

多轴数控机床与加工技术

主 编 陶 林 刘 冲 张丽丽
副主编 赵科学 宋 飞 郑 智
主 审 李康举 公丕国
参 编 程 娜 李 想 李进冬

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

多轴数控机床加工与编程正在我国逐渐普及，中华人民共和国教育部，中华人民共和国人力资源和社会保障部，高端冷加工制造技术需求的企业，以及相关院校都对其给予了高度重视。由于多轴数控机床应用技术的短板，导致了我国的多轴数控机床利用率普遍不高，造成了不必要的功能闲置和浪费，因此，本书通过介绍多轴加工与编程的基础知识，对不同的多轴加工工艺与编程进行分析讲解，利用 UG NX 软件进行虚拟仿真编程，展示零件从毛坯到成品的整个加工与编程，改善这一现象。

本书主要讲解了以下内容：

- (1) 模块一：多轴数控加工技术认知；
- (2) 模块二：石油钻头的多轴编程与数控加工；
- (3) 模块三：变半径螺旋槽的多轴编程与数控加工；
- (4) 模块四：维纳斯人体的多轴编程与数控加工；
- (5) 模块五：大力神杯的多轴编程与数控加工；
- (6) 模块六：涡轮式叶轮的多轴编程与数控加工；
- (7) 模块七：叶轮多轴编程与加工中插补矢量的应用。

本书的编写分工如下：模块一、模块五、模块六由沈阳工学院陶林，沈阳机床股份有限公司程娜编写；模块二由沈阳工学院刘冲、中国科学院沈阳自动化研究所李想编写；模块三和模块四由沈阳工学院张丽丽、赵科学编写；模块七由沈阳工学院宋飞、郑智，以及沈阳机床股份有限公司李进冬编写。

本书由沈阳机床股份有限公司刘春时，东北大学朱立达教授，沈阳圣凯龙机械有限公司韩洪权，沈阳理工大学史安娜教授，沈阳工学院李康举教授、公丕国教授精心审阅，他们提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于本书为多轴数控机床加工与编程教程，所以编者希望读者在阅读本书前，最好具备熟练 UG NX 软件建模技能与基础数控编程技能。当然，读者对相应的工艺知识最好也要有所了解。本书在编写过程中，参考了国内外部分教材、手册、期刊等相关内容，并得到了编写单位很多教师和学生的热情帮助，在此表示诚挚的感谢！对于书中存在的缺点与不足之处，敬请读者批评指正。

模块一 多轴数控加工技术认知

项目一 多轴数控机床结构认知	(3)
任务一 多轴数控加工的特点分析	(3)
任务二 多轴数控机床认识	(5)
任务三 车铣复合加工机床认识	(7)
项目二 多轴数控加工工艺分析	(9)
任务一 多轴数控加工工艺的基本原则认知	(9)
任务二 多轴数控加工工艺的实施步骤分析	(11)
项目三 多轴数控加工软件介绍	(14)
任务一 UG 多轴数控加工仿真软件	(14)
任务二 VERICUT 软件介绍	(16)

模块二 石油钻头的多轴编程与数控加工

项目一 3+2 定轴加工认知	(19)
任务 3+2 定轴加工与五轴联动加工的区别认知	(19)
项目二 石油钻头的多轴数控加工工艺分析与编程	(23)
任务一 石油钻头的多轴数控加工工艺	(23)
任务二 石油钻头的 UG 多轴编程与加工	(24)
项目三 石油钻头多轴编程与加工项目总结	(49)
任务 回顾石油钻头的加工工艺及 UG 多轴编程加工	(49)

模块三 变半径螺旋槽的多轴编程与数控加工

项目一 加工变半径螺旋槽的刀轴控制	(55)
任务一 RTCP 功能认识	(55)

