



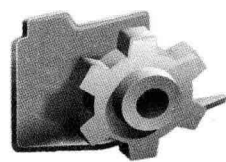
高职机械类
精品教材

数控加工 编程与操作

主审 余永虎
主编 吴福贵 刘立群

SHUKONG JIAGONG
BIANCHENG YU CAOZUO

中国科学技术大学出版社



高职机械类
精品教材

数控加工 编程与操作

SHUKONG JIAGONG
BIANCHENG YU CAOZUO

主 审	余永虎	
主 编	吴福贵	刘立群
副 主 编	许光彬	王 慧
参加编写	姚东源	张 政

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书遵循新时期高职教育的特点,本着“教、学、做合一”的教育理念,从数控加工编程与操作应用角度出发,按照学习与教学的规律,分七个项目系统地介绍了数控加工系统、数控编程基础、仿真软件及应用、数控加工工艺、车床编程与操作、铣床编程与操作、线切割机床的编程与操作等知识。

本书可作为高等工科院校数控技术、机电一体化技术、模具设计与制造及其相关专业的教材,也可作为企业相关人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工编程与操作/吴福贵,刘立群主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2013. 1
ISBN 978-7-312-03137-3

I. 数… II. ①吴… ②刘… III. ①数控机床—程序设计—高等职业教育—教材 ②数控机床—操作—高等职业教育—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 271134 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
网址:<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥现代印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 15.25
字数 370 千
版次 2013 年 1 月第 1 版
印次 2013 年 1 月第 1 次印刷
定价 28.00 元

前 言

我国制造业要打造“中国制造”的品牌,必须要有先进的制造技术与一大批掌握先进制造技术的人才作为支撑。先进制造技术的发展和制造设备的大规模数控化,对制造业人才的知识、能力、素质结构提出了新的要求。

当前高等职业教育改革的核心任务是课程改革,而课程改革的重要出发点之一是教材改革。数控加工编程与操作是机械类专业的一门核心技术课程,是学生掌握数控加工技术必须具备的专业知识,也是相关专业了解数控加工技术的重要课程,它对提高学生的应用技能有重要作用。为了实现“懂工艺、会编程、精操作、善维护”的数控技术高素质、高技能应用型职业人才的培养目标,以及适应全面培养机械制造企业高级专业技术人员的需要,在本教材编写之初,我们深入多家企业,调查研究了企业对数控人才的岗位能力要求,并根据职业学校的实训条件,总结了几年来数控编程课程改革的经验。在编写过程中,我们以着眼于数控人才的职业内涵为指导思想,构建以就业技能和从业素质培养为主旨的教材内容,力求突出职业教育的特色。同时,为了紧密联系生产实际,我们还邀请了两名企业资深的高级工程师参与教材编写。

教材从数控加工编程与操作应用角度出发,按照学习与教学的规律,分七个项目系统地介绍了数控加工系统、数控编程基础、仿真软件及应用、数控加工工艺、车床编程与操作、铣床编程与操作、线切割机床的编程与操作等知识。

本书的编写特点如下:

(1) 以职业能力培养为重点,以工作过程为导向,以职业岗位要求构建教材内容,使课程教学建立在职业行为的基础上。

(2) 教材内容精炼,符合教学特点,文字简明,深入浅出。为适应教学改革需要,教材针对部分教学内容进行整合,尤其适用于不同专业和不同教学内容选择,便于教师的取舍。

(3) 总结了学习与教学的规律,将仿真软件作为一个先行项目介绍,便于后续项目的课堂教学。

本书由安庆职业技术学院吴福贵和淮南职业技术学院刘立群任主编,由阜阳职业技术学院许光彬、淮南职业技术学院王慧任副主编,安徽精科机器有限公司姚东源、安庆金斗机械制造有限公司张政参加编写。安庆职业技术学院余永虎认真审阅了全书,并提出了许多宝贵意见和建议,在此深表谢意!

由于编者的水平有限,书中难免存在不足和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2012年10月

目 录

前言	(I)
项目一 数控加工系统	(1)
任务一 数控机床的组成及工作原理	(2)
任务二 数控加工的常用工量具	(16)
项目二 数控编程基础	(33)
任务一 数控机床坐标系	(35)
任务二 数控机床和刀具的轨迹控制	(40)
过程一 数控机床的插补原理	(40)
过程二 刀具补偿原理	(44)
任务三 程序编制的格式及代码(FANUC Oi 系统)	(51)
过程一 数控加工程序的结构及格式	(51)
过程二 FANUC 系统常用指令	(53)
项目三 仿真软件及应用	(66)
任务一 斯沃仿真软件的基本操作	(66)
过程一 斯沃仿真软件的基本认识	(67)
过程二 FANUC Oi 系统数控车床基本操作	(73)
任务二 宇龙仿真软件的基本操作	(83)
过程一 宇龙仿真软件的基本认识	(83)
过程二 FANUC Oi 数控车床对刀操作	(88)
过程三 FANUC Oi 数控车床 MDI 键盘操作	(92)
项目四 数控加工工艺	(99)
任务一 数控车削加工工艺	(100)
过程一 数控车削加工零件工艺性分析	(100)
过程二 数控车削加工工艺设计	(102)
过程三 数控加工工艺文件的编制	(116)
任务二 数控铣削加工工艺	(121)
过程一 数控铣削工艺的分析	(122)
过程二 数控铣削加工工艺的拟订	(125)
项目五 车削类数控加工的编程与操作	(141)
任务一 车削的固定循环指令	(142)
过程一 外圆类零件的加工	(143)
过程二 内轮廓类零件加工	(150)
过程三 螺纹加工	(152)

