

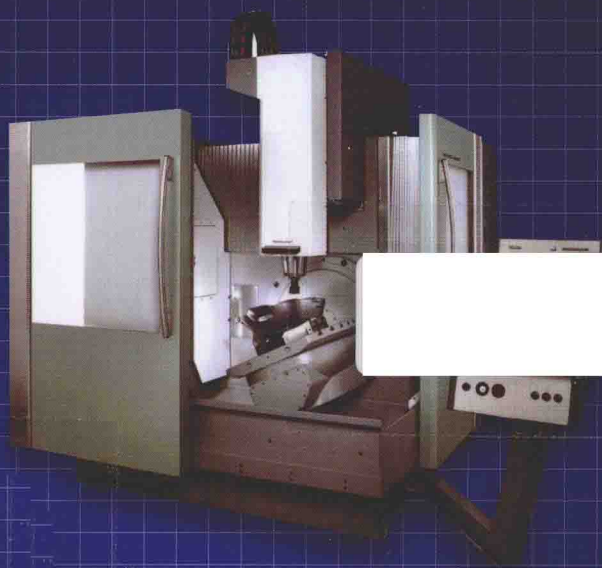
寇文化 主编

# UG NX8.0

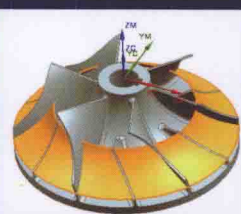
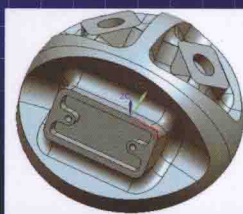
## 数控铣多轴加工 工艺与编程



全程视频讲解



- 第1章 多轴数控铣工艺概述
- 第2章 底座零件定位加工
- 第3章 优胜奖杯变轴轮廓铣加工
- 第4章 印章变轴多工位加工
- 第5章 轴流式叶轮多轴加工
- 第6章 涡轮式叶轮多轴自动编程
- 第7章 UG五轴后处理器制作
- 第8章 VERICUT刀路仿真



化学工业出版社

寇文化 主编

# UG NX8.0

## 数控铣多轴加工

## 工艺与编程



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

UG NX8.0 数控铣多轴加工工艺与编程/寇文化  
主编. —北京: 化学工业出版社, 2015.9  
ISBN 978-7-122-24332-4

寇主 小文踪

I. ①U… II. ①寇… III. ①数控机床-加工-  
计算机辅助设计-应用软件 IV. ①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 156764 号



---

责任编辑: 王 焯  
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 谢蓉蓉  
装帧设计: 刘丽华

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 412 千字 2015 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 59.00 元

版权所有 违者必究

# FOREWORD

## 前言

### 编写目的

UG NX8.0 是西门子公司开发研制的历史悠久的专业 CAD/CAM 软件,在多轴数控加工方面因为其技术稳定成熟,经受住了广大用户在应用实践中的考验,深受高端用户的青睐。在我国,多轴加工技术刚刚进入民用领域,应用它进行多轴数控编程的公司也越来越多。

对于多轴机床,特别是五轴联动数控机床,因其系统复杂、机床制造难度大且价格昂贵,如果出现加工事故,将给企业带来很大的经济损失,因此,制定合理的加工工艺及编制好高效的五轴数控程序就成为高效利用这些多轴机床的关键。社会上急需培训出一大批既会编多轴数控程序,又会熟练操作多轴机床的工程技术人员。

本书主要以实际零件加工的具体流程为主线,从多轴加工工艺的编排、应用 UG NX8.0 进行数控编程、多轴后处理、VERICUT 虚拟仿真以及现场问题处理等方面进行讲解。希望能带领读者领略五轴加工的全过程。

书中虽然主要是以五轴加工方式为例进行讲解,但却覆盖多轴加工的重要技术要领、工作流程和编程步骤。读者可以根据本书的思路灵活解决其他多轴加工的问题。

为了适应全国数控大赛及职业学院对学生进行技能考试培训的需要,还特意介绍了 VERICUT 数控仿真软件的机床模型构建、刀库制作以及五轴后处理器的制作。读者能够利用书中知识对于至少一种类型的五轴数控程序进行后处理及仿真,增强五轴编程内容的实用性。

本书总结作者多年来应用软件的经验和五轴机床操作加工的经验,精选了工厂实践案例进行讲解,希望能帮助有志从事数控编程的人士掌握真本领,从而尽快走向本行业的工作岗位,实现人生的目标。

### 主要内容

全书共分 8 章。

第 1 章 多轴数控铣工艺概述。重点介绍多轴数控编程工艺的基本概念、多轴机床的应用、加工工艺的实施方法等。帮助读者对数控编程工作有一定的了解。

第 2 章 底座零件定位加工。通过对底座零件采用五轴定位加工进行数控编程。这是多轴加工中最重要、最常用的方式。

第 3 章 优胜奖杯变轴轮廓铣加工。重点将对优胜杯零件进行数控加工编程及仿真,着重说明五轴联动方式编程及加工的方法步骤。

第 4 章 印章变轴多工位加工。本章重点学习类似印章零件进行多工位数控加工编程及仿真。

第 5 章 轴流式叶轮多轴加工。重点学习如何用 UG 软件对轴流式叶轮零件进行数控加工编程,着重介绍非自动化编程和自动化编程的灵活运用,高效解决类似零件编程问题。

