

# 某纯电动汽车路噪性能优化

王维松 李默华 靳豹

(长城汽车股份有限公司保定技术研发分公司,保定 071000)

**【摘要】**为解决某纯电动汽车行驶时传递到车内的路噪过大的问题,利用“源-路径-响应”的排查方法,对轮胎、后扭力梁、车身板件进行排查,识别出后扭力梁模态与路面激励耦合,对路噪起到了放大作用,通过虚拟验证对车身板件进行动态特性分析,识别出后侧围区域模态与声腔模态耦合,是整车车内路噪过大的主要原因。通过在侧围外板与C柱和D柱之间增加支撑结构,提升侧围外板局部刚度,由此优化后侧围区域的模态频率及振动幅值,对该方案进行车内路噪实车测试,结果表明,78~90 Hz、120 Hz、200~220 Hz频率区间车内噪声显著降低,主观评价车内路噪满足要求。

**关键词:**纯电动汽车 路噪 轮胎 后扭力梁 车身板件

中图分类号:U467 文献标志码:A DOI: 10.20104/j.cnki.1674-6546.20220092

## Optimization of Road Noise Performance for A Battery Electric Vehicle

Wang Weisong, Li Mohua, Jin Bao

(Baoding Technology R&D Branch of Great Wall Motor Company Limited, Baoding 071003)

**【Abstract】**In order to solve the problem of excessive road noise transmitted to the interior of battery electric vehicles in driving, this article investigated the tire, rear torsion beam and body panel by using the method of “source-path-response”, to identify the coupling between the mode of rear torsion beam and road excitation, which amplified road noise. By dynamical property analysis of body panel through virtual verification, it was identified that the coupling between the mode of rear side wall area and the mode of acoustic cavity was the main cause for excessive road noise in the vehicle. By adding a support structure between the side wall outer plate and C-pillar and D-pillar, the local stiffness of the side wall outer plate was improved, so as to optimize the modal frequency and vibration amplitude in the rear side wall area. The vehicle interior road noise test was carried out. The results show that vehicle interior noise is reduced obviously in the frequency ranges of 78~90 Hz, 120 Hz and 200~220 Hz, and its subjective evaluation of interior road noise meets the requirements.

**Key words:** Battery electric vehicle, Road noise, Tire, Rear torsion beam, Body panel

**【引用格式】**王维松,李默华,靳豹.某纯电动汽车路噪性能优化[J].汽车工程师,2023(5):40-44.

WANG W S, LI M H, JIN B. Optimization of Road Noise Performance for A Battery Electric Vehicle[J]. Automotive Engineer, 2023(5): 40-44.

## 1 前言

汽车NVH性能直接影响乘坐舒适性,因此备受消费者和汽车厂商的关注。车内噪声主要分为动力总成噪声、路噪和风噪,相比于传统内燃机车,电动汽车由于没有动力总成噪声的掩蔽作用,其路噪在中低频噪声中显得尤为突出<sup>[1]</sup>。

国内整车制造商均对路噪问题的优化进行了相关研究。车勇等<sup>[2]</sup>通过对车身及其板件进行动态

结构特性分析,识别出了车内结构路噪的主要振动源和影响途径。赵伟丰等<sup>[3]</sup>建立时域弱耦合传递路径分析模型,进行传递路径贡献量分析,通过优化衬套隔振性能及抑制车身板件振幅降低了车内路噪。刘鹏等<sup>[4]</sup>利用CAE方法对路噪问题产生原因进行分析锁定,提出车身结构和底盘衬套的优化方案,并进行了验证分析。姚斌辉<sup>[5]</sup>基于车身及悬架的依附点建立传递路径分析(Transfer Path Analysis, TPA)模型,对各路径贡献量进行分析,确定了主要

结构传递路径。刘伟等<sup>[6]</sup>利用TPA方法对整车路噪问题进行分析,并利用仿真分析确定优化方案,使车内噪声明显降低。

本文针对某纯电动车型,对噪声源、传递路径和车身响应进行分析,结合底盘和车身板件的动态结构特性,利用试验与仿真相结合的方法,识别出影响车内路噪的主要因素,通过优化车身板件结构、降低板件振动能量降低传递到车内的路噪。

