

多主轴头数控机床虚拟仿真加工 平台的构建方法

蔡安江, 王沛彭, 王晨曦, 李 玲

(西安建筑科技大学机电工程学院, 西安 710055)

摘要: 针对目前多主轴头数控机床在虚拟仿真加工过程中无法实现多主轴头切换调用的问题, 提出了一种多主轴头数控机床虚拟仿真加工平台的构建方法。首先, 根据多主轴头数控机床的多主轴头库创立虚拟轴, 构建其各运动轴的拓扑结构, 搭建虚拟数控机床的几何模型; 其次, 利用数控系统的宏和变量等进行二次开发, 通过改变虚拟轴中各主轴头组件在虚拟数控机床结构项目树和几何模型中的位置得到宏程序, 并通过宏调用指令将此更换主轴头宏程序作为子程序代替执行 NC 程序中更换主轴头的功能指令, 使虚拟数控机床在执行更换主轴头指令时实际执行的是更换主轴头的宏程序, 实现了多主轴头数控机床虚拟仿真加工过程中主轴头的动态切换调用; 最后, 应用该方法构建了 UniForce6 落地镗铣加工中心的虚拟仿真加工平台, 并完成了某箱体零件的仿真加工。结果表明: 该虚拟仿真加工平台可实现多个主轴头协同完成加工过程的连续仿真, 符合实际加工工况, 且在更换主轴头的过程中可检查干涉碰撞情况, 进一步提高了多主轴头数控机床虚拟仿真加工的有效性。

关键词: 机械制造; 多主轴头数控机床; 虚拟轴; 拓扑结构; 宏程序; 连续仿真加工

中图分类号: TG659 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5497(2024)06-1528-09

DOI: 10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20221223

Construction method of virtual simulation machining platform for CNC machine tools with multi-spindle heads

CAI An-jiang, WANG Pei-peng, WANG Chen-xi, LI Ling

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Aiming at the problem that current the CNC machine tools with multi-spindle heads cannot realize the multi-spindle head switching call in the virtual simulation process, a method of constructing a virtual simulation processing platform of the multi-spindle CNC machine tool is proposed. Firstly, as a multi-spindle head library for CNC machine tools with multi-spindle heads, the virtual axis are created, the topology of each motion axis is constructed, and the geometric model of virtual CNC machine tools is constructed. Secondly, the macro and variables of the CNC system are used for secondary development.

收稿日期: 2022-11-29.

基金项目: 教育部中国高校产学研创新基金项目(2021DZ022); 陕西省自然科学基金基础研究计划重点项目(2019JZ-50).

作者简介: 蔡安江(1965-), 男, 教授, 硕士. 研究方向: 数字化与智能化制造. E-mail: Cai_aj@163.com

By changing the position of the spindle head components in the virtual CNC machine tool structure project tree and the geometric model, the macro program is obtained, and by the macro calls instructions, it is used as a subroutine replace performing the functional instructions for changing the spindle head in the NC program. So that when the command to replace the spindle head is executed, the virtual CNC machine tool actually executes the macro program of changing the spindle head, and the dynamic switching call of the spindle head during the virtual simulation processing of the multi-spindle head CNC machine tool is realized. Finally, using this method, the virtual simulation processing platform of UniForce6 floor boring and milling machining center was constructed, and the simulation processing of a box part was completed. The results show that the virtual simulation processing platform can realize the continuous simulation of multiple spindle heads, which meets the actual processing conditions, and can check the interference and collision situation when changing the spindle head, which further improves the effectiveness of the virtual simulation processing of the CNC machine tool.

Key words: mechanical manufacturing; CNC machine tools with multi-spindle heads; virtual axis; topology structure; macro program; continuous simulation machining

0 引言

高档数控机床是先进制造与工业智能化的基石,是航空航天、军工、汽车、电子信息等精密装备赖以发展的制造母机^[1]。多主轴头数控机床带有多个铣削主轴头^[2],工件只需进行一次装夹,可完成对工件除底面外5个工作面的加工,该类数控机床具备功率大、精度高、加工区域大的特点,其独特的多主轴头结构适用于多种工况的加工要求,常被用于大型复杂箱体类和壳体类零件的加工。

多轴数控加工领域必须利用虚拟仿真加工技术验证NC程序的正确性,预测加工中可能出现的干涉碰撞,并优化NC程序,提高加工效率^[3]。Yu等^[4]提出了TCS后处理算法,并利用VERICUT软件仿真加工整体叶轮,验证了此算法所生成的NC程序的正确性;Chen等^[5]提出了一种用于5轴圆周铣削的3D刀具半径补偿算法,并开发出具有2个刀具旋转轴的5轴机床的3D刀具半径补偿路径生成系统,将带有补偿矢量的G代码加入VERICUT加工仿真系统中,验证了NC程序的正确性;Tang等^[6]提出了通过多组包络对正齿轮的刨削加工方法,并基于VERICUT软件的仿真处理试验结果,证明了正齿轮刨削方法的可行性和数控代码的正确性;Yang等^[7]提出一种具有自由曲面的航空发动机叶片误差区域磨削路径规划方法,并利用VERICUT软件进行了仿真磨削实验,验证了该方法提高加工效率和加工精度的有效性。

