

一、项目名称

《基于岩体结构的隧道软岩大变形判识及防控关键技术》

二、提名者及提名意见

提名单位：中铁十七局集团有限公司

提名意见：随着交通强国战略的实施，中西部地区交通基础设施建设迅速发展，因其特殊地理环境，需要建设大量穿越破碎带的长大隧道，施工过程中极易发生围岩大变形、垮塌等灾害，严重危害人员生命财产安全。破碎带智能识别与隧道大变形施工控制虽取得较大研究进展，但仍存在许多复杂问题未得到有效解决。

本项目《基于岩体结构的隧道软岩大变形判识及防控关键技术》在中铁十七局集团有限公司经费支持下，针对层状破碎带隧道安全施工技术与装备瓶颈，开展产学研联合攻关和技术创新。发明了“3D打印+双轴加载+DIC宏观观测”的软岩结构岩体隧道变形破坏模型实验方法，首次将岩体结构面纳入到隧道大变形预测模型中，分析了岩体变形破坏规律，提出了考虑岩体质量、层面倾角、层厚等层状软弱围岩结构性特征和地应力影响的变形预测技术，揭示了层状软岩隧道围岩变形规律，使隧道大变形预测更符合工程实际；提出了“基于卷积神经网络地质雷达图像智能解译方法”和“节理数字图像分割轻量化处理方法”，实现了掌子面岩体结构特征指标快速获取和识别，识别准确率达90%以上，有效提升了地质解译效率；首次研发了一种受限空间的钢拱架快速拼装设备、拱脚下沉主动控制竖向顶撑装置和可循环利用型钢管混凝土临时仰拱结构，提出了软岩隧道钢拱架快速封闭施工工法，拱架班组施工人员减少50%，有效防控隧道施工大变形安全风险。

围绕隧道破碎带智能识别与大变形安全施工关键技术开展系统深入研究，构建了隧道“大变形预测↔岩体结构特征获取⇒钢拱架快速施工”协同体系，

获发明专利 9 项，实用新型专利 13 项，省部级工法 3 项，发表 SCI 论文 5 篇，EI 论文 3 篇，北大核心论文 11 篇，累计为软岩隧道项目节约成本 9000 多万元。该项目成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合山西省科学技术进步奖提名条件。

三、项目简介

（一）所属科学技术领域

本项目属建筑业行业交通运输工程中隧道工程领域。

（二）主要创新成果

1.首次将岩体结构面纳入到隧道大变形预测模型中，分析了岩体变形破坏规律，提出了岩体质量、层面倾角、层厚和地应力影响的大变形预测公式，使隧道大变形预测更符合工程实际。

2.提出了“基于卷积神经网络地质雷达图像智能解译方法”和“节理数字图像分割轻量化处理方法”，实现了掌子面岩体结构特征指标快速获取和识别。

3.研发了隧道受限空间钢拱架快速拼装设备、拱脚下沉主动顶撑控制装置和可循环利用型钢管混凝土临时仰拱结构，实现了隧道拱架快速封闭，限定了大变形发展。

四、客观评价

该项目 2024 年在中国铁建股份有限公司开展评价，评价意见为“成果整体达到国际先进水平”。

五、推广应用情况

项目组提出的技术体系在研发过程中，始终保持与项目一线保持联动，以解决一线实际难题为坚定导向，先后在黔渝高铁、文麻高速、文马高速、玉磨铁路等项目中成功应用，应用本体系关键技术助力黔渝高铁侯家坡隧道、

刘家坪隧道顺利通过残坡积层及砂质泥岩强风化层；助力文麻高速大法郎隧道顺利通过镶嵌薄层千枚岩地层；助力文马高速坡脚隧道顺利通过断层破碎带，累计节约成本 9000 多万元，产生了良好的应用效果。当前，云南省天麻高速奎龙隧道、上南峰隧道等低级副变质岩、黏土质沉积岩隧道正在使用本技术体系，通过本技术助力隧道安全、绿色、高效掘进。

工程实践表明：本成果智能化、信息化、机械化水平高，符合隧道建设的发展需要，对现代化隧道建设具有非常重要的意义，同时具有较好的技术、经济和社会效益，具有广阔推广应用前景。

