

# 基于虚拟现实技术的十字轴锻造过程仿真

王 栋, 张晓晴

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘 要:**采用 DEFORM-3D 对锻造过程进行仿真计算精度很高,但基于图形的动画效果不理想,不能提供交互可视化.因此,提出了基于 DEFORM-3D 和 Open Inventor 实现虚拟锻造仿真的新方法,通过 C++ 编码实现几何模型数据格式的转换,使 Open Inventor 可读入有限元计算的几何模型,并运用 Open Inventor 的传感器机制、引擎机制等,完成十字轴几何模型的塑性变形和上模的下压运动,且在 Open Inventor 平台上实现锻造过程的虚拟仿真.

**关键词:**虚拟现实;锻造;数据转换;场景图

**中图分类号:** TH16 **文献标志码:** A **doi:**10.13705/j.issn.1671-6833.2016.03.017

## 0 引言

锻造是一个复杂的塑性变形过程,用有限元法分析计算的结果准确,但非技术人员或客户很难理解这些数据,需将分析数据进行可视化展示,帮助其理解.虚拟现实技术具有非常好的展示能力,但没有分析能力和建立复杂模型的能力.2013 年 Michelin 公司已经将有限元和虚拟技术软件 Open Inventor 集成在一起,为仿真结果提供复杂的可视化.国内这方面的研究还不成熟,曹玉超等<sup>[1]</sup>建立基于 Open Inventor 冷弯成型机虚拟仿真平台,但仿真时运动的钢板被简化为静态的钢板,采用运动纹理实现视觉上的轧辊变形过程,仿真效果跟实际有差距.赵德金等<sup>[2]</sup>采用 MFC 和 OpenGL 技术开发了一个面向虚拟制造的板材加工仿真系统,模型直接应用 OpenGL 编写,模型较粗糙、简单,需进一步研究读取其他模型文件的功能.周国朝等<sup>[3]</sup>开发了 XPS 挤塑板生产工艺过程的虚拟现实平台,但由于软件之间的兼容性,对模型进行了简化,影响仿真效果的真实性.目前,塑性变形工件几何模型的建立仍是虚拟制造仿真过程的重大问题.笔者运用 C++ 编码将 DEFORM-3D 精确计算的几何模型,转换成 Open Inventor 可读入的数据格式,该方法简单直接,很好地解决了虚拟加工中建立精确模型的问题,并成功实现了锻造加工过程的虚拟仿真.

## 1 有限元仿真

### 1.1 建立有限元仿真模型

十字轴是某公司生产的汽车联轴器上的重要零件,其锻造由预锻和终锻两部分组成.以终锻过程为例,在 DEFORM-3D 中载入十字轴和上、下模具的几何模型,并设置模拟参数,如图 1 所示.材料选用材料库中的 AISI-8620,模拟温度 1 100 ℃,剪切摩擦,摩擦因数为 0.3,设定上模具运动速度 10 mm/s,下模具固定,模拟步长 0.02 mm,每间隔 10 步保存一次数据.

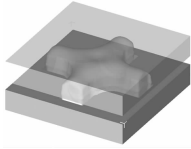


图 1 十字轴和模具的相对位置关系

Fig. 1 The relative positional relationship between the cross shaft and dies

### 1.2 仿真数据输出

十字轴在锻造过程中发生塑性流动并逐渐成形,通过有限元运算,仿真过程的每一步数据都保存在 DEFORM-3D 数据库文件(.DB)中,可提取任何时间段上下模具和十字轴的三维几何模型.其数据格式为 STL,有 2 种形式:Binary 和 ASCII. ASCII 码格式具有良好的可读性,可通过文本编辑器进行查看和修改<sup>[4]</sup>,因此主要研究 ASCII 数

收稿日期:2015-09-23;修订日期:2015-11-19

基金项目:国家高技术研究发展计划资助项目(863 计划)(2012AA041801)

作者简介:王栋(1970—),男,河南沁阳人,郑州大学教授,博士,主要从事抗疲劳制造技术和虚拟制造技术研究,  
E-mail:wangdong@zzu.edu.cn.

据格式之间的转换.

2 格式转换

实现 STL 格式向 IV 格式转换有 3 种方法:①利用转换工具(兼容两种数据格式的软件),但有一定的局限性;②利用 Open Inventor 的拓展模块 Data Converter,但对软件有一定的要求;③利用 C++ 编程实现数据转换,具有普遍适用性,效果较好.采用第 3 种方法实现 STL 格式向 IV 格式转换.

