



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

第2版

数控技术及应用

郑晓峰 主编

赠电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控技术及应用

第 2 版

主 编 郑晓峰

副主编 张光跃 沈则亮

参 编 王文浩

主 审 周树锦

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,书中详细介绍了数控技术的基础知识、数控机床的编程技术、典型计算机数控系统的硬件组成及连接方式、典型伺服系统的组成及应用、常用位置检测装置的工作原理及用途、数控机床的典型机械结构、数控系统中的 PLC 控制、典型数控设备及实例。本书力求体现高等职业教育的特色,在第 1 版的基础上,增加了现代数控技术最新发展的前沿知识,突出实用性和可操作性。本书以培养学生能力为主线,介绍了较多与数控技术相关的应用实例,内容通俗易懂、侧重实用,具有很强的针对性。

本教材配有电子教案,凡使用本书作为教材的教师或学校可向出版社索取。您可以发送电子邮件至 cmpgaozhi@sina.com,或拨打咨询电话 010-88379375。

本书可作为高职院校数控加工技术、机电一体化技术、机械制造及自动化等相关专业的教材,同时可供有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术及应用/郑晓峰主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2008.1
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-13033-8

I. 数… II. 郑… 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 206423 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:郑丹 责任编辑:郑丹 李欣欣 版式设计:霍永明

责任校对:王欣 封面设计:鞠杨 责任印制:邓博

北京四季青印刷厂印刷(三河市杨庄镇环伟装订厂装订)

2008 年 3 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.5 印张·356 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-13033-8

定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379171

封面无防伪标均为盗版

第 2 版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，“数控技术及应用”是数控加工技术、机电一体化技术、机械制造及自动化等专业主干课程之一。

本书是编者结合多年的实际教学经验以及数控技术发展的最新成果，按照数控加工技术、机电一体化技术、机械制造及自动化等专业的教改思想而编写的。本书力求取材科学、新颖，通过大量实例介绍，以培养学生分析问题和解决问题的能力及动手能力为主线，达到理论够用、通俗易懂、实用性强的目的。

本书共分八章，第一章为数控技术概述，第二章为数控机床的程序编制，第三章为计算机数控系统，第四章为伺服系统，第五章为位置检测装置，第六章为数控机床的机械结构，第七章为数控系统中的 PLC 控制，第八章为典型数控设备。通过讲练结合、项目驱动、工学结合的教学模式，使学生对数控技术及应用有更进一步的理解和掌握。

本书由安徽机电职业技术学院郑晓峰担任主编，并编写了第一章、第三章、第四章、第七章和附录；重庆工业职业技术学院张光跃担任副主编，并编写了第五章；安徽机电职业技术学院沈则亮担任副主编，并编写了第二章和第六章；安徽机电职业技术学院王文浩编写了第八章。

本书由广东机电职业技术学院周树锦担任主审。

本书第 1 版得到了重庆市工业学校范裕彤、安徽机电职业技术学院钱斌等老师大力支持与帮助。

本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材、资料与文献，在此谨致谢意。

由于编者水平有限，经验不足，书中难免存在错误与不当之处，恳请读者给予批评指正。

编 者

第 1 版前言

本书详细介绍了数控技术的基础知识、数控机床的编程技术、典型数控装置的硬件组成及连接方式、典型伺服系统的组成及应用、常用检测装置的工作原理及用途、数控机床的典型机械结构等。为了提高学生解决问题的能力，着重介绍了数控自动编程软件的应用；以 FANUC 系统控制的加工中心为例介绍了实际操作知识。本书以培养学生能力为主线，理论浅显、通俗易懂、实例较多、实用性强。

本书可作为高职及中等职业学校数控加工技术、机电一体化等相关专业的教材，同时可供有关专业技术人员作为参考用书。本书由安徽机电职业技术学院郑晓峰（第一章、第四章、附录）、沈则亮（第二章）、钱斌（第六章）、王文浩（第七章）、重庆市工业学校范裕彤（第三章）、广州白云职业技术学院张光跃（第五章）编写，郑晓峰担任主编。

