



数控加工技术

SHUKONG JIAGONG JISHU

主 编 陈展福 徐海波
副主编 李祝淮 邓雄飞



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

数控加工技术

主 任	彭小鹏			
副主任	肖红春	肖清平	王世豪	
委 员	孙自扬	闫建军	周燕峰	邱伟聪
	戴国娟	陈 咏	张 勇	
主 编	陈展福	徐海波		
副主编	李祝淮	邓雄飞		
参 编	姚一杰	张莹璞	张庆红	

内容提要

本书以突出职业教育为特色,以增强实用性和加强能力与素质培养为指导,根据项目式教学的要求,对传统的教学内容和课程体系进行了重组和调整。以数控加工技术为主线,从机械加工工艺实施的生产实际出发,将数控基本理论知识,编程基础,刀具知识,夹具,特种加工技术等内容有机地结合为一体。重理论知识的应用和学生实践能力的培养,从学生的认知规律出发,以适应培养生产一线技术应用型人才。本书可作为中等职业学校数控技术应用专业的主干专业课教材,也可供数控机床加工技术、机电技术应用等专业课作为教学用书,同时可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/陈展福,徐海波主编. —重庆:重庆大学出版社,2015. 10
ISBN 978-7-5624-9149-1

I. ①数… II. ①陈…②徐… III. ①数控机床—加工—中等专业学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 128671 号

数控加工技术

主 编 陈展福 徐海波
副主编 李祝淮 邓雄飞
策划编辑:周 立
责任编辑:周 立 版式设计:周 立
责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行
出版人:易树平
社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号
邮编:401331
电话:(023) 88617190 88617185(中小学)
传真:(023) 88617186 88617166
网址:<http://www.cqup.com.cn>
邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销
重庆华林天美印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:381千
2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷
印数:1—1 000
ISBN 978-7-5624-9149-1 定价:39.50 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

随着科学技术的飞速发展,机械制造技术发生了深刻的变化。为了适应市场对产品的更高要求,数控技术将得到更广泛的应用。数控技术水平及数控机床的拥有量已经成为衡量工业现代化的重要标志。

本书以突出职业教育为特色,以增强实用性和加强能力与素质培养为指导,根据项目式教学的要求,对传统的教学内容和课程体系进行了重组和调整。本书以数控加工技术为主线,从机械加工工艺实施的生产实际出发,将数控基本理论知识、编程基础、刀具知识、夹具知识、特种加工技术等内容有机地结合为一体,重理论知识的应用和学生实践能力的培养,从学生的认知规律出发,以适应培养生产一线技术应用型人才。本书内容丰富,详略得当,实用性强。

本书由深圳市龙岗职业技术学校陈展福、徐海波担任主编,李祝淮、邓雄飞担任副主编。全书共分6个项目,其中,陈展福编写项目1、4、5及项目3之任务二,李祝淮编写项目2,邓雄飞编写项目3之任务一,徐海波编写项目6,参加编写的还有深圳市龙岗职业技术学校姚一杰,张莹瑛,张庆红。本书在编写过程中,参阅了大量相关资料、文献和教材,得到了深圳市伟业兴科技有限公司、群达模具(深圳)有限公司、深圳市华亚数控机床有限公司、深圳亿和模具制造有限公司、深圳市爱得利机电有限公司、深圳市机械行业协会等专业技术人员的支持和指导,在此表示衷心的感谢!

本书可作为中等职业学校数控技术应用专业的主干专业课教材,也可供数控机床加工技术、机电技术应用等专业课作为教学用书,同时可供有关工程技术人员参考。

限于编者的水平有限,在编写过程中难免有疏漏或不足之处,敬请读者及专业人士提出宝贵意见与建议。

编 者

2015年7月

目 录

项目 1 数控机床的认识	1
任务一 数控车床的认识	2
任务二 数控铣床的认识	16
项目 2 数控编程的认识	32
任务一 数控编程基础知识	33
任务二 数控车床简单程序的编制	52
任务三 数控铣床简单程序的编制	69
项目 3 数控加工工艺	93
任务一 数控车床加工工艺的认识	94
任务二 数控铣床加工工艺的认识	123
项目 4 数控机床夹具的认识及选用	148
任务一 通用夹具的认识及选用	149
任务二 组合夹具的认识及选用	161
项目 5 数控刀具的认识及选用	177
任务一 数控车刀的认识及选用	178
任务二 数控铣刀的认识及选用	194
项目 6 数控电加工技术的认识	228
电火花加工认识	229
参考文献	255

