

北京交通大学绿色交通与景观环境研究中心

北京交通大学绿色交通与景观环境研究中心成立于 2017 年 4 月，隶属于土木建筑工程学院。中心由教育部青年长江学者、北京市杰青基金获得者秦晓春教授领衔，汇聚了汇聚校内外十余名教授与特聘专家，组建了产学研一体化的研究团队。中心与加拿大不列颠哥伦比亚大学、美国犹他州立大学、匈牙利塞切尼·伊什特万大学等海外高校建立长期稳定的科研与教学合作机制，国际化研究优势突出。

中心立足于交通基础设施绿色建造与环境保护，紧扣进公路、铁路的绿色化、数字化、品质化转型升级需求，长期致力于交通环保领域基础研究，聚焦路域生态修复、交通景观提升、交通噪声控制、交通节能减排四大核心方向。先后主持完成国家自然科学基金铁路基础联合基金重点项目、科技部重点研发计划“政府间国际合作“重点专项、北京自然科学基金“青年重点”项目、国家重点研发计划“川藏专项”任务、广西重点研发计划课题、宁夏重点研发课题、国家铁路集团科技项目课题、生态环境部科技专项、北京市交通委员会科技项目、广东省交通运输厅重点科技项目、江西省交通厅科技项目等国家、省部级科研项目 20 余项。主编《全封闭声屏障结构设计指南》《声屏障养护维修技术规程》《公路改扩建工程建设期碳排放测算标准》《公路观景台设计标准》和《温州市生态美丽公路设计指南》等标准规范。研究成果应用于以冬奥会、世园会重大交通保障项目北京兴延高速、交通运输部绿色公路典型示范工程广东惠清高速、江西樟吉高速、山西阳麟高速等交通运输部绿色公路典型示范工程、全国交通旅游融合示范创新项目海南环热带雨林国家公园旅游公路及川藏铁路、黄河流域生态保护与高质量发展项目西成铁路为代表的多项国家级、省部级重点示范工程，助力行业绿色交通和交旅融合发展。

1 主要研究领域

1.1 高陡边坡创面 3R 生态修复

针对传统路域生态修复技术在极端气候、复杂地质条件下适应性差、抗冲刷能力弱、水土流失严重、植被复绿慢、养护成本高的行业痛点，中心创新构建无痕化、再野化生态修复理论，研发出具备抗冲刷、抗侵蚀、抗风沙（3R）特征的

高陡边坡生态修复技术体系，攻克了多雨地区高陡岩质边坡、干旱风沙区破碎岩体边坡生态修复难题。

技术体系包含三大核心创新技术：形成了基于抗冲刷有机基质的土质边坡无痕化生态修复技术，解决了多雨土质边坡浅表层冲刷严重、抗侵蚀能力差和养分流失的问题；形成了基于人造壤土抗蚀促生基质的土石边坡生态修复技术，实现了破碎风化岩质边坡土壤改良与根系固坡；形成了基于富菌熟化木质纤维的岩质边坡再野化生态修复技术，大幅提升风沙干旱区植被群落恢复效率。

边坡抗冲刷性能提升 35%以上、抗蚀促生能力提升 19%、客土用量减少 18%、植被复绿速度提升 22%，年均养护成本降低 260 元/m² 以上，材料可自然降解、耐久性强，已规模化应用于广东惠清高速等绿色公路示范工程，为复杂工况下路域生态长效修复提供核心技术支撑。

