

汽车车身结构声学降噪技术

魏文杰 李保生 魏超

中汽研(天津)汽车工程研究院有限公司 天津 300300

【摘要】：汽车噪音问题一直是车主关注的重要问题之一。车身结构声学降噪技术作为一种有效的噪音控制手段，能够显著提升车内舒适度。本文分析了车身结构中的噪声源及其传播路径，介绍了常见的声学降噪技术，并探讨了不同材料和设计对车身降噪效果的影响。通过优化车身材料、加强隔音设计和使用吸音材料，能够有效降低车内噪声水平，提升用户的驾驶体验。研究表明，声学降噪技术在提高车辆整体性能和舒适性方面具有显著作用，为未来汽车的设计提供了重要的参考。

【关键词】：车身结构；声学降噪；噪音控制；吸音材料；隔音设计

DOI:10.12417/3041-0630.26.02.044

车内噪声问题是影响驾驶体验和乘坐舒适度的重要因素。随着汽车工业的发展和消费者对舒适性要求的提高，降噪技术在车身设计中的重要性逐渐增加。传统的降噪措施主要依赖于车内隔音材料的应用，但仅依靠材料解决问题仍无法完全消除噪音。车身结构本身的设计和材料选择也在很大程度上影响着噪声的传播和声学环境的质量。因此，如何通过优化车身结构来实现更有效的声学降噪，成为当前汽车设计领域的研究热点。本文将探讨车身结构的声学特性，分析不同降噪技术的应用，并提出改进方案，以期为实现更加静谧的车内环境提供技术支持。

1 车身结构对车内噪声的影响

车身结构对车内噪声的影响主要体现在车体的刚度、形状、材料选择及其与车内其他部件的相互作用上。汽车在行驶过程中，发动机噪音、轮胎噪音、风噪等多种噪声会通过车身结构传递到车内。车身的刚性和结构设计决定了这些噪声如何在车内空间中传播，进而影响噪声的强度与频率。较为薄弱的车身部件或设计不合理的接缝、空隙可能成为噪音传播的导管，导致车内噪声水平升高，影响驾驶体验和乘客的舒适感。车身的外形设计也会对噪声的形成和传播产生深远影响。车体表面的平整度、车窗设计以及空隙和接缝的密封程度都会影响风噪和其他外部噪声的进入。特别是车辆高速行驶时，车体表面的气流与外界环境的相互作用容易产生涡流和湍流，这些气流噪声可以通过车身结构传导进车内，显著增加车内噪声负荷。

在材料的选择上，车身的金属和复合材料在噪声传导中的角色至关重要。传统钢材和铝合金虽然具有较好的刚性，但其声学特性较差，容易传递结构噪声。而一些新型复合材料则能够在保持高强度和轻量化的同时，减少噪音的传导。特别是在车身的隔音设计上，材料的弹性模量、密度以及内部结构的设计会显著影响噪声的吸收和隔离效果。不同材料之间的组合，如钢铝混合车身、复合材料和吸音隔音材料的应用，可以显著

降低噪音的传播。除了材料与设计，车身部件的连接方式和密封技术也在噪音控制中起到了关键作用。车门、窗框、底盘与车身的连接是否严密、密封是否完好，都直接影响车内噪声的隔绝效果。结构设计中的高效密封技术可以有效减少外部噪声的入侵，从而提升车内的声学环境质量。

2 声学降噪技术的应用与优化

声学降噪技术在汽车制造中的应用日益广泛，随着消费者对车辆舒适性要求的不断升级，采用高效、精准的降噪技术已成为车企提升产品竞争力、优化驾驶体验的核心环节。汽车行驶过程中产生的噪声来源复杂，传播路径多样，仅靠单一手段难以实现全面控制，因此通过在车身结构中融入专门的声学设计、匹配针对性材料，构建多维度降噪体系，成为降低噪音传递、提升车内静谧性的关键路径。当前主流的声学降噪技术体系中，吸音材料应用、隔音层优化设置以及车身结构本身的声学调谐，共同构成了降噪的核心技术矩阵。

