

数字控制技术 与数控机床

于涛 范云霄 主编



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



TG058
10351

数字控制技术与数控机床

于 涛 范云霄 主编

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字控制技术与数控机床/于涛, 范云霄主编. —北京: 中国计量出版社, 2004. 11
ISBN 7-5026-2042-7

I. 数… II. ①于…②范… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 106198 号

内 容 提 要

本书介绍了数字控制技术与数控机床的应用、基本原理和最新发展。全书共分为十章, 主要内容有数控机床的程序编制、插补原理、自由曲线与曲面、计算机数控装置、数控机床的位置检测装置和伺服系统、数控机床的结构设计与总体布局、数控技术与制造自动化系统。在各章的最后附有习题和参考题。

本书适用于高等学校机械设计制造等相关专业的本科教材, 也可作为有关专业的研究生以及从事机械工程测试技术的工程技术人员的参考书。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

E-mail jlfxb@263.net.cn

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 20.75 字数 497 千字

2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

*

印数 1—3 000 定价: 29.00 元

编委名单

主 编：于 涛 范云霄

副 主 编：钟佩思 杨俊茹 宋若峰

编 委：于 涛 范云霄 钟佩思 杨俊茹

宋若峰 高 丽 倪 云

前 言

数字控制技术与数控机床是现代科学技术发展的重要标志之一，它的诞生与发展与计算机的诞生与发展紧密相关，特别是计算机控制技术在机床上的应用，使传统的机械加工行业得到了质的飞跃。由于数控机床相对于传统机床极大地提高了加工精度、生产率和自动化程度，应用极为广泛。数控机床因对国民经济的发展起到了举足轻重的作用而受到重视。

《数字控制技术与数控机床》一书是在考虑到目前数控机床在技术性能上不断改进，新技术和新结构不断出现，相关书籍不能完全满足要求的情况下编写的。本书力求反映出当前的最新技术，做到先进性、理论性和实用性并举。读者在掌握了机械原理零件、计算机技术、自动控制技术和电子电力拖动的基础上，再阅读本书，将起到事半功倍的效果。

全书共分十章，第一章到第三章偏重于概述和数控机床的应用部分，第四章和第五章偏重于理论分析，第六章介绍计算机数字控制装置，第七章介绍数控机床的位置检测装置，第八章介绍数控机床的伺服系统，第九章主要对数控机床结构进行分析讨论，第十章是数控技术与制造自动化系统。各章的最后均有习题和思考题，以便于学习和训练。

本书适用于高等学校机械设计制造等相关专业的本科教材（根据本校的情况其内容可以有所取舍），也可作为相关专业研究生以及从事机械制造的工程技术人员的参考书。

参加本书编写工作的有于涛、范云霄、钟佩思、杨俊茹、宋若峰……其中于涛编写了第一至第四章，范云霄编写了第六章和第八章，钟佩思编写了第五章和第十章，杨俊茹编写了第九章，宋若峰编写了第七章，高丽和倪云参加了部分章节的编写工作。本书由于涛和范云霄担任主编，全书由于涛统稿。

本书在编写过程中参考了许多院校的讲义、资料和参考书，并得到了许多同志的关心和帮助，谨表谢意。

书稿在编写过程中，尽管编者竭尽全力，但终因自身能力所限，时间仓促，不能尽如人意，编者没有发现的缺点、错误，敬请各位读者指正，不胜感激！

编 者

2004 年 9 月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 数控机床简介	(1)
第二节 数控机床的工作原理与组成	(3)
第三节 数控机床的分类	(5)
第四节 数控技术的发展	(9)
思考与练习	(14)
第二章 数控机床的程序编制	(15)
第一节 程序编制的基本概念	(15)
第二节 数控加工工艺基础	(27)
第三节 数控车床编程	(36)
第四节 数控铣床和加工中心编程	(59)
思考与练习	(89)
第三章 自动编程	(92)
第一节 自动编程概述	(92)
第二节 常见的 CAD/CAM 软件简介	(95)
第三节 CAXA 制造工程师自动编程	(100)
思考与练习	(142)
第四章 数控系统插补原理	(144)
第一节 概述	(144)
第二节 脉冲增量插补原理	(145)
第三节 数据采样插补原理	(156)
思考与练习	(162)
第五章 自由曲线与曲面	(163)
第一节 概述	(163)
第二节 三次参数样条曲线	(163)
第三节 Bezier 曲线	(165)
第四节 B 样条曲线	(167)
第五节 Nurbs 方法	(168)
第六节 Coons 曲面 (双三次参数曲面)	(169)
第七节 几种简化曲面生成方法	(170)
第八节 小结	(170)
思考与练习	(171)

