

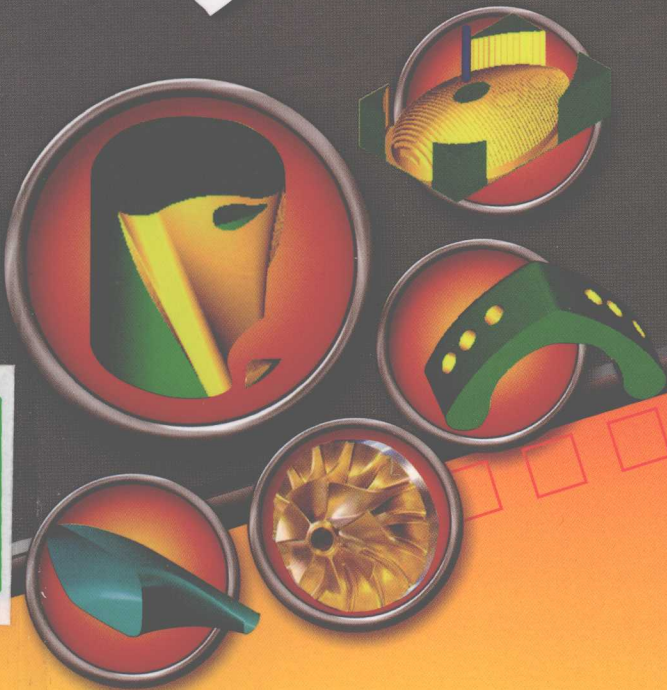


随书附光盘

Mastercam X3

数控五轴加工 实例教程

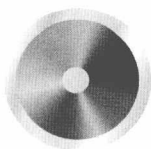
SHUKONG WUZHOU JIAGONG
SHILI JIAOCHENG



◎ 高长银 等编著



化学工业出版社

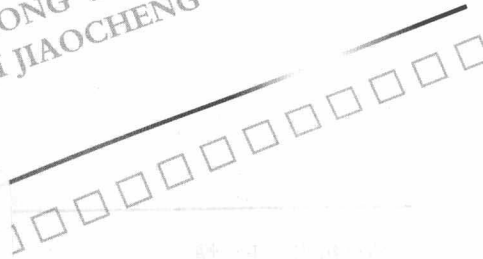
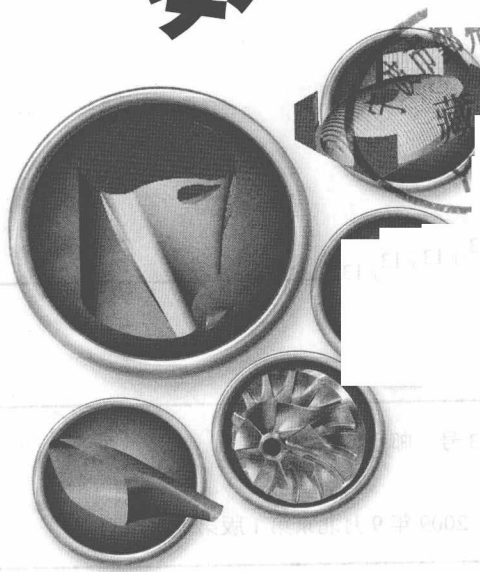



随书附光盘

◎ 高长银 等编著

Mastercam X3 数控五轴加工 实例教程

SHU KONG WUZHOU JIAGONG
SHI LI JIAO CHENG



 化学工业出版社

· 北京 ·

定价：39.00元

图书在版编目(CIP)数据

Mastercam X3 数控五轴加工实例教程 / 高长银等编著.
北京: 化学工业出版社, 2009.9

ISBN 978-7-122-06161-4

I. M… II. 高… III. 数控机床-加工-计算机辅助
设计-应用软件, Mastercam X3-教材 IV. TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 108673 号

责任编辑: 王 焯
责任校对: 吴 静

装帧设计: 韩 飞

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: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{1}{4}$ 字数 441 千字 2009 年 9 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: 38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

Mastercam 是美国 CNC 公司开发的基于 PC 平台的 CAD/CAM 软件。该软件自 1984 年问世以来, 就以其强大的加工功能闻名于世。Mastercam 除了提供强大的三轴加工外, 还提供了比较成熟的五轴加工模块。五轴加工既是数控加工中的热点, 也是一个技术难点, 精通五轴加工是许多数控技工孜孜追求的目标。本书以 Mastercam X3 最新版为蓝本, 介绍 Mastercam X3 数控五轴加工技术和实例。

