

项目合同编号：25-56X

陕西省交通运输厅 2025 年度交通科研项目

合 同 书

项目名称：桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究

承担单位：西安工业大学

项目负责人：郭庆军

通讯邮编、地址：陕西省西安市未央区学府中路二号（710021）

传真、电话：029-86173264、13571820615

起止年限：2026 年 3 月 至 2028 年 3 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

针对交通基础设施养护需求，以桥梁和隧道口仰坡为对象，借助企业大数据中心，升级智能传感监测技术，集成数据信息，打造分析处理、智能管控、服务模块，提出海量异构数据处理算法，搭建动态扩展的数据中心架构，研建结构安全监测预警平台。

（1）基于 BIM+3D GIS 的语义互操作技术和标准体系

以结构相关信息数据作为模型基础，建立不同类型结构的监测指标体系，形成对应预警等级和判定标准，如分级预警规则、数据接口标准、网络安全等。元数据的定义及建模，基于语义描述和映射的元数据集成规则，多源异构元数据优化建模。

监测海量数据分析与处理。多源异构数据的预处理和汇聚融合，大数据高效存储与非结构化数据处理分析，基于特征融合和深度学习的海量异构数据处理。

（2）基于大数据的预防性养护智能决策技术

构建一个开放统一的大数据分析平台（统一流程规范、统一技术标准、统一数据管理、统一角色管理、统一用户登陆、统一界面风格），形成预防性智慧养护决策方法体系。实现平台具备全渠道服务接入能力的目标。

2. 技术关键

（1）研制 1 种桥梁简易感知报警设备

该设备采用一体化集成架构，整合振动倾角、测量范围、精度、采样频率、续航、防护等级等核心监测参量，内置数据采集、低功耗供电和无线传输模块，实现监测数据采集、供电、传输全流程自主运行，具备边缘分析数据的能力；基于桥梁结构运营状态识别算法，设备可动态切换数据采集频率、分析精度和上报周期，常态下以低频次采集满足长周期趋势监测需求，突发状况时自动启动高频采集和实时分析；通过物联网平台，实现自定义唤醒模式、报警阈值、采样频率和上报周期等功能。当测量值超过阈值，设备在报警同时上报事件前后的监测数据。

（2）开发安全监测系统平台

聚焦在结构安全，基于多维度数据查询功能，实现实时数据、历史监测数据的追溯和分析，进行异常、预警和离线统计，在软件平台以弹窗方式显示。利用大数据、人工智能等先进技术，实现主要功能包含：数据处理，适配桥梁、隧道多种类型传感器的多源数据解析；数据分析，对监测数据进行数据清洗、计算、统计和分析；应急预警，开发预警信息推送；第三方系统及数据接入或对接，系统平台中的接口众多，依赖关系复杂，通过接口交换的数据必须遵循统一的接口模型进行设计，考虑接口的开放互通和安全管理，制定适合系统平台统一的数据交换标准。

（3）基于特征融合和深度学习的海量异构数据处理算法

研究一种基于特征融合和深度学习的创新算法，实现对该场景下海量异构数据的智能化、精准化分析和预警。识别不同模式下结构体健康特征，为桥梁和隧道口仰坡稳定性分区管理提供依据。通过数据挖掘和关联分析，发现影响结构健康状况的关键因素和敏感指标，为结构的预防性维护和优化设计提供参考信息。算法可有效克服单一数据源分析的局限性，充分释放多源异构数据的协同价值。在实际桥梁和隧道口仰坡监测场景中，能显著提升对结构病害检出率，降低误报率，为结构的预防性养护和科学决策提供数据支撑。

3. 依托工程（依托工作）

依托陕西交控集团有限公司运营管理分公司高速公路长大桥梁监测和安全监测预警系统建设工程项目，选取南村特大桥（图 1），该桥梁是银昆高速 G85 陕西境宝鸡段千阳县崔家头镇上的特大型桥梁，桥梁起点桩号为 K85+490.00、终点桩号为 K86+038.00，全长 548.00m。桥梁上部结构形式采用 3X30m 预应力混凝土连续箱梁+（85m+160m+85m）预应力混凝土变截面连续刚构+4X30m 预应力混凝土连续箱梁。选取 G65（包茂）西镇段 K921+549 短青岔隧道（图 2），经现场踏勘，西安端洞口边仰坡溜塌体及落石。

通过现场踏勘，首要解决恶劣环境下保障桥墩倾角、桥面状况、水位、隧道口仰坡倾角等多源数据的高精度采集和同步，避免数据误差引发误判；需精准识别结构正常变形和监测数据异常，杜绝预警误报/漏报。通过安装桥梁简易感知设备和振动倾角设备，对上述结构体进行桥墩倾角变化和边坡倾角变化

监测，实现桥面和隧道口仰坡异常状况监测，实现结构体异常实时预警。



图 1 南村特大桥

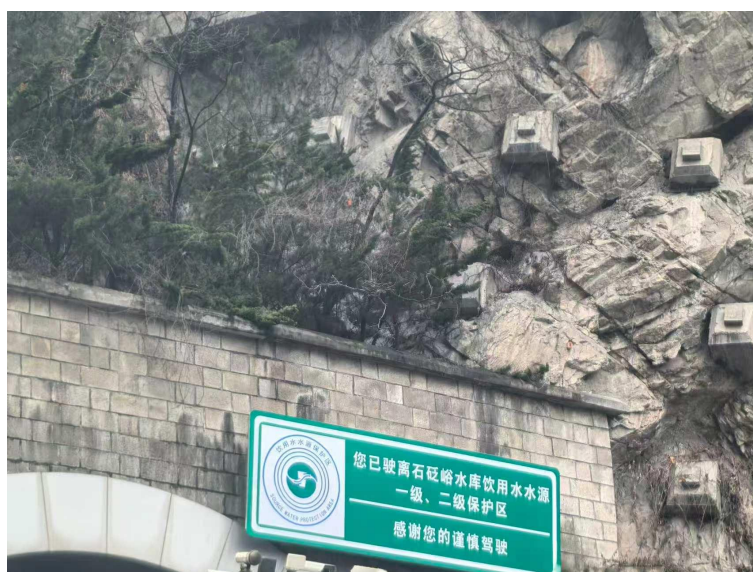


图 2 G65（包茂）西镇段 K921+549 短青岔隧道

二、考核指标

1.预期目标

（1）针对交通基础设施结构物养护管理技术需求，开发 1 种桥梁简易感知报警设备。

（2）研建基于 BIM+GIS 的结构群安全感知监测预警平台。具备实时监测数据采集、数据处理及模型分析、分级预警规则、预警预报信息的分级管理和发布，接入 2 处运营公路结构体监测项目。

（3）开发监测大数据的处理算法。对传感器采集的数据进行快速计算，以数据值和曲线等多种形式形象展现，形成评估体系，实时评价结构安全性和预警。

2.主要技术经济指标（具体的技术经济参数）

（1）对高速公路桥梁、隧道口仰坡等重点部位布设倾角计、温湿度计等智能传感设备，实行 24 小时联网监测，及时预测、发现、应对桥梁、隧道口仰坡等重点部位的不安全状态，及时推送预警信息到运营管理部门，实现“人防、技防”的安全管控模式。

（2）构建基于 BIM+GIS 融合技术的结构体三维数字化信息库，系统网络安全等级不低于二级。

（3）基于监测系统平台，开展结构体不同测点数据统计分析，如最大值、最小值、均方根等，并实现长大桥梁单因素分析和多因素分析。

（4）平台可接入监测终端数 ≥ 1000 个传感器/采集终端，具备并发能力。平台具备功能扩展能力，提供标准化 API 接口，支持新增监测参数。

3.经济和社会效益

（1）经济效益

预计投入约 40 万元，预计成果转化后带来销售收入约 180 万元/年。传统检测维护整个过程需远距离往返约耗费 15-30 天工期，在运行智能监测系统后，实施时间将缩短至 5-7 天、节省服务工时 80%或减少约 60%的监测人员。

（2）社会效益

符合陕西省物联网产业链，研发的智能监测平台提高了监控管理效率。融

合基于 5G 通讯和卫星传输的联合数据通讯技术，进一步丰富了桥隧一体的公路结构群智能监测预警设备体系。在救援指挥调试、快速应急通信等方面，可保障平台间信息交互，提高救援反应速度，协助相关部门预报监测段的路况和自然灾害。

4.成果提供形式

- (1) 开发 1 种桥梁简易感知报警设备
- (2) 研建基于 BIM+GIS 的公路结构群安全感知监测预警平台
- (3) 开发监测大数据的处理算法
- (4) 实施人才引育

专业职称晋升 2 名，培养研究生 4 名。

- (5) 进行成果转化

发表中文核心论文 1 篇，授权专利 2 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）
2026 年	1.细化实施方案； 2.构建桥梁隧道监测多源数据库； 3.提出针对安全监测数据的识别和处理方法，通过依托工程进行验证，培养研究生 2 名； 4.研制桥梁简易感知报警设备，发表论文 1 篇； 5.搭建并优化监测预警平台，研制设备验证、检定，授权专利 1 项，宣传报道 1 次。
2027 年	1.研究监测预警数据统计分析，整理监测数据统计报表。 2.整理分析依托工程的安全监测数据，对成果进行验证、优化和完善，培养研究生 2 名，授权专利 1 项； 3.接入 2 处运营公路结构体监测项目，技术交流 1 次，宣传报道 2 次。
2028 年	整理研究数据，形成研究报告。

四、项目经费

项目总经费：39.9950 万元
交通运输厅补助：19.9950 万元
自筹资金：20.0000 万元

经费支出预算表

科 目	总经费 (单位：万元)	厅补经费 (单位：万元)
(一) 直接费用	36.795	18.395
1. 设备费	2.00	1.00
(1) 购置设备费	/	/
(2) 试制设备费	/	/
(3) 设备改造与租赁费	2.00	1.00
2. 业务费	25.995	12.995
(4) 材料支出	4.40	2.20
(5) 测试化验实验加工支出	14.595	7.295
(6) 燃料及动力支出	/	/
(7) 差旅支出	3.00	1.50
(8) 会议支出	1.60	0.80
(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	2.40	1.20
(11) 其他支出	/	/
3. 劳务费	4.40	4.40
(12) 劳务性支出	6.40	3.20
(13) 咨询专家支出	2.40	1.20
(二) 间接费用	3.20	1.60
4. 管理费	3.20	1.60
5. 绩效支出	/	/
合 计	39.995	19.995

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）	2
		（1）授权发明专利	/
		（2）实用新型	1
		（3）外观设计	1
		2.软件著作权授权数（项）	/
		3.发表论文（篇）	1
		（1）其中 SCI 索引收录数	/
		（2）其中 EI 索引收录数	/
		（3）其他	1
		4.著作（部）	/
		5.制订标准数（项）	/
		（1）国际标准	/
		（2）国家标准	/
		（3）行业标准	/
		（4）地方标准	/
		（5）企业标准	/
		（6）科技报告	/
	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）	1
		（3）新材料	/
		（4）新装备（装置）	/
		（5）平台/基地/示范点	/
		（6）中试线	/
		（7）生产线	/

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4.研究开发情况	/
		(1) 小试	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	/
		(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	4
		3.培训从事技术创新服务人员（人次）	/
		4.是否设立科研助理岗位	否
	产业化情况	1.开放共享仪器设备数（台/套/只等）	/
		2.科研仪器设备利用率（%）	/
		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）	180
		2.新增销售（万元）	180
		3.新增出口创汇（万美元）	/
		4.新增利润（万元）	60
	社会效益	1.新增税收（万元）	18
		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、承担单位或研究人员分工

