

数控加工技术

张春良 何 彬 编著
陶建华 梁忠伟



科学出版社

数控加工技术

张春良 何 彬 编著
陶建华 梁忠伟

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

全书共分7章,内容主要包括:数控加工技术的基本概念,数控机床的主要性能指标、组成与分类,数控加工技术的发展,数控加工编程基础,数控加工程序编制方法与数学处理,数控加工工艺,计算机数控系统,插补原理与刀具补偿,数控机床伺服系统与位置检测装置,数控机床结构,数控加工自动编程基础,Mastercam自动编程技术与数控加工实例等。本书着眼于国内外的最新技术和国内实际应用的技术,既注重数控理论的讲解,又重视数控加工实例的介绍,具备先进性、科学性和实用性。全书内容丰富,深入浅出,图文并茂,既系统介绍又深入细节,采用的加工实例翔实可靠。各章均附有练习与思考题。

本书可作为普通高等院校机械工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机械电子工程等机电类专业的本科生教材,也可作为有关专业研究生、教师和广大从事数控机床与数控加工技术工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/张春良等编著. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-029619-1

I. ①数… II. ①张… III. ①数控机床 加工 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第225073号

责任编辑:王鑫光 张丽花/责任校对:张 林

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏 杰 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2011年1月第一次印刷 印张:23 1/2

印数:1—4 000 字数:556 000

定价:42.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

自第一台数控机床于 1952 年问世以来,数控技术得到了迅猛的发展。现代数控技术集机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是现代制造技术的基础。现代的 CAD/CAM、CAPP、CAT、FMS、CIMS、FA 等先进制造技术,都是建立在数控技术之上的。数控技术的发展和运用,给机械制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来了深刻的变化,开创了制造业的新时代,引起世界各国科技界和工业界的普遍重视。可以说,数控技术的水平是衡量一个国家工业现代化与国防现代化的重要标志,关系到国家战略地位。发展数控机床是当前我国增强自主创新能力、提高综合国力、实现工业与国防现代化的重要途径。我们欣喜地看到,国产数控机床近年来进入快速发展时期,依靠自主创新成功打破了来自发达国家的技術封锁与垄断,拥有了大型零部件高精度加工的能力,并实现了在超微小加工领域零的突破。我国自主研发的数控机床和数控系统凭借质优价廉的优势受到越来越多用户的青睐,涌现了一批拥有成套核心技术自主知识产权和自主配套能力的数控企业。为了进一步提高和发展数控技术,更好地发挥数控机床的作用,需要培养大批能熟练掌握现代数控机床理论、编程与操作、数控加工技术的工程技术人才。

本书以满足机械工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机械电子工程等机电类专业本科生的培养目标和数控加工技术的要求为基础,既注重数控原理的讲解,又重视数控加工实例的介绍,注重先进性、科学性和实用性。本书内容涉及数控加工理论与数控编程技术的各个方面,主要包括:数控加工技术的基本概念,数控机床的主要性能指标、组成与分类,数控加工技术的发展,数控加工编程基础,数控加工程序编制方法与数学处理,数控加工工艺,计算机数控系统,插补原理与刀具补偿,数控机床伺服系统与位置检测装置,数控机床结构,数控加工自动编程基础,Mastercam 自动编程技术与数控加工实例等。编者尝试将学术性教育 and 应用性教育的内容相糅合,理论上深入浅出,所用实例都是在生产实践中提炼出来的,力争实现知识和能力培养的一体化。

本书由张春良、何彬、陶建华、梁忠伟合作编写,全书由张春良定稿。在编写过程中,参考了大量的相关书籍和文献,特向这些作者致以诚挚的谢意。清华大学王先逵教授对本书提出了宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