项目 1

数控机床的认识



知识目标

1. 认识数控机床的种类。
2. 认识数控机床的结构。
3. 认识数控机床的应用。



过程与方法目标

1. 课前收集数控机床相关资料。
2. 课中观摩、掌握数控机床的结构特点。
3. 课后总结提炼数控机床的应用。



能力目标

1. 能掌握数控机床的种类及应用。
2. 能根据零件的形状特征选择对应的数控机床。



情感态度价值观目标

1. 激发学生学习数控机床知识的兴趣,培养良好的学习方法。
2. 养成分析问题解决问题的方法。
3. 培养学生的团队意识,养成互相帮助、团队协作的工作习惯。
4. 在观摩实践中培养认真思考的能力。

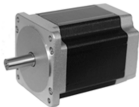
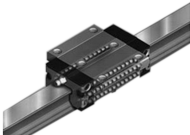
任务一 数控车床的认识

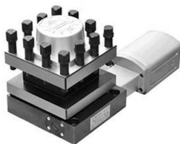


任务描述

能通过收集资料,现场观摩教学等方法,认真完成数控车床任务学习卡的填写,掌握数控车床的结构、种类及应用。

任务学习卡

工作任务	数控车床的认识					学时	
姓 名		学 号		班 级		日 期	
一、自主学习卡(通过连线的方式完成)							
数控车床相关部件		名 称	数控车床相关部件		名 称		
		底座 (铸件)			直流伺服电动机		
		排屑机			滚珠丝杠螺母副		
		可编程控制器 (PLC)			步进电动机		
		三爪卡盘			切削区防护装置		
		主轴			导轨		

数控车床相关部件		名 称	数控车床相关部件		名 称
		操作面板			强电柜
		手摇脉冲发生器 (MPG 手持单元结构)			转塔刀架
		光电脉冲编码器			润滑油箱
		光电盘			外径千分尺
		旋转变压器			切削液箱
		直线光栅			尾座
		活顶尖			带表游标卡尺
		死顶尖			磁栅尺
		四爪卡盘			鸡心夹头

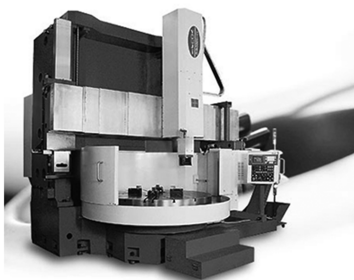
数控车床相关部件		名 称	数控车床相关部件		名 称
		跟刀架			光栅尺
		三爪卡盘			深度尺
		内径 千分尺			中心架

