

● 数控编程人员从入门到精通

数控机床结构 与数控编程

SHUKONG JICHUANG JIEGOU YU SHUKONG BIANCHENG

主编 邓奕 副主编 谢骥 主审 易际明

- 3
- ◆ 各种曲面、实体零件造型方法
 - ◆ 数控车床与铣床的手工编程
 - ◆ 基于Mastercam的自动编程
 - ◆ 轮廓加工、曲面加工轨迹的生成
 - ◆ 全面掌握数控机床结构与工艺特点



国防工业出版社
National Defense Industry Press

数控编程人员从入门到精通

数控机床结构与数控编程

主 编 邓 奕

副主编 谢 骐

主 审 易际明

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统介绍了数控机床的基本知识、数控机床的结构、数控加工工艺基础、数控车床和铣床的编程、Mastercam 软件的 3 轴铣削加工。本书内容丰富, 通俗易懂, 实用性强; 理论问题论述条理清晰, 便于掌握; 精选的编程实例分析典型全面, 完全接近生产实际, 对学生全面了解和掌握数控机床切削加工的工艺理论和数控编程技能有较大的帮助。

本书可作为应用型本科、高职、高专、成人高校进行数控编程学习的教材, 也可以作为从事数控加工的技术人员和操作人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床结构与数控编程/邓奕主编. —北京: 国防工业出版社, 2006.2

(数控编程人员从入门到精通)

ISBN 7-118-04353-2

I. 数 ... II. 邓 ... III. ①数控机床—结构 ②数控机床—程序设计 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 003590 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16½ 字数 412 千字

2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数: 1—4000 册 定价: 28.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422 发行邮购: (010)68414474
发行传真: (010)68411535 发行业务: (010)68472764

前 言

数控技术的广泛应用,给传统制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来深刻的变化,也给传统的机电类专业人才的培养带来新的挑战。专家预言:21世纪机械制造业竞争的实质是数控技术的竞争。目前,随着国内数控机床的应用范围日益扩大,急需培养一大批熟悉数控加工工艺,熟练掌握现代数控机床编程应用的应用型高级技术人才。为了适应我国高等教育发展及应用型人才培养的需要,我们总结了大量的实践经验,编写了本教程。

本书前半部分系统介绍了数控机床的基本知识、数控机床的结构、数控加工工艺基础、数控车床和铣床的编程。后半部分则针对目前最流行的CAD/CAM软件的实用数控编程技术,按照数控编程的一般步骤和数控编程人员必备的知识结构,重点讲述了Mastercam的3轴铣削加工,主要包括Mastercam概述、线框零件造型方法、曲面零件造型方法、实体零件造型方法、CAD图形转换、Mastercam系统CAM功能及其相关性、2.5轴加工、曲面加工及编程实例。本书精选的编程实例对学生全面了解和掌握数控机床切削加工的工艺理论和数控编程技能有较大的帮助。

本书内容丰富,通俗易懂,实用性强;理论问题论述条理清晰,便于掌握;实例分析典型全面,完全接近生产实际,具有示范性,有利于学生的应用能力培养。

本书可作为应用型本科、高职、高专、成人高校进行数控编程学习的教材,也可以作为从事数控加工的技术人员和操作人员的培训教材。

本书由邓奕主编,谢骐担任副主编,关耀奇和彭浩舸参加编写。其中第11、12章由彭浩舸编写,第6、7、8、9、10、13章由关耀奇编写,第1、2、5章由谢骐编写,第3、4、14章由邓奕编写。全书由邓奕、谢骐负责统稿和定稿。由易际明担任主审,他对本书提出了很多宝贵意见,编者在此表示衷心的感谢。

教材编写过程中,得到了湖南工程学院领导的关心和大力支持,在此一并致谢。

由于编者的水平和经验所限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者电子邮件地址:jbd2000@sohu.com。

编 者

2005年11月29日

目 录

第1章 数控机床的基本知识	1	思考与练习题	28
1.1 数控机床概述	1	第3章 数控加工程序编制基础	30
1.1.1 数控机床的基本概念	1	3.1 数控编程概述	30
1.1.2 数控加工的过程和特点	1	3.2 数控编程技术基础	31
1.1.3 数控机床的适应范围	2	3.2.1 程序段格式与程序结构	31
1.2 数控机床的分类与应用	2	3.2.2 数控机床坐标系和 运动方向	32
1.2.1 按机床运动的控制 功能分类	3	3.2.3 工件坐标系	33
1.2.2 按伺服控制的类型分类	4	3.2.4 数控编程的特征点	33
1.2.3 按数控系统的功能 水平分类	5	3.2.5 辅助功能指令	34
1.2.4 按加工工艺及机床用途 的类型分类	6	3.3 数控加工工艺的概念	35
1.3 数控机床的发展动向	6	3.4 数控加工工艺特点	35
思考与练习题	7	3.4.1 数控铣削加工的 工艺适应性	36
第2章 数控机床的结构	8	3.4.2 数控车削加工的 工艺适应性	36
2.1 数控机床的结构特点	8	3.5 数控加工工艺性分析	37
2.2 数控机床主传动系统及 主轴部件	11	3.6 数控机床的选用	38
2.2.1 数控机床主传动系统的特点	11	3.6.1 数控铣床和加工 中心的选用	38
2.2.2 数控机床的主传动系统	11	3.6.2 数控车床的选用	39
2.2.3 数控机床的主轴部件	12	3.7 加工方法选择及 加工方案确定	39
2.3 数控机床进给伺服系统	15	3.8 工艺设计	41
2.3.1 数控机床进给传动的特点	15	3.8.1 工序和工步的划分	41
2.3.2 滚珠丝杠螺母副	15	3.8.2 加工余量的选择	41
2.4 进给系统传动间隙的消除	19	3.8.3 加工路线的确定	42
2.4.1 传动齿轮间隙的消除	19	3.8.4 工件定位与安装的确定	45
2.4.2 键连接间隙的消除	20	3.8.5 刀具的选择	46
2.5 回转工作台与导轨	21	3.8.6 切削用量的确定	55
2.5.1 回转工作台	21	3.8.7 数控加工工艺文件的编制	58
2.5.2 导轨	23	思考与练习题	59
2.6 数控机床的自动换刀装置	24	第4章 数控铣床和加工中心的编程	60
2.7 数控加工用辅具	27		

