

文章编号 1000-5013(2006)04-0409-04

# 轿车后三角玻璃及包边的重构与拼接

陈鼎宁 刘 琼 王乾廷 陈文哲

(福建工程学院机电及自动化工程系, 福建 福州 350014)

**摘要** 为了检测轿车后三角包边玻璃与标准样件之间的误差, 提出包边玻璃点云参数化重构和拼接方法. 根据后三角包边玻璃的测量要求, 在获得其点云已消噪的情况下, 应用 B 样条法构造出玻璃双二次加权曲面参数方程. 根据过渡曲面一阶导数连续的性质, 导出交于公共边界的控制网格矢量之间的关系, 研究其不同分片曲面之间的光滑拼接方法, 并举例验证方法的有效性. 检测结果表明, 重构曲面经过分层切片, 可以用于检验与标准样件之间的误差, 而且该算法运算量较少, 精度可控制.

**关键词** 轿车车门, 后三角包边玻璃, 曲面重构, 曲面拼接, BSC 曲面

**中图分类号** U 463.85+3.02; TH 161+.5; TH 164

**文献标识码** A

汽车侧挡风玻璃中的后侧小三角形包边玻璃, 是一个制造要求较高的部件. 玻璃采用 PVC 把周边包起来形成一个部件, 通过 PVC 周边的弹性柱卡入亮饰条上的孔中, 从而形成三角玻璃总成. 三角玻璃总成, 通常按轿车生产厂家提供图纸和标准样件由副厂生产, 副厂产品和标准样件之间的误差要控制在许可范围内. 这样就需要对标准样件和待检测三角玻璃总成进行比对. 常用的方法是采用反求技术获取它们的点云, 然后重新构造曲面, 把曲面分层切片, 分别比对两者间的偏差. 由于玻璃总成本是一个自由曲面, 获取反求数据时定位较困难. 另一方面, 其形状极不规则, 由扫描得的点云构造曲面时容易出现较多的曲面碎片, 应用常规的建模技术时, 常会出现设计柔性过大引起的曲面特征参数不易控制等问题<sup>[1-3]</sup>. 构造三角玻璃总成模型主要有以下两种方法. (1) 应用逆向工程系统(如 Imageware, Geomagic 等)建模. (2) 应用计算机辅助几何设计(Computer Aided Geometry Design, CAGD)技术. 但两种都存在着一一定的局限性<sup>[4-7]</sup>. 本文结合轿车后三角包边玻璃总成的结构特点和曲面生成过程, 在已通过三坐标测量机获得其点云, 并且在已构造出其曲面边界的情况下, 应用 B 样条曲面构造方法, 分别研究其分片曲面的构造方法及曲面光滑拼接方法.

## 1 三角包边玻璃总成曲面构造

轿车后三角包边玻璃的曲面构造, 必须依照自身结构特点和自由曲面构造要求进行, 一般应考虑如下 3 个因素. (1) 必须有较高的尺寸精度和形状精度, 以保证装配时的准确性和互换性, 以及车身外观形状的一致性和美观性. 因此, 其边界切矢量应和与其装配的车窗的边界切矢相等. (2) 棱线应清晰、平直; 曲线应圆滑、过渡均匀; 模型表面不允许有波纹、皱纹、凹痕、压痕等造型缺陷, 如图 1(a) 所示. (3) 模型不仅要符合设计要求, 还要符合与标准样件比对时的测量要求. 所以, 曲面构造过程是: 首先通过三坐标测量机或激光扫描仪等设备获得的待测玻璃总成表面离散坐标点. 由于点云数据量庞大(图 1(b)), 数据之间通常没有明显的拓扑关系, 且包括相当数量的无用数据, 故需对原始数据点进行处理. 处理内容包括噪声数据过滤、坏点去除、冗余数据的压缩和归并、残缺数据的填补与均化, 以及根据边界、棱线和曲面特征识别进行数据分块、延拓等. 然后, 提取点云数据的边界(图 1(c))<sup>[8]</sup>, 根据边界及各骨架线进行曲面构造和评估, 其过程如图 2 所示.

