

DOI :10.3969/j.issn.1001-4551.2014.06.010

整体硬质合金刀具参数化直接建模的研究与实现*

赵 鑫 ,卓 勇* ,展慧娴 ,陈俊发

(厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要 :针对整体硬质合金刀具曲面结构复杂、参数化直接建模难以实现的问题,对整体硬质合金立铣刀的三维参数化直接建模进行了研究。分析了整体硬质合金立铣刀中包含的复杂曲线与曲面,将立铣刀的三维模型划分为5个重要特征,在三维建模过程中对每个特征根据刀具的设计规则进行了详细的数学建模,提取出了影响特征生成的关键几何设计参数,为每个特征建立了通用数学模型,通过UG/Open二次开发工具完成了立铣刀参数化界面设计,并在UG环境下建立了整体硬质合金刀具参数化设计系统。研究结果表明,整体硬质合金刀具参数化设计系统实现了复杂曲面刀具的参数化直接建模,节约了曲面方程的计算时间,有效提高了刀具设计与建模效率。

关键词 :整体硬质合金刀具;UG/Open二次开发;参数化直接建模;数学建模

中图分类号 :TH128;TH391;TP391.7 **文献标志码** :A

文章编号 :1001-4551(2014)06-0725-05

Research and implementation of direct modeling on solid carbide cutting tools

ZHAO Xin , ZHUO Yong , ZHAN Hui-xian , CHEN Jun-fa

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering , Xiamen University , Xiamen 361005 , China)

Abstract : Aiming at realizing the direct modeling on solid carbide cutting tools with complex surface structure , the three-dimensional modeling of solid carbide end mills was researched. Complex curves and surfaces contained in the solid carbide end mills were analyzed , models of solid carbide end mills were divided into five features , each feature had detailed mathematical equation based on the tool designing rules during the modeling , the key geometric parameters influencing the feature generation were extracted , and each feature correspond to a general mathematical model. At last , the parametric interface design and parametric system of solid carbide cutting tools were built up by UG/Open secondary development tools. The results indicate that , the system completes the parametric direct modeling on solid carbide cutting tools with complex surfaces , saves the computing time of surface equation , improves the design and model efficiency of tools.

Key words : solid carbide cutting tools ; UG/Open secondary development ; parametric direct modeling ; mathematical models

0 引 言

整体硬质合金刀具作为一种高性能的自由曲面加工刀具,其性能和品质的优劣对于切削加工上的精度、效率和产品品质都有直接而重要的影响,但由于铣刀自身结构复杂,复杂曲面必须有数学方程与其对

应,设计过程中计算量很大,传统的手工计算或绘图会耗费大量的时间和人力,模型修改难度也比较大,仅仅利用CAD软件进行交互式设计,效率也比较低,因此可利用计算机辅助工具进行刀具参数化开发研究。目前在CAD系统中对刀具三维参数化建模的研究有:邓远超^[1]在SolidWorks中直接搭建铣刀模板,再应用VC++编辑参数输入界面调用SolidWorks API参

收稿日期:2014-02-25

基金项目:厦门市重大科技计划资助项目(3502Z20131007)

作者简介:赵鑫(1989-),男,山西运城人,主要从事机电一体化方面的研究。E-mail:zxin_012@163.com

通信联系人:卓勇,男,工学博士,副教授,硕士生导师。E-mail:zhuoyong@xmu.edu.cn

数驱动生成立铣刀三维模型。程开举等^[2]利用 Pro/E 的参数设计功能建立设计参数用于控制铣刀的结构,需要建立大量铣刀结构元件,不能进行大的结构参数的实时修改(如齿数等),因此,基于模板的参数化建模方式不适用于复杂螺旋槽刀具模型的建立,基于数学模型的程序驱动方式会更好地实现复杂曲面刀具的参数化直接建模。

UG NX 是西门子 PLM 软件开发的一款高端的 CAD/CAE/CAM 软件,是一个交互式 CAD/CAM(计算机辅助设计与计算机辅助制造)系统,它功能强大,可以轻松实现各种复杂实体及造型的建构,具有强大的参数化设计功能,在设计和制造领域得到了广泛的应用。UG/Open 二次开发模块是 UG 软件为第三方开发人员提供的主要开发工具,是一系列开发工具的总称,通过调用 UG/Open API 提供的接口函数,用户可以创建、编辑和修改 UG 的各种对象,包括 part 文件、点、线、面、实体、特征、坐标系、表达式等,基本可以实现 UG 的所有功能,满足用户定制化要求^[3]。

