



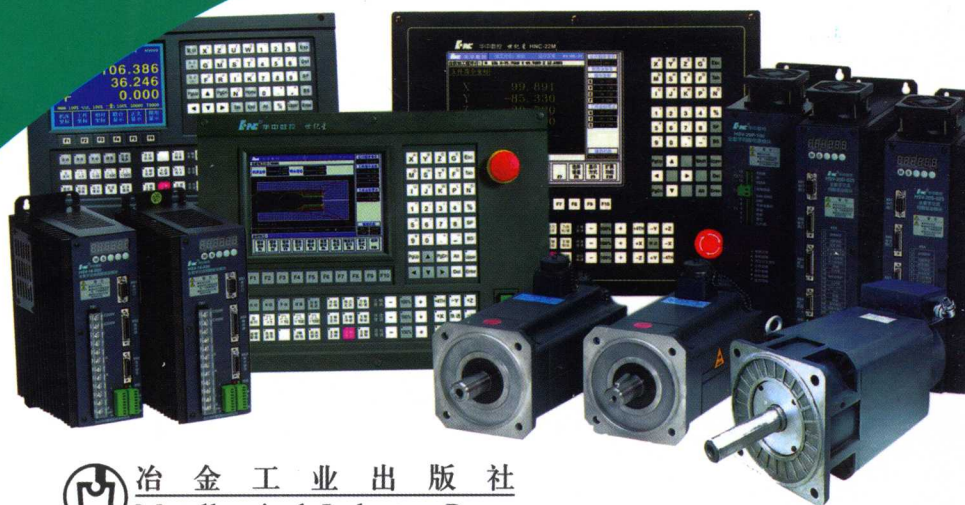
普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

数控机床

SHU KONG J I CHUANG

主编◎刘晓玲 齐庆国



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



数控机床

主 编 刘晓玲 齐庆国

TG659

95

北京

冶金工业出版社

2014

内 容 简 介

全书共分8章,第1章现代数控技术和现代数控机床的基本概念、原理、发展历程和趋势;第2章现代数控机床的机械结构和所采用的新型材料;第3章数控机床的位置传感器和伺服系统,着重介绍了典型进给伺服系统和全数字伺服系统的基本原理;第4章计算机数控系统的硬件和软件结构,阐述了数控插补原理和刀具补偿原理;第5章数控编程的基本知识;第6章数控机床的维护保养及常见故障处理;第7章数控工具系统、数控刀具类型和选用;第8章数控机床及数控技术的发展趋势。

本书可作为普通高等教育、高职高专、成人院校机电工程、自动化等专业课程教材,也可作为相关工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床/刘晓玲等主编. —北京:冶金工业出版社,2014.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6740-1

I. ①数… II. ①刘… III. ①数控机床—高等学校—教材 VI. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 187623 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

ISBN 978-7-5024-6740-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京明兴印务有限公司印刷

2014 年 9 月第 1 版,2014 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15 印张; 364 千字; 239 页

32.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

前 言

现代数控机床是信息集成和系统自动化的加工设备,也是典型的光机电一体化产品。它集高智能、高效率、高精度、高速度、高柔性、高刚性及高可靠性于一身,具有加工精度高、生产效率高、自动化程度高、对加工对象的适应性强等优点。数控机床更是现代先进制造技术的基础和核心,是发展新兴高新技术产业和尖端工业的使能技术和最基本的装备,是衡量一个国家国际竞争力的重要标志。它的技术水平和现代化程度决定着整个国民经济的水平和现代化程度。随着数控技术及装备的发展与普及,现代企业对于懂得数控工艺、操作、编程、设计的技术人才的需求量越来越大,许多工科高校的学生和企业技术人员,都迫切期望了解和掌握数控技术及装备的各种知识与技能。为了适应这种发展的需要,根据高等院校应用型本科人才培养的教学要求,我们在长期教学积累的基础上编写了本书。

全书共分8章,第1章全面介绍了现代数控技术和现代数控机床的基本概念、原理、发展历程和趋势;第2章较为详细地介绍了现代数控机床的机械结构和所采用的新型材料,讨论了如何在数控加工过程中减少环境污染,降低噪声,节省材料和能源等环保新概念;第3章系统介绍了数控机床的位置传感器和伺服系统,着重介绍了典型进给伺服系统和全数字伺服系统的基本原理;第4章讲述了计算机数控系统的硬件和软件结构,阐述了数控插补原理和刀具补偿原理;第5章阐述了数控编程的基本知识;第6章着重介绍了数控机床的维护保养及常见故障处理;第7章就数控工具系统、数控刀具类型和选用进行了较为详细的讨论;第8章讲述了数控机床及数控技术的发展趋势,如:高速切削技术、柔性制造系统(FMS)、直接数字控制(DNC)、计算机集成制造系统(CIMS)等。

本书由刘晓玲、齐庆国担任主编。参加编写的有:甘肃煤炭工业学校刘晓玲(第3~5章);甘肃煤炭工业学校齐庆国(第6~8章),上海西门子开关有限公司窦琪东(第1、2章)。本书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。

