

# 泰顺县雅阳镇灵乾村灵家山后山滑坡地质灾害 勘查及治理工程设计

马盛元<sup>1\*</sup>, 寇景铮<sup>2#</sup>, 皮桥辉<sup>2</sup>, 钟云娜<sup>2</sup>

<sup>1</sup>浙江第十一地质大队, 浙江 温州

<sup>2</sup>桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2023年2月10日; 录用日期: 2023年5月25日; 发布日期: 2023年5月31日

## 摘要

滑坡是一种常见的不良地质现象。近年来, 山体滑坡时有发生, 不仅对周边居民的经济财产和生命安全产生了严重威胁, 而且也对我国的经济发展造成了不可估量的损失。因此, 做好滑坡的勘察工作尤为重要, 并根据勘察结果制定相应的防治措施。文章以泰顺县雅阳镇灵乾村灵家山后山滑坡地质灾害勘查为例, 分析滑坡诱发因素, 并提出相应的治理手段, 给同行工作者提供参考。

## 关键词

滑坡, 地质灾害, 勘查, 治理

# Geological Hazard Exploration and Control Engineering Design of Lingjia Mountain Back Mountain Landslide in Linggan Village, Yayang Town, Taishun County

Shengyuan Ma<sup>1\*</sup>, Jingzheng Kou<sup>2#</sup>, Qiaohui Pi<sup>2</sup>, Yunna Zhong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zhejiang 11th Geological Brigade, Wenzhou Zhejiang

<sup>2</sup>School of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Feb. 10<sup>th</sup>, 2023; accepted: May 25<sup>th</sup>, 2023; published: May 31<sup>st</sup>, 2023

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 马盛元, 寇景铮, 皮桥辉, 钟云娜. 泰顺县雅阳镇灵乾村灵家山后山滑坡地质灾害勘查及治理工程设计[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(5): 583-591. DOI: 10.12677/ag.2023.135055

## Abstract

Landslides are a common adverse geological phenomenon. In recent years, landslides have occurred frequently, not only posing a serious threat to the economic property and life safety of surrounding residents, but also causing immeasurable losses to my country's economic development. Therefore, it is particularly important to do a good job of landslide investigation, and formulate corresponding preventive measures according to the investigation results. This article takes the geological hazard exploration of Lingjiashan back mountain landslide in Linggan Village, Yayang Town, Taishun County as an example, analyzes the inducing factors of landslides, and proposes corresponding control measures to provide reference for colleagues.

## Keywords

Landslide, Geological Disaster, Exploration, Treatment

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

山体滑坡是指山体斜坡上某一部分岩土在重力(包括岩土本身重力及地下水的动静压力)作用下,沿着一定的软弱结构面(带)产生剪切位移而整体地向斜坡下方移动的作用和现象。俗称“走山”、“垮山”、“地滑”、“土溜”等。是常见地质灾害之一。滑坡会对坡脚居民房屋、农田造成破坏,甚至产生人员伤亡,给当地人民带来巨大的损失。因此,要对滑坡进行勘查,分析滑坡发生原因,并采取相应防治措施[1]。

## 2. 勘查区概况

勘查区位于泰顺县雅阳镇灵乾村,有水泥公路通往场地,交通较便利。勘查区地貌为低山丘陵山区(见区域遥感图 1),自然斜坡总体为东西走向,斜坡最高点海拔高程为 897 m,灵家山后山道路标高为 808~813 m,下方拟建养生酒店地坪高程约 800.0 m,相对高差约 97 m。自然斜坡地形较陡,坡度约为 27°,局部达 40°。区内出露的第四系主要为残坡积,分布于山体浅表部,层厚约 3 m,岩性为含粉质粘土角砾。由野外勘查和现场钻探结果显示,勘查区地层以第四系残坡积层、下白垩统朝川组凝灰岩为主,岩石风化强烈,勘查区范围内揭露至中风化基岩。勘查区大气降水多沿坡面直接排向坡脚,部分渗入岩土体内部转化为地下水。按地下水赋存介质、埋深,斜坡区地下水主要有松散岩类孔隙潜水和基岩裂隙水。滑坡体宽度约为 15 m,总长为 20 m,厚度约为 3~5 m,总方量约为 1000 m<sup>3</sup>,主滑方向约 190°,属于小型滑坡。并且在滑坡后缘发育有张裂缝,其平面形态呈圆弧状,总体走向约 270°,延伸长度约 50 m,张开宽度最大约 60 cm,下错最大约 1.0 m,可见深度最大约 1.5 m。现状无支护,坡体较陡,上部土层较松散,工程地质性质较差,稳定性较差,下部岩性以全强风化为主,结构较密实。下方道路路面已产生多条平行道路轴线方向裂缝,道路下方挡墙已形成竖直贯通裂缝,有可能进一步发生滑塌,方量约 2 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。根据力学性质,该滑坡的性质为牵引式[2]。



