



普通高等教育机械类“十三五”规划系列教材

数控加工工艺与编程 (第3版)

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU BIANCHENG

主 编 程俊兰 卢良旺

副主编 廖 奇 侯 伟 陈 玲



Technology
Programming



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类“十三五”规划系列教材

数控加工工艺与编程

(第3版)

主 编 程俊兰 卢良旺

副主编 廖 奇 侯 伟 陈 玲

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书详细阐述和分析了数控加工最新技术的应用成果,精心挑选了当今主流数控系统作为典型实例。内容重点突出、取材新颖、图文结合、实例丰富,汇集了许多编程技术经验,并强调知识的综合应用,拓宽知识面。书中所选实例具有较强的实用性和代表性,读者可以举一反三,是一本针对性和实用性较强的教材。

全书共分7章,内容包括数控加工工艺基础、数控编程基础、数控车削工艺与编程、数控铣床和加工中心工艺与编程、宏程序设计、典型零件工艺设计综合实例、计算机辅助自动编程技术。

本书可作为数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业、模具设计与制造专业、计算机辅助设计与制造专业的教学用书和专业教材,也可供有关工程技术人员和数控机床操作人员学习、参考和培训之用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程/程俊兰,卢良旺主编. —3版. —北京:电子工业出版社,2018.1

普通高等教育机械类“十三五”规划系列教材

ISBN 978-7-121-33088-9

I. ①数… II. ①程… ②卢… III. ①数控机床—加工—高等学校—教材②数控机床—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第285649号

策划编辑:李 洁

责任编辑:刘真平

印 刷:三河市兴达印务有限公司

装 订:三河市兴达印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:467.2千字

版 次:2011年5月第1版

2018年1月第3版

印 次:2018年1月第1次印刷

定 价:49.90元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: lijie@phei.com.cn。

前 言

本书为应用型本科系列规划教材之一,是依据工程类高等教育的特点,以及机械设计、制造及其自动化专业的培养目标和教学基本要求,同时兼顾非机械设计、制造及其自动化专业的选修课要求而编写的。

本书强调工艺及工艺与编程、加工方法、数控刀具的关系,所用的数控系统和机床设备只介绍其功能,而不讲解其结构和原理,突出应用性和针对性,以培养学生的工艺分析能力,使学生能通过正确地分析工艺来选择工艺方法,确保加工的质量、效率和成本。同时,从设计、设备、材料和工艺等全方位考虑问题,寻求工艺设计的整体最优。

本书注重实用性,书中的例子和方法主要取自工程实例和实用的工程方法,零件、数控程序和工艺路线采用工程图而非示意图,尺寸标注及表面粗糙度均与工程实际相符合,以增强学生的工程化意识,并获取一定的间接工程经验。

编写过程中特别注意以下特点:

(1) 以“易教易学”为核心思想,“够用、实用、新用”为基本原则,注意系统化与模块化的结合。

(2) 强调概念、原理、理论的生动解释,保持理论内容与实践内容的均衡。

(3) 提倡运用实例讲解理论知识,能创新的要创新,能用案例教学的要案例教学,能实现计算机仿真与理论无缝结合的要结合。

(4) 关于案例,在每章后给出案例,单设一章给出完整的案例,可作为课程设计指导。

(5) 案例的选材注意实用性和代表性,从生产现场选材,全面介绍中等复杂零件从零件图到数控加工程序的整个过程,将数控机床加工必备的数控加工工艺规程的制定与数控编程有机地联系在一起,培养学生正确、合理编制零件数控加工程序的能力。

(6) 每章都有大量的实例和习题,且习题均提供参考答案,旨在方便读者自学。

本书由北华航天工业学院程俊兰、广东省机械高级技工学校卢良旺担任主编,广东省机械高级技工学校廖奇、西北工业大学民德学院侯伟、昆明学院陈玲担任副主编。第1章、第6章由程俊兰编写,第2章由陈玲编写,第3章、第5章由卢良旺编写,第4章由廖奇编写,第7章由侯伟编写。