数控技术发展日新月异,由于编著者水平有限,书中若有不妥之处恳请读者批评指正。

编 者

2014年3月



目 录

1 现代数控机床概述	(1)
1.1 数控机床简介	(1)
1.2 数控机床的工作原理及组成	(4)
1.3 数控机床的分类	(6)
1.4 数控技术常用术语	(11)
2 数控机床的机械机构	(14)
2.1 数控机床机械结构的特点	(14)
2.2 数控机床的主传动系统及主轴部件	(29)
2.3 进给传动系统	(36)
2.4 自动换刀装置及回转工作台	(44)
3 数控系统	(54)
3.1 数控机床的位置传感器	(54)
3.2 数控机床伺服系统	(70)
3.3 典型进给伺服系统	(89)
3.4 全数字伺服系统	(94)
4 计算机数字控制系统	(99)
4.1 概述	(99)
4.2 计算机数字控制装置的硬件结构	(101)
4.3 计算机数字控制装置的软件结构	(108)
4.4 数控机床的可编程控制器	(112)
4.5 数控插补原理	(120)
4.6 数控系统的刀具补偿原理	(137)
5 数控编程的基本知识	(148)
5.1 数控机床的信息处理	(148)
5.2 数控编程基本知识	(150)
5.3 程序编制中的工艺分析	(164)
6 数控机床的维护保养及常见故障处理	(172)
6.1 数控机床的维护保养	(172)
6.2 数控机床的常见故障及处理	(174)
6.3 故障诊断及处理的基本原则	(176)
6.4 常见故障的诊断和处理	(177)



7 数控刀具	(185)
7.1 数控刀具的特点	(185)
7.2 数控工具系统	(186)
7.3 数控刀具材料	(192)
7.4 刀具表面涂层技术	(199)
7.5 数控刀具的选择	(204)
7.6 切削用量的选择	(205)
7.7 数控刀具的换刀装置	(206)
8 数控机床及数控技术的发展趋势	(213)
8.1 数控机床的发展展望	(213)
8.2 高速切削技术	(216)
8.3 柔性制造系统(FMS)	(221)
8.4 直接数字控制(DNC)	(225)
8.5 计算机集成制造系统(CIMS)	(230)
参考文献	(233)



1 现代数控机床概述

随着科学技术的飞速发展和经济竞争的日趋激烈,产品更新速度越来越快,多品种、中小批量生产的比重明显增加。同时,随着航空工业、汽车工业和轻工业消费品生产的高速增长,复杂形状的零件越来越多,精度要求也越来越高。此外,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、柔性化与复杂形状零件的高效高质量加工要求。因此,近几十年来,世界各国十分重视发展能有效解决复杂、精密、小批多变零件加工的数控加工技术。

自 20 世纪 50 年代,将计算机作为一种信息处理装置移植到古老的机床中诞生数控机床以来,揭开了 CAD/CAM 的序幕,现已逐步成为 CAD/NCP/CAM (计算机辅助设计/数控编程/计算机辅助制造)信息集成的重要环节,是现代柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)的基本组成设备。它将复杂的机床内传动链解耦,代之以软件控制机床进行两坐标联动、三坐标联动、四坐标联动、五坐标联动加工,可完成复杂表面的加工,极大提高机电产品和设备的精度,使其外形更加美观,更易体现个性化。数控机床良好的加工精度和加工一致性,可保证产品零部件的标准化、系列化并使它们达到良好的互换性。

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等,都是建立在数控技术之上,离开了数控技术,先进制造技术就成了无本之木。同时,数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业,其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志,实现加工机床及生产过程数控化,已经成为当今制造业的发展方向。专家们曾预言:机械制造的竞争,其实质就是数控的竞争。



1.1 数控机床简介

1.1.1 基本概念

数字控制(numerical control, NC)是一种借助数字、字符或其他符号对某一工作过程(如加工、测量、装配等)进行可编程控制的自动化方法。

数控技术(numerical control technology)是指用数字量及字符发出指令并实现自动控制的技术,它已成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础技术。计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、敏捷制造(AM)和智能制造(IM)等先进制造技术都是建立在数控技术之上。数控技术不仅用于金属切削机床,同时还用于多种其他的机械设备,如机器人、坐标测量机、编织机、电火花切割机、剪裁机等。

数控系统(numerical control system)是指采用数控技术的控制系统。

数控机床(numerical control machine tools)是采用数控技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床,它把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示,通过信息载体输入数控装置。经运算处理由数控装置发出各种控制信号,控制机床的动作,按图纸要求



的形状和尺寸,自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题,是一种柔性的、高效能的自动化机床。

计算机数控系统(computer numerical control)是指以计算机为核心的数控系统。

数控加工技术是指高效、优质地实现产品零件特别是复杂形状零件加工的技术,它是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础与关键技术。数控加工过程包括由给定的零件加工要求(零件图纸、CAD 数据或实物模型)进行加工的全过程,其主要内容涉及数控机床加工工艺和数控编程技术两大方面。

图 1-1 所示为数控机床加工过程框图。从框图中可看出在数控机床上加工零件所涉及的范围比较广,与相关的配套技术有密切的关系。程序编制人员应该熟练地掌握工艺分析、工艺设计和切削用量的选择,能正确地提出刀辅具和零件的装夹方案,懂得刀具的测量方法,了解数控机床的性能和特点,熟悉程序编制方法和程序的输入方式。