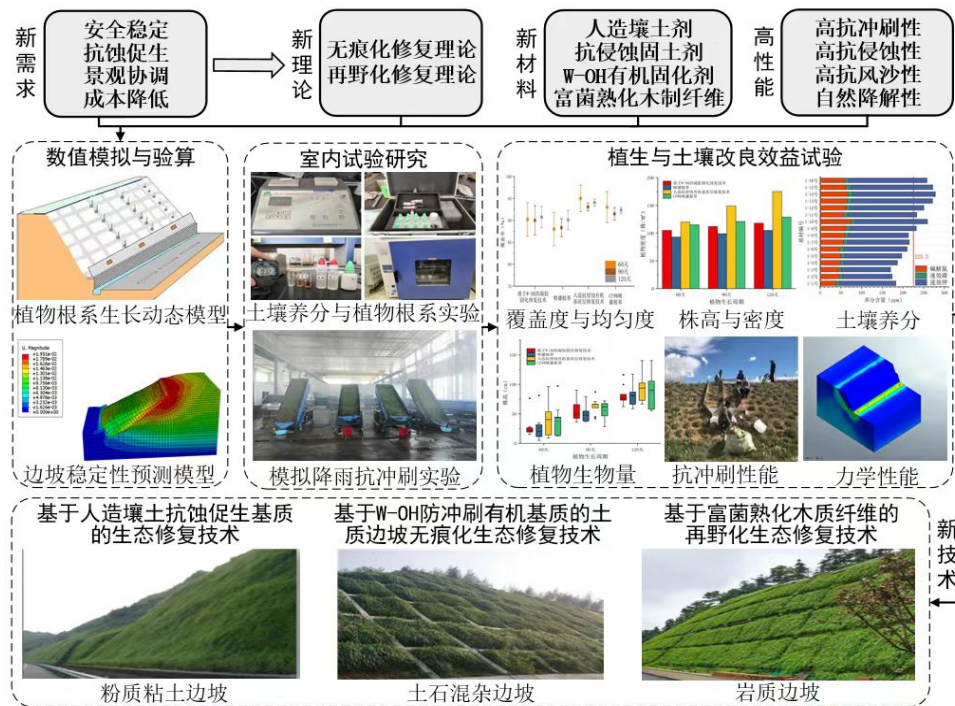


图 1 边坡创面 3R 生态修复理论与技术

1.2 道路景观数字化智能设计与评价

突破传统道路景观依赖主观定性评价、无法量化表征、动态监测缺失的技术瓶颈，融合 3S 技术、深度学习、色彩学理论与三维仿真技术，搭建全流程数字

化景观设计与评价技术体系，实现道路景观从“经验设计”向“数据驱动、精准可控”转型。

核心创新包括：构建路域生态受损时空评估模型，实现交通廊道生态影响量化预判；基于 SegNet、PSPNet、Mask-RCNN、U-Net 等深度学习算法，实现道路景观要素自动识别、特征参数精准提取，解决景观空间“不可测”难题；建立绿视率、天空开阔度、色彩氛围等多维景观量化指标体系，为道路景观的科学设计提供实操性定量方法与规划工具；引入蒙赛尔色彩学与 K-means 聚类算法，建立了基于色彩空间（基调色、主调色、辅调色、基调色）与色彩构成（色相、明度、彩度）的路域环境色彩信息模型，形成路域色彩数字化规划与精准控制技术；搭建 VNS 三维视景仿真平台与道路环境多模态数据处理系统，实现景观实时、连续、动态定量评价。

