



高职高专“十一五”规划教材

机械电子类

数控加工技术

申晓龙 主编



机械工业出版社

高职高专“十一五”规划教材·机电类

数控加工技术

主 编 申晓龙
副主编 黄小英 张来希 李志生
主 审 陈根余

北 京
冶金工业出版社
2008

内 容 简 介

本书从数控加工技术应用角度出发,共分 10 章,系统地介绍了数控机床的结构及其控制原理、数控加工工艺、数控加工编程的基础知识,重点阐述了数控车床、数控铣床与加工中心的加工工艺与工装、加工程序指令及编程方法,给出了典型零件的加工程序编制实例。同时,为了使读者对数控加工有一个全面的了解,本书还对数控系统、用户宏程序、数控电火花线切割加工技术和自动编程加工技术等相关技术作了详细的讲解。

本书宗旨明确,紧密围绕数控加工技术这一主题展开;全书内容系统、完整,且编排重轻有度,在强化基础知识的同时,注重先进技术的介绍;取材新颖、实例丰富,强调理论与实际紧密结合。

本书可作为高等院校机电工程类专业的教材,可作为培训教材供各数控培训机构使用,也可供各工矿企业中从事机床数控加工技术的工程技术人员、研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/申晓龙主编. —北京:冶金工业出版社, 2008.6
ISBN 978-7-5024-4692-5

I. 数… II. 申… III. 数控机床—加工 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 103511 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 马文欢

ISBN 978-7-5024-4692-5

北京天正元印务有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 6 月第 1 版, 2008 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16.25 印张; 361 千字; 252 页; 1-3000 册

29.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前言

数控加工技术是机械类专业一门重要的专业技术课程，也是数控专业学生工作后应用最多的一门课程，它对于提高学生的应用技能有重要的作用。

采用数控加工，首先必须熟悉数控机床的结构及其控制原理，掌握合理的数控加工工艺，编制出优化的数控加工程序。本书正是从数控加工技术应用角度出发，系统地介绍了数控机床、数控加工工艺、数控加工编程的基础知识，重点讨论了数控车床、数控铣床与加工中心的机械结构、加工工艺与工装、加工程序指令及编程方法，给出了典型零件的加工程序编制实例。同时还叙述了用户宏程序、数控特种加工技术。为提高数控加工技术的应用水平，还介绍了数控自动编程和数控加工应用的相关技术。

本书的编写特点如下：

- (1) 紧密围绕数控加工技术这一主题展开。
- (2) 全书内容系统、完整，且编排重轻有度，在强化基础知识的同时，注重先进技术的介绍。
- (3) 取材新颖、实例丰富，突出强调理论与实际紧密结合。

教材通过典型零件的数控车削、数控铣削、加工中心及线切割等加工工艺分析和数控加工编程的知识介绍将数控加工基本理论和知识融会贯通。教材注重理论知识的实际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员的需求。教材既有理论，又具有大量典型实例，精选实例均经过实践检验，内容体系符合教学规律。通过大量实例的讲述，重点突出数控机床、数控加工工艺和数控加工编程等数控加工技术的基本思路和关键问题，使学生能够把握学习要点，基本掌握数控加工技术的方法与技巧，以提高解决实际问题的能力，本教材具有较高实用价值。

本书由申晓龙任主编，黄小英、张来希、李志生任副主编，潘冬、易守华参加编写。全书由陈根余主审。在编写过程中，作者参阅和引用了有关院校、工厂、科研院所的一些资料和文献，并到相关企业进行了调研、培训，得到了许多同行专家、教授、工程技术人员的支持和帮助，在此深表感谢！对编写过程中参考的多部数控机床、数控加工工艺、数控加工编程及相关著作的作者表示深深的谢意！

由于编者水平所限，书中如有不足之处，敬请使用本书的师生与读者批评指正，以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议，恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出。