本书以实际项目为背景, 深入浅出地介绍了 Mastercam X3 五轴数控加工的流程、方法和技巧。全书共包括 15 章, 具体内容安排如下。

第 1 章介绍了数控五轴加工的基本知识, 包括五轴数控加工的原理和特点、常用五轴数控加工机床结构和性能、五轴数控加工工艺参数及其设置等, 使读者对数控五轴加工有一入门性了解。

第 2 章主要介绍了 Mastercam X3 用户界面、五轴数控加工的工件设置、加工刀具设置、加工操作管理以及各种五轴加工方式、加工参数设置等知识。读者通过学习, 将对 Mastercam X3 五轴数控加工的常用操作设置有所熟悉。

第 3 章~第 6 章为五轴数控加工入门实例篇, 通过曲线五轴加工、钻孔五轴加工、沿边五轴加工、沿面五轴加工、多曲面五轴加工、通道五轴加工 6 个典型实例, 介绍了五轴数控加工的一般流程和简单应用。

第 9 章~第 12 章为五轴数控加工提高实例篇, 通过半球曲面、螺旋柱、赛车帽、奖牌等 4 个实例, 重点深入地讲解了沿面和多曲面五轴加工方法在简单产品加工中的应用。

第 13 章~第 15 章为五轴数控加工经典实例篇, 通过山地车坐垫、液化气灶按钮、螺旋桨叶片等 3 个复杂实例, 详细分析了五轴加工方法在具体复杂产品中的应用。读者通过学习, 加工技能可以快速提高, 实现从入门到精通的技术飞跃。

本书工程实用性强, 通过大量实例来讲解五轴加工技术和应用; 同时, 本书结构合理, 步骤详细, 讲解直观, 图文并茂, 可大大降低学习难度, 提高读者学习效率。另外, 本书实例选择典型、有代表性, 读者学习本书后, 通过举一反三可以掌握各种零件五轴数控加工的编程方法。

此外, 本书配光盘一张, 光盘中收录了全书所涉及到的全部素材源文件, 供读者借鉴使用。

本书适合作为数控多轴加工培训教程, 适应加工中心操作工自学和提高的需要, 同时也可供高职和中职院校数控专业学生课外自学参考。

本书由高长银、蒋志强、毕晓勤、赵汶编著。另外, 马龙梅、唐清善、邱宝良、周克足、刘斌、李永怀、李宁宇、黄小欢、严剑忠、黄小宽等同志参加了资料的收集和整理, 在此一并向他们表示感谢!

由于时间有限, 书中难免会有不足之处, 欢迎广大的读者予以批评指正。

编著者

目 录

第1章 数控五轴加工专业知识	1
1.1 五轴数控加工原理和特点.....	1
1.1.1 五轴数控加工原理.....	1
1.1.2 五轴数控加工特点.....	2
1.2 五轴数控加工机床.....	3
1.2.1 常见五轴机床结构.....	3
1.2.2 五轴机床的结构特点.....	4
1.3 五轴数控加工的控制轴和加工坐标系.....	5
1.3.1 控制轴.....	5
1.3.2 加工坐标系.....	6
1.4 五轴数控加工术语和刀具.....	7
1.4.1 铣削术语.....	7
1.4.2 刀具与材料.....	8
1.5 五轴数控加工工艺.....	11
1.5.1 数控加工工艺特点.....	11
1.5.2 数控加工工艺方案设计.....	12
1.5.3 数控加工阶段的划分.....	14
1.5.4 数控加工工序的划分.....	15
1.5.5 数控加工切削用量的确定.....	16
1.6 五轴数控加工编程.....	17
1.6.1 数控程序编制方法.....	17
1.6.2 数控编程的格式与指令字.....	18
1.6.3 数控编程主要内容.....	22
1.6.4 数控自动编程的步骤.....	23

第2章 Mastercam X3 五轴加工	
基础知识	25
2.1 Mastercam X3 五轴加工简介.....	25
2.1.1 Mastercam X3 五轴加工功能.....	25
2.1.2 Mastercam X3 用户操作界面.....	26
2.1.3 Mastercam X3 五轴加工一般流程.....	27
2.2 Mastercam X3 五轴数控加工的设置与操作管理.....	29

