

工程软件多轴数控加工典型实例详解丛书

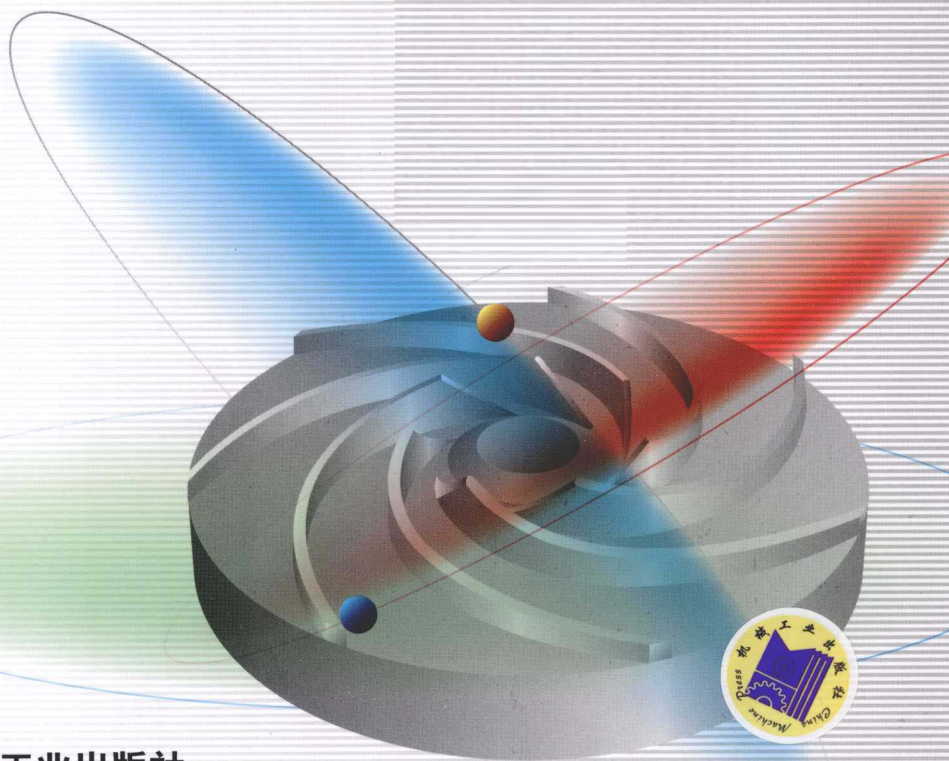
CATIA V5 R20

多轴数控加工

典型实例详解



高长银 赵 辉 黎胜容 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



工程软件多轴数控加工典型实例详解丛书

CATIA V5 R20

多轴数控加工典型实例详解

高长银 赵 辉 黎胜容 主编



机械工业出版社

本书从工程实用的角度出发,通过大量实例,深入浅出地介绍了 CATIA V5 R20 多轴数控加工的流程、方法和技巧。全书共包括 7 章,第 1、2 章为基础知识,介绍了多轴数控加工的基本原理与工艺,以及多轴数控铣削和车削加工的操作技术,引导读者入门;第 3~7 章为多轴加工实例解析,具体包括三轴铣削、四轴铣削、五轴铣削、多轴车削、车铣复合数控加工,几乎涉及了所有的多轴加工类型,实例典型、丰富,指导性强,读者即使此前毫无基础,都可以迅速实现从入门到精通。

本书含光盘一张,其中的内容包含书中所有素材源文件和实例操作的音视频,方便读者深入理解和巩固知识。本书既适合企、事业单位的数控加工人员使用,同时也可作为大中专院校相关专业学生的理想教材。是读者学习多轴加工的必备宝典。

图书在版编目(CIP)数据

CATIA V5 R20 多轴数控加工典型实例详解/高长银,赵辉,黎胜容主编. —北京:机械工业出版社,2012. 6

(工程软件多轴数控加工典型实例详解丛书)

ISBN 978-7-111-38491-5

I. ①C… II. ①高… ②赵… ③黎… 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 (2012) 第 106450 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 邓 铤

版式设计:霍永明 责任校对:姜 婷

封面设计:姚 毅 责任印制:张 楠

北京富生印刷厂印刷

2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·27.75 印张·541 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-38491-5

ISBN 978-7-89433-552-4 (光盘)

定价:66.00 元 (含 IDVD)



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010)88379733

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

多轴数控加工是近几年发展起来的一项热门技术，第四届全国数控大赛的内容就是以多轴数控加工为主，说明了学习多轴数控加工的必要性和迫切性。

CATIA 是目前世界上应用较为广泛的 CAD/CAM 软件，具有强大的多轴数控加工功能。但目前市场上关于 CATIA 多轴数控加工的书比较少，尤其缺少实例类教程，远远满足不了广大读者的学习需求。本书正是为了弥补这种不足而编写的。