编 者

目 录

第 1 章 数控机床概述	1
1.1 数控机床的产生、发展	1
1.1.1 数控机床的产生	1
1.1.2 数控机床的现状	1
1.1.3 数控技术的发展	2
1.2 数控机床的特点与分类	3
1.2.1 数控机床的特点	3
1.2.2 数控机床的分类	4
1.3 数控机床的基本组成及其工作原理	6
1.3.1 数控机床的基本组成	6
1.3.2 数控机床的工作原理	7
1.4 数控机床的主要性能指标与 机床坐标系	8
1.4.1 数控机床的精度指标	8
1.4.2 数控机床的运动性能指标	8
1.4.3 数控机床的可控轴数 与联动轴数	9
1.4.4 数控机床的坐标系	9
习题	12
第 2 章 数控机床的机械结构	13
2.1 机械结构的基本要求与主要特点	13
2.1.1 数控机床机械结构的 基本要求	13
2.1.2 数控机床的机械结构特点	19
2.2 数控机床的主轴组件及传动装置	20
2.2.1 数控机床对主传动 系统的要求	20
2.2.2 主轴变速方式	20
2.2.3 数控机床主轴部件	22
2.2.4 高速主轴系统和电主轴	26
2.3 进给系统的机械传动机构	27
2.3.1 数控机床对进给系统 的要求	27
2.3.2 齿轮传动副	27
2.3.3 滚珠丝杠螺母副	29
2.3.4 静压蜗杆蜗条副、齿轮 齿条副	35
2.4 自动换刀装置	36
2.4.1 自动换刀装置的分类	36
2.4.2 刀库	37
2.4.3 机械手	39
2.4.4 加工中心换刀过程	40
2.5 回转工作台	41
2.5.1 分度工作台	41
2.5.2 数控回转工作台	43
2.5.3 带交换托盘的多齿 分度工作台	45
习题	47
第 3 章 数控系统	48
3.1 数控系统概述	48
3.1.1 什么是数控系统	48
3.1.2 数控系统的组成及其 工作原理	49
3.1.3 常用数控系统	50
3.2 数控插补原理	52
3.2.1 什么是插补	52
3.2.2 逐点比较法	52
3.2.3 其他插补方法	56
3.3 检测装置与执行元件	58
3.3.1 常用检测装置	58
3.3.2 常用执行元件	61
3.4 进给伺服系统	63
3.4.1 开环进给伺服系统	63
3.4.2 闭环和半闭环进给 伺服系统	64
3.5 主轴控制系统	65

3.6 可编程控制器简介.....	66	5.1.2 数控编程的种类.....	97
3.6.1 可编程控制器的组成.....	66	5.1.3 数控程序编制的内容和步骤..	98
3.6.2 PLC 的工作方式.....	66	5.2 数控加工工艺分析.....	99
3.6.3 常见的编程语言.....	67	5.2.1 数控加工工艺分析的	
3.6.4 数控机床中使用 PLC		一般步骤与方法.....	99
的意义.....	67	5.2.2 数控加工工艺文件的编写.....	102
3.6.5 数控机床用 PLC.....	68	5.3 数控编程中的数值计算.....	102
习题.....	68	5.3.1 选择编程原点.....	103
第 4 章 数控加工工艺基础.....	70	5.3.2 基点.....	103
4.1 数控加工工艺特点.....	70	5.3.3 非圆曲线数学处理的	
4.2 确定零件的安装方法及夹具方案.....	70	基本过程.....	104
4.2.1 工件的装夹方式.....	70	5.3.4 数控加工误差的组成.....	104
4.2.2 机床夹具的分类.....	71	5.4 数控程序代码与编程.....	105
4.2.3 机床夹具的组成.....	72	5.4.1 数控程序代码与标准.....	105
4.2.4 六点定位原理.....	73	5.4.2 数控程序常用代码介绍.....	108
4.2.5 夹紧方案.....	74	5.4.3 数控程序结构与格式.....	109
4.3 确定加工路线及切削参数.....	76	习题.....	111
4.3.1 走刀路线的确定.....	76	第 6 章 数控车削加工技术.....	113
4.3.2 切削用量的确定.....	79	6.1 数控车床编程基础.....	113
4.4 数控机床刀具系统.....	80	6.1.1 数控车床编程的特点.....	113
4.4.1 数控机床的工具系统.....	80	6.1.2 数控车床常用编程指令.....	113
4.4.2 数控刀具的基本特点.....	80	6.1.3 常用指令的简要说明.....	115
4.4.3 数控刀具的分类.....	81	6.1.4 程序编制实例.....	137
4.4.4 车削类工具系统.....	81	6.2 数控车床基本操作.....	140
4.4.5 数控车刀的类型及选用.....	82	6.2.1 数控车床操作面板简介.....	140
4.4.6 常用车刀的几何参数.....	83	6.2.2 数控车床的开、关机准备.....	145
4.4.7 机夹可转位车刀的选用.....	83	6.2.3 数控车床的手动操作.....	146
4.4.8 镗铣类工具系统.....	88	6.2.4 数控车床的主轴操作.....	146
4.5 零件的数控加工工艺分析.....	88	6.2.5 程序的输入及其编辑.....	146
4.5.1 对零件图进行数控		6.2.6 数控车削的对刀操作.....	148
加工工艺分析.....	88	6.2.7 数控车床的安全操作.....	149
4.5.2 零件数控加工工艺路线		6.3 数控车削加工工艺.....	150
的拟定.....	90	6.3.1 车削加工零件的工艺性	
习题.....	94	分析.....	150
第 5 章 数控编程基础.....	97	6.3.2 数控车床加工切削用量	
5.1 数控程序编制概述.....	97	的选择.....	151
5.1.1 什么是数控编程.....	97	6.3.3 数控车削加工工艺路线	
		的确定.....	153