2.2.1	设置加工工件	29
2.2.2	设置加工刀具	33
2.2.3	加工操作管理	37
2.3	Mastercam X3 五轴加工共同参数	41
2.3.1	刀具加工参数	41
2.3.2	多轴加工参数	42
2.3.3	轴的极限	47
2.3.4	点的产生	48
2.4	Mastercam X3 五轴加工型式和参数设置	48
2.4.1	钻孔五轴加工	48
2.4.2	曲线五轴加工	51
2.4.3	沿边五轴加工	55
2.4.4	沿面五轴加工	56
2.4.5	多曲面五轴加工	61
2.4.6	通道五轴加工	62

第3章 入门实例1——钻孔五轴数控加工64

3.1	实例分析	64
3.2	加工流程与每步所用知识点	64
3.3	具体的加工操作过程	65
3.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	65
3.3.2	选择加工系统	66
3.3.3	设置加工工件	68
3.3.4	钻孔五轴加工	69
3.3.5	后处理	74

第4章 入门实例2——曲线五轴数控加工75

4.1	实例分析	75
4.2	加工流程与每步所用知识点	75
4.3	具体的加工操作过程	76
4.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	76
4.3.2	选择加工系统	76
4.3.3	设置加工工件	78
4.3.4	曲线五轴加工	78

第5章 入门实例3——沿边五轴数控加工84

5.1	实例分析	84
5.2	加工流程与每步所用知识点	84
5.3	具体的加工操作过程	85

5.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	85
5.3.2	选择加工系统	86
5.3.3	设置加工工件	87
5.3.4	沿边五轴加工	88

第 6 章 入门实例 4——沿面五轴 数控加工

6.1	实例分析	95
6.2	加工流程与每步所用知识点	95
6.3	具体的加工操作过程	96
6.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	96
6.3.2	选择加工系统	96
6.3.3	设置加工工件	98
6.3.4	沿面五轴加工	98

第 7 章 入门实例 5——多曲面五轴数控加工

7.1	实例分析	104
7.2	加工流程与每步所用知识点	104
7.3	具体的加工操作过程	105
7.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	105
7.3.2	选择加工系统	106
7.3.3	设置加工工件	106
7.3.4	多曲面五轴加工	107

第 8 章 入门实例 6——通道五轴 数控加工

8.1	实例分析	112
8.2	加工流程与每步所用知识点	112
8.3	具体的加工操作过程	113
8.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	113
8.3.2	选择加工系统	113
8.3.3	通道五轴加工	114

第 9 章 提高实例 1——半球产品五轴数控加工

9.1	实例分析	119
9.2	加工流程与每步所用知识点	119
9.3	具体的加工操作过程	120
9.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	120
9.3.2	选择加工系统	121
9.3.3	设置加工工件	122

9.3.4	半球面沿面五轴加工	123
9.3.5	图案曲线五轴加工	126
9.3.6	执行后处理	129
9.4	实例小结	130

第 10 章 提高实例 2——螺旋柱 数控加工

10.1	实例分析	131
10.2	加工流程与每步所用知识点	131
10.3	具体的加工操作过程	133
10.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	133
10.3.2	选择加工系统	133
10.3.3	设置加工工件	134
10.3.4	螺旋面沿面五轴加工	135
10.3.5	刀具路径旋转	137
10.3.6	执行后处理	139
10.4	实例小结	140

第 11 章 提高实例 3——赛车帽数控加工

11.1	实例分析	141
11.2	加工流程与每步所用知识点	142
11.3	具体的加工操作过程	143
11.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	143
11.3.2	选择加工系统	143
11.3.3	设置加工工件	144
11.3.4	整体曲面平行铣削粗加工	144
11.3.5	侧曲面沿边五轴加工	148
11.3.6	左顶面沿面五轴加工	152
11.3.7	右顶面沿面五轴加工	154
11.3.8	执行后处理	156
11.4	实例小结	157

第 12 章 提高实例 4——奖牌五轴 数控加工

12.1	实例分析	158
12.2	加工流程与每步所用知识点	159
12.3	具体的加工操作过程	160
12.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	160
12.3.2	选择加工系统	160
12.3.3	设置加工工件	160
12.3.4	外形轮廓铣削	162