本书内容从零开始，循序渐进，具体安排形式为：多轴数控加工专业知识→CATIA V5 R20 多轴数控加工基础→CATIA V5 R20 多轴数控铣削加工实例→CATIA V5 R20 多轴车削加工实例→CATIA V5 R20 车铣复合加工实例。实例丰富、典型，深入浅出，工程实践性强。

具体内容安排如下：

第 1 章为多轴数控加工专业知识，概要介绍了铣削、车削加工原理、工艺以及多轴数控加工机床，使读者对多轴加工技术的特点有一大致的了解。

第 2 章为 CATIA V5 R20 多轴数控加工基础，分别介绍了数控加工界面、设置管理、一般流程、铣削加工技术和车削加工技术。通过学习，读者将掌握 CATIA V5 R20 数控加工的常用技术，为后面实例学习打好基础。

第 3~5 章为 CATIA V5 R20 多轴铣削加工实例。其中三轴数控铣削加工实例包括鼠标凸模加工、泵盖凹模加工、飞机引擎罩凸模加工，四轴数控铣削加工实例包括铣刀刀槽加工、凸轮加工、叶片加工，五轴数控铣削加工实例包括印章五轴加工以及开槽五轴加工。

第 6~7 章为 CATIA V5 R20 多轴车削和车铣复合数控加工实例，包括球头轴加工、螺纹套筒加工、分度盘加工、花键轴加工。其中车铣复合加工是学习的难点。

与同类书相比，本书的主要特点有：

1) 细分多轴加工技术，通过大量工程实例，讲解 CATIA V5 R20 多轴数控加工的技术特点与实际应用，集专业性、实用性于一体。

2) 实例安排循序渐进，从入门到提高，符合读者学习过程；讲解由浅入深，降低学习门槛，提高读者的学习效率。

3) 本书光盘提供实例操作的语音视频，方便读者上机操作练习，深入理解

与巩固知识，扩大学习效果。

本书针对 CATIA V5 R20 的初、中级用户编写，特别适合读者自学参考，既适合企、事业的数控加工人员参考使用，同时也可作为大中专院校相关专业学生的理想教材。

本书由高长银、赵辉、黎胜容主编，参与编写的还有郑贞平、黄云林、吕斌杰、蒋伟、邱伟、孙智俊、涂志涛、刘红霞、刘铁军、何文斌、邓力、王乐、杨学围、张秋冬、董延、郭志强、毕晓勤、夏劲松、刘汝芳，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

目 录

前言

第 1 章 多轴数控加工专业知识	1
1.1 数控加工的基本原理	1
1.2 数控铣削加工原理与工艺	3
1.2.1 三轴数控加工原理	4
1.2.2 五轴数控加工原理	5
1.2.3 控制轴和加工坐标系	8
1.2.4 数控铣削加工工艺制订	9
1.3 数控车削加工原理与工艺	10
1.3.1 数控车削加工原理	11
1.3.2 数控车削加工的用途和加工对象	12
1.3.3 数控车削加工工艺制订	13
1.3.4 数控车削加工切削用量的选择	16
1.4 数控线切割加工原理与工艺	17
1.4.1 线切割机床的加工原理	17
1.4.2 线切割加工的特点与应用范围	18
1.4.3 四轴数控线切割加工原理	19
1.4.4 数控线切割加工的工艺内容	19
1.5 多轴数控加工机床	20
1.5.1 三轴数控加工机床	20
1.5.2 四轴数控加工机床	21
1.5.3 五轴数控加工机床	23
1.5.4 车铣复合加工机床	23
1.6 本章小结	25
第 2 章 CATIA V5 R20 多轴数控加工基础	26
2.1 CATIA V5 R20 数控加工界面及设置	26
2.1.1 进入 CATIA V5 R20 加工模块	26
2.1.2 CATIA V5 R20 数控加工用户界面	27
2.2 CATIA V5 R20 数控加工的一般流程	32

