

申报 2022 年度陕西省科学技术奖励项目公示

一、项目名称

复杂环境隧道工程突发险情人员逃生、定位救援技术及装备研发与应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省住房和城乡建设厅

提名意见：近年来，随着我国隧道工程建设规模不断扩大、速度不断加快、建设等级不断提高，项目工程地质状况、施工环境条件更为复杂，工程技术难度不断加大，工程安全风险面临严峻挑战。隧道施工现场缺少必要的人员安全辅助设备和系统，现有技术无法满足隧道遇险人员及时报警和准确定位，同时突发险情后被动救援设备具有可操作性差、功能单一等缺点，进而对复杂环境隧道工程突发险情人员逃生、定位救援技术及装备提出迫切需求。本项目系统开展了复杂环境隧道工程突发险情施工人员示踪与定位技术、智能报警与定位穿戴设备、复杂环境隧道工程突发险情遇险人员逃生救援技术和救援装备等相关研究，形成的研究成果可显著提高隧道施工安全性以及应急救援水平，具有显著的经济社会效益，通过典型工程的示范应用与推广，极大地减小工程施工灾害损失，对维护社会、经济秩序平稳运行、保障人民群众生命财产安全具有重大战略意义。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术进步奖报奖条件。特提名为陕西省科学技术进步奖二等奖及以上。

三、项目简介

针对目前复杂环境隧道工程突发险情人员定位与智能报警困难，同时缺乏可靠的智能报警、定位穿戴设备和快速逃生救援技术及装备。本项目以隧道突发险情遇险人员的定位逃生救援为切入点，提出基于物联网无线通信技术的隧道工程突发险情施工人员示踪与定位技术，研制具有报警功能的隧道施工人员智能报警、定位穿戴设备，以实现隧道突发险情后施工人员与外界的实时通讯；提出隧道工程不同突发险情条件下施工人员的快速逃生救援技术，研制隧道工程突发险情施工人员的逃生救援装备，以提高隧道突发险情应急救援水平。具体研究内容如下：

1. 复杂环境隧道工程突发险情施工人员示踪与定位技术

针对隧道施工现场危险系数较高，且缺少必要的人员安全辅助设备和系统的

情况，基于各种隧道施工现场的无线环境特性和 wifi、蓝牙和惯性导航的物联网技术，形成一套复杂环境隧道工程突发险情施工人员示踪与定位技术。具体包括：①融合 wifi、蓝牙、惯导等技术的多模式定位算法；②融合 kalman 滤波、粒子滤波等技术的多模式融合滤波算法；③融合 wifi、蓝牙、惯导等多模式信号多维数据库；④基于物联网无线通信技术的隧道施工人员示踪与定位技术。

2. 复杂环境隧道工程突发险情施工人员智能报警、定位穿戴设备

针对隧道内外各种施工现场的差异性和复杂性，现有技术无法满足隧道遇险人员及时报警和准确定位，通过室内模拟和现场应用的方法，研制出一套适用于隧道施工人员的智能报警和定位穿戴设备以及用于各种信息采集的基站设备。具体包括：①融合定位及人员安全监测的可穿戴终端设备；②融合定位及人员安全监测的微基站设备；③融合高空坠落、砸倒自动检测算法；④隧道施工人员智能报警和定位穿戴设备功能测试与应用。

3. 复杂环境隧道工程突发险情遇险人员逃生救援技术

针对不同的突发安全事故，突发涌水、掌子面坍塌、岩溶突泥涌水、支护后延时性 关门塌方等突发险情，基于数值分析软件建立隧道工程突发险情施工人员逃生模型，研发一套适用于隧道工程不同突发险情条件下施工人员逃生模式和救援技术。具体包括：①隧道工程突发险情施工人员逃生模拟平台；②隧道工程不同突发险情条件下施工人员快速逃生模式；③隧道工程不同突发险情条件下快速救援技术；④隧道工程突发险情施工人员逃生救援指南。

