



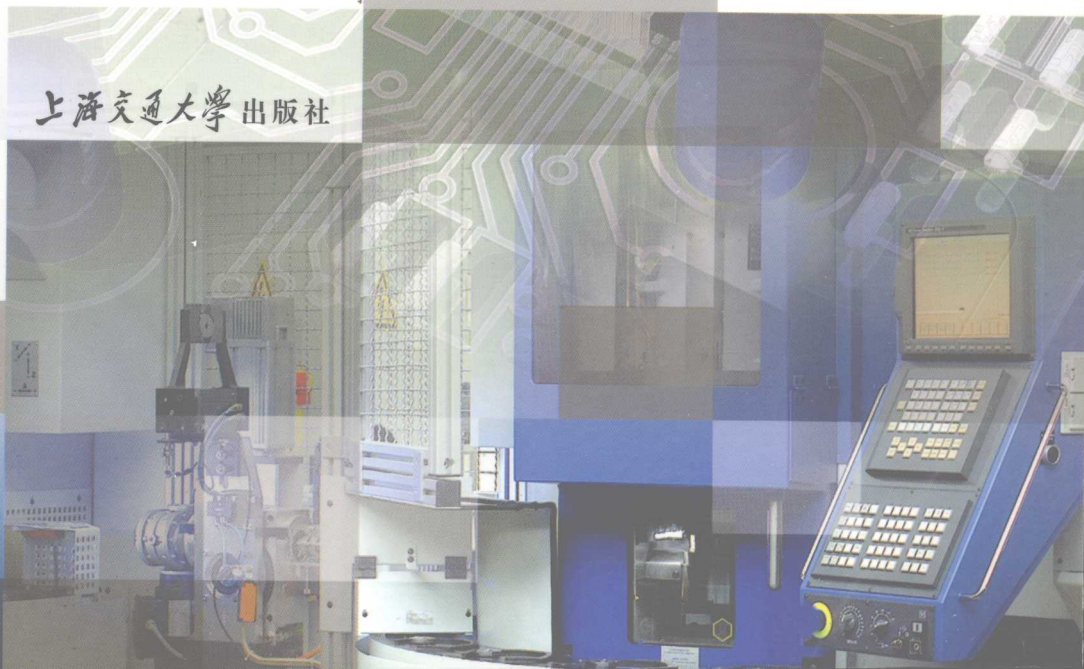
劳动和社会保障部职业技能鉴定推荐教材

21世纪 规划教材
高等教育 双证系列

数控加工工艺 及编程

主编 尚广庆

上海交通大学出版社



要 點 容 內

数控加工工艺及编程

主 编 尚广庆

副主编 张 峰 陈祥林 许春龙

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书系统地讲述了数控加工工艺及编程的基础知识,按工种详细地讲解了数控车、数控铣、加工中心和数控电火花线切割的加工工艺及其编程指令;各个章节都根据国家职业技能鉴定标准、从苏州地区的职业技能鉴定的相应工种的题库中抽取了具有代表性的考题作为综合实例,讲解手工编程指令的综合使用和编程技巧。最后介绍了数控加工的计算机辅助编程和相关的三个大型 CAD/CAM 集成软件,并给出了一个工程实践中利用 UG 进行计算机辅助设计和制造的综合实例。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺及编程 / 尚广庆主编. —上海:上海交通大学出版社, 2007

(21 世纪高等职业教育双证系列规划教材)

ISBN 978-7-313-04839-4

I. 数... II. 尚... III. ① 数控机床-加工工艺-高等学校:技术学校-教材②数控机床-程序设计-高等学校:技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 109823 号

数控加工工艺及编程

尚广庆 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

太仓市印刷厂有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.25 字数:349 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

印数:1—2 050

ISBN 978-7-313-04839-4/TG·055 定价:29.00 元

版权所有 侵权必究

前言

《数控加工工艺及编程》是根据劳动部就业培训技术指导中心在高等职业院校推行的以就业为导向的教育制度——“双证制度”(使学生在获得学历证书的同时,获得相应的国家职业资格证书或行业技术培训认证证书),按照高等职业技术教育高技能应用型人才的培养目标和基本要求,而编写的“双证课程”类教材。

本教材具备“双证”特点,结合国家相关职业技能考核标准,系统地介绍了数控加工工艺和编程的基本知识,涉及数控车、数控铣、加工中心和数控电火花线切割4个工种。本教材在编写过程中,以保证知识的“适当、够用”为原则,调整以往该类教材的编写结构和内容,抽取了各工种共性的编程知识要点统一讲解、避免了各章节不必要的重复;通过丰富的编程实例讲述常见零件轮廓的加工工艺、加工方法和编程技巧,构思新颖、结构合理。尤其在各章节的综合实例中,以苏州地区数控中级题库题目为主,并融合了来自生产一线的加工案例。

