

新编高等院校系列教材

Jichuang Shukong Jishu Yu Yingyong

机床数控技术与应用

主 编 周哲波

副主编 戴雪晴 叶 琦 杨 丽 朱延松



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

第2版

Enhancing Machine Tool Performance for Improving

机床数控技术与应用

主编 王洪波

副主编 王洪波 王 强 王 强 王 强



机械工业出版社

China Machine Press

新编高等院校系列教材

机床数控技术与应用

主 编 周哲波
副主编 戴雪晴 叶 琦
杨 丽 朱延松

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书以数控机床控制和应用技术基础为主线,系统地介绍了数字控制的基本原理、组成和结构特点,全面讲述了数控刀具、加工程序的编制、数控机床的机械结构和工作原理、数控机床的检测装置,内容包括数控技术的基本概念、发展历程和趋势、插补原理和数学建模方法、加减速控制、刀具的基本原理和方法、数控刀具系统的材料和结构、数控系统的软硬件结构 and 特点、数控加工程序的编制基础和方法、典型数控系统(FANUC、SIEMENS)常用数控指令的组成和功用、数控机床的检测装置、数控机床的主要机械结构。本书案例丰富,每章均配备有适量的复习思考题。

本书可作为高等院校机械类和近机类各专业的本科和高职高专教材,也可供一般工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术与应用/周哲波主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2009.2

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0277 - 2

I. 机… II. 周… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 020156 号

书 名 机床数控技术与应用

主 编 周哲波

责任编辑 杨传良

责任校对 何晓惠 仓小金

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 16.5 字数 407 千字

版次印次 2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

数控技术是 20 世纪制造技术的重大成就之一,现代数控机床是覆盖自动控制、计算机技术、电气传动、精密测量、机械制造和信息管理等多门类的新技术设备。它的发展和应用水平标志着综合国力水平,是实现制造系统自动化、柔性化、集成化、系统化的基础。

“机床数控技术”是培养机械工程技术人才的一门专业课程,为了普及和提高我国的机床数控技术,满足高等院校机械类和近机类各专业的“机床数控技术”课程的教学需要,结合现代制造业对实用型数控人才的要求,编写了本书。

本书在编写的过程中,注重所选内容的系统性,取材新颖,结构严谨。编排的原则是由浅入深、循序渐进,既讲述基本原理,又注重现代最新应用技术与生产实际需要相联系。在突出专业技术应用方面,本书具有较强的针对性和实用性,尽可能以实际系统为例,其知识的综合应用与我国目前的生产实际状况紧密结合;文字叙述力求通俗易懂。每章前有“学习指导”来突出重点和难点,介绍相应的学习方法;每章的内容注重理论联系实际,尽量多举现场实例;各章均配有适量的“复习思考题”,以便于读者对所学知识加以巩固。

本书共有七章内容。第一章“绪论”、第二章“数控机床的刀具”由周哲波编写,第三章“数控机床程序的编制”由杨丽和李毅华编写,第四章“数控系统典型功能模块的数学建模方法”由叶琦编写,第五章“CNC 系统软硬件介绍”、第六章“数控机床的常用检测装置简介”由朱延松编写,第七章“数控机床的主要机械部分介绍”由戴雪晴编写,另外,汤多良、章宏令和陈兆杰参加了本书部分内容的修订和图形绘制工作,全书由周哲波教授主编并统稿。本书在编写中参阅了有关资料和文献,在此对相关作者表示衷心的感谢!

在本书的编写过程中,中国矿业大学出版社编辑杨传良给予了热情帮助和大力支持,提出了不少宝贵意见,在此谨致谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在错误、疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 12 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 数控机床的发展.....	1
第二节 数控机床的特点及组成.....	6
第三节 数控机床的分类.....	9
复习思考题	16
第二章 数控机床的刀具	17
第一节 概述	17
第二节 数控刀具的分类及性能要求	19
第三节 数控刀具的材料及失效形式	21
第四节 数控加工刀具的选择	25
复习思考题	40
第三章 数控机床程序的编制	41
第一节 数控编程的几何基础	41
第二节 程序编制中的常用基本指令介绍	47
第三节 编程的过程	60
第四节 FANUC 系统常用指令简介	67
第五节 SIEMENS 802D 系统常用指令简介	89
第六节 自动编程简介.....	104
复习思考题.....	113
第四章 数控系统典型功能模块的数学建模方法	115
第一节 概述.....	115
第二节 插补原理的数学建模方法.....	117
第三节 刀补功能的数学建模方法.....	152
第四节 加减速控制功能的数学建模方法.....	158
复习思考题.....	165
第五章 CNC 系统软硬件介绍	166
第一节 概述.....	166