**Figure 1.** Remote sensing map of the exploration area and surrounding areas  
**图 1.** 勘查区及周边遥感图

### 3. 滑坡成因分析

在研究滑坡的发展过程中，国内外众多专家学者在滑坡形成机理研究中成绩斐然。对滑坡影响因素和形成条件的研究方面，王恭先[3]认为滑坡的形成主要包括影响因素和形成条件两个方面。自然、人类活动为主要的影响因素：其中地形地貌、地层岩性等内在因素是形成的有利条件。刘传正等[4]总结了从20世纪开始在我国发生的列为着重处理防治的大型变形滑坡后得出变形是由于人为和自然的原因。黄润秋[5]从具有代表性的大型滑坡中总结其导致发生滑坡的因素，认为造成大型滑坡最主要的因素是强烈震动、极端气候与气候变化。

#### 3.1. 内在因素

##### 1) 地形地貌

滑坡区地形总体为山体斜坡，后缘高，前缘低，地形坡度一般 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，局部较陡，约 $40^{\circ}$ ，易于地表水的汇集下渗及径流沿坡而下，为岩土体失稳提供了有利的地形条件[6]。

##### 2) 地层岩性

滑坡物质主要为残坡积层含粉质粘土角砾，岩性为强风化凝灰岩，砂含量 $10\%\sim 20\%$ ，其余为粘性土，土质不均匀，抗剪强度低，下伏基岩为全风化至中风化凝灰岩，全风化凝灰岩、强风化凝灰岩风化节理裂隙发育，孔隙较大，为相对透水层，而中风化凝灰岩节理裂隙不发育，或局部发育，透水性弱，为相对隔水层，故地下水易在中风化凝灰岩与强风化凝灰岩接触地带汇集径流而下，强风化、全风化凝灰岩遇水易泥化，经过长期的降水渗透径流作用，形成一层质地较软的粉质黏土，为滑坡提供了滑动条件。

#### 3.2. 外在因素

##### 1) 气象水文条件

强降雨是区内滑坡发生的重要诱发因素，尤其是台风暴雨所带来的强降雨，往往容易诱发地质灾害。台风暴雨期间，长时间的降雨补给基岩裂隙水，增大孔隙水压力，降低稳定性，补给地表水入渗，增大坡体重力，降低滑面力学强度参数，尤其是坡体浅表部土层结构较松散，地表水易下渗，受雨水长期浸

泡, 土体力学性质变差, 再加上地下水的动力作用, 使土体局部稳定性变差。

#### 2) 人类工程活动

坡脚居民建设房屋, 大规模挖方形成了高陡的边坡, 破坏了斜坡原有的力学平衡状态, 使斜坡抗滑力降低, 整体稳定性变差, 加快了坡底滑坡变形。

### 3.3. 滑坡地质灾害成因

斜坡坡脚经人工切坡建房、修路, 形成许多人工边坡陡坎、临空面, 为滑坡的形成创造了有利的空间条件; 滑坡物质结构组成松软, 工程力学性质差, 经过长期地下水的浸泡, 易形成软弱结构面, 给滑坡提供滑动条件; 勘察区降水充足, 无系统排水条件, 地下水活动强烈, 加快了软弱结构面的软化、崩解和泥化, 降低了岩石的抗剪强度促使坡体滑动变形。

