

基于路面激励噪声的车身 NVH 性能优化

相象文¹, 张国宁²

1. 安徽交通职业技术学院, 安徽 合肥 230051; 2. 浙江吉利汽车研究院有限公司, 浙江 宁波 315336

摘要:为解决某轿车样车在粗糙沥青路面激励作用下车内出现噪声的问题,分析路面激励的传递路径,采用计算机辅助工程(computer aided engineering, CAE)软件对整车模型进行有限元仿真,分析引起车内噪声的主要结构板件。通过在后备箱置物板上加装加强板、敷设阻尼材料的方法优化车身结构,进行 CAE 测试与实车试验。结果表明:后备箱置物板加装加强板和敷设阻尼材料能明显降低由路面激励引起的车内低频噪声和高频噪声,可以实现车身振动、噪声和声振粗糙度(noise, vibration, harshness, NVH)性能优化。

关键词:路面激励;有限元仿真;NVH;实车试验

中图分类号:U463.82

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2022)03-0014-06

引用格式:相象文,张国宁.基于路面激励噪声的车身 NVH 性能优化[J].山东交通学院学报,2022,30(3):14-19.

XIANG Xiangwen, ZHANG Guoning. NVH performance optimization of car body based on road excitation noise[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(3): 14-19.

0 引言

随着轿车的普及和人们生活水平的提高,汽车使用过程中的振动、噪声和声振粗糙度(noise, vibration, harshness, NVH)性能越来越多的受到消费者和主机厂的重视, NVH 性能是衡量汽车乘坐舒适性的重要指标,主要指驾乘人员感受到的车内振动和噪声,提升汽车 NVH 性能,需要改善产生振动和噪声的零部件结构,控制其振动源和噪声源。近几年,国内自主品牌汽车在提升 NVH 性能方面进步较快,车内噪声水平明显下降。现阶段路面激励噪声和风噪声是车内噪声的主要来源,其中路面激励噪声尤为明显,此噪声长时间作用于车内易引起驾乘人员的疲劳和烦躁,降低驾乘舒适性。路面激励噪声问题的分析和控制是整车质量控制的重要方面^[1-2]。

降低路面激励噪声有多种方法,如车身使用加强板、敷设阻尼材料等。李仲奎等^[3]采用加强板优化车身结构,提升车身局部刚度及 NVH 性能,但研究侧重于初期仿真设计,未涉及样车试验及阻尼优化设计;郑玲等^[4]基于优化准则法,针对壁板阻尼减振降噪问题建立了拓扑优化模型,采用双向渐进法得到了壁板阻尼材料减振降噪的优化布局,该研究给出了理论方面的指导,未提及实车验证效果。

某轿车样车在进行整车 NVH 性能主观评价试验时发现,以 60 km/h 的中等速度通过粗糙沥青路面时后排座出现隆隆声。通过四轮定位、轮胎动平衡等检查和调整参数后,后排座的隆隆声依然存在,可排除四轮定位失准和轮胎动平衡参数异常导致车内噪声的可能性。将样车空挡进行滑行检验,噪声依然存在,排除了发动机异常振动引起的车内噪声,因此引发车内噪声的原因指向了路面激励^[5-9]。

本文分析路面激励的传递路径,利用计算机辅助工程(computer aided engineering, CAE)软件对整车模型进行有限元仿真,分析车内噪声峰值的主要频率及对噪声贡献量大的结构板件,通过优化车身结构

收稿日期:2021-12-26

基金项目:安徽省高校优秀青年人才支持计划项目(gxyq2021280)

第一作者简介:相象文(1985—),山东滕州人,讲师,工学硕士,主要研究方向为汽车 NVH 性能, E-mail:xiangxiangwen007@163.com。

并进行实车试验验证优化方案,达到降低车内噪声、提高车身 NVH 性能的目的。

1 路面激励噪声

路面激励引起的噪声分为 0~100 Hz 的低频噪声和 100 Hz 以上的高频噪声,低频噪声易引发驾乘人员不适感,严重时导致恶心、呕吐现象^[10]。根据路面激励源建立路面激励传递路径模型,如图 1 所示。由图 1 可知:路面将振动传递给轮胎,轮胎通过悬架及底盘与车身的连接点将振动传递给车身,引起车身振动,产生噪声,噪声通过车身内部声腔在驾乘人员耳朵处产生响应^[11-12]。

