

高职高专规划教材
(数控技术应用专业)

数控机床及故障诊断技术

主 编 黄 卫
参 编 王国良 张士良
 汤彩萍 刘 江
主 审 许 超



机械工业出版社

本书共分五章,主要介绍了数控机床的组成、类型和工作原理,详细介绍了数控机床各组成部分的结构特点及原理,伺服控制系统的结构类型和控制原理,讲述了数控机床的调试方法,结合典型实例对数控机床故障诊断技术、诊断方法作了详细介绍。书中每章均附有习题供读者练习,以帮助读者掌握数控机床结构及其故障诊断技术。

本书可作为高职高专数控专业的教材或有关数控技术职业培训教材,也可作为本科相关专业的教材和教学参考书,并可供数控工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及故障诊断技术/黄卫主编. —北京:机械工业出版社, 2004. 6

高职高专规划教材. 数控技术应用专业

ISBN 7-111-14286-1

I. 数... II. 黄... III. ①数控机床—高等学校:技术学校—教材 ②数控机床—故障诊断—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 027443 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:汪光灿

责任编辑:于宁 版式设计:张世琴 责任校对:张媛

封面设计:陈沛 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年6月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·7.625印张·292千字

定价:21.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

2004年6月第2版·第3次印刷

850mm×1168mm^{1/64}·21.875印张·2插页·771千字

34 001—42 000册

定价：45.00元

前 言

自 1952 年美国帕森斯(Parsons)公司与麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作研制成功世界上第一台三坐标数控铣床以来,数控机床的应用日趋普及,已成为现代制造业的重要基本装备。近年来,随着工业发达国家数控机床新品种不断涌现,我国许多企业引进了相当数量的数控机床,我国的数控机床生产单位通过合作、自主开发等手段,也开发生产了自己的数控机床产品。

随着数控机床的应用领域不断扩大,从事数控机床操作、维护的人员也大量增加,数控机床从业人员的业务素质与数控机床的生产效率、使用寿命有着密切的关系。为适应数控机床日趋普及的趋势,近年来,各大专院校、中等职业学校设立了数控机床相关专业,为现代制造业培养数控机床各级专门人才。

本书内容涉及数控机床结构与数控机床故障诊断技术,详细介绍了数控机床各组成部分的结构和工作原理、伺服控制系统的结构类型和控制原理、数控机床的调试方法、数控机床故障诊断技术和诊断方法。内容丰富,讲述详尽,结合实例,深入浅出,每章均附有习题供读者练习。

本书由东南大学黄卫担任主编,参加本书编写的还有常州机电职业技术学院王国良、汤彩萍、刘江,常州轻工职业技术学院张士良等。其中黄卫编写第一章,王国良编写第二章,张士良和黄卫编写第三章,汤彩萍编写第四章,刘江编写第五章,全书由黄卫统稿。东南大学许超教授担任本书主审。

在本书编写过程中,主审许超教授对本书内容提出了许多宝贵的修改和补充意见,在此谨致谢意。并对本书所列参考文献的作者们表示感谢,他们的工作不仅推动了数控技术的发展,也使本书作者受益匪浅。

由于作者水平所限,书中难免有欠妥和疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2003 年 11 月

目 录

前言

第一章 数控机床概述	1
第一节 数控机床的定义	1
第二节 数控机床的组成	1
第三节 数控机床的工作过程	3
第四节 数控机床的类型	5
第五节 数控机床的应用与发展	9
习题	13
第二章 数控机床的结构	14
第一节 数控机床的特点与结构要求	14
第二节 数控机床的主传动系统	22
第三节 数控机床的进给系统	30
第四节 床身与导轨	37
第五节 机床工作台及辅助机构	43
第六节 自动换刀系统	54
习题	67
第三章 数控机床的伺服系统	68
第一节 伺服系统概述	68
第二节 步进电动机伺服系统	69
第三节 直流电动机伺服系统	78
第四节 交流电动机伺服系统	83
第五节 直线电动机伺服系统	90
第六节 检测装置	92
第七节 位置控制系统	112
习题	126



