



高等学校“十二五”重点规划教材
机械工程系系列丛书

数控技术

主编 黄国权



HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

013035492

TG659-43
03-2

数 控 技 术

主 编 黄国权
副主编 田浩鹏 赵 林
主 审 刘少刚



北航

C1643201

哈尔滨工程大学出版社

TG659-43
03-2

01303288

内 容 简 介

本书内容覆盖了两个方面:一方面是数控系统,系统地介绍了数控技术,数控机床的分类和特点,计算机数控(CNC)装置,进给伺服系统;另一方面是数控编程,系统地介绍了数控编程基础,数控编程技术,丰富的数控车床、数控铣床及加工中心编程举例和自动编程举例。本书内容丰富,重点突出,逻辑性强,层次清晰,结构严谨。各章均提供了小结和复习题,便于掌握好所学内容。

本书特别适合高等学校机械设计制造及其自动化专业的本科生用作教材,也适合高等职业学院数控技术课作为教材,还适合于从事数控技术及有关工程技术人员阅读学习。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/黄国权主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2013. 3
ISBN 978 - 7 - 5661 - 0549 - 3

I. ①数… II. ①黄… III. ①数控技术 - 高等学校 - 教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 044399 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省委党校印刷厂
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 17
字 数 415 千字
版 次 2013 年 2 月第 1 版
印 次 2013 年 2 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

数控技术是现代先进制造技术的基础和核心。数控机床是电子信息技术和传统机械加工技术结合的产物,它集机械制造技术、信息技术、计算机技术、微电子技术和自动化技术等多学科为一体,具有高效率、高精度、高自动化和高柔性的特点,是当代制造业的重要装备。当今世界各国制造业通过发展数控技术,建立数控机床产业,促使制造业跨入了一个崭新的发展阶段。

数控技术课是机械设计制造及其自动化专业的专业技术平台课程,是各工科高校开设的不可缺少的课程。该课程理论性和应用性都比较强,对于数控技术课程一般不应侧重系统理论的学习,而应侧重于工程应用。作为培养应用型人才使用的、理论联系实际的、难易适度的教材,应尽量减少数控系统理论内容,增加数控编程应用;作为教材,内容的选取上应着重讲解课程的基本理论、基本框架、研究方法,并指出本学科的发展前景和当前面临的新问题,体现出研究方式引导学生掌握数控技术内容,并能很好地应用于工程实际。本书在编写的过程中体现出上述的教学理念,在重视系统基础知识的同时,着重吸收现代国内外数控技术的新发展和新成果。力求做到内容的先进性、科学性和实用性,取材新颖、结构严谨、系统性强。根据多年的教学体会,本书的教学内容可以安排为40~64学时。可以根据各学校的教学要求适当删减一些内容。

本书重点放在了两个方面,一方面是数控系统,另一方面是数控编程。全书共分5章,第1章,数控技术绪论,简要介绍数控技术、数控机床。第2章,计算机数控装置,介绍了CNC装置的硬件结构、CNC装置的软件结构、CNC装置的刀具补偿、进给速度处理和加减速控制、CNC装置的插补原理(包括基准脉冲插补法、数据采样插补法、CNC装置的接口电路、数控机床用可编程控制器(PLC)、开放式数控体系结构。第3章,进给伺服系统,介绍了检测装置(包括旋转变压器、感应同步器、计量光栅、编码器)、步进式伺服系统、直流伺服电机及其速度控制、交流伺服电机及其速度控制、位置控制系统、全数字控制伺服系统。第4章,数控编程基础,介绍了数控程序、坐标系统、数控编程的内容、数控编程的步骤、数控加工工艺分析、数控刀具(包括数控刀具的分类、数控刀具材料、数控车床刀具、数控铣床刀具等)、数控编程中的指令代码(包括准备功能字、辅助功能字、进给功能字、主轴功能字、刀具功能字、刀具偏置字等)。第5章,数控编程技术,介绍了数控车床编程、车削加工编程举例、数控铣床和加工中心编程、轮廓系统编程、铣削加工编程举例、曲面轮廓加工技术、数控编程方法、语言编程技术、图形编程技术、数控程序的检验与仿真、自动编程举例。

