



全国高职高专数控专业(机电专业)教学通用教材

数控机床的机械结构与维修

SHUKONG JICHUANG DE JIXIE JIEGOU YU WEIXIU

主编 韩鸿鸾 主审 崔兆华



SKJCDJXJGYWX



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

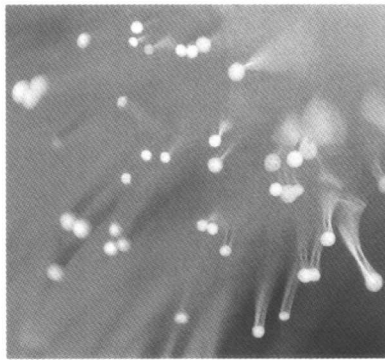


全国高职高专数控专业(机电专业)教学通用教材

数控机床的机械结构与维修

SHUKONG JICHUANG DE JIXIE JIEGOU YU WEIXIU

主编 韩鸿鸾 主审 崔兆华



山东科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

数控机床的机械结构与维修 / 韩鸿鸾主编. — 济南:
山东科学技术出版社, 2005.9
全国高职高专数控专业 (机床专业) 教学通用教材
ISBN 7-5331-4158-X

I . 数... II . 韩... III . ①数控机床 - 结构 - 高等
学校: 技术学校 - 教材②数控机床 - 维修 - 高等学校:
技术学校 - 教材 IV . TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 094901 号

全国高职高专数控专业 (机电专业) 教学通用教材
数控机床的机械结构与维修

主编 韩鸿鸾

主审 崔兆华

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531)82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdpress.com.cn

发行者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531)82098071

印刷者: 山东华鑫天成印刷有限公司

地址: 潍坊市经济技术开发区

邮编: 261031 电话: (0536)2250617

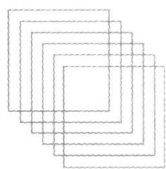
开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 18.25

版次: 2005 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 7-5331-4158-X TG · 26

定价: 30.00 元



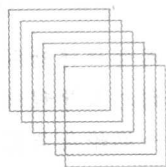
前 言

数控机床是现代机械工业的重要技术装备,也是先进制造技术的基础装备。随着微电子技术、计算机技术、自动化技术的发展,数控机床也得到了飞速发展,在我国几乎所有的机床品种都有了数控机床,并且发展了一些新的品种。由于机床数控系统技术复杂,种类繁多,数控机床的“使用难、维修难”问题,已经是影响数控机床有效利用的首要问题。职业学校对于数控机床使用、维修人员的培养已成了当务之急。为此,我们应广大职业技术教育界的要求,编写了本教材。

本书由韩鸿鸾主编,崔兆华主审。其中第一章由刘书峰、孙翰英编写,第二章由王小红、李春骛、刘书峰编写,第三章由石磊、刘芒果编写,第四章、第五章、第六章、第八章由韩鸿鸾、刘同森编写,第七章由王吉明、韩长军编写,第九章由隋学圃、董明华编写。全书由韩鸿鸾统稿。本书在编写过程中得到了山东省各职业院校、技术学院及普通高等院校的大力支持,得到了南京数控培训中心与南京工程学院的大力帮助,在此深表谢意。

由于编写时间仓促,再加上编者水平有限,书中缺陷乃至错误在所难免,恳请广大读者给予批评指正。

编 者



目 录

第一章 数控机床概述	1
第一节 数控机床的产生和发展	1
第二节 数控机床的特点及主要技术指标	7
第三节 数控机床的组成与工作原理	10
第四节 数控机床的分类	13
第五节 数控机床的购置	18
第六节 数控机床的安装和调试	25
第七节 数控机床的验收	29
第八节 数控机床的使用	36
思考与练习题	39
第二章 数控机床的管理与维护	40
第一节 数控机床的维修管理	40
第二节 数控机床的维护	48
第三节 数控机床故障诊断方法	52
第四节 数控机床常用故障检测仪器	61
思考与练习题	64
第三章 数控机床的主传动系统	66
第一节 概述	66
第二节 数控机床主传动系统	67
第三节 主轴组件	71
第四节 主轴准停功能	83
第五节 传动带	87
第六节 主传动部件的调整与维护	89
第七节 数控机床主传动系统的维修实例	93
思考与练习题	101
第四章 数控机床的进给传动系统	102
第一节 概述	102
第二节 齿轮传动副	105