任务二 数控车床基本操作	(159)
过程一 数控车床操作面板	(160)
过程二 数控车床的对刀操作	(162)
过程三 刀具补偿的设置	(163)
任务三 非圆曲线类零件宏程序	(170)
项目六 铣削类数控加工的编程与操作	(176)
任务一 铣削类数控加工的程序编制	(179)
过程一 平面、型腔铣削程序编制	(180)
过程二 孔加工程序编制	(185)
过程三 加工中心换刀程序编制	(190)
过程四 子程序编制	(192)
任务二 数控铣削类机床加工操作	(199)
过程一 认识数控铣床操作面板	(199)
过程二 数控铣削加工的对刀操作	(203)
过程三 数控铣床安全操作规程与日常维护保养	(205)
过程四 数控铣床的基本操作方法	(206)
任务三 A类宏程序的编制与应用	(209)
过程一 宏指令的应用	(209)
过程二 A类宏程序在法兰盘零件加工编程中的应用	(214)
项目七 数控电火花线切割加工的编程与操作	(220)
任务一 线切割加工的程序编制	(222)
任务二 线切割机床基本操作	(229)
参考文献	(236)

项目一 数控加工系统

项目描述

数字控制(Numerical Control, NC)是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种控制方法。由于现代机床都采用计算机进行控制,因此,也可称之为计算机控制(Computerized Numerical Control, CNC)。

为了对机械运动及加工过程进行数字化控制,必须具备相应的硬件和软件。用来实现数字化控制的硬件和软件的整体称为数控系统(Numerical Control System),数控系统的核心是数控装置(Numerical Controller)。

数控技术是 20 世纪中期发展起来的机床控制技术。它是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术,是现代化工业生产中的一门新型的、发展十分迅速的高新技术。数控装备是以数控技术为代表的新技术对传统制造产业和新兴制造业的渗透形成的机电一体化产品,即所谓的数字化装备,其技术范围所覆盖的领域有:机械制造技术,微电子技术,信息处理、加工、传输技术,自动控制技术,伺服驱动技术,检测监控技术,传感器技术,软件技术等。数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业(如信息技术及其产业、生物技术及其产业、航空和航天等国防工业产业)的使用技术和最基本的装备。在提高生产率、降低成本、保证加工质量及改善工人劳动强度等方面都有突出的优点,特别是在适应机械产品迅速更新换代、小批量、多品种生产方面,各类数控装备是实现先进制造技术的关键。

数控加工(Numerical Control Machining)是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法。数控机床加工与传统机床加工的工艺规程从总体上说是一致的,但也发生了明显的变化,如图 1-1 所示。用数字信息控制零件和刀具位移的机械加工方法,是解决零件品种多变、批量小、形状复杂、精度高等问题以及实现高效化和自动化加工的有效途径。数控技术的水平和普及程度,已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。

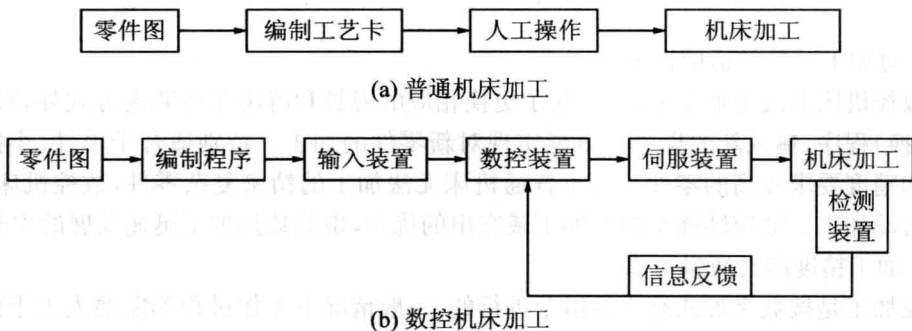


图 1-1 数控加工过程图

项目设计

在数控加工系统当中,我们需要弄清楚以下两个问题:一是数控机床的组成及工作原理,二是数控加工中的常用工量具。了解并熟悉数控机床的组成及工作原理,才能真正理解其加工过程,掌握数控机床的维护与维修。而熟悉并熟练使用常用工量具,是完成数控加工的一个基础,它对保证零件加工的精度、效率、正品率等都有重要作用。

任务一 数控机床的组成及工作原理

知识目标

了解数控机床的基本结构和工作原理;了解数控机床的分类;了解数控机床的发展。

技能目标

初识数控机床的工作过程;了解数控机床的性能与加工之间的关联。

任务分析

该任务首先给出数控机床的定义,并说明其在加工过程中的特点以及得到迅猛发展的原因;然后从数控机床的基本组成、工作原理、分类及应用、常用数控系统和发展趋势五个方面进行详细的阐述,让大家对数控机床有一个较为全面和清晰的认识,为后续的编程与操作打下基础。

任务实施

数控机床(NC 机床)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。国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing, IFIP)第五技术委员会对数控机床作了如下定义:数控机床是一种装了程序控制系统的机床,该系统能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。

在数控机床行业中,数控系统是计算机数字控制装置、可编程控制器、进给驱动与主轴驱动装置等相关设备的总称,有时则仅指其中的计算机数字控制装置。为区别起见,将其中的计算机数字控制装置称为数控装置。

数控机床以其适应性强、加工质量稳定、加工精度高等特点在机械加工中得到广泛的应用。

(1) 对加工对象的适应性强

在数控机床上改变加工零件时,除了更换相应的刀具和解决工件装夹方式外,只需重新编制(更换)程序,输入新的程序后就能实现对新零件的加工。特别适合于单件、小批量、加工难度和精度要求较高的零件。对于普通机床无法加工的精密复杂零件,数控机床也能实现精密自动加工。适应性强是数控加工最突出的优点,也是数控加工迅速发展的主要原因。

