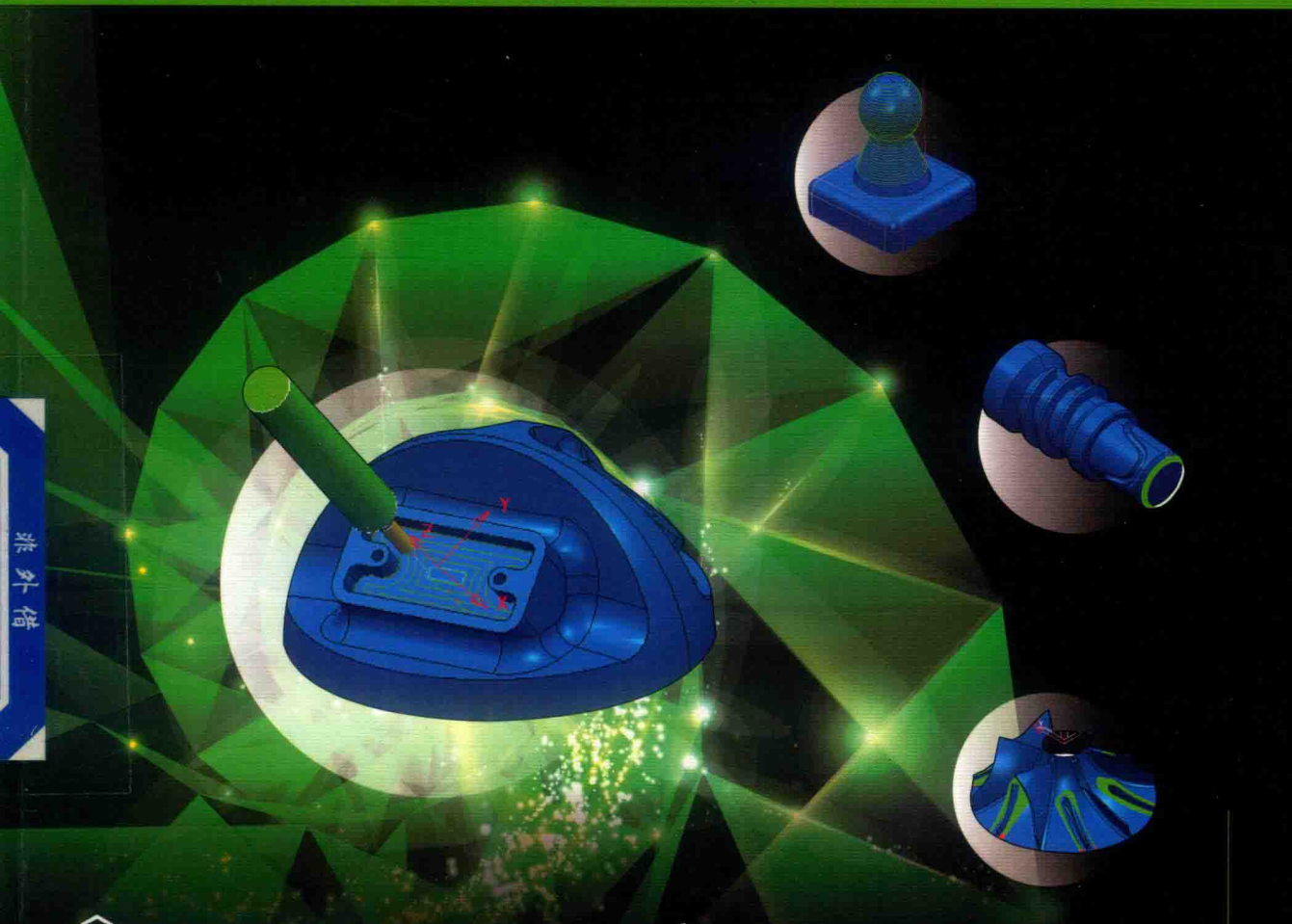


寇文化 编著

# PowerMILL

## 数控铣多轴加工

### 工艺与编程



非外借

寇文化 编著

# PowerMILL

## 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

PowerMILL 数控铣多轴加工工艺与编程/寇文化编著.

