重庆市科学技术奖提名公示

（2022年度）

**一、项目名称**

公路基础设施数智检养关键技术及装备研究

**二、提名者及提名等级**

重庆市交通局、科技进步一等奖

**三、项目简介**

21世纪以来，我国公路迅猛发展，高速公路里程世界第一，已建成公路总里程超530万公里，形成覆盖广泛、增量稳定、互联成网、质量优良、运行良好的公路网络。在我国交通基础设施建设辉煌成绩的背后，由于受设计初期技术条件限制，基础设施在长期服役过程中，随着交通运量增加以及持续外部环境（自然腐蚀、灾害、其他外力因素等）的作用，公路基础设施服役性能及健康状态呈逐渐衰退趋势。如何对包括道路、桥梁、隧道、边坡等交通基础设施进行有效、快速、准确的检测，以确保其的安全性与可靠度，已经成为世界范围内交通运输共同关注和研究的课题。

本项目立足于国家、行业和企业的实际需求和未来发展趋势，围绕公路基础设施“看病、诊病、治病”等关键问题，在交通部、重庆、湖北等重大项目的支持下，十年来系统开展了理论方法、装备软件与现场应用等研究，研发了全要素、全场景、全业务智能化成套检测技术与装备，提出了公路交通基础设施技术状况动态融合评估与性能预测方法，构建了公路基础设施病害知识图谱、分析指引、维修决策三位一体的科学处治体系等一系列创新成果。主要创新如下：

1.针对公路基础设施检测质效不高、覆盖不全等问题，研发了全专业、全业务的智能化成套检测装备，建立了全场景的数据采集标准，提出了天地一体化的多模态数据融合方法，构建了基础设施的数据智能检测体系。

（1）自主研制了全专业（道路、桥涵、隧道、边坡、交通工程等）、全业务（日常巡查、经常检查、定期检测、长期监测、专项检测等）智能化成套系列检测装备。研发了基于多个测距和视觉传感器数据融合的无人机设施外观病害检测装备；研制了车载式的3D路面、道路沿线设施、隧道衬砌、隧道路面亮度等多种精密检测成套装备；发明了激光雷达、结构光、可见光相机阵列和定位定姿系统等传感器的自标定方法；突破了检测设备多传感器亚微秒级时间同步及不依赖高精度控制场的参数自主检校难题，解决自主环境感知、数据采集、在线缺陷检测等一体化难题，实现大范围交通基础设施多源、多尺度三维全息数据快速采集及特征精准定位。

（2）首次建立了全专业、全业务的公路基础设施检测数据采集标准，提出了全场景（点选式、手绘式、语音识别、图像识别等）的数据智能化、标准化采集方式，构建了全专业、全业务、全场景的公路基础设施部件库、构件库、病害库、病害处置库，解决了数据采集标准不统一问题，提高了基础设施检测质效。

（3）针对图像场景结构化、背景复杂、透视畸变显著的特性，提出基于“改进的Fast RCNN”、“ YOLOv7+UNET”和“Transformer”等深度学习算法集成的目标检测与分割框架，构建了基础设施病害特征自动判识模型；结合ResNet网络、特征金字塔并融合图像多层次语义信息，提出ROI-Align辅助的基础设施小尺度裂缝检测方法，实现复杂场景下的设施病害高精准判断。

（4）针对隧道表面大量附属设施、螺栓孔洞等缺陷干扰测量精度问题，提出基于小波分析的点云去噪、基于点云灰度图的盾构管片自动分割及空间结构参数提取技术，实现了隧道环片收敛、变形、错台、侵限等结构参数的自动提取及衬砌脱落掉块等病害的精准识别与定位，错台检测精度达5mm、收敛变形测量精度优于3mm、隧道表面细微裂缝达0.3mm。

2.针对公路基础设施运行状态精准评估与诊断难题，提出了基于多源检测数据融合的公路基础设施技术状况动态评估与性能预测方法，健全了公路基础设施技术状况评价体系。

（1）针对数据被干扰、异常、准确性问题，提出了结构恒载响应时域融合分析算法，解决数据干扰偏移与数据异常问题，建立了数据特征体系与准确性研判机制；构建了多指标联动的多层级预警模型，解决了长大桥梁监测预警预报准确性问题。

（2）针对公路基础设施评估维度不全、及时性差等难题，基于公路技术状况评定标准，建立了交通基础设施动态融合评定知识图谱，引入了日常巡查、经常检查、结构监测、养护维修等数据维度，提出了“分层综合分析法+单项指标控制法”相结合的为评定方法，构建了公路基础设施技术状况动态融合评估体系。

