



全国高等专科教育机械工程类专业规划教材

数控加工工艺 与编程



丛娟 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



全国高等专科教育机械工程类专业规划教材

数控加工工艺与编程

主 编 丛 娟

副主编 王 赞

参 编 黄益华 韩立洋 陈新亚

主 审 田春霞

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书以数控加工工艺设计与数控编程为主线,以强化应用为重点,并尽量反映数控加工领域的新知识、新技术和新动向。本书共七章,第一章着重介绍了数控加工的基本概念,第二章介绍了机械加工工艺基础,第三章介绍了数控加工工艺设计,第四章介绍了数控加工编程的基础知识,第五章介绍了数控车削加工工艺与编程;第六章介绍了数控铣削和加工中心的加工工艺与编程;第七章介绍了数控电火花线切割加工工艺与编程。

本书可作为大中专数控技术、模具设计与制造、机械制造与自动化、机电一体化等专业的课程教材,也可作为数控技术培训教材。同时,还可供从事数控加工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程/丛娟主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 8

全国高等专科学校机械工程类专业规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 21831 - 9

I. 数… II. 丛… III. ①数控机床-加工工艺-高等学校:技术学校-教材②数控机床-程序设计-高等学校:技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 102875 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:郑丹 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·16.5 印张·406 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 21831 - 9

定价:25.00 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

封面防伪标均为盗版

前 言

随着现代科学技术的飞速发展,尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,机械制造技术的内涵和外延发生了革命性的变化。传统的普通加工设备已难以适应市场对高质量、高效率和多样化的要求,以数控技术为核心的现代制造技术正在逐渐取代传统的机械制造技术。数控技术综合应用了计算机技术、现代控制技术、传感器检测技术等高新技术的最新成果,把传统制造业推进到了信息化制造时代,是现代工业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,是一种知识密集型和资金密集型的技术。专家们预言:21世纪机械制造业的竞争,其实质是数控技术的竞争。目前,随着全球制造业向我国的转移,中国正在成为全球制造业的中心。为了增强国际竞争能力,国内制造企业开始广泛使用先进的数控技术积极参与竞争,我国制造业进入了一个空前蓬勃发展的新时期,对数控技术专业的技能型人才,特别是熟悉数控加工工艺,能够掌握现代数控机床编程、操作和维护的应用型高级技术人才产生了巨大需求。根据对人才市场的调研和行业人力资源需求的分析预测,数控技术专业已被国家有关部门列为首批紧缺技能型人才培养项目。

为了适应我国高职高专教育发展及应用型技术人才培养的需要,我们编写了这本教材。本书以数控加工工艺设计和数控编程为主线,以强化应用为重点,以培养学生从事实际工作的基本能力和基本技能为目的,并尽量反映数控加工领域的新知识、新技术和新动向。

全书共七章,第一章、第二章、第三章、第六章第一节由丛娟编写,第四章由韩立洋编写,第五章由王赞编写,第六章第二节由黄益华编写,第七章由陈新亚编写。丛娟任本书主编,并负责全书的统稿和定稿工作。

田春霞任本书主审,对全书提出了许多宝贵的建议和修改意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之数控技术发展迅猛,书中难免有错误和不足之处,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2006年3月

目 录

前言	28
第一章 数控加工概述	1
第一节 数控加工的概念	1
一、数字控制与数控机床	1
二、数控机床的工作原理	1
三、数控加工的定义	1
四、数控加工的特点	2
五、数控加工常用术语	3
第二节 数控机床的组成及分类	4
一、数控机床的组成	4
二、数控机床的分类	6
第三节 常见数控机床简介	10
一、数控车床	10
二、数控铣床	12
三、加工中心	13
四、数控线切割机床	14
第四节 数控机床的控制系统	15
一、数控机床控制系统硬件的组成及功能	15
二、数控机床控制系统软件的组成及功能	16
三、典型数控系统	16
四、开放式数控系统简介	18
第五节 数控加工技术的发展	19
一、数控加工技术的发展历程	19
二、数控加工技术的发展方向	20
第六节 以数控机床为基础的生产自动化技术	21
一、分布式数字控制 (DNC)	21
二、柔性制造单元 (FMC)	21
三、柔性制造系统 (FMS)	21
四、计算机集成制造系统 (CIMS)	23
本章小结	25
复习思考题	26
第二章 机械加工工艺基础	27
第一节 机械加工工艺基本概念	27
一、生产过程和工艺过程	27
二、工艺过程的组成	28
三、生产纲领和生产类型	29
四、工件的装夹方法	31
五、获得工件尺寸精度的方法	33
第二节 金属切削刀具	33
一、常用刀具种类	33
二、刀具的几何角度	34
三、刀具几何参数的合理选择	36
四、刀具材料的选择	39
五、刀具的磨损和刀具寿命	41
第三节 机械加工工艺流程	44
一、机械加工工艺流程概述	44
二、基准及其选择	47
三、工艺路线的拟订	52
四、加工余量的确定	57
第四节 机床夹具概述	59
一、机床夹具的作用、分类及组成	59
二、工件在夹具中的定位	61
三、定位误差	66
四、工件在夹具中的夹紧	66
本章小结	70
复习思考题	70
第三章 数控加工工艺设计	72
第一节 数控加工工艺概述	72
一、数控加工工艺的特点	72
二、数控加工工艺的主要内容	72
第二节 数控加工对象的选择	73
一、数控加工零件的选择	73
二、数控加工内容的选择	74
第三节 数控加工工艺分析	74
一、分析零件图中的尺寸标注方法	74
二、分析构成零件轮廓的几何元素条件	74
三、分析零件的技术要求	75
四、分析零件的结构工艺性	75
第四节 数控加工工艺路线设计	75
一、工序的划分	75

