

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



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



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:施红

北京铭成印刷有限公司印刷·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: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、88379646

封面防伪标均为盗版

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 本身就是在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 继电器接触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 与继电器接触器控制系统的比较	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

绪 论

一、电气控制技术及其发展

在现代化的生产和实践中，产品是通过设备来生产和加工的，为了保证产品的生产效率和加工精度，需要对设备进行控制，控制方式主要有机械控制、电气控制、液压控制、气动控制或上述几种方式的配合使用。在某些生产设备中，各种控制方式的结合更有其突出优点，如液压控制与电气控制的大型压力机等。由于电气控制方式的显著优点，使得电气控制技术成为设备控制的主要方式。电气控制技术实际是电气控制原理在控制设备中的应用。在电气控制技术中，对电动机的控制是电气控制技术的主要研究内容，电动机控制包括普通电动机和控制电动机，控制方法有继电接触器控制、交直流调速控制、可编程序控制器（PLC）控制等。随着电子技术和计算机技术的不断进步和发展，还会出现各种各样新的控制方法。

最初的电气控制主要是继电接触器控制，由继电器、接触器、按钮、行程开关等组成，按一定的控制要求用电气连接线连接而成，通过对电动机的起动、制动、反向和调速的控制，来实现生产加工过程的自动化，保证生产加工工艺要求。其主要优点是：线路简单、设计安装方便、维护容易、价格低廉、抗干扰能力强，因而在许多机械设备中得到了广泛应用，其缺点是采用固定接线方式，灵活性差，但继电接触器控制系统是现代电气控制技术的基础，其他控制技术都是在此基础上发展而来的。

随着生产技术的进步和生产过程的复杂化，对控制系统提出了新的要求，特别是多品种、小批量生产技术的出现，需要针对不同的生产工艺和要求来不断变换控制系统，而固定接线式的继电接触器控制系统根本无法满足不断变化的控制要求，而且生产系统的扩大需要采用更多的继电器，使控制系统的可靠性进一步降低。为此，美国数字设备公司（DEC）依据通用汽车（GM）公司的生产要求研制了第一台用来代替继电接触器控制系统的 PLC，可以依据生产工艺要求，通过改变控制程序来满足控制系统变化的要求，并在通用汽车公司的汽车生产线上试用成功，获得了极为满意的效果。PLC 技术一出现，就得到了广泛应用，并且发展极为迅速，现已成为电气控制技术的主流。

随着计算机技术的发展，PLC 将继电接触器系统的优点与计算机控制系统的编程灵活、功能齐全、应用面广、计算功能强等优点结合起来，已不仅仅是一种比继电接触器更可靠、功能更齐全、控制更灵活的工业控制器，而是一种可以

通过软件来实现控制的工业控制计算机。许多生产工程中，用 PLC 来实现整个生产流程的控制，常规电器仅仅是输入设备或执行电器。PLC、机器人、计算机辅助设计/计算机辅助制造（CAD/CAM）技术已被列为工业自动化的三大支柱。

电气控制技术是一门不断发展的技术，从最早的手动控制发展到自动控制，从简单控制发展到智能控制，从有触点的硬接线继电器接触器逻辑控制发展到以计算机为中心的软件控制系统，从单机控制发展到网络控制，电气控制技术随着新技术和新工艺的不断发展和迅速发展。现代电气控制技术已经是应用了计算机、自动控制、电子技术、精密测量、人工智能、网络技术等许多先进科学技术的综合成果。

在电气控制技术中，低压电器元件是重要基础件，是电气控制系统安全可靠运行的基础和主要保证。随着新技术的出现和发展，传统的低压电器也不断更新换代，正朝着高性能、高可靠性、小型化、模块化、组合化、智能化和网络化方向发展。模块化和组合化大大简化了电器制造过程，可以通过不同的模块组合形成新的电器。由于微处理器的运行速度越来越快、体积越来越小以及产品集成技术的发展，使得越来越多的厂商将智能芯片集成到产品之中，包括许多传统的电器元件等，形成了智能电器。

现代化的工业生产过程不断需要逻辑控制，而且生产过程中的各种参数（例如温度、压力、流量、速度、时间、功率等），也要求自动控制，这使得电气控制技术必须能够向前发展，满足生产要求。许多新技术就被引入到电气控制技术中，依据生产过程的参数变化和规律，自动调节各控制变量，保证生产过程和设备的正常运行，而且这个生产过程也可由计算机来智能管理，实现集中数据处理、集中监控以及强电控制与弱电控制的结合。

计算机网络和通信技术的飞速发展，使得电气控制技术发生了巨大变革，基于网络的电气控制技术，不但能对工业现场电器进行控制与操作，而且能实现网络异地控制。通过网络，可以对现场的电器进行远程在线控制，根据需要进行编程和组态等，实现电气控制技术的信息化，构成由计算机进行智能化控制信息管理。

将计算机网络引伸到工业现场，形成了现场总线技术。现场总线技术是自动化领域中计算机通信体系最低层的低成本网络，是一种工业数据总线，能将传感器、执行器与控制器等现场设备连接起来，协调工作，实现控制系统的集成，优化整个系统的性能，而且由于采用同一的通信接口使得现场控制设备实现即插即用，具有可扩充性。现场总线技术的发展使得低压电器具有了智能化和网络通信功能。基于现场总线的电器设备和技术已成为电气技术的发展方向。

电气控制技术一直伴随着实现生产过程自动化、提高生产制造设备效率而不

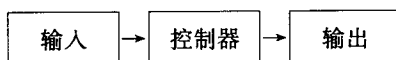
断发展。当今生产过程的柔性制造系统（FMS）、计算机集成制造系统（CIMS）、计算机辅助制造（CAM）、智能制造技术（IMT）、批量定制技术（MC）以及制造业信息化技术等为电气控制技术的发展提供了新的方向，柔性控制技术、智能控制技术等电气控制技术也必将进一步推动生产制造技术的进步。