第三节	数控机床用丝杠传动副	108
第四节	齿轮齿条副与双导程蜗杆副传动	116
第五节	静压蜗杆—蜗轮条与直线电机传动	121
第六节	机床导轨	124
	思考与练习题	131
第五章	自动换刀装置	133
第一节	概述	133
第二节	刀架换刀	136
第三节	刀库与机械手换刀	143
第四节	更换主轴换刀与更换主轴箱换刀	158
	思考与练习题	160
第六章	数控机床的液压与气动装置简介	161
第一节	数控机床上液压系统的构成及其回路	161
第二节	典型数控机床的液压回路分析	173
第三节	数控机床上常见液压故障的维修	180
第四节	数控机床上气压系统的构成及其回路	185
第五节	数控机床上典型气压回路分析	189
第六节	数控机床上常见气压故障的维修	194
	思考与练习题	196
第七章	数控机床的辅助机构	197
第一节	数控机床用工作台	197
第二节	高速动力卡盘、尾座与分度头	208
第三节	其他辅助装置	212
	思考与练习题	217
第八章	常用数控机床介绍	218
第一节	数控车床	218
第二节	数控铣床	227
第三节	加工中心	232
第四节	电火花成形加工机床	238
第五节	电火花线切割机床	243
	思考与练习题	248
第九章	数控机床的维修实例	249
第一节	主传动系统的维修实例	249
第二节	进给传动系统的维修实例	252

第三节 自动换刀装置的维修实例	258
第四节 辅助装置的维修实例	264
第五节 液压与气压装置的维修实例	269
思考与练习题	279
参考文献	280

第一章 数控机床概述

第一节 数控机床的产生与发展

一、数控机床的产生

科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化是实现上述要求的最重要措施之一。

在机械制造业中并不是所有的产品零件都具有很大的批量,单件与小批量(10~100件)生产的零件约占机械加工总量的80%以上。尤其是在造船、航天、航空、机床、重型机械以及国防部门,其生产特点是加工批量小,改型频繁,零件的形状复杂而且精度要求高,采用专用化程度很高的自动化机床加工这类零件就显得很不合理,因为生产过程中需要经常改装与调整设备,对于专用生产线来说,这种改装与调整甚至是不可能实现的。

为了解决上述这些问题,来满足多品种、小批量的自动化生产,迫切需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床。

数字控制(Numerical Control,简称NC或数控)机床就是在这样的背景下诞生与发展起来的。它极其有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

根据国家标准 GB/T8129-1997 机床数字控制的定义:用数字数据的装置(简称数控装置),在运行过程中,不断地引入数字数据,从而对某一生产过程实现自动控制,叫数字控制,简称数控。用计算机控制加工功能,实现数字控制,称为计算机数控(Computerized Numerical Control,缩写CNC)。

数控机床即是采用了数控技术的机床,或者说装备了数控系统的机床。从应用来说,数控机床就是将加工过程所需的各种操作(如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、选择刀具、供给冷却液等)和步骤,以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码来表示,通过控制介质将数字信息送入专用的或通用的计算机,计算机对输入的信息进行处理与运算,发出各种指令来控制机床的伺服系统或其他执行元件,使机床自动加工出所需要的零件。数控机床与其他自动机床的显著区别在于当加工对象改变时,除了重新装夹工件和更换刀具之外,只需要更换新的控制介质,不需要对机床作任何调整。

数控机床是由美国人发明的。1947年美国密执安州特拉弗斯城帕森斯公司的帕森斯(John C. Parson),为了精确地制作直升飞机叶片的样板,设想了用电子技术控制坐标镗

床的方案。1949年美国空军后勤司令部为了在短时间内造出经常变更设计的火箭零件与帕森斯公司合作,并选择麻省理工学院伺服机构研究所为协作单位,于1952年研制成功了世界上第一台数控机床——直线插补连续控制的三坐标立式铣床,其数控系统由2 000多个电子管组成。经过三年的改进与自动程序编制的研究,于1955年生产了100台类似产品,这些数控铣床在复杂的曲面零件加工中发挥了很大作用。

我国从1958年开始研制数控机床,在研制与推广使用数控机床方面取得了一定成绩。近年来,由于引进了国外的数控系统与伺服系统的制造技术,我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。目前,我国已有几十家机床厂能够生产不同类型的数控机床和加工中心。我国经济型数控机床的研究、生产和推广工作也取得了较大的进展,它必将对我国各行业的技术改造起到积极的推动作用。

目前,在数控技术领域中,我国和先进的工业国家之间还存在着不小的差距,但这种差距正在缩小。随着工厂、企业技术改造的深入开展,各行各业对数控机床的需要量将会有大幅度的增长,这将有力地促进数控机床的发展。