—北京: 化学工业出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-122-32974-5

I. ①P… 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 (2018) 第 207381 号

---

责任编辑: 贾 娜

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 杜杏然

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: 大厂聚鑫印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19 $\frac{1}{2}$  字数 486 千字 2019 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 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: 89.00 元

版权所有 违者必究

## 【编写目的】

PowerMILL 是一款专业的计算机辅助制造 (CAM) 软件, 它和 PowerSHAPE 计算机辅助设计 (CAD) 软件一起在航空航天飞行器、汽车、日用品等外形复杂产品的设计及制造方面应用广泛。其五轴加工编程功能更是独树一帜, 领先世界。PowerMILL 软件由英国 Delcam plc 公司开发研制 (现在由 Autodesk 公司经营), 在我国销售量越来越大, 普及程度也日趋广泛。

随着我国 CAD/CAM 的发展, 特别是《中国制造 2025》纲要实施以来, 高端制造技术日益受到广大企业的重视, 用好多轴机床是实现高端制造的关键, 购买和拥有高端五轴机床的企业越来越多, 企业和社会上急需培训出一大批精通多轴数控编程技术的工程技术人员。

本书案例及加工工艺来源于工厂实践, 笔者对多轴机床的加工积累了一定的经验, 愿意与广大读者分享和交流。编写本书的目的是让更多的读者朋友能够从工厂实战的角度来学习 PowerMILL 软件的多轴数控编程技术, 帮助有志从事 PowerMILL 多轴数控编程的人士少走弯路, 从而尽快用好多轴机床和相关技术, 为实现我国的工业强国梦而奋斗。

## 【主要内容】

全书共分 8 章。

第 1 章, 数控铣多轴加工工艺概述。主要介绍多轴机床的类型、多轴加工工艺的特点及实现方法。帮助读者从理论上认识多轴加工工艺, 为后续学习打下基础。

第 2 章, PowerMILL 多轴铣编程功能。主要介绍了 PowerMILL 在多轴编程方面的功能和特点, 提示读者学习重点。因为这方面书籍很多, 本书没有做深入讲解, 有需要的读者可以根据本书提示的重点参考其他书籍深入学习。

第 3 章, 底座零件定位加工。定位编程是多轴加工的主要形式, 灵活运用这方面的技术可以解决很大一部分工厂的多轴编程问题。

第 4 章, 轴类零件四轴加工。轴类零件是四轴加工很典型的工件, 本章包含了四轴编程常用的技术, 学好本章内容能很容易应用好四轴技术解决工厂里的实际问题。

第 5 章, 奖杯零件五轴加工。本章对定位方式编程进行了复习, 同时也讲解了五轴联动方式的编程技术。

第 6 章, 人像工艺品零件五轴加工。从整体工艺品加工工艺方面进行编程讲解, 帮助读者全面理解和应用好五轴加工技术。

第 7 章, 叶轮零件五轴加工。叶轮加工是典型的五轴联动加工, 加工难度比较高, 本章内容主要介绍了 PowerMILL 专用模块的编程方法。

第 8 章, 五轴机床后处理。介绍了典型五轴机床后处理器的制作方法。读者可以参考本章

内容解决实际工作中遇到的类似问题。

为了帮助读者学习，书中安排了“知识拓展”“小提示”“注意”等特色内容。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。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 mm。

## 【如何学习】

因为本书属于实战型课程培训，为学好本书内容，建议读者先具备以下技能：

- (1) 能用 PowerSHAPE 或其他三维 CAD 软件熟练绘制曲面 3D 图形；
- (2) 了解机械加工及制图的基本知识；
- (3) 能使用 PowerMILL 软件进行三轴数控编程；
- (4) 预先学习 PowerMILL 软件的多轴功能。

学习本书时要认真学习理论，灵活联系实际。对于初学者，建议针对本书案例，反复练习，最好至少 3 遍，并且能够举一反三，触类旁通。有条件的，可将自己所编的程序与实际多轴机床的特点结合起来上机加工，以实战的姿态在工厂实践中提高水平。

## 【读者对象】

- (1) 对 PowerMILL 多轴数控编程有兴趣的初学者；
- (2) 从事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 PowerMILL 爱好者。

