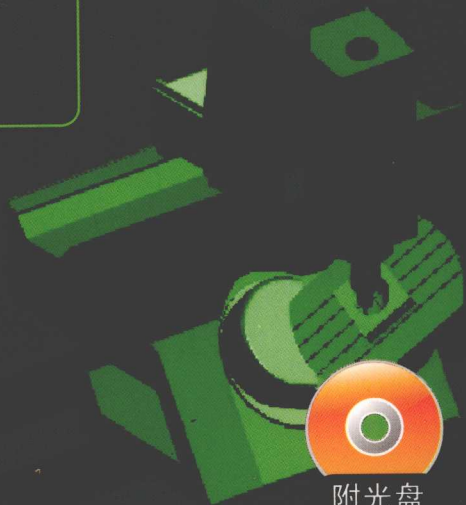
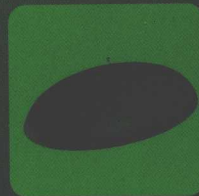
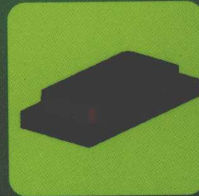
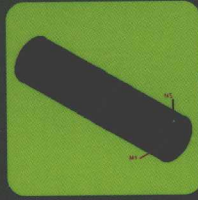
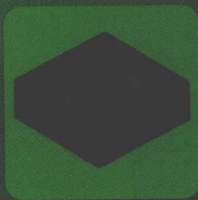
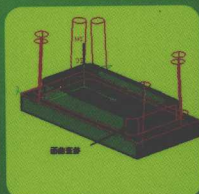


高长银 臧稳通 赵 汶 编著

UG NX6.0

数控五轴加工

实例教程



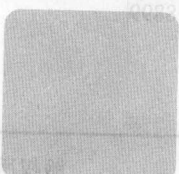
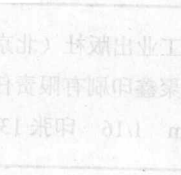
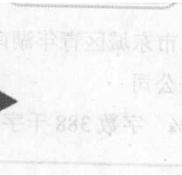
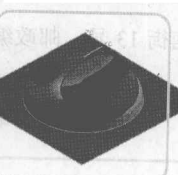
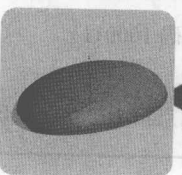
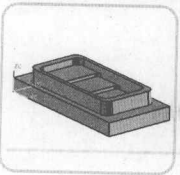
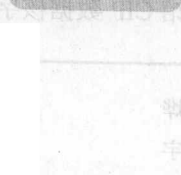
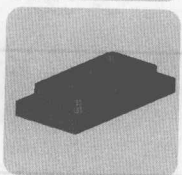
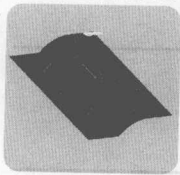
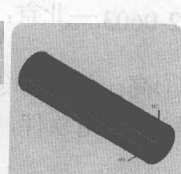
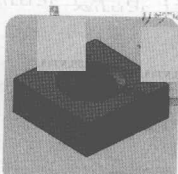
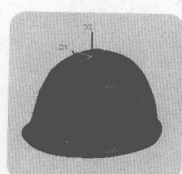
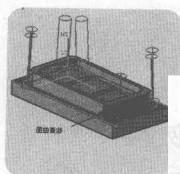
附光盘

高长银 臧稳通 赵 汶 编著

UG NX6.0

数控五轴加工

实例教程



化学工业出版社

北京

35.00元

高长银 臧稳通 赵汶

数控五轴加工实例教程

图书在版编目(CIP)数据

UG NX6.0 数控五轴加工实例教程 / 高长银, 臧稳通, 赵汶编著. —北京: 化学工业出版社, 2009.8

ISBN 978-7-122-06038-9

I. U… II. ①高…②臧…③赵… III. 数控机床-加工-计算机辅助设计-应用软件, UG NX6.0 IV. TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 102275 号

责任编辑: 王 焯

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 蒋 宇

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 13¼ 字数 388 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: 35.00 元

