



应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

数控技术及应用

SHUKONG JISHU
JI YINGYONG



王海文 曹 锋 主编



 华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材

数控技术及应用

SHUKONG JISHU JI YINGYONG



主 编 王海文 曹 锋

副主编 林 月 张翠芳



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书主要讲述数字控制原理、数控系统、数控机床主轴驱动与控制、数控机床进给驱动与控制、数控机床的典型机械结构、数控机床的选用和维修、数控加工工艺、数控程序的编制等内容,面向应用型本科生,能够很好地体现专业特色。

本书注重理论和实际应用相结合,内容由浅入深、通俗易懂,各章配有适量的思考与练习题,既便于教学又利于自学。本书可以作为学校教学或工程技术人员的参考教材。

为了方便教学,本书还配有电子课件等教学资源包,任课教师和学生可以登录“我们爱读书”网免费注册并浏览,或者发邮件至 hustpeiit@163.com 免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术及应用/王海文,曹锋主编. —武汉:华中科技大学出版社,2016.11

应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

ISBN 978-7-5680-1855-5

I. ①数… II. ①王… ②曹… III. ①数控机床-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 125246 号

数控技术及应用

Shukong Jishu ji Yingyong

王海文 曹 锋 主编

策划编辑:康 序

责任编辑:张 琼

封面设计:原色设计

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:21

字 数:573千字

版 次:2016年11月第1版第1次印刷

定 价:45.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言

PREFACE

数控技术是机械加工自动化的基础,是数控机床的核心技术。本书根据应用型本科人才培养目标的要求,从工程实际出发,重点放在工程应用中的基本知识、分析问题的思路和解决问题的方法上。课程内容兼顾电气和仪表类专业的特点,拓宽基础知识的范围。在编写过程中始终以“够用为度”为方针来安排相关内容,使学生在学时能够正确处理知识的广度和深度,强调理论知识与工程实践的关系。

本书着重叙述了数控编程的基础及方法、计算机数控装置的软硬件、数控装置的轨迹控制原理、数控机床的伺服系统工作原理,同时叙述了数控技术的基本概念、数控机床的检测装置、数控机床的机械结构、数控机床的故障诊断以及数控技术的发展等课程的主要知识,并以数控加工信息流这条主线对课程内容进行了复合、衔接和综合,使其有机地串联起来,成为一门完整、系统的综合课程。

本书可以满足 80~120 学时的教学需要,在教学时各专业可根据教学要求,对相关章节进行取舍。

本书由大连工业大学王海文、大连工业大学艺术与信息工程学院曹锋担任主编,大连工业大学艺术与信息工程学院林月、张翠芳担任副主编,具体分工如下:王海文编写第 1 章和第 7 章,曹锋编写第 9 章,林月编写第 6 章和第 8 章,张翠芳编写第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章。肖杨、贾树彬、王晓俊、殷铭一、刘倩伶、王艺茨协助进行了编写资料的整理工作。全书由大连工业大学艺术与信息工程学院的金崇源进行主审。

在编写过程中参考了大量的文献,在此对文献作者致以谢意,对给予我们关心和帮助的同人深表感谢。

为了方便教学,本书还配有电子课件等教学资源包,任课教师和学生可以登录“我们爱读书”网免费注册并浏览,或者发邮件至 hustpeiit@163.com 免费索取。

限于篇幅及编者的业务水平,书中难免存在欠妥之处,竭诚希望同行和读者赐予宝贵的意见。

目
录

CONTENTS

第1章 绪论	(1)
1.1 数控技术的基本概念	(1)
1.2 数控机床的组成	(1)
1.3 数控机床的分类	(4)
1.3.1 按加工工艺分类	(4)
1.3.2 按机床运动轨迹控制方式分类	(4)
1.3.3 按进给伺服系统的控制原理分类	(5)
1.3.4 按控制坐标数分类	(7)
1.4 数控机床的特点	(7)
1.5 数控技术的产生与发展	(8)
1.6 常见数控系统介绍	(10)
1.6.1 FANUC 数控系统	(10)
1.6.2 西门子数控系统	(11)
1.6.3 华中数控系统	(13)
第2章 数字控制原理	(16)
2.1 概述	(16)
2.2 插补原理的数学建模方法	(19)
2.2.1 基准脉冲插补	(19)
2.2.2 数据采样插补	(43)
2.3 刀具补偿技术	(47)
2.3.1 刀具长度补偿	(48)
2.3.2 刀具半径补偿	(49)
第3章 数控系统	(54)
3.1 数控系统的总体结构及部分功能	(54)
3.1.1 CNC 装置的结构	(54)
3.1.2 CNC 装置的特点	(54)
3.1.3 CNC 装置的功能	(55)

