

贵州思南县牛栏溪滑坡破坏机制研究*¹

程鹏翔¹，李宗发^{2, 3, 4▲}

(1 贵州大学资源与环境工程学院，贵州贵阳 550025; 2 贵州省地质环境监测院，贵州贵阳 550081 ; 3 贵州省地质矿产

勘查开发局 111 地质大队，贵州贵阳 550081 ; 4 贵州地质工程勘察设计研究院，贵州贵阳 550081)

【摘要】：滑坡作为一种最常见的地质灾害，对于人们生命财产安全造成了巨大的威胁，研究滑坡的破坏模式有利于对滑坡进行有效的预防和治理。牛栏溪滑坡于 2014 年 6 月发生连续强降雨造成坡体开裂及部分滑塌，滑体规模较大，组成物质成分复杂，因此具有较高的研究价值。本文主要通过大型三维数值模拟分析软件模拟坡体破坏过程中应力应变情况，从而建立一个滑坡破坏模型，以此来解释滑坡的变形破坏。

【关键词】：滑坡，破坏，机制，数值模拟，思南牛栏溪

【中图分类号】：P642.22 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1003-6563(2019)06-0074-04

引言

贵州思南县牛栏溪滑坡于 2014 年 6 月由于连续强降雨导致坡体多处发生开裂，局部下错，形成陡坎，最高达 2m，目前坡体处于稳定状态，但受外部环境影响仍有滑动可能。该滑坡堤上目前居住 600 多人，研究该滑坡的破坏模式对于滑坡防治及治理具有重大意义。

本文主要通过建立三维地质模型，从而利用大型数值分析软件 FLAC3D 进行数值模拟，模拟该滑坡的应力状态及其稳定性，明确该滑坡目前的变形破坏机制及以后的发展状况，为滑坡的防治提供一定的理论及技术支撑。

1 工程地质条件

1.1 地形地貌及地层岩性

¹收稿日期：2019-06-27 ; 修回日期：2019-06-27

基金项目：贵州省科技计划（社会攻关计划）项目（黔科合（2016）支撑 2843）。

作者简介：程鹏翔（1993-），男，硕士研究生，研究方向为地质灾害治理与评价。

▲通讯作者：李宗发（1963-），男，贵州松桃人，工程技术应用研究员，贵州大学硕士生导师，主要从事矿产地质、基础地质、水工环地质调（勘）查及地质灾害防治与研究，以及技术质量管理工作。

滑坡区位于龙底江的左岸陡斜坡地段，地貌类型为河谷岸坡，地形为低山。总体上呈西高东低之势，坡向为 89° ，自然坡度角为 $20^\circ \sim 35^\circ$ ，高差大于 250m。坡面上多为耕地、水田及民房等，斜坡上分布多级高度 1.40~20.00m 的陡坎，植被发育一般，以灌木为主。

滑坡区分布地层有第四系耕植土层、残坡积层和奥陶系下统湄潭组，现分述如下：

(一) 第四系 (Q^{pd}) 耕植土层

黑褐色，含植物根系，结构松散，稍湿，分布较广，钻孔揭露厚度约 0~0.80m。

(二) 第四系残坡积层 (Q^{el+dl})

碎石土，褐黄色—棕黄色，斜坡大面积分布，厚薄不均，其结构疏松，孔隙度大，透水性强，力学强度低，钻孔揭露厚度 0~3.50m。

(三) 奥陶系下统湄潭组 (O_1m)

灰黑色—灰黄色泥、页岩，薄—中厚层状，岩质较软，抗风化能力差，遇水易软化、易崩解，钻孔揭露厚度 0.50~8.10m；强风化层中有泥化夹层。

灰色—深灰色泥质灰岩，薄—中厚层状，钻孔揭露厚度 3.40~12.00m。在滑坡后缘、侧缘及切坡处局部可见露头。

1.2 地质构造

滑坡区大地构造位置位于扬子准地台之黔北台隆、遵义断拱、凤冈北东向构造变形区，褶皱发育，性质不明断层从滑坡前缘经过，受区域地质构造影响，岩石产状变化较大，产状 $86^\circ \sim 158^\circ \angle 5^\circ \sim 46^\circ$ ，综合产状 $124^\circ \angle 16^\circ$ 。受构造及风化作用影响，岩体节理裂隙较发育，浅表层岩体破碎，完整性较差。

1.3 水文及气候条件

滑坡区属于长江流域乌江水系一级支流龙底江。受河流切割的影响，斜坡上树枝状的季节性冲沟较发育，水量随季节变化较大。龙底江位于滑坡区所在斜坡坡脚，距离潜在的滑坡前缘距离较远，故本文不考虑龙底江对滑坡的影响。

区内主要由赋存于湄潭组地层中的基岩裂隙水和上部松散碎石土中的松散孔隙水两种地下水。区内年降雨量 1155.2 mm，降雨多集中在 5—9 月，年最大降雨量为 1765.5 mm，历年一小时最大降雨量为 87.1 mm，历年日最大降雨量为 204 mm，降水较为丰富。

