

交通工程声屏障声学检测中背景噪声干扰的消除方法探讨

吴雷

交科院检测技术(北京)有限公司 北京市 101318

DOI: 10.12238/ems.v8i1.17711

[摘要] 在交通工程声屏障声学检测中, 交通流量波动、环境自然声响、周边工业活动产生的噪声等背景噪声, 会严重影响检测数据的准确性。这些噪声会导致声屏障插入损失、隔声量等核心指标评估出现偏差, 进而干扰工程质量判定。本文围绕背景噪声干扰的消除展开研究, 首先明确背景噪声的来源与特征, 随后从检测前期准备、现场检测优化、后期数据处理方面系统提出针对性消除方法。旨在为提升声屏障声学检测精度提供可操作的技术路径, 保障交通工程降噪效果评估的科学性。

[关键词] 交通工程; 声屏障; 声学检测; 背景噪声; 干扰消除; 数据修正

声屏障作为交通工程中控制交通噪声传播的核心设施, 其声学性能直接决定了道路沿线的声环境质量, 而声学检测是验证声屏障设计与施工是否达标的关键环节。然而, 检测过程中不可避免会受到背景噪声的干扰: 交通高峰期车辆鸣笛、加速噪声的瞬时增强, 风、雨等自然环境噪声的随机波动, 以及周边工厂生产、居民生活产生的持续性噪声, 均可能掩盖声屏障的真实声学响应, 导致检测数据失真。若无法有效消除此类干扰, 不仅会误导工程验收结论, 还可能导致声屏障降噪效果不达标, 影响沿线居民生活质量。因此, 深入分析背景噪声的干扰机制, 探索科学、高效的消除方法, 对提升交通工程声屏障声学检测的可靠性具有重要现实意义。

一、交通工程声屏障声学检测中背景噪声的来源与特征

在开展干扰消除方法研究前, 需先明确背景噪声的主要来源与核心特征, 为后续针对性施策提供依据。从来源看, 背景噪声可分为三类: 一是交通关联噪声, 包括非检测目标车辆的行驶噪声, 以及检测路段内车辆的异常噪声。此类噪声与检测目标噪声在频谱特性上存在显著的重叠区域, 特别是在中低频段, 二者的频率成分高度相似, 导致其干扰性极强, 严重影响声屏障声学性能的准确评估。二是环境自然噪声, 涵盖风力作用下的空气湍流噪声、降雨撞击声屏障或地面的噪声、鸟类鸣叫等。这类噪声属于典型的随机信号, 其强度、频率分布均呈现出显著的动态变化特征, 与气象条件紧密相关。例如, 风速每增加 1m/s, 风噪强度可能提升 2-3dB; 降雨强度的变化也会使雨滴撞击噪声在 200Hz-2kHz 频段内产生明显波动。三是人为活动噪声, 如周边工地施工噪声、

商铺经营噪声、居民日常活动噪声。此类噪声具有明显的间歇性或固定频率特征, 例如工地的打桩作业会在 10Hz-50Hz 频段产生持续的低频干扰, 商铺的广播声则可能在 500Hz-2kHz 形成特定频率的叠加干扰, 对检测数据的准确性造成严重影响。

从特征来看, 背景噪声呈现出频率覆盖广、强度波动大、时空分布不均的特点。其频率范围可覆盖 20Hz-20kHz 的可听声范围, 与交通噪声的主要频率区间 (30Hz-3kHz) 高度重合, 这使得在声学检测中难以通过简单的频率滤波实现有效分离。在强度方面, 噪声强度受交通流量、天气条件、人类活动规律等多种因素影响, 存在显著的动态变化。例如, 早晚交通高峰时段的噪声强度比平峰期高 5-10dB; 在恶劣天气条件下, 环境自然噪声强度可额外增加 3-8dB。在时空分布上, 同一检测点在不同时段的噪声强度差异可达 10dB 以上, 而同一时段内不同检测点由于距离噪声源远近、地形遮挡等因素影响, 噪声强度也可能存在明显差异。这些复杂特征使得背景噪声的消除难以通过单一方法实现, 必须结合检测全流程, 采取系统性的管控措施。

二、检测前期准备阶段: 从源头减少背景噪声干扰

(一) 科学筛选检测工况, 避开高干扰时段与场景

检测工况的选择直接决定背景噪声的初始强度。在确定检测时间时, 需构建多维数据整合分析体系, 将交通流量监测系统的实时数据与长期环境噪声监测网络的历史数据进行深度融合, 运用统计学方法建立噪声强度随时间变化的预测模型。基于此, 优先选择交通平峰期开展检测, 具体而言, 应严格避开工作日早晚高峰、节假日出行高峰, 以及因特殊

事件导致的车辆集中通行时段。这些时段交通流量剧增, 车辆发动机轰鸣、轮胎与路面摩擦声、喇叭鸣响等噪声相互叠加, 会使检测环境中的背景噪声强度显著提升, 严重干扰声屏障声学性能检测的准确性。