本教材可作为高职、高专的数控技术、模具、机械制造和机电一体化等专业的教材,也可作数控机床操作人员技能培训之用。

本书共分六章,分别是:数控加工工艺基础、数控加工编程基础、数控车削加工工艺及编程、数控铣床与加工中心的加工工艺及编程、数控电火花线切割加工工艺及编程、数控加工的计算机辅助编程。

本教材由苏州市职业大学尚广庆任主编,江阴工业职业技术学院张峰和苏州市职业大学陈祥林、许春龙任副主编。第1、2章由尚广庆编写,第3章由张峰编写,第4章的4.1节由苏州经贸职业技术学院的郭秀华编写、4.2节和4.3节由陈祥林编写,第5章的5.1节由苏州市职业大学李耀辉编写,5.2~5.4节由许春龙编写,第6章的6.1~6.3节由江阴工业职业技术学院王益辉编写、6.4节由苏州市职业大学孙春华编写。在本书的编写过程中,得到了苏州市职业大学朱彤、陈雪芳、朱学超等老师的大力支持和帮助,在此表示感谢。

对于本教材编写中不足和错误之处,恳请各位读者批评指正。

E-Mail: shangggq@jssvc.edu.cn

编者

2007年4月

目 录

第 1 章 数控加工工艺基础	1
1.1 数控加工工艺概述	1
1.2 数控加工工艺设计	9
1.3 数控加工的工具系统	25
1.4 数控加工技术文件的编写	33
思考题与练习题	39
第 2 章 数控加工编程基础	40
2.1 数控编程概述	40
2.2 数控加工中的坐标系	43
2.3 程序编制中的数学处理	47
2.4 数控加工程序的结构与程序段格式	49
2.5 常用的基本指令	52
思考题与练习题	60
第 3 章 数控车削加工工艺及编程	61
3.1 概述	61
3.2 数控车削加工工艺处理	62
3.3 数控车床的基本编程方法	71
3.4 外圆及内孔加工程序编制	74
3.5 凹槽加工的程序编制	83
3.6 螺纹加工的程序编制	84
3.7 子程序的调用	89
3.8 综合实例	91
思考题与练习题	99
第 4 章 数控铣床与加工中心的加工工艺及编程	102
4.1 概述	102
4.2 加工工艺处理及常用指令编程方法	108
4.3 典型零件的加工工艺分析及实例	132
思考题与练习题	154

第 5 章 数控电火花线切割加工工艺及编程	156
5.1 数控电火花线切割加工的原理、特点和应用	156
5.2 数控电火花线切割加工机床基本组成、结构及分类	159
5.3 数控电火花线切割加工工艺	162
5.4 数控电火花线切割机床的编程	173
思考题与练习题	197
第 6 章 数控加工的计算机辅助编程	198
6.1 计算机辅助编程技术的发展趋势、特点及应用	198
6.2 计算机辅助编程的工作流程	201
6.3 计算机辅助编程常用软件的介绍	204
6.4 计算机辅助编程实例——基于 UGNX2.0 的涡轮压缩机动 涡盘的 CAD/CAM	213
参考文献	221

第 1 章 数控加工工艺基础

1.1 数控加工工艺概述

数控加工技术是伴随着数控机床的产生而出现并随其发展而得以逐步完善的一种应用技术,是人们进行大量数控加工实践的总结。数控加工工艺就是采用数控机床加工零件的一种工艺方法,与传统加工工艺相比较,在许多方面,它们遵循的原则基本上是一致的,只是数控机床比传统机床具有更多的功能,可以加工普通机床难以加工或不能加工的具有复杂形面的零件。

1.1.1 数控加工技术的发展

1.1.1.1 数控加工技术的发展历程

1952 年,美国 Parson 公司与麻省理工学院(MIT)通过历时 3 年的合作,研制出世界上第一台由数字计算机控制并能进行三轴控制的线性插补铣床样机,开启了机械制造业的崭新阶段。

1953 年,麻省理工学院开发出只需确定零件轮廓和指定切削路线,即可生成 NC 程序的自动编程语言。

1959 年,美国 Keaney & Trecker(克耐·杜列克)公司成功开发了有回转工作台、带刀库,能自动进行刀具交换,一次装夹中即能进行铣、钻、镗、攻丝等多种加工功能的数控机床,这就是数控机床的新种类——加工中心,简称 MC。

