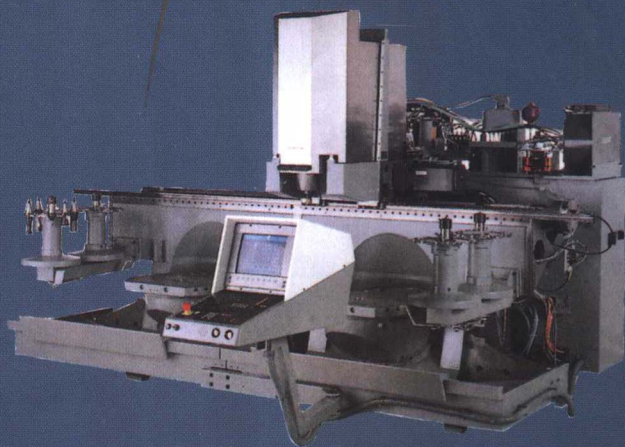


机床数控技术

王仁德 张耀满 赵春雨 赵亮 编著



NEUPRESS
东北大学出版社

TG659/47-2

2007

机床数控技术

(第二版)

王仁德 张耀满 赵春雨 赵亮 编著

东北大学出版社

• 沈阳 •

© 王仁德 张耀满 赵春雨 赵 亮 2007

图书在版编目 (CIP) 数据

机床数控技术/王仁德, 张耀满, 赵春雨, 赵亮编著. —2 版. —沈阳: 东北大学出版社, 2007.9

ISBN 978-7-81102-447-0

I. 机… II. ①王… ②张… ③赵… ④赵… III. 数控机床—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 125805 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市北陵印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

幅面尺寸: 170mm×228mm

印 张: 16.5

字 数: 314 千字

出版时间: 2007 年 9 月第 2 版

印刷时间: 2007 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 李毓兴

责任校对: 德 胜

封面设计: 唐敏智

责任出版: 秦 力

ISBN 978-7-81102-447-0

定 价: 26.40 元

第二版前言

机床数控技术发展迅猛，以日新月异形容毫不过分。为反映最新的科技成果，满足教学需要，本版对第一版内容做了较大改动。

其一，增加了第7章，数控机床的机械结构，由辽宁科技学院赵亮编写；

其二，重写了第1章，内容全部更新；

其三，修改了第2章的大部分内容，其中有的是以新换旧，有的是增补，有的是删除。

其余章节也做了一些局部修改，除了第7章外，作者没有变化。

全书的组织和统稿工作仍由王仁德完成。

本书第一版问世以后，一些院校将其作为教材，在使用中，授课教师向我们提出了一些宝贵建议。借此次修订的机会，向这些同志和广大读者表示衷心的感谢。

尽管我们在极力紧跟机床数控技术的发展变化，但限于我们的水平和能力，书中仍难免有欠妥之处，望广大读者给予批评指正。

王仁德

2007年8月

第一版前言

机床数控技术是应用数字化代码程序、控制机床实现自动化加工的柔性控制技术,是集机械制造技术、电子技术、计算机技术和自动检测与控制技术等于一体的机电一体化技术,能适应现代制造技术向多品种、小批量、高精度、高效率 and 自动化加工等方向发展的要求,是现代制造技术的基础。

自从 20 世纪 50 年代第一台数控机床问世以来,数控机床及其数控技术经历了半个多世纪的发展,尤其是近 20 年,由于微处理器和微电子技术的发展,使数控机床的性能价格比有了极大的提高,不仅在工业发达国家,就是在发展中国家的应用普及率也越来越高,这不仅提高了产品加工质量和效率,缩短了生产周期,改善了劳动条件,而且对制造企业的产品结构、生产方式和生产组织管理等方面都产生了深远的影响,推动了制造业向信息化、集成化和智能化方向的发展,为机械制造业带来了一次技术革命。

本书是针对高校机械工程与自动化专业的教学需要而编写的,内容共分六章,包括概述、数控机床零件程序编制、机床数控装置的插补原理、计算机数字控制装置、数控机床的位移检测装置、数控机床的伺服控制系统。本书编者总结了多年的教学和科研经验,紧密结合了教学实践中的具体情况,对数控机床的主要内容及发展趋势进行了讲解,力求注意内容的系统性,论述的简明性,突出实用性和先进性,便于自学,为学生打下一个学习和应用机床数控技术及其他相关技术的基础。

