

基于TPNR的整车路噪声学性能优化

徐 驰,陈应航

(蚌埠学院 机械与车辆工程学院,安徽 蚌埠 233000)

摘要:为研究声学包性能对整车路噪表现的影响,采用TPNR静态试验和道路动态试验,研究了声学包方案对某SUV乘用车中、高频路噪性能的提升效果,结果表明:(1)封堵A柱和前门槛的钣金孔洞、行李箱门槛增加吸声材料和C柱下护板空腔内增加阻隔材料都具有提高整车路噪隔声量的效果;(2)动态测试表明,提升方案对60 km/h匀速工况下,整车前、后排的中、高频路噪改善效果明显,而在80 km/h匀速工况下,仅对后排改善效果明显,对前排改善效果稍弱。

关键词:声学包优化;路噪;TPNR

中图分类号:TB52 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5322(2020)01-0021-07

路噪性能是整车振动噪声性能开发的重要组成部分,直接关乎用户体验和整车质量。迄今为止,针对不同频率的路噪问题,多采用消除结构振动源、优化传递路径的方法改善低频路噪表现;采用优化整车声学包的方法改善高频路噪表现^[1-2]。

声学包方案有效性验证多采用数值仿真法或试验测试法,后者结果更加直观,数据更易分析。邓江华等^[3]采用隔声窗研究了整车防火墙在不同泄露量、不同材料覆盖率、不同材料密度下对声学包隔声效果的影响;杜爱民等^[4]研究了发动机声激励下的车内高频声学特性,甄别出前围钣金上的隔声薄弱点;卢兆冈等^[5]研究了机械激励下板件声学包装对中频插入损失的影响,提出采用均匀质量层可达到最好的隔声效果。

上述研究成果多集中于隔绝发动机中、高频噪声,对高频路噪的隔绝未有涉及。本文针对汽车行驶过程中轮胎对车内产生的中、高频辐射噪声问题,应用轮胎接地噪声衰减量测试(Tire Patch Noise Reduction, TPNR)方法量化整车路噪声学包性能;在此基础上,对某车A柱和前门槛的钣金面上孔洞、行李箱门槛护板、C柱侧护板内空腔实施声学包优化,通过TPNR测试结果验证方案有效性,并进行道路动态验证。

1 理论和方法

1.1 隔声理论

噪声衰减量 L_{NR} 是衡量隔声性能好坏的指标之一,在工程中可用它来表述声音从被测部件一侧传递到另一侧的能量损失,即被测部件对声音的隔绝程度,其计算公式为:

$$L_{NR} = L_S - L_R$$

式中: L_S 为入射侧声压级,dB; L_R 为透射侧声压级,dB; L_{NR} 为隔声量,dB;。

1.2 TPNR 测试方案

为研究整车路噪声学包性能,分析声学包优化方案对轮胎至人耳处噪声衰减量的提升效果,本文通过TPNR试验获得某车定置状态下人耳至轮胎传递路径噪声衰减量的1/3倍频程功率谱,提出并验证声学包优化方案。试验设备及试验方法如下:

(1) 试验样车

本次试验样车为某紧凑型5门5座SUV乘用车。该车配备1.5T涡轮增压发动机和双离合自动变速箱,发动机前置前驱,整车长度、宽度、高度依次为4 470 mm、1 837 mm、1 670 mm,轴距为2 670 mm。

收稿日期:2019-11-07

基金项目:蚌埠学院自然科学研究项目(2019ZR02)

作者简介:徐驰(1991—),男,安徽合肥人,助教,硕士,主要研究方向为NVH测控技术。

(2) 试验环境

整车半消声试验室,可屏蔽外界环境对试验过程中的噪声干扰。实验室具备温、湿度调节功能,整个试验过程均在温度为 20 ℃、相对湿度为 60% 的恒温恒湿环境下进行。

(3) 试验仪器

数据采集前端、功率放大器、传声器、中高频体积声源(模拟轮胎辐射噪声),分别如表 1 所示。

表 1 试验仪器表

Table 1 List of the experimental equipment

仪器	公司	型号	数量
数据采集前端	Siemens	LMS-SCM05	1
功率放大器	Siemens	Q-AMP	1
中高频体积声源	Siemens	Q-MHF	1
传声器	PCB	378B02	3