综上,目前虚拟仿真加工技术主要应用在单主轴头数控机床的虚拟仿真加工方面,若需进行多主轴头数控机床的虚拟仿真加工,则需利用单主轴头的虚拟仿真加工技术为多主轴头数控机床的每个主轴头建立单独的虚拟仿真加工平台。此方法虽可验证NC程序的正确性,但在仿真加工同一个零件时,就相当于用多个数控机床加工一个零件,同时也需进行零件的多次装夹与定位,容易形成形位误差和尺寸误差的累积效应,影响判断工艺的合理性,降低虚拟仿真加工的有效性。另外,建立多个虚拟仿真加工平台,费时费力,且容易造成仿真错误。

针对多主轴头数控机床在虚拟仿真复杂零件加工中,因需应用多个主轴头而无法在虚拟仿真加工平台中实现切换调用的技术问题,本文研究多主轴头数控机床虚拟仿真加工平台的构建方法,实现复杂零件加工中多个主轴头协同完成加工过程的连续仿真,提升多主轴头数控机床虚拟仿真加工的有效性。

1 多主轴头数控机床虚拟仿真加工平台的构建流程

多主轴头数控机床虚拟仿真加工平台的构建主要分为两大模块:几何模型与动态模型,如图1所示。几何模型是指虚拟数控机床的实体模型构建,构建过程就是将实际数控机床按照运动逻辑关系进行分解,构建各部件数学模型,并按照数控机床各运动轴之间的逻辑关系进行“装配”^[8];动

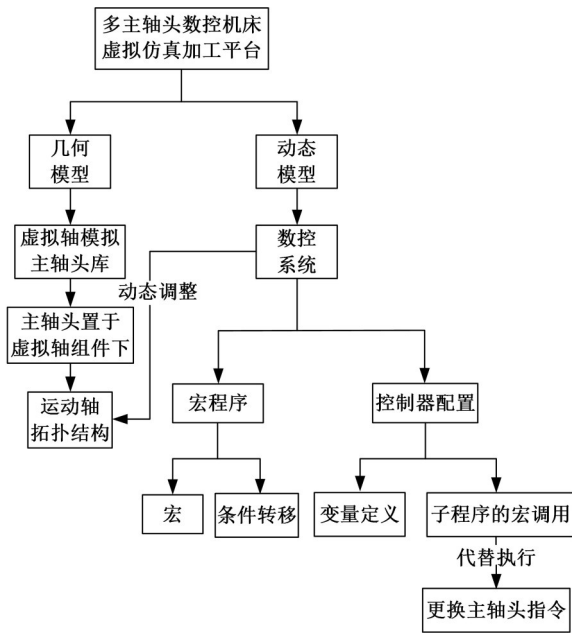


图 1 多主轴头数控机床虚拟仿真加工平台的构建流程

Fig. 1 Construction process of virtual simulation processing platform for CNC machine tool with multi-spindle heads

态模型是指多主轴头的更换调用,基于 VERICUT 仿真平台的标准数控系统进行二次开发,得到数控宏程序,并通过控制器的配置调用此宏程序,使虚拟数控机床根据使用需求调用主轴头,完成多主轴头数控机床虚拟仿真平台的构建。

2 多主轴头数控机床虚拟仿真加工平台的构建

2.1 几何模型

2.1.1 主轴头类型

数控加工中心的主轴头也称铣头,是安装在机床上并与主轴连接,用于带动刀具旋转的机床附件之一,是机床附件的重要组成部分,能扩大数控机床的使用范围,主要有直角主轴头、万向主轴头、5轴主轴头等类型。轻型主轴头质量轻、精度高、扭矩偏小,用定位块定位,可进刀库随刀具进行自动换刀;重型主轴头质量大、扭矩大、价格昂贵,使用连接盘固定及锁紧,配备重型主轴头的机床一般会有专门的主轴头库(见图2),与刀库类似,根据工艺需求调用。本文研究的对象是指带有主轴头库的多主轴头数控机床。