4. 复杂环境隧道工程突发险情被动救援装备

针对目前复杂环境隧道工程突发险情被动救援设备可操作性差、单一等缺点，研发一套适用于隧道工程突发险情的被动救援装备，以及被动救援装备内部组成系统及其关联控制。具体包括：①被动救援装备结构构造及力学特性；②被动救援装备内部氧气供给及生存保障系统；③被动救援装备内部照明和指示系统；④被动救援装备功能测试与应用。

四、客观评价

2021 年中国交通建设集团有限公司在北京组织召开国家重点研发计划项目“交通运输基础设施施工安全关键技术与装备研究”课题 6“复杂环境隧道工程突发险情人员逃生、定位救援技术及装备研究与应用示范”成果绩效评价会议。

与会专家听取了课题的工作汇报，对照任务书要求，审阅了课题的相关资料，经质询和讨论，形成意见如下：

（一）提交的资料完整、合规，符合课题绩效评价要求。

（二）全面完成任务书规定的研究内容及考核指标。取得的重要成果如下：

（1）研制了多模多功能微基站，定位覆盖范围 230 米（大于 200m），定位响应时间 2s（小于 60s），准确率达 100%。

（2）研制了小型化（33g）、低功耗（续航>1月）、集多源融合定位技术（定位精度优于 20cm）的便携式定位终端，具有高空坠落与塌方砸倒智能检测报警功能。

（3）研制了隧道施工掘进同步移动的轻型避险救援装备，保证救援覆盖范围大于 200m，生存保障时间 72 小时（大于 48 小时）。

（4）与课题 5 隧道施工安全预警技术衔接形成“预警、报警、逃生、避险”四步走的隧道施工突发险情防灾策略，共同支撑项目关于公路工程隧道施工安全预警、逃生救援技术与装备的创新成果，推广应用前景广阔。

（三）专家组一致认为该成果总体达到国际先进水平。

五、应用情况

长安大学、中国交通建设集团有限公司等单位研制的隧道通信与人员定位系统、隧道突发险情人员逃生救援装备已在安吉至洞头公路工程的陈岙坑隧道工程、兰州至海口国家高速公路重庆至遵义段（贵州境）扩容工程项目桐梓隧道工程进行了实际安装部署及应用。经过现场测试和验收。可以实现如下功能：

1) 完成正洞到掌子面区域的无线网络覆盖，实现隧道内外的语音，文字、视频、图片等通信功能；实现掌子面及正洞区域高精度定位，定位精度可达亚米级，定位时延优于 1s，定位效果平滑、连续；SOS 报警功能，报警成功率 100%；高空坠落报警功能，成功率 100%；塌方砸到报警功能，成功率 100%；进入/离开危险区域报警功能，成功率 100%；各类报警时延均优于 1s；实现低电量提醒、人员统计、地图配置、施工配置等安全管理功能。

2) 逃生救援装备覆盖范围大于 200m；逃生救援装备具备保障遇险人员 48 小时正常生存的条件；单个逃生救援装备可以容纳装备的额定人数 5 人；逃生救援装备可在开挖台车两侧分别固定安装，两侧各安装 1 个救生舱，正常情况下不

影响隧道施工,可满足10人避险需求;设备规格尺寸(长×宽×高)为2100×1000×1640mm;设备空载质量为1.2t。

项目研究成果中定位系统的应用改善了陈舛坑隧道、桐梓隧道正洞及掌子面区域通信难的问题,有效解决了人员高精度定位问题,提升了应急管理效率;逃生救援装备的应用改善了正洞及掌子面区域施工人员的隧道施工安全保障问题,提升了隧道施工安全保障水平。

六、主要知识产权和标准规范目录(限10项)