本书由广东机电职业技术学院周树锦担任主审。

由于编者水平有限，经验不足，书中难免存在错误与不当之处，恳请读者予以批评指正。

编者

2003 年元月

目 录

第 2 版前言	
第 1 版前言	
第一章 数控技术概述	1
第一节 数控技术的基本概念	1
第二节 数控机床的组成及作用	2
第三节 数控系统的分类	4
第四节 数控技术最新发展趋势	9
习题	13
第二章 数控机床的程序编制	14
第一节 程序编制的基础知识	14
第二节 数控机床的坐标系统	18
第三节 数控加工程序编制	21
第四节 数控自动编程应用简介	34
习题	41
第三章 计算机数控系统	43
第一节 概述	43
第二节 CNC 系统的硬件结构	46
第三节 CNC 系统的软件结构	54
第四节 CNC 系统的插补原理	60
第五节 CNC 系统的刀具补偿原理	70
第六节 典型计算机数控系统应用实例	73
习题	79
第四章 伺服系统	81
第一节 概述	81
第二节 步进电动机及驱动电路	83
第三节 交流电动机伺服系统	92
第四节 直流伺服电动机	102
习题	105
第五章 位置检测装置	106
第一节 概述	106
第二节 旋转变压器	107
第三节 感应同步器	110
第四节 光栅	115
第五节 磁栅	122
第六节 编码器	124
习题	130
第六章 数控机床的机械结构	132
第一节 主传动结构	132
第二节 进给传动结构	138
第三节 滚珠丝杠螺母副	141
第四节 导轨副	145
第五节 自动换刀装置及回转台	147
习题	154
第七章 数控系统中的 PLC 控制	155
第一节 概述	155
第二节 数控系统中的 PLC 概述	156
第三节 数控系统中 PLC 的信息 交换	161
第四节 数控系统中的 PLC 控制 功能实现	164
第五节 数控系统中的 PLC 应用实例	167
习题	182
第八章 典型数控设备	183
第一节 数控车床	183
第二节 数控铣床	191
第三节 数控加工中心	195
第四节 其他典型数控机床	203
习题	212
附录 报警表	213
参考文献	225

第一章 数控技术概述

本章着重介绍数控技术的基本概念、数控机床的组成及作用、数控系统的分类、数控技术的最新发展趋势。通过学习掌握数控技术的基本概念，对数控系统的组成及各部分的作用有一个较完整的认识，并掌握点位、直线和轮廓控制系统以及开环、半闭环和闭环控制系统的组成与特点。

第一节 数控技术的基本概念

数控技术是指利用数字或数字化信号构成的程序对控制对象的工作过程实现自动控制的一门技术，简称数控（NC，Numerical Control）。数控系统（NCS，Numerical Control System）是利用数控技术实现自动控制的系统。

数控设备则是采用数控系统进行控制的机械设备，其操作命令是用数字或数字化信息的形式来描述，工作过程是按照规定格式的指令程序自动地进行，装备了数控系统的机床称之为数控机床。数控机床是数控设备的典型代表，其他数控设备包括数控雕刻机、数控火焰切割机、数控测量机、数控绘图机、数控插件机、电脑绣花机、工业机器人等。

数控技术综合运用了机械制造技术、信息处理、加工、传输技术、自动控制技术、伺服驱动技术、传感器技术和软件技术等方面的最新成果，具有动作顺序程序自动控制、位移和相对位置坐标自动控制、速度、转速及各种辅助功能自动控制等功能。

数控技术具有以下特点：

1. 生产率高

运用数控设备对零件进行加工，工序安排相对集中，而且所用辅助装置（如工装、夹具等）比较简单，这样既减少了生产准备时间，又大大缩短了产品的生产周期。并且，在加工过程中减少了测量检验时间，有效地提高了生产效率。

2. 加工精度高

由于采用了数字控制方式，同时在电子元器件、机械结构上采用了很多提高精度的措施，使数控设备能达到较高的加工精度。另外，由于自动实现加工过程控制，消除了各种人为误差，提高了同批产品加工质量的一致性。近 10 年来，普通级数控机床的加工精度已由 $10\mu\text{m}$ 提高到 $5\mu\text{m}$ ，精密级加工中心则从 $3\sim 5\mu\text{m}$ 提高到 $1\sim 1.5\mu\text{m}$ ，超精密加工精度已达到纳米级（ $0.01\mu\text{m}$ ）。

3. 柔性和通用性强

数控设备特别适合于单件、小批量、轮廓复杂的零件加工。若被加工产品发生变化，只要改变相应的控制程序即可实现加工。另外，数控软件的不断升级、硬件电路的模块化、接口电路的标准化，可以满足不同层次用户的需求，系统具有很强的柔性和通用性。

4. 可靠性高

对于数控系统，用软件替代一定的硬件后，使系统中所需的元件数量减少，硬件故障率

大大降低。日本 FANUC 公司数控系统的平均无故障时间 (MTBF 值) 已达 100000h, 伺服系统的 MTBF 值达到 30000h 以上, 表现出非常高的可靠性。