本书的第一章和第四章由东北大学王仁德编写,第二章和第三章由东北大学张耀满编写,第五章和第六章由东北大学赵春雨、王仁德编。全书的组织和统稿工作由王仁德完成。由于编者水平有限,书中欠妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 6 月

目 录

1 概 述	1
1.1 基本概念	2
1.2 数控机床的特点与应用	2
1.3 数控机床的组成	4
1.4 数控机床的分类	6
1.4.1 按照加工工艺及机床用途分类	6
1.4.2 按照机床运动的控制轨迹分类	7
1.4.3 按照伺服控制方式分类	9
1.4.4 按照数控系统的功能水平分类	10
1.5 数控机床的发展	11
1.5.1 数控技术的产生与发展	11
1.5.2 直接数字控制系统	12
1.5.3 柔性制造单元及柔性制造系统	14
1.5.4 计算机集成制造系统	17
1.5.5 现代数控机床的发展趋势	19
2 数控机床零件程序编制	23
2.1 概 述	23
2.1.1 零件程序编制的步骤与内容	23
2.1.2 数控编程方法	24
2.2 数控加工的指令代码和程序结构	25
2.2.1 程序结构	25
2.2.2 程序段格式	26
2.2.3 子程序和宏程序	30
2.2.4 数控加工中的坐标系与相关 G 指令	31
2.2.5 刀具补偿指令	34
2.2.6 控制进给速度与切削速度的 G 指令	38

2.2.7 固定循环指令·····	39
2.2.8 孔加工的程序编制·····	54
2.2.9 车削加工的程序编制·····	58
2.2.10 轮廓铣削加工的程序编制·····	60
2.3 程序编制中的数学处理·····	62
2.3.1 程序编制中数学处理的任务·····	62
2.3.2 非圆曲线的节点计算·····	64
2.3.3 列表曲线的插值与拟合·····	68
2.4 计算机辅助数控编程·····	72
2.4.1 计算机辅助编程技术的发展概况·····	72
2.4.2 典型的 CAD/CAM 软件介绍·····	74
2.4.3 MasterCAM 系统二维加工编程·····	75
2.4.4 MasterCAM 系统三维加工编程·····	82
3 机床数控装置的插补原理·····	90
3.1 概 述·····	90
3.1.1 插补的基本概念·····	90
3.1.2 插补方法的分类·····	90
3.2 基准脉冲插补·····	91
3.2.1 逐点比较法·····	91
3.2.2 数字积分法 (DDA 法)·····	96
3.3 数据采样插补·····	101
3.3.1 概 述·····	101
3.3.2 数据采样法直线插补·····	103
3.3.3 数据采样法圆弧插补·····	104
3.4 曲面直接插补 (SDI)·····	109
3.4.1 SDI 的特点·····	109
3.4.2 SDI 的功能与信息输入·····	110
3.4.3 SDI 的结构和工作流程·····	111
3.4.4 SDI 的算法原理·····	111
3.4.5 SDI 的技术关键·····	114
4 计算机数字控制装置·····	116
4.1 计算机数字控制装置的硬件结构·····	116
4.1.1 大板式结构和模块化结构·····	116

4.1.2 单微处理器数控装置和多微处理器数控装置	116
4.1.3 开放式数控体系结构	119
4.2 CNC 装置功能	120
4.2.1 CNC 装置的主要功能与工作过程	120
4.2.2 CNC 装置的可选择功能	125
4.3 CNC 装置的软件系统	126
4.3.1 CNC 软件的特点	126
4.3.2 CNC 系统软件的总体结构	128
5 位置检测装置	133
5.1 概 述	133
5.2 旋转变压器	134
5.2.1 旋转变压器的结构和工作原理	134
5.2.2 旋转变压器的应用	136
5.2.3 磁阻式多极旋转变压器	138
5.3 感应同步器	138
5.3.1 感应同步器的结构和种类	139
5.3.2 感应同步器的工作原理	141
5.3.3 感应同步器测量系统	142
5.3.4 鉴幅测控系统	143
5.4 光 栅	144
5.4.1 计量光栅的种类	144
5.4.2 计量光栅的工作原理	145
5.4.3 光栅位移-数字转换系统	147
5.5 磁 栅	148
5.5.1 磁性标尺	149
5.5.2 读数磁头	149
5.5.3 磁栅的工作原理	150
5.6 编码器	151
5.6.1 绝对值式编码器	152
5.6.2 脉冲增量式码盘	153
6 数控机床的伺服控制系统	156
6.1 概 述	156
6.1.1 数控机床伺服系统的分类	156

