



复旦卓越 · 普通高等教育21世纪规划教材 · 机械类

数控加工 工艺与编程

徐福林 周立波 主编



复旦大学

出版社

复旦卓越·普通高等教育 21 世纪规划教材

数控加工工艺与编程

主 编 徐福林 周立波
副主编 姜 辉 包幸生 杨洪柏
编 者 张梦梦 王 丹
主 审 刘素华

復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程/徐福林、周立波主编. —上海:复旦大学出版社, 2015. 8
(复旦卓越·普通高等教育 21 世纪规划教材·机械类)
ISBN 978-7-309-11524-6

I. 数… II. ①徐…②周… III. ①数控机床-加工工艺-高等学校-教材②数控机床-程序设计-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 131808 号

数控加工工艺与编程

徐福林 周立波 主编
责任编辑/张志军

复旦大学出版社有限公司出版发行
上海市国权路 579 号 邮编:200433
网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>
门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853
外埠邮购:86-21-65109143
大丰市科星印刷有限责任公司

开本 787×1092 1/16 印张 24 字数 554 千
2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-11524-6/T·539
定价:48.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。
版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本教材基于数控加工工艺与编程相关工作岗位的工作过程,设计教学任务。内容新颖、全面,且具有针对性。

本教材主要讲述数控工艺员岗位、数控车削工作岗位、数控铣削工作岗位、加工中心加工工作岗位、特种加工工作岗位相应的基本理论知识及专业实践技能。

本书可作为大学制造类专科、机电类本科及高职院校机械制造工艺及设备相关专业相应课程的教材。同时也可供职工大学、业余大学及开放大学等非全日制制造类相关专业师生使用。制造业企业、研究单位从事机械制造的技术人员也可作为参考用书。

前 言

随着计算机技术的发展,数字控制技术已经广泛应用于工业控制的各个领域,尤其是在机械制造业中,普通机械正逐渐被高效率、高精度、高自动化的数控机械代替。目前国外机械设备的数控化率已达到 85% 以上,而我国的机械设备的数控化率不足 20%。随着我国机械行业新技术的应用,我国世界制造业加工中心地位的形成,数控机床的使用、维修、维护人员在全国各工业城市都有着广阔的用武之地。

数控机床的加工工艺与普通机床的加工工艺有许多相同之处,遵循的原则基本一致。但数控加工工艺与传统切削加工工艺还存在许多不同,尤其表现在切削刀具轨迹的控制方式上。由于数控机床本身自动化程度较高,设备费用较高,因此数控机床加工工艺随着数控技术的发展形成了自己显著的特点。

本教材的主要特色:

- (1) 本书基于数控加工工艺与编程对应工作岗位的工作情境设定教学任务。
- (2) 每个学习情境的内容相对独立,对应相关工作岗位的知识与技能要求,便于学习者灵活选用。
- (3) 本书遵循先工艺、后编程的数控加工技术规律组织教学内容。
- (4) 每个学习任务均配有应用案例,便于学习者模仿。
- (5) 每个学习任务均配有小结与学习思考,便于学习者总结和提高。

本教材主要讲述数控工艺员岗位、数控车削工作岗位、数控铣削工作岗位、加工中心加工工作岗位、特种加工工作岗位相应的基本理论知识及专业实践技能。

本书可作为大学制造类专科、机电类本科及高职院校机械制造工艺与设备相关专业对应课程的教材,也可供职工大学、业余大学及开放大学等非全日制制造类相关专业师生使用。制造业企业、研究单位从事机械制造的技术人员也可作为参考用书。

通过本课程的学习,读者可达到下面基本的要求:

- (1) 掌握数控加工工艺规程文件的编制方法;
- (2) 掌握数控车削、数控铣削、数控加工中心加工工艺文件的编制及加工程序的编制方法;

- (3) 理解四轴手工编程及一般宏编程技术；
- (4) 了解特种数控加工工艺与编程方法；
- (5) 了解 CAM、CAPP 在数控加工工艺与编程中的应用。

本书学习情境 1 由上海工程技术大学徐福林编写,学习情境 2 由苏州经贸职业技术学院姜辉编写;学习情境 3 由上海工程技术大学包幸生、张梦梦、王丹编写;学习情境 4 由上海开放大学杨洪柏编写;学习情境 5 模块一由苏州经贸职业技术学院姜辉编写,学习情境 5 模块二三由上海工程技术大学周立波编写。

