



高职高专数控技术专业规划教材

数控设备故障 诊断与维修技术

孙 伟 主 编
张 敏 王 永 副主编
常文春 李宝栋 参 编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

数控设备故障诊断与 维修技术

孙 伟 主 编
张 敏 王 永 副主编
常文春 李宝栋 参 编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共分七章,主要内容有:概述;数控机床精度及性能检验;数控机床机械故障诊断及维护;数控系统的组成及工作原理;数控系统故障诊断及维修技术;伺服系统的工作原理及故障诊断;数控机床输入/输出(I/O)控制的故障诊断。本书在论述上力求做到概念准确、层次清晰、深入浅出、易学易用。

本书可以作为高等工科院校,职业技术学院数控技术应用专业、机械电子工程专业、机械制造与自动化专业、机械设计与制造专业、模具设计与制造专业以及与之相近专业的教材,还可作为从事机械加工、数控技术应用的科研和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控设备故障诊断与维修技术 / 孙伟主编; 张敏, 王永副主编. —北京: 国防工业出版社, 2006. 8
ISBN 7-118-04642-6

I. 数... II. ①孙... ②张... ③王... III. ①数控机床-故障诊断②数控机床-维修 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 077596 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$ 字数 365 千字
2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

前 言

本书是根据高等专科学校机械制造专业教材编委会制定的“数控机床故障诊断维修与管理”课程教学大纲而编写的。本书的特点是充分考虑教学需求和诊断技术的发展与实际应用,以日本 FANUC 系统;德国 SIEMENS 系统;美国 Allen-Bradley 系统,华中系统等市场常用的设备为主线,力求结合生产实际,突出应用,便于教学。

本书共分七章,主要内容有:概述;数控机床精度及性能检验;数控机床机械故障诊断及维护;数控系统的组成及工作原理;数控系统故障诊断及维修技术;伺服系统的工作原理及故障诊断;数控机床输入/输出(I/O)控制的故障诊断。在论述上力求做到概念准确、层次清晰、深入浅出、易学易用。

本书可以作为高等工科院校,职业技术学院数控技术专业、机械电子工程专业、机械制造与自动化专业、机械设计与制造专业、模具设计与制造专业以及与之相近专业的教材,还可作为从事机械加工、数控技术应用的科研和工程技术人员的参考用书。

本书由兰州工业高等专科学校孙伟主编。副主编有:宁夏职业技术学院张敏;兰州工业高等专科学校王永。参编有:兰州工业高等专科学校常文春,李宝栋。

参加编写工作的有孙伟(第一章、第三章、第五章的部分内容、附录)、张敏(第七章)、王永(第五章、第六章)、常文春(第四章)、李宝栋(第二章)。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概述	1
1.1 数控机床的产生及其历史背景	1
1.2 数控机床的概念及其组成	2
1.3 数控机床的发展现状	5
1.3.1 数控机床发展趋势	5
1.3.2 数控机床各部件的发展趋势	9
1.3.3 中国数控机床的发展	11
1.4 数控机床故障诊断的内容与故障的分类	14
1.4.1 故障的基本概念	14
1.4.2 故障的分类	14
1.4.3 数控系统的可靠性	16
1.4.4 数控机床维修的重要性	17
1.5 现代数控系统的诊断技术	18
1.5.1 诊断的概念	18
1.5.2 诊断技术的实际应用	21
1.5.3 数控机床故障诊断技术的发展动向	22
1.6 数控机床的抗干扰	26
1.6.1 数控机床的抗干扰	26
1.6.2 抗干扰措施	27
1.7 技术资料的种类	28
1.8 故障发生时的处理	29
1.8.1 故障现场充分调查	29
1.8.2 故障树的建立	30
1.8.3 排列可能引起故障的各种因素	30
1.8.4 确定故障产生的原因	31
第二章 数控机床精度及性能检验	32
2.1 精度检验	32

