



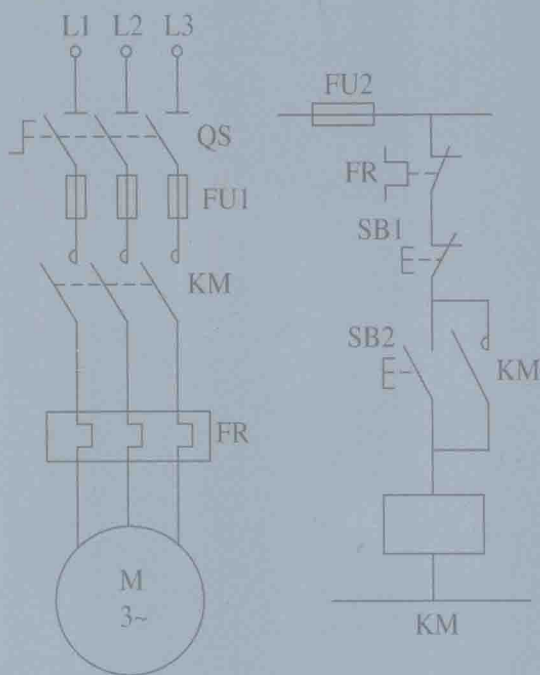
高职高专“十二五”规划教材

机电专业系列

数控机床电气控制

SHUKONG JICHUANG DIANQI KONGZHI

主 编 金 燕



南京大学出版社



高职高专“十二五”规划教材
机电专业系列

数控机床电气控制

主 编 金 燕



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床电气控制 / 金燕主编. —南京: 南京大学出版社, 2012. 8

高职高专“十二五”规划教材. 机电专业系列

ISBN 978-7-305-10348-3

I. ① 数… II. ① 金… III. ① 数控机床—电气控制—
高等职业教育—教材 IV. ① TG659.023

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 166788 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮编 210093

网 址 <http://www.NjupCo.com>

出版人 左 健

丛 书 名 高职高专“十二五”规划教材·机电专业系列

书 名 数控机床电气控制

主 编 金 燕

责任编辑 陈辉殿 何永国 编辑热线 025-83597482

照 排 江苏南大印刷厂

印 刷 盐城市华光印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 17.25 字数 431 千

版 次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-10348-3

定 价 35.00 元

发行热线 025-83594756

电子邮件 Press@NjupCo.com

Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前言

现代科学技术的发展,对机械制造业提出了越来越高的要求。同时为机械制造领域提供了许多新观念和新技术,推动了机械制造业向以数控技术为核心的数字化方向迅猛发展。

数控机床以其通用性好、高柔性、高精度、高效率等特点,迅速得到普及。国家对数控技术人才要求也越来越高,由此我们编写了适于高等院校及高等职业院校的《数控编程及加工技术》教材。

本书详细介绍了数控加工的工艺处理,数控车、数控铣等手工编程和 CAXA 数控车的自动编程方法。以 FANUC Oi-Mate TB 数控系统的编程方法及操作为重点,对 SIEMENS 802D 数控系统和华中世纪星 HNC-21M 数控系统也以实例的形式作了对比性介绍。在编写过程中,力求内容系统、完整、实用。强化对基础知识的掌握,注重理论和实际相结合以及加工技术的科学性、先进性。

本书由蔡有杰任主编,由曹玉乾、胥焕岩、张文华任副主编。具体分工如下:第 1、2 章由齐齐哈尔二机床集团工学院曹玉乾编写,第 3 章由齐齐哈尔大学张文华编写,第 4、6 章由齐齐哈尔大学蔡有杰编写,第 5 章由齐齐哈尔二机床集团工学院王丽杰编写,第 7 章由黑龙江东方学院孙曙光编写,第 8 章由哈尔滨理工大学胥焕岩编写。

本书由齐齐哈尔大学臧良运教授主审。审稿老师提出了很多宝贵意见和建议,在此表示感谢。

在本书编写过程中,齐齐哈尔大学应用技术学院、实习工厂、实训中心给予了大力的支持和帮助,在此表示感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不妥或错漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者
2010 年 6 月

