

## 复合型声屏障在道路噪声治理中的应用及环境效益分析

张东艳 张晶晶

陕西西咸新区环境集团有限公司, 陕西 西安 710000

[摘要] 伴随着城市进程的持续加快, 道路交通噪声对居民的生活质量造成了严重的影响, 同时对生态环境的平衡造成了很大的破坏。为了治理目前的道路噪声, 复合型声屏障通过其吸声-隔声-结构优化的多重协同特性成为了核心技术手段。基于此, 文中首先对复合型声屏障的结构类型、降噪机理进行了系统性的阐述, 并对其在不同道路场景中的适配应用情况进行了深入的分析, 为了进一步验证该技术的环境效益, 从生态保护、声学环境、社会经济等多维度进行探讨。研究结果表明, 复合型声屏障不仅可以降低噪声污染, 提高区域的宜居性, 而且有助于改善生态环境, 以供参考。

[关键词] 复合型声屏障; 道路噪声; 噪声治理; 降噪机理; 环境效益

DOI: 10.33142/sca.v9i4.19560

中图分类号: TB53

文献标识码: A

### Application of Composite Sound Barrier in Road Noise Control and Environmental Benefit Analysis

ZHANG Dongyan, ZHANG Jingjing

Shaanxi Xixian New Area Environmental Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

**Abstract:** With the continuous acceleration of urban development, road traffic noise has had a serious impact on the quality of life of residents, and has also caused significant damage to the balance of the ecological environment. In order to control current road noise, composite sound barriers have become the core technical means through their multiple synergistic characteristics of sound absorption, sound insulation, and structural optimization. Based on this, the article first systematically elaborates on the structural types and noise reduction mechanisms of composite sound barriers, and conducts in-depth analysis of their adaptability and application in different road scenarios. In order to further verify the environmental benefits of this technology, it explores from multiple dimensions such as ecological protection, acoustic environment, and socio-economic factors. The research results indicate that composite sound barriers can not only reduce noise pollution and improve the livability of the area, but also help improve the ecological environment for reference.

**Keywords:** composite sound barrier; road noise; noise control; noise reduction mechanism; environmental benefits

#### 引言

随着城市化进程的推进, 机动车保有量呈现出持续增长的态势, 随之而来的是道路交通噪声污染问题也日益突出。交通噪声的构成比较复杂, 破坏城市生态平衡。当人们长期暴露于交通噪声环境中, 会导致听力损伤, 甚至会导致出现心血管疾病、失眠焦虑等健康问题。声屏障作为主动降噪的工具之一, 广泛应用于需进行噪声治理的道路沿线。国内外的学者已在声屏障的声学性能、结构形式和材料类型等领域开展比较深入的理论应用研究。当前纯金属板声屏障、混凝土墙声屏障等传统的单一材料声屏障存在一定的局限性, 对噪声的反射作用比较强, 未能满足目前道路噪声治理要求。而复合型声屏障通过整合不同声学

特性的材料, 优化结构设计, 能够弥补传统声屏障身形上的不足, 能够高效实现隔声、吸声以及绕射控制的作用。基于此, 本文首先探讨复合型声屏障发挥降噪作用的内在原理以及关键因素, 并分析复合型声屏障在不同场景中的适配应用要点, 并以道路的特点以及降噪分布情况为依据, 制定相应的应用策略, 并从生态环境、声学环境、经济环境效益三个维度探讨复合型声屏障的综合应用价值, 以进一步改善城市的声环境, 打造生态文明的宜居城市。

