

桂东县沅江镇金田社区新田组218号滑坡形成机理及稳定性分析

熊辉 冯彬 黄军科 王剑

湖南省生态地质调查监测所

摘要: 桂东县沅江镇金田社区新田组218号滑坡在连续强降雨等诱发因素下发生了滑动破坏。滑坡破坏了坡面植被,造成雨水直接冲刷坡面土体;经现场核查,原滑塌体后缘进一步滑塌,并在滑坡的中部出现三条拉张裂缝,滑坡后缘的陡坎也发生小范围崩塌,滑坡范围进一步扩大,滑坡厚度进一步增大,滑坡危险性增大。本文对该滑坡的范围、规模、形态特征及变形破坏特征,并对滑坡的稳定性及危害性作出评价,预测滑坡的发展趋势,对滑坡的防治措施提出建议。

关键词: 滑坡特征; 形成机理; 稳定性分析; 防治建议

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.15.063

2021年6月1日,桂东县出现强降雨强对流天气,大部有大到暴雨、局地大暴雨,根据气象资料:6月1日8时-2日8时全县平均面雨量为59.6mm,此次强降水过程主要影响乡镇是寨前镇、沅江镇、四都镇,其中沅江镇16时50分至19时50分三小时累计雨量达到111.1mm(红色预警级别),最大小时强降雨出现在桂东县县城站点,最大小时雨强为56.3mm。受强降雨的影响,桂东县沅江镇金田社区新田组218号后山自然斜坡发生山体滑坡,滑坡造成两间房屋损毁,直接经济损失约5万元。该滑坡引起了桂东县政府及桂东县自然资源局的高度重视。经过对该滑坡进行勘察,查明了滑坡区的工程地质及水文地质条件、滑坡的范围、规模、形态特征及变形破坏特征,并对滑坡的稳定性及危害性作出评价,预测滑坡的发展趋势,对滑坡的防治措施提出建议。

一、地质环境条件

1. 地形地貌

勘察区地貌类型属中低山地貌,高程在800m-900m之间,山体自然坡度 50° - 60° ,相对高差约50m,斜坡高陡,地势东南高西北低。勘察区植被发育,主要为灌木、杂草,少量乔木等,植被覆盖率达90%。

2. 地层岩性

根据桂东县1:5万区域地质资料及现场勘探,勘察区的地质主要为第四系(Q_4)及志留系花岗闪长岩($S_1\gamma\delta^{\circ}$),各地层岩性由新到老分述如下。

(1)粉质黏土:残坡积成因,褐黄色,稍湿,硬塑-可塑状,主要成分为黏粒,含有少量的砂,粒径小于0.5mm,刀切面较光滑,可搓条,干强度中等,韧性中等。

(2)全风化花岗岩:红褐色,散体结构,矿物成分由长石、石英、云母组成,大部分矿物质已经黏土化,石英呈颗粒状,可挖掘,可干钻。

(3)强风化花岗岩:灰褐色,散体-碎裂结构,块状构造,矿物成分由长石、石英、云母组成,长石已风化成高岭土状,石英颗粒未风化,仍保留原岩的残余强度。

(4)中风化花岗岩:灰褐色,块状结构,矿物成分由长石、石英、云母组成,岩芯为长柱状或柱状,岩体基本质量等级为硬质岩IV级。

3. 地质构造

区域上桂东境内经历了四次构造运动后,留下了复杂的构造形迹。断裂、褶皱纵横交错,花岗岩侵入体形态多姿,从而构成了复杂的构造格局。经现场调查,参照区域地质资料,勘察区位于II桥头一寨前一东洛断隆带,区内断裂、褶皱不发育,未发现明显的断裂构造带及褶皱,岩石均较完整,断裂构造对地质灾害影响小。

二、地质灾害体基本特征及危害性

(一) 基本特征

经过现场多次踏勘及现场测量,沅江镇金田社区218号滑坡可分成滑动区和堆积区。滑坡平面形态上呈椭圆状,正投影面积约 $2370m^2$,滑坡主滑方向约为 292° ,前缘宽约70m,纵长50m,后缘宽约20m,滑动区平均厚度约5.0m,体积约 $11850m^3$ 。滑坡剖面形态呈折线形,平均坡度约为 40° ,滑坡前缘高程825.0m,滑坡后缘高程865.0m,相对高差40m。从发展阶段看,滑坡整体处于蠕滑阶段,滑坡中部局部表层松散体已经滑塌面,滑坡后缘及两翼土体已出现变形,后缘及中部见张拉裂缝。