2.1.1 几何精度检验	32
2.1.2 定位精度检验	40
2.1.3 切削精度检验	46
2.2 机床性能及数控功能检验	53
2.2.1 机床性能	53
2.2.2 数控功能	55
2.3 数控机床的选用	56
2.3.1 选用依据	57
2.3.2 选用内容	58
2.3.3 购置订货时应注意的问题	61
2.4 数控机床的安装调试和检测	61
2.4.1 安装的环境要求	62
2.4.2 数控设备的安装调试	63
第三章 数控机床机械故障诊断及维护	66
3.1 诊断技术的应用	66
3.2 点检及机床的润滑系统	68
3.2.1 点检的概念	68
3.2.2 机床的润滑系统及用油说明	69
3.3 主轴部件的故障诊断	70
3.3.1 数控机床的主传动系统	70
3.3.2 数控机床主传动系统的特点	71
3.3.3 主轴变速方式	71
3.3.4 主轴支承与润滑	74
3.4 滚珠丝杠螺母副的故障诊断	80
3.4.1 对进给系统机械传动机构的要求	80
3.4.2 滚珠丝杠螺母副	80
3.5 导轨副的故障诊断	86
3.6 刀库及换刀装置的故障诊断	90
3.6.1 刀库与换刀机械手的维护要点	90
3.6.2 刀库与换刀机械手的故障诊断	91
3.7 液压与气压传动系统的故障诊断	91
3.7.1 液压传动系统	91
3.7.2 气动系统	95
3.8 机械部分的检查与调试	97
3.9 液压部分的检查与调整	98

3.10	气动系统的检查与调整	99
3.11	润滑系统的检查与调整	99
第四章	数控系统结构及工作原理	100
4.1	概述	100
4.1.1	国内外主要生产厂家产品介绍	100
4.1.2	数控系统的功能	101
4.1.3	数控系统的组成	102
4.2	常见数控系统的介绍	104
4.2.1	FANUC 数控系统介绍	104
4.2.2	SIEMENS 数控系统介绍	116
4.2.3	华中数控系统介绍	126
4.3	数控系统的结构及工作原理	127
4.3.1	数控系统的基本工作原理	127
4.3.2	FANUC 0 系统的基本配置	130
4.3.3	SIEMENS 的基本配置及工作原理	137
4.3.4	华中数控系统的基本配置	141
第五章	数控系统故障诊断及维修技术	154
5.1	数控系统的软件故障	154
5.1.1	数控系统的系统软件配置	155
5.1.2	加工程序	170
5.1.3	软件故障发生的原因	172
5.1.4	软件故障的排除	173
5.2	数控系统硬件故障	173
5.2.1	元器件的识别	173
5.2.2	元器件的故障与维修	191
5.2.3	元器件的替代	192
5.3	数控系统的故障诊断实例	194
第六章	伺服系统的故障特点及诊断技术	206
6.1	概述	206
6.2	伺服系统的结构和工作原理	207
6.2.1	伺服系统的概念和作用	207
6.2.2	伺服系统的分类	208
6.2.3	伺服系统的组成及工作原理	214
6.2.4	伺服系统的现状及展望	214
6.3	主轴伺服系统故障及诊断	218

6.3.1	常用主轴驱动系统介绍	218
6.3.2	主轴伺服系统故障形式及诊断方法	219
6.3.3	直流主轴伺服系统的故障诊断	221
6.3.4	交流主轴驱动的故障诊断	225
6.4	进给伺服系统故障及诊断	234
6.4.1	常见进给驱动系统介绍	234
6.4.2	伺服系统结构形式	235
6.4.3	进给伺服系统的故障形式及诊断方法	238
6.4.4	伺服电动机的维护	243
6.4.5	进给驱动的故障诊断	246
6.5	位置检测系统故障及诊断	255
6.5.1	故障形式	255
6.5.2	位置检测元件的维护	256
6.5.3	伺服系统参数	258
第七章	数控机床输入/输出(I/O)控制的故障诊断	265
7.1	PLC 的基本构造	265
7.2	PLC 的工作过程	266
7.3	PLC 的主要功能及特点	269
7.3.1	PLC 的主要功能	269
7.3.2	PLC 的一般特点	270
7.4	PLC 与外部信息的交换	271
7.4.1	直流开关量输入信号	273
7.4.2	直流开关量输出信号	273
7.5	数控机床 PLC 的功能	274
7.5.1	内装型 PLC	274
7.5.2	独立型 PLC	275
7.6	PLC 的工作原理及特点	276
7.7	输入/输出元件	278
7.7.1	输入元件	279
7.7.2	输出元件	279
7.8	数控机床 PLC 控制的故障诊断	280
7.8.1	PLC 故障的表现形式	280
7.8.2	数控机床 PLC 故障诊断的方法	283
附录	常用数控名词中英文对照	291
参考文献		316

