



21世纪高职高专规划教材

机械设备控制技术



王德发 主编

39
2



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专规划教材

机械设备控制技术

主 编	辽宁机电职业技术学院	王德发
副主编	河北机电职业技术学院	马丽霞
	河南职业技术学院	孙德胜
参 编	安徽水利水电职业技术学院	戴 崇
	太原理工大学长治学院	靳国斌
	西安理工大学高等技术学院	姜全民
	佛山职业技术学院	李诚义



机械工业出版社

98-111
SJSW

本书是根据教育部教高[2000]2号文件精神,由中国机械工业教育协会和机械工业出版社组织全国80多所高等院校合作编写的21世纪高职高专规划教材之一。教学内容以工程应用为目的,以理论适度、讲清概念和强化应用为重点,突出实用性和综合性,注重学生基本技能的训练和综合能力的培养。全书共分7章,内容包括绪论,电气控制技术,可编程序控制技术,液压传动控制技术,气压传动控制技术,计算机控制技术,机械设备控制系统的故障诊断技术。

本书可作为2年制和3年制高等职业院校、高等专科学校、职工大学、业余大学、成人教育学院、电视大学以及其他大专层次的机电类专业的教材,也可供有关教师及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设备控制技术/王德发主编. —北京:机械工业出版社, 2005.1

21世纪高职高专规划教材

ISBN 7-111-15576-9

I. 机... II. 王... III. 机械设备—控制系统—高等学校: 技术学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第114631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:余茂祚 责任编辑:余茂祚 版式设计:冉晓华

责任校对:陈延翔 封面设计:饶薇 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

2005年1月第1版第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·13.5印张·329千字

定价:21.00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

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专规划教材

编 委 会 名 单

编委会主任 王文斌 郝广发

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

马元兴 王茂元 王明耀 王胜利 王锡铭 田建敏

刘锡奇 杨文兰 杨 飒 李兴旺 李居参 杜建根

余元冠 沈国良 沈祖尧 陈丽能 陈瑞藻 张建华

茆有柏 徐铮颖 符宁平 焦 斌

编委会委员 (按姓氏笔画为序)

王志伟 付丽华 成运花 曲昭仲 朱 强 齐从谦

许 展 李茂松 李学锋 李连邨 李超群 杨克玉

杨国祥 杨翠明 吴诗德 吴振彪 吴 锐 肖 琰

何志祥 何宝文 陈月波 陈江伟 张 波 武友德

周国良 宗序炎 俞庆生 恽达明 娄 洁 晏初宏

倪依纯 徐炳亭 唐志宏 崔 平 崔景茂

总 策 划 余茂祚

策划助理 于奇慧

前言

本书是根据教育部教高[2000]2号文件精神,由中国机械工业教育协会和机械工业出版社组织全国80多所高等院校合作编写的高职高专规划教材之一。

机械设备控制技术是在信息论、控制论和系统论基础上发展起来的一门综合应用技术。随着科学技术的迅猛发展,机械类产品的自动化程度越来越高,机电一体化设计已成为现代机械设计领域的发展主流。

本书比较全面、系统地介绍了机械设备控制技术,在内容的安排上既注意本领域内基础理论及基本技术的阐述,也考虑了本领域内相关技术的扼要介绍;既讲解基本原理,又注意强调实用性和针对性,给出了如何应用基本原理处理工程实际问题的范例或工程应用实例;既着眼于先进技术及其未来的发展,同时也注重我国当前的国情。在行文叙述方面力求由浅入深,循序渐进。内容选择恰当,理论联系实际,突出实用性和针对性。

本书基本上是按照高中毕业2年制和3年制高职高专教学所需内容编写的。教学内容以工程应用为目的,以理论适度、讲清概念和强化应用为重点,突出实用性、综合性,注重学生基本技能的训练和综合能力的培养。本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、职工大学、业余大学、成人教育学院、电视大学以及其他大专层次的机电及机械类专业的教材,也可供有关教师以及工程技术人员参考。

本书共7章。第1、6、7章由辽宁机电职业技术学院王德发编写;第2章由安徽水利水电职业技术学院戴崇、西安理工大学高等技术学院姜全民编写;第3章由太原理工大学长治学院靳国斌、佛山职业技术学院李诚义编写;第4章由河北机电职业技术学院马丽霞编写;第5章由河南职业技术学院孙德胜编写。本书由王德发任主编,马丽霞、孙德胜任副主编。

本书在编写过程中得到辽宁机电职业技术学院领导的大力支持和热情帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有错误和疏漏之处,恳请读者给予批评指正。

编者

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

- 1.1 机械设备控制技术概述 1
- 1.2 机械设备控制的技术体系 4
- 1.3 机械设备控制技术的发展前景 ... 5
- 1.4 机械设备控制的技术、
经济和社会效益 6

复习思考题 7

第 2 章 电气控制技术 8

- 2.1 电气控制技术概述 8
- 2.2 常用低压电器 10
- 2.3 基本电气控制电路 31
- 2.4 典型电气控制系统 44

复习思考题 57

第 3 章 可编程序控制技术 59

- 3.1 可编程序控制器概述 59
- 3.2 可编程序控制器的组成与
工作原理 62
- 3.3 可编程序控制器的指令系统 68
- 3.4 可编程序控制器应用实例 86

