

强降雨作用下川西地区大型露天矿坑 古滑坡复活特性

潘明慧¹, 王其光¹, 江山¹, 左良栋^{2,3,4}

(1. 中电建重庆勘测设计研究院有限公司, 重庆 401100; 2. 上海交通大学航空航天学院, 上海 200240;
3. 上海交通大学重庆临近空间创新研发中心, 重庆 401120; 4. 重庆建筑科技职业学院建筑工程学院, 重庆 401331)

摘要: 川西地区地处青藏高原与四川盆地的过渡地带, 地质活动频繁, 加之区域内的河流、冰川、降雨等复杂因素的叠加作用, 导致诸多古滑坡体群的存在。露天矿的开采是一个持续时间很长的人类活动, 不仅会改变原有区域内的地貌特征, 更有可能诱发古滑坡体的复活。强降雨是引发地质灾害的重要诱因之一, 以其作为主要诱因, 结合相关监测数据, 分析川西地区大型露天矿坑古滑坡变形诱发因素类型, 得到古滑坡变形与降雨的响应关系, 建立有限元计算模型, 计算分析强降雨作用下古滑坡的渗流特性, 变形特征, 稳定性变化规律, 并揭示此类古滑坡的复活机制。研究成果对加深对川西地区大型露天矿坑古滑坡的认识有参考价值, 并对完成有关滑坡的治理和降雨作用下的灾害预防具有重要意义。

关键词: 强降雨; 川西地区; 露天矿坑; 古滑坡; 复活机制

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)22-0272-08

川西地区位于青藏高原的东南缘是青藏高原与华南块体的边界带, 该区构造变形和地震活动十分强烈, 青藏高原向东侧向挤出, 从而使川滇菱形活动块体发生了向南东向的总体运动和顺时针旋转, 因此在其边界断裂上必然导致一系列的构造变形^[1], 形成了大量的古滑坡体群。川西地区也是我国矿产资源的聚集地。以凉山州为例, 铜保有储量为 38.53 万 t, 占四川总量的 70%, 铅锌矿保有储量为 381.84 万 t, 占四川总量的 60%, 均为四川省储量第一。但是, 矿产资源开采, 也会对周边地质环境造成破坏, 并有可能诱发古滑坡复活等灾害^[2]。

古滑坡的复活通常是一个与地貌、气候变化和人类活动等多重因素相关的复杂过程^[3]。目前, 关于古滑坡的研究主要可以分为几个方面: 古滑坡体的物理力学特性^[4], 古滑坡体的复活特性^[5-6], 古滑坡体演变的影响因素^[7], 古滑坡体复活的预测预警^[8-9], 等等。针对大型露天矿坑古滑坡复活特性这一具有特殊问题的研究, 目前可查的成果还很少。在强降雨、矿产开采、河流侵蚀等作用下, 部分古滑

坡可能会出现复活, 从而对川西地区人们生产生活的安全构成严重威胁, 是值得业界关注的问题之一。

以重钢矿业西昌矿南采区滑坡体为研究对象, 拟以 2019—2023 年的该地区降雨数据为输入条件, 计算得到古滑坡的渗流场和位移场, 并开展不同降雨强度、降雨持续时间的古滑坡体稳定性变化分析, 进一步模拟了滑坡体运动趋势和可能的影响范围, 得到强降雨影响下古滑坡复活特性。

1 区域地质背景

重钢矿业西昌矿南采区滑坡地处凉山彝族自治州, 该州位于四川省西南部, 地势西北高, 东南低, 北部高, 南部低。地处杨子古陆块西缘, 川滇构造带南段, 境内构造发育, 主要构造体系有安宁河构造带、小江构造带、青藏川“歹”字形构造带、玉树-甘孜构造带、龙门山构造带、雷波-马边构造带。地处我国南北地震带中段, 是构造地震活动强烈地区之一^[10]。

四川省是我国地灾的高发区, 全省有 10 万处各类地质灾害^[11], 而凉山州又是四川省内地灾的“重灾区”。据统计, 截至 2022 年的数据^[12], 川西地区共发

收稿日期: 2024-06-11

基金项目: 中电建华东勘测设计研究院科技项目 (HDEC-KJ-2022-CQ01); 重庆市教委科学技术研究计划项目 (KJZD-K202305201); 重庆市交通科技项目 (CQJT-ZCXM2023-12)