本书特别适合机械设计制造及其自动化专业的高等学校本科生用作教材,也适合高等职业学院数控技术课作为教材,还适合于从事数控技术及有关工程技术人员阅读。

本书由哈尔滨工程大学黄国权教授主编并统稿,黑龙江职业学院的田浩鹏和黑龙江科技学院的赵林任副主编。其中田浩鹏编写了第2章的2.1~2.5和2.7节;赵林编写了第3章的3.1~3.5节,其余章节由黄国权编写。哈尔滨工程大学博士生导师刘少刚教授审阅了此书,在此致以衷心感谢。尽管在编写过程中投入了大量的时间和精力,但是由于水平有限,书中难免存在笔误、不足,甚至错误,敬请读者批评指正。哈尔滨工程大学出版社的编辑为本书的编写和出版付出了辛勤劳动,在本书完成之际,致诚挚的感谢。

编者

2012年12月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 数控技术概述	1
1.2 数控机床的工作原理与组成	2
1.3 数控机床的分类	4
1.4 数控机床的特点	7
1.5 数控技术的发展历史与发展趋势	8
本章小结	14
复习题	15
第2章 计算机数控(CNC)装置	16
2.1 数控装置概述	16
2.2 CNC装置的硬件结构	21
2.3 CNC装置的软件结构	25
2.4 CNC装置的刀具补偿	30
2.5 进给速度处理和加减速控制	36
2.6 插补原理	42
2.7 CNC装置的接口	65
2.8 数控机床用可编程控制器(PLC)	73
2.9 开放式数控体系结构	78
本章小结	85
复习题	86
第3章 进给伺服系统	88
3.1 进给伺服系统概述	88
3.2 检测装置	94
3.3 步进式伺服系统	105
3.4 直流伺服电机及其速度控制	108
3.5 交流伺服电机及其速度控制	114
3.6 位置控制系统	123
3.7 全数字伺服系统	126
本章小结	133
复习题	133
第4章 数控编程基础	135
4.1 数控编程概述	135

4.2 数控加工工艺分析	142
4.3 数控刀具	154
4.4 数控编程中的指令代码	176
本章小结	182
复习题	183
第5章 数控编程技术	185
5.1 数控车床编程	185
5.2 数控铣床和加工中心编程	213
5.3 轮廓控制系统编程	224
5.4 曲面轮廓加工技术	242
5.5 数控编程方法	246
5.6 APT 语言编程技术概述	248
5.7 图形编程技术概述	250
本章小结	261
复习题	262
参考文献	266

第 1 章 绪 论

1.1 数控技术概述

数控技术(Numerical Control Technology)及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业(如信息技术及其产业、生物技术及其产业、航空、航天等国防工业产业)的使能技术和最基本的装备。数控技术是当今先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)和装备最核心的技术。数控机床(Numerical Control Machine)是电子信息技术和传统机械加工技术结合的产物,它集机械制造技术、信息技术、计算机技术、微电子技术和自动化技术等多学科为一体,具有高效率、高精度、高自动化和高柔性的特点,是当代制造业的重要装备。

当今世界各国制造业通过发展数控技术,建立数控机床产业,促使制造业跨入了一个崭新的发展阶段,从而提高制造能力和水平,提高发展经济的适应能力和竞争能力。总之,大力发展以数控技术为核心的先进制造技术,已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。

1.1.1 数控技术的几个概念

数控技术是用数字化信号对机床运行及其加工过程进行控制的一种方法,简称数控(Numerical Control, NC)。

数控系统(Numerical Control Systems),根据 ISO 的定义:“数控系统是一种控制系统,它自动阅读输入载体上事先给定的数字,并将其译码,从而使机床移动和加工零件。”

数控机床是一种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代码或其他符号编码指令规定的程序。

1.1.2 数控技术的组成

数控技术由机床本体、数控系统及外围技术三部分组成,如图 1-1 所示。

机床本体主要由床身、立柱、导轨、工作台等基础件和刀架、刀库等配套件组成。

数控系统由输入/输出设备、计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)装置、可编程控制器(Programmable Logic Control, PLC)及主轴伺服驱动装置、进给伺服驱动装置以及测量装置等组成。其中,计算机数控装置是数控系统的核心。