4.1 数控铣床编程基本指令	60	6.4.5 显示设置	113
4.1.1 绝对坐标与增量坐标编程	61	6.5 Mastercam 的次功能菜单	115
4.1.2 快速运动	61	6.6 Mastercam 的分析功能	116
4.1.3 直线插补指令	61	6.7 退出 Mastercam	118
4.1.4 插补平面选择指令	62	思考与练习题	118
4.1.5 圆弧插补指令	62	第 7 章 Mastercam 线框零件	
4.1.6 坐标系	63	造型方法	119
4.1.7 暂停指令	64	7.1 利用线框造型方法生成基本	
4.1.8 刀具半径补偿	64	图素的命令	119
4.1.9 刀具长度补偿	68	7.2 二维字母图的绘制	121
4.1.10 返回参考点指令	69	思考与练习题	123
4.1.11 孔加工固定循环	70	第 8 章 曲面零件造型方法	124
4.1.12 主程序与子程序	74	8.1 举升曲面	125
4.2 数控铣床编程实例	75	8.2 昆氏曲面	126
4.3 高速铣削简介	80	8.3 直纹曲面	128
4.3.1 高速铣削的定义	80	8.4 旋转曲面	128
4.3.2 高速铣削的加工特点	81	8.5 扫描曲面	129
4.3.3 高速铣削工艺分析	81	8.6 牵引曲面	131
思考与练习题	84	8.7 曲面倒圆角	131
第 5 章 数控车床编程	85	8.8 曲面补正	133
5.1 数控车床编程的方法和特点	85	8.9 曲面修剪与延伸	134
5.1.1 数控车床的编程特点	85	8.10 曲面熔接	135
5.1.2 常用准备功能指令	85	8.11 由实体产生曲面	136
5.1.3 切削循环指令	88	思考与练习题	136
5.1.4 补偿功能	93	第 9 章 实体零件造型方法	138
5.2 数控车床的对刀	95	9.1 挤出实体	138
5.2.1 数控车床的对刀	95	9.2 旋转实体	140
5.2.2 对刀的基本方法	96	9.3 扫掠实体	141
5.2.3 数控车床的对刀	96	9.4 举升实体	141
5.3 数控车床编程实例	97	9.5 实体倒圆角	141
思考与练习题	103	9.6 实体倒角	143
第 6 章 Mastercam 概述	106	9.7 薄壳实体	144
6.1 Mastercam 的启动	106	9.8 布尔运算	145
6.2 Mastercam 的工作界面	106	9.9 实体管理员和历史记录	145
6.3 Mastercam 的文件管理	107	9.10 基本实体	147
6.4 Mastercam 的基本操作	108	9.11 牵引面	148
6.4.1 取消命令	108	9.12 修整实体	148
6.4.2 参数设置	108	9.13 绘三视图	149
6.4.3 屏幕操作	110	9.14 寻找特征	150
6.4.4 物体选择	111	9.15 缝合曲面	150