2.1.2 多主轴头虚拟数控机床运动轴的拓扑结构

一般来说,数控机床是由两个运动链的相对运动加工零件,一条为刀具运动链,床身-刀具;另

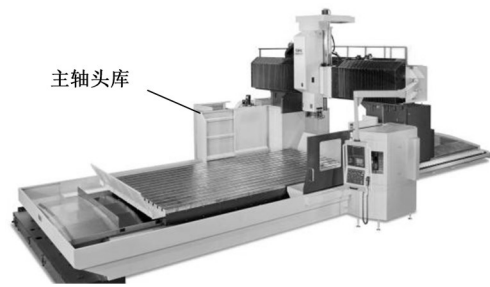


图 2 多主轴头数控机床

Fig. 2 Multi-spindle head CNC machine tool

一条为工件运动链,床身-毛坯^[9]。由于多主轴头数控机床拥有类似刀库的主轴头库结构,在建立虚拟仿真加工环境时,与一般的数控机床存在不同。为实现多主轴头协同完成加工过程的仿真,提出建立一个虚拟轴(在实际数控机床结构中并不存在)模拟实际数控机床中存放主轴头的主轴头库,将数控机床的多个主轴头放在虚拟轴组件下,在每个主轴头组件下都各自建立主轴与刀具组件,并将虚拟轴单独作为一条虚拟运动链。此运动链不参与零件的加工,后续将通过宏程序的命令将虚拟轴中所需使用的主轴头组件动态调用到虚拟数控机床的加工运动链中。多主轴头数控机床一般都具有摆头 C 轴,床身-C 轴运动链与虚拟运动链的动态调用构成传统意义上的刀具运动链,并结合工件运动链,最终建立多主轴头虚拟数控机床的各运动轴组件的拓扑结构,如图 3 所示。

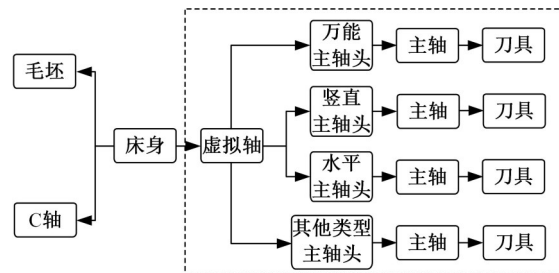


图 3 多主轴头虚拟数控机床的运动轴拓扑结构

Fig. 3 Topology of motion axis of virtual CNC machine tool with multi-spindle heads

2.2 动态模型

2.2.1 数控子程序的宏调用

数控机床调用主轴头的过程包含诸多重复的动作指令,使用子程序调用数控机床主轴头可以使 NC 程序更加简化。数控机床一般使用某个“G”码或“M”码指令更换主轴头,但在 VERICUT 虚拟仿真平台的数控系统库中,只包含一些常见数控系统的标准控制器,并不能识别在实际

数控机床上所使用的更换主轴头功能指令。为使虚拟数控机床可根据 NC 程序中的更换主轴头指令时执行更换主轴头动作,则需通过子程序调用指令(不同数控系统的调用子程序指令有所不同)代替执行更换主轴头指令,实现虚拟数控机床执行更换主轴头指令时能调用更换主轴头子程序,如图 4 所示。

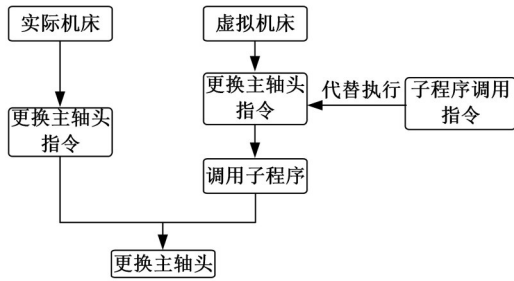


图 4 子程序调用示意图

Fig. 4 Schematic representation of subroutine calls

子程序调用指令分为两种,一种为普通调用,另一种为宏调用。宏调用命令可指定自变量传递数据,进行数控主程序与子程序之间的参数传递,因此,本文的子程序调用采用宏调用。

2.2.2 数控子程序的流程

根据实际情况中数控机床调用主轴头的过程(见图 5),分析得到调用主轴头子程序的具体流程,如图 6 所示。子程序中包含逻辑计算和决策判断等部分,由于宏程序的指令参数可以是常数、变量和表达式,在加工过程允许对指令参数进行计算和赋值,允许通过条件判断进行程序的跳转和循环,允许读写系统参数、刀具补偿和坐标偏置,因此在子程序的开发过程中使用宏编程的方法^[10],则此程序为宏程序。

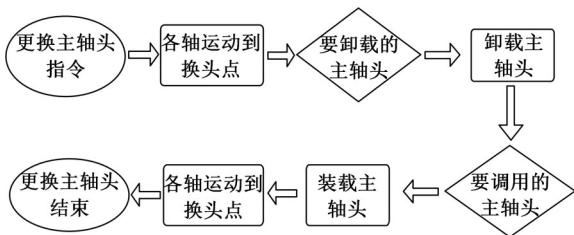


图 5 调用主轴头的过程图

Fig. 5 Process diagram for calling spindle head

通过进一步分析程序流程图可知,数控子程序主要包含 4 个模块。

程序的初始段。将各个参与更换主轴头的组件移动至机床固定的换头位置,记录准备更换主轴头的编号,并与此时在主轴上的主轴头号对比。若主轴上的主轴头与所要更换的主轴头相同,则