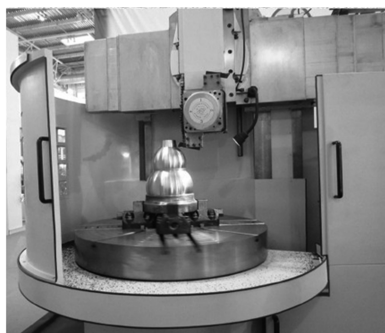
二、自主学习卡

1. 分析下图零件哪些部分可以在数控车床上进行加工？



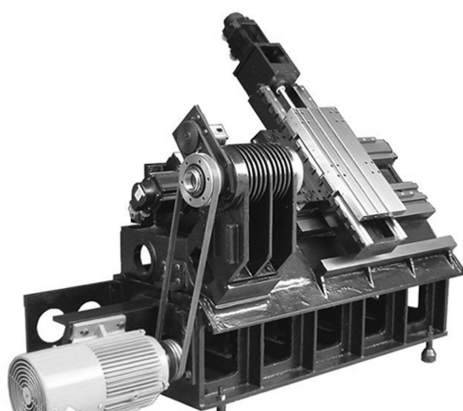
2. 写出下列机床的名称

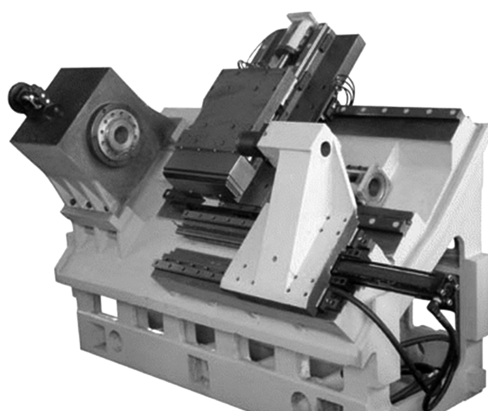














知识获取

一、数控机床基本概念的认识

数控技术(Numerical Control Technology)是指用数字量及字符发出指令并实现自动控制的技术,它已经成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础技术。

数字控制(NC-Numerical Control),是一种借助数字、字符或其他符号对某一工作过程进行可编程控制的自动化方法。

计算机数控系统(CNC-Computer Numerical Control)是以计算机为核心的数控系统。

数控系统(Numerical Control System)是指采用数字控制技术的控制系统。

数控机床(Numerical Control Machine Tools)是指采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床。国际信息处理联盟(IFIP)第五技术委员会对数控机床定义如下: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。

数控系统的核心是数控装置(Numerical Controller)。

工作台(托盘)自动交换装置(APC—Auto Pallet Changer)。

柔性加工单元(FMC—Flexible Manufacturing Cell)。

柔性制造系统—FMS(Flexible Manufacturing System)。

带有自动换刀装置ATC(Automatic Tool Changer)的数控机床(带有回转刀架的数控车床除外)称为加工中心(Machine Center—MC)。

计算机辅助设计(Computer Aided Design,简称CAD)。

计算机辅助制造(Computer Aided Manufacture,简称CAM)。

计算机辅助工艺规程设计(Computer Aided Process Planning,简称CAPP)。

计算机辅助工程分析(Computer Aided Engineering,简称CAE)。

物料清单(Bill of Materials)它是一种描述装配件的结构化的零件表,其中包括所有的子装配件、零件、原材料的清单,以及制造一个装配件所需物料的数量,如工时、材料、设备、工装、车间等。

二、数控车床种类

数控车床的布局特点。数控车床的四种不同布局方案如图1-1所示。图(a)为水平床身-水平滑板,床身工艺性好,便于导轨面的加工,下部空间小,故排屑困难,刀架水平放置加大了机床宽度方向的结构尺寸;图(b)为倾斜床身-倾斜滑板,排屑亦较方便,中小规格的数控车床其床身的倾斜度以 60° 为宜;图(c)水平床身-倾斜滑板,具有水平床身工艺性好,宽度方向的尺寸小,且排屑方便,是卧式数控车床的最佳布局形式。

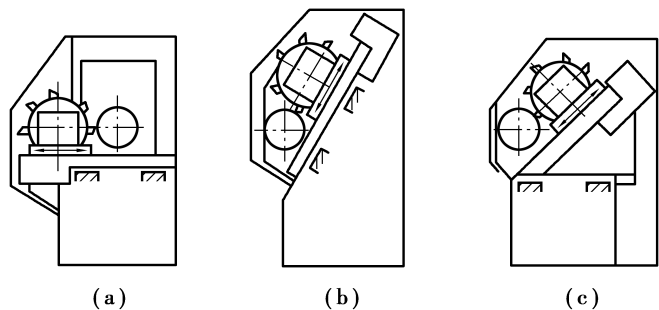


图 1-1

三、数控机床的基本组成和工作原理

机床结构和工作原理

1) 机床结构

数控机床一般由输入输出设备、CNC 装置(或称 CNC 单元)、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、机床本体及测量反馈装置组成。如图 1-2 是数控机床的组成框图。

