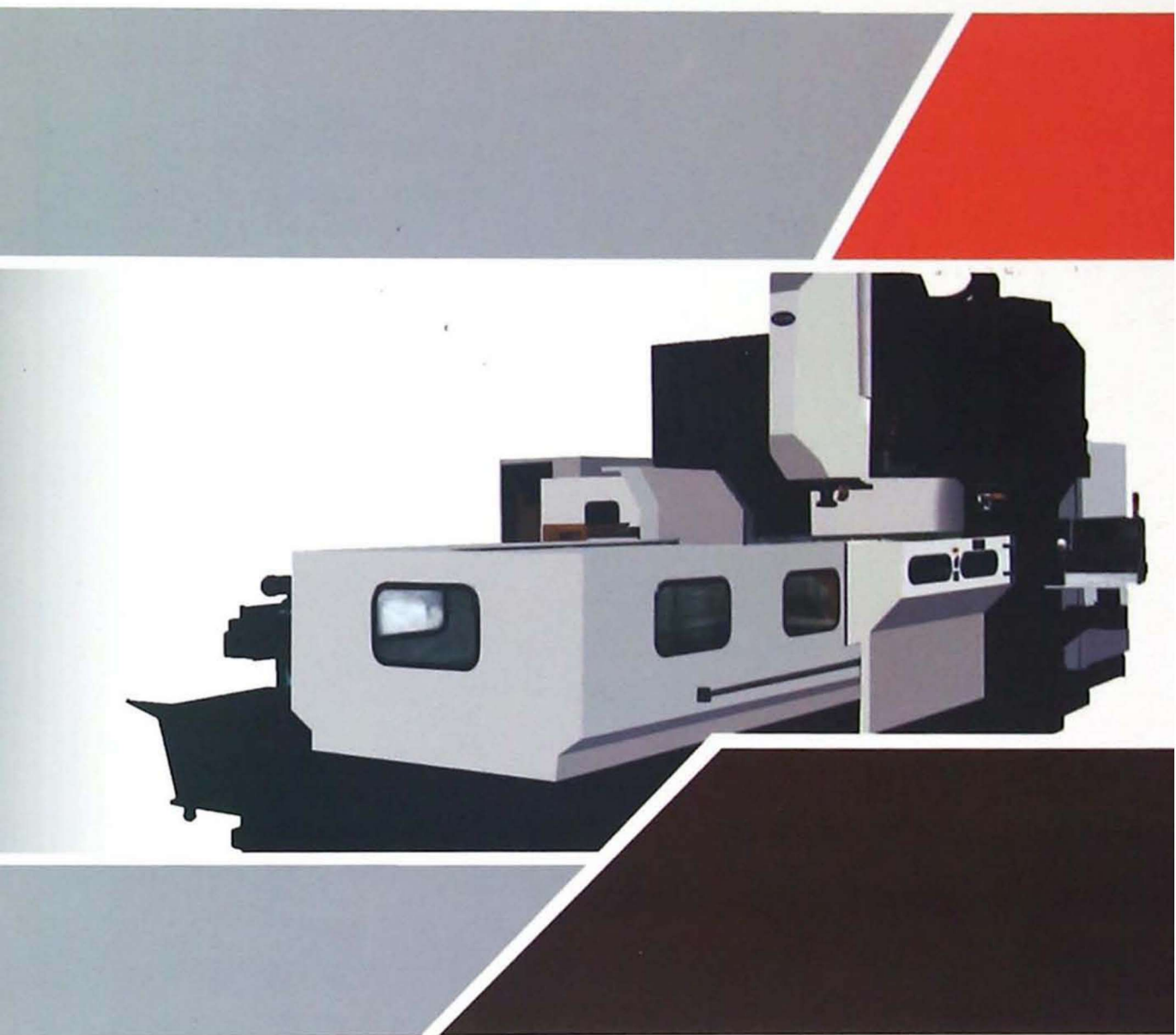




数控铣加工技术

◎ 主 编 范建锋
副主编 施尚军 楼文刚 任常富



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

数控铣加工技术

主 编 范建锋

副主编 施尚军 楼文刚 任常富



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数控铣加工技术 / 范建锋主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-308-14683-8

I. ①数… II. ①范… III. ①数控机床—铣床—加工—中等专业学校—教材 IV. ①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 097315 号

内容提要

本书按照数控铣床的操作编程人员必须具备的知识结构进行组织, 结合考工培训的教学特点编写而成。全书共分 6 章, 主要内容包括数控铣加工基础、数控铣床机床结构、数控铣加工工艺、数控加工中心操作、数控铣床手工编程、控机床维护与保养。全书突出以应用为主线, 详略结合, 内容完整。

本教材可作为中职学校、技工院校数控加工专业或相近专业的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

数控铣加工技术

主 编 范建锋

副主编 施尚军 楼文刚 任常富

责任编辑 杜希武

责任校对 余梦洁

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州金旭广告有限公司

印 刷 富阳市育才印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12.25

字 数 298 千

版 印 次 2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-14683-8

定 价 29.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式 (0571)88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>