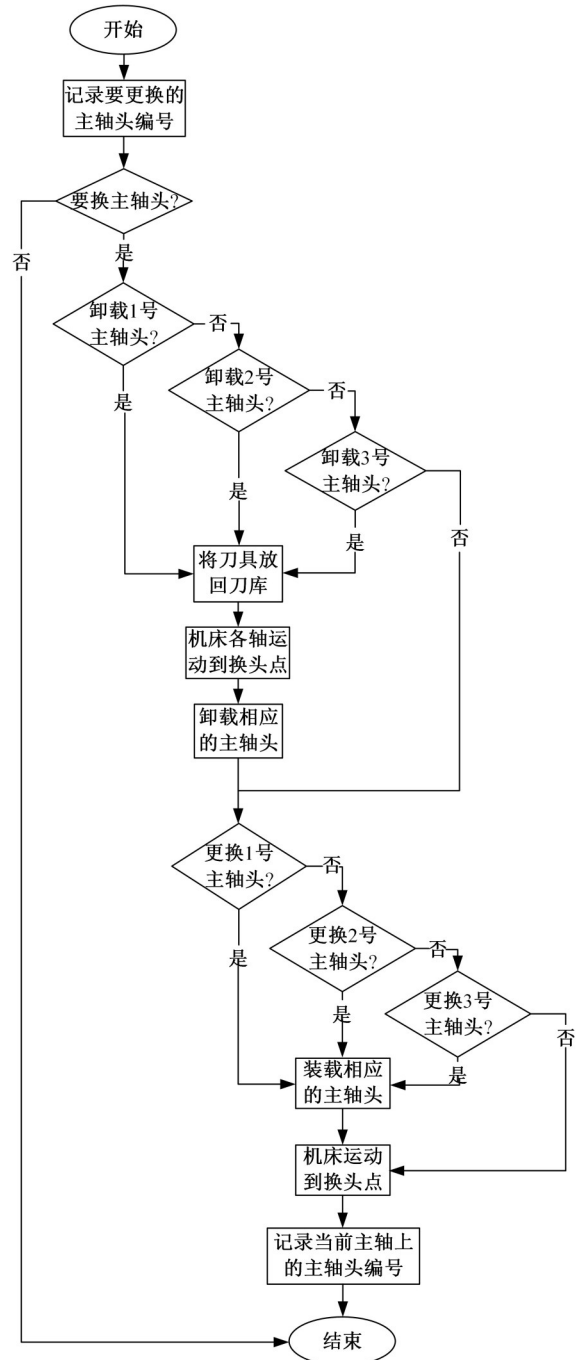


图 6 子程序流程图

Fig. 6 Subprogram flow chart

直接跳转到程序结束段;若不同,则要先执行卸载主轴头的程序段,再执行加载新主轴头的程序段;若此时主轴上没有主轴头,则直接执行加载新主轴头的程序段。在卸载主轴头时,主轴头不能带着刀具被放回主轴头库中,每次执行卸载主轴头的程序段前必须将主轴上的刀具送回刀具库中。

装载主轴头程序段。将所要调用的主轴头移动到主轴的下方,并将虚拟轴中的主轴头组件在结构项目树中的位置调用到 C 轴组件下,搭建虚

拟机床与主轴头之间的动力运动链,激活主轴头对应的刀具组件,设置轴偏置,刀尖点受到补偿,移动到刀具组件坐标系原点,实现对主轴头的调用。其他主轴头的装载程序与之类似。

卸载主轴头程序段。先取消轴的偏置,将主轴上的主轴头移动到主轴头库所对应的位置中,将主轴头组件在结构项目树中的位置放回到虚拟轴组件内,切断虚拟机床与主轴头之间的动力传递,完成主轴头的退头操作。其他主轴头的卸载程序与之类似。

程序的结束段。开启机床的一些辅助功能,定位主轴从主轴头库更换完毕以后移动的位置,记录当前主轴上的主轴头编号,以便下次进入子程序时判断应该要卸载的主轴头。

2.2.3 变量分析

在更换主轴头的子程序中,使用变量对当前主轴的一些状态做出记录,通过判断两个变量的值,结合条件转移语句来进行子程序的流程控制。在虚拟仿真加工环境系统控制器中定义两个全局变量,分别为全局变量1和全局变量2(变量的表示方法为“#+数字”,此处的数字1和2仅为区分两个变量)。使用宏调用命令调用子程序可进行参数传递,可知本次调用主轴头进入子程序后自变量的值(即执行子程序所调用主轴头的信息),将自变量的值赋给全局变量1,记录准备要更换的主轴头编号,在程序的结束段,将全局变量1的值赋给全局变量2,使全局变量2能记录当前数控机床正在使用的主轴头。

3 仿真加工验证

3.1 搭建 UniForce6 落地镗铣加工中心虚拟加工环境

UniForce6 数控机床是一种大型 6 轴 5 联动落地镗铣加工中心,工件固定在落地工作台上,适宜于加工尺寸和重量较大的工件。该数控机床有 3 个主轴头,分别为水平主轴头、竖直主轴头和万能主轴头,在虚拟数控机床中的编号分别为 3000,2000,1000。UniForce6 数控机床的各运动轴中,X 轴为在床身导轨上作横向移动的立柱;Y 轴为在立柱上垂直移动的主轴箱;Z 轴为主轴箱内具有可与铣轴一同伸缩的滑枕;C 轴沿 Z 轴 360° 旋转运动;W 轴为沿着床身导轨做纵向运动的落地工作台;B 轴沿工作台中心作 360° 旋转运

