

# 基于PowerMILL五轴机床运动仿真的探索与应用

年得君, 孙耀恒

白银矿冶职业技术学院 甘肃白银 730900

**摘要:** 五轴数控机床不仅可完成复杂、精密零件的加工, 而且还能提高加工效率。加工程序的正确性, 对产品的质量有很大影响。数控仿真不仅可以验证程序的正确性, 还可以检测刀具与机床附件是否存在干涉。五轴机床运动仿真以机床模型搭建为基础, 深入研究机床运动控制文件等关键技术, 解决五轴机床运动仿真等技术难题, 为五轴数控加工提供了依据。

**关键词:** PowerMILL; 五轴机床; 运动仿真

## 1 序言

五轴数控加工可减少工件的装夹次数, 改善加工质量, 提高加工效率。航空加工零件结构多样、复杂, 五轴数控加工可满足加工要求, 但也给数控编程人员带来了新的挑战。数控程序编完后, 未仿真的数控程序安全性和正确性很低, 直接传输到机床进行加工, 会导致首件试切时间延长, 加工效率降低。为了更有效地利用五轴机床, 需要模拟机床加工过程, 避免干涉。五轴数控加工仿真分为代码前仿真和代码后仿真。前者验证刀具和夹具等附件是否存在干涉, 进、退刀是否合理; 后者主要是验证程序的正确性, 同时也检测刀具与机床夹具是否存在干涉等问题。

## 2 搭建五轴机床模型

五轴数控机床有3个线性轴和2个旋转轴, 常见的五轴机床结构有双摆台结构、双摆头结构、单摆头+单转台结构、非正交结构、附加旋转工作台以及车铣复合加工中心。本文以双摆台结构的五轴机床为例, 搭建五轴机床模型。双摆台五轴机床坐标轴如图1所示, 有3个线性轴X、Y、Z和2个旋转轴A、C。建立机床模型时, 根据机床实际结构, 先构建机床组件树(见图2)。组件树需要从毛坯和刀具两方面依次找到各自对应的运动关系, 双摆台五轴机床, 刀具安装在Z轴, 毛坯安装在C轴工作台面。

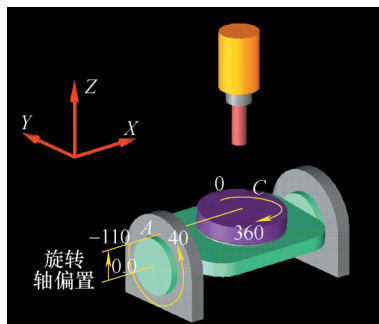


图1 五轴机床坐标轴



图2 五轴机床组件树

对于双摆台五轴机床, 从图2可以看出, 刀具依附在Z轴, Z轴依附在X轴, X轴依附在Y轴, 由此得出: Y轴移动就会带动X轴和Z轴移动, Z轴的移动仅仅带动刀具上下移动。毛坯依附在C轴工作台, C轴依附在A轴, 旋转A轴就会带动C轴和毛坯旋转, C轴的旋转仅仅带动毛坯旋转。

创建机床三维模型, 用NX软件创建机床各组件三维模型。为了便于配置五轴机床, 在坐标系原点创建工作台组件, 再以工作台为基准创建其余组件, 装配后如图3所示。将机床各组件输出并转换

为.dmt文件格式。注意：机床各组件要和机床运动控制.mtd文件放在同一个文件夹中，否则调出机床模型会出错报警。

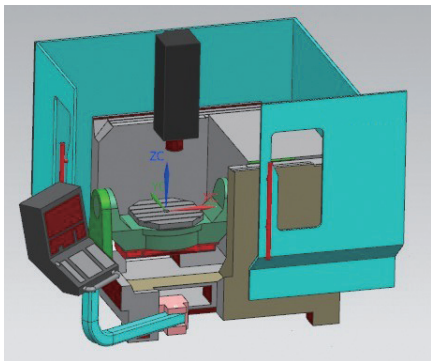


图3 NX创建的五轴机床模型

### 3 配置五轴机床

创建机床运动控制.mtd文件，1个完整的机床配置文件中有3部分，机床静止部件、床身table运动部件和主轴head运动部件。机床静止部件可以没有，如机床底座、机床外壳、显示器等。