本书由陕西华拓科技有限责任公司高级工程师寇文化编写。安徽工程大学王静平和李俊萍两位老师，以及索军利、赵晓军等为本书的编写提供了很多帮助，在此表示衷心的感谢！

书中重要步骤提供了视频讲解，视频文件可在出版社网站 [www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn) 中“资源下载”区下载，以供读者学习参考。

由于编者水平所限，不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。在阅读中遇到问题，读者可以发电子邮件到 [k8029\\_1@163.com](mailto:k8029_1@163.com) 与笔者沟通。某些典型问题的解答，笔者将在对读者个人信息做适当处理以后在博客 <http://blog.sina.com.cn/cadcambook> 中发表，供其他读者参考学习。

编 者

## 第1章 数控铣多轴加工工艺概述

1.1 多轴铣机床 .....	1	步骤 .....	4
1.1.1 多轴铣机床认识 .....	1	1.5 发挥数控铣多轴加工工艺的	
1.1.2 坐标轴定义 .....	2	优势 .....	6
1.1.3 五轴联动机床常用类型 .....	2	1.6 数控铣多轴编程的学习难点及	
1.2 典型多轴机床编程代码及编程		注意事项 .....	7
软件 .....	3	本章总结 .....	7
1.3 数控铣多轴加工工艺编排的基本		思考练习 .....	8
原则 .....	4	参考答案 .....	8
1.4 数控铣多轴加工工艺的实施			

## 第2章 PowerMILL 多轴铣编程功能

2.1 PowerMILL 多轴编程功能 .....	9	2.5.1 前倾/侧倾 .....	18
2.1.1 定位加工 .....	9	2.5.2 朝向点 .....	19
2.1.2 四轴加工 .....	9	2.5.3 自点 .....	19
2.1.3 五轴加工 .....	9	2.5.4 朝向直线 .....	19
2.1.4 专用多轴加工 .....	10	2.5.5 自直线 .....	19
2.2 通用刀具路径策略 .....	10	2.5.6 朝向曲线 .....	20
2.3 专用多轴加工刀具路径策略 .....	14	2.5.7 自曲线 .....	20
2.3.1 点投影精加工策略 .....	15	2.5.8 固定方向 .....	20
2.3.2 直线投影精加工策略 .....	15	2.5.9 自动 .....	21
2.3.3 投影曲线精加工策略 .....	15	2.6 刀具路径的编辑 .....	21
2.3.4 平面投影精加工策略 .....	16	2.6.1 工具栏中的刀具路径编辑	
2.3.5 曲面投影精加工策略 .....	16	功能 .....	21
2.3.6 SWARF 精加工策略 .....	16	2.6.2 右击刀具路径的编辑功能 .....	21
2.3.7 SWARF 线框精加工策略 .....	16	2.6.3 右击单条刀具路径的编辑	
2.3.8 参数螺旋精加工策略 .....	17	功能 .....	22
2.3.9 流线精加工策略 .....	17	2.7 刀具路径的检查 .....	23
2.4 边界线和参考线 .....	18	2.7.1 刀具路径的静态检查功能 .....	23
2.5 刀轴矢量控制方法 .....	18	2.7.2 刀具路径的动态检查功能 .....	24

本章总结 .....	26
思考练习 .....	26

参考答案 .....	26
------------	----

### 第 3 章 底座零件定位加工

3.1 定位加工编程要点 .....	27	3.2.10 在程序文件夹 k030e 中建立 斜面钻孔刀路 .....	82
3.2 底座多轴加工编程 .....	28	3.2.11 在程序文件夹 k030f 中建立 精加工刀路 .....	86
3.2.1 工艺分析及刀路规划 .....	29	3.2.12 在程序文件夹 k030g 中建立 凹槽精加工刀路 .....	89
3.2.2 图形处理 .....	30	3.2.13 在程序文件夹 k030h 中建立 切断加工刀路 .....	94
3.2.3 建立刀路程序文件夹 .....	32	3.3 程序检查 .....	99
3.2.4 建立刀具 .....	32	3.4 后处理 .....	101
3.2.5 设公共安全参数 .....	34	3.5 填写加工工作单 .....	104
3.2.6 在程序文件夹 k030a 中建立 开粗刀路 .....	35	本章总结 .....	104
3.2.7 在程序文件夹 k030b 中建立 斜平面精加工刀路 .....	39	思考练习 .....	105
3.2.8 在程序文件夹 k030c 中建立 凹槽清角刀路 .....	50	参考答案 .....	105
3.2.9 在程序文件夹 k030d 中建立 凹槽精加工刀路 .....	67		