西安工业大学团队主要围绕项目研究内容和目标,借助重点实验室和创新团队,开展项目整体平台搭建方案和大数据算法研究。

陕西高速公路工程试验检测有限公司团队利用设备优势和生产条件为项目实施提供场地,借助秦创原陕西交控创新中心和秦创原生产基地,负责项目落地和产业化建设。

陕西高速星展科技有限公司团队依托陕西省智慧交通产业中试基地的研发平台和试验条件,主要配合项目中桥梁简易感知报警设备的研制工作。

陕西交控数字科技有限公司团队主要配合开展算法研究和系统平台搭建及优化升级。

长安大学团队依托国家和省部级重点实验室,借助先进实验设备,进行设备和技术验证工作。

七、项目参加人员表

项目承担单位：西安工业大学						
参与单位（排序）：陕西高速公路工程试验检测有限公司、陕西高速星展科技有限公司、陕西交控数字科技有限公司、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
1	郭庆军	1978.09	西安工业大学	教授/副院长	智能建造	整体方案
主要研究人员						
2	邵永军	1977.03	陕西高速公路工程试验检测有限公司	正高级	交通信息化	数据中心架构
3	雷斌	1966.04	西安工业大学	副高级	通信工程	安全监测技术
4	任晓辉	1981.04	陕西高速星展科技有限公司	副高级	桥梁工程试验检测	项目管理
5	刘波	1987.11	陕西高速公路工程试验检测有限公司	中级	系统集成	结构安全监测技术及设备研究

6	王睿	1981.12	西安工业大学	副教授	隧道工程	结构安全监测预警参数	王睿
7	张鑫	1991.10	陕西高速公路工程试验检测有限公司	中级	信号与信 息处理	基础设施语义互操作技 术	张鑫
8	高轲	1993.04	陕西交控数字科技有限公司	助理工 程师	计算机科学与技 术	软件测试	高轲
9	常江铭	1995.01	陕西交控数字科技有限公司	助理工 程师	电子科学与技 术	算法研究	常江铭
10	许江波	1985.11	长安大学	正高级	桥梁工程	结构安全监测技术及设 备	许江波
11	王娟	1988.08	陕西高速星辰展科技有限公司	助理工 程师	信息化	设备调试与运维	王娟
12	吴园园	1996.01	陕西高速星辰展科技有限公司	助理工 程师	信息化	软件开发	吴园园
13	杨俊逸	1996.10	陕西高速星辰展科技有限公司	助理工 程师	电子信息工程	设备调试与运维	杨俊逸
14	陈佳欣	2000.02	陕西高速星辰展科技有限公司	助理工 程师	动画设计	UI 设计	陈佳欣
15	贺佳佳	1990.03	陕西高速星辰展科技有限公司	中级	智能建筑	方案设计	贺佳佳

八、信息表

项目合同编号		25-56X		密级		/		A: 机密 B: 秘密 C: 内部		
项目名称		桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究								
项目实施所在地		西安		起止年限		2026 年 3 月至 2028 年 3 月				
总 经 费		39.9950 万		厅 拨		19.9950 万				
第一承担单位	单位名称	西安工业大学								
	所在地	陕西省西安市未央区					代码	610112		
	通讯地址	陕西省西安市未央区学府中路二号					邮编	710021		
	单位性质	(1) 1.大专院校 2.科研院所 3.企业 4.其他					代码	10702		
参与单位	序号	单 位 名 称								
	1	陕西高速公路工程试验检测有限公司								
	2	陕西高速星展科技有限公司								
	3	陕西交控数字科技有限公司								
	4	长安大学								
项目负责人		姓 名	郭庆军		性 别 (1) 1.男 2.女		出生年份	1978		
		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	13571820615 029-86173263		电子邮箱		gqj710032@163.com			
项目联系人		姓名	郭庆军		性别		男			
		联系电话	13571820615 029-86173263		电子邮箱		gqj710032@163.com			
项目组人数		15	高级	6	中级	3	初级	6	其他	0
主要研究内容 (100 字以内)		针对交通基础设施养护需求,以桥梁和隧道口仰坡为对象,升级智能传感监测技术,提出海量异构数据处理算法,研建公路结构群安全监测预警平台。								
成果属性		G	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.合同正本一式叁份，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） 2024年3月27日

联系人：（签字） （公章）

电 话：029-88869067

合同乙方：（承担单位）

单位负责人：（签字） 2024年3月27日

项目负责人：（签字） （公章）

电 话：029-86173264

财务负责人：（签字）

账 户 名：西安工业大学
61001781300052502618

开户银行：建行大明宫支行

账 号：

陕西交通科技项目科研诚信 承 诺 书

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

项目承担单位：(盖章)
项目负责人
年 月 日



项目编号: 25-56X

2025年度陕西省交通运输厅科研项目 研究大纲

项目名称: 桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究

申请单位: 西安工业大学 (盖章)

联系人: 郭庆军

电话: 13571820615

陕西省交通运输厅制

2026年3月

目 录

一、 项目研究的背景和必要性	- 1 -
二、 前期科研及工作基础	- 5 -
三、 实施方案	- 20 -
四、 项目承担单位及参加单位概况	- 30 -
五、 项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件	- 35 -
六、 项目经费估算及资金筹措情况	- 39 -
七、 项目绩效指标	- 40 -
八、 预期目标、成果提供形式及经济社会效益	- 42 -
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

提出的背景、研究目的、项目概括、市场需求前景或推广应用领域，达到的技术水平及在国民经济发展中的作用等。

1.提出的背景

（1）安全形势严峻

目前，我国交通基础设施存量超过 100 万亿元，是现代社会交通网络的基础组成部分。其中公路桥梁超过 80 万座，铁路桥梁超过 20 万座，高铁桥梁累积长度超过 1 万公里。步入维修期的在役桥梁日渐增多，据不完全统计，目前我国公路路网中在役桥梁约 40%服役超过 20 年，技术等级为三、四类的带病桥梁达 30%，超过 10 万座桥梁为危桥，安全隐患不容忽视。

根据交通运输部《2024 年交通运输行业发展统计公报》，截至 2024 年 12 月，全国公路隧道已达 28724 处、总里程 3259.66 万延米，较 2023 年分别新增 1427 处、236.48 万延米。其中特长隧道 2261 处、里程 1032.87 万延米，长隧道 8047 处、里程 1410.18 万延米，特长隧道里程占比已达 31.69%，隧道总体规模持续扩大、运营安全压力显著提升。隧道在长期运营中，受地质条件变化、地下水侵蚀、车辆反复荷载等多重因素影响，尤其是隧道口仰坡区域，易出现衬砌开裂、围岩变形、坡体失稳等病害，若监测缺失、处置不及时，极易诱发边坡滑塌、结构坍塌等安全事故，凸显隧道口仰坡在线监测和风险预警的必要性和紧迫性。

（2）传统监测方式的局限性

传统方式主要依赖人工巡检和简单仪器监测。一方面，人工效率低，难以满足现代桥梁隧道大规模、常态化需求。对于一些结构复杂、地理位置偏远的桥梁隧道，人工更是困难重重，不仅耗时费力，且结果的准确性和可靠性也难以保证。另一方面，传统方式大多是定期监测，无法实现对桥梁隧道结构状态实时监测，难以及时发现潜在的安全隐患。当出现结构损伤时，可能已经错过最佳的维修时机，导致维修成本大幅增加，甚至引发安全事故。

（3）技术发展提供新机遇

随着传感器技术、物联网技术、大数据技术、人工智能技术等飞速发展，为结构健康监测数据应用技术的研究和应用提供了新的机遇。传感器技术的不断进步，使得能够精确、可靠地监测桥梁隧道的各项性能指标，如结构应变、振动、位移、温湿度等。物联网技术的应用，实现了监测数据的实时传输和共享，使管理人员能够随时随地了解桥梁隧道的结构状态。大数据技术和人工智能技术则为监测数据的分析和处理提供了强大的支持，能够从海量的监测数据中提取有价值的信息，对桥梁隧道的健康状态进行评估和预测，为维修决策提供科学依据。

2.研究目的

近年来，由于洪水、地质变化和极端天气等因素影响，触发交通基础设施安全问题，桥梁隧道损毁灾害事故时有发生。桥梁隧道结构失稳、倾覆后，不仅直接威胁到通行人员和车辆安全，还易引发一系

列连锁反应，造成严重的二次伤害。因此，对桥梁隧道口仰坡部署自动化监测系统，通过数字化提高路网运行监测管理和服务能力，实现智能监测和预警，当出现危险时及时报警并进行防控，刻不容缓。

（1）对结构健康监测数据应用技术研究，可实时掌握桥梁隧道口仰坡的结构状态，及时发现潜在的安全隐患，并采取相应的维修措施，有效避免安全事故的发生。

（2）对桥梁隧道口仰坡结构状态的实时评估，为管理人员提供科学、准确的决策依据。通过建立桥梁隧道健康监测数据库，对监测数据进行长期积累和分析，可深入了解桥梁隧道口仰坡的结构性能变化规律，为桥梁隧道口仰坡的养护、维修和管理提供科学依据。

（3）对桥梁隧道结构状态的实时预警，在病害萌芽状态时就采取相应的维修措施，避免病害的进一步发展，从而降低维护成本。

3.项目概括

本项目针对桥梁隧道结构形变、监测手段单一等问题，立足长期“公路+物联网”应用研究基础，按照“全面感知、简单可靠、预警准确、协同高效”原则，突破现有结构体监测系统点式感知的局限，研制一款集振动、倾角、测量范围、精度、采样频率、续航、防护等级一体的桥梁简易感知报警设备，并研建安全感知监测预警平台，通过基于特征融合和深度学习的海量异构数据处理算法，实现结构健康状况的关键因素监测和敏感指标分析，为结构的预防性维护和优化设计提供参考。

4.市场需求前景

在公路日常养护中，针对桥梁和隧道口仰坡工程，交通部颁布制定了相关日常巡查、定期检查和特殊检查的标准和规范。

为了确保公路所属重点结构运营安全，交通运输部颁布了相关监测技术规程。2018年3月印发《公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定》，要求长大桥隧经营管理单位应逐步建立长大桥隧结构监测体系，设置专人或委托专业机构对桥隧的结构状态和外部荷载作用下响应情况进行监测，及时掌握长大桥隧的结构运行状况^[2]；2022年1月发布《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037-2022），增加了北斗导航、大数据技术应用要求^[3]，2024年启动的新一轮修订计划，强化全生命周期管理；2023年10月发布《公路大件运输安全通行评价技术规范》（JTG/T 2213-2023），以“服务大局、规范管理、衔接融合、安全发展”为指导，为公路大件运输安全通行评价提供技术指导^[4]。与常规人工巡检方法相比，结构物实时在线安全监测系统具有较大优势。

5.达到的技术水平及在国民经济发展中的作用

当前，在交通基础设施监测过程中，存在结构健康监测手段落后、数据处理分析流程复杂等问题。现有结构监测系统只针对具体某一结构物，数据单一，可视化水平较低，未发展成统一的平台，监测信息无法共享；大跨桥梁多安装有成套结构健康监测系统，但监测技术以静态应变和位移监测技术为主，实际技术指标与工程需求不匹配；常规的信息化管理手段，缺乏对数据的深层次分析，未实现从中挖掘数据演变规律的长效机制，难以支撑辅助决策。

