



面向21世纪高等院校应用型精品规划教材

数控机床技能教程

主 编 高保真 梁志坚

副主编 蔡宇红 杨小勇

天津科学技术出版社

面向 21 世纪高等院校应用型精品规划教材

数控机床技能教程

主 编 高保真 梁志坚
副主编 蔡宇红 杨小勇



天津科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床技能教程/高保真, 梁志坚主编. —天津: 天津科学技术出版社, 2008.9

ISBN 978-7-5308-4625-4

I. 数… II. ①高…②梁… III. 数控机床-技术培训-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 127303 号

责任编辑: 张华新

责任印制: 王 莹

天津科学技术出版社出版

出版人: 胡振泰

天津市西康路 35 号 邮编 300051

联系电话: (022) 23332396 (编辑室) (022) 23332393 (发行部)

网址: www.tjkjcs.com.cn

新华书店经销

三河市天利华印刷装订有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 18 字数 394 400

2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定价: 32.00 元

前 言

机床数控技术是一门交叉科学技术,是现代制造业的核心技术之一,也是柔性制造、计算机集成制造及工厂自动化的重要基础技术之一。而在加工企业中,发达国家的数控机床已经普及,发展中国家数控机床也正得到推广并逐步普及化。由此可见,数控机床已经成为机械工业生产的关键设备。

在我国,数控技术在 20 世纪 80 年代开始推广和普及,经过二十多年的发展,国内数控机床生产出现了供不应求的局面。而大量数控机床的使用,也导致了数控技术应用型人才的紧缺。因此,本书的编写紧扣这一社会趋势,并注重实践技能的培训,不求面面俱到,但是力求通过结合典型数控系统,讲通讲透,使学生真正掌握数控技术的知识,走向社会即能发挥作用。

为了适应社会实践应用对人才需要,以及使学生更清晰地了解和掌握数控机床技术,本书各章节涵盖了数控机床技术学习中的基本内容,即数控机床和数控程序的基本知识,数控加工工艺基本知识,数控机床编程和应用实践,并适当拓展知识面,使学生展开思路。

本书特点如下:

1. 知识体系简明。为了使学生更快更好地掌握数控机床技术,本书在基础知识结构上筛选精华,语言精练,层次清晰,由浅入深,通俗易懂。
2. 突出实践。本书注重理论与实践相结合,每章均以丰富的实例辅助相关知识的学习,强调操作性强的综合技能训练,目的是培养学生的动手能力,适应企业的需求。
3. 以就业为导向,进行了整体优化,针对性强,又兼顾适应性。

本书由主编高保真编写第一、二、三、四章,主编梁志坚编写第七、八章,副主编蔡宇红编写第五、九章,副主编杨小勇编写第六章。

本书在编写过程中参阅了大量国内外同行的专著、教材、文献资料等,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中必然存在不妥之处,难免出现疏漏和错误,敬请各位读者批评指正。

编者
2008 年 6 月

目 录

第一章 数控机床与刀具技术的基础理论	(1)
第一节 数控机床简介.....	(1)
第二节 数控机床坐标系.....	(5)
第三节 数控刀具	(10)
第四节 切削用量的选择	(43)
第五节 刀具补偿原理	(46)
第六节 插补原理	(50)
思考题	(56)
第二章 数控加工的装夹	(57)
第一节 工件定位原理和定位方式	(57)
第二节 定位基准的选择和定位误差	(63)
第三节 工件的夹紧	(69)
第四节 夹具的选择	(73)
第五节 数控车床常用夹具及量具介绍	(77)
第六节 数控铣床、加工中心的工件装夹.....	(83)
思考题	(88)
第三章 数控加工工艺	(89)
第一节 数控加工工艺概述	(89)
第二节 零件的工艺分析及加工、定位方法.....	(96)
第三节 工艺路线的拟定.....	(101)
第四节 加工余量的确定.....	(111)
第五节 工序尺寸及公差确定.....	(113)
第六节 加工精度及表面质量.....	(121)
思考题.....	(130)
第四章 数控加工编程	(131)
第一节 数控加工程序的编制基础.....	(131)
第二节 常用编程指令.....	(140)
第三节 加工程序的应用.....	(153)
第四节 数控系统的操作面板.....	(165)
第五节 数控加工程序的输入形式.....	(168)
思考题.....	(172)
第五章 数控铣削加工工艺及编程	(174)
第一节 数控铣削的加工对象和机床的选用.....	(174)

第二节	数控铣削刀具参数的选择和铣削加工的特点·····	(176)
第三节	典型结构的数控铣削加工工艺及编程·····	(179)
第四节	数控铣削系统简化编程的方法和指令·····	(191)
第五节	数控铣削加工综合实例·····	(202)
思考题	·····	(207)
第六章	数控车削加工工艺与编程 ·····	(209)
第一节	数控车削的加工对象工艺特点和内容·····	(209)
第二节	数控车削加工工艺的制订·····	(212)
第三节	典型零件编程实例·····	(223)
第四节	数控车床加工实例·····	(230)
思考题	·····	(235)
第七章	加工中心加工工艺与编程 ·····	(238)
第一节	加工中心的自动换刀及典型换刀程序·····	(238)
第二节	数控铣床、加工中心的孔加工刀具·····	(247)
第三节	孔加工固定循环·····	(254)
第四节	典型孔结构的加工工艺及编程·····	(265)
第五节	数控铣床、加工中心对刀及对刀方案合理性分析·····	(273)
思考题	·····	(284)
参考文献	·····	(286)