实现道路景观全路段、全场景数字化评测，有效规避传统仿真模型与实际工程脱节问题，为公路景观科学设计、交旅融合项目品质提升提供标准化、可落地的数字化技术工具。

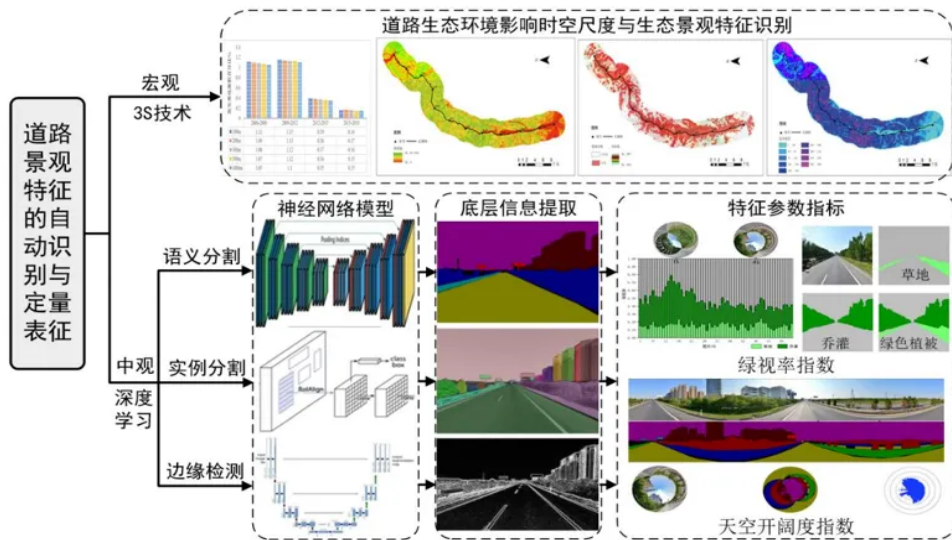


图 2 路域景观特征自动识别与定量表征

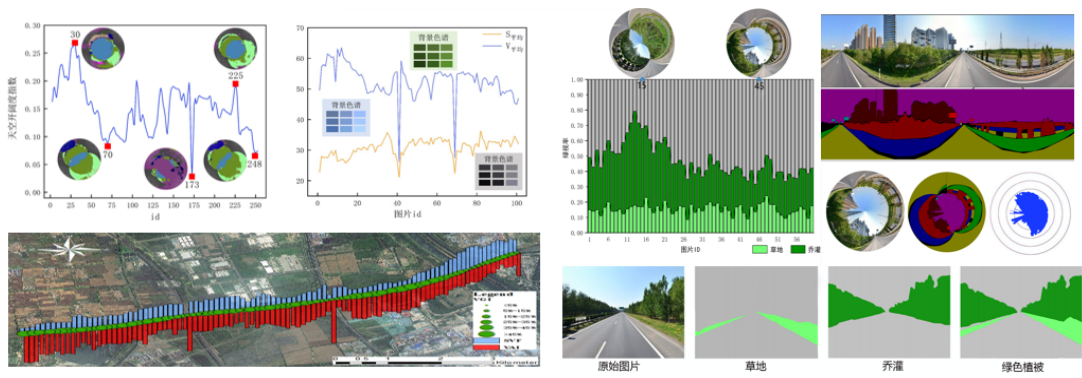


图 3 道路景观空间参数定量表征

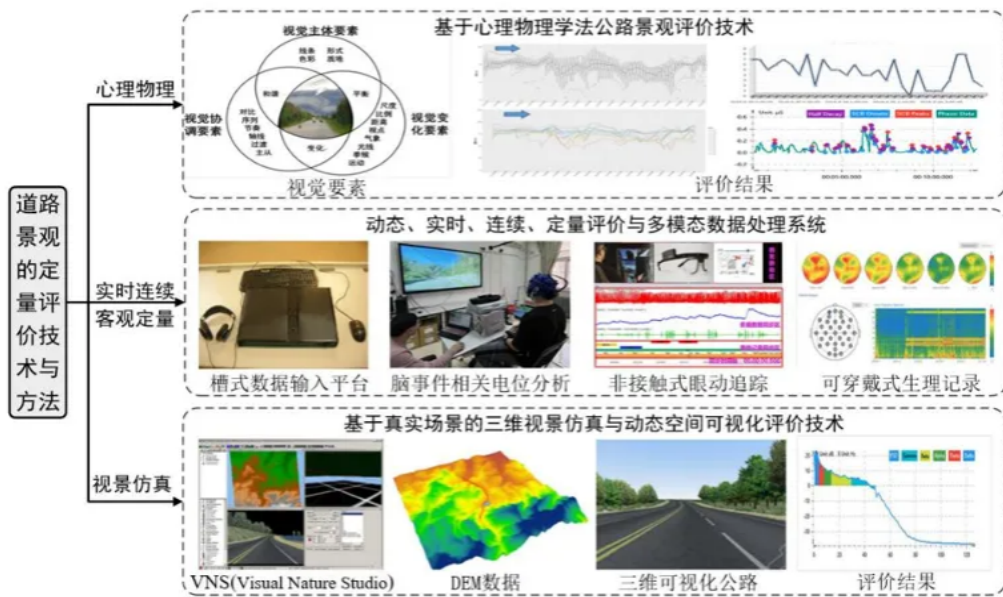


图 4 道路景观定量评价方法

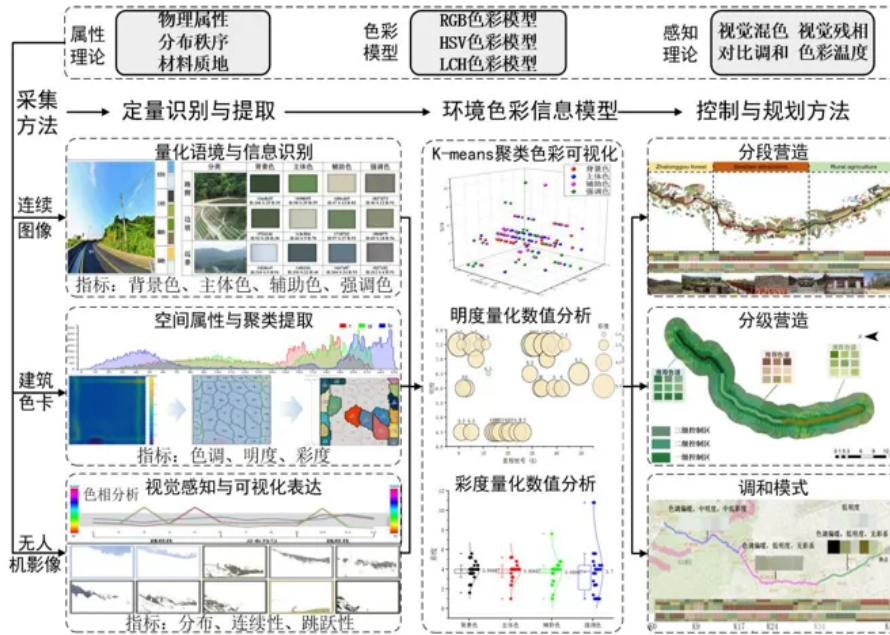


图 5 路域色彩量化控制与规划设计方法

1.3 交通噪声污染防治与降噪材料

针对传统声屏障仅能控制高频噪声、重型车低频降噪效果差、顶端绕射严重、景观性不足等短板，创新声学超构材料降噪理论，提出基于噪声地图的交通噪声声场传播特性与预测方法，揭示“Bragg 散射-腔体共振-多孔介质吸声”耦合降噪机理，攻克交通噪声宽频精准调控难题，形成材料研发、结构优化、景观融合一体化降噪技术体系。

团队迭代研发三代周期阵列式声子晶体声屏障，实现不同车型频率波段的针对性控制和高速公路特征噪声频段的基本覆盖；配套研发顶端声子晶体加强吸声帽结构，针对性解决高速公路重型车低频噪声污染与屏障顶端声波绕射问题；同时结合地域文化与自然风貌，创新景观型声屏障设计方案，兼顾降噪功能与道路景观协调性，基于线条、形式、色彩和纹理等要素，提出声屏障的景观要素、光线透射及空间功能的美学设计要点，实现公路沿线景观风貌整体控制。

低频噪声降噪效果提升 3.6dB 以上，综合降噪提升 2-6dB(A)，低频区间最高可提升 12dB(A)，服役期降噪性能零衰减；产品模块化装配、抗风性强、可废旧材料再利用，造价更低，适配新建及在役公路、桥梁、互通立交多场景，已应用于江西樟吉高速、昌九高速等重点工程。

