

中等职业学校机电类规划教材

ZHONGDENG ZHIYE XUEXIAO JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI

数控技术应用专业系列

数控加工工艺 与编程基础

(第2版)

于万成 王桂莲 主编
宋桂云 李晓男 副主编

CNC TECHNOLOGY



- 理论与实践紧密结合
- 突出应用能力的培养
- 体现新知识，新技术



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中 等 职 业 学 校 机 电 类 规 划 教 材

ZHONGDENG ZHIYE XUEXIAO JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI



数控技术应用专业系列

数控加工工艺 与编程基础

(第2版)

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程基础 / 于万成, 王桂莲主编

— 2版. — 北京: 人民邮电出版社, 2010. 10

中等职业学校机电类规划教材

ISBN 978-7-115-23744-6

I. ①数… II. ①于… ②王… III. ①数控机床—加工工艺—专业学校—教材②数控机床—程序设计—专业学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第173714号

内 容 提 要

本书共5个项目。主要内容包括数控加工工艺基础、数控机床编程基础、数控车削加工工艺与编程方法、数控铣削加工工艺与编程方法、数控电火花与线切割加工工艺与编程方法。本书在编写中结合生产实践按照项目—课题—任务驱动的模式来编写, 突出技能训练, 强调学生分析问题和解决问题能力的培养。

本书可作为中等职业学校数控技术应用专业的教材, 也可作为机械制造专业和模具专业的教材。

中等职业学校机电类规划教材

数控技术应用专业系列

数控加工工艺与编程基础(第2版)

-
- ◆ 主 编 于万成 王桂莲
副 主 编 宋桂云 李晓男
责任编辑 刘盛平
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
中国铁道出版社印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.25 2010年10月第2版
字数: 308千字 2010年10月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-23744-6

定价: 22.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

丛书前言

我国加入 WTO 以后,国内机械加工行业和电子技术行业得到快速发展。国内机电技术的革新和产业结构的调整成为一种发展趋势。因此,近年来企业对机电人才的需求量逐年上升,对技术工人的专业知识和操作技能也提出了更高的要求。相应地,为满足机电行业对人才的需求,中等职业学校机电类专业的招生规模在不断扩大,教学内容和教学方法也在不断调整。

为了适应机电行业快速发展和中等职业学校机电专业教学改革对教材的需要,我们在全国家电行业和职业教育发展较好的地区进行了广泛调研;以培养技能型人才为出发点,以各地中职教育教研成果为参考,以中职教学需求和教学一线的骨干教师对教材建设的要求为标准,经过充分研讨与精心规划,对《中等职业学校机电类规划教材》进行了改版,改版后的教材包括 6 个系列,分别为《专业基础课程与实训课程系列》、《数控技术应用专业系列》、《模具制造技术专业系列》、《计算机辅助设计与制造系列》、《电子技术应用专业系列》和《机电技术应用专业系列》。

本套教材力求体现国家倡导的“以就业为导向,以能力为本位”的精神,结合职业技能鉴定和中等职业学校双证书的需求,精简整合理论课程,注重实训教学,强化上岗前培训;教材内容统筹规划,合理安排知识点、技能点,避免重复;教学形式生动活泼,以符合中等职业学校学生的认知规律。

本套教材广泛参考了各地中等职业学校的教学计划,面向优秀教师征集编写大纲,并在国内机电行业较发达的地区邀请专家对大纲进行了多次评议及反复论证,尽可能使教材的知识结构和编写方式符合当前中等职业学校机电专业教学的要求。

在作者的选择上,充分考虑了教学和就业的实际需要,邀请活跃在各重点学校教学一线的“双师型”专业骨干教师作为主编。他们具有深厚的教学功底,同时具有实际生产操作的丰富经验,能够准确把握中等职业学校机电专业人才培养的客观需求;他们具有丰富的教材编写经验,能够将中职教学的规律和学生理解知识、掌握技能的特点充分体现在教材中。

为了方便教学,我们免费为选用本套教材的老师提供教学辅助光盘,光盘的内容为教材的习题答案、模拟试卷和电子教案(电子教案为教学提纲与书中重要的图表,以及不便在书中描述的技能要领与实训效果)等教学相关资料,部分教材还配有便于学生理解和操作演练的多媒体课件,以求尽量为教学中的各个环节提供便利。

我们衷心希望本套教材的出版能促进目前中等职业学校的教学工作,并希望能得到职业教育专家和广大师生的批评与指正,以期通过逐步调整、完善和补充,使之更符合中职教学实际。

欢迎广大读者来电来函。

电子函件地址: lihaitao@ptpress.com.cn, liushengping@ptpress.com.cn

读者服务热线: 010-67143761, 67184065

第2版前言

本书自2006年出版以来,由于比较符合中等职业教育对本课程的教学要求,受到不少学校的好评,但是也存在一些不足。这次改版在保留原教材特色的前提下,结合生产实践按照项目—课题—任务驱动的模式来编写,突出对学生分析问题和解决问题能力的培养,在编写过程中增加了不少新的实例,同时对第1版图例中的旧国标按照新标准进行了修订。