车身板件受到外界激励产生振动,不同板件的振动对车内噪声辐射的贡献量不同。因此,分析路面激励引起的车内噪声问题时,首先应找到对车内噪声贡献量较大的结构板件,然后有针对性的优化该板件结构,抑制板件振动,提高车身 NVH 性能^[13-15]。

采用 CAE 软件对轿车样车的整车模型进行路面激励噪声模拟测试,输入参数为粗糙沥青路面、不平整度功率谱密度、车速为 60 km/h 的路谱激励^[16]。分析仿真结果可知:当驾驶员右耳处噪声频率为 80、98、200 Hz 时,后备箱置物板存在局部模态。路面激励作用下主要噪声频率对应的车身模态如图 2 所示。

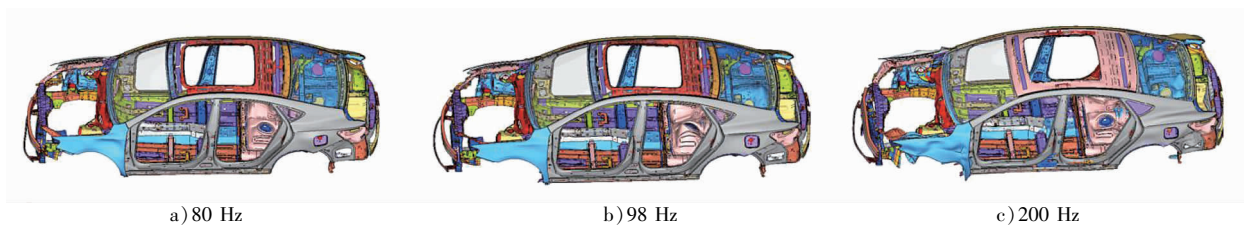


图 2 路面激励作用下主要噪声频率对应的车身模态

对轿车样车进行路面激励噪声实车试验,试验条件为在粗糙沥青路面上轿车样车以 60 km/h 的速度匀速行驶。路面与轮胎的激励通过悬架系统和车身连接点进行传递,并在车内噪声响应点响应^[17-18],得到车内噪声测试曲线如图 3 所示。由图 3 可知:车内噪声峰值频率主要集中在 74、94、107、114、218、400 Hz,其中 107、114、218 Hz 的噪声经试验分析是由轮胎激励经悬架系统模态共振放大引起,可通过悬架的吸振器优化,本文不再展开说明。

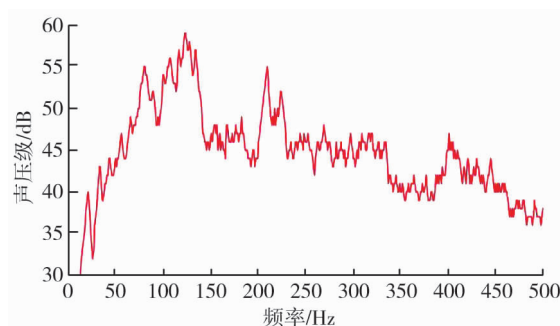


图 3 车内噪声测试曲线

2 车身 NVH 性能优化

优化车身 NVH 性能时,以驾驶员右耳处和后排乘客左耳处为车内噪声响应点,分析车身各板件对噪声的贡献量,采取措施改变车身板件的固有频率,避免发生共振。优化车身 NVH 性能常用的方法有:改变车身壁板厚度和截面积、使用加强板、敷设阻尼材料、处理车身表面蒙皮等,应用每种方法都需要考虑车身壁板的最优化布局。

2.1 后备箱置物板加装加强板

由图 2 可知:后备箱置物板局部模态较明显,车身振动时变形较大,对噪声的贡献量较大。拟采用在后备箱置物板加装 1 个加强板的钣金优化方法,提高该位置板件的刚度,改变局部模态,降低车内噪

声^[19]。后备箱置物板加装加强板布置方案如图4所示,图中蓝色板件为加强板,厚1.0 mm,质量为0.62 kg。

采用CAE软件进行钣金优化模拟试验,对比优化前、后车内噪声的变化,验证优化方案的合理性^[20]。后备箱置物板加装加强板前、后车内噪声声压级如图5所示。由图5可知:优化后频率为60~120 Hz的噪声明显降低,驾驶员右耳处噪声平均降低约6 dB,后排乘客左耳处噪声平均降低约8 dB,说明后备箱置物板加装加强板可以降低车内低频噪声。