(4) 试验测点

试验中传声器布置测点为:驾驶员左耳(DLE)、后排左侧乘客左耳(RLL)、声源口(Source)外侧 50 mm 处。

(5) 试验过程

将中高频体积声源锥形头与扁筒采用橡胶管紧密连接后,将扁筒先后安放在左前轮和左后轮的下方,声源沿整车坐标系 X 轴方向,由车前指向车后,如图 1 所示。中高频体积声源发出宽频白噪声,在上述 3 个测点处分别采集声压信号,并

根据下式计算 TPNR 值。

$$T_{DLE} = L_{Source} - L_{DLE}$$
$$T_{RLL} = L_{Source} - L_{RLL}$$

式中: T_{DLE} 、 T_{RLL} 分别表示驾驶员左耳和后排左侧乘客左耳处的 TPNR 值,dB; L_{DLE} 、 L_{RLL} 、 L_{Source} 依次代表驾驶员左耳、后排左侧乘客左耳和声源处的声压级,dB。

需要指出的是,声源安放位置可以是在左前轮下方,也可以是在左后轮下方,最终位置需根据验证方案在整车上的位置确定。例如,在验证后备箱实施的声学包方案时,应将声源放置在更接近该位置的后轮,关注测点则是更接近后备箱的后排测点 RLL。为保证试验结果的准确性和可比性,每轮试验均采集 8 组稳定数据,求取平均值作为最终结果,且方案实施前后测点和声源的位置均不变。

对于 TPNR 验证有效的提升方案,需要进一步进行道路动态测试以确保方案有效。本文在粗糙沥青路上,采用某紧凑型 SUV 乘用车,利用路噪评价中常用的 60 km/h、80 km/h 匀速工况进行车内噪声动态测试,确定声学包优化方案前后的路噪水平。

2 TPNR 测试结果及分析

采用 TPNR 试验依次对某紧凑型 SUV 乘用车 A 柱及前门槛的钣金孔密封方案、后备箱门槛

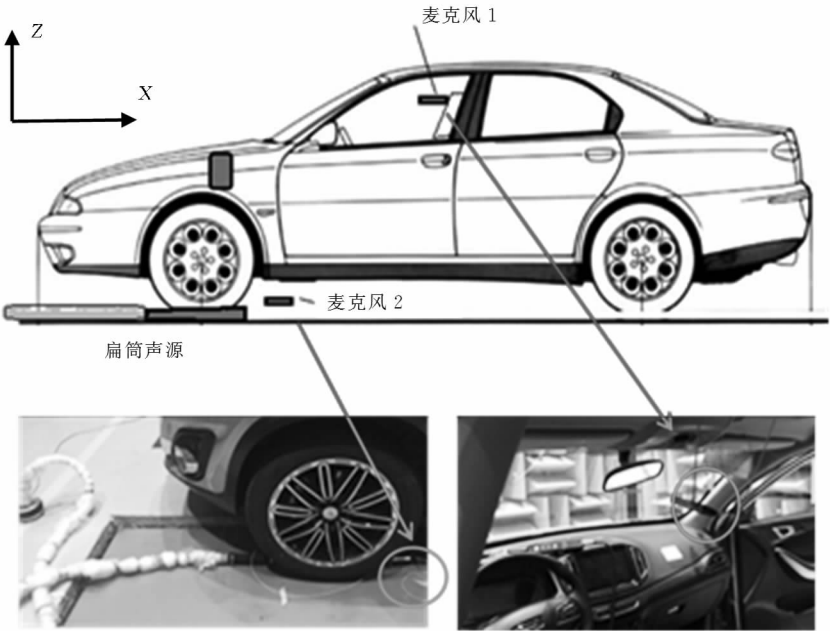


图 1 TPNR 测试示意图

Fig 1 Schematic diagram of TPNR test

增加吸音棉方案和 C 柱下护板内空腔阻隔方案进行验证。TPNR 试验对环境变化有一定的敏感性,因此在每次方案实施前都需要重新测定样车原状态(Baseline)的 TPNR 曲线,以保证 2 次测试数据间具有可比性。

2.1 A 柱和前门门槛的钣金孔密封方案

为检测驾驶室高频路噪表现,分别对某车前门门槛(图 2)和 A 柱(图 3)的钣金孔进行密封,将与中高频体积声源锥形头紧密连接后的扁筒安放在左前轮下方,测量驾驶员左耳(DLE)的声压信号,得到前门门槛与 A 柱的钣金孔封堵前后,TPNR 随频率变化的 1/3 倍频程功率谱曲线,分别如图 4、图 5 所示。由图 4 可以看出,在前门门槛钣金孔封堵后,TPNR 值在 630 ~ 3 150 Hz 的频率范围内有所提升;由图 5 可以看出,在 A 柱的钣金孔封堵后,TPNR 值在 1 000 ~ 2 000 Hz 的频率范围内具有提升效果,在 1 250 Hz 处提升量达到 2.8 dB,改善效果明显。