1968 年,英国首次将多台数控机床、无人化搬运小车和自动仓库在计算机控制下连接成自动加工系统,这就是柔性制造系统 FMS。

1974 年,微处理器开始用于机床的数控系统中,从此 CNC(计算机数控)技术随着计算机技术的发展得以快速发展。

1976 年,美国 Lockheed 公司开始使用图像编程。利用 CAD(计算机辅助设计)绘出加工零件的模型,在显示器上“指点”被加工的部位,输入所需的工艺参数,即可由计算机自动计算刀具路径,模拟加工状态,获得 NC 程序。

DNC(直接数控)技术始于 20 世纪 60 年代末期。它使用一台通用计算机,直接控制和管理一群数控机床及数控加工中心,进行多品种、多工序的自动加工。DNC 群控技术是 FMS 柔性制造技术的基础,现代数控机床上的 DNC 接口就是在机床数控装置与通用计算机之间进行数据传送及通信控制用的,也是数控机床之间实现通信用的接口。随着 DNC 数控技术的发展,数控机床已成为无人控制工厂的基本组成单元。

20 世纪 80 年代初,出现了以加工中心和车削中心为主体,配置工件自动装卸和检测检验装置的柔性制造单元,简称 FMC。

20 世纪 90 年代,出现了包括市场预测、生产决策、产品设计与制造和销售等全过程均由

计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统(CIMS)。其中,数控是其基本控制单元。

20 世纪 90 年代后期,基于 PC-NC 的智能数控系统开始得到发展,它打破了原数控厂家各自为政的封闭式专用系统结构模式,提供了开放式基础,使升级换代变得非常容易。充分利用现有 PC 机的软硬件资源,使远程控制、远程检测诊断得以实现。

随着微电子技术、计算机技术的发展,数控系统也在不断的进步。第一台数控机床的数控装置全部采用电子管元件,而后采用了晶体管元件和印刷电路板,1965 年出现了小规模集成电路。以上三代数控系统都是专用控制计算机数控系统,称为硬件 NC 系统,只能完成固定的控制功能。1970 年采用大规模集成电路及小型计算机代替专用控制计算机数控系统,通过编制程序并存入计算机的专用存储器中,构成“控制软件”来实现多种控制功能,显著提高了系统的功能特性和可靠性,被称为第四代数控系统,简称 CNC 或“软件 NC”系统。1974 年又研制出以微处理器为核心的数控系统,这就是第五代数控系统,简称 MNC。

我国从 1958 年开始研制数控机床,但由于历史原因,一直没有取得实质性成果。20 世纪 70 年代初期,曾掀起研制数控机床的热潮,但当时是采用分立元件,性能不稳定、可靠性差。1980 年,北京机床研究所引进了日本的 FANUC5、7、3、6 数控系统,上海机床研究所引进了美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统,辽宁精密仪器厂引进了美国 Bendix 公司的 Dynaph LTD10 数控系统。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,北京机床研究所开发出 BS03 经济型数控系统和 BS04 全功能数控系统,航天部 706 所也研制出 MNC864 数控系统。“八五”期间,我国又组织近百个单位进行了以发展自主版权为目标的“数控技术攻关”,从而为数控技术产业化奠定了基础。20 世纪 90 年代末,华中数控自主开发出基于 PC-NC 的 HNC 数控系统,达到了国际先进水平,加强了我国数控机床在国际上的竞争力度。

1.1.1.2 数控加工技术的发展方向

现代数控加工正在向高速化、高精度化、高柔性化、高一体化、网络化和智能化等方向发展。

1) 高速化。

高速化的目的是高速切削。受高生产率的驱使,高速化已是现代机床技术发展的重要方向之一。高速切削可通过高速运算技术、快速插补运算技术、超高速通信技术和高速主轴等技术来实现。

机床向高速化方向发展,实现高速切削,可减小切削力、减小切削深度,有利于克服机床振动,传入零件中的热量大大减低,排屑加快,热变形减小,不但可提高零件的表面加工质量和精度,还可大幅度提高加工效率、降低加工成本。另外,经高速加工的工件一般不需要精加工。因此,高速切削技术对制造业有着极大的吸引力,是其实现高效、优质、低成本生产的重要途径。

20 世纪 90 年代以来,欧美各国及日本争相开发应用新一代高速数控机床,加快了机床高速化发展的步伐。高速主轴单元(电主轴,转速 15000~100000r/min)、高速且高加/减速度的进给运动部件(快移速度 60~120m/min,切削进给速度高达 60m/min)、高性能数控和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破,达到了新的技术水平。随着超高速切削机理、超硬耐磨长寿命刀具材料和磨料磨具、大功率高速电主轴、高加/减速度直线电机驱动进给部件以及高性能控制系统(含监控系统)和防护装置等一系列技术领域中关键技术的解决,为开发应用新一代高速数控机床提供了技术基础。