前 言

随着科技的进步与发展,尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,使制造技术的内涵和外延发生了革命性的变化。数控加工技术使机械制造过程发生了显著的变化。国内机械制造行业对数控加工的需求高速增长,但高水平的数控技术人才包括数控铣加工人才严重短缺。“数控铣加工技术”已经成为中职学校和技工院校必开设的课程。

数控铣床的操作与编程是一项实践性很强的技术,数控铣床的操作技工通常既要懂得机床的操作,同时又能进行程序编制,还要能利用现代信息化的自动编程软件进行复杂工件的程序编制。

为了解决中职学校和技工院校“数控铣加工技术”课程教学的需要,我们按教学大纲要求,结合多年教学实践经验,并参考一些其它院校的经验,编写了本书。本书以数控铣削工艺、编程与机床操作为核心内容,以数控铣削加工的应知、应会内容为主线,按照数控铣床的操作编程人员必须具备的知识结构安排本书内容。全书尽量删繁就简、详略结合,既照顾到内容的完整性,又不使篇幅过大,既使学生受到全面的基本训练,又避免了不必要的重复。本书主要包括以下 6 部分内容:

第一章 数控铣加工基础

第二章 数控铣床机床结构

第三章 数控铣加工工艺

第四章 数控加工中心操作

第五章 数控铣床手工编程

第六章 数控机床维护与保养

书中安排有大量实例,且多数来自生产实际和教学实践,内容通俗易懂,方便教学。适用于中职学校、技工院校数控加工专业或相近专业的师生使用,也可供有关工程技术人员参考。

本书由范建锋、施尚军、楼文刚、任常富、吴瑾来、孙传、潘常春等编写,其中范建锋为本书主编,施尚军、楼文刚、任常富为副主编。限于编写时间和编者的水平,书中必然会存在需要进一步改进和提高自己的地方。我们十分期望读者及专业人士提出宝贵意见与建议,以便今后不断加以完善。我们的联系方式:605426667@qq.com。

我们谨向所有为本书提供大力支持的有关学校、企业和领导,以及在组织、撰写、研讨、修改、审定、打印、校对等工作中做出奉献的同志表示由衷的感谢。

最后,感谢浙江大学出版社为本书的出版所提供的机遇和帮助。

作者

2014 年 11 月

目 录

第 1 章 数控铣加工基础	1
1.1 概 述	1
1.1.1 数控机床的发展简况	1
1.1.2 我国数控机床的发展简介	2
1.1.3 数控机床发展趋势	2
1.2 数控机床的组成	5
1.3 数控加工原理	6
1.4 数控铣的特点	7
1.4.1 高柔性	8
1.4.2 高精度	8
1.4.3 高效率	9
1.4.4 大大减轻了操作者的劳动强度	9
1.5 数控铣的主要应用	9
1.5.1 平面轮廓加工	9
1.5.2 曲面轮廓的加工	10
第 2 章 数控铣床机床结构	14
2.1 数控铣床分类	14
2.1.1 立式数控铣床	14
2.1.2 卧式数控铣床	15
2.1.3 立卧两用数控铣床	15
2.2 数控铣床机械结构	16
2.2.1 基础件	16
2.2.2 主传动系统	16
2.2.3 进给传动系统	17
2.2.4 回转工作台	20
2.2.5 其他机械功能附件	21
2.3 数控系统	22
2.3.1 数控(NC)及计算机数控(CNC)	22
2.3.2 计算机数控系统(CNC)的内部工作过程	22
2.3.3 CNC 系统的主要功能	24
2.3.4 常用数控系统的种类与特点	27



2.4 伺服系统	28
2.4.1 伺服系统的概念	28
2.4.2 伺服系统的分类	29
2.4.3 数控机床对伺服系统的要求	31
2.4.4 新技术发展前景	31
2.5 数控卧式铣镗床的结构特点和主要技术参数	33
2.5.1 结构特点	33
2.5.2 主要技术参数	34
2.6 数控铣床和数控加工中心简介	35
第3章 数控铣加工工艺	37
3.1 数控加工工艺设计内容	37
3.2 数控加工的质量分析	37
3.2.1 加工精度分析	37
3.2.2 表面质量分析	39
3.3 数控铣工艺分析	40
3.3.1 选择并确定数控铣加工部位及工序内容	40
3.3.2 零件图的工艺性分析	41
3.3.3 零件毛坯的工艺性分析	42
3.4 数控铣工艺设计	43
3.4.1 工序的划分	43
3.4.2 加工顺序的安排	44
3.4.3 走刀路线的安排	44
3.4.4 加工表面的加工方案	45
3.4.5 工件的装夹与定位	45
3.4.6 加工刀具的选择	48
3.4.7 切削用量的确定	57
3.4.8 对刀点和换刀点的选择	59
3.4.9 加工工艺文件的编写	60
3.4.10 顺铣与逆铣	61
3.4.11 冷却液开关	61
3.5 数控铣工艺分析实例	61
3.5.1 零件图工艺分析	62
3.5.2 确定装夹方案	62
3.5.3 确定加工顺序及走刀路线	63
3.5.4 刀具的选择	63
3.5.5 切削用量的选择	64
3.5.6 填写数控加工工序卡	64