第四章 数控机床的调试	128
第一节 FANUC 0i 数控系统介绍	128
第二节 加工中心的电气控制系统组成	129
第三节 数控机床电气前期工作	134
第四节 立式加工中心的调试步骤	134
第五节 FANUC 0i 系统常见调试故障排除	156
习题	157
第五章 数控机床的故障诊断	158
第一节 故障的基本概念	158
第二节 数控机床机械故障诊断方法	167
第三节 数控系统的诊断技术	181
第四节 利用参数设置诊断数控机床故障	191
第五节 数控机床典型故障分析及其诊断	195
习题	231
参考文献	235

第一章 数控机床概述

第一节 数控机床的定义

国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing——IFIP)第五技术委员会对数控机床所作的定义是:数控机床(Numerical Control Machine)是一个装有程序控制系统的机床,该系统能够逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。

定义中所指的程序控制系统即为数控系统,系统运用数字控制技术实现机床自动控制,即用几何信息控制刀具和工件间的相对运动(即运动轨迹行程量控制),以及机床完成加工运动所必需的辅助工艺信息控制(即机床运动开关量逻辑控制),如主轴转速、主轴转向、刀具选择和切削液开闭等。

第二节 数控机床的组成

数控机床通常由信息载体、输入输出装置、数控系统、强电控制装置、伺服驱动系统、位置反馈系统、机床等部分组成,其基本结构框图如图 1-1 所示。

图 1-1 数控机床的组成结构

1. 信息载体

数控机床按照给定的零件加工程序运行,在零件加工程序中记录了加工该零件所必需的各种信息,包括零件加工的几何信息、工艺参数(进给量、主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码存储在信息载体上,通过输入装置将信息输入到数控系统中。常用的信息载体有穿孔带、磁带和磁盘等。数控机床也可以采用操作面板上的按钮和键盘将加工信息直接输入,或通过串行口将在计算机上编写的加工程序输入到数控系统。高级的数控系统还可能包括一套自动编程机或 CAD/CAM 系统。

2. 输入输出装置

输入装置的作用是将信息载体中的数控加工信息读入数控系统的内存储器。根据信息载体的不同,相应有不同的输入装置。早期使用光电阅读机对穿孔带进行阅读,以后大量使用磁带机和软盘驱动器。采用 MDI 方式,利用数控装置控制面板上的输入键直接将零件加工程序输入数控系统的内存储器。采用直接通信方式将 CAD/CAM 系统生成的数控加工程序输入数控系统,或利用 DNC 系统输



入接口远程输入数控加工程序。

输出装置的作用是为操作人员提供必要的信息,如程序代码、切削用量、刀具位置、各种故障信息和操作提示等。常用的输出装置有显示器和打印机等,可对输出信息进行显示或打印。高档数控系统还可以用图形方式直观地显示输出信息。

3. 数控系统

数控系统是数控机床实现自动加工的核心,由硬件和软件组成。现代数控系统普遍采用通用计算机作为其主要硬件部分,包括 CPU、存储器、系统总线和输入输出接口等。软件部分主要是主控制系统软件,其控制方式为数据运算处理控制(机床运动行程量控制)和时序逻辑控制(机床运动开关量控制)两大类,主控制器内的插补运算模块根据读入的零件加工程序,通过译码、编译等信息处理后,进行相应的轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统位置、速度反馈信号比较,从而控制机床各个坐标轴的移动。而时序逻辑控制主要由可编程控制器 PLC 完成,它根据机床加工过程中的各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判断,从而控制机床有条不紊地按序工作。

4. 强电控制装置

强电控制装置的主要功能是接受可编程控制器 PLC 输出的主轴变速、换向、启动或停止,刀具选择和更换,分度工作台的转位和锁紧,工件夹紧或松夹,切削液的开启或关闭等辅助操作信号,经功率放大直接驱动相应的执行元件,完成数控加工自动操作。

