

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2024.03.013

广东佛冈县龙山镇鹤田村崩塌体特征及稳定性分析

李玲

LI Ling

广东省核工业地质调查院, 广东 广州 510800

Nuclear Industry Geological Survey Institute of Guangdong, Guangzhou 510800, Guangdong, China

摘要: 佛冈县处于广东三大暴雨中心之一的粤北地区, 区内强降雨诱发的崩塌地质灾害极为发育。本文采用野外调查、赤平极射投影法结合高密度电法和地震面波法查明了佛冈县龙山镇鹤田村崩塌地质特征、形成原因及其稳定性, 以指导区内同类地质灾害防治工作。通过地貌特征分析, 认为鹤田村崩塌体堆于斜坡上, 斜坡体高陡, 地质环境极为不利, 稳定性不佳; 应用高密度电法和地震面波法探测崩塌体, 发现其表层部分已发生崩塌, 形成松散层, 孔隙率较大, 遇水软化, 稳定性变差, 极易产生崩塌; 综合分析崩塌体形成机理, 进行稳定性分析, 并得出以下结论: (1) 削坡建房是崩塌产生的主导因素; (2) 边坡岩土体特征是崩塌形成的内在因素; (3) 降雨是崩塌地质灾害形成的直接诱发因素; (4) 崩塌体仍处于不稳定状态, 潜在危险性大; (5) 建议对该坡体进行削方减载、地表排水、修建挡土墙, 对坡面进行防护、稳固, 同时加强监测。

关键词: 地质灾害; 崩塌; 高密度电法; 地震面波法; 佛冈县

中图分类号: P642.21

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2024)-03-0583-09

Li L. 2024. Characteristics and Stability Analysis of Collapse Body in Hetian Village, Longshan Town, Fogang County, Guangdong Province. *South China Geology*, 40(3): 583-591.

Abstract: Fogang County, Guangdong Province is located in the northern part of Guangdong Province, one of the three heavy rainstorm centers in Guangdong Province. Collapse geological disasters induced by heavy rainfall are extremely developed in the area. To guide the prevention and control of similar geological disasters in the area, this study has carried out field investigations and the red plane polar projection method, combined with the high-density electrical method and seismic surface wave method to investigate the geological characteristics, causes, and stability of the collapse in Hetian Village, Longshan Town, Fogang County. Through analyzing the geological and environmental characteristics of the collapse body based on its terrain and landforms, the collapse body should have been piled up on the slope surface, with a high and steep slope, as well as an extremely unfavorable geological environment. The high-density electrical and seismic surface wave methods show the characteristics of the collapse body interpreted through geophysical exploration. The surface part of the collapse body has already started collapsing, forming a loose layer with a high porosity and deteriorating stability, meanwhile softened by water, making it prone to collapse. A

收稿日期: 2024-07-06; 修回日期: 2024-07-12

基金项目: 广东省国土资源厅和广东省财政厅项目(441821-201809-01400-0008)

第一作者: 李玲(1988—), 女, 工程师, 从事矿产勘查和水工环地质调查工作, E-mail: 120782251@qq.com

comprehensive analysis of the mechanism of collapse formation and conduct stability has been conducted. The following conclusions are drawn: (1) Slope-cutting for building houses is the dominant factor in the occurrence of collapse; (2) The characteristics of the rock and soil mass on the slope are inherent to collapse formation; (3) Rainfall is a direct trigger for the geological hazards; (4) The collapse body is still in an unstable state with serious potential danger; (5) It is recommended that the slope be protected and stabilized by chipping and load shedding, surface drainage, and construction of retaining walls, as well as increased monitoring.

Key words: geologic hazard; collapse; high-density resistivity method; seismic surface wave method; Fogang County

清远市地处粤北山区,地质灾害点多面广,是广东省地质灾害最发育的地区之一(郑志乐, 2017; 朱江等, 2023)。自20世纪70年代至2023年2月,清远市已发生各类型地质灾害1974处(刘曼, 2023)。清远南部地区是广东省三大暴雨中心(粤东南、西南沿海和粤北)(胡娅敏等, 2013; 伍红雨等, 2017)和1961~2022年“龙舟水”大值区(伍红雨等, 2023)之一,佛冈县处于清远南部暴雨中心和“龙舟水”大值区,每年汛期是地质灾害高发期(刘传正和陈春利, 2020)。随着经济的高速发展,削坡建房、矿山开采、工程设施建设及景区开发形成大量边坡,汛期在降雨的影响下,高陡不稳定边坡易发生崩塌、滑坡灾害,遇强降雨或超强降雨沟谷地带还可能发生泥石流地质灾害。据调查,佛冈县共发现地质灾害点292处,灾害类型有崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷及径流排泄,其中滑坡142处,崩塌145处,泥石流1处,地面塌陷3处及间歇径流排泄1处(苏飞飞和李玲, 2019),其中崩塌数量最多。传统勘查方法以地形测绘、探槽揭露、钻探验证、样品测试等方法对崩塌危岩体进行稳定性综合分析,分析时考虑的因素不够全面(高启凤等, 2019)。因此,有效的勘查技术手段和全面科学的评价崩塌体稳定性及其发展趋势至关重要(辛文林, 2023)。据统计,广东省内86个县市地灾专项调查勘查项目中,斜坡类地质灾害勘查物探应用占有所有应用物探勘查的项目比例的90%(易隆科等, 2023)。在物探方法手段应用上,主要有4种(高密度电法、多道瞬态面波、地质雷达、瞬变电磁法),其中高密度电法应用频