第一章 概 述

1.1 数控机床的产生及其历史背景

从工业化革命以来,人们实现机械加工自动化的手段有:自动机床,组合机床和专用自动生产线。这些设备的使用大大地提高了机械加工自动化的程度,提高了劳动生产率,促进了制造业的发展。但它也存在固有的缺点:初始投资大,准备周期长,柔性差。随着市场竞争日趋激烈,产品更新换代加快,大批量产品越来越少,小批量产品生产的比重越来越大,迫切需要一种精度高、柔性好的加工设备来满足上述需求。而电子技术和计算机技术的飞速发展则为 NC 机床的进步提供了坚实的技术基础。数控技术正是在这种背景下诞生和发展起来的。它的产生给自动化技术带来了新的概念,推动了加工自动化技术的发展。

数控机床是新型自动化机床,它是具有广泛的通用性和很高自动比的全新型机床,是用数字代码形式的信息来控制机床按给定的动作顺序进行加工的自动化机床。

采用数字控制技术进行机械加工的思想最早来源于 20 世纪 40 年代,数控机床最早产生于美国。

1947 年,为精确制作直升机叶片的样板,美国的帕森斯(PARSONS)公司设想并利用全数字计算机对叶片轮廓的加工路径进行了数据处理,使得加工精度达到 0.0381mm,这是最早地将数字控制技术运用到机械加工中的实例。

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,委托帕森斯公司并通过该公司与麻省理工学院伺服机构研究所协作,开始了数控机床的研制工作。经过三年的研制,于 1952 年研制成功了世界上第一台数控铣床,当时所用的电子元件是电子管。