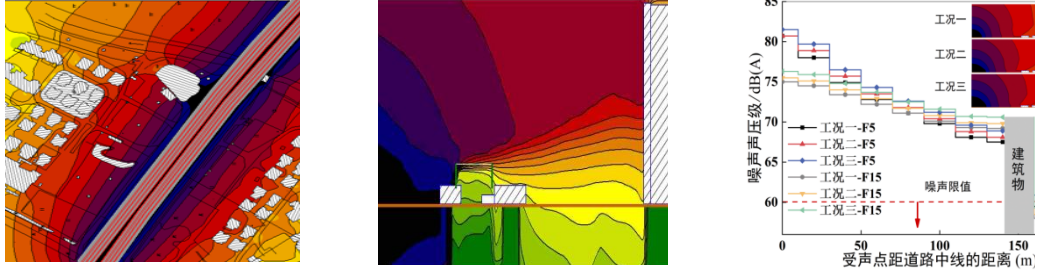


图 6 高速公路水平及垂直方向的传播规律

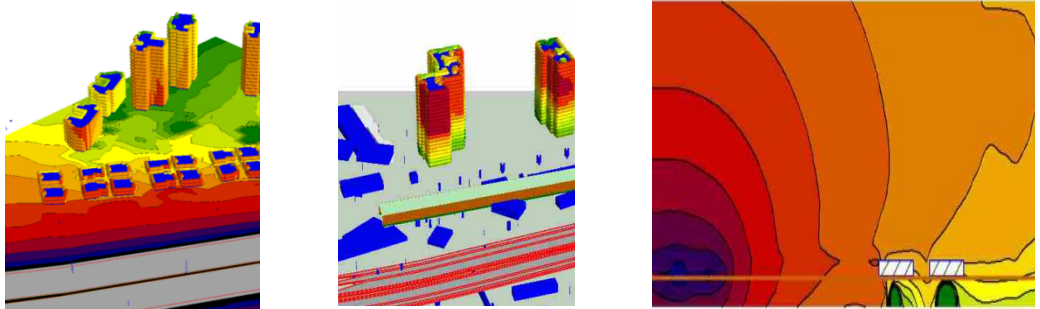


图 7 基于三维噪声地图的声场特性预测

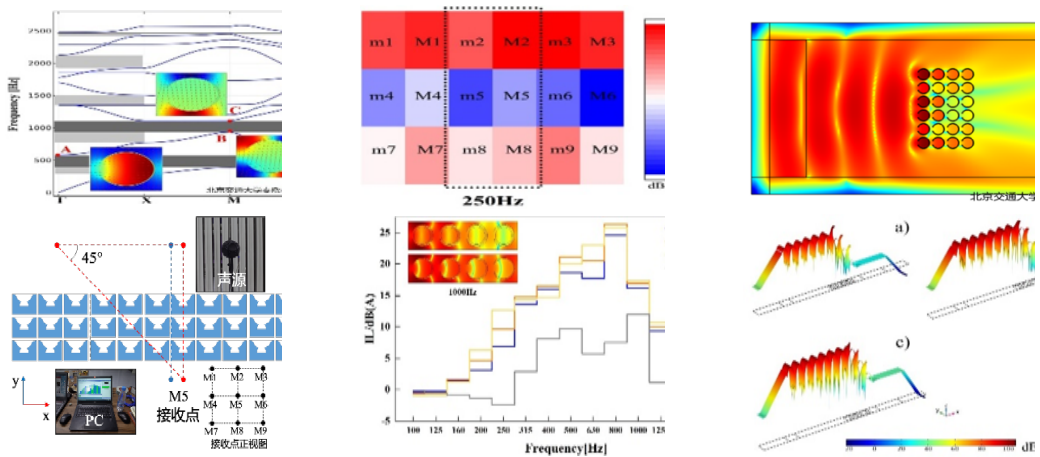


图 8 声学超构材料仿真计算



图 9 声子晶体声屏障 1.0 版、2.0 版、3.0 版

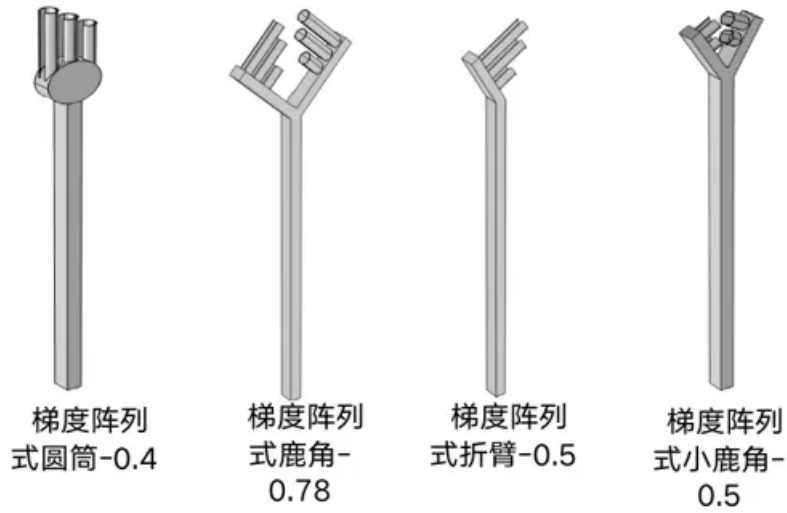


图 10 顶端加强型声屏障示意图



图 11 景观型声屏障设计案例

1.4 交通基础设施碳排放与节能降碳

立足交通工程全生命周期绿色发展，创新构建“工程-环境”相容共生设计理论，研发 LCA-LEAP 耦合碳核算模型，建立高速公路碳排放因子库与全边界核算体系，实现建设、运营全阶段碳排放精准测算、情景模拟与趋势预测。同时，从设计、施工、运维全链条，基于减碳、节能与碳增汇三个方面，围绕材料、工

艺、设备、技术四大维度，建立减碳技术适用性评价体系，形成碳足迹分级量化评估方法。

可精准识别交通工程碳排放关键节点，科学筛选低成本、高效能的减碳技术方案，为交通基础设施低碳建设、碳排放管控、绿色工程评价提供核心理论与技术支撑，助力交通领域双碳目标落地。