针对公路工程养护需求，对桥梁和隧道的典型病害特征调研，根据桥梁的位移影响因素，有针对性地对桥梁位移进行监控^[5]，升级智能传感监测技术，融合新一代网络传输技术（5G+物联网+卫星通讯）、计算机信息处理分析技术，建立桥梁和隧道结构的安全评估体系，开发在线监测预警平台，对桥梁的状态和性能进行全面监测和评估^[6]，为公路管理部门提供养护和维修建议。

二、前期科研及工作基础

1.对项目领域国内外（省内外）研究现状，研究水平和发展趋势的分析和评价（应进行查新分析，主要分析本项目的技术领域发展状况和水平，有那些技术尚未解决，需要这次攻克的技术难点）

公路的安全畅通是交通运输事业高质量发展的基础^[7]。在公路日常运营中，长大桥隧组成的结构群，尤其是大型、复杂结构群安全，是整个公路运营质量的重要组成部分。我国地质情况复杂，与之相对应的是我国公路建设规模和复杂度世界第一，桥梁和隧道等工程结构体越来越多向大规模、复杂化方向发展，使用过程中结构潜在风险点较多。公路结构群的服役期长，受外部环境侵蚀和交通量加大影响，如果养护不当，公路结构群极易出现结构损伤、老化、局部破坏等问题，如桥梁中的裂缝、腐蚀、变形和破损等^[8]，甚至发生严重的安全事故。

近年来，国内外桥梁和隧道安全事故时有发生，产生严重的生命伤亡、巨大的经济损失和恶劣的社会影响。一些先期建设的公路结构老化速度和损伤情况更加严重，给养护、维修等后期运营管理带来经

济和社会负担，存在较大安全隐患。而有效的道路维护对确保交通网络的安全性、效率性和便利性至关重要^[9]。

众多学者对土木工程结构体事故发生的原因进行了分析，严重安全事故的发生多由结构中累积多年的损伤导致，如环境持续侵蚀导致结构抗力出现衰减、持续外部荷载导致结构发生损伤累积等。在设计时必须考虑未来可能出现的不利情况及采取的安全措施^[10]。如果能提前发现并对结构进行针对性的养护和加固，不仅能够提高公路结构物的使用寿命，而且能够避免大部分结构安全事故的发生。

从技术研究来看，国外聚焦空天遥感与智能技术融合，监测体系日趋成熟。休斯顿大学牵头的国际团队在《自然通讯》发表研究，首次用多时干涉合成孔径雷达卫星技术实现桥梁毫米级位移监测，可捕捉山体滑坡、结构老化引发的细微变形，覆盖全球 60%以上大跨度桥梁，大幅降低传统人工巡检成本。代尔夫特理工大学进一步验证该技术实用性，推动国际标准化组织制定卫星监测数据采集、风险评估等全流程规范，助力技术规模化落地。

国内以多技术融合为核心，聚焦实操性和规模化应用。智能感知技术把传感器、物联网、大数据和人工智能等多学科知识融合，实现对目标对象状态和环境等信息精准采集、实时传输和智能分析^[11]。智能感知装备迭代加速，无人机巡检系统成为主流，搭载高清摄像、热红外成像和 AI 模块，可识别毫米级裂缝、钢筋外露等病害，突破峡谷、桥墩底部等人工巡检盲区；水下机器人与无人船组合开展桥梁水下检测，结合声呐与声光融合技术，精准探测水下结构缺损和河床基

础掏空情况，替代高危“蛙人”作业模式。无人机配备高分辨率摄像头或其他传感器可收集桥梁结构的详细视觉信息，如裂缝、腐蚀、变形等^[12]。5G+物联网、低功耗多参量传感器技术深度适配场景需求，光纤传感、边缘计算技术进一步优化数据采集和本地分析能力，为结构长周期监测提供支撑。

尽管目前结构体健康监测技术基本成熟，然而对数量众多的基础设施，仍缺乏低成本、简单有效的自动化监测手段，导致自动化监测系统推广面临较大困难。

监测系统通常采用点式感知技术，系统采用模块化设计，传感器布设灵活，可根据工程需求进行扩展或调整^[13]，选取典型结构体的关键截面、关键位置布设传感器，对于非关键区域未布设，无法感知其整体安全状况；建设费用昂贵，通常需要数周甚至2~3月，现有监测系统建设由于交通组织协调工作量大、现场安装设备数量多、软件模块众多且开发周期长、联合调试技术要求高等，导致系统建设周期较长。

2.项目前期科研及现有工作条件（项目的支撑条件，过去相关研究的工作基础，获奖情况，现有的试验手段（设施设备）、研究人员情况及协作条件等）

（1）项目支撑条件

西安工业大学拥有“精密与超精密加工及测量”国家地方联合工程研究中心、“新型网络与检测控制”国家地方联合工程实验室、“光学先进制造与光电检测”国际科技合作基地、陕西省光电测试与仪器

技术重点实验室、陕西省新型网络与检测控制工程实验室、陕西省自主系统与智能控制国际联合研究中心、陕西高校军民融合科技创新研究中心、西安市智能探视感知重点实验室、西安市军民两用土木工程测试技术与毁损分析重点实验室、西安市军民两用智能测评技术重点实验室，以及兵器光电测试技术及仪器科研创新团队、精密测量与控制技术科研创新团队、自主智能控制科研创新团队、动态测试与智能信息处理创新团队等。为平台搭建方案和大数据算法研究提供支撑。

陕西高速公路工程试验检测有限公司是国家高新技术企业、省级企业技术中心、省“专精特新”企业，是我国西部地区最大的公路工程试验检测机构，综合实力处于国内前列，开展交通基础设施智能监测业务。现有陕西省智慧交通产业中试基地、西安市交通土建结构安全监测工程技术研究中心、卫星交通行业应用研究中心、秦创原陕西交控创新中心，以及陕西省秦创原交通基础设施性能感知智慧提升技术研究与应用“科学家+工程师”队伍和交通土建结构安全监测工程技术创新团队。为项目落地和产业化建设提供支撑。

陕西高速星展科技有限公司是国家高新技术企业、陕西省高新技术企业、陕西省瞪羚企业、西安市高新技术企业，拥有两条“智能检测仪器装备产业线”。公司聚焦 BIM+GIS、AI 算法、大数据、物联网、卫星通信等先进技术的研究与应用，拓展智慧交通、智能水利、智慧工地、应急救援等领域。2023 年初建成投产 2000 余平米的“交控智造秦创原生产基地”，该基地是陕西交控集团“7783”战略规划的重要一环。是集技术研发、智能制造、系统集成、大数据分析等为

一体的行业解决方案服务商。为桥梁简易感知报警设备的研制工作提供支撑。

陕西交控数字科技有限公司是陕西交控集团混合所有制试点企业，是从事智慧交通系统技术研发、产品制造、技术服务的高新技术企业，在传统 IT 集成、数字化转型、大数据、云平台、5G、人工智能、北斗卫星通信、智慧交通物联网设备生产、智能传感器生产等领域积累了大量自主创新技术，开发了道路安全防控监测预警系统平台、隧道安全防控体系数字孪生平台、智慧服务区综合管理决策系统平台等，从数据采集、数据传输、数据分析、数据应用和定制化开发全链条为智慧交通提供一站式解决方案，是行业领先的智慧交通综合解决方案服务商。为算法研究和系统平台搭建及优化升级提供支撑。

长安大学是教育部和交通运输部、国土资源部、住房和城乡建设部、陕西省人民政府共建的国家首批“211 工程”重点建设大学，国家“985 工程优势学科创新平台”建设高校，国家“双一流”建设高校，是西北地区土木工程专业门类最齐全、学科实力最强的国家重点大学。现有桥梁结构安全技术国家工程实验室、特殊地区公路交通基础设施可持续发展国际合作联合实验室、特殊地区公路工程教育部重点实验室、旧桥检测与加固技术交通运输行业重点实验室、公路大型结构安全教育部工程中心、特殊区域公路建设与养护技术交通运输行业协同创新平台、“一带一路”沿线交通基础设施数字化建设与管理国际联合中心、道路基础设施数字化教育部工程研究中心、生态安全屏障区交通网设施管控及循环修复技术交通运输行业重点实验室、西

部交通安全与智能控制协同创新中心等。为设备共享和技术验证工作提供支撑。

2020 年，开展校企科研合作基地、研究生联合培养基地建设；2022 年，开展校企科研队伍共建，实施陕西省秦创原交通基础设施性能感知智慧提升技术研究与应用“科学家+工程师”队伍建设，明确了基地和队伍的责权利。双方前期围绕大数据处理、监测平台构建、应急管理的共性技术等内容，进行了科研合作。

(2) 研究工作基础

1) 前期开展科研项目

前期已开展相关研究成果和技术资料总结工作，完成课题研究大纲和具体实施方案。前期承担 20 项相关科研项目（如表 1），出版 4 部著作，发表 70 多篇相关论文，获 16 项授权专利。1 人次获人才计划支持。

表 1 相关科研项目

序号	项目名称	立项编号	经费 (万元)	起止年月	项目来源	项目负 责人
1	高速公路边坡滑坡风险区与隐患点双控预警关键技术研发与应用	2025SF-YBX M-163	6.00	2025.06- 2026.12	陕西省科学技术厅	郭庆军
2	北斗技术与应急管理信息系统的深度融合应用研究	2023HZ1553	5.00	2023.10- 2023.12	陕西省社会科学界联合会	郭庆军
3	陕西省基础设施关键环节重大风险智能防控研究	2020KRM149	3.00	2020.07- 2021.06	陕西省科学技术厅	郭庆军
4	陕西省基础设施建设阶段机会主义行为可传染性研究	2022KRM030	3.00	2022.03- 2023.02	陕西省科学技术厅	郭庆军
5	基于隐性风险的地铁施工中未遂事件行为研究	17YJC63003 2	8.00	2017.07- 2020.06	教育部	郭庆军

6	陕西省重大项目安全隐患影响研究	2018KRM078	3.00	2018.07-2019.06	陕西省科学技术厅	郭庆军
7	桥梁加固后性能评价及养护对策研究	H202304069	5.00	2022.09-2023.09	陕西高速公路工程试验检测有限公司	郭庆军
8	隧道进出口边仰坡危岩体崩塌灾害分析监测防护研究	H202212313	22.00	2022.01-2024.12	陕西高速公路工程试验检测有限公司	郭庆军
9	《大件运输车辆公路桥梁通行评估规程》编制	H202111255	8.50	2021.10-2021.12	陕西高速公路工程试验检测有限公司	郭庆军
10	路面定期检查咨询	H202302016	8.50	2022.06-2023.01	陕西交控工程技术有限公司	郭庆军
11	高速公路滑坡监测预警系统关键技术研究	13-28K	300.00	2013.01-2015.12	陕西省交通运输厅	邵永军
12	基于全寿命周期的大跨径连续刚构桥梁关键技术研究	13-25K	300.00	2014.01-2017.11	陕西省交通运输厅	邵永军
13	陕西省大件运输管理及桥梁安全评估关键技术研究	14-15K	300.00	2014.01-2015.12	陕西省交通运输厅	邵永军
14	动力学特性参数在役桥梁安全评估中的应用研究	KY16-11	80.00	2016.03-2023.12	陕西省高速公路建设集团公司	邵永军
15	智能无人机桥梁检测系统的研发及应用	KY17-09	90.00	2017.03-2018.12	陕西省高速公路建设集团公司	邵永军
16	冻土对交通及管线影响之地温监测系统研制	H201906092	15.90	2019.06-2020.05	中科院寒旱所	雷斌
17	青藏高原（治多县北麓河）冻土生态地温检测系统	H201911198	10.24	2019.09-2021.12	中科院寒旱所	雷斌
18	青藏高原红梁河地温远程监测系统研制	H201705064	12.20	2017.06-2018.06	中科院西北生态院	雷斌
19	北麓河站桩基场地监测系统研制	H201911219	18.54	2019.07-2020.12	中科院寒旱所	雷斌
20	安岚高速 AL-C18 合同段隧道监控量测	H202203011	81.77	2021.07-2023.12	中铁十四局集团第三工程有限公司安岚高速	王睿

