

基于有限元仿真的汽车尾门密封条结构分析

张 杰

(天津万源金德汽车科技有限公司, 天津 301721)

摘要:结合有限元分析软件MSC. MARC对某车型汽车尾门密封条进行结构分析与优化。通过对初步设计的电动尾门密封条结构进行压缩负荷有限元模拟分析,并优化调整截面结构,改变压缩负荷,使其满足设计要求。该方法可缩短研发周期,提高工作效率。

关键词:汽车尾门;密封条;有限元分析;压缩负荷;结构优化

中图分类号:TP391.9;TQ336.4⁺2

文献标志码:A

文章编号:2095-5448(2019)11-0612-04

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2019.11.0612



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

汽车密封条作为汽车的重要零部件之一,被广泛应用于车门、车窗、发动机舱、尾门等部位,具有隔音、降噪、防水、防尘和减震的功能。密封条类型较多,按照特定用途可分为压缩型密封条和滑动型密封条等。尾门密封条是典型的压缩型密封条,在与尾门相互作用的过程中体现了复杂的力学特性,设计阶段需着重考虑其压缩负荷,以便满足主机厂的要求^[1]。

国内外使用有限元分析软件对汽车密封条结构进行优化设计,已经取得了一定的研究成果。D. A. Wagner等^[2]对影响汽车密封条密封性能的相关因素进行了研究,通过运用ABAQUS软件对密封条进行了非线性有限元分析,得到了密封条受力变形特性曲线。付治存^[3]利用ANSYS软件对某车型密封条进行了结构分析,最终使密封条的压缩负荷满足了设计目标要求。陶志军等^[4]利用非线性有限元软件MSC. MARC模拟车窗密封条亮条与本体的安装过程,发现网格处理方法对结果有着显著影响,并通过与3D模型和成品试验结果的对比,调整圆角处网格尺寸,同时对接触部位的网格尺寸及质量进行严格控制,以得到较好的模拟结果。赵健^[5]深入探讨了汽车密封条结构有限元分析中的问题,并对影响分析准确性的关键因素进行归纳总结,对密封条常见的运动形式进行

模拟分析,同时对不满足设计要求的密封条进行了有效的结构优化。

某款采用电动尾门的车型对汽车密封条的压缩负荷要求较高,关门力过大则无法达到关闭效果,而关门力过小则无法达到密封效果。本工作结合有限元分析软件MSC. MARC对该车型尾门密封条进行结构分析与优化,以达到压缩负荷设计要求。

1 尾门密封条的有限元分析

1.1 几何结构

尾门密封条主要由密实橡胶[基体材料为三元乙丙橡胶(EPDM)]、海绵橡胶(基体材料为EPDM)和金属骨架组成,如图1所示。

1.2 橡胶材料模型的建立

1.2.1 密实橡胶

橡胶材料是一种特殊的弹性体,在大变形的情况下属非线性弹性变形,本试验采用应用较多的Mooney-Rivlin模型^[6]。为了提高Mooney-Rivlin模型对橡胶材料模拟的准确度,以及更好地

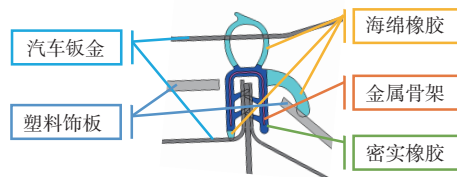


图1 尾门密封条结构示意图

作者简介:张杰(1988—),男,河北保定人,天津万源金德汽车科技有限公司研发部经理,学士,主要从事汽车密封条的设计研发工作。

E-mail:353155203@qq.com

适应橡胶材料,出现了多项改进的Mooney-Rivlin模型,如 L. R. G. Tschoegl^[7]提出的三项式:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3)$$