第 6 章 涡轮式叶轮多轴自动编程。重点学习如何用 UG 软件对具有分流叶片的涡轮式叶轮零件进行数控加工编程。着重介绍自动化编程的灵活运用,高效解决类似零件编程问题。

第 7 章 UG 五轴后处理器制作。主要讲述如何利用 Post Builder 制作五轴加工中心的后处理器。五轴后处理的优劣决定五轴数控程序的效率,好的后处理是解决五轴加工问题的关键。

第8章 VERICUT 刀路仿真。讲述如何利用 VERICUT 软件对事先编好的五轴数控程序进行仿真检验。学好本章可以将撞机等严重事故仅仅发生在虚拟世界里，提高数控程序的可行性。

为了帮助读者学习，书中安排了“本章要点和学习方法”，“思考练习及答案”，以及“知识拓展”、“小提示”、“要注意”等特色段落。“知识拓展”：对当前的操作方法介绍另外一些方法，以开拓思路。“小提示”：对当前操作中的难点进行进一步补充讲解。“要注意”：对当前操作中可能出现的错误进行提醒。文中长度单位除指明外默认为毫米。

另外，为了帮助读者理解操作，本书配带的光盘里有经过精心录制的讲课视频，这些文件是 EXE 文件，可以直接双击打开。播放过程中可以随时暂停、快进或者倒退，可以一边看书、一边看视频，同时一边跟着练习，提高学习效果。

## 如何学习

为学好本书内容，建议读者先学习如下知识：

1. 能用 UG 软件或者其他软件进行基本的 3D 绘图和数控编程。
2. 机械加工工艺的基本知识。
3. 能应用 Office 办公软件及 Windows 操作系统的基本操作。

本书是以解决实际数控编程问题为主线，书中介绍的加工方案是适合双转台五轴联动数控铣床的加工程序。读者学习后可以根据本书的思路，在实际工作中再结合自己工厂的机床设备的特点适当调整加工参数和对应的后处理，做出灵活变通，以发挥设备的最大性能，力争使所编程序符合高效加工原则和目的。

## 读者对象

1. 对 UG NX8.0 数控编程及 VERICUT 仿真软件的实际应用有兴趣的初学者。
2. 现在或者即将从事多轴数控编程的工程技术人员。
3. 大中专或职业学校数控专业的师生。
4. 其他 UG NX8.0 软件及 VERICUT 软件的爱好者。

容内要主

本书由陕西华拓科技有限责任公司高级工程师寇文化主编，陕西理工学院张军峰、重庆三峡职业技术学院易良培副主编，安徽工程大学王静平、李俊萍，陕西理工学院王燕燕参加编写，西安理工大学王荪馨老师主审。

由于编者水平有限，欠妥之处在所难免，恳请读者批评指正。为了便于和朋友们沟通，读者如果在学习中遇到问题，除了可以给编者发电子邮件到 k8029\_1@163.com 邮箱之外，对于典型性的解答在对读者个人信息适当处理后还在答疑博客里发表，有兴趣的读者可以浏览参考，博客为 <http://blog.sina.com.cn/cadcambook>。

寇文化

2015年3月于西安

# CONTENTS

## 目录

### 第1章 多轴数控铣工艺概述

1.1 本章要点和学习方法	1
1.2 多轴铣机床	1
1.2.1 认识多轴铣机床	1
1.2.2 坐标轴定义	2
1.2.3 五轴联动机床常用类型	2
1.3 多轴铣加工工艺	3
1.4 多轴铣工艺的基本原则	3
1.5 多轴铣工艺实施步骤	4
1.6 UG 多轴铣编程功能	5
1.7 本章总结及思考练习	6

### 第2章 底座零件定位加工

2.1 本章要点和学习方法	8
2.2 多轴定位加工概述	8
2.3 底座多轴加工编程	9
2.3.1 工艺分析	9
2.3.2 图形处理	10
2.3.3 编程准备	11
2.3.4 创建开粗刀路 K02A	13
2.3.5 创建外形曲面精加工刀路 K02B	16
2.3.6 创建斜平面顶部精加工 K02C	18
2.3.7 创建外形凹槽清角刀路 K02D	23
2.3.8 创建外形凹槽精加工刀路 K02E	33
2.3.9 创建外形 A1 凹槽进一步清角 K02F	38
2.3.10 创建钻孔刀路 K02G	40
2.3.11 创建凹槽曲面精加工路 K02H	43
2.3.12 用 UG 软件进行刀路检查	45
2.3.13 后处理	46
2.3.14 使用 VERICUT 进行加工仿真检查	47
2.3.15 填写加工程序单	48
2.3.16 现场加工问题处理	49
2.4 本章总结及思考练习	50