					AL-C14 合同段项目经理部	
--	--	--	--	--	-----------------	--

项目“高速公路边坡滑坡风险区与隐患点双控预警关键技术研发与应用”中预警关键技术研发为本项目监测预警关键技术提供参考。

项目“北斗技术与应急管理信息系统的深度融合应用研究”中应急管理信息系统为本项目安全监测系统平台的开发提供借鉴。

项目“陕西省基础设施关键环节重大风险智能防控研究”中智能防控为本项目大数据挖掘和算法研究提供思路

项目“桥梁加固后性能评价及养护对策研究”中性能评价及养护对策为本项目预防性智慧养护决策方法体系奠定基础。

2) 前期工作基础

陕西高速公路工程试验检测有限公司坚持技术创新，是服务交通行业建设和运管全过程的国家高新技术企业。公司与长安大学、西安建筑科技大学、西安工业大学等公司签订战略合作协议，开展全方位的结构群技术应用研究；与中国铁道科学研究院、同济大学、武汉大学、铁一院、中南大学等在交通基础设施监测领域有长期稳定合作。

在公路结构物（长大桥隧、高陡边坡）的监测方面，公司长期开展桥梁、隧道、边坡监测业务，有着丰富的工作经验和深厚的技术积累，现有西安市交通土建结构安全监测工程技术研究中心、陕西省智慧交通产业中试基地。在桥梁、隧道和边坡监测方面开展了前置性研究工作，对结构群的监测预警和评估有深入研究，在监测技术及设备研发、监测系统平台方面取得了丰硕成果，获得多项相关知识产权，相关产品和技术已在国内多个省份的高速公路（桥梁、隧道、边坡）、

市政、高铁、水利、古建等进行了广泛应用。

公司在 2020 年开展公路结构群智能监测预警关键技术研究及系统开发，项目主要针对聚焦公路结构群领域核心技术攻关，致力于形成成熟的科技研究成果和产业化渠道，全面提升行业在该领域的自主创新能力和产业核心竞争力。

围绕桥梁和隧道口仰坡，精准锁定适用于不同类型结构的安全监测核心参数，系统筛选并验证各类监测方法，通过对多源监测数据的智能识别、深度分析和协同处理，从复杂的结构响应中有效分离并修正环境动态变化、外部荷载施加等时变因素造成的干扰，建立更为科学、精准、具备自适应能力的结构安全监测预警阈值体系。

在硬件和通讯方面，项目将重点研发面向结构安全监测的新型物联网终端设备，包括高灵敏度、多参数集成的专用传感器及智能采集装置，并推动其与现有主流监测设备的深度融合和标准化适配，构建选型灵活、扩展便捷的体系化设备库。突破近场通讯、5G 高速通信与卫星远程传输的技术壁垒，研发多网协同、无缝切换的联合数据通讯技术，确保在复杂路网环境下实现监测数据的稳定、高效、低延迟传输。

在软件平台方面，项目将深度融合 BIM 和 GIS 技术，搭建一体化系统平台。核心任务包括制定基于 BIM+GIS 模型的构件划分粒度标准，研究平台基础框架架构、监测数据与三维模型的高效交互机制及标准化存储方案，探索第三方系统的统一接口和数据交换协议，最终实现路网级监测系统的可靠搭建和规模化推广应用。

(3) 获奖情况

获 5 项厅局级以上科技奖，如表 2。

表 2 获奖情况

序号	获奖项目名称	奖励名称	等级	授予机构	获奖时间	获奖人及排序
1	冻土工程与环境监测系统关键技术与工程应用	陕西省科学技术进步奖	二等奖	陕西省人民政府	2020 年 4 月	雷斌 (1/11)
2	工程项目控制与协调机理研究	陕西省科学技术奖	三等奖	陕西省人民政府	2011 年 3 月	郭庆军 (2/6)
3	高寒领域联合观测系统	西安市科学技术奖	三等奖	西安市人民政府	2018 年 1 月	雷斌 (1/8)
4	大件运输综合业务管理系统暨通行桥梁快速评估、监测预警成套技术	陕西省科学技术进步奖	二等奖	陕西省人民政府	2020 年 4 月	邵永军 (5/9)
5	隧道围岩松动圈确定方法及应用研究	中国公路学会科学技术奖	二等奖	中华公路学会	2018 年 12 月	王睿 (1/10)

(4) 现有的试验手段

西安市军民两用土木工程测试技术与毁损分析重点实验室依托西安工业大学土木工程、控制科学与工程和兵器科学与技术学科，开展土木工程领域智能检测、监测和测试技术、毁损分析研究。现有固定人员 30 名，其中高级职称 21 名、博士学位 25 名。实验室面积近 2000 平方米、设备总值 3000 余万元。

陕西智慧交通产业中试基地聚焦交通运输领域关键技术攻关、核心装备研发和系统集成创新。围绕中试熟化、产品研发、试验验证、样品试制、场景应用等全链条开展服务。实验室面积 900 平方米、中试产线面积 500 平方米和专业测试区面积 180 平方米，配套十余处室外验证场，形成“基础研究-技术攻关-应用场景-成果产业化”的无缝衔接体系。

桥梁结构安全技术国家工程实验室现有固定人员 31 名，其中高级职称 25 名、博士学位 27 名。实验室面积 6156 平方米、设备总值 3000 余万元。

陕西省公路桥梁与隧道重点实验室现有固定人员 45 名，其中高级职称 26 名、博士学位 13 名。实验室面积 4500 平方米、设备总值 1000 多万元。美国产 32 通道超低频动态测试系统、日本产 TDS-602 数据采集系统、20MN 长柱机、10MN 预应力张拉测试系统和预应力松弛试验机是具有世界一流水平的高精尖仪器设备。

（5）研究人员

研究人员 15 名，其中高级职称 6 名、博士学位 3 名。高校人员 4 名、企业人员 11 名。有电子信息、土木工程、工程管理多学科背景，理论研究人员与实践应用人员结合，在该领域积累了扎实的理论基础和丰富的实践经验，具有较强的数据融合和案例分析能力，能够熟练运用多种数据处理、设备研发工具。成员间曾合作多个相关项目，具有良好的研究氛围，均能保证有充足的时间从事该项目。

1) 项目负责人

郭庆军，博士，教授，博导。西安工业大学建筑工程学院副院长，英国考文垂大学访问学者，陕西省师德先进个人。国家一流专业（土木工程）建设点负责人，陕西省课程思政示范课程和教学团队负责人。中国土木工程学会工程管理分会理事，中国建筑学会工程诊治与运维分会理事，中国城市经济学会生态修复与绿色发展专业委员会委员，陕西省能源项目管理与创新战略智库成员，陕西省注册建造师继续教

育专家委员会委员，西安市军民两用土木工程测试技术与毁损分析重点实验室副主任，西安市建筑垃圾处理和环境治理专家。

主要从事土木工程建设与管理的研究。获省级教学成果奖 3 项、省优秀教材 2 部。主持或参与科研项目 30 余项，获省级科技奖 2 项。发表论文 80 余篇，其中 SCI、EI、人大复印、CSSCI、CSCD 等检索论文 30 多篇，其他核心期刊论文 27 篇。获授权专利 5 项（发明专利 2 项），参与完成行业协会规范 1 部。

2) 主要成员

邵永军，硕士，正高级工程师，硕士生导师，主要从事公路桥梁交通基础设施运营管理、交通信息化的研究，现任陕西高速公路工程试验检测有限公司董事长，获陕西省交通运输厅青年科技英才称号。主持或参与科研项目 16 项，主导或参与多项新型监测和检测仪器设备研制，主持或参与完成地方标准 3 部、团体标准 2 部，获陕西省科学技术进步二等奖、陕西省交通运输科学技术二等奖等。

雷斌，硕士，副教授，硕士生导师，主要从事导航制导与控制、兵器工程、电子信息的研究。主持或参与科研项目 30 余项，获陕西省科学技术进步二等奖、西安市科学技术三等奖等。发表论文 20 余篇，获授权专利 18 项。

任晓辉，硕士，高级工程师，主要从事桥梁监测、桥梁技术状况评定分析、结构安全设计等的研究，现任陕西高速星展科技有限公司董事长。主持或参与科研项目 13 项，获省部级奖 2 项。发表论文 15 篇，获授权专利 8 项（发明专利 2 项），参与完成地方标准 1 部。

刘波，本科，中级工程师，主要从事智慧监测、安全检测、卫星通信、数字化平台的研究，现任陕西高速公路工程试验检测有限公司数字事业部主任。主持或参与科研项目 7 项，自主开发设计产品 9 项，3 项被“陕西省年重点新产品”认定，获交通运输协会科学进步一等奖、上海铁路集团技术进步三等奖等。发表论文 2 篇，获授权发明专利 3 项、实用新型专利 11 项、外观专利 6 项、软著 18 项。

王睿，博士，副教授，硕士生导师，主要从事岩土与地下工程、城市地下空间工程的研究。主持或参与科研项目 23 项，获中国公路学会科技进步二等奖、陕西高校科学技术二等奖、中国公路交通建设行业科技创新成果二等奖等。发表 SCI/EI 论文 15 篇，发表核心期刊论文 26 篇。

（6）协作条件

团队成员间合作多年，相互了解，已成功在智能监测领域进行了深入研究。

1) 高精度 GNSS 设备研发

通过陕西省公路学会收集企业关于高精度位移测量需求，陕西高速公路工程试验检测有限公司与西安工业大学联合开展高精度 GNSS 设备研发。依托交通运输部卫星技术交通运输行业研发中心和秦创原陕西交控创新中心等平台开展中试，在交控“智”造秦创原生产基地生产，通过陕西省交通强国试点成果交流大会、第五届大数据与公路智能养护管理技术论坛等方式推广。地表位移监测仪、激光位移计在甘肃长大桥梁、蜀道长大桥梁、广西长大桥梁等监测项目中使

用，推广至青藏铁路、京沪铁路等 6 条铁路线。联合获 1 项实用新型专利、5 项软件著作权。

2) 地方标准联合编制

受陕西高速公路工程试验检测有限公司委托，开展《大件运输车辆公路桥梁通行评估规程》编制工作，联合完成大件运输车辆公路桥梁通行评估的基本要求、评估方法及要求、通行监测的内容及要求，列入陕西地方标准《大件运输车辆公路桥梁通行评估规程》（DB61/T 1574-2022）。适用于对大件运输车辆通行陕西省公路配筋混凝土梁式桥的安全评估和实时监测，其他类型公路桥梁通行评估可参照执行，为陕西公路大件运输安全通行评估提供技术指导。

3) 研发成果军民两用

围绕传统基础设施迭代升级，聚焦我省物联网产业链和西安市智能终端产业链建设需求，结合学校兵工特色和企业服务地方优势，开展军民两用智能物联设备研发、智能检测与控制等关键技术推广。在隧道、桥梁监测技术和仪器设备研发方面取得突破，多项技术处于国内领先水平。“大件运输综合业务管理系统暨通行桥梁快速评估、监测预警成套技术”在陕西省公路局、地市办证点、省界办证点，以及西禹高速公路、福银高速公路、包茂高速公路等 8 座典型桥梁监测预警示范工程应用，获陕西省科学技术进步二等奖；“冻土工程与环境监测系统关键技术与工程应用”在青藏铁路和青藏公路、哈大高铁和哈齐高铁等多个重大冻土工程项目中成功应用，获陕西省科学技术进步二等奖。

3.参考文献

- [1] 交通运输部.2024 年交通运输行业发展统计公报[R].北京:交通运输部,2025.
- [2] 交通运输部.公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定[Z].北京:交通运输部,2018.
- [3] 中华人民共和国交通运输部.公路桥梁结构监测技术规范 (JT/T 1037-2022) [S].北京:人民交通出版社,2022.
- [4] 交通运输部.公路大件运输安全通行评价技术规范 (JTG/T 2213-2023) [S].北京:人民交通出版社,2023.
- [5] 胡凯.桥梁位移监测技术的研究与应用[J].黑龙江交通科技,2020,43(09):121-122.
- [6] 张敬伟,满新杰.结构健康监测技术在公路桥梁养护中的应用[J].交通节能与环保,2023,19(S1):143-146.
- [7] 王琰莉.公路养护安全技术应用与发展趋势[J].产品可靠性报告,2025,(11):241-242.
- [8] 莫兴盛.公路桥梁常见病害影响因素及养护管理研究[J].低碳世界,2024,14(07):133-135.
- [9] Boonsiripant S ,Lertworawanich P ,Sawangsurriya A , et al.Enhancing Road Maintenance Prioritization: Single Index Screening and Unified Pavement Assessment Metric Integration[J].Transportation Research Record,2025,2679(10):616-628.
- [10] 邓博,闫鹏飞.桥梁照明与结构安全协同设计分析[J].灯与照

明,2025,49(06):32-34.