为了研究两种数据格式之间的关系,在 SolidWorks 中建立简单的正方体模型,另存为 STL 和 IV 两种数据格式,进行对比分析.

2.1 STL 数据格式

STL 格式的几何模型由大小形状各异的三角面片近似还原得到.分析如下所示正方体的 STL 数据:

```
SOLID DEFORM-3D STL FILE
FACET NORMAL 1 0 0
  OUTER LOOP
    VERTEX 10 10 10
    VERTEX 10 0 10
    VERTEX 10 10 0
  ENDLOOP
ENDFACET
```

第一行为说明行,从第二行开始记录数据.首先是三角面的空间法向量,以 FACET NORMAL 开始,其后跟向量数据,接着是一个循环,依次记录三角面片 3 个顶点的坐标,以 OUTER LOOP 开始,END LOOP 结束循环,END FACET 标志着第一个三角面片记录完毕,继续记录下一个三角面片数据,直到将全部三角形面片数据记录完毕<sup>[5]</sup>.

2.2 IV 数据格式

Open Inventor 所支持的 IV 格式数据是几何模型表面三角网格化得到的,其数据文件由多部分组成,主要包括文件头部、节点信息、域关系、引擎数据等<sup>[6]</sup>.例如,如下所示正方体的 IV 数据由两部分组成,第一部分是正方体表面所有三角面顶点坐标,在域名 Point 后为坐标数据;第二部分为每一个三角面顶点的索引编号,在域名 CoorIndex 后紧跟编号数据.

```
Coordinate3 { point [ -0.005 -0.005 0 ,
                      -0.005 -0.005 0.01 , ... ]
}
IndexedFaceSet { coordIndex [ 7, 5, 6, -1,
                             6, 5, 4, -1, ... ]
}
```

2.3 格式转化流程图

通过数据对比发现,两种数据是等效的,只是模型的大小尺寸和空间坐标位置不同,相当于三维几何模型进行了缩放和平移变换,通过编程可实现两种数据格式之间的转换.从 STL 中提取顶点坐标数据,并对其进行编号,流程图如图 2 所示.

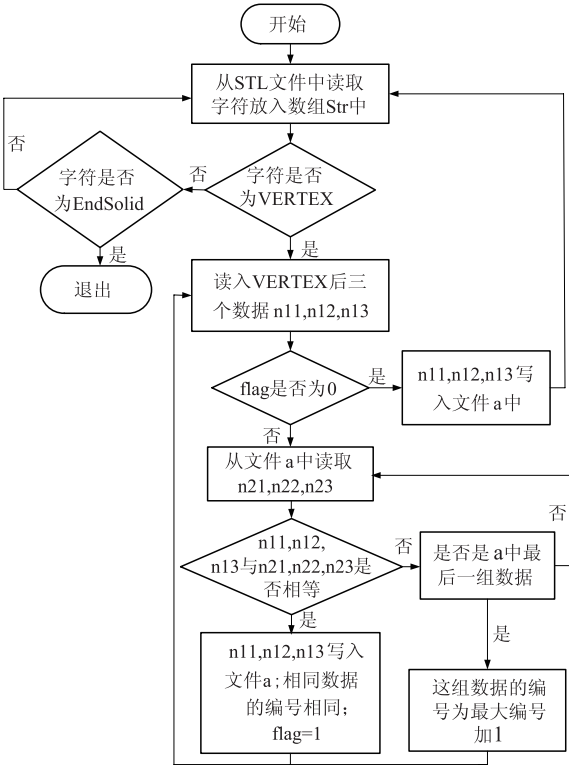


图 2 从 STL 提取数据流程图  
Fig. 2 The flowchart of picking up data from STL

创建 IV 数据文件是一个字符匹配的过程,流程图如图 3 所示,先写入节点、域、路径等对象的名称,然后输出相应数据值<sup>[7]</sup>.

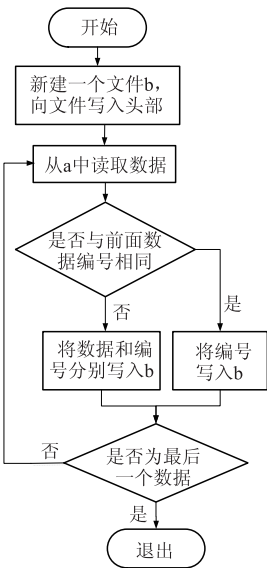


图 3 写入 IV 数据转换流程图  
Fig. 3 The flowchart of writing data to IV

3 场景图的建立及仿真过程的实现

3.1 建立场景图

场景图可以很好地表示物体的三维几何信息、光照和材料等属性信息,以及构成节点容器的组信息.在场景中执行一个动作,会自动进入自顶向下、自左向右的场景遍历状态<sup>[8]</sup>.

