

项目合同编号：25-06K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究

承担单位：陕西省交通规划设计研究院有限公司

项目负责人：王海峰

通讯邮编、地址：陕西省西安市高新区科技六路 37 号

传真、电话：029-68718021

起止年限：2025 年 12 月 至 2027 年 06 月

陕西省交通运输厅制

项目合同编号：25-06K

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究

承担单位：陕西省交通规划设计研究院有限公司

项目负责人：王海峰

通讯邮编、地址：陕西省西安市高新区科技六路 37 号

传真、电话：029-68718021

起止年限：2025 年 12 月 至 2027 年 06 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) 黄土边坡滑坡类型及变形破坏机理研究
- (2) 微功耗裂缝监测与联动管控装置研发
- (3) 黄土边坡滑坡预警方法研究
- (4) 警示拦阻系统研发
- (5) 黄土地区公路边坡滑坡监测成套技术

2. 技术关键

本研究采用理论分析、技术研发、模型构建和数据分析等多种手段，系统开展陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究。

1) 采用文献调研法与现场调查法，系统开展国内外黄土滑坡监测预警技术研究进展的梳理工作；结合陕北地区典型公路沿线黄土边坡的实地勘察数据，针对其工程地质特征（如土体结构、湿陷性参数）、水文地质条件（如地下水）及灾害发育特征（如滑坡类型、规模、活动频率）等展开多维度统计分析，最终构建包含基础地质信息、灾害特征参数及监测数据指标的多源融合基础数据库。

2) 采用理论推导与数值模拟相结合的方法，定量解析不同滑坡类型的形成机制，揭示其与黄土特殊工程地质条件的耦合关联规律；同时，基于岩土力学理论与损伤演化模型，阐明滑坡变形破坏的内在作用机理，系统归纳其从初始蠕变、加速变形到剧烈滑动的全周期演化模式，最终为监测数据的科学解析与预警模型的构建提供坚实的理论依据。

3) 基于设备研发与系统集成方法论,通过多技术协同创新,深度融合微机电系统(MEMS)微型化传感技术、窄带物联网(NB-IoT)低功耗广域通信技术及北斗高精度定位技术,开展微功耗裂缝监测装置的定制化研制与联动管控系统的集成开发。

4) 基于模型构建与数据分析方法论,系统开展黄土滑坡预警模型构建与阈值体系研究:首先,结合滑坡变形演化机理的定性分析与监测数据的定量表征,综合选取反映滑坡失稳前兆特征的关键预警指标(如位移速率、降雨量、含水率等);继而,基于机器学习算法对多源异构监测数据进行特征工程优化与非线性关联建模;进一步,通过多源数据融合算法实现多维度信息的时空耦合分析,构建融合微观形变特征、宏观环境触发因子及力学响应机制的黄土边坡智能监测预警模型;最终,依托试点边坡的现场监测试验,验证模型的预警时效性与可靠性,优化阈值参数并形成标准化应用流程,为黄土区滑坡灾害的科学防控提供精准化技术支撑。

3. 依托工程(依托工作)

依托工程 1. 宜君县 210 国道 K1076+915~K1077+040 段滑坡位于宜君县阳湾村附近,国道以挖方路基通过滑坡后部,地层结构为上部黄土、下部红黏土、泥岩。该段路常年来发生不同程度的沉降,临时应急处理措施为沥青灌缝和加铺沥青路面,以保证车辆正常通行。2024 年 8 月在强降雨影响下,右幅路肩位置路面开裂、错台变形,最大开裂宽度 10cm,最大错台高度达到 15cm;左幅路肩位置路肩开裂,最大开裂宽度 10cm,行车道轻微沉陷,最

大开裂长约 125 米，最大错台高度达到 15cm，形成滑坡灾害。该处为低洼地形，地表水易入渗，滑体为粉质黏土，呈软塑-可塑，含水量高，土质松软，为相对透水层，易滑地层；中下部为新近系和三叠系的红黏土、泥岩地层，为相对隔水层。该处属中型滑坡，土体含水量大，现状发育明显变形迹象且坡顶存在居民房，威胁国道和周边居民的安全，存在一定安全风险。

依托工程 2. 吴起县 G341 K1425+800~K1426+300 段滑坡（上坡）

位于吴起县薛岔镇，国道以挖方路基通过滑坡前缘，地层结构为上部的黄土、下伏粘土岩。2007 年 6 月受地表水入渗老滑坡出现整体复活，发生后部张拉下错，前部推挤的整体移动，后期未进行支挡防护，滑坡体长约 400m，宽约 400m，滑坡体高差 125m，滑体平均厚度 65m。该处为巨型滑坡，为典型的黄土-粘土岩接触面滑动，历史上已出现整体复活迹象，建议开展专业监测。

依托工程 3. 延延分公司 G2211 高速下行线 K387+550~+800 段滑坡

该滑坡平面上呈马蹄形，后壁陡峭，高约 6~15m，滑坡方向和路线斜交，两侧边界清晰，滑坡体坡面较缓，中前部堆积滑体物质，自然坡度约 15~40°，坡面有植被。滑坡主滑方向长约 180m，宽约 280m，滑体最大厚度约 30m，体积约为 $91 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，为大型黄土牵引式滑坡。G2211 高速从该滑坡侧缘以挖方路基和桥梁形式通过，路堑边坡坡高 20m，坡度 35 度，分 5 级，地层为土石二元结

构，上部为黄土，下部为泥岩，坡口外地形相对平缓。2023 年 3~4 月当地由于降雨，导致坡面防护工程产生错位、断裂临空道路方向局部坡体滑塌，深层滑面处于稳定状态。该滑坡属于牵引-拉裂式滑坡，滑塌前会出现坡体变形迹象；滑坡紧邻桥梁，滑体后缘错台汇水面积较大，如发生复活滑动对桥梁墩台影响严重。

依托工程 4. 富县 G65 K624+100 至 K624+410 段高边坡

坡高近 90m，19 级边坡，锚杆框架梁防护，坡脚设置挡墙。现状坡体无明显变形及裂缝，坡面局部滑塌，坡脚挡墙局部鼓胀裂缝，裂缝宽约 2cm，延伸长度 15m。该段地层结构上部为黄土、下部为红黏土，红黏土的隔水作用会使水分在黄土 - 红黏土交界面处积聚，形成潜在的滑动面。该边坡坡脚为管养中心宿办楼、高度高、现状局部发育变形迹象，且黄土-红黏土地层水分易在交界面处积聚，形成潜在的滑动面，对公路运营和人员具有一定风险。

5. 宝鸡市 G3024 宝鸡过境高速公路 K37+850~K38+150 段滑坡（上边坡）

高速公路以挖方路基通过滑坡前缘，该滑坡滑体物质以黄土、粉质粘土为主，滑体平均厚度约 21.3m，属巨型土质老滑坡。老滑坡发育 3 个次级滑坡，H2 和 H4 现状稳定，H3 滑坡底部发育一层棕红色黏土层，本身抗剪强度较低，且相对隔水，在地表水入渗作用下，工程性质降低，加之人为活动影响，导致坡体在建设期发生滑动，后采用抗滑桩进行支挡防护。现状该滑坡整体没有明显变形迹象，一级平台可见轻微裂缝发育，土体含水量大，有常流水。该

处属巨型滑坡，土体含水量大、滑床为粉质黏土（相对隔水）、中部及后缘有大量房屋、历史上发生滑动，现状局部发育轻微变形迹象，
建议开展专业监测。

二、考核指标

1.预期目标

- (1) 编制陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究报告 1 套；
- (2) 研发位移监测与联动交通封控装置 1 套；
- (3) 提出黄土滑坡预警阈值设置方案及预警模型；
- (4) 授权实用新型专利 1 项，软件著作权 1 项；
- (5) 编制《陕西省公路黄土滑坡位移监测技术指南》。

2. 主要技术经济指标

- (1)陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究报告 1 套；
- (2)研发位移监测与联动交通封控装置 1 套；
- (3)提出黄土边坡滑坡预警方法，包括 1 套阈值设置方案、1 个预警模型；
- (4)编写《陕西省公路地质灾害普适性监测技术指南》。

3.经济和社会效益

社会效益主要体现在避免人员伤亡、保障生命财产安全和减少社会影响。通过评估预警技术研究，可以提前预警，减少不必要的人员伤亡及财产损失，保障人员、设备安全性，提升工作人员的安全感。对黄土边坡状态进行监测及预警，做到提前预防、合理决策、填补施工安全管理漏洞。近年来，出现了很多典型的特大黄土滑坡事件，如 2019 年“3.15”山西省乡宁县大型滑坡灾害，导致 20 人死亡，13 人受伤，直接经济损失 713.5 万元。

将研究成果应用于实际项目中，可实时监测黄土边坡的稳定状态，可极大提高工程安全性，为减少人员伤亡和财产损失、增强公众防灾意识和能力发挥重要作用，产生的社会效益也是显著的。

研究成果可以实时提供陕北地区黄土边坡的监测数据和科学精准预警，能够避免或减少交通损失、路产损失。防灾减灾的经济效益体现为减少损失，减少损失即创造效益。如果边坡发生失稳事故，造成车毁、伤人事故，其直接损失大（例如每起 100 万元），中断交通引起的间接损失更大。

4.成果提供形式

- （1）提交陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究报告 1 套；
- （2）开发位移监测与联动交通封控装置 1 套；
- （3）提出黄土滑坡预警阈值设置方案及预警模型；
- （4）授权实用新型专利 1 项，软件著作权 1 项；
- （5）提交《陕西省公路黄土滑坡位移监测技术指南》。

4. 其他考核指标

应开展的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）
2025.12- 2026.03	基础调研与方案设计： 深入开展项目前期调研，明确研究范围与重点。 完成依托工程边坡的监测系统方案设计与现场布设实施。 启动黄土边坡的典型破坏模式分析与系统性分类研究。
2026.04- 2026.06	技术研发与指南初稿： 研发高精度监测装置与数据采集系统。 开展边坡稳定性多参数预警阈值设置方法研究。 总结提升监测技术体系，并完成项目技术指南初稿编制。
2026.07 -2026.10	模型构建与验证优： 优化黄土滑坡多源信息预警阈值体系。 构建基于监测数据的滑坡预警模型，并进行模型验证与参数校正。
2026.11 -2027.02	成果集成与提升： 系统梳理与集成项目研究成果，申报专利、软著并编制研究总报告。
2027.03 -2027.06	项目验收与结题： 整理全部验收材料，完成项目财务审计与成果归档，准备并完成项目结题验收。

四、项目经费

项目总经费：210.95 万元
交通运输厅补助：49.15 万元
自筹资金：161.80 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		
1. 设备费	123.5	0
(1) 购置设备费	123.5	
(2) 试制设备费		
(3) 设备改造与租赁费		
2. 业务费	67.45	38.95
(4) 材料支出	26	14.95
(5) 测试化验实验加工支出	10	8
(6) 燃料及动力支出	6.05	4
(7) 差旅支出	16	10
(8) 会议支出	2.5	
(9) 国际合作与交流支出		
(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/ 印刷支出	6.9	2
(11) 其他支出		
3. 劳务费	14	6.2
(12) 劳务性支出	12.8	5
(13) 咨询专家支出	1.2	1.2
(二) 间接费用	6	4
4. 管理费	2.5	2
5. 绩效支出	3.5	2
合 计	210.95	49.15

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	1
		（3）外观设计	
		2.软件著作权授权数（项）	1
		3.发表论文（篇）	
		（1）其中 SCI 索引收录数	
		（2）其中 EI 索引收录数	
		（3）其他	
		4.著作（部）	
		5.制订标准数（项）	1
		（1）国际标准	
		（2）国家标准	
	其他成果	（3）行业标准	
		（4）地方标准	
		（5）企业标准	
		（6）科技报告	1
		1.填补技术空白数	
		（1）国际	
		（2）国家	
		（3）省级	
		2.获奖项数	
		（1）国家奖项	
		（2）部、省奖项	
		（3）地市级奖项	
	其他成果	3.其他科技成果产出	1
		（1）新工艺（或新方法模式）	
		（2）新产品（含农业新品种）	
		（3）新材料	
		（4）新装备（装置）	1
		（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	
		(1) 博士、博士后	
		(2) 硕士	
		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	是
	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（%）	
		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	
		10. 环保效益	
其他需要说明的情况			

六、承担单位或研究人員分工

1. 陕西省交通规划设计研究院有限公司

总体组织和管理研究工作，具体主持研究大纲的编制工作，包括开展前期调研、明确技术路线、设计研究内容与方法，组织专家评审并完善方案。全面把控研究进度与质量，制定详细计划节点；负责项目总结与验收工作，组织成果梳理、报告撰写、材料归档；具体负责依托工程的实施推进，保障工程案例的顺利落地与成果转化。

作为省级技术支撑，我公司先后完成全省公路承灾体普查，建成省级灾害防治养护管理系统和智能化公路地质灾害监测预警系统，覆盖普查、监测、评估到防治的全过程管理。依托自主创新技术，已在全省部署 40 个监测点，其中获全国微创新大赛银奖，陕北 5 处部级试点为黄土边坡研究提供了重要数据支撑。公司构建了“大师工作室+创新工作室+工程技术研究中心”为核心的创新体系，并与长安大学等院校深度合作，整合防灾减灾实验室等优质科研资源。团队拥有 50 余名地质、岩土、测绘等专业的硕博人才，其中硕士以上 23 人，正高级工程师 8 人，高级工程师 21 人，注册岩土工程师 3 人，注册测绘师 5 人，具备丰富的技术研发与工程实施经验，持续为全省公路灾害防治提供可靠技术保障。项目组中的研究人员长期从事本方向研究及相关工作，能保证足够的时间投入到本项目之中。项目组将明确各方的责任权力义务，并使项目组内部在资金、技术、设施、人力以及管理等方面有序结合为一个整体，充分利用各方在研究力量、技术、资金等方面的优势，提高研发的成功率，并结合相关单位的管理工作特点，增强研究成果的实用性和可操作性，