吸音材料的应用讲究“精准适配”，工程师会根据不同区域的噪声特性选择合适的材料及布置方式。车内地毯、车顶、车门内饰板以及轮拱等部位，是噪声传入的高频区域，因此成为吸音材料的重点应用场景。这些材料的降噪原理在于通过自身特殊的密度分布和多孔结构，当声波入射时，材料内部的孔隙会使声波发生多次反射、折射，同时通过材料纤维的振动将声能转化为热能消耗掉，从而实现声波的吸收与消散，减少噪音的反射和进一步传播。目前市场上应用较广的高密度聚氨酯泡沫、玻璃纤维、聚酯纤维以及新型的多层复合吸音材料，各有优势：高密度泡沫可塑性强，能紧密贴合车身曲面；天然纤维材料环保且对中高频噪声吸收效果突出；多层复合材料则通过不同材质的叠加，实现对宽频噪声的全覆盖吸收，在发动机舱周边、轮拱等噪声源集中区域使用，可显著降低噪音的穿透性。

在隔音层的优化上，现代汽车已从传统的单层隔音升级为“多层复合阻隔”模式。这种多层结构的优势在于，不仅能隔绝发动机、路面等外部噪声，还能对车身振动产生的结构噪声起

到缓冲作用——隔音胶的弹性特质可吸收振动能量，避免振动通过钣金直接传递形成噪声。同时，车身各部件的接缝处是噪声泄漏的“重灾区”，设计师会采用具有高弹性和密封性的高效密封胶，填充车门与车身、窗框与玻璃、底盘接缝等细微间隙，从源头避免因缝隙产生的噪声渗透，进一步强化车体的整体密封性能。

车身结构本身的优化则聚焦于“从根源抑制噪声”，结构性声学调谐理念的应用逐渐成为行业主流。通过计算机仿真模拟和声学测试，工程师精确计算车身不同部位的固有振动频率，进而通过调整局部结构的刚度和质量分布，实现对噪声产生与传播的主动控制。例如，对车身框架的关键承载部位进行局部加固，或在特定区域采用轻量化且高刚性的铝合金、碳纤维复合材料，改变局部的振动特性，使车身各部位的振动频率避开主要噪声源的频率范围，从而避免共振现象的发生——共振往往会导致噪声被放大，是车内噪声加剧的重要原因之一。这种结构优化并非简单的“加固增厚”，而是在保证车身安全和轻量化的前提下，实现声学性能与结构性能的平衡。

智能主动降噪技术的崛起，为车身声学降噪提供了新的发展方向，也成为传统被动降噪技术的重要补充。该技术通过车载麦克风实时采集车内噪声信号，经中央控制系统快速分析噪声的频率、幅值和相位，随后控制车内扬声器发出与噪声频率相同、相位相反的“抵消声波”，通过声波的干涉作用抵消原有噪声。这种技术的优势在于能够根据行驶环境的变化动态调整降噪效果：当车辆高速行驶风噪增大时，系统可实时增强抵消信号；当车辆低速行驶面临发动机启停噪声时，又能快速切换适配模式。将智能主动降噪与传统的吸音、隔音技术相结合，形成“被动阻隔+主动抵消”的双重保障，为进一步提升车内声学环境质量提供了更高效的解决方案。

3 综合解决方案与实施效果

综合解决方案在车身结构声学降噪中的核心逻辑，在于打破单一技术的局限性，通过吸音、隔音、减振三大核心技术的协同联动，构建全链路的噪声控制体系，最终实现车内声学环境的系统性优化。当前汽车行业对降噪效果的高要求，决定了仅依靠某一种材料或某一项设计无法应对复杂的噪声场景——发动机的中低频振动、轮胎与路面摩擦的宽频噪声、高速行驶时的气流噪声等，都需要针对性的技术组合来逐一化解，而这种多维度的协同作用正是综合方案的价值所在。

吸音技术作为噪声控制的第一道防线，其应用场景已从传统的车内内饰延伸至车身结构的关键传声部位。设计师会根据不同区域的噪声特性，精准匹配吸音材料的类型与布置方式：在轮拱内侧，采用密度更高、孔隙更细密的聚氨酯泡沫复合材料，利用材料内部的多孔结构对轮胎噪声进行多次反射与能量耗散，避免噪声直接通过轮拱传至座舱；在车顶和地板区域，