目 录

前言

第1章 数控机床概论	1
1.1 数控机床的产生及发展	1
1.2 数控加工过程及数控机床组成	2
1.3 数控机床的分类	3
1.4 数控机床的主要性能指标	6
本章小结	6
习题	7
第2章 数控加工工艺基础	8
2.1 数控加工工艺特点和主要内容	8
2.2 数控加工工艺参数的确定	9
2.3 数控加工刀具的确定	14
2.4 数控车削加工工艺分析	23
2.5 数控铣削加工工艺分析	30
本章小结	37
习题	37
第3章 数控加工编程基础	38
3.1 数控编程概述	38
3.2 程序的结构与格式	39
3.3 数控机床的坐标系统	43
3.4 数控编程中的数学处理	47
本章小结	48
习题	49
第4章 数控车床的编程	50
4.1 数控车床编程基础	50
4.2 FANUC Oi Mate-TB 系统数控车床编程	59
4.3 数控车床综合编程实例	84
本章小结	107
习题	108
第5章 FANUC 系统数控车床基本操作	111
5.1 数控系统操作面板	111
5.2 数控车床的操作	114
5.3 建立工件坐标系与对刀	118
本章小结	121

习题	121
第 6 章 数控铣床及加工中心的编程	122
6.1 数控铣床编程基础	122
6.2 FANUC 0i-MA 数控系统的编程	124
6.3 数控铣削及加工中心综合编程实例	161
本章小结	190
习题	190
第 7 章 SIEMENS 系统数控铣床及加工中心的基本操作	193
7.1 SIEMENS 802D 数控面板	193
7.2 数控铣床的操作	195
7.3 创建和编辑程序	200
7.4 参数设定	201
7.5 建立工件坐标系与对刀	203
本章小结	205
习题	205
第 8 章 CAXA 数控车自动编程	206
8.1 自动编程概述	206
8.2 CAXA 数控车自动编程	208
8.3 CAXA 数控车的自动编程实例	214
本章小结	240
习题	240
参考文献	242

第1章 数控机床概论



本章要点

了解数控机床的产生和发展、数控机床的基本组成和特点、分类以及机床坐标系等，明确数控机床各部分的作用和数控机床分类方法。

1.1 数控机床的产生及发展

数控机床 (Numerical Control Machine Tools) 是一种装有数控系统的机床，或者说是一种采用了数字控制 (NC) 技术的机床。用数字信号对机床的运动及加工过程进行控制，能较好地解决生产中的品种多、批量小、精度高以及形状复杂的加工问题，并能获得很好的经济效益。

1.1.1 数控系统的产生与发展

数控系统 (Numerical Control System) 是能够完成自动信息输入、译码和运算，从而控制机床的运动和加工过程的控制系统，一般包括数控装置、可编程控制器、各类输入/输出接口、显示部分及操作键盘部分等。

自 1952 年美国麻省理工学院与帕森斯公司研制出第一台数控铣床至今，数控系统随着计算机技术的发展，经历了早期的硬件数控、电子管时代、晶体管时代、小规模集成电路时代和计算机数控、大规模集成电路及微处理器时代和 PC 时代。总体发展趋势如下所述。

1. 向开放式、基于 PC 的第六代数控机床方向发展

硬件方面，随着大规模集成电路制造技术的高速发展，PC 的硬件结构越来越小；而主 CPU 的运行速度越来越高，存储器容量也越来越大、体积越来越小、可靠性越来越高。软件方面，操作系统的不断发展使 PC 的操作更为简便、直观。CAD/CAM 软件大量地出现，三维图显示及工艺数据库在 PC 上建立。PC 的开放性，吸引大量技术人员投入了软件的开发，使 PC 的软件资源极为丰富。因此，更好地利用 PC 的软、硬件资源，就成为各国数控生产厂发展 CNC 系统十分重要的一种方法。数控厂都采用了 PC 作为基板来开发自己的数控系统。日本的 FANUC、三菱公司以及德国的 SIEMENS 公司这些以生产专用 CNC 设备著称的公司，也都把采用 PC 资源作为一个重要的发展方向。采用 PC 的 CNC 系统称为开放型 CNC 系统，使该系统能充分利用 PC 的资源，跟随 PC 的发展而升级，使数控系统的通用性、柔性与适应性越来越好。

2. 向智能化方向发展

为了便于操作者掌握数控机床的操作，数控生产厂家努力改善人机接口，尽量采用对话方式，采用交互式编辑程序指导系统，简化程序的编辑（用简表的表格编辑程序，用蓝图建立程序）。其操作面板使用符号键，用户可以根据所需加工零件选择加工程序，输入图形数据后，即可实现半自动或全自动加工。研究开发了智能型数控系统，在故障诊断方面采用专家

系统。系统利用推理软件,根据存储在系统中的专家库的经验,能自动分析、查找故障原因。智能化的伺服系统能够自动识别和优化各种加工参数的变化,促进了数控机床向自动化加工水平不断提高。