从 1952 年至今,数控机床按数控系统的发展经历了五代。

第一代:1955 年,数控系统以电子管组成,体积大,功耗大。

第二代:1959 年,数控系统以晶体管组成,广泛采用印制电路板。

第三代:1965 年,数控系统采用小规模集成电路作为硬件,其特点是体积

小,功耗低,可靠性进一步提高。

以上三代数控系统,由于其数控功能均由硬件实现,故历史上又称其为“硬件数控”。

第四代:1970年,数控系统采用小型计算机取代专用计算机,其部分功能由软件实现,它具有价格低,可靠性高和功能多等特点。

第五代:1974年,数控系统以微处理器为核心,不仅价格进一步降低,体积进一步缩小,使实现真正意义上的机电一体化成为可能。这一代又可分为6个发展阶段。

1974年,系统以位片微处理器为核心,有字符显示,自诊断功能。

1979年,系统采用CRT显示,VLIC,大容量磁泡存储器,可编程接口和遥控接口等。

1981年,具有人机对话、动态图形显示、实时精度补偿功能。

1986年,数字伺服控制诞生,大惯量的交直流电机进入实用阶段。

1988年,采用高性能32位机为主机的主从结构系统。

1994年,基于PC的数控系统诞生,使数控系统的研发进入了开放型、柔性化的新时代,新型数控系统的开发周期日益缩短。它是数控技术发展的又一个里程碑。

而我国关于数控机床的研究有以下几个发展阶段。

1958年,开始起步。

20世纪50年代~60年代,处于研发阶段。

20世纪60年代~70年代,研制了晶体管式数控系统。

20世纪80年代,引进设备,进行技术吸收更新。

20世纪80年代~90年代(七五),数控大发展的阶段。

20世纪90年代,中国有自主产权的中高档数控设备产生。

1995,高校和研究所加入,推出了基于PC的CNC系统。

当今,着重研究高档数控设备。

1.2 数控机床的概念及其组成

数字控制(Numerical Control, NC)是一种借助数字、字符或其他符号对某一工作过程(如加工、测量、装配等)进行可编程控制的自动化方法。

数控技术(Numerical Control Technology)是采用数字控制的方法对某一工作过程实现自动控制的技术。

数控机床(Numerical Control Machine Tools)是采用数字控制技术对机床的

加工过程进行自动控制的一类机床。它是数控技术典型应用的例子。

数控系统(Numerical Control System)是实现数字控制的装置。

计算机数控系统(Computer Numerical Control, CNC)是以计算机为核心的数控系统。

数控机床的组成如图 1-1 所示,主要由以下 6 部分组成。

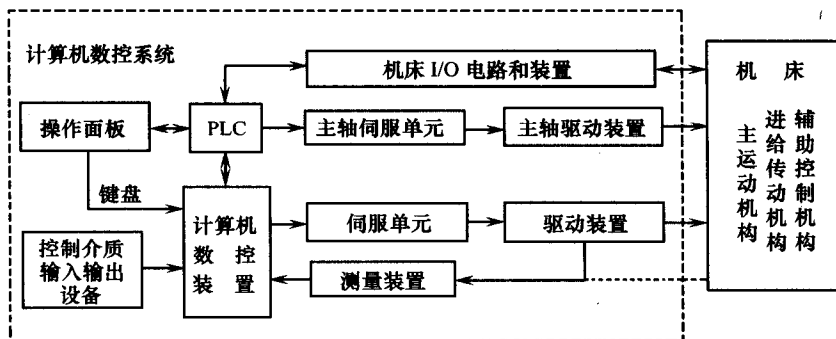


图 1-1 数控机床的组成

1. 操作面板

- (1) 它是操作人员与数控装置进行信息交流的工具。
- (2) 组成:按钮、状态灯、按键阵列(功能与计算机键盘一样)和显示器。
- (3) 它是数控机床特有的部件。

2. 控制介质与输入输出设备

- (1) 控制介质是记录零件加工程序的媒介。
- (2) 输入输出设备是 CNC 系统与外部设备进行交互的装置。交互的信息通常是零件加工程序。即将编制好的记录在控制介质上的零件加工程序输入 CNC 系统或将调试好了的零件加工程序通过输出设备存放或记录在相应的控制介质上。

数控机床常用的控制介质和输入输出设备见表 1-1。

(3) 通讯

现代的数控系统除采用输入输出设备进行信息交换外,一般都具有用通讯方式进行信息交换的能力。它们是实现 CAD/CAM、FMS 和 CIMS 的基本技术。采用的方式具有如下几种。

表 1-1 数控机床常用控制介质和输入输出设备表

控制介质	输入设备	输出设备
穿孔纸带	纸带阅读机	纸带穿孔机
磁带	磁带机或录音机	
磁盘	磁盘驱动器	

- ① 串行通讯(RS-232 等串口)。
- ② 自动控制专用接口和规范(DNC 方式,MAP 协议等)。
- ③ 网络技术(internet,LAN 等)。

3. 计算机数控装置

(1) 组成:计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通讯接口板、特殊功能模块以及相应的控制软件。

(2) 作用:根据输入的零件加工程序进行相应的处理(如运动轨迹处理、机床输入输出处理等),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),所有这些工作是由 CNC 装置内硬件和软件协调配合,合理组织,使整个系统有条不紊地进行工作的。CNC 装置是 CNC 系统的核心。

4. 伺服单元、驱动装置和测量装置

(1) 伺服单元和驱动装置

主轴伺服驱动装置和主轴电机。

进给伺服驱动装置和进给电机。

(2) 测量装置

位置和速度测量装置以实现进给伺服系统的闭环控制。

(3) 作用

保证灵敏、准确地跟踪 CNC 装置指令。

进给运动指令:实现零件加工的成形运动(速度和位置控制)。

主轴运动指令:实现零件加工的切削运动(速度控制)。

5. PLC、机床 I/O 电路和装置

(1) PLC(Programmable Logic Controller):用于完成与逻辑运算有关顺序动作的 I/O 控制,它由硬件和软件组成。

(2) 机床 I/O 电路和装置:实现 I/O 控制的执行部件,由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成的逻辑电路。

(3) 功能: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,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

(1) 机床:数控机床的主体,是实现制造加工的执行部件。

(2) 组成:由主运动部件、进给运动部件(工作台、拖板以及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等)以及特殊装置(刀具自动交换系统、工件自动交换系统)和辅助装置(如上料装置、排屑装置等)。

