

项目合同编号：25-12K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术
开发与应用研究

承担单位：长安大学

项目负责人：齐琳

通讯邮编、地址：710064 陕西省西安市雁塔区南二环中段

传真、电话：13709181762

起止年限：2025 年 12 月至 2027 年 12 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) 秦巴山区公路边坡失稳破坏条件分级研究与灾害风险评估；
- (2) 面向云边端一体化的云服务可信感知与公路边坡信息资源优化；
- (3) 基于云边端一体化的公路边坡边缘节点计算架构和资源管理；
- (4) 基于云边端一体化的公路边坡终端监测设备研发与布设策略研究；
- (5) 基于云边端一体化的公路边坡协同监测分级预警与系统开发；
- (6) 基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统应用。

2. 技术关键

- (1) 基于云边端网络环境的公路边坡监测可信边缘计算架构；
- (2) 适用于边坡内部监测的测斜传感器和土体含水率传感器开发，及其布设策略研究；
- (3) 基于多源数据融合的 AI 计算模型，识别公路边坡隐患并预测事故风险。

3. 依托工程

根据交通部《全国公路边坡监测工作实施方案》（2024-2030 年）下达的试点要求，本项目将依托 210 国道镇巴段改线工程开展示范应用。其 K1+240~K1+360 段为挖方路堑，路线横穿原有山体坡缘，原设计方案为从上至下逐级放坡开挖，共计 5 级边坡，坡率均为 1:0.75，坡面均采用锚杆框架梁防护，每级边坡之间设平台，平台宽度 2m。该段边坡为向斜构造一翼的顺层边坡且节理发育，顶部坡度较陡、中下部较缓，岩性为砂岩夹泥岩，层间存在软弱夹层，遇水层间摩擦力迅速降低。该段路堑边坡开挖作业至今，多次发生滑塌。

为确保该路段的顺利建设与安全服役，本项目将依托 210 国道镇巴段改线工程，开发基于云边端一体化的高速公路协同监测预警系统，并对施工以及后期服役过程中的稳定性进行实时监测，提升山区公路的养护管理效率和安全监测预警能力，确保交通安全畅通，保障各路段长期服役的稳定性。

二、考核指标

1. 预期目标

本项目结合室内试验、理论分析和实体工程对基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡监测预警技术展开研究，突破云边端一体化云服务可信感知与资源优化、边缘节点计算架构与可信交互、终端监测设备设计与组合等系列技术，实现基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统应用，形成一系列实用的研究成果，预期达到以下目标：

- (1) 开发基于云边端网络环境的公路边坡监测可信边缘计算架构；
- (2) 研发适用于边坡内部监测的测斜传感器和土体含水率传感器，及其布设策略研究；
- (3) 开发基于多源数据融合的 AI 计算模型，识别公路边坡隐患并预测事故风险。

2. 主要技术经济指标

- (1) 提出一种基于云边端网络环境的可信边缘计算架构和道路异构设备资源管理方案；
- (2) 研发适用于边坡内部监测的导轮式固定测斜仪（精度误差 $\pm 0.01^\circ$ ）和土体含水率传感器（精度误差 $\pm 5\%$ ）；
- (3) 开发基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统，终端传感器数据采集响应时效小于 1s，云端数据留存周期大于 6 个月，数据并发量大于 1000 条/秒。

3. 经济和社会效益

(1) 经济效益

本项目设计的云边端一体化架构通过分布式计算和边缘智能处理显著优化设备利用率与资源配置，降低系统整体运维成本，降低终端设备综合能耗及减少云端通信流量，降低依托工程年运维费用。系统提前预警险情，大幅降低经济损失，经济可行性显著。

(2) 社会效益

本项目研究基于云边端一体化的协同监测预警技术，在示范工程施工与运

营期大幅提升安全目标，极大提升秦巴山区干线公路通行保障能力和公众出行获得感。项目成果形成交通运输部边坡监测试点，在陕川渝等多省份实现项目复制应用，带动产业链产值增长，为我国山区公路基础设施韧性提升和智慧交通体系建设提供了模范技术体系，社会效益显著而深远。

4. 成果提供形式

- (1) 编制《基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究》总报告；
- (2) 形成秦巴山区公路边坡分类监测方法与传感器布设策略；
- (3) 研发适用于边坡内部监测的导轮式固定测斜仪和土体含水率传感器；
- (4) 提出基于云边端一体化的边坡协同监测与 AI 算法预警模型；
- (5) 在秦巴山区公路边坡高风险路段建设工程应用示范项目 1 处及以上；
- (6) 在国内外核心期刊或学术会议上发表论文 5 篇；
- (7) 授权国家专利 1 项。

5. 其他考核指标

开展媒体宣传报道 3 次，技术交流 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）
2025.12~ 2026.06	检索、收集国内外相关文献，并开展省内外调研，完成项目的立项工作，编写研究大纲和工作实施详细计划；探明秦巴山区公路边坡失稳因素、滑坡过程和成因机制；发表科技论文 1 篇。
2026.07~ 2026.12	融合关联分析法综合评判，结合现有规范和工程经验，对边坡灾害风险进行实用分级评估；提出面向个性化协同云服务可信感知的云边端服务代理体系结构；建立基于云边端网络环境的可信边缘计算架构；发表科技论文 1 篇。
2027.01~ 2027.06	开发高精度位移传感器和抗干扰湿度传感器，设计控制点布设和多源信息采集方案，并根据布设区域划分常规和应急监测工况，实现高风险路段公路边坡的全天候、全要素实时监测；基于 AI 模型进行多源数据融合，识别边坡隐患并预测事故风险；发表科技论文 1 篇。
2027.07~ 2027.12	开发出基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统；在高风险路段部署云边端监测系统，开展基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统应用研究；发表科技论文 2 篇，授权国家专利 1 项；撰写研究报告及技术规范，项目总结验收。



四、项目经费

项目总经费：100 万元
交通运输厅补助：49.7 万元
自筹资金：50.3 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	86.5	43.00
1.设备费	17.00	2.00
(1) 购置设备费	5.00	0.00
(2) 试制设备费	9.00	2.00
(3) 设备改造与租赁费	3.00	0.00
2.业务费	55.50	33.00
(4) 材料支出	20.50	11.00
(5) 测试化验实验加工支出	13.50	7.50
(6) 燃料及动力支出	4.00	2.00
(7) 差旅支出	7.50	6.00
(8) 会议支出	2.00	1.00
(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	6.00	4.00
(11) 其他支出	2.00	1.50
3.劳务费	14.00	8.00
(12) 劳务性支出	12.00	7.00
(13) 咨询专家支出	2.00	1.00
(二) 间接费用	13.50	6.70
4.管理费	10.00	5.00
5.绩效支出	3.50	1.70
合 计	100.00	49.70

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	0
		（2）实用新型	1
		（3）外观设计	0
		2、软件著作权授权数（项）	0
		3、发表论文（篇）	5
		（1）其中 SCI 索引收录数	0
		（2）其中 EI 索引收录数	0
		（3）其它	5
		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	0
	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	2
		（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）	1
		（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	是
		（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）	1
效果类指标	经济效益	1、新增产值（万元）	100
		2、新增销售（万元）	100
		3、新增出口创汇（万美元）	0
		4、新增利润（万元）	10
	社会效益	1、新增税收（万元）	13
		2、新增就业人数	20
		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）	50
		6、新增产业带动情况	0
		7、技术集成示范（项）	1
		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	无		

六、承担单位或研究人员分工

长安大学：负责制定研究大纲和总体研究方案；负责编写立项申请书和可行性研究报告；负责秦巴山区公路边坡失稳影响因素、滑坡过程和成因机制研究；负责大量程高精度位移传感器和抗干扰湿度传感器开发，及其布设策略设计；负责研究报告的撰写工作；完成项目鉴定和验收工作。

汉中市交通运输局：参与制定总体研究方案；参与示范性工程建设；协调示范性工程建设；组织现场项目施工及自筹经费。

中科华研（西安）科技有限公司：示范性工程相关设计。

七、项目参加人员表

项目承担单位：长安大学							
参与单位（排序）：汉中市交通运输局、中科华研（西安）科技有限公司							
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	齐琳	1981.10	长安大学	副高级	道路工程	项目总负责	齐琳
主要研究人员							
2	李冀中	1967.08	汉中市交通运输局	副高级	道路工程	项目统筹管理	李冀中
3	何锐	1984.05	长安大学	正高级	道路工程	技术研发负责人	何锐
4	陈默涵	1988.05	汉中市交通运输局	中级	道路工程	工程策划与实施	陈默涵
5	张绍阳	1971.09	长安大学	正高级	信息化	系统架构设计	张绍阳
6	刘晖	1979.09	汉中市交通运输局	副高级	道路工程	试验段组织与跟踪观测	刘晖
7	杨澜	1985.07	长安大学	正高级	信息化	控制点布设方案设计	杨澜
8	袁新鹏	1985.03	汉中市交通运输局	副高级	道路工程	风险等级评估	袁新鹏

9	李婷	1985.09	长安大学	中级	信息化	异构设备资源 管理方案设计	李婷
10	龚建利	1982.11	汉中市交通运输局	副高级	道路工程	实施方案策划	龚建利
11	张兴文	1993.05	汉中市交通运输局	助理级	道路工程	现场技术方案实施	张兴文
12	陈星	1991.07	中科华研（西安） 科技有限公司	助理级	信息化	地面控制点布设 和信息采集方案	陈星
13	曹彤	1997.07	中科华研（西安） 科技有限公司	助理级	信息化	智能化应急调度算法	曹彤
14	赵建有	1963.03	长安大学	正高级	交通信息及控制工程	系统调试设计	赵建有
15	李军	1992.05	长安大学	中级	信息化	智能预警系统设计	李军
16	郭浩钦	1999.06	长安大学	无	道路工程	室内试验研究	郭浩钦

八、信息表

项目合同编号		25-12K		密级		/		A：机密 B：秘密 C：内部			
项目名称		基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究									
项目实施所在地		陕西省西安市		起止年限		2025 年 12 月至 2027 年 12 月					
总 经 费		100.00		厅 拨		49.70					
第一承担单位	单位名称		长安大学								
	所在地		陕西省西安市				代码		610100		
	通讯地址		陕西省西安市雁塔区南二环中段 701 号				邮编		710061		
	单位性质		(1) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其它				代码		10710		
参与单位	序号	单 位 名 称									
	1	汉中市交通运输局									
	2	中科华研（西安）科技有限公司									
项目负责人		姓 名		齐琳		性别 (2) 1.男 2.女		出生年份		1981	
		学 历		(1) 1.研究生 2.大学 3.大专 4.中专 5.其它							
		职 称		(1) 1.高级 2.中级 3.初级 4.其它							
		联系电话		13709181762 029-82337340		电子邮箱		qilin@chd.edu.cn			
项目联系人		姓 名		齐琳		性别		女			
		联系电话		13709181762 029-82337340		电子邮箱		qilin@chd.edu.cn			
项目组人数		16	高级	9	中级	3	初级	3	其它	1	
主要研究内容 (100 字以内)		针对秦巴山区公路边坡灾害，研究基于云边端一体化的协同监测预警技术。包括终端监测设备、边缘计算架构、云服务可信感知、信息资源优化与系统开发应用，实现灾害精准感知、智能研判与高效预警，提升边坡安全管控。									
成果属性		A, B		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, B, D		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。未经接到正式批准以前，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：与可行性研究内容有出入，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. 合同正本一式拾份，甲方单位伍份，承担单位伍份。

