

关于“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”项目

申报 2024 年度山东省科学技术进步奖的公示

根据山东省科技厅有关山东省科学技术进步奖申报要求，对 2024 年度报奖项目进行公示。

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、提名单位：中国海洋大学

三、提名单位意见：

我单位认真审阅了该项目提名书及其附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合山东省科学技术进步奖的填写要求，确认完成人、完成单位排序无异议。

该项目结合一批隧道及地下工程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。

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。并已按要求在所有完成单位和完成人工作单位进行公示，经公示无异议。

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 2024 年度山东省科学技术进步奖二等奖。

四、项目简介：

本项目来源于国家自然科学基金（51909140）、中国科协青年人才托举工程项目（2019QNRC001）、中国博士后科学基金面上项目（2018M642658）、中铁十四局大盾构工程有限公司委托项目（20220424）及国家海洋局公益性行业科研专项（201305026），由中国海洋大学、山东大学、青岛市地铁规划设计院有限公司、中铁十四局集团有限公司、中国矿业大学、苏交科集团股份有限公司、中国铁路广州局集团有限公司广州工程建设指挥部 7 家单位合作完成。

本项目属于土木水利交通工程领域中的隧道及地下工程。我国是世界上隧道及地下工程建设规模和难度最大的国家，地下工程建设严重掣肘于赋存环境复杂的富水砂土软弱地层。富水砂土地层因其松散软弱、透水性强、可注性差、自承载能力差、难以预测和治理难度大等特点，极易诱发涌水、突泥溃砂、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，解决了富水砂土软弱地层灾害防控核心技术难题，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。取得了以下科技创新：

1、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。构建了基于砂土体与水泥基浆液参数的可注性物理模型；获得了复杂环境下多影响因素对浆液粘度时变影响规律；获得了渗透-渗滤、劈裂-压密等多种加固模式的主控因素；获得了加固体宏观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-岩微观界面特性对加固体宏观力学性能的主导机制；为富水砂土软弱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、泵送稳定、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”为核心的工业化生产工艺体系，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、攻克了地下工程富水砂土软弱地层灾害主动防控成套技术体系难题。建立了复杂工况下富水砂土软弱地层注浆扩散模型试验装置、模拟试验方法及技术；研发了预加水平应力-诱导劈裂-定域联合注浆、参数梯度控制、组合钻注管等注浆加固技术；提出了关键注浆参数注浆全过程控制方法；建立了基于新材料与新技术的富水砂土软弱地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，解决了灾害治理的方案设计、工艺技术及围岩加固等系列难题。

五、客观评价：

1、专家评价

2021.4.23，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。

2、行业领域评价

本项目相关成果发布了 6 项团体标准，研究成果推动了行业技术进步，部分成果已纳入国家标准，得到了建设与设计单位高度评价。

3、学术评价

研究成果支撑项目第一完成人获得了 2019 年中国科学技术协会岩石力学与工程学会“青年人才托举工程”、2022 年山东省青年创新团队带头人、2021 年中国海洋大学青年英才工程。项目核心成果支撑第一完成人荣获 2022 年中国公路学会科学技术二等奖（R1）、2021 年青岛市科技进步二等奖（R1）、“第四届中国有色金属优秀科技论文”、2019 年山东省及山东大学优秀博士论文奖等奖励。

六、推广应用及效益情况：

项目成果成功应用于青岛地铁区间隧道及车站等二十余个隧道及地下工程中，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。

七、主要知识产权：

本项目授权国际及国内发明专利 54 项、实用新型专利 42 项、软著 10 项，发布省级及行业标准 6 部，发表学术论文 188 篇，SCI、EI 检索 119 篇，出版专著 4 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。

代表性知识产权：

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	富水砂层注浆扩散加固模拟及渗透系数试验装置与方法	中国	ZL202111618514.X	2023-10-17	6402952	中国海洋大学	沙飞；顾世玖；陈旭光；陈力铭；刁玉红；范锐；孔昊；席明帅；卜蒙	有效	是	是
授权发明专利	高温富水软弱地层隧道帷幕注浆开挖模型试验装置与方法	中国	ZL202210407400.9	2023-02-08	5756615	中国海洋大学	沙飞；顾世玖；陈旭光；席明帅；孔昊；范锐；卜蒙；陈力铭；李航	有效	是	是
授权发明专利	预加水平应力、诱导劈裂及定域联合注浆加固装置与工艺	中国	ZL202211336301.2	2023-12-20	6500130	中国海洋大学	沙飞；孔昊；陈旭光；范锐；卜蒙；张兰盈；杨乃印；张明龙；朱毅	有效	是	是
授权发明专利	岛礁富水钙质砂土地层注浆模拟及渗透性试验装置与方法	中国	ZL202111618648.1	2023-10-17	6401992	中国海洋大学	沙飞；陈力；陈旭光；刁玉红；孔昊；顾世玖；范锐；席明帅；卜蒙；李航；岳继妍	有效	是	是
授权发明专利	高地压饱海水裂隙网络岩层注浆封堵与失稳模型试验装置	中国	ZL202211340379.1	2023-10-27	6439211	中国海洋大学	沙飞；范锐；陈旭光；孔昊；卜蒙；张明龙；张兰盈；杨乃印	有效	是	是
授权发明专利	用于富水破碎岩层动水注浆加固模型试验装置及试验方法	中国	ZL202111618366.1	2023-12-17	6580563	中国海洋大学	沙飞；范锐；刁玉红；顾世玖；席明帅；卜蒙；孔昊；陈力铭	有效	是	是
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；刘浩杰	有效	是	否
授权发明专利	适用于模型试验中隧洞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

