

基于鼓形面的车门玻璃及导轨设计

高大威^{1,2}, 高云凯¹, 周晓燕¹, 刘海立¹

(1. 同济大学 汽车学院, 上海 201804; 2. 上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093)

摘要: 提出一种以鼓形面拟合双曲面车门玻璃的方法, 利用线元几何构造运动方程并结合 K-Local-RANSAC 算法从车身点云拟合鼓形面。根据鼓形线原理, 由比例函数的方法得到玻璃导轨曲线, 同时进行运动偏差分析, 最大运动偏差小于 0.6 mm, 完全达到工程设计要求, 说明鼓形面玻璃的拟合方法及升降导轨的设计正确、合理。

关键词: 车门玻璃; 鼓形面; 鼓形线; 运动偏差

中图分类号: U463. 83+4

文献标识码: A

Automotive Door Glass and Guide Rail with Drum Surface

GAO Dawei^{1,2}, GAO Yunkai¹, ZHOU Xiaoyan¹, LIU Haili¹

(1. College of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The drum surface method was proposed to fit the dual-curvature glass. The drum surface was obtained from the automotive body cloudy data with the motion equation by using line element geometry and K-Local-RANSAC algorithm. Based on the drum line principle, the proportional function method was used to obtain the guide rail curve. At the same time, the motion deviation was analyzed and the max motion deviation was not more than 0.6 mm. The results fully achieve the engineering requirements. It is proved that the drum surface fitting method and the guide rail design are correct and reasonable.

Key words: automotive door glass; drum surface; drum line; motion deviation

长期以来, 汽车造型设计与车身设计中遇到的一个难点就是车门玻璃的型面设计。现代汽车车身外型设计越来越强调流线型, 为了满足不断提高的要求, 越来越多的乘用车车门采用双曲面玻璃, 熟悉

的车型有中华轿车、PASSAT B5 等。双曲面玻璃不仅在升降方向上曲率大于零, 而且在车身长度方向上曲率也大于零, 其升降运动是一种上下转动与侧向滑移的合成运动。这种复杂的合成运动不仅对玻璃曲面提出了更高的要求, 而且对玻璃引导系统的布置同样提出了非常高的要求。

近年来, 虽然双曲面玻璃已经被应用在国内开发的许多车型上, 但成熟、公开的资料基本没有, 并且存在很多问题, 工程设计和制造质量不高。同济大学的高云凯教授等^[1]、同济同捷科技股份有限公司的雷雨成教授等^[2]采用圆环面方法拟合双曲面玻璃, 并且利用 UG 等软件实现了圆环面玻璃的几何设计和运动分析, 但是车门玻璃运动时的最大偏差为 2.8~3.5 mm, 偏差较大。北美通用的 Lin C L^[3-4]利用车门 CAE 模型进行了钢丝绳式玻璃引导系统的虚拟试验设计研究, 同时还研究了车门玻璃在升降运动中的鲁棒性问题。福特公司的 K. Singh 等^[5]借助 CAE(computer aided engineering)分析方法研究了普通车门玻璃在升降运动过程中的偏差以及密封条变形。

笔者结合上海某汽车设计公司的一款车型, 针对左侧后门玻璃进行了玻璃曲面以及玻璃引导系统的布置设计。首先, 利用线元几何构造运动方程并结合 K-Local-RANSAC 算法根据车身点云数据得到鼓形面, 以鼓形面拟合双曲面玻璃; 同时, 按照鼓形线原理, 使用比例函数的方法拟合玻璃升降导轨曲线; 最后, 通过运动偏差分析, 最大位置偏差小于 0.6 mm, 完全符合工程偏差要求。证明玻璃曲面拟合及其导轨设计的正确性与准确性。

1 设计理论

目前对于双曲面玻璃的拟合方法使用较多的是

将柱面的变形曲面即圆环面作为玻璃型面^[6],但是在实际工程的运用中存在以下 2 个问题:①玻璃运动不够稳定;②造型面与圆环面偏差过大,难以符合工程要求.