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：

陕西省交通运输厅

负责人：（签字）

李涛

2025年12月17日

联系人：（签字）

张喆

电 话：029-88869067



合同乙方：（承担单位）长安大学

单位负责人：（签字）



项目负责人：（签字）

齐琳

电 话：13709181762

陈建东

科研项目专用章
(公章)

财务负责人：（签字）

齐琳

账 户 名：长安大学

开户银行：中国银行西安翠华路支行

帐 号：102007335073



陕西交通科研项目科研诚信 承诺书

项目承担单位及项目负责人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》的规定和科研项目合同书约定，保证所提交材料的真实性，确保自筹经费全额到位、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：长安大学
项目负责人：齐琳

2025年12月16日

项目编号: 25-12K

2025 年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称: 基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡
协同监测技术开发与应用研究

申请单位: 长安大学 (盖章)

汉中市交通运输局 (盖章)

中科华研(西安)科技有限公司 (盖章)

联系人: 齐琳

电 话: 13709181762

陕西省交通运输厅制

2025 年 11 月

目录

一、 项目研究的背景和必要性..... 1

 1.1 研究背景..... 1

 1.2 研究目的..... 2

 1.3 项目概括..... 3

 1.4 市场需求前景..... 4

 1.5 达到的技术水平及在国民经济发展中的作用..... 5

二、 前期科研及工作基础..... 5

 2.1 国内外研究现状..... 5

 2.1.1 国内外研究现状..... 5

 2.1.2 研究现状总结与查新分析..... 9

 2.2 项目前期科研及现有工作条件..... 10

 2.2.1 项目支撑条件..... 10

 2.2.2 过去工作基础..... 10

 2.2.3 现有的试验手段..... 11

 2.2.4 研究人员情况及协作条件..... 12

 2.3 参考文献..... 12

三、 实施方案..... 16

 3.1 拟解决的关键问题..... 16

 3.2 主要研究内容及实施方案..... 16

 3.3 技术路线..... 18

 3.3.1 研究技术方案..... 18

 3.3.2 工作流程..... 20

 3.4 后续技术改造或基本建设计划的衔接..... 21

 3.5 有关技术经济指标..... 21

四、 项目承担单位及参加单位概况..... 22

 4.1 单位概况..... 22

 4.2 技术力量及人员构成..... 23

4.3 各自承担的主要工作.....24

4.4 项目主要负责人情况.....24

五、 项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件.....25

5.1 依托工程概况.....25

5.2 投资来源.....27

5.3 工程进度与项目科研进度的配合.....27

5.4 组织管理形式.....28

六、 项目经费估算及资金筹措情况.....29

七、 项目绩效指标.....30

八、 预期目标、成果提供形式及经济社会效益.....32

8.1 项目预期目标.....32

8.2 提交的研究成果及其形式.....32

8.3 经济、社会、环境效益分析.....32

九、 其它需要说明的问题.....33

十、 申请单位意见.....34

一、项目研究的背景和必要性

1.1 研究背景

秦巴山区位于四川北部与陕西东南部之间，是我国南北气候分界线。秦岭主脊是长江、黄河流域的分水岭，山区地形地貌多变，降水丰富，且存在着雨量集中，强度较大的特点，每年由山洪及其并发灾害带来的损失数亿，政府与相关部门一直对山区的发展保持高度关注。同时，由于特殊的地形地质条件，以及国省干线公路建设资金和指标的限制，导致秦巴山区的国省干线路线展布困难、高填深挖较多，加之该区降雨充沛和人类活动强烈，沿线地质灾害十分发育，给公路建设和服役带来了巨大困难。

随着“一带一路”倡议与新时代西部大开发战略的持续推进，秦巴山区交通建设得到快速发展，构建起重要的经济通道，促进了物流运输和区域经济发展，大大改善了当地人民的生活水平。交通流量的持续激增，加之部分基础设施逐渐老化，使得秦巴山区公路系统在长期运行中面临诸多安全隐患。其不仅需要承受持续的重载车辆通行，还要面对山区复杂多变的自然环境，例如温度变化、强风、暴雨等恶劣气候条件的长期影响。山洪属秦巴山区季发性的自然灾害，是发生在沟壑中快速、强大的地表径流现象，历时较短、流速很大、含砂量大、搬运力强、季发性强。山洪的暴发将会加剧滑坡、泥石流、冲淤及漂浮物的形成，相关灾害构成群发性、叠加性的错综反应，对途径的公路、桥梁和边坡带来极大危害。

在此背景下，秦巴山区公路边坡极易出现结构性的健康和稳定问题，并进一步引发大面积的坍塌和滑坡等灾害。这些问题如果不能得到及时发现和预警处理，不仅会影响公路的正常运行，还可能引发严重的交通事故和安全事件，威胁到社会经济的正常运转。当前的结构健康监测技术虽在一定程度上能够对这些问题进行监测，但其主要依赖单一的监测手段和集中化的处理方式，这使得系统在面对复杂、多变的交通环境时，无法实时响应突发状况。近年来，极端气候事件的频繁发生进一步加剧了高等级公路的自然灾害风险。特别是暴雨、台风等极端天气，极大地加速了公路基础设施的老化和损坏。例如，梅大高速茶阳段的滑坡灾害和丹宁高速水阳段公路桥梁垮塌事故均是由于恶劣天气引发的结构性失稳，这些灾害事件不仅造成了严重的人员伤亡，还引发了巨大的经济损失。梅大高速公路滑

坡导致了公路交通的中断，阻碍了物流和人员的正常流动，严重影响了周边地区的经济发展；丹宁高速水阳段公路桥梁垮塌则直接导致了 17 辆轿车 8 辆货车坠河，给救援工作带来了巨大的挑战。类似的灾害事故，不仅造成直接的财产损失，还会导致交通系统瘫痪，甚至影响国家和地区的经济运行与社会稳定。

现有主流监测设备，比如传统北斗/GNSS、光纤光栅、InSAR 等设备数据处理延迟普遍在秒级至分钟级、位移监测灵敏度仅毫米级、采集频率 $\leq 50\text{Hz}$ 、灾害预测准确率 $\leq 85\%$ 、预警响应时间 $\geq 10\text{s}$ 、在弱网环境下基本失效、年运维成本高且能耗大。可以看出，当前的公路边坡监测预警系统在应对这些复杂多变的风险时，仍然存在诸多不足之处。现有的监测系统多依赖固定的传感器网络和人工巡检，无法覆盖大范围的公路设施，且实时性和灵敏度较低。与此同时，数据采集与处理分离的模式增加了系统的响应时间，导致无法及时应对突发事件。由于传感器的精度和数据处理能力有限，往往难以对复杂的公路结构健康状态进行高精度的监测和预判。尤其在面对多源、多维度数据的综合分析时，当前的设备往往难以实现精准的实时分析和反馈。此外，监测系统的数据传输效率低下，尤其是在灾害发生时，通信网络的中断可能进一步削弱预警系统的效果。加之现有的传感器精度有限，系统对于结构性损伤的检测往往滞后，难以在损伤早期阶段做出预警和应对。因此，本项目研发的云边端一体化公路边坡协同监测预警系统目标在实时性、精度、可靠性、经济性上进一步优化以彰显项目的创新性与实用价值。

1.2 研究目的

如何有效提升秦巴山区国省干线公路边坡监测预警系统的技术水平，确保能够对公路基础设施进行实时、精准的监控和预警，已成为公路管理领域亟待解决的重大课题。当前，随着物联网、大数据、人工智能等技术的发展，公路基础设施监测与管理逐渐向智能化、自动化方向迈进。现代信息技术的进步为公路基础设施的智能监测和实时预警提供了全新的技术路径。尤其是云计算、边缘计算和终端设备技术的发展，为构建更高效、实时的公路监测系统提供了有力的技术支撑。通过这些技术有机结合，构建基于云边端一体化的智能监测系统逐渐成为未来公路监测与预警系统的技术趋势。

在该系统中，云计算通过强大的计算能力，负责处理海量的历史数据和复杂

的分析任务，为长期的安全评估和预警提供技术支持；边缘计算部署在靠近数据源的地方，能够对实时生成的数据进行快速处理，有效减少数据传输的延迟，并在事故发生时实现本地的应急响应；终端设备作为物联网的感知节点，广泛分布于公路沿线，负责采集包括路面、桥梁、隧道等基础设施的实时健康数据，并进行初步的处理和反馈。通过云、边、端的协同工作，系统能够更高效地完成数据的采集、处理和传输，极大提升了监测系统的实时性、智能化和应急处理能力。特别是在应对极端天气条件下的突发事故时，云边端系统能够迅速捕捉公路结构物的异常变化，及时预警潜在的风险，并通过边缘计算单元在事故发生地快速部署应急处理措施，减少因突发事故导致的人员伤亡和财产损失。

鉴于此，本项目将结合秦巴山区国省干线公路安全监测需求，开展基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡监测预警系统开发与应用研究。结合秦巴山区气候条件和地质构造特点，基于云边端一体化设计，整合多源数据、智能化分析和实时应急处理技术，开发公路边坡监测预警软硬件系统，并在典型路段监测预警应用研究。预期成果不仅能够有效提升公路基础设施的安全监控水平，还能大幅缩短事故响应时间，提升系统的预警精准度和可靠性。同时，该研究的成果也将为未来其他交通基础设施的安全监测与管理提供技术示范，具有广泛的应用前景和深远的社会意义。

1.3 项目概括

随着“一带一路”倡议与新时代西部大开发战略的持续推进，秦巴山区交通建设得到快速发展，构建起重要的经济通道，促进了物流运输和区域经济发展。由于特殊的地形地质条件，导致秦巴山区的国省干线路线展布困难、高填深挖较多，加之该区降雨充沛和人类活动强烈，沿线地质灾害十分发育，给公路建设和服役安全带来巨大困难。然而，当前的公路安全监测系统在应对这些复杂多变的风险时，仍然存在诸多不足之处，无法覆盖大范围的公路设施，且实时性和灵敏度较低。与此同时，数据采集与处理分离的模式增加了系统的响应时间，导致无法及时应对突发事件。因此，如何有效提升公路边坡监测系统的技术水平，确保对公路基础设施进行实时、精准的监控和预警，已成为公路监管领域亟待解决的重大课题。

