

## 2026 年度甘肃省科学技术奖公示材料

**项目名称：公路桥梁检养大模型与智能装备关键技术及应用**

**申报奖种：甘肃省科技进步奖**

**项目简介：**

### （一）主要技术内容

本成果属桥涵工程。针对甘肃省桥梁分布点多线长、服役环境复杂、人工巡检效率低、状态识别不精准、承载能力评估困难及维保决策依赖经验等关键问题，本项目采用理论分析、数值模拟、室内外试验、现场验证与工程实践等手段，系统构建了“智能感知-精准诊断-科学养护”的桥梁服役状态智能诊断与维保决策技术体系。研发了集车载、机载、手持终端及云平台于一体的轻量化桥梁智能巡检装备和“感-传-算-控”一体化桥梁智能监测成套技术，实现桥梁表观病害、内部缺陷及结构响应的快速采集、智能识别和秒级预警。提出了复杂环境下桥梁表观病害智能诊断、螺栓松动状态识别、基于宽带相位视频运动放大的无靶标振动测量、桥梁承载力快速评定及多指标联动的服役异常状态识别方法，解决了低分辨率、阴影遮挡、微小振动难测、传统荷载试验需中断交通等技术难题。开发了基于通用大语言模型、RAG 和行业知识嵌入的桥梁检养大模型及智慧维保系统，形成了涵盖检测、监测、评估、预警、养护计划和专项工程管理的全过程数字化管养体系，推动桥梁养护由人工经验型、被动处治型向数据驱动型、主动预防型转变。

### （二）主要技术创新点

本项目面向我国交通强国快速发展的重大需求，对桥梁服役状态智能诊断与经济性养护决策关键技术开展了深入系统的研究，创新性研发了轻量化、高集成的桥梁智能感知装备及系统，提出了精度高、适用性强、鲁棒性好的桥梁智能精准诊断技术，建立了能真实反映公路桥梁基础设施真实服役性能的评估理论和方法，创建了桥梁经济性养护科学决策方法与管养体系。主要技术创新点如下：

#### 1. 研发了桥梁智能检测与监测成套装备

（1）研发了车载巡检设备、无人机巡检终端、手持巡检终端及云平台，实现公路桥梁表观病害及异常的自动采集识别、快速上报及长期跟踪，全面提升日

常巡查业务的数字化、可视化及过程监管常态化；（2）研发了桥梁内部智能巡检机器人，具有轻量化、易安装、爬行能力强、远程控制等优势，实现了桥梁内部复杂空间环境下自动高效巡检；（3）研发了“传感终端-智能算法-数字平台”高度集成的桥梁监测成套技术体系，实现了零漏报、零误报、秒级报警，显著提升了桥梁监测与预警能力。

## **2. 提出了桥梁状态智能精准诊断与评估技术**

（1）提出了面向低分辨率、阴影遮挡等复杂条件的桥梁表观病害智能诊断方法，以及基于图像特征融合的螺栓松动状态智能诊断方法，提高了桥梁表观病害识别的精度（精度提高 30%以上）、可靠性和泛化性；（2）研发了基于宽带相位视频运动放大的结构振动特性识别技术，实现了无需结构频率先验信息的微小运动放大，提高了桥梁振动特性的识别精度；（3）提出了桥梁承载力评定方法与成套技术，实现了不中断交通条件下桥梁承载能力快速评估，解决了传统评估手段需中断交通、效率低、成本高的难题；（4）提出了基于检监测数据多指标联动分析的桥梁服役状态异常识别方法，实现了桥梁结构长期运营状态的异常识别（精度 $\geq 90\%$ ）与动态评估。

## **3. 建立了桥梁检养大模型与科学决策体系**

（1）开发了基于通用大语言模型+RAG+行业知识嵌入的桥梁检养大模型，实现了桥梁检测与养护工作的智能化精准管理（结果采纳率 $\geq 70\%$ ），突破了传统方法效率低下、重点不精准、关键内容易遗漏的技术瓶颈；（2）开发了一种桥梁智慧养护科学决策系统，实现了桥梁最优养护决策方案的自动匹配（响应时间 $\leq 5$ 分钟），解决了桥梁数据碎片化、决策滞后、管养低效的问题。