5. 易于实现多功能复杂程序控制

由于计算机具有丰富的指令系统, 能进行复杂的运算处理, 可实现多功能、复杂程序控制。

6. 具有较强的网络通信功能

随着数控技术的发展, 可实现不同或相同类型数控设备的集中控制, CNC 系统必须具有较强的网络通信功能, 便于实现 DNC、FMS、CIMS 等。

7. 具有自诊断功能

较先进的 CNC 系统自身具备故障诊断程序, 具有自诊断功能, 能及时发现故障, 便于设备功能修复, 大大提高了生产效率。

第二节 数控机床的组成及作用

数控机床一般由输入输出装置、数控装置、伺服驱动装置、辅助控制装置和机床的机械部件五部分组成, 有些数控机床还配有位置检测装置, 如图 1-1 所示。

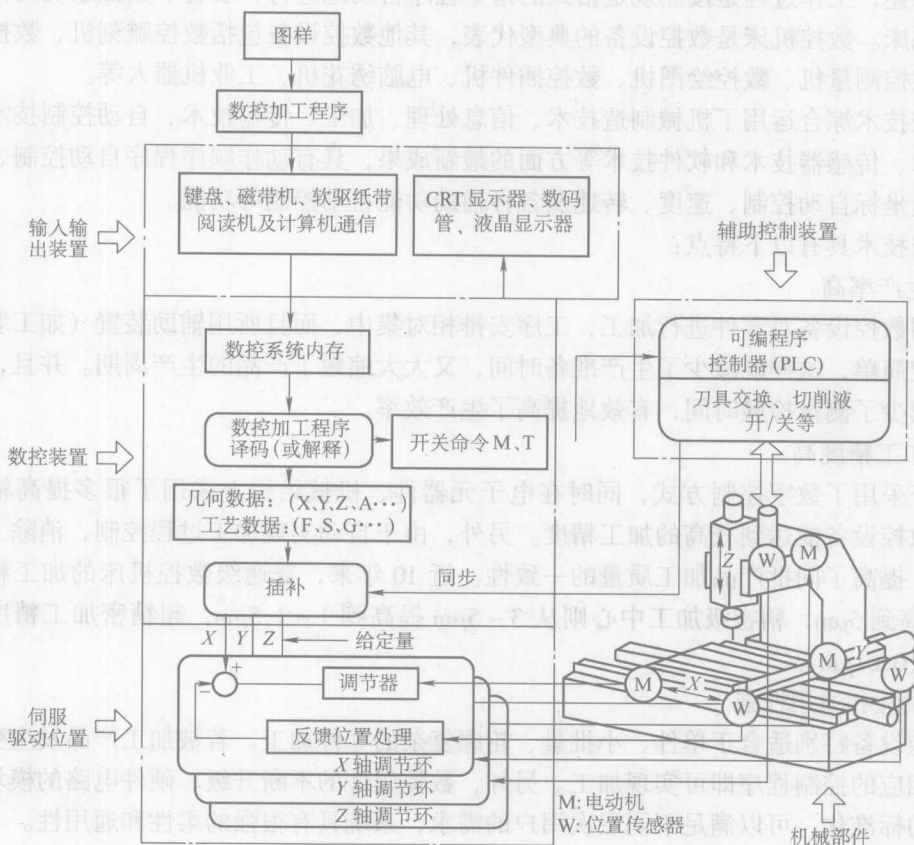


图 1-1 数控机床的组成

1. 输入输出装置

在加工过程中,操作人员要向机床数控装置输入操作命令,数控装置要为操作人员显示必要的信息,如坐标值、报警信号等。此外,输入的程序并非全部正确,有时需要编辑、修改和调试。以上工作都是机床数控系统和操作人员进行信息交流的过程,要进行信息交流,数控机床中必须具备必要的交互设备,即输入输出装置。

键盘和显示器是数控系统不可缺少的人机交互设备,操作人员可通过键盘和显示器输入程序、编辑修改程序和发送操作命令,即进行手动数据输入(MDI, Manual Data Input),因而键盘是MDI最主要的输入设备。数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息,根据系统所处的状态和操作命令的不同,显示的信息可以是正在编辑的程序,或是机床的加工信息。较简单的显示器只有若干个数码管,显示的信息也很有限;较高级的系统一般配有CRT显示器或点阵式液晶显示器,显示的信息较丰富。低档的显示器或液晶显示器只能显示字符,中高档的显示器能显示图形。

数控加工程序编制好后,一般存放在便于输入到数控装置的一种控制介质上。传统的方式是将编制好的程序记录在穿孔纸带或磁带上,然后由纸带阅读机或磁带机输入数控系统,纸带机和磁带机是早期数控机床的典型输入设备。

随着计算机技术的发展,一些计算机中的通用技术也融入数控系统,如磁盘也作为存储信息的介质引入数控系统。与纸带相比,磁盘存储密度大,存取速度快,存取方便,所以应用越来越广泛。现在采用的U盘存储容量更大,速度更快。

数控机床程序输入的方法除上述的键盘、U盘、磁盘、磁带和穿孔纸带外,还可以用串行通信的方式输入。随着CAD、CAM、CIMS技术的发展,机床数控系统和计算机的通信显得越来越重要。

2. 数控装置

数控装置是数控系统的核心,其主要功能是将输入装置传送的数控加工程序,经数控装置系统软件进行译码、插补运算和速度预处理,产生位置和速度指令以及辅助控制功能信息等。系统进行数控加工程序译码时,将其区分成几何数据、工艺数据和开关功能,几何数据是刀具相对于工件运动路径的数据,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 和进给速度 F 等功能的数据;开关功能是对机床电器的开关命令,如主轴起/停、刀具选择和交换、切削液的开/关、润滑液的起/停等。