全书由上海工程技术大学徐福林负责统稿,由上海工程技术大学刘素华博士负责审稿。

由于编者水平有限,错误和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2015.5

目 录

学习情境 1 数控工艺员岗位	1	学习情境 4 加工中心加工岗位	217
模块一 数控加工基础	1	模块一 加工中心加工工艺	217
任务 1 数控加工基本概念	1	任务 1 加工中心工艺规程设计	217
任务 2 数控编程基础知识	12	任务 2 典型零件的加工中心工艺	
模块二 数控加工工艺基础	23	分析	244
任务 1 数控加工工艺基础	23	模块二 加工中心加工编程	252
学习情境 2 数控车削加工岗位	52	任务 1 加工中心编程基础	252
模块一 数控车削加工工艺	52	任务 2 典型零件的加工中心编程 ...	269
任务 1 数控车削工艺规程设计	52	模块三 多轴手工编程技术	278
任务 2 典型零件的车削加工工艺		任务 1 四轴数控加工工艺及手工	
分析	98	编程	278
模块二 数控车削加工编程	102	任务 2 宏编程技术	290
任务 1 数控车削编程基础	102	学习情境 5 特种数控加工技术	
任务 2 典型零件的数控车削编程 ...	152	岗位	323
学习情境 3 数控铣削加工岗位	162	模块一 特种数控加工	323
模块一 数控铣削加工工艺	162	任务 1 特种数控加工简介	323
任务 1 数控铣削工艺规程设计	162	任务 2 数控线切割加工及编程	329
任务 2 典型零件的铣削加工工艺		模块二 CAM 技术	332
分析	188	任务 1 CAM 加工简介	332
模块二 数控铣削加工编程	192	任务 2 车削 CAM 实例	335
任务 1 数控铣削编程基础	192	任务 3 铣削 CAM 实例	351
任务 2 典型零件的数控铣削		任务 4 多轴加工 CAM 实例	358
编程	210	模块三 CAPP 技术	369
		任务 1 CAPP 简介	369

学习情境 1

【数控加工工艺与编程】

数控工艺员岗位

模块一 数控加工基础

任务 1 数控加工基本概念

必备知识

1. 数控加工原理及加工过程

(1) 数控加工过程 数控加工就是根据零件图样及工艺要求等原始条件,编制零件数控加工程序,并输入到数控机床的数控系统,控制数控机床中的刀具与工件做相对运动,从而完成零件的加工,如图 1-1 所示:

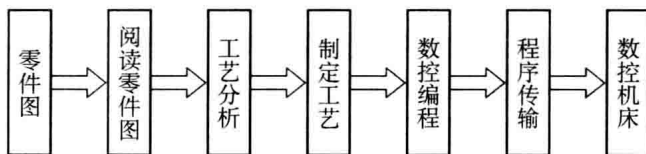


图 1-1 数控加工的过程

- ① 根据零件加工图样进行工艺分析,确定加工方案、工艺参数和位移数据;
 - ② 用规定的程序代码格式编写零件加工程序单,或用自动编程软件编程,直接生成零件的数控加工程序文件;
 - ③ 程序的输入或传输。手工编程时,可以通过数控机床的操作面板输入程序,由编程软件生成的程序,可通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元(MCU)的存储单元;
 - ④ 将输入/传输到数控单元的加工程序,进行试运行、刀具路径模拟,调试程序;
 - ⑤ 通过对机床的正确操作,运行程序,完成零件的加工。
- (2) 数据转换 CNC 系统的数据转换过程如图 1-2 所示:

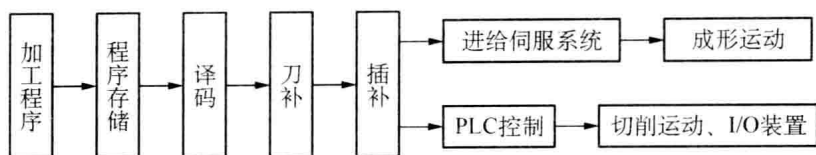


图 1-2 CNC 系统的工作过程

① 译码。译码程序的主要功能是将文本格式表达的零件加工程序,以程序段为单位转换成刀具移动处理所要求的数据格式,把其中的各种零件轮廓信息(如起点、终点、直线或圆弧等)、加工速度信息(F 代码)和其他辅助信息(M、S、T 代码等),按照一定的语法规则解释成计算机能够识别的数据形式,并以一定的数据格式存放在指定的内存专用单元。在译码过程中,还要检查程序段的语法,若发现语法错误,数控系统便立即报警。

② 刀补处理。刀具补偿包括刀具长度补偿和刀具半径补偿。通常输入 CNC 装置的零件加工程序以零件实际轮廓轨迹编程,刀具补偿作用是把零件实际轮廓轨迹转换成刀具中心轨迹(刀具的 B 功能补偿)。目前性能比较好的 CNC 装置中,刀具补偿的工作还包括程序段之间的自动转接和过切削判别,这就是刀具的 C 功能补偿。