便于成果的推广应用。

2.长安大学

参加研究大纲编制，围绕陕北黄土地地区公路边坡滑坡防控核心需求，以“基础机理研究-关键技术研发-系统集成应用”为逻辑主线，涵盖黄土滑坡类型划分与变形破坏机理深化研究、微功耗裂缝监测与联动管控装置研发、黄土滑坡精准预警方法研究、滑坡灾害警示拦阻系统研发及黄土地地区公路边坡滑坡综合监测成套技术整合与应用，编写黄土地地区公路边坡监测预警指南，参加项目总结验收。

3.陕西省公路局

负责项目总体协调，项目研究最终形成的成果进行推广使用。

4.陕西交控运营管理公司

负责试点项目现场协调，现场调查及预警研究等，项目研究最终形成的成果进行推广使用。

5.延安市公路局

负责试点项目现场协调，现场调查及预警研究等，项目研究最终形成的成果进行推广使用。

6.铜川公路管理局

负责试点项目现场协调，现场调查及预警研究等，项目研究最终形成的成果进行推广使用。

七、项目参加人员表

项目承担单位：陕西省交通规划设计研究院有限公司						
参与单位（排序）：长安大学、陕西省公路局、陕西交控运营管理有限公司、延安市公路局、铜川公路管理局						
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	王海峰	1980-09	陕西省交通规划设计研究院有限公司	正高级工程师	岩土工程	项目负责人 王海峰
主要研究人员						
2	李家春	1968-08-05	长安大学	副高级	工程地质	技术负责 李家春
3	宋成志	1968-10-29	陕西省公路局	副高级	道路工程（路基）	技术负责 宋成志
4	马杰	1982-05-01	陕西省交通规划设计研究院有限公司	副高级	岩土工程	监测技术研究 马杰
5	祁春辉	1993-01-18	陕西交控运营管理有限公司	工程师	公路工程	分布规律研究 祁春辉

6	雷江	1991-11-03	陕西省交通规划设计 研究院有限公司	副高级	岩土工程	防治技术研究	雷江
7	苗垚	1990-03-16	陕西省公路局	工程师	道路工程	防治技术研究	苗垚
8	张杰	1985-10-12	陕西省公路局	工程师	公路与城市道路工 程	分布规律研究	张杰
9	冯博	1991-05-01	陕西交控运营管理公 司	工程师	交通运输工程	分布规律研究	冯博
10	涂静	1979-11-22	陕西省公路局	高级工 程师	桥梁与隧道工程	防治技术研究	涂静
11	郭珮	1991-08-16	陕西省交通规划设计 研究院有限公司	工程师	岩土工程	防治技术研究	郭珮
12	张艳杰	1970-08-15	长安大学	副教授	道路与铁道工程	调查及数值模拟	张艳杰
13	董丁明	1973-02-04	延安市公路局	正高级 工程师	交通运输工程	现场调查及预警研 究	董丁明
14	李东珀	1979-10-19	延安市公路局	副高级	道路工程	现场调查及预警研 究	李东珀
15	张亮	1979-10-08	铜川公路管理 局	副高级	道路工程	现场调查及预警研 究	张亮

16	陈正元	1986-10-13	铜川公路管理局	副高级	道路工程	现场调查及预警研究	陈正元
17	张括	1982-12-20	陕西省交通规划设计研究院有限公司	高级工程师	地质工程	防治技术研究	张括
18	刘芸	1984-08-05	陕西省公路局	工程师	公路工程	防治技术研究	刘芸
19	吕军涛	1990-05-20	陕西省交通规划设计研究院有限公司	工程师	地质工程	防治技术研究	吕军涛
20	贾浩楠	1994-10-15	陕西省公路局	工程师	交通运输工程	防治技术研究	贾浩楠
21	李榕	1993-11-12	陕西省公路局	工程师	交通运输工程	防治技术研究	李榕
22	卢斌炎	1972-10-22	陕西省交通规划设计研究院有限公司	正高级工程师	地质遥感	防治技术研究	卢斌炎
23	孙星	1984-06-21	陕西省交通规划设计研究院有限公司	正高级工程师	岩土工程	防治技术研究	孙星
24	董浩阳	2000-09-10	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	破坏模式研究	董浩阳
25	王逸翔	1997-12-09	长安大学	研究生	防灾减灾工程	破坏模式研究	王逸翔
26	王洪玲	2000-6-22	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	数值模拟分析	王洪玲
27	王浩宇	2001-10-25	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	数值模拟分析	王浩宇

28	石晨曦	2002-05-18	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	数值模拟分析	石晨曦
29	周仟仟	1999-10-24	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	监测技术研究	周仟仟
30	张洁琼	2002-11-11	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	监测技术研究	张洁琼
31	王小鹏	2001-04-23	长安大学	研究生	岩土工程	破坏模式研究	王小鹏
32	刘宇翔	2003-09-02	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	破坏模式研究	刘宇翔
33	胡喻思	2003-05-13	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	破坏模式研究	胡喻思
34	丁玟月	2003-08-22	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	破坏模式研究	丁玟月
35	王帅	2002-11-02	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	破坏模式研究	王帅
36	彭佳朋	2002-09-25	长安大学	研究生	岩土工程	数值模拟分析	彭佳朋
37	房鑫宇	2002-06-09	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	数值模拟分析	房鑫宇
38	张然然	2003-04-17	长安大学	研究生	岩土与隧道工程	数值模拟分析	张然然
39	段西猛	2002-12-14	长安大学	研究生	岩土工程	数值模拟分析	段西猛

八、信息表

项目合同编号		25-06K		密级	/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部			
项目名称		陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究								
项目实施所在地		陕西西安		起止年限	2025 年 12 月至 2027 年 06 月					
总 经 费		491500 元		厅 拨		491500 元				
第一承担单位	单位名称	陕西省交通规划设计研究院有限公司								
	所在地	陕西省（区、市）						代码		
	通讯地址	陕西省西安市高新区科技六路 37 号						邮编	710065	
	单位性质	(3) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他						代码		
参与单位	序号	单 位 名 称								
	1	长安大学								
	2	陕西省公路局								
	3	陕西交控运营管理公司								
	4	延安市公路局								
	5	铜川公路管理局								
项目负责人	姓 名	王海峰		性别 (1) 1.男 2.女		出生年份		1980		
	学 历	(1) 1.研究生 2.大学 3.大专 4.中专 5.其他								
	职 称	(1) 1.高级 2.中级 3.初级 4.其他								
	联系电话	(同时填写手机与座机号码)			电子邮箱					
项目联系人	姓名	马杰			性别		男			
	联系电话	13389245036 座机号码			电子邮箱					
项目组人数	39	高级	14	中级	9	初级	16	其他	0	
主要研究内容 (100 字以内)	(1) 黄土边坡滑坡类型及变形破坏机理研究 (2) 微功耗裂缝监测与联动管控装置研发 (3) 黄土边坡滑坡预警方法研究 (4) 警示拦阻系统研发 (5) 黄土地区公路边坡滑坡监测成套技术									
成果属性	A、F	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、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.合同正本一式八份，甲方单位伍份，承担单位三份。

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

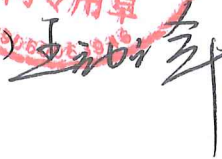
负责人：（签字） 2025年12月17日

联系人：（签字） （公章）

电 话：029-88869067

合同乙方：陕西省交通规划设计研究院有限公司

单位负责人：（签字） 2025年12月17日

项目负责人：（签字） （公章）

电 话：

财务负责人：（签字）

账 户 名：陕西省交通规划设计研究院有限公司

开户银行：中国工商银行股份有限公司西安电子工业区支行

账 号：3700023109014453613

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：

项目负责人：王初平

2025年12月17日

项目编号：25-06K

2025年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称：陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究

申请单位：陕西省交通规划设计研究院有限公司

(盖章)

联系人：马杰

电话：13389245036

陕西省交通运输厅制

二〇二五年十一月

目 录

一、 项目研究的背景和必要性	4
1.1 项目背景	4
1.2 研究目的	5
1.3 研究意义	6
二、 前期科研及工作基础	7
2.1 黄土滑坡类型及变形破坏机理	7
2.2 黄土滑坡监测预警方法	11
2.3 黄土滑坡应急处置技术	13
2.4 车辆示警与拦阻技术	14
2.5 小结	15
三、 实施方案	20
3.1 拟解决的关键问题	20
3.2 主要研究内容及实施方案	21
3.3 技术路线	23
3.4 后续技术改造或基本建设计划的衔接	26
3.5 主要技术经济指标	27
四、 项目承担单位及参加单位概况	27
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	37
5.3 工程进度与项目科研进度的配合	38
5.4 组织管理形式	39
六、 项目经费估算及资金筹措情况	41
七、 项目绩效指标	42
八、 预期目标、成果提供形式及经济社会效益	44
8.1 项目预期目标	44
8.2 提交的研究成果及其形式	45
8.3 经济、社会、环境效益分析	45

九、 其它需要说明的问题 46

十、 申请单位意见 46

附件：科研经费预算编制说明 47

一、项目研究的背景和必要性

1.1 项目背景

陕北黄土地区是中国地质灾害高发区之一。基于黄土有着水敏性特色，并呈现出结构松散、孔隙大、垂直发育等特点，滑坡地质灾害频繁发生。其中，黄土滑坡具有突发性强、滑距远、滑速高、破坏性强等特点，使得滑坡早期识别、监测和预警面临巨大挑战，严重损害当地人民的生命财产安全。

为了应对滑坡灾害带来的严峻挑战，减少其对人民生命财产不可估量的损失，多部委强调要补好灾害预警监测短板，逐步提升“灾害何时发生”的预警预报能力，有效防范化解各类地质灾害风险，认真研究地质灾害形成机理、演化趋势与气候变化之间的关系。

近年来，出现了很多典型的特大黄土滑坡事件，如 2019 年“3.15”山西省乡宁县大型滑坡灾害，导致 20 人死亡，13 人受伤，直接经济损失 713.5 万元。



图 1.1 黄土滑坡现场照片

目前黄土滑坡监测存在的问题：

(1) 黄土具有较高的孔隙率和良好的透水性，当经历连续降雨

或强降雨时易出现险情，在降雨影响下滑坡体变形及滑动机制与位移监测数据之间的关系研究有待深入，为预警模型建立提供理论支撑。

(2) 监测装备还存在短板：滑坡位移是最主要监测指标，目前主要采用 GNSS，拉线位移计等。目前的设备均采用光伏供电，安装要求在立杆上安装光伏板、蓄电池，安装不方便；另一方面，连续阴雨天供电不可靠，易供电不足离线。同时，监测设备如何与现场的预警装置联动、及时发出预警信息，也是目前的短板。

(3) 预警方法不完善：当前的预警主要靠经验法设置阈值，为安全起见常设置较为保守的阈值，导致误报率高的问题。

1.2 研究目的

本项目以研究并提高陕北地区黄土滑坡位移监测技术为目的，具体的研究目的包括：

1) 以陕北地区黄土边坡为研究对象，主要针对大型、难以治理的公路滑坡，通过调研、数值模拟等方法研究黄土滑坡类型及变形破坏机理，分析其形成与黄土的特殊工程地质条件的关系，揭示变形破坏机理及发展演化模式。

2) 在集成高精度传感与物联网技术的基础上，开发低功耗一体式裂缝监测装备，以期实现长期稳定、免维护的自动化监测，联合现场联动封控技术方案，实现对滑坡的全面监控和快速响应。

3) 提出适合黄土滑坡监测的数据处理与分析、预警阈值设置与智能预警模型，通过集成预警平台，实时展示监测数据、预警信息，实现精准预测与临灾预警。

4) 选择与合理应用拦阻系统, 与监测系统发出的预警信息联动, 保证低照度环境下警示拦阻的有效性, 满足公路灾害高风险路段紧急情况下的告警拦阻需求, 加强快速响应能力。

5) 开展陕北地区公路滑坡监测技术综合研究, 提出适用于黄土边坡的监测内容、监测方法、监测方案、预警方法、应急管控, 编制《陕西省公路黄土滑坡位移监测技术指南》。

1.3 研究意义

本项目研究的意义体现在以下几个方面:

(1) 通过研究黄土滑坡类型及变形破坏机理, 可以为有效的滑坡防治与管理提供科学依据, 能够更加全面地理解黄土滑坡的成因和机制, 促使新型监测技术、加固技术和生态修复技术的发展与应用, 为防灾减灾提供重要支持。通过分析不同类型的黄土滑坡, 可以确定各类滑坡对区域的潜在威胁。研究变形机理, 了解滑坡发生前的变形特征, 能够帮助进行滑坡风险评估, 制定相应的防范措施, 从而提高社会的安全性与可持续发展能力。

(2) 通过超低功耗设计和免维护策略, 装置可在复杂的环境条件下稳定工作, 降低维护成本, 实现实时监测与联动响应, 提升公路边坡的安全性, 减少潜在事故的发生。随着技术的成熟, 可将该监测装置推广应用到更多的基础设施监测项目中, 提高公共安全管理水平, 为公路边坡监测提供一个高效、可靠的解决方案。