任务二	刀轴控制之远离、朝向点操作	(57)
任务三	刀轴控制之远离、朝向直线操作	(63)
任务四	刀轴控制之相对于矢量操作	(72)
任务五	前倾角与侧倾角的认知	(77)
项目二	变半径螺旋槽的多轴数控加工工艺分析与编程	(80)
任务一	变半径螺旋槽的多轴数控加工工艺	(80)
任务二	变半径螺旋槽的 UG 多轴编程	(81)
项目三	变半径螺旋槽的多轴编程与数控加工项目总结	(95)
任务	变半径螺旋槽的加工总结	(95)
项目四	机床工件的智能检测	(98)
任务一	工件测头在机床上的安装方法及其工作原理	(98)
任务二	工件测头在机床上的标定和测量	(105)
项目五	机床刀具智能测量	(109)
任务一	对刀仪的连接和安装	(109)
任务二	对刀仪的标定	(112)

模块四 维纳斯人体的多轴编程与数控加工

项目一	加工维纳斯人体的刀轴控制	(121)
任务一	刀轴控制之垂直于部件与相对于部件操作	(121)
任务二	刀轴控制之垂直于驱动体与相对于驱动体操作	(127)
项目二	维纳斯人体多轴数控加工工艺分析与编程	(134)
任务一	维纳斯人体多轴数控加工工艺	(134)
任务二	维纳斯人体 UG 多轴编程	(136)
项目三	维纳斯人体多轴编程与数控加工项目总结	(160)
任务	维纳斯人体加工总结	(160)

模块五 大力神杯的多轴编程与数控加工

项目一	五轴等高加工技术认知	(167)
任务	深度加工 5 轴铣的认知	(167)
项目二	大力神杯的多轴数控加工工艺分析	(174)
任务一	机床和刀具的选择	(174)
任务二	大力神杯的 UG 多轴编程与加工	(177)
项目三	大力神杯多轴编程与数控加工项目总结	(209)
任务	大力神杯加工总结	(209)

模块六 涡轮式叶轮的多轴编程与数控加工

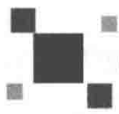
项目一 叶轮模块认知	(215)
任务 叶轮粗精加工各模块的认知	(215)
项目二 涡轮式叶轮的多轴数控加工工艺分析与编程	(224)
任务一 涡轮式叶轮的多轴数控加工工艺	(224)
任务二 涡轮式叶轮的 UG 多轴编程与加工	(226)
项目三 涡轮式叶轮多轴编程与数控加工项目总结	(237)
任务 叶轮加工总结	(237)

模块七 叶轮多轴编程与加工中插补矢量的应用

项目一 插补矢量认知	(245)
任务 插补矢量的认知	(245)
项目二 叶轮多轴编程模块中插补矢量的应用	(251)
任务一 UG 多轴数控加工中坐标系的建立	(251)
任务二 UG 多轴数控加工中的刀轴控制	(252)
任务三 叶轮的 UG 多轴编程与插补矢量应用操作	(253)
项目三 叶轮多轴编程与加工中插补矢量应用项目总结	(288)
任务 叶轮加工中插补矢量应用总结	(288)
参考文献	(292)

模块一

多轴数控加工技术认知



项目一

多轴数控机床结构认知



项目目标

- 了解多轴数控加工特点；
- 了解多轴数控机床结构；
- 了解什么是车铣复合机床。

任务列表

学习任务	知识点	能力要求
任务一 多轴数控加工的特点分析	多轴坐标的定义	能够独立完成多轴数控加工工艺分析
	多轴数控加工的特点	
任务二 多轴数控机床认识	多轴数控机床结构	能够独立说明多轴数控机床的结构特点
	多轴数控机床的常用类型	
任务三 车铣复合加工机床认识	车铣复合机床的特点	能够独立说明车铣复合机床的结构特点

任务一 多轴数控加工的特点分析

任务导入

多轴数控机床是在传统的三轴机床已经具备的 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。有了第四轴的机床称为四轴机床，有第四轴和第五轴的机床称为五轴机床，这两种类型机床统称为多轴数控机床。

知识链接

根据 ISO 标准,数控机床坐标系统采用右手直角笛卡儿坐标系进行定义,直角坐标系中的线性轴用 X 、 Y 、 Z 表示,其正方向根据右手定则来判定;用 A 、 B 、 C 分别表示绕 X 、 Y 、 Z 的旋转轴,其方向根据右螺旋法则来判定。

