符号	227
附录 B 电气设备常用基本图形符号	228
附录 C 常用可编程序控制器产品介绍	231
参考文献	240

第一章 继电器控制线路的基本环节

继电器控制线路是由各种有触点的接触器、继电器、按钮、行程开关等组成的控制线路。其作用是实现对电力拖动的起动、正反转、制动和调速等运行性能的控制，实现对拖动系统的保护，满足生产工艺要求来实现生产加工自动化。任何复杂的电气控制线路，都是由一些比较简单的基本环节按需要组合而成的。本章主要介绍常用低压电器及继电器控制线路的基本环节。

第一节 常用低压电器

一、概述

低压电器是用于额定电压交流 1200V 或直流 1500V 及以下能够根据外界施加的信号或要求，自动或手动地接通和断开电路，从而断续或连续地改变电路参数或状态，以实现对电路或非电对象切换、控制、保护、检测、变换以及调节的电器设备。

低压电器种类繁多，工作原理和结构形式也不同，但一般均有两个共同的基本部分：一是感受部分，它感受外界的信号，并通过转换、放大和判断，做出有规律的反应。在非自动切换电器中，它的感受部分有操作手柄、顶杆等多种形式；在有触点的自动切换电器中，感受部分大多是电磁机构。二是执行部分，它根据感受部分的指令，对电路执行“开”“关”等任务。有的低压电器具有把感受和执行两部分联系起来的中间传递部分，使它们协同一致，按一定规律动作，如断路器类的低压电器。

低压电器在现代工业生产和日常生活中起着非常重要的作用。据一般统计，发电厂发出的电能有 80% 以上是通过低压电器分配使用的，每新增加 1 万 kW 发电设备，约需使用 4 万件以上各类低压电器与之配套。在成套电器设备中，有时与主机配套的低压电器部分的成本接近甚至超过主机的成本。在电气控制设备的设计、运行和维护过程中，如果低压电器元器件的品种规格和性能参数选用不当，或者个别器件出现故障，可能导致整个控制设备无法工作，有时甚至会造造成重大的设备或人身事故。本节从应用的角度选择几种常用的低压电器，对其工作原理、性能参数和选择方法作简要介绍。

二、接触器

接触器是一种可频繁地接通和分断电路的控制电器，主要用于控制电动机、

电热设备、电焊机等，在电力拖动自动控制线路中被广泛应用。

1. 结构与工作原理

目前最常用的接触器是电磁接触器，它一般由电磁机构、触头与灭弧装置、释放弹簧机构、支架与底座等几部分组成，其结构如图 1-1 所示。其工作原理是：当吸引线圈通电后，电磁系统即把电能转化为机械能，所产生的电磁力克服释放弹簧与触头弹簧的反力使铁心吸合，并带动触头支架使动、静触头接触闭合。当吸引线圈断电或电压显著下降时，由于电磁吸力消失或过小，衔铁在弹簧反力作用下返回原位，同时带动动触头脱离静触头，将电路切断。

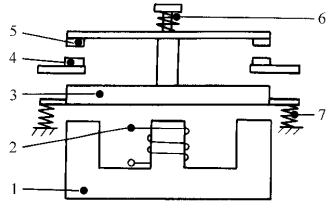


图 1-1 接触器结构示意图

- 1—铁心 2—线圈 3—衔铁
4—静触头 5—动触头
6—触头弹簧 7—释放弹簧

2. 接触器的分类

按主触头控制的电路中电流种类划分，接触器可分为交流接触器和直流接触器；按电磁机构的操作电源划分，则分为交流励磁操作和直流励磁操作的接触器两种。此外，接触器还可按主触头的数目分为单极、两极、三极、四极和五极等几种，直流接触器通常为前两种，交流接触器通常为后三种。

3. 接触器的选用

要想正确地选用接触器，就必须了解接触器的主要技术数据，其主要技术数据有：

- 1) 电源种类：交流或直流；
- 2) 主触头额定电压、额定电流；
- 3) 辅助触头的种类、数量及触头的额定电压；
- 4) 电磁线圈的电源种类、频率和额定电流；
- 5) 额定操作频率，即允许每小时接通的最多次数。

选用时，一般交流负载用交流接触器，直流负载用直流接触器。当用交流接触器控制直流负载时，必须降额使用，因为直流灭弧比交流灭弧困难。频繁动作的负载，考虑到操作线圈的温升，宜选用直流励磁操作接触器。