第二节 CNC 系统硬件简介	172
第三节 CNC 系统软件简介	181
第四节 国内外开放式 CNC 系统的发展简介	186
复习思考题	188
 第六章 数控机床的常用检测装置简介	 189
第一节 概述	189
第二节 常用的检测装置	191
复习思考题	211
 第七章 数控机床的主要机械部分介绍	 212
第一节 概述	212
第二节 数控机床的主传动系统	216
第三节 数控机床的进给传动系统	222
第四节 自动换刀装置	237
复习思考题	253
 参考文献	 255

第一章 绪 论

学习指导 本章应重点掌握数控机床的组成及各组成部分的作用、数控系统的分类及特点;了解数控机床的发展历程和趋势、数控机床的工作原理和特点。本章的学习方法建议采用文献检索、归纳演绎和理解记忆方式。通过本章的学习可激发学习者的兴趣和热情;对于立志从事数控专业方向研究的学习者,将有助于确立未来发展目标;对于从事或将要从事数控技术和相关专业技术应用工作的学习者,针对现场数控设备选型来讲,可为前者提供技术参考,为后者奠定一定的理论基础。

第一节 数控机床的发展

一、数控机床的发展历程

20 世纪人类社会最伟大的科技成果就是计算机的发明与应用,而计算机及控制在机械制造设备中的应用则又是 20 世纪制造业的重大科技进步,它不仅满足了机械产品结构和形状日趋复杂、制造精度越来越高、工作环境和条件越来越苛刻的要求,还为制造过程实现自动化和智能化、减轻工人劳动强度、提高生产率和快速适应产品的市场变化提供了技术保障。数控机床就是将加工过程所需的各种操作(如主轴的变速、工件的装夹与松开、进刀与退刀、机床的启动与停止、冷却液的供给等)和步骤以及工件的形状尺寸用数字化代码表示,通过控制介质(如磁盘、网络接口等)将上述数字信息传输到数控装置,然后由数控装置对输入的信息进行计算与处理,并发出控制指令来实现对零件的自动加工。随着微电子技术和计算机技术的快速发展,机床数控技术一直在不断更新,到目前为止数控机床的发展历程已经历了六代。

1. 国外发展情况

(1) 数控概念的提出

1949 年,美国帕森公司为了革新直升飞机叶片轮廓检测样板的加工技术,开发了加工叶片轮廓检测样板的设备,最早提出了自动化加工的数字控制设想。

(2) 第一代电子管数控系统

1952 年,美国帕森公司受美国军方委托,与麻省理工学院的伺服机构实验室(Servo Mechanisms Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology)合作,研究采用电子管和继电器组成的逻辑数字电路的机床数控装置,并生产出采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制的铣床。1955 年,美国空军花巨资订购了大约 100 台这样的数控机床。此后两年,数控机床在美国得到了迅速发展,市场上出现了商品化的数控机床。

(3) 第二代晶体管数控系统

1957~1959 年,随着晶体管元器件的出现,固定布线的晶体管元器件电路取代了昂贵、

易坏而难以推广的电子管控制电路,晶体管数控系统出现并得以推广应用。在此期间,美国的可耐·杜列克公司在世界上首次研制出带自动换刀装置的数控机床——加工中心;同时,编程技术也得到了相应发展,美国航空协会(AIA)和麻省理工学院协作开发了APT(Automatically Programmed Tools System)数控语言。

总之,以上两代数控系统均直接采用众多的分立电器元件来组成逻辑数字电路,它们的共同缺点为:控制系统复杂,制造成本昂贵,可靠性差,不易维修,适应环境的能力差。

(4) 第三代集成电路数控系统

1965年,出现了小规模集成电路,诞生了集成电路的数控系统,它具有体积小、功耗低的特点,尤其是可靠性得到了极大的提高。在1960年以后,点位控制机床在美国得到迅速发展,数控技术不仅在机床上得到实际应用,而且还逐步推广到冲压机、绕线机、焊接机、火焰切割机、包装机和坐标测量机等。在程序编制方面,已由人工编程逐步发展到采用计算机自动编程。除了APT数控语言外,又发展了许多自动编程语言。与此同时,德国、日本等先进工业国家也都开发、生产及使用了数控机床。

总的来讲,以上三代的数控系统主要是由电路的硬件和连线组成的,因此被称为硬接线逻辑数控系统(Wired Logic NC)或硬数控系统,简称NC(Numerical Control)系统,为数控机床发展的第一阶段。

