

2025 年度陕西省科学技术奖提名项目公示

一、项目名称

高易溶盐黄土湿陷变形理论及处治技术

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省水利厅

提名意见：

高易溶盐含量黄土是广泛分布在新疆、甘肃和陕北等地的特殊黄土，兼具黄土与盐渍土的特点，浸水后不仅产生湿陷变形，还会产生溶陷变形，总沉陷量较大，对地基上部建筑物危害巨大，需专门研究。本项目以丰富黄土力学的内容和保证地基安全为目标，系统开展了高易溶盐黄土的湿陷与溶陷变形理论及处治技术研究，取得的主要成果有：（1）创立了高易溶盐黄土的湿陷与溶陷变形理论及数值分析方法，能科学预测黄土的增湿变形、湿陷和溶陷；（2）提出了黄土地基湿陷性评价、测试、试验等一系列新方法，主要包括：渠道、路基等存在卸荷状态的黄土地基湿陷性评价方法，用离心模型试验替代现场试坑浸水试验的自重湿陷量测试新方法，湿陷性黄土地区透水路面结构设计方法，寒区黄土渠道土-水-热-力耦合模型试验方法。所提方法具有新颖性和独创性，符合黄土力学原理和工程实际；（3）提出了“减重削减湿陷”的新理念，研发了轻量土换填减重、速固浆液充填加固等湿陷性黄土地基处理新技术，在海绵城市建设工程的黄土湿陷溶陷处理中优势突出。项目成果已纳入多项技术标准，在陕西、宁夏、新疆等地进行了现场示范和实际工程应用，取得了显著的社会、经济和生态效益。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术进步奖提名条件。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

本项目属于岩土力学、一般水工建筑物和地基基础工程领域，涉及考虑易溶盐含量影响的非饱和黄土变形理论，黄土地基湿陷性评价、测试、试验和计算等一系列前沿方法，以及黄土地基湿陷处理新技术及工程应用，是系统理论与实际工程相融合的创新与应用。主要创新成果如下：（1）创立了高易溶盐含量非饱和黄土的湿陷与溶陷变形理论，主要包括土水特征曲线、本构模型、湿陷与溶陷的区分方法以及数值分析方法，能科学预测黄土的增湿变形、湿陷和溶陷。（2）提出了黄土地基湿陷性评价、

测试、试验、计算等一系列新方法，主要包括：渠道、路基等存在卸荷状态的黄土地基湿陷性评价方法，用离心模型试验替代现场试坑浸水试验的自重湿陷量测试新方法，湿陷性黄土地区透水路面结构设计方法，寒区黄土渠道土-水-热-力耦合模型试验方法，所提方法具有新颖性和独创性，符合黄土力学原理和工程实际。（3）提出了“减重削减湿陷”的新理念，研发了轻量土换填减重、速固浆液充填加固等湿陷性黄土地基处理新技术，在海绵城市建设工程的黄土湿陷溶陷处理中优势突出，极大地提高了黄土地区地基处理技术水平。（4）研究成果被纳入相关技术标准，在陕西、河南、宁夏、新疆等地进行了现场示范和实际工程应用，取得了显著的社会、经济与生态效益。

四、客观评价

相较传统土力学，提出了湿陷与溶陷区分的“三线法”，建立了考虑易溶盐含量影响的非饱和黄土增湿变形本构模型与数值计算方法，创立了高易溶盐含量非饱和黄土的湿陷与溶陷变形理论，能科学预测黄土的增湿变形、湿陷与溶陷，为分析黄土工程增湿变形问题奠定了坚实理论基础。提出了用离心模型试验替代现场试坑浸水试验的自重湿陷量测试新方法和寒区黄土渠道土-水-热-力耦合模型试验方法，有力弥补和扩充了湿陷性黄土增湿变形测试方法，体现了低成本和短工期的突出优势。研发了基于“减重削减湿陷”理念的湿陷性黄土地基处理技术，弥补了黄土湿陷性消除处理传统技术环境影响大和成本高的缺陷，对海绵城市建设中的黄土湿陷性防治有突出优势。