实际上,车门玻璃的外形从侧视图看,其前后边界线应是平行曲线;从俯视图看,玻璃外形由最大截面向前后是缓慢往内收的,因此,玻璃半径也应从最大截面处的半径往前后逐步减小以适应车身造型规律,所以车门的玻璃表面应为鼓形表面^[7].鼓形面是以一条直线为轴线,同时沿轴线方向存在半径差的一种双曲面.车身造型点云包含多种不同部位的特征曲线与隐含信息,为了能够准确拟合出车门玻璃所在的鼓形面,使用 VC++ 语言,采用线元几何构造运动方程并结合 K-Local-RANSAC 算法拟合鼓形面.首先将三维空间中的点投影到线元空间中构建线性丛,而后利用线性丛表示曲面,通过拟合运动方程得到旋转运动的特征参数,从而计算出旋转轴所在位置.此方法计算速度快,并且无须得到精确的曲面法矢就能够快速识别曲面并提取旋转面的一般特征^[8].所得鼓形面如图 1 所示.

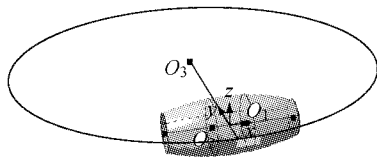


图 1 鼓形面拟合双曲面玻璃
Fig.1 The drum surface fitting the dual-curvature glass

建立局部坐标系(图 1),以鼓形面的旋转轴 O_1O_2 为 x 轴;在车门下窗台线附件用过 x 轴的平面截取鼓形面,拟合大圆 O_3 ,定义大圆径向且与 O_1O_2 垂直的半径为 y 轴.设大圆半径为 r ,大圆圆心到原点的距离即 O_3O 距离为 h ,且该距离在旋转过程中是不变的(图 2).那么,鼓形面满足下列公式:初始位置,大圆 $\begin{cases} x^2 + (y+h)^2 = r^2, x \leq l_{O_1O_2} \\ z = 0 \end{cases}$, $l_{O_1O_2}$ 为 O_1, O_2 点之间的距离,所以,鼓形面的方程可以表示为 $x^2 + (\sqrt{y^2 + z^2} + h)^2 = r^2$.

另外由于车门玻璃与 Oxz 平面及 Oyz 平面均有一定的角度,因此可以知道车门玻璃的运动实际上是一种鼓形线运动,如图 3 所示.根据鼓形线的运动理论可知:理想情况下,即玻璃曲面不存在运动偏差时,玻璃曲面在下降过程中 R 点一定经过 R'' 点.但实际运动过程中,由于角度的存在,车门玻璃由初始位置上的 R 点先绕轴线 O_1O_2 旋转到 R' 点,然后

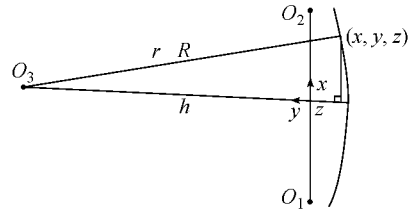


图 2 鼓形面拟合参数

再沿轴线 O_1O_2 方向偏移到 R'' 点,如图 4 所示.那么玻璃质心 M 点沿同样的鼓形线运动时,点 M 的运动轨迹即为玻璃导轨的导线.

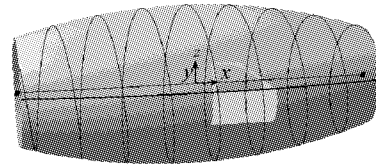


图 3 鼓形线运动

Fig.3 The drum line motion

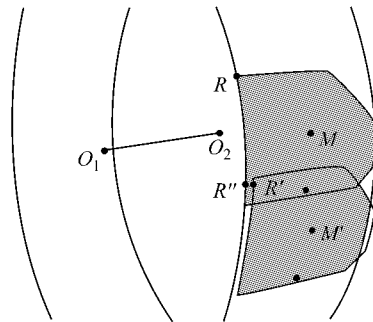


图 4 玻璃导轨设计

Fig.4 The design of the glass guide rail

2 设计方法

按照拟合鼓形面的方法,采用上海某设计公司设计的一款 A 级车^[1],以左侧后门玻璃为例(图 5),已知条件如下:①车身造型点云数据;②车门玻璃前后边界线、上下窗台线等.