(5) 第四代小型计算机数控系统

1970年,在美国芝加哥国际机床展览会上,首次推出了小型计算机数控系统,不仅具有价格优势,性能也上了一个台阶。20世纪60年代末,随着计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降,开始取代专用的数控计算机,数控的许多功能由软件程序实现,既简化了数控系统,又增强了数控系统的灵活性和可靠性,计算机数控(Computerized Numerical Control, CNC)技术从此问世。实际上,1967年,英国人首先把几台数控机床联接成具有柔性的加工系统,这就是FMS(Flexible Manufacturing System, 柔性制造系统)的雏形。随后,美国、日本和欧洲许多国家也相继进行开发与应用,出现了由计算机直接对许多机床进行控制的控制系统,称之为直接数控系统(Direct Numerical Control, DNC)。

(6) 第五代微型计算机数控系统

1974年,美国、日本等国家首先研制出以微处理器为核心的数控系统(Micro Numerical Control, MNC),微型计算机采用程序语言来控制机床,创纪元的第五代数控开始得到应用。近20年来,微处理器的数控系统得到了飞速发展和应用。

(7) 第六代工控PC机开放式数控系统

进入20世纪90年代以后,以美国为代表的先进工业国家开始思考未来数控技术的发展问题。美国国防部委托马丁·马瑞塔航天研究所(Martin Marietta Astronautics)研究了下一代数控计划,首先提出了基于PC开发平台的开放式数控系统的设想,随后欧洲和日本加入了这方面的研究。美国的三大汽车工业巨头GE、Ford和Chrysler率先与控制系统的制造商合作,研制出了基于PC开发平台的开放式数控系统。该系统具有元器件集成度更高、可靠性和柔性更好的优点,可供使用的软、硬件资源丰富,使数控功能得到极大的拓展,充分共享丰富的网络资源。

总之,随着计算机制造与应用技术的发展,数控技术每隔五年就发展换代,其性价比均得到很大的提高。后三代数控系统的主要功能均由软件来实现,为数控发展的第二阶段。

2. 国内发展情况

(1) 起步探索阶段

1958 年,我国开始研究数控机床,对国产元器件、加工工艺、控制技术进行探索性认识与研究,与日本、德国和苏联等国家同时起步。直到 20 世纪 60 年代初期,国内的一些高等院校、科研单位仍然在从事电子管数控系统的研究与探索。

(2) 国产品晶体管数控系统的诞生

1965 年,我国技术人员克服工业基础差、电子技术薄弱的困难,最终成功研制出晶体管数控系统。20 世纪 60 年代末,将该技术应用于生产,如线切割机、非圆齿轮插齿机、数控铣床等。但这一时期数控机床的数量和品种都很少,稳定性及可靠性尚不过关,没有在生产中得到广泛应用。

(3) 数控技术发展的徘徊期

在 20 世纪 70 年代,人们虽然看到国产数控技术发展的可行性,但由于受技术和政治环境的影响,数控技术的发展总体处于徘徊期。1973~1976 年,国家先后召开三次数控攻关会,全国有 200 多家单位参加技术攻关,但由于缺乏统筹管理,技术状况太乱、太杂,甚至出现几十家开发同一种产品的情况,造成了严重的重复投资和浪费。虽然在 1972 年开发出了集成电路数控系统,1976 年在北京展览馆展出了 30 多种 40 多台数控机床,但真正在生产中的应用几乎没有。

(4) 数控技术发展的调整、反思期

1979 年,由于技术上仍然存在许多问题,数控技术的科研和生产几乎处于停顿状态,只有少数几家单位仍然坚持研究,我国研究人员开始反思、寻求新的发展之路。

(5) 数控技术发展的引进消化与技术攻关期

20 世纪 80 年代,我国先后从日本、美国、德国等国家引进了一批数控机床和伺服技术,目的是通过消化吸收国外先进技术来发展自己。在此期间,国内陆续开发出了一批在国际上具有 70 年代末 80 年代初期水平的产品,结束了国内数控技术徘徊不前的局面,开始进入一个新的发展时期。1985 年,国产数控机床的品种已有 80 多种,包括加工中心、数控车床、数控铣床、数控磨床等,数控技术的发展总体进入生产应用阶段。

