

●全国高职高专制造业人才培养培训规划教材

现代数控 机床技术及应用

主 编 韩 江
副主编 郑晓峰
陈祥敏



合肥工业大学出版社

全国高职高专制造业人才培养培训规划教材

现代数控机床技术及应用

主 编 韩 江
副 主 编 郑晓峰
陈祥敏

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代数控机床技术及应用/韩江主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2005.9

ISBN 7-81093-234-9

I. 现... II. 韩... III. 数控机床—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 103770

现代数控机床技术及应用

主编 韩江

副主编 郑晓峰 陈祥敏

出版	合肥工业大学出版社	版次	2005年8月第1版
地址	合肥市屯溪路193号	印次	2005年8月第1次印刷
邮编	230009	开本	787×960 1/16
电话	总编室:0551-2903038 发行部:0551-2903198	印张	19.5 字数 352千字
网址	www.hfutpress.com.cn	发行	全国新华书店
E-mail	press@hfutpress.com.cn	印刷	合肥现代印务有限公司
		照排	合肥市中旭制版有限责任公司

ISBN 7-81093-234-9/TG·4 定价:28.00元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

全国高职高专制造业人才培养培训规划教材

编 委 会

主 任:韩 江(合肥工业大学机械与汽车工程学院副院长、教授)

副主任:(排名不分先后)

李麟书(安徽国防科技职业学院副院长)

孙敬华(安徽水利水电职业技术学院副院长)

刘利华(安徽电气工程职业技术学院副院长)

郭皖京(蚌埠高等专科学校副校长)

胡振泉(合肥通用职业技术学院副校长)

沈宏毅(淮南职业技术学院副院长)

孙礼震(合肥工业大学高等职业技术学院院长)

储克森(安徽机电职业技术学院副院长)

梁赤民(安徽冶金科技职业学院副院长)

陈德清(安徽职业技术学院副院长)

江 洁(滁州职业技术学院副院长)

赵耀军(淮南联合大学副校长)

胡友树(合肥工业大学工业培训中心副主任)

马国锋(合肥工业大学出版社社长)

委 员:(排名不分先后)

余司元 杜兰萍 丁守宝 徐 亮 来 涛

王 韬 余承辉 黄道业 程荣龙 郑晓峰

黄 蕾 杨思国 郑盛新 孟宪余

内容提要

本书系统地、规范地、简明和实用地介绍数控领域内的技术发展动向及应用实例。全书以计算机数控为主,在介绍数控技术基本原理的同时重点介绍它的实际应用及应用方法。本书内容全面、系统,集理论与应用于一体。本书主要作为高等职业技术学院学生学习教材,也可作为大、中专院校有关专业的教材和参考书,还可供从事数控技术、数控机床设计和研究的工程技术人员、行业管理人员参考。



前 言

数控技术是微电子技术、计算机技术、检测技术、自动控制技术与机械工程深度结合的机电一体化技术。采用数控技术可以大大提高零件的加工质量,缩短生产周期,将机械加工设备的功能、质量、可靠性提高到一个新水平,并促使机械加工行业的产品结构、生产方式、管理体制发生深刻的变化。可以说,数控技术的应用及其发展对机械加工工业是一次革命。因此,工业发达国家和大部分发展中国家都把数控技术作为实现机械工业革命的战略重点。我国机床行业经过40多年的努力,通过引进技术、自行开发、科技攻关、合作生产等手段,已形成一定的数控装置和数控机床的生产能力。数控技术和数控机床的发展极大地推动了计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)及计算机集成制造系统(CIMS)的发展,它已经成为这些机电一体化高新制造技术的技术基础和重要组成部分。同时,数控技术和数控机床的发展也急需大量从事数控机床研发、使用、编程和维护的各类人才。

本书旨在系统地、规范地、简明和实用地介绍数控领域内的技术、发展动向及应用实例。全书以计算机数控为主,在介绍数控技术基本原理的同时,重点介绍它的实际应用及应用方法。本书主要作为高等职业技术学院学生学习参考,也可作为大、中专院校有关专业的教材,还可供从事数控技术、数控机床设计和研究的工程技术人员、行业管理人员参考。