第一章 数控机床与刀具技术的基础理论

第一节 数控机床简介

数控机床是利用数控技术,准确地按照事先编制好的程序,自动加工出所需工件的机电一体化设备。机床的所有运动,包括主运动、进给运动与各种辅助运动都是用输入数控装置的数字信号来控制的。在现代机械制造中,特别是在航空、造船、国防、汽车模具及计算机工业中得到广泛应用。数控机床的组成通常包括程序载体、CNC 装置、伺服系统、检测与反馈装置、辅助装置、机床本体,如图 1-1 所示。

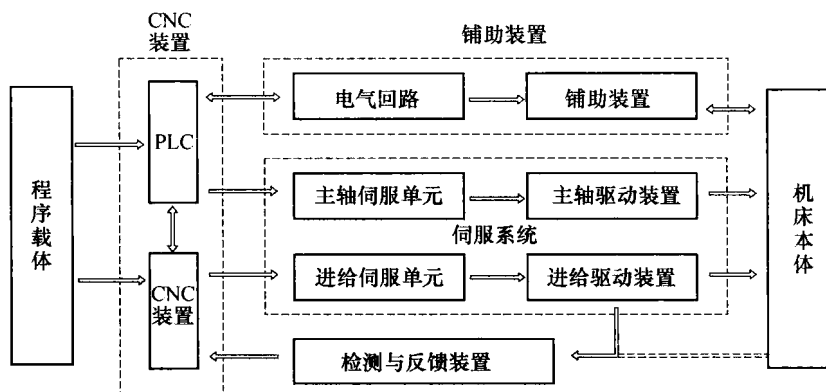


图 1-1 数控机床的组成框图

程序载体是用于存取零件加工程序的装置,可将加工程序以特殊的格式和代码存储在载体上,常用的有磁盘、磁带、硬盘和闪存卡等。CNC 装置又称计算机数控装置,是 CNC 系统的核心,主要包括微处理器(CPU)、存储器、局部总线、外围逻辑电路和输入/输出控制等。伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节,其作用是把来自数控装置的运动指令进行放大处理,驱动机床移动部件的运动,使工作台和主轴按规定的轨迹运动,加工出符合要求的产品。

检测与反馈装置有利于提高数控机床加工精度,其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,通过模数转换变成数字信号,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。辅助装置是把计算机送来的辅助控制指令经机床接口转换成强电信号,用来控制主轴电动机启停、冷却液的开关及工作台的转位和换刀等动作。数控机床的本体指其机械结构实体,通常采用全封闭罩壳、高性能主传动及主轴部件,进给传动采用高效传动件,具有完善的刀具自动交换和管理系统以及很高的动、静刚度,加工中心上一般具有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。

一、数控机床的工作原理

数控机床工作原理是将零件加工信息用代码化的数字信息记录在程序载体上,然后送入数控系统,由数控装置处理程序,发出控制信号指挥机床的伺服系统驱动机床,协调指挥机床的动作,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件,数控机床工作过程如图 1-2 所示。

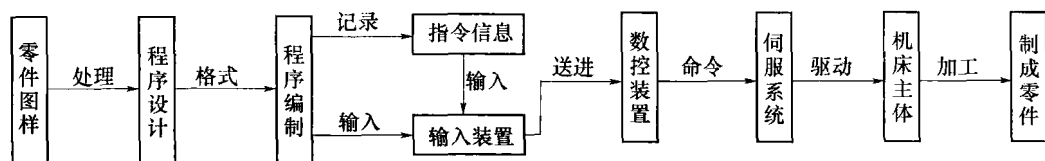


图 1-2 数控机床的工作过程

二、数控机床的分类

按工艺用途分为金属切削类数控机床、金属成形类数控机床、数控特种加工机床和其他类型数控机床(如数控三坐标测量机);按运动轨迹分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。按伺服控制方式分为开环控制数控机床、半闭环控制数控机床、全闭环控制数控机床和混合闭环控制数控机床;按功能水平分为经济型数控机床、全功能型数控机床和精密型数控机床。

三、数控机床的主要指标

1. 数控机床的精度指标

(1) 定位精度和重复定位精度

定位精度是指数控机床工作台等移动部件在确定的终点所达到的实际位置的精度。而移动部件实际位置与理想位置之间的误差称为定位误差。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。定位误差直接影响零件加工的位置精度。

重复定位精度是指在同一台数控机床上,应用相同程序相同代码加工一批零件,所得到的连续结果的一致程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给系统的间隙与刚性以及摩擦特性等因素的影响。一般情况下,重复定位精度是成正态分布的偶然性误差,它影响一批零件加工的一致性,是一项非常重要的性能指标。

(2) 分度精度

分度精度是指分度工作台在分度时,理论要求回转的角度值和实际回转的角度值的差值。分度精度既影响零件加工部位在空间的角度位置,也影响孔系加工的同轴度等。

(3) 分辨率和脉冲当量

分辨率是指两个相邻的分散细节之间可以分辨的最小间隔。脉冲当量是指数控系统每发出一个进给脉冲,机床机械运动机构就产生一个相应的位移量,一个脉冲对应的这个位移量即为脉冲当量。