表1 滑坡空间形态、规模特征表

编号	主滑方向 ($^{\circ}$)	纵向长 (m)	高差 (m)	横向宽 (m)	面积 (m^2)	平均厚度 (m)	体积 (m^3)	平面形态	剖面形态
滑坡	292°	50	40	70	2370	5.0	11850	椭圆状	折线形

受2021年6月强降雨影响,沅江镇金田社区218号滑坡区域发生滑坡,表层松散残积物均已滑动,处于破坏阶段,大部分滑体已经滑到了剪出口以下,潜在滑体仍处于蠕滑阶段。据现场调查,滑坡前缘未发现明显的裂缝,在滑坡后缘局部见裂缝,滑坡左后翼和右后翼产生剪切破坏,变形迹象明显。经分析,该滑坡为小型推移式滑坡。

表2 坡裂缝统计表

编号	位置	走向	长	宽	可视深度	沉降
LF1	滑坡中部	210°	23m	0.2-0.5m	1.0m	

(二) 物质结构组成特征

根据工程地质测绘及勘探揭示,结合滑坡剖面图分析,滑坡体发育在第四系全新统(Q_4)粉质黏土与志留系早世(S_1)全风化花岗岩($S_1\gamma\delta^{\circ}$)中。其物质结构可分为滑体、滑带(面)、滑床三个带,各带的物质结构特征具体如下:

(1) 滑体

滑体主要由表层粉质黏土和全风化花岗岩组成,部分已滑到剪出口以下地段。粉质黏土,褐黄色,稍湿,

硬塑-可塑状,主要成分为黏粒,含有少量的砂,粒径小于0.5mm。刀切面较光滑,干强度中等,韧性中等,该层厚1m-2m。全风化花岗岩,全风化,红褐色,散体结构,矿物成分由长石、石英、云母组成,大部分矿物质已经黏土化,石英呈颗粒状,镐可挖掘,可以干钻。该层与下伏强风化花岗岩接触部位含水量明显偏高。

(2) 滑带(面)

根据现场勘察资料以及滑坡的实际情况分析,该滑坡表层残积土局部已经发生滑动破坏,根据现场勘查,全风化花岗岩与强风化花岗岩的接触界面处土体较松散、潮湿,含水量较高,为潜在滑动面,滑带(面)大致为折线型,滑带(面)后部陡,前缘缓。

(3) 滑床

根据钻孔揭露资料分析,滑床主要为强风化花岗岩,灰褐色,散体-碎裂结构,块状构造,矿物成分由长石、石英、云母组成,长石已风化成高岭土状,石英颗粒未风化,仍保留原岩的残余强度。本次钻探均揭露到该层,钻孔揭露其厚度为3.0m-4.0m,平均厚度约3.7m。

(三) 危害对象

桂东县沅江镇金田社区新田组218号滑坡在连续强降雨等诱发因素下发生了滑动破坏。滑坡破坏了坡面植被,造成雨水直接冲刷坡面土体;滑坡造成前缘2间房屋损毁,危害对象主要为前缘2栋18户90人及桂东大道。一旦该滑坡发生大范围的失稳,将严重危及到坡体下方18户90人生命财产安全及桂东大道,威胁总资产约980万元。

三、滑坡的形成机制和发展趋势

(一) 形成机制分析

受短时强降雨及持续性降雨的影响,表层的粉质黏土体及全风化花岗岩结构较松散,透水性强,雨水沿渗入土层,上层土体达到饱和,土体自重增加,工程力学性质降低,当表层易透水的全部饱水后,花岗岩风化层往深部透水性逐渐减弱,在饱水区和渗透降低区形成饱水软弱面,表层土体自身强度不能抵抗自重,坡体沿与坡面近似平行的软弱面发生滑动。

(二) 稳定性影响因素

1. 高陡的地形地貌

滑坡区地貌类型为中低山花岗岩地貌,高程在800m-900m之间,地形坡度在30°-50°之间,局部由于人类工程活动呈台阶状,坡度达80°,相对高差约50m,自然斜坡高陡为滑坡形成的内在原因。

2. 不良的地质环境条件

坡体土主要由耕表土和粉质黏土组成,表层土体结构较松散,降雨入渗条件好,大暴雨急促下降到地表,在地表迅速往地下入渗,到达全风化花岗岩一定位置或到达与强风化花岗岩分界面时,渗透条件发生改变,雨水不能及时入渗,即形成饱和土体与非饱和土体的分界面,在这个分界面上,土体抗剪强度急剧降低,土体的抗滑力不足以抵抗下滑力,同时,由于岩土层分界面与坡向基本一致,表层滑体易沿岩土分界面下滑,不良的地质环境条件是形成该不稳定斜坡的内因。