接触器的选择主要依据以下几方面：

- 1) 根据负载性质选择接触器的类型；
 - 2) 额定电压应大于或等于主电路工作电压；
 - 3) 额定电流应大于或等于被控电路的额定电流；
 - 4) 吸引线圈的额定电压和频率要与所在控制电路的选用电压和频率相一致。
- 接触器的额定电压、电流是指主触头的额定电压、电流。当控制电动机负载

时，一般根据电动机容量 P_d 计算接触器的触头电流 I_c ，即

$$I_c \geq \frac{P_d \times 10^3}{KU_{nom}} \quad (1-1)$$

式中 K ——经验常数，一般取 $1 \sim 1.4$ ；

P_d ——电动机功率 (kW)；

U_{nom} ——电动机额定线电压 (V)；

I_c ——接触器主触头电流 (A)。

三、继电器

继电器是一种根据某种输入信号的变化，接通或断开控制电路实现控制目的的电器。输入信号可以是电压、电流等电量，也可以是温度、速度、压力等非电量。

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、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、电动式继电器、热继电器和电子式继电器等。

继电器的结构及工作原理与接触器类似，主要区别在于：继电器可对多种输入量的变化做出反应，而接触器只有在电压信号下动作；继电器是用于切断小电流的控制电路和保护电路，而接触器是用于控制大电流电路；继电器没有灭弧装置，也无主副触头之分。

下面介绍几种常用的继电器。

1. 电磁式继电器

由于电磁式继电器具有工作可靠、结构简单、制造方便、寿命长等一系列优点，故在电气控制系统中应用最为广泛。电磁式继电器按吸引线圈电流的种类不同，有直流和交流两种。按输入信号的性质，电磁式继电器可分为电压继电器和电流继电器。

电磁式继电器的结构如图 1-2 所示。电流继电器与电压继电器的区别主要是线圈参数的不同，前者为了检测负载电流，一般线圈要与之串联，因而匝数少而线径粗，以减少产生的压降；后者要检测负载电压，故线圈要与之并联，需要电抗大，故线圈匝数多而线径细。

中间继电器实质上是电压继电器的一种，但它的触点数多（多至 6 对或更多），触点电流容量大（额定电流 $5 \sim 10A$ ），动作

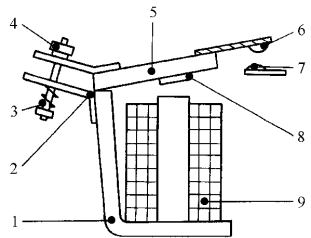


图 1-2 电磁式继电器的结构

- 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

灵敏（动作时间不大于 0.05s ）。其用途是当其他继电器的触点数或触点容量不够时，可借助中间继电器来扩大触点数或触点容量，起到中间转换作用。

选用继电器须综合考虑继电器的通用性、功能特点、使用环境、额定工作电压及电流，同时还要考虑触点的数量、种类，以满足控制电路的要求。

2. 时间继电器

当感受部分接受外界信号后，经过设定的延时时间才使执行部分动作的继电器称为时间继电器。按延时的方式分为通电延时型、断电延时型和带瞬动触点的通电（或断电）延时型继电器等，对应的输入/输出时序关系如图 1-3 所示。

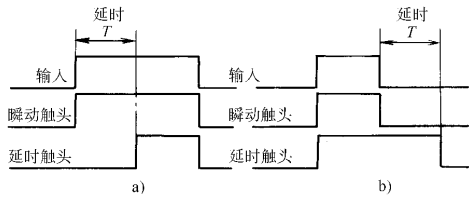


图 1-3 时间继电器的时序关系

a) 通电延时型 b) 断电延时型

按工作原理划分，时间继电器可分为电磁式、空气阻尼式、模拟电子式和数字电子式等。随着电子技术的飞跃发展，后两种特别是数字电子式时间继电器以其延时精度高、调节范围宽、功能多、体积小等优点而成为市场上的主导产品。

选择时间继电器，主要考虑控制回路所需要的延时触点的延时方式（通电延时还是断电延时），以及各类触点的数目。根据使用条件选择品种规格。

3. 热继电器

热继电器是依靠电流流过发热元件时产生的热，使双金属片发生弯曲而推动执行机构动作的一种电器，主要用于电动机的过载保护、断相及电流不平衡运行的保护及其他电气设备发热状态的控制。