### **（三）知识产权**

项目具有完全自主知识产权，获得发明专利 35 项，实用新型专利 10 项，计算机软件著作权 31 项，发表高水平期刊论文 60 余篇，其中 SCI/EI 论文 34/22 篇。

### **（四）经济效益及社会效益**

本项目的成套技术已成功应用于甘肃智通科技工程检测咨询有限公司、甘肃省公路工程质量试验检测中心有限公司、甘肃恒石公路检测科技有限公司、招商局重庆公路工程检测中心有限公司、中国市政工程西南设计研究总院有限公司等相关单位，在甘肃小川黄河大桥、太极黄河大桥、金河湾黄河大桥、永靖黄河

大桥等多座大型桥梁的日常巡查、定期检测、健康监测与养护决策中进行了示范应用。应用结果表明，该技术体系有效解决了桥梁在运营与维保过程中存在的感知装备笨重、诊断精度不足、评估需中断交通、决策科学化水平低等共性难题，显著降低了桥梁全寿命周期管养成本，提升了桥梁运维的安全性与经济性，取得了显著的经济效益和社会效益。

## **主要完成单位及创新推广贡献：**

### **1：甘肃交通职业技术学院（排名第一）**

对本项目的贡献：对创新点1、2和3做出了组织实施、成果集成与推广应用方面的主要贡献。作为项目牵头单位，负责项目总体组织协调、研究任务推进、成果凝练和应用推广，围绕甘肃省公路桥梁检测、监测、评估与养护决策实际需求，参与开展桥梁轻量化智能感知装备、服役状态智能诊断与桥梁智慧维保系统的研究与应用；承担了部分桥梁现场检测、监测数据采集、技术状况评定、工程应用验证和应用效果总结等工作，推动项目成果在甘肃省国省道普通干线桥梁定检、中小跨径桥梁轻量化监测及多座黄河大桥检测监测项目中的落地应用；同时，参与桥梁检测数据管理、病害识别结果应用、异常状态评估和养护决策流程优化，为项目创新点1、2和3的工程化验证、成果转化及推广应用提供了重要支撑。

### **2：湖南大学（排名第二）**

对本项目的贡献：对创新点 1、2 和 3 做出了主要贡献，研发了桥梁内部智能巡检机器人，具有轻量化、易安装、爬行能力强、远程控制等优势，实现了桥梁内部复杂空间环境下自动高效巡检；发明了低分辨率、阴影遮蔽等复杂条件下桥梁表观病害智能诊断方法，以及基于图像特征融合与深度学习的螺栓松动状态智能诊断方法，实现了复杂环境下桥梁表观状态的高精度识别；提出了基于宽带相位视频运动放大的结构振动特性识别技术，实现了无需结构频率先验信息的微小运动放大，解决了结构微小振动难以准确测量的难题。

### **3：招商局重庆公路工程检测中心有限公司（排名第三）**

对本项目的贡献：对创新点1、2和3做出了主要贡献，研发了轻量化桥梁智能巡检装备，实现桥梁表观病害及异常的自动识别、快速上报及长期跟踪，全面提升日常巡查业务的数字化、可视化及过程监管常态化。开发了桥梁检养大模型及数字化检测系统，实现了基于大数据与AI的桥梁精准检测指引，解决了传统检测效率低、准确率不足等问题。开发了桥梁智慧养护科学决策系统，实现了管养全流程数字化与决策科学化，解决了桥梁数据碎片化、决策滞后、管养低效的问题。

### **4：兰州交通大学（排名第四）**

对本项目的贡献：对创新点 2 和 3 具有重要贡献，创新性提出了桥梁承载力评定方法与成套技术，实现了不中断交通条件下桥梁承载能力快速动态评估，参与完成了桥梁检养大模型关键技术的研发、试验与转化应用。

#### **5：南京航空航天大学（排名第五）**

对本项目的贡献：对创新点1和2做出了主要贡献，研发了基于宽带相位视频运动放大的结构振动特性识别技术，实现了无需结构频率先验信息的微小运动放大，解决了结构微小振动难以准确测量的难题，参与完成了轻量化桥梁智能装备关键技术的研发、试验与转化应用。