6.4 数控车床刀具、夹具与辅具.....	156	8.3.1 算术运算指令	205
6.4.1 数控车削刀具	156	8.3.2 条件运算指令	206
6.4.2 数控车床用的夹具与辅具	158	8.3.3 逻辑运算指令	206
6.5 数控车削加工实例.....	160	8.3.4 三角函数指令	206
6.5.1 轴类零件编程实例	160	8.3.5 控制指令	206
6.5.2 套类零件编程实例	162	8.4 宏程序调用.....	207
6.5.3 盘类零件编程实例	164	8.4.1 运算指令的调用	207
习题.....	167	8.4.2 控制指令的调用	208
第 7 章 数控铣床与加工中心		8.4.3 宏程序调用的注意事项	210
加工技术	170	8.5 用户宏程序应用示例.....	210
7.1 数控铣床编程基础.....	170	习题.....	212
7.1.1 数控铣床编程特点与"		第 9 章 数控电火花线切割加工技术	213
基本功能	170	9.1 电火花线切割加工工艺基础.....	213
7.1.2 数控铣床常用编程指令	171	9.1.1 数控电火花线切割	
7.1.3 刀具补偿指令及其编程	175	加工原理	213
7.1.4 固定循环加工指令与编程	179	9.1.2 数控电火花线切割的	
7.1.5 子程序在铣削加工中的		加工对象	214
应用	186	9.1.3 数控电火花线切割	
7.1.6 镜像加工与坐标旋转变换	188	工艺基础	214
7.2 数控铣床的操作.....	190	9.1.4 线切割加工的主要	
7.2.1 数控铣床控制面板及		工艺问题	218
操作面板	190	9.2 数控电火花线切割加工编程.....	219
7.2.2 手动操作	192	9.2.1 3B 格式程序编制.....	219
7.2.3 MDI 操作	192	9.2.2 4B 格式程序编制.....	222
7.2.4 坐标数据设定	193	9.2.3 ISO 格式程序编程.....	226
7.2.5 参数设定	193	9.3 数控线切割加工编程综合实例.....	231
7.3 数控铣床与加工中心加工实例.....	194	9.3.1 程序编制步骤	231
7.3.1 综合实例一	194	9.3.2 数控电火花线切割加	
7.3.2 综合实例二	197	工综合应用	231
习题.....	199	习题.....	234
第 8 章 用户宏程序	203	第 10 章 自动编程加工技术	236
8.1 概述.....	203	10.1 计算机辅助数控编程的几何造型... 236	
8.2 变量.....	203	10.1.1 线框模型	236
8.2.1 变量的表示	203	10.1.2 表面模型	236
8.2.2 变量的引用	204	10.1.3 实体模型	236
8.2.3 变量的类型	204	10.1.4 特征模型	236
8.3 变量的运算与控制指令.....	205		

10.2 数控加工刀具轨迹的生成.....	237	10.4 数控加工应用实例.....	240
10.2.1 二维轮廓加工	237	10.4.1 实体造型	241
10.2.2 腔槽加工	237	10.4.2 轨迹生成	244
10.2.3 曲面的加工	238	10.4.3 模拟加工	246
10.3 刀具轨迹编辑、验证与后置处理...	238	10.4.4 后置处理和通信	248
10.3.1 刀具轨迹的编辑	238	习题.....	251
10.3.2 刀具轨迹的验证	239	参考文献	252
10.3.3 后置处理	240		

第 1 章 数控机床概述

数控机床(Numerical Control Machine Tool)是采用数字代码形式的信息(程序指令),控制刀具按给定的工作程序、运动速度和轨迹进行自动加工的机床。数控机床具有广泛的实用性,加工对象改变时只需要改变输入的程序指令;加工性能比一般自动机床高,可以精确加工复杂形面,因而适合于加工中小批量、改型频繁、精度要求高、形状较复杂的工件,并能获得良好的经济效果。编制数控加工程序是使用数控机床的一项重要技术工作,理想的数控程序不仅应该保证加工出符合零件图样要求的合格零件,还应该使数控机床的功能得到合理应用与充分发挥,使数控机床能安全、可靠、高效地工作。