收稿日期 2006-05-23

作者简介 陈鼎宁(1963), 男, 副教授, 主要从事先进制造技术的研究. E-mail: chendn@fjut.edu.cn

基金项目 福建省科技厅重点高新技术研究开发计划资助项目(2005H003)



(a) 包边玻璃及其 PVC 包边 (b) 扫描包边玻璃得到的点云 (c) 由点云拟合的各曲面片边界曲线

图 1 点云及其拟合的边界曲线

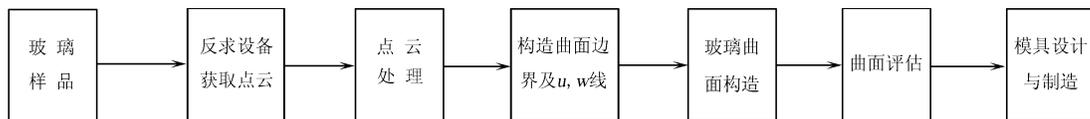


图 2 玻璃总成曲面的构造过程

## 2 三角玻璃曲面片的 BSC 法构造

设图 1 中由点云构造的  $u$  线和  $v$  线构成的控制多边形网格为

$$A_{k \times l} = (A_{ij})_{k \times l},$$

则  $\alpha \times \beta$  阶的  $k \times l$  阶型的 BSC 曲面为

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^l B_{i,k}(u) B_{j,l}(v) A_{ij}. \quad (1)$$

在式(1)中,  $B_{i,k}(u)$  和  $B_{j,l}(v)$  分别是参数  $u$  向  $k$  阶型的  $\alpha$  阶和参数  $v$  向的  $l$  阶型的  $\beta$  阶 BSC 基函数,  $A_{ij} (i=0, 1, \dots, k; j=0, 1, \dots, l)$  是控制多边形网格顶点. 双 2 阶型的加权 BSC 曲面表达式为

$$P_2^{(w)}(u, v) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 B_{i,2}(u) B_{j,2}(v) w_{ij} A_{ij} - \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 B_{i,2}(u) B_{j,2}(v) w_{ij}, \quad (2)$$

其中,  $B_{i,2}(u)$  和  $B_{j,2}(v)$  分别是参数  $u$  向和  $v$  向 2 阶型的  $\alpha$  阶和  $\beta$  阶 BSC 基函数. 如图 3 所示, 在坐标系中, 令  $A_{ij} = [x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}]$ .  $s, t$  分别为沿曲面  $u$  向和  $v$  向的参数, 且  $s, t \in [0, 1]$ , 当  $s = s_0, t = t_0$  时, 对应 BSC 曲面上的点为

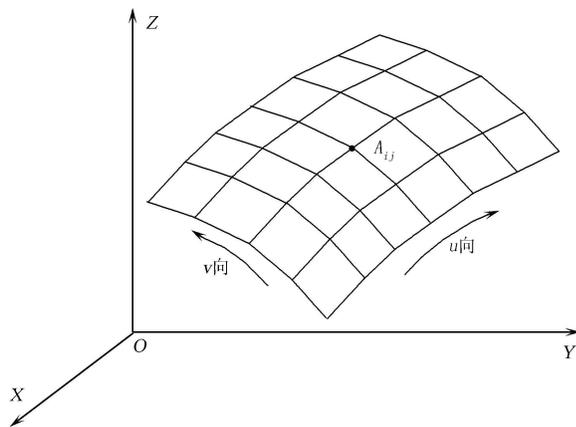


图 3 曲面在坐标系中的  $u$  向和  $v$  向

$$P[x(s_0, t_0), y(s_0, t_0), z(s_0, t_0)] = \left[ \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^l B_{i,k} \left[ \frac{(1+\alpha)s_0}{1+\alpha s_0} \right] B_{j,l} \left[ \frac{(1+\beta)t_0}{1+\beta t_0} \right] x_{ij}, \right. \\ \left. \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^l B_{i,k} \left[ \frac{(1+\alpha)s_0}{1+\alpha s_0} \right] B_{j,l} \left[ \frac{(1+\beta)t_0}{1+\beta t_0} \right] y_{ij}, \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^l B_{i,k} \left[ \frac{(1+\alpha)s_0}{1+\alpha s_0} \right] B_{j,l} \left[ \frac{(1+\beta)t_0}{1+\beta t_0} \right] z_{ij} \right]. \quad (3)$$

由于坐标和参数  $\alpha, \beta$  相关, 所以对对应同一组参数值  $s = s_0, t = t_0$  的不同  $\alpha, \beta$  值, 其 BSC 曲面上点的坐标不同, 即曲面上的点与参数域内的点的对应关系不同. 将式  $P(s, t) = P(u(s), v(t))$  两边分别对  $s, t$  求偏导, 可得

$$\frac{\partial P}{\partial s} = \frac{\partial P}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial s} = \frac{\partial P}{\partial u} \frac{1+\alpha}{(1+\alpha s)^2}, \\ \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial P}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial P}{\partial v} \frac{1+\beta}{(1+\beta t)^2}.$$

