

某纯电动厢式运输车车内噪声分析及控制

李旭诚, 周 欢, 黄 旺, 刘永福, 刘冬福

(中车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘 要:某纯电动厢式运输车在 50 km/h 匀速行驶工况下, 车内噪声声压级接近 70 dB(A), 难以满足新能源车辆的舒适性要求。分析表明, 该问题主要由车身隔声性能不足及局部气密性缺陷所致。因此, 本文依据主要噪声源分布特征, 设计并实施了一套分区式声学包装方案, 在驾驶室地板、后围及侧围等关键部位布置吸隔声材料, 以较低成本实现噪声抑制。试验结果表明, 引入声学材料后, 车内噪声显著降低, 声学舒适性得到明显提升。该方案具有良好的工程可行性与实用价值, 可为同类电动商用车的 NVH 性能优化提供参考。

关键词:纯电动厢式运输车; 车内噪声; 隔声材料; 声学包装; NVH

中图分类号:U469.72; U467.4⁺93 **文献标志码:**A **DOI:**10.15917/j.cnki.1006-3331.2026.03.012

Analysis and Control of Interior Noise in a Pure Electric Van

LI Xucheng, ZHOU Huan, HUANG Wang, LIU Yongfu, LIU Dongfu

(CRRC Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: A certain pure electric delivery van exhibits an in-cabin noise sound pressure level of close to 70 dB(A) under constant-speed driving at 50 km/h, which makes it difficult to meet the comfort requirements for new energy vehicles. Analysis indicates that deficiencies in body sound insulation performance and local airtightness mainly cause this problem. Therefore, this paper designs and implements a zoned acoustic packaging scheme based on the distribution characteristics of the main noise sources. The scheme arranges sound absorption and insulation materials at key areas such as the cab floor, rear panel, and side panels, achieving noise suppression at relatively low cost. Test results show that the introduction of acoustic materials significantly reduces in-cabin noise and noticeably improves acoustic comfort. This scheme has good engineering feasibility and practical value, providing a reference for optimizing NVH performance in similar electric commercial vehicles.

Key words: pure electric van; in-cabin noise; soundproofing materials; acoustic packaging; NVH

轻型载货汽车作为城市物流体系中的重要运输单元,其高效运行对保障城市经济的运转起着关键作用。随着新能源商用车的快速发展、整车设计水平和制造工艺的持续提升,以及产业链协同程度的不断提高,不同品牌车型在动力性、经济性、安全性等方面的差距日益缩小。然而,纯电动汽车因驱动总成结构与传统燃油车存在本质差异,电机取代内燃机后,整车噪声特性发生显著变化。由于缺少发动机的掩蔽效应,许多此前被掩盖的噪声变得清晰可闻,这使得乘坐舒适性成为新能源车辆市场竞争的关键指标之一,同时也对整车 NVH 性能提出了更高要求^[1-5]。

目前,针对类似车型的车内噪声控制研究多聚焦于激励源与共振问题的排查与优化。文献[6]通过改善定子生产工艺,优化定子同轴度和内圆圆柱度以降低电磁噪声;文献[7]通过在转子表面开辅助槽,并对辅助槽参数进行寻优,以降低电磁噪声;文献[8]以某 3.5 t 电驱桥为研究对象,先通过 NVH 试验分析出啸叫原因,再基于 Romax 软件搭建电驱桥耦合模型并对一级齿轮进行修形优化,从而大幅提高了电驱桥的 NVH 性能;文献[9]通过噪声及模态测试分析确定压缩机及其支架为共振结构,并对支架进行优化,进而解决了此共振问题。在声学包装方面,文

收稿日期:2025-10-12。

第一作者:李旭诚(2002—),男,助理工程师,主要从事车辆悬架及行驶系统的研究与设计工作。E-mail:909961969@qq.com。

献[10]通过声源包覆与声学包装优化,使车内噪声声压级降低了5%;文献[11]通过建立整车SEA模型,设计了一种高覆盖率声学包装方案并进行模型计算,结果表明该方案可使车内噪声降低约8 dB(A)。

鉴于本文研究对象在现有工况下未表现出显著的结构共振特征,同时考虑到对电驱动总成等主要激励源进行结构优化将显著增加研发成本与周期,故本文选择声学包装作为抑制车内噪声的主要手段。本文以某纯电动厢式运输车为研究对象,开展驾驶室声学优化设计与效果验证。