率最高,应用占比81%,是最主要的物探方法,且应用效果最好(刘春艳, 2022)。面波法在地质灾害勘查中也有一定的应用,主要针对坡体浅层速度结构进行分层,反演出浅层界面,应用效果较好。

佛冈县龙山镇崩塌体位于鹤田村金福酒店后山, G106国道旁,北边临近汕湛高速,东边临近京港澳高速,距离佛冈县城直线约19 km,中心地理坐标: 113°24'43"E, 23°44'19"N。坡体表层为残坡积土,上覆土层土质较松散,下伏基岩结构较破碎,有利于地表水下渗,工程力学强度较差,坡体在自重及饱水状态下易失稳产生崩塌地质灾害,潜在威胁人数133人,潜在经济损失300万元,险情等级为大型,潜在危险性大,加之人类工程建设活动日益加剧,地质灾害防治迫在眉睫。本文采用野外调查、赤平极射投影法结合高密度电法和地震面波法对鹤田村崩塌体进行勘查,以查明该崩塌体结构特征、形成机理,并对其稳定性做出评价。根据《广东省地质灾害综合防治能力提升三年行动方案(2023—2025年)》(广东省人民政府办公厅, 2023)工作目标、地质灾害防治措施和资金保障措施,在此基础上提出应对措施,以指导区内类似地质灾害的防治工作。

1 地质环境特征

1.1 气象特征

佛冈县属亚热带湿润和大陆性季风气候,雨量充沛。佛冈县年平均温度为20.8℃,年最高气温达38.9℃,年最低气温为-4.2℃。每年中最热的月份为7月,平均温度为28.1℃,最冷为1月,

平均气温 11.6 ℃。年日照时数为 1706.8 小时,在时间分布上,7 月最高,达 211.2 小时,3 月最少,仅 63.0 小时。无霜期较长,平均为 329 天,有些年份全年无霜,无霜期最短为 278 天。

据佛冈县多年径流量测量,平均年径流量为 $17.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,枯水年径流量为 $11.89 \times 10^8 \text{ m}^3$,丰水年径流量为 $23.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。降雨对水流量影响较大,一般夏季降雨量最大,河水流量丰盈,对基本农田和局部水利设施潜在危害相对较大,春季和冬季大气降雨量相对较少,水量剧减,少数河流出现断流(吴育新,2021)。

1.2 地形地貌

佛冈县东部、西部和中南部群山分布,是清远

市东南部的山区县,区内山脉整体呈两组方向延伸,一组为北东向,另一组为东西向,有 10 余座海拔超 900 m 以上的山峰,属典型的中低山-丘陵地貌(吴育新,2021)。

崩塌区主体地貌为河谷平原,地势较平坦,崩塌区内山丘低矮,呈圆柱状,顶部标高近 85 m,坡脚地势较缓地带高约 32 m,相对高差达 53 m,山丘植被茂盛,有大量松树、桉树(图 1)。

1.3 地质构造

根据区域地质资料及周边实地调查,崩塌体及其周边出露的地层为晚三叠世红卫坑组及第四系,周边见中、晚侏罗世岩体出露(图 2)。晚三叠世红卫坑组:岩性为灰、灰白色中-细粒石英砂



图 1 佛冈县龙山镇鹤田村金福酒店后山崩塌无人机航拍图

Fig. 1 Drone aerial photo of the collapse behind the Jinfu hotel in Hetian Village, Longshan Town, Fogang County