## 4. 边坡稳定性分析与评价

### 4.1. 定性分析

根据野外工程地质调查成果, 分析斜坡变形破坏现状, 判断斜坡稳定性状态, 主要根据工程地质类比法[7]。

整体稳定性分析: 自然斜坡总体为东西走向, 斜坡最高点海拔高程为 897 m, 灵家山后山道路标高为 808~813 m, 下方拟建养生酒店地坪高程约 800.0 m, 相对高差约 97 m。自然斜坡地形较陡, 坡度约为 27°, 局部达 40°。原始斜坡表部植被较发育, 以毛竹为主。滑坡后缘未见明显整体变形破坏迹象, 斜坡整体稳定性较好, 自然斜坡整体失稳的可能性较小。

局部稳定性分析: 勘察区边坡现状较高陡, 道路上方坡高 2~7 m, 坡度一般 65°~75°, 为土质边坡, 坡面裸露无支护, 道路下方坡高约 8~9 m, 坡度 75°~80°, 采用干砌块石挡墙支护。岩土体工程地质性质较差, 稳定性较差, 且现有的干砌块石挡墙质量一般, 边坡发生滑坡失稳的可能性较大, 其可能破坏形式主要表现为斜坡浅~中层滑坡, 其剪出口两种可能, 一是沿残坡积层底界面局部剪出, 二是从全风化层内部剪出, 破坏模式近似为均匀土质边坡中的圆弧形滑面滑动。

### 4.2. 定量计算

#### 1) 计算模型

选取剖面 1-1'、2-2'作为代表性剖面, 如图 2, 建立计算模型如图 3~4。

#### 2) 计算方法

极限平衡分析法是目前评价边坡稳定性的主要方法, 是一种基于平衡理论的数学模型计算分析方法。早先多个工程中均有应用[8]。极限平衡法是根据静力平衡原理分析边坡各种破坏模式下的受力状态, 以边坡滑体上的抗滑力和下滑力之间的关系来评价边坡的稳定性。工程中常用的分析方法有: 费伦纽斯(Fellenius)法、毕肖普(Bishop)法[9]、泰勒(Taylor)法、简布(Janbu)法[10]、摩根斯顿-普赖斯(Morgenstern-Price)法、斯潘塞(Spencer)法[11]、萨尔玛(Sarma)法、传递系数法[12]、瑞典条分法[13]、平面直线法, 以及贝克-加伯(Baker-Garber)临界滑面法等[14]。

本文根据规范, 按滑动面类型和物质成分, 采用理正岩土计算软件的简化 bishop 法进行稳定性计算。

#### 3) 计算工况

暴雨工况(自重 + 地下水作用), 因钻孔未见水位, 推测斜坡地下水水位埋深较大, 故计算中未考虑地下水渗流作用, 仅考虑由于水的作用导致土体饱和、容重增大、土体强度降低。