动;万能主轴头还有一个 A 轴。结合前文所述多主轴头数控机床虚拟轴的构建方法,建立一个虚拟轴组件,由于 UniForce6 数控机床的主轴头库为竖直排列,与 UniForce6 数控机床的 Y 轴方向相同,因此构建一个虚拟的附加线性轴 V 轴来模拟主轴头库。将镗铣加工中心 3 种不同类型的主轴头放在虚拟轴组件下,并为每个主轴头组件下各自建立主轴组件与刀具组件,最终 UniForce6 虚拟数控机床的运动轴拓扑结构关系如图 7 所示。据此,搭建 UniForce6 虚拟数控机床的结构项目树,如图 8 所示。导入各组件相应的实体模型,UniForce6 虚拟数控机床的几何模型如图 9 所示。

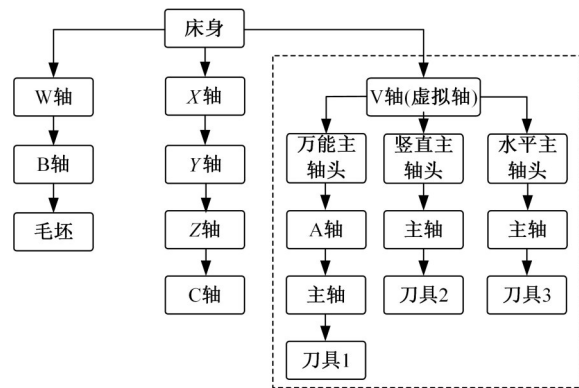


图 7 UniForce6 虚拟数控机床的运动轴拓扑结构
Fig. 7 Topology of UniForce6 virtual CNC machine tool

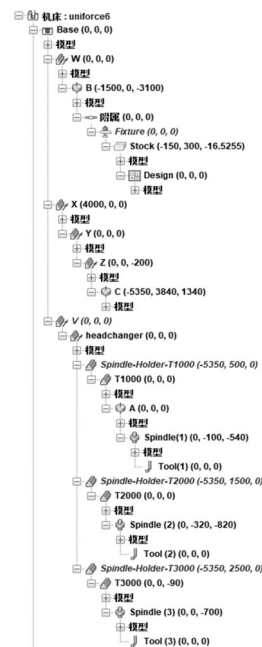


图 8 UniForce6 虚拟数控机床的结构项目树
Fig. 8 Structure project tree of UniForce6 virtual CNC machine tool

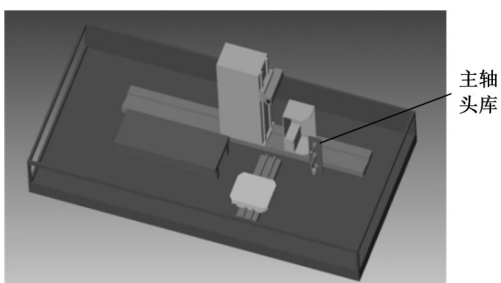


图 9 UniForce6 虚拟数控机床的几何模型

Fig. 9 Geometric model of UniForce6 virtual CNC machine tool

虚拟数控机床各运动轴组件配置时,一般各运动轴组件都位于子系统 1 中,由于 V 轴组件沿虚拟数控机床 Y 轴运动,在定义的子程序中,一些宏会命令 Y 轴组件运动,为避免 V 轴组件也跟随宏与 Y 轴一起运动,故将 V 轴虚拟轴组件归于数控机床子系统 2,如图 10 所示。由于数控机床有多个主轴头,所以要给每个主轴头的刀具组件分配不同的刀具索引号,如图 11 所示。这样在更换主轴头时,就可通过刀具索引号激活不同的刀具组件,以确定在换刀时刀具的安装位置。



图 10 V 轴(虚拟轴)组件配置示意图

Fig. 10 Schematic diagram of V-axis (virtual-axis) component configuration

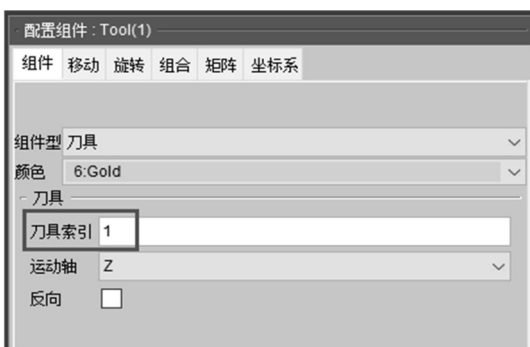


图 11 刀具组件配置示意图

Fig. 11 Schematic diagram of tool assembly configuration

UniForce6 数控机床使用发那科(Fanuc)控制系统,使用“M95 T+主轴头编号”指令更换主轴

头,在虚拟数控机床控制器高级选项中,定义“G65 P7777”代替“M95”,使“M95”指令执行时,会自动调用更换主轴头子程序“O7777”,如图 12 所示。