式中, W 为应变能密度; C_{10} , C_{01} 和 C_{11} 为材料常数; I_1 和 I_2 为变形张量不变量。

对于大多数密实橡胶而言,该模型在应变小于150%时,可以得到相对合理的模拟效果。

1.2.2 海绵橡胶

海绵橡胶的变形包括材料本身变形和气孔间隙变形两部分。本试验采用常用的Foam模型^[8]:

$$W = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n}{\alpha_n} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n} - 3) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n}{\alpha_n} (1 - J^{\beta_n})$$

式中, μ_n , α_n 和 β_n 为材料常数; λ_1 , λ_2 和 λ_3 为主伸长比; $J = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$ 。

该模型可以很好地反映大变形、高度非线性的弹性材料以及高度可压缩型材料,与海绵橡胶的材料特性相一致,因此更加适用于海绵橡胶。

1.3 几何分网的创建

将根据环境数据初步设计的尾门截面导入MSC.MARC中进行有限元网格划分,一般采用四边形网格划分单元,大小建议为0.3~0.5 mm。截面相较于零件长度而言,影响较小,只在平面内有应变,与该面垂直方向的应变可忽略,因此结构分析时选用平面应变。尾门钣金为刚度无限大的刚体,同时可以在 x , y 方向上移动,模拟尾门关闭时的状态,尾门密封条的网格划分结构如图2所示。密实橡胶选用80号平面应变全积分& Herrmann单元,海绵橡胶和金属骨架选用11号平面应变全积分单元。

1.4 边界条件的建立

模拟尾门关闭过程前,需充分考虑边界条件及接触关系,如不同材料间的接触和钣金与尾门密封条的接触等。本试验采用海绵橡胶、密实橡胶和金属骨架3种材料,材料间可视为粗糙度无限

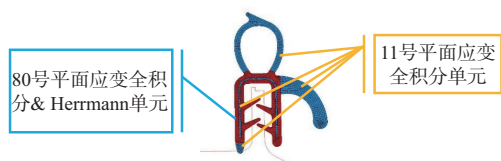


图2 尾门密封条的网格划分结构示意图

大的表面,接触类型采用粘接形式,表示两表面接触后不可分离,并可承受剪切应力而不发生滑动;尾门钣金与橡胶材料间接触类型采用接触形式,在运动过程中,橡胶材料会不断地与钣金接触分离,摩擦状态较为复杂,本试验采用粘-滑摩擦模型来处理。尾门钣金定义为刚体,橡胶材料及金属骨架定义为变形体,将尾门密封条底部位置位移固定,如图3所示。

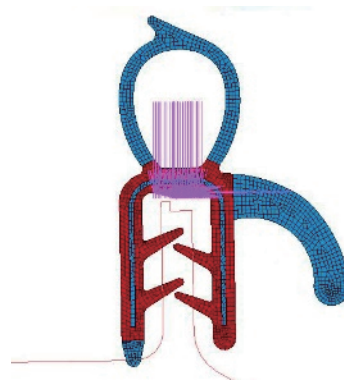


图3 尾门密封条底部位移固定示意图

1.5 结果分析

基于密封条的大变形情况,使用全拉格朗日算法求解克希霍夫方程,迭代方程使用全牛顿-拉普逊方程控制收敛,当钣金压缩至理论位置时,尾门密封条压缩变形云图如图4所示,其中线条为变形前状态。从密封条的压缩负荷分析曲线(如图5所示, F 为压缩负荷, H 为压缩量)可以看出:随着压缩量的增大,压缩负荷逐渐增大;压缩量为9 mm时为理论压缩位置,压缩负荷为 $13.11 \text{ N} \cdot (100 \text{ mm})^{-1}$,超过设计要求上限,电动尾门自动关闭困难,无法达到设计目的。