### 第 4 章 轴类零件四轴加工

4.1 四轴零件加工编程要点 .....	106	4.2.9 在程序文件夹 k040d 中建立 精加工刀路 .....	128
4.2 四轴零件加工编程 .....	107	4.2.10 在程序文件夹 k040e 中建立 清角刀路 .....	128
4.2.1 工艺分析及刀路规划 .....	107	4.2.11 在程序文件夹 k040f 中建立 刻字精加工刀路 .....	134
4.2.2 图形处理 .....	108	4.3 程序检查及刀路优化 .....	136
4.2.3 建立刀路程序文件夹 .....	110	4.4 后处理 .....	139
4.2.4 建立刀具 .....	110	4.5 填写加工工作单 .....	141
4.2.5 设公共安全参数 .....	112	本章总结 .....	142
4.2.6 在程序文件夹 k040a 中建立 开粗刀路 .....	112	思考练习 .....	142
4.2.7 在程序文件夹 k040b 中建立 槽精加工刀路 .....	116	参考答案 .....	142
4.2.8 在程序文件夹 k040c 中建立 半精加工刀路 .....	118		

### 第 5 章 奖杯零件五轴加工

5.1 五轴联动加工编程要点 .....	143	5.2.1 工艺分析及刀路规划 .....	144
5.2 奖杯零件加工编程 .....	144	5.2.2 图形处理 .....	145

5.2.3	建立刀路程序文件夹	146	5.2.10	在程序文件夹 k050e 中建立 字体雕刻刀路	189
5.2.4	建立刀具	146	5.2.11	在程序文件夹 k050f 中建立 切断刀路	194
5.2.5	设公共安全参数	146	5.3	程序检查及刀路优化	198
5.2.6	在程序文件夹 k050a 中建立 开粗刀路	147	5.4	后处理	202
5.2.7	在程序文件夹 k050b 中建立 型面精加工刀路	155	5.5	填写加工工作单	203
5.2.8	在程序文件夹 k050c 中建立 台阶面精加工刀路	178	本章总结		204
5.2.9	在程序文件夹 k050d 中建立 清角精加工刀路	185	思考练习		205
			参考答案		205

## 第 6 章 人像工艺品零件五轴加工

6.1	曲面投影精加工使用技巧	206	6.2.9	在程序文件夹 k060d 中建立 半精加工刀路	230
6.2	人像工艺品零件加工编程	206	6.2.10	在程序文件夹 k060e 中建立 型面精加工刀路	234
6.2.1	工艺分析及刀路规划	207	6.2.11	在程序文件夹 k060f 中建立 切断刀路	248
6.2.2	图形处理	208	6.3	程序检查	252
6.2.3	建立刀路程序文件夹	209	6.4	后处理	254
6.2.4	建立刀具	209	6.5	填写加工工作单	255
6.2.5	设公共安全参数	209	本章总结		256
6.2.6	在程序文件夹 k060a 中建立 开粗刀路	209	思考练习		256
6.2.7	在程序文件夹 k060b 中建立 型面二次开粗加工刀路	221	参考答案		256
6.2.8	在程序文件夹 k060c 中建立 型面三次开粗加工刀路	226			

## 第 7 章 叶轮零件五轴加工

7.1	涡轮式叶轮概述	257	7.2.8	在程序文件夹 k070c 中建立 外包裹套面精加工刀路	271
7.2	涡轮式叶轮编程	257	7.2.9	在程序文件夹 k070d 中建立 流道开粗刀路	272
7.2.1	工艺分析	258	7.2.10	在程序文件夹 k070e 中建立 大叶片精加工刀路	275
7.2.2	图形处理	259	7.2.11	在程序文件夹 k070f 中建立 小叶片精加工刀路	277
7.2.3	建立刀路程序文件夹	262	7.2.12	在程序文件夹 k070g 中建立 轮毂精加工刀路	282
7.2.4	建立刀具	263	7.3	程序检查	284
7.2.5	设公共安全参数	263			
7.2.6	在程序文件夹 k070a 中建立 开粗刀路	263			
7.2.7	在程序文件夹 k070b 中建立 精加工刀路	268			