复习思考题 99

第 4 章 液压传动控制技术 102

- 4.1 液压传动控制技术概述 102
- 4.2 液压元件 108
- 4.3 液压传动基本回路 124
- 4.4 典型液压传动系统 130

复习思考题 138

第 5 章 气压传动控制技术 141

- 5.1 气压传动控制技术概述 141
- 5.2 气压元件 143
- 5.3 气压传动基本回路 158
- 5.4 典型气压传动系统 161

复习思考题 162

第 6 章 计算机控制技术 164

- 6.1 计算机控制技术概述 165
- 6.2 计算机在控制技术中的
典型应用方式 170
- 6.3 典型计算机控制系统简介 173
- 6.4 工业控制机 178
- 6.5 计算机控制系统的研究课题和
发展方向 181

复习思考题 184

第 7 章 机械设备控制系统的 故障诊断技术 185

- 7.1 可靠性的基本概念 185
- 7.2 机械设备控制系统的故障类型 ... 189
- 7.3 机械设备控制系统的
故障诊断技术 194
- 7.4 机械设备控制系统的干扰
抑制与处理 198

复习思考题 206

参考文献 207

第1章 绪 论

1.1 机械设备控制技术概述

1.1.1 机械设备控制技术的基本概念

随着以大规模集成电路和微型计算机为代表的微电子技术的迅速发展,传统的机械工业已逐渐成为综合运用机械、微电子、自动控制、信息、传感测试、电力电子、接口、信号变换以及软件编程等技术的群体技术。机械设备控制技术在机械、电子、计算机和自动控制等技术有机结合的一门复合技术。机械设备控制技术不是机械与电子简单的叠加,而是在信息论、控制论和系统论的基础上把两者有机结合起来的应用技术。由于引进了微电子技术,工业生产从机械自动化跨入了机电一体化阶段,使机械产品的技术结构、产品结构、产品功能和构成、生产方式和管理体制均发生了巨大变化。机械设备控制技术还赋予机械产品一些新的功能,如自动检测、自动显示、自动记录、自动处理信息、自动调节控制、自动诊断和自动保护等,从而使机械具有智能化的特征。如果说传统机械主要是代替和放大人的体力,而机械设备控制技术则能取代并延伸人的部分智力。

1.1.2 机械设备控制技术的发展过程

随着科学技术的发展,生产工艺不断提出新的要求,机械设备控制技术也不断更新。在控制方法上从手动控制到自动控制,在控制功能上从简单到复杂,在操作上由笨重到轻巧,在控制原理上由单一的有触点硬接线继电器控制系统转为以微处理器为中心的软件控制系统。新的控制理论及新型机电技术的应用,不断推动机械设备控制技术的发展。

18世纪蒸汽机的发明,标志着第一次技术革命的到来,人类社会开始进入工业化大生产时代;19世纪电的应用,标志着第二次技术革命开始,人类社会开始进入电气化时代。机械设备控制技术实际上是自动化技术发展的一个阶段和必然的产物,它是自动化领域中机械技术与电子技术有机结合而产生的新技缩。机械设备控制技术得以发展的根本原因,在于生产的发展和科学技术的进步,其中特别饲自动化技术与计算机科学起了很重要的作用。第二次世界大战以后,几乎是同时诞生的系统工程、控制论和信息论这三门科学既是自动化与机械设备控制的理论基础,也是机械设备控制技术的方法论。而微电子技术和大规模集成电路制造技术的进步,则为机械设备控制技术与自动化技术奠定了物质基础。反过来,机械制造技术也对微电子学和自动化技术作出了贡献。如大规模集成电路芯片的制造,就是以超精密机械加工为基础的,而这种加工设备本身又是一种计算机控制的自动化系统。由此可见,机械设备控制技术的产生既是微电子技术与自动化技术发展的结果,又是信息论、控制论和系统工程付诸生产实践的结果。

在20世纪的20年代至30年代,借助继电器、接触器、按钮和行程开关等组成继电器-接触器控制系统,实现对机械设备的起动、停止和有级调速等控制。继电器-接触器控制的优点是结构简单、价格低廉、维护方便和抗干扰能力强,因此广泛应用于各类机械设备。采用继电器-接触器控制系统,不仅可以方便地实现生产过程自动化,还可以实现集中控制和

远距离控制。目前,在我国继电器-接触器控制仍然是机械设备最基本的电气控制形式之一。继电器-接触器控制系统的缺点是:由于是固定接线形式,故在进行程序控制时,改变控制程序不方便,灵活性差;采用有触点开关,动作频率低,触点易损坏,可靠性差。到了 20 世纪 40 年代至 50 年代,出现了交磁放大机-电动机控制,这是一种闭环反馈系统,当输出量与给定量发生偏差时就自动调整,系统的控制精度和快速性都有了提高。20 世纪 60 年代出现了晶体管-晶闸管控制,发展到 70 年代成为集成电路放大器-晶闸管控制。由晶闸管供电的直流调速系统和交流调速系统不仅调速性能大为改善,而且减少了机械设备和占地面积,耗电少,效率高,完全取代了交磁放大机-电动机系统。

在实际生产中,由于大量存在一些用开关量控制的简单的程序控制过程,而实际生产工艺和流程又是经常变化的,因而传统的继电器-接触器控制系统常不能满足这种需要。电子计算机控制系统的出现,提高了电气控制的灵活性和通用性,其控制功能和控制精度都得到很大提高。然而在其初期,存在着系统复杂、使用不便、抗干扰能力差和成本较高等缺陷,尤其对上述简单的过程控制有“大材小用”和不经济等问题。因而,在 20 世纪的 60 年代出现了一种能够根据需要,方便地改变控制系统,而又远比计算机系统结构简单、价格低廉的自动化装置——顺序控制器,它是通过组合逻辑元件插接或编程来实现继电器-接触器控制线路功能的装置,能满足程序经常改变的控制要求,使控制系统具有较大的灵活性和通用性,但它还是使用硬件手段,装置体积大,功能也受到一定的限制。随着大规模集成电路和微处理器技术的发展和运用,上述控制技术也发生了根本变化,在 70 年代出现了用软件手段来实现各种控制功能,以微处理器为核心的新型工业控制器——可编程序控制器,这种器件完全能够适应恶劣的工业环境。由于它兼备了计算机控制和继电控制系统两方面的优点,故目前世界各国已作为一种标准化通用设备普遍应用于工业控制。

