

项目合同编号：25-35K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：公路路域空气污染特征及生态防护技术研究

承担单位：长安大学

项目负责人：邱兆文

通讯邮编、地址：710018、西安市未央区尚苑路长安大学渭水校区

传真、电话：029-62630018

起止年限：2026 年 3 月 至 2028 年 3 月

陕西省交通运输厅

一、项目主要研究内容

1. 主要研究内容

本项目从绿色生态交通角度出发，从路域交通污染物排放和分布特征、交通系统与路域生态环境系统耦合、植被对交通污染的量化影响以及绿化模式设计实践四个方面开展研究，具体研究内容如下：

(1) 公路路域污染物排放与分布特征研究

选取涵盖不同绿化模式下的公路路域典型场景，调研工程实验路段的不同场景下交通流量、车辆类型以及车辆速度等交通特征信息，刻画道路机动车非尾气与尾气排放及贡献特征；通过移动监测方法，研究不同典型场景下交通相关污染物（本研究指 PM2.5 和 PM1）的分布特征；基于定点监测方法，归纳污染物在公路路域范围内的衰减特征差异，拟合不同污染物的衰减分布数学模型。

(2) 公路交通系统与路域生态环境耦合协调研究

结合公路路域污染物排放和分布特征，基于系统耦合理论，分别构建包含交通流量和车型类型的公路交通系统指标体系，和包含生态景观（植被指数和叶面积指数）和环境污染物的路域生态环境系统指标体系；建立公路交通一路域生态环境系统指标体系，对以上多源指标进行预处理，并利用层次分析法和熵值法确定各二级指标权重，建立耦合协调度模型分析公路交通系统与路域生态环境的耦合协调发展情况，通过灰色关联度确定公路交通与路域生态环境系统协调发展过程中的影响因子。

(3) 生态绿化植被对公路交通污染影响的量化研究

基于实测数据，运用数据融合技术构建公路路域多维参数（包括污染物种类、生态植被、交通流量、气象条件等）数据库；利用机器学习模型进行数据训练，提升模型预测性能；构建不同场景下多污染物的扩散分布模型，提升模型的应用广泛性；量化不同场景中生态绿化植被对于污染物浓度变化的影响。

(4) 公路路域生态景观绿化模式设计与实践研究

基于以上调研实测和数值模拟，根据研究区域不同地形地貌及生态特点，以研究区自然植被生态系统作为对照，从绿化模式、景观结构、植被选择、栽植技术等方面，结合景观植被对公路交通污染影响的量化分析，开展不同区域

生态景观绿化模式和方案设计；最后依托具体绿化工程项目进行实例分析和评价。

2. 技术关键

(1) 交通污染物在不同公路路域生态环境中衰减分布模型的构建与优化
公路路域的机动车尾气与非尾气排放特征复杂多样，污染物的扩散和衰减受到多种因素的共同影响，如交通流量、车辆类型、气象条件和路域植被。如何基于数学统计模型，准确拟合并优化污染物在公路路域范围内的衰减分布模型，刻画不同污染物的衰减规律，是本研究需要解决的关键技术之一。

(2) 公路交通系统与路域生态系统的动态耦合模型构建与影响因素量化
公路交通系统与路域生态环境系统的相互作用复杂且动态，交通流量、车型类型以及生态环境因素（如植被指数和环境污染物质）对两者的耦合协调发展具有重要影响。构建全面的动态耦合模型，精确量化交通系统与生态环境系统之间的耦合协调度至关重要。此外，如何结合多维参数（如交通流量、气象条件、污染物种类等）构建高精度的机器学习模型，定量评估不同场景下生态绿化植被对污染物浓度的影响，并提升模型的预测性能和适用性，也是本研究的核心关键技术。

(3) 公路路域生态景观绿化模式设计与优化

针对不同地形地貌和生态环境特点，生态景观绿化模式的设计在减少公路交通污染物扩散、改善环境质量方面发挥着重要作用。如何基于调研实测数据和数值模拟结果，结合具体工程项目，科学合理地设计适应不同生态特征的公路路域绿化模式，是本研究需要解决的关键技术。

3. 依托工程（依托工作）

本项目依托于西安市公路局实施的“310 国道临潼、高陵段公路安全设施精细化提升工程”，该工程的实施为公路路域空气污染特征及生态防护技术研究提供了丰富的实验场地和充足的支撑条件，从而确保研究工作的科学性、实际应用性和推广价值。

(1) 依托工程概况和实际场地支持

310 国道临潼、高陵段的安全设施提升工程涉及的路段长度为 14.885 公里，

涵盖临潼区和高陵区多个路段，设计速度为 70 公里/小时。该工程的核心目标是通过精细化设计提升公路安全保障水平，并创造安全、畅通的交通环境。作为普通干线公路的一部分，该路段交通流量大，交通污染问题较为突出。该路段为研究公路路域生态环境提供了一个典型场地，有助于本项目在污染特征分布、影响因素量化以及生态防护技术等方面开展深入的实地观测。

（2）研究数据支持

310 国道临潼、高陵段作为国家和地方重要交通干道，具备完善的交通流量与气象数据采集设施，为本项目的研究提供了宝贵的数据支持。项目团队可以利用现有的交通流量监测系统，获取包括车流量、车速、车型分布等在内的详细交通参数，同时结合便携式气象仪和污染物监测设备的实时数据，监测不同绿化场景下污染物的分布和扩散特征。同时，在相关工程路段范围内，公路路域的生态环境呈现多样化特征，这也为生态指标的量化和收集提供了便利和机会。

（3）绿化工程与生态防护技术的结合

在依托工程中涉及大量绿化工作，包括乔木 853 棵、绿篱 102657 株、灌木 3571 株的种植。这些绿化措施不仅能够提升景观效果，而且能够为污染物削减、空气净化以及路域生态改善提供良好的生态屏障。本项目在此依托工程的基础上，将基于实际种植的乔木、绿篱及灌木的分布状况，进行针对性的污染物监测。具体而言，项目将量化不同植物类型和绿化带宽度对空气污染物的削减效率，以提供在多种绿化场景条件下的污染控制建议，为将来的道路绿化工程提供数据支持。

通过对该依托工程的分析，本项目的研究成果不仅有助于 310 国道临潼、高陵段的绿化带优化，也为未来陕西省及其他省市的干线公路的生态防护提供了科学依据。310 国道绿化提升工程为本项目的成功实施奠定了坚实的基础，并为公路路域生态防护技术的应用推广提供了现实参考。

二、考核指标

1.预期目标

(1) 分析不同生态绿化模式对公路路域污染物削减效果的影响，构建多污染物的衰减分布模型；

(2) 揭示公路交通系统与路域生态环境系统的耦合协调发展机制，分析公路交通系统对生态绿化和环境质量的动态影响；

(3) 提出适应不同地形和生态条件的公路路域绿化模式设计方案，优化绿化带的布局与结构，提升其对污染物削减的实际效益。

国内外现有研究在公路路域污染物排放和分布特征、生态环境影响及防护技术方面的研究已经取得了一定进展，但仍存在一些不足，通过本项目的研究可以进一步填补国内技术空白。

2.主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

(1) 改善路域空气质量水平：本项目在实施区域内，通过引入创新的生态防护技术，能够使路域交通污染热点得到有效的改善，尤其是在颗粒物和黑碳浓度方面取得显著减污降碳效果。

(2) 节约道路绿化成本：基于对现有绿化工程的深入分析，本项目开发了一套生态植被群落优化方案，并将其应用于实际工程项目中。与传统的绿化方法相比，该方案不仅大幅降低了初期建设和后期维护的成本，而且在减少污染物浓度方面表现出了更强的效果。

(3) 技术推广应用潜力：本项目的实施将对所提出的生态防护技术在改善路域空气质量方面可行性和有效性进行论证。随着研究成果的不断积累和技术体系的逐步完善，这项技术能够在公路生态建设项目中推广应用，覆盖不同地理环境的公路生态项目。

3.经济和社会效益

随着交通行业的不断发展，机动车数量快速增加，交通排放对大气污染的影响日益突出。本项目针对公路路域的生态防护技术，能够为政府和企业提供针对性解决方案，特别是在公路路域空气污染防治方面，有广泛的市场需求。截至 2023 年底，我国公路里程达到 543.68 万公里，比上年末增加 8.20 万公里。

公路里程的迅速增加不仅展示了公路领域的巨大发展潜力，同时也体现出了公路路域的生态防护的迫切性。

本项目的研究成果可应用在全国范围内的公路路域生态环境治理，特别是重点城市的路域生态防护工作。随着国家不断加大在交通污染防治领域的投入，预计该生态防护技术将被广泛应用于国道、省道等干线公路的绿化设计中，进一步推动绿色生态交通的发展，带来一定的经济和社会效益。具体表现为：

(1) 经济效益：①通过生态绿化模式消减交通相关污染物浓度，降低因空气污染导致的医疗成本和经济损失；②通过优化路域植被的布局与结构，提升景观植被对污染物削减的实际效益，从而减少污染治理的成本；③通过提出适应不同地形和生态条件的公路路域绿化模式设计方案，实现生态植被的高质量建设，并节约绿化成本。④同时，生态防护技术的应用和推广，可以提高公路路域的土地利用价值，促进周边经济发展。

(2) 社会效益：①通过分析不同生态绿化模式对污染物削减效果的影响，构建多污染物衰减分布模型，有效降低公路路域的污染物浓度，改善空气质量，对公众健康产生积极影响，降低呼吸道疾病等健康风险，提高居民生活质量；②通过揭示公路交通系统与路域生态环境系统的耦合协调发展机制，并优化路域植被的布局与结构，提升生态系统服务功能，如碳汇、生物多样性保护等；③通过量化生态绿化植被对公路交通污染的影响，推动绿色生态防护技术的创新和发展，促进公路生态建设领域相关技术标准的建立和完善。

4.成果提供形式

(1) 围绕公路路域交通污染物分布特征、公路交通与路域生态环境系统协调发展影响因子、不同场景生态植被对于污染物浓度变化的量化影响以及依托工程公路路域绿化模式设计方案，完成专题研究报告 3 份和研究总报告 1 份。

(2) 围绕路域污染和生态防护主题，发表核心期刊及以上论文 5 篇。

(3) 参加本学科领域重要国际会议并大会报告不少于 2 次。

(4) 培养硕士研究生 5 名，博士研究生 1 名。

5. 其他考核指标

开展的媒体宣传报道不少于 3 次，开展技术交流不少于 1 次。

三、项目年度计划内容及考核目标

年度	计划内容及考核目标（每栏限 125 字）
2026	季度一：调研不同植被覆盖场景下交通流量、车辆类型以及车辆速度等道路交通特征信息，刻画道路机动车非尾气与尾气排放及贡献特征。 季度二：通过移动监测方法，分析不同典型场景下交通相关污染物的排放分布特征；归纳污染物在公路路域范围内的衰减特征差异，拟合不同污染物的衰减分布模型。 季度三：构建包含交通流量和车型类型的公路交通系统指标体系，和包含生态景观和环境污染物的路域生态环境系统指标体系。 季度四：建立耦合协调度模型分析公路交通系统与路域生态环境的耦合协调发展情况，通过灰色关联度确定公路交通与路域生态环境系统协调发展过程中的影响因子。 完成撰写发表论文 3 篇，专题报告 1 份。
2028	季度一：构建多维参数（包括污染物种类、生态植被、交通流量、气象条件等）数据库。 季度二：利用机器学习模型进行数据训练，提升模型预测性能；构建不同场景下多污染物的扩散分布模型，量化不同场景中生态绿化植被对于污染物浓度变化的影响。 季度三：针对具体绿化工程项目，从绿化模式、景观结构、植被选择等方面，进行典型路段实例分析和评价。 季度四：根据研究结果，对工程路段中不同区域的生态景观绿化模式和方案提出建议和策略。 完成撰写发表论文 2 篇、专题报告 2 份。 准备并提交研究总结报告和成果评审材料。

