



21世纪高等学校规划教材

数控技术基础

谭晓东 主编

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

21 世纪高等学校规划教材

数 控 技 术 基 础

谭晓东 主编

中 国 铁 道 出 版 社
北 京

内 容 简 介

本书基于数控技术的基础与实际应用,深入介绍了数控系统组成及原理、伺服系统、位置检测装置、数控系统中的 PLC 及应用、数控加工程序的编程方法,以及典型应用系统。本书在编写过程中注意与实际应用相结合,便于读者将所学知识综合应用。全书共分八章,每章均附有习题提供读者练习,以帮助读者进一步理解所学知识内容。

本书适用于高等院校机电一体化类专业的师生使用,也可供从事数控技术的工程技术人员和研究人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控技术基础/谭晓东主编. —北京:中国铁道出版社,
2007.8

ISBN 978-7-113-08186-7

I. 数… II. 谭… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 125017 号

书 名: 数控技术基础

作 者: 谭晓东 主编

策划编辑: 李小军

责任编辑: 李小军 杨 哲 电话: 51873314 电子信箱: ys@tdpress.com

封面设计: 崔丽芳

责任印制: 金洪泽

出版发行: 中国铁道出版社 地 址: 北京市宣武区右安门西街 8 号 邮政编码: 100054

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

版 次: 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

开 本: 730 mm×988 mm 1/16 印张: 16.5 字数: 400 千

印 数: 1~3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-08186-7/G·243

定 价: 22.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电 (010) 51873170 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504 路电 (021) 73187

前 言

本书着重叙述了数控编程的基础及方法、计算机数控装置、数控装置的轨迹控制原理、数控机床的伺服系统等方面的内容,同时还叙述了数控技术的基本概念、数控技术的发展等。本书介绍了数控技术的内容,重点突出,且全面系统。全书注重理论联系实际,各章既有联系,又有一定的独立性。每章均附有思考题,便于尽快掌握知识点。

本书为高等学校机电类专业本科生的教材,也可供研究设计单位、企业从事数控技术开发与应用的工程技术人员参考。

本书第一章、第四章、第五章由谭晓东编写;第六章由孙丽编写;第二章由蒋丹红编写;第三章、第八章由王道顺编写;第七章由王美娥编写。本书由谭晓东主编,李延珩主审。在编写中,参阅了有关教材、资料和文献,在此表示衷心的感谢。

在本书的编写中,得到了大连交通大学领导和其他教师的热情帮助,提出了不少宝贵意见;另外贺仕友、朱琳等在编写中付出了辛勤劳动,在此谨向他们表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中难免会有错误、疏漏之处,诚恳希望读者的批评指正。

编 者
2007 年 3 月

目 录

第一章 概 述	1
第一节 数控技术的产生	1
第二节 数控机床的分类与应用	6
第三节 数控机床的发展、发展趋势、要解决的问题	10
第二章 数控机床加工程序编制基础	21
第一节 数控编程概述	21
第二节 数控编程的指令代码	24
第三节 数控程序结构与格式	29
第四节 数控机床的坐标系与原点	31
第五节 数控程序编制中的工艺分析	40
第六节 数控程序编制中的数学处理	48
第七节 数控车床编程	59
第八节 加工中心的程序编制	68
第三章 计算机数控(CNC)系统	79
第一节 CNC 系统概述	79
第二节 CNC 的轨迹控制原理	100
第三节 刀具位置补偿和半径补偿	115
第四节 进给速度和加减速控制	124
第四章 数控机床的伺服系统	134
第一节 概 述	134
第二节 步进电机及其驱动装置	137
第三节 直流电动机伺服系统	143
第四节 交流伺服系统	150
第五节 主轴驱动系统	158
第六节 直线电动机伺服系统	161

第七节 位置控制系统.....	162
第五章 数控机床中的位置检测装置.....	169
第一节 旋转变压器.....	170
第二节 感应同步器.....	172
第三节 脉冲编码器.....	178
第四节 光 栅.....	184
第五节 磁 栅 尺.....	187
第六章 数控机床上的 PLC 控制技术	190
第一节 概 述.....	190
第二节 数控系统中的 PLC	195
第三节 SIEMENS 公司 SINUMERIK802 系列数控系统内装 PLC	198
第四节 PLC 在数控机床中的应用	204
第七章 数控系统在机床上的应用.....	211
第一节 数控机床的构成.....	211
第二节 全功能数控车床电气控制系统.....	215
第三节 数控车床梯形图程序实例.....	222
第八章 CNC 的输入输出与通信功能	240
参考文献.....	256