第 4 章 数控加工中心操作	65
4.1 数控加工中心操作流程	65
4.2 机床面板及功能	66
4.2.1 CNC 系统控制面板	66
4.2.2 机械操作面板	68
4.2.3 A. T. C. 操作面板	69
4.3 数控加工中心操作具体步骤	71
4.3.1 数控加工中心操作步骤	71
4.3.2 数控加工中心基本操作	71
第 5 章 数控铣床手工编程	81
5.1 数控程序基础	81
5.1.1 概述	81
5.1.2 数控机床的坐标系	82
5.1.3 程序段的组成	84
5.1.4 主程序与子程序	85
5.1.5 手工编程中常用数值计算	86
5.2 数控手工编程的一般步骤	88
5.3 G 编程指令及应用	89
5.3.1 坐标系有关指令	89
5.3.2 快速定位指令	90
5.3.3 直线插补指令	90
5.3.4 圆弧插补指令	91
5.3.5 螺旋线插补指令	92
5.3.6 刀具半径补偿指令	94
5.3.7 刀具长度补偿指令	96
5.3.8 孔加工固定循环指令	97
5.3.9 坐标系旋转功能指令	103
5.3.10 比例功能指令	106
5.3.11 镜像功能指令	107
5.3.12 缩放指令功能指令	108
5.4 M 指令应用	111
5.4.1 程序停止指令 M00	111
5.4.2 计划(任选)停止指令 M01	111
5.4.3 程序结束指令 M02	111
5.4.4 主轴正转、反转、停止指令	111
5.4.5 M98、M99 子程序调用和结束指令	113
5.4.6 M30 程序结束并返回指令	114



5.4.7 F、S、T 指令	115
5.5 数控铣手工编程实例	115
5.5.1 G50.1 和 G51.1 指令编程实例	115
5.5.2 G68 和 G69 指令编程实例	116
5.5.3 G15 和 G16 指令编程实例	118
5.5.5 G00、G01、G02 和 G03 指令编程实例	119
5.5.6 G40、G41 和 G42 指令编程实例	121
5.5.7 G43、G44 和 G49 指令编程实例	123
5.5.8 常用固定循环指令编程实例	124
5.6 数控铣手工编程综合实例	139
5.6.1 二维外形轮廓铣削编程与加工编程实例	139
5.6.2 十字槽铣削编程与加工编程实例	141
5.6.3 二型腔槽板铣削编程与加工编程实例	143
5.6.4 凹凸模板铣削编程与加工编程实例	147
5.6.5 钻孔编程与加工训练	152
5.6.6 铰孔编程与加工训练	156
5.6.7 铣孔编程与加工训练	160
5.6.8 镗孔编程与加工训练	164
5.6.9 内螺纹铣削编程与加工训练	167
第 6 章 数控机床维护与保养	172
6.1 数控机床日常维护与保养	172
6.2 数控机床常见故障及诊断方法	174
6.2.1 机械故障	174
6.2.2 CNC 数控系统故障诊断	175
6.2.3 伺服系统故障	178
6.3 数控机床故障诊断实例	181
6.3.1 机床故障实例	181
6.3.2 CNC 系统故障实例	182
6.3.3 伺服系统故障实例	183
参考文献	186

第 1 章 数控铣加工基础

1.1 概 述

随着社会生产和科学技术地迅速发展,机械产品日趋精密复杂,且需频繁改型,精度要求高,形状复杂,批量小。加工这类产品需要经常改装或调整设备,普通机床或专用化程度高的自动化机床已不能适应这些要求。为了解决上述问题,一种新型机床——数控机床应运而生。这种新型机床具有适应性强、加工精度高、加工质量稳定和生产效率高等优点。它综合了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构多方面的技术成果,是今后机床控制的发展方向。

1.1.1 数控机床的发展简况

自 1952 年,美国研制成功第一台数控机床以来,随着电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量等相关技术的发展,数控机床也在不断地更新换代,先后经历了五个发展阶段,如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床发展阶段