12.3.5	曲面放射状铣削粗加工	164
12.3.6	多曲面五轴加工	167
12.3.7	辅助曲面沿面五轴加工	170
12.3.8	X文字五轴加工	173
12.3.9	执行后处理	174
12.4	实例小结	175
第13章	经典实例1——山地车坐垫曲面加工	176
13.1	实例分析	176
13.2	加工流程与每步所用知识点	177
13.3	具体的加工操作过程	178
13.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	178
13.3.2	选择加工系统	178
13.3.3	设置加工工件	178
13.3.4	平行铣削粗加工	180
13.3.5	顶面沿面五轴加工	184
13.3.6	倒圆沿面五轴加工	188
13.3.7	侧面多曲面五轴加工	189
13.3.8	后处理	193
13.4	实例小结	193
第14章	经典实例2——液化气灶	
	按钮五轴数控加工	195
14.1	实例分析	195
14.2	加工流程与每步所用知识点	195
14.3	具体的加工操作过程	197
14.3.1	启动 Mastercam X3, 打开文件	197
14.3.2	选择加工系统	197
14.3.3	设置加工工件	199
14.3.4	放射状铣削粗加工	199
14.3.5	侧面沿边五轴加工	202
14.3.6	侧面圆角面沿面五轴加工	206
14.3.7	顶面沿面五轴加工	210
14.3.8	顶面右圆角面沿面五轴加工	212
14.3.9	右凹面沿面五轴加工	215
14.3.10	顶面左圆角面沿面五轴加工	218
14.3.11	左凹面沿面五轴加工	221
14.3.12	执行后处理	224
14.4	实例小结	225
第15章	经典实例3——螺旋桨叶片五轴数控加工	226
15.1	实例分析	226

15.2 加工流程与每步所用知识点	226
15.3 具体的加工操作过程	228
15.3.1 启动 Mastercam X3, 打开文件	228
15.3.2 选择加工系统	228
15.3.3 设置加工工件	230
15.3.4 沿面五轴加工	231
15.3.5 执行后处理	235
15.4 实例小结	236

参考文献	237
------------	-----

第 1 章 数控五轴加工专业知识

航空航天、发电、船舶等行业产品往往具有复杂的型面，同时有较高的精度要求。加工此类复杂型面零件，提高加工效率并获得高质量的加工精度，对机械加工设备的要求非常严格。为了满足这些行业产品的需求，五轴联动数控机床应运而生。作为本书的第 1 章，将简单介绍五轴加工的基本知识，引导读者入门。