目前,在超高速加工中,车削和铣削的切削速度已达到 5000~8000m/min;主轴转速在

30000r/min(有的高达100000r/min)以上;工作台的移动速度(进给速度):在分辨率为 $1\mu\text{m}$ 时,可达 $100\text{m}/\text{min}$ (有的达到 $200\text{m}/\text{min}$)以上,在分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ 时,可达 $24\text{m}/\text{min}$ 以上;自动换刀速度在1s以内;小线段插补进给速度达到 $12\text{m}/\text{min}$ 。

2) 高精度化。

高精度一直是数控机床技术发展追求的目标。它包括机床制造的几何精度和机床使用的加工精度控制两方面。

提高机床的加工精度,一般是通过减少数控系统误差、提高数控机床基础大件结构特性和热稳定性、采用补偿技术和辅助措施来达到的。

从精密加工发展到超精密加工,是各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级($<10\text{ nm}$),其应用范围日趋广泛。

当前,在机械加工高精度的要求下,普通级数控机床的加工精度已由 $\pm 10\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5\mu\text{m}$;精密级加工中心的加工精度则从 $\pm 3\sim 5\mu\text{m}$,提高到 $\pm 1\sim 1.5\mu\text{m}$,甚至更高;超精密加工精度进入纳米级($0.001\mu\text{m}$),主轴回转精度要求达到 $0.01\sim 0.05\mu\text{m}$,加工圆度为 $0.1\mu\text{m}$,加工表面粗糙度 $R_a=0.003\mu\text{m}$ 等。这些机床一般都采用矢量控制的变频驱动电主轴(电机与主轴一体化),主轴径向跳动小于 $2\mu\text{m}$,轴向窜动小于 $1\mu\text{m}$,轴系不平衡度达到G0.4级。

高速高精加工机床的进给驱动,主要有“回转伺服电机加精密高速滚珠丝杠”和“直线电机直接驱动”两种类型。此外,新兴的并联机床也易于实现高速进给。

滚珠丝杠由于工艺成熟,应用广泛。不仅其精度能达到较高(ISO3408 1级),而且实现高速化的成本也相对较低,所以迄今为止仍为许多高速加工机床所采用。当前使用滚珠丝杠驱动的高速加工机床最大移动速度为 $90\text{m}/\text{min}$,加速度为 $1.5g$ 。

丝杠传动属机械传动,在传动过程中不可避免地存在弹性变形、摩擦和反向间隙,相应地易造成运动滞后和其他非线性误差,为了排除这些误差对加工精度的影响,1993年开始在机床上应用直线电机直接驱动,由于是没有中间环节的“零传动”,不仅运动惯量小、系统刚度大、响应快,可以达到很高的速度和加速度,而且其行程长度在理论上不受限制,定位精度在高精度位置反馈系统的作用下也易达到较高水平,是高速高精加工机床,特别是中、大型机床较理想的驱动方式。目前使用直线电机的高速高精加工机床最大快移速度已达 $208\text{m}/\text{min}$,加速度可达 $2g$,并且还能进一步提高。

3) 高柔性化。

柔性是指机床适应加工对象变化的能力。目前,在进一步提高单机柔性自动化加工的同时,正努力向单元柔性(FMC)和系统柔性化(FMS)发展。

数控系统在21世纪将具有最大限度的柔性,实现多种用途。具体是指数控系统具有开放性体系结构,可以集成用户的技术经验,形成专家系统;可视需要而重构和编辑数控系统,系统的组成可大可小,功能可专用也可通用,功能价格比可调。

4) 高一体化。

CNC系统与加工过程作为一个整体,实现机、电、光、声等综合控制,测量造型、加工一体化,加工、实时检测与修正一体化,机床主机设计与数控系统设计一体化。

在零件加工过程中,有大量的无用时间消耗在工件搬运、上下料、安装调整、换刀和主轴的升、降速上,为了尽可能减少这些无用时间,人们希望将不同的加工功能整合在同一台机床上,实现机床功能的一体化、复合化。事实证明,加工功能的复合和一体化除了增加了机床的加工

范围和能力外,还大大地提高了机床的加工精度和加工效率,节省了占地面积特别是还能缩短零件的加工周期。因此,复合功能的机床已经成为近年来发展很快的机种之一。

5) 网络化。

数控技术的网络化,主要指数控机床通过所配装的数控系统与外部的其他控制系统或上位计算机进行网络连接和网络控制。数控机床一般首先面向生产现场和企业内部的局域网,然后再经由因特网通向企业外部,这就是所谓 Internet/Intranet 技术。实现多种通信协议,既满足单机需要,又能满足 FMS(柔性制造系统)、CIMS(计算机集成制造系统)对基层设备的要求。配置网络接口,通过 Internet 可实现远程监视加工情况、控制加工进程,还可以进行远程检测和诊断,使维修变得简单。