1.1 数控机床的产生、发展

1.1.1 数控机床的产生

从第一台数控机床问世以来的 50 多年中,数控机床先后经历了电子管(1952 年)、晶体管和印刷电路板(1960 年)、小规模集成电路(1965 年)、小型计算机(1970 年)、微处理器或微型计算机(1974 年)和基于 PC-NC 的智能数控系统(20 世纪 90 年代后)等 6 代数控系统。

前三代数控系统采用专用控制计算机的硬逻辑(硬线)数控系统,简称 NC(Numerical Control),目前已被淘汰。

第四代数控系统采用小型计算机取代专用控制计算机,数控的许多功能由软件来实现,故这种数控系统称为软线数控,即计算机数控系统,简称 CNC(Computer Numerical Control)。1974 年采用以微处理器为核心的数控系统,形成第五代微型机数控系统,简称 MNC(Micro-computer Numerical Control)。CNC 与 MNC 统称为计算机数控。它们的控制原理基本上相同,目前趋向采用成本低、功能强的 MNC。

现在发展了基于 PC-NC 的第六代数控系统,它充分利用现有 PC 的软、硬件资源,规范设计了新一代数控系统。

1.1.2 数控机床的现状

数控机床是数控设备的典型代表,在数控系统不断更新换代的同时,数控机床的品种也得以不断地发展。

1.1.2.1 数控系统方面

- (1) CPU 16 位—32 位—64 位。
- (2) 主机频率由 5MHz 到 20~33MHz。
- (3) 插补器芯片专用,以提高插补速度。
- (4) 多 CPU 系统,提高控制速度。

1.1.2.2 机械方面

机床主轴的高速化,如高速铣削主轴转速达 100 000 r/min,目前以 0.1 μ m 为最小设定单位时,进给速度达 24m/min;高的主轴和机床机械结构的动、静态刚度;采用能承受高速的机械零件,如陶瓷球轴承等。

1.1.2.3 伺服系统方面

- (1) 采用数字伺服系统。
- (2) 采用现代控制理论提高跟随精度。
- (3) 采用高分辨率的位置编码器。

1.1.2.4 实现多种补偿功能

数控系统能实现多种补偿功能,提高数控机床的加工精度和动态特性。数控系统的补偿功能主要用来补偿机械系统带来的误差。具体如下面几个例子:

- (1) 直线度的补偿。
- (2) 采用丝杠导程误差补偿方法。
- (3) 丝杠、齿轮间隙补偿。
- (4) 热变形误差补偿。
- (5) 刀具长度和半径等补偿。

1.1.2.5 数控系统的高可靠性

- (1) 采用大规模集成电路。
- (2) 超大规模集成电路。
- (3) 专用芯片。
- (4) 表面封装技术。
- (5) 人工智能(AI)故障诊断系统。

1.1.2.6 具有高的通信功能

- (1) DNC(Direct Numerical Control)系统。
- (2) RS232 和 RS485。
- (3) MAP(制造自动化协议)接口,现在已实现 MAP3.0 版本。

1.1.3 数控技术的发展

随着微电子技术、计算机技术和软件技术的迅速发展,数控机床的控制系统日益趋向于小型化和多功能化,具备完善的自诊断功能;可靠性也大大提高;数控系统本身将普遍实现自动编程。在 CNC 系统的智能化方面,计算机容量越来越大,运算速度越来越快,使得 CNC 系统不仅可以完成机床的数字控制功能,而且还可以充分利用软件技术,使系统智能化,给使用者以更大的帮助。

为了保证机床具有更好的工艺适应性能和连续稳定工作的能力,数控机床结构设计的特点是具有足够的刚度、精度、抗振性、热稳定性和精度保持性。进给系统的机械传动链采用滚珠丝杠、静压丝杠和无间隙齿轮副等,以尽量减小反向间隙。机床采用塑料减摩导

轨、滚动导轨或静压导轨,以提高其运动的平稳性,并使其低速运动时不出现爬行现象。

由于采用了宽调速的进给伺服电动机和主轴电动机,可以不用或少用齿轮传动和齿轮变速,简化了机床的传动机构。机床布局便于排屑和工件装卸,部分数控机床带有自动排屑器和自动工件交换装置。大部分数控机床采用具有微处理器的可编程控制器代替强电柜中大量的继电器,提高了机床电气控制的可靠性和灵活性。

当今数控机床已经在机械加工部门占有非常重要的地位,是柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)、自动化工厂(Factory Automation, FA)的基本组成单位。努力发展数控加工技术,并将其向更高层次的自动化、柔性化、敏捷化、网络化和数字化制造方向推进,是当前机械制造业发展的方向。