3.2	数控系统的硬件结构	(57)
3.2.1	单片机数控装置	(58)
3.2.2	单 CPU 数控装置	(59)
3.2.3	多 CPU 数控装置	(66)
3.2.4	全功能型 CNC 系统硬件的特点	(67)
3.3	数控系统的软件结构	(68)
3.3.1	CNC 装置软件结构的特点	(68)
3.3.2	CNC 装置软件结构的模式	(71)
3.4	可编程控制器	(75)
3.4.1	数控机床用可编程控制器的分类	(75)
3.4.2	数控机床用可编程控制器的功能	(77)
3.4.3	典型数控机床用可编程控制器的指令系统	(77)
第 4 章	数控机床的主轴驱动与控制	(81)
4.1	主轴驱动与控制	(81)
4.1.1	数控装置对主轴驱动的控制	(81)
4.1.2	主轴无级调速	(81)
4.1.3	主轴分段无级调速	(81)
4.2	主轴的准停控制	(83)
4.2.1	机械准停装置	(84)
4.2.2	电气准停装置	(84)
4.3	主轴旋转与进给轴的关联控制	(85)
4.3.1	主轴旋转与轴向进给的关联控制	(85)
4.3.2	主轴旋转与径向进给的关联控制	(86)
4.4	数控机床主轴伺服系统实例	(86)
4.4.1	数控装置与主轴伺服系统的控制连接形式	(86)
4.4.2	数控装置与主轴伺服系统的控制连接实例	(89)
第 5 章	数控机床进给驱动与控制	(93)
5.1	进给伺服系统概述	(93)
5.2	步进电动机及其驱动	(93)
5.2.1	步进电动机的工作原理与特点	(94)
5.2.2	步进电动机的主要特性	(96)
5.2.3	步进电动机的驱动控制线路	(98)
5.2.4	步进电动机的运动控制	(103)
5.2.5	提高步进伺服系统精确度的措施	(104)
5.3	常用位置检测元件	(105)
5.3.1	位置检测元件的分类及要求	(106)
5.3.2	光栅尺	(107)
5.3.3	旋转变压器	(109)
5.3.4	感应同步器	(111)
5.3.5	旋转译码器	(113)

5.3.6 电感式接近开关与霍尔接近开关	(114)
5.4 直流伺服电动机及其驱动装置	(116)
5.4.1 直流伺服电动机的工作原理	(116)
5.4.2 直流伺服驱动装置	(118)
5.5 交流伺服电动机及其驱动装置	(120)
5.5.1 交流伺服电动机的工作原理	(120)
5.5.2 交流伺服驱动装置	(122)
5.6 直线电动机及其在数控机床中的应用简介	(125)
5.6.1 直线电动机简介	(125)
5.6.2 直线电动机在数控机床中的应用	(130)
5.7 进给运动闭环位置控制	(132)
5.7.1 进给运动闭环位置控制概述	(132)
5.7.2 典型的进给运动闭环位置控制方式简介	(133)
5.8 数控机床进给伺服系统应用实例	(135)
第6章 数控机床的典型机械结构	(139)
6.1 数控机床对结构的要求	(139)
6.2 数控机床的总体布局	(142)
6.2.1 数控车床的布局形式	(142)
6.2.2 数控铣床的布局形式	(143)
6.2.3 加工中心的布局形式	(143)
6.3 数控机床的主传动机械结构	(146)
6.3.1 数控机床主传动系统概述	(146)
6.3.2 数控机床主传动系统的机械结构	(147)
6.3.3 主轴及其部件的结构	(149)
6.4 数控机床的进给传动机械结构	(156)
6.4.1 数控机床对进给传动系统机械结构的要求	(156)
6.4.2 数控机床的进给传动机械机构的组成	(157)
6.4.3 数控机床的导轨	(166)
6.4.4 数控机床的工作台	(169)
6.5 自动换刀装置	(171)
6.5.1 自动换刀装置的分类	(171)
6.5.2 刀库	(175)
6.5.3 机械手	(178)
6.5.4 加工中心主轴上刀具的夹紧机构	(180)
6.6 数控机床的典型结构	(181)
6.6.1 数控车床	(181)
6.6.2 数控铣床	(181)
6.6.3 加工中心	(182)
第7章 数控机床的选用与维修	(185)
7.1 数控机床的选用、安装和调试方法	(185)

