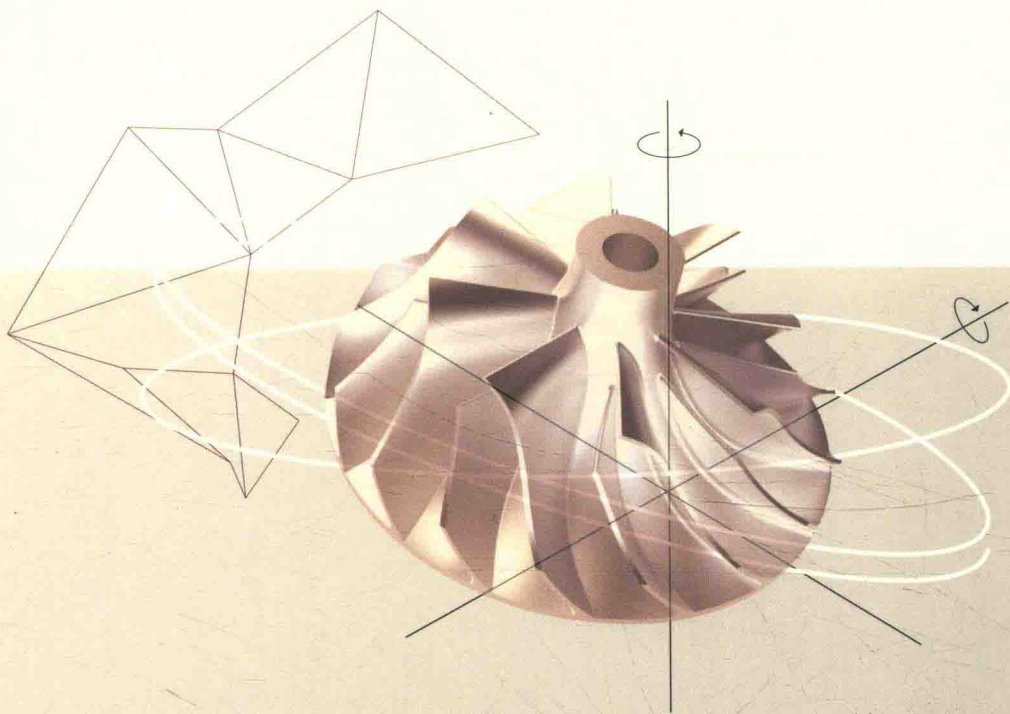


“十三五”高端数控技术高技能应用型人才培  
养系列精品教材

顾问 李培根 邵新宇 陈吉红



# 五轴数控加工

## 编程、工艺及实训案例

编著 周云曦 苒晓兵

主审 宋放之 杨建中

“十三五”高端数控技术高技能应用型人才培养系列精品教材

顾 问 李培根 邵新宇 陈吉红

## 五轴数控加工编程、工艺及实训案例

编 著 周云曦 苒晓兵  
参 编 肖 明 杨 进 孙海亮  
金 磊 李春城 杨冰峰  
主 审 宋放之 杨建中

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 简 介

本书以项目为制体,结合编著者长期五轴数控加工的实践经验,采用典型案例引导、理论分析、突出技能应用的方法进行编写。

内容由浅入深,循序渐进,详细讲解了五轴数控加工中心的工作原理、工艺方法和编程技巧。精心设计了端面铣刀、镂空足球、大力神杯和径向叶轮四个五轴加工经典案例,深入浅出、图文并茂地讲解了运用Cimatron软件编制五轴加工程序的方法和步骤。通过分析对比多轴定向加工转换指令在配备华中 HNC-8 数控系统、SIEMENS840D 数控系统和 HEIDENHAIN530 数控系统的五轴加工中心上的应用过程,进一步阐述了 RTCP 功能的运用技巧。

### 图书在版编目(CIP)数据

五轴数控加工编程、工艺及实训案例/周云曦,苒晓兵编著. —武汉:华中科技大学出版社,2017.6  
“十三五”高端数控技术高技能应用型人才培养系列精品教材  
ISBN 978-7-5680-2619-2