微处理器和微型计算机自 1971 年问世以来,已成为人类生活中普遍应用的工具,从人造卫星到日常生活,从科学计算到儿童玩具,都有微型计算机的踪迹。微型计算机的应用之所以发展得如此迅速,一个重要的原因是其性能价格比在各种类型的计算机中占有领先地位。微型计算机以价廉物美、可靠性高、维护方便和小巧灵活而深受欢迎。目前,微型计算机已广泛应用于机械设备的局部控制或整体控制,减少了机械部件,提高了生产效率,减轻了工人的劳动强度,成为机械设备控制系统的发展方向之一,其中数控机床和数控系统就是典型的例子。

为了解决占机械加工总量 80% 左右的单件和中小批量生产自动化,以提高劳动效率、产品质量和降低劳动强度,在 20 世纪的 50 年代就出现了数控机床,它是一种具有广泛通用性的高效率自动化机床,它综合运用了电子技术、检测技术、计算机技术、自动控制和机床结构设计等各个技术领域的最新技术成就。目前又在一般数控机床的基础上,发展成为附带自动换刀和自适应等功能的复杂数控系列产品,称为加工中心。它可对多道工序的工件进行连续加工,节省了夹具,缩短了装夹定位和对刀等辅助时间,提高了工作效率和产品质量,成功地取代了以往依靠模板、凸轮、专用夹具、刀具和定程挡块来实现顺序加工的自动机床、组合机床及专用机床。

以小型通用计算机去控制某一特定的对象时,要依靠事前存放在存储器内的系统程序。而数控装置就是依靠它来实现对某具体机床的控制,对不同的控制对象和不同的功能要求只需要改变预先存放的系统程序。用软件方法来增加或改变控制系统的功能,使系统具有很大

的灵活性和柔性,这是数控机床一个显著优点,同时系统能将全部加工程序依次输入存储器,可避免逐段阅读程序容易出错的弊病,并能简化程序设计和修改。专用计算机控制系统中还放置了各种诊断程序,进行故障预检及自动查找,提高了设备可靠性,且便于维修。

随着计算机技术的迅速发展,数控机床的应用日益广泛,并进一步推动了数控系统的发展,产生了自动编程系统(APS)、计算机数控系统(CNC)、计算机群控系统(DNC)和柔性制造系统(FMS)。FMS是把一群数控机床与工件、刀具和夹具等用自动线连接起来,并在计算机的统一控制下形成一个管理和制造相结合的生产整体。这就组成了计算机群控自动线,或称为柔性制造系统。计算机集成制造系统(CIMS)及设计制造一体化(CAD/CAM)是机械制造自动化的高级阶段,可实现产品从设计到制造的全部自动化。

综上所述,机械设备控制技术的产生,并不是孤立的,而是各种技术互相渗透的结果。它代表了正在形成中的新一代的生产技术,已显示出并将越来越显示出强大的威力。在世界范围内,各国掀起的机电一体化热潮正在蓬勃兴起,并已渗透到国民经济和社会生活的各个领域。可以说,从军事到经济,从生产到生活,从简单的消费品生产到复杂的社会生产和管理系统,机电一体化几乎达到“无孔不入”的地步。它促使产业结构、产品结构、生产方式和管理体系发生了深刻的变化,促进了新兴产业的发展,同时也引起了各国发展机械设备控制技术的激烈的竞争,从而又反过来在全世界范围内更进一步推动机械设备控制技术与系统向前迅速发展。

1.1.3 机械设备控制系统的基本结构要素

一个较完善的机械设备控制系统应包括以下几个基本要素:机械本体、动力部分、测试传感部分、执行机构、驱动部分、控制及信息处理单元及接口,各要素和环节之间通过接口相联系。

1. 机械本体 是系统所有功能元素的机械支持结构,包括机身、框架和机械连接等。由于机电一体化产品技术性能、水平和功能的提高,机械本体要在机械结构、材料、加工工艺性及几何尺寸等方面适应高效、多功能、可靠、节能、小型、轻量和美观等要求。

2. 动力部分 按照系统控制要求,为系统提供能量和动力,使系统正常运行。用尽可能小的动力输入,获得尽可能大的功能输出,是机电一体化产品的显著特征之一。

3. 测试传感部分 对系统运行中所需要的本身和外界环境的各种参数及状态进行检测,转换为可识别信号,传输到信息处理单元,经分析和处理后产生相应的控制信息,其功能一般由专门的传感器和仪表完成。

4. 执行机构 根据控制信息和指令,完成要求的动作。执行机构是运动部件,一般采用机械、电磁、电气和液压等机构。根据控制系统的匹配性要求,需要考虑改善执行机构的性能,如提高刚度,减轻重量,实现组件化、标准化和系统化,提高系统整体可靠性等。

5. 驱动部分 在控制信息作用下提供动力,驱动各种执行机构完成各种动作和功能。控制系统一方面要求驱动的高效率和快速响应特征,同时要求有较高的可靠性和对水、油、温度和尘埃等外部环境有较强的适应性。由于几何尺寸上的限制,要求驱动部分动作范围狭窄,所以还需考虑维修和标准化的要求。随着电力电子技术的高速发展,高性能步进驱动、直流和交流伺服驱动已大量应用于控制系统。