第六章 计算机数字控制装置	(172)
第一节 概述.....	(172)
第二节 CNC 装置的硬件结构	(174)
第三节 计算机数控装置的软件结构.....	(179)
第四节 CNC 装置的接口电路	(182)
思考与练习.....	(189)
第七章 数控机床的位置检测装置	(190)
第一节 概述.....	(190)
第二节 脉冲编码器.....	(192)
第三节 光栅测量装置.....	(193)
第四节 旋转变压器.....	(198)
第五节 感应同步器.....	(200)
第六节 磁栅.....	(204)
思考与练习.....	(208)
第八章 数控机床的伺服系统	(209)
第一节 概述.....	(209)
第二节 步进电动机及伺服系统.....	(210)
第三节 进给直流伺服电机及速度控制系统.....	(217)
第四节 进给交流伺服电机及速度控制系统.....	(223)
第五节 直线电动机.....	(227)
第六节 主轴电动机.....	(229)
思考与练习.....	(230)
第九章 数控机床结构设计 with 总体布局	(231)
第一节 数控机床的结构设计要求.....	(231)
第二节 数控机床的主传动与主轴部件.....	(239)
第三节 数控机床的进给传动及传动部件.....	(252)
第四节 数控机床的床身.....	(261)
第五节 数控机床的工作台.....	(265)
第六节 数控机床的自动换刀装置.....	(273)
第七节 数控机床的总体布局.....	(285)
思考与练习.....	(294)
第十章 数控技术与制造自动化系统	(295)
第一节 概述.....	(295)
第二节 计算机直接数控 DNC	(296)
第三节 柔性制造系统 FMS	(302)
第四节 计算机集成制造系统.....	(308)
第五节 智能制造系统.....	(315)

第六节 小结..... (318)

思考与练习..... (319)

第一章 概 述

第一节 数控机床简介

一、数控机床的产生及其重要性

随着科学技术的飞速发展,社会对产品多样化的要求日益强烈,产品更新越来越快,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高效和高质量的加工要求。

数字控制机床,就是为了解决单件、小批量,特别是复杂型面零件加工的自动化并保证质量要求而产生的。1947年,美国Parsons公司为了精确制造直升机机翼、桨叶和直升机框架,开始探讨用三坐标曲线数据来控制机床的运动,并进行实验,加工飞机零件。1949年,为了能在短时间内制造出经常变更设计的零件,美国空军(U. S. Air Force)与Parsons公司签订了制造第一台数控机床的合同。1951年,美国麻省理工学院MIT(Massachusetts Institute of Technology)承担了这一项目。1952年,MIT伺服机构研究所用实验室制造的控制装置和辛辛那提(Cincinnati Hydrotel)公司的立式铣床成功地实现了三轴联动数控运动,可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,揭开了数控加工技术的序幕。随着不断的改进与完善,1955年,NC(数控)机床开始用于工业生产。

数控机床是综合应用了微电子、计算机、自动控制、自动检测以及精密机械等技术的最新成果而发展起来的完全新型的机床,它标志着机床工业进入了一个新的阶段。从第一台数控机床问世到现在的40多年中,数控技术的发展非常迅速,使制造技术发生了根本性的变化,几乎所有品种的机床都实现了数控化。数控机床的应用领域也从航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等民用机械制造行业。此外,数控技术也在绘图仪、坐标测量仪、激光加工与线切割机机械等设备中得到广泛的应用。努力发展数控加工技术,并向更高层次的自动化、柔性化、敏捷化、网络化和数字化制造方向推进,是当前机械制造业发展的方向。