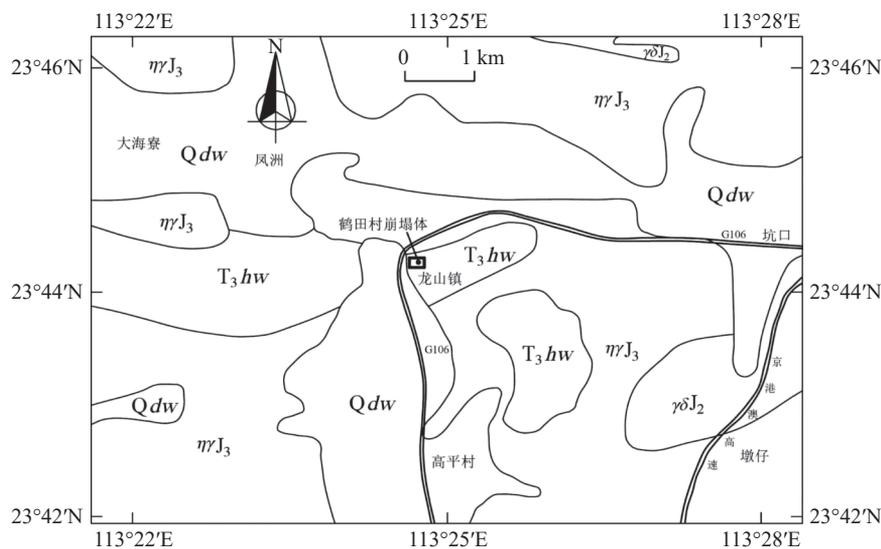


图 2 崩塌体区域地质简图

Fig. 2 Geological diagram of the collapsed area

T_3hw -晚三叠世红卫坑组; Qdw -第四纪大湾镇组; $\gamma\delta J_2$ -中侏罗世花岗岩闪长岩; $\eta\eta J_3$ -晚侏罗世二长花岗岩

岩,灰、灰黑、黑色页岩互层夹少量含砾砂岩、粗粒砂岩、炭质页岩。第四纪大湾镇组:主要由第四纪残坡积层构成,岩性为粉质黏土,灰黑色、土黄色,稍有光泽,强度中等,韧性中等,可塑—硬塑。

崩塌区表层多为残坡积粉质黏土,厚1~3 m,黄褐色,主要成分为黏粒及粉粒,可塑,稍湿稍密,可见大量植物根系。下部主要为紫褐色、土黄色和深灰色的砂质页岩,砂质结构,层状构造,含较多黏粒及砂粒,具有可塑性,稍湿稍密,砂质成分为石英、长石,风化强烈呈碎块状,部分区域含煤层,底部含有较多煤矸石,主要成分为粗砂岩,遇水易软化。

佛冈县位于佛冈岩体腹地,地处南岭纬向构造带之次级构造—佛冈—丰顺断裂构造带,构造走向近东西向,地质构造较为复杂。佛冈县断裂构造发育,主要呈东西向,其次有北东向和北西向等。根据区域地质资料及周边实地调查结果,崩塌区内未发现断裂构造。

1.4 水文地质特征

崩塌区地下水主要为以残坡积层为主的松散岩类孔隙水和赋存于砂页岩裂隙之中的基岩裂隙水两种。基岩裂隙水为弱承压裂隙水,含水量及透水强度与基岩裂隙发育程度关系密切,且变化幅度较大(吴育新, 2021)。崩塌区地下水主要来自大气降雨和地表水,降雨渗入补给条件和储水条件好,枯水季节地表水是地下水主要补给来源。

2 崩塌体特征分析

2.1 崩塌体变形现状

山体崩塌在2013年5月初次发生,崩塌体堆

积于坡面及坡脚。2018年6月坡体再次发生轻微崩塌,崩塌体堆于坡面,坡体高陡,局部出现坠落现象,崩塌体仍处于不稳定状态。

2.2 崩塌体形态规模

崩塌体长约6 m,宽约80 m,厚约2 m,体积960 m³,为中型崩塌,坡体为人工削坡,高约25 m,坡向320°,表层风化坡残积土厚度1~3 m,见强风化粉砂岩碎石块,于削坡边缘见裂缝;坡面上部坡度较陡,约70°,局部呈直立陡崖,坡面呈裸露状态,见强风化砂质页岩基岩出露;中部坡度较缓,约40°;下部修筑高约5 m加筋混凝土;坡脚为商铺及公寓住宿楼。