通俗地讲,对于立式机床来说,观察者面向机床而站,则主轴上刀具向上移动的方向就是 Z 轴正方向,向右移动的方向就是 X 轴正方向,离开观察者向里移动的方向就是 Y 轴正方向。

用右手握住 X 轴,大拇指指向 X 轴正方向,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 轴正方向,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,顺时针旋转方向就是 A 轴正方向;沿着 Y 轴正向朝负方向看,顺时针旋动方向就是 B 轴正方向;沿着 Z 轴正向朝负方向看,顺时针旋转方向就是 C 轴正方向。

多轴数控加工准确地说应该是多坐标联动加工。当前大多数数控加工设备最多可以实现五坐标联动,这类设备的种类很多,结构、类型和控制系统都各不相同。

采用多轴数控加工,具有如下几个特点。

(1) 基准转换少,加工精度高

多轴数控加工的工序集成化不仅提高了工艺的有效性,而且由于零件在整个加工过程中只需装夹一次,使加工精度更容易得到保证。

(2) 工装夹具数量少,占地面积小

尽管多轴数控加工中心的单台设备价格较高,但由于过程链的缩短和设备数量的减少,工装夹具数量、车间占地面积和设备维护费用也随之减少。

(3) 生产过程链短,生产管理简化

多轴数控机床的完整加工大大缩短了生产过程链,由于只把加工任务交给一个工作岗位,不仅使生产管理和计划调度简化,而且透明度也得到明显提高。工件越复杂,它相对传统工序分散的生产方法的优势就越明显。同时由于生产过程链的缩短,在制品数量必然减少,这简化了生产管理,从而降低了成本。

(4) 新产品研发周期短

航空航天、汽车等领域企业的一些新产品零件及成型模具形状很复杂,精度要求也很高,传统数控加工已不适用。而具备高柔性、高精度、高集成性和完整加工能力的多轴数控加工中心可以很好地解决新产品研发过程中复杂零件加工的精度和周期问题,大大缩短研发周期,并提高新产品的成功率。

任务实施

机床坐标系是怎么确定的?

知识拓展

了解数控机床的种类。

任务二 多轴数控机床认识

任务导入

自从美国麻省理工学院于 20 世纪 50 年代研制出世界第一台试验性数控机床以来，数控机床的发展已经有 60 多年的历史了。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，而人类生产需求的日益增长，又进一步促进了数控机床技术的发展。

知识链接

数控机床根据数控机床系统同时控制联动轴的个数可以分为以下几种。

(1) 二轴半联动机床

二轴半联动机床可以同时控制两个轴，它使用的数控程序特征是：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 Cimatron、Mastercam 等）里的刀轨类型仍有这个功能。粗加工时，由于机床不能执行螺旋下刀命令，需要事先在毛坯上钻孔，刀具再从这个进刀孔下刀进行分层铣削。目前，这种机床已经停产。

(2) 三轴联动机床

三轴联动机床可以同时控制三个轴，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。粗加工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

四轴联动机床可以同时控制四个轴，它使用的数控程序特征是：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 轴旋转（即沿 A 旋转轴旋转）的同时，刀具可以沿着 X 、 Y 、 Z 三个线性轴移动。这种机床结构特点是：在三轴联动机床的工作台上另外安装了一个旋转工作台（当然还可以是 $XYZB$ 型）。图 1.1.1 和图 1.1.2 分别为四轴加工中心外观和旋转工作台。