外围技术主要包括工具技术(主要指刀具系统)、编程技术和管理技术。

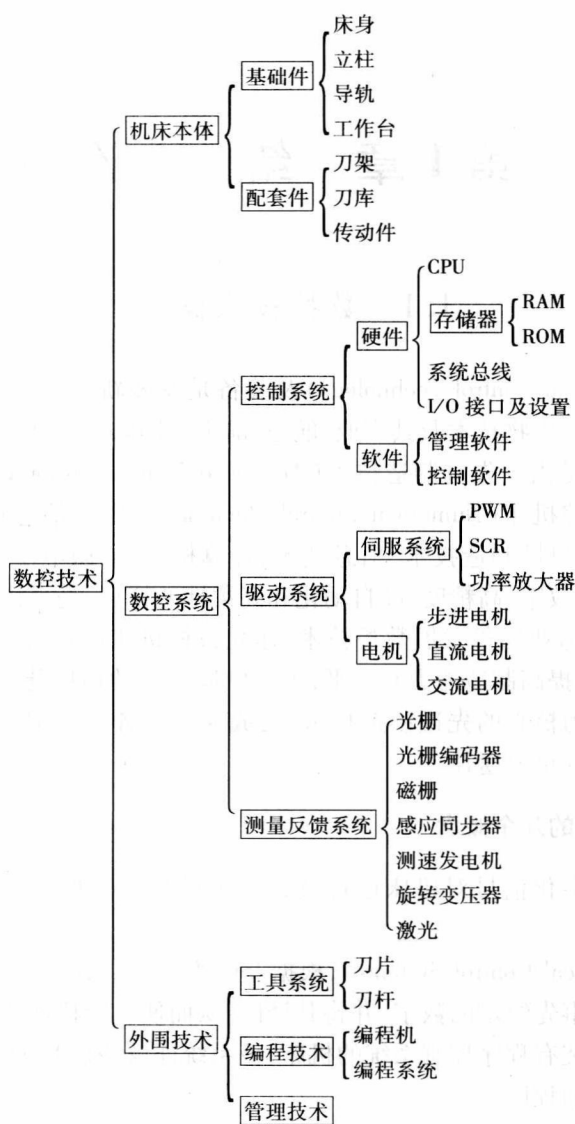


图 1-1 数控技术的组成

1.2 数控机床的工作原理与组成

1.2.1 数控机床的工作原理

数控机床的工作原理是：首先按照零件加工的技术和工艺要求编写零件加工程序，然后将加工程序输入到数控装置，最后通过数控装置控制主轴的转动、进给运动、更换刀具以及工件的夹紧与松开、冷却润滑泵的开与关，使刀具、工件和其他辅助装置按加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作，从而加工出符合图纸要求的零件。

1.2.2 数控机床的组成

数控机床一般由程序载体、输入装置、数控装置(CNC)、伺服驱动系统、强电控制装置、位置检测装置、机床(主运动机构、进给运动机构、辅助动作机构)组成。如图1-2所示为数控机床的组成框图。

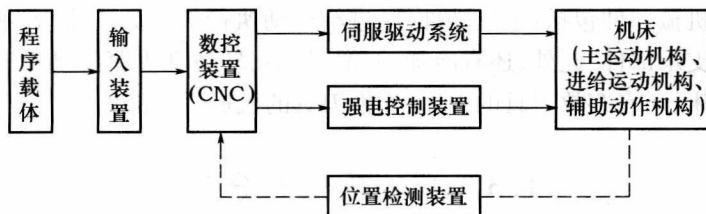


图 1-2 数控机床的组成

1. 程序载体

程序载体是对数控机床进行控制,建立人与数控机床某种联系的媒介物。在程序载体上存储加工零件所需要的全部几何信息和工艺信息。它可以是穿孔纸带、磁盘等,采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的电脉冲信号,传送并存入数控装置内。根据程序存储介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、软盘驱动器等。有些数控机床,不用任何程序存储载体,而是将数控程序单的内容通过数控装置上的键盘,用手工方式(MDI方式)输入,或者将数控程序由编程计算机用通信方式传送到数控装置。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它接受输入装置送来的脉冲信号,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令控制机床的各个部分,进行规定、有序的动作。