六、主要知识产权证明目录

授权项目名称	知识产权类别	国别	申请号	授权号
一种软弱围岩隧道拱脚顶撑加压下沉控制方法	发明专利	中国	202110814878.9	ZL202110814878.9
一种基于 3DP 砂型砂芯技术的层状软岩制备方法	发明专利	中国	202010439361.1	ZL202010439361.1
一种用于薄层软岩大变形预测方法	发明专利	中国	202010746670.3	ZL202010746670.3
一种断层破碎带软岩地应力估算方法	发明专利	中国	202010439581.4	ZL202010439581.4
一种适用于软岩大变形隧/巷道的复合支护体系及方法	发明专利	中国	202011582276.7	ZL202011582276.7
一种隧道初期支护的拱脚结构、施工方法及拱脚系统	发明专利	中国	202111588773.2	ZL202111588773.2
一种隧道变形监测点的施工方法及保护工装	发明专利	中国	202110281260.0	ZL202110281260.0
一种用于减震吸能的近接地下工程缓冲层及施工方法	发明专利	中国	202010935301.9	ZL202010935301.9
一种锁脚锚管/锚杆与钢拱架的联合支护装置及施工方法	发明专利	中国	202011607029.8	ZL202011607029.8
一种适用于隧道分部台阶法施工用拱架拼装抓手	实用新型专利	中国	202121833145.1	ZL202121833145.1

一种适用于隧道三台阶拱架的拼装设备	实用新型专利	中国	202122363680.1	ZL202122363680.1
软弱围岩隧道循环利用型拱脚顶撑加压下沉控制装置	实用新型专利	中国	202121639878.1	ZL202121639878.1
装配式循环利用钢管混凝土临时仰拱	实用新型专利	中国	202220127533.6	ZL202220127533.6
一种隧道拱架安装用可伸缩式临时快速支撑结构	实用新型专利	中国	202121480423.X	ZL202121480423.X
一种适用于浅埋富水砂土状软弱围岩隧道施工的保护结构	实用新型专利	中国	202221355173.1	ZL202221355173.1
一种隧道拱架临时固定筒易支撑结构	实用新型专利	中国	202220240424.5	ZL202220240424.5
隧道工字钢钢架接头快速补强结构	实用新型专利	中国	202123116637.1	ZL202123116637.1
一种软弱围岩隧道锁脚锚管精准定位连接装置	实用新型专利	中国	202022328774.0	ZL202022328774.0
一种隧道初支结构	实用新型专利	中国	202120590057.7	ZL202120590057.7
可伸缩移动式湿喷机械装置	实用新型专利	中国	202120723611.4	ZL202120723611.4
一种感应测量装置以及应用其的地裂缝便捷监测装置	实用新型专利	中国	202123226872.4	ZL202123226872.4
一种混凝土早期抗裂性能试验装置	实用新型专利	中国	202221557628.8	ZL202221557628.8
地质雷达超前预报图像数据标注 LabelImg 软件 1.0	软件著作权	中国	2021SR1585868	2021SR1585868
基于卷积神经网络的富水破碎带定位探测软件 1.0	软件著作权	中国	2021SR2046114	2021SR2046114
地质雷达智能定位解译系统 1.0	软件著作权	中国	2022SR0024921	2022SR0024921

七、主要完成人情况

1. 徐文斌，排名 1，正高级工程师，中铁十七局集团有限公司
2. 田唯，排名 2，正高级工程师，中交第二航务工程局有限公司
3. 陈培帅，排名 3，正高级工程师，中交第二航务工程局有限公司
4. 田云，排名 4，讲师，绍兴文理学院

5. 姬付全，排名 5，正高级工程师，中交第二航务工程局有限公司
6. 袁青，排名 6，高级工程师，中交第二航务工程局有限公司
7. 付德平，排名 7，高级工程师，中铁十七局集团第一工程有限公司
8. 李绍锋，排名 8，高级工程师，中铁十七局集团第一工程有限公司

八、主要完成单位及创新推广贡献

<p>中铁十七局集团 有限公司</p>	<p>为项目承担单位，负责该项目的整体研究、实施、应用推广和技术成果资料统筹整理等工作。其中主要工作包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、负责本项目总体研究方案与技术路线的制定，负责组织开展各创新点的研究及推进，共同组织本项目成果的工程实施； 2、总体组织进行了创新点1“隧道软岩非对称大变形灾变机理与预测方法”，创新点2“基于数字图像的岩体结构参数快速分析技术”，创新点3“大变形拱架快速施工技术及装备”三个创新点研究工作，重点参与了创新点3的研究，组织开展了项目整体在现场推广应用。
<p>中交第二航务工程局有限公司</p>	<p>中交第二航务工程局有限公司为该项目的主要参加单位，负责本项目的技术研究与现场应用工作，对创新点2、创新点3做出了重要贡献，主要包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、负责开展了基于图像的岩体结构快速分析技术研究，构建了软弱围岩破碎带神经网络识别模型与智能解译系统，建立了ResNet深度残差网络模型；提出了基于数字图像的岩体结构参数分析方法，实现了岩体质量快速分级。 2、负责开展了软岩隧道快速支护的施工技术及装备研发，研发了型钢拱架快速拼装液压机械臂，实现了多分部开挖与受限空间条件下钢拱架拼装机械化；首创了拱脚下沉主动控制竖向顶撑装备，拱脚下沉主动控制力可达30t、拱脚下沉主动控制量可达15cm；提出了可循环应用的钢管混凝土临时仰拱结构，限制了层状软岩隧洞开后的快速变形。