本书由山东省轻工工程学校于万成、王桂莲任主编,山东省轻工工程学校宋桂云和泰州市泰兴职教中心李晓男任副主编。参加本书编写的还有潘克江和王龙。

本书在编写过程中,广泛参阅了国内外同行的专著、教材、讲稿、论文等文献资料,在此一并致以谢意。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2010年8月

编者的话

先进机床加工技术是现代制造业的基础。随着 2001 年我国加入世界贸易组织,国外工业产品纷纷进入国内市场,市场竞争日益激烈,国内企业普遍认识到采用先进机床进行工业生产的重要性和紧迫性。因此,近年来数控机床的应用范围迅速扩大,传统机床作业方式正被数控机床自动操作所替代。然而,目前国内掌握数控应用技术的技能型人才严重短缺,这使得数控技术应用领域专业人才的培养任务显得十分迫切。在这样的背景下,编者总结了自己在教学岗位上教学多年的心得体会,同时结合当前学校教学的实际要求和企业要求,以教育部技能型紧缺人才指导性教学计划为指导,编写了这本教材。

在本书的编写过程中,编者在仔细分析中等职业学校数控技术应用专业教学的知识要求和技能要求的基础上,以数控加工工艺为主线,以数控编程为辅助和对应,并安排了适当的项目训练,有利于学生工艺方面和数控编程能力的培养;注重理论与实践相结合,力求内容简单、实用,避免繁杂的理论堆砌。

本书的特点:知识结构清晰,内容深浅适度,层次性强,知识新颖,适合当前项目教学的要求;全书通过项目训练来巩固和加强学生所学知识和技能,通过综合实训来提高学生运用知识去分析问题、解决问题的能力;结合企业生产实际和中职学生的认知方式,重视学生操作技能和综合职业能力的培养。

本书由山东省轻工工程学校于万成老师编写。青岛理工大学机械学院孟广耀教授审阅了本书,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

编写过程中,广泛参阅了国内外同行的专著、教材、讲稿、论文等文献资料,在此一并致以谢意。

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2006 年 1 月

目 录

项目一 数控加工工艺基础	1	任务 4 数控车削加工工艺分析	95
课题一 数控机床	1	任务 5 数控车削加工方法的选择	101
任务 1 数控机床的组成与分类	2	课题二 数控车床编程方法	103
任务 2 数控加工技术	7	任务 1 常用基本编程指令	105
课题二 数控加工的切削基础	11	任务 2 单一固定循环指令	107
任务 1 金属切削过程中的基本知识	11	任务 3 多重复合循环指令 G70 ~ G76	111
任务 2 刀具	16	项目小结	116
任务 3 常用量具	19	项目巩固与提高	116
任务 4 切削用量及切削液的选择	25	项目四 数控铣削加工工艺与编程方法	122
任务 5 机械加工精度与表面质量	28	课题一 数控铣削加工工艺	122
课题三 数控加工工艺基础	34	任务 1 数控铣削加工的主要对象与特点	122
任务 1 工件在数控机床上的装夹	34	任务 2 数控铣削刀具	125
任务 2 机械加工工艺过程的设计	42	任务 3 数控铣床与加工中心常用夹具	137
任务 3 工艺尺寸的计算	48	任务 4 数控铣削加工工艺分析	141
任务 4 数控加工工艺分析与设计	51	课题二 数控铣床和加工中心编程方法	149
任务 5 数控加工工艺文件的编制	59	任务 1 常用基本编程指令	151
项目小结	60	任务 2 常用固定循环指令	155
项目巩固与提高	60	任务 3 子程序	161
项目二 数控机床编程基础	64	项目小结	162
课题一 程序编制	64	项目巩固与提高	162
任务 1 程序编制的内容与方法	64	项目五 数控电火花与线切割加工工艺与编程方法	165
任务 2 数控机床的坐标系	65	课题一 数控电火花成型加工工艺与编程方法	165
任务 3 对刀	71	任务 1 数控电火花成型加工基础	165
任务 4 程序结构与格式	77	任务 2 电火花加工工艺	169
课题二 数控编程中数值的计算方法	80	课题二 数控线切割加工工艺与编程方法	175
项目小结	81	任务 1 数控线切割加工基础	175
项目巩固与提高	81	任务 2 数控线切割编程	178
项目三 数控车削加工工艺与编程方法	85	项目小结	183
课题一 数控车削加工工艺	85	项目巩固与提高	183
任务 1 数控车削加工的主要对象与特点	85	参考文献	187
任务 2 数控车削刀具	87		
任务 3 数控车床常用夹具	89		

项目一

数控加工工艺基础

本项目主要介绍数控机床的组成、分类,介绍金属切削加工的基础知识以及数控刀具、量具和切削用量的选择方法,机械加工精度与表面质量知识,以及数控加工工艺的基本知识。通过学习,使学生能够掌握数控加工的特点,特别是重点掌握切削加工用量的选择和精度控制的方法。

知识目标



- 了解数控机床的组成和加工的特点。
- 了解金属切削过程基本规律。
- 掌握刀具几何参数的选择方法。
- 掌握数控切削加工用量的选择和精度控制的方法。
- 掌握工件在数控机床上的装夹方法;机床工艺的设计、计算,以及文件的编制。