四、项目经费

项目总经费：39.8900 万元
交通运输厅补助：19.8900 万元
自筹资金：20.0000 万元

经费支出预算表

科 目	总经费 (单位：万元)	厅补经费 (单位：万元)
(一) 直接费用	38.59	18.59
1. 设备费	0.00	0.00
(1) 购置设备费	0.00	0.00
(2) 试制设备费	0.00	0.00
(3) 设备改造与租赁费	0.00	0.00
2. 业务费	30.89	10.89
(4) 材料支出	14.00	2.00
(5) 测试化验实验加工支出	2.50	2.50
(6) 燃料及动力支出	2.00	2.00
(7) 差旅支出	2.00	2.00
(8) 会议支出	0.50	0.50
(9) 国际合作与交流支出	0.00	0.00
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	1.89	1.89
(11) 其他支出	8.00	0.00
3. 劳务费	7.70	7.70
(12) 劳务性支出	6.20	6.20
(13) 咨询专家支出	1.50	1.50
(二) 间接费用	1.30	1.30
4. 管理费	1.30	1.30
5. 绩效支出	0.00	0.00
合 计	39.89	19.89

五、项目绩效目标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1.专利授权数（项）	/
		（1）授权发明专利	/
		（2）实用新型	/
		（3）外观设计	/
		2.软件著作权授权数（项）	/
		3.发表论文（篇）	5
		（1）其中 SCI 索引收录数	2
		（2）其中 EI 索引收录数	/
		（3）其他	3
		4.著作（部）	/
		5.制订标准数（项）	1
		（1）国际标准	/
		（2）国家标准	/
		（3）行业标准	/
		（4）地方标准	/
		（5）企业标准	/
		（6）科技报告	1
	其他成果	1.填补技术空白数	1
		（1）国际	/
		（2）国家	1
		（3）省级	/
		2.获奖项数	/
		（1）国家奖项	/
		（2）部、省奖项	/
		（3）地市级奖项	/
		3.其他科技成果产出	1
		（1）新工艺（或新方法模式）	1
		（2）新产品（含农业新品种）	/
		（3）新材料	/
		（4）新装备（装置）	/
		（5）平台/基地/示范点	/
		（6）中试线	/
		（7）生产线	/

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4. 研究开发情况	/
		（1）小试	/
		（2）中试（样品样机）	/
		（3）小批量	/
		（4）规模化生产	/
	人才引育	1. 引进高层次人才	/
		（1）博士、博士后	/
		（2）硕士	/
		2. 培养高层次人才	6
		（1）博士、博士后	1
		（2）硕士	5
		3. 培训从事技术创新服务人员（人次）	/
		4. 是否设立科研助理岗位	否
	产业化情况	1. 开放共享仪器设备数（台/套/只等）	/
		2. 科研仪器设备利用率（%）	100%
		3. 孵化科技型企业（个）	/
4. 转化科技成果（个）		/	
效果类指标	经济效益	1. 新增产值（万元）	/
		2. 新增销售（万元）	/
		3. 新增出口创汇（万美元）	/
		4. 新增利润（万元）	/
	社会效益	1. 新增税收（万元）	/
		2. 新增就业人数	/
		3. 就业培训（人次）	/
		4. 带动农民增收（万元）	/
		5. 培训和指导科技服务（人次）	/
		6. 新增产业带动情况	/
		7. 技术集成示范（项）	/
		8. 建立示范基地（亩数）	/
		9. 节约资源能源	优化公路绿化布局，节约投入
		10. 环保效益	有效改善路域环境
其他需要说明的情况 /			

六、承担单位或研究人员分工

本项目由长安大学承担：

主要负责项目的理论研究、模型构建及绿化模式设计工作。具体如下：

(1) 污染物特征与衰减规律研究：负责开展公路路域交通特征与污染物排放实测，分析典型场景下污染物分布特征，构建多污染物衰减分布数学模型。

(2) 系统耦合协调机制解析：负责构建公路交通—路域生态环境系统评价指标体系，利用耦合协调度模型及灰色关联分析法，揭示系统协调发展状态及关键影响因子。

(3) 植被削减效应量化模拟：负责构建多维参数数据库，应用数据融合与机器学习技术训练预测模型，量化分析不同场景下生态绿化植被对污染物的削减与阻控影响。

(4) 绿化模式设计与工程示范：负责根据不同地形地貌特征，研发差异化的公路路域生态景观绿化模式与设计方案，并依托工程进行实例验证与评价。

项目参与单位 1：西安市公路局

主要负责项目的工程管理、数据采集与工程设计、工程管理与实证以及方案设计与评估等工作。

七、项目参加人员表

项目承担单位：长安大学							
参与单位（排序）：西安市公路局							
项目负责人							
序号	姓名	出生年月	工作单位	职称/职务	专业	在项目中担任具体工作	签名
1	邱兆文	1975.11	长安大学	教授	交通运输	总体协调	邱兆文
主要研究人员							
2	裴晓梅	1972.10	西安市公路局	正高工	公路工程	工程管理	裴晓梅
3	任飞虹	1989.11	长安大学	副教授	风景园林	方案设计与数值模拟	任飞虹
4	谭晓伟	1985.05	长安大学	高工	交通运输	实验实施和统计分析	谭晓伟
5	郝艳召	1981.08	长安大学	副教授	交通运输	实验实施和统计分析	郝艳召
6	冯伟	1988.06	西安市公路局	工程师	道路工程	数据采集与工程设计	冯伟
7	张玮	1989.04	西安市公路局	工程师	道路工程	数据采集与工程设计	张玮

8	李猛	1982.11	长安大学	副教授	机械工程	实地调研与数据收集	李力孟
9	李腾	1988.07	西安市公路局	高工	桥梁工程	工程管理与实证	李腾
10	刘凯涛	1991.02	西安市公路局	工程师	环境保护	方案设计与评估	刘凯涛
11	崔珂	1993.04	西安市公路局	工程师	道路工程	方案设计与评估	崔珂
12	张睿轩	2000.07	长安大学	博士生	交通运输规划 与管理	调研与撰写报告	张睿轩
13	徐艺诺	1999.11	长安大学	博士生	交通运输工程	调研与撰写报告	徐艺诺
14	马丽雅	2001.05	长安大学	硕士生	交通运输	调研与数据分析	马丽雅
15	徐镜清	2001.03	长安大学	硕士生	风景园林	调研与数据分析	徐镜清

八、信息表

项目合同编号		25-35K		密级		/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部			
项目名称		公路路域空气污染特征及生态防护技术研究									
项目实施所在地		陕西西安		起止年限		2026 年 3 月至 2028 年 3 月					
总 经 费		39.89 万元		厅 拨		19.89 万元					
第一承担单位	单位名称	长安大学									
	所在地	陕西省西安市未央区					代码	610112			
	通讯地址	西安市未央区尚苑路长安大学汽车学院					邮编	710000			
	单位性质	(1) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他					代码	10710			
参与单位	序号	单 位 名 称									
	1	西安市公路局									
	2										
	3										
项目负责人	姓 名	邱兆文		性别 (1) 1.男 2.女		出生年份		1975.11			
	学 历	(1) 1.研究生 2.大学 3.大专 4.中专 5.其他									
	职 称	(√) 1.高级 2.中级 3.初级 4.其他									
	联系电话	13193372231 029-62630018			电子邮箱		qzw@chd.edu.cn				
项目联系人	姓名	谭晓伟			性别		男				
	联系电话	13759886143			电子邮箱		tanxw@chd.edu.cn				
项目组人数	15	高级	7	中级	4	初级	0	其他	4		
主要研究内容 (100 字以内)	本项目拟通过调研公路交通污染物排放与路域生态植被分布,评估公路交通系统对生态绿化和环境质量的动态影响,量化公路路域的生态绿化模式对交通污染物削减效率,提出适应不同地形和生态条件的路域绿化模式设计方案,优化植物群落布局与结构。										
成果属性	A	A: 新技术 B: 新工艺 C: 新材料 D: 新产品 E: 软科学 F: 装备 G: 其他									
成果形式	A	A: 专著、论文 B: 样机、样品 C: 试验工程、产品 D: 示范工程 E: 产品 F: 其他									

九、共同条款

合同各方应共同遵守《陕西省交通运输厅科研项目管理办法》。

1.合同执行过程中，乙方如需修改合同某项条款，应向甲方提出变更内容及理由的申请报告，经甲方审核同意后实施。未接到正式批准以前，双方仍须按原合同条款履行，否则后果由自行修改条款的一方负责。

2.乙方因任何主观或客观原因（如：与大纲评审内容有出入，挪用经费、技术措施或某种条件不落实等）致使计划无法执行而要求解除合同的，需取得甲方书面同意且应视不同情况，部分或全部退还所拨经费；出现上述情况的，甲方有权单方解除本合同且视不同情况要求乙方部分或全部退还所拨经费。

3.乙方的厅补助经费及自筹经费应按国省有关科研经费使用范围开支。

4.项目执行过程中，甲方提出变更合同有关内容时，要与乙方协商达成书面协议。

5.项目完成后，乙方必须按要求向甲方提交一套真实、完整、详细的技术资料及样机，并提出项目验收申请报告，由甲方审查后组织验收。

6.合同正本一式拾伍份，甲方单位伍份，承担单位拾份。

7.本合同经双方签章后生效，规定内容执行完毕后自然失效。

十、合同签约各方

合同甲方：

负责人：（签字）

李涛

联系人：（签字）

张喆

电 话：029-88869067



合同乙方：（承担单位）

单位负责人：（签字）

陈建峰

项目负责人：（签字）

张喆

电 话：



财务负责人：（签字）

师艺宸

账 户 名：长安大学

开户银行：中国银行西安翠华路支行

账 号：102007335073

陕西交通科技项目科研诚信 承诺书

本单位承诺在科研项目实施过程中，遵守科学道德和科研诚信要求，严格执行《陕西省交通运输厅科研项目管理办
法》的规定和科技项目合同书约定，保证所提交材料的真实性，确保专款专用。如违背以上承诺，愿意承担相关责任，并同意主管部门将相关失信信息记入公共信用信息系统。

项目承担单位 (盖章)

项目负责人: 

年 月 日

项目编号: 25-35K

2025 年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称: 公路路域空气污染特征及生态防护技
术研究

申请单位: 长安大学、西安市公路局 (盖章)

联系人: 邱兆文

电 话: 13193372231

陕西省交通运输厅制

2026 年 03 月

目 录

一、项目研究的背景和必要性.....	1
二、前期科研及工作基础.....	2
2.1 国内外研究现状.....	2
2.2 前期工作准备.....	5
三、实施方案.....	10
3.1 拟解决的关键问题.....	10
3.2 主要研究内容及实施方案.....	10
3.3 技术路线.....	12
3.4 后续技术改造或基本建设计划的衔接.....	14
3.5 有关技术经济指标.....	15
四、项目承担单位及参加单位概况.....	15
4.1 单位概况.....	15
4.2 技术力量及人员构成.....	16
4.3 各自承担的主要工作.....	16
4.4 项目主要负责人情况.....	17
五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件.....	17
5.1 依托工程（工作）概况.....	17
5.2 投资来源.....	18
5.3 工程进度与项目科研进度的配合.....	18
5.4 组织管理形式.....	18
六、项目经费估算及资金筹措情况.....	19
七、项目绩效指标.....	20
八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益.....	23
8.1 项目预期目标.....	23
8.2 提交的研究成果及其形式.....	23
8.3 经济、社会、环境效益分析.....	23
九、其它需要说明的问题.....	24
十、申请单位意见.....	24