6. 控制及信息处理单元 将来自各传感器的检测信息和外部输入命令进行集中、存储、分析和加工,根据信息处理结果,按照一定的程序和节奏发出相应的指令,控制整个系统有目的地运行。控制及信息处理单元一般由计算机、可编程序控制器(PLC)、数控装置以及逻

辑电路、A/D 与 D/A 转换、I/O (输入/输出)接口和计算机外部设备等组成。控制系统对控制和信息处理单元的基本要求是：提高信息处理速度和可靠性、增强抗干扰能力，以及完善系统自诊断功能，实现信息处理智能化和小型、轻量和标准化等。

7. 接口 是控制系统中各单元和环节之间进行物质、能量和信息交换的连接界面，具有对信号进行变换、放大及传递的功能。由于接口的作用，使各组成要素连接成为一个有机整体，由控制和信息处理单元的预期信息导引，使各功能环节有目的地协调一致运行。

1.2 机械设备控制的技术体系

1.2.1 机械设备控制的相关学科

机械设备控制技术是一门综合性的学科，支撑它的学科主要有：

- 1) 机械学。包括机械设计、机械制造和机械动力学等。
- 2) 电子学。包括电工学、数字电路、模拟电路、电机和电器等。
- 3) 微电子学。包括微处理器及接口技术、计算机科学、CAD/CAM 技术及软件技术等。
- 4) 控制论。包括经典控制和现代控制理论。

1.2.2 机械设备控制的相关技术

机械设备控制技术是一门正在发展的边缘技术，是在传统技术的基础上，与一些新兴技术相结合而发展起来的。与此相关的技术很多，涉及到机械技术、电子技术、控制技术以及信息技术等。机械设备控制的共性相关技术可以归纳为 6 个方面：检测传感技术、信息处理技术、自动控制技术、精密机械技术及系统总体技术，从而形成了多学科技术领域综合交叉的技术密集型系统工程。机械设备控制的相关技术之间的关系如图 1-1 所示。

1. 检测传感技术 为提高产品的性能，扩展功能，通常需对机械设备进行实时控制、监视和安全检查等，以提高其自动化和智能化的程度，这些都要通过检测传感技术手段来实现。因此，检测传感技术是机械设备控制系统安全运行与提高产品质量的有力保证。

传感器是检测部分的核心，它相当于人的感觉器官，是将被测量变换成系统可识别的、与被测量有确定对立关系的有用电信号的一种装置。传感器将力、压力、位移、速度、加速度和温度等物理量转化为电量输入到信息处理系统，并作为相应的控制信号。检测精度的高低将直接影响机械性能的好坏，现代工程技术要求传感器能快速、精确地获取信息，并能经受各种严酷环境的考验。传感器应具有广的功能范围、高的精度、好的动态响应、高的灵敏性和分辨率、高的抗干扰能力和可靠性。

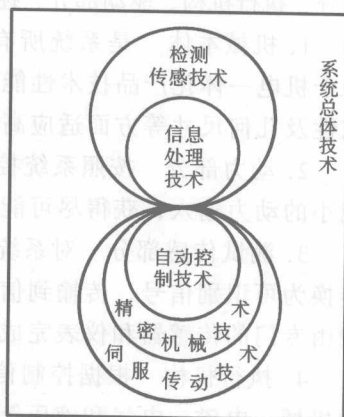


图 1-1 机械设备控制的相关技术之间的关系

2. 信息处理技术 信息处理技术通常是指信息的输入、交换、运算、存储和输出等技术。它包括计算机及外围设备、微处理器及可编程序控制器(PLC)和接口技术。在控制系统中，信息处理部分相当于人的大脑，指挥整个系统的运行。信息处理是否正确、及时，直接影响到系统工作的质量和效率，因此，希望能提高信息处理速度、运行的可靠性和抗干扰能力。

3. 自动控制技术 自动控制技术包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊

断、校正、补偿、示教再现和检索等技术。自动控制技术能协调机械和电器各部分来正确地完成动作过程，因此在控制系统中起到很重要的作用。自动控制主要解决如何提高产品的精度、提高加工效率和提高设备的有效利用率等几个主要的问题。其主要技术关键在于现代控制理论在控制技术中的工程化与实用化、优化控制模型的建立及边界条件的确定等。计算机动态仿真技术的出现和发展，为在控制系统的物理模型建立之前就能预见其动态性能，并为正确选择控制系统的有关参数提供了方便。

4. 伺服传动技术 伺服传动包括电动、气动和液压等各种类型的传动装置。这部分相当于人的手足，它直接执行各种有关的操作。伺服传动技术是直接执行操作的技术，伺服系统是实现电信号到机械动作的转换装置与部件，对系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的影响。常见的伺服驱动有电动机、液压马达、脉冲液压缸、步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。由于变频技术的进步，交流伺服驱动技术已取得了突破性进展，可为控制系统提供高质量的伺服驱动单元，极大地促进了控制技术的发展。

5. 精密机械技术 较一般的同类机械和机电一体化系统中机械部分的精度要求更高，要有更高的可靠性及维护性，同时要有更新颖的结构，要求零部件模块化、标准化和规格化等。也就是说，在机电一体化产品中，对机械本体和机械技术本身都提出了新的要求。这种要求的核心就是精密机械技术，要求机械机构减轻重量、缩小体积、提高刚度、提高精度、改善性能和提高可靠性。

