



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控技术专业系列

数控加工工艺及设备

赵长明 刘万菊 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控加工工艺及设备

赵长明 刘万菊 主编

高等教育出版社

内容提要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据教育部“高职高专机械类专业人才培养目标及基本规格”的要求编写的。本书内容全面、系统,实用性强。全书包括数控加工工艺及设备基础、数控机床机械结构、数控刀具、数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心加工工艺及大量生产典型零件数控加工工艺等内容。

本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院数控技术、机电一体化等专业的教材,也可作为工厂中从事数控加工方面的技术人员和操作人员的培训教材,还可供其他有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺及设备/赵长明,刘万菊主编. —北京:
高等教育出版社,2008.6

ISBN 978-7-04-024294-2

I. 数… II. ①赵…②刘… III. ①数控机床-
加工工艺-高等学校-教材②数控机床-加工-设
备-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 066950 号

策划编辑	徐 进	责任编辑	薛立华	封面设计	张志奇	责任绘图	朱 静
版式设计	范晓红	责任校对	张 颖	责任印制	陈伟光		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市星河印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 23.75
字 数 590 000
插 页 1

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 6 月第 1 版
印 次 2008 年 6 月第 1 次印刷
定 价 34.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24294-00

前 言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据教育部“高职高专机械类专业人才培养目标及基本规格”的要求,并结合编者在数控加工工艺和数控设备方面的教学及生产中的亲身工作经验编写的。

本书面向生产第一线所需要的技能型人才培养,突出了职业教育的特点,侧重生产技能方面知识,尤其重点突出了生产过程中数控加工工艺知识的讲授,使学生能够全面地掌握数控工艺知识。书中大量示例来源于生产第一线,使教学内容与生产实际结合更加紧密。同时,书中介绍了许多生产中的新工艺、新技术,以开拓学生的视野。全书共分7章,内容包括数控加工工艺及设备基础、数控机床机械结构、数控刀具、数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心加工工艺、大量生产典型零件数控加工工艺。

本书结构严谨,特色鲜明,图文并茂,内容丰富,实用性强;理论问题论述条理清晰,详简得当,易于掌握;实例分析典型全面,接近生产实际,具有示范性,有利于培养学生的应用能力。全书内容体系符合教学规律,适合高等职业教育使用。

本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院数控加工工艺及设备课程的教材,也可作为工厂中从事数控加工方面的技术人员和操作人员的培训教材,还可供其他有关技术人员参考。

本书第一章、第四章、第五章(第一、二、三、五节)、第六章、第七章由中山职业技术学院赵长明编写,第二章、第三章由长春汽车工业高等专科学校刘万菊编写,第五章(第四节)由一汽-大众汽车有限公司产品开发部高级工程师李淑珊编写。全书由赵长明、刘万菊主编,赵长明统稿。本书承麦格纳技术与模具系统(天津)有限公司高级工程师包东审稿并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者
2008年4月

目 录

第一章 数控加工工艺及设备基础	1	第四节 典型数控车削零件加工的工艺处理	181
第一节 机床数控技术与数控加工设备概述	1	第五节 数控车削零件的加工实例	194
第二节 数控机床精度	10	第六节 难加工材料的数控车削加工	208
第三节 数控加工轨迹控制原理——插补原理	22	习题	212
第四节 数控加工过程与数控加工工艺概述	24	第五章 数控铣削加工工艺	214
第五节 数控机床坐标系统	27	第一节 概述	214
习题	31	第二节 制订数控铣削加工工艺要解决的主要问题	217
第二章 数控机床机械结构	32	第三节 复杂曲线曲面数控铣削加工的刀具轨迹	240
第一节 数控机床机械结构的组成和特点	32	第四节 汽车覆盖件模具的数控铣削加工	263
第二节 数控机床主传动系统	33	第五节 典型数控铣削零件的加工工艺分析	271
第三节 数控机床主传动系统应用	42	习题	283
第四节 数控机床进给传动系统	44	第六章 加工中心加工工艺	285
第五节 数控机床进给传动系统应用	63	第一节 概述	285
第六节 自动换刀装置	66	第二节 加工中心加工工件的安装及对刀、换刀	289
第七节 辅助装置	76	第三节 制订加工中心加工工艺要解决的主要问题	309
习题	78	第四节 典型加工中心加工零件的工艺分析	323
第三章 数控刀具	80	习题	339
第一节 数控刀具的种类及特点	80	第七章 大量生产典型零件数控加工工艺	340
第二节 数控刀具材料	85	第一节 典型轴类零件数控加工工艺	340
第三节 数控刀具的失效形式及可靠性	96	第二节 典型箱体类零件数控加工工艺	353
第四节 数控可转位刀片	98	习题	369
第五节 数控刀具的选择	105	参考文献	371
第六节 工具系统	118		
习题	123		
第四章 数控车削加工工艺	124		
第一节 概述	124		
第二节 数控车削加工的装刀和对刀	127		
第三节 制订数控车削加工工艺要解决的主要问题	138		