#### 1 复合型声屏障的结构类型与降噪机理

##### 1.1 结构类型与材料组成

复合型声屏障是指由两种及以上具有不同声学功能的材料, 通过多层复合结构或优化几何形态组合而成的噪

声控制设施。按照功能层组合，具体可以分为“吸声-隔声”复合、“隔声-吸声-隔声”多层复合；按材料类型可分为金属复合、非金属复合、透明复合、生态复合等。按几何形态可分为直立型、弧形、折板型、围合式、生态型等。多层复合结构（三明治结构）是最常用的基础结构，整体厚度 10~20cm，由外层护面、中间吸声层、内层隔声层三层组成，不仅具备隔声吸声的效果，而且兼具结构稳定性。外层护面多采用穿孔金属板（铝合金、镀锌钢板）或 FRP 复合材料，作用是保护吸声层、引导声波进入内部，穿孔率 20%~30%，孔径 3~5mm，同时也具备了较强的抗老化性能以及抗腐蚀的性能。中间吸声层作为核心功能层，厚度 100~150mm，常用离心玻璃棉（密度 80~100kg/m<sup>3</sup>）、聚氨酯泡沫（开孔率≥90%）、岩棉等多孔材料，吸声系数（NRC）≥0.8，高效吸收中高频噪声（500~4000Hz）。内层隔声层的主要作用是阻断未被吸收的噪声透射，通常采用 2~3mm 厚阻尼钢板、PVC 板或高密度纤维板，计权隔声量≥30dB，从而在一定程度上抑制低频噪声（20~500Hz）的传播。



图 1 直立型金属复合声屏障

几何优化复合结构在多层材料复合基础上，通过对屏障几何的形态进行优化，在一定程度上能够提高降噪效果。

**弧形复合声屏障：**屏体顶部呈弧形（曲率半径 5~10m），可改变噪声反射方向，减少对向区域反射噪声，同时增加声波绕射损失，降噪效果较直立型提升 3~5dB（A）。

**折板型复合声屏障：**屏体上部设置 1~2 级折板（折角 120~150°），使声波在折板间多次反射，延长传播路径、衰减声能，中高频降噪量增加 3~5dB（A），但结构复杂、成本较高。



图 2 弧形顶透明复合声屏障



图 3 百叶-透明组合复合声屏障

**围合式复合声屏障：**半封闭或全封闭结构，适用于噪声源强、敏感区域密集的路段（如城市核心区高架桥），可全方位阻挡声波，减少绕射，降噪量较直立型提升 10~15dB（A），但造价高、通风采光影响较大。

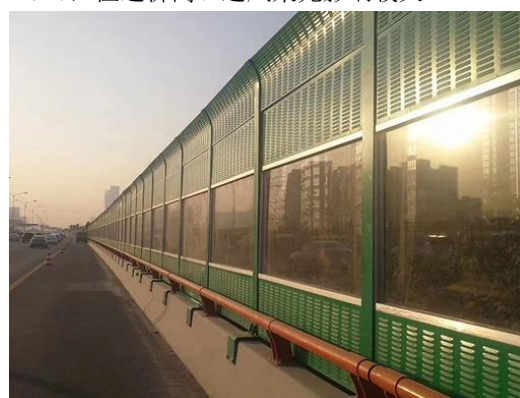


图 4 围合式复合声屏障

**生态型复合声屏障**主要是一种通过融合生态绿化、降噪功能的新型结构，尤其是用于对生态要求与景观要求比较高的区域，不仅能够实现降噪的效果，而且可以达到景观与绿化的效果。屏体采用 FRP 复合材料或多孔混凝土，

预设种植槽与攀爬网格，底部设 50cm×30cm 种植槽，中部配藤蔓攀爬网，顶部设花箱，形成“底部种植+中部攀爬+顶部点缀”的立体绿化体系。内层填充憎水玻璃棉（吸声系数≥0.9），外层漫反射结构减少 30%二次反射噪声；藤蔓覆盖后，叶片粗糙表面增强中高频噪声吸收，顶部弧形藤蔓提升绕射损失（达 18dB）。在 4m 高屏障底部，施工团队设置了预制混凝土种植槽。槽内分别种植常春藤和凌霄花：常春藤位于底层，其树叶以 380 片/m<sup>2</sup> 的密度散射声波；凌霄花攀爬至 2.5m 高处时，其喇叭形花朵表面的褶皱结构可使高频噪声部分散射。搭配预埋于槽内的毛细渗灌系统，借助太阳能水泵，实现 0.8L/（d·m）的灌溉量，通过自动控水滴灌维持绿植生长需求。



图 5 透明复合声屏障

透明复合声屏障能够有效减轻屏障对道路采光以及城市景观的割裂，尤其是用于居民区密集的路段、景观道

路等区域，可以兼顾采光、景观与降噪双重功效。透明复合声屏障上下部为金属百叶吸声屏（填充离心玻璃棉），中部为透明隔声屏（PC 耐力板或夹胶钢化玻璃，厚度 8~12mm），透明区域占比 30%~50%。计权隔声量 30~35dB，吸声系数≥0.8，既阻隔噪声透射、吸收高频噪声，又保证道路采光与视觉通透，提升城市景观协调性。

