

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.05.07

湖南通道播阳镇楼团滑坡发育特征及稳定性分析

周小飞, 曹红娟

(湖南省核工业地质局三〇一大队, 湖南 长沙 410114)

摘要: 播阳镇是湖南通道县地质灾害易发区,也是通道县地质灾害隐患数量最多、威胁人数最多的乡镇之一。本文在分析该区域地质灾害发育特征的基础上,以楼团滑坡为研究对象,分析了该滑坡的空间形态、物质组成和变形特征,采用极限平衡法,选择折线型滑动模型,在两种不同工况下对其稳定性进行了计算,最后对滑坡稳定性进行了评价。得出在工况 1 条件下,为基本稳定状态,在工况 2 条件下,为欠稳定-不稳定的结论;提出了包括抗滑桩工程、地表截排水工程和坡面生态工程的楼团滑坡治理工程措施建议;研究成果将为该滑坡的治理提供依据和参考。

关键词: 楼团滑坡;发育特征;稳定性分析;防治建议

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)05-0048-06

Development characteristics and stability analysis on the Loutuan Landslide in Boyang Town, Tongdao County, Hunan Province

ZHOU Xiaofei, CAO Hongjuan

(301 Brigade of Hunan Nuclear Geology, Changsha, Hunan 410114, China)

Abstract: Boyang town from Tongdao County is located in the prone area of geological disasters in Tongdao County. It is also one of the towns with the largest number of potential geological hazards and the largest number of threats. On the basis of analyzing the development characteristics of geological disasters in this area, taking Loutuan Landslide as the research object, this paper analyzes the spatial form, material composition and deformation characteristics of the landslide, adopts the limit equilibrium method, selects the broken line sliding model, calculates its stability under two different working conditions, and finally evaluates the stability of the landslide. It is concluded that under condition 1, it is basically stable, and under condition 2, it is under stable unstable. It is proposed that the measures for the treatment of Loutuan landslide include anti slide pile engineering, surface water interception and drainage engineering and slope ecological engineering. The research results will provide basis and reference for the treatment of this landslide.

Keywords: Loutuan Landslide; developmental characteristics; stability analysis; prevention and cure suggestion

0 引言

边坡稳定性和群众日常生活息息相关,边坡失稳滑坡甚至威胁人民生命财产安全^[1-3],尤其是在湖南

等山地丘陵地区,很多工程、民房都是依山而建,且居住较密集,因此边坡稳定性就显得十分重要^[4-5]。通道县位于湖南西南部,地貌以丘陵为主,滑坡地质灾害多发、易发且具有突发性、隐蔽性和破坏性强等特

收稿日期: 2019-12-31; 修订日期: 2020-04-01

第一作者: 周小飞(1988-),男,资源勘查工程专业,本科,工程师,一级建造师,主要从事地质灾害防治与研究工作。E-mail: 675111620@qq.com

通讯作者: 曹红娟(1987-),女,硕士,工程师,主要从事地质勘查、地理信息系统工作。E-mail: 396745582@qq.com

点^[6]。楼团滑坡为通道县典型滑坡之一,该滑坡始发于2008年5月20日,威胁25户107人的生命财产安全,近年来随着雨水的不断浸入,变形更加强烈,本文根据滑坡发育特征选择传递系数法^[7]进行稳定性评价^[8],对该滑坡今后的防治提出建议。

1 滑坡区地质环境背景

1.1 地形地貌

滑坡区地貌属低山剥蚀地貌,山脊呈南北走向长条状,微地貌为陡斜坡。坡面呈坡向向西的南北向长东西向短的长条形状。坡面植被因村民建房密集破坏严重。滑坡后缘高程约378 m,前缘高程约345 m,相对高差约33 m。坡面因居民建房挖填局部呈陡坎状,整体斜坡坡度约为35°,局部坡度40°~70°不等,坡面房屋较密,主要为木结构民房。

1.2 地层岩性

根据区域地质资料结合本次工程地质测量、工程钻探、山地工程勘查结果,楼团自然寨区域地层结构简单,上覆第四系残坡积土层,下伏震旦系下统富禄组(Zaf)强风化-中风化砂岩,为基岩,区域资料显示该基岩厚度大于300 m,无软弱地层或夹层。

