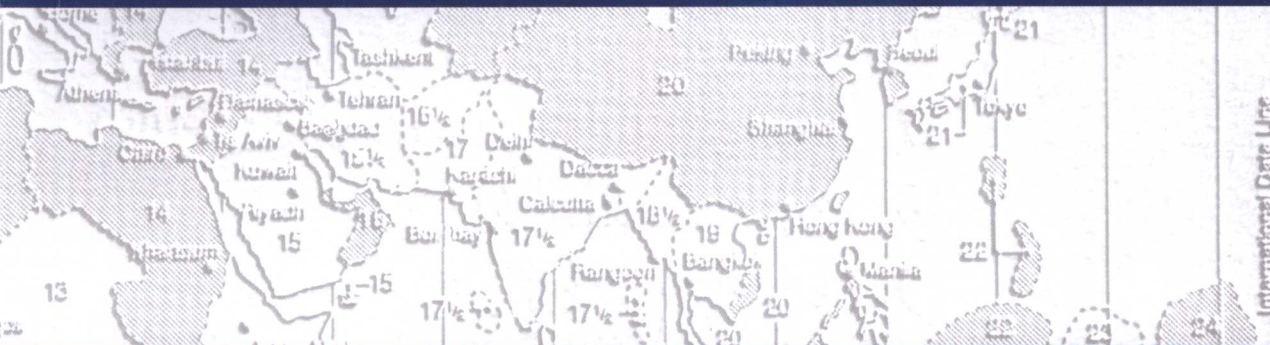




卓越系列·国家示范性高等职业院校核心课程特色教材



数控技术及应用

NUMERICAL CONTROL TECHNOLOGY AND APPLICATION

主 编 马春峰 郑军



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

卓越系列·国家示范性高等职业院校核心课程特色教材

数控技术及应用

Numerical Control Technology and Application

主 编	马春峰	郑 军
副主编	王守志	刘明光
	刘均海	
参 编	周文彬	李更新
	宋玉刚	崔 萍
	丁 进	于春玲

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书以典型数控车床、铣床、加工中心为载体,采用任务驱动模式,通过分析其具体工作过程,有的放矢地学习数控机床工作理论知识。全书包括 10 个学习任务,每个学习任务都完成数控机床特定模块的工作原理分析,同时穿插相关知识要点并进行拓展,合理分布理论知识体系,任务教学都采用理论实践一体化方式。

本书可作为高职高专机电类有关数控机床安装调试、故障维修及加工制造专业的教材,也可作为数控技术工程人员的自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术及应用/马春峰,郑军主编. —天津:天津大学出版社,2010.8

(卓越系列)

国家示范性高等职业院校核心课程特色教材

ISBN 978-7-5618-3522-7

I. ①数… II. ①马…②郑… III. ①数控机床—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 142033 号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742

网 址 www.tjup.com

印 刷 肃宁县科发印刷厂

经 销 全国各地新华书店

开 本 169mm×239mm

印 张 16.75

字 数 348 千

版 次 2010 年 8 月第 1 版

印 次 2010 年 8 月第 1 次

印 数 1-3 000

定 价 30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

数控机床是现代机械工业的重要技术装备,也是先进制造技术的基础设备,它的推广应用,促进了我国机械制造业的发展。数控机床是典型的机电一体化产品,综合了电子计算机、自动控制、检测技术、液压与气动以及精密机械等方面的技术。目前,随着国内数控机床用量的剧增,急需培养一大批数控机床设备操作、编程,特别是维修的数控应用型人才,因此,数控机床的工作原理就成为从业人员必须具备的基础知识。目前已有的教材大都是学科体系下的知识架构,其理论性强,从高职学生学习角度出发显得过于抽象,实际教学过程中往往出现学生厌学情绪。为了使这种状况有所改观,笔者以国家示范性高等职业院校建设为契机,不断总结教学经验,以典型数控车床、铣床、加工中心为载体,分析其具体工作原理,采用任务驱动模式,做到理论知识的有的放矢,编写了本教材。

本教材以 CK6132 数控车床、XD-40 数控铣床和 GSVM 加工中心为载体,分为两个项目,十个任务;每个任务都有【任务导入】、【任务内容】和【动手和思考】,使学生掌握完成本目标的相关知识;知识内容上又划分为【知识要点】和【知识拓展】。

在第一个项目中,力争全面解构结构和功能相对简单的 CK6132 数控车床的工作原理,从机械结构到控制原理及控制过程都进行了详细解析。学生在学习过程中,可以有目的地学习教材提供的内容,结合实际设备对机床的控制原理进行验证。对于学有余力的学生可以从【知识拓展】中更加深入学习原理知识,教师也可以有选择地对相关内容进行讲解。在第二个项目中,力争全面解构 XD-40 数控铣床和 GSVM 加工中心典型控制过程,其主要区别在于机械结构和控制任务的复杂程度。其中对 GSVM65400 加工中心的换刀过程进行了分析,并深入学习了 PMC 在数控机床中的应用;对全闭环控制用到的检测装置进行应用举例。最后,附录中列举了 CK6132 数控车床和 XD-40 数控铣床的控制线路图,便于教学过程中的实际应用。