技能目标

- 能够根据零件加工要求,正确选择刀具和切削用量。
- 能够分析影响工件(零件)表面质量的因素。
- 能合理选择工件在数控机床上的装夹方法。
- 能正确编制工艺文件。

课题一 数 控 机 床

随着科学技术和社会生产的迅速发展,机械产品日趋复杂,社会对机械产品的质量和生产效率也提出了越来越高的要求。同时,随着航空工业、汽车工业和轻工业消费品生产的高速增长,形状复杂的零件越来越多,精度要求也越来越高。此外,激烈的市场竞争要求产品研制生产周期越来越短,传统的加工设备和制造方法已难以适应这种多样化、柔性化与形状复杂零件的高效高质量加工要求。为解决上述这些问题,一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产设备——数控机床应运而生。

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、自动关停冷却液等)和步骤以及工件的形状尺寸用数字化的代码表示,通过控制介质将数字信息送入数控装置,接着数控装置对输入的信息进行处理与运算,发出各种控制信号,控制机床的伺服系统或其他驱动元件,使机床自动加工出所需要的工件。

数控技术是指用数字、字母和符号对某一工作过程进行可编程自动控制的技术。它已成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础技术。现代的 CAD/CAM, FMS, CIMS 等,都建立在数控技术之上,离开了数控技术,先进制造技术就成了无本之木。同时,数控技术关系到国家的战略地位,是体现一个国家综合国力水平的重要基础性产业,其技术水平的高低是衡量一个

国家制造业现代化程度的核心标志，实现加工机床及生产过程数控化，已经成为当今制造业的发展方向。

数控机床已广泛应用于飞机、汽车、船舶、家电、通信设备等的制造。此外，数控技术也在机器人、绘图机械、坐标测量机、激光加工机及等离子切割机、线切割、电火花和注塑机等机械设备中得到了广泛的应用。

任务1 数控机床的组成与分类

1. 数控机床的组成与分类

(1) 数控机床的组成。数控机床一般由输入输出装置、数控装置、主轴和进给伺服单元及检测装置、伺服驱动和反馈装置、辅助控制装置、机床本体等部分组成，如图1.1所示。

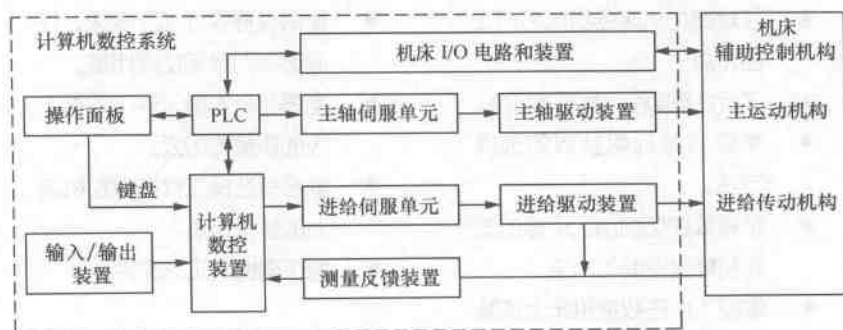


图1.1 数控机床的组成

① 输入输出装置。输入装置的作用是将记录在信息载体（如磁盘）上的数控加工程序和各种参数、数据通过输入设备送到数控装置，输入方式有磁盘、键盘（MDI）、手摇脉冲发生器等。

输出装置的作用是使数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息。各种类型数控机床中最直观的输出装置是显示器，显示器有CRT显示器或彩色液晶显示器两种。显示的信息一般是正在编辑的程序、坐标值、报警信号等。因此，输入/输出装置是机床数控系统和操作人员之间进行信息交流、人机对话必须具备的交互设备。

② 数控装置。数控装置是一种专用计算机，一般由中央处理器（CPU）、存储器、总线和输入输出接口等构成。数控装置是整个数控机床数控系统的核心，决定了机床数控系统功能的强弱。

③ 伺服驱动及检测装置。伺服驱动及检测装置是数控机床的关键部分，它影响数控机床的动态特性和轮廓加工精度。伺服系统包括伺服单元、伺服驱动装置（或执行机构）等，是数控系统的执行部分。其作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动。

④ 可编程控制器及电气控制装置。可编程控制器与数控装置协调配合共同完成数控机床的控制，其中数控装置主要完成与数字运算和管理等有关的功能，如零件程序的编辑、插补运算、译码、位置伺服控制等。它接收计算机数控装置的控制代码M（辅助功能）、S（主轴转速）、T（选刀、换刀）等顺序动作信息，对顺序动作信息进行译码，转换成对应的控制信号，控制辅助装置完成机床相应的开关动作，如工件的装夹、刀具的更换、冷却液的开关等一些辅助动作。它还接收来自机床操作面板的指令，一方面直接控制机床的动作，另一方面将一部分指令送往数控装置用于加工过程的控制。

数控机床的可编程控制器一般分为两类：一类是内装型可编程控制器，另一类是独立型可编程控制器。

电气控制装置主要安装在电气控制柜中，控制柜主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件，除了提供数控、伺服等弱电控制系统的输入电源，以及各种短路、过载、欠压等电气保护外，还在可编程控制器的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元件之间起桥梁连接作用，控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等。此外，它也与机床操作台相关手动按钮连接。控制柜由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。为了提高弱电控制系统的抗干扰性，要求各类频繁启动或切换的电动机、接触器等电磁感应器件中均必须并接 RC 阻容吸收器；对各种检测信号的输入均要求用屏蔽电缆连接。