I. ①五… II. ①周… ②苒… III. ①数控机床-程序设计-教材 ②数控机床-操作-教材  
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 034086 号

### 五轴数控加工编程、工艺及实训案例

周云曦 苒晓兵 编著

Wuzhou Shukong Jiagong Biancheng Gongyi ji Shixun Anli

策划编辑:俞道凯

责任编辑:吴 晗

封面设计:周惟为

责任校对:马燕红

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:8

字 数:200千字

版 次:2017年6月第1版第1次印刷

定 价:24.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

## “十三五”高端数控技术高技能应用型人才培 养系列精品教材编委会

主 任 熊清平 刘怀兰 宋放之

副主任 隋秀梅 唐小琪 宋 宝 李 晶 唐满宾 周 理

杨建中 孙海亮 肖 明 俞道凯 蔡建国 李 强

钟富平 刘 玲 魏 杰 郝巧梅 李慧云 吴新国

郑东果 刘生然 杜湖亭 申世起 钟 健 姜家吉

张庆华

秘书长 金 磊

编 委 禹 诚 詹华西 江 洁 刘怀兰 苒晓兵 周云曦

宋放之 熊清平 杨建中 周远成 吴慧蓉 易守华

肖 明 孙海亮 杨 进 金 磊 李春城 杨冰峰

閻辰皓 罗建新 田中宝

## “十三五”高端数控技术高技能应用型人才培 养系列精品教材指导委员会

**主任单位** 武汉华中数控股份有限公司

**副主任单位** 华中科技大学

西安交通大学

广西科技大学

国家数控系统工程技术研究中心

武汉职业技术学院

长春职业技术学院

湖南工业职业技术学院

武汉第二轻工学校

常州机电职业技术学院

**秘书长单位** 武汉高德信息产业有限公司

**委员单位** 华中科技大学出版社有限责任公司

机械工业出版社

湖南大学

长春职业技术学院

思美创(北京)科技有限公司

佛山市南海信息技术学校

内蒙古机电职业技术学院

赤峰工业职业技术学院

宁夏职业技术学院

辽宁建筑职业技术学院

鄂尔多斯职业学院

重庆工业职业技术学院

敦化职业技术学院

滨州市高级技工学校

冷水江高级技工学校

西安航空职业技术学院

深圳职业技术学院

深圳信息职业技术学院

甘肃机电职业技术学院

# 序

数控机床是制造业的“工作母机”，而以五轴联动数控系统为代表的高性能数控系统是机床装备的“大脑”，是我国发展高端制造装备的基础，代表了国家制造业的核心竞争力。

长期以来，西方发达国家在高性能数控系统方面对我国进行技术封锁限制和产品市场高价垄断，高性能数控系统市场的80%份额长期被国外占领。使用国外的数控系统，随时有被国外控制、核查、限用、信息泄露，甚至停机等安全隐患，自主可控的数控系统技术是保证我国工业信息安全和实现智能制造的关键。

五轴联动数控机床是整体叶轮、叶片、螺旋桨、环面凸轮、汽轮机转子、大型柴油机曲轴等零件的唯一加工手段。五轴联动数控机床对一个国家的航空、航天、军事、科研、精密器械、高精医疗设备等行业，有着举足轻重的影响力。目前，我国使用的五轴联动机床绝大部分从国外进口，并且受到国外厂家的监控。

随着国内装备制造业向数控化、智能化发展，高端的五轴数控机床将越来越“平民化”，其应用领域不再主要是航空、航天等国防军工领域，而是在新能源汽车涡轮增压器叶轮、模具、医疗等领域使用越来越多。例如，仅新能源汽车涡轮增压器叶轮方面，2015年全球叶轮铣削加工市场达60亿元人民币。

近几年来，我国制造业面临产业升级及产业结构调整的压力，高端数控加工特别是四轴、五轴联动加工技术迅猛发展，相应的技术人才日趋紧张。据上海人才中心的统计，高端数控加工的技术人员的收入超过普通数控操作工的2倍，部分企业五轴数控铣工的平均月工资达6000元，供需比仍然达到1:20，许多企业甚至开出30万元的年薪，招聘五轴数控人才。在2017年2月教育部、人社部与工信部联合发布的《制造业人才发展规划指南》中，高档数控机床和机器人领域，预计2020年人才缺口300万，2025年人才缺口450万，这进一步说明，五轴数控技术人才的缺口很大。国以才立，业以才兴，纵观世界工业发展史，但凡工业强国，都拥有大量技能人才。实现从“中国制造”到“中国智造”的跨越，高级技能人才不可或缺。

目前，普遍高校及职业院校有关数控技术及数控加工的教学及实训课程中较少涉及五轴联动的内容，缺乏相应的教材，这已严重影响我国对国产五轴数控设备的研制和应用。在此背景下，武汉华中数控股份有限公司与专业出版社合作，组织五轴数控加工领域的数十位企业专家和教学专家，进行了多次调研和研讨，在高端数控岗位人才需求上探讨研发五轴数控高职人才培养方案和高职五轴数控专业建设标准、课程建设标准，并完成了五轴数控机床装配与调试以及应用编程等方面的实际加工测试，在此基础上完成了本套五轴教材的开发与编写。

本套教材具有以下鲜明的特点。

原创性强。目前我国中高职院校缺少五轴数控技术专业专业的整套教学用书。本套教材覆盖面广，首创性强，可以有效支持职业院校数控专业的转型升级。

针对性强。华中数控等国产高端数控系统企业的工业基础和技术优势，为本套五轴教材开发提供了强大的技术支持。此外，本套教材有较强的教学实践基础，华中数控成立以来

就把教育教学当作重要的业务板块和社会责任,先后举办了数十场师资培训,骨干师资培训班,教育部、行业和省各种级别的五轴数控大赛等,并为五轴数控加工技术相关课程开发了在线平台和教学资源库,以提供五轴数控教学的重难点讲解微课和 PPT、动画、案例等素材。