6. 系统总体技术 机械设备控制技术不是几种技术的简单叠加，而是通过系统总体设计使其形成一个有机整体。系统总体技术是一种从整体目标出发，用系统的观点和方法，将总体分解成若干功能单元，找出能完成各个功能的技术方案，再将各个功能与技术方案组合成方案组进行分析、评价和优化的综合应用技术。总体技术包括机电一体化机械的优化设计、CAD/CAM 技术、研究和解决各组成部件之间的功能上的协调、可靠性设计及价值工程等。显然，即使各部分技术都已掌握，性能和可靠性都很好，如果整个系统不能良好地协调，则它仍然不可能正常、可靠地运行。由此可见系统总体技术的重要性。

以上概述了机械设备控制的基本技术体系及相关技术，上述技术的综合，产生了诸如可编程控制器、工业机器人、数控机床、柔性制造系统及计算机集成制造系统等机电一体化典型设备与系统，它们代表了机械设备控制技术与系统的发展方向。控制技术是一种复合技术，它需要很多部门和产业的配合与支持，才能取得满意的结果。因此，我们既要对控制系统的各项相关技术进行全面深入的了解，又要能从系统工程的概念入手，通过系统总体设计来使各个相关技术形成有机的结合，并注意研究和解决技术融合过程中所产生的新问题。本书将从介绍上述控制系统的基本技术入手，对机械加工领域中常见和典型的一些机械设备控制系统进行讨论和介绍。

1.3 机械设备控制技术的发展前景

随着社会生产和科学技术的发展与进步，机械设备控制技术正在不断地深入到各个领域，并迅速地向前推进。世界各先进工业国家机械设备控制技术的发展各有特点，其发展的重点和具体做法也不尽相同，但总的趋势是一致的。归纳起来，主要有以下三个方面：

1. 性能 向高精度、高效率、高性能和智能化的方向发展。以数控机床为例，其控制精度能实现 $0.1\mu\text{m}$ 的高精度，其转速可达 $180\,000\text{r/min}$ ，进给速度可达 100m/min ，甚至更高，

其联动和控制的轴数能实现 9~15 轴,同时增加了人机对话功能,设置了智能 I/O 通道和智能工艺数据库,给使用、操作和维护带来了极大的方便。今后,随着专用集成电路特别是超大规模集成电路的发展,机电一体化产品将越来越向高性能方向发展。

2. 功能 向小型化、轻型化和多功能方向发展。所谓小型化和轻型化,乃是精细加工技术发展的必然,也是提高效率的需要。通过结构优化设计和精细加工,可使机械的重量减轻到与人的体重相称的程度。所谓多功能,也是自动化发展的要求和必然结果。一般机电一体化产品,为了适应自动化控制规模的不断扩大和高技术的发展,不仅要求它们具有数据采集、检测、记忆、监控、执行、反馈、自适应和自学习等多种功能,甚至还要具有神经系统的功能,以便能实现整个生产系统的最佳化和智能化。

3. 层次 向系统化和复合集成化方向发展。复合集成,既包括各种分项技术的相互渗透、相互融合和各种产品不同结构的优化与复合,又包含在生产工程中同时处理加工、装配、检测和管理等多种工序。为了实现多品种、小批量生产的自动化与高效率,应使系统具有更广泛的柔性。首先可将系统分解为若干个层次,使系统功能分散,并使各部分协调而又安全运转,然后再通过硬件和软件将各个层次有机地联系起来,使其性能最优、功能最强。柔性制造系统就是这种层次结构的典型。

1.4 机械设备控制的技术、经济和社会效益

机械设备控制技术综合利用各相关技术优势,扬长避短,取得系统优化效果,有显著的社会效益和技术、经济效益。

1. 提高精度 控制技术使机械传动部件减少,因而使机械磨损、配合间隙及受力变形等引起的误差大大减少,同时由于采用电子技术实现自动检测和控制、补偿、校正因各种干扰因素造成的动态误差,从而达到单纯机械装备所不能实现的工作精度。如采用微型计算机误差分离技术的电子化圆度仪,其测量精度可由原来的 $0.025\mu\text{m}$ 提高到 $0.01\mu\text{m}$;大型镗铣床安装感应同步器数显装置可将加工精度从 $0.06\mu\text{m}$ 提高到 $0.02\mu\text{m}$ 。

2. 增强功能 现代高新技术的引入,极大地改变了机械工业产品的面貌,具有多种复合功能,成为机电一体化产品和应用技术的一个显著特征。例如,加工中心可以将多台普通机床上的多道工序在一次装夹中完成,并且还有自动检测工件和刀具的精度、自动显示刀具动态轨迹图形、自动保护和自动故障诊断等极强的应用功能;配有机器人的大型激光加工中心,能完成自动焊接、划线、切割、钻孔和热处理等操作,可加工金属、塑料、陶瓷、木材和橡胶等各种材料。这种极强的复合功能,是传统机械加工所不能比拟的。

3. 提高生产效率,降低成本 机电一体化生产系统能够减少生产准备和辅助时间、缩短新产品的开发周期、提高产品合格率、减少操作人员、提高生产率和降低生产成本。例如,数控机床的生产效率比普通机床高 5~6 倍,柔性制造系统可使生产周期缩短 40%,生产成本降低 50%。

4. 节约能源,降低消耗 机电一体化产品通过采用低能耗的驱动机构、最佳的调节控制和提高设备的能源利用率,来达到显著的节能效果。例如工业锅炉若采用微机精确控制燃料与空气的混合比,可节煤 5%~20%;被称为电老虎的电弧炉,是最大的耗电设备之一,如改用微型计算机实现最佳功率控制,可节电 20%。