限于编者的知识水平和经验,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 8 月

目 录

前言

第一章 数控加工技术概论	1
第一节 数控加工技术的基本概念	1
第二节 数控机床的组成与分类	5
第三节 数控加工技术的发展	10
练习与思考题	19
第二章 数控加工手工编程	20
第一节 数控编程的基础知识	20
第二节 数控编程的常用指令与格式	25
第三节 数控车削加工程序编制	33
第四节 数控铣削加工程序编制	53
第五节 程序编制中的数学处理	73
练习与思考题	81
第三章 数控加工工艺设计	83
第一节 数控车削加工工艺设计	83
第二节 数控铣削加工工艺设计	103
练习与思考题	126
第四章 计算机数控 (CNC) 系统	127
第一节 CNC 系统概述	127
第二节 CNC 系统的硬件结构	133
第三节 CNC 系统的软件结构	141
第四节 CNC 系统的插补原理	144
第五节 CNC 系统的刀具补偿和加减速控制	162
练习与思考题	173
第五章 数控机床的伺服系统	174
第一节 伺服系统概述	174
第二节 伺服系统的驱动	177
第三节 位置检测装置	196
第四节 位置控制系统	208
练习与思考题	213
第六章 数控机床的结构	214
第一节 数控机床结构概述	214
第二节 数控机床的主传动系统	222



第三节 数控机床的进给传动系统·····	231
第四节 其他装置·····	246
练习与思考题·····	255
第七章 数控加工自动编程与数控加工实例·····	256
第一节 数控加工自动编程概述·····	256
第二节 Mastercam X 自动编程技术·····	262
第三节 数控加工实例一——螺纹特形轴数控加工·····	348
第四节 数控加工实例二——增压器蜗壳零件金属型凸模数控加工·····	359
练习与思考题·····	368
参考文献·····	370

第一章 数控加工技术概论

第一节 数控加工技术的基本概念

一、基本概念

1. 数控与数控机床

数字控制（Numerical Control，NC）简称数控，就是用数字化的信息对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。具体来说，数控就是采用计算机或专用计算机装置进行数字计算、分析处理、发出相应指令，对机床的各个动作及加工过程进行自动控制的一门技术。

数控机床就是装备有计算机数控系统的自动化机床。

2. 数控加工

数控加工，是指在数控机床上进行工件切削加工的一种工艺方法，即将根据工件图样和工艺要求等原始条件编制的工件数控加工程序（简称为数控加工程序或数控程序）输入数控系统，控制机床刀具与工件的相对运动，从而实现工件的加工。

数控加工技术集传统的机械制造、计算机、现代控制、传感控制、信息处理、光机电技术于一体，已成为现代机械制造技术的基础。它的广泛应用，给机械制造业的生产方式、产品结构带来了深刻的变化。数控技术的水平和普及程度，已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。

二、数控机床的工作原理

1. 数控机床的基本工作过程

数控机床的基本工作过程如图 1.1 所示。

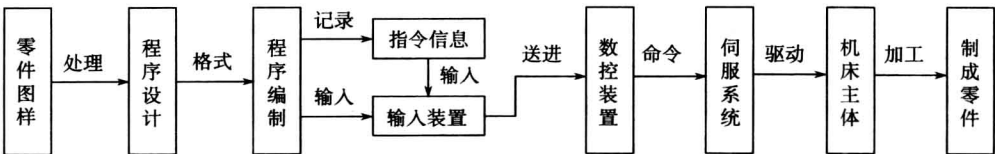


图 1.1 数控机床工作过程



- (1) 操作人员根据工件加工图样的要求确定工件加工的工艺过程、工艺参数和刀具位移数据；
- (2) 按编程手册的有关规定编写工件加工程序；
- (3) 通过键盘、穿孔纸带、计算机联机通信或 MDI (Manual Data Input, 手动数据输入) 等方式, 将加工工件程序输入到计算机数控装置；
- (4) 在数控系统内部的控制软件支持下, 经过处理与计算后, 发出相应的运动指令；
- (5) 伺服系统接到执行的信息指令后, 立即驱动机床进给机构严格按指令的要求进行位移, 以进行工件的自动切削加工。

2. 数控系统的工作过程

数控系统是数控机床的控制核心, 它通常由一台带有专门系统软件的计算机构成, 即数控系统由软件和硬件两部分组成。硬件是软件的物理基础, 软件是整个系统的灵魂, 数控系统的活动均依靠系统程序来指挥。数控系统的工作过程如下。

(1) 数据输入。输入数控系统的有零件程序、控制参数、补偿数据, 输入过程中还需完成校检和代码转换等工作。输入的全部信息存放在数控装置的内部存储器中。

(2) 译码处理。将零件程序以一个程序段为单位进行处理, 每个程序段含有零件的轮廓信息 (起点、终点、直线、圆弧等)、加工速度信息 (F 代码) 以及其他如换刀、换挡、冷却液等辅助信息 (M、S、T 代码等)。计算机依靠译码程序识别这些代码符号, 并按照一定的语言规则解释成计算机能够识别的数据形式, 并以一定的数据格式存放在指定的内存区间。

