

高速公路隧道定向扬声器音质提升技术研究

李 彧

(陕西交通控股集团有限公司蓝商分公司,陕西省西安市,710599)

摘要 本研究首先对比分析了声聚焦扬声器、超声扬声器、平面波扬声器与号角式扬声器的特性与适用场景,最终选定号角式扬声器作为研究对象,因其在提供高强度、长距离的声音传播和广泛区域覆盖方面的优势明显,随后阐述了号角式扬声器的设计原理,并分析了扬声器开口设计对声波传播的影响。为了验证所提方案的有效性,本研究设计了一套对比实验,分别在实验室和模拟隧道环境中测试了不同号角设计的扬声器性能,实验设置了180°平面上的18个等份区间,每个区间10°,以此评估扬声器在不同角度下的指向性和声压级表现。

关键词 高速公路隧道;定向扬声器;音质提升

中图分类号:U412.36 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2025)06-0049-03

公路交通行业的快速发展,使得人们对交通安全的关注度也在不断提高,尤其是对高速公路隧道内的交通安全也提出了更多的要求。隧道扬声器系统是隧道安全设施的重要组成部分,随着隧道扬声器布设的升级完善,可进一步提升隧道安全,但是传统的隧道壁扬声器布设方案无论是安装位置还是设备质量,受到各种因素的影响,其声学特性表现出声场空间均匀性差、混响时间长、语言可懂度低等缺点^[1]。本研究旨在通过对比分析不同类型定向扬声器的特性与适用场景,选择适合高速公路隧道环境的扬声器类型,并探讨其设计原理及声波传播的影响因素。通过实验验证,力图提出一种音质提升技术,以期改善隧道内的声学环境,增强声音传播的指向性、声压级和效率,从而为驾驶行为干预矫正技术提供科学依据,减少交通事故,提高隧道内的通信安全。另外,通过对号角式扬声器的设计优化与实验测试,本研究为隧道声学环境的改

善提供了切实可行的解决方案,也为未来类似环境下的声学优化探索开辟了新路径。

1 扬声器选择

1.1 声聚焦扬声器与超声扬声器

1.1.1 声聚焦扬声器(也称为聚音罩)

通过特殊设计的振膜结构精确控制声音的传播方向和范围,这种扬声器采用双抛物线分散控制专利技术,实现声音的线性柱状控制形式,精准聚焦声音;声学透镜设计使其能够聚焦和定向传播声音,适用于需要声音精确控制和定位的场合。

1.1.2 超声扬声器(或称超声波换能器)

能够将电能转换为高于人耳听觉范围的声能,这种扬声器的核心是压电陶瓷片,通过压电效应产生超声波,超声扬声器利用超声波在空气中的非线性交互作用实现音频声的定向传播,它们在安防、通信和娱乐领域有广泛应用,具有指向性好、穿透力强、易于集成和控制等优点,但也存在频率选择性、成本和扩散距离等限制。

1.2 平面波扬声器与号角式扬声器

1.2.1 平面波扬声器

它是一种新型扬声器结构,通过特殊设计产生几乎均匀分布的声波(即平面波),这种扬声器由振膜、音圈、永磁体等部分组成,其运作原理包括电信号转换、磁场作用、振动传递和声波相控阵技术;平面波扬声器在隧道、交通枢纽、大型活动场所、智能交通系统和军事领域有广泛应用^[2]。

1.2.2 号角式扬声器

基金项目:陕西省交通运输厅2023年度交通科研项目:基于机器视觉与LRAD定向声波的隧道安全管控关键技术研究及应用(23-66K)

作者简介:李彧(1973~),男,陕西西安人,硕士,高级工程师,研究方向:高速公路运营养护技术。

号角式扬声器利用号角形状的喇叭集中和放大声波,这种扬声器包括驱动器、哨子、结构和连接器,其工作原理涉及声学原理和物理学原理,如声音的集中和导向、增加声压级、指向性控制和声波放大;号角式扬声器在需要长距离传播、高声压级和指向性控制的场合有广泛应用,具有远投射能力、精确定向传播、高效能量转换、强抗噪声性能、纯净音质表现、出色的瞬态响应和卓越的耐用性等优点,但也存在成本、频率响应范围和技术实施复杂性等挑战。