5. 伺服驱动系统

伺服驱动系统是数控系统与机床之间的电传动联系环节。它接受来自数控系统的位置控制信息,将其转换成相应坐标轴的进给运动和精确定位运动,是数控机床最后的控制环节,因此,其伺服精度和动态响应特性将直接影响数控机床的生产率、加工精度和表面加工质量。伺服驱动系统包括主轴伺服和进给伺服两个单元。主轴伺服单元接受来自 PLC 的转向和转速指令,经过功率放大后驱动主轴电动机转动。进给伺服单元在每个插补周期内接受数控系统的位移指令,经过功率放大后驱动进给电动机转动,同时完成速度控制和反馈控制功能。伺服驱动系统的执行器件有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。

6. 位置反馈系统

位置反馈系统通过传感器检测伺服电动机的转角位移或数控机床工作台的直线位移,并转换成电信号传送到数控系统中,与指令位置进行比较后,由数控系统向伺服驱动系统发出指令,纠正所产生的误差。

7. 机床

机床指的是数控机床的机械结构。为了适应数控加工的特点,数控机床在整



体布局、外观造型、主传动系统、进给传动系统、刀具系统及操作机构等方面都与普通机床有着很大的变化,其主要特点有:

- 1) 采用高效高性能传动部件,如滚动丝杠副、直线滚动导轨副等。传动链短,结构简单,传动精度高。
- 2) 机床精度、静刚度、动刚度、热刚度高,能满足大余量切削和精密加工切削。
- 3) 有完善的刀具自动交换和管理系统。工件一次装夹后能完成多道工序。
- 4) 具有传动副传动间隙消除措施,保证了传动机构的传动精度和动态性能。
- 5) 采用移门结构的全封闭外罩壳,保证了加工操作的安全性。

第三节 数控机床的工作过程

数控机床的主要任务是利用数控系统进行刀具和工件之间相对运动的控制,完成零件的数控加工。图 1-2 显示了数控机床的主要工作过程。

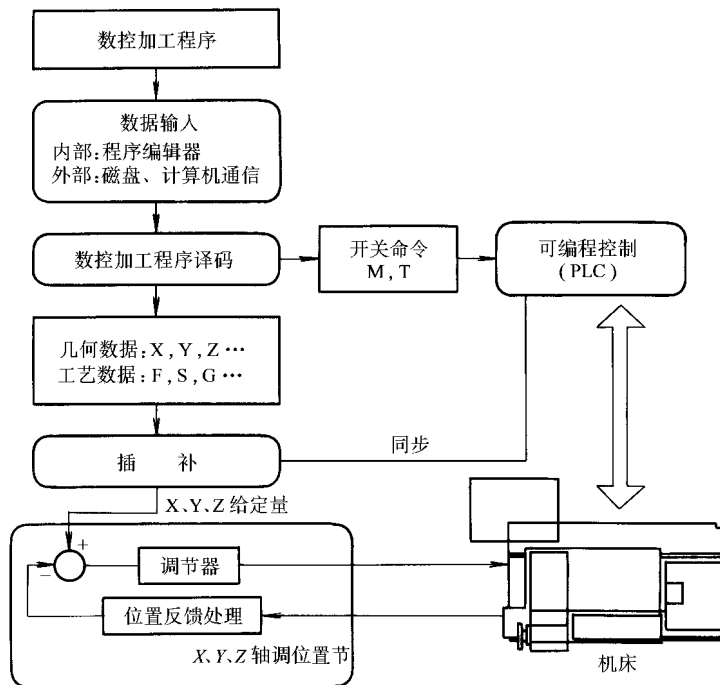


图 1-2 数控机床的主要工作过程

1. 工作前准备

数控机床接通电源后,数控系统将对各组成部分的工作状况进行检查和诊断,并设置为初始状态。



2. 零件加工程序编制与输入

零件加工程序的编制可以是脱机编程,也可以是联机编程。前者利用计算机进行手工编程或自动编程,生成的数控程序记录在信息载体上通过系统输入装置输入数控系统,或通过通信方式直接传送到数控系统。后者是利用数控系统本身的编辑器由操作员直接通过操作面板编写、输入或修改数控加工程序。