(3) 在引进和吸纳国内外先进预警技术的基础上, 结合陕北地区黄土边坡灾害实际情况, 利用深度学习处理数据, 实现动态预警,

系统可以实时接收监测数据，通过模型分析判断是否达到预警条件，能够有效提升对黄土地区地质灾害的监测、预测与响应能力。通过多传感器的集成、数据处理算法的应用以及智能预警模型的构建，不仅可以实现对潜在灾害的精准预测，也能在灾害发生前采取有效的预警措施，保障居民安全与基础设施的稳定。

(4) 课题成果在黄土地区边坡监测成熟技术基础上，进行普适化监测设备研发，使得设备具备高精度、低功耗、远程监控等能力，有效提升黄土地区边坡的监测与预警能力，提高黄土地区公路边坡的安全性和稳定性，减少地质灾害对公路交通和对人们生活、财产的影响，保障公路交通安全。《陕西省公路黄土滑坡位移监测技术指南》的编撰，将为黄土区域的交通基础设施建设提供重要支持和保障，结合技术创新，有助于提升整体防灾减灾水平，促进科技进步。

二、前期科研及工作基础

2.1 黄土滑坡类型及变形破坏机理

在我国,黄土和黄土状土广泛分布于华北、西北等地,由于其不稳定因素,容易发生滑坡等自然灾害。黄土滑坡按成因分为洪积老黄土滑坡、洪积、风积黄土滑坡。按厚度分为极深层黄土滑坡、深层黄土滑坡、中层黄土滑坡、浅层黄土滑坡。

正确认识滑坡的成因对滑坡的稳定性评价及滑坡的治理有着比较重要的意义。因此早有学者对滑坡的成因进行了深入的研究。1999年,王家鼎等^[1]分析了多个高速黄土滑坡,总结出地震力会诱发黄土

体发生解体。2001 年,陈祖煜等^[2]研究了大水沟右岸的边坡失稳的机理,认为持续降雨结合工程开挖是导致滑坡发生的主要因素。2005 年,黄润秋等^[3]对天台乡滑坡进行了研究,提出了该滑坡可以具体划分为三个演变阶段,并指出超强的降雨是滑坡发生的主要因素。2005 年,王念秦^[4]对甘肃省内 1500 个黄土滑坡的高程分布概况进行统计,重点分析了滑坡平面形态特征、滑坡断面特征及运动特征等,结果表明滑坡前缘临空条件对滑坡发育有重要影响。2006 年,张茂省^[5]通过野外地质调查,分析了延安市宝塔区内滑坡的发育形态、规模特征及滑坡稳定性。2010 年,黄河清等^[6]分析了文家沟巨型的成因和机制,认为此滑坡的高启动速度是长持时的地震动作用的结果。2012 年,许强^[7]通过研究各类滑坡变形破坏中的变形随时间的变化特征,将滑坡分为突发型、渐变型、稳定型。2015 年,范立民等^[8]对延安市黄延高速侧一滑坡进行了研究,得出该滑坡是由于坡体的黄土长期处于浸润状态,黄土的抗剪性能下降进而引起滑坡发生。2016 年,张倬元等^[9]提出斜坡岩土累进破坏的观点,将斜坡的演化形式归纳为六种基本地质模型和三种失稳模型。2017 年,马鹏辉等^[10]对泾阳一黄土滑坡进行了调查研究并使用软件对滑坡的运动过程进行了分析,得出此滑坡是由于滑坡区域古土壤层的隔水效应较强,从而黄土层大量积水而形成了高含水量带进而引发了滑坡。2018 年,许强等^[11]等利用无人机航测技术与三维激光扫描技术,研究了泾阳南缘黄土滑坡不同部位特征与成因机制。2018 年,张岩岩等^[12]使用无人机航拍及卫星遥感影像等多种手段对云阳县的特大型滑坡成因机制进行了分析研究,

得出该滑坡是由于在坡体内形成了多层滑带，在变形时前一级的滑动产生的裂隙为后一级的滑动提供了变形空间，从而产生了大范围的滑动。2019 年，闫国强等^[13]结合现场调研与数值模拟对三峡库区的金鸡岭滑坡成因机制进行了研究，得出了该滑坡是由工程扰动而使坡体的渗流场发生了明显的变化，渗透力增加，抗剪强度削弱，诱发了滑坡。2021 年，王家鼎等^[14]分析了机车震动对黄土边坡的影响，提出了振动和干湿循环综合作用对边坡的黄土“五促效应”，认为震动等对黄土边坡有一定的促滑作用，并完成了相应的试验和理论论证，取得了开创性的成果。

近年来随着黄土地区人类工程活动的日益加剧，开挖卸荷如修建机场、铁路、公路和削坡建房等工程扰动已成为诱发大量黄土滑坡发生的主要因素(彭建兵等，2020)^[15]，在黄土高原地区人类居住区域的滑坡分布密度几乎是其他区域的 5 倍(Meng et al.,2021)^[16]。滑坡严重威胁人民的生命和财产安全，研究开挖型滑坡机理对于此类滑坡的防治具有重要的意义。

坡脚的开挖会造成边坡的卸荷，影响边坡的稳定性。开挖导致边坡中的应力分布不平衡，土体中的软弱部位会产生屈服与变形现象(马春驰等，2013)^[17]。学者们对黄土边坡的开挖行为进行了大量研究，王新刚等(2013)通过野外地质调查，统计黄土开挖边坡的节理裂隙、入渗贯穿通道分布状况，得出了入渗通道间距与开挖边坡高度的关系式^[18]。连宝琴等(2015)在分析黄土塌滑的形成条件和破坏模式的基础上提出了黄土开挖边坡塌滑破坏可分为 4 个阶段：坡脚侵蚀剥落阶

段、坡顶拉裂阶段、垂直裂隙扩展阶段、边坡整体塌滑破坏阶段^[19]。黄土边坡在开挖之后，其稳定性系数明显减小(Wang et al.,2014)^[20]。唐东旗(2013)以西安白鹿塬滑坡为例指出开挖后坡体开挖面会产生卸荷节理，从而降低了坡体的稳定性^[21]。曹春山等(2016)研究表明工程切坡开挖会恶化场地的地形地貌条件，改变了水文地质条件使得古土壤和黄土力学行为出现分化，导致了滑坡发生^[22]。贾杰等(2016)基于离心模拟试验将坡脚开挖型黄土滑坡的破坏过程总结为坡体局部破坏、裂隙发育、滑带形成和滑带贯通 4 个阶段，表明了开挖对于滑坡演化的影响^[23]，此外开挖还会致使古滑坡复活(黄晓虎等，2020)^[24]。

关于开挖型滑坡的机理，边坡开挖破坏了坡体内的原始应力状态，开挖之后由于卸荷作用可能会在坡体上形成张裂缝。在滑坡体的推挤作用和开挖扰动下滑面贯通，同时坡脚开挖后也为滑坡体的滑动提供了空间条件，导致了滑坡的发生(Shi et al.,2021)^[25]。开挖增大了坡体的临空面，坡体下部土体的抗滑作用减小，使土体产生卸荷效应(陈涛等，2019)^[26]。卸荷会造成对岩土体的扰动，土体的变形随卸荷量的增大而增大(雷华阳等，2014)^[27]。张子东等(2018)通过开展黄土三轴剪切试验得出相较于常规三轴剪切试验，侧向卸荷条件下试样达到峰值强度时所需应变更小，表明卸荷条件下边坡更易失稳破坏且具有突发性^[28]。开挖会导致滑坡滑动面处位移加速，且不同深度的滑面滑动的速率不同(Bandini et al.,2015)^[29]，对于节理围岩的开挖还会造成围岩开裂掉块等现象(李光等，2021)^[30]。边坡在开挖之后存在一个剪切区域，其中剪应变累积直至剪切带出现，最终坡体发生破坏(Zhao

et al.,2020)^[31]。Li et al. (2020)对软岩边坡开挖失稳的机制进行研究发现,开挖后坡体处于缓慢蠕变阶段,开挖过程中坡体前缘发生较大水平位移,坡体内塑性区发展继而会产生浅层滑坡^[32]。以上学者从各方面研究了开挖型滑坡的形成机制,但针对黄土边坡的开挖破坏以及黄土在卸荷作用下的蠕变变形行为还需进一步深入研究,加强这一方面工作能够有效促进对滑坡的研究。

2.2 黄土滑坡监测预警方法

近年来,随着现代科学技术的发展,以全球卫星导航系统(GNSS)、遥感(RS)、合成孔径雷达干涉测量(InSAR)、三维激光扫描(LiDAR)、地理信息系统(GIS)、全自动测量机器人和远程自动化监测系统为代表的技术手段,逐渐成为地质灾害变形监测、空间分布探测与风险评估的重要技术方法^[33-34]。由于单一的监测技术方法获取到的灾害体变形信息有限,多源异构传感器的融合监测方法逐渐成为地质灾害监测的有效手段^[35-36]。张勤等利用多源数据融合处理技术实现了滑坡灾害的快速自动化探测,从而提高了滑坡早期隐患的识别率,并通过构建多传感器实时监测预警系统进行滑坡预警分析^[37-40]。Lan等采用LiDAR和GIS技术进行空间建模,对滑坡危险性进行了快速有效的分析与预测,并提出了改进的灾害评估方法,实现了对地质灾害的风险定量评估^[41-44]。由此可见,采用多源异构传感器融合监测方法可以实现信息互补,还能避免单序列预测中由于数据缺失或者仪器故障而引起的预测失效问题。因此,通过对灾害体上的多监测点位数据及环境影响因子进行融合,可以处理获取更加完整、可靠的监测信

息。多源异构监测数据融合处理也逐渐成为提高滑坡变形预测准确度的一种有效方法。

然而,影响滑坡等地质灾害形成过程及坡体稳定性的因素十分复杂,主要包括地层岩性、地质构造、滑坡形态、地震力的作用、地下水和地表水的变化、风化作用、人类工程活动等,且这些因素对滑坡稳定性的影响程度不同。因此,在对滑坡体稳定性进行评价时,这些影响因素的合理筛选与分析对滑坡监测传感器的选择、多源监测数据的融合、滑坡变形状态的判断和预测等具有重要意义。

为了探究滑坡体在多种影响因素下的形变规律及演化趋势,国内外学者在顾及影响因子的滑坡预测方面做了大量研究。Kuradusenge等采用随机森林和逻辑回归两种预测模型,结合降雨数据及坡度、土壤类型/质地、土壤深度和土地覆盖等因素进行滑坡预测,并用实例证明了所提模型的预测性能更好^[45]。Kim等提出一种基于地理信息系统的降雨入渗-地下水流模型来预测降雨型滑坡,该模型将降雨渗透、补给和地下水流量等因素有效地结合在一起,通过与现有模型比较,证明所提模型预测结果与滑坡实例更加相符^[46]。陆付民等建立了基于滑坡变形与影响因子的卡尔曼滤波模型,发现该模型可用于土质滑坡变形的短期预测预报^[47]。柳青等基于诱发因素响应与BP神经网络建立了滑坡预测报模型,并用实例证明了该方法预测结果相对误差较小^[48]。李德营等提出基于影响因子的GM(1,1)-BP模型,系统研究了三峡库区八字门滑坡的变形特征、影响因素和变形破坏模式,进一步提高了滑坡预测精度^[49]。目前,常用的影响因子相关性分析方法

主要为皮尔逊(Pearson)相关分析^[50]、灰色关联分析(Grey Relational Analysis, GRA)^[51]和互信息方法^[52]等,但不同方法的结果存在差异性,有时难以分辨筛选结果的优劣。如果未根据影响程度对影响因子进行筛选,不仅会增加数据处理的复杂程度,还可能会降低滑坡变形预测的效果,因此需要建立一种综合的影响因子筛选方法,以提高筛选结果的可靠性。

2.3 黄土滑坡应急处置技术

早在 19 世纪,国外学者就对开始了滑坡的治理研究,但由于受到当时的技术条件的限制,只能在工程建设时,对于大型的滑坡选择避让,对于小型滑坡进行简单的治理^[53]。二十世 50 年代,有学者提出了使用抗滑桩、挡土墙等滑坡治理措施,得到了广泛的应用和推广^[54]。70 年代后,日本学者对于大型滑坡的治理提出了挖孔抗滑桩法,并取得了一定的成果^[55]。90 年代后,使用加筋材料在滑坡治理中得到了广泛的发展。2000 年后对于滑坡治理又有了一些全新的理论,2007 年, Jamie Martens 等^[56]采用土工格栅加固技术对某滑坡进行美国堪萨斯一滑坡进行了治理。2008 年, Barari 等^[57]利用无纺土工织物对伊朗境内滑坡进行了治理并取得了显著的效果。2019 年, Guoqing Zhao 等^[58]对使用前稳定桩、挡土墙、预应力锚杆和后深埋桩 (DBPs) 组成的加固体系对云南省镇雄县一高填方滑坡进行了治理设计,结果表明,此综合方案可以有效地对高填方边坡进行加固。