标准	隧道衬砌拱顶带模注浆材料应用技术规程	中国	T/CECS 1049-2022	2022-8-1	中国工程建设标准化协会	中国建筑科学研究院有限公司；中铁十二局集团有限公司；苏交科集团股份有限公司；中铁十二局集团第四工程有限公司；山东建科建筑材料有限公司；聊城市交通发展有限公司；武汉源锦建材科技有限公司；怀邵衡铁路有限责任公司；京沈铁路客运专线京冀有限公司；南通城市轨道交通有限公司；中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所；海口诚科工程检测咨询有限公司；中铁二局第四工程有限公司；上海风领新能源有限公司；福州地铁集团有限公司；中国交通建设股份有限公司轨道交通分公司；陕西铁路工程职业技术学院；中交铁道设计研究总院有限公司；中铁二十二局集团轨道交通工程有限公司；北京中铁隧建筑有限公司	王晶；宋普涛；冷发光；李建军；周永祥；董化瑞；常帅斌；赵年全；宋小兵；沈东美；夏京亮；王宁宁；徐大军；张佳林；蔡贵生；李磊；周中财；韩旭；车科锋；安哲立；郭胜平；王佩勋；吴超；龙波；韩锋；卢化臣；李炳良；孟晓鹏；张忠；刘刚；连志鹏；韩波；彭磊；王祖琦；顾洋；高超；贺阳	有效	否	否
----	--------------------	----	------------------	----------	-------------	--	--	----	---	---

八、全部完成人及排序：

沙飞，陈雨雪，张峰领，毛家骅，孟庆生，赵文强，王宁宁，郭飞，苏秀婷，杨公标。

九、完成人对项目的贡献：

1、沙飞：中国海洋大学，副教授

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：建立了复杂工况下富水砂土软弱地层注浆扩散模型试验装置、模拟试验方法及技术；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。

2、陈雨雪：山东大学，中级职称

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。

3、张峰领：山东大学，教授

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。

4、毛家骅：中国矿业大学，助理研究员

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完成人获得了复杂环境下多影响因素对浆液粘度时变影响规

律，并获得了注浆扩散模式的主控因素；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。

5、孟庆生：中国海洋大学，教授

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完成人得到了粘度时变影响规律，协助第1完成人开展了注浆扩散模式主控因素定量分析；其中对创新点3的贡献是：协助第1完成人完善了注浆模型试验装置及试验方法与技术。

6、赵文强：青岛地铁集团有限公司，高级工程师

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。

7、王宁宁：苏交科集团股份有限公司，高级工程师

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完成人开展了新型注浆材料现场应用试验研究，完成了隧道衬砌拱顶带模注浆材料应用技术规程。

8、郭飞：中国铁路广州局集团有限公司广州工程建设指挥部，高级工程师

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工程应用试验研究，协助第1完成人完善了工程现场注浆控制技术与综合现场施工方法。

9、苏秀婷：中铁十四局集团有限公司，高级工程师

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完成人完善了关键注浆参数注浆全过程控制方法。

10、杨公标：中铁十四局集团有限公司，高级工程师

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工程应用试验研究，协助第1完成人完善了工程现场注浆工程设计方法与现场灾害主动防控技术体系。

十、主要完成单位及创新推广贡献：

1、中国海洋大学

项目牵头单位，设计本项目的整体思路，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。

2、山东大学

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。

3、青岛市地铁规划设计院有限公司

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。

4、中铁十四局集团有限公司

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：开展了新型注浆材料现场工程应用试验研究，协助第1完成单位完善了关键注浆参数注浆全过程控制方法与现场灾害主动防控技术体系。

5、中国矿业大学

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完成单位获得了复杂环境下多影响因素对浆液粘度时变影响规律，并获得了注浆扩散模式的主控因素；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配套工业制备技术与生产工艺体系。

6、苏交科集团股份有限公司

对创新点2、3作出了贡献，对创新点2的贡献是：协助第1完成单位完善了新材料性能测试方法与检验标准；对创新点3的贡献是：对创新点3的贡献是：完成了隧道衬砌拱顶带模注浆材料应用技术规程，协助第1完成单位完善了新材料工程应用技术。

7、中国铁路广州局集团有限公司广州工程建设指挥部

对创新点3作出了贡献，对创新点3的贡献是：协助第1完成单位完善了工程现场注浆控制技术与综合现场施工方法。

十一、完成人合作关系说明

本项目由中国海洋大学、山东大学、青岛市地铁规划设计院有限公司、中铁十四局集团有限公司、中国矿业大学、苏交科集团股份有限公司、中国铁路广州局集团有限公司广州工程建设指挥部共同承担，由沙飞、陈雨雪、张峰领、毛家骅、孟庆生、赵文强、王宁宁、郭飞、苏秀婷、杨公标合作完成。