本研究使用 UG 软件,利用其强大的二次开发功能,对硬质合金刀具进行精确的几何建模,使其外形轮廓和刃形曲线精确,符合实际生产加工需要,以保证刃磨的精确性。

1 整体硬质合金刀具参数化建模

1.1 整体硬质合金平头立铣刀特征分析

以整体硬质合金平头立铣刀为例,主要由槽型结构和刀体结构两部分组成,可将其分为 5 个特征进行直接建模:圆柱毛坯体特征 A、端截面圆周刃特征 B、端面刃特征 C、退刀槽特征 D 和容屑槽特征 E。其中,圆柱毛坯体特征 A 反映了立铣刀的直径、高度、切削刃长等参数^[4-5],端截面圆周刃特征 B 和端面刃特征 C 反映了立铣刀周刃和端刃的前后角大小,刃长等参数,对铣刀的加工效率和寿命有着重要的影响,这三部分为铣刀建模的主要特征,退刀槽特征 D 和容屑槽特征 E 为辅助特征,帮助实现一个完整的立铣刀模型。其特征模型关系如图 1 所示。

铣刀特征划分完成后,需要制定相关的设计规则,因为铣刀几何参数关联性强,在设计过程中必须考虑用户输入的参数是否合理,给使用者提供参考范围,以实现设计规则的自动化和智能化。例如刀具周刃前后角与刃宽是否匹配,若不匹配,系统界面中会弹出相关提示信息,提醒用户在适当的范围内输入数据。

1.2 整体硬质合金平头立铣刀建模流程

在直接建模过程中,针对每一个特征,需建立不

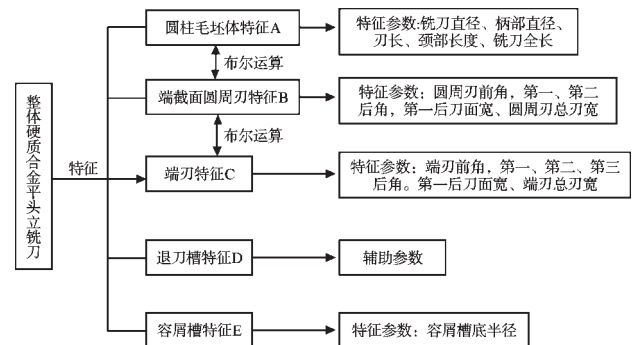


图 1 整体硬质合金平头立铣刀特征关系

同的数学模型,方便在 UG 二次开发中实现参数化设计和驱动。整体硬质合金平头立铣刀的建模流程如图 2 所示^[6]。

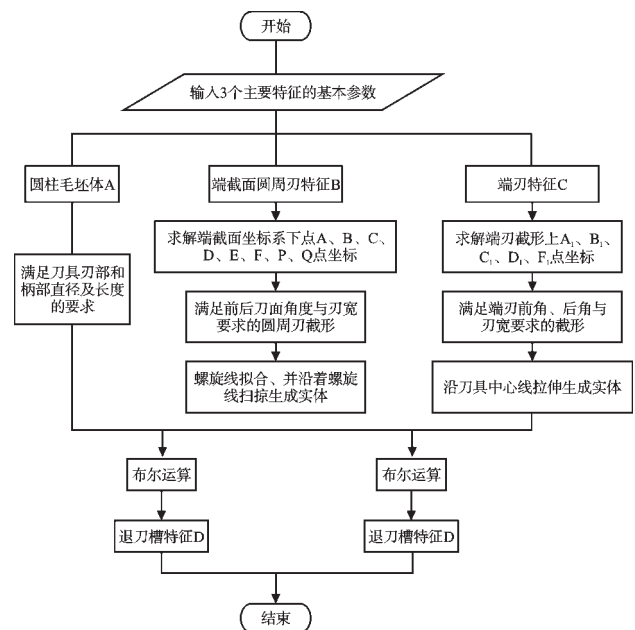


图 2 整体硬质合金平头立铣刀建模流程图

建立正确的数学模型,是完成平头立铣刀建模的首要任务,下面本研究对端截面圆周刃特征 B、端面刃特征 C 两个主要特征的数学建模过程以及螺旋线拟合过程进行详细介绍。

2 整体硬质合金刀具特征的数学建模

2.1 端截面圆周刃特征的数学建模

能否建立完善的数学模型,直接关系到刀具参数化驱动的进行。端截面圆周刃特征主要生成铣刀的螺旋槽,该设计是在保证刀刃曲线的前角、后角以及刃宽的条件下,通过周刃截形参数计算,进行前刀面、后刀面与螺旋槽之间的光滑连接设计^[7]。根据给定前、后刀面参数,设计出理论过渡圆弧并计算出关键点坐标,即可绘出螺旋槽周刃截形^[8]。