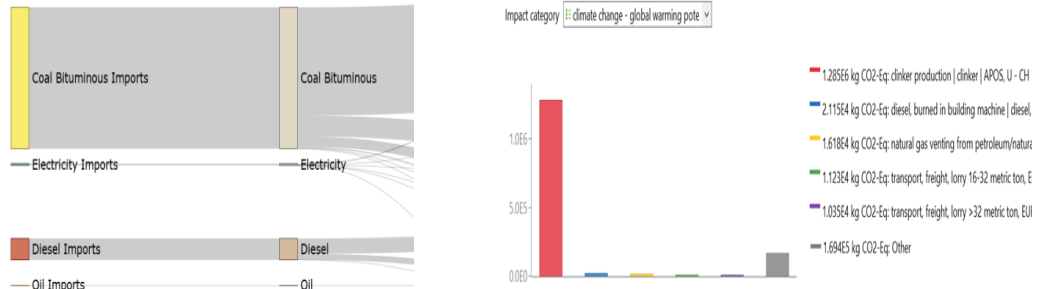


图 12 斜拉桥建设能耗需求分析与生产排放特征

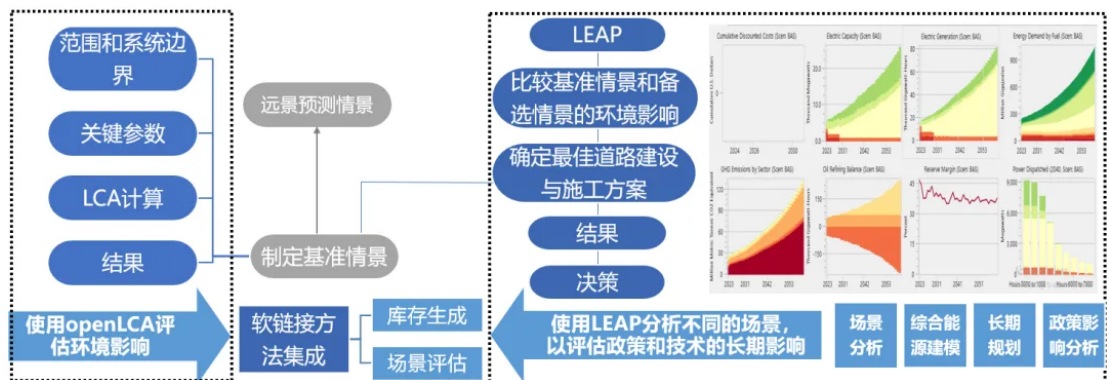


图 13 LCA-LEAP 碳核算模型

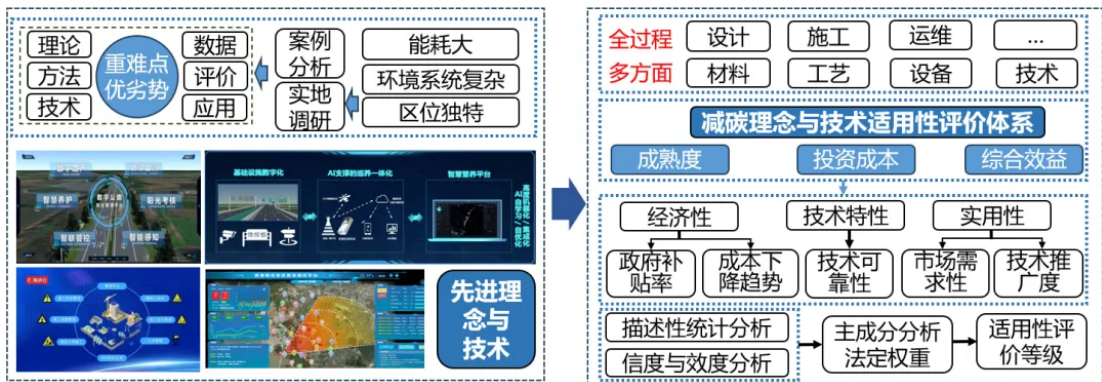


图 14 减碳技术适用性评估

2 成果转化与数字化平台

2.1 周期结构声子晶体声屏障

突破基于质量密度定律的传统均匀介质材料声屏障对以小型汽车为主的高频噪声效果显著、而无法有效控制以重型车为主的低频噪声的难题，实现对低频及中高频噪声宽频多带的控制，有效提升了针对以重型车辆为主的低频交通噪声环境的降噪效果。特别在低频范围降噪效果可提升 3-12 dB(A)，同时由于其独特的屏体结构可做到在服役期降噪性能可持续零衰减。突破传统板式声屏障无法针对不同车型公路交通噪声针对性控制的难题，实现不同车型频率波段的针对性控制和高速公路特征噪声频段的基本覆盖。