若检测路段受自然噪声影响显著, 需建立气象数据动态分析机制。通过与气象部门的数据对接, 获取详尽的历史气象资料, 并结合高精度的实时天气预报, 选择无风或微风、无降雨的天气开展检测。气象条件对声环境影响复杂, 研究表明, 在风速超过 3m/s 时, 风噪对声压级测量的影响可达 2-5dB, 且风向、湿度等因素也会与风噪产生耦合效应。降雨过程中雨滴冲击地面、物体表面产生的噪声, 以及雨水在声屏障表面形成的水流声, 同样会干扰检测信号的采集。因此, 严格控制气象条件对保证检测精度至关重要。

在检测场景筛选上, 需构建干扰源动态监测与评估体系。利用地理信息系统 (GIS) 强大的空间分析功能, 结合现场实地勘察, 对检测点周边 500m 范围内的干扰源进行详细排查与三维建模, 明确工地、商铺、居民区等干扰源的具体位置、规模大小与活动规律。在规划检测区域时, 应尽量避免紧邻这些干扰源的区域。若无法避开, 则需与干扰源责任方提前进行正式沟通, 通过签订检测期间的临时降噪协议等方式, 明确各方责任与义务, 要求其在检测时段内暂停或降低干扰活动。

(二) 优化检测设备配置与校准, 提升抗干扰能力

检测设备的性能直接影响对背景噪声的分辨与抑制能力。在设备选择上, 需深入研究不同类型声级计的技术参数与适用场景, 选用具有频率加权功能、时间常数可调的高精度声级计。A 计权模拟人耳对不同频率声音的响应特性, 适用于一般环境噪声测量; C 计权可较全面地反映噪声频谱特性, 在分析噪声成分时发挥重要作用。时间常数的快档和慢档设置, 能根据噪声变化的快慢程度, 灵活调整声级计的响应速度, 提高测量准确性。优先选择具备“背景噪声扣除”模式的智能声级计, 此类设备内置自适应滤波算法, 能够基于预设的噪声模型, 对稳态背景噪声进行初步过滤。该算法通过对噪声信号的实时分析, 自动识别背景噪声特征, 并从总噪声信号中分离出目标信号, 有效降低背景噪声的干扰。

在设备校准环节, 需建立全流程、闭环式的校准管理制度。在检测前、检测中、检测后均需使用标准声源对声级计进行校准, 确保设备测量误差控制在 $\pm 0.5\text{dB}$ 以内。建立校

准数据电子档案, 详细记录每次校准的时间、环境条件、校准结果等信息, 便于后续追溯与分析。若检测过程中发现设备校准值偏离标准范围, 需立即停止检测, 将设备送至专业计量机构进行全面校准, 并对之前采集的数据进行有效性评估。评估过程中, 结合校准偏差程度、检测环境变化等因素, 运用误差传播理论, 判断数据是否受设备误差影响显著, 避免因设备误差导致背景噪声干扰效应的放大。

三、现场检测实施阶段: 动态控制与实时规避干扰

(一) 优化检测点空间布局, 减少噪声直达干扰

检测点的空间位置设计需遵循“避直达、近目标”原则, 构建基于声学传播理论的空间布局优化模型。在声屏障接收点设置上, 需综合考虑声屏障的几何尺寸、安装角度以及周边地形地貌, 利用声学仿真软件对声传播路径进行模拟分析, 确保接收点与声屏障之间无任何遮挡物, 避免因遮挡导致声信号反射、衍射等复杂现象影响测量结果。

在参考点设置上, 需建立严格的声学环境一致性评估标准。保证参考点与接收点的声学环境高度一致, 包括与背景噪声源的距离偏差不超过 5%、高度差不超过 1m, 且周边地形地貌相似。此外, 参考点与接收点的距离需严格符合《声屏障声学性能测试方法》(GB/T19884-2018) 中的规范要求, 通常两者间距应在 1-3m 范围内, 以防止声屏障对参考点的噪声测量产生不必要的干扰。在实际检测中, 可利用激光测距仪、三维地形测绘仪等设备, 精确测量检测点的空间位置参数, 并通过声学环境现场勘查, 验证各检测点声学环境的一致性, 确保检测数据的可靠性与可比性。

(二) 采用时域与频域控制方法, 实时分离目标与干扰信号

针对背景噪声的动态变化特征, 需构建基于信号处理理论的时频域联合控制体系, 通过时域与频域控制实现目标信号与干扰信号的分离。在时域控制上, 采用“短时多次测量法”: 对同一检测点进行连续 5-10 次测量, 每次测量时长根据噪声稳定性进行动态调整。利用统计学原理, 建立异常数据识别模型, 通过计算数据的均值、标准差等统计量, 设定合理的阈值, 剔除其中受瞬时强干扰影响的异常数据, 通过计算剩余数据的平均值作为最终检测结果, 从而有效降低瞬时背景噪声对测量结果的影响。