脉冲当量是设计数控机床的原始数据之一,其数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。目前普通数控机床的脉冲当量一般采用 0.001mm;简易数控机床的脉冲当量一般采用 0.01 mm;精密或超精密数控机床的脉冲当量采用 0.0001mm。脉冲当量越小,数控机床的加工精度和加工表面质量越高。

2. 数控机床的运动性能指标

数控机床的运动性能指标主要包括主轴转速、进给速度、坐标行程、摆角范围和刀库容量及换刀时间等。

(1) 主轴转速

数控机床的主轴一般均采用直流或交流主轴电动机驱动,选用高速精密轴承支承,保证主轴具有较宽的调速范围和足够高的回转精度、刚度及抗震性。目前,数控机床主轴转速已普遍达到

5000~10000r/min,甚至更高。特别是电主轴的出现,适应了高速加工和高精度加工的要求。

(2) 进给速度

数控机床的进给速度是影响零件加工质量、生产效率以及刀具寿命的主要因素。它受数控装置的运算速度、机床动特性及工艺系统刚度等因素的限制。目前国内数控机床的进给速度可达 10~15m/min,国外为 15~30m/min。

(3) 坐标行程

数控机床坐标轴 X、Y、Z 的行程大小,构成数控机床的空间加工范围,即加工零件的大小。行程是直接体现机床加工能力的指标参数。

(4) 摆角范围

数控机床摆角的大小也直接影响加工零件空间部位的能力,但摆角太大又造成机床的刚度下降,因此要有恰当的摆角范围。

(5) 刀库容量及换刀时间

刀库容量及换刀时间对数控机床的生产率有直接影响。刀库容量是指刀库能存放加工所需要的刀具数量。目前常见的中小型加工中心多为 16~60 把,大型加工中心达 100 把以上。换刀时间是指带有自动交换刀具系统的数控机床,将主轴上使用的刀具与装在刀库上的下一工序需用的刀具进行交换所需要的时间。目前国内均在 10~20s 内完成换刀,而国外仅为 4~5s。

3. 数控系统的主要技术指标

数控系统的技术指标反映了 CNC 系统的基本性能,概括起来主要如下。

(1) 可控轴数和联动轴数

可控轴数是指机床数控装置能够控制的坐标数目。可控轴数说明了 CNC 系统最多可以控制的坐标轴的数量,其中包括移动轴和回转轴。基本坐标轴是 X、Y、Z,多于 3 个的坐标轴往往是 X、Y、Z 的平行辅助轴或回转轴 A、B、C。

联动轴数是指机床数控装置控制的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目。有两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴联动和五轴联动等。联动轴数表示 CNC 可同时控制按一定规律完成一定轨迹插补的协调运动的坐标轴数,它与控制轴数是不同的概念。联动轴数较多,说明 CNC 系统可以加工较复杂的空间线形或形面。控制轴数越多,特别是联动轴数越多,CNC 系统就越复杂,编程也越困难。

(2) 脉冲当量(分辨率)

脉冲当量是 CNC 系统重要的精度指标,包含两方面的内容:一是机床坐标轴可达到的控制精度,表示 CNC 系统每发出一个脉冲,坐标轴所移动的距离,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,称为内部脉冲当量,内部脉冲当量一般比实际脉冲当量设置得要小,目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、电机每转脉冲数及机械传动链的传动比。

(3) 定位精度和重复精度

定位精度是实际位置与指令位置的一致程度,不一致量为误差;重复精度是在相同条件下,操作方法不变,进行规定次数操作所得到的连续结果的一致程度。

(4) 进给速度和调节范围

以每分钟进给距离的形式指定刀具切削进给速度。进给速度可通过操作面板上的进给倍率开关调整,调整范围一般可为 10%~200%,每档间隔 10%。

(5) 主轴转速和调节范围

以每分钟转数的形式指定主轴的转速。机床操作面板设有主轴倍率开关,可在不修改程序

的情况下改变主轴转速,典型的调节范围为 50%~120%,每档间隔 5%。另外在车床的端面切削的恒定切削中,可用单位为 m/min 的主轴恒线速表示方法。

(6) 插补功能

插补功能越强,说明 CNC 系统能够加工的轮廓越多。目前 CNC 系统不仅可以插补直线、圆弧,还可以插补抛物线、椭圆、正弦曲线、螺旋曲线和样条函数等。

(7) 准备功能(G 功能)

准备功能用来指令机床动作的方式功能,包括基本移动、程序暂停、平面选择、坐标设定、刀具补偿、参考点返回、固定循环和公英制转换等。

(8) 辅助功能(M 功能)

辅助功能用来规定主轴的起、停、转向,冷却液的接通和断开,刀库的起、停等。M 功能的使用有立即型(在指令的程序段开始动作时立即执行)和段后型(在指令的程序段完成时才起作用)两种。

(9) 刀具管理和刀具补偿

用来选择刀具的功能用 T 指令。CNC 系统应根据 T 指令从一定容量的刀库中选择加工时所需的刀具。目前 CNC 系统还可进行刀具半径补偿、刀具长度补偿以及刀具寿命管理和自动刀具测量等。

(10) 零件程序管理和编辑

零件程序管理功能反映在 CNC 系统中可同时存储的零件程序个数,还有一个重要指标是容量,它表示可存储程序的长度。有两种表示方法:一种是直接给出容量例如 64K 等,另一种是给出可存储的纸带长度,例如 120m 等。两种方法可以换算,每 1K 容量大约可存储 2.6m 的纸带。