具备降噪零衰减、景观通透性好、抗风性能优异、模块化装配、低碳经济等优势，相比传统亚克力声屏障每延米节省成本 100 元以上，适应于多场景公路工程改扩建与新建项目。



图 15 声子晶体声屏障——江西樟吉高速、江西昌九高速

2.2 高陡边坡创面功能性 3R 生态修复材料与技术

集抗冲刷、抗侵蚀、防风固沙、自然降解、长效稳定于一体，适配多雨、干旱、风沙等复杂工况，大幅降低边坡养护成本，实现高陡边坡快速、无痕、生态化修复。



图 16 高陡边坡 3R 生态修复—广东惠清高速

2.3 地域文化型景观防眩板

融合地域文化与道路景观设计，兼顾防眩安全功能与景观美学，已成功应用于江西广吉高速，在华东地区广泛推广。



图 17 文化景观防眩板设计



图 18 文化景观防眩板——江西广吉高速

2.4 道路环境实时评价与数据处理系统

融合人机环境同步监测技术，实现道路景观全路段实时、连续、动态定量评价，实现主观评价客观化、定性评价定量化，解决传统景观评价碎片化、误差大的行业问题，使得道路景观评价结果更为科学、严格、可靠。

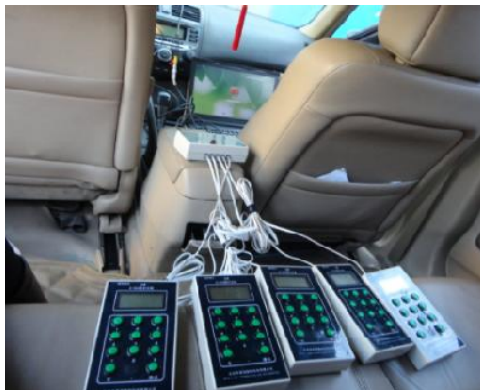
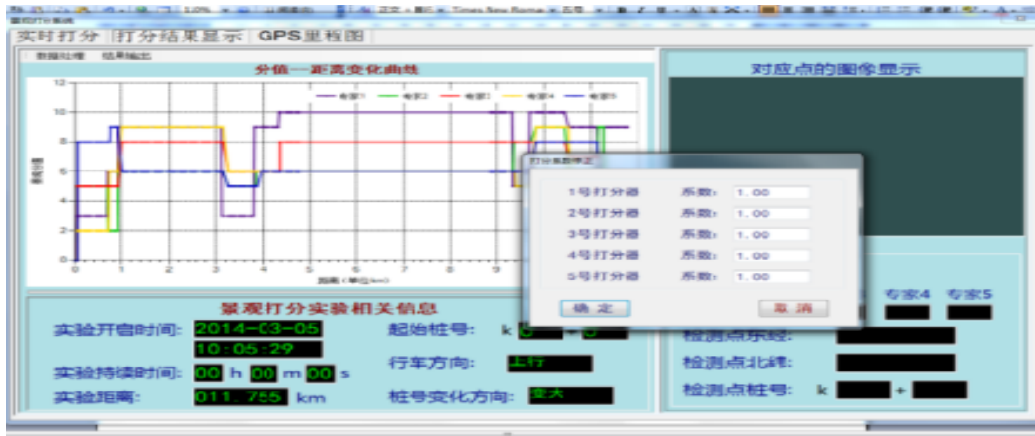


图 19 道路环境实时评价与数据处理系统

2.5 高速公路积雪结冰感知与养护决策管理系统

研发的高速公路积雪结冰感知与养护决策管理系统，实现对高速公路室外监测点气象数据的远程监测、分析处理和展示，同时根据气象监测数据智能匹配除雪铲冰养护作业方案，实现冬季恶劣天气条件下的高速公路积雪结冰状况的实时监测预警和智能化的除雪铲冰养护作业，精准减少融雪剂用量，提升冬季道路养护效率、降低生态污染，已落地应用于北京京藏高速。