6.1.2 数控机床对伺服系统的要求	159
6.1.3 机床伺服系统的发展	160
6.2 直流伺服电机及其速度控制	161
6.2.1 直流伺服电机的结构与分类	161
6.2.2 直流伺服电机的机械特性	162
6.2.3 直流伺服电机的调速原理与方法	163
6.2.4 直流伺服电机速度控制单元的调速控制方式	164
6.3 交流伺服电机及其速度控制系统	172
6.3.1 交流伺服电机的分类	172
6.3.2 交流伺服电机的变频调速与变频器	176
6.3.3 SPWM 波调制	178
6.3.4 交流电动机控制方式	187
6.3.5 交流伺服电动机的矢量控制	188
6.4 步进电机开环位置控制系统	195
6.4.1 步进电机的工作原理	195
6.4.2 步进电机的主要特性	197
6.4.3 步进电机的结构类型	199
6.4.4 步进电机的环形分配器	200
6.4.5 功率放大器	203
6.4.6 步进电机的细分驱动技术	205
6.5 直线电动机驱动技术	208
6.5.1 直线电动机工作原理简介	209
6.5.2 使用直线电动机的高速机加工系统	210
6.6 位置控制	211
6.6.1 脉冲比较伺服系统	211
6.6.2 相位伺服控制系统	212
6.6.3 幅值伺服控制系统	214
6.6.4 CNC 伺服系统和全数字式伺服系统	214
7 数控机床的机械结构	216
7.1 概 述	216
7.1.1 数控机床机械结构的组成	216
7.1.2 对数控机床机械结构的要求	217
7.2 数控机床的主传动系统	218
7.2.1 数控机床主运动的驱动和调速方式	218

7.2.2 数控机床的主轴组件	219
7.3 数控机床的进给传动系统	223
7.3.1 概 述	223
7.3.2 滚珠丝杠螺母副	223
7.3.3 同步带传动	231
7.3.4 传动齿轮消隙机构	234
7.4 数控机床的导轨	237
7.4.1 导轨的功用与分类	237
7.4.2 数控机床的滑动导轨	237
7.5 数控机床的自动换刀装置	240
7.5.1 数控车床刀架系统	241
7.5.2 加工中心的自动换刀系统	243
7.5.3 自动选刀方式	245
7.5.4 换刀机械手	247
7.6 回转工作台	248
7.6.1 分度工作台	248
7.6.2 数控回转工作台	249
参考文献	252

1 概 述

随着科学技术的飞速发展和市场竞争的日趋激烈,产品的更新速度越来越快,多品种和中、小批量生产的比例明显增加。同时,随着航空工业、汽车工业和轻工业消费品生产的高速增长,复杂形状的零件越来越多,精度要求也越来越高。此外,激烈的市场竞争要求产品的研制生产周期越来越短,传统的加工设备和制造方法已经难以适应这种多样化、柔性化与复杂形状零件的高效高质量加工要求,因此,近几十年来,世界各国十分重视发展能有效解决复杂、精密、小批、多变零件加工的数控加工技术,在加工设备中,大量采用以微电子技术和计算机技术为基础的数控技术,将机械技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术有机地结合在一起,使机械制造业的生产方式发生了革命性的变化。