数控装置的插补器根据曲线段已知的几何数据以及相应工艺数据中的速度信息,计算出曲线段起、终点之间的一系列中间点,分别向机床各个坐标轴发出速度和位移信号,通过各个轴运动的合成,形成符合数控加工程序要求的工件轮廓的刀具运动轨迹。

由数控装置发出的开关命令在系统程序的控制下,输出给机床控制器,在机床控制器中,开关命令和由机床反馈的回答信号一起被处理和转换为对机床开关设备的控制命令。现代数控系统中,绝大多数机床控制器都采用可编程控制器(PLC, Programmable Logical Control)实现开关控制。

数控装置控制机床的动作可概括为:

- 1) 机床主运动,包括主轴的起/停、转向和速度选择。
- 2) 机床的进给运动,如点位、直线、圆弧、循环进给的选择,坐标方向和进给速度的选择等。

3) 刀具的选择和刀具的长度、半径补偿。

4) 其他辅助运动,如各种辅助操作,工作台的锁紧和松开,工作台的旋转与分度,工件的夹紧与松开以及切削液的开/关等。

3. 伺服驱动装置

伺服驱动装置包括主轴伺服驱动装置和进给伺服驱动装置两部分。伺服驱动装置由驱动电路和伺服电动机组成,并与机床上的机械传动部件组成数控机床的主传动系统和进给传动系统。主轴伺服驱动装置接收来自 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。进给伺服驱动装置在每个插补周期内接受数控装置的位移指令,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。根据所选电动机的不同,伺服驱动装置的控制对象可以是步进电动机、直流伺服电动机或交流伺服电动机。伺服驱动装置有开环、半闭环和闭环之分。

4. 辅助控制装置

辅助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装置,通过可编程序控制器(PLC, Programmable Logical Control)来实现。PLC 和数控装置配合共同完成数控机床的控制,数控装置主要完成与数字运算和程序管理等有关的功能,如零件程序的编辑、译码、插补运算、位置控制等。PLC 主要完成与逻辑运算有关的动作,如零件加工程序中的 M 代码、S 代码、T 代码等顺序动作信息,译码后转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床的相应开关动作,如工件的装夹、刀具的更换、切削液的开关等一些辅助功能;它接受机床操作面板和来自数控装置的指令,一方面通过接口电路直接控制机床的动作,另一方面通过伺服驱动装置控制主轴电动机的转动。

5. 位置检测装置

位置检测装置与伺服驱动装置配套组成半闭环或闭环伺服驱动系统。位置检测装置通过直接或间接测量将执行部件的实际进给位移量检测出来,反馈到数控装置并与指令(理论)位移量进行比较,将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动,以提高机床加工精度。

6. 机床的机械部件

数控机床的机械部件包括主运动部件、进给运动部件(如机床工作台、滑板及其传动部件)和床身立柱等支承部件,此外,还有转位、夹紧、润滑、冷却、排屑等辅助装置。对于加工中心类的数控机床,还有存放刀具的刀库、交换工作台、机械手或机器人等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似,但传动结构要求更为简单,在精度、刚度、摩擦、抗振性等方面要求更高,而且传动和变速系统要便于实现自动化。

第三节 数控系统的分类

数控系统的品种规格繁多,它是由输入输出装置、数控装置、辅助控制装置、伺服驱动装置等组成,其中数控装置是核心。无论哪种数控系统,虽然各自的控制对象可能各不相同,但其控制原理基本相同,按照数控系统的基本原理,对数控系统有不同的分类方法。

一、按运动轨迹分类

根据运动轨迹,数控系统可分为点位、直线和轮廓控制系统。

1. 点位控制系统

这类数控系统仅控制机床运动部件从一点准确地移动到另一点，在移动过程中不进行加工，对运动部件的移动速度和运动轨迹没有严格要求，可先沿机床一个坐标轴移动完毕，再沿另一个坐标轴移动，为了提高加工效率，保证定位精度，系统常要求运动部件沿机床坐标轴快速移动接近目标点，再以低速趋近并准确定位。采用这类系统的机床有数控钻床（见图 1-2）、数控镗床、数控冲床、数控测量机等。

2. 直线控制系统

这类数控系统除了控制机床运动部件从一点到另一点的准确定位外，还要控制两相关点之间的移动速度和运动轨迹。在移动的过程中，刀具只能以指定的进给速度切削，其运动轨迹平行于机床坐标轴，一般只能加工矩形、台阶形零件。采用这类系统的机床有数控车床（见图 1-3）、数控铣床等。