第一章 数控加工工艺及设备基础

第一节 机床数控技术与数控加工设备概述

一、机床中有关数控的基本概念

在加工设备中应用广泛的数字控制(数控)技术,是一种采用计算机对机械加工过程中各种控制信息进行数字化运算、处理,并通过驱动单元对机械执行构件进行自动化控制的技术。现在已有大量机械设备采用了数控技术,其中应用面最广的就是数控加工设备(即数控机床)。下面介绍机床中的数字控制及数控技术、数控系统、计算机数控(CNC)系统、开放式 CNC 系统和数控机床等概念。

1. 数字控制(数控)及数控技术

一般意义上的数字控制是指用数字化信息对过程进行的控制,是相对模拟控制而言的。机床中的数字控制专指用数字化信号对机床的工作过程进行的可编程自动控制,简称数控(NC)。这种用数字化信息进行自动控制的技术就叫数控技术。

2. 数控系统

数控系统是实现数控技术相关功能的软硬件模块的有机集成系统,是数控技术的载体。它能自动阅读输入载体上事先给定的程序,并将其译码,从而使机床按指令运动并加工零件。在其发展过程中有硬件数控系统和计算机数控系统两类。

早期的数控系统主要由数控装置、主轴驱动及进给驱动装置等部分组成,数字信息由数字逻辑电路来处理,数控系统的所有功能都由硬件实现,故又称为硬件数控系统(NC 系统)。

3. 计算机数控系统

计算机数控系统是以计算机为核心的数控系统,由装有数控系统程序的专用计算机、输入输出设备、可编程逻辑控制器(PLC)、存储器、主轴驱动及进给驱动装置等部分组成,习惯上又称为 CNC 系统,如图 1-1 所示。由于计算机可完全由软件来确定数字信息的处理过程,从而具有真正的“柔性”,并可处理各种复杂信息,所以 CNC 系统已基本取代硬件数控系统(NC 系统)。

4. 开放式 CNC 系统

国际电子与电气工程师协会提出的开放式 CNC 系统的定义是:一个开放式 CNC 系统,应保证使开发的应用软件能在不同厂商提供的不同的软硬件平台上运行,且能与其他应用软件系统协调工作。

根据这一定义,开放式 CNC 系统至少有以下 5 个特征:

(1) 对使用者是开放的。可以采用先进的图形交互方式支持下的简易编程方法,使得数控机床的操作更加容易。

(2) 对机床制造商是开放的。应允许机床制造商在开放式 CNC 系统软件的基础上开发专用的功能模块及用户操作界面。

(3) 对硬件的选择是开放的。即一个开放式 CNC 系统应能在不同的硬件平台上运行。

(4) 对主轴及进给驱动系统是开放的;即能控制不同厂商提供的主轴及进给驱动系统。

(5) 对数据传输及交换等是开放的。

开放式 CNC 系统是数控系统未来发展的方向。

5. 数控机床

数控机床是指应用数控技术对其加工过程进行自动控制的机床。国际信息处理联盟第五技术委员会对数控机床作了如下定义:数控机床是一种装有程序控制系统的机床,该系统能逻辑地处理具有特定代码或其他符号编码指令规定的程序。

二、数控机床的组成

数控机床主要由以下几个部分组成,如图 1-1 所示。

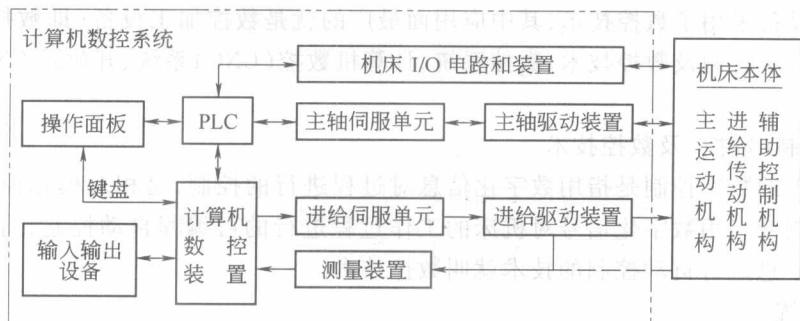


图 1-1 数控机床的组成

1. 计算机数控装置(CNC 装置)