当今世界上一切制成品无一不是直接或间接由机床制造的,而机床的现代化程度也集中体现在现代数控机床上。数控机床是信息集成、系统自动化的基础设备,20世纪50年代数控机床的问世,便揭开了CAD/CAM发展的序幕,现已逐步成为CAD/NCP/CAM(计算机辅助设计/数控编程/计算机辅助制造)信息集成的重要环节,是现代柔性制造单元、柔性制造系统的基本组成设备。它以软件控制取代复杂的机床内联系传动链结构,进行两坐标联动、三坐标联动、四坐标联动、五坐标联动加工,可以完成复杂表面的加工,极大地提高了机电产品和设备的精度,使其外形更加美观,更易于体现个性化。数控机床具有良好的加工精度和加工一致性,能保证产品零部件的标准化、系列化,并使它们具有良好的互换性。

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,现代的CAD/CAM、柔性制造系统、计算机集成制造系统等,都是建立在数控技术基础上的。离开数控技术,先进制造技术就成了无本之木。同时,数控技术也关系到国家战略地位,是体现国家综合国力水平的重要基础性产业的核心因素之一,其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志,实现加工机床及生产过程数控化,已经成为当今制造业的发展方向。专家们预言:机械制造的竞争,其实质是数控的竞争。

1.1 基本概念

在现代机械制造领域中,数控机床与机床数控技术已经成为最基本概念之一。

数控是数字控制(Numerical Control,简称 NC)技术的简称,是用数字化代码实现自动控制技术的总称。根据不同的控制对象,存在各种数字控制系统。其中,最早产生、目前应用最为广泛的是机械制造行业中的各种机床数控系统。

数控机床是采用数字化代码程序控制、能完成自动化加工的通用机床。数控机床是一种典型的光机电一体化加工设备,它集现代机械制造技术、自动控制技术及计算机信息技术于一体,采用数控装置或计算机来全部或部分地取代了一般通用机床在加工零件时的各种人工控制动作——启动、加工顺序、改变切削用量、主轴变速、刀具选择、冷却液开停以及停车等,是高效率、高精度、高柔性和高自动化的光机电一体化加工设备。

数控加工技术是指高效、优质地实现产品零件,特别是复杂形状零件在数控机床床上完成加工的技术,它是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础与关键技术。数控加工过程包括由给定零件的加工要求(零件图纸、CAD 数据或实物模型)到完成加工的全过程,其主要内容涉及数控机床加工工艺和数控编程技术两大方面。

图 1-1 所示为数控机床加工过程框图。可以看出,在数控机床上,加工零件涉及的范围比较广,与相关的配套技术有着密切的关系,程序编制人员应该熟练地掌握工艺分析、工艺设计和切削用量的选择。能够正确地提出刀辅具和零件的装夹方案,懂得刀具的测量方法,了解数控机床的性能和特点,熟悉程序编制方法和程序的输入方式等。

1.2 数控机床的特点与应用

数控机床综合了微电子技术、计算机应用技术、自动控制技术以及精密机床设计与制造技术,具有专用机床的高效率、精密机床的高精度和通用机床的高柔性等显著特点,适合多变、复杂、精密零件的高效、自动化加工。具体说来,可以概括为以下几个方面。

(1) 柔性自动化,具有广泛的适应性

由于采用数控程序控制,加工中多采用通用型工装,只要改变数控程序,便可以实现对新零件的自动化加工,因此能适应当前市场竞争中对产品不断更新换代的要求,解决了多品种和中小批量生产自动化问题。