版权所有 违者必究

前言

UG NX 软件作为先进的 CAD/CAM/CAE 集成的大型高端应用软件,广泛应用于航空、航天、汽车、造船、通用机械和电子等工业领域。UG NX6 具备强大的数控加工能力,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。但是市面上关于 UG 五轴加工的图书教程比较少,给广大读者的学习带来了困难。本书就是为了弥补这种不足而编写的。

本书通过加工技术和大量实例结合的形式,深入浅出地介绍了 UG NX 6.0 五轴数控加工的流程、方法和技巧。本书共分 12 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。读者通过学习,将对数控五轴加工有一入门性了解。

第 2 章介绍了 UG NX6.0 用户界面、五轴数控加工的父级组、可变轴曲面轮廓铣的驱动方法、投影矢量和刀轴控制以及顺序铣加工参数设置等。读者通过学习,将对 UG 五轴数控加工的常用操作设置和使用技术有所熟悉和掌握。

第 3 章~第 5 章为五轴数控加工入门实例篇,通过橄榄球曲面、鼠标曲面、料斗 3 个实例分别介绍了可变轴曲面轮廓铣和顺序铣等五轴加工方法的操作流程和简单性应用。

第 6 章~第 9 章为五轴数控加工提高实例篇,通过液化气按钮曲面、充电器凹模、手柄凸模、凸轮 4 个实例,深入讲解了 UG 可变轴曲面轮廓铣和顺序铣加工技术的实际应用。

第 10 章~第 12 章为五轴数控加工经典实例篇,通过整体框、头盔曲面、螺旋叶片 3 个实例,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,大大降低了学习难度,可提高读者学习效率。另外,本书实例选择典型、有代表性,读者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。

本书适合作为数控多轴加工培训教程,适于加工中心操作工自学和提高自己的需要,同时也可作为高职高专数控专业的教材。

本书由高长银、臧稳通(洛阳轴研科技股份有限公司)和赵汶编写,其中高长银编写第 1 章~第 6 章,臧稳通编写第 7 章~第 10 章,赵汶编写第 11 章和第 12 章。另外,赵辉、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、黄小宽等同志参与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,书中难免会有不妥之处,欢迎广大读者及业内人士予以批评指正。

编者

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.....	6
1.3.1 控制轴.....	6
1.3.2 加工坐标系.....	6
1.4 五轴数控加工工艺参数的设置.....	7
1.4.1 铣削术语.....	7
1.4.2 刀具与材料.....	8
1.4.3 切削用量的确定.....	11

第2章 UG NX6.0 五轴加工技术..... 12

2.1 UG NX6.0 五轴加工简介.....	12
2.1.1 UG NX6.0 五轴加工功能.....	12
2.1.2 UG NX6.0 数控加工环境的初始化.....	13
2.1.3 UG NX6.0 数控加工用户界面.....	14
2.1.4 UG NX6.0 五轴加工的一般流程.....	15
2.2 UG NX6.0 五轴加工父级组.....	17
2.2.1 创建程序组.....	17
2.2.2 创建刀具组.....	17
2.2.3 创建几何组.....	19
2.2.4 创建方法组.....	27
2.3 可变轴曲面轮廓铣.....	29
2.3.1 可变轴曲面轮廓铣介绍.....	29
2.3.2 驱动方法.....	30
2.3.3 投影矢量.....	44
2.3.4 刀轴控制.....	47
2.4 顺序铣.....	53
2.4.1 顺序铣介绍.....	53

2.4.2 “顺序铣”对话框	53
2.4.3 顺序铣操作参数	55
2.5 管理刀具路径	61
2.5.1 刀具路径生成	61
2.5.2 刀具路径验证	62
2.5.3 刀具路径后处理	62

第3章 入门实例1——橄榄球曲面数控加工 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	66
3.3.1 初始化加工环境	66
3.3.2 创建加工父级组	66
3.3.3 型腔铣粗加工	68
3.3.4 可变轴曲面轮廓铣精加工	71
3.3.5 刀具路径后处理	75

