

项目合同编号：25-22R

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法

承担单位：西安交通大学

项目负责人：赵玺

通讯邮编、地址：710049，西安市碑林区咸宁西路 28 号

传真、电话：029-88965700、13259737941

起止年限：2026 年 03 月 至 2028 年 03 月

陕西省交通运输厅制

一、项目主要研究内容

1. 主要研究内容

(1) 多源公路路面数据的标准化处理方法

随着公路路面养护管理工作的数字化发展，数据的来源和种类变得越来越多样化。公路路面养护涉及的多源数据通常包括交通数据、气象数据、路面结构数据、历史养护记录等。这些数据来源不同，格式、时间粒度、空间分布及采集频率存在较大差异，无法直接用于后续分析与预测。

针对现有方法在处理多源数据时缺乏统一的标准化流程的问题，本项目建立多源公路数据标准化处理方法，为公路路面养护需求预测任务提供高质量、统一的输入数据，进而为模型的预测精度提供有力支持。该方法可以广泛应用于公路路面养护、基础设施监测、智能交通管理等领域，有助于提升公路路面养护管理的科学性和效率，为相关部门制定养护计划和资源分配提供坚实的数据基础。

(2) 基于多源数据融合的 Transformer 公路路面养护需求预测算法

现有的公路路面养护需求预测算法在处理多源数据时，往往面临以下问题：缺乏有效的数据融合技术，无法充分利用不同数据源的互补信息，导致预测结果的准确性不足。此外，传统模型在捕捉复杂时序依赖方面的能力有限，使得公路路面养护需求预测的准确性受到影响。

针对现有方法的不足，本项目提出基于 Transformer 的多源数据

融合与公路路面养护需求预测算法，融合多种数据源（如交通流量、天气状况、路面损坏历史记录等），通过高效捕捉不同数据间的复杂时空关系，精确识别路面损坏趋势及潜在养护需求。在数据融合过程中，本项目引入自适应加权策略，以赋予不同数据源合理的权重，确保预测结果的准确性与可靠性。此方法不仅能够精确预测路面养护需求，且能为管理人员提供针对性的维护方案，优化资源配置和调度，进而提升养护工作的整体效率和效果。通过本项目的研究成果，公路养护部门将获得科学依据，以支持日常养护计划的优化、应急养护的及时响应，以及长远的资源节省和成本降低。

2. 技术关键

本项目重点解决多源异构数据融合难、长时序依赖捕捉弱等问题，关键技术如下：

多源异构数据的深度融合技术：解决交通流、气象等结构化数据与路面影像、文本记录等非结构化数据的融合难题。通过构建统一的数据标准化处理流程（清洗、补全、归一化），打破数据壁垒，实现跨数据源信息的有效整合。

高精度时空对齐技术：利用 GIS 地理编码转换与道路网匹配技术，解决不同采集频率和空间分布数据的对应问题，将气象站环境数据与交通观测点数据精准映射至具体路段桩号，构建高精度时空对齐数据集。

基于 Transformer 的长时序依赖捕捉技术：突破传统统计模型在处理长周期养护记录与瞬时环境变化结合时的局限。利用

Transformer 模型的自注意力机制 (Self-Attention)，自动捕捉长距离时间序列中的依赖关系，精准量化复杂工况（如重载、冻融循环）对路面性能的非线性影响。

3. 依托工程（依托工作）

本项目依托陕西省公路综合业务管理平台及其覆盖的全省干线公路网进行研究与开发。该平台是陕西省公路交通行业的数据中心与核心业务枢纽，为本项目的实施提供了坚实的数据底座与应用场景。

（1）平台定位与规模：该平台依托省交通云平台和交通专网的基础设施资源，已全面整合汇聚了全省公路行业的基础数据和业务数据，实现了全省公路数据资源的集中管控与协同共享。

（2）工程技术特点（算力支撑）：平台已构建了先进的深度学习计算环境与大数据处理架构，能够满足本项目海量多源数据的融合处理需求。目前平台硬件核心配置包括：

计算集群：配备 20 余台双核 E5-2680v4 机架式服务器，提供强大的分布式数据存储与通用计算能力。

加速计算：引入 20 余台高性能图像处理显卡（GPU），专门用于加速 Transformer 深度学习模型的训练与推理过程。

（3）业务工作内容：依托该平台的日常运维管理工作，本项目将利用其汇聚的实时交通流、气象监测及历史养护数据作为输入，开展算法训练；最终研发的养护需求预测算法将作为智能模块反哺平台，服务于全省公路的养护决策与计划制定。

二、考核指标

1.预期目标

本项目拟提出多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法，提供智能、精确的公路路面养护需求预测与决策支持。通过整合交通流量、气候条件、路面结构、历史维护记录等多源数据，应用先进的人工智能算法进行路面养护需求的精准预测，并据此优化养护计划，实现公路路面管理的智能化、数字化。项目的预期目标包括以下几方面：

(1) 实现多源数据的高效融合：通过 Transformer 模型的自注意力机制，能够对交通流量、气候条件、路面结构、历史维护记录等多种数据源进行有效融合，提取出关键特征并捕捉不同因素对路面磨损的潜在影响。

(2) 精准预测公路路面养护需求：多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法，能够在复杂的环境下（如重载车辆、高气候变异性）准确地预测公路路面养护需求。

(3) 智能化养护决策优化：利用公路路面养护需求预测结果，提前安排养护计划，避免过早或过晚的决策，使得路面养护决策更为精准和灵活，从而提高路面的使用寿命，降低长期维护成本。

(4) 填补技术空白：本项目将填补省级在多源数据融合驱动公路路面养护预测领域的技术空白，形成具有自主知识产权的核心算法与技术标准。

2.主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

预测精度指标：相比于传统基于统计学或单一因素的预测模型，本项目研发的算法模型在同等测试集下的养护需求预测准确率提升10% 以上。

3.经济和社会效益

(1) 降低公路路面养护成本：传统的公路路面养护方法通常依赖人工经验判断和定期维护，存在决策滞后或频繁维护的问题，导致养护成本增加。通过本项目开发的公路路面养护需求预测模型，可以实现更加精准的养护决策，避免不必要的过度维修或延迟维修，将为公路管理部门节约大量的运营和维护资金，尤其是在重载交通频繁的高速公路和重要物流通道。

(2) 延长公路使用寿命：通过提前预测路面磨损和科学安排养护计划，公路整体使用寿命有望延长。这不仅降低了修复和翻新频次，也延长了公路的投资回报周期。对于国家和地方政府而言，公路基础设施的长期稳定性和使用寿命提升，意味着更少的重复建设和更高的基础设施运营效率。

(3) 提升道路通行效率，减少经济损失：不合理或滞后的公路路面养护通常会引发严重的交通堵塞，影响货物运输和人员出行，间接带来经济损失。通过精准的磨损预测和养护安排，能够有效减少因路面损坏或紧急维修导致的道路封闭情况，从而提升公路通行效率，减少由此带来的社会经济损失。

(4) 提高公路安全性：通过提前预测路面磨损并实施及时的养护，本项目有助于显著提高公路的整体安全性，减少由于路面破损

引发的交通事故，保障公众的生命财产安全。尤其是在重载车辆频繁出入的路段，提前识别路面潜在风险将有效降低事故率，增强道路的可靠性和使用体验。

(5) 促进公路管理智能化、数字化转型：传统的公路路面养护依赖人工决策，具有较大的主观性和不确定性。而本项目通过引入人工智能和数据驱动的养护预测模型，推动公路管理走向智能化、数字化，将显著提升公路管理部门管理效率和决策科学性。这一转型有助于现代化交通管理体系建设，为未来智能交通发展奠定基础。

(6) 推动低碳环保目标的实现：通过优化公路路面养护计划，减少不必要的维护频率和资源浪费，可以有效降低因施工带来的能源消耗和碳排放。公路的长寿命化也意味着减少重复建设，减少水泥、沥青等资源的过度消耗，从而为国家的低碳环保目标贡献力量。

4. 成果提供形式

(1) 项目研究报告 1 份：项目将输出项目研究报告，涵盖项目背景、研究综述、研究内容、技术路线、总结等内容。

(2) 研发算法 1 套：项目将设计实现公路路面养护需求预测算法，并输出算法技术报告。

(3) 学术成果与知识产权：申请发明专利 1 项或投出《中文核心期刊要目总览》论文 1 篇，保护算法和系统设计的核心技术。

5. 其他考核指标

开展媒体宣传报道不少于 3 次，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 年 03 月- 2026 年 05 月	计划内容：启动需求调研，深入分析公路养护痛点，制定详细技术路线；对接平台接口，批量收集全省交通流量、气象环境及历史养护记录等异构数据；开展数据处理研究。 考核目标：完成技术路线设计；构建标准化的多源数据集；明确 Transformer 算法框架设计。
2026 年 06 月- 2026 年 12 月	计划内容：搭建基于 Transformer 的深度学习模型架构，开发多源数据融合模块；重点攻克自注意力机制在捕捉长时序依赖中的应用技术；进行初步模型编码与调试，开展基准测试。 考核目标：完成预测模型代码的初步开发；形成算法初步设计方案；输出初步的仿真实验对比数据。
2027 年 01 月- 2027 年 08 月	计划内容：开展模型的中期训练与测试，利用标准化数据进行多轮次迭代；分析模型在不同路况下的预测偏差，调整网络层数与超参数；进行项目中期自查，评估技术路径可行性并调整后续计划。 考核目标：完成模型初步验证；模型在测试

	集上的预测精度达到预期基准。
2027 年 09 月- 2028 年 03 月	计划内容：针对复杂场景进行针对性训练与测试，在实际路段开展实地验证；撰写研究报告与技术总结，配合财务决算与项目验收。 考核目标：完成模型实地验证通过；提交《项目研究报告》；提交算法软件 1 套，申请发明专利 1 项；完成项目结题验收。

四、项目经费

项目总经费：19.76 万元
交通运输厅补助：19.76 万元
自筹资金：0.0 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	15.26	15.26
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	8.26	8.26
(4) 材料支出	0.00	0.00
(5) 测试化验实验加工支出	3.50	3.50
(6) 燃料及动力支出	0.00	0.00
(7) 差旅支出	2.00	2.00
(8) 会议支出	0.00	0.00
(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	1.26	1.26
(11) 其他支出	1.50	1.50
3. 劳务费	7.00	7.00
(12) 劳务性支出	5.00	5.00
(13) 咨询专家支出	2.00	2.00
(二) 间接费用	4.50	4.50
4. 管理费	3.00	3.00
5. 绩效支出	1.50	1.50
合 计	19.76	19.76

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
		（1）授权发明专利	1
		（2）实用新型	0
		（3）外观设计	0
		2.软件著作权授权数（项）	0
		3.发表论文（篇）	0
		（1）其中 SCI 索引收录数	0
		（2）其中 EI 索引收录数	0
		（3）其他	0
		4.著作（部）	0
		5.制订标准数（项）	0
		（1）国际标准	0
		（2）国家标准	0
		（3）行业标准	0
		（4）地方标准	0
		（5）企业标准	0
		（6）科技报告	1
	其他成果	1.填补技术空白数	0
		（1）国际	0
		（2）国家	0
		（3）省级	0
		2.获奖项数	0
		（1）国家奖项	0
		（2）部、省奖项	0
		（3）地市级奖项	0
		3.其他科技成果产出	0
		（1）新工艺（或新方法模式）	1
		（2）新产品（含农业新品种）	0
		（3）新材料	0
		（4）新装备（装置）	0
		（5）平台/基地/示范点	0
		（6）中试线	0
		（7）生产线	0

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	否
		（2）中试（样品样机）	否
		（3）小批量	否
		（4）规模化生产	否
	人才引育	1. 引进高层次人才	0
		（1）博士、博士后	0
		（2）硕士	0
		2. 培养高层次人才	0
		（1）博士、博士后	0
		（2）硕士	2
		3. 培训从事技术创新服务人员（人次）	0
		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）	0
		2. 科研仪器设备利用率（%）	0
		3. 孵化科技型企业（个）	0
		4. 转化科技成果（个）	0
效果类指标	经济效益	1. 新增产值（万元）	0
		2. 新增销售（万元）	0
		3. 新增出口创汇（万美元）	0
		4. 新增利润（万元）	0
	社会效益	1. 新增税收（万元）	0
		2. 新增就业人数	0
		3. 就业培训（人次）	0
		4. 带动农民增收（万元）	0
		5. 培训和指导科技服务（人次）	0
		6. 新增产业带动情况	0
		7. 技术集成示范（项）	0
		8. 建立示范基地（亩数）	0
		9. 节约资源能源	0
		10. 环保效益	0
其他需要说明的情况			