1.3 对比选择

综合考虑高速公路隧道环境的特殊性(包括长距离传播、高声压级需求、指向性控制和抗噪声性能),号角式扬声器因其卓越的性能和适应性被选为本研究的扬声器类型,其能够提供高强度、长距离的声音传播,覆盖广泛的区域,且具有较好的耐用性、稳定性,能够适应隧道环境的高温、高湿等特点,因此号角式扬声器是提升高速公路隧道音质的理想选择。

2 扬声器号角设计与制作

2.1 号角设计原理

2.1.1 波导效应

波导效应是指号角内部结构对声波的引导作用,号角的设计通过其内部的几何形状,使得声波在号角内部经过一系列的反射和折射,从而有效地集中声波能量并增强声波的传播距离,这种效应使得号角能够将声波的能量在特定方向上集中释放,提高声音的传播效率和声压级^[3]。

2.1.2 指向性控制

指向性控制是指通过号角的设计来控制声波的传播方向,确保声音能够准确地传播到预定区域。号角的形状、尺寸和开口角度等因素都会影响其指向性,一个好的号角设计能够使得声波在特定方向上具有较高的声压级,同时减少其他方向上的声波传播,从而提高声音的清晰度和可懂度。

2.2 扬声器开口对声波传播的影响分析

扬声器的开口设计对声波的传播具有重要影响,根据声波的波长与号角开口直径的关系,当声波波长小于号角开口直径时,号角的形状对声波的指向性起主要作用;而当声波波长大于号角开口直径时,开口大小对声波的指向性起主要作用,因此

在设计号角时,需要根据预期的工作频率范围来确定开口的大小和形状,以实现最佳的声波传播效果。

2.3 扬声器制作

3D打印3D打印技术为号角的快速原型制作和批量生产提供了便利,通过3D打印,可以精确地制造出设计的号角形状,包括复杂的内部结构和外部曲线,这种技术的应用提高了生产效率,还降低了制造成本,并允许对号角设计进行快速迭代和优化。另外,树脂材料因其声学特性和加工便利性而被选为本研究的号角制作材料,树脂材料具有适中的声速和声阻抗,有利于声波的传递和控制,同时也能提供良好的声学透明度和衰减特性;打印在确定了号角设计和材料后,接下来就是通过3D打印技术进行实际的打印制作,打印过程中需要精确控制打印参数,如层厚、打印速度和固化时间等,以确保打印出的号角具有预期的声学性能和机械强度;打印完成后还需要进行后期处理,如去除支撑结构、打磨和涂装,以完成号角的最终制作。

3 对比实验和数据分析

3.1 实验目标

本实验的目标是通过对比不同号角设计的扬声器在指定方向上的音质效果,评估它们在高速公路隧道环境中的实际应用性能;实验旨在验证所提出的基于号角式扬声器的解决方案是否能够提升音质,特别是在指向性、声压级和声音传播效率方面;实验结果将为驾驶行为干预矫正技术提供科学依据,以减少交通事故和提高隧道内的安全通信。

3.2 实验流程

3.2.1 实验准备阶段

在实验开始之前,首先要组装完整的扬声器系统,包括精心选择的扬声器与为其设计的号角,这些组件将共同决定扬声器系统的音质和传播特性,是实验成功与否的基石^[4]。接下来需要确定实验中使用的音频材料,这些材料将用于测试扬声器的音质表现,为了模拟高速公路隧道内的嘈杂环境,实验场地被选定在汽车试验场,这样可以确保实验条件与实际应用环境的相似性;声学测试设备(特别是分贝仪)也必须准备就绪,它们将用于精确测量扬声器输出的声压级,为实验提供关键数据。

3.2.2 实验开展阶段

在实验场地以扬声器为中心,将180°平面划分为18个等份区间,每份10°,这样的设置可让我们在不同角度下评估扬声器的性能。在每个区间内设定1m与2m的距离节点,这些节点将帮助我们了解扬声器在不同距离下的表现,实验的核心是声音测量,因此我们在扬声器播放特定音频的同时,要使用分贝仪在不同的角度和距离节点进行测量。