我国对滑坡治理的研究从新中国成立后开始。采用坡脚加载、坡顶减荷、布置挡土墙等措施在小型滑坡的治理中取得了较好的成果

[59]。60 年代后，从国外引进的抗滑桩治理方法在铁路沿线的滑坡治理中取得了不错的成果。80 年代后，我国的凿岩技术和锻造技术的提升，锚索锚固技术被应用于滑坡的治理之中，这一技术在三峡库区两岸的边坡治理中应用广泛^[60]。90 年代后机械化施工的预应力锚索技术得到了极大的发展，预应力锚索结合抗滑桩使用，可以减少抗滑桩受到的弯矩，被广泛使用在大量的工程中^[61]。2000 年以后，对滑坡治理的研究更多的偏向借助数值模拟和实验对治理工程进行预评估及治理优化治理方面。2010 年，杨波^[62]等对不同滑坡治理工程中的双排桩进行了分析，给出了双排桩合理受力及布置位置的建议。2011 年，申永红等^[63]对大型滑坡治理中的锚索双排桩与钢架双排桩的治理效果进行了研究，得出钢架双排桩更适合用在大型滑坡的治理中。2014 年，郑轩等^[64]对连续桩键结构对边坡的加固和抗滑作用进行了研究，得出连续桩键结构可以更充分的发挥对滑坡体的加固和阻滑作用。2020 年，王成汤等^[65]利用实验实测数据和数值模拟对锚索抗滑桩对堆积性滑坡的治理进行了研究，得出锚索的设计可以有效的限制桩体的变形，可以用在堆积型滑坡的治理中。

2.4 车辆示警与拦阻技术

欧美、日本等国有较丰富的经验和广泛的应用，主要聚焦道路施工区和车辆安全检查站，采用多种传感器（如雷达、摄像头、红外等）结合的方式，通过人工智能算法与现有交通管理系统高度集成，能够实现道路管控区域前车辆的动态管理和阻拦。例如 Barrier Systems, Inc.研发的移动式路障和阻拦系统，可实现紧急情况下的快速响应和

部署，并与其他安防技术集成，形成多层次的保护体系。国内方面，交通运输部公路科学研究所、清华大学、同济大学等机构开展了车辆运行状况、驾驶人信息接收能力、复合材料运用等影响情况下的示警拦阻效果研究，研发了多种柔性示警拦阻系统和装置并在国内多条高速公路施工管控区域开展应用。

2.5 小结

综上所述，本项目黄土滑坡位移监测技术的研发与装备应用方面，现有的研究成果尚不能满足公路边坡监测需要，特别在关键监测装置、拦阻联动装置、预警方法还属短板，总体上还缺乏系统性成套技术。提高滑坡监测的精度与实时性，实现对陕北地区黄土滑坡灾害的有效预警与处置，可降低滑坡灾害对人民生命财产安全的威胁，同时推动公路边坡灾害防治技术的不断进步。

黄土滑坡位移监测技术在提升防灾减灾能力方面发挥了重要作用，但仍需面对和解决诸多挑战。例如，部分监测设备的精度和稳定性尚需提升，尤其在复杂地质环境下，数据采集和传输的可靠性易受干扰。同时，现有研究对于路损毁紧急事件下，如何通过示警拦阻系统组合联动，使驾驶人准确有效获取并理解警示信息，实现高效示警拦阻，尚缺乏相应系统性研究。

目前，我国黄土滑坡位移监测技术研究工作正在大力推进，我们将积极探索新的监测手段和技术，以实现滑坡灾害的更全面、更准确的预警与防治。此外，我们还将加强与相关部门的合作与交流，共同推动地质灾害防治技术的不断进步与发展，更好地服务于公路地质

灾害防治工作。

参考文献

- [1] 王家鼎,张倬元.地震诱发高速黄土滑坡的机理研究岩土工程学报,1999,21(06):670-674.
- [2] 陈祖煜,王胜洪,曾祥健,等.大水沟水库右岸溢洪道边坡稳定性研究[J].贵州水力发电,2001,15(03):11-14.
- [3] 黄润秋,赵松江,宋肖冰,等.四川省宣汉县天台乡滑坡形成过程和机理分析[J].水文地质工程地质,2005(01):13-15.
- [4] 王念秦,张倬元.黄土滑坡灾害研究[M].兰州:兰州大学出版社,2005.
- [5] 张茂省.延安宝塔区滑坡崩塌地质灾害[M].北京:地质出版社,2008.
- [6] 黄河清,赵其华.汶川地震诱发文家沟巨型滑坡-碎屑流基本特征及成因机制初步分析[J].工程地质学报,2010,18(02):168-177.
- [7] 许强.坡的变形破坏行为与内在机理[J].工程地质学报,2012,20(02):145-151.
- [8] 范立民,李勇,宁奎斌,等.黄土沟壑区小型滑坡致大灾及其机理[J].灾害学,2015,30(03):67-70.
- [9] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理(第4版)[M],北京:地质出版社,2016.
- [10] 马鹏辉,彭建兵,李同录,等.陕西泾阳“3·8”蒋刘黄土滑坡成因及运动特征分析[J].工程地质学报,2018,26(03):663-672.
- [11] 许强,魏勇,彭大雷,等.泾阳南塬蒋刘4#滑坡特征及成因机制[J].水文地质工程地质,2018,45(1):123-130.
- [12] 张岩岩,文海家,麻超超,等.基于多源数据的蔡家坝特大型滑坡成因机制研究及稳定性评价[J].岩石力学与工程学报,2018,37(09):2048-2063.
- [13] 闫国强,殷跃平,黄波林,等.三峡库区巫山金鸡岭滑坡成因机制与变形特征[J].岩土力学,2019,40(S1):329-340.
- [14] 王家鼎,许元珺,张登飞,等.黄土振动促渗效应研究[J].中国科学:地球科学,2021,51(5),1-20.
- [15] 彭建兵,王启耀,庄建琦,等.2020.黄土高原滑坡灾害形成动力学机制[J].地质力学学报,26(5):714-730.
- [16] Meng Z J, Ma P H, Peng J B. 2021. Characteristics of loess landslides triggered by different

- factors in the Chinese Loess Plateau[J]. Journal of Mountain Science,18(12): 3218-3229
- [17] 马春驰, 李天斌, 陈国庆, 等.2013.地下水与开挖作用下堆积层滑坡体滑动机制分析[J]. 工程地质学报,21(6): 878-884
- [18] 王新刚, 余宏明, 胡斌, 等.2013.节理控制的降雨入渗通道对黄土开挖边坡稳定性的影响[J]. 山地学报, 31 (4) : 413-417
- [19] 连宝琴, 王新刚. 2015. 节理型黄土开挖边坡塌滑破坏机理[J]. 煤田地质与勘探,43 (1) : 68-71.
- [20] Wang J J , Liang Y Zhang H P , et al . 2014. A loess landslide induced by excavation and rainfall[J]. Landslides ,11(1): 141-152.
- [21] 唐东旗.2013.坡脚开挖的黄土滑坡机理研究[D].西安: 长安大学.
- [22] 曹春山, 吴树仁, 潘懋, 等. 2016. 工程切坡诱发黄土滑坡成因机制研究[J]. 岩土力学, 37 (4) : 1049-1060.
- [23] 贾杰, 裴向军, 谢睿, 等.2016.延安市阳崖黄土边坡开挖破坏离心模拟试验研究[J]. 工程地质学报, 24 (1) : 1-9.
- [24] 黄晓虎, 易武, 龚超, 等.2020.开挖致使古滑坡复活变形机理研究[J]. 岩土工程学报, 42 (7) : 1276-1285.
- [25] Shi G , Yang X , Chen W , et al. 2021 . Characteristics of failure area and failure mechanism of a landslide in Yingjiang Country , Yunnan , China[J]. Landslides , 18(2) : 721-735.
- [26] 陈涛, 吴凤娇, 张顺斌, 等.2019.相邻基坑浅开挖引发石峰滑坡大变形原因分析[J]. 地下空间与工程学报, 15 (S2) : 1009-1015.
- [27] 雷华阳, 贺彩峰, 丁小冬, 等.2014.考虑卸荷扰动的黏土蠕变特性试验研究[J]. 工程地质学报, 22 (2) : 196-202.
- [28] 张子东, 裴向军, 张晓超, 等.2018.黄土边坡开挖卸荷力学响应与破坏机理研究[J]. 工程地质学报, 26 (3) : 684-693.
- [29] Bandini A , Berry P , Boldini D.2015. Tunnelling-induced landslides: The Val di Sambro tunnel case study[J]. Engineering Geology , 196: 71-87.
- [30] 李光, 马凤山, 郭捷, 等.2021.一种节理围岩巷道开挖物理模型试验方法及其应用[J]. 工程地质学报, 29 (4) : 1010-1016.
- [31] Zhao Y , Zhang G.2020.Centrifuge modeling of soil slopes overlying bedrock under excavation conditions[J]. Soils and Foundations 60 (4) : 886-897.

- [32] Li Q , Wang Y M , Zhang K B , et al. 2020. Field investigation and numerical study of a siltstone slope instability induced by excavation and rainfall[J]. Landslides , 17(6): 1485-1499.
- [33] SHI X G , JIANG H J , ZHANG L , et al. Landslide Displacement Monitoring with Split-bandwidth Interferometry : A Case Study of the Shuping Landslide in the Three Gorges Area[J]. Remote Sensing , 2017 , 9(9) : 937.
- [34] WOODS A , MACCIOTTA R , HENDRY M T , et al. Updated Understanding of the Checkerboard Creek Rock Slope Through GB-InSAR Monitoring[J]. Engineering Geology , 2021 , 281 : 105974.
- [35] 陈明金, 欧阳祖熙, 范国胜. 基于数据融合的滑坡综合监测信息提取方法[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27 (6) : 77-81.
- [36] 邱丹丹. 基于多源数据融合的滑坡风险分析研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2017.
- [37] 张勤, 白正伟, 黄观文, 等. GNSS 滑坡监测预警技术进展[J]. 测绘学报, 2022, 51 (10) : 1985-2000.
- [38] 朱武, 张勤, 朱建军, 等. 特大滑坡实时监测预警与技术装备研发[J]. 岩土工程学报, 2022, 44 (7) : 1341-1350.
- [39] 许强, 董秀军, 李为乐. 基于天-空-地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2019, 44 (7) : 957-966.
- [40] 许强, 彭大雷, 何朝阳, 等. 突发型黄土滑坡监测预警理论方法研究: 以甘肃黑方台为例[J]. 工程地质学报, 2020, 28 (1) : 111-121.
- [41] LAN H X , ZHOU C H , WANG L J , et al. Landslide Hazard Spatial Analysis and Prediction Using GIS in the Xiaojiang Watershed , Yunnan , China[J]. Engineering Geology , 2004, 76(1/2): 109-128.
- [42] 兰恒星, 周成虎, 伍法权, 等. GIS 支持下的降雨型滑坡危险性空间分析预测[J]. 科学通报, 2003, 48 (5) : 507-512.
- [43] LAN H X , TIAN N M , LI L P , et al. Kinematic-based Landslide Risk Management for the Sichuan-Tibet Grid Interconnection Project (STGIP) in China[J]. Engineering Geology , 2022, 308: 106823.
- [44] LAN H X , MARTIN C D , ZHOU C H , et al. Rockfall Hazard Analysis Using LiDAR and Spatial Modeling[J]. Geomorphology, 2010, 118(1/2): 213-223.
- [45] KURADUSENGE M , KUMARAN S , ZENNARO M. Rainfall-induced Landslide Prediction

- Using Machine Learning Models:The Case of Ngororero District , Rwanda[J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2020,17(11):4147.
- [46]KIM J,LEE K,JEONG S,et al.GIS-based Prediction Method of Landslide Susceptibility Using a Raingfall Infiltration-groundwater Flow Model[J].Engineering Geology,2014,182:63-78.
- [47]陆付民,蒋廷耀.基于多因子及泰勒级数的滑坡变形预测模型研究[J].大地测量与地球动力学,2017,37(10):1029-1032.
- [48]柳青,易武.基于诱发因素响应与BP神经网络的滑坡位移预测预报[J].三峡大学学报(自然科学版),2019,41(3):41-45.
- [49]李德营,殷坤龙.基于影响因子的GM(1,1)-BP模型在八字门滑坡变形预测中的应用[J].长江科学院院报,2013,30(2):6-11.
- [50]尚敏,廖芬,马锐,等.白家包滑坡变形与库水位、降雨相关性定量化分析研究[J].工程地质学报,2021,29(3):742-750.
- [51]汪洋,殷坤龙,安关峰.滑坡敏感因子的灰色关联分析[J].岩土力学,2004,25(1):91-93.
- [52]王利,许豪,舒宝,等.利用互信息和 IPSO-LSTM 进行滑坡监测多源数据融合[J].武汉大学学报(信息科学版),2021,46(10):1478-1488.
- [53]Lv P , Li B Y , Zhang Y , et al. Landslide Formation Mechanism and its Control Measures in Dabaolang[J].Applied Mechanics and Materials,2015,722:4192-422.
- [54]李新平,王涛,谢全敏,等.高速公路滑坡稳定性分析及治理优化研究[J].岩土力学,2007,28(05):981-985+990.
- [55]殷坤龙,韩再生,李志中.国际滑坡研究的新进展[J].水文地质工程地质,2000,(05):1-4.
- [56]Martens J.Investigation and Geogrid Reinforced Repire of the Foxridge Drive Landslide,Mission,Kansas[J].Environmental Engineering Geoscience,2007,13(3):
a) 225-264
- [57]Barari A,Safaei M, F Farrokhzad. Mitigation of Flourd (Pol e safid) landslide,Northern Iran, using non-woven geotextiles. Review of the Bulgarian geological society,2008,69:49-56
- [58]Zhao G , Yang Y , Zhang H , et al. A case study integrating field measurements and numerical analysis of high-fill slop stabilized with cast-in-place piles in Yunnan,China[J].Engineering Geology,2019,253:160-170.
- [59]王恭先,徐峻岭,刘光代,等.滑坡学与滑坡防治技术[M].北京:中国铁道出版社,2004.