实践性强。本套教材实践性强,涵盖面广,囊括五轴联动加工过程中的基础操作与编程,加工工艺与实训等。本套教材深刻落实理实一体化教学理念,把导、学、教、做、评等各环节有机地结合在一起,以“弱化理论、强化实操”“实用、够用”为目的,强化对学生实操能力的培养,让学生在“做中学,学中做”,符合当前职业教育改革与发展的精神和要求。

最后,参与本套教材开发的有院校教师、行业与企业专家、企业第一线应用技术人员,他们有着丰富的五轴实践经验和教学培训经验。本套教材的编写经过了反复研讨和论证,但由于知识有限,时间仓促,疏漏在所难免,在此希望同行专家和读者对本套教材不吝赐教,给予批评指正。我们坚信,在众多有识之士的努力下,本套教材的功效一定会得以彰显,为我国五轴数控机床的人才培养贡献力量。

“长江学者奖励计划”特聘教授

华中科技大学常务副校长

华中科技大学教授、博导

2017.5.26



# 前 言

随着航空、航天、船舶、发电、模具和汽车等工业的飞速发展,产品零件的结构和形状越来越复杂,精度要求也越来越高,普通的三轴、四轴加工已经很难满足这些复杂、高精度产品的加工要求,制造业对五轴加工机床的需求日益增长。五轴联动数控机床具有高效率、高精度的特点,工件一次装夹就可完成复杂工件的加工,是一种科技含量高,专门用于加工复杂曲面的机床,这种机床对一个国家的航空、航天、军事、精密器械、高精医疗设备等行业有着举足轻重的影响力。五轴联动数控机床已逐渐成为当今加工工业最重要的加工工具,随着工业化的深入,五轴联动数控机床必将应用于更加广阔的领域。

我国制造行业高端数控加工人才紧缺,供需比例严重失调,迫切需求五轴加工技术的编程、操作、维护方面的人才,因此,培养一批五轴加工人才已成为当务之急。但目前普通高校及职业院校有关数控技术及数控加工的教学及实训课程中较少涉及五轴联动等高端数控加工的内容,相关的培训教材也不多见,这已严重影响我国对高端数控加工人才的培养。

本书编著者皆有多年企业产品设计及生产经历,拥有加工中心操作工高级技师职业资格,具有丰富的五轴数控机床加工及编程经验。编著者长期指导技能大赛,所指导的学生多次获得全国职业技能大赛一、二等奖。

本书以项目为载体,以工艺和编程为主线,各项目选材来源生产一线典型产品和大赛经典案例,所提供的加工工艺及 CNC 程序,编著者皆已在实际机床上调试和验证通过。因此,本书可作为企业员工五轴加工培训教材和在校学生五轴加工教学及实训教材,同时也可用作技能大赛培训资料和数控加工工程技术人员的参考用书。

本书共设四个项目,全书内容丰富翔实。项目一、项目二由裴晓兵编著,项目三、项目四由周云曦编著,具体结构如下。

项目一以端面铣刀零件为载体,下设两个任务,在培养学生合理选择五轴联动机床常用装夹方案和填写五轴数控加工工艺文件能力的同时,使学生能正确利用 Cimatron 软件编制 3+2 轴加工程序,并利用 Cimatron 软件进行仿真检验。

项目二以镂空足球零件为载体,下设两个任务,在培养学生合理使用五轴联动加工中心设定工件坐标系并正确测量五轴加工中心转台回转中心坐标能力的同时,使学生能正确利用 Cimatron 软件编制五轴联动加工程序并利用 Cimatron 软件进行仿真检验。

项目三以大力神杯零件为载体,下设两个任务,在培养学生正确识读华中数控五轴加工程序和编写五轴孔加工程序能力的同时,使学生进一步掌握 Cimatron 软件五轴联动加工的编程和仿真校验步骤和方法。

项目四以径向叶轮零件为载体,下设两个任务,在培养学生掌握华中数控 HNC-8 型系统 RTCP 功能操作和测试能力的同时,使学生能正确完成五轴加工中心 RTCP 设定,并使用 CimatronE 五轴刀具倾角策略与叶轮专用模块等技巧完成叶轮加工。

本书由常州机电职业技术学院裴晓兵、周云曦编著,北京航空航天大学宋放之、华中科



技大学国家数控系统工程技术研究中心杨建中主审,华中数控股份有限公司肖明、孙海亮、李春城,思美创(北京)科技有限公司杨进、杨冰峰,武汉高德信息产业有限公司金磊为本书的编写提供了大力支持,提出了许多宝贵意见,在此深表谢意。