1.3 数控机床的发展现状

1.3.1 数控机床发展趋势

数控机床随着科技、特别是微电子、计算机技术的进步而不断发展。美、德、日三国是在数控机床科研、设计、制造和使用上技术最先进、经验最多的国家。因其社会条件不同,各有特点。

美国政府重视机床工业,美国国防部等部门不断提出机床的发展方向、科研任务和提供充足的经费,且网罗世界人才,特别讲究“效率”和“创新”,注重基础科研。因而在机床技术上不断创新,如1952年研制出世界第一台数控机床、1958年研制出加工中心、20世纪70年代初研制成FMS、1987年首创开放式数控系统等。由于美国首先结合汽车、轴承生产需求,充分发展了大量大批生产自动化所需的自动线,而且电子、计算机技术在世界上领先,因此,其数控机床的主机设计、制造及数控系统基础扎实,且一贯重视科研和创新,故其高性能数控机床技术在上世界上也一直领先。

当今美国不仅生产宇航等使用的高性能数控机床,也为中小企业生产廉价实用的数控机床(如Haas、Fadal公司等)。其存在的教训是,偏重于基础科研,忽视应用技术,且在20世纪80代政府一度放松了引导,致使数控机床产量增加缓慢,于1982年被后进的日本超过,并大量进口。从20世纪90年代起,纠正过去偏向,数控机床在技术上转向实用,产量又逐渐上升。

德国政府一贯重视机床工业的重要战略地位,在多方面大力扶植。特别讲究“实际”与“实效”,坚持“以人为本”,师徒相传,不断提高人员素质。在发展大批量生产自动化的基础上,于1956年研制出第一台数控机床后,一直坚持实事求是,讲求科学精神,不断稳步前进。

德国特别注重科学试验,理论与实际相结合,基础科研与应用技术科研并重。企业与大学科研部门紧密合作,对用户产品、加工工艺、机床布局结构、数控机床的共性和特性问题进行深入的研究,在质量上精益求精。德国的数控机床质量及性能良好,先进实用、货真价实,出口遍及世界,尤其是大型、重型、精密数控机床。德国特别重视数控机床主机及配套件的先进实用,其机、电、液、气、光、刀具、测量、数控系统、各种功能部件,在质量、性能上居世界前列。如西门子公司数控系统和Heidenhain公司的精密光栅,均为世界闻名,各地竞相采用。

日本政府对机床工业的发展异常重视,通过规划、法规(如“机振法”、“机

电法”、“机信法”等)引导发展。在重视人才及机床元部件配套上学习德国,在质量管理及数控机床技术上学习美国,甚至青出于蓝而胜于蓝。

日本也和美、德两国相似,充分发展大批量生产自动化,继而全力发展中小批量柔性生产自动化的数控机床。自 1958 年研制出第一台数控机床后,1978 年产量(7 342 台)超过美国(5 688 台),至今产量、出口量一直居世界首位(2001 年产量 46 604 台,出口 27 409 台,占 59%)。在战略上一开始就生产量大而广的中档数控机床,大量出口,占去世界广大市场。

日本在 20 世纪 80 年代开始进一步加强科研,向高性能数控机床发展。在策略上,首先通过学习美国全面质量管理(TQC)变为职工自觉群体活动,保产品质量。进而加速发展电子、计算机技术,进入世界前列,为发展机电一体化的数控机床开道。日本在发展数控机床的过程中,狠抓关键,突出发展数控系统。

日本 FANUC 公司战略正确,仿创结合,针对性地发展市场所需各种低、中、高档数控系统,在技术上领先,在产量上居世界第一。该公司现有职工 3 674 人,科研人员超过 600 人,月产能力 7 000 套,销售额在世界市场上占 50%,在国内约占 70%,对加速日本和世界数控机床的发展起了重大促进作用。

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) 高速、高效、高精度、高可靠性

要提高加工效率,首先必须提高切削和进给速度,同时,还要缩短加工时间;要确保加工质量,必须提高机床部件运动轨迹的精度,而可靠性则是上述目标的基本保证。为此,必须要有高性能的数控装置作保证。

① 高速、高效

机床向高速化方向发展,可充分发挥现代刀具材料的性能,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产有广泛的适用性。