本书在编写过程中参阅了大量相关文献与资料,在此向有关作者一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2017年7月

目 录

第1章 数控加工工艺基础	(1)
1.1 数控加工	(1)
1.1.1 数控加工过程	(1)
1.1.2 数控加工的特点	(2)
1.1.3 数控加工的发展趋势	(3)
1.2 数控加工工艺	(5)
1.2.1 数控加工工艺的特点	(5)
1.2.2 数控加工工艺的主要内容	(6)
1.2.3 数控加工工艺系统	(7)
1.3 机械加工精度	(8)
1.3.1 影响机械加工精度的主要因素	(9)
1.3.2 提高机械加工精度的工艺措施	(9)
1.4 机械加工表面质量	(10)
1.4.1 机械加工表面质量的含义	(10)
1.4.2 提高机械加工表面质量的工艺措施	(11)
1.5 数控加工的工艺基础	(13)
1.5.1 数控加工的切削基础	(13)
1.5.2 工件材料的分类与性能	(15)
1.5.3 毛坯的种类与选择	(16)
1.5.4 加工余量的确定	(17)
1.5.5 基准的概念与选择	(18)
1.5.6 常见定位方式及定位元件	(20)
1.5.7 工件的夹紧	(28)
1.5.8 机床夹具	(30)
1.6 数控加工用刀具	(35)
1.6.1 刀具材料的成分组成和选用	(36)
1.6.2 数控车削刀具	(37)
1.6.3 数控车削用工具系统	(44)
1.6.4 数控铣床与加工中心刀具	(45)
1.6.5 铣削刀具的选择	(50)
1.6.6 数控铣削用工具系统	(54)
1.6.7 高速铣削及其工具系统	(58)
1.7 数控加工工艺分析与设计	(60)
1.7.1 数控加工工艺分析	(60)
1.7.2 数控加工工艺设计	(62)
1.7.3 数控加工工艺文件的编写	(69)

复习思考题 1	(73)
第 2 章 数控编程基础	(75)
2.1 数控程序编制内容与方法	(75)
2.1.1 数控程序编制内容	(75)
2.1.2 数控程序编制方法	(77)
2.2 数控机床坐标系	(78)
2.2.1 坐标系及运动方向规定	(78)
2.2.2 坐标轴及方向规定	(79)
2.2.3 工件坐标系	(80)
2.2.4 坐标系的建立	(81)
2.2.5 绝对坐标编程与增量坐标编程	(83)
2.3 数控编程中的数学处理	(84)
2.3.1 基点和节点的坐标计算	(84)
2.3.2 刀位点轨迹计算	(85)
2.4 程序结构与格式	(85)
2.4.1 程序的组成与格式	(85)
2.4.2 程序段的组成与格式	(87)
2.4.3 程序字的格式	(87)
2.4.4 主程序、子程序与用户宏程序	(88)
2.5 基本指令功能	(89)
2.5.1 模态代码、单段有效代码	(89)
2.5.2 尺寸字	(89)
2.5.3 准备功能	(90)
2.5.4 进给功能	(90)
2.5.5 主轴转速功能	(91)
2.5.6 刀具功能	(91)
2.5.7 辅助功能	(91)
复习思考题 2	(93)
第 3 章 数控车削工艺与编程	(94)
3.1 数控车床的工艺特点	(94)
3.1.1 数控车床的分类	(94)
3.1.2 数控车床的结构特点	(95)
3.1.3 数控车削加工的工艺特点	(96)
3.2 数控车削加工工艺分析	(96)
3.2.1 数控车削加工的主要对象	(96)
3.2.2 数控车削进给路线的确定	(97)
3.3 数控车削加工中的对刀	(102)
3.3.1 对刀方法	(102)
3.3.2 对刀实例	(103)
3.4 数控车床程序编制	(104)