1.1.2 数控机床的发展趋势

随着科学技术的发展,对产品提出高质量、多品种的要求,这就要求数控机床成为一种高效率、高质量、高柔性和低成本的新一代制造设备。机床历经了数字控制(NC)、直接数字控制(DNC),到今天制造业普遍应用的计算机数字控制(CNC),加工精度和切削速度大约每8年提高一倍,定位精度很快告别微米时代而进入亚微米时代,高速和高精度已成为现代数控机床的主要特征。除此之外,现代机床的特征还有复合加工、多轴联动、环境友好(绿色生态机床)、智能化监控和补偿、人机通信和自主管理(聪明机床),集成为高性能数控机床。高性能数控机床的总体目标是大幅度提高生产效率和产品质量,节能减排,保护环境和操作者健康。所以,未来机床将向虚拟机床(NC Verification)、绿色生态机床(Green Eco-Machine)、聪明加工系统(Smart Machining)、e-机床(Autonomous Machine)方向发展。

1.2 数控加工过程及数控机床组成

1.2.1 数控加工过程

虽然数控加工与传统的机械加工相比,在加工的方法和内容上有许多相似之处,但由于采用了数字化的控制形式和数控机床,许多传统加工过程中的人工操作被计算机和数控系统的自动控制所取代。数控加工是通过把数字化了的刀具移动轨迹信息(通常指CNC加工程序),传入数控机床的数控装置,经过译码、运算,指挥执行机构(伺服电动机带动的主轴和工作台)控制刀具与工件相对运动,从而加工出符合编程设计要求的零件。其主要过程如图1-1所示。

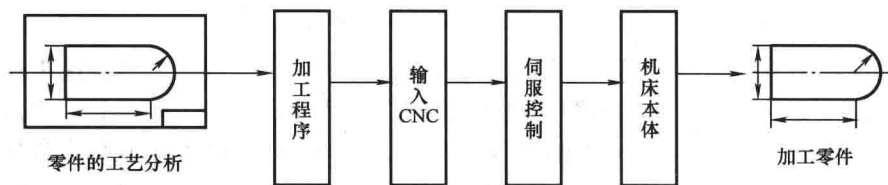


图 1-1 数控加工过程示意图

阅读零件:了解零件的尺寸及加工要求。

工艺分析:确定零件的加工要素和工艺可行性。

制订工艺:制订数控加工工艺,确定加工机床及装、夹、量具和工序的安排。

数控编程:用规定的程序代码和格式,手工编写或编程软件自动编写程序加工文件。

程序输入:将程序文件通过数控机床操作面板或通信接口传输到数控机床的数控单元。

显示模拟:将输入的加工程序,通过显示部分观察试运行结果,模拟显示刀具在加工过程中的加工路径等。

加工零件:运行程序,对零件进行加工。

1.2.2 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控系统、伺服系统(包含伺服电动机和检测反馈装置)、各

类辅助控制装置和机床本体组成,如图 1-2 所示。

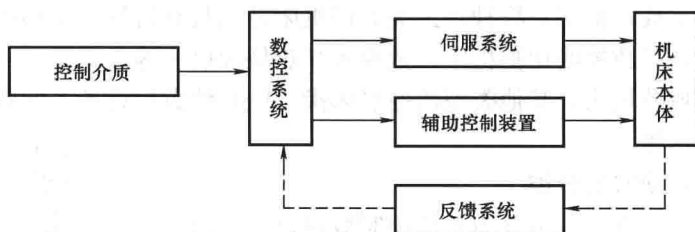


图 1-2 数控机床组成示意图

(1) 控制介质。控制介质是人与机床之间相联系的媒体,其上保存全部加工信息。它可以是纸带、磁盘、计算机直接控制(DNC)等。

(2) 数控系统。数控系统是机床实现自动加工的核心。其作用是根据输入的零件加工命令进行相应的处理,然后为执行元件输出控制命令完成要求的工作,一般具有多坐标控制、实现多种函数插补、信息转换、补偿等主要功能。数控系统主要由输入装置、监视器、主控系统、PLC 和各类接口组成,通过数据运算控制和时序控制两种方式控制对象的位置、角度和速度等机械量,使机床各部件按顺序工作。

(3) 伺服系统。伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节,由伺服电动机、驱动控制系统、位置检测与反馈装置等组成。其作用是来自数控装置的脉冲信号转换为机床移动部件的运动,使工作台严格按照规定的轨迹做相对运动。

(4) 辅助控制装置。辅助控制装置主要包括自动换刀装置 ATC、自动交换工作台机构、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置等。