作者简介: 潘明慧 (1983—), 男, 山东烟台人, 高级工程师, 研究方向为交通工程设计; 王其光 (1986—), 男, 重庆人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为建筑设计; 江山 (1981—), 男, 四川南充人, 硕士, 工程师, 研究方向为景观设计; 通信作者左良栋 (1983—), 男, 山东德州人, 博士 (后), 助理研究员, 研究方向为水工结构健康监测。

育地质灾害 16 411 处,其中,凉山州地质灾害总数超过 4 000 处,滑坡有 2 674 处,占比为 66.9%。

根据 2006—2020 年地质灾害灾情资料,凉山州共发生 46 起因灾伤亡的地质灾害,其中滑坡 9 起。梳理分析凉山州发生的重大突发地质灾害数据,总结提炼了凉山州 7 种地质灾害主要致灾类型,分别是红层滑坡、复活型古滑坡、库岸型滑坡、含煤层型滑坡、矿渣型泥石流、火后型泥石流、链式灾害^[2]。如图 1 所示。

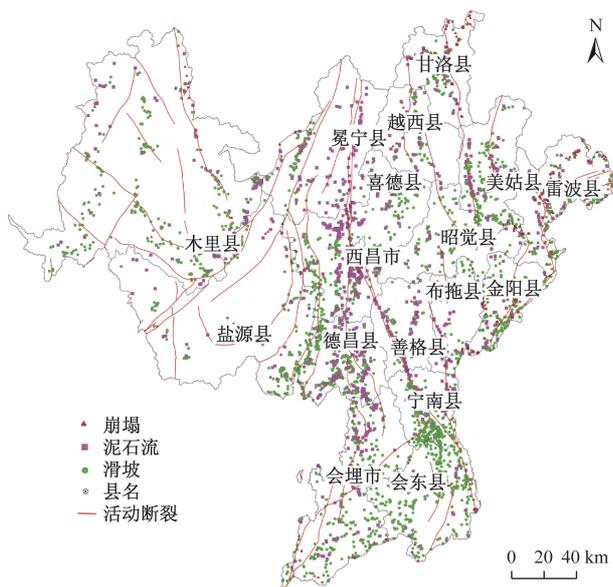
2 古滑坡体发育特征

2.1 古滑坡体概况

重钢矿业西昌矿位于四川省西昌市太和镇,南采区分三期开采,目前形成边坡最大高度为 432 m (1 542~1 974 m),最高标高为 1 974 m,已开采至 1 854 台阶,边坡高度为 120 m。

2022 年 4 月底常规检查发现南采区场外开拓道路上方多处裂缝,呈羽状分布,至 6 月发展成为裂缝延伸长度约为 1 km,裂缝宽为 10~20 cm,裂缝最深处约为 0.5 m 以上,整条裂缝基本连接贯穿,局部沉降为 50 cm。

古滑坡体位于露天采场南坡,微地貌类型为陡坡-缓坡-阶梯状斜坡地貌,坡顶西高东低,高程分布在 1 951.0~2 108.0 m,前缘裂缝延伸至采区为 1 602.0 m 平台,最大高差为 506.0 m。根据地貌特征将古滑坡体大致划分为 3 个区域,由上至下:1# 区域为自然斜坡,坡脚以滑坡右边界为界,高程分布在 1 720.0~1 850.0 m,最大高差为 254 m,地



基于审图号为 GS(2019)3333 号标准地图制作,底图无修改

图 1 凉山州地质灾害分布^[2]

形整体为单面斜坡,地形坡度为 29°~34°;2# 区为滑坡区,分布高程 1 625~1 850.0 m,地貌类型为缓坡-阶梯状斜坡;3# 区主要为揭露的基岩区,分布高程为 1 602~1 819 m,最大高差为 205 m,受采矿剥采改造微地貌类型呈台阶状,共计 19 个台阶,台阶高约为 12 m,平台宽为 3~10 m,斜坡整体坡向为 168°。如图 2 所示。

2.2 古滑坡体地层岩性

古滑坡体位于扬子准地台西缘,“康滇地轴”中段,区域地层(地轴中段和矿区毗邻区域)缺失奥陶系-石炭系地层外,从中元古界前震旦系会理群到新生界第四系都有出露。

岩浆活动与地质构造密切相关,海西早期,以似层状的基性—超基性岩体为代表,形成太和钒钛磁铁矿。都分布在安宁河断裂之西。西昌附近的燕山期花岗岩包围在太和含矿基性超基性岩体周围。

