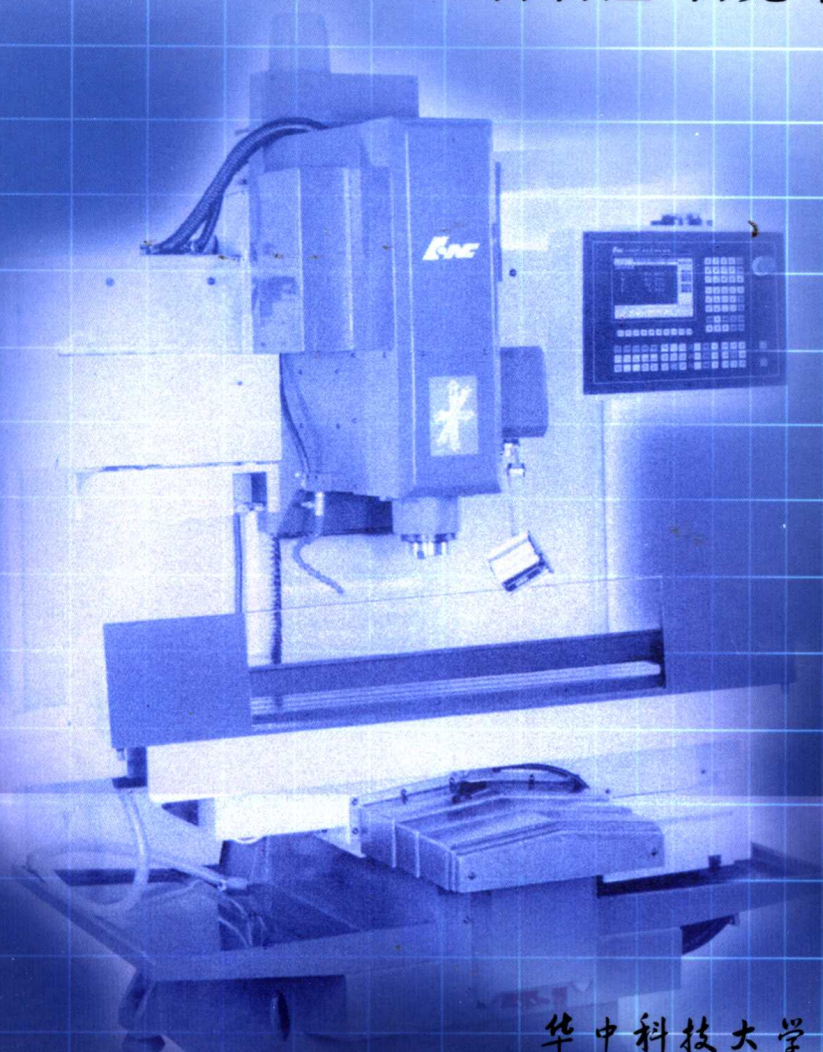


数 控 技 术 系 列 教 材

国家数控系统工程技术研究中心 组编

数控机床实验指南

陈吉红 杨克冲 主编



9-33

华中科技大学出版社

数控技术系列教材

数控机床实验指南

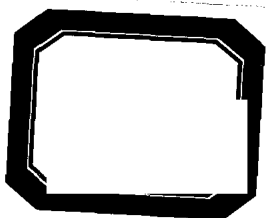
主 编	陈吉红	杨克冲	
参 编	郑小年	刘恩沧	许锦兴
	钱红兵	朱国文	马莉敏
	胡 涛	向 华	柯万字
	梁松俭	孙 博	刘 青

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床实验指南/陈吉红 杨克冲 主编
武汉:华中科技大学出版社, 2003年5月
ISBN 7-5609-2933-8

I. 数…
II. ①陈…
III. 数控机床
IV. TG659



数控机床实验指南

陈吉红 杨克冲 主编

责任编辑:万亚军
责任校对:刘 飞

封面设计:刘 卉
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室
印 刷:武汉市科普教育印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:15.25

字数:350 000

版次:2003年5月第1版

印次:2003年5月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5609-2933-8/TG·54

定价:19.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书主要包括四个部分:绪论、基础篇、应用篇和深化篇。

绪论对数控机床作了简明扼要的介绍。

基础篇介绍了 15 个实验,这些实验有利于读者掌握有关数控机床机械结构及数控系统的基础知识,尽快入门。

应用篇介绍了 17 个实验,这些实验可帮助读者学习、掌握数控机床的编程技巧和操作方法。

深化篇介绍了 4 个实验,通过这些实验,读者可以了解有关数控系统的一些最新技术。

本书在每个实验中加入相关知识概述的内容,提纲挈领地把握实验所涉及的理论知识作了简要叙述,从而加深读者对实验的理解,做到知其然,更知其所以然。

本书可作为高等工科院校的机械、机电一体化、自动控制及其他相关专业数控技术实验的教材,也可作为高等职业技术学院、中等专业学校数控机床实验、基本操作训练的教材,还可供有关教师与工程技术人员参考。