为了使加工程序适应实际的工件与刀具位置,加工前还应输入实际使用刀具的刀具参数,及工件坐标系原点相对机床坐标系的坐标值。

3. 数控加工程序的译码和预处理

加工程序输入后,数控机床启动运行,数控系统对加工程序进行译码和预处理。

进行译码时,加工程序被分成几何数据、工艺数据和开关功能。几何数据是刀具相对工件的运动路径数据,如 G 指令和坐标字等,利用这些数据可加工出要求的工件几何形状。工艺数据是主轴转速(S 指令)和进给速度(F 指令)及部分 G 指令等功能。开关功能是对机床电器的开关命令(辅助 M 指令和刀具选择 T 指令),例如主轴起动或停止、刀具选择和交换、切削液的开启或停止等。

编程时,一般不考虑刀具实际几何数据而直接以工件轮廓尺寸编程,数控系统根据工件几何数据和加工前输入的实际刀具参数,进行刀具长度补偿和刀具半径补偿计算。为了方便编程,数控系统中存在着多种坐标系,故数控系统还要进行相应的坐标变换计算。

4. 插补计算

数控系统完成加工控制信息预处理后,开始逐段运行数控加工程序。系统中的插补器根据程序中给出的几何数据和工艺数据进行插补计算,逐点计算并确定各曲线段起、终点之间一系列中间点的坐标及坐标轴运动的方向、大小和速度,分别向各坐标轴发出运动序列指令。

5. 位置控制

进给伺服单元将插补计算结果作为位置调节器的指令值,机床上位置检测元件测得的位移作为实际位置值。位置调节器将两者进行比较、调节,输出误差补偿后的位置和速度控制信号,控制各坐标轴精确运动。各坐标轴的合成运动产生了数控加工程序所要求的零件外形轮廓和尺寸。

6. 程序管理

数控系统在进行一个程序段的插补计算和位置控制的同时,又对下一程序段作译码和预处理,为逐段运行数控加工程序做准备。这样的过程一直持续到整个零件加工程序执行完毕。

数控系统根据程序发出的开关指令由 PLC 进行处理。在系统程序的控制下,在各加工程序段插补处理开始前或完成后,开关指令和由机床反馈的信号一起被



处理和转换为机床开关设备的控制指令,实现程序段所规定的 T 功能、M 功能和 S 功能。

第四节 数控机床的类型

数控机床的品种、规格繁多,为便于了解和研究,可按以下四个方面进行分类。

1. 按工艺用途分类

目前,数控机床的品种规格已达 500 多种,按其加工用途和功能特点可分为四大类。

(1) 金属切削类 常用的有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控刨床等普通型数控机床。装有刀具库和自动换刀装置的数控机床称为加工中心,在加工中心上,可使工件一次装夹后,自动进行刀具更换,连续完成多道工序。加工中心主要有车削中心、镗铣削中心、磨削中心、钻削中心等。

(2) 金属成形类 常用的有数控弯管机、数控压力机、数控折弯机、数控冲剪机、数控旋压机等。

(3) 特种加工类 主要有数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光加工机床等。

(4) 测量绘图类 主要有数控绘图仪、数控坐标测量仪、数控对刀仪等。

2. 按机床运动控制轨迹分类

(1) 点位控制数控机床 这类机床的控制特点是只控制机床运动部件从一坐标点到另一坐标点的精确定位。移动过程中不进行加工,对定位过程中的轨迹没有严格要求,各坐标轴之间的运动是不相关的。为了减少移动时间和提高定位精度,一般先快速移动至接近终点坐标,然后低速准确运动到终点位置。这类数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。图 1-3 所示为点位控制数控机床加工示意图。

(2) 点位直线控制数控机床 这类机床的控制特点是既控制机床运动部件从一坐标点到另一坐标点的精确定位,还要控制两点间的速度和轨迹。其轨迹是平行于机床各坐标轴的直线,或两轴同时移动构成的斜线。这类数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床等,其局限性是只能作简单的直线运动,不能实现任意的轮廓轨迹加工。图 1-4 所示为点位直线控制数控机床加工示意图。