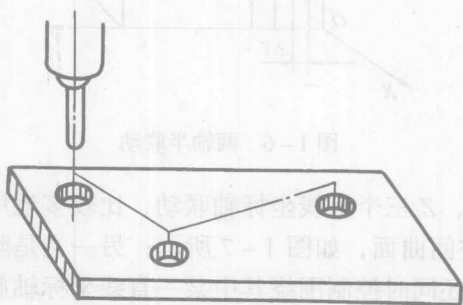


图 1-2 数控钻床的点位控制

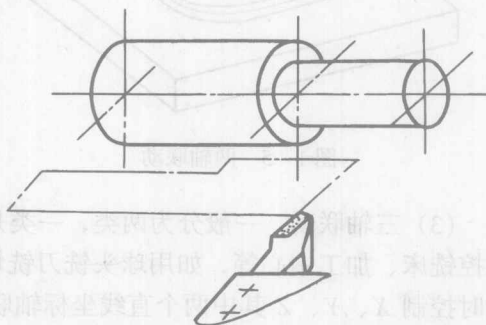


图 1-3 数控车床的直线控制

3. 轮廓控制系统

轮廓控制系统也称为连续控制系统，它能够对两个以上机床坐标轴的移动速度和运动轨迹同时进行连续相关的控制。这类数控系统要求数控装置具有插补运算功能，并根据插补结果向坐标轴控制器分配脉冲，从而控制各坐标轴联动，进行各种斜线、圆弧、曲线的轮廓加工，实现连续控制。采用这类系统的机床有数控车床、数控铣床、数控线切割机床（见图 1-4）、数控加工中心等。

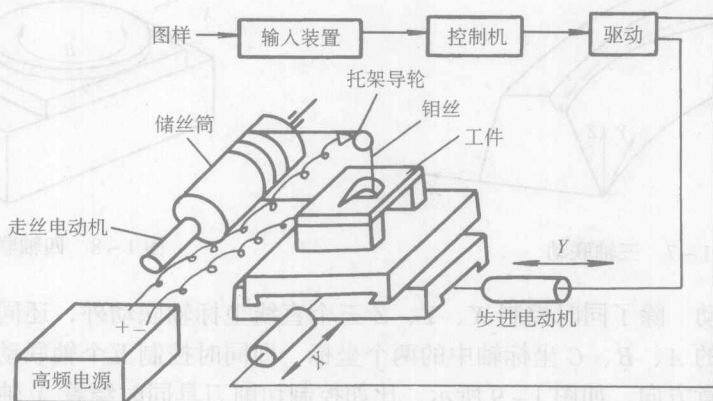


图 1-4 数控线切割机床加工示意图

轮廓控制系统按所控制的联动轴数不同,可以分为下面几种主要形式:

(1) 两轴联动 主要用于数控车床加工曲线旋转面或数控铣床加工曲线柱面,如图1-5所示。

(2) 两轴半联动 主要用于控制三轴以上的机床,其中两个轴互为联动,而另一个轴作周期进给,如在数控铣床上用球头铣刀采用行切法加工三维空间曲面,如图1-6所示。

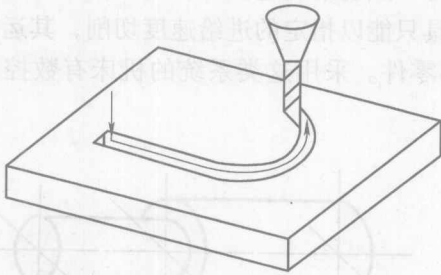


图 1-5 两轴联动

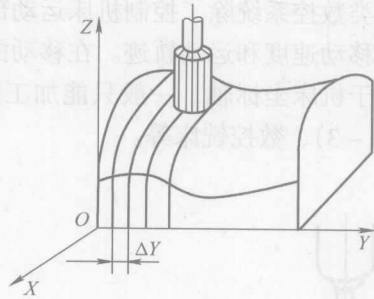


图 1-6 两轴半联动

(3) 三轴联动 一般分为两类,一类是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动,比较多地用于数控铣床、加工中心等,如用球头铣刀铣切三维空间曲面,如图1-7所示;另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 其中两个直线坐标轴联动外,还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴,如车削加工中心除了纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴联动外,还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)联动。

(4) 四轴联动 即同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动,图1-8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。

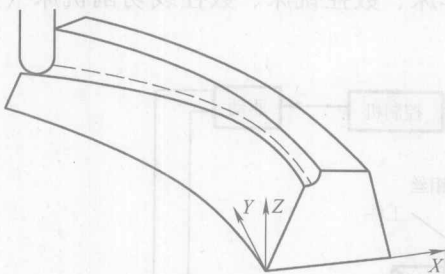


图 1-7 三轴联动

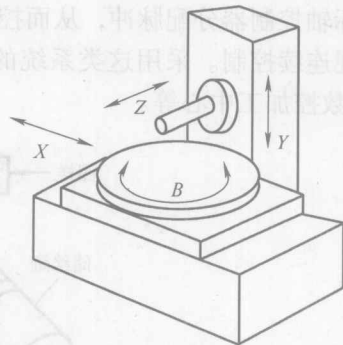


图 1-8 四轴联动

(5) 五轴联动 除了同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外,还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个坐标,即同时控制五个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向,如图1-9所示,比如控制切削刀具同时绕着 X 轴和 Y 轴两个方向摆动,使得刀具在其切削点上始终保持与被加工的轮廓曲面成法线方向,以保证被加工曲面的圆滑性,提高其加工精度和减小表面粗糙度等。