本书共分八章:第一章是概论,阐述数控的概念、特点、组成及发展和趋势;第二章介绍数控机床程序编制的基本知识、技术功能及编程实例和自动编程实例;第三章介绍了计算机数控系统的硬件组成、软件组成、插补原理、刀具补偿原理及具体应用;第四章介绍数控机床的进给驱动、位置控制类型及几种常见的检测元件;第五章介绍了数控系统中PLC信息交换原理、控制功能的实现及应用实



例;第六章介绍了数控机床的机械部分的特点、机床的主传动系统及进给传动系统和自动换刀装置及回转工作台;第七章介绍了典型数控系统及连接,分析了SIEMENS数控系统、FANUC数控系统、华中数控系统的主要性能、特点以及系统的组成和各功能模块的连接;第八章介绍了典型数控设备,其中重点探讨了数控车床和数控加工中心的特点、结构、操作、日常维护与保养,并介绍了数控机床的常见故障与维修。

本书由合肥工业大学机械与汽车工程学院副院长韩江教授主编。其中,韩江编写了第一章,并参编第四章,第二章由王晓明编写,第三章、第五章和第七章第一节由郑晓峰编写,第四章由余道洋编写,第六章由陈祥敏编写,第七章第二节、第三节和第八章由王诚编写。初稿完成后由韩江进行统稿,并对某些内容进行了修改。

本书编写时参阅了有关院校、工厂、科研院所的一些教材、资料和文献,在此衷心致谢!在此谨向所有为本书的编写、出版给予支持和帮助的同志们表示深深的谢意!

本书是集体成果的结晶,由于水平有限,时间也较仓促,书中难免有不准确甚至错误之处,请读者和专家不吝指正。

编 者
2005年6月



目 录

第一章 数控机床概述	1	第四节 数控系统的插补原理	
第一节 数控机床的基本概念		104
与组成	1	第五节 刀具补偿原理	126
第二节 数控机床的分类及特点		第六节 SIEMENS 802D 数控系	
.....	3	统的硬件组成与连接	
第三节 典型数控机床	6	134
第四节 数控技术的发展概况		第四章 数控机床的驱动与位置	
和趋势	8	控制	143
第五节 数控功能的基本术语		第一节 概述	143
.....	11	第二节 进给驱动	145
第二章 数控机床的程序编制		第三节 位置控制	158
.....	16	第四节 检测元件	161
第一节 程序编制的基础知识		第五章 数控系统中的 PLC 控制	
.....	16	172
第二节 数控机床的坐标系		第一节 概述	172
.....	37	第二节 数控系统中的 PLC	
第三节 数控车床、加工中心		173
常用 G 功能及编程		第三节 数控系统中 PLC 的信息	
实例.....	41	交换	181
第四节 自动编程实例	63	第四节 数控系统中的 PLC 控制	
第三章 计算机数控系统	74	功能实现	185
第一节 概述	74	第五节 数控系统中的 PLC 应用	
第二节 CNC 系统的硬件组成		实例	189
.....	79	第六章 数控机床的机械结构	
第三节 CNC 系统的软件组成		212
.....	91	第一节 数控机床机械结构的	



特点	212	第二节 FANUC 数控系统	253
第二节 数控机床的主传动系统	213	第三节 华中数控系统	263
第三节 数控机床的进给传动系统	219	第八章 典型数控设备	269
第四节 自动换刀装置及回转工作台	235	第一节 数控车床	269
第七章 数控系统的连接	244	第二节 数控加工中心	282
第一节 SIEMENS 数控系统	244	第三节 数控机床常见故障与维修	294
		参考文献	301



第一章 数控机床概述

第一节 数控机床的基本概念与组成

数字控制(Numerical Control)技术是近代发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法,简称为数控(NC)。