以四齿平头立铣刀为例,其周刃截形如图 3 所示。

刀槽截形曲线由前刀面 AB、第一圆弧 BC、第二圆弧 CD、第二后刀面 DE 以及第一后刀面 EF 5 个部分组成。

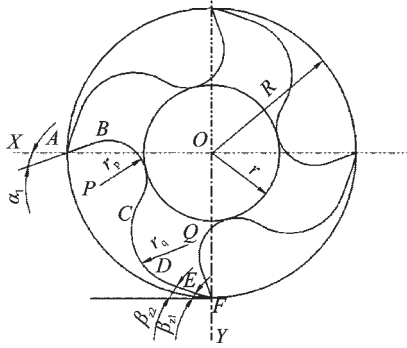


图3 螺旋槽周刃截形

给定周刃特征的已知量如表 1 所示。

表1 立铣刀螺旋槽周刃截形参数表

周刃基本参数	变量符号
铣刀半径	R
圆周刃前角	α_1
圆周刃第一后角	β_{21}
圆周刃第二后角	β_{22}
圆周刃第一后面宽度	B_{21}
圆周刃总刃宽	B_{22}
周齿齿深	h_1

如图 3 所示,要得到完整的螺旋槽截形,需要根据已知参数计算出点 $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$, $C(x_C, y_C)$, $D(x_D, y_D)$, $E(x_E, y_E)$, $F(x_F, y_F)$, $P(x_P, y_P)$, $Q(x_Q, y_Q)$ 的坐标值。

在 $z=0$ 截面上,可得 $A(x_A, y_A)=(R, 0)$, 要计算 B , 需要计算前刀面长度 l_{AB} , 又周齿齿深 $h_1=R-r$, 在 ΔABO 中, 根据余弦定理可得:

$$l_{AB} = R \cdot \cos \alpha_1 - \sqrt{(R-h_1+R_p)^2 - (R \cdot \cos \alpha_1 - R_p)^2} \quad (1)$$

$$x_B = R - l_{AB} \cdot \cos \alpha_1, y_B = -l_{AB} \cdot \sin \alpha_1 \quad (2)$$

由于直线 AB 与圆弧 BC 相切且圆弧 BC 与芯圆相切, 可得下列方程:

$$\begin{cases} k_{AB} \cdot k_{OB} = -1 \\ (x_B - x_p)^2 + (y_B - y_p)^2 = R_p^2 \\ x_p^2 + y_p^2 = (R_p + r)^2 \end{cases} \quad (3)$$

可以计算出:

$$x_p = x_B - R_p \cdot \sin \alpha, y_p = y_B + R_p \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

易知 $F(x_F, y_F)=(0, R)$, 且已知圆周刃第一、第二后角, 第一后刀面宽度和圆周刃总刃宽, 可以计算出:

$$x_E = B_{21}, y_E = R - B_{21} \cdot \tan \beta_{21} \quad (5)$$

$$x_D = B_{22}, y_D = R - (B_{22} - B_{21}) \cdot \tan \beta_{22} - B_{21} \cdot \tan \beta_{21} \quad (6)$$

由于直线 DE 与圆弧 CD 相切且圆弧 CD 与圆弧 BC 相切, 可得下列方程:

$$\begin{cases} k_{DE} \cdot k_{OD} = -1 \\ (x_Q - x_D)^2 + (y_Q - y_D)^2 = R_Q^2 \\ (x_p - x_Q)^2 + (y_p - y_Q)^2 = (R_p + R_Q)^2 \end{cases} \quad (7)$$

可以计算出:

$$R_Q = \frac{(x_p - x_D)^2 + (y_p - y_D)^2 - R_p^2}{2 \cdot [R_p + (x_p - x_D) \cdot \sin \beta_{22} - (y_p - y_D) \cdot \cos \beta_{22}]} \quad (8)$$

