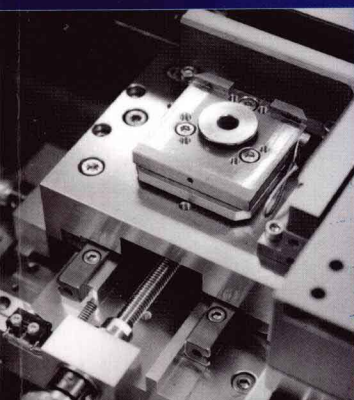




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



Electrical control technology of machine tools

机床电气控制技术

第⑤版

王振臣 齐占庆 © 主编

燕山大学



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机床电气控制技术

第5版

主编	王振臣	齐占庆
参编	李惠光	李海滨
主审	李志刚	



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书从教学角度出发,兼顾实际工程应用,系统地介绍了机床电气控制技术、PLC 的原理和应用、电力拖动直流和交流调速技术等内容。全书由四部分组成,共 6 章。第一部分由第 1、2 章组成,介绍了电气控制中常用的低压电器、电气控制电路的基本环节、典型电气控制系统的分析与设计方法并提供了工程实例。第二部分由第 3、4 章组成,介绍了 PLC 的基本结构和工作原理,以欧姆龙 C 系列、三菱 FX_{2N} 系列产品为典型机型,分别详解了它们的基本指令,对西门子 S-200 系列产品作了简单介绍,结合工程实例对采用 PLC 的控制系统给出了分析与设计方法。第三、第四两部分分别由第 5、6 章组成,重点介绍直流、交流调速系统基本构成原理及工程应用。每章后附有思考与练习,以便于学生自学。

本书可供相关专业师生以及从事电气技术方面工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机床电气控制技术/王振臣,齐占庆主编.—5 版.—北京:机械工业出版社,2012.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-39749-6

I. ①机… II. ①王…②齐… III. ①机床—电气控制—高等学校—教材 IV. ①TG502.35

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 217003 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:刘小慧 责任编辑:刘小慧 关晓飞 卢若薇

版式设计:姜 婷 责任校对:张玉琴

封面设计:张 静 责任印制:杨 曦

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2013 年 5 月第 5 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16 印张·393 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-39749-6

定价:35.00 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

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

《机床电气自动控制》第1版是在1980年出版的,2007年出版第4版时作了较大修改,并更名为《机床电气控制技术》。截至2011年,第4版已重印了9次。随着电气控制技术的迅速发展,尤其是可编程序控制器、交流调速等技术的发展与应用日臻完善,特别是当今科学技术的发展及“机电液”一体化应用的需要,掌握电气技术基础知识显得十分必要。为适应各专业拓宽专业面和对电气控制技术内容的需求,现将此教材重新编写,书名不变,与第4版相比,除订正个别疏漏外,增加了一些工程实例,删减了个别工程前景不明确的内容。

全书分四大部分,共6章。第一部分电器控制,重点介绍常用低压控制电器、典型电气控制电路的组成及电路分析、电动机的保护、电气线路设计及常用电器元件的选择。第二部分PLC,讲述其基础知识、基本原理,介绍了PLC的结构、工作方式、编程语言、常用基本指令,从应用角度出发,对PLC系统的分析与设计作了较全面的论述,并增加了一些实例。第三部分是直流电动机调速系统,从直流调速基础出发阐述了反馈控制的概念,介绍了无静差调速系统及采用PI调节器的转速、电流双闭环为基础的基本调速理论,并对模拟量、数字量控制的可逆直流调速系统作了概述。第四部分交流电动机调速系统,从交直流各自的优势及交流调速应用越来越广泛的角度出发,概要介绍了交流电动机常用的调速方法,对现代通用变频器的基本原理进行了分析,并对工程应用给出了相应的实例。

本版的编写过程中,既注意反映国内外控制技术的现状,又注意了新技术的发展要求。在内容上,尤其注意了基础理论与实践的结合,以适应机械制造类各专业及其他非电类专业学习的需要。

本书第1、2章由齐占庆教授主笔,第3章由李海滨教授主笔,第4、5章由王振臣教授主笔,第6章由李惠光教授主笔,全书由王振臣统稿,由河北工业大学李志刚教授主审。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材之一,可供普通高等工科院校、高等职业技术学院、函授大学等机械设计与制造、机械制造工艺与设备、机械电子工程(机电一体化)以及其他有关专业师生使用,也可供相关工程技术人员参考。其中打*部分内容各学校可根据教学安排有所取舍。