热继电器的工作原理如图 1-4 所示。热元件（双金属片）2 由膨胀系数不同的两种金属片组合的复层材料而成（设上层膨胀系数大）。当电流过大，与负载串联的加热元件 1 发热量增大，使双金属片 2 温度提高、弯曲度加大，进而拨动扣板 3 使之与扣钩机构 5 脱开，在弹簧 10 的作用下动静触点 8、9 断开，从而使电路停止工作，起到电路过载时保护电气设备的作用。

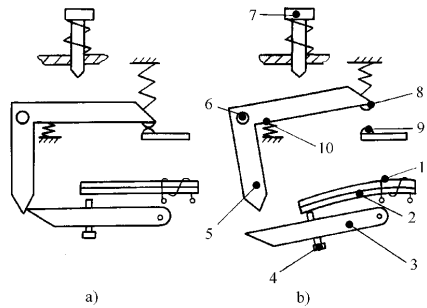


图 1-4 热继电器的工作原理示意图

a) 正常状态 b) 过载状态

1—加热元件 2—双金属片 3—扣板 4—压动螺钉
5—扣钩机构 6—支点 7—复位按钮
8—动触点 9—静触点 10—弹簧

用。通过调节压动螺钉 4 就可整定热继电器的整定电流值。根据拥有热元件的多少，热继电器可分为单相、两相和三相热继电器；根据复位方式，热继电器可分为自动复位和手动复位两种。

热继电器的动作时间与通过电流之间的关系特性呈现反时限特性（见图 1-5 中曲线 2），在保证电动机绕组正常使用寿命的条件，合理调整热继电器的反时限特性与电动机容许过载特性（见图 1-5 中曲线 1）之间的关系，就可保证电动机在发挥最大效能的同时安全工作。

热继电器的选用要注意以下几个方面：

1) 长期工作制下，按电动机的额定电流来确定热继电器的型号与规格。热继电器元件的额定电流 I_{RT} 接近或略大于电动机的额定电流 I_{nom} ，即

$$I_{RT} = (0.95 \sim 1.05) I_{nom} \quad (1-2)$$

使用时，热继电器的整定旋钮应调到电动机的额定电流值处，否则将不起保护作用。

2) 对于星形接法电动机，因其相绕组电流与线电流相等，选用两相或三相普通的热继电器即可。

3) 对于三角形接法的电动机，当在接近满载的情况下运行时，如果发生断相，最严重一相绕组中的相电流可达额定电流值的 2.5 倍左右，而流过热继电器的线电流也达额定电流值的 2 倍以上，此时普通热继电器的动作时间已能满足保护电动机的要求。当负载率为 58% 时，若发生断相，则流过承受全电压的相绕组的电流等于 1.15 倍额定相电流，但此时未断相的线电流正好等于额定线电流，所以热继电器不会动作，最终电动机会损坏。因此，三角形接法的电动机在有可能不满载工作时，必须选用带断相保护功能的热继电器。

当负载小于 50% 额定功率时，由于电流小，一相断线时也不会损坏电动机。

4) 对频繁正反转及频繁通断工作和短时工作的电动机，不宜采用热继电器来保护。

5) 如遇到下列情况，选择热继电器的整定电流要比电动机额定电流高一些：

- ① 电动机负载惯性转矩非常大，起动时间长；
- ② 电动机所带动的设备不允许任意停电；
- ③ 电动机拖动的负载为冲击性负载，如冲床、剪床等设备。

4. 速度继电器

速度继电器常用于电动机的反接制动电路中，它的结构原理如图 1-6 所示。

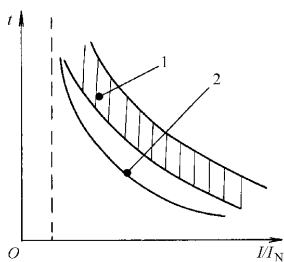


图 1-5 热继电器保护特性与电动机过载特性的配合

- 1—电动机过载特性
2—热继电器的保护特性

2 为转子，由永久磁铁做成，随电动机轴转动；3 为定子，其上有短路绕组 4；5 为定子柄，可绕定轴摆动；按图中规定的转动方向，6、7、8 为正向触点，9、10、11 为反向触点。当转子转动时，永久磁铁的磁场切割定子上的短路导体，并使其产生感应电流，永久磁铁与这个电流互相作用，将使定子向着轴的转动方向摆动，并通过定子柄拨动动触点。当轴的转速接近零时（约 100r/min），定了柄在恢复力的作用下恢复到原来的位置。