- [60]张天宝. 土坡稳定分析和土工建筑物的边坡设计[M].成都科技大学出版社.1987.
- [61]张倬元. 滑坡防治工程的现状与发展展望[J]. 地质灾害与环境保护, 2000,11(02):89-97+181.
- [62]杨波, 郑颖人, 赵尚毅, 等双排抗滑桩在三种典型滑坡的计算与受力规律分析[J]. 岩土力学, 2010,31(S1):237-244.
- [63]申永江, 孙红月, 尚岳全, 等. 锚索双排桩与刚架双排桩的对比研究[J]. 岩土力学, 2011,32(06):1838-1842.
- [64]郑轩, 孔令伟. 连续桩键结构的抗滑机制及加固效果研究[J]. 岩土力学, 2014,35(09):2616-2622.
- 王成汤, 王浩, 张玉丰, 等. 锚索抗滑桩加固堆积型滑坡的受力特性模型试验与数值模拟研究[J]. 岩土力学, 2020,41(10):3343-3354.

三、实施方案

3.1 拟解决的关键问题

3.1.1 研发普适化监测设备

研究将针对黄土滑坡的特殊变形特征, 进行普适化监测设备的研发, 注重微机电系统、光电/压电、物联网等智能传感与传输技术的集成应用。这些技术的应用使得设备具备高精度、低功耗、远程监控等能力。还具备智能联动与协同预警功能, 能够实现仪器-仪器、仪器-平台之间的数据共享与预警联动。低成本监测系统一轻量化、普适性成为发展趋势。

3.1.2 黄土边坡地质灾害预警方法

基于不同类型边坡的变形破坏模式, 运用自动化数据处理、分析, 建立一套阈值设置标准, 使监测数据服务于风险管控。同时, 采用机器学习算法开发监测数据预警模型, 实现滑坡体及边坡安全的分级预

警，提高监测预警的准确性和提前量，使红色预警至少提前 2 小时。

3.2 主要研究内容及实施方案

3.2.1 主要研究内容

- (1) 大型公路黄土滑坡类型及变形破坏机理研究
- (2) 微功耗裂缝监测与联动管控装置研发
- (3) 黄土滑坡预警方法研究
- (4) 警示拦阻系统研发
- (5) 黄土地区公路边坡滑坡监测成套技术

3.2.2 实施方案

- (1) 大型公路黄土滑坡类型及变形破坏机理研究

黄土滑坡类型及变形破坏机理是地质工程和岩土工程领域的重要研究课题，尤其在黄土地区，由于黄土的特殊物理力学性质和复杂的地质环境条件，滑坡灾害频发，对人民生命财产和工程设施构成严重威胁。通过收集近些年黄土滑坡地质数据，研究黄土各种滑坡类型的形成与黄土的特殊工程地质条件关系，滑坡变形破坏机理及发展演化模式。

- (2) 微功耗裂缝监测与联动管控装置研发

研究公路边坡专业监测的微功耗裂缝监测装置，以及现场联动封控技术方案。装置集成高精度传感与物联网技术，实现超低功耗下的裂缝实时监测，实现长期稳定、免维护的自动化监测。针对黄土滑坡的破坏机理以及特殊变形特征，进行普适化监测设备的研发，注重机电系统(MEMS)、光电/压电、北斗定位、窄带物联网等智能传感与

传输技术的集成应用。这些技术的应用使得设备具备高精度、低功耗、远程监控等能力。还具备智能联动与协同预警功能，能够实现仪器-仪器、仪器-平台之间的数据共享与预警联动。

（3）黄土滑坡预警方法研究

在易滑坡的黄土边坡，部署位移传感器、倾斜计等传感器，以实时监测边坡的位移和变形。布设雨量监测仪，记录降雨量和持续时间，以评估降雨对边坡稳定性的影响。监测设备布设应穿过地质灾害不同的变形地段，以明显变形区段和块体为关键监测部位，重点考虑地质灾害整体失稳或次生复活特性，以期达到超前精准预警的目标。研究适合黄土区域的高精度有效监测方法、数据处理与分析、预警阈值与智能预警模型，实现精准预测与临灾预警。

（4）警示拦阻系统研发

根据公路风险边坡路段的风险等级、交通流量、基础设施等因素拟定差异化的风险管控，设计不同的爆闪警示装置和低位照明系统，构成声光警示拦阻系统，并与监测装备、云平台联动，保证低照度环境下警示拦阻的有效性，并避免刚性拦阻设施对车辆的损毁，减少二次事故的发生。

（5）黄土地区公路边坡滑坡监测成套技术

在黄土地区边坡监测成熟技术基础上，集成本项目研究成果，普适化监测设备研发，使得设备具备高精度、低功耗、远程监控等能力，将多源数据进行融合分析，实现滑坡体及边坡变形的多维度、深层次解析，提高监测预警的准确性和提前量，建立高效的数据传输系统，

确保监测数据能够实时传输至处理中心，进行及时的分析和处理，提出适用于黄土边坡的监测内容、监测方法、监测方案、预警方法、应急管控，编制《陕西省公路黄土滑坡位移监测技术指南》。

3.3 技术路线

3.3.1 研究技术方案

本研究采用理论分析、技术研发、模型构建和数据分析等多种手段，系统开展陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究。

1) 采用文献调研法与现场调查法，系统开展国内外黄土滑坡监测预警技术研究进展的梳理工作；结合陕北地区典型公路沿线黄土边坡的实地勘察数据，针对其工程地质特征（如土体结构、湿陷性参数）、水文地质条件（如地下水）及灾害发育特征（如滑坡类型、规模、活动频率）等展开多维度统计分析。

2) 采用理论推导与数值模拟相结合的方法，定量解析不同滑坡类型的形成机制，揭示其与黄土特殊工程地质条件的耦合关联规律；同时，基于岩土力学理论与损伤演化模型，阐明滑坡变形破坏的内在作用机理，系统归纳其从初始蠕变、加速变形到剧烈滑动的全周期演化模式，最终为监测数据的科学解析与预警模型的构建提供坚实的理论依据。

3) 基于设备研发与系统集成方法论，通过多技术协同创新，深度融合微机电系统微型化传感技术、物联网、设置一体化设计技术，开展微功耗裂缝监测装置的定制化研制与联动管控系统的集成开发。

4) 基于模型构建与数据分析方法论，系统开展黄土滑坡预警模

型构建与阈值体系研究：首先，结合滑坡变形演化机理的定性分析与监测数据的定量表征，综合选取反映滑坡失稳前兆特征的关键预警指标（如位移速率、降雨量、含水率等）；继而，基于机器学习算法对多源异构监测数据进行特征工程优化与非线性关联建模；进一步，通过多源数据融合算法实现多维度信息的时空耦合分析，构建融合微观形变特征、宏观环境触发因子及力学响应机制的黄土边坡智能监测预警模型；最终，依托试点边坡的现场监测试验，验证模型的预警时效性与可靠性，优化阈值参数并形成标准化应用流程，为黄土区滑坡灾害的科学防控提供精准化技术支撑。

3.3.2 工作流程

本技术路线遵循从理论到实践、从研发到集成的系统化研究逻辑，具体实施路径如下：

第一阶段：前期研究与现状分析

首先，对国内外相关研究进展进行全面梳理与深入述评，明确当前研究的基础与不足。在此基础上，科学制定本研究的总体方案与详细的调研计划。通过开展广泛的现状调研与精准的实际调查，系统剖析陕北地区黄土边坡现存的关键问题与核心技术需求，并据此对研究计划的可行性进行评估与判断。

第二阶段：核心研究与技术攻关

在前期工作达到预期目标后，研究进入核心攻关阶段。该阶段聚焦于四个相互关联的研究模块：

变形机理研究：深入开展黄土边坡的类型划分及其变形破坏机理

研究，为技术研发提供理论支撑。

监测技术研发：针对陕北地区黄土边坡的特点，研发专用的灾害监测技术。

专用装置研制：着力开发低功耗的边坡裂缝监测传感器，提升监测的自动化与智能化水平。

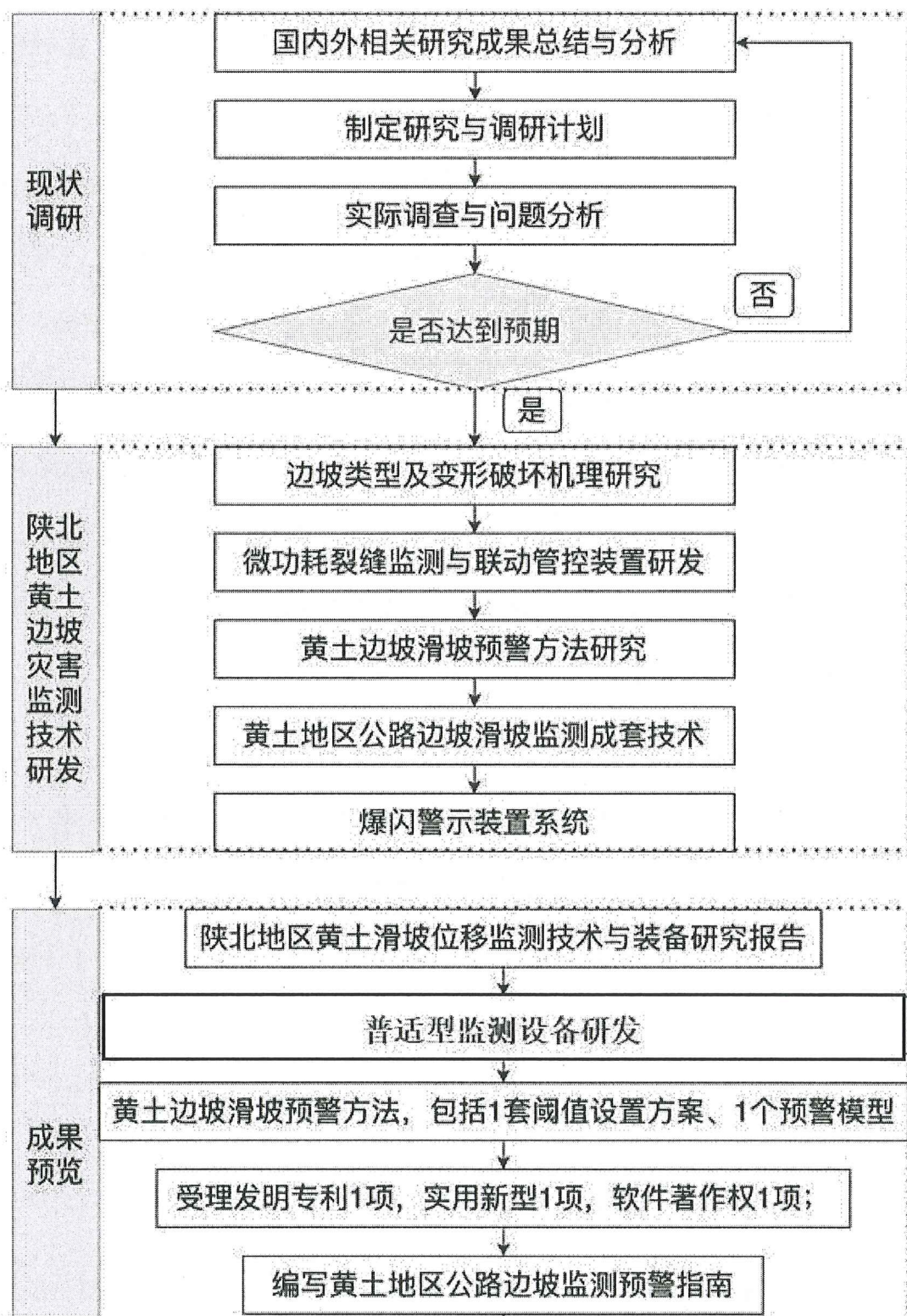
黄土滑坡监测预警方法研究：构建黄土滑坡预警模型，形成科学的预警方法。

建立阈值设置标准与预警机制：提出不同滑坡类型的阈值设置，分四级预警。

第三阶段：技术集成与成果固化

在核心研究取得突破的基础上，进行技术集成与成果转化。主要包括：形成一套成熟的“黄土地地区公路边坡滑坡监测成套技术”。撰写《陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究报告》，系统总结技术体系。推进监测设备研发，增强技术的适用性与推广价值。

总体研究技术路线图如下：



3.4 后续技术改造或基本建设计划的衔接

通过评估预警技术研究，可以提前预警，减少不必要的人员伤亡及财产损失，保障人员、设备安全性，提升工作人员的安全感。对黄

土边坡状态进行监测及预警，做到提前预防、合理决策、填补施工安全管理漏洞。

将研究成果应用于实际项目中，可实时监测黄土边坡的稳定状态，可极大提高工程安全性，为减少人员伤亡和财产损失、增强公众防灾意识和能力发挥重要作用，产生的社会效益也是显著的。

研究成果可以实时提供陕北地区黄土边坡的监测数据和科学精准预警，能够避免或减少交通损失、路产损失。防灾减灾的经济效益体现为减少损失，减少损失即创造效益。如果边坡发生失稳事故，造成车毁、伤人事故，其直接损失大（例如每起 100 万元），中断交通引起的间接损失更大。