4. 伺服驱动系统

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置(电机)组成,并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移。每个作进给运动的执行部件,都配有一套伺服驱动系统。它是机床工作的动力装置,CNC装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施。从某种意义上说,数控机床功能的强弱主要取决于CNC装置,而数控机床性能的高低主要取决于伺服驱动系统。

5. 强电控制装置

强电控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制系统。其主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号,经必要的编译、逻辑判断、功率放大后,直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件,以完成指令所规定的动作。此外,还有行程开关和监控检测等开关信号也要经过强电控制装置送到数控装置进行处理。

6. 检测装置

检测装置也称反馈元件,通常安装在机床的工作台或丝杠上,它把机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给 CNC 装置,供 CNC 装置与指令值比较产生误差信号,以控制机床向消除该误差的方向移动。因此,检测装置是高性能数控机床的重要组成部分。此外,可以在线显示机床移动部件的坐标值,大大提高工作效率和工件的加工精度。

7. 机床的机械部件

数控机床的机械部件包括:主运动部件,进给运动执行部件如工作台、拖板及其传动部件和床身立柱等支承部件,此外,还有冷却、润滑、排屑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床,还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。

1.3 数控机床的分类

数控机床的品种规格很多,可以从不同的角度进行分类,常用的分类方法有:按控制系统的特点分类、按伺服系统控制方式分类、按工艺用途分类和按数控系统的功能水平分类,如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床的分类

分类方法	数控机床类型		
按控制系统的特点	点位控制数控机床	直线控制数控机床	轮廓控制数控机床
按伺服系统控制方式	开环控制系统	半闭环控制系统	闭环控制系统
按工艺用途	金属切削数控机床	金属成形数控机床	数控特种加工机床
按数控系统的功能水平	经济型数控机床	普及型数控机床	高档型数控机床

1.3.1 按控制系统特点的分类

按数控机床运动轨迹的控制系统的特点分类,可将数控机床分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床三种类型。

1. 点位控制(Point to Point Control)数控机床

这类数控机床的主要特点是只控制刀具(或工作台)从一点移动到另一点的准确定位,数控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。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并不相关。例如,数控钻床、数控镗床、数控冲床等。

2. 直线控制(Line Control)数控机床

这类机床是在点位控制基础上,除控制点与点之间的准确定位外,而且还要求从一点到另一点之间按直线移动、按指定的进给速度作直线切削。例如,平面铣削的数控铣床、阶梯车削的数控车床、磨削加工的数控磨床,按指定的进给速度作直线切削。

3. 轮廓控制(Contouring Control)数控机床

轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床,其特点是能够同时对两个或两个以上运动坐标位移和速度进行连续相关控制,不仅要控制起点、终点坐标的准确性,而且对每瞬时的位移和速度进行严格的连续控制,使刀具与工件间的相对运动符合工件加工轮廓的表面

要求。例如,具有两坐标或两坐标以上联动的数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等。目前的大多数金属切削机床的数控系统都是轮廓控制系统。

1.3.2 按伺服系统控制方式的分类

由数控装置发出脉冲或电压信号,通过伺服系统控制机床各运动部件运动。数控机床按伺服系统控制方式分类有三种形式:开环控制数控机床、闭环控制数控机床和半闭环控制数控机床。

1. 开环控制(Open Loop Control)数控机床

这类机床的伺服进给系统中没有位移检测反馈装置,控制系统采用步进电机,输入数据经过数控系统运算,输出指令脉冲控制步进电机工作,然后通过机械传动系统转换成刀架或工作台的位移,如图1-3所示。这种控制系统由于没有检测反馈校正,对执行机构不检测,无反馈控制信号,因此称之为开环控制系统。开环控制系统的设备成本低,位移精度一般不高,工作速度受到步进电机的限制。但其控制方便,结构简单,价格便宜,在我国广泛用于经济型数控机床或旧设备的数控改造中。