CNC 系统提供的编程方式有多种,例如 MDI、符号 FAPT 对话编程、集合工艺语言(GTL)编程、参数化编程和蓝图直接编程等。

(11) 零件程序结构

零件程序结构包括程序名位数、程序号位数、是否可以调用子程序、子程序的嵌套层数、用户宏程序等。

(12) 操作功能

CNC 系统通常能进行条件程序段的执行、程序段跳步、机械闭锁、辅助功能闭锁、单段、试运行、录返、示教等操作。

(13) 误差补偿功能

加工过程中,机械传动链中存在的反间隙(齿隙)螺距误差(由滚珠丝杠的螺距不均等引起),导致实际加工出的零件尺寸与程序规定的尺寸不一致,造成加工误差。因此 CNC 系统采用反向间隙补偿和螺距误差补偿功能,把误差的补偿量输入 CNC 系统的存储器,按补偿量重新计算刀具的坐标尺寸,从而加工出符合要求的零件。

(14) 自动加减速控制

为保证伺服电机在启动、停止或速度突变时不产生冲击、失步、超程或振荡,必须对送到伺服电机的进给频率或电压进行控制。在电机启动及进给速度大幅度上升时,控制加在伺服电机上的进给频率或电压逐渐增大;而当电机停止及进给大幅度下降时,控制加在伺服电机上的进给频率或电压逐渐减小。

CNC 系统中自动加减速控制多用软件实现,它可在插补前进行,称为插补前加减速,也可在插补后进行,称为插补后加减速。

自动加减速控制有多种算法,如直线加减速、指数加减速、抛物线加减速和鼓形加减速等。

(15) 开关量接口

CNC 系统的 M、S、T 功能不仅在 CNC 内部要处理,而且要以 BCD 码的形式输出,M、S、T 码的输出位数是一个重要指标。另外,CNC 系统还有其他一些开关量接口,如外部的急停信号、循环启动信号和进给保持信号等。

(16) 机床顺序控制接口

目前 CNC 系统一般装有内装型 PLC。PLC 的性能包括输入/输出点数、编程语言、指令条数、程序容量等。无内装型 PLC 的 CNC 系统,复杂的顺序控制要借助外部的 PLC。

(17) 字符图形显示

CNC 系统可配置彩色 CRT,通过软件和接口实现字符和图形显示。可以显示程序、参数、各种补偿量、坐标位置、故障信号、人机对话编程菜单、零件图形、动态刀具轨迹等。

(18) 通信与通信协议

CNC 系统一般都有 RS232 接口,有的还配有 DNC 接口,并设有缓冲区,进行高速传输。高级型 CNC 系统还可以与 MAP 相连,接入工厂的通信网络,以适应 FMS、CIMS 的要求。

(19) 自诊断功能

CNC 系统中设置有各种诊断程序,在故障发生后可迅速查明故障类型和部位,及时排除以减少故障停机时间和防止故障的扩大。

CNC 系统的故障诊断程序可以包含在系统程序中,在系统运行过程中进行诊断;也可以作为服务性程序,在系统运行前或故障停机后进行诊断;有的 CNC 系统还可进行远程通信诊断。

第二节 数控机床坐标系

数控机床上加工零件时,刀具与零件的相对运动,必须在确定的坐标系中才能按规定的程序进行加工。数控机床坐标系是为了确定工件在机床中的位置、机床运动部件的特殊位置(如换刀点、参考点等)以及运动范围(如行程范围)等而建立的几何坐标系。我国机械工业部于 1982 年颁布了 JB 3051—82 数字控制机床坐标和运动方向的命名标准,目前我国执行的行业数控标准 JB/T3051—1999《数控机床坐标和运动方向的命名》,与国际上标准 ISO841 等效。

一、数控机床坐标系的规定

为了简化编程和保证程序的通用性,对数控机床的坐标轴和方向命名制订统一的标准,即数控机床坐标系采用标准右手笛卡儿直角坐标系,符合右手法则,如图 1-3 所示。规定直线进给坐标轴用 X、Y、Z 表示,常称基本坐标轴。X、Y、Z 坐标轴的相互关系用右手定则决定,图中大拇指的指向为 X 轴的正方向,食指指向 Y 轴的正方向,中指指向为 Z 轴的正方向。围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A、B、C 表示,根据右手螺旋定则,如图所示,以大拇指指向 +X、+Y、+Z 方向,则食指、中指等的指向是圆周进给运动的 +A、+B、+C 方向。

数控机床的进给运动,有的由主轴带刀具运动来实现,有的由工作台带着工件运动来实现。上述坐标正方向是假定工件不动,刀具相对于工件做进给运动的方向。如果是工件移动,则用加“'”的字母表示,按相对运动的关系,工件运动的正方向恰好与刀具运动的正方向相反,即有:

$$\begin{aligned} +X &= -X', +Y = -Y', +Z = -Z', \\ +A &= -A', +B = -B', +C = -C' \end{aligned}$$