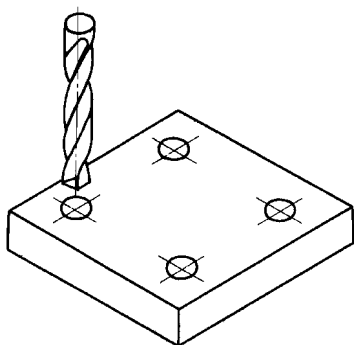


图 1-3 点位控制加工示意图

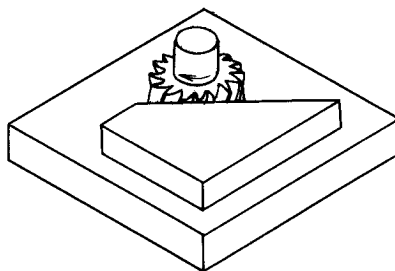


图 1-4 点位直线控制加工示意图

(3) 轮廓控制数控机床 这类机床也称连续控制数控机床。其控制特点是能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行连续关联的控制,机床运动部件不仅能精确控制起点与终点坐标位置,而且能精确控制整个加工运动轨迹(控制每一点的速度和位移量),以满足零件轮廓表面的加工要求。数控系统中的插补器根据程序输入的基本参数(如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径),进行插补运算,实现加工过程速度和位移控制。这类数控机床有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、各类加工中心等。

按机床可同时控制的坐标轴数,可分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、四轴联动、五轴联动。

二轴联动可同时控制 X 、 Y 、 Z 三轴中二轴联动,加工曲线柱面,如图 1-5 所示。

二轴半联动指其中二轴联动,第三轴作周期进给,可采用行切法加工三维空间曲面,如图 1-6 所示。

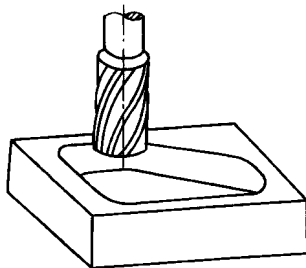


图 1-5 二轴联动的数控加工

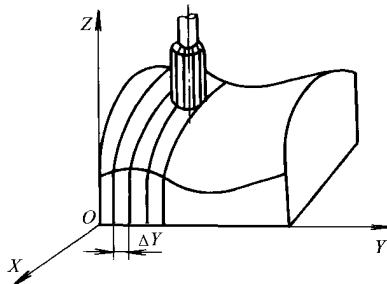


图 1-6 二轴半联动的数控加工

三轴联动可同时控制 X 、 Y 、 Z 三轴联动,或控制 X 、 Y 、 Z 三轴中二轴联动再加控制绕某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴(A 轴、 B 轴或 C 轴)。可作三维立体加工,如图 1-7 所示。