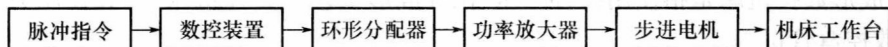


图1-3 开环控制数控机床

2. 闭环控制(Closed Loop Control)数控机床

这类机床又称全闭环控制机床,其检测装置安装在机床刀架或工作台等执行部件上,用以直接检测这些执行部件的实际运行位置(直线位移),反馈给数控装置,将其与数控装置的指令位置(或位移)相比较,用比较的误差值控制伺服电机工作,直至到达实际位置,误差值消除,因此称之为闭环控制,如图1-4所示。闭环控制系统绝大多数采用伺服电机,有位置测量元件和位置比较电路,直接检测校正,位置控制精度很高。但由于它将滚珠丝杠螺母副及机床工作台这些大惯量环节放在闭环之内,系统稳定性受到影响,调试困难,而且设备的结构复杂,成本高。

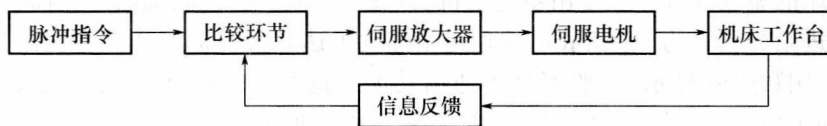


图1-4 闭环控制数控机床

3. 半闭环控制(Semi-closed Loop Control)数控机床

这类机床的位置检测元件安装在伺服电机上,通过测量伺服电机的角位移间接计算出机床工作台等执行部件的实际位置(或位移)。反馈至位置比较电路,与指令中的位移值相比较,用比较的误差值控制伺服电机工作。这种用推算方法间接测量工作台位移,不能补偿数控机床传动链零件的误差,因此称之为半闭环控制系统,如图1-5所示。由于它将丝杠螺母副及机床工作台等大惯量环节排除在闭环控制系统之外,不能补偿它们的运动误差,精度受到影响,但系统稳定性有所提高,调试比较方便。半闭环控制系统的控制精度高于开环控制系统,调试比闭环控制系统容易,设备的成本介于开环与闭环控制系统之间。

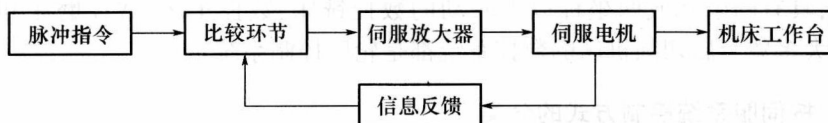


图 1-5 半闭环控制数控机床

1.3.3 按工艺用途的分类

按工艺用途可把数控机床分为金属切削数控机床、金属成形数控机床和数控特种加工机床。

1. 金属切削数控机床

如数控车床、数控铣床、加工中心、车削中心等各种普通数控机床,其加工原理是用切削刀具对零件进行切削加工。

2. 金属成形数控机床

金属成形数控机床是指使用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床,如数控压力机、数控折弯机、数控弯管机等。

3. 数控特种加工机床

这类机床包括数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床、数控火焰切割机床等。

1.3.4 按数控系统功能水平的分类

按照数控系统的功能水平,数控机床可以分为经济型(低档或简易型)、普及型(中档型)和高档型三种类型。这种分类方法没有明确的定义和确切的分类界限,不同的国家分类的含义也不同,且数控技术在不断发展,不同时期的含义也在不断发展变化。下面的论述仅作为功能水平分类的参考条件。

1. 经济型数控机床

这类机床的驱动元件一般是由步进电机实现的开环驱动,控制轴数为 3 轴或 3 轴以下,脉冲当量或进给分辨率为 $10 \sim 5 \mu\text{m}$,快速进给速度可达 10 m/min 。数控系统多为 8 位单板机或单片机,用数码管显示,一般不具备通信功能。这类机床结构一般比较简单,精度中等,能满足加工形状比较简单的直线、斜线、圆弧及螺纹加工,价格比较便宜。

2. 普及型或中档型数控机床

这类机床采用直流或交流伺服电机实现半闭环驱动,能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制,进给分辨率为 $1 \mu\text{m}$,快进速度可达 $15 \sim 24 \text{ m/min}$,一般采用 16 或 32 位处理器,具有 RS-232C 通信接口,具有图形显示功能及面向用户宏程序功能。此类数控机床的品种很多,几乎覆盖了各种机床类型,其发展趋势是趋向于简单、实用,不追求过多功能,保持价格适当且不断有所降低。