3.4.1 G 功能代码	(104)
3.4.2 M 功能代码	(106)
3.4.3 数控车床的编程特点	(107)
3.4.4 F、S、T 功能代码	(108)
3.4.5 坐标系设定	(109)
3.4.6 绝对尺寸与增量尺寸输入方式	(110)
3.4.7 参考点返回 (G28、G30)	(111)
3.4.8 坐标运动与进给 (G00~G04)	(111)
3.4.9 螺纹加工 (G32、G34)	(115)
3.4.10 刀具补偿	(117)
3.4.11 固定循环 (G90、G92、G94、G70~G73、G76)	(120)
3.5 数控车床编程实例	(130)
复习思考题 3	(139)
第 4 章 数控铣床和加工中心工艺与编程	(142)
4.1 数控铣床与加工中心的特点	(142)
4.1.1 数控铣床与加工中心分类	(142)
4.1.2 数控铣床与加工中心的结构特点	(145)
4.1.3 数控铣削的工艺特点	(145)
4.2 数控铣床和加工中心加工工艺分析	(146)
4.2.1 数控铣削的适用对象	(146)
4.2.2 加工中心的主要加工对象	(148)
4.2.3 数控铣床加工工艺分析	(150)
4.2.4 数控铣削及加工中心的走刀路线确定	(152)
4.2.5 数控铣削加工切削用量的确定	(156)
4.3 数控铣床与加工中心的对刀	(161)
4.3.1 机外对刀仪	(161)
4.3.2 机内 Z 向对刀	(161)
4.3.3 X、Y 向对刀	(162)
4.4 数控铣床与加工中心程序编制	(165)
4.4.1 G 功能	(165)
4.4.2 M 代码	(166)
4.4.3 坐标平面指令 (G17~G19)	(167)
4.4.4 基本移动指令 (G00~G03)	(167)
4.4.5 程序暂停 (G04)	(172)
4.4.6 刀具与刀具补偿 (G40~G44、G49)	(173)
4.4.7 极坐标编程 (G15、G16)	(178)
4.4.8 子程序 (M98、M99)	(179)
4.4.9 比例缩放指令 (G50、G51)	(181)
4.4.10 坐标系旋转指令 (G68、G69)	(183)
4.4.11 可编程镜像指令 (G51.1、G50.1)	(185)

4.4.12 参考点指令 (G27~G30)	(186)
4.4.13 固定循环 (G98、G99、G73、G74、G76、G80~G89)	(187)
4.5 加工中心实例	(198)
复习思考题 4	(206)
第 5 章 宏程序设计	(209)
5.1 变量	(209)
5.1.1 变量及其引用	(209)
5.1.2 变量的类型	(210)
5.2 变量的运算	(211)
5.3 程序结构	(214)
5.4 宏程序调用	(216)
5.4.1 宏程序的调用与返回	(216)
5.4.2 变量与地址 (自变量) 的对应关系	(216)
5.4.3 本级变量	(217)
5.5 宏程序应用举例	(218)
5.5.1 钻孔类零件	(218)
5.5.2 非圆曲线轮廓类零件	(221)
5.5.3 曲面加工类零件	(223)
5.5.4 车削椭圆手柄	(226)
5.5.5 铣削旋钮手柄凹模	(231)
复习思考题 5	(235)
第 6 章 典型零件工艺设计综合实例	(237)
6.1 连接套的加工工艺设计	(237)
6.1.1 零件图工艺分析	(238)
6.1.2 工艺设计	(238)
6.2 盖板零件的加工工艺设计	(244)
6.2.1 零件图工艺分析	(244)
6.2.2 工艺设计	(245)
6.3 平面槽形凸轮的加工工艺设计	(247)
6.3.1 零件图工艺分析	(248)
6.3.2 工艺设计	(248)
6.4 箱体零件的数控加工工艺设计	(252)
6.4.1 零件图工艺分析	(252)
6.4.2 工艺设计	(253)
6.5 车铣复合零件的数控加工工艺设计	(256)
6.5.1 零件图工艺分析	(256)
6.5.2 工艺设计	(257)
6.6 配合件的数控车削工艺设计	(259)
6.6.1 配合件的加工方法	(259)
6.6.2 内、外锥配合件加工工艺设计	(260)