2.3 崩塌体物质结构特征

崩塌体边坡表层为残坡积土,上覆土层土质松散,下伏基岩结构较破碎,有利于地表水的下渗,工程力学强度较差,坡体在自重及饱水状态下易失稳产生崩塌地质灾害。

(1) 第四纪残坡积层

崩塌体上覆土层为第四纪残坡积层,黄褐、灰褐色,主要成分为黏粒及粉粒,可塑、稍湿稍密,厚0~3 m,本层土体主要物理力学指标见表1,从表中可知该土层属中压缩性土。

(2) 晚三叠世红卫坑组

下伏基岩为强风化的砂质页岩,成分为砂质岩类碎块和黏土,砂岩由石英、长石等矿物组成,原岩结构能分辨。岩心呈短柱状,节长5~50 cm, RQD=70%。揭露厚度22.5~29.8 m,平均27.8 m;层顶埋深0~2.8 m,平均1.27 m;层顶标高51~71.8 m,平均59.6 m。岩样天然抗压强度5.3~5.62 MPa,属软岩,岩体质量等级为V级。

作标贯试验7次,校正后击数 $N=12\sim 33$ 击,

表1 第四纪残坡积层土体主要物理参数

Table 1 Main physical parameters of Quaternary soils

统计指标	含水率 $\omega/10^{-2}$	比重 G_s	天然密度 $\rho/g\cdot cm^{-3}$	孔隙比 e	塑性指数 I_p	液性指数 I_L	黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/^\circ$	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}
最小值(min)	23.9	2.68	1.88	0.688	11.8	0.23	27.3	14.8	0.26
最大值(max)	29.6	2.71	1.99	0.847	14.3	0.44	36.5	18.5	0.43
平均值(μ)	25.9	2.69	1.95	0.744	12.94	0.33	32.34	17.1	0.34
标准差(σ)	1.89	0.01	0.04	0.06	0.96	0.08	2.98	1.32	0.06
变异系数	0.07	0	0.02	0.08	0.07	0.24	0.09	0.07	0.18
标准值	22.8	2.67	1.88	0.653	11.4	0.20	27.4	14.9	0.24

平均 25.8 击, 标准差 7.36, 变异系数 $\delta=0.29$, 标准值 13.69 击。动力触探试验 21 次, 校正后击数 $N=5 \sim 54$ 击, 平均 42.8 击, 标准差 11.72, 变异系数 $\delta=0.27$, 标准值 23.5 击。

2.4 崩塌体物探剖面特征

通过高密度电法和地震面波勘探法两种方法对崩塌体进行了勘查。其中 D2~D2'号测线横穿崩塌体横断面(图 3、图 4)。面波点布设采用 RTK 放置控制桩点, 用森林罗盘仪及测绳布设, 测线偏差不超过 50 cm, 测点偏差不超过 20 cm。外业测量前, 在崩塌区现场对测量方法和测量参数进行反复试验, 选择最佳、最合理的测量方法和测量参数, 以确保面波法勘查中测量数据的准确性和可靠性。

测线从崩塌体前缘垂直横断面布置到坡面后方, 剖面视电阻率反演值一般在 $0 \sim 20000 \Omega \cdot m$ 之间, 在平距 40~60 m 段下部(高程 53~63 m)视

电阻率反演值呈相对高阻特性(图 3), 推测该处强风化岩构造裂隙发育, 含水量较少; 在平距 20~30 m 段表层高阻异常, 是由于陡坎表层土松散, 含水量少所致, 边坡倾角较大, 产生崩塌的可能性较大; 在平距 25~35 m 段出现相对低阻层, 经实际勘察, 该处有一条约 30 cm 宽的挖沟, 低阻异常与崩塌体挖沟相关; 在平距 65~80 m、高程 60~73 m 段出现低阻异常, 推测该处为煤层所致。推测崩塌体位于平距 20~30 m 处, 厚度 0~3 m。

通过野外现场勘察与反复试验, 判断崩塌堆积物松散层厚约 3 m, 预测面波低速层拐点深度约 3 m, 选择点距 2 m 测量效果较好。结合崩塌区复杂的场地环境特征, 根据面波法测量经验, 采用 12 道测量法, 检波器可较好地接收信号, 满足精度要求。因此地震面波勘查运用 12 道测量法, 线距为 8 m, 点距为 2 m, 采样时间间隔 0.256 m/s, 记录长度 512 ms。

