

甘肃省科学院院列科技计划项目 执行情况汇总材料

项目编号：2021JK-07

项目名称：兰州市平山造地引发黄土泥流动力学特征
及其风险评价

承担单位：甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所

项目负责人：刘兴荣 手 机：13919180514

电子邮件：402794885@qq.com

起止时间：2021年11月—2024年10月

提交时间：2023年8月

一、任务书规定的研究任务、考核目标及主要技术经济指标。

（一）项目研究任务

随着兰州市平山造地建设项目的逐步实施，人工挖填形成的黄土堆积场地不可避免的挤占和压缩行洪沟道，对城市环境及安全造成较大威胁。本项目旨在研究人工重组形成的不同密实度和堆放形成的黄土体在其自身特性、沟道微地形、不同下垫面坡度和水动力条件等共同作用下启动形成黄土泥流的机理及特征，进而揭示和评价该类泥石流给城市安全带来的风险隐患。这一课题的研究对维护山区城市开发和保护人居环境安全意义重大。

（二）主要考核指标

- （1）提交泥石流治理工程咨询报告 1 份；
- （2）发表学术论文 2~3 篇；
- （3）申报专利 1~2 项；
- （4）培养高级科研人员 1~2 名，培养硕士研究生 2~3。

（三）主要经济指标

本项目属社会公益性项目，无盈利能力。

项目依托甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所滑坡泥石流模拟实验室，拟采用多源立体勘查技术，开展黄土堆积场地现状调查；采用模型试验，揭示黄土堆积场地引发的泥石流运动特征及各参数间的量

变规律；利用甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所和中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所联合开发的“甘肃省泥石流灾害动力过程的数值模拟技术与软件”，重现黄土泥石流流变和侵蚀过程，捕捉黄土堆积场地参与后引发黄土泥石流流量的瞬间放大现象，进而揭示和评价该类泥石流给城市安全带来的风险隐患。项目成果的获得具有极强的理论补充及实践指导意义，以便指导黄土地区城市建设和规划，对城市灾害防治可提供较好的技术支撑。

二、项目执行情况评价

(一) 项目、任务完成情况

项目组严格按照甘肃省科学院科技计划项目管理办法的相关规定和要求，制定详细的研究计划，明确本项目研究工作的总体思路，确定研究内容，明确责任分工和研究进度，认真组织开展相关的研究工作。目前，项目已完成各项研究任务和目标。

(二) 解决的关键技术

本项目旨在对兰州地区泥石流治理工程的防灾减灾效果进行科学的评价，利用相关资料文献，归纳总结，兰州地区的区域基本条件、泥石流的时空分布规律、泥石流危险性评价、结合实地调查总结泥石流沟道各类治理工程的基本情况、经验以及存在问题的基础上，对其治理技术和效果进行深入研究，并结合理论分析，建立适合兰州地区泥石流危险性评价体系。同时对泥石流设计参数和治理工程进行改进

与优化，寻求设计的最优化方案；对损坏工程提出科学、有效的改造和加固措施。得出以下结论：

(1) 通过对研究区域的野外勘测，获取了研究区域概况并对堆填黄土的物理力学性质、微观孔隙结构特征等进行了全新界定。结果表明：堆填黄土细颗粒含量高、饱和导水率较高为 0.03cm/min；堆填黄土平均孔隙分维数为 1.251，随含水率增加，大、中架空孔隙坍塌转化为更加稳定的小架空孔隙，孔隙分维数随含水率增大呈线性减小。

(2) 基于不同坡度、不同切坡程度室内降雨冲刷侵蚀试验，分析了堆填黄土冲刷侵蚀发育特征及土水参数响应变化规律。结果表明：随坡度增加坡面侵蚀程度加剧，侵蚀破坏部位由坡底逐渐后移至坡顶；在 $35^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 范围内，边坡水分入渗速率最快，基质吸力响应速率最快，孔隙水压力波动性最大；切坡程度增大边坡体积含水率响应时间变短，基质吸力降低速度加快，孔隙水压力波动性增加。

(3) 基于有限元分析软件 ABAQUS 建立了堆填黄土边坡冲刷侵蚀三维模型，分析了不同工况下堆积体土水参数变化规律。结果表明：降雨冲刷作用下，坡脚最容易发生破坏，且边坡水平位移与坡度呈线性增长关系；降雨冲刷侵蚀过程中存在两个主入渗方向，边坡垂向上坡中最晚饱和，纵向上从坡脚处逐步向坡体内部入渗；切坡程度越大，坡底临空面越大，坡脚向后侵蚀发育速率越快。

(4) 结合室内模拟试验、数值模拟研究结果，利用水土动力学原

理按边坡冲刷侵蚀阶段分析了边坡冲刷侵蚀机理。结果表明：片蚀阶段，边坡表层土颗粒启动所需的临界径流流速与坡度呈正相关关系；坡面径流汇集坡脚造成的坡脚软化为后续细沟侵蚀发育提供了有利条件，人工切坡实质上是加快了坡脚软化，从而加速了坡面侵蚀速率；切沟侵蚀阶段，边坡坡度越大，切沟沟坡内发生失稳破坏所需的临界破裂角越小，越容易发生失稳破坏。

基于土壤侵蚀理论分析了不同坡度、切坡对堆填黄土边坡侵蚀产沙的影响规律。结果表明： 41° 附近为堆填黄土边坡临界坡度；随切坡程度增大，侵蚀产沙量以幂函数关系减少。