	<p>3、在所承建的玉磨铁路、九绵高速等项目上应用推广。</p>
绍兴文理学院	<p>绍兴文理学院为该项目的技术支撑单位，为本项目的主要参与者，负责本项目研究的技术支持工作，对创新点1做出了重要贡献，其中主要工作包括：</p> <p>1、负责开展了软岩蠕变与松弛试验，揭示了软弱层面产状和厚度对隧道非对称大变形的影响机理，提出了考虑层面影响的层状软岩大变形预测模型；</p> <p>2、实现了对流变损伤渐进破坏过程的定量描述，揭示了破碎带软岩时效大变形致灾机理，提出了隧道软岩非对称大变形灾变机理与预测方法。</p>
中铁十七局集团第一工程有限公司	<p>中铁十七局集团第一工程有限公司是该项目的技术支撑单位，负责本项目技术研究与应用推广工作，对创新点3的研究做出了重要贡献，主要开展了：</p> <p>1、开展了创新点3中钢管混凝土临时仰拱的现场研究工作，促进了该技术在其承担的项目中测试工作，加速了该技术成熟。</p> <p>2、开展了项目整套技术应用推广工作，在黔渝高铁项目中形成良好应用效果。</p>

九、完成人合作关系说明

完成人合作关系说明

基于岩体结构的隧道软岩大变形判识及防控关键技术项目是在中铁十七局集团的统筹带领下，与中交第二航务工程局有限公司、绍兴文理学院、中铁十七局集团第一工程有限公司共同合作完成的，是完成人徐文斌，田唯，陈培帅，田云，姬付全，袁青，付德平，李绍锋密切合作的成果。

中铁十七局集团有限公司(徐文斌)与中交第二航务工程局有限公司(田唯、陈培帅、姬付全、袁青)，负责课题总体技术研究、技术路线、研究成果实践与应用验证，围绕隧道层状破碎带精细识别、隧道变形机理揭示及预测、大变形控制技术展开联合攻关，完成了专利《一种软弱围岩隧道拱脚顶撑加压下沉控制方法》、《一种适用于隧道分部台阶法施工用拱架拼装抓手》、《一种适用于隧道三台阶拱架的拼装设备》，发表了《浅埋软岩隧道大变形特征及控制措施》、《高地应力千枚岩隧道支护体系试验研究》等论文。对相关研究成果进行整理、应用与提升，并完成《基于岩体结构的隧道软岩大变形判识及防控关键技术》科技成果评价。

绍兴文理学院(田云)与中铁十七局集团有限公司、中交第二航务工程局有限公司联合开展了隧道软岩非对称大变形灾变机理与预测方法研究，开展了岩体蠕变与松弛试验，提出了考虑层面影响的层状破碎带大变形预测模型，实现了对流变损伤渐进破坏过程的定量描述，揭示了破碎带软岩时效大变形致灾机理，提出了考虑层状软弱围岩结构特征的变形预测方法。完成了发明专利《一种基于 3DP 砂型砂芯技术的层状软岩制备方法》，发表《Analytical model of layered rock considering its time-dependent behavior》、《Design of the yielding support used highly deformable elements for a tunnel》等 SCI 论文，《考虑软岩强度时效弱化的缓冲层让压支护设计研究》等 EI 论文。

中铁十七局集团第一工程有限公司在中铁十七局集团有限公司统筹领导与组织协调下，与中交第二航务工程局有限公司联合开展可循环利用的装配式预应力钢管混凝土临时仰拱结构的试制与现场应用测试，形成了良好应用效果。还共同推动本项目技术成果到一线落地，先后在十七局承建的黔渝铁路，二航局承建的文麻高速、玉磨铁路等项目应用推广。

通过上述协同创新与联合攻关，项目完成人及完成单位完成了层状破碎带精细识别、隧道大变形致灾机理及控制，研究成果成功推广应用于多个重大工程，形成了“工程导向-科学研究-示范应用”的合作模式。