(2) 加工精度高且质量可靠

数控加工是按数字形式给出的指令进行的,一般情况下工作过程不需要人工干预,这可以避免人工操作所带来的误差。在设计制造数控机床时,采取了许多措施使数控机床的机械部分达到较高的精度和刚度。数控机床的工作台移动量普遍达到了 $0.01 \sim 0.000\ 1\text{ mm}$,

而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿,高档数控机床采用光栅尺进行工作台移动的闭环控制。加工精度由过去的 $\pm 0.01\text{ mm}$ 提高到了 $\pm 0.005\text{ mm}$,甚至更高。定位精度在 20 世纪 90 年代就已达到 $\pm 0.002\sim\pm 0.005\text{ mm}$ 。此外,数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性。通过补偿技术,数控机床可获得比自身精度更高的加工精度,尤其能提高同一批零件生产的一致性、产品合格率、加工质量稳定性。

(3) 生产效率高

零件加工时间主要包括机动时间和辅助时间两个部分。首先,数控机床的转速和进给量的变化范围比普通机床大,因此每一道工序都可以选用最有利的切削用量;其次,数控机床结构刚性好,能允许进行大切削用量的强力切削,所以数控加工的效率较高,节省机动时间;最后,数控机床的移动部件空行程运动速度快,工件装夹时间短,刀具可自动更换等,所以其辅助加工时间也比普通机床大为减少。在加工中心上加工时,若一台机床能实现多道工序的连续加工,生产效率的提高将更为显著。

(4) 自动化程度高,劳动强度低

数控机床对零件的加工是按照事先编好的程序自动完成的,操作者一般只需进行装卸工件、更换刀具、关键工序的中间检测,以及观察机床运行的操作,不需要进行复杂的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大为降低。

(5) 具有很强的通信功能,便于现代化的生产管理

数控机床通常具有 RS-232 接口,有的具有 DNC 接口,可与 CAD/CAM 软件的设计与制造相结合,高档机床还可与 MAP(制造自动化协议)相连,接入工厂的通信网络,适应于 FMS(柔性制造系统)、CIMS(计算机集成制造系统)的应用要求。

1. 数控机床的基本组成

数控机床一般由机床本体、数控装置、伺服装置和辅助装置等组成,如图 1-2 所示。

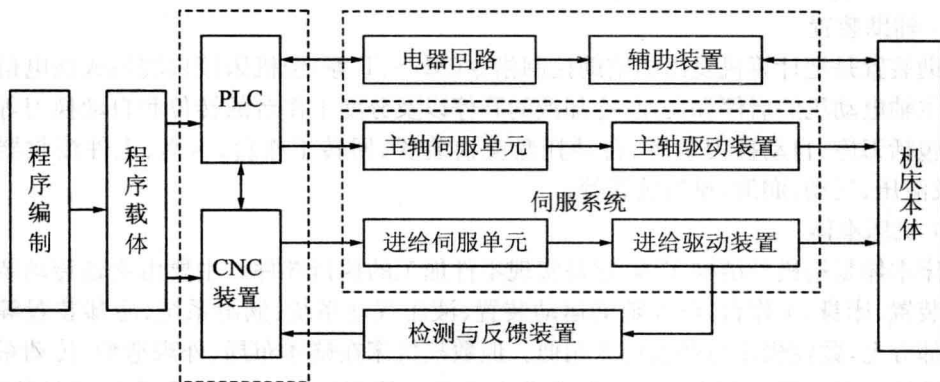


图 1-2 数控机床组成框图

(1) 程序编制及程序载体

数控程序是数控机床自动加工零件时的工作指令,编程者在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置(即零件在机床上的安装位置、刀具与零件相对运动的尺寸参数)、零件加工工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。在得到零件运动、尺寸、工艺参数等所有加工信息后,用由文字、数字和符号组成的标

准数控代码,按规定的方法和格式,编制出零件加工的数控程序单。对于形状简单的零件的加工程序可人工编制;对于形状复杂的零件的加工程序,则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编制。

程序载体是用于存取加工程序的装置。编制好的程序,存放在便于输入到数控装置上的某一种存储载体上,它可以是穿孔纸带、磁带、磁盘、硬盘或闪存卡等。采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型。

(2) CNC 装置

CNC 装置(计算机数控装置)是数控系统的核心。它包括微处理器、存储器、局部总线、外围逻辑电路,以及与数控系统其他组成部分连接的接口及相应控制软件。它的功能是接受从输入装置送来的脉冲信号,并将这些信号通过数控装置的系统软件或逻辑电路的编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和控制指令。在这些控制指令中,除了送给伺服系统的位置和速度指令外,还有送给辅助控制装置的机床辅助动作指令,最终控制机床的各部分,使机床进行规定的有序运作。

(3) 伺服系统

伺服系统是 CNC 装置和机床本体的连接环节,它包括驱动装置和执行装置两大部分。它的作用是把来自 CNC 装置的微弱指令信号调节、转换、放大后驱动伺服电机,通过执行部件驱动机床移动部件的运动,使工作台精确定位或使刀具、工件及主轴按规定的轨迹运动,最后加工出符合图样要求的零件。伺服系统的伺服精度和动态响应程度是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

(4) 检测与反馈装置

检测与反馈装置的作用是将机床导轨和主轴移动的位移量、移动速度等参数检测出来,并反馈到数控装置中。数控装置根据反馈回来的信息进行判断并发出相应的指令,纠正所产生的误差,这样有利于提高数控机床的加工精度。常用的检测装置有光栅、旋转编码器、激光测距仪、磁栅、霍尔检测元件等。