(5) 以兰州市泥石流沟道为研究对象，基于决策树 (DT) 与随机森林 (RF) 模型，对兰州市泥石流易发性进行科学评价。研究发现：①RF 模型的极高易发区包含了 40.9% 泥石流点，高于 DT 模型的 35.5%，RF 模型的极高易发区泥石流点为 0.16 个/ km^2 ，也高于 DT 模型的 0.10 个/ km^2 ，表明 RF 模型在预测成功率上高于 DT 模型；②RF 模型评价结果的 AUC 值为 0.97，优于 DT 模型的评价结果；③RF 模型预测结果，研究区泥石流极高易发区和高易发区分别占 5.13% 和 10.20%，且极高易发区主要分布于红古区、安宁区、城关区和西固区等地；④影响兰州泥石流发生的主要影响因素有距道路距离、高程、距断层距离、距河流距离和降雨量。本文的研究结论能够为河谷型城市的防灾减灾及规划建设提供一定数据支撑。

(6) 以甘肃兰州地区无资料山洪沟道为研究对象，通过结合甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所调查评价数据，通过 Kendall 一致性检验和灰色关联分析，分别对地区沟道流域特征参数的一致性进行检验和特征参数与设计洪水计算相关性分析，选取合适特征参数建立适用于兰州市无资料山洪沟道设计洪水计算的公式。新经验公式与兰州洪水经验公式设计洪水计算结果相对误差均值约 7.3%，其中有 73% 沟道设计洪水计算误差在 10% 以下，具有一定准确性及合理性，能够更加高效进行设计洪水推求。

(三) 取得的重大科技成果、专利情况、获得的各种奖励情况

本项目完成科技成果包括：

(1) 论文情况

序号	论文专著名称	刊名	发表时间
1	陇南地区泥石流拦挡坝回淤比降影响因素及计算方法	兰州大学学报(自然科学版)	2022 年
2	泥石流拦挡坝有效坝高及坝后淤积计算模型探讨	水利规划与设计	2022 年
3	陇南市武都区滑坡转化为泥石流灾害链形成机理及防治措施研究	水利规划与设计	2022 年
4	生物炭添加对农田土壤环境及作物生长影响研究	水利规划与设计	2022 年
5	基于水槽试验的泥石流拦挡坝泄水涵洞调控性能	科学技术与工程	2022 年
6	Influence of Clay Content on Crack Evolution of Clay - Sand Mixture	Frontiers in Earth Science	2022 年
7	单沟泥石流危险性评价	水利规划与设计	2023 年
8	基于传递函数优化后 BP 神经网络对泥石流的危险性预测	科学技术与工程	2023 年

9	基于灰色关联协同 BP 神经网络对泥石流的易发性预测	水利规划与设计	2023 年
10	碎麦秸垫膜覆盖对民勤绿洲食葵产量及土壤酶活性的影响	水资源与水工程学报	2023 年
11	Prediction model of outburst debris flow triggered by landslide dam failure considering the erosion process	Computers and Geotechnics	2023 年
12	沟道松散堆积体冲刷启动与拦挡坝相互作用机理研究	地震工程学报	已接收
13	黄土堆填场地转化为泥石流物质过程研究—以兰州市碱水沟为例	中国水土保持科学	已接收
14	变坡条件下人工堆渣体起动加剧泥石流的机理研究	科学技术与工程	已投稿
15	黄土堆填边坡降雨冲刷侵蚀破坏特征试验研究	农业工程学报	已投稿
16	兰州地区黄土工程堆填体微观孔隙结构特征研究	地震工程学报	已投稿

(2) 专利情况

- 1) 一种新型变水头渗透系数室内测定试验装置，已申请；
- 2) 油气输送管道保护装置，已受理。

(3) 人员培养

项目执行期间培养高级科研人员 1 名，培养硕士研究生 4 名。

三、经费决算和经费使用评价。

项目到款经费 45 万元，实际支出总计 44.3 万元，全部来自项目专项经费。各项经费支出合理规范，确保了项目的有效实施。

费用到账后，项目组根据项目预算和任务书确定的研究目标任务，按照实际需要合理计划和安排研究经费的开支和使用，在总预算经费不变的情况下，部分预算经费由项目组据实合理调剂使用。项目经费

专人管理，具体支出情况为：材料费预算为 2.9 万元，实际支出 1.5 万元；差旅费/会议费/国际合作与交流费为 8.2 万元，实际支出为 11.1 万元；出版/文献/信息传播/知识产权事务费 1.9 万元，实际支出为 1.5 万元；劳务费预算为 9.4 万元，实际支出为 7.2 万元；专家咨询费为 0.5 万元，实际支出 0.9 万元；其他支出预算为 2.5 万元，实际支出 1.3 万元；与兰州理工大学合作经费 10 万元，实际支出 10 万元；间接费用预算为 9.6 万元，实际支出 10.8 万元。

四、存在问题及。

1、存在问题

(1) 专利等申请周期长，未能拿到证书。

(2) 兰州地区泥石流灾害的形成具有点多面广、规模大、险情重、隐蔽性强、突发频发、治理难、群发性的特点。后续研究工作应进一步总结提炼兰州地区泥石流特点，将针对该区域的优化治理措施进一步科学化系统化规范化，为因地制宜地解决兰州地区泥石流灾害问题提供有力支撑。

2、下一步工作计划

现有泥石流沟道缺少的长期监测数据，后续工作应继续申请经费，且利用先进测试技术，建立野外观测站，进行兰州地区泥石流长期观测。