⑤ 检测反馈系统。检测反馈系统的作用是对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测，把检测结果转化为电信号反馈给数控装置，通过比较，计算出实际位置与指令位置之间的偏差，并发出纠正误差指令。检测反馈系统可分为半闭环和闭环两种。半闭环系统中，位置检测主要使用感应同步器、磁栅、光栅、激光测距仪等。

⑥ 机床本体。机床本体包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和底座、立柱、刀架、工作台等基础部件。数控机床是一种高精度、高效率 and 高度自动化机床，要求机床的机械结构应具有较高的精度和刚度，精度保持性要好，主运动、进给运动部件运动精度要高。机床的进给传动系统一般均采用精密滚珠丝杠、精密滚动导轨副、摩擦特性良好的滑动（贴塑）导轨副，以保证进给系统的灵敏和精确。可以说高精度、高刚度的机床本体结构是保证数控机床高效、高精度、高度自动化加工的基础。

(2) 数控机床的分类。数控机床的种类较多，一般按照以下几种不同的方法分类。

① 按照工艺用途划分。按照工艺的不同，数控机床可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗铣床、齿轮加工机床、数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控冲床、数控剪床、数控液压机等。

② 按运动方式划分。按照刀具与工件相对运动方式的不同，数控机床可分为点位控制、直线控制和轮廓控制。

③ 按伺服系统类型分。按照伺服系统类型不同分为开环伺服系统数控机床、闭环伺服系统数控机床和半闭环伺服系统数控机床。

另外，还有其他的分类方法，例如，按照数控系统的功能水平可分为：低档、中档和高档数控机床；按照轴数和联动轴数可分为几轴联动等多种数控机床；按数控机床功能多少分为经济型数控机床和全功能型数控机床等。

2. 数控车床的组成与分类

(1) 数控车床的组成。数控车床一般是由数控车床主体、数控系统、伺服驱动系统和辅助装置组成。即由床身、主轴箱、进给传动系统、刀架、液压系统、冷却系统及润滑系统等部分组成，图 1.2 所示为数控车床外形（CAK6140V）。

① 数控车床主体。数控车床主体是数控车床的机械部件，主要包括床身、主轴箱、刀架、尾座、进给传动机构等。

② 数控系统。数控系统是数控车床的控制核心，其主体是一台计算机（包括 CPU、存储器、CRT 等）。可配备 FANUC、SIEMENS、HNC-21T 等多种数控系统。

③ 伺服驱动系统。伺服驱动系统是数控车床切削加工的动力部分, 主要实现主运动和进给运动, 由伺服驱动电路和伺服驱动装置两大部分组成。驱动装置主要有主轴电动机、进给系统的步进电动机或交、直流伺服电动机等。

④ 辅助装置。辅助装置是数控车床中一些为加工服务的配套部分, 如液压、气动装置, 冷却、照明、润滑、防护、排屑装置等。

数控车床采用伺服电动机经滚珠丝杠传到滑板和刀架, 以连续控制刀具实现纵向 (Z 向) 和横向 (X 向) 进给运动。数控车床主轴安装有脉冲编码器, 主轴的运动通过同步齿形带 1:1 地传到脉冲编码器。当主轴旋转时, 脉冲编码器便发出检测脉冲信号给数控系统, 使主轴电动机的旋转与刀架的切削进给保持同步关系, 就可以实现螺纹加工时主轴旋转 1 周, 刀架 Z 向移动一个导程的运动关系。

(2) 数控车床的分类。数控车床主要用于车削加工对各种形状不同的轴类或盘类回转表面。在数控车床上可以进行钻中心孔、车内外圆、车端面、钻孔、镗孔、铰孔、切槽、车螺纹、滚花、车锥面、车成形面、攻螺纹以及高精度的曲面及端面螺纹等的加工。

① 按数控系统的功能分类。

(a) 经济型数控车床。一般采用步进电动机驱动的开环伺服系统。

(b) 全功能型数控车床。全功能型数控车床, 一般采用闭环或半闭环控制系统, 可以进行多个坐标轴的控制, 具有高刚度、高精度、高效率等特点。

(c) 车削中心。它的主体是全功能型数控车床, 并配置刀库、换刀装置、分度装置、铣削动力头、机械手等, 可实现多工序的车、铣复合加工。在工件一次装夹后, 它可完成对回转体类零件的车、铣、钻、铰、攻螺纹等多种加工工序, 其功能全面, 加工质量和速度都很高, 但价格也比较贵, 如图 1.3 所示。



图 1.2 数控车床

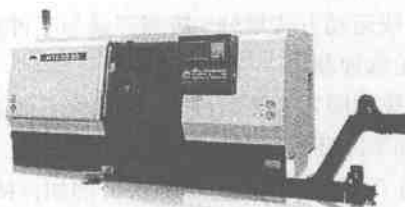


图 1.3 车削中心

(d) FMC 车床。FMC (Flexible Manufacturing Cell) 车床实际上是一个由数控车床、机器人等构成的柔性加工单元。它能实现工件搬运、装卸的自动化和加工调整准备的自动化。