随着物联网、云计算、大数据、人工智能等技术的发展，基于云边端一体化的监测技术逐渐引起人们的重视。该技术能够通过多层次的数据融合与处理，打破传统的单一监测模式，将交通流量、公路结构健康状况、气象变化、地质监测等多源信息进行综合分析，为管理部门提供全方位的监控与预警支持。特别是在应对极端天气条件下的突发事件时，云边端系统能够迅速捕捉公路设施的异常变化，及时预警潜在风险，并通过边缘计算单元在事故发生地快速部署应急处理措施，减少人员伤亡和财产损失。

鉴于此，本项目将根据交通部《全国公路边坡监测工作实施方案》（交办公路〔2024〕48号）试点方案要求，依托秦巴山区国省干线工程，开展基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡监测预警系统开发与应用研究。以云计算中心、边缘计算节点、终端感知设备三位一体协同工作的智能化体系为架构，综合运用物联网、高精度传感、边缘智能、多源数据融合、人工智能、低时延通信等技术，实现对公路边坡多要素全天候、高频率、精准实时感知，在边缘侧完成数据预处理与秒级初步决策，云侧完成深度建模与全局优化，端侧完成低功耗可靠采集，通过三层闭环协同，实现风险动态识别、超前预警、分级响应与智能化应急调度的完整技术系统。结合秦巴山区气候条件和地质构造特点，整合多源数据、智能化分析和实时应急处理技术，开发公路边坡监测预警软硬件系统，并在典型路段监测预警应用研究。预期成果不仅能够有效提升公路基础设施的安全监控水平，还能大幅缩短事故响应时间，提升系统的预警精准度和可靠性，具有广泛的应用前景和深远的社会意义。

1.4 市场需求前景

随着“一带一路”倡议、新时代西部大开发以及交通强国战略的持续深化，秦巴山区作为我国南北交通要冲和重要经济通道，国省干线公路建设里程快速增长，高填深挖边坡数量大幅增加，年均地质灾害直接经济损失快速增长，交通运输部《全国公路边坡监测工作实施方案（2024-2030年）》明确要求到2030年完成约15万处高风险边坡专业化监测，全国市场需求规模预计超过800亿元。当前传统监测手段仍以人工巡查+单一传感器为主，存在覆盖率低、实时性差、预警滞后等突出问题，无法满足复杂山区环境下全天候、高精度、智能化监测的迫

切需求。特别是近年来极端天气频发导致的梅大高速、丹宁高速等重大滑坡垮塌事故，充分暴露了现有技术体系的严重不足，公路管理部门和建设单位对具备低时延、高可靠、多源融合、智能预警能力的云边端一体化监测系统的需求极为迫切。本项目所形成的“边缘计算-国产高精度传感器-AI 风险预测”技术路线契合国家试点要求和行业发展趋势，具备在全国秦巴、川藏、云贵等山区公路大规模推广的广阔市场前景，预计未来 10 年可形成百亿级产业规模。

1.5 达到的技术水平及在国民经济发展中的作用

本项目突破了云边端一体化可信感知、边缘计算架构、国产大量程高精度位移/湿度传感器、多源数据融合 AI 预警等关键技术，所有性能指标全面超过《全国公路边坡监测工作实施方案》要求，项目成果显著提升了秦巴山区国省干线公路基础设施韧性和安全保障能力，直接服务国家西部大开发、“一带一路”交通互联互通重大战略，有效降低地质灾害导致的人员伤亡和经济损失，保障物流大通道安全畅通，促进川陕甘渝毗邻地区协同发展和乡村振兴，同时通过低功耗设计和智能化管理大幅提升年均减碳量，带动传感器、边缘计算、人工智能等上下游产业链，为我国公路交通向智能化、绿色化转型提供了重要技术支撑，在保障国民经济平稳运行和提升基础设施韧性方面发挥了不可替代的战略作用。

二、前期科研及工作基础

2.1 国内外研究现状

2.1.1 国内外研究现状

（1）公路健康监测技术的研究与应用

公路健康监测技术的研究应用已经成为国内道路交通管理中的重要组成部分^[1]。公路健康监测系统能够实时采集交通流量、车辆状态、道路结构健康状况等信息，为交通管理系统提供了可靠的数据支持^[2]。郭宗莲等人^[3]提出将普通传感器与供电、信号调理、信号采集与传输集成形成新型的云传感器，并利用现已成熟的物联网云平台完成最终的数据存储、管理与用户交互，并进行测试。结果表明：云传感器自身就构成一个监测系统，安装后可持续长时间地发送监测数据，适合在公路结构物大范围散点监测中使用。李鹏飞^[4]在滨州黄河公路大桥上布设

了大量高性能光纤光栅应变和温度传感器、GPS 系统、加速度传感器和风速仪。采用 PCI 总线数据采集方案,实现了多种类和大量数据的同步采集。建立先进的无线传输系统,实现监测数据的实时无线传输。建立有限元分析模型,并分析在多种荷载作用下的受力状态,虚拟该桥的损伤,研究比较多种损伤识别方法的精度及其影响因素。研究斜拉索的索力和应力监测方法以及参数识别方法,建立了大型网络数据管理系统。

公路桥梁健康检测技术也受到了广泛的应用。于重重等人^[5]提出了一种基于 DBSCAN 聚类分析的桥梁健康监测预测模型算法。该算法首先将海量的监测数据进行分段并进行预处理,数据预处理后采用回归拟合算法实现聚类分析,从而实现桥梁健康状况的预测功能,该算法有效地缓解了海量数据的存储问题。余印根等人^[6]对下白石大桥健康监测系统的温度和模态频率数据进行了统计分析并建立了该桥环境温度与模态频率的三元线性回归模型。同时基于该模型提出的模态频率的温度修正模型能够有效剔除环境温度对模态频率的影响,使频率变化趋于平稳。该模型具有较高的拟合和预测精度,能够用于桥梁后续的模态频率数据的预测评判,为桥梁进一步的损伤诊断、安全性评估和桥梁模型修正等提供温度修正的模态频率数据。

王刚^[7]针对桥梁监测信号中的噪声问题研究了小波分析理论在实际工程中对数据采集的应用。以采集的桥梁动应变监测信号为研究对象,用小波分析理论对原始信号进行分析处理,并将小波变换和傅里叶变换得到的结果进行对比,发现小波变换在时域局部化分析上具有独特的优越性。张立奎^[8]针对目前桥梁健康监测系统与养护管理系统存在的一些问题,提出融合实时监测信息和日常养护内容的桥梁结构状况评定方法,以大位移伸缩缝人工外观检查与监测指标结合为例,建立了基于养护管理系统和健康监测系统的桥梁评估指标体系,为桥梁健康监测提供必要的数据。

近年来,国内研究者在基于传感器网络的公路健康监测技术的研究与应用方面取得了重要进展^[9]。通过光纤传感器进行桥梁健康监测的方案,能够实时监测桥梁的应力应变变化,为公路结构的安全维护提供了有效支持^[10]。Xue 等人^[11]采用 CTL 公司的沥青专用应变传感器、土压力计监测车辆移动荷载作用下的路面

应力应变响应,分析出道路结构健康状况与路面交通信息。庄传仪^[12]采用电阻式应变传感器监测足尺试验路和现场实体工程试验路的应变响应,分析了在不同路面破坏状态和环境条件下的路面应变响应,以及路面结构内部应力应变随荷载作用次数的变化。

董泽蛟等^[13]采用光纤光栅应变传感器监测了沥青路面的三向应变,分析了不同荷载条件下的路面应变响应。王赫喆^[14]设计了可以用于路面结构监测的应变传感器,测试该传感器的影响因素和敏感性,并将该传感器应用于泰安-莱芜的高速公路研究项目中。陈少幸^[15]等采用光栅应变传感器代替传统的电信号传感器进行路面动力响应监测,准确获取实际车辆荷载作用下沥青层底的应变响应。王晓洁^[10]采用光纤光栅传感器对车辆荷载作用下的沥青路面内部性能指标进行了研究,并试图建立长期有效的监测系统。

国际上,基于传感器的道路监测系统研究起步较早,传感器网络已经广泛应用于公路、桥梁、隧道等结构的健康监测^[16]。Rollings 和 Pitmanm 通过在路面内部埋设应变计,发展了基于应力的路面性能解析模型,同时指出应考虑温度和水对路面性能的影响。Sebaaly P 等通过埋设应力应变传感器,获取了多种工况下不同车辆荷载作用下的路面横向和纵向应变信息,并建立了路面结构模量与应力应变的关系函数。Arraigada 等使用加速度计测量交通荷载导致的路面变形。Hostettler 采用压电式加速度计采集车辆移动荷载作用下的路面振动信号,并分析了测量信号的时频域特征,计算了车轴数。Levenberg 将高精度单轴压电式加速度计(KB12VD)安装在沥青道路旁,记录由车辆通过而产生的路面垂向振动信号。通过分析振动信号推断路面层模量,计算了车速、轴重分布,并对比分析了两种数据平滑处理算法。然而,商用压电式加速度计需要配备适配器和数据采集设备。Bajwa 等^[17]开发了用于车辆分类的无线传感器网络,通过实地测试,实现车辆分类与轴重预估。该无线传感器网络包括监测路面振动的加速度传感器,监测车辆到达和离开的磁感应传感器,以及数据接入设备。Ma 等^[18]使用无线加速度传感器和磁感应传感器进行车辆分类和计数。

(2) 云边端一体化技术的发展

云边端一体化技术是云计算、边缘计算和物联网发展的产物,已逐渐应用于

高速公路监测预警领域^[19]。云计算负责数据的集中处理和存储，边缘计算负责本地实时数据处理，端侧设备则负责数据的采集与初步分析^[20]。传统的监控系统依赖于云计算，将数据集中到云端进行存储和处理，尽管云计算具备强大的计算和存储能力，但在高速公路监测中存在数据传输延迟和实时性差的不足^[21]。

因此，近年来边缘计算技术逐渐成为提升系统实时性的重要手段^[22]。边缘计算可以在靠近数据源的地方进行分布式处理，减少数据传输的延迟，提升系统的实时性^[23]。Yan 等人^[24]利用批量梯度下降算法对模型进行训练优化，使其训练效果更好，但训练速率有所限制。为提升模型自身精度，Ding 等人^[25]利用历史数据在云端进行模型的训练，由边缘端再次收集新数据进行模型的迭代优化，这种方式充分发挥云端和边缘端的优势，在不影响原边缘的推理任务的情况下，使用户具有更好的体验。Zhang 等人^[26]为了降低协同过程的延时问题，对任务卸载和数据缓存进行研究；Xu 等人^[27]为降低能耗，减少边缘端对重复数据的计算和延时。但是此类研究都是一种假设，忽略了边缘端实际的计算能力和可行性。