本章知识要点：

- ① 了解五轴数控加工的原理和特点；
- ② 了解常用五轴数控加工机床结构和性能；
- ③ 了解五轴数控加工工艺参数及其设置。

1.1 五轴数控加工原理和特点

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，本节介绍五轴数控加工的原理和应用范围、特点等。

1.1.1 五轴数控加工原理

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。如图 1-1 所示为典型的五轴联动数控机床。

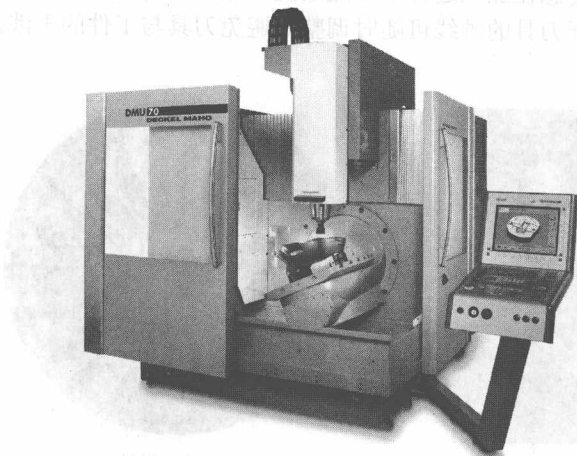


图 1-1 五轴联动数控机床

五轴数控加工的原理可由图 1-2 来说明。

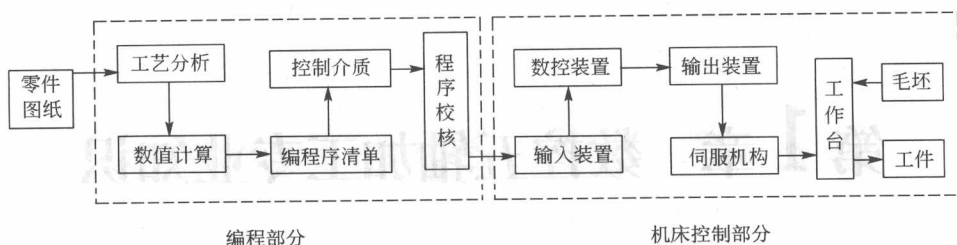


图 1-2 数控加工原理框图

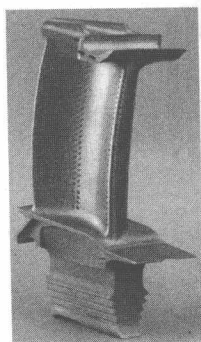
在数控机床加工零件时，首先将被加工零件的几何信息和工艺信息数字化，根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数、刀具参数，再按数控机床规定采用的代码和程序格式，将与加工零件有关的信息如工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、切削参数（主轴转速、进给率、背吃刀量）以及辅助操作（换刀、主轴转动方向）等编制成数控加工程序，然后将程序代码输入到机床数控系统。

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，输送给各个控制轴方向的伺服电动机和主轴伺服电动机，伺服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，及时修正伺服电动机的转速，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。

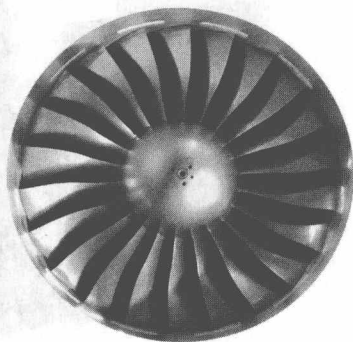
1.1.2 五轴数控加工特点

五轴数控加工中一台机床至少有五个坐标轴，可在计算机控制下联合工作，具有以下特点。

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 1-3 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 1-3 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。

1.2 五轴数控加工机床

1.2.1 常见五轴机床结构

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 1-4 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 $+30^{\circ} \sim -120^{\circ}$ 。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，其余的五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，当然这需要高档的数控系统、伺服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转矩。

另一种是依靠立式主轴头的回转，如图 1-5 所示。主轴前端是一个回转头，能自行环绕 Z 轴 360° ，成为 C 轴，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。

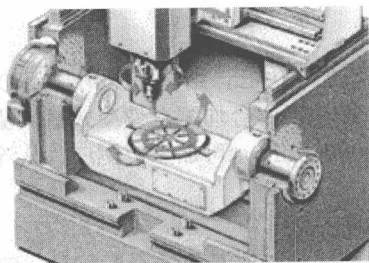


图 1-4 工作台回转的立式五轴加工中心

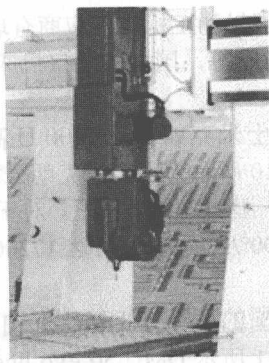


图 1-5 主轴回转的立式五轴加工中心

(2) 卧式五轴加工中心

如图 1-6 所示为传统的工作台回转式五轴加工中心, 设置在床身上的工作台 A 轴一般工作范围 $+20^{\circ}\sim-100^{\circ}$ 。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 s , 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: 双旋转台机床、双旋转主轴头机床和一个旋转工作台一个旋转主轴头机床这样三大类, 如图 1-7~图 1-9 所示。