二、数控机床的发展

1. 数控系统的发展 从1952年第一台数控机床问世后,数控系统已先后经历了两个阶段和六代的发展,其六代是指电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微处理器和基于工控PC机的通用CNC系统。其中前三代为第一阶段,称作硬件联接数控,简称NC系统;后三代为第二阶段,称作计算机软件数控,也称CNC系统。我国自从1958年由清华大学和北京机床研究所研制了第一代电子管101数控机床以来,也同样经历了六代。

2. 数控机床的发展趋势 数控机床总的发展趋势是工序集中,高速、高效、高精度,以及方便使用、提高可靠性。

(1) 工序集中:20世纪50年代末期,在一般数控机床的基础上开发了数控加工中心,即自备刀库的自动换刀数控机床。在加工中心机床上,工件一次装夹后,机床的机械手可自动更换刀具,连续地对工件的各方面进行多种工序加工。图1-1为能进行五面加工的加工中心。

目前,加工中心机床的刀库容量可达100多把刀具,自动换刀装置的换刀时间仅需0.5~2s。加工中心机床使工序集中在一台机床上完成,减少了由于工序分散、工件多次安装引起的定位误差,提高了加工精度,同时减少了机床的台数与占地面积,压缩了半成品的库存量,减少了工序间的辅助时间,有效地提高了数控机床的生产效率和数控加工的经济效益。

(2) 高速、高效、高精度:高速、高效、高精度是机械加工的目标,数控机床因其价格昂贵,在上述三个方面的发展也就更为突出。

1) 高速:提高切削速度可以减少机动时间。目前数控机床的主轴转速已达6 000r/min以上,有的达到100 000r/min,切削速度达到2 000m/min,加工铝材时的金属切除率已达1 000cm³/min。传统的砂轮线速度为30~60m/s,目前数控磨床的砂轮线速度达到140~150m/s,甚至高达500m/s,磨削进给速度可达5~10m/min。

2) 高效:减少机床辅助时间,提高机床的效率,通常采取如下措施:①缩短换刀时间,现在数控机床的换刀时间最短仅为0.5s;②研制新的刀库和换刀机械手,使选刀动作与机

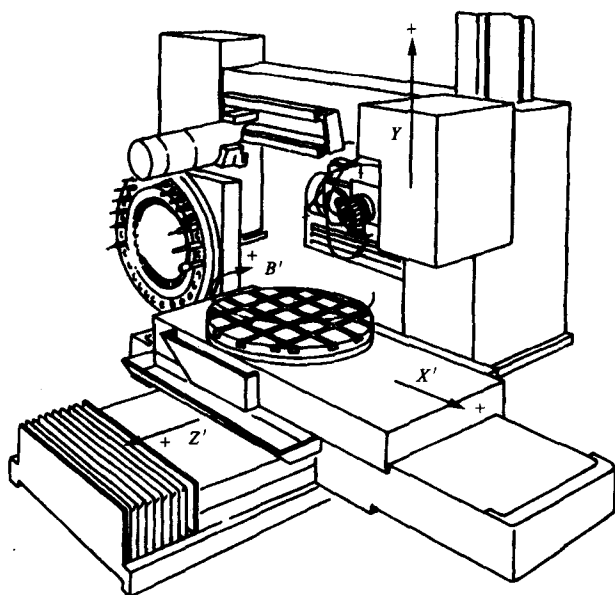


图 1-1 能进行五面加工的加工中心

动时间重合,或使用全机械式换刀机械手,保证快速可靠;③使用各种形式的交换工作台,使装卸工件的时间与机动时间重合,同时缩短工作台的交换时间;④广泛采用脱机编程、图形模拟等技术,实现后台输入修改编辑程序,前台加工,缩短新的加工程序在机调试时间;⑤采用快换夹具、刀具装置以及实现对工件原点快速确定等措施,缩短机床调整时间。

3)高精度:工件加工精度主要取决于机床精度、编程精度、插补精度和伺服精度。提高机床精度,在设计阶段可利用计算机辅助设计和模拟技术提高机床的动态、静态刚度;减少热变形,提高其热稳定性;克服爬行和提高传动精度。对机床床身等支承件采用丙烯酸树脂“混凝土”制造,动刚度比铸件可提高6倍。此外,陶瓷新材料和人造花岗岩也开始用于机床支承件的制造。