同样,两者运动的负方向也彼此相反。对于编程和工艺人员来说,只需考虑不带“'”的运动方向;而对于机床设计和制造者,则需考虑带“'”的实际机床的运动方向。

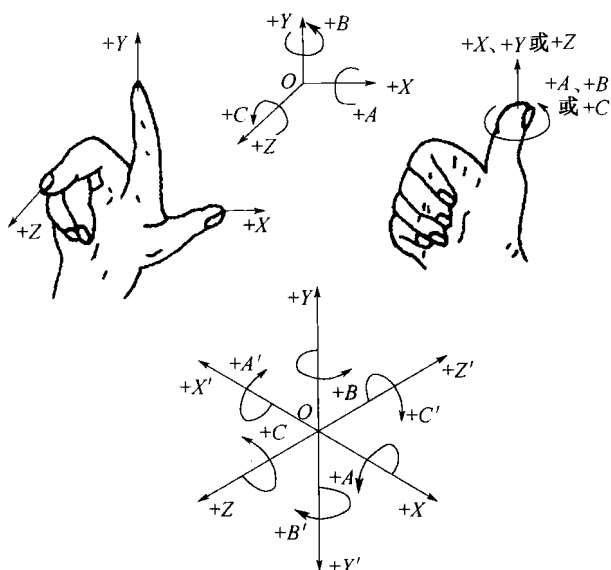


图 1-3 右手笛卡尔坐标系

二、坐标轴运动方向的确定

数控机床的某一部件运动的正方向,是增大工件和刀具之间距离的方向。一般先确定 Z 轴,然后再确定 X 轴和 Y 轴,且机床坐标轴的方向取决于机床的类型和各组成部分的布局。

1. Z 轴

规定平行于机床主轴轴线的坐标轴为 Z 轴,并取刀具远离工件的方向为其正方向。 Z 坐标轴一般是传递切削力的主轴轴线。

对于刀具旋转的机床(如铣床、钻床和镗床等),旋转刀具的轴线为 Z 轴,如图 1-4 中的(a)和(b)所示是旋转刀具的轴线作为 Z 轴,并且刀具远离工件的方向为 $+Z$ 方向;而对于工件旋转的机床(如数控车床、外圆磨床等),则工件的旋转轴线为 Z 轴,如图 1-5 所示是旋转工件的

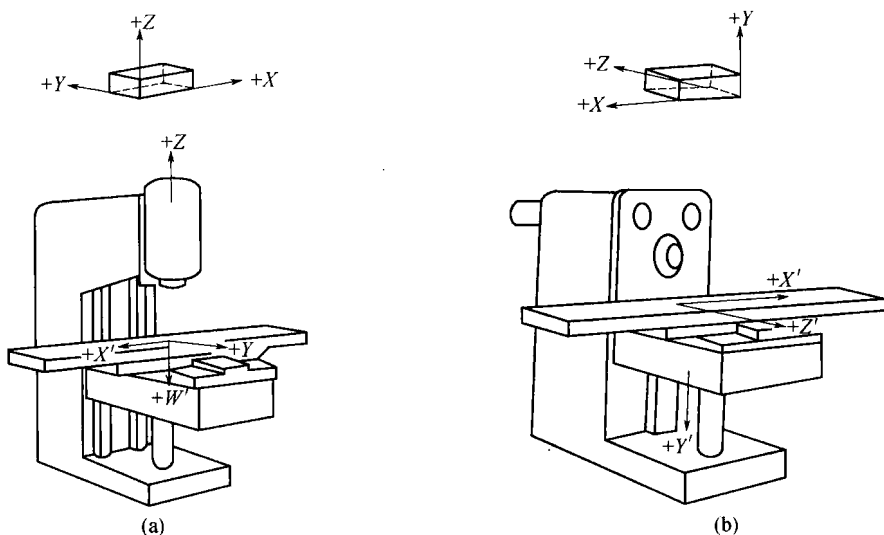


图 1-4 数控铣床(加工中心)坐标轴

(a) 立式数控铣床(加工中心)坐标 (b) 卧式数控铣床(加工中心)坐标

轴线作为 Z 轴,并且刀具远离工件的方向为 $+Z$ 方向。当机床有几个主轴时,则选择一个垂直于工件装夹面的主轴为 Z 轴;对于工件和刀具都不旋转的机床(如刨床、插床等),则 Z 轴垂直于工件装夹面且正方向为刀具远离工件的方向,如图 1-6 所示的牛头刨床。

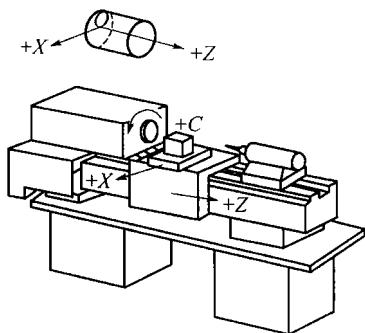


图 1-5 数控车床坐标轴

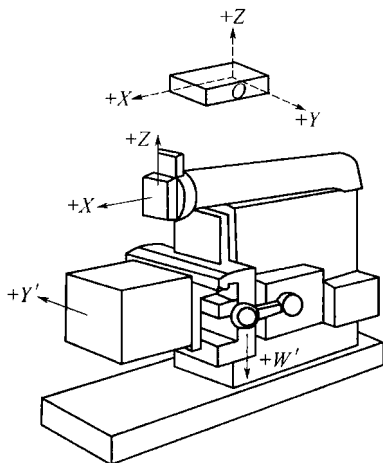


图 1-6 牛头刨床

2. X 轴

X 轴位于与工件装夹平面相平行的水平面内,且垂直于 Z 轴。

对于数控车床、外圆磨床等工件旋转的机床, X 轴的方向在工件的径向上且平行于横滑座,其 X 轴的正方向取为远离工件的方向,如图 1-5 所示。对于数控铣床、钻床和镗床等刀具旋转的机床,则规定当 Z 轴为水平时,从刀具主轴后端向工件方向看, X 轴的正方向为向右方向,如图 1-4(b)所示;当 Z 轴为垂直时,对单立柱机床则面对刀具主轴向立柱方向看, X 轴的正方向为向右方向,如图 1-4(a)所示;对于工件和刀具都不旋转的机床(如图 1-6 所示的牛头刨床),则主要切削方向为 X 轴正方向。