5. 提高安全性和可靠性 具有自动检测监控的控制系统,能够对各种故障和危险情况

自动采取保护措施,及时修正运行参数,提高系统的安全可靠性。例如大型火力发电设备中,锅炉和汽轮机的协调控制、汽轮机的电液调节系统、自动起停系统和安全保护系统等,不仅提高了机组运行的灵活性和积极性,而且提高了机组运行的安全性和可靠性,使火力发电设备逐步走向全自动控制。

6. 改善操作性和使用性 控制装置或系统各相关传动机构的动作顺序及功能协调关系,可由程序控制自动实现,并建立良好的人机界面,对操作参数加以揭示,因而可以通过简便的操作得到复杂的功能控制和使用效果。有些控制装置,可实现操作全部自动化;有些更高级的控制系统,还可通过被控对象的数学模型和目标函数,以及各种运行参数的变化情况,随机自寻最佳工作过程,协调对内对外关系,以实现自动最优控制,如电梯全自动控制系统和智能机器人等。

7. 减轻劳动强度,改善劳动条件 控制技术一方面能够将制造和生产过程中极为复杂的人的智力活动和资料数据记忆查找工作由计算机来完成,一方面又能由程序控制自动运行,代替人的紧张和单调重复的操作,以及在危险或有害环境下工作,因而大大减轻了人的脑力和体力劳动,改善了人的工作环境条件。例如 CAD 和 CAPP 极大地减轻了设计人员的劳动复杂性,提高了设计效率;搬运、焊接和喷漆机器人取代了人的单调重复劳动;武器弹药装配机器人、深海太空工作机器人、在核反应堆和有毒环境下的自动工作系统,则成为人类谋求解决危险环境中的劳动问题的惟一途径。

8. 简化结构,减轻负担 由于控制系统采用新型电力电子器件和传动技术,代替笨重的老式电气控制的复杂机械变速传动,从而使机电一体化产品体积减小、结构简化、重量减轻。例如,换向器电动机将电子控制与相应的电动机电磁结构相结合,取消了传统的换向电刷,简化了电动机结构,提高了电动机寿命和运行特征,并缩小了体积。

9. 降低价格 由于结构简化,材料消耗减少,制造成本降低,同时由于微电子技术的高速发展,微电子器件价格迅速下降,因此机电一体化产品价格低廉,而且维修性能改善,使用寿命延长。

10. 增强柔性应用功能 控制系统可以根据使用要求的变化,对产品的应用功能和工作过程进行调整修改,满足用户多样化的使用要求。例如,利用数控加工中心或柔性制造系统,可以通过调整系统运行程序,适应不同零件的加工工艺。机械工业约有 75% 的产品属中小批量,利用柔性生产系统,能够经济、迅速地解决这种中小批量和多品种的自动化生产,对机械工业发展具有划时代的意义。

复习思考题

1. 说明机械设备控制技术的基本概念。
2. 机械设备控制技术是在什么样的背景之下产生与发展起来的?
3. 传统的继电器-接触器控制系统有何优缺点?
4. 机械设备控制系统的基本结构要素是什么?
5. 与机械设备控制相关的技术有哪些?
6. 机械设备控制技术的前景如何?
7. 综述机械设备控制的技术、经济和社会效益。

第2章 电气控制技术

2.1 电气控制技术概述

2.1.1 电气自动控制及其在现代机床中的地位

传统的生产机械由工作机构、传动机构和原动机三部分组成。自从电气元件与计算机应用在机械上,现代化生产机械已包含第四个组成部分——以电气为主的自动控制系统,它使机器的性能不断提高,使工作机构和传动机构的结构大为简化。

所谓“自动控制”,是指在没有人直接参与(或仅有少数人参与)的情况下,利用自动控制系统,使被控对象(或生产过程)自动地按预定的规律去进行工作。导弹能准确地命中目标,人造卫星能按预定轨道运行并返回地面的指定地点,宇宙飞船能准确地月球上着陆并安全返回,都离不开自动控制技术。实现自动控制的手段多种多样,可以用电气方法来实现,也可以用机械、液压和气动等方法来实现。由于现代化的金属切削机床均用交、直流电机作为动力源,因而电气自动控制是现代机床的主要控制手段。即使采用其他控制方法,也离不开电气控制的配合。在工业上,机器按照规定的程序自动地起动与停止;在微型计算机控制的数控机床上,依照计算机发出的程序指令,机床自动按预定的轨迹进行加工,自动退刀、换工件及加工下一个工件;在轧钢机上,用电子计算机计算出轧制速度与轧辊压下量,并通过晶闸管可控整流电路控制电动机来实现这些指令;在自动化仓库中,由可编程序控制器自动控制货物的存放与取出。所有这些就是电气自动控制的应用。本章就是以机床作为典型对象来研究电气自动控制技术的基本原理、方法和应用,这些基本控制方法自然也适用于机器设备及生产过程。

机床经过一百多年的发展,结构不断改进,性能不断提高,在很大程度上取决于电气拖动与电气控制系统的更新。电气拖动在速度调节方面具有无可比拟的优越性和发展前途。采用直流或交流无级调速电动机驱动机床,使机构复杂的变速箱变得十分简单,简化了机床结构,提高了效率和刚度,也提高了精度。近年研制成功并用于数控车床、铣床和加工中心的电机-主轴部件,是将交流电机转子直接安装在主轴上,使其具有宽广的无级调速范围,且振动和噪声均减小,它完全代替了主轴变速齿轮箱,对机床传动与结构将产生变革性影响。