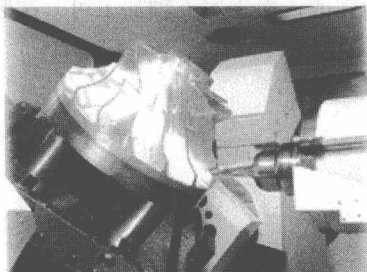


图 1-6 工作台回转的卧式五轴加工中心叶轮

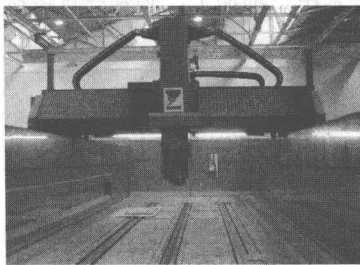


图 1-7 双旋转主轴头的机床

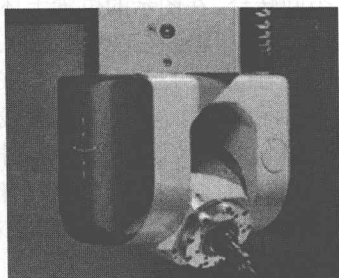


图 1-8 双摆头主轴头

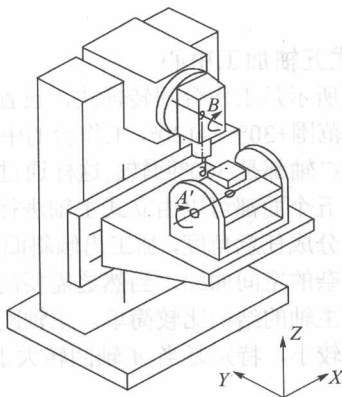


图 1-9 一个旋转工作台一个旋转主轴头的机床

1.2.2 五轴机床的结构特点

常用的五轴加工机床供应商有瑞士米克隆 Mikon、德国的德马吉 DMG、意大利的 FIDIA、日本的 Mazak 等, 国内的北京机床研究所、沈阳机床集团、济南机床等也陆续开发出五轴加工机床。

(1) 瑞士米克隆 HSM 400 U 高速五轴加工中心

如图 1-10 所示为瑞士米克隆公司的 HSM 400 U 型加工中心, 结构上采用封闭 O 形的龙门式结构, 适合于湿加工和干加工。对于各轴、高速回转/摆动工作台均配有液冷式直接驱动装置, 其速度可达 $1500^{\circ}/s$ 、加速度可达 $17200^{\circ}/s^2$, 主轴速度 $60000r/min$, 可加工范围广, 从淬硬钢一直到铜塑料等。

(2) 德国的德马吉 DMG 五轴高速立式加工中心

如图 1-11 所示 DMU 50 eVo linear 五轴加工中心。这种机床具有 5 个数控轴, 可胜任从 5 面加工到 5 轴联动加工的各种工作, 优质高效。数控回转摆动工作台可在围绕工件重心旋转工件的

同时允许进行最大摆角达 18° 的底部切削。凭借 X 轴的动态直线电机, DMU 50 eVo linear 可实现高达 10 m/s^2 的加速度和 80 m/min 的快移速度。利用 18000 r/min 的标配主轴和最高速度为 42000 r/min 的选配主轴, 经过一次装夹即可经济节约地完成工件加工。



图 1-10 瑞士米克朗 HSM400U 高速五轴加工中心

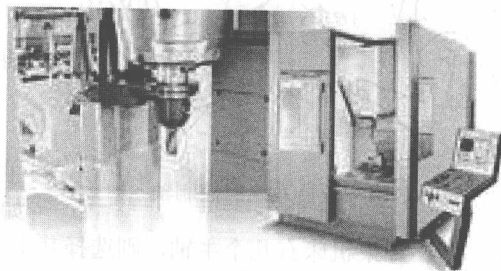


图 1-11 DMU 50 eVo linear 五轴加工中心

(3) 沈阳机床 GMC2060U 桥式五轴加工中心

如图 1-12 所示为沈阳机床 GMC2060U 桥式五轴加工中心, 桥式龙门框架结构, 两侧均为双伺服电机驱动, 具有良好的定位精度和稳态响应特性。桥梁及工作台固定, 刚性好、承载大, 用于大型工件复杂型面五轴加工。 X 、 Y 、 Z 轴快移速度可达到 30 m/min , A 、 C 轴具有 10 r/min (60 r/min)。通过五轴联动实现对空间任意方向孔、面及复杂型面进行加工。

(4) 长征机床的 DMC1000 型 8 轴 5 联动车铣复合加工中心

如图 1-13 所示为长征机床的 DMC1000 型 8 轴 5 联动车铣复合加工中心。DMC1000 (重型) 铣车复合加工中心具有 X 、 Y 、 $Z1$ 、 $Z2$ 、 $Z3$ 、 $C1$ 、 $C2$ 、 $B8$ 个坐标轴, 可实现 8 轴 5 联动。采用 XY 轴相垂直布局方式, 有效增大了 Y 轴行程, 扩大加工范围; 铣削、车削刀具均在同一工具主轴下装夹, 实现大型曲轴等复杂零件在一次装夹下的铣车复合加工。