第一章 概 述

第一节 数控技术的产生

一、数控技术的产生

1946 年第一台电子计算机问世,标志着人类进入了信息化时代。科学技术和社会生产力的迅速发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求,特别是军事工业产品,如飞机螺旋桨叶片曲面的加工,对机械加工设备性能的要求越来越高。1948 年美国帕森斯公司提出了采用电子计算机实现机床控制,得到美国军方的支持和麻省理工学院机械伺服机构教研室的响应,于 1952 年成功地研制出了世界上第一台三坐标数控铣床,初步实现了机械加工的数字化。这种以计算机为依托以数字方式控制机床工作的控制技术称为数字控制技术,由这种技术构造的控制系统称为数控系统(Numerical Control),简称数控(NC)。由于近 20 年计算机的快速发展,数控系统已经全部计算机化,所以现在又将数控称为计算机数控(Computer Numerical Control),简称 CNC。将由数控系统控制的机床称为数控机床。

二、数控机床产生的影响

数控机床的应用不仅能提高产品质量、提高生产率、降低生产成本,还能够极大地改善生产者的劳动条件。

以往许多企业,诸如汽车、拖拉机、家用电器等制造厂,广泛采用了自动机床、组合机床和以专用机床为主体的自动生产线;用多刀、多工位和多面同时加工,长时间地进行着单一产品零件的高效率和高度自动化的生产。尽管这种生产方式需要巨大的初始投资和很长的生产准备周期,但在大批量的生产条件下,由于分摊在每一个加工零件上的加工费用很少,经济效益仍然是十分显著的。

但是,随着市场竞争的日益激烈,产品的生命周期越来越短,新产品开发的周期也越来越短且产品的种类越来越多。单件与小批生产的零件在生产中所占的比重越来越大,占机械加工总量的 80% 左右。尤其是航空、航天、船舶、机床、重型机械、食品加工机械、包装机械和军工等产品,不仅加工批量小,而且加工零件形状比较复杂,精度要求也很高,还需要经常改型。如果仍采用专用化程度很高的自动化机床加工这类产品的零件就显得很不合理。经常改装和调整设备,对于专用生产线来说,不仅会大大提高产品的成本,甚至是不可能实现的。

多年来已经使用的各类仿形加工机床部分地解决了中小批量复杂零件的加工,但在更换零件时必须制造靠模和调整机床,这不但耗费了大量的手工劳动,增加了生产准备周期,而且靠模误差的影响使加工零件的精度很难达到较高的要求。

为了解决上述的问题,以实现多品种、小批量产品零件的自动化生产和柔性化生产,要求采用一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁改型的“柔性”自动化机床或由其组成的柔性化生产系统。

三、数控机床的组成和工作原理

数控机床的工作过程是将加工零件的几何信息和工艺信息进行数字化处理,即对所有的操作步骤(如机床的启动或停止、主轴的变速、工件的夹紧或松开,刀具的选择和交换、切削液的开或关等)和刀具与工件之间的相对位移,以及进给速度等都用数字化的代码表示。在加工前由编程人员按规定的代码将零件的图纸编制成程序,然后通过程序载体(如穿孔带、磁存储器和半导体存储器等)或手工直接输入(MDI)方式将数字信息送入数控系统的计算机中进行寄存、运算和处理,最后通过驱动电路由伺服装置控制机床实现自动加工。数控机床最大的特点是当改变加工零件时,原则上,只需要向数控系统输入新的加工程序,而不需要对机床进行人工的调整和直接参与操作,就可以自动地完成整个加工过程。

