

# 2023 年度山东省科学技术进步奖拟提名项目公示材料

一、项目名称：地下工程富水砂土软弱地层灾害注浆控制理论及新材料与关键技术

二、提名者：

专家提名：崔新壮（国家科学技术奖第一完成人），山东大学、教授、岩土工程

三、提名意见：

该项目以国家自然科学基金等项目为牵引，结合一批灾害防控重难点工程，集合 7 家科研、设计和施工单位，经 10 余年科研攻关与工程实践，项目研究团队突破了富水砂土软弱地层注浆扩散与加固的基础理论难题，为富水砂土软弱地层灾害注浆控制理论奠定了理论基础；研发了新型高效注浆材料 EMCG 及其配套工业制备技术与生产工艺，为新材料大规模工程应用提供了技术保障；攻克了地下工程富水砂土软弱地层灾害主动防控核心成套技术体系难题；形成了涵盖理论、材料、工艺、技术在内的整套地下工程富水砂土软弱地层灾害控制技术体系。

本项目授权国际及国内发明专利 56 项、实用新型专利 49 项、软著 6 项，发布省级及行业标准 13 部、省级工法 3 项，发表学术论文 235 篇，SCI、EI 检索 184 篇，出版专著 6 部，部分成果已纳入国标《建筑基坑工程监测技术标准》(GB50497-2019)，建立了工程示范基地。经岩石力学与工程学会科技成果鉴定，宋振骥院士、纪洪广院士(俄罗斯自然科学院)、方祖烈教授等专家给予高度评价：在注浆新材料、砂层注浆加固技术、注浆效果控制与评价方法方面达到国际领先水平。

项目成果已在青岛地铁(1、2、4、6、13 号线)区间隧道及车站、和燕路过江隧道等二十余个隧道及地下工程中成功推广应用，解决了富水软弱砂土地层灾害防控技术难题，产生经济效益 7.56 亿元，取得了良好的经济与社会效益，在地下工程富水软弱地层灾害防控领域起到了重要的引领与示范作用。

该项目提名书及其附件材料真实有效，相关栏目均符合山东省科学技术奖励委员会办公室的要求。

四、提名等级：

参照山东省科学进步奖申报和推荐基本条件，提名该项目为 2023 年度山东省科学技术进步奖二等奖。

五、项目简介：

我国是隧道及地下工程建设规模和难度最大的国家，地下工程富水砂土地层因具有松散软弱、透水性强、可注性差、自承载能力极差等特点，极易诱发涌水溃砂、塌方等重大地质灾害，是最难治理的不良地质之一。本项目以国家自然科学基金等项目为牵引，结合一批灾害防控重难点工程，集合 7 家科研、设计和施工单位，经 10 余年科研攻关与工程实践，形成了涵盖理论、材料、工艺、技术在内的整套富水砂土软弱地层灾害防控技术体系。取得了以下创新：

(1) 突破了富水砂土软弱地层注浆扩散与加固的基础理论难题。构建了基于砂土体与水泥基浆液参数的可注性物理模型；获得了复杂环境浆液粘度时变规律；获得了渗透-渗滤、劈裂-压密等多种加固模式的主控因素，提出了主控因素定量表征方法；获得了加固体力学性能参数与浆液参数、注浆参数及砂土体参数间定量关系；揭示了浆-岩微观界面胶结特性对加固体宏观力学性能的主导机制；为该地层灾害注浆控制理论奠定了理论基础。

(2) 研发了新型高效注浆材料 (EMCG) 及配套工业制备技术与生产工艺。基于“超细分级-固废互补协同-火山灰效应”原理, 研发了新型高效注浆材料 EMCG, 其具有可注性高、抗渗抗蚀、微膨胀、高强高耐久、凝胶时间可控等优点; 实现了钢渣等固废绿色、高附加值利用; 研发了“以破带磨-预均化-超细粉磨-气流分级-二次高度均化”为核心的工业生产工艺体系, 提高了超细分级粉磨及均化效率; 形成了新材料性能检验标准, 为新材料工业生产及大规模应用提供了技术保障。