1.4 人类活动

该区域内人类主要活动为耕地及建房修路切坡，导致多级陡坎，对环境的影响较大。

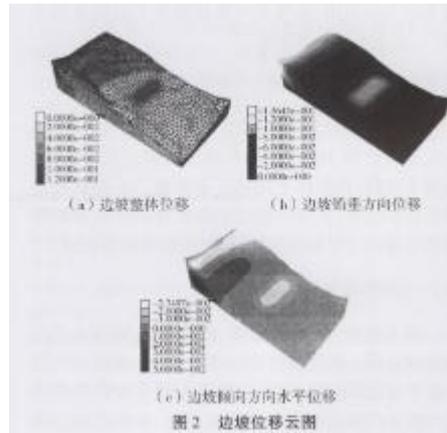
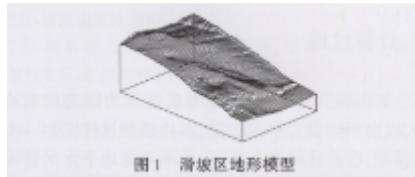
1.5 不良地质现象

区内地形复杂，起伏大，坡度陡，地质环境脆弱，陡斜坡地段时常发生滑塌，由于坡度大，坡面物质稳定性较差，有地裂缝、滑塌不良地质现象发育。

2 模型建立

2.1 建模方法

本次建模先通过滑坡区地形图利用 AUTOCAD 建立三维地形模型（图 1），然后利用相关的剖面及钻孔资料建立地层模型，将建立好的模型导入 AN-SYS 划分单元格以便进行下一步的数值计算^[1]，网格模型如图 2，最后导入 FLAC3D 进行计算。



2.2 模型信息

该模型通过 ANSYS 划分单元格，共有 6251 个节点，6564 个单元格；该模型是截取滑体主要部分进行建模，主要研究该滑体的稳定性及可能的破坏机制。

2.3 参数选取

本文所有岩土体物理力学参数选取如表 1 所示，部分数据取自经验值^[2]。

表 1 岩土体物理力学参数

土层名称	压缩模量 /MPa	泊松比	内摩擦角 /°	粘聚力 /kPa	天然容重/ (kN/m ³)
碎石土	5.72	0.35	7.15	27.69	17.96
强风化泥岩	8.2	0.33	7.2	12	18.83
中风化泥岩	17.3	0.25	25	63	24.22

3 计算过程

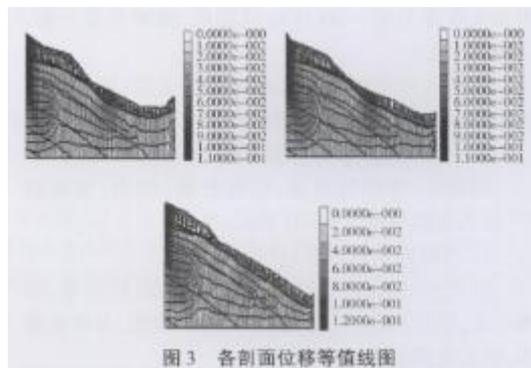
坡面设为自由边界，模型底部设为固定约束边界，模型四周设为单向边界，本构模型选择摩尔-库伦模型，在前述约束条件下，在不考虑地下水的情况下进行求解，生成初始应力场。计算过程中不考虑构造应力的作用，在摩尔-库伦模型下的弹性求解^[3]，直至系统达到平衡。

3.1 计算结果分析

设定体系最大不平衡力与典型内力比值为 10~5，迭代计算 3620 时步时，系统达到近似平衡^[4]。为便于分析，在坡体上切出 3 个剖面。下面就数值分析计算结果，从变形情况和应力情况定性分析滑坡岩土体的力学响应特性，以及可能的破坏机理。

3.2 位移场规律分析

图 3 分别为边坡的整体、铅垂方向、倾向水平方向位移云图。从整体位移云图来看，位移较大的部分集中在边坡后部；图 3 可以看出铅垂方向位移云图与整体位移云图相似且数值相近，表明边坡后部的位移以沉降模式为主。大部分区域没有发生位移或位移量很小，各位移等值线图形态表现为在边坡上部呈半封闭状，不与坡面相交，且等值线拐点与坡面距离较远，在下部则位移很小，这表明边坡不会发生圆弧形破坏，而是边坡后缘可能发生局部变形破坏^[5]。



3.3 应力场规律分析

从边坡各方向应力云图（图 4）来看，边坡后缘中间局部出现小范围拉应力区，其它所有区域基本上以压应力为主，即边坡若发生破坏，以压-剪破坏模式为主^[6]。受自重应力坡体应力成由上到下逐渐递增状态，坡体内部无应力集中现象。结合切应变分布图可知坡体不会发生整体剪切破坏^[7]。