前 言

本书是为高等工科院校的机械、机电一体化、自动控制及其他相关专业学习数控技术实验编写的教材,也是为高等职业技术学院、中等专业学校的数控机床实验、基本操作训练编写的教材。

当前,机械制造业发展的一个明显动向是:越来越广泛地应用数控技术,普通机械逐渐被高效率、高精度的数控机械所代替。专家们预言:21世纪机械制造业的竞争,在某种程度上是数控技术的竞争。随着制造设备的大规模数控化,企业急需一大批数控编程、数控设备操作及其维修人员。然而,目前数控人才的奇缺,严重制约着数控设备的使用,影响了制造业的发展。因此,加快数控人才的培养,成为当务之急。

数控技术是实用性极强的技术。数控技术人才一方面要具备综合基础知识,另一方面要有解决实际问题的能力。因此,加强数控技术的实验和实践,成为培养数控技术人才的重要环节,本书的出版正是为了满足这种需要。

本书包括四个部分:绪论、基础篇、应用篇和深化篇。绪论阐述了数控机床的一般知识。基础篇介绍了15个实验,其内容包括数控机床的机械结构、刀库及换刀机构、几何精度等。其中着重阐述了数控机床机械结构的特殊要求。基础篇的实验内容除机械部分外,还有数控系统的连接与调试,数控系统的参数设置与调整,数控插补原理,数控代码编程,数控系统位置测量装置的选型与应用,步进电动机驱动系统的构成、调整及使用,交流伺服系统的构成、调整及使用,变频调速系统的构成、调整及使用等。这些都是数控机床和数控系统的入门知识,若没有这些基础知识,就很难熟悉、掌握数控机床及其加工方法。应用篇介绍了17个实验,这些实验包括了5个方面的内容:数控车削加工;数控铣削加工;数控仿形加工;数控电火花加工和工业机器人。在数控车削加工和数控铣削加工中,每种加工方法都介绍了3~4种零件的加工方法,都是从简到繁,从易到难,从二维曲线、曲面的加工到三维曲线、曲面的加工,从二轴联动加工到三轴联动加工。通过这些实验,读者可以学习和掌握数控机床加工零件时的编程和操作。随着现代工业的发展,工厂中的工业机器人必将越来越多,其应用范围也将越来越广泛。因此,应用篇最后的7个实验介绍了有关工业机器人的机械、电气及其编程知识。深化篇介绍了4个实验,通过这些实验,读者可以了解数控系统的一些最新技术,例如数控系统电磁兼容性(EMC)的设计及应用。数控系统良好的电磁兼容性对保证数控系统稳定、可靠运行是十分重要的。

在本书的每个实验中,我们加入了相关知识概述,把实验所涉及的理论知识作了简要叙述,以加深读者对实验的理解,做到知其然,更知其所以然。从本书开始的绪论,到相关知识概述,再到实验操作,形成体系,成为完整的数控实验教材。

本书事实上吸收了华中科技大学40多年来的数控技术研究成果,特别是吸收了20世纪90年代华中科技大学为贯彻产、学、研一体化政策而成立的武汉华中数控股份有限公司的研究成果。因此,本书实际上是华中科技大学有关同志集体劳动的成果。杨叔子院士、熊有伦院士、周济院士等都曾从事数控技术的研究,并作出了巨大的贡献。特别是武汉华中数控股份有限公司总工程师朱志红教授及其领导的研究开发部门,长期从事数控技术的开发研究,锲而不舍,创造出具有我国自主知识产权的华中数控系统,为实现数控系统国产化作出了巨大的贡献。编者对这些同志表示衷心的感谢。

本书实验所用的是华中世纪星系列HNC-21M、HNC-21T等数控硬、软件产品,其数控功

能、人机界面与其他高性能数控系统基本相同,为读者熟练使用高性能数控系统或国外数控系统打下了良好的基础。

值得提出的是,2002年12月,国家教育部教育司委托华中科技大学举办了全国“数控高等职业技术教育研讨会”,本书的部分实验在会上作了交流,与会领导、教师给予了极好的评价,对本书的编写起到了很好的激励和促进作用。编者对这次会议的与会者深表感谢。

本书的绪论由杨克冲编写;基础篇的实验一、二、四、五,应用篇的实验二十六、二十七、二十八、二十九、三十、三十一和三十二由刘恩沧编写;基础篇的实验六、七、八、十、十一、十二、十三、十四和十五和深化篇的实验三十四由郑小年、许锦兴、柯万字编写;基础篇的实验三和深化篇的实验三十三由钱红兵、孙博、刘青编写;基础篇的实验九由向华编写;应用篇的实验十六、二十一、二十二和二十三由马莉敏编写;应用篇的实验十七、十八、十九和二十由胡涛编写;应用篇的实验二十四和深化篇的实验三十五、三十六由朱国文编写;应用篇的实验二十五由梁松俭编写。本书最后由陈吉红、杨克冲统稿和定稿。