(5) 机床本体。机床本体是机械结构实体,实现加工零件的执行部件。它和普通机床相比具有精度高、效率高、刚度大、抗振性强等特点。

1.3 数控机床的分类

目前,数控机床种类繁多,规格齐全,从不同的角度分类也不相同。一般可按以下几种方法进行分类。

1.3.1 按工艺用途分类

按数控系统的工艺用途可分为金属切削加工类数控机床、金属成形加工类数控机床、特种加工类数控机床和其他类型数控机床。

(1) 金属切削加工类数控机床。和传统的通用机床一样,金属切削加工类数控机床分为数控车床、数控铣床、数控磨床、数控镗床、数控钻床以及各种加工中心机床等,而且品种分类越来越细。例如,在数控磨床中不仅有数控外圆磨床,还有集外圆和内圆加工于一体的数控万能磨床、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,以及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、柔性制造单元(FMC)等。

(2) 金属成形加工类数控机床。金属成形加工类数控机床是指通过物理方法改变工件形状

的数控机床,如数控折弯机、数控压力机、数控冲床、数控弯管机等。

(3) 特种加工类数控机床。特种加工类数控机床是指具有特种加工功能的数控机床,如数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控激光热处理机床等。

(4) 其他类型数控机床。其他类型数控机床指一些其他数控设备,如数控装配机、数控测量机、数控绘图仪等。

1.3.2 按控制运动方式分类

按数控系统的运动方式,可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和连续控制数控机床。

(1) 点位控制数控机床。点位控制数控机床仅能控制刀具或工作台,从一个位置准确地快速移动到下一个目标位置,而不管其运动轨迹如何,并且在移动过程中不进行切削如图 1-3 所示。在运行中一般先高速再慢速趋近定位点,具有较高的位置定位精度。点位控制的数控机床主要用于加工孔系,包括数控钻床、数控镗床、数控冲床、数控测量机等。

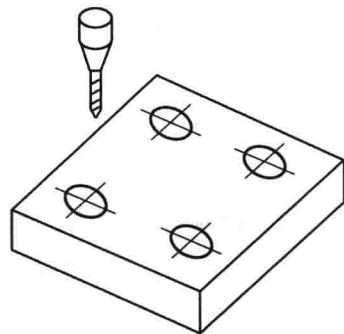


图 1-3 点位控制数控机床示意图

(2) 直线控制数控机床。直线控制数控机床可使刀具或工作台以适当的速度,从一个点到另一个点沿一条直线轨迹移动,移动过程中能够进行切削加工,切削条件和加工材料不同,进给速度也不同,如图 1-4 所示。直线控制数控机床主要有数控车床、数控铣床、加工中心等。

(3) 连续控制数控机床。连续控制数控机床具有能控制几个坐标轴同时协调运动(即多坐标轴联动)的功能,使刀具相对于工件按程序指定的轨迹和速度运动,能在运动过程中进行连续切削加工,如图 1-5 所示。这类机床信息处理比较复杂,需要进行复杂的插补运算。连续控制数控机床可用于加工曲线和曲面形状零件或型腔零件。它包括加工曲面的数控车床、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。若根据其联动轴数分类,还可细分为 2 轴联动(X 、 Z 轴联动或 X 、 Y 轴联动)、2.5 轴联动(任意两轴联动,第三轴点位或直线控制)、3 轴联动(X 、 Y 、 Z 三轴联动)、4 轴联动(X 、 Y 、 Z 和 A 或 B 四轴联动)、5 轴联动(X 、 Y 、 Z 和 A 、 C , X 、 Y 、 Z 和 B 、 C ,或 X 、 Y 、 Z 和 A 、 B 五轴联动)的数控机床。联动坐标轴数越多,加工程序的编制越复杂。通常 3 轴联动以上的零件加工程序只能采用自动编程编制。