冰碛层是岩土混合的特殊性土,是采场边坡勘察与稳定性研究的重点之一。按岩性及岩体结构类型划分,属松散类岩土组,构成的边坡属土质类



(a) 露天采场周边区域地形地貌



(b) 露天采场周边区古滑坡地貌

图 2 古边坡体区域地形地貌

边坡。第四系中上更新统冰碛土呈褐黄色、浅黄色、褐紫色,其成分由粉质黏土或含(漂)砾粉质黏土、(漂)砾夹粉质黏土及漂石、砾石等构成,以可塑、硬塑、中密三种状态交错出现。辉绿岩($\beta\mu$)岩组为浅灰绿色,斑状结构,岩石松软,呈砂土状。辉绿岩受强风化和绿泥石化蚀变地质作用影响,呈散体结构。辉长岩(ν)岩组呈灰白-浅灰绿色,斑状结构,中粒-细粒结构,以坚硬-半坚硬类岩石为主,局部受强风化或绿泥石化蚀变影响,其岩石的强度较低,属半坚硬-软弱类岩石。磁铁矿(Fe)岩组其岩体结构类型为碎裂结构,属坚硬类岩石。

2.3 区域人类活动

据现场调查,古滑坡体所在区域人类工程经济活动强烈,主要表现为矿山露天开采和附近区域的其他工程施工。随着采矿活动的进行,露天采场进行大面积表土剥离和矿体开采活动,对地形地貌景观产生严重影响。

随着矿山开采的深入,开采后形成的露天采场会对矿山原有地形地貌的改变将进一步加大,造成山体破损、岩石裸露和植被破坏的情况将进一步加剧,对地形地貌改造的影响和破坏将更加严重;采矿活动形成的超高边坡,具较好的临空条件,对古滑坡体稳定性影响较大,为滑坡灾害的产生提供了有利的地形条件。

3 古滑坡体复活监测及初步分析

古滑坡体所在的南采场上部平台(基岩以上土体)是经多次滑坡搬运堆积而成,其物理力学性质较差,低于原生冰碛土。自南采区开采以来,发生多次局部滑坡。

2015年初,南采场中部边坡古滑体局部出现滑移,经削坡减载治理后趋稳,削坡已超出采矿权圈定范围(已扫草种树复绿)。2020年南采区南东区域开采至1 650 m标高附近时,出现局部滑移,滑坡剪出口位于1 650 m标高附近,滑面后缘裂缝顶部高程1 698 m,滑坡面位于土岩基覆交界面附近,滑坡方向北偏东,钻探显示滑面存在20~40 cm的断层泥,疑似古滑面。滑坡出现后,采取削坡减载方式进行了治理,滑坡基本稳定。2021年初,当南二期开采至1 686 m台阶时,中部区域发现疑似古滑面,滑面处于土岩基覆交界面附近,近似平行于岩土交界面,与南东区域的古滑面连成一个整体,2021年雨季后开采至1 626 m台阶时,从上部基覆界面观察出现轻微滑移,但顶部平台及台阶未发现裂缝。2021年7月安装地表位移实时在线监测,监测

结果表明滑坡向东位移,滑坡东部前缘受到阻挡向北偏移。2022年4月底常规检查发现南采区场外开拓道路上方多处裂缝,呈羽状分布,至6月发展成为裂缝延伸长度约为1 km,裂缝宽为10~20 cm,裂缝最深处0.5 m以上,整条裂缝基本连接贯穿,局部沉降为50 cm。

该古滑坡体位于重钢矿业西昌矿坑上部,受到底部开采导致坡脚削弱,加之降雨等多重诱因,诱发古滑坡体复活的主要因素为:①下部矿坑的持续开挖,导致古滑坡体坡脚处应力释放,从而带来了上部土体的蠕动,属于牵引式滑坡;②由于古滑坡体的蠕动,导致其上部出现大量裂缝,在强降雨的作用下,从裂缝中向坡体内渗入大量雨水,增大了坡体内的渗透力,并对潜在滑动面起到软化的作用,加速坡体的蠕动;③下部矿坑开挖,改变了区域内的地表径流体系,导致了部分区域出现水流拥堵,排水能力减弱,坡脚遭到长时浸润软化和流水冲蚀,加速了上部拉裂缝的发育。如图3所示。

4 古滑坡体监测分析

深部位移监测在滑坡监测中占着举足轻重的



(a) 古滑坡坡脚处开裂



(b) 古滑坡体坡面裂缝

图3 古边坡体区域地形地貌

作用,根据钻孔的监测数据可以获取岩土体内部的位移信息,基于位移信息可以进一步得到滑坡的滑动量、滑动速度以及滑动面的位置信息等,且和地表变形监测、应力监测等构成了滑坡的预警体系。

