



CAD/CAM/CAE 教学基地

多轴数控加工领域的技术专著

围绕铣削、车削和线切割加工，结合 19 个典型实例集专业性和实战性于一身

本书结构合理，实例安排从入门到提高再到经典，学习门槛低，读者上手容易

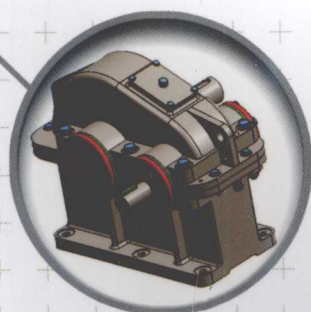
配合大量视频操作演示，帮助读者巩固和提高所学知识



UG NX 6.0

多轴数控加工实例详解

刘江 王骏 编著 飞思数字创意出版中心 监制



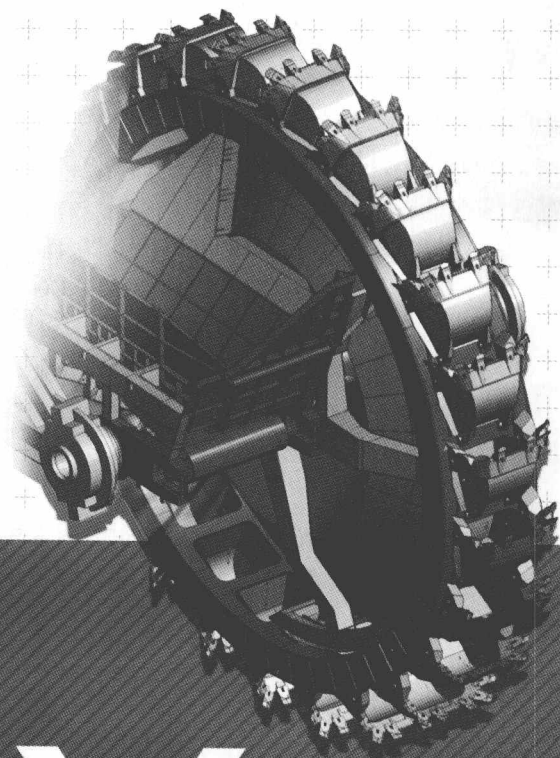
电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

CD-ROM
包含实例源文件、完成文件及视频演示





CAD/CAM/CAE 教学基地

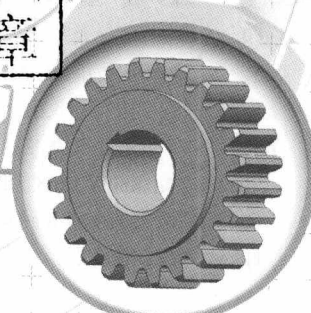
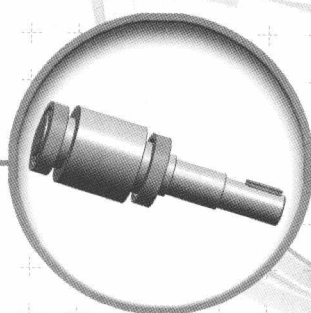
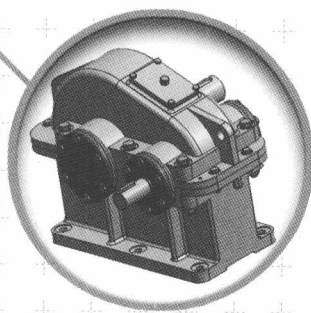


UG NX 6.0

多轴数控加工实例详解

刘江 王骏 编著 飞思数字创意出版中心 监制

常州大学图书馆
藏书章



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内容简介

本书从应用和实用的角度,以大量实例精讲的形式,详细介绍了UG NX 6.0多轴数控加工的流程、方法和技巧。全书共包括12章,首先精练地介绍了UG NX 6.0多轴加工技术,包括多轴数控加工专业知识、UG 数控加工基础、多轴铣削、车削和线切割加工常用技术,引导读者熟悉UG NX 6.0多轴数控加工的专业技能,为后面的实例学习打下基础。第二篇为多轴数控加工实例,细化三轴、五轴等多轴加工技术,围绕铣削、车削、线切割三方面,按照入门-提高-经典的渐进方式,结合约19个实例深入地剖析了UG NX 6.0多轴数控加工的流程、方法和经验。包括6个多轴铣削、6个多轴车削、6个线切割,以及一个多轴加工整合类实例。这些实例典型丰富,全部来自于工厂实践,技术性、代表性和实践性强。

本书配光盘一张,包括书中所有素材源文件和所有实例操作视频,方便读者参考使用。本书适合公司、工厂、数控加工人员参考使用,同时也可作为大、中专院校相关机械专业学生的理想教材。