数控机床通常由以下几部分组成,其原理框图如图 1-1 所示。

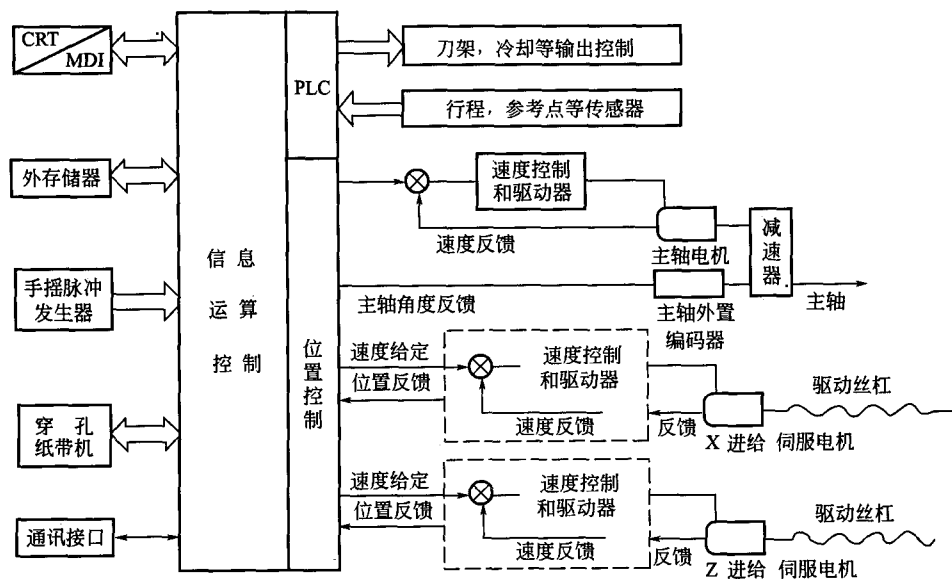


图 1-1 数控机床原理框图

1. 信息的输入输出

信息的输入是将机床的各种设置参数和数据、加工零件程序通过输入设备输送到系统的运算及控制部分,输入方式有纸带阅读机、磁带机、键盘、手摇脉冲发生器、通过通讯接口连接的外部编程计算机等。一般在现场采用键盘输入方式;当零件程序复杂时,采用计算机辅助编程后通过通讯口输入;当工厂或车间具有完备的网络系统时,可以通过网络实现数据和程序的下载。穿孔纸带和磁带因其方便性可靠性差现在使用的越来越少。信息输出最直观的就是在显示器上显示;信息的外部存储方式有磁盘、光盘、U 盘等,目前的数控系统大多采用通讯接口或网络接口实现数据的传递与保存。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的关键环节,它能完成信息的存储、运算、产生控制命令等,由 CPU、存储器、总线、输入输出接口等构成。它实际上是一台专用计算机。首先接受输入装置送来的数据和零件加工程序并存储到存储器中,通过数控装置的逻辑电路或计算机数控的系统软件进行译码和寄存,将这些指令和数据作为控制与运算的原始依据,并将有关数据进行运算和处理即进行加工轨迹的插补运算和刀具补偿运算,输出各种信号和指令。这些命令中最基本的是与各坐标轴位移量相对应的位移脉冲数,经驱动电路送至伺服控制装置,使各坐标轴完成刀具相对工件的进给运动。

3. 开关量输入输出装置

数控机床除了实现加工零件轮廓轨迹控制外,还有其他许多控制动作。开关量输入输出装置的主要功能是接受数控装置所控制的内置式可编程控制器(PLC)输出控制命令,如主轴换向、启动或停止,刀具的选择和更换,刀具的选择和更换,分度工作台的转位和锁紧,工件的夹紧或松夹,切削液的开或关等辅助操作的信号,经功率放大直接驱动相应的执行元件,诸如接触器、电磁阀等,从而实现数控机床在加工过程中的全部自动操作。

数控机床的进给运动位置通过位置反馈元件输入到数控系统。一些开关量信号如限位开关信号、原位信号、压力继电器信号等输入到 PLC 的输入接口上。

4. 伺服控制装置和位置反馈

伺服控制装置接受来自数控装置运算处理的位置控制信息,将其转换成相应坐标轴的进给运动和精确定位运动,经过驱动电路将信号进行转换、放大驱动各个坐标的伺服电机,并且随时检测伺服电机或工作台的实际运动位置,作为速度反馈和位置反馈进行闭环控制。由于伺服控制装置是数控机床的最后控制环节,它的伺服精度和动态响应特性将直接影响数控机床的生产率、加工精度和表面加工质量。

目前,常用的伺服驱动器件有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。由于交流伺服电动机具有良好的性能价格比,已被广泛采用。位置反馈元件有旋转变压器、光电编码器等。