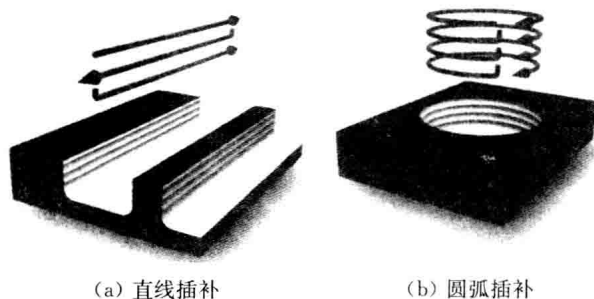


图 1-3 插补示例

③ 插补计算。插补的任务是在一条给定起点和终点的曲线上进行数据点的密化。插补程序在每个插补周期运行一次,在每个插补周期内,根据指令进给速度计算出一个微小的直线数据段。通常,经过若干次插补周期后,插补加工完一个程序段轨迹,即完成从程序段起点到终点的数据点密化工作,如图 1-3 所示。

④ PLC 控制。CNC 系统对机床的控制,分为对各坐标轴的速度和位置进行轨迹控制,对机床的动作进行顺序控制或逻辑控制。PLC 控制器可以在数控机床运行过程中,以 CNC 内部和机床各行程开关、传感器、按钮、继电器等开关信号状态为条件,并按预先规定的逻辑关系对诸如主轴的起停、换向,刀具的更换,工件的夹紧、松开,液压、冷却、润滑系统的运行等控制。

数控加工原理就是将预先编好的数控加工程序以数据的形式输入数控系统,数控系统通过译码、刀补处理、插补计算等数据处理和 PLC 协调控制,最终实现零件的加工。

(3) 数控加工工艺概念与工艺过程

① 数控加工工艺过程。数控加工工艺是指采用数控机床加工零件时,所运用的各种方法和技术手段的总和,应用于整个数控加工工艺过程。

数控加工工艺是伴随着数控机床的产生、发展而逐步完善起来的一种应用技术,它是人们大量数控加工实践的经验总结。数控加工工艺过程是利用切削刀具在数控机床上直接改变加工对象的形状、尺寸、表面位置、表面状态等,使其成为成品或半成品的过程。

数控加工过程是在一个由数控机床、刀具、夹具和工件构成的数控加工工艺系统中完成的。数控机床是零件加工的工作机械,刀具直接切削零件,夹具用来固定被加工零件并使之占有正确的位置,加工程序控制刀具与工件之间的相对运动轨迹。工艺设计的好坏直接影响数控加工的尺寸精度和表面精度、加工时间的长短、材料和人工的耗费,甚至直接影响加



工的安全性。所以掌握数控加工工艺的内容和制定数控加工工艺的方法非常重要。

② 数控加工工艺与数控编程的关系:

a. 数控程序是输入数控机床,执行一个确定的加工任务的一系列指令,称为数控程序或零件加工程序。

b. 数控编程就是把零件的工艺过程、工艺参数及机床的其他辅助动作,按动作顺序和数控机床规定的指令、格式,编制成加工程序,再记录于控制介质即程序载体(磁盘等),输入数控装置,从而指挥数控机床加工,并根据加工结果加以修正的过程。

c. 数控加工工艺分析与处理是数控编程的前提和依据,没有符合实际的、科学合理的数控加工工艺,就不可能有正确运行的数控加工程序。数控编程就是将制定的数控加工工艺内容程序化。

(4) 数控加工工艺特点 由于数控加工采用了计算机控制系统的数控机床,使得数控加工与普通加工相比具有加工自动化程度高、精度高、质量稳定、生产效率高、周期短、设备使用费用高等特点。数控加工工艺与普通加工工艺也具有一定的差异。

① 数控加工工艺内容要求更加具体、详细。普通加工工艺中,许多具体工艺问题,如工步的划分与安排、刀具的几何形状与尺寸、走刀路线、加工余量、切削用量等,在很大程度上由操作人员根据实际经验和习惯自行考虑和决定,一般无需工艺人员在设计工艺规程时进行过多的规定,零件的尺寸精度由试切保证。

数控加工工艺中,所有工艺问题必须事先设计和安排好,并编入加工程序中。数控工艺不仅包括详细的切削加工步骤,还包括工夹具型号、规格、切削用量和其他特殊要求的内容,以及标有数控加工坐标位置的工序图等。在自动编程中更需要确定详细的各种工艺参数。

② 数控加工工艺要求更严密、精确。普通加工工艺可以根据加工过程中出现的问题,比较自由地人为调整。数控加工工艺自适应性较差,加工过程中可能遇到的所有问题必须事先精心考虑,否则导致严重的后果。如攻螺纹时,数控机床不知道孔中是否已挤满切屑,是否需要退刀清理一下切屑再继续加工。又如非数控机床加工,可以多次“试切”来满足零件的精度要求;而数控加工过程,严格按照规定尺寸进给,要求准确无误。因此,数控加工工艺设计要求更加严密、精确。

③ 制定数控加工工艺要进行零件图形的数学处理和编程尺寸设定值的计算。编程尺寸并不是零件图上设计尺寸的简单再现。在对零件图进行数学处理和计算时,编程尺寸设定值要根据零件尺寸公差要求和零件的形状几何关系重新调整计算,才能确定合理的编程尺寸。