7.4 后处理 .....	286	思考练习 .....	289
7.5 填写加工工作单 .....	288	参考答案 .....	289
本章总结 .....	288		

## 第 8 章 五轴机床后处理

8.1 后处理的基本概念 .....	290	8.2.6 设置多轴钻孔参数 .....	296
8.2 五轴机床后处理制作方法 .....	291	8.2.7 设置程序生成参数 .....	296
8.2.1 进入后处理器 .....	291	8.2.8 设置程序格式参数 .....	298
8.2.2 读取软件系统已有的后 处理器 .....	291	8.2.9 设置程序开头 .....	299
8.2.3 进入编辑界面 .....	291	8.2.10 设置运动参数 .....	300
8.2.4 定义五轴机床机构参数 .....	292	本章总结 .....	302
8.2.5 设五轴机床坐标控制 参数 .....	295	思考练习 .....	303
		参考答案 .....	303
参考文献 .....	304		

# 数控铣多轴加工工艺概述

本章针对初学者在多轴数控铣编程及加工学习方面存在的疑问，重点讲解了以下要点：多轴数控加工的基本概念、多轴机床结构类型、机床坐标系的定义、多轴加工工艺的编排原则及实施步骤、PowerMILL 多轴加工类型。本章是基础，帮助初学者对五轴加工有一个初步认识。

## 1.1 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。要了解多轴数控铣削加工工艺，首先就要了解数控机床，尤其是要了解多轴数控机床。

### 1.1.1 多轴铣机床认识

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，数控铣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。现在的机床是工业制造的母机，而多轴机床尤其是五轴联动机床是更加高端的数控设备，被誉为皇冠上的明珠。

根据数控机床系统能同时控制联动轴的个数可以分为如下几种。

#### (1) 2.5 轴联动机床

也叫两轴半机床，可以同时控制 2 个轴。这种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 PowerMILL、Cimatron 以及 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的。

#### (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：工件在绕 X 轴（即 A 旋转轴）旋转，刀具可以沿着 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。这种机床工作情况一般是：工件在绕 X 轴（即 A 旋转轴）及 Z 轴（即 C 旋转轴）旋转，刀具可以沿着 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。

## 1.1.2 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。有了第四轴的机床就叫四轴机床，有第四轴和第五轴的机床就叫作五轴机床，这两种多于三个坐标轴运动的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，其正方向用右手定则来判定。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，工作台沿着顺时针旋转的方向就是 A 轴的正方向。沿着 Y 轴正向朝负方向看，工作台沿着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，工作台沿着顺时针旋转的方向就是 C 轴的正方向。

## 1.1.3 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，可以有以下分类方式。

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 非正交结构类型机床，如 Deckel-Maho 公司出的一种机床，其 B 轴中心线与 XY 平面夹角为  $45^\circ$ 。这种类型机床的刚性较好，但是后处理器复杂。

② 在三轴机床工作台上附加旋转工作台成为五轴铣床。如果这种机床的控制系统没有 5 个轴的联动功能的话，就叫“3+2”型机床；如果具备五轴联动功能的话就叫作五轴联动机床。五轴机床如果装有刀库就叫五轴加工中心，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：a. 核潜艇上的整体叶轮、发动机涡轮叶片；b. 飞机发动机上的复杂结构件需要一次性加工的零件；c. 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，则五轴联动机床就可以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。

正因为五轴联动数控机床可以加工出如核潜艇、航空发动机等尖端武器的关键部件，所以它刚一问世就被应用在军工领域。随着我国经济科技的发展，自主开发和利用五轴联动机床已经成为目前的热门技术，很多研制单位都取得了可喜的成果。