由于编著者水平有限,同时随着多轴加工技术不断发展,书中不足之处在所难免,诚挚地期望得到广大读者和同行专家的批评指正。

编著者

2016年3月

# 目 录

项目一 端面铣刀五轴定向加工 .....	(1)
任务一 端面铣刀加工工艺编制 .....	(1)
1.1.1 任务导入 .....	(1)
1.1.2 相关知识 .....	(1)
1.1.3 任务实施 .....	(12)
任务二 端面铣刀五轴数控加工程序编制 .....	(16)
1.2.1 任务导入 .....	(16)
1.2.2 相关知识 .....	(16)
1.2.3 任务实施 .....	(16)
项目二 镂空足球五轴数控加工 .....	(40)
任务一 五轴机床基本操作 .....	(40)
2.1.1 任务导入 .....	(40)
2.1.2 相关知识 .....	(40)
2.1.3 任务实施 .....	(47)
任务二 镂空足球数控加工程序编制 .....	(54)
2.2.1 任务导入 .....	(54)
2.2.2 相关知识 .....	(54)
2.2.3 任务实施 .....	(57)
项目三 大力神杯五轴联动加工 .....	(66)
任务一 五轴联动数控加工基本编程指令 .....	(66)
3.1.1 任务导入 .....	(66)
3.1.2 相关知识 .....	(67)
3.1.3 任务实施 .....	(86)
任务二 大力神杯数控加工程序编制 .....	(89)
3.2.1 任务导入 .....	(89)
3.2.2 相关知识 .....	(89)
3.2.3 任务实施 .....	(92)
项目四 径向叶轮五轴联动加工 .....	(99)
任务一 五轴联动数控机床 RTCP 操作及功能测试 .....	(99)

4.1.1 任务导入 .....	(99)
4.1.2 相关知识 .....	(99)
4.1.3 任务实施 .....	(101)
任务二 径向叶轮数控加工程序编制 .....	(105)
4.2.1 任务导入 .....	(106)
4.2.2 相关知识 .....	(106)
4.2.3 任务实施 .....	(108)
附录 多轴加工练习图 .....	(114)
参考文献 .....	(116)

# 项目一 端面铣刀五轴定向加工

## 任务一 端面铣刀加工工艺编制

### 学习目标

- (1) 掌握五轴数控加工中心的结构；
- (2) 掌握五轴数控加工中心的加工工艺特点。

### 能力目标

- (1) 会合理选择五轴数控加工中心装夹方案；
- (2) 会填写五轴数控加工工艺文件。

### 1.1.1 任务导入

现需生产 D50 端面铣刀零件(见图 1-1)1 件,试完成以下工艺任务:

- (1) 编写零件生产工艺过程卡片；
- (2) 选择数控铣削用量并编写数控加工工序卡片。

### 1.1.2 相关知识

#### 1.1.2.1 五轴数控机床坐标体系

五轴数控机床的基本坐标轴:五轴数控机床通常指的是具有五轴联动加工的机床,五轴数控机床除了和三轴数控机床一样有三个线性坐标轴(X、Y、Z)外,还增加了两个做旋转运动的旋转轴。

为简化编程和保证程序的通用性,国际标准化组织(ISO)对数控机床的坐标轴和方向命名制订了统一的标准,规定直线进给坐标轴用 X、Y、Z 表示,常称基本坐标轴;围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A、B、C 表示,常称旋转坐标轴;机床坐标轴的方向取决于机床的类型和各组成部分的布局。X、Y、Z 坐标轴的相互关系由右手笛卡儿法则决定,如图 1-2 所示。

因为数控机床的进给运动,有的由主轴带动刀具运动来实现,有的由工作台带着工件运动(相对于刀具)来实现。我们在定义两个旋转轴的方向时,对于坐标轴正方向,是假定工件不动,刀具相对于工件做进给运动的方向。如果是工件移动则假设用加“'”的字母表示,按相对运动的关系,工件(即工作台)运动的正方向与刀具运动的正方向相反,即有