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

UG NX 6.0多轴数控加工实例详解 / 刘江,王骏编著. -- 北京:电子工业出版社,2010.8

(CAD/CAM 教学基地)

ISBN 978-7-121-11364-2

I. ①U… II. ①刘… ②王… III. ①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件,UG NX 6.0 IV. ①TG659-39
中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第133895号

责任编辑:何郑燕

文字编辑:杨源 陈晓婕

印刷:北京天宇星印刷厂

装订:三河市皇庄路通装订厂

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:850×1168 1/16 印张:26.75 字数:813.2千字

印次:2010年8月第1次印刷

印数:4000册 定价:59.80元(含光盘1张)

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。

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

服务热线:(010)88258888。

前 言

UG NX 是美国 Unigraphics Solutions 公司 (简称 UGS) 推出的集 CAD/CAM/CAE 于一体的三维参数化设计软件。它集合了概念设计、工程设计、分析与加工制造的功能,在汽车与交通、航空航天、日用消费品、通用机械领域得到了大规模的应用。UG NX 6.0 在以前版本上进行了大量的改进,使得用户可以更加高效、更快、更高质量地设计产品。

编写本书目的

长期以来,多轴加工是数控加工中的应用热点,也是一个技术难点,而 UG 是数控加工功能十分强大的软件,因此出版 UG 数控多轴加工的图书具有必要性。

鉴于目前世面上的同类多轴加工的书很少,且以理论为主,本书重点通过大量实例由浅入深地进行讲述,逐渐领悟 UG 多轴加工的技术特点,同时学会各种具体的实际应用。

本书内容导读

本书从应用和实用的角度,通过大量实例精讲的形式,详细介绍了 UG NX 6.0 多轴数控加工的流程、方法和技巧。全书共包括 12 章,具体内容安排如下:

第 1 章简要介绍了数控多轴加工专业知识,包括铣削、车削、线切割加工的基本原理,以及数控加工工艺参数的设置等。

第 2~5 章重点介绍了 UG NX 6.0 数控加工基础,以及三轴铣削、多轴铣削、车削、线切割等加工常用技术,引导读者熟悉 UG NX 6.0 多轴数控加工的专业技能,为后面的实例学习打下基础。此外还介绍了 UG NX 6.0 集成仿真和检验方法,为丰富读者的加工技术提供了很好的选择。

第 6~12 章安排了大量的数控多轴加工实例,围绕铣削、车削、线切割三方面,按照入门-提高-经典的渐进方式,结合约 19 个实例深入地剖析了 UG NX 6.0 多轴数控加工的流程、方法和经验。具体包括 6 个多轴铣削(轴承端盖、头盔曲面、剃须刀凹模;液化气灶按钮、螺旋柱、螺旋桨叶片)、6 个多轴车削(套筒、花键轴、光轴)、6 个线切割(扇形齿轮、连杆、起重吊钩、人手、徽标零件、插齿刀)以及一个多轴加工整合类实例。

本书主要特点

(1) 本书是国内一线高级工程师的力作,凝聚了作者多年的设计经验与心得体会。

(2) 本书实例典型丰富,从简到难,对每个实例都进行了实例描述、加工方法分析、加工流程与所用知识点、具体操作步骤以及最后小结,利于读者领悟实例加工的要点和精髓。

(3) 本书技术性、实践性强,涵盖二维铣削、三维铣削、五轴铣削、车削加工、车铣加工、2 轴线切割加工、4 轴线切割加工,快速提升读者的应用能力。

本书读者对象

本书面向 UG 的初、中级用户，特别适合从事多轴数控加工的读者自学参考。同时本书具有很强的实用性，可作为高等院校、高职高专等院校机械类相关专业学生的教材。

本书主要由刘江、王骏编写，另外，参加编写的还有黎胜容、黎双玉、邱大伟、曹成、陈平、喻德、傅靖、李冬、钟波、段左英、苗素丽、刘永美、郭能进，在此一并向他们表示感谢！