### 第3章 优胜奖杯变轴轮廓铣加工

3.1 本章要点和学习方法	51
3.2 变轴轮廓铣概述	51



3.3	优胜奖杯零件编程.....	52
3.3.1	工艺分析.....	52
3.3.2	图形处理.....	53
3.3.3	编程准备.....	54
3.3.4	创建开粗刀路 K03A.....	55
3.3.5	创建外形曲面半精加工刀路 K03B.....	60
3.3.6	创建外形变轴曲面精加工刀路 K03C.....	64
3.3.7	创建底座斜面精加工刀路 K03D.....	70
3.3.8	创建刻字精加工刀路 K03E.....	73
3.3.9	用 UG 软件进行刀路检查.....	77
3.3.10	后处理.....	78
3.3.11	使用 VERICUT 进行加工仿真检查.....	79
3.3.12	填写加工程序单.....	80
3.3.13	现场加工问题处理.....	80
3.3.14	多轴铣驱动方式概述.....	81
3.4	本章总结及思考练习.....	81

## 第 4 章 印章变轴多工位加工

4.1	本章要点和学习方法.....	83
4.2	多工位加工概述.....	83
4.3	印章零件编程.....	83
4.3.1	工艺分析.....	84
4.3.2	图形处理.....	84
4.3.3	编程准备.....	85
4.3.4	创建第一工位开粗刀路 KA04A.....	87
4.3.5	创建字面精加工刀路 KA04B.....	90
4.3.6	创建第一工位外形及顶面精加工刀路 KA04C.....	92
4.3.7	创建第一工位刻字精雕刀路 KA04D.....	97
4.3.8	创建第二工位手把开粗刀路 KA04E.....	105
4.3.9	创建第二工位水平面精加工刀路 KA04F.....	110
4.3.10	创建第二工位球形面精加工刀路 KA04G.....	112
4.3.11	用 UG 软件进行刀路检查.....	118
4.3.12	后处理.....	119
4.3.13	使用 VERICUT 进行加工仿真检查.....	121
4.3.14	填写加工程序单.....	126
4.3.15	现场加工问题处理.....	127
4.3.16	多轴投影矢量概述.....	127
4.4	本章总结及思考练习.....	128

## 第 5 章 轴流式叶轮多轴加工

5.1	本章要点和学习方法.....	129
5.2	叶轮概述.....	129
5.3	轴流式叶轮编程.....	129
5.3.1	工艺分析.....	130

5.3.2	图形处理	131
5.3.3	编程准备	131
5.3.4	创建叶轮型腔开粗刀路 KA05A	135
5.3.5	创建对轮毂的二次开粗刀路 KA05B	138
5.3.6	创建叶形半精加工刀路 KA05C	142
5.3.7	创建叶形精加工刀路 KA05D	145
5.3.8	刀路阵列变换	151
5.3.9	用 UG 软件进行刀路检查	152
5.3.10	后处理	152
5.3.11	使用 VERICUT 进行加工仿真检查及纠错	153
5.3.12	填写加工程序单	156
5.3.13	现场加工问题处理	156
5.3.14	刀轴控制概述	157
5.4	本章总结及思考练习	157

## 第 6 章 涡轮式叶轮多轴自动编程

6.1	本章要点和学习方法	159
6.2	涡轮式叶轮概述	159
6.3	涡轮式叶轮编程	160
6.3.1	工艺分析	160
6.3.2	图形处理	161
6.3.3	编程准备	162
6.3.4	创建叶轮外开粗刀路 KA06A	166
6.3.5	创建叶轮外形精加工刀路 KA06B	169
6.3.6	创建叶形包裹面精加工刀路 KA06C	175
6.3.7	创建叶形精加工刀路 KA06D	176
6.3.8	刀路阵列变换	187
6.3.9	用 UG 软件进行刀路检查	188
6.3.10	后处理	188
6.3.11	使用 VERICUT 进行加工仿真检查及纠错	189
6.3.12	填写加工程序单	192
6.3.13	现场加工问题处理	192
6.4	本章总结及思考练习	193

## 第 7 章 UG 五轴后处理器制作

7.1	本章要点和学习方法	194
7.2	五轴后处理器概述	194
7.2.1	五轴联动后处理器的工作原理	194
7.2.2	五轴后处理器难点	194
7.3	双转台五轴后处理器制作	195
7.3.1	机床参数调研	195
7.3.2	设定机床线性行程	195
7.3.3	设定旋转轴行程参数	196
7.3.4	设定旋转轴越界处理参数	198



161	7.3.5	修改输出数控程序的扩展名.....	201
161	7.3.6	修改后处理器的其他参数.....	202
261	7.3.7	五轴后处理器的测试.....	203
74		本章总结及思考练习.....	203