2.2.1 创建毛坯零件	33
2.2.2 定义零件操作	34
2.2.3 定义加工参数	38
2.2.4 刀具路径仿真与播放模式	44
2.3 CATIA V5 R20 三轴铣削加工技术 (3 Axis Surface Machining)	45
2.3.1 等高线粗加工 (Roughing)	46
2.3.2 投影粗加工 (Sweep roughing)	57
2.3.3 等高线精加工 (ZLevel)	61
2.3.4 投影精加工 (Sweeping)	66
2.3.5 轮廓驱动精加工 (Contour-driven)	70
2.3.6 沿面精加工 (Isoparametric Machining)	76
2.3.7 螺旋精加工 (Spiral Milling)	78
2.3.8 先进精加工 (Advanced Finishing)	81
2.3.9 清根加工 (Pencil)	84
2.4 CATIA V5 R20 多轴铣削加工技术 (Multi Axis Surface Machining)	86
2.4.1 刀轴方向控制	86
2.4.2 多轴曲线加工 (MultiAxis Curve Machining)	90
2.5 CATIA V5 R20 车削加工技术	93
2.5.1 粗车加工 (Rough Turning)	94
2.5.2 沟槽加工 (Groove Turning)	104
2.5.3 空槽加工 (Recess Turning)	107
2.5.4 轮廓精车加工 (Profile Finish Turning)	109
2.5.5 沟槽精车加工 (Groove Finish Turning)	111
2.5.6 螺纹加工 (Thread Turning)	112
2.6 本章小结	114
第3章 CATIA V5 R20 三轴铣削加工实例	115
3.1 入门实例——鼠标凸模三轴数控铣削加工	115
3.1.1 实例描述	115
3.1.2 加工方法分析	115
3.1.3 加工流程与所用知识点	116
3.1.4 具体操作步骤	117
3.1.5 实例总结	145
3.2 提高实例——泵盖凹模三轴数控铣削加工	145
3.2.1 实例描述	145

3.2.2 加工方法分析	145
3.2.3 加工流程与所用知识点	146
3.2.4 具体操作步骤	148
3.2.5 实例总结	188
3.3 经典实例——飞机引擎罩凸模三轴数控铣削加工	189
3.3.1 实例描述	189
3.3.2 加工方法分析	189
3.3.3 加工流程与所用知识点	189
3.3.4 具体操作步骤	191
3.3.5 实例总结	211
第 4 章 CATIA V5 R20 四轴铣削加工实例	212
4.1 入门实例——铣刀刀槽四轴数控铣削加工	212
4.1.1 实例描述	212
4.1.2 加工方法分析	212
4.1.3 加工流程与所用知识点	213
4.1.4 具体操作步骤	214
4.1.5 实例总结	226
4.2 提高实例——空间凸轮四轴数控铣削加工	226
4.2.1 实例描述	226
4.2.2 加工方法分析	226
4.2.3 加工流程与所用知识点	227
4.2.4 具体操作步骤	228
4.2.5 实例总结	243
4.3 经典实例——叶片四轴数控铣削加工	244
4.3.1 实例描述	244
4.3.2 加工方法分析	244
4.3.3 加工流程与所用知识点	244
4.3.4 具体操作步骤	245
4.3.5 实例总结	254
第 5 章 CATIA V5 R20 五轴铣削加工实例	255
5.1 入门实例——印章五轴数控铣削加工	255
5.1.1 实例描述	255
5.1.2 加工方法分析	255
5.1.3 加工流程与所用知识点	255
5.1.4 具体操作步骤	257

5.1.5 实例总结	281
5.2 提高实例——开槽零件五轴数控铣削加工	281
5.2.1 实例描述	281
5.2.2 加工方法分析	282
5.2.3 加工流程与所用知识点	282
5.2.4 具体操作步骤	284
5.2.5 实例总结	319
第 6 章 CATIA V5 R20 车削加工实例	320
6.1 入门实例——球头轴数控车削加工	320
6.1.1 实例描述	320
6.1.2 加工方法分析	320
6.1.3 加工流程与所用知识点	320
6.1.4 具体操作步骤	322
6.1.5 实例总结	349
6.2 提高实例——螺纹套筒数控车削加工	349
6.2.1 实例描述	349
6.2.2 加工方法分析	349
6.2.3 加工流程与所用知识点	350
6.2.4 具体操作步骤	351
6.2.5 实例总结	378
第 7 章 CATIA V5 R20 车铣复合加工实例	379
7.1 入门实例——分度盘车铣复合数控加工	379
7.1.1 实例描述	379
7.1.2 加工方法分析	379
7.1.3 加工流程与所用知识点	380
7.1.4 具体操作步骤	381
7.1.5 实例总结	405
7.2 提高实例——花键轴车铣复合数控加工	405
7.2.1 实例描述	405
7.2.2 加工方法分析	405
7.2.3 加工流程与所用知识点	405
7.2.4 具体操作步骤	407
7.2.5 实例总结	435