根据对古滑坡体的整体结构分析,结合前期踏勘结论,对古滑坡体的潜在滑动面进行预估。采用滑动式测斜仪对深部位移的监测(图 4)。

通过对南帮地表位移监测数据的分析,从位移发展的影响因子来看,位于滑坡体内的三个监测点[南 1-1(A)、南 1-2(B)、南 2-1(C)]地表位移明显受降雨影响,其位移发展与累计降雨量密切相关。

通过深部位移监测、地表位移监测、钻探资料及地面调查分析,该滑坡是古滑坡体复活,滑坡中上部还是沿着原有来的滑动方向向下运动(向东),在下部时受抗滑体阻挡逐渐偏向采场内(向北)。综合判断,目前滑坡体处于蠕滑阶段,说明该古滑

坡体处于复活阶段。

通过图 5 的关系曲线可见,累计降雨量与古滑坡体的累计位移量呈同向发展趋势,随着降雨量累计值达到 710 mm 后,其增速逐渐放缓,这与当地的气候有关,但是古滑坡体的累计位移量却呈现继续增大的趋势,说明降雨量达到一定量后,其诱发了古滑坡体内部的潜在滑动机制,强降雨是诱发古滑坡体蠕动和复活的关键诱因之一。

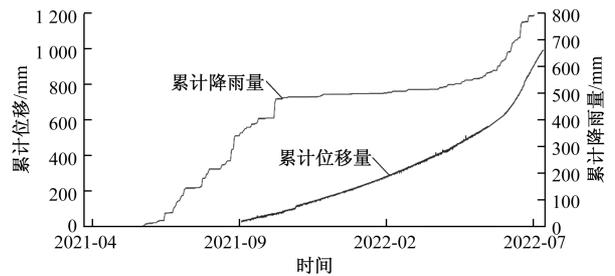
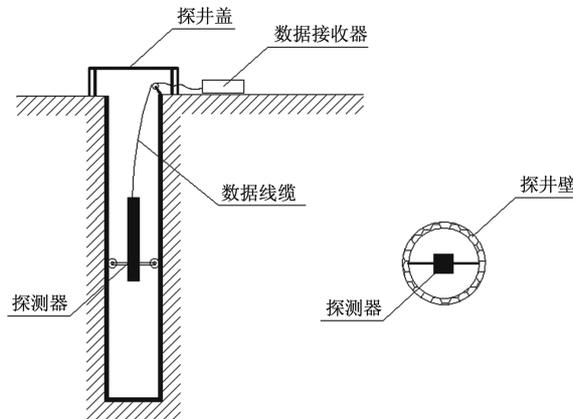
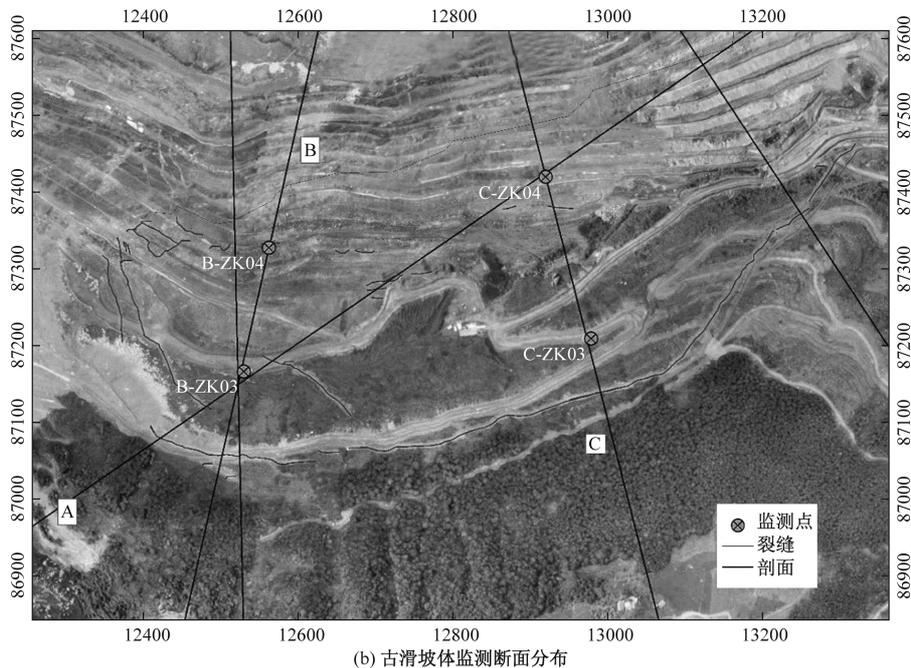