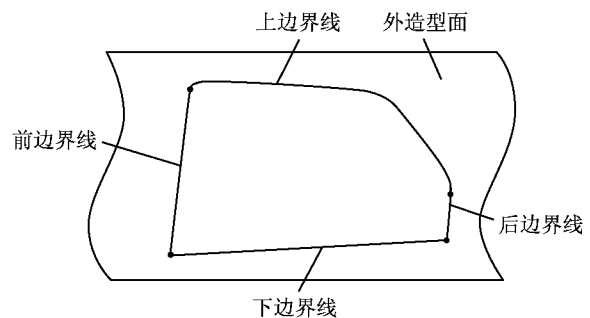


图 5 玻璃曲面设计已知条件

Fig.5 The glass surface design condition

根据车门玻璃边线得到鼓形面车门玻璃. 从侧视图看, 玻璃曲面的前后边界线是一对平行曲线, 如图 6 所示. 从俯视图看, 玻璃曲面外形由车身最大截面向后是缓慢往内收的, 也就是前文所说的鼓形面, 如图 7 所示. 图中, B 柱和 C 柱分别指玻璃的前端和后端.

同时根据按照鼓形线原理进行玻璃导轨导线的拟合, 设计步骤如下: ①将 O_1O_2 作为玻璃曲面的旋转轴线, 如图 8 所示; ②选取玻璃边界上的 2 个点 R 和 T. 过 R 点作垂直轴线的平面, 将 T 投影到此平面得到 T' ; 测量 $\angle RO_1T'$ 角度 α , TT' 距离 L, 见图

C 柱一侧

B 柱一侧

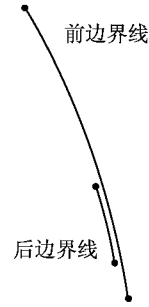


图 6 玻璃曲面前后边界线 Oyz 平面投影
Fig.6 The front and rear boundary of the glass surface on Oyz flat

图 7 左侧后门玻璃曲面俯视截面

Fig.7 The glass surface section of the left-rear door

8; ③根据鼓形线原理可知, 玻璃上每一个点的旋转与平移存在比例函数关系: ④ $\alpha/\Delta\alpha=L/\Delta L$. 那么, 将玻璃质心 M 点每旋转 $\Delta\alpha$ 角度, 就沿轴线偏移 ΔL 距离. 为了得到光滑的拟合曲线, 取 $\Delta\alpha=0.1^\circ$, 即可得到玻璃曲面下降过程中每旋转 0.1° 时质心点的位置. 根据这些点即可拟合出一条曲线, 即可得到玻璃导轨的导线. ⑤将玻璃曲面沿所得到的导轨曲线运动, 测量玻璃下降到不同位置时玻璃边界与导槽中心线之间的偏差.

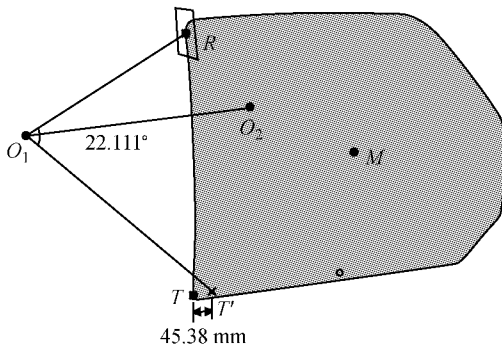


图 8 玻璃导轨设计应用

Fig.8 The glass guide rail design application

3 运动偏差分析

对于鼓形面玻璃的鼓形线运动, 可分析玻璃沿升降导轨运动过程中同玻璃导槽中心线的运动偏差情况. 分别取 B 柱一侧与 C 柱一侧中心线上等距的 10 个点, 图 9 中所示为前端中心线上 2 点. 测量玻璃下降到中间位置及下止点位置时, 这 10 点与导槽中