限于编者的水平,加上数控技术发展的日新月异,许多问题还有待探讨。因此,本书的谬误与不妥之处在所难免,恳请读者不吝赐教,提出批评意见。

编 者

2003年2月

于华中科技大学国家数控系统工程技术研究中心

《数控技术系列教材》序

制造业是“永远不落的太阳”，是现代文明的支柱之一；它既占有基础地位，又处于前沿关键，既古老，又年轻；它是工业发展的主体，是国民经济持续发展的基础。甚至可以讲，没有“制造”，就没有人类。恩格斯在《自然辩证法》中讲得对：“直立和劳动创造了人类，而劳动是从制造工具开始的。”的确，可形象地讲，人、人类文明是从制造第一把石刀这一生产工具开始的。毛泽东在《贺新郎·咏史》一词中，一开始就写道：“人猿相揖别，只几个石头磨过，小儿时节。”

在制造业中，特别值得提出的是机械制造业，也就是机械工业，它是制造业的基础与核心，在今天，信息科技尽管如此迅猛发展，高新科技尽管日新月异，仍然改变不了制造业，机械制造业的基础地位。机械制造业是生产工具、生活资料、科技手段、国防装备等的提供及其进步的依托，是社会现代化的动力源之一。马克思在《资本论》中有段名言，至今仍熠熠生辉：“大工业必须掌握它特有的生产资料，即机器的本身，必须用机器生产机器。这样，大工业才建立起与自己相适应的技术基础，才得以自立。”生产机器的机器；我国称为“机床”，英文称为“Machine Tool”（机器工具），有道理；德文叫做“Werkzeugmaschine”（工具机器），更有道理，可以说，没有制造业，就没有工业；而没有机械制造业，就没有独立的工业。因此，发展机械制造业是发展国民经济、发展生产力的一项关键性的、基础性的战略措施。

作为“机器工具”或“工具机器”的机床，随着科技的发展也在发生深刻的变化。控制论、计算机技术，特别是内涵更为广泛的信息技术和管理科学同机械制造技术相结合成为当今蓬勃发展的先进制造技术，而先进制造技术发展的核心就是“数字化”，作为同先进制造技术相应的先进机床，它发展的关键技术就是数控技术。而数控技术可以说就是先进制造技术的技术基础，自然，体现着数控技术的数控机床和数控技术本身就理所当然地成为制造业关注的焦点。有专家预言：21 世纪机械制造业的竞争，其实质是数控技术的竞争。

加入 WTO 后，中国正在逐渐成为“世界制造业中心”，制造设备的大规模数控化，使企业急需一大批数控编程、数控设备操作及其维修人员。然而，目前数控人才奇缺，严重制约数控设备的使用，影响着制造业的竞争能力，成为全社会普遍关注的热点问题。

作为培养人才的高校（包括高职、高专），由于教学体系结构的不合理，教学实验设备的缺乏，教学实验手段的落后，还不能适应社会的需求。另外，能适应人才培养要求的教材的短缺也成为亟待解决的问题摆在了数控教育工作者面前。华中科技大学国家数控系统工程技术研究中心和华中科技大学出版社及时地看到了这一形势，组织出版了这套“数控技术系列教材”。应当说，这套教材从构思到编写都是集众多学校之思之力共同完成的。早在 2000 年就开始调研、论证，有 10 多所学校参加工作。2002 年 12 月在全国数控高等职业教育研讨会上又进一步征求意见。经反复论证，针对当前数控人才培养的急需，第一批推出有关数控机床实验、数控机床编程与加工操作、数控机床故障诊断与维护维修等实践性很强的教材。希望这套教材的

出版能部分满足当前数控人才培养的需要,为发展我国先进制造业尽一份力量;希望有更多更好的教材问世,从一个方面促进我国高等教育的更进一步发展。

当然,世界没有任何完美无缺的事物,何况是这套初次出版的教材。因此,希望这套教材一问世就能得到读者的帮助、批评与指正。

中国科学院院士

华中科技大学教授 杨叔子

高等学校机械学科教学指导委员会主任委员

2003年3月31日

目 录

绪论	(1)
基础篇	(9)
实验一 认识(或拆装)数控机床机械传动部件和支承部件	(9)
实验二 认识数控机床的刀库及换刀机构的相关零部件	(19)
实验三 数控机床的几何精度测量	(22)
实验四 数控工作台的拆装	(44)
实验五 小型教学数控车床(或铣床)的认识(或拆装)	(46)
实验六 数控系统的原理及组成	(47)
实验七 数控系统的连接与调试	(52)
实验八 数控系统的参数设置与调整	(61)
实验九 数控插补原理	(77)
实验十 数控代码编程	(82)
实验十一 可编程控制器(PLC)编程与调试	(89)
实验十二 数控系统位置测量装置的选型与应用	(108)
实验十三 步进电动机驱动系统的调试及使用	(118)
实验十四 交流伺服系统的构成、调整及使用	(128)
实验十五 变频调速系统的构成、调整及使用	(141)
应用篇	(151)
实验十六 数控机床基本操作	(151)
实验十七 数控车削加工——利用子程序编程及加工	(158)
实验十八 数控车削加工——公、英制螺纹的编程及加工	(161)
实验十九 数控车削加工——复杂零件的编程及加工	(164)
实验二十 数控车削加工——利用宏指令编程及加工	(167)
实验二十一 铣削的基本编程及加工	(169)
实验二十二 铣削加工中刀具半径补偿功能的编程及加工	(173)
实验二十三 铣削加工——复杂零件轮廓加工	(175)
实验二十四 数控仿形加工	(179)
实验二十五 数控电火花加工	(189)
实验二十六 工业机器人机械结构中的典型部件	(193)
实验二十七 工业机器人常用的传感器	(195)
实验二十八 工业机器人的总体组成	(195)
实验二十九 工业机器人示教编程	(198)
实验三十 工业机器人物体搬运作业	(200)
实验三十一 工业机器人工件装卸作业	(201)