1.3 地质构造、新构造运动与地震

根据地质调查,区域内岩性受构造运动挤压作用不强烈,基岩呈单斜构造,地表出露的岩层多呈层理状,风化作用强烈,岩体较破碎—破碎,据1:5万通道幅(G49-64-A)地质图,调查区附近2 km内未发育断层构造,勘查范围内未发出新断裂构造及新构造运动迹象。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001),本区地震动峰值加速度0.05 g,地震基本烈度小于VI度,地震动反应谱特征周期值为0.35 s。

1.4 地表水

调查区域内西侧发育播阳河地表水流,流向由南向北,该地表河流对滑坡体无影响。滑坡及滑坡影响范围内无地表水流发育,但在滑坡前缘坡脚发育水塘,常年积水,由大气降雨、东侧山体地下水补给。楼团自然村寨位于播阳河右岸,播阳河由南向北流向,汇入渠水经靖洲、会同、洪江等县市,注入沅江,属长江水系,流量约5.02 m³/s。楼团滑坡斜坡坡脚距河流平距约102 m,建筑密集,勘查期间播阳河水位约332.6 m,历史最高洪水水位约338.5 m。楼团滑坡前缘标高342.5~343.6 m,高于最高水位约5 m,该地表河流对滑坡体无直接影响。

2 楼团滑坡发育特征

2.1 滑坡形态特征

根据现场工程地质测绘、地质勘查及结合前期成果综合分析,滑坡边界的判定主要以错台、地表出现的变形裂缝、沟谷及陡坎地形和微地貌特征为依据。

山体斜坡面明显有A、B两处微地貌等高线变化较大,A处呈明显圈椅状台阶地形,B处斜坡面则呈错等高线斜坡状,分析该斜坡应为邻近两处山体坡面不同时段滑坡,边界交叉叠加堆积而成(图1、图2)。

A滑体后缘高程369.5 m,前缘高程344.5 m,相对高差25 m。坡向279°(向西),坡长66.7 m,平均坡度23°,南北边界平均宽42 m,钻孔勘查揭露滑体平均厚度约4.9 m,滑坡范围约2 081.4 m²,滑体体积约1.373×10⁴ m³,A滑体规模属于小型。为潜在浅层推移式土质滑坡。

B滑体后缘高程377.9 m,前缘高程345.6 m,相对高差32.3 m。坡向274°(向西),坡长54.7 m,平均坡度35°,南北边界平均宽74 m,钻孔勘查揭露滑体平均厚度约6.5 m,滑坡范围约4 047.8 m²,滑体体积约2.631×10⁴ m³,B滑体规模属于小型。为潜在浅层推移式土质滑坡。

滑坡左、右缘均以裂缝变形消失处为界,后缘以裂缝变形消失处及陡坎微地貌为界,前缘剪出口以前缘陡坎为界,总体来看,整个滑坡的周界明显。

2.2 滑坡物质组成及结构特征

滑坡物质组成包括滑体及滑床的物质组成,A滑体和B滑体的物质组成和结构特征基本一致,均为上土下岩的结构特征,土岩接触面见软塑状滑带土存在。自上向下分布为滑体土、滑带土、基岩,基岩体内无软弱夹层。

(1)滑体:滑体土主要由含角砾粉质黏土组成。褐黄、黄褐色,含角砾粉质黏土,土质较均匀,含少量铁锰质结核,无摇振反应,刀切面较光滑,韧性及干强度性中等,稍湿—湿,可塑状,含砂岩角砾,粒径2~10 cm不等,角砾含量约15%。结构较松散——稍密。层厚2.72~8.6 m,层顶埋深0.0 m。覆盖整个滑体斜坡面。

(2)滑带(面):滑带土主要由粉质黏土组成。褐黄、黄褐色,粉质黏土,土质较均匀,潮湿—饱和,可塑—软塑状。层厚0.3~0.42 m,层顶埋深2.72~8.6 m。主要分布于滑体与滑床之间。