9.16 薄片加厚	151	12.1.3 轮廓铣削要点	185
9.17 移除面	152	12.1.4 轮廓铣削的加工实例	185
9.18 实体造型综合举例	152	12.2 挖槽加工 (Pocket)	188
思考与练习题	155	12.2.1 槽及岛屿的轮廓定义	188
第 10 章 Mastercam 的 CAD 图形		12.2.2 挖槽加工参数设置菜单 及对话框	189
转换	156	12.2.3 挖槽加工实例	197
10.1 图形数据交换标准说明	156	12.3 钻孔加工	200
10.2 ASC II 文件	156	12.3.1 钻孔加工参数设置菜单 及对话框	200
10.3 STEP 文件	157	12.3.2 孔位的选择方式	201
10.4 Autodesk	158	12.3.3 钻孔加工实例	203
10.5 IGES 文件	158	思考与练习题	205
10.6 Parasld 文件	159	第 13 章 曲面加工	208
10.7 STL 文件	160	13.1 曲面加工的共同参数设置	209
10.8 VDA 文件	161	13.2 平行式粗加工	211
10.9 SAT 文件、NFL 文件、 CADL 文件	161	13.2.1 平行式粗加工的操作 步骤	211
思考与练习题	161	13.2.2 平行式粗加工的参数 设置	212
第 11 章 Mastercam 系统相关性		13.3 平行式精加工	217
及其应用	162	13.4 陡斜面精加工	218
11.1 Mastercam 系统 CAM 功能	162	13.4.1 陡斜面精加工刀具路径 的生成步骤	218
11.1.1 利用 Mastercam 系统进行 数控编程的基本步骤	162	13.4.2 陡斜面精加工参数 设置	218
11.1.2 Mastercam 系统 CAM 功能的特点	162	13.5 挖槽式粗加工	219
11.2 Mastercam 系统的相关性 及其应用	165	13.6 等高外形精加工	221
11.2.1 刀具管理	165	13.7 曲面放射状精加工	223
11.2.2 定义刀具	166	13.8 曲面投影精加工	223
11.2.3 刀具参数	170	13.9 浅平面精加工	225
11.2.4 操作管理	171	13.10 曲面流线精加工	225
11.2.5 串连管理	172	13.11 交线清角精加工	227
11.2.6 工件设置	173	13.12 残料清角精加工	227
11.3 刀具路径检验	175	13.13 环绕等距精加工	228
11.4 数控程序的质量	175	13.14 曲面加工实例	229
思考与练习题	175	思考与练习题	235
第 12 章 轮廓加工	176	第 14 章 自动编程加工实例	236
12.1 轮廓铣削	176	思考与练习题	256
12.1.1 轮廓铣削参数设置菜单 及对话框	176	参考文献	258
12.1.2 轮廓铣削的专用参数	177		

第 1 章 数控机床的基本知识

1.1 数控机床概述

1.1.1 数控机床的基本概念

数控机床起源于美国。1947 年,美国帕森斯(Parsons)公司为了精确地制作直升机机翼、桨叶和飞机框架,提出了用数字信息来控制机床自动加工外形复杂零件的设想,他们利用电子计算机对机翼加工路径进行数据处理,并考虑到刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到 ± 0.0015 英寸(0.0381mm)。1949 年美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件,与帕森斯公司和麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作,于 1952 年研制成功世界上第一台数控机床——三坐标立式铣床,可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,揭开了数控加工技术的序幕。很快数控技术的应用从美国逐步推广到欧洲和日本。我国于 1958 年开始进行数控机床的研制工作,并取得了一定的成效,在某些领域,如大型车铣复合加工中心技术水平已达到了国际当代水平。

数控机床的数控系统已先后经历了两个阶段、六个时代的发展:电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微处理器及基于 PC 机的通用 CNC 系统。其中前三代为第一阶段称为硬件联接数控(NC 系统),其特点是具有很多硬件电路和连接结点,电路复杂,可靠性不好。后三代为第二阶段称作计算机软件系统(CNC 系统),主要由计算机硬件和软件组成,其最突出的特点是利用存储器里的软件控制系统工作,这种系统容易扩展功能,柔性好,可靠性高。现在,开放式数控系统(ONC 系统)正得到快速发展和应用。

数控机床的类型,已从最初单一的铣床类数控机床,发展到如今的金属切削类、金属成型类、特种加工类和特殊用途类数控机床,品种多达千余种。

数控机床由程序介质、数控系统、伺服驱动和机床主体四大部分组成,它综合了计算机、自动控制、精密测量、机床制造及其配套技术的最新成果,成功地解决了现代产品多样化、零件形状复杂化、产品研制生产周期短、精度要求高的难题,是现代制造业的主流设备,也是关系国计民生、国防尖端建设的战略物资。

近年来,带有刀库并能够自动更换刀具的数控机床——加工中心的发展速度十分迅速。相继出现的双托盘和多托盘自动交换的加工中心和柔性制造单元(FMC),由多台加工中心、物流系统、工业机器人及相应的信息流和中央控制系统组成的柔性制造系统(FMS),可实现 24h~120h 无人化运转。办公自动化(OA)与柔性制造系统(FMS)集成,实现工厂自动化(FA)生产。这些都改变了传统的制造模式,使制造业朝着自动化、柔性化、集成化方向发展。

1.1.2 数控加工的过程和特点

利用数控机床完成零件的数控加工过程如图 1-1 所示,其主要包括以下内容:

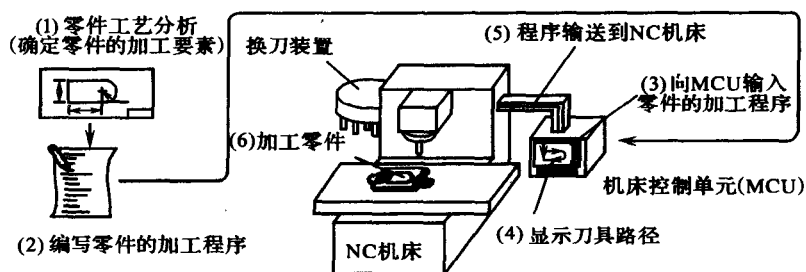


图 1-1 数控加工过程示意图

(1) 根据零件的加工图样进行工艺分析，确定加工方案、工艺参数和位置数据。

(2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单，或用自动编程软件进行计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）工作，直接生成零件的加工程序文件。