二、加工顺序的安排	76	一、数控车床的编程特点	124
三、数控加工工序与普通工序的衔接	76	二、G 功能	125
第五节 数控加工工序设计	76	三、M 功能	127
一、加工路线的确定	77	四、F、S、T 功能	128
二、工件的定位夹紧方案的确定及 夹具的选择	77	五、工件坐标系设定	128
三、刀具的选择	77	六、坐标值和尺寸	129
四、切削用量的选择	84	七、快速定位和直线插补	130
五、对刀点与换刀点的确定	87	八、圆弧插补	131
第六节 数控加工工艺文件的编制	87	九、暂停	133
一、数控加工工序卡	87	十、返回参考点检查	133
二、数控加工刀具卡	88	十一、自动返回参考点	133
三、数控加工进给路线图	88	十二、返回第 2、第 3、第 4 参考点	133
本章小结	88	十三、螺纹车削指令	134
复习思考题	88	十四、单一固定循环	139
第四章 数控加工编程的基础知识	89	十五、复合固定循环	140
第一节 程序编制的概念、步骤和方法	89	十六、刀具补偿功能	146
一、程序编制的概念	89	十七、子程序	149
二、程序编制的步骤	89	第三节 典型零件的数控车削加工实例	151
三、程序编制的方法	91	本章小结	157
第二节 数控加工程序的结构与格式	92	复习思考题	157
一、程序结构	92	第六章 数控铣削和加工中心的加工	
二、程序段格式	93	工艺与编程	160
第三节 数控机床的坐标系	95	第一节 数控铣削和加工中心的 加工工艺	160
一、坐标轴及其运动方向	95	一、数控铣削和加工中心的主要 加工对象	160
二、机床坐标系、机床原点、 机床参考点	96	二、数控铣削和加工中心的加工 工艺分析	163
三、工件坐标系	97	三、数控铣削和加工中心加工 工艺的设计	165
四、绝对坐标编程及增量坐标编程	98	第二节 数控铣床和加工中心的 程序编制	179
第四节 数控程序的指令代码	98	一、数控铣床和加工中心的编程要点	179
一、准备功能	98	二、通常出现在 NC 程序开头的指令	183
二、辅助功能	100	三、控制主轴的指令	185
三、转速功能	101	四、M 功能（辅助功能代码）	186
四、进给功能	101	五、编制路径指令	186
五、刀具功能	102	六、刀具补偿	192
本章小结	102	七、暂停	196
复习思考题	102	八、子程序	197
第五章 数控车削加工工艺与编程	103	九、帧指令	199
第一节 数控车削加工工艺	103	十、循环	205
一、数控车削的主要加工对象	103	十一、自动编程	222
二、数控车削加工工艺分析	105		
三、数控车削加工工艺设计	107		
第二节 数控车削程序编制	124		

本章小结 226

复习思考题 226

第七章 数控电火花线切割加工

工艺与编程 232

 第一节 数控电火花线切割加工原理、特点及应用 232

 一、数控电火花线切割加工原理 232

 二、数控电火花线切割加工特点 233

 三、数控电火花线切割加工的应用 233

 第二节 影响线切割加工工艺指标的主要因素 234

 一、线切割加工的技术指标 234

 二、影响线切割加工工艺指标的主要因素

 主要因素 235

 第三节 数控线切割加工工艺的制订 236

 一、零件图的工艺分析 236

 二、工艺准备 236

 三、工件的装夹和位置校正 239

 四、加工参数的选择 241

 第四节 数控线切割加工的程序编制 243

 一、数控线切割加工编程基础 243

 二、ISO 格式程序编制 244

 三、3B 格式程序编制 249

 本章小结 254

 复习思考题 254

参考文献 256

第一章 数控加工概述

学习目的

通过本章的学习，建立数控机床及数控加工的整体性认识，掌握数控与数控机床的相关概念；了解数控机床的工作原理及数控加工的特点；掌握数控机床的分类；熟悉数控机床的组成；了解各类常见数控机床；了解数控机床控制系统的组成、功能及数控加工技术的发展；了解以数控机床为基础的生产自动化技术。