(5) 辅助装置

辅助装置是把计算机发出的辅助控制指令(M、S、T等)经机床接口转换成强电信号,用来控制主轴电动机的启停和变速,冷却液的开停以及分度工作台的转位和自动换刀等动作。它主要包括刀库、自动换刀装置、自动托盘交换装置、回转工作台、卡盘、工件接收器、对刀仪,以及液压、气动、润滑、排屑装置等。

(6) 机床本体

机床本体是指机械结构实体,它是实现零件加工的执行部件。主要由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台,以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。在这一部分上,数控机床与普通机床相似。但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作方式等方面都已发生了很大的变化,这种变化是为了满足数控机床的要求和充分发挥数控机床的优点。

2. 数控机床的工作原理

普通机床的零件加工,是操作者依据工程图样的要求,不断改变刀具与工件之间相对运动的参数(位置、速度等),使刀具对工件进行切削加工,最终得到所需要的合格零件。

数控机床加工零件,首先是根据设计的零件图,经过加工工艺分析、设计,将加工过程中的各种操作(例如,机床启停、刀具选择、主轴变速、刀具选择、走刀路线、切削用量、切屑液供

给,以及刀具与工件相对位移量等)编入程序,然后输入计算机,经过计算机的处理、运算,将各坐标轴的分量输入到驱动电路,经过转换和放大,驱动伺服电机,带动各轴运动,并对运动过程进行反馈控制,使各坐标轴方向的运动协调进行,从而完成零件的加工。

对数控机床的基本控制要求包括运动控制和逻辑控制两个方面。其中,运动控制主要包括位移速度、加速度及其组合控制。例如:对各坐标轴的插补运动控制、对主轴转速的控制。逻辑控制分为简单逻辑输入、输出控制和组合逻辑控制。例如:对冷却泵电动机的启停控制、对主轴电动机正转、反转和停止的控制,以及对机床参点限位开关信号的检测等。各种机床的功能要求不同,联动轴数、运动控制和逻辑控制的复杂程度也会不同。

3. 数控机床的分类及应用

目前,数控机床的品种规格很多,结构和功能各不相同,通常可按以下四种方法进行分类。

(1) 按工艺用途分类

① 金属切削类数控机床。这类机床和传统的通用机床品种一样,有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床以及加工中心等。加工中心是带有自动换刀装置,在一次装卡后可以进行多种工序加工的数控机床。

② 金属成型类数控机床。这类数控机床起步虽然较晚,但目前发展很快,如数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机床等。

③ 数控特种加工及其他类型数控机床。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、数控火焰切割机床、数控等离子切割机。

④ 其他类型数控机床。主要有三坐标测量机、数控装配机、机器人等。

(2) 按控制运动的方式分类

① 点位控制数控机床。点位控制(Positioning Control)又称点到点控制(Point to Point Control)。这类数控机床的数控装置只要求精确地控制一个坐标点到另一坐标点的定位精度,而不管一点到另一点是按照什么轨迹运动的,如图 1-3 所示。在移动过程中不进行任何加工。为了精确定位和提高生产率,首先使系统高速运行,然后进行 1~3 级减速,使之慢速趋近定位点,减小定位误差。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲剪床和数控测量机等。使用数控钻床、数据坐标镗床加工零件可以省去钻模、镗模等工装,又能保证加工精度。



图 1-3 点位控制切削加工示意图

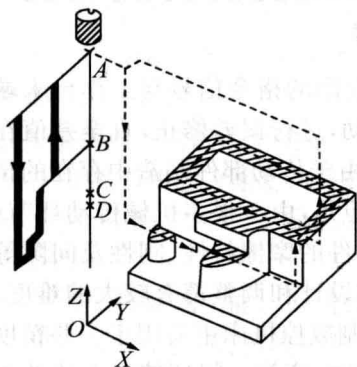


图 1-4 直线控制切削加工示意图

② 直线控制数控机床。直线切削控制(Straight Cut Control)又称平行切削控制(Parallel Cut Control)。这类数控机床不仅要求具有准确的定位功能,而且还要保证从一点到另一点之间运动的轨迹是一条直线,如图 1-4 所示。其运动轨迹是平行于机床各坐标轴的直线或与坐标轴成 45° 的斜线。对于不同的刀具和工件,可以选择不同的切削用量。这一类数控机床包括经济型数控车床、数控铣床、加工中心、数控磨床等。

③ 轮廓控制数控机床。轮廓控制(Contouring Control)又称为连续轨迹控制(Continuous Path

Control)。这类数控机床的数控装置能同时控制两个或两个以上的坐标轴,并具有插补功能,如图 1-5 所示。对位移和速度进行严格的不断的控制,可加工出任意斜线、圆弧、抛物线及其他函数关系的曲线或曲面,如凸轮及叶片等。轮廓控制数控机床主要有两个及两个以上坐标的数控铣床、可加工曲面的数控车床、加工中心等。

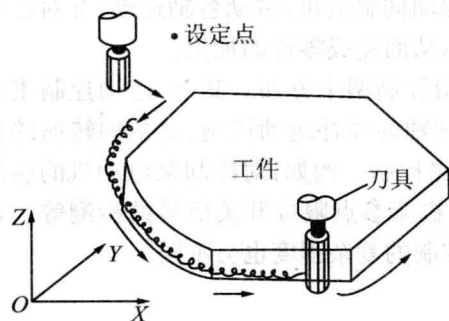


图 1-5 轮廓控制铣削加工示意图

(3) 按照联动轴数分类

数控机床按联动(同时控制)轴数可以分为 2 轴联动、2.5 轴联动、3 轴联动、4 轴联动、5 轴联动等数控机床。2.5 轴联动是三个坐标轴(X、Y、Z)中的任意两轴联动,另一个是点位或直线控制轴。