(3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序，可以通过数控机床的操作面板输入程序；由自动编程软件生成的程序，通过计算机的串行口直接传输到数控机床的数控单元（MCU）。

(4) 将输入传输到数控单元的加工程序，进行试运行、刀具路径模拟等。

(5) 通过对机床的正确操作，运行程序，完成零件的加工。

由于数控加工是采用数字信息对零件加工过程进行定义，并控制机床进行自动运行的一种自动化加工方法，它具有以下几个方面的特点：

(1) 具有复杂形状加工能力。复杂形状零件在飞机、汽车、船舶、模具、动力设备和国防军工等制造部门具有重要地位，其加工质量直接影响整机产品的性能。

(2) 高质量。数控加工是用数字程序控制实现自动加工，排除了人为误差因素，且加工误差还可以由数控系统通过软件技术进行补偿校正。

(3) 高效率。与采用普通机床加工相比，采用数控加工一般可提高生产率 2 倍~3 倍。在加工复杂零件时生产率可提高十几倍甚至几十倍。特别是五面体加工中心和柔性单元等设备，零件一次装夹后能完成几乎所有部位的加工，而不仅可消除多次装夹引起的定位误差，且可大大减少加工辅助操作，使加工效率进一步提高。

(4) 高柔性。只需改变零件程序即可适应不同品种的零件加工，且几乎不需要制造专用工装夹具，因此加工柔性好。

1.1.3 数控机床的适应范围

根据数控机床加工的特点可以看出，最适合数控加工的零件有：

(1) 加工精度要求高，形状复杂，用普通机床无法加工或能加工但很难保证加工质量的零件；

(2) 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件；

(3) 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒型零件；

(4) 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铇、铰或攻丝等多工序的零件。

1.2 数控机床的分类与应用

数控机床的品种规格较多，从不同角度对其进行考查，就有不同的分类方法，一般可根据其功能和结构，按以下原则进行分类。

1.2.1 按机床运动的控制功能分类

(1) 点位控制数控机床。这类机床仅能实现刀具相对于工件从一点到另一点的精确定位运动, 对点与点之间的运动轨迹不作控制要求, 在移动过程中运动过程中不进行任何加工, 各坐标轴之间的运动是不相关的, 可以同时移动, 也可以依次运动。为了实现快速精确的定位, 两点间位移的移动一般是先快速移动, 然后慢速趋近定位点, 以确保定位精度。如图 1-2 所示为点位控制加工示意。

具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。随着数控技术的发展和数控系统价格的降低, 单纯用于点位控制的数控系统已不多见。

(2) 直线控制数控机床。这类机床除了要求控制点与点之间的准确位置外, 还需控制两相关点之间的移动速度和移动轨迹, 一般是沿与坐标轴平行的方向作切削运动, 也就是说同时控制的坐标轴只有一个, 如图 1-3 所示。具有直线控制功能的机床主要有某些比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等, 用于加工外形简单的矩形、台阶形零件。同样, 单纯用于直线控制的数控机床也不多见。

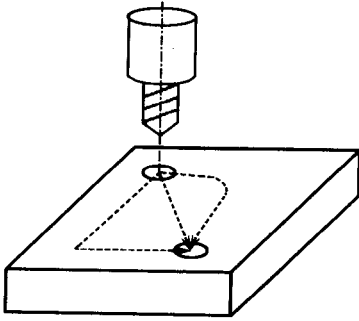


图 1-2 点位控制加工示意

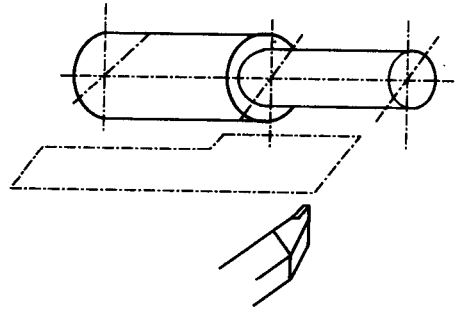


图 1-3 直线控制加工示意

(3) 连续控制数控机床。也称为轮廓控制数控机床, 能同时控制 2 个或 2 个以上坐标轴联动, 使工件相对于刀具按程序规定的轨迹和速度运动, 在运动过程中进行连续切削加工。这就要求数控装置必须具有插补运算功能, 控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合。

具有连续控制功能的机床有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心等用于加工曲线和曲面的机床, 根据机床所控制的联动轴数不同, 又可分为下面几种形式。

① 二轴联动: 主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面, 如图 1-4 所示。

② 二轴半联动: 主要用于三轴以上机床的控制, 其中任意两根轴联动, 第三根轴作周期性进给。如图 1-5 所示为采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