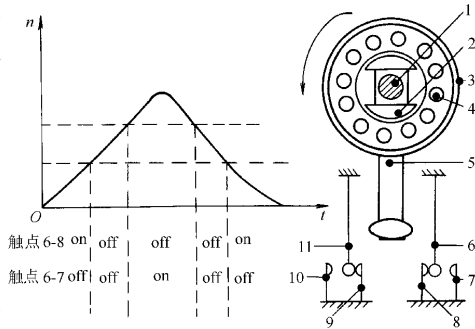


图 1-6 速度继电器

1—转轴 2—转子 3—定子 4—定子短路绕组
5—定子柄 6、11—动触点 7、8、9、10—静触点

速度继电器的主要参数是额定工作转速，要根据电动机的额定转速进行选择。

5. 固态继电器

固态继电器（Solid State Relay）简称 SSR，是 20 世纪 70 年代中后期发展起来的一种新型无触点继电器。固态继电器是由固态半导体元件组成的无触点开关元件，它较之电磁继电器具有工作可靠、寿命长、对外界干扰小、能与逻辑电路兼容、抗干扰能力强、开关速度快、无火花、无动作噪声和使用方便等一系列优点，因而具有很宽的应用领域，有逐步取代传统继电器之势，并进一步扩展到许多传统继电器无法应用的领域，如计算机的输入输出接口、外围和终端设备。在一些要耐振、耐潮、耐腐蚀、防爆等特殊工作环境中以及要求高可靠的工作场合，都较之传统的电磁继电器有无可比拟的优越性。固态继电器的缺点是过载能力低，易受温度和辐射影响，通断阻抗比小。固态继电器分为直流固态继电器和交流固态继电器，前者的输出采用晶体管，后者采用晶闸管。

图 1-7a 是交流固态继电器的结构，为四端有源器件，其中两个端子为输入控制端，另外两个为输出控制端。为实现输入和输出间的电气隔离，器件中采用了高耐压的光耦合器。当输入信号后，其输出呈导通状态，否则呈阻断状态。

交流固态继电器的触发形式可分为零压型和调相型两种，图 1-7b 是两种触发方式的工作波形。零压型触发形式的交流固态继电器内部设有过零检测电路（调相型没有），当施加输入信号后，只有当负载电源电压达到过零区时，输出级的晶闸管才能导通，所以可能产生最大半个电源周期的延时，输入信号撤消后，

负载电流低于晶闸管的维持电流时，晶闸管关断。由于负载工作电流近似正弦波，谐波干扰小，所以应用很广泛。调相型触发形式的交流固态继电器，当施加输入信号后，输出级的晶闸管立即导通；关断方式与前者相同。

固态继电器的主要参数有输入电压、输入电流、输出电压、输出电流、输出漏电流等。

四、熔断器

熔断器是当通过它的电流超过规定值达一定时间后，以它本身产生的热量使熔体熔化，从而分断电路的电器。熔断器的种类很多，结构也不同，主要有插入式熔断器、有/无填料封闭管式熔断器及快速熔断器等等。

通过熔体的电流与熔体熔化时间的关系称为熔化特性（亦称安秒特性），它和热继电器的保护特性一样，都是反时限的。

选择熔断器，主要是熔断器的种类、额定电压、熔断器额定电流等级和熔体的额定电流。

额定电压是根据所保护电路的电压来选择的。熔体电流的选择是熔断器选择的核心。

对于如照明线路等没有冲击电流的负载，应使熔体的额定电流等于或稍大于线路的工作电流 I ，即

$$I_R \geq I \quad (1-3)$$

式中 I_R ——熔体额定电流。

对于一台异步电动机，熔体可按下列关系选择

$$I_R = (1.5 \sim 2.5) I_{\text{nom}} \text{ 或 } I_R = I_{\text{st}} / 2.5 \quad (1-4)$$