(2) 加工精度高,质量稳定

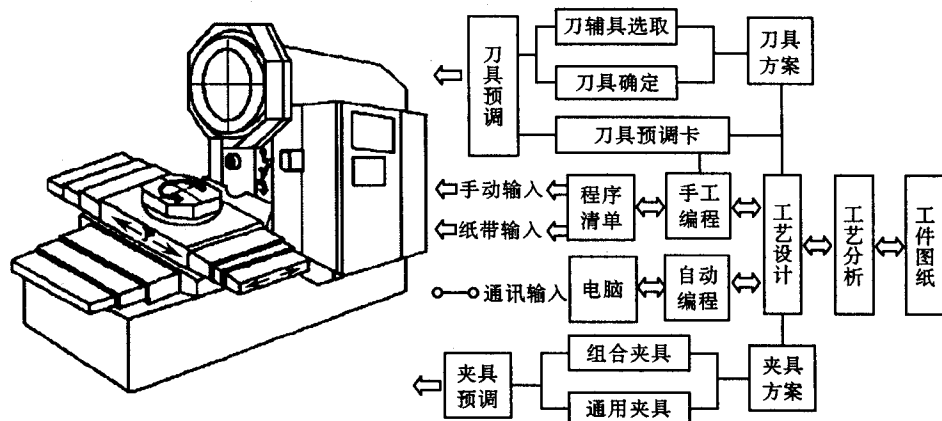


图 1-1 数控机床加工过程框图

数控机床集中采用了提高加工精度和保证质量稳定性的多种技术措施:第一,数控机床由数控程序自动控制进行加工,在工作过程中,一般不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的失误或误差;第二,数控机床的机械结构是按照精密机床的要求进行设计和制造的,采用了滚珠丝杠、滚动导轨等高精度传动部件,而且刚度大、热稳定性和抗振性能好;第三,伺服传动系统的脉冲当量或最小设定单位可以达到 $10\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$,同时,工作中还大多采用具有检测反馈的闭环或半闭环控制,具有误差修正或补偿功能,可以进一步提高精度和稳定性;第四,数控加工中心具有刀库和自动换刀装置,可以在一次装夹后,完成工件的多面和多工序加工,最大限度地减少了装夹误差的影响。

(3) 生产效率高

数控机床能最大限度地减少零件加工所需的机动时间与辅助时间,显著提高生产效率。第一,数控机床的进给运动和多数主运动都采用无级调速,且调速范围大,因此,每一道工序都能选择最佳的切削速度和进给速度;第二,良好的结构刚度和抗振性允许机床采用大切削用量和进行强力切削;第三,一般不需要停机对工件进行检测,从而有效地减少了机床加工中的停机时间;第四,机床移动部件在定位中都采用自动加减速措施,因此可以选用很高的空行程运动速度,大大节约了辅助运动时间;第五,加工中心可以采用自动换刀和自动交换工作台等措施,工件一次装夹,可以进行多面和多工序加工,大大减少了工件装夹、对刀等辅助时间;第六,加工工序集中,可以减少零件的周转,减少了设备台数及厂房面积,给生产调度管理带来极大方便。

(4) 能实现复杂零件的加工

由于数控机床采用计算机插补和多坐标联动控制技术,所以可以实现任意

的轨迹运动和加工出任何复杂形状的空间曲面,可以方便地完成如螺旋桨、汽轮机叶片、汽车外形冲压用模具等具有各种复杂曲面类零件的加工。

(5) 减轻劳动强度,改善劳动条件

由于数控机床的操作者主要利用操作面板对机床的自动加工进行操作,因此,大大减轻了操作者的劳动强度,改善了生产条件,并且可以一个人轻松地管理多台机床。

(6) 有利于现代化生产与管理

采用数控机床进行加工,能够方便、精确地计算出零件的加工工时或进行自动加工统计,能够精确地计算生产和加工费用,有利于生产过程的科学管理。数控机床是计算机辅助设计与制造、群控或分布式控制、柔性制造系统、计算机集成制造系统等先进制造系统的基础。

但是,与普通机床相比,数控机床的初始投资及维护费用较高,对操作与管理人员的素质要求较高。所以只有从生产实际出发,合理地选择与使用数控机床,并且要循序渐进,培养人才,积累经验,才能达到降低生产成本、提高企业经济效益和市场竞争能力的目的。