实验三十二 机器人写字.....	(202)
深化篇.....	(203)
实验三十三 数控机床位置精度的测试与补偿.....	(203)
实验三十四 数控系统电磁兼容性(EMC)设计及应用	(216)
实验三十五 数控机床直接数控(DNC)	(220)
实验三十六 网络数控.....	(230)
参考文献.....	(234)

绪 论

一、数控机床的产生和发展

在机械制造业,为保证产品的质量,大批大量的产品,如汽车、拖拉机与家用电器的零件的生产,在 20 世纪 80 年代以前多采用专用的工艺装备、专用的自动化机床或专用的自动生产线进行生产,但是应用这些专用生产设备进行生产准备周期长,产品改型不易,而且会使新产品的开发周期延长。另一类机械产品——单件小批量产品的生产一般都通过通用机床进行。当产品改变时,工艺装备,甚至机床均需作相应的变换和调整。通用机床的自动化程度不高,基本上由人操作,难以提高生产效率和保证产品质量。特别是一些由曲线、曲面组成轮廓的复杂零件,只能借助靠模和仿形机床,或者借助划线和样板用手工操作的方法来加工,加工精度和生产效率均受到很大限制。

数控机床及由其组成的加工中心(MC, Machining Center)、柔性制造系统(FMS, Flexible Manufacturing System)等,就是为了解决上述问题,以缩短新产品的开发周期,解决复杂型面零件的加工自动化问题并保证产品质量而产生的。自 1952 年第一台数控机床问世到如今的 50 多年中,以电子信息为基础,集传统的机械制造技术、计算机技术、现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光电技术于一体的数控技术得到了迅速发展而广泛的应用,使得普通机械逐渐被高效率、高精度的数控机械所代替,从而形成了巨大的生产力,导致制造业发生了根本性的变化。数控技术已成为现代制造技术的基础。数控技术水平的高低,数控机床拥有量的多少已经成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。

数控机床已广泛应用于飞机、汽车、船舶、家电、通讯设备等的制造。此外,数控技术也在机器人、绘图机械、坐标测量机、激光加工机及等离子切割机、注塑机等机械设备中得到了广泛的应用。

微电子技术(特别是数字计算机,尤其是微型计算机)的出现与发展,给数控技术提供了强有力的支持,使数控系统由模拟控制系统发展为数字控制系统。个人计算机直接用于数控系统而产生的计算机数控(CNC, Computer Numerical Control)装置,不论是运算速度、精度,还是系统的稳定性、可靠性,都比以前的数控系统有了极大的提高,给数控技术的发展带来了很强的生命力。

目前,数控技术发展中最为活跃的有如下几个主要方面。

1. 高速化与高精度化

要实现数控机床高速化,首先要求计算机系统读入加工指令数据后能高速处理并计算出伺服电动机的移动量,并要求伺服系统能快速地作出反应;为使数控机床在极短的空程内由零加速到高速度和在高行程速度下保持高定位精度,必须具有高加(减)速度、高精度的位置检测系统和伺服品质。此外,必须实现主轴、进给系统、刀具交换系统、托盘交换系统等各种关键部分的高速化。因此需要重新考虑设备的全部特性,即从机床的基础部件到刀架等等。日本 MAZAK 公司的 FF510 型卧式加工中心,其最大加(减)速度为 1.0 g , 主轴最高转速为 15000 r/min ; 且由于有大的角加(减)速度,仅需 1.8 s 其主轴转速即可从 0 r/min 提速到

15000 r/min;其换刀时间为 0.9 s(刀到刀)和 2.8 s(切削到切削)。

数控机床的加工精度的提高,一般通过减少数控系统的误差和采用补偿技术来达到。在减少 CNC 系统控制误差方面,通常采用的是提高数控系统的分辨率,以微小程序段实现连续进给,使 CNC 控制单位精细化,提高位置检测精度,以及在位置伺服系统中采用前馈控制与非线性控制等方法。在采用补偿技术方面,除采用齿隙补偿、丝杠螺距误差补偿和刀具补偿等技术外,设备的热变形误差补偿技术和空间误差的综合补偿技术已成为世界范围的研究课题。研究表明,综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少 60%~80%。由于计算机运算速度和主轴转速的较大提高,具有真正零跟踪误差的现代数控装置已被开发出来,能满足现代机床工作的要求,使机床可以进行同时具备高进给速度和高精度的加工。