本教材由马春峰、郑军主编。任务二、四、六、九由马春峰编写,任务三、五、十由郑军、王守志编写,任务一、八由刘均海、刘明光编写,任务七由周文彬编写。另外,李更新参与了机械结构部分的编写,宋玉刚参与了电气控制及机床调试部分的编写,鲁中职业学院的崔萍老师完成教材中相关英文词汇的注解,丁进、于春玲参与了图幅的制作。全书由马春峰统稿。在本书的编写过程中,参阅了有关教材和资料,并得到了李文主任的帮助和指导,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、数控技术发展迅速,本书难免有不足之处,望广大读者批评、指正。

编者

2010 年 6 月

目 录

走近数控机床.....	1
项目一 CK6132 数控车床工作过程分析	15
任务一 机械结构分析	16
任务二 主轴控制与运行分析	43
任务三 进给轴控制与运行分析	54
任务四 CNC 装置结构及工作过程分析	84
任务五 进给轴插补控制的实现	127
任务六 PLC 的应用	171
任务七 CK6132 数控车床的调试	184
项目二 数控铣床、加工中心典型工作过程分析	198
任务八 数控铣床、加工中心机械结构分析	199
任务九 加工中心换刀过程分析	208
任务十 检测装置在闭环控制系统中的应用	227
附录一 CK6132 数控车床的控制线路图	243
附录二 XD-40 数控机床的控制线路图	252
参考文献	261

走近数控机床

从美国于1952年研制成功第一台数控机床以来,机械加工领域发生了深刻的变革,世界各国无不争相研制数控加工设备。经过50多年的发展,数控设备的多样化和生产成本的降低,使原本昂贵的数控设备得到了广泛的应用,其加工精度也越来越高,甚至达到了纳米级。数控机床是一种自动化程度较高、结构比较复杂的加工设备,它是当今先进的计算机技术、零件加工和装配技术、电气技术等集中体现,特别是对一些高、精、尖的数控机床来说,更是代表了一个国家的科技水平,直接决定了一个国家装备制造业和国防工业的水平。数控设备的大量应用需要有相应的数控专业技术人员进行操作、编程、加工和维护;特别是对机床正确使用和维护来讲,首先需要了解数控机床的工作原理,才不至于发现故障时一头雾水、不知所措,也更谈不上数控机床的故障诊断与维修。本课程的根本目的就是力争通过典型数控机床工作原理的详细剖析,使读者掌握数控原理的知识。下面我们就走近数控机床,先了解相关的几个基本概念。

什么是数控机床

数字控制机床(Numerical Control Machine Tools)简称数控机床,这是一种将数字计算技术应用于机床的控制技术。它把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示,通过信息载体输入数控装置,经运算处理由数控装置发出各种控制信号控制机床的动作,按图纸要求的形状和尺寸,自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题,是一种柔性的、高效能的自动化机床,代表了现代机床控制技术的发展方向,是一种典型的机电一体化产品。典型的数控车床、数控铣床、加工中心外形如图0-1所示。

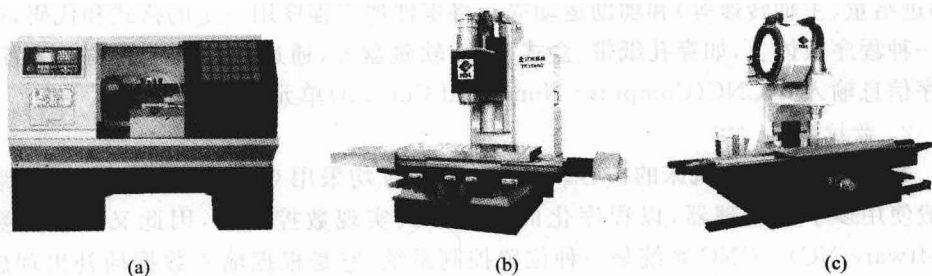


图0-1 典型数控机床

(a)数控车床 (b)立式数控铣床 (c)立式加工中心

数控机床的加工原理

数控机床加工工件的过程如图 0-2 所示。

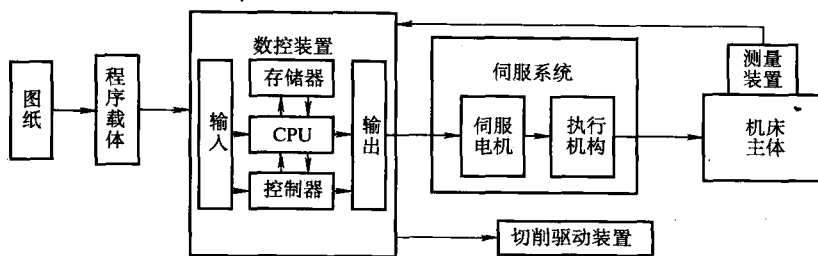


图 0-2 数控机床的加工过程

(1)在数控机床上加工工件时,首先要根据加工零件的图样与工艺方案,用规定的格式编写程序单,并且录在程序载体上。

(2)把程序载体上的程序通过输入装置输入到数控装置中去。

(3)数控装置将输入的程序经过运算处理后,向机床各个坐标的伺服系统发出信号。

(4)伺服系统根据数控装置发出的信号,通过伺服执行机构(如步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机),经传动装置(如滚珠丝杠螺母副等),驱动机床各运动部件,使机床按规定的动作顺序、速度和位移量进行工作,从而制造出符合图样要求的零件。