5. 机床本体

机床本体包括机床的主运动部件、进给运动部件、刀具装置、机床底座、立柱、尾架等。与传统的普通机床相比,数控机床在整体布局、外部造型、主传动系统、进给传动系统、刀具系统、支承系统和排屑系统等方面有着很大的差异。这些差异是为了更好地满足数控技术的要求,并充分适应数控加工的特点。因此,必须建立数控机床设计的新概念。通常在机床的精度、静刚度、动刚度和热刚度等方面提出了更高的要求,而传动链则要求尽可能的简单,从而减小传动误差。为了保证进给运动不滞后,获得高精度位移(0.001 mm),进给传动系统一般都采用精密滚珠丝杠、精密滚动导轨副等。

四、数控机床的技术支撑

数控机床的诞生和发展都依赖于相关技术的问世和不断进步。因此,数控机床是综合了当今世界上许多领域最新的技术成果。主要包括精密机械、计算机及信息处理、自动控制及伺服驱动、精密检测及传感和网络通讯等技术。这些技术的核心是由微电子技术向精密机械技术渗透所形成的机电一体化技术。

1. 精密机械技术

精密机械技术是数控机床的基础,因此不断发展各种新的设计计算方法和新型结构,采用新型材料和新工艺,以使新一代数控机床的主机具有高精度、高速度、高可靠性、体积小、质量小、维修方便和价格低廉的机械结构。

2. 计算机及信息处理技术

包括计算机软件和计算机硬件技术、数据库技术,以及网络通信技术,而信息处理技术包括信息的存取、运算、判断、决策和交换。数控系统中计算机指挥和管理整个系统的有序运行,信息处理的高速、及时和正确将直接影响系统的工作质量和效率。因而,计算机技术的发展已成为数控机床发展和变革的最活跃的因素。目前的数控系统还引入人工智能、专家系统、模糊控制、人工神经网络和仿真等技术。除了计算机技术自身的继续发展外,数控机床的智能化为组成柔性制造系统(Flexible Manufacturing System,简称 FMS)提供了重要的技术保证。

3. 自动控制理论和伺服驱动技术

自动控制理论和伺服驱动技术对数控机床的功能、动态特性和控制品质具有决定性的影响。在对一个具体的控制装置或系统的设计、仿真和现场调试中,自动控制理论具有重要的理论指导作用。在伺服速度环控制中采用前馈控制,使传统的位置环偏差控制的跟踪滞后现象得到很大改善,而且增加了系统的稳定性和伺服精度。为了适应不同类型数控机床复杂的控制算法,伺服系统的位置环和速度环都采用软件控制。伺服驱动技术已经历了好几代的发展,目前交流伺服电动机驱动已逐步取代其他的伺服驱动,而且向智能化的数字伺服技术发展。与交流伺服电动机驱动技术相配套的是电力电子技术,它提供了瞬时输出很大的峰值电流和完善的保护功能。

4. 精密检测和传感技术

精密检测和传感技术一直是闭环和半闭环控制系统中的关键技术,检测和传感装置则是实现自动控制的关键环节之一。精密检测和传感的精度与功能直接影响自动控制的品质,在精度补偿方面发挥重要作用。精密检测的关键器件是传感器,数控系统要求传感器能快速、精确地获取信息,并能在各种各样的工作环境下可靠运行。

5. 网络和通信技术

随着计算机网络技术在通信领域的广泛应用,正在对数控机床和以数控机床为基础的柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell,简称FMC)、柔性制造系统(FMS)乃至计算机集成制造系统(Computer Intergrated Manufacturing System,简称CIMS)产生重大而深远的影响。通过网络仿真使零件从概念到在数控机床上完成加工的全部过程已在工业化国家成功实现,并在充分实现信息资源共享方面为数控机床的加工带来越来越明显的效益。通过电子邮件等方式进行无纸化的远程管理和监控,可以方便地进行产品的异地加工、装配和调试。

五、数控机床的特点

1. 数控机床是一种高度自动化、高效率、高精度的机床。当加工对象改变时,只要改变数控加工零件程序,而不必更改任何硬件,具有很大的柔性。因此生产准备周期短,有利于产品的更新换代,提高适应市场的能力。另外数控机床占用的工装夹具少,可减少在制品,有利于提高企业的经济效益。