1.2 数控机床的特点与分类

数控加工是一种可编程的柔性加工方法,其设备费用相对较高,故数控加工主要应用于加工零件形状比较复杂、精度要求较高,以及产品更换频繁、生产周期要求短的场合。

1.2.1 数控机床的特点

数控机床与普通机床相比,数控加工具有如下的特点。

1.2.1.1 具有加工复杂形状零件的能力

运动的任意性使其能完成普通加工方法难以完成或者无法完成的复杂形面加工。

1.2.1.2 加工精度高

加工精度高,质量稳定。加工尺寸精度在 $0.005\sim 0.01\text{mm}$ 之间,不受零件复杂程度的影响。由于大部分操作都由机器自动完成,因而减少了人为误差,提高了批量零件尺寸的一致性,同时精密控制的机床上还采用了位置检测装置,进一步提高了数控加工的精度。

1.2.1.3 生产准备周期短

在数控机床上加工新的零件,大部分准备工作是根据零件图样编制数控程序且编程工作可以离线进行,而不是靠模和专用夹具等工艺装备来进行准备工作,这样就大大缩短了生产的准备时间,因此,应用数控机床十分有利于产品的升级换代和新产品的开发。

1.2.1.4 自动化程度高

在数控机床上加工工件时,除了手工装卸工件外,全部加工过程都可由机床自动完成。大大减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件。

1.2.1.5 易于建立与计算机间的通信联络

由于机床采用数字信息控制,易于与计算机辅助设计系统连接,形成 CAD/CAM 一体化系统,并且可以建立各机床间的联系,容易实现群控。

1.2.2 数控机床的分类

数控机床通常从以下几个不同角度进行分类。

1.2.2.1 按控制运动的方式分类

1. 点位控制系统

点位控制系统又称点到点控制系统。它是指刀具从某一位置向另一目标点位置移动,不管其刀具移动轨迹如何,而最终能准确到达目标点位置的控制方式,如图 1-1 所示。属于点位控制的数控机床有数控钻床、数控镗床和数控冲床等。

2. 直线控制系统

直线控制系统是指控制刀具或机床工作台以适当速度,沿着平行于某一坐标轴方向或与坐标轴成 45° 的斜线方向进行直线加工的控制系统,如图 1-2 所示。直线控制系统一般具有主轴转速控制、进给速度控制和沿平行于坐标轴方向直线循环加工的功能,一般的简易数控系统均属于直线控制系统。

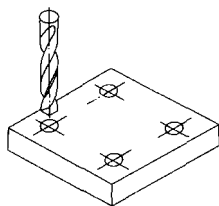


图 1-1 点位控制系统

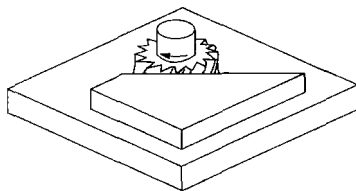


图 1-2 直线控制系统

3. 连续控制系统

连续控制系统又称轮廓控制系统。该系统能对刀具相对于零件的运动轨迹进行连续控制,以加工任意斜率的直线、圆弧、抛物线或其他函数关系的曲线,如图 1-3 所示。这种系统一般都是两坐标或两坐标以上的多坐标联动控制系统,其功能齐全,可加工任意形状的曲线或型腔。采用连续控制系统的数控机床有数控铣床、功能完善的数控车床、数控凸轮磨床和数控线切割机床等。

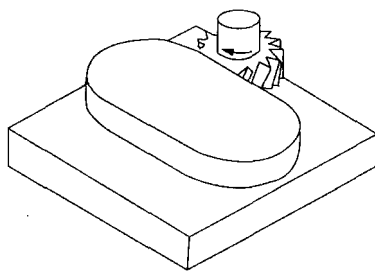


图 1-3 连续控制系统

1.2.2.2 按伺服系统的控制方式分类

1. 开环伺服系统

其一般是由环形分配器、步进电动机、步进电动机功率放大器、齿轮箱和丝杠螺母传动副等组成。每当数控装置发出一个指令脉冲信号,就使步进电动机的转子旋转一个固定角度,机床工作台移动一个一定的距离。开环伺服系统没有工作台位移检测装置,因而工作台的位移精度完全取决于步进电动机的步距角精度、齿轮箱中齿轮副和丝杠螺母副的精度与传动间隙等。由此可见,这种系统很难保证较高的位置控制精度,因此只适用于精度要求不太高的经济型数控机床。