## 第8章 VERICUT 刀路仿真

8.1		本章要点和学习方法.....	205
8.2		数控程序 VERICUT 仿真.....	205
8.2.1		五轴机床仿真模型的建立.....	205
8.2.2		定义毛坯.....	213
8.2.3		定义夹具.....	213
8.2.4		装配设计零件.....	214
8.2.5		定义刀具.....	214
8.2.6		定义加工坐标系 G54.....	218
8.2.7		数控程序的输入.....	219
8.2.8		运行仿真.....	219
8.2.9		分析仿真结果.....	221
8.3		过切及撞刀的预防.....	222
8.4		本章总结及思考练习.....	222

161			1.1.1
161			1.1.2
161			1.1.3
161			1.1.4
161			1.1.5
171			1.1.6
171			1.1.7
181			1.1.8
181			1.1.9
181			1.1.10
181			1.1.11
191			1.1.12
191			1.1.13
191			1.1.14

## UG 五轴后处理器的制作

191		新式区学味点要章本	1.1
191		制器器器器器器器	1.2
191		制器器器器器器器	1.3
191		制器器器器器器器	1.4
191		制器器器器器器器	1.5
191		制器器器器器器器	1.6
191		制器器器器器器器	1.7
191		制器器器器器器器	1.8
191		制器器器器器器器	1.9
191		制器器器器器器器	1.10
191		制器器器器器器器	1.11
191		制器器器器器器器	1.12
191		制器器器器器器器	1.13
191		制器器器器器器器	1.14

# 第1章 多轴数控铣工艺概述



## 1.1 本章要点和学习方法

本章重点介绍多轴数控加工工艺的基本概念、多轴机床的应用、加工工艺的实施方法等，帮助读者对数控编程工作有一定的了解。

本章是基础，希望初学者对五坐标轴的定义有一个正确理解。



## 1.2 多轴铣机床

所谓“工艺”是指将原材料或半成品加工成产品的方法、技术等。机床是工艺的基础，要了解多轴数控铣工艺首先就要了解数控机床，尤其是要了解多轴数控机床。

### 1.2.1 认识多轴铣机床

自从20世纪50年代，美国麻省理工学院研制了世界第一台试验性数控系统机床以来，数控机床发展至今已经有60多年的历史了。因为这种设备解决了机械加工中的很多难题，人们利用它可以制造出很多结构复杂的产品，随着人类生产需求的日益增长，促进了数控机床技术得到很快的发展。

根据数控机床系统同时控制联动轴的个数可以分为以下几种。

#### (1) 二轴半联动机床

可以同时控制2个轴。这个机床所能识别的数控程序的特征是：其中一段数控程序的 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 三个数值不能同时出现。至今有些数控编程系统软件（如Cimatron、Mastercam等）里的刀路类型仍有这个功能。执行开粗程序时，由于机床不能执行螺旋下刀命令，需要事先在毛坯上钻孔，刀具就是从这个进刀孔下刀进行分层铣削。这种机床已经停产。

#### (2) 三轴联动机床

可以同时控制3个轴，这是目前普遍使用的数控机床。这种机床使用的数控程序特征是：在一段程序里可以同时出现 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 三个数值。开粗时可以顺利地执行螺旋下刀指令，而不必在毛坯上钻孔。

#### (3) 四轴联动机床

可以同时控制4个轴，在一段数控程序里可以同时出现如 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $A$ 这样的指令。工作情况一般是：工件一边在绕 $X$ 轴旋转（即 $A$ 旋转轴），刀具一边可以沿着 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 三个坐标数值在移动。这种机床结构特点是：在传统三轴机床的工作台上另外安装一个旋转工作台（当然还可以是 $XYZB$ 型）。

#### (4) 五轴联动机床

可以同时控制5个轴。在一段数控程序里，除了可以同时出现 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 三个数值外，另外还

可以出现  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三个中的两个旋转指令。

常见典型的结构是双转台式五轴联动数控铣床。这种简易机床结构特点是：在传统三轴机床的工作台上，另外安装一个摇篮式双转旋转工作台。有些就用摇篮式双转旋转工作台替代三轴工作台。

这种机床工作情况一般是：工件一边在绕  $X$  轴旋转（即  $A$  旋转轴）及  $Z$  轴旋转（即  $C$  旋转轴），刀具一边可以沿着  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个坐标数值在移动。

随着科学技术的发展，五轴以上的虚轴机床也已经出现了，这种机床一般是通过连杆运动实现了主轴的多自由度运动。

### 1.2.2 坐标轴定义

多轴数控铣机床是在传统的三轴铣机床已经具备的  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个线性轴基础之上再增加了至少一个绕线性轴旋转的轴（如  $A$  轴、 $B$  轴或者  $C$  轴）的数控机床。如果有了第 4 轴的机床就称为四轴机床，如果有第 4 轴和第 5 轴的机床就称为五轴机床，这两种类型机床统称为多轴机床。

根据 ISO 标准，数控机床坐标系采用右手直角笛卡儿坐标系进行定义，线性轴用直角坐标系  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  表示，其正方向遵循右手定则来判定。而旋转轴用  $A$ 、 $B$ 、 $C$  分别表示绕  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的旋转轴，其方向用右螺旋法则判定。