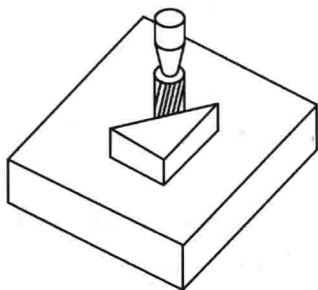


图 1-4 直线控制数控机床示意图

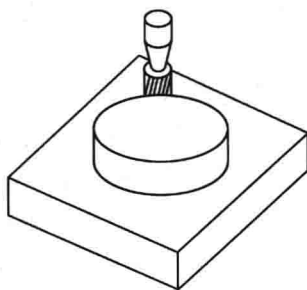


图 1-5 连续控制数控机床示意图

1.3.3 按伺服系统控制方式分类

按数控系统的伺服系统位置测量装置的反馈情况;可分为开环数控机床、半闭环数控机床和闭环数控机床。

(1) 开环数控机床。如图 1-6 所示,开环数控机床的控制系统结构简单,没有测量反馈

装置,一般由环形分配器、步进电动机、功率放大器、齿轮箱和丝杠螺母传动副组成。开环数控机床的控制装置发出的指令信号流是单向的,系统稳定性好,但由于无位置反馈,和闭环系统相比,控制精度不高,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。这类数控系统一般以步进电动机作为伺服驱动元件,具有机构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉等优点,一般用于经济型数控机床和老机床数控化改造等方面。

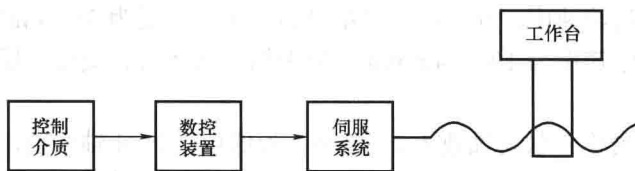


图 1-6 开环控制系统工作框图

(2) 半闭环数控机床。如图 1-7 所示,半闭环数控机床进给伺服系统的位置检测装置安装在电动机或丝杠轴端,通过检测电动机和丝杠旋转角度来间接得出机床工作台的实际位置,并与 CNC 装置的指令值进行比较,用差值法进行控制,而不是直接检测工作台的实际位置。由于在半闭环路内不包括机械传动环节,因此系统控制性能稳定,在位置环内机械环节的误差可通过误差补偿方法得到某种程度的纠正和消除,从而获得比较满意的精度。

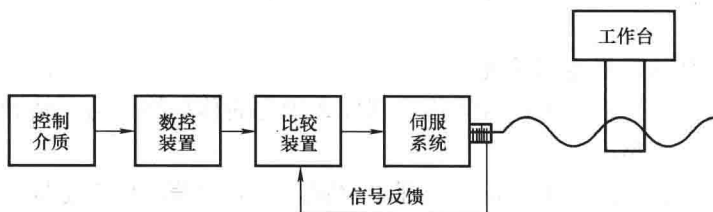


图 1-7 半闭环控制系统工作框图

(3) 闭环数控机床。如图 1-8 所示,闭环进给伺服系统的位置检测装置安装在机床工作台上,直接对工作台的实际位置进行检测。数控装置中插补器发出的指令信号与工作台端所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,直到消除误差。因此,可以矫正全部传动环节的误差、间隙和活动量,具有很高的位置控制精度。但由于位置环内许多机械环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,容易造成系统的不稳定、增加调试难度,所以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。

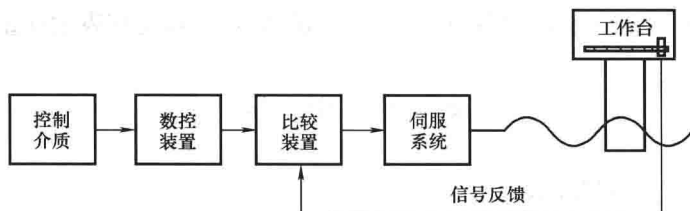


图 1-8 闭环控制系统工作框图

1.3.4 按数控系统功能水平分类

按数控系统的功能水平,可分为高、中、低(经济型)档数控机床。这种分类方法,在

我国应用较普遍。但目前对数控系统的高、中、低档还没有一个确切的界定标准,其级别高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平来决定,故按照功能水平分类的指标限定仅供参考。

(1) 系统分辨率和显示功能。系统分辨率为 $10\mu\text{m}$, 数码管显示, 为低档; 分辨率为 $1\mu\text{m}$, 有较强 CRT 显示并有图形和人机对话, 为中档; 分辨率为 $0.1\mu\text{m}$, 有三维动态图形显示, 为高档。

(2) 伺服类型和进给速度。开环及步进电动机, 进给速度为 $3\sim 10\text{m/min}$, 为低档; 半闭环直、交流伺服, 进给速度为 $10\sim 24\text{m/min}$, 为中档; 闭环直、交流伺服, 进给速度为 $24\sim 100\text{m/min}$, 为高档。

(3) 联动功能和结构。联动轴数为 $2\sim 3$ 轴, 为低档; $2\sim 4$ 轴联动, 为中档; $3\sim 5$ 轴联动, 为高档。采用单片机或单板机, 为低档机床; 单处理器或多处理器, 为中档机床; 分布式多微处理器, 为高档机床。