## 1.2 典型多轴机床编程代码及编程软件

### (1) 典型多轴机床编程代码

五轴机床的编程代码与三轴机床代码很多部分都是相同的。

G90 表示绝对值编程；G91 表示相对值编程。

G54~G59 表示加工坐标系定义。

G00 表示快速移动，格式为 G00X Y Z A C，其中 A、C 的单位是角度。

G01 表示直线运动，格式为 G01X Y Z A C，可以按照指定的进给 F 值来执行；其中 A、C 的单位是角度。

G02 表示顺时针运动，格式为 G02X Y R，其中 R 为圆弧半径；或者 G02X Y I J，其中 I、J 为圆弧圆心的相对坐标值。

G03 表示逆时针运动，格式为 G03X Y R，其中 R 为圆弧半径；或者 G03X Y I J，其中 I、J 为圆弧圆心的相对坐标值。

M02 表示程序停止。

M03 表示主轴顺转，如：M03 S15000。

M04 表示主轴反转。

M05 表示主轴停转。

### (2) 典型多轴机床编程软件

简单的程序可以像三轴机床那样用手工方式进行编程。手工编程的要点是：建立加工坐标系，计算图形节点，结合具体机床编写数控程序代码，代码试运行，正式加工。关键是旋转轴旋转以后要准确计算图形节点和刀具中心点坐标。

对于复杂图形来说，手工五轴机床编程的计算量很大，要求编程员具备很深厚的加工工

艺知识和高等数学、线性代数等知识。自从有了辅助编程软件以后，手工编程就应用很少了，主要用于对数控程序进行复查。对于现在的程序员来说，只要掌握 CAM 软件完全可以胜任数控编程工作，而不必过多考虑计算原理。

目前常用的多轴数控编程软件有：PowerMILL、UG、Cimtron、HyperMILL 及 MasterCAM 等。本书主要以 PowerMILL 软件为例进行说明。

## 1.3 数控铣多轴加工工艺编排的基本原则

加工工艺就是将原材料或半成品装夹在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。多轴数控加工工艺是采用多轴机床实施的加工工艺，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。

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。尽可能不用联动方式开粗。万不得已，必须采取联动方式进行开粗的话，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，而且要求精度较高的话，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。五轴加工工艺是本书讨论的重点。

## 1.4 数控铣多轴加工工艺的实施步骤

### (1) 建立 CAD/CAM 模型

根据 2D 图纸绘制 3D 图，就是建立 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 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无破孔等情况,如果存在这些缺陷必须补全图形;

④ 很多图形是 STL 格式,对于 PowerMILL 来说可以直接读取进行数控编程;

⑤ 尽可能利用绘图功能强大的设计软件设计出 PowerMILL 编程用的辅助线和辅助面,把这些辅助图形另外存盘,转化为通用格式,以备数控编程所用。

## (2) 图纸分析、工艺分析

制订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订的。工艺员所制订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或者加工成本高,才可以考虑与其他企业合作进行外发加工。

作为数控铣多轴编程工程师需要了解零件的整体加工工艺,尤其要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,检查 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制订合理的装夹方案。一般来说需要 C 轴旋转的类似旋转零件可以考虑三爪卡盘。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。必要时设计出专用夹具来装夹。

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,再转化为 2D 工程图。2D 图发出给相关部门加工,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运动的极限位置,防止刀具运动时超出极限位置而碰伤夹具和工作台。

## (4) 制订数控编程加工工步

写出数控程序文件清单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)步骤完成以后再继续进行数控编程就会做到胸有成竹。

## (5) 进入数控编程软件进行数控编程

进入 PowerMILL 加工界面,读取加工模型、读取参考曲面模型、定义毛坯、选取加工策略计算刀路、软件内部仿真、后置处理。

## (6) VERICUT 刀路仿真

对于多轴铣编程来说,最大的困惑就是在编程软件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。借助 VERICUT 仿真软件,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。但这个检查不是必需的。

## (7) 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，要求操作人员严格执行。

#### (8) 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，记录零件的编程中心相对于机床的 C 轴旋转中心的 XY 偏移数值，将这些数值反馈给编程工程师。

#### (9) 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。

#### (10) 现场机床加工

操作员正式执行数控程序加工零件。一般情况下应该快速浏览所有数控程序，确保安装刀具符合工艺要求，对刀参数正确，装夹工件正确、工件及旋转台运动时没有干涉，然后正式加工工件。加工完成以后，应该先在机床上进行检查，没有错误才可以拆下，准备下一件加工。