由于编者水平有限,本书难免有疏漏和欠妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

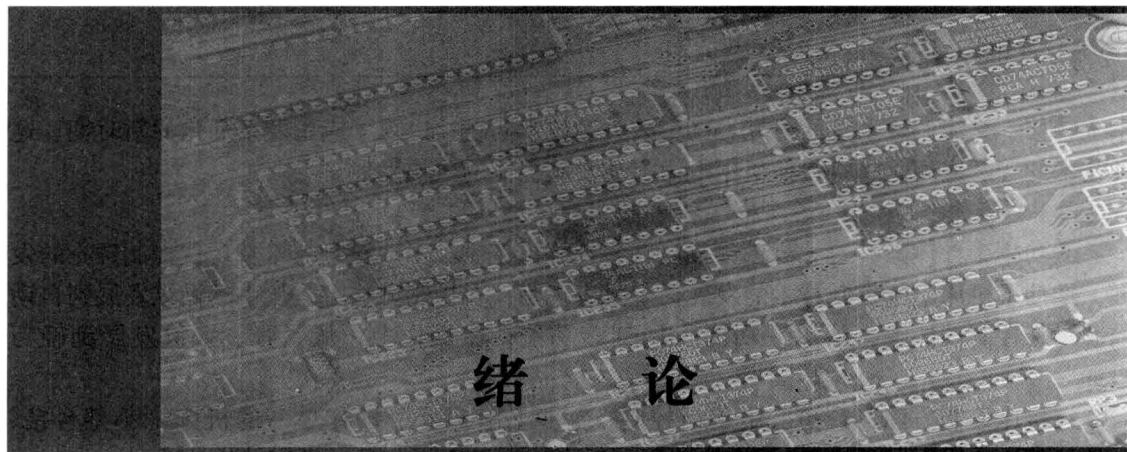
目 录

前言

绪论	1
0.1 机床电气控制的发展概况	1
0.2 机床电力拖动自动控制的基本概念	3
第1章 机床常用电器与控制电路的基本环节	5
1.1 常用低压电器	6
1.2 电气原理图的画法及阅读方法	17
1.3 笼型异步电动机的起动控制电路	18
1.4 电动机的正反转控制电路	21
1.5 电动机的制动控制电路	23
1.6 双速电动机的高低速控制电路	25
1.7 电液控制	26
1.8 控制电路的其他基本环节	31
1.9 电动机的常用保护电路	34
思考与练习	37
第2章 机床电气控制电路的分析与设计	39
2.1 卧式车床的电气控制电路分析	40
2.2 机床电气设计的一般内容	46
2.3 机床电气控制电路的设计	48
2.4 机床常用电器的选择	52
2.5 机床电气控制电路设计举例	56
思考与练习	61
第3章 PLC 的结构与工作原理	62
3.1 PLC 的基本结构及工作方式	63
3.2 PLC 的编程元件及编程语言	67
3.3 欧姆龙 C 系列 PLC 及其指令系统简介	71
3.4 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 及其基本指令简介	88
3.5* 西门子 S7-200 PLC 及其指令系统简介	102
思考与练习	118

第4章 PLC系统的分析、设计与应用	120
4.1 PLC系统的分析方法	121
4.2 PLC系统的设计	130
4.3 C650卧式车床的电气控制及PLC应用	143
4.4* T68卧式镗床的电气控制及PLC应用	145
4.5* X62W万能升降台铣床的电气控制及PLC应用	150
思考与练习	156
第5章 直流电动机的调速控制系统	161
5.1 直流调速的基础知识	162
5.2 反馈控制直流调速系统	165
5.3 无静差直流调速系统	174
5.4 直流可逆调速系统简介	185
思考与练习	193
第6章 交流电动机的调速控制系统	194
6.1 概述	195
6.2 简易交流调速及其控制电路	206
6.3 变频器原理	215
6.4 富士变频器简介	226
6.5 变频器典型电路的设计及应用举例	234
思考与练习	239
附录	240
附录A 电气设备常用基本图形符号 (摘自 GB/T 4728—2000)	240
附录B 电气设备常用基本文字符号 (摘自 GB/T 7159—1987)	243
附录C S7-200的指令系统	244
参考文献	248