2. 数控机床加工的零件一致性好,加工精度高,加工质量稳定。数控机床按照事先设计好的程序进行自动加工,加工过程不需要人工干预。数控机床本身的刚性好,精度高,如果再利用软件进行精度校正和补偿,可以获得比机床本身精度还要高的加工精度和重复精度。

3. 数控机床能实现复杂曲面零件的加工。因此数控机床首先在航空、航天领域获得应用;数控加工中心在模具加工中大量使用,尤其在涡轮叶片及螺旋桨叶片的加工中成为必不可少的高效加工设备。

4. 数控机床的生产效率高。第一,在数控机床上可以采用较大的切削用量,有效地节省了机动时间,还具有自动变速、自动换刀、自动交换工件和其他自动化辅助功能,使辅助时间缩短,而且无需工序间的检测和测量。故比普通机床的生产率提高3至4倍,甚至更高。

5. 一机多用,工序高度集中。好多数控机床将多种机床功能(钻、铣、镗)合一,加上自动换刀系统,形成复合加工中心,如立卧复合式加工中心。可以减少装夹误差,节约工序之间的运输、测量、装夹等辅助时间。

6. 数控机床大多具有通讯功能或网络功能,易于构造柔性制造系统(FMS)乃至计算机集成制造系统(CIMS)。充分实现信息资源共享为数控机床的加工带来更明

显的效益。通过电子邮件等方式进行无纸化的远程管理和监控,可方便地进行产品的异地加工、装配和调试;可实现远程监控和诊断,实现敏捷售后服务。

第二节 数控机床的分类与应用

随着数控技术的发展,数控机床出现了许多分类方法,但通常按以下最基本的三个方面进行分类:

一、按工艺用途分类

按工艺用途分类,最常用的数控机床为数控钻床、数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床和数控齿轮加工机床等金属切削类机床。尽管这些机床在加工工艺方面存在着很大差异,具体的控制方式也各不相同,但它们都适用于单件、小批量和多品种的零件加工,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。除了金属切削加工的数控机床外,数控技术也大量用于冲床、压力机、弯管机、折弯机、线切割机床、焊接机、火焰切割机、等离子切割机、激光切割机和高压水切割机等非金属切削机床。近年来在非加工设备中也大量采用数控技术,其中最常见的有自动装配机、多坐标测量机、自动绘图机和工业机器人等。

由于企业对加工精度和生产率提出了更高的要求,工艺集中的原则正在被采纳,出现了各种类型的加工中心机床。加工中心不但具有一般数控机床的所有功能,而且还带有刀库和自动换刀装置,打破了在一台数控机床上只能完成一两种工艺的传统概念。以铣削加工中心为例,在数控铣床上增加了一个较大容量的刀库和自动换刀装置,工件在一次装夹后,可以对零件的大部分加工表面进行铣削、镗削、钻孔、扩孔、铰孔和攻螺纹等多工艺加工。近年来还出现了五面体加工中心机床,在一次装夹中可以完成除安装面以外的箱体类所有表面的加工。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多次装夹造成的定位误差,而且减少了机床的台数和占地面积,极大地提高了生产率和加工自动化程度。

按工艺用途的分类方法可以为不断开发数控机床的新产品发挥重要的指导作用。

二、按运动方式分类

1. 点位控制

点位控制数控机床的特点是机床的运动部件只能够实现从一个位置到另一个位置的精确运动,在运动和定位过程中不进行任何加工工序。数控系统只需要控制行

程的起点和终点的坐标值,而不控制运动部件的运动轨迹,因为运动轨迹不影响最终的定位精度。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。为了尽可能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。最典型的点位控制数控机床有数控钻床,数控坐标镗床、数控点焊机和数控弯管机等。使用数控坐标镗床加工零件可以节省大量钻模板的费用,并能达到较高的孔距精度。图 1-2 为典型的点位控制数控钻床加工示意图。

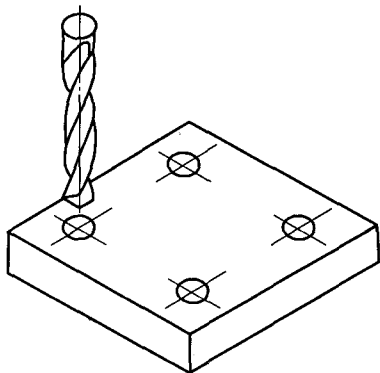


图 1-2 点位控制数控钻床加工示意图

2. 点位直线控制

点位直线控制见图 1-3,特点是机床的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。在数控镗床上使用点位直线控制可以扩大镗床的工艺范围,能够在一次安装中对棱柱形工件的平面与台阶进行镗削加工,然后再进行点位控制的钻孔、镗孔等加工,有效地提高了加工精度和生产率。