(4) 按伺服系统控制方式分类

根据有无检测反馈元件及检测装置,机床的伺服系统可分为开环伺服系统、半闭环伺服系统和闭环伺服系统。

① 开环控制数控机床。这类数控机床没有检测反馈装置,数控装置发出的指令信号的流程是单向的,步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响加工零件的精度。其精度主要取决于驱动元件和电机(如步进电机)的性能。工作台的移动速度和位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数决定的。当数控系统向伺服系统输出一个脉冲,经环形分配和功率放大后驱动步进电机带动丝杠转动,使机床运动部件移动一个单位长度。这类数控机床结构简单、成本低、工作比较稳定、调试方便。它适用于精度、速度要求不高的场合,如经济型的中小型机床。开环控制系统的工作原理如图 1-6 所示。

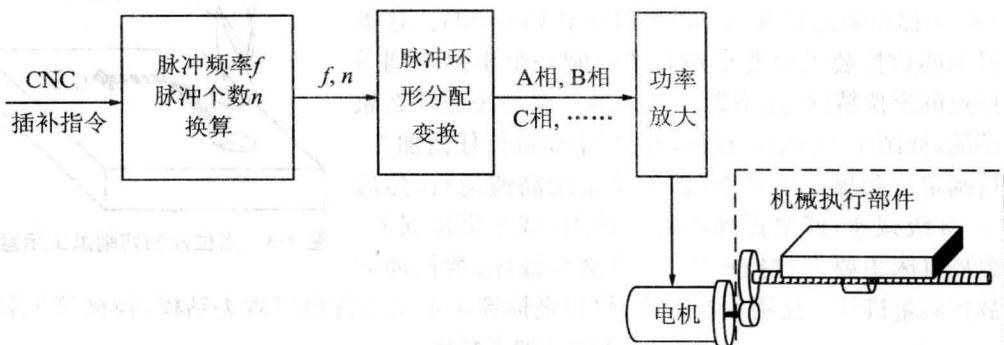


图 1-6 开环控制系统工作原理

② 闭环控制数控机床。这类机床数控装置中插补器发出的指令信号与工作台末端测得的实际位置反馈信号进行比较,根据其差值不断控制运动,进行误差修正,直至差值在误差允许的范围内为止。采用闭环控制的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,从而得到很高的加工精度。但是,由于很多机械传动环节(尤其是惯量较大的工作台等)包含在闭环控制的环路内,各部件的摩擦特性、刚性及间隙等都是非线性量,直接影响伺服系统的调节参数,故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,很容易造成系统的不稳定。所以,闭环控制数控机床主要用于一些精度和速度要求高的精密大型数控机床,如镗铣床、超精车床、超精磨床等。闭环控制系统的工作

原理如图 1-7 所示。

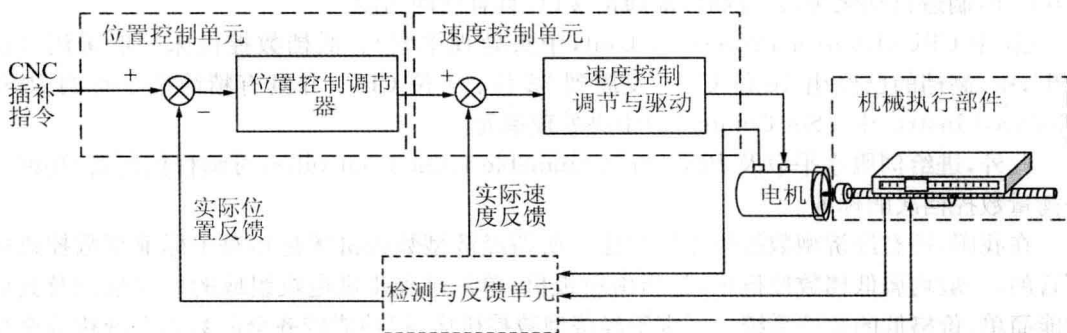


图 1-7 闭环控制系统工作原理

③ 半闭环控制数控机床。这类数控机床通过安装在伺服电动机轴或数控机床传动丝杠上的角位移检测装置(如光电编码器、旋转变压器等),检测电动机轴或丝杠的转角,从而间接地检测移动部件的实际位移量,然后反馈到数控装置中去,并对误差进行修正。虽然半闭环控制系统的精度在理论上低于闭环系统,但由于角位移测量元件比直线位移测量元件结构简单、价格低,且半闭环系统调试方便、稳定性好,因此,配备有传动精度较高的齿轮、丝杠的半闭环系统得到了广泛的应用,现代大多数数控机床都采用半闭环控制系统。半闭环控制系统的工作原理如图 1-8 所示。