该项目在西北农林科技大学教育部科技查新工作站（N04）进行科技查新，科技查新报告结论：除项目组成员的前期研究成果外，未见与该项目查新点内容相同的中英文文献报道。科技查新表明，本项目的理论、技术均具有鲜明的独创性和领先性。

陕西省岩土力学与工程学会组织专家对本项目成果进行了成果评价，评价意见为：成果总体达到国际先进水平，在高易溶盐黄土湿溶陷测定方法与评价理论方面达到了国际领先水平。

五、应用情况

项目研究成果在湿陷性黄土地区海绵城市建设、南水北调穿黄工程、新疆阿克达拉水电站引水渠道工程等进行了推广应用。在南水北调中线穿黄南岸黄土高边坡治理工程中，对原设计坡型进行了优化，保证了穿黄工程的安全，截止 2022 年 5 月，中线工程为京津冀输水 150 亿方，惠及沿线 44 座大中城市，直接受益人口超过 1.76 亿人，取得了显著的社会效益。在黄土地区海绵城市建设、引调水工程、交通及地基处理工

程等工程应用中，实现增收节支总计约 1.736 亿元。研究成果解决了工程建设中的关键技术难题，取得了显著的经济、社会和生态效益。

六、主要知识产权和标准规范目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号（标准发布部门）	权利人（标准起草单位）限 100 字	发明人（标准起草人）
1	标准	渠道防渗衬砌工程技术标准	中国	GB/T50600-2020	2020.6.9	住房和城乡建设部、国家市场监督管理总局	中国灌溉排水发展中心，中国水利水电科学研究院，西北农林科技大学，黑龙江省水利科学研究院，河北省水利水电勘测设计研究院，宁夏回族自治区水利厅，内蒙古河套灌区管理总局，长安大学，新疆维吾尔自治区水利厅，江西省赣抚平原水利工程管理局，天津市泽宝水泥制品有限公司	张绍强，杜秀文，张爱军，张滨，杨海宁，邢义川，党平，郭慧滨，何武全，王洪彬，步丰湖，安鹏，孙景路，马俊永，刘龙虎，杨万福，郑建行
2	规范	引调水工程湿陷性黄土地基处理技术规程	中国	T/CHE S 106-2023	2023.12.29	中国水利学会	中国水利水电科学研究院，西安理工大学，西北农林科技大学，陕西省水利电力勘测设计研究院，陕西省引汉济渭工程建设有限公司，甘肃省水利水电勘测设计研究院有限责任公司，新疆水利水电规划设计管理局，黄河勘测规划设计研究院有限公司，成都理工大学，湖南省水利水电勘测设计规划研究总院有限公司，新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司，中国水电建设集团十五工程局有限公司，宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司，新疆伊犁州南岸干渠灌区管理处，兰州交通大学	赵卫全，邵生俊，张爱军，邢义川，王丽琴，陈武春，田养军，吕生玺，李江，谢遵党，裴向军，杨西林，林飞，陈刚，刘宏社，哈岸英，王建社，邢建营，周建华，邓国华，任文渊，李雄，柳莹，张晓超，张晓库，边义成，杨玉生，黄华新，郝杰，崔军旗，曹建忠，张国瑞，白玉龙，侯晓萍，邵帅，陶虎，罗亮明
3	发明专利	一种基于轻量土减重原理的湿陷性黄土路基处理方法	中国	ZL 201811280630.3	2020.09.11	3985877	西北农林科技大学	张爱军，米文静，任文渊，刘宏泰，郭敏霞，时乐，陈和刚，柳丽英
4	发明专利	长距离引水渠道循环水流冻结模型试验装置及试验方法	中国	ZL 201811429013.5	2020.06.23	3856126	西北农林科技大学	张爱军，任文渊，靳芮琰，何自立，王正中

