

2023 年度山西省科学技术进步奖公示信息

一、项目名称:

太行山区公路隧道穿软岩破碎带建设理论与关键技术

二、提名者及提名意见

提名单位: 晋中市人民政府

提名意见: 随着穿越软岩破碎带隧道数量逐步增多, 软岩破碎区段隧道施工灾害问题日益突出, 围岩失稳、支护失效、掌子面塌方等病害频发, 不仅严重影响了施工安全和施工质量, 也延误了建设工期和增加了投资成本, 显然与建设隧道的初衷相违背。

该项目解决了 5 个方面关键问题: 隧道软岩破碎带围岩力学参数现场快速获取方法; 软岩破碎带隧道开挖掌子面稳定性评价理论; 公路隧道穿软岩破碎带新型支护技术; 软岩破碎带公路隧道聚能水压抑尘爆破技术; 公路隧道作业机械动态配置与管理系统。

本项目研究成果具有创新性, 发展了软岩破碎带公路隧道围岩参数快速获取与安全施工理论, 突破了穿软岩破碎带新型支护技术、绿色聚能水压抑尘爆破技术及高效机械化施工技术, 对软岩破碎带隧道建设具有较大指导意义。研究成果总体达到了国际先进水平, 部分达到了国际领先水平。

提名为山西省科学技术进步奖一等奖。

三、项目简介

本项目从软岩破碎带隧道围岩力学参数现场快速获取方法、开挖稳定性安全施工理论、新型支护结构与技术、绿色聚能水压抑尘爆破技术、以及机械化施工水平提升五个方面对软岩破碎带公路隧道的安全、绿色、高效建设理论与关键技术进行了系统研究。取得的主要研究成果如下:

(1) 提出了隧道软岩破碎带围岩力学参数现场快速获取方法。提出了改进的 Hoek-Brown 准则参数区间取值理论, 提出了地质强度指标 GSI 快速取值与评估表, 构建了软弱围岩力学参数现场快速取值方法。提出了隧道掌子面空间约束效应等效模型, 推导了随岩体和施工参数变化而动态发展的围岩塑性区、松动圈范围计算公式。

(2) 发展了软岩破碎带隧道开挖掌子面稳定性评价理论。对经典三维楔形

体模型、二维对数螺旋线模型及三维旋转破坏模型进行了优化，推导了各模型中开挖面失稳时极限支护压力的数学表达式，构建了穿软岩破碎带隧道开挖面稳定安全系数计算方法。

(3) 首创了公路隧道穿软岩破碎带新型支护技术。首次提出新型钢拱架支护结构，综合提出了断层隧道超前双层注浆小导管预加固与新型钢拱架组合支护方案，系统给出了支护结构设计参数。

(4) 突破了软岩破碎带公路隧道聚能水压抑尘爆破技术。明确了聚能水压爆破周边眼、掘进眼的装药结构和适宜的炮孔间距取值范围，研发了新型聚能水压爆破水袋抑尘剂，配合聚能水压爆破技术，实际工程中实现了抑扩散、促凝聚、保截留多重抑尘作用。

(5) 创建了公路隧道作业机械动态配置与管理信息系统。推导了五部工序作业时间预估公式，提出了出渣、湿喷和二衬浇筑工序施工机群进行静-动态配置方法，构建了隧道机械化管理平台并研发了机械作业动态管理系统，实现了机械配套方案动态管理，具有很强的现实应用价值。

四、客观评价

(一) 科技鉴定评价

(1) 2020年7月30日，山西省交通运输厅在太原主持召开了由山西省公路局与长安大学共同承担的《软岩隧道围岩力学性能多角度耦合分析及施工参数优化研究》(编号：2017-1-4)项目验收会，验收委员会一致同意项目通过验收，成果总体达到国际先进水平，其中围岩参数区间取值理论和空间约束效应的虚拟支护力等价替代法达到国际领先水平。

(2) 2021年4月21日，山西省交通运输厅组织有关专家组成验收委员会，在太原市对山西省公路局晋中分局、长安大学共同承担的厅科技项目《太行山区隧道穿越断层带施工力学行为与风险防控技术研究》(编号：2018-1-3)进行了验收。意见如下：研究成果推广应用前景广阔，总体达到国际先进水平，关于掌子面稳定性分析理论部分的研究达到国际领先水平。专家组一致同意该项目通过验收。

三、创新点

(1) 提出了隧道软岩破碎带围岩力学参数现场快速获取方法，满足了特殊

地质段施工高风险下现场动态设计参数需求。(2) 发展了软岩破碎带隧道开挖掌子面稳定性评价理论,提高了穿软岩破碎带隧道开挖面安全施工预判准确性。(3) 首创了公路隧道穿软岩破碎带新型支护技术,降低了软岩破碎带施工灾害发生风险,确保了施工安全快速通过不良地质段。(4) 突破了软岩破碎带公路隧道聚能水压抑尘爆破技术,解决了软岩破碎带超欠挖难题,改善了施工环境空气质量,加快了施工进度,缩短了临空面暴露时间,提高施工安全性。(5) 创建了公路隧道作业机械动态配置与管理系统,提升了隧道施工机械化水平与机械应用效率,加快了施工进度,降本增效作用显著。

(二) 科技成果查新

陕西国际联机信息检索中心(国防一级科技查新咨询单位)对本项目成果的国内外科技查新报告(Cx2023-082)表明:在所检索的国内外相关数据库中,未见有与该查新课题采用创新点技术内容相同的“太行山区公路隧道穿软岩破碎带建设理论与关键技术”文献的公开报道。