十字轴锻造过程的虚拟仿真,是将有限元模拟中每一步十字轴的位置及几何形态的信息读入场景,运用传感器机制和回调函数,控制几何模型的交替显现和消失,从而实现十字轴的塑性变形过程.同时,运用域传感器、引擎和平移回调函数控制上模做下压运动.根据场景图的基本原则,建立如图 4 所示的场景图.

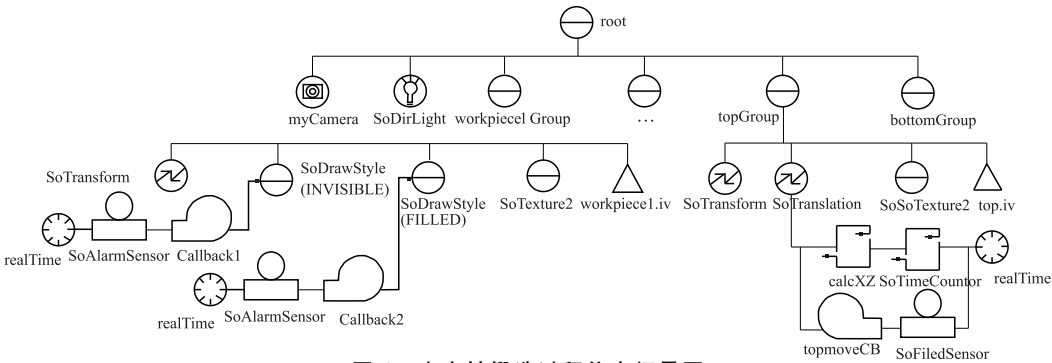


图 4 十字轴锻造过程仿真场景图

Fig. 4 Scene graph about simulation of cross shaft's forging process

3.2 锻造过程仿真实现

(1)几何尺寸的转换.同一模型 STL 数据单位是 Open Inventor 数据单位的 2 000 倍,需将读入模型的尺寸进行相应的缩小,减小系统任务的复杂性.几何模型 X、Y、Z 3 个方向比例因子为 0.000 5,以上模具为例,程序如下:

```
topTransform->scaleFactor. setValue(0.000 5, 0.000 5,0.000 5); //比例因子
```

```
topGroup-> addChild( topTransform );
```

(2)上模的下压运动.根据有限元仿真中测得上模行程和保存数据的间隔步数,设置上模运动速度为 0.2 mm/s,沿 -Z 轴方向运动.在实现时采用时间触发回调函数,设定上模运动时间,在设定时间段内,使平移节点(topmove)的运动控制量打开,置 on 节点的值 of TRUE,上模做平移运动,否则停止<sup>[9]</sup>.程序如下:

```
double topmove_start =5; //运动起始时间
double topmove_end = 5 + topmove_time; //运动结束时间
if( time >= topmove_start && time <= topmove_end) //判断是否在设定的运动时间段内
{ topmove-> on. setValue( TRUE ); }
else
{ topmove-> on. setValue( FALSE ); }
```

在主程序中控制实现上模直线运动,设置运动速度和方向,程序如下:

```
topcalcXZ-> expression. setValue(0," ta = - a * 0.2" ); //设置坐标随时间变化函数,即速度
topcalcXZ-> expression. setValue( 1," oA = vec3f(0,0,-ta)" ); //将坐标变化输入到计算引擎的输出域,即 -Z 轴为运动方向
topmoveTranslation-> translation. connect From ( &topcalcXZ-> oA ); //将计算引擎的输出域链接到上模的平移变换节点上.
```

(3)十字轴的塑性变形过程.将转换后的十字轴的三维几何模型,按一定的时间顺序交替显现消失.由于 DEFORM-3D 中设置每 10 步保存一次,步长为 0.02 mm,所以上模运动时间 1 s,每步十字轴轮流显现的时间间隔为 1 s.在主程序中为传感器 SoAlarmSensor 编写两个响应函数( Callback1 和 Callback2 ),分别控制三维模型的显现和消失,并设置触发时间 1 s,到达设定时间就调用相应的响应函数.程序如下:

```
SoAlarmSensor * myAlarm = new SoAlarmSensor ( Callback1, drawStyle ); //创建传感器实例对象,并给定激发时调用的响应函数
myAlarm-> setTimeFromNow( 0.0f ); //为传感器设定时间参数
myAlarm-> schedule( ); //调度
```

(4)仿真效果.在 Windows 系统的 VC++ 平台上实现了锻造的虚拟仿真过程,如图 5 所示,分别为锻造过程的瞬时截图.其中图 5(c)和(d)为

上模设置一定的透明效果,便于实时观察十字轴塑性成形过程.

