

文章编号:1671-5497(2006)Suppl.-0075-04

# 面向 CAE 的汽车覆盖件模面设计中 零件边界光顺技术

龚科家,李运兴,郭威,胡平

(吉林大学 汽车动态模拟国家重点实验室 车身与模具工程研究所,长春 130022)

**摘要:**探讨了面向 CAE 的汽车覆盖件模面设计中光顺零件边界的几个关键技术,给出了零件边界需要光顺区域的判断依据和 NURBS 光顺曲线的生成方法和流程,开发了相应的参数化设计模块。通过对某汽车前翼子板等实际覆盖件边界的光顺验证了算法的可行性。

**关键词:**材料合成与加工工艺;模面设计;NURBS 曲线;汽车覆盖件;CAE

中图分类号:TG386 文献标识码:A

## Contour smooth technique in CAE-oriented die-face design for automotive panel

Gong Ke-jia, Li Yun-xing, Guo Wei, Hu Ping

(Institute of Auto-Body and Die Engineering, State Key Laboratory of Automobile Dynamic Simulation, Jilin University, Changchun 130022, China)

**Abstract:** Key techniques about how to smooth the contour of automotive panel were discussed. The method for judging the areas which need to be smoothed and the procedure used for generating the NURBS smooth curve of the stamping part contour were presented. The relevant function modules for parametric design were developed. The feasibility of techniques was proved by creating the smooth surface on the contour of practical parts.

**Key words:** material synthesis and processing technology; die-face design; NURBS curve; automotive panel; CAE

## 0 引言

汽车覆盖件是板料成型领域最难成型的零件,具有形状复杂、表面质量要求高、外形尺寸大等特点<sup>[1,2]</sup>。大量试验及 CAE 仿真结果已经充分证明:汽车覆盖件拉延模工艺补充部分的形状和

形态对 CAE 分析结果的准确性影响很大。近年来,基于成形过程仿真、面向 CAE 的拉延件工艺设计方法得到了越来越广泛的研究和应用。与传统的覆盖件拉延模设计方法相比,该方法可以直接在 CAE 环境中设计和修改拉延件工艺,具有效率高和修改方便等优点。零件边界光顺是面向 CAE 的模面设计所特有的和必不可少的环节,但

收稿日期:2005-09-25.

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(19832020);国家杰出青年科学基金资助项目(10125208);吉林大学“985 工程”资助项目。

作者简介:龚科家(1978-),男,博士研究生。研究方向:车身覆盖件模面设计。E-mail:gkj@email.jlu.edu.cn

通讯联系人:胡平(1956-),男,教授,博士生导师。研究方向:车身虚拟设计与制造工程。E-mail:pinghu@jlu.edu.cn

目前与此相关的工作介绍却非常少见,所以研究其生成方法有非常重要的意义。作者探讨了面向CAE的汽车覆盖件拉延模设计方法中光顺零件边界的几个关键技术,给出了零件边界需要光顺区域的判断依据、光顺曲线的生成方法和流程,并开发了相应的参数化设计模块。

## 1 面向 CAE 的模面设计方法

面向 CAE 的模面设计方法一般由零件预处理、零件边界光顺、生成压料面、生成工艺补充面、成形过程数值仿真几个步骤构成。图 1 给出了总体的设计流程。压料面设计也可以与工艺补充面的设计一样,通过建立一个设计知识库来简化人工操作。

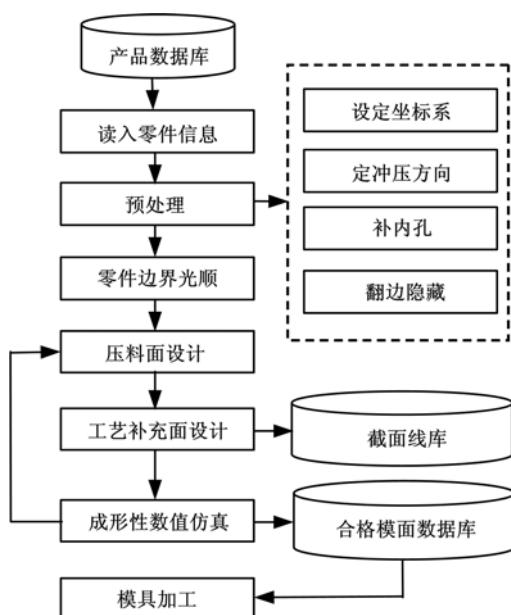


图 1 基于 CAE 模面的设计流程图

Fig.1 Flow chart of die-face design based on CAE

目前已有的基于 CAE 模面设计功能的软件在处理的流程上都是大同小异的,区别主要在于每个中间步骤实现的具体算法,界面的友好程度和操作的方便性等方面。Autoform-diedesigner 的特点主要在于其自动化程度高,并具有手动修改功能。但是由于其高度的自动化能力,导致很多地方想要手动修改时会有不便。Pam-diemaker 的界面采用向导方式能够让使用者很快上手,但是 Pam-diemaker 2000 版本的稳定性有待进一步完善。HyperForm 的用户界面不如前面 2 个软件的