第一节 数控加工的概念

一、数字控制与数控机床

数字控制 (Numerical Control) 是 20 世纪 50 年代发展起来的一种自动控制技术，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，简称为数控 (NC)。在数控技术中引进计算机技术，称为计算机数控 (Computer Numerical Control, 简称 CNC)。CNC 具有柔性好、功能强、可靠性高、经济性好、易于实现机电一体化等特点，是数控技术在质的方面的一次飞跃。

数控机床 (Numerical Control Machine Tools) 是一种采用了数控技术的机床，或者说是一种装备了数控系统的机床。

国际信息处理联盟 (International Federation Information Processing, 简称 IFIP) 第五技术委员会将数控机床定义为：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特定代码或其他符号编码指令规定的程序。这种程序控制系统称之为机床的数控系统。

二、数控机床的工作原理

数控机床加工工件时，首先要根据加工工件的图样和工艺方案，用规定的代码和格式编写加工程序，然后将加工程序输入到计算机数控装置，再由计算机数控装置对这些输入的信息进行处理、运算，按各坐标轴的分量送到相应的驱动电路，经过转换、放大后驱动伺服电动机，使各坐标移动若干个最小位移量，实现刀具与工件的相对运动，完成工件的加工。

三、数控加工的定义

数控加工是指在数控机床上对工件进行自动加工的一种工艺方法。

数控加工技术是伴随数控机床的产生、发展而逐渐完善起来的一种应用技术，是人们长期从事数控加工实践的经验总结。

数控加工技术除了用于机械加工外,还广泛应用于电加工、激光加工、火焰加工、绘印加工及编织加工等方面。

四、数控加工的特点

数控机床综合了微电子技术、计算机应用技术、自动控制技术以及精密机床设计与制造技术,具有专用机床的高效率、精密机床的高精度和通用机床的高柔性等显著特点,适合多变、复杂、精密零件的高效、自动化加工。具体说来,包括以下几个方面:

(1) 柔性自动化,具有广泛的适应性。由于采用数控程序控制,加工中多采用通用型工装,只要改变数控程序,便可以实现对新零件的自动加工,为单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大便利。因此,能适应当前市场竞争中对产品不断更新换代的要求,解决了多品种及中、小批量生产自动化问题。

(2) 精度高、质量稳定。数控机床根据数控程序自动工作,在工作过程中,一般不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的失误或误差;数控机床的机械结构是按照精密机床要求进行设计和制造的,采用滚珠丝杠、滚动导轨等高精度传动部件,而且刚度大,抗干扰性能好;数控机床伺服传动系统的脉冲当量或最小设定单位可以达到 $0.01 \sim 0.0001\text{mm}$,同时,工作中还大多采用具有检测反馈的闭环控制,并且有误差修正或补偿功能,可以进一步提高精度和稳定性;数控加工中心具有刀库和自动换刀装置,可以在一次装夹后,完成工件的多面和多工序加工,最大限度地减小了装夹误差的影响。

(3) 生产效率高。数控机床能最大限度地减小零件加工所需的机动时间与辅助时间,显著提高生产效率。数控机床的进给运动和多数主运动都采用无级调速,且调速范围大,因此每一道工序都能选择最佳的切削速度和进给速度;良好的结构刚度和抗振性允许机床采用大切削用量进行强力切削;一般不需要停机对工件进行检测,从而有效减少了机床加工中的停机时间;机床移动部件在定位中均采用自动加减速措施,因此可以选用很高的空行程运动速度,大大节约了辅助运动时间;加工中心可采用自动换刀和自动交换工作台等措施,工件一次装夹,可以进行多面和多工序加工,大大减少了工件装夹、对刀等辅助时间。

(4) 能实现复杂零件的加工。一方面,随着自动编程技术的发展,利用图形自动编程软件可生成复杂型面的加工程序;另一方面,由于数控机床采用计算机插补技术及多坐标联动控制,可以在加工程序的控制下实现任意的轨迹运动。所以,数控机床可以很方便地加工出任何形状复杂的空间曲面,如螺旋桨、汽轮机叶片、汽车外形冲压用模具等类零件。

(5) 减轻劳动强度,改善劳动条件。由于数控机床的操作者主要利用操作面板对机床的自动加工进行操作,因此大大减轻了操作者的劳动强度,改善了生产条件,并且可以一个人轻松管理多台机床。

(6) 有利于现代化生产与管理。采用数控机床加工,能方便、精确地计算零件的加工工时或进行自动加工统计,能精确计算生产和加工费用,有利于生产过程的科学管理。数控机床是计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、群控或分布式控制(DNC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等先进制造系统的基础。