从20世纪50年代末期,我国就开始研究数控技术,开发数控产品。1958年,清华大学和北京第一机床厂合作研制了我国第一台数控铣床。经过多年来不断的努力,数控产业取得了长足的发展:国产数控系统基本上掌握了关键技术,可靠性已有很大提高;新开发的国产数控机床产品大部分达到国际20世纪80年代中期水平,部分达到20世纪90年代水平,为国家重点建设提供了一批高水平数控机床;技术上也取得很大突破,如高速主轴制造技术、快速进给、快速换刀、柔性制造等技术,为国产数控机床的下一步发展奠定了基础。虽然在数控技术领域,我国和先进的工业国家之间还存在着不小的差距,但这种差距正在迅速缩小。

数控技术是机械加工现代化的重要基础与关键技术。应用数控加工可大大提高生产率、稳定加工质量、缩短加工周期、增加生产柔性、实现对各种复杂精密零件的自动化加工,易于在工厂或车间实行计算机管理,还使车间设备总数减少、节省人力、改善劳动条件,有利于加

快产品的开发和更新换代,提高企业对市场的适应能力并提高企业综合经济效益。数控加工技术的应用,使机械加工的大量前期准备工作与机械加工过程联为一体,使零件的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)和计算机辅助制造(CAM)的一体化成为现实,使机械加工的柔性自动化水平不断提高。

数控加工技术也是发展军事工业的重要战略技术。美国与西方各国在高档数控机床与加工技术方面,一直通过巴黎统筹委员会对我国进行封锁限制,因为许多先进武器装备的制造,如飞机、导弹、坦克等的关键零件,都离不开高性能数控机床的加工。如著名的“东芝事件”,即是由于前苏联利用从日本获得的大型五坐标数控铣床,用其制造出具有复杂曲面的潜艇螺旋桨,使潜艇的噪声大为降低,西方的反潜设施顿时失效,对西方构成了重大威胁。我国的航空、能源、交通等行业也从西方引进了一些五坐标机床等高档数控设备,但其使用受到国外的监控和限制,不准用于军事用途的零件加工。特别是1999年美国的考克斯报告,其中一项主要内容就是指责我国将从美国购买的二手数控机床用于军事工业,这一切均说明数控加工技术在国防现代化方面所起的重要作用。

二、数控机床应用范围及特点

目前的数控加工主要应用于以下两个方面:

一方面的应用是常规零件加工,如二维车削、箱体类镗铣等。其目的在于:提高加工效率,避免人为误差,保证产品质量;以柔性加工方式取代高成本的工装设备,缩短产品制造周期,适应市场需求。这类零件一般形状较简单,实现上述目的的关键一方面在于提高机床的柔性自动化程度、高速高精加工能力、加工过程的可靠性与设备的操作性能,另一方面在于合理的生产组织、计划调度和工艺过程安排。

另一方面的应用是复杂形状零件加工,如模具型腔、涡轮叶片等。该类零件在众多的制造行业中具有重要的地位,其加工质量直接影响以至决定着整机产品的质量。这类零件型面复杂,常规加工方法难以实现,它不仅促使了数控加工技术的产生,而且也一直是数控加工技术的主要研究及应用对象。由于零件型面复杂,在加工技术方面,除要求数控机床具有较强的运动控制能力(如多轴联动)外,更重要的是如何有效地获得高效优质的数控加工程序,并从加工过程整体上提高生产效率。

数控机床在机械制造领域中得到日益广泛的应用,是因为它具有如下特点:

(1) 高柔性。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,只需改变程序即可适应不同品种的零件加工,且几乎不需要制造专用的凸轮、靠模、样板、钻镗模等工装夹具,因此加工柔性好,有利于缩短产品的研制与生产周期,适应多品种、中小批量的现代生产需要。

(2) 生产效率高。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大,良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,有效地节省了机动时间;自动换速、自动换刀、快速的空行程运动和其他辅助操作自动化功能,加上更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,使辅助时间大为缩短。通常,数控机床比普通机床的生产率高3~4倍甚至更高。

(3) 加工精度高、加工质量稳定可靠。数控机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此,数控机床能达到比较高的加工精度。此外数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,而且提高了它的制造精度,特别是数控机床的

自动加工方式,避免了生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

(4) 自动化程度高。操作者除了操作键盘、装卸零件、安装刀具、完成关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大为减轻,劳动条件也得到相应的改善。