六、承担单位或研究人员分工

(1) 西安交通大学（主要承担：技术研发、算法攻关与系统实现）
作为项目的技术研发方，西安交通大学团队主要负责核心算法的设计、海量数据的处理以及最终应用系统的开发与测试工作。具体分工如下：

- 项目总体指导与把控：由赵玺担任项目负责人，负责技术路线的总体规划；赵玺负责提供高层次的项目指导与学术把控。
- 核心算法研发与设计：团队重点攻克项目所需的核心模型。其中，沈之浩、丰廷晟、周昱扬主要负责具体的算法设计、研发与代码实现工作，确保技术逻辑的先进性与可行性。
- 大数据处理与分析：针对项目涉及的海量数据，由王志超、马镁浩负责数据的清洗、挖掘、处理与深度分析，为算法模型提供高质量的数据支撑。
- 系统开发、集成与测试：为实现科研成果的落地应用，翁家毅负责系统的开发与集成工作，李雪负责系统的功能测试与性能优化，确保软件平台的稳定运行。

(2) 陕西省公路局（主要承担：项目统筹、行业指导与工程落地）
作为行业主管与应用单位，陕西省公路局主要负责项目的组织管理、业务需求对接以及道路工程领域的专业技术支持。

七、项目参加人员表

项目承担单位：西安交通大学							
参与单位（排序）：陕西省公路局、长安大学							
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	赵玺	1981-05-06	西安交通大学	正高级	管理科学与工程	项目负责人	
主要研究人员							
2	沈之浩	1995-08-31	西安交通大学	中级	控制科学与工程	项目算法设计	
3	王建强	1987-06-05	陕西省公路局	中级	信息化	业务分析	王建强
4	赵晓锋	1976-12-18	陕西省公路局	副高级	信息化	业务指导	赵晓锋

5	卢晓妮	1994-1 2-04	西安交通大学	中级	管理科学与工程	算法研发与设计	卢晓妮
6	张睿轩	2000-0 7-24	长安大学	/	交通运输规划 与管理	数据分析	张睿轩
7	丰廷晟	2000-1 2-19	西安交通大学	/	管理科学与工程	算法设计与实现	丰廷晟
8	王志超	2002-0 6-01	西安交通大学	/	应用数学	大数据处理与分析	王志超
9	周昱扬	2003-0 5-13	西安交通大学	/	应用数学	算法设计与实现	周昱扬
10	马镔浩	2002-1 2-07	西安交通大学	/	网络信息安全	大数据处理与分析	马镔浩
11	李雪	2000-0 9-25	西安交通大学	/	应用数学	系统测试与优化	李雪
12	翁家毅	2003-0 3-26	西安交通大学	/	应用数学	系统开发与集成	翁家毅

八、信息表

项目合同编号		25-22R		密级		/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部	
项目名称		多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法							
项目实施所在地		陕西省		起止年限		2026 年 3 月至 2028 年 3 月			
总 经 费		19.76 万		厅 拨		19.76 万			
第一承担单位	单位名称	西安交通大学							
	所在地	陕西省西安市					代码	10698	
	通讯地址	陕西省西安市咸宁西路 28 号					邮编	710049	
	单位性质	(1) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他					代码	10698	
参与单位	序号	单 位 名 称							
	1	陕西省公路局							
	2	长安大学							
项目负责人	姓 名	赵玺		性别: 男		出生年份	1981		
	学 历	博士研究生							
	职 称	正高级							
	联系电话	18691565317 029-82668330		电子邮箱		Zhaoxi1@mail.xjtu.edu.cn			
项目联系人	姓名	沈之浩		性别		男			
	联系电话	13259737941 029-82668330		电子邮箱		zhshen@xjtu.edu.cn			
项目组人数	12	高级	2	中级	3	初级	0	其他	7
主要内容 (100 字以内)	针对公路路面养护管理需求,研究多源数据标准化处理与深度融合技术。构建基于 Transformer 的养护需求预测模型,研发智能决策支持系统,实现路面病害精准预测与科学决策,推动公路养护数字化与智能化升级。								
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.合同正本一式玖份，甲方单位伍份，承担单位肆份。

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）

联系人：（签字）

电 话：029-88869067

陕西省交通运输厅



（公 章）

合同乙方：（承担单位）

单位负责人：（签字）

项目负责人：（签字）

电 话：029-88965700

西安交通大学



（公 章）

财务负责人：（签字）

账 户 名：西安交通大学

开户银行：中国工商银行西安互助路支行

账 号：3700023509088100314

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：2026 年 3 月 23 日

项目编号：25-22R

2025年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称：多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法

申请单位：西安交通大学（盖章）

联系人：赵玺

电话：18691565317



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
1.1 项目背景.....	1
1.2 项目必要性.....	1
1.3 研究目的.....	2
1.4 项目概括.....	3
1.5 市场需求前景.....	3
1.6 在国民经济发展中的作用.....	4
二、前期科研及工作基础.....	4
2.1 国内外研究现状与发展趋势.....	5
2.2 项目前期科研及现有工作条件.....	7
2.3 参考文献.....	9
三、实施方案.....	11
3.1 拟解决的关键问题.....	12
3.2 主要研究内容及实施方案.....	13
3.2.1 研究内容一：公路路面养护需求相关影响因素分析.....	13
3.2.2 研究内容二：多源公路路面数据的标准化处理方法.....	15
3.2.3 研究内容三：基于多源融合的 Transformer 公路路面养护需求预测算法.....	18
3.3 技术路线.....	21
3.3.1 研究技术方案.....	21
3.3.2 工作流程.....	24
3.4 技术改造.....	26
3.4.1 预测成果的轻量化接入与辅助应用.....	26
3.4.2 服务既有养护管理流程的优化提升.....	27
3.4.3 市场需求响应与技术标准制定.....	28
3.5 有关技术经济指标.....	28
3.5.1 核心性能指标.....	28
3.5.2 算法技术参数与运行环境.....	29
3.5.3 成果产出与经济效益指标.....	29
四、项目承担单位及参加单位概况.....	30
4.1 单位概况.....	30
4.2 技术力量及人员构成.....	31
4.3 各自承担的主要工作.....	32
4.4 项目主要负责人情况.....	33
五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件.....	34
5.1 依托工程（工作）概况.....	34
5.2 投资来源.....	34
5.3 工程进度与项目科研进度的配合.....	35
5.4 组织管理形式.....	35
六、项目经费估算及资金筹措情况.....	37

七、项目绩效指标.....	38
八、预期目标、成果提供形式及经济社会效益.....	40
8.1 项目预期目标（项目的考核目标）.....	40
8.2 提交的研究成果及其形式.....	40
8.3 经济、社会、环境效益分析	41
九、其它需要说明的问题	43
十、申请单位意见.....	43

一、项目研究的背景和必要性

1.1 项目背景

公路作为国家经济发展的重要基础设施，不仅承载着人流与物流的顺畅流通，还直接关联着区域经济的繁荣与民众生活质量的提升。因此，确保其长期、高效、安全运行至关重要。然而，随着经济社会快速发展，交通负荷不断增加，加之自然条件如极端天气、地质变动等因素的影响，公路路面的磨损问题日益凸显，成为制约公路效能发挥和行车安全的关键因素。特别是在重载车辆频繁通行的高强度使用区域，以及气候多变、温差大、降水丰富的地区，路面的磨损、开裂等现象更为严重，不仅降低行车舒适度，还增加交通事故的风险，对人民群众的生命财产安全构成了潜在威胁。

面对这一挑战，国家高度重视公路养护工作，将其视为保障国家经济发展和社会稳定的重要基石。为此，国家出台了一系列政策措施，旨在加强公路养护管理，提升养护质量和效率，确保公路网络的长期安全、高效运行。这些政策不仅涵盖资金投入、技术创新、法规完善等多个方面，还强调公路养护的可持续性和绿色性，体现了国家对公路养护工作全面而深入的理解与规划。然而，尽管国家政策给予了公路养护工作极大的支持，但现有的路面养护工作在实际应用中仍面临诸多局限性，难以完全满足现代公路的维护需求。

1.2 项目必要性

本项目具有高度的必要性，旨在解决现有路面养护工作中面临的三大核心局限：

1. 传统路面磨损的检测成本高、效率低：目前路面养护需求大多依赖昂贵的设备和检查员的现场评估。设备成本高昂且维护复杂，而依赖人为经验的检测方式不仅容易产生误差，还难以保证一致性。这种高成本、低效率的方式制约了大规模路面养护的实施，特别是在道路规模较大或交通复杂的区域，难以实现有效维护。

2. 路面养护需求预测精度不足：传统路面养护需求通常依赖定期检测和经验积累，缺乏针对不同环境、车辆负荷和气候条件的精准预测手段。尤其是在重载车辆比例高的公路上，路面磨损情况更加复杂和多变。由于缺乏准确的预测模型，往往无法实现精确的养护时间规划，导致过早或过晚的养护行为，增加了维护成本并缩短了路面的使用寿命。

3. 复杂环境下养护需求预测难度增加：在重载车辆、恶劣气候、频繁降雨等复杂条件下，路面磨损加剧，路面磨损情况更为复杂。传统基于单一因素的预测方法难以全面考虑多维度因素之间的相互作用，导致养护计划不科学、时效性差。尤其在规模化养护中，如何有效整合多源数据并制定合理的养护规划成为一大难题。

1.3 研究目的

本项目旨在推进长寿命公路养护技术体系建设，利用**数据驱动+预防性养护**模式助力陕西交通养护的**规模化、数字化与智能化**转型。通过**多源数据融合技术**，构建一套高效、精确的预测算法，具体研究目的包括：

(1) 构建多源数据融合框架：建立包括**路面结构数据、交通载**

荷数据、环境影响数据等在内的多源异构数据采集、清洗和融合模型。同时，对各类数据与路面病害演变规律的关系进行分析，为养护需求建模提供基础数据支持。

(2) 公路路面养护需求分析与核心预测算法开发：在多源数据融合基础上，开展养护需求分析，研究路面病害的空间分布特征和发展趋势，构建路面养护需求模型。基于深度学习或机器学习技术，开发能够预测未来路段养护时间、地点及养护类型的算法，实现从数据融合到养护需求预测的闭环。

(3) 系统集成与验证：将算法成果集成到实际应用系统中，并通过真实公路数据进行测试和验证，确保预测结果的可靠性和实用性。通过分析预测与实际养护结果的匹配度，不断优化模型参数，提高算法的精度与泛化能力。

1.4 项目概括

本项目拟建立多源数据驱动的公路路面养护需求预测算法，综合考虑交通流量、气候条件、路面结构、历史养护记录等多源数据，利用人工智能技术精确预测公路路面养护需求。在此基础上，通过养护需求建模与预测算法的紧密结合，实现数据采集—需求分析—预测决策的闭环流程。通过提前规划养护工作，优化养护策略，支撑公路管理部门科学决策，显著提升养护质量，降低维护成本，延长路面使用寿命，推进长寿命公路养护技术体系建设，实现公路养护的规模化、数字化与智能化管理。