[11] 马瑞.智能传感技术在施工裂缝控制中的应用研究[J].建筑技术开发,2025,52(10):81-83.

[12] 易小伟.健康监测技术在市政桥梁结构安全评估中的应用研究[J].工程建设与设计,2023,(18):110-112.

[13] 丁佳芳.新质生产力视角下电气装备智能感知、预测性维护与价值创造新模式[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第六届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会论文集.浙江容大电力工程有限公司;2025:130-132.

[14] 晏慧能,卢志刚,王瑞,等.应用型高校项目化 GNSS 实习研究[J].中国教育技术装备,2025,(22):169-173.

[15] 陕西省市场监督管理局.大件运输车辆公路桥梁通行评估规程 (DB61/T 1574-2022) [S].西安:陕西省市场监督管理局, 2022.

[16] 宋少武.人工智能驱动的军民结合企业智能制造转型路径研究[J].中国军转民,2025,(18):49-50.

三、实施方案

1. 拟解决的关键问题（指对项目成果水平起决定作用的技术难点，或研究中能形成较强竞争力，具有自主知识产权的创新技术）

针对交通基础设施养护需求，以桥梁和隧道口仰坡为对象，借助企业大数据中心（IDC），升级智能传感监测技术，集成数据信息，打造分析处理、智能管控、服务模块，提出海量异构数据处理算法，搭建动态扩展的数据中心架构，研建结构安全监测预警平台。

(1) 道路基础设施多源数据融合感知技术研究。针对桥梁基础设施采集的多源监测数据,采用多线程、数据缓存、边缘计算等方式融合处理,实现桥梁结构安全性监测和异常预警。研制 1 款产品。

(2) 基于多源异构数据的预处理和汇聚融合研究。基于特征融合和深度学习的海量异构数据处理,进行遗漏数据分析处理。利用聚类数据分析方法,分析桥梁主梁桥墩沉降等趋势,判断结构整体、构件位移异常变化以及超限报警,辅助指导桥梁构件检查和维修加固等养护决策。对设施运营和结构安全进行监测预警。

(3) 结构安全监测预警平台研建。利用 BIM+GIS 技术构建结构体三维数字化信息库,开发数据可视化功能,将桥梁隧道的结构模型与监测数据结合,实现结构响应和结构变化等定量数据的全天候实时获取展示。

2. 主要研究内容及实施方案(根据研究目的和考核目标合理地分解确定研究专题,突出重点,各专题研究内容要具体,避免交叉重复)

(1) 主要研究内容

1) 基于 BIM+3D GIS 的语义互操作技术和标准体系

以结构相关信息数据作为模型基础,建立不同类型结构的监测指标体系,形成对应预警等级和判定标准,如分级预警规则、数据接口标准、网络安全等。元数据的定义及建模,基于语义描述和映射的元数据集成规则,多源异构元数据优化建模,如图 1。



图 1 优化建模

监测海量数据分析与处理。多源异构数据的预处理和汇聚融合，大数据高效存储与非结构化数据处理分析，基于特征融合和深度学习的海量异构数据处理，如图 2。

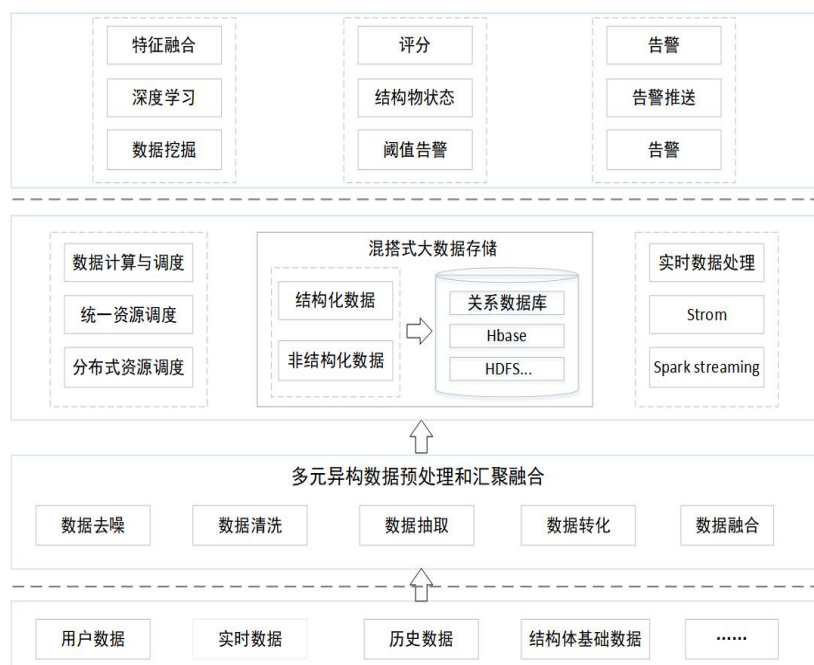


图 2 数据分析与处理

消除多源异构元数据融合过程中的冲突，保证数据实例层一致。实现形成对应预警等级和判定标准的目标。

2) 基于大数据的预防性养护智能决策技术

构建一个开放统一的大数据分析平台(统一流程规范、统一技术标准、统一数据管理、统一角色管理、统一用户登陆、统一界面风格),形成预防性智慧养护决策方法体系。实现平台具备全渠道服务接入能力的目标,如图3。

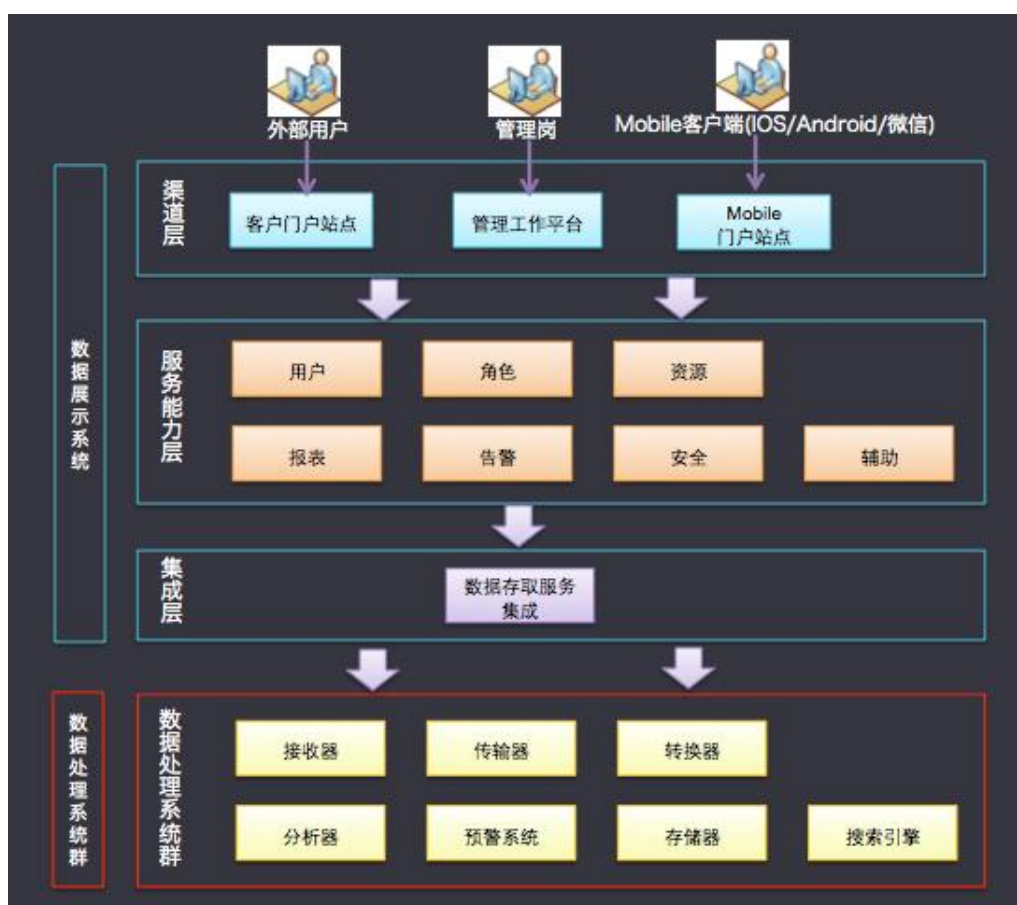


图3 大数据分析平台

(2) 实施方案

1) 桥梁结构

针对陕西省常见桥梁结构类型,开展健康监测的大数据分析与处理对策、结构预警及评估指标体系研究。

2) 隧道口仰坡结构

调研我省隧道口仰坡常见典型风险,分析主要风险类型,研究其

各自影响仰坡结构安全的关键因素，基于关键因素的敏感度分析方法，确定各自关键安全监测参数，提出隧道口仰坡安全监测指标体系和测点布设方案。包括深部位移和表面位移变化等，确定隧道口仰坡结构安全评估指标体系评定标准。

（3）数据分析统计

①大数据处理及分析对策

大数据处理首先采用数据分类、聚类分析，对结构不同测点、不同类型的监测数据进行聚类分析；利用小波变换、神经网络、ARIMA等分析方法得出结构监测数据的发展趋势；采用关联分析、异常数据识别，探究不同类型监测参数之间的相关规律，识别异常数据；对运行中的定期检查、特殊检查、日常巡查、监测数据进行数据融合。

②监测预警及评估指标体系

总结现有桥梁的基本状况数据、检测数据、监测数据及结构有限元分析模型计算结果，归类分析，量化安全状态差异性，对比各项安全监测关键参数指标水平，并与设计指标及相关规范标准相对比，建立常见类型的多层次安全预警指标体系和安全风险评估方法。

3. 技术路线（包括研究技术方案和工作流程两部分。研究技术方案：应清楚表达拟运用的理论和方法，如调查研究，要表述调查的对象、范围、数量和调查材料（数据），取得的方法及手段；室内外试验，要拟定出试验的种类、规模、数量及相应的方案；理论研究与分析，要提出分析依据的理论和拟采用的分析方法，明确有否创新或改进的内容，要做到思路清晰，技术可行，能全面包括研究全过程的