1 车内噪声来源与频谱分析

车内噪声是指车辆运行过程中,由动力系统、传动系统、悬架等部件及轮胎与路面作用产生的结构振动噪声与空气噪声,以及外部环境噪声经车身结构和缝隙传递至车内的声音的总和^[12]。车内噪声不仅直接影响驾驶员的声学舒适性,也是整车NVH性能评价的重要指标。

为分析车内噪声的频率分布与特性,本文参考GB/T 25982—2024《客车车内噪声限值及测量方法》^[13],在驾驶员右耳处布置麦克风传感器,采集车辆在稳态工况下的噪声数据。图1为未采取NVH优化措施时的车内噪声彩色图。根据NVH分析中的常用频段划分方式,本文将大于20 Hz且小于等于200 Hz的频段定义为低频段、大于200 Hz且小于等于1 000 Hz的频段定义为中频段、大于1 000 Hz的频段定义为高频段。

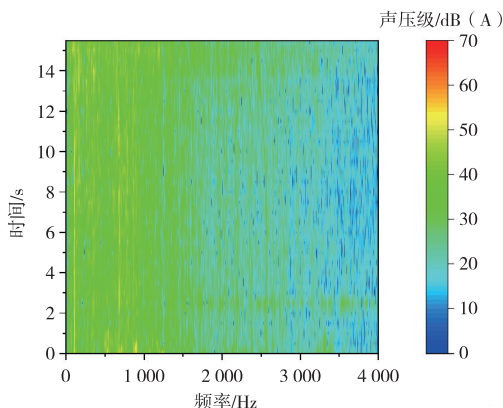


图1 无措施样车匀速工况下车内噪声彩色图

由图1可知,在匀速工况下,无措施样车的内部噪声呈现明显的中低频特征,能量主要集中于1 000 Hz以下频段。其1/3倍频程图谱如图2所示。可见,噪声能量主要分布在100~800 Hz区间,且在630 Hz

附近出现明显峰值;高频段声压级随频率升高而逐渐衰减。

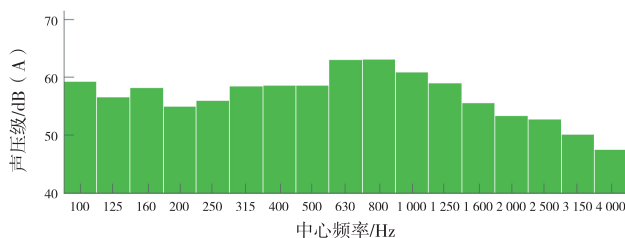


图2 无措施样车匀速工况下车内噪声1/3倍频程图谱

上述特征表明,车内噪声以中低频成分为主,主要源于电驱系统激励,而非以高频为主的空气传播噪声。因此,针对该驾驶室的中低频噪声进行声学性能改善,是后续声学包装优化的重点。

1.1 噪声来源分析

结合纯电动厢式运输车的结构特征,车内噪声的主要来源可分为以下几类:

- 1) 电驱动系统噪声。电机运行产生的电磁噪声、齿轮啮合噪声及逆变器驱动电流脉冲引起的高频噪声,通过空气路径(孔隙)及结构路径传入驾驶室。
- 2) 前驱桥与悬架系统噪声。驱动半轴、差速器及减速齿轮运转时产生的振动,经悬架系统和车架传递至车内。
- 3) 胎噪与路噪。轮胎受路面不平激励产生的滚动噪声,在中低速行驶时是车内噪声的主要贡献源之一。
- 4) 风噪。该车型因车身造型方正导致气动性能不佳,加之门窗采用单层玻璃且密封不足,使得在50~60 km/h车速下风噪尤为突出。

- 5) 其他附属系统噪声。空压机、电子水泵等辅助设备运行时产生的噪声。

1.2 噪声传递路径分析

车外噪声及整车各部件产生的噪声,主要通过以下3种路径传递至驾驶室:

- 1) 空气传递路径。车身蒙皮和单层内饰板隔声性能不足,导致外部噪声通过薄壁结构直接透射进入驾驶室;门窗气密性不足,使风噪和其他高频噪声通过孔隙泄漏进入驾驶室。
- 2) 结构传递路径。前驱桥和悬架系统的振动通过车架、地板传递至驾驶室;轮胎与路面激励则经悬架系统传入车身骨架,最终传入驾驶室。
- 3) 耦合路径。部分低频振动与车内腔体声学模态耦合,形成共振效应,从而放大车内噪声。