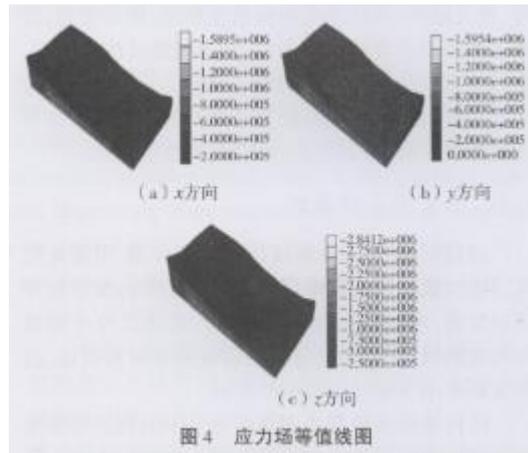


图4 应力场等值线图

4 滑坡破坏机制分析

由以上模拟结果来看，滑坡前缘位移较小，滑坡后缘位移较大且后缘存在拉应力区，由此说明该滑坡由后缘向前缘发展，即该滑坡破坏模式为推移式破坏^[8]，且在滑坡中上部两侧存在小范围的剪应力区，而滑坡下部无明显变形及应力集中现象，说明滑坡体下部较稳定，而中上部处在蠕滑阶段^[7]。这也与滑坡现场中上部存在大量裂缝而下部裂缝较少的现象吻合，从而证明该滑坡的破坏形式为推移式滑坡。

另一方面，从地形上来看，滑坡中下部地形较平坦，且存在大量植被及耕地，此处为一古滑坡堆积体，从动力学角度来看，该部分堆积体此时应该处于稳定状态，如果不受外界扰动，该部分将一直保持稳定状态。

从静力学角度来看，滑坡下部的古滑坡堆积体位于该滑坡滑体之上，其下部强风化泥页岩与中风化泥页岩分界线为该滑坡潜在滑动面。该滑坡在2014年6月曾因持续性强降雨造成局部滑塌，后缘出现拉裂缝，滑坡体中上部出现大量裂缝和错落陡坎。因此，降雨成为该滑坡发生的诱因。即降雨过程中，雨水下渗，软化了滑带土，降低了滑带土力学性质，导致本来就在滑坡后缘存在的拉应力区应力更加集中，从而造成后缘的拉裂缝，坡体中上部由于位移的不均匀导致出现大量的拉张裂缝^[9-10]。如果按照这样的状态一直发展下去，滑坡体的潜在滑动面将会逐渐贯通，不光会造成滑坡的发生，而且会引起下部古滑坡堆积体的复活，从而造成更大规模的滑坡。

5 结论

- 1) 该滑坡在自然状态下后缘存在局部的拉应力区，前缘几乎没有位移及应力集中现象，由此证明该滑坡的破坏模式为推移式滑坡；
- 2) 该滑坡下部存在古滑坡堆积体且目前处于稳定状态，只要不受到人为开挖或者其他扰动，该古滑坡堆积体不会滑动；
- 3) 持续性降雨是该滑坡发生的诱因，在降雨过程中，潜在滑动面从后向前发展，导致滑坡后缘拉裂，且滑坡中上部存在大量拉裂缝，而滑坡前缘由于不能存在应力集中及位移较小^[11]，所以裂缝较少。
- 4) 该滑坡潜在滑动面的扩展会导致滑坡的发生以及滑坡下部的古滑坡堆积体的复活，从而造成大规模滑坡的发生，由于斜坡坡脚是龙底河，所以滑坡堆积体可能会堵塞河道，形成堰塞湖而造成更大的经济损失和人员伤亡，所以需要对其进行及时的治理。

参考文献【REFERENCES】

- [1]隆松柏, 何涛, 梁前勇, 等. 基于 ANSYS Workbench 的高精度自动化三维地质建模方法——以天然气水合物相关的 Slipstream 海底滑坡为例[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2018, 54(5) :994-1002.
- [2]常士骝, 张苏民. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3]邓恩松. 基于 FLAC3D 数值模拟的伊犁野杏林黄土滑坡稳定性分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2018.
- [4]宋登艳, 张茂省, 慕焕东, 等. 焦家崖头北部 13 号滑坡变形破坏演化机制[J]. 地质通报, 2018, 37(7) : 1360-1364.
- [5]王振. 基于位移分析的滑坡渐进破坏模型研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- [6]张倬元, 王士天, 王兰生, 等. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
- [7]陈祖煜. 土质边坡稳定性分析:原理·方法·程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [8]刘浩, 裴向军, 钟传贵, 等. 平推式滑坡多期拉裂变形特征及演化机制研究[J]. 水电能源科学, 2017, 35(10) :137-152.
- [9]曾铃. 降雨条件下边坡渗流特性及稳定性研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011.
- [10]张沫. 基于 FLAC3D 数值分析方法的反倾层状斜坡地震动力响应特征研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [11]唐东旗, 姚秀芳, 彭建兵, 等. 黄土坡体节理发育特征和空间分区与边坡稳定性[J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(3) :86-90.