2. 闭环伺服系统

其主要是由比较环节(位置比较和放大元件、速度比较和放大元件)、驱动元件、机械

传动装置和测量装置等组成。数控装置发出位移指令脉冲,经电动机和机械传动装置使机床工作台移动,安装在工作台上的位置检测器把机械位移变成电学物理量,反馈到输入端与输入信号相比较,得到的差值经过放大和变换,最后驱动工作台向减少误差的方向移动。如果输入信号不断地产生,则工作台就不断地跟随输入信号运动。闭环伺服系统有位置反馈系统,可以补偿机械传动装置内的各种误差、间隙和干扰的影响,因而可以达到很高的定位精度,同时还能达到较高的速度精度。因此,其在数控机床上得到广泛应用,特别是在精度要求高的大型和精密机床上应用十分广泛。

3. 半闭环伺服系统

半闭环伺服系统用安装在进给丝杠轴端或电动机轴端的角位移测量元件(如旋转变压器、脉冲编码器和圆光栅等)来代替安装在机床工作台上的直线测量元件,用测量丝杠或电动机轴旋转角位移来代替测量工作台直线位移。半闭环伺服系统将惯性大的工作台安排在闭环之外,因此,系统较容易调试且稳定性好。

1.2.2.3 按控制坐标数分类

(1) 两坐标数控机床,如图 1-4 所示。

特点:平面轮廓零件加工。

(2) 两坐标半数控机床,如图 1-5 所示。

特点:曲面零件加工。

(3) 三坐标数控机床,如图 1-6 所示。

特点:空间曲面零件加工。

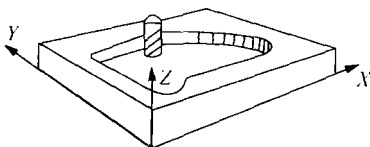


图 1-4 两坐标数控机床

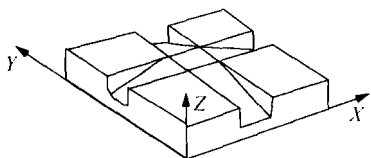


图 1-5 两坐标半数控机床

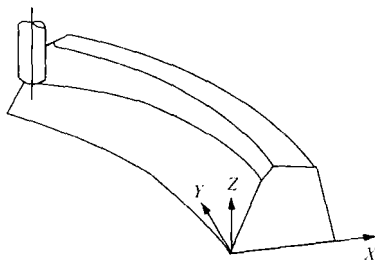


图 1-6 三坐标数控机床

(4) 多坐标数控机床,如图 1-7 所示。

特点:形状复杂的零件加工。

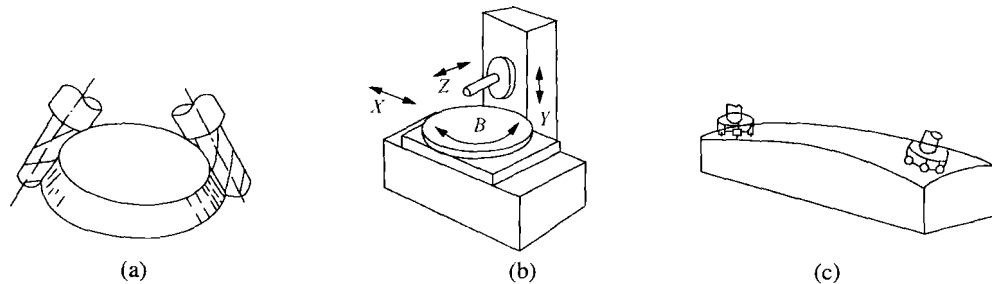


图 1-7 多坐标数控机床

1.3 数控机床的基本组成及其工作原理

1.3.1 数控机床的基本组成

数控机床的种类很多,但任何一种数控机床都是由控制介质、数控装置、伺服系统、辅助控制系统和机床本体等若干基本部分组成,如图 1-8 所示。

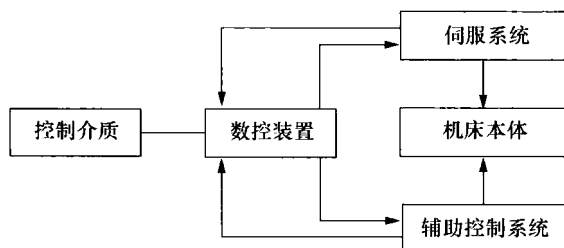


图 1-8 数控机床组成示意图

1.3.1.1 程序编制及控制介质

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,刀具与零件相对运动的尺寸参数,零件加工的工艺路线或加工顺序,切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等,这样得到零件的所有运动、尺寸和工艺参数等加工信息,然后按数控机床规定的代码和程序格式,将工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数(主轴转速、切削进给量和背吃刀量等)及辅助功能(主轴的正转与反转、换刀、切削液的开与关等)编制成数控加工程序。编程工作可分为人工编程和计算机自动编程。