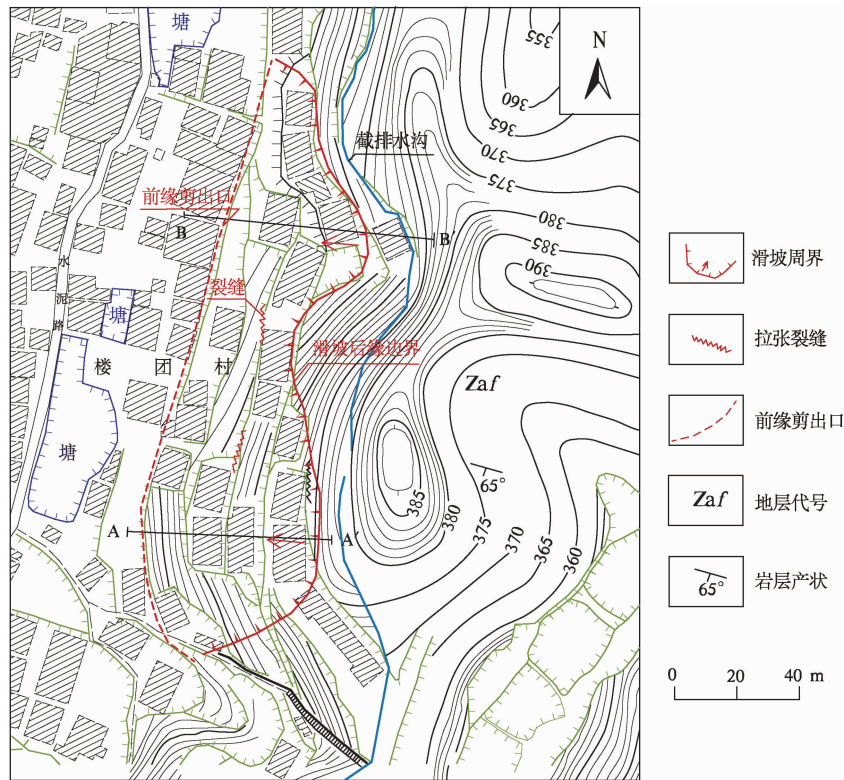


图1 楼团滑坡平面示意图

Fig.1 Plan of Loutuan Landslide

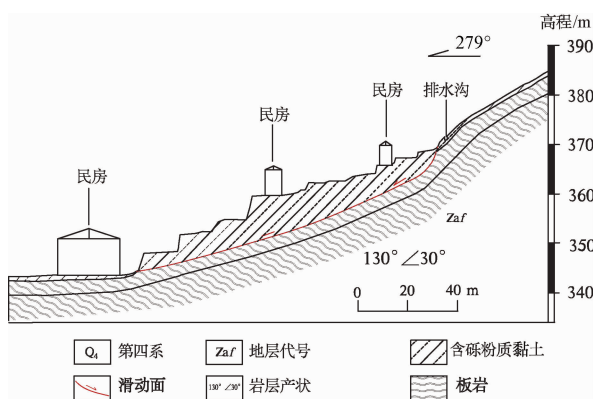


图2 楼团滑坡 A-A'剖面图

Fig.2 Sketch map of Loutuan Landslide section A-A'

(3)滑床:滑床主要由震旦系下统富禄组强风化砂岩及中风化砂岩组成,基岩产状 $130^{\circ}\angle 30^{\circ}$,为内倾斜向斜坡,有两组主要的节理裂隙产状分别为 $195^{\circ}\angle 65^{\circ}$ 、 $230^{\circ}\angle 70^{\circ}$ 。

①强风化砂岩:灰、灰黄色,中厚层状砂岩,节理裂隙发育,节理面可见铁锰质侵染,为较软质岩,钻探岩芯呈砂、碎石状。锤击声闷哑,易碎。产状: $130^{\circ}\angle 33^{\circ}$,为内倾斜向斜坡,有两组主要的节理裂隙产状