3. 大气降雨

据桂东县气象观测站观测数据,2021年6月1日18时-19时小时雨强56.3mm,短时间的强降雨一方面迅速增加了土体的重度,另一方面降低了土体的抗剪强度。大气降雨是影响滑坡发生的主要因素。

4. 人类工程活动

原始斜坡坡脚及坡体中上部位置人类工程活动频繁,坡脚位置郭冬红等切坡建房,切坡高度为4.0-9.0m,切坡近陡立,建房前已建浆砌片石挡土墙;斜坡中部、上部位置当地村民开垦成阶梯状菜地,一定程度上改变的自然山体自由排放的地表水径流系统,在强降雨过程中容易形成水囊,致使斜坡土体强度降低,对斜坡的稳定性不利。

综上所述,大气降水是形成滑坡的主要因素,不良的地质环境条件是滑坡的内因,人类工程活动对该滑坡的形成起到促进作用。

(三) 破坏模式分析

根据现场踏勘及分析,滑动面主要发生在粉质黏土和全风化花岗岩中,主要为表层土沿着渗透性差异大的分界面发生滑动,表现为上部土层滑动挤压下部产生变形,为推移式滑坡。

(四) 滑坡发展趋势

目前,该斜坡表层松散残坡积土局部已经滑动,其他未滑动的土体也发生多处拉张裂缝或局部小范围垮塌,表层土体较松散,降雨时,雨水直接从裸露的坡面及裂缝渗入土体内,有利于滑坡发生。根据现场勘查,全风化花岗岩与强风化花岗岩界面处土质含水量高,极易形成潜在滑动面,同时,由于全-强风化花岗岩接触界面与地形坡度一致,且坡度较陡,表层全风化花岗岩易沿接触界面发生滑坡。

四、稳定性分析

(一) 计算模型

根据桂东县沅江镇金田社区新田组218号滑坡的特征,滑坡主要沿全风化岩与强风化岩界面发生滑动。滑坡发生后,部分残坡积土已滑离形成两个滑塌体,其他部分残坡积土(粉质黏土)在坡面上,在降雨的冲刷下,残留的残坡积土层仍可能发生滑动。根据钻孔揭露及现场调查分析,在全风化花岗岩与强风化花岗岩接触部位有一层含水量较高、黏土质含量较高的砂质黏土,该层为潜在最大的滑动面。根据滑坡变形机制,本次计算模型使用理正岩土软件滑坡推力计算分析模块,指定滑动面,滑动面形态为折线形,采用传统系数法分别计算滑坡体的稳定性。最后一块滑块下滑力为0时即为其安全系数。

(二) 计算剖面

本次选取了滑坡纵剖面中选取2个剖面进行计算P3-P3'、P4-P4'为滑坡区计算剖面。

(三) 计算工况

滑坡稳定性计算荷载考虑滑体自重、地表荷载、暴雨、地下水等因素。

滑坡防治设计的荷载组合应采用如下工况进行设计和校核。

①工况 I ——基本组合,为设计工况,考虑基本荷载;

②工况 II ——特殊组合,为校核工况,考虑基本荷载+降雨荷载。

根据《抗震建筑设计规范》(GB50011-2015)的规定,该场地位于抗震设防烈度为VI度区,不考虑地震荷载。

根据《滑坡防治设计规范》(GB/T 38509-2020),其威胁人数和威胁设施的重要性,防治工程级别为III级,暴雨强度重现期N按20年设计,50年一遇校

核, 确定其稳定性计算工况、荷载组合及抗滑稳定安全系数如下表3:

表3 稳定性计算工况、荷载组合

工程类别	工况	荷载组合	安全系数	防治工程等级
不涉水	设计 I	基本荷载	1.20	三级
	校核 II	基本荷载+降雨荷载	1.15	

稳定性计算方法, 滑坡滑面呈折线型, 采用传递系数法对其稳定性进行定量分析计算, 传递系数法的计算公式如下:

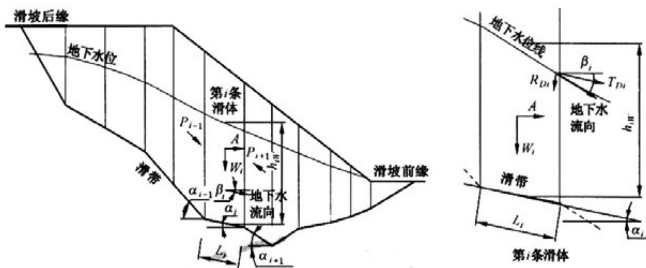


图4.1 滑坡稳定性计算模型(折线型滑动面)