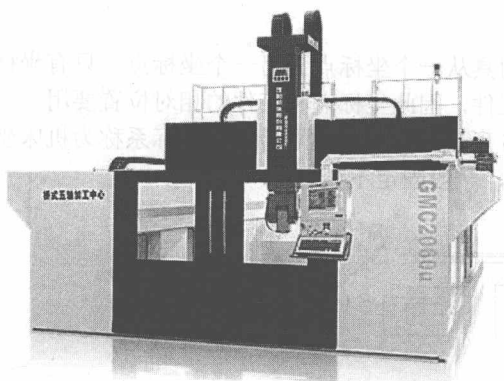


图 1-12 沈阳机床 GMC2060U 桥式五轴加工中心

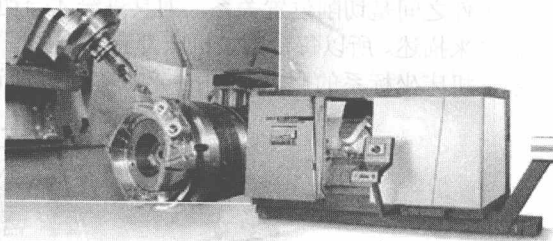


图 1-13 DMC1000 型 8 轴 5 联动车铣复合加工中心

1.3 五轴数控加工的控制轴和加工坐标系

进行数控加工首先要了解控制轴和加工坐标系的相关知识, 下面加以简单介绍。

1.3.1 控制轴

由数控系统控制的机床运动轴称为控制轴, 如图 1-14 所示。数控机床通过各个移动件的运动

产生刀具与工件之间的相对运动来实现切削加工。为表示各移动件的移动方位和方向（机床坐标系），在 ISO 标准中统一规定采用右手直角笛卡儿坐标系对机床的坐标系进行命名，直线轴用 X, Y, Z 表示，用 A, B, C 分别表示绕 X, Y, Z 的旋转轴。

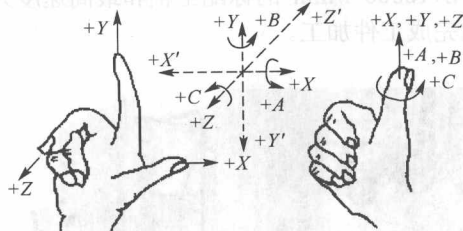


图 1-14 数控系统的控制轴

确定机床坐标轴，一般是先确定 Z 轴，再确定 X 轴和 Y 轴。

(1) 确定 Z 轴

对于有主轴的机床，如车床、铣床等则以机床主轴轴线方向作为 Z 轴方向。对于没有主轴的机床，如刨床，则以与装夹工件的工作台相垂直的直线作为

Z 轴方向。如果机床有几个主轴，则选择其中一个与机床工作台面相垂直的主轴作为主要主轴，并以它来确定 Z 轴方向。

(2) 确定 X 轴

X 轴一般位于与工件安装面相平行的水平面内。对于机床主轴带动工件旋转的机床，如车床、磨床等，则在水平面内选定垂直于工件旋转轴线的方向为 X 轴，且刀具远离主轴轴线方向为 X 轴的正方向。对于机床主轴带动刀具旋转的机床，当主轴是水平的，如卧式铣床、卧式镗床等，则规定人面对主轴，选定主轴左侧方向为 X 轴正方向；当主轴是竖直时，如立式铣床、立式钻床等，则规定人面对主轴，选定主轴右侧方向为 X 轴正方向。对于无主轴的机床，如刨床，则选定切削方向为 X 轴正方向。

(3) 确定 Y 轴

Y 轴方向可以根据已选定的 Z, X 轴方向，按右手直角坐标系来确定。

1.3.2 加工坐标系

(1) 机床坐标系

刀轨是用很多坐标点来表示的，数控系统驱动刀具从一个坐标点到另一个坐标点，只有坐标点与工件之间是切削位置关系，刀具进给才会切削工件，因此坐标点和工件的相对位置要用一个坐标系来描述。所以每台数控机床都有一个如图 1-15 所示的 $X_0Y_0Z_0$ 坐标系，该坐标系称为机床坐标系，机床坐标系的原点 O_0 由生产厂家出厂前设定，一般固定不变。