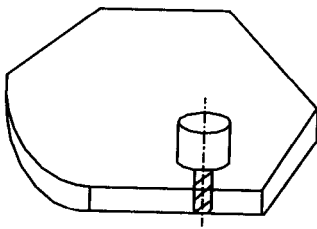


图 1-4 二轴联动加工示意

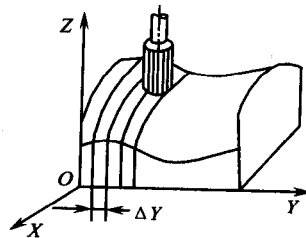


图 1-5 二轴半联动加工示意

③ 三轴联动：一般分两类，一类是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动，多用于数控铣床和加工中心，如图 1-6 所示用球头铣刀铣切三维空间曲面；另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 中两个直线轴外，还同时控制绕某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴，如车削加工中心，除了实现纵向（ Z 轴）、横向（ X 轴）两个直线坐标轴的联动外，还需同时控制绕 Z 轴旋转的主轴（ C 轴）联动。

④ 四轴联动：同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动，如图 1-7 所示为同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

⑤ 五轴联动：除同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外，还需同时控制绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个，如图 1-8 所示。

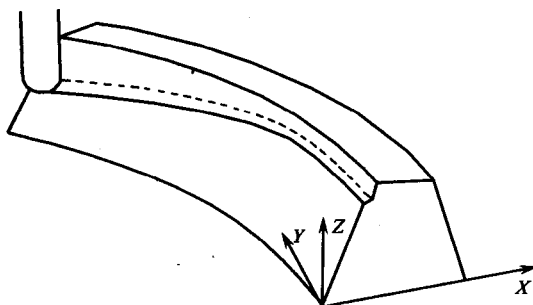


图 1-6 三轴联动加工示意

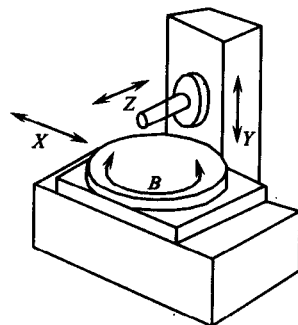


图 1-7 四轴联动数控机床

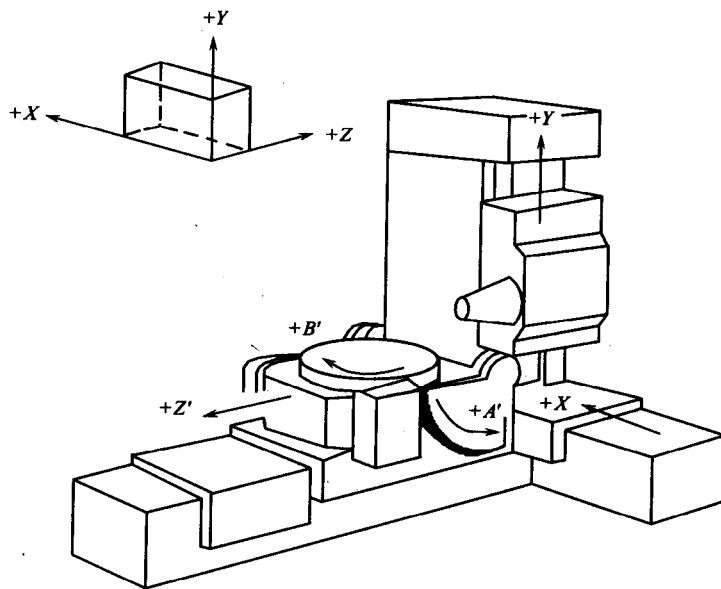


图 1-8 五轴联动数控机床

1.2.2 按伺服控制的类型分类

数控机床按数控系统的进给伺服系统有无位置测量装置可分为开环数控机床和闭环数控机床，在闭环数控系统中根据位置测量装置安装的位置又可分为全闭环和半闭环两种。

(1) 开环控制数控机床。如图 1-9 所示，数控装置发出信号的流程是单向的，没有位置

测量装置，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，一般以功率步进电机作为伺服驱动元件。开环控制数控机床具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、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，一般用于经济型数控机床。



图 1-9 开环控制系统框图

(2) 全闭环控制数控机床。如图 1-10 所示，全闭环数控系统是直接检测机床坐标的直线位移量，通过反馈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，很容易造成系统的不稳定，使闭环系统的设计、安装和调试都相当困难。该控制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。

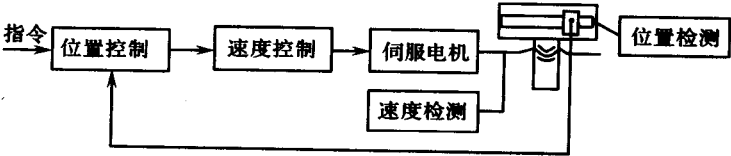


图 1-10 全闭环控制系统框图

(3) 半闭环控制数控机床。如图 1-11 所示，半闭环控制系统并不检测移动部件的实际位置，而是检测伺服电机或传动丝杠的转角，由此推算出工作台实际位置，半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节，因此可获得稳定的控制性能，其系统的稳定性虽不如开环系统，但比闭环要好。由于丝杠的螺距误差和齿轮间隙引起的运动误差难以消除，其精度比闭环差，比开环好。若对这类误差进行补偿，可获得满意的精度。半闭环控制系统结构简单、调试方便、精度也较高，在现代数控机床中得到了广泛应用。