④ 考虑进给速度对零件形状精度的影响。制定数控加工工艺时,选择切削用量要考虑进给速度对加工零件形状精度的影响。在数控加工中,刀具的移动轨迹是由插补运算完成的。根据插补原理分析,在数控系统已定的条件下,进给速度越快,则插补精度越低,导致工件的轮廓形状精度越差。尤其在高精度加工时,这种影响非常明显。

⑤ 强调刀具选择的重要性。复杂型面的加工编程通常采用自动编程方式,必须先选定刀具再生成刀具中心运动轨迹,因此对于不具有刀具补偿功能的数控机床来说,若刀具预先选择不当,所编程序只能重来。

⑥ 数控加工工艺的特殊要求:

a. 由于数控机床比普通机床的刚度高,所配的刀具的性能也较好,因此在同等情况下,数控机床切削用量比普通机床大,加工效率也较高。

b. 数控机床的功能复合化程度越来越高,因此,现代数控加工工艺的明显特点是工序相对集中,表现为工序数目少,工序内容多,并且由于在数控机床上尽可能安排较复杂的工序,所以数控加工的工序内容比普通机床加工的工序内容复杂。

c. 由于数控机床加工的零件比较复杂,因此在确定装夹方式和夹具设计时,要特别注意刀具与夹具、工件的干涉问题。

⑦ 数控加工程序的编写、校验与修改是数控加工工艺的一项特殊内容。普通工艺中,划分工序、选择设备等重要内容,对数控加工工艺来说属于已基本确定的内容,所以制定数控加工工艺的着重点是整个数控加工过程的分析,关键在确定进给路线及生成刀具运动轨迹。复杂表面的刀具运动轨迹生成需借助自动编程软件,既是编程问题,当然也是数控加工工艺问题,这也是数控加工工艺与普通加工工艺最大的不同之处。

2. 数控技术与设备

(1) 数控机床的组成 数控机床主要由以下几部分组成:

① 数控系统。计算机数控系统(CNC 系统)由程序、输入输出设备、CNC 装置、可编程控制器(PLC)、主轴驱动装置和进给驱动装置等组成。数控系统接受按零件加工顺序记载机床加工所需的各种信息,并将加工零件图上的几何信息和工艺信息数字化,同时进行相应的运算、处理,然后发出控制命令,使刀具实现相对运动,完成零件加工过程。数控机床配置的数控系统不同,其功能和性能也有很大差异。就目前应用来看,FANUC(日本)、SIEMENS(德国)、FAGOR(西班牙)、HEIDENHAIN(德国)、MITSUBISHI(日本)等公司的数控系统及相关产品,在数控机床行业占据主导地位。我国数控产品以华中数控、航天数控为代表,也已将高性能数控系统产业化。常见数控系统见表 1-1。

表 1-1 常用数控系统的特点

类别	型号	特点及应用
FANUC	Power Mate 0 系列	具有高可靠性,用于控制两轴的小型数控车床,取代步进电机的伺服系统;可配画面清晰、操作方便、中文显示的 CRT/MDI,也可配性能/价格比高的 DPL/MDI
	0D 系列	普及型 CNC,其中 0TD 用于数控车床,0MD 用于数控铣床及小型加工中心,0GCD 用于数控圆柱磨床,0GSD 用于数控平面磨床,0PD 用于数控冲床
	0C 系列	全功能型 CNC,其中 0TC 用于通用车床、自动车床,0TTC 用于双刀架四轴数控车床,0MC 用于数控铣床和加工中心,0GGC 用于内、外圆磨床
	0i 系列	高性能/价格比,整体软件功能包,高速、高精加工,并具有网络功能
	16i/18i/21i 系列	超小型、超薄型,具有网络功能,控制单元与 LCD 集成于一体,超高速串行数据通信
	160i/180i/210i-B	与 Windows 2000/XP 对应的高性能开放式 CNC
SIEMENS	SINUMERIK 802S/C	用于车床、铣床等,可控制 3 个进给轴和 1 个主轴,802S 适用于步进电动机驱动,802C 适用于伺服电动机驱动,具有数字 I/O 接口



续 表

类别	型号	特点及应用
SIEMENS	SINUMERIK 802D	控制 4 个数字进给轴和一个主轴,PLCI/O 模块,具有图形式循环编程,车削、铣削/钻削工艺循环,FRAME(包括移动、旋转和缩放)等功能,为复杂加工任务提供智能控制
	SINUMERIK 810D	用于数字闭环驱动控制,最多可控 6 轴(包括 1 个主轴和 1 个辅助主轴),紧凑型可编程输入/输出
	SINUMERIK 840D	全数字模块化数控设计,用于复杂机床、模块化旋转加工机床和传送机,最大可控 31 个坐标轴

② 伺服单元、驱动装置和测量装置。伺服单元和驱动装置包括主轴伺服驱动装置、主轴电动机、进给伺服驱动装置及进给电动机。测量装置是指位置和速度测量装置,它是实现主轴、进给速度闭环控制和进给位置闭环控制的必要装置。主轴伺服系统的主要作用是实现零件加工的切削主运动,其控制量为速度。进给伺服系统的主要作用是实现零件加工的进给运动(成形运动),其控制量为速度和位置,能灵敏、准确地实现 CNC 装置的位置和速度指令。