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责。如有不实，自愿退出本年度评审并承担相应责任。

第一完成人签名：

徐文斌

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	项目合作 资源合作 技术合作	徐文斌，田唯，陈培帅，姬付全，袁青，付德平，李绍锋	2020-2023	“隧道层状破碎带精细识别与快速施工关键技术”科研项目；“基于岩体结构的隧道软岩大变形判识及防控关键技术”评价报告；“中铁十七局集团有限公司科技研究开发计划项目结题验收表”	科研项目合同 成果评价报告 项目验收证书	
2	项目合作 技术合作	徐文斌，田唯，陈培帅，田云，姬付全，袁青，付德平，李绍锋	2020-2023	“基于岩体结构的隧道软岩大变形判识及防控关键技术”评价报告	成果评价报告	

知情同意证明

以下成果征得未列入项目完成人的主要权利人、作者的确认，同意“基于岩体结构的隧道软岩大变形判识及防控关键技术”项目在申报2024年度山西省科学技术进步时用于报奖材料。

1. 一种软弱围岩隧道拱脚顶撑加压下沉控制方法
2. 一种基于3DP砂型砂芯技术的层状软岩制备方法
3. 一种用于薄层软岩大变形预测方法
4. 一种断层破碎带软岩地应力估算方法
5. 一种适用于软岩大变形隧/巷道的复合支护体系及方法
6. 一种隧道初期支护的拱脚结构、施工方法及拱脚系统
7. 一种隧道变形监测点的施工方法及保护工装
8. 一种用于减震吸能的近接地下工程缓冲层及施工方法
9. 一种锁脚锚管/锚杆与钢拱架的联合支护装置及施工方法
10. 一种适用于隧道分部台阶法施工用拱架拼装抓手
11. 一种适用于隧道三台阶拱架的拼装设备
12. 软弱围岩隧道循环利用型拱脚顶撑加压下沉控制装置
13. 装配式循环利用钢管混凝土临时仰拱
14. 一种隧道拱架安装用可伸缩式临时快速支撑结构
15. 一种适用于浅埋富水砂土状软弱围岩隧道施工的支护结构
16. 一种隧道拱架临时固定简易支撑结构
17. 隧道工字钢钢架接头快速补强结构

18. 一种软弱围岩隧道锁脚锚管精准定位连接装置
19. 一种隧道初支结构
20. 可伸缩移动式湿喷机械装置
21. 一种感应测量装置以及应用其的地裂缝便捷监测装置
22. 一种混凝土早期抗裂性能试验装置
23. Analytical Model of Layered Rock Considering Its Time-Dependent Behaviour
24. Failure of rigid support and yielding support solution in large deformation tunnels: A case study
25. Investigating polymeric foam materials as compressible layer for tunnelling in squeezing ground conditions
26. Design of the yielding support used highly deformable elements for a tunnel
27. Quantitative analysis of the influence of bedding planes on the deformation of layered carbonaceous slate around tunnel
28. 基于卷积神经网络的隧道富水破碎带地质超前预报图像解译方法
29. 一种改进的中空注浆锚杆连接段螺纹参数优化分析
30. 考虑软岩强度时效弱化的缓冲层让压支护设计研究
31. 浅埋大断面公路隧道塌方处治措施及效果分析
32. 软弱围岩隧道洞口浅埋段变形特征及控制措施研究
33. 基于正交试验的公路隧道洞口浅埋段锁脚锚管优化分析
34. 浅埋富水软岩隧道大变形机理与控制研究

35. 强降雨作用下软土隧道仰坡稳定性分析
36. 隧道穿越富水破碎带涌水突泥风险评估模型研究
37. 基于人工神经网络的隧道断层带突涌水风险评估
38. 浅埋富水隧道施工大变形原因分析与应对措施
39. 浅埋大跨度黄土隧道变形特征及控制措施研究
40. 浅埋软岩隧道大变形特征及控制措施
41. 高地应力千枚岩隧道支护体系试验研究
42. 高频变截面软弱围岩隧道快速施工工法
43. 一种破碎软弱围岩隧道安全快速施工工法
44. 基于挖掘机载式拱架拼装设备的隧道型钢拱架快速施工工法

知情同意签字： 王文斌、田云、张帅、姚红全、袁青、白德平、田云、张忠、田建斌、陈涛、李忠、谭懿、李绍锋、徐正宣、王栋、张广峰、张朝辉、张朝辉、苏舟、袁敬强、张哲元、任国军、孙江涛、李建致、杨利、张川峰、梁晓峰、陈其龙、罗隽、王伟、冯德定、江林村、江浩、吴忠仁、黄剑、李敬高、肖靖、于锦、许庭、马姓云、董初斌、杨林、毛永强、褚存、王琳、张军先、赵大刚、李润云、谷国、陈世勇、杨刚、张台印、程广威、李青谋、梁世强、侯明强、冯江厚、刘伟、孙海华、李忠、张龙号、孙加刚、

日期：2024年12月17日