第4章 入门实例2——鼠标曲面 数控加工 76

4.1 实例分析	76
4.2 加工流程与每步所用知识点	76
4.3 具体的加工操作过程	78
4.3.1 初始化加工环境	78
4.3.2 创建加工父级组	78
4.3.3 型腔铣粗加工	81
4.3.4 可变轴曲面轮廓铣精加工	83
4.3.5 刀具路径后处理	87

第5章 实例3——料斗数控加工 88

5.1 实例分析	88
5.2 加工流程与每步所用知识点	88
5.3 具体的加工操作过程	90
5.3.1 初始化加工环境	90
5.3.2 创建加工父级组	90
5.3.3 型腔铣粗加工	93
5.3.4 顺序铣精加工	95
5.3.5 刀具路径后处理	102

第6章 提高实例1——液化气灶按钮 数控加工 103

6.1 实例分析	103
----------	-----

6.2 加工流程与每步所用知识点	103
6.3 具体的加工操作过程	105
6.3.1 初始化加工环境	105
6.3.2 创建加工父级组	105
6.3.3 型腔铣粗加工	108
6.3.4 可变轴曲面轮廓铣精加工	110
6.3.5 清根加工	114
6.3.6 刀具路径后处理	116

第7章 提高实例2——充电器凹模数控加工

7.1 实例分析	118
7.2 加工流程与每步所用知识点	118
7.3 具体的加工操作过程	120
7.3.1 初始化加工环境	120
7.3.2 创建加工父级组	121
7.3.3 型腔铣粗加工	123
7.3.4 可变轴曲面轮廓铣精加工	126
7.3.5 清角加工	130
7.3.6 刀具路径后处理	132

第8章 提高实例3——手柄凸模 数控加工

8.1 实例分析	133
8.2 加工流程与每步所用知识点	133
8.3 具体的加工操作过程	135
8.3.1 初始化加工环境	135
8.3.2 创建加工父级组	136
8.3.3 型腔铣粗加工	138
8.3.4 可变轴曲面轮廓铣精加工	140
8.3.5 清根加工	144
8.3.6 刀具路径后处理	145

第9章 提高实例4——凸轮数控加工

9.1 实例分析	147
9.2 加工流程与每步所用知识点	147
9.3 具体的加工操作过程	149
9.3.1 初始化加工环境	149
9.3.2 创建加工父级组	149
9.3.3 可变轴曲面轮廓铣精加工	151
9.3.4 刀具路径变换	154
9.3.5 刀具路径后处理	156

第 10 章 经典实例 1——整体框

数控加工 157

10.1 实例分析 157

10.2 加工流程与每步所用知识点 157

10.3 具体的加工操作过程 159

10.3.1 初始化加工环境 159

10.3.2 创建加工父级组 160

10.3.3 内部平面铣加工 162

10.3.4 外部平面铣加工 165

10.3.5 顺序铣精加工 170

10.3.6 刀具路径后处理 178

第 11 章 经典实例 2——头盔曲面数控加工 179

11.1 实例分析 179

11.2 加工流程与每步所用知识点 179

11.3 具体的加工操作过程 181

11.3.1 初始化加工环境 181

11.3.2 创建加工父级组 181

11.3.3 型腔铣粗加工 185

11.3.4 等高轮廓铣半精加工 187

11.3.5 可变轴曲面轮廓铣精加工 189

11.3.6 刀具路径后处理 193

第 12 章 经典实例 3——螺旋叶片

数控加工 194

12.1 实例分析 194

12.2 加工流程与每步所用知识点 194

12.3 具体的加工操作过程 196

12.3.1 初始化加工环境 196

12.3.2 创建加工父级组 196

12.3.3 叶片上表面精加工 199

12.3.4 叶片下表面精加工 202

12.3.5 叶片外侧面精加工 206

12.3.6 刀具路径后处理 210

参考文献 211

第 1 章 数控五轴加工专业知识

航空航天、发电、船舶等产品具有复杂的型面，加工此类复杂型面零件通常需要使用五轴加工技术来实现。而 UG NX6.0 具有强大的五轴加工能力，使用它进行五轴加工可以提高产品精度，缩短加工时间，提高工作效率，因此备受技术人员推崇。本章简单介绍一下五轴加工的基本知识，引导读者入门。



