

基于 Msc. Marc 的汽车车门密封条起皱分析及优化

李欢¹, 李惠林^{1*}, 张斌², 何锋¹, 吴志刚¹

(1. 贵州大学 机械工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州贵航汽车零部件股份有限公司, 贵州 贵阳 550025)

摘要:针对车门转角处密封条弯曲起皱所造成的汽车密封不严、车门关闭力超常等问题, 利用非线性有限元分析软件 Msc. Marc 建立密封条三维仿真模型, 对车门密封条进行弯曲起皱分析, 并进行了结构优化。经三维弯曲和二维压缩负荷检验, 海绵泡管形状优化后的车门密封条未明显起皱并满足压缩负荷要求。

关键词:车门密封条; 弯曲起皱; Msc. Marc; 优化

中图分类号: TQ336.4⁺2; O241.82 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-890X(2015)03-0169-03

汽车车门密封条不仅能够降低噪声和防止风沙、尘土等物质进入车内, 而且具有缓解振动和提高乘坐舒适性的作用。车门密封条在安装过程中需要根据钣金件的弧度变化进行弯曲变形, 若结构设计不合理, 在车门转角处密封条会弯曲起皱, 导致密封不严, 造成车厢内漏水、环境干扰噪声增强, 并导致车门关闭力增大。

国内外对汽车车门密封条结构的优化进行了较为广泛的研究。D. A. Wagner 等^[1]借助非线性有限元分析方法, 对密封条截面结构进行压缩负荷分析, 并对密封条结构进行了优化。蔡增伟等^[2]利用非线性有限元软件 Msc. Marc 分析了轿车行李箱密封条唇边的起皱问题, 并对其结构进行了优化。黄燕敏^[3]借助 Msc. Marc 有限元分析方法, 对某款单泡管型门框密封条进行插拔变形和弯曲变形模拟分析, 确定原设计存在装配困难、弯曲塌陷等问题, 并提出了相应的改进方案。赵建才^[4]利用基于弧长法的有限元方法对密封条起皱现象进行了研究, 获得了密封条失稳起皱的临界条件, 分析了起皱原因, 进行了结构优化。

本工作借助非线性有限元软件 Msc. Marc, 构建车门密封条三维仿真模型, 通过对密封条弯曲起皱原因的分析, 对密封条泡管形状进行优化,

以解决汽车车门密封条弯曲起皱的问题。

1 密封条弯曲变形模拟

1.1 几何模型的建立

车门密封条主要由密实橡胶、海绵橡胶和金属骨架组成。密实橡胶硫化粘接在金属骨架上, 用于将密封条固定在车架上; 海绵橡胶在车门关闭时, 直接与车门接触, 承受关闭时的压缩载荷, 同时具有弥补间隙进行密封的作用; 金属骨架在 U 形件中起支撑作用, 减小密封条的变形^[5]。为便于对密封条弯曲特性进行研究, 对密封条的截面结构进行简化, 去掉夹持齿, 其结构见图 1。

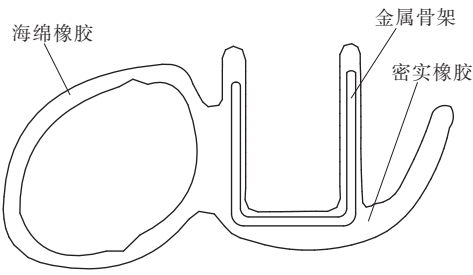


图1 车门密封条结构示意图

1.2 材料模型的建立

密实橡胶是一种微可压缩或不可压缩材料, 常用的模型有 Mooney-Rivlin 模型^[6] 和 Ogden 模型^[7]。Ogden 模型直接采用主伸长比 λ_i 作为自变量, 应变能函数为

$$W = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} [J^{-\frac{\alpha_n}{3}} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n})] - 3 + 4.5K(J^{1/3} - 1)^2 \tag{1}$$

基金项目: 贵阳市工业振兴科技计划项目[筑科合同(2011401)12-3号]; 贵州省科技计划项目[黔科合重大专项字(2012)6017]。

作者简介: 李欢(1990—), 男, 山东菏泽人, 贵州大学在读硕士研究生, 主要从事节能与新能源汽车的研究与开发。

* 通信联系人

$$J = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \quad (2)$$

式中, N 为数学参数, μ_n 和 α_n 为与温度相关的材料常数, K 为初始体模量, J 为体积率。

Ogden 模型比 Mooney-Rivlin 模型更为简洁, 而且在单轴拉伸、等比双轴拉伸和纯粹剪切试验中已经得到验证, 具有较高的准确性。密实橡胶选取 Ogden 模型作为材料模型。