(5) 能完成复杂型面的加工。数控加工运动的任意可控性使其能完成普通加工方法难以完成或者无法进行的复杂型面加工。

(6) 有利于生产管理的现代化。用数控机床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。这些特点都有利于使生产管理现代化,便于实现计算机辅助制造。数控机床及其加工技术是计算机辅助制造系统的基础。

第二节 数控机床的工作原理与组成

国家标准 GB 8129—1987 将“数控”(Numerical Control)定义为:用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。国际信息处理联盟 IFIP(International Federation of Information Processing)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,机床的运动和动作按照这种程序控制系统发出的由特定代码和符号编码组成的指令进行。这种程序控制系统称之为机床的数控系统。

一、数控机床的工作原理

数控机床是用数字信息进行控制的机床。即凡是用代码化的数字信息将刀具移动轨迹信息记录在程序介质上,然后送入数控系统,经过译码和运算,控制机床刀具与工件的相对运动,加工出所需工件的一类机床即为数控机床。数控加工基本过程见图 1-1。

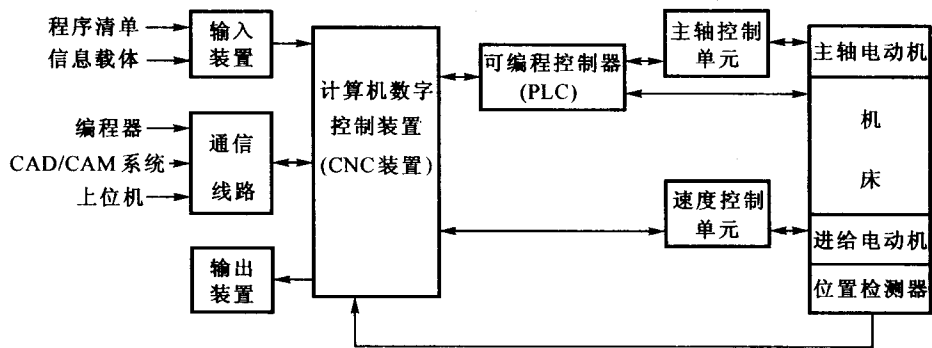


图 1-1 计算机数字控制(CNC)系统框图

数控机床加工零件时,首先应编制零件的数控程序,这是数控机床的工作指令。将数控程序输入到数控装置,再由数控装置控制机床主运动的变速、启停,进给运动的方向、速度和位移大小,以及其他诸如刀具选择交换,工件夹紧、松开和冷却、润滑的启、停等动作,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路程和参数进行工作,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

二、数控机床的组成

数控机床的种类繁多,但从组成一台完整的数控机床来讲,它由信息输入装置、数控装置、伺服系统、机床本体以及辅助装置组成。

1. 数控程序和控制介质

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令,即程序员根据零件的工艺图纸给出的零件几何数据和加工控制需要的工艺数据,按照规定的由字母、数字与符号组成的标准代码(如 ISO 标准代码或 EIA 标准代码)编写出的加工程序清单。编制程序的工作可由人工进行,也可在计算机上用软件自动编程。

编好的数控程序,存放在便于输入到数控装置的一种控制介质上。控制介质有多种形式,常用的有磁盘、磁带、穿孔纸带和穿孔卡等。近年来,穿孔纸带和穿孔卡已很少使用。

2. 输入装置

信息输入装置就是将 NC 程序代码读入数控装置。它可以是磁盘驱动器、光电阅读机、磁带机或一个接口。光电阅读机将穿孔带上的代码信息或磁带阅读机将磁带上的信息读入数控装置,近年来已很少使用。近年生产的数控机床一般都采用微处理器数控装置,它有专用接口,可以直接接收外界计算机中的 NC 程序代码信息,甚至可从网络远程调入加工程序,并将加工状态信息通过网络传送出去,以进行远程实时监控。

现代数控机床还可以通过手动方式(MDI 方式),将工件数控程序用数控系统操作面板上的按键,直接键入 CNC 单元,并在 CRT 显示器上显示。

3. 数控装置(CNC 单元)

数控装置是数控机床的核心,它是由中央处理器 CPU、存储器、各种 I/O 接口等设备组成的计算机系统,其任务是首先对输入装置输入的代码信息进行译码和数据转换,处理成便于控制和加工运算的信息并分别存入各自的存储区域内。其次是根据上述的信息,进行必要的运算,输出各种信号和指令控制机床的各个部分,进行规定的、有序的动作,如:将经插补运算得出的各坐标轴的进给速度、进给方向和位移量指令,送伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动;主轴的启停、变速、换向信号;控制冷却、润滑的启停,工件和机床部件松开、夹紧等辅助指令信号。

4. 伺服系统和位置测量反馈系统

伺服系统是数控机床的执行部件,其主要任务是把数控装置发来的命令信息进行功率放大,然后驱动机床的运动部件,完成指令规定的运动。伺服系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成,并与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。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服系统。目前数控机床常用的伺服驱动装置有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机,后两者均带有光电编码器等位置测量元件。

数控机床的伺服系统按其控制方式分为开环伺服系统、半闭环伺服系统和闭环伺服系统三大类,各类数控机床应根据对加工精度、生产率和成本的要求选用相应的伺服系统。

在半闭环和闭环伺服驱动系统中,需使用位置检测装置。位置测量反馈分为数控机床执行部件的转角位移反馈和直线位移反馈两种。运动部分通过传感器将上述转角位移或直线位移转换成电信号,辅送给 CNC 单元,与指令位置进行比较,并由 CNC 单元发出指令,纠正所产

生的误差。

5. 机床的机械部件

数控机床的机械部件包括：主运动部件，进给运动执行部件（如工作台、拖板及其传动部件）和床身立柱等支承部件，此外，还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库，交换刀具的机械手等部件。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，机床的静态和动态刚度要求更高，传动装置的间隙要求尽可能小，滑动副间的摩擦系数要小，并要有适当的阻尼，以适应对数控机床高定位精度和良好的控制性能的要求。

第三节 数控机床的分类

数控技术已广泛用于各种机床，包括齿轮加工机床，也用于各种机械的运动控制。由于控制系统及传感元件的发展，机床的智能化程度越来越高，工艺范围也更广，但从控制原理和主要性能看，可按下列方法分类。

一、按工艺用途分类

1. 普通数控机床

数控机床是在传统的普通机床的基础上发展起来的，各种类型的数控机床基本上起源于同类型的普通机床，可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控铣床、数控齿轮加工机床等，而且每一类又包含很多品种，例如数控铣床中就有立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等，这类机床的工艺性能和通用机床相似。

2. 加工中心机床

这是一种在普通数控机床上加装一个刀具库和自动换刀装置而构成的数控机床。它和普通数控机床的区别是工件经一次装夹后，数控系统能控制机床自动地更换刀具，自动连续地对工件各加工面进行铣（车）、镗、钻、铰、攻螺纹等多工序加工。加工中心可分为镗铣削加工中心和车削加工中心。

3. 金属成形类数控机床

如数控冲床、数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机等。

4. 数控特种加工机床

如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

5. 其他类型的数控机床

如数控火焰切割机、数控三坐标测量机等。

二、按运动方式分类

1. 点位控制(Positioning Control)数控机床

点位控制数控机床只控制刀具或部件从一点到另一点位置的精确定位，而不控制移动轨迹，在移动和定位过程中不进行任何加工。因此，为了尽可能减少移动刀具或部件的运动与定

位时间,通常先以快速移动接近终点坐标,然后以低速准确移动到定位点,以保证定位精度。例如,数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机、数控折弯机等都是点位控制机床。图 1-2 为点位控制系统工作原理图。