$$+A = -A', \quad +B = -B', \quad +C = -C'$$

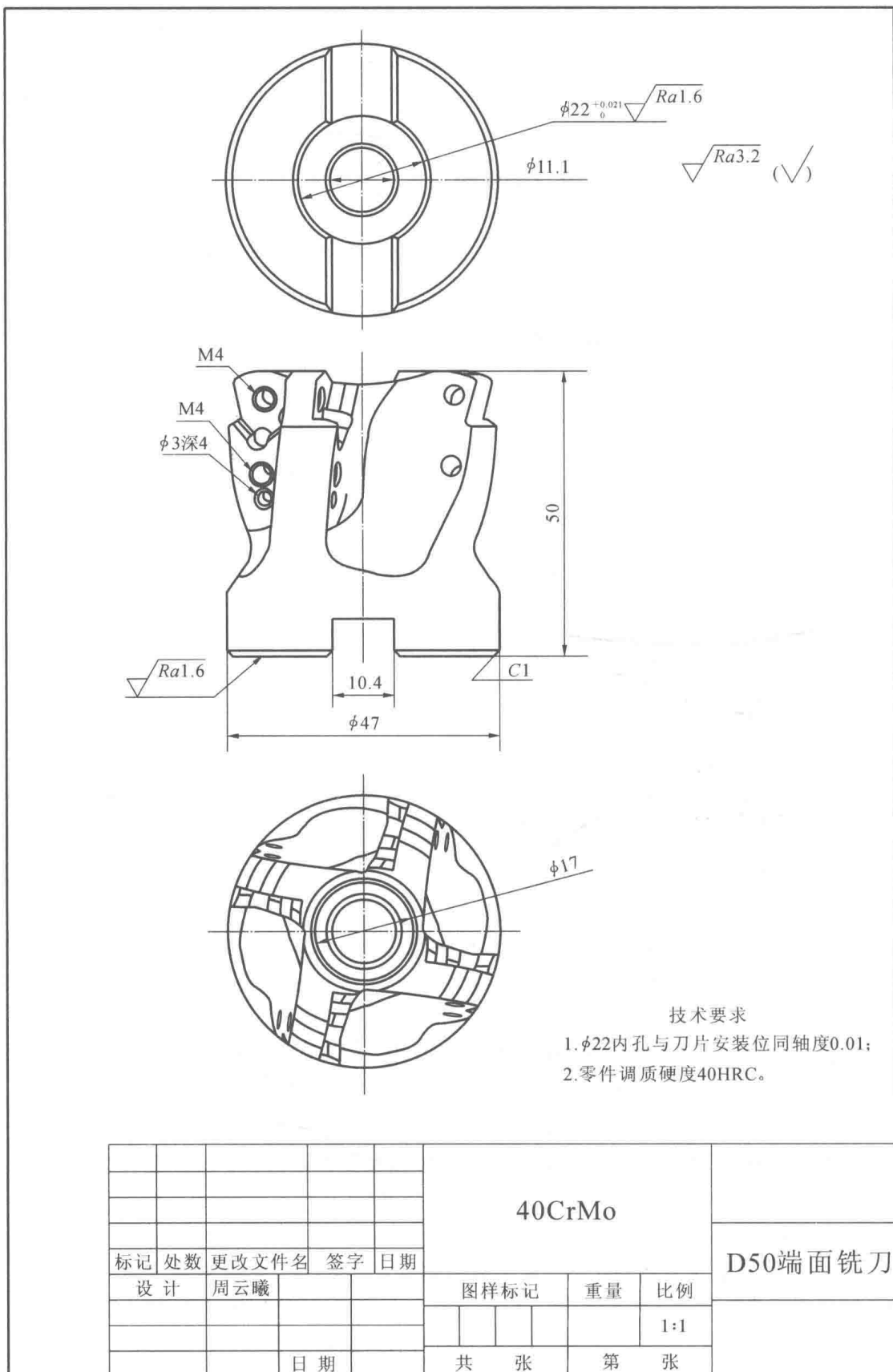


图 1-1 D50 端面铣刀

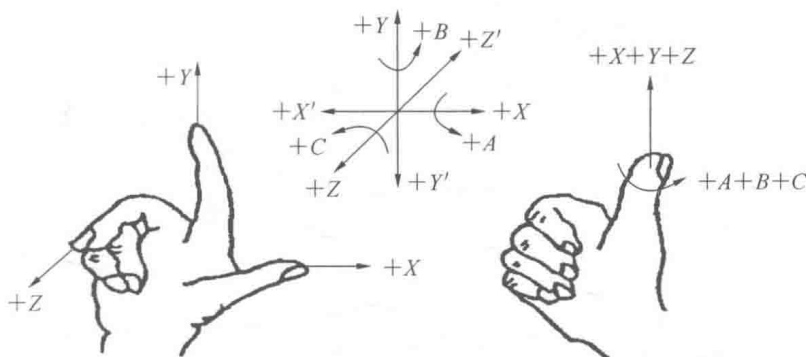


图 1-2 右手笛卡儿法则

### 1.1.2.2 五轴数控机床类型和特点

五轴数控铣床(加工中心)按两个旋转轴的分布形式分类,常见有三种基本结构。

#### 1. 双转台结构五轴联动数控机床

如图 1-3 所示是双转台结构五轴联动数控机床模型图。图中  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  是三个线性移动轴,做直线运动;另外两个旋转轴使工作台做旋转运动,其中旋转轴  $A$  轴围绕  $X$  轴旋转(也可以是旋转轴  $B$  轴围绕  $Y$  轴旋转),它的旋转平面是  $YZ$  平面;旋转轴  $C$  轴围绕  $Z$  轴旋转,它的旋转平面是  $XY$  平面,这样的结构构成了双转台五轴联动数控机床。