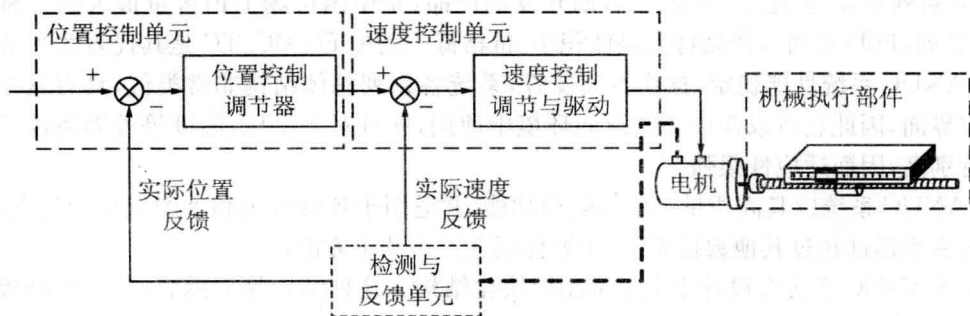


图 1-8 半闭环控制系统工作原理

(5) 按数控系统功能水平分类

按数控系统功能水平可将数控机床分为高、中、低档三类。这种分类方法没有一个确切定义,但可以给人们一个清晰的一般水平概念。数控机床水平高低主要由技术参数、功能指标和关键部件的功能水平决定。下列几个方面可作为评价数控机床档次的参考条件:

① 分辨率和进给速度。分辨率为 $10\ \mu\text{m}$,进给速度为 $8\sim 15\ \text{m/min}$ 的为低档;分辨率为 $1\ \mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 24\ \text{m/min}$ 的为中档;分辨率为 $0.1\ \mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 100\ \text{m/min}$ 的为高档。

② 多坐标联动功能。低档数控机床最多联动轴数为 $2\sim 3$;中、高档则为 $3\sim 5$ 。

③ 显示功能。低档数控机床一般只有简单的数码管显示或简单的 CRT 字符显示(Cathode Ray Tube, 阴极射线管);而中档的有较齐全的 CRT 显示,不仅有字符,而且还有图形、人机对话、自诊断等功能;高档的还有三维动态图形显示。

④ 通信功能。低档数控机床无通信功能;中档数控机床有 RS-232 DNC(Direct

Numerical Control,直接数控或称群控)接口;高档的有 MAP(Manufacturing Automatically Protocol,制造自动化协议)等高性能通信接口,具有联网功能。

⑤ 主 CPU(Control Processing Unit,中央处理单元)。低档数控机床一般采用 8 位 CPU;中、高档的已经由 16 位 CPU 发展到 32 位、64 位 CPU,并具有精简指令集的 RISC(Reduced Instruction Set Computer)中央处理单元。

此外,进给伺服水平以及 PLC(Programmable Logic Controller,可编程控制器)功能也是衡量数控档次的标准。

在我国,还有经济型数控机床的提法。所谓经济型数控机床是相对于标准型数控机床而言的,一般均属低档数控机床,是指由单板机、单片机和步进电机组成的数控系统及其他功能简单、价格低的数控系统。区别于经济型数控机床,把功能较齐全的数控系统称为全功能数控机床,或称为标准型数控机床。

4. 常见数控系统简介

目前市场上用得比较多的数控系统有 FANUC、西门子、三菱、广数、华中等。其中又以 FANUC 系统用得最为广泛,而国内举办的数控大赛多用华中数控系统。

(1) FANUC 数控系统

FANUC 系统是日本富士通公司的产品,通常其中文译名为发那科。该系统进入中国市场有非常悠久的历史,有多种型号的产品在使用,使用较为广泛的产品有 FANUC0、FANUC16、FANUC18、FANUC21 系列等。在这些型号中,使用最为广泛的是 FANUC0 系列。F0 系列是 20 世纪 80 年代中后期开发的产品,是中国市场上销售量最大的一种系统(F0C 系列、F0D 系列),产品特点为体积小、价格低。其中 F0-MC/TC 是其代表性产品。

FANUC 系统性能稳定,操作界面友好,系统各系列总体结构非常类似,具有基本统一的操作界面,因此它可以在较为宽泛的环境中使用,并且对于电压、温度等外界条件的要求不是特别高,因而适应性很强。

FANUC 系统以其高质量、高性能、全功能,并适用于各种机床和生产机械的特点,在市场的占有率远远超过其他数控系统,主要体现在以下几个方面:

① FANUC 系统在设计中大量采用模块化结构。这种结构易于拆装,各个控制板高度集成,使可靠性有很大提高,而且便于维修、更换。

② 具有很强的抵抗恶劣环境影响的能力。其工作环境温度为 $0\sim 45^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 75%。

③ 有较完善的保护措施。FANUC 对自身的系统采用比较好的保护电路。

④ FANUC 系统所配置的系统软件具有比较齐全的基本功能和选项功能。对于一般的机床来说,基本功能完全能满足使用要求。

⑤ 提供大量丰富的 PMC(可编程机床控制器,是 Programmable Machine Control 的缩写,FANUC 为了区别将自己数控系统内装式 PLC 有别于通用的 PLC,将其命名为 PMC)信号和 PMC 功能指令。这些丰富的信号和编程指令便于用户编制机床 PMC 控制程序,而且增加了编程的灵活性。系统提供串行 RS-232C 接口、以太网接口,能够完成 PC 和机床之间的数据传输。

⑥ 具有很强的 DNC 功能。系统提供串行 RS-232C 传输接口,使通用计算机 PC 和机床之间的数据传输能方便、可靠地进行,从而实现高速的 DNC 操作。

⑦ 提供丰富的维修报警和诊断功能,FANUC 维修手册为用户提供了大量的报警信息,

并且以不同的类别进行分类。

(2) 西门子数控系统

西门子(SINUMERIK)数控系统是德国西门子的产品。西门子凭借在数控系统及驱动产品方面的专业思考与深厚积累,不断制造出机床产品的典范之作,为自动化应用提供了日趋完美的技术支持。SINUMERIK 不仅意味着一系列数控产品,而且其目的在于生产一种适于各种控制领域不同控制需求的数控系统,其构成只需很少的部件。它具有高度的模块化、开放性以及规范化的结构,适于操作、编程和监控。其主要部分包括:控制及显示单元、PLC 输入/输出单元(PP)、PROFIBUS 总线单元、伺服驱动单元、伺服电机等。