读者信息反馈表



0.1 机床电气控制的发展概况

各工业生产部门的生产机械设备，基本上都是通过金属切削机床加工生产出来的，因此说机床是机械制造业中的主要加工设备。机床的质量、数量及自动化水平，都直接影响到整个机械工业的发展。机床工业发展的水平是一个国家工业水平的重要标志。

1. 机床电力拖动系统的发展

机床的拖动装置发展迅速。机床大多是由电动机拖动运行的，这种拖动方式称为“电力拖动”。20 世纪初，电动机的出现使机床的动力得到了根本的改变。最初，是由电动机直接代替蒸汽机，即由一台电动机拖动一组机床，称为“成组拖动”。成组拖动是通过中间机构（天轴）实现能量分配与传递的，机构复杂、传递路径长、耗损大、生产灵活性也小，不适于现代化生产的需要。20 世纪 20 年代，出现了单独拖动形式，即由一台电动机拖动一台机床。

由于生产发展的需要，机床在结构上也有所改变，床身增大，对动作要求逐渐增多。如果各种辅助运动仍由同一台电动机拖动，其机械传动机构就会变得十分复杂，且满足不了生产工艺上的要求，因此出现了由多台电动机分别拖动各运动机构的多电动机拖动方式。

采用多电动机拖动后，不但简化了机床的机械结构，提高了传动效率，且使机床各运动部分能够选择最合理的运动速度，缩短了工时，也便于分别控制，促进了机床的自动化。

电力拖动的发展史上，交流拖动、直流拖动两种方式是相辅相成交替发展的。由于直流电动机调速性能优良、调速范围大及调速精度高，因此在调速指标要求高的场合，广泛采用直流电动机拖动。20 世纪 30 年代出现了“直流发电机—直流电动机”组的调速系统，以及通过电机放大机等元件实现自动控制的直流调速系统。由于晶闸管作为大功率整流器件出现，以及电力电子功率变换技术的发展，“晶闸管—直流电动机”直流调速系统在机床拖动中得到了广泛的应用。在中、小容量系统上，由全控型电力电子器件构成的功率变换装置优势突出，具有代表性的“PWM—直流电动机”系统正在快速推广。但是直流电动机不如交流电动机那样结构简单，制造和维护都不方便，价格较昂贵，单机容量、电压等级、转速指标也不如交流电动机高。由于新型电力电子器件的出现、计算机技术的发展等因素，促使了交流调速技术的迅速发展。近几十年来，在电力拖动领域正逐渐从直流拖动系统向交流拖动

系统转移。交流调速系统的研究,已突破关键技术问题,进入了应用及系列化的新时期。这种技术的普及应用,必将促使机床电力拖动及其控制的更快发展。

2. 机床电气控制系统的发展

大功率半导体器件、大规模集成电路、计算机控制技术、检测技术及现代控制理论的发展,推动了机床电气控制技术的发展,主要表现为:在控制方法上,从手动操纵发展到自动控制;在控制功能上,从单一功能发展到多功能;在操作上,从紧张、繁重发展到轻巧自如。

在机床控制方面,最初采用手动控制,如少数容量小、动作单一的机床(小型台钻、砂轮机等),使用手动控制电器直接控制。后来,由于切削工具、机床结构的改进,切削功率的增大,机床运动的增多,手动控制已不能满足要求,于是出现了以继电器—接触器为主的控制电器所组成的自动控制装置和自动控制系统。这种控制系统,可实现对机床的各种运动的控制,如起停、反转、改变速度等。它们的控制方法简单直接、工作简单可靠、成本低,使机床自动化水平迈进了一大步。

随着生产的发展,对机床加工精度、生产效率提出了更高的要求。继电接触器系统的断续控制方式不能连续、准确地反映信号,很难达到较高的加工精度要求。于是出现了各种可连续控制的控制器件,如电机放大机、电子管及半导体放大器件等,这样就相应地出现了连续控制的自动控制方式及自动控制系统,如电机放大机控制系统、晶闸管控制系统等。

另一方面,由于继电接触器控制装置接线固定、使用单一,难以适应控制复杂和程序可变的控制对象的需要,所以20世纪60年代初就出现了顺序控制器。它的初期是以继电器或接触器作为记忆元件的控制器,即通过编码、逻辑组合来改变程序,满足不同加工工艺的需要。这样就使机床控制系统具有更大的灵活性和通用性。它的特点是通用性强、程序可变、编程容易、可靠性高、使用维护方便等。它较广泛地被应用于机械手、组合机床及生产自动线上,大大提高了机床自动化水平。