各个环节；研究工作流程反映各项研究工作之间的顺序和相互关系，可用树状框图表达）

(1) 技术方案

本项目以搭建一套平台、研究一套算法、研制一套设备为核心，开展关键技术研究，技术路线如图 4。

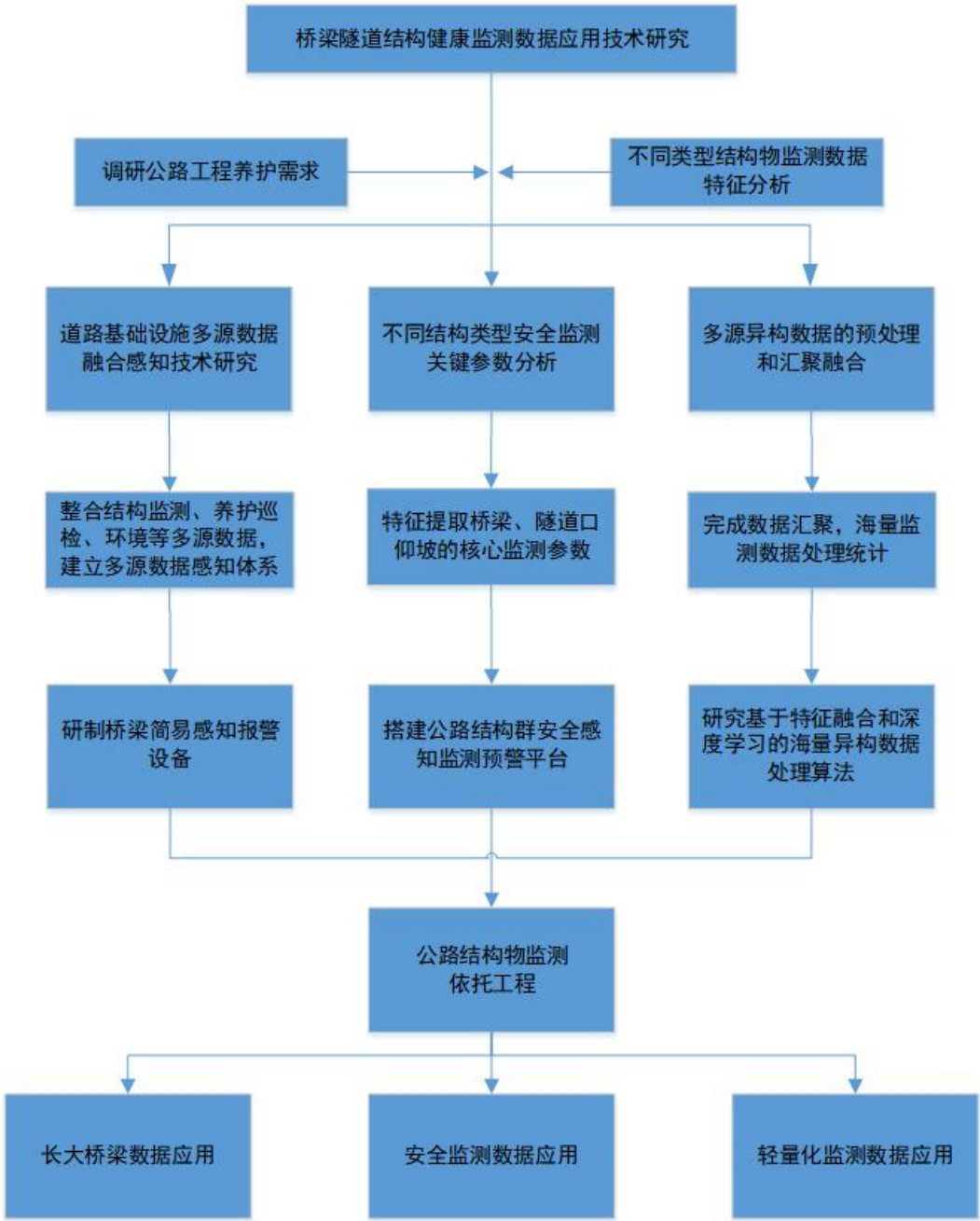


图 4 技术路线

1) 桥梁简易感知报警设备的研制

开发 1 种新型桥梁简易感知报警设备。该设备采用一体化集成架构，整合振动倾角、测量范围、精度、采样频率、续航、防护等级等核心监测参量，内置数据采集、低功耗供电和无线传输模块，实现监测数据采集、供电、传输全流程自主运行，具备边缘分析数据的能力；基于桥梁结构运营状态识别算法，设备可动态切换数据采集频率、分析精度和上报周期，常态下以低频次采集满足长周期趋势监测需求，突发状况时自动启动高频采集和实时分析；通过物联网平台，实现自定义唤醒模式、报警阈值、采样频率和上报周期等功能。当测量值超过阈值，设备在报警同时上报事件前后的监测数据。

2) 安全监测系统平台的开发

系统平台聚焦在结构安全，基于多维度数据查询功能，实现实时数据、历史监测数据的追溯和分析，进行异常、预警和离线统计，在软件平台以弹窗方式显示。利用大数据、人工智能等先进技术，实现主要功能包含：数据处理，适配桥梁、隧道多种类型传感器的多源数据解析；数据分析，对监测数据进行数据清洗、计算、统计和分析；应急预警，开发预警信息推送；第三方系统及数据接入或对接，系统平台中的接口众多，依赖关系复杂，通过接口交换的数据必须遵循统一的接口模型进行设计，考虑接口的开放互通和安全管理，制定适合系统平台统一的数据交换标准，避免因接口不一造成数据无法接入或使用效率差等问题。

3) 基于特征融合和深度学习的海量异构数据处理算法

面临数据海量性、异构性和复杂性带来的挑战，实现特殊场景预

警及深度分析。监测系统集成多种传感器的一体化设备，采集海量时序数据、空间数据和非结构化图像数据。研究一种基于特征融合和深度学习的创新算法，实现对该场景下海量异构数据的智能化、精准化分析和预警。识别不同模式下结构体健康特征，为桥梁隧道稳定性分区管理提供依据。通过数据挖掘和关联分析，发现影响结构健康状况的关键因素和敏感指标，为结构的预防性维护和优化设计提供参考信息。算法可有效克服单一数据源分析的局限性，充分释放多源异构数据的协同价值。在实际桥梁隧道口仰坡监测场景中，能显著提升对结构病害检出率，降低误报率，为结构的预防性养护和科学决策提供数据支撑。

（2）工作流程

1）2026 年 03 月-2026 年 05 月

完成前期调研和技术成果的收集整理，确定项目重点内容和细化实施方案，进行结构安全敏感元素分析，构建桥梁隧道口仰坡监测多源数据库。

2）2026 年 06 月-2026 年 10 月

提出针对安全监测数据的识别和处理方法，通过对依托工程在线安全监测系统采集到的数据进行验证和修正；研制一款桥梁简易感知报警设备，该设备集成振动倾角、测量范围、精度、采样频率、续航、防护等级等多参量为一体；初步搭建结构群安全感知监测预警平台。

3）2026 年 11 月-2027 年 02 月

完成关键监测参数的安全预警指标及阈值研究，将结构群设计指

标、相关桥梁规范标准、预警阈值进行对比分析；优化升级结构群安全感知监测预警平台；进行研制设备的验证、检定。发表论文 1 篇，授权专利 1 项。

4) 2027 年 03 月-2028 年 03 月

开展基于交通大数据的道路基础设施预防性养护智能决策系统研究，整理分析依托工程的安全监测数据，对前期研究成果进行验证、优化和完善。接入 3 处运营公路结构体监测项目。授权专利 1 项，整理研究数据，形成研究报告。

4. 后续技术改造或基本建设计划的衔接（项目研究的成果提出的技术或理论可供实际对象应用的推测，在一定程度上反映成果的成熟性和市场需求情况）

通过多源传感器实时采集结构状态数据，结合人工智能与大数据分析，实现对结构安全的智能评估和预警，应用场景覆盖日常监控、灾害应急、养护决策等全生命周期管理。

（1）应用方法

1) 多维度数据采集和融合。利用光纤光栅传感器、雷达水位计、倾角计、固定式测斜仪等设备，实时采集应变、水位、倾角、边坡深部位移等关键参数。通过物联网技术将数据传输至云端，结合环境数据进行多源融合，消除干扰因素。

2) 智能化数据处理分析。数据预处理：去除噪声干扰及异常数据（主要通过 3 倍标准差原则筛选），缺失数据填补（根据数据特征选择插值法或者时间序列分析方式）；特征筛选：结合相关理论知识

和数据趋势分析，如聚类、主成分分析等得出相关指标；数据分析：温度与结构响应的相关性分析（通过中值滤波及相关系数变化趋势分析，根据相关系数均值及标准差确定区间，当后续超过该区间时可辅助超限报警），或采用神经网络、时间序列、深度学习等方式分析趋势变化。

3）数字孪生和可视化管理。将桥梁和隧道口仰坡监测数据进行图表可视化展示，实现动态建模与实时同步，建立可视化预警体系。

（2）应用场景

1）日常监控和实时预警。对桥梁隧道口仰坡进行全天候连续监测，及时发现异常、突变等问题。

2）异常报警和辅助决策。综合运用梯度算法、矩阵体系算法精准分析气象、结构变形的监测数据，采取自动弹窗、声光报警等方式进行提醒预警，动态呈现桥梁、隧道、边坡的测点异常情况。

3）养护规划与资源优化。从“定期养护”转向“按需养护”，基于健康状态预测制定中长期养护计划，优化资金与人力分配。

（3）技术迭代与长效验证

项目示范工程落地后，可在陕北黄土高原、秦巴山区等典型路段设置长期观测点，持续跟踪监测装备运行状态和平台预警效果，每年度开展一次技术复盘，结合实际病害处置数据优化算法模型和预警阈值，同步收集养管单位反馈，推动监测技术、装备及平台的动态迭代，确保成果长期适配陕西公路养护需求。

（4）成果推广与标准化建设

项目实施过程中同步开展技术标准研究，以智能监测技术、适配装备和监测平台为核心，形成可复制可推广的解决方案，推动科研成果应用。

5. 有关技术经济指标（叙述项目取得的成果中研究开发的技术、产品具体的技术经济指标（如适用条件、单位耗材、单位造价等）以及性能指标（如技术参数、精度等）。定性描述与定量相结合，以定量为主）

（1）对高速公路桥梁、隧道口仰坡等重点部位布设倾角计、温湿度计等智能传感设备，实行 24 小时联网监测，及时预测、发现、应对桥梁、隧道口仰坡等重点部位的不安全状态，及时推送预警信息到运营管理部门，实现“人防、技防”的安全管控模式。

（2）构建基于 BIM+GIS 融合技术的结构体三维数字化信息库，系统网络安全等级不低于二级。

（3）基于监测系统平台，开展结构体不同测点数据统计分析，如最大值、最小值、均方根等，并实现长大桥梁单因素分析和多因素分析。

（4）平台可接入监测终端数 ≥ 1000 个传感器/采集终端，具备并发能力。平台具备功能扩展能力，提供标准化 API 接口，支持新增监测参数。

四、项目承担单位及参加单位概况

1. 单位概况

（1）西安工业大学

陕西省重点建设的高水平大学，是陕西省“国内一流学科建设高校”，是教育部“卓越工程师教育培养”试点高校，是国家“兵工七子”成员之一，是我国兵器行业部署在西北地区唯一一所本硕博培养层次完整的院校，是陕西省人民政府与国家国防科技工业局、中国兵器工业集团有限公司、中国兵器装备集团有限公司共建高校。拥有3个国家重点科研平台和32个省部级研究基地。获5项国家科学技术进步二等奖、100余项国防和省部级科学技术成果奖，获评中国产学研合作创新先进单位。