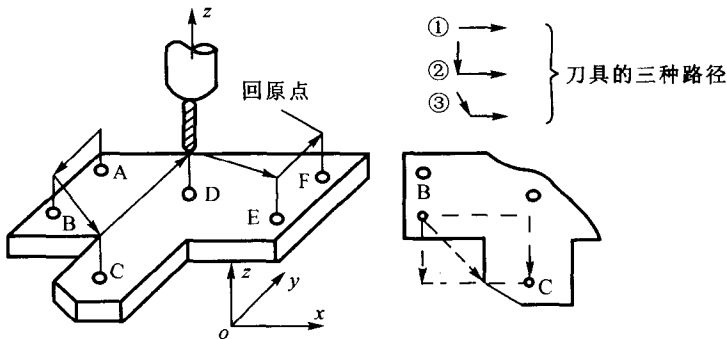


图 1-2 点位控制系统工作原理图

2. 直线控制 (Straight-line Control) 数控机床

有时也称为点位直线控制数控机床,它不仅能控制刀具或移动部件,从一个位置到另一个位置的精确移动,而且能以适当的进给速度,沿平行于坐标轴的方向进行直线移动和加工,或者控制两个坐标轴以同样的速度运动,沿 45° 斜线进行切削加工。部分数控车床、数控镗铣床、数控磨床属于直线控制数控机床。直线控制的数控车床,只有两个坐标轴,可用于台阶轴加工。直线控制的数控铣床,有三个坐标轴,可用于平面铣削加工。如图 1-3 所示为直线控制系统的加工原理图。

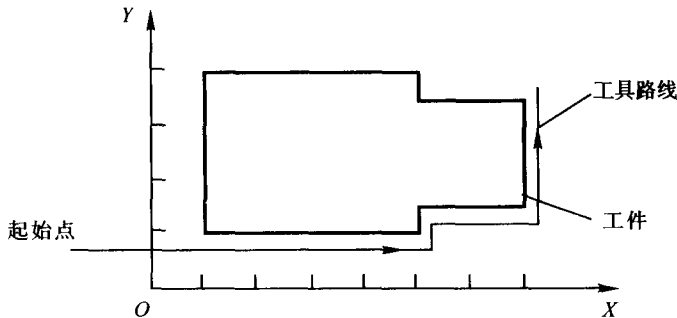


图 1-3 直线控制系统加工原理图

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床的特点是能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制,它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且要控制整个加工过程每一点的速度与位移量。也就是说,要控制移动轨迹,按给定的平面直线、曲线或空间曲面轮廓运动,加工出形状复杂的零件。这种系统要比点位直线系统更为复杂,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,且其一般具有刀具长度和刀具半径补偿功能。图 1-4 为两坐标轮廓控制系统的工作原理图。大多数数控机床具有轮廓控制功能,如数控车床、数控铣床、加工中心等。

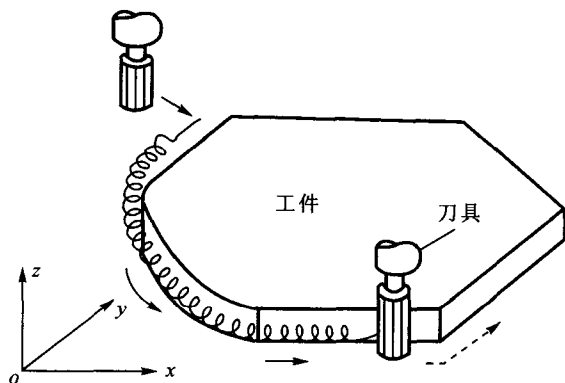


图 1-4 两坐标轮廓控制系统加工原理图

三、按控制方式分类

1. 开环控制(Open Loop Control)系统

就是不带反馈装置的控制系統。通常使用步进电机、功率步进电机或电液脉冲马达作为执行机构。数控装置输出的脉冲通过环形分配器和驱动电路,不断改变供电状态,使步进电机转过相应的步距角,再经过减速齿轮带动丝杠旋转,最后转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定的。图 1-5 为典型的开环控制系统框图。

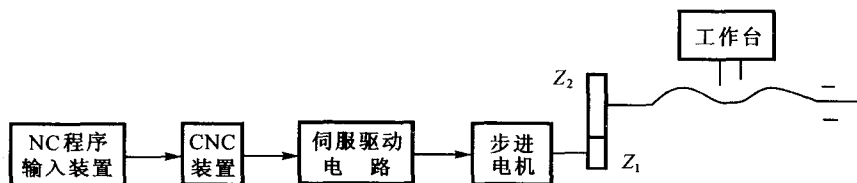


图 1-5 典型开环控制系统框图

开环控制系统具有结构简单,成本较低等优点,但是系统对移动部件的实际位移量是不进行检测的,也不能进行误差校正,因此,步进电机的步距误差,齿轮与丝杠等的传动链误差都将反映到被加工零件的精度中去。所以,开环控制系统一般应用于精度要求不高的经济型数控系统中。