我们按 ISO 标准来定义其旋转轴的方向,旋转轴的正方向是按刀具移动的方向而非工作台(或工件)移动的方向来进行定义的。如果数控系统定义成工作台的方向为旋转轴的正方向,那么在加工完成后,零件轮廓则相反。

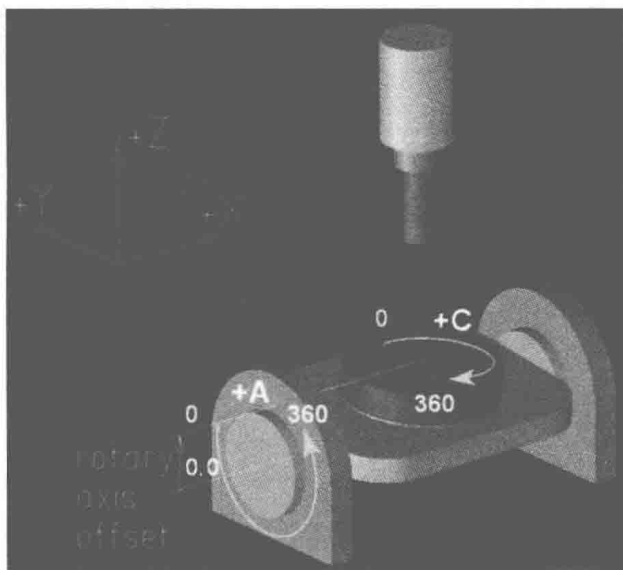


图 1-3 双转台结构五轴联动数控机床模型

图 1-4 所示的是一个实际双转台五轴联动数控机床,定义其旋转轴的方向如下。当操作者面向机床时,根据右手螺旋定则, $A$  轴围绕  $X$  轴旋转时,工作台向内翻转的方向是  $A$  轴正向,而刀具移动方向则是相反的;反之,工作台向外翻转的方向是  $A$  轴负向。同理, $C$  轴围绕  $Z$  轴旋转时,工作台逆时针旋转的方向是  $C$  轴正向,而刀具移动方向是相反的;反之,顺时针旋转的方向是  $C$  轴负向。

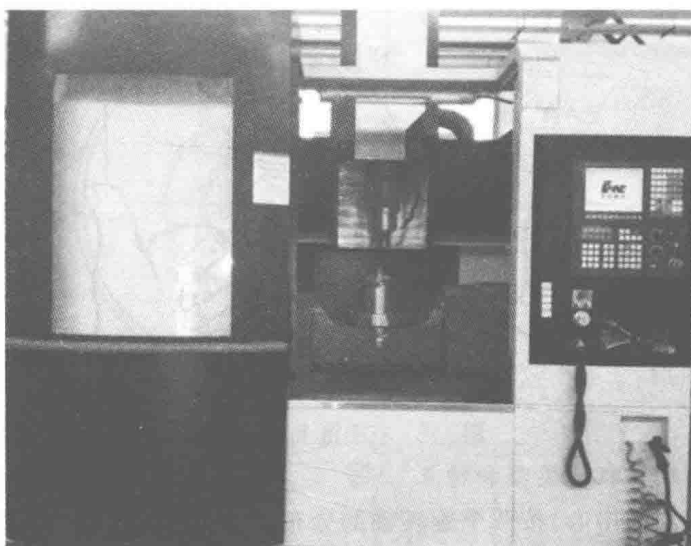


图 1-4 双转台五轴数控机床

此类机床的加工特点:加工过程中工作台旋转摆动,可加工工件的尺寸受旋转工作台尺寸规格的限制,适合加工体积小、重量轻的工件;加工过程中主轴始终为竖直方向,主轴刚度高,可以进行切削量较大的加工;机床能加工电极、鞋模、小叶轮、工艺品等。如果机床结构是 3+2 的五轴联动数控机床(这里提出的 3+2 结构五轴数控机床,是指在三轴数控铣床的结构上增加具有两个旋转轴的工作台,即在三轴数控铣床工作台上安装一个 AC(或 BC)回转工作台),那么此类型机床一般在教学中使用;由于是在三轴铣床上增加的回转工作台,这种类型机床还要受 Y 轴、Z 轴行程的限制,可加工工件不能太高,夹持工件的夹具不能太高,否则数控程序中 Y 轴、Z 轴的行程就会很容易超过了数控机床的 Y 轴、Z 轴行程范围,导致数控系统经常会有报警提示,而使得机床不能加工运行。