(3) 攻克了富水砂土软弱地层灾害防控成套技术体系难题。提出了基于新材料的加固效果定量估算方法; 提出了劈裂浆脉尺寸判定方法和标准; 研发了关键孔优选、预加地层水平应力、注浆参数梯度控制等加固技术; 提出了关键参数注浆全过程控制方法, 实现了注浆压力、浆脉尺寸、加固体参数和加固进度控制; 建立了基于新材料与新技术的富水砂层注浆工程设计方法; 集成建立了成套灾害主动防控技术体系, 解决了灾害治理方案设计、工艺及技术等系列难题。

项目成果已在青岛地铁(1、2、4、6、13 号线)区间隧道及车站、和燕路过江隧道、高丽营隧道等二十余个工程成功推广应用, 解决了富水软弱砂土地层灾害防控技术难题, 产生经济效益 7.56 亿元。由宋振骥院士领衔的成果评价委员会认为: 成果总体达到国际先进水平, 在注浆新材料、注浆效果控制与评价方法方面达到国际领先水平; 由方祖烈教授领衔的成果评价委员会认为: 成果总体达到国际先进水平, 砂层可注性判别方法与加固技术达到国际领先水平。

本项目授权国际及国内发明专利 58 项、实用新型专利 53 项、软著 6 项, 发布省级及行业标准 13 部、省级工法 3 项, 发表学术论文 235 篇, SCI、EI 检索 184 篇, 出版专著 6 部, 部分成果已纳入国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》, 建立了工程示范基地, 培养了博士 8 名、硕士 32 名, 有力促进了行业科技进步, 在地下工程富水软弱地层灾害防控领域起到了重要引领与示范作用。

## 六、主要知识产权和标准规范等目录:

主要知识产权和标准规范等目录 (不超过10件)

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)
授权发明专利	富水软土高压大直径盾构同步单液注浆浆液及工艺与应用	中国	ZL202111677541.4	2022-10-18	5521873	中国海洋大学	沙飞; 席明帅; 刘涛; 孔昊; 林国庆; 卜蒙; 顾世玖; 范锐	有效	是	是
授权发明专利	用于富水砂层注浆治理的高效超细水泥基复合注浆材料、制备工艺及应用	中国	ZL201710919736.2	2019-07-16	3458821	山东大学	李术才; 沙飞; 刘人太; 张庆松; 李召峰; 杨磊; 刘浩杰; 杨红鲁; 马晨阳	有效	是	否

授权发明专利	高水压超大直径水下盾构隧道双液注浆浆液及工艺与应用	中国	ZL202111677537.8	2022-11-11	5576604	中国海洋大学	沙飞; 孔昊; 刘涛; 席明帅; 林国庆; 卜蒙; 范锐; 顾世玖	有效	是	是	
授权发明专利	一种用于微裂隙及粉细砂土注浆治理的高性能超细水泥基注浆材料及其应用	中国	ZL201710937815.6	2019-07-12	3450935	山东大学	李术才; 沙飞; 刘人太; 李召峰; 张庆松; 杨磊; 刘浩杰; 马晨阳	有效	是	否	
授权发明专利	一种岩体工程稳定性监测震动传感器及系统	中国	ZL201911168533.X	2022-12-30	5672429	山东大学	李景龙; 张波; 隋斌	有效	否	否	
授权发明专利	地层物化性质监测设备	中国	ZL202111159395.6	2022-08-02	5350350	中国海洋大学	刘涛; 费梓航; 郭磊; 邓生贵; 刘小丽; 张家瑞; 苏秀婷; 张艳	有效	否	是	
授权发明专利	适用于模型试验中隧道的长距离开挖支护施作装置	中国	ZL202010304189.9	2021-02-26	4269225	中国海洋大学; 上海勘察设计研究院(集团)有限公司青岛分公司	苏秀婷; 董晓芳; 亓宁; 张婷婷; 张亚男	有效	否	是	
授权发明专利	一种隧道喷射混凝土自动喷头及其施做方法	中国	ZL201610168362.0	2018-10-19	3115662	山东大学	金青; 黄鑫; 许振浩; 李术才; 林鹏; 周轮; 孙超群; 何树江; 屠文峰; 高成路; 刘聪	有效	否	否	
标准	隧道工程帷幕注浆施工技术标准	中国	T/SDCEAS10011-2022	2022-03-28		山东土木建筑学会	中铁十四局集团有限公司; 中铁十四局集团第二工程有限公司; 中国海洋大学	苏国举; 宋德果; 王可用; 李秀东; 刘秀芝; 姚红瑞; 刘时光; 刘永奎; 王晨光; 蔡涛; 李光泉; 刘涛; 苏秀婷; 彭华东	有效	否	是
论文	Durability of a novel effective microfine cementitious grouting material in corrosion environments	欧洲	10.1016/j.conbuilmat.2021.124842	2021-11-01		Construction and Building Materials, 306, 124842	中国海洋大学	沙飞; 范国玺	有效	是	是