3. Y 轴

Y 轴及其正方向的判定,可根据已确定的 Z 、 X 轴及其正方向,用右手定则来确定,如图 1-4 与图 1-5 所示。

4. 旋转坐标 A、B、C

旋转运动的 A 、 B 和 C 相应地表示其轴线平行于 X 、 Y 和 Z 坐标的旋转运动。正向的 A 、 B 和 C ,相应地表示在 X 、 Y 和 Z 坐标正方向上按照右旋螺纹前进的方向。例如 $+A$ 表示在 $+X$ 坐标轴方向按照右旋螺纹旋转的方向。

5. 附加坐标

为了编程和加工的方便,有时还要设置附加坐标。

对于直线运动,如在 X 、 Y 、 Z 主要运动之外另有第二组平行于它们的坐标,可分别指定为 U 、 V 和 W ;如还有第三组运动,则分别指定为 P 、 Q 和 R ;如果主要直线运动之外存在不平行于 X 、 Y 或 Z 的直线运动,也可相应地指定为 U 、 V 、 W 或 P 、 Q 、 R 。

对于旋转运动:如在第一组旋转运动 A 、 B 和 C 的同时,还有平行或不平行于 A 、 B 和 C 的第二组旋转运动,可指定为 D 、 E 和 F 。

三、机床坐标系、机床原点和机床参考点

数控机床坐标系是用来确定工件坐标系的基本坐标系,其坐标和运动方向视机床的种类和

结构而定,如数控车床、数控铣床、加工中心都有自己的坐标系。机床坐标系的原点也称机床原点或零点。这个原点在机床一经设计和制造调整后,便被确定下来,它是固定的点。

为了正确地在机床工作时建立机床坐标系,通常在每个坐标轴的移动范围内设置一个机床参考点。机床参考点也称基准点,是大多数具有增量位置测量系统的数控机床所必须具有的。如图 1-7 所示,机床参考点是数控机床工作区确定的一个固定点,与机床原点有确定联系。它可以与机床原点重合也可以不重合。参考点在机床坐标系中,以硬件方式用固定挡块或限位开关,限制各坐标轴的位置来实现,并通过精确测量来指定参考点到机床原点的距离。因此,这样的参考点称为硬参考点。机床每次通电后,都要进行回参考点操作,数控装置通过参考点确认出机床原点的位置,建立机床坐标系。参考点的位置可以通过调整固定挡块或限位开关的位置来改变,改变后必须重新精确测量并修改机床参数。有些数控机床的参考点不用固定挡块或限位开关来设定,它是通过刀具在机床坐标系中的位置设定的,这样的参考点又称为软参考点。软参考点的位置可以根据加工零件的不同而变化,但在同一零件的加工过程中,软参考点的位置设定后不能改变。

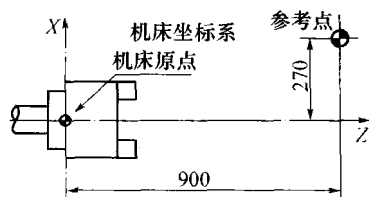


图 1-7 机床坐标系

机床的参考点有两个主要作用:一个是建立机床坐标系;另一个是消除由于漂移、变形等造成的误差。机床使用一段时间后,工作台会造成一些漂移,使加工有误差,回一次机床参考点,就可以使机床工作台回到准确位置,消除误差。所以在机床加工前,经常要进行回机床参考点的操作。

机床参考点距机床原点在其进给轴方向上的距离在出厂时已确定,一些系统可以利用指定的自动返回参考点指令,使指令的轴自动返回机床参考点。但是在以下三种情况下,数控系统可能会失去对机床参考点的记忆,必须进行重新返回机床参考点的操作。

- (1) 机床超程报警信号解除后。
- (2) 机床关机以后重新接通电源开关时。
- (3) 机床解除急停状态后。

四、工件坐标系与工件原点

编制数控程序时,首先要建立一个工件坐标系,程序中的坐标值均以此坐标系为依据。因此,工件坐标系是编程人员在编程时使用的坐标系,又称编程坐标系。编程时首先根据被加工零件的几何形状和尺寸,在零件图上设定工件坐标系,使零件图上的所有几何元素在坐标系中都有确定的位置,为编程提供轨迹坐标和运动方向。编程人员选择工件上的某一已知点为原点(也称程序原点),建立一个新的坐标系,也称工件坐标系。工件坐标系一旦建立便一直有效,直到被新的工件坐标系所取代。

工件坐标系的原点选择要尽量满足编程简单、尺寸换算少、引起的加工误差小等条件。一般情况下,程序原点应选在尺寸标注的基准或定位基准上。对车床编程而言,工件坐标系原点一般选在工件轴线与工件的前端面、后端面、卡爪前端面的交点上。

