

## 基于Matlab全自动装订机空间凸轮参数计算

张书, 吕晓娟

(中山职业技术学院, 中山 528404)

**摘要:** **目的** 研究影响全自动装订机空间圆柱凸轮机构的力与运动传递性能的压力角和曲率参数。**方法** 应用共轭曲面啮合理论, 推导凸轮压力角和曲率的计算公式, 基于Matlab软件编程绘制压力角和曲率变化曲线, 得出压铆各阶段压力角最大值和诱导主曲率值, 并与许用压力角和临界曲率值作比较。**结果** 在铆头上升过程中, 最大压力角为 $15^\circ$ ; 在压铆过程中, 压力角接近 $0^\circ$ ; 在铆头返回过程中, 最大压力角为 $55^\circ$ 。每个点的诱导主曲率值均大于0。**结论** 升程过程最大压力角低于许用压力角, 可以满足要求; 压铆过程凸轮机构的力传递性能良好; 返回过程对动力要求很小, 压力角变化较大, 对机器的正常工作影响很小, 曲率不发生干涉。

**关键词:** 压力角; 曲率; 空间凸轮; 全自动装订机

**中图分类号:** TH112.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)17-0091-06

## Calculation of Parameters of Spatial Cam Mechanism in Complete-automatic Binder Based on Matlab

ZHANG Shu, LYU Xiao-juan

(Zhongshan Polytechnic, Zhongshan 528404, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the pressure angle and curvature parameters that affect the force and the performance of kinematics transfer of spatial cylinder cam mechanism in complete-automatic binder. **Methods** The theory of conjugate curved surface was applied to derive the calculation formulas of pressure angle and curvature. The curves of pressure angle and curvature were drawn based on Matlab software, the maximum values of pressure angle and the values of induced main curvature were concluded in each stage of the pressure riveting, and they were compared with the allowable pressure angle and the critical value of curvature. **Results** The maximal pressure angle was during the rising process of the rivet; the pressure angle was close to zero during the pressure riveting process; the maximum value of pressure angle was during the returning process of the rivet. The values of induced main curvature of each point were greater than zero. **Conclusion** The maximal pressure angle was lower than the allowable pressure angle during the rising process of the rivet, which could meet the requirement; the force transmission performance of cam mechanism was good during the pressure riveting process; the power demand was very small during the returning process of the rivet, the change of pressure angle was great, which had little impact on the normal operation of the machine. Curvature interference did not happen.

**KEY WORDS:** pressure angle; curvature; spatial cam; complete-automatic binder

全自动装订机采用单片机程序控制, 可以自动完成打孔装订的全过程, 比传统的半自动装订方式节省了大量的体力劳动, 广泛用于金融机构、机关企事业单位的账页、票据、文件等装订工作<sup>[1]</sup>。空间凸轮是全

自动装订机的核心零件, 主要作用是在电动机驱动下匀速转动, 带动下铆头向上直线运动完成压铆动作。压力角和曲率是空间凸轮参数的2个重要指标。压力角用来衡量凸轮机构的传力特性, 不仅影响凸轮的受

收稿日期: 2014-02-13

作者简介: 张书(1978—), 男, 河北崇礼人, 硕士, 中山职业技术学院讲师, 主要研究方向为机械工程。

力情况和工作效率,而且对凸轮机构的尺寸和输出运动也有很大的影响<sup>[2]</sup>。压力角越大机构的效率越差;曲率是考察2空间共轭曲面啮合性能的重要参数。因此,压力角和曲率分析是进行空间凸轮机构设计的一项重要工作<sup>[3-4]</sup>。通过 Matlab 编程,借用其强大的数值计算功能,分析全自动装订机空间凸轮机构的压力角和曲率的变化规律,绘制压铆各阶段压力角和曲率的变化曲线,并与许用压力角和临界曲率值作比较,为凸轮机构的优化设计提供参考。