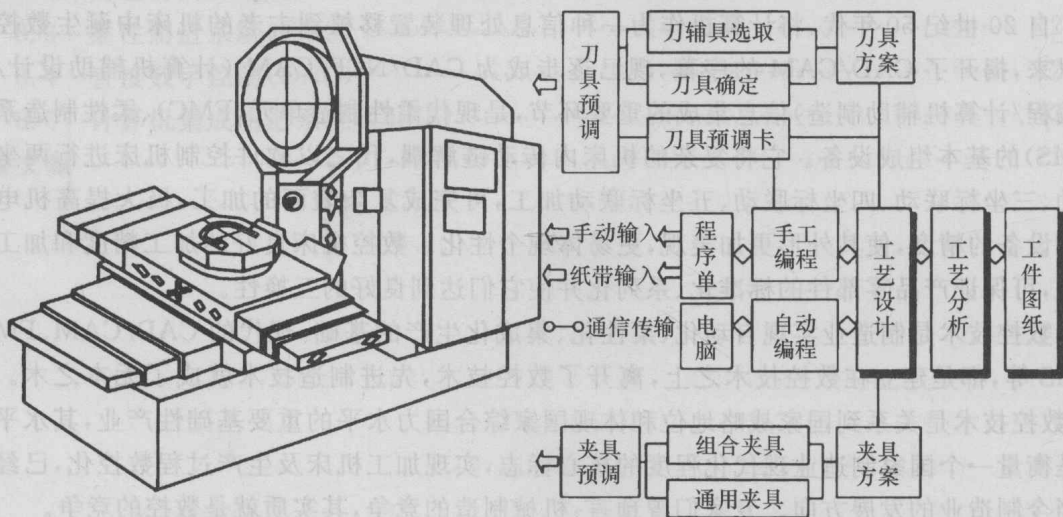


图 1-1 数控机床加工过程框图

1.1.2 数控机床的特点

现代数控机床集高效率、高精度、高柔性于一身,具有许多普通机床无法实现的特殊功能,它具有如下特点:

(1)加工精度高。数控机床加工同批零件尺寸的一致性好,加工精度高,加工质量稳定,产品合格率高。中、小型数控机床的定位精度可达 0.005mm ,重复定位精度可达 0.002mm 。数控机床按预定的零件加工程序自动加工,加工过程不需要人工干预。加之数控机床本身的刚度好,精度高,而且还可利用软件进行精度校正和补偿,因此可以获得比机床本身精度还要高的加工精度和重复精度。

(2)生产效率高。数控机床具有良好的结构刚性,可进行大切削用量的强力切削,有效地节省机动时间,还具有自动变速、自动换刀、自动交换工件和其他辅助操作自动化等功能,使辅助时间缩短,而且无需工序间的检测和测量。所以,数控机床生产效率比一般普通机床高得多。对壳体零件采用加工中心进行加工,利用转台自动换位、自动换刀,可以实现在一次装夹的情况下几乎完成零件的全部加工,减少了装夹误差,节约了工序之间的运输、测量、装夹等辅助时间。

(3)自动化程度高。数控机床的加工,是输入事先编写好的零件加工程序后自动完成,除了装卸零件、安装穿孔带或操作键盘、观察机床运行之外,其他的机床动作直至加工完毕,都是自动连续完成。因此可以大大减轻操作者的劳动强度和紧张程度,改善劳动条件,减少操作人员的人数。同时有利于现代化的生产管理,可向更高级的制造系统发展。

(4)对加工对象的适应性强。数控机床是一种高度自动化和高效率的机床,可适应不同品种和尺寸规格工件的自动加工。当加工对象改变时,只要改变数控加工程序,就可改变加工工件的品种,为复杂结构的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的便利。特别是对那些普通机床很难甚至无法加工的精密复杂表面(例如螺旋表面),数控机床也能实现自动加工。

(5)经济效益好。数控机床虽然设备昂贵,加工时分摊到每个工件上的设备折旧费较高,但在单件、小批量生产的情况下,使用数控机床加工,可节省划线工时,减少调整、加工和检验时间,节省直接生产费用和工艺装备费用。数控机床的加工精度稳定,减少了废品率,使生产成本进一步下降。此外,数控机床可实现一机多用,节省厂房面积和建厂投资。因此,使用数控机床仍可获得良好的经济效益。

1.1.3 数控机床的适用范围

根据数控机床加工的特点可以看出,最适合于数控加工的零件包括:

- (1)多品种、小批量生产的零件或新产品试制中的零件;
- (2)几何形状复杂的零件;
- (3)加工过程中必须进行多工序加工的零件;
- (4)用普通机床加工时,需要昂贵工装设备(工具、夹具和模具)的零件;
- (5)必须严格控制公差,对精度要求高的零件;
- (6)工艺设计需多次改型的零件;
- (7)价格昂贵,加工中不允许报废的关键零件;
- (8)需要最短生产周期的零件。