工件原点是人为设定的,从理论上讲,工件原点选在任何位置都是可以的,但实际上为编程方便以及各尺寸较为直观,数控车床工件原点一般都设主轴中心线与工件左端面或右端面的交点处,如图 1-8 所示。

工件坐标系的坐标轴要根据工件在机床上的安装位置和加工方法来确定。一般工件坐标系的 Z 轴要与机床坐标系的 Z 轴平行,且正方向一致,与工件的主要定位支撑面垂直;工件坐

标系的 X 轴应选择在零件尺寸较大或切削时的主要进给方向上,且与机床坐标系的 X 轴平行,正向一致。

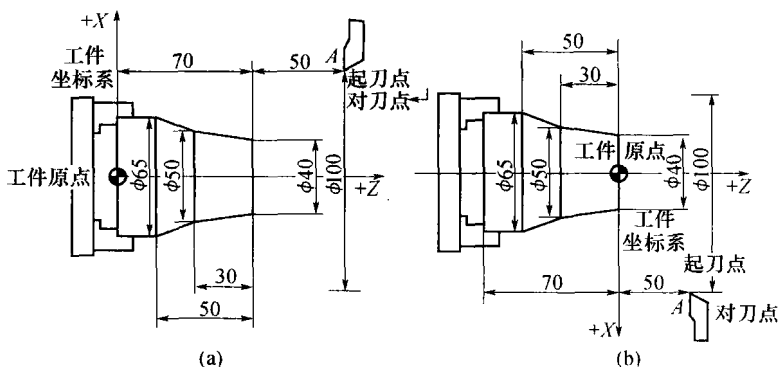


图 1-8 工件坐标系

五、对刀点与换刀点

1. 对刀点概念及选择原则

所谓对刀,是指将刀具移向对刀点,并使刀具的刀位点和对刀点重合的操作,以便建立工件坐标系。对刀点是数控加工中刀具相对于工件运动的起点,是零件程序加工的起始点,所以对刀点也称“程序起点”,如图 1-8 所示的 A 点。对刀的目的是确定工件原点在机床坐标系中的位置,即工件坐标系与机床坐标系的关系。

对刀点可设在工件上并与工件原点重合,也可设在工件外,任何便于对刀之处,但该点与工件原点之间必须有确定的坐标联系。一般情况下,对刀点既是加工程序执行的起点,也是加工程序执行的终点。此外,一般车刀是从右端向左端车削,所以将工件原点设在工件的右端面要比设定在工件左端面换算尺寸方便,所以推荐采用图 1-8(b)的方案,将工件原点设定在工件右端面的中心。

对刀精度的高低直接影响工件的加工精度。目前,数控机床可以采用人工对刀,但对操作者的技术要求较高。也可采用高精度的专用对刀仪进行对刀,以保证对刀精度。

编制程序时,应首先确定对刀点的位置。选择对刀点具体的原则如下。

- (1) 应尽量选在零件的设计基准或工艺基准上,以提高零件的加工精度。
- (2) 应尽量选择在机床上容易找正、加工过程中便于检查的位置上。
- (3) 为便于坐标值的计算,最好选在坐标系的原点上,或选在已知坐标值的点上。

此外,这里还将提及一个术语“对刀参考点”。对刀参考点是用来表示刀架或刀盘在机床坐标系内的位置,即 CRT 上显示的坐标值表示的点,也称刀架中心或刀具参考点。可利用此坐标值对刀操作。数控车床回参考点时,应使刀架中心与机床参考点重合。

2. 换刀点

加工中心、数控车床等多刀加工的机床,常需要在加工过程中进行自动换刀,故编程时还要设置换刀点。车床刀架的换刀点是指刀架转位换刀时所在的位置。换刀点的位置可以是固定的,也可以是任意一点。它的设定原则是以刀架转位时不碰撞工件和机床上其他部件为准则,通常和刀具起始点重合。

六、编程坐标系

数控机床编程中,工件或刀具移动量的指令主要有绝对坐标和增量坐标两种方式。所有坐

标点的位置都以坐标原点为基准的坐标系。或者说刀具(或机床)运动位置的坐标值是相对于固定的坐标原点给出的,即称为绝对坐标,该坐标系称为绝对坐标系。一般常用 G90 指令规定绝对尺寸;还可直接用地址符 X、Y 和 Z 规定其绝对尺寸字。在加工轮廓曲线上,各线段的终点位置以该线段起点为坐标原点而确定的坐标系。或者说刀具(或机床)运动位置的坐标值是相对于前一位置,而不是相对于固定的坐标原点给出的,称为增量坐标系。

在程序编制过程中,是使用绝对坐标系还是使用增量坐标系,可以根据需要和方便用 G 指令来选择。用 G91 指令规定其地址符 X、Y 和 Z 直接用于增量尺寸字;还可直接用代码表中的第二坐标地址符 U、V、W 分别规定其增量尺寸字。U-V 坐标系统也称为增量坐标系统。U、V、W 分别与 X、Y、Z 平行且同向。

第三节 数 控 刀 具

刀具技术和机床技术相结合,工件材料技术与刀具材料技术交替进展,成为切削技术不断向前发展的历史规律,对推动切削技术的发展起着决定性作用。在由机床、刀具和工件组成的切削加工工艺系统中,刀具是最活跃的因素。刀具切削性能的好坏取决于构成刀具的材料和刀具结构。切削加工生产率和刀具寿命的高低、加工成本的多少、加工精度和加工表面质量的优劣等,在很大程度上取决于刀具材料、刀具结构及其的合理选择。