计算机数控装置是计算机数控系统的核心。其主要作用是根据输入的零件加工程序或操作命令进行相应的处理,然后输出控制命令到相应的执行部件(伺服单元、驱动装置和 PLC 等),完成零件加工程序或操作者所要求的工作。所有这些都是 CNC 装置协调控制、合理组织下,使整个系统有条不紊地工作。它主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、扩展功能模块以及相应的控制软件等模块组成。

2. 伺服单元、驱动装置和测量装置

伺服单元和驱动装置包括主轴伺服驱动装置、主轴电动机、进给伺服驱动装置及进给电动机。测量装置是指位置和速度测量装置,它是实现主轴转速、进给速度闭环控制和进给位置闭环控制的必要装置。主轴伺服系统的主要作用是实现零件加工的切削运动,其控制量为速度。进给伺服系统的主要作用是实现零件加工的成形运动,其控制量为速度和位置,特点是能灵敏、准确地实现 CNC 装置的位置和速度指令。

3. 控制面板

控制面板又称操作面板(图 1-2),是操作人员与数控机床(系统)进行信息交互的工具。操作人员可以通过它对数控机床(系统)进行操作、编程、调试或对机床参数进行设定和修改,也可以通过它了解或查询数控机床(系统)的运行状态。它是数控机床的一个输入输出部件,主要由按钮(或旋钮)站、状态灯、按键阵列(功能与计算机键盘一样)和显示器等部分组成。

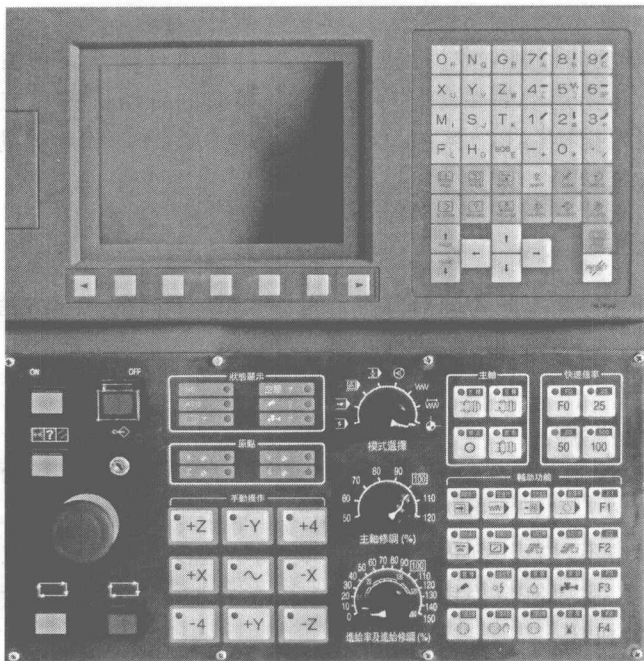


图 1-2 数控机床控制面板

4. 控制介质与程序输入输出设备

控制介质是记录零件加工程序的媒介,是人与机床建立联系的介质。程序输入输出设备是 CNC 系统与外部设备进行信息交互的装置,其作用是将记录在控制介质上的零件加工程序输入 CNC 系统,或将已调试好的零件加工程序通过输出设备存放或记录在相应的介质上。目前数控机床常用的控制介质和程序输入输出设备是磁盘和磁盘驱动器等。

此外,现代数控系统一般可利用通信方式进行信息交换。这种方式是实现 CAD(计算机辅助设计)/CAM(计算机辅助制造)的集成、FMS(柔性制造系统)和 CIMS(计算机集成制造系统)的基本技术。目前在数控机床常用的通信方式有:

- (1) 串行通信;
- (2) 自动控制专用接口;
- (3) 网络技术。

5. PLC(可编程控制器)、机床 I/O(输入/输出)电路和装置

数控机床上的 PLC 装置是用于进行与逻辑运算、顺序动作有关的 I/O 控制,它由硬件和软件组成。机床 I/O 电路和装置是用于实现 I/O 控制的执行部件,是由继电器、电磁阀、行程开关、

接触器等组成的逻辑电路。它们共同完成以下任务：

(1) 接受 CNC 的 M、S、T 指令,对其进行译码并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;

