

21世纪高等教育规划教材

数控应用技术

关颖 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

总顾问:张晋峰

21 世纪高等教育规划教材

数控应用技术

关颖 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 提 要

本书主要介绍了数控机床的工作原理、传动结构及调整、数控机床的程序编制、计算机数控装置的硬件及软件、伺服驱动与检测、数控机床的典型结构等,并以实例的形式介绍了数控车床、数控铣床的自动编程方法和具体加工中的细节工艺处理及技巧。

本书精选了大量实例,通俗实用,适合作为普通高校本、专科数控、机械制造、机电一体化、数控机床加工专业教材,也可作为广大数控技术人员业务参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控应用技术 / 关颖主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2006. 8

(21 世纪高等教育规划教材)

ISBN 7-81104-413-7

I. 数... II. 关... III. 数控机床—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 092052 号

21 世纪高等教育规划教材

数 控 应 用 技 术

Shukong Yingyong Jishu

关颖 主编

*

责任编辑 张华敏

封面设计 水木时代

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

安徽蚌埠广达印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185mm×260mm 印张: 17.75

字数: 491 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-413-7

定价: 28.00 元

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

编审说明

随着数控技术在机械制造领域中的应用和推广,机械制造业也随之发生了显著的、甚至是根本性的变化。目前,我国制造业急需懂得数控技术、熟悉数控编程及实际操作维修的专业人才。面对越来越旺盛的人才需求,培养出合格的数控技术人员、提高他们的工作实践能力,正在成为高等院校普遍追求的教学目标。

本书从高等教育的实际出发,根据高校教学要求,确定了编写的指导思想和教材特色。即:以工程应用为目的,强化实践教学,更具有针对性和实用性。全书以企业中使用较为广泛、具有代表性的数控机床为主线,介绍了数控机床的工作原理、传动结构及调整、数控机床的程序编制、计算机数控装置的硬件及软件、伺服驱动与检测、数控机床的典型结构,并以CAXA自动编程软件为主线,通过实例讲解数控车床、数控铣床的自动编程方法和具体加工中的细节工艺处理及技巧。

全书精选了大量典型实例,在素材的组织上突出了实用性特点,内容通俗易懂,特别适用作为高等院校数控技术应用、数控机床加工、机械制造、机电一体化专业教材,同时也可供传统制造业技术工人更新知识、提高职业技能、学习数控知识使用,还可作为广大从事数控机床操作、维修等工作的技术人员培训教材。

全书共7章内容,各高等院校可根据实际情况决定内容的取舍。本书由关颖主编并统稿。

本书在编写过程中,作者参考了数控技术方面的诸多论述、教材和数控机床维修手册,在此作者对参考文献中的各位作者深表谢意。同时也得到作者所在学院领导和机械工程系同仁的关心、支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平和经验,书中难免有欠妥之处,敬请广大读者不吝批评指正。

21 世纪高等教育规划教材编审指导委员会

2006 年 8 月

目 录

第1章 数控机床概述.....	(1)
1.1 数控机床的产生与发展	(1)
1.2 数控机床的分类	(4)
1.3 数控机床的工作原理、组成及日常安全生产、维护规范	(8)
1.4 数控系统与数控机床技术的发展趋势	(17)
习题与思考题	(21)
第2章 数控系统	(22)
2.1 数控系统概述	(22)
2.2 CNC装置的主要功能、特点及工作原理	(23)
2.3 CNC装置的硬件结构	(27)
2.4 CNC系统的软件结构	(31)
2.5 FANUC数控系统实例	(34)
习题与思考题	(43)
第3章 数控机床伺服驱动控制系统与检测	(44)
3.1 机床伺服驱动系统概述	(44)
3.2 常用的伺服电动机	(46)
3.3 数控机床的检测装置	(50)
习题与思考题	(56)
第4章 数控机床与可编程控制器	(57)
4.1 可编程控制器的基本概念与分类	(57)
4.2 FANUC Oi-B系统内置式PLC的工作原理	(64)
4.3 PLC编程指令	(72)
4.4 FANUC Oi-B系统PMC编程、调试的操作步骤和相关参数设置	(99)
习题与思考题	(110)
第5章 数控机床的典型结构	(111)
5.1 对数控机床机械结构的要求	(111)
5.2 数控机床的主传动系统及主轴部件	(114)
5.3 数控机床进给系统机械传动部分的元件	(118)
5.4 自动换刀装置	(126)
5.5 分度工作台和回转工作台	(132)
5.6 数控机床导轨	(136)
5.7 其他辅助装置	(140)
习题与思考题	(142)

第 6 章 数控机床的程序编制	(143)
6.1 程序编制的基本概念	(143)
6.2 编程基础	(145)
6.3 数控车床编程	(151)
6.4 数控铣床与加工中心编程	(174)
习题与思考题	(207)
第 7 章 自动编程	(209)
7.1 自动编程软件概述	(209)
7.2 典型数控车床 CAD/CAM 自动编程实例	(211)
7.3 典型数控铣床、加工中心 CAD/CAM 自动编程实例	(248)
习题与思考题	(273)
附 录	(274)
附录 1 FANUC 0i-TA 准备功能 G 指令代码	(274)
附录 2 华中世纪星(HNC-21/22T)准备功能 G 指令代码	(276)
附录 3 SIEMENS 系统准备功能 G 指令代码	(277)
参考文献	(278)

第1章 数控机床概述

【本章要点】 本章主要介绍了数控机床的产生与发展、数控机床的分类以及数控机床的工作原理和组成,阐述了数控系统与数控机床技术未来的发展趋势,并对数控机床维护、维修工作的安全规范进行了概括介绍。

1.1 数控机床的产生与发展

1.1.1 数控技术与数控设备

数控技术是指利用数字信号构成的控制程序对设备的工作过程实现自动控制的一种技术,简称数控(NC, Numerical Control)。它所控制的一般是位移、角度、速度等机械量,也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量,这些物理量的大小不仅是可测得的,而且可经 A/D 或 D/A 转换,用数字信号表示。

现代数控技术是 20 世纪 40 年代后期发展起来的一种自动化加工技术,它综合了计算机、自动控制、电动机、电气传动、测量、监控和机械制造等学科的内容,目前在机械制造业中已得到了广泛的应用。

数控设备则是采用数控系统进行控制的机械设备,其操作命令是用数字或数字代码的形式来描述的,工作过程按照指定的程序自动地进行,装备了数控系统的机床称之为数控机床。数控机床是数控设备的典型代表,其他数控设备还有数控气割机、数控绘图机、数控测量机、数控雕刻机、电脑绣花机、数控插件机等。

随着微型计算机的发展,最初的由数字逻辑电路构成的硬件数控系统已逐渐被淘汰,取而代之的是当前广泛采用的计算机数控系统(CNC, Computer Numerical Control),采用存储程序的专用计算机实现部分或全部基本数控功能,从而具有真正的“柔性”,并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息,使数控系统的性能大大提高。

1.1.2 数控机床的产生与发展

1. 数控机床的产生

随着生产和科学技术的发展,机械产品日臻精密、复杂,而且改型频繁,因此对制造机械产品的设备——机床提出了高性能、高精度和高自动化的要求。在机械产品中,单件和小批量产品所占比例明显增多。由于这类产品生产批量小、品种多,而且当产品改型时,机床与工艺装备均需作较大的变更和调整,因此这类产品的生产不仅对机床提出“三高”的要求,而且要求机床具有较强的适应产品变化的能力。长期以来,这类产品都在通用机床上加工,基本上是由人工操作,强度大,而且难以提高生产效率和保证产品质量。

因此,要实现这类产品生产的自动化成为机械制造业中长期未能解决的难题。1946 年诞生了世界上第一台电子计算机,这表明人类创造了可增强和部分代替脑力劳动的工具。它与人类在农业、工业社会中创造的那些只是增强体力劳动的工具相比,发生了质的飞跃,为人类进入信息社会

奠定了基础。

6年后,即在1952年,计算机技术应用到了机床上,在美国PARSONS公司和麻省理工学院的共同研制下,诞生了第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床。该铣床的研制成功是机械制造行业的一次技术革命,使机械制造行业的发展进入了一个新的阶段。

2. 数控机床的发展

20世纪人类社会最伟大的科技成果是计算机的发明与应用,计算机及控制在机械制造设备中的应用是世纪内制造业发展的最重大的技术进步。随着微电子技术的不断发展,数控系统也在不断地更新换代,数控设备包括车、铣、加工中心、镗、磨、冲压、电加工以及各类专机,形成庞大的数控制造设备家族,每年全世界的产量有10~20万台,产值上百亿美元。

世界制造业在20世纪末的十几年中经历了几次反复,曾一度几乎快成为夕阳工业,所以美国人首先提出要振兴现代制造业。20世纪90年代的全世界数控机床制造业都经过重大改组。例如,美国、德国等几大制造商都经过较大变动,从90年代初开始已出现明显的回升,在全世界制造业形成新的技术更新浪潮;德国机床行业从2000年至今已接受3个月以后的订货合同,生产任务饱满。近半个世纪以来,数控系统经历了两个阶段和六代的发展。

(1) 数控(NC)阶段(1952—1970)

早期计算机的运算速度低,对当时的科学计算和数据处理影响还不大,但不能适应机床实时控制的要求。人们不得不采用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统,被称为硬件连接数控(HARD-WIRED NC),简称为数控(NC)。随着元器件的发展,这个阶段历经了三代,即1952年的第一代——电子管;1959年的第二代——晶体管;1965年的第三代——小规模集成电路。

(2) 计算机数控(CNC)阶段(1970年至今)

到1970年,通用小型计算机业已出现并成批生产,于是将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入了计算机数控(CNC)阶段(把计算机前面应有的“通用”两个字省略了)。到1971年,美国Intel公司在世界上第一次将计算机的两个最核心的部件——运算器和控制器,采用大规模集成电路技术集成在一块芯片上,称之为微处理器(Microprocessor),又可称为中央处理单元(简称CPU)。

到1974年,微处理器被应用于数控系统。这是因为小型计算机功能太强,控制一台机床能力有富裕(故当时曾用于控制多台机床,称之为群控),不如采用微处理器经济合理,而且当时小型机的可靠性也不理想。早期的微处理器速度和功能虽还不够高,但可以通过多处理器结构来解决。由于微处理器是通用计算机的核心部件,故仍称为计算机数控。

到了1990年,PC机(个人计算机,国内习惯称微机)的性能已发展到很高的阶段,可以满足作为数控系统核心部件的要求。数控系统从此进入了基于PC的阶段。

总之,计算机数控阶段也历经了三代,即1970年的第四代——小型计算机;1974年的第五代——微处理器;1990年的第六代——基于PC(国外称为PC-BASED)。

我国数控机床制造业在20世纪80年代曾有过高速发展的阶段,许多机床厂从传统产品实现向数控化产品的转型。但总的来说,技术水平不高,质量不佳,所以在90年代初期面临国家经济由计划性经济向市场经济转移调整,经历了几年最困难的萧条时期,那时生产能力降到50%,库存超过4个月。从1995年“九五”以后国家从扩大内需启动机床市场,加强限制进口数控设备的审批,投资重点支持关键数控系统、设备、技术攻关,对数控设备生产起到了很大的促进作用,尤其是在1999年以后,国家向国防工业及关键民用工业部门投入大量技改资金,使数控设备制造市场一派

繁荣。从2000年8月份的上海数控机床展览会和2001年4月北京国际机床展览会上,也可以看到多品种产品的繁荣景象。

当今世界,工业国家数控机床的拥有量反映了这个国家的经济能力和国防实力。目前我国是全世界机床拥有量最多的国家(近300万台),但我们的机床数控化率仅达到1.9%左右,这与西方工业国家一般能达到20%的差距太大。日本不到80万台的机床却有近10倍于我国的制造能力。数控化率低,已有数控机床利用率、开动率低,这是发展我国21世纪制造业必须首先解决的最主要问题。每年我国国产全功能数控机床3000~4000台,日本1年产5万多台数控机床,每年我们花十几亿美元进口7000~9000台数控机床,即使这样我国制造业也很难把行业中数控化率大幅度提上去。因此,国家计委、经贸委从“八五”、“九五”就提出数控化改造的方针。当时提出数控化改造的设备可达8~10万台,需投入80~100亿资金,但得到的经济效益将是投入的5~10倍以上。因此,这几年来承担数控化改造的企业公司大量涌现,甚至还有美国公司加入。“十五”期间,国防科工委就在军工企业中投入6.8亿元,用于对1.2~1.8万台机床的数控化改造。

1.1.3 数控机床的特点

数控设备(特别是采用CNC装置的数控设备)是实现柔性自动化的重要设备,在各行业中得到了日益广泛的应用,与其他加工设备相比,数控机床具有如下特点。

1. 适应性强

适应性即所谓的柔性,是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控设备上进行产品加工,当产品(生产对象)改变时,仅仅需要改变数控设备的输入程序就能适应新产品的生产需要,而不需改变机械部分和控制部分的硬件,而且生产过程是自动完成的。这一特点不仅满足了当前产品更新快的市场竞争需要,而且较好地解决了单件、小批量、多变产品的自动化生产问题。适应性强是数控设备最突出的优点,也是数控设备得以产生和迅速发展的主要原因。

2. 能实现复杂的运动

普通机械设备难以实现或无法实现轨迹为三次以上的曲线或曲面的运动,如螺旋桨、汽轮机叶片之类的空间曲面;而数控设备则可以实现几乎是任意轨迹运动和加工任何形状的空间曲面,适用于复杂异形零件的加工。

3. 精度高、质量稳定

数控设备是按照预定程序自动工作的,一般情况下工作过程不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造设备主机时,通常采取了许多措施使数控设备的机械部分达到较高的精度。数控装置的脉冲当量(或分辨率)目前可达0.01~0.0001 mm,同时可以通过实时检测反馈修正误差或补偿来获得更高的精度。因此,数控设备可以获得比设备本身精度更高的加工精度,尤其提高了同批零件生产的一致性,使产品质量稳定。

4. 生产率高

数控设备比普通设备生产率高出许多倍,尤其对某些复杂零件的加工,生产率可提高十几倍甚至几十倍。生产率高的原因是:

①数控设备(如数控机床)上可采用较大的切削用量,有效地减少了加工中的切削工。

②数控设备具有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,而且无需工序间的检验与测量,使辅助时间大为缩短。

③工序集中、一机多用的数控加工中心,在一次装夹后几乎可以完成零件的全部加工,这样不

仅可减少装夹误差,还可减少半成品的周转(包括运输、测量等)时间,生产率的提高更为明显。

5. 减轻劳动强度,改善劳动条件

数控设备的工作是按预先编制好的加工程序自动连续完成的,操作者除输入加工程序或操作键盘、装卸工件、关键工序的中间测量及观看设备的运行之外,不需进行繁重的重复手工操作,劳动条件和劳动强度大为改善。

6. 有利于生产管理

采用数控设备能准确地计算产品生产的工时,并有效地简化检验、工夹具和半成品的管理工作。数控设备采用数控信息的标准代码输入,这样有利于与计算机连接,构成由计算机控制和管理的小批量生产系统,实现制造和生产管理的自动化。

1.2 数控机床的分类

数控设备五花八门,品种繁多,各个行业都有自己的数控设备和分类方法,虽然在使用上各自的控制对象不同,但在原理上却万变不离其宗。按照数控系统的基本原理,可进行下述分类。

1.2.1 按数控机床的伺服控制系统分类

1. 开环数控系统

开环数控系统结构简单,没有测量反馈装置。同时,数控装置发出的指令信号流是单向的,所以不存在系统稳定性问题。因为无位置反馈,所以精度不高,其精度主要取决于伺服驱动系统的性能。

开环数控系统的工作原理如图 1-1 所示。开环数控系统是这样工作的:首先,将控制机床工作台或刀架运动的位移距离、位移速度、位移方向、位移轨迹等参量通过输入装置输入 CNC 装置, CNC 装置根据这些参量指令计算出进给脉冲的序列;其次,对脉冲单元进行功率放大,形成驱动装置的控制信号;最后,由驱动装置驱动工作台或刀架按所要求的速度、轨迹、方向和移动距离,加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。开环数控系统一般用功率步进电动机作为伺服驱动单元。

开环数控系统具有工作稳定、反应迅速、调试方便、维修简单、价格低廉等优点,在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到广泛的应用。但是,由于步进电动机的低频共振及丢步等原因,其应用有逐渐减少的趋势。一般适用于经济型数控机床和旧机床的数控化改造。

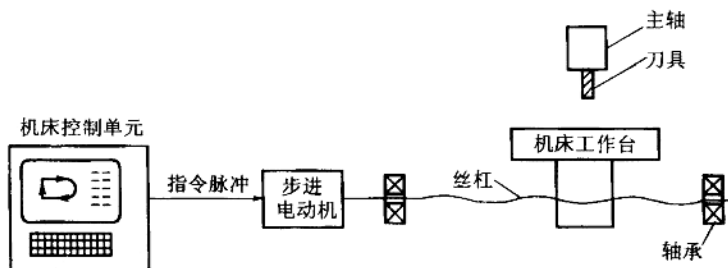


图 1-1 开环数控系统的工作原理框图

2. 半闭环数控系统

这类系统的位置检测装置安装在电动机或丝杠轴端,通过角位移的测量间接得出机床工作台的实际位置,并与 CNC 装置的指令值进行比较,用差值进行控制。这类系统可矫正部分环节造成的误差,精度比开环高,以交、直流伺服电动机作为驱动元件。

半闭环数控系统的工作原理如图 1-2 所示,由伺服电动机采样旋转角度而不是检测工作台的实际位置。因此,丝杠的螺距误差和齿轮或同步带轮等引起的误差都难以消除。半闭环数控系统的环路内不包括或只包括少量机械传动环节,因此系统控制性能稳定。而机械传动环节的误差,大部分可通过误差补偿的方法消除,因而仍可获得满意的精度。

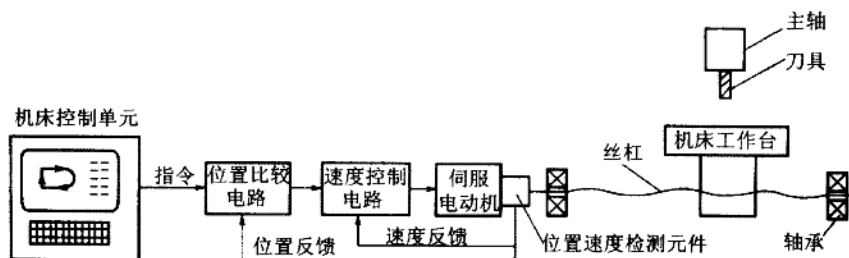


图 1-2 半闭环数控系统的工作原理框图

3. 闭环数控系统

这类系统的位置检测装置安装在机床工作台上,将工作台的实际位置检测出来,并与 CNC 装置的指令位置进行比较,用差值进行控制。这类系统可矫正全部传动环节造成的误差,其精度很高。系统的精度主要取决于检测装置的精度,以交、直流伺服电动机作为驱动元件,用于高精度设备的控制。

闭环数控系统的工作原理如图 1-3 所示,采样点从机床的运动部件上直接引出。通过采样工作台运动部件的实际位置,即对实际位置进行检测可以消除整个传动环节的误差、间隙,因而具有很高的位置控制精度。但是,由于位置环内的许多机械环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,故容易造成系统的不稳定以及调试困难。这类系统主要用于精度要求很高的精铣床、超精车床和螺纹车床等。

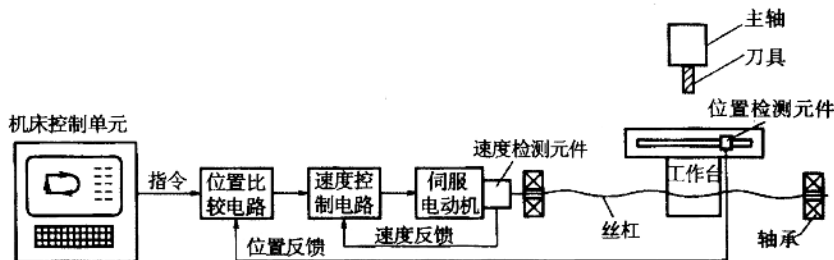


图 1-3 闭环数控系统的工作原理框图

1.2.2 按机床运动的控制轨迹分类

1. 点位控制系统

这类控制系统只控制刀具相对工件从一点移动到另一点的准确位置,而对于点与点之间移动的轨迹不进行控制,且移动过程中不进行切削(见图 1-4)。为了提高加工效率,保证定位精度,系统采用“快速趋近,减速定位”的方法实现控制。采用此类控制方式的设备有数控钻床、数控镗床、数控冲床、数控折弯机、数控点焊机等。

2. 直线控制系统

这类控制系统不但要控制点与点的准确位置,而且要保证两点之间刀具移动的轨迹是一条直线,且在移动过程中刀具能以给定的进给速度进行切削加工(见图 1-5)。一般情况下,直线控制系统的刀具运动轨迹是平行于各坐标轴的直线;特殊情况下,如果同时驱动两套运动部件,其合成运动的轨迹是与坐标轴成一定夹角的斜线。采用此类控制方式的设备有数控车床、数控磨床和数控镗铣床等。

3. 连续控制系统

连续控制系统又称为轮廓控制系统,大多数数控机床具有连续控制功能。这类系统能对两个或两个以上的坐标方向进行严格控制(见图 1-6)。连续控制系统是多坐标同时控制,信息处理比较复杂,它需要进行复杂的插补运算。插补运算的作用是:根据给定的运动代码指令和进给速度,计算刀具相对于工件的运动轨迹,实现连续控制。轮廓控制装置要比点位、直线控制装置结构复杂得多,功能齐全得多。采用此类控制方式的设备有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、数控加工中心等。

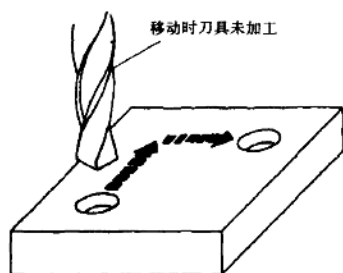


图 1-4 点位控制系统

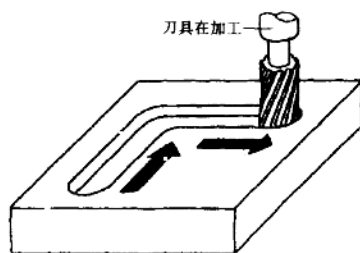


图 1-5 直线控制系统

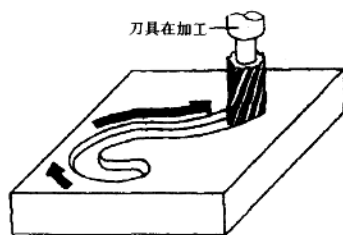


图 1-6 连续控制系统

1.2.3 按数控系统的制造方式分类

1. 专用型数控系统

这类数控系统是各制造厂家专门设计和制造的,布局合理、结构紧凑、专用性强,但硬件之间彼此不能交换和替代,没有通用性,如 SIEMENS 数控系统、FANUC 数控系统及我国一些数控系统生产厂家生产的数控系统等都属此类。

2. 通用型数控系统

这类数控系统是以 PC 机作为 CNC 装置的支持平台,再由各数控机床制造厂根据数控的需要,插入自己的控制卡和数控软件,构成相应的 CNC 装置。其通用性强,易于实现升级换代,且抗干扰能力强。

1.2.4 按可控制联动的坐标轴分类

所谓数控机床可控制联动的坐标轴,是指数控装置控制几个伺服电动机,同时驱动机床移动部件运动的坐标轴数目。

1. 两坐标联动

数控机床能同时控制两个坐标轴联动(见图 1-7),即数控装置同时控制 X 和 Z 方向运动,可用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件;或机床本身有 X 、 Y 、 Z 三个方向的运动,数控装置中只能同时控制两个坐标(见图 1-8),实现两个坐标轴联动,但在加工中能够实现坐标平面的变换,用于加工图零件的沟槽。

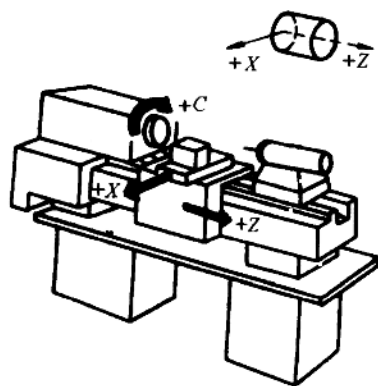


图 1-7 卧式车床

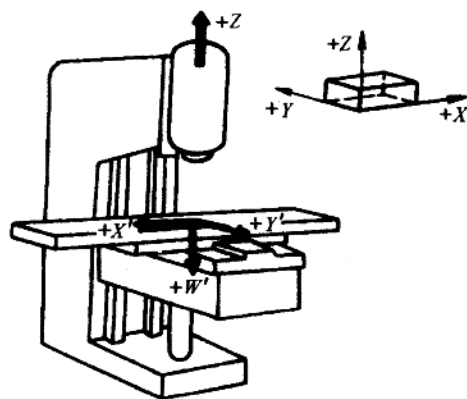


图 1-8 立式升降台铣床

2. 三坐标联动

数控机床能同时控制三个坐标轴联动(见图 1-8),此时,铣床称为三坐标数控铣床,可用于加工曲面零件。

3. 两轴半坐标联动

数控机床本身有三个坐标能做三个方向的运动,但控制装置只能同时控制两个坐标,而第三个坐标只能做等距周期移动,可加工空间曲面。数控装置在 ZX 坐标平面内控制 X 、 Z 两坐标联动,加工垂直面内的轮廓表面,控制 Y 坐标做定期等距移动,即可加工出零件的空间曲面。

4. 多坐标联动

数控机床能同时控制四个以上坐标轴联动,多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂,主要应用于加工形状复杂的零件。五轴联动铣床加工曲面形状零件,六轴加工中心运动坐标系示意图如图 1-9 所示。

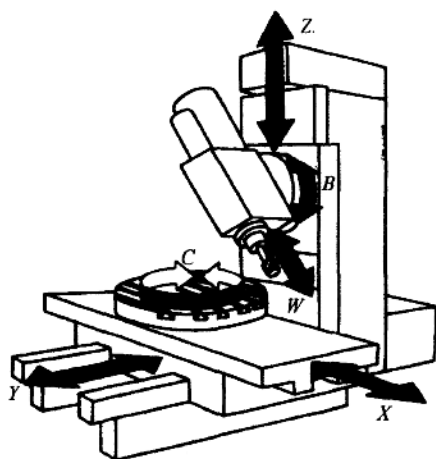


图 1-9 六轴加工中心运动坐标系示意图

1.2.5 按数控系统的功能水平分类

数控系统一般分为高级型、普及型和经济型三个档次。数控系统并没有确切的档次界限,其参考评价指标包括:CPU 性能、分辨率、进给速度、联动轴数、伺服水平、通信功能和人机对话界面等。

1. 高级型数控系统

该档次的数控系统采用 32 位或更高性能的 CPU,联动轴数在 5 轴以上,分辨率可达到 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下,进给速度 $\geq 24\ \text{m/min}$ (分辨率为 $1\ \mu\text{m}$ 时) 或 $\geq 10\ \text{m/min}$ (分辨率为 $0.1\ \mu\text{m}$ 时),采用数字化交流伺服驱动,具有 MAP (Manufacturing Automation Protocol) 高性能通信接口,具备联网功能,有三维动态图形显示功能。

2. 普及型数控系统

该档次的数控系统采用 16 位或更高性能的 CPU,联动轴数在 5 轴以下,分辨率在 $1\ \mu\text{m}$ 以内,进给速度 $\leq 24\ \text{m/min}$,可采用交、直流伺服驱动,具有 RS-232 或 DNC 通信接口,有 CRT 字符显示和平面线性图形显示功能。

3. 经济型数控系统

该档次的数控系统采用 8 位 CPU 或单片机控制,联动轴数在 3 轴以下,分辨率为 $0.01\ \text{mm}$,进给速度在 $6\sim 8\ \text{m/min}$,采用步进电动机驱动,具有简单的 RS-232 通信接口,用数码管或简单的 CRT 字符显示。

1.3 数控机床的工作原理、组成及日常安全生产、维护规范

1.3.1 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。也就是说,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,通过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。其数控加工的基本过程如图 1-10 所示。

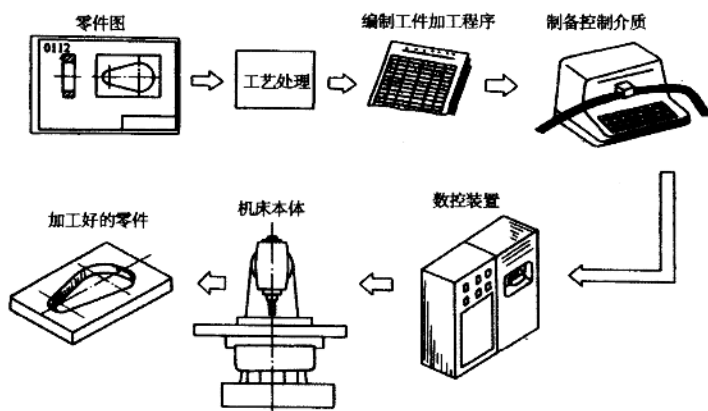


图 1-10 数控机床加工工件的基本过程

由图 1-10 可知,数控机床在加工前要分析零件图,拟定零件加工工艺方案,明确加工工艺参数,然后按编程规则编制数控加工程序。当加工零件的几何信息和工艺信息转换为数字化信息后,可以用不同方法输入到机床的数控系统中,经检查无误即可启动机床,运行数控加工程序,数控装置会自动完成数控加工程序发出的各种控制指令。如果不出现故障,直到加工程序运行结束,零件加工完毕为止。数控加工的控制过程与计算机控制打印机的打印过程,特别是与计算机控制绘图机绘图过程非常相似。

数字控制是相对于模拟控制而言的。数字控制系统或 CNC 系统,用字长来表示不同精度信息,可进行复杂的算术运算、逻辑运算和信息处理。通过改变软件(而非电路或机械机构)实现信息处理方式和过程的转换,因此具有很好的柔性功能。

由于 CNC 系统方便、可靠及精确高,因而广泛应用于机械运动的轨迹、检测和辅助运动控制等各个方面,其中轨迹控制是机床和工业机器人的主要控制内容。

1.3.2 数控机床的组成

数控机床一般由输入输出设备、数控装置(CNC)、伺服单元、驱动装置(或称执行机构)、可编程控制器(PLC)及电气控制装置、辅助装置、机床本体及测量装置组成。图 1-11 所示就是数控机床的硬件构成图。

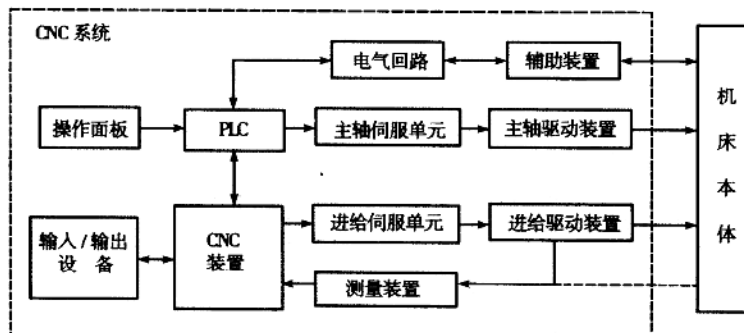


图 1-11 数控机床的硬件构成

1. 输入和输出装置

输入和输出装置是机床数控系统和操作人员进行信息交流、实现人机对话的交互设备。

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的电脉冲信号,传送并存入数控装置内。目前,数控机床的输入装置有键盘、磁盘驱动器、光电阅读机等,其相应的程序载体为磁盘、穿孔纸带。输出装置的作用是:数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息。显示的信息可以是正在编辑的程序、坐标值,以及报警信号等。输出装置是显示器,有 CRT 显示器或彩色液晶显示器两种。

2. 计算机数控装置(CNC 装置)

计算机数控装置是计算机数控系统的核心,是由硬件和软件两部分组成的。它接受的是输入装置送来的脉冲信号,信号经过计算机数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令,控制机床的各个部分,使其进行规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的信号是各坐标轴(即做进给运动的各执行部件)的进给速度、进给方向和位移量指令(送到伺服驱动系统驱动执行部件做进给运动),还有主轴的变速、换向和启停信号,选择和交换刀具的指令信号,控制冷却液、润滑油启停、工件和机床部件松开和夹紧、分度工作台转位的辅助指令信号等。

数控装置主要包括微处理器(CPU)、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与 CNC 系统其他组成部分联系的接口等。

3. 可编程逻辑控制器(PLC)

数控机床通过 CNC 和 PLC 共同完成控制功能,其中 CNC 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、插补运算、译码、刀具运动的位置伺服控制等。而 PLC 主要完成与逻辑运算有关的一些动作,它接收 CNC 的控制代码 M(辅助功能)、S(主轴转速)、T(选刀、换刀)等开关量动作信息,对开关量动作信息进行译码,转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床相应的开关动作如工件的装夹、刀具的更换、冷却液的开关等一些辅助动作。它还接收机床操作面板的指令,一方面直接控制机床的动作(如手动操作机床),另一方面将一部分指令送往数控装置用于加工过程的控制。

在 FANUC 数控系统中专门用于控制机床的 PLC,记作 PMC,称为可编程机床控制器。

4. 伺服单元

伺服单元接收来自数控装置的速度和位移指令。这些指令经伺服单元变换和放大后,通过驱动装置转变成机床进给运动的速度、方向和位移。因此,伺服单元是数控装置与机床本体的联系环节,它把来自数控装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。伺服单元分为主轴单元和进给单元等,伺服单元就其系统而言又有开环系统、半闭环系统和闭环系统之分。

5. 驱动装置

驱动装置把经过伺服单元放大的指令信号变为机械运动,通过机械连接部件驱动机床工作台,使工作台精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运动,加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。目前常用的驱动装置有直流伺服电动机和交流伺服电动机,且交流伺服电动机正逐渐取代直流伺服电动机。

伺服单元和驱动装置合称为伺服驱动系统,它是机床工作的动力装置,计算机数控装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施,伺服驱动装置包括主轴驱动单元(主要控制主轴的速度)、进给驱动单元(主要是进给系统的速度控制和位置控制)。伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种

意义上说,数控机床的功能主要取决于数控装置,而数控机床的性能主要取决于伺服驱动系统。

6. 机床本体

机床本体即数控机床的机械部件,包括主运动部件、进给运动执行部件(工作台、拖板及其传动部件)和支承部件(床身、立柱等),还包括具有冷却、润滑、转位和夹紧等功能的辅助装置。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,由于数控机床的高速度、高精度、大切削用量和连续加工的要求,其机械部件在精度、刚度、抗震性等方面要求更高。

此外,为保证数控机床功能的充分发挥,还有一些辅助系统,如冷却、润滑、液压(或气动)、排屑、防护系统等。

1.3.3 数控机床的主要性能指标

1. 主要规格尺寸

数控车床的主要规格尺寸有床身与刀架的最大回转直径、最大车削长度、最大车削直径等;数控铣床的主要规格尺寸有工作台、工作台 T 形槽、工作台行程等。

2. 主轴系统

数控机床主轴采用直流或交流电动机驱动,具有较宽调速范围和较高回转精度,主轴本身刚度与抗震性比较好。现在数控机床主轴普遍达到 5 000~10 000 r/min,甚至更高的转速,对提高加工质量和各种小孔加工极为有利;主轴可以通过操作面板上的转速倍率开关直接改变转速,每档间隔 5%,其调节范围为 50%~120%;在加工端面时主轴具有恒定切削速度(恒线速单位为 mm/min)。

3. 进给系统

该系统有进给速度范围、快速(空行程)速度范围、运动分辨率(最小移动增量)、定位精度和螺距范围等主要技术参数。

①进给速度是影响加工质量、生产效率和刀具寿命的主要因素,直接受到数控装置运算速度、机床动特性和工艺系统刚度限制。数控机床的进给速度可达到 10~30 m/min。其中最大进给速度为加工的最大速度,最大快进速度为不加工时移动的最快速度。进给速度可通过操作面板上的进给倍率开关调整,每档间隔为 10%,其调整范围为 10%~200%。

②脉冲当量(分辨率)是 CNC 重要的精度指标。该指标包括两个方面的内容,一是机床坐标轴可达到的控制精度(可以控制的最小位移增量),表示 CNC 每发出一个脉冲时坐标轴移动的距离,称为实际脉冲当量或外部脉冲当量;二是内部运算的最小单位,称之为内部脉冲当量,一般内部脉冲当量比实际脉冲当量设置得要小,目的是在运算过程中不损失精度,数控系统在输出位移量之前,自动将内部脉冲当量转换成外部脉冲当量。

实际脉冲当量取决于丝杠螺距、电动机每转脉冲数及机械传动链的传动比,其计算公式为

$$\text{实际脉冲当量} = \text{传动比} \times \frac{\text{丝杠螺距}}{\text{电动机每转脉冲数}}$$

数控机床的加工精度和表面质量取决于脉冲当量数的大小。普通数控机床的脉冲当量一般为 0.001 mm,简易数控机床的脉冲当量一般为 0.01 mm,精密或超精密数控机床的脉冲当量一般为 0.000 1 mm,脉冲当量越小,数控机床的加工精度和表面质量越高。

③定位精度和重复定位精度。定位精度是指数控机床工作台或其他运动部件,实际运动位置