由上述数控机床的工作过程可知,数控机床的基本组成包括加工程序载体、数控装置、伺服驱动装置、机床主体和其他辅助装置。下面分别对各组成部分的基本工作原理进行概要说明。

1. 加工程序载体

数控机床工作时,不需要工人直接去操作机床,要对数控机床进行控制,必须编制加工程序。零件加工程序中,包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(如进给量、主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码,存储在一种程序载体上,如穿孔纸带、盒式磁带、软磁盘等,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到 CNC(Computer Numerical Control)单元。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用 CNC 形式,这种 CNC 装置一般使用多个微处理器,以程序化的软件形式实现数控功能,因此又称软件数控(Software NC)。CNC 系统是一种位置控制系统,它是根据输入数据插补出理想的运动轨迹,然后输出到执行部件,加工出所需要的零件。因此,数控装置主要由输入、处理和输出三个基本部分构成。而所有这些工作都由计算机的系统程序进行合理的组织,使整个系统协调地进行工作。

1) 输入

将数控指令输入给数控装置,根据程序载体的不同,相应有不同的输入装置。目前主要有键盘输入、磁盘输入、CAD/CAM 系统直接通信方式输入和连接上级计算机的直接数控(DNC)输入,现仍有不少系统还保留有光电阅读机的纸带输入形式。下面介绍三种输入方式。

(1)纸带输入方式。可用纸带光电阅读机读入零件程序,直接控制机床运动;也可以将纸带内容读入存储器,用存储器中储存的零件程序控制机床运动。

(2)MDI 手动数据输入方式。操作者可利用操作面板上的键盘,输入加工程序的指令,它适用于比较短的程序。在控制装置编辑状态(EDIT)下,用软件输入加工程序,并存入控制装置的存储器中,这种输入方法可重复使用程序。一般手工编程均采用这种方法。在具有会话编程功能的数控装置上,可按照显示器上提示的问题,选择不同的菜单,用人机对话的方法,输入有关的尺寸数字,就可自动生成加工程序。

(3)采用 DNC 输入方式。把零件程序保存在上级计算机中,CNC 系统一边加工一边接收来自计算机的后续程序段。DNC 方式多用于采用 CAD/CAM 软件设计的复杂工件,并直接生成零件程序的情况。

2) 信息处理

输入装置将加工信息传给 CNC 单元,编译成计算机能识别的信息,由信息处理部分按照控制程序的规定,逐步存储并经处理后,通过输出单元发出位置和速度指令给伺服系统和主运动控制部分。CNC 系统的输入数据包括:零件的轮廓信息(如起点、终点、直线、圆弧等)、加工速度及其他辅助加工信息(如换刀、变速、冷却液开关等),数据处理的目的是完成插补运算前的准备工作。数据处理程序还包括刀具半径补偿、速度计算及辅助功能的处理等。

3) 输出装置

输出装置与伺服机构相连。输出装置根据控制器的命令接受运算器的输出脉冲,并把它送到各坐标的伺服控制系统,经过功率放大,驱动伺服系统,从而控制机床按规定要求运动。

3. 伺服系统和测量反馈系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分,用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。伺服系统的作用是把来自数控装置的指令信息,经功率放大、整形处理后,转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。由于伺服系统是数控机床的最后环节,其性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标。因此,要求数控机床的伺服驱动装置具有良好的快速反应性能,能够准确而灵敏地跟踪数控装置发出的数字指令信号,并能忠实地执行来自数控装置的指令,提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和

交流伺服电动机是常用的驱动装置。

测量元件将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来,并经反馈系统输入到机床的数控装置中,数控装置对反馈回来的实际位移值与指令值进行比较,并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

4. 机床主体

机床主机是数控机床的主体。它包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴箱、进给机构、刀架及自动换刀装置等机械部件。它是在数控机床上自动地完成各种切削加工的机械部分。与传统的机床相比,数控机床主体具有如下结构特点。

(1)采用具有高刚度、高抗振性及较小热变形的机床新结构。通常用提高结构系统的静刚度、增加阻尼、调整结构件质量和固有频率等方法来提高机床主体的刚度和抗振性,使机床主体能适应数控机床连续自动地进行切削加工的需要。采取改善机床结构布局、减少发热、控制温升及增加热位移补偿等措施,可减少热变形对机床主体的影响。

(2)广泛采用高性能的主轴伺服驱动和进给伺服驱动装置,使数控机床的传动链缩短,简化了机床机械传动系统的结构。

(3)采用高传动效率、高精度、无间隙的传动装置和运动部件,如滚珠丝杠螺母副、塑料滑动导轨、直线滚动导轨、静压导轨等。

5. 数控机床的辅助装置

辅助装置是保证数控机床充分发挥功能所必需的配套装置,常用的辅助装置包括:气动、液压装置,排屑装置,冷却、润滑装置,回转工作台和数控分度头,防护、照明等各种辅助装置。