本章知识要点：

- 了解五轴数控加工的原理和特点；
- 了解常用五轴数控加工机床结构和性能；
- 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，所以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。图 1-1 为典型的五轴联动数控机床。

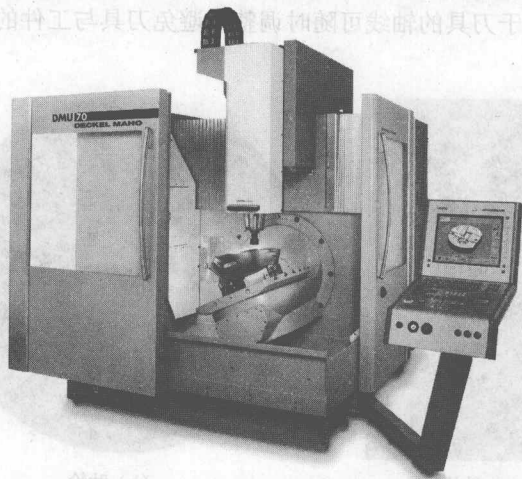


图 1-1 五轴联动数控机床

五轴数控加工的原理可由图 1-2 来说明。

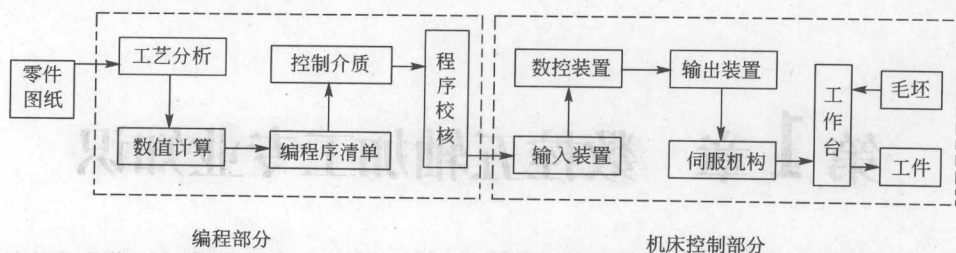


图 1-2 数控加工原理框图

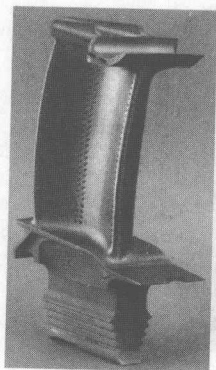
在数控加工零件时，首先将被加工零件的几何信息和工艺信息数字化，根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数、刀具参数，再按数控机床规定采用的代码和程序格式，将与加工零件有关的信息如工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、切削参数（主轴转速、进给率、背吃刀量）以及辅助操作（换刀、主轴转动方向）等编制成数控加工程序，然后将程序代码输入到机床数控系统。

数控系统由加工程序输入工具、译码器、数据处理器、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。

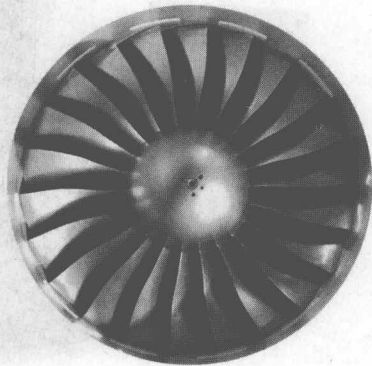
1.1.2 五轴数控加工特点

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，为了提高产品性能和质量，现代产品中不仅航空、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 X 、 Y 、 Z 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力矩。

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。

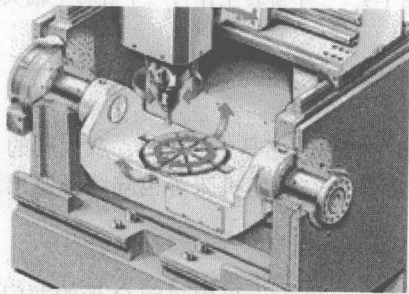


图 1-4 工作台回转的立式五轴加工中心

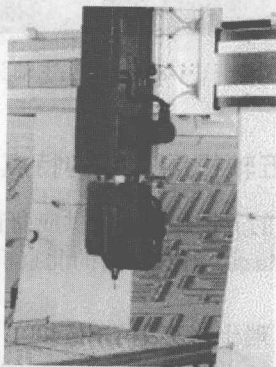


图 1-5 主轴头回转的立式五轴加工中心

(2) 卧式五轴加工中心

图 1-6 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 $+20^{\circ}\sim-100^{\circ}$ 。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。

