

立铣刀三维造型的参数化建模系统构建

张海东, 顾立志

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 在分析立铣刀结构特征的基础上,提出采用端截形的旋转叠加法构建刀头模型和可扩展式构建刀颈刀柄模型的建模思想.利用 Visual C++ 6.0 和 OpenGL 实现立铣刀的三维造型并构建了参数化建模系统.此外,通过控制端截面的变化规律,可以构建圆锥形立铣刀和球头立铣刀.刀柄部分采用可扩展式建模,可以构建多种刀柄结构,从而扩展了可建模型种类.

关键词: 立铣刀; 旋转叠加法; 可扩展式; 参数化建模; 端截面

中图分类号: TP 391.72 **文献标志码:** A

铣削加工所用刀具类型众多,立铣刀就是其中最常用的刀具之一.立铣刀是一种典型的螺旋曲面类产品.由于螺旋曲面的造型比较复杂,长期以来,立铣刀的设计多依赖于设计人员的设计经验和熟练程度,设计精度不高,修改繁琐,工作效率较低^[1].构建立铣刀的参数化建模系统能很好地解决这些问题.通过开发立铣刀的参数化建模系统,设计人员只需输入或者修改立铣刀的基本参数便能构建所需模型,既可提高模型的构建和修改速度,降低设计人员的工作强度,又有利于实现立铣刀的标准化和系列化,具有较高的工程应用价值^[2-4].OpenGL 是一个开放的三维图形程序接口,具有功能强大、调用方便的底层图形库^[5-6].它独立于窗口系统和操作系统,与硬件无关,以它为基础开发的应用程序可以十分方便地在各种平台间移植,或嵌入其他系统使用.OpenGL 具有建模、变换、颜色模式设置、光照和材质设置、纹理映射、位图显示和双缓存动画等功能.基于 OpenGL 的程序框架构造好后,用户只需要在对应的函数中添加程序代码即可,可扩展性好.因此,本文利用 OpenGL 和 VC++ 6.0 编程语言构建立铣刀的参数化建模系统,实现立铣刀的参数化设计.

1 立铣刀结构分析

立铣刀的几何结构较为复杂,从整体上可分为刀头、刀颈和刀柄三部分^[7],如图 1 所示.刀头主要为螺旋曲面结构,是建模的难点;刀颈和刀柄主要为回转体结构(圆柱体或圆锥体).由于刀头部分和刀颈刀柄部分造型相对独立,因此,可以采用模块化编程方式.即首先构建刀头模型,然后构建刀颈和刀柄模型,最后将两者组合在一起,即为立铣刀的整体模型.

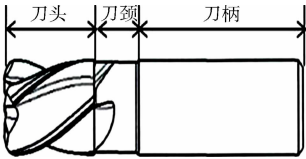


图 1 立铣刀的结构组成
Fig.1 Structure of
end milling cutter

2 立铣刀的建模方法

2.1 参数化建模系统工作流程

立铣刀参数化建模系统的工作流程,如图 2 所示.具体构建系统的关键在于刀具的建模方法及编程的实现,根据所输入的刀具建模参数快速生成三维模型,修改参数,并在已生成的模型基础上进行重构,生成新的模型.

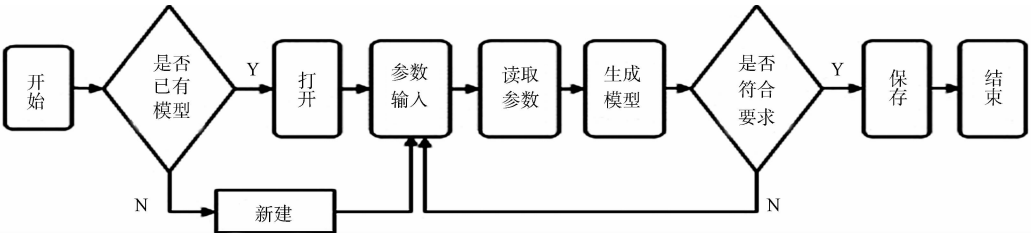


图 2 参数化建模系统工作流程

Fig. 2 Workflow of the parametric modeling system

2.2 基于旋转叠加法的刀头建模

2.2.1 刀头形成原理 螺旋槽是刀头部分的主要结构,是由一条空间母线绕铣刀轴线作螺旋运动所形成的螺旋曲面^[8-10].要构建准确的螺旋曲面,必须对螺旋曲面的特征线作精确的描述.通常,用来描述螺旋曲面最基本的特征线是截形线和螺旋线.按空间位置不同,截形线可分为端面截形线、轴向截形线和法向截形线,如图 3 所示.由理论分析可知,对于螺旋曲面任一截形线,都可以通过坐标变换将其转化为端面截形线.