式中 I_{nom} ——电动机的额定电流；

I_{st} ——电动机的起动电流。

对于多台电动机由一个熔断器保护，熔体按下列关系选择

$$I_R \geq I_m / 2.5 \quad (1-5)$$

式中 I_m ——可能出现的最大电流。如果几台电动机不同时起动，则 I_m 为容量最大一台电动机起动电流，加上其他各台电动机的额定电流。

例如，两台电动机不同时起动，一台电动机额定电流为 14.6A；一台额定电

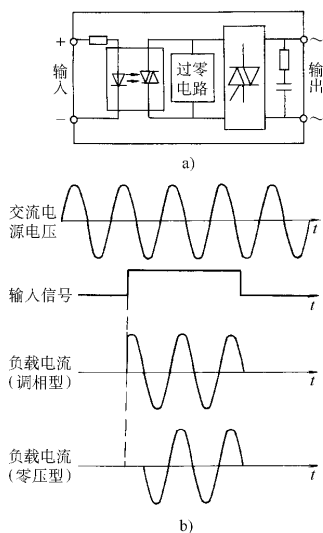


图 1-7 交流固态继电器的结构与工作方式

a) 交流固态继电器结构 b) 工作波形

流为 4.64A，起动电流都为额定电流的 7 倍，则熔体电流为

$$I_R \geq (14.6 \times 7 + 4.64) / 2.5A = 42.7A \quad (1-6)$$

可选用 RL1-60 型熔断器，配用 50A 的熔体。

五、断路器

断路器曾称自动开关，是用于低压配电电路不频繁通断控制，在电路发生短路、过载或欠电压等故障时，能自动分断故障电路，是低压配电线路中应用广泛的一种保护电器。在功能上，它相当于刀开关、熔断器、热继电器、过电流继电器和欠电压继电器等的组合，其结构如图 1-8a 所示。

断路器的主触头是由操作机构（手动或电动）合闸的。由图 1-8a 可知，当电路发生过载、过电流或欠电压、失电压情况时，通过杠杆 4 的作用使得锁扣 3 与传动杆 2 脱开，分断弹簧 9 将动触点复位切断电路。

安装分励脱扣器 5 后，可通过按钮 SB 用于远距离分断电路。漏电保护断路器内装有漏电脱扣器。热脱扣器 7 与过电流脱扣器 8，使得断路器拥有如图 1-8b 所示的保护特性曲线。不同型号的断路器所配置的脱扣器的种类不同，有的备有相应的附件供需要时选配。

选择断路器应考虑的主要参数：额定电压、额定电流和允许分断的极限电流等。断路器脱扣器的额定电流应等于或大于负载允许的长期平均电流；断路器的极限分断能力要大于，至少要等于电路最大短路电流；欠电压脱扣器额定电压应等于主电路额定电压；断路器脱扣器的整定按下述原则：热脱扣器的整定电流应与被控对象（负载）额定电流相等；电流脱扣器的瞬时脱扣整定电流应大于负载正常工作时的尖峰电流；保护电动机时，电流脱扣器的瞬时脱扣整定电流为电动机起动电流的 1.7 倍。

六、主令电器

主令电器主要用于闭合、断开控制电路，以发布命令或信号，达到对电力拖动系统的控制或实现程序的控制。属于主令电器的主要有以下几种。

1. 按钮

按钮通常是短时接通或断开小电流控制电路的电器。按钮在结构上有多种形

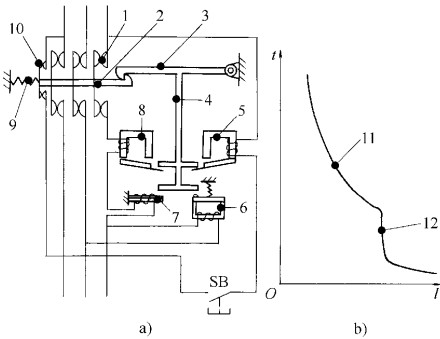


图 1-8 断路器的结构及保护特性

a) 结构示意图 b) 保护特性曲线

- 1—主触头 2—传动杆 3—锁扣 4—杠杆
5—分励脱扣器 6—欠电压脱扣器 7—热脱扣器
8—过电流脱扣器 9—分断弹簧 10—辅助触点
11—热脱扣 12—过电流脱扣

式：旋钮式——用手扭动旋转进行操作；指示灯式——按钮内可装入信号灯，以显示信号；紧急式——装有蘑菇形钮帽，以表示紧急操作；等等。

按钮主要是根据所需要的触头数、触头形式、使用的场合及颜色来选择。

2. 行程开关、接近开关和光电开关

行程开关是用来反映工作机械的行程，发出命令以控制其行动方向或行程大小的主令电器。如果把行程开关安装在工作机械行程终点处，以限制其行程，就称其为限位开关或终点开关。