第 7 章 计算机辅助自动编程技术 (264)

7.1 基于 CAD/CAM 软件的交互式图形编程简述 (264)

7.1.1 交互式图形自动编程的基本步骤 (265)

7.1.2 交互式图形自动编程的特点 (266)

7.1.3 典型的 CAD/CAM 软件 (266)

7.2 计算机辅助自动编程的几何造型 (269)

7.3 计算机辅助自动编程的开发 (270)

附录 A 常用切削用量选择参考表 (280)

第 1 章

数控加工工艺基础

1.1 数控加工

数控加工就是根据零件图纸给出几何信息和工艺要求等原始条件，编写零件的数控加工程序，并输入到数控机床的数控系统，数控系统经过运算、处理，输出各坐标轴的位移分量到各轴的驱动电路，经过转换、放大去驱动伺服电动机，带动各轴运动并进行反馈控制，使各轴精确走到要求的位置，如此继续下去，实现数控机床上刀具与工件的相对运动，从而完成零件的加工。

1.1.1 数控加工过程

数控加工的大致过程如图 1-1 所示。

第一步：阅读零件图，充分了解工件的技术要求（如尺寸精度、形位公差、表面粗糙度、工件的材料和硬度、加工性能及工件数量等），明确加工内容。

第二步：进行工艺分析，其中包括零件的结构工艺性分析、材料和设计精度合理性分析，并确定数控加工所需要的一切工艺信息，形成加工工艺方案，填写工艺过程卡和加工工序卡。

第三步：根据制定的加工工艺方案，用数控系统规定的指令代码及程序格式进行数控编程。

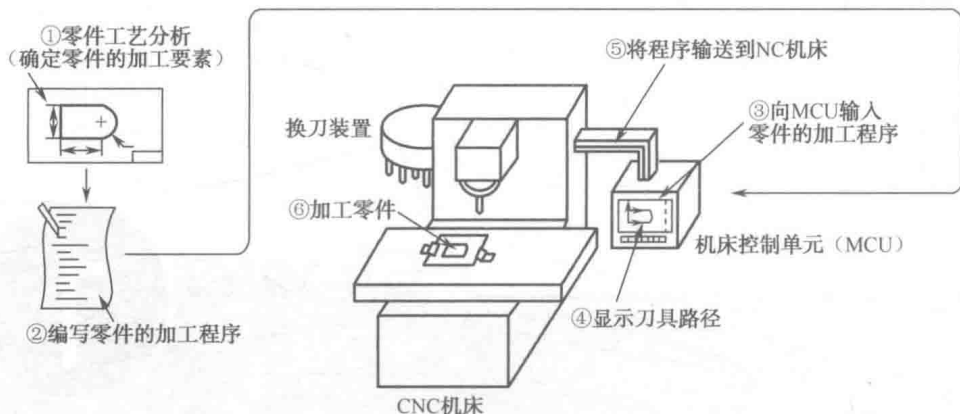


图 1-1 数控加工过程

第四步：将零件加工程序通过数控机床的输入装置输入数控系统，常用 U 盘、存储卡或串行传送接口等输入程序。

第五步：检验与修改加工程序。利用图形模拟功能检验程序格式及走刀路线是否正确，正确后通过首件试加工以进一步验证加工程序是否满足精度及表面质量要求，并对现场问题进行处理，直到加工出符合图纸要求的零件，最后形成优化的加工程序。