由此可见,数控机床和普通机床都有各自的应用范围,如图 1-2 所示。图中横轴是工件的复杂程度,纵轴是每批的生产件数。由图可以看出:数控机床的使用范围很广。

图 1-3 所示为在各种机床上加工零件时加工批量和综合费用的关系。

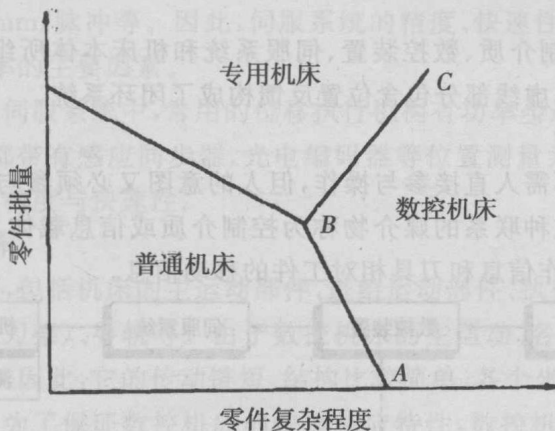


图 1-2 各种机床的使用范围

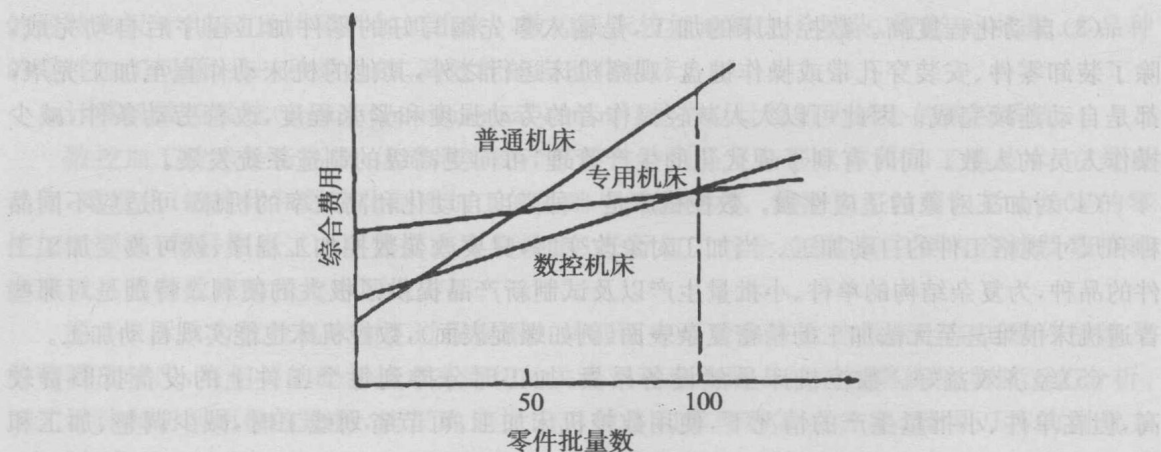


图 1-3 各种机床的加工批量与综合费用的关系

1.2 数控机床的工作原理及组成

1.2.1 数控机床的工作原理

用数控机床加工零件时,首先应将加工零件的几何信息和工艺信息编制成加工程序,由输入部分送入数控装置,经过数控装置的处理、运算,按各坐标轴的分量送到各轴的驱动电路,经过转换、放大去驱动伺服电动机,带动各轴运动,并进行反馈控制,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数有条不紊地工作,从而加工出零件的全部轮廓。

数控机床具有很好的柔性,当加工对象变换时,只需重新编制加工程序即可,原来的程序可存储备用,这比存储工装夹具方便得多,也不必像组合机床那样需要针对新加工零件重新设计组合机床,致使生产准备时间过长。

1.2.2 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体所组成,如图 1-4 所示。图中实线部分为开环系统,虚线部分包含位置反馈构成了闭环系统。

1.2.2.1 控制介质

数控机床工作时,不需人直接参与操作,但人的意图又必须参与,所以人和数控机床之间必须建立某种联系,这种联系的媒介物称为控制介质或信息载体。控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件的移动信息。

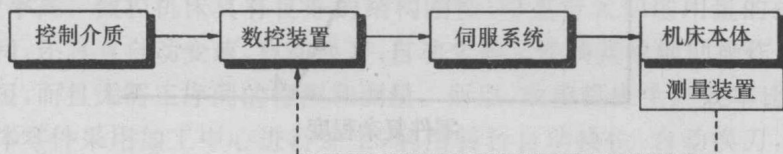


图 1-4 数控机床的组成

1.2.2.2 数控装置

数控装置是数控机床的中枢,用来接受并处理输入介质的信息,并将代码加以识别、存储、运算,并输出相应的命令脉冲,经过功率放大驱动伺服系统,使机床按规定要求动作。数控装置通常由一台通用或专用微机构成,有输入接口、存储器、运算器、输出接口和控制电路等,如图 1-5 所示。

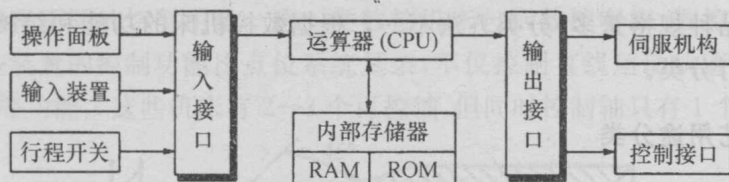


图 1-5 数控装置的组成

输入接口接受控制介质或操作面板上的信息,并将其信息代码加以识别,经译码后送入相应的存储器,存储器中的代码或数据是控制和运算的原始依据。

控制器根据输入的指令控制运算器和输出接口,以实现对机床各种操作的执行,例如控制主轴变速和起动、控制刀架或工作台移动等,同时控制机床的整个工作循环。运算器主要是对输入的数据进行某种运算,按运算结果不断地由输出接口输出脉冲信号,驱动伺服机构按规定的要求运动。