现代化机床在电气自动控制方面综合应用了许多先进的科技成果,如计算机技术、电子技术、自动控制理论、精密测量技术和传感技术等,电气控制已从最早的手动控制发展到自动控制,从简单的控制设备发展到复杂的控制系统,从有触点的硬接线继电器-接触器控制系统发展到以计算机为中心的软件控制系统。特别是当今信息时代,微型计算机已广泛用于各行各业,机床是最早应用电子计算机的设备之一。早在20世纪40年代末期,电子计算机就与机床有机结合,产生了新型机床——数控机床。现在价廉、可靠的微机在机床行业中的应用日益广泛,由微机控制的数控机床与数显装置越来越多地在我国各类工厂中获得使用和推广。这些新科学技术的应用,使机床电气设备不断实现现代化,从而提高了机床自动化程度和机床加工效率,扩大了工艺范围,缩短了新产品试制周期,加速产品更新换代。现代化

机床还可提高产品加工质量、减小工人劳动强度和降低产品成本等。近 20 年来出现的各种机电一体化产品、数控机床、机器人、柔性制造单元及系统等均是机床电气设备实现现代化的硕果。总之,电气自动控制在机床中占有及其重要的地位。

2.1.2 机床电气自动控制的发展概况

1. 电气拖动的发展与分类 电气控制与电气拖动有着密切的关系。20 世纪初,由于电动机的出现,使得机床的拖动发生了变革,用电动机代替蒸汽机,机床的电气拖动随电动机的发展而发展。

(1) 成组拖动:一台电动机经天轴(或地轴)由皮带传动驱动若干台机床工作。由于这种方式存在传动线路长、效率低和结构复杂等缺点,目前已被淘汰。

(2) 单电机拖动:一台电动机拖动一台机床。较之成组拖动简化了传动机构,缩短了传动线路,提高了传动的效率,至今中小型通用机床仍有采用单电机拖动方式的。

(3) 多电机拖动:随着机床自动化程度的提高和重型机床的发展,机床的运动增多,要求提高,出现了采用多台电动机驱动一台机床(如铣床)乃至十余台电动机拖动一台重型机床(如龙门刨床)的拖动方式,这样可以缩短机床的传动链,易于实现各工作部件运动的自动化。当前重型机床、组合机床、数控机床和自动线等均采用多电机拖动的方式。

(4) 交、直流无级调速:由于电气无级调速具有可灵活选择最佳切削用量和简化机械传动结构等优点,20 世纪 30 年代出现的交流电动机—直流电动机—直流电动机无级调速系统,至今还在重型机床上有所应用。20 世纪 60 年代以后,大功率晶闸管的问世和变流技术的发展,又出现了晶闸管直流电动机无级调速系统,它较之前者,具有效率高、动态响应快和占地面积小等优点,当前在数控机床、磨床及仿形等机床中已得到广泛应用。由于逆变技术的出现和高压大功率管的问世,20 世纪 80 年代以来交流电动机无级调速系统有了迅速发展,它利用改变交流电的频率等来实现电动机转速的无级调速。交流电动机无电刷与换向器,较之直流电动机易于维护且寿命长,很有发展前途。

2. 电气控制系统的发展与分类

(1) 逻辑控制系统:又称开关量或断续控制系统,逻辑代数是它的理论基础,采用具有两个稳定工作状态的各种电气和电子器件构成各种逻辑控制系统。按自动化程度的不同分为

1) 手动控制。在电气控制初期,大都采用电气开关对机床电动机的起动、停止和反向等进行手动控制,现在砂轮机和台钻等动作简单的小型机床上仍有采用。

2) 自动控制。按其控制原理与采用电气元件的不同又可分为

① 继电器接触器自动控制系统。多数通用机床至今仍采用继电器、接触器和按钮等电器元件组成的自动控制系统,它具有直观、易掌握和易维护等优点,但功耗大、体积大,并且改变控制工作循环较为困难(如果要改变,需重新设计电路)。

② 顺序控制器。由集成电路组成的顺序控制器具有程序变更容易、程序存储量大和通用性强等优点,广泛用于组合机床和自动线等。20 世纪 60 年代末,又出现了具有运算功能和较大功率输出能力的可编程控制器 PC (Programmable Controller, 又称 PLC——Programmable Logic Controller),它是由大规模的集成电路、电子开关和晶闸管等组成的专用微型电子计算机,可代替大量继电器,且功耗小、重量轻,在机床上具有广阔的应用前景。

③ 数字控制。20 世纪 40 年代末,为了适应中小批机械加工生产自动化的需要,应用电子技术、计算技术、现代控制理论和精密测量等近代科学成就,研制出数控机床。它是由电

子计算机按照预先编好的程序,对机床实行自动化的数字控制。数控机床既有专用机床生产效率高的优点,又兼有通用机床工艺范围广和使用灵活的特点,并且具有能自动加工复杂的成形表面和精度高等优点,因而具有强大的生命力,发展前景广阔。

数控机床的控制系统最初是由硬件逻辑电路构成的专用数控装置 NC (Numerical Control),但其成本昂贵,工作可靠性差,逻辑功能固定。随着电子计算机的发展,又出现了 DNC (Direct Numerical Control)、CNC (Computer Numerical Control)、AC (Adaptive Control)等数控系统。

为了充分发挥电子计算机运算速度快的潜力,曾出现过由一台电子计算机控制数台、数十台、甚至上百台数控机床的“计算机群控系统”,又称计算机直接控制系统,这就是 DNC。