数控铣床、数控车床、数控磨床和各类数控切割机床是典型的轮廓控制数控机床,它们取代了所有类型的仿形加工,提高了加工精度和生产率,并极大地缩短了生产准备时间。

近年来,随着计算机技术的发展,软件功能的不断完善,可以通过计算机插补软件实现多坐标联动的轮廓控制。图 1-4 是轮廓控制数控机床加工示意图。

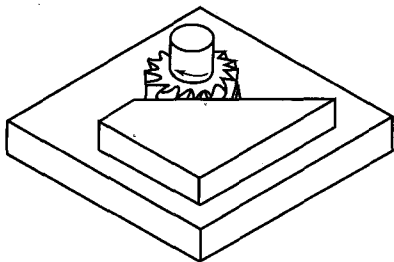


图 1-3 点位直线控制数控机床加工示意图

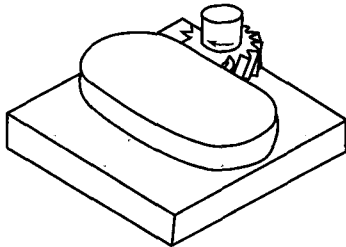


图 1-4 轮廓控制数控机床加工示意图

3. 轮廓控制

轮廓控制(又称连续控制)数控机床的特点是机床的运动部件能够实现两个或两个以上的坐标轴同时进行联动控制。它不仅要求控制机床运动部件的起点与终点坐

标位置,而且要求控制整个加工过程每一点的速度和位移量,即要求控制运动轨迹,将零件加工成在平面内的直线、曲线表面或在空间的曲面。轮廓控制要比点位控制更为复杂,需要在加工过程中不断进行多坐标轴之间的插补运算,实现相应的速度和位移控制。

现在插补功能已变得比较容易。按运动方式的分类除了系统是否提供插补功能外,还取决于数控机床的工艺需要以及机械功能部件的结构差异。目前,大多数控系统都具有轮廓加工控制功能。

三、按控制方式分类

1. 开环控制

开环控制是指不带位置反馈装置的控制方式。由功率步进电动机作为驱动器件的运动系统是典型的开环控制。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,再经过机械传动链,实现运动部件的直线移动或转动。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。

开环控制具有结构简单和价格低廉等优点。但通常输出的扭矩值的大小受到了限制,而且当输入较高的脉冲频率时,容易产生失步,难以实现运动部件的快速控制。开环控制对运动部件的实际位移量是不进行检测的,因而不能进行运动误差的校正,步进电动机的步距角误差、齿轮和丝杠组成的传动链误差都将直接影响加工零件的精度。目前,开环控制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。但近年来由于发展了步进电动机的细分技术,出现了专用的细分功率驱动模块,步进电动机在低扭矩、高精度、速度中等的小型设备的驱动控制中得到了广泛应用,特别是在微电子生产设备中充分发挥了它的独特的优势。图 1-5 是开环控制的系统框图。

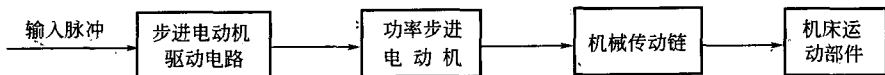


图 1-5 开环控制的系统框图

2. 半闭环控制

半闭环控制是在伺服电机轴上装有角位移检测装置,通过检测伺服电动机的转角间接地检测出运动部件的位移(或角位移)反馈给数控装置的比较器,与输入指令进行比较,用差值控制运动部件。随着脉冲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可以方便地直接与直流或交流伺服电动机同轴安装,特别是高分辨率的脉冲编码器的诞生,为半闭环控制提供了一种高性能价格比的配置方案。由

于惯性较大的机床运动部件不包括在该闭环之内,控制系统的调试十分方便,并具有良好的系统稳定性。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。但由于半闭环控制将运动部件的机械传动链不包括在闭环之内,机械传动链的误差无法得到校正或消除。可幸的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用户的需要。因此,在一般情况下,半闭环控制正在成为首选的控制方式被广泛采用。图 1-6 是半闭环控制的系统框图。