### 1 全自动装订机工作原理

全自动装订机传动机构简图见图1,各构件的初始位置见图1中实线所示。空间凸轮在电动机驱动下匀速转动,棘轮与空间凸轮固定在一起。棘轮随空间凸轮旋转的同时,通过摆杆前端的滚子推动摆杆作水平方向摆动,摆杆又推动连杆作垂直方向摆动。当连杆下端向左摆动时,拉动钢丝绳向左移动,钢丝绳又通过惰轮拉动下铆头底座旋转。当棘轮转过45°角时,下铆头底座转过90°角,见图1中虚线位置所示。此时,从动滚子旋转到与空间凸轮导向槽啮合的位置,从动滚子在空间凸轮驱动下带动下铆头向上移动,通过与上铆头的挤压完成压铆动作。之后,上铆头和下铆头分别回到初始位置,1个工作周期结束。

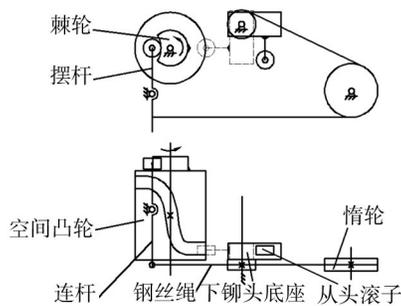


图1 全自动装订机传动机构原理示意

Fig.1 Principle diagram of transmission mechanism in complete-automatic binder

### 2 压力角公式推导

压力角是指不计摩擦时凸轮对从动件的作用力方向与力作用点绝对速度方向之间所夹的锐角,通常用  $\alpha$  表示<sup>[5]</sup>。一般在设计时,对于直动从动件推程的

许用压力角  $[\alpha]=30^\circ$ , 摆动从动件推程许用压力角  $[\alpha]=40^\circ \sim 50^\circ$ ;回程时通常受力较小且无自锁问题,因而  $[\alpha]=70^\circ \sim 80^\circ$ <sup>[6-7]</sup>。

全自动装订机空间圆柱凸轮机构压力角的构成见图2。在图2中,  $-n_i$  表示凸轮对从动件作用力的方向,  $t_i$  表示从动件上力作用点的绝对速度方向,  $\alpha$  即为压力角。因为  $-n_i$  方向随着凸轮的不断运动随时都在发生变化,所以凸轮机构各接触点的压力角是动态变化的<sup>[8]</sup>。为了准确得到凸轮机构在整个工作周期内的力与运动传递特性,必须得出各接触点处的压力角值。

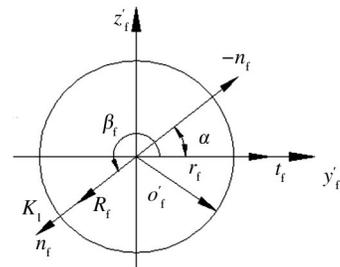


图2 空间圆柱凸轮机构的压力角

Fig.2 Pressure angle of spatial cylindrical cam mechanism

采用简化计算方法,忽略从动滚子曲面与凸轮曲面的摩擦阻力,空间凸轮机构的压力角可表示为<sup>[9]</sup>:

$$\cos \alpha = -n_i \cdot t_i \tag{1}$$

式中:  $n_i$  为在接触点  $K_i$  处滚子曲面的单位法向矢量;  $t_i$  为在接触点  $K_i$  处滚子曲面的轴心单位速度矢量。  $t_i$  与  $y'_i$  轴重合,与  $x_i$  轴垂直,且通过坐标原点。

由图1可得:

$$t_i = [0, 1, 0]^T \tag{2}$$

一个曲面  $W$  的矢量函数可在滚子坐标系中表示为  $R_i = R_i(\beta_i, \delta_i)$ 。其中,  $\beta_i$  和  $\delta_i$  是2个参数,由2个参数变化可以组成坐标曲面。曲面在  $K_i$  点的单位法向矢量是与  $K_i$  点的切平面相垂直的矢量  $n^{[10]}$ 。单位法向矢量  $n_i$  可以表示为:

$$n_i = \frac{\begin{pmatrix} \frac{\partial R_i}{\partial \beta_i} \times \frac{\partial R_i}{\partial \delta_i} \\ \left| \frac{\partial R_i}{\partial \beta_i} \times \frac{\partial R_i}{\partial \delta_i} \right| \end{pmatrix}}{\tag{3}}$$