2. 复合化

复合化包含工序复合化和功能复合化,例如工件在一台设备上一次装夹后,可通过自动换刀等各种措施来完成多工序和多表面的加工。在一台数控设备上能完成多工序切削加工(如车、铣、镗、钻等)的加工中心,可代替多机床和多装夹的加工,这样既能减少装卸时间,省去工件搬运时间,提高每台机床的加工能力,减少半成品库存量,又能保证和提高形位精度,从而打破了传统的工序界限和分散加工的工艺规程,如主轴头立卧自动转换的加工中心、车铣加工中心等。

3. 小型化与开放式结构

蓬勃发展的机电一体化设备对 CNC 装置提出了小型化的要求,以便将机、电装置糅合为一体。目前,许多 CNC 采用的是最新的大规模集成电路(LSI)、新型 TFT 彩色液晶薄型显示器和表面封装技术,实现了三维立体装配,消除了整个控制逻辑机架。

由于数控技术中大量采用了计算机新技术,新一代数控系统的体系结构向开放式系统发展。国际上主要数控系统和数控设备生产国及其厂家瞄准了通用个人计算机(PC 机)所具有的开放性好、成本低、可靠性高、软硬件资源丰富等特点,自 20 世纪 80 年代末以来竞相开发基于 PC 的 CNC 系统,并提出了开放式 CNC 体系结构的概念,开展了针对开放式 CNC 系统的前、后台标准的研究。

基于 PC 的开放式 CNC 系统大致可分为四类:PC 连接型 CNC 系统、PC 内装型 CNC 系统、CNC 系统内装型 PC 和纯软件型 CNC 系统。典型产品有我国华中数控股份有限公司的华中世纪星系列 HNC-21M 型、HNC-21T 型数控系统,其系统以通用 PC 机的体系结构为基础,构成了总线式(多总线)模块、开放型、嵌入式的体系结构;其软、硬件和总线规范均是对外开放的,硬件可即插即用,还可向系统添加在 MS-DOS、Windows 3.1 或 Windows 95 环境下使用的标准软件或用户软件,为数控设备制造厂家和用户进行集成给予了有力的支持,也便于主机厂进行二次开发以发挥其技术特色。经过加固的工业级 PC 机已在工业控制领域得到了广泛的应用,并逐渐成为主流,其技术上的成熟度使其可靠性大大超过了以往的专用 CNC 硬件。

4. 高柔性化

柔性是指数控机床适应加工对象变化的能力。数控机床发展到今天,已对满足加工对象变化有了很强的适应能力。在提高单机柔性化的同时,数控机床也朝着单元柔性化(如柔性加工单元,FMC)和系统柔性化(如柔性制造系统,FMS)方向发展。

5. 智能化

随着人工智能在计算机领域的不断渗透与发展,为了适应制造业生产柔性化、自动化发展的需要,数控机床智能化程度亦不断提高。例如应用自适应控制技术,引入专家系统指导加工;加强故障自诊断功能;研制智能化交流伺服驱动装置等等。

我国的数控机床产业在政府支持下,通过“八五”、“九五”攻关,在数控系统的研究开发方面取得了巨大的成功,研制出拥有自主知识产权的中高档数控系统,从而冲破了国外技术上的垄断和封锁。

坚持技术创新、正确确定技术发展路线是振兴我国民族数控产业的精髓。总结我国数控技术发展的经验,在“八五”数控技术攻关过程中,武汉华中数控股份有限公司瞄准个人计算机(PC机)所具有的开放性好、成本低、可靠性高、软硬件资源丰富等特点,开发出基于PC机的CNC,避开了制约我国数控发展的瓶颈——专用CNC硬件,使我国的数控技术发展站在高起点,而且轻装上阵,扬长避短(扬我们软件技术之长,避我们硬件之短)。目前,国产数控系统最多可以控制16轴,实现9轴联动。同时,国产数控系统的可靠性大大提高,平均无故障时间(MTBF)已经远超过两万小时,在国际数控发展领域占有了一席之地。

二、数控机床的工作原理及组成

以数字形式进行信息控制的机床称为数字控制机床,简称数控机床。

数字控制(NC, Numerical Control)系统是相对于模拟控制系统而言的:数字控制系统中的信息是数字量,而模拟控制系统中的信息是模拟量。随着计算机技术的发展,硬件数控系统已逐渐被淘汰,取而代之的是计算机数控(CNC)系统。

数字控制系统有如下特点:

- (1) 用不同的字长表示不同精度的信息;
- (2) 可进行算术运算,也可进行复杂的信息处理;
- (3) 可进行逻辑运算,并可根据不同的指令进行不同方式的信息处理;并可用软件来改变信息处理的方式或过程,从而避免改变电气或机械结构(即硬件),因而具有柔性。