## 2 问题描述

某纯电动车型在粗糙路面以40 km/h的速度匀速行驶时,车内噪声较大,且存在明显的轰鸣声。在不同路面条件下进行对比评价发现,汽车在粗糙路面行驶时轰鸣声最明显;在不同挡位条件下进行对比评价发现,在汽车加速或减速、带挡滑行或空挡滑行时,车内轰鸣声变化较小。因此判断该噪声问题主要由路面激励引起,与动力系统相关性较小,初步判断为路噪问题。

通过测试设备对车辆进行数据采集,并进行频谱分析,结果如图1所示。通过滤波分析,结合主观评价及噪声回放,明确80 Hz、120 Hz、210 Hz左右峰值为车内噪声过大的主要原因。

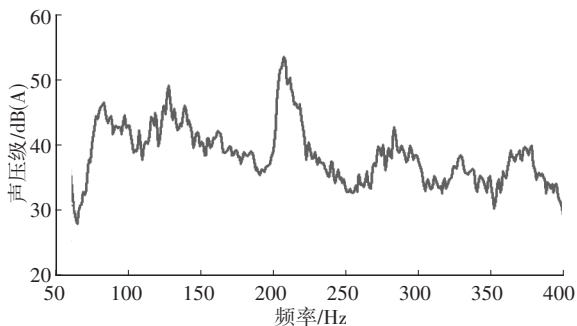


图1 某纯电动车型路噪频谱

## 3 路噪产生机理

根据发生机理,可将车内路噪传递方式分为结构噪声传递和空气噪声传递,如图2所示。

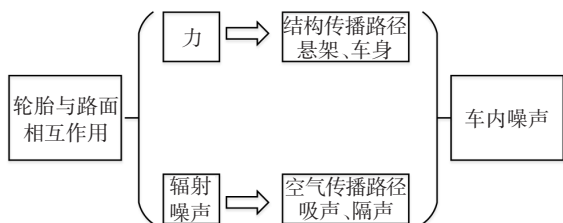


图2 路噪产生机理

路噪通过结构传递的频率范围为20~400 Hz,轮胎与路面接触面局部压缩和释放产生垂向力,局部

滚挤和释放产生纵向力,激励力通过轮胎和轮辋传到轮毂轴承和转向节、悬架、车身,车身板件与空腔相互耦合产生低频噪声。路噪通过空气传递的频率范围为400~5 000 Hz,轮胎与路面相互作用,通过压缩和释放空气、轮胎与路面摩擦产生高频噪声。

本文研究对象的路噪频率在80 Hz、120 Hz、210 Hz左右,为结构噪声,属于低频噪声。

## 4 路噪问题排查及验证

通过“源-路径-响应”的排查思路进行分析,如图3所示。路面激励通过轮胎振动传递到轮辋、轮毂轴承、悬架、副车架、扭力梁,最后激振力传递到车身,车身板件与车内声腔会产生耦合现象,产生车内低频噪声问题。

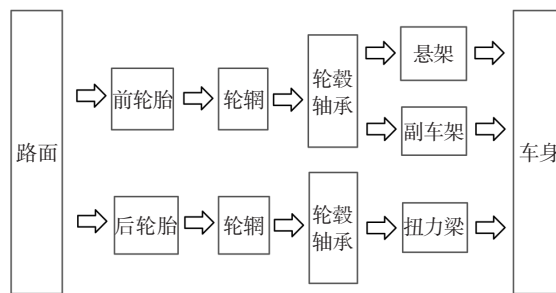


图3 结构路噪传递路径

### 4.1 轮胎性能排查及验证

车辆行驶过程中,路面激励首先经过轮胎传递,受轮胎自身的结构特性影响,激励力通过轮胎自身变形,对激励力的衰减起到首要作用。

更换轮胎规格验证车内路噪是否与轮胎自身特性有关。将轮胎规格由215 50R18更换为225 55R18,新胎胎面与胎壁尺寸加大,提升轮胎的隔振性能,同时为提升轮胎舒适性,降低胎面刚度,车内噪声对比结果如图4所示。由于胎面刚度降低,轮胎具有更好的隔振性能,全频段中80~400 Hz低频噪声范围改善明显。