## 七、主要完成人情况:

沙飞, 金青, 张峰领, 李景龙, 赵文强, 刘涛, 王宁宁, 刘鹏, 李庆民, 苏秀婷

主要完成人情况				
第 1 完成人	姓名	沙飞	行政职务/技术职称	系副书记/副教授
	完成单位	中国海洋大学	工作单位	中国海洋大学
	<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>对创新点 1、2、3 作出了贡献，其中对创新点 1 的贡献是：构建了基于砂土体与水泥基浆液参数的可注性物理模型；得到了粘度时变影响规律，获得了主控因素与加固体性能间定量关系；揭示了浆-岩微观界面特性对加固体宏观力学性能的主导机制；对创新点 2 的贡献是：研发了高效注浆材料 EMCG 及配套工业化生产工艺体系；对创新点 3 的贡献是：提出了基于新材料 EMCG 的注浆加固效果定量估算方法；研发了关键注浆加固技术，完善了注浆工程设计方法；集成建立了成套灾害主动防控技术体系。</p>			
第 2 完成人	姓名	金青	行政职务/技术职称	岩土工程中心书记/研究员
	完成单位	山东大学	工作单位	山东大学
	<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>对创新点 1、2、3 作出了贡献，其中对创新点 1 的贡献是：开展了富水砂土体的原位测试，获得了注浆加固模式的主控因素；对创新点 2 的贡献是：协助第 1 完成人研发了新型高效注浆材料 EMCG，形成了新材料性能测试检验标准；对创新点 3 的贡献是：协助第 1 完成人完善了注浆效果检测评价方法。</p>			
第 3 完成人	姓名	张峰领	行政职务/技术职称	副研究员
	完成单位	山东大学	工作单位	山东大学
	<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>对创新点 1、2 作出了贡献，其中对创新点 1 的贡献是：协助第 1 完成人获得了主控因素与加固体性能间定量关系，模拟了水泥基注浆材料受力破坏状态；对创新点 2 的贡献是：协助第 1 完成人完善了新型注浆材料配套工业制备技术与生产工艺体系。</p>			
第 4 完成人	姓名	李景龙	行政职务/技术职称	高级实验师
	完成单位	山东大学	工作单位	山东大学
	<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>对创新点 2、3 作出了贡献，对创新点 2 的贡献是：协助第 1 完成人对新型注浆材料及砂土加固体性能的测试与定量评估；对创新点 3 的贡献是：建立了隧道施工全过程安全风险动态评估与管控方法。</p>			
第 5 完成人	姓名	赵文强	行政职务/技术职称	总工程师/正高级工程师
	完成单位	青岛市地铁规划设计院有限公司	工作单位	青岛地铁集团有限公司
	<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>对创新点 2、3 作出了贡献，对创新点 2 的贡献是：协助第 1 完成人完善了新型注浆材料工业生产工艺；对创新点 3 的贡献是：优化了基于新材料的地下工程富水砂土软弱地层注浆设计方法，协助第 1 完成人完善了成套灾害主动防控技术体系。</p>			
第 6 完成人	姓名	刘涛	行政职务/技术职称	系副主任/教授
	完成单位	中国海洋大学	工作单位	中国海洋大学
	<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>对创新点 1、3 作出了贡献，其中对创新点 1 的贡献是：协助第 1 完成人开展了注浆扩散模式主控因素定量分析，协助第 1 完成人揭示了注浆动态扩散机制；其中对创新点 3 的贡献是：协助第 1 完成人形成了富水砂土地层注浆加固效果定量估算方法，完善了帷幕注浆技术规程。</p>			
第 7 完成人	姓名	王宁宁	行政职务/技术职称	项目经理/高级工程师
	完成单位	苏交科集团股份有限公司	工作单位	苏交科集团股份有限公司
	<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>对创新点 2、3 作出了贡献，对创新点 2 的贡献是：协助第 1 完成人完善了新材料性能测试方法与检验标准；对创新点 3 的贡献是：开展了新型注浆材料现场应用试验研究，协助第 1 完成人完善了新材料工程应用技术规程。</p>			

