

# 2024 年度自然资源科学技术奖提名公示

## 一、项目名称：非饱和黄土蠕变力学机理及应用研究

## 二、提名者及提名意见

提名者：陕西理工大学

提名意见：该项目依托陕西省重点研发计划项目和陕西省教育厅专项科研项目，针对非饱和黄土蠕变特性的关键问题进行了系统研究。建立了适用于平面应变和三轴应力状态下的黄土蠕变模型，获得了更简易的模型参数获取方法，实现了复杂工况下黄土长期蠕变问题的预测与评估，实现了在黄土地区基坑工程变形分析中的广泛应用；基于大量土工试验数据库，建立了原状非饱和黄土的水土特征拟合和预测方法，实现了试验数据缺乏情况下 SWCC 的获取方式，提高了预测模型的可靠性和适用性，为非饱和黄土区域的边坡工程提供了设计依据；建立了一种简化的非饱和黄土的离散元数值模型，实现了对不同含水率黄土的精准模拟，提高了复杂水分场和应力场情况下的黄土工程设计的效率。项目发表学术论文 18 篇（其中 SCI/EI 检索 6 篇），授权国家专利 6 项，获软件著作权 8 项。项目成果成功应用于西成铁路专线、延安新区、延长石油、宏宇健康花城等多个工程项目，获陕西省科技进步二等奖 1 项，陕西高等学校科学技术研究优秀成果二等奖 1 项、三等奖 1 项，省部级优秀工程勘察设计一等奖 1 项，二等奖 1 项，三等奖 2 项，延安市科学技术一等奖 1 项，陕西秦岭生态科学考察项目奖 1 项，陕西省土木建筑特等奖 1 项，经济效益、社会效益和生态环境效益显著，为黄土地区地基处理、生态修复、防灾减灾等提供了重要科学依据，对服务于黄河流域生态保护和高质量发展国家战略具有重要的现实意义。

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，符合陕西省自然资源科学技术奖推荐条件。

推荐该项目为陕西省自然资源科学技术奖二等奖。

## 三、项目简介

习近平总书记指出，黄河流域是我国重要的生态屏障和重要的经济地带，在我国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要的地位。黄土广泛分布于该经济带，它具有大孔隙结构和强水敏特性，使得其在工程应用中面临诸多挑战。黄土地区的工程建设，如道路、桥梁、隧道、

水利设施等，常常受到黄土蠕变的影响，导致构筑物产生长期沉降和耐久性降低。传统的黄土工程处理方法往往依赖于经验，缺乏对黄土蠕变特性的深入理解，加之气候变化对黄土土水特征的影响，致使设计计算往往和实际情况不相符。

本项目综合运用室内试验、理论分析、数值模拟等手段，对非饱和黄土的蠕变特性进行了系统研究，项目主要内容如下：

### （1）黄土蠕变特性的综合模型研究

结合平面蠕变和三轴蠕变试验，提出了一个综合黄土蠕变特性的模型。该模型不仅适用于平面应变条件下的黄土蠕变行为，也考虑了三轴条件下的蠕变特性。在模型建立过程中，通过参数优化减少了模型的复杂性，使得模型参数更易于从实际工程中获取，提高了模型的实用性和操作性。通过与实际工程案例的对比分析，验证了模型的准确性和可靠性。新模型能够为黄土地区的工程设计和施工提供理论依据，特别是在预测和评估长期蠕变问题方面具有重要的工程应用价值。

### （2）土水特征曲线（SWCC）的高精度预测与拟合

在原状黄土的土水特征曲线预测方面，引入了基于大量土工试验数据库的 Fredlund 和 Wilson 方法，提高了预测的准确性。通过对比不同的拟合方法，优化了 SWCC 的拟合技术，使得拟合结果更贴近实际土水关系，提高了预测模型的适用性和可靠性。提出了一种简化的 SWCC 预测模型，该模型在减少计算复杂度的同时，保持了较高的预测精度，适用于缺乏详细试验数据的情况，具有广泛的工程应用前景。