随着小型电子计算机的问世,又产生了用小型电子计算机控制的数控系统(CNC),它不仅降低了制造成本,还扩大了控制功能和使用范围。

近十年来,随着价格低廉和工作可靠的微型电子计算机的出现,更加促进了数控机床的发展,出现了大量的微型计算机数控系统 MNC (Micro-Computer Numerical Control),当今世界各国生产的全功能和经济型数控机床均系 MNC 系统。

AC 称为自适应控制系统,它在毛坯裕量变化、硬度不均和刀具磨损等随机因素出现时,使机床具有最佳切削用量,从而始终保证具有高的加工质量和生产效率。

由数控机床、工业机器人、自动搬运车、自动化检测和自动化仓库等组成的统一由中心计算机控制的机械加工自动线称为柔性制造系统 FMS (Flexible Manufacturing System),它是自动化车间和自动化工厂的重要组成部分与基础。较之专用机床自动线,它具有能同时加工多种元件、适应产品多变和使用灵活等优点,当前各国均在大力发展数控机床和柔性制造系统。

随着生产的发展,由单个机床的自动化逐渐发展为生产过程的综合自动化。柔性制造系统 FMS,再加上计算机辅助设计 CAD、计算机辅助制造 CAM、计算机辅助质量检测 CAQ 及计算机信息管理系统构成计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System),它是当前机械加工自动化发展的最高形式。机床电气自动化的水平在电气控制技术迅速发展的进程中将不断被推向新的高峰。

(2) 连续控制系统:对物理量(如电压和转速等)进行连续自动控制的系统,又称模拟控制系统。这类系统一般是具有负反馈的闭环控制系统,常伴有功率放大的特点,具有精度高、功率大和抗干扰能力强等优点。例如,直流电动机驱动机床主轴实现无级调速的系统,交、直流伺服电动机拖动数控机床进给机构和工业机器人的系统均属连续控制系统。

(3) 混合控制系统:同时采用数字控制和模拟控制的系统称为混合控制系统,数控机床和机器人的控制驱动系统多属于这类控制系统。数控机床由数字电子计算机进行控制,通过数模转换器和功率放大等装置驱动伺服电动机和主轴电动机带动机床执行机构产生所需的运动。

2.2 常用低压电器

凡是对电能的生产、传输、分配和应用能起到切换、控制、调节、检测及保护等作用的电工器械,均称为电器。低压电器通常是指交流额定电压在 1 200V 以下、直流额定电压在

1 500V以下电路中使用的电器。本章主要介绍机床常用低压电器的基本结构、工作原理、图形和文字符号、主要技术参数及其应用。

低压电器的基本结构一般包括电磁机构、触点系统和灭弧装置三个部分。

低压电器品种繁多,分类方法也很多,一般按用途可以分为以下三类:

- 1) 控制电器。用于各种控制电路和控制系统的电器,如开关电器、信号控制电器、接触器、继电器、电磁起动器和控制器等。
- 2) 保护电器。用于保护电路及用电设备的电器,如熔断器、电流继电器和热继电器等。
- 3) 执行电器。用于完成某种动作或传动功能的电器,如电磁阀和电磁离合器等。

2.2.1 继电器

继电器是一种根据电气量或非电气量(如电流、电压、转速、时间、温度和压力等)的变化,开闭控制电路(小电流电路),自动控制和保护电力拖动装置的电器。

根据继电器的上述作用,它应满足下列要求:反应灵敏准确,动作迅速,工作可靠,控制路数多,坚固耐用等。继电器的触点无需开断大的电流,没有主触点和辅助触点之分,因此继电器可以做得小巧。

闭合或者分断电路是继电器的根本任务,就这一点来说其与接触器是相似的。两者的主要差别为

1) 继电器是用来切换自动控制、电力系统保护、电信、仪表和电子装置等小电流电路,而接触器是用来控制电动机、加热器和其他功率系统的动力开关装置。

2) 继电器可以对各种物理因素如电压、电流、时间、温度、速度和压力等电量或非电量作出反应,而绝大部分接触器只是在一定电压下动作。

近几十年来,由于电子技术的迅速发展,出现了半导体继电器。它没有机械惯性,可以实现高速操作,也没有触点磨损的问题,因此电气寿命比有触点继电器长得多。另外,它便于集成化,容易实现整个装置的微型化。但是有触点的继电器所固有某些性能(如:控制功率大,触点的动作方式和数量可以根据需要改变;分断状态的绝缘等级高,闭合状态的接触电阻小;抗过载的能力强;便于直接观察,易于维护;价格低廉等等。)是无触点的电子继电器所不能取代的。所以说,这两种继电器都有广阔的发展前途,有触点的继电器仍然是目前大量使用的主要继电器。

为了适应各种不同的需要,继电器的种类和形式很多。

- 1) 按用途不同,可分为控制用继电器和保护用继电器。
- 2) 按工作原理不同,可分为电磁式继电器、感应式继电器、机械式继电器、电动式继电器、热式继电器和电子式继电器等。
- 3) 按反应的物理参数(动作信号)不同,可分为电流继电器、电压继电器、时间继电器、速度继电器、温度继电器和压力继电器等。
- 4) 按动作时间不同,可分为瞬时继电器(动作时间为0.05s以下)和延时继电器(动作时间为0.15s以上)。

在电力拖动系统中,用得最多的是电磁式继电器。电磁式继电器在不同的情况下有不同的用途。本节主要介绍常用的电磁式(电压、电流和中间)继电器、时间继电器、热继电器、压力继电器和速度继电器。

控制继电器型号命名方法如下: