



21 世纪高职高专系列教材

ERSHIYI SHIJI GAOZHI GAOZHUAN XILIE JIAOCAI

数控机床

SHUKONG
JICHUANG

李奇涵 / 主 编



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS
WWW.NENUP.COM

东北师范大学出版社



21 世纪高职高专系列教材

ERSHIYI SHIJI GAOZHI GAOZHUAN XILIE JIAOCAI

数控机床

SHUKONG JICHUANG

李奇涵 / 主 编 ●

编 著：李奇涵 封面设计：王志军 责任编辑：王志军
 插图设计：王志军 插图设计：王志军
 设计：王志军 设计：王志军
 印刷：王志军 印刷：王志军
 装订：王志军 装订：王志军
 纸张：王志军 纸张：王志军
 颜色：王志军 颜色：王志军
 字体：王志军 字体：王志军
 字号：王志军 字号：王志军
 行距：王志军 行距：王志军
 版数：王志军 版数：王志军
 印数：王志军 印数：王志军
 开本：王志军 开本：王志军
 字数：王志军 字数：王志军
 定价：王志军 定价：王志军



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

WWW.NENUP.COM

东北师范大学出版社 长 春

内 容 提 要

本书结合当前数控机床的实际应用水平,从应用的角度系统地介绍了数控机床及相关的知识。书中比较全面、系统地介绍了数控机床应用的基本知识及数控机床的各个组成部分,包括数控机床的机械结构、计算机数控系统、伺服系统及位置检测装置;阐述了数控加工工艺基础知识;围绕数控机床的应用,简要介绍了数控机床数控编程的基本知识与方法,典型数控机床的结构与特点,以及数控机床合理地选用与使用;针对数控机床应用中的常见问题,介绍了数控机床故障诊断与维修的基本知识。全书结构完整,层次清晰,知识新颖,内容充实,可作为高等职业教育机电类专业中数控技术应用专业学生的教材,也可作为从事数控加工的工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床/李奇涵主编. —长春:东北师范大学出版社, 2006.9

ISBN 7 - 5602 - 4555 - 2

I. 数... II. 李... III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 071812 号

□责任编辑:王宏志 □封面设计:宋 超
□责任校对:曲 颖 □责任印制:张允豪

东北师范大学出版社出版发行
长春市人民大街 5268 号 (130024)
电话:0431—5687213 5691263
传真:0431—5691969
网址: <http://www.nenup.com>
电子函件: sdcbbs@mail.jl.cn

广告许可证:吉工商广字 2200004001001 号

东北师范大学出版社激光照排中心制版
制版热线:0431-5680137 0431-5693036 转 2098

吉林农业大学印刷厂印装
长春市新城大街 2888 号 (130118)

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:13.25 字数:310 千
印数:0 001 — 3 000 册

定价:16.00 元

如发现印装质量问题,影响阅读,可直接与承印厂联系调换

前 言

近年来,以柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、并行工程(CE)、精益生产(LP)、敏捷制造(AM)等为代表的先进制造技术正逐步实施,当前数控技术已成为现代先进制造技术的重要特征,作为以上各项现代化生产模式的最底层设备的数控机床是重要的生产设备。现代数控机床是集机械制造技术,信息处理、加工、传输技术,微电子技术,自动控制技术,伺服驱动技术,传感器技术和计算机技术为一体的综合产品,具有高效率、高精度、高柔性的特点。数控机床的合理运用直接关系到企业的生产组织、生产效率与生产质量,决定企业的竞争实力与发展潜力。

随着数控机床的普及和就业市场对数控人才需求的增加,全国各大高职院校纷纷开设数控机床或数控加工技术类课程。虽然相关的书籍很多,但其中不少在知识系统性、内容实践性方面特点不突出,适合高职学生学习的教材更是屈指可数。针对上述现状,编者在编写本书过程中,严格遵照高职高专应用型人才的工程素质培养要求,注重知识的完整性和先进性,突出职业教育的特点,旨在使学生比较全面系统地了解数控机床系统的整体结构、组成、基本工作原理,数控技术的基本知识,掌握数值处理、数控编程、数控加工等方面的知识,培养学生处理工程实际问题的应用能力。

基于上述考虑,作者根据多年教学实践和工程经验,对教材内容作了精心安排。全书共分九章。第1章为概述,第2章为数控机床的机械系统,第3章为数控机床的数控系统,第4章为数控机床的伺服系统及位移检测,第5章为数控加工工艺基础,第6章为数控加工编程基础,第7章为典型数控机床,第8章为数控机床的合理选用与应用,第9章为数控机床常见故障分析与排除。

本书第1、5、8章由长春工业大学李奇涵老师编写,第2章由吉林大学闫东清老师与刘临江老师编写,第3、4、6章由吉林大学陈永久老师编写,第7章由长春工业大学张丽敏老师编写,第9章由吉林大学郑福胜老师编写。全书由李奇涵老师统稿。

本书由长春工业大学程凯教授主审,对书稿进行了详细的审阅,并提出了许多宝贵意见。

本书可作为高职高专机械设计制造及其自动化有关专业学生教材,还可作为从事数控技术工作的工程技术人员、生产管理人员继续工程教育的培训教材及参考资料。

在编写过程中,作者查阅和引用了大量书籍、期刊以及技术资料,在参考文献中已

目 录

第 1 章 概 述	1
1.1 数控机床的产生与发展	1
1.2 数控机床的组成及工作原理	2
1.3 数控机床的分类	5
1.4 数控机床的特点及应用范围	8
1.5 数控机床和数控技术的发展趋势	11
第 2 章 数控机床的机械系统	18
2.1 概 述	18
2.2 数控机床的主传动系统	19
2.3 数控机床的进给传动系统	25
2.4 数控机床的自动换刀装置	36
2.5 数控机床的回转工作台	42
第 3 章 计算机数控装置	47
3.1 概 述	47
3.2 CNC 装置的硬件结构	50
3.3 CNC 装置的软件结构	55
3.4 CNC 系统的插补原理	58
3.5 CNC 系统的加减速控制	68
3.6 PLC 在数控系统中的应用	70
3.7 典型 CNC 装置的功能和特点	75
第 4 章 数控机床的伺服系统及位置检测	78
4.1 概 述	78
4.2 伺服系统的驱动元件	80
4.3 步进式伺服系统	85
4.4 直流和交流伺服系统	91
4.5 位置检测装置	94

第 5 章 数控加工工艺基础	105
5.1 数控加工工艺过程的基本知识	105
5.2 数控加工工艺设计	109
5.3 数控加工的工艺路线设计	113
5.4 数控加工工序的设计	121
5.5 数控加工工艺文件编制	131
第 6 章 数控加工编程基础	136
6.1 数控编程的基础知识	136
6.2 常用数控标准及代码	139
6.3 数控机床的坐标系	144
6.4 常用数控指令及编程方法	147
第 7 章 典型数控机床	153
7.1 数控车床	153
7.2 数控铣床	159
7.3 加工中心	165
第 8 章 数控机床的合理选用与应用	170
8.1 数控机床的选用	170
8.2 数控机床的安装与调试	173
8.3 数控机床精度检验与验收	177
8.4 数控机床管理与维护	184
第 9 章 数控机床故障诊断技术	189
9.1 数控机床故障排除的思路与原则	189
9.2 数控机床故障诊断与排除的基本方法	192
9.3 数控机床常见故障的判断及维修	195
9.4 数控诊断技术的最新发展	198
参考文献	203

第1章

概述

本章主要包括数控机床的产生、发展、工作原理、组成、分类方式、特点以及发展趋势等内容。学习中应重点掌握数控机床的工作原理、工作过程、柔性制造系统以及计算机集成制造系统的概念和构成等相关内容。

1.1 数控机床的产生与发展

数控机床是按照事先编制好的加工程序自动地对工件进行加工的高效自动化设备。它综合地应用了微电子、计算机、自动控制、精密检测、伺服驱动、机械设计与制造技术等多方面的最新成果，是典型的机电一体化产品。

1.1.1 数控机床的产生

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要求越来越高。因此，对机械制造产品的主要设备——数控机床提出了更高的要求，即高精度、高性能及高自动化等。在机械制造业中，单件和小批量的零件占机械加工总量的70%~80%。尤其在航空、航天、船舶、包装机械和军工产品等行业，不仅加工批量小，而且加工零件形状复杂，精度要求也高，还需要经常改型。如果这些产品仍采用专用的自动化机床来加工，则显得很不合适。经常改装和调试设备，对于专用的生产线来说，不仅会使产品的成本大大增加，工人的劳动强度增大，而且实现起来也非常困难，产品的质量和生产率也很难保证。

数控技术和数控机床就是为了解决单件小批量、精度高、复杂型面的零件加工的问题而产生的。数控机床是一种灵活、通用、能够适应产品频繁变化的“柔性”自动化机床。数控机床的研制始于20世纪40年代末的美国，当时世界上首台电子计算机的诞生，使数控机床的出现成为可能。1948年美国PARSONS公司和麻省理工学院（MIT）伺服机构研究所受美国空军的委托，进行合作研制。1952年研制成功世界上第一台用电子计算

机控制的三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床,研制过程中采用了自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等方面的技术成果。后来经过多次改进,于1955年实现产业化,并投放市场。它的成功研制不仅对复杂曲线、型面的加工起到了非常重要的作用,同时也推动了美国航空工业和军事工业的发展。当然,也为以后机械制造业的发展打下了良好的基础。

1.1.2 数控机床的发展

自第一台数控铣床问世至今的50多年里,随着电子技术的发展,数控系统也在不断地更新换代,先后经历了电子管(1952)、晶体管(1959)、小规模集成电路(1965)、大规模集成电路及小型计算机(1970)、微处理器或微型计算机(1974)和个人计算机(1990)等六代数控系统。前三代数控系统采用硬接线数控系统,即普通数控系统,简称NC系统。20世纪70年代初,随着计算机技术的发展,小型计算机价格急剧下降,出现了采用小型计算机代替硬件控制计算机的第四代数控系统,这种数控系统不仅在经济上更为合算,而且许多功能可用编好的专用程序来实现,并将它存储在小型计算机的存储器内,构成控制软件,它提高了系统的可靠性并扩展了功能,这种系统称为计算机数控系统,即CNC系统。1974年以微处理器为核心的数控装置的开发成功,称为第五代微型机数控系统,即MNC系统。第六代为1990年基于个人计算机(PC机),第四代以后的系统又称为软接线系统。

我国数控机床的研制始于1958年,20世纪60年代中期开始进入实用阶段。自20世纪80年代开始,我国先后从日本、美国、德国等国家引进了先进的数控系统及伺服系统新技术,进行了消化和吸收,并应用到机床上,推动了我国数控机床的发展,使我国数控机床在性能及可靠性等方面有了很大的飞跃。经过近20年的科技攻关,我国已经掌握了现代数控技术的核心内容。目前,我国拥有数控系统生产企业及研究所50余个,生产和开发数控机床的厂家近百家,生产的数控机床超过500种。

1.2 数控机床的组成及工作原理

1.2.1 数控机床的组成

如图1-1所示,数控机床一般由程序编制及程序载体、输入装置、数控装置(CNC)、伺服驱动及位置检测、辅助控制装置、机床本体等几部分组成。

1. 程序编制及程序载体

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即零件在机床上的安装位置,刀具与零件相对运动的尺寸参数,零件加工的工艺路线,切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,用由文字、数字和符号组

成的标准数控代码, 按规定的方法和格式, 编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行。对于形状复杂的零件, 则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程 (APT) 或 CAD/CAM 设计。

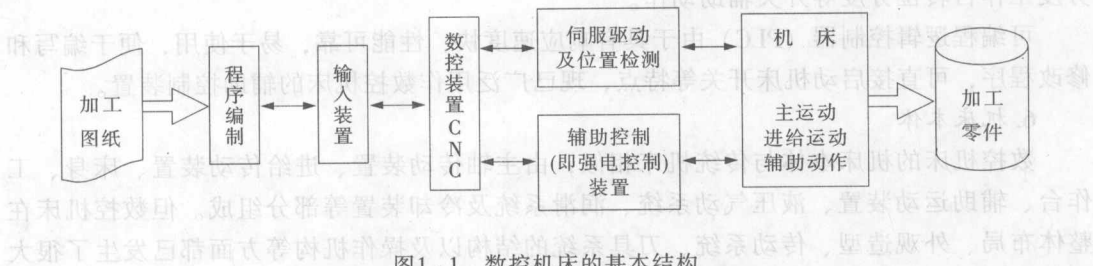


图1-1 数控机床的基本结构

编好的数控程序, 存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上, 它可以是穿孔纸带、磁带或磁盘等, 采用哪一种存储载体, 取决于数控装置的设计类型。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体 (信息载体) 上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制存储介质的不同, 输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控机床加工程序可通过键盘用手工方式直接输入数控系统, 也可由编程计算机用 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序的输入过程有两种不同的方式: 一种是边读入边加工 (数控系统内存较小时), 另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器, 加工时再从内部存储器中逐段调出进行加工。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序, 经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后, 输出各种控制信息和指令, 控制机床各运动部件, 按程序规定的要求进行动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成, 刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动, 即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据, 不能满足要求, 因此要进行轨迹插补, 控制各坐标轴 (即进给运动的各执行元件) 的进给速度、进给方向和进给位移量等。

4. 驱动装置和位置检测

驱动装置接受来自数控装置的指令信息, 经功率放大后, 严格按照指令信息的要求驱动机床移动部件, 以加工出符合图样要求的零件。因此, 它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。驱动装置包括控制器 (含功率放大器) 和执行机构两部分。目前, 大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来, 经反馈系统输入到机床的数控装置后, 数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较, 控制驱动装置按照指令设定值运动。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号, 经过编译、逻辑

判别和运动,再经功率放大后驱动相应的电器,带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令,刀具的选择和交换指令,冷却、润滑装置的启动停止,工件和机床部件的松开、夹紧,分度工作台转位分度等开关辅助动作。

可编程逻辑控制器(PLC)由于具有响应速度快,性能可靠,易于使用,便于编写和修改程序,可直接启动机床开关等特点,现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

6. 机床本体

数控机床的机床本体与传统机床相似,由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台、辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统及冷却装置等部分组成。但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了很大变化,这种变化的目的是为了满足不同数控机床的要求并充分发挥数控机床的特点。

1.2.2 数控机床的工作原理及过程

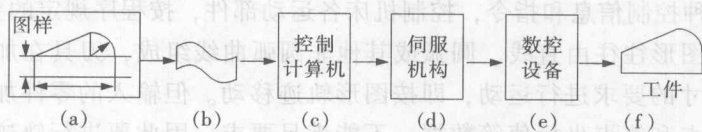
1. 工作原理

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和运算,按各坐标轴的分量送到各轴的驱动电路,经过转换、放大,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,当加工对象变化时,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,使生产周期过长。

2. 工作过程

数控机床加工零件的工作过程,其主要步骤如图1-2所示。



(a) 图样与工艺方案 (b) 加工程序 (c) 数控装置
(d) 驱动装置 (e) 机床 (f) 加工后的零件

图1-2 数控机床加工零件的过程

(1) 工作程序编制

数控机床的工作程序编制就是零件加工程序编制,即加工前,首先根据被加工零件图规定的零件的形状、尺寸、材料及技术要求等,确定零件加工的工艺过程和工艺参数(包括加工顺序、切削用量和位移数据),然后按照编程手册规定的代码和程序格式编写零件加工程序单(即编程卡片)。对于较简单的零件,通常采用手工编程;而对于形状复杂的零件,则要在编程机上进行自动编程或计算机编程。

(2) 程序输入

简易的数控机床的零件加工程序,通常由光电读带机读入数控装置。除了简单零件

的加工程序用手动数据输入 MDI (Manual Data Input) 方式,即用键盘直接将程序输入数控装置中,现在的全功能数控机床程序的读入既可通过磁盘驱动器,也可通过网络传输到数控装置中。

(3) 轨迹插补

加工程序输入到数控装置后,在数控装置内部控制软件的支持下,进行一系列的处理与计算(如轨迹插补运算等)。同时,将结果以脉冲信号的形式送往机床的伺服机构。一个零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成,刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动,即按图形轨迹移动。输入的零件加工程序只能是各线段的轨迹的起点和终点的坐标值等有限数据。所谓轨迹插补就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”,求出一系列中间点的坐标值,并向相应坐标输出脉冲信号。

(4) 伺服控制和机床加工

伺服控制的作用是根据不同的控制方式(如开环、闭环等),把来自数控装置插补输出的脉冲信号经过功率放大,通过驱动元件(如步进电动机、直流伺服电动机等)和机械传动机构,使机床的执行机构(运动部件)带动刀具或工件按规定的轨迹和速度进行加工。

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,一般可按下面的原则来分类。

1.3.1 按工艺加工方法分类

1. 金属切削类数控机床

与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应的数控机床有数控车床、数控铣床、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,具有较高的生产率和自动化程度。

在普通数控机床上加装一个刀库和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、镗、钻加工中心,就是在数控铣床的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,可以对零件大多数表面进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工,这种设备特别适合箱体类零件的加工。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,减少机床的台数和占地面积,缩短辅助时间,大大提高生产效率和加工质量。

2. 特种加工类数控机床

除了切削加工数控机床以外,数控技术也大量用于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、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

3. 板材加工类数控机床

常见的应用于金属板材类加工的数控机床有数控压力机、数控剪板机和数控折弯机等。

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

1.3.2 按控制运动的方式分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是机床的移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位,在移动和定位过程中不进行任何加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值,不控制点与点之间的运动轨迹,因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标点运动,也可以各个坐标单独依次运动。这类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。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度,沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工,进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。

直线控制的简易数控车床,只有两个坐标轴,可加工阶梯轴。直线控制的数控铣床有三个坐标轴,可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统,驱动动力头带有多轴箱的轴向进给进行钻镗加工,它也算是一种直线控制数控机床。

数控镗铣床、加工中心等机床的各个坐标方向的进给运动速度能在一定范围内进行调整,兼有点位和直线控制加工的功能,这类机床称为点位、直线控制的数控机床。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上运动的位移及速度进行连续相关的控制,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移,将工件加工成所要求的轮廓形状。

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、电火花加工机床以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。现代的全功能数控机床都具有轮廓控制功能。

1.3.3 按伺服装置的特点分类

1. 开环控制数控机床

图 1-3 所示的是开环控制数控机床系统框图。采用开环控制的数控机床,其控制系统没有位置检测元件,通常使用反应式步进电

动机或混合式伺服步进电动机作为伺服驱动部件。数控系统每发出一个进给指令,经驱动电路功率放大后,驱动步进电机转过一个角度,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与脉冲数决定的。此类数控机床的信息流是单向的,即进给脉冲发出以后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制数控机床。

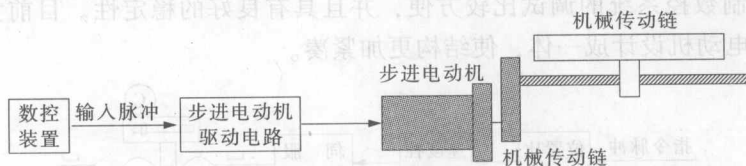


图1-3 开环控制数控机床系统框图

开环控制系统的数控机床结构简单,成本较低。但是,系统对移动部件的实际位移量不进行监测,也不能进行误差校正。因此,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。开环控制系统仅适用于加工精度要求不高的中小型数控机床,特别是简易经济型数控机床及旧机床的改造。

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置,直接对工作台的实际位移进行检测,将测量的实际位移值反馈到数控装置中,与输入的指令位移值进行比较,用差值对机床进行控制,使移动部件按照实际需要的位移量运动,最终实现移动部件的精确运动与定位。从理论上讲,闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度,与传动链的误差无关,因此其控制精度高。图1-4所示的是闭环控制数控机床的系统框图。图中A为速度传感器,C为直线位移传感器。当位移指令值发送到位置比较电路时,若工作台没有移动,则没有反馈量,指令值使伺服电动机转动,通过A将速度反馈信号送到速度控制电路,通过C将工作台实际位移量反馈回去,在位置比较电路中与位移指令值相比,用比较后得到的差值进行位置控制,直至差值为零。这类控制的数控机床,因把机床工作台滚珠丝杆、齿轮副等纳入了控制环节,故称为闭环控制数控机床。

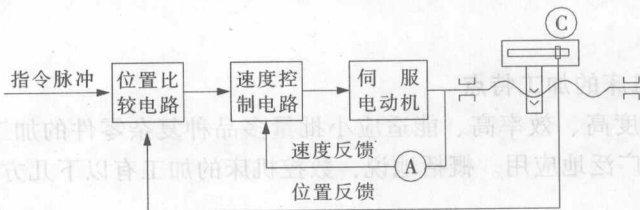


图1-4 闭环控制数控机床的系统框图

闭环控制数控机床的定位精度高,但调试和维修都比较困难,系统复杂,成本高,主要用于精度要求高的数控机床,如数控精密镗、铣床等。

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上或数控机床的传动丝杠上装有角位移检测装置(如光电编码器等),通过检测电动机轴(或丝杠)的转角,间接地检测移动部件

的实际位移,然后反馈到数控装置中去,并对误差进行修正。图 1-5 所示的是半闭环控制数控机床的系统框图。图中 A 为速度传感器, B 为角度传感器。通过测速元件 A 和光电编码盘 B 可间接地检测出伺服电动机的转速,从而推算出工作台的实际位移量,将此值与指令值进行比较,用差值来实现控制。由于工作台等没有包括在控制回路中,因而称为半闭环控制数控机床。

半闭环控制数控系统的调试比较方便,并且具有良好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体,使结构更加紧凑。

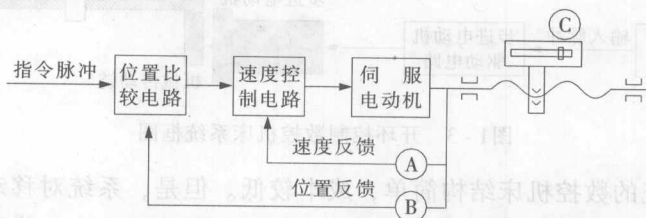


图 1-5 半闭环控制数控机床的系统框图

4. 混合控制数控机床

将以上三类数控机床的特点结合起来,就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机床特别适用于大型或重型数控机床,因为大型或重型数控机床需要较高的进给速度与相当高的精度,其传动链惯量与力矩大,如果只采用全闭环控制,机床传动链和工作台全部置于控制闭环中,闭环调试比较复杂。混合控制系统又分为以下两种形式:

(1) 开环补偿型。它的基本控制选用步进电动机的开环伺服机构,另外附加一个校正电路,用装在工作台上的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

(2) 半闭环补偿型。它用半闭环控制方式取得高精度控制,再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正,以获得高速度与高精度的统一。

1.4 数控机床的特点及应用范围

1.4.1 数控机床的加工特点

数控机床以精度高、效率高、能适应小批量多品种复杂零件的加工等优点,在机械加工中得到了日益广泛地应用。概括地说,数控机床的加工有以下几方面的优点。

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的变化而变化的适应能力。在数控机床上改变加工零件时,只需重新编制程序,输入新的程序后就能实现对新的零件的加工,而不需改变机械部分和控制部分的硬件,且生产过程是自动完成的。这就为复杂结构零件的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便。适应性强是数控机床最突出的优点,也是数控机床得以生产和迅速发展的主要原因。

2. 精度高

数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的,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。在设计制造数控机床时,采取了许多措施,使数控机床的机械部分达到了较高的精度和刚度。数控机床工作台的移动量普遍达到了 $0.01\sim 0.0001\text{ mm}$ 。高档数控机床采用闭环控制,数控机床的加工精度由过去的 $\pm 0.01\text{ mm}$ 提高到 $\pm 0.005\text{ mm}$,甚至更高。定位精度在90年代初中期已达到 $\pm 0.002\sim \pm 0.005\text{ mm}$ 。

3. 生产效率高

零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大,因此,数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量。由于数控机床允许进行大切削用量的强力切削,这就提高了数控机床的切削效率,节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快,工件装夹时间短,刀具可自动更换,辅助时间比一般机床少。在加工中心机床上加工时,一台机床实现了多道工序的连续加工,生产效率的提高更为显著。

4. 能实现复杂的运动

普通机床难以实现或无法实现三次以上的曲线或曲面的运动轨迹,如螺旋桨、汽轮机叶片之类的空间曲面。而数控机床则可实现几乎是任意轨迹的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。

5. 具有良好的经济效益

数控机床虽然设备昂贵,加工时分摊到每个零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。数控机床加工零件一般不需制作专用夹具,节省了工艺装备费用。数控机床加工精度稳定,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,使用数控机床可获得良好的经济效益。

6. 有利于生产管理的现代化

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息,特别是在数控机床上使用计算机控制,为计算机辅助设计、制造以及管理一体化奠定了基础。