第一代数控	1952—1959 年采用电子管元件构成的专用数控装置(NC)。由于其体积大、可靠性低、价格高,因此主要用于军工部门,没有得到推广应用,产量比较小。
第二代数控	从 1959 年开始采用晶体管电路的 NC 系统。虽然其可靠性有所提高,体积大为缩小,但其可靠性还是低,得不到广大用户的认可,数控机床的产量和产品虽有所增加,但增加得不快。
第三代数控	从 1965 年开始采用小中规模集成电路的 NC 系统。它不仅大大缩小了数控机床的体积,可靠性也得到了实质性的提高,从而成为一般用户能够接受的装置,数控机床的产量和品种均得到较大的发展。
第四代数控	从 1970 年开始采用大规模集成电路的小型通用电子计算机控制的系统(Computer Numerical Control, CNC)。
第五代数控	从 1974 年开始采用微型电子计算机控制的系统(Microcomputer Numerical Control, MNC)。

第四、五两代因为将计算机应用于数控装置,所以称之为计算机数字数控装置,简称 CNC 装置。由于计算机的应用,很多控制功能可以通过软件来实现,因而数控装置的功能大大提高,而价格却有较大的下降,可靠性和自动化程度得到进一步提高,数控机床得到了飞速的发展。

从 1975 年出现第五代数控装置以后,数控装置没有出现质的变化,只是随着集成电路

的规模日益扩大,以及光缆通信技术在数控装置中的应用,使其体积日益缩小,价格逐年下降,可靠性进一步提高,数控装置的故障在数控机床总的故障中占据很小的比例。

近年来,微电子和计算机技术的日益成熟,它的成果正在不断渗透到机械制造的各个领域中,先后出现了计算机直接数控(Direct Numerical Control,DNC),柔性制造系统(Flexible Manufacturing System,FMS)和计算机集成制造系统(Computer-Integrated Manufacturing System,CIMS)。所有这些高级的自动化生产系统均是以数控机床为基础,它们代表着数控机床今后的发展趋势。

1.1.2 我国数控机床的发展简介

从 20 世纪 50 年代末期,我国就开始研究数控技术,开发数控产品,经过多年来不断地调整、优化、重组和开拓,我国通过自行研究、引进合作、独立开发和推进产业化进程,数控系统已经取得重大突破,基本上掌握了关键技术,建立了数控开发、生产基地,培养了一批数控人才,初步形成了自己的数控产业。“八五”攻关开发的成果——华中 I 号、中华 I 号、航天 I 号和蓝天 I 号 4 种基本系统建立了具有中国自主知识产权的数控技术平台。具有中国特色的经济型数控系统经过这些年的发展,产品的性能和可靠性有了较大的提高,逐渐被用户认可,在市场上站住了脚。

20 世纪 80 年代以来,我国对数控机床的发展十分重视,经历了“六五”、“七五”期间的消化吸收引进技术,“八五”期间科技攻关开发自主知识产权数控系统两个阶段,已为数控机床的产业化奠定了良好的基础,并取得了长足的进步。“九五”期间数控机床发展已进入实现产业化阶段:数控机床新开发品种 300 个,已有一定的覆盖面。新开发的国产数控产品提供了一批高水平数控机床,同时也在技术上也取得了突破,如高速主轴制造技术($12000\sim 18000\text{r/min}$)、快速进给(60m/min)、快速换刀(1.5s)、柔性制造、快速成形制造技术等为更先进国产数控机床的发展奠定了基础。曾长期困扰我国,并受到西方国家封锁的多坐标联动技术已不再是难题, $0.1\mu\text{m}$ 当量的超精密数控系统、数控仿形系统、非圆齿轮加工系统、高速进给数控系统、实时多任务操作系统都已研制成功。尤其是基于 PC 机的开放式智能化数控系统,可实现多轴控制,具备联网进线等功能,既可作为独立产品,又是一代开放式的开发平台,为机床厂和软件开发商二次开发创造了条件。特别重要的是,我国数控系统的可靠性已有很大提高,MPBF 值可以在 15000h 以上。同时国内已能生产大部分数控机床配套产品,自我配套率超过 60%。这些成果为我国数控系统的自行开发和生产奠定了基础。

1.1.3 数控机床发展趋势

为了进一步提高劳动生产率,降低生产成本,缩短产品的研制和生产周期,加速产品更新换代,以适应社会对产品多样化的需求,近年来,人们把自动化生产技术的发展重点转移到中、小批量生产领域中,这就要求加快数控机床的发展,使其成为一种高效率、高柔性和低成本的制造设备,以满足市场的需求。

如图 1-1 所示数控机床是柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)以及计算机集成制造系统(CIMS)和敏捷制造(Agile Mpg)的基础,是国民经济的重要基础装备。随着微电子技术和计算机技术的发展,现代数控机床的应用领域日益扩大。当前数控设备正在不断采用最新技术成就,向着高速度化、高精度化、智能化、多功能化以及高可靠性的方向发展。



