

浅谈长湖大坝左岸公路边坡地质灾害隐患评估方法的分析研究

罗国栋 石磊 谭明钱

广东省地质建设工程集团公司 广东广州 510080

【摘要】受全球变暖、极端天气常态化的大环境影响，以及“龙舟水”持续降雨和台风强降雨等极端天气将越发频繁，加之各类工程活动对地质环境影响，清远市地质灾害易发多发、威胁严重。为确保道路和电厂运营安全以及坡脚建筑物与人民生命财产安全，对长湖大坝左岸公路边坡地质灾害隐患进行调查评估。本项专题研究工作方法包括工程测量（无人机航拍）、工程地质与地质灾害调查与测绘、水文地质调查，以及岩土室内试验等。通过查明地质灾害隐患的地质环境条件、灾害类型与基本特征已经诱发因素，分析地质灾害的发展趋势及危险性，预测地质灾害对建设工程与道路的影响程度，并进行综合评估，提出防治对策措施及建议。本文是对广东粤电长湖发电有限责任公司长湖大坝左岸公路边坡地质灾害隐患分析评估的方法探索及防治方案研究，提出防治建议。

【关键词】极端天气 道路和电厂运营安全 地质灾害隐患 工作方法 诱发因素 防治对策措施

Analysis and study of geological hazard on left bank of Changhu Dam

Luo Guodong Shi Lei Tan Mingqian

Guangdong Provincial Geological Construction Engineering Group Company Guangzhou, Guangdong province 510080

【Abstract】 Due to the impact of global warming, the normalization of extreme weather, as well as the “dragon Boat water” continuous rainfall and typhoon heavy rainfall and other extreme weather will become more frequent, coupled with the impact of various engineering activities on the geological environment, geological disasters in Qingyuan city are prone to occur and pose serious threats. In order to ensure the operation safety of roads and power plants, as well as the safety of structures built at the foot of the slope and people's life and property, the hidden danger of geological disasters on the slope of the left bank of Changhu Dam was investigated and evaluated. The working methods of this project include engineering surveying (unmanned aerial vehicle flight), engineering geology and geological disaster survey and mapping, hydrogeological survey, and geotechnical indoor test, etc. By ascertaining the geological environment conditions, disaster types and basic characteristics of the hidden dangers of geological disasters, the development trend and danger of geological disasters are analyzed, and the influence degree of geological disasters on construction projects and roads is predicted, and the comprehensive evaluation is made, and the prevention countermeasures and suggestions are put forward. This paper is to explore the method of analysis and evaluation of geological hazards of the left bank highway slope of Guangdong Yuedian Changhu Power Generation Co., LTD., and put forward prevention and control suggestions.

【Key words】 extreme weather road and power plant operation safe disaster disaster hidden danger work method, induced factors prevention and control countermeasures

一、项目背景及研究思路方法

项目背景：长湖水库坝址左岸山体雄厚，地层为中、下泥盆纪滨海沉积。35米高程以下为坚硬完整的砂岩类岩石，35米高程以上除部分为弱风化砂岩外，均以千枚类岩石为主，岩性软弱，但岩体较完整。山体坡度约 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。近年来，长湖大坝左岸县道X377右侧边坡曾发生多次滚落或小型崩塌，威胁过往人员、车辆、电站长湖发电公司办公楼及其他附属建筑物安全。查明其地质灾害隐患，进行综合评估，提出防治对策措施及建议。



图1 长湖大坝左岸公路边坡地形地貌及植被

研究思路：（1）首先收集该区详细的水文、气象、地质等地质灾害发育背景资料；（2）调访、地质灾害形成特征调查、地质灾害运动特征调查；（3）进行现场钻探、边坡纵剖面地形测量；（4）结合现场与室内试验，计算地质灾害各项参数，为防治工程提供必要的设计参数；（5）分析地质灾害的形成、运动和对其稳定性进行评价，评估地质灾害发展趋势，评价地质灾害对工程建设的影响并提出防治建议。

二、采用的研究分析方法

（1）收集区域的地形图、地质图、区域构造地质图、地方志、文献、遥感影像和相关资料；（2）进行长湖大坝左岸公路边坡地质踏勘，踏勘主要沿着长湖大坝左岸公路进行，主要调查边坡地形地貌、已发地质灾害包括发生日期、具体位置、规模类型、地质环境条件、基本特征、诱发因素、受灾情况、灾情等级等；（3）进行了长湖大坝左岸公路边坡的无人机航拍，以用于地形地貌、易发地质灾害区域的探测，以及对遥感影像的校验；（4）在周边进行调访，应根据调查结果，现场圈定地质灾害及隐患的周界，判定地质灾害及隐患点的稳定性，分析并划定可能致灾范围，确定受威胁对象