② 按主轴的配置形式分类。

(a) 卧式数控车床。即主轴轴线处于水平位置的数控车床。

(b) 立式数控车床。即主轴轴线处于垂直位置的数控车床。

此外, 还有具有两根主轴的车床, 称为双轴卧式数控车床或双轴立式数控车床。

③ 按数控系统控制的轴数分类。

(a) 两轴控制的数控车床。机床上只有一个回转刀架, 可实现两坐标轴控制。

(b) 四轴控制的数控车床。机床上有两个独立的回转刀架, 可实现四轴控制。

④ 其他分类方法。按加工零件的基本类型分为卡盘式数控车床、顶尖式数控车床; 按数控系统的不同控制方式分为直线控制数控车床、轮廓控制数控车床等; 按性能可分为多主轴车床、双主轴车床、纵切式车床、刀塔式车床、排刀式车床等; 按刀架数量可分为单刀架数控车床和双刀架数控车床。

3. 数控铣床的组成与分类

(1) 数控铣床的组成。数控铣床的外形, 如图 1.4 所示。其组成如下。

① 铣床主体。铣床主体是数控铣床的机械部件, 包括床身、主轴箱、工作台、进给机构等。

② 控制部分 (CNC 装置)。控制部分是数控铣床的控制核心, 实际上是一台机床专用的计算机, 由印刷电路板、各种电器元件、监视器、键盘等组成。

③ 驱动装置。驱动装置是数控铣床执行机构的驱动部件, 包括主轴电动机、进给伺服电动机等。

④ 辅助装置。辅助装置是指数控铣床的一些配套部件, 包括液压和气动装置、冷却和润滑系统、排屑装置等。

(2) 数控铣床的分类。数控铣床常见的类型主要有数控立式铣床、数控卧式铣床和数控龙门铣床等。

① 数控立式铣床。数控立式铣床主轴与机床工作台面垂直, 一般采用固定式立柱结构, 工作台不升降, 主轴箱作上下运动, 主轴中心线与立柱导轨面的距离不能太大, 以保证机床的刚性。数控立式铣床工件安装方便, 加工时便于观察, 但不便于排屑。

② 数控卧式铣床。数控卧式铣床其主轴与机床工作台面平行。一般配有数控回转工作台, 便于加工零件的不同侧面。

③ 数控龙门铣床。对于大尺寸的数控铣床, 一般采用对称的双立柱结构龙门铣床, 保证机床的整体刚性和强度, 数控龙门铣床有工作台移动和龙门架移动两种形式, 它适用于加工整体结构零件、大型箱体零件、大型模具等。

4. 加工中心的组成与分类

加工中心的外形如图 1.5 所示。

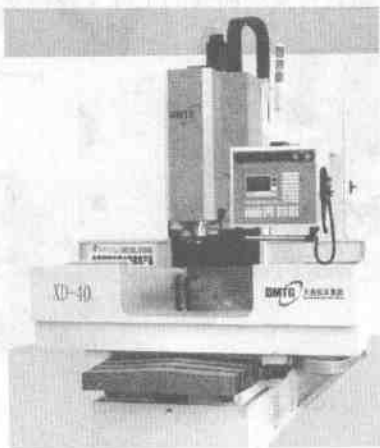


图 1.4 数控铣床



图 1.5 加工中心

(1) 加工中心的组成。加工中心由基础部件、主轴部件、数控系统、自动换刀装置 (ATC) 几大部分组成。加工中心具有对零件进行多工序加工的能力, 有一套自动换刀装置。有些加工中

心除配有刀库外，还有主轴头库，可自动更换主轴头进行卧铣、立铣、磨削和转位铣削等。

除了在数控铣床基础上发展起来的镗铣加工中心外，还出现了在数控车床基础上发展起来的车削加工中心。

(2) 加工中心的分类。按照换刀的形式可分为带刀库、机械手的加工中心，无机械手的加工中心和回转刀架式的加工中心。按其运动坐标数和控制坐标的联动数可分为三轴二联动、三轴三联动、四轴三联动、五轴四联动和六轴五联动加工中心等。常用分类方法是按机床结构分，一般可分为立式加工中心、卧式加工中心、龙门式加工中心和万能加工中心。

① 立式加工中心。立式加工中心是指主轴轴线为垂直状态设置的加工中心。其结构形式多为固定立柱式，工作台为长方形，无分度回转功能，主要适合加工板材类、壳体类工件，也可用于模具加工。一般具有3个直线运动坐标，如果在工作台上安装一个水平轴的数控回转台，还可加工螺旋线类零件。其装夹方便、便于操作、调试程序容易、结构简单、占地面积小、价格相对较低、应用广泛。

② 卧式加工中心。卧式加工中心是指主轴轴线为水平状态设置的加工中心。一般具有3~5个运动坐标，常见的是3个直线运动坐标加一个回转运动坐标。它能够使工件在一次装夹后完成除安装面和顶面以外的其余4个面的加工，适合加工箱体类零件及小型模具型腔。其特点是加工时排屑容易、但结构复杂、占地面积大、价格也较高、适用于批量生产。