第 1 章 多轴数控加工专业知识

本章将介绍数控加工理论专业知识，包括数控铣削、车削、线切割加工的基本知识以及数控加工工艺参数的设置等内容，使读者对多轴数控加工有个概要性的了解。

1.1 数控加工的基本原理

采用数控加工能高效、高精度地加工复杂的零件，特别是较为复杂的曲面型芯和型腔零件。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，脉冲电流促使伺服电动机产生运动。伺服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作定量运动的伺服电动机是实现数控加工的基本条件。

固定在非数控制域自定心卡盘上的工件随主轴作旋转主运动，固定在刀架溜板上的刀具由手工操作进行相对工件的二维进给运动实行切削；普通铣床是固定在工作台上的刀具随主轴作旋转主运动，装夹在工作台上的工件由手工操作进行相对刀具的三维进给运动实行切削。为了实现数控加工，按普通机床切削模式，用旋转伺服电动机通过传动精度较高的同步带直接驱动主轴作回转主运动，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。同样用旋转伺服电动机驱动精度较高的滚珠丝杠螺母副，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伺服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、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。

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。先根据零件的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，例如工件的尺寸、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。

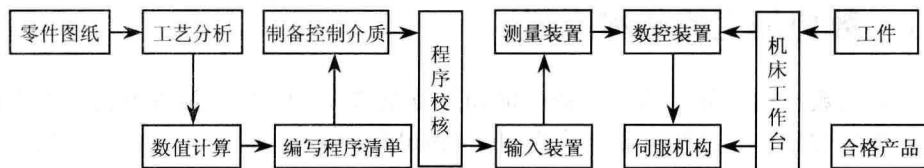


图 1-1 数控加工过程

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屑,是否需要退刀清理切屑再继续进行,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,特别是在高精度加工时影响非常明显。

(5) 数控加工工艺的特殊要求

1) 由于数控机床较普通机床的刚度 high,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。

2) 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;由于在数控机床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。

3) 由于数控加工的零件形状比较复杂,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的划分工序、选择设备等重要内容对于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,其关键在于确定进给路线及生成刀具运动轨迹。

1.2 数控铣削加工原理与工艺

数控铣削加工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 轴坐标联动加工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、伺服电动机、伺服装置、数控系统等组成。

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动机驱动主轴旋转时，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，都是靠伺服电动机驱动滚珠丝杠来实现的。伺服装置用于驱动伺服电动机。控制器用于输入零件加工程序和控制机床工作状态。控制电源用于向伺服装置和控制器供电。

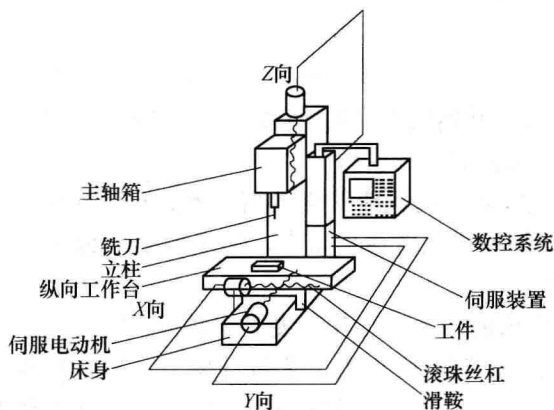


图 1-2 数控铣床的基本组成

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，向伺服装置传送指令；伺服装置向伺服电动机发出控制信号；主轴电动机使刀具旋转；X、Y 和 Z 向的伺服电动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，首先需要了解五轴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（3 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。

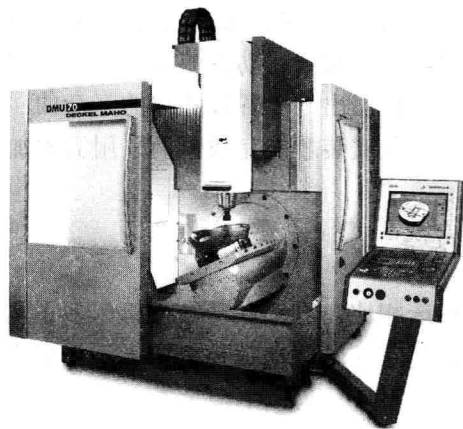
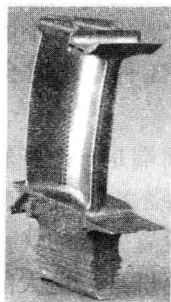