随着网络技术的成熟和发展,最近业界又提出了数字制造的概念。数字制造,又称“e-制造”,是机械制造企业现代化的标志之一,也是国际先进机床制造商当今标准配置的供货方式。随着信息化技术的大量使用,越来越多的国内用户在购买进口数控机床时,要求具有远程通信服务等功能。

6) 智能化。

智能化是 21 世纪制造技术发展的一个大方向。智能加工是一种基于神经网络控制、模糊控制、数字化网络技术和理论的加工,它是要在加工过程中模拟人类专家的智能活动,以解决加工过程中许多不确定性的、要由人工干预才能解决的问题。

机械制造企业在普遍采用 CAD/CAM 的基础上,越加广泛地使用数控加工设备。数控应用软件日趋丰富和具有“人性化”。虚拟设计、虚拟制造等高端技术也越来越多地为工程技术人员所追求。通过智能软件替代复杂的硬件,正在成为当代机床发展的重要趋势。

21 世纪的 CNC 系统将是一个高度智能化的系统。具体是指 CNC 系统在局部或全部实现加工过程中的自适应、自诊断和自调整;多媒体人机接口使用用户操作简单,智能编程使编程更加直观,且可使用自然语言,加工数据能自动生成;具有智能数据库和智能监控功能;采用专家系统以降低对操作者的要求等。

7) 绿色化。

21 世纪的金切机床必须把环保和节能放在重要位置,即要实现切削加工工艺的绿色化。目前这一绿色加工工艺主要集中在不使用切削液上,这主要是因为切削液既污染环境和危害工人健康,又增加了资源和能源的消耗。干切削一般是在大气氛围中进行,但也包括在特殊气体氛围中(氮气中、冷风中或采用干式静电冷却技术)不使用切削液进行的切削。不过,对于某些加工方式和工件组合,完全不使用切削液的干切削目前尚难以实际应用,故又出现了使用极微量润滑的准干切削。目前在欧洲的大批量机械加工中,已有 10%~15%的加工使用了干切削或准干切削。对于面向多种加工方法组合的加工中心之类的机床来说,主要是采用准干切削,通常是让极其微量的切削油与压缩空气的混合物经由机床主轴与工具内的中空通道喷向切削区。

1.1.2 数控机床的分类

数控机床的品种很多,根据其加工、控制原理、功能和组成,可以从以下几个不同的角度进行分类。

1.1.2.1 按加工工艺方法分类

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加工中心。加工中心进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。例如具有钻、镗、铣加工功能的加工中心,它是在数控铣床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,可以对箱体零件的4面甚至5面的大部分加工工序进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工,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,减少了数控机床的配置台数和占地面积,缩短了辅助时间,大大提高了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。

1.1.2.2 按控制运动轨迹分类

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、数控点焊机等。点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

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3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,它也可算是一种直线控制数控机床。

数控镗铣床、加工中心等机床,它的各个坐标方向的进给运动的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,这类机床应该称为点位/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。

现在计算机数控装置的控制功能均由软件实现,增加轮廓控制功能不会带来成本的增加。因此,除少数专用控制系统外,现代计算机数控装置都具有轮廓控制功能。

1.1.2.3 按驱动装置的特点分类

1) 开环控制数控机床。

图 1-1 所示的是开环控制数控机床系统框图。这类控制的数控机床的控制系统没有位置检测元件,伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令,经驱动电路功率放大后,驱动步进电机旋转一个角度,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所决定的。此类数控机床的信息流是单向的,即进给脉冲发出去后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制数控机床。



图 1-1

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很高的中小型数控机床,特别是简易经济型数控机床。

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,与输入的位置指令值进行比较,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和定位。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 1-2 所示的为闭环控制数控机床的系统框图。图 1-2 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,指令值使得伺服电动机转动,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较,用比较后得到的差值进行位置控制,直至差值为零为止。这类控制的数控机床,因把机床工作台纳入了控制环节,故称为闭环控制数控机床。

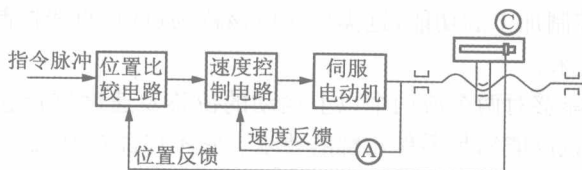


图 1-2

闭环控制数控机床的定位精度高,但调试和维修都较困难,系统复杂,成本高。

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 1-3 所示的为半闭环控制数控机床的系统框图,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。由于工作台没有包括在控制回路中,因而称为半闭环控制数控机床。

