

公路绿化景观设计与环保的研究分析

文 / 陈瑛菲 陕西省西咸新区空港新城安居置业有限公司

摘要：公路绿化作为交通基础设施建设的重要组成部分，其环保功能日益受到重视，绿化植被通过光合作用吸收大气污染物，降低噪声传播，改善局部气候条件，通过对不同绿化模式下的环境指标监测，分析植被配置对空气质量，噪声衰减与水土保持的影响机制。研究表明，合理的植被群落结构能够显著提升公路沿线生态环境质量，乔灌木复层配置在污染物削减，噪声屏障与水土固持等方面表现出协同效应。绿化带宽度，植物种类选择与种植密度对环保效果具有量化关系，研究为公路绿化规划设计提供科学依据，促进交通建设与生态保护协调发展。

关键词：公路绿化；环境保护；景观设计；植被配置；污染物削减；噪声衰减

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.116

引言

随着公路交通网络快速扩张，机动车尾气排放，交通噪声与路面径流污染等环境问题日益突出，公路绿化作为生态防护手段，兼具景观美化与环境改善双重功能，植物通过叶片吸附，根系固持与冠层阻滞等生理生态过程，对公路运营产生的环境负效应形成缓冲。目前绿化设计多侧重视觉效果，对环保功能的定量评估不足，明确不同绿化模式的环境效益，建立植被配置与环保指标的关联，对优化绿化方案具有实践意义。基于野外监测与实验分析探讨公路绿化的环保作用机理，为景观设计管理提供技术支撑，实现生态效益与经济效益的统一。

一、公路绿化系统的环保功能机理

（一）植被对大气污染物的削减机制

公路两侧植被通过叶片吸附，气孔吸收与滞尘沉降三重机制实现对大气污染物的削减，叶片表面的绒毛，蜡质层及粗糙结构为颗粒物提供附着界面，绒毛类叶片对PM_{2.5}的捕获效率可达光滑叶片的2.3倍，蜡质层通过静电作用增强对细颗粒物的吸附能力，气孔作为气体交换通道，在光合作用过程中主动吸收CO与NO_x等气态污染物，CO通过叶绿体中的羧化酶参与碳同化反应被固定，NO_x则经气孔进入叶肉细胞后转化为硝酸盐储存于液泡。叶片结构对污染物的捕获呈现差异性特征，具粗糙表皮的阔叶树种对颗粒物的滞留量是针叶树种的1.8倍，但针叶树种因叶面积指数高而在单位面积上表现出更强的持续吸附能力，植被冠层通过降低风速使悬浮颗粒物沉降速率提高40%-65%，形成从叶面捕获到冠层沉降的立体净化系统，污染物削减效率与叶片微观结构特征呈正相关关系^[1]。

（二）绿化带的噪声衰减特性

声波在植被层中传播时经历反射，散射与吸收三个物理过程导致能量衰减，当声波遭遇植物枝干与叶片时发生界面反射，部分声能被反射回声源方向，反射率与植被密度和枝叶排列角度相关。密植灌木层对500-2000Hz中频噪声的反射率达35%-42%，形成第一道声屏障，声波穿透植被层时因枝叶分布的非均匀性产生散射

效应，高频声波(>2000Hz)的波长与叶片尺寸相当使散射作用显著增强，声能被分散至多个方向导致传播距离衰减，叶片振动吸收声能并转化为热能耗散，革质叶片因刚度大吸收低频声波(<500Hz)效果优于草本植物，而草本植物柔软的茎叶结构对高频噪声吸收率可达28%。植被层次结构决定声衰减效果，乔灌木三层配置在垂直方向形成6-8米有效衰减带，对交通噪声的综合削减量达8-12dB(A)。