分别为 $195^{\circ}\angle 65^{\circ}$ 、 $230^{\circ}\angle 70^{\circ}$,节理面张裂有粉土充填物,岩体破碎。岩石质量指标 RQD 极低,一般为 5%~10%,岩石基本质量等级 V 级。圆锥动力触探实测击数为 $N_{63.5} > 30$,承载力特征值为 800 kPa。

②中风化砂岩:灰、灰黄色,中厚层状砂岩,节理裂隙较发育,节理面可见铁锰质侵染,为较软质岩,钻探岩芯呈块状、短柱、长柱状。锤击声较脆,重击可断。产状: $130^{\circ}\angle 33^{\circ}$,为内倾斜向斜坡,有两组主要的节理裂隙产状分别为 $195^{\circ}\angle 65^{\circ}$ 、 $230^{\circ}\angle 70^{\circ}$,节理面闭合无充填,岩体较破碎。岩石质量指标 RQD 较高,一般为 80%~95%,岩石基本质量等级 IV 级。承载力特征值为 1 500 kPa。

2.3 滑坡变形特征

据访问当地居民,1978 年以前就有祖辈建房居住在斜坡面上,随着经济的发展人口的增多,在该斜坡上切坡填方建房越来越多。2008 年 5 月 20 日暴雨后,该斜坡后缘出现拉张裂缝,走向 5° 左右,长约 30 m,当时裂缝宽度 5~10 cm,可见深度约 0.5 m,同时胡田光村民屋后陡坎滑塌砸损房屋一间。之后村民对塌坑进行了回填,并在坡顶修筑了简易的排水沟。

2008 年至 2014 年本次调查期间,该斜坡并无整

体下滑迹象,但斜坡面多处陡坎在每年雨季总有不同程度的变形,小体积垮方。2011年5月,滑坡前缘低洼水塘出现冒浑水现象。

目前该滑坡变形裂缝迹象不太明显,但勘查揭露土岩接触面存在着老滑坡滑带软土,即存在潜在的滑动面,特别B滑体潜在滑动面倾向约279°,倾角35°,前缘和陡坎临空面高约7.4m,一旦暴雨量达到一定程度,滑带土水含量饱和浸软,滑体土饱和增重,斜坡有可能失稳下滑成灾。进而牵动A滑坡滑动,威胁25户107人的生命财产安全。

由于滑坡体上主要为生活区,村民自发地对坡上的裂缝进行填堵,滑坡体上的裂缝大部分已不可见。目前滑坡体上可见的裂缝共有4条,裂缝多为拉裂缝,分布于滑坡的前后缘及中部,与滑坡的主滑方向270°左右相吻合。裂缝统计见表4。

表4 楼团滑坡变形裂缝统计表
Table 4 Statistical table of deformation cracks of Loutuan Landslide

序号	裂缝编号	裂缝				裂缝位置
		长度/m	缝宽/m	可见缝深/m	走向/(°)	
1	f ₁	17.5	0.10~0.30	0.20~0.50	15°	滑坡中缘
2	f ₂	14.5	0.10~0.40	0.20~0.35	15°	滑坡中部
3	f ₃	19.1	0.10~0.25	0.10~0.30	350°	滑坡后缘
4	f ₄	14.5	0.10~0.20	0.10~0.40	10°	滑坡中部

3 滑坡稳定性分析及防治工程措施建议

3.1 稳定性宏观分析

现场调查表明,楼团滑坡体所反应的宏观变形迹象一般,局部陡坎出现裂缝、失稳垮塌等现象,整体下滑的迹象不太明显,但勘探揭露土岩接触面有滑带土存在,具潜在滑动面,是该点的主要隐患,对滑坡体上的居民存在潜在威胁。

3.2 滑坡稳定性计算

根据滑坡的发育特征结合本次勘查结果判断,该滑坡滑体在基岩接触面上滑动,其滑面近于折线形,因此采用传递系数法进行稳定性计算。计算模型如下(图3):

稳定性系数 F_s :