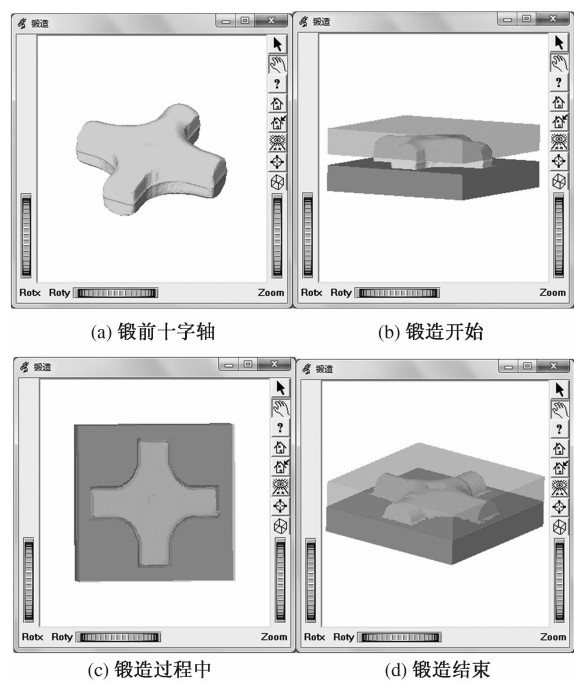


图 5 十字轴锻造过程仿真截图

Fig.5 Screen shots about simulation effect of cross shaft's forging process

4 结论

笔者将有限元软件的精确计算结果和虚拟现实软件的展示能力相结合,运用 C++ 编程实现了两者几何模型数据格式之间的转换,在 Open Inventor 中成功建立塑性变形过程工件的几何模型,并根据场景图实现锻造过程的虚拟仿真. 仿真

效果表明,其仿真真实准确,且方法同样适用于其他塑性成型加工过程的仿真.

参考文献:

[1] 曹玉超. 基于 Open Inventor 冷弯成型机虚拟样机仿真平台开发[D]. 郑州: 郑州大学机械工程学院, 2012;11-47.

[2] 赵德金. 基于虚拟制造的金属板材成型加工仿真技术研究[D]. 南京: 南京理工大学机械工程学院, 2012;3-83.

[3] 周国朝. XPS 挤塑保温板生产工艺过程的虚拟现实[D]. 石家庄: 河北工程大学机电工程学院, 2014: 2-49.

[4] 侯增选, 张邦磊, 刘文慧, 等. 基于 DXF 的露天矿二维与三维数据处理及应用[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(1): 204-207.

[5] 刘溪, 侯增选, 闫锋欣, 等. Open Inventor 数据转换技术的研究[J]. 机床与液压, 2007, 35(8): 194-196.

[6] 顾邦军, 罗陆锋. 基于 Open Inventor 的虚拟机床操作系统的研究[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(8): 67-72.

[7] WERNECKE J. The inventor mentor [M]. San Diego: Addison-Wesley, 1994: 280-299

[8] 王栋, 马小峰, 李大磊, 等. 基于引擎机制的 PECVD 工作过程的虚拟仿真[J]. 郑州大学学报(工学版), 2008, 29(3): 54-58.

[9] 王栋, 曹玉超, 邓福建. 基于虚拟现实技术的链条传动工作过程仿真实现[J]. 机械设计与制造, 2012(8): 212-214.

Working Process Simulation of Cross Shaft Forging Based on Virtual Reality Technology

WANG Dong, ZHANG Xiaoqing

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** The finite element analysis software DEFORM-3D can be used to simulate forging process, and its precision is high, but the animation based on graph is not ideal at present, the post processor can not provide interactive visualization. So a new method based on DEFORM-3D and Open Inventor to achieve the virtual simulation of forging has been proposed. Using C++ to achieve conversion of two data formats, so that the Open Inventor can read in the geometric models of finite element calculation. Using the sensor mechanism, engine mechanism and so on, we complete the movement of top die and plastic deformation of cross shaft during forging, realize the virtual simulation of forging process on Open Inventor platform.

**Key words:** virtual reality; forging; data convert; scene graph