由于时间有限，书中难免会有一些错误和不足之处，欢迎广大的读者及业内人士予以批评指正。

编者著

联系方式

咨询电话：(010) 68134545 88254161-67

电子邮件：support@fecit.com.cn

服务网址：<http://www.fecit.com.cn> <http://www.fecit.net>

目 录

第 1 章 多轴数控加工专业知识	1
1.1 数控加工基本原理	2
1.2 数控铣削加工基本知识	3
1.2.1 三轴数控加工原理	3
1.2.2 五轴数控加工原理	4
1.2.3 控制轴和加工坐标系	7
1.2.4 数控铣削加工工艺制定	8
1.2.5 铣削加工刀具与材料	8
1.2.6 切削用量的确定	11
1.3 车削数控加工基本知识	11
1.3.1 车削数控加工原理	12
1.3.2 数控车削加工的目的和加工对象	12
1.3.3 数控车削加工工艺制定	13
1.3.4 数控车削用量的选择	15
1.4 数控线切割加工基本理论	16
1.4.1 线切割机床的加工原理	16
1.4.2 线切割加工特点与应用范围	17
1.4.3 四轴数控线切割加工原理	18
1.4.4 线切割加工工艺内容	18
1.5 本章小结	19
第 2 章 UG NX 6.0 多轴加工入门	21
2.1 UG NX 6.0 数控加工概述	22
2.1.1 UG NX 6.0 数控加工功能	22
2.1.2 UG NX 6.0 数控加工应用范围	24
2.2 UG NX 6.0 数控加工操作界面介绍	24
2.2.1 进入 UG NX 6.0 加工模块	25
2.2.2 UG NX 6.0 用户操作界面	26
2.2.3 加工参数预设置	28
2.2.4 模板、模板文件和模板集	31
2.3 操作导航器	32
2.3.1 操作导航器的视图	33
2.3.2 操作导航器的快捷菜单	34
2.3.3 父级组、操作和继承性	36
2.4 UG NX 6.0 数控加工的一般流程	37
2.5 本章小结	38
第 3 章 UG NX 6.0 数控加工基础	39
3.1 UG NX 6.0 数控加工父级组	40
3.1.1 创建程序组	40

3.1.2	创建刀具组	40
3.1.3	创建几何组	43
3.1.4	创建方法组	44
3.2	创建操作	47
3.2.1	操作的概念	47
3.2.1	操作创建方法	47
3.3	管理刀具路径	48
3.3.1	刀具路径生成	48
3.3.2	刀具路径验证	49
3.3.3	刀具路径后置处理	50
3.4	本章小结	51
第4章	UG NX 6.0 多轴数控加工常用技术	53
4.1	铣削加工	54
4.1.1	铣削加工基础	54
4.1.2	铣削加工几何	54
4.1.3	铣削加工参数	60
4.1.4	三轴铣削加工	72
4.1.5	多轴铣削加工	79
4.2	车削加工	81
4.2.1	车削加工基础	81
4.2.2	车削加工几何	82
4.2.3	车削加工参数	84
4.2.4	车削多轴加工方法	97
4.3	线切割加工	101
4.3.1	线切割加工基础	101
4.3.2	线切割加工几何	102
4.3.3	线切割加工参数	105
4.3.4	线切割多轴加工方法	109
4.4	本章小结	110
第5章	UG NX 6.0 集成仿真和校验 (IS&V)	111
5.1	集成仿真和校验 (IS&V) 概述	112
5.2	设置集成仿真和校验 (IS&V)	112
5.3	建立机床运动学模型	113
5.3.1	使用机床导航器	114
5.3.2	定义机床运动学模型	114
5.3.3	添加机床运动模型	117
5.3.4	装载机床	118
5.4	使用仿真控制面板	119
5.4.1	“仿真控制面板”对话框	119
5.4.2	配置仿真选项	120
5.5	本章小结	122

第 6 章	UG NX 6.0 三轴铣削加工案例	123
6.1	入门实例——轴承端盖铣削加工	124
6.1.1	实例描述	124
6.1.2	加工方法分析	124
6.1.3	加工流程与所用知识点	124
6.1.4	具体操作步骤	125
6.1.5	实例小结	143
6.2	提高实例——剃须刀头凹模铣削加工	143
6.2.1	实例描述	143
6.2.2	加工方法分析	144
6.2.3	加工流程与所用知识点	144
6.2.4	具体操作步骤	145
6.2.5	实例小结	160
6.3	经典实例——头盔凸模曲面数控加工	161
6.3.1	实例描述	161
6.3.2	加工方法分析	161
6.3.3	加工流程与所用知识点	161
6.3.4	具体操作步骤	163
6.3.5	实例小结	193
第 7 章	UG NX 6.0 五轴铣削加工案例	195
7.1	入门实例——螺旋柱数控加工	196
7.1.1	实例描述	196
7.1.2	加工方法分析	196
7.1.3	加工流程与所用知识点	196
7.1.4	具体操作步骤	197
7.1.5	实例小结	203
7.2	提高实例——螺旋桨叶片数控加工	203
7.2.1	实例描述	203
7.2.2	加工方法分析	203
7.2.3	加工流程与所用知识点	204
7.2.4	具体操作步骤	205
7.2.5	实例小结	222
7.3	典型实例——液化气灶按钮数控加工	222
7.3.1	实例描述	222
7.3.2	加工方法分析	222
7.3.3	加工流程与所用知识点	223
7.3.4	具体操作步骤	224
7.3.5	实例小结	250
第 8 章	UG NX 6.0 五轴车削加工案例	251
8.1	入门实例 1——手柄车削加工	252
8.1.1	实例描述	252
8.1.2	加工方法分析	252