(3) 数据处理。一般包括刀具半径补偿、速度计算及辅助功能处理。刀具半径补偿是把零件轮廓轨迹转化为刀具中心轨迹, 从而大大减轻了编程员的工作量。速度计算是解决该加工程序段以什么样的速度运动的问题。编程所给的刀具移动速度, 是在各坐标的合成方向上的速度, 速度处理首先是根据合成速度来计算各坐标方向的分速度, 此外对机床容许的最低速度和最高速度的限制进行判别并处理。辅助功能如换刀、主轴启停、冷却液开停等, 大部分都是些开关量, 因此辅助功能处理的主要工作是标志识别, 即在程序执行时发出信号, 让机床相应部件执行这些动作。

(4) 插补运算。数控机床在加工复杂几何形状的零件时, 机床的多个坐标轴必须联动控制。这就要求数控系统能够产生一系列控制坐标轴的运动指令。因此, 机床数字控制的中心问题是: 计算机数控装置如何把输入的数控程序, 通过运算处理来控制刀具的运动轨迹。该过程由数控系统的插补功能来实现。插补是在已知曲线的起点、终点之间, 确定一些中间点坐标值的计算方法。插补的任务是根据加工程序中进给速度的要求, 完成从曲线轮廓起点到终点的中间点坐标值的计算。插补程序在每个插补周期运行一次, 在每个插补周期中, 根据指令进给速度计算出一个微小的直线数据段。通常经过若干个插补周期后, 插补加工完一个程序段, 即从数据段的起点走到终点。计算机数控系统是一边插补, 一边加工; 而在本次处理周期内插补程序的作用是计算下一个处理周期的位置增量。



当一个程序段开始插补加工时,管理程序即着手准备下一个程序段的读入、译码、数据处理,即由它调动各个功能子程序,并保证在一个程序段加工过程中完成下一个程序段的数据准备,一旦本程序段加工完毕立即开始下一个程序段的插补计算。整个零件加工就在这种周而复始的过程中完成。

(5) 位置控制。位置控制可以由软件来实现,也可以由硬件来实现,它的主要任务是在每个采样周期内,将插补计算的理论位置与实际反馈位置相比较,用其差值去控制进给电动机,进而控制机床工作台(或刀具)的位移,这样机床就自动地按照零件加工程序的要求进行切削加工。

3. 伺服系统的工作原理

在数控机床中,伺服系统接收来自数控系统的指令信息,经功率放大、整形处理后,转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动,实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。

三、数控加工的特点

与传统的加工手段相比,数控加工的优点表现在以下几方面。

(1) 自动化程度高,减轻工人的劳动强度和改善劳动条件。一般情况下,操作者只要完成工件的装夹、刀具定位和更换,观察、监督机床的运行情况,并进行一些必要的状态调整即可。

(2) 加工精度高,加工质量稳定。数控机床是高度综合的机电一体化设备,由精密机械和自动化控制系统组成,机床的传动系统与机床的结构都有很高的刚度和热稳定性。在设计传动结构时,采取了一些减小误差的措施,并由计算机数控装置进行补偿,所以数控机床有较高的加工精度。数控机床加工不受工件复杂程度的限制,这一点是普通机床无法与之相比的。例如,在高精度数控机床上,可加工出几何轮廓精度极高(达 0.0001mm)、表面粗糙度数值极小(R_a 达 $0.02\mu\text{m}$)的超精零件,如复印机中的转鼓及激光打印机上的多面反射体等。数控加工自动化程度高,加工由程序控制,人工干预少,更换工件时不需要调整机床,同一批工件加工质量稳定,无需停机检验。

(3) 生产效率高。数控机床的主轴转速和进给量范围比普通机床的范围大,良好的结构刚性允许数控机床采用大的切削用量,从而有效地节省了机动时间。对某些复杂零件的加工,如果采用带有自动换刀装置的数控加工中心,可实现在一次装夹下进行多工序的连续加工,减少了半成品的周转时间,生产率的提高更为明显。

(4) 良好的经济效益。在数控机床上改变加工对象时,只需重新编写加工程序,不需要制造更换许多工装夹具和模具,节省了大量工艺装备费用;又由于加工精度高、质量稳定、减少了废品率,使生产成本下降。