1.5 市场需求前景

本项目研究成果的市场需求前景广阔，能够显著提升公路养护管理水平，主要体现在以下三个方面：

(1) 提升养护效率：通过精准预测，将养护工作从被动修复转为主动预防，大幅减少路面大修频率，延长道路使用寿命，提高公路网络的整体服务水平。

(2) 降低养护成本：优化养护资源配置，避免不必要的或延误的养护操作，实现养护资金的精细化、科学化使用。

(3) 行业智能化升级：满足交通运输行业对智慧公路、数字交通建设的需求，具有巨大的市场潜力。

1.6 在国民经济发展中的作用

本项目成果将为国民经济发展提供坚实的交通基础设施保障：

(1) 经济贡献：通过优化养护策略和资源配置，实现养护资金的高效利用，最大化公路资产价值，符合国民经济的长期发展利益。

(2) 社会效益：提升路网服务能力，保障人民出行和物流运输的畅通和安全，间接促进区域经济的协调发展。

(3) 技术示范效应：推动我国公路养护技术水平的进步，在交通强国建设中发挥技术引领作用。

(4) 支撑乡村振兴与农业现代化：项目成果在干线公路验证成熟后，其技术架构将向下沉降至农村公路网。通过提升农村公路养护的科学化、精细化水平，有效赋能农村公路的高质量发展，为农业农村现代化建设与乡村全面振兴提供坚实的交通运输保障。

二、前期科研及工作基础

2.1 国内外研究现状与发展趋势

1. 国内研究现状

公路路面养护需求预测方法的研究对于提高道路服务水平和延长道路使用寿命具有重要意义。在传统方法的基础上,近年来随着大数据、人工智能技术的发展,越来越多的新方法被应用到这一领域。根据现有研究,公路路面养护需求预测模型分为基于统计的模型、基于物理机理的模型以及基于大数据和人工智能的模型。

基于统计的公路路面养护需求预测模型是较早应用于公路路面养护需求预测的一类方法[1]。其主要通过对历史数据的分析,建立数学模型来预测未来的路面状态。这类方法包括回归分析、时间序列分析、生存分析等。回归分析[2]通过建立自变量与因变量关系预测性能变化;时间序列分析则基于路面性能随时间变化的数据进行预测,常用的模型如自回归模型、移动平均模型等;生存分析[3]则通过对路面劣化过程建模预测剩余寿命。这类方法简单易行,但依赖大量历史数据,在复杂环境下预测精度受限。

基于物理机理的公路路面养护需求预测模型[4]基于对路面材料、交通载荷、环境条件等物理特性的分析,来预测路面劣化和养护需求。这类方法强调对损坏机理的理解(如疲劳损伤、断裂力学),虽能提供精细预测,但因需大量现场测试和复杂参数校准,成本较高且难度大。

基于大数据和人工智能的公路路面养护需求预测模型成为了近年来的研究热点。相比传统的统计和物理模型,基于数据驱动的预测

方法能够处理大规模、多维度的复杂数据，通过学习历史数据中的隐含规律来预测未来的路面养护需求。深度学习模型，尤其是长短时记忆网络[5]能够有效捕捉路面性能随时间变化的复杂模式；基于图神经网络[6]的研究尝试融入道路网络空间拓扑结构。然而，目前国内方法在有效融合多源数据方面仍存在不足。

2. 国外研究现状

国外在多源数据结合及动态预测方面处于技术前沿：

机械-经验设计方法（MEPDG）：结合了机械和经验数据[7]，通过力学模型实时模拟交通负荷及气候条件（温湿度、降水）的影响，具备强大的动态预测能力，能有效评估路面疲劳开裂、车辙等指标。

机器学习与深度学习的应用：随着计算能力提升，机器学习方法[8][9][10]广泛应用。神经网络[10]擅长捕捉非线性变化；支持向量机[11]通过构建最大化边界处理高维特征空间；随机森林[12]通过集成学习减少过拟合。这些方法已成功应用于不同气候区和交通强度的路网中。

GIS 与遥感技术的融合：国外广泛应用地理信息系统（GIS）[13]结合遥感技术进行全面分析。通过 GIS 平台将遥感获取的环境参数（气温、降水）与历史劣化数据结合，构建了更为精确的预测模型[14]，有效提升了预测的准确性。

3. 发展趋势与评价

当前该领域的技术发展趋势正从单一数据驱动向多源数据融合驱动转变，从静态统计分析向动态、智能化的深度学习预测转变。综

合来看,虽然国内外在路面性能预测方面已奠定了大量的理论与实证基础,但在面对复杂工况下的规模化养护需求时,仍存在以下技术瓶颈与研究空白,亟需本项目重点攻克:

(1) **多源异构数据的深度融合难题:** 现有方法大多难以将结构化数据(交通流、气象)与非结构化数据(路面影像、文本记录)有效融合。如何充分利用跨数据源信息,全面分析影响养护需求的因素,是当前的一大技术瓶颈。

(2) **长时序依赖关系的捕捉能力不足:** 传统的时间序列模型在处理长周期的养护记录与瞬时环境变化结合时,往往难以捕捉长期依赖关系。

(3) **预测与决策支持的脱节:** 现有模型多关注预测精度,缺乏将预测结果转化为科学养护计划(时机把握、资源分配)的有效机制。

2.2 项目前期科研及现有工作条件

本项目具备扎实的前期科研积累、依托成熟的工程背景、拥有先进的软硬件实验环境以及丰富的项目实施经验,能够为项目的顺利开展和高质量完成提供全方位保障。

1. 前期科研成果与理论基础

项目团队在人工智能、机器学习、智慧交通及大数据挖掘领域拥有深厚的学术积淀,特别是在多源数据融合与时空预测分析方面已形成成熟的技术体系,为本项目提供了坚实的理论支撑。

学术成果显著: 团队研发的核心算法已在人工智能与数据挖掘领域的顶级国际期刊及会议(如 IEEE TPAMI、ACM MobiCom、IEEE

InfoCom、ACM SIGKDD 等) 发表高水平学术论文 20 余篇, 算法的先进性与有效性在学术界得到了广泛验证。

获奖与荣誉: 相关研究成果荣获陕西省计算机学会科学技术奖自然科学奖一等奖、陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖以及“数据要素X”大赛陕西分赛一等奖, 充分证明了团队在解决复杂系统问题上的创新能力。

知识产权储备: 团队已授权相关发明专利 10 余项, 登记计算机软件著作权 20 余项, 拥有自主可控的核心技术知识产权, 为本项目的技术落地提供了法律和技术双重保障。

2. 依托工程背景与数据资源

本项目深度依托陕西省公路综合业务管理平台这一省级重大信息化工程, 具备得天独厚的数据获取与应用场景优势。

平台依托: 项目基于陕西省公路行业信息化整体架构, 利用省交通云平台和交通专网资源, 已建成集“数据汇聚、集中管控、协同共享”于一体的陕西省公路行业数据中心。该平台完善的综合服务与查询功能, 为本项目提供了现成的业务系统的切入点。

数据资源富集: 依托上述平台, 团队长期积累了海量的交通流量数据、气候气象条件、路面结构信息、历史养护记录等多源异构数据。这些高维度、长跨度的真实行业数据, 不仅能为模型构建提供精准的“燃料”, 也为验证算法的鲁棒性提供了真实场景。

3. 现有实验环境与硬件支撑

项目团队已建成高性能的大数据处理与深度学习计算平台, 具备

处理海量交通数据和训练复杂模型的能力，能够满足本项目对算力的苛刻需求。

高性能计算集群：平台配备了 20 台双核 E5-2680v4 机架式服务器，构建了强大的分布式存储与计算底座，确保海量数据的快速吞吐与处理。

深度学习加速环境：引入 20 余台高性能图像处理显卡（GPU）组建加速集群，专门用于支持深度神经网络的训练与推理。这一“CPU+GPU”的异构计算架构，能够大幅缩短模型训练周期，支持算法的快速迭代与优化，确保项目研发进度。

4. 项目管理经验与外部合作

工程实施经验：团队成员长期深耕智慧交通与城市治理领域，曾主导并成功交付多个智慧城市相关项目，积累了从需求分析、系统设计到部署运维的全流程工程管理经验，能够有效把控项目风险，确保按期交付。

产学研用协同：团队与多所知名高校、科研院所、政府交通主管部门及行业龙头企业保持着紧密的合作关系。这种“产学研用”深度融合的合作网络，有助于整合各方优势资源，打通从理论研究到工程应用的“最后一公里”，确保研究成果能够切实转化为提升公路路面养护管理水平的新质生产力。

2.3 参考文献

[1]JustoSilva Rita; Ferreira Adelino; Flintsch Gerardo. Review on Machine Learning Techniques for Developing Pavement Performance

Prediction Models[J]. Sustainability, 2021(9): 5248-5248.

[2]Kim S H, Kim N. Development of performance prediction models in flexible pavement using regression analysis method[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2006, 10: 91-96.

[3]Chen C, Christopher Williams R, Marasinghe M G, et al. Assessment of composite pavement performance by survival analysis[J]. Journal of Transportation Engineering, 2015, 141(9): 04015018.

[4]Pasupunuri S K, Thom N, Li L. Roughness Prediction of Jointed Plain Concrete Pavement Using Physics Informed Neural Networks[J]. Transportation Research Record, 2024: 03611981241245991.

[5]Xin J, Akiyama M, Frangopol D M, et al. Multi-objective optimisation of in-service asphalt pavement maintenance schedule considering system reliability estimated via LSTM neural networks[J]. Structure and Infrastructure Engineering, 2022, 18(7): 1002-1019.

[6]Gao L, Yu K, Lu P. Considering the Spatial Structure of the Road Network in Pavement Deterioration Modeling[J]. Transportation Research Record, 2024, 2678(5): 153-161.

[7]Li, Q., Xiao, D. X., Wang, K. C., Hall, K. D., & Qiu, Y. (2011). Mechanistic-empirical pavement design guide (MEPDG): a bird's-eye view. Journal of Modern Transportation, 19, 114-133.

[8]Ranyal E, Sadhu A, Jain K. Road condition monitoring using smart sensing and artificial intelligence: A review[J]. Sensors, 2022, 22(8):

3044.

[9]王宇强,王亚欣,李强. 高速公路路面使用性能预测模型研究综述[C]//中国公路学会养护与管理分会,重庆高速公路集团有限公司,招商局重庆交通科研设计院有限公司.中国公路学会养护与管理分会第十三届学术年会论文集.[出版者不详],2024:9.DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.015510.

[10]Marcelino P, de Lurdes Antunes M, Fortunato E, et al. Machine learning approach for pavement performance prediction[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2021, 22(3): 341-354.

[11]Li J, Zhang Z, Wang X, et al. Intelligent decision-making model in preventive maintenance of asphalt pavement based on PSO-GRU neural network[J]. Advanced Engineering Informatics, 2022, 51: 101525.

[12]Guo X, Hao P. Using a random forest model to predict the location of potential damage on asphalt pavement[J]. Applied Sciences, 2021, 11(21): 10396.

[13]Zhou G, Wang L, Wang D, et al. Integration of GIS and data mining technology to enhance the pavement management decision making[J]. Journal of Transportation Engineering, 2010, 136(4): 332-341.

[14]Bashar M Z I. Leveraging Satellite Data and Machine Learning to Enhance Pavement Condition Assessment[D]. University of Colorado at Boulder, 2022.