### 1.2 降噪机理

复合型声屏障的降噪核心是阻断噪声传播路径、衰减噪声能量、控制噪声反射与绕射，通过材料复合与结构优化，实现对不同频率噪声的协同控制。中间吸声层的多孔材料有大量连通孔隙。中高频噪声声波经外层穿孔进入孔隙，引发空气分子振动，与材料纤维壁摩擦碰撞，将声能转化为热能散失，衰减噪声能量。内层隔声层用高密度材料，依质量定律隔声，阻尼材料可提升效果；噪声遇屏障会绕射，复合型声屏障增加高度、优化顶部形态可延长绕射路径、增大损失；传统纯隔声声屏障反射噪声易形成二次污染，复合型声屏障外层多孔吸声且形态特殊，大幅提升吸声率，减少反射噪声强度，还能将其导向高空或远离敏感区域，解决二次反射污染问题。

### 1.3 关键设计参数

复合型声屏障的降噪效果与安装的具体位置、结构的形态、材料性能存在一定的相关性，在具体的设计过程中需要充分围绕地形条件、现场噪声数据等对参数进行合理的优化，核心设计参数如表 1：

表 1 复合型声屏障设计参数

参数类型	关键指标	设计要求	影响规律
声学参数	吸声系数（NRC）	≥0.8（中高频）	系数越高，吸声效果越好，反射噪声越少
	计权隔声量（Rw）	≥30dB	隔声量越高，透射噪声越少，低频控制效果越好
几何参数	屏障高度	2.5~6m（道路）；5~15m（高架桥）	高度每增 1m，高频降噪提升 6~10dB；过高增加成本与风阻
	屏障长度	覆盖敏感区域两端各延伸 10~20m	长度不足易产生端部绕射，降低降噪效果
	顶部曲率半径	5~10m（弧形）	半径越小，降噪效果越好，但施工难度与成本增加
材料参数	吸声层厚度	100~150mm	厚度越大，中高频吸声越充分
	隔声层面密度	≥20kg/m <sup>2</sup>	面密度越大，隔声性能越优
安装参数	距噪声源距离	1~3m（道路边缘）	距离越近，降噪效果越好，需兼顾道路安全与施工空间

## 2 复合型声屏障在道路噪声治理中的应用

充分围绕道路的类型环境景观要求、敏感区域的特性，合理运用复合型声屏障。城市快速路/主干道因车速快，车流量大，而且噪声级 75~80dB(A)，沿线区域主要分布学校、医院、居民区等敏感区域，因此对降噪效果的要求比较严格，而且注重景观的采光要求。在设计的过程中，优先选用透明复合声屏障+弧形顶部，屏障沿道路两侧连续设置，高度 2.5~4m，长度覆盖敏感区域并向两端延伸 15m，透明区域占比 40%~50%，顶部弧形设计抑制反射噪声，吸声层采用离心玻璃棉，采用装配式安装，隔声层为 PC 耐力板，兼顾降噪、采光与景观，减少对向居民区影响。

城际快速路与高速公路作为重要的交通干线，这类道路车流量极大，昼夜车流量可达 1.2~1.5 万辆，且车速普遍较高，而主要维持在 80~120km/h 范围内。高速行驶的车辆所产生的噪声通常主要以中高频为主，轮胎与地面的剧烈摩擦声，噪声级 78~85dB(A)。而且城际快速路与高速公路的沿线主要为广袤的农田以及农村居民区，因此对于生态环境的要求比较敏感。对于城际快速路与高速公路的声屏障结构可以采用金属复合声屏障+直立/弧形顶部或生态型复合声屏障，可以有效阻隔噪声的传播，具有施工便捷、成本低等相关优势，并且能够更好地融入生态环境中。通常声屏障的高度设置在 3~5m，在阻挡噪声的同时，而且不会影响到道路的景观以及行车的视线。设计的过程中，声屏障应沿道路单侧或双侧合理设置，间距要严格控制在 3m 左右，同时尽可能地优先选择本土藤蔓植物，实现当地生态环境的和谐与共生。在基础设计过程中，尽可能地减少对周边植被的破坏，建议优先采用浅埋式的设计方法，促进交通发展与生态保护的良性互动。