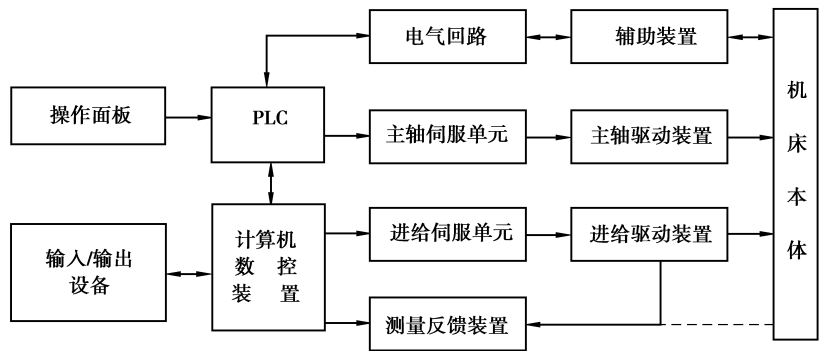


图 1-2 数控机床的组成

(1) 机床本体

数控机床的机床本体与传统机床相似,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。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机构等方面都已发生了很大的变化,这种变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点。

(2) CNC 单元

CNC 单元是数控机床的核心,CNC 单元由信息的输入、处理和输出三个部分组成。CNC 单元接受数字化信息,经过数控装置的控制软件和逻辑电路进行译码、插补、逻辑处理后,将各种指令信息输出给伺服系统,伺服系统驱动执行部件作进给运动。

(3) 输入/输出设备

输入装置将各种加工信息传递于计算机的外部设备。在数控机床产生初期,输入装置为

穿孔纸带,现已淘汰,后发展成盒式磁带,再发展成键盘、磁盘等便携式硬件,极大方便了信息输入工作,现通用 DNC 网络通讯串行通信的方式输入。

输出指输出内部工作参数(含机床正常、理想工作状态下的原始参数,故障诊断参数等),一般在机床刚工作状态需输出这些参数作记录保存,待工作一段时间后,再将输出与原始资料作比较、对照,可帮助判断机床工作是否维持正常。

(4) 伺服单元

伺服单元由驱动器、驱动电机组成,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。它的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动。对于步进电机来说,每一个脉冲信号使电机转过一个角度,进而带动机床移动部件移动一个微小距离。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服驱动系统,整个机床的性能主要取决于伺服系统。

(5) 驱动装置

驱动装置把经放大的指令信号变为机械运动,通过简单的机械连接部件驱动机床,使工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,最后加工出图纸所要求的零件。与伺服单元相对应,驱动装置有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。

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,CNC 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。

(6) 可编程控制器

可编程控制器(PC,Programmable Controller)是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置,专为在工业环境下应用而设计的。由于最初研制这种装置的目的是为了解决生产设备的逻辑及开关控制,故把它称为可编程逻辑控制器(PLC,Programmable Logic Controller)。当 PLC 用于控制机床顺序动作时,已可称之为编程机床控制器(PMC,Programmable Machine Controller)。PLC 已成为数控机床不可缺少的控制装置。CNC 和 PLC 协调配合,共同完成对数控机床的控制。

(7) 测量反馈装置

测量装置也称反馈元件,包括光栅、旋转编码器、激光测距仪、磁栅等。通常安装在机床的工作台或丝杠上,它把机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给 CNC 装置,供 CNC 装置与指令值比较产生误差信号,以控制机床向消除该误差的方向移动。

2) 工作原理

使用数控机床时,首先要将被加工零件图纸的几何信息和工艺信息用规定的代码和格式编写成加工程序;然后将加工程序输入到数控装置,按照程序的要求,经过数控系统信息处理、分配,使各坐标移动若干个最小位移量,实现刀具与工件的相对运动,完成零件的加工。

3) 数控机床的分类

数控机床的品种和规格繁多,一般可以用下面三种方法分类。

(1) 按控制系统分类

目前市面上占有率较大的有 FANUC、华中、广数、西门子、三菱等。

(2)按运动方式分类

①点位控制数控机床。

只控制从一点到另一点位置的精确定位,而不控制移动轨迹,在移动和定位过程中不进行任何加工,主要有数控钻床、数控镗床。

②直线控制数控机床。

机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确定位,而且要控制工作台以给定的速度,沿平行坐标轴方向进行直线切削加工运动。主要有:简易数控车床、数控磨床、数控镗铣床。