(5) 复杂产品加工能力强。数控加工的刀位计算是由CAD/CAM系统完成的,不需要人工的计算,因此采用二轴联动或二轴以上联动的数控机床,能够高效率、高质量地处理复杂的加工表面。

(6) 适应性强,适合加工单件或小批量复杂工件。在数控机床上改变加工工件时,只



需要重新编制新工件的加工程序,就能实现新工件加工。数控机床加工工件时,只需要简单的夹具,改变加工工件后,也不需要制作特别的工装夹具,更不需要重新调整机床。因此,数控机床特别适合单件、小批量及试制新产品的工件加工。

(7) 有利于生产管理的现代化。数控机床是机械加工自动化的基本设备,以数控机床为基础建立起来的柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS),计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)等综合自动化系统使机械制造的集成化、智能化和自动化得以实现。这是由于数控机床控制系统采用数字信息与标准化代码输入,并具有通信接口,容易实现数控机床之间的数据通信,最适宜计算机之间的连接,组成工业控制网络,实现自动化生产过程的计算、管理和控制。

可以说,生产对象的形态越复杂、加工精度要求越高、设计更改越频繁、生产批量越小,数控加工的优越性就发挥得越明显。数控机床的使用效果在很大程度上取决于其应用技术水平的高低,而数控编程则是数控加工应用技术的核心。

四、数控机床的主要性能指标

数控机床的性能指标一般包括坐标轴指标、精度指标、运动性能指标及加工能力指标等几种,详细内容及其含义与作用可参见表 1.1。

表 1.1 数控机床的主要性能指标

类别	项 目	含 义	作 用
坐标轴	可控轴数	机床数控装置能够控制的坐标数目	影响机床功能、加工适应性和工艺范围
	联动轴数	机床数控装置控制的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目	
精度指标	定位精度	数控机床工作台等移动部件在确定的终点所达到的实际位置的精度	直接影响加工零件的位置精度
	重复定位精度	在同一条件下,用相同的方法,重复进行同一动作时,控制对象位置的一致程度	影响一批零件的加工一致性、质量稳定性
	分度的精度	分度工作台在分度时,理论要求回转的角度值和实际回转的角度值的差值	影响零件加工部位的空间位置及孔系加工的同轴度等
	分辨率	数控机床对两个相邻的分散细节之间可以分辨的最小间隔,即认识识别最小单位的能力。对于测量系统,是可以测量的最小增量;对于控制系统,是可以控制的最小位移增量	决定数控机床的加工精度和表面质量
	脉冲当量	数控装置发出的每个脉冲信号,机床移动部件的位移量	



续表

类别	项 目	含 义	作 用
运动性能指标	主轴转速	机床主轴转动速度（目前，数控机床主轴转速已普遍达到5000~10000r/min，甚至更高）	可加工小孔和提高零件表面质量
	进给速度	机床进给线速度	影响零件加工质量、生产效率、刀具寿命等
	坐标行程	数控机床坐标轴的空间运动范围	影响加工零件的大小（机床加工能力）
	摆角范围	具有摆角坐标的数控机床，其摆角坐标的转角大小	影响加工零件的空间大小及机床刚度
	刀库容量	刀库能存放加工所需要的刀具数量	影响加工适应性及加工资源
	换刀时间	带有自动交换刀装置的数控机床，将主轴上的刀具与刀库中的下一工序用刀具进行交换所需要的时间	影响加工效率
加工能力指标	每分钟最大金属切除率	单位时间内去除金属余量的体积	影响加工效率

第二节 数控机床的组成与分类

一、数控机床的组成

数控机床作为一种典型的机电一体化设备，其组成主要包括机床控制系统和机床本体两大部分。与普通机床相比，数控机床的主要特征是具有功能强大的、智能化的电气控制系统，即计算机数控系统。一般的标准型数控机床组成如图 1.2 所示。

1. 控制介质

控制介质是信息的载体，通常也称为输入、输出设备。输入设备的主要功能是将工件加工程序、机床参数及刀补值、间补值等数据输入到机床计算机数控装置，主要有键盘、光电阅读机、磁盘及磁带接口、通信接口等；输出设备主要是将工件加工过程和机