数控机床的适用场合

数控机床是一种可编程的通用加工设备,但是因设备投资费用较高,还不能用数控机床完全替代其他类型的设备,因此数控机床有一定的适用范围。图0-3可粗略地表示数控机床的适用范围。从图0-3(a)可看出,通用机床多适用于零件结构不太复杂、生产批量较小的场合;专用机床适用于零件生产批量很大的场合;数控机床对于形状复杂的零件,尽管批量小也同样适用。随着数控机床的普及,数控机床的适用范围也越来越广,对一些形状不太复杂而重复工作量很大的零件,如印制电路板的钻孔加工等,由于数控机床生产率高,已大量使用。因而,数控机床的适用范围已扩展到图0-3(a)中阴影所示的范围。图0-3(b)表示当采用通用机床、专用机床及数控机床加工零件时,零件生产批量与零件总加工费用之间的关系。据有关资料统计,当生产批量在100件以下,用数控机床加工具有一定复杂程度的零件时,加工费用最低,能获得较高的经济效益。

由此可见,数控机床最适宜加工以下类型的零件:

(1)生产批量小的零件(100件以下);

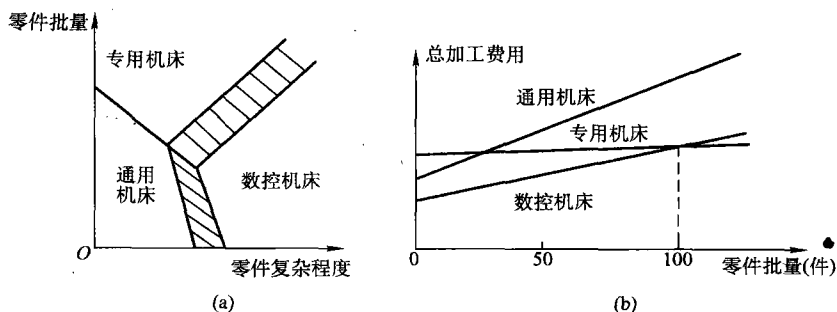


图 0-3 数控机床的适用范围

(a) 批量-复杂程度限制 (b) 批量-费用条件限制

- (2) 需要进行多次改型设计的零件；
- (3) 加工精度要求高、结构形状复杂的零件，如箱体类，曲线、曲面类零件；
- (4) 需要精确复制和尺寸一致性要求高的零件；
- (5) 价值昂贵的零件，这种零件虽然生产量不大，但是如果加工中因出现差错而报废，将产生巨大的经济损失。

数控机床的特点

与通用机床和专用机床相比，数控机床具有以下主要特点。

(1) 加工精度高，质量稳定。数控系统每输出一个脉冲，机床移动部件的位移量称为脉冲当量，数控机床的脉冲当量一般为 0.001 mm ，高精度的数控机床可达 0.0001 mm ，其运动分辨率远高于普通机床。另外，数控机床具有位置检测装置，可将移动部件实际位移量或丝杠、伺服电动机的转角反馈到数控系统，并进行补偿。因此，可获得比机床本身精度还高的加工精度。数控机床加工零件的质量由机床保证，无人操作误差的影响，所以，同一批零件的尺寸一致性好，质量稳定。

(2) 能完成普通机床难以完成或根本不能完成的复杂零件加工。例如，采用两轴联动或两轴以上联动的数控机床，可加工母线为曲线的旋转体曲面零件、凸轮零件和各种复杂空间曲面类零件。

(3) 生产效率高。数控机床的主轴转速和进给量范围比普通机床的范围大，良好的结构刚性允许数控机床采用大的切削用量，从而有效地节省了机动时间。对某些复杂零件的加工，如果采用带有自动换刀装置的数控加工中心，可实现在一次装夹下进行多工序的连续加工，减少了半成品的周转时间，生产率的提高更为明显。

(4) 对产品改型设计的适应性强。当被加工零件改型设计后，在数控机床上只需变换零件的加工程序、调整刀具参数等，就能实现对改型设计后零件的加工，生产准备周期大大缩短。因此，数控机床可以很快地从加工一种零件转换为加工另一种改型设计后的零件，这就为单件、小批量新试制产品的加工以及产品结构的频繁更新提

供了极大的方便。

(5)有利于制造技术向综合自动化方向发展。数控机床是机械加工自动化的基本设备,以数控机床为基础建立起来的FMC、FMS、CIMS等综合自动化系统使机械制造的集成化、智能化和自动化得以实现。这是由于数控机床控制系统采用数字信息与标准化代码输入并具有通信接口,容易实现数控机床之间的数据通信,最适宜计算机之间的连接,组成工业控制网络,实现自动化生产过程的计算、管理和控制。

(6)监控功能强,具有故障诊断能力。CNC系统不仅控制机床的运动,而且可对机床进行全面监控。例如,可对一些引起故障的因素提前报警,进行故障诊断等,极大地提高了检修的效率。