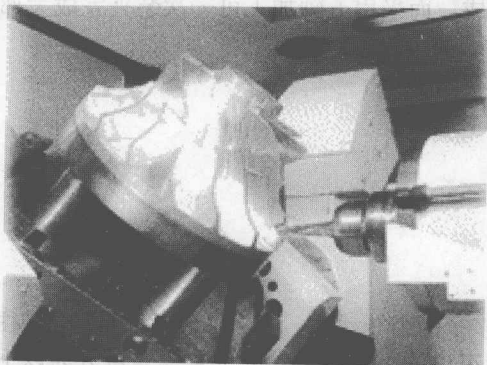


图 1-6 工作台回转的卧式五轴加工中心加工叶轮

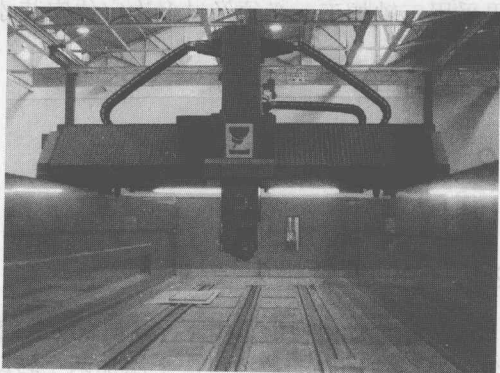


图 1-7 双旋转主轴头的机床

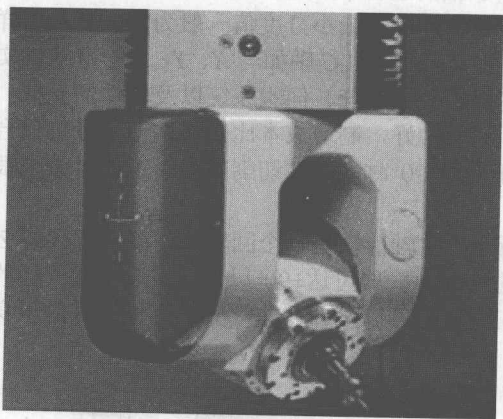


图 1-8 双摆头主轴头

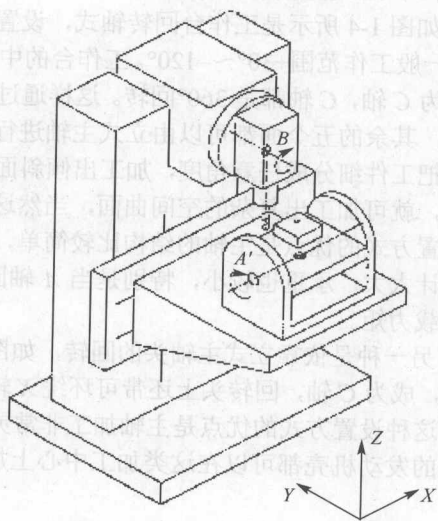


图 1-9 一个旋转工作台一个旋转主轴头的机床

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 HSM400U 高速五轴加工中心

图 1-10 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 $1500^\circ/\text{s}$ 、加速度可达 $17200^\circ/\text{s}^2$ ，主轴速度 $60000\text{r}/\text{min}$ ，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

图 1-11 为 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 $10\text{m}/\text{s}^2$ 的加速度和 $80\text{m}/\text{min}$ 的快移速度。利用 $8000\text{r}/\text{min}$ 的标配主轴和最高速度为 $42000\text{r}/\text{min}$ 的选配主轴，经过一次装夹即可完成工件加工。