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \{ [W_i((1-\gamma_{ui})\cos\alpha_i - K\sin\alpha_i) - R_{Di}] \tan\varphi_{bi} + c_{bi}l_i \} \prod_{j=1}^{N-1} \psi_j + R_n}{\sum_{i=1}^{N-1} \{ [W_i(\sin\alpha_i + k\cos\alpha_i) + T_{Di}] \prod_{j=1}^{N-1} \psi_j + T_n \}}$$

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

其中: $\psi_j = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan\varphi_{i+1}$

$$\prod_{j=i}^{n-1} \psi_j = \psi_i \cdot \psi_{i+1} \cdot \psi_{i+2} \cdots \psi_{n-1}$$

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

$$T_i = W_i \sin\theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i)$$

$$N_i = W_i \cos\theta_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i)$$

$$W_i = V_{iu} \gamma + V_{id} \gamma' + F_i$$

$$P_{wi} = \gamma_w i V_{id}$$

$$i = \sin|\alpha_i|$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

式中: F_s ——滑坡稳定性系数;

ψ_i ——传递系数;

R_i ——第 i 计算条块滑体抗滑力/(kN·m⁻¹);

T_i ——第 i 计算条块滑体下滑力/(kN·m⁻¹);

N_i ——第 i 计算条块滑体在滑动面法线上的反力/(kN·m⁻¹);

θ_i ——第 i 计算条块底面倾角/(°),反倾时取负值;

α_i ——第 i 计算条块地下水流线平均倾角/(°);

W_i ——第 i 计算条块自重与建筑等地面荷载之和/(kN·m⁻¹);

V_{iu} ——第 i 计算条块单位宽度岩土体的浸润线以上体积/(m³·m⁻¹);

γ ——岩土体的天然容重/(kN·m⁻³);

V_{id} ——第 i 计算条块单位宽度岩土体的浸润线以下体积/(m³·m⁻¹);

γ' ——岩土体的浮容重/(kN·m⁻³);

F_i ——第 i 计算条块所受地面荷载/kN;

P_{wi} ——第 i 计算条块单位宽度的渗透压力,作用方向倾角为 α_i /(kN·m⁻¹);

i ——地下水渗透坡降;

γ_{sat} ——岩土体的饱和容重/(kN·m⁻³);

γ_w ——水的容重/(kN·m⁻³)。

因此,滑坡稳定系数 F_s 的求解公式为:

式中: F_s ——滑坡稳定性系数;

W_i ——第 i 计算条块自重与建筑等地面荷载之和/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$);

γ_{ui} ——孔隙压力比;

α_i ——第 i 计算条块地下水流线平均倾角,一般情况下取浸润线倾角与滑面倾角平均值/($^\circ$),反倾时取负值;

K ——地震加速度(重力加速度 g);

R_{Di} ——渗透压力产生的垂直滑面分力/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$);

φ_{bi} ——第 i 计算条块滑带土的内摩擦角标准值/($^\circ$);

c_{bi} ——第 i 计算条块滑动面上岩土体的凝聚力标准值/(kPa);

l_i ——第 i 计算条块滑动面长度/ m ;

ψ_i ——传递系数;

R_i ——第 i 计算条块滑体抗滑力/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$);

T_{Di} ——渗透压力产生的平行滑面分力/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$);

T_i ——第 i 计算条块滑体下滑力/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)。

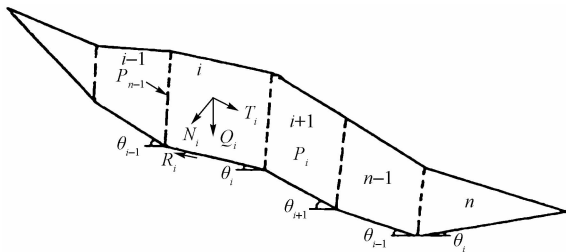


图3 传递系数法计算模型及条块划分图(折线形滑动面)
Fig.3 Calculation model of transfer coefficient method and block partition diagram (broken line sliding surface)

滑坡推力计算如下:

$$P_i = K_s \times T_i + P_{i-1} \times \psi_{i-1} - R_i$$

式中: P_i ——为第 i 条块的推力/($\text{KN} \cdot \text{m}^{-1}$);