③轮廓控制数控机床。

对两个或两个以上坐标轴同时进行控制。它不仅要控制机床移动部件的起点和终点,而且要控制加工过程中每一点的速度、方向和位移量,运动轨迹是任意的直线、圆弧、螺旋线等,如图 1-3 所示。主要有:数控车床、数控铣床、加工中心。

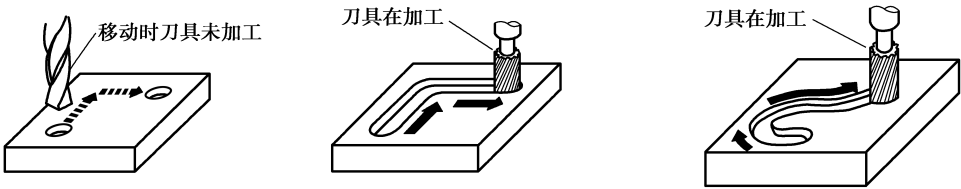


图 1-3 轮廓控制数控机床

(3)按控制方式分类

按控制方式分类可以分为开环控制数控机床、闭环控制数控机床、半闭环控制数控机床和混合环控制数控机床。

①开环控制数控机床。

控制系统不带反馈装置。数控装置发出的脉冲指令通过步进驱动电路,使步进电动机转过相应的步距角,再经过传动系统带动工作台或刀架移动,如图 1-4 所示。

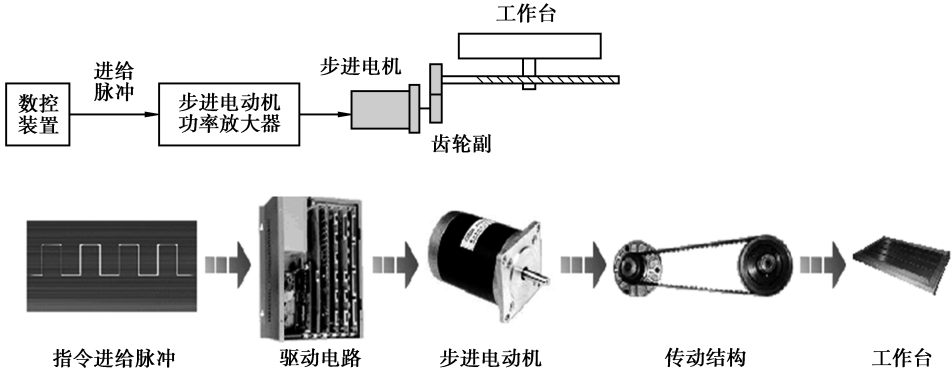


图 1-4 开环控制数控机床

②闭环控制数控机床。

在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置,将测量的实际位移值反馈到数控装置中,与输入的指令位移值进行比较,用比较的差值对机床进行控制,直至差值消除为止,使移动部件按照实际需要的位移量运动,如图 1-5 所示。