一、项目研究的背景和必要性

习近平生态文明思想是新时代中国特色社会主义思想的重要组成部分，是新时代交通运输生态文明建设的根本遵循。交通运输部提出，到2035年，基本实现交通运输发展与自然和谐共生（交通运输部，2018）。从战略角度出发，生态文明建设与交通强国战略的提出，表明生态交通是未来发展趋势。

然而，过度重视公路基础设施规模发展的速度，在一定程度上忽视了公路运营期间的路域环境保护问题。随着机动车保有量的快速增长，导致道路交通污染日益严重（Xu et al., 2023）。尽管汽车电动化和先进排放控制技术的应用对道路交通减排起到促进作用，但由于纯电动车占比仍较小以及机动车保有量的持续增加，因此道路机动车排放（包括非尾气排放）依然是路域大气污染控制的重点。不同车型、不同车速的车辆都会对大气环境产生不同程度的污染，表明公路交通的发展对于生态环境具有一定的胁迫效应（Forehead and Huynh, 2018），因此探究公路路域空气污染特征及生态防护技术对实现路域空间可持续协调发展具有重要意义。

为改善交通运输与环境保护之间的矛盾，有必要对路域交通排放和生态景观状况进行深入调查研究。在此基础上，进一步探索符合自然规律的路域生态景观防护技术，从而有效解决交通污染对路域环境的负面效应。尽管公路交通的机动车排放污染和分布的相关研究已经取得了一定的进展（Shen et al., 2024; Zhou et al., 2019），但是随着机动车动力能源多样化的发展，特别是针对复杂的公路路域的空气污染特征和生态景观建设而言，仍有许多未知领域需要探索：

（1）随着道路机动车排放标准持续加严和电动化的普及，交通相关污染物的排放和分布特征发生改变，但目前尚未有研究针对公路路域的污染特征进行系统的分析。因此，应该通过实地调研和监测活动来明晰路域污染物的排放和分布特征。

（2）由于地形和空间的限制，城市在快速发展的过程中遇到的公路交通与路域生态环境之间的问题显得更为突出和棘手，因此应系统调查各路段的交通污染物排放与分布特征现状，分析公路交通系统与路域生态环境系统耦合协调关系。

（3）从道路交通系统和生态环境系统进行的研究，多侧重于对生态系统胁

迫效应的研究，针对具体的建设领域，缺少对生态绿化植被的量化研究，忽视了生态绿化植被对道路交通系统和道路交通污染的深层次影响，因此应多场景多维度量化生态绿化植被对公路交通污染的影响。

(4) 由于公路路域生态景观建设需要符合特定地段的生态背景，尽量恢复植物群落的复杂性，防止外来物种的入侵和单一物种的大面积衰退。因此，应针对特定的生态环境背景，开展公路路域生态景观绿化模式设计与实践研究，构建具有良好生态服务功能的近自然的植物群落生境、组成和结构。

因此，本项目拟通过调研公路交通污染物排放与路域生态植被分布，揭示公路交通系统与路域生态环境系统之间的耦合协调发展机制，评估公路交通系统对生态绿化和环境质量的动态影响。构建多维度污染物衰减分布模型，量化公路路域的生态绿化模式对交通污染物削减效率。进一步，提出适应不同地形和生态条件的路域绿化模式设计方案，优化植物群落布局与结构，为实现生态交通的可持续发展和环境保护提供实用的解决策略。

二、前期科研及工作基础

2.1 国内外研究现状

针对公路路域空气污染特征及生态防护技术相关研究，以下从公路路域污染物特征、公路路域生态环境影响因素以及路域生态防护技术等三个主要方面进行综述分析。

(1) 公路路域交通污染物排放与分布特征

机动车尾气是公路路域的主要空气污染来源之一 (Tomar et al., 2022)。在全球范围内，机动车尾气排放对空气质量的负面影响已经得到广泛研究 (Wallington et al., 2022)。研究表明，机动车排放量取决于车辆类型、燃油类型、车辆行驶速度和驾驶工况等多个因素 (Merkisz et al., 2018; 陈坚等, 2024; 吕立群等, 2024)。随着机动车排放标准持续加严和电动化的普及，非尾气排放在城市路域颗粒物暴露中的相对贡献逐渐提高 (Wang et al., 2023)。此外，非尾气颗粒物富含金属元素，对人体健康的危害更大，其还会沉积在路边的土壤和水体中，对生态环境产生长期的影响 (Harrison et al., 2021)。然而，目前非尾气排放的动态特征尚不清楚，仍缺少有效的方法量化非尾气排放与尾气排放之间的动态关联。

移动监测方法的出现提供了高效、快速的污染物监测途径,可以更为有效的捕捉机动车排放污染物的扩散特征(Yu et al., 2016)。现有相关研究主要集中在城市中心地区的基础交通设施方面,如交叉口(高嵘等, 2019)、高架桥(邱兆文等, 2022)、隧道(Bein et al., 2022)和高速收费站(Patra et al., 2024)等区域,探究了这些区域交通相关污染物的分布特征。污染物的空间分布特征受到道路类型、交通流量、气象条件以及地理环境等多重因素的影响(Liu et al., 2024)。污染物浓度通常在靠近道路的区域最高,并随着距离增加逐渐衰减(Padró-Martínez et al., 2012)。同时,植被对污染物的削减作用也受到广泛关注,公路两侧的绿化带能够有效减少颗粒物的扩散,但在特定的条件下,绿化却可能会导致颗粒物聚积,进而增加局部区域污染物的浓度(Leonard et al., 2016)。但上述这些研究大多聚焦于城市中心区域,少有研究分析公路路域不同绿化组合下交通相关污染物的时空变化特征,特别是在不同生态绿化场景下交通污染物的衰减特征仍然有待研究。

(2) 公路路域生态环境影响因素研究

公路交通系统与路域生态环境系统之间的相互作用是研究公路生态环境影响的关键问题之一(Qin et al., 2023)。公路交通不仅推动了区域经济的发展,同时也对沿线的生态环境产生了复杂的影响。这两个系统在公路建设、交通运营和环境变化的过程中形成了密切的联系,任何一方的变化都会对另一方产生显著影响。现有研究主要聚焦于公路交通系统与区域经济系统的协同发展,深入揭示了交通运输与经济耦合协调关系(盛艳, 2024; 周正祥等, 2023)。与此同时,环境和经济之间的相互作用关系也引起了学者们的关注,证实了空气污染程度与经济发展相关,并呈倒“U”型曲线关系(Grossman et al., 1995)。然而,在这一背景下,公路交通对生态环境的负面影响,特别是污染物排放、土地利用变化和植被多样性损失等问题,同样日益受到重视(李明亮等, 2022; 高有湖等, 2023)。研究表明,公路交通系统的扩张可能对环境造成不可逆转的破坏,导致空气、水体、土壤和噪声等多种形式的污染(Pradhan et al., 2024)。但公路交通系统与路域生态环境系统之间的耦合协调发展机制并不完善,路域生态绿化与公路交通污染之间的关联性少有关注,这在一定程度上阻碍了公路路域生态环境的可持续发展。

公路路域生态环境受到多种因素的共同作用,这些因素涵盖了交通流量、车辆类型、植被种类、气象条件以及周边植被特征和土地利用类型等(Liu et al., 2024)。交通流量和车辆类型是影响公路路域生态环境的关键因素。大量研究表明,交通流量的增加会显著提高空气污染物的浓度(Wang et al., 2023)。重型车辆的排放对路域环境的影响尤为显著,柴油车、重型货车的排放量远高于轻型车辆(黄志辉等, 2022)。气象条件也是影响公路路域生态环境的重要变量。风速、风向、温度、湿度和降水量等气象因素对污染物的扩散和沉降有显著影响(Pan et al., 2016; Romero et al., 2020)。道路两旁的植被和绿化带在减缓污染物扩散、改善生态环境方面发挥了重要作用。植被不仅能通过吸附作用减少颗粒物、NO_x等空气污染物的浓度,还能通过调节路域小气候,缓解城市热岛效应(Gago et al., 2013)。然而,现有相关研究大多数仅局限于特定生态绿化植被类型对污染物的影响效果,并不能全面的展现公路路域生态绿化植被组合对于交通污染的影响机理。此外,公路生态环境的影响因素的量化分析还相对薄弱,大多数研究通过构建多元线性模型来分析生态环境与不同因素之间的影响关系,很难揭示生态环境与影响因素之间的非线性影响。

(3) 公路路域生态防护技术研究

道路网络是社会和经济发展的产物,是当今社会和经济发展的中枢,其建设和发展速度也远高于其他建设工程(宗跃光等, 2003)。道路建设在移除原有景观类型的基础上,对原有景观起到分割作用,进而对景观格局产生一定影响(毕恺艺等, 2019)。道路网络导致景观格局规律发生变化,且这种变化与景观类型、生态区紧密联系(Fu et al., 2010)。此外,道路网络加剧了景观的破碎化,道路密度、道路等级是影响破碎化程度的重要因素(Luo et al, 2016)。公路运营引起的环境质量恶化问题也逐渐引起了人们的重视。许多学者针对公路路域重金属(任志建等, 2022)或者景观生态学(陆晴等, 2022)进行研究,在此基础上,对路域生态环境的评价系统得到了不断完善(陈耀等, 2022)。道路网络是重要的人为景观,对景观结构组分有重要影响,制定合理的道路网络规划设计,有利于合理规划、利用和保护环境中各景观要素,为城市建设及生态保护协调发展提供一定参考依据。

针对公路交通污染对生态环境的影响,国内外学者提出了多种生态防护措

施,旨在减轻道路交通对生态系统的破坏。主要措施包括绿化带设计(Sheng et al., 2019)、生态廊道建设(Qiao et al., 2023)、动物通道设置(Qin et al., 2023)等。其中,绿化带是公路路域污染控制中最常用的生态防护技术之一,适当的绿化带设计可以有效减少空气污染物(Sheng et al., 2019)。在不同的气候条件和地理环境下,绿化带对污染物的削减效果有所不同。例如,在中国北方的干旱地区,植被的选择和绿化带的宽度对污染物削减的效果至关重要。研究发现,适当增加绿化带的宽度可以显著提高对污染物的阻隔作用(Yli-Pelkonen et al., 2017)。尽管现有研究对单一绿化模式的减污效果进行了深入分析,但仍存在一些不足之处。目前的研究主要聚焦于植被绿化的单一特征,这限制了进一步探究植被绿化与污染物之间的相互作用机理,未能有效提供综合观点。此外,针对绿化的公路路域生态防护技术手段尚显不足,仍需探究新颖的绿化模式的生态防护潜力。

通过对现有文献的梳理和总结,现有研究在公路路域污染物排放和分布特征、生态环境影响及防护技术方面的研究已经取得了一定进展,但仍存在一些不足。首先,现有研究大多集中于机动车尾气常规污染物的分布特征,而对超细颗粒及非尾气污染物的关注相对较少。不同生态绿化场景下交通污染物的衰减特征仍有待分析。其次,虽然生态环境影响因素的研究逐步深入,但现有的耦合协调模型多基于单一因素的分析,缺乏对多源数据的综合分析。此外,公路交通系统与路域生态环境系统之间的复杂相互作用关系尚不清楚,仍需进一步量化生态环境与不同因素之间的非线性关系。最后,生态防护技术的研究逐渐多样化,但其在不同地理环境和生态特点下的适用性仍需进一步加强。