界面友好,用户可参与程度高是其一大特点。

## 2 零件边界光顺技术

### 2.1 总体思想

CAE 模面设计中零件边界光顺技术可以分为 3 个主要模块:零件边界上需要光顺区域的识别模块,光顺曲线生成模块和光顺曲面生成模块。

零件边界上的不封闭、深浅不一或者是凹入程度过大等地方都是需要光顺的区域,作者采用一种滚柱算法来识别这些区域。在识别出需要光顺的区域后,根据覆盖件的特性,需要用 NURBS 曲线来光顺零件边界(如图 2 所示)。因此,光顺

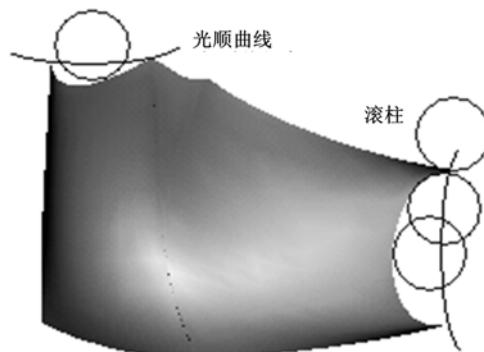


图 2 滚柱算法中滚柱示意图

Fig.2 Schematic of rolling cylinder in rolling algorithm  
曲线的生成算法也是边界光顺技术中的一个重点。整个零件边界的光顺由多个光顺曲面完成,每一个光顺曲面由两条 NURBS 曲线用蒙皮法生成,其中一条就是应用光顺曲线生成算法得到的光顺曲线,另一条曲线是复合曲线,由零件边界上需要光顺区域的多条曲线合并而成。关于蒙皮法生成 NURBS 曲面,很多文章<sup>[3-6]</sup>都做了详细的介绍,所以不再做专门的探讨。

### 2.2 滚柱算法

为了识别零件外轮廓线需要光顺的区域,先将零件轮廓线投影到与冲压方向垂直的平面上。然后用一个给定半径(由用户输入参数决定)的圆柱沿着轮廓线滚动来判断覆盖件外轮廓线上需要光顺的区域。具体算法可描述如下:

(1) 将轮廓线离散,在轮廓线上随机选择某离散点  $A_0$  做为圆柱滚动的起点,选择相邻的下一个离散点  $A_1$ ,得到一个以直线  $A_0A_1$  为切线的圆,设圆心为  $O_0$ ,半径  $R$  通过交互方式给出。

(2) 对轮廓线上其他点计算  $O_0A_1, O_0A_2, \dots$ ,

$O_0A_j, j > 1$ ;如果有  $O_0A_i < R, 1 < i < j$ ,则重新选择一个  $n \neq i, n \neq 0, 1$  的点  $A_n$  做为起点,重复前面的判断,一直到满足条件为止,假设找到的点是  $A_n$ ,进入下一步骤。

(3)在点  $A_{n+1}$  处以直线  $A_{n+1}A_{n+2}$  为切线,半径为  $R$  做圆,设得到圆心为  $O_{n+1}$ ,循环所有轮廓线上的点,计算与圆心  $O_{n+1}$  的距离为  $d$  的点,如果没有找到  $d < R$  的点,则按照轮廓线上离散点的顺序,对下一点继续本步骤的判断;如果找到一个点  $A_j$ ,则表示以  $A_{n+1}$  为起点,以  $A_j$  为终点的曲线段需要光顺;如果找到不止一个点,而是一个点集  $\{A_i | 1 < i < j\}$ ,则对点集中的每个点  $A_i$ ,做以  $R$  为半径、过点  $A_{n+1}$  和  $A_i$ 、圆心在轮廓线外的圆,在这些圆中间,一定能够找到一个不包含点集中任何点的圆,构成这个圆的点  $A_{n+1}$  和  $A_i$  分别是需要光顺曲线段的起点和终点。

(4)循环整个轮廓线上的离散点,用前面的步骤查找出所有需要光顺的区域。

### 2.3 光顺曲线生成算法

零件边界需光顺区域的光顺曲线是通过插值一个空间点列求得的。计算空间点列首先对已经投影到一个平面上的曲线段求出一条根据参数给定半径并且通过曲线段端点的圆弧;其次要将圆弧沿平面的法线方向拉伸成一张圆柱曲面;最后在曲线段的每个离散点处沿曲面延展方向做射线与圆柱曲面求交得到空间点列。