此外，Ren 等人^[28]对云端和边缘端的通信和计算资源联合研究卸载分配计划，使得其时延加权最小化。对于设备的资源管理，Li 等人^[29]通过对边缘端负载情况进行预测，云端根据需要提供灵活的弹性资源，降低了边缘端的成本。刘泉等人^[30]设计了基于形态学的 PCB 缺陷检测系统，对特定缺陷具有识别功能；苟文韬^[31]等人研发了弹壳表面缺陷检测系统；李志锋^[32]等研发了采集、识别和定位一体化的镀锌带钢表面缺陷检测系统，完成了边缘端的智能性提升；王军生^[33]等设计了云化带钢表面质量检测系统，使用了远程 5G 通信和云计算框架。

国际上，云边端一体化技术的发展相对较为成熟，云边智能协同过程主要是利用云端的强大算力进行模型训练，训练过程要考虑训练效率和误差。英国 EES 公司成功研发 EES 系统^[34]，可以提取钢管的缺口图片，但是仅进行数据提取；美国 Cognex 公司研制 iS-2000 检测系统，提升了缺陷分类的检测效率；德国 Parsytec 公司发布 Espresso 系统^[35]，使用嵌入式的方式结合神经网络，自动对钢板的缺陷进行分类识别。

（3）基于 AI 的智能预警

人工智能（AI）技术在国内道路监测预警系统中的应用已经初具规模，特别

是在基于 AI 的事故预测和交通管理方面取得了显著进展^[36]。AI 算法能够从历史数据和实时数据中学习交通模式,预测潜在的道路安全隐患并及时预警^[37]。Zhao 等^[38]提出了一种全新的基于人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)的信道建模和仿真框架,文章中验证了其可以复现 5G 和 MIMO 信道特性并与实际测量数据和测试环境相匹配。Zhang 等人^[39]使用人工神经网络对无线信道进行建模并提出了基于簇核的信道模型,之后利用实际测量数据,获得了信道的预测结果。Lu 等人^[40]使用了机器学习方法来预测高传输速率信道的眼图度量并进行了信号的完整性分析。通过构建基于 AI 的结构健康预测模型,能够对桥梁、隧道等基础设施的健康状态进行实时预测,并在出现异常情况时及时发出预警。例如,一些国内项目使用了结合 AI 和边缘计算的混合架构,通过边缘计算进行初步的数据筛选与分析, AI 模型进一步对传感器数据进行深度学习分析,从而大幅提升了预警系统的精确度。

国际上, AI 技术在交通管理和基础设施监测中的应用也非常广泛^[41]。美国的 MIT 研究团队开发了一种基于深度神经网络的交通事故预测系统,该系统通过分析道路摄像头的实时数据和历史交通流量数据,能够预测交通事故的发生概率,并在事故发生前及时预警。Azpilicurta^[42]利用了神经网络来建模并存储射线发射结果,文中所提出的方法在计算效率上获得了很高的收益。Ferreira 等^[43]利用多层感知器对接收信号强度进行了预测。将接收机与发射机之间的距离作为输入,输出则是接收信号的强度。Blazek 等^[44]讨论了一种基于 AI 的,可将利用信道探测仪得到的数据利用时变分接延迟线模型进行拟合的最佳方案。

云边端一体化技术的发展推动了高速公路监测预警系统的实时性和智能化进步。通过云计算、边缘计算和物联网的协同,云端负责数据存储与模型训练,边缘端进行本地实时数据处理,端侧设备负责数据采集,形成了高效的监控系统。传感器技术的进步,尤其是光纤传感器和多传感器融合技术,在道路、桥梁等基础设施的健康监测中发挥了重要作用。人工智能的引入进一步提升了事故预测和基础设施健康状态的预警能力,极大增强了道路管理的精确性与效率。

2.1.2 研究现状总结与查新分析

(1) 公路健康监测技术在国内交通管理中发挥了重要作用,通过实时采集

道路结构健康状况，为交通管理提供了数据支持。尽管技术不断完善，但海量监测数据的处理和存储仍需要进一步优化，公路桥梁健康监测系统与养护管理系统之间需要高效融合，长期监测技术和传感器之间的兼容性仍需要改善。

(2) 云边端一体化技术是云计算、边缘处理和端侧设备监测的结合，广泛应用于高速公路监测预警领域。但目前的研究未充分考虑边缘端的实际计算能力和可行性，边缘计算的平衡实时性与系统效率需要进一步优化。动态资源调配和云边端协同整体性仍有待提高。

(3) 人工智能(AI)技术在国内道路监测预警系统中的应用逐渐成熟，在事故预测和交通管理方面取得了显著进展。AI模型的性能高度依赖于高质量数据集，目前道路检测数据集需要不断补充和优化。AI在数据处理和模型推理方面的响应效率需要进一步完善。AI技术在边缘计算和云计算的架构下，仍存在技术和标准化方面的问题。

2.2 项目前期科研及现有工作条件

2.2.1 项目支撑条件

该项目由长安大学牵头，汉中市交通运输局与中科华研(西安)科技有限公司联合参与，各单位均有专业的科研技术人员和成熟的公路监测与养护工作经验，在公路交通科研领域取得了多项研究成果。本课题组在前期资料调查方面已做了大量工作，并完成了相关领域内的材料研发科研项目。参与本项目研究的课题团队成功入选交通运输部交通运输行业重点领域创新团队，具备课题分析理论基础和试验条件，在交通云边端一体化及新材料研发等方面取得了一系列创新性研究成果，掌握了该领域的前沿信息，为开展本课题的研究工作打下了坚实的基础，完全可满足本课题室内外的研究及工作需要。

2.2.2 过去工作基础

本项目已具有良好的前期工作基础，研究内容丰富、目标明确、研究手段科学、课题组成员年龄结构、专业背景和知识体系交叉互补，具备完成本项目的能力和基础，有望完成本项目的研究内容，实现本项目的研究目标，提高交通基础设施精细化养护水平。并且，申请人所在课题组前期研究中已做了成功尝试，先后主持参与了国家重点研发计划课题“智能道路铺装结构系统集成技术及系统设

计理论体系（2018YFB1600204）”、国家重点研发计划专题“路域环境与路表状态的网格化感知方法（2018YFB1600201）”、重点科研平台水平提升项目“基于深度学习和探地雷达技术的路面结构病害检测研究（300102219510）”、陕西省重点产业链（群）项目“基于 AI 的智能交通标志标线研发及协同服务关键技术（2023-ZDLGY-25）”、陕西省交通科技项目“智慧型道路交通标线材料研发及应用（23-22K）”、“公路交通标线质量控制及耐久性提升关键技术研究（19-21K）”、“公路交通标线抗滑性能变化机理及提升关键技术（21-40K）”，为本项目的开展打下了良好的基础，所提实验方案切实可行。

申请团队依托的长安大学公路与桥梁高效养护及安全耐久国家工程研究中心、道路结构与材料交通行业重点实验室和“交通安全应急信息技术”国家工程实验室长安大学分实验室，拥有一系列先进的道路结构健康监测、材料制备与性能测试设备以及中试和评价设备，为本项目的实施提供了充分的支撑。因此，本项目研究所需的技术条件均已具备，研究内容和技术路线合理。

2.2.3 现有的试验手段

课题组的研究可依托特殊地区公路工程教育部重点实验室、绿色智慧公路基础设施建造与运维陕西省 2011 协同创新中心等重点平台，研究团队和依托实验室装备有一批国内一流水平的实验设施和检测系统，包括地质雷达、面波仪、高密度电法仪、三轴实验仪、地形测桥、超声波流速仪、光电流速仪、界面仪、湿度检测仪、地下孔隙水压力测量仪、全自动水质检测仪、测量机器人（全自动全站仪）、带扼流圈天线的 GNSS 接收机、无人机、数字摄影测量系统、数字水准仪、测深仪、制图建库一体化系统、北斗智能导航平台等，能够进行高精度的测量和科研工作，可保证本项目的顺利开展。

同时，依托“车-路信息感知与智能交通系统”创新引智基地、“交通安全应急信息技术”国家工程实验室长安大学分实验室、交通运输部认定的自动驾驶封闭场地测试基地，以及“道路交通运输工程”和“交通信息与控制”两个国家虚拟仿真实验教学中心，为前沿科研与创新实践提供了坚实基础。汇聚了“车联网”教育部-中国移动联合实验室、陕西省车联网与智能汽车测试技术工程研究中心、“道路交通智能检测与装备”陕西省“13115”重点工程技术研究中心、“车

联网与智能交通”陕西省国际科技合作基地等科研平台，以及陕西省计算机实验教学示范中心、陕西省“智能交通与信息处理”实验教学示范中心等实践教学基地。此外，还依托西安市人机协同信息物理系统重点实验室和西安车联网通信感知一体化国际科技合作基地，持续深化产学研合作与国际化发展。拥有大型车路协同物理信息系统全尺度综合测试平台、智能驾驶场地测试系统、CAV 整车在环测试物理信息模拟系统平台、大型自动驾驶交通场景实时仿真测试平台、自动驾驶汽车、5G 基站等大型设备 30 台套。联合申请单位建设有国内高校唯一的“车联网与智能汽车试验场”大型实验基地，可实现车路交互的现场观测与模拟。还可以为本项目提供示范建设场所，为本项目成果的野外测试和观测提供必要的条件。

2.2.4 研究人员情况及协作条件

本项目的各项研究内容和研究计划已落实到每个分项负责人，将严格按本项目计划目标组织实施。每月定期召开项目工作会议，检查前阶段的具体工作、研究进展和实施深度，讨论解决研究过程中的各项技术问题和其他事宜，布置后阶段的工作重点和具体要求。对不能按时、保质完成研究任务的人员及时予以更换。对本项目的重点阶段性目标和成果进行重点考核和督促，以确保项目总体研究目标的实现。

2.3 参考文献

- [1] 王露凡. 道路预警信息的可视化设计研究 [D]. 苏州: 苏州大学, 2021.
- [2] 王科. 城市交通中智能车辆环境感知方法研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [3] 郭宗莲, 唐亮, 贾云武, et al. 云传感器及其在公路结构物监测中的应用研究 [J]. 公路, 2017, 62(07): 228-32.
- [4] 李鹏飞. 滨州黄河公路大桥健康监测技术系统研究 [J]. 公路, 2014, 59(11): 101-5.
- [5] 于重重, 杨扬, 涂序彦, et al. DBSCAN 算法在桥梁健康监测预测模型中的应用 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(12).
- [6] 余印根, 宗周红, 陈宝春, et al. 环境温度对连续刚构桥模态频率的影响 [J]. 振动、测试与诊断, 34(1): 69-76.