（3）针对公路基础设施性能退化预测问题，基于预期养护后的技术状况参数，建立性能数据预测矩阵，通过原始数据矩阵、性能数据预测矩阵、全局优化目标函数及相应的权重系数，建立了交通基础设施性能准确预测方法，解决了单个和路网级基础设施性能预测难题。

3.针对公路基础设施病害专业化处治难题，构建了公路基础设施病害知识图谱、分析指引、维修决策三位一体的科学处治体系，研发了公路路面、桥涵、隧道等五大基础设施病害分析与维修决策系统。

（1）结合既有标准规范、设计文件、论文专著以及数万份检测报告，建立了路面、桥涵、隧道、路基等基础设施病害信息库、特征库、成因库以及处治措施库，引入图神经网络和张量神经网络，从数据层和模式层两个层级构建了具有深度适应性及自学习特征的公路基础设施病害处治知识图谱，建立了“结构-环境-年限-病害-特征-成因-处治措施”多层次关联实体内在关系与隐性知识。

（2）针对路网和项目级公路基础设施，提出了约束养护资金与设施状态条件下公路基础设施养护策略分析方法；基于协同过滤方法、水波传播原理以及相关系数模型，提出了多种公路基础设施病害决策指引方法，实现病害成因、标度以及处治方法、时机、成本的自动推荐，实现对道路全局优化的综合养护决策计算，建立了针对道路养护性能参数目标的最优养护方案。

（3）围绕公路基础设施病害处治复杂性与发展性问题，利用系统应用获得多样化样本，构建了基于信息计算、二分类理论及分类知识排序方法的病害处治知识快速学习与知识更新模型。

本项目技术成果取得国家专利34余项（其中发明专利22项），编制了标准5部，出版专著2部，发表学术论文45余篇（其中SCI收录6篇，EI收录17篇）。研究成果在重庆、湖北、河北、西藏等30个省市100余家公司推广应用，取得了显著的社会、经济与环境效益。