## 2. 单转台单摆头的五轴联动数控机床

图 1-5 定义了单转台单摆头五轴联动数控机床模型,除了三个直线轴外,另外两个轴一个是工作台旋转轴,另一个是主轴头旋转轴。

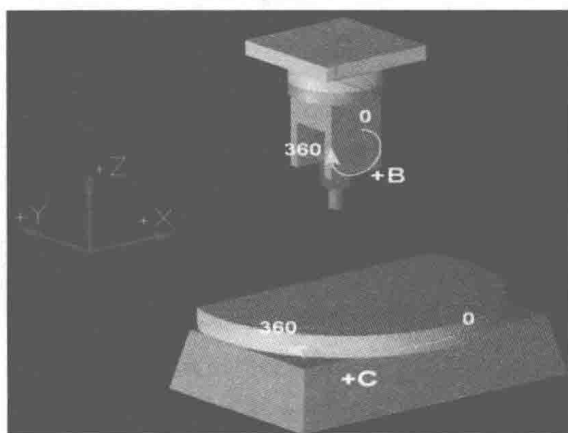


图 1-5 单转台单摆头五轴联动数控机床模型

图 1-5 中定义了单转台单摆头的五轴联动数控机床五个坐标关系,X、Y、Z 定义了三个线性移动轴,即工作台做直线运动。同样我们定义旋转轴的正方向是刀具移动的方向,而非

工作台(或工件)移动的方向。旋转轴  $B$  轴围绕线性  $Y$  轴旋转,旋转平面是  $YZ$  平面;旋转轴  $C$  轴围绕线性  $Z$  轴旋转,旋转平面是  $XY$  平面。

图 1-6 所示为一个实际单转台单摆头五轴数控机床。当操作者面向机床时,根据右手螺旋定则, $B$  轴在围绕  $Y$  轴旋转时,主轴带动刀具顺时针旋转的方向为  $B$  轴正向,反之,主轴带动刀具逆时针旋转的方向为  $B$  轴负向;同理, $C$  轴围绕  $Z$  轴旋转时,工作台逆时针旋转的方向为  $C$  轴正向,反之,顺时针旋转的方向为  $C$  轴负向。

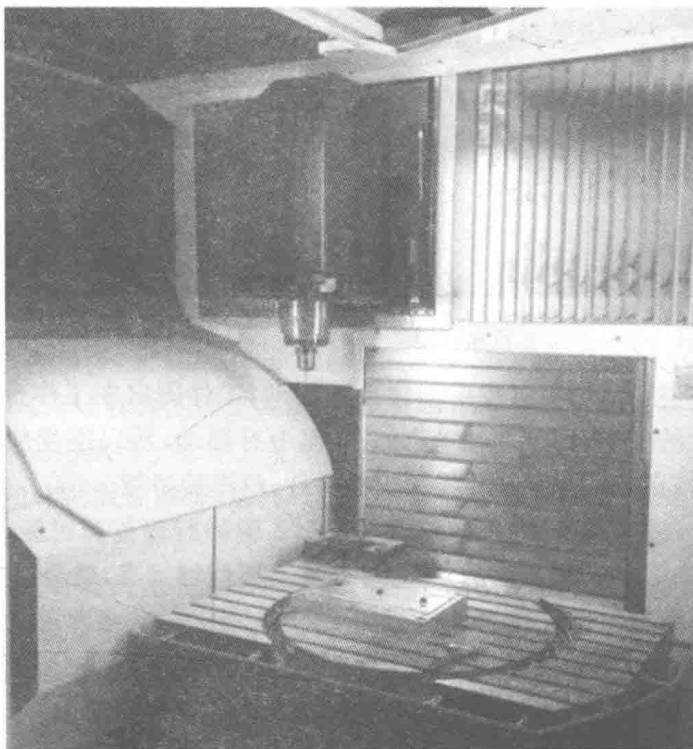


图 1-6 单转台单摆头五轴数控机床

此类机床的加工特点:加工过程中工作台可以在  $XY$  平面内做  $360^\circ$  旋转运动,刀具轴在一个  $YZ$  平面(或  $XZ$  平面)做旋转运动,旋转角有一定的范围限制。但是在结构比较小(或教学型)的机床上存在的问题是:主轴在接近或超过  $90^\circ$  时, $Z$  轴的行程有时达不到其加工零件的加工范围,即  $Z$  轴行程不够,而工件装夹又不能太高,就会引起转轴不能够旋转到足够的角度,进而导致零件下底部分不能加工。如果  $Z$  轴的行程有足够距离,那么在  $B$  轴旋转到接近、等于、超过  $90^\circ$  时,其主轴尾部对于机床本体产生干涉。加工特点介于双转台和双摆动结构机床之间,机床能加工模型、灯具、轮胎模等。