目前钻、镗、铣加工中心的加工精度已达到坐标镗床的精度。数控机床精度的提高,可省去某些传统的精加工工序,近期发展已有省去磨削精加工的趋势。

(3)方便使用,提高可靠性:数控机床制造厂把建立友好的人机界面、提高数控机床的可靠性作为提高竞争能力的重要方面。

1)加工编程方便:手工编程和自动编程已使用了几十年,有了长足的发展,在手工编程方面,开发了多种加工循环、参数编程和除直线、圆弧以外的各种插补功能,CAD/CAM的研究发展,从技术上来讲可以替代手工编程。但是一套适用的CAD/CAM软件加上计算机硬件,投资较大,学习、掌握时间长,对大多数的简单工件很不经济。

近年来发展起来的图形交互式编程系统(WOP,又称面向车间编程),很受用户欢迎。这种编程方式不使用G、M代码,而是借助图形菜单,输入整个图形块以及相应参数作为加工指令,形成加工程序,与传统加工时的思维方式类似,图形交互编程方法在制定标准后,有可能成为各种型号的数控机床统一的编程方法。

2)使用方便:数控机床普遍采用彩色CRT进行人机对话、图形显示和图形模拟等。

有的数控机床将使用说明书、编程指南、润滑指南等存入系统供使用者调阅。

(4) 多功能化:

1) 前台加工、后台编辑的前后台功能:现代数控系统由于采用了多 CPU 结构和分级中断控制方式,即可在一台机床上同时进行零件加工和程序编制,实现所谓的“前台加工、后台编辑”。也就是说,操作者可在机床进入自动循环加工的空余期间,同时利用数控系统的键盘和 CRT 进行零件程序的编制,并利用 CRT 进行动态图形模拟,显示其所编程序的加工轨迹,进行零件程序的调试和修改,以充分提高其工作效益和机床利用率。

2) 具有更高的通信功能:为了适应 FMC、FMS 以及进一步联网组成 CIMS 的要求,一般的数控系统都具有 RS-232C 和 RS-422 高速远距离串行接口,可以按照用户级的格式要求,同上一级计算机进行多种数据交换。高档的数控系统应具有 DNC 接口,可以实现多台数控机床之间的数据通信,也可以直接对多台数控机床进行控制。

现代数控机床,为了适应自动化技术的进一步发展,满足工厂自动化规模越来越大的要求,满足不同厂家不同类型数控机床联网的需要,已采用了 MAP(制造自动化协议)工业控制网络,现在已经实现了 MAP3.0 以上版本,为现代数控机床进入 FMS 及 CIMS 创造了条件。

(5) 智能化:

1) 引进自适应控制技术:自适应控制(AC, Adaptive Control)的目的是要求在随机变化的加工过程中,通过自动调节加工过程中所测得的工作状态、特性,按照给定的评价指标自动校正自身的工作参数,以达到或接近最佳工作状态。由于在实际加工过程中,大约有 30 余种变量直接或间接影响加工效果,如工件毛坯余量不匀、材料硬度不一致、刀具磨损、工件变形、机床热变形、化学亲和力的大小、切削液的粘度等因素。这些变量事先难以预知,编制加工程序时只能依据经验数据,以至在实际加工时,很难用最佳参数进行切削。自适应控制系统则能根据切削条件的变化,自动调节工作参数,如何进给参数、切削用量等,使加工过程中能保持最佳工作状态,从而得到较高的加工精度和较小的表面粗糙度,同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。

2) 故障自诊断、自修复功能:这主要是指利用 CNC 系统的内装程序实现在线诊断,即在整个工作状态中,系统随时对 CNC 系统本身以及与其相连的各种设备进行诊断、检查。一旦出现故障,立即采用停机等措施,并通过 CRT 进行故障报警,提示发生故障的部位、原因等,并利用“冗余”技术,自动使故障模块脱块,而接通备用模块,以确保无人化工作环境的要求。

为实现更高的故障诊断要求,又提出了人工智能专家诊断系统。它主要由知识库(Knowl-edge Base)、推理机(Inference Engine)和人机控制器(MMC, Man Machine Control)三部分组成。

3) 刀具寿命自动检测更换:利用红外、声发射(AE)、激光等各种检测手段,对刀具和工件进行监测。发现工件超差,刀具磨损、破损,进行及时报警、自动补偿或更换备用刀具,以保证产品质量。