式中:  $R_i$  为从动滚子曲面的矢量函数;  $\beta_i, \delta_i$  为从动滚子曲面的参数。

将式(2)(3)代入式(1)可得:

$$\cos \alpha = -\cos \beta_i \tag{4}$$

由于压力角一般取锐角,因此得出压力角的计算公式:

$$\alpha = -\beta_f = -\arctan \frac{\dot{s}}{\dot{\theta}(l_h + \delta_f - c)} \quad (5)$$

式中: $s$ 为从动滚子位移; $\theta$ 为凸轮转角; $l_h$ 为滚子的悬臂长度; $c$ 为凸轮与从动滚子间的中心距。

由式(5)可以得知:在凸轮机构工作的整个周期内,每一时刻 $\theta$ 都在变化, $s$ 也在变化,即便是在 $\theta$ 和 $s$ 固定的情况下,从动滚子曲面上不同点的 $\delta_f$ 也不相同。因此,工作各个阶段的压力角是动态变化的,这也表明在工作的不同时刻,接触面上不同点处凸轮对从动件的作用力是不均匀的。在式(5)中, $\dot{\theta}$ , $l_h$ , $c$ 都是恒定值,因而主要由 $\delta_f$ 和 $s$ 决定压力角的大小,由此不同的 $\delta_f$ 和 $s$ 就对应不同的压力角曲线。在压力角值中,最大压力角 $\alpha_{\max}$ 是最重要的参数,影响着机构的主要尺寸和动力学性能。

### 3 曲率公式推导

空间凸轮的表面是曲面,从动滚子的表面是圆柱面,2个曲面的啮合问题可以用空间共轭曲面的啮合理论来解决,反映2个曲面啮合特性的主要是诱导法曲率<sup>[11]</sup>。

#### 3.1 诱导法曲率概念

在啮合原理中,把2共轭曲面 $C_1$ 和 $C_2$ 在某一啮合接触点 $P$ 处,沿任意公切矢 $\tau$ 的法曲率之差称为该方向的相对法曲率,也称诱导法曲率,见图3<sup>[12]</sup>。诱导法曲率主要与2曲面曲率干涉、接触应力、磨损状况和润滑等有关。由于公切矢 $\tau$ 不同,则诱导法曲率不同,因此要找出最大的诱导法曲率值,即诱导主曲率<sup>[13]</sup>。

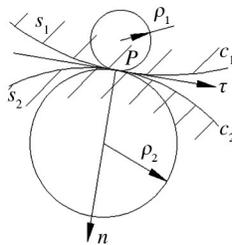


图3 诱导法曲率

Fig. 3 Diagram of induced curvature

首先求出从动滚子圆柱表面的主曲率,然后通过

滚子曲面的主曲率 $k'_1$ 和 $k''_1$ 及滚子曲面、凸轮的轮廓曲面的啮合关系,求得凸轮的轮廓曲面沿滚子曲面上2个主方向 $i'_1$ 和 $i''_1$ 的法曲率 $k_2^{(1)}$ 和 $k_2^{(2)}$ ,以及沿接触线切线方向 $i_1$ 上的法曲率 $k'_2$ 和 $i_1$ 上的方向角 $q_1$ ,最后得到主曲率 $k'_2$ 和 $k''_2$ 及它们的诱导主曲率 $k''_{12}$ 。

#### 3.2 滚子曲面的主曲率 $k'_1$ 和 $k''_1$

圆柱滚子曲面的第1主曲率 $k'_1$ 和第2主曲率 $k''_1$ 可表示为:

$$\begin{cases} k'_1 = \frac{1}{r_f} \\ k''_1 = 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中, $r_f$ 为滚子半径。