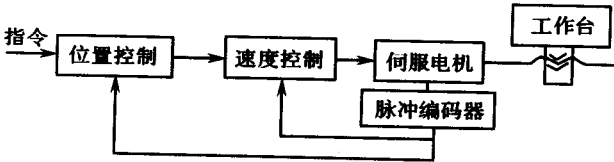


图 1-11 半闭环控制系统框图

1.2.3 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统分为低、中、高三类。三档的界限是相对的，不同时期划分的标准也会有所不同。就目前的发展水平而言，可以根据表 1-1 的一些功能及指标进行划分。高档数控系统一般称为全功能型或标准型数控。在我国还有经济型数控的说法，经济型数控属于低档数控，是由单片机和步进电机组成的数控系统，功能简单、成本低廉，主要用于数控车床、数控线切割机床以及旧机床改造等。

表 1-1 数控系统不同档次的功能及指标

功 能	低 档	中 档	高 档
分辨率/ μm	10	1	0.1
进给速度/(m/min)	8~15	15~24	15~100
驱动进给类型	开环	半闭环或闭环的直流或交流伺服系统	
联动轴数/个	2~3	2~4	3~5 以上
通信功能	一般无	RS-232 或 DNC 接口	可有 MAP 通信接口 ^① , 有联网能力
显示功能	LED 或简单的 CRT	较齐全的 CRT 显示 ^②	还有三维图形显示
内装 PLC	无	有	有强功能的 PLC
主 CPU	8 位、16 位	32 位以上或 32 位以上的多 CPU	

① MAP—Manufacturing Automation Protocol (制造自动化协议);

② 较齐全的 CRT 显示是指具有字符、图形、人机对话、自诊断等功能的显示

1.2.4 按加工工艺及机床用途的类型分类

(1) 切削加工类: 采用车、铣、镗、磨、刨、齿轮加工等各种切削工艺的数控机床。它又可分为以下两类:

① 普通型数控机床: 如数控镗铣床、数控车床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。

② 加工中心: 加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。工件经一次装夹后, 通过自动更换各种刀具, 在同一台机床上对工件各加工表面连续进行铣(车)、镗、铰、钻、攻丝等多种工序的加工, 如镗/铣类加工中心、车削中心、钻削中心等。

(2) 成型加工类: 采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床。常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

(3) 特种加工类: 主要有数控线切割机、数控电火花加工机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

(4) 其他类型: 主要有三坐标测量仪、数控装配机、数控测量机、数控绘图仪、机器人等。

1.3 数控机床的发展动向

为了满足市场和科学技术发展的需要, 达到现代制造技术对数控技术提出的更高的要求, 当前, 世界数控技术及其装备发展趋势主要体现在以下几个方面:

(1) 运行高速化、加工高精度。速度和精度是数控设备的两个重要指标, 它们是数控技术永恒追求的目标。因为它直接关系到加工效率和产品质量。新一代数控设备在运行高速化、加工高精度等方面都有了更高的要求。由于计算机技术的不断进步, 促进了数控技术水平的提高, 数控装置、进给伺服驱动装置和主轴伺服驱动装置的性能也随之提高, 使得现代的数控设备在新的技术水平下, 可同时具备运行高速化、加工高精化的性能。

(2) 功能复合化。复合化是指在一台设备能实现多种工艺手段加工的方法。如镗铣钻复合——加工中心(ATC)、五面加工中心(ATC, 主轴立卧转换); 车铣复合——车削中心(ATC,

动力刀头); 铣镗钻车复合——复合加工中心(ATC, 可自动装卸车刀架); 铣镗钻磨复合——复合加工中心(ATC, 动力磨头); 可更换主轴箱的数控机床——组合加工中心。

(3) 控制智能化。随着人工智能技术的不断发展, 并为满足制造业生产柔性化、制造自动化发展需求, 数控技术智能化程度不断提高。

(4) 体系开放化。具有在不同的工作平台上均能实现系统功能、且可以与其他的应用进行互操作的系统。系统构件(软件和硬件)具有标准化与多样化和互换性的特征; 允许通过对构件的增减来构造系统, 实现系统“积木式”的集成。系统构造应该是可移植的和透明的。

(5) 驱动并联化。并联加工中心(又称六杆数控机床、虚轴机床)是数控机床在结构上取得的重大突破。

(6) 交互网络化。支持网络通讯协议, 既满足单机需要, 又能满足 FMC、FMS、CIMS 对基层设备集成要求的数控系统, 该系统是形成“全球制造”的基础单元。

思考与练习题

- 1.1 何谓数控技术? 数控机床的加工原理是什么?
- 1.2 数控机床由哪几个部分组成? 各有何作用?
- 1.3 什么是开环、闭环、半闭环数控机床? 各有何区别?
- 1.4 何谓点位控制、直线控制和轮廓控制?
- 1.5 按工艺用途不同数控机床有哪些类型?
- 1.6 加工中心与一般数控机床相比有什么特点?
- 1.7 试述数控技术目前的发展方向?
- 1.8 什么样的零件适合在数控机床上加工?

