

附表 6:

2023 年度海南省科学技术奖提名公示内容
(适用于项目主要完成单位、主要完成人所在单位)

公示单位 (公章): 填表日期: 2023 年 12 月 24 日

项目名称	岩土材料非均质性数字化表征理论与方法
提名奖项/等级	海南省自然科学奖一等奖
提名单位/提名专家	提名单位: 海南大学
提名意见	地下空间是支撑城市可持续、高质量发展不可或缺的一部分。地下空间开发利用面临的首要问题是岩土材料的稳定性,然而,岩土材料极具隐蔽性和非均质性,对施工人员生命安全带来极大的潜在危险,且易导致地表塌陷、地上建筑物倾斜倒塌等链式工程事故,社会影响巨大。 针对上述问题,该项目聚焦岩土材料非均质性数字化表征理论,(1)揭示了岩土材料非均质性的数字孪生特征,(2)创建了高维高效随机场理论算法,突破了三维岩土材料随机场计算瓶颈,(3)发展风险分析理论与方法,实现了利用数字孪生方法进行非均质岩土工程的风险防控。 通过项目组十多年持续研究,取得了一系列原创性成果,获得 10 项国家自然科学基金项目、12 项海南省科技厅项目以及 8 项其它省部级纵向科研项目资助,共发表 SCI 论文 116 篇、EI 论文 23 篇。该项目的 8 篇代表作发表在 <i>Géotechnique</i>、<i>Geoscience Frontiers</i>、<i>International Journal of Heat and Mass Transfer</i>、<i>岩土工程学报</i> 等顶级期刊,引用次数 673 次,1 篇入选 SCI 高被引论文、2 篇入选 F5000 中国精品科技期刊顶尖学术论文。研究成果均为国际率先报道,获得国内外权威学术机构和资深学者的重点关注和正面评价,形成了重大学术影响,进一步巩固了我国在该学科方向的国际领先地位。 提名该项目为海南省自然科学奖一等奖。
项目简介	《中国城市地下空间发展蓝皮书》强调地下空间开发是支撑城市可持续、高质量稳定发展不可或缺的一部分,国家最高科学技术奖获得者钱七虎院士明确指出,为实现“碳达峰、碳中和”目标,地下空间开发大有可为。地下空间开发面临的主要问题是岩土质量与地质环境条件,二者极具有隐蔽性。受地质演化作用,天然岩土呈现层状分布,在层间和层内岩土材料均具有显著的非均质

性，对施工人员生命安全带来极大的潜在危险，且易导致地表塌陷、地上建筑物倾斜倒塌等链式工程事故，社会影响巨大。

项目组在国家自然科学基金委、国家部委、地方政府及企业专项基金的支持下，历经十余年理论创新与实践，聚焦岩土材料非均质性数字化表征理论，在岩土材料数字孪生特征、非均质材料数字化表征理论、岩土工程风险防控方法三个科学发现点均取得创新性成果：

【科学发现点一】岩土材料数字孪生特征

提出了基于高斯随机场算法的岩土体微观结构重构新技术，该算法既能通过二维微观图像重建岩土体复杂孔隙结构，也可基于给定归一化自相关函数实现微观结构的重建，解决了传统微观结构重构技术难以消除孔隙空间中悬浮固体相的难题，为基于有限岩土体内部结构信息的微观结构重建数字孪生体提供了理论和方法支撑。

【科学发现点二】非均质材料数字化表征理论

针对现有随机场模拟方法计算精度和计算效率之间存在矛盾且难以生成高维随机场的现状，项目组基于正态分布和对数正态分布的基本性质提出了高维随机场高效模拟方法。此外，针对现有随机场模拟方法难以直接生成多层随机场且难以准确表征层状岩土体参数层间变异性和层内变异性的现状，提出了层状岩土体空间变异性表征方法，为实际工程中大型三维岩土体空间变异性表征提供了理论支撑。项目组提出的非均质材料数字化表征理论相关国产软件已实现商业化转换（软件登记号：2021SR1934098）。