2.2 前期工作准备

2.2.1 研究基础

项目组长期从事道路交通环境领域的研究,在国家西部交通建设项目“公路隧道汽车动态排放参数研究”、国家自然科学基金面上项目“特长隧道内机动车排放PM_{2.5}和NO₂的特征及对能见度的影响”“城市信号交叉口超细颗粒污染、暴露及公众健康影响研究”、青年项目“机动车尾气颗粒物成分谱及其特征研究”、陕西省科技统筹计划项目“在用重型柴油车尾气后处理技术与示范”、陕西省自然科学基金基础研究项目“城市路域交通PM_{2.5}排放及行人暴露浓度精细化评估方法研究”、住房和城乡建设部研究开发项目“面向城市道路立体交叉规划设计的交

通污染评估方法研究”等项目的资助下，在汽车排放特性、污染物扩散模拟技术方面积累了丰富的研究经验。在 Environmental Pollution、Science of The Total Environment、Sustainable Cities and Society、Building and Environment、Environmental Research、Environmental Science and Pollution Research、Atmospheric Pollution Research、汽车工程、中国公路学报、中国环境科学、环境工程学报等著名杂志上发表学术论文 80 余篇。近年来，承担国家、省部级和重大工程关键技术研究项目 20 余项，出版专著教材 5 部，制定国家标准 1 部，地方标准 2 部，获得省部级科学技术二等奖 1 项、陕西省环境保护科学技术特等奖 1 项、陕西省环境保护科学技术一等奖 1 项。

项目组在机动车排放因子及控制策略、交通基础设施的环境影响、污染物扩散等方面具有较为扎实的研究基础。基于大量实测（包括隧道、车载和路侧）和 MOVES 模型对我国城市（特别是关中地区）机动车颗粒物 PM_{2.5} 排放因子进行研究，建立基于运行模式分布的微观交通排放模型，以及面向地区及城市模型的交通污染物排放清单估算模型，特定场景（如运输场站）机动车排放清单评估方法、城市机动车排放评估模型，该方法应用于西安市柴油车减排潜力场景的预测模拟，为制定柴油车排放控制策略提供了依据，据此完成了关中地区在用柴油车排放治理技术指南编制。为本项目机动车排放因子及扩散模拟打下了良好基础。

在交通环境影响方面，申报人团队通过专门监测、统计分析、数值模拟等方法，系统研究了各类基础设施区域的细颗粒物统计学分布特征和时空分布特征，解析了不同来源的颗粒物粒径分布和扩散机理，建立了基于 MOVES+AERMOD 的微环境空气质量评估模型，结合 CFD 技术及云计算技术对交通基础设施（城市高架、交叉口等）污染源排放及其对空气污染（如细颗粒物 PM_{2.5} 和黑碳 BC）影响进行场景分析，并梳理了典型城市道路环境中，植被组成及群落结构设计的关键特征对颗粒物分布和扩散的影响。本研究主题中申报人完成的研究成果的创新在于，这些研究有助于改进公路基础设施系统模型与大气污染模型的有机结合，针对交通基础设施投资的不可逆转性，建立了相应的交通污染物分布规律以及精细化的环境影响分析方法，并从植被群落设计和叶片微形态方面探讨了植被对颗粒浓度的耦合作用。

综上所述，申请人及其项目组具有丰富的相关研究工作积累，并已在本领域

及其相关领域做出了具有重要意义的研究成果,这些有利条件为本项目的研究成功奠定了坚实的基础。

2.2.2 技术装备条件

本项目依托长安大学双一流建设学科“交通运输工程”和“道路交通减碳教育部工程研究中心”,近年来在道路生态环境保护领域积累了一定的研究资源,完全能够保障本项目的顺利开展。

①排放测试相关设备

颗粒物车载测试系统(PEMS),包括流量计(SEMTECH-EFM3)、稀释系统及TSI 8530颗粒监测设备等。

VOBX 3I 高精度差分GPS测量系统1套,英国Racelogic公司产品,采样频率为100Hz, GPS RTK 差分基准站1台, RTK 定位精度为2cm。系统配备车辆CAN数据采集接口。

Traficon VIP-T 视频事件检测系统,可以完成交通数据采集、交通视频处理功能,输出交通数据(车流量、平均车速、车道占有率等)。

微观交通流仿真软件、宏观交通流仿真软件、车辆动力学仿真软件、数据分析统计软件 SPSS、R Studio、Easyfit5.6、空间分析工具 ArcGIS 以及排放模型 MOVES、空气质量模型 AERMOD 等交通环境分析系统。

②污染物监测及相关设备条件

微型大气重金属在线分析仪1台,浪声GaOA,可实测汽车排放中非尾气成分,包括Pb(铅)、Cd(镉)、Hg(汞)、As(砷)、Cr(铬)、Cu(铜)、Zn(锌)、Ni(镍)等30种元素。

电子低压撞击仪(ELPI+)2台,芬兰DEKATI公司产品,可实时测量粒径范围6nm-10 μ m,14个通道的粒径段颗粒的数浓度。

AE-51型黑碳仪3台,利用五波段光学吸收方法测量空气中的黑碳气溶胶质量浓度,最低测量分辨率1s,内置GPS以及海拔、气压和温度传感器。

德国GRIMM 1.109便携式颗粒物监测仪两台,用于同时测量PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁质量浓度,31通道粒径范围在10nm~32 μ m数浓度和粒径谱。

德国GRIMM Mini-WRAS便携式全谱粒径谱仪,检测范围从10nm至35 μ m,粒径分辨率超过40个粒径通道,可连续实时监测PM₁、PM_{2.5}、PM₁₀。

美国 TSI 8525 气溶胶光学计数器两台,可测量粒径范围大于 20nm 的气溶胶总颗粒数浓度; TSI 8530 气溶胶监测仪 1 台,可连续实时测量 PM10、PM2.5、PM1 质量浓度。

kestrel 4500 便携式气象仪 2 台,可以实测温度、湿度、风速等气象参数。

拥有占地 423 亩全国高校唯一、全长 2.4km 的汽车试验场,可模拟多种场景。

参考文献

- [1] Bein K J, Wallis C D, Silverman J L, et al. Emulating near-roadway exposure to traffic-related air pollution via real-time emissions from a major freeway tunnel system[J]. *Environmental science & technology*, 2022, 56(11): 7083-7095.
- [2] Forehead H, Huynh N. Review of modelling air pollution from traffic at street-level - The state of the science[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 241:775-786
- [3] Fu W, Liu S, Dong S. Landscape pattern changes under the disturbance of road networks[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2: 859-867.
- [4] Gago E J, Roldan J, Pacheco-Torres R, et al. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects[J]. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2013, 25: 749-758.
- [5] Harrison R M, Allan J, Carruthers D, et al. Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review[J]. *Atmospheric Environment*, 2021, 262: 118592.
- [6] Leonard R J, McArthur C, Hochuli D F. Particulate matter deposition on roadside plants and the importance of leaf trait combinations[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 20: 249-253.
- [7] Liu Z, Hu Y, Qiu Z, et al. Characteristics and prediction of traffic-related PMs and CO₂ at the urban neighborhood scale[J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2024, 15(2): 101985.
- [8] Luo T, Zhang T, Wang Z, et al. Driving forces of landscape fragmentation due to urban transportation networks: lessons from Fujian, China[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2016, 142(2): 04015013.
- [9] Merkisz J, Lijewski P, Fuć P, et al. Measurement of exhaust emissions under actual operating conditions with the use of PEMS: Review of selected vehicles[J]. *Improvement Trends for Internal Combustion Engines*, 2018: 99.
- [10] Padró-Martínez L T, Patton A P, Trull J B, et al. Mobile monitoring of particle number concentration and other traffic-related air pollutants in a near-highway neighborhood over the course of a year[J]. *Atmospheric Environment*, 2012, 61: 253-264.
- [11] Pan L, Yao E, Yang Y. Impact analysis of traffic-related air pollution based on real-time traffic and basic meteorological information[J]. *Journal of environmental management*, 2016, 183: 510-520.
- [12] Patra A K, Kolluru S, Penchala A, et al. Assessment of seasonal variability of PM, BC and UFP levels at a highway toll stations and their associated health risks[J]. *Environmental Research*, 2024, 245: 118028.

- [13] Pradhan R P, Nair M S, Hall J H, et al. Planetary health issues in the developing world: Dynamics between transportation systems, sustainable economic development, and CO2 emissions[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 449: 140842.
- [14] Qiao Q, Zhang Y, Liu J, et al. Study on the extraction method for ecological corridors under the cumulative effect of road traffic[J]. *Applied Sciences*, 2023, 13(10): 6091.
- [15] Qin X, Wang Y, Cui S, et al. Post-assessment of the eco-environmental impact of highway construction—A case study of Changbai Mountain Ring Road[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2023, 98: 106963.
- [16] Romero Y, Diaz C, Meldrum I, et al. Temporal and spatial analysis of traffic-Related pollutant under the influence of the seasonality and meteorological variables over an urban city in Peru[J]. *Heliyon*, 2020, 6(6).
- [17] Shen Y, Wu T, Lian A, Gao J, Peng F, Song G, Wu X, Cui Y, Liu X, Wan Y, Yan J, Xue Y. Dynamic emission characteristics and control strategies of air pollutants from motor vehicles in downtown Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2024, 136:637-646
- [18] Sheng Q, Zhang Y, Zhu Z, et al. An experimental study to quantify road greenbelts and their association with PM2.5 concentration along city main roads in Nanjing, China[J]. *Science of the total environment*, 2019, 667: 710-717.
- [19] Tomar G, Nagpure A S, Kumar V, et al. High resolution vehicular exhaust and non-exhaust emission analysis of urban-rural district of India[J]. *Science of The Total Environment*, 2022, 805: 150255.
- [20] Wallington T J, Anderson J E, Dolan R H, et al. Vehicle emissions and urban air quality: 60 years of progress[J]. *Atmosphere*, 2022, 13(5): 650.
- [21] Wang P, Zhang R, Sun S, et al. Aggravated air pollution and health burden due to traffic congestion in urban China[J]. *Atmospheric chemistry and physics*, 2023, 23(5): 2983-2996.
- [22] Wang X, Gronstal S, Lopez B, et al. Evidence of non-tailpipe emission contributions to PM2.5 and PM10 near southern California highways[J]. *Environmental Pollution*, 2023, 317: 120691.
- [23] Xu M, Weng Z, Xie Y, Chen B. Environment and health co-benefits of vehicle emission control policy in Hubei, China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2023, 120:103773
- [24] Yli-Pelkonen V, Viippola V, Kotze D J, et al. Greenbelts do not reduce NO2 concentrations in near-road environments[J]. *Urban Climate*, 2017, 21: 306-317.
- [25] Yu C H, Fan Z, Liou P J, et al. A novel mobile monitoring approach to characterize spatial and temporal variation in traffic-related air pollutants in an urban community[J]. *Atmospheric Environment*, 2016, 141: 161-173.
- [26] Zhou Z, Tan Q, Liu H, Deng Y, Wu K, Lu C, Zhou X. Emission characteristics and high-resolution spatial and temporal distribution of pollutants from motor vehicles in Chengdu, China. *Atmospheric Pollution Research*, 2019, 10:749-758
- [27] 毕恺艺,牛铮,黄妮,等.道路网络对景观生态风险的影响——以“中国-中南半岛经济走廊”为例[J].*中国科学院大学学报*,2019,36(03):347-353.
- [28] 陈坚,陈嘉果,陈琦,等.山地城市道路交通碳排放影响因素非线性关系模型[J].*交通运输系统工程与信息*, 2024, 24(5):237-245.
- [29] 陈耀,胡永歌,徐恩凯,等.基于 RSEI-熵权法复合模型的路域生态环境综合评价[J].*公路*,2022,67(03):319-326.