图4 尾门密封条压缩变形云图

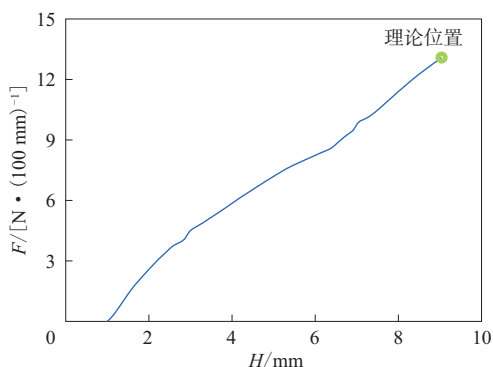


图5 密封条压缩负荷分析曲线

2 尾门密封条的结构优化

原结构状态海绵橡胶泡型厚度和形状是影响密封条压缩负荷的主要因素。根据以往设计经验,减小压缩负荷有两种途径:(1)调整海绵橡胶泡型高度,降低其与尾门钣金的干涉量,从而达到设计目标,但降低泡型高度易产生压缩量不足而导致漏水风险的增加;(2)改变海绵橡胶泡型厚度或在应力集中区增加应力集中点特征,不改变原有密封高度的同时减小压缩负荷。

本试验采用第2种方案,通过对尾门密封条的压缩变形云图分析,当尾门钣金压缩到理论位置后,上部泡管及侧边所受应力较大,应调整密封条海绵橡胶局部壁厚,增加应力集中点特征(如图6所示)。

通过优化尾门密封条截面结构(见图7),并再次进行求解计算得到优化后的压缩负荷分析曲线(如图8所示)。当尾门钣金压缩至理论位置时,密封条压缩负荷为 $8.06 \text{ N} \cdot (100 \text{ mm})^{-1}$,符合设计要求,能满足电动尾门关门力要求。

尾门密封条截面设计时,还需考虑尾门钣金位置偏差状态,一般以欠压2 mm和过压2 mm体现,优化后的尾门密封条在压缩量为7 mm、压缩负

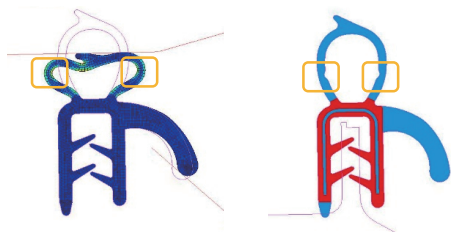


图6 尾门密封条截面优化区域示意

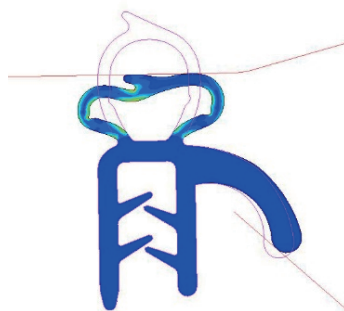


图7 优化后尾门密封条截面变形云图

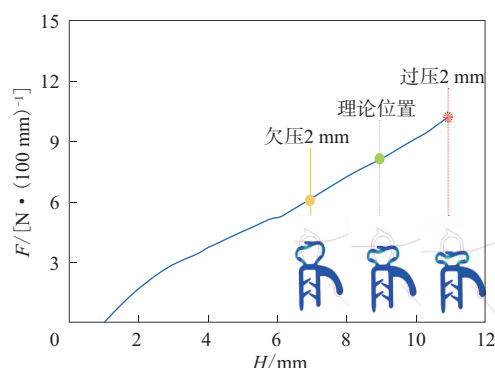


图8 优化后尾门密封条截面压缩负荷分析曲线

荷为 $6.07 \text{ N} \cdot (100 \text{ mm})^{-1}$ 或压缩量为11 mm、压缩负荷为 $10.14 \text{ N} \cdot (100 \text{ mm})^{-1}$ 时,该截面即使在过压状态也能基本满足关门力要求。

3 结论

某车型电动尾门密封条关门力大,使用有限元分析软件对其截面进行优化研究,合理地调整橡胶密封条截面结构,能有效改变压缩负荷,进而改善关门力,满足设计要求。这种方法相较于传统设计方式可大幅缩短研发周期,并为后期设计提供必要依据,从而提高工作效率。

参考文献:

- [1] 吴志刚,何锋. 汽车密封条挤出成型影响因素分析[J]. 橡胶工业, 2017, 64(6): 363-366.
- [2] Wagner D A, Morman Jr K N, Gur Y, et al. Nonlinear Analysis of Automotive Door Weatherstrip Seals[J]. Elements in Analysis and Design, 1997, 28(1): 33-50.
- [3] 付治存. ANSYS有限元技术在汽车密封条设计中的应用[J]. 汽车工程师, 2017(3): 24-26.
- [4] 陶志军,石丽娜,杜丽伟,等. 密封条产品有限元分析中不同网格

- 处理方法对结果的影响研究[J]. 机电工程技术, 2017, 46(8): 132-136.
- [5] 赵健. 汽车密封条结构的有限元分析研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [6] Mooney M. A Theory of Large Elastic Deformation[J]. Journal of Applied Physics, 1940, 11: 582.
- [7] Tschoegl L R G. Stress-Strain Data for Vulcanized Rubber under Various Types of Deformation[J]. Transactions Faraday Society, 1944, 40: 59-70.
- [8] 赵建才, 万德安, 何珊. 轿车车门密封条压缩变形的计算机仿真[J]. 计算机仿真, 2002, 19(3): 82-84.

收稿日期: 2019-06-16

Structural Analysis of Automotive Tailgate Sealing Strip Based on Finite Element Simulation

ZHANG Jie

(Tianjin Wanyuan-Jinde Automotive Technology Company Ltd, Tianjin 301721, China)

Abstract: The structural analysis and optimization of the tailgate seal strip of a vehicle were carried out with finite element analysis software MSC. MARC. Through finite element analysis of compression load for pre-designed electric tailgate seal strip structure, the section structure was optimized, and the optimized compression load met the design requirement. This method could shorten the development cycle and improve the work efficiency.

Key words: automobile tailgate; sealing strip; finite element analysis; compression load; structural optimization

益阳橡胶机数字化研发和云平台项目启动实施

2019年10月14日, 益阳橡胶塑料机械集团有限公司(以下简称益阳橡胶机)数字化研发平台和云平台项目正式启动实施, 这标志着益阳橡胶机智能型橡胶机械数字化制造基地项目建设已正式进入实施落地阶段。

承建单位的项目服务负责人、中国化工装备有限公司管信部和益阳橡胶机领导、管信、技术、工艺等部门参加了启动会。

数字化研发平台项目引进西门子公司的全套整体战略解决方案, 云平台采用Citrix和VMware技术, 由北京和南京两家公司负责实施。

益阳橡胶机数字化研发平台和云平台项目作为智能型橡胶机械数字化制造基地项目信息化部分, 将以云平台技术为基础架构, 建设MBD(基于模型的产品数字化定义)数字化研发制造管理平台为目标, 实现以项目管理为驱动, 产品数据规范为基础, 三维协同设计为核心, 基于模型的数字化设计、制造、管理三位一体的信息化管理平台。该

平台包含基于模型的三维产品设计、模型的数字化制造中的工艺规划与管理、MBD质量检测、模型的数字化协同与产品数据管理系统、三维设计工艺可视化发布及数字化系统集成, 通过该平台的构建, 形成一套崭新、完整的MBD数字化产品设计制造协同管理体系, 为数字化工厂夯实基础。

研发云平台项目是益阳橡胶机整个数字化研发平台架构的基础, 数字化研发平台是数字化工厂的核心, 为未来企业的信息化发展提供硬件和软件平台。

装备公司管信部李新峰博士在启动会上强调: “希望项目做成在装备企业设计领域的信息化建设标杆和精品。”

益阳橡胶机整体搬迁技改的智能型橡胶机械数字化制造基地项目将推动产品制造数字化、产品智能化, 为企业转型升级创新发展提供强有力的动力支撑, 实现企业的二次飞跃, 为我国橡胶工业的发展提供更好的装备支持。

(李中宏)