(6) 数控技术发展的成熟与产业化时期

20 世纪 90 年代,我国在数控技术的发展战略上制定出“集中优势,突破关键,以我为主,发展产业”的发展方针,逐步形成了航空数控集团、华中数控和蓝天数控等生产普及型数控系统的国有企业,真正开发和拥有了自己的数控产品。同时,凭借法那科(北京)、西门子数控(南京)有限公司等合资企业的基础力量,建成了批量生产各种数控机床的多个产业基地。我国的数控技术日趋成熟,在高速主轴制造、快速进给、快速换刀、柔性制造、快速成形等技术上都取得了突破,一些重大关键技术(包括核心技术)已达到国际先进水平,国内的数控技术获得了飞速发展,奠定了中国数控机床产业化和现代数控技术的坚实基础。

总的来讲,我国数控技术的发展主要经历了“六五”、“七五”期间的引进、消化、吸收,“八五”期间的技术攻关、开发自主知识产权产品和“九五”期间的产业化三个重要发展阶段。目前已掌握了一些关键技术,如:成功地攻克了长期受西方国家技术封锁的多轴联动技术难题,拥有了高档的、拥有自主知识产权的数控系统及 PC 平台的开放式数控系统等。

二、数控系统的发展趋势

数控机床综合了许多领域最新的技术成果,主要包括计算机与信息处理、自动控制与伺服驱动、机电一体化、精密机械、精密测量及传感和网络通信等。它不仅给传统制造业带来了革命性的变化,使制造业成为工业化的象征,而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大,对有关国计民生的一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗和军工等)的发展也起到越来越重要的作用,因为对这些行业进行数字化装备是社会向现代化发展的必由之路。当前数控技术的发展主要呈现如下趋势。

1. 性能的发展方向

(1) 高速度、高精度化

① 高速度。效率与质量是数控的两个重要指标。速度是影响数控机床加工效率的重要因素,实现数控系统的高速化,首先就要求数控系统具有快速的信息读入读出、计算、加工和处理能力,提高微处理器的位数和运算速度是最有效的手段,如目前高速的 CNC 系统普遍采用 32 位或以上微处理器;其次要求伺服系统必须具有快速的响应能力,依靠快速、准确的数字量传递技术对高性能的机床执行部件进行高精密度、高响应速度的实时处理,实现不受机械负荷变动的影响,指令执行速度可达到每秒 100 万条以上,最快进给速度可达到 $100\sim 240\text{ m/min}$,最高主轴转速可达到 $4\,000\sim 6\,000\text{ r/min}$ 甚至更高,自动换刀时间在 1 s 以内,小线段插补速度可达到 12 m/min 。

② 高精度。提高数控加工精度的途径,一是减少数控系统误差,二是采用补偿技术。在减小 CNC 系统控制误差方面,目前所采用的技术主要有两方面:一是依靠提高数控系统自身的分辨率,以微小程序段实现连续进给,使 CNC 进给单元精细化,目前世界上已出现在 $100\sim 240\text{ m/min}$ 进给速度下其位移分辨率可达 $1\text{ }\mu\text{m}$ 、在 24 m/min 进给速度下其位移分辨率可达 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 、在 2.4 m/min 进给速度下其位移分辨率可达 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 的数控系统;二是提高位置检测精度以及采取有效的误差补偿措施,位置伺服系统采用前反馈控制和非线性控制,测量元件采用高精度的光、磁元件,广泛采用智能化的补偿技术,不仅可补偿传动误差、对刀误差、工件安装误差以及刀具的磨损误差,还可以实现热误差补偿,同时采用积极的手段(如提高传动的精度与效率、采用合理的润滑与散热措施、降低摩擦等)减少工作中的热量产生。

(2) 高可靠性

数控机床的可靠性,特别是在长时间无人操作下运行的可靠性更是人们关注的问题。现代数控系统的平均无故障时间(MTBF)可达到 $10\,000\sim 36\,000\text{ h}$ 。在提高数控系统可靠性方面,目前采用的主要措施有:

① 采用大规模或超大规模集成电路、专用芯片及混合式集成电路,以减少元、器件的数量,精简外部连线并降低功耗。

② 建立数控系统和数控机床设计、试制到批量生产的一整套质量保证体系和保障措施。如严格筛选元器件,采用防干扰电源,输入/输出光电隔离,数控系统模块化、通用化和标准化。

③ 增强故障自诊断、恢复和自保护功能。当出现元器件失效、编程及操作错误导致数控系统故障时,及时进行硬件和软件故障诊断,自动显示出现故障的部位及类型,以便快速排除故障。目前有一些数控系统已具有故障预报和自恢复功能。