3.5 主要技术经济指标

(1)陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究报告 1 套；

(2)研发位移监测与联动交通封控装置 1 套；

(3)提出黄土滑坡预警方法，包括 1 套阈值设置方案、1 个预警模型；

(4)编写《陕西省公路地质灾害普适性监测技术指南》。

四、项目承担单位及参加单位概况

1. 单位概况

陕西省交通规划设计研究院有限公司做为陕西省唯一技术支持单位，完成了全省自然灾害综合风险公路承灾体普查相关工作，包括两级业务培训、《陕西省自然灾害综合风险公路承灾体普查技术指南》

编制、普查数据检查和核查、风险点（段）养护和整治措施建议报告编制、公路承灾体普查数据监测管理模块研发及维护、高风险点现场监测试点等工作。目前，“省级公路灾害防治养护管理系统”已经建立。现对陕西省公路自然灾害从普查、动态更新、评估、巡查、养护、到防治进行全过程管控，构建了覆盖全省、最为全面且权威的陕西省公路灾害数据库，数据库详尽记录了各类公路灾害的数据信息。为了充分发挥技术优势，我公司又自主研发了“智能化公路地质灾害监测预警系统”，具备数据采集、处理、分析对比、预警预报、成果一键输出等功能，为灾害预测预报、实施精准治理提供有效。依托技术优势在陕西省范围内我公司成功部署了 40 个监测项目；其中在秦岭山区的十天线白石河 2 号特大桥右侧边坡变形监测项目采用了新型监测手段，因其采用的新型监测手段具备良好的创新性与实用性，获得了第五届公路微创新大赛银奖，这证明了团队在监测技术应用与创新方面的能力。以上工作的陆续开展，特别是在陕北地区开展的一系列监测工作，可以有效支撑陕北地区黄土边坡变形破坏模式及机理研究、陕北地区黄土边坡监测技术手段研究以及陕北地区黄土边坡监测预警技术研究相关工作。

公司已构建起以“大师工作室、创新工作室、工程技术研究中心”为核心的高层次创新体系。该体系通过内部平台进行技术引领与研发集成，并协同外部顶尖实验室资源进行设备研发与测试，确保了从技术研发到工程应用的闭环，形成了“平台引领、内外协同、闭环应用”的独特保障条件。

同时我公司加强与科研院所合作，如与长安大学建立了良好的产学研合作平台。长安大学岩土系防灾减灾研究室归属于特殊地区道路教育部重点实验室，拥有以多名博导、教授为学术带头人的学术研究梯队。下设两个实验室：道路与桥梁灾害防治实验室、地质灾害防治实验室，建筑面积约 2000 平方米，具有自循环供水水槽试验系统和人工模拟降雨试验系统，能够完成包括大型桥位河段整体模型冲刷试验、沿河路基冲刷防护试验在内的大型水工模型试验和公路防排水、边坡降雨冲刷与渗透及水稳定性方面的室内模型试验。实验室配备有地质雷达、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、全自动水质检测仪等科研试验设备以及教学试验设备，能够同时多点测量水流速度、河床冲刷深度、水位变化、水流含沙量、路基与边坡含水量变化、渗透系数等。防灾所还购置有无人机航拍设备，可对高边坡摄像和照相，为灾害评估调查的供方便。

团队长期致力于地质灾害防治工作，从 2018 年始，基于长期的地质灾害防治经验，逐步在自动化监测领域不断的探索与积累技术经验，已完成高速公路、普通干线公路近 40 余处地质灾害监测项目，尤其在 2022 年公路承载体普查工作中承担了全省普通干线公路 6 处边坡监测试点和 2024 年陕西省公路边坡 10 处监测部级试点。

本研究项目主要依托 5 处陕北干线公路边坡监测部级试点，包括了老滑坡复活上边坡、富水、黄土下伏红粘土层、黄土高边坡等陕北地区主要边坡类型和灾害类型，可试点多种监测方法及监测方案的有

效性，是本次科研理想的依托工程，为监测技术的适用性研究提供了绝佳的“天然试验场”。

公司地质灾害防治团队自 2010 年组建以来，目前已有 50 余人的专业团队，团队员工均是地质工程、岩土工程、测绘、遥感、地理信息系统等相关专业的硕士或博士，具备较强的技术研发、工程实施等核心业务能力，可高效、高质量完成专业处理分析工作，为本项目实施提供有力的专业团队保障。

项目组中的研究人员长期从事本方向研究及相关工作，能保证足够的时间投入到本项目之中。项目组将明确各方的责任权力义务，并使项目组内部在资金、技术、设施、人力以及管理等方面有序结合为一个整体，充分利用各方在研究力量、技术、资金等方面的优势，提高研发的成功率，并结合相关单位的管理工作特点，增强研究成果的实用性和可操作性，便于成果的推广应用。

2. 技术力量及人员构成

项目研究主要成员情况						
姓 名	单 位	性别	年龄	技术职称	专业	在项目中担任具体工作
王海峰	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	1980-09	正高级工程师	岩土工程	项目负责人
宋成志	陕西省公路局	男	1968-10-29	副高级	道路工程（路基）	技术负责
李家春	长安大学	男	1968-08-05	副高级	工程地质	技术负责

马杰	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	1982-05-01	副高级	岩土工程	监测技术研究
祁春辉	陕西交控运营 管理公司	男	1993-01-18	工程师	公路工程	现场调查及预警研究
雷江	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	1991-11-03	副高级	岩土工程	防治技术研究
苗焘	陕西省公路局	男	1990-03-16	工程师	道路工程	防治技术研究
张杰	陕西省公路局	男	1985-10-12	工程师	公路与城市 道路工程	分布规律研究
冯博	陕西交控运营 管理公司	男	1991-05-01	工程师	交通运输工程	现场调查及预警研究
涂静	陕西省公路局	女	1979-11-22	高级工程师	桥梁与隧道工程	防治技术研究
郭珮	陕西省交通规划设计研究院有限公司	女	1991-08-16	工程师	岩土工程	防治技术研究
张艳杰	长安大学	女	1970-08-15	副教授	道路与铁道工程	调查及数值模拟
董丁明	延安市公路局	男	1973-02-04	正高级工程师	交通运输工程	现场调查及预警研究
李东珀	延安市公路局	男	1979-10-19	副高级	道路工程	现场调查及预警研究
张亮	铜川公路管理局	男	1979-10-08	副高级	道路工程	现场调查及预警研究
陈正元	铜川公路管理局	男	1986-10-13	副高级	道路工程	现场调查及预警研究

张括	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	1982-12-20	高级工程师	地质工程	防治技术研究
刘芸	陕西省公路局	女	1984-08-05	工程师	公路工程	防治技术研究
吕军涛	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	1990-05-20	工程师	地质工程	防治技术研究
贾浩楠	陕西省公路局	男	1994-10-15	工程师	交通运输工程	防治技术研究
李榕	陕西省公路局	女	1993-11-12	工程师	交通运输工程	防治技术研究
卢斌荧	陕西省交通规划设计研究院有限公司	男	1972-10-22	高级工程师	地质遥感	防治技术研究
孙星	陕西省交通规划设计研究院有限公司	女	1984-06-21	高级工程师	岩土工程	防治技术研究
董浩阳	长安大学	男	2000-09-10	研究生	岩土与隧道工程	破坏模式研究
王逸翔	长安大学	男	1997-12-09	研究生	防灾减灾工程	破坏模式研究
王洪玲	长安大学	女	2000-6-22	研究生	岩土与隧道工程	数值模拟分析
王浩宇	长安大学	男	2001-10-25	研究生	岩土与隧道工程	数值模拟分析
石晨曦	长安大学	女	2002-05-18	研究生	岩土与隧道工程	数值模拟分析
周仟仟	长安大学	女	1999-10-24	研究生	岩土与隧道工程	监测技术研究

张洁琼	长安大学	女	2002-11-11	研究生	岩土与隧道工程	监测技术研究
王小鹏	长安大学	男	2001-04-23	研究生	岩土工程	破坏模式研究
刘宇翔	长安大学	男	2003-09-02	研究生	岩土与隧道工程	破坏模式研究
胡喻思	长安大学	女	2003-05-13	研究生	岩土与隧道工程	破坏模式研究
丁玟月	长安大学	女	2003-08-22	研究生	岩土与隧道工程	破坏模式研究
王帅	长安大学	男	2002-11-02	研究生	岩土与隧道工程	破坏模式研究
彭佳朋	长安大学	男	2002-09-25	研究生	岩土工程	数值模拟分析
房鑫宇	长安大学	女	2002-06-09	研究生	岩土与隧道工程	数值模拟分析
张然然	长安大学	女	2003-04-17	研究生	岩土与隧道工程	数值模拟分析
段西猛	长安大学	男	2002-12-14	研究生	岩土工程	数值模拟分析

3. 各自承担的主要工作

陕西省交通规划设计研究院有限公司：总体组织和管理研究工作，负责大纲编制、研究进度和质量管理、项目总结验收。具体负责依托工程实施

长安大学：参加研究大纲编制，围绕陕北黄土地区公路边坡滑坡

防控核心需求,以“基础机理研究-关键技术研发-系统集成应用”为逻辑主线,涵盖黄土滑坡类型划分与变形破坏机理深化研究、微功耗裂缝监测与联动管控装置研发、黄土滑坡精准预警方法研究、滑坡灾害警示拦阻系统研发及黄土地地区公路边坡滑坡综合监测成套技术整合与应用,编写黄土地地区公路边坡监测预警指南,参加项目总结验收。

4. 项目主要负责人情况

王海峰,男,1980年9月生,正高级工程师,陕西省交通规划设计研究院有限公司勘察测绘事业部总经理,先后入选陕西省交通运输厅、陕西省市场监督管理局和宁夏回族自治区市场监管专家库、交控集团高工评审专家库。带领团队负责完成陕西省十四运多条重点保障项目的设计与检测;参与完成省级高速公路西乡至镇巴公路、延安北绕城高速公路等重点勘察设计项目百余项。作为主要负责人完成省部级科研项目《斜向预应力水泥混凝土复合式路面技术研究》《透水铺装结构在海绵城市建设中的应用研究》《公路混凝土梁桥预应力混凝土桥面铺装技术》等多项科研项目,参与制定陕西省地方标准2部,中国工程建设协会团体标准1部,施工技术指南1部,国家实用新型专利13项,发明专利1项,合著专著1部。

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

根据《实施方案》要求,监测试点实施范围为受地形地质等条件限制,暂时不能工程处治的在役公路I、II级风险边坡;已完成工程

处治的 I、II 级风险边坡及其他经专业评估认为存在一定风险的边坡。在此原则下选定 5 处陕北地区挖方边坡和陡坡路堤边坡作为监测试点边坡，具体依托工程情况分述如下：

依托工程 1. 宜君县 210 国道 K1076+915 ~ K1077+040 段滑坡

位于宜君县阳湾村附近，国道以挖方路基通过滑坡后部，地层结构为上部黄土、下部红黏土、泥岩。该段路常年来发生不同程度的沉降，临时应急处理措施为沥青灌缝和加铺沥青路面，以保证车辆正常通行。2024 年 8 月在强降雨影响下，右幅路肩位置路面开裂、错台变形，最大开裂宽度 10cm，最大错台高度达到 15cm；左幅路肩位置路肩开裂，最大开裂宽度 10cm，行车道轻微沉陷，最大开裂长约 125 米，最大错台高度达到 15cm，形成滑坡灾害。该处为低洼地形，地表水易入渗，滑体为粉质黏土，呈软塑-可塑，含水量高，土质松软，为相对透水层，易滑地层；中下部为新近系和三叠系的红黏土、泥岩地层，为相对隔水层。该处属中型滑坡，土体含水量大，现状发育明显变形迹象且坡顶存在居民房，威胁国道和周边居民的安全，存在一定安全风险。

依托工程 2. 吴起县 G341 K1425+800 ~ K1426+300 段滑坡（上边坡）

位于吴起县薛岔镇，国道以挖方路基通过滑坡前缘，地层结构为上部黄土、下伏粘土岩。2007 年 6 月受地表水入渗老滑坡出现整体复活，发生后部张拉下错，前部推挤的整体移动，后期未进行支挡防护，滑坡体长约 400m，宽约 400m，滑坡体高差 125m，滑体平均

厚度 65m。该处为巨型滑坡，为典型的黄土-粘土岩接触面滑动，历史上已出现整体复活迹象，建议开展专业监测。

依托工程 3.延延分公司 G2211 高速下行线 K387+550~+800 段滑坡

该滑坡平面上呈马蹄形，后壁陡峭，高约 6~15m，滑坡方向和路线斜交，两侧边界清晰，滑坡体坡面较缓，中前部堆积滑体物质，自然坡度约 15~40°，坡面有植被。滑坡主滑方向长约 180m，宽约 280m，滑体最大厚度约 30m，体积约为 $91 \times 104 \text{ m}^3$ ，为大型黄土牵引式滑坡。G2211 高速从该滑坡侧缘以挖方路基和桥梁形式通过，路堑边坡坡高 20m，坡度 35 度，分 5 级，地层为土石二元结构，上部为黄土，下部为泥岩，坡口外地形相对平缓。2023 年 3~4 月当地由于降雨，导致坡面防护工程产生错位、断裂临空道路方向局部坡体滑塌，深层滑面处于稳定状态。该滑坡属于牵引-拉裂式滑坡，滑塌前会出现坡体变形迹象；滑坡紧邻桥梁，滑体后缘错台汇水面积较大，如发生复活滑动对桥梁墩台影响严重。