- [7] 林晓琳. 基于大数据的高速公路建设管理信息化应用研究 [J]. 价值工程, 2024, 43(25): 130-2.
- [8] 张立奎, 徐一超. 桥梁健康监测数据在养护管理系统中的应用研究 [J]. 黑龙江交通科技, 2019, 42(09): 142-3.
- [9] 王朝彬. 基于 Android 手机的碰撞预警系统研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.
- [10] 王晓洁. 基于光纤光栅传感器的沥青路面性能监测研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
- [11] XUE W J, WANG L B, WANG D, et al. Pavement Health Monitoring System Based on an Embedded Sensing Network [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2014, 26(10).
- [12] 庄传仪. 基于加速加载响应的柔性基层沥青路面设计指标与参数研究 [D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [13] 董泽蛟, 柳浩, 谭忆秋, et al. 沥青路面三向应变响应现场实测研究 [J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2009, 37(07): 46-51.
- [14] 王赫喆. 工程化光纤光栅传感器及其在路面结构中的测试研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [15] 陈少幸, 张肖宁, 徐全亮, et al. 沥青混凝土路面光栅应变传感器的试验研究 [J]. 传感技术学报, 2006, (02): 396-8+410.
- [16] 梁军. 基于 Multi-Agent 和驾驶行为的汽车追尾预警系统关键理论与技术研究 [D]. 南京: 江苏大学, 2015.
- [17] BAJWA R, RAJAGOPAL R, COLERI E, et al. In-Pavement Wireless Weigh-In-Motion; proceedings of the 12th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN), Philadelphia, PA, F Apr 08-11, 2013 [C]. 2013.
- [18] MA W T, XING D, MCKEE A, et al. A Wireless Accelerometer-Based Automatic Vehicle Classification Prototype System [J]. Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(1): 104-11.

- [19] 黄荷叶. 基于驾驶人风险认知机制的智能车辆决策方法 [D]. 北京: 清华大学, 2023.
- [20] 陈卫卫. 基于机器视觉的车道偏离预警系统关键技术研究 [D]. 西安: 长安大学, 2021.
- [21] 郭宇. 基于双目视觉的智能车道路识别预警系统 [D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [22] 战宇辰. 基于机器视觉的道路及车辆检测技术研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2016.
- [23] 郭剑锐. 面向智能网联汽车预警应用场景的 V2X 系统关键技术研究 [D]. 天津: 河北工业大学, 2020.
- [24] YAN H, YU P, LONG D, et al. Study on Deep Unsupervised Learning Optimization Algorithm Based on Cloud Computing; proceedings of the International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), Changsha, PEOPLES R CHINA, F Jan 12-13, 2019 [C]. 2019.
- [25] DING C T, ZHOU A, LIU Y X, et al. A Cloud-Edge Collaboration Framework for Cognitive Service [J]. Ieee Transactions on Cloud Computing, 2022, 10(3): 1489-99.
- [26] ZHANG N, GUO S T, DONG Y F, et al. Joint Task Offloading and Data Caching in Mobile Edge Computing; proceedings of the 15th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks (MSN), Hong Kong Polytechn Univ, Shenzhen, PEOPLES R CHINA, F Dec 11-13, 2019 [C]. 2019.
- [27] XU X L, LI Y C, HUANG T, et al. An energy-aware computation offloading method for smart edge computing in wireless metropolitan area networks [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2019, 133: 75-85.
- [28] REN J K, YU G D, HE Y H, et al. Collaborative Cloud and Edge Computing for Latency Minimization [J]. Ieee Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68(5): 5031-44.
- [29] LI J. Resource optimization scheduling and allocation for hierarchical distributed cloud service system in smart city [J]. Future Generation Computer Systems-the

International Journal of Escience, 2020, 107: 247-56.

- [30] 刘泉, 胡文娟. 基于机器视觉的 PCB 缺陷检测系统设计与研究 [J]. 电子器件, 2007, (02): 550-3.
- [31] 苟文韬, 谢蔚卿. 基于机器视觉的弹壳表面缺陷检测系统设计 [J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(02): 105-8.
- [32] 李志锋. 基于图像识别的镀锌带钢表面缺陷检测系统 [D]. 大连: 大连理工大学, 2018.
- [33] 王军生, 宋宝宇. 基于 5G 工业专网的云化带钢表面质量检测系统研究与开发 [J]. 冶金自动化, 2023, 47(02): 117-23.
- [34] 田鹏新, 司冠南, 安兆亮, et al. 基于数据驱动的云边智能协同综述 [J]. 计算机应用, 2023, 43(10): 3162-9.
- [35] 戴卫东, 安百光. Parsytec 自动表面缺陷检查系统在冷轧连续退火线上的应用 [J]. 冶金自动化, 2009, 33(02): 47-51.
- [36] 李博超. 高速公路智慧道钉群驾驶行为影响及原型系统研究 [D]. 西安: 长安大学, 2021.
- [37] 李勇. 基于单目视觉的道路信息提取与智能预警 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016.
- [38] ZHAO X W, DU F, GENG S Y, et al. Playback of 5G and Beyond Measured MIMO Channels by an ANN-Based Modeling and Simulation Framework [J]. Ieee Journal on Selected Areas in Communications, 2020, 38(9): 1945-54.
- [39] ZHANG J H. The Interdisciplinary Research of Big Data and Wireless Channel: A Cluster-Nuclei Based Channel Model [J]. China Communications, 2016, 13(2): 14-26.
- [40] LU T J, SUN J, WU K, et al. High-Speed Channel Modeling With Machine Learning Methods for Signal Integrity Analysis [J]. Ieee Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2018, 60(6): 1957-64.
- [41] 朱煜. 智能网联车辆的测试场景生成及相关测试方法研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2023.

- [42] AZPILICUETA L, RAWAT M, RAWAT K, et al. A Ray Launching-Neural Network Approach for Radio Wave Propagation Analysis in Complex Indoor Environments [J]. Ieee Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(5): 2777-86.
- [43] FERREIRA G P, MATOS L J, SILVA J M M. Improvement of Outdoor Signal Strength Prediction in UHF Band by Artificial Neural Network [J]. Ieee Transactions on Antennas and Propagation, 2016, 64(12): 5404-10.
- [44] BLAZEK T, MECKLENBRÄUKER C F, IEEE. Sparse Time-Variant Impulse Response Estimation for Vehicular Channels Using the c-LASSO; proceedings of the 28th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), Montreal, CANADA, F Oct 08-13, 2017 [C]. 2017.

三、实施方案

3.1 拟解决的关键问题

- (1) 基于云边端网络环境的公路边坡监测可信边缘计算架构;
- (2) 适用于边坡内部监测的测斜传感器和土体含水率传感器开发, 及其布设策略研究;
- (3) 基于多源数据融合的 AI 计算模型, 识别公路边坡隐患并预测事故风险。

3.2 主要研究内容及实施方案

本项目根据交通部《全国公路边坡监测工作实施方案》(交办公路〔2024〕48号)要求, 结合秦巴山区气候条件和地质构造特点, 基于云边端一体化设计, 开发公路边坡监测预警系统, 开展公路边坡监测预警应用研究, 主要包括以下内容:

- (1) 秦巴山区公路边坡失稳破坏条件分级研究与灾害风险评估

通过对秦巴山区典型高风险路段的现场调查与资料收集, 掌握沿线气候、地

质构造、岩体特性、地下水及河流等主要环境条件，梳理降雨、坡度、岩土性质等对边坡稳定性的影响，总结秦巴山区公路边坡失稳的主要因素、常见滑坡类型及基本成因规律，并结合现有规范和工程经验，对边坡灾害风险进行实用分级评估。

（2）面向云边端一体化的云服务可信感知与公路边坡信息资源优化

针对云边端网络环境下公路健康状态信息服务资源匹配的准确率问题，提出一种面向个性化协同云服务可信感知的云边端服务代理体系结构，以实现协同可信度计算和个性化资源匹配。基于山区公路边坡多维、实时、动态监测数据，提出一种高效快速、自适应的服务资源安全性优化和可信协同计算算法，并利用仿真试验与现场测试验证该方法的有效性，以满足公路信息的协同计算可靠性和快速服务需求。

（3）基于云边端一体化的公路边坡边缘节点计算架构和资源管理

针对边缘计算快速性、实时性、有效性等特性，提出一种基于云边端网络环境的公路边坡监测可信边缘计算架构。基于云边协同统一协议代理，设计完成高性能多协议公路基础设施用边缘功能组件，为数据传输提供兼容性解决方案。通过采用 IoT 中间件模型构建监测设备管理模型，设计完成异构设备资源管理方案，通过虚拟化技术实现边坡边缘节点容器的统一管理。

（4）基于云边端一体化的公路边坡终端监测设备研发与布设策略研究

利用光纤布拉格光栅传感技术，设计开发大量程高精度位移传感器和抗干扰湿度传感器，并提出其传感阵列模型。针对秦巴山区地面控制点施测困难问题，设计不同地面控制点布设路径和多源信息（位移、湿度、降雨量、振动等）采集与终端组合方案，并根据布设区域划分常规和应急监测工况。在受限的控制点和监测点数据获取条件下，提出基于点参考、面参考和多源数据融合的不同控制点布设方案模型精度评价方法，解决秦巴山区边坡模型精度难以评估问题，实现高风险路段公路边坡的全天候、全要素实时监测。

（5）基于云边端一体化的公路边坡协同监测分级预警与系统开发

结合云边端一体化的架构，基于 AI 模型进行多源数据融合，实现实时分析和处理，基于前期所建立的风险评估模型，识别边坡隐患并预测事故风险。建立

智能预警模型和调度算法，通过智能化应急调度算法提供综合调度建议，在异常情况发生时实现系统快速响应。针对大规模国省干线公路边坡监测场景，优化云计算中心、边缘节点和端侧设备之间的数据传输和协同处理机制，实现在不同的公路管理系统之间实现数据共享与互操作，开发出基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统。

（6）基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统应用

根据交通部《全国公路边坡监测工作实施方案》（2024-2030 年）工作部署，在高风险路段部署云边端监测系统，开展基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统应用研究。通过现场数据采集，对实时监测系统的测试精度进行评估与验证，并提出进一步优化方案。根据长期监测数据，为运营管理部门提供管理决策依据。