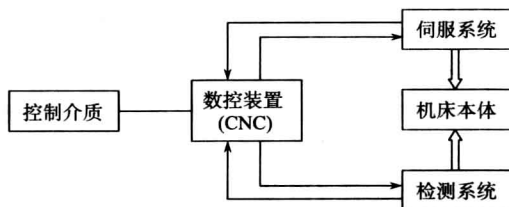


图 1.2 数控机床构成图

床运行状态等打印或显示输出，以便于工作人员操作，主要有 CRT 显示器、LED 显示器、LCD 显示器及各种信号指示灯、报警蜂鸣器等。RS232 接口是一种标准串行的输入、输出接口，可实现工件加工程序的打印、数控机床之间或机床和计算机之间的数据通信等。



2. 数控装置

数控装置是数控机床的控制核心，其作用类似人的大脑，它的主要功能是接收输入设备输入的加工信息，完成数据的存储、计算、逻辑判断、输入输出控制等，并向机床各驱动机构发出运动指令，指挥机床各部件协调、准确地执行工件加工程序。

早期数控系统功能依靠数字电路实现，称之为 NC 系统（硬件数控系统）。这种数控系统电路复杂，元器件较多，功能扩充难以实现，可靠性低，维修困难，现已逐渐被淘汰。现代数控系统都采用小型计算机或微型计算机作为控制硬件，配以适当的接口电路构成数控装置，称之为计算机数控系统（Computer Numerical Control, CNC）。计算机数控系统在控制功能、精度、可靠性等方面与硬件数控系统相比有很大的改善，而且其体积也大大缩小。图 1.3 所示为 CNC 系统的组成框图。

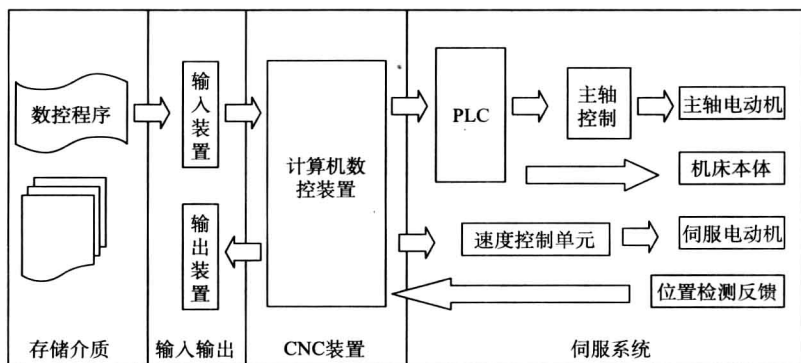


图 1.3 CNC 系统框图

3. 伺服系统

伺服系统是指数控机床的电气驱动部分，它接收计算机数控装置发来的各种动作命令，并精确地驱动机床进给轴或主轴运动。伺服系统的性能是影响数控机床加工精度和生产效率的主要因素之一。伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机是常用的驱动装置。

4. 机床本体

机床本体是数控机床的主体，是用来完成各种切削加工的机械部分。数控机床的机械结构，除了主运动系统、进给系统及辅助部分，如液压、气动、冷却和润滑部分等一般部件外，还有些特殊部件，如刀库、自动换刀装置（Automatic Tool Change, ATC）、自动托盘交换装置等。它与普通机床的差别，主要是机械传动结构及功能性部件。



5. 检测系统

位置检测装置的作用主要是对机床的转速及进给实际位置进行检测并反馈回计算机数控装置,进行补偿处理。运动部分通过传感器,将角位移或直线位移转换成电信号,输送给计算机数控装置,与给定位置进行比较,并由计算机数控装置通过计算,继续向伺服机构发出运动指令,对产生的误差进行补偿,使机床工作台精确地移动到要求的位置。

二、数控机床的分类

数控机床的种类繁多,根据数控机床的功能和组成的不同,可以从多种角度对数控机床进行分类。

1. 按工艺用途分类

根据工艺用途的不同,可以将数控机床分为以下三大类。

1) 金属切削类数控机床

此类指采用车、铣、镗、钻、磨、齿轮加工等各种切削工艺的数控机床,相应地称为数控车床、数控铣床、数控镗床、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很大差别,具体的控制方式也各不相同,但机床的动作和运动都是数字化控制的,具有很好的加工尺寸的一致性、很高的生产率和自动化程度,适用于单件、小批量和多品种的零件加工。