#### **6：甘肃智通科技工程检测咨询有限公司（排名第六）**

对本项目的贡献：完成创新点 2 的部分研究工作，对创新点 1 和 2 的成果转化与推广应用做出了主要贡献，将本技术广泛应用于甘肃省内多座公路桥梁的服役性能智能诊断。

#### **7：甘肃省公路工程质量试验检测中心有限公司（排名第七）**

对本项目的贡献：完成创新点1的部分研究工作，对创新点1和2的成果转化与推广应用做出了主要贡献，将本技术广泛应用于甘肃省内多座公路桥梁的智能巡检。

#### **8：甘肃恒石公路检测科技有限公司（排名第八）**

对本项目的贡献：完成创新点 3 的部分研究工作，对创新点 3 的成果转化与推广应用做出了主要贡献，将本技术广泛应用于甘肃省内多座公路桥梁的维养科学决策与管养。

#### **9：中国市政工程西南设计研究总院有限公司（排名第九）**

对本项目的贡献：完成创新点 2 的部分研究工作，对创新点 2 的成果转化与推广应用做出了主要贡献，将本技术广泛应用于多座公路桥梁的服役性能智能诊断。

### **推广应用情况：**

长期以来，项目组围绕桥梁服役状态智能诊断与科学养护决策技术的工程化应用，持续在甘肃省公路桥梁日常巡查、定期检测、健康监测、技术状况评定和养护决策等业务中开展推广。2023-2025 年，本项目成果已应用于平凉至绵阳高速公路（G8513）平凉（华亭）至天水段、S11 泾源（甘宁界）至华亭高速公路、银川至百色国家高速公路（G69）甜水堡至永和段、甘肃省 S10 凤县至合作高速公路卓尼至合作段、S10 张掖至马鬃山高速公路张酒交界至马鬃山段，以及 2023-

2025 年甘肃省国省道普通干线桥梁定检项目、2025 年甘肃省中桥跨径轻量化监测试点项目、小川黄河大桥、太极黄河大桥、金河湾黄河大桥、永靖黄河大桥等多个桥梁检测、监测和养护项目。通过应用车载巡检、无人机巡检、手持终端、智能病害识别、无靶标振动测量、承载力快速评定和智慧维养系统等成果，项目实现了桥梁病害信息的快速采集、智能识别、精准定位、状态评估和养护决策闭环管理，有效提高了桥梁检测效率、数据准确性和管养科学化水平，降低了人工巡检和传统检测成本，取得了良好的经济效益、社会效益和行业示范推广效果。

主要论文专著目录：

序号	论文专著名称	刊名	年卷页码（xx 年 xx 卷 xx 页）	发表时间	全部作者	他引总次数
1	Cable vibration measurement based on broad-band phase-based motion magnification and line tracking algorithm	Mechanical Systems and Signal Processing	2023 年 200 卷 110575 页	2023-10	罗奎, 孔烜, 王秀艳, 姜腾蛟	87
2	Computer vision-based bridge inspection and monitoring: a review	Sensors	2023 年 23 卷 7863 页	2023-09	罗奎, 孔烜, 张杰, 胡揭玄, 李金钊, 唐浩	176
3	Full-field mode shape identification based on subpixel edge detection and tracking	Applied Sciences	2023 年 13 卷 747 页	2023-01	孔烜, 易金鑫, 王秀艳, 罗奎, 胡揭玄	20
4	Tire contact force equations for vision-based vehicle weight identification	Applied Sciences	2022 年 12 卷 4487 页	2022-04	孔烜, 王腾义, 张杰, 邓露, 钟继卫, 崔玉萍, 夏曙东	22
5	Non-contact vehicle weighing method based on tire-road contact model and computer vision techniques	Mechanical Systems and Signal Processing	2022 年 174 卷 109093 页	2022-07	孔烜, 张杰, 王腾义, 邓露, 蔡春声	58
6	Vehicle response based bridge modal identification using different time-frequency analysis methods	International Journal of Structural Stability and Dynamics	2024 年 25 卷 2550062 页	2024-04	孔烜, 唐全余, 罗奎, 胡揭玄, 蔡春声	21
7	Frequency identification of equal-span continuous girder bridge based on moving vehicle responses	International Journal of Structural Stability and Dynamics	2024 年 24 卷 2450258 页	2024-01	罗奎, 李思琪, 王秀艳, 孔烜, 姜腾蛟, 殷鹏程	19
8	Frequency study on improved composite box girder bridges with corrugated steel webs	Journal of Constructional Steel Research	2024 年 215 卷 108555 页	2024-4	罗奎, 陈雪松, 冀伟, 张经纬, 左辉	8
9	基于宽带相位运动放大与机器视觉的结构振动频率识别	土木工程学报	2023 年 56 卷 105-117 页	2023-10	孔烜, 罗奎, 邓露, 易金鑫, 殷鹏程, 冀伟	19
10	适用于中小跨径桥梁频率识别的移动检测车辆参数研究	湖南大学学报（自然科学版）	2023 年 50 卷 12-22 页	2023-07	孔烜, 李思琪, 韩振勇, 殷鹏程, 罗奎, 王秀艳	9
11	基于机器视觉的车辆检测与参数识别研究进展	中国公路学报	2021 年 34 卷 13-30 页	2021-04	孔烜, 张杰, 邓露, 刘英凯	77