通俗地讲，对于立式机床来说，观察者面向机床而站，观察主轴上安装的刀具运动的方向，向上移动的方向就是  $Z$  正方向，向右移动就是  $X$  正方向，离开观察者向里移动就是  $Y$  正方向。

用右手握住  $X$  轴，大拇指指向  $X$  正方向，则四指环绕的方向就是  $A$  轴正方向。用右手握住  $Y$  轴，大拇指指向  $Y$  正方向，则四指环绕的方向就是  $B$  轴正方向。用右手握住  $Z$  轴，大拇指指向  $Z$  正方向，则四指环绕的方向就是  $C$  轴正方向。

对于双转台五轴联动机床来说，刀具方向始终是互相平行的，工作台实际旋转的正方向与此规定正好相反。沿着  $X$  轴正向朝负方向看，顺时针旋转方向就是  $A$  轴的正方向。沿着  $Y$  轴正向朝负方向看，顺时针转动的方向就是  $B$  轴的正方向。沿着  $Z$  轴正向朝负方向看，顺时针旋转的方向就是  $C$  轴的正方向。

### 1.2.3 五轴联动机床常用类型

根据常用五轴联动机床的结构特点，可以分为以下方式。

按照结构形式，典型的机床结构有：

- ① 双转台型，如  $XYZAC$  型机床；
- ② 一转台和一摆臂，如  $XYZBC$  型；
- ③ 双摆臂，如  $XYZAB$  型。

其他类型的多轴机床还有：

- ① 非正交结构，如 Deckel-Maho 公司出的一种机床，其  $B$  轴中心线与  $XY$  平面夹角为  $45^\circ$ ；
- ② 在三轴机床工作台上附加旋转工作台成为五轴铣床。如果这种机床没有联动功能，也称“3+2”型机床。

五轴机床如果装有刀库就称为五轴加工中心，可以加工出一些三轴机床无法加工或者很困难才能加工出的零件，如：①核潜艇上的整体叶轮、发动机涡轮叶片；②飞机发动机上的复杂结构件需要一次性加工的零件；③具有倒扣结构的模具类零件。

机床是否具有联动功能将直接影响着机床的性能和价格，有时相差会很大，企业应该根据所生产零件产品的特点和实际需要，慎重选购这种类型的机床。一般来说，如果产品的倒扣曲面和正常曲面之间的过渡要求很精确地连接，则五轴联动机床就达到满意的加工效果，而非联动机床（如“3+2”型）就会差一些。当然不管哪种类型的机床，都需要使用企业定期对机床进行精度调整和校正，时时刻刻使机床处于“健康”状态，才真正可以精确加工出合格的产品，发挥机床的效能。



## 1.3 多轴铣加工工艺

多轴数控工艺就是将原材料或半成品装夹在多轴铣机床的工作台上，进行铣削或者钻削等加工，成为预期产品的方法和技术。它是整体零件加工工艺的一部分工序。多轴加工工艺要服务于零件的整体加工工艺，最终目的是高效地加工出合格产品。

由于多轴铣机床昂贵、维护成本高、工时成本费用高，这就决定了编排多轴铣工艺时，一定考虑要在确保产品质量、生产安全的前提下，尽可能节约多轴铣加工工时、降低产品制造成本。具体来说，能用三轴的情况下尽量用三轴加工，如果用三轴不能完成或者完成有困难的工作，才用多轴铣来完成。这样可以尽量保护旋转台的精度和提高设备利用效率。

但是，以下情况下应该考虑使用多轴铣工序。

① 如果用三轴加工会存在严重的缺陷。例如长深零件，加工底部时，装刀很长，刀具容易发生弹性变形，加工时切削量不能太大，加工工时长。如果用多轴铣，只需要将刀具轴线沿着周边倾斜一个角度，使刀具的装刀长度缩短，切削参数可以加大，加工工时可以缩短，效果会大大改善。

② 双斜面加工，传统三轴会选用球头刀进行很密的多行距加工，表面粗糙度难以保证图纸要求，而且工时很长。应该考虑用多轴铣工艺，将刀具旋转使刀具轴线垂直于加工平面，这样就可以使用平底刀定位加工，只需要像普通三轴铣加工水平面一样，会大大缩短加工工时，提高加工效率。

③ 倒扣零件难以加工。传统的三轴方式，需要多次翻转装夹，甚至倾斜装夹，这些对于操作人员技术水平要求较高，多次装夹误差大，操作复杂，出错率高，产品质量很难保证，这时就可以考虑用多轴铣一次装夹，自动翻转加工不同方向的面，以消除对刀校正误差。

④ 用球头刀加工接近水平的平缓曲面时，由于球头刀底部的切削速度接近零，底部切削效果很差。如果用多轴铣只需要将刀具倾斜一个角度，使用刀具的侧刃进行切削，加工效果会大大改善。另外，还可以用平底刀或者锥度刀的侧刃对直纹面进行加工，刀具和工件的切削接触面积增大了，只需要较大的步距就可以达到很好的效果，工时可以大大缩短。