图 1-1 数控机床

一、高速度、高精度化

现代数控系统正朝着高度集成、高分辨率、小型化方向发展。数控机床由于装备有新型的数控系统和伺服系统,使机床的分辨率和进给速度达到 $0.1\mu\text{m}$ ($24\text{m}/\text{min}$), $1\mu\text{m}$ ($100\sim 240\text{m}/\text{min}$),现代数控系统已经逐步由 16 位 CPU 过渡到 32 位 CPU。日本产的 FANUC15 系统甚至搭载了 64 位 CPU 系统,能达到最小移动单位 $0.1\mu\text{m}$ 时,最大移动速度为 $100\text{m}/\text{min}$ 。FANUC16 和 FANUC18 采用简化与减少控制基本指令的 RISC(Reduced Instruction Set Computer)精简指令计算机,能进行更高速度的数据处理,使一个程序段的处理时间缩短到 0.5ms ,连续 1mm 移动指令的最大进给速度可达到 $120\text{m}/\text{min}$ 。现代数控机床的主轴的最高转速一般可达到 $10000\sim 20000\text{r}/\text{min}$ 。采用高速内装式主轴电机后,使主轴直接与电机连接成一体,可将主轴转速提高到 $40000\sim 50000\text{r}/\text{min}$ 。

通过减少数控系统误差和采用补偿技术可提高数控机床的加工精度。若要减少数控系统控制误差,可采用提高数控系统分辨率,提高位置检测精度(日本交流伺服电机已装上每转可产生 100 万个脉冲的内藏位置检测器,其位置检测精度可达到 $0.1\mu\text{m}/\text{脉冲}$)及在位置伺服系统中采用前馈控制与非线性控制等方法。若采用补偿技术,除了齿隙补偿、丝杆螺距误差补偿、刀具补偿等,还新开发了热补偿技术,用于减少由热变形引起的加工误差。

二、智能化

1. 在数控系统中引进适应控制技术

数控系统中,工件毛坯余量不均、材料硬度不一致、刀具磨损、工件变形、润滑或冷却液等因素的变化将直接或间接的影响加工效果。自适应控制是在加工过程中不断检查某些能代表加工状态的参数,如切削力、切削温度等,通过评价函数计算和最佳化处理,对主轴转速、刀具(或工作台)进给速度等切削用量参数进行校正,使数控机床能够始终在最佳的切削状态下工作,从而提高了加工表面的质量和生产率,提高刀具的使用寿命,取得良好的经济效益。

2. 设置故障自诊断功能

数控机床在工作过程中出现故障时,控制系统能自动诊断,并立即采取措施排除故障,

以此来满足长时间在无人环境下正常运行的要求。

3. 具有人机对话自动编程功能

可以把自动编程机具有的功能模块装入数控系统,使零件的程序编制工作可以通过数控系统在线进行。用人机对话方式,通过 CRT 彩色显示和手动操作键盘的配合,实现程序的输入、编辑和修改,并在数控系统中建立切削用量专家系统,从而达到提高编程效率和降低操作人员技术水平的要求。

4. 应用图像识别和声控技术

图像识别技术和声控技术分别是由机床辨别图样并自动地进行数控加工的智能化技术和根据人的言语声音对数控机床进行自动控制的智能化技术。

三、多功能化

用一台机床实现全部工序的加工来代替在多机床上多次装夹的加工,既能节省加工时间和工序间搬运的时间,又能提高加工精度。加工中心能把许多工序和工艺过程集中在一台设备上完成,实现自动更换刀具和工件,一次装夹完成工作的全部加工工序,减少装卸刀具、装卸工件、调整机床的辅助时间,实现一机多能,最大限度提高机床的开机率和利用率。目前加工中心的刀库容量可达 120 把左右,自动换刀装置的换刀时间为 1~2s。加工中心的种类除了镗铣类加工中心和车削类车削中心外,还发展出可自动更换电极的电火花加工中心、带有自动更换砂轮装置的内圆加工中心等。

采用多系统混合控制方式,用车、铣、钻、攻螺纹等不同切削方式,同时加工工件的不同部位。现代控制系统的控制轴数可多达 16 轴,同时联动轴数已达 6 轴。

四、高可靠性

高可靠性的数控系统是提高数控机床可靠性的关键。选用高质量的印制电路和元器件,对元器件进行严格地筛选,建立稳定的制造工艺及产品性能测试等一整套质量保证体系。在新型的数控系统中采用大规模、超大规模集成电路实现三维高密度插装技术,进一步把典型的硬件结构集成化,做成专用芯片,提高了系统的可靠性。

现代数控机床均采用 CNC 系统。数控机床的硬件由多种功能模块组成,不同功能的模块可根据机床数控功能的需要选用,并可自行扩展。在 CNC 系统中,只要改变一下软件或控制程序,就能制成适应各类机床不同要求的数控系统。数控系统正向模块化、标准化、智能化“三化”方向发展,使其便于组织批量生产,有利于质量和可靠性的提高。