4) 引进模式识别技术:应用图像识别和声控技术,使机器自己辨认图样,按照自然语音命令进行加工。

(6) 高可靠性:为了得到可靠性高的数控机床,生产厂家注意把可靠性贯穿于设计、生

产、调试、包装出厂等全过程,目前数控系统平均无故障时间已达到 30 000 ~ 36 000h。

3. 伺服系统执行机构的发展 最早的数控机床伺服系统执行机构采用液压转矩放大器,功率型步进电动机的问世,开始直接用它来驱动机床的进给运动。数控机床精度要求越来越高,开环系统的应用日趋减少,步进电动机在数控机床上的应用受到了限制。

20 世纪 60 年代初期,发展了液压伺服系统。液压伺服系统与当时的伺服电动机相比,响应时间短、驱动部件外形尺寸小。而传统的直流伺服电动机的性能又不能满足数控机床的要求,日本首先研究成功了一种新型的小惯量直流伺服电动机。20 世纪 70 年代中期,不少新设计制造的数控机床普遍采用了小惯量直流伺服电动机。

20 世纪 70 年代,美国首先研制了大惯量直流伺服电动机,这种电动机的峰值扭矩为额定转矩的 10 ~ 15 倍。由于具有大的转矩/惯性比,大惯量直流伺服电动机仍然具有快速响应特性。这种电动机可以直接与丝杠相连而获得良好的精度稳定性。此外,大惯量直流伺服电动机的热容量大,当转矩为额定值的 3 倍时,允许工作 30min 而电枢温度不致达到危险程度,大惯量直流伺服电动机用于数控机床具有良好的可靠性,目前它已为许多数控机床所采用。

直流伺服电动机结构复杂,维修麻烦。采用笼型异步交流伺服电动机的交流伺服系统,在 20 世纪 80 年代初期由美国通用电气公司(GENERALELECTRIC)研制成功并投放市场。交流伺服电动机没有电刷,运行时无火花,进一步提高了可靠性。这种交流伺服电动机可以直接与滚珠丝杠连接,调速范围与宽调速直流伺服电动机系统相近。

近年来,微处理器已开始应用于伺服系统的驱动装置中。1986 年日本厂商已推出了采用数字伺服系统的数控机床。与通常的模拟伺服系统相比,它的脉冲当量由 $1\mu\text{m}$ 减小到 $0.1\mu\text{m}$,进给速度仍能达到 $10\text{m}/\text{min}$ 。可以预计,数字伺服系统的出现将会进一步促进高精度数控机床的发展。

三、机械制造系统的发展

在现代生产中,为了满足多品种、小批量、产品更新换代周期快的要求,原来以单功能组成机床为主体的生产线,已不能适应机械制造业日益提高的要求,因而具有多功能和一定柔性的设备和生产系统相继出现,促使数控技术向更高层次发展。现代生产系统主要有柔性制造单元 FMC(Flexible Manufacturing Cell)、柔性制造系统 FMS(Flexible Manufacturing System)和计算机集成制造系统 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)。以下简要介绍这三种生产系统。

1. 柔性制造单元 柔性制造单元 FMC 是在制造单元的基础上发展起来的,又具有一定的柔性。所谓柔性,是指能够较容易地适应多品种、小批量的生产功能。FMC 可由一台或少数几台设备组成。FMC 具有独立自动加工的功能,又部分具有自动传送和监控管理功能,可实现某些种类的多品种小批量的加工。有些 FMC 还可实现 24h 无人监控运转。它的投资较柔性制造系统 FMS 少得多,技术上又容易实现,因而深受用户欢迎。

FMC 可以作为 FMS 中的基本单元,若干个 FMC 可以发展组成 FMS,因而 FMC 可看作企业发展过程中的一个阶段。FMC 有两大类,一类是数控机床配上机器人(图 1-2),另一类是加工中心配上托盘交换系统(如图 1-3)。