数控装置中的译码、处理、计算和控制的步骤可以用专用计算机的刚性结构来实现(称为硬件数控或简称 NC),也可用小型通用计算机或微型计算机的系统控制程序来实现(称为软件数控),目前均采用专用的微型计算机来实现控制(CNC)。用微型机构成数控装置,其 CPU 实现控制和运算,内部存储器中只读存储器(ROM)存放系统控制程序,读写存储器(RAM)存放零件的加工程序和系统运行时的工作参数。I/O 接口实现输入输出的功能。数控机床的功能强弱主要由数控装置的功能来决定,所以它是数控机床的核心部分。

1.2.2.3 伺服系统

伺服系统包括驱动部分和执行机构两大部分,伺服系统把数控装置输出的脉冲信号通过放大和驱动元件使机床移动部件运动或使执行机构动作,以加工出符合要求的零件。每一脉冲使机床移动部件产生的位移量称为脉冲当量,常用的脉冲当量为 0.01mm/脉冲、0.005mm/脉冲、0.001mm/脉冲等。因此,伺服系统的精度、快速性及动态响应是影响加工精度、表面质量与生产率的主要因素。

目前在数控机床的伺服系统中,常用的位移执行机构有功率步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机,后两种都带有感应同步器、光电编码器等位置测量元件。所以,伺服机构的性能决定了数控机床的精度与快速性。

1.2.2.4 机床本体

机床本体也称主机,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、滑鞍、工作台(刀架)、导轨等。由于数控机床的主运动、各个坐标轴的进给运动都由单独的伺服电机驱动,因此,它的传动链短、结构比较简单,各个坐标轴之间的运动关系通过计算机来进行协调。为了保证数控机床的快速响应特性,数控机床上普遍采用精密滚珠丝杠和直线运动导轨副。为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工,数控机床的机械结构应具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼精度、耐磨性和抗热变形性能。在加工中



心上还具备有刀库和自动交换刀具的机械手。同时还有一些良好的配套措施,如冷却、自动排屑、防护、润滑、编程机和对刀仪等,以充分发挥数控机床的功能。

1.3 数控机床的分类

数控机床的品种规格繁多,分类方法不一。根据数控机床的功能和结构,一般可以按下面几种原则来进行分类。

1.3.1 按工艺用途分类

(1)金属切削类数控机床。这类机床的品种与传统的通用机床一样,有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、加工中心等,而每一种又有很多品种和规格,例如,在数控磨床中,有数控平面磨床、数控外圆磨床、数控工具磨床等。加工中心是一种带有自动换刀装置,工件经一次装夹后,能进行铣削、钻削、攻螺纹、镗削、铰孔等多道工序的复合型数控机床。加工中心目前主要有两类,一类是在镗、铣床基础上发展起来的,称为铣削加工中心;另一类是在车床的基础上发展起来的,成为车削加工中心。

(2)金属成形类数控机床。如数控折弯机、数控弯管机、数控转头压力机等。

(3)数控特种加工机床。如数控线切割机、数控电火花成形机床、数控冲床、数控激光切割机床等。

(4)其他类型的数控机床。如数控三坐标测量机等。

1.3.2 按运动轨迹分类

1.3.2.1 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是在刀具相对于工件移动的过程中,不进行切削加工,它对运动的轨迹没有严格的要求,只要实现从一点坐标到另一点坐标位置的准确移动,几个坐标轴之间的运动没有任何联系。如图 1-6 所示的起点到终点的运动轨迹可以是图中①或②中的任意一种。为了实现既快速又精确的定位,两点间位置的移动一般先以最快速度移动,到即

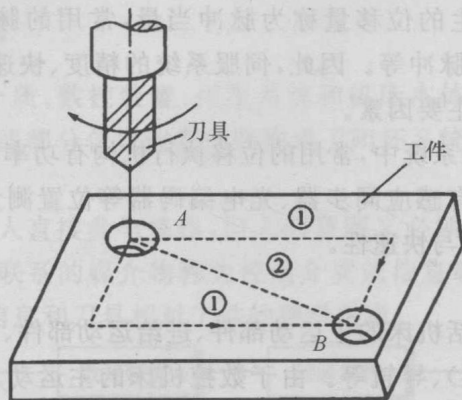


图 1-6 点位控制的切削加工

将接近新的位置点时再通过 1~3 级降速,使之慢速趋近定位点,以保证其定位精度。这一类数控机床包括数控钻床、数控镗床、数控冲床及数控测量机等,其数控装置对位移功能控

制比较简单。

1.3.2.2 直线控制数控机床

这类机床不仅要求具有准确的定位功能,还要求从一点到另一点按直线运动进行切削加工,刀具相对于工件移动的轨迹是平行机床各坐标轴的直线,或两轴同时移动构成 45° 的斜线,如图 1-7 所示。一般只能加工矩形、台阶形零件。运动时的速度是可以控制的,对于不同的刀具和工件,可以选择不同的切削用量。这一类数控机床包括数控车床、数控磨床、数控铣床和加工中心,其数控装置的控制功能比点位系统复杂,不仅控制直线运动轨迹,还控制进给速度及自动循环加工等功能。这些机床有 2~3 个可控轴,但同时控制轴只有 1 个。