由于  $\frac{\partial u}{\partial s} = \frac{1+\alpha}{(1+\alpha s)^2} > 0, \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{1+\beta}{(1+\beta t)^2} > 0, \forall \alpha, \beta \in \mathbf{R}, \alpha, \beta > -1, s, t \in [0, 1]$ , 所以变换前后偏导矢同向, 模长的关系为

$$\begin{aligned} \left| \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial s} \right| &= \left| \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial u} \right| \left| \frac{1+\alpha}{(1+\alpha s)^2} \right|, \\ \left| \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} \right| &= \left| \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial v} \right| \left| \frac{1+\beta}{(1+\beta t)^2} \right|. \end{aligned}$$

例如, 取

$$\mathbf{A}_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} V_{00} & V_{01} & V_{02} \\ V_{10} & V_{11} & V_{12} \\ V_{20} & V_{21} & V_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (2 & 0 & 0) & (2 & 1 & 0) & (2 & 2 & 0) \\ (0 & 0 & 1) & (0 & 1 & 0) & (0 & 2 & 1) \\ (0 & 0 & 2) & (0 & 1 & 2) & (0 & 2 & 2) \end{bmatrix},$$

则双二次均匀 B 样条曲面为

$$\mathbf{P}[x(u, v); y(u, v); z(u, v)] = [x_0(u, v); y_0(u, v); z_0(u, v)].$$

上式中,  $x_0(u, v) = u^2 - 2u + 1, y_0(u, v) = 0.5u + v, z_0(u, v) = -u^2v^2 + u^2v + uv2 + 0.5u^2 - uv + 0.5v^2 + 0.5u - 0.5v + 0.25$

### 3 曲面片间的光滑拼接

采用上述的方法构造出的曲面, 可得到若干个单元曲面片把这些若干个曲面片光滑地拼接起来, 曲面拼接面是曲面光滑连接的一种方式, 它可以通过多个曲面的对应边界, 生成一张曲面与这些曲面光滑相接. 在造型中, 通过曲面生成、曲面过渡、曲面裁剪等工具生成物体的型面后, 总会在一些区域留下缝隙. 曲面拼接的目的, 是对这种情形进行“补洞”处理. 两面拼接时, 做一曲面, 使其连接两条给定曲面的指定对应边界, 并在连接处保持光滑. 设两个  $m \times n$  次曲面片为

$$\begin{aligned} \mathbf{q}(u, w) &= \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \mathbf{U}_{i,j} B_{jm}(u) B_{jn}(w), \\ \mathbf{p}(u, w) &= \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \mathbf{V}_{i,j} B_{jm}(u) B_{jn}(w). \end{aligned}$$

它们分别由控制顶点  $\mathbf{U}_j$  和  $\mathbf{V}_j$  定义, 具有公共边界  $\mathbf{p}(u, 0) = \mathbf{q}(u, 1)$ , 即  $C^0$  连续, 则有  $\mathbf{U}_m = \mathbf{V}_0 (i = 0, 1, \dots, m)$ . 若沿该公共边界又要求  $C^1$  连续, 则应同时满足

$$\mathbf{p}_w(u, 0) = h(u)\mathbf{q}_w(u, 1) + g(u)\mathbf{q}_u(u, 1). \tag{4}$$

如果让与公共边界相对的另一条边界在公共边界异侧, 以使公共边界不形成尖棱, 同时又使  $\mathbf{p}(u, w)$  的次数不变, 则有

$$h(u) = \alpha > 0, \quad g(u) = (1-u)\beta + u\gamma. \tag{5}$$

上式中,  $\alpha, \beta, \gamma$  为实常数. 将式(4)中各偏导矢用控制顶点给出, 并将式(5)代入. 整理后, 比较两边同次项的参数  $u$  的系数, 可得  $C^1$  连续条件为

$$\Delta^{0,1} \mathbf{V}_{k,0} = \alpha \Delta^{0,1} \mathbf{U}_{k,n-1} + \beta \left( \frac{m-k}{n} \right) \Delta^{0,1} \mathbf{U}_{k,n} + \gamma \left( \frac{k}{n} \right) \Delta^{0,1} \mathbf{U}_{k-1,n}. \tag{6}$$

上式中, 向前差分为

$$\begin{aligned} \Delta^{0,1} \mathbf{V}_{k,0} &= \mathbf{V}_{k,1} - \mathbf{V}_{k,0} = \mathbf{U}_{k,1} - \mathbf{U}_{k,n}, \\ \Delta^{0,1} \mathbf{U}_{k,n} &= \mathbf{U}_{k+1,n} - \mathbf{U}_{k,n} = \mathbf{V}_{k+1,n} - \mathbf{V}_{k,n}. \end{aligned}$$

这些一阶差分分别表示控制网格上相应的边矢量. 上式表明, 相交于定义公共边界的每一控制网格边矢量必须满足一定的关系, 才能使两曲面沿公共边界达到  $C^1$  连续.