第2章 数控机床的结构

数控机床是典型的机电一体化产品,尽管它的机械结构同传统普通机床有许多相似之处,然而,现代数控机床并不是简单地在传统机床上配备数控系统,也不是在传统机床的基础上,仅对局部加以改进而成。传统机床存在着一些如刚性不足、抗振性差、热变形大、滑动面的摩擦阻力大及传动元件之间存在间隙等弱点,难以胜任数控机床对加工精度、表面质量、生产率以及使用寿命等要求。现代数控机床,特别是加工中心,无论是其基础大件、主传动系统、进给系统、刀具系统、辅助功能等部件结构,还是整体布局、外部造型等都已发生了很大的变化,已形成数控机床的独特机械结构。

2.1 数控机床的结构特点

1. 模块化的设计

所谓模块化的设计是把数控机床各个部件的基本单元,按不同功能、规格、价格设计成多种模块,用户按需要选择最合理的功能模块配置成整机。这样不仅能降低数控机床的设计和制造成本,而且能缩短设计和制造周期,数控机床也能以足够多的功能和相对低廉的价格推向市场,从而赢得市场。

2. 静、动刚度高

数控机床常在高速和重负荷条件下工作,以最大限度地提高切削效率。这就要求数控机床结构须具有良好的刚度、抗振能力和承载能力,以便把移动部件的质量和切削力所引起的弹性变形控制在最小限度之内,保证所要求的加工精度和表面质量。为此,数控机床在结构设计上采用了以下措施:

(1) 合理设计基础件的截面形状和尺寸,采用合理的筋板结构。基础件的整体刚度(包括抗弯刚度和抗扭刚度)是通过合理地设计基础件的截面形状和尺寸,采用合理的筋板形状及布置等来保证。

如图 2-1 所示为卧式加工中心普遍采用的框式立柱结构。从正面看,立柱截面成封面框

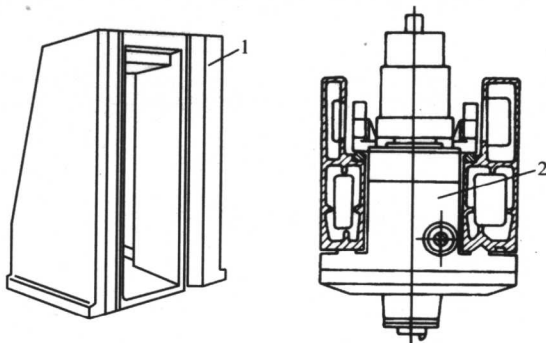


图 2-1 框式立柱主轴箱的嵌入式结构
1—立柱; 2—主轴箱。

形，轮廓尺寸大，从而保证以高扭转刚度承受切削扭矩产生的扭转载荷。从俯视截面看，两个立柱截面形状为矩形，矩形尺寸大的方向正是因切削力作用大的弯曲载荷的方向。因而这种结构具有很高的刚度。

(2) 采用合理的结构布局，改善机床的受力状态。在切削力、自重等外力相同的情况下，如果能改善机床的受力状态，减少变形，则能达到提高刚度的目的。如图 2-2 (a) 所示，传统的卧式镗铣床由于主轴箱单面悬挂在立柱侧面，主轴箱自重和切削力将使立柱产生弯曲和扭转变形；卧式加工中心采用如图 2-2 (b) 所示的布局，主轴箱置于立柱对称平面内，改善了立柱的受力状况，减少了立柱的弯曲、扭转变形，提高了刚度。

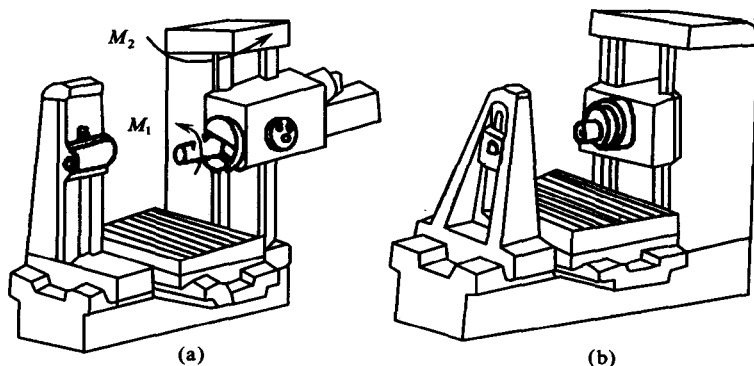


图 2-2 卧式镗铣床与卧式加工中心的结构布局比较

(a) 卧式镗铣床；(b) 卧式加工中心。

(3) 采用补偿变形措施。在外力的作用下，机床的变形是不可避免的，采取相应措施，补偿有关零、部件的静力变形，相当于提高了机床的刚度。如图 2-3 所示的大型龙门铣床，主轴部件移到横梁中部时，自重使横梁向下的弯曲变形最大，为此将横梁导轨做成“拱形”，使变形得到补偿；或者通过在横梁内部安装辅助横梁，利用预校正螺钉对横梁主导轨进行校正；还可以用加平衡重块的方法，减少横梁因主轴和自重而产生的变形。