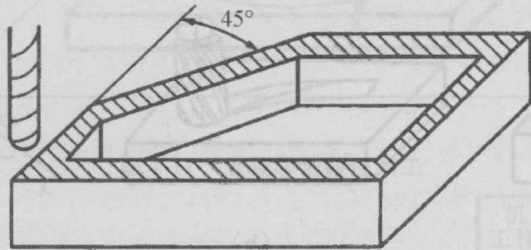


图 1-7 直线控制的切削加工

1.3.2.3 轮廓控制数控机床

这类数控机床能够对 2 个或 2 个以上的坐标轴进行连续的切削加工控制,它不仅能控制机床移动部件的起点坐标和终点坐标,而且能按需要严格控制刀具移动的轨迹,以加工出任意斜率的直线、圆弧、抛物线及其他函数关系的曲线或曲面,如图 1-8 所示。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的表面要求,必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。因此要求数控装置具有插补运算的功能,即根据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),通过数控系统内插补运算器的数学处理,把直线或曲线的形状描述出来。并一边计算,一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴的联动位移量与所要求的轮廓相符。

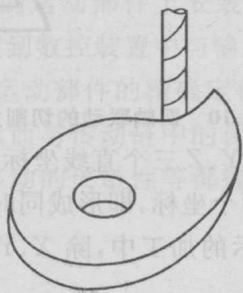


图 1-8 轮廓控制的切削加工

轮廓控制数控机床包括数控车床、数控铣床、数控磨床、数控线切割机、加工中心等。其相应的数控装置的功能比较复杂而齐全,一般都具有直线和圆弧插补功能,进行起点和终点之间“数据密化”,使切削点能完成任意角度斜线和任意半径圆弧的加工轨迹。

数控系统控制几个坐标按需要的函数关系同时协调运动,称为坐标联动。按照联动轴数分,可以分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、四轴联动、五轴联动等数控机床。

(1) 二轴联动: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 1-9(a)所示。



(2)二轴半联动:主要用于三轴以上控制的机床,其中两个轴互为联动,而另一轴做周期进给,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 1-9(c)所示。

(3)三轴联动:一般分为两类,一类就是 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;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,如图 1-9(b)所示。

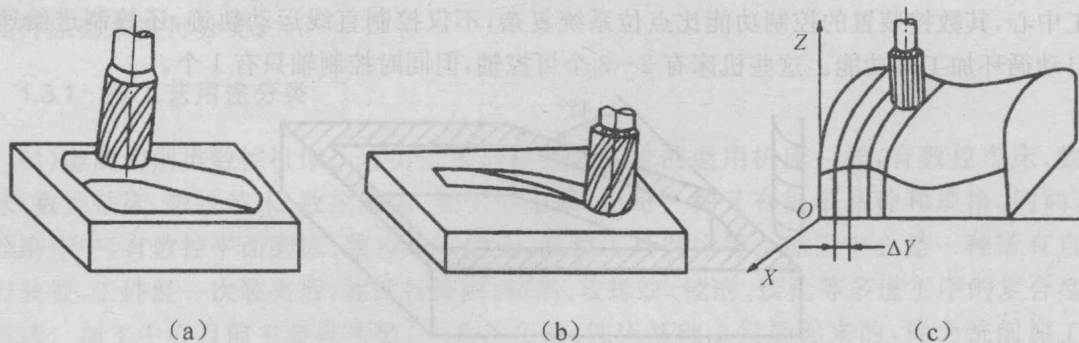


图 1-9 不同形面铣削的联动轴数

(a)二轴联动;(b)三轴联动;(c)二轴半联动

(4)四轴联动:即同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一个旋转坐标轴联动,在四坐标联动的数控机床加工飞机大梁零件,如图 1-10 所示,除了同时控制 X 、 Y 、 Z 三个移动坐标外,还需要一个绕 X 轴回转(也称摆动)坐标,方能保证刀具与工件型面在全长上始终贴合。

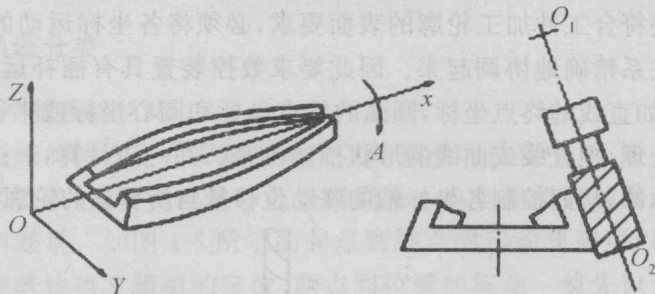


图 1-10 四轴联动的切削加工

(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,即形成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 1-11 所示的加工中,除 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标联动以外,还有工件的回转 C 和刀具的摆动 B 。

1.3.3 按伺服控制系统分类

1.3.3.1 开环控制数控机床

这类数控机床运动部件的位移没有检测反馈装置,如图 1-12 所示,数控装置发出信号是单向的,通常采用功率步进电机作位移的伺服机构。数控装置发出的指令脉冲信号,通过环形分配器和驱动电路控制步进电机转过相应的角度(控制电路每变换一次指令脉冲信号,电动机就转动一个步距角),再经过减速器带动丝杠转动,从而使工作台移动。位移的精度主要决定于该系统各有关零部件的制造精度。