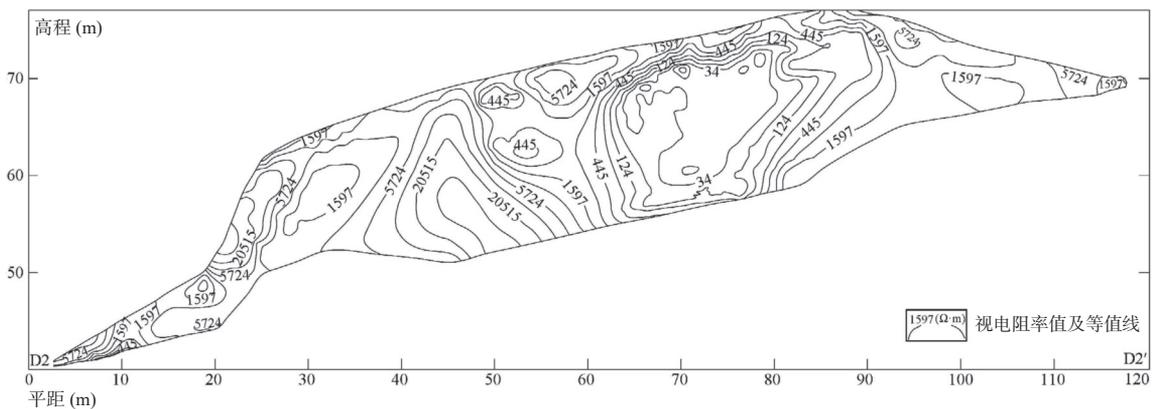


图 3 D2-D2'线高密度电法剖面视电阻率等值线

Fig. 3 D2-D2' high-density electrical profile apparent resistivity contour line

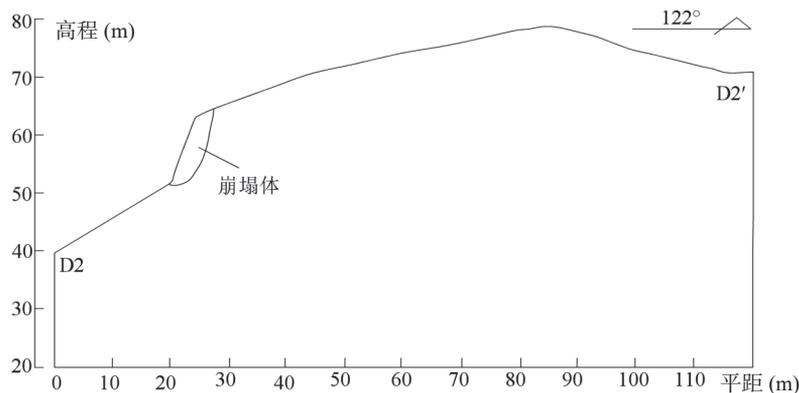


图 4 D2-D2'线物探综合解译崩塌体横断面

Fig. 4 D2-D2' geophysical comprehensive interpretation of landslide cross-section

通过对比分析已知资料,取得地层与面波速度及层厚之间的关系,选择 M4、M5 两个面波点来深入剖析。M4 面波点:由图 5 可知,波速与深度成正相关变化,表层速度较低。深度在 3.0 m 时,面波速度变低,其面波速度在 199.8 ~ 228.5 m/s 范围,推测此处崩滑控制面深度在 3.0 m 左右(图 5)。M5 面波点:由图 6 可知,波速与深度成正相关变化,且表层速度较低,在深度 3.0 m 时,频散曲线出现“之”字型拐点,波速低,推测此处崩滑控制面深度 3.0 m 左右(图 6)。

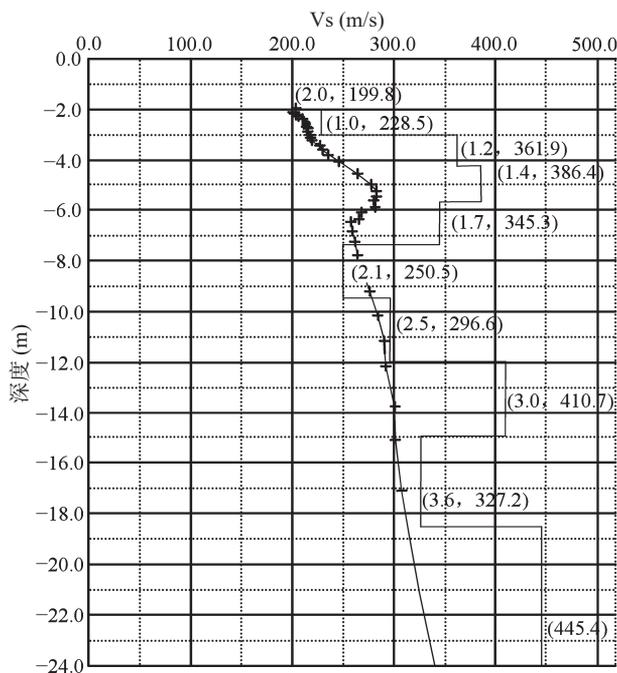


图 5 M4 点面波频散曲线

Fig. 5 M4 point surface wave dispersion curve

由此可见,崩塌体滑动面深度约 3.0 m,崩塌体表层部分区域已经发生崩塌现象,表层崩塌形成松散层,由于松散土层较松散,孔隙率较大,受水软化,稳定性变差,极易产生崩塌。