③ 龙门式加工中心。图1.6所示为一种龙门式加工中心外形图。

龙门式加工中心主轴多为垂直设置，除带有自动换刀装置以外，还带有可更换的主轴头附件，数控装置的软件功能比较齐全，能够一机多用，尤其适用于大型或形状复杂的工件。

④ 万能加工中心（复合加工中心）。万能加工中心又叫五面体加工中心，工件一次安装后能完成除安装面外的所有侧面和顶面等5个面的加工。常见的五面加工中心有两种形式：一种是主轴可以旋转 90° ，既可以像立式加工中心那样工作，也可以像卧式加工中心那样工作；另一种是主轴不改变方向，而工作台可以带着工件旋转 90° ，完成对工件5个表面的加工，如图1.7所示。

由于复合加工中心存在结构复杂、造价高、占地面积大等缺点，所以它的生产和使用远不如其他类型的加工中心广泛，适于加工复杂箱体类零件和具有复杂曲线的工件及各种复杂模具。

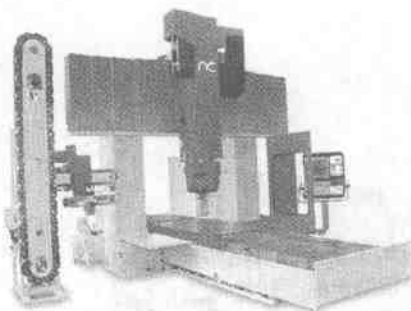


图 1.6 龙门式加工中心



图 1.7 五面体加工中心

训练与提高

(1) 简述数控装置由哪几部分组成？

(2) 数控车床由哪些部分组成？

(3) 数控铣床由哪几部分组成?

(4) 加工中心由哪几部分组成?

任务2 数控加工技术

1. 数控加工的特点

数控机床加工与传统机床加工相比,具有以下特点。

(1) 数控加工的优点。

① 自动化程度高。数控机床加工前经调整好后,输入程序并启动,机床就能自动连续地进行加工,直至加工结束。操作者主要是进行程序的输入、编辑、装夹零件、刀具准备、加工状态的观测、零件(工件)的检验等工作,劳动强度大大降低,数控机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外,数控机床一般是封闭式加工,既清洁,又安全。

② 加工精度高,质量稳定。由于数控机床本身的定位精度和重复定位精度都很高,精度已从微米级提高到亚微米级,乃至纳米级。普通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 $\pm (1\sim 1.5)\mu\text{m}$ 。因此,数控加工不但可以保证零件获得较高的加工精度,而且质量稳定,也便于对加工过程实行质量控制,减少了通用机床加工中人为因素造成的失误。

③ 生产效率高。由于数控机床加工时能在一次装夹中加工出很多待加工的部位,既省去了通用机床加工时不少中间工序(如划线、装夹、检验等),缩短了辅助时间,又为后继工序(如装配等)带来了方便,其综合效率比通用机床明显提高。

④ 适应性强。由于数控加工一般不需要很多复杂的工艺装备,可以通过编制程序把形状复杂和精度要求高的零件加工出来,故当设计更改时,可以通过改变相应的程序来实现,一般不需要重新设计制造工装(工艺装备)。因此,数控加工能大大缩短产品研制周期,给新产品的研制开发和产品的改进、改型提供了很好的手段。

⑤ 便于实现计算机辅助设计与计算机辅助制造。计算机辅助设计与计算机辅助制造(CAD/CAM)已成为航空航天、汽车、船舶及其他机械工业实现现代化的必由之路。通过计算机辅助设计,设计出来的产品图样及数据变为实际产品的最有效的途径,就是采取计算机辅助制造技术。数控机床及其加工技术正是计算机辅助制造系统的基础。

(2) 数控加工的缺点。

① 加工成本一般较高。数控机床的价格一般是同类普通机床的几倍甚至几十倍。此外,其零配件价格较高,维修成本也高。再加上与其配套的编程设施、计算机及其外部设备等,其产品成本大大高于普通机床。

② 只适宜于多品种小批量或中批量生产。由于数控加工对象一般为较复杂零件,又往往采用工序相对集中的工艺方法,在一次定位安装中加工出许多待加工面,势必将工序时间拉长。与由专用多工位组合机床或自动机形成的生产线相比,在生产规模与生产效率方面仍有很大差距。