(7)减轻工人劳动强度,改善劳动条件。

1.1 数控机床的分类

数控机床的种类繁多,根据数控机床功能和组成的不同,可以从多种角度对数控机床进行分类。

1. 按运动轨迹分类

(1)点位控制系统。它的特点是刀具在相对工件的移动过程中,不进行切削加工,对定位过程中的运动轨迹没有严格要求,只要求从一坐标点到另一坐标点的精确定位,如图0-4(a)所示。如数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机和数控测量机等都采用此类系统。

(2)直线控制系统。这类控制系统的特点是除了控制起点与终点之间的准确位置外,还要求刀具由一点到另一点之间的运动轨迹为一条直线,并能控制位移的速度。因为这类数控机床的刀具在移动过程中要进行切削加工,直线控制系统的刀具切削路径只沿着平行于某一坐标轴方向运动,或者沿着与坐标轴成一定角度的斜线方向进行直线切削加工,如图0-4(b)所示。采用这类控制系统的机床有数控车床、数控铣床等。

同时具有点位控制功能和直线控制功能的点位/直线控制系统,主要应用在数控坐标镗床、加工中心机床上。

(3)轮廓控制系统,也称连续控制系统。其特点是能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点位置,而且要控制两点之间每一点的位置和速度,使机床加工出符合图纸要求的复杂形状(任意形状的曲线或曲面)的零件。它要求数控机床的辅助功能比较齐全,CNC装置一般都具有直线插补和圆弧插补功能。如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、数控电加工机床、数控绘图机等都采用此类控制系统。

这类数控机床绝大多数具有两轴或两轴以上的联动功能,不仅具有刀具半径补偿、刀具长度补偿功能,而且还具有机床轴向运动误差补偿,丝杠、齿轮的间隙补偿等一系列功能,如图0-4(c)所示。

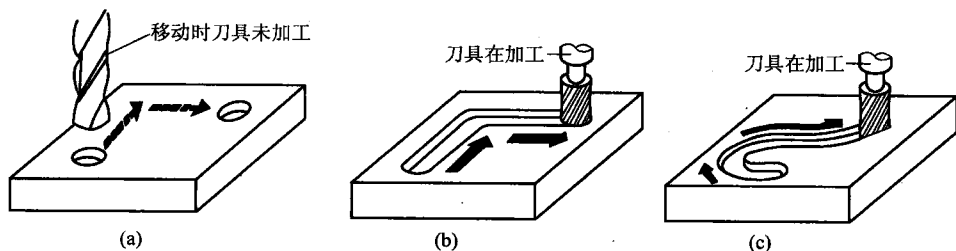


图 0-4 数控系统控制方式

(a)点位控制 (b)直线控制 (c)轮廓控制

2. 按伺服系统控制方式分类

(1)开环伺服系统。这种控制方式不带位置测量元件。数控装置根据信息载体上的指令信号,经控制运算发出指令脉冲,使伺服驱动元件转过一定的角度,并通过传动齿轮、滚珠丝杠螺母副,使执行机构(如工作台)移动或转动。图 0-5 所示为开环控制系统框图。这种控制方式没有来自位置测量元件的反馈信号,对执行机构的动作情况不进行检查,指令流向为单向,因此被称为开环控制系统。

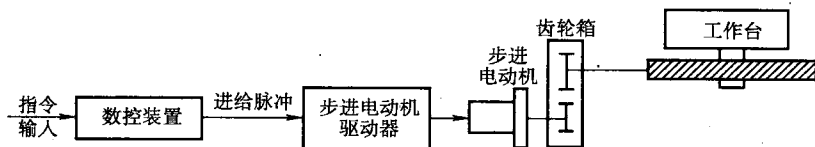


图 0-5 开环控制系统框图

步进电动机伺服系统是最典型的开环控制系统,这种控制系统的特点是系统简单、调试维修方便、工作稳定、成本较低。由于开环系统的精度主要取决于伺服元件和机床传动元件的精度、刚度和动态特性,因此控制精度较低。目前在国内多用于经济型数控机床以及对旧机床的改造。

(2)闭环伺服系统。这是一种自动控制系统,其中包含功率放大和反馈,使输出变量的值响应输入变量的值。数控装置发出指令脉冲后,当指令值送到位置比较电路时,若工作台没有移动,即没有位置反馈信号,指令值使伺服驱动电动机转动,经过齿轮、滚珠丝杠螺母副等传动元件带动机床工作台移动。装在机床工作台上的位置测量元件测出工作台的实际位移量,反馈到数控装置的比较器中与指令信号进行比较,并用比较后的差值进行控制。若两者存在差值,经放大器放大后,再控制伺服驱动电动机转动,直至差值为零时,工作台才停止移动。图 0-6 所示为闭环控制系统框图。闭环伺服系统的优点是精度高、速度快,主要用在精度要求较高的数控镗床、数控超精车床、数控超精镗床等机床上。