图 5 南 1-1 点降雨与位移关系曲线



(a) 监测点位测量方案大样



(b) 古滑坡体监测断面分布

图 4 古边坡体监测探坑结构及分布

根据对监测数据的分析,从位移速率时间序列来看,雨季位移增量明显较非雨季大,古滑坡体内的监测点地表位移明显受降雨影响,其位移发展与累计降雨量密切相关。累计位移及变形速率随降雨量增呈正相关,旱季增量稳定,说明该古滑坡体处在蠕滑变形阶段,有复活的可能。

5 古滑坡体复活机制计算

利用 FLAC3D 软件建立古滑坡地质模型,计算分析该古滑坡的渗流、位移场并模拟滑坡不同工况下的稳定性,从而得到强降雨作用下古滑坡体复活机制。

5.1 计算参数选取

经过现场工程地质调查和测绘、钻探、原位测试以及室内试验,结合场地边坡工程地质条件及地方经验,场地滑带土采用综合值。本工程滑坡岩土体物理力学参数取值如表 1 所示。

5.2 降雨工况拟定

以皮尔逊-III 型模型来计算研究区不同重现期下的降雨强度,其函数表示为

$$P = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - \xi)^{(\alpha-1)} e^{[-\beta(x-\xi)]} \quad (1)$$

式中: α 为形状参数, $\alpha = \frac{4}{C_s^2}$; β 为尺度参数, $\beta =$

$\frac{2}{\bar{X} C_v C_s}$; ξ 为形状参数, $\xi = \bar{X} \left(1 - \frac{2 C_v}{C_s}\right)$; \bar{X} 、 C_v 、 C_s 分别为降雨频数的均值、变差系数、偏态系数。

按照历年最大日降雨量数据计算在频数为 0.1、0.05、0.02 处即为 10 年、20 年、50 年一遇的降雨雨强,选取 1971—2021 年西昌市最大日降雨量进行降雨重现期的计算,10 年、20 年、50 年一遇的降雨雨强分别为 124.5 mm、151.1 mm、191.9 mm。

5.3 数值计算模型

以 FLAC3D 软件为计算平台,建立古滑坡体的三维实体单元模型,如图 6 所示。

5.4 计算结果分析

按照给定的降雨条件,计算得到的古滑坡体三维数值分析结果,结合图 7 中给出的 C、F 剖面最大剪应变云图,可以看到古滑坡前部边坡区坡体内,在两个剖面处均形成了弧状最大剪应变区。对比图 2 中给出古滑坡体顶部现场调查的情况,可以看到 C、F 剖面处确实是出现了不同程度的横向裂缝,这也印证了本计算模型结果与现场实际情况的一致性,由此,可以初步判定,降雨条件是诱发该滑坡体出现蠕动的主要因素。

依据数值分析确定的最不利滑面,采用反演方

表 1 古滑坡土体物理力学参数

位置	重度/(kN·m ⁻³)		天然状态		饱和状态	
	天然	饱和	内聚力 C/kPa	内摩擦角 φ (°)	内聚力 C/kPa	内摩擦角 φ (°)
滑体冰碛粉质黏土	21.2	21.7	35	21.3	24.9	19.4
滑体静水沉积土粉质黏土	21.0	—	33.0	21.0		
滑带土(粉质黏土)	—	—	43.48	11.12	40	10.25