⑤ 对于整体涡轮、整体叶轮、飞机机翼等航空零件，三轴铣几乎不能实现，多轴铣就成为唯一的选择。



## 1.4 多轴铣工艺的基本原则

工序是由工步组成的，数控程序就是加工工步。如果某个零件整体加工工艺已经确定用多轴铣工序，那么就需要从以下几方面考虑如何编排多轴铣工序。

① 多轴加工工艺总体原则：尽可能保护机床、减少机床故障率和停机时间。尽可能减少多轴联动加工的切削工作量、尽可能减少旋转轴担任切削工作、避免和杜绝旋转轴担任重切削工作。

② 尽量用车、铣、刨、磨、钳等传统切削方式来加工初始毛坯。

③ 尽可能采用固定轴的定向方式进行粗加工及半精加工。万不得已，尽可能不用联动方式开粗。如果必须采取联动方式进行开粗，切削量不能太大。

④ 倒扣曲面与周围曲面之间要求过渡自然，如果要求精度较高，精铣加工就要考虑使用联动方式。例如，整体涡轮的叶片精加工时，如果不采取五轴联动而采取多次定向加工，叶片的叶盆和叶背曲面就很难保证自然过渡连接。

⑤ 多轴加工时要确保加工安全，特别要预防回刀时刀具撞坏旋转工件及工作台。

⑥ 多轴铣的加工效果一定要满足零件的整体装配需要，不但切削时间要短，而且精度要达到图纸公差要求。

在本书后续章节的实例里将依据这些原则进行数控编程。



## 1.5 多轴铣工艺实施步骤

多轴铣工艺实施的基本步骤概括起来有以下要点。

(1) 根据 2D 图纸绘制 3D 图，即建立 CAD/CAM 模型  
读懂图纸，严格依据图纸绘制 3D 图。绘制图形后，必须将 2D 图纸中的全部尺寸进行检查，建立尺寸检查记录表。如果客户已经提供了 3D 图，这一步就可以省略。但是必须对接受的 3D 图模型进行全面的检查，检查内容有：

- ① 图形单位英制还是公制，如果是英制，转化为公制，图形实际大小不能改变；
- ② 如果原图是其他软件绘制的，尽可能采用 IGS、X\_T 或者 STP 格式转化，确保图形特征完整，必要时把中间绘制的曲面和曲线也一起转化，有时会给编程做辅助线带来方便；
- ③ 分析有无掉面或者图形有破孔等情况，如果存在这些缺陷，就必须补全图形。

(2) 图纸分析、工艺分析

制定整个零件的加工工艺，明确多轴切削工序承担的加工内容及要求。

在大型正规企业，零件加工的整体工艺是由专职的工艺员制定的。工艺员所制定的加工工艺必须符合本企业的实际情况，充分利用现有的人力、物力和财力。本企业不具备条件的，才可以考虑与其他企业合作，进行外发加工。

作为多轴铣数控编程工程师需要了解零件的整体加工工艺，尤其了解数控加工工序的任务，要准确绘制出 CNC 加工时初始毛坯的 3D 图，CNC 所需要的基准是否齐备，如果基准不全就需要和工艺员沟通协商确定这些基准到底由哪个工序加工。另外，对加工材料的牌号和硬度必须要清楚，以便确定合理的切削参数。

(3) 确定多轴加工的装夹方案

对于多轴加工，这一步十分重要。根据 CNC 的加工内容结合零件形状要预先指定合理的装夹方案。一般来说需要 C 轴旋转的、类似旋转零件的可以考虑有三爪夹盘。超出三爪卡盘范围的，可以考虑在圆柱毛坯上车出凹槽，在机床的 C 轴旋转台上用压板装夹。必要时专门设计出专用夹具，用专用夹具来装夹。

不管采取哪一种装夹方案，必须在编程图形里绘制出相应的 3D 实体图，再转化 2D 工程图。2D 图发给相关部门加工，3D 实体图转化为 STL 文件以便在 VERICUT 仿真时调用。绘制 3D 夹具图的目的，是确定刀具偏摆的极限位置，防止刀具运动时超出极限位置而碰伤夹具和工作台。

(4) 编制数控编程及制定加工工步（即数控程序文件）

这是数控编程的核心内容，就是说在正式编程前，事先初步规划需要哪几个数控程序，给每一个数控程序安排其加工内容和加工目的、所用刀具及夹头的规格、加工余量等粗略步骤。多轴铣加工和三轴铣加工加工方法类似，也应该遵守开粗、清角、半精加工、精加工的编程步骤。

以上第 (1) ~ (4) 步骤完成以后再行数控编程就会做到胸有成竹。

(5) 定义几何体、刀具及夹头

进入 UG 的加工模块，切换到几何视图，先定义加工坐标系，这时需注意：如果采用双转台 XYZAC 型机床加工时，编程用的加工坐标系的原点应该与机床的旋转轴 A 和 C 的轴线交点重合；再定义加工零件体、毛坯体。