第 8 完成人	姓名	刘鹏	行政职务/技术职称	教授
	完成单位	中南大学	工作单位	中南大学
	对本项目技术创造性贡献： 对创新点 2 作出了贡献，对创新点 2 的贡献是：优化了新型注浆材料组分、水化矿物及微观结构，协助第 1 完成人建立了工业制备技术与新材料性能检验方法。			
第 9 完成人	姓名	李庆民	行政职务/技术职称	副总经理、总工程师/正高级工程师
	完成单位	中铁十四局集团有限公司	工作单位	中铁十四局集团有限公司
	对本项目技术创造性贡献： 对创新点 3 作出了贡献，对创新点 3 的贡献是：开展了新型注浆材料现场应用试验研究，协助第 1 完成人完善了现场注浆控制方法与综合施工方法，提出了施工质量验收标准。			
第 10 完成人	姓名	苏秀婷	行政职务/技术职称	总工程师/高级工程师
	完成单位	上海勘察设计研究院（集团）有限公司青岛分公司	工作单位	上海勘察设计研究院（集团）有限公司青岛分公司
	对本项目技术创造性贡献： 对创新点 1、3 作出了贡献，对创新点 1 的贡献是：开展了室内注浆及开挖模型试验研究；对创新点 3 的贡献是：协助第 1 完成人提出了关键注浆参数注浆全过程控制方法。			

#### 八、主要完成单位情况：

中国海洋大学，山东大学，青岛市地铁规划设计院有限公司，苏交科集团股份有限公司，中南大学，中铁十四局集团有限公司，上海勘察设计研究院（集团）有限公司青岛分公司

主要完成单位情况	
第1完成单位	单位名称 中国海洋大学
	对本项目技术创造性的贡献： 对创新点1、2、3作出了贡献，突破了富水砂土软弱地层注浆扩散规律与加固的基础理论难题，为富水砂土软弱地层灾害注浆控制理论奠定了理论基础；研发了新型高效注浆材料及其配套工业制备技术与生产工艺，为新材料工业大量生产及大规模应用提供了技术保障；攻克了地下工程富水砂土软弱地层灾害主动防控核心成套技术体系难题，解决了注浆治理等系列难题。
第2完成单位	单位名称 山东大学
	对本项目技术创造性的贡献： 对创新点1、2、3作出了贡献，突破了富水砂土软弱地层注浆扩散规律与加固的基础理论难题；研发了新型高效注浆材料及其配套工业制备技术；攻克了地下工程富水砂土软弱地层灾害主动防控核心成套技术体系难题。
第3完成单位	单位名称 青岛市地铁规划设计院有限公司
	对本项目技术创造性的贡献： 对创新点2、3作出了贡献，对创新点2的贡献是：协助第1完成单位完善了新型注浆材料工业生产工艺；对创新点3的贡献是：优化了基于新材料与新技术的地下工程富水砂土软弱地层注浆设计方法。

第4完成 单位	单位名称	苏交科集团股份有限公司
	<p>对本项目技术创造性的贡献：</p> <p>对创新点 2、3 作出了贡献，对创新点 2 的贡献是：协助第 1 完成人完善了新材料性能测试方法与检验标准；对创新点 3 的贡献是：协助第 1、2 完成单位完善了注浆工程设计方法，协助第 1 完成人完善了新材料工程应用技术规程。</p>	
第5完成 单位	单位名称	中南大学
	<p>对本项目技术创造性的贡献：</p> <p>对创新点2作出了贡献，研发了新型高效注浆材料EMCG及其配套工业制备技术与生产工艺，为新材料工业大量生产及大规模应用提供了技术保障。</p>	
第6完成 单位	单位名称	中铁十四局集团有限公司
	<p>对本项目技术创造性的贡献：</p> <p>对创新点3作出了贡献，对创新点3的贡献是：开展了新型注浆材料现场应用试验研究，协助第1、2完成单位完善了现场注浆控制方法与综合施工方法，提出了施工质量验收标准。</p>	
第7完成 单位	单位名称	上海勘察设计研究院（集团）有限公司青岛分公司
	<p>对本项目技术创造性的贡献：</p> <p>对创新点3作出了贡献，协助第1、2完成单位完善了现场注浆控制方法与综合施工方法。协助第1、2完成单位完善了注浆工程设计方法。</p>	