四轴联动可同时控制 X 、 Y 、 Z 三轴联动,加上控制一个旋转坐标轴(A 轴、 B



轴或 C 轴),如图 1-8 所示。

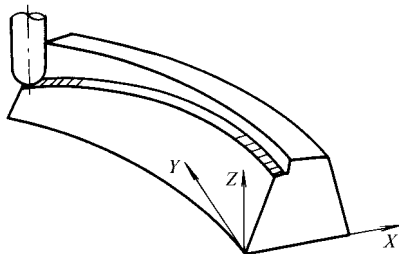


图 1-7 三轴联动的数控加工

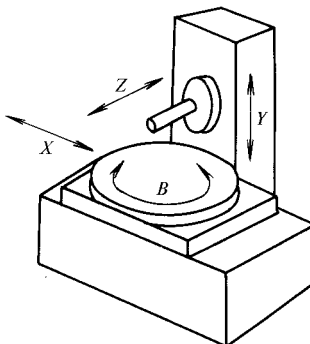


图 1-8 四轴联动的数控加工

五轴联动可同时控制 X 、 Y 、 Z 三轴联动,加上控制二个旋转坐标轴(A 轴、 B 轴或 C 轴),如图 1-9 所示。

3. 按伺服控制方式分类

(1) 开环控制数控机床 开环控制没有检测反馈装置,数控系统发出的指令脉冲信号是单方向的,没有反馈信号,因此其加工精度主要取决于伺服系统的性能。开环控制系统的驱动元件主要是步进电动机,控制电路每变换一次指令脉冲信号,电动机就转过一个步距角。开环控制结构简单,造价低,调试维修方便,但控制精度一般不高,多应用于经济型数控机床或旧机床的数控化改造。图 1-10 所示为开环控制系统框图。

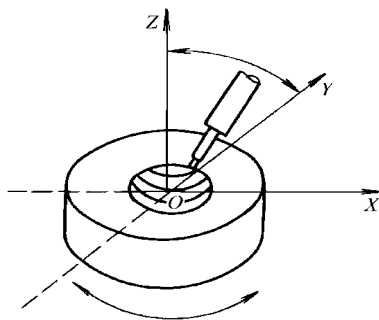


图 1-9 五轴联动的数控加工

图 1-10 开环控制系统框图

(2) 半闭环控制数控机床 半闭环控制采用的是角位移检测装置,安装在伺服电动机或丝杠端部,通过检测伺服电机的转角或丝杠转角,间接测得工作台的实际位移值,与输入指令值比较后,用差值控制运动部件。由于丝杠、工作台等惯性较大的运动部件不在控制环内,比较容易获得稳定的控制特性,角位移检测装置可与伺服电机设计成一个整体,使系统的结构简单,安装调试方便,但机械传动的误差无法得到校正和消除。只要检测装置的精度高,分辨率高,丝杠螺母机构的精度高,具有可靠的间隙消除措施,半闭环控制系统就能具有较高的控制精度,目前被广泛应用于中小型数控机床上。图 1-11 所示为半闭环控制系统框图。

图 1-11 半闭环控制系统框图

(3) 闭环控制数控机床 闭环控制采用的是直线位移检测装置,安装在机床



工作台上,直接检测工作台的实际位移值,与输入指令值比较后,用差值控制运动部件。闭环控制在位置环内还有一个速度环,其目的是减少因负载等因素而引起的进给速度的波动,改善位置环的控制品质。由于将机械传动部分全部包括在闭环之内,从理论上讲,闭环控制的精度取决于检测装置的精度,而与机构传动的误差无关,因而定位精度高,速度快。但闭环控制系统技术上要求高,成本较高,调试和维修比较复杂,此外机床的结构、传动装置及传动间隙等非线性因素都会影响其控制精度,严重时系统会产生振荡,降低系统稳定性,所以在设计时应对其给予足够的重视。闭环控制一般应用于精度要求较高的数控机床,如数控精密镗铣床、超精车床、精密加工中心等。图 1-12 所示为闭环控制系统框图。

图 1-12 闭环控制系统框图

4. 按数控系统功能水平分类

按数控系统功能水平,可以将数控机床分为高、中、低(经济型)三档,这种分类方法在我国应用较多。高、中、低三档没有明确的界定,不同时期、不同国家的划分标准都有所不同。目前发展水平如表 1-1 所示。

表 1-1 高、中、低档数控机床功能水平

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
伺服控制类型	开环、步进电动机	半闭环或闭环的直流或交流伺服系统	



(续)

功 能	低 档	中 档	高 档
联动轴数(轴)	2~3	2~4	3~5 以上
通信功能	一般无	RS-232、DNC	RS-232、DNC、MAP
显示功能	LED 或简单的 CRT	较齐全的 CRT 显示	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 位或 64 位的多 CPU	