则选用天然纤维吸音板，这类材料不仅环保，还能有效吸收高频噪声和路面传导的中高频噪声。更重要的是，吸音材料的布置并非简单堆砌，而是结合车身曲面进行贴合设计，确保材料与车身结构紧密接触，减少材料与车体之间的空隙形成新的噪声共振腔，真正实现“哪里有噪声，哪里就有吸收”的精准防控。

隔音技术则作为第二道屏障，聚焦于阻断噪声的传播路径，其核心在于强化车身的密封性与结构阻隔能力。在车身接缝处，采用多唇口结构的密封条替代传统单唇密封条，通过多层密封设计填充缝隙，既能够阻挡外部气流噪声的侵入，又能抑制车身振动通过接缝传递产生的二次噪声。对于车门、底盘等关键传声区域，现代汽车普遍采用“隔音板+隔音胶+阻尼层”的多层复合结构：外层隔音板依靠高密度特性反射声波，中间层的隔音胶通过黏性形变吸收振动能量，内层阻尼层则进一步衰减结构传导的振动，三层结构形成互补，大幅降低声波的穿透率。尤其在底盘部位，工程师会在隔音层与车身钣金之间增加缓冲垫层，避免金属与隔音材料直接接触产生的振动传导，让隔音效果更稳定持久。

减振技术作为噪声控制的源头治理手段，直接针对噪声的产生根源——车身振动。车身在行驶过程中，路面不平、发动机运转等都会引发车体振动，这些振动通过结构传递就会转化为可闻噪声。因此，综合方案中会将减振材料与结构设计深度融合：在发动机悬置支架处，采用高弹性的橡胶复合材料，利用橡胶的弹性形变吸收发动机传递的振动能量，减少振动向车身框架的传导；在车门与车身的连接部位，安装弹性阻尼器，当车门因路面颠簸产生振动时，阻尼器能够快速衰减振动幅度，避免车门与车身钣金碰撞产生噪声。对于车身框架的薄弱部位，则通过局部加强筋设计提升结构刚度，改变车身的固有振动频率，避免与发动机、轮胎等噪声源产生共振，从根本上减少振动噪声的生成。

主动降噪技术的融入，为综合方案注入了智能化的升级维度，实现了“被动防控+主动抵消”的双重保障。这套系统通过分布在车内的多个麦克风实时采集噪声信号，经中央处理器快速分析噪声的频率、幅值和相位，随后控制车内扬声器发出与噪声频率相同、相位相反的抵消声波，两种声波在空气中相互叠加抵消，从而精准降低特定频率的噪声。在高速行驶时，当风噪和轮胎噪声的频率趋于稳定，主动降噪系统能够持续输出抵消声波，将车内噪声水平再降低；而在城市拥堵路况下，面对发动机启停、加减速产生的动态噪声，系统又能快速响应调整抵消参数，确保降噪效果的实时适配。

这些技术的协同应用，已在实际车型中展现出显著效果：原本在高速行驶时明显的风噪被有效压制，车内人员正常交谈无需刻意提高音量；发动机启动和加速时的低频振动感大幅减弱，乘坐体验更接近静谧的室内环境。这种降噪效果的提升，

不仅直接增强了驾驶舒适性,更成为汽车产品差异化竞争的重要亮点。每一项技术的应用都与车身结构设计深度绑定——吸音材料的布置匹配车身传声路径,隔音结构的优化结合车身钣金强度,减振设计依托车身框架特性,最终形成一个从噪声产生、传播到接收的全流程控制体系,让车身本身成为“会降噪的结构”,推动汽车声学性能迈向新的高度。

参考文献:

- [1] 王建.汽车声学降噪技术的研究与应用[J].汽车工程,2023,45(6):48-55.
- [2] 李强,张明.基于车身结构的噪音控制技术探讨[J].噪声与振动控制,2022,42(4):12-19.
- [3] 刘娜,赵亮.复合材料在汽车降噪中的应用研究[J].材料科学与工程,2023,41(7):78-85.

4 结语

通过对汽车车身结构声学降噪技术的分析与优化,本文揭示了车身设计在噪音控制中的重要作用。有效的降噪技术不仅依赖于材料的选择和应用,还包括结构优化和智能调节技术的综合运用。随着技术的不断发展,车身噪声的控制已经成为提升汽车整体舒适性和竞争力的关键因素。未来,随着新材料和智能化技术的应用,汽车降噪技术将进一步完善,为用户提供更加安静和舒适的驾驶体验。