求圆弧需要在圆弧所在平面上建立一个局部坐标,将需要光顺区域的离散点转换到局部坐标系下,根据下面的公式求出圆弧的圆心:

$$\begin{cases} O_x = P_x + v_x^2 / \sqrt{R^2 - |PP_1|^2} \\ O_y = P_y + v_y^2 / \sqrt{R^2 - |PP_1|^2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $P_1, P_2$  为曲线的两个端点; $(P_x, P_y)$  为线段  $P_1P_2$  中点  $P$  点的坐标; $R$  为圆弧半径; $v^2$  为从  $P$  指向圆心的单位矢量。

圆柱曲面可以用扫掠的方法生成。扫掠曲面通常可以用下面的公式表示:

$$S(u, v) = r(u) + c_1(u, v)N + c_2(u, v)B \quad (2)$$

式中: $r(u)$  为脊线; $c_1(u, v), c_2(u, v)$  为平面截线,它可以沿脊线形变或扭转; $N, B$  为沿脊线方向的单位矢量,与参数  $u$  有关。

由于这里扫掠的平面截线是圆弧,扫掠曲面

可以用 NURBS 精确表示, $c_2(u, v)$  也可以通过对  $c_1(u, v)$  偏置生成<sup>[7,8]</sup>。

有了圆柱曲面之后,首先可以通过在曲线段的每个离散点处沿曲面延展方向做射线,然后将射线与圆柱曲面求交得到空间点列。但是如图 3

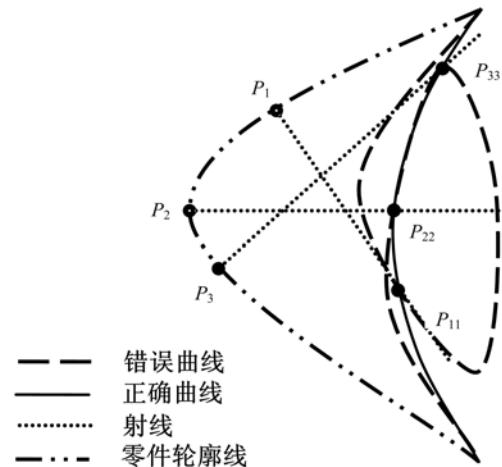


图 3 射线自交示意图

Fig. 3 Schematic of ray intersection

所示,如果射线有自交的情况将会打乱求得的交点顺序,导致最后生成的插值曲线自交。

针对这种情况,解决方法如下:①将轮廓线离散点沿垂直于边界的矢量方向做射线与圆柱曲面相交求出交点;②将轮廓线离散点与交点连接成的线段投影到投影平面;③依次判断并记录线段之间的相交情况,如果线段相交则交换端点的顺序;④重新排序全部交点。

对于空间点列的曲线拟合,在实际应用中一般采用三次 NURBS 曲线来拟合插值节点。在三次 NURBS 插值曲线反算时,除了插值点坐标外还需要提供首末端边界条件和插值点的权因子,本文算法取空间点列两个端点处的切矢条件为首末端边界条件,NURBS 曲线生成采用对应齐次坐标表示

$$P(u) = H\{P(u)\} = H\left\{\sum_{i=0}^n D_i N_{i,k}(u)\right\} \quad 0 \leq u \leq 1 \quad (3)$$

的反算 NURBS 插值曲线的控制顶点  $d_i$  与权因子  $\omega_i (i=0, 1, \dots, n)$  的方法。这里  $D_i$  是  $d_i$  的带权控制顶点, $D_i = \omega_i d_i, N_{i,k}(u), i=0, 1, \dots, n$ ,是由节点矢量  $U = [u_0, u_1, \dots, u_{n+k+1}]$  决定的  $k$  次  $B$  样条基函数,公式(3)表示的是  $n$  次 NURBS 插值曲线。