它所控制的—般是位置、角度、速度等机械量,也有温度、压力、流量、颜色等物理量,这些量的大小不仅可用数字表示,而且是可测的。

数控技术是为了实现机床控制自动化要求而发展的。当机床进行加工时,对加工要求、零件尺寸及其参数、加工步骤等用代码化的数字表示,通过控制介质,输入到控制装置,经过微机处理与计算,发出各种控制信号与数据,使机床各坐标的运动自动工作,实现按要求的加工。

数控机床,就是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。

数控机床是一个装有程序控制系统的机床。该系统能够逻辑地处理具有使用号码,或其他符号编码指令规定的程序。定义中所指的那种程序控制系统,就是所说的数控系统。数控系统是一种控制系统,它自动阅读输入载体上事先给定的数字值,并将其译码,从而使机床动作和加工零件。

一、数控机床的组成

数控机床一般由下列几个部分组成:

- (1)主机。它是数控机床的主体,包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。
- (2)CNC装置。它是数控机床的核心,包括硬件以及相应的软件。
- (3)驱动装置。它是数控机床执行机构的驱动部件,包括主轴驱动单元、进给驱动单元、主轴电机及进给电机等。



(4)数控机床的辅助装置指数控机床的一些必须的配套部件,用以保证数控机床运行。它包括液压和气动装置、排屑装置、交换工作台、数控转台和数控分度头,还包括刀具及监控检测装置。

(5)编程机及其他一些附属装备。

二、数控机床各组成部分的功能及特点

1. 主机

主机是数控机床的主体,是用于完成各种切屑加工的机械部分。根据不同零件的加工要求,有车床、铣床、钻床、镗床、磨床、重型机床、电加工机床以及其他类型。与普通机床不同的是,数控机床在主机结构上具有以下特点:

(1)由于大多数数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统,因此,数控机床的机械传动结构得到了简化,传动链较短。

(2)为了适应数控机床连续地自动化加工,数控机床机械结构具有较高的动态刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形较小。

(3)更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副,直线滚动导轨等。

2. CNC(Computerized Numerical Control)装置

它是数控机床的核心,用于实现输入数字化的零件程序,并完成输入信息的存储、数据的变换、插补运算以及实现各种控制功能。

现代数控机床的数控装置都具备下面一些功能:

(1)多坐标控制(多轴联动)。

(2)实现多种函数的插补(直线、圆弧、抛物线等)。

(3)代码转换(EIA/ISO 代码转换、英制/公制转换、二~十进制转换、绝对值/增量值转换等)。

(4)人机对话,手动数据输入,加工程序输入、编辑及修改。

(5)加工选择,各种加工循环,重复加工等。

(6)可实现各种补偿功能,进行刀具半径、刀具长度、传动间隙、螺距误差的补偿。

(7)实现故障自诊断。

(8)CRT 显示,实现图形、轨迹、字迹显示。

(9)互联网及通信功能。

3. 伺服驱动装置

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置(电机)组成,并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。

普通机床的主轴和进给系统,主要由电机驱动进给箱及主轴箱的齿轮来



实现运动和变速。而数控机床主轴和进给系统则是由数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移。每个作进给运动的执行部件,都配有一套伺服驱动系统,当几个进给轴实现了联动时,可以完成点位、直线、平面曲线或空间曲线的加工。伺服驱动系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服驱动系统中,还得使用位置检测装置,间接或直接测量执行部件的实际进给位移,与指令位移进行比较,按闭环原理将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动。

4. 数控机床的辅助装置

它是保证数控机床充分发挥功能所需要的配套部件。

由于这些配套装置包括的面很广,有电器、液压、气动元件及系统,冷却、排屑、防护、润滑、照明、储运等一系列装置,它对开发数控机床本身的功能具有很大的作用,因此受到了各产业部门的重视,发展极为迅速。

5. 编程机及其他一些附属设备

现代数控机床,不仅可以利用 CNC 装置上的键盘直接输入零件的程序,也可以利用自动编程机,在机外进行零件的程序编制,将程序记录在信息载体上(如纸带、磁带、磁盘等),然后送入数控装置。对于较为复杂的零件,一般都是采用这种方法。对这种方法,我们称为自动程序编制或计算机程序编制。