**四、主要知识产权和标准规范等目录**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 授权号 | 权利人 | 发明专利有效状态 |
| 发明专利 | 一种基于主动源电场异变规律的土质边坡失稳风险感知系统 | ZL201910361552.8 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种混凝土结构浅表层质量快速检测方法 | ZL201910683966.2 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法 | ZL201910683975.1 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 锚固结构钢束工作应力及同束不均匀度的无损检测方法 | ZL201710156758.8 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种预应力筋张拉应力与锚下应力测试装置及测试方法 | ZL 2017 1  0120385.9 | 招商局重庆交通科研设计院有限公司、招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种基于区块链技术的检测数据溯源验证方法 | ZL201810449798.6 | 招商局重庆交通科研设计院有限公司、招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种用于芯模振动成型顶管的集线槽及其安装方法、芯模振动成型顶管及传感器安装方法 | ZL201911120224.5 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司，招商局重庆交通科研设计院有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种公路隧道风机基础稳定性检测位置布设方法 | CN110579412B | 重庆大学，招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 桥梁受拉件振动频率测量方法和系统 | CN105067245B | 招商局重庆交通科研设计院有限公司，招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 波形钢护栏横梁中心高度的检测装置及检测方法 | ZL202010500548.8 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种公路隧道照明亮度快速检测装置及方法 | ZL201710975841.8 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种隧道灯具自动清洗装置及方法 | ZL201910185373.3 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种基于伪随机码调制的中远程高频激光雷达测距模糊求解方法 | ZL201810965428.8(CN 109164454 B) | 武汉大学 | 有效 |
| 发明专利 | 激光点云数据处理方法、装置及系统 | ZL201911297875.1(CN 111007530 B) | 武汉大学、武汉汉宁轨道交通技术有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 检测隧道病害的方法、装置及电子设备 | ZL201910375057.2(CN 110322428 B) | 武汉大学、武汉汉宁轨道交通技术有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种结构检测方法、装置和用于结构检测的无人机系统 | ZL201810344905.9 | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种基于养护历史修正的路面性能预测和养护方法及装置 | ZL201810403128.0 | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种结构检测方法、装置和用于结构检测的无人机系统 | ZL201810344905.9 | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 一种用于网级公路养护投资的处理方法及装置 | ZL201810403147.3 | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 项目级道路基础设施综合养护决策方法及系统 | ZL201910501694.X | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 路面养护措施库的修正方法及电子设备 | ZL201910151576.0 | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 发明专利 | 路网级道路基础设施结构综合养护决策方法及系统 | ZL201910501667.2 | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 点压式采集装置 | ZL201921192716.0 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 基于RFID的桥梁工程构件定位巡检系统 | ZL201620917868.2 | 招商局重庆交通科研设计院有限公司、招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 一种便携式长度及面积的测量装置 | ZL201721453723.2 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 一种工程试件快速标识方法与系统 | ZL2018204432351 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 一种预应力筋张拉应力与锚下应力测试装置 | ZL201720202114.3 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 基于锚固结构的可调节多支架非极化电极装置 | ZL201920670930.6 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 滚轮式采集器及采集装置 | ZL201921193685.0 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 公路宏观养护巡检装置及系统 | 2018200645043 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 道路检测装置及系统 | 2017217726842 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 农村道路路况快速调查装置及调查车 | 2016213058950 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 实用新型专利 | 一种分布式公路检测系统及装置 | 2019203056384 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 实用新型 | 便携式道路裂缝信息采集装置 | ZL201922001454.1 | 中国公路工程咨询集团有限公司、中咨公路养护检测技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路交通基础设施智能检测平台-桥梁工程系统[简称：桥梁检测系统]V2.0 | 2019SR1235925 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路交通基础设施智能检测系统-隧道工程系统[简称：隧道检测系统]V1.0 | 2019SR1367671 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路交通基础设施智能检测系统-机电工程系统[简称：机电检测系统]V1.0 | 2019SR1393858 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路交通基础设施智能检测系统-边坡工程系统[简称：边坡检测系统]V1.0 | 2019SR1378616 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路交通基础设施智能检测系统-涵洞工程系统[简称：涵洞检测系统]V1.0 | 2019SR1382609 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路交通基础设施智能检测系统-桥梁施工监控系统[简称：桥梁施工监控系统]V1.0 | 2019SR1273843 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路交通基础设施智能检测系统-路面工程系统[简称：路面检测系统]V1.0 | 2019SR0167468 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 车载式隧道照明亮度检测系统[简称：TLCM]V1.0 | 2022SR0611043 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 便携式路面及附属设施病害采集系统V1.0 | 2021SR1362299 | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 道路交通安全设施病害自动检测与识别软件V1.0 | 2021SR1252851 | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 道路路面病害自动检测与识别软件V1.0 | 2021SR1252442 | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 路网数据采集软件V1.0 | 2017SR466469 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路宏观养护数据采集软件V1.0 | 2017SR575962 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 模块化路网数据采集软件V1.0 | 2018SR265351 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路宏观养护嵌入式采集软件V1.0 | 2018SR230560 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 嵌入式路面车辙采集软件V1.0 | 2018SR245079 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 路网数据后处理软件V1.0 | 2018SR245260 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路移动测量系统操控软件V1.0 | 2020SR0484054 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路移动测量系统嵌入式采集软件V1.0 | 2020SR0484061 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 路面病害自动识别软件V1.0 | 2020SR1810149 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 3D相机内参标定软件V1.0 | 2021SR1880503 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 道路二三维一体化采集监控软件V1.0 | 2022SR0310437 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 公路隧道病害检测软件V1.0 | 2022SR0310438 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 软件著作权 | 路面三维数据采集SDK软件V1.0 | 2022SR1446668 | 武汉夕睿光电技术有限公司 | 有效 |
| 标准 | 《公路桥梁施工监控技术规程》 | 已发布 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 标准 | 《公路路面轻量化检测技术规程》 | 已发布 | 中国公路工程咨询集团有限公司 | 有效 |
| 标准 | 《公路桥梁锚下预应力检测技术规程》 | 已发布 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 标准 | 公路桥梁预应力孔道压浆密实度冲击弹性波检测  技术指南 | 已发布 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |
| 标准 | 山区公路桥梁耐久性施工质量控制指南 | 已发布 | 招商局重庆公路工程检测中心有限公司 | 有效 |

**五、主要完成人**

蒋迪斌、黄福伟、张朋、庞荣、毛庆洲、刘大洋、杨燕、韩坤林、杨有辉、张艳红、代东林、熊勇钢、王吉龙、刘会耕、董翠军

**六、完成单位**

招商局重庆公路工程检测中心有限公司、武汉大学、中国公路工程咨询集团有限公司、西南交通大学、武汉夕睿光电技术有限公司共同完成。