(4) 通信功能。没有通信功能, 为低档机床; 有 RS232 接口或直接数字控制 (DNC) 功能, 为中档机床; 有 RS232 接口、直接数字控制 (DNC)、制造自动化协议 (MAP) 高性能通信接口并有联网功能, 为高档机床。

1.4 数控机床的主要性能指标

1.4.1 定位精度和重复定位精度

(1) 定位精度。数控机床工作台等移动部件在确定的移动终点与所达到的实际位置值相符合的程度, 称为定位精度。

(2) 定位误差。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。定位误差直接影响零件加工的位置精度。

(3) 重复定位精度。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, 所得连续结果的一致程度, 称为重复定位精度。这是一项非常重要的性能指标, 会影响批量加工零件的一致性。

1.4.2 分辨率与脉冲当量

(1) 分辨率。系统可以分辨的最小位移增量, 称为分辨率。

(2) 脉冲当量。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, 称为脉冲当量。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采用 0.01mm , 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表面质量越高。

本章小结

一、数控机床的产生与发展

(1) 数控系统的产生。

(2) 数控机床的发展趋势。

二、数控加工过程及数控机床组成

(1) 数控加工过程: 阅读零件→工艺分析→制订工艺→数控编程→程序输入→显示模拟

→加工零件。

(2) 数控机床组成：控制介质、数控系统、伺服系统、辅助装置、机床本体。

三、数控机床的分类

- (1) 按工艺用途分类。
- (2) 按控制运动方式的分类。
- (3) 按伺服系统控制方式分类。
- (4) 按数控系统的功能水平分类。

四、数控机床的主要性能指标

- (1) 定位精度和重复定位精度。
- (2) 分辨率与脉冲当量。

习 题

一、填空题

1. 数控机床是一种_____的机床，或者说是一种采用了_____的机床。
2. 世界上第一台数控机床于_____年在_____国研制成功。
3. 数控机床一般由_____、_____、_____、_____、_____和_____组成。
4. 数控机床精度主要包括_____和_____。

二、选择题

1. 下列不属于按机床运动控制方式分类的是（ ）。
A. 点位控制数控机床 B. 连续控制数控机床
C. 特种加工数控机床 D. 直线控制数控机床
2. 按功能水平分属于高档机床的是（ ）。
A. 系统分辨率为 $10\mu\text{m}$ B. 联动轴数为 2~3 轴
C. 进给速度为 $3\sim 10\text{m/min}$ D. 有三维动态图形显示
3. 下列属于点位控制数控机床的是（ ）。
A. 数控冲床 B. 数控车床
C. 数控铣床 D. 加工中心

三、简答题

1. 数控加工过程是怎样的？
2. 数控机床按伺服系统控制方式分哪几类？

第2章 数控加工工艺基础



本章要点

了解数控加工工艺特点、数控机床夹具的组成和特点,掌握数控加工中切削用量及加工刀具的选择,明确数控加工工艺路线的拟订原则。

2.1 数控加工工艺特点和主要内容

使用数控机床加工零件,首先要对所加工的零件进行工艺分析,拟订加工方案,选择合适的刀具、夹具和量具,确定合理的切削用量,依据数控加工本身的特点和编程要求来设计工艺过程。

2.1.1 数控加工工艺特点

(1) 用程序控制加工过程。在普通机床上加工工件时,工步的安排、机床各部件的移动、刀具参数及切削用量都由操作者确定并控制。操作者要把加工工件的全部工艺过程,包括工艺参数、刀具参数、切削用量和位移参数,编写成程序,记录在数控系统的存储器内,以此来控制机床进行加工。

(2) 内容更具体。由于程序是自动进行的,所以数控加工的工序内容更详细,如加工部位、刀具轨迹和加工顺序等都要仔细考虑并写入数控程序中。这些本来由工人在加工中灵活掌握并可适当调整的工艺问题,在数控加工时都必须由编程人员事先具体设计、明确安排。

(3) 工艺设计要求严密。数控机床虽然自动化程度很高,但自我调整能力差,不能依据加工中出现的问题灵活调整,所以编程时要注意到加工中的每一个过程。例如,在进行深孔加工时,编程中就要写出退刀断屑过程,数控机床不能自行根据实际情况退刀清屑。在编程时要考虑周密,注意每一个加工细节,以免出现差错或失误造成不可挽回的损失。