新一代数控机床(含加工中心)只有通过高速化大幅度缩短切削工时才可能进一步提高其生产率。超高速加工特别是超高速铣削与新一代高速数控机床,特别是高速加工中心的开发应用紧密相关。20 世纪 90 年代以来,欧、美、日各国争相开发应用新一代高速数控机床,加快机床高速化发展步伐。高速主轴单元(电主轴,转速 15000r/min ~ 100000r/min)、高速且高加/减速度的进给运动部件(快移速度 60m/min ~ 120m/min,切削进给速度高达 60m/min)、高性能数控和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破,达到了新的技术水平。随着超高速切削机理、超硬耐磨长寿命刀具材料和磨料磨具,大功率高速电主轴、高加/减速度直线电机驱动进给部件以及高性能控制系统(含监控系统)和

防护装置等一系列技术领域中关键技术的解决,应不失时机地开发应用新一代高速数控机床。

依靠快速、准确的数字量传递技术对高性能的机床执行部件进行高精度、高响应速度的实时处理,由于采用了新型刀具,车削和铣削的切削速度已达到 $5000\text{m/min} \sim 8000\text{m/min}$ 以上;主轴转数在 30000r/min (有的高达 10 万 r/min) 以上;工作台的移动速度(进给速度)在分辨率为 $1\mu\text{m}$ 时为 100m/min (有的到 200m/min) 以上,在分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ 时,为 24m/min 以上;自动换刀速度在 1s 以内;小线段插补进给速度达到 12m/min 。根据高效率、大批量生产需求和电子驱动技术的飞速发展,高速直线电机的推广应用,开发出一批高速、高效的高速响应的数控机床以满足汽车、农机等行业的需求。还由于新产品更新换代周期加快,模具、航空、军事等工业的加工零件不但复杂而且品种增多。

② 高精度

从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工)是世界各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级($<10\text{nm}$),其应用范围日趋广泛。超精密加工主要包括超精密切削(车、铣)、超精密磨削、超精密研磨抛光以及超精密特种加工(三束加工及微细电火花加工、微细电解加工和各种复合加工等)。随着现代科学技术的发展,对超精密加工技术不断提出了新的要求。新材料及新零件的出现,更高精度要求的提出等都需要超精密加工工艺,发展新型超精密加工机床,完善现代超精密加工技术,以适应现代科技的发展。

当前,机械加工高精度的要求如下:普通的加工精度提高了一倍,达到 $5\mu\text{m}$;精密加工精度提高了两个数量级,超精密加工精度进入纳米级($0.001\mu\text{m}$),主轴回转精度要求达到 $0.01\mu\text{m} \sim 0.05\mu\text{m}$,加工圆度为 $0.1\mu\text{m}$,加工表面粗糙度 $Ra = 0.003\mu\text{m}$ 等。

精密化是为了适应高新技术发展的需要,也是为了提高普通机电产品的性能、质量和可靠性,减少其装配时的工作量从而提高装配效率的需要。随着高新技术的发展和对机电产品性能与质量要求的提高,机床用户对机床加工精度的要求也越来越高。为了满足用户的需要,近 10 多年来,普通级数控机床的加工精度已由 $\pm 10\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5\mu\text{m}$,精密级加工中心的加工精度则从 $\pm 3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 1\mu\text{m} \sim 1.5\mu\text{m}$ 。

③ 高可靠性

高可靠性是指数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性在一个数量级以上,但也不是可靠性越高越好,仍然是适度可靠,因为是商品,受性能价格比的约束。对于每天工作两班的无人工厂而言,如果要求在 16h 内连续正常工作,无故障率 $P(t) = 99\%$ 以上,则数控机床的 MTBF(当产品的寿命服从指数分

布时,其故障率的倒数就叫做平均故障间隔时间(Mean Time Between Failures))就必须大于 3000h。MTBF 大于 3000h,对于由不同数量的数控机床构成的无人化工厂差别就大多了,只对一台数控机床而言,如主机与数控系统的失效率之比为 10:1(数控的可靠比主机高一个数量级),则此时数控系统的 MTBF 就要大于 33333.3h,而其中的数控装置、主轴及驱动等的 MTBF 就必须大于 10 万 h。