三、实施方案

3.1 拟解决的关键问题

本项目旨在攻克传统路面养护管理中“数据孤岛严重、预测精度不足、决策滞后”的痛点，重点解决以下技术难点：

1. 突破传统检测手段的时空局限性与数据稀疏难题

目前路面养护需求大多依赖昂贵的设备和检查员的现场评估。设备成本高昂且维护复杂，而依赖人为经验的检测方式不仅容易产生误差，还难以保证一致性。这种高成本、低效率的方式制约了大规模路面养护的实施，特别是在道路规模较大或交通复杂的区域，难以实现有效维护。本项目拟解决的关键问题是如何在缺乏全覆盖高频监测数据的情况下，利用有限的检测样本，结合多源数据推演全路网的路面状况。

2. 解决多维复杂环境下路面性能衰变的非线性建模难题。

传统路面养护需求通常依赖定期检测和经验积累，缺乏针对不同环境、车辆负荷和气候条件的精准预测手段。尤其是在重载车辆比例高的公路上，路面磨损情况更加复杂和多变。由于缺乏准确的预测模型，往往无法实现精确的养护时间规划，导致过早或过晚的养护行为，增加了维护成本并缩短了路面的使用寿命。为此，本项目拟解决的核心技术问题是：如何利用人工智能算法，精准捕捉并构建多维复杂因素（如高比例重载车辆、极端气候）下路面性能衰变的非线性模型。

3. 构建复杂耦合环境下的多源融合科学养护决策机制

在重载车辆、恶劣气候、频繁降雨等复杂条件下，路面磨损加剧，路面磨损情况更为复杂。传统基于单一因素的预测方法难以全面考虑

多维度因素之间的相互作用，导致养护计划不科学、时效性差。尤其在规模化养护中，如何有效整合多源数据并制定合理的养护规划成为一大难题。为此，本项目拟解决的另一关键问题是：如何突破单一数据源的局限，有效融合交通、气象、路况等多源数据，从而制定出精准、动态的科学养护规划。

3.2 主要研究内容及实施方案

本项目的总体研究框架与技术架构如图 1 所示。项目主要涵盖“多源公路路面数据的标准化处理”与“基于 Transformer 的养护需求预测算法构建”两大核心研发模块，并最终通过平台集成实现实证应用与闭环反馈。

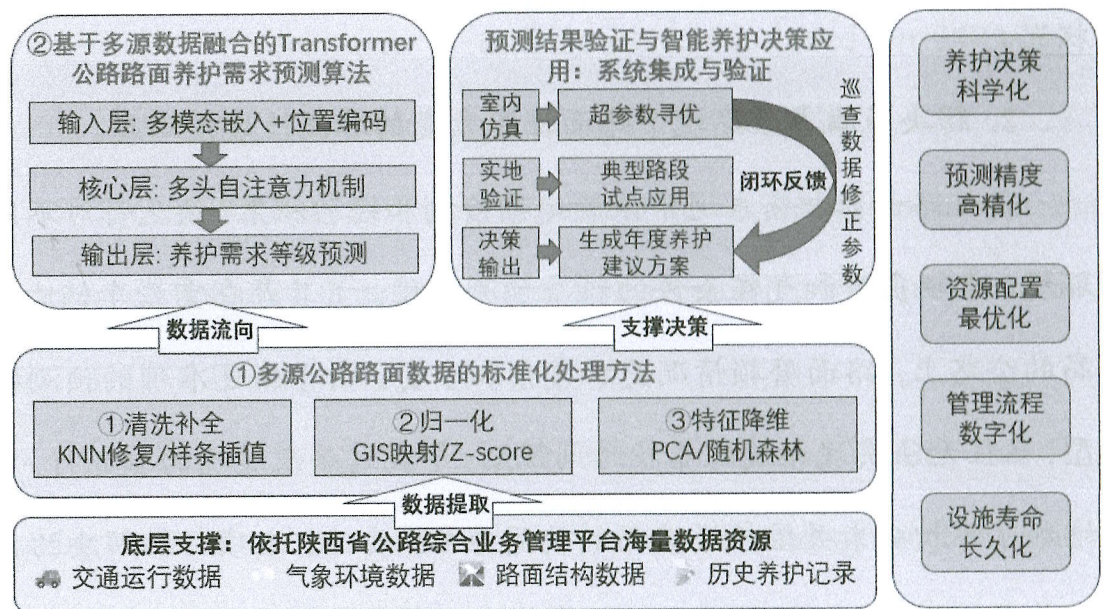


图 1 项目总体技术架构与实施路线图

3.2.1 研究内容一：公路路面养护需求相关影响因素分析

公路路面性能的非线性衰变是交通动态冲击、气象环境应力及路面内部结构属性等多源因素长期耦合作用的结果。为突破传统纯数据驱动模型缺乏物理机理支撑的局限，本项目首先开展路面养护需求

相关影响因素的深度剖析，为后续预测模型的特征优选与构建提供科学依据。具体研究包括：

(1) 交通荷载对路面结构疲劳的驱动机制分析

动态冲击与疲劳损伤：针对陕西省作为能源运输大省、部分干线公路重载及超载车辆频繁的管养实际，深度挖掘交通流量的时空分布演变、车型构成比例及轴载负荷谱。

量化病害映射关系：重点量化高频次动态冲击与重载累积对路面面层及基层产生的疲劳损伤效应，剖析交通负荷强度与车辙（高温+重载耦合）、网裂（疲劳累积）等典型结构性病害演化的非线性映射关系，明确交通流在养护需求演变中的核心驱动地位。

(2) 复杂气象环境交变对材料非线性老化的耦合影响

温湿交替与水损害：结合陕西省跨越陕北黄土高原、关中平原与陕南秦巴山区的复杂地质气候特征，提取区域降水、极端温差、冻融循环等时序特征，量化其对路面水损害（如坑槽、松散）的加速作用。

日照紫外线与材料脆裂：重点引入日照时长与紫外线辐射强度等环境指标，建立气象应力与沥青材料氧化、老化脆裂风险的关联模型，揭示极端自然环境下路面表层病害的诱发机理，完善环境衰变评价维度。

(3) 路面结构本底与历史管养干预的演变滞后效应

结构抗力本底：提取路面面层材料属性、结构层厚度、设计使用寿命等静态物理参数，建立路段初始结构承载力档案，评估不同结构本底对后续病害发展的物理抵抗能力。

干预滞后效应：引入历史养护记录（包含历年病害类型、处治时间节点及维修措施等），量化过往人工干预行为（如预防性养护、大中修）对当前路面衰变速率的“重置”或“延缓”机制，分析养护历史在时间序列上的滞后效应与影响周期。

(4) 多因子交互作用规律与关键主导因子甄别

非线性交互量化：在单一维度分析基础上，引入基于博弈论思想的 SHAP (Shapley Additive Explanations) 等可解释性分析工具，建立“交通-气候-结构”多因子耦合作用矩阵。

主导因子图谱构建：量化评估不同变量在不同地域特征下（如陕北严寒重载区 vs. 陕南湿润多雨区）对路面性能退化的平均贡献度与交互作用方向（如重载与高温的协同破坏），精准剥离并筛选出驱动路面养护需求急剧增加的核心主导因子，形成具备地域适应性的养护影响因子图谱。

3.2.2 研究内容二：多源公路路面数据的标准化处理方法

1. 研究内容：

随着公路路面养护管理工作的数字化发展，涉及的交通、气象、结构及历史养护等多源数据呈现出**多源异构、高维耦合和强时空相关**等特征。针对现有方法在复杂时空关系建模方面能力不足等问题，如何构建系统化的数据治理与融合分析框架，成为提升养护决策科学性的关键基础。

为此，本项目围绕“数据治理—融合建模—机制分析—应用支撑”四个层面，系统开展以下研究：

(1) 构建多源公路养护数据的标准化治理与质量控制体系。研究多源异构数据的统一编码规则、字段标准与数据结构规范，建立覆盖数据采集、清洗、补全、异常检测、归一化与时空对齐的完整处理流程。针对不同数据类型的特征差异，形成分类型处理策略，并构建数据质量评估指标体系，从源头保障输入数据的准确性、一致性和可用性，为后续分析与预测提供高质量数据基础。

(2) 研究多源数据的时空关联建模与深度融合方法。在统一数据结构基础上，探索交通荷载、气候环境与路面结构性能之间的耦合关系，构建多源数据协同表达机制。通过引入基于 Transformer 架构的时序建模方法，提升对长期依赖关系和复杂非线性交互特征的刻画能力，实现对路面性能退化趋势及养护需求变化的精确预测。

(3) 开展关键影响因子识别与作用机制分析研究。在预测模型构建基础上，结合可解释性分析工具，对不同因素在不同区域、不同时间尺度下对路面养护需求的贡献度进行量化分析，识别主导性影响因素及其时空分布特征，为制定差异化养护策略提供科学依据。这一研究不仅关注预测结果本身，更关注影响机制与管理启示。

(4) 探索预测成果与现有养护管理流程的融合应用模式。围绕年度养护计划编制、重点路段筛选、专项资金分配与应急养护决策等实际业务环节，探索预测模型的嵌入式应用路径，形成“数据支撑—趋势分析—风险排序—辅助决策”的应用框架。通过试点验证与持续优化，确保研究成果能够稳定运行并服务于实际管理需求。

通过上述研究，本项目不仅建立多源公路数据标准化处理方法，

还构建多源融合预测模型与决策支撑机制，形成从数据治理到预测分析再到管理应用的完整技术体系。研究成果可推广应用于公路路面养护管理、基础设施运行监测及智慧交通管理等领域，有助于提升养护管理的科学化、精细化与数字化水平，为相关部门制定养护计划和优化资源配置提供坚实的数据与技术支持。

2. 实施方案

公路路面磨损受多重因素影响。在多源数据采集过程中常存在噪声和数据缺失，为消除这些影响模型准确性的干扰因素，本项目拟采取以下核心技术路径处理多源基础数据：

(1) 构建统一格式的基础数据集与清洗补全：针对原始数据格式多样的现状，首先开发自动化 ETL 脚本，将 CSV、JSON 及数据库日志等异构数据转换为统一的结构化表格，并采用独热编码

(One-Hot) 将路面结构、天气状况等分类变量数字化。针对数据缺失问题，根据缺失分布特征，灵活选用 K 近邻 (KNN) 算法 修复离散型缺失值，利用样条插值法平滑填充时间序列缺失值，消除环境干扰与传输延迟带来的数据断点，确保基础数据的完整性与可用性。

(2) 实施高精度的时空对齐与多尺度归一化：为消除多源数据的时空壁垒，在空间维度上，利用地理编码技术与线性参照系统，将离散的 GPS 坐标统一映射至标准路段编号或网格单元；在时间维度上，采用重采样与时间窗口聚合技术，将不同频率的采集数据对齐至统一时间步长。在此基础上，采用 Z-score 标准化 处理分布差异大的数据，利用 Min-Max 归一化 处理神经网络敏感特征，消除量纲差异，

确保各特征在模型中的贡献度均衡。

(3) 基于可解释性分析的特征优选与关键因子筛选：为避免单纯依赖降维算法导致“黑箱式”特征压缩，本文首先采用随机森林与LASSO回归进行初步特征重要性排序与稀疏约束筛选，剔除冗余及弱相关特征；随后，引入基于博弈论思想的 **SHAP (Shapley Additive Explanations) 方法**，计算各特征的平均贡献度及方向性影响，识别出对路面性能退化具有显著正负作用的关键影响因子。完成关键因子筛选后，引入**主成分分析 (PCA)**进行辅助降维，最终形成“可解释性筛选—重要因子确认—结构压缩”的分阶段策略，实现模型性能优化与决策透明性的统一。

3.2.3 研究内容三：基于多源融合的 Transformer 公路路面养护需求预测算法

1. 研究内容

现有的路面养护需求预测方法在处理多源数据时，存在数据融合不足、捕捉复杂时序依赖及非线性交互关系能力有限等局限。针对这些痛点，**本项目拟建立基于 Transformer 的多源数据融合与需求预测算法，构建从数据治理、需求分析、模型构建到工程应用的完整闭环体系。**具体研究内容包括：

(1) 多源数据治理与标准化。整合交通、气象、结构及历史养护等数据，针对异构格式与时空差异，建立统一的清洗、补全与时空对齐流程，**构建高质量、可追溯的基础数据集。**

(2) 公路路面养护需求分析。提取路面病害特征并分析其时空

演化规律，构建量化的养护需求等级体系。将多源基础数据与养护需求指标建立映射关系，形成高精度训练样本，为模型提供明确训练目标。

(3) 多源融合与 Transformer 预测模型构建。采用 Transformer 模型对多源异构数据进行高维嵌入，利用多头自注意力机制捕捉不同数据源间的复杂非线性交互关系，实现跨模态深层融合，精准预测未来路段养护需求等级及趋势。

(4) 模型可解释性与关键因子分析。针对深度学习模型的“黑箱”问题，提取注意力权重矩阵并结合热力图等可视化手段，揭示交通流、极端气候等因素对预测结果的时空影响程度，大幅提升预测结果的工程可操作性。

(5) 应用集成与决策支撑。将预测模型作为决策支持模块嵌入现有业务流程。预测结果以风险排序、重点路段清单、趋势分析报告等形式输出，为年度养护计划编制、专项资金分配及应急养护决策提供量化参考，实现嵌入式应用而不改变现有管理制度。

(6) 工程实证与持续优化。通过典型路段试点，将预测结果与一线巡查数据及既有养护决策进行比对，评估预测精度、提前预警能力及资源优化效果。根据反馈持续优化模型和应用策略，形成可推广、可验证、可落地的完整技术体系。