7.1.1	数控机床的选用	(185)
7.1.2	数控机床的安装和调试	(191)
7.2	数控机床故障诊断方法	(193)
7.2.1	故障诊断及分类	(193)
7.2.2	数控机床维修与维护基础	(194)
7.2.3	数控机床维修实训	(198)
7.2.4	数控机床分类维修	(199)
第8章 数控加工工艺		(202)
8.1	数控加工工艺基础	(202)
8.1.1	数控加工工艺概述	(202)
8.1.2	数控加工工艺设计	(203)
8.1.3	数控机床的刀具与工具系统	(212)
8.1.4	数控加工工艺文件的编制	(215)
8.2	数控车削加工工艺	(216)
8.2.1	数控车床的主要加工对象	(216)
8.2.2	数控加工工具	(217)
8.2.3	数控车削加工走刀路线	(222)
8.2.4	数控车削加工车削用量	(226)
8.2.5	典型零件的数控车削加工工艺	(227)
8.3	数控铣削及加工中心加工工艺	(230)
8.3.1	数控铣削及加工中心加工特点	(230)
8.3.2	数控铣削及加工中心加工对象	(230)
8.3.3	数控铣削及加工中心加工工艺装备选用	(231)
8.3.4	数控铣削及加工中心走刀路线的确定	(236)
8.3.5	铣削用量的选择	(238)
8.3.6	典型零件的数控铣削及加工中心加工工艺	(239)
第9章 数控程序的编制		(245)
9.1	数控编程基础	(245)
9.1.1	数控编程的概念及分类	(245)
9.1.2	数控编程的内容及步骤	(245)
9.1.3	数控机床坐标轴和运动方向的确定	(246)
9.1.4	数控加工程序段格式	(248)
9.1.5	数控编程中的数值计算	(251)
9.2	数控车床编程	(253)
9.2.1	数控车床的编程特点	(253)
9.2.2	数控车削加工工艺	(254)
9.2.3	数控车床基本编程指令	(260)
9.2.4	数控车床固定循环指令	(268)
9.2.5	数控车床的加工编程实例	(273)
9.3	数控铣床(加工中心)编程	(276)

9.3.1	数控铣床(加工中心)概述	(276)
9.3.2	数控铣床(加工中心)加工工艺	(277)
9.3.3	数控铣床(加工中心)功能指令	(281)
9.3.4	数控铣床(加工中心)基本加工编程指令	(283)
9.3.5	数控铣床(加工中心)固定循环指令	(290)
9.3.6	数控铣床加工中心编程实例	(295)
9.4	用户宏程序编程	(300)
9.4.1	用户宏程序编程基础	(300)
9.4.2	用户宏程序编程实例	(304)
9.5	自动编程	(307)
9.5.1	自动编程概述	(307)
9.5.2	常见图形交互式自动编程软件简介	(307)
9.5.3	基于UG NX 软件的自动编程实例	(308)
参考文献	(325)

第1章 绪论

1.1 数控技术的基本概念

数字控制(numerical control, NC)技术,简称数控技术,是一种自动控制技术,它能够对机器的运动和动作进行控制。采用数控技术的控制系统称为数控系统。装备了数控系统的机床称为数控机床。

在加工机床中得到广泛应用的数控技术是一种采用计算机对机械加工过程中各种控制信息进行数字化运算、处理,并通过高性能的驱动单元对机械执行构件进行自动化控制的高新技术。当前已有大量机械加工装备采用了数控技术,其中最典型而且应用面最广的是数控机床。为了便于后面的讨论,下面给出数控技术、数控系统、计算机数控(CNC)系统和数控机床几个概念的定义。

- (1) 数控技术:用数字、字母和符号对某一工作过程进行可编程的自动控制技术。
- (2) 数控系统:实现数控技术相关功能的软硬件模块有机集成系统。它是数控技术的载体。
- (3) 计算机数控系统:以计算机为核心的数控系统。
- (4) 数控机床:应用数控技术对机床加工过程进行控制的机床。

随着生产的发展,数控技术已不仅用于金属切割机床,还用于其他多种机械设备,如机器人、坐标测量机、编织机、缝纫机等多种加工设备。

1.2 数控机床的组成

数控机床是用数控技术实施加工控制的机床,是机电一体化的典型产品,是集机床、计算机、电动机及其拖动、运动控制等技术为一体的自动化设备。如图 1-1 所示,数控机床一般由输入/输出(I/O)装置、数控装置、伺服系统、反馈装置和机床本体等组成。数控机床的结构如图 1-2 所示。