3. 高档型数控机床

这类机床是指加工复杂形状的多轴联动数控铣床或加工中心,功能强、工序集中、自动化程度高、具有高柔性。一般采用 64 位以上微处理器,形成多 CPU 结构。采用数字化交流伺服电机形成闭环驱动,并开始使用直线伺服电机,具有主轴伺服功能,能实现 5 轴以上联

动,最高分辨率可达 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 或更小,最大快进速度可达 100 m/min 以上;具有三维动画功能进行加工仿真检验和宜人的图形用户界面,同时还具有多功能智能监控系统和面向用户的宏程序功能,有很强的智能诊断和智能工艺数据库,能实现加工条件的自动设定,且实现计算机联网和通信。

1.4 数控机床的特点

与普通机床相比,数控机床具有以下特点。

1. 适合于复杂异形零件的加工

数控机床可以完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂零件的加工,因此在宇航、造船、模具等加工业中得到广泛应用。

2. 具有高度柔性

在数控机床上加工零件,主要取决于加工程序,它与普通机床不同,不必制造、更换许多工具、夹具,不需要经常调整机床。因此,数控机床适用于零件频繁更换的场合。也就是适合单件、小批生产及新产品的开发,缩短了生产准备周期,节省了大量工艺设备的费用。

3. 加工精度高

数控机床有较高的加工精度,一般在 $0.005\sim 0.1\text{ mm}$,数控机床的加工精度不受零件复杂程度的影响。数控机床是按数字信号形式控制的,数控装置每输出一个脉冲信号,则机床移动部件移动一个脉冲当量(一般为 0.001 mm),而且机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距平均误差可由数控装置进行补偿。因此,数控机床具有较高的加工精度。

4. 加工质量稳定、可靠

数控加工过程,对于同一批零件,由于使用同一机床和刀具以及同一加工程序,刀具的运动轨迹完全相同,数控机床自始至终都根据数控程序自动进行加工,可以避免人为的误差,这就保证了零件加工的一致性且质量稳定。

5. 生产率高

数控机床可有效地减少零件的加工时间和辅助时间,数控机床的主轴转速和进给量的范围都比普通机床大,允许机床进行大切削量的强力切削,数控机床目前正进入高速加工时代,数控机床移动部件的快速移动和定位及高速切削加工,减少了半成品的工序间周转时间,提高了生产效率。一般为普通机床的 $3\sim 5$ 倍,对某些复杂零件的加工,生产效率可以提高十几倍甚至几十倍。

6. 改善劳动条件

数控机床加工前经调整后,输入程序并启动,机床就能自动连续地进行加工,直至加工结束。操作者主要从事程序的输入、编辑,装卸零件,刀具准备,加工状态的观测,零件的检验等工作,劳动强度极大降低,机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外,机床一般是封闭式加工,既清洁,又安全。

7. 利于生产管理现代化

采用数控机床有利于向计算机控制与管理生产方面发展,为实现生产过程自动化创造条件。数控机床的加工,可预先精确估计加工时间,所使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信号与标准代码为控制信息,易于实现加工信息的标准化,

目前已与计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)有机地结合起来,是现代集成制造技术的基础。

8. 易于建立计算机通信网络

数控机床具有的通信接口,可实现计算机之间的连接,组成工业局域网络(LAN),采用制造自动化协议(MAP)规范,实现生产过程的计算机管理与控制。数控机床是使用数字信息作为控制信息,易于与CAD系统连接,形成CAD/CAM一体化系统,是FMS、CIMS等现代制造技术的基础。

9. 维修困难

数控机床是典型的机电一体化产品,技术含量高,对维修人员的技术要求很高。

1.5 数控技术的发展历史与发展趋势

1.5.1 数控机床的发展历史

数控机床是在机械制造技术和控制技术的基础上发展起来的,其过程大致如下。

1948年,最早采用数字控制技术进行机械加工的思想是美国帕森斯公司(Parsons Co.),当时在研制加工直升机螺旋桨叶片轮廓检验用样板的机床时,由于样板形状复杂多样,精度要求高,一般加工设备难于实现,于是提出采用数字脉冲控制机床的设想。