12	基于图像识别轮胎变形的非接触式车辆称重方法	中国公路学报	2022 年 35 卷 186-193 页	2022-08	孔烜, 张杰, 王腾义, 唐浩迪, 黄启祥, 邓露	20
13	Corrugated steel web I-girder welding deformation and residual stress research	Structures	2023 年 58 卷 105602 页	2023-12	闫林君, 关义朋, 罗奎, 王起才	12
14	装配式多主梁钢-混组合梁桥的荷载横向分布研究	公路交通科技	2020 年 37 卷 59-69 页	2020-03	闫林君, 张经纬, 罗奎	35
15	独柱墩曲线梁桥抗倾覆稳定性分析与加固研究	兰州交通大学学报	2023 年 42 卷 7-13+59 页	2023-12	闫林君, 刘麒, 张宏, 杨继兴, 鲍学英	11
16	Crack detection algorithm for concrete structures based on super-resolution reconstruction and segmentation network	Automation in Construction	2022 年 140 卷 104346 页	2022-08	香超, 王维, 邓露, 史鹏, 孔烜	138
17	A crack-segmentation algorithm fusing transformers and convolutional neural networks for complex detection scenarios	Automation in Construction	2023 年 152 卷 104894 页	2023-08	香超, 郭晶晶, 曹然, 邓露	171
18	基于深度学习的土木基础设施裂缝检测综述	中国公路学报	2023 年 36 卷 1-21 页	2023-02	邓露, 褚鸿鹄, 龙砺芝, 王维, 孔烜, 曹然	133
19	膨胀剂对钢管混凝土徐变及承载力的影响研究	铁道标准设计	2016 年 60 卷 71-74 页	2016-09	葛勇, 王起才, 耿江伟, 杨芳, 刘屹阳	4
20	铁路专运线简支桥梁动载试验分析	兰州工业学院学报	2019 年 26 卷 1-6 页	2019-08	马万良, 罗奎	2