#### 3.3 凸轮轮廓曲面在 $i'_1$ 和 $i''_1$ 上的法曲率 $k_2^{(1)}$ 和 $k_2^{(2)}$ 以及在 $i_1$ 上的法曲率 $k'_2$

应用啮合条件 $V_{12} \cdot n_1 = 0$ ,求解可得:

$$\begin{cases} k_2^{(1)} = k'_1 - \frac{b_1^2}{b_4} \\ k_2^{(2)} = k''_1 - \frac{b_2^2}{b_4} \end{cases} \quad (7)$$

将 $q_1$ 的计算公式代入,可得到在 $i_1$ 上的法曲率 $k'_2$ :

$$k'_2 = \frac{k'_1 b_2^2 + k''_1 b_1^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (8)$$

其中,

$$\begin{cases} b_1 = -\frac{1}{r_f} \dot{\theta}(l_h + \delta_f - c) \cos \beta_f - \frac{\dot{s}}{r_f} \sin \beta_f \\ b_2 = \dot{\theta} \sin \beta_f \\ b_4 = b_1 \dot{\theta}(l_h + r_f - c) \cos \beta_f + b_1 \dot{s} \sin \beta_f - b_2 \dot{\theta} r_f \sin \beta_f - \dot{s} \cos \beta_f \end{cases}$$

#### 3.4 凸轮轮廓曲面的主曲率 $k'_2$ 和 $k''_2$

经求解可得计算空间凸轮轮廓曲面的主曲率公式:

$$\begin{cases} k_2' = \frac{1}{2} [(k_1' + k_1'')] - \frac{b_1^2 + b_2^2}{b_4} + \frac{1}{2 \cos 2\sigma} [(k_1' - k_1'') - \frac{b_1^2 - b_2^2}{b_4}] \\ k_2'' = (k_2^{(1)} + k_2^{(2)}) - k_2' \\ \tan 2\sigma = \frac{2k_2' - (k_2^{(1)} + k_2^{(2)})}{(k_2^{(1)} - k_2^{(2)}) \sin 2\sigma} - \cos 2q_1 \end{cases} \quad (9)$$

### 3.5 滚子曲面与凸轮轮廓曲面接触线上各点的诱导主曲率

$$k''_{12} = (k'_1 + k'_1) - (k'_2 + k'_2) = (k'_1 + k'_1) - (k_2^{(1)} + k_2^{(2)}) = -\frac{b_1^2 + b_2^2}{b_4} \quad (10)$$

式(9)是全自动装订机空间圆柱凸轮曲面主曲率的计算公式。代入各已知量,每个点的主曲率值即可确定。

### 4 最大压力角 $\alpha_{max}$ 及诱导主曲率分析

全自动装订机空间凸轮的基本参数包括凸轮角速度  $\omega$ 、滚子的悬臂长度  $l_h$ 、中心距  $c$ 、滚子半径  $r$ ,其具体值由工艺要求预先给定<sup>[14]</sup>,见表1。

表1 初始参数

Tab.1 Values of initial parameters

角速度 $\omega/(\text{rad}\cdot\text{s}^{-1})$	悬臂长度 $l_h/\text{mm}$	中心距 $c/\text{mm}$	滚子半径 $r/\text{mm}$
0.111	28	76	8

通过 Matlab 软件进行压力角和诱导主曲率计算,主程序段如下:

```
function
[b,t,s,s1,s2,x,y,z,k5,k6,k]=move(m,e)
%初始数据
omega=0.111;
lh=28;
c=76;
r=8;
k1=1/r;
k2=0;
if m<273
[s,s1,s2]=fun3(m,e);
else
[s,s1,s2]=fun4(m,e);
end
t=atan(s1/(omega*(lh+e-c)));
b=-t; %压力角
n=m*pi/180;
% 凸轮廓面坐标
```

```
x=(lh+e-c)*cos(n)+r*sin(n)*sin(t);
y=r*cos(t)+s;
z=-(lh+e-c)*sin(n)+r*cos(n)*sin(t);
% 中间变量
v1=omega*(lh+r-c)*cos(t)+s1*sin(t);
v2=-omega*r*sin(t);
b1=-omega*(lh+e-c)*cos(t)/r-s1*sin(t)/r;
b2=omega*sin(t);
b3=-s2*cos(t);
b4=b3+b2*v2+b1*v1;
% 曲率
k3=k1-b1^2/b4;
k4=k2-b2^2/b4;
k7=(k1*b2^2+k2*b1^2)/(b1^2+b2^2); %凸轮曲面的法曲率
p=atan(b1/b2);
u=atan((2*k7-k3-k4)/((k3-k4)*sin(2*p))-cos(2*p))/2;
k5=(k1+k2-(b1^2+b2^2)/b4)/2+(k1-k2-(b1^2-b2^2)/b4)/(2*cos(2*u)); %凸轮曲面第一主曲率
k6=k3+k4-k5; %凸轮曲面第二主曲率
k=-(b1^2+b2^2)/b4; %诱导主曲率
```