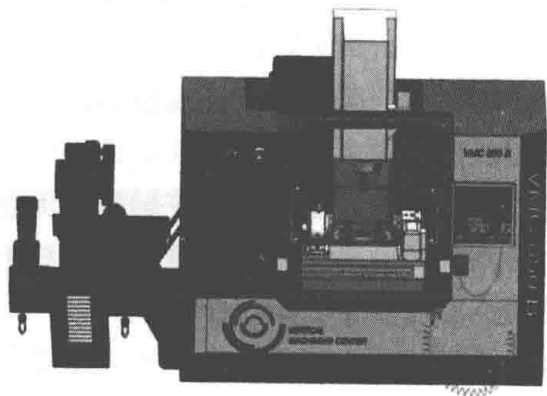


图 1.1.1 四轴加工中心外观

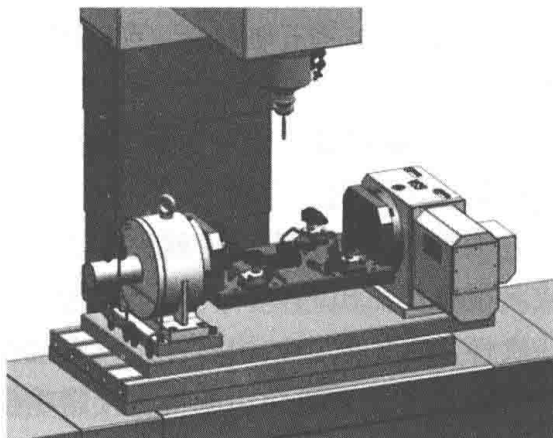


图 1.1.2 旋转工作台

(4) 五轴联动机床

五轴联动机床可以同时控制五个轴，它使用的数控程序特征是：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。

常见典型的结构是双转台型五轴联动数控铣床，其结构特点是：在三轴联动机床的工作台上，另外安装了一个摇篮式双转旋转工作台。有些就用摇篮式双转旋转工作台替代三轴机床工作台。这种机床工作情况一般是：工件在绕 X 轴（即沿 A 旋转轴旋转）和 Z 轴旋转（即沿 C 旋转轴旋转）的同时，刀具可以沿着 X 、 Y 、 Z 三个线性轴移动。

随着科学技术的发展，五轴以上的虚轴机床也已经出现，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。图 1.1.3 和图 1.1.4 分别为五轴加工中心外观和五轴加工中心示意。

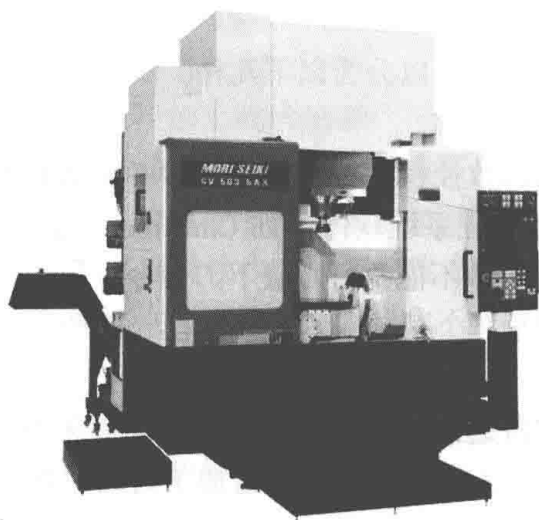


图 1.1.3 五轴加工中心外观

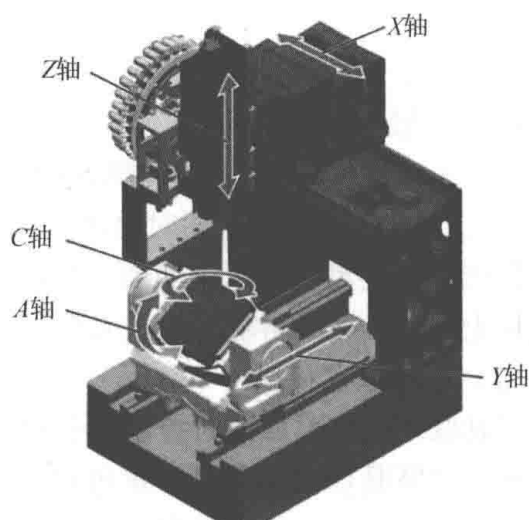


图 1.1.4 五轴加工中心示意

五轴联动机床根据其结构特点，可以分为以下类型：

- 1) 双转台型五轴机床，如 XYZAC 型机床；
- 2) 一转台和一摆臂型五轴机床，如 XYZBC 型机床；
- 3) 双摆臂型五轴机床，如 XYZAB 型机床。