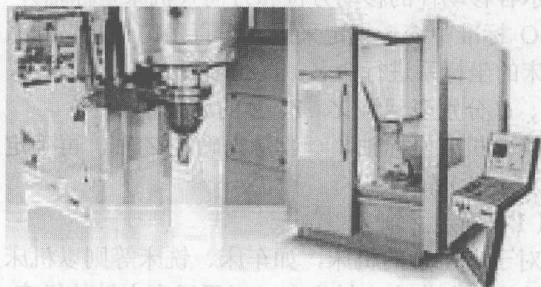
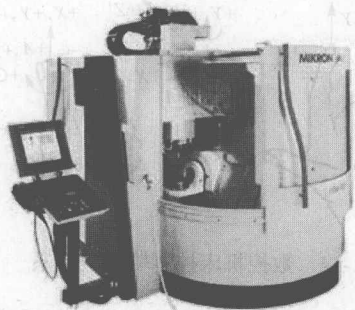


图 1-10 瑞士米克朗 HSM400U 高速五轴加工中心 图 1-11 DMU 50 eVo linear 五轴加工中心

(3) 沈阳机床 GMC2060U 桥式五轴加工中心

图 1-12 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 $30\text{m}/\text{min}$ ，A、C 轴具有 $10\text{r}/\text{min}$ ($60\text{r}/\text{min}$)；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

图 1-13 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、B 等 8 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。

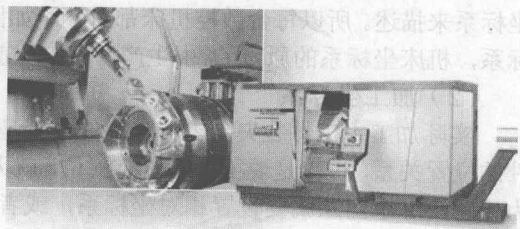
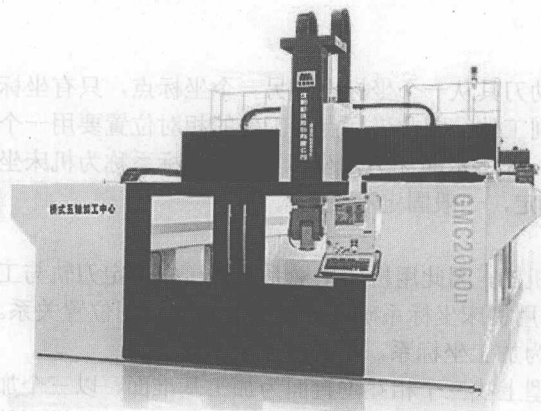


图 1-12 沈阳机床 GMC2060U 桥式五轴加工中心 图 1-13 DMC1000 型 8 轴 5 联动车铣复合加工中心

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（机床坐标轴），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， A 、 B 、 C 分别表示绕 X 、 Y 、 Z 的旋转轴。

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，则规定操作者面对主轴，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，则规定操作者面对主轴，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。

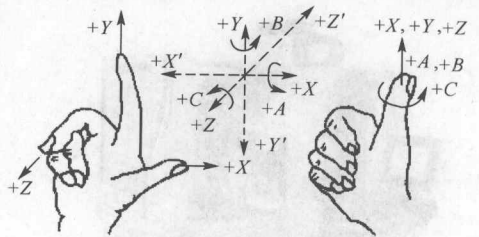


图 1-14 数控机床控制轴的坐标系

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。

(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。

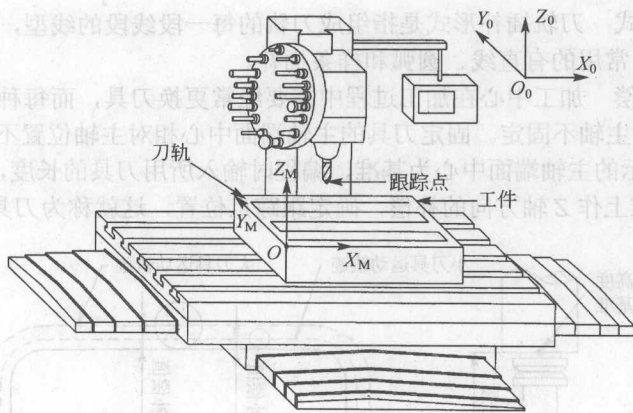


图 1-15 工件原点、编程原点和机械原点

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 五轴数控加工工艺参数的设置

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、机床主运动和进给运动速度、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 坐标值表示的刀具运动轨迹、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。