近年来,可编程序控制器(以下简称PLC)在工业自动化系统中的应用日益广泛。PLC技术以硬接线的继电接触器控制为基础,逐步发展为既有逻辑控制、计时、计数,又有数值运算、数据处理、模拟量调节、联网通信等功能的控制装置。它通过数字式或者模拟式的输入和输出满足各种类型机械控制的需要。PLC及有关外部设备,都按既易于与工业控制系统联成一体,又易于扩充其功能的原则设计。PLC已成为机械设备中开关量控制的主要电气控制装置。

现代机床经30多年的迅速发展,品种日益增多,它从“现代工程控制论”和“计算机技术”中吸取了大量成果,从而发展了自动设计、自动管理、自动诊断、自动换刀、自动传送等机床自动化手段。提高机床的加工精度,也是当前机床发展的重要课题,目前正在发展以原子直径为单位的精细加工,也称为超精密加工。这种加工技术开辟了新的加工领域,如激光加工、化学加工等,这样更扩大了机床的应用范畴。

在一般数控机床的基础上,近年来加工中心(MC)有了很大发展。它可以自动选刀、换刀,自动连续地对各个加工面完成铣削、镗削、铰孔及攻螺纹等多工序加工,改变了过去小批量生产中一人、一机、一刀的局面,而把许多相关的分散工序集中在一起,形成一个以工件为中心的多工序自动加工机床。

自适应数控机床是一种按照加工过程所发生的变化,自动调整到最佳切削条件的一种数

控机床。在工业发达国家, 20 世纪 60 年代末就有了自适应数控机床正式产品, 现已有自适应数控车床、铣床、磨床、钻床及电加工机床等多种产品。

用数字程序控制 (NC) 的机床, 即数字控制机床。它综合了多种现代新技术, 自动化程度也较高, 但其控制系统是由硬件逻辑电路组成的。这种控制灵活性差, 因此后来出现了用计算机代替硬件逻辑电路的计算机数控 (CNC)。由于计算机数控通用性强、控制灵活、工作可靠, 控制系统又不太复杂, 进而成为现代数控的基本形式。

在计算机数控发展的同时, 计算机群控系统也在发展。由一台过程监控计算机直接控制几台、几十台数控机床, 这就出现了计算机群控系统, 也称为直接数控系统 (DNC)。

自动化进一步发展, 成为连接生产中各个环节、实现各种物质材料传送的自动化。这就是把一群数控机床用自动传送连接起来, 并在计算机统一控制之下形成一个管理和制造相结合的生产整体, 它是数控机床、智能机器人、自动化仓库、自动检测与运输技术等新兴技术及计算机辅助设计、辅助制造、生产管理控制等软件技术高度发展的结果。这就是柔性制造系统 (FMC)。

综上所述, 提高机床加工精度和生产效率都与数控装置的控制能力及控制系统的形式密切相关。

0.2 机床电力拖动自动控制的基本概念

生产机械一般是由三个基本部分组成的, 即工作机构、传动机构及原动机。当原动机为电动机时, 也就是说, 由电动机通过传动机构带动工作机构进行工作时, 这种拖动方式就称为电力拖动。

一般地说, 电力拖动系统将电能转换成机械能, 它包括使机器动作的电动机、电气控制装置, 以及电动机和机床运动部件相互联系的传动机构。整体上可分为两部分: ①电力拖动部分 (包括电动机以及使电动机与机床相互联系起来的传动机构); ②电气自动控制部分。

从图 0-1 及图 0-2 中, 可清楚地看出卧式车床及数控机床电力拖动系统的两大部分。电力拖动系统主要分为直流拖动和交流拖动两大类。直流拖动是以直流电动机为动力, 交流拖动是以交流电动机为动力。由于电动机不同, 它们的控制装置 (控制系统) 也就不同。交流电动机具有结构简单、制造容易、造价低及容易维护等许多特点, 使得交流拖动系统在普通机床中的应用占主导地位。而直流电动机具有良好的起动、制动特性和调速性能, 能在很宽的范围内进行平滑调速, 所以对调速性能要求较高、对速度要求精确控制的机床都采用直流电动机拖动系统。但 20 世纪 80 年代以来, 由于高性能交流调速系统的出现, 在机床上采用交流拖动的调速系统也逐年增多, 打破了过去交、直流在调速上分开的格局。