图 12 更换主轴头指令替换配置示意图

Fig. 12 Schematic diagram of replacement spindle head command replacement configuration

虚拟数控机床运动结构定义完成后,需对数控机床进行初始化设置,如数控机床干涉检查、数控机床初始位置、数控机床行程等,防止数控机床仿真加工中出现运动失效和干涉的现象,并根据数控机床现场使用的不同类型刀具在虚拟仿真的刀库中建立所需要的刀具,完成 UniForce6 数控机床的虚拟仿真加工环境的构建。

3.2 子程序的开发

利用宏调用指令 G65 将主程序中的 T 值(即主轴头编号)赋给 #20,在子程序的初始段,将变量 #20 的值赋给全局变量 #100,通过条件判断确定虚拟数控机床下一步的动作指令,定义全局变量 #20100 记录当前数控机床正在使用的主轴头。子程序中,宏“CaxisMachineMotion+数字”表示 C 轴组件移动的位置;宏“ConnectToCompName”与宏“ConnectCompName”成对出现,配合使用,用来定义某两个组件的相互关系;宏“TurnOnOffGagePivotOffset”表示打开或关闭轴偏置。在子程序中包含的部分宏如表 1 所示。

表 1 子程序包含的部分宏

Table 1 Partial macros contained in subprogram

宏名	作用
SaveUnits	保存已激活的单元以在子程序之后恢复
UnitsMetric	指定在子程序中被使用的单元
CaxisMachineMotion	C 轴运动
ProcessMotion	运动执行
TurnOnOff	打开/关闭轴偏置计算,0 代表关闭,
GagePivotOffset	1 代表打开
ConnectCompName	定义组件连接
ConnectToCompName	连接到组件,一般与宏 ConnectCompName 配合使用,改变组件间的相互依附关系
ActiveTool	激活刀具
PivotOffsetCompName	定义计算轴偏置的组件名称
RestoreUnits	储存单元
MacroVar	参数传递

图 13 给出了子程序的部分初始程序段,图 14 是卸载垂直主轴头的程序段,图 15 是装载水平主轴头的程序段。

```
O7777
CGTECH_MACRO "SaveUnits"
CGTECH_MACRO "UnitsMetric"
#100=#20(head number from G65P7777 T value)

(return to zero)
CGTECH_MACRO "CaxisMachineMotion" " " 0.0
CGTECH_MACRO "ProcessMotion"
CGTECH_MACRO "zaxisMachineMotion" " " 100.0
CGTECH_MACRO "ProcessMotion"
CGTECH_MACRO "XaxisMachineMotion" " " -4000.0
CGTECH_MACRO "ProcessMotion"
```

图 13 子程序的部分初始程序段

Fig. 13 Partial initial program segments of subroutines

```
(Return Head T2000)
N3100
CGTECH_MACRO "TurnOnOffGagePivotOffset" " " 0
CGTECH_MACRO "yaxisMachineMotion" " " -2340.0
CGTECH_MACRO "ProcessMotion"
CGTECH_MACRO "ZaxisMachineMotion" " " -1050.0
CGTECH_MACRO "ProcessMotion"
CGTECH_MACRO "ConnectCompName" T2000
CGTECH_MACRO "ConnectToCompName" Spindle-Holder-T2000
CGTECH_MACRO "zaxisMachineMotion" " " 100.0
CGTECH_MACRO "ProcessMotion"
GOTO 4000
```

图 14 卸载垂直主轴头的程序段

Fig. 14 Uninstall program segments of vertical spindle head

```
(Load Head T1000)
N5000
CGTECH_MACRO "YaxisMachineMotion" " " -3340.0
CGTECH_MACRO "ProcessMotion"
CGTECH_MACRO "ZaxisMachineMotion" " " -1050.0
CGTECH_MACRO "ProcessMotion"
CGTECH_MACRO "ConnectCompName" T1000
CGTECH_MACRO "ConnectToCompName" C
CGTECH_MACRO "ActiveTool" " " 1
CGTECH_MACRO "PivotOffsetCompName" "C"
CGTECH_MACRO "TurnOnOffGagePivotOffset" " " 1
GOTO 9000
```

图 15 装载水平主轴头的程序段

Fig. 15 Loading program segments of horizontal spindle head

3.3 工件

现通过仿真加工一个箱体类零件,验证本文所提出的多主轴头数控机床虚拟仿真加工平台构建方法的合理性与正确性。此箱体类零件为减速器的下箱体,如图 16 所示。针对此类复杂零件,如果使用落地镗铣加工中心,只需要一次工装即可完成除安装面之外所有表面的加工,可以有效提高加工效率,而且保证了其相互位置精度的要