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + T_n}$$

R_i ——作用于第*i*块段抗滑力(kN/m);

$$R_i = N_i \tan \phi_i + c_i l_i$$

N_i ——作用于第*i*块段滑动体上的法向分力(kN/m);

$$N_i = (W_i + Q_i) \cos \alpha_i$$

Q_i ——作用于第*i*块段滑动体上的建筑荷载(kN/m²);

T_i ——作用于第*i*块段滑动面上的滑动分力(kN/m), 出现与滑动面方向相反的滑动分力时, T_i 取负值;

$$T_i = (W_i + Q_i) \sin \alpha_i + \gamma_w A_i \sin \alpha_i$$

A_i ——第*i*块段饱水面积(m²);

R_n ——作用于第*n*块段的抗滑力(kN/m);

T_n ——作用于第*n*块段的滑动面上的滑动分力(kN/m);

ψ_i ——第*i*块段的剩余下滑力传递至第*i+1*块段时的传递系数($j=i$);

α_i ——第*i*块段滑动倾角(°);

c_i ——第*i*块段滑动面上粘聚力(kPa);

ϕ_i ——第*i*块段滑带土内摩擦角(°);

l_i ——第*i*块段滑面长(m);

W_i ——第*i*块体重量(kN/m);

剩余下滑力计算公式:

$$E_i = K [(W_i + Q_i) \sin \alpha_i + \gamma_w A_i \sin \alpha_i] + \phi_i E_{i-1} \sim 1 - (W_i + Q_i) \cos \alpha_i \tan \phi_i - c_i l_i;$$

其中: E_{i-1} ——第*i-1*条块的剩余下滑力(kN/m), 作用于分界面的中点;

α_i ——第*i*条块所在滑面倾角(°);

k ——滑坡推力安全系数。

(四) 计算结果

该滑坡采用传递系数法(条分法)对滑坡进行稳定性计算与分析, 计算过程详见计算书, 计算结果见下表4、表5:

表4 滑坡稳定性系数计算成果表

计算剖面	滑动面	工况	滑坡稳定系数	
			F_s	稳定状态
3-3'	折线	I	1.042	欠稳定
		II	0.960	不稳定
4-4'	折线	I	1.115	基本稳定
		II	1.030	欠稳定

注: 稳定状态分级: $F_s < 1.00$ 不稳定; $1.00 \leq F_s < 1.05$ 欠稳定; $1.05 \leq F_s < 1.3$ 基本稳定; $F_s \geq 1.3$ 稳定。

表5 滑坡剩余下滑力计算成果表

计算剖面	滑动面	工况	滑坡安全系数	
			K	剩余下滑力 kN/m
3-3'	折线	I	1.20	277.261
		II	1.15	364.047
4-4'	折线	I	1.20	218.566
		II	1.15	335.291

由上表可知, 根据定量计算并结合现场定性判断, 涪江镇金田社区218号滑坡天然工况下处于欠稳定-基本稳定状态, 暴雨工况下处于不稳定-欠稳定状态, 坡体在暴雨作用下极有可能发生滑动, 亟须进行工程治理。

五、防治工程方案建议

根据滑坡的特征和破坏模式, 结合滑坡区施工条件, 本次治理治理方案建议分述如下:

1、该滑坡滑动面浅, 滑坡体厚度较薄, 深层的强风化花岗岩未发生滑动, 坡脚已建浆砌片石挡墙此次滑坡未遭破坏, 结构强度较好。因此, 建议坡面采用分级放坡+锚杆+框格梁进行支护。

2、建议做好整个区域做好截排水措施, 坡顶做好截水, 坡脚进行排水。

参考文献

[1]朱同同, 史绪国, 周超, 蒋厚军, 张路, 廖生. 利用2016—2020年Sentinel-1数据监测与分析三峡库区树坪滑坡稳定性[J]. 武汉大学学报(信息科学版). 2021(10)

[2]周斌, 刘杰, 何杰, 杨庆光, 陈永贵. 湘西某红砂岩顺层滑坡风险评估[J]. 中南大学学报(自然科学版). 2013(01)

[3]程小兵, 朱彦鹏, 马国纲. 红砂岩边坡稳定性分析[J]. 甘肃科技. 2016(03)

[4]赵洪宝, 王中伟, 李华华. 红砂岩剪切蠕变特性试验研究与边坡失稳机理分析[J]. 金属矿山. 2015(02)