进而可得:

$$x_Q = x_D - R_Q \cdot \sin \beta_{22}, y_Q = y_D - R_Q \cdot \cos \beta_{22} \quad (9)$$

由于 C 点为圆弧 CD 和圆弧 BC 的切点, 可以得出以下方程:

$$\begin{cases} (x_C - x_p)^2 + (y_C - y_p)^2 = R_p^2 \\ (x_C - x_Q)^2 + (y_C - y_Q)^2 = R_Q^2 \end{cases} \quad (10)$$

最终可计算出 C 点坐标, 因 C 点坐标计算结果较为繁琐, 此处不列出其最后结果。

此时, 周刃截形中所有点坐标均已确定, 可以沿着螺旋线扫掠生成实体, 与圆柱毛坯体进行布尔运算, 进而获得所需的螺旋槽形状。

2.2 圆柱螺旋线拟合

硬质合金平头立铣刀的螺旋形状刃线通常采用螺旋形曲线, 是由回转体表面上一点绕轴线作某种螺旋运动而形成的轨迹^[9], 圆柱螺旋线如图 4 所示。

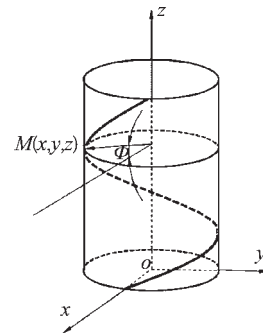


图4 圆柱螺旋线

设 $M(x, y, z)$ 为刃线上一点, 则刃线方程为:

$$\begin{cases} x = f(z) \cdot \cos \Phi \\ y = f(z) \cdot \sin \Phi \\ z = z \end{cases} \quad (11)$$

式中: $f(z)$ 刃线上 M 点的回转半径, Φ M 点相对 X 轴的旋转角。

在 UG 二次开发过程中, 螺旋曲线方程可使用样条曲线进行拟合^[10], 部分拟合代码如下:

```
for(i=0;i<NUMBER_POINTS;i++)
{
    point_data[i].point[0]=-R*sin(double(360*N1*0.01*i*PI/180));
    point_data[i].point[1]=R*cos(double(360*N1*0.01*i*PI/180));
    point_data[i].point[2]=lead*N1*0.01*i;
    point_data[i].slope_type=UF_CURVE_SLOPE_AUTO;
    point_data[i].slope[0]=slopeVecs[3*i];
}
```

```

point_data[i].slope[1]=slopeVecs[3*i+1];
point_data[i].slope[2]=slopeVecs[3*i+2];
point_data[i].crvatr_type=UF_CURVE_CRVATR_NONE;
point_data[i].crvatr[0]=crvatrVecs[3*i];
point_data[i].crvatr[1]=crvatrVecs[3*i+1];
point_data[i].crvatr[2]=crvatrVecs[3*i+2];
}
    
```

UF_CALL(UF_CURVE_create_spline_thru_pts(degree,periodicity,num_points,point_data,parameters,save_def_data,&spline_tag));

2.3 端面特征的数学建模

端面特征主要生成铣刀前端刃部,该设计同时也要在保证端面的前角、后角以及刃宽的条件下,通过截面参数计算,算出关键点坐标,即可绘出的端面特征,如图5所示。

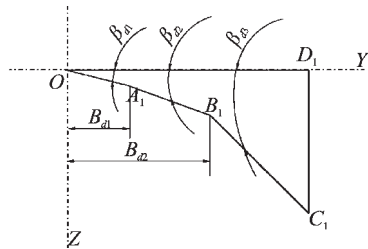


图5 平头立铣刀端面特征

给定端面特征的已知量如表2所示。

表2 平头立铣刀端面特征部分参数表

端面基本参数	变量符号
端面第一后角	β_{d1}
端面第二后角	β_{d2}
端面第一后面宽度	B_{d1}
端面总刃宽	B_{d2}
端面第三后角	β_{d3}

如图5所示,要得到完整的端面特征,根据已知参数计算出点 $A_1(y_{A1}, z_{A1})$, $B_1(y_{B1}, z_{B1})$, $C_1(y_{C1}, z_{C1})$, $D_1(y_{D1}, z_{D1})$ 的坐标值即可。

容易计算出, A_1 点坐标为:

$$y_{A1} = B_{d1}, z_{A1} = B_{d1} \cdot \tan(\beta_{d1}) \quad (12)$$

B_1 点坐标为:

$$y_{B1} = B_{d2}, z_{B1} = B_{d1} + (B_{d2} - B_{d1}) \cdot \tan(\beta_{d2}) \quad (13)$$