8.1.3	加工流程与所用知识点	252
8.1.4	具体操作步骤	253
8.1.5	实例小结	270
8.2	提高实例——螺纹轴车削加工	270
8.2.1	实例描述	270
8.2.2	加工方法分析	270
8.2.3	加工流程与所用知识点	271
8.2.4	具体操作步骤	272
8.2.5	实例小结	283
8.3	典型实例——定位套车削加工	283
8.3.1	实例描述	283
8.3.2	加工方法分析	283
8.3.3	加工流程与所用知识点	284
8.3.4	具体操作步骤	286
8.3.5	实例小结	305
第9章	UG NX 6.0 车铣复合加工案例	307
9.1	入门实例——扁柱车铣复合加工	308
9.1.1	实例描述	308
9.1.2	加工方法分析	308
9.1.3	加工流程与所用知识点	308
9.1.4	具体操作步骤	310
9.1.5	实例小结	320
9.2	提高实例——键槽轴车铣复合加工	320
9.2.1	实例描述	320
9.2.2	加工方法分析	320
9.2.3	加工流程与所用知识点	321
9.2.4	具体操作步骤	322
9.2.5	实例小结	334
9.3	典型实例——定位销轴复合加工	334
9.3.1	实例描述	334
9.3.2	加工方法分析	334
9.3.3	加工流程与所用知识点	334
9.3.4	具体操作步骤	336
9.3.5	实例小结	350
第10章	UG NX 6.0 2 轴线切割加工案例	351
10.1	入门实例——吊钩线切割加工	352
10.1.1	实例描述	352
10.1.2	加工方法分析	352
10.1.3	加工流程与所用知识点	352
10.1.4	具体操作步骤	353
10.1.5	实例小结	358
10.2	提高实例——连杆线切割加工	358

10.2.1	实例描述	358
10.2.2	加工方法分析	358
10.2.3	加工流程与所用知识点	358
10.2.4	具体操作步骤	359
10.2.5	实例小结	364
10.3	经典实例——扇形齿轮线切割加工	364
10.3.1	实例描述	364
10.3.2	加工方法分析	364
10.3.3	加工流程与所用知识点	364
10.3.4	具体操作步骤	365
10.3.5	实例小结	371
第 11 章	UG NX 6.0 4 轴线切割加工案例	373
11.1	入门实例——徽标零件线切割加工	374
11.1.1	实例描述	374
11.1.2	加工方法分析	374
11.1.3	加工流程与所用知识点	374
11.1.4	具体操作步骤	375
11.1.5	实例小结	378
11.2	提高实例——天圆地方零件线切割加工	378
11.2.1	实例描述	378
11.2.2	加工方法分析	378
11.2.3	加工流程与所用知识点	379
11.2.4	具体操作步骤	379
11.2.5	实例小结	383
11.3	经典实例——插齿刀线切割加工	383
11.3.1	实例描述	383
11.3.2	加工方法分析	383
11.3.3	加工流程与所用知识点	383
11.3.4	具体操作步骤	384
11.3.5	实例小结	389
第 12 章	UG NX 6.0 多轴加工整合实例——玩具手柄数控加工（铣削）	391
12.1	实例描述	392
12.2	加工方法分析	392
12.3	加工流程与所用知识点	392
12.4	具体操作步骤	394
12.4.1	初始化加工环境	394
12.4.2	创建加工父级组	394
12.4.3	型腔铣粗加工	397
12.4.4	等高轮廓铣半精加工	399
12.4.5	区域铣削驱动固定轴曲面轮廓铣精加工	401
12.4.6	陡峭面等高轮廓铣削精加工	404
12.4.7	分型面精加工（一）	406

12.4.8	区域铣削驱动固定轴曲面轮廓铣精加工(二)	409
12.4.9	分型面精加工(二)	413
12.4.10	清根加工	416
12.5	实例小结	417

多轴数控加工专业知识

本章将介绍数控加工理论知识，包括数控铣削、车削、线切割加工基本知识，以及数控加工工艺参数的设置等内容。

本章知识要点：



了解多轴铣削数控加工原理



了解数控车削加工原理



了解数控线切割加工原理



掌握数控加工工艺制定方法和工艺参数设置

1.1 数控加工基本原理

数控加工能高效、高精度地加工复杂的零件，特别是曲面较为复杂的型芯和型腔零件。数控英文全称为 Numerical Control，简称 NC。由数控系统发出的数字脉冲信号经变换放大后变成脉冲电流，脉冲电流通过电动机能产生运动距离。电动机可以做成旋转和直线运动两种形式，因此一个脉冲信号能实现一个旋转步距角或一个直线移动步距。在一个时段内连续发送脉冲信号，脉冲信号的数量就能精确对应旋转电动机转子的转数，单位时间内的脉冲数量称为脉冲频率，控制脉冲频率就能控制转子的转速，所以脉冲信号和能根据脉冲信号进行定量运动的电动机是实现数控加工的基本条件。