综上所述，随着科学技术的进步，特别是计算机技术、微电子技术和机械制造技术的发展，电气控制技术正朝着集成化、智能化、网络化、信息化方向发展，并和各种新技术结合，相互促进、相互发展。

电气控制技术已广泛应用在各行各业，从简单的电动机起停逻辑控制到加工生产线上的数控加工中心、柔性制造设备控制，从传统的机床加工设备控制到现在的物流系统设备、立体车库系统控制等，电气控制技术都发挥着重要作用。

二、电气控制系统的组成

任何一个电气控制系统，都可以分为输入、控制器和输出三个部分，如下图所示：



1. 输入部分

输入部分是电气控制系统与工业生产现场控制对象的连接部分，一般由各种输入器件组成，其主要功能是把外部各种物理量转换为电信号，并输入到控制器中，如按钮、行程开关、热继电器以及各种传感器（热电偶、热电阻等）等。

2. 控制器

控制器是电气控制系统的核心，主要是将输入信息按一定的生产工艺和设备功能要求进行处理，产生控制信息。在继电接触器电气控制系统中，控制器主要为一些控制继电器，依据不同的生产控制要求，利用继电器机械触点的串联或并联及延时继电器的滞后动作等组合成控制逻辑，采用固定的接线方式连接起来完成控制输出。各控制电器一旦连接完毕，其要实现的控制功能也就固定，不会产生改变。如果控制系统的功能需要改变，则各控制电器元件本身和连线方式都需要重新改变。在 PLC 电气控制系统中，控制功能是可编程的，其控制逻辑以程序的方式存储在内存中，在控制功能需要改变时，可以通过编程来改变程序即可，使得控制系统变得非常方便和灵活，扩大了控制器的应用范围。这是与继电接触器逻辑控制系统的最大不同之处。

3. 输出部分

控制系统将输入经过控制处理后，要将控制信息输出，其功能是控制现场设备进行工作，将控制系统送来的信号转换成其他所需的物理信号，最终完成这个控制系统的功能，如电动机的起动停止、正反转，阀门的开关，工作台的移动、升降等。

三、本课程的性质与内容

本课程是机电专业必修的专业基础课，在专业领域里，对于提高学生工程实践的能力、增强分析问题和解决问题的能力具有重要作用。该课程的主要内容包含常用低压电器、电气控制系统的基本控制线路、典型机械设备电气控制线路分析、交直流调速系统、PLC 的原理与应用等。通过本课程的学习，使学生在熟悉常用低压电器、典型机械电气控制线路的基础上，具备分析、设计和改进机电设备电气控制线路的能力，了解电动机调速控制的原理，掌握 PLC 的基本原理及编程方法，能根据工艺过程和控制要求进行可编程序控制器控制系统的硬件和软件的设计，了解 PLC 网络与通信以及电气控制技术的发展方向。

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。

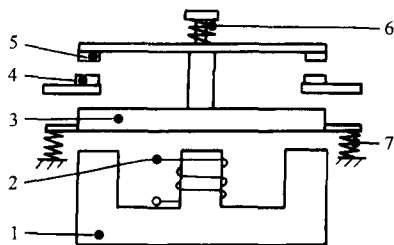


图 1-1 接触器结构示意图

- 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 计算接触器的主触头电流 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

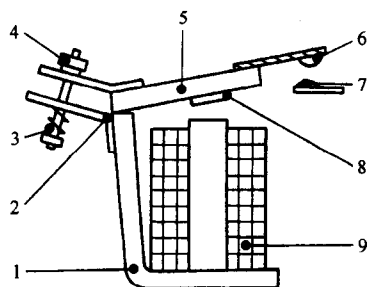


图 1-2 电磁式继电器的结构

- 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。

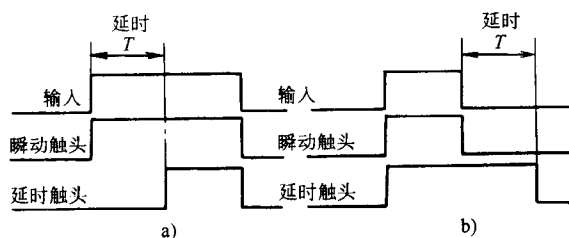


图 1-3 时间继电器的时序关系

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

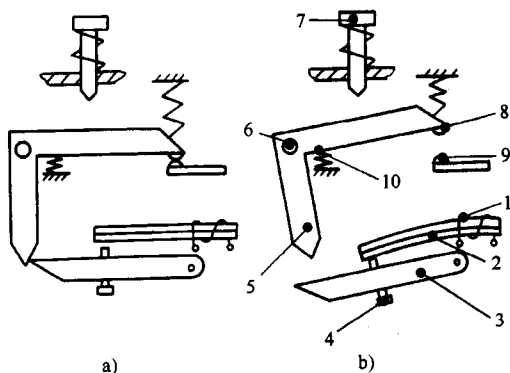


图 1-4 热继电器的工作原理示意图

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—复位按键
8—动触点 9—静触点 10—弹簧

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。

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。

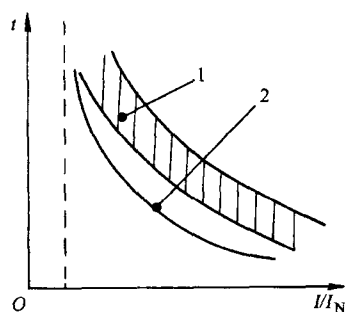


图 1-5 热继电器保护特性与电动机过载特性的配合

1—电动机过载特性

2—热继电器的保护特性