#### 4) 安全系数

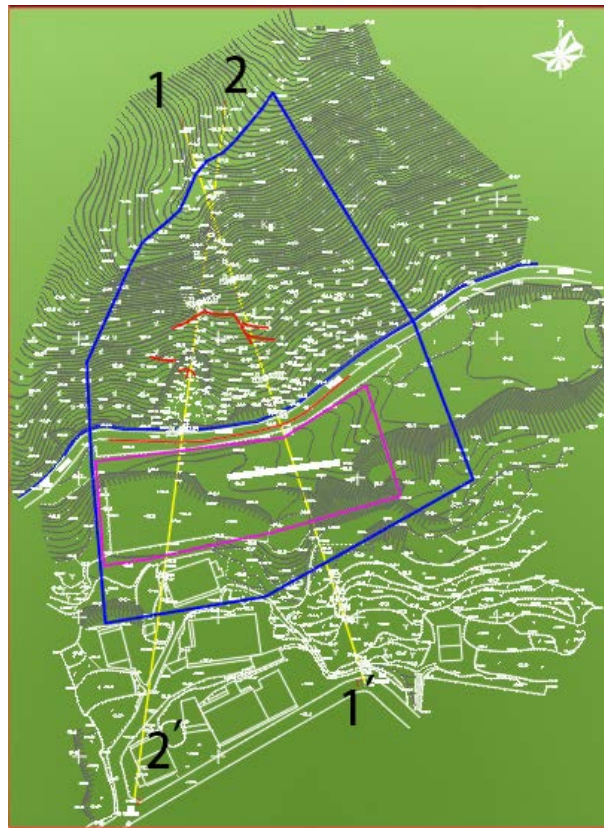


Figure 2. Select profile  
图 2. 剖面选取图

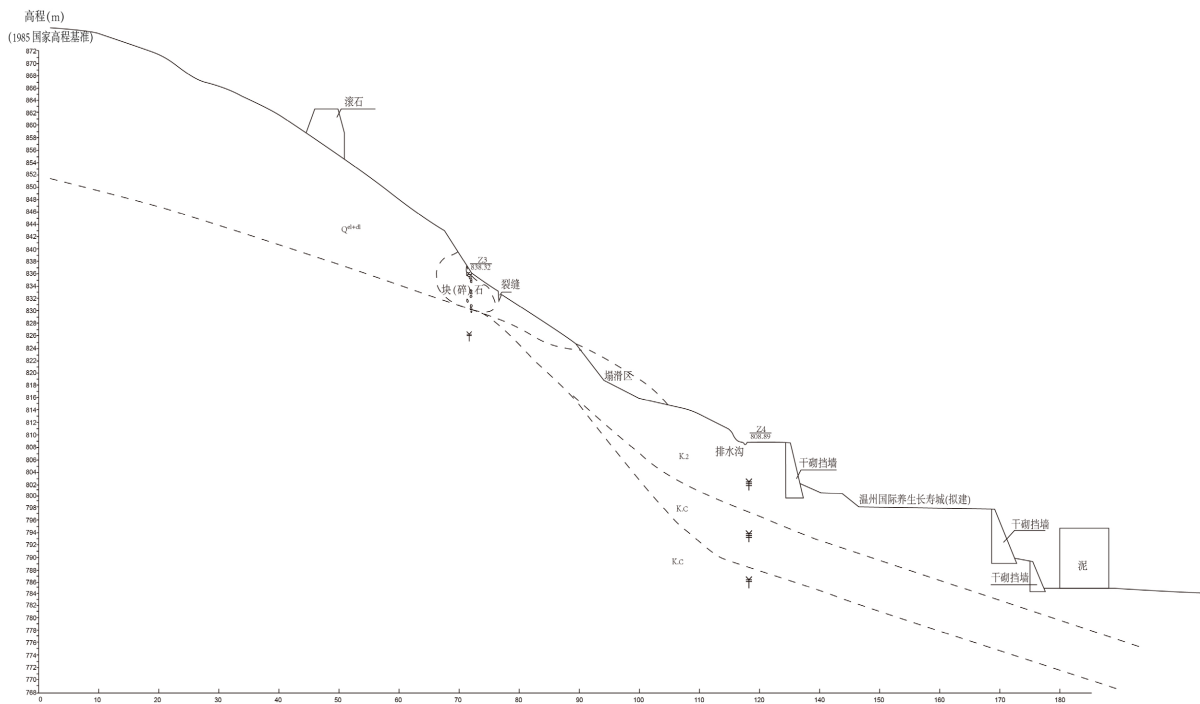
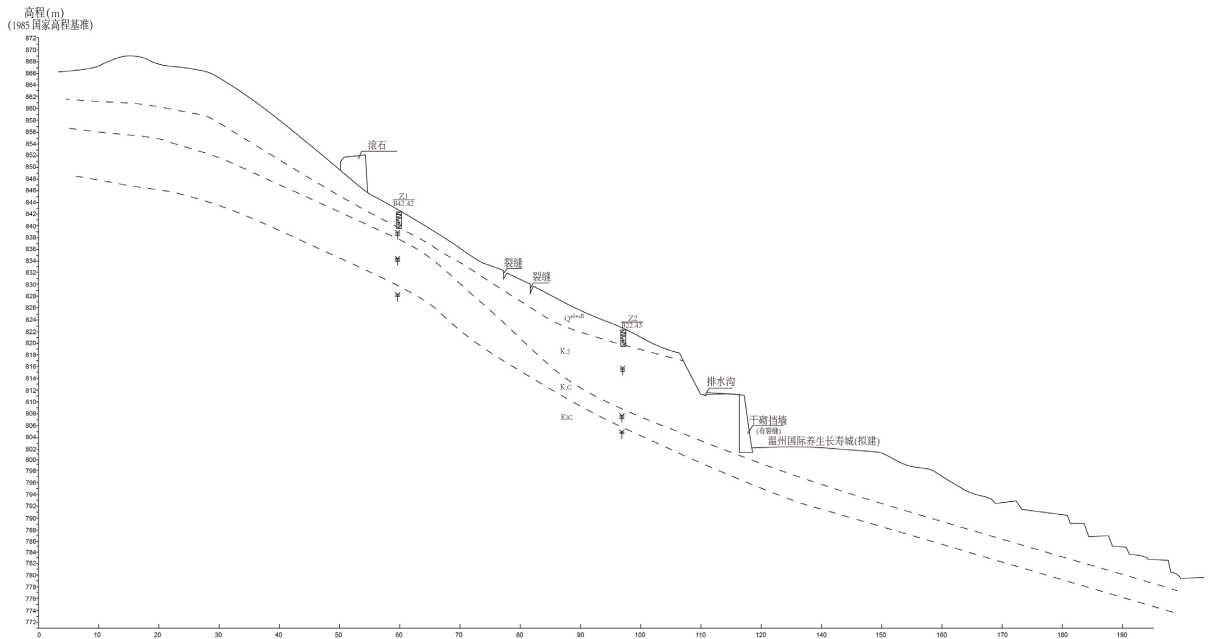