---

## 1.5 发挥数控铣多轴加工工艺的优势

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，要在确保产品质量、生产安全方面的前提下，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，才用多轴铣来完成。这样可以提高加工系统的刚度、加工精度，尽量保护旋转台的精度和提高设备利用效率。

但是以下情况应该考虑使用多轴铣工序。

① 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。如果一定要用三轴加工必须修改工艺设计，制造很多夹具和其他辅助工装多次装夹。如果用多轴铣，只需要将刀具轴线相对于零件周边倾斜一个角度，使刀具的装刀长度缩短，这样切削参数可以加大，加工可以一次装夹，工时可以缩短，效果会大大改善。

② 双斜面加工。传统三轴铣会选用球头刀加工，要达到图纸表面粗糙度的要求，行距必然要很密，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，这样只需要像普通三轴铣加工水平面那样加工，会大大缩短加工工时，提高加工效果。

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，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。

⑥ 复杂工艺品制造。传统的精美玉器都是艺术大师完成的，劳动强度大、效率低、技艺传承困难，而用五轴联动机床加工天然玉石工艺品不仅效率很高，而且也能拯救我们的民族瑰宝。而对这些玉石天然材料的加工，目前的3D打印技术是无法完成的。

## 1.6 数控铣多轴编程的学习难点及注意事项

要掌握好多轴数控加工工艺的关键是编制出高效的数控程序代码，这个程序要具备的特征是最小的加工时间、最小的刀具损耗以及最佳的加工效果。我国多轴机床开始普及，对于技术人员来说，自己编制的多轴机床苦于没有多轴机床进行验证，也不知道自己的程序能否实现，这是目前学习者的最大困难，也是多轴加工工艺的学习难点。学习多轴数控编程技术，请注意以下问题。

① 深刻理解加工工艺。首先要了解被加工对象的用途及技术要求，全面了解整个零件的加工工艺，审核已经制订的工艺能否满足零件的技术要求，深刻理解多轴数控加工在整个工艺路线的作用，多轴数控加工要达到什么样的技术指标。

② 制订多轴加工的加工工步。一定要深刻了解现有多轴数控加工设备的加工行程，现在具备哪些条件，哪些条件还不具备，必要时设计工装、购置刀具，甚至购置标准夹具，结合实际情况设计加工工步。

③ 如果工步设计好了就可以在编程软件里进行数控编程。数控编程实际上就是实施所制订的加工工艺，所以加工参数要合理高效。

④ 深刻理解和学习数控编程软件的多轴加工策略和刀轴指向方式。这部分内容可以通过学习后续章节来掌握。

⑤ 一定要克服脱离加工实际、纸上谈兵式的学习。一定要结合工厂加工实际，不断提高多轴编程水平。

为了克服多轴机床加工实践不足的困难，本书后续章节将把PowerMILL软件的多轴加工功能融合在具体的工艺实现之中。通过具体的实例编程训练，体会和理解多轴铣编程功能，实现最优化的加工工艺。最优化的加工工艺的实现是本书的灵魂和中心思想。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。

当然多轴加工尤其是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自己公司具体的加工实践之中，目的是使加工工艺可行和高效。

## 本章总结

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。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。开始学习时提倡“不求甚解”，待有一定的训练量及熟练程度时，再多向自己问几个为什么。如果一开始就要把一些不太重要的细节弄清楚就会本末倒置，浪费很多时间。

② 学好 3D 绘图，会补面和补辅助线，然后进行数控编程。PowerMILL 软件是专业数控编程软件，如果需要补面就需要借助另外的 CAD 软件来完成。要把 PowerMILL 用于数控编程工作实际，建议学习者事先熟练掌握 PowerSHAPE 或者其他 CAD 绘图功能。

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。如果不结合加工实际，所编的数控程序在加工时会存在很大的加工风险，对生产实际来说没有指导意义。

## 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，回零操作应该注意什么问题？

## 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，形状简单的话，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：一般先进行 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。在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。