2 噪声控制措施与实施方案

根据车内噪声频谱分析结果,车辆噪声能量主要集中在 1 000 Hz 以下频段。结合整车主要噪声源位置,本文采用以声学包装为核心的系统性控制策略。具体措施如下:在驾驶室地板区域布置由吸音棉、隔声垫和薄钢板组成的复合层,在后围、顶盖布置由吸音棉和隔声垫组成的复合层,以提升驾驶室的隔声与吸声性能,从而有效削弱外部噪声向驾驶室的传递。

2.1 声学材料的选择

在汽车声学优化设计中,材料性能的合理匹配是有效降噪的关键之一。声学包装材料的 NVH 性能主要取决于其吸声性能和隔声性能。常用多孔性吸声材料对中高频噪声具有较好的吸收效果,但对低频噪声的吸收能力则有限;而低频噪声的抑制通常需依据质量定律,采用高面密度隔声材料来提升隔声量。因此,在整车 NVH 改进中,通常采用吸声材料与隔声材料复合应用的方式,形成吸隔声组合结构,以兼顾不同频率的噪声控制需求^[14-16]。

结合前述车内噪声频谱特征,本文选取多种声学材料进行复合应用,以实现针对性的降噪。

1) PES 棉。该材料由 PES 纤维复合而成,具有良好的隔热、降噪、阻燃及环保性能。其多孔结构可有效吸收中高频声能,有助于改善驾驶室声学环境。依据 GB/T 20247—2006 规定的方法进行测试,结果显示本文选用的 PES 棉在 630~2 000 Hz 范围内具有较高的吸声系数^[17],如图 3 所示。该材料采用原生环保纤维,无甲醛释放,满足车内有害物质限值要求,同时具备良好的耐湿热与抗老化性能,可在车辆长期使用过程中保持稳定的吸声性能。

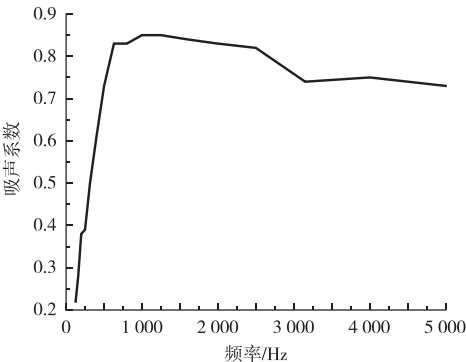


图 3 PES 棉吸声系数

2) 橡塑复合板。橡塑复合板属于高分子复合隔声材料,其多层结构可使声波在传播过程中发生多次

反射与衰减,从而有效削弱吻合效应和共振效应对隔声性能的不利影响。本文所选材料满足车内有害物质限量要求,在 630 Hz 以内的中低频区域具备良好的隔声性能,其隔声量约为 21 dB^[18]。此外,该材料具备优良的防潮与抗压性能,在高湿高温环境下保持结构稳定,有利于隔声效果的长期可靠。

3) 薄钢板。作为重质隔声材料,薄钢板依据质量定律,对中高频噪声具有显著的隔声与反射性能。将其用作封板,一方面能有效提升地板区域的密封性,另一方面其优异的高频隔声性能也可有效弥补吸音棉和隔声垫在高频段的隔声不足。

2.2 不同声学包装方案

鉴于轻型载货汽车在使用需求和成本约束方面与乘用车存在差异,本文在满足基本降噪效果的前提下,采用在重点区域布置声学包装的策略,而非全覆盖处理。

具体而言,基于噪声源分布,针对驾驶室地板、后围、侧围及顶盖等主要噪声传递区域,本文设计了 4 种不同的声学材料布置方案(见表 1),以对比不同覆盖范围及质量增量条件下的降噪效果。

表 1 不同声学包装方案材料配置及其质量

布置方案	材料配置	隔声材料 总质量/kg
方案 A	PES 棉与橡塑复合板布置于地板、后围、侧围及顶盖	46.76
方案 B	PES 棉与橡塑复合板布置于地板、后围、侧围及顶盖,地板外层增加薄钢板	60.16
方案 C	PES 棉与橡塑复合板布置于地板、后围、侧围,地板外层增加薄钢板	40.00
方案 D	PES 棉与橡塑复合板仅布置于地板,地板外层增加薄钢板	27.26

2.3 施工与布置方式

材料安装工艺直接影响降噪效果与可靠性。具体施工方案如下:

1) PES 棉与橡塑复合板均采用背胶粘贴,根据车身覆盖件结构进行裁切后粘贴,以填充内饰件与车身蒙皮之间的空腔。

2) 薄钢板采用点焊固定,并在接缝涂抹密封胶,确保密封性,抑制声泄漏。

车内隔声材料的布置方式如图 4 所示。

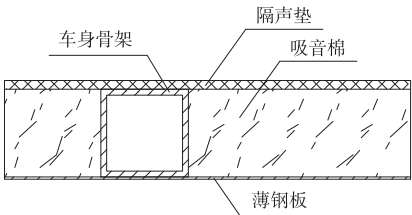


图4 车内声学包材料布置方式

3 试验与结果对比

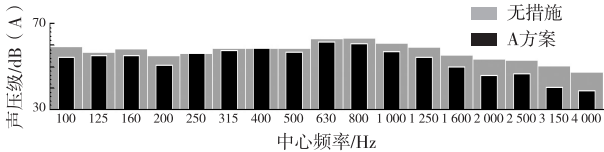
为定量评估不同声学包装方案的降噪效果,本文选取同一辆车作为试验对象,在相同环境条件和测试工况下,依次更换并实施不同声学包装方案后开展车内噪声测试,以保证试验结果的可比性。具体测点布置与测试条件见表2。试验测量了车辆在30、40、50、60 km/h 匀速行驶工况下的车内噪声。

表2 测点布置与测试条件

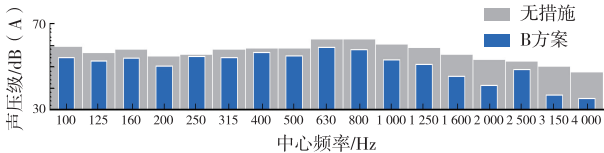
项目	内容
传感器布置位置	驾驶员右耳处
测试地点	封闭路段铺装路面
车辆状态	空载
环境温度/℃	28~36
环境相对湿度/%	42.4~76.1
大气压/kPa	99.6~99.9

3.1 匀速工况频谱特征对比

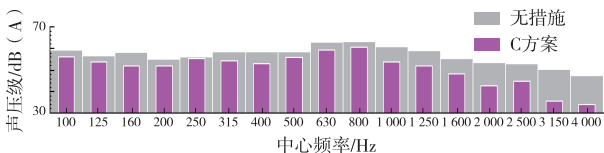
图5为车辆在60 km/h 匀速工况下,无措施状态与采用不同声学包装方案时的车内噪声1/3倍频程图谱。



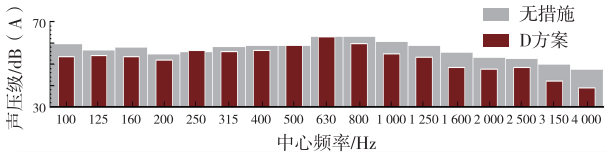
(a) 无措施与A方案



(b) 无措施与B方案



(c) 无措施与C方案



(d) 无措施与D方案

图5 各方案车辆匀速60 km/h 车内噪声1/3倍频程图谱

由图5可知,与无措施车辆相比,各声学包装方案在全频段范围内均呈现出明显的降噪效果。其中,声学包装在高频段的降噪幅度较大,这表明材料对高频噪声具有较强的阻隔与吸收能力;而在中低频段,虽然绝对降幅相对较小,但由于该频段通常是噪声能量集中区,这些降噪措施仍有效地抑制了中低频的峰值,显著优化了车内声学环境。

3.2 匀速工况车内噪声声压级分析

表3列出了各工况下,样车在无措施与不同声学包装方案下的车内噪声声压级。

表3 各方案匀速工况下车内声压级

方案	声压级/dB(A)			
	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h
无措施	65.8	66.9	69.8	70.9
A方案	60.4	64.9	65.3	68.4
B方案	58.2	61.8	64.5	68.0
C方案	61.6	62.1	64.9	68.4
D方案	61.5	63.0	65.8	69.2

由表3数据可知,所有声学包装方案在各测试工况下均显著降低了车内声压级。其中,B方案效果最为显著。在30 km/h 的匀速工况下,其车内噪声值较原车降低7.6 dB(A);在60 km/h 匀速工况下,也降低了约3 dB(A)。这表明其吸隔声复合结构在噪声控制方面有较好的效果。

A方案与C方案的降噪效果相近。这表明在不额外增加钢板和驾驶室顶部材料的情况下,仅通过在地板、后围、侧布置吸音棉与隔声垫,即可达到较为明显的降噪效果。

D方案作为成本最低的方案,仅在地板布置了材料。即便如此,在车速≤50 km/h 的工况下仍能获得约4 dB(A)的降噪量,在60 km/h 匀速工况也能降低约2 dB(A)。