二、不同绿化模式的环保效果监测分析

（一）监测路段选择与指标体系构建

监测路段选择遵循地理位置代表性，交通流量差异性与绿化类型多样性三项标准，在城市快速路（日均车流量8万辆），省道干线（日均车流量3.5万辆）及山区公路（日均车流量0.8万辆）各设置3个监测断面。监测指标体系涵盖大气污染物（PM_{2.5}，PM₁₀，CO，NO_x），交通噪声（等效连续A声级），径流水质（COD，SS，石油类）及土壤侵蚀量四类环境要素，监测点位按照距路缘0米，绿化带内与绿化带外20米布设三级采样点，大气与噪声监测依据GB 3095-2012及GB 3096-2008标准每日06:00-22:00连续采样，水土径流监测在降雨事件发生时启动自动采集装置。径流监测采用径流小区法，在路肩设置2m×5m集流槽收集地表径流^[2]，通过流量计与自动采样器同步记录径流量与水样，土壤侵蚀量采用沉沙池沉积法按月统计。

（二）乔灌木复层配置的空气净化效果

不同植被层次结构对污染物的削减效果呈现显著差异，单层草本绿化对PM_{2.5}的削减率为18%-22%，乔灌木双层配置可提升至35%-41%，乔灌木三层复层结构的削减率达52%-58%，春季监测数据显示三层配置路段绿化带内PM_{2.5}浓度为42 μg/m³，较路缘处的89 μg/m³降低52.8%，同期单层草本路段仅削减19.1%。CO浓度在三层配置下从路缘的1.8mg/m³衰减至绿化带外的0.9mg/m³，削减率达50%，而单层配置削减率仅为23%，夏季因叶面积指数增大使三层配置对PM_{2.5}的削减率提升至

58%，冬季落叶后削减率降至38%但仍显著高于单层配置。木冠层，灌木丛与草本层形成三级过滤系统，协同净化效率较单层提升2.1-2.6倍，见表1。

表1 不同植被层次结构的污染物削减效果对比

配置类型	植被层次	PM2.5 削减率 (%)	CO 削减率 (%)	春季浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	夏季浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	冬季浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
单层配置	草本	18-22	23	72	68	76
双层配置	乔木+灌木	35-41	38	55	48	61
三层配置	乔灌木	52-58	50	42	37	55
对照路段	无绿化	0	0	89	88	89

数据表明复层配置的叠加效应并非简单线性累加，三层结构的净化效率超过各单层效率之和1.3-1.5倍。乔木层通过高大冠幅形成顶部屏障拦截扩散污染物，灌木层的密集枝叶构成中部过滤带捕获悬浮颗粒，草本层吸附沉降于地表的污染物并减少二次扬尘，三者垂直空间形成连续净化梯度，夏季叶面积指数峰值使光合作用强度增大导致气态污染物吸收率提高，冬季常绿树种维持基础净化功能使削减率仍保持在38%以上，证明合理配置常绿与落叶树种可保障全年环保效能。

(三) 绿化带宽度对噪声削减的影响

绿化带宽度与噪声衰减量呈现非线性正相关关系，5米宽绿化带对交通噪声的削减量为3.2dB(A)，10米宽提升至5.8dB(A)，20米宽达到9.1dB(A)，30米宽达到

11.5dB(A)，实测数据显示路缘噪声值为78.5dB(A)，经5米绿化带后降至75.3dB(A)，20米绿化带外测点噪声值降至69.4dB(A)，满足城市交通干道70dB(A)的标准限值要求。噪声衰减量与绿化带宽度的回归方程为：

$$\Delta L = 2.85\ln(d) + 1.47(R^2 = 0.94)$$

其中 R^2 为噪声衰减量(dB)，d为绿化带宽度(m)。方程表明绿化带宽度从5米增至15米时衰减效率最高，每增加1米可削减噪声0.6-0.8dB(A)，超过20米后边际效应递减至每米0.3dB(A)，临界有效宽度分析显示15-20米绿化带可实现成本与效果的最优平衡，该宽度下噪声削减量达8-9dB(A)，能够将高噪声环境改善至功能区标准范围内^[4]，见图1。