依托工程 4. 富县 G65 K624+100 至 K624+410 段高边坡

坡高近 90m，19 级边坡，锚杆框架梁防护，坡脚设置挡墙。现状坡体无明显变形及裂缝，坡面局部滑塌，坡脚挡墙局部鼓胀裂缝，裂缝宽约 2cm，延伸长度 15m。该段地层结构上部为黄土、下部为红黏土，红黏土的隔水作用会使水分在黄土 - 红黏土交界面处积聚，形成潜在的滑动面。该边坡坡脚为管养中心宿办楼、高度高、现状局部发育变形迹象，且黄土-红黏土地层水分易在交界面处积聚，形

成潜在的滑动面，对公路运营和人员具有一定风险。

5.宝鸡市 G3024 宝鸡过境高速公路 K37+850 ~ K38+150 段滑坡

(上边坡)

高速公路以挖方路基通过滑坡前缘，该滑坡滑体物质以黄土、粉质粘土为主，滑体平均厚度约 21.3m，属巨型土质老滑坡。老滑坡发育 3 个次级滑坡，H2 和 H4 现状稳定，H3 滑坡底部发育一层棕红色黏土层，本身抗剪强度较低，且相对隔水，在地表水入渗作用下，工程性质降低，加之人为活动影响，导致坡体在建设期发生滑动，后采用抗滑桩进行支挡防护。现状该滑坡整体没有明显变形迹象，一级平台可见轻微裂缝发育，土体含水量大，有常流水。该处属巨型滑坡，土体含水量大、滑床为粉质黏土（相对隔水）、中部及后缘有大量房屋、历史上发生滑动，现状局部发育轻微变形迹象，建议开展专业监测。

5 处陡坡路堤边坡试点，路基形式、地质条件、危险性以及工程干扰各有不同，基本覆盖了上边坡、下边坡滑坡，高填方路基边坡等陕北地区主要边坡类型和灾害类型，同时包括高速公路和普通干线公路，选点具有代表性、典型性，可试点多种监测方法及监测方案的有效性，是本次科研理想的依托工程。

5.2 投资来源

本项目自筹经费 161.80 万元。自筹经费主要来源于陕西省试点为监测依托工程费用，已通过监测试点工程项目落实。

5.3 工程进度与项目科研进度的配合

在陕西省交通规划设计研究院有限公司及合作单位的项目推进过程中，工程进度与科研进度紧密结合，确保了科研成果能够快速转化为实际工程应用，推动公路自然灾害防治技术的全面实施。具体来说，科研成果与工程实施的协同配合体现在以下几个方面：

5.3.1 技术指导与实践应用的无缝衔接

陕西省交通规划设计研究院有限公司完成了全省公路自然灾害综合风险普查，并成功建立了“省级公路灾害防治养护管理系统”。这一系统的建立得益于公司与长安大学、交通运输部公路科学研究所等单位的紧密合作。长安大学的“地空天”一体化自动化监测方法以及基于 5G 的升级版监测预警系统，通过将最新科研成果引入实践，不仅提高了监测精度，也使得灾害预警能力得到了显著提升。科研人员和工程团队在实际项目中共同优化监测网络，并通过不断调整模型和技术手段，使得灾害预测预警系统的有效性得到了进一步验证。

5.3.2 监测数据的实时应用与科研成果的迭代优化

陕西省公路灾害数据库的建立，为灾害防治提供了丰富的数据支持。通过对实时监测数据的采集与分析，工程项目在实施过程中及时反馈科研团队的工作进展，确保了科研成果的快速迭代与实际应用的同步进行。例如，秦岭山区的十天线白石河 2 号特大桥右侧边坡变形监测项目采用了新型监测手段，在实际工程中得到了成功应用，并凭借其创新性与实用性，在第五届公路微创新大赛中获得银奖，进一步证明了科研与工程实践紧密结合的有效性。

5.3.3 多学科协同合作推动科研与工程一体化发展

通过长安大学岩土系防灾减灾研究室的科研支持，结合先进的实验室设备与技术（如地质雷达、超声波流速仪、无人机航拍等），公司能够在实践中验证和完善防灾减灾技术。例如，在陕北地区开展的黄土边坡监测项目，成功应用了“非线性预警模型”，通过采集高精度的监测数据，不仅促进了科学研究的深入开展，也为实际灾害防治提供了坚实的技术支撑。科研团队与工程实施团队的紧密合作，确保了监测手段的科学性和实用性。

5.3.4 跨领域技术支持与成果转化

交通运输部公路科学研究所结合传感器技术、遥感技术和大数据分析，为陕西省公路灾害防治工作提供了关键技术支持。特别是在灾害预警系统的构建上，通过科研团队与工程实践的结合，开发了多种实时监测与预警手段，为公路养护和灾害防治提供了数据驱动的决策支持。这种跨学科的技术融合，使得工程项目不仅关注即时的工程实施，还在长期运营和维护中有了科学的保障。

5.4 组织管理形式

本项目的组织管理将严格遵照国家项目管理办法的相关规定，实施项目负责人负责制，并采取科学合理的组织管理措施，以确保项目顺利推进、研究任务高效执行、项目目标如期实现。具体管理形式如下：

5.4.1 项目负责人负责制

项目将设立项目负责人，全面负责项目的组织、实施、协调与监

督工作。项目负责人将负责制定项目实施计划、调度资源、推进进度，并确保项目各项工作按时完成。项目负责人负责与上级管理部门的沟通，确保项目目标与上级要求的对接，解决项目过程中出现的重大问题。

5.4.2 项目任务分解与详细分工

根据项目的预期目标，将项目任务分解成多个具体研究内容和工作模块，并明确各个模块的负责人和参与人员。为每项研究内容编制详细的实施计划，确保每个任务在规定的时间内完成，同时明确每个研究模块的任务、责任和成果要求。

5.4.3 实施计划与进度管理

每个研究内容将根据具体任务要求编制实施计划，并依照计划开展项目研究，确保各项任务有序推进，逐步实现项目目标。项目团队将进行定期和不定期的工作进度检查，确保各研究任务按期执行。如遇到进度滞后或困难问题，及时调整资源配置和工作安排。

5.4.4 定期技术协调会与技术研讨

项目组将定期召开技术协调会，讨论技术难题和项目进展，确保项目实施过程中技术方向的统一和研究内容的协同。技术协调会还将进行技术研讨，邀请各方专家提出技术建议，解决研究过程中遇到的技术瓶颈，确保科研成果的技术可行性和应用价值。

5.4.5 工作协调会与问题解决

除了技术协调会，还将定期召开工作协调会，评估各个研究模块的进展情况，分析并解决项目实施过程中遇到的问题。工作协调会将

关注项目整体进展，重点解决可能影响项目顺利推进的瓶颈问题，同时部署下一阶段的工作任务。

六、项目经费估算及资金筹措情况

项目总估算经费 210.95 万元，其中厅拨经费 49.15 万元，自筹经费 161.80 万元。

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	49.15	（一）直接费用	204.95	45.15	159.8
工程配套研究经费	161.8	1.设备费	123.5	0	123.5
单位自筹		（1）购置设备费	123.5		123.5
其他经费		（2）试制设备费			0
		（3）设备改造与租赁费			0
		2.业务费	67.45	38.95	28.5
		（4）材料支出	26	14.95	11.05
		（5）测试化验实验加工支出	10	8	2
		（6）燃料及动力支出	6.05	4	2.05
		（7）差旅支出	16	10	6
		（8）会议支出	2.5		2.5
		（9）国际合作与交流支出			0

		(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/印刷支出	6.9	2	4.9
		(11) 其他支出	0	0	0
		3.劳务费	14	6.2	7.8
		(12) 劳务性支出	12.8	5	7.8
		(13) 咨询专家支出	1.2	1.2	0
		(二) 间接费用	6	4	2
		4.管理费	2.5	2	0.5
		5.绩效支出	3.5	2	1.5
		合 计	210.95	49.15	161.8

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	1
		（3）外观设计	
		2、软件著作权授权数（项）	1
		3、发表论文（篇）	
		（1）其中 SCI 索引收录数	
		（2）其中 EI 索引收录数	
		（3）其它	
		4、著作（部）	
		5、制订标准数（项）	2
		（1）国际标准	
		（2）国家标准	
		（3）行业标准	
		（4）地方标准	1
		（5）企业标准	
		（6）科技报告	1

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
	其他成果	1、填补技术空白数	
		(1) 国际	
		(2) 国家	
		(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）	
		(2) 新产品（含农业新品种）	
		(3) 新材料	
		(4) 新装备（装置）	1
		(5) 平台/基地/示范点	
		(6) 中试线	
		(7) 生产线	
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	
		(1) 博士、博士后	
		(2) 硕士	
		3、培训从事技术创新服务人员（人次）	
	产业化情况	4、是否设立科研助理岗位	是
		1、开放共享仪器设备数（台/套/只等）	
		2、科研仪器设备利用率（%）	
		3、孵化科技型企业（个）	
		4、转化科技成果（个）	

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
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	
		10、环保效益	
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

本项目围绕陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备开展系统性研究，旨在构建“机理研究—技术研发—模型构建—装备研制—指南编制”一体化的技术体系，全面提升黄土地区公路边坡地质灾害的监测预警与防控能力。具体预期目标如下：

- （1）编制陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究报告 1 套；
- （2）研发位移监测与联动交通封控装置 1 套；
- （3）提出黄土滑坡预警阈值设置方案及预警模型；
- （4）授权实用新型专利 1 项，软件著作权 1 项；

(5) 编制《陕西省公路黄土滑坡位移监测技术指南》。

8.2 提交的研究成果及其形式

(1) 提交陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究报告 1 套；

(2) 开发位移监测与联动交通封控装置 1 套；

(3) 提出黄土滑坡预警阈值设置方案及预警模型；

(4) 授权实用新型专利 1 项，软件著作权 1 项；

(5) 提交《陕西省公路黄土滑坡位移监测技术指南》。

8.3 经济、社会、环境效益分析

社会效益主要体现在避免人员伤亡、保障生命财产安全和减少社会影响。通过评估预警技术研究，可以提前预警，减少不必要的人员伤亡及财产损失，保障人员、设备安全性，提升工作人员的安全感。对黄土边坡状态进行监测及预警，做到提前预防、合理决策、填补施工安全管理漏洞。近年来，出现了很多典型的特大黄土滑坡事件，如 2019 年“3.15”山西省乡宁县大型滑坡灾害，导致 20 人死亡，13 人受伤，直接经济损失 713.5 万元。

将研究成果应用于实际项目中，可实时监测黄土边坡的稳定状态，可极大提高工程安全性，为减少人员伤亡和财产损失、增强公众防灾意识和能力发挥重要作用，产生的社会效益也是显著的。

研究成果可以实时提供陕北地区黄土边坡的监测数据和科学精准预警，能够避免或减少交通损失、路产损失。防灾减灾的经济效益体现为减少损失，减少损失即创造效益。如果边坡发生失稳事故，造成车毁、伤人事故，其直接损失大（例如每起 100 万元），中断交通

引起的间接损失更大。

九、其它需要说明的问题

无。

十、申请单位意见



单位负责人：（签字）

[Handwritten signature]

年 月 日

附件：科研经费预算编制说明

一、项目基本情况

项目承担单位—陕西省交通规划设计研究院有限公司，主要参与单位有长安大学。

项目名称：陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究

项目编号：25-06K

项目起止期限：2025 年 12 月 至 2027 年 12 月。

项目经费支出严格按照项目经费支出范围规定及开支标准执行，严格执行国家有关支出管理制度。项目资金纳入单位财务统一管理，对厅拨资金和其他来源资金分别单独核算，确保专款专用。经费支出做到有迹可循，有档可查。

二、项目资金管理和使用

（一）预算安排情况

该项目收入预算为 210.95 万元，其中厅拨经费 49.15 万元，自筹经费 161.80 万元。

预算资金由承担单位陕西省交通规划设计研究院有限公司统一管理使用，将以合同形式根据分工研究工作量划转。

（二）经费预算情况

预算编制按照《陕西省人民政府办公厅关于改革完善省级财政科研经费管理的实施意见》（陕政办发〔2022〕3号）文件执行。项目验收将组织财务专项验收或审计。

（三）预算说明

1. 设备费

（1）购置设备费

本项经费用于项目实施过程中购置专用仪器设备，共计 123.50 万元。其中，厅拨经费使用 0 万元。

主要用途：主要用于黄土边坡地质灾害预警方法研究。需要购置 GNSS、深部变形监测设备、裂缝监测设备、雨量计、地下水位监测、土体含水率监测、视觉位移、视频 AI 监测、声光报警器等设备。用于黄土边坡地质灾害预警方法研究。

序号	名称	单位	数量	总经费 (万元)	其中：厅拨 经费(万元)
1	GNSS	套	20	50.00	0.00
2	深部变形监测设备	套	15	15.00	0.00
3	裂缝监测设备	套	10	4.00	0.00
4	雨量计	个	5	1.50	0.00
5	地下水位监测	套	15	7.50	0.00
6	土体含水率监测	个	15	7.50	0.00
7	视觉位移	套	5	5.00	0.00
8	视频 AI 监测	套	5	25.00	0.00
9	声光报警器	套	10	8.00	0.00
费用合计				123.50	0.00

预算说明:

计划在试点工程使用 GNSS、声光报警器等设备,用于黄土边坡地质灾害预警方法研究。购置 20 套 GNSS,经经销商报价,按照 2.5 万元每套,共计 50 万元;购置深部变形监测设备 15 套,经经销商报价,按照 1 万元每套,共计 15 万元;购置裂缝监测设备 10 套,经经销商报价,按照 0.4 万元每套,共计 4 万元;购置雨量计 5 个,经经销商报价,按照 0.3 万元每个,共计 1.5 万元;购置 15 套地下水位监测,经经销商报价,按照 0.5 万元每套,共计 7.5 万元;购置 15 套土体含水率监测,经经销商报价,按照 0.5 万元每套,共计 7.5 万元;购置 5 套视觉位移,经经销商报价,按照 1 万元每套,共计 5 万元;购置 5 套视频 AI 监测,经经销商报价,按照 5 万元每套,共计 25 万元;购置 10 套声光报警器,经经销商报价,按照 0.8 万元每套,共计 8 万元;以上设备购置合计费用 123.5 万元。

2.业务费

(4) 材料支出

本项经费用于项目实施过程中的材料支出,共计 26 万元。其中,厅拨经费使用 14.95 万元。

主要用途:本项经费用于项目实施过程中消耗的各种原材料、辅助材料等低值易耗品的采购及运输、装卸、整理等费用。

序号	材料名称	数量/单位	总经费 (万元)	其中:厅拨 经费(万元)
1	总线	米	2.50	1.00
2	设备运输	次	4.00	2.00

序号	材料名称	数量/单位	总经费 (万元)	其中：厅拨 经费(万元)
3	设备安装	次	5.00	3.00
4	打孔	米	12.00	8.00
5	其他	/	2.50	0.95
费用合计			26.00	14.95

预算说明：

计划购置总线 5000 米，用于传感器、GNSS、摄像头等的连接。经经销商报价，按照 0.0005 万元每米，共计 2.5 万元；将各种设备运往试点工程，每个工程点需要 2 次，经经销商报价，按照 0.4 万元送到每个试点工程位置，共计 4 万元；设备安装，经经销商报价，按照每个工程点安装 1 万元，共 5 个点安装，共计 5 万元；深部变形监测设备的安装需要提前打孔，每个孔约 80 米，经经销商报价，按照每米 0.01 万元，打 15 个孔，共 1200 米，共计 12 万元。在安装运输过程中可能需要其他耗材以及租赁吊车等，预估 2.5 万元。以上业务费合计费用 26 万元。

（5）测试化验实验加工支出

本项经费用于项目实施过程中的检验、测试、化验、实验及加工等费用，共计 10.00 万元。其中，厅拨经费使用 8.00 万元。

主要用途：陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究。

序号	测试化验实验加工项目	实施单位	总经费 (万元)	其中：厅拨 经费(万元)
1	多源数据融合与预警精度提升	陕西省交通规划设计研究院有限公司	5.0	4.00
2	成套监测技术组合优化	陕西省交通规划设计研究院有限公司	5.0	4.00
费用合计			10.00	8.00

预算说明:

需开展多源数据融合与预警精度提升测试,共测试10组,经测试单位报价,每组0.5万元,共需5万元;开展成套监测技术组合优化测试,共测试10组,经测试单位报价,每组0.5万元,共需5万元。以上测试加工费用合计10万元。

(6) 燃料及动力支出

本项经费用于项目实施过程中燃料及动力支出,共计6.05万元。
其中,厅拨经费使用4.00万元。

主要用途:用于项目实施过程中流量卡的消耗费用。

序号	项目	总经费 (万元)	其中,厅拨经 费(万元)
1	物联网卡(视频)	5.40	4.00
2	物联网卡(数据)	0.65	0.00
费用合计		6.05	4.00

预算说明:

计划购置物联网卡5张,用于视频的网络传输。经经销商报价,按照0.06万元每月,5张卡18个月共计5.4万元。另外购置物联网卡15张用于采集器、GNSS等的网络传输。经经销商报价,按照0.0024万元每月,18个月共计0.65万元。以上燃料及动力支出合计费用6.05万元。

(7) 差旅支出

本项经费用于项目实施过程中开展业务调研所发生的外埠差旅费、市内交通费用等,共计16.00万元。其中,厅拨经费使用10.00万元。

主要用途：用于项目前期开展调研工作

序号	时间、人数、地点、任务	总经费 (万元)	其中,厅拨经 费(万元)
1	2025 年 12 月, 8 人, 宜君县 G210 K1093 开展前期调研工作	1.60	1.00
2	2025 年 12 月, 8 人, 吴起县 G341 K1425 开展前期调研工作	1.60	1.00
3	2025 年 12 月, 8 人, 延安市 S15 子延高速下行线 K40 开展前期调研工作	1.60	1.00
4	2025 年 12 月, 8 人, 千阳县 G85 银昆高速上行线 K541 开展前期调研工作	1.60	1.00
5	2025 年 12 月, 8 人, 吴堡县 G20 青银高速下行线 K1052 段开展前期调研工作	1.60	1.00
6	2026 年 3 月, 8 人, 宜君县 G210 K1093 滑坡, 现场布设。	1.60	1.00
7	2026 年 3 月, 8 人, 吴起县 G341 K1425 滑坡, 现场布设。	1.60	1.00
8	2026 年 3 月, 8 人, 延安市 S15 子延高速下行线 K40 滑坡, 现场布设。	1.60	1.00
9	2026 年 3 月, 8 人, 千阳县 G85 银昆高速上行线 K541 滑坡, 现场布设。	1.60	1.00
10	2026 年 3 月, 8 人, 吴堡县 G20 青银高速下行线 K1052 滑坡, 现场布设。	1.60	1.00
费用合计		16.00	10.00

预算说明:

计划在 2025 年 12 月, 8 人, 宜君县 210 国道 K1076+915 ~ K1077+040 段滑坡开展前期调研工作, 用于下步研究方案的确定。按照 8 人租 2 辆车, 5 天, 包括加油过路费等费用, 每天每车 0.16 万元, 每个点共 1.6 万元; 前期调研加后期现场布设共 10 次, 共计 16 万元。

以上差旅支出合计费用 16 万元。

(8) 会议支出

本项经费用于会议支出，共计 2.50 万元。其中，厅拨经费使用 2.50 万元。

主要用途：本项经费用于可行性研究评审、研究大纲评审、项目验收及相关研讨会。

序号	会议名称	总经费 (万元)	其中，厅拨 经费(万元)
1	可行性研究评审	0.5	0.5
2	研究大纲(实施方案)评审	0.5	0.5
3	中期咨询会	0.5	0.5
4	技术研讨、交流会	0.5	0.5
5	成果验收鉴定会	0.5	0.5
费用合计		2.5	2.5

预算说明：

计划在项目实施过程中召开可行性研究评审、研究大纲(实施方案)评审、中期咨询会、技术研讨会、成果验收鉴定会。每次会议费用为 0.5 万元，5 场会议共计 2.5 万元。以上会议支出合计费用 2.5 万元。

(10) 出版/文献/信息传播/知识产权事务/印刷支出

本项经费用于项目实施过程中，需要支付的出版费、资料费、印刷费、翻译费、专用软件购买费、数据购买和调查费、文献检索费、专业通信费、专利申请及其他知识产权事务等，共计 6.90 万元。其中，厅拨经费使用 2.00 万元。

序号	项目	总经费 (万元)	其中, 厅拨 经费(万元)
1	出版费	3.00	1.00
2	资料费	0.40	0.00
3	印刷费	0.30	0.00
4	专利申请	3.20	1.00
费用合计		6.90	2.00

预算说明:

项目考核指标: 受理发明专利 1 项, 实用新型 1 项, 软件著作权 1 项, 编写陕西省公路边坡普适化监测指南。发明专利 1 项, 费用 1.5 万元, 实用新型 1 项, 费用 1 万元; 软件著作权 1 项, 费用 0.8 万元。资料费 0.4 万元; 印刷费 0.3 万元; 陕西省公路边坡普适化监测指南出版费 3 万元。以上出版/文献/信息传播/知识产权事务/印刷支出合计费用 6.90 万元。

3. 劳务费

(12) 劳务性支出

本项经费主要用于项目实施过程中支付给参与项目的研究生、博士后、访问学者和项目聘用的研究人员、科研助理及辅助人员等的劳务性支出, 共计 12.80 万元。其中, 厅拨经费使用 5.00 万元。

序号	时间、人数、事由	总经费 (万元)	其中, 厅拨 经费(万元)
1	2025 年 12 月, 8 人, 各工程点开展前期调研工作	4.80	2.00
2	2026 年 3 月, 8 人, 各工程点现场布设	8.00	3.00
费用合计		12.80	5.00

预算说明:

计划在项目实施过程中聘请专业领域的研究人员，前期调研聘请 8 人，每人每天 0.04 万元，每个工程点预计 3 天，5 个工程点 8 人合计 4.8 万元；设备现场布设聘请 8 位专业人员，每人 0.04 万元，每个工程点预计 5 天，5 个工程点 8 人合计 8 万元。以上劳务性支出合计费用 12.80 万元。

（13）咨询专家支出

本项经费主要用于项目实施过程中支付给临时聘请的咨询专家的费用。共计 1.20 万元。其中，厅拨经费使用 1.20 万元。

序号	时间、人数、事由	总经费 (万元)	其中，厅拨 经费(万元)
1	2026 年 2 月，5 人，研究方案咨询	0.4	0.4
2	2026 年 6 月，5 人，技术研发与指南编制咨询	0.4	0.4
3	2027 年 5 月，5 人，验收前评审	0.4	0.4
费用合计		1.2	1.2

预算说明：

计划在项目实施过程中聘请专家进行咨询，召开研究方案咨询、技术研发与指南编制、验收前评审 3 次会议，每次会议聘请 5 位专家，每位专家 0.08 万元，每场会议 0.4 万元。3 场会议合计 1.2 万元。以上咨询专家支出合计费用 1.2 万元。

4.间接费用

（14）管理费

本项经费用于项目实施过程中项目承担单位为项目研究提供的现有仪器设备及房屋占用，日常水、电、气、暖等消耗，以及有关管理费用的补助支出。共计 2.5 万元。其中，厅拨经费使用 2.00 万元。

(15) 绩效支出

本项经费用于项目承担单位为项目研究激励科研人员的绩效支出。共计 3.5 万元。其中，厅拨经费使用 2.00 万元。

陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究

大纲评审意见

2025 年 12 月 02 日，陕西省交通运输厅在西安主持召开了陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究（项目编号：25-06K）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、项目针对陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备开展研究，对解决黄土滑坡位移监测手段不完善等问题，推动监测技术升级，具有现实意义，立项必要。

二、研究内容合理，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。

建议聚焦位移监测与联动交通封控装置的研发。

主任委员：郑建国

2025 年 12 月 02 日

陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究（项目编号：25-06K）

大纲评审专家委员会名单

序号	评审会职务	工作单位	所学专业	从事专业	职称/职务	签名
1	主任委员	机械工业勘察设计研究院有限公司	岩土工程	岩土工程	教授/总工	郭建国
2	委员	中铁一局设计院	岩土工程	岩土工程	副总工	张永发
3	委员	交通运输部科学研究院	岩土工程	岩土工程	正高	李强
4	委员	陕西省交通厅公路局	岩土工程	岩土工程	研究员	王松根
5	委员	西工大	岩土工程	岩土工程	教授	张永发

陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究 (项目编号: 25-06K)

会议签到表

[illegible]

专家审查意见表

项目名称	陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究				
专家姓名	郑建国	职务/职称	总工/教授	专 业	岩土工程
专家单位	机械地基建设研究院有限公司			联系电话	15809220511

评 审 意 见

1. 大纲中所列研究内容合理，目标明确，技术路线可行。
2. 建议聚焦位移监测与交通封控联动装置的研发工作。

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	陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究				
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

本项目研究针对黄土滑坡位移特殊变形特征,进行智能化监测设备的研发,注重微机电系统、光电/光电、物联网等智能传感与传输技术的集成应用。研究内容全面,技术路线可行。

同意该项目研究大纲通过评审。

建议:

1. 进一步明确在黄土滑坡安全性评价的基础上,监测对象的选择方法。
2. 进一步明确不同监测阶段预警阈值的确定依据及预警对象。
3. 重点突出黄土滑坡监测装备及联动交通封锁装置的研究。

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	陕北地区黄土滑坡作物监测技术与装备研究				
专家姓名	张留俊	职务/职称	高级工	专业	测绘工程
专家单位	中交一航院			联系电话	13991869261

评审意见

1. 综合考虑监测装备的匹配性,量化分析中耗型传感器的技术指标。
2. 示范工程选择进一步聚结陕北地区黄土滑坡的特征。
3. 项目经费中科研承担单位的配套资金。

评审专家(签字):



2015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	陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究				
专家姓名	张如丽	职务/职称	教授	专业	地质工程
专家单位	西安理工大学			联系电话	15091050088

评审意见

1. 建议针对陕北黄土滑坡监测技术现状问题，开展相关监测技术研发。
 2. 明确设备中各监测设备的特点，尤其是与常规设备的不同。
 3. 区分黄土边坡与黄土滑坡的区别。
 4. 该设备最如黄土滑坡黄土中。
- 并是有其他问题。

评审专家（签字）：张如丽

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	陕北地区黄土滑坡位移监测技术与装备研究 (25-0610)				
专家姓名	王高	职务/职称	正高	专业	10-060802
专家单位	山西交通科研院集团			联系电话	13803468857

评审意见

建议:

1. 加强国内黄土滑坡监测技术的科研工作;
2. 研发普适性、低成本的监测技术以及配套的装备。
3. 针对监测实测数据的处理, 可建立实验室和现场试验, 与理论计算数据对比, 验证模型的可靠性。

评审专家(签字):

王高

2025 年 12 月 2 日

(本意见入档, 填写工整, 纸面不敷, 可另加纸)