与普通机床相比,数控机床的初始投资及维护费用较高,对操作与管理人员的素质要求

较高,企业必须从生产实际出发,合理地选择与使用数控机床,并且要循序渐进,培养人才,积累经验,才能达到降低生产成本、提高经济效益和市场竞争能力的目的。

五、数控加工常用术语

1. 数控机床的可控轴数

数控机床的可控轴数指机床数控系统可控制的、按加工要求运动的坐标轴数目(其中包括移动坐标轴和回转坐标轴)。数控机床可控轴数与数控系统的运算处理能力、运算速度及内存容量等有关。目前,世界范围内最高级数控系统的可控轴数已达到24轴,我国最高级数控系统的可控轴数为6轴。

2. 数控机床的联动轴数

数控机床的联动轴数指机床数控系统可同时控制的、按加工要求运动的坐标轴数目。联动轴数越多,说明数控系统加工复杂空间曲面的能力越强。目前,有二轴联动、二轴半联动、三轴联动、四轴联动、五轴联动等。三轴联动数控机床可以加工空间复杂曲面,四轴联动、五轴联动数控机床可以加工航空中使用的叶轮、螺旋桨等零件。

3. 脉冲当量

数控机床各轴采用步进电动机、伺服电动机或直线电动机驱动,是用数字脉冲信号控制的。每发出一个脉冲,电动机就转过一个特定的角度,通过传动系统或直接带动丝杠,驱动与螺母副连接的机床移动部件移动一个微小距离。数控装置每发出一个脉冲信号使机床移动部件产生的位移量就称为脉冲当量。脉冲当量数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。目前,经济型数控机床的脉冲当量一般为 $0.01\text{mm}/\text{脉冲}$,普及型数控机床的脉冲当量一般为 $0.001\text{mm}/\text{脉冲}$,高档数控机床的脉冲当量一般为 $0.0001\text{mm}/\text{脉冲}$ 。脉冲当量越小,数控机床的加工精度和表面质量越高。

4. 插补

插补就是数控系统依照一定方法确定刀具运动轨迹,使刀具运动轨迹以一定精度逼近给定线段的过程。数控加工直线或圆弧轨迹时,程序中只提供线段的起点坐标和终点坐标等基本数据,为了控制刀具相对于工件沿这些轨迹运动,就必须在线段的起点和终点之间,按一定的算法进行数据点的密化工作,以填补确定一些中间点,如图1-1所示,各轴就以趋近这些点为目标实施配合移动。这种计算中间点的运算称为插补运算。

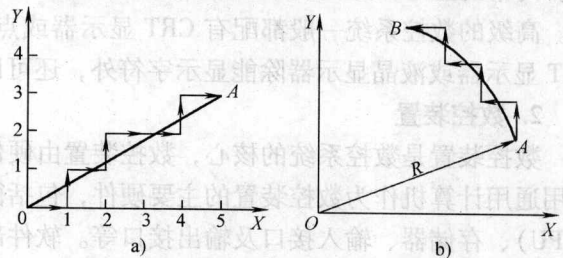


图1-1 插补

a) 直线插补 b) 圆弧插补

在早期的数控机床中,插补运算是由硬件数字逻辑电路装置来实现的,称为硬件插补器。在现代数控机床中,硬件插补器的部分或全部功能都可由计算机中的插补程序实现,这些插补程序称软件插补器。直线和圆弧是构成工件轮廓的基本线条,因此,现代数控机床大都具有直线和圆弧插补功能,某些高档数控机床还具有抛物线、螺旋线插补功能。

第二节 数控机床的组成及分类

一、数控机床的组成

数控机床一般由输入输出设备、数控装置、操作面板、进给伺服系统、主轴驱动系统、可编程控制器（PLC）、位置检测反馈装置及其接口电路和机床本体等部分组成，如图 1-2 所示。机床本体以外的部分统称为数控系统，数控装置是数控系统的核心。数控机床各部分的功能简介如下：

1. 输入输出设备

数控机床加工前，必须读入操作人员编好的零件加工程序。在加工过程中，要把加工状态，包括刀具的位置、各种报警信息等告诉操作人员，以便操作人员了解机床的工作情况，及时解决加工中出现的各种问题。这就是输入输出设备的作用。

最常用的输入设备是键盘，操作人员可以用键盘输入简单的加工程序、编辑修改程序和发送操作命令，即进行手动数据输入（Manual Data Input，简称 MDI）。常见的输入设备还有光电阅读机和串行输入输出接口，光电阅读机用来读入记录在纸带上的加工程序，串行输入输出接口用来以串行通信的方式与上级计算机或其他数控机床传递加工程序。

常见的输出设备是显示器，数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息。显示的信息一般包括正在编辑或运行的程序，当前的切削用量、刀具位置、各种故障信息、操作提示等。简单的显示器是由若干个数码管构成的七段 LED 显示器，这种显示器能显示的信息有限。高级的数控系统一般都配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器，显示信息丰富。高档的 CRT 显示器或液晶显示器除能显示字符外，还可以显示加工轨迹图形。