2. 柔性制造系统 柔性制造系统是一种把自动化加工设备、物流自动化处理和信息

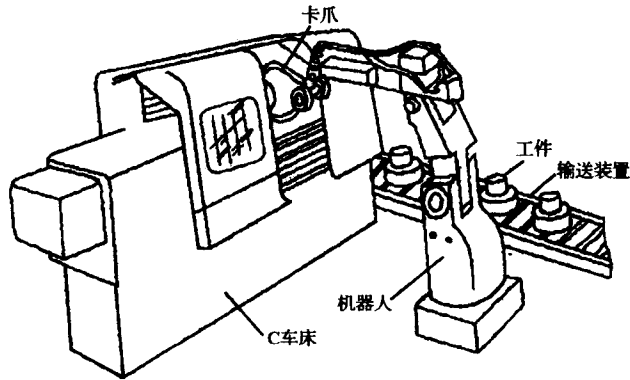


图 1-2 带有机器的 FMC

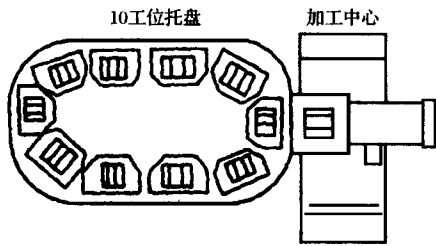


图 1-3 带有托盘交换系统的 FMC

流自动处理融为一体的智能化加工系统。目前使用较多的 FMS 大都是单一零件族内具有柔性的加工系统,如车削 FMS、镗铣 FMS、板材生产 FMS、焊接 FMS 等。柔性制造系统由加工子系统、物流子系统、信息子系统组成。

FMS 的计算机系统一般分为三级。第一级为主计算机,又称管理计算机。管理计算机根据调度作业命令或根据现场反馈信号(如故障、报警信号)运行“行业调度软件”,实现各种工况的作业调度计划,并对下一级计算机发出相应的控制指令。第二级为过程控制计算机,包括计算机群控(DNC)、刀具管理计算机和工件管理计算机,其作用是接受主计算机的指令,根据指令对下属设备实施具体管理。第三级由各设备的控制计算机构成,实现具体的程序动作。图 1-4 是一个 FMS 的组成实例。

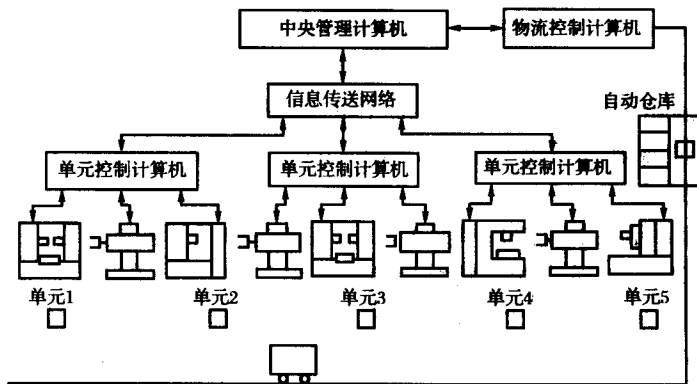


图 1-4 一个 FMS 的组成实例

3. 计算机集成制造系统 计算机集成制造系统是在信息技术、自动化技术、计算机技术及制造技术的基础上,通过计算机及其软件,将制造工厂生产、经营的全部活动(包括市场调研、生产决策、生产计划、生产管理、产品开发、产品设计、加工制造、质量检验及销

售经营等)与整个生产过程有关的物流与信息流实现计算机系统化的管理,把各种分散的自动化系统(也称自动化孤岛, Islands Of Automation)有机地集成起来,构成一个优化的完整生产系统,从而获得更高的整体效率,缩短产品开发制造周期,提高产品的质量,提高生产率,提高企业的应变能力,以赢得竞争。