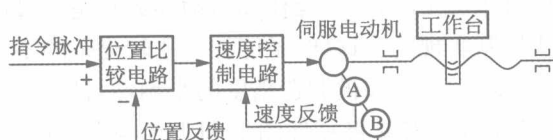


图 1-3

半闭环控制数控系统的调试比较方便,并且具有很好的稳定性。目前此类机床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。

4) 混合控制数控机床。

将以上 3 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均较大,如果只采用全闭环控制,机床传动链和工作台则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两种形式:

(1) 开环补偿型。图 1-4 为开环补偿型控制方式。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。用装在工作台的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

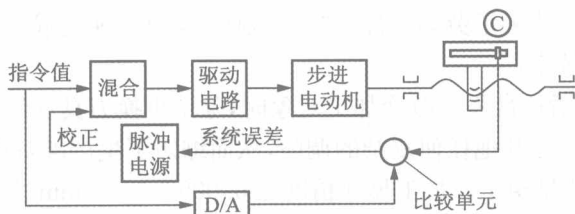


图 1-4

(2) 半闭环补偿型。图 1-5 为半闭环补偿型控制方式。它是用半闭环控制方式取得高精

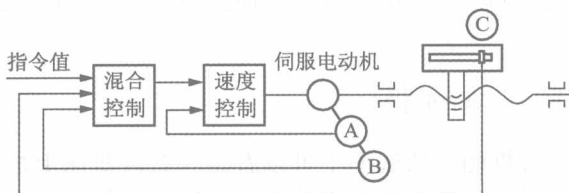


图 1-5

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。其中 A 是速度测量元件(如测速发电机),B 是角度测量元件,C 是直线位移测量元件。

1.1.3 数控加工原理

当我们使用机床加工零件时,通常都需要对机床的各种动作进行控制,一是控制动作的先后次序,二是控制机床各运动部件的位移量。

采用普通机床加工时,启动、停机、走刀、换向、主轴变速和开关切削液等操作都是由操作人员直接按压按钮或搬动手柄控制实现的。

采用自动机床和仿形机床加工时,上述操作和运动参数则是通过设计好的凸轮、靠模和挡块等装置以模拟量的形式控制实现的。这样,虽能加工比较复杂的零件,且有一定的灵活性和通用性,但是零件的加工精度受凸轮、靠模制造精度的影响,而且工序准备时间也很长。

采用数控机床加工零件时,只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式,编写成程序代码输入到机床控制系统中,再由数字控制系统进行运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号,从而控制机床各部件协调动作,自动地完成零件加工。当加工对象改变时,只需要重新编写程序,并输入机床数控系统,即可由数控装置代替人的大脑和双手的大部分功能,控制加工的全过程,制造出形面复杂的零件。

数控机床的控制系统一般都能按照数字程序指令控制机床实现主轴自动启停、正反转和变速,能自动控制进给速度、方向和加工路线进行加工,能选择、更换刀具,并根据刀具尺寸指定切削用量及行走轨迹,能完成加工中所需要的各种辅助动作。

1.1.4 数控加工的基本特点

相对传统的机械加工,数控加工有如下特点:

(1) 自动化程度高,具有很高的生产效率。除手工装夹毛坯外,其余全部加工过程都可由数控机床自动完成。若配合自动装卸手段,则是无人控制工厂的基本组成环节。数控加工减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件;省去了划线、多次装夹定位、检测等工序及其辅助操作,有效地提高了生产效率。

(2) 对加工对象的适应性强。改变加工对象时,除了更换刀具和解决毛坯装夹方式外,只需重新编程即可,不需要作其他任何复杂的调整,从而缩短了生产准备周期。

(3) 加工精度高,质量稳定。加工尺寸精度在 $0.005\sim 0.01\text{ mm}$ 之间,不受零件复杂程度的影响。由于大部分操作都由机器自动完成,因而消除了人为误差,提高了批量零件尺寸的一致性,同时精密控制的机床上还采用了位置检测装置,更加提高了数控加工的精度。

(4) 易于建立与计算机间的通信联络,容易实现群控。由于机床采用数字信息控制,易于与计算机辅助设计系统连接,形成 CAD/CAM 一体化系统,并且可以建立各机床间的联系,容易实现群控。

1.1.5 数控加工的基本过程

图 1-6 是数控加工过程框图。从框图中可以看出在数控机床上加工零件,要求编程人员在了解数控机床的性能和特点、熟悉数控系统和编程指令的同时,还必须是一个很好的工艺员,应熟练地掌握相关的工艺知识,并具有一定的经验,才能进行正确的工艺分析、工艺设计,