1.1.2 数控加工的特点

数控加工体现了精度高、效率高，能适应多品种、中小批量、形状复杂零件的加工等优点，在机械加工中得到了广泛的应用。概括起来，数控加工有以下几方面的特点。

1. 精度高、质量稳定

数控机床的加工精度在 $\pm 0.005 \sim \pm 0.01\text{mm}$ 之间，甚至更高，且不受零件复杂程度的影响。数控机床是在数控加工程序控制下进行加工的，加工过程不需要人工干预，避免了操作者人为产生的误差。在设计制造数控机床时，采取了多种措施，使数控机床的机械部分达到了较高的精度、刚度和热稳定性。数控机床工作台的脉冲当量一般达到了 0.001mm ，而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿。高档数控机床采用光栅尺实现工作台移动的闭环控制，数控机床可获得比本身精度更高的加工精度，尤其提高了同一批零件生产的一致性，产品合格率高，加工质量稳定。

2. 适应性强、高柔性

在数控机床上加不同的零件时，除了更换刀具和设置毛坯装夹方式外，只需要按照零件的轮廓编写新的加工程序，不需要其他任何复杂的调整。这就为复杂结构零件的单件、小批量生产及新产品试制提供了极大的方便。

3. 生产效率高

零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大，而且是无级变化的，因此数控机床可选用最合理的切削用量。由于

数控机床结构刚性好,因此允许进行大切削用量的强力切削,这就提高了数控机床的切削效率,节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快(可达几十米/分),自动换刀时间短(一般为几秒),辅助时间比一般机床大为减少。数控机床在批量生产更换被加工零件时不需要重新调整机床,可以节省用于停机进行零件安装调整的时间。由于数控机床的加工精度比较稳定,一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验,因而可以减少停机检验的时间。在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心机床时,采用工序集中的方法加工零件,减少了半成品的周转时间,大大提高了生产效率。若配合自动装卸手段,便是无人化工厂的基本组成部分。

4. 劳动强度低

数控机床对零件的加工是在程序控制下自动完成的,操作者除了控制按钮与开关、装卸工件、进行关键工序的中间测量及观察切削状态是否正常之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大为减轻,劳动条件也得到了相应的改善。

5. 有利于现代化的生产管理

在数控机床上加工零件所需的时间基本上是固定的,可以更精确地计算工时费用,对使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理,合理编写生产进度计划。

6. 易于建立计算机通信网络

由于数控机床与计算机联系紧密,且使用数字化信息,易于与计算机建立通信网络,便于与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统相连接,形成计算机辅助设计和辅助制造一体化,并且可以建立各机床间的联系,容易实现群控。

7. 价格较贵、调试和维修困难

数控机床结构复杂,采用了许多先进技术,所以要求操作人员、调试和维修人员应具有专门的知识 and 较高的专业技术水平,或经过专门的技术培训,这样才能胜任相应的工作。

1.1.3 数控加工的发展趋势

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、快速插补技术、超高速通信技术和高速主轴等技术来实现。机床高速化既表现在主轴转速上,也表现在工作台快速移动、进给速度提高,以及刀具交换、托盘交换时间缩短等各个方面。

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少、排屑加快、热变形减小,不但可以提高零件的表面加工质量和精度,还可以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。高速主轴单元

(电主轴, 转速为 15 000~100 000r/min)、高速且高加/减速度的进给运动部件、高性能数控和伺服系统及数控工具系统都出现了新的突破。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/减速直线电动机驱动进给部件及高性能控制系统和防护装置等一系列技术领域关键技术的解决, 为开发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 30 000r/min 以上, 有的高达 100 000r/min; 工作台进给速度在分辨率为 1 μ m 时可达 100m/min 以上, 有的达到 200m/min, 在分辨率为 0.1 μ m 时可达 24m/min 以上; 自动换刀速度在 1s 以内。

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, 一般是通过减小数控系统误差、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。