对于立铣刀的螺旋槽,一般是按其端面截形线进行设计的,通常由圆弧和直线构成,形成刀头的前刀面、后刀面及容屑槽^[11-12].在空间直角坐标系 O_{xyz} 下,立铣刀螺旋曲面的端面截形线参数方程为

$$x = x_0(t), \quad y = y_0(t). \tag{1}$$

式(1)中: t 为端面截形线的参变量.

螺旋曲面一般方程可表示为

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0(t) \cos \theta - y_0(t) \sin \theta, \\ y &= y_0(t) \sin \theta - x_0(t) \cos \theta, \\ z &= p\theta. \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

式(2)中: θ 表示母线绕 Z 轴转过的角度; p 表示母线绕 Z 轴转过角 θ 时,母线上的一点沿 Z 轴移动的距离,若 p 为常数,螺旋曲面为常导程螺旋曲面;否则为变导程螺旋曲面.此外,如果 A_i 为端面截形线上任意一点,坐标为 $(x(t_i), y(t_i), 0)$,则令 $r(t_i) = \sqrt{x_0(t_i)^2 + y_0(t_i)^2}$.若 $r(t_i)$ 为常数,得到的螺旋曲面为常螺旋面;若 $r(t_i)$ 随 Z 方向的坐标作有规律的变化,那么得到的螺旋曲面即为变截面螺旋曲面.由此可见,通过对铣刀端面截形线的控制,可以得到各种螺旋曲面,从而得到各种类型的刀头,如圆柱螺旋刀头、圆锥螺旋刀头及球面刀头等.因此,选择利用立铣刀的端面进行模型的构建具有较好的通用性.

2.2.2 建模方法 根据以上分析,刀头模型可以看成是由端面绕其轴线做一定规律的螺旋运动所形成的.由于各螺旋曲面沿中心轴线方向是光滑连续的,从微积分角度,可以沿轴线把刀头切分成无数个微小单元体,刀头整体模型便可看成是由这无数个单元体叠加起来的.根据螺旋运动的特点,各相邻单元体沿轴线相对平移一定距离并绕轴线偏转一定角度.

基于以上理论,提出采用旋转叠加法来构建刀头模型的建模思想.即首先根据铣刀的端面截形线方程,利用各个顶点依次构造端面截形线的各条线段或圆弧,封闭连接形成下端面;其次变换端面中各个顶点,使其相对于变换前沿轴向移动一个距离 Δh ,同时绕轴线旋转一定角度 δ ,利用变换后的顶点构建一个封闭曲线,形成上端面;接着将变换前后对应顶点连接起来,形成侧面,从而形成一个单元体,这样便得到了几何体中点、线、面与体的拓扑关系.最后,以单元体的上端面作为下一个单元体的下端面,重复以上过程.按照这种方式,不断重复,最终形成刀头三维模型.

图 4 为三刃立铣刀刀头的端面截形.图 4 中:刀头外轮廓的半径为 R ;前刀面圆弧 AB 的半径为 r_1 ;后刀面圆弧 BC 的半径为 r_2 ,圆心 O_1, O_2 ;坐标分别为 $(a, 0), (b, 0)$;螺旋角为 β .则其端面外轮廓截线方程为 $x^2 + y^2 = R^2$,齿廓线 AB 方程为 $(x-a)^2 + y^2 = r_1^2$,齿廓线 BC 方程为 $(x-b)^2 + y^2 = r_w^2$.利用以上方程,可写出各顶点坐标.