③ 控制面板。控制面板是操作人员与数控机床进行信息交互的工具。操作人员通过它操作、编程、调试,或对机床参数进行设定和修改,也可以通过它了解或查询数控机床的运行状态。

④ 控制介质和输入、输出设备。控制介质是记录零件加工程序的媒介,是人与机床建立联系的介质。程序输入、输出设备是 CNC 系统与外部设备信息交互的装置,其作用是将记录在控制介质上的零件加工程序输入 CNC 系统,或将已调试好的零件加工程序通过输出设备存放或记录在相应的介质上。

⑤ PLC、机床 I/O 电路和装置。PLC 用于与逻辑运算、顺序动作有关的 I/O 控制,由硬件和软件组成。机床 I/O 电路和装置是用于实现 I/O 控制的执行部件,由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成的逻辑电路。

⑥ 机床本体。数控机床的本体是指其机械结构实体,是实现加工零件的执行部件,主要由主运动部件(主轴、主运动传动机构)、进给运动部件(工作台、溜板及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身、导轨等),以及特殊装置、自动工件交换(APC)系统、自动刀具交换(ATC)系统和辅助装置(如冷却、润滑、排屑、转位和夹紧装置等)组成。机床部分机械部件如图 1-4~1-9 所示。

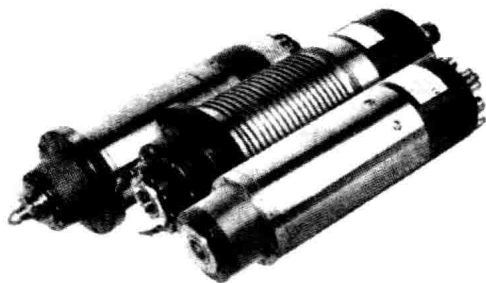


图 1-4 电主轴

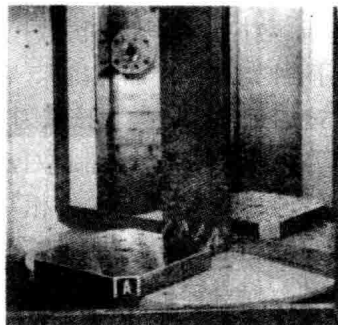


图 1-5 旋转工作台

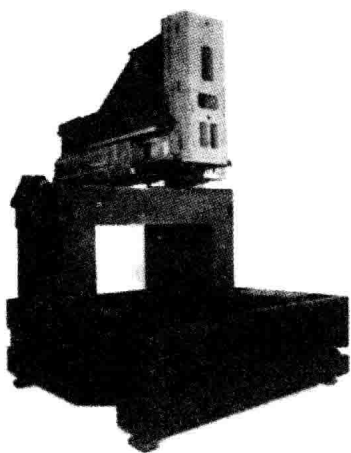


图 1-6 床身

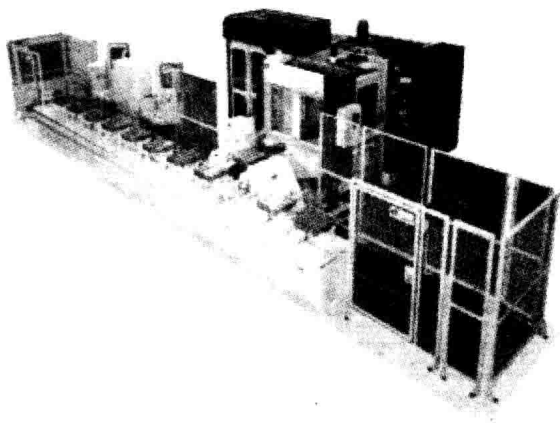


图 1-7 APC 装置

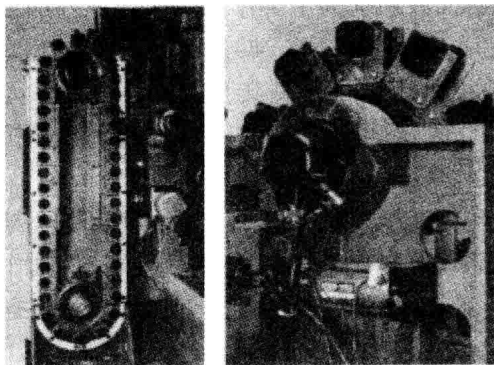


图 1-8 刀库

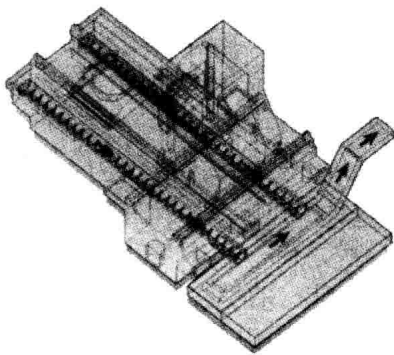


图 1-9 排屑装置

3. 数控机床的主要类型

数控机床通常按以下几个方面进行分类：

(1) 按加工方式和工艺用途分类 可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床等。

有些数控机床具有两种以上切削功能，例如以车削为主兼顾铣、钻削的车削中心；具有铣、镗、钻削功能，带刀库和自动换刀装置的镗铣加工中心（简称加工中心）。

另外，还有数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控激光加工机床、数控等离子弧切割机、数控火焰切割机、数控板材成形机床、数控冲床、数控剪床、数控液压机等各种功能和不同种类的数控加工机床。