(3)半闭环伺服系统。这种控制系统不是直接测量工作台的位移量,而是通过旋转变压器、光电编码盘或分解器等角位移测量元件,测量伺服机构中电动机或丝杠的转角,来间接测量工作台的位移。这种系统中,滚珠丝杠螺母副和工作台均在反馈环路之外,其传动误差等仍会影响工作台的位置精度,故称为半闭环控制系统。图 0-7

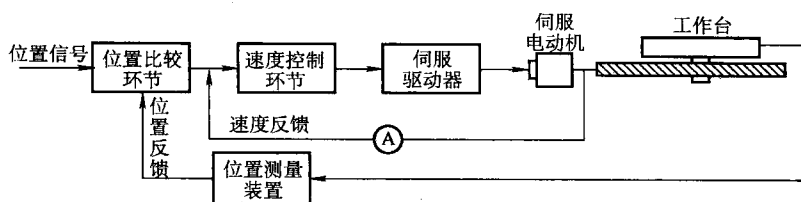


图 0-6 闭环控制系统框图

所示为半闭环控制系统框图。

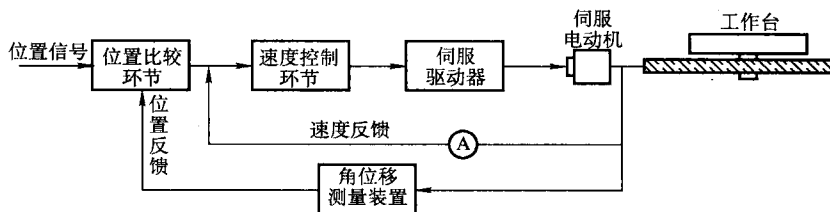


图 0-7 半闭环控制系统框图

半闭环伺服系统介于开环和闭环之间,由于角位移测量元件比直线位移测量元件结构简单,因此装有精密滚珠丝杠螺母副和精密齿轮的半闭环系统被广泛应用。目前已经把角位移测量元件与伺服电动机设计成一个部件,使用起来十分方便。半闭环伺服系统的加工精度虽然没有闭环系统高,但是由于采用了高分辨率的测量元件,这种控制方式仍可获得比较满意的精度和速度,且其系统调试比闭环系统方便、稳定性好,成本也比闭环系统低,目前大多数数控机床均采用半闭环伺服系统。

3. 按功能水平分类

数控机床按数控系统的功能水平不同可分为低、中、高三档,这种分类方式在我国用得很多。低、中、高档的界限是相对的,不同时期的划分标准有所不同,就目前的发展水平来看,大体可以从以下几个方面区分(见表 0-1)。

表 0-1 数控机床按功能水平分类

项 目	低 档	中 档	高 档
分辨率和进给速度	10 μm , 8~15 m/min	1 μm , 15~24 m/min	0.1 μm , 15~100 m/min
伺服进给类型	开环、步进电动机系统	半闭环直流或交流伺服系统	闭环直流或交流伺服系统
联动轴数	2 轴	3~5 轴	3~5 轴
主轴功能	不能自动变速	自动无级变速	自动无级变速、C 轴功能
通信能力	无	RS-232C 或 DNC 接口	MAP 通信接口、联网功能
显示功能	数码管显示、CRT 字符	CRT 显示字符、图形	三维图形显示、图形编程
内装 PLC	无	有	有
主 CPU	8 bitCPU	16 或 32 bitCPU	64 bitCPU

4. 按工艺用途分类

数控机床按不同工艺用途分类有数控的车床、铣床、磨床与齿轮加工机床等。在

数控金属成型机床中,有数控的冲压机、弯管机、裁剪机等。在特种加工机床中,有数控的电火花切割机、火焰切割机、点焊机、激光加工机等。近年来在非加工设备中也大量采用数控技术,如数控测量机、自动绘图机、装配机、工业机器人等。

加工中心是一种带有自动换刀装置的数控机床,它的出现突破了一台机床只能进行一种工艺加工的传统模式。它是以工件为中心,能实现工件在一次装夹后自动地完成多种工序的加工。常见的有以加工箱体类零件为主的镗铣类加工中心和几乎能够完成各种回转体类零件所有工序加工的车削中心。

近年来一些复合加工的数控机床也开始出现,其基本特点是集中多工序、多刀具、复合工艺加工在一台设备中完成。

数控技术的应用与发展

随着电子、信息等高新技术的不断发展以及市场需求的个性化与多样化,未来先进制造技术发展的总趋势是向精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、清洁化、集成化、全球化的方向发展。数控技术是制造业实现这些先进制造技术的基础,而数控技术水平高低和数控设备拥有量大小是体现国家综合国力水平、衡量国家工业现代化程度的重要标志之一。

1. 现代制造技术的发展趋势

21 世纪是知识经济新时代,制造业作为我国新世纪的战略产业将面临剧烈的挑战,经历一场深刻的技术变革。在传统制造技术基础之上发展起来的先进制造技术代表了制造技术发展的前沿,对制造业的发展将产生巨大影响。当前先进制造技术的发展大致有以下特点。