图 20 高速公路积雪结冰预警系统——北京京藏高速

2.6 公路视景仿真系统

融合 GIS、DEM、生态本底据及工程实测数据，实现环境空间信息的三维可视化公路，实现了可视化公路环境 2D 数据的 3D 渲染，可精准模拟公路线形、地形地貌与生态环境，论证了基于真实场景的三维可视化公路在公路景观评价中有效替代真实景观的科学合理性，为景观设计、工程方案优化提供可靠仿真支撑。

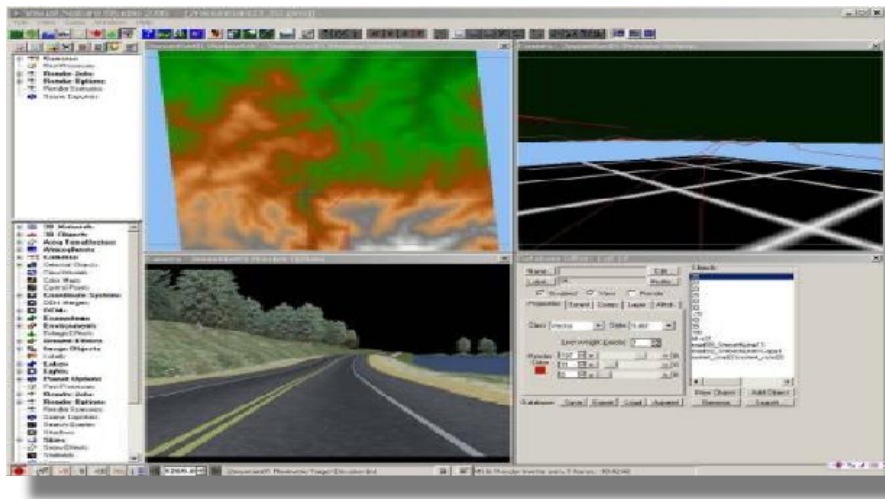


图 21 公路视景仿真系统

2.7 公路景观全景分割与色彩量化工具

基于改进 Panoptic-DeepLab 模型与 K-means 聚类算法，实现道路景观要素智能分割、路域色彩精准提取与数字化规划，为道路景观色彩管控、精细化设计提供智能化工具。

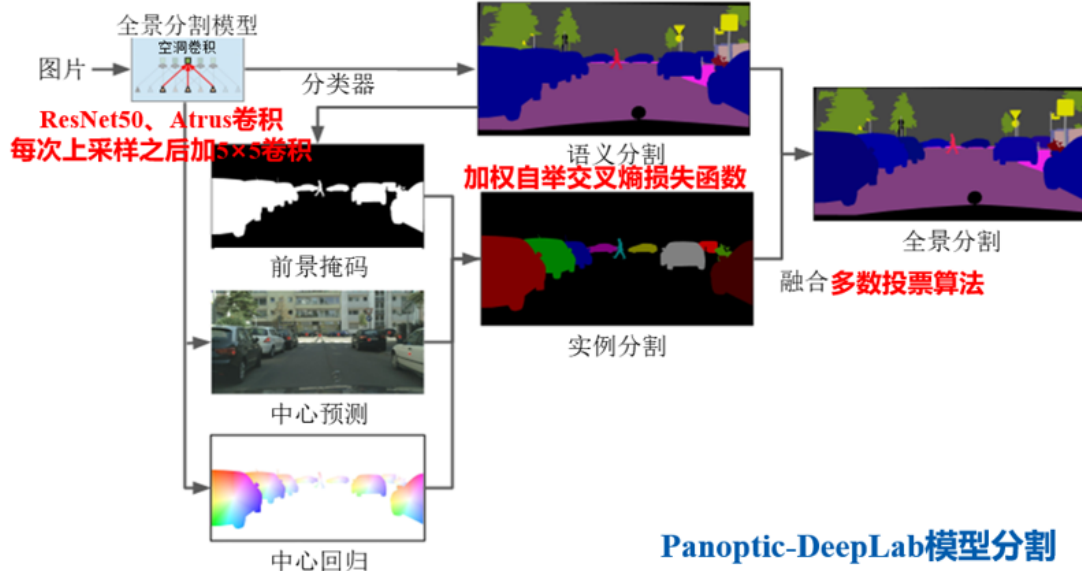


图 22 公路景观最优 Panoptic-DeepLab 全景分割模型