据无人机航拍影像,结合现场地质调查与初步勘查,估算崩塌体面积约 945 m²;崩塌体主要为残坡积土层,厚度为 0 ~ 3 m,土质松散,其次为破碎强风化砂质页岩。钻孔验证发现崩塌体底部岩石主要为原始沉积砂质页岩,非崩塌堆积物,底部岩石相对较致密,结合高密度电法成果,消除底部差异影响。最终通过物探成果、钻孔岩心资料以及工程地质勘察结果,计算出潜在崩塌体面积 480 m²,厚度约 2 m,体积 960 m³。

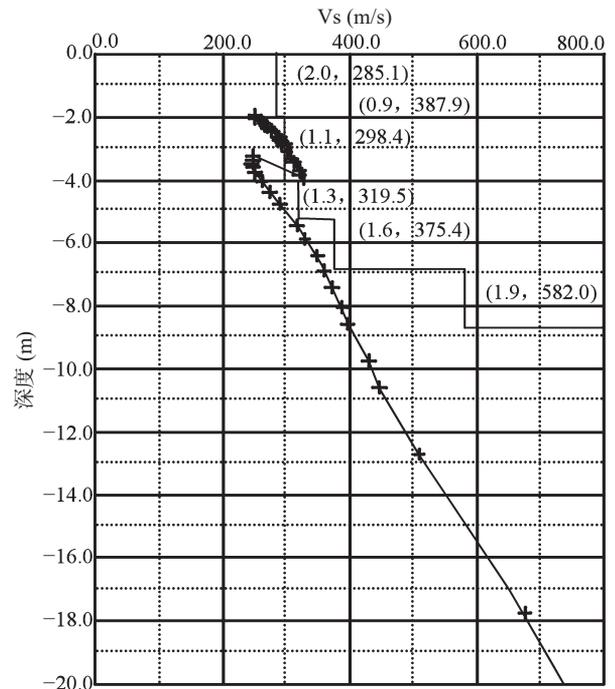


图 6 M5 点面波频散曲线

Fig. 6 M5 point surface wave dispersion curve

3 崩塌体成因分析

3.1 崩塌形成原因

广东全省范围内,削坡建房是引发地质灾害现象发生的主要原因之一(施春辉, 2021),加之广东特有的“龙舟水”天气,削坡建房和持续高强度降雨直接诱发地质灾害发生,具有广泛的普适性。根据野外实地调查,崩塌的成因与削坡建房、岩土体特征及降雨等密切相关。

(1)削坡建房是主导因素。由于削坡建房形成陡立的边坡,边坡开挖使得坡面土体裸露且变松散,导致土体容易脱离母体向下崩落。切坡角度过大是形成崩塌地质灾害的主导因素。

(2)边坡岩土体特征是崩塌形成的内在因素。崩塌区的岩土体表层为残坡积土,下伏强风化砂质页岩,表土层土质较松散,砂岩结构较破碎,有利于地表水的下渗,工程力学强度较差,坡体在自重及饱水状态下易失稳产生崩塌。

(3)降雨是崩塌地质灾害形成的直接诱发因素。崩塌发生于汛期内,汛期内佛冈县的雨水较多;山体表层透水性较好,其水理性相对较差,在

降雨期较长或突发暴雨时,由于雨水的长期浸泡,岩土体重量增加,导致抗压强度降低,更易诱发崩塌地质灾害。

3.2 崩塌形成机理

(1)坡脚开挖是形成该边坡崩塌的主导因素,坡脚开挖改变了原有地貌,使边坡坡度增大,临空面较陡。边坡开挖改变了边坡的原有应力分布状态,产生应力重分布,坡脚剪应力增大,坡顶产生张拉应力,可能会形成张拉裂隙,对崩塌灾害的发生具有促发作用。

(2)边坡岩体为较破碎的强风化砂页岩,风化节理裂隙发育,岩层为层状构造,使得岩体被切割的较为破碎,加之开挖对岩体的扰动,裂隙增大,在外力作用下容易发生崩塌。

(3)因山顶为汇水地貌,在汛期,坡顶汇集雨水由低洼处顺坡下流或通过裂隙向下渗流,对坡面残留的残积层或者破碎带存在较大冲刷作用,影响坡面残留的残积层及破碎带岩块稳定性。

综上所述,现状边坡在各种外力及人为震动作用下极易发生崩塌或者局部落石。

4 崩塌体稳定性分析

4.1 影响坡体稳定性因素

影响边坡稳定性的因素主要有以下4个方面。

(1)地形地貌:从地形地貌上看,崩塌常发生于山势较陡的坡面。此处边坡因坡脚开挖形成坡向 320° ,平均坡度为 $60^\circ \sim 80^\circ$ 的边坡,为崩塌灾害