2. 闭环控制(Closed Loop Control)系统

闭环数控机床的进给伺服系统是按闭环原理工作的。图 1-6 所示为典型的闭环进给系统。将位置检测装置安装于机床运动部件上,加工中将测量到的实际位置值反馈到数控装置中,将反馈信号与位移指令值随时进行比较,根据其差值与指令进给速度的要求,按一定规律转换后,得到进给伺服系统的速度指令,最终实现移动部件的精确定位。

从理论上讲,闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的精度,而与传动链的误差无关。但由于该系统受进给丝杠的拉压刚度、扭转刚度、摩擦阻尼特性和间隙等非线性因素的影响,给测试工作带来很大的困难。若各种参数匹配不适当,会引起系统振荡,造成系统工作不稳定,影响定位精度。所以闭环控制系统安装调试非常复杂,一定程度上限制了对更广泛的应用。

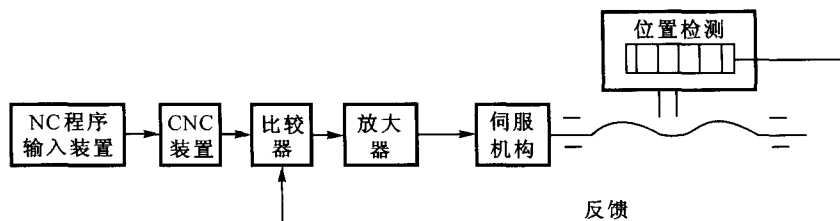


图 1-6 典型闭环控制系统框图

3. 半闭环控制(Semi-Closed Loop Control)系统

这种系统与闭环系统不同之处是检测元件装在伺服电动机的尾部,通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的位移,然后反馈到数控装置中。由于电动机到工作台之间的传动有间隙和弹性变形、热变形等因素,因而检测的数据与实际的坐标值有误差。由于角位移检测装置比直线位移检测装置的结构简单,安装方便,检测元件不容易受损害,且惯性较大的机床移动部件不包括在闭环之内,系统的调试比较方便,因此配有精密滚珠丝杠和齿轮的半闭环系统目前应用较多。图 1-7 为半闭环控制系统框图。

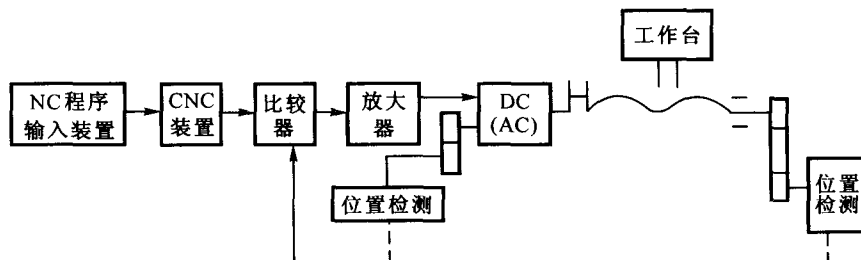


图 1-7 半闭环控制系统框图

四、其他分类方法

1. 按数控机床的功能水平分类

按数控机床的功能水平可分为低档、中档和高档数控机床。

低档数控机床也称经济型数控机床。其特点是根据实际的使用要求,合理地简化系统,以降低产品价格。目前,我国把由单片机或单板机与步进电机组成的数控系统和功能简单、价格低的系统称为经济型数控系统。主要用于车床、线切割机床以及旧机床的数控化改造等。低档数控机床的主 CPU 一般为 8 位或 16 位,用数码管或简单 CRT 显示。采用开环步进电动机驱动,脉冲当量 $0.01 \sim 0.005\text{mm}$,快进速度 $4 \sim 10\text{m/min}$ 。

中档数控机床的主 CPU 一般为 16 位或 32 位,具备较齐全的 CRT 显示,可以处理字符和图形,进行人机对话、自诊断等。伺服系统为半闭环直流或交流伺服系统,脉冲当量 $0.005 \sim 0.001\text{mm}$,快进速度 $15 \sim 24\text{m/min}$ 。