### （3）非饱和黄土的离散元数值模拟与参数敏感性分析

建立了一种简化的非饱和黄土离散元模型，该模型通过考虑颗粒间的摩擦系数与含水率的关系，简化了模型的参数设置。通过对比不同含水率下的试验结果和模型模拟，分析了颗粒间摩擦系数对黄土力学特性的影响，揭示了模型参数对模拟精度的敏感性。通过与实际三轴剪切试验结果的对比，验证了离散元模型的有效性。该模型能够为非饱和黄土的工程设计和施工提供数值模拟支持，特别是在高含水率和高围压条件下的工程应用中具有指导意义。

本项目从非饱和黄土理论，蠕变理论等方面开展了基础理论和应用研究。项目建立的适合平面应变和三轴应力工况的蠕变模型，综合考虑了非饱和土含水率、围压等因素，为研究黄土蠕变变形提供了新思路，提出的考虑蠕变变形的地基沉降计算方法创新性明确，对精准化工程设计提供了理论支撑。建立的非饱和黄土水土特征简化模型，对提高工程应用效率具有重要的实际意义。建立的简化离散元数值模型，对黄土地区的工程高效设计及模拟计算提供了行之有效的解决办法。

本项目历时 9 年，以陕西省重点研发计划和陕西省教育厅专项科研项目为依托，以黄土区域的诸多工程实践为支撑，形成了非饱和黄土蠕变、土水特征、数值模拟等系列研究成果，已成功应用于西成铁路专线、延安新区、延长石油、宏宇健康花城等多个工程项目，获陕西省科技进步二等奖 1 项、三等奖 1 项，省部级优秀工程勘察设计一等奖 1 项，二等奖 1 项，三等奖 2 项，延安市科学技术一等奖 1 项，陕西秦岭科学考察奖，陕西高等学校科学技术研究优秀成果二等奖 1 项、三等奖 1 项，项目组成员获得“汉中市青年科技创新人才”荣誉称号。发表学术论文 18 篇（其中 SCI/EI 检索 6 篇），授权国家专利 6 项，获软件著作权 8 项。本项目的经济效益、社会效益和生态环境效益较为显著，为黄土地区的基础工程、边坡工程等提供了重要的理论支撑和科学依据，对服务于黄河流域的高质量发展国家战略具有重要的现实意义。

## 四、客观评价

黄土作为一种结构性和水敏性极强的土类。针对不同工况，系统研究其蠕变特性，可以预测和控制黄土在不同环境条件下的变形行为，这对于在水利工程、道路建设、建筑施工等领域中优化工程等设计，提高工程的稳定性、适应性、安全性和耐久性，提高资源利用效率，降低能耗和碳排放，实现黄河流域高质量发展和生态文明建设具有重要的意义。

### (1) 国内外相关技术的比较

黄土受到降水、外部荷载等的影响，其变形非常复杂。除了孔隙变化引起的初始变形外，随着黄土内部胶结物的逐渐溶解、颗粒的破碎与重新排列组合，微孔隙还会进一步变化，进而产生蠕变问题，对工程的长期稳定性存在难以预测的影响。

在黄土蠕变分析中，与国内外目前大多采用的基于三轴应力状态的方法相比，本项目提出了基于平面应变状态的蠕变模型，在解决诸如路基、大坝等平面应变问题时具有更高的计算效率和更便捷的参数获取方式。从工况角度看，比三轴蠕变更符合实际工程情况，实现了此工况下更复杂蠕变现象的分析和预测，并在黄土路基工程中得到了更好的应用。

在非饱和黄土的土水特征研究方面，目前国内外的研究大都采取单一数据分析方法，在缺少现场试验条件的情况下，难以确定非饱和黄土的土水特征，进而在工程设计中缺乏精准的依据。本项目在海量数据库的基础上，引入了 Fredlund 和 Wilson 方法，提出了一种简化的 SWCC 预测模型，该模型在减少计算复杂度的同时，保持了较高的预测精度，适用于缺乏详细试验数据的情况。基于此方面的研究成果，在黄土基坑工程中，实现了对气候影响下基坑稳定性的精准计算。