(2) 按加工路线分类 按其刀具与工件相对运动的方式，可以分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。

① 点位控制。刀具与工件相对运动时，只控制刀具从一点运动到另一点的准确性，而不考虑两点之间的运动路径和方向，如图 1-10(a)所示，多应用于数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床和数控点焊机等。

② 直线控制。刀具与工件相对运动时，除控制刀具从起点到终点的准确定位外，还要



保证刀具平行坐标轴的直线切削运动,如图 1-10(b)所示。由于刀具只做平行坐标轴的直线进给运动,因此不能加工复杂的工件轮廓。这种控制方式用于简易数控车床、数控铣床、数控磨床。

③ 轮廓控制。刀具与工作相对运动时,能同时控制刀具做两个或两个以上坐标轴的运动。因此可以加工平面曲线轮廓或空间曲面轮廓,如图 1-10(c)所示。采用这类控制方式的数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心等。

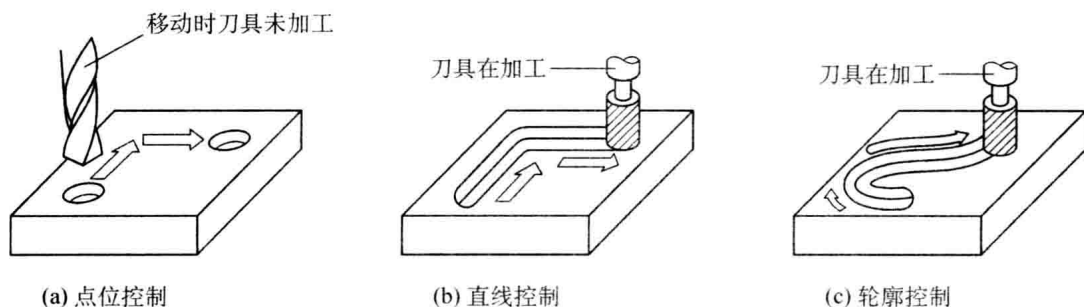


图 1-10 数控机床分类

(3) 按可控制联动的坐标轴分类 数控机床可控制联动的坐标轴数目,是指数控装置控制几个伺服电动机,同时驱动机床移动部件运动的坐标轴数目。

① 两坐标联动机床。数控机床能同时控制两个坐标轴联动,如数控装置同时控制 X 和 Z 方向运动,可用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件。

② 三坐标联动机床。能同时控制 3 个坐标轴联动,可用于加工曲面零件,如图 1-11(b)所示。

③ 两轴半坐标联动机床。数控机床本身有 3 个坐标轴能作 3 个方向的运动,但控制装置只能同时控制两个坐标轴联动,而第三个坐标轴只能做等距周期移动,可加工空间曲面,如图 1-11(c)所示零件。

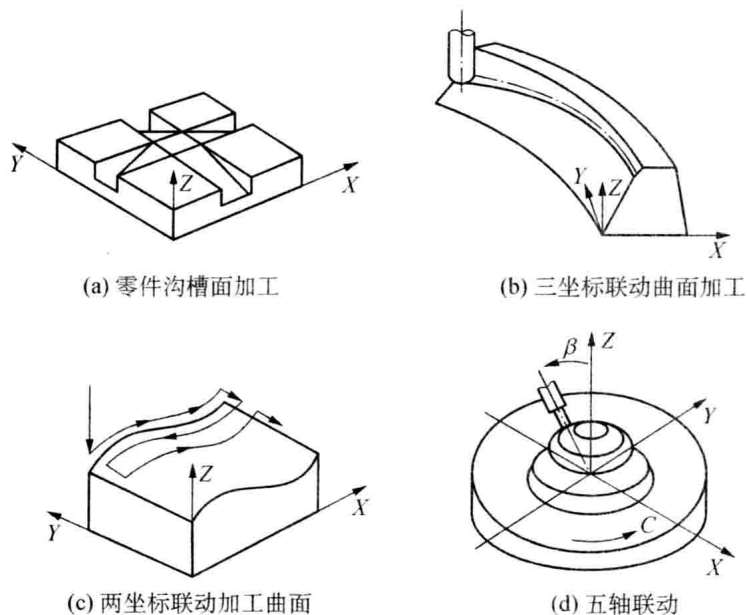


图 1-11 空间平面和曲面的数控加工



④ 多坐标联动机床。数控机床能同时控制 4 个以上坐标轴联动。多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂,主要应用于加工形状复杂的零件,如五轴联动铣床加工曲面形状零件。