由于数字控制系统具有上述优点,故被广泛应用于机械运动的轨迹控制。轨迹控制是机床数控系统和工业机器人的主要控制内容。

1. 数控机床的工作原理

凡是用代码化的数字信息将刀具移动轨迹的信息记录在程序介质上,然后送入数控系统,经过译码、运算控制机床的刀具与工件的相对运动,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件的一类机床即为数控机床。

2. 数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出设备、CNC装置、伺服单元、驱动装置(或称执行机构)、可编程控制器(PLC)及电气控制装置、辅助装置、机床本体及测量装置组成。图0-1是数控机床的组成

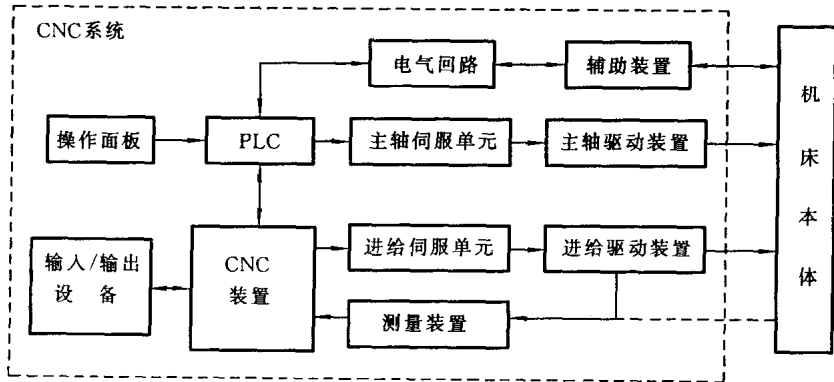


图 0-1 数控机床的组成

成框图。其中除机床本体之外的部分统称为 CNC 系统。

(1) 输入/输出装置。

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的电脉冲信号,传送并存入数控装置内。目前,数控机床的输入装置有键盘、磁盘驱动器、光电阅读机等,其相应的程序载体为磁盘、穿孔纸带。

各种类型数控机床中最直观的输出装置是显示器,有 CRT 显示器或彩色液晶显示器两种。输出装置的作用是:数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息。显示的信息可以是正在编辑的程序、坐标值、报警信号等。

因此,输入/输出装置是机床数控系统和操作人员进行信息交流、人机对话必须具备和必要的交互设备。

(2) 数控装置(或称计算机数控装置)。

数控装置是计算机数控系统的核心,它接受的是输入装置送来的脉冲信号;信号经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令,控制机床的各个部分,使其进行规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的信号是经插补运算决定的各坐标轴(即作进给运动的各执行部件)的进给速度、进给方向和位移量指令(送到伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动),其他还有主轴的变速、换向和启停信号,选择和交换刀具的刀具指令信号,控制冷却液、润滑油启停、工件和机床部件松开、夹紧、分度工作台转位的辅助指令信号等。

数控装置主要包括微处理器(CPU)、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与 CNC 系统其他组成部分联系的接口等。

(3) 伺服单元。

伺服单元接收来自数控装置的速度和位移指令。这些指令经变换和放大后通过驱动装置转变成执行部件进给的速度、方向和位移。因此,伺服单元是数控装置与机床本体的联系环节,它把来自数控装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。根据接收指令的不同,伺服单元有脉冲式单元和模拟式单元之分。伺服单元就其系统而言又有开环系统、半闭环系统和闭环系统之分,其工作原理亦有差别。

(4) 驱动装置。

驱动装置把经过放大的指令信号变为机械运动,通过机械连接部件驱动机床工作台,使工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

和伺服单元相对应,驱动装置有步进电动机、交流伺服电动机等。

伺服单元和驱动装置可合称为伺服驱动系统,它是机床工作的动力装置,计算机数控装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施,所以,伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说,数控机床的功能主要取决于数控装置,而数控机床的性能主要取决于伺服驱动系统。

(5) 可编程控制器。

可编程控制器亦可称为可编程逻辑控制器(PLC,Programmable Logic Controller)。

通过 CNC 和 PLC 的协调配合来共同完成数控机床的控制,其中 CNC 主要完成与数字运算和管理等有关的功能,如零件程序的编辑、插补运算、译码、位置伺服控制等。PLC 主要完成与逻辑运算有关的一些动作,而没有轨迹上的具体要求。它接收 CNC 的控制代码 M(辅助功能)、S(主轴转速)、T(选刀、换刀)等顺序动作信息,对顺序动作信息进行译码,转换成对应的

控制信号,控制辅助装置完成机床相应的开关动作,如工件的装夹、刀具的更换、冷却液的开关等一些辅助动作。它还接收机床操作面板的指令,一方面直接控制机床的动作,另一方面将一部分指令送往数控装置用于加工过程的控制。