在非饱和黄土的离散元数值模拟方面，目前国内外的许多学者都采用比较复杂的点接触模

型、平行黏结模型或者 Hill 模型等。在理论研究方面，这些模型的优势比较突出，可以反映不同饱和度情况下的黄土颗粒接触，但是由于比较复杂的细观参数，在工程中难以大范围推广和使用。本项目提出了一种简化的离散元数值模型，可以在其他细观参数不变的情况下，通过调整颗粒之间的摩擦系数实现对非饱和黄土力学试验的快速模拟，大大提高了黄土工程设计计算与数值模拟的效率。

#### (2) 科技查新结论

西安交通大学图书馆（教育部科技查新工作站/Z08）进行了“非饱和黄土蠕变特性研究及工程应用”中各项创新性成果的科技查新工作，查新结果表明：在所检索的国内外相关数据库中，除该查新课题单位成员发表的文献外，未见与本课题重点技术内容相同的文献报道。

#### (3) 科技成果评价结论

本项目依托的 1 项陕西省重点研发计划项目顺利通过专家验收，依托的 2 项陕西省教育厅专项科研计划项目均顺利通过结题。

#### (4) 获奖情况

项目组针对非饱和黄土的蠕变特性、土水特征、离散元数值模拟等方面开展了理论研究和工程应用，其中“延长石油科研中心岩土工程勘察”获陕西省优秀工程勘察设计一等奖；“新建西安至成都铁路客运专线西安铁路局调度所扩建工程基坑支护设计、降水及检测工程”获陕西省优秀工程勘察设计二等奖；“宇宏健康花城(二期)岩土工程勘察”获陕西省优秀工程勘察三等奖；“延安新区填方场地填筑体综合研究系统”获延安市科学技术一等奖。项目组成员获陕西秦岭科学考察奖 1 项，陕西高等学校科学技术研究优秀成果二等奖 1 项，“汉中市青年科技创新人才”称号。

## 五、应用情况

本项目针对非饱和黄土的蠕变特性、土水特征、数值模拟等方面开展了理论研究和工程应用，成功应用到西成铁路专线、延安新区、延长石油、空港新城、西安轨道交通地铁八号线、十五号线、长武县煤电工业园区、西安碧桂园翡翠天镜、宏宇健康花城等 10 余个工程项目中，推广应用领域涉及到建筑工程、市政工程、交通工程等多个领域，经济效益、社会效益和生态环境效益较为显著，为黄土地区的基础工程、边坡工程等提供了重要的理论支撑和科学依据，对服务于黄河流域的高质量发展国家战略具有重要的现实意义。

## 六、代表性论文专著目录

序号	论文专著名称/刊名/作者	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间年月日	第一作者/通讯作者	被引次数	国内作者	检索数据库
1	Effect of geogrid on dry-shrinkage cracking of loess	2023,11:1180045	2023.5.15	郭鸿	1	杨奎斌;王少飞;郭晨;南亚林	SCIE
2	分别、分级加载下压实黄土三轴蠕变特性及模型分析	2016,35:117-124	2016.4.25	郭鸿	29	骆亚生;王鹏程	CSCD
3	黄土平面蠕变模型	2017, 56: 94-99	2017.11.15	郭鸿	6	骆亚生;胡连信;王鹏程	CSCD
4	原状黄土土水特征曲线预测方法研究	2018, 13): 37-40.	2018.01.08	郭鸿	9	李军;王鹏程;郭瑞	中文核心
5	平面应变状态下黄土蠕变研究	2016, 44: 209-214	2016.10.09	郭鸿	4	骆亚生;胡连信	CSCD
6	非饱和重塑黄土的一种简化离散元模型	2016, 14: 448-453	2016.12.15	郭鸿	6	黄文华;李军;魏鸿林	中文核心
7	原状黄土土水特征曲线拟合方法研究	2016, 47: 92-95.	2016.10.14	郭鸿	16	陈茜;陈栋梁;李军	中文核心
8	黄土地区高填方段挡土墙变形区的数值模拟研究	2017, (01): 7-12.	2017.2.20	李阳	10	曹启增;贺国元;董琪	无