当前, 普通级数控机床的加工精度达到 $\pm 5\mu\text{m}$; 精密级加工中心达到 $\pm 1\sim 1.5\mu\text{m}$, 甚至更高; 超精密加工精度进入纳米级, 主轴回转精度要求达到 0.01~0.05 μm , 加工表面粗糙度 R_a 达 0.003 μm 。这些机床一般采用矢量控制的变频驱动电主轴, 进给驱动有伺服电动机加精密高速滚珠丝杠驱动和直线电动机直接驱动两种类型。目前使用滚珠丝杠驱动的机床最大快移速度达 90m/min, 加速度为 1.5g; 使用直线电动机的高速高精加工机床最大快移速度已达 208m/min, 加速度可达 2g, 并且还能进一步提高。

3. 功能复合化

数控机床功能复合化指通过增加机床的功能, 减少加工过程中的定位、装夹、对刀、检测等的辅助时间, 提高机床效率。事实证明, 加工功能的复合化和一体化除了增加机床的加工范围外, 还大大提高了机床的加工精度和加工效率, 节省了占地面积, 特别是缩短了零件的加工周期, 降低了整体加工费用和机床维护费用。因此, 复合功能的机床越来越受到青睐, 呈快速发展趋势。

4. 网络化

网络化主要指数控机床通过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。数控机床应可实现多种通信协议, 既满足单机需要, 又能满足 FMS、CIMS 对基层设备的要求。通过网络可实现远程监视加工、控制加工进程, 还可进行远程监测和故障诊断, 使维修变得简单。

随着网络技术的成熟与发展, 最近业界又提出了数字制造 (e 制造) 的概念。它是企业现代化的标志之一, 也是当今国际先进机床制造商标准配置的供货方式。越来越多的国内用户在购买进口机床时, 要求具有远程通信服务等功能。

5. 智能化

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, 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。CAD/CAM 软件日趋丰富和具有“人性化”, 虚拟设计与制造等高端技术也越来越多地为工程技术人员所追求, 多媒体人机接口使用户操作简单, 智能编程使编程更加直观且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。

6. 绿色化

21 世纪必须把环保和节能放在重要位置,即要实现数控加工工艺的绿色化。目前主要体现在不用切削液上,因为切削液既污染环境和危害工人健康,又增加了能源消耗。干切削一般是在大气中进行的,但也包括在特殊气体中(氮气中、冷风中或采用干式静电冷却技术)不使用切削液进行切削。准干切削是使用极微量润滑的切削。对于面向多种加工方法组合的加工中心机床来说,主要采用准干切削,通常是让极其微量的切削液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。

1.2 数控加工工艺

数控加工工艺是采用数控机床加工零件所采用的各种技术、方法、手段的总和。

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,但在数控机床上加工零件比在普通机床上加工零件的工艺规程要复杂得多。在数控加工前,要将机床的运动过程、零件的工艺过程、刀具的形状、切削用量和走刀路线等都编入程序,这就要求程序设计人员具有多方面的知识基础。一名合格的程序员首先是一名合格的工艺人员,否则就无法全面周到地考虑零件加工的全过程,以及正确、合理地编写零件的加工程序。

1.2.1 数控加工工艺的特点

数控加工与普通加工相比具有加工自动化程度高、加工精度高、加工质量稳定、生产率高、工人劳动强度低、设备使用费用高、有利于生产管理的现代化等特点。因此,数控机床加工工艺与普通机床加工工艺相比,具有如下特点:

1. 数控加工工艺内容要求十分具体、详细

数控加工时,所有工艺问题(如加工部位、加工顺序、刀具配置顺序、刀具轨迹、切削参数等)都必须事先设计和安排好,并编入加工程序中。因此,数控加工工艺不仅包括详细的切削加工步骤和所用工装夹具的装夹方案,还包括刀具的型号、规格、切削用量、工序图和其他特殊要求等,尤其在自动编程中更需要确定详细的加工工艺参数。