2. 数控装置

数控装置是数控系统的核心，数控装置由硬件和软件两大部分组成。现代数控系统普遍采用通用计算机作为数控装置的主要硬件，包括微型计算机系统的基本组成部分，微处理器（CPU）、存储器、输入接口及输出接口等。软件部分就是我们通常所说的数控系统软件，其主要作用是对输入的数控程序及有关数据进行存储与处理，通过插补运算等形成运动轨迹指令，控制伺服单元和驱动装置，实现刀具与工件的相对运动。对于数控机床的辅助动作，如变速、开关切削液、松夹工件及刀具转位等，可通过 PLC 对机床电器的逻辑控制来实现。

3. 操作面板

数控机床的操作是通过操作面板实现的，操作面板由数控面板和机床面板组成。数控面板是数控系统的操作面板，多数由显示器和手动数据输入（Manual Data Input，简称 MDI）键盘组成，又称为 MDI 面板。显示器的下部常设有菜单选择键，用于选择菜单。键盘除各种符号键、数字键和功能键外，还可设置用户定义键等。操作人员可以通过键盘和

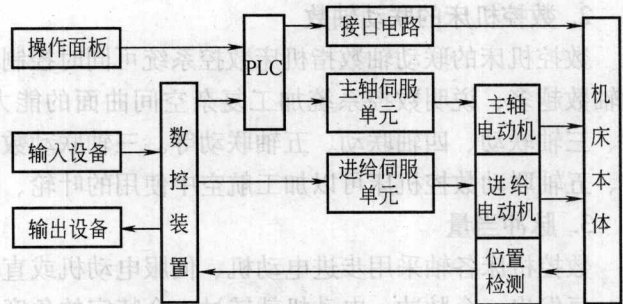


图 1-2 数控机床的组成

显示器, 实现系统管理, 对数控程序及有关数据进行输入、存储和编辑修改。在加工中, 屏幕可以动态显示系统状态和故障诊断报警等。此外, 数控程序及数据还可以通过磁盘 (即软盘) 或通信接口输入。

机床面板 (Operator Panel) 主要用于手动方式下对机床的操作, 以及自动方式下对运动的控制或干预。其上有各种按钮与选择开关, 用于机床及辅助装置的起停、加工方式选择、速度倍率选择等; 还有数码管及信号显示等。另外, 数控系统的通信接口, 如串行接口, 常设置在操作面板上。

4. 进给伺服系统

进给伺服系统主要由进给伺服单元和伺服进给电动机组成。对于闭环和半闭环控制的进给伺服系统, 还应包括位置检测反馈装置。进给伺服单元接收来自 CNC 装置的运动指令, 经变换和放大后, 驱动伺服电动机运转, 实现刀架或工作台的运动。

在闭环和半闭环控制伺服进给系统中, 位置检测反馈装置安装在机床上 (闭环控制) 或伺服电动机上 (半闭环控制), 其作用是将机床或伺服电动机的实际位置信号反馈给 CNC 系统, 以便与指令位移信号相比较, 用其差值控制机床运动, 达到消除运动误差, 提高定位精度的目的。

一般说来, 数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置; 而数控机床性能的优劣, 如运动速度与精度等, 则主要取决于伺服驱动系统。

数控技术的不断发展对进给伺服驱动系统的要求越来越高, 一般要求定位精度为 $0.01 \sim 0.001\text{mm}$, 高精设备要求达到 0.0001mm 。为保证系统的跟踪精度, 一般要求动态过程在 $200\mu\text{s}$ 、甚至几十微秒以内, 同时要求超调要小; 为保证加工效率, 一般要求进给速度为 $0 \sim 24\text{m/min}$, 高档设备要求在 $0 \sim 240\text{m/min}$ 内连续可调。此外, 要求低速时有较大的输出转矩。

5. 主轴驱动系统

主轴驱动系统主要由主轴伺服单元和主轴电动机组成, 数控机床的主轴驱动与进给驱动区别很大, 现代数控机床对主轴驱动提出了更高的要求, 要求主轴具有很高的转速和很宽的无级调速范围, 进给电动机一般是恒转矩调速, 而主电动机除了有较大范围的恒转矩调速外, 还要有较大范围的恒功率调速; 电动机功率输出应为 $2.2 \sim 250\text{kW}$, 既能输出大的功率, 又要求主轴结构简单。

对于数控车床, 为了能加工螺纹和实现恒线速度切削, 要求主轴和进给驱动能实现同步控制。对于加工中心, 为了保证每次自动换刀时刀柄上的键槽对准主轴上的端面键, 以及精镗孔后退刀时不会划伤已加工表面, 要求主轴具有高精度的准停和分度功能。在加工中心上, 为了能自动换刀, 还要求主轴能实现正反方向的转动和加、减速控制。现代数控机床绝大部分采用交流主轴驱动系统, 由可编程序控制器进行控制。