控制介质就是将零件的加工信息传送到数控装置的信息载体,其上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件的位移信息。现在常用的控制介质有磁带、磁盘、光盘和 USB 接口介质等信息载体。随着 CAD/CAM 技术的发展,有些数控设备利用 CAD/CAM 软件在其他计算机上编码,然后通过计算机与数控系统通信技术,将程序和数据直接传送给数控装置。

1.3.1.2 数控装置

数控装置是数控机床的中枢,在普通数控机床中,其一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。数控装置接收输入介质的信息,并将其代码加以识别、储存、运算,输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统,进而控制机床动作。其中最基本的控制信号是由插补运算决定的各坐标轴的进给位移量、进给方向和速度指令,经伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动。在计算机数控机床中,由于计算机本身即含有运算器和控制器等上述单元,因此其数控装置的作用可由一台计算机来完成。

1.3.1.3 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电路和伺服驱动电动机组成,并与机床上的机械传动部件和执行部件组成数控机床的进给系统。伺服系统的作用是把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(或溜板)精确定位或按规定的轨迹作严格地相对运动,最后加工出符合图纸要求的零件。因此伺服系统的性能是决定数控机床的加工精度、表面质量和生产率的主要因素之一。相对于每个脉冲信号,机床移动部件的位移量叫做脉冲当量(用 δ 来表示),常用的脉冲当量为0.001mm、0.0005mm和0.0002mm。

在数控机床的伺服系统中,常用的伺服驱动元件有功率步进电机、电液脉冲马达、直流伺服电机和交流伺服电机等。

1.3.1.4 辅助控制系统

辅助控制系统是连接数控装置和机床机械、液压部件的控制系统,其主要作用是接收数控装置输出的主运动部件的变速、换向和启停,刀具选择和交换,冷却液及润滑液的启停,工件和机床部件的松开和夹紧,分度工作台的转位等辅助指令信号,经过编译、逻辑判断、功率放大后驱动相应的电器、液压、气动和机械部件完成指令所规定的动作。另外,行程开关和监控检测等状态信号也要经过辅助控制系统送给数控装置进行处理。

1.3.1.5 机床本体

数控机床机械部件的组成与普通机床相似,但其传动结构要求更为简单;在精度、刚度、抗振性、耐磨性和耐热性等方面要求更高;而且其传动和变速系统要便于实现自动控制。机床本体是数控机床的机械结构实体,主要包括主运动部件、进给运动部件(如工作台和刀架等)、支承部件(如床身和立柱等),还有冷却、润滑和转位部件(如夹紧和换刀机械手等)等辅助装置。其具有以下特点:

(1) 采用高性能主传动及主轴部件,具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。

(2) 进给传动采用高效传动件,具有传动链短和传动精度高等特点,一般采用滚珠丝杠副和直线滚动导轨副等。

(3) 在加工中心上一般具有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。

(4) 机床本身具有很高的动、静刚度,采用全封闭罩壳。

对于半闭环、闭环数控机床,还带有检测反馈装置,间接或直接地测量执行部件的实际位移和速度,并发送反馈信号给CNC装置,与指令信号进行比较,将其误差转换、放大后控制执行部件的进给运动,以提高系统精度。

1.3.2 数控机床的工作原理

采用数控机床加工零件时,只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式,编成程序代码输入到机床控制系统中,再由其进行运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号,从而控制机床各部件协调动作,自动地完成零件加工。当更换加工对象时,只需要重新编写程序代码输入机床,即可由数控装置代替人的大脑和双手的大部分功能,控制加工的全过程,制造出任意复杂形状的零件,如图1-9所示。

数控机床的控制系统一般都能按照数字程序指令控制机床实现主轴自动启停、换向和变速;能自动控制进给速度、方向和加工路线进行加工;能自动选择刀具并根据刀具尺寸调整吃刀量及行走轨迹;能完成加工中所需要的各种辅助动作。

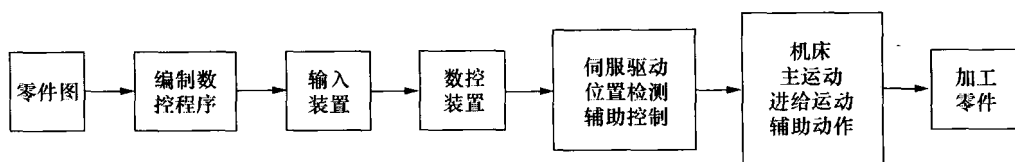


图 1-9 数控机床工作原理

通常将编制好的数控程序存储在某种介质上,需要加工时才调用。数控程序输入到数控系统,并被调入执行程序缓冲区,一旦操作者按下启动按钮,程序就将逐条逐段地自动执行。执行数控程序的过程,实际上是不断地向伺服系统发出运动指令,数控系统在执行数控程序的同时,还要实时地进行各种运算,从而决定机床运动机构的运动规律和速度。