由于端面特征需要与周刃特征进行布尔减运算,其轮廓必须超出周刃截面,在此可将 C_1 点坐标 y_{C1} 设为 $R+1$,由此可计算出 C_1 点坐标为:

$$y_{C1} = R+1$$

$$z_{C1} = B_{d1} + (B_{d2} - B_{d1}) \cdot \tan(\beta_{d2}) + (R+1 - B_{d2}) \cdot \tan(\beta_{d3}) \quad (14)$$

本文引用格式:

赵鑫,卓勇,展慧娟,等.整体硬质合金刀具参数化直接建模的研究与实现[J].机电工程,2014,31(6):725-728,733.

ZHAO Xin, ZHUO Yong, ZHAN Hui-xian, et al. Research and implementation of direct modeling on solid carbide cutting tools[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering 2014, 31(6): 725-728, 733.

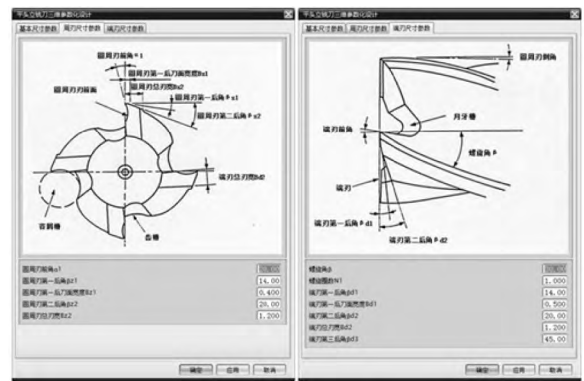
直线 C_1D_1 与 Z 轴平行,故 D_1 点坐标为:

$$y_{D1} = R+1, z_{D1} = 0 \quad (15)$$

端面特征完成后,沿刀具中心轴垂直扫掠,与之前生成的圆周刃特征进行布尔减运算,即可得出端面形状。

3 整体硬质合金刀具参数化设计系统的实现

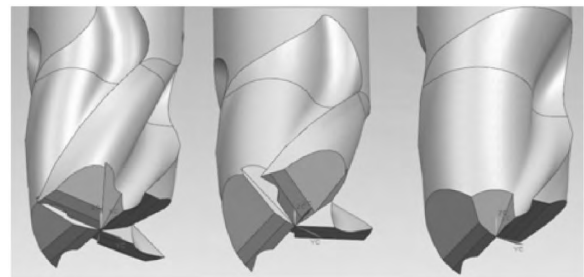
本研究运用UG二次开发技术对整体硬质合金刀具进行参数化建模,利用UIStyler和Menuscript生成菜单和对话框文件,在Visual Studio环境中编辑程序生成动态链接库文件^[11-13],实现与UG程序的无缝连接。刀具直接建模的参数化驱动部分界面如图6所示。



(a) 铣刀基本参数驱动界面 (b) 铣刀周刃尺寸参数驱动界面

图6 硬质合金刀具三维参数化驱动界面

硬质合金整体立铣刀参数化建模的运行结果如图7所示。



(a) 四刃铣刀参数化模型 (b) 三刃铣刀参数化模型 (c) 两刃铣刀参数化模型

图7 系统运行结果

结果显示,系统可实现硬质合金立铣刀不同刃数的变化,四刃、三刃和两刃参数化模型分别如图7(a~c)所示,同时改变其他参数,铣刀的螺旋曲面也可

(下转第733页)

自适应的遗传机制,采用自适应的适值函数提高了适值函数的优化能力,同时通过算法中的自适应选择算子、交叉算子和变异算子,改善了原算法在搜索后期出现的停滞不前现象。调度前采用柔性调度策略,提出了表征机器加工能力系数和轮换方法,实现了同一工序上不同机器的负荷平衡调度。

参考文献(References):

- [1] 魏巍,谭建荣,冯毅雄,等. 柔性工作车间调度问题的多目标优化方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(8): 1592-1598.
- [2] 王万良,姚明海,吴云高. 基于遗传算法的混合Flow-shop调度方法[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(7): 863-869.
- [3] HEJAZI S R, SAGHAFIAN S. Flow shop-scheduling problems with makespan criterion. [J] *International Journal of Production Research* 2005, 43(14): 2895-2929.
- [4] 李平,唐秋华,夏绪辉,等. 基于双层遗传编码的柔性作业车间自适应重调度研究[J]. 中国机械工程, 2013, 24(16): 2195-2201.
- [5] 王万良,吴启迪. 生产调度智能算法及其应用[M]. 北京:

科学出版社, 2007.