心线的距离, 以此确定玻璃曲面在升降过程中与导槽中心线的运动偏差. 由于玻璃曲面的鼓形线运动, 所以玻璃与导槽中心线之间的运动偏差实际上包括 x 向与 y 向的偏差(如图 9), 图中坐标系为整车坐标系的平移, 可以清楚地看出玻璃曲面沿 x 向与 y 向的运动. 即 $S_{shi} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$, 式中: S_{shi} 为玻璃曲面的运动偏差; S_x 为玻璃曲面的 x 向运动偏差; S_y 为玻璃曲面的 y 向运动偏差. 具体数值比较见表 1. 所研究的示例中, 玻璃前后边界线同玻璃导槽中心线的运动偏差均在 0.6 mm 以内, 完全达到工程偏差要求. 图 10 是玻璃曲面下降到中间及下止点位置时, 相对于车身坐标系而言, 玻璃前端与后端同玻璃导槽中心线间的运动偏差比较. 方向定义如下: 点的 x 向坐标值小于相应导槽中心线上点的 x 向坐标值则距离为正, 反之为负; 点的 y 向坐标值小于相应导槽中心线上点的 y 向坐标值则距离为正, 反之为负. 考虑玻璃密封条对玻璃的反力, 如果玻璃升降器托点

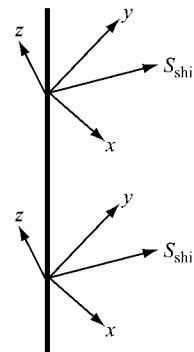


图 9 运动合成示意

Fig.9 Motion synthesis

处位移与角度间隙充分,在密封条的作用下玻璃实际运动偏差值会进一步减小。

经过分析可以知道,运动偏差小于 0.6 mm,完

全达到工程设计要求标准.说明比例函数方法的正确性与合理性,使用这种方法可以获得设计精度更高的玻璃导轨。

表 1 玻璃曲面前端和后端的运动偏差

Tab.1 The motion deviation of the front and the rear of the glass surface

序号	起止点位置/mm	中间位置/mm			下止点位置/mm		
		S_x	S_y	S_{shi}	S_x	S_y	S_{shi}
1	0	0.249,-0.053	-0.340,-0.198	0.433,0.212	0.120,-0.261	-0.456,-0.189	0.479,0.339
2	0	0.084,-0.153	-0.288,-0.154	0.310,0.222	-0.091,-0.369	-0.359,-0.115	0.377,0.394
3	0	-0.054,-0.231	-0.234,-0.110	0.249,0.258	-0.257,-0.439	-0.262,-0.040	0.371,0.444
4	0	-0.164,-0.288	-0.180,-0.063	0.249,0.296	-0.372,-0.471	-0.163, 0.037	0.409,0.473
5	0	-0.244,-0.322	-0.125,-0.017	0.277,0.323	-0.437,-0.465	-0.064, 0.116	0.444,0.479
6	0	-0.296,-0.334	-0.068, 0.030	0.305,0.336	-0.454,-0.422	0.037, 0.194	0.457,0.464
7	0	-0.320,-0.325	-0.011, 0.077	0.321,0.334	-0.422,-0.340	0.138, 0.274	0.446,0.438
8	0	-0.316,-0.293	0.049, 0.126	0.321,0.319	-0.343,-0.221	0.239, 0.354	0.420,0.419
9	0	-0.286,-0.239	0.109, 0.173	0.307,0.296	-0.215,-0.064	0.341, 0.434	0.407,0.441
10	0	-0.227,-0.164	0.170, 0.219	0.285,0.275	-0.041, 0.130	0.443, 0.512	0.450,0.532