五、应用推广

该项目研究成果已成功应用于山西省国道 208 线清徐县常家庄至晋中长治界一级公路工程南沟隧道、子洪 1 号隧道、子洪 2 号隧道,国道 241 线平遥香乐至沁源后沟段公路工程神南隧道,省道董榆线(S318)寒湖岭隧道, G340 榆社县县城过境段改线工程寨沟隧道等隧道工程,通过获取软岩破碎带掌子面处围岩的力学参数,结合掌子面稳定性评价理论,明确隧道穿越破碎带时围岩受力变形特征,同时采用新型支护结构解决了前方围岩的大变形和局部塌方问题,通过聚能水压抑尘爆破技术有效控制了破碎带围岩超欠挖和扬尘量大消散慢的问题,大大降低了隧道施工成本投入,有效缩短了施工工期,对隧道施工实施机械化动态管理,提高了施工机械和作业人员的工作效率,取得了令人满意的结果,为工程建设提供了有力的技术支撑。

六、主要知识产权和标准规范等目录

项目取得的成果丰硕,期间发表中文核心以上论文 22 篇,其中 SCI/EI 检索共 13 篇,知识产权方面获得国家专利和软件著作权共 9 项,其中发明专利 3 项,软件著作权 3,国家规范、地方标准及省级工法共 3 项。其中 10 项代表作如下:

序号	论文	刊名	级别	发表时间	作者
----	----	----	----	------	----

1	Prediction of plastic and fractured zone extent around deep circular tunnel subjected to spatial constraint effect	Arabian Journal of Geosciences	SCI 检索	2021	Yi Yao, Hongpeng Lai, Qin Zhang, Yuyang Liu
2	Reinforcing Distressed Lining Structure of Highway Tunnel with Bonded Steel Plates: Case Study	Journal of Performance of Constructed Facilities	SCI 检索	2020	Hao Chen, Hongpeng Lai, Yuliang Qiu, Rui Chen
3	Experimental and numerical study of granite blocks containing two side flaws and a tunnel-shaped opening	Theoretical and Applied Fracture Mechanics	SCI 检索	2019	Hao Chen, Xiang Fan, Hongpeng Lai, Yongli Xie, Zhongming He
4	长锚杆/锚索改善深埋大跨度隧道初支结构受力试验研究	岩土工程学报	EI 检索	2023	周阳, 来弘鹏, 王兴广, 孔军, 李志磊, 洪秋阳
5	不同倾角逆断层错动对隧道结构影响理论分析	土木工程学报	EI 检索	2019	焦鹏飞, 来弘鹏
6	浅埋隧道开挖引起地层位移的双极坐标求解法	交通运输工程学报	EI 检索	2023	来弘鹏, 姚毅, 高强, 刘禹阳
7	软岩大变形偏压公路隧道变形与荷载作用特征	中南大学学报(自然科学版)	EI 检索	2014	来弘鹏, 杨万精, 谢永利.
序号	专利名称	授权号	类型	授权时间	权利人
8	隧道衬砌结构裂缝处治实验方法	CN109238844A	发明	2019	来弘鹏;崔达;康佐;刘苗;杨万精;王军琪;赖金星
9	一种离心模型试验用隧道施工模拟装置	CN204044148U	实用新型	2014	来弘鹏;康佐;杨万精;王军琪;刘苗;晏长根;王智;赖金星;马明波
10	开挖与初期支护信息管理系统 V1.0	2019SR104513 9	软著作	2019	长安大学

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位
张惠民	1	山西省公路局晋中分局党委负责人、局长	正高级工程师	山西省公路局晋中分局	山西省公路局晋中分局
来弘鹏	2	无	教授	长安大学	长安大学
魏平宽	3	主任科员	高级工程师	山西省公路局	山西省公路局
刘禹阳	4	无	副教授	长安大学	长安大学

李跃强	5	山西省公路局晋中分局副局长	高级工程师	山西省公路局晋中分局	山西省公路局晋中分局
姚毅	6	无	工程师	长安大学	长安大学
韩富明	7	无	高级工程师	山西省公路局晋中分局	山西省公路局晋中分局
田正旺	8	山西路桥第六工程有限公司党委副书记、副董事长、总经理	高级工程师	山西路桥集团第六工程有限公司	山西路桥第六工程有限公司
白鸿莲	9	工程技术科科长	高级工程师	山西省公路局晋中分局	山西省公路局晋中分局
李永东	10	技术处副处长	高级工程师	山西省公路局	山西省公路局

八、主要完成单位及创新推广

单位名称	排名	单位性质
山西省公路局晋中分局	1	企业
长安大学	2	高校
山西省公路局	3	企业
山西路桥集团第六工程有限公司	4	企业

山西省公路局晋中分局主要负责组织协调项目实施，总体研究方案制定，提供部分技术支持并进行现场试验等工作。山西省公路局主要负责宣传推广本项目软岩破碎带隧道建设相关技术成果。长安大学主要负责本项目关键理论与技术研究工作。山西路桥集团第六工程有限公司主要负责新型支护技术、聚能水压抑尘爆破技术及机械化提升技术的实践应用及现场验证。

九、完成人合作关系说明

完成人张惠民、来弘鹏、魏平宽、李跃强、韩富明、田正旺、白红莲及李永东共同承担了项目“软岩隧道围岩力学性能多角度耦合分析及施工参数优化研究”的立项和研究工作。

完成人来弘鹏、刘禹阳、李跃强、韩富明共同承担了“太行山区隧道穿断层带施工力学行为与风险防控技术研究”的立项和研究工作。

完成人来弘鹏、刘禹阳、田正旺共同承担了“太行山区公路隧道机械化高效施工及开挖抑尘技术研究”的立项和研究工作。