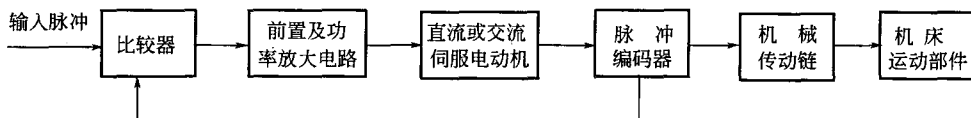


图 1-6 半闭环控制的系统框图

3. 闭环控制

闭环控制是在机床最终的运动部件的相应位置直接安装直线或回转式检测装置,将直接测量到的位移或角位移值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。闭环控制的主要优点是将机械传动链的全部环节都包括在闭环之内,因而从理论上说,闭环控制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。很明显其控制精度将超过半闭环系统,这就为高精度数控机床提供了技术保障。但闭环控制除了价格较昂贵之外,对机床结构及传动链仍然提出了严格的要求,传动链的刚度、间隙,导轨的低速运动特性,以及机床结构的抗震性等因素都会增加系统调试的困难,甚至使伺服系统产生振荡,降低了稳定性。图 1-7 是闭环控制的系统框图。

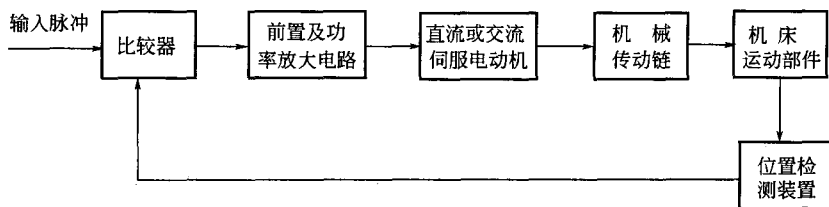


图 1-7 闭环控制的系统框图

四、数控机床的精度与应用范围

1. 数控机床的精度

数控机床的精度主要是指加工精度、定位精度和重复定位精度。由于数控机床是以数字的形式给出相应的脉冲指令进行加工,数控机床的脉冲当量(即每输出一个脉冲,数控机床各运动部件的位移量或角位移量)代表机床的精度。按不同精度等级

的数控机床的要求,脉冲当量通常为 $0.01 \sim 0.0005 \text{ mm/脉冲}$ 。长期的实践表明,一般中、小型数控机床(非精密型)的加工精度值约为脉冲当量的 10 倍,因此数控机床的加工精度通常为 $0.1 \sim 0.005 \text{ mm}$ 。在一般情况下定位精度通常是加工精度的 $1/2 \sim 1/3$,因此数控机床的定位精度通常为 $0.05 \sim 0.0025 \text{ mm}$ 。而重复定位精度通常是定位精度的 $1/2 \sim 1/3$,因此数控机床的重复定位精度通常为 $0.025 \sim 0.001 \text{ mm}$ 。对于较大尺寸的零件加工的数控机床一般很注重定位精度,而对中、小型零件在考核加工尺寸的一致性时一般更注重重复定位精度。从总体上说,由于数控机床的传动系统和机床结构具有很高的静、动刚度和热稳定性,机床本身的零部件具有很高的加工精度,特别是数控机床的自动加工方式避免了操作者人为的误差,因此同一批加工零件的尺寸一致性非常好,加工质量稳定、产品合格率高。

2. 数控机床的应用范围

数控技术已经渗透到许多领域。随着计算机技术的高速发展,计算机的性能日益提高,而价格却不断下调,因而促使数控机床的价格也不断下降。在原来由于价格因素而不采用数控技术的机床门类也开始大量采用数控技术。因此,一般情况下目前已经很难寻找到某一类型的机床或某个领域的设备不宜采用数控技术。长期以来人们传统的观念认为数控机床只有用于加工多品种、小批量以及结构形状复杂的零件时才能获得良好的经济效益。然而,目前人们的观念正在发生变化,一些大批量以及结构形状不太复杂的零件在使用数控机床以后也同样能获得很好的效益。最典型的大量生产的汽车工业,目前已普遍使用数控机床和设备进行流水生产。