1.4.2 数控机床的使用特点

1. 数控机床对操作维修人员的要求

数控机床采用计算机控制,驱动系统具有较高的技术复杂性,机械部分的精度要求也比较高。因此,要求数控机床操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和综合技术素质。

数控机床的加工是根据程序进行的,零件形状简单时可采用手工编制程序。当零件形状比较复杂时,编程工作量大,手工编程比较困难且容易出错,因此,必须采用计算机自动编程。所以,数控机床的操作人员除了应具有一定的工艺知识和普通机床的操作经验之外,还应对数控机床的结构特点和工作原理非常了解,具有熟练操作计算机的能力,需在程序编制方面进行专门的培训,考核合格才能上机操作。

数控机床的维修人员应有较高的理论知识和维修技术,要了解数控机床的机械结构,了解数控机床的电气原理及电子电路,还应有比较宽的机、电、气、液等专业知识,这样才能综合分析、判断故障的根源,正确地进行维修,保证数控机床的运行状况良好。因此,数控机床维修人员和操作人员一样,必须进行专门培训。

2. 数控机床对夹具和刀具的要求

数控机床对夹具的要求比较简单, 单件生产时一般采用通用夹具。批量生产时, 为了节省加工工时, 应使用专用夹具。数控机床的夹具应定位可靠, 可自动夹紧或松开工件, 还应具有良好的排屑、冷却性能。数控机床的刀具应该具有以下特点:

- (1) 具有较高的精度和耐用度, 几何尺寸稳定、变化小。
- (2) 刀具能实现机外预调和快速换刀, 加工高精度孔时要经试切削确定其尺寸。
- (3) 刀具的柄部应满足柄部标准的规定。
- (4) 很好地控制切屑的折断和排出。
- (5) 具有良好的可冷却性能。

1.4.3 数控机床的应用范围

数控机床具有许多一般机床不具备的优点, 而且它的加工范围在不断地扩大。但是, 数控机床初始投资大, 技术复杂, 维修费用高, 对操作维修人员及管理人員的素质要求也高, 还不能完全替代普通机床、组合机床和专用机床。所以, 在实际选用时, 一定要充分考虑其经济效益。

数控机床最适合加工具有以下特点的零件:

- (1) 多品种小批生产的零件。
- (2) 形状结构较复杂的零件。
- (3) 精度要求高的零件。
- (4) 生产周期短的急需零件。
- (5) 需要频繁改型的零件。
- (6) 批量大, 精度高的零件。

根据国内外数控机床的应用实践, 数控加工适用范围可用图 1-6 粗略地表示。

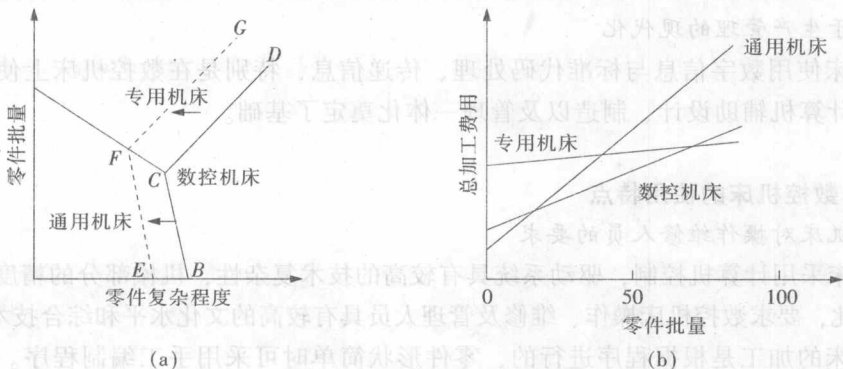


图 1-6 数控加工的适用范围

图 1-6 (a) 所示的是随零件复杂程度和生产批量的不同, 三种机床的应用范围变化。当零件复杂程度低, 生产批量较小时, 宜采用通用机床; 当生产批量很大时, 宜采用专用机床; 而在零件复杂程度较高的场合, 数控机床可得到很好地应用。目前, 随着数控机床的普及, 应用范围正由 BCD 线表示的范围向 EFG 线表示的范围扩大。

图 1-6 (b) 所示的是通用机床、专用机床和数控机床的零件加工批量与生产成本的关系。从图中可以看出, 在多品种、中小批量生产的情况下, 采用数控机床的加工费用更为合理。