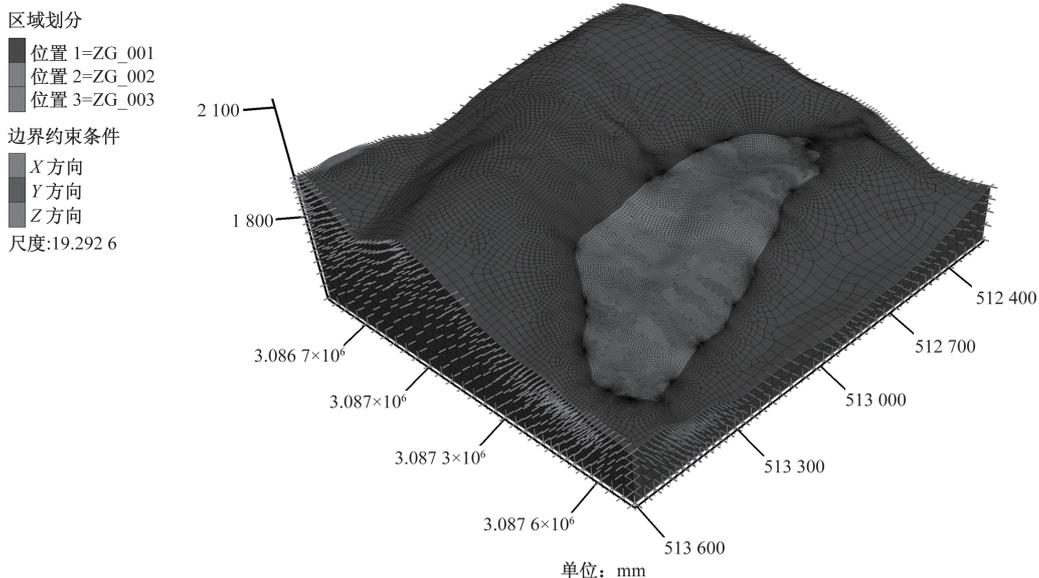


图 6 古滑坡体三维计算模型

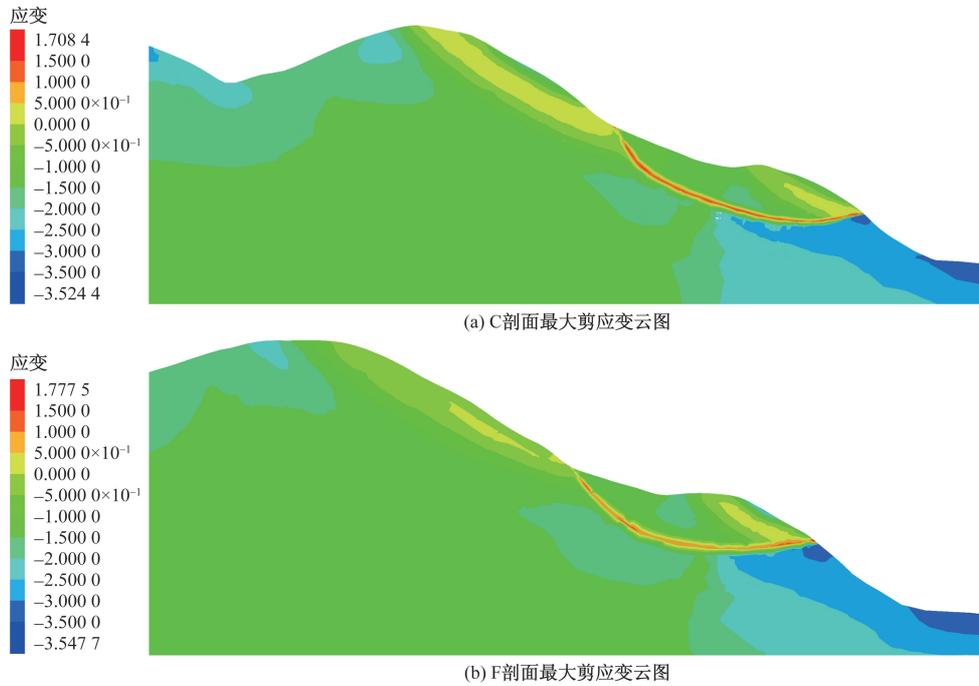


图7 古滑坡体三维计算模型

式计算古滑坡前部潜在变形区土体的抗剪强度。根据目前滑坡前部变形情况暴雨工况下 F 剖面取 $K=1.05$ 进行反算确定 C, ϕ 值, 计算模型如图 8 所示, 反算模型潜在滑面与下部滑面交汇段取下部滑面抗剪强度。

针对滑坡区前部现状, 通过试算, 得出暴雨工况下土体抗剪强度 $C=30 \text{ kPa}, \phi=22.6^\circ$ 。将其带入 C 剖面进行暴雨工况稳定性计算, 得出 $K_F=1.106$, 即在暴雨工况下 C 剖面为基本稳定状态, 与现场实际调查结果一致。

由饱和状态剪切强度, 可推导出天然状态下土体抗剪强度为 $C=32.6 \text{ kPa}, \phi=24.3^\circ$ 。将值带入 F 剖面进行天然工况稳定性计算, 得出 $K_F=1.150$, 即在天然工况下 F 剖面为稳定与基本稳定临界状态, 与现场实际调查结果一致。C 剖面天然工况稳定性 $K_F=1.210$, 处于稳定状态, 与现场实际情况符合。

根据前述计算方法及潜在滑面选取原则, 对 C、F 两个剖面进行稳定性计算。计算结果如表 2 所示。

根据表 2 的计算结果可知, 古滑坡前部主滑剖面稳定性计算结果的两个剖面呈现不同的状态, 其中: C 剖面在天然工况下处于稳定状态, 暴雨工况下处于基本稳定状态; F 剖面在天然工况下处于基本稳定状态, 暴雨工况下处于基本稳定~欠稳定临界状态。