1) 信息技术、管理技术与工艺技术紧密结合

随着信息技术向制造技术的注入和融合,促进制造技术的不断发展。它使制造技术的技术含量提高,使传统制造技术发生质的变化;促进了加工制造的精密化、快速化,自动化技术的柔性化、智能化,整个制造过程的网络化、全球化。相继出现的各种先进制造模式,如 CIMS、并行工程、精益生产、敏捷制造、虚拟企业与虚拟制造等,均以信息技术的发展为支撑。

2) 计算机辅助设计、辅助制造、辅助工程分析(CAD/CAM/CAE)

制造信息的数字化,将实现 CAD/CAPP/CAM/CAE 的一体化,使产品向无图纸制造方向发展。在发达国家的大型企业中,已广泛使用 CAD/CAM,实现 100% 数字化设计。将数字化技术注入产品设计开发,提高了企业产品自主开发能力和产品档次,同时也提高了企业对市场的应变能力和快速响应能力。通过局域网实现企业内部并行工程,通过 Internet 建立跨地区的虚拟企业,实现资源共享、优化配置,也使制造业向互联网辅助制造方向发展。

3) 加工制造技术向着超精密、超高速以及发展新一代制造装备的方向发展

(1) 超精密加工技术。超精密加工技术是为了获得被加工件的形状、尺寸精度和

表面结构均优于亚微米级的一门高新技术。超精密加工技术的加工精度由红外波段向可见光和不可见光的紫外波段趋进,目前加工精度达到 $0.025\ \mu\text{m}$,表面结构达 $0.045\ \mu\text{m}$,已进入纳米级加工时代。美国为了适应航空、航天等尖端技术的发展,已研制出多种数控超精密加工车床,最大的加工直径可达 $1.63\ \text{m}$,定位精度为 $28\ \text{nm}$ ($28\times 10^{-9}\ \text{m}$)。

(2)超高速切削。目前铝合金超高速切削的切削速度已超过 $1\ 600\ \text{m/min}$,铸铁为 $1\ 500\ \text{m/min}$,超耐热镍合金为 $300\ \text{m/min}$,钛合金为 $200\ \text{m/min}$ 。超高速切削的发展已转移到一些难加工材料的切削加工。现代数控机床主轴的最高转速可达到 $10\ 000\sim 20\ 000\ \text{r/min}$,采用高速内装式主轴电动机后,使主轴直接与电动机连接成一体,可将主轴转速提高到 $40\ 000\sim 50\ 000\ \text{r/min}$ 。

(3)新一代制造装备的发展。市场竞争和新产品、新技术、新材料的发展推动着新型加工设备的研究与开发,如“并联桁架式结构数控机床”(或俗称“六腿”机床)突破了传统机床的结构方案,采用可以伸缩的六个“腿”连接定平台和动平台,每个“腿”均由各自的伺服电动机和精密滚珠丝杠驱动,控制这六条“腿”的伸缩就可以控制装有主轴头的动平台的空间位置和姿势,满足刀具运动轨迹的要求。

4)工艺研究由“经验判断”走向“定量分析”

先进制造技术的一个重要发展趋势是通过计算机技术和模拟技术的应用,使工艺研究由“经验判断”走向“定量分析”,加工工艺由技艺发展为工程科学。

5)虚拟现实技术在制造业中获得越来越多的应用

虚拟现实技术(Virtual Reality Technology)主要包括虚拟制造技术和虚拟企业两个部分。

虚拟制造技术从根本上改变了设计、试制、修改设计、规模生产的传统制造模式。在产品真正制出之前,首先在虚拟制造环境中生成软产品原型(Soft Prototype)代替传统的硬样品(Hard Prototype)进行试验,对其性能和可制造性进行预测和评价,从而缩短产品的设计与制造周期,降低产品的开发成本。

虚拟企业是为了快速响应某一市场需求,通过信息高速公路,将产品涉及的不同企业临时组建成为一个没有围墙、超越空间约束、靠计算机网络联系、统一指挥的合作经济实体。虚拟企业的特点是企业在功能上的不完整性、地域上的分散性和组织结构上的非永久性,即功能的虚拟化、地域的虚拟化、组织的虚拟化。

2. 数控机床的发展趋势

随着先进生产技术的发展,要求现代数控机床向高速化、高精度化、复合化、智能化、开放化、并联驱动化、网络化、极端化、绿色化等更加完善的功能方向发展。

1)高速化

随着汽车、国防、航空、航天等工业的高速发展以及铝合金等新材料的应用,对数控机床加工的高速化要求越来越高。

(1)主轴转速:机床采用电主轴(内装式主轴电机),国外用于加工中心电主轴的

转速已经达到 75 000 r/min(意大利 CAMFIOR),而我国则多在 20 000 r/min 以下。其他用途的电主轴,国外已经达到了 250 000 r/min(英国 WestWind 公司 D1733),而我国电主轴的最高转速为 150 000 r/min。

(2)进给率:在分辨率为 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 时,最大进给率可达 240 m/min,且可获得复杂型面的精确加工。

(3)运算速度:微处理器的迅速发展为数控系统向高速、高精度方向发展提供了保障,开发出的 CPU 已发展到 32 位以及 64 位的数控系统,频率提高到几百兆赫、上千兆赫。由于运算速度的极大提高,使得当分辨率为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 时,仍能获得高达 24~240 m/min 的进给速度。