通过上述研究，本项目不仅构建了高质量的多源数据处理与融合预测方法，还形成了从数据治理、模型构建、机制分析到决策支撑的系统性研究框架，为公路路面养护管理提供科学依据，提升养护管理

的精细化和数字化水平，同时可推广至基础设施监测、智慧交通管理等相关领域。

2. 实施方案

随着人工智能技术的不断进步，Transformer 模型凭借其强大的并行处理能力和长序列依赖建模能力，逐渐成为多源数据融合与分析的重要工具。本项目拟通过以下核心技术路径，实现多源复杂异构数据的深度融合与精准预测：

(1) 构建多模态数据嵌入与位置编码层：针对输入数据的异构特性，首先建立统一的向量化入口。对于交通流量、气象条件等结构化数据，采用**线性变换**（Linear Transformation）将其映射至高维嵌入空间，保持原始特征结构；对于时间序列数据，引入**位置编码**

（Positional Encoding）技术，赋予数据时间步序信息，确保模型能够精准捕捉路面性能随时间演化的时序依赖性。

(2) 研发基于多头自注意力机制的特征融合模块：核心架构采用多头自注意力机制（Multi-head Attention），并行计算不同数据源（如“重载车辆”与“极端天气”）之间的关联权重。通过动态分配注意力，模型将自动捕捉多源数据间的复杂非线性交互关系，克服单一数据源信息片面的缺陷，实现跨模态信息的深度融合。

(3) 实施多层网络堆叠与模型超参数寻优：通过堆叠多层自注意力机制与**前馈神经网络**（Feedforward Neural Network），逐层提取从短时交通冲击到长期气候侵蚀的多尺度时空特征。在训练阶段，采用**网格搜索**（Grid Search）策略，对注意力头数、网络深度、隐藏层

维度及学习率等关键超参数进行遍历评估与全局优化，确保算法达到最优预测性能。

3.3 技术路线

3.3.1 研究技术方案

本项目将依托陕西省公路综合业务管理平台，遵循“多源数据感知—标准化治理—深度模型构建—工程实证应用”的技术路径，重点攻克多源异构数据融合与复杂时空依赖捕捉的难题。

(1) 调查研究与数据获取体系

本项目的调查研究将全面依托陕西省公路综合业务管理平台及省交通云平台的基础设施资源。调查范围覆盖全省干线公路网，重点锁定重载交通频繁及气候地质条件复杂的关键路段。通过数据中心接口，批量获取以下四类高维异构数据：

交通运行数据：包括交通流量的时空分布、车辆类型占比、轴载负荷谱等，用于量化动态荷载对路面的累积破坏作用。

气象环境数据：依托省交通云平台与数据中心，获取路面覆盖区域的气温、降雨、温湿度变化、冻融循环以及日照、紫外线强度等气象数据，以分析环境应力对路面材料性能的非线性衰减影响。

路面结构数据：涵盖路面面层材料属性、结构层厚度、设计使用寿命等静态物理属性。

历史养护记录：提取历年病害类型、维修时间节点、养护措施及治理效果，作为模型训练的“标签”数据。

(2) 数据标准化处理

针对多源数据存在格式异构、时空不同步及量纲差异大等问题，建立完整的室内数据处理流程：

数据清洗与格式转换：将多源异构数据转化为标准化的结构化数据，利用均值填充或 K 近邻算法 修补缺失值，剔除冗余特征。

多尺度数据归一化：采用 Min-Max 归一化 或 Z-score 标准化 方法对数据进行无量纲化处理，以消除数值级差对模型权重的干扰。

高精度时空对齐（核心环节）：项目将利用 **GIS 地理编码转换与道路网匹配技术**，将环境与流量数据精准映射至具体桩号，并通过线性插值与时间重采样，构建出高精度的时空对齐数据集。

(3) 公路路面养护需求分析

为支撑 Transformer 预测模型构建，本项目首先开展公路路面养护需求分析，形成从多源数据到养护需求指标的映射。

病害特征提取与关联分析：通过多源数据统计，提取路面病害的关键特征，识别病害类型的发生规律、发展趋势及空间分布特征。量化交通负荷、气象应力和结构参数的非线性影响，为养护需求指标设计提供基础支撑。

量化需求指标体系构建：本项目将“路面养护需求”明确界定为特定路段在未来预估时间内的养护干预程度及所需措施。基于此，根据病害严重度、发展速度和交通重要性，将养护需求划分为高、中、低等级，并从时间、空间和病害类型三个维度设计指标，实现需求的可度量化与结构化表达。时间维度反映未来养护窗口预测，空间维度对应具体路段或桩号，类型维度对应病害类型及对应养护措施。结合

专家经验与数据驱动赋予权重，实现需求的可度量化与结构化表达。

训练样本映射：建立多源数据与养护需求指标的映射关系，通过线性插值、时间重采样及路段匹配等技术，实现不同数据源与指标的精确对应，并通过统计检验与可视化分析验证映射的准确性与可靠性，为 Transformer 模型训练提供科学基线，同时为工程决策提供量化参考，实现数据驱动的精准养护预测与决策支持。

(4) 理论与算法模型构建

本研究基于深度学习理论，构建基于 Transformer 架构的多源数据融合驱动预测模型。区别于传统统计模型，本方案利用 Transformer 强大的序列建模能力，捕捉长周期历史养护记录与动态交通气象数据之间的非线性耦合关系。核心算法架构包含以下三个关键模块：

多源嵌入层：设计专门的结构化数据嵌入模块，将交通、气象等离散或连续特征转化为高维向量；同时引入位置编码，以保留历史养护记录的时间序列依赖性，使模型能够感知路面性能随时间衰减的动态规律。

多头自注意力机制：这是算法的理论核心。通过并行计算多个注意力头，模型能自动学习并动态分配不同数据源的权重。例如，模型可自动识别“高温持续时间”与“重载车辆密度”的交互作用，精准捕捉复杂工况下路面损坏的非线性特征。

深度特征提取与预测输出：通过堆叠多层 Transformer 编码器，逐层提取数据中隐含的深层时空特征，最后通过全连接层输出未来特定时间窗口内的路面养护需求等级或具体指标。

(5) 模型验证与测试

为确保技术方案的可行性，项目将建立利用网格搜索策略对模型的注意力头数、网络层数等超参数进行精细化寻优，并设置与 SVM、随机森林、LSTM 等传统模型的对比试验，目标是实现预测精度提升 10% 以上。在实地验证阶段，将优化后的算法集成至陕西省公路综合业务管理平台，选取典型路段进行试点应用，将模型预测的养护需求与一线养护人员的实际巡查结果进行比对分析，根据反馈偏差持续迭代优化模型参数，最终形成一套技术成熟、适应性强的公路路面养护需求预测系统。

(6) 模型可解释性与决策透明度保障

针对深度学习“黑箱”问题，系统提取训练完成后的注意力权重矩阵。利用热力图与时序变化曲线，直观展示交通流、极端气候等关键因素对养护需求的时空影响强度与动态演化趋势，使管理人员能够清晰理解高养护需求的预测成因，而非仅仅获得数值结果。

3.3.2 工作流程

本项目坚持以解决公路养护管理中的实际应用问题为核心，构建“问题牵引—数据支撑—模型服务—工程验证—持续优化”的应用研究闭环体系，确保研究成果能够直接服务于省公路养护管理实践。

步骤一：问题牵引与业务场景界定。围绕全省公路养护工作中存在的现实痛点开展系统调研与需求分析，重点聚焦养护需求判断依赖经验、病害发展趋势难以提前量化预判、年度养护计划编制缺乏数据支撑、养护资源配置不均衡等问题。通过与行业主管部门和一线养护

单位的沟通，明确模型在业务流程中的嵌入位置和应用场景，界定预测结果需要支撑的具体决策行为，例如年度养护资金分配、重点路段优先级排序及应急养护响应预警等，确保研究目标与实际管理需求高度契合。

步骤二：多源数据汇聚与高质量底座构建。依托省公路综合业务管理平台与交通云平台，整合交通流量、气象环境、路面结构属性及历史养护记录等数据资源，完成数据清洗、补全、归一化处理与时空对齐，构建面向实际管理需求的高质量基础数据集。该阶段的重点不在于单纯的数据规模扩展，而在于保证数据能够真实反映路段运行状态，为后续决策分析提供可靠依据。

步骤三：面向实际场景的模型构建与可解释分析。Transformer模型作为技术工具，用于捕捉复杂时空依赖关系，但研究重点放在模型如何服务具体应用场景。同时，通过引入可解释性分析与可视化展示机制，明确各关键因素对预测结果的影响方向和贡献度，使管理人员能够理解预测依据，从而增强模型在实际管理中的可接受度与可操作性。

步骤四：业务指标驱动模型迭代与验证。打破唯精度论，结合业务实际设置综合应用指标。建立强制性人工校验机制，将预测结果与一线养护人员的实际巡查记录进行多方对比，通过人工经验与机器推演的双重论证，确保技术方案的可靠性与实用性。通过多轮迭代优化，使模型输出结果更加贴近实际工程需求，而非单纯追求理论上的最优性能。

步骤五：平台集成与全省范围推广应用。项目将预测模型嵌入现有管理平台，形成实际运行系统。选取典型路段开展试点，形成算法的实际应用案例并进行展示，通过比对评估其实际降本增效成果，逐步形成成熟稳定的应用方案，并在全省范围内推广，最终实现科研成果向行业管理效能提升的全面转化。

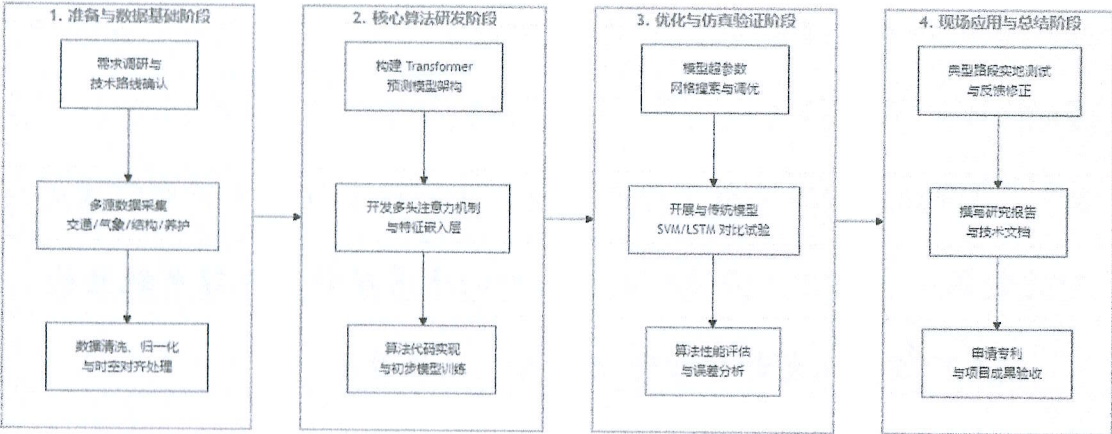


图 2 研究工作流程图

3.4 技术改造

本项目旨在研发基于多源数据融合与 Transformer 技术的公路路面养护需求预测算法，其核心成果具有极高的实用价值和市场推广潜力。项目结题后，将从以下几个方面与后续的技术改造及基本建设计划进行无缝衔接，以推动成果的规模化应用与产业化落地：

3.4.1 预测成果的轻量化接入与辅助应用

本项目的核心成果将以“辅助参考模块”的形式，深度融入“省交通云平台”与“省公路行业数据中心”，并与“陕西省公路综合业务管理平台”进行衔接。在完全不改变现有系统架构与业务审批流程的前提下，作为现有平台数据分析能力的平滑补充。

在技术衔接方面：依托省交通云平台与数据中心已具备较完善的

数据治理与计算环境。项目拟采用轻量化的 API 接口或微服务架构，将预测模型与平台算法中台进行标准对接。模型推理数据的交互均依托既有环境独立运行，不对原有系统的底层代码和结构进行任何侵入性改造，确保省局核心系统的绝对安全与稳定运行。