- [30] 高嵘,净新苗,何红弟.城市道路交叉口颗粒物浓度及行人暴露研究[J].环境科学与技术,2019,42(05):214-221.
- [31] 高有湖,孙振磊,程华丽.临高速公路生态环境影响评价及保护措施研究[J].交通节能与环保, 2023, 19(S01):30-33.
- [32] 黄志辉,纪亮,尹洁,等.中国道路交通二氧化碳排放达峰路径研究[J].环境科学研究, 2022, 35(2):385-393.
- [33] 李明亮,袁旻志,程珊珊,等.公路网建设对湿地生态影响研究综述[J].公路交通科技, 2022, 39(S02):310-318.
- [34] 陆晴,刘根林,闫冰,等.道路网络对景观格局及景观生态风险的影响——以瑞兴于地区为例[J].生态学杂志,2022,41(11):2236-2244.
- [35] 交通运输部.交通运输部关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见. 国务院公报 https://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5346699.htm
- [36] 吕立群,徐龙,尹航,等.重型柴油车实际道路 NO_x 排放分析方法研究[J].汽车工程,2024,46(01):151-160.
- [37] 邱兆文,王樽,李唯真.城市高架桥对颗粒物扩散分布的影响[J].中国公路学报,2022,35(05):202-210.
- [38] 任志建,余爱华,徐贝贝.路域环境中土壤重金属污染的研究进展[J].应用化工,2022,51(03):787-792.
- [39] 盛艳.智能交通系统对交通运输经济发展的影响[J].运输经济,2024,(17):41-44.
- [40] 周正祥,戴红梅,查嫣媛.数字交通赋能经济高质量发展的困境及对策研究[J].中国软科学,2023,(09):86-94.
- [41] 宗跃光,周尚意,彭萍,等.道路生态学研究进展[J].生态学报,2003,(11):2396-2405.

三、实施方案

3.1 拟解决的关键问题

(1) 揭示公路交通系统与路域生态环境系统之间的耦合协调发展机制, 评估公路交通系统对生态绿化和环境质量的动态影响。

(2) 构建多维度污染物衰减分布模型, 量化公路路域的生态绿化模式对交通污染物削减效率。

(3) 提出适应不同地形和生态条件的路域绿化模式设计方案, 优化植物群落布局与结构, 为实现生态交通的可持续发展和环境保护提供实用的解决策略。

3.2 主要研究内容及实施方案

本项目从绿色生态交通角度出发, 从路域交通污染物排放和分布特征、交通系统与路域生态环境系统耦合、植被对交通污染的量化影响以及绿化模式设计实践四个方面开展研究:

(1) 公路路域污染物排放与分布特征研究

选取涵盖不同绿化模式下的公路路域典型场景,调研工程实验路段的不同场景下交通流量、车辆类型以及车辆速度等交通特征信息,刻画道路机动车非尾气与尾气排放及贡献特征;通过移动监测方法,研究不同典型场景下交通相关污染物(本研究指 PM_{2.5} 和 PM₁) 的分布特征;基于定点监测方法,归纳污染物在公路路域范围内的衰减特征差异,拟合不同污染物的衰减分布数学模型。

(2) 公路交通系统与路域生态环境系统耦合协调研究

结合公路路域污染物排放和分布特征,基于系统耦合理论,分别构建包含交通流量和车型类型的公路交通系统指标体系,和包含生态景观(植被指数和叶面积指数)和环境污染物的路域生态环境系统指标体系;建立公路交通—路域生态环境系统指标体系,对以上多源指标进行预处理,并利用层次分析法和熵值法确定各二级指标权重,建立耦合协调度模型分析公路交通系统与路域生态环境的耦合协调发展情况,通过灰色关联度确定公路交通与路域生态环境系统协调发展过程中的影响因子。

(3) 生态绿化植被对公路交通污染影响的量化研究

基于实测数据,运用数据融合技术构建公路路域多维参数(包括污染物种类、生态植被、交通流量、气象条件等)数据库;利用机器学习模型进行数据训练,提升模型预测性能;构建不同场景下多污染物的扩散分布模型,提升模型的应用广泛性;量化不同场景中生态绿化植被对于污染物浓度变化的影响。

(4) 公路路域生态景观绿化模式设计与实践研究

基于以上调研实测和数值模拟,根据研究区域不同地形地貌及生态特点,以研究区自然植被生态系统作为对照,从绿化模式、景观结构、植被选择、栽植技术等方面,结合景观植被对公路交通污染影响的量化分析,开展不同区域的生态景观绿化模式和方案设计;最后依托具体绿化工程项目进行实例分析和评价。

3.3 技术路线

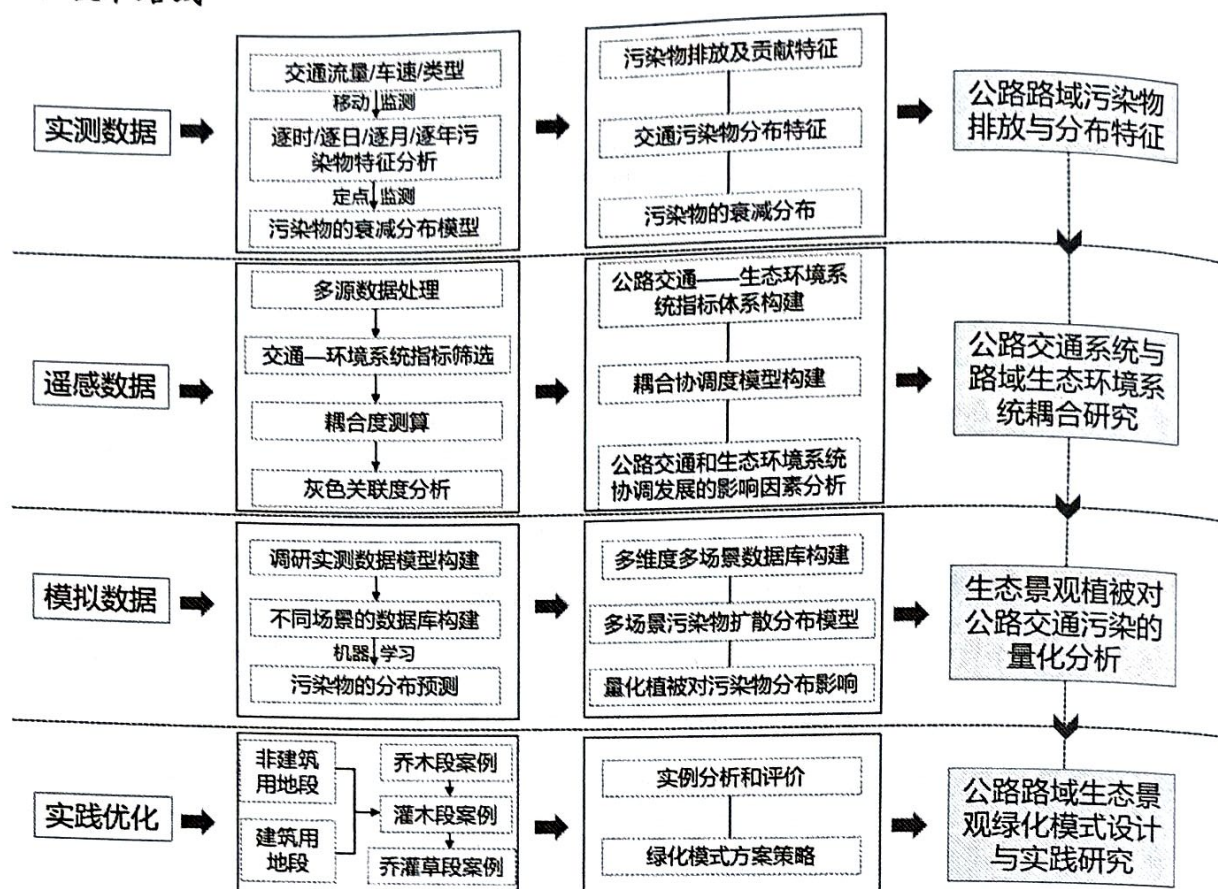


图 2. 本项目研究内容流程图

本项目的技术路线围绕“公路路域污染物排放特征、交通系统与生态环境耦合以及绿化模式优化”三个核心方向展开，整体研究思路为“数据采集 → 指标体系构建 → 模型分析 → 结果应用”，具体步骤如下：

(1) 路域污染物排放与分布特征研究方案：

①交通信息收集和整理。首先，选取工程实验路段作为调研地点，充分考虑气象因素、道路类型、建成环境类型和交通量等要素。然后，利用高清数码摄像机、交通流量监测及和视频图像处理系统对选定路段不同季节、不同天气状况、早晚高峰时段和非高峰时段的交通数据（车型构成、车速、车头间距等）进行收集统计。

②污染物浓度定点监测。首先，使用各类污染物监测仪器，便携式气象仪（温度、湿度、风速、风向监测）、采样管等搭建定点测试平台。然后，在工程实验路段连续监测，计划在公路路域固定点测试路边污染物浓度，根据不同路段的植被覆盖情况，固定点覆盖的监测区域距离可设 10m, 20m, 30m, 50m, 70m, 100m, 300m。

③污染物移动监测。使用便携式污染物监测仪、高精度差分 GPS 测量系统、电源适配器、小型气象站等集成在实验车辆上搭建移动测试平台。实验车辆根据选定的植被覆盖路线进行移动监测,并分析路域逐时、逐日、逐月、逐年等不同时间尺度的污染物分布特征。

(2) 公路交通系统与路域生态环境系统耦合协调研究方案:

①构建公路交通指标体系。基于公路路域污染物排放和分布特征,构建包含交通流量和车型类型的公路交通系统指标体系。

②构建路域生态环境指标体系。使用遥感卫星数据,通过 ENVI 的软件处理,获取生态景观数据。另外,采用系统取样法,分别在线样内 10m, 20m, 50m, 100m, 300m 处设置样方,现场调研统计自然植被群落的组成和结构,并获取不同植被密度、高度、频度和覆盖度等指标。完善包含生态景观(植被指数和叶面积指数)和环境污染物的路域生态环境系统指标数据库。

③量化系统耦合协调度。首先,采用层次分析法和熵值法确定公路交通系统与路域生态环境系统的二级指标权重;并基于以下方法建立的耦合协调度模型,式中 C 为耦合度, D 为耦合协调度, u_1 和 u_2 分别表示第一个子系统评价指数与第二个子系统评价指数, a 和 b 分别指两个子系统的权重。

$$C = 2 \left\{ \frac{u_1 \cdot u_2}{(u_1 + u_2)^2} \right\}^{1/2}$$

$$D = (C \cdot T)^{1/2}$$

$$T = au_1 + bu_2$$

在此基础上,采用灰色关联分析法,测算公路交通系统与路域生态环境系统中各个指标对耦合协调度的影响程度,根据灰色加权关联度的大小,建立各系统指标的关联序,进一步确定公路交通与路域生态环境系统协调发展过程中的影响因子。

(3) 生态绿化植被对公路交通污染影响的量化研究方案

①构建污染物和植被特征耦合数据库。在 ENVI-met 中构建从路域环境中提取的多个场景作为模型,构建公路路域空气污染物和生态绿化植被,耦合公路交通特征、气象条件等多维参数数据库。