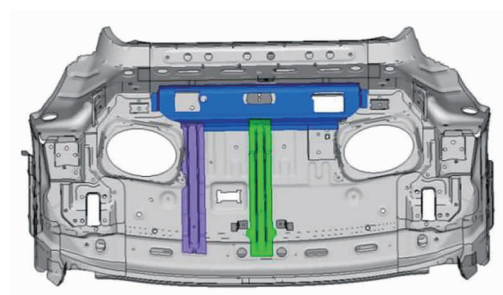
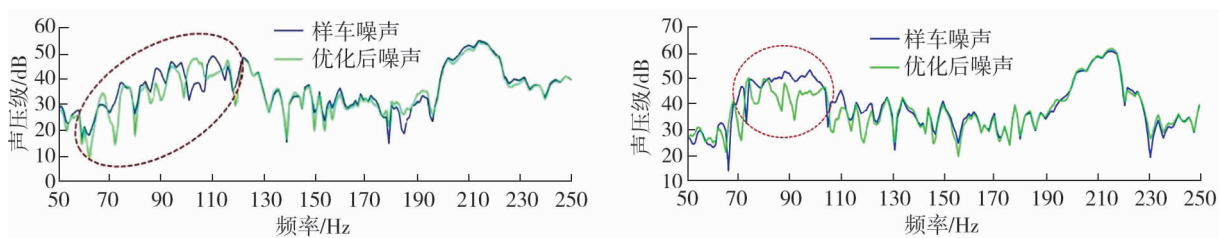


图4 后备箱置物板加装加强板布置方案



a) 驾驶员右耳

b) 后排乘客左耳

图5 置物板加装加强板前、后车内噪声对比

2.2 后备箱置物板敷设阻尼材料

通过模态应变能分析软件得到后备箱置物板变形云图,如图6所示。由图6可知:置物板(图中标注红框的位置)在车辆振动时变形较大,对噪声的贡献量较大,因此需要对置物板进行振动控制。

阻尼能消耗系统振动能量,通过将系统的振动能量、声能转变为热能或其他形式的能量,可抑制板件的振动并降低辐射噪声^[21]。因此可以对后备箱置物板敷设阻尼材料,抑制振动,降低噪声。按照与车身连接方式的不同,阻尼材料分为热熔类片状阻尼、磁吸类片状阻尼和粘贴类片状阻尼3种。

采用渐进优化算法对置物板阻尼材料敷设进行布局,初步方案如图7a)所示,敷设阻尼材料在降低噪声的同时增加了车身质量,因此需要优化置物板阻尼材料的敷设布局。

考虑到工程应用的方便性和实用性,以车身动态损耗因子(一个振动周期内阻尼消耗的能量与总的机械振动能之比)最大、阻尼材料体积最小为目标^[22-25],提高材料的利用率。经过对置物板阻尼的材料类别、敷设布局和面积进行最优化分析与计算,置物板阻尼材料敷设优化方案如图7b)所示。优化方案采用磁吸类片状阻尼(图中蓝色部分)和热熔类片状阻尼(图中红色部分)2种,与初步方案相比,阻尼材料敷设面积减少48%,质量减少54%。

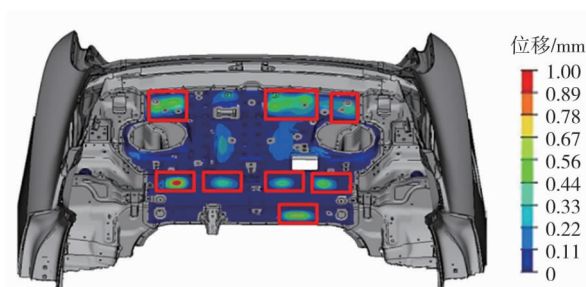
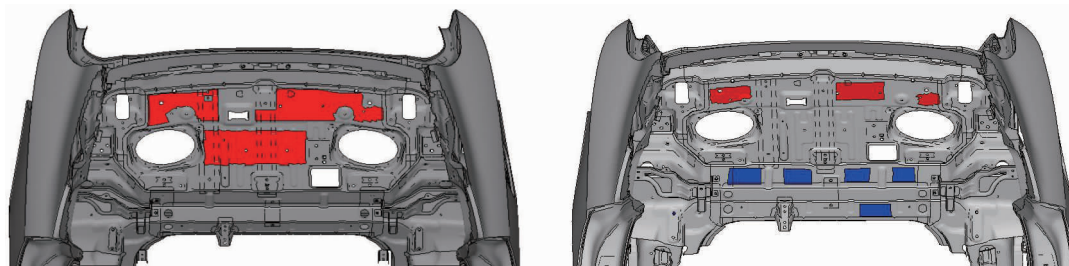