高档数控机床的主 CPU 一般为 32 位或 64 位,CRT 显示除具备中档的功能外,还具有三维图形显示等。伺服系统为闭环的直流或交流伺服系统,脉冲当量 $0.001 \sim 0.0001\text{mm}$,快进速度 $15 \sim 100\text{m/min}$ 。

2. 按可联动的坐标数分类

某些种类的数控机床,由于可联动的坐标数不同,其加工能力区别很大。如数控镗铣床,

如果只能两坐标联动,则只能加工平面曲线表面。若能三坐标联动,则能加工三维空间表面。为使刀具能合理切削,刀具的回转中心线也要转动,因此需要更多的坐标联动,五坐标联动的镗铣床能加工螺旋桨表面。因此在识别数控机床时,还要考查坐标联动数。机床具有的坐标轴数,不等于坐标联动数,具有的伺服电动机数也不等于坐标联动数。所谓坐标联动数是由同一个插补程序控制的移动坐标数。这些坐标的移动规律是按着所加工的轮廓表面规定的。

第四节 数控技术的发展

一、数控系统及数控机床的发展历程

自 1952 年第一台数控机床问世,随着计算机、自动控制、伺服驱动与自动检测等技术的迅速发展,表征数控机床的水平和决定数控机床功能与特性的数控系统,取得了长足的发展。数控系统最早是由电子管、继电器和模拟电路组成,一般称之为第一代数控系统。其后在 50 年代末出现了采用晶体管电路的第二代数控系统。60 年代中期,中、小规模集成电路在数控系统中的应用使数控系统发展到了第三代。这三代数控系统均为硬件式数控(NC),其输入处理、插补运算和控制功能,都由专用的固定组合逻辑电路来实现,不同功能的机床,其组合逻辑电路也不相同。改变或增减控制、运算功能时,需要改变数控装置的硬件电路,因此通用性、灵活性差,制造周期较长,成本高。70 年代初,小型计算机逐渐普及并被应用于数控系统,数控系统中的许多功能由软件实现,简化了系统设计并增加了系统的灵活性和可靠性,计算机数控(CNC)技术从此问世,数控系统发展到第四代。1974 年,以微处理器为基础的 CNC 系统问世,标志着数控系统进入了第五代。1977 年,麦道飞机公司推出了多处理器的分布式 CNC 系统,到 1981 年,CNC 达到了全功能的技术特征,其体系结构朝柔性模块化方向发展。1986 年以来 32 位 CPU 在 CNC 中得到了应用,CNC 系统进入了面向高速、高精度、柔性制造系统(FMS)和自动化工厂(FA)的发展阶段。

20 世纪 90 年代以来,受通用微机技术飞速发展的影响,数控系统正朝着以通用微机(个人计算机-PC)为基础、体系结构开放和智能化的方向发展。1994 年基于 PC 的 NC 控制器在美国首先出现于市场,此后得到迅速发展。由于基于 PC 的开放式数控系统可充分利用通用微机丰富的硬软件资源和适用于通用微机的各种先进技术,已成为数控技术发展的潮流和趋势。

在伺服驱动方面,随着微电子、计算机和控制技术的发展,伺服驱动系统的性能也不断提高,从最初的电液伺服电机和功率步进电机开环控制驱动发展到直流伺服电机和目前广泛应用的交流伺服电机闭环(半闭环)控制驱动,并由模拟控制向数字化控制方向发展。在高性能的数控系统上已普遍采用数字化的交流伺服驱动,使用高速数字信号处理器(DSP)和高分辨率的检测器,以极高的采样频率进行数字补偿,实现伺服驱动的高速高精度化。同时,新的控制方法也被不断采用,以进一步提高伺服控制精度,如 FANUC-I5M 采用前馈预测控制和非线性补偿控制方法,FANUC-16M 中的逆传递函数控制法。

1958 年美国 Kearney&Trecker 公司开发了世界上第一台加工中心,从而揭开了加工中心的序幕。1967 年,英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统,这就是最初的 FMS。70 年代,由于计算机数控(CNC)系统和微处理机数控系统的研制成功,使数控机床进