其他类型的多轴数控机床还有：

1) 非正交结构五轴机床，如 DMG MORI 公司出的一种机床，其 B 轴中心线与 XY 平面夹角为 45° ；

2) 在三轴机床工作台上附加旋转工作台成为五轴机床。这种机床没有联动功能，也称“3+2”型机床。

五轴机床如果装有刀库就称为五轴加工中心，可以轻松地加工出一些三轴机床无法加工或者很难加工出的零件，如：核潜艇上的整体叶轮、发动机涡轮叶片，飞机发动机上需要一次性加工的复杂结构零件，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机床的性能和价格，其差异有时会很大，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。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，则只有五轴联动机床才能达到满意的加工效果，若选

用非联动机床（如“3+2”型机床）效果就会差一些。当然，不管哪种类型的机床都需要企业定期进行精度调整和校正，使其时时刻刻处于“健康”状态。只有这样才能真正精确加工出合格的产品，发挥机床的效能。

任务实施

多轴数控机床的种类有哪些？

知识拓展

了解摇篮式与龙门式多轴数控机床的应用场合。

任务三 车铣复合加工机床认识

任务导入

复合加工是机械加工领域目前国际上最流行的加工工艺之一，它是一种把几种不同的加工工艺在同一台机床上实现的先进制造技术。其中应用最广泛、难度最大的就是车铣复合加工。车铣复合加工中心相当于一台数控车床和一台加工中心的复合。

目前，大多数的车铣复合加工都在车削中心上完成，而一般的车削中心只是把数控车床的普通转塔刀架换成带动力刀具的转塔刀架，主轴增加C轴功能。由于转塔刀架结构、外形尺寸的限制，以及动力头的功率小、转速不高等原因，故其不能安装较大的刀具，于是这样的车削中心以车为主，铣、钻功能只是做一些辅助加工。另外，动力刀架的昂贵造价，使车削中心的成本居高不下，国产的售价一般超过10万，进口产品售价超过20万，一般用户承受不起。经济型车铣复合加工中心大多都包含XZC轴，也就是在卡盘上增加了一个旋转的C轴，实现基本的铣削功能。

知识链接

与常规数控加工工艺相比，车铣复合加工具有的突出优势主要表现在以下几个方面：

1) 缩短产品制造工艺链，提高生产效率。车铣复合加工可以实现一次装夹完成全部或者大部分加工工序，从而大大缩短产品制造工艺链。这样一方面减少了由于装夹改变导致的生产辅助时间，同时也减少了工装夹具制造周期和等待时间，能够显著提高生产效率。

2) 减少装夹次数，提高加工精度。装夹次数的减少避免了由于定位基准转化而导致的误差积累。同时，目前的车铣复合加工机床大都具有在线检测的功能，可以实现制造过程关键数据的在位检测和精度控制，从而提高产品的加工精度。

3) 减少占地面积，降低生产成本。虽然车铣复合加工机床的单台价格比较高，但由于制造工艺链的缩短和产品所需设备的减少，以及工装夹具数量、车间占地面积和设备维护费

用的减少，能够有效降低总体固定资产的投资、生产运作和管理的成本。车铣复合加工中心如图 1.1.5 所示。



图 1.1.5 车铣复合加工中心

任务实施

车铣复合加工机床的种类有哪些？

知识拓展

了解车铣复合加工机床的应用场合。

项目二

多轴数控加工工艺分析

项目目标

了解多轴数控加工工艺；
了解多轴数控加工实施步骤。

任务列表

学习任务	知识点	能力要求
任务一 多轴数控加工工艺的基本原则认知	多轴数控加工工艺的基本原则	能够独立分析多轴数控加工工艺
任务二 多轴数控加工工艺的实施步骤分析	多轴数控加工工艺的实施步骤	掌握多轴数控加工实施步骤