切换到机床视图，初步定义编程所用的刀具和夹头。

(6) 定义程序组，创建各个刀路的轨迹线条

必要时在编程图形里创建辅助面、辅助线，恰当选用加工策略，编制各个刀路。

尽可能采取固定轴定向加工的方式进行大切削量的粗加工、清角和半精加工，精加工才采用联动的方式加工。要时刻确保不要使旋转工作台在旋转时承担过大的重切削工作。

#### (7) UG 内部刀路模拟仿真

多轴铣刀路由于刀具沿着空间偏摆运动复杂，数控编程工程师要力争在编程阶段排除刀具及夹头与周围的曲面产生过切或者干涉。为此，编程时要特别重视对刀路进行检查。发现问题及时纠正。初步进行后处理生成加工代码 NC 文件。

#### (8) VERICUT 刀路仿真

对于多轴铣编程来说，最大的困惑就是，在 UG 环境里检查刀路并未发现错误，而实际切削时可能就会出现一些意想不到的错误。这是由于 UG 模拟的刀路里 G00 指令和实际机床加工有差别，另外各个操作刀路之间的过渡和实际机床运行有差别，导致 UG 的仿真与实际有差别。这一点应该引起特别注意。

而 VERICUT 可以依据数控编程 NC 文件里的 G 代码指令、刀具模型，根据事先定义的机床模型、夹具模型、零件模型可以很逼真地进行仿真，最后还可以分析出加工结果模型和零件模型的差别，有无过切和干涉，一目了然。

#### (9) 填写数控程序 CNC 工艺单

这是数控编程工程师的成果性文件，必须要清楚地告诉操作员以下内容：预定的装夹方案、零点位置、对刀方法；数控程序的名称、所用的刀具及夹头规格、装刀长度等。要求操作员严格执行。

#### (10) 在机床上安装零件

如果操作员按照 CNC 工艺单实施确有困难，需要变更装夹方案或者装刀方案的，要及时反馈给编程工程师。不能自行处理，否则可能会带来重大的加工事故。

根据 CNC 工艺单，在机床上建立加工坐标系，记录零件的编程旋转中心相对于机床的 A 轴及 C 轴旋转中心的偏移数值，将这些数值反馈给编程工程师。

#### (11) 加工现场信息处理

编程工程师根据操作员的反馈信息，修改或者检查数控程序，设置后处理参数，最后进行后处理，将最终的数控 NC 文件及 CNC 工艺单正式分发给数控操作员进行加工。

#### (12) 现场加工

操作员正式执行数控程序加工零件。作为操作员主要职责是正确装夹工件和刀具、安全运行数控程序，避免操作时出现加工事故。

操作员先要浏览数控程序，从字符文字方面检查有无不合理的机床代码；其次要适当修改程序开头的下刀指令和程序结尾的回刀指令，使刀具在开始时从安全位置缓慢接近工件，加工完成时在合理的位置提刀到安全位置。五轴联动式的提刀要确保正确。

一般情况下，应该快速运行所有的数控程序、观察主轴及旋转台运动，没有问题以后就可以正式切削零件，加工时适当调整转速和进给速度倍率开关，完成后先初步测量，没有错误就可以拆下准备下一件的加工。



## 1.6 UG 多轴铣编程功能

UG NX8.0 在多轴铣方面有很多成熟的编程功能，概括起来有以下几种。

### (1) 多轴铣定位加工

通过重新定义刀轴方向而进行的固定轴铣削，包括所有全部传统的三轴编程方法，如平面铣、面铣、钻孔、型腔铣、等高铣以及固定轴曲面轮廓铣。与传统三轴加工方式不同的是：要专门定义刀具轴线的方向。



刀具轴线的正方向是指从刀尖出发指向刀具末端的连线的矢量方向。

传统三轴铣削的默认刀具轴方向是+ZM,而采用多轴铣定位加工时,要先分析出不倒扣的方位,根据视角平面创建基准平面,然后依据这个平面的垂直方向(也称法向)来定义刀具轴的方向。为了保护机床尽可能采取这种加工方式来加工零件的倒扣位置。

### (2) 变轴曲面轮廓铣

通过灵活控制刀轴及设置驱动方法而进行的变轴曲面轮廓铣(包括流线铣和侧刀铣)。使用要点是:先确定驱动方法及投影矢量,以便能顺利地将驱动面上的刀位点投影到加工零件上;然后根据不产生倒扣的原则定义刀轴矢量;最后依据这些条件生成多轴铣刀路。这是UG的主要多轴铣功能,也是学习的重点。

### (3) 变轴等高铣

和普通的三轴等高铣不同之处在于,其可以定义刀轴沿着加工路线进行侧向倾斜,以便防止刀柄对工件产生过切或者碰撞。它仍然是平面的等高铣,只适合用球头刀进行计算。

### (4) 顺序铣

可以对角落进行手动清角,用户可以分步控制刀路。

### (5) 涡轮专用编程模块

对于涡轮这样复杂且有着共同相似结构的零件,可以使用涡轮专用模块进行数控编程。编程时要事先绘制叶片的包裹曲面,然后可以先在几何视图里定义叶毂曲面、包裹曲面、其中一个叶片曲面的侧曲面和圆角曲面,如果有分流叶片,再另外定义分流叶片的侧曲面和圆角曲面。