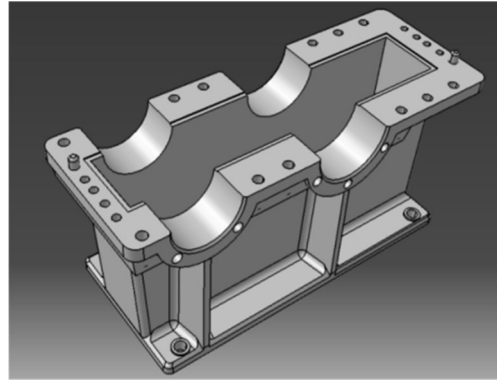


图 16 减速器下箱体零件示意图

Fig. 16 Schematic diagram of box parts under the reducer

求。将毛坯和目标零件导入 VERICUT 模型中,再导入 NC 程序,设置加工坐标系,配置 G 代码偏置,完成虚拟仿真加工之前的准备工作。

3.4 仿真加工过程

通过子程序将虚拟数控机床各个运动轴组件移动到固定的更换主轴头位置,并将主轴箱移动到垂直主轴头组件后方,如图 17 所示。此时在数控机床结构项目树中,虚拟轴组件下的垂直主轴头组件调用到 C 轴组件下方,进入数控机床加工运动链,打开轴偏置,完成对垂直主轴头的调用,如图 18 所示。在卸载主轴头程序段,垂直主轴头退回到主轴头库中,关闭轴偏置,结构项目树中从属于 C 轴下方的垂直主轴头组件放回到 V 轴虚拟轴(主轴头库)中,完成垂直主轴头的卸载,如图 19 所示。

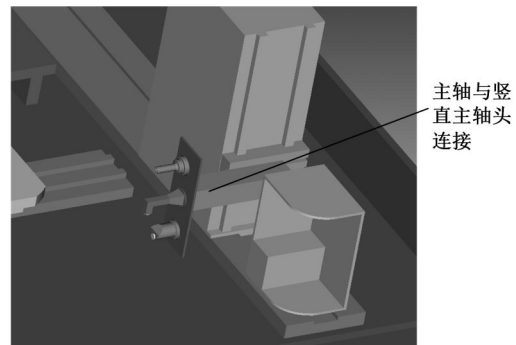


图 17 调用垂直主轴头示意图

Fig. 17 Schematic diagram of calling vertical spindle head

通过子程序将虚拟数控机床各个运动轴组件移动到固定的更换主轴头位置,将主轴箱移动到水平主轴头组件后方,如图 20 所示。此时在数控机床结构项目树中,虚拟轴组件下的水平主轴头组件调用到 C 轴组件下方,进入数控机床加工运动链,打开轴偏置,完成对水平主轴头的调用,如图 21 所示,工件加工完毕。水平主轴头的卸载与垂直主轴头的卸载过程相似。

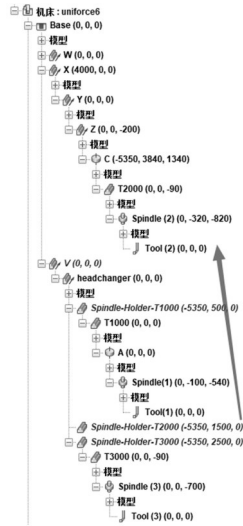


图 18 竖直主轴头组件在结构项目树中的位置变化示意图

Fig. 18 Schematic diagram of position change of the vertical spindle head assembly in structural project tree

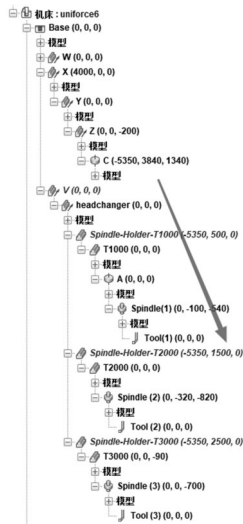


图 19 竖直主轴头的卸载示意图

Fig. 19 Schematic diagram of unloading of the vertical spindle head

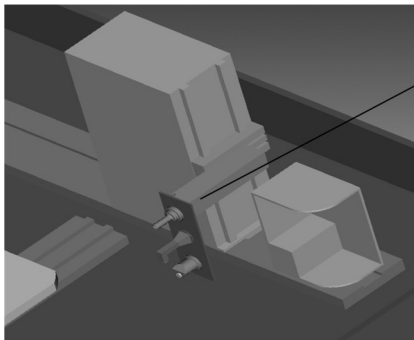


图 20 调用水平主轴头示意图

Fig. 20 Schematic diagram of calling horizontal spindle head

利用 VERICUT 软件的自动比较(AUTO-DIFF)功能对比切削毛坯和减速器下箱体零件的设计模型,生成自动比较报告,如图 22 所示。从报告中可知,仿真加工过程中无欠切、过切和干涉碰撞等现象发生。