（2）陕西高速公路工程试验检测有限公司

陕西交通控股集团有限公司重点三级子企业，是国家高新技术企业，主要业务方向是检验检测、监测、评估与认证服务（公路、铁路、市政方向，拥有交通部公路工程综合甲级、桥隧专项和机电专项试验检测机构资质、中国合格评定国家认可委员会颁发的实验室认可证书，以及市政工程和铁路行业相关资质），公路养护安全运维新技术（结构与设施设备监测、环境监测及修复），智慧交通建设（基础设施信息数字化、卫星技术在交通行业应用）。现有陕西省智慧交通产业中试基地、陕西省级企业技术中心、西安市工程技术研发中心。

（3）陕西高速星展科技有限公司

依托陕西高速公路工程试验检测有限公司交通土建结构安全监测工程技术创新团队孵化的国家高新技术企业，是陕西省高新技术企业、陕西省瞪羚企业、西安市高新技术企业，开展工程数据处理和云平台、监测设备技术、检测设备技术、专业软件开发和服务等，拥有

两条“智能检测仪器装备产业线”。

(4) 陕西交控数字科技有限公司

陕西交控集团混合所有制试点企业，从事智慧交通系统技术研发、产品制造、技术服务的高新技术企业，在传统 IT 集成、数字化转型、大数据、云平台、5G、人工智能、北斗卫星通信、智慧交通物联网设备生产、智能传感器生产等领域积累了大量自主创新技术，开发了道路安全防控监测预警系统平台、隧道安全防控体系数字孪生平台、智慧服务区综合管理决策系统平台等，是行业领先的智慧交通综合解决方案服务商。

(5) 长安大学

长安大学是教育部和交通运输部、国土资源部、住房和城乡建设部、陕西省人民政府共建的国家首批“211 工程”重点建设大学，国家“985 工程优势学科创新平台”建设高校，国家“双一流”建设高校，是西北地区土木工程专业门类最齐全、学科实力最强的国家重点大学。现有 9 个一级学科博士点、33 个一级学科硕士点、9 个博士后科研流动站。年科研经费突破 8.8 亿元，年授权专利 1300 余项。近年来获国家科学技术进步一等奖、二等奖共 22 项。

2. 技术力量及人员构成

序号	姓 名	单 位	性别	年龄	技术 职称	专业	在项目中担任 具体工作
1	郭庆军	西安工业大学	男	47	正高级	智能建造	整体方案

2	邵永军	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	48	正高级	交通信息化	数据中心架构
3	雷斌	西安工业大学	男	59	副高级	通信工程	安全监测技术
4	任晓辉	陕西高速星展科技有限公司	男	44	副高级	桥梁工程 试验检测	项目管理
5	刘波	陕西高速公路工程试验检测有限公司	男	38	中级	系统集成	结构安全监测 技术及设备
6	王睿	西安工业大学	男	44	副高级	隧道工程	结构安全监测 预警参数
7	张鑫	陕西高速公路工程试验检测有限公司	女	34	中级	信号与信息处理	基础设施语义 互操作技术
8	高轲	陕西交控数字科技有限公司	男	32	助理工程师	计算机科学与技术	软件开发
9	常江铭	陕西交控数字科技有限公司	男	30	助理工程师	电子科学与技术	算法研究
10	许江波	长安大学	男	40	正高级	桥梁工程	结构安全监测 技术及设备
11	王娟	陕西高速星展科技有限公司	女	37	助理工程师	信息化	设备调试与运 维
12	吴园园	陕西高速星展科技有限公司	男	29	助理工程师	信息化	软件开发
13	杨俊逸	陕西高速星展科技有限公司	男	29	助理工程师	电子信息工程	设备调试与运 维
14	陈佳欣	陕西高速星展科技有限公司	女	25	助理工程师	动画设计	UI 设计

15	贺佳佳	陕西高速星展科技有限公司	女	35	中级	智能建筑	方案设计
----	-----	--------------	---	----	----	------	------

3. 各自承担的主要工作

西安工业大学团队主要围绕项目研究内容和目标,借助重点实验室和创新团队,开展项目整体平台搭建方案和大数据算法研究。

陕西高速公路工程试验检测有限公司团队利用设备优势和生产条件为项目实施提供场地,借助秦创原陕西交控创新中心和秦创原生产基地,负责项目落地和产业化建设。

陕西高速星展科技有限公司团队依托陕西省智慧交通产业中试基地的研发平台和试验条件,主要配合项目中桥梁简易感知报警设备的研制工作。

陕西交控数字科技有限公司团队主要配合开展算法研究和系统平台搭建及优化升级。

长安大学团队依托国家和省部级重点实验室,借助先进实验设备,进行设备和技术验证工作。

4. 项目主要负责人情况

郭庆军,博士,教授,博导。西安工业大学建筑工程学院副院长,英国考文垂大学访问学者,陕西省师德先进个人。国家一流专业(土木工程)建设点负责人,陕西省课程思政示范课程和教学团队负责人。中国土木工程学会工程管理分会理事,中国建筑学会工程诊治与运维分会理事,中国城市经济学会生态修复与绿色发展专业委员会委员,陕西省能源项目管理与创新战略智库成员,陕西省注册建造师继续教

育专家委员会委员，西安市军民两用土木工程测试技术与毁损分析重点实验室副主任，西安市建筑垃圾处理和环境治理专家。

主要从事土木工程建设与管理的研究。获省级教学成果奖 3 项、省优秀教材 2 部。主持或参与科研项目 30 余项，获省级科技奖 2 项。发表论文 80 余篇，其中 SCI、EI、人大复印、CSSCI、CSCD 等检索论文 30 多篇，其他核心期刊论文 27 篇。获授权专利 5 项（发明专利 2 项），参与完成行业协会规范 1 部。

五、项目依托工程（工作）情况及其他必要支撑条件

1. 依托工程（工作）概况

依托陕西交控集团有限公司运营管理分公司高速公路长大桥梁监测和安全监测预警系统建设工程项目，选取南村特大桥（图 5），该桥梁是银昆高速 G85 陕西境宝鸡段千阳县崔家头镇上的特大型桥梁，桥梁起点桩号为 K85+490.00、终点桩号为 K86+038.00，全长 548.00m。桥梁上部结构形式采用 3X30m 预应力混凝土连续箱梁+（85m+160m+85m）预应力混凝土变截面连续刚构+4X30m 预应力混凝土连续箱梁。选取 G65（包茂）西镇段 K921+549 短青岔隧道（图 6），经现场踏勘，西安端洞口边仰坡溜塌体及落石。

通过现场踏勘，首要要解决恶劣环境下保障桥墩倾角、桥面状况、水位、隧道口仰坡倾角等多源数据的高精度采集和同步，避免数据误差引发误判；需精准识别结构正常变形和监测数据异常，杜绝预警误报/漏报。通过安装桥梁简易感知设备和振动倾角设备，对上述结构

体进行桥墩倾角变化和边坡倾角变化监测，实现桥面和隧道口仰坡异常状况监测，实现结构体异常实时预警。



图 5 南村特大桥



图 6 G65（包茂）西镇段 K921+549 短青岔隧道

2. 投资来源

该项目主要依托陕西省省交通运输厅补助19.995万和参加单位陕西高速星展科技有限公司自筹20万联合开展研究。

3. 工程进度与项目科研进度的配合

(1) 2026年03月-2026年05月

完成工程现场前期调研,明确各参量的具体监测需求、安装条件和环境约束,确定设备集成方案、性能指标和工程适用性设计。

(2) 2026年06月-2026年10月

在依托工程现场选点,安装设备原型机,采集工程真实环境数据,初步搭建结构群安全感知监测预警平台。

(3) 2026年11月-2027年02月

在工程上验证设备采集数据的准确性和可靠性,依据测试反馈对设备进行迭代修正,完成设备的可靠性、耐久性等工程考核。对监测数据进行数据清洗、计算、统计、分析,优化系统功能。

(4) 2027年03月-2028年03月

接入2处运营公路结构体监测项目。整理研究数据,形成研究报告。

4. 组织管理形式

实行项目负责人制,负责制定详细规划和工作方案,实行“开发、合作、创新”的运行机制。

(1) 领导机构

相关研究工作基于关键指标整体考核。从综合管理、科研管理、

研究生培养管理、实验室与设备管理等角度制定管理办法和制度。

（2）相关职责

负责把握项目整体方向，定期检查项目研究进展，对执行过程中的问题及时做出决策；确定项目经费开支计划和提供科研实施的配套条件；接受陕西省交通运输厅和项目依托单位检查，按要求编报项目计划、计划执行情况和经费预算等信息资料；组织项目验收和示范应用推广等。

（3）机构设置

设项目管理办公室，下设项目专家组、项目实施组、项目财务组等，高效有序推进项目研究。定期检查项目进展，确保研究内容与实施方案保持一致，对于重大关键问题，在听取项目负责人和专家组意见后，及时组织协调确定问题解决方案，确保项目实施成效。按项目合同规定的研究内容，明确分工，协调落实研究工作承担者，保持跟踪监督和定期检查。制定项目进展考核办法，将项目年度进展计划目标作为重要考核目标，纳入年度管理绩效考核范围。

（4）协同机制

积极推进研究机构、高校、政府、企业的“政产学研用”一体化协同机制。通过由本项目主导的合作各方共同参与、优势互补、相互配合，将生产、教学、科研与应用结合。

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	19.995	合 计	39.995	19.995	/
工程配套研究经费	0	1.设备费	2.00	1.00	/
单位自筹	20.00	（1）购置设备费	/	/	/
其他经费	0	（2）设备改造与租赁费	2.00	1.00	/
		2.业务费	25.995	12.995	/
		（1）材料费	4.40	2.20	/
		（2）测试化验实验加工费	14.595	7.295	/
		（3）燃料动力费	/	/	/
		（4）差旅费/会议费/国际合作与交流费	4.60	2.30	/
		（5）出版/文献/信息传播/知识产权事费	2.40	1.20	/
		（6）其他费用	/	/	/
		3.劳务费	8.80	4.40	/
		（1）专家咨询费	2.40	1.20	/
		（2）聘用人员劳务费	/	/	/
		（3）其他劳务费	6.40	3.20	/
		（二）间接费用	3.20	1.60	/
		4.管理费	3.20	1.60	/
		5.绩效支出	/	/	/

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）	2
		（1）授权发明专利	/
		（2）实用新型	1
		（3）外观设计	1
		2、软件著作权授权数（项）	/
		3、发表论文（篇）	1
		（1）其中 SCI 索引收录数	/
		（2）其中 EI 索引收录数	/
		（3）其它	1
		4、著作（部）	/
		5、制订标准数（项）	/
		（1）国际标准	/
		（2）国家标准	/
		（3）行业标准	/
		（4）地方标准	/
		（5）企业标准	/
		（6）科技报告	/
	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）	1
		（3）新材料	/
		（4）新装备（装置）	/
		（5）平台/基地/示范点	/
		（6）中试线	/
		（7）生产线	/

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	指标值
产出类指标	其他成果	4、研究开发情况	/
		(1) 小试	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	/
		(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	4
		3、培训从事技术创新服务人员（人次）	/
		4、是否设立科研助理岗位	否
	产业化情况	1、开放共享仪器设备数（台/套/只等）	/
		2、科研仪器设备利用率（%）	/
		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）	180
		2、新增销售（万元）	180
		3、新增出口创汇（万美元）	/
		4、新增利润（万元）	60
	社会效益	1、新增税收（万元）	18
		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