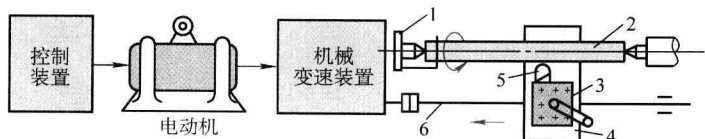


图 0-1 卧式车床加工示意图

1—主轴 2—工件 3—刀架 4—床鞍 5—车刀 6—丝杠

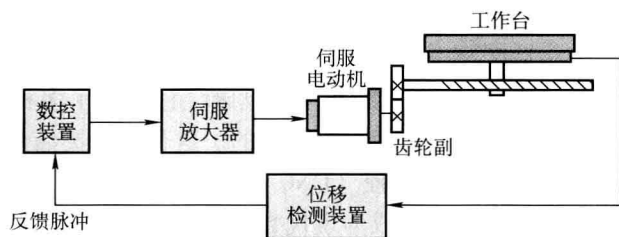


图 0-2 数控机床工作示意图

通常把电动机以及与电动机有关联的传动机构合并一起视为电力拖动部分；把满足加工工艺要求使电动机起动、制动、反转、调速等电气控制和电气操纵部分视为电气控制部分（或为电气自动控制装置）。

机床电气自动控制是采用各种控制元件、自动装置，对机床进行自动操纵、自动调节转速、按给定程序和自动适应多种条件的随机变化而选择最优的加工方案，以及工作循环自动化等。由于数控技术的发展和电子计算机的应用，使机床电气控制发展到一个新的水平。

机床电气控制课程，就是研究解决机床电气控制有关问题，阐述机床控制原理、实际机床控制电路、机床电气控制电路的设计方法及常用电器元件的选择、PLC 原理及应用、交直流调速系统等内容。本书只涉及最基本、最典型的控制电路及控制实例。电气自动控制是各类机床的重要组成部分，因此对机械制造专业及机床设计人员来说，应该掌握机床电气控制的基本原理和方法。

第1章

机床常用电器与控制电路的基本环节

电器及电气控制伴随着电能的发现与应用已经有几百年的历史。本章从应用的角度首先介绍了几种常用的低压控制类电器，对其结构、动作原理以及它们在电气控制电路中的应用作一简单说明。图 1-0 中给出了某些电器的图片。



图 1-0 常用低压控制电器

电气控制技术在各类机床上有着广泛的应用，本章介绍组成电气控制电路常用的基本环节，力求为各种机床电气控制电路的分析与设计打下基础。

现代机床通常以机、电、液三大技术为支撑，从自动控制的角度说，三者彼此融合，难以割裂，电气控制技术的学习无法避开这一现实，本章将以一定篇幅介绍电—液控制环节及其应用实例。

1.1 常用低压电器

1.1.1 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路对象的切换、控制、检测、保护、变换以及调节的电气设备。低压电器的额定电压等级范围，随着技术的提高和生产发展的需要有所提高的趋势。

低压电器的种类很多，分类方法也有多种。按动作方式，可分为自动切换电器和非自动切换电器。自动切换电器在完成接通、分断等动作时，依靠其本身参数的变化或外来信号自动进行工作；非自动切换电器主要依靠外力直接操作来完成切换动作。按使用场合，低压电器可按表 1-1 划分。若按在电气线路中所处的地位和作用，低压电器可分为配电电器和控制电器，如表 1-2 所示。前者主要用于配电系统中，对其技术要求是分断能力强、限流效果好、动稳定和热稳定性高；后者主要用于生产机械和设备的电气控制系统。另外，还可按有无触点、灭弧介质、外壳防护等级、安装类别等进行分类。

表 1-1 低压电器按使用场合分类表

类 别	特点及适用场合
一般用途	正常条件下工作
化工用电器	防腐蚀，适用于有腐蚀性气体和粉尘的场合
矿用电器	防爆，适用于含煤尘、甲烷等爆炸性气体的环境
船用电器	耐颠簸、振动和冲击，耐潮湿，抗盐雾和霉菌侵蚀
航空用电器	耐冲击、振动，可在任何位置上工作
牵引电器	工作环境温度较高，耐振动和冲击，通常用于电力机车
热带电器（使用环境温度为 40 ~ 50℃）	湿热带型：能工作在相对湿度为 95%，且有凝露、烟雾和霉菌的场合 干热带型：能防沙尘
高原电器	适用于海拔 1000 ~ 4000m 的高原地区