普通车床是固定在三爪卡盘上的工件随主轴做旋转主运动，固定在刀架溜板上的刀具由手工操作做相对工件的二维进给运动进行切削，普通铣床是固定在主轴上的刀具随主轴做旋转主运动，装夹在工作台上的工件由手工操作相对刀具做三维进给运动进行切削。为了实现数控加工，就按普通机床切削模式用旋转电动机通过传动精度较高的同步带直接驱动主轴做回转主运动，通过控制脉冲频率来控制主运动的转速，从而省去了结构复杂的靠手工操作的变速齿轮箱等。同样用旋转电动机传动精度较高的滚珠丝杠螺母，把旋转运动变成直线运动；精度很高的数控机床和高速数控机床直接用直线电动机产生直线运动，把中间环节减至最少。

数控系统由加工程序输入工具、译码器、数据处理器和处理软件、数据存储器和脉冲电流输出工具等组成。加工程序用输入工具输入到数控系统，由译码器翻译成处理系统能识别的数据，经软件分析计算变成智能加工数据，存放在存储器中。加工时用输出工具将加工数据变成脉冲电流，输送给 X、Y、Z 方向的电动机和主轴电动机，电动机通过传动机构形成切削主运动和进给运动。测量装置随时监测实际主运动和进给运动与加工程序所要求的运动量之间的误差，并反馈到数控系统，及时修正电动机的转速，从而精确控制刀具和工件之间的切削运动，这样就实现了自动切削，使平时由半人工操作的金属切削变成了用程序控制的切削，这就是数控加工的原理。

在数控机床上加工零件时，首先要将被加工零件的几何信息和工艺信息数字化。先根据零件加工图样的要求确定零件的加工工艺过程、工艺参数、刀具参数，再按数控机床规定采用的代码和程序格式，将与加工零件有关的信息，如工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数（主轴转速、切削进给量、背吃刀量）以及辅助操作（换刀、主轴的正转和反转、切削液的开和关）等编制成数控加工程序，然后将程序输入到数控装置中，经数控装置分析处理后，发出指令控制机床进行自动加工，其过程如图 1-1 所示。

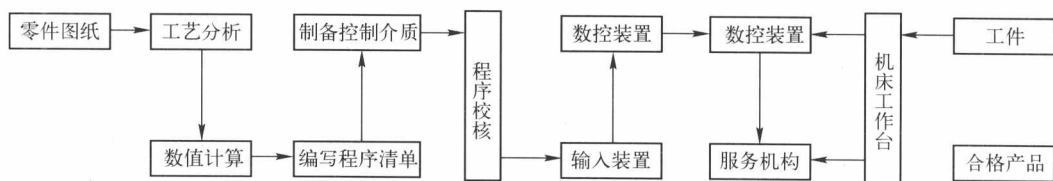


图 1-1 数控加工基本原理

数控加工与普通机床加工在方法与内容上有许多相似之处，不同点主要表现在控制方式上。在普通机床上加工零件时，是用工艺规程、工艺卡片来规定每道工序的操作程序，操作人员按规定的步骤加工零件。而在数控机床上加工零件时，要把被加工的全部工艺过程、工艺参数和位移数据编制成程序，并以数字信息的形式记录在控制介质（穿孔纸带、磁盘等）上，用它来控制机床加工。因此，与普通机床相比，数控加工具有以下特点：

(1) 数控加工工艺内容要求具体而详细

在使用普通机床加工时，许多具体的工艺问题，如工艺中各工步的划分与安排、刀具的几何形状

及尺寸、走刀路线、加工余量、切削用量等，在很大程度上都是由操作人员根据自己的实践经验和习惯自行考虑和决定的，一般不需要工艺人员在设计工艺规程时进行过多的规定，零件的尺寸精度也可由试切削来保证。而在数控加工时，原本在普通机床上由操作人员灵活掌握并可通过适时调整来处理的上述工艺问题，不仅成为数控工艺设计时必须认真考虑的内容，而且编程人员必须事先设计和安排好并做出正确的选择，编入加工程序中。数控工艺不仅包括详细描述切削加工步骤，而且还包括夹具型号、规格、切削用量和其他特殊要求的内容。在自动编程中更需要详细地确定各种工艺参数。