(2) 接受操作面板和机床侧的 I/O 信号,送给 CNC 装置,经其处理后,输出指令控制 CNC 系统的工作状态和机床的动作。

6. 机床本体

机床本体是数控系统的控制对象,是实现加工零件的执行部件。它主要由主运动部件(主轴、主运动传动机构)、进给运动部件(工作台、拖板及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等)以及特殊装置、自动工件交换(APC)系统、自动刀具交换(ATC)系统和辅助装置(如冷却、润滑、排屑、转位和夹紧装置等)组成。

三、数控机床的分类

数控机床的种类很多,从不同角度对其进行考查,就有不同的分类方法,通常有以下几种分类方法。

1. 按控制功能分类

(1) 点位控制数控机床

这类数控机床仅能控制两个坐标轴带动刀具或工作台,从一个点(坐标位置)准确地快速移动到下一个点(坐标位置),然后控制第三个坐标轴进行钻、镗等切削加工。它具有较高的位置定位精度,在移动过程中不进行切削加工,因此对运动轨迹没有要求。点位控制的数控机床主要用于加工平面内的孔系,主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床、三坐标测量机等。

(2) 直线控制数控机床

这类数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度,从一个点以一条直线准确地移动到下一个点,移动过程中能进行切削加工,进给速度根据切削条件可在一定范围内调节。现代组合机床采用数控进给伺服系统,驱动动力头带着多轴箱轴向进给进行钻、镗等切削加工,它可以算作一种直线控制的数控机床。

(3) 轮廓控制数控机床

这类数控机床具有控制几个坐标轴同时协调运动,即多坐标轴联动的能力,使刀具相对于工件按程序规定的轨迹和速度运动,能在运动过程中进行连续切削加工。这类数控机床有用于加工曲线和曲面形状零件的数控车床、数控铣床、加工中心等。现代的数控机床基本上都是这种类型。若根据其联动轴数还可细分为 2 轴(X 、 Z 轴联动或 X 、 Y 轴联动)、2.5 轴(任意 2 轴联动,第 3 轴周期进给)、3 轴(一般指 X 、 Y 、 Z 三轴联动)、4 轴(X 、 Y 、 Z 和 A 或 B 4 轴联动)、5 轴(X 、 Y 、 Z 和 A 、 C 或 X 、 Y 、 Z 和 B 、 C 或 X 、 Y 、 Z 和 A 、 B 等 5 轴联动)联动数控机床。联动坐标轴数越多,加工程序的编制越难,通常 3 轴联动以上的零件加工程序只能采用自动编程技术编制。

2. 按进给伺服系统类型分类

按数控系统进给伺服子系统有无位置测量反馈装置可分为开环数控机床和闭环数控机床。

(1) 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服系统。图 1-3 所示为开环进给伺服系统简图。由图可知,开环进给伺服系统没有位置测量反馈装置,信号流是单向的(数控装置→进给系统),故系统稳

定性好。但由于无位置反馈,精度(相对闭环系统)不高,其精度主要取决于伺服驱动系统和机械传动机构的性能和精度。该系统一般以步进电动机作为伺服驱动元件,采用脉冲增量插补法进行轨迹控制。它具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修容易、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。

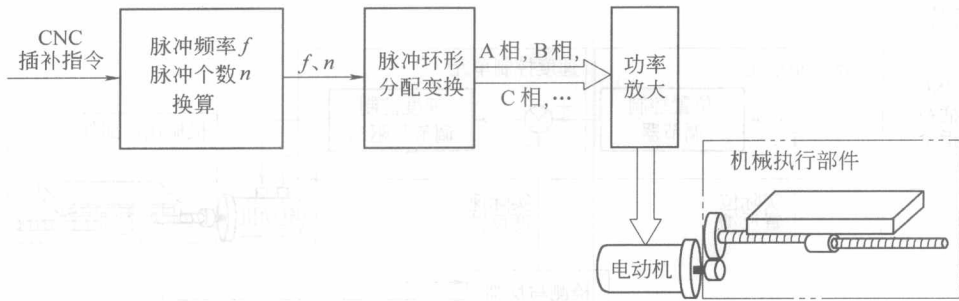


图 1-3 开环进给伺服系统

(2) 闭环数控机床

闭环数控机床采用闭环进给伺服系统,在闭环数控系统中根据位置测量装置安装的位置又分为半闭环和全闭环两种。

1) 半闭环数控机床

半闭环数控机床的进给伺服系统如图 1-4 所示。半闭环数控系统的位置检测点是从驱动电动机(常用交、直流伺服电动机)或丝杠端引出,通过检测电动机或丝杠旋转角度来间接检测工作台的位移量,而不是直接检测工作台的实际位置。由于在半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节,可获得较稳定的控制性能,其系统稳定性虽不如开环系统,但比全闭环要好。另外,在位置环内各组成环节的误差可得到某种程度的纠正,位置环外不能直接消除的如丝杠螺距误差、齿轮间隙引起的运动误差等,可通过软件补偿这类误差来提高运动精度,因此在现代 CNC 机床中得到了广泛应用。