5	发明专利	用于矸石山 灭火降温的 速固浆液及 其制备方法	中国	ZL 202010 050435 .2	202 1.0 7.0 2	45240 00	西京学院	袁克阔, 傅少君, 高山, 刘恺德, 冯 祥波, 孙超伟, 杨 莎莎
6	专著	非饱和和特殊 土的工程特 性及应用	中国	ISBN:9 787517 061977	201 7.1 2.0 1	CIP20 17 第 32620 9 号	中国水利水电出版社	邢义川, 赵卫全, 张爱军
7	论文	基于增湿变 形的渠道工 程黄土渠基 湿陷性评价 方法	中国	EI DOI: 10.132 43/j.cn ki.slxb. 201606 85	201 7, 48 (1): 41- 51	水利 学报	西北农林科技大学	张爱军, 邢义川, 汪海涛, 郭敏霞, 任文渊
8	论文	Study on the soil water characteristi c curve and its fitting model of lli loess with high level of soluble salts	中国	SCI DOI: 10.101 6/j.jhyd rol.201 9.1240 67	201 9, 578 :12 406 7	Journa l of Hydrol ogy	西北农林科技大学	Yuguo Wang(王毓 国); Aijun Zhang* (张爱军); Wenyan Ren*(任文渊); Lisi Niu
9	论文	易溶盐含量 对伊犁原状 黄土力学特 性的影响规 律	中国	EI DOI: 10.117 79/CJG E20200 9015	202 0,4 2(0 9): 170 5-1 714	岩土 工程 学报	西北农林科技大学	牛丽思, 张爱军, 赵佳敏, 王毓国, 赵庆玉
10	论文	轻量土减重 换填消减黄 土湿陷的方 法研究	中国	EI DOI: 10.132 43/j.cn ki.slxb. 202000 84	202 1, 52(1): 51- 61	水利 学报	西北农林科技大学	米文静, 张爱军, 任文渊, 杨涛, 黄 绵松, 刘宏泰

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目贡献
张爱军	1	教授	西京学院	项目总负责人, 创立了高易溶盐非饱和黄土的湿陷与溶陷变形理论, 提出了渠道、路基等存在卸荷状态的黄土地基湿陷性评价方法与自重湿陷量测试新方法, 建立了基于减重削减湿陷理念的黄土地基湿陷变形控制技术体系, 开展了大量新技术与强夯、挤密桩、灰土换填等传统地基处理方法相结合的工程实践。对项目创新点 1~4 作出了贡献。
任文渊	2	副教授	西北农林科技	作为项目主要完成人之一, 是离心模型试验替代现场试坑浸水试验的自重湿陷量测试新方法和基于减重削减湿陷理念

			大学	的黄土地基湿陷变形控制技术体系的合作提出者和技术实施项目负责人，是本项目成果理论与推广的主要负责人之一，对项目创新点 1~4 作出了贡献。
刘宏泰	3	市场开发部副部长/高级工程师	机械工业勘察设计研究院有限公司	负责完成了“轻量土减重换填”地基处理技术、海绵城市透水路面结构型式等研究的成果转化应用工作，是本项目成果推广的主要负责人之一，对项目创新点 3、4 作出了贡献。
安鹏	4	副教授	长安大学	提出了黄土地层的“双线性”的离心模型试验地基自重湿陷量测试方法；开展了高易溶盐含量伊犁黄土现场试验，提出了伊犁黄土地区修正系数；参编了国家标准《渠道防渗衬砌工程技术标准》(GB/T50600-2020)，优化了黄土渠道渠坡与地基处理方法，应用效果显著。对项目创新点 2、3 作出了贡献。
袁克阔	5	副教授	西京学院	研发了无泌水新型速固浆液和浆液稳定性测试新方法 with 配套设备，授权了发明专利“用于矸石山灭火降温的速固浆液及其制备方法/ZL 2020 1 0050435.2”，并对其开展了许可转化；形成了黄土地区速固浆液充填加固技术，可用于肥槽、落水洞等地下空腔的充填加固。对项目创新点 3 作出了贡献。
王毓国	6	讲师	西安建筑科技大学	完成了黄土湿陷、溶陷、非饱和力学特性等室内试验，多地层离心模型试验，以及湿陷性黄土地基处理技术的现场应用与示范工作。提出了考虑易溶盐影响的高易溶盐含量黄土土水特征曲线计算模型，以及寒区黄土渠道土-水-热-力耦合模型试验方法。对项目创新点 1、2 作出了贡献。
闫星	7	正高级工程师	陕西省水利电力勘测设计研究院（集团）有限公司	主导科研项目的筹划和研究，对考虑湿陷的非饱和黄土本构模型数值化及黄土输水隧道优化研究提出了完整的技术路线和详细的技术指导，是本项目成果推广的主要负责人之一，对项目创新点 3、4 做出了贡献。
赵卫全	8	正高级工程师	中国水利水电科学研究院	合作提出了黄土地基“可能增湿变形”的思路，合作提出了离心模型试验替代现场浸水试验的自重湿陷量测试新方法，已编入《引调水工程湿陷性黄土地基处理技术规程》(T/CHES 106-2023)；合作提出了湿陷性黄土地基水泥-黄土灌浆处治新技术，并应用于工程实践，是本项目成果推广的主要负责人之一，对项目创新点 2、4 做出了贡献。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