在功能提升方面：本项目严格定位于“辅助参考”，清晰界定算法结果仅作为管理辅助依据，绝不干预或替代现有的行政审批与既有管理流程。仅在原有数据展示的基础上，以“插件”形式新增“趋势分析”、“风险排序”等可视化图表模块。预测结果仅为主管部门提供额外的数据维度参考，实现对现有业务的平滑赋能，而非系统重构。

3.4.2 服务既有养护管理流程的优化提升

本项目成果的应用定位为对现有养护管理程序的补充与优化，而非替代既有制度流程。省公路局已建立较为成熟的养护管理体系，包括巡查评定、计划编制、资金安排与工程实施等环节。预测模型的作用是在这些既定环节前端提供数据分析支撑，提高计划制定的科学性与前瞻性。

流程节点精准嵌入：在年度计划编制前，提供路段养护需求等级排序及趋势分析报告，作为管养优先级确定的核心参考依据；在季度巡查或专项整治决策过程中，利用算法提供高风险路段动态预警，辅助管理人员精准识别并拦截潜在道路隐患；在资金与资源配置环节，为专项资金预算的精细化分配及预防性投入的最佳时机把握提供量化数据佐证，确保管养投入的科学性与前瞻性。预测结果不直接生成行政决策，而是以“建议清单”和“数据参考报告”的形式服务既有审批

与决策程序。

资金与资源配置优化：模型可根据不同时间窗口的需求强度变化趋势，提供量化分析参考，辅助判断提前养护或滞后处置风险。这将在现有预算管理制度框架下，大幅提高资金使用效率与养护时效性，实现真正的“数据赋能型优化”。

3.4.3 市场需求响应与技术标准制定

鉴于当前公路养护面临的“检测成本高、效率低”及“复杂环境下预测难度大”的行业痛点，本项目成果具有广阔的市场需求。

行业标准衔接：项目将把研发过程中形成的“多源公路路面数据标准化处理方法”转化为企业标准或地方标准，填补行业在多源数据融合领域的空白。

知识产权转化：依托申请的发明专利，未来可寻求与第三方养护工程公司或交通信息化企业合作，将核心算法封装为可商业化的软件产品或 SaaS 服务，服务于更广泛的交通基础设施运维市场。

政策转化与行业规范制定：为进一步聚焦研究成果的针对性与可操作性，项目将基于多源数据融合底座，拓展分析陕西省不同地域（如关中、陕南、陕北）的农村公路发展特征及其养护费用水平。依托算法预测出的科学养护需求数据，为基层养护资金的合理分配提供量化支撑。

3.5 有关技术经济指标

3.5.1 核心性能指标

项目最核心的技术突破在于显著提升预测的准确率与模型的环

境适应能力。

预测精度指标：相比于传统基于统计学或单一因素的预测方法，本项目研发的算法预期将公路路面养护需求预测精度提升 10%以上。这一量化指标直接反映了算法在减少误报(避免过度养护)和漏报(避免失养)方面的技术优势。

多源融合维度：系统具备处理高维异构数据的能力，能够稳定融合 4 大类关键数据，具体包括交通流量数据（车流量、车型占比）、气象环境数据（降水、温差）、路面结构数据以及历史养护记录。

3.5.2 算法技术参数与运行环境

算法设计强调在复杂工况下的计算效率与特征提取能力，具体的软硬件技术条件如下：

模型架构参数：采用基于 Transformer 的深度学习架构，利用自注意力机制捕捉长距离时间序列依赖。算法能够支持时间对齐（如线性插值）和空间对齐（如网格编码）的标准处理流程，有效解决多源数据时空不一致的技术难题。

运算环境要求：为满足海量数据的训练需求，算法开发环境采用 **Python 及主流深度学习框架**。

3.5.3 成果产出与经济效益指标

项目的实施不仅产出理论成果，更直接服务于公路养护的降本增效。具体预期产出如下：

(1) 项目研究报告 1 份：项目将输出项目研究报告，涵盖项目背景、研究综述、算法设计、进展报告、总结等内容。

(2) 研发算法 1 套：项目将设计实现公路路面养护需求预测算法，并输出算法技术报告，涵盖算法设计、模型优化、实验结果等内容。

(3) 学术成果与知识产权：申请发明专利 1 项，保护算法和系统设计的核心技术。

(4) 经济效益（定性）：通过大幅提高预测精度，支持管理部门实施科学的“预防性养护”。这将有效避免因过早养护造成的资金浪费，防止因延迟养护导致的路况恶化和大修成本增加，从而显著降低公路全生命周期的维护成本，并延长公路使用寿命。

四、项目承担单位及参加单位概况

4.1 单位概况

(1) 西安交通大学

西安交通大学是教育部直属重点大学，为我国最早兴办的高等学府之一。学校是国家“七五”、“八五”首批重点建设高校，是首批进入国家“211 工程”和“985 工程”建设的大学，2017 年入选国家“双一流”建设名单 A 类建设高校。学校现有兴庆、雁塔、曲江和中国西部科技创新港四个校区，学科门类齐全，涵盖理、工、医、经、管、文、法、哲、艺等 9 个学科门类。学校拥有一支包括两院院士、国家级教学名师在内的高水平师资队伍，科研实力雄厚，特别是在机械工程、能源动力、电子信息、计算机科学等领域处于国内领先地位，在国内外享有崇高的学术声誉。

(2) 陕西省公路局

陕西省公路局是陕西省交通运输厅管理的事业单位，主要承担全省普通国道、省道公路的规划计划、建设管理、养护管理、路政管理、路网运行监测及应急处置等职责。多年来，陕西省公路局始终坚持“建设是发展，养护也是发展”的理念，不断提升全省公路网的通达深度和服务水平。局下设多个职能处室及直属单位，拥有完善的公路管理体系和专业的技术人才队伍。在推进交通强省建设中，陕西省公路局积极探索新技术、新材料、新工艺及信息化技术在公路行业的应用，为服务地方经济社会发展和群众便捷出行做出了重要贡献。

4.2 技术力量及人员构成

姓 名	单 位	性别	年龄	技术 职称	专业	在项目中担任 具体工作
赵玺	西安交通大学	男	1981-05-06	正高级	管理科学与工程	项目负责人
沈之浩	西安交通大学	男	1995-08-31	中级	控制科学与工程	项目指导
王建强	陕西省公路局	男	1987-06-05	中级	信息化	数据分析
赵晓锋	陕西省公路局	男	1976-12-18	副高级	信息化	技术负责
张睿轩	长安大学	男	2000-07-24	博士生	交通运输规划与管理	数据分析
卢晓妮	西安交通大学	女	1994-12-04	中级	管理科学与工程	算法研发与设计
丰廷晟	西安交通大学	男	2000-12-19	博士生	管理科学与工程	算法设计与实现

王志超	西安交通大学	男	2002-06-01	硕士生	应用数学	大数据处理与分析
周昱扬	西安交通大学	男	2003-05-13	博士生	应用数学	算法设计与实现
马镁浩	西安交通大学	女	2002-12-07	硕士生	网络信息安全	大数据处理与分析
李雪	西安交通大学	女	2000-09-25	硕士生	应用数学	系统测试与优化
翁家毅	西安交通大学	男	2003-03-26	硕士生	应用数学	系统开发与集成

4.3 各自承担的主要工作

(1) 西安交通大学（主要承担：技术研发、算法攻关与系统实现）

作为项目的技术研发方，西安交通大学团队主要负责核心算法的设计、海量数据的处理以及最终应用系统的开发与测试工作。具体分工如下：

项目总体指导与把控：由赵玺担任项目负责人，负责技术路线的总体规划；沈之浩负责提供项目指导与学术把控。

核心算法研发与设计：团队重点攻克项目所需的核心模型。其中，卢晓妮、丰廷晟、周昱扬主要负责具体的算法设计、研发与代码实现工作，确保技术逻辑的先进性与可行性。

大数据处理与分析：针对项目涉及的海量数据，由王志超、马镁浩负责数据的清洗、挖掘、处理与深度分析，为算法模型提供高质量的数据支撑。

系统开发、集成与测试：为实现科研成果的落地应用，翁家毅负责系统的开发与集成工作，李雪负责系统的功能测试与性能优化，确保软件平台的稳定运行。

(2) 陕西省公路局（主要承担：行业指导与工程落地）

作为行业主管与应用单位，陕西省公路局主要负责项目业务需求对接以及道路工程领域的专业技术支持。具体分工如下：

技术负责与业务把关：负责结合道路养护与管理业务的实际需求，对技术方案进行把关，确保研发成果符合行业标准。

数据分析与工程支撑：结合道路工程（路面）专业背景，负责业务层面的数据分析工作，协助研发团队理解工程痛点，促进技术与业务的深度融合。

4.4 项目主要负责人情况

赵玺，西安交通大学管理学院教授、博导、副院长，国家级青年人才。担任“数据资产价值管理”教育部创新团队首席专家、大数据算法与分析技术国家工程实验室中心主任等职务，兼任中国人工智能技术与管理应用研究会秘书长，IEEE Senior Member。近年来主要从事区块链与数据资产价值管理等领域研究。主持国家自然科学基金重点项目“分布式智造服务平台模式与机制设计”、国家促进大数据发展重大工程项目等重大课题，多项核心成果已成功实现市场转化。研究成果获陕西省计算机学会科学技术奖自然科学奖一等奖1项，陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖1项，陕西省第十五次哲学社会科学优秀成果奖二等奖1项。参与编制国际、国家或行业标准2

项。获授权专利 17 项。在 IEEE TPAMI、IEEE TIFS、IEEE TKDE、ACM MobiCom、ACM SIGKDD 等重要期刊或国际会议上发表论文 80 余篇。

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

本项目依托陕西省公路综合业务管理平台及其覆盖的全省干线公路网进行研究与开发。该平台是陕西省公路交通行业的数据中心与核心业务枢纽，本项目立足陕西省公路交通实际，依托该平台全面覆盖全省干线公路网的优势，重点解决我省高强度交通枢纽运输与典型黄土地质气候复合影响下的路面管养难题，确保研究成果具备极强的省情针对性。

（1）平台定位与规模：该平台依托省交通云平台和交通专网的基础设施资源，已全面整合汇聚了全省公路行业的基础数据和业务数据，实现了全省公路数据资源的集中管控与协同共享。

（2）强大算力支撑：平台构建了先进的大数据处理架构。配备 20 余台双核机架式服务器用于分布式存储与通用计算；同时引入 20 余台高性能图像处理显卡（GPU），专门用于加速 Transformer 深度学习模型的训练与推理过程。

（3）业务工作内容对接：利用平台汇聚的实时交通流、气象及历史养护数据开展模型训练，最终研发的智能算法模块将反哺该平台，直接服务于全省公路的养护决策与计划制定。

5.2 投资来源

本项目总经费预算为 19.76 万元，资金来源全部为申请厅拨经费（陕西省交通运输厅补助），无单位自筹或其他配套资金。经费将严格按照相关财务管理规定，主要用于设备费、劳务费、业务测试及科研活动支出。

5.3 工程进度与项目科研进度的配合

本项目的科研进度将与依托平台的数据更新及年度养护计划紧密耦合，形成“数据抽取—模型研发—实地验证”的闭环迭代模式：

初期（第 1-6 个月|数据准备与平台对接）：对接依托平台，系统梳理交通、气象、路面及养护等多源数据并论证其获取可行性。针对数据异构难题，建立涵盖清洗、补全与时空对齐的统一数据治理与多重校验流程。最终构建高质量基础数据集及动态更新机制，为后续预测模型研发提供科学可靠的数据支撑。

中期（第 7-15 个月|模型与业务融合）：利用依托平台的 GPU 算力资源进行算法训练。科研团队将根据实际公路养护业务中的痛点（如重载路段磨损快），针对性地调整模型参数，确保算法逻辑符合工程实际逻辑。

后期（第 16-18 个月|验证与总结）：项目将把研发的预测算法部署回实际业务环境中。选取典型路段，将算法预测出的养护需求与实际发生的养护工程进行比对验证，利用最新的工程反馈数据对模型进行微调，实现科研成果在实际工程中的落地应用。