③ 加工过程中难以调整。由于数控机床是按程序运行自动加工的,一般很难在加工过程中进行适时的人工调整,即使可以做局部调整,其可调范围也很有限。

④ 维修困难。数控机床是技术密集型的机电一体化产品,增加了微电子维修方面的困难,一

般均需配备技术素质较高的维修人员与较好的维修装备。

2. 数控加工的对象

数控机床的性能特点决定其应用范围。一般可按被加工零件的特点分为以下3类加工对象。

（1）最适应类。

① 加工精度要求高，形状、结构复杂，尤其是用数学模型描述的具有复杂曲线、曲面轮廓用普通机床无法加工或虽能加工但很难保证产品质量的零件。

② 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒形零件。

③ 必须在一次装夹中完成铣、镗、钻、铰、攻丝等多道工序的零件。

对于上述零件，可以先不要过多地去考虑生产效率与经济上是否合理，而应首先考虑能否加工出来，要着重考虑可能性问题。只要有可能，都应把对其进行数控加工作为优选方案。

（2）较适应类。

① 价格昂贵，毛坯获得困难，不允许报废的零件。这类零件在普通机床上加工时有一定的难度，容易产生次品或废品。

② 在普通机床上加工时，生产效率很低或劳动强度很大的零件，质量难以稳定控制的零件。

③ 用于改型比较、提供性能或功能测试的零件；多品种、多规格、单件小批量生产的零件。

④ 在普通机床上加工需要作长时间调整的零件。

对于上述零件，在首先分析其可加工性以后，还要在提高生产率及经济效益方面做全面衡量，一般可把它们作为数控加工的主要选择对象。

（3）不适应类。

① 生产批量大的零件。

② 装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件。

③ 加工余量很不稳定，且数控机床没有在线检测系统可自动调整零件坐标位置的零件。

④ 必须用特定的工装协调加工的零件。

因为上述零件采用数控加工后，在生产率与经济性方面一般无明显改善，更有可能弄巧成拙或得不偿失，故此类零件一般不应作为数控加工的选择对象。

3. 数控加工的步骤

数控机床是一种高度自动化的机床，在加工工艺与表面加工方法上，与普通机床基本相同，最根本的区别在于实现自动化控制的原理与方法上。数控机床加工零件的工作过程如图1.8所示，主要包括：分析零件图纸、工艺处理、数值处理、编写程序单、制作控制介质、程序校验、首件试切等。

在加工过程中，机床的每一步动作都由程序来决定，因此其加工工艺的制定非常重要。对于普通机床加工，工艺员对工艺编制只考虑大致方案，具体操作细节，如主轴转速、进给量大小等均由机床操作者根据自己的经验、技能，在加工现场自行决定并不断加以改进。而数控机床加工，则必须由编程员事先对零件加工过程的每一步都要在程序中写好，整个工艺过程中的每一细节都要考虑周到、安排合理。数控机床上运行的零件程序远比普通机床上用的零件工艺过程要复杂得多，机床的动作顺序、零件的工艺过程、刀具的选择、走刀的路线和切削用量等，都要编入程序，具体步骤如下。

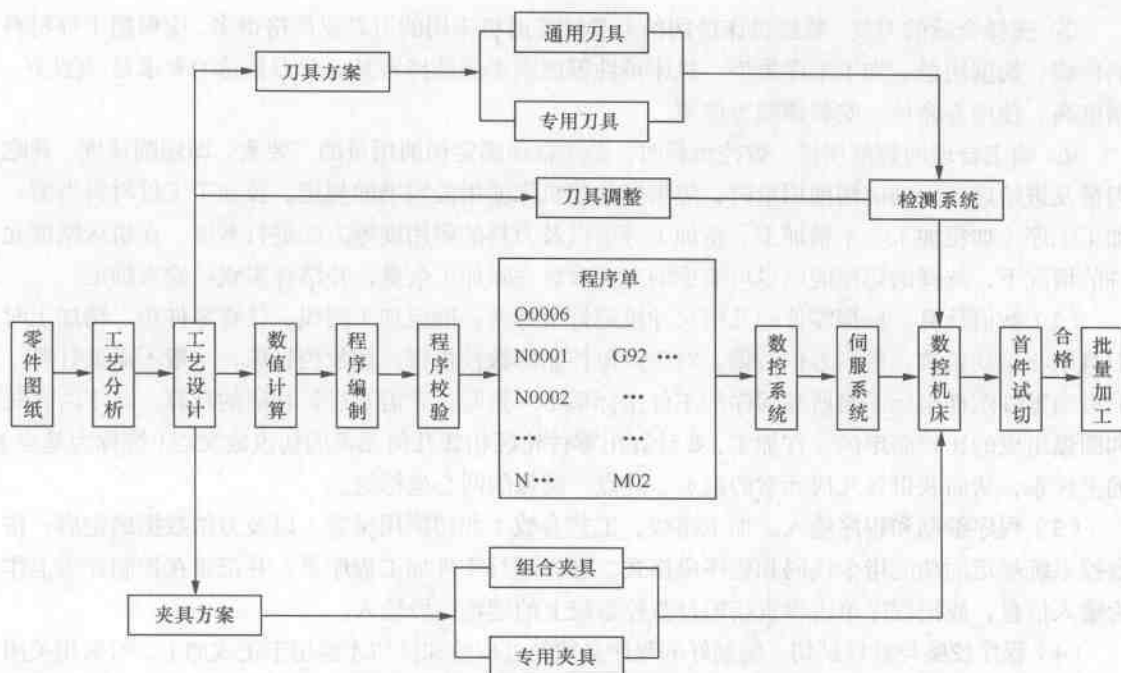


图 1.8 数控机床加工零件的工作过程

(1) 分析图样、确定加工工艺。首先对零件图样进行分析以明确加工的内容和要求，根据图样对工件的形状、尺寸、技术要求进行分析，然后选择加工方案，确定合理的加工顺序、走刀路线、夹具、刀具、适当的切削用量等，同时还要考虑所选用数控机床的指令功能，充分发挥机床的效能。