海绵橡胶与密实橡胶不同, 在受力情况下有较大的变形, 是一种可压缩的非线性弹性材料。Ogden 模型同样采用主伸长比为自变量, 建立了适用于大变形、高度非线性的弹性材料的 Foam 模型。海绵橡胶选取 Foam 模型作为材料模型。

1.3 单元类型的选取

对车门密封条弯曲变形进行三维仿真分析。在分析中, 密实橡胶选用三维 Herrmann 单元, 海绵橡胶和金属骨架选用三维任意扭曲块单元进行模拟分析。金属骨架采用各向同性材料模型, 其杨氏模量为 2.1×10^5 MPa, 泊松比为 0.3。

1.4 边界条件的确立

车门密封条的弯曲变形分析基于以下假设:

(1) 车门密封条长 120 mm、弯曲角度 90° 、弯曲半径 50 mm, 在密封条弯曲半径两端施加与 Y 轴方向相反的弯曲负荷, 模拟密封条的弯曲受力情况;

(2) 车门密封条关于中心对称, 在中心区域施加固定位移, 防止密封条在 Z 轴方向移动;

(3) 对车门密封条中心区域的金属骨架施加固定位移, 使其在 X, Y, Z 三个方向都不发生位移;

(4) 在密封条的 U 形密实橡胶两侧平面施加 X 方向固定位移, 防止密封条在 X 方向移动。

对车门密封条施加边界条件后的分析模型如图 2 所示。

1.5 结果分析

利用修正的 Risks/Ramm 弧长法对车门密封条进行弯曲起皱分析, 密封条的弯曲变形状态如图 3 所示。

在车门密封条对称中心截面处, 密封泡管和密实橡胶的 U 形安装槽表面均出现了明显的起皱现象, 影响车门关门力的大小和密封条的密封

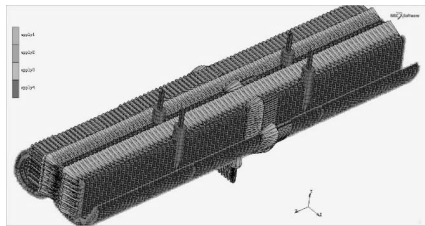


图2 车门密封条弯曲变形分析模型

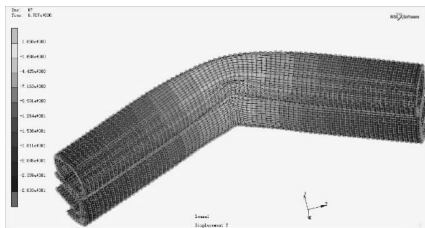


图3 密封条弯曲变形状态示意

效果。相较于密实橡胶, 海绵泡管壁厚较小、材料硬度较低, 导致变形较为严重, 起皱明显。车门密封条弯曲起皱属于屈曲失稳问题, 主要是由于密封条泡管受压引起结构失稳造成的, 随着压力的增大, 密封条抵抗横向变形的能力不断下降, 到达一定水平后, 密封条结构失去稳定性而出现弯曲起皱。

2 车门密封条优化

影响密封条弯曲起皱的因素较多, 如密封条的结构、材质、形状、尺寸以及车门侧围造型等。根据本密封条的具体结构以及密封条装配要求, 以改变海绵泡管形状为优化方案。增大海绵泡管壁厚, 并将密封泡管向上移动。车门密封条结构优化示意图 4。