尽管低压电器种类繁多，工作原理和结构形式五花八门，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，作出有规律的反应。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”任务。有的低压电器具有把感受和执两部分联系起来的中间传递部分，使它们协调一致，按一定规律动作，如断路器类的低压电器就是如此。

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进行分配和使用的；每新增加 1 万千瓦发电设备，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，如果低压电器元件的品种规格和性能参数选用不当，或者个别元件出故障，都会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。本节选择几种常用的低压电器，从应用角度对其工作原理、性能参数作简要介绍。

应该指出，当代科技进步日新月异，随着新材料、新工艺、新技术的出现，低压电器的品种、规格的升级换代逐步加快，只有密切关注该领域的发展动向，及时更新资料数据，才能适应电气控制技术发展的需要。

表 1-2 低压电器产品按作用分类

分 类	名 称	主 要 品 种	用 途
控制电器	接触器	交流接触器 直流接触器	远距离频繁启动或停止交、直流电动机，以及接通和分断正常工作的主电路和控制电路
	控制继电器	电压继电器 电流继电器 中间继电器 时间继电器 热继电器 压力继电器 速度继电器 固态继电器	主要用于控制系统中控制其他电器或作主电路的保护之用
	主令电器	按钮 限位开关 微动开关 万能转换开关 接近开关 光电开关	用来闭合和分断控制电路以发布命令
	控制器	凸轮控制器 平面控制器	转换主回路或励磁回路的接法，以达到电动机的启动、换向和调速目的
配电电器	断路器	塑料外壳断路器 框架式断路器	用作线路过载、短路、漏电或欠电压保护，也可用作不频繁接通和分断电路
	熔断器	有填料熔断器 无填料熔断器 半封闭插入式熔断器	用作线路和设备的短路和严重过载保护
	刀形开关	负荷开关	主要用作电气隔离，也能接通和分断额定电流

1.1.2 接触器

接触器是一种可频繁地接通和分断较大负载电路的控制电器。从输入输出能量关系看，它是一种功率放大器件。

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、触点与灭弧装置、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变为机械能，所产生的电磁力克服释放弹簧与触点弹簧的反力使衔铁吸合，通过触点支架，使动、静触点的通、断状态改变。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，同时带动动触点使其复位。

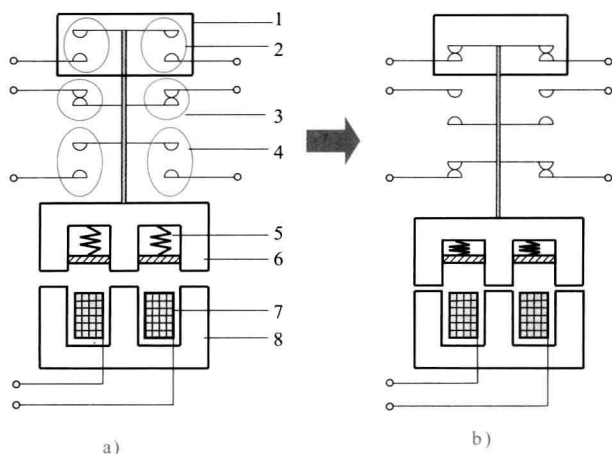


图 1-1 接触器的结构及动作原理示意图

a) 断电释放状态（常态） b) 通电动作状态

1—消弧罩 2—主触点 3—辅助动断触点（常闭触点）

4—辅助动合触点（常开触点） 5—复位弹簧 6—衔铁 7—线圈 8—铁心

如果电路中的电压超过 $10 \sim 12\text{V}$ 和电流超过 $80 \sim 100\text{mA}$ ，则在动、静触点分离时在它们的气隙中间就会产生强烈的火花，通常称为“电弧”。电弧是一种高温高热的气体放电现象，其结果会使触点烧蚀，缩短使用寿命，因此通常要设灭弧装置。灭弧装置有多种类型，如磁吹或电动力吹弧装置、灭弧罩与纵缝灭弧装置、栅片灭弧室以及用多断点灭弧，如图 1-1 中的桥式触点结构就有两个断点。