接近开关是非接触式的检测装置，当运动着的物体接近它到一定距离范围内时，它就能发出信号，从而进行相应的操作。按工作原理分，接近开关有高频振荡型、霍尔效应型、电容型、超声波型等，接近开关的主要技术参数有：动作距离、重复精度、操作频率、复位行程等。

光电开关是另一种类型的非接触式检测装置，它有一对光发射和接收装置。根据两者的位置和光的接收方式分为对射式和反射式，作用距离从几厘米到几十米不等。

选用时，要根据使用场合和控制对象确定检测元件的种类。例如，当被测对象运动速度不是太快，可选用一般用途的行程开关；而在工作频率很高，且对可靠性及精度要求也很高时，应选用接近开关；不能接近被测物体时，应选用光电开关。

3. 万能转换开关

万能转换开关是由多组同结构的触头组件叠装而成的多回路控制电器。由于它能转化多种和多数量的线路，兼有用途广泛，故被称为“万能”转换开关。

4. 主令控制器

主令控制器亦称主令开关，它主要用于在控制系统中按照预定的程序来分合触头，以发布命令或实现与其他控制电路的联锁和转换。由于控制电路的容量一般都不大，所以主令控制器的触头也是按小电流设计的。

和万能转换开关一样，主令控制器也是借助于不同形状的凸轮使其触头按一定的次序接通和分断。因此，它们在结构上也大体相同，只是主令控制器除了手动式产品外，还有由电动机驱动的产品。

七、控制变压器

当控制电路所用电器较多，线路较为复杂时，一般需采用经变压器降压的控制电源，以提高线路的安全可靠性。控制变压器主要根据所需变压器容量及一次、二次电压等级来选择。控制变压器可根据下面两种情况来选择其容量：

1. 依据控制电路最大工作负载所需要的功率计算

一般可根据下式计算：

$$P_T \geq K_T \sum P_{XC} \quad (1-7)$$

式中 P_T ——所需变压器容量 (VA)；

K_T ——变压器容量储备系数，一般取 $K_T = 1.1 \sim 1.25$ ；

$\sum P_{XC}$ ——控制电路最大负载时工作的总功率 (VA)。

显然对于交流电器（交流接触器、交流中间继电器及交流电磁阀线圈等）， $\sum P_{XC}$ 应取吸持功率值。

2. 变压器的容量应满足已吸合的电器在又起动吸合另一些电器时仍能吸合可根据下面公式计算：

$$P_T \geq 0.6 \sum P_{XC} + 1.5 \sum P_{sT} \quad (1-8)$$

式中 $\sum P_{sT}$ ——同时起动的电器的总吸持功率 (VA)。

关于式中的系数：变压器二次电压，由于电磁继电器起动时负载电流的增加要下降，但一般在下降额定值的 20% 时，所有吸合电器不释放，系数 0.6 就是从这一点而考虑的。式中第二项系数 1.5 为经验系数，它考虑到各种电器的起动功率换算到吸持功率，以及电磁继电器在保证起动吸合的条件下，变压器容量只是该器件的起动功率的一部分等因素。

最后所需变压器容量，应由以上两式中所计算出的最大容量来决定。

八、其他常用电器

1. 刀开关

刀开关是结构最简单、应用最广泛的一种手动电器。在低压电路中，作为不频繁接通和分断电路用，或用来将电路与电源隔离。

刀开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、通断能力等。刀开关选择时，应使其额定电压等于或大于电路的额定电压；其电流应等于或大于电路的额定电流；可根据刀开关的使用场合，选择其操作方式，如开关柜内使用选择杠杆操作或直接手动操作等。

2. 转换开关

转换开关又称组合开关，主要用作电源的引入开关，也称电源隔离开关。它也可以起停 5kW 以下的异步电动机，但每小时的接通次数不宜超过 15~20 次，开关的额定电流一般取电动机额定电流的 1.5~2.5 倍。

九、智能电器

随着微电子技术、计算机与信息技术的发展，电器及装置智能化得到了加速发展，使得电器及装置具有自诊断、记忆功能，自动化程度及可靠性有了较大提高，而且还扩充了测量、显示、控制、参数设定、报警、数据记忆及网络通信等功能，能与中央控制计算机进行双向通信，组成监控、保护与信息传递的网络系统。

1. 软起动器