(2) 数控加工工艺要求更严密而精确

数控机床虽然自动化程度高，但自适应性差。它不像普通机床加工那样，可以根据加工过程中出现的问题比较灵活自由地进行人为调整。如在攻螺纹时，数控机床不知道孔中是否已挤满切削，是否需要退刀清理切削再继续切削，这种情况必须事先由工艺员精心考虑，否则可能导致严重的后果。在普通机床上加工零件时，通常是经过多次“试切削”过程来满足零件的精度要求，而数控加工过程是严格按程序规定的尺寸进给的，因此在对图形进行数学处理、计算和编程时一定要准确无误，以使数控加工顺利进行。

(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，在对零件进行数学处理和计算时，编程尺寸设定值要根据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) 选择切削用量时要考虑进给速度对加工零件形状精度的影响

数控加工时，刀具怎么从起点沿运动轨迹走向终点是由数控系统的插补装置或插补软件来控制的。根据插补原理可知，在数控系统已定的条件下，进给速度越快，则插补精度越低；插补精度越低，工件的轮廓形状越差。因此，选择数控加工切削用量时要考虑进给速度对加工零件形状精度的影响，特别是高精度加工时影响非常明显。

(5) 数控加工工艺的特殊要求

- 由于数控机床比普通机床的刚度高，所配的刀具也较好，因而在同等情况下，所采用的切削用量比普通机床大，加工效率也越高。选择切削用量时要充分考虑这些特点。
- 由于数控机床的功能复合化程度越来越高，因此，工序相对集中是现代数控加工工艺的特点，明显表现为工艺数目少，工艺内容多，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要比普通机床加工的工序内容复杂。
- 由于数控加工的零件比较复杂，因此在确定装夹方式和设计夹具时，要特别注意刀具与夹具、工件的干涉问题。

(6) 程序的编写、校验与修改是数控加工工艺的一项特殊内容

普通机床加工工艺中划分工序、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在于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。

1.2 数控铣削加工基本知识

数控铣削是机械加工中最常用和最主要的数控加工方法之一，它除了能铣削普通铣床所能铣削的各种零件表面外，还能铣削普通铣床不能铣削的需要 2-5 轴坐标联动的各种平面轮廓和立体轮廓。

1.2.1 三轴数控加工原理

数控铣床的基本组成如图 1-2 所示。它由床身、立柱、主轴箱、工作台、滑鞍、滚珠丝杠、服务电机、服务装置、数控系统等组成。

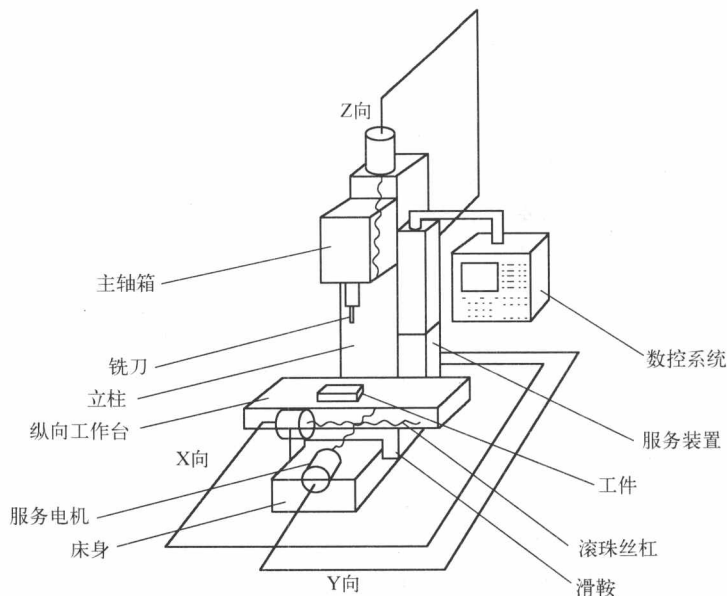


图 1-2 数控铣床结构

床身用于支撑和连接机床各部件。主轴箱用于安装主轴。主轴下端的锥孔用于安装铣刀。当主轴箱内的主轴电机驱动主轴旋转时，铣刀能够切削工件。主轴箱还可沿立柱上的导轨在 Z 向移动，使刀具上升或下降。工作台用于安装工件或夹具。工作台可沿滑鞍上的导轨在 X 向移动，滑鞍可沿床身上的导轨在 Y 向移动，从而实现工件在 X 和 Y 向的移动。无论是 X、Y 向，还是 Z 向的移动，都是靠服务电机驱动滚珠丝杠来实现的。服务装置用于驱动服务电机。控制器用于输入零件加工程序和控制机床工作状态。控制电源用于向服务装置和控制器供电。

1. 数控铣床的工作原理

根据零件形状、尺寸、精度和表面粗糙度等技术要求制定加工工艺，选择加工参数。通过手工编程或利用 CAM 软件自动编程，将编好的加工程序输入到控制器。控制器对加工程序处理后，向服务装置传送指令。服务装置向服务电机发出控制信号。主轴电机使刀具旋转，X、Y 和 Z 向的服务电机控制刀具和工件按一定的轨迹相对运动，从而实现工件的切削。