②构建机器学习量化模型。模拟仿真提供各种绿化植被覆盖条件下的颗粒物

浓度分布结果，生成揭示各种特征值和相应颗粒浓度之间关系矩阵，该矩阵作为数据输入，进一步输入机器学习模型。利用线性回归(LR)、支持向量回归(SVR)、K 最近邻域回归(KNN)、随机森林(RF)和极端梯度提升(XGB)等机器学习模型进行数据训练，数据被随机分为两组，其中 75%用于训练，其余 25%用于测试，通过均方根误差(RMSE)和决定系数(R²)评估所选机器学习模型的性能，提升模型预测性能。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - P_i)^2}$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}_i)(P_i - \bar{P}_i))^2}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}_i)^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P}_i)^2}}$$

式中是 N 采样点的数量，S_i 是 ENVI-met 获得的模拟污染物浓度，P_i 是通过机器学习模型预测的相应污染物浓度。

③影响机理分析。基于机器学习模型量化多个因素对污染物浓度的贡献，通过可解释的机器学习模型确定特征之间的成对交互作用，以解释和量化不同场景中公路交通和植被模式等特征对颗粒浓度的影响；同时，根据绿化工程项目，从绿化模式、景观结构、植被选择等方面，进行典型路段实例分析和评价，提出有助于减轻交通污染的适应不同地形和生态条件的绿化植被配置策略。

3.4 后续技术改造或基本建设计划的衔接

随着交通行业的不断发展，机动车数量快速增加，交通排放对大气污染的影响日益突出。本项目针对公路路域的生态防护技术，能够为政府和企业提供针对性解决方案，特别是在公路路域空气污染防治方面，有广泛的市场需求。截至 2023 年底，我国公路里程达到 543.68 万公里，比上年末增加 8.20 万公里。公路里程的迅速增加不仅展示了公路领域的巨大发展潜力，同时也体现出了公路路域的生态防护的迫切性。

本项目的研究成果可应用在全国范围内的公路路域生态环境治理，特别是重点城市的路域生态防护工作。随着国家不断加大在交通污染防治领域的投入，预计该生态防护技术将被广泛应用于国道、省道等干线公路的绿化设计中，进一步推动绿色生态交通的发展，带来一定的经济和社会效益。

3.5 有关技术经济指标

(1) 改善路域空气质量水平：本项目在实施区域内，通过引入创新的生态防护技术，能够使路域交通污染热点区域生态环境得到有效改善，尤其是在颗粒物和黑碳浓度方面取得显著减污降碳效果。

(2) 节约道路绿化成本：基于对现有绿化工程的深入分析，本项目开发一套生态植被群落优化方案，并将其应用于实际工程项目中。与传统的绿化方法相比，该方案不仅大幅降低了初期建设和后期维护的成本，而且在减少污染物浓度方面表现出了更强的效果。

(3) 技术推广应用潜力：本项目的实施将对所提出的生态防护技术在改善路域空气质量方面可行性和有效性进行论证。随着研究成果的不断积累和技术体系的逐步完善，这项技术能够在公路生态建设项目中推广应用，覆盖不同地理环境的公路生态项目。

四、项目承担单位及参加单位概况

4.1 单位概况

项目承担单位长安大学直属国家教育部，是国家首批“211 工程”重点建设大学、国家“985 优势学科创新平台”建设高校、国家“双一流”建设高校。学校现有 13 个一级学科博士点，4 个博士专业学位授权类别，34 个一级学科硕士点，21 个硕士专业学位授权类别。有 9 个博士后科研流动站。工程学、地球科学、材料科学、环境科学与生态学、社会科学总论、化学和计算机科学等 7 个学科进入 ESI 全球前 1%，其中工程学学科进入全球前 1%，环境科学与生态学、材料科学、地球科学等 3 个学科进入全球前 3%。现有 82 个本科专业，其中 50 个专业入选“双万计划”国家级、省级一流本科专业建设点，28 个专业通过国家工程教育认证。学校稳居中国大学百强，土木与交通学科位列 U.S.News 全球大学第 8 名，被誉为公路交通人才培养的“黄埔军校”、科技创新的“金名片”。

项目参与单位西安市公路局是西安市交通运输局下属的正处级事业单位，主要负责全市普通国省干线公路及农村公路的养护管理、路政管理、应急保障、超限治理和技术指导等工作。在本项目中提供了依托工程试点及试验协调职责。

4.2 技术力量及人员构成

姓 名	工作单位	性别	年龄	技术职称	专 业	在项目中担任具体工作
邱兆文	长安大学	男	50	教授	交通运输	总体协调
裴晓梅	西安市公路局	女	53	正高工	公路工程	工程管理
任飞虹	长安大学	女	36	副教授	风景园林	方案设计与数值模拟
谭晓伟	长安大学	男	40	高工	交通运输	实验实施和统计分析
郝艳召	长安大学	男	45	副教授	交通运输	方案设计与数值模拟
冯伟	西安市公路局	男	37	工程师	道路工程	数据采集与工程设计
张玮	西安市公路局	男	36	工程师	道路工程	数据采集与工程设计
李猛	长安大学	男	42	副教授	机械工程	实地调研与数据收集
李腾	西安市公路局	男	38	副高级	桥梁工程	工程管理与实证
刘凯涛	西安市公路局	男	35	工程师	环境保护	方案设计与评估
崔珂	西安市公路局	男	33	工程师	道路工程	方案设计与评估
张睿轩	长安大学	男	26	博士生	交通运输规划 与管理	调研与撰写报告
徐艺诺	长安大学	女	27	博士生	交通运输工程	调研与撰写报告
马丽雅	长安大学	女	25	硕士生	交通运输	调研与数据分析
徐镜清	长安大学	女	25	硕士生	风景园林	调研与数据分析

4.3 各自承担的主要工作

本项目由邱兆文教授担任项目负责人，全面负责项目的总体设计、研究思路把控及组织协调工作，统筹各研究任务有序推进；

裴晓梅高工主要负责协调依托工程的支持和现场试验的协助，并参与生态景观绿化模式的研究；

任飞虹副教授主要负责生态景观绿化模式构建与技术方案设计，从景观生态

角度支撑公路路域绿色优化策略的形成；

郝艳召副教授主要负责交通污染监测方案设计及组织实施；

谭晓伟高级工程师重点开展典型工程案例的收集与实例分析，并对相关研究结果进行综合评价；

冯伟、张玮两名工程师主要负责数据采集与工程设计；

李猛副教授主要负责实地调研与数据收集；

李腾副高级工程师主要负责工程管理与实证；

刘凯涛、崔珂两名中级工程师主要负责方案设计与评估；

张睿轩、徐艺诺两名博士研究生主要协助开展相关研究工作，并参与阶段性成果整理与研究报告撰写；

马丽雅、徐镜清两名硕士生负责基础数据的整理、统计分析及结果支撑工作。

4.4 项目主要负责人情况

邱兆文，教授，博士生导师，兼任中国机械工业教育协会高等工程教育汽车服务工程专业教学委员会副主任委员、汽车绿色低碳测评与控制陕西省高等学校重点实验室主任、全国汽车维修标准化技术委员会委员。

主持国家自然科学基金面上项目、国家标准制修订项目、中国博士后基金面上项目、陕西省自然科学基金面上项目、陕西省科技统筹工程项目、陕西省博士后基金一等资助项目、陕西省地方标准项目等省部级课题 20 余项；获发明专利 3 项；发表论文 90 余篇（其中第一作者（或通讯作者）SCI/SSCI 检索 40 余篇）。

曾获长安大学教学优秀奖、陕西省教学成果一等奖、国家级教学成果二等奖、陕西省科技进步二等奖等。国家自然科学基金通讯评议专家、全国大学生节能减排社会实践与科技竞赛评审专家、全国大学生交通运输科技大赛评审专家、部分省市科技项目评审专家、西安市安全生产技术专家。

五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件

5.1 依托工程（工作）概况

本项目依托于西安市公路局实施的“西安市 2023 年 310 国道公路安全设施精细化提升工程”，施工路段：临潼段 K1089+080~K1096+450、K1098+950~K1107+400，全长 15.820 公里。清单工程量：改移乔木（1362 棵），改移绿篱（56340 株），改移灌木（420 棵），人工种植 1.75m 圆柏（3999 棵）。作为普

通干线公路的一部分，该路段交通流量大，交通污染问题较为突出，绿化工程尚未完成。该工程路段为研究公路路域生态环境提供了一个典型场地，有助于本项目在污染特征分布、影响因素量化以及植被生态防护技术等方面开展深入的实地研究。

5.2 投资来源

项目研究经费由陕西省交通运输厅拨付和西安市公路局配套工程。

5.3 工程进度与项目科研进度的配合

310 国道临潼、高陵段作为国家和地方重要交通干道，具备完善的交通流量与气象数据采集设施，为本项目的研究提供了宝贵的数据支持。项目团队可以利用现有的交通流量监测系统，获取包括车流量、车速、车型分布等在内的详细交通参数，同时结合便携式气象仪和污染物监测设备的实时数据，监测不同绿化场景下污染物的分布和扩散特征。同时，在相关工程路段范围内，公路路域的生态环境呈现多样化特征，这也为生态指标的量化和收集提供了便利和机会。

在依托工程中涉及大量绿化工作，包括乔木 853 棵、绿篱 102657 株、灌木 3571 株的种植。这些绿化措施不仅能够提升景观效果，而且能够为污染物削减、空气净化以及路域生态改善提供良好的生态屏障。本项目在此依托工程的基础上，将基于实际种植的乔木、绿篱及灌木的分布状况，进行针对性的污染物监测。具体而言，项目将量化不同植物类型和绿化带宽度对空气污染物的削减效率，以提供在多种绿化场景条件下的污染控制建议，为将来的道路绿化工程提供数据支持。

通过对该依托工程的分析，本项目的研究成果不仅有助于 310 国道临潼、高陵段的绿化带优化，也为未来陕西省及其他省市的干线公路的生态防护提供了科学依据。310 国道绿化提升工程为本项目的成功实施奠定了坚实的基础，并为公路路域生态防护技术的应用推广提供了现实参考。

5.4 组织管理形式

本项目由长安大学承担，由陕西省交通运输厅负责归口管理。项目执行过程将严格按照《陕西省交通运输厅科技项目管理办法》、《陕西省人民政府关于改进加强省级财政科技计划和项目资金管理的实施意见》、《长安大学科技研发项目管理办法》进行项目和经费管理。

本项目采用项目负责人制，及时组织项目例会，落实项目进展情况，主要研究人员保证有足够时间投入项目的研究工作，项目组及时根据研究进展邀请行业专家，确保研究质量。研究工作具体分工如下：

（1）污染物特征与衰减规律研究：负责开展公路路域交通特征与污染物排放实测，分析典型场景下污染物分布特征，构建多污染物衰减分布数学模型。

（2）系统耦合协调机制解析：负责构建公路交通—路域生态环境系统评价指标体系，利用耦合协调度模型及灰色关联分析法，揭示系统协调发展状态及关键影响因子。

（3）植被削减效应量化模拟：负责构建多维参数数据库，应用数据融合与机器学习技术训练预测模型，量化分析不同场景下生态绿化植被对污染物的削减与阻控影响。

（4）绿化模式设计与工程示范：负责根据不同地形地貌特征，研发差异化的公路路域生态景观绿化模式与设计方案，并依托工程进行实例验证与评价。

六、项目经费估算及资金筹措情况

经费投入（万元）		经费支出（万元）			
科 目	估算数	科 目	总经费	厅补经费	其他经费
省交通运输厅补助	19.89	合 计	39.89	19.89	
工程配套研究经费	20.00	1.设备费	0.00	0.00	
单位自筹	0	（1）购置设备费	0.00	0.00	
其他经费	0	（2）设备改造与租赁费	0.00	0.00	
		2.业务费	10.89	10.89	
		（1）材料费	14.00	2.00	
		（2）测试化验实验加工费	2.50	2.50	
		（3）燃料动力费	2.00	2.00	
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	2.50	2.50	
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	1.89	1.89	