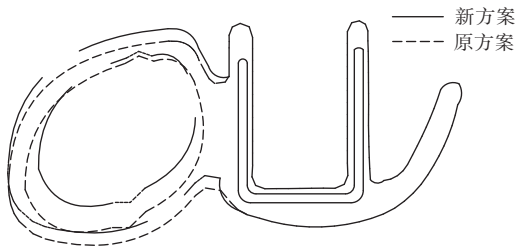


图4 车门密封条结构优化示意

对优化后的车门密封条进行弯曲仿真分析, 优化后密封条弯曲变形见图 5。

车门密封条在弯曲角度 90° 、弯曲半径 50 mm 的情况下未产生表面起皱现象。但由于车门

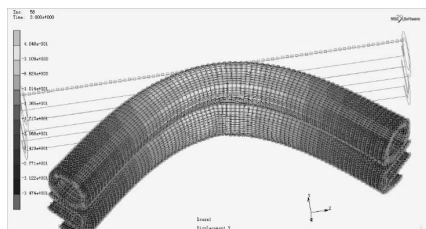


图 5 优化后车门密封条弯曲变形示意

密封条海绵泡管厚度增大,有可能引起关门时压缩负荷增大,从而增大车门关门力,因此需对优化后的密封条进行压缩负荷检验。

对压缩变形采用二维仿真,变形方式为平面应变。二维仿真采用平面四边形单元,密实橡胶采用 Ogden 材料模型,选取 Herrmann 单元;海绵橡胶选用 Foam 材料模型,选取任意四边形平面应变单元。汽车密封条压缩 7 mm 时密封条的压缩负荷等效柯西应力分布见图 6,密封条压缩负荷与压缩行程的关系曲线见图 7。

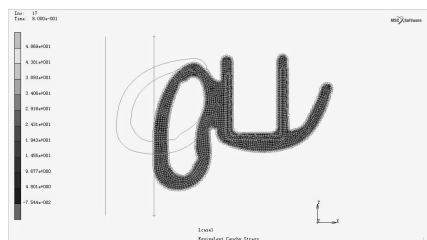


图 6 密封条的压缩负荷等效柯西应力分布

从图 7 可以看出:汽车车门密封条在压缩过程中,压缩负荷随着压缩行程的增大呈非线性增大;车门密封条在压缩 7 mm 时的最大压缩负荷为 9.24 N。企业标准规定:100 mm 密封条压缩 7 mm 时的最大压缩负荷为 8~12 N,优化后的车门密封条满足压缩负荷要求。

3 结论

运用 Msc. Marc 有限元分析方法对车门密封条进行三维弯曲分析,确定了原设计存在弯曲塌

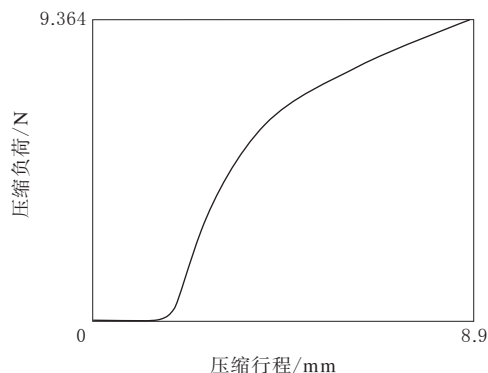


图 7 密封条压缩负荷与压缩行程的关系曲线

陷起皱现象的原因,提出了改变海绵泡管形状的优化方案,优化后的密封条未出现弯曲起皱现象,同时满足压缩负荷要求。

参考文献:

- [1] Wagner D A, Morman J K N, Gur Y, et al. Nonlinear Analysis of Automotive Door Weatherstrip Seals[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 1997, 28(1): 33-50.
- [2] 蔡增伟,戴元坎,陈于文,等. 轿车行李箱密封条起皱问题的 CAE 分析及其优化[J]. 上海汽车, 2001(8): 19-21
- [3] 黄燕敏. 基于仿真分析的轿车门框密封条装配结构改进研究[J]. 汽车技术, 2011(11): 34-42.
- [4] 赵建才. 轿车车门密封条结构的非线性有限元分析及优化设计研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2002.
- [5] 邢玉涛, 吴沈荣, 曾皓, 等. 汽车车门密封条的非线性有限元分析[A]. 第五届中国 CAE 工程分析技术年会论文集[C]. 兰州: 2009. 504-508.
- [6] Rivlin R S, Saunders D W. Large Elastic Deformations of Isotropic Materials. Part 7. Experiments on the Deformations of Rubber[J]. Philosophical Transactions of Royal Society, 1951, 243: 251-288.
- [7] Ogden R W. Large Deformation Isotropic Elasticity on the Correlation of Theory and Experiment for Compressible Rubberlike Solids[J]. Proceedings of Royal Society, Series A. Mathematical and Physical Sciences, 1972, 326 (1567): 565-584.

收稿日期: 2014-09-17

欢迎订阅 2015 年《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》杂志