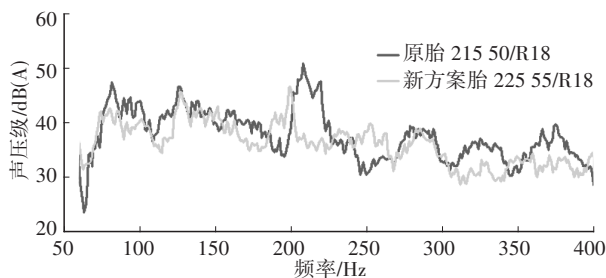


图4 不同轮胎规格试验结果对比

### 4.2 后扭力梁排查及验证

该车型主观评价车内后排噪声明显较前排高,

故对后扭力梁进行排查。

对后扭力梁进行模态测试,结果如图5所示,后扭力梁在噪声频率为80 Hz左右时存在振动模态,后扭力梁模态频率与路噪峰值频率存在对应关系。由此可初步判断,激励力通过轮胎传递到轮毂轴承,由轮毂轴承传递到后扭力梁时,激励力与后扭力梁模态耦合,会加大后扭力梁垂直方向的振动,对激励振动起到放大作用。

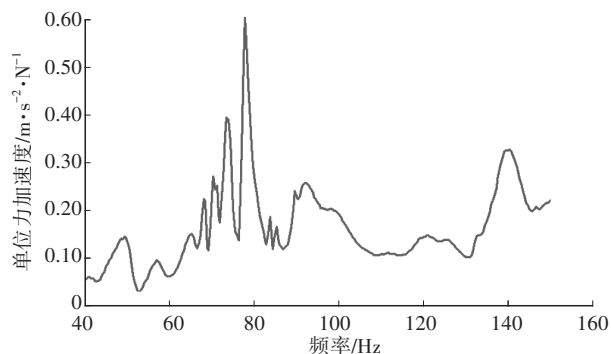


图5 后扭力梁模态测试结果

在后扭力梁前侧增加80 Hz吸振器,如图6所示,通过吸振改变后扭力梁振动。进行振动测试,扭力梁振动加速度和车内噪声声压级如图7、图8所示,后扭力梁在噪声频率为80 Hz左右时振动变化明显,振动幅值降低,车内噪声在频率为80 Hz左右时声压级峰值下降明显,由49 dB(A)降低为41 dB(A),主观评价车内噪声明显改善。



图6 后扭力梁增加80 Hz吸振器方案

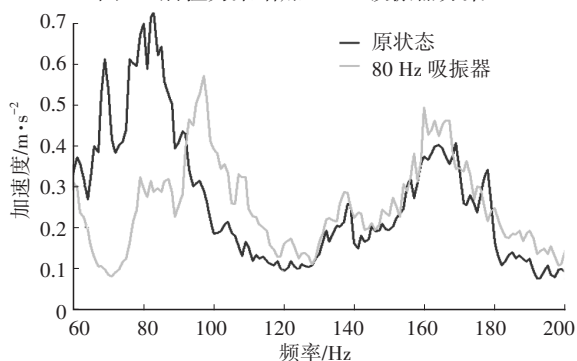


图7 后扭梁加吸振器方案扭梁振动结果对比

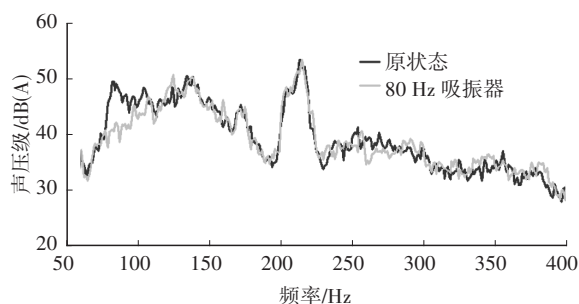


图8 后扭梁加吸振器方案车内噪声对比

### 4.3 车身板件排查及验证

通过仿真对车身板件进行振动响应分析,经过板件振动识别对比,后侧围钣金薄弱,后侧围振动频率与车内噪声频率吻合,车身后侧围在78~90 Hz、120~250 Hz频率区间存在明显振动峰值,如图9所示。