		(6) 其他费用	8.00	0.00	
		3.劳务费	7.70	7.70	
		(1) 专家咨询费	1.50	1.50	
		(2) 聘用人员劳务费	0.00	0.00	
		(3) 其他劳务费	6.20	6.20	
		(二) 间接费用	1.30	1.30	
		4.管理费	1.30	1.30	
		5.绩效支出	0.00	0.00	

厅补经费测算说明:

(1) 业务费

材料费, 包括实验耗材、样气消耗等, 预算 2.00 万元;

测试化验实验加工费, 包括设备平台的改装等费用, 预算 2.50 万元;

燃料动力费, 车载实验时燃料消耗等, 预算 2.00 万元;

差旅费/会议费/国际合作与交流费等, 预算 2.50 万元;

出版/文献/信息传播/知识产权事费, 预算 1.89 万元。

小计 10.89 万元。

(2) 劳务费

专家咨询费, 邀请专家技术方案咨询论证, 预算 1.50 万;

其他劳务费, 用于研究生劳务补贴, 预算 6.20 万元。

小计 7.70 万元。

(3) 管理费

按照相关规定, 管理费预算 1.30 万元。

小计 1.30 万元。

(4) 工程配套经费

主要用于绿化工程及改移工程, 预算 20 万。

合计= (1) + (2) + (3) + (4) =39.89 万元。

七、项目绩效指标

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	知识产权	1.专利授权数（项）	/
		（1）授权发明专利	/
		（2）实用新型	/
		（3）外观设计	/
		2.软件著作权授权数（项）	/
		3.发表论文（篇）	5
		（1）其中 SCI 索引收录数	2
		（2）其中 EI 索引收录数	/
		（3）其他	3
		4.著作（部）	/
		5.制订标准数（项）	1
		（1）国际标准	/
		（2）国家标准	/
		（3）行业标准	/
		（4）地方标准	/
		（5）企业标准	/
		（6）科技报告	1
	其他成果	1.填补技术空白数	1
		（1）国际	/
		（2）国家	1
		（3）省级	/
		2.获奖项数	/
		（1）国家奖项	/
		（2）部、省奖项	/
		（3）地市级奖项	/
		3.其他科技成果产出	1
		（1）新工艺（或新方法模式）	1
		（2）新产品（含农业新品种）	/
		（3）新材料	/
		（4）新装备（装置）	/
		（5）平台/基地/示范点	/
		（6）中试线	/
		（7）生产线	/

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4.研究开发情况	/
		（1）小试	/
		（2）中试（样品样机）	/
		（3）小批量	/
		（4）规模化生产	/
	人才引育	1.引进高层次人才	/
		（1）博士、博士后	/
		（2）硕士	/
		2.培养高层次人才	6
		（1）博士、博士后	1
		（2）硕士	5
		3.培训从事技术创新服务人员（人次）	/
		4.是否设立科研助理岗位	否
	产业化情况	1.开放共享仪器设备数（台/套/只等）	/
		2.科研仪器设备利用率（%）	100%
		3.孵化科技型企业（个）	/
		4.转化科技成果（个）	/
效果类指标	经济效益	1.新增产值（万元）	/
		2.新增销售（万元）	/
		3.新增出口创汇（万美元）	/
		4.新增利润（万元）	/
	社会效益	1.新增税收（万元）	/
		2.新增就业人数	/
		3.就业培训（人次）	/
		4.带动农民增收（万元）	/
		5.培训和指导科技服务（人次）	/
		6.新增产业带动情况	/
		7.技术集成示范（项）	/
		8.建立示范基地（亩数）	/
		9.节约资源能源	优化公路绿化布局，节约投入
		10.环保效益	有效改善路域环境
其他需要说明的情况 /			

八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益

8.1 项目预期目标

(1) 分析不同生态绿化模式对公路路域污染物削减效果的影响, 构建多污染物的衰减分布模型;

(2) 揭示公路交通系统与路域生态环境系统的耦合协调发展机制, 分析公路交通系统对生态绿化和环境质量的动态影响;

(3) 提出适应不同地形和生态条件的公路路域绿化模式设计方案, 优化绿化带的布局与结构, 提升其对污染物削减的实际效益。

8.2 提交的研究成果及其形式

(1) 围绕公路路域交通污染物分布特征、公路交通与路域生态环境系统协调发展影响因子、不同场景生态植被对于污染物浓度变化的量化影响以及依托工程公路路域绿化模式设计方案, 完成专题研究报告 3 份和研究总报告 1 份。

(2) 围绕路域污染和生态防护主题, 发表核心及以上论文 5 篇;

(3) 参加本学科领域重要国际会议并大会报告不少于 2 次;

(4) 培养硕士研究生 5 名, 博士研究生 1 名。

8.3 经济、社会、环境效益分析

随着交通行业的不断发展, 机动车数量快速增加, 交通排放对大气污染的影响日益突出。本项目针对公路路域的生态防护技术, 能够为政府和企业提供针对性解决方案, 特别是在公路路域空气污染防治方面, 有广泛的市场需求。截至 2023 年底, 我国公路里程达到 543.68 万公里, 比上年末增加 8.20 万公里。公路里程的迅速增加不仅展示了公路领域的巨大发展潜力, 同时也体现出了公路路域的生态防护的迫切性。

本项目的研究成果可应用在全国范围内的公路路域生态环境治理, 特别是重点城市的路域生态防护工作。随着国家不断加大在交通污染防治领域的投入, 预计该生态防护技术将被广泛应用于国道、省道等干线公路的绿化设计中, 进一步推动绿色生态交通的发展, 带来一定的经济和社会效益。具体表现为:

经济效益: ①通过生态绿化模式消减交通相关污染物浓度, 降低因空气污染导致的医疗成本和经济损失; ②通过优化路域植被的布局与结构, 提升景观植被对污染物削减的实际效益, 从而减少污染治理的成本; ③通过提出适应不同地形

和生态条件的公路路域绿化模式设计方案，实现生态植被的高质量建设，并节约绿化成本。④同时，生态防护技术的应用和推广，可以提高公路路域的土地利用价值，促进周边经济发展。

社会效益：①通过分析不同生态绿化模式对污染物削减效果的影响，构建多污染物衰减分布模型，有效降低公路路域的污染物浓度，改善空气质量，对公众健康产生积极影响，降低呼吸道疾病等健康风险，提高居民生活质量；②通过揭示公路交通系统与路域生态环境系统的耦合协调发展机制，并优化路域植被的布局与结构，提升生态系统服务功能，如碳汇、生物多样性保护等；③通过量化生态绿化植被对公路交通污染的影响，推动绿色生态防护技术的创新和发展，促进公路生态建设领域相关技术标准的建立和完善。

九、其它需要说明的问题

无

十、申请单位意见

本项目依托于西安市公路局实施的“西安市 2023 年 310 国道公路安全设施精细化提升工程”，配套经费已落实。



单位负责人：（签字）

陈建勋

科研项目专用章

公路路域空气污染特征及生态防护技术研究 大纲评审意见

2026年3月11日，陕西省公路局受陕西省交通运输厅委托在西安主持召开了“公路路域空气污染特征及生态防护技术研究”（项目编号：25-35K）项目大纲评审会。与会专家（名单附后）听取了项目组的汇报，审阅了项目研究大纲，经质询讨论，形成如下评审意见。

一、项目研究内容比较全面，研究目标明确，技术路线可行。

二、项目研究人员组成比较合理，前期研究基础扎实，试验设备齐全，依托工程落实，经费预算符合规定，具备开展研究工作的条件。

三、预期成果基本覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架基本契合。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

- 1.考核指标适当量化，研究重点突出生态防护技术；
- 2.选取一至两个示范项目，提交项目实施报告，展示技术应用效果及推广价值。

主任委员：



2026年3月11日

专家审查意见表

项目名称	公路路域空气污染特征及生态防护技术研究				
专家姓名	边世斌	职务/职称	正高工	专 业	交通土建
专家单位	陕西交通技术咨询有限公司			联系电话	13709187350

评 审 意 见

1. 随着公路交通的迅猛发展，公路路域环境污染问题日益凸显，其中空气污染作为重要一环，不仅影响人类健康，也对生态环境构成威胁。项目旨在深入剖析公路路域空气污染的特征，探索有效的生态防护技术，为构建绿色、可持续的交通体系提供科学依据和技术支撑，很有必要。

2. 研究内容应包括公路路域空气污染特征分析、生态防护技术体系构建、技术经济分析与优化。

3. 应通过现场调研、数据采集，运用环境科学模型（如 CAMx、AERMOD）模拟空气污染物的扩散与转化过程，分析污染特征，设计并测试不同生态防护技术方案，进行实验室模拟与现场试验，通过对比实验前后空气质量变化，评估各技术方案的实施效果，结合技术经济分析，优化技术方案。

4. 成果提交形式

（1）技术手册：针对每项生态防护技术编制操作手册，涵盖设计原则、施工方法、维护管理要点等。

（2）选取一至两个示范项目，提交项目实施报告，展示技术应用效果及推广价值。

评审专家（签字）：



2026年 3月 11日

专家审查意见表

项目名称	公路路域空气污染特征及生态防护技术研究				
专家姓名	封捍东	职务/职称	正高级工程师	专 业	桥梁工程
专家单位	陕西交控科技集团			联系电话	13991816558

评 审 意 见

- 一、项目研究目标明确，研究内容完整，技术路线可行。
- 二、项目研究人员组成比较合理，前期研究基础比较扎实，具备开展研究工作的条件。
- 三、预期成果覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架高度契合。

建议：

1、生态防护研究要与当地适宜生长的植物相结合，^{2、加强各种常用}
公路绿化植物对污染物削减程度的定量研究。
及组合效果研究。

评审专家（签字）：封捍东

2026 年 3 月 9 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

项目名称	公路路域空气污染特征及生态防护技术研究 (项目编号: ZYXCG-20250121)				
专家姓名	师延强	职务/职称	正高工	专 业	道路与桥梁
专家单位	铜川市交通运输综合执法支队			联系电话	13309195936

评 审 意 见

(一) 公路路域污染物排放与分布特征研究

1. 优势与亮点

监测体系设计全面创新: 构建“移动 + 定点”双维度监测模式, 既通过移动监测捕捉污染物动态扩散特征, 又通过多距离梯度(10m、20m、50m 等)定点监测分析衰减规律, 同步覆盖尾气与非尾气污染物, 有效弥补传统单一监测方式的局限, 技术方案针对性强。

监测指标贴合行业新需求: 充分关注机动车电动化背景下非尾气排放占比提升的趋势, 将重金属、超细颗粒等非尾气污染物纳入监测范围, 同时涵盖 PM1、PM2.5、PM10、黑碳等多类型污染物, 指标选取科学、覆盖全面。

数据支撑体系扎实: 整合交通流量、车型、车速等交通特征数据与气象参数, 结合不同绿化模式场景, 为后续污染物衰减模型构建与减污效率量化提供了丰富的基础数据, 数据关联性与实用性突出。