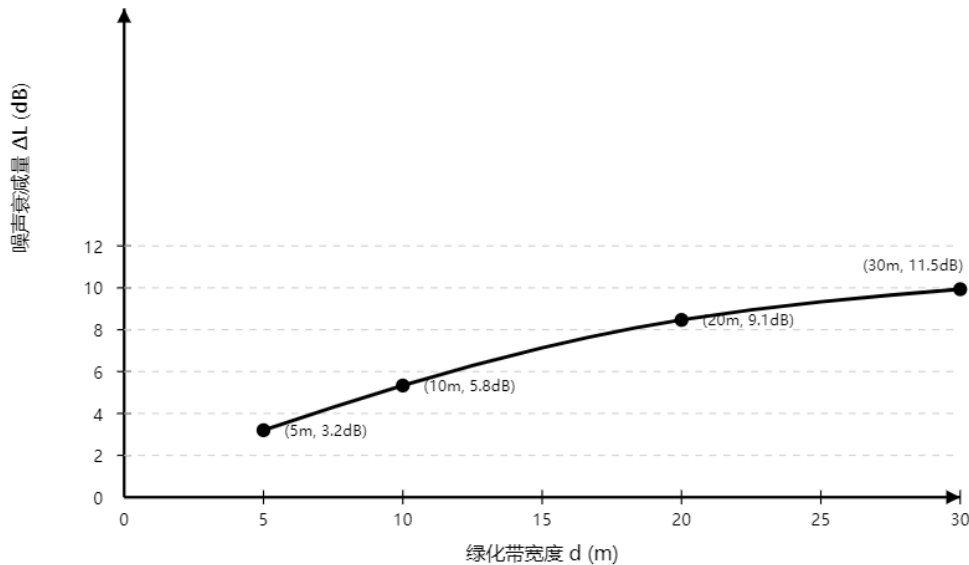


图1 绿化带宽度与噪声衰减量关系曲线

曲线显示噪声衰减量随宽度增加呈对数增长趋势，验证了声波在植被介质中传播的能量耗散规律，5-15米区间曲线斜率较大表明该阶段植被密度增加对声波反射与散射作用显著，15米后曲线趋于平缓说明声能已被大幅消耗导致继续增宽的边际收益降低。

三、公路绿化环保功能的优化设计策略

(一) 高效环保植物种类筛选原则

植物种类筛选建立在监测数据基础上的综合评分体系，整合滞尘量(权重0.35)，降噪值(权重0.30)，环

境适应性(权重0.25)与养护成本(权重0.10)四项指标，评分公式为 $S=0.35D+0.30N+0.25A+0.10(100-C)$ 。乔木层推荐悬铃木(综合评分92分，滞尘量 $3.8\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{月}$)，国槐(89分)，榆树(87分)，香樟(85分)与雪松(83分)，灌木层推荐女贞(90分，降噪贡献率 $4.2\text{dB}/10\text{m}$)，金叶女贞(86分)，海桐(84分)，红叶石楠(82分)与木槿(80分)，草本层推荐狗牙根(88分)，高羊茅(85分)，麦冬(83分)，马蹄金(81分)与沿阶草(79分)，见表2。

表2 推荐植物环保功能综合评分表

层次	植物名称	滞尘量 (g/m ² ·月)	降噪贡献 (dB/10m)	适应性评分	成本指数	综合评分
乔木	悬铃木	3.8	3.5	92	45	92
乔木	国槐	3.2	3.8	95	38	89
乔木	榆树	3.2	3.2	90	32	87
灌木	女贞	2.9	4.2	88	42	90
灌木	金叶女贞	2.6	3.9	85	48	86
灌木	海桐	2.4	3.6	90	40	84
草本	狗牙根	1.8	2.1	92	25	88
草本	高羊茅	1.6	2.3	88	28	85
草本	麦冬	1.5	1.9	95	35	83

评分体系将监测数据转化为定量选择标准，悬铃木因绒毛叶片结构使滞尘量居乔木首位达 3.8g/m²·月，国槐虽滞尘量略低但适应性评分 95 分且成本指数仅 38 使综合评分达 89 分，灌木层女贞的降噪贡献率 4.2dB/10m 源于其密集枝叶结构对中频噪声的强反射作用，金叶女贞因观赏价值高导致成本指数上升至 48 但综合评分仍达 86 分。草本层狗牙根凭借根系发达与耐践踏特性在适应性评分中获 92 分，低养护成本使其综合评分居草本首位。该评分体系为设计人员提供量化决策依据，可根据路段环境压力侧重选择高滞尘或高降噪植物种类。