3.2.3 实验数据采集阶段

在实验的最后阶段,将收集所有在前两个阶段中测量得到的数据,包括不同类型号角扬声器在1米和2米距离时的数据,这些数据将用于评估号角设计对音质的影响,同时还包括车内实验的数据,其将帮助我们了解在实际驾驶条件下扬声器的表现;整个实验流程要求严格的操作规程和精确的测量,以确保收集到的数据能够准确地反映扬声器的性能,通过对这些数据的详细分析,就可以评估不同号角设计对扬声器音质的影响,并确定最优的设计方案,以提升高速公路隧道中的定向扬声器音质。

3.2.4 数据分析

数据分析涉及到对实验数据的深入挖掘,以便准确评估不同扬声器号角的性能,通过使用MATLAB等软件工具,就能够将收集到的数据转化为直观的统计图表,这些图表包括1m和2m距离下的三种扬声器类型数据分析图,以及200W和500W扬声器在车内实验中的数据分析图,这些图表帮助我们直观地比较不同条件下的扬声器性能,还揭示了各种扬声器号角在特定环境下的实际表现^[5];在1m距离时的数据详细分析中,比较了未装号角扬声器、抛物线型号角式扬声器和普通型号角式扬声器的性能,结果显示在1m的距离下,抛物线型号角式扬声器在大部分角度内的指向性优于其他两种扬声器。

将分析扩展到2m距离时,采用了与1m时相同的方法,进一步比较了不同扬声器号角的性能差异,此步骤旨在理解随着距离增加,扬声器性能如何变化(尤其是在指向性和声压级方面);对比1m和2m时的数据,就能够评估扬声器号角在不同距离下的性能变化,以此来确定最优的扬声器配置与安装

位置具有重要意义。在车内实验中,分析了200W扬声器的数据,特别关注了车窗开闭状态对扬声器音质的影响,实验结果表明车窗的状态对声音的传播有显著影响;对于500W扬声器的车内实验分析,我们将其结果与200W扬声器进行了对比,以评估功率对扬声器性能的影响,此分析揭示了在不同功率配置下,扬声器性能的变化,尤其是在音质和声音传播距离方面。

综合比较了200W和500W扬声器在车内实验中的表现,以确定在实际应用中更适合的扬声器类型和功率配置,此分析考虑了扬声器的性能,还考虑了实际应用中的节能和效果要求,为我们提供了一个全面的视角,以选择最适合的扬声器系统。通过这一系列的数据分析,我们得出结论--抛物线型号角式扬声器在指向性和声压级方面表现优异,尤其是在1m和2m的距离下;500W扬声器在车内实验中的表现优于200W扬声器,但在考虑节能的情况下,200W扬声器也是一个可行的选择。

4 结语

通过一系列严谨的对比实验,包括在实验室和模拟隧道环境中的测试,本研究证明了优化后的号角式扬声器在指向性、声压级和声音传播效率等方面具有显著优势,特别适用于高速公路隧道环境中的驾驶行为干预矫正技术,对于减少交通事故、提高隧道内通信的安全性具有重要的实践意义。综上,本研究不仅为相关领域的技术发展提供了宝贵的理论依据和技术支持,也为未来类似环境下的声学优化探索开辟了新的路径。

参考文献

- [1] 许伟锋.浅议高速公路隧道高音效调频广播指挥系统问题[J].中国交通信息化,2024,(S1):520-522.
- [2] 傅博.高速公路隧道紧急电话与广播系统优化[J].电子元器件与信息技术,2022,6(08):167-170.
- [3] 朱晶.“互联网+”背景下高速公路机电系统的创新分析探寻[J].中华建设,2022,(07):26-28.
- [4] 林忆帝.高速公路隧道机电系统的管养研究[J].运输经理世界,2022,(10):143-145.
- [5] 郑海波.宜威高速公路隧道监控系统方案研究[J].通讯世界,2020,27(05):218+220.