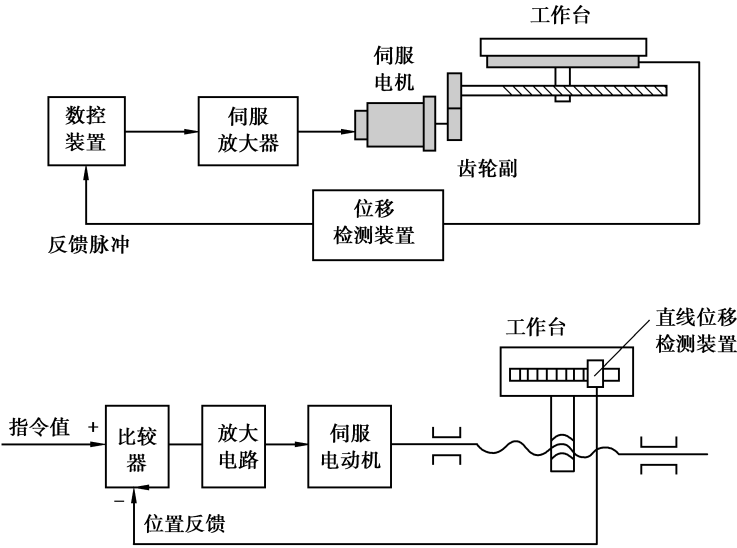


图 1-5 闭环控制数控机床

③半闭环控制数控机床。

在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角度检测装置,通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移,然后反馈到数控装置中去,与输入的指令位移值进行比较,用比较的差值对机床进行控制,如图 1-6 所示。

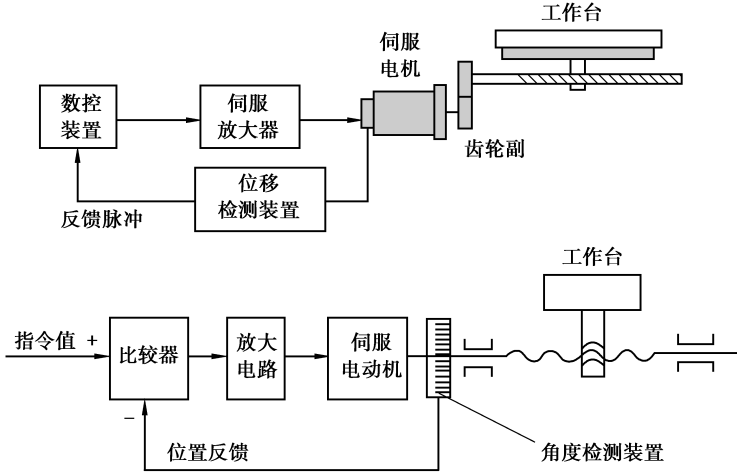


图 1-6 半闭环控制数控机床

④混合环控制数控机床,如图 1-7。

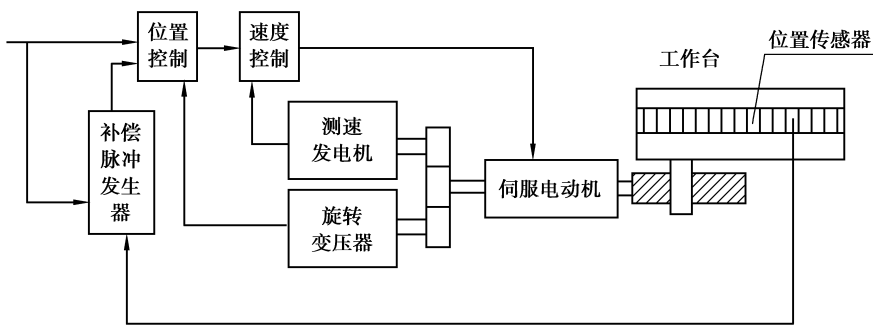


图 1-7 混合环控制数控机床

4) 数控机床的性能指标

(1) 主要规格尺寸

数控机床主要有工作台面尺寸、行程范围和摆角范围、承载能力、主轴功率和进给轴扭矩、主轴转速、进给速度、控制轴数和联动轴数、刀库容量和换刀时间、机床质量和外形尺寸等。

(2) 主轴系统

数控机床主轴采用直流或交流电动机驱动,具有较宽调速范围和较高回转精度,主轴本身刚度与抗振性比较好。现在数控机床主轴普遍达到 5 000 ~ 10 000 r/min 甚至更高的转速,对提高加工质量和各种小孔加工极为有利;主轴可以通过操作面板上的转速倍率开关调整转速。

(3) 进给系统

该系统有进给速度范围、快速(空行程)速度范围、运动分辨率(最小移动增量)、定位精度和螺距范围等主要技术参数。

进给速度是影响加工质量、生产效率和刀具寿命的主要因素,直接受到数控装置运算速度、机床动特性和工艺系统刚度限制。数控机床的进给速度可达到 10 ~ 30 m/min,其中最大进给速度为加工的最大速度,最大快进速度为不加工时移动的最快速度,进给速度可通过操作面板上的进给倍率开关调整。