## 七、主要知识产权和标准规范等目录

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
发明专利	一种离散元模拟中的细观参数标定方法	中国	ZL201811477615.8	2022/9/6	证书号第5434924号	陕西理工大学	郭鸿;马帅帅;曹龙;王普	有效
实用新型	一种双排桩基坑支护结构	中国	ZL202222323348.7	2022.12.9	证书号第17986549号	信息产业部电子综合勘察研究院	李阳;南亚林;刘魁;陈能远;王笑	失效
实用新型	一种钻杆固定装置	中国	ZL202120444080.5	2021.10.15	证书号第14377343号	信息产业部电子综合勘察研究院	张鹏;南亚林;李阳;甄平福;范文燕;闵佳;姚淼;	失效

							杨博文刘魁; 杨旭	
软件著作权	基于PFC2D的临已有建筑基坑开挖诱发应力释放模拟程序	中国	2019SR1172657	2019.9.3	软著登字第4593414号	信息产业部电子综合勘察研究院	张鹏;李阳; 郭鸿	有效
软件著作权	基于PFC2D的黏性土基坑开挖模拟程序	中国	2019SR1172853	2019.9.3	软著登字第4593610号	信息产业部电子综合勘察研究院	张鹏;李阳; 郭鸿	有效
软件著作权	生石灰桩处理高含水黄土的地基计算软件	中国	2015SR129874	2014.12.1	软著登字第1016960号	陕西理工大学	郭鸿;蒋红	有效
实用新型	一种用于岩土实验的定位切土工具	中国	ZL201821036300.5	2019/01/01	证书号第8294857号	陕西理工大学	郭鸿;付江涛; 郭瑞	失效
实用新型	一种精确的岩土抗拉试验装置	中国	ZL201721216790.2	2018/05/15	证书号第7342638号	陕西理工大学	郭鸿;蒋红; 徐乾	失效
软件著作权	基于PFC2D的荷载试验模拟程序	中国	2016SR205201	2016/8/4	软著登字第1383818号	陕西理工大学	郭鸿;蒋红	有效

## 八、成果获科技奖励情况

获奖成果名称	获奖时间	奖项名称	奖励等级	授奖单位
秦岭南麓风化岩体及浅层滑坡考察及治理策略研究	2020.11	秦岭生态环境科学考察项目奖	一般奖励	共青团陕西省委
秦巴山区滑坡地质灾害宏观力学机理研究	2022.03	陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖	二等奖	陕西省教育厅
黄土水分迁移评价方法及工程优化应用	2023.04	陕西省科技进步奖	二等奖	陕西省人民政府
非饱和黄土水分运移机制及工程实践	2023.12	陕西省土木建筑学会科技进步奖	特等奖	陕西省土木建筑学会

## 九、主要完成人情况

姓名：郭鸿

排名：1

行政职务：副院长

技术职称：副教授

工作单位：陕西理工大学

完成单位：陕西理工大学

**对本项目贡献：**项目总负责，全面负责项目理论研究和应用研究工作，投入工作量 95%，负责项目组织和实施。建立项目的实施方案，统筹安排人员、设备等各项资源，参与项目各创新点的主要研究工作，是创新点一、二、三的主要贡献人，主持科研成果的推广和应用。

姓名：张鹏

排名：2

行政职务：人力资源部部长

技术职称：高级工程师

工作单位：信电综合勘察设计研究院有限公司

完成单位：信电综合勘察设计研究院有限公司

**对本项目贡献：**主要完成人，投入工作量 80%，负责项目创新点一黄土三轴蠕变模型专题的研究工作，是创新点一的重要贡献人，协助项目负责人开展工程优化应用，解决科技成果在工程推广应用中出现实际问题，产生了显著的经济和社会效益。

姓名：王鹏程

排名：3

行政职务：商务成本主管

技术职称：高级工程师

工作单位：中国南水北调集团生态环保有限公司

完成单位：中建市政工程有限公司

**对本项目贡献：**项目技术负责，制定整个项目的技术路线，投入工作量 80%，负责项目创新点二黄土蠕变和非饱和土土水特征的研究工作，是创新点一的重要贡献人。

姓名：李阳

排名：4

行政职务：土工试验室副主任

技术职称：工程师

工作单位：信电综合勘察设计研究院有限公司

完成单位：信电综合勘察设计研究院有限公司

**对本项目贡献：**主要完成人，参与项目的成果推广应用工作，投入工作量 80%，创新点

二的重要贡献人。基于非饱和土的土水特征模型，研发了一种双排桩基坑支护结构，有效减少了基坑的变形，并在陕西关中区域等推广应用，取得了良好的经济、社会和生态环境效益。