### 3. 双摆头五轴联动数控机床

这种结构的机床旋转运动轴都是主轴,图 1-7 定义了双摆头五轴联动数控机床五个坐标关系,图中  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  定义了三个做直线运动的线性移动轴,两个绕主轴旋转摆动的旋转轴。旋转轴的正方向是刀具移动的方向,而非工作台(或工件)移动的方向。旋转轴  $B$  轴围绕线性轴  $Y$  轴旋转,旋转平面是  $YZ$  平面;旋转轴  $C$  轴围绕线性  $Z$  轴旋转,旋转平面是  $XY$  平面。两个旋转轴结合为一个整体构成双摆头结构。

图 1-8 所示的是一个实际双摆头五轴数控机床,当操作者面向机床时,根据右手螺旋定则, $B$  轴在围绕  $Y$  轴旋转时,主轴带动刀具顺时针旋转的方向是  $B$  轴正向,反之,主轴带动刀



具逆时针旋转的方向为  $B$  轴负向,同理  $C$  轴围绕  $Z$  轴旋转时,主轴带动刀具逆时针旋转的方向是  $C$  轴正向,反之,顺时针旋转的方向是  $C$  轴负向。

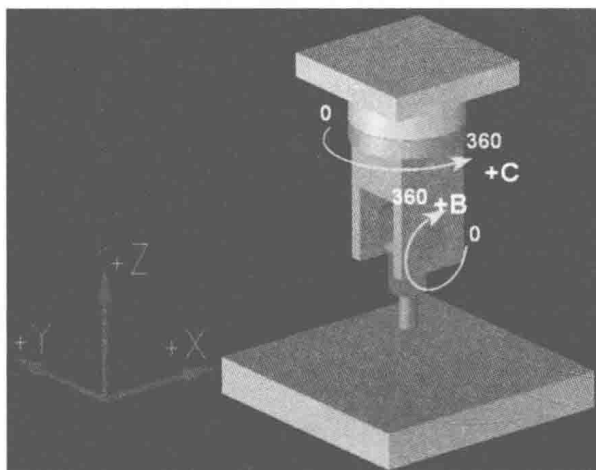


图 1-7 双摆头五轴联动数控机床模型

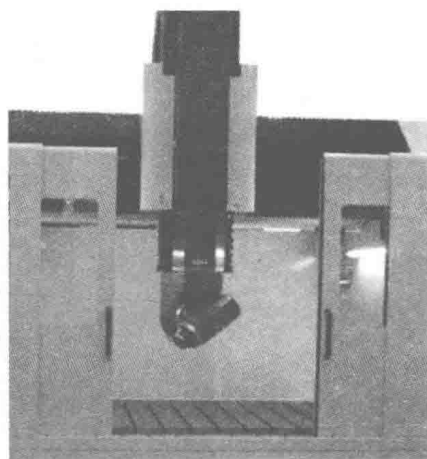


图 1-8 双摆头五轴数控机床

此类机床的加工特点:加工过程中工作台不摆动,工件固定在工作台上静止不动;适合加工体积大、重量大的工件;由于主轴在加工过程中有摆动,所以刚度较低,加工切削量较小。由于自身结构特点,加工范围小,能加工保险杠、汽车后桥等。

另外,如果过小(或教学型)的机床结构,其  $Y$ 、 $Z$  轴的行程范围可能会达不到其加工零件的加工范围。如果  $Z$  轴行程不够的话,工件装夹又不能够太高,就会引起转轴不能够旋转到足够的角度,进而导致零件下底部分部位加工不到。还有,如果零件比较大的话,在加工零件下底部分的时候,如果  $Y$  轴行程不能达到,那么转轴的角度受到限制,或者说旋转轴  $A$  轴角度不能够摆动得够大,同样也会导致零件下底部分加工不到。

总结:任意一种结构的五轴数控机床,我们判断旋转轴的方向时,从相对运动关系来说,就是刀具相对工件在运动,刀具轴线可以从两个方向连续变化。理论上讲,借助 CAM 软件控制刀具轨迹和刀具轴线的方位及后处理生成高质量的 NC 加工程序,五轴加工方式可以加工任何形式的零件。

另外,任意一种的五轴数控机床,我们在使用 CAD/CAM 生成程序时,可以任意定义旋转轴的方向,但是它的后置处理必须与实际的五轴数控机床定义的方向保持一致,这样才能达到所需要的加工效果。

### 1.1.2.3 五轴数控加工

#### 1. 五轴数控机床加工的分类

在使用五轴数控机床加工时,机床刀轴不再是垂直于某一个固定平面,而是根据加工需要有时定位成一定的夹角,有时是随时、连续的角度改变。实际中五轴数控机床加工的情况可以大致分为以下三种。

(1) 一个或两个旋转轴定位成一定的角度不变,三个直线轴或单轴加工或两轴联动或三轴联动加工,这种加工方式常称为五轴定向加工。

(2) 两个旋转轴和三个直线轴同时联动加工,运行中两个旋转轴位姿角在不停地发生变化,这种加工常称为五轴联动加工。

(3) 另外还有如下情况:两个旋转轴中的一个轴的位姿角角度固定不变,另外一个位姿