(4) 按数控装置的类型分类 可分为硬件数控机床和计算机数控机床。

(5) 按伺服系统有无检测装置分类 可分为开环控制和闭环控制数控机床。根据检测装置安装的位置不同,闭环控制数控机床又可分为闭环控制数控机床和半闭环控制数控机床两种。

(6) 按数控系统的功能水平分类 数控系统一般分为高档型、普及型和经济型 3 个档次。其参考评价指标包括 CPU 性能、分辨率、进给速度、联动轴数、伺服水平、通信功能和人机对话界面等。

① 高档型数控系统。采用 32 位或更高性能的 CPU,联动轴数在 5 轴以上,分辨率 $\leq 0.1 \mu\text{m}$,进给速度 $\geq 24 \text{ m/min}$ (分辨率为 $1 \mu\text{m}$ 时)或 $\geq 10 \text{ m/min}$ (分辨率为 $0.1 \mu\text{m}$ 时),采用数字化交流伺服驱动器,具有 MAP 高性能通信接口,具备联网功能,有三维动态图形显示功能。

② 普及型数控系统。采用 16 位或更高性能的 CPU,联动轴数在 5 轴以下,分辨率在 $1 \mu\text{m}$ 以内,进给速度 $\leq 24 \text{ m/min}$,可采用交、直流伺服驱动,具有 RS232 或 DNC 通信接口,有 CRT 字符显示和平面线性图形显示功能。

③ 经济型数控系统。采用 8 位 CPU 或单片机控制,联动轴数在 3 轴以下,分辨率为 0.01 mm ,进给速度在 $6 \sim 8 \text{ m/min}$,采用步进电动机驱动,具有简单的 RS232 通信接口,用数码管或简单的 CRT 字符显示器。

4. 数控加工与工艺技术的新发展

装备工业的技术水平和现代化程度,决定着整个国民经济的水平和现代化程度。数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业的使能技术和最基本的装备,如信息技术及其产业,生物技术及其产业,航空、航天等国防工业产业。当今世界各国制造业广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。世界上各工业发达国家还将数控技术及数控装备列为国家的战略物资,纷纷采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业。总之,大力发展以数控技术为核心的先进制造技术,已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。

数控技术是用数字信息控制机械运动和工作过程的技术。数控装备是以数控技术为代表的新技术,对传统制造产业和新兴制造业的渗透形成的机电一体化产品,即所谓的数字化装备。其技术范围覆盖很多领域,例如机械制造技术,信息处理、加工、传输技术,自动控制技术,伺服驱动技术,传感器技术,软件技术等。

数控技术的应用不但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,它对国计民生的一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗等)的发展起着越来越重要的作用,因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。从目前世界上数控技术及其装备发展的趋势来看,其主要研究热点有以下几个方面。

(1) 高速、高精加工技术及装备的新趋势 效率、质量是先进制造技术的主体。高速、高精加工技术可极大地提高效率,提高产品的质量和档次,缩短生产周期和提高市场竞争能



力。为此日本先端技术研究会将其列为 5 大现代制造技术之一,国际生产工程学会(CIRP)将其确定为 21 世纪的中心研究方向之一。

在轿车工业领域,年产 30 万辆的生产节拍是 40 秒/辆,多品种加工是轿车装备必须解决的重点问题之一。航空和宇航工业加工的零部件多薄壁和薄肋,刚度很差,材料为铝或铝合金,高切削速度和切削力必须很小。近来采用大型整体铝合金坯料“掏空”的方法制造机翼、机身等大型零件,来替代多个零件通过众多的铆钉、螺钉和其他联结方式拼装,使构件的强度、刚度和可靠性得到提高。这些都对加工装备提出了高速、高精和高柔性的要求。

目前高速加工中心进给速度可达 80 m/min,甚至更高,空运行速度可达 100 m/min。目前世界上许多汽车厂,包括我国的上海通用汽车公司,已经以高速加工中心组成的生产线部分替代组合机床。美国 CINCINNATI 公司的 HyperMach 机床进给速度最大达 60 m/min,快速为 100 m/min,加速度达 2 g,主轴转速已达 60 000 r/min。加工一薄壁飞机零件,只用 30 min,而同样的零件在一般高速铣床加工需 3 h,在普通铣床加工需 8 h。德国 DMG 公司的双主轴车床的主轴速度及加速度分别达 12 000 r/min 和 1 g。

在加工精度方面,近 10 年来,普通级数控机床的加工精度已由 10 μm 提高到 5 μm ,精密级加工中心则从 3 μm 提高到 1~1.5 μm ,并且超精密加工精度已开始进入纳米级(0.01 μm)。