图6 置物板变形云图



a) 初步方案

b) 优化方案

图7 后备箱置物板敷设阻尼材料

敷设阻尼材料前、后后备箱置物板的振动曲线如图 8 所示。由图 8 可知:后备箱置物板敷设厚 2.0 mm 的阻尼材料能有效降低频率为 320~450 Hz 的噪声,噪声最大降低 10 dB,说明后备箱置物板敷设阻尼材料对降低车内高频噪声有效。

3 实车试验

3.1 后备箱置物板加强方案

根据优化设计方案,在后备箱置物板上焊接加强板。焊接加强板后的样车以 60 km/h 的车速在粗糙路面上进行试验,得到置物板焊接加强板前、后后排乘客左耳处噪声与振动曲线如图 9 所示。由图 9 可知:后备箱置物板焊接加强板后,频率为 60~80 Hz、110~140 Hz 的振动加速度明显降低;后排乘客左耳处频率为 65~120 Hz 的噪声有所降低,特别在频率为 74 Hz 时,噪声降低约 4 dB,说明该方案有效。

3.2 敷设阻尼材料方案

后备箱置物板敷设阻尼材料前、后,车内噪声对比如图 10 所示。由图 10 可知:置物板敷设阻尼材料后,频率为 250~450 Hz 的车内噪声明显降低,特别在频率为 400 Hz 时,车内噪声降低约 10 dB。实车试验与 CAE 仿真分析结果表明置物板敷设阻尼材料对降低车内高频噪声有效。

4 结论

1) 采用 CAE 软件对整车模型进行路面激励噪声模拟测试,发现频率为 80、98、200 Hz 时,整车后备箱置物板存在局部模态;通过实车试验,发现噪声峰值频率分别为 74、94、400 Hz,仿真测试和样车试验均表明车内既存在低频噪声又存在高频噪声。

2) 在后备箱置物板焊接加强板,改变板件的固有频率,优化后频率为 60~120 Hz 的噪声明显降低,尤其是在频率为 74 Hz 时,后排乘客左耳处噪声降低约 4 dB,说明置物板焊接加强板对降低路面激励引起的低频噪声有效。

3) 在置物板上敷设阻尼材料消耗系统振动能量,优化后频率为 250~450 Hz 时的噪声明显降低,在频率为 400 Hz 时车内噪声降低约 10 dB,说明敷设阻尼材料对降低路面激励引起的高频噪声有效。

参考文献:

- [1] 庞剑, 谌刚, 何华. 汽车噪声与振动: 理论与应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [2] 宫唤春. 整车路面噪声仿真分析[J]. 汽车工程师, 2018(8): 24-26.
GONG Huanchun. Simulation analysis of vehicle road noise[J]. Auto Engineer, 2018(8): 24-26.
- [3] 李仲奎, 吴开丰, 袁亮, 等. 基于 NVH 性能的汽车车身结构设计[J]. 汽车工程师, 2019(6): 24-28.
LI Zhongkui, WU Kaifeng, YUAN Liang, et al. Structural design of vehicle body based on NVH performance[J]. Auto Engineer, 2019(6): 24-28.