1.4 数控机床的主要性能指标与机床坐标系

1.4.1 数控机床的精度指标

1.4.1.1 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实际运动位置与指令位置的一致程度,其不一致的差量即为定位误差。引起定位误差的因素包括伺服系统、检测系统、进给传动及导轨误差等。定位误差直接影响加工零件的尺寸精度。

重复定位精度是指在相同的操作方法和条件下,多次完成规定操作后得到结果的一致程度。重复定位精度一般是呈正态分布的偶然性误差,它会影响批量加工零件的一致性,是一项非常重要的性能指标。一般数控机床的定位精度为 0.018mm ,重复定位精度为 0.008mm 。

1.4.1.2 分辨率与脉冲当量

分辨率是指可以分辨的最小位移间隔。对测量系统而言,分辨率是可以测量的最小位移量;对控制系统而言,分辨率是可以控制的最小位移增量。

脉冲当量是指数控装置每发出一个脉冲信号,机床位移部件所产生的位移量。脉冲当量是设计数控机床的原始数据之一,其数值大小决定数控机床的加工零件的尺寸精度和表面质量。目前,普通数控机床的脉冲当量一般为 0.001mm ;简易数控机床的脉冲当量一般为 0.01mm ;精密或超精密数控机床的脉冲当量一般为 0.0001mm 。脉冲当量越小,数控机床的加工零件的尺寸精度和表面质量越高。

1.4.1.3 分度精度

分度精度是指分度工作台在分度时,实际回转角度与指令回转角度的差值。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。

1.4.2 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、刀库容量及换刀时间等。

1.4.2.1 主轴转速

数控机床主轴一般采用直流或交流电动机驱动,选用高速精密轴承支承,具有较宽的调速范围和较高的回转精度、刚度及抗振性。目前,数控机床主轴转速已普遍达到 5 000~10 000r/min 甚至更高,高速加工中心主轴转速最高可达 100 000r/min,这对提高零件加工质量和各种小孔加工极为有利。

1.4.2.2 进给速度

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,它受数控装置的运算速度、机床动态特性及刚度等因素限制。目前,数控机床的进给速度可达 10~30m/min,不加工时的快进速度可达 20~100m/min。

1.4.2.3 坐标行程

数控机床 X、Y、Z 坐标轴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。坐标行程是直接体现机床加工能力的指标参数。数控车床有最大回转直径、最大车削长度和最大车削直径等指标参数;数控铣床有工作台尺寸和工作台行程等指标参数。

1.4.2.4 刀库容量和换刀时间

刀库容量和换刀时间对数控机床的生产效率有直接影响。刀库容量是指刀架位数或刀库能存放刀具的数量,目前常见的小型加工中心的刀库容量为 16~60 把,大型加工中心可达 100 把以上。换刀时间指将正在使用的刀具与装在刀库上的下一工序需用的刀具交换所需要的时间,目前国内数控机床一般换刀时间为 5~10s,国外数控机床换刀时间仅为 2~3s。

1.4.2.5 摆角范围

具有摆角坐标的数控机床,其摆角大小也直接影响加工零件空间部位的能力。然而摆角太大会造成机床的刚度下降,给机床设计带来困难。

1.4.3 数控机床的可控轴数与联动轴数

数控机床的可控轴数是指机床数控装置能够控制的坐标轴数目。一般数控机床可控轴数和数控装置的运算处理能力、运算速度及内存容量等有关。世界上最高级数控装置的可控轴数已达到了 40 轴,我国目前最高数控装置的可控轴数为 9 轴。

数控机床的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。目前有两轴联动、三轴联动、四轴联动和五轴联动等。三轴联动的数控机床通常是 X、Y、Z 三个直线坐标联动,可以加工空间复杂曲面,多用于数控铣床;四轴或五轴联动是指同时控制 X、Y、Z 三个直线坐标轴以及与一个或者两个围绕这些直线坐标轴旋转的坐标轴,可以加工叶轮和螺旋桨等零件;而两轴半联动是特指可控轴数为三轴,而联动轴数为两轴的数控机床。

1.4.4 数控机床的坐标系

为了便于编程时描述机床的运动,简化程序的编制方法及保证记录数据的互换性,数