2. 优化建议

(1) 补充复杂气象条件下的专项监测: 针对陕西地区暴雨、强风、低温、沙尘等复杂气象条件, 建议制定专项监测方案, 分析不同气象因子(风速、风向、湿度)对污染物扩散与衰减的影响权重, 提升模型的环境适应性。

(2) 明确监测数据的时间尺度适配性: 建议细化监测周期, 增加小时级、日级、季节级的污染物变化特征分析, 重点捕捉早晚高峰、节假日与工作日的排放差异, 为后续绿化模式的精准设计提供更精细化的数据支撑。

(二) 公路交通系统与路域生态环境系统耦合协调研究

1. 优势与亮点

指标体系构建科学完整：分别构建包含交通流量、车型类型的交通系统指标体系，以及涵盖植被指数、叶面积指数、污染物浓度的生态环境系统指标体系，指标选取兼顾系统性与针对性，为耦合协调分析奠定了坚实基础。

量化方法先进合理：融合层次分析法、熵值法确定指标权重，既体现专家经验，又兼顾数据客观性；采用耦合协调度模型与灰色关联度分析，有效揭示交通与生态环境的非线性关联及关键影响因子，量化分析的科学与深度突出。

系统耦合逻辑贴合实际：聚焦“交通排放 - 环境质量 - 生态绿化”的链式关联，而非孤立分析单一系统，能够全面反映公路路域交通与生态环境的相互作用机制，研究思路严谨。

2. 优化建议

(1) 补充动态耦合协调分析：现有研究侧重静态耦合状态评估，建议增加时间维度的动态分析，通过不同时期（绿化前、绿化中、绿化后）的耦合协调度对比，量化绿化工程对系统协同发展的提升效应，增强研究的动态指导性。

(2) 强化耦合协调度的分级应用：建议建立耦合协调度分级标准（如优质协调、良好协调、基本协调、失调），并明确不同分级对应的管控策略（如是否需要优化绿化模式、调整交通管控措施），提升研究成果的实操性。

(3) 增加多尺度耦合分析：建议补充路段级、区域级的多尺度耦合协调分析，既关注单一路段的微观耦合状态，又分析区域公路网的宏观协同发展水平，为不同层级的路域生态防护决策提供支撑。

（三）生态景观植被对公路交通污染影响的量化研究

1. 优势与亮点

数据库构建全面：整合污染物种类、植被特征、交通参数、气象条件等多维数据，构建多场景耦合数据库，为模型训练与影响机理分析提供了丰富的样本支撑，数据覆盖度与关联性突出。

影响机理分析深入：通过可解释机器学习模型挖掘植被特征与污染物浓度的交互作用，不仅量化减污效率，还能揭示“植被类型 - 结构 - 减污效果”的内在关联，为绿化模式优化提供了深层理论依据。

2. 优化建议

(1) 完善模型的泛化能力验证：建议在依托工程之外选取 1-2 处不同地形、不同气候条件的公路路段，对构建的机器学习模型进行泛化能力验证，通过调整模型参数提升其在不同场景下的适用性。

(四) 公路路域生态景观绿化模式设计与实践研究

1. 优势与亮点

设计理念贴合自然规律：以研究区自然植被生态系统为对照，注重恢复植物群落复杂性，防范外来物种入侵，符合“近自然绿化”的生态建设理念，兼具生态效益与可持续性。

设计维度全面系统：从绿化模式、景观结构、植被选择、栽植技术等多维度开展设计，同时结合不同地形地貌与生态条件，提出差异化方案，避免单一设计的局限性，实用价值突出。

工程落地性强：依托 310 国道绿化提升工程开展实例分析与评价，将理论与工程实践紧密结合，确保设计方案能够直接指导施工，成果转化路径清晰。

2. 优化建议

(1) 细化绿化模式的量化设计参数：建议明确不同绿化模式的关键设计参数，如绿化带宽度与减污效率的量化关系（如宽度 $\geq 30\text{m}$ 时 $\text{PM}_{2.5}$ 削减率 $\geq 20\%$ ）、植被株距、行距、搭配比例等，形成可直接落地的设计规范。

(2) 完善工程示范的效果验证方案：建议在依托工程中设置对照试验区（传统绿化模式 vs 优化绿化模式），通过长期监测对比二者的减污效果、植被存活率、养护成本等指标，量化验证优化方案的优势，为成果推广提供实证支撑。

(五) 其他建议

1. 补充生态防护与其他功能的协同设计：建议在绿化模式设计中增加碳汇、降噪、生物多样性保护等功能的协同考量，构建“减污 + 碳汇 + 生态修复”的多功能绿化模式，提升成果的综合效益。

评审专家（签字）：

师华强

2026 年 03 月 11 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

项目名称	公路路域空气污染特征及生态防护技术研究				
专家姓名	牛开民	职务/职称	研究员	专 业	道路工程
专家单位	交通运输部公路科学研究院			联系电话	13701028353

评 审 意 见

△同意项目研究大纲通过评审。

★建议：

。在研究分析陕西公路所处地理、气候环境特点，总结提炼出陕西公路典型路段污染模型参数，并以此为基础研究公路域空气污染特征。

。细化量化污染防治措施。

评审专家（签字）：

2016 年 3 月 11 日

专家审查意见表（25-35K）

项目名称	公路路域空气污染特征及生态防护技术研究				
专家姓名	王松根	职务/职称	研究员	专 业	公路工程
专家单位	原山东省交通厅公路局			联系电话	13488700091

评 审 意 见

本项目从绿色生态交通角度出发，从路域交通污染物排放和分布特征、公路交通系统与路域生态环境耦合、植被对交通污染的量化影响以及绿模式设计实践四个方面开展研究，具有一定的现实意义。

提交的研究大纲，内容全面、技术路线和实施方案可行，项目承担单位和研究团队人员组成可满足项目研究要求，工作基础扎实，依托工程已落实，基本具备开展项目研究的条件。但项目配套研究经费有待落实。

同意该项目研究大纲通过评审。

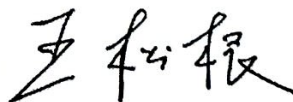
建议：

1. 污染程度评价指标要与国家公布的大气污染指标相一致，不要提高标准。如PM10、PM2.5、PM1等。

2. 重点开展公路路域生态景观绿化模式设计与实践研究，构建具有良好生态功能的近自然植物群落、组成和结构，使公路路域绿化的功能变为：绿化、美化、水土保持加上交通污染消减，提升了公路路域绿化的定位。

3. 将“生态景观植被对公路交通污染影响的量化研究方案”改为：“生态绿化植被对公路交通污染消减作用的量化研究方案”。

4. 应按规定落实项目配套研究经费。

评审专家（签字）：

2026 年 03 月 11 日

（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

公路路域空气污染特征及生态防护技术研究 (项目编号: 25-35K)

大纲评审专家委员会名单

序号	评审会职务	姓名	工作单位	所学专业	从事专业	职称/职务	签名
1	主任委员	边世斌	陕西交通技术咨询有限公司	道路工程	交通土建	正高工	
2	委员	封捍东	陕西省公路学会	桥梁工程	公路工程质量管理	正高工	
3	委员	师延强	铜川市交通运输综合执法支队	道路与桥梁工程	交通运输工程	正高工	
4	委员	牛开民	交通运输部公路科学研究院	道路工程	道路工程	教授	线上
5	委员	王松根	山东省公路局	公路工程	道路工程	正高工	线上

专家意见处理表

项目名称：公路路域空气污染特征及生态防护技术研究（项目编号：25-35K）

序号	姓名	建议内容	处理意见 (逐条回应，详细说明修改情况)
1	边世斌	1.研究内容应包括公路路域空气污染特征分析、生态防护技术体系构建、技术经济分析与优化。 2.应通过现场调研、数据采集，运用环境科学模型（如CAMx、AERMOD）模拟空气污染物的扩散与转化过程，分析污染特征，设计并测试不同生态防护技术方案，进行实验室模拟与现场试验，通过对比实验前后空气质量变化，评估各技术方案的实施效果，结合技术经济分析，优化技术方案。 3.针对每项生态防护技术编制操作手册，涵盖设计原则、施工方法、维护管理要点等。选取一至两个示范项目，提交项目实施报告，展示技术应用效果及推广价值。	1.本项目研究已涵盖公路路域污染物排放与分布特征，即公路路域空气污染特征分析。生态防护技术体系涉及水、土、气等，本研究聚焦交通路域生态环境系统指标体系。 2.在本研究中，我们已考虑通过现场调研、数据采集等方法，运用 ENVI-met 和机器学习等模型模拟多场景下空气污染物的扩散分布，优化技术方案。 3.本研究基于对现有绿化工程的深入分析，开发一套生态植被群落优化方案，能够在公路生态建设项目中推广应用，覆盖陕西不同地理环境的公路生态项目。
2	封挥东	1.建议生态防护研究要与当地适宜生长的植物相结合。 2.加强各种常用绿化植物对污染物削减程度的定量研究及组合效果研究。	1.研究中生态防护的相应内容是基于前期调研所得的西安市本地植被类型开展的。 2.生态景观植被对公路交通污染影响的量化包含各种常用绿化植物对污染物削减程度及组合效果。

3	师延强	1.完善模型的泛化能力验证:建议在依托工程之外选取 1-2 处不同地形、不同气候条件的公路路段,对构建的机器学习模型进行泛化能力验证,通过调整模型参数提升其在不同场景下的适用性。 2.细化绿化模式的量化设计参数:建议明确不同绿化模式的关键设计参数,如绿化带宽度与减污效率的量化关系(如宽度$\geq 30m$时 $PM_{2.5}$ 削减率$\geq 20\%$)、植被株距、行距、搭配比例等,形成可直接落地的设计规范。 3.完善工程示范的效果验证方案:建议在依托工程中设置对照试验区(传统绿化模式 vs 优化绿化模式),通过长期监测对比二者的减污效果、植被存活率、养护成本等指标,量化验证优化方案的优势,为成果推广提供实证支撑。	1.本研究利用线性回归(LR)、支持向量回归(SVR)、K 最近邻域回归(KNN)、随机森林(RF)和极端梯度提升(XGB)等机器学习模型进行数据训练,数据被随机分为两组,其中 75%用于训练,其余 25%用于测试,通过均方根误差(RMSE)和决定系数(R^2)评估所选机器学习模型的性能,提升模型泛化能力。 2.研究将从绿化模式、景观结构、植被选择等方面,考虑绿化带宽度与减污效率的量化关系,进行典型路段实例分析和评价,提出有助于减轻交通污染的适应不同地形和生态条件的绿化植被配置策略。 3.我们已在公路路域生态景观绿化模式设计与实践研究部分,细化了绿化模式的量化设计参数并完善了工程示范的效果验证方案。
4	牛开民	1.在研究分析陕西公路所处地理、气候特点,总结提炼出陕西公路的典型场景模型参数,并以此为基础研究路域空气污染特征。 2.细化量化主要技术指标。	1.本研究依托陕西本地公路绿化工程项目数据调研,研究路域空气污染特征。 2.对项目绩效目标进行了量化考核。
5	王松根	1.建议污染物种类的选择与评价指标应该与国家发布的空气质量标准相同。 2.将“生态景观植被对公路交通污染影响的量化研究方案”改为:“生态绿化植被对公路交通污染消减作用的量化研究方案”。 3.应按规定落实项目配套研究经费。	1.本研究交通污染物主要是指颗粒物($PM_{2.5}$, PM_{10}),其中 $PM_{2.5}$ 是国控污染物。 2.已修改。 3.已落实配套经费。

大纲评审委员会专家(签字):

项目负责人(签字):