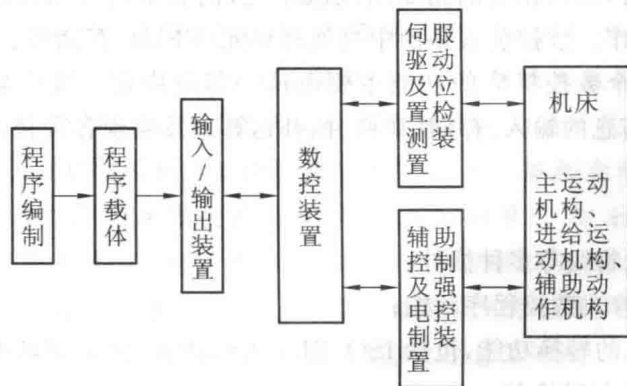


图 1-1 数控机床的组成

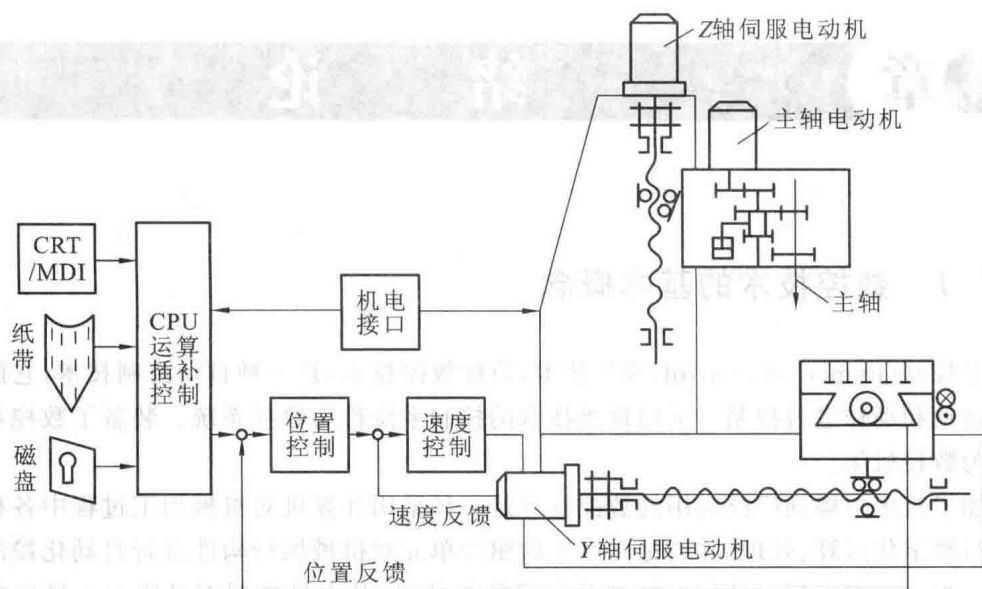


图 1-2 数控机床的结构

1) I/O 装置

数控机床工作时,不需要人去直接操作机床,但数控机床又要执行人的意图,这就必须在人和数控机床之间建立某种联系,这种联系的中间媒介物即程序载体(常被称为控制介质)。在普通机床上加工零件时,工人按图样和工艺要求操纵机床进行加工。在数控机床加工中,控制介质是存储数控加工所需要的全部动作和刀具相对于工件位置等信息的信息载体,它记载着零件的加工工序。数控机床中,常用的控制介质有穿孔纸带、盒式磁带、软盘、磁盘、U 盘及其他可存储代码的载体。至于数控机床采用哪一种控制介质,则取决于数控系统的类型。早期使用的是 8 单位(8 孔)穿孔纸带,并规定了 ISO 代码(国际标准化组织制定)和 EIA 代码(美国电子工业协会制定)。随着技术的不断发展,控制介质也在不断改进。不同的控制介质有相应的输入/输出装置:穿孔纸带,要配用光电阅读机;盒式磁带,要配用录放机;软盘,要配用软盘驱动器和驱动卡。现代数控机床,还可以通过手动方式(MDI 方式)、DNC 网络通信、RS-232C 串口通信等方式输入程序。

2) 数控装置

数控装置是数控机床的核心。它接收输入装置输入的数控程序中的加工信息,经过译码、运算和逻辑处理后,发出相应的指令给伺服系统,伺服系统带动机床的各个运动部件按数控程序预定要求动作。数控装置是由中央处理单元(CPU)、存储器、总线和相应的软件构成的专用计算机。整个数控机床的功能主要由这一部分决定。数控装置作为数控机床的“指挥系统”,能完成信息的输入、存储、变换、插补运算以及实现各种控制功能。它具备的主要功能如下:

- ① 多轴联动控制;
- ② 直线、圆弧、抛物线等多种插补;
- ③ 输入、编辑和修改数控程序功能;
- ④ 数控加工信息的转换功能,包括 ISO/EIA 代码转换、公英制转换、坐标转换、绝对值和相对值的转换、计数制转换等;
- ⑤ 刀具半径和长度补偿、传动间隙补偿、螺距误差补偿等补偿功能;