注:逗号前后分别表示前端和后端。

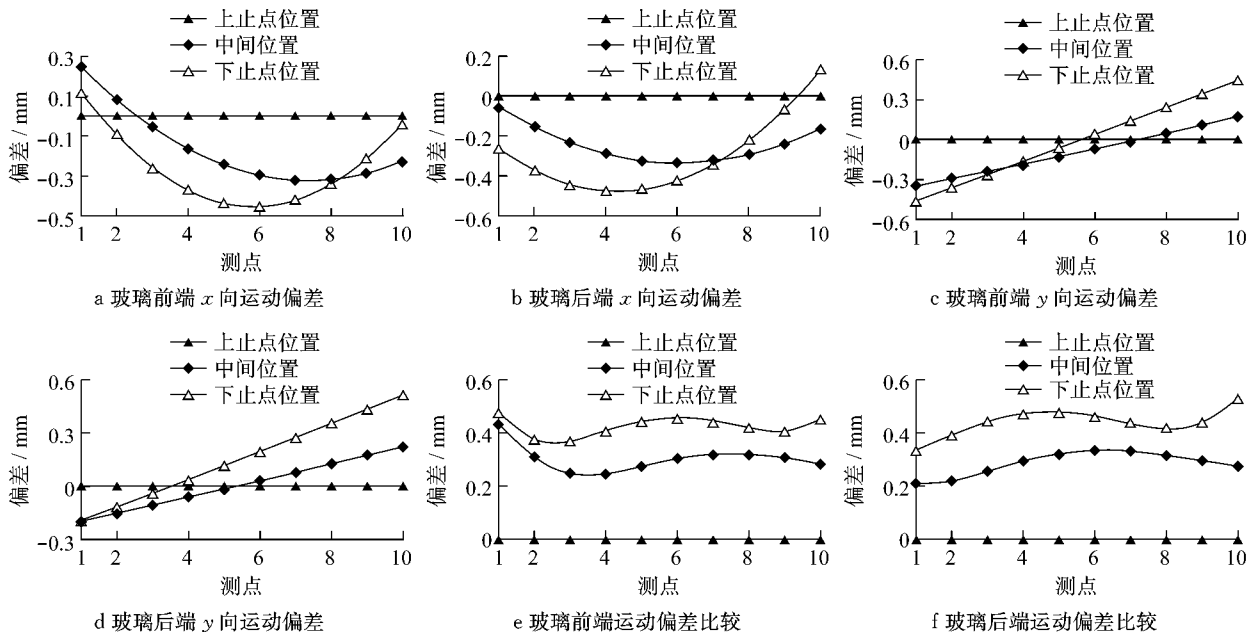


图 10 玻璃曲面运动偏差比较

Fig.10 Motion deviation comparison of the glass surface

4 结论

(1) 利用线元几何构造运动方程并结合 K-Local-RANSAC 算法从车身点云数据得到鼓形面,提出一种以鼓形面拟合双曲面玻璃的方法.该方法拟合精度高,不仅考虑了双曲面的双曲率因素,而且更加符合车身外造型面的设计要求。

(2) 根据鼓形线原理,使用比例函数的方法设计玻璃曲面的升降导轨曲线,同时将拟合好的玻璃曲面沿着设计的导轨进行升降运动.经过分析可以知道,玻璃在下降过程中与玻璃导槽中心线的运动偏差在 0.6 mm 以内,完全达到工程设计要求标准.说明了该设计方法的正确性与合理性,通过这种方法可以获得设计精度更高的玻璃导轨。

参考文献:

- [1] 高云凯, 赵懿, 彭和东. 环面玻璃轿车车门设计方法研究[J]. 汽车工程, 2005, 27(4): 483.
GAO Yunkai, ZHAO Yi, PENG Hedong. Design method for car door glass with torus surface [J]. Automotive Engineering, 2005, 27(4): 483.
- [2] 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.
LEI Yucheng, ZHANG Ping, CHEN Shouchang, et al. Torus surface fitting for dual curvature car door glass [J]. Automotive Engineering, 2005, 27(5): 623.
- [3] LIN Chunliang. Virtual experimental design optimization on cable-drive glass guidance system [J]. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 2002, 9(4): 317.
- [4] LIN Chunliang. Robust design of glass run-channel seal [J].