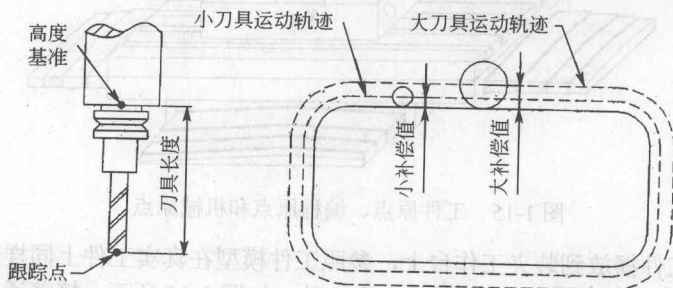


图 1-16 刀具的长度和半径补偿

⑦ 刀具的半径补偿 图 1-16 所示用两种半径不同的刀具都可以对工件侧面进行切削，刀具跟踪点不是沿着工件侧面轮廓进行切削，而是沿侧面轮廓偏置一个刀具半径的轨迹进行切削。不管刀具半径大小如何，工件侧面轮廓是不变的，为了编程的方便，切削侧面轮廓的刀轨就由侧面轮廓和刀具半径偏置量决定，编程时只要输入要作刀具半径补偿的指令，CAM 系统自动以工件侧面轮廓为基准侧向作刀具半径补偿，这就称为刀具半径补偿。

⑧ 刀位点数据 刀位点数据是指准确确定刀具在加工过程中每一位置所需的坐标值。一般来说，刀具在工件坐标系中的准确位置可以用刀具中心点和刀轴矢量来进行描述，其中刀具中心点可以是刀心点（如球心），也可以是刀尖点。

⑨ 切触点与切触点曲线

a. 切触点 在曲面加工过程中，切削过程中刀具与工件曲面的理论接触点称为切触点。切触点是变化的。从几何学的角度来看，刀具与工件曲面之间的接触关系均为点接触。不同的刀具形状与工件的接触点位置是不一样的，如图 1-17 所示。

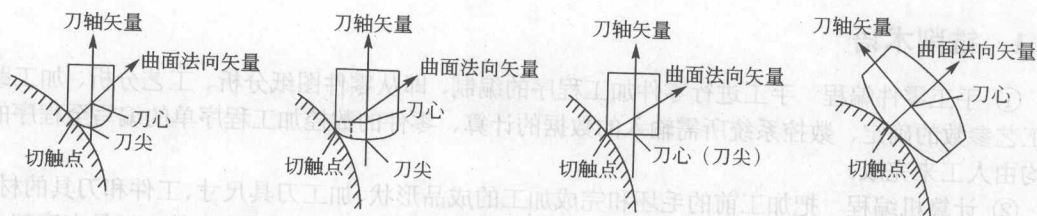


图 1-17 切触点形式

b. 切触点曲线 切触点曲线指刀具在加工过程中由切触点构成的曲线。切触点曲线是生成刀具轨迹的基本要素。切触点曲线可以是曲面上实在的曲线，也可以是对切触点的约束条件所隐含的“虚拟”曲线。

1.4.2 刀具与材料

(1) 刀具材料

刀具材料对刀具使用寿命、加工效率、加工质量和加工成本都有很大影响，因此必须合理选

择。常用的刀具材料包括以下几种。

① 高速钢 高速钢全称高速合金工具钢,也称为白钢。高速钢是含有较多钨、钼、铬、钒等元素的高合金工具钢。具有较高的硬度(热处理硬度达62~67HRC)和耐热性(切削温度可达550~600℃),切削速度比碳素工具钢和合金工具钢高1~3倍(因此而得名),刀具耐用度高10~40倍,甚至更多,可以加工从有色金属到高温合金的范围广泛的材料。