K_s ——推力计算安全系数;

P_{i-1} ——第 $i-1$ 条块的剩余下滑力/($\text{KN} \cdot \text{m}^{-1}$);

ψ_{i-1} ——第 $i-1$ 条块传递系数。

计算采用的岩土物理力学参数合理与否,是计算评价滑坡稳定性的关键,其中滑带土的抗剪强度参数 C 、 φ 取值更是关系重大。滑面抗剪强度指标应根据室内试验、反演分析、工程类比及参考地区经验等来综合确定^[8-9]。参数取值见表5,稳定性计算结果见表6。

表5 滑坡稳定性计算参数综合推荐表

Table 5 Comprehensive recommendation table for calculation parameters of landslide stability

岩土名称	重度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)		天然		饱和	
	天然	饱和	$\varphi/(^\circ)$	c/kPa	$\varphi/(^\circ)$	c/kPa
滑体粉质黏土	20.1	20.4	15.4	36.5		
滑带土	2.70	2.83	12.3	25.6	10.7	15.4

本次勘查在斜坡纵向 A 滑体、B 滑体各布置一条东西向纵剖面,均为主剖面,两主剖面间距约 70 m,每条纵剖面上均布置 3 个勘查点,以 A-A'、B-B'为计算剖面分别计算 A 滑体、B 滑体的稳定性。计算结果见表6。

3.3 滑坡稳定性分析与预测评价

通过采用折线滑动法分别计算滑坡各剖面的稳定系数及剩余下滑力,可以得出如下结论:

A 滑体在工况 1(自重)条件下,为基本稳定状态;在工况 2(自重+暴雨)条件下,为欠稳定状态。B 滑体在工况 1(自重)条件下,为基本稳定状态;在工况 2(自重+暴雨)条件下,为不稳定状态。

表6 滑坡稳定性计算结果表

Table 6 Table of calculation results of landslide stability

剖面编号	工况	条件	滑坡稳定安全系数	滑坡稳定系数	评价结果
A-A'	1	自重	1.25	1.164	基本稳定
	2	自重+暴雨	1.10	1.03	欠稳定
B-B'	1	自重	1.25	1.06	基本稳定
	2	自重+暴雨	1.10	0.95	不稳定

注:① 稳定状态分级: $F_s < 1.00$ 不稳定; $1.00 < F_s < 1.05$ 欠稳定; $1.05 < F_s < F_{st}$ 基本稳定; $F_{st} < F_s$ 稳定;② F_{st} 为滑坡稳定安全系数。

滑坡体在降雨条件下,随着雨水入渗,下滑力增大,抗滑力减小,滑坡稳定性进一步降低;本次滑坡稳定性计算已进一步验证了当前状态。B 滑体在自重+暴雨条件下失稳下滑,势必会牵引 A 滑体的滑动,因此,该楼团滑坡亟待治理加固。

3.4 防治工程措施建议

根据本次勘查,查阅相关文献资料^[10],在掌握斜坡可能形成滑坡的机制和主要诱发因素基础上,对其进行工程治理,主要采取抗滑支挡和截排水相结合的综合治理工程措施。

主要采用抗滑桩工程+地表截、排水工程+坡面生态工程对坡体进行整体防护,并与优化坡面排水,植被恢复等辅助治理措施相结合进行防护。

(1) 抗滑桩工程:在滑坡体前缘部位采用抗滑桩进行支挡,桩基础以中风化砂岩桩端持力层,桩端应嵌入基岩一定深度。

(2) 地表截、排水工程:对滑坡后缘及保护对象周

围,修建一级截水沟,在滑坡两侧各修建一条排水明沟,与滑坡体上现有冲沟及滑坡后缘、两侧的环形截水沟构成一个有机整体,以达到在雨季期间能充分、有效地排放滑坡区内的地表水,以减少滑坡区内土体的流失。修建、完善滑坡前缘排水沟和居民区现有排水系统,确保极端气候下排水系统能及时排走地表积水。