根据上述旋转叠加法的建模思路进行程序程序设计,编译后得到刀头的模型,其形成过程如图 5 所

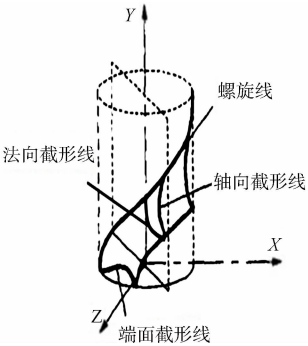


图 3 螺旋曲面特征线

Fig. 3 Characteristic lines of spiral surface

示. 程序代码框架如下：

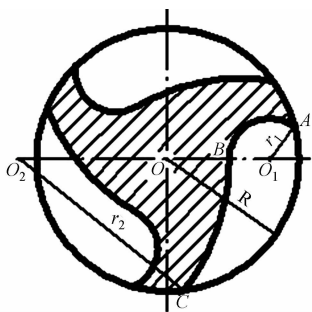


图 4 刀头端面截形

Fig. 4 End face of a cutter head

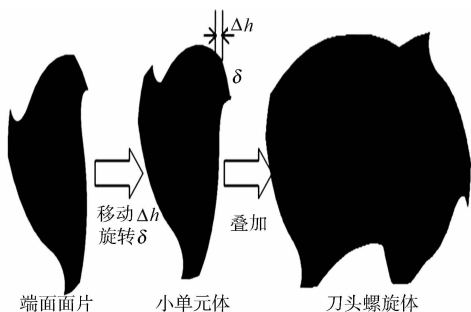


图 5 刀头形成过程

Fig. 5 Forming process of cutter head

```
void ENDMILLView::Cellbody( )//构建微小单元体
{
    glBegin(GL_LINE_STRIP); //构建下端面
    glBegin(GL_LINE_STRIP); //变换顶点后构建上端面
    glBegin(GL_QUAD_STRIP); //连接上下端面构建侧面
    .....
}

void ENDMILLView::CutterHead( ) //构建刀头模型
{
    ..... //定义参数
    for(int i=0;i<k;i++) //循环编译
    {
        glTranslatef(0.0,0.0,delt_h * i); //沿轴向平移
        glRotatef(delt * (180/PI) * i,0.0,0.0,1.0); //绕轴线旋转
        for(int k=0;k<n;k++) //循环运行
        {
            Cellbody; //调用单元体程序
            :
        }
    }
}
```

2.2 基于几何特征的刀颈刀柄可扩展式建模

立铣刀的刀颈刀柄部分结构较简单,大多为回转体结构(另有削平柄等).但是刀柄有多种类型,有直柄也有锥柄,有的带有退刀槽、定位面、倒角等其他回转体结构.如果只按某一种特征来建模则具有较大的局限性.经分析,虽然刀柄的结构类型较多,但均可视为不同尺寸的回转体结构按一定顺序的组合.回转体结构可由两端面直径 d_1, d_2 和长度 L 表示(图 6),若 $d_1 = d_2$,回转体结构为圆柱体;若 $d_1 \neq d_2$,则回转体结构为圆锥体.

为了能尽可能多地构建所需刀柄类型并减少编程量,提出一种可扩展的方法构建刀颈刀柄模型,即可根据需要不断地增加和变化回转体结构,以形成各种类型的刀柄.具体方法:假设刀颈刀柄由 n 段基本回转体构成,先对每一段基本回转体设定参数(d_1, d_2 和 L),并按顺序增加至一个列表中,可有限加至第 n 个基本回转体.建模时,程序按列表顺序读取各个基本回转体参数进行建模,然后在轴向方向按长度进行平移形成最终的刀颈刀柄模型.其程序代码结构:

```
void ENDMILLView::CutterHandle( ) //构建刀柄(含刀颈)
{
    int nCount=m_obArray.GetSize(); //从列表中读取段的数量
    for(i=0;i<nCount;i++) //按段数量循环编译
    {
        CSegment * pSegment=(CSegment *)m_obArray.GetAt(i); //从列表中读取每段参数
        glBegin(GL_POLYGON); //构建左端面
```