1.3 数控机床的组成

现代数控机床都是计算机数字控制(Computer Numerical Control,简称CNC)机床,其组成如图1-2所示。

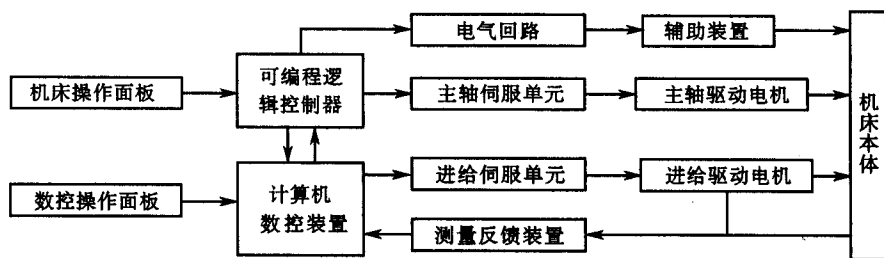


图 1-2 CNC 机床的组成

(1) CNC 装置

CNC装置是CNC系统的核心,由中央处理单元(CPU)、存储器、各种I/O接口及外围逻辑电路等组成,其主要作用是对输入的数控程序及有关数据进行存储与处理,通过插补运算等,形成运动轨迹指令,控制伺服单元和驱动装置,实现刀具与工件的相对运动。对于离散的开关控制量,可以通过可编程逻辑控制器实现对机床电器的逻辑控制。

CNC 装置有单 CPU 和多 CPU 两种基本结构形式,随着 CPU 性能的不不断提高,CNC 装置的功能越来越丰富,性能越来越高,除了上述基本控制功能外,还有图形功能、通讯功能、诊断功能、生产统计和管理功能等。

(2) 操作面板

数控机床的操作是通过人机操作面板实现的,人机操作面板由数控面板和机床面板组成。

数控面板是数控系统的操作面板,由显示器和手动数据输入(Manual Data Input,简称 MDI)键盘组成,又称为 MDI 面板。显示器的下部常设有菜单选择键,用于选择菜单。键盘除各种符号键、数字键和功能键外,还可以设置用户定义键等。操作人员可以通过键盘和显示器,实现系统管理,对数控程序及有关数据进行输入、存储和编辑修改。在加工中,屏幕可以动态地显示系统状态和故障诊断报警等。此外,数控程序及数据还可以通过磁盘或通讯接口输入。

机床操作面板主要用于手动方式下对机床的操作,以及自动方式下对机床的操作或干预。其上有各种按钮与选择开关,用于机床及辅助装置的启停、加工方式选择、速度倍率选择等;还有数码管及信号显示等。中、小型数控机床的操作面板常和数控面板做成一个整体,但二者之间有明显界限。数控系统的通讯接口,如串行接口,常设置在机床操作面板上。

(3) 可编程逻辑控制器

可编程逻辑控制器(Programmable Logical Controller,简称 PLC)也是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置,又称为可编程控制器(Programmable Controller,简称 PC)或可编程机床控制器(Programmable Machine Controller,简称 PMC),用于完成数控机床的各种逻辑运算和顺序控制,如机床启停、工件装夹、刀具更换、冷却液开关等辅助动作。PLC 还接受机床操作面板的指令:一方面直接控制机床的动作;另一方面将有关指令送往 CNC,用于加工过程控制。

CNC 系统中的 PLC 有内置型和独立型。内置型 PLC 与 CNC 是综合在一起设计的,又称集成型,是 CNC 的一部分;独立型 PLC 由独立的专业厂生产,又称外装型。

(4) 进给伺服系统

进给伺服系统主要由进给伺服单元和伺服进给电机组成,对于闭环或半闭环控制的进给伺服系统,还应包括位置检测反馈装置。进给伺服单元接收来自 CNC 装置的运动指令,经变换和放大后,驱动伺服电机运转,实现刀架或工作台的运动。CNC 装置每发出一个控制脉冲,机床刀架或工作台的移动距离,称为数控机床的脉冲当量或最小设定单位,脉冲当量或最小设定单位的大小直接影响数控机床的加工精度。

在闭环或半闭环控制的伺服进给系统中,位置检测装置被安装在机床(闭环

控制)或伺服电机(半闭环控制)上,其作用是将机床或伺服电机的实际位置信号反馈给 CNC 系统,以便与指令位移信号相比较,用其差值控制机床运动,达到消除运动误差、提高定位精度的目的。

一般说来,数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置,而数控机床性能的优劣,如运动速度与精度等,则主要取决于伺服驱动系统。