SINUMERIK 的 CNC 数控装置主要有 SINUMERIK 3/8/810/820/850/805/840/802 系列等。

(3) 华中数控系统

华中数控系统有限公司成立于 1995 年,由华中理工大学与若干政府部门和企业共同投资组建。主要型号有华中 1 型、华中 2000、世纪星系列(HNC-21、HNC-22、HNC-18/19)等。

华中“世纪星”系列数控系统包括世纪星 HNC-18i、HNC-19i、HNC-21 和 HNC-22 四个系列产品,均采用工业微机(IPC)作为硬件平台的开放式体系结构的创新技术路线,充分利用 PC 软件、硬件的丰富资源,通过软件技术的创新,实现数控技术的突破,通过工业 PC 的先进技术和低成本保证数控系统的高性价比和可靠性,并充分利用通用微机已有软硬件资源和分享计算机领域的最新成果,如大容量存储器、高分辨率彩色显示器、多媒体信息交换、联网通信等技术,使数控系统可以伴随 PC 技术的发展而发展,从而长期保持技术上的优势。

在国家“863”计划、国家科技攻关计划项目和国家自然科学基金项目的支持下,华中数控开发了具有自主知识产权的系列开放式网络化数控系统、全数字交流伺服驱动和电机、伺服主轴驱动和主轴电机,并掌握了数控系统的全套关键技术,其中五轴联动数控产品打破了国外技术封锁,被列为国家重点新产品。华中“世纪星”系列数控系统以其质量好、性价比高、新产品开发周期短、系统维护方便、配套能力强、开放性好的优点,现己派生出了十多种系列三十多个特种数控系统产品,广泛用于车、铣、加工中心、车铣复合、磨、锻、齿轮、仿形、激光加工、纺织机械、玻璃机械、医疗机械等设备。满足用户对低价格、高性能、简单、可靠数控系统的要求。

5. 数控技术发展趋势

数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化,使制造业成为工业化的象征,而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大,对国计民生的一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗等)的发展也起着越来越重要的作用,这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。当前世界上数控技术及其装备呈现如下发展趋势。

(1) 高速、高精度和高可靠性

新一代数控机床(含加工中心)只有通过高速化大幅度缩短切削工时才可能进一步提高其生产率。超高速加工(特别是超高速铣削)与新一代高速数控机床(特别是高速加工中心)的开发应用紧密相关。20 世纪 90 年代以来,美国、日本和欧洲各国争相开发应用新一代高速数控机床,加快了机床高速化发展步伐。

提高生产率的一个措施是减少切削时间,即提高主轴的转速。加工中心的主轴转速已从 10 年前的 4 000~6 000 r/min 提高到了 8 000~50 000 r/min,目前最高的主轴转速已能达到 200 000 r/min。

提高生产率的另一措施就是把非切削时间缩减到最短,主要体现在提高快速移动速度和缩短换刀时间与工作台交换时间。各坐标轴快速移动速度已由 $8\sim 12\text{ m/min}$ 提高到了 $18\sim 24\text{ m/min}$ 或更高的 $30\sim 40\text{ m/min}$ 。意大利 FAS 公司 S630V 型 5 轴控制的立式加工中心的进给速度最高达 48 m/min ,加工中心的快移速度在脉冲当量为 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 时,已达到了 240 m/min 。在缩短换刀时间和工作台交换时间方面也取得了较大进展:数控车床刀架转位时间已从 $1\sim 3\text{ s}$ 减少到 $0.4\sim 0.6\text{ s}$;加工中心由于刀库和换刀结构的改进,使换刀时间从 $5\sim 10\text{ s}$ 减少到 $1\sim 3\text{ s}$,甚至小于 1 s (日本大阪机工的一台卧式加工中心换刀时间为 0.6 s);工作台的交换时间也由 $12\sim 20\text{ s}$ 减少到 $6\sim 10\text{ s}$,有的在 2.5 s 以内。

数控机床长期以来一直采用高速钢和硬质合金作为它的刀具材料,致使一般切削速度最多只有 $60\sim 70\text{ m/min}$ 。到了 20 世纪 70 年代末 80 年代初期,涂层高速钢和涂层硬质合金刀具材料得到了广泛应用。由于其耐磨性和热硬性的提高,所以切削速度提高到了 $200\sim 300\text{ m/min}$ 或更高。近年来陶瓷刀具、聚晶金刚石刀具逐步实用化和普及化,使切削速度高达数百至上千米每分钟。而采用 CBN 砂轮用于生产的磨削速度已达到 $120\sim 250\text{ m/s}$ 。

从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工),是世界各工业强国致力于发展的方向。其精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级,其应用范围日趋广泛。超精密加工主要包括超精密切削(车、铣)、超精密磨削、超精密研磨抛光以及超精密特种加工(三束加工及微细电火花加工、微细电解加工和各种复合加工等)。随着现代科学技术的发展,对超精密加工技术不断提出新的要求。新材料及新零件的出现、更高精度要求的提出等都需要超精密加工工艺,发展新型超精密加工机床,完善现代超精密加工技术,以适应现代科技的发展。

当前,机械加工高精度的要求如下:普通的加工精度提高一倍,达到 $5\text{ }\mu\text{m}$;精密加工精度提高两个数量级,超精密加工精度进入纳米级($0.001\text{ }\mu\text{m}$),主轴回转精度要求达到 $0.01\sim 0.05\text{ }\mu\text{m}$,加工圆度为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$,加工表面粗糙度 $Ra=0.003\text{ }\mu\text{m}$ 等。精密化是为了适应高新技术发展的需要,也是为了提高普通机电产品的性能、质量和可靠性,减少其装配时的工作量,从而满足提高装配效率的需要。随着高新技术的发展和对机电产品性能与质量要求的提高,机床用户对机床加工精度的要求也越来越高。