5.4 组织管理形式

本项目采用“行业主管部门主导 + 高校技术攻关”的产学研深

度融合管理模式，确保项目组织严密、分工明确。

(1) 双主体协同机制：

西安交通大学（申请单位）：作为项目主导方，负责技术攻关、核心算法的设计、实现与优化。由赵玺负责项目指导，团队成员涵盖算法研发、大数据处理等多个技术领域。

陕西省公路局、长安大学（合作单位）：提供依托工程环境、业务需求指导及数据资源支持。

(2) 具体分工与管理：项目组内部设立了明确的职能小组。项目协调组负责协调局内资源与科研需求；技术负责组把控技术路线；算法研发与数据分析组具体执行代码编写与模型训练。

(3) 沟通与监督：建立定期项目推进会议制度，确保科研团队的技术路径不偏离实际养护业务需求，保障项目按计划高质量完成。

(4) 数据治理与合规保障机制：

为确保数据使用全过程合规、安全、可控，项目建立了系统化的数据治理与隐私保护机制。

数据采集与授权：由陕西省公路局提供合法合规来源的数据资源，明确数据使用范围与权限边界，签署数据共享与保密协议，确保数据来源可追溯、授权明确。

质量控制与审计：制定统一的数据清洗与标注规范，包括异常值检测、缺失值处理、噪声过滤、多源数据对齐与标准化流程，并建立数据质量评估指标体系（完整性、一致性、准确性、时效性等），通过人工抽检与自动化脚本双重校验机制保障数据质量。所有数据处理

流程形成标准化操作文档，实现可复现与可审计管理。

隐私安全与脱敏：严格遵循相关法律法规，采用数据脱敏与匿名化处理；在模型训练阶段优先采用**最小化数据原则**，部署访问日志审计系统，实现全过程留痕管理，杜绝隐私风险。

六、项目经费估算及资金筹措情况

对经费估算及资金筹措情况说明，提供所需经费测算说明。

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	19.76	合 计	19.76	19.76	0.00
工程配套研究经费	0.0	1.设备费	0.00	0.00	0.00
单位自筹	0.0	（1）购置设备费	0.00	0.00	0.00
其他经费	0.0	（2）设备改造与租赁费	0.00	0.00	0.00
		2.业务费	8.26	8.26	0.00
		（1）材料费	0.00	0.00	0.00
		（2）测试化验实验加工费	3.50	3.50	0.00
		（3）燃料动力费	0.00	0.00	0.00
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	2.00	2.00	0.00
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权费	1.26	1.26	0.00
		（6）其他费用	1.50	1.50	0.00
		3.劳务费	7.00	7.00	0.00
		（1）专家咨询费	2.00	2.00	0.00
		（2）聘用人员劳务费	2.00	2.00	0.00
		（3）其他劳务费	3.00	3.00	0.00

		(二) 间接费用	4.50	4.50	0.00
		4.管理费	3.00	3.00	0.00
		5.绩效支出	1.50	1.50	0.00

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
		(1) 授权发明专利	1
		(2) 实用新型	0
		(3) 外观设计	0
		2、软件著作权授权数(项)	0
		3、发表论文(篇)	0
		(1) 其中 SCI 索引收录数	0
		(2) 其中 EI 索引收录数	0
		(3) 其它	0
		4、著作(部)	0
		5、制订标准数(项)	0
		(1) 国际标准	0
		(2) 国家标准	0
		(3) 行业标准	0
		(4) 地方标准	0
		(5) 企业标准	0
		(6) 科技报告	1
	其他成果	1、填补技术空白数	0
		(1) 国际	0
		(2) 国家	0
		(3) 省级	0
		2、获奖项数	0
		(1) 国家奖项	0
		(2) 部、省奖项	0
		(3) 地市级奖项	0
		3、其他科技成果产出	0
		(1) 新工艺(或新方法模式)	1
		(2) 新产品(含农业新品种)	0
		(3) 新材料	0

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
		(4) 新装备(装置)	0
		(5) 平台/基地/示范点	0
		(6) 中试线	0
		(7) 生产线	0
产出类指标	其他成果	4、研究开发情况	
		(1) 小试	否
		(2) 中试(样品样机)	否
		(3) 小批量	否
		(4) 规模化生产	否
	人才引育	1、引进高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	0
		2、培养高层次人才	0
		(1) 博士、博士后	0
		(2) 硕士	2
		3、培训从事技术创新服务人员(人	0
		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	0
		2、科研仪器设备利用率(%)	0
		3、孵化科技型企业(个)	0
		4、转化科技成果(个)	0
效果类指标	经济效益	1、新增产值(万元)	0
		2、新增销售(万元)	0
		3、新增出口创汇(万美元)	0
		4、新增利润(万元)	0
	社会效益	1、新增税收(万元)	0
		2、新增就业人数	0
		3、就业培训(人次)	0
		4、带动农民增收(万元)	0
		5、培训和指导科技服务(人次)	0
		6、新增产业带动情况	0
		7、技术集成示范(项)	1

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
		8、建立示范基地（亩数）	0
		9、节约资源能源	0
		10、环保效益	0
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（项目的考核目标）

本项目拟提出多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法，提供智能、精确的养护需求预测与决策支持。通过应用先进的人工智能算法，最终实现公路路面管理的智能化、数字化。项目预期目标包括以下几方面：

（1）实现多源数据的高效融合：通过 Transformer 模型的自注意力机制，能够对交通流量、气候条件、路面结构、历史维护记录等多种数据源进行有效融合，提取出关键特征并捕捉不同因素对路面结构性能疲劳与非线性老化的潜在影响。

（2）精准预测公路路面养护需求：多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法，能够在复杂的环境下（如重载车辆、高气候变异性）准确地预测公路路面养护需求。

（3）智能化养护决策优化：利用公路路面养护需求预测结果，提前安排养护计划，避免过早或过晚的决策，使得路面养护决策更为精准和灵活，从而提高路面的使用寿命，降低长期维护成本。

8.2 提交的研究成果及其形式

（1）项目研究报告 1 份：输出项目研究报告，其核心内容完整

涵盖“多源公路路面数据的标准化处理方法”与“基于 Transformer 的公路路面养护需求预测算法构建”两大系统板块，并补充农村公路养护相关内容，确保研究逻辑的完整闭环。

(2) 研发算法 1 套：交付基于上述两大研究内容研究成果构建的公路路面养护需求预测算法，同时输出算法技术报告，包含算法设计、模型优化、实验结果及性能指标。相比现有随机森林方法，预测准确率提升 10%，从而确保算法性能可量化、可验证。

(3) 学术成果与知识产权：申请发明专利 1 项（获得受理通知书）或投出《中文核心期刊要目总览》论文 1 篇，保护算法和系统设计的核心技术，保护算法与系统设计的核心技术。

8.3 经济、社会、环境效益分析

(1) 经济效益：降本增效，提升投资回报

降低全生命周期养护成本：改变传统依赖人工经验、决策滞后的养护模式。通过精准的养护需求预测，避免了“过度维修”造成的资金浪费和“延迟维修”导致的大修成本增加。特别是针对重载交通频繁的高速公路，能够显著节约运营和维护资金。

延长公路设施使用寿命：通过科学安排养护计划，实现预防性养护，有效延长公路整体使用寿命。这不仅降低了修复和翻新频次，也提升了基础设施的长期稳定性，从而提高了政府在公路基础设施上的投资回报周期和运营效率。

减少拥堵带来的间接经济损失：通过精准的磨损预测，减少因路面突发损坏或紧急抢修导致的道路封闭和交通拥堵。提升道路通行效

率，保障货物运输和人员出行的顺畅，有效减少因物流延误和出行受阻带来的社会间接经济损失。

(2) 社会效益：保障安全，推动行业数字化转型

显著提高公路安全性：能够提前识别路面潜在风险（尤其是重载路段），通过及时、精准的养护消除隐患，有效降低因路面破损（如坑槽、裂缝）引发的交通事故率，切实保障公众的生命财产安全，增强道路使用的可靠性。

促进公路管理智能化升级：项目成果将推动公路养护从“人工主观决策”向“数据驱动智能决策”转变。这不仅提升了管理部门的决策科学性和工作效率，也推动了现代化交通管理体系的建设，为未来智能交通的发展奠定坚实的数字化基础。

赋能农村公路高质量发展与乡村振兴：随着项目算法技术底座的不断成熟与下沉应用，将通过科学的管养决策，有效提升陕西省农村地区路网的整体服务水平与抗灾抢险能力。不仅切实保障了农产品物流的畅通与基层群众的安全便捷出行，更从交通基础设施精细化运维的维度，强力践行并支撑了国家农业农村现代化与乡村全面振兴战略。

(3) 环境效益：低碳节能，助力绿色交通

推动低碳环保目标实现：通过优化养护计划，精准定位养护需求，减少了无效或重复的施工作业频率，从而有效降低施工过程中的能源消耗和碳排放。

节约资源消耗：公路使用寿命的延长意味着减少了大量的重建工

程，直接减少了对沥青、水泥、砂石等不可再生资源的过度消耗，符合国家绿色交通和可持续发展的战略要求。

九、其它需要说明的问题

科研成果以及形成的知识产权，除以保证重大国家利益、国家安全和公共利益为目的或合同中明确约定外，授予承担单位所有。

十、申请单位意见

该项目依托陕西省公路综合业务管理平台进行研究开发。该平台是陕西省公路交通行业数据中心，整合汇聚了全省公路行业的基础数据和业务数据。无配套资金。



单位负责人：(签字)

朱立群

2026 年 3 月 23 日

多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法 大纲评审意见

2026年3月16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“多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法”（项目编号：25-22R）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、项目研究内容全面，研究目标明确，技术路线可行。

二、项目研究人员组成合理，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。

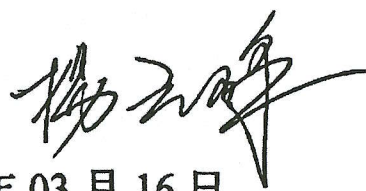
三、预期成果基本覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架高度契合。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

- 1.科学界定公路路面养护需求及判定方法；
- 2.加强项目成果与既有平台、系统对接融合。

主任委员：



2026年03月16日

专家审查意见表

项目名称	多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法				
专家姓名	杨云峰	职务/职称	书记(原)/教授(三级)	专 业	交通运输规划
专家单位	陕西交通职业技术学院			联系电话	13709210365

评 审 意 见

随着持续数十年的公路建设,我省公路网规模不断扩大、功能日益完善,但目前面临的大规模公路养护任务却更为艰巨。尤其是在养护资金有限、交通保障要求更高的情况下,精准预测公路养护需求,合理安排养护计划显得非常迫切。

本课题针对传统路面磨损检测成本高、效率低;路面养护需求预测精度不高;复杂环境下养护需求预测困难等现实问题,拟利用多源数据融合技术,研制一套高效、精确的公路路面养护需求预测算法,提高公路养护预测、决策科学性,变“人工巡检—发现病害—制定计划”的被动养护模式,为“数据驱动—预测需求—提前规划”的主动预防性养护模式,对改善公路养护计划时效性及养护资金使用效益有重大意义。立项研究非常必要。

课题拟定的内容充实,研究思路清晰、研究方法可行;课题承担单位及课题组力量雄厚,具备良好的研究基础。同意立项。

建议:1.路面养护需求概念界定须明确;

2.算法实际应用案例应展示;

3.研究成果与省交通云平台、省公路行业数据中心等系统的嵌入、融合须完善。

评审专家(签字):


 2026 年 3 月 16 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	多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法（25-22R）				
专家姓名	曹可勇	职务/职称	正高	专业	道路工程
专家单位	原陕西交控科技发展集团股份有限公司			联系电话	13809198825

评审意见

项目针对公路路面养护数字化升级需要，开展多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法研究，对推动路面养护从静态统计分析向动态、智能化的深度学习预测转变，进一步提升养护决策的科学性和投资效益，推动养护技术进步具有现实意义，立项必要。

建议：

- 1. 多源数据类型中应补充路面技术状况定期检测与评价内容；
- 2. 气象环境条件除气温、降雨、温湿度变化、冻融循环外，还应包括日照（紫外线引起的老化脆裂等）并明确气象环境数据的来源；
- 3. 路面技术状况的衰变不仅仅是磨损，而是结构的疲劳和材料的老化，建议项目注重路面结构的衰变规律与评价研究，以突显养护决策需求和算法成果的推广应用。

评审专家（签字）

2026 年 3 月 16 日

专家审查意见表

项目名称	多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法				
专家姓名	王建宇	职务/职称	教授	专业	交通工程
专家单位	长安大学			联系电话	13709252206

评审意见

1. 加强多源数据搜集与处理内容分析;
2. 强化预测模型先进性、合理性、适用性与实用性分析;
3. 加强验证分析;
4. 加强相关影响同步分析.