给吸引线圈施加的操作电源可为交流也可为直流。当使用单向交流电源时，因交流电流要周期地过零值，所以它产生的电磁吸力也要周期过零，这样在释放弹簧反力和电磁力的共同作用下衔铁就要产生振动。在单相交流操作的电磁机构的铁心端面上要安装铜制的短路环，如图 1-2 所示。短路环的作用在于它产生的磁通 Φ_2 滞后于主磁通 Φ_1 一定相位，它产生的电磁力 F_2 与 F_1 之间也就有一相位差。结果， F_2 与 F_1 的合力——磁极端面处的总磁力 F_0 就不会过零值，而在某一最大值与最小值之间呈周期性地变化。只要使得电磁力的最小值大于释放弹簧的反力，衔铁就不会振动了。

2. 接触器的分类

如果按主触点控制的电路中电流的种类划分，接触器可分为交流接触器和直流接触器；而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。通常所说的交流/直流接触器是指前一种分类方法，两者不要混淆。此外，接触器还可按主触点的数目分为单极、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. 图形符号及文字符号

接触器的图形符号及文字符号如图 1-3 所示。辅助触点因无灭弧装置，图形符号可不画修饰符。

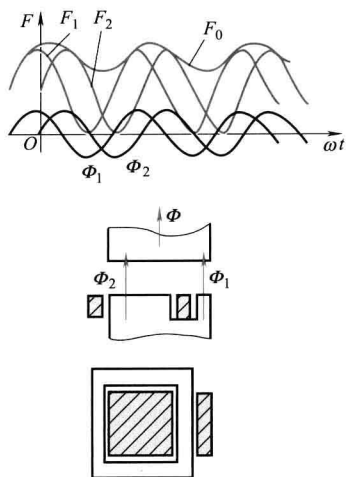


图 1-2 短路环的作用

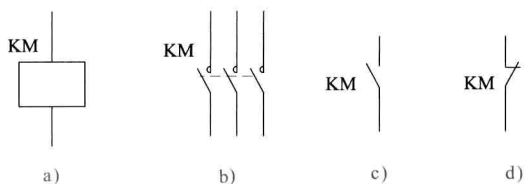


图 1-3 接触器的图形符号及文字符号

a) 线圈 b) 主触点 c) 辅助动合触点 d) 辅助动断触点

1.1.3 控制继电器

控制继电器是一种根据特定形式的输入信号而动作的自动电器。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，其工作方式是：当输入量变化到某一定值时继电器的触点即动作，接通或断开被控电路。由于控制电路消耗的功率一般不大，所以对继电器触点的分断电流的能力要求较低，一般不需用特殊的灭弧装置。尽管控制继电器的种类繁多，但它们都具有一个共性——继电器特性，如图 1-4 所示。当输入量 X 从 0 开始增加，但未达到 X_0 之前输出 $Y=0$ ；当 X 到达 X_0 时 Y 突变到 Y_1 （触点动作）。再进一步增加 X ， Y 仍保持 Y_1 不变。而当输入量 X 减小时，在 $X=X_0$ 处 Y 不发生变化，只有当 X 降低到 X_r ($X_r < X_0$) 时， Y 才突变到 0（触点复位）， X 再减少， Y 仍为 0。 X_0 称为继电器的吸合值， X_r 称为继电器的释放值，两者之比 $k=(X_r/X_0)$ 称为继电器的返回系数，它是继电器的重要参数。不同场合要求不同的 k 值。

下面介绍几种常用的控制继电器。

1. 电磁式控制继电器

电磁式控制继电器在电气控制系统中起控制、放大、联锁、保护与调节等作用，以实现控制过程的自动化。

(1) 结构及动作原理 电磁式控制继电器的结构及动作原理与接触器类似。图 1-5 是直流电磁式控制继电器的结构示意图。其返回系数可通过调节螺母改变释放弹簧的弹力或非磁性垫片的厚度来实现。