CIMS是通过计算机信息技术模块,把工程设计、经营管理和加工制造三大自动化系统集成起来的系统(图 1-5)。

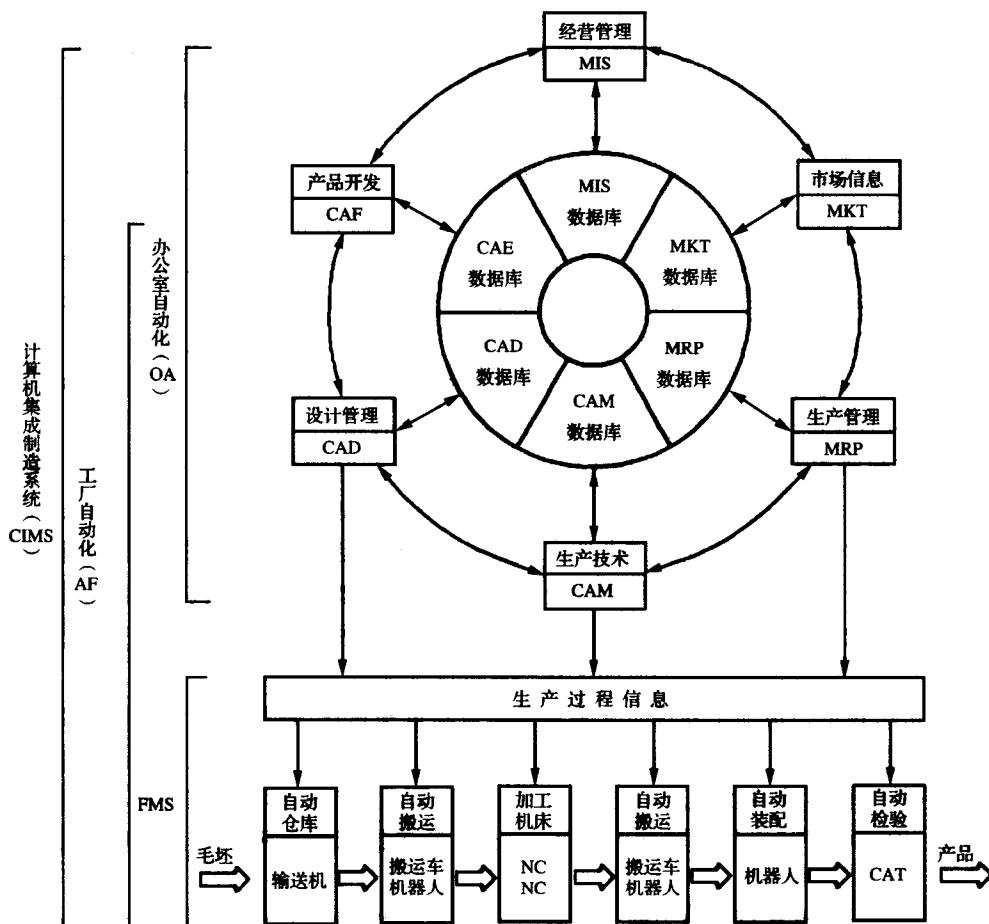


图 1-5 CIMS 的组成示意图

第二节 数控机床的特点及主要技术指标

一、数控机床的特点

1. 对加工对象改型的适应性强 由于在数控机床改变加工零件时,只需要重新编制程序,更换新的控制介质或者手动输入程序就能实现对零件的加工,它不同于传统的机

床,不需要制造、更换许多工具、夹具和模具,更不需要重新调整机床,因此,数控机床可以快速地加工一种零件转变为加工另一种零件,这就为单件、小批以及试制新产品提供了极大的便利。它缩短了生产准备周期,而且节省了大量工艺装备费用。对于使用点位控制系统的多孔零件的加工,当需要修改设计,改变其中某些孔的位置和尺寸时,只需局部修改控制介质的相应部分,花费很短的生产准备时间就可以把修改后的新产品制造出来,为产品结构不断更新提供了有利条件。

2. 加工精度高 数控机床是按以数字形式给出的指令进行加工的,由于目前数控装置的脉冲当量(即每输出一个脉冲后数控机床移动部件相应的移动量)普遍达到了 0.001mm ,而且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。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可达到 0.03mm ,重复定位精度为 0.01mm 。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,因此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。

在采用点位控制系统的钻孔加工中,由于不需要使用钻模板与钻套,钻模板的坐标误差造成的影响也不复存在。又由于加工中排除切屑的条件得以改善,可以进行有效的冷却,被加工孔的精度及表面质量都有所提高。对于复杂零件的轮廓加工,在编制程序时已考虑到对进给速度的控制,可以做到在曲率变化时,刀具沿轮廓的切向进给速度基本不变,被加工表面就可获得较高的精度和表面质量。

3. 加工生产率高 零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。数控机床能够有效地减少这两部分时间,因而加工生产率比一般机床高得多。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大,每一道工序都能选用最有利的切削用量,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。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用了加速与减速措施,因而选用了很高的空行程运动速度,消耗在快进、快退和定位的时间要比一般机床少得多。

数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,而零件又都安装在简单的定位夹紧装置中,可以节省用于停机进行零件安装调整的时间。数控机床的加工精度比较稳定,在控制介质校验以及刀具完好的情况下,一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验,因而可以减少停机检验的时间。因此,数控机床的利用系数比一般机床高得多。

在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心机床时,在一台机床上实现了多道工序的连续加工,减少了半成品的周转时间,生产效率的提高就更为明显。

4. 减轻操作者的劳动强度 数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了安放控制介质或操作键盘,装卸零件,关键工序的中间测量,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。例如电子工业中印制电路板的钻孔,如果在台式钻床上进行手动加工,单调频繁的手工操作很容易造成工人视觉的极度疲劳,从而产生不少差错,因此通常很难进行 1h 以上的连续操作。当采用高速数控钻床加工时,就能从根本上改善操作者的劳动条件。