Figure 3. Slope 1-1' calculation model  
图 3. 边坡 1-1'计算模型



**Figure 4.** Slope 2-2' calculation model  
**图 4.** 边坡 2-2'计算模型

边坡的防治工程等级为二级，可能的滑动方式为近似圆弧滑动，参照《建筑边坡工程技术规范》，暴雨工况下安全系数取 1.30。

5) 计算参数

根据土工试验，结合 1-1'和 2-2'剖面实际情况，2-2'段已发生过滑塌，1-1'段坡脚挡墙明显变形，反演其稳定性系数小于 1。故选取 2-2'剖面为反演剖面，计算工况为暴雨，假定残坡积土和全风化土各项指标均取试验平均值，则安全系数为 1.627，与实际稳定状态不符合。建议全风化土和残坡积土参数按表 1 取值，反演得安全系数为 0.986，与实际稳定状态相符合。

**Table 1.** Physical and mechanical indexes for calculating stability of slope rock and soil mass  
**表 1.** 斜坡岩土体稳定性计算物理力学指标

土层	参数指标	容重(kN/m <sup>3</sup> )	粘聚力(kPa)	内摩擦角(°)
		饱和	饱和	饱和
	残坡积	18.5	4.8	21.1
	全风化	18.5	4.8	21.1

4.3. 边坡稳定性分析及评价

利用上述计算参数、计算工况，选取 1-1'、2-2' 剖面为计算模型的稳定性计算结果见表 2，边坡在暴雨工况下处于不稳定~欠稳定状态，计算结果较符合边坡现状。

**Table 2.** Stability calculation results of each section under heavy rain conditions  
**表 2.** 各剖面暴雨工况下稳定性计算结果

剖面编号	工况	暴雨工况
	剖面编号	
1-1'剖面	圆弧形滑动	0.859
2-2'剖面	圆弧形滑动	0.627

## 5. 滑坡地质灾害治理方案与设计

### 5.1. 治理方案布置原则

治理工程的设计应贯彻安全、合理、经济的设计原则，在保证安全和正常使用的前提下，选取施工方便、对环境影响小、最经济的结构形式。防治工程设计方案具体应遵循以下原则：

- 1) “以人为本”的原则进行治理；
- 2) 设计方案必须消除地质灾害隐患或即将引发浅表层松散土体的局部滑塌等地质灾害，支挡结构能有效发挥作用，确保坡脚下方居民的安全；
- 3) 结合地质环境及当地的技术经济条件等，优先采用技术可靠、施工简便、投入少的方案；
- 4) 本防治工程设计使用年限为 50 年，防治工程安全等级为二级。