- ⑥ 具有固定循环、重复加工、镜像加工等多种加工方式选择；
- ⑦ 在 CRT 上显示字符、轨迹、图形和动态演示等功能；
- ⑧ 具有故障自诊断功能；
- ⑨ 通信和联网功能。

3) 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成,是接收数控装置的指令驱动机床执行机构运动的驱动部件。它包括主轴驱动单元(主要是速度控制)、进给驱动单元(主要有速度控制和位置控制)、主轴电动机和进给电动机等。一般来说,数控机床的伺服系统要求具有快速响应性能及灵敏、准确地跟踪指令的功能。数控机床的伺服系统有步进电动机伺服系统、直流伺服系统和交流伺服系统等,现在常用的是后两者。直流伺服系统和交流伺服系统都带有感应同步器、脉冲编码器等位置检测元件,而交流伺服系统正在取代直流伺服系统。

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、位移量。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服系统。伺服系统的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换为机床运动部件的运动,它相当于手工操作人员的手,使工作台(或溜板)精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运动,最后加工出符合图样要求的零件。

4) 反馈装置

反馈装置由检测元件和相应的电路组成,其作用是检测数控机床坐标轴的实际移动速度和位移,并将信息反馈到数控装置或伺服驱动装置中,构成闭环控制系统。检测装置的安装、检测信号反馈的位置,取决于数控系统的结构形式。无测量反馈装置的系统称为开环系统。由于先进的伺服系统都采用了数字式伺服驱动技术,伺服驱动装置和数控装置间一般都采用总线进行连接。反馈信号在大多数场合都是与伺服驱动装置进行连接,并通过总线传送到数控装置的,只有在少数场合,反馈装置才需要直接与数控装置进行连接,当采用模拟量控制的伺服驱动装置(称为模拟伺服装置)时,反馈装置也需要直接与数控装置进行连接。伺服电动机中的内装式脉冲编码器和感应同步器、光栅及磁尺等都是数控机床常用的检测器件。

5) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,它包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件,如底座、立柱、工作台、滑鞍、导轨等。数控机床的主运动和进给运动都由单独的伺服电动机驱动,因此它的传动链短,结构比较简单。为了保证数控机床的高精度、高效率 and 满足高自动化加工要求,数控机床的机械机构应具有较高的动态特性、动态刚度、耐磨性及抗热变形等性能。为了保证数控机床功能的充分发挥,还有一些配套部件(如冷却、排屑、防护、润滑、照明等一系列装置)和辅助装置(如对刀仪、编程机等)。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。数控机床的机床本体,在其诞生之初沿用的是普通机床结构,只是在自动变速、刀架或工作台自动转位和手柄等方面做了一些改变。随着数控技术的发展,对机床结构的技术性能要求更高,在总体布局、外观造型、传动系统结构、刀具系统及操作性能方面都已经发生了很大的变化。因为数控机床的切削用量大、连续加工发热量大等特点会影响工件精度,且其加工是自动控制的,不能由人工来进行补偿,所

以其设计要比通用机床的设计更完善,其制造要比通用机床的制造更精密。

1.3 数控机床的分类

数控机床规格、品种繁多,其分类方法较多,一般可根据其工艺方法、运动方式、控制原理和功能水平,从不同角度进行分类。

1.3.1 按加工工艺分类

按加工工艺分类,数控机床可分为金属切削类数控机床、金属成型类数控机床、特种加工类数控机床。

1. 金属切削类数控机床

1) 普通数控机床

普通数控机床是指加工用途、加工工艺相对单一的数控机床。与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应,普通数控机床可以分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在差别,具体的控制方式也各不相同,但机床的动作和运动都是在数字化信息的控制下进行的,与传统机床相比,普通数控机床具有较好的精度保持性、较高的生产率和自动化程度。

2) 加工中心

加工中心是指带有刀库和自动换刀装置的一种高度自动化的多功能数控机床。加工中心在数控卧式镗铣床的基础上增加了自动换刀装置,从而实现了工件一次装夹后即可进行铣削、钻削、镗削、铰削和攻螺纹等多种工序的集中加工,可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差,特别适合加工箱体类零件。加工中心减少了机床的台数和占地面积,缩短了辅助时间,进一步提高了机床的加工质量、自动化程度和生产效率。