- [6] 李俊青,潘全科. 求解模糊作业车间调度问题的混合优化算法[J]. 机械工程学报, 2013, 49(23): 142-149.
- [7] PEZZELLA F, MORGANTI G, CIASCETTI G. A genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem[J]. *Computers and Operations Research*, 2008, 35(10): 3203-3212.
- [8] 李传鹏. 基于改进遗传算法的柔性作业车间调度优化与仿真[D]. 济南: 济南大学机械工程学院, 2013.
- [9] 陈永卿,潘刚,李平. 基于混合遗传算法的装配线平衡[J]. 机电工程, 2008(4): 60-62.
- [10] 周根贵. 生产与运作管理及其遗传算法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [11] 王万良,吴启迪,宋毅. 求解作业车间调度问题的改进自适应遗传算法[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(2): 58-62.
- [12] 胡国四,韩生廉. 遗传算法适值函数定义方法的研究[J]. 控制与决策, 1999, 14(6): 694-697.
- [13] 雷英杰,张善文,李续武. Matlab 遗传算法工具箱及应用[M]. 2版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.

[编辑: 李辉]

本文引用格式:

廖珊,翟所霞,鲁玉军. 基于改进遗传算法的柔性作业车间调度方法研究[J]. 机电工程, 2014, 31(6): 729-733.

LIAO Shan, ZHAI Suo-xia, LU Yu-jun. Research on the flexible flow-shop scheduling based on the improved adaptive genetic algorithm[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering* 2014, 31(6): 729-733.

《机电工程》杂志 <http://www.meem.com.cn>

(上接第728页)

光顺地生成。铣刀的前角和后角等参数对刀具的寿命、切削效率有着很大的影响,通过参数化系统可以正确、快速地实现铣刀的再生成,提高了设计效率。

4 结束语

本研究以整体硬质合金平头立铣刀为例,对其数学模型进行了详细地求解,并基于UG OPEN工具完成了参数化直接建模,实现了交互方式操作难以实现的功能,提高了刀具设计效率。同时,微小参数的变化即有可能对刀具的整体性能产生重要的影响,能够实现整体硬质合金刀具的快速参数化直接建模,为进一步研究刀具的其他特性打下了良好的基础。

参考文献(References):

- [1] 邓远超. 整体硬质合金刀具参数化建模技术与方法的研究[D]. 成都: 西华大学机械与自动化学院, 2008.
- [2] 程开举,郑敏利,姜彬. 数控高速铣刀参数化设计系统的开发[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2005, 10(1): 32-36.
- [3] 董正卫,田立中,付一力. UG/OPENAPI编程基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

- [4] 袁哲俊,刘华明. 刀具设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [5] KALDOR S, RAFAEL A M, MESSINGER D. On the CAD of profiles for cutters and HelicalFluteS-geometrical aspects [J]. *Annals of the CIRP*, 1998, 37(1): 53-56.
- [6] 孙妙,杨昌明,邓远超,等. 立铣刀三维建模新方法[J]. 工具技术, 2009(7): 59-61.
- [7] 米蓉. 立铣刀三维参数化设计系统研发[D]. 成都: 西南交通大学机械工程学院, 2011.
- [8] 邱迎宾. 复杂形状刀具三维实体建模[D]. 武汉: 华中科技大学机械科学与工程学院, 2007.
- [9] 赵邦. 整体硬质合金立铣刀计算机辅助设计与制造系统研究[D]. 济南: 山东大学机械工程学院, 2007.
- [10] 梁锡坤. B样条类曲线及其在曲线参数化中的应用[J]. 计算机应用与软件, 2009(4): 99-101.
- [11] 黄勇,张博林,薛运锋. UG二次开发与数据库应用基础与典型范例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [12] 张生昌,连加伟,邓鸿英,等. 基于VC++及UG的多级滚柱转子泵转子参数化模块建立[J]. 轻工机械, 2012, 30(2): 82-85.
- [13] 张晓东,姜兆亮,陈露露. 基于UG的整体硬质合金立铣刀数字化建模[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2011(9): 8-11.

[编辑: 张翔]