现代数控机床都装备有各种类型的监控、检测装置,具有故障自动诊断与保护功能,能够对工件和刀具进行监测,发现工件超差、刀具磨损、破裂的能及时报警、给予补偿、或对刀具进行调换,还具有故障预报和自恢复功能,保证数控机床长期可靠地工作。数控系统一般能够对软件、硬件进行故障自诊断,能自动显示故障部位及类型,以便快速排除故障。此外要注意加强系统的保护功能,如行程范围保护功能、断电保护功能等,以避免机床的损坏和工件的报废。

五、适应以数控机床为基础的综合自动化系统

现代制造技术正在向机械加工综合自动化的方向发展。在现代机械制造业的各个领域中,先后出现了计算机直接数控系统 DNC、柔性制造系统 FMS,以及计算机集成制造系统 CIMS 等高新技术的制造系统。为适应这种技术发展的趋势,要求现代数控机床的各种自动化监测手段和联网通信技术不断完善和发展。目前正在成为标准化通信局部网络 LAN



(Local Area Network)的制造自动化协议 MAP,使各种数控设备便于联网,就有可能把不同类型的智能设备用标准化通信网络设施连接起来,使工厂自动化 FA(Factory Automation)的上层到下层通过信息交流,促进系统的智能化、集成化和综合化,建立能够有效利用系统全部信息资源的计算机网络,实现生产过程综合自动化的计算机管理与控制。

1.2 数控机床的组成

如图 1-2、图 1-3 所示,数控机床一般由输入装置、数控装置、伺服系统、检测及其辅助装置和机床本体等组成。



图 1-2 数控车床

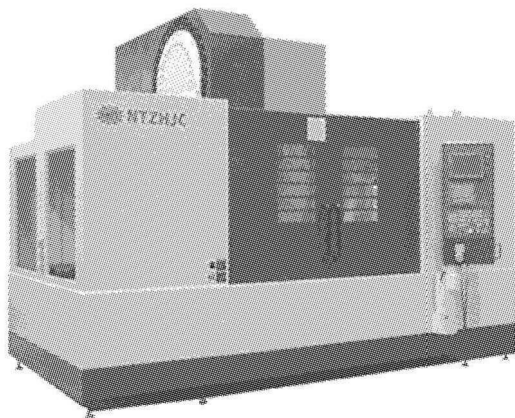


图 1-3 数控铣床

一、输入装置

数控程序编制后需要存储在一定的介质上。目前,控制介质大致分为纸介质和电磁介质,相应地通过不同方法输入到数控装置中去。纸带输入方法,即在专用的纸带上穿孔,用不同孔的位置组成数控代码,再通过纸带阅读机将代表不同含义的信息读入。手动输入是将数控程序通过数控机床上的键盘输入,程序内容将存储在数控系统的存储器内,使用时可

以随时调用。

数控程序由计算机编程软件产生或手工输入到计算机中。数控程序可采用通信方式传递到数控系统中。此类通信通常使用数控装置的 RS232C 串行口或 RJ45 口等来完成。

二、数控装置

数控系统一般是由专用或通用计算机硬件加上系统软件和应用软件组成,能够完成数控设备的运动控制功能、人机交互功能、数据管理功能和相关的辅助控制等功能。它是数控设备功能实现和性能保证的核心,是整个数控设备的中心控制机构。开放式数控技术的出现,使数控系统具备了自我扩展和自我维护的功能,为数控设备在应用中提供了自由完善、自定义系统软硬件功能和性能的能力。

数控装置是数控机床的核心,由数控系统、输入和输出接口等组成,它接收到的数控程序,经过编译、数学运算和逻辑处理后,输出各种信号到输出接口上。

三、伺服系统

伺服系统是连接数控装置和机械结构的控制传输通道。它将数控装置的数字量的指令输出转换成各种形式的电动机运动,带动机械结构执行元件实现其所规定的运动轨迹。伺服系统包括驱动放大器和电动机两个主要部分,其任务是实现一系列数/模或模/数之间的信号转化,表现形式就是位置控制和速度控制。

伺服系统接收数控装置输出的各种信号,经过分配、放大、转换,驱动各运动部件,完成零件的切削加工。

四、检测装置

位置检测、速度反馈装置根据系统要求不断测定运动部件的位置或速度。其结果转换成电信号传输到数控装置中,与目标信号进行比较、运算,以此对运动部件进行控制。

五、运动部件

运动部件是指由包括床身、主轴箱、工作台、进给机构等组成的机械部件,伺服电机驱动运动部件运动,完成工件与刀具之间的相对运动。

六、辅助装置

辅助装置是指数控机床的一些配套部件,包括液压和气动装置、冷却系统和排屑装置等。

1.3 数控加工原理

金属切削机床加工零件时,操作者根据图纸要求,控制机床操作系统,不断改变工件与刀具的相对运动参数(位置、速度等),使刀具从工件上切除多余材料,制造出符合形状、尺寸、表面质量等技术要求的零件。

数控加工的基本工作原理包括以下三个方面:

- (1)把加工过程中所需的各种操作步骤(如主轴变速、工件夹紧、进给、启停、刀具选择、冷却液供给等)和工件的形状尺寸用程序来表示。
- (2)将信息输入到计算机数控装置,并进行相应的处理和运算。
- (3)把刀具和工件的运动坐标分割成一些最小单位量,由数控系统按照零件程序的要求



控制伺服驱动系统,从而实现刀具与工件的相对运动,完成零件的加工。

在数控加工中,数控装置以脉冲群的形式向数控机床传递运动命令,每一个脉冲对应于机床的单位位移量,由此实现数控机床的加工。

所谓插补运算,是指在进行曲面加工时,用给定的数学函数来模拟线段 ΔL ,即给出一个曲线的种类、起点、终点以及速度后,然后根据给定的数学函数,在理想的轨迹或轮廓上的已知点之间进行数据点的密化,从而确定一些中间点的运算方法。

由此可见,要实现数控加工,必须有一台具备以下功能要求的数控设备:

(1)数控装置应具备接受零件图样加工要求的信息,并按照一定的数字模型进行插补运算,实时地向各坐标轴发出速度控制指令以及切削用量的功能。

(2)驱动装置应当响应快速、功率符合要求。

(3)能满足上述加工要求的机床主机、刀具、辅助设备以及各种加工所需的辅助功能。

在数控机床上,先把被加工零件的工艺过程(如加工顺序、加工类别)、工艺参数(如主轴转速、进给速度、刀具尺寸)以及刀具与工件的相对位移用数控语言编写成一系列的加工程序,然后将程序输入到数控装置,数控装置便根据数控指令控制机床的各种操作和刀具与工件的相对位移,当零件加工程序结束时,机床会自动停止,加工出合格的零件,其工作原理如图 1-4 所示。

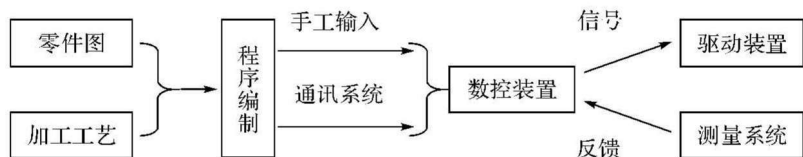


图 1-4 数控机床工作原理

1.4 数控铣的特点

科学技术和市场经济的不断发展,对机械产品的质量、生产效率和新产品的开发周期提出了越来越高的要求。虽然许多生产企业(如汽车、拖拉机、家用电器等制造厂)已经采用了自动机床和专用自动生产线,可以提高生产效率、提高产品质量、降低生产成本,但是由于市场竞争日趋激烈,企业在频繁的开发新产品的生产过程中,使用工艺过程的改变极其复杂,“刚性”(不可变)自动化设备的缺点暴露无遗。另外,在机械制造业中,并不是所有产品零件都具有很大的批量。据统计,单件小批量生产约占加工总量的 75%~80%。对于单件、小批量、复杂零件的加工,若用“刚性”自动化设备加工,则生产成本高、生产周期长,而且加工精度也很难符合要求。

为了解决上述问题,满足新产品的开发和多品种、小批量生产的自动化,国内外已研制生产了一种灵活的、通用的、万能的、能适应产品频繁变化的数控(CNC)机床。

下面介绍数控铣床的主要特点。

1.4.1 高柔性

数控铣床的最大特点是高柔性,即可变性。所谓“柔性”即是灵活、通用、万能,可以适应加工不同形状工件的自动化机床。

数控铣床一般都能完成钻孔、镗孔、铰孔、铣平面、铣斜面、铣槽、铣曲面(凸轮)、攻螺纹等加工,而且一般情况下,可以在一次装夹中完成所需的加工工序。

如图 1-5 所示为齿轮箱,齿轮箱上一般有两个具有较高位置精度要求的孔,孔周有安装端盖的螺孔,按照老的传统加工方法,步骤如下:

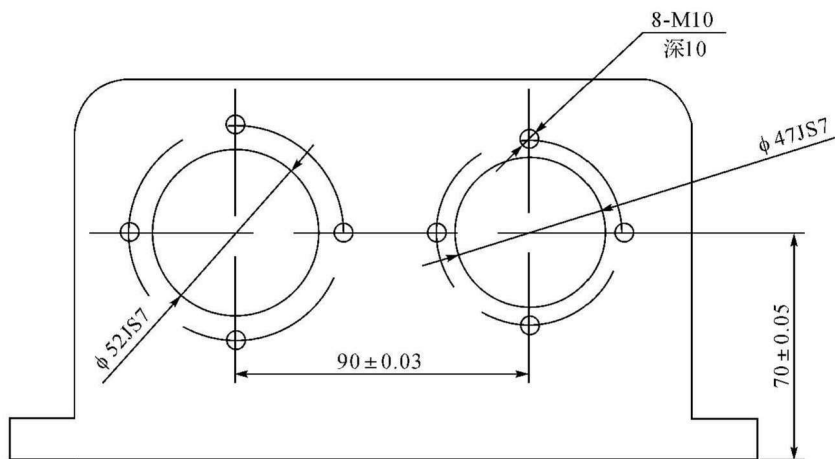


图 1-5 齿轮箱

- (1)划线。划底面线 A,划 $\phi 47JS7$ 、 $\phi 52JS7$ 及 90 ± 0.03 中心线。
- (2)刨(或铣)底面 A。
- (3)平磨(或括削)底面 A。
- (4)镗加工(用镗模),铣端面,镗 $\phi 52JS7$ 、 $\phi 47JS7$,保持中心距 90 ± 0.03 。
- (5)划线(或用钻模),划 8-M6 孔线。
- (6)钻孔攻丝,钻攻 8-M6 孔。

以上工件至少需要 6 道工序才能完成。如果用数控铣床加工,只需把工件的基准面 A 加工好,可在一次装夹中完成铣端面、镗 $\phi 52JS7$ 、 $\phi 47JS7$ 及钻攻 8-M6 孔,也就是将以上(4)、(5)、(6)工序合并为 1 道工序加工。

更重要的是,如果开发新产品或更改设计需要将齿轮箱上 2 个孔改为 3 个孔,8-M6 螺孔改为 12-M6 孔,如果采用传统的加工方法必须重新设计制造镗模和钻模,生产周期长,而如果采用数控铣床加工,只需将工件程序指令改变一下(一般只需 0.5~1h),即可根据新的图样进行加工。这就是数控机床高柔性带来的特殊优点。

1.4.2 高精度

目前数控装置的脉冲当量(即每轮出一个脉冲后滑板的移动量)一般为 0.001mm,高精度的数控系统可达 0.0001mm。因此一般情况下,绝对能保证工件的加工精度。另外,数控加工还可避免工人操作所引起的误差,同一批次加工零件的尺寸同一性特别好,产



品质量能得到保证。

1.4.3 高效率

数控机床的高效率主要由数控机床的高柔性特点带来的。如数控铣床,一般不需要使用专用夹具和工艺装备。在更换工件时,只需调用储存于计算机中的加工程序,装夹工件并调整刀具数据即可,可大大缩短生产周期。更主要的是数控铣床的万能形带来高效率,如一般的数控铣床都具有铣床、镗床和钻床的功能,工序高度集中,提高了劳动生产率并减少了工件的装夹误差。

另外,数控铣床的主轴转速和进给量都是无级变速的,因此有利于选择最佳切削用量。数控铣床都有快进、快退、快速定位功能,可大大减少机动时间。

据统计,采用数控铣床生产率比普通铣床可提高3~5倍。对于复杂的成形面加工,生产率可提高十几倍甚至几十倍。

1.4.4 大大减轻了操作者的劳动强度

数控铣床加工零件是按事先编好的程序自动完成的。操作者除了操作键盘、装卸工件、中间测量及观察机床运行外,不需要进行繁重的重复性手工操作,可大大减轻劳动强度。

由于数控机床具有以上优点,数控机床已经成为金属切削机床的发展方向。但是数控机床的编程操作比较复杂,对编程人员的素质要求较高。另外,数控机床的价格昂贵,如编程操作不慎,一旦发生碰撞,其后果不堪设想,因此必须重视编程操作人员的培训。

1.5 数控铣的主要应用

机械加工中,经常遇到各种平面轮廓和立体轮廓的零件,如凸轮、模具、叶片、螺旋桨等。其母线形状除直线和圆弧外,还有各种曲线,如以数学方程式表示的抛物线、双曲线、阿基米德螺线等曲线和以离散点表示的列表曲线。而其空间曲面可以是解析曲面,也可以是以列表点表示的自由曲面。由于各种零件的型面复杂,需要多坐标联动加工,因此采用数控铣床加工的优越性就特别显著。

1.5.1 平面轮廓加工

这类零件的表面多由直线和圆弧或各种曲线构成,常用两坐标系联动的三坐标铣床加工,是生产上最常见的一种,编程也较简单。

图1-6是由直线和圆弧构成的平面轮廓。工件轮廓为 $ABCDEA$,采用圆柱铣刀周向加工,刀具半径为 r 。虚线为刀具中心的运动轨迹。当机床具备G41、G42功能并可跨象限编程时,则按轮廓 AB 、 BC 、 CD 、 DE 、 EA 划分程序段。当机床不具备刀具半径补偿功能时,则按刀心轨迹 $A'B'$ 、 $B'C'$ 、 $C'D'$ 、 $D'E'$ 、 $E'A'$ 划分程序段,并按虚线所示的坐标值编程。对于按象限划分圆弧程序段时,则程序段数相应增加。为了保证加工面平滑过渡,增加了切入外延 PA' 、切出外延 $A'K$ 、让刀 KL 以及返回 LP 等程序段。应尽可能避免法向切入和进给中途停顿。