2.2 后备箱门槛增加吸音棉方案

为检测后排乘客处的高频路噪表现,在后备箱门槛护板处增加吸声棉(图 6),将与中高频体积声源锥形头紧密连接后的扁筒安放在左后轮下方,检测后排左侧乘客左耳(RLL)的声压级,得到后备箱门槛护板增加吸音棉前后,TPNR 随频率变化的 1/3 倍频程功率谱曲线,如图 7 所示。由图 7 可知,TPNR 值在 800 ~ 1 600 Hz、2 000 ~ 5 000 Hz 的频率范围内均有小幅度提升。

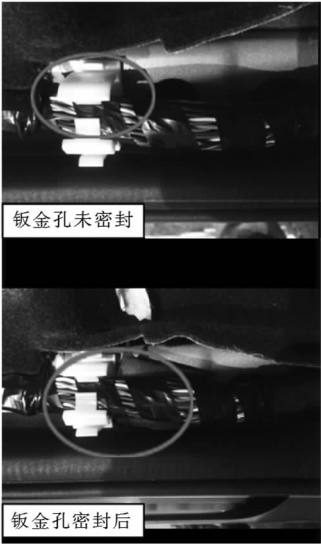


图 2 门槛钣金孔洞封堵

Fig 2 Door sill sheet metal hole plugging



图 3 A 柱钣金孔洞封堵

Fig 3 A-pillar sheet metal hole plugging

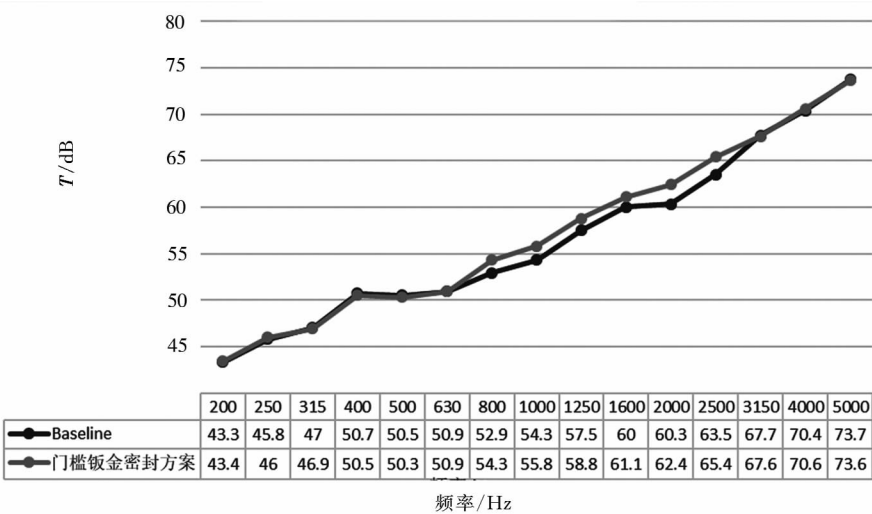


图 4 前门门槛钣金孔洞封堵对 TPNR 的影响

Fig 4 The influence of front door sill sheet metal hole plugging on TPNR

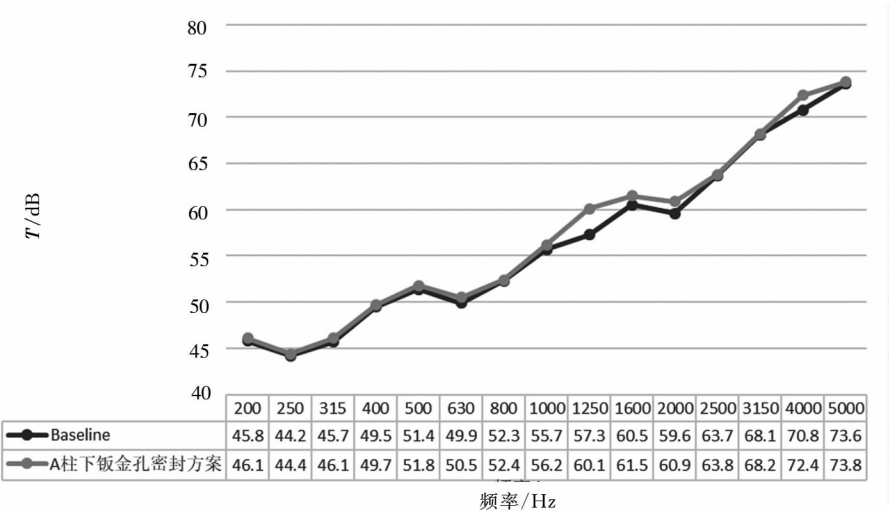


图 5 A 柱下钣金孔洞封堵对 TPNR 的影响