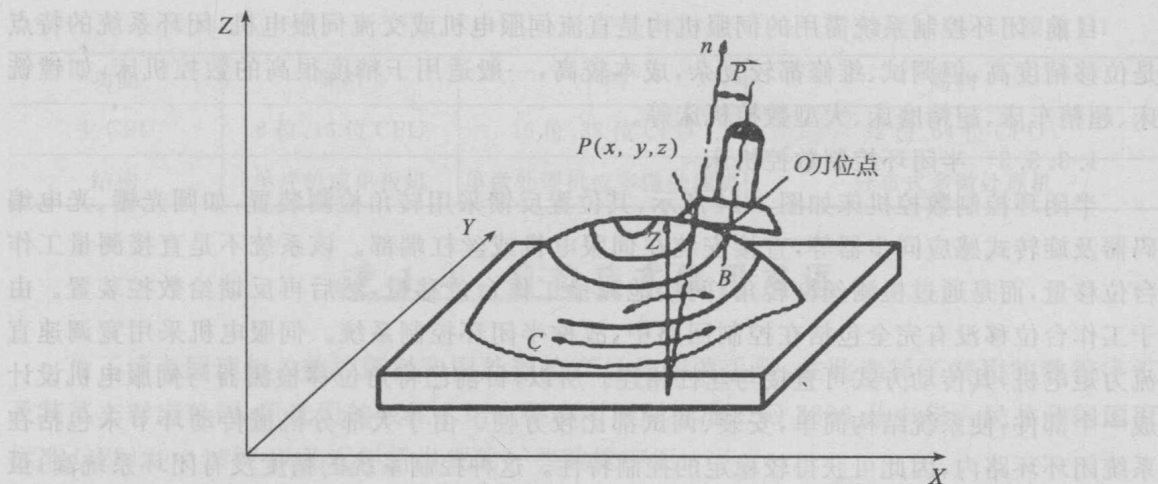


图 1-11 五轴联动数控加工

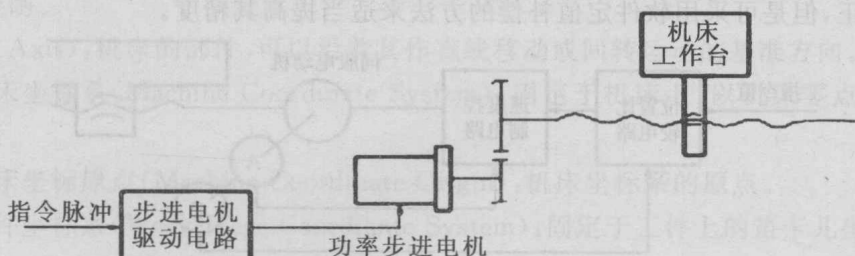


图 1-12 开环步进控制系统

开环数控系统具有工作稳定、调试方便、维修简单、成本较低等特点,但伺服机构的误差没有补偿和校正,所以精度较低,适用于精度要求不高、驱动力矩不大的场合,经济型数控机床一般都采用开环控制系统。

1.3.3.2 闭环控制数控机床

这类数控机床的特点是在机床的运动部件上安装有直线位移测量装置,如图 1-13 所示,它可将测量出的实际位移值反馈到数控装置中与输入的指令位移值相比较,用差值进行控制,直至差值为零。所以,能实现运动部件的精确定位。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,而与传动链中的误差无关。但闭环控制系统对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨移动的灵敏性等都提出了严格的要求。否则会增加调试困难,甚至使伺服系统产生振荡。

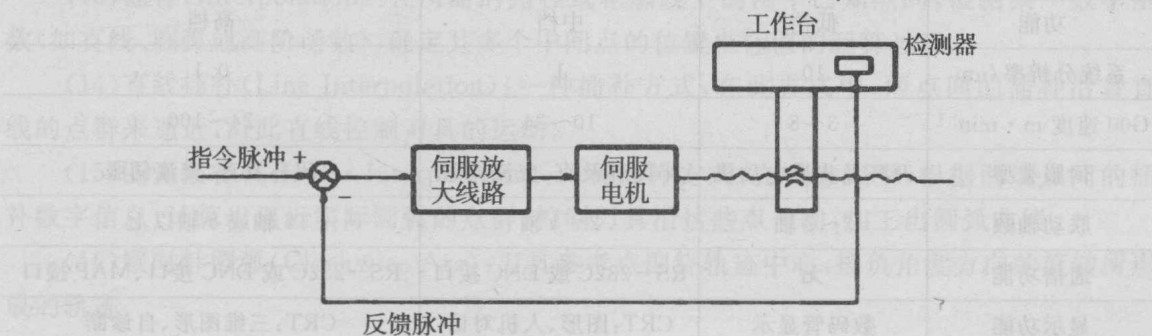


图 1-13 闭环控制系统



目前,闭环控制系统需用的伺服机构是直流伺服电机或交流伺服电机,闭环系统的特点是位移精度高,但调试、维修都较复杂,成本较高,一般适用于精度很高的数控机床,如镗铣床、超精车床、超精磨床、大型数控机床等。

