

基于固液耦合的滑坡碎屑流侵蚀流化机理研究

Study on erosion fluidization mechanism of landslide debris flow based on solid-liquid coupling

张仕林¹, 霍子豪¹, 王文沛², 胡卸文¹, 唐健峰¹

ZHANG Shilin¹, Huo Zihao¹, WANG Wenpei², HU Xiewen¹, TANG Jianfeng¹

(1.西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 四川成都 610031; 2.中国地质环境监测院 (自然资源部地质灾害技术指导中心), 北京 100081)

(1. Southwest Jiaotong University, Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Chengdu, Sichuan 610031, China; 2. China Institute of Geo-Environment Monitoring (Guide Center of Prevention Technology for Geo-hazards, MNR), Beijing 100081, China)

摘要: 干燥的滑坡碎屑流在动力传递过程中, 往往会在坡面或者沟道内, 与松散、高含水基底物质发生剧烈动力侵蚀作用, 导致碎屑流流动规模急剧增加, 对重要工程和人员生命产生巨大威胁。同时, 随着间隙流体和固体颗粒被夹带汇入碎屑流底部, 两者发生物质交换, 使得流动从单相转变为固液两相状态, 从而对碎屑流的流变力学行为产生重要影响。然而, 目前对碎屑流流化机理研究甚少。基于光滑粒子流-离散单元-有限元耦合 (SPH-DEM-FEM) 理论, 在大型物理模型试验基础上, 针对不同含水率工况, 围绕干燥碎屑流与基底物质的复杂动力学过程, 开展耦合数值模拟研究。结果表明: 碎屑流前缘与基底接触作用主要表现为冲切破坏和犁切作用, 接触面以剪切磨蚀为主, 随基底应力和孔隙水压力增加, 碎屑流与含水物质裹挟混合, 并逐渐表现出流态化特征。侵蚀区在碎屑流冲击加载作用下, 基底应力出现了“超前波动”的现象, 前缘应力因碎屑流冲切作用表现为急剧升高的趋势, 而侵蚀区中部基底应力因颗粒的飞跃, 呈现幅度小、持续久的抛物曲线, 后缘基底应力表现为峰值较前缘降低的曲线。随着基底物质由干燥工况逐渐向非饱和状态转变, 接触面剪应力和含水率呈正相关趋势, 基底侵蚀率、碎屑流冲击距离和最终堆积厚度随含水率呈现抛物线状相关关系。研究结果为碎屑流流化机理进行了探讨, 并为类似机理研究提供了有效科学思路。

关键词: 流固耦合; 滑坡-碎屑流; 动力侵蚀; 含水率; 机理探讨