的发生创造了有利的空间地形条件。

(2)地层岩性:组成边坡岩土体主要为强风化砂质页岩,砂质结构,层状构造,岩石风化裂隙较发育,岩石较破碎,岩体基本质量等级为V级,受到物理或者化学破坏作用时可能会发生崩解,形成崩塌。

(3)地质构造及岩层产状:根据野外地质调查,崩塌区岩层产状为 $330^\circ \angle 70^\circ$,为顺层边坡。坡体发育有两组节理,产状分别为 $270^\circ \angle 30^\circ$ 和 $40^\circ \angle 75^\circ$ 。

(4)人类工程活动:由于道路行车荷载及其他工程建设活动的震动影响,使边坡破碎岩体在重力的作用下发生崩落。

4.2 边坡稳定性评价

岩质边坡稳定性影响要素较多,主要与结构面发育程度、结构面的特征及其与边坡空间组合关系有关。通常以单一结构面和两两结构面组合切割体中稳定性最差的级别确定其稳定性(程宏光和吴明亮,2020)。其稳定性一般分为最稳定、稳定、较稳定、较不稳定、不稳定五个等级(工程地质手册编委会,2018),如表2所示。

利用赤平极射投影进行边坡整体稳定性分析,结果如图7所示。由图7分析得出,结构面A、B的交点C分布于自然边坡坡顶面和人工边坡边坡面的投影弧之间,此时,交割线CO与边坡面倾向一致,且坡顶面倾角小于交割线倾角,交割线倾角小于边坡面倾角,交割线在自然边坡和人工边坡都有出露,可见该边坡依然属于不稳定状

表2 岩质边坡稳定性分级评价

Table 2 Grading evaluation of rock slope stability

稳定性分级	评价对象	
	结构面1组	结构面2组
	结构面倾向和边坡倾向对比	交割线倾向与人工边坡、自然边坡倾向对比
最稳定		当两组倾向相反时,为逆向坡
稳定	1.当两组倾向相反时,为逆向坡; 2.倾向相同,结构面倾角>边坡角	两组倾向相同,且交割线倾角>边坡角
较稳定		倾向相同,且交割线倾角<边坡角,坡顶无出露点
较不稳定		倾向相同,自然边坡角<交割线倾角<人工边坡角,开挖面无出露点,坡顶有出露点,距开挖面较远
不稳定	倾向相同,结构面倾角<边坡角,产生临空面	倾向相同,自然边坡角<交割线倾角<人工边坡角,开挖面和坡顶均有出露点