1949年,该公司与美国麻省理工学院(MIT)开始共同研究,并于1952年试制成功第一台三坐标数控铣床,当时的数控装置采用电子管元件。这就是数控机床的第一代。

1953年,美国空军与麻省理工学院协作,考虑从事计算机自动编程的研究,这就是创制自动编程系统的开始。1955年研制成功APT(Automatically Programmed Tools)是自动编程系统的开始。

1959年,计算机行业研制出晶体管元器件,数控装置采用了晶体管元件和印刷电路板,使数控装置进入了第二代。1959年,美国克耐·杜列克公司(Keaney & Treker Co.)在世界上首先研制成功带有自动换刀装置的数控机床,称为“加工中心”(Machining Center)。

1965年,出现了小规模集成电路。由于它体积小、功耗低,使数控系统的可靠性得以进一步提高,数控系统发展到第三代。

以上三代,都是采用专用控制计算机的硬件逻辑数控系统。装有这类数控系统的机床为普通数控(Numerical Control, NC)机床。

1965年,出现了第三代的集成电路数控装置,不仅体积小,功率消耗少,且可靠性提高,价格进一步下降,促进了数控机床种类和数量的发展。

随着计算机技术的发展,小型计算机开始取代专用数控计算机,数控的许多功能由软件程序实现。这样组成的数控系统称为计算机数控系统(Computer Numerical Control, CNC)。1970年在美国芝加哥国际机床展览会上,首次展出了数控机床采用小型计算机的计算机数控装置。数控系统发展到了第四代。

1974年,研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置(简称MNC),这是第五代数控系统。

20世纪80年代初,随着计算机软、硬件技术的发展,出现了能进行人机对话式自动编程序的数控装置;数控装置愈趋小型化,可以直接安装在机床上;数控机床的自动化程度

进一步提高,具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。

20 世纪 90 年代后期,出现了 PC + CNC 智能数控系统,即以 PC 机为控制系统的硬件部分,在 PC 机上安装 NC 软件系统,此种方式系统维护方便,易于实现网络化制造。由于基于 PC 的开放式数控技术可以充分利用 PC 机丰富的软、硬件资源和适于 PC 机的各种先进技术,已成为数控技术的发展趋势。

1.5.2 数控系统的发展历史

数控系统从 1952 年开始,经历了第一代的电子管、第二代的晶体管、第三代的小规模集成电路、第四代的计算机数控以及第五代的软件数控和微处理器的发展过程,表 1-2 所示为国内外数控系统的发展过程。

表 1-2 国内外数控系统的发展过程

分类	世代	诞生年代		系统元件及电路构成
		国外	国内	
硬件数控 NC	第一代	1952 年	1958 年	电子管,继电器,模拟电路
	第二代	1959 年	1965 年	晶体管,数字电路(分立元件)
	第三代	1965 年	1972 年	集成数字电路
计算机数控 CNC	第四代	1970 年	1976 年	内装小型计算机,中规模集成电路
	第五代	1974 年	1982 年	内装微型计算机的 NC 字符显示,故障自诊断
		1979 年 1981 年		超大规模集成电路,大容量存储器,可编程接口,遥控接口,人机对话,动态图形显示,实时软件精度补偿,适应机床无人化运转要求
		1987 年		32 位 CPU,可控制 15 轴,设定单位 0.1 μm ,进给速度 24 m/min,带前馈控制的交流数字伺服、智能化系统
		1991 年 1995 年		利用 RISC 技术 64 位系统 微机开放式 CNC 系统

现在数控系统发展迅猛、性能愈来愈强大。表 1-3 说明数控系统功能水平,可以满足不同层面用户的需要。数控系统的性能决定了数控机床的功能。表 1-4 是国内外主要 CNC 系统的性能情况。

表 1-3 数控系统的功能水平

项目	低档	中档	高档
分辨率	10 μm	1 μm	0.1 μm
进给速度	8 ~ 15 mm/min	15 ~ 24 mm/min	25 ~ 100 mm/min
联动轴数	二至三轴	二至四轴,或二至五轴以上	
主 CPU	8 位	16 位、32 位甚至采用 RISC 的 64 位	
伺服系统	步进电机,开环	直流及交流闭环、全数字交流伺服系统	