6. 可编程序控制器 (PLC)

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 也是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置, 主要完成与逻辑运算有关的动作, 将工件加工程序中的 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, 如机床起停、工件装夹、刀具更换、切削液开关等一些辅助功能。

PLC 接受来自机床操作面板和数控装置的指令,一方面通过接口电路直接控制机床的动作,另一方面将有关指令送往 CNC 用于加工过程控制。

CNC 系统中的 PLC 有内置型和独立型。内置型 PLC 与 CNC 是综合在一起设计的,又称集成型,是 CNC 的一部分。独立型 PLC 是由专业的工厂生产,又称外装型。

7. 机床本体

机床本体是数控机床实现切削加工的机械结构部分,数控机床的机械结构的设计与制造要适应数控技术的发展,与普通机床相比,应具有更高的精度、刚度、热稳定性和耐磨性;由于普遍采用了伺服电动机无级调速技术,机床进给运动和主传动的变速机构被极大地简化甚至取消;广泛采用滚珠丝杠、滚动导轨等高效、高精度传动部件;采用机电一体化设计与布局,机床布局主要考虑有利于提高生产率,而不像传统机床那样主要考虑操作方便。此外,还采用自动换刀装置、自动更换工件机构和数控夹具等。

二、数控机床的分类

目前,数控机床的品种、规格繁多,功能各异,通常可按下列几种方法进行分类。

(一) 按控制的运动轨迹分类

根据数控机床刀具与工件相对运动轨迹的类型,可将数控机床划分为点位控制、直线控制和轮廓控制三种类型。

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床只要求获得准确的加工坐标点的位置。由于在移动过程中不进行任何加工,所以对运动轨迹并无要求。为提高生产率和保证定位精度,刀具或工件通常快速接近终点坐标,然后低速准确移动到定位点。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控弯管机等。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床除了要求控制终点位置外,还能沿平行于坐标轴或与坐标轴成 45° 角的斜线方向作直线轨迹的加工,移动部件在移动过程中进行切削加工,并可设定直线加工的进给速度。这类数控机床主要有数控车床、数控镗铣床及简单加工中心等。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床,其特点是能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行控制,使刀具与工件间的相对运动符合工件加工表面轮廓的要求。这类控制方式,要求数控装置具有插补运算的功能,即根据加工程序输入的基本数据(如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径),通过数控系统的插补运算器的数学处理,把直线或曲线形状的相关坐标点计算出来,并边计算边根据计算结果控制 2 个或 2 个以上坐标轴协调运动。目前,大多数金属切削机床的数控系统都是轮廓控制系统。

对于轮廓控制数控机床,根据同时控制坐标轴的数目还可分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、四轴或五轴联动。

(1) 二轴联动同时控制 2 个坐标轴实现二维直线、斜线和圆弧等曲线的轨迹控制,如图 1-3 所示。

(2) 三轴联动同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动,如图 1-4 所示,或控制 X 、 Y 、

Z 中的两个直线坐标轴及绕其中某一直线坐标轴作旋转运动的坐标轴。例如，车削加工中心除了纵向（ Z 轴）、横向（ X 轴）两个直线坐标轴外，还同时控制绕 Z 轴旋转的主轴（ C 轴）联动。

(3) 二轴半联动用于三轴以上机床的简化控制，其中两个轴为联动控制，而另一个轴作周期调整进给。例如，图 1-5 所示为在数控铣床上用球头铣刀对三维空间曲面用行切法进行加工，其中球头铣刀在 XOZ 平面内进行插补铣削曲线，每加工完一段后移动 ΔY ， Y 轴是调整坐标轴。

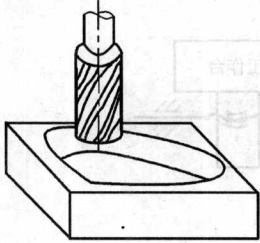


图 1-3 二轴联动加工

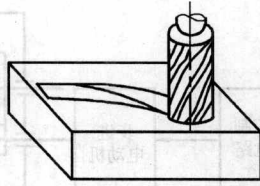


图 1-4 三轴联动加工

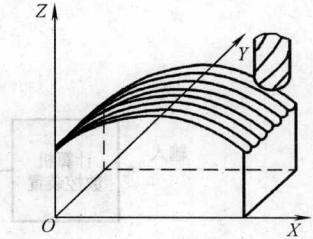


图 1-5 两轴半机床
行切法加工

(4) 四轴或五轴联动。在某些复杂曲面的加工中，为保证加工精度或提高加工效率，铣刀的侧面或端面应始终与曲面贴合，这就需要铣刀轴线位于曲线或曲面的切线或法线方向，为此，除需要 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外，还需同时控制三个旋转坐标 A 、 B 、 C 中的一个或两个，使铣刀轴线围绕直线坐标轴摆动，形成四轴或五轴联动，如图 1-6 和图 1-7 所示。