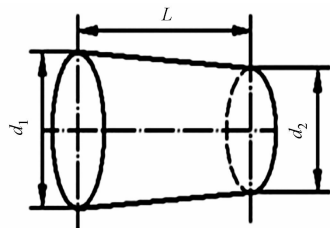


图 6 刀柄回转体结构

Fig. 6 Structure of the tool holder revolving body

```
glBegin(GL_POLYGON);           //构建右端面
glBegin(GL_QUAD_STRIP);        //构建侧面
.....} }
```

分别构建刀头和刀颈刀柄模型后,将二者进行组合,即为立铣刀整体模型.其程序结构:

```
void ENDMILLView::EndMill      //构建立铣刀整体模型
{
    CutterHead( );             //构建刀头部分
    CutterHandle( );           //构建刀颈刀柄部分
    :
}
```

3 立铣刀参数化建模系统构建

利用 VC++ 6.0 可视化编程工具并借助 OpenGL 图形库,通过设计合理的参数对话框和友好的操作界面,构建完整的参数化建模系统^[13-14].

3.1 参数输入对话框设计

参数对话框设计要求建模参数的输入界面数据完整且直观,如图 7 所示.图 7 中:左侧为建模所需的参数输入框;右侧为刀具结构示意图.由图 7 可见:参数分为刀头和刀颈刀柄两部分,下方有一个刀颈、刀柄列表用以储存每段的参数,改变段的数量和对应参数即可构建不同结构的刀柄.点击“增加”,将每个基本回转体参数储存于列表中;点击“修改”、“删除”可以更改参数,提高设计效率.

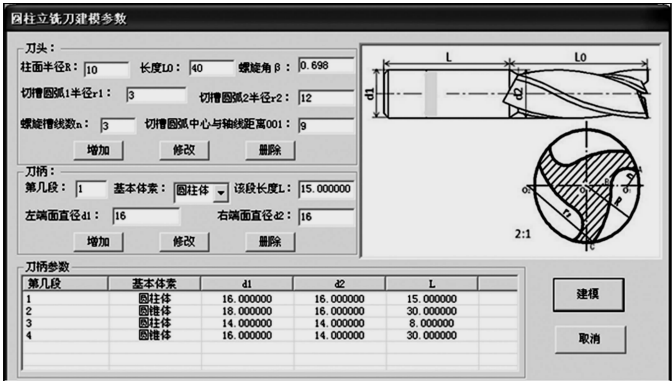
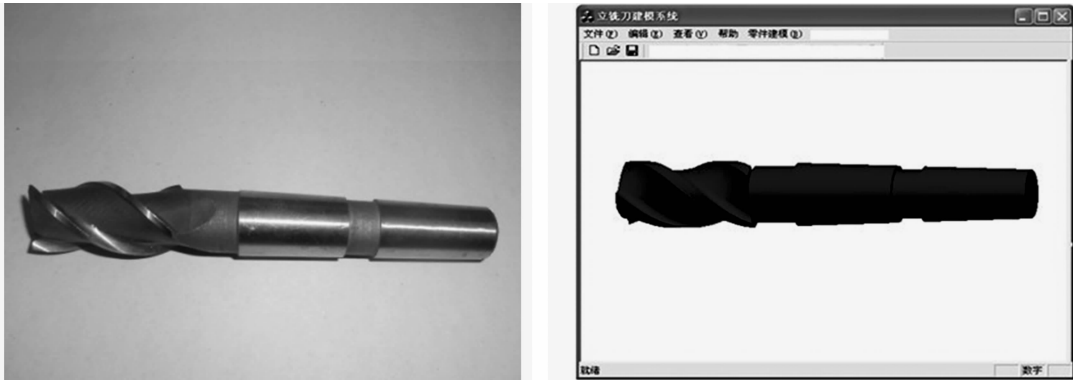


图 7 参数输入对话框
Fig. 7 Dialog of parameters input

3.2 参数化建模实例

现以一个型号为 GB6118-85 的三刃莫氏锥柄立铣刀说明系统的参数化建模过程.刀头直径为 20 mm,长度为 40 mm,螺旋角为 40°(弧度为 0.698 rad);刀颈直径为 16 mm,长为 15 mm;刀柄左端面直径为 18 mm,右端面直径为 14 mm,长 70 mm.点击主界面菜单栏中的“零件建模”打开参数输入对话框,依次输入刀头和刀颈刀柄参数,其中刀柄分为 3 段输入.参数设置完整后,点击“建模”,系统生成如图 8(b)所示的模式锥柄立铣刀三维模型.图 8(a)为实际生产中对应的莫氏锥柄立铣刀.通过对比可见:由系统构建的模型与实际零件基本相同.由此,通过修改刀柄的回转体单元数量和对应参数,还可以快速构建其他刀柄结构的立铣刀.