1.3.3.3 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床如图 1-14 所示,其位置反馈采用转角检测装置,如圆光栅、光电编码器及旋转式感应同步器等,直接安装在伺服电机或丝杠端部。该系统不是直接测量工作台位移量,而是通过检测丝杠转角,间接地测量工作台位移量,然后再反馈给数控装置。由于工作台位移没有完全包括在控制回路中,故称半闭环控制系统。伺服电机采用宽调速直流力矩电机,其传动方式可直接与丝杠相连。所以,目前已将角位移检测器与伺服电机设计成一个部件,使系统结构简单,安装、调试都比较方便。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内,因此可获得较稳定的控制特性。这种控制系统的精度没有闭环系统高,虽然采用精密的滚珠丝杠或采用丝杠螺距误差的补偿措施,丝杠等机械传动误差不能通过反馈来随时校正,但是可采用软件定值补偿的方法来适当提高其精度。

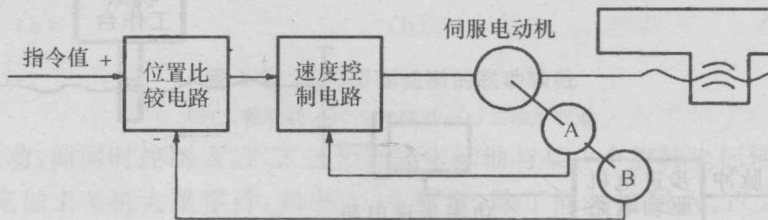


图 1-14 半闭环控制系统

目前,大多数中、小型数控机床广泛采用半闭环控制方式。

1.3.4 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平,通常把数控系统分为低档、中档、高档三类。这种分类方式,在我国用得较多。低、中、高三档的界限是相对的,不同时期,划分标准也会不同。就目前的发展水平来看,可以根据表 1-1 的一些功能及指标,将各种类型的数控系统分为低档、中档、高档三类。其中,高档一般称为全功能数控或标准型数控;经济型数控属于低档数控,是指由单片机和步进电动机组成的数控系统,或其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

表 1-1 数控系统不同档次的功能和指标表

功能	低档	中档	高档
系统分辨率/ μm	10	1	0.1
G00 速度 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	3~8	10~24	24~100
伺服类型	开环及步进电动机	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS-232C 或 DNC 接口	RS-232C 或 DNC 接口、MAP 接口
显示功能	数码管显示	CRT:图形、人机对话	CRT:三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC,有轴控制功能

续表 1-1

功能	低档	中档	高档
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结构	单片机或单板机	单微处理机或多微处理机	分布式多微处理机

1.4 数控技术常用术语

为了读者阅读相关数控资料和国外数控产品的相关手册,在此选择了常用的数控字汇及其英文对应单词,所选用的数控术语主要参考国际标准 ISO 2806 及中华人民共和国国家标准 GB8129—1987 以及近年新出现的一些数控字汇。

(1) 计算机数值控制(Computerized Numerical Control, CNC): 用计算机控制加工功能, 实现数值控制。

(2) 轴(Axis): 机床的部件, 可以沿着其作直线移动或回转运动的基准方向。

(3) 机床坐标系(Machine Coordinate System): 固定于机床上, 以机床零点为基准的笛卡儿坐标系。

(4) 机床坐标原点(Machine Coordinate Origin): 机床坐标系的原点。

(5) 工件坐标系(Work-Piece Coordinate System): 固定于工件上的笛卡儿坐标系。

(6) 工件坐标原点(Work-piece coordinate Origin): 工件坐标系的原点。

(7) 机床零点(Machine Zero): 由机床制造上规定的机床原点。

(8) 参考位置(Reference Position): 机床启动用的沿着坐标轴上的一个固定点, 它可以用机床坐标原点为参考基准。

(9) 绝对尺寸(Absolute Dimension)/绝对坐标值(Absolute Coordinates): 距一坐标系原点的直线距离或角度。

(10) 增量尺寸(Incremental Dimension)/增量坐标值(Incremental Coordinates): 在一序列点的增量中, 各点距前一点的距离或角度值。

(11) 最小输入增量(Least Input Increment): 在加工程序中可以输入的最小增量单位。

(12) 最小命令增量(Least Command Increment): 从数值控制装置发出的命令坐标轴移动的最小增量单位。

(13) 插补(Interpolation): 在所需的路径或轮廓线上的两个已知点间, 根据某一数学函数(如直线、圆弧或高阶函数), 确定其多个中间点的位置坐标值的运算过程。

(14) 直线插补(Line Interpolation): 一种插补方式, 在此方式中, 两点间的插补沿着直线的点群来逼近, 沿此直线控制刀具的运动。

(15) 圆弧插补(Circular Interpolation): 一种插补方式, 在此方式中, 根据两端点间的插补数字信息, 计算出逼近实际圆弧的点群, 控制刀具沿这些点运动, 加工出圆弧曲线。

(16) 顺时针圆弧(Clockwise Arc): 刀具参考点围绕轨迹中心, 按负角度方向的旋转所形成的轨迹。

(17) 逆时针圆弧(Counter-clockwise Arc): 刀具参考点围绕轨迹中心, 按正角度方向的旋转所形成的轨迹。