脉冲当量(分辨率)是 CNC 重要的精度指标。有其两个方面的内容,一是机床坐标轴可达到的控制精度(可以控制的最小位移增量),表示 CNC 每发出一个脉冲时坐标轴移动的距离,称为实际脉冲当量或外部脉冲当量;二是内部运算的最小单位,称之为内部脉冲当量,一般内部脉冲当量比实际脉冲当量设置得要小,为的是在运算过程中不损失精度,数控系统在输出位移量之前,自动将内部脉冲当量转换成外部脉冲当量。

实际脉冲当量决定于丝杠螺距、电动机每转脉冲数及机械传动链的传动比,其计算公式为:

$$\text{实际脉冲当量} = \text{传动比} \times \frac{\text{丝杠螺距}}{\text{电动机每转脉冲数}}$$

数控机床的加工精度和表面质量取决于脉冲当量数的大小。普通数控机床的脉冲当量一般为 0.001 mm,简易数控机床的脉冲当量一般为 0.01 mm,精密或超精密数控机床的脉冲

当量一般为 $0.000\ 1\ \text{mm}$, 脉冲当量越小, 数控机床的加工精度和表面质量越高。

定位精度和重复定位精度。定位精度是指数控机床各移动轴在确定的终点所能达到的实际位置精度, 其误差称为定位误差。定位误差包括伺服系统、检测系统、进给系统等误差, 还包括移动部件导轨的几何误差等, 它将直接影响零件加工的精度。重复定位精度是指在数控机床上, 反复运行同一程序代码, 所得到的位置精度的一致程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给传动环节的间隙与刚性以及摩擦特性等因素的影响。一般情况下, 重复定位精度是呈正态分布的偶然性误差, 它影响一批零件加工的一致性, 是一项非常重要的精度指标。一般数控机床的定位精度为 $0.001\ \text{mm}$, 重复定位精度为 $\pm 0.005\ \text{mm}$ 。

(4) 刀具系统

数控机床的刀具系统包括刀库(刀架)容量、工具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间、重复定位精度各项内容。刀库容量与换刀时间直接影响其生产率, 换刀时间是指自动换刀系统, 将主轴上的刀具与刀库刀具进行交换所需要的时间, 换刀一般可在 $5\sim 20\ \text{s}$ 的时间内完成。

数控机床性能指标还有电机、冷却系统、机床外形尺寸、机床质量等。

5) 数控机床的特点

与普通机床相比, 数控机床具有以下几个特点:

(1) 适应性强

由于数控机床能实现多个坐标的联动, 所以数控机床能加工形状复杂的零件, 特别是对于可用数学方程式和坐标点表示的零件, 加工非常方便。更换加工零件时, 数控机床只需更换零件加工的 NC 程序。

(2) 加工质量稳定

对于同一批零件, 由于使用同一机床和刀具及同一加工程序, 刀具的运动轨迹完全相同, 这就保证了零件加工的一致性好, 且质量稳定。

(3) 效率高

数控机床的主轴转速及进给范围比普通机床大。目前数控机床最高进给速度可达到 $100\ \text{m/min}$ 以上, 最小分辨率达 $0.01\ \mu\text{m}$ 。一般来说, 数控机床的生产能力约为普通机床的 3 倍, 甚至更高。数控机床的时间利用率高达 90%, 而普通机床仅为 30%~50%。

(4) 精度高

数控机床有较高的加工精度, 一般在 $0.005\sim 0.1\ \text{mm}$ 。数控机床的加工精度不受零件复杂程度的影响, 机床传动链的反向齿轮间隙和丝杠的螺距误差等都可以通过数控装置自动进行补偿。因此, 数控机床的定位精度比较高。

(5) 减轻劳动强度

在输入程序并启动后, 数控机床就自动地连续加工, 直至完毕。这样就简化了工人的操作, 使劳动强度大大降低。

还有能实现复杂的运动、产生良好的经济效益、利于生产管理现代化等特点。