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	专利号/发表期刊	专利权人	发明人
1	发明专利(美国)	Rescue capsule for shelter in tunnel construction	US 10767482 B2	长安大学	王亚琼、王志丰、任锐等
2	发明专利(中国)	一种隧道衬砌裂缝深度测量方法及测量装置	ZL201510536566.0	长安大学	王亚琼、孙铁军等
3	发明专利(中国)	一种隧道渗漏水治理装置	ZL201510563262.3	温州信达交通工程试验检测有限公司	孙铁军、王亚琼等
4	实用新型专利	一种用于快速提供隧道施工人员避难的救生舱	ZL201821791541.0	长安大学	王亚琼、王志丰、田俊峰等
5	实用新型专利	一种用于隧道逃生管道的连接装置及隧道逃生管道	ZL201822203056.3	长安大学	王志丰、王亚琼等
6	实用新型专利	一种整体性和密闭性增强的逃生管道	ZL201822172504.8	长安大学	王志丰、王亚琼等
7	论文	Countermeasures to treat collapse during the construction of road tunnel in fault zone: a case study from the Yezhuping Tunnel in south Qinling, China	Environmental Earth Sciences	长安大学	王亚琼等
8	论文	Prediction of Landslide Position of Loose Rock Mass at Mountain Tunnel Exit	Advances in Civil Engineering	长安大学	王亚琼等
9	论文	软弱围岩隧道塌方段力学性状测试与数值分析	应用力学学报	长安大学	王亚琼、孙铁军等
10	论文	深埋隧道补强加固技术理论分析与模拟研究	公路	长安大学	张晓东等

七、主要完成人情况

序号	姓名	性别	出生年月	技术职称	工作单位	对成果创造性贡献
1	王亚琼	男	1975.10	正高	长安大学	项目总体负责
2	田俊峰	男	1963.12	正高	中国交通建设集团有限公司	负责人员示踪与定位技术及装备研发
3	王志丰	男	1986.08	副高	长安大学	负责人员逃生救援装备研发
4	任锐	女	1982.04	副高	长安大学	负责遇险人员逃生救援技术研究
5	吴彤	男	1983.08	副高	中国交通建设集团有限公司	参与人员示踪与定位技术研发
6	孙铁军	男	1979.10	副高	温州信达交通工程试验检测有限公司	研究成果现场应用
7	高启栋	男	1991.02	中级	长安大学	参与遇险人员逃生救援技术及装备研发
8	张晓东	男	1971.05	副高	中交第三公路工程局有限公司	研究成果现场应用
9	肖登坤	男	1964.12	正高	中国交通建设集团有限公司	参与人员示踪与定位装备研发

八、主要完成单位及创新推广贡献

长安大学直属国家教育部，是国家首批“211工程”重点建设大学、国家“985优势学科创新平台”建设高校、国家“双一流”建设高校。学校位居历史文化名城西安，坐拥南北两大校区，南倚大雁塔，北邻渭水滨，建有太白山、梁山、渭水三个教学实习基地，校园面积3745亩。学校坚持社会主义办学方向，紧扣立德树人根本任务，秉承“工科登峰、理科振兴、文科繁荣、交叉突破”的学科发展理念，担当“人才培养的摇篮、科学研究的殿堂、社会服务的基地、文化传承创新的高地、国际交流合作的前沿”的崇高使命，坚持“特色鲜明、国际知名的高水平研究型大学”的目标愿景，成为我国交通运输、国土资源、城乡建设三大行业领域高层次人才培养、高水平科学研究、高质量社会服务的重要基地。学校育人成果丰硕，累计向海内外输送优秀毕业生近30万人。长安大学负责本项目的统筹协调，完成了遇险人员救援技术及装备的研发，参与完成了人员逃生、定位技术及装备的研发，对研究成果的推广起到重要作用。

中国交通建设集团有限公司（简称“中国交建”）是国务院国有资产监督管理委员会监管的中央企业，由原中国港湾建设（集团）总公司和原中国路桥（集

团) 总公司合并重组而成。中国交通建设集团有限公司拥有 34 家全资、控股子公司, 15 家参股公司, 业务足迹遍及中国所有省、市、自治区及港澳特区和世界 70 多个国家和地区。中国交通建设集团有限公司的主营业务涵盖以沿海、内河港口工程和以公路、桥梁、隧道工程的勘察、设计、施工、监理为主的水运、公路基础工程建设业, 以港口机械、筑路机械、桥构件为主的设备制造业, 以及以国际工程承包、劳务合作和进出口贸易为主的外经外贸业。集团具有港口与航道工程、公路工程施工总承包特级资质和多项工程总承包一级资质及专业承包资质, 同时具有大型工程总承包能力和项目投融资能力。中国交通建设集团有限公司是本项目的科研合作单位, 完成了人员逃生、定位技术及装备的研发, 参与完成了遇险人员救援技术及装备的研发, 且对研究成果的推广起到重要作用。