④ 采用硬件功能软件化,以适应各种控制功能的要求,最大限度地减少元器件的数量和种类。

(3) 高柔性化、功能集成化

采用柔性自动化设备或系统,是提高加工精度和效率、缩短生产周期、适应市场变化和竞争能力的有效手段。数控机床在提高单机柔性化的同时,正朝着单元柔性化和系统柔性化方向发展,如出现了数控多轴加工中心、换刀换箱式加工中心等具有柔性化的高效加工设备,诞生了由多台数控机床组成底层加工设备的柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)以及柔性生产线(Flexible Manufacturing Line, FML)。

现代数控机床的自动换刀、自动工作台交换等已成为基本功能。随着数控机床向着柔性化、无人化的方向发展,功能集成化更多地体现在:工件自动装卸,工件自动定位,工件自动检测与补偿,集钻、车、铣、镗和磨等工序为一体的“万能加工中心”。

(4) 实时智能化

随着人工智能在计算机领域不断渗透和发展,数控系统也在进一步向着智能化方向发展。新一代的数控机床由于采用了“进化计算”(Evolutionary Computation)、“模糊系统”(Fuzzy System)、“神经网络”(Neural Network)等先进控制原理,使得数控系统的性能得到很大的提升。这种高性能的智能化的数控系统不仅具有加工过程的实时自适应、负载自识别、工艺参数自生成、运动参数的动态补偿、智能自诊断、智能自管理等功能,还能实现消除操作环境、随机因素的影响,呈现出良好的模式识别功能和友好的人机交流界面。

2. 功能的发展方向

(1) 用户界面图形化

用户界面是CNC系统与使用者之间的交流平台。为了实现用户的个性化要求,友好的用户界面设计已成为计算机软件研制的最大难题之一;为了保证与互联网技术、虚拟现实、工作过程的可视化及多媒体等技术的适应性,也对用户界面形式提出了更高的要求。图形化的用户界面能极大地方便非专业用户的使用,人们可通过窗口的滚动提示信息进行适当的操作,快捷地实现图形和加工指令之间的转换。三维渲染的立体动态图形显示、加工轨迹的实时跟踪、动态仿真等多种形式的显示方式,更加展现了加工过程的直观性和逼真性。

(2) 计算过程的可视化

对信息的处理和加工采用可视化技术,使信息的交流不再局限于枯燥的文字和语言,而转变成丰富多彩的图形、图像和动画显示等,大大提高了可视的信息度和逼真性。可视化技术与虚拟环境技术相结合,进一步拓宽了应用领域,如无图纸设计、虚拟样机技术等。可视化技术推广应用于CAD/CAM,如自动编程、参数的自动生成、刀具的自动补偿与管理等,对缩短设计周期、提高产品质量、降低生产成本都具有重要意义。

(3) 插补和补偿方式的多样化

插补对加工质量、生产效率、数控系统的性能影响很大,完善的插补原理可在源头上克服数控系统的原理误差。如何建立高效、合理的插补模型一直是人们关注的焦点,它可极大地降低数控系统的制造成本,提高加工精度。补偿方式的自适应系统(Adaptive Control, AC)可在加工过程中自动调整工件因余量不同、材质与硬度的不均匀、刀具的磨损、温度的变化、切削的波动等造成的对加工精度的影响,制造出高质量的产品。

(4) 内嵌式高性能的 PLC(Programmable Logic Controller)

在 CNC 系统中内嵌高性能的 PLC 控制模块,可直接用梯形图或高级语言编程,具有直观的在线帮助功能。编程工具中包含用于加工机床的标准 PLC 用户程序,用户可直接在其基础上进行编辑修改,能方便快捷地进行应用程序开发。

3. 体系结构的发展方向

(1) 小型化、多样化

机电一体化设备种类的不断增多以及运动控制技术的进步和普及,进一步扩大了对数控系统的需求,同时提出了 CNC 系统小型化和多样化发展的要求,以便将数控系统嵌入到机电装置中。为了满足这一要求,国际上出现了三维安装方法,将电子元器件高密度安装,大大缩小了体积空间;在显示部件方面,普遍采用新型薄膜技术(TFT)的彩色液晶显示器;同时,推广应用软 PLC,使 CNC 与 PLC 有机地结合成一体。

(2) 开放式

早期的数控系统在硬件结构等方面多采取了专用的封闭模式,不同制造商制造的数控系统之间无法兼容。这不仅给系统维修和技术升级带来很大的困难,也难以满足 FMS 和计算机集成制造系统 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)对数控系统的要求。为了顺应计算机等技术的发展和建立现代制造系统的要求,人们提出了开放式数控系统的概念,并推出了相应的产品。