- SAE; 2004(3):1844.
- [5] Kaushlendra Singh, Carl Zaas, Richard Newton. Engineering moveable glass window seals of automotive door using upfront CAE [J]. SAE; 1998(9):332.
- [6] 黄金陵, 高云凯, 兰凤崇. 计算机辅助车身表面造型系统——ABSMS的研制和应用[J]. 汽车工程, 1991, 13(2): 73.
HUANG Jinling, GAO Yunkai, LAN Fengchong. Research and application of ABSMS—auto body surface modeling CAD system [J]. Automotive Engineering, 1991, 13(2): 73.
- [7] 黄金陵. 汽车车身设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2007.
HUANG Jinling. Vehicle body design [M]. Beijing: China Machine Press, 2007.
- [8] 张量, 姜晓峰. 基于线元几何的旋转面点云数据旋转轴提取算法[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(10): 1737.
ZHANG Liang, JIANG Xiaofeng. An estimation algorithm of the axis of rotation from 3D cloud data based on line element [J]. Computer Research and Development, 2009, 46(10): 1737.

(上接第91页)

态只与其形状和大小有关, 与其他特性(如材料等)并无直接关系, 因此平板的初始振动模态对本文结果没有直接影响, 仿真所用的平板固有振动频率不影响结论的普适性. 研究主要结论如下:

(1)板结构的振型对中低频声辐射起主导作用, 振动幅值的大小亦在一定程度上对声辐射产生影响.

(2)高频振动时, 板结构的振型分布基本不影响声辐射, 振动幅值大小决定了声辐射功率的大小.

(3)振型优化在中低频段效果明显, 高频段可能适得其反, 因此仅适用于中低频段.

(4)振幅优化可在整个频段取得一定的优化效果, 在中低频段的作用不如振型优化法, 可适用于高频段的声辐射优化.

参考文献:

- [1] 靳晓雄, 张立军. 汽车噪声的预测与控制[M]. 上海: 同济大学出版社, 2004.
JIN Xiaoxiong, ZHANG Lijun. Prediction and optimization of the vehicle noise [M]. Shanghai: Tongji University Press 2004.
- [2] 何琳, 朱海潮, 邱小军, 等. 声学理论与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
HE Lin, ZHU Haichao, QIU Xiaojun, et al. Acoustic theory and engineering application[M]. Beijing: Science Press, 2006.

- [3] 毛崎波, 姜哲. 对声辐射模态的讨论[J]. 振动工程学报, 2000, 13(4): 633.
MAO Qibo, JIANG Zhe. Discuss on sound radiation modes[J]. Journal of Vibration Engineering, 2000, 13(4): 633.
- [4] 周晓楠, 姜哲, 吴苏萍. 基于时域声辐射模态的结构噪声主动控制研究[J]. 振动与冲击, 2006, 25(6): 29.
ZHOU Xiaonan, JIANG Zhe, WU Suping. Active control research of structure noise based on time domain acoustic radiation modes[J]. Journal of Vibration and Shock, 2006, 25(6): 29.
- [5] 李双, 陈克安, 潘浩然. 基于模态理论的有源声学结构控制机理研究[J]. 振动工程学报, 2007, 20(2): 140.
LI Shuang, CHEN Kean, PAN Haoran. Control mechanism research of active acoustic structure based on model theory[J]. Journal of Vibration Engineering, 2007, 20(2): 140.
- [6] 毛崎波, 姜哲. 通过声辐射模态研究结构噪声的有源控制[J]. 江苏理工大学学报, 2000, 21(4): 1.
MAO Qibo, JIANG Zhe. Structure noise's active control on the acoustic radiation modal [J]. Journal of Jiangsu Polytechnic University, 2000, 21(4): 1.
- [7] 姜哲. 基于声辐射模态确定声功率[J]. 江苏大学学报, 2005, 26(6): 537.
JIANG Zhe. Ensure the sound power based on the acoustic radiation modal [J]. Journal of Jiangsu University, 2005, 26(6): 537.
- [8] 毛崎波, 徐柏龄, 姜哲. 对声辐射模态的改进[J]. 振动工程学报, 2002, 15(3): 262.
MAO Qibo, XU Boling, JIANG Zhe. The improvement on acoustic radiation modal [J]. Journal of Vibration Engineering, 2002, 15(3): 262.