(4)换刀速度:目前国外先进加工中心的刀具交换时间普遍已在 1 s 左右,高的已达 0.5 s。德国 Chiron 公司将刀库设计成篮子样式,以主轴为轴心,刀具在圆周布置,其换刀时间仅需 0.9 s。

2) 高精度化

数控机床精度的要求现在已经不局限于静态的几何精度,机床的运动精度、热变形以及对振动的监测和补偿越来越受到重视。

(1)提高 CNC 系统控制精度:采用高速插补技术,以微小程序段实现连续进给,使 CNC 控制单位精细化,并采用高分辨率位置检测装置,提高位置检测精度(日本已开发出装有 106 脉冲/转、内藏位置检测器的交流伺服电机,其位置检测精度可达到 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ /脉冲),位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制等方法。

(2)采用误差补偿技术:采用反向间隙补偿、丝杆螺距误差补偿和刀具误差补偿等技术,对设备的热变形误差和空间误差进行综合补偿。研究结果表明,综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少 60%~80%。

(3)采用网格解码器检查和提高加工中心的运动轨迹精度,并通过仿真预测机床的加工精度,以保证机床的定位精度和重复定位精度,使其性能长期稳定,能够在不同运行条件下完成多种加工任务,并保证零件的加工质量。

3) 功能复合化

复合机床的含义是指在一台机床上实现或尽可能完成从毛坯至成品的多种要素加工。根据其结构特点可分为工艺复合型和工序复合型两类。工艺复合型机床如镗铣钻复合——加工中心、车铣复合——车削中心、铣镗钻车复合——复合加工中心等;工序复合型机床如多面多轴联动加工的复合机床和双主轴车削中心等。采用复合机床进行加工,减少了工件装卸、更换和调整刀具的辅助时间以及中间过程中产生的误差,提高了零件加工精度,缩短了产品制造周期,提高了生产效率和制造商的市场反应能力,相对于传统的工序分散的生产方法具有明显的优势。

加工过程的复合化也导致了机床向模块化、多轴化发展。德国 Index 公司最新推出的车削加工中心是模块化结构,该加工中心能够完成车削、铣削、钻削、滚齿、磨削、激光热处理等多种工序,可完成复杂零件的全部加工。随着现代机械加工要求的

不断提高,大量的多轴联动数控机床越来越受到各大企业的欢迎。

在 2005 年中国国际机床展览会(CIMT2005)上,国内外制造商展出了形式多样的多轴加工机床(包括双主轴、双刀架、9 轴控制等)以及可实现 4~5 轴联动的五轴高速门式加工中心、五轴联动高速铣削中心等。

4)控制智能化

随着人工智能技术的发展,为了满足制造业生产柔性化、制造自动化的发展需求,数控机床的智能化程度在不断提高,具体体现在以下几个方面。

(1)加工过程自适应控制技术:通过监测加工过程中的切削力、主轴和进给电机的功率、电流、电压等信息,利用传统的或现代的算法进行识别,以辨识出刀具的受力、磨损、破损状态及机床加工的稳定性状态,并根据这些状态实时调整加工参数(主轴转速、进给速度)和加工指令,使设备处于最佳运行状态,以提高加工精度、降低加工表面结构并提高设备运行的安全性。

(2)加工参数的智能优化与选择:将工艺专家或技师的经验、零件加工的一般与特殊规律,用现代智能方法,构造基于专家系统或基于模型的“加工参数的智能优化与选择器”,利用它获得优化的加工参数,从而达到提高编程效率和加工工艺水平、缩短生产准备时间的目的。

(3)智能故障自诊断与自修复技术:根据已有的故障信息,应用现代智能方法实现故障的快速准确定位。

(4)智能故障回放和故障仿真技术:能够完整记录系统的各种信息,对数控机床发生的各种错误和事故进行回放和仿真,用以确定错误引起的原因,找出解决问题的办法,积累生产经验。

(5)智能化交流伺服驱动装置:能自动识别负载,并自动调整参数的智能化伺服系统,包括智能化主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置。这种驱动装置能自动识别电机及负载的转动惯量,并自动对控制系统参数进行优化和调整,使驱动系统获得最佳运行。

(6)智能 4M 数控系统:在制造过程中,加工、检测一体化是实现快速制造、快速检测和快速响应的有效途径,将测量(Measurement)、建模(Modelling)、加工(Manufacturing)、机器操作(Manipulator)四者(即 4M)融合在一个系统中,实现信息共享,促进测量、建模、加工、装夹、操作的一体化。

5)体系开放化

(1)向未来技术开放:由于软硬件接口都遵循公认的标准协议,只需少量的重新设计和调整,新一代的通用软硬件资源就可能被现有系统所采纳、吸收和兼容,这就意味着系统的开发费用将大大降低,而系统性能与可靠性将不断改善并处于长生命周期。

(2)向用户特殊要求开放:更新产品、扩充功能、提供硬软件产品的各种组合以满足特殊应用要求。