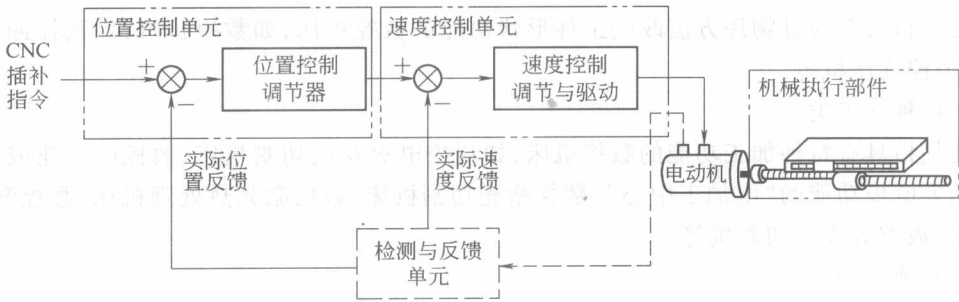


图 1-4 半闭环进给伺服系统

2) 全闭环数控机床

全闭环进给伺服系统的位置检测点如图 1-5 的单点画线所示,它直接对工作台的实际位置进行检测。理论上讲,可以消除整个驱动和传动环节的误差、间隙和失动量,具有很高的位置控

制精度。但由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,很容易造成系统不稳定。因此闭环系统的设计、安装和调试都有相当的难度,对其组成环节的精度、刚性和动态特性等都有较高的要求,价格昂贵。这类系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床以及较大型的数控机床等。一般在不发生混淆的前提下,全闭环数控机床也简称闭环数控机床。

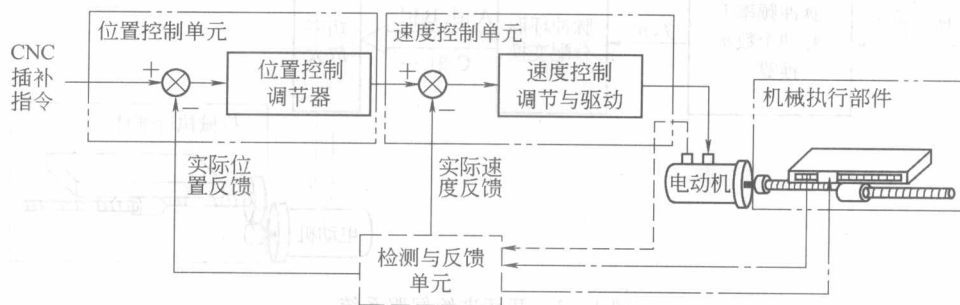


图 1-5 全闭环进给伺服系统

3. 按工艺用途(机床类型)分类

(1) 切削加工类

即具有切削加工功能的数控机床。在金属切削机床常用的车床、铣床、刨床、磨床、钻床、镗床、插床、拉床、切断机床、齿轮加工机床等中,国内外都开发了数控机床,而且品种分得越来越细。比如,在数控磨床中不仅有数控外圆磨床、数控内圆磨床、集可磨内、外圆于一机的数控万能磨床、数控平面磨床、数控坐标磨床、数控工具磨床、数控无心磨床、数控齿轮磨床,还有专用或专门化的数控轴承磨床、数控外螺纹磨床、数控内螺纹磨床、数控双端面磨床、数控凸轮轴磨床、数控曲轴磨床、能自动换砂轮的数控导轨磨床(又称导轨磨削中心)等;还有工艺范围更宽的车削中心、加工中心、柔性制造单元(FMC)等。

(2) 成形加工类

此类是指具有通过物理方法改变工件形状功能的数控机床,如数控折弯机、数控冲床、数控弯管机、数控旋压机等。

(3) 特种加工类

此类是指具有特种加工功能的数控机床,如数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、带有自动换电极功能的“电加工中心”、数控激光切割机床、数控激光热处理机床、数控激光板料成形机床、数控等离子切割机等。

(4) 其他类型

它是指一些广义上的数控设备,如数控装配机、数控测量机、机器人等。

四、数控机床的规格、性能和可靠性指标

1. 规格指标

规格指标是指数控机床的基本能力指标,主要有以下几方面:

(1) 行程范围

行程范围是指坐标轴可控的运动区间,它反映该机床允许的加工空间,一般情况下工件轮廓尺寸应在加工空间的范围之内。

(2) 工作台面尺寸

它反映该机床安装工件的最大范围,通常应选择比最大加工工件稍大一点面积,这是因为要预留夹具所需的空。

(3) 承载能力

它反映该机床能加工零件的最大质量。

(4) 主轴功率和进给轴转矩

它反映该机床的加工能力,同时也可间接反映机床的刚度和强度。

(5) 控制轴数和联动轴数

数控机床的控制轴数通常是指机床数控装置能够控制的进给轴数。数控机床控制轴数与数控装置的运算处理能力、运算速度及内存容量等有关。联动轴数是指数控机床同时控制多个进给轴,使它们按规定的路线和进给速度所确定的规律运动的进给轴的数目。它反映数控机床的曲面加工能力。

(6) 刀库容量

它是指刀库能存放加工所需刀具的数量,反映该机床加工工序内容的多少。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。

2. 性能指标

(1) 分辨率与脉冲当量

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。对测量系统而言,分辨率是可以测量的最小增量;对控制系统而言,分辨率是可以控制的最小位移增量。数控装置每发出一个脉冲信号反映到机床移动部件上的移动量,通常称为脉冲当量。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。脉冲当量越小,数控机床的加工精度和加工表面质量越高。简易数控机床的脉冲当量为 0.01 mm,普通数控机床的脉冲当量为 1 μm ,精密或超精密数控机床的脉冲当量为 0.1 μm 。最精密的数控系统的分辨率已达 0.001 μm 。

(2) 最高主轴转速和最大加速度

最高主轴转速是指主轴所能达到的最高转速,它是影响零件表面加工质量、生产效率以及刀具寿命的主要因素之一。最大加速度是反映主轴速度提高能力的性能指标,也是加工效率的重要指标。

(3) 最高快移速度和最高进给速度

最高快移速度是指进给轴在非加工状态下的最高移动速度,最高进给速度是指进给轴在加工状态下的最高移动速度,它们也是影响零件加工质量、生产效率以及刀具寿命的主要因素。这两个性能指标受数控装置的运算速度、机床动态特性及工艺系统刚度等因素的限制。

另外,还有换刀速度和工作台交换速度,它们也是影响生产效率的性能指标。

3. 可靠性指标

(1) 平均无故障时间 MTBF

它是指一台数控机床在使用中平均两次故障间隔的时间,即数控机床在寿命范围内总工作

时间和总故障次数之比,即

$$MTBF = \frac{\text{总工作时间}}{\text{总故障次数}}$$

显然,这段时间越长越好。

(2) 平均修复时间 $MTTR$

它是指一台数控机床从开始出现故障直到能正常工作所用的平均修复时间,即

$$MTTR = \frac{\text{总故障停机时间}}{\text{总故障次数}}$$

考虑到实际系统出现故障总是难免的,故对于可维修的系统,总希望一旦出现故障,修复的时间越短越好,即希望 $MTTR$ 越短越好。

(3) 平均有效度 A

如果把 $MTBF$ 看作设备正常工作的时间,把 $MTTR$ 看作设备不能工作的时间,那么正常工作时间与总时间之比称为设备的平均有效度 A ,即

$$A = \frac{\text{平均无故障时间}}{\text{平均无故障时间} + \text{故障平均修复时间}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

平均有效度反映了设备提供正确使用的能力,是衡量设备可靠性的一个重要指标。

五、数控机床的主要功能

1. 多轴控制功能

它是指 CNC 系统能控制和能联动控制数控机床各坐标轴的进给运动的功能。CNC 系统的控制进给轴有移动轴 X 、 Y 、 Z 、 U 、 V 、 W 等和回转轴 A 、 B 、 C ,其中 X 、 Y 、 Z 为基本轴, U 、 V 、 W 等为附加轴。

2. 准备功能

即 G 功能——指令机床运动方式的功能。

3. 多种函数插补功能和固定循环功能

插补功能是指数控系统进行零件表面(平面或空间曲面)加工轨迹插补运算的功能。一般 CNC 系统仅具有直线和圆弧插补,较为高档的数控系统还具有抛物线、椭圆、极坐标、正弦线、螺旋线以及样条曲线等插补功能。

在数控加工中,有些加工内容如钻孔、镗孔、攻螺纹等,所做的动作需要循环且十分典型,数控系统预先将这些循环动作 G 代码进行定义,在加工时使用这类 G 代码可大大简化编程工作量,此即固定循环功能。