温州信达交通工程试验检测有限公司成立于 2008 年 4 月, 注册资金 500 万元, 为国有独资企业, 是浙南地区首家获得公路水运工程试验检测等级评定公路工程综合甲级资质的检测机构, 可面向社会承接桥梁结构、隧道、交通安全设施、钢结构、路基路面、原材料共计 25 大类试验检测项目的 518 个试验检测参数。公司目前设试验部、检测部、桥隧部、质安部、办公室、财务部、经营部共 7 个职能部门, 员工 173 人、注册试验检测人员 129 人。公司先后获得浙江省公路水运工程试验检测机构示范窗口、浙江省科技型中小企业、浙江省青年文明号、市工人先锋号、市青年建功岗、市优秀青年突击队、永嘉县明星企业等荣誉。温州信达交通工程试验检测有限公司是本项目的科研合作单位, 参与完成了遇险人员定位系统及救援装备的现场应用, 且对研究成果的推广起到重要作用。

中交第三公路工程局有限公司成立于 2004 年, 是隶属于世界 500 强企业——中国交通建设股份有限公司的大型国有施工企业, 公司总部位于北京, 注册资本 21.56 亿元。公司业务涵盖公路、铁路、房建、桥梁、隧道、市政公用工程、城市轨道交通、机场航站楼及其他土木工程项目的的设计、施工、咨询等, 施工足迹遍及全国近 30 个省(市)、自治区, 并在亚洲、非洲、南美洲、大洋洲、欧洲等十多个国家开辟了市场。公司下设 11 个子分公司、9 个全资控股参股公司、14 个国内外区域总部、1 个综合甲级实验室及多个项目公司, 现有员工 8000 余人。公司秉承“固基修道, 履方致远”的企业使命, 坚持“交融天下, 建者无疆”的企业精神, 承建了一大批享誉海内外, 具有广泛影响力的重大工程项目。中交

第三公路工程局有限公司是本项目的科研合作单位，参与完成了遇险人员定位系统及救援装备的现场应用，且对研究成果的推广起到重要作用。

九、完成人合作关系说明

王亚琼，长安大学公路学院，教授、博导，长期从事公路隧道及地下工程教学与科研工作。2020年担任长安大学继续教育学院院长。在隧道（施工）运营与管理、隧道通风照明、防排水、隧道火灾、防灾减灾、救援等方面具有丰富的研究成果，在已在国内外重要学术刊物和学术会议上发表论文40余篇。其中参编《公路隧道施工技术规范》、《公路隧道施工技术细则》等。本项目负责人，对于项目成果推广起关键作用，是本项目的科研中坚力量。

田俊峰，教授级高工，是“新世纪百千万人才工程”国家级人选、国务院政府特殊津贴专家、863计划现代交通技术领域专家、疏浚技术与装备国家工程研究中心副主任、ISO海洋工程技术委员会挖泥船工作组组长，世界疏浚联合会资深委员，曾任中国交通建设集团有限公司科技部副总经理、中交星宇科技有限公司总经理。田俊峰负责了复杂环境突发险情施工人员示踪与定位技术及装备研发工作，是本项目的科研中坚力量。

王志丰、任锐、高启栋任职于长安大学，吴彤、肖登坤任职于中国交通建设集团有限公司，孙铁军任职于温州信达交通工程试验检测有限公司，张晓东任职于中交第三公路工程局有限公司，以上项目合作人员为施工人员示踪与定位技术、智能报警与定位穿戴设备、人员逃生救援技术和装备、成果现场应用等做出了应有的贡献。