3.3 技术路线

3.3.1 研究技术方案

（1）秦巴山区公路边坡失稳破坏条件分级研究与灾害风险评估

① 基于高风险路段现场勘察与多源数据采集，构建秦巴山区气候、地质构造等环境要素数据库。

② 揭示降雨强度、边坡几何形态、填料物理力学参数等关键因子对失稳过程的控制机理，阐明秦巴山区公路边坡典型失稳模式与成因机制。

③ 融合关联分析法综合评判，结合现有规范和工程经验，对边坡灾害风险进行实用分级评估。

（2）面向云边端一体化的云服务可信感知与公路边坡信息资源优化

① 面向公路边坡监测数据实时性与安全性需求，提出一种云边端协同的可信边缘计算架构，构建统一协议代理与服务代理体系。

② 研发自适应可信度量化算法与个性化资源匹配机制，实现边缘节点间协同计算与动态负载均衡。

③ 通过数字仿真与现场验证，在复杂网络环境下控制边缘计算延迟和可信协同效率。

（3）基于云边端一体化的公路边坡边缘节点计算架构和资源管理

① 设计高性能边缘功能组件，解决 FBG 光纤、振动等多源异构设备接入适配难题。

② 构建边缘节点统一资源池，实现监测设备动态注册、配置下发与生命周期管理。

③ 建立边缘侧数据预处理与异常检测机制，有效降低云端传输压力，提升系统整体鲁棒性。

（4）基于云边端一体化的公路边坡终端监测设备研发与布设策略研究

① 基于光纤布拉格光栅原理，优化位移传感器，以及抗电磁干扰、抗高温及高精度湿度传感器。

② 提出点线面结合的传感阵列优化布设，突破秦巴山区地面控制点布设难的瓶颈。

③ 建立基于点参考、面参考与多源数据融合的评价体系，实现全天候形变与微环境参数精准感知。

（5）基于云边端一体化的公路边坡协同监测分级预警与系统开发

① 构建云边端分层计算框架，融合位移、湿度、振动等多模态时序数据，研发轻量化边缘模型。

② 开发边坡隐患智能识别算法，实现隐患类型自动分类与定位。

③ 结合风险评估模型，建立灾害发生概率与后果严重度的动态预测模型。

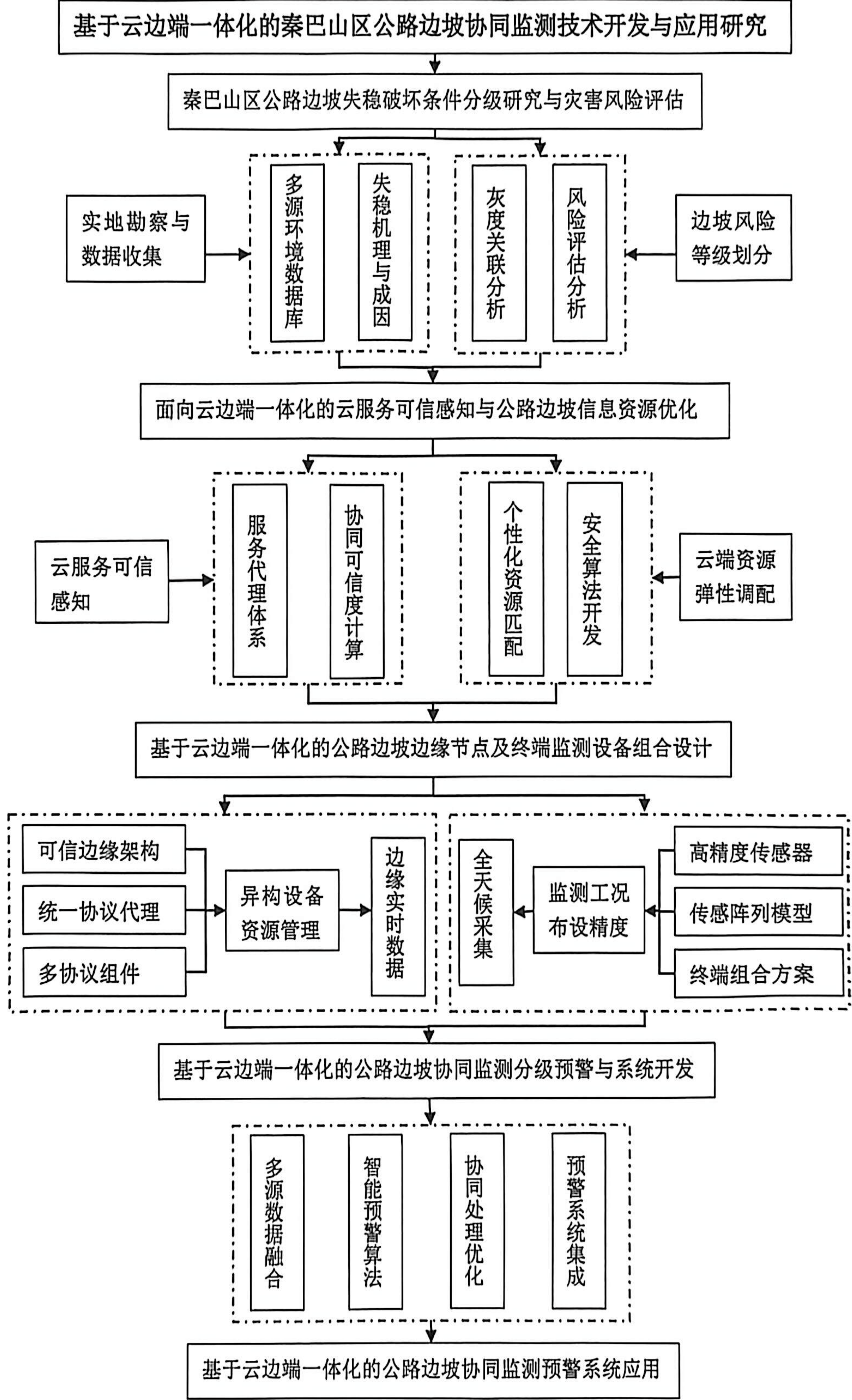
（6）基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统应用

① 集成上述五专题核心技术成果，开发具备数据共享、互操作、分级预警、应急调度功能的云边端一体化公路边坡协同监测预警平台。

② 在秦巴山区开展示范应用，完成系统全流程测试与精度验证。

③ 基于长期监测大数据，与传统监测模式比较，开展社会经济效益分析。

3.3.2 工作流程



3.4 后续技术改造或基本建设计划的衔接

本项目研究成果可供以下部门应用或推广：

(1) 公路养护与运营单位

高速公路经营公司、省级公路管理局等可直接部署本项目开发的云边端一体化边坡监测预警系统，实现高风险边坡实时监测、分级预警与应急调度，有效提升日常养护和灾害快速响应能力。

(2) 公路勘察设计与施工单位

设计院、施工单位可参考本项目研发的大量程高精度位移/湿度传感器和传感阵列布设方案，在新建或改扩建边坡工程中更合理地融入监测设施，提升工程安全保障水平。

(3) 工程监理与检测机构

监理单位可采用本项目提出的传感器性能指标与系统测试验证方法，用于施工过程质量控制和交竣工验收参考，提高监测设施的可靠性和精度。

(4) 地质灾害监测设备生产厂家

光纤传感、边缘计算设备生产企业可借鉴本项目研发的高精度位移传感器、抗干扰湿度传感器及边缘节点技术方案，用于产品在山区复杂环境下的优化和性能提升。

3.5 有关技术经济指标

(1) 提出一种基于云边端网络环境的可信边缘计算架构和道路异构设备资源管理方案；

(2) 研发适用于边坡内部监测的导轮式固定测斜仪（精度误差 $\pm 0.01^\circ$ ）和土体含水率传感器（精度误差 $\pm 5\%$ ）；

(3) 开发基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统，终端传感器数据采集响应时效小于 1s，云端数据留存周期大于 6 个月，数据并发量大于 1000 条/秒。

四、项目承担单位及参加单位概况

4.1 单位概况

（1）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 9 个一级学科博士点，33 个一级学科硕士点。有 9 个博士后科研流动站。工程学、地球科学、材料科学、环境科学与生态学等 4 个学科进入 ESI 球前 1%。现有 82 个本科专业，其中 23 个专业入选国家“双万计划”一流建设专业，17 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 44 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”。学校矢志原始创新，构建“大团队、大平台、大项目、大成果”四位一体科技创新体系，年度科研经费突破 8.5 亿元，年度国家自然科学基金、国家社会科学基金超过 110 项。近年来获得国家科学技术进步奖一等奖、二等奖 23 项。年度授权专利 1300 余项。先后攻克了特殊地区公路建设成套科学技术难题，研发了黄土滑坡及大型崩塌临灾预警系统，解决了地铁建设中的地裂缝风险防治问题。

新时代，学校积极布局“智慧+”“绿色+”“大数据+”等学科交叉战略，旨在改造传统、升级产业、赢得未来。学校注重成果推广，科研成果应用于被誉为“国之重器”的港珠澳大桥、全球空港新标杆北京大兴国际机场等超级工程建设，支撑了世界最大跨径的公铁两用斜拉桥沪通长江大桥、世界海拔最高的青藏公路、亚洲最长公路隧道秦岭终南山隧道、第一条沙漠高速公路榆靖高速等诸多有重要国际影响力的世纪工程建设。与数十家世界 500 强企业建立了深度战略合作关系。

（2）汉中市交通运输局

汉中市政府组成部门，正处级，现有编制 25 个，实际在编 24 人。主要承担拟定全市交通运输发展政策措施，编制全市交通运输综合及专项规划，承担全市公路、水路及城市客运行业发展规划、行业管理和交通战备等职责，内设 7 个科室、1 个直属机关党委，下设“1 局 1 队 5 中心”7 个局属单位。全系统核定编制 1450 个，实际在编 1258 人，拥有多名长期从事公路桥梁建设管理的中高级专

业技术人员和试验设备，多次承担干线公路、农村公路的科研课题任务。在多年的公路与水运建设行业管理中，一直深入开展平安百年品质工程创建活动，大力研究推广“四新技术”，全市 9 项建设管理做法入选全省交通行业优秀技术成果，G108 佛坪大坪峪至袁家庄旅游公路、G108 洋县金水过境公路先后获评全省交通行业品质工程示范项目，养护工程多项先进施工工艺在全省推广，多名专业技术人员获评国家、省级荣誉。

(3) 中科华研（西安）科技有限公司

专注从事交通行业管理重点、难点问题的数字化管理解决方案提供商，注册资金 500 万元，目前在西安、山东、江苏、深圳、广西、河南等地设有 6 个专业运营支持中心。公司与长安大学、西安交通大学等多所院校建立了稳定的产学研合作关系，将高校科研成果进行转化，针对交通行业的管理重点、难点问题提供建设、管理、运营、养护全生命周期数字化管理解决方案。