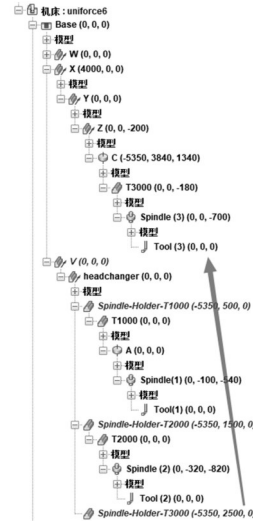


图 21 水平主轴头组件在结构项目树中的位置变化示意图

Fig. 21 Schematic diagram of position changes of the horizontal spindle head assembly in structural project tree



图 22 自动比较报告

Fig. 22 Automatic comparison report

3.5 仿真结果分析

构建的 UniForce6 落地镗铣加工中心虚拟仿真加工平台,在虚拟仿真加工某减速器下箱体零件时,完成了两次主轴头的切换调用,即分别调用了竖直主轴头与水平主轴头,实现了实际加工全过程的虚拟仿真加工,更换主轴头与实际数控加工过程一致,更符合实际加工工况,且更换主轴头过程中无干涉碰撞,有效验证了 NC 程序的正确性。

4 结 论

(1) 虚拟仿真加工平台中创立虚拟轴模拟多主轴头数控机床的主轴头库,将数控机床的多个主轴头设置在虚拟轴组件下,每个主轴头组件下各自建立主轴组件与刀具组件,将虚拟轴单独作为一条虚拟运动链,与“床身-C轴”运动链一起构成刀具运动链,结合工件运动链,建立多主轴头数控机床的运动轴拓扑结构。

(2) 通过将虚拟运动链中各主轴头组件动态调用到虚拟数控机床加工运动链中,并利用数控系统的宏和变量等进行二次开发得到宏程序。将此宏程序作为子程序代替执行NC程序中更换主轴头的功能指令,使虚拟数控机床在执行更换主轴头指令时实际执行的是更换主轴头的子程序,实现了多主轴头数控机床虚拟仿真加工过程中主轴头的动态切换调用。

(3) 应用本文方法构建了UniForce6落地镗铣加工中心的虚拟仿真加工平台,完成某箱体零件的仿真加工,实现了多个主轴头协同完成加工过程的连续仿真,符合实际加工工况,且在更换主轴头的过程中无碰撞情况发生,提高了多主轴头数控机床虚拟仿真加工的有效性,缩短了产品零件的生产周期,优化了零件加工工艺。

参考文献:

- [1] 胡涑,查俊,朱永生,等. 基础装备制造及高档集成数控机床研究进展[J]. 中国机械工程, 2021, 32(16): 1891-1903.
Hu Lai, Zha Jun, Zhu Yong-sheng, et al. Research progress in basic equipment manufacturing and high-grade integrated CNC machine tools[J]. China Mechanical Engineering, 2021, 32(16): 1891-1903.
- [2] 崔榕芳,陈蔚芳,潘立剑,等. 基于遗传算法的多主轴头加工空行程轨迹规划[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(2):507-517.
Cui Rong-fang, Chen Wei-fang, Pan Li-jian, et al. Empty travel trajectory planning of multi-spindle head processing based on genetic algorithm[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2022, 28(2): 507-517.
- [3] 吴志清. VERICUT 虚拟机床技术在五轴加工中的应用研究[J]. 机床与液压, 2016, 44(16):66-68, 76.
Wu Zhi-qing. Application of VERICUT virtual machine tool in five axis processing[J]. Machine Tool and Hydraulic Pressure, 2016, 44(16): 66-68, 76.
- [4] Yu D Y, Ding Z. Post-processing algorithm of a five-axis machine tool with dual rotary tables based on the TCS method[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, 102(9): 3937-3944.
- [5] Chen Y D, Wei H X, Wang T M. Three-dimensional tool radius compensation for a 5-Axis peripheral milling[J]. Advanced Science Letters, 2011, 4(8): 3093-3096.
- [6] Tang J Y, Yang X Y. Research on manufacturing method of planing for spur face-gear with 4-axis CNC planer[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 82(5): 847-858.
- [7] Yang J H, Zhang D H, Wu B H, et al. A path planning method for error region grinding of aero-engine blades with free-form surface[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 81(1): 717-728.
- [8] 杨胜群,杨伟群,唐秀梅,等. VERICUT 数控加工仿真技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2013:103-115.
- [9] 唐清春,尹韶辉,王永强,等. 非模态回转轴旋转角的优化方法[J]. 机械工程学报, 2018, 54(3):178-185.
Tang Qing-chun, Yin Shao-hui, Wang Yong-qiang, et al. Optimization method of rotation angle of non-modal rotary axis[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(3):178-185.
- [10] 韦洪新,王智森,程发武. 基于控制分布角的球面螺旋加工法研究[J]. 现代制造工程, 2022, 501(6): 39-42.
Wei Hong-xin, Wang Zhi-sen, Cheng Fa-wu. Study on spherical helix processing method based on control distribution angle[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2022, 501 (6): 39-42.