通过程序计算可以得出  $\delta_i$  为 8, 0, -8 时凸轮曲面上每 1 点的压力角变化曲线, 见图 4。从压力角变化曲线可以看出, 当凸轮转角在  $0^\circ \sim 109^\circ$  之间时, 柳头处于上升过程, 压力角变化不大; 在  $\theta = 70^\circ$  时压力角达到最大,  $\alpha_{max} = 15^\circ \leq [\alpha]$ , 通常取  $[\alpha] = 30^\circ$ <sup>[15]</sup>; 可以满足要求; 当凸轮转角在  $109^\circ \sim 273^\circ$  之间时, 柳头处于压柳过程, 压力角接近  $0^\circ$ , 表明此凸轮机构力传递效率较高; 当凸轮转角在  $273^\circ \sim 360^\circ$  之间时, 柳头处于返程阶段, 压力角变化比较明显, 当  $\theta = 305^\circ$  时压力角达到最大为  $55^\circ$ , 但此过程只要求从动件能返回初始位置,

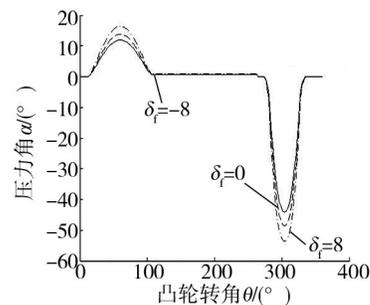


图4 压力角变化曲线

Fig.4 Changing curve of pressure angle

对动力要求很小,因而压力角变化较大,对机器的正常工作影响很小。

从以上分析可知:设计得到的空间凸轮其曲面的压力角符合要求,能够较好地传递力与运动。同时,通过Matlab软件编程,可以得出 $\delta_i$ 分别为8,0,-8时凸轮轮廓曲面在各个时刻的诱导主曲率曲线,见图5。可以看出,每个点的诱导主曲率值均大于0。根据曲率不发生干涉的判定条件,可知设计得到的空间凸轮曲面符合加工要求。

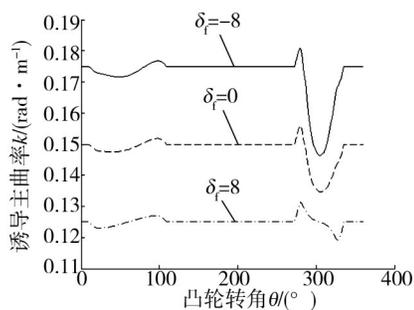


图5 诱导主曲率曲线

Fig. 5 Changing curve of induced main curvature

## 5 结语

应用共轭曲面啮合理论,推导了全自动装订机空间圆柱凸轮机构的压力角计算公式和凸轮的主曲率 $k_2'$ 和 $k_2''$ 及它们的诱导主曲率 $k_2'''$ 。利用Matlab编程,得到了压铆各个阶段的最大压力角值,经校核,压力角满足要求,凸轮曲面在加工时不会产生干涉。这为全自动装订机空间圆柱凸轮机构的参数优化奠定了理论基础。