用于数控机床的 PLC 一般分为两类:一类是内装型,将 CNC 和 PLC 综合起来设计,即 PLC 是 CNC 装置的一部分;另一类是独立型 PLC。

(6) 机床本体。

机床本体即数控机床的机械部件,包括主运动部件、进给运动执行部件(工作台、拖板及其传动部件)和支承部件(床身立柱等),还包括具有冷却、润滑、转位和夹紧等功能的辅助装置。加工中心类的数控机床还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似,但是,由于数控机床的高速度、高精度、大切削用量和连续加工要求,其机械部件在精度、刚度、抗震性等方面要求更高。因此,近年来在设计数控机床时采用了许多新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施。

三、数控系统的分类

机床数控系统,通常按以下两种方式分类。

1. 按系统特点分类

(1) 点位控制数控系统。

机床的点位控制系统控制刀具相对于工件的定位点的坐标位置,而对定位移动的轨迹并无要求,因为刀具在定位移动过程中不进行切削加工。这类数控系统常用于数控钻床、数控镗床、数控冲床和数控测量机。

(2) 轮廓控制数控系统。

采用这类数控系统的机床又称连续控制或多坐标联动数控机床,其数控系统控制几个坐标轴同时协调运动(坐标轴联动),使工件相对于刀具按程序规定的轨迹和速度运动,进行连续切削加工。数控车床、数控铣床、加工中心等用于加工曲线和曲面的机床,必须采用这种数控系统。

2. 按有无测量装置分类

数控系统按有无测量装置可分为开环数控系统和闭环数控系统。闭环数控系统根据测量装置采样点的位置又可分为全闭环数控系统和半闭环数控系统两种。

(1) 开环数控系统。

开环数控系统结构简单,没有测量反馈装置。同时,数控装置发出的指令信号流是单向的,所以不存在系统稳定性问题。因为无位置反馈,所以精度不高,其精度主要取决于伺服驱动系统的性能。

开环数控系统的工作原理如图 0-2 所示。开环数控系统是这样工作的:首先将控制机床工

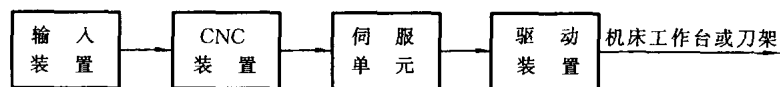


图 0-2 开环系统工作原理框图

作台或刀架运动的位移距离、位移速度、位移方向、位移轨迹等参量通过输入装置输入 CNC 装置,CNC 装置根据这些参量指令计算出进给脉冲序列(脉冲个数对应位移距离、脉冲频率对应位移速度、脉冲方向对应位移方向、脉冲输出的次序对应位移轨迹);然后对脉冲单元进行功

率放大,形成驱动装置的控制信号;最后,由驱动装置驱动工作台或刀架按所要求的速度、轨迹、方向和移动距离,加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

开环数控系统一般由功率步进电动机作为伺服驱动单元。

开环数控系统具有工作稳定、反应迅速、调试方便、维修简单、价格低廉等优点,在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到广泛应用。但是,由于步进电动机的低频共振及丢步等原因,其应用有逐渐减少的趋势。在我国,经济型数控机床一般都采用开环数控系统。

(2) 半闭环数控系统。

半闭环数控系统工作原理如图 0-3 所示,由伺服电动机采样旋转角度而不是检测工作台的实际位置。因此,丝杠的螺距误差和齿轮或同步带轮等引起的误差都难以消除。半闭环数控系统环路内不包括或只包括少量机械传动环节,因此系统控制性能稳定。而机械传动环节的误差,大部分可通过误差补偿的方法消除,因而仍可获得满意的精度。

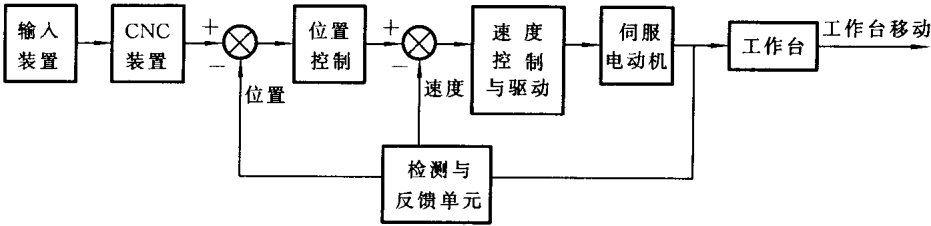


图 0-3 半闭环控制系统原理框图

(3) 全闭环数控系统。

全闭环数控系统工作原理如图 0-4 所示,采样点从机床的运动部件上直接引出。通过采样工作台运动部件的实际位置,即对实际位置进行检测可以消除整个传动环节的误差、间隙,因而具有很高的位置控制精度。但是,由于位置环内的许多机械环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,故容易造成系统的不稳定以及调试困难。这类系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床和螺纹车床等。