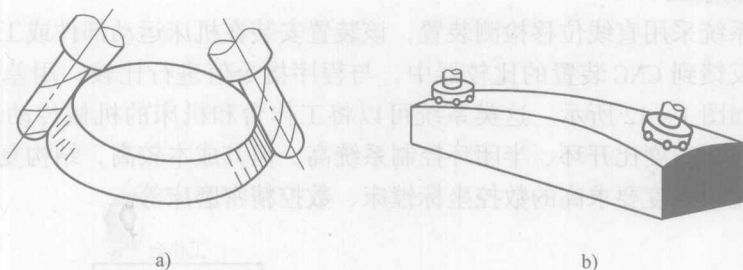


图 1-9 五轴联动

二、按伺服系统分类

按照伺服系统的控制方式，数控系统可分为开环、半闭环和闭环控制系统。

1. 开环控制系统

这类数控系统没有任何检测反馈装置，CNC 装置发出的指令信号经驱动电路进行功率放大后，通过步进电动机带动机床工作台移动，信号的传输是单方向的，如图 1-10 所示。机床工作台的位移量、速度和运动方向取决于进给脉冲的个数、频率和通电方式，因此，这类系统结构简单，价格低廉，便于维护，控制方便，应用较广泛。

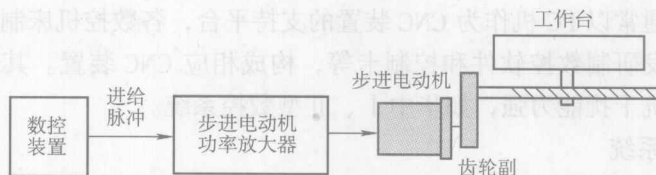


图 1-10 开环数控系统的示意图

2. 半闭环控制系统

这类数控系统采用角位移检测装置，该装置直接安装在伺服电动机轴或滚珠丝杠端部，用来检测伺服电动机或丝杠的转角，推算出工作台的实际位移量，反馈到 CNC 装置的比较器中，与程序指令值进行比较，用差值进行控制，直到差值为零，如图 1-11 所示。这类系统没有将工作台和丝杠螺母副的误差包括在内，因此，由这些装置造成的误差无法消除，会影响移动部件的位移精度，但其控制精度比开环控制系统高，成本较低，稳定性好，测试维修也较容易，应用较广泛。

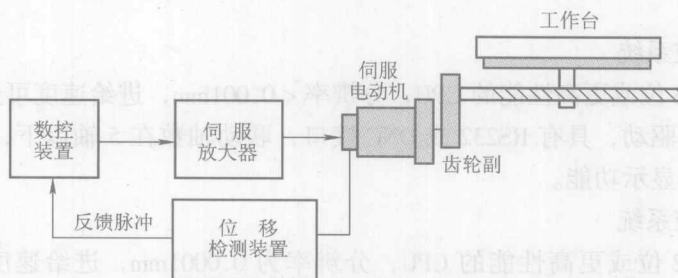


图 1-11 半闭环数控系统的示意图

3. 闭环控制系统

这类数控系统采用直线位移检测装置,该装置安装在机床运动部件或工作台上,将检测到的实际位移反馈到 CNC 装置的比较器中,与程序指令值进行比较,用差值进行控制,直到差值为零,如图 1-12 所示。这类系统可以将工作台和机床的机械传动链造成的误差消除,因此,其控制精度比开环、半闭环控制系统高,但其成本较高,结构复杂,调试、维修较困难,主要用于精度要求高的数控坐标镗床、数控精密磨床等。

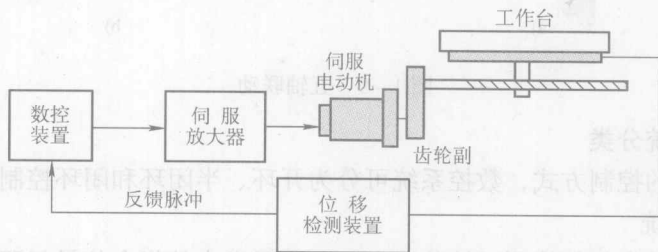


图 1-12 闭环数控系统的示意图

三、按制造方式分类

1. 通用型数控系统

这类数控系统通常以 PC 机作为 CNC 装置的支持平台,各数控机床制造厂家根据用户需求,有针对性地开发研制数控软件和控制卡等,构成相应 CNC 装置。其通用性强,使用灵活,便于升级,且抗干扰能力强,如华中 I、II 型数控系统。

2. 专用型数控系统

这类数控系统技术成熟,由各制造厂家专门研制、开发制造的,专用性强、结构合理、硬件通用性差,但其控制功能齐全、稳定性好,如德国 SIEMENS 系统、日本 FANUC 系统等。