### 5.2. 边坡防治方案设计

采取抗滑桩 + 截排水工程的治理方案。具体工程措施为：

#### 1、抗滑桩

根据《滑坡防治工程设计与施工技术规范》，抗滑桩间距宜为 5~10 m，嵌固段应嵌入滑床中，约为桩长的 1/3~2/5，本次设计采用 1/2。在距道路边线 7~15 m 处设置一排抗滑桩，共计 10 根，抗滑桩截面尺寸为 2.0 × 2.5 m，设计嵌入段长 9 m，自由段长 9 m，平均单桩长 15.5 m，桩中心间距为 5.0 m，C30 砼浇注，总长 155 m，桩顶高程为 220 m。桩体结构见设计图纸。为了控制变形，在抗滑桩顶部设置压顶连系梁，其结构见设计图纸。

挡土板：在抗滑桩内侧设置挡土板，挡土板采用钢筋砼预制板，单板高 1 m，厚 0.30 m。挡板长度均为 4.3 m。其结构见设计图纸。

钢筋混凝土挡土墙：在联系梁顶设置挡土板，挡土板采用钢筋砼现浇板，板高 1.5m，厚 0.30m。其结构见设计图纸。

抗滑桩采用悬臂式计算，根据桩的布置位置，其桩后剩余下滑力为 172 KN，背侧最大弯矩 = 58790.629 kN·m，距离桩顶 10.534 m，最大剪力 = 204,96.477 kN，距离桩顶 15.190 m，最大位移 = 190 mm。

#### 2、截排水工程

##### 1) 计算设计汇流量 $Q_p$

设计汇流量计算公式为：

当  $F < 3 \text{ km}^2$  时，

$$Q_p = \psi S_p F \quad [15] \quad (1)$$

式中： $Q_p$ ——设计频率地表水汇流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )； $\psi$ ——地表径流系数(取 0.7)；

$S_p$ ——设计降雨强度( $\text{mm}/\text{h}$ ，取 120.2)； $F$ ——汇水面积( $\text{km}^2$ ，取 0.002)。

##### 2) 计算截排水沟过流量 $Q$

设计过流断面面积计算公式如下：

$$Q = W \cdot (R^{1/6}/n) \cdot \sqrt{Ri} \quad [16] \quad (2)$$

式中： $Q$ ——截排水沟过流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )； $W$ ——过流断面面积( $\text{m}^2$ )；

$R$ ——水力半径( $\text{m}$ )； $i$ ——水力坡降；

$n$ ——截排水沟壁的粗糙系数(取 0.025)。

##### 3) 截排水沟尺寸设计

经计算,设计截水沟沟底纵坡降不小于 5%,截面型式为梯形,过流断面尺寸为:上宽 1.0 m,底宽 0.5 m,深 0.5 m,计算得截排水沟过流量  $Q = 0.56 \text{ m}^3/\text{s} >$  设计汇流量  $Q_p = 0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ ,断面尺寸满足排水要求。

截排水沟材料采用 M10 浆砌片石砌筑,截水沟间隔 15 m 设置宽 2 cm 的沉降缝,材料采用沥青麻筋或沥青木板。

### 3、裂缝处理

对滑坡区域内的裂缝采用水泥浆进行灌浆封闭处理,在适宜的压力下将浆液送至浆液扩散半径范围内的岩土体中,充填裂隙及覆盖层土体中的大孔隙、裂隙和土洞,同时对土体进行部分挤密,提高上覆土体的抗冲蚀能力,隔绝或减弱地下水对上覆土体的动力作用,实现加固目的,保证滑坡的稳定、安全。

注浆以 P.O 42.5 级水泥为固化剂,注浆材料配比为 1:1 水泥浆,掺加水泥量的 1%~2% 的速凝剂,注浆压力控制在 1~3 MPa。

## 6. 结束语

1) 泰顺县雅阳镇灵乾村灵家山后山由于修路建房造成边坡高陡,裂缝延伸长度约 50 m,张开宽度最大约 60 cm,下错最大约 1.0 m,可见深度最大约 1.5 m,目前变形仍在发展,潜在地质灾害威胁坡脚拟建的酒店的安全,本次工作对该边坡进行勘查暨防治工程设计,防治工程安全等级为二级。