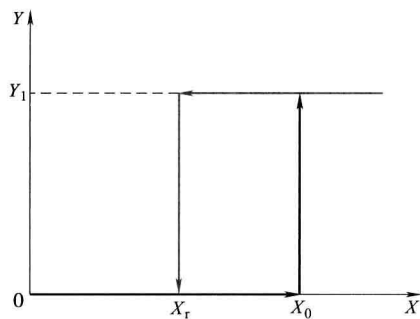


图 1-4 继电器特性

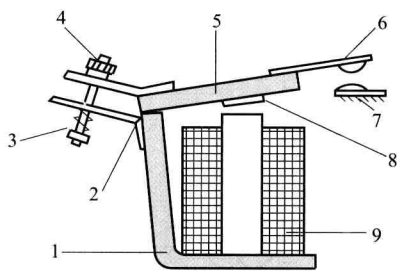


图 1-5 直流电磁式控制继电器的结构示意图

1—铁心 2—旋转棱角 3—复位弹簧 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

(2) 分类 按输入信号的性质,电磁式控制继电器可分为电压继电器和电流继电器;按用途前者又可分出一类——中间继电器。电磁式控制继电器的分类如表 1-3 所示。

表 1-3 不同用途的电磁式控制继电器

名 称	主要用途
电压继电器	用于电动机失压或欠电压保护及控制信号的转换与衔接
中间继电器	加在某一电器与被控电路之间,以扩大前者的触点数量和容量
电流继电器	用于电动机的过载及短路保护、直流电动机的磁场控制及失磁保护

电流继电器与电压继电器的区别主要是线圈参数不同,前者为检测负载电流,一般线圈要与负载串联,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,故线圈要与负载并联,需要电抗大,故线圈匝数多而线径细。

控制继电器的动作参数可根据要求在一定范围内进行整定,如表 1-4 所示。

表 1-4 电磁式控制继电器的整定参数

继电器类型	电 流 种 类	可 调 参 数	调 整 范 围
电压继电器	直流	动作电压	吸合电压 (30% ~ 50%) U_e 释放电压 (7% ~ 20%) U_e
过电压继电器	交流	动作电压	(105% ~ 120%) U_e
欠电流继电器	直流	动作电流	吸合电流 (30% ~ 65%) I_e 释放电流 (10% ~ 20%) I_e
过电流继电器	交流	动作电流	(110% ~ 350%) I_e
	直流		(70% ~ 300%) I_e

(3) 图形符号及文字符号 常用电磁式控制继电器的图形符号及文字符号如图 1-6 所示。

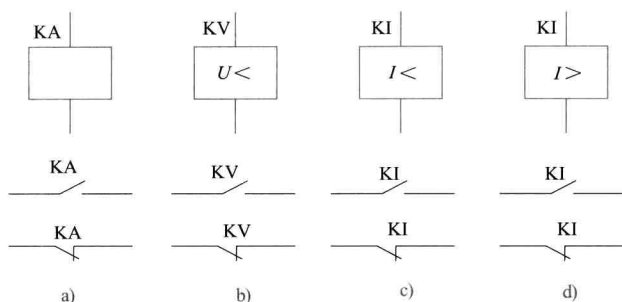


图 1-6 常用电磁式控制继电器的图形符号及文字符号

a) 中间继电器 b) 欠电压继电器 c) 欠电流继电器 d) 过电流继电器

2. 时间继电器

当感受部分接收外界信号后,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。

(1) 动作原理 按工作原理划分,现代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计时精度高、时间设定范围宽、功能多、体积小等优点而成为市场上的主导产品。

(2) 空气阻尼式时间继电器 在机床中应用最多的是空气阻尼式时间继电器,其型号有 JS7-A 系列,延时范围有 0.4~60s 及 0.4~180s 两种。

7PR 系列时间继电器是引进德国西门子公司技术生产的产品,适用于交流 50Hz 或 60Hz,电压为 110~120V、120~127V、220V 的电路中,特点是抗干扰能力强、延时误差小、体积小。该产品符合 VDE 和 IEC 标准。其结构及动作原理图如图 1-7 所示。

(3) 图形符号及文字符号 图 1-8 是时间继电器的图形符号及文字符号。

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量,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、断相及电流不平衡运行的保护,也可用于其他电气设备发热状态的控制。

(1) 结构与动作原理 热继电器的工作原理示意图如图 1-9 所示。热元件(双金属片)由膨胀系数不同的两种金属片压轧而成(设上层膨胀系数大)。当电流过大时,与负载串联的加热元件发热量增多,使双金属片随温度升高弯曲度加大,进而拨动扣板使之与扣钩机构脱开,在弹簧的作用下触点动作。常用其动断触点,使保护对象停止工作,起到防止其过载的作用。通过调节压动螺栓,就可整定热继电器的动作电流值。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。

(2) 保护特性 热继电器的动作时间与通过电流之间的关系特性呈反时限特性(图 1-10 中曲线 1),合理调整它与电动机在保证绕组正常使用寿命的条件下所具有的反时限容