公司拥有一支技术精湛、经验丰富的软硬件研发安装团队，先后获得专利 10 余项，获得软件著作权证书 20 余项，先后参与国内外行业会议活动三十余次，获得信用企业评价 AAA 级证书，质量管理体系证书等，是集产、学、研、用一体的交通行业数字化管理解决方案提供商。公司秉承科技创新、共同发展的企业精神，坚持以公路全生命周期数字化管理为核心，结合移动 5G、AI、物联网、北斗定位、GIS、大数据分析等技术，为公路建管养提供全面、科学、精准的数字化解决方案。中科华研（西安）科技有限公司致力于成为交通行业数字化管理的领导者，通过不断的技术创新和服务优化，为交通行业的可持续发展贡献力量。

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
齐琳	长安大学	女	1981.10	副高级	道路工程	项目总负责
李冀中	汉中市交通运输局	男	1967.08	副高级	道路工程	项目统筹管理
何锐	长安大学	男	1984.05	正高级	道路工程	技术研发负责人
陈默涵	汉中市交通运输局	男	1988.05	中级	道路工程	工程策划与实施
张绍阳	长安大学	男	1971.09	正高级	信息化	系统架构设计
刘晖	汉中市交通运输局	男	1979.09	副高级	道路工程	试验段组织与跟踪 观测

杨澜	长安大学	女	1985.07	正高级	信息化	制点布设方案设计
袁新鹏	汉中市交通运输局	男	1985.03	副高级	道路工程	风险等级评估
李婷	长安大学	女	1985.09	中级	信息化	异构设备资源管理方案设计
龚建利	汉中市交通运输局	男	1982.11	副高级	道路工程	实施方案策划
张兴文	汉中市交通运输局	男	1993.05	助理级	道路工程	现场技术方案实施
陈星	中科华研（西安）科技有限公司	男	1991.07	助理级	信息化	地面控制点布设和信息采集方案
曹彤	中科华研（西安）科技有限公司	男	1997.07	助理级	信息化	智能化应急调度算法
赵建有	长安大学	男	1963.03	正高级	交通信息及控制工程	系统调试设计
李军	长安大学	男	1992.05	中级	信息化	智能预警系统设计
郭浩钦	长安大学	男	1999.06	无	道路工程	室内试验研究

4.3 各自承担的主要工作

长安大学：负责制定研究大纲和总体研究方案；负责编写立项申请书和可行性研究报告；负责秦巴山区公路边坡失稳影响因素、滑坡过程和成因机制研究；负责大量程高精度位移传感器和抗干扰湿度传感器开发，及其布设策略设计；负责研究报告的撰写工作；完成项目鉴定和验收工作。

汉中市交通运输局：参与制定总体研究方案；参与示范性工程建设；协调示范性工程建设；组织现场项目施工及自筹经费。

中科华研（西安）科技有限公司：示范性工程相关设计。

4.4 项目主要负责人情况

项目总负责人，齐琳，女，1981年生，长安大学副教授，硕士生导师。主要研究领域和方向为环保型路面材料开发及性能优化研究等，先后主持及包括国家自然科学基金项目、中央高校基本科研业务费高新技术项目、中央高校基本科研业务费专项资金项目等在内的国家级、省部级、校企合作项目等 30 余项，作为主要研究人员参与国家重点研发计划课题“智能道路铺装结构系统集成技术及系统设计理论体系（2018YFB1600204）”、国家重点研发计划专题“路域环境与路表状态的网格化感知方法（2018YFB1600201）”、重点科研平台水平提升项目“基于深度学习和探地雷达技术的路面结构病害检测研究（300102219510）”。

项目统筹管理负责人，李冀中，男，1967 年生，现任汉中市交通运输局总工程师、四级调研员，毕业于西安公路学院公路与城市道路专业，本科学历，学士学位，先后担任姜眉公路、G316 汉中城褒一级公路、西汉高速佛坪连接线改线工程等重大项目技术负责人，具有丰富的公路建设管理经验。

项目技术研发负责人，何锐，男，1984 年生，长安大学教授，博士生导师。长期从事道路智能感知与新材料开发领域的研究工作，先后主持了陕西省重点产业链（群）项目“基于 AI 的智能交通标志标线研发及协同服务关键技术（2023-ZDLGY-25）”、陕西省重点研发计划项目“装配式建筑高强大流态无收缩灌浆料制备与应用关键技术（2022GY-422）”、陕西省交通科技项目“公路交通标线质量控制及耐久性提升关键技术研究（19-21K）”、“公路交通标线抗滑性能变化机理及提升关键技术（21-40K）”，为本项目的开展打下了良好的基础。

五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件

5.1 依托工程概况

秦巴山区（图 1）地处扬子板块与华北板块交界带，构造活动频繁，地形起伏大，地貌形态与岩体结构类型复杂多样，岩体节理裂隙发育，风化严重，多以堆积层碎石土—基岩的二元结构斜坡为主，层间渗透性差异显著，导致以第四纪堆积层滑坡为主的地质灾害具有数量多、分布广、密度大、频次高等特点，是我国地质灾害的重灾区之一。受此地质条件制约，区域内大量公路路段需穿越深切峡谷、顺层边坡等复杂区域，高填深挖路段占比高，部分路段的顺层边坡因层间软弱夹层遇水易软化，极易引发失稳滑动。同时，秦巴山区降雨丰富且集中在夏季，暴雨天气频繁，加之山区昼夜温差大、冬季冰雪冻融频繁，进一步加剧了边坡岩体风化与土体饱和，显著提升了地质灾害风险，对公路建设质量与服役安全构成严重威胁。



图 1 秦巴山区俯视图

根据交通部《全国公路边坡监测工作实施方案》（2024-2030 年）下达的试点要求，本项目将依托 210 国道镇巴段改线工程开展示范应用。其 K1+240~K1+360 段为挖方路堑，路线横穿原有山体坡缘，原设计方案为从上至下逐级放坡开挖，共计 5 级边坡，坡率均为 1:0.75，坡面均采用锚杆框架梁防护，每级边坡之间设平台，平台宽度 2m。该段边坡为向斜构造一翼的顺层边坡且节理发育，顶部坡度较陡、中下部较缓，岩性为砂岩夹泥岩，层间存在软弱夹层，遇水层间摩擦力迅速降低。该段路堑边坡开挖作业至今，多次发生滑塌（图 2）。





图 2 秦巴项目段部分边坡损坏

为确保该路段的顺利建设与安全服役，本项目将依托 210 国道镇巴段改线工程，开发基于云边端一体化的高速公路协同监测预警系统，并对施工以及后期服役过程中的稳定性进行实时监测，提升山区公路的养护管理效率和安全监测预警能力，确保交通安全畅通，保障各路段长期服役的稳定性。

5.2 投资来源

经详细论证并编制经费预算，本课题研究总投入为 100.0 万元。其中陕西省交通运输厅拨付专项经费 49.7 万元，汉中市交通运输局及中科华研（西安）科技有限公司自筹 50.3 万元，以确保本项目各项工作的顺利开展。

5.3 工程进度与项目科研进度的配合

2025.12~2026.06：检索、收集国内外相关文献，并开展省内外调研，完成项目的立项工作，编写研究大纲和工作实施详细计划；探明秦巴山区公路边坡失稳因素、滑坡过程和成因机制；发表科技论文 1 篇。

2026.07~2026.12：融合关联分析法综合评判，结合现有规范和工程经验，对边坡灾害风险进行实用分级评估；提出面向个性化协同云服务可信感知的云边端服务代理体系结构；建立基于云边端网络环境的可信边缘计算架构；发表科技论文 1 篇。

2027.01~2027.06：开发高精度位移传感器和抗干扰湿度传感器，设计控制点布设和多源信息采集方案，并根据布设区域划分常规和应急监测工况，实现高风险路段公路边坡的全天候、全要素实时监测；基于 AI 模型进行多源数据融合，

识别边坡隐患并预测事故风险；发表科技论文 1 篇。

2027.07~2027.12：开发出基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统；在高风险路段部署云边端监测系统，开展基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统应用研究；发表科技论文 2 篇，申请专利 1 项；撰写研究报告及技术规范，项目总结验收。

5.4 组织管理形式

为保证本课题能够高质、高效、按期达到预定目标，必须建立全面、高效的组织管理机制。根据项目研究总体思路和目标，将根据研究内容分别确定负责人。

（1）负责人按研究工作的技术目标、技术路线、系统体系与结构确定具体工作要求。工作责任包括需要完成的工作内容、工作效果完成工作的时间、经费预算等。

（2）负责人根据研究工作安排编制季度和半年度工作计划。计划内容主要是对前期工作的总结，包括：计划完成情况、存在问题及解决措施、后期计划的调整等。

（3）严格执行分内容合同，按规定的内容和进度完成任务，并接受课题负责单位检查；项目经费使用严格遵守相关财务管理规定执行。

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	49.70	合 计	100.00	49.70	50.30
工程配套研究经费	0	1.设备费	17.00	2.00	15.00
单位自筹	50.30	（1）购置设备费	5.00	0.00	5.00
其他经费	0	（2）试制设备费	9.00	2.00	7.00
		（3）设备改造与租赁费	3.00	0.00	3.00
		2.业务费	55.50	33.00	22.50
		（1）材料费	20.50	11.00	9.50
		（2）测试化验实验加工费	13.50	7.50	6.00
		（3）燃料动力费	4.00	2.00	2.00
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	9.50	7.00	2.50
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	6.00	4.00	2.00
		（6）其他费用	2.00	1.50	0.50
		3.劳务费	14.00	8.00	6.00
		（1）专家咨询费	2.00	1.00	1.00
		（2）聘用人员劳务费	5.00	3.00	2.00
		（3）其他劳务费	7.00	4.00	3.00
		（二）间接费用	13.50	6.70	6.80
		4.管理费	10.00	5.00	5.00
		5.绩效支出	3.50	1.70	1.80

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	0
		（2）实用新型	1
		（3）外观设计	0
		2、软件著作权授权数（项）	0
		3、发表论文（篇）	5
		（1）其中 SCI 索引收录数	0
		（2）其中 EI 索引收录数	0
		（3）其它	5
		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	0
	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	2
		（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）	1
		（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	是
		(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）	1
效果类指标	经济效益	1、新增产值（万元）	100
		2、新增销售（万元）	100
		3、新增出口创汇（万美元）	0
		4、新增利润（万元）	10
	社会效益	1、新增税收（万元）	13
		2、新增就业人数	20
		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）	50
		6、新增产业带动情况	0
		7、技术集成示范（项）	1
		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	无		

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

本项目结合室内试验、理论分析和实体工程对基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡监测预警技术展开研究，突破云边端一体化云服务可信感知与资源优化、边缘节点计算架构与可信交互、终端监测设备设计与组合等系列技术，实现基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统应用，形成一系列实用的研究成果，预期达到以下目标：