数控机床的可靠性是数控机床产品质量的一项关键性指标。数控机床能否发挥其高性能、高精度、高效率,并获得良好的效益,关键取决于其可靠性。衡量可靠性重要的量化指标是平均无故障工作时间(Mean Time Between Failures, MTBF)。作为数控机床的大脑——数控系统的平均无故障工作时间已由 20 世纪 70 年代的大于 3 000 小时,80 年代的大于 10 000 小时,提高到了 90 年代初的大于 30 000 小时。据日本近期报道,FANUK 的 CNC 系统的 MTBF 已达到约 125 个月。

数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性一个数量级以上。对于每天工作两班的无人工厂,若要求 16 小时内连续正常工作,无故障率 $P(t)=99\%$,则数控机床的平均无故障工作时间必须大于 3 000 小时。主机与数控系统的失效率之比为 $10:1$ (数控的可靠性比主机高一个数量级),则数控系统的平均无故障工作时间就要大于 33 000 小时,其中数控装置、主轴及驱动等的平均无故障工作时间必须大于 10 万小时。当前数控装置的 MTBF 值已达 6 000 小时以上,驱动装置达 30 000 小时以上。

目前,很多企业正在对可靠性设计技术、可靠性试验技术、可靠性评价技术、可靠性增长技术以及可靠性管理与可靠性保证体系等进行深入研究和广泛应用,以期使数控机床的整机可靠性提高到一个新水平。数控机床的可靠性涉及生产厂的设计、制造、装配、供应和售

后服务等厂内各部门,涉及配套件、外协件的供应厂商,还涉及机床用户,这是一项需要多个部门共同努力的系统工程。

(2) 复合化、智能化、柔性化

① 复合加工进入新的阶段,已经超过一般车、铣、钻等加工工序的复合,进一步扩大到内外圆磨削、齿面加工以及表面处理等复合。例如,日本天田公司展示的 WASINO Mi18 五轴联动磨床,可进行磨、车、铣复合加工,机器人更换工件。数控机床功能复合化的发展核心是在一台机床上要完成车、铣、钻、攻丝、绞孔和扩孔等多种操作工序,包括工序复合型——车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工技术复合和跨加工类别技术复合型——冲压与激光、金属烧结与镜面切削复合等。目前已由机加工复合发展到非机加工复合,复合加工的精度和效率大大提高。“一台机床就是一个加工厂”“一次装卡”“完全加工”等理念正在被更多人接受,复合加工机床发展正呈现多样化的态势。

② 数控机床智能化包含在线测量、监控和补偿等方面。智能机床的开发,是在纳米化、高速化、复合化、五轴联动化等浪潮之后的一个新的发展方向,为今后进一步研究开发适应控制、FMS、CIM、CIMS 创造更多有利的条件,为将来发展工厂自动化起到很大的影响和促进作用。数控机床智能化技术主要有以下六个方面:a. 自动抑制振动的功能。在高速加工过程中,机床容易出现振动,刀具也易于磨损。该机能自动抑制振动,大大提高加工精度。b. 自动测量和自动补偿功能。减少高速主轴、立柱、床身热变形的影响,使机床加工精度大大提高。c. 自动防止刀具和工件碰撞的功能。大大减少突发事故,提高机床工作的可靠性。d. 自动补充润滑油和抑制噪音的功能。大大改善工作条件。e. 数控系统具有特殊的人机对话功能。在编程时能在监测画面上显示出刀具轨迹等,进一步提高切削效率。f. 机床故障能进行远距离诊断。

智能化技术能提升数控机床的功能和品质,使得数控机床智能化的发展前景非常广阔。它是世界制造技术进一步提高效率、自动化、智能化、网络化、集成化的努力目标,也是在今天数字控制机床技术基础上向更高阶段发展的努力方向。

③ 柔性自动化技术是制造业适应动态市场需求及产品迅速更新的主要手段,是各国制造业发展的主流趋势,是先进制造领域的基础技术。机器人使柔性化组合效率进一步提高,机器人与主机的柔性化组合得到广泛应用,使得柔性线更加灵活、功能进一步扩展、柔性线进一步缩短、效率进一步提高。机器人与加工中心、车铣复合机床、磨床、齿轮加工机床、工具磨床、电加工机床、锯床、冲压机床、激光加工机床、水切割机床等组成多种形式的柔性单元和柔性生产线已经开始应用。

数控机床向柔性自动化系统发展的趋势是:从点(数控单机、加工中心和数控复合加工机床)、线(FMC、FMS、FTL、FML)向面(工段车间独立制造岛,FA)、体(CIMS,分布式网络集成制造系统)的方向发展。另一方面向注重应用性和经济性方向发展,主要有以下四个方面:a. 以提高系统的可靠性、实用化为前提,以易于联网和集成为目标;b. 注重加强单元技术的开拓、完善,CNC 单机向高精度、高速度和高柔性方向发展;c. 数控机床及其构成柔性制造系统能方便地与 CAD、CAM、CAPP、MTS 联结,向信息集成方向发展;d. 网络系统向开放、集成和智能化方向发展。

(3) 开放性

为适应数控进线、联网、普及型个性化、多品种、小批量、柔性化及数控迅速发展的要求,重要的发展趋势是体系结构的开放性,设计生产开放式的数控系统。开放式体系结构使数