后续章节通过具体的实例编程训练,可以体会和理解到UG的多轴铣编程功能,实现最优化的加工工艺。最优化的加工工艺的衡量指标是:能充分发挥和利用现有五轴机床设备(本书以双转台XYZAC型机床为例)的性能,安全高效地完整加工出实例零件。力争用最少的刀具损耗、最短的加工时间加工出符合用户要求的零件产品。

当然五轴加工内容广泛深奥,书中的例子也不可能面面俱到,希望本书提供的例子能起到以点带面的作用。读者应该把本书的编程思路灵活运用到具体的加工实践之中,目的是使加工工艺可行和高效。



## 1.7 本章总结及思考练习

本章重点介绍多轴数控编程工艺的基本概念,帮助读者对多轴加工及编程过程有所了解,为后续学习打好基础。

后续章节学习请注意以下问题。

- ① 学习软件操作类型书的时候,最好一边看书一边打开电脑,启动相应的软件,先严格按照书上的步骤操作,时间允许的话,不妨多练习几遍,直到脱离书本,能自己独立完成为止。
- ② 学好3D绘图,会补面和补辅助线,然后进行数控编程。
- ③ 尽可能使加工程序符合加工要求,可以根据本书的思路,结合自己工厂的实际加工条件灵活变通,力争使所编程序符合高效加工原则。
- ④ 如果按照书上步骤进行练习,仍未到达预期目的的情况下,可以观看讲课视频,仔细对照自己的做法,力争将难点克服。

### 思考练习

1. 什么是多轴数控加工工艺?
2. 如果在加工中出现断刀现象,作为操作员应该如何处理?
3. 对于双转台型五轴联动机床来说,如何进行回零操作?

## 参考答案

1. 答：多轴数控工艺就是将原材料或半成品装夹在多轴铣机床的工作台上，进行铣削或者钻削等加工，成为预期产品的方法和技术。它是整体零件加工工艺的一部分工序。多轴加工工艺要服务于零件的整体加工工艺。最终目的是高效地加工出合格产品。

2. 答：(1) 首先分析刀长是否合理，在确保安全的前提下尽可能把刀长缩短来安装。(2) 检查程序是否切削量过大，如形状简单，可用手动的方式清角。(3) 测量断刀位置，将数控程序里已经执行的语句删除，修改剩下程序的开头语句，重新加工。

3. 答：先进行 Z 轴回零，将刀具提到最高安全位置；再进行 X 轴回零、Y 轴回零、A 轴回零、C 轴回零。对于已经安装好工件的情况下，回零顺序要确保不要碰伤机床和零件。

## 第 2 章 底座零件定位加工



### 2.1 本章要点和学习方法

本章通过对底座零件采用五轴定位加工进行数控编程，注意以下问题：

- ① 多轴加工坐标系的定义；
- ② 多轴编程工艺规划；
- ③ 多轴编程工艺实施；
- ④ 多轴加工轴线的定义方法；
- ⑤ 多轴定位加工的切削范围定义；
- ⑥ 多轴加工切削深度的定义方法；
- ⑦ VERICUT 仿真。


应该重点学会常用轴线定义的几种方法，完整地学习底座零件编程的全过程。



### 2.2 多轴定位加工概述

多轴定位加工也可以称为“固定轴铣削加工”，是指刀具轴线在空间旋转一定的角度，然后刀具就对零件进行加工，这时刀具和工件的相对方向保持不变，刀具轴线不一定是+ZM 轴正方向，可能是机床能够实现的任意方向。这种加工方式可以对传统三轴不能加工的倒扣位置进行加工。虽然加工过程中刀具轴线相对固定，在一个方位进行加工时，部分位置可能仍然会加工不到，但是可以创建几个方位来对工件进行加工，从理论上讲，仅用此种方式就可以实现对大多数倒扣零件的加工。

多轴定位加工是传统三轴铣加工的延伸，使用的关键是：刀具轴线的定义。刀具轴线的正方向是指从带有切削刃的刀尖点出发，指向刀具夹持位刀具末端圆心的连线的矢量方向。

一般来说，对于工件中加工区域的底面为平面的部分，可以定义垂直于底面的方向，即【垂直第一个面】，就是刀具轴线方向；对于复杂型面，可以将图形摆放在不倒扣的位置，然后利用【视图方向】 矢量来定义基准面，进而定义刀具轴线方向。如图 2-1 所示。

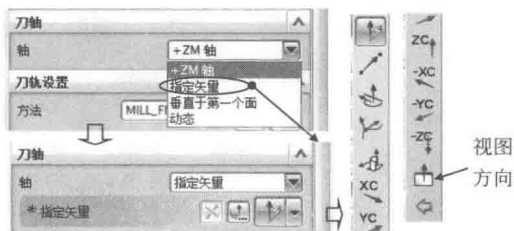


图 2-1 刀轴定义方法