单位名称	排名	主要贡献
西京学院	1	对项目进行了总体设计和组织实施，依托陕西省混凝土结构安全与耐久性重点实验室，为项目的室内试验提供了重要的设备和场地支撑。研发了无泌水新型速固浆液和浆液稳定性测试新方法 with 配套设备，浆液具有无泌水、不离析、强触变、低成本、高流动、高强度及固化快的特性，可用于黄土裂隙、洞穴、肥槽等地下空腔的快速充填治理以及渠基衬板脱空处理，在多个实际工程中进行了专利实施许可与应用。对项目创新点 1~4 作出了贡献。
西北农林科技大学	2	主持并参与完成了多项国家自然科学基金项目、陕西省科技计划重点研发、横向应用等项目，创立了考虑易溶盐变化的非饱和黄土增湿变形理论，提出了黄土湿陷与溶陷区分的“三线法”，提出了渠道、路基等存在卸荷状态的黄土地基湿陷性评价方法，创建了用离心模型试验替代现场试坑浸水试验的自

		重湿陷量测试新方法，建立了基于减重削减湿陷理念的黄土地基湿陷变形控制技术体系，推动了现代非饱和黄土力学的发展。对项目创新点 1~4 作出了贡献。
机械工业勘察设计研究院有限公司	3	负责实施了湿陷性黄土地区路用透水性结构的研究和设计、湿陷性黄土地区轻量土换填减重关键技术的研究和应用，将项目研究成果应用于多项实际工程项目，实现项目研究成果的快速转化和推广，产生的经济效益、社会效益和环境效益显著。对项目创新点 3、4 作出了贡献。
长安大学	4	主持参与完成了自然科学基金与省部级项目等多项，提出了黄土地层的“双线性”的离心模型试验地基自重湿陷量测试方法，该方法可替代现场浸水试验进行现场自重湿陷量的测试，具有精细化、低成本和短工期的优势。通过开展高易溶盐含量伊犁黄土现场试验，查明了其湿陷变形特性，提出了伊犁黄土地区修正系数，使得伊犁地区工程建设有据可依。参编了国家标准《渠道防渗衬砌工程技术标准》（GB/T50600-2020），服务于黄土地区水利工程建设。对项目创新点 2、3 作出了贡献。
陕西省水利电力勘测设计研究院（集团）有限公司	5	对项目的现场试验提供了重要的场地及人力物力支撑，通过“复杂地质条件长距离输水隧洞渗流-应力耦合响应及结构优化仿真技术研究”科研项目的立项和资助，将考虑湿陷的非饱和黄土本构模型数值化，并用于黄土输水隧道优化仿真研究，结合现场监测数据完成了衬砌结构优化。对项目创新点 3、4 做出了贡献。
西安建筑科技大学	6	为项目试验的开展提供了试验设备、场地、材料，完成了黄土湿陷、溶陷、非饱和力学特性等室内试验，多地层离心模型试验，以及湿陷性黄土地基处理技术的现场应用与示范工作。提出了考虑易溶盐影响的高易溶盐含量黄土土水特征曲线计算模型，以及寒区黄土渠道土-水-热-力耦合模型试验方法。对项目创新点 1、2 作出了贡献。
中国水利水电科学研究院	7	在黄土地区建筑、市政、交通、水利等工程的勘察、设计中，应用了黄土地基湿陷性评价、测试、试验等新方法，成果编入了《渠道防渗衬砌工程技术标准》（GB/T50600-2020）、《引调水工程湿陷性黄土地基处理技术规程》（T/CHES 106-2023）、《非饱和土试验方法标准》（T/CECS 1337-2023）等 3 部技术标准中，提高了黄土地区工程建设的水平，产生了显著的社会和经济效益。对项目创新点 2、4 作出了贡献。