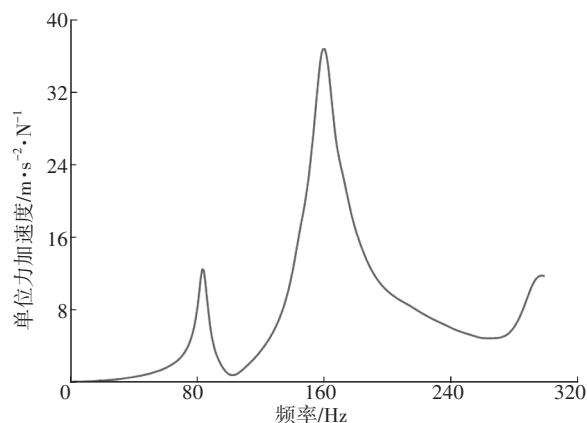


图9 车身后侧围钣金振动

对车内声腔进行模态分析,车内声腔模型如图10所示。

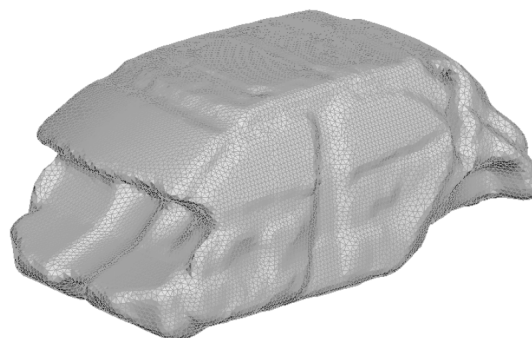


图10 车内声腔模型

仿真分析获得的车内声腔模态分布情况如表1所示,车内声腔在低频范围存在模态较多,使得声腔在85 Hz、129 Hz、167 Hz、220 Hz频率下的模态与后侧围78~90 Hz、120~250 Hz频率段存在声振耦合的可能,因此需对后侧围结构进行优化,降低声振耦合能量。

表1 声腔模态分析结果

序号	频率/Hz	振型
1	85	纵向伸缩
2	129	纵向伸缩
3	167	后部扭转
4	220	后部伸缩

在侧围外板与C柱和D柱之间增加支撑结构,如图11所示,通过支撑作用提升侧围外板的局部刚度,由此降低侧围外板的模态密度及振动幅值。仿真结果如图12所示,后侧围钣金振动在整个频率段的振动幅值均明显降低;车内噪声在78~90 Hz、120~250 Hz频率段均有明显改善,如图13所示。



图11 验证方案

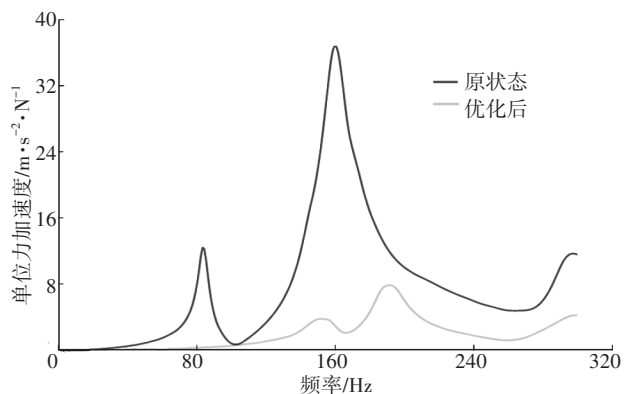


图12 后侧围钣金振动

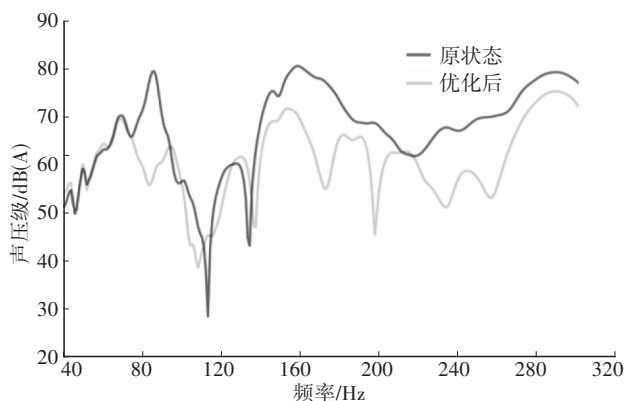


图13 后侧围到车内传递函数对比

## 5 方案确认及验证

通过以上排查及验证可知:轮胎性能对该车型路噪影响较大;后扭力梁增加80 Hz吸振器,车内噪声在80 Hz左右改善明显;车身后侧围大板件与车内声腔产生声振耦合,通过对后侧围外板增加支撑结构,车内噪声明显改善,且该方案易于实施及验证。