注:据程宏光和吴明亮(2020)。

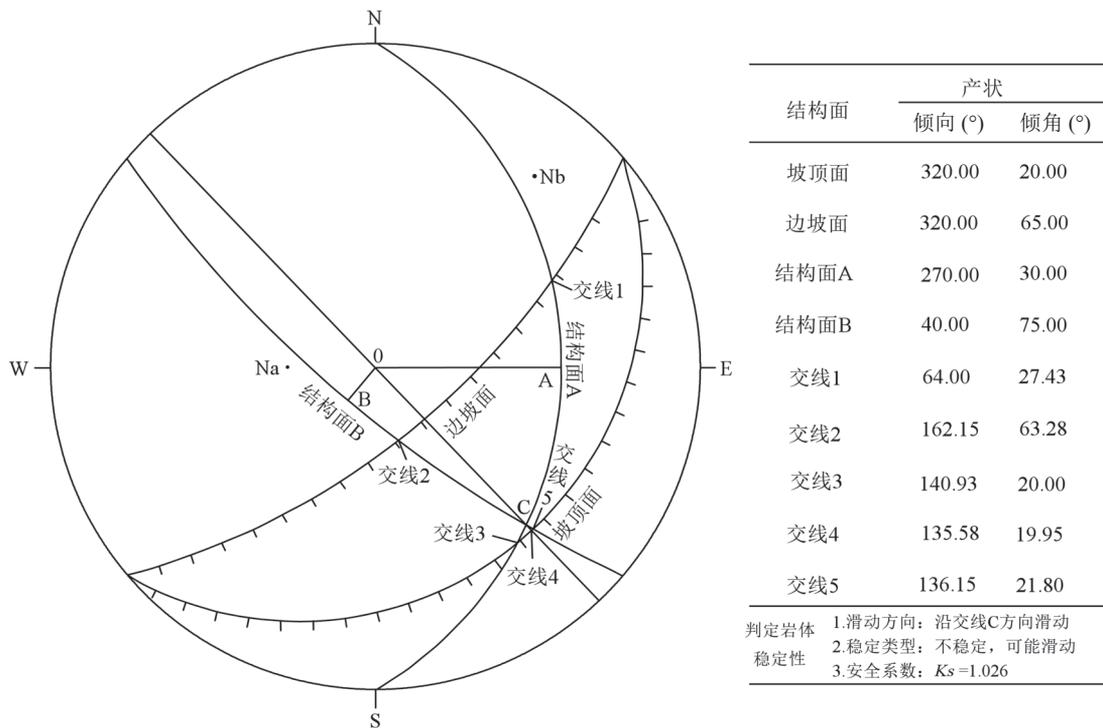


图7 边坡赤平极射投影

Fig. 7 Slope stereographic projection

态。在自然边坡整体稳定类型处于可能崩滑状态, 结合现场情况可以推测在局部破碎较为严重地段可能发生崩塌或落石。

5 结论与建议

(1) 崩塌体边坡较高且陡, 组成边坡的残坡积土层及强风化砂页岩层渗透性好, 具有遇水软化崩解的特性; 崩塌区的岩土体表层土质较松散, 砂岩结构较破碎, 有利于地表水的下渗, 工程力学强度较差, 坡体在自重及饱水状态下易失稳。崩塌体在强降雨情况下极易发生崩塌。

(2) 崩塌体形成与削坡建房、岩土体组成及降雨密切相关。坡脚开挖改变了原有地貌和应力分布, 使边坡坡度增大, 坡脚剪应力增大, 坡顶产生张拉应力, 形成张拉裂隙, 对崩塌具有促发作用; 岩质边坡风化节理裂隙发育, 岩体较破碎, 在外力作用下容易发生崩塌; 在汛期雨水的冲刷和下渗作用下, 影响坡面残留残积层及破碎带岩块稳定。

(3) 该处崩塌体危险性大, 建议尽快对该点进行工程治理: ①对该坡体进行削方减载、地表排水; ②修建挡土墙, 对坡面进行防护, 稳固坡面。

要加强监测、巡视, 当出现险情时迅速组织受威胁群众撤离险区。

参考文献:

- 程宏光, 吴明亮. 2020. 赤平投影法在岩质边坡稳定性分析中的应用 [J]. 西部资源, 42(4): 117-119.
- 高启凤, 夏方华, 周萌, 张磊, 刘明. 2019. 综合物探方法在崩塌地质灾害勘查中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 16(1): 40-45.
- 工程地质手册编委会. 2018. 工程地质手册 (第5版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 广东省人民政府办公厅. 2023. 广东省地质灾害综合防治能力提升三年行动方案 (2023—2025年) [N].
- 胡娅敏, 杜尧东, 罗晓玲. 2013. 近49年华南“龙舟水”的降水分型 [J]. 气象, 39(8): 1031-1041.
- 刘曼. 2023. 广东省清远市地质灾害风险调查评价报告 (1:10000) [R]. 广东省有色金属地质局九四〇队.
- 刘传正, 陈春利. 2020. 中国地质灾害成因分析 [J]. 地质论评, 66(5): 1334-1348.
- 刘春艳. 2022. 广东省县(市、区)地质灾害详细调查集成报告 [R]. 广东省地质环境监测总站.
- 施春辉. 2021. 粤西农村削坡建房相关地质灾害防治管理探究 [J]. 西部资源, (1): 134-138.

- 苏飞飞,李玲.2019.广东省佛冈县地质灾害详细调查设计书(1:50000)[R].广东省核工业地质调查院.
- 吴育新.2021.浅析某边坡大型崩塌地质灾害治理工程方案设计[J].世界有色金属,13(2):194-195.
- 伍红雨,郭尧,吴遥.2023.近62a华南“龙舟水”的气候特征及变化[J].暴雨灾害,43(1):84-92.
- 伍红雨,李春梅,王迪龙.2017.近55年广东“龙舟水”异常特征及成因分析[J].热带气象学报,33(5):608-616.
- 辛文林.2023.综合物探技术在崩塌地质灾害治理中的应用研究[J].西部探矿工程,(10):17-20.
- 易隆科,刘春艳,张云斌.2023.广东几种典型斜坡类灾体的电性结构特征分析及物探解释方法研究[J].物探化探计算技术,45(6):783-795.
- 郑志乐.2017.清远市地质灾害防治管理研究[D].华南理工大学硕士学位论文.
- 朱江,亢亚惠,刘曼,杨胜雄,赵晓亮.2023.清远市2011—2022年“龙舟水”地质灾害发育特征与降雨阈值研究[J].矿产勘查,14(12):2480-2491.