表 1-3 数控系统的功能水平续

项目	低档	中档	高档
内装 PLC	无	内装 PLC, 功能极强, 甚至有轴控制功能	
显示功能	数码管, 简单的 CRT 字符显示		有字符图形或三维图形显示
通信功能	无	RS232C 和 DNC 接口	MAP 通信接口和联网功能

表 1-4 国内外主要 CNC 系统的性能

型号 项目		国内			国外		
		中华 I 型	华中 I 型	航天 CASNUC901	德国西门子 (SIEMENS)		日本 FANUC
					802D	840D	F5-0i F5-15/150
最多控制轴数		8	9	8	5	10 通道 31	4 8 通道 24
最多联动轴数		8	9	4	3	12	4 24
最小设定位/ μm		1	1	1	1/0.1	1/0.1	1/0.1 1/0.1/0.01/0.001
系统速度	快进	24 m/min (1 μm)	16 m/min (1 μm)	60 m/min (1 μm)	99 m/min (1 μm)	999 m/min (1 μm)	240 m/min (1 μm) 100 m/min (0.1 μm) 10 m/min (0.01 μm) 1 m/min (0.001 μm)
	切削	15 m/min (1 μm)	6 m/min (1 μm)	24 m/min (1 μm)	99 m/min (1 μm)	999 m/min (1 μm)	240 m/min (1 μm) 100 m/min (0.1 μm) 10 m/min (0.01 μm) 1 m/min (0.001 μm)
功能	插补	直线、圆弧、螺旋线	直线、圆弧、螺旋线	直线、圆弧、螺旋线	直线、圆弧、极坐标、螺旋线	直线、圆弧、极坐标、圆柱、螺旋线、渐开线、样条、多边形、NURBS	直线、圆弧、极坐标、圆柱、螺旋线、渐开线、样条、多边形、假想轴、圆锥、平滑、NURBS

表 1-4(续)

型号 项目		国内			国外			
		中华 I 型	华中 I 型	航天 CAS NUC901	德国西门子 (SIEMENS)		日本 FANUC	
					802D	840D	F5 -0i	F5 -15/150
功能	特点		具有三维曲面直接插补(SDI)		提前预测控制 (10blocks) PCMCIA 卡接口, 存储系统数据。PROFIBUS 用以 I/O 及驱动接口。可连接 PC 机	提前预测控制。前馈控制。同步控制。各种补偿。PCMCIA 卡接口, 存储系统数据。PROFIBUS 用以 I/O 及驱动接口。开放	具有提前预测控制 (12 段)。PCMCIA 卡接口, 存储系统数据。可连接 PC 机。可通过 I/O LINK 控制 8 个 β 电机。HRV 控制	有纳米插补及高精度轮廓控制功能。提前预测控制。前馈控制。同步协调控制。各种补偿。PCMCIA 卡接口, 存储系统数据。开放
	主轴	模拟接口	模拟接口	模拟接口、脉冲控制输入	模拟及数字接口	模拟及数字接口	模拟及数字接口	模拟及数字接口
	EGB	无	无	无	无	有	无	有
	DNC	RS - 232C 接口	直接执行 2GB 程序	有	有	有	有	有
	PMC	DI/DO = (HM/56) $\times 4$	内置	DI/DO = 160/80	DI/DO = 144/96, 0.4 $\mu\text{m}/\text{步}$, 6000 步	通过 I/O 模块可扩展到 2048	DI/DO = 94/64 (另外机床面板 48/32), 16000 步, 0.15 $\mu\text{m}/\text{步}$	240000 步 0.085 $\mu\text{m}/\text{步}$ 。通过 I/O LINK 可扩展到 1024/1024
配置情况		——	——	——	与该公司 α 系列主轴、伺服放大器和电机配套	与该公司 α 系列主轴、伺服放大器和电机配套	与该公司 α 系列主轴、伺服放大器和电机配套	与该公司 α 系列主轴、伺服放大器和电机配套

1.5.3 数控技术的发展趋势

1. 数控系统

推动数控技术发展的关键因素之一是数控系统。当今占绝对优势的微处理器数控系统的发展极为迅速,而且势头不减。

(1) 新一代数控系统采用开放式体系结构。从 20 世纪 90 年代以来,世界上许多数控