在普通数控机床加装一个刀库和自动换刀装置就成为数控加工中心机床。加工中心机床进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。例如,铣削加工中心,它是在数控铣床基础上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的,工件一次装夹后,可以对箱体零件的四面甚至五面进行大部分加工工序,如铣削、镗削、钻孔、扩孔、铰孔和攻螺纹等多种工艺加工。车削加工中心也得到了广泛应用,它可以在一次装夹中完成回转体零件的所有加工工序(包括车削内外表面、铣平面、铣槽、钻孔和攻螺纹等工序)。加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差,减少了机床的台数和占地面积,缩短了辅助时间,大大提高了生产效率和加工质量。

2) 金属成型类数控机床

此类是指采用挤、压、冲、拉等成型工艺的数控机床,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、数控管弯机等。

3) 特种加工类数控机床

此类主要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、数控火焰切割机床及数控激光加工机床等。

4) 其他类型数控机床

近年来,其他机械设备中也大量采用数控技术,如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等。



2. 按控制运动轨迹分类

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。由于数控机床只是在刀具或工件到达指定位置后才开始加工,在运动过程中并不进行加工,所以从一个位置移动到另一个位置的运动轨迹不需要严格控制。因而,点位控制的几个坐标轴之间的运动不需要保持任何的联系。为了减少运动部件的运动和定位时间,并保证稳定的定位精度,通常先以快速运动至接近终点坐标,然后再以低速准确运动到终点位置。典型的点位控制数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。

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不仅要实现一个坐标位置到另一个坐标位置的精确移动和定位,而且能实现平行于坐标轴的直线进给运动或控制两个坐标轴实现斜线的进给运动。直线控制的简易数控车床可以加工阶梯轴或盘类零件,也可以加工斜角为 45° 的圆锥。在数控镗铣床上使用直线控制可以扩大工艺范围,能够在一次安装中进行平面和台阶铣削加工,还能进行点位控制的钻孔、镗孔等加工,即兼有点位控制和直线控制加工的功能,这类机床可以称为点位/直线控制的数控机床。

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或多坐标联动数控机床,它能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行联动控制,不仅能够控制机床移动部件的起点与终点坐标位置,而且能控制整个加工过程中每一点的速度与位移量,将工件加工成要求的轮廓形状。常用的数控车床、数控铣床、数控磨床就是典型的轮廓控制数控机床。数控火焰切割机、电火花加工机床及数控绘图机等也采用了轮廓控制系统。轮廓控制系统的结构要比点位/直线控制系统更为复杂,在加工过程中需要不断进行插补运算,然后进行相应的速度与位移控制。近年来,随着计算机技术的发展,软件功能不断完善,可以通过计算机插补软件实现多坐标联动的三维轮廓控制。

3. 按控制方式分类

数控机床按照对被控量有无检测反馈装置可分为开环控制和闭环控制两种。在闭环系统中,根据测量装置安放的部位又分为全闭环控制和半闭环控制两种。

1) 开环控制数控机床

开环控制数控机床是其控制系统没有位置检测反馈装置,伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控装置根据所要求的运动速度和位移量,向环形分配器和功率放大电路输出一定频率和数量的脉冲,不断改变步进电动机各相绕组的供电状态,使相应坐标轴的步进电动机转过相应的角位移,再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转,通过丝杠螺母机构转换为运动部件的直线位移。运动部件的速度与位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定。此类数控机床的指令信息单方向传送,即进给指令发出去后,实际运动值不再反馈回来,所以称为开环控制数控机床。

由于开环控制系统对运动部件的实际位移量不进行监测,也不能进行误差校正,步进



电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度。目前,开环控制系统已不能充分满足数控机床日益提高的对控制功率、快速运动速度和加工精度的要求,但由于开环控制系统具有结构简单和价格低廉等优点,特别是步进电动机细分技术的发展,开环控制系统在低扭矩、加工精度和速度中等的中小型数控机床和简易经济型数控机床中得到了广泛应用。图 1.4 所示为开环控制数控机床系统框图。