任务一 多轴数控加工工艺的基本原则认知

任务导入

多轴数控加工工艺就是将原材料或半成品装夹在多轴数控机床的工作台上，通过铣削或者钻削等加工，使之成为预期产品的方法和技术。多轴加工工艺服务于零件的整体加工工艺，是整体加工工艺的一部分，其最终目的是高效地加工出合格产品。

知识链接

由于多轴机床价格昂贵、维护成本高、工时成本高，所以编排多轴加工工艺时，一定要在确保产品质量、生产安全的前提下，尽可能节约多轴数控加工工时，降低产品制造成本。具体来说，能用三轴完成的工作尽量用三轴加工，如果用三轴不能完成或者完成有困

难的工作，才用多轴加工。这样可以最大限度地保护旋转台的精度，提高设备利用效率。

但是在以下几种情况中应该考虑使用多轴加工工艺。

1) 如果用三轴加工会存在严重的缺陷，例如加工长深零件底部时，由于装刀很长，刀具容易发生弹性变形，导致加工时切削量不能太大，加工工时也随之变长。但使用多轴加工，则只需要将刀轴线沿着周边倾斜一个角度，使刀具的装刀长度缩短，在加大切削参数的同时，加工工时也随之缩短，加工效果会大大改善。

2) 双斜面加工。对于双斜面的加工，三轴加工会选用球头刀进行很密的多行距加工，表面粗糙度难以达到图纸要求，而且工时很长。多轴加工工艺将刀具旋转使刀轴线垂直于加工平面，这样就可以使用平底刀定位加工，只需要像三轴加工铣削水平面一样，加工双斜面在缩短加工工时的同时，提高加工效率。

3) 倒扣零件加工。对于倒扣零件的加工，三轴加工需要多次翻转装夹，甚至倾斜装夹，这对操作员技术水平要求较高，而且多次装夹误差大，操作复杂，出错率高，产品质量很难保证。而用多轴加工只需一次装夹，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。由于球头刀底部的切削速度接近于零，导致使用三轴加工时球头刀底部的切削效果很差。如果用多轴加工则只需要将刀具倾斜一个角度，使用刀具的侧刃进行切削，加工效果得到大大改善。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，这两种刀具增大了刀具和工件的切削接触面积，即使设置较大的步距也可以达到很好的效果，缩短工时。

5) 对于整体涡轮、整体叶轮、飞机机翼等航空零件的加工。此时三轴加工几乎不能实现，多轴加工就成为唯一的选择。

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加工，那么就需要从以下几方面考虑如何编排多轴加工。

1) 多轴数控加工工艺总体原则：尽可能保护机床、减少机床故障率和停机时间；尽可能减少多轴加工的切削工作量、尽可能减少旋转轴担任切削工作、避免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。不到万不得已不用联动方式粗加工。如果必须采取联动方式进行粗加工，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，如果要求精度较高，精加工就要考虑使用联动方式。例如，对整体涡轮的叶片进行精加工时，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) 多轴数控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) 多轴加工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。

任务实施

相对于通用数控机床，多轴数控机床的加工优势有哪些？

知识拓展

FANUC 多轴数控系统的种类有哪些?

任务二 多轴数控加工工艺的实施步骤分析

任务导入

人们早已认识到多轴加工工艺的优越性和重要性,但到目前为止,多轴加工工艺的应用仍然局限于少数资金雄厚的部门,并且存在尚未解决的难题。由于干涉和刀具在加工空间的位置控制,多轴加工工艺涉及的数控编程、数控系统和机床结构较为复杂。

知识链接

多轴数控加工工艺实施的基本步骤概括起来有以下要点:

(1) 根据 2D 图纸绘制 3D 模型,即建立 CAD/CAM 模型

读懂图纸,严格依据图纸绘制 3D 模型。绘制好模型后,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。如果已经预备好 3D 模型,则这一步可以省略。但是必须对接收的 3D 模型进行全面的检查,检查内容有:

1) 3D 模型的单位是英制还是公制,如果是英制,则需要转化为公制,但图形实际大小不能改变;