2. 数控铣床加工的特点

- (1) 用数控铣床加工零件，精度很稳定。如果忽略刀具的磨损，用同一程序加工出的零件具有相同的精度。
- (2) 数控铣床尤其适合加工形状比较复杂的零件，如各种模具等。
- (3) 数控铣床自动化程度很高，生产率高，适合加工批量较大的零件。

1.2.2 五轴数控加工原理

要学习五轴数控加工技术，首先需要了解数控加工的原理和特点，所以本节介绍五轴数控加工的原理和应用范围、特点等。

五轴数控加工就是指在一台机床上至少有 5 个坐标轴（三个直线坐标和两个旋转坐标），而且可在计算机数控系统控制下同时协调运动进行加工。图 1-3 为典型的五轴联动数控机床。

1. 五轴数控加工特点

五轴数控加工中一台机床至少有 5 个坐标轴，可在计算机控制下联合工作，具有以下特点：

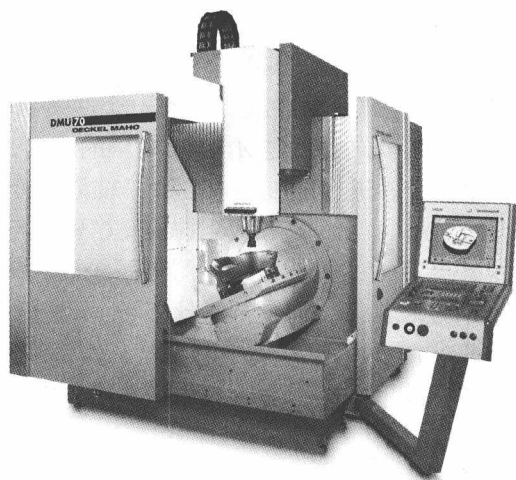
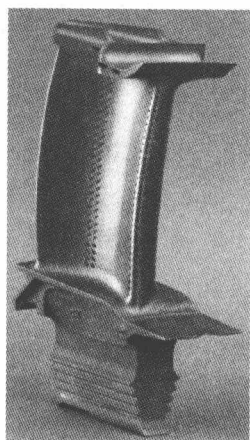
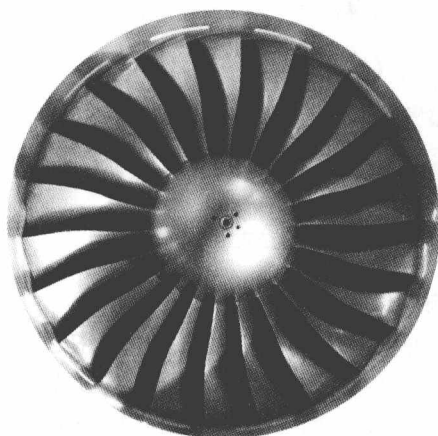


图 1-3 五轴联动数控机床

(1) 可以加工一般三轴数控机床不能加工或很难在一次装夹完成加工的连续、平滑的自由曲面, 如航空发动机和汽轮机的叶片、螺旋推进器等, 如图 1-4 所示。如采用三轴数控机床加工, 由于其刀具相对于工件的姿态在加工过程中不能改变, 加工某些复杂曲面时, 就可能产生干涉和欠加工。而用五轴加工由于刀具的轴线可随时调整, 避免刀具与工件的干涉, 并能一次装夹完成全部加工。



(a) 叶片



(b) 叶轮

图 1-4 典型复杂型面零件

(2) 可以提高空间自由曲面的加工精度、质量和效率。例如三轴加工复杂曲面时, 多采用球头铣刀, 球头铣刀是以点接触, 切削效率低, 刀具/工件姿态在加工过程中不能调整, 一般很难保证用球头上的最佳切削点 (即球头上线速度最高点) 进行切削。如果采用五轴机床加工, 由于刀具/工件姿态在加工过程中随时调整, 可获得更高的切削速度、切削效率和切削质量。

(3) 符合于工件一次装夹便可完成全部或大部分加工的机床特点。当前, 为了进一步提高产品性能和质量, 现代产品, 不仅航空、航天产品和运载工具, 而且包括精密仪器、仪表、运动器械等产品的零件, 都愈来愈多地采用整体材料铣成, 而且其上面还有许多各式各样的复杂曲面和斜孔, 如果采用三轴加工, 必须经过多次定位安装才能完成, 而采用五轴加工可一次装夹完成大部分工作。

2. 五轴数控加工机床

和三轴联动数控机床相比, 五轴联动数控机床多了两个转动轴。但是在结构布置方面, 往往不仅是在三轴联动数控机床上添加两个转动轴就可以的。按照主轴的位置关系可分为以下两大类:

(1) 立式五轴加工中心

如图 1-5 所示是工作台回转轴式，设置在床身上的工作台可以环绕 X 轴回转，定义为 A 轴， A 轴一般工作范围在 $+30^\circ$ 至 -120° 内。工作台的中间还设有一个回转台，在图示的位置上环绕 Z 轴回转，定义为 C 轴， C 轴都是 360° 回转。这样通过 A 轴与 C 轴的组合，固定在工作台上的工件除了底面之外，其余的 5 个面都可以由立式主轴进行加工。 A 轴和 C 轴最小分度值一般为 0.001° ，这样又可以把工件细分成任意角度，加工出倾斜面、倾斜孔等。 A 轴和 C 轴如与 XYZ 三直线轴实现联动，就可加工出复杂的空间曲面，当然这需要高级的数控系统、服务系统以及软件的支持。这种设置方式的优点是主轴的结构比较简单，主轴刚性非常好，制造成本比较低。但一般工作台不能设计太大，承重也较小，特别是当 A 轴回转大于等于 90° 时，工件切削时会对工作台带来很大的承载力矩。

另一种是依靠立式主轴头的回转，如图 1-6 所示。主轴前端是一个回转头，能自行环绕 Z 轴 360° ，成为 C° ，回转头上还带可环绕 X 轴旋转的 A 轴，一般可达 $\pm 90^\circ$ 以上，实现上述同样的功能。这种设置方式的优点是主轴加工非常灵活，工作台也可以设计得非常大，客机庞大的机身、巨大的发动机壳都可以在这类加工中心上加工。

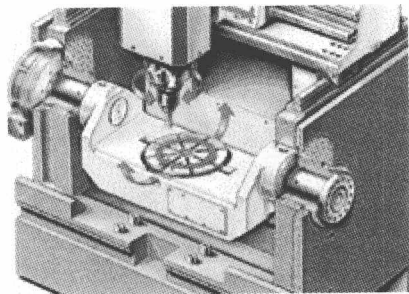


图 1-5 工作台回转的立式五轴加工中心

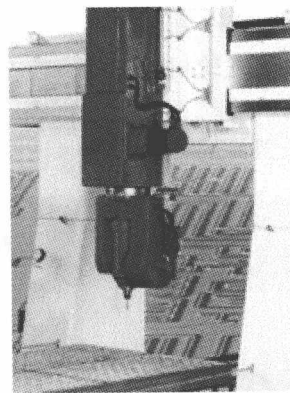


图 1-6 主轴回转的立式五轴加工中心

(2) 卧式五轴加工中心

图 1-7 为传统的工作台回转轴式五轴加工中心，设置在床身上的工作台 A 轴一般工作范围在 $+20^\circ$ 至 -100° 内。工作台的中间也设有一个回转台 B 轴， B 轴可双向 360° 回转。这种卧式五轴加工中心的联动特性比较好，常用于加工大型叶轮的复杂曲面。回转轴也可配置圆光栅尺反馈，分度精度达到几秒，当然这种回转轴结构比较复杂，价格也昂贵。

从旋转轴和直线运动轴之间的关系来看，五轴联动数控机床的结构形式主要有：双旋转转台机床、双转主轴头机床和一个旋转工作台、一个旋转主轴头机床，如图 1-8 ~ 图 1-10 所示。

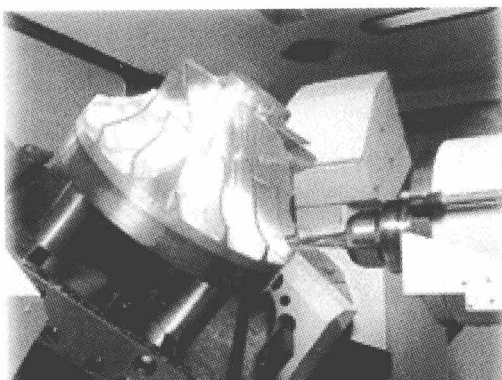


图 1-7 工作台回转的卧式五轴加工中心叶轮

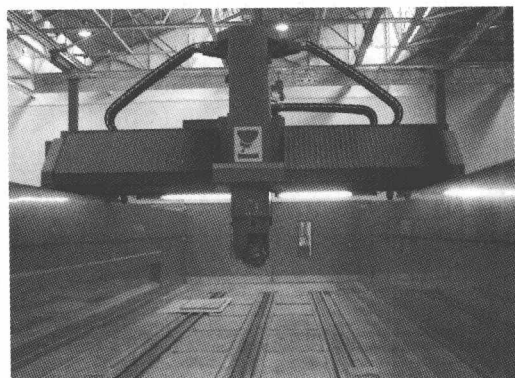


图 1-8 双旋转主轴头的机床