### 参考文献:

- [1] 张书,刘小娟.全自动装订机凸轮机构从动件运动规律[J].轻工机械,2009,27(3):15—17.  
ZHANG Shu, LIU Xiao-juan. Motion Law of Follower Component in Cam Mechanism of Complete-automatic Binder[J]. Light Industry Machinery, 2009, 27(3): 15—17.
- [2] 高江红.设计参数对平面凸轮机构压力角的影响[J].轻工机械,2010,28(1):20—24.  
GAO Jiang-hong. Impact of Design Parameters on Pressure Angle of Planar Cam Mechanisms[J]. Light Industry Machinery, 2010, 28(1): 20—24.
- [3] 李蕾.滚珠型弧面分度凸轮机构的动力学分析及其性能研

究[D].山东:山东大学,2011.

- LI Lei. Dynamic Analysis and Performance Research of Globoidal Indexing Cam Mechanism with Steel Ball[D]. Shandong: Shandong University, 2011.
- [4] 高江红.输入轴速度波动对凸轮机构压力角的影响[J].机械设计,2011,28(11):31—34.  
GAO Jiang-hong. Impact on Pressure Angle of Cam Mechanism by Speed Fluctuation of Input Shaft[J]. Journal of Machine Design, 2011, 28(11): 31—34.
- [5] CHEN F Y. Mechanics and Design of Cam Mechanisms[M]. New York: Pergamon Press, 1982.
- [6] 谭援强,杨世平,王亮,等.圆柱齿超环面行星蜗杆传动的压力角[J].机械工程学报,2010,46(21):45—48.  
TAN Yuan-qiang, YANG Shi-ping, WANG Liang, et al. Pressure Angle of Toroidal Drive with Cylindrical Teeth[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(21): 45—48.
- [7] 常勇,杨富富,胡志超,等.作平面运动滚子从动件盘形凸轮机构的广义第II类机构综合问题[J].机械工程学报,2012,48(15):47—57.  
CHANG Yong, YANG Fu-fu, HU Zhi-chao, et al. Research on the General Second Mechanisms Synthesis Task of Disc Cam Mechanisms with Roller Follower Moving in General Planar Motion[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(15): 47—57.
- [8] CHAVAN U S, JOSHI S V. Synthesis and Analysis of Coupler Curves with Combined Planar Cam Follower Mechanisms [J]. International Journal of Engineering Science and Technology, 2010, 2(6): 231.
- [9] 彭国勋,肖正扬.自动机构的凸轮机构设计[M].北京:机械工业出版社,1990.  
PENG Guo-xun, XIAO Zheng-yang. Design of Cam Mechanisms of Automatic Machinery[M]. Beijing: China Machine Press, 1990.
- [10] YAN H S, YEH C C. Integrated Kinematic and Dynamic Designs for Variable-speed Plate Cam Mechanisms[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2011, 225(1): 1656—1662.
- [11] LI Fa-xin, FENG Xian-zhang. The Design of Parallel Combination for Cam Mechanism[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10(2): 1343—1349.
- [12] 曹巨江,李言,吉知难.弧面凸轮机构诱导曲率与强度设计的研究[J].机械传动,2009,33(1):1—3.  
CAO Ju-jiang, LI Yan, JI Zhi-nan. Study on the Induced Curvature and Strength Design of the Globoidal Cam Mechanism [J]. Journal of Mechanical Transmission, 2009, 33(1): 1—3.