第五节 数控机床的应用与发展

1948 年美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时,首先提出利用电子计算机控制机床加工复杂曲线样板的新概念,设想的方案是:把坐标点的代码打在穿孔卡上,然后输入到机床的控制系统中,使一台改装过的铣床按照微小增量的步距移动得到需要的轨迹。1952 年帕森斯公司与麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作研制成功世界上第一台三坐标数控铣床。其数控系统采用脉冲乘法器原理,全部由电子管元件组成,虽然体积庞大,功能简单,但却意义重大,它标志第一代数控系统——电子管数控系统的诞生。

在数控机床的发展历程中,计算机硬件和软件的发展水平起到了很大的推动作用。1959 年,晶体管元件的研制成功使电子装置的体积大大减小,在数控系统中应用了晶体管和印刷电路板后,数控系统进入了第二代。同年出现了带自动换刀装置的数控机床——加工中心。

1965 年,出现了小规模集成电路,由于其体积小,功耗低,使数控系统的可靠性进一步提高,小规模集成电路在数控系统中的应用成为第三代数控的标志。以上三代数控系统的逻辑运算和控制采用硬件电路完成,我们称之为硬件数控系统(NC)。

随着微电子技术的发展,小型计算机逐渐取代数控系统中的专用计算机,使许多控制功能可以依靠编制专用程序来完成,而不必依靠硬件电路,实现软件控制,大大提高了数控系统控制的灵活性和数控设备的可靠性。1970 年,美国芝加哥国际机床展览会上第一次展出了配备第四代数控系统——计算机数控(CNC)系统——的数控机床。

中、大规模集成电路技术所取得的成就,促使价格低廉、体积更小、集成度更高、工作可靠的微处理器芯片问世,并逐步应用于数控机床,进一步简化了 CNC 系统的硬件结构,降低了 CNC 机床的成本。1974 年,产生了以微处理器为 CNC 系统核心的第五代数控系统,即采用微型电子计算机控制的数控系统(Microcomputer Numerical Control——MNC)。

我国数控产业的发展始于 1958 年,1966 年研制成功晶体管数控系统,1972



年研制成功集成电路数控系统。经过多年来不断的调整、优化、重组、开拓,中国数控产业通过自行研究、引进合作、独立开发、推进产业化进程,国产数控系统已经取得重大突破。数控机床新开发品种 300 个,已有一定的覆盖面。新开发的国产数控机床产品大部分达到国际 20 世纪 80 年代中期水平,部分达到 90 年代水平,为国家重点建设提供了一批高水平数控机床。在技术上也取得了突破,如高速主轴制造技术(12000~18000r/min)、快速进给(60m/min)、快速换刀(1.5s)、柔性制造、快速成形制造技术等为下一步国产数控机床的发展奠定了基础。当前,我国数控机床正处在由研究开发阶段向推广应用阶段过渡的关键时期,也是由封闭型系统向开放型系统过渡的时期。我国数控机床在技术上已趋于成熟,在重大关键技术(包括核心技术)上,已达到国外先进水平。目前,已新开发出数控系统 80 种。自“七五”以来,国家一直把数控系统的发展作为重中之重来支持,现已开发出具有自主知识产权的数控系统,掌握了国外一直对我国封锁的一些关键技术。例如,0.1 μ m 当量的超精密数控系统、数控仿形系统、非圆齿轮加工系统、高速进给数控系统、实时多任务操作系统都已研制成功。尤其是基于 PC 的开放式智能化数控系统,可实施多轴控制,具备联网进线等功能,既可作为独立产品,又是一种开放式的开发平台,为机床厂及软件开发商二次开发创造了条件。

推广应用数控机床的最大问题是初始投资较大,技术复杂,对使用维护的要求高。但是数控机床具有普通机床不可比拟的诸多优势,数控技术向各工业领域的渗透在加速,应用范围在不断扩大。随着计算机技术与数控技术的相互协调发展,数控机床的功能在加强,价格在下降。数控机床不仅在加工多品种小批量零件、结构形状复杂的零件、需要频繁改型的零件、价值昂贵不允许报废的零件及需要最短生产周期的急需零件方面发挥着越来越重要的作用,而且在加工大批量以及结构形状不太复杂的零件方面也取得了很好的效益。