(a) 实际样本 (b) 模型

图 8 三刃莫氏锥柄立铣刀的建模

Fig. 8 Modeling of the end milling cutter with Morse taper shank

4 结束语

构建立铣刀的参数化建模系统能快速准确地构建立铣刀三维模型,提高了设计效率和模型的统一性,有利于实现刀具的标准化和系列化.文中利用端截形的旋转叠加法构建刀头模型,具有较高的通用性,通过控制端截面的变化规律,还可以构建圆锥形立铣刀和球头立铣刀.刀柄部分采用可扩展式建模,可以构建多种刀柄结构,从而扩展了可建模型种类. OpenGL 图形接口具有很好的可扩展性,可以在本系统框架基础上继续完善和拓展功能,构建适用范围更广的参数化建模系统.

参考文献:

[1] 孙妙,杨昌,邓远超,等.立铣刀三维建模新方法[J].工具技术,2008;50-52.

[2] 米蓉.立铣刀三维参数化设计系统研发[D].成都:西南交通大学,2011;28-30.

[3] CHEN Wei-ya. A Study of design and manufacturing models for circular-arc ball-end milling cutter[J]. Materials Processing Technology,2005,161(2):467-477.

[4] SUN Yu-wen,WANG Jun,GUO Dong-ming. Modeling and numerical simulation for the machining of helical surface profiles on cutting tools[J]. Advanced Manufacturing Technology,2008,36(5):332-342.

[5] 刘慧杰,靳海亮.基于 VC++ 的 OpenGL 三维图形开发设计[J].计算机与数字工程,2009,37(7):122-124.

[6] 刘涛.基于 MFC 框架的 OpenGL 三维图形编程.电脑编程技巧与维护[J].2005,35(10):70-77.

[7] 康文利,张颖.利用 UG 二次开发技术实现铣刀快速建模方法[J].2011,36(2):39-41.

[8] 孙兴伟.基于测量的螺旋曲面实体造型方法研究[J].工艺与装备.2006,38(2):76-78.

[9] KALDOR S,RAFAEL A M,MESSINGER D. On the CAD of profiles for cutters and helical flutes-geometrical aspects[J]. Annals of the CIRP,1998,7(1):53-56.

[10] ALTINA Y,ENGİN S. Generalized modeling of mechanics and dynamics of milling cutters[J]. Annals of the CIRP,2001,50(1):25-39.

[11] 邱迎宾.复杂形状刀具三维实体建模[D].武汉:华中科技大学,2007;10-18.

[12] 何耀雄,周云飞,周济.广义螺旋运动与复杂回转刀具几何建模[J].航空学报,2002.23(2):135-139.

[13] 王正强. OpenGL 在 VC++ 6.0 开发环境下的编程实现[J].山西电子技术,2011,10(1):66-67.

[14] 吴逊. VC++ 与 OpenGL 混合编程实现三维图形处理[J].软件导刊,2011,10(8):160-161.

Parametric Modeling and System Construction of End Milling Cutter Three Dimensional Model

ZHANG Hai-dong, GU Li-zhi

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Based on the analysis of structure characteristics of end milling cutter, a modeling thought is proposed using rotating and superposition method of the end section shape to construct cutter head model and extensible way to construct the cutter neck and handle. Based on this modeling thought, the three dimensional model of end milling cutter is realized and a parameterized modeling system is constructed by using Visual C++ 6.0 and OpenGL. In addition, by controlling the change rule of the end section, conical end milling cutter and ball end milling cutter can be constructed. The handle part adopts extensible modeling, which can build a variety of handle structure, and then extended model types can be built.

Keywords: end milling cutter; rotating and superposition method; extensible way; parametric modeling; end section

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 杨建红)