**姓名：**付江涛

**排名：**5

**行政职务：**无

**技术职称：**副教授

**工作单位：**陕西理工大学

**完成单位：**陕西理工大学

**对本项目贡献：**主要完成人，合作完成项目创新点三非饱和黄土离散元模型的的专题工作，投入工作量 70%，参与项目的推广应用，是创新点三的重要贡献人。

**姓名：**徐乾

**排名：**6

**行政职务：**系主任

**技术职称：**副教授

**工作单位：**陕西理工大学

**完成单位：**陕西理工大学

**对本项目贡献：**主要完成人，投入工作量 80%，合作完成项目创新点二非饱和黄土土水特征和创新点三非饱和黄土的离散元模型的专题工作，并负责挡土墙工程中的应用，是创新点二、三的重要贡献人。

**姓名：**骆亚生

**排名：**7

**行政职务：**无

**技术职称：**教授

**工作单位：**西北农林科技大学

**完成单位：**西北农林科技大学

**对本项目贡献：**项目顾问，投入工作量 70%，指导项目的总体理论和技术的统筹工作，以及对各创新点对应科研成果的转化和应用工作，创新点一、二和三的重要贡献人。

**姓名：**蒋红

**排名：**8

**行政职务：**无

**技术职称：**副教授

**工作单位：**陕西理工大学

**完成单位：**陕西理工大学

**对本项目贡献：**主要完成人，投入工作量 50%，合作完成项目创新点三非饱和黄土的离散元模型的专题工作，并负责理论分析和工程验证，是创新点三的重要贡献人。

**姓名：**杨奎斌

**排名：**9

**行政职务：**无

**技术职称：**讲师

**工作单位：**陕西理工大学

**完成单位：**陕西理工大学

**对本项目贡献：**主要完成人，投入工作量 50%，合作完成项目创新点二非饱和黄土土水特征的专题工作，并负责其在岩土支挡工程中的应用推广，是创新点二的重要贡献人。

## 十、主要完成单位及创新推广贡献

**单位名称：**陕西理工大学

**创新推广贡献：**陕西理工大学作为项目主持单位，是创新点一、二和三的主要贡献者。负责本项目组织管理、统筹协调。对项目的前期论证、项目实施、结题验收等工作进行组织和管理。在人才培养和梯队建设方面，鼓励和支持新引进人才加入本项目，提升了项目团队的科研攻关能力。依托单位的秦巴山地岩土环境与灾害防治研究中心、岩土与地下工程创新实验平台，投入大量经费，开展项目的应用研究，保证了本项目的顺利实施。

**单位名称：**信电综合勘察设计研究院有限公司

**创新推广贡献：**信电综合勘察设计研究院有限公司作为项目合作单位，是创新点一和二的重要贡献者。负责本项目的应用性技术研发及成果的应用，牵头推进非饱和黄土蠕变特性研究中的多个关键技术在国内多个工程建设项目中应用实践，研发了多项工程技术，取得了良好的示范效应，并为项目的运转提供后勤保障和资源调配，推动了项目的有序进行，为项目的顺利完成做出了重要贡献。

**单位名称：**西北农林科技大学

**创新推广贡献：**西北农林科技大学作为项目合作单位，是创新点一和三的重要贡献者。发挥高水平大学在基础理论研究方面的优势，主要负责项目的理论研究工作，针对非饱和黄土的蠕变特性关键问题开展了系统研究，指导了多个工程勘察，地基基础加固、边坡治理等项目，协助本项目成果的推广应用。学校与陕西理工大学一起开展项目的理论研究工作，并在科研场所、实验平台方面，学校重点支持并购置了大量的先进试验设备，为本项目的顺利开展提供了平台保障。

**单位名称：**中建市政工程有限公司

**创新推广贡献：**中建市政工程有限公司作为项目合作单位，是创新点一的重要贡献者。负责本项目成果在隧道工程中的应用实践，为项目的顺利完成做出了重要贡献。