加工中心按其加工工序分为镗铣加工中心、车削加工中心和万能加工中心,按控制轴数可分为三轴加工中心、四轴加工中心和五轴加工中心。

2. 金属成型类数控机床

常见的金属成型类数控机床有数控压力机、数控剪板机、数控折弯机和数控组合冲床等。

3. 特种加工类数控机床

除了金属切削类数控机床和金属成型类数控机床以外,还有数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床、数控激光加工机床及专用组合数控机床等。

1.3.2 按机床运动轨迹控制方式分类

按机床运动轨迹控制方式分类,数控机床可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。

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是机床的运动部件只能实现从一个位置点到另一个位置点的精确移动,而在移动、定位的过程中,不进行任何切削运动,且对运动轨迹没有要求。如图1-3所示,在数控钻床上加工孔3时,只需要精确控制孔3中心的位置即可,至于走 a 路径还是走 b 路径并没有要求。为了减少移动和定位时间,机床的运动部件一般先快速移动并接近定位

终点坐标,然后低速移动以准确到达定位终点坐标,这样不仅定位时间短,而且定位精度高。

常见的点位控制数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床、数控点焊机、数控弯管机等。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床的特点是其运动部件能以适当的进给速度实现平行于坐标轴的直线运动和切削加工运动。进给速度根据切削条件可在一定范围内调节。早期,简易的两轴数控车床可用于加工台阶轴。简易的三轴数控铣床可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统驱动动力头带着多轴箱轴向进给进行钻镗加工,它也可以算作一种直线控制的数控机床。直线控制数控机床的缺点是运动部件只能做单坐标切削运动,因此不能加工复杂轮廓。

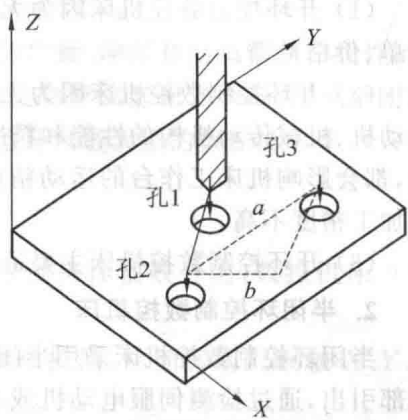


图 1-3 在点位控制数控钻床上加工孔 3

需要指出的是,现在仅仅具有直线控制功能的数控机床已不多见。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床又称连续控制数控机床、多轴联动数控机床,能够实现两个或两个以上的坐标轴同时协调运动,使刀具相对于工件按程序规定的轨迹和速度运动,在运动过程中进行连续切削加工的功能。由此可见,轮廓控制数控机床不仅能控制机床运动部件的起点坐标位置与终点坐标位置,而且能控制整个加工过程每一点的速度和位移量,即可以控制机床运动部件的运动轨迹,从而可以加工出轮廓形状比较复杂的零件,如图 1-4 所示。可实现两轴及以上坐标轴联动加工是这类数控机床的本质特征。轮廓控制数控机床用于加工曲线和曲面等形状复杂的零件。

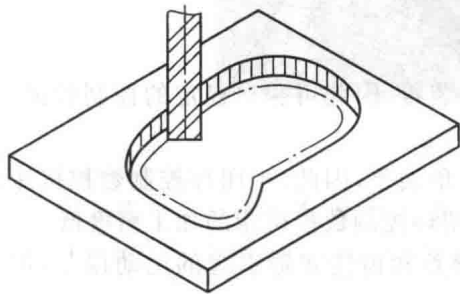


图 1-4 轮廓形状比较复杂的零件

数控车床、数控铣床、加工中心等现代的数控

机床基本上都属于这种类型。若根据其联动轴数分类,轮廓控制数控机床还可细分为两轴联动数控机床、三轴联动数控机床、四轴联动数控机床、五轴联动数控机床。

1.3.3 按进给伺服系统的控制原理分类

按进给伺服系统的控制原理分类,数控机床可分为开环控制数控机床、半闭环控制数控机床和全闭环控制数控机床。

1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床是指没有位置反馈装置的数控机床,一般以功率步进电动机作为伺服驱动元件,其信号流是单向的,如图 1-5 所示。

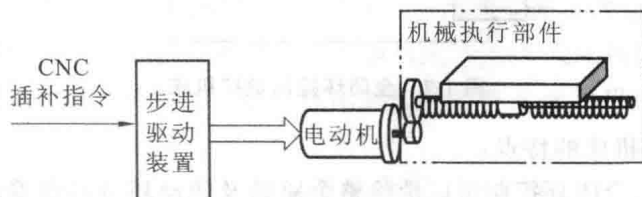


图 1-5 开环控制数控机床

开环控制数控机床的特点：

(1) 开环控制数控机床因为无位置反馈装置，所以结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉。

(2) 开环控制数控机床因为无位置反馈装置，所以机床加工精度主要取决于伺服驱动电动机、机械传动机构的性能和精度，如步进电动机步距误差，齿轮副、丝杠螺母副的传动误差，都会影响机床工作台的运动精度，并最终影响零件的加工精度，因此开环控制数控机床的加工精度不高。