5. 良好的经济效益 使用数控机床加工零件时,分摊在每个零件上的设备费用是较

昂贵的。但在单件、小批生产情况下,可以节省许多其他方面的费用,因此能够获得良好的经济效益。

使用数控机床,在加工之前节省了划线工时,在零件安装到机床上之后可以减少调整、加工和检验时间,减少了直接生产费用。另一方面,由于数控机床加工零件不需要手工制作模型、凸轮、钻模板及其他工夹具,节省了工艺装备费用。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。

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。

7. 易于建立计算机通信网络 由于数控机床是使用数字信息,因此它易与计算机建立通信网络,便于与计算机辅助设计系统连接,形成计算机辅助设计与制造紧密结合的一体化系统。

8. 价格较贵 数控机床是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造业渗透形成的机电一体化产品,它涉及了机械、信息处理、自动控制、伺服驱动、自动检测、软件技术等许多领域,尤其是采用了许多高、新、尖的先进技术,使得数控机床的整体价格较高。

9. 调试和维修较复杂,需专门的技术人员 由于数控机床结构复杂,所以要求调试与维修人员应经过专门的技术培训,才能胜任此项工作。

二、数控机床的主要技术指标

1. 主要规格尺寸 数控车床主要有床身与刀架最大回转直径、最大车削长度、最大车削直径等;数控铣床主要有工作台、工作台 T 形槽、工作台行程等规格尺寸。

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,主轴本身刚度与抗振性比较好。现在数控机床主轴普遍达到 5 000 ~ 10 000r/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,每挡间隔 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。

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 ~ 30m/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,每挡间隔为 10%,其调整范围为 10% ~ 200%。

脉冲当量(分辨率)是 CNC 重要的精度指标。有其两个方面的内容: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,为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。实际脉冲当量决定于丝杠螺距、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 0.001mm, 简易数控机床的脉冲当量一般为 0.01mm, 精密或超精密数控机床的脉冲当量一般为 0.0001mm。脉冲当量越小, 数控机床的加工精度和表面质量越高。

4. 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位的实际运动位置与指令位置的一致程度, 其不一致的差量即为定位误差。引起定位误差的因素包括伺服系统、检测系统、进给系统误差, 以及运动部件导轨的几何误差等。定位误差直接影响加工零件的尺寸精度。重复定位精度是指在相同的操作方法和条件下, 在完成规定操作次数过程中得到结果的一致程度。重复定位精度一般是呈正态分布的偶然性误差, 它会影响批量加工零件的一致性, 是一项非常重要的性能指标。一般数控机床的定位精度为 $\pm 0.01\text{mm}$, 重复定位精度为 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

5. 刀具系统 数控车床包括刀架工位数、工具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间、重复定位精度各项内容。加工中心刀库容量与换刀时间直接影响其生产率, 通常中小型加工中心的刀库容量为 16~60 把, 大型加工中心可达 100 把以上。换刀时间是指自动换刀系统将主轴上的刀具与刀库刀具进行交换所需要的时间, 换刀一般可在 5~20s 的时间内完成。

另外, 机床的技术指标还包括: 电气, 如主电动机、伺服电动机的规格型号和功率等; 冷却系统, 如冷却箱容量、冷却泵输出量等; 外形尺寸, 表示为长 \times 宽 \times 高; 机床重量。

第三节 数控机床的组成与工作原理

一、组成

数控机床由控制介质、人机交互设备、计算机数控装置、进给伺服驱动系统、主轴伺服驱动系统、辅助装置、可编程控制器 (PLC, Programmable Logic Controller)、反馈装置和适应控制装置等部分组成, 如图 1-6 所示。

二、工作原理

1. 控制介质 要对数控机床进行控制, 就必须在人与数控机床之间建立某种联系, 这种联系的中间媒介物就是控制介质, 又称为信息载体。在使用数控机床之前, 先要根据零件图上规定的尺寸、形状和技术条件, 编出工件的加工程序, 将加工工件时刀具相对于工件的位置和机床的全部动作顺序, 按照规定的格式和代码记录在信息载体上。需要加工该工件时, 把信息载体上存放的信息 (即零件加工程序) 输入计算机控制装置。常用的控制介质有穿孔纸带、穿孔卡、磁盘和磁带。

2. 人机交互设备 数控机床在加工运行时, 通常需要操作人员对数控系统进行状态干预和输入控制介质存放的加工程序, 对输入的加工程序进行编辑、修改和调试, 同时数控系统要显示数控机床运行状态等, 也就是数控机床要具有人机联系的功能。具有人机