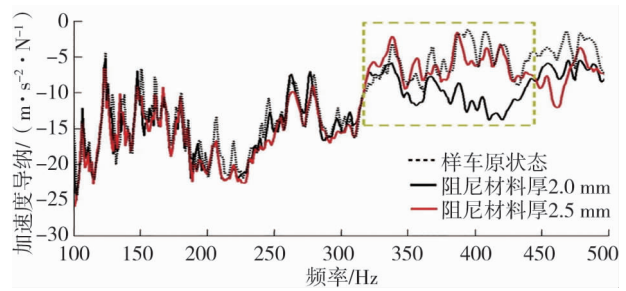


图 8 敷设阻尼材料前、后后备箱置物板的振动曲线

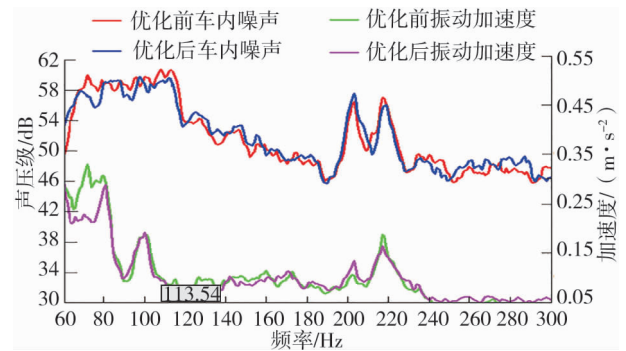


图 9 置物板焊接加强板前、后
后排乘客左耳处噪声与振动曲线

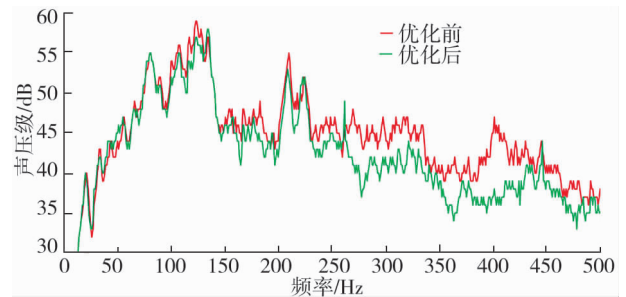


图 10 置物板敷设阻尼材料前、后车内噪声对比

- [4]郑玲,唐重才,韩志明,等.车身结构阻尼材料减振降噪优化设计[J].振动与冲击,2015,34(9):42-47.
ZHENG Ling, TANG Zhongcai, HAN Zhiming, et al. Optimal design of damping material topology configuration to suppress interior noise in vehicle[J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 34(9):42-47.
- [5]李苏平,胡启国,胡海波,等.受路面随机激励作用车室低频耦合轰鸣声分析[J].噪声与振动控制,2016,36(5):50-55.
LI Suping, HU Qiguo, HU Haibo, et al. Analysis of low frequency coupled booming of passenger compartments induced by road random excitation[J]. Noise and Vibration Control, 2016, 36(5):50-55.
- [6]周小明,舒斌.某纯电动轿车车内轰鸣实验分析及改进研究[J].江西科学,2020,38(3):400-404.
ZHOU Xiaoming, SHU Bin. Experimental analysis and improvement of a BEV's interior booming noise[J]. Jiangxi Science, 2020, 38(3):400-404.
- [7]王田修,路志尧,顾晓卓,等.小型电动汽车路面激励噪声的控制研究[J].噪声与振动控制,2019,39(5):113-117.
WANG Tianxiu, LU Zhiyao, GU Xiaozhuo, et al. Study on pavement excitation noise control of small electric vehicles[J]. Noise and Vibration Control, 2019, 39(5):113-117.
- [8]余义.汽车结构路噪开发体系研究[J].公路与汽运,2019(5):6-11.
- [9]蒋欣.随机路面激励下的汽车振动模型分析[J].科技与创新,2021(17):7-9.
- [10]陈辉.车内路噪自适应主动控制技术研究[D].长春:吉林大学,2019.
CHEN Hui. Research on adaptive control of road noise inside vehicles[D]. Changchun: Jilin University, 2019.
- [11]堵炜.车内路面噪声的分析与优化[J].汽车与配件,2016(11):74-77.
- [12]孙洋.汽车NVH分析方法浅析[J].汽车实用技术,2020(6):98-100.
SUN Yang. Automotive NVH analysis method introduce[J]. Automobile Technology, 2020(6):98-100.
- [13]吴亚萍,秦丽萍,曾乐彬.基于CAE仿真技术的白车身动刚度分析优化[J].时代汽车,2021(12):43-45.
WU Yaping, QIN Liping, ZENG Lebin. Dynamic stiffness analysis and optimization of BIW based on CAE simulation technology[J]. Auto Time, 2021(12):43-45.
- [14]吕彩琴,王宏伟,孙权.某电动轿车车身结构优化与NVH性能提升[J].现代制造工程,2020(10):57-61.
LÜ Caiqin, WANG Hongwei, SUN Quan. Body structure optimization and NVH performance improvement of an electric car [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020(10):57-61.
- [15]赵敬,苏辰,刘鹏,等.汽车悬架支架刚度对车身NVH性能影响的分析[J].汽车工程师,2019(5):50-51.
ZHAO Jing, SU Chen, LIU Peng, et al. Analysis of influence of dynamic stiffness of vehicle suspension bracket on NVH performance of vehicle body[J]. Auto Engineer, 2019(5):50-51.
- [16]沈阳,黄元毅,梁静强,等.路面谱激励整车噪声分析流程开发研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(7):119-125.
SHEN Yang, HUANG Yuanyi, LIANG Jingqiang, et al. Development and research on analysis process of whole vehicle noise subjected to road surface spectrum[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Sciences), 2019, 38(7):119-125.
- [17]赵春,邢玉涛,王弘岩.路面激励下车内噪声改善方法[J].汽车电器,2018(7):30-33.
ZHAO Chun, XING Yutao, WANG Hongyan. Method to improve vehicle noise excited with some road[J]. Auto Electric Parts, 2018(7):30-33.
- [18]周均.路面随机激励下的汽车振动分析[J].汽车实用技术,2018(23):262-263.
ZHOU Jun. Analysis of automobile vibration under random road excitation[J]. Automobile Technology, 2018(23):262-263.
- [19]欧阳军,李直腾,保振安.乘用车NVH特性的车身地板优化设计[J].汽车与驾驶维修(维修版),2018(6):164.
- [20]宋志辉,郭锦鹏,汤湧.提升车身动刚度解决车内轰鸣现象的研究[J].汽车实用技术,2019(16):115-117.
SONG Zhihui, GUO Jinpen, TANG Yong. Research on resolving the roaring phenomenon by raising the dynamic stiffness in car[J]. Automobile Technology, 2019(16):115-117.
- [21]李原献.汽车车身用NVH材料的应用研究[J].科技与创新,2018(7):159-160.
- [22]陈爱志.橡胶阻尼减振机理[J].橡塑资源利用,2021(3):1-5.
- [23]李壮壮,芦凡,李海滨,等.基于NVH性能的车身阻尼板降重优化[J].汽车实用技术,2020(4):126-128.
LI Zhuangzhuang, LU Fan, LI Haibin, et al. Weight reduction optimization of body damping plate based on NVH performance[J]. Automobile Technology, 2020(4):126-128.
- [24]王明阳.浅析汽车噪声振动控制和NVH性能的开发[J].内燃机与配件,2020(5):216-217.