在C柱加强板与侧围外板之间增加支撑支架,支架结构与C柱加强板卡接,由发泡胶粘接,支架结构与侧围外板通过发泡胶粘接,由此对侧围外板起到支撑加强作用,如图14所示。

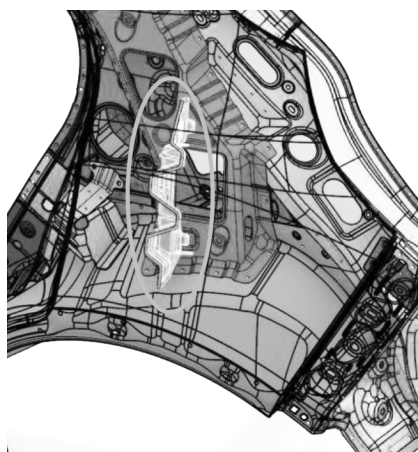


图14 后侧围支撑方案

将优化方案在实车上进行验证,在粗糙路面以40 km/h的速度匀速行驶进行车内噪声测试,结果如图15所示。由图15可以看出,在78~90 Hz、120 Hz、200~220 Hz频率区间车内噪声降低明显,主观评价车内路噪改善效果较好。

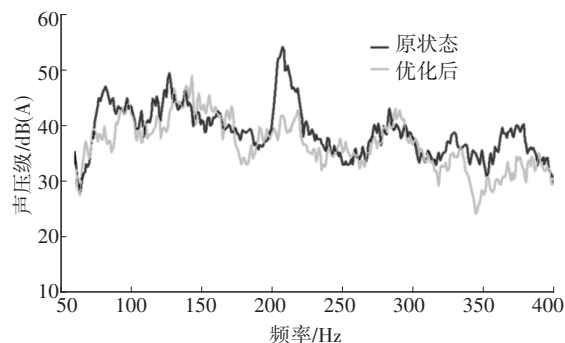


图15 优化后车内噪声对比

## 6 结束语

本文通过对某纯电动车型路噪问题进行分析与方案优化,可以得到以下结论:

- a. 在车内路噪问题排查中,利用“源-路径-响

应”的排查思路,对不同传递路径进行验证分析,可以准确地了解不同传递路径的影响,进而确定有效的优化方案。

b. 轮胎选型对路噪影响较大,需结合成本进行综合考虑;非独立悬架扭力梁是底盘中重要的传递路径,前期设计阶段需考虑避开路噪关键频率段。

c. 前期设计阶段需控制车身关键大板件模态和振动幅值,避免大板件与车内声腔耦合,放大车内噪声。

#### 参 考 文 献

[1] 庞剑. 汽车车身噪声与振动控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.  
PANG J. NVH Control of Automotive Body[M]. Beijing: China Machine Press, 2015.

[2] 车勇, 刘浩, 夏祖国, 等. 纯电动汽车车内结构路噪识别[J]. 噪声与振动控制, 2014, 34(5): 74-77.  
CHE Y, LIU H, XIA Z G, et al. Identification of Road-Induced Interior Structural Noise for Battery Electric Vehicles[J]. Noise and Vibration Control, 2014, 34(5): 74-77.

[3] 赵伟丰, 王文彬, 周浩东. 车内低频路噪问题的分析与控

制[J]. 噪声与振动控制, 2019, 39(3): 142-146.

ZHAO W F, WANG W B, ZHOU H D. Analysis and Control of Interior Low-Frequency Road Noise of a Car[J]. Noise and Vibration Control, 2019, 39(3): 142-146.

[4] 刘鹏, 孙寿峰, 赵敬, 等. 某型轿车路噪性能优化[J]. 汽车工程师, 2019(4): 25-28.

LIU P, SUN S F, ZHAO J, et al. Optimization of Road Noise Performance of a Certain Sedan Car[J]. Automotive Engineer, 2019(4): 25-28.

[5] 姚斌辉. 基于传递路径分析的电动车路噪优化[J]. 中国汽车, 2021(6): 46-50.

YAO B H. Electric Vehicle Road Noise Optimization Based on Transfer Path Analysis[J]. China Auto, 2021(6): 46-50.

[6] 刘伟, 韩腾飞, 杨少鹏, 等. 某型电动车路噪性能优化[J]. 汽车工程师, 2016(11): 46-49+51.

LIU W, HAN T F, YANG S P, et al. Road Noise Optimization of an Electric Vehicle Model[J]. Automotive Engineer, 2016(11): 46-49+51.

(责任编辑 王 一)

修改稿收到日期为2023年4月6日。