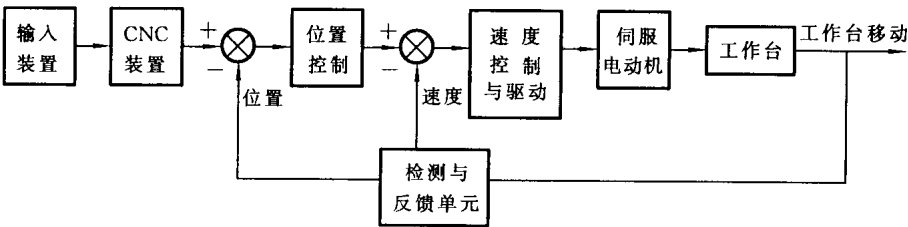


图 0-4 全闭环数控系统工作原理框图

四、数控机床机械结构的特殊要求

CNC 机床的机床本体,在开始阶段使用的大部分是普通机床的机械结构,只是在自动变速装置、刀架或工作台自动转位装置和手柄等方面作了些改变。实践证明,由于 CNC 机床自动化水平的日益提高,其进给速度远超过普通机床的进给速度,如有些数控机床的进给速度达 24 m/min,可以在大切削用量下连续加工;同时,还有极高的精度,可以实现小进给量,例如 0.001 mm 到 0.0001 mm 下不发生低速爬行。所以,CNC 机床比普通机床在设计上要求更严格,更精密。下面只阐述有关主要方面的设计要求。

(1) 机床的导轨。

导轨的功用是支承和导引机床的拖板、工作台沿导轨移动,同时保证其移动时的直线性(直线运动导轨)或真圆性(对圆运动导轨),以及它们与有关基面之间的相互位置的准确性。CNC 机床除对导轨的导向精度、精度保持性和刚度有更高的要求外,还特别要求导轨有良好的摩擦特性,即导轨的摩擦系数要小,以减小摩擦阻力和导轨热变形,使运动轻便平稳。另外,导轨的动、静摩擦系数应尽量接近,以便导轨在小进给量、低速时无爬行。

基于上述要求,工作时进给速度在 10 m/min 以下的 CNC 机床多采用贴塑导轨,有更高要求的则采用滚动导轨。

(2) 丝杠螺母副。

CNC 机床的进给运动链中,将旋转运动转换为直线运动的一般都采用丝杠螺母副。在普通机床上可以采用梯形丝杠螺母。运动时,梯形丝杠螺母副之间的运动是滑动摩擦,摩擦阻力大,传动效率低,不适宜高速传动。因此,CNC 机床采用的是滚珠丝杠螺母副,丝杠螺母副之间的运动是滚动摩擦。滚珠丝杠螺母副具有以下特点:

- ① 摩擦损失小,传动效率高(可达 0.90~0.96);
- ② 丝杠螺母之间预紧后,可以完全消除间隙,从而提高了传动精度和刚度;
- ③ 摩擦阻力小,磨损小,寿命长,精度保持性好。动、静摩擦力之差极小,不易产生低速爬行,有利于保证运动平稳。
- ④ 不能自锁。因此,丝杠立式使用时,交流伺服电动机均带抱闸,即电动机具有制动装置。

(3) 传动联轴器。

在 CNC 机床的进给运动链中,交流伺服电动机与滚珠丝杠的连接一般采用直连方式,即通过传动联轴器来传递力矩。按设计要求,电动机轴与丝杠轴必须同轴,但实际工作中仍有误差,为补偿这一误差,CNC 机床采用了弹性联轴器。联轴器与转轴的连接方式对被连接的两轴允许的平行偏差、角度偏差等亦有相应要求。

CNC 机床的传动结构除上述要求外,对同步齿形带、齿轮副、蜗轮副等都有消除间隙的要求。传动副间隙的存在降低了传动精度,不仅如此,更重要的是,间隙属于非线性误差,将引起系统的振荡,造成系统的不稳定。读者如有兴趣,可参阅有关文献。

五、本书的特点和学习方法

本书是阐述数控机床实验方法的教材。

数控技术(或称机电一体化技术)是一门综合性极强的技术,在机械方面,它需要金属切削机床、机械制造工艺、机械设计、机械零件等学科的理论基础知识;在电工电子方面,它又需要微型处理机原理、程序设计、数字电路的设计、控制理论等学科的理论基础知识。但是,数控技术又是一门实用性极强的技术,需要紧密结合工程实践。因此,要学习数控技术,理论与实践需要紧密结合起来。

数控机床是制造业的核心,装备业的基础,先进制造业的重要内容。在 20 世纪,数控技术的中国市场差不多 30 年被国外系统所占领;当我国的民族数控产业萌芽时,国外系统厂商又在高档系统方面限制我们,在中低档系统方面扼杀我们。通过“八五”、“九五”数控技术攻关,国产数控系统正在各个方面(性能指标、稳定性、可靠性等方面)赶上国外系统,在我国数控技术同仁的努力下,国产数控系统的明天会更好。

正如前述,本书是实验教材,用于指导读者进行数控机床加工实验或数控系统实验。但是,实验之前读者必须认真学习相关知识概述部分,复习涉及实验内容的基础知识。这样,可以用理论来指导实践,而通过实践又可加深读者对已经学过的理论基础的理理解。理论—实践—理