主要知识产权证明目录：

序号	知识产权类别	知识产权名称	授权或申请号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	基于间接模态识别的桥梁支座病害检测方法及相关组件	CN113252260B	2021-09-21	4687873	湖南大学	孔烜，郭宇聪，罗奎，邓露
2	发明专利	基于宽带相位运动放大的结构微小振动测量方法与系统	CN114993452B	2023-03-24	5812086	湖南大学	孔烜，罗奎，韩振勇，王秀艳，易金鑫
3	发明专利	基于直线跟踪算法的拉索索力确定方法、装置及设备	CN115683431B	2023-08-18	6247711	湖南大学	孔烜，罗奎，易金鑫，胡揭玄
4	发明专利	基于多源传感数据的桥梁状态评估方法及系统	CN116577055B	2023-09-22	6346204	湖南大学	孔烜，王宇，严爱国，刘振标，殷鹏程，梁金宝，颜永逸，李思琪
5	发明专利	基于非接触式测量桥梁动挠度的车辆动态称重方法及系统	CN112504414B	2021-11-12	4788256	湖南大学	孔烜，王腾义，邓露，余甜甜
6	发明专利	非接触式铁路桥梁状况综合检测方法和系统	CN112229800B	2021-03-12	4295858	湖南大学	孔烜，罗奎，邓露
7	发明专利	一种基于视频测量动挠度的桥梁动态称重方法和系统	CN112179467B	2021-04-02	4334352	湖南大学	孔烜，余甜甜，邓露，张杰
8	实用新型专利	用于桥梁动力特性识别和损伤诊断的检测车装置	CN211291730U	2020-08-18	11254214	湖南大学	孔烜，李思琪，邓露，胡揭玄
9	发明专利	基于云计算的集群式桥梁运营安全监控系统	CN102724313B	2015-06-17	1701912	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	孟利波，黄福伟，廖敬波，张又进，张晓东，刘怀林，白光亮，宋刚，刘会耕，潘飞
10	发明专利	一种基于多重小波的桥梁监测数据异常情况识别方法	CN106778651B	2020-04-28	3773642	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	唐浩，孟利波，廖敬波，宋刚，段敏，陈果，李志刚
11	发明专利	一种结构外观裂缝检测方法、装置及系统	CN114049356B	2022-04-12	5066761	湖南大学	邓露，香超，曹然，史鹏
12	发明专利	智慧通信机房的异常监督管理平台	CN115855166B	2023-05-05	5939691	中国市政工程西南设计研究总院有限公司	苏锋，胡江龙，杨福兴，鲁怡，周艳莉，张玉，曾琦，邓婷予，蒋林燕



13	发明专利	一种基于 NIFI 技术实现公路技术状况评定系统数据智能化入库的方法	CN112632123B	2021-08-17	4620988	甘肃恒石公路检测科技有限公司	乔衡, 闫金萍, 张新秀, 李钰, 脱敏雍
14	实用新型专利	一种桥下检测用简易移动台	CN220377095U	2024-01-23	20365130	甘肃省公路工程质量试验检测中心有限公司	葛勇, 冯小伟, 李挺, 赵元科, 唐悦, 张毅
15	软件著作权	招商交科桥梁运营监测平台 V1.0	2021SR1064612	2021.07.20	7787238	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	—
16	软件著作权	长大特殊结构桥梁智能管养终端软件(安卓版)[简称:长大桥梁管养终端(安卓版)]1.0	2018SR294368	2018.04.28	2623463	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	—
17	软件著作权	招商检测 IOT 结构监测运营支撑平台[简称:招商检测 IOT 运营平台]V1.0	2021SR1377256	2021.09.15	8099882	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	—
18	软件著作权	桥梁健康监测设备故障诊断软件 V1.0.0	2022SR1067290	2022.08.10	10021489	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	—
19	软件著作权	桥梁智能管养系统[简称:QLJCXT]V1.5	2017SR306069	2017.06.23	1891353	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	—
20	软件著作权	长大特殊结构桥梁智能管养平台[简称:长大桥梁管养平台]1.0	2018SR293202	2017.12.31	2622297	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	—