1.项目预期目标（项目的考核目标）

（1）针对交通基础设施结构物养护管理技术需求，开发 1 种桥梁简易感知报警设备。

（2）研建基于 BIM+GIS 的结构群安全感知监测预警平台。具备实时监测数据采集、数据处理及模型分析、分级预警规则、预警预报信息的分级管理和发布，接入 2 处运营公路结构体监测项目。

（3）开发监测大数据的处理算法。对传感器采集的数据进行快速计算，以数据值和曲线等多种形式形象展现，形成评估体系，实时评价结构安全性和预警。

2.提交的研究成果及其形式

（1）开发 1 种桥梁简易感知报警设备；

（2）研建基于 BIM+GIS 的公路结构群安全感知监测预警平台；

（3）开发监测大数据的处理算法；

（4）人才引育：专业职称晋升 2 名，培养研究生 4 名；

（5）成果转化：发表中文核心论文 1 篇，授权专利 2 项。

3.经济、社会、环境效益分析

（1）经济效益

预计投入约 40 万元，预计成果转化后带来销售收入约 180 万元/年。传统检测维护整个过程需远距离往返约耗费 15-30 天工期，在运行智能监测系统后，实施时间将缩短至 5-7 天、节省服务工时 80%或减少约 60%的监测人员。

(2) 社会效益

符合陕西省物联网产业链，研发的智能监测平台提高了监控管理效率。融合基于 5G 通讯和卫星传输的联合数据通讯技术，进一步丰富了桥隧一体的公路结构群智能监测预警设备体系。在救援指挥调试、快速应急通信等方面，可保障平台间信息交互，提高救援反应速度，协助相关部门预报监测段的路况和自然灾害。

(3) 环境效益

融合北斗、多源传感器等智能监测技术，构建高精度、多层次、全方位的智能监测系统，可极大提高监测工作的时效性和数据分析能力，降低监测过程中的安全风险，减少后期维护带来的困难以及建设过程的资源浪费和环境污染，助力实现交通领域可持续发展。

九、其它需要说明的问题

无。

十、申请单位意见

该项目将依托合作企业监测预警系统建设工程项目[南村特大桥和 G65（包茂）西镇段 K921+549 短青岔隧道]开展研究和应用；本单位将加强对该项目研究工作的管理、指导和督促，采取积极有效措施，为项目研究与实践的顺利实施提供必要的资源和设备支持。



单位负责人：(签字)

年 月 日

桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究

大纲评审意见

2026年3月23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“桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究”（项目编号：25-56X）项目大纲评审会。与会专家（名单附后）听取了项目组的汇报，审阅了项目研究大纲，经质询讨论，形成如下评审意见。

一、项目研究内容比较全面，研究目标明确，技术路线可行。

二、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，经费预算合理，具备开展研究工作的条件。

三、预期成果基本覆盖研究目标，与研究内容的逻辑框架基本契合。

与会专家一致同意该项目研究大纲通过评审。

建议：

1.结合数据采集与处理、应用类型、桥隧结构特点，对拟解决的关键问题及主要研究内容进行进一步梳理完善；

2.加强项目研究背景和必要性内容分析，完善技术路线图、技术经济指标及依托工程实施的内容。

主任委员：王建宇

2026年3月23日

专家审查意见表

项目名称	桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究				
专家姓名	王建国	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. 加强项目研究背景和必要性内容分析；
- 2. 结合数据手段处理、应用、桥隧特点等对主要研究内容进行进一步梳理、完善
- 3. 完善技术路线图；
- 4. 资金筹措进一步说明。

评审专家（签字）： 王建国

2026年 3 月 23 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	桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究				
专家姓名	苗建宝	职务/职称	正高工	专 业	土木工程
专家单位	西安公路研究院有限公司			联系电话	15249205285

评 审 意 见

本项目紧扣陕西省公路桥隧智能监测和应用，聚焦低成本感知设备 + 监测平台 + 数据算法一体化研究，整体方向符合行业政策与技术趋势，整体思路可行、研究逻辑基本完整，同意修改完善后研究大纲通过评审。意见如下：

一、总体情况：

- 1、项目名称与内容同时覆盖桥梁 + 隧道，但隧道监测仅提及未展开，无隧道专属监测参数、病害特征、算法与平台适配方案，需要增加隧道相关内容。
- 2、研究大纲整体较单薄，前期科研基础内容较少，不能有效支撑发现目前研究存在的问题和研究内容。
- 3、实施方案部分仅是宏观表述，没有的实施方案；如第三部分说明要利用大数据分析算法对监测数据进行分类，识别不同模式下结构体健康特征，没有具体如何开展研究内容，深化研究大纲的深度。拟解决的关键问题和实施方案内容一致建议调整。
- 4、结构健康监测数据目前确实在实用性方面存在问题，课题的研究必要性，建议重点分几个研究方向重点对这一部分内容进行深化。

二、技术方面：

- 1、振动、倾角一体化设备无测量范围、精度、采样频率、续航、防护等级等关键参数。
- 2、IM+GIS 平台仅提可视化，无分级预警规则、数据接口标准、网络安全细节。

三、财务经费仅厅补经费19.995万元，无配套经费，建议落实配套经费。

四、本项目核心为结构健康监测数据应用，依托工程应该是已经实施的项目，建议核查是否已经实施，如果实施应该增加监测方案；另外建议增加隧道相关的依托工程。

评审专家（签字）：
2026年 3 月3 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	桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究				
专家姓名	唐海波	职务/职称	正高工	专业	公路工程
专家单位	中铁第一公路勘察设计研究院有限公司			联系电话	18192640597

评审意见

一、总体意见:

项目针对桥梁隧道的健康监测技术开展研究, 研究目标明确, 内容全面, 技术路线可行. 人员组织合理, 依托工程落实, 同意通过研究大纲审查.

二、建议

1. 针对桥梁、隧道的不同特点优化研究内容;
2. 优化技术经济指标, 定量定性相结合;
3. 依托工程的应用结合研究成果进行优化.

评审专家(签字): 唐海波

2026年3月23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	桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究				
专家姓名	赵池航	职务/职称	教授、博导	专 业	交通运输工程
专家单位	东南大学			联系电话	13951922763
评 审 意 见 该项目开展桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究的工作，主要包括桥梁简易感知报警设备的研制、结构群安全监测系统平台的开发、基于特征融合和深度学习的海量异构数据处理算法等。该项目研究大纲的研究内容教具体，研究目标及拟解决的问题明确，技术架构与技术路线较可行；达到了项目研究大纲的评审要求。 修改建议如下： （1）在“前期科研及工作基础”中增加本研究团队支持该项目开展研究的研究基础及已取得研究成果； （2）在“技术方案”中增加详细的技术路线图，以增加技术路线的可行性。 评审专家（签字）： 2026 年 3 月 23 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	桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究				
专家姓名	伍朝辉	职务/职称	副研究员	专 业	交通数字化
专家单位	交通运输部科学研究院			联系电话	15210832821

评 审 意 见

基本同意通过研究大纲评审。

建议：

（1）研究内容没有提炼出来，技术方案有点像研究内容，技术经济指标有些突兀；

（2）整体写得太过简单，从“问题—现状—目标—内容—技术路线—考核指标—创新点”的逻辑还没有串通，“数据应用技术”的特色没有打造出来。

评审专家（签字）：

伍朝辉

2026 年 3 月 22 日

桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究（项目编号：25-56X）

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	王建军	长安大学	交通运输工程	交通运输工程	教授	王建军
2	委员	苗建宝	西安公路研究院有限公司	土木工程	土木工程	正高工	苗建宝
3	委员	曹海波	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	公路工程	公路工程	正高工	曹海波
4	委员	赵池航	东南大学	交通运输工程	智慧交通系统	教授	赵池航
5	委员	伍朝辉	交通运输部公路科学研究院	计算机应用专业	交通数字化	正高工	伍朝辉

专家意见处理表

项目名称：桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究（项目编号： 25-56X ）

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	王建军	1、加强项目研究背景和必要性内容分析； 2、结合数据采集与处理、应用、桥隧特点等，对主要内容进一步梳理、完善； 3、完善技术路线图； 4、资金筹措进一步说明。	1、在一、1 中，从安全形势、传统方式和技术发展强化了研究背景，增加了隧道口仰坡监测的必要性；一、2 中，从结构状态、实时评估和实时预警角度强调了必要性。 2、在三、2 中，集成数据信息，按照融合感知技术、标准体系、智能决策思路，细化研究内容。 3、在三、3 中补充完善了技术路线。 4、项目参加单位陕西高速星辰展科技有限公司自筹 20 万元联合开展研究。
2	苗建宝	1、增加隧道专属监测参数、病害特征、算法与平台适配方案； 2、完善研究大纲，补充前期研究基础对研究内容的支撑； 3、细化具体实施方案，对应研究内容，关键问题与实施方案应一致； 4、研究必要性若干方向进行重点深化； 5、振动、倾角一体化设备应包含测量范围、精度、采样频率、续航、防护等级等关键参数； 6、BIM+GIS 平台应包含分级预警规则、数据接口标准、网络安全等； 7、建议落实配套资金；	1、实施方案中按照桥梁结构和隧道结构分别进行表述。 2、在二、2（2）研究工作中，对项目间的相关性进行了说明。 3、在三、实施方案中，细化研究内容，与研究关键问题一一对应。 4、在一、1 中背景和研究目的分方向进行表述。 5、增加了设备参数。 6、在 BIM+GIS 平台中增加了该参数。 7、项目参加单位陕西高速星辰展科技有限公司自筹 20 万元联合开展研究。

		8、健康监测数据应用应用依托已实施的项目，建议确认，如正在实施，需增加监测方案，建议增加隧道依托工程。	8、健康监测数据应用应用依托已实施的项目，已更改依托工程（工作），包括隧道工程数据。
3	曹海波	1、针对桥梁、隧道的结构特点优化研究内容； 2、优化技术指标，定量定性结合； 3、依托工程的应用结合研究成果进行优化。	1、在三、2（1）主要研究内容中强化了桥梁隧道结构健康监测数据应用技术研究，实施方案将桥梁和隧道就进行了区分。 2、三、5中优化了技术经济指标，明确数据分析类型。 3、依托工程（工作）进行了调整，重点围绕已实施的桥梁隧道项目数据，调整了桥梁依托工程，补充了隧道依托工程。
4	赵池航	1、在“前期科研及工作基础”中增加本研究团队支持该项目开展研究的研究基础及已取得的研究成果； 2、在“技术方案”中增加详细的技术路线图，以增加技术路线的可行性。	1、在二、2（2）研究工作基础中，对前期开展的科研与本项目的关联性进行了说明，补充前期工作基础。 2、在三、3中补充完善了技术路线。
5	伍朝辉	1、提炼研究内容，完善技术方案； 2、技术经济指标要与研究内容对应； 3、从“问题-现状-目标-内容-技术路线-考核指标-创新点”角度增强逻辑性； 4、“数据应用技术”的特色没有体现，明确数据应用的方法和场景。	1、在三、实施方案中，细化研究内容，重点围绕健康监测数据应用技术，与研究关键问题一一对应。 2、三、5中完善了技术经济指标，与研究内容对应。 3、按照研究背景（存在问题）、研究现状梳理、目标与内容对应，细化技术路线，明确考核要点，进行了完善。 4、在三、4中明晰了健康监测数据的应用的方法和场景。

大纲评审委员会专家（签字）：

王建军

项目负责人（签字）：

祁明