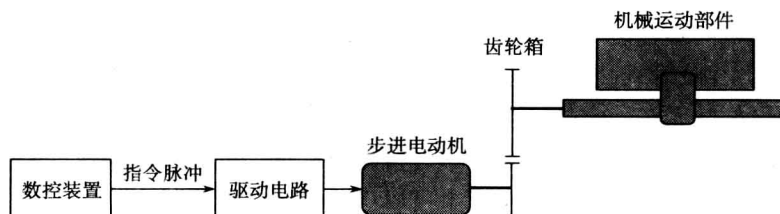


图 1.4 开环控制数控机床系统框图

2) 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床是在机床最终的运动部件的相应位置上直接安装直线位移检测装置,将直接测量到的位移反馈到数控装置的比较器中,与输入指令位移量进行比较,用差值控制运动部件,使运动部件严格按实际需要的位移量运动,最终实现运动部件的精确运动和定位。从理论上讲,闭环控制系统的运动精度主要取决于检测装置的精度,而与机械传动链的误差无关,因此其控制精度高。速度检测元件的作用是将伺服电动机的实际转速转换成电信号送到速度控制电路中,进行反馈校正,保证电动机转速保持恒定不变。图 1.5 所示为闭环控制数控机床系统框图。

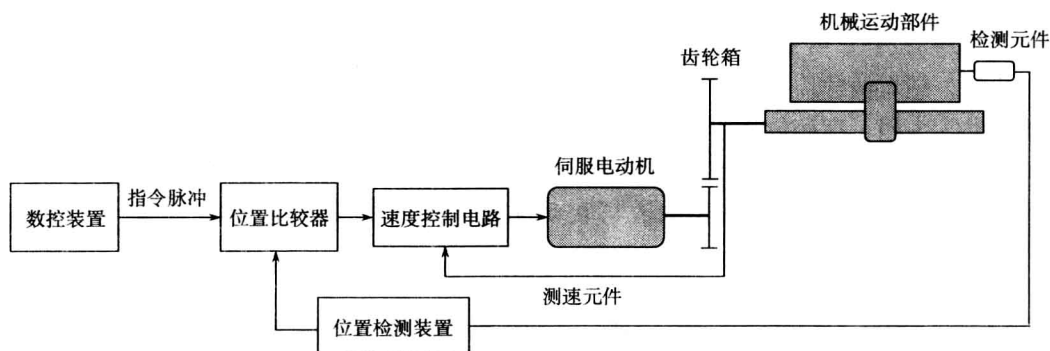


图 1.5 闭环控制数控机床系统框图

闭环控制的特点是加工精度高,移动速度快。这类数控机床采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为驱动元件,电动机的控制电路比较复杂,检测元件价格昂贵,对机床结构及传动链提出了严格的要求,因为传动链的刚度、间隙,导轨的低速运动特性及机床结构的抗振性等因素都会增加系统调试的难度,甚至使伺服系统产生振荡,降低了数控系统的稳定性。



3) 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角位移检测装置，测出伺服电动机或丝杠的转角，推算出移动部件的实际位移量，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正。由于运动部件没有包括在反馈回路中，因而称为半闭环控制数控机床。

随着编码器的迅速发展和性能的不断完善，作为角位移检测装置能方便地直接与直流或交流伺服电动机同轴安装，甚至可以将脉冲编码器与伺服电动机设计成一个整体，使系统变得更加紧凑。由于惯性较大的机床运动部件不包括在闭环之内，控制系统的调试十分方便，并具有良好的系统稳定性。虽然半闭环控制系统中机械传动链的误差无法得到校正或消除，但是目前广泛采用的滚珠丝杠螺母机构具有很好的精度和精度保持性，而且采取了可靠的消除反向运动间隙的结构，完全可以满足绝大多数数控机床的需要。因此，半闭环控制系统得到了广泛的采用。图 1.6 所示为半闭环控制数控机床系统框图。