2) 如果原 3D 模型是在其他软件中绘制的,尽可能采用 IGS、XT 或者 STP 格式转化,确保图形的特征完整,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) 分析是否存在掉面或者模型中有破孔等情况,如果存在这些缺陷,就必须补全 3D 模型。

(2) 图纸分析、工艺分析

制定整个零件的加工工艺,明确多轴加工工艺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工艺员制定的。工艺员所制定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。本企业不具备条件时,才考虑与其他企业合作,进行外发加工。

作为多轴加工数控编程工程师,需要了解零件的整体加工工艺,尤其需要了解数控加工工序的任务,更要能准确绘制出 CNC(数控)加工时初始毛坯的 3D 模型。他还要检查 CNC 加工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,必须对加工材料的牌号和硬度十分清楚,以便确定合理的切削参数。

(3) 确定多轴数控加工的装夹方案

对于多轴数控加工，这一步十分重要。根据 CNC 加工的加工内容结合零件形状预先制定合理的装夹方案。一般来说需要 C 轴旋转的、类似旋转零件的可以考虑用自定心卡盘。超出自定心卡盘范围的，可以考虑在圆柱毛坯上车出凹槽后用 C 轴旋转台上的压板装夹。必要时专门设计出专用夹具，用专用夹具来装夹。

不管采取哪一种装夹方案，必须在编程图形里绘制出相应夹具的 3D 模型，再转化 2D 图。2D 图发给相关部门加工，3D 模型转化为 STL 格式的文件以便在 VERICUT 仿真时调用。绘制夹具 3D 模型的目的是确定刀具偏摆的极限位置，防止刀具运动时超出极限位置而碰伤夹具和工作台。

(4) 编制数控程序及制定加工工步（即数控程序文件）

编制数控程序及制定加工工步是数控编程的核心内容，即在正式编程前，事先初步规划需要哪几个数控程序，给每个数控程序安排其加工内容和加工目的、所用刀具及夹具的规格、加工余量等粗略步骤。多轴加工和三轴加工类似，也应该遵守粗加工、清角、半精加工、精加工的编程步骤。

以上四个步骤完成以后再继续进行数控编程就会胸有成竹。

(5) 定义几何体、刀具及夹具

进入 UG 软件的加工模块，切换到几何视图，先定义加工坐标系，这时需注意：如果采用 XYZAC 型机床加工，编程用的加工坐标系的原点应该与机床的 A、C 旋转轴的轴线交点重合；再定义加工零件体、毛坯体；最后切换到机床视图，初步定义编程所用的刀具和夹具。

(6) 定义程序组

创建各个刀轨的轨迹线条，必要时在编程图形里创建辅助面、辅助线，恰当选用加工策略，编制各个刀轨。

尽可能采取固定轴定向加工的方式进行大切削量的粗加工、清角、半精加工、精加工才采用联动的方式加工。要时刻确保不要使旋转工作台在旋转时承担过大的重切削工作。

(7) UG 软件的内部刀轨模拟仿真

多轴加工的刀轨由于刀具沿着空间偏摆运动复杂，数控编程工程师要力争在编程阶段排除刀具、夹具与周围的曲面产生的过切或者干涉现象。为此，编程时要特别重视对刀轨进行检查，发现问题及时纠正，初步进行处理后生成加工代码 NC 文件。

(8) 填写数控程序 CNC 工艺单

数控程序 CNC 工艺单是数控编程工程师的成果性文件，在其中必须清楚地告诉操作人员以下内容：预定的装夹方案、零点位置、对刀方法；数控程序的名称、所用的刀具及夹具规格、装刀长度等。操作人员必须严格执行。

(9) VERICUT 刀轨仿真

对于多轴加工编程来说，最大的困惑就是，在 UG 软件的环境里检查刀轨并未发现错误，而实际切削时可能会出现一些意想不到的错误。这是由于 UG 软件模拟的刀轨里 G00 指令和实际机床加工有差别，以及各个操作刀轨之间的过渡和机床实际运行有差别，导致 UG 软件的仿真与实际有差别。这一点应该引起特别注意。