[25]张宇,曹友强. 车身阻尼材料布局拓扑优化设计[J]. 噪声与振动控制,2019,39(2):110-113.

ZHANG Yu, CAO Youqiang. Topology optimization design of car body damping material layout[J]. Noise and Vibration Control, 2019,39(2):110-113.

NVH performance optimization of car body based on road excitation noise

XIANG Xiangwen¹, ZHANG Guoning²

1. *Anhui Communications Vocational and Technical College, Hefei 230051, China;*

2. *Zhejiang Geely Automobile Research Institute Co., Ltd., Ningbo 315336, China*

Abstract: The transfer path of road excitation is investigated, and CAE software is used for finite element simulation of vehicle model, which is found out the main structural plate causing interior noise of sample car under the action of road excitation in rough asphalt pavement. The structure of car body is optimized by adding reinforcement panel on the trunk shelf and laying damping materials, and CAE test and real vehicle test is carried out. The results show that adding reinforcement panel on the trunk shelf and laying damping materials can significantly improve low and high frequency noise inside the car caused by road excitation, so as to carry out optimize the NVH performance of the car body.

Keywords: road excitation; finite element simulation; NVH; real vehicle test

(责任编辑:郭守真)

.....

(上接第7页)

gradient and roll stiffness ratio of the front and rear suspensions for the benchmark vehicle, the diameters of front and rear stabilizer bars are confirmed 24 mm and 20 mm respectively. Then matching scheme is mounted on a physical prototype vehicle to achieve a steady-state slewing test. The results show that the larger understeer gradient is, the higher lateral acceleration is. The prototype vehicle has moderate understeer characteristic. The data of simulation analysis is basically consistent with the test results, which verifies the accuracy of the simulation model and the rationality of the matching scheme.

Keywords: lateral stabilizer bar; matching design; understeer gradient; body roll gradient

(责任编辑:郭守真)