2024年度山东省科学技术奖提名公示

**一、项目名称**

隧道多源病险高精准时空协同感知关键技术与综合检测装备

**二、提名者及提名意见**

提名者：山东省交通运输厅

提名意见：

我单位认真严格地审阅了该项目的提名书及全部附件材料，确认该项目符合山东省科学技术奖励规定的提名条件，全部材料真实有效，完成人、完成单位排序无异议，提名书相关栏目均符合填写要求。

项目以国家自然科学基金、山东省重大创新工程项目、山东交通运输科技项目为牵引，依托山东、四川、西藏等省份的一大批国家重大工程，历经十余年的联合技术攻关和工程实践，突破了多波段时空协同感知、自动化装备集成和病险状态智慧辨识诊断三方面的技术瓶颈，建立了隧道全寿命周期病险高精准时空协同感知技术体系。项目以隧道全寿命周期多源病险时空协同感知的理论突破为基础，研发了4类便携式、综合式自动化隧道病险感知装备，开发了隧道海量多模检测数据的高效、精准辨识诊断算法及系统，攻克了隧道多源病险信息综合移动感知及智慧辨识诊断难题。相关成果得到了中国工程院郑健龙院士、王复明院士、李清泉院士等专家的高度评价。整体技术应用于全国14省份的200余项隧道工程，有效保障了川藏铁路、京沪高速等国家重大工程的安全施工和稳定运行，产生经济效益达22亿元。

项目授权发明专利56项，实用新型和软著29项，发表高水平论文78篇（SCI/EI收录54篇），形成地标/团标2项，在国内召开学术和技术培训会21次。研发成果引领了隧道病险检测的智能化、自动化发展，促进了隧道防灾领域的产业升级，扭转了我国隧道全寿命周期灾变风险被动防护局面。

该项目已征求了郑俊杰（武汉大学、岩土工程）、陈卫忠（中国科学院武汉岩土力学研究所、岩土工程）、梅国雄（浙江大学，岩土工程）、蒋宁生（中铁十四局集团有限公司、公路和铁路工程）、高奎刚（山东公路技师学院、交通信息工程）等5名专家意见。

**三、提名等级**

2024年度山东省技术发明奖一等奖

**四、项目简介**

我国交通运输行业进入完善设施网络的关键期，战略中心向西部重丘和城市地下转移，催动了隧道工程的跨越式发展，各类隧道通车里程超过5.7万公里。既有和在建隧道都呈现出极复杂地质条件下施工和运营的特点，诱使隧道支护结构异常变形、坍塌、渗漏等施工风险突出，运营阶段裂损、渗水、侵限、脱空等小病成灾现象频发，重大灾变事件年均逾60起，严重制约我国现代综合交通运输体系建设和区域经济发展。

隧道全寿命周期灾变频发的主要原因在于病险感知领域存在多尺度病险时空“不同步”、病变信息检测“不自动”、灾变状态判别“不精准”三方面的“卡脖子”难题，无法准确判定隧道服役性能，长期处于被动防控局面。项目以国家自然科学基金、山东省重大创新工程、山东交通运输科技项目为支撑，依托山东、四川、西藏等省份的一大批国家重大交通工程，历经十余年的联合技术攻关和工程实践，突破了多波段时空协同感知、自动化装备集成和病险状态智慧辨识诊断三方面的技术瓶颈，首次建立了隧道全寿命周期病险高精准时空协同感知技术体系，主要发明点如下：

（1）突破了隧道内-外多源病险信息时空关联的技术瓶颈。发明了隧道表观病险多光学传感信息时空基准统一方法，开发了仿生机械-雷达融合的隧道内部缺陷检测柔顺控制结构及策略，发明了隧道内移动检测轨迹误差补偿方法及作业流程，实现了激光、红外、可见光、电磁波多波段检测传感器精准时空协同感知。

（2）攻克了隧道全寿命周期病险检测自动化程度低、综合化差的难题。发明了隧道多模病险检测数据质量提升方法及装置，建立了融合运动补偿-机器视觉采集的隧道内-外病险一体化检测集成架构，研发了固定式、便携式、综合式等4类覆盖全隧道场景的病险自动化检测装备，移动检测速度超过80km/h，裂缝检测精度优于0.1mm，变形检测精度优于0.5mm，首次实现了隧道全场景、全寿命病险的自动化检测。

（3）攻克了隧道多源检测信息融合的灾变状态精准评价难题。发明了“全域数据初筛-局部精细遍历-病险特征计算”的隧道病险高效、智能辨识方法，开发了融合病险特征和空间位置的多源病险发展态势追踪算法，发明了力学驱动的格栅化、分区隧道施工风险预警、运营健康诊断方法，各类病险辨识准确率达95%以上，实现了隧道灾变判识的实时化、智能化。