② 硬质合金 硬质合金是用高耐热性和高耐磨性的金属碳化物(碳化钨、碳化铁、碳化钽、碳化铌等)与金属粘结剂(钴、镍、钼等)在高温下烧结而成的粉末冶金制品。常用的硬质合金有钨钴类(YG类)、钨钛钴类(YT类)和通用硬质合金(YW类)3类。

a. 钨钴类硬质合金(YG类):主要由碳化钨和钴组成,抗弯强度和冲击韧性较好,不易崩刃,很适宜切削切屑呈崩碎状的铸铁等脆性材料;YG类硬质合金的刃磨性较好,刃口可以磨得较锋利,故切削有色金属及合金的效果也较好。

b. 钨钛钴硬质合金(YT类):主要由碳化钨、碳化钛和钴组成。由于YT类硬质合金的抗弯强度和冲击韧性较差,故主要用于切削切屑一般呈带状的普通碳钢及合金钢等塑性材料。

c. 钨钛钽(铌)钴类硬质合金(YW类):在普通硬质合金中加入了碳化钽或碳化铌,从而提高了硬质合金的韧性和耐热性,使其具有较好的综合切削性能,主要用于不锈钢、耐热钢、高锰钢的加工,也适用于普通碳钢和铸铁的加工,因此被称为通用型硬质合金。

③ 涂层刀具 涂层刀具是在韧性较好的硬质合金或高速钢刀具基体上,涂覆一薄层耐磨性高的难熔金属化合物而获得的。常用的涂层材料有碳化钛、氮化钛、氧化铝等。碳化钛的硬度比氮化钛高,抗磨损性能好,对于会产生剧烈磨损的刀具,碳化钛涂层较好。氮化钛与金属的亲合力小,润湿性能好,在容易产生粘结的条件下,氮化钛涂层较好。在高速切削产生大量热量的场合,以采用氧化铝涂层为好,因为氧化铝在高温下有良好的热稳定性能。

涂层硬质合金刀具的耐用度至少可提高1~3倍,涂层高速钢刀具的耐用度则可提高2~10倍。加工材料的硬度愈高,则涂层刀具的效果愈好。

④ 陶瓷材料 陶瓷材料是以氧化铝为主要成分,经压制成形后烧结而成的一种刀具材料。它的硬度可达到HRA91~95,在1200℃的切削温度下仍可保持HRA80的硬度。另外,它的化学惰性大,摩擦因数小,耐磨性好,加工钢件时的寿命为硬质合金的10~12倍。其最大缺点是脆性大,抗弯强度和冲击韧性低。因此,它主要用于半精加工和精加工高硬度、高强度钢和冷硬铸铁等材料。常用的陶瓷刀具材料有氧化铝陶瓷、复合氧化铝陶瓷以及复合氧化硅陶瓷等。

⑤ 人造金刚石 人造金刚石是通过合金触媒的作用,在高温高压下由石墨转化而成。人造金刚石具有极高的硬度(显微硬度可达10000HV)和耐磨性,其摩擦因数小,切削刃可以做得非常锋利。因此,用人造金刚石做刀具可以获得很高的加工表面质量,多用于在高速下精细车削或镗削有色金属及非金属材料。尤其是用它切削加工硬质合金、陶瓷、高硅铝合金及耐磨塑料等高硬度、高耐磨性的材料时,具有很大的优越性。

⑥ 立方氮化硼(CBN) 立方氮化硼是由立方氮化硼在高温高压下加入催化剂转变而成的超硬刀具材料。它是20世纪70年代才发展起来的一种新型刀具材料,立方氮化硼的硬度很高(可达8000~9000HV),并具有很高的热稳定性(在1370℃以上时才由立方晶体转变为六面晶体而开始软化),它最大的优点是在高温(1200~1300℃)时也不易与钛族金属起反应。因此,它能胜任淬火钢、冷硬铸铁的粗车和精车,同时还能高速切削高温合金、热喷涂材料、硬质合金及其他难加工材料。

(2) 铣刀种类

数控加工中要选择合适的铣刀类型,刀具类型的选择直接影响到加工范围和加工质量,如图1-18所示。