(3) 网络化

为了适应 FMC、FMS 以及更先进的 CIMS 的发展要求,一般的数控系统都具有 RS-232C 和 RS-422 高速串行接口,可以根据用户需要,同上一级计算机进行多种数据交换。高档的数控系统还具有 DNC 接口,可以实现几台数控机床之间的数字通信,也能对几台数控机床进行分布式控制。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需要,实现不同制造商、生产商、不同类型的数控机床之间的联网功能,现代数控系统普遍具有符合制造自动化协议(MAP, V3.0)的工业控制网络、现场总线控制网络和工业以太网等,更加有利于工厂的现代化管理和各种信息交流。

第二节 数控机床的特点及组成

一、数控机床的概念与特点

1. 基本概念

数控技术(Numerical Control, NC)是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法,通常将其简称为“数控”。由于现代数控技术的控制核心采用计算机控制,因此,称之为计算机数控(Computerized Numerical Control, CNC)。

数控系统(Numerical Control System)是由实现数字化信息控制的硬件和软件组成的。软件只有在硬件的支持下才能运行,同样,硬件离开软件的管理和调配也无法工作。数控系统的核心是数控装置(Numerical Controller),简称 NC 装置,采用微机控制的数控装置叫 CNC 装置。

数控机床是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing, IFIP)第五技术委员会对其的定

义是:数控机床是一种装了程序控制系统的机床,它能逻辑处理具有使用编码指令规定的程序。它一般由信息载体(控制介质)、数控装置、伺服系统和机床本体组成,是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术、通信技术和精密机械技术等先进技术的典型的机电一体化产品。数控机床制造业是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的基础产业,其水平的高低和拥有数量的多少是衡量一个国家工业现代化程度的重要标志。

2. 数控机床的加工特点

(1) 数控机床的应用范围

数控机床是新型的自动化机床,它具有广泛的通用性和很高的自动化程度,是发展现代制造技术的基础,在加工如下一些零件时,其优越性显得更加突出:

- ① 批量小(200 件以下)且经常重复生产的零件;
- ② 几何形状复杂的零件;
- ③ 要经多工序、多工种才能最终形成成品的零件;
- ④ 加工余量大,要经过多次走刀的零件;
- ⑤ 加工精度、表面质量要求高的零件;
- ⑥ 工艺经常变化的零件;
- ⑦ 加工难度大,易出废品的贵重零件;
- ⑧ 不易检测或要求全检的关键零件。

(2) 数控机床的特点

现代数控机床集高效率、高精度、高柔性于一身,可通过修改加工程序就可以实现不同类型零件的加工要求,具有许多普通机床及其他类型机床无法实现的特殊功能,具体有如下特点:

① 精度高、质量稳定。数控机床的加工误差一般可达到 $0.005\sim 0.100\text{ mm}$,甚至更小。数控机床采用的是自动化控制作业,加工的精度不受操作者技术水平、情绪的影响,与零件形状的复杂程度关系不大。机床本身的刚度高、精度好,具有长期的精度稳定性,可长期、稳定地保证加工零件的质量。最突出的优点是还可利用软件进行误差补偿和校正,使数控机床具有更高的加工精度。

② 适应性、灵活性好。数控机床由于采用数控加工程序控制,当加工的零件具有相似的变化时,只要修改相应加工程序,便可实现对新工件的自动加工,因此能加速产品的更新换代,解决多品种、高要求、批量小和形状复杂零件的生产难题,能够快速适应市场的激烈竞争。广泛地应用于飞机、汽车、舰船、动力设备、国防军工等制造部门。

③ 生产效率高。数控机床的进给运动和多数的主运动都采用无级调速,且变速范围大,可以方便地选择合理的工艺参数;在加工过程中,可以进行在线检测,避免停机;能实现重复定位,省去极其耗时的人工划线、工件安装找正等手工操作,节省了大量检查、调整时间;自动化程度高,能做到自动换刀、自动交换工作台、自动进行工件的装卸,实现多工序加工,节约了辅助工时。实例统计表明:数控机床加工比一般机床加工能提高生产效率 $3\sim 5$ 倍,在加工中心上加工箱体等复杂零件可提高生产效率 $5\sim 10$ 倍。

④ 减轻劳动强度、改善劳动条件。数控机床的操作者一般只需完成装卸工件、更换刀具、操作面板等简单作业,不必进行繁杂的重复性手工操作,劳动强度大大减轻。此外,数控机床一般都具有很好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置,工作环境得到极大