(二) 绿化带空间布局优化模型

空间布局优化模型以环保效能最大化为目标，综合绿化带宽度，种植密度与层次配置三要素，城市路段（日均车流量 >5 万辆）采用 20-25 米宽三层配置，乔木层按 6-8 米株距种植胸径 8-10cm 规格苗木形成连续林带，灌木层采用 1.2-1.5 米行距的双排错位布置使覆盖率达 85% 以上，草本层全覆盖并在路缘设置 0.8 米宽密植灌木带强化污染物首层拦截。郊区路段适当降低密度使建设成本减少 33% 但仍维持 35% 以上的污染物削减率，15 米宽度在中等交通压力下实现降噪 7dB(A) 的基本防护。山区路段配置侧重坡面稳定性，乔木 5-6 米株距使根系交织形成土壤加固网络，灌木层 40% 豆科植物比例通过生物固氮年增土壤有机质 0.3-0.5%，深根型草本根长达 80-120cm 有效控制浅层滑移。该模型为不同场景提供差异化设计方案，实现环保效能与经济性的动态平衡^[5]。

(三) 绿化环保功能的长效维持机制

绿化环保功能的持续发挥依赖科学养护措施对植被生理状态的调控，修剪频次直接影响叶面积指数与冠层密度进而改变净化降噪效能，乔木层年修剪 2-3 次维持冠幅饱满度在 75%-85% 区间可使滞尘量稳定在设计值的 90% 以上，过度修剪导致叶面积指数下降 30% 使污染物削减率衰减至 35% 以下。灌木层生长季每月修剪 1 次控制株高 1.2-1.8 米保持密集结构，修剪后 15 天内降噪效果下降 2-3dB(A) 但 30 天后恢复，灌溉制度动态调整，夏

季每周 2-3 次保持土壤含水量 60%-75% 使气孔导度提高 40%，CO 与 NO_x 吸收率相应提升 25%-30%，植被更新按功能衰退曲线制定，乔木净化能力 5-8 年达峰值后年递减 3%，灌木 3-5 年进入稳定期后年递减 5%，草本每 3 年更新维持根系活力。动态监测采用每季度一次的叶面积指数测定与半年一次的污染物削减率评估，当实测值低于设计值 15% 时启动补植或强化养护措施，通过适应性调整使绿化带全生命周期环保效能保持在设计标准的 85% 以上。

结语

公路绿化是实现交通建设生态化的有效途径，其环保功能具有可量化的科学基础，实验结果证实科学的植被配置能够形成立体防护体系，在污染物拦截，噪声阻隔与水土保持等方面发挥协同作用。乔灌草复层结构通过增加生物量和叶面积指数，显著提升环境净化能力，绿化带宽度与防护效果呈正相关关系，在景观设计管理实践中应将环保指标纳入绿化方案评价体系，选择适应性强与净化能力高的乡土植物，合理确定种植密度与空间布局。未来研究可深入探讨气候条件与土壤类型等因素对绿化环保效果的影响，构建更加精准的预测模型，为公路绿化的标准化与规范化设计提供理论支持。

参考文献

[1] 尚斌. 公路绿化环保工程设计与施工管理分析 [J]. 工程建设与设计, 2022, (12): 263-265.
 [2] 余海燕. 高等级公路绿化施工中耐旱植物应用研究 [J]. 汽车周刊, 2025, (03): 244-246.
 [3] 高智. 公路绿化与环保的研究分析 [J]. 交通节能与环保, 2021, 17(02): 95-97+100.
 [4] 张晓悦, 孙侃. 高速公路绿化工程施工阶段碳排放计算研究 [J/OL]. 交通节能与环保, 1-7 [2025-10-28].
 [5] 张妍. 国省干线公路绿化提质改造有效途径分析 [J]. 交通世界, 2023, (34): 22-24.

作者简介：陈瑛菲（1988.10-），女，汉族，江苏太仓人，本科，中级工程师，从事景观设计管理。