当前国外数控装置的 MTBF 值已达 6000 小时以上,驱动装置达 30000h 以上。

(2) 模块化、智能化、柔性化和集成化

① 模块化、专门化与个性化

为了适应数控机床多品种、小批量的特点,机床结构模块化,数控功能专门化,机床性能价格比显著提高并加快优化。个性化是近几年来特别明显的发展趋势。

② 智能化

智能化的内容包括在数控系统中的各个方面。

为追求加工效率和加工质量方面的智能化,如自适应控制,工艺参数自动生成。

为提高驱动性能及使用连接方便方面的智能化,如前馈控制、电机参数的自适应运算、自动识别负载自动选定模型、自整定等。

简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程,智能化的人机界面等。

智能诊断、智能监控方面的内容,方便系统的诊断及维修等。

③ 柔性化和集成化

数控机床向柔性自动化系统发展的趋势是:从点(数控单机、加工中心和数控复合加工机床)、线(FMC、FMS、FTL、FML)向面(工段车间独立制造岛、FA)、体(CIMS、分布式网络集成制造系统)的方向发展,另一方面向注重应用性和经济性方向发展。柔性自动化技术是制造业适应动态市场需求及产品迅速更新的主要手段,是各国制造业发展的主流趋势,是先进制造领域的基础技术。其重点是以提高系统的可靠性、实用化为前提,以易于联网和集成为目标;注重加强单元技术的开拓、完善;CNC 单机向高精度、高速度和高柔性方向发展;数控机床及其构成柔性制造系统能方便地与 CAD、CAM、CAPP、MTS 连接,向信息集成方向发展;网络系统向开放、集成和智能化方向发展。

(3) 开放性

为适应数控进线、联网、普及型个性化、多品种、小批量、柔性化及数控迅速

发展的要求,最重要的发展趋势是体系结构的开放性,设计生产开放式的数控系统,如美国、欧共体及日本发展开放式数控的计划等。

(4) 出现新一代数控加工工艺与装备

为适应制造自动化的发展,向 FMC、FMS 和 CIMS 提供基础设备,要求数字控制制造系统不仅能完成通常的加工功能,而且还要具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头(有时带坐标变换)、自动误差补偿、自动诊断、进线和联网等功能,广泛地应用机器人、物流系统。围绕数控技术、制造过程技术在快速成型、并联机构机床、机器人化机床、多功能机床等整机方面和高速电主轴、直线电机、软件补偿精度等单元技术方面先后有所突破。并联杆系结构的新型数控机床实用化。这种虚拟轴数控机床用软件的复杂性代替传统机床机构的复杂性,开拓了数控机床发展的新领域。

以计算机辅助管理和工程数据库、因特网等为主体的制造信息支持技术和智能化决策系统对机械加工中海量信息进行存储和实时处理。应用数字化网络技术使机械加工整个系统趋于资源合理支配并高效地应用。

由于采用了神经网络控制技术、模糊控制技术、数字化网络技术,机械加工向虚拟制造的方向发展。

1.3.2 数控机床各部件的发展趋势

1. 数控系统发展趋势

从 1952 年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统,到现在已走过了 54 年的历程。数控系统由当初的电子管式起步,经历了以下几个发展阶段。

分立式晶体管式——小规模集成电路式——大规模集成电路式——小型计算机式——超大规模集成电路——微机式的数控系统。到 20 世纪 80 年代,总体发展趋势是:数控装置由 NC 向 CNC 发展;广泛采用 32 位 CPU 组成多微处理器系统;提高系统的集成度,缩小体积,采用模块化结构,便于裁剪、扩展和功能升级,满足不同类型数控机床的需要;驱动装置向交流、数字化方向发展;CNC 装置向人工智能化方向发展;采用新型的自动编程系统;增强通信功能;数控系统可靠性不断提高。总之,数控机床技术不断发展,功能越来越完善,使用越来越方便,可靠性越来越高,性能价格比也越来越高。到 1990 年,全世界数控系统专业生产厂家年产数控系统约 13 万台套。国外数控系统技术发展的总体发展趋势如下。

(1) 新一代数控系统采用开放式体系结构

进入 20 世纪 90 年代以来,由于计算机技术的飞速发展,推动数控机床技