整体技术应用于全国14省份的200余项隧道工程，累计检测隧道超过1200公里，有效保障了川藏铁路、京沪高速等一大批国家重大工程的安全施工和稳定运行。自应用推广以来，累计新增经济效益22亿元。由郑健龙院士任组长的专家组一致认为：项目成果突破了技术壁垒，总体达到国际先进水平，隧道多源病险动态检测及病险精准高效识别方面达到国际领先水平。

项目授权发明专利56项，实用新型和软著29项，发表高水平论文78篇（SCI/EI收录54篇），形成地标/团标2项，在国内召开学术和技术培训会21次。研发成果有效促进了隧道防灾领域的产业升级，提升了隧道病险感知领域自动化水平，为“交通强国”战略顺利实施提供了技术支撑，实现了隧道全寿命周期病险灾变的主动防控。

**五、主要知识产权和标准规范等目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称 | 国家（地区） | 授权号（标准编号） | 授权（标准发布）日期 | 证书编号（标准批准发布部门） | 权利人（标准起草单位） | 发明人（标准起草人） | 发明专利（标准）有效状态 | 第一完成人是否为发明人（标准起草人） | 第一完成单位是否为权利人（标准起草单位） |
| 发明专利 | 一种轻量化公路隧道集成检测系统及方法 | 中国 | ZL2022112697069 | 2023.03.21 | 5796985 | 山东大学 | 刘健, 韩勃, 解全一, 丁云凤, 吕高航, 赵致远, 崔立桩 | 有效 | 是 | 否 |
| 发明专利 | 一种基于深度学习和OpenCV的隧道裂缝识别方法 | 中国 | ZL2020113909272 | 2022.11.15 | 5583591 | 山东大学, 山东高速集团有限公司 | 刘健, 韩勃, 吕高航, 左志武, 王凯, 王剑宏, 解全一, 金岩, 常洪雷 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种轨道交通隧道地质雷达移动智能检测设备及作业方法 | 中国 | ZL2019111336502 | 2022.04.29 | 5118691 | 山东大学, 山东高速集团有限公司 | 刘健, 齐敏敏, 薛志超, 陈鲁川, 韩勃, 吕高航, 常洪雷 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种地面三维激光扫描仪的点云精度检校装置及方法 | 中国 | ZL2020104617218 | 2021.05.04 | 4400652 | 山东大学, 山东高速集团有限公司 | 刘健, 齐敏敏, 解全一, 刘伟, 周鹏飞, 韩勃, 王剑宏, 常洪雷 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种隧道点云去噪和生成可视化模型的方法 | 中国 | ZL202011394518.X | 2023.04.21 | 5903962 | 山东大学, 山东高速集团有限公司 | 刘健, 韩勃, 高雪池, 王凯, 王剑宏, 金岩, 解全一, 常洪雷 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种基于参考平面的移动测量系统中POS误差补偿方法 | 中国 | ZL201810183853.1 | 2020.01.14 | 3665892 | 山东科技大学 | 石波, 张顺, 王跃,张帆, 李丁硕, 宋世柱, 卢秀山, 阳凡林 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 基于非线干扰观测器的移动机械臂鲁棒控制方法及系统 | 中国 | ZL202011468196.9 | 2022.05.03 | 5130906 | 山东大学 | 宋锐, 郑玉坤, 李凤鸣, 高嵩, 刘义祥, 李贻斌 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 基于平面特征匹配的点云粗拼接方法 | 中国 | ZL201610885963.3 | 2019.06.18 | 3421552 | 山东科技大学 | 石波, 崔强, 宋世柱, 陈焕剑, 卢秀山, 阳凡林 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 一种新型道路标线涂料的制备方法 | 中国 | ZL202211588968.1 | 2023.10.03 | 6379578 | 山东高速集团有限公司, 山东高速交通科技有限公司, 山东高速交通建设集团股份有限公司 | 王川, 王军, 马川义, 黄延青, 张宁, 彭硕, 王凯, 张肖 | 有效 | 否 | 是 |
| 发明专利 | 一种用于地下结构变形缝病害的综合检测评价方法 | 中国 | ZL202111565474.7 | 2023.07.04 | 6109228 | 济南轨道交通集团有限公司, 山东建筑大学 | 于潇, 王洪涛, 刘池, 门燕青, 李勤兴, 王睿, 陶宗全 | 有效 | 否 | 否 |

**六、主要完成人**

刘健、薛志超、门燕青、石波、解全一、刘征宇、陈鲁川、徐传昶、郑玉坤、李国玉、黄永亮、薛海儒、王育奎、张田涛、王凯

**七、主要完成单位情况**

山东高速集团有限公司、山东大学、济南轨道交通集团有限公司、山东高速基础设施建设有限公司、山东高速工程检测有限公司、山东科技大学、中铁十局集团有限公司、山东省工业技术研究院、山东百廿慧通工程科技有限公司、青岛秀山移动测量有限公司