图 1-6 所示是四轴联动加工，图中所示的飞机大梁的加工表面是直纹扭曲面，若采用三坐标联动的球头铣刀加工，不但生产率低，而且加工表面质量差，为此可采用四轴联动的圆柱铣刀周边切削方式。此时，除了三个移动坐标联动外，为保证刀具与工件型面在全长上始终接触，刀具轴线还要同时绕移动坐标轴 X 摆动，即作 A 坐标运动。

如果要加工图 1-7 所示的异形凸台，为保证铣刀的周边与曲面的侧面重合，除了三个移动坐标联动外，端铣刀轴线必须沿 A 、 B 坐标作绕 X 和 Y 轴的旋转运动。

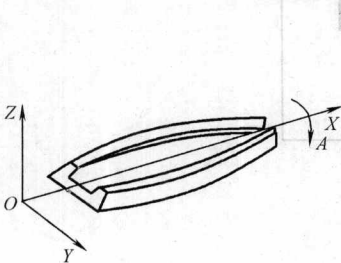


图 1-6 四轴联动加工

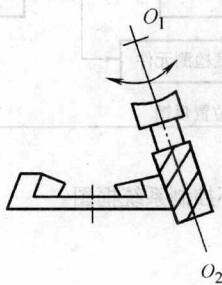


图 1-7 五轴联动加工

(二) 按伺服控制方式分类

数控机床伺服驱动控制的方式很多，主要有开环控制、闭环控制和半闭环控制三种类型，此外还有开环补偿型和半闭环补偿型等混合控制。

1. 开环控制数控机床

这类机床没有检测反馈装置，数控装置发出的指令信号是单方向传送的。开环数控机床所用的电动机主要是步进电动机，数控机床的位移精度主要取决于步进电动机的步距角精度、齿轮箱中齿轮副和丝杠螺母副的精度与传动间隙等。图 1-8 所示是典型的开环控制系统。

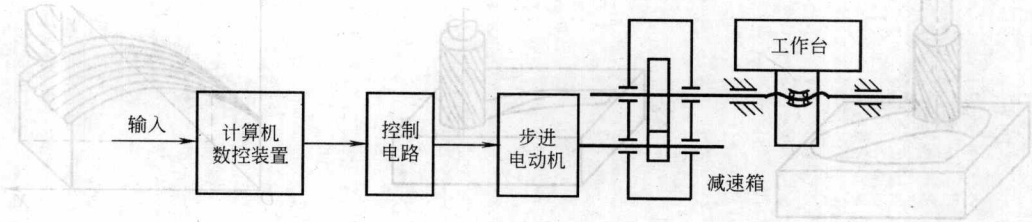


图 1-8 开环控制系统框图

开环控制系统对移动部件的误差没有补偿和校正，所以位置控制精度低。但其结构简单、工作稳定、容易调试、价格较低，仍被广泛用于经济型数控机床和旧机床数控改造。

2. 闭环控制数控机床

这类机床在其移动部件上直接装有直线位置检测反馈装置，将测量的实际位移值反馈到数控装置中，与输入的位移值进行比较，用差值进行控制，使移动部件按照实际需要的位移量运动，实现移动部件的精确定位。闭环控制数控机床可以补偿机械传动部件的各种误差、减小加工过程中各种干扰的影响，从而使加工精度大大提高。但由于它将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，且结构复杂、价格昂贵。所以，闭环控制系统主要用于精度要求很高的数控镗铣床、数控超精车床和数控超精磨床等。闭环控制系统框图如图 1-9 所示。

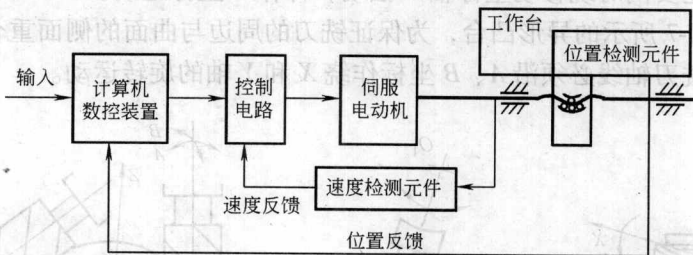


图 1-9 闭环控制系统框图

3. 半闭环控制数控机床

这类机床的位置检测反馈元件安装在伺服电动机上，通过测量伺服电动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），反馈到计算机数控装置中进行位置比较，用比较的差值进行控制。由于反馈系统内没有包含工作台，故称半闭环控制。半闭环控

制系统框图如图 1-10 所示。

由于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，价格也较全闭环系统便宜，兼顾了开环和闭环两者的优点，因此应用比较广泛。