评审专家(签字): 王建宇

2026年3月16日

(本意见入档, 应填写工整, 纸面不散, 可另加纸)

专家审查意见表

项目名称	多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法				
专家姓名	卞雪航	职务/职称	副研究员	专 业	交通科技、交通经济
专家单位	交通运输部科学研究院			联系电话	18610600670

评 审 意 见

总体意见：项目研究思路清晰、目标明确，研究面向新时期公路养护需求，寻求新的算法方法突破，具有研究价值与意义，同意立项。

具体意见建议：

- 一是当前人工智能技术是否能够完全用于精准预测公路路面养护需求需要论证，建议可以增加人工校验方法予以多方论证，保证方法技术可靠性；
- 二是建立方法模型时充分考虑分地域差异性，提高测算精准度。

评审专家（签字）：卞雪航

2026年3月16日

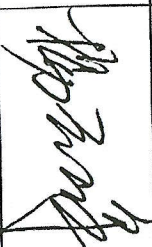
（本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）

专家审查意见表

项目名称	多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法				
专家姓名	虞明远	职务/职称	原主任/研究员	专 业	交通经济
专家单位	交通运输部公路科学研究院			联系电话	13801350160
评审意见 总体上，课题组研究基础扎实，提交的研究内容全面、技术路线合理、方法科学、研究重点突出、研究人员构成合理，同意通过研究大纲评审。 建议： 1、进一步强化对陕西省不同区域的农村公路发展特征及其养护费用水平分析； 2、进一步强化农村公路高质量发展和支撑农业农村现代化要求； 3、进一步聚焦研究成果的针对性、可操作性，形成《陕西省农村公路养护预算编制办法》代拟稿。 评审专家（签字）：  2026 年 3 月 16 日 （本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸）					

多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法 (项目编号: 25-22R)

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	杨云峰	陕西交通职业技术学院	交通运输规划与管理	交通运输规划与管理	正高工	
2	委员	曹可勇	陕西交控科技发展集团股份有限公司	道路与铁路工程	道路工程	正高工	
3	委员	王建军	长安大学	交通运输工程	交通运输工程	教授	
4	委员	卞雪航	交通运输部科学院	交通规划与管理	交通规划与管理	副研究员	线上评审
5	委员	虞明远	交通运输部公路院	交通规划与管理	交通规划与管理	研究员	线上评审

专家意见处理表

项目名称：多源数据融合驱动的公路路面养护需求预测算法

(项目编号： 25-22R)

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	杨云峰	路面养护需求概念界定须明确	项目组已在大纲中对概念进行了结构化、量化界定。具体修改如下： 1. 在“3.3.1 研究技术方案”中重点补充了“公路路面养护需求分析”环节。 2. 明确根据病害严重程度、发展速度和交通重要性，将养护需求划分为高、中、低三个等级。 3. 从时间（未来养护窗口）、空间（具体路段或桩号）和类型（病害类型及对应措施）三个核心维度设计指标，彻底实现了需求的可度量化表达。
2	杨云峰	算法实际应用案例应展示	项目组高度重视成果落地，已在方案中强化了应用实证环节。具体落实如下： 1. 在“3.3.2 工作流程”的步骤五中，明确提出将预测模型嵌入现有管理平台，通过典型路段试点评估实际降本增效成果。 2. 在“5.3 工程进度”的后期阶段（第16-18个月）规划了“验证与总结”专项任务，明确要求选取典型路段，将算法预测出的养护需求与实际发生的养护工程进行直观的对比验证。

3	杨云峰	研究成果与省交通云平台、省公路行业数据中心等系统的嵌入、融合须完善	项目组在保留原有架构的基础上，对系统层面的融合方案进行了针对性完善。具体修改如下： 1. 明确融合目标：在“3.4.1”小节中，明确将“省交通云平台”与“省公路行业数据中心”作为核心成果的深度融入对象。 2. 细化底层衔接：补充说明了将依托上述平台已有的计算环境，通过轻量化 API 或微服务架构进行标准对接，确保平台间的平滑、安全融合。 项目组在正文中全面深化了数据采集机制。具体落实如下： 1. 明确数据来源体系：依托陕西省公路综合业务管理平台及省交通云平台，通过数据中心接口进行批量数据获取。 2. 制定采集空间策略：明确范围覆盖全省干线公路网，同时重点锁定“重载交通频繁”及“气候地质条件复杂”的关键路段进行深度特征提取与分析。 3. 细化处理流程：在“3.3.1”及“3.2.1”中详细阐述了针对异构数据的清洗补全（KNN、样条插值）、空间网格映射、时间重采样等具体处理工序。
4	王建军	加强多源数据采集与处理内容分析（全量、抽样、区域、等级、数据具体怎么来）	项目组在技术路线中强化了模型特性的多维论证。具体修改如下： 1. 论证先进性：在“3.3.1”中阐明区别于传统统计模型，Transformer 架构利用强大的序列建模能力捕捉非线性退化规律。
5	王建军	强化预测模型先进性、合理性、适用性及实用性分析	

			2. 论证合理性与适用性：剖析了“多头自注意力机制”如何并行计算多源数据关联权重，自动识别“高温持续时间”与“重载车辆密度”等复杂交互作用。 3. 论证实用性：明确模型最终通过全连接层输出未来特定时间窗口内的路面养护需求等级，直接服务于具体管养决策。 项目组已显著加强了算法验证与对比测试的设计。具体落实如下： 1. 完善理论实验验证：在“3.3.1 模型验证与测试”环节，明确利用网格搜索策略精细化寻优，并设置与 SVM、随机森林、LSTM 等传统基线模型的对比试验，设定预测精度提升 10% 以上的量化考核目标。 2. 强化实地交叉验证：要求将优化后的算法集成至省业务平台，将模型预测结果与一线养护人员的实际巡查结果进行实地对比分析，持续微调偏差。
6	王建军	加强验证分析	项目组已对研究内容结构进行了系统优化，并强化了相关分析。具体修改如下： 1. 增设影响因素分析：将“公路路面养护需求相关影响因素分析”列为研究内容一，通过量化交通负荷、气象应力与路面结构性能的耦合关系，精准识别核心诱因。 2. 优化内容逻辑顺序：取消原有的“专题”表述，按照“影响因素分析（一）—数据标准化处
7	王建军	加强相关影响因素分析	

			理（二）—预测算法构建（三）”的逻辑重新排布研究内容，确保研究体系更加严密、层级分明。
8	王建军	补充培养指标，培养 2-3 名博士或硕士研究生	项目组已更新相关绩效指标。具体落实如下： 结合项目团队现有多名在读硕博研究生的实际科研梯队情况，已在“七、项目绩效指标”的“产出类指标-人才引进”板块中，将高层次人才（硕士/博士）的培养目标计划进行了落实与规划。
9	曹可勇	多源数据类型中应补充路面技术状况定期检测与评价内容	项目组已对基础数据池进行了针对性扩充。具体修改如下： 在“3.3.1 调查研究与数据获取体系”中，将多源数据的内涵进一步丰富，明确在历史养护记录、交通和环境数据的基础之上，全面纳入历年病害类型及路况检测评定数据，以便模型更精准地锚定路面演变的真实基准线。
10	曹可勇	气象环境条件除气温、降雨、温湿度变化、冻融循环外，还应包括日照（紫外线引起的老化脆裂等），并明确气象环境数据的来源。	项目组已全面采纳并丰富了环境特征。具体落实如下： 1. 扩充气象评估指标：在“3.3.1 调查研究与数据获取体系”的气象环境数据采集集中，特别补充了日照与紫外线等关键指标，以支撑大纲中关于材料老化脆裂风险的深度建模。 2. 明确所有气象环境数据来源：统一依托陕西省公路综合业务管理平台及省交通云平台的数据中心接口规范获取。

11	曹可勇	路面技术状况的衰变不仅仅是磨损，而是结构的疲劳和材料的老化，建议项目注重路面结构的衰变规律与评价研究，以突出养护决策需求和算法成果的推广应用。	项目组已在核心技术环节调整了理论切入视角。具体修改如下： 1. 修正理论导向：在正文描述中，将单一的“路面磨损”评估提升至“结构性疲劳与非线性老化”的专业维度。 2. 深化多维衰变机制探索：在“3.3.1 养护需求分析”中，明确要求量化“交通负荷（动态冲击）、气象应力（环境老化）和结构参数的非线性影响”，并提取多源影响下的病害演变规律，强化算法在大规模路网中的机理支撑与推广价值。 项目组坚守“技术辅助业务”的红线定位，已全面增设人工校验闭环。具体落实如下： 1. 明确业务从属定位：在“3.4.1”中清晰界定算法结果仅作为“辅助参考”，绝不干预现有行政审批与管理流程。 2. 固化人工校验节点：在“3.3.2 业务指标驱动的模式迭代”环节中明确提出“打破唯精度论”，强制要求将预测结果与一线养护人员的实际巡查记录进行多方对比，通过人工经验与机器推演的双重论证确保技术可靠性。
12	卞学航	当前人工智能技术是否能够完全用于精准预测公路路面养护需求需要论证，建议可以增加人工校验方法予以多方论证，保证方法技术可靠性。	项目组已针对陕西省复杂地理特征优化了建模机制。具体修改如下： 1. 强化空间解析力度：在“3.2.1 专题一”中，提出结合机制分析，明确对不同因素在“不同区域、不同时间尺度下”的贡献度进行量化评估。 2. 支撑差异化策略：基于空间对齐（网络编码）
13	卞学航	建立方法模型时充分考虑分地域差异性，提高测算精度。	

			技术,指导系统识别地域差异,从而输出适应关中平原、陕南山地等不同地域工况的差异化养护测算结果,提升全局精准度。
14	虞明远	进一步强化对陕西省不同区域的农村公路发展特征及其养护费用水平分析	项目组深刻认识到农村公路在全省路网中的重要基石作用,已对大纲的应用拓展部分进行了深度扩充。具体修改如下: 1. 拓展区域特征分析:在“3.4.3”小节中明确提出,将依托多源数据底座,针对关中平原、陕南山区、陕北黄土高原不同地域的自然条件与交通流差异,梳理并提炼陕西特色农村公路的发展与退化特征。 2. 深化养护费用测算:明确要求结合算法输出的精细化需求预测结果,进一步叠加工程造价维度,对不同区域农村公路的日常保洁、预防性养护、大中修等真实养护费用水平进行量化分析与横向测算,为基层管养资金的科学、精准分配提供可靠的数据支撑。 项目组已将“服务农业农村现代化”作为核心落脚点之一,深度融入大纲的总体定位与效益分析中。具体修改如下: 1. 提升战略高度:在“1.6 在国民经济发展中的作用”中,明确补充了项目成果技术下沉后,将以数字化手段破除传统农村公路管养的数据盲区,切实赋能农村公路的高质量、可持续发展。 2. 强化现代化支撑:在“8.3 社会效益”中补充强调,通过科学管养有效提升农村地区路网的服
15	虞明远	进一步强化农村公路高质量发展和支撑农业农村现代化要求	

			务水平与抗灾抢险能力，保障农产品物流畅通与群众安全便捷出行，从交通基础设施运维的维度，切实实践并支撑国家农业农村现代化与乡村振兴战略。
16	虞明远	进一步聚焦研究成果的针对性、可操作性，形成《陕西省农村公路养护预算编制办法》代拟稿	项目组已将技术架构严密映射至最终交付物。具体落实如下： 在“3.2 主要研究内容及实施方案”与“8.2 提交的研究成果”中明确设定，项目交付的研究报告与技术框架将完整涵盖三个研究内容，并补充农村公路养护相关内容，确保业务逻辑闭环与交付体系的系统完整性。

大纲评审委员会专家 (签字):

李雪航

项目负责人 (签字):

李雪航