四、按功能水平分类

数控系统按功能水平可分为经济型、普及型和高级型三种。这种分类没有严格的界限,其参考指标包括 CPU 性能、分辨率、进给速度、伺服性能、通信功能、联动轴数等。

1. 经济型数控系统

该系统采用 8 位 CPU 或单片机控制,分辨率为 0.01mm,进给速度为 6~8m/min,采用步进电动机驱动,具有 RS232 接口,联动轴数在 3 轴以下,具有简单的 CRT 字符显示或数码管显示功能。

2. 普及型数控系统

该系统采用 16 位或更高性能的 CPU,分辨率 < 0.001mm,进给速度可达到 100m/min,采用交流或直流伺服驱动,具有 RS232 或 DNC 接口,联动轴数在 5 轴以下,具有 CRT 字符显示和平面线性图形显示功能。

3. 高级型数控系统

该系统采用 32 位或更高性能的 CPU,分辨率为 0.0001mm,进给速度可达到 24m/min,采用数字化交流伺服驱动,具有制造自动化协议 (MAP, Manufacturing Automation Protocol) 高性能通信接口,具备联网功能,联动轴数在 5 轴以上,有三维动态图形显示功能。

第四节 数控技术最新发展趋势

20世纪40年代末,美国帕森斯公司(Parsons Co.)和麻省理工学院(MIT)合作,于1952年研制出第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床。从第一台数控铣床问世至今50多年中,随着微电子技术的不断发展,特别是计算机技术的发展,数控系统的发展已经历了两个阶段共六代。

1. 数控(NC)阶段

第一代数控系统:1952~1959年,采用电子管、继电器元件。

第二代数控系统:1959年开始,采用晶体管元件。

第三代数控系统:1965年开始,采用集成电路。

2. 计算机数控(CNC)阶段

第四代数控系统:1970年开始,采用大规模集成电路及小型计算机。

第五代数控系统:1974年开始,采用微型计算机。

第六代数控系统:1990年开始,基于PC机。

随着数控系统的发展,其功能不断增多,柔性不断增强,性能价格比不断提高,与此同时,伺服系统和检测元件的性能不断改善,其控制精度也不断提高。

当前数控系统正朝着高速度高精度、多功能、智能化、高可靠性及开放性方向发展。

一、高速度高精度

数控系统的高速度表现为在相同的最小移动量的情况下可以获得较高的移动速度。数控系统的速度主要取决于数控装置数据处理的速度,采用高速CPU是提高数控装置速度的最有效手段。日本FANUC公司在所有最新型号的CNC系统中都使用32位微处理器技术,该公司的FS15数控系统采用32机,实现了最小位移单位 $0.1\mu\text{m}$ 情况下达到了最大进给速度为 $100\text{m}/\text{min}$;FS16和FS18数控系统还采用了简化与减少控制基本指令的精减指令计算机(RISC, Reduced Instruction Set Computer),能进行高速度的数据处理,指令速度可达到100万条指令/s,一个程序段的处理时间可以达到 0.5ms ,在连续 1mm 的移动指令下能实现的最大进给速度可达 $120\text{m}/\text{min}$ 。在数控设备高速化中,提高主轴转速占有重要地位,主轴高速化的手段是直接将电动机与主轴连接成一体,从而可将主轴转速提高到 $40000\sim 50000\text{r}/\text{min}$,最高转速可达 $100000\sim 120000\text{r}/\text{min}$,可使切削时间缩短80%。

提高数控机床的加工精度,一般是通过减少数控系统的误差和采取误差补偿技术来实现。在减少CNC系统控制误差方面,通常采用提高数控系统的分辨率、以微小程序段实现连续进给、提高位置检测精度以及位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制等方法;在采用补偿技术方面,除采用齿隙补偿、丝杠螺距误差补偿和刀具补偿等传统补偿方法外,还采用了热变形补偿,电动机、回转主轴和传动丝杠副的发热变形会产生加工误差,为减少变形,一方面采用流动油液对内装主轴电动机和主轴轴承进行冷却,另一方面采取热补偿技术。

二、智能化

数控系统的智能化主要体现在以下几个方面。

1. 应用自适应控制技术

通常数控系统是按照事先编好的程序工作的,由于加工过程中的不确定因素,如毛坯余

量和硬度的不均匀、刀具磨损等难以预测,编程中一般采用比较保守的切削用量,从而降低了加工效率。自适应控制(AC, Adaptive Control)系统可以在加工过程中随时对主轴转矩、切削力、切削温度、刀具磨损参数进行自动检测,并根据测量结果,及时调整切削参数,使加工过程始终处于最佳状态。