(3) 开环控制数控机床主要适用于负载较小且变化不大的场合。

2. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床采用半闭环伺服系统，系统的位置采样点从伺服电动机或丝杠的端部引出，通过检测伺服电动机或者丝杠的转角，从而间接检测运动部件的位移，并与输入的指令值进行比较，用差值控制运动部件向减小误差的方向运动，如图 1-6 所示。

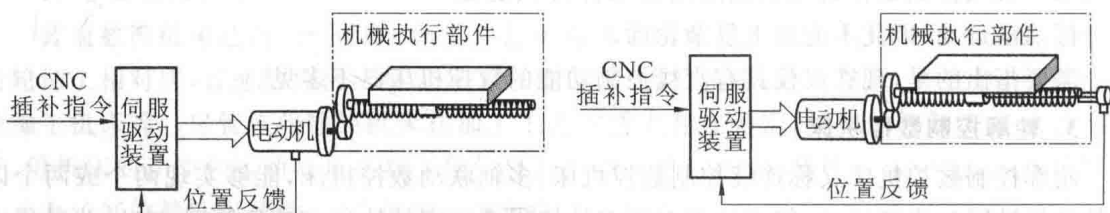


图 1-6 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的特点：

(1) 半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动装置，因此可获得稳定的控制性能，其系统的稳定性较好。

(2) 半闭环控制系统能够消除电动机或丝杠的转角误差，因此，半闭环控制数控机床的加工精度较开环控制数控机床的加工精度高，但比全闭环控制数控机床的加工精度低。

(3) 半闭环控制系统难以消除由于丝杠的螺距误差和齿轮间隙引起的运动误差，但可对这类误差进行补偿，因此加工精度较高。

(4) 半闭环伺服系统设计方便、传动系统简单、结构紧凑、性价比较高且调试方便，因此在现代 CNC 机床中得到了广泛应用。

3. 全闭环控制数控机床

全闭环控制数控机床采用闭环伺服控制，其位置反馈信号的采样点从工作台直接引出，可直接对最终运动部件的实际位置进行检测，利用工作台的实际位置与指令位置差值进行控制，使运动部件严格按实际需要的位移量运动，因此能获得更高的加工精度，如图 1-7 所示。

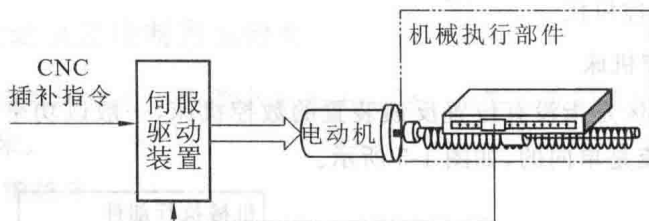


图 1-7 全闭环控制数控机床

全闭环控制数控机床的特点：

(1) 从理论上讲，全闭环控制可以消除整个驱动及传动环节的误差、间隙和磨损对加工

精度的影响,即机床加工精度只取决于检测装置的精度,而与传动链误差等因素无关。但实际对传动链和机床结构仍有严格要求。

(2) 由于全闭环控制系统内的许多机械传动装置的摩擦特性、刚度和间隙都是非线性的,很容易造成系统的不稳定,使得全闭环控制系统的设计、安装和调试都相当困难,因此全闭环控制系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床及较大型的数控机床等。