城市高架桥与立交桥作为城市交通的关键节点，噪声源高度 5~15m，噪声级 80~85dB(A)，噪声直接辐射至周边 30m 范围内低楼层建筑，对居民的生活质量造成了严重的影响。部分高架桥主要位于城市的核心区域，因此对于景观有着极为严格的要求。对于城市高架桥与立交桥场景，建议优先采用全金属多层复合声屏障搭配弧形或折板顶部是理想的适配结构，高度要严格控制 4~6m，中部设置阻尼钢板隔声层，可阻挡噪声透射，上下部采用金属百叶吸声屏，能有效吸收噪声能量。顶部主要采用折板或弧形的设计，以此可以提高绕射控制效果以及高频降噪的效果。设计的过程中要严格控制声屏障的高度以确保全方位的降噪防护，要超过敏感建筑楼层高度 1~2m，屏障需沿高架桥两侧全封闭设置。在材料选择方面，建议优先

选择铝合金搭配玻璃棉等轻质高强材料，从而可以有效降低风阻与桥梁的负荷，除此之外，采用防腐涂层，更好地适应高空风雨侵蚀的环境，从而延长声屏障的使用寿命。

城乡结合部或生态廊道道路主要临近于生态绿地、自然保护区以及景区，因此，对于生态保护以及景观的人融合要求比较严格，在实现降噪效果的同时，要兼顾生态修复的效果。建议优先选择生态型复合声屏障，采用 FRP 复合材料屏体搭配憎水玻璃棉吸声层，高度应该严格控制在 2.5~3.5m，以起到良好的吸声效果，基础采用生态友好型材料，尽可能地减少对土壤的破坏。另外，为了实现景观效果，通过绿植与花香构建生态绿墙，在设计的过程中要格外注意形体的颜色要与周边的自然环境相协调，在植物的选择方面，建议优先选择常春藤、爬山虎等耐旱、易养护的本土藤蔓。

## 3 复合型声屏障的环境效益量化分析

### 3.1 声学环境效益

声学环境效益是核心效益，直接体现为噪声污染降低、声环境质量改善、敏感区域达标率提升，可通过降噪量、噪声达标率、敏感点噪声级等指标量化，不同结构复合型声屏障的降噪效果对比见表 2：

表 2 不同结构复合型声屏障的降噪效果对比

结构类型	适用场景	降噪量 (dB(A))	核心优势
多层复合 (直立)	普通道路、高速	15~20	成本低、施工便捷
弧形复合	城市主干道、高架	20~25	反射噪声少、绕射损失大
折板型复合	噪声源强路段	22~28	中高频降噪效果突出
围合式复合	核心区高架、敏感区	25~30	全方位降噪、绕射最少
生态型复合	生态廊道、景区道路	18~22	降噪与生态绿化融合

在道路交通噪声治理中，复合型声屏障优势突出，在吸声效果上，其吸声率高达 80%~90%，而传统纯隔声声屏障导致对向区域噪声升高 3~5dB(A)。复合型声屏障在实际应用过程中不会产生二次反射污染，使得对向区域噪声升高控制在 ≤0.5dB(A)，实现道路两侧声环境均衡改善。道路交通噪声属于宽频段噪声，频率范围在 20~4000Hz，而采用传统单一材料声屏障仅对中高频噪声有一定的效果，而复合型声屏障通过密实隔声层与多孔吸声层相结合的创新设计，能够有效控制中高频噪声，以及减少低频噪声的传播，实现 20~4000Hz 全频段降噪，而且可以解决低频噪声穿透性强、影响范围广的难题，对低频噪声 (20~500Hz)，降噪量可达 10~15dB(A)。

### 3.2 生态环境效益

道路噪声对动物的正常生活造成了严重的影响,导致沿线动物栖息地萎缩、生物多样性下降。复合型声屏障凭借其独特的设计与功能,既可实现降噪效果,又可减少道路工程对生态环境造成的破坏,为鸟类、小型哺乳动物等营造了安静的栖息环境。此外,传统道路噪声治理方法不仅破坏原有的生态环境,而且加剧水土流失。复合型声屏障主要采用了浅埋式、装配式设计等先进的设计理念,可以减少对原有生态环境的破坏,多孔吸声材料与绿植协同作用,在控制噪声传播的同时可以吸附粉尘、吸收有害气体,改善道路周围的空气质量,改善区域微气候,降低热岛效应。