图 1-3 五轴联动数控机床

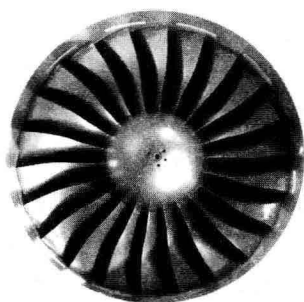
1. 五轴数控加工特点

在五轴数控加工中，一台机床至少有 5 个坐标轴。5 个坐标轴可在计算机控制下联合工作。五轴数控加工具有以下特点^[1]：

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，例如航空发动机和汽轮机的叶片、叶轮等，如图 1-4 所示。如果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。



叶片



叶轮

图 1-4 复杂的自由曲面零件

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,不仅包括航空、航天和运载工具的产品,而且包括精密仪器、仪表、运动器械等产品,其零件都越来越多地采用整体材料铣成,而且还要加工出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,并不仅仅是在三轴联动数控机床上添加两个转动轴。五轴数控加工机床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

1) 工作台回转轴式,如图 1-5 所示。设置在床身上的工作台可以环绕 X 轴回转,定义为 A 轴。 A 轴一般工作范围为 $-120^{\circ} \sim +30^{\circ}$ 。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 轴可以 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 轴如果与 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,工件切削时会给工作台带来很大的承载力矩。

2) 立式主轴头回转式,如图 1-6 所示。主轴前端是一个回转头,能自行环绕 Z 轴回转 360° ,成为 C 轴。回转头上还带可环绕 X 轴回转的 A 轴,一般回转角可达 $\pm 90^{\circ}$ 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。

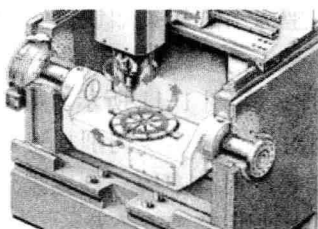


图 1-5 工作台回转的立式五轴加工中心

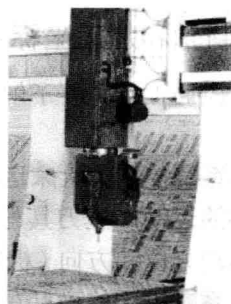


图 1-6 立式主轴头回转的五轴加工中心

(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 轴一般工作范围为 $-100^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。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 1-8~图 1-10 所示。

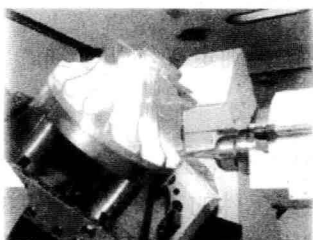


图 1-7 工作台回转的卧式五轴加工中心叶轮

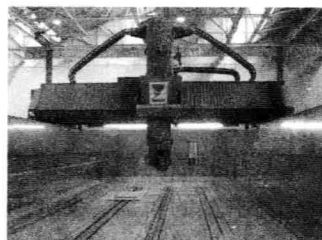


图 1-8 双旋转主轴头机床

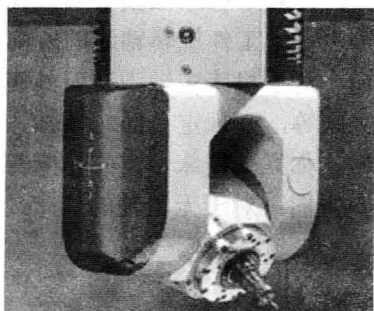


图 1-9 双摆头主轴头

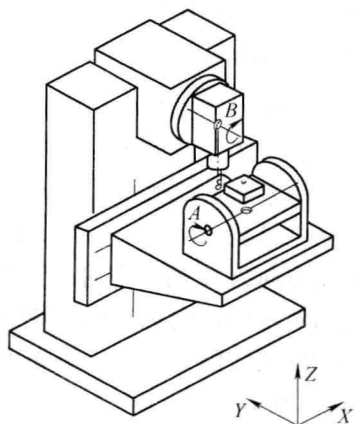


图 1-10 一个旋转工作台一个旋转主轴头机床

1.2.3 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。

由数控系统控制的机床运动轴称为控制轴，如图 1-11 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，旋转轴用 A 、 B 、 C 分别表示绕 X 、 Y 、 Z 旋转的旋转轴。

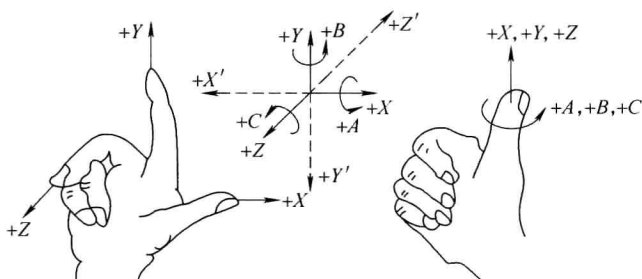


图 1-11 数控系统的控制轴

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，例如刨床，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。