第二节 数控机床的分类及特点

一、数控机床的分类

目前,为了研究数控机床,可从不同的角度对数控机床进行分类。

1. 按控制系统的特点分类

(1) 点位控制数控机床。对于一些孔加工用数控机床,只要求获得精确的孔系坐标定位精度,而不管从一个孔到另外一个孔是按照什么轨迹运动,如坐标钻床、坐标镗床以及冲床等,就可以采用简单而价格低廉的点位控制系统。

(2) 直线控制数控机床。某些数控机床不仅要求具有准确定位的功能,而且要求从一点到另一点之间按直线移动,并能控制位移的速度。因为这一类型的数控机床在两点间移动时,要进行切削加工。所以对于不同的刀具和工件,需要选用不同的切削用量及进给速度。



这一类的数控机床包括:数控镗铣床、数控车床、加工中心等。一般情况下,这些数控机床有2~3个可控轴,但同时控制轴只有1个。

为了能在刀具磨损或更换刀具后,能得到合格的零件,这类机床的数控系统常常具有刀具半径补偿功能、刀具长度补偿功能和主轴转速控制功能。

(3)轮廓控制的数控机床。更多的数控机床,具有轮廓控制的功能,即可以加工曲线或者曲面的零件。这类机床有二坐标及二坐标以上数控铣床,可加工曲面的数控车床、加工中心等。

这类数控机床应能同时控制两个或两个以上的轴,具有插补功能,对位移和速度进行严格的不断控制。

现代数控机床绝大多数都具有两坐标或两坐标以上联动的功能,不仅有刀具半径补偿、刀具长度补偿,还有机床轴向运动误差补偿、丝杠、齿轮的间隙误差补偿等一系列功能。

2. 按执行机构的伺服系统类型分类

(1)开环伺服系统数控机床。这是比较原始的一种数控机床,这类机床的数控系统将零件的程序处理后,输出数字指令信号给伺服系统,驱动机床运动。没有来自位置传感器的反馈信号。最典型的系统就是采用步进电机的伺服系统。这类机床的精度完全取决于步进电机的步距精度以及齿轮、丝杠的传动精度。这类机床较为经济,但是速度及精度都较低。因此,目前国内,仍作为一种经济型的数控机床,多用于对旧机床的改造。

(2)闭环伺服系统数控机床。这类机床可以接受插补器的指令,而且随时接受工作台端测得的实际位置反馈信号进行比较,并根据其差值不断地进行误差修正。这类数控机床可以消除由于传动部件制造中存在的精度误差给工件加工带来的影响。

这种采用闭环伺服系统的数控机床,可以得到很高的加工精度,但是由于很多的机械传动环节,如丝杠副、工作台都包括在反馈环路内,而各种机械传动环节,包括丝杠与螺母、工作台与导轨的摩擦特性,各部件的刚性以及位移测量元件安装的传动链间隙等等,都是可变的,都直接影响伺服系统的调节参数。有一些是非线性的参数,因此闭环系统的设计和调整都有较大的难度。设计和调整得不好,很容易形成系统的不稳定。

所以,闭环伺服系统数控机床,主要用于一些精度很高的镗铣床、超精车床、超精铣床等。

(3)半闭环伺服系统数控机床。大多数数控机床是半闭环伺服系统,将测量元件从工作台移到电机端头或丝杠端头。这种系统的闭环环路内不包括



丝杠、螺母副及工作台,因此可以获得稳定的控制特性。而且由于采用了高分辨率的测量元件,可以获得比较满意的精度及速度。

3. 按加工方式分类

(1) 金属切削类数控机床。如数控车床、加工中心、数控钻床、数控磨床、数控镗床等。

(2) 金属成型类数控机床。如数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机等。

(3) 数控特种加工机床。如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

(4) 其他类型的数控机床。如火焰切割机、数控三坐标测量机等。

二、数控机床的特点

数控机床以其适应性强、加工质量稳定、效率高、精度高等特点在机械加工中得到广泛应用。其主要特点如下:

(1) 保持加工零件精度,提高其质量稳定度。数控加工的切削量、进给速度、主轴转速、使用刀具等加工所需条件、参数都可根据工艺要求,预先编程予以规定,加工过程可避免人为的干扰因素。若引入自适应控制功能,则不仅可保持加工条件不变,而且可达到最优化,这样大大提高了同一批零件加工一致性,同时可以利用软件进行误差补偿,以获得更高的加工精度和重复精度。

(2) 能加工形状复杂的零件。采用二轴以上联动的数控机床,可以加工母线为曲线的旋转体、凸轮、各种复杂空间曲面的零件,能完成普通机床难以完成的加工。

(3) 提高生产率。数控加工时,由于所用夹具的标准化,减少了夹具的需要量,使工艺准备时间缩短;由于预先编好了加工程序,减少了加工过程中的停机时间,缩短了整个加工时间;由于有较高的重复精度与一致性,可以节省检验时间;当加工零件改变时,只需改变程序,节省了准备与调整时间;由于提高了与基准面相关尺寸的加工精度,从而提高了装配的效率。这些都有效地提高了生产率,与普通机床相比可提高2~3倍。如果使用自动换刀的数控加工中心机床,可进行多道工序的连续加工,缩短了半成品的周转时间,生产率可提高十几倍至几十倍。

(4) 减轻劳动强度,减少操作失误,降低废品、次品。

(5) 提高生产管理水平。用数控机床加工,能准确计算零件加工时间,加强了零件周转计划性,可以实行优化调度,简化和减少了检验、工夹具准备、半成品调度等管理工作,这些都有利于管理水平地提高。



(6)有利于机械加工综合自动化发展。数控机床是机械加工自动化的基本设备,FMC,FMS,CIMS等综合自动化系统都必须由数控机床组成,由于数控机床控制系统具有通讯接口,适于计算机之间联接,组成工业局部网络,应用制造自动化协议(MAP)规范,实现生产过程的计算机管理与控制。

第三节 典型数控机床

数控机床的品种很多,几乎各种类型的机床,都有成功的数控产品。下面介绍几种典型的数控机床,其中包括数控车床、数控铣床、加工中心、数控电加工机床、数控重型机床及一些特殊类型的数控机床,并介绍各类数控机床的特点。

一、数控车床

数控车床是目前使用较广泛的数控机床,主要用于轴类和盘类回转体零件的加工,能自动完成内外圆柱面、锥面、圆弧、螺纹等工序的切削加工,并能进行切槽、钻、扩、铰孔等工作,特别适宜复杂形状零件的加工。车床上应该设有刀具补偿功能。

二、数控铣床

主要用于各类较复杂的平面、曲面和壳体类零件的加工。如各类模具、样板、叶片、凸轮、连杆和箱体等。

铣削轮廓外形需要轨迹控制,而铣削框形面可以用直线控制。铣削平面零件只要二轴轨迹控制。三轴轨迹控制则是切深运动与其他两轴联动,这样可以进行空间铣削。

三、加工中心

加工中心和数控车床一样,是目前世界上产量最高、应用最广泛的数控机床。它主要用于箱体类零件和复杂曲面零件的加工,能进行铣、镗、钻、攻丝等工序。因为它具有自动换刀功能,工件一次装卡后,能自动地完成或者接近完成工件各面的所有加工工序。

箱体类零件的加工中心,一般是在镗、铣床的基础上发展起来的,可称为镗铣类加工中心,习惯上简称为加工中心。

另外还有一类加工中心,是以轴类零件为主要加工对象。是在车床基础上发展起来的。除可进行车削、镗削之外,还可进行端面和周面上任意部位的



钻削、铣削和攻丝加工。在具有插补功能的条件下,可以实现各种曲面铣削加工。这类加工中心也设有刀库,根据加工工件的需要,配置相应的动力或非动力刀具。这类加工中心,习惯上称为车削中心。