### 3.3 社会效益

长时间暴露于交通噪声之中,会对居民的健康造成很大的影响,居民患焦虑、失眠等疾病的概率大幅升高。而通过应用复合型声屏障可以有效改善声环境,为居民创造更加健康、舒适的生活环境,确保居民的睡眠质量,有助于提高沿线居民的生活满意度,可以降低投诉率,同时声环境的改善也带动了区域经济的发展,周边房产价值得到提升。复合型声屏障通过透明型与生态型结构的设计,能够充分与自然环境与城市景观完美融合,打破了传统声屏障“灰色围墙”的刻板印象。生态屏障的花卉与绿植有助于提高道路景观品质,透明屏障的设计可以使城市的道路更加开阔明亮,确保道路的采光与视觉通透,助力宜居城市与生态文明城市建设。

复合型声屏障使用寿命 20~30 年,全生命周期成本包括初始投资、运维费用与更新改造成本。以 1 公里 3 米高复合型声屏障为例,初始投资约 300~500 万元,年均运维费用为初始投资的 3%~5% (9~25 万元),每 10 年更新改造成本约为初始投资的 3% (9~15 万元)。

经济效益方面,可减少噪声导致的房产贬值、医疗支出、工作效率下降等经济损失,生态型屏障采用再生材料,每公里可减少塑料垃圾 300~500t,碳排放减少 210~350t,符合“双碳”目标要求。

## 4 结论与展望

复合型声屏障有效解决传统声屏障降噪频带窄、二次反射污染等问题,大幅降低噪声级,提升敏感区域达标率,提升绿化覆盖率,净化空气,维护生态多样性,优化城市

景观,提升居民健康水平与生活满意度,适配城市快速路、高架桥、高速公路、生态廊道等多场景应用。随着声学与材料技术的不断创新与发展,在后续的研究过程中,要充分融合物联网技术、声学技术、材料科学等先进的技术手段,广泛应用本土化植物与再生材料,实现降噪性能与环境适配性的双重突破,推动复合型声屏障将朝着高效化、生态化、智能化、低成本化方向发展,实现道路噪声的全域长效治理,为宜居城市与生态文明建设提供坚实支撑。

### [参考文献]

- [1]郝龙,林倩,宋迎前,等.高速公路声屏障降噪有限元仿真研究[J].现代交通与冶金材料,2023,3(1):89-93.
  - [2]吴波涛.公路施工生态保障技术的应用研究[J].中华建设,2020,(5):132-133.
  - [3]戴泉玉,叶凯,尚晓东,等.声屏障在城市交通噪声污染防治中的应用前景分析[J].交通节能与环保,2007,3(6):33-35.
  - [4]郭晓峰,徐文文,王玉红,等.江苏省高速公路声屏障降噪效果影响因素研究[J].环境保护与循环经济,2024,44(2):102-105.
  - [5]林向楠,乔小龙,王琳.京津冀地区高速公路车辆噪声分析与声屏障设计研究[J].交通世界,2024(7):7-9.
  - [6]崔洪军,孙胜强,姚胜,等.高速公路组合式声屏障结构设计 with 多目标优化[J].应用声学,2024,43(6):1219-1229.
  - [7]陈弘宇,陈美林.几种不同木纤维材料声学性能受温湿度处理工艺影响的研究[J].造纸科学与技术,2025,44(10):58-60.
  - [8]顾珈珩.城市高架路声屏障设计方案研究——以上海市外环西段交通功能提升工程为例[J].现代工程科技,2023,2(1):77-80.
  - [9]王艳雯.声屏障技术在交通噪声治理中的应用[J].上海船舶运输科学研究所学报,2022,45(4):75-78.
  - [10]杨志杰.全封闭声屏障对城市桥梁建设影响探讨[J].城市道桥与防洪,2022(1):95-99.
  - [11]储益萍.道路交通噪声控制措施的技术、经济比较分析[J].环境污染与防治,2011,33(5):107-110.
- 作者简介:张东艳(1986—),毕业于成都信息工程大学环境科学专业,中级工程师,现就职于陕西西咸新区环境集团有限公司。