的改善。

⑤ 有利于现代化生产和管理。采用数控机床加工能方便、精确地计算加工工时,能精确地测算生产和加工成本,能实现企业内部和协作商之间的数字信息交换和资源共享,有利于企业资源规划(Enterprise Recourse Planning, ERP)、计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning, CAPP)以及 CAD/CAM 的现代化、数据化生产和管理。

⑥ 使用、维护技术要求高。数控机床是综合多学科、新技术的产物,机床价格高,设备一次性投资大,因此,其使用和维护费用高,对使用者和维修者的专业素质要求也高。

二、数控机床的工作原理与组成

1. 数控机床的工作原理

按照零件图纸的技术要求和加工工艺要求,将几何信息和加工工艺信息转化成可执行的指令程序,并将指令程序输入到数控装置中,由数控装置去控制机床的各种规定动作(如主轴运动、进给运动、自动换刀、上下工件、供给冷却液等)和设置机械参数,从而加工出符合图纸要求的零件。

2. 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体组成,如图 1-1 所示。

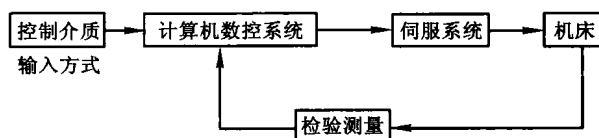


图 1-1 数控机床组成结构

(1) 控制介质。要实现数控机床自动控制,首先必须制备人与机床之间的联系与沟通的介质,这种中间的介质即为信息载体,常用的有磁盘、磁带、可移动硬盘等。信息载体的存储与读取是与数控装置或与计算机的输入与输出设备分不开的,常用的输入输出设备有磁盘、网卡、键盘、手摇脉冲发生器等。控制介质的作用就是存储和传递各种被控制信息,如几何形状、位置、工艺参数、刀具信息和机床运动等。

(2) 计算机数控系统(数控装置)。数控装置是数控机床的核心,它由硬件和软件两部分组成。其中硬件主要包括计算机、CRT、键盘、面板、机床接口等;软件主要包括管理软件和控制软件,管理软件实现输入、输出、显示、诊断等功能,控制软件控制译码、刀补、速度、位置、冷却等工作。其作用就是接受载体的信息,并经计算机处理后去控制机床各种动作。

(3) 伺服系统。伺服系统包括驱动和执行机构两部分,它由伺服控制电路、功率放大器、伺服电机和高精度的检测元件组成。其作用是接受数控系统的指令、反馈、调节、放大、执行指令动作,它直接影响数控机床的加工质量。

(4) 机床本体。机床本体是数控机床的主体,它由主运动部件、进给部件、执行部件和其他附设部件所组成,包括床身、刀架、导轨、工作台等。其作用是完成指令的各种动作及刀具与工件之间的相对运动,从而实现刀具对工件的切削加工。它与传统机床相比,具有传动结构简单、传动路线短、运动部件的运动精度高、刚性好、可靠性高和传动效率高等特点。

3. 数控机床加工零件的操作过程

(1) 编制数控加工程序。依据图纸要求制定加工工艺,采用手工或自动方法进行编程,

将加工零件所需的机床各种动作及工艺参数等编写成数控系统能够识别的信息代码,即加工程序。

(2) 控制介质的制备。可用手动输入方法、光电读入、驱动器输入或用计算机和数控机床的接口直接进行通信等方法,将所编写的加工程序输入数控装置。

(3) 加工信息的输入与处理。输入数控装置的信息代码经一系列的处理和运算变成脉冲信号,有的脉冲信号送到机床的伺服系统,经传动机构驱动机床相关部件,完成对零件的切削加工;有的脉冲信号送到可编程控制器中,按计算机发出的相应控制指令顺序控制机床的其他辅助部件,完成零件的夹紧与松开、切削液的开闭及刀具的自动更换等动作。

(4) 加工过程的在线检测。机床在执行加工程序的过程中,数控系统需要随时检测机床的坐标轴位置、限位开关的状态等,并与程序的要求相比较,以决定下一步动作,直到加工出合格的零件。

4. 数控系统的工作过程

(1) 输入信息。通过输入装置将零件加工程序、控制参数和补偿数据输入并存放在 CNC 系统。

(2) 译码。在输入完成后,CNC 系统将零件程序以一个程序段为单位进行处理,把零件加工轮廓信息(起点、终点、线形)、加工速度信息和辅助功能信息(停止、启动、正反转、冷却等),按照一定的语法规则解释成机器可识别的数据形式,并以一定的数据格式存放到指定的内存专用区,同时进行语法错误检查。