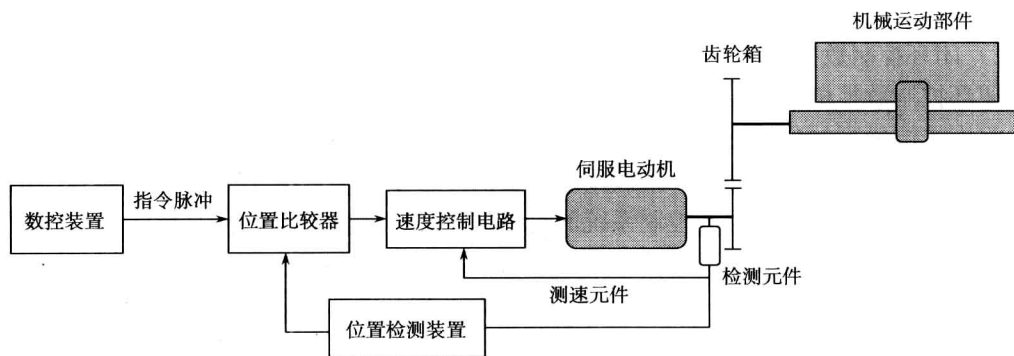


图 1.6 半闭环控制数控机床系统框图

此外，还有按数控系统功能水平的高低进行分类，通常将数控机床分为高档、中档和低档 3 类。中档、高档数控机床一般称为全功能数控机床，低档数控机床又称为经济型数控机床。目前还有按所用数控装置的构成方式进行分类，分为硬件数控和计算机数控（又称软件数控）。也有按控制坐标轴数与联动轴数进行分类，分为三轴二联动和四轴四联动等。

第三节 数控加工技术的发展

一、数控加工技术的发展简述

1. 数控机床的产生

在机械产品中，单件和小批量产品占到 70%~80%。由于这类产品的生产批量小、品种多，一般都采用通用机床加工。而通用机床的自动化程度不高，生产效率低，加工质量难以保证。随着科学技术和社会生产力的迅速发展，人们对机械产品的质量和生产率提



出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化成为实现上述要求的最重要措施之一,因而,出现了各种专用自动化机床和专用自动生产线,将“单件生产”方式转为“大批量生产”方式,从而大大提高生产率,降低生产成本。但这种生产方式需要巨大的初期投资和很长的生产准备周期,产品改型不易,因而损失了产品的多样性和创造性。但社会在不断进步,市场对机械产品多样化的要求日益强烈,产品更新越来越快,多品种、小批量生产的比重明显增加,同时随着汽车工业和轻工业消费品的高速增长,机械产品的结构日趋复杂,其精度日趋提高,性能不断改善,激烈的市场竞争要求产品研制生产周期越来越短,传统的加工设备和制造方法已难以适应这种多样化、柔性化、高效和高质量复杂零件的加工要求。特别是一些由曲线、曲面组成的复杂零件,若采用通用机床加工,只能借助画线和样板用手工操作的方法来加工,或利用靠模和仿型机床来加工,其加工精度和生产效率都受到了很大的限制。

数控机床就是为了解决单件、小批量,特别是高精度、复杂型面零件加工的自动化并保证质量要求而产生的。1948年美国帕森斯公司(Parsons Co.)在研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时,首先提出了用电子计算机控制机床加工复杂曲线样板的设想。1949年,受美国空军委托,与麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所进行合作研制,在1952年试制成功了世界上第一台用专用电子计算机控制的三坐标立式数控铣床。于1955年实现了产业化,并批量投放市场,但由于技术上和价格上的原因,只局限在航空工业中应用。数控机床是一种用计算机以数字指令方式控制的机床,它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的技术成果,成为一种灵活、通用、能够适应产品频繁改型的“柔性”自动化机床。数控机床的诞生是机械制造行业中的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个崭新的阶段,揭开了数控加工技术的序幕。

2. 数控机床的发展

自第一台数控机床问世以来,数控技术得到了迅猛的发展,加工精度和生产效率不断提高。按照数控系统的发展,数控机床至今已经历了两个阶段和六个时代。

1) 数控(NC)阶段(1952年~1970年)

由于当时的计算机运算速度低,不能适应机床实时控制的要求,人们只好采用数字逻辑电路组成一台机床的专用控制计算机系统,这就是硬接线数控系统,一般称为普通数控系统(NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段经历了三代,即1952年开始采用电子管构成的硬件数控系统为第一代;1959年由于在计算机行业中研制出晶体管元件,因此在数控系统中广泛采用晶体管和印刷电路板,从而跨入了第二代——晶体管数控机床;1965年出现小规模集成电路,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——集成电路数控机床。

2) 计算机数控(CNC)阶段(1970年~现在)

1970年,通用小型计算机的出现和投入成批生产,使数控系统的生产厂家认识到,采用小型计算机来取代专用控制计算机,经济上是合算的,许多功能可以依靠编制专用程序存在计算机的存储器中,构成所谓控制软件而加以实现,提高了系统的可靠性和功能特