2. 应用自动编程技术

为了提高编程效率和质量,降低对操作人员技术水平的要求,现代数控系统附有人机对话编程自动编程软件,以实现自动编程。

3. 具有故障诊断功能

数控系统出现故障,控制系统应能够自动诊断,并自动采取排除故障的措施,以适应长时间无人操作的要求。

4. 应用模式识别技术

应用图像识别声控技术,使机器能够根据零件的图像信息,按图样自动加工,或按照自然语言指令进行加工。

三、高可靠性

CNC 系统可靠性是用户最为关注的问题,可通过下列措施提高可靠性。

1. 提高线路的集成度

采用大规模或超大规模集成电路、专用芯片及混合式集成电路,以减少元器件的数量,精简外部连线 and 降低功耗。

2. 建立由设计、试制到生产的完整质量保证体系

为了保证高可靠性必须采取光电隔离,防电源干扰;使数控系统模块化、通用化及标准化,便于组织批量生产及维修;在安装制造时注意严格筛选元器件;对系统可靠性进行全面检查考核等。

3. 增强故障自诊断功能和保护功能

由于元器件失效、编程及人为操作失误等原因,数控系统可能会出现故障。数控系统一般具有故障诊断和故障排除功能。此外,应注意增强监控与保护功能,如有的系统没有行程范围保护、刀具破损检测和断电保护等功能,以免损坏机床或报废工件。由于采取了各种有效措施,现代数控系统的平均无故障时间(MTBF 值)可达到 30000~50000h。

四、具有内装式可编程序控制器(PLC)

数控系统中有内装式 PLC,可用其指令来编制 PLC 程序,绘制梯形图。利用 PLC 的高速处理功能,使 CNC 与 PLC 之间有机地结合起来,而且可以利用梯形图的监控功能,使机床的故障诊断维修更为方便。

五、基于网络的数控系统

为了适应 FMC、FMS 及 CIMS 要求,一般数控系统都具有 RS-232C 和 RS422 串行接口,按照用户级的要求,与上一级计算机进行数据交换。高档的数控系统应具有 DNC 接口,可以实现几台数控机床之间的数据通信与控制。数控机床作为车间的基本设备,通信范围是:

- 1) 数控系统内部的 CNC 装置与数字伺服间的通信,主要通过 SERCOS 链式网络传送数字伺服控制信息。
- 2) 数控系统与上级主计算机间的通信。
- 3) 与车间现场设备及 I/O 装置的通信,主要通过现场总线,如 PROFIBUS 等进行通信。

4) 通过因特网与服务中心的通信, 传递维修数据。

5) 通过因特网实现工厂间数据交换。

六、具有开放性

传统的数控系统是一种专用封闭式系统, 各厂家的产品之间以及与通用计算机之间不兼容, 难以满足市场对数控系统的要求, 所以, 国内外数控系统生产厂家正在大力研发开放式数控系统。

1. 开放式数控系统组成

开放式数控系统具有透明性、独立性、可再生性、可扩展性和可维护性等特点, 具体表现为:

1) 按分布式控制的原则, 采用系统、子系统和模块分级式的控制结构, 其构造应是可移植的和透明的。

2) 有明确的系统模块接口协议, 各模块相互独立。可较容易地将一些专用功能和个性模块加入其中。开发设计时, 允许模块独立进行开发, 控制程序设计按系统、子系统和模块三个层次进行。

3) 根据需要可方便实现重构、编辑, 实现一个系统多种用途。可实现 CNC、PLC、RC (Robot Control) 和 CC (Cell Control) 等在内的控制功能。

4) 具有一种较好的接口协议, 以便各独立的功能模块实现信息交换, 满足系统控制要求。

2. 开放式数控系统特点

数控系统的结构开放, 可广泛吸收计算机技术中的丰富资源, 及时吸收新技术和新工艺成果, 根据不同应用对象要求, 迅速、灵活地更换软硬件, 使得数控技术发展步伐加快, 开发周期缩短。其特点为:

1) 向未来技术开放。由于软硬件遵循公认的标准协议, 重新设计工作量少, 新一代的通用软硬件很容易被现有系统吸收和兼容, 延长了系统使用寿命, 降低了开发费用。

2) 向用户特殊要求开放, 提供可选的软硬件产品, 融入用户自身的技术, 满足特殊要求, 形成特色品牌。

3) 标准化的人机界面和编程语言, 方便用户使用。

4) 利于批量生产、提高可靠性和降低成本, 增强市场竞争能力。

七、典型数控系统结构

1. 计算机直接数控 DNC

DNC (DNC, Direct Numerical Control) 系统也称为计算机群控系统, 是以一台计算机直接控制和管理一群数控设备的系统。产品加工程序由一台计算机储存和管理, 并根据加工需要, 分时地将加工程序传递给各台数控设备。计算机还可对数控设备的工作情况进行管理与统计, 以及加工程序的编辑、修改等。

DNC 系统可分为直接型、间接型和分布式三类。

2. 柔性制造单元 FMC 和柔性制造系统 FMS

柔性制造单元 (FMC, Flexible Manufacturing Cell) 是由中心控制计算机、加工中心与自动交换工作装置组成, 如图 1-13 所示。