结合表1中各方案的质量数据分析,方案B虽然降噪效果最优,但其质量也最大,导致其单位质量的降噪收益有限。相比之下,方案D在降噪效果有所

下降的同时,质量大幅减小(较方案 B 下降 55%),这使得其单位质量的降噪收益提升了 48%。因此,方案 D 的实际应用价值最高。

4 结束语

针对某纯电动厢式运输车车内噪声偏高的问题,本文通过分析车内噪声频谱特性与主要噪声源,提出了一套声学包装方案,并进行了试验验证。结果表明,针对 1 000 Hz 以下中低频噪声,通过合理组合声学材料,可有效降低车内噪声。各方案均表现出显著效果,其中仅在地板处布置材料即可实现 2~4 dB(A)的降噪量。本文方案在兼顾成本与质量的同时,显著提升了车辆的声学性能,既验证了声学包装技术在轻型纯电动商用车中的有效性,也为后续低成本 NVH 优化提供了参考。

参考文献:

- [1] 刘显臣. 汽车 NVH 综合技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2014:3-9.
- [2] 周豪,冯青松,尹华拓,等. 城市轨道交通车内噪声特性及贡献率分析[J]. 噪声与振动控制, 2023, 43(6):157-162.
- [3] 李树华,陈克. 基于阶次和传递路径分析的电驱动总成对车内噪声影响[J]. 噪声与振动控制, 2023, 43(1):203-209.
- [4] Xia Hua, Thomas A, Shultis K. Recent progress in battery electric vehicle noise, vibration, and harshness [J]. Science Progress, 2021, 104(1):1-11.

- [5] 庞剑. 汽车车身噪声与振动控制[M]. 北京:机械工业出版社, 2015:174-214.
- [6] 唐少雄,丁超,马燕,等. 电驱总成电磁噪声问题分析与优化[J]. 汽车实用技术, 2024, 11(4):58-61.
- [7] 张镇,卢若皓,蒋伟,等. 某新能源车用永磁同步电机啸叫优化[J]. 汽车电器, 2024, 9(11):71-74.
- [8] 郝英博,刘立东. 基于 Romax 的轻卡电驱桥 NVH 分析优化[J]. 机械传动, 2024, 48(10):113-119.
- [9] 李永越,杨树岗,刘巧红,等. 某纯电动汽车空调压缩机支架 NVH 性能分析[J]. 汽车与驾驶维修(维修版), 2023(10):22-25.
- [10] 许林倩,岳志强,耿建,等. 某款电动车车内噪声降低研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2021, 59(12):93-97.
- [11] 吴茵. 某纯电动 MPV 车内中高频噪声分析与声学包优化[D]. 长沙:湖南大学, 2017:43-67.
- [12] 邹赠粮,李洪林,徐丰辰. 风行 MPV 车车内噪声分析与控制[J]. 汽车工程, 2007, 29(12):1074-1078.
- [13] GB/T 25982—2024 客车车内噪声限值及测量方法[S].
- [14] 许雪莹. 车辆 NVH 控制技术与应用[M]. 北京:中国水利出版社, 2018:33-42.
- [15] 张新安. 聚酯机织物吸声性能研究[J]. 高分子通报, 2006, 19(10):52-58.
- [16] 吕和平,高峰,幸向玲. 纯电动汽车声学包装件开发策略研究[J]. 汽车实用技术, 2022, 47(1):6-9.
- [17] GB/T 20247—2006 声学 混响室吸声测量[S].
- [18] GB/T 45305.2—2025 声学 建筑构件隔声的实验室测量 第 2 部分:空气声隔声测量[S].

(上接第 52 页)

- [7] 李玮,王晶. 纯电动汽车电机控制器 CAN 通信丢失故障处理方法[J]. 北京汽车, 2020, 226(1):35-38.
- [8] 魏洪乾,王洪荣,赵文强,等. 考虑网络诱导时延的电动汽车主动安全控制策略[J]. 北京理工大学学报, 2022, 42(8):798-808.
- [9] 杨荣悦,张鹏洲,宋卿. 基于 5G 技术的智能车联网研究与展望[J]. 电信科学, 2020, 36(5):106-114.
- [10] ISO 11898-1:2015 Road vehicles—Controller area network

(CAN) — Part 1: Data link layer and physical signalling [S].

- [11] 张兴雷,杨玻,巩彦斌,等. 基于 FPGA 的 CAN 总线驱动设计与实现[J]. 机电信息, 2023(7):56-58.
- [12] 李节,汪西虎,何明泽. 一种宽共模输入范围的高速 CAN 总线接收器设计[J]. 电子元件与材料, 2023, 42(2):232-237.