根据组件树创建运动控制文件，A、C轴控制文件设定如图4所示。其中，A轴控制文件部分内容如下。

```
<control_info ADDRESS=" A" MIN="- 110" MAX=" 40" HOME=" 0" VALUE=" 0" PRIORITY=" MEDIUM" />; 设定A轴的行程范围-110° ~ 40°
```

```
<simple_rotary X=" 0" Y=" 0" Z=" 100" I=" -1" J=" 0" K=" 0" />; A轴中心轴线到工作台面距离100mm
```

```
<model_list OPACITY=" 600" >; 组件模型透明度显示
```

```
<rgb R=" 150" G=" 150" B=" 150" />; 用RGB三原色表示此部件在PowerMILL中的颜色
```

```
<path FILE=" 友嘉600/A轴转台.dmt" />; 指定机床部件所在路径
```

```

<machine_parts>
<axis>
<control_info ADDRESS="A" MIN="-110" MAX="40" HOME="0" VALUE="0" PRIORITY="MEDIUM" />
<simple_rotary X="0" Y="0" Z="100" I="-1" J="0" K="0" />
</axis>
<model_list OPACITY="600">
<triangle_file>
<path FILE="友嘉600/A轴转台.dmt" />
<rgb R="0" G="255" B="0" />
</triangle_file>
</model_list>
<machine_part>
<axis>
<control_info ADDRESS="C" HOME="0" VALUE="0" PRIORITY="MEDIUM" />
<simple_rotary X="0" Y="0" Z="0" I="0" J="0" K="-1" />
</axis>
<model_list OPACITY="100">
<triangle_file>
<path FILE="友嘉600/C轴工作台.dmt" />
<rgb R="200" G="200" B="200" />
</triangle_file>
</model_list>
<machine_part NAME="table" />
</machine_part>
</machine_parts>

```

图4 A、C轴控制文件

设定线性轴控制文件如下。

```
<control_info ADDRESS=" Y" MIN=" - 260" MAX=" 260" HOME=" 0" VALUE=" 0" PRIORITY=" HIGH" />; 设定Y轴的行程范围
```

```
<simple_linear I=" 0" J=" 1" K=" 0" />; 设定Y轴的初始方向
```

```
<control_info ADDRESS=" X" MIN=" - 230" MAX=" 230" HOME=" 0" VALUE=" 0" PRIORITY=" HIGH" />; 设定X轴的行程范围
```

```
<simple_linear I=" 1" J=" 0" K=" 0" />; 设定X轴的初始方向
```

```
<control_info ADDRESS=" Z" HOME=" 400" VALUE=" 400" PRIORITY=" HIGH" />; 设定Z轴的初始位置距离工作台面400mm
```

```
<simple_linear I=" 0" J=" 0" K=" 1" />; 表示刀具的初始位置
```

### 4 仿真实验

开启PowerMILL软件加载机床运动控制文件，调入已搭建的五轴机床模型，如图5所示，在手动模式下移动机床各坐标轴，检查坐标轴移动范围和运动方向，经测试符合实际机床运动要求。之后用搭建的五轴数控机床模型完成叶轮仿真加工，检查刀具和机床夹具等附件是否存在干涉。设定机床碰撞检测功能，如果仿真加工中有干涉和碰撞，暂停加工并显示报警信息，根据报警信息修改加工策略，优化加工工艺。若工作台和主轴发生碰撞，仿真暂停在碰撞处，如图6所示。

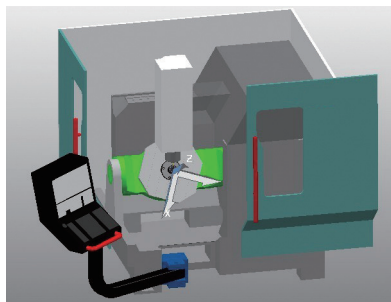


图5 五轴机床模型

要解决碰撞有三种方法，一是增加工件的装夹高度，二是增加刀具装夹长度，三是修改加工策略，限制A轴的摆角范围。优先选择限制摆角避免干涉碰撞。当A轴的摆角 $>90^{\circ}$ 时，工作台和主轴最容易发生碰撞，一般选择增加工件的装夹高度解