2.1.2 数控加工工艺的主要内容

数控加工工艺的主要内容有以下几个方面。

(1) 选择并确定所要进行数控加工的零件和具体加工的内容。

(2) 数控加工的工艺分析。分析所要加工零件的图样,明确加工部位的形状、加工内容和加工技术要求,以此来确定加工方法、制订加工方案、划分工序等。

(3) 零件图形的数学处理及编程尺寸设定值的确定。包括数控加工中刀具运行轨迹和节点计算,对刀点、换刀点位置等。

(4) 制订数控加工工艺方案。确定工步和进给路线,选择数控机床的类型,选择和设计刀具、夹具与量具,确定切削参数等。

(5) 合理分配数控加工余量。

(6) 编写数控加工工艺文件。

2.2 数控加工工艺参数的确定

2.2.1 编程的一般步骤

1. 分析图样，确定加工工艺过程

分析零件图样和工艺要求的目的是确定加工方法、制订加工计划，以及确认与生产组织有关的问题。此步骤的内容包括：确定该零件应安排在哪类或哪台机床上进行加工，采用何种装夹具或何种装夹方法；确定采用何种刀具或采用多少把刀具进行加工；确定加工路线，即选择对刀点、程序起点（又称加工起点，加工起点常与对刀点重合）、走刀路线、程序终点（程序终点常与程序起点重合）；确定切削深度和宽度、进给速度、主轴转速等切削参数；确定加工过程中是否需要冷却液、是否需要换刀、何时换刀等。

2. 数值计算，计算刀具轨迹坐标值

根据零件图样几何尺寸计算零件轮廓数据，或根据零件图样和走刀路线计算刀具中心（或刀尖）运行轨迹数据。数值计算的最终目的是获得数控机床编程所需要的所有相关位置坐标数据。

3. 编写数控加工程序

数控程序的编写有手工编程和自动编程两种方法。当被加工的零件形状不是很复杂或程序较短时，可采用手工编程。数控加工程序是借助数控语言编程系统或图形编程系统由计算机自动生成零件的加工程序，有快捷、简便、灵活性强、编程费用少等优点。当零件形状比较复杂，不便于手工编程时，可采用自动编程软件进行编程。

4. 制备控制介质，程序输入系统

把程序单上的内容记录在控制介质上，并通过介质输入数控系统。可通过机床操作面板直接输入或通过计算机 RS232 等接口传入机床中。

5. 程序检验，检查刀具运动轨迹是否符合加工要求

编制的程序要经过检验才能正式使用，可通过图形模拟显示刀具轨迹或机床空运行等方法来检验。为了确定零件的加工精度，还必须要进行首件试切，发现问题可及时解决。

2.2.2 切削用量的确定

在切削加工中，切削速度、进给量和背吃刀量（切削深度）总称为切削用量。切削用量对加工质量、生产率及加工成本都有重要影响，应根据具体的条件和要求正确选择。使刀具的切削性能和机床的动力性能得到充分发挥，并在保证加工质量的前提下，获得高生产率和低加工成本的切削用量，即为合理的切削用量。

1. 选择切削用量的原则

首先，选取尽可能大的背吃刀量；其次，根据机床动力和刚性限制条件或加工表面粗糙度的要求，选取尽可能大的进给量；最后，利用切削用量手册选取或者通过公式计算确定切削速度。

（1）背吃刀量的选定。背吃刀量是工件已加工表面和待加工表面之间的垂直距离，用 a_p 表示。一般根据加工余量确定。

粗加工时，一次走刀尽可能切除全部余量。半精加工时，背吃刀量取为 $0.5 \sim 2\text{mm}$ ，精加工时，背吃刀量取为 $0.1 \sim 0.4\text{mm}$ 。

(2) 进给量的选定。进给量是工件或刀具每转一周，刀具在进给方向上相对工件的位移量，用 f 表示，单位为 mm/r ，也称为每转进给量。单位时间内刀具在进给方向上相对工件的位移量，称为进给速度，用 v_f 表示，单位为 m/min 。进给量和进给速度之间的关系为 $v_f=fn$

粗加工时，进给量由机床进给机构强度、刀具强度与刚性、工件的装夹刚度决定。

精加工时，进给量由加工精度和表面粗糙度决定。

(3) 切削速度的选定。切削速度是指刀具切削刃上选定点相对工件主运动的瞬时线速度，用 v_c 表示，单位为 m/min 。

在 a_p 、 f 值选定后，根据合理的刀具耐用度或查表来选定切削速度。在生产中选择切削速度的一般原则是：粗车时， a_p 、 f 较大，故选择较低的切削速度；精车时， a_p 、 f 均较小，故选择较高的切削速度；工件材料强度、硬度高时，应选择较低的切削速度；切削合金钢比切削中碳钢切削速度应降低 20%~30%；切削调质状态的钢比正火、退火状态的钢要降低 20%~30%；切削有色金属比切削中碳钢可提高 100%~300%。