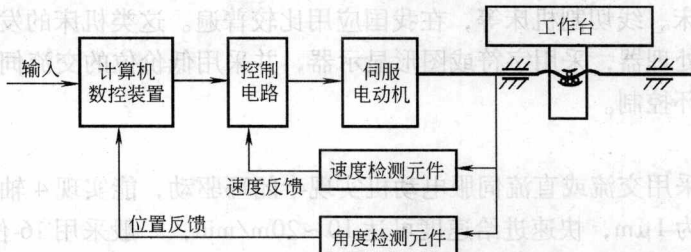


图 1-10 半闭环控制系统框图

(三) 按工艺用途分类

随着数控技术的发展，目前国内外大部分普通机床几乎都已开发了相应的数控机床，并且还开发了一些特殊类型的数控机床，其加工用途、功能特点多种多样、五花八门。据不完全统计，目前数控机床的品种规格已达 500 多种，按其工艺用途可分为四大类。

1. 金属切削类

这一类是数控机床的主要类型，又可分为两类：

(1) 普通数控机床。普通数控机床是指数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床等，其工艺用途与传统车床、铣床、钻床、磨床等基本相似。

(2) 加工中心。加工中心的主要特点是具有刀库和自动换刀装置，工件一次装夹后可进行多道工序加工，主要有铣镗加工中心和车削中心两类，前者一般简称加工中心，主要完成铣、镗、钻、攻螺纹等加工；后者以完成各种车削加工为主，还能利用自驱动刀具完成铣平面、键槽及钻横孔等工序。

2. 金属成形类

金属成形类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、数控旋压机等。

3. 特种加工类

特种加工类数控机床主要指数控电火花切割机、电火花成形机、火焰切割机、激光加工机等。

4. 测量绘图类

测量绘图类数控机床主要有三坐标测量机、绘图机、对刀仪等。

(四) 按数控系统的功能水平分类

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（中档型或全功能型）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，不同国家分类的含义也不同，且随着数控技术的不断发展，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

这类机床的伺服进给驱动一般是由步进电动机实现的开环驱动,控制轴数为3轴或3轴以下,脉冲当量或进给分辨率为 $2\sim 10\mu\text{m}$,快速进给速度可达 $10\text{m}/\text{min}$ 。系统的微机系统多为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,能满足形状比较简单的直线、斜线、圆弧及螺纹加工,价格比较便宜,如经济型数控车床、铣床、线切割机床等,在我国应用比较普遍。这类机床的发展趋势是逐渐采用16位和32位微处理器,采用字符或图形显示器,并采用低价位的交流伺服电动机代替步进电动机实现半闭环控制。

2. 普及型

这类机床进给采用交流或直流伺服电动机实现半闭环驱动,能实现4轴或4轴以下联动控制,进给分辨率为 $1\mu\text{m}$,快速进给速度可达 $10\sim 20\text{m}/\text{min}$,一般采用16位或32位微处理器,具有RS232C通信接口,具有图形显示功能及面向用户的宏程序功能。此类数控机床的品种极多,几乎覆盖了各种机床类别,其发展趋势是趋于简单、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

这类机床多为加工复杂形状的多轴联动加工中心,功能强、工序集中、自动化程度高、具有高柔性。一般采用32位以上微处理器,形成多CPU结构;采用数字化交流伺服电动机形成闭环驱动,并开始使用直线伺服电动机;具有主轴伺服功能;能实现5轴以上联动,最高分辨率可达 $0.1\mu\text{m}$,最大快速驱动速度可达 $100\text{m}/\text{min}$ 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,还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,且能实现计算机的网络和通信,具有MAP(Manufacturing Automation Protocol)等高性能通信接口。这类系统功能齐全,价格昂贵。如具有5轴以上的数控铣床,大、重型数控机床,五面体加工中心,车削中心和柔性加工单元等。

第三节 常见数控机床简介

一、数控车床

(一) 数控车床的组成

数控车床是数控机床中应用最广泛的一种。数控车床与卧式车床一样,也是用来加工轴类或盘类的回转体零件,但由于数控车床是自动完成内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、端面、螺纹等表面的切削加工,所以数控车床特别适合加工形状复杂的轴类或盘类零件。

数控车床与普通车床相比,其结构上仍然由主轴箱、刀架、进给传动系统、床身、液压系统、冷却系统、润滑系统等部分组成。但由于数控车床实现了计算机数字控制,其进给系统与普通车床的进给系统在结构上存在着本质的差别。在普通车床中,主运动和进给运动的动力都来源于同一台电动机,运动由电动机经过主轴箱变速,传动至主轴,实现主轴的转动,同时经过交换齿轮架、进给箱、光杠或丝杠、溜板箱传到刀架,实现刀架的纵向进给移动和横向进给移动。主轴转动与刀架移动的同步关系依靠齿轮传动链来保证。数控车床则与之完全不同,其主运动和进给运动是由不同的电动机来驱动的,即主运动由主轴电动机驱