进入 21 世纪,数控机床的发展以高速度、高精度、智能化为显著特点。大规模和超大规模集成电路的进一步发展,使微处理器的性能不断提高,软件功能日益增强,CNC 系统随着外围电路和接口配置的不断完善,以及软件技术在交互式人机对话和图形显示技术方面所取得的成就而得到发展,同时具有不同软硬件模块、不同编程语言和非标准化接口的封闭式专用系统给现代数字化制造系统所带来的局限性越来越显现。因此基于 PC-NC 的第六代数控系统的诞生使数控系统可充分利用 PC 的软硬件资源,组成开放式的数控技术平台,为组建数字化制造系统提供了基础部件。

1. 高速高精度

速度和精度是数控机床的两个重要技术指标,关系到加工生产率和产品质量。单纯提高速度必会降低精度,现代数控机床必须在保持或提高精度的同时提高速度,这就对数控机床的机械结构和数控系统提出更高的要求。目前高性能的



数控系统和伺服系统,其位移分辨率和进给速度已可达到 $1\mu\text{m}$ ($100\sim 240\text{m}/\text{min}$)、 $0.1\mu\text{m}$ ($24\text{m}/\text{min}$)、 $0.01\mu\text{m}$ ($400\sim 800\text{mm}/\text{min}$)。

高速度主要取决于数控系统在读入加工指令数据后的数据处理速度,采用高位数和高速 CPU 是提高数控系统速度的最有效手段。目前数控系统已普遍采用 32 位 CPU,并向 64 位 CPU 发展,频率已提高到 $20\sim 33\text{MHz}$ 。有的系统采用多微处理器结构,减轻主 CPU 的负担,提高控制速度,采用专用插补器芯片以硬件插补方式提高插补速度。

采用数字式交流伺服系统及直线电动机直接驱动机床工作台的“零传动”直线伺服进给方式,提高了进给速度和动态响应特性。应用内装式电动机主轴(简称电主轴),主轴电机和主轴连成一个整体,使主轴驱动不必经过变速齿轮,主轴转速可提高到 $40000\sim 50000\text{r}/\text{min}$ 。采用高分辨率的位置检测装置和多种补偿功能,可提高系统控制精度和补偿机械系统的误差。配置高速、强功能、具有专用 CPU 的内装式可编程控制器(PLC),利用 PLC 的高速处理功能,使 CNC 和 PLC 之间有机结合起来,满足数控机床运行中的各种实时控制要求。

2. 高可靠性

数控机床因其自动化特性而长时间在无人操作状态下运行,所以其可靠性是用户最关心的主要指标。提高可靠性,降低故障率,是数控技术的发展和研究方向之一。

采用大规模和超大规模集成电路、专用芯片及混合式集成电路,提高线路集成度,减少元器件数量,精简外部连线,降低功耗,可提高系统工作稳定性和可靠性。

数控机床硬件结构采用模块化、标准化和通用化,设计生产过程由质量保证体系监控,严格筛选元器件,全面考核系统可靠性,保证产品质量。

数控机床由于硬件、软件及操作等原因,出现故障在所难免,增强故障自诊断、自恢复和保护功能,对提高数控机床可靠性至关重要。通过自动运行启动诊断、在线诊断和离线诊断等多种自诊断程序,实现对系统软硬件及外部设备进行故障诊断和报警,自动显示故障部位和类型,以便及时排除。利用容错技术,对重要部件采用“冗余”设计,以实现故障自恢复。采用刀具破损检测、行程范围保护和断电保护等功能,保证系统稳定可靠工作。由于采取了各种有效的可靠性措施,现代数控系统的平均无故障时间 MTBF(Mean Time Between Failures)可达到 $10000\sim 36000\text{h}$ 。

3. 多功能小型化

数控加工中心(Machining Center——MC)配有一机多能的数控系统和自动换刀系统(机械手和刀具库,刀具库可容纳 $16\sim 100$ 把刀具),工件装夹后,数控系统能控制机床自动更换刀具,连续对工件各个加工面进行多工序加工,这样多种