- [13] ERDELYI HTALABA D A. Novel Method for the Dynamic Synthesis of Cam Mechanisms with n Imposed Driving Force Profile[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2010, 224 (C8): 1771—1782.
- [14] 贺兵, 邵军, 刘典, 等. 基于MATLAB固定凸轮与连杆组合机构的优化设计[J]. 包装工程, 2009, 30(9): 96—98.
- HE Bing, SHAO Jun, LIU Dian, et al. Optimum Design of Fixed Cam and Connecting Bar Mechanism Based on MATLAB[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(9): 96—98.
- [15] WU L I, LIU C H, CHEN T W. Disc Cam Mechanisms with Concave-faced Followers[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2009, 223(C6): 1443—1448.
- 
- (上接第78页)
- 社, 2007.
- OU Chang-jin. Mechanical CAD/CAM[M]. Xian: Xidian University Press, 2007.
- [2] 詹友刚. Pro/ENGINEER 中文野火版教程零件设计范例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- ZHAN You-gang. Pro/ENGINEER Wildfire in Chinese Version of the Tutorial Component Design Paradigm[M]. Beijing: Tsinghua University press, 2004.
- [3] 杜智敏. Pro/ENGINEER 野火版中空吹塑、合金压铸模具设计实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- DU Zhi-min. Pro/ENGINEER Wildfire Version of Hollow blow Molding and Alloy Die-casting Mould Design Example [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2005.
- [4] 刘伟洪, 刘海波. Mastercam 导入其他 CAD 模型数控加工的策略和应用[J]. 制造业自动化, 2011, 33(5): 34—36.
- LIU Wei-hong, LIU Hai-bo. NC Machining Strategies and Application that Mastercam Guided the Other CAD Models[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(5): 34—36.
- [5] 谭雪松, 姜胜, 陈霖. MasterCAM 数控加工实战训练[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- TAN Xue-song, JIANG Sheng, CHEN Lin. MasterCAM CNC Machining Training [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2005.
- [6] 沈自林, 沈庆云. PET 饮料瓶模具设计与制造工艺研究[J]. 机械工程师, 2002(8): 23—25.
- SHEN Zi-lin, SHEN Qing-yun. Technological Research on Design and Manufacturing of Mould for PET Drink Bottle[J]. Mechanical Engineer, 2002(8): 23—25.
- [7] 戴向国, 于复生, 刘雪梅. Mastercam9.0 数控加工基础教程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- DAI Xiang-guo, YU Fu-sheng, LIU Xue-mei. Mastercam9.0 NC Maching Fundamentals Tutorial [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2004.
- [8] 王峥, 史智斌. Pro/Engineer 在刚性塑料包装容器设计中的应用[J]. 包装工程, 2010, 31(23): 72—76.
- WANG Zheng, SHI Zhi-bin. Application of Pro/Engineer in Design of Rigid Plastic Package Container[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23): 72—76.
- [9] 杨应洪, 陈俊冬, 尹显明. Mastercam 软件在数控加工中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2013(6): 167—170.
- YANG Ying-hong, CHEN Jun-dong, YIN Xian-ming. Application of Mastercam in Numerical Control Machining[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2013(6): 167—170.
- [10] 唐静静, 董海祥. Pro/ENGINEER 在包装容器结构设计中的应用[J]. 包装工程, 2005(12): 92—93.
- TANG Jing-jing, DONG Hai-xiang. Application of Pro/ENGINEER in Structural Design of Packaging Container[J]. Packaging Engineering, 2005(12): 92—93.
- [11] PTC. Pro/Engineer Wildfire Pro/Toolkit User's Guide[M]. Parametric Technology Corporation, 2003.
- [12] WANG Long-wang, XIAO Jun-shi, XIAO Ling-yan. Moulds CAD/CAM Based on AutoCAD and MasterCAM[C]// Proceedings of the Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2011: 4172—4175.
- [13] KUANG Wei-hua. Research on 3D Complex Surface Construction and NC Machining Based on MasterCAM[C]// Proceedings of the 9th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, 2008: 633—638.
- [14] LIU Yong-feng, TIAN Hong-sen, LIU Lian-da. Research on 3-D Design Based on Pro/E Software[C]// Proceedings of the Second International Workshop on Education Technology and Computer Science (ETCS), 2010: 509—512.
- [15] CHENG Chen, FU Min. Pro/E Software Applications in Industrial Product Design[C]// Proceedings of the 2011 International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization (ICSEM), 2011: 160—163.
- [16] LIU Yong-feng, YANG Jian-wei, TIAN Hong-sen. Study on CAD for the Complex Combustion Structure in Engine Based on PRO/E[C]// Proceedings of the Second International Conference on Digital Manufacturing and Automation (ICDMA), 2011: 1145—1148.