① 确定加工方案。由于具体情况不同，对于同一个零件的加工方案也有所不同，应选择最经济、最合理、最完善的加工工艺方案。

② 夹具的设计和选择。要选择合适的定位方式和夹紧方法，做到装夹工件快速有效。

尽量采用可反复使用，经济效益好的组合夹具，必要时可以设计专用夹具。

③ 加工余量的选择。数控机床加工余量的大小等于每个中间工序加工余量的总和。各工序间加工余量的选择可根据下列条件进行。

(a) 尽量采用最小的加工余量总和，以便缩短加工时间，降低零件加工费用。

(b) 要留有足够的加工余量，保证最后工序的加工余量能得到图纸上所规定的精度和表面粗糙度要求。

(c) 加工余量要与加工零件的尺寸大小相适应，一般来说零件越大加工余量也相应大些。

(d) 决定加工余量时应考虑到零件热处理引起的变化，以免产生废品。

(e) 决定加工余量时应考虑加工方法和加工设备的刚性，以免零件发生变形。

④ 合理选择加工路线。所谓加工路线，就是指数控机床在加工过程中刀具中心运动的轨迹和方向。确定加工路线，就是确定刀具运动的轨迹和方向，也就是编程的轨迹和运动方向。加工路线的选择一般应遵循以下原则。

(a) 保证所加工零件的精度和表面粗糙度的要求。

(b) 尽量缩短加工路线，尽量减少换刀次数和空行程，提高生产效率。

(c) 有利于简化数值计算，减少程序段数和降低编程复杂程度。

⑤ 选择合适的刀具。数控机床所用的刀具较普通机床用的刀具要严格得多,应根据工件材料的性能、切削用量、加工工序类型、机床特性等因素正确选择刀具。对刀具总的要求是:刚性好、精度高、使用寿命长、安装调整方便等。

⑥ 确定合理的切削用量。数控编程时,必须合理确定切削用量的三要素,即切削速度、背吃刀量及进给速度。确定切削用量时,应根据数控机床使用说明书的规定、被加工工件材料类型、加工工序(如粗加工、半精加工、精加工等)以及刀具的耐用度等方面进行考虑。在机床刚度允许的情况下,选择的切深能以尽可能少的走刀次数去除加工余量,并结合实践经验来确定。

(2) 数值计算。根据零件的几何尺寸设定好坐标系,确定加工路线,计算零件粗、精加工时刀具中心运动轨迹,得到刀位数据。对于点位控制的数控机床,如数控钻床,一般不需要计算。只有当零件图样坐标系与所编程序的工件坐标系不一致时,才需要进行相应的换算。对于由直线和圆弧组成的比较简单的零件加工,要计算出零件轮廓相邻几何元素的切点或交点(统称为基点)的坐标系,从而获得各几何元素的起点、终点、圆弧的圆心坐标值。

(3) 程序编制和程序输入。加工路线、工艺参数(如切削用量等)以及刀位数据确定后,按数控系统规定的功能指令代码和程序段格式,逐段编写零件加工程序单,并记录在控制介质上作为输入信息,或把程序单内容直接通过数控系统上的键盘逐段输入。

(4) 程序校验与首件试切。编制好的程序必须经过校验和试切才能用于正式加工。可采用关闭伺服驱动功能开关,在带有刀具轨迹动态模拟显示功能的数控系统上,切换到 CRT 图形显示状态下运行所编程序,根据报警内容及所显示的刀具轨迹或零件图形是否正确来调试、修改。还可采用不装刀具、工件,开车空运行来检查、判断程序执行中机床运动是否符合要求。对于较复杂的零件,可先采用塑料或铝等易切削材料进行首件试切。当首件试切有误差时,应分析产生原因,加以修改。

(5) 批量生产。零件程序通过校验和首件试切合格后,可进行正式批量加工生产。操作者一般只要进行工件上下料,再按自动循环按钮,就可实现自动循环加工。由于刀具磨损等原因,要适时检测所加工零件尺寸,进行刀具补偿。操作者还要注意观察运行情况,以免发生意外。

知识拓展

由于综合了计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等诸方面的先进技术,数控机床的发展日新月异,其功能也越来越强大,数控技术的发展方向主要体现在以下几个方面。

(1) 高速化。高速化是指数控机床的高速切削和高速插补进给,这不仅要求数控系统的处理速度要快,同时还要求数控机床具有大功率和大转矩的高转速主轴、高速进给电动机、高性能的刀具、稳定的高频动态刚度。

(2) 数控功能的扩展。

① 数控系统插补和联动轴数的增加,有的数控系统能同时控制几十根轴。

② 数控系统中微处理器处理字长的增加,目前广泛采用 64 位微处理器。

③ 数控系统中可实现人机对话、进行交互式图形编程。

④ 基于个人计算机的开放式数控系统的发展,使数控系统得到更多硬件和软件的支持。

(3) 数控伺服系统的发展。

① 交流伺服系统替代直流伺服系统。

② 反馈控制技术的发展增加了速度指令控制,使跟踪滞后误差减小。

③ 高速电主轴和程序段超前处理技术使高速小线段加工得以实现。