1.3.4 按控制坐标数分类

控制坐标数是指同时能控制且相互独立的轴数。按控制坐标轴数分类,数控机床可分为2轴、2.5轴、3轴、4轴和5轴等数控机床。

2.5轴控制是指两根轴连续控制而第三根轴点位或直线控制,从而实现三根轴 X 、 Y 、 Z 内的二维控制。图1-8所示为MAHO加工中心。

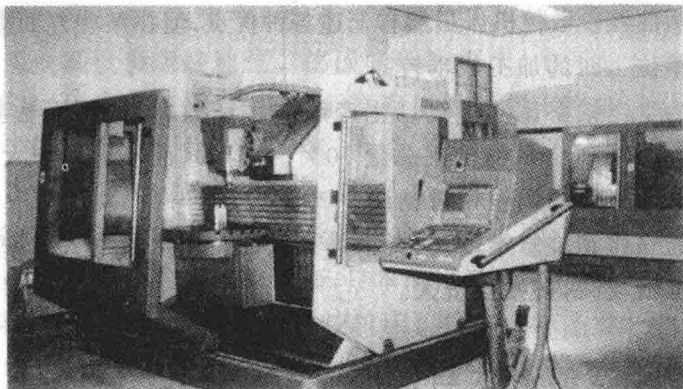


图1-8 MAHO 加工中心

5轴是指三个移动坐标 X 、 Y 、 Z 以及两个旋转坐标 A 、 B 。刀具可以在空间任意方向给定,用来加工极为复杂的空间曲面,如叶片、叶轮等。

1.4 数控机床的特点

1. 数控机床的优点

数控机床是采用数控技术的机械装备中最具代表性的一种。数控机床在机械制造业中得到日益广泛的应用,是因为它具有以下优点。

(1) 加工精度高、加工质量稳定。由于数控机床本身的精度较高,而且可以利用软件进行精度校正和补偿,加上它可以根据数控程序自动进行加工,可以避免人为的误差,因此,数控机床加工提高了加工精度和同一批工件的重复精度,保证了加工质量的稳定性。

(2) 具有较高的生产效率。数控机床可以采用较大的切削用量,能有效地节省机加工工时。同时它还有自动变速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,使辅助时间大为缩短,而且无须工序间的检验与测量,所以,数控机床的生产率一般比普通机床的生产率高3~4倍,甚至更高。数控机床能高效、优质地完成普通机床不能完成或难以完成的复杂型面零件的加工。对于复杂型面零件的加工,数控机床的生产效率比通用机床的生产效率高十几倍甚至几十倍。

(3) 增加了设备的柔性。数控机床可以适应不同品种、规格和尺寸及不同批量的零件

的自动加工。数控机床是按照被加工零件的数控程序来进行自动加工的,当被加工零件改变时,只需改变数控程序,不必更换凸轮、靠模、样板或钻镗模等专用工艺装备。因此,使用数控机床加工生产准备周期短,有利于机械产品的更新换代。

(4) 功能复合程度高,一机多用。数控机床,特别是自动换刀的数控机床,在一次装夹的情况下,可以完成大部分加工工序,一台数控机床可以代替数台普通机床。这样可以减少装夹误差,节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间,还可以节省机床的占地面积,带来较高的经济效益。

(5) 降低了操作工人的劳动强度。

(6) 有利于生产管理。

(7) 有利于向高级计算机控制与管理方面发展。

2. 数控机床的缺点

任何事物都有两面性。数控机床虽然有上述各种优点,但在某些方面也存在不足之处。

(1) 数控机床单位工时的加工成本较高。

(2) 数控机床的生产效率比刚性自动生产线的生产效率低,因而数控机床只适用于多品种、小批量或中批量生产(占机械加工总量 70%~80%),而不适用于大批量生产。

(3) 在数控机床加工中的调整相对复杂。

(4) 数控机床的操作和维修难度大,要求具有较高技术水平的人员来操作和维修。

(5) 数控机床价格较高,初始投资大。



1.5 数控技术的产生与发展

1. 数控技术的产生与发展

数控机床是机、电、液、气、光等多学科高科技的综合性组合的产品,以电子、计算机技术为其发展的基石。数控技术的发展是以这些相关技术的相互配套和发展为前提的。综观数控技术的发展过程,可以把数控机床划分为五代产品。

1952年,在美国飞机工业的零件制造中,为了能采用电子计算机对加工轨迹进行控制和数据处理,美国空军与麻省理工学院(MIT)合作,研制出第一台工业三坐标数控铣床,体现了机电一体化机床在控制方面的巨大创新。这是第一代数控系统,采用的是电子管,其体积庞大、功耗大。

随着晶体管的问世,晶体管元件和印刷电路板等开始应用,数控系统进入第二代。1959年,美国克耐·杜列克公司开始生产带刀库和换刀机械手的加工中心,从而把数控机床的应用推上了一个新的层次,为以后各类加工中心的发展打下了基础。

20世纪60年代,出现了集成电路,数控系统进入第三代。这时的数控机床还都比较简单,以点位控制数控机床为多,数控系统还属于硬逻辑数控系统级别。1967年,在英国实现了用一台计算机控制多台数控机床的集中控制系统,它能执行生产调度程序和数控程序,具有工件传输、储存和检验自动化的功能,从而开辟了柔性制造系统(FMS)的先河。

随着计算机技术的发展,数控系统开始采用小型计算机,这种数控系统称为计算机数控(CNC)系统,数控系统进入第四代。

20世纪70年代,美国、日本等发达国家推出了以微处理器为核心的数控系统(统称为CNC系统),这是第五代数控系统。至此,数控系统开始蓬勃发展。