

附件3

2021年度省科学技术奖提名项目公示内容

高校（盖章）：福州大学

项目1

承诺：该项目将按时在前三名完成人所在工作单位完成公示。

1. 项目名称：植物-微生物对非饱和土水力响应与碳减排的作用机理与理论

2. 提名奖种：自然奖

3. 提名单位：福建省教育厅

4. 项目简介：

5. 本项目属环境岩土工程领域，是土木工程与环境工程的交叉领域。土质边坡和填埋场土质覆盖层等基础设施大多处于非饱和土状态。在全球气候变暖导致的极端天气作用下易产生边坡浅层失稳、覆盖层渗漏与污染性填埋气（如强温室气体甲烷）无序排放等常见灾害。根本问题在于非饱和土包括固、液、气三相介质，受到复杂的大气-植物-微生物的作用，显著影响土体的水气运移特性与强度。解决该难题的关键是揭示大气-植物-微生物-土体的液、气、热、力耦合规律及其效应。建立植物-微生物作用下非饱和土的多场耦合理论是本学科国际前沿的科学难题。本项目通过单元试验、模型试验、理论建模和现场试验，取得如下科学发现：

（1）创建了植物-微生物作用下非饱和土中水-气-热耦合运移理论，揭示了植物根系特征与根系吸水显著影响微生物甲烷氧化作用与甲烷排放量，相比于均布形与椭圆形根系形状，指数形与三角形的根系形状提高微生物甲烷氧化效率多达约30%；建立了基于覆盖层中主要

填埋气浓度分布的解析方法，开发了具有自主知识产权的有限元计算软件，为解决非饱和土质覆盖层水气运移分析面临的多场、多相的难点提供有效解决工具；

(2) 研发了多场多相作用下非饱和土水气运移特性测试与模拟装置，定量测试发现了细/粗粒土界面毛细阻滞效应促进细粒土储水能力，促进植生，提升防渗闭气性能，从而减少覆盖层细粒土厚度多达40%；建成了国内首个土质覆盖层的微生物甲烷氧化现场试验基地，验证了植物-微生物作用下土质覆盖层甲烷排放满足澳洲标准，提出了适用于我国固废填埋场生态修复、碳减排的经济适用的生态型土质覆盖层结构；

(3) 系统测试并揭示了根系特征、龄期等对非饱和土体的水力特性的影响规律，建立了考虑植物水力作用与力学加筋作用对土质边坡稳定性影响的分析模型，数值分析表明相比与裸坡，根系提升边坡浅层稳定安全系数多达约40%；揭示了根系力学加筋作用仅在根区内有效，而水力作用影响范围为根长的2-3倍，发现了三角形与指数形根系的固坡效果优于均布形与椭圆形根，明确了根系对非饱和土渗透系数的影响是植物护坡的控制因素，为植物护坡提供理论依据。

本项目共发表 29 篇论文（含 24 篇 SCI 论文）。五篇代表性论文均发表在环境和岩土工程领域权威期刊，被正面他引 94 次，推动了植物-微生物-非饱和土相关领域的研究。得到了英国皇家科学院院士、工程院院士 Thomas 教授、英国皇家工程院院士 Powrie 教授、同济大学杰青冯世进教授、长江学者张利民教授、法国国立路桥大学崔玉军教授的高度评价：“新建了耦合理论，分析非饱和土质覆盖层中水-气-热反应与甲烷氧化”、“成功的模拟了填埋场甲烷氧化”、“揭示了

植物影响土体孔隙水压力范围超过根系深度，从而影响更深层非饱和土质边坡的破坏机制”。项目研发的毛细阻滞型覆盖层结构首次作为可替代的封场覆盖结构被写入我国国标《生活垃圾卫生填埋处理岩土工程技术标准（征求意见稿）》。

6. 主要完成单位：福州大学，浙江大学，香港科技大学

6. 主要完成人及其贡献：

冯嵩：本项目第一完成人，创建植物与微生物作用下非饱和土中水-气-热耦合运移理论，揭示植物根系对的非饱和土水气运移影响规律，建立基于非饱和土质覆盖层中填埋气浓度分布剖面的解析方法，在城市基于植物与微生物实现防渗和污染气体排放的生态覆盖技术等方面做出创造性的贡献。代表作 1 的通信作者、代表作 2 第一作者，其它论文 4 的第一作者及其它论文 5 的第一作者。

詹良通：代表作 3 第一作者与通信作者，其它论文 5 的第 5 作者。在非饱和土质覆盖层中水-气运移及甲烷氧化、排放研究与现场试验基地建设方面做出关键贡献。

梁钧：代表作 4 通信作者，其它论文 1 和 2 的第一作者，其它论文 3 通信作者。在植物-非饱和土水分运移及植物水力-力学作用对非饱和土质边坡稳定性研究领域做出关键贡献。

刘毓胤：代表作 5 第一作者与通讯作者。在非饱和土水分运移及非饱和和渗流研究方面做出重要贡献。

刘红位：代表作 2 通信作者，其它论文 4 和 5 通信作者。在考虑植物作用对非饱和土质覆盖层中水-气-热耦合运移及甲烷氧化研究方面做出关键贡献。

7. 主要知识产权目录：

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	公开日期	授权公布号	作者
1	发明专利	恒压下测量土体甲烷氧化能力与气体体积变化的实验装置和方法	2021-8-31	CN110617862B	冯嵩，赵能凯，刘红位，陈福全，刘毓胤，郭行凯
2	发明专利	一种非饱和土壤中气体扩散系数测量装置及方法	2021-11-30	CN109883892 B	冯嵩,赵能凯，郭行凯
3	软件著作权	考虑甲烷氧化作用下微生物生长和生物量积累分析软件 V1.0.	2021-6-20	2021SR1203788	冯嵩，黄书福，刘红位

8. 代表性论文专著目录：

序号	论文专著名称	发表时间	作者	期刊名称	卷号和页码
1	A fully coupled model for water–gas–heat reactive transport with methane oxidation in landfill covers. Science of the Total Environment	2015-03-01	吴宏伟；冯嵩*；刘红位	Science of the Total Environment	508, 307-319
2	Theoretical analysis of coupled effects of microbe and root architecture on methane	2017-12-01	冯嵩；梁钧；吴宏伟；刘红位*	Science of the Total Environment	599, 1954-1964

	oxidation in vegetated landfill covers				
3	黄土覆盖层水 - 气耦合运移土柱试验及数值模拟	2017-06-01	詹良通*; 邱清; 杨益彪; 徐文杰; 陈云敏	岩土工程学报	39(06), 969-977
4	Measurements of Drying and Wetting Permeability Functions Using a New Stress-Controllable Soil Column	2012-03-28	吴宏伟; 梁钧*	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	138(1), 58-68
5	降雨入渗条件下新型路面排水系统性能研究	2017-05-01	刘毓胤*, 缪宏杰	中国公路学报	30(5), 1-9