制定合理的零件定位夹紧方案,合理选择刀辅具,给定切削用量。还要求编程人员具有把被加工零件的工艺过程、工艺参数、运动要求等相关加工信息编写成数字指令形式并输入数控系统的能力,才能指挥数控机床自动完成零件的加工。

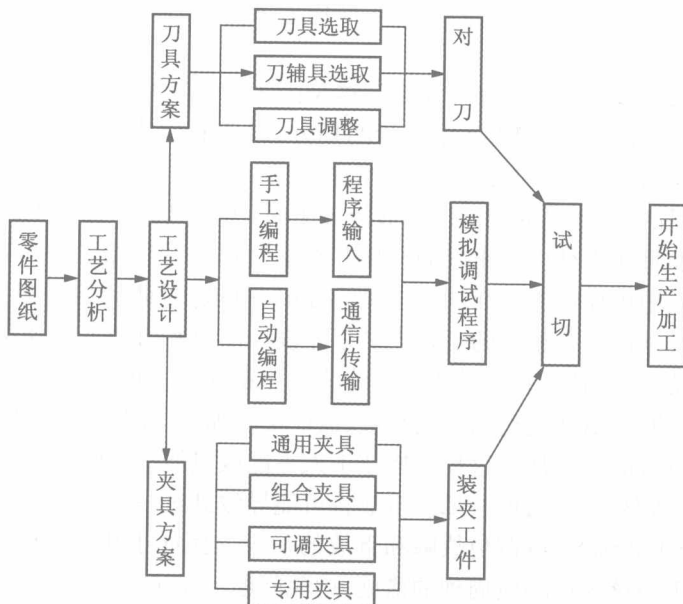


图 1-6

因此,实现数控加工,编程是关键。但光有编程是不行的,数控加工还包括编程前必须要做的一系列准备工作及编程后的善后处理工作。通常,数控加工的基本过程可以归纳为如下几步:

- (1) 选择并确定进行数控加工的零件及内容。
- (2) 对零件图纸进行数控加工的工艺分析。
- (3) 进行数控加工的工艺设计。
- (4) 对零件图纸做相关的数学处理。
- (5) 编写数控加工程序。
- (6) 将数控加工程序输入到数控系统。
- (7) 程序的校验与修改。
- (8) 首件试切及现场问题处理。
- (9) 数控加工工艺文件的定型与归档。

1.2 数控加工工艺设计

1.2.1 数控加工工艺的特点

数控加工工艺虽然与传统加工工艺在许多方面遵循的基本原则是一致的,但数控加工的自动化程度高、可控制功能强、设备费用高,在应用过程中形成了其自身特点:

(1) 工序集中,内容复杂。数控机床通常具有多种加工功能,尤其是配有刀库的加工中心和带有动力架的车削中心等,有的还具有主轴的立、卧转换等功能,使得一台数控机床具有车、铣、钻、扩、铰、镗、攻丝等多种加工功能,一次装夹就可以完成多形面、多部位的多种加工,所以通常在数控机床上安排较多加工内容,使其工序内容复杂、高度集中,这更有利于保证加工形面之间的位置精度。

(2) 工艺内容十分具体,工步内容详尽。这是因为在使用传统通用机床进行单件小批量加工时,一些具体的工艺问题,如工序中工步的划分、刀具的形状和材料、具体的走刀路线、切削用量、冷却液的使用等,很大程度上依靠操作者个人的经验习惯自行考虑确定,一般不需要工艺人员在工艺规程中做详尽的规定。而数控加工时,上述这些具体的工艺问题,不仅在工艺设计时必须考虑,而且还必须作出正确的选择并在编写加工程序中的正确位置明确规定。也就是说,在传统加工中由操作工人在加工中灵活控制并可适时调整的许多具体工艺的细节问题,在数控加工时必须由进行编程的工艺人员事先设计确定并由加工指令在加工程序中指定。

(3) 数控加工的工艺工作十分严密。在传统通用机床加工时,操作工人可以根据加工中出现的具体问题,适时灵活地进行人为调整,以适应实际加工情况。而数控加工是按照事先编写好的程序自动进行加工,在加工过程中操作工人不能或只能很有限地干涉加工,也不易发现加工中出现的意外情况,一旦出现故障或事故将可能导致其进一步扩大。因此,要求工艺人员必须周密考虑每个工艺细节,以避免故障和事故的发生。例如小孔加工时容易发生断钻和断丝锥的情况,工艺上应该采取相应周到的措施,避免问题的发生。