2) 综上所述,滑坡地质灾害会对当地居民造成重大财产损失和人员伤亡,因此必须对此引起强烈重视。滑坡的产生主要因素包括内在因素与外在因素,分别为地形地貌、地层岩性和水文气象条件、人类工程活动。

3) 勘查表明,目前自然斜坡整体处于稳定状态,发生整体性失稳可能小,但斜坡下部由于修路建房造成边坡高陡,坡体岩土体工程地质性质较差,稳定性较差,目前已产生裂缝,且仍在不断发展,存在滑塌隐患。潜在地质灾害威胁到坡脚拟建的养生酒店的安全。因此,需要对边坡进行治理。

4) 综合经济、环境效益,建议采用工程治理措施,针对勘查区地质灾害特征及破坏模式,可采取抗滑桩 + 截排水工程的治理方案。

总之,勘查与治理的目的在于减少滑坡可能引发的危害,为居民的财产和生命安全提供保障。但只有不滥砍滥伐,保护当地的自然环境才能有效避免不良地质现象的发生。科学制定施工组合方案,合理确定施工顺序,加快施工进度,确保施工安全。施工中贯彻动态设计原则,加强地质编录工作和施工期的监测,及时反馈信息以便优化设计。

## 致 谢

感谢浙江省第十一地质大队资金及数据支持,还有编辑部各位老师的修改指正!

## 参考文献

- [1] 龙键鹏. 滑坡地质灾害勘查及防治治理[J]. 西部探矿工程, 2022, 34(6): 40-42.
- [2] 杨涛, 孙立娟, 成启航, 等. 牵引式滑坡后缘破裂面形成机制试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(S2): 3842-3849. <https://doi.org/10.13722/j.cnki.jrme.2017.0688>
- [3] 王恭先. 滑坡防治中的关键技术及其处理方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3818-3827.
- [4] 刘传正, 王恭先, 崔鹏. 地质灾害防治研究现状与展望[C]//中国地质学会. 2008-2009 地质学学科发展报告. 北京: 中国地质学会出版社, 2008.
- [5] 张敏. 松散砂土边坡渗流特性的离心模拟试验研究[J]. 科技信息(学术版), 2008(24): 331-332..
- [6] 刘昭维. 滑坡地质灾害勘查及防治措施建议[J]. 工程技术研究, 2021, 6(22): 283-284.



- 
- <https://doi.org/10.19537/j.cnki.2096-2789.2021.22.130>
- [7] 李奎. 运用工程地质类比法分析评价边坡的稳定性[J]. 土工基础, 2019, 33(4): 479-482.
- [8] 姚艳领. 基于 Bishop 法的边坡稳定性分析[J]. 中国锰业, 2016, 34(4): 68-70.  
<https://doi.org/10.14101/j.cnki.issn.1002-4336.2016.04.020>
- [9] Bishop, A.W. (1955) The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Géotechnique*, **5**, 7-17.  
<https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- [10] Janbu, N. (1955) Application of Composite Slip Surfaces for Stability Analysis. *Proceedings of European Conference on Stability of Earth Slopes*, Sweden, 20-25 September 1954, 43-49.
- [11] Agam, M.W., Hashim, M.H.M., Murad, M.I., *et al.* (2016) Slope Sensitivity Analysis Using Spencer's Method in Comparison with General Limit Equilibrium Method. *Procedia Chemistry*, **19**, 651-658.  
<https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.066>
- [12] 史艳, 赵卫冬, 吴梓敬. 土坡稳定性计算[J]. 公路, 2020, 65(9): 69-72.
- [13] 陈祖煜. 边坡稳定分析的通用条分法的原理和使用方法[C]//土石坝与岩土力学技术研讨会. 土石坝与岩土力学技术研讨会论文集. 北京: 地震出版社, 2001.
- [14] 张世雄. 固体矿物资源开发工程[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2013.
- [15] 翟国静. 雨水设计流量公式推导的商榷[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 2003(1): 5-8.
- [16] 张宏, 张浏. 海绵城市道路中开口路缘石的过水流量计算方法探讨[J]. 给水排水, 2021, 57(S2): 57-60.  
<https://doi.org/10.13789/j.cnki.wwe1964.2021.S2.011>