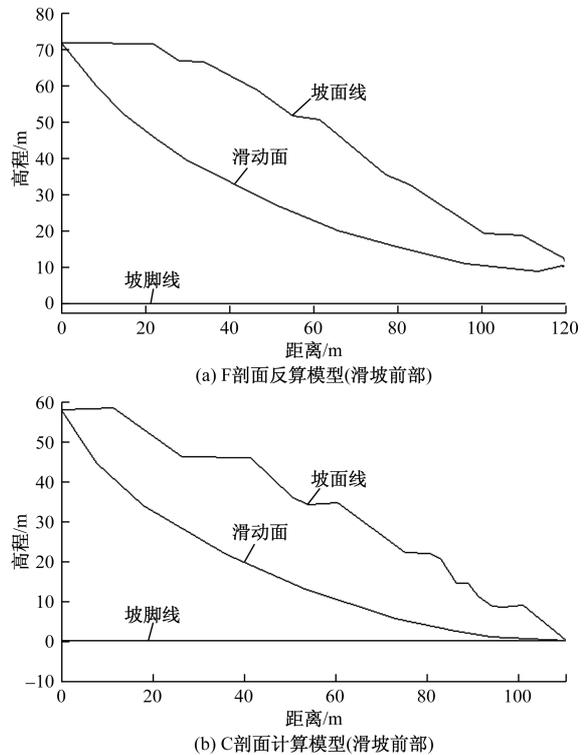


图8 古滑坡体抗剪强度反演模型

5.5 古滑坡体复活机制

大型露天矿坑古滑坡的地形呈现上陡下缓态势, 下部具有良好的临空条件; 坡体的土质主要以粉质黏土夹碎石为主, 结构较为松散; 加之滑坡地处安宁河谷地震带, 频繁受到地震影响; 下部矿坑的持续开挖, 进一步加剧了临空面的高度, 形成对

表2 古滑坡前部边坡区稳定性

剖面	稳定系数						剩余下滑力		
	天然工况	稳定判定	暴雨工况	稳定判定	地震工况	稳定判定	天然工况	暴雨工况	地震工况
C	1.210	稳定	1.106	基本稳定	1.123	基本稳定	1 248.092	2 085.695	389.893
F	1.150	基本稳定	1.051	基本稳定-欠稳定	1.069	基本稳定	2 295.693	3 185.106	1 304.948

古滑坡的牵引作用力。因此,该类型的古滑坡本身的结构特征及自然地理原因具备滑动条件,在外界因素的综合作用下能够有复活的可能。

强降雨是滑坡复活的持续性诱因。由于长期的降雨和冲刷,导致滑坡体坡脚处土体的物理力学参数降低,不断软化。季节性的强降雨,导致坡体内部含水量激增,孔隙水压力增大,形成一个向下的水压力,从而加剧滑坡体的滑动失稳。降雨的渗透,还会对滑坡体内的潜在滑动面起到润滑的作用,从而导致古滑坡体沿着滑动面发生位移。

矿坑的开挖是导致古滑坡体复活的直接诱因。由于矿坑的持续开挖,加之新开挖面相对陡峭,且没有进行结构性支撑,从而破坏了古滑坡原有的力学平衡,底部的卸荷,使得滑坡体坡脚的支撑降低,高临空面的横向土压力对滑坡体形成牵引作用,是诱发古滑坡体复活的直接原因。

区域内的地震加速了古滑坡的复活。由于该古滑坡体位于西昌市,该地区处于安宁河谷断裂带,是地壳活动频发的区域,每年都有大量各级地震出现,这些动荷载的作用,导致古滑坡体内的结构不断松动,并加速其发生失稳破坏。

5 结论

(1)在强降雨影响下古滑坡体后缘首先发生变形,滑坡前部发生变形,变形范围由滑体前后两侧向中部逐渐贯通,由局部变形转为整体变形,随降雨量的增加和时间的加长,坡体变形范围及变形程度都有所增加,变形由坡体表面向深部扩展。在滑坡中部应力集中出现较大的变形情况,滑坡最下部由于前缘的阻滑作用变形不明显。

(2)经过计算,该古滑坡体次级滑带稳定系数为1.098,主滑带稳定系数为1.315。次级滑带是滑坡的最危险滑动带。在实际工况下滑坡稳定系数的变化与降雨量和持续时间呈正相关,其变化趋势主要受制于坡体内外水头差引起的孔隙水压力的变化情况。