在频域控制上, 利用“频率分段分析法”: 将声信号按照倍频程或 1/3 倍频程进行分段, 对比各频段内的目标噪声

与背景噪声强度。建立频段噪声强度评估标准，当某频段内背景噪声强度超过目标噪声强度 3dB 以上时，对该频段数据进行重点分析，根据强度差值决定数据采用、修正或重新测量。采用频谱分析算法，对噪声信号进行频域变换，获取其频谱特性。若背景噪声在某频段的强度过高，可通过频谱减法或算法进行修正；若修正后仍无法满足测量要求，则需重新选择检测工况或调整检测点位置，避免无效数据的采集。在实际操作中，借助专业声学分析软件，实现对声信号的高精度频域分析与处理，确保检测数据能准确反映声屏障的声学性能。

四、检测后期数据处理阶段：算法修正与误差剔除

(一) 采用背景噪声修正算法，量化扣除干扰成分

针对现场检测中无法完全规避的背景噪声，需构建基于声学理论的多算法协同修正体系，通过算法修正实现量化扣除。常用的修正方法包括“能量叠加法”与“频谱减法”。

“能量叠加法”基于声能叠加原理，适用于稳态背景噪声的修正。该方法假设总噪声的声能等于目标噪声声能与背景噪声声能之和，通过分别测量总噪声声压级与背景噪声声压级。在实际应用中，需严格控制测量条件的一致性，确保总噪声与背景噪声测量时的环境条件、设备参数等保持相同，以提高计算结果的准确性。

“频谱减法”则适用于非稳态背景噪声，通过对总噪声频谱与背景噪声频谱进行逐频段减法运算，剔除各频段的背景噪声成分，还原目标噪声的真实频谱特征。该方法需借助专业声学分析软件实现，操作时需根据噪声特性合理设置频谱分辨率，避免因分辨率设置不当导致目标信号失真。

(二) 开展数据有效性验证，剔除异常干扰数据

数据处理阶段需建立多层次、多维度的数据有效性验证体系，通过多重验证确保数据有效性。首先进行“偏差验证”：对同一检测点在不同时段的测量数据进行对比分析，构建数据偏差分析模型，计算数据的偏差率。若数据偏差超过 2dB，需结合现场检测记录，排查是否存在未消除的背景噪声干扰因素，如检测时段内交通流量突变、周边环境突发噪声源等。对偏差过大的数据进行重新分析，必要时进行补充检测，确保数据的准确性与一致性。

其次进行“逻辑验证”：根据声屏障的设计参数，利用声学理论模型（如菲涅尔衍射理论）建立检测结果预测模型，计算插入损失、隔声量的理论值，判断检测结果是否符合物

理逻辑。若检测结果与理论值偏差较大，需深入分析检测过程中的各个环节，查找可能存在的问题，如检测点位置设置不合理、设备测量误差等，对数据进行修正或重新检测。

最后进行“标准符合性验证”：严格对照《声屏障声学性能测试方法》(GB/T19884-2018)等国家标准，建立标准符合性检查清单，逐项检查数据采集方法、处理流程、结果表达是否符合规范要求。从数据采集的仪器设备选型、测量方法，到数据处理的算法应用、结果计算，再到最终报告的格式规范、内容完整性等方面进行全面审查，确保修正后的检测数据具备有效性与可比性，能够为声屏障声学性能评估提供可靠依据。

五、结语

前期通过工况筛选与设备优化减少干扰输入，现场通过空间布局与时空控制分离目标与干扰信号，后期通过算法修正与数据验证剔除残留干扰，三者协同作用，才能有效提升检测数据的准确性。在实际应用中，还应注意结合检测路段的具体环境灵活调整方法，避免“一刀切”式的干扰消除；同时，随着声学检测技术的发展，可进一步探索智能监测设备在背景噪声消除中的应用，推动干扰消除方法向自动化、精准化方向升级，为交通工程声屏障声学检测提供更可靠的技术支撑，最终保障交通噪声控制效果，改善道路沿线声环境质量。

[参考文献]

- [1]任芳贤. 复杂城市道路环境下的噪声智能监控与分析系统[D]. 沈阳工业大学, 2024.
- [2]王东. 声屏障在城市交通噪声治理中的效果评估[C]//中国环境保护产业协会. 第十八届全国噪声与振动控制工程学术会议论文集. 江苏远兴集团建设有限公司; , 2025: 205-208.
- [3]林声伟. 不同梯度绿视率对交通噪声感知的影响及恢复性评价[D]. 广东工业大学, 2025.
- [4]魏炳鑫, 李玉路, 叶利宾, 等. 城市轨道交通振动噪声治理及管控模式研究[J]. 现代城市轨道交通, 2024, (08): 135-141.
- [5]张佳. 新形势下环境噪声监测中的问题及优化路径分析——以交通胎噪为例[J]. 中国轮胎资源综合利用, 2025, (05): 165-167.