1.2.2 数控加工工艺设计的主要内容

数控加工工艺设计是对工件进行数控加工前必不可少的准备工作。无论是手工编程还是计算机辅助编程,在编程前都要对所加工的工件进行工艺分析、拟定工艺路线、设计加工工序。此外,工艺设计方案是编制加工程序的依据,工艺方案设计做不好是数控加工出差错的主要原因之一,往往造成工作反复、工作量成倍增加。因此,编程人员必须首先搞好工艺设计,再进行编程。

数控加工工艺设计的主要内容是:

- (1) 选择零件适于数控加工的具体内容。
- (2) 选择具体的数控加工方法。
- (3) 对零件图纸进行数控加工工艺性分析。
- (4) 数控加工工艺路线的设计。
- (5) 数控加工的工序设计。
- (6) 数控加工技术文件的编写。

1.2.3 数控加工内容的选择

数控机床有其一系列优点,但价格昂贵,加工维持费用高、消耗大,导致加工成本相对较高。从技术经济性角度考虑,当决定对某个零件进行数控加工时,并非其全部加工内容都采用数控加工,往往只是选择零件加工工序中的一部分进行数控加工。因此,有必要对零件图样进行仔细的工艺分析,结合本单位实际情况,立足于解决难题、提高生产效率,注意充分发挥数控加工的优势,选择那些最适合、最需要的内容和工序进行数控加工。一般可按下列原则选择数控加工内容:

(1) 普通机床无法加工的内容,特别是用数学方法定义的复杂曲线、曲面轮廓,应作为优先选择内容。

(2) 形状复杂、加工精度要求高,普通机床难加工、质量也难以保证的内容,应作为重点选择内容。

(3) 普通机床加工效率低,工人手工操作劳动强度大的内容,可在数控机床尚有加工能力的基础上进行选择。

相比之下,下列一些加工内容则不宜选择数控加工:

(1) 占机调整时间较长的加工内容,如按毛坯上画线来找正定位装夹的工序。

(2) 加工余量极不稳定,而且在数控机床上又无法自动调整零件坐标位置的加工内容。

(3) 不能在一次安装中加工完成的零星分散部位,采用数控加工很不方便,效果不明显,最好安排普通机床补充加工。

此外,在选择数控加工内容时,还要考虑生产批量、生产周期、工序间周转情况等因素,要尽量合理地使用数控机床,充分发挥数控机床的优势,达到产品质量、生产率及综合经济效益等指标都能有明显提高的目的,要避免将数控机床降格为普通机床使用。

1.2.4 数控加工方法的选择

数控加工方法的选择原则大体上与传统加工基本相同,只是由于数控机床比起同类的传统机床功能范围上有所突破,因此在选择数控机床时有所不同。如数控铣床不单单是传统意义上的铣床赋予了数控功能,它还兼有镗削和钻削功能;加工中心涵盖了钻、镗、铣类机床的功能。

1) 回转体类零件的加工。

这类零件采用数控车床或数控磨床进行加工。其毛坯多为棒料或锻坯,加工余量较大且不均匀,粗车的走刀路线是编程时主要考虑的。

2) 孔系零件的加工。

孔系零件一般采用钻、铰、镗等加工方法,设备选择为数控铣床、数控镗床或加工中心,其尺寸精度主要由刀具保证,位置精度主要靠数控机床自身的定位精度来保证。从功能上讲,数控铣床和加工中心覆盖了数控钻床和数控镗床,这使得数控钻床没有了生存的市场空间,这也是没有选择数控钻床的原因。目前,对于一般单工序的简单孔系加工,通常采用数控铣床或数控镗床来完成;对于复合工序的复杂孔系的加工,一般采用加工中心尽可能在一次装夹下,通过自动换刀依次加工完成。

3) 平面或曲面轮廓零件的加工。

这类零件需要两坐标联动或三坐标联动进行插补才能进行加工,通常在数控铣床或加工中心上完成。如图 1-7 所示是常见的平板凸轮,其轮廓加工只需要两坐标联动即可完成加工;图 1-8 所示是飞机压气机转子,其曲面的加工在三坐标联动的基础上还需辅助转轴才能实现。

4) 曲面型腔零件的加工。

曲面类型腔一般是模具的型腔,其型腔表面多为不规则的复杂曲面,且表面质量和尺寸精度要求较高。数控加工时,可根据零件材料的硬度选择具体的加工方法。当材料硬度不高时(如塑料模和橡胶模),通常采用数控铣床或加工中心进行加工;当材料硬度很高时(如锻模和冲压模),需在淬硬前进行粗铣,淬火后进行电火花成型加工。随着刀具材料技术发展,高速铣