2. 数控加工工艺要求更严密、精确

对数控加工过程中可能遇到的所有问题必须事先精心考虑到,否则将导致严重的后果。例如,攻螺纹时,数控机床不知道孔中是否已挤满铁屑,是否需要退刀清理一下铁屑再继续加工。又如,普通机床加工时,可以进行多次试切来满足零件的精度要求;而在数控加工过程中要严格按照规定尺寸进给,要求准确无误。

3. 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几何关系重新调整计算。

4. 要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。在数控加工过程中，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，插补精度越低，导致工件的轮廓形状精度越低。尤其在高精度加工时，这种影响非常明显。

5. 要重视刀具选择的重要性

复杂型面的加工编程通常采用自动编程方式。自动编程中，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，若刀具选择不当，所编程序只能重新编写。

6. 数控加工的工序相对集中

由于数控机床，特别是功能复合化的数控机床一般都带有自动换刀装置，在加工过程中能够自动换刀，一次装夹即可完成多道工序或全部工序的加工。因此，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、工序内容复杂。

1.2.2 数控加工工艺的主要内容

对于一个零件来说，并非其全部加工内容都适合在数控机床上完成，而往往只是其中的一部分工艺内容适合数控机床加工。这就需要对零件图进行仔细的工艺分析，选择那些最适合、最需要进行数控加工的内容和工序。在选择数控加工内容时，应结合本企业设备的实际情况，立足于解决难题、攻克关键问题和提高生产率，充分发挥数控加工的优势。

1. 适于数控加工的零件

- (1) 用通用机床加工时，要求设计制造复杂的专用夹具或需很长调整时间的零件。
- (2) 多品种、多规格、中小批量的零件生产，特别适合新产品的试制生产。
- (3) 加工精度、表面粗糙度要求高的零件。
- (4) 形状、结构复杂，尤其是具有复杂曲线、曲面轮廓的零件。
- (5) 价格高，一旦出现废品会造成严重的经济损失的零件。
- (6) 钻、扩、铰、镗、攻丝等工序联合进行，或相对位置精度要求高或较高的零件。
- (7) 在普通机床上加工生产效率低，劳动强度大，质量难以稳定控制的零件。

2. 适于数控加工的内容

- (1) 普通机床无法加工的内容应作为优先选择内容。
- (2) 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，可在数控机床尚存在富裕加工能力时选择。

一般来说，上述这些加工内容采用数控加工后，在产品质量、生产率与综合效益等方面都会得到明显提高。

3. 不适于数控加工的内容

(1) 占机调整时间长。如以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准,需用专用工装协调的内容。

(2) 加工部位分散,需要多次安装、设置原点。这时采用数控加工很麻烦,效果不明显,可安排普通机床加工。

(3) 按某些特定的制造依据(如样板等)加工的型面轮廓。主要原因是获取数据困难,易与检验依据发生矛盾,增加了程序编写的难度。

此外,在选择和决定数控加工内容时,也要考虑生产批量、生产周期、工序间周转情况等。总之,要尽量做到合理,达到多、快、好、省的目的,防止把数控机床降格为普通机床使用。

4. 数控加工工艺的主要内容

在数控机床上加工零件,首先遇到的就是工艺问题。怎样选择数控机床更为经济、合理;选择的夹具是否便于在机床上安装、协调零件和机床坐标系的尺寸;怎样选择对刀点才能使编程简单、加工方便;怎样选择进给路线才能提高效率;怎样安排工序、工步、选择刀具和切削用量;怎么保证零件的加工精度和表面粗糙度等,这些都是数控加工工艺必须考虑的问题,都是在编程之前要确定好的。具体包括以下几方面:

(1) 分析零件的图样,明确加工内容及技术要求。

(2) 确定零件的加工方案,制定数控加工工艺路线,如选择数控加工设备、划分工序、安排加工顺序、处理与非数控加工工序的衔接等。

(3) 设计加工工序。选取零件的定位基准、确定装夹方案、划分工步、选择刀具和切削用量等。

(4) 对零件图进行数学处理并确定编程尺寸设定值,编写、校验、修改加工程序。

(5) 首件试加工与现场工艺问题处理。

(6) 数控加工工艺技术文件的定型与归档。

1.2.3 数控加工工艺系统

由图 1-1 可以看出,数控加工过程是在一个由数控机床、夹具、刀具和工件构成的数控加工工艺系统中完成的,NC 加工程序可控制刀具相对工件的运动轨迹。因此,由数控机床、夹具、刀具和工件等组成的统一体称为数控加工工艺系统。数控加工工艺系统性能的好坏直接影响零件的加工精度和表面质量。

数控机床是零件加工的工作机,是实现数控加工的主体。采用数控技术或装备了数控系统的机床称为数控机床,它是一种技术密集度和自动化程度都比较高的机电一体化加工装备。

夹具用来固定工件并使之保持正确的位置,是实现数控加工的纽带。在机械制造中,用以装夹工件和引导刀具的装置统称为夹具。在机械制造过程中,夹具的使用十分广泛,从毛坯制造到产品装配再到检测的各个生产环节,都有许多不同种类的夹具。

刀具是实现数控加工的桥梁,刀具的运动与数控机床的主轴运动合成完成零件的加工。刀具的合理选择对零件的加工精度、加工效率起到非常关键的作用。

工件是数控加工的对象。常见工件可分为轴类零件、盘套类零件、板类零件、箱体类零件和异形类零件。一般情况下,轴类零件和盘套类零件在数控车床上加工,板类零件在数控铣床

上加工，而箱体类零件和异形类零件在加工中心上加工。

1.3

机械加工精度

机械加工精度是指零件加工完成后的实际几何参数（尺寸、几何形状和相互位置）与理想几何参数相符合的程度。加工精度主要包括尺寸精度、形状精度和位置精度。

零件加工完成后的实际几何参数与理想几何参数的偏离程度称为加工误差。

加工误差的大小反映了加工精度的高低。加工精度与加工误差都是评价加工表面几何参数的术语。加工精度的高低用公差等级衡量，等级值越小，其精度越高；加工误差用数值表示，数值越大，其误差越大。

1. 尺寸精度

尺寸精度是指加工表面本身的尺寸（如圆柱面的直径）和表面间的尺寸（如孔间距等）的精确程度，如长度、宽度、高度及直径等。尺寸精度的高低用尺寸公差的大小来表示。国家标准（GB/T 1800.4—1999）中规定，尺寸公差分 20 个等级，即 IT01、IT0、IT1、IT2、……、IT18。IT 后面的数字代表公差等级，数字越大，公差值越大，公差等级越低，尺寸精度越低。

2. 形状精度

形状精度是指加工完成后的零件表面的实际几何形状与理想的几何形状相符合的程度，如圆度、圆柱度、平面度及锥度等。

3. 位置精度

位置精度是指加工完成后，零件有关表面之间的实际位置与理想位置相符合的程度，如平行度、垂直度及同轴度等。

国家标准《形状和位置公差通则、定义、符号和图纸表示法》（GB/T 1182—1996）中规定，形状和位置公差共有 14 个项目，各项的名称及符号如表 1-1 所示。

表 1-1 形状和位置公差的名称及符号

公 差	特 征 项 目	符 号	有或无基准要求	公 差	特 征 项 目	符 号	有或无基准要求
形 状 或 轮 廓	形 状	直线度	—	定 向	平行度	//	有
		平面度	▱		垂直度	⊥	有
		圆度	○		倾斜度	∠	有
		圆柱度	⊘		位置度	⊕	有或无
	轮 廓	线轮廓度	⌒	定 位	同轴度	◎	有
		面轮廓度	⌒		对称度	≡	有
				跳 动	圆跳动	↗	有
					全跳动	↗↗	有