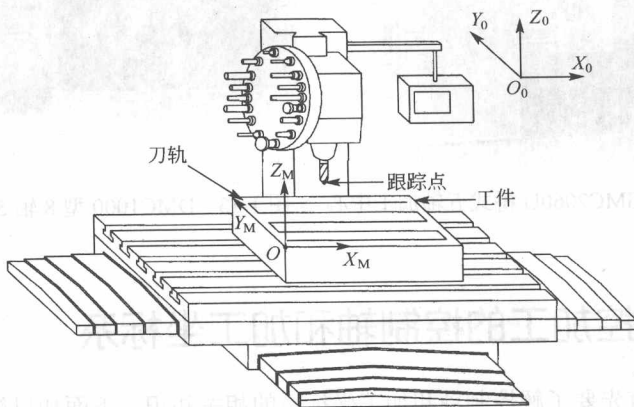


图 1-15 工件原点、编程原点和机械原点

(2) 加工坐标系

实际加工中工件装夹到工作台上的位置是随机的，因此用机床坐标系无法事先确定刀轨与工

件的位置关系,也就是说工件还没有就位,就无法用机床坐标系确定刀轨与工件的切削位置关系。为了解决这个问题就要设置相对坐标系,或者称为加工坐标系,有的称工作坐标系。

编程时计算机里面已准备了工件模型,在模型上找三个相互垂直面为加工基准面,以三个加工基准面的交点为原点建立 X_M 、 Y_M 、 Z_M 加工坐标系,编程时先用加工坐标系确定刀轨与工件模型的切削位置关系。

加工时真实的工件摆放到装夹工作台上,参照工件模型在真实工件上同样建立加工基准面和加工坐标系,使加工坐标系与机床坐标系的方向一致,如图 1-15 所示。接着通过对刀让机床知道加工坐标系原点在机床坐标系的位置。对完刀就自然确定了刀轨在机床坐标系的位置,如刀轨在加工坐标系的位置为 (x,y,z) ,加工坐标系原点在机床坐标系的位置为 $(-X,-Y,-Z)$,则刀轨在机床坐标系的位置坐标为 $(-X+x,-Y+y,-Z+z)$ 。

设置了加工坐标系后可以撇开机床坐标系,在虚拟的计算机里先行完成编程,然后用对刀把加工坐标系的随机位置告诉机床,间接确定了刀轨在机床坐标系的位置,从而解决了工件随机装夹无法事先确定刀轨在机床坐标系中位置的问题。

1.4 五轴数控加工术语和刀具

数控加工中加工工艺参数是数控加工中的关键因素之一,其设置合理与否将严重影响加工效率、刀具寿命和零件的精度等问题。合理选择加工工艺参数应该在保证质量的情况下,追求最大的生产率和最低的加工成本。

1.4.1 铣削术语

① 手工零件编程:手工进行零件加工程序的编制,即从零件图纸分析、工艺分析、加工路线和工艺参数的确定、数控系统所需输入的数据的计算、零件的数控加工程序单的编写至程序的检验均由人工来完成。

② 计算机编程:把加工前的毛坯和完成加工的成品形状、加工刀具尺寸、工件和刀具的材质、人为规定的切削方式和切削参数、机床主运动和进给速度、冷却液的开/关、刀具在库架上的位置等信息输入计算机,经分析计算自动生成用 (X,Y,Z) 坐标值表示的道具运动轨迹、刀具在轨迹上的进给速度和主运动转速以及机床控制指令等代码,完成这些工作就称为计算机编程。

③ 刀具与工件的相对性:以笛卡儿坐标系三个坐标轴 (X,Y,Z) 和绕三个坐标轴转动代码 (A,B,C) 命名的数控种类很多,有的是刀具不动工件作进给运动,有的是刀具和工件同时作进给运动。为了编程的统一,规定把刀具对工件的进给运动和工件对刀具的进给运动都看作是刀具相对工件的进给运动,也就是工件不动,刀具作进给运动。

④ 刀轨:数控加工是刀具相对工件作进给运动,而且要在加工程序规定的轨迹上作进给运动。加工程序规定的轨迹是由许多三维坐标点的连线组成,刀具是沿三维坐标点的连线作进给运动,把三维坐标点的连线称为刀轨。

⑤ 刀轨插补形式:刀轨插补形式是指组成刀轨的每一段线段的线型,也就是说两个坐标点用怎样的线型连接,常用的有直线、圆弧和样条插补。

⑥ 刀具长度补偿:加工中心在加工过程中需要经常更换刀具,而每种刀具长短不一,造成刀具上的跟踪点相对主轴不固定。固定刀具的主轴端面中心相对主轴位置不变,为了编程方便,都统一如图 1-16 所示的以主轴端面中心为基准,编程时输入所用刀具的长度,CAM 系统就会自动在主轴端面中心基准上作 Z 轴方向的补偿,确定跟踪点位置,这就称为刀具的长度补偿。