2. 数控车床切削用量的选择

数控车削加工中的切削用量也同样包括背吃刀量（切削深度）、主轴转速（切削速度）和进给速度（进给量）。选择合理的切削用量以形成最佳的切削参数，对于车削加工而言，应结合车削加工的特点进行具体分析。

(1) 背吃刀量 a_p 的确定。车削加工的背吃刀量用下式计算：

$$a_p=\frac{d_w-d_m}{2}$$

式中 d_w ——待加工表面的外圆直径， mm ；

d_m ——已加工表面的外圆直径， mm 。

(2) 主轴转速 n 的确定。在车削加工中，车削零件表面轮廓时，主轴转速可用下式计算：

$$n=\frac{1000v_c}{\pi d}$$

式中 n ——主轴转速， r/min ；

v_c ——切削速度， m/min ；

d ——零件待加工表面的直径， mm 。

主轴转速和切削速度、背吃刀量及进给量都有关，具体可参照表 2-1。

表 2-1 切 削 速 度 参 考 表

工 件 材 料	车 刀 材 料	背吃刀量 a_p (mm)			
		0.13~0.38	0.38~2.40	2.40~4.70	4.70~9.50
		进 给 量 f (mm)			
		0.05~0.13	0.13~0.38	0.38~0.76	0.76~1.30
		切削速度 v_c (m/min)			
低碳钢	高速钢	—	70~90	45~60	20~40
	硬质合金	215~365	165~215	120~165	90~120
中碳钢	高速钢	—	45~60	30~40	15~20
	硬质合金	130~165	100~130	75~100	55~75

续表

工 件 材 料	车 刀 材 料	背吃刀量 a_p (mm)			
		0.13~0.38	0.38~2.40	2.40~4.70	4.70~9.50
		进 给 量 f (mm)			
		0.05~0.13	0.13~0.38	0.38~0.76	0.76~1.30
		切削速度 v_c (m/min)			
灰铸铁	高速钢	—	35~45	25~35	20~25
	硬质合金	135~185	105~135	75~105	60~75
黄铜青铜	高速钢	—	85~105	70~85	45~70
	硬质合金	215~245	185~215	150~185	120~150
铝合金	高速钢	105~150	70~105	45~70	30~45
	硬质合金	215~300	135~215	90~135	60~90

车削螺纹时，车床主轴的转速和被车螺纹螺距（或导程）的大小、驱动电动机的升降频特性、螺纹插补运算速度等多种因素有关，多数数控系统推荐车削螺纹时主轴转速满足以下条件：

$$n \leq \frac{1200}{P} - K$$

式中 P ——被加工螺纹的导程或螺距，mm；
 K ——保险系数，一般取 80。

（3）进给速度 v_f 的确定。对于车削加工来说，当车削的工件质量能够保证的情况下，可选择较高的进给速度，以提高加工生产率。在切断、车削深孔或精车时，一般选择较低的进给速度；当刀具空行程较大时，可选择较高的进给速度。具体加工时，一般根据零件的表面粗糙度、刀具及工件的材料等因素，查找相关手册选取。表 2-2、表 2-3 为硬质合金车刀车削外圆、端面的进给量和半精车、精车的进给量参考值，供参考选用。

表 2-2 硬质合金粗车外圆、端面的进给量参考值

工 件 材 料	刀杆尺寸 $B \times H$ (mm)	工件直径 d (mm)	背吃刀量 a_p (mm)				
			≤3	>3~5	>5~8	>8~12	>12
			进给量 f (mm/r)				
碳素结构钢、 合金钢 及耐热钢	16×25	20	0.3~0.4				
		40	0.4~0.5	0.3~0.4			
		60	0.5~0.7	0.4~0.6	0.3~0.5		
		100	0.6~0.9	0.5~0.7	0.5~0.6	0.4~0.5	
		400	0.8~1.2	0.7~1.0	0.6~0.8	0.5~0.6	0.4~0.6
	20×30 25×25	20	0.3~0.4				
		40	0.4~0.5	0.3~0.4			
		60	0.5~0.7	0.5~0.7	0.4~0.6		
		100	0.8~1.0	0.7~0.9	0.5~0.7	0.4~0.7	
		400	1.2~1.4	1.0~1.2	0.8~1.0	0.6~0.8	