### 4 重构曲面与标准样件间的比较

首先, 在同一坐标系下用相同的方法对待检验的玻璃曲面和标准样件扫描, 精度在 0.1 mm 以内. 除玻璃外, 产品上的包边与亮饰条应尽量扫描密一些, 玻璃上的可以扫描疏一些; 亮饰条的面也需要采集较多的点. 然后, 将两者分别等距离切片获得它们之间的位置关系, 如果它们之间的偏差小于许可公

差,则认为待检验三角玻璃总成是合格的.对于亮饰条的检验,则要在自由状态和夹紧状态下两次扫描.图4是碎片比对的一个场景.由图4可见,通过对玻璃曲面的重构,可以直观地得出待检验的玻璃曲面和标准样件之间的差别.

## 5 结束语

本文结合包边玻璃的结构特点和曲面生成过程,在构造出其曲面边界的前提下,研究了应用B样条法构造双二次加权BSC曲面的方法,以及两个 $m \times n$ 次曲面片以 $C^0$ 和 $C^1$ 连续为条件时的光滑拼接方法.从曲面构造过程和光滑拼接过程可以看出,该方法对于复杂曲面零件的构造与拼接,具有运算较少而精度可控制的特点.

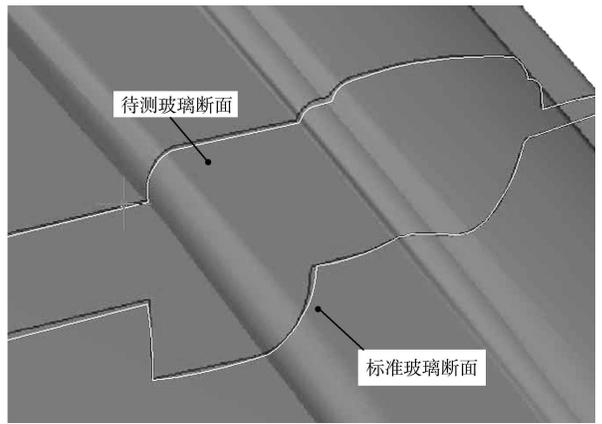


图4 待测玻璃和标准样件间的比对

## 参 考 文 献

- 1 施法中. 计算机辅助几何设计与非均匀有理B样条[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 85~ 87
- 2 贺美芳, 周来水, 朱延娟. 基于局部基面参数化的点云数据边界自动提取[J]. 机械科学与技术. 2004, 23(8): 912~ 915
- 3 Au C K. A geometric approach for injection mould filling simulation[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2005, 45(1): 115~ 124
- 4 杨裕国. 玻璃制品及模具设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 263~ 264
- 5 Parsa M H, Rad M, Shahhosseini M R, et al. Simulation of windscreen bending using viscoplastic formulation[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 170(2): 298~ 303
- 6 Lin J C. Optimum cooling system design of a free form injection mold using an abductive network[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 120(2): 226~ 236
- 7 雷雨成, 张平, 陈寿昌, 等. 双曲率车门玻璃的圆环面拟合法[J]. 汽车工程, 2005, 27(5): 623~ 625

# The Reconstruction and Merging of Rear Triangular Glass and Its Wrap for a Car

Chen Dingning Liu Qiong Wang Qianting Chen Wenzhe

(Department of Electromechanical and Automatic Engineering, Fujian University of Technology, 350014, Quanzhou, China)

**Abstract** In order to obtain the tolerance between the wrapping side rear triangular glass and the standard workpiece of car, a surface reconstruction and merging method for points cloud parameterizing of the glass was proposed. According to the measuring requirement of wrapping side glass, the bi quadratic parameter equation of glass was constructed by B-spline method on condition that the point cloud was obtained and was noise ridding. The relations among the control grid vectors intersecting on the public boundaries were deduced on the basis of the continuousness of first derivative of transition surface. The smoothness merging method between different partial unit surfaces was studied, and the validity of this method was verified by an example. The detecting results show that the slicing reconstruction surface can be used for the comparison between the glass and the standard workpiece. The calculation of this algorithm is small, and the precision is controllable.

**Keywords** automotive door, wrapping side rear triangular glass, surface reconstruction, surface merging, BSC surface