数控加工具有高速、高效和自动化程度高等特点,数控刀具是实现数控加工的关键技术之一。数控刀具是指与这些先进高效的数控机床相配套使用的各种刀具的总称,是数控机床不可缺少的关键配套产品,数控刀具以其高效、精密、高速、耐磨、长寿命和良好的综合切削性能取代了传统的刀具。表 1-1 列举了传统刀具与现代数控刀具的比较。

表 1-1 传统刀具与现代数控刀具的比较

项目	传统切削刀具	数控刀具
刀具材料	普通工具钢、高速钢、焊接硬质合金等	PCD、PCBN、陶瓷、涂层刀具、超细晶粒硬质合金、TiCN 基硬质合金、粉末冶金高速钢等
刀具硬度	低	高
被加工工件硬度	低	高,可对高硬材料实现“以车代磨”
切削速度	低	加工钢、铸铁,可转位涂层刀片切削速度可达 380m/min;加工铸铁,PCBN 刀片切削速度可达 1000~2000m/min;PCD 刀具加工铝合金,切削速度可达 5000m/min 或更高
刀具消耗费用和金属切除比较	传统高速钢刀具约占全部刀具费用的 65%,切除的切屑仅占总切屑的 28%	可转位刀具、硬质合金刀具及超硬刀具占全部刀具费用的 34%,切除的切屑占总切屑的 68%
刀具使用机床	一般金属切削机床	数控车床、数控铣床、加工中心、流水线专机、柔性生产线等
资金投入和企业规模	以通用机床和专机为主,追求低成本,劳动密集	以数控机床为主,追求差异化,多品种、小批量,属于知识、人才和资金密集型

一、数控加工对刀具的要求

为了适应数控加工技术的需要,保证优质、高效地完成数控加工任务,对数控加工刀具提出

了比传统的加工用刀具更高的要求,它不仅要求刀具耐磨损、寿命长、可靠性好、精度高、刚性好,而且要求刀具尺寸稳定、安装调整方便等。数控加工对刀具提出的具体要求如下。

1. 刀具材料应具有高的可靠性。
2. 刀具材料应具有高的耐热性、抗热冲击性和高温力学性能。
3. 数控刀具应具有高的精度。
4. 数控刀具应能实现快速更换。
5. 数控刀具应系列化、标准化和通用化。
6. 数控刀具大量采用机夹可转位刀具。
7. 数控刀具大量采用多功能复合刀具及专用刀具。
8. 数控刀具应能可靠地断屑或卷屑。
9. 数控刀具材料应能适应难加工材料和新型材料加工的需要。

二、刀具参数及选用

1. 刀具切削部分的组成

任何刀具都是由刀柄(刀体)和刀头(刀齿)组成。刀柄或刀体用于夹持刀具,刀头或刀齿构成刀具的切削部分,担负着切削工作。金属切削加工所用刀具种类繁多,形状各异,但是它们参加切削的部分在几何特征上都有相同之处。外圆车刀的切削部分可作为其他各类刀具切削部分的基本形态,其他各类刀具就其切削部分而言,都可以看成是外圆车刀切削部分的演变。因此,通常以外圆车刀切削部分为例,来确定刀具几何参数的有关定义。

外圆车刀切削部分的名称和刀具几何角度如图 1-9 所示,外圆车刀切削部分包括如下部分。

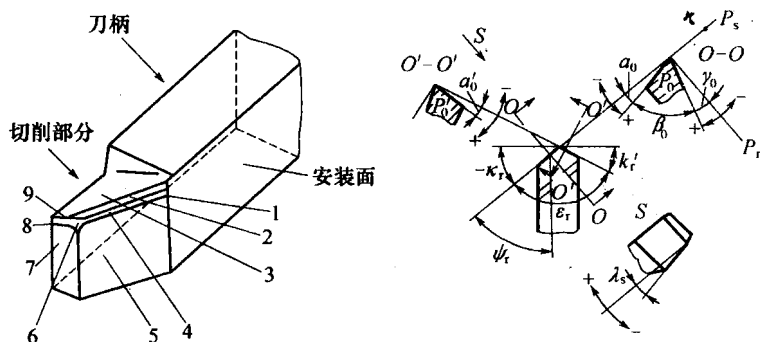


图 1-9 外圆车刀切削部分的名称

- 1—主切削刃; 2—第一前刀面(倒棱); 3—第二前刀面; 4—第一后刀面(刃带);
5—第二后刀面; 6—刀尖; 7—第二副后刀面; 8—第一副后刀面; 9—副切削刃
车刀角度: γ_0 —前角; α_0 —后角; β_0 —楔角; κ_r —主偏角; κ'_r —副偏角;
 ϵ_r —刀尖角; ϕ_r —余偏角; λ_s —刃倾角; α'_0 —副后角

- (1) 前面 A_γ : 刀具上切屑流过的表面。
- (2) 主后面 A_α : 刀具上与工件过渡表面相对的表面。
- (3) 副后面 $A_{\alpha'}$: 刀具上与工件已加工表面相对的表面。
- (4) 主切削刃 S : 前面与主后面相交而得到的刃边(或棱边), 用于切出工件上的过渡表面, 完成主要的金属切除工作。
- (5) 副切削刃 S' : 前面与副后面相交而得到的刃边, 它配合主切削刃完成切削工作, 最终形