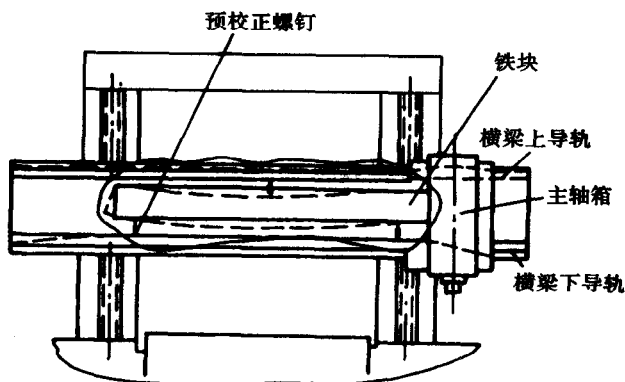


图 2-3 横梁弯曲变形补偿

(4) 提高机床各部件的接触刚度。影响接触刚度的根本因素是接触面积的大小，任何增大实际接触面积的方法都能有效地提高接触刚度。如机床导轨通过刮研，能增加单位面积上的接触点，并使接触点分布均匀，从而增加导轨副接合面的实际接触面积，提高接触刚度。

在接合面之间施加足够大的预加载荷也能达到提高接触刚度的目的。

(5) 选用合理材料。长期以来, 机床基础件主要采用铸铁件。近年来, 机床床身、立柱等支承件采用钢板或型钢焊接而成, 具有减轻质量提高刚度的显著特点。将型砂或混凝土等阻尼材料填充在支承件的夹壁中, 可以有效地提高阻尼特性, 增加支承件的动刚度。人造大理石由于具有很高的热稳定性、良好的吸振性, 并能根据需要制作最合理的机床结构, 近年来应用广泛。

3. 抗振性高

机床工作时可能强迫振动和自激振动, 机床的抗振性是指抵抗这两种振动的能力。机床的振动不仅直接影响工件的加工精度和表面质量, 还会降低刀具寿命, 严重时甚至使加工无法继续进行。数控机床常在高速重载情况下切削, 容易产生强迫振动和自激振动, 切削过程的自动化使得振动难以由人工进行控制和消除, 因此对数控机床的抗振性提出更高的要求。

数控机床上提高抗振性的主要方法有: 提高系统的静刚度可以提高自激振动的稳定性极限; 增加阻尼可以提高自激振动的稳定性, 也有利于振动的衰减; 通过调整机床质量改变系统的自振频率, 使它远离工作范围内所存在的强迫振动源的频率; 数控机床中的旋转零部件尽可能进行良好的动平衡, 以减少强迫振动源; 用弹性材料将振源隔离, 以减少振源对数控机床的影响。

4. 热稳定性好

数控机床在内外热源的影响下, 各部件会发生不同程度的热变形, 使工件与刀具之间的相对运动关系遭到破坏, 机床精度下降, 因此机床热变形是影响加工精度的重要因素。引起机床热变形的原因主要是热源及机床各部分的温差。热源主要是机床的内部热源, 如电动机发热、摩擦热以及切削热等。数控机床的热稳定性好, 主要是在设计时采取了以下措施。

(1) 减少机床内部热源和发热量。如采用低摩擦系数的导轨和轴承; 液压系统中采用变量泵; 数控车床采用斜床身、平床身和斜滑板结构; 配置倾斜的防护罩和自动排屑装置等。

(2) 控制温升。数控机床普遍对各发热部位采取散热、风冷、液冷等控制温升的办法改善散热条件, 控制温升。如主轴箱采用强制外循环润滑油冷却; 采用恒温冷却装置, 减少主轴轴承在运转中产生的热量; 在电动机上安装有散热装置和热管消热装置等。

(3) 机床结构和布局设计合理。设计热传导对称的结构, 使温升一致, 以减少热变形; 采用热变形对称结构, 以减少热变形对加工精度的影响。如数控机床立柱一般采取双壁框式结构, 在提高刚度的同时使结构对称, 防止因热变形而产生倾斜偏移。

5. 运动件间的摩擦特性好、传动件间的传动间隙小

数控机床的运动精度和定位精度不仅受到机床零部件的加工精度和装配精度、刚度及热变形的影响, 而且与运动件的摩擦特性有关。同时, 其进给系统要求运动件既能以高速又能以极低的速度运动, 使工作台能对数控装置的指令做出准确的响应。为此必须设法提高进给运动的低速运动的平稳性。采取的主要措施有降低运动件的质量, 减少运动件的静、动摩擦力之差, 减少传动间隙, 缩短传动链。

运动件的摩擦阻力主要来自导轨副, 普通机床的滑动导轨副不仅静、动摩擦系数大, 而且其差值也大。因此, 数控机床普遍采用滚动导轨、静压导轨和塑料导轨, 以改善运动件间的耐磨性和摩擦特性。数控机床的进给系统中采用滚珠丝杠传动替代滑动丝杠, 也可收到同样的效果。

数控机床尤其是开环系统的数控机床的加工精度很大程度取决于进给传动链的精度。除