四、数控电加工机床

数控电加工机床是模具加工的重要设备。主要可以分为两大类,数控线(电极)切割机床和数控电火花加工机床。在我国早期成功使用的最广泛的数控机床,就是数控线切割机床。由于结构简单,价格便宜,使用方便,线切割机床已成为加工各类模具和精密零件的一种重要生产设备。目前机械、电器、电机、仪表、轻工及国防等部门已广泛使用。

五、数控重型机床

现代数控重型机床主要品种包括单柱和双柱数控立车、数控刨台式镗铣床、数控落地铣镗床、数控龙门镗铣床、数控卧式车床、数控立式滚齿机等,以及在以这些品种为基型基础上发展起来的加工中心、车削中心、柔性制造单元。

这些数控重型机床,除了有一般重型机床的特点外,由于数控是一种自动化加工,因此还有以下特点:

(1) 数控重型机床的工件都较大,要求所配置的 CNC 系统具有更大的最大指令值,也就是要有更大的内存容量。

(2) 大型工件加工时间更长。要求数控系统有更高的可靠性。

(3) 一般来说,数控重型机床都采用大功率的主轴及伺服单元。

(4) 在数控重型机床上,要求装备更多的监控及检测系统,以保证正常的加工,避免出现废品。

(5) 重型机床一般都有巨大的床身及传动链。因此,在重型机床的数控系统中可以采用间隙补偿及热变形补偿的功能,用以提高重型机床的机械加工精度。

六、其他数控机床

1. 板材和管料数控加工机床

金属板材零件(包括由金属板材焊接零件及管料),由于它的经济性和良好的工艺性,在机械制造业,电子、汽车、农机能源、化工等各个行业都得到了广泛的应用。因此,板材和管料加工已成为金属加工的一个很重要的门类。板材和管料数控加工机床是近年来才发展起来的一类数控机床。

2. 数控三坐标测量系统

三坐标测量机,是一种高精度、高效率、多功能的测量仪器,它几乎可以测



量任何几何尺寸和形位误差,快速地完成复杂零件的三维空间零件的测量。

x, y, z 这 3 个坐标可以灵活的移动。三维测头对被测零件采样,显示装置显示测量结果,并可进行数控处理。

结构上一般都采用金花岗石固定龙门式结构。

数控三坐标测量机,可以预先选定被测量工件的许多点,用编程方法或示教方法,记录各测量点的位置,然后即可自动的、反复的测量。这种机器多应用在生产线上。

第四节 数控技术的发展概况和趋势

一、数控机床的发展简述

20 世纪中期,随着电子技术的发展,自动信息处理,数据处理以及电子计算机的出现,给自动化技术带来了新的概念,推动了生产机械自动化的发展。

1952 年,美国麻省理工学院在一台立式铣床上,装上了一套实验性的数控系统,成功地实现了同时控制三轴的运动。这台数控机床被大家称为世界上第 1 台数控机床。

在此以后,从 1960 年开始,其他一些工业国家,如德国、日本都陆续地开发、生产及使用了数控机床。

1974 年,微处理机直接用于数控机床,进一步促进了数控机床的普及应用和大力发展。

我国数控机床是从 1958 年开始研制的,已经历了 40 多年的发展历程。20 世纪 70 年代前期,国产的数控机床由于电子器件的质量和制造工艺水平差,致使数控系统的稳定性、可靠性问题,未得到解决。另外,售价也较贵,因此未能广泛推广。

20 世纪 80 年代初,随着我国实行改革开放政策,我国先后从日本、美国等国家,引进了部分数控装置及伺服系统的技术,并于 1981 年在我国开始批量生产。这些数控系统稳定性好、可靠性高,使数控机床很快的在国内为用户所接受,推动了我国数控机床的稳定发展,使我国的数控机床在质量、性能及水平上都有了一个质的飞跃。

二、数控机床的发展趋势

为了满足市场和科学技术发展的需要,达到现代制造技术对数控技术提