(3)坡面生态工程:滑坡区坡面及后缘因拉张裂缝作用,表层土体较松散,局部地段采取削坡后,应对坡面进行有效防护,并对现有地面裂缝及滑坡上裂缝进行回填加固。有条件时,可在坡面种植易生长存活又对表层土壤固结作用强的树木、楠竹和草本植物。

4 结论

本研究以楼团滑坡为对象,在总结研究区地形地貌、地层岩性、活动构造和人类工程活动的基础上,分析了滑坡的分布特征、岩土体组合类型,并对滑坡进行了稳定性评价,提出了治理建议,主要认识如下:

(1)楼团滑坡斜坡面多呈阶梯形,坡面张拉裂缝发育,后缘裂缝切割角度大,滑坡属推移式滑坡。

(2)楼团滑坡坡体在天然工况下为基本稳定,在暴雨工况下为欠稳定至不稳定状态。

(3)建议采用抗滑桩工程+地表截、排水工程+坡面生态工程对坡体进行整体防护,并与优化坡面排水,植被恢复等辅助治理措施相结合进行防护。

参考文献:

- [1] 王涛,吴树仁,石菊松,等. 国内外典型工程滑坡灾害比较[J]. 地质通报, 2013, 32(12):1881-1899. [WANG T, WU S R, SHI J S, et al. A comparative study of typical engineering landslide disasters both in China and abroad[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(12):1881-1899. (in Chinese)]
- [2] 姚伟,侯宗博,张永康,等. 某多次治理滑坡的变形机理和经验教训[J]. 工程地质学报, 2014, 22(增刊1):320-325. [YAO W, HOU Z B, ZHANG Y K, et al. 2014. The deformation mechanism and experience of ascertain number of landslide treatment[J], 22(Sup1): 320-325. (in Chinese)]
- [3] 王立朝,温铭生,冯振,等. 中国西藏金沙江白格滑坡灾害研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(1):1-9. [WANG L C, WEN M S, FENG Z, et al. Researches on the baige landslide at Jinshajiang river, Tibet, China[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(1):1-9. (in Chinese)]
- [4] 刘磊,徐勇,李远耀,等. 湘西陈溪峪滑坡变形机理及稳定性评价[J]. 水文地质工程地质, 2019, 46(2):21-28. [LIU L, XU Y, LI Y Y, et al. A study of deformation mechanism and stability evaluation of the Chenxiyu landslide in western Hunan[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2019, 46(2):21-28. (in Chinese)]
- [5] 陈敏. 常年浸水条件下边坡稳定性分析方法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013. [CHEN M. Slope stability analysis under the condition of perennial water immersion[D]. Changsha: Hunan University, 2013. (in Chinese)]
- [6] 薛凯喜,胡艳香,邹玉亮,等. 近十年中国地质灾害时空发育规律分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(3):90-97. [XUE K X, HU Y X, ZOU Y L, et al. Temporal-spatial distribution discipline of geological disaster in China in recent ten years[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2016, 27(3):90-97. (in Chinese)]
- [7] 方玉树. 滑坡稳定分析传递系数法若干问题探讨[J]. 工程地质学报, 2007, 15(5):607-611. [FANG Y S. Some problems in transmitting coefficient method for landslide stability analysis[J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(5):607-611. (in Chinese)]
- [8] 李世海,刘天苹,刘晓宇. 论滑坡稳定性分析方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(增刊2):3309-3324. [LI S H, LIU T P, LIU X Y. Analysis method for landslide stability[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(Sup2):3309-3324. (in Chinese)]
- [9] 汤罗圣,殷坤龙,周丽,等. 基于数值模拟与位移监测的滑坡抗剪强度参数反演分析研究[J]. 水文地质工程地质, 2012, 39(4):32-37. [TANG L S, YIN K L, ZHOU L, et al. A study of landslide shear strength parameters by inversion analysis based on numerical simulation and monitoring displacement[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2012, 39(4):32-37. (in Chinese)]
- [10] 李世海,李晓,魏作安. 滑坡灾害防治的新技术路线及分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(4):1-5. [LI S H, LI X, WEI Z A. New technologic strategies and analysis about landslide disaster prevention and control[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(4):1-5. (in Chinese)]