【科学发现点三】岩土工程风险防控方法

本项目运用团队自主开发的三维随机场数学模型解决了计算效率瓶颈难题，真实地计算含非均质材料的岩土工程问题失效概率，并在此基础上提出适用于岩土工程系统精度的风险综合评估方法，为地下工程施工和运营中的防灾减灾控制提供了强有力的理论工具，在随机分析理论用于实际工程方面迈出了重要的一步。项目组提出的岩土工程风险防控相关成果被纳入地方标准（DB13/T5607-2022）。

该项目研究涉及数学、力学、岩土工程、工程地质、材料学等多学科交叉，研究成果有效拓宽了岩土材料研究领域的学科范围，为海南省地下空间开发（如海洋岩土、地铁规划建设等）建设与运维的风险防控提供了重要的理论依据。项目组充分利用国内和国外分别在工程和理论方面的优势，注重将论文写在祖国大地上，8篇代表作中有3篇发表在国内期刊，其中2篇入选F5000中国精品科技期刊顶尖学术论文。

项目培养了国际博士后1名、博士12名、硕士26名，其中多人获得国家奖学金（8人）、于刚·宋晓奖学金（1人）、武汉大学雷军奖学金（1人）等荣誉称号。

提名书 相关内容	1. Liu Y (刘勇), He LQ, Jiang YJ, Sun MM, Chen EJ, Lee F H. Effect of in situ water content variation on the spatial variation of strength of deep cement-mixed clay. <i>Géotechnique</i>, 2019, 69(5): 391-405. 2. Yi JT (易江涛), Huang LY, Li DQ, Liu Y (刘勇). A large deformation random finite element study: Failure mechanism and bearing capacity of spudcan in a spatially varying clayey seabed. <i>Géotechnique</i>, 2020, 70(5): 392-405. 3. Liu Y (刘勇), Zhang WG, Zhang L (张磊), Zhu ZR, Hu J (胡俊), Wei H. Probabilistic stability analyses of undrained slopes by 3D random fields and finite element methods. <i>Geoscience Frontiers</i>, 2018, 9(6): 1657-1664. 4. Li N (李娜), Lv SW, Wang W (王伟), Guo J, Jiang P, Liu Y (刘勇). Experimental investigations on the mechanical behavior of iron tailings powder with compound admixture of cement and nano-clay. <i>Construction and Building Materials</i>, 2020, 254: 119259. 5. Li L (李亮), Chu XS. Multiple response surfaces for slope reliability analysis. <i>International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics</i>, 2015, 39(2): 175-192. 6. Li KQ, Li DQ, Liu Y (刘勇). Meso-scale investigations on the effective thermal conductivity of multi-phase materials using the finite element method. <i>International Journal of Heat and Mass Transfer</i>, 2020, 151: 119383. 7. 胡俊, 杨平. 大直径杯型冻土壁温度场数值分析. <i>岩土力学</i>, 2015, 36(2): 523-531. 8. 王伟, 宋新江, 凌华, 卢廷浩, 周干武. 滨海相软土应力-应变曲线复合指数-双曲线模型. <i>岩土工程学报</i>, 2010, 32(9): 1455-1459.
主要完成人	刘勇, 排名 1, 教授, 武汉大学 胡俊, 排名 2, 教授, 海南大学 王伟, 排名 3, 教授, 绍兴文理学院 李亮, 排名 4, 教授, 青岛理工大学 张磊, 排名 5, 副教授, 武汉理工大学 易江涛, 排名 6, 教授, 重庆大学 李娜, 排名 7, 教授, 绍兴文理学院
主要完成单位	1. 海南大学 2. 武汉大学 3. 重庆大学 4. 青岛理工大学 5. 武汉理工大学 6. 绍兴文理学院

说明：国际科学技术合作奖可不用公示，其余奖项必须公示至少 7 个工作日。