Fig 5 The influence of hole plugging of sheet metal under A – pillar on TPNR



图 6 后备箱门槛加吸声棉

Fig 6 Add sound absorbent cotton to the door sill of the trunk

2.3 C 柱护板内空腔阻隔方案

为检测后排乘客处的高频路噪表现,在 C 柱下护板空腔内增加阻隔海绵块,用泡棉封堵中间层钣金处减重孔(图 8),将与中高频体积声源锥形头紧密连接后的扁筒安放在左后轮下方,检测后排左侧乘客左耳(RLL)的声压级,得到 C 柱护板内空腔阻隔方案前后,TPNR 随频率变化的 1/3 倍频程功率谱曲线,如图 9 所示。由图 9 可知,TPNR 值在 250 ~ 4 000 Hz 的宽频率范围内有明显提升,而在 1 250 ~ 3 150 Hz 的频率范围内提升最为明显,均可达到 2 dB 以上。

经过与上述两个方案的比较,可以发现该方案提升效果更为显著。

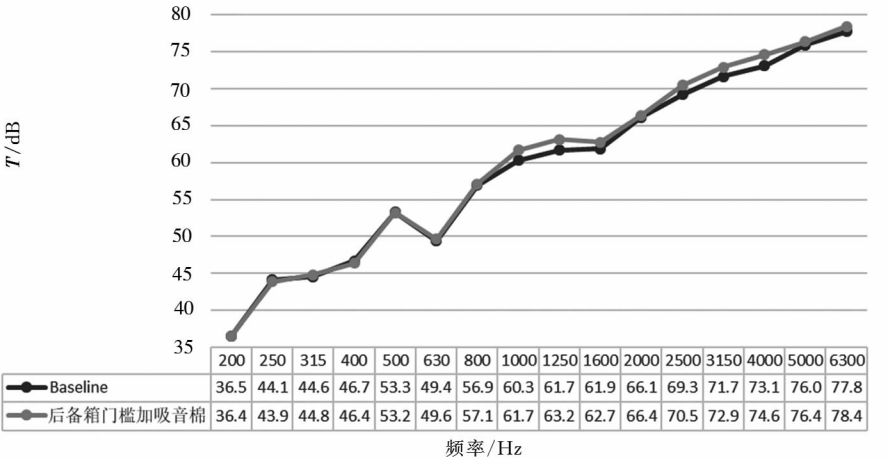


图 7 后备箱门槛加吸声棉对 TPNR 的影响

Fig 7 The effect of adding sound absorbent cotton to the doorsill of trunk on TPNR