主要完成人情况对项目主要贡献

排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献	曾获科技奖励情况
1	孔烜	教授	湖南大学	湖南大学	项目总体负责人，开发了系列桥梁轻量化智能感知装备和桥梁智能精准诊断与评估新技术，以及桥梁振动测量技术和桥梁动态称重技术，对项目的创新点 1、2 和 3 做出了重要贡献。	
2	闫林君	教授	甘肃交通职业技术学院	兰州交通大学	项目主要研究人员，开展了桥梁结构受力性能、钢-混组合梁桥荷载横向分布、波形钢腹板焊接变形及曲线梁桥抗倾覆稳定性研究，参与桥梁状态智能精准诊断技术研究，对项目的创新点 2、3 做出了重要贡献。	
3	罗奎	讲师	南京航空航天大学	南京航空航天大学	项目主要研究人员，研发了轻量化桥梁智能感知装备，提出了桥梁服役性能智能精准诊断与评估方法以及桥梁微小振动测量技术，对项目的创新点 1、2 和 3 做出了重要贡献。	
4	孟利波	研究员	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	项目主要研究人员，研发了轻量化桥梁智能感知装备、提出了桥梁服役性能智能精准诊断与评估技术以及创建了桥梁维养科学决策方法与管养体系，对项目的创新点 1、2 和 3 均做出了重要贡献。	
5	苏锋	正高级工程师	中国市政工程西南设计研究总院有限公司	中国市政工程西南设计研究总院有限公司	项目主要研究人员，开发了基于 BIM 技术桥梁数字孪生模型和智慧维养系统，参与了桥梁轻量化监测成套技术和智慧维养系统研究，对项目的创新点 1、3 做出了重要贡献。	
6	邓露	二级教授	湖南大学	湖南大学	项目主要研究人员，提出了低分辨率、阴影遮蔽等复杂条件下桥梁表观病害智能诊断方法，以及基于图像特征融合与深度学习的螺栓松动状态智能诊断方法，对项目的创新点 1、2 做出了重要贡献。	
7	张经纬	助教	甘肃交通职业技术学院	甘肃交通职业技术学院	项目主要研究人员，参与了桥梁结构受力分析、检测数据整理、技术状况评定及养护决策应用研究，完成了桥梁检测评估方法的现场验证与成果应用，对项目的创新点 2、3 做出了重要贡献。	
8	赵礼刚	高级工程师	甘肃智通科技工程检测咨询有限公司	甘肃智通科技工程检测咨询有限公司	提出了基于计算机视觉的桥梁位移和模态识别技术、参与研发了轻量化桥梁智能感知装备，对创新点 1、2 有贡献，并对本技术的推广应用做出了重要贡献。	
9	冀伟	教授	湖南大学	湖南大学	提出了基于计算机视觉的桥梁振动测量技术、开发了基于深度学习和图像处理技术的桥梁表观病害识别方法，对创新点 1、2 有贡献。	
10	李建辉	正高级工程师	甘肃省公路工程质量试	甘肃省公路工程质量试验	研发了轻量化桥梁智能感知装备、提出了基于图像的桥梁表观病害和螺	

			验检测中心有限公司	检测中心有限公司	栓松动状态智能诊断方法，对创新点 1、2 有贡献，并对本技术的推广应用做出了重要贡献。	
11	乔衡	正高级工程师	甘肃恒石公路检测科技有限公司	甘肃恒石公路检测科技有限公司	提出了基于大数据与 AI 的桥梁精准检测方法，研发了桥梁检测系统和公路桥梁智慧养护科学决策系统，对创新点 1、3 有贡献，并对本技术的推广应用做出了重要贡献。	
12	葛勇	高级工程师	甘肃省公路工程质量试验检测中心有限公司	甘肃省公路工程质量试验检测中心有限公司	研发了轻量化桥梁智能感知装备、提出了基于检监测数据多指标综合分析的桥梁服役异常状态识别方法，对创新点 1、2 有贡献，并对本技术的推广应用做出了重要贡献。	
13	段敏	高级工程师	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	研发了桥梁智能化监测成套技术与数字化平台，提出了基于准静态广义影响线的桥梁承载力评定方法与成套技术，对项目的创新点 1 和 2 做出了重要贡献。	
14	马万良	高级工程师	甘肃智通科技工程检测咨询有限公司	甘肃智通科技工程检测咨询有限公司	提出了基于计算机视觉的桥梁位移和模态识别技术、开发了基于通用大语言模型+RAG+行业知识嵌入的桥梁检养大模型，对创新点 2、3 有贡献，并对本技术的推广应用做出了重要贡献。	
15	王吉龙	高级工程师	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	招商局重庆公路工程检测中心有限公司	研发了精准检测指引模型与算法，开发了桥梁检测大模型及数字化检测系统，提出了管养全流程数字化与决策科学化的方法，对项目的创新点 2、3 做出了重要贡献。	