九、完成人合作关系情况

完成人合作关系情况表					
序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	共同报奖	张爱军/1，任文渊/2	2015 年-2023 年	科技奖励	2024 年陕西高等学校科学技术研究优秀成果二等奖
2	项目合作	张爱军/1，任文渊/2，刘宏泰/3，王毓国/6	2017 年-2020 年	项目结题报告	陕西省重点研发计划：湿陷性黄土地区海绵城市路用透水性结构研究与应用项目结题报告
3	共同制定规范	张爱军/1，安鹏/4	2017 年-2020 年	规范	《渠道防渗衬砌工程技术标准》（GB/T50600-2020）
4	共同制定规范	赵卫全/8，张爱军/1，任文渊/2	2021 年-2023 年	规范	《引调水工程湿陷性黄土地基处理技术规程》（T/CHES 106-2023）
5	共同申请专利	张爱军/1，任文渊/2，刘宏泰/3	2017 年-2022 年	发明专利	一种基于轻量土减重原理的湿陷性黄土路基处理方法
6	共同申请专利	张爱军/1，任文渊/2	2017 年-2022 年	发明专利	长距离引水渠道循环水流冻结模型试验装置及试验方法
7	项目合作	任文渊/1，张爱军	2019 年	项目结题	湿陷性黄土地区海面城市路用透水

		/2, 刘宏泰/3, 袁克阔/5, 王毓国/6	-2022 年	报告	性结构研究与应用项目现场示范项目结题报告
8	项目合作	闫星/7, 任文渊/2	2022 年 -2023 年	项目合同	复杂地质条件长距离输水隧洞渗流-应力耦合响应及结构优化仿真技术研究项目合同
9	共同发表文章	王毓国/6, 张爱军/1, 任文渊/2	2017 年 -2022 年	论文	Study on the soil water characteristic curve and its fitting model of Ili loess with high level of soluble salts
10	共同发表文章	张爱军/1, 任文渊/2, 刘宏泰/3	2017 年 -2022 年	论文	轻量土减重换填消减黄土湿陷的方法研究

完成人合作关系说明（限 1000 字）

张爱军与任文渊为 2024 年陕西高等学校科学技术研究优秀成果二等奖第 2、4 完成人；张爱军、任文渊、刘宏泰、王毓国为陕西重点研发计划“湿陷性黄土地区海绵城市路用透水性结构研究与应用”项目的第 1、3、6、14 完成人；张爱军、安鹏共同参与制定了规范《渠道防渗衬砌工程技术标准》（GB/T50600-2020）；赵卫全、张爱军、任文渊共同参与制定了规范《引调水工程湿陷性黄土地基处理技术规程》（T/CHES 106-2023）；张爱军、任文渊、刘宏泰共同获授权发明专利“一种基于轻量土减重原理的湿陷性黄土路基处理方法”；张爱军、任文渊共同获授权发明专利“长距离引水渠道循环水流冻结模型试验装置及试验方法”；任文渊、张爱军、刘宏泰、袁克阔、王毓国是项目“湿陷性黄土地区海面城市路用透水性结构研究与应用项目现场示范”的前 6 位完成人；闫星与任文渊是项目“复杂地质条件长距离输水隧洞渗流-应力耦合响应及结构优化仿真技术研究”的第 1、4 完成人；王毓国、张爱军、任文渊共同发表了 SCI 检索论文“Study on the soil water characteristic curve and its fitting model of Ili loess with high level of soluble salts”；张爱军、任文渊、刘宏泰共同发表了 EI 检索论文“轻量土减重换填消减黄土湿陷的方法研究”。