### 3 实例

图4是某车前翼子板边界光顺示例图。给定滚柱半径为1500 mm,圆弧半径为3000 mm,图

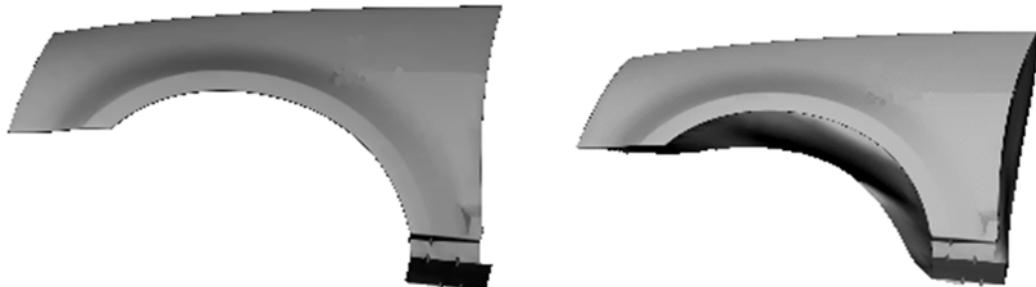


图4 前翼子板边界光顺示例  
Fig.4 Contour smooth example of the front fender

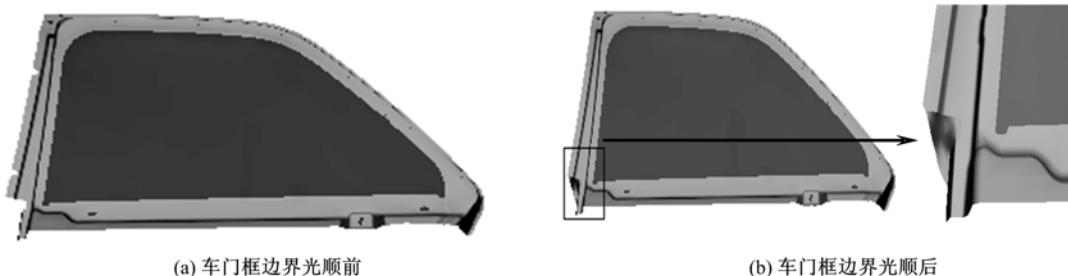


图5 车门框边界光顺示例  
Fig.5 Contour smooth example of the doorframe

### 4 结论

(1)提出的技术思路清晰,复杂度不高,容易实现。

(2)生成的曲线用NURBS精确表示,参数化设计使光顺曲线的形状有较强可控性。

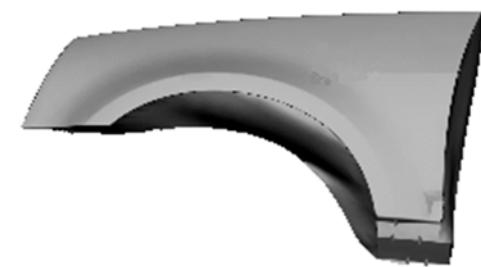
(3)可有效地提高工艺补充面的设计质量,从而改善冲压件可制造性。

### 参考文献:

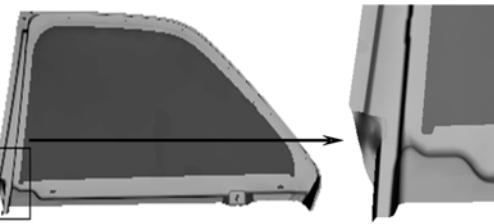
- [1] 王玉国,卫原平,沈启彧.覆盖件拉伸模工艺补充部分和压料面设计[J].上海交通大学学报,1999,33(2):184-187.  
Wang Yu-guo, Wei Yuan-ping, Shen Qi-yu. Addendum and binder surface design for automotive panel drawing die[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 1999, 33(2):184-187.
- [2] 龚科家,胡平.汽车覆盖件模面设计中补充曲面的生成方法[J].吉林大学学报:工学版,2006,36(1):63-66.  
Gong Ke-jia, Hu Ping. Method for generating additional

中颜色较深的部分就是新生成的零件边界光顺曲面。

图5是某车门框边界光顺示例图。给定滚柱半径为100 mm,圆弧半径为500 mm。图5(a)是经过补孔处理后的零件图。



(b) 前翼子板边界光顺后



(b) 车门框边界光顺后

al surface in die face design of automotive panel[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2006, 36(1):63-66.

[3] Zhang Le-nian, Zhou Lai-shui, Zhou Ru-rong. Research on NURBS skinning surface via complex curves [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 1996, 9 (2): 104-110.

[4] Piegl L, Tiller W. Curve and surface construction using rational B-splines[J]. CAD, 1987, 19(9): 485-496.

[5] Piegl L, Tiller W. Algorithm for approximate NURBS skinning[J]. CAD, 1996, 28(9): 699-706.

[6] Tokuyama Yoshimasa. Skinning-surface generation based on spine-curve control[J]. Visual Computer, 2000, 16(2): 134-140.

[7] Wang Cheng-xiang, Li Yuan-jun, Huang Tian-ze. NURBS free-form surface based on skinning surface[J]. Journal of Hunan University Natural Sciences, 1996, 23 (4):77-78.

[8] Tiller W, Hanson E G. Offsets of two-dimensional profiles[J]. IEEE CG/A, 1984, 4(9): 36-46.

(责任编辑 程仲基)