数控机床对于加工多品种、中小批量以及结构形状复杂的零件,那些需要频繁改型的产品零件则更具有选用价值。数控机床的柔性和加工精度的稳定性是其他非数控机床所无法比拟的。

第三节 数控机床的发展、发展趋势、要解决的问题

数控系统自诞生经历了从硬件数控到计算机数控两个阶段即从电子管数控到基于通用计算机平台的开放式、网络化数控的发展,数控机床的控制轴数已由单轴的点位控制,两轴联动发展到多轴联动。由于计算机技术的飞速发展使得许多数控机床已具有自适应控制、自动检测、软件精度补偿、自动换刀、自动交换工件、动态图形显示、现场编程、机床故障自诊断及网络监控与网络故障诊断等功能。

一、数控机床的发展

1. 机床本体的发展

数控机床的结构已经从在传统的机床上配备数控系统,并进行某些结构的改进

而成为一台数控机床的阶段发展到了数控机床结构的专门设计与制造。提高了机床结构刚度、抗震性、抗热变形性以及低速爬行等传统机床的弱点。如进给传动链消除间隙的装置,同时采用滚珠丝杠传动和滚动导轨以消除低速爬行,实现微量进给以保证数控机床很高的重复定位精度。

数控加工中心机床的开发,大幅度提高了机床的功能和加工能力。它是在一般数控机床(如镗床、铣床和车床等机床)上加装刀具数量不等的刀库和自动换刀装置。工件在一次装夹中可以连续地进行铣、镗、钻、铰以及攻螺纹等多工序的加工。20世纪70年代后期在数控加工中心机床的基础上又发展了五面体加工中心。它的设计思想是为了在一次装夹中

完成除了安装底面以外的所有表面和精密孔系加工。由于采用了刚性极好的床身、立柱等结构(有些五面体加工中心采用了龙门式框架结构)和立式/卧式转换主轴部件或立式/卧式一体化主轴部件,对于箱体零件、模具和缸体缸盖等工件具有很高的加工精度、机床利用率和综合经济效益。图1-8为龙门式五面体加工中心示意图。

近年开发的六杆数控机床改变了传统的机床结构和布局见图1-9。重量较轻的

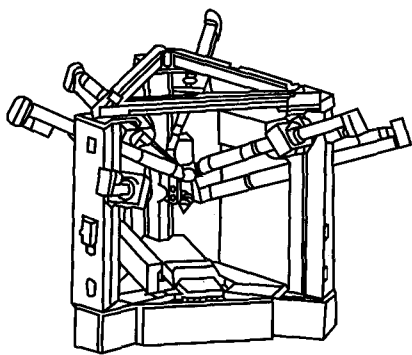


图 1-9 Miknmmt 六杆加工中心示意图

这种六杆机床的控制相对比较复杂,主要要求坐标变换的计算速度快,计算精度高。由于当代计算机技术的飞速发展使得数控系统已经能够完成高速坐标运算的计算工作。并在高速数字化伺服系统的保证下实现快速运动和精确定位。蛭平台式的

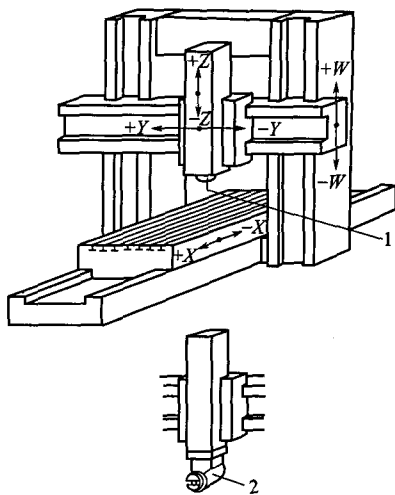


图 1-8 龙门式五面体加工中心
1—镗铣主轴;2—卧式主轴

主轴部件和切削刀具由六根杆件分摊受力,具有比传统结构更高的刚度。特别在高速运动时,由于运动部件的质量大幅度减小,改善了机床的动态特性,更显示了它的优点。六杆数控机床还避免了传统机床的几何结构误差,六杆结构使误差平均化,因而能够达到很高的重复定位精度。由于采用虚拟轴实现刀具与工件的定位,使工件的装夹和调整大为简化。

六杆数控机床的结构较简单,而且由六套完全相同的功能部件构成,易于模块化和标准化,使机床的生产周期缩短、维护方便、使生产成本下降。