在可靠性方面,国外数控装置的 MTBF 值已达 6 000 h 以上,伺服系统的 MTBF 值达到 30 000 h 以上,表现出非常高的可靠性。

为了实现高速、高精加工,与之配套的功能部件,如电主轴、直线电动机得到了快速的发展,应用领域进一步扩大。

(2) 五轴联动加工和复合加工机床快速发展 采用五轴联动对三维曲面零件的加工,可用刀具最佳几何形状切削,不仅表面粗糙度值小,而且效率也大幅度提高。一般认为,一台五轴联动机床的效率可以等于两台三轴联动机床,特别是使用立方氮化硼等超硬材料铣刀进行高速铣削淬硬钢零件时,五轴联动加工可比三轴联动加工发挥更高的效益。但过去因五轴联动数控系统、主机结构复杂等原因,其价格要比三轴联动数控机床高出数倍,加之编程技术难度较大,制约了五轴联动机床的发展。

电主轴的出现使得实现五轴联动加工的复合主轴头结构大为简化,其制造难度和成本大幅度降低,数控系统的价格差距缩小。因此促进了复合主轴头类型五轴联动机床和复合加工机床(含五面加工机床)的发展。如新日本工机的五面加工机床采用复合主轴头,可实现 4 个垂直平面的加工和任意角度的加工,使得五面加工和五轴加工可在同一台机床上实现,还可实现倾斜面和倒锥孔的加工。德国 DMG 公司展出 DMU Voution 系列加工中心,可在一次装夹下五面加工和五轴联动加工,可由 CNC 系统控制或 CAD/CAM 直接或间接控制。

(3) 智能化、开放式、网络化成为当代数控系统发展的主要趋势 21 世纪的数控装备将是智能化的系统。追求加工效率和加工质量方面的智能化,如加工过程的自适应控制,工艺参数自动生成;提高驱动性能及使用连接方便的智能化,如前馈控制、电动机参数的自适应运算、自动识别负载自动选定模型、自整定等;简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程、智能化的人机界面等;还有智能诊断、智能监控、诊断及维修等。为解决传统的



数控系统封闭性和数控应用软件的产业化生产存在的问题,目前许多国家对开放式数控系统进行研究,如美国的 NGC(The Next Generation Work-Station/Machine Control)、欧共体的 OSACA(Open System Architecture for Control within Automation Systems)、日本的 OSEC(Open System Environment for Controller)、中国的 ONC(Open Numerical Control System)等。开放化已经成为数控系统的未来之路。所谓开放式数控系统,就是数控系统在统一的运行平台上开发,面向机床厂家和最终用户,通过改变、增加或剪裁结构对象(数控功能),形成系列化,并可方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中,快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统,形成具有鲜明个性的名牌产品。目前开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库,以及数控系统功能软件开发工具等是当前研究的核心。

网络化数控装备是近几年的一个新亮点。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求,也是实现新的制造模式,如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。国内外一些著名数控机床和数控系统制造公司,都在近两年推出了相关的新概念和样机,如日本山崎马扎克公司展出的 Cyber Production Center(智能生产控制中心,CPC),日本大隈机床公司展出 IT plaza(信息技术广场,IT 广场),德国西门子公司展出的 Open Manufacturing Environment(开放制造环境,OME)等,反映了数控机床加工向网络化方向发展的趋势。

(4) 重视新技术标准、规范的建立 开放式数控系统有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性,美国、欧洲和日本等纷纷实施战略发展计划,并进行开放式体系结构数控系统规范(OMAC、OSACA、OSEC)的研究和制定。世界 3 个最大的经济体在短期内进行了几乎相同的科学计划和规范的制定,预示了数控技术的变革时期的来临。我国在 2000 年也开始进行 ONC 数控系统的规范框架的研究和制定。

数控标准是制造业信息化发展的一种趋势。数控技术诞生后的 50 年间的信息交换都是基于 ISO 6983 标准,即采用 G、M 代码描述如何加工,其本质特征是面向加工过程。显然,这已越来越不能满足现代数控技术高速发展的需要。为此,国际上正在研究和制定一种新的 CNC 系统标准 ISO 14649(STEP-NC),其目的是提供一种不依赖于具体系统的中性机制,能够描述产品整个生命周期内的统一数据模型,从而实现整个制造过程,乃至各个工业领域产品信息的标准化。

STEP-NC 的出现可能是数控技术领域的一次革命,对于数控技术的发展乃至整个制造业,将产生深远的影响。首先,STEP-NC 提出一种崭新的制造理念。传统的制造理念中,NC 加工程序都集中在单个计算机上。而在新标准下,NC 程序可以分散在互联网上,这正是数控技术开放式、网络化发展的方向。其次,STEP-NC 数控系统还可大大减少加工图样(约 75%)、加工程序编制时间(约 35%)和加工时间(约 50%)。

案 例

数控加工与普通切削加工工艺对比

如图 1-12(a)所示的手柄轴,毛坯为棒料。比较普通切削加工与数控切削加工工艺的差别。