图 8 C 柱护板空腔内阻隔

Fig 8 Barrier in the cavity of C-pillar guard board

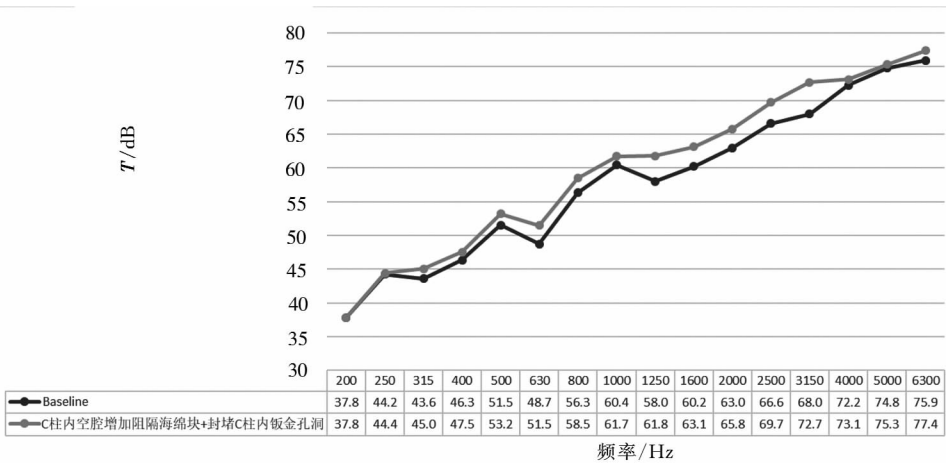


图 9 C 柱护板空腔内阻隔方案对 TPNR 的影响

Fig 9 The influence of C-pillar guard board in cavity barrier scheme on TPNR

2.4 三套方案综合实施前后总体结果对比

图 10 是上述三套方案同时实施前后,TPNR 随频率变化的 1/3 倍频程功率谱曲线。对于驾驶员位置 and 后排乘客位置,分别采用左前轮 (LF Wheel) 到驾驶员左耳 (DLE) 和左后轮 (LR Wheel) 到后排左侧乘客左耳 (RLL) 的 TPNR 曲线量化声学包的提升效果。由图 10 可以看出:前排 TPNR 曲线在 200 ~ 6 300 Hz 的宽频率范围内有全面提升,各个频段的提升效果在 2 dB 以上;后排 TPNR 曲线在 250 ~ 500 Hz 和 800 ~ 6 300 Hz 的宽频率范围内有明显提升。

3 道路动态测试结果验证

TPNR 测试结果表明,上述 3 组声学包提升方案对轮胎至驾驶员与后排乘客的隔声效果有改善作用。为验证上述方案在整车运行工况下的隔

声效果,在晴朗无风环境下采用路噪评价中常用的 60 km/h、80 km/h 匀速工况下,分原状态和提升后状态两轮进行车内噪声试验,以评价声学包的动态提升效果。测试路面为粗糙沥青路,测试路段长度为 2 km,测点为驾驶员左耳 (DLE) 和后排右侧乘客右耳 (RRR);每轮试验均采集 5 个往返的试验数据,在保证数据稳定性的前提下,以平均值作为实验结果,得到声学包提升前后,DLE、RRR 测点处声压级随频率变化的 1/3 倍频程功率谱曲线,如图 11、图 12 所示。由图 11 可以看出:在 60 km/h 匀速工况下,DLE 处声压级在 800 ~ 6 300 Hz 的宽频率范围内有明显下降,且在高频处更为明显;RRR 处声压级在 200 ~ 6 000 Hz 的宽频率范围内也有明显下降,且在 2 000 Hz 处下降最大,达到 4.4 dB。显然方案实施对前后排的中、高频路噪提升效果明显。

4 结论

本文利用某紧凑型 SUV 乘用车,采用 TPNR 静态试验和道路动态验证,研究了中、高频路噪声学包提升方案,结果表明:
(1)封堵 A 柱和前门槛的钣金孔洞、行李箱

门槛增加吸声材料和 C 柱下护板空腔内增加阻隔材料都具有提高整车路噪隔声量的效果。
(2)动态测试表明,实施上述 3 种方案对降低车内中、高频噪声,提高整车路噪表现具有积极作用。

参考文献:

[1] 邓江华,董俊红,孙健颖,等. 电动汽车关键声学包轻量化设计及性能稳健性分析[J]. 噪声与振动控制,2019,39(2):90-94.
[2] 于学华. 轮胎空腔共振噪声的改进方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2009,37(7):90-93.
[3] 邓江华,宋俊,李灿,等. 乘用车声学包设计开发与优化技术研究[J]. 声学技术,2015,34(4):353-357.
[4] 杜爱民,邵长慧,邵建旺,等. 发动机声激励下的车内高频噪声分析[J]. 车用发动机,2016(4):27-32.
[5] 卢兆刚,郝志勇,郑旭,等. 机械激励下的板件声学包装中频段插入损失研究[J]. 振动与冲击,2012,31(3):162-167.

Acoustic Performance Optimization of Vehicle Road Noise Based on TPNR

XU Chi, CHEN Yinghang

(School of Mechanical and Vehicle Engineering, Bengbu University, Bengbu Anhui 233000, China)

Abstract: In order to study the influence of acoustic package performance on the vehicle road noise performance, TPNR static test and road dynamic test were used to study the improvement effect of acoustic package scheme on the medium and high frequency road noise performance of an SUV passenger vehicle. The results show that plugging the sheet metal holes of A-pillar and front doorsill, increasing the sound absorption material of luggage doorsill and increasing the barrier material in the cavity of C-pillar lower guard board have the effect of improving the road noise sound insulation of the whole vehicle. The dynamic test shows that the improvement effect of the lifting scheme on the middle and high frequency road noise in the front and rear row of the whole vehicle is obvious under the condition of 60 km/h constant speed. Under the condition of 80 km/h constant speed, the improvement effect is only obvious for the rear row, but slightly weak for the front row.

Keywords: acoustic package optimization ; road noise ; tire patch noise reduction

(责任编辑:李华云)