4. 补偿功能

(1) 刀具半径和长度补偿功能

该功能能实现按零件轮廓编制的程序控制刀具中心的轨迹,以及在刀具半径和长度发生变化(如刀具更换、刀具磨损)时,可对刀具半径或长度作相应的补偿。该功能由 G 指令或 T 指令实现。

(2) 传动链误差、反向间隙误差补偿功能

螺距误差补偿可预先测量出螺距误差和反向间隙,然后按要求输入 CNC 装置相应的储存单

元内,在加工过程中进行实时补偿。

(3) 智能补偿功能

外界干扰产生的随机误差,可采用人工智能、专家系统等方法建立模型,实施智能补偿。如热变形引起的误差,相关装置将会在相应部位自动进行补偿。

5. 主轴功能

它是指数控系统对切削速度的控制功能,主要有以下 5 种控制功能:

(1) 主轴转速(切削速度)

实现刀具切削点切削速度的控制功能,单位为 r/min (m/min)。

(2) 恒线速度控制

实现刀具切削点的切削速度为恒速的控制功能,单位为 m/min 。

(3) 主轴定向控制

实现主轴周向定位于特定点的控制功能。

(4) C 轴控制

实现主轴周向任意位置的控制功能。

(5) 切削倍率

实现人工实时修调切削速度,即通过操作面板的倍率开关在 $0 \sim 200\%$ 之间对其进行实时修调。

6. 进给功能

它是指数控系统对进给速度的控制功能,主要有以下三种控制功能:

(1) 进给速度

控制刀具或工作台的运动速度,单位为 mm/min 。

(2) 同步进给速度

实现切削速度和进给速度的同步,单位为 mm/r ,用于加工螺纹。

(3) 进给倍率

实现人工实时修调进给速度,即通过操作面板的倍率开关在 $0 \sim 200\%$ 之间对其进行实时修调。

7. 宏程序功能

通过编辑程序(或子程序)中的变量来改变刀具路径和刀具位置的功能。

8. 辅助功能

即 M 功能——规定主轴的起、停、转向,工件的夹紧和松开,冷却泵的接通和断开等机床辅助动作的功能。

9. 刀具管理功能

它是实现对刀具几何尺寸和刀具寿命的管理及刀具选择的功能。刀具几何尺寸是指刀具的半径和长度,这些参数供刀具补偿功能使用。刀具寿命是指总计切削时间,当某刀具的时间寿命到期时,CNC 系统将提示用户更换刀具。另外,CNC 系统都具有 T 功能即刀具号管理功能,它用于标识刀库中的刀具和自动选择加工刀具。

10. 人机对话功能

在 CNC 装置中配有单色或彩色阴极射线管,俗称显示器(CRT),通过软件可实现字符和图

形的显示,以方便用户操作和使用。主要功能有菜单结构的操作界面,数据和零件加工程序的输入及环境编辑,系统和机床参数、状态、故障信息的显示、查询等。

11. 自诊断功能

它是指 CNC 系统防止故障发生及故障诊断、故障定位和防止故障扩大的功能。现代的 CNC 系统或多或少都具有自诊断功能,这些自诊断功能主要用软件来实现。具有此功能的 CNC 系统,可以防止故障的发生或在故障出现后迅速查明故障的类型或部位,减少故障停机时间,防止故障扩大。CNC 装置的诊断程序既可以在系统软件中,在系统运行过程中进行检查,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,查找故障的部位。现在有的 CNC 装置还可以进行远程通信诊断。

12. 通信功能

通信功能是指 CNC 装置与外界进行信息和数据交换的功能。通常 CNC 系统都具有 RS232C 接口,可与其他计算机进行通信,传送零件加工程序,有的还备有 DNC 接口,以实现直接数控,更高级的系统还可使用 MAP 协议、Internet 或 LAN,构成 FMS、CIMS 等大的集成制造系统。

第二节 数控机床精度

数控机床精度是反映数控机床加工精度的最重要指标,通过多种精度项目进行综合评定。数控机床的精度项目主要包括几何精度、定位精度和切削精度,检验按照机床检验通则进行。下面以卧式加工中心为例介绍其精度项目及检测。