随着数控技术的不断发展,对伺服进给驱动系统的要求越来越高。一般要求定位精度为 $10\mu\text{m}\sim 1\mu\text{m}$,高精设备要求达到 $0.1\mu\text{m}$;为了保证系统的跟踪精度,一般要求动态过程在 $200\mu\text{s}$ 甚至几十微秒内,同时要求超调要小;为了保证加工效率,一般要求进给速度为 $0\text{m}/\text{min}\sim 24\text{m}/\text{min}$;此外,要求在低速时,能输出较大的转矩。

(5) 主轴驱动系统

数控机床的主轴驱动与进给驱动的区别很大,电机输出功率较大,一般应为 $2.2\text{kW}\sim 250\text{kW}$;进给电机一般是恒转矩调速,而主电机除了有较大范围的恒转矩调速外,还要有较大范围的恒功率调速;对于数控车床,为了能够加工螺纹和实现恒线速控制,要求主轴和进给驱动能同步控制;对于加工中心,还要求主轴进行高精度准停和分度功能。因此,中、高档数控机床的主轴驱动都采用电机无级调速或伺服驱动,经济型数控机床的主传动系统与普通机床类似,仍需要手工机械变速,CNC 系统仅对主轴进行简单的启动或停止控制。

(6) 机床本体

数控机床机械结构的设计与制造要适应数控技术的发展,具有刚度大、精度高、抗振性强、热变形小等特点;由于普遍采用伺服电机无级调速技术,机床进给运动和多数数控机床的主运动的变速机构被极大地简化甚至取消;广泛地采用滚珠丝杠、滚动导轨等高效率、高精度的传动部件;采用机电一体化设计与布局,机床布局主要考虑有利于提高生产率,而不像传统机床那样,主要考虑方便操作;此外,还采用自动换刀装置、自动交换工作台和数控夹具等。

1.4 数控机床的分类

数控机床的品种、规格繁多,分类方法也很多。根据数控机床的功能和结构,一般可以按照下面四条原则进行分类。

1.4.1 按照加工工艺及机床用途分类

随着数控技术的发展,目前,国内外各类机床几乎都已经开发了相应的数控机床,并且开发了一些特殊类型的数控机床,其加工用途、功能特点多种多样、五花八门。据不完全统计,目前数控机床的品种规格已达五百多种,按照其基本用

途,可以分为四大类。

(1) 金属切削类

这一类是数控机床的主要类型,又可以分为两类。

① 普通数控机床。根据 GB/T 15375—94 金属切削机床型号的编制方法,我国的金属切削机床划分为 11 大类,原则上每一类都可以配上数控系统,形成数控机床,如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床等,其工艺用途与传统车床、铣床、钻床、磨床等基本相似。用通用特性代号“K”(读音为“控”)表示。

② 加工中心。其主要特点是具有刀库和自动换刀装置的数控机床,工件一次装夹后,可以进行多种工序加工,用通用特性代号“H”(读音为“换”)表示。主要有铣镗加工中心、车削加工中心和磨削加工中心等。铣镗加工中心出现得最早,一般简称加工中心,主要完成铣、镗、钻、攻丝等加工;车削加工中心以完成各种车削加工为主,还能利用自驱动刀具,完成铣平面、键槽及钻横孔等工序,一般简称车削中心。

(2) 金属成形类

指使用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床,如数控冲压机、剪板机、折弯机、弯管机和旋压机等。

(3) 特种加工类

主要指数控电火花切割机床、电火花成形机床、火焰切割机床和激光加工机床等。

(4) 测量绘图类

主要有三坐标测量机、绘图机和对刀仪等,其控制工作原理与数控机床基本相同。

1.4.2 按照机床运动的控制轨迹分类

根据数控机床刀具与工件相对运动轨迹的类型,可以将数控机床划分为点位控制、直线控制和轮廓控制三种类型。

(1) 点位控制数控机床

这类机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等,其特点是机床移动部件在移动中不进行加工,只要求以最快的速度从一点移动到另一点,并准确定位。至于点与点之间的移动轨迹(路径与方向),并无严格要求,各坐标轴之间的运动也不相关联。

(2) 直线控制数控机床

这类机床是在点位控制基础上,能对单个机床坐标轴的移动速度进行控制,使数控车床、数控铣床和数控磨床等能完成简单的直线或 45°斜线加工。

(3) 轮廓控制数控机床