- (1) 开发基于云边端网络环境的公路边坡监测可信边缘计算架构；
- (2) 研发适用于边坡内部监测的测斜传感器和土体含水率传感器，及其布设策略研究；
- (3) 开发基于多源数据融合的 AI 计算模型，识别公路边坡隐患并预测事故风险。

8.2 提交的研究成果及其形式

- (1) 编制《基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究》总报告；
- (2) 形成秦巴山区公路边坡分类监测方法与传感器布设策略；
- (3) 研发适用于边坡内部监测的测斜传感器和土体含水率传感器；
- (4) 提出基于云边端一体化的边坡协同监测与 AI 算法预警模型；
- (5) 在秦巴山区公路边坡高风险路段建设工程应用示范项目 1 处及以上；
- (6) 在国内外核心期刊或学术会议上发表论文 5 篇；
- (7) 授权国家专利 1 项。

8.3 经济、社会、环境效益分析

(1) 经济效益

本项目设计的云边端一体化架构通过分布式计算和边缘智能处理显著优化设备利用率与资源配置，降低系统整体运维成本，降低终端设备综合能耗及减少云端通信流量，降低依托工程年运维费用。系统提前预警险情，大幅降低经济损失，经济可行性显著。

（2）社会效益

本项目研究基于云边端一体化的协同监测预警技术，在示范工程施工与运营期大幅提升安全目标，极大提升秦巴山区干线公路通行保障能力和公众出行获得感。项目成果形成交通运输部边坡监测试点，在陕川渝等多省份实现项目复制应用，带动产业链产值增长，为我国山区公路基础设施韧性提升和智慧交通体系建设提供了模范技术体系，社会效益显著而深远。

九、其它需要说明的问题

无。

十、申请单位意见



长安大学 (公章)

单位负责人: (签字)

陈建勋

科研项目专用章



汉中市交通运输局 (公章)

单位负责人: (签字)

李赞中

年 月 日



中科华研 (西安) 科技有限公司 (公章)

单位负责人: (签字)

年 月 日

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	郑建国	机械工业部设计研究院有限公司	岩土工程	岩土工程	教授/总工	郑建国
2	委员	孙磊	中交一公局	岩土工程	岩土工程	总工	孙磊
3	委员	王松根	山东交通工程局	岩土工程	岩土工程	研究员	王松根
4	委员						
5	委员	孙丽	西水集团	岩土工程	岩土工程	教授	孙丽

基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究(项目编号: 25-12K)

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	郑建国	机械工业勘察设计研究院有限公司	岩土工程	岩土工程	教高/总工	
2	委员	张留俊	中交一公院	公路工程	公路工程	正高工	
3	委员	王松根	山东省交通厅公路局	公路工程	公路工程	研究员	
4	委员	申俊敏	山西交通科学研究 院集团有限公司	公路工程	公路工程	正高工	
5	委员	谢婉丽	西北大学	地质工程	地质工程	教授	

基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究 大纲评审意见

2025年12月2日，陕西省交通运输厅在西安主持召开了基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究（项目编号：25-12K）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、针对秦巴山区公路边坡灾害问题，开展基于云边端一体化的协同监测预警技术研究，对解决公路边坡隐患并预测事故风险，推动公路边坡安全管控工作，具有现实意义，立项必要。

二、研究内容全面，研究目标明确，技术路线可行。

三、研究人员组成合理，前期研究基础扎实，依托工程落实，经费预算合理，具备开展研究工作的条件。

四、预期成果覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架契合。

建议进一步明确考核指标。

主任委员：郑建国

2025年12月2日

专家审查意见表

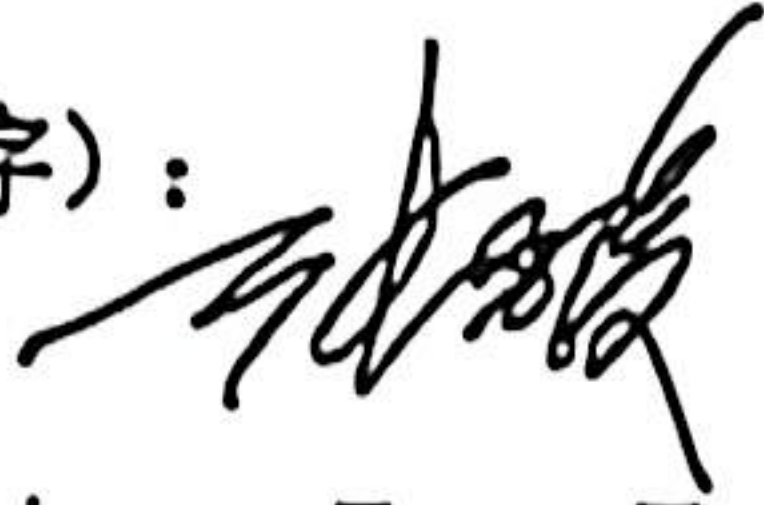
项目名称	基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究				
专家姓名	郑建国	职务/职称	总工/教高	专 业	岩土工程
专家单位	机械工业部设计研究院有限公司			联系电话	1580220511
评审意见 1. 大纲内容完整，研究目标明确，技术路线可行； 2. 建议明确开发性能指标是技术指标。 3. 研究内容还可以进一步精简。 评审专家（签字）：郑建国 2025 年 12 月 2 日 (本意见入档，应填写工整，纸面不敷，可另加纸)					

专家审查意见表

项目名称	基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究				
专家姓名	张锡俊	职务/职称	副教授	专业	岩土工程
专家单位	中铁一局			联系电话	13991869261

评审意见

1. 明确大型位移传感器具体布设位置及工程应用效果。
2. 补充示范项目的具体位置。

评审专家（签字）：

2025年12月2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	基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究				
专家姓名	王松根	职务/职称	研究员	专 业	公路工程
专家单位	山东省交通运输厅			联系电话	13488700091

评审意见

本项目依托秦巴山区、山东省干线公路，开展基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡监测预警系统开发与应用研究，有效提升公路基础设施的安全监控水平，立项必要。

项目研究内容全面，技术路线可行，同意该项目大纲通过评审。
建议：

1. 准确定义云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统。
2. 完善风险识别准确率达标90%以上，延迟时间不超过10s的表述不清晰，需调查。

评审专家（签字）：

2025年12月2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	基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究				
专家姓名	张永明	职务/职称	教授	专业	岩土工程
专家单位	西安理工大学			联系电话	15291050080

评审意见

- 一. 前期研究基础扎实，要论明确。聚焦云边端一体化协同监测技术的研究。
- 二. 前期研究基础和申报书设计书内容相符合。
- 三. 申报书提出的关键问题，申报书关键问题应进一步细化研究内容。

评审专家（签字）：张永明

年 月 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	基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究(25-12-1)				
专家姓名	申伟利	职务/职称	正高	专业	公路工程
专家单位	山西交通职业技术学院			联系电话	13803469957

评审意见

该项目研究目标明确、研究内容全面、技术路线基本可行、同意立项并开展研究。

建议：

1. 明确研究内容、突出研究重点，重点开展边坡工程精细化检测技术和抗干扰性能提升的研究工作。
2. 根据研究条件化或调整考核指标。

评审专家（签字）：申伟利

2025年12月2日

(本意见入档，填写工整，纸面不敷，可另加纸)

专家意见处理表

项目名称：基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡协同监测技术开发与应用研究（项目编号：25-12K）

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	郑建国	1.大纲内容完整，研究目的明确，技术路线可行； 2.建议明确开发传感器的具体技术指标； 3.研究内容还可以进一步精简。	1.对研究内容进行了进一步的检查。 2.在“3.5 有关技术经济指标”中对开发传感器的具体技术指标进行了明确，明确了导轮式固定测斜仪的精度误差±0.01°，土体含水率传感器的精度误差±5%。 3.对主要研究内容进行了凝练，将本项目的研究重点集中在边坡监测核心系统的研发。
2	王松根	本项目依托秦巴山区国省干线工程，开展基于云边端一体化的秦巴山区公路边坡监测预警系统开发与应用研究，有效提升公路基础设施的安全监控水平，立项必要。项目研究内容全面，技术路线可行，同意该项目大纲通过评审。 建议：1.准确定义云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统。 2.“灾害风险预测准确率达到90%以上，延迟时间不超过10s”的表述不准确，需调整。	1.在“项目概括”和“研究目的”中，对基于云边端一体化的公路边坡协同监测预警系统的准确定义进行了补充。 2.根据专家评审会的现场意见，将灾害风险预测准确率 and 延迟时间相关内容进行了完善，确定为“终端传感器数据采集响应时效”“云端数据留存周期”和“数据并发量”。
3	张留俊	1.明确大量程位移传感器的具体量程及其工程应用场景。 2.落实示范项目的具体位置。	1.根据专家评审会的现场意见，对投标文件中所提到的大量程高精度传感器具体技术指标和工程应用场景进行了明确和细化。具体在“3.5 有关技术经济指标”中将其确定为适用于边坡内部监测的导轮式固定测斜仪，重点描述测量精度（精度误差±0.01°），工程应用场景聚焦于边坡内部监测。 2.根据专家评审会现场意见，3处示范工程位置均属于同一个路段的边坡风险监测项目，即210国道镇巴段改线工程K1+240~K1+360段中3处存在安

			全隐患的边坡点位，实际属于同一个示范工程。通过补充依托工程的现场调研图片落实了示范项目的具体位置，并将其考核指标确认为1处示范性工程。
4	谢婉丽	1.简化研究目的，要明确目的，聚焦云边坡一体化方面监测技术的研发。 2.前期研究基础和讨论手段针对本项目相关内容。 3.凝练拟解决的关键问题，本项目的关键问题应该不包含边坡失稳的成因机制。	1.研究目的已进一步凝练，更加突出监测技术的研究。 2.修改了前期研究基础和讨论的相关内容，在“过去工作基础”和“现有的试验手段”中对内容进行了修改和补充。 3.对本项目的关键问题进行了进一步凝练。
5	申俊敏	该项目研究目标明确，研究内容全面，技术路线基本可行，同意项目开展研究。建议： 1.聚焦研究内容，突出研究重点，重点开展大量程高精度位移传感器和抗干扰湿度传感器的开发应用。 2.根据研究内容优化或调整考核指标。	1.根据专家评审会现场意见，完善了“3.5有关技术经济指标”，改为“（2）研发适用于边坡内部监测的导轮式固定测斜仪（精度误差±0.01°）和土体含水率传感器（精度误差±5%）；（3）开发基于云边坡一体化的公路边坡协同监测预警系统，终端传感器数据采集响应时效小于1s，云端数据留存周期大于6个月，数据并发量大于1000条/秒。” 2.根据专家评审会的现场建议，在“提交的研究成果及形式”中，将“申请国家专利3-4项”修改为“授权国家专利1项。”

项目负责人（签字）：齐琳