一、几何精度

数控机床的几何精度按照 GB/T 17421.1—1998《机床检验通则第 1 部分:在无负荷或精加工条件下机床的几何精度》标准进行。

1. 卧式加工中心的主要几何精度项目

数控机床的几何精度是综合反映机床的关键零部件及其组装后的几何形位误差的指标。该指标可分为两类:一类是对机床的基础件和运动大件(如床身、立柱、工作台、主轴箱等)的直线度、平面度、垂直度等的要求,如工作台面的平面度,各坐标方向移动的直线度和相互垂直度, X 、 Y (立式)或 X 、 Z (卧式)坐标方向移动时工作台面的平行度, X 坐标方向移动时工作台面上 T 形槽侧面的平行度等;另一类是对机床主轴的要求,如主轴的轴向窜动、主轴孔的径向跳动、主轴轴线与工作台面的垂直度(立式)或平行度(卧式)等。

卧式加工中心的几何精度主要有以下各项:

- (1) X 、 Y 、 Z 坐标的相互垂直度;
- (2) X 、 Y 、 Z 各轴方向移动时的直线度;
- (3) 工作台面的平面度;
- (4) X 轴和 Z 轴移动时工作台面的平行度;
- (5) X 轴移动时工作台边界与定位基准面的平行度;
- (6) 工作台中心线到边界定位器基准面之间的距离精度;

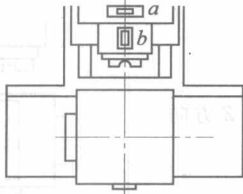
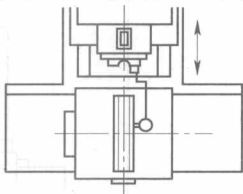
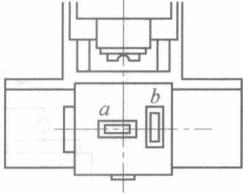
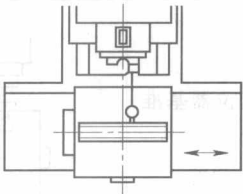
- (7) 回转工作台的回转精度；
- (8) 主轴轴向窜动；
- (9) 主轴孔径向跳动；
- (10) 主轴回转轴线对工作台面的平行度等。

2. 卧式加工中心几何精度的检测方法

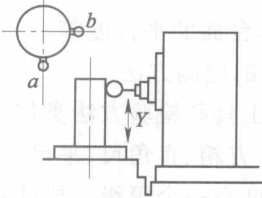
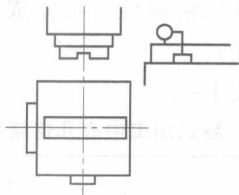
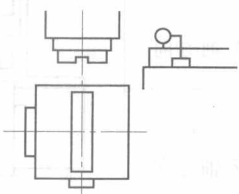
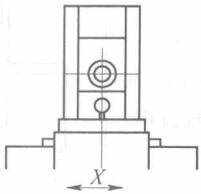
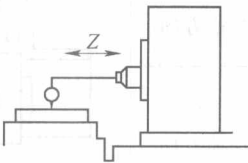
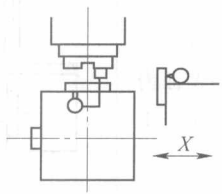
数控机床几何精度的检验工具和检验方法类似于普通机床,但检测要求更高。检测几何精度常用工具有精密水平仪、精密方箱、直角尺、平尺、千分表、测微仪、高精度主轴心棒等。检测工具的精度必须比所测的几何精度高一个等级。要注意的是,几何精度的检测必须在地基完全稳定、地脚螺栓处于压紧状态下、机床精调后一次完成,不允许调整一项检测一项,因为几何精度的一些项目是相互联系、相互影响的。

具体的检测项目及方法见表 1-1。

表 1-1 卧式加工中心几何精度检验项目及检测方法

序号	检测内容		检测方法	允许误差/mm	实测误差
1	主轴箱沿 Z 轴方向移动的直线度	a X 轴方向		0.04/1000	
		b Z 轴方向			
		c Z-X 面内 Z 轴方向		0.01/500	
2	工作台沿 X 轴方向移动的直线度	a X 轴方向		0.04/1000	
		b Z 轴方向			
		c Z-X 面内 Z 轴方向		0.01/500	

续表

序号	检测内容		检测方法	允许误差/mm	实测误差
3	主轴箱沿 Y 轴方向移动的直线度	a X - Y 平面		0.01/500	
		b Y - Z 平面			
4	工作面表面的直线度	X 方向		0.015/500	
		Z 方向		0.015/500	
5	X 轴移动工作台面的平行度			0.02/500	
6	Z 轴移动工作台面的平行度			0.02/500	
7	X 轴移动时工作台边界与定位器基准面的平行度			0.015/300	