(3) 数据处理。CNC 系统对刀具补偿、加减速计算和辅助功能控制等各项输入数据进行计算、加工与处理使其转变成控制指令。

(4) 插补。在被加工轨迹的起点和终点之间,插进若干满足加工精度要求的中间点,然后用已知线形(直线、圆弧)逼近。其中加工的精度、取点密度、线形、起点、终点、长度等一般由插补程序来决定。

(5) 伺服控制。伺服控制将接收的指令(脉冲信号)进行变换、放大后控制机床运动,实现工件的切削加工。

(6) 管理与诊断。CNC 系统管理软件主要包括 CPU 管理和外设管理,如前后台程序的合理安排与协调工作、中断服务程序之间的互相通信、控制面板与操作面板上各种信息的监管等。诊断程序可以防止故障的发生和扩大,而且在故障出现后,可以帮助用户查明故障的类型和部位。在设计诊断程序时,诊断程序可在系统运行时执行,也可在系统运行前或故障停机后执行。

第三节 数控机床的分类

一、按机床的运动轨迹分类

1. 点位控制系统(Point to Point Control System or Positioning Control System)

如图 1-2(a)所示,只控制机床刀具或工作台运动的终点位置,不考虑到达终点的路径,既可以走单坐标,也可以两坐标联动,在移位的过程中不进行加工的系统是点位控制系统。应用的典型机床有钻床、镗床、冲床等。

2. 直线切削控制系统 (Strait Cut Control System or Line Motion Control System)

如图 1-2(b)所示,除了控制对象从一点到另一点的准确定位外,还要控制对象在规定点之间的速度和轨迹,即被控制的刀具或工作台以适当的速度按平行于坐标轴或与坐标轴成 45° 方向的直线移动对工件进行切削加工的系统是直接切削控制系统。应用的典型机床有简易数控车床、数控铣床和数控磨床。

3. 连续切削控制系统 (轮廓切削控制系统) (Contouring Control System)

轮廓切削控制系统是对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制,它不仅要控制机床移动部件(刀具或工作台)的起点与终点的坐标,而且还要控制整个加工过程的每一点的速度、方向和位移量,始终不间断控制刀具与工件的相对运动轨迹,能实现平面、空间曲面轮廓的切削加工。一般按被控制的轴及联动的轴数来分类,如常见的 2 轴、2.5 轴、3 轴和 5 轴联动机床,目前国际上最多的联动轴数为 24 轴。联动的轴数越多越复杂,价格越高,功能越强大,可加工的形面就越复杂,如图 1-2(c)、图 1-3 所示的复杂零件。应用的典型机床有高级数控车、磨、加工中心等。

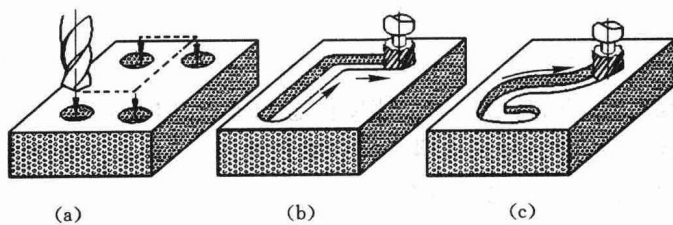


图 1-2 点位、直线控制系统的加工图例

(a) 点位控制系统; (b) 直线切削控制系统; (c) 轮廓切削控制系统

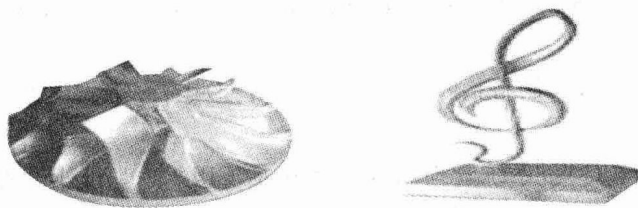


图 1-3 多轴联动控制系统加工的零件

二、按伺服系统的控制方式分类

1. 开环控制系统 (Open Loop Control System)

开环控制系统是指没有位移检测反馈的数控系统,数控装置输送来的信号经放大驱动器控制步进电机运转,然后通过机械传动系统转化成刀架或工作台的位移,不对工作效果做任何评估,系统的工作框图如图 1-4 所示。

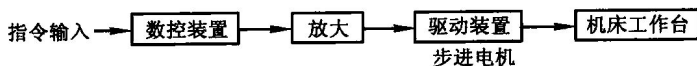


图 1-4 开环控制系统的工作框图