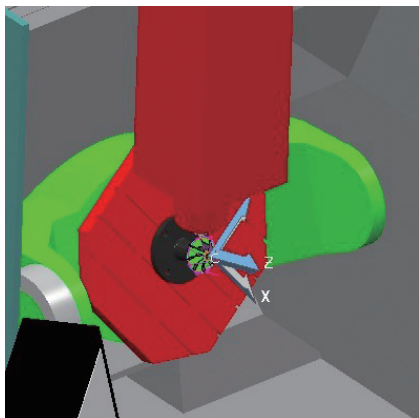


图6 工作台与主轴发生碰撞

决干涉问题。工件应安装在工作台的回转中心，避免A、C轴联动再次发生干涉。

工件装夹高度合理，才能保证工作台和主轴之间保持一定的安全间隙。装夹高度过低，工作台和主轴会发生干涉；装夹过高，加工刚性不足，易发生振动影响加工质量。装夹示意如图7所示， $L$ 为工作台半径， $L_1$ 为最小安全间隙， $L_2$ 为主轴单边距离， $D$ 为刀具半径， $U$ 为工件装夹偏差， $\alpha_{\text{Max}}$ 为A轴的最大摆角， $H_{\text{理论}}$ 为夹具最小理论安全高度， $H_{\text{实际}}$ 为夹具实际最小安全高度。

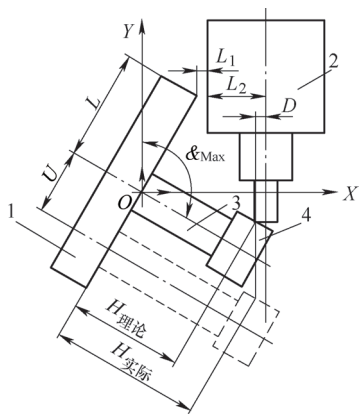


图7 装夹示意

1—A轴摆台 2—主轴 3—夹具 4—工件

由此可推导出工件装夹高度理论计算公式如下。

$$H_{\text{理论}} = \frac{L \cos(180^\circ - \alpha_{\text{Max}}) + L_1 + L_2 - D}{\cos(\alpha_{\text{Max}} - 90^\circ)}$$

实际装夹中，夹具中心和工作台回转中心有偏差，为了加工安全，需要计算出实际安全高度  $H_{\text{实际}}$ 。

$$H_{\text{实际}} = \frac{U \sin(\alpha_{\text{Max}} - 90^\circ) + L \cos(180^\circ - \alpha_{\text{Max}}) + L_1 + L_2 - D}{\cos(\alpha_{\text{Max}} - 90^\circ)}$$

根据已知条件计算出工件的实际装夹高度为121.5mm，工作台和主轴不会发生干涉。仿真验证如图8所示，将工件装夹高度调整后，完全满足加工要求。

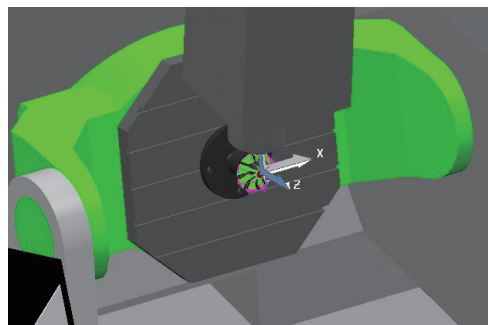


图8 仿真验证

## 5 结束语

针对PowerMILL五轴机床运动仿真，通过搭建五轴数控机床、创建运动控制文件，完成了五轴机床仿真文件，并进行了仿真验证，证明通过此方法可以检验五轴数控仿真刀具和夹具等附件是否存在干涉，进、退刀是否合理等技术问题，在五轴实际应用中有一定意义。

### 参考文献：

- [1] 李海咏. NX CAM多轴数控加工编程实践教程[M]. 北京：清华大学出版社，2014.
- [2] 王颀，孙耀恒，齐万涛. Vericut协同Mastercam在五轴加工中的应用[J]. 智能制造，2018 (Z1)：61-64.
- [3] 李海霞. VERICUT7.2数控加工仿真技术培训教程[M]. 北京：清华大学出版社，2013.
- [4] 孙耀恒，马永红. 万向节球体数控多轴加工工艺改进[J]. 金属加工（冷加工），2017 (19)：30-32.
- [5] 李体仁，孙宇佳. 基于PowerMILL的中空球体零件五轴加工技术[J]. 工具技术，2017，51 (3)：79-82.
- [6] 孙耀恒，王科健，孙护义. 基于增压叶轮逆向设计与五轴加工后处理的开发[J]. 机械工程师，2019 (8)：77-79，82.

MW 20201118