(3)降雨入渗导致古滑坡坡体内部孔隙水压增加,降雨强度越大,坡体的稳定性减小的越快。计算中,分别施加10年一遇、50年一遇降雨条件下,

滑坡最终稳定系数为1.038、1.056。密集的持续降雨对坡体失稳的作用甚至大于暴雨情况,持续降雨条件下滑坡最终稳定系数仅为1.017。

(4)大型露天矿坑古滑坡的复活因素可以分为内因和外因两个方面,其中内因包括滑坡体的地形地貌、坡体结构、地层岩性、堆积物质等,这是诱发古滑坡的先天性因素;外因主要包括矿坑开挖、降雨、地震、其他人类工程扰动等,这是诱发古滑坡复活的外部因素。经分析,此类滑坡复活的两大主要诱因是持续性的强降雨和矿坑开挖的缺乏支护。

参考文献

- [1] 程建武. 川西安宁河断裂带晚第四纪地层地貌序列和构造活动性研究[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2010.
- [2] 徐伟, 郑玄, 欧文, 等. 四川凉山州地质灾害灾情特征与主要致灾类型[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 35(3): 1-12.
- [3] 李佑军, 张红日, 朱真, 等. 切割作用下牵引式古滑坡复活机理: 以国道 S206 古滑坡为例[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(35): 15002-15009.
- [4] 赵海松, 向波, 邵江, 等. 青岗古滑坡体前缘开挖后局部复活特征及防治[J]. 科技和产业, 2023, 23(16): 263-268.
- [5] 邓立雄, 徐世光, 郑庭, 等. 永善县城古滑坡复活变形特征及稳定性分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(6): 2308-2316.
- [6] 张钟远, 徐世光, 邓明国, 等. 基于 SBAS-InSAR 技术的木场古滑坡变形特征分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(4): 1414-1423.
- [7] 张亚楠, 郭长宝, 杨志华, 等. 基于 SBAS-InSAR 的金沙江上游探戈古滑坡变形特征与影响因素分析[J]. 工程地质学报, 2024, 35(4): 25-35.
- [8] 宋国虎, 杨桢贤, 郭朝旭, 等. 成都五家坟滑坡变形破坏特征和复活机制分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(2): 496-503.
- [9] 岳磊, 刘昌义, 丛晓明, 等. 基于 InSAR 技术的夏藏滩滑坡区地表变形监测与分析[J]. 水文地质工程地质, 2024, 51(3): 158-170.
- [10] 王世元, 王竞, 李福鹏, 等. 川西理塘-义敦断裂带普湖段第四纪晚期滑动速率与古地震序列[J]. 地质力学学报, 2024, 30(2): 275-288.
- [11] 铁永波, 葛华, 高延超, 等. 二十世纪以来西南地区地质灾害研究历程与展望[J]. 沉积与特提斯地质, 2022,

Revival Characteristics of Ancient Landslide in Large Open Pit in Western Sichuan under Heavy Rainfall

PAN Minghui¹, WANG Qiguang¹, JIANG Shan¹, ZUO Liangdong^{2,3,4}

(1. Chongqing Engineering Corporation Limited of Power China, Chongqing 401100, China;

2. Institute of Aeronautics and Astronautics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

3. Chongqing Nearspace Innovation Research and Development Center of Shanghai Jiaotong University, Chongqing 401120, China;

4. Chongqing College of Architecture and Technology, Chongqing 401100, China)

Abstract: Western Sichuan is located in the transitional zone between the Qinghai-Tibet Plateau and the Sichuan Basin, with frequent geological activities and the superposition of complex factors such as rivers, glaciers and rainfall in the region, resulting in the existence of many ancient landslide groups. Open-pit mining is a long-lasting human activity, which will not only change the geomorphological characteristics in the original area, but also induce the revival of ancient landslides. Heavy rainfall is one of the important causes of geological disasters. Taking it as the main cause, combined with relevant monitoring data, the types of deformation inducing factors of ancient landslides in large open pit mines in western Sichuan was analyzed, the response relationship between the deformation of ancient landslides and rainfall was obtained, a finite element calculation model was established, the seepage characteristics, deformation characteristics and stability change law of ancient landslides under heavy rainfall were calculated and analyzed, and the resurrection mechanism of such ancient landslides was revealed. The research results are of reference value for deepening the understanding of the ancient landslide of large open pit in western Sichuan, and are of great significance for completing the landslide control and disaster prevention under the action of rainfall.

Keywords: heavy rainfall; Western Sichuan; open pit; ancient landslide; resurrection mechanism