及可能造成的危害程度；(5) 根据野外钻探调查结合室内试验，查明边坡的地质构造特征、地层结构及其物理力学性质特征，提供地质灾害防治设计所需的岩土参数；(7) 根据边坡的工程地质条件及已发地质灾害的特点，论证边坡潜在其他失稳形式的可能性并评价边坡的稳定性；(8) 针对边坡潜在的失稳形式和稳定性，提出相应的地质灾害防治方案。

三、研究分析过程

(一) 研究区地质隐患发育因素分析及主要数据

地质隐患发育因素主要体现在地质环境条件复杂情况，包括区域地质构造条件、地壳稳定性、地形地貌复杂程度、地质构造条件等因素，对区域地层与岩石条件、岩土体工程地质条件及水文地质条件均有重要影响，除此之外，区内人类工程活动亦对地质环境造成显著影响。其中以下2个条件对研究区地质隐患发育影响较大。

(1) 地形地貌：研究区地貌为丘陵地貌，区内分水岭山脊海拔高程一般 115~476.6m，山脚沟口的渝江河床海拔高程一般 10~30m，相对高差在 105~466m 之间，自然山体坡度 30~45°，坡面呈上部、下部陡，中间稍缓，局部近似直立的陡崖边坡。山脉走向大体呈北东-南西向，地势总体北东高南西低。勘查边坡电站桥至电站办公楼区段、电站办公楼及附属建筑区段、新建监控楼以北区段丘顶高程分别约为 166m、146m、207m。

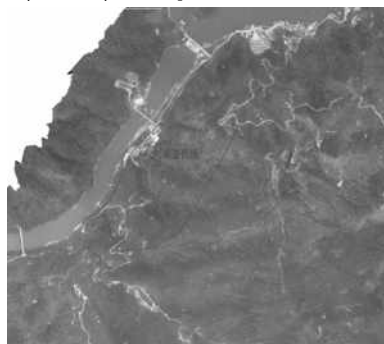


图2 地形地貌航拍图

(2) 地质构造：受构造应力作用，研究区构造节理裂隙明显，野外调查发现节理裂隙如下：

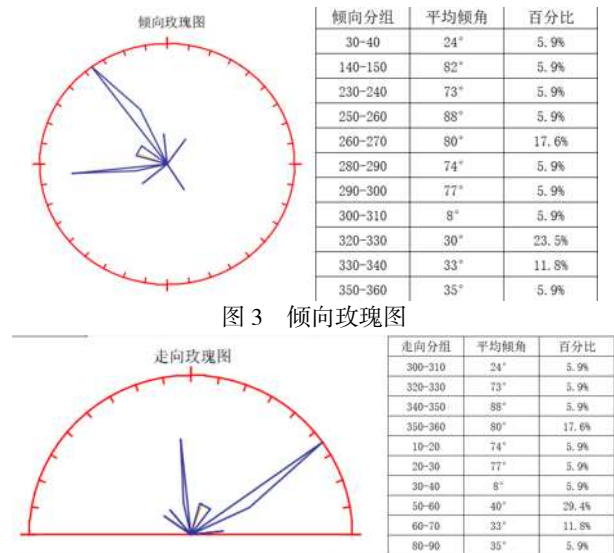


图3 倾向玫瑰图

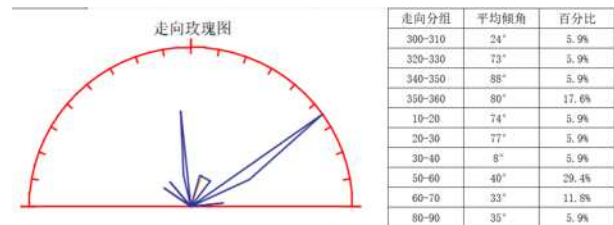


图4 走向玫瑰图

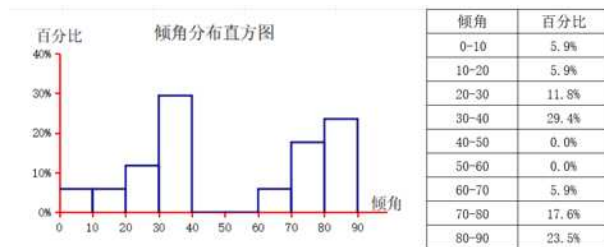


图5 倾向分布直方图

(二) 地质灾害发育分布特征

根据现有地质资料及野外地质调查，研究区人类工程活动中等，但人类活动对地质环境的破坏程度较弱，总体地形地貌保持较好，环境保护良好。在评价区域内，已发生的地质灾害主要包括崩塌与滑坡。经实地勘查，未观察到泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等地质灾害现象。研究区地质灾害均为小型。截止 2023 年 12 月，调查共发现地质灾害 58 处，从类型上分析地质灾害点最多的为崩塌 50 处，占总数的 86.2%，其次为滑坡 8 处，占总数的 13.8%。

表1 地质灾害发育程度评估要素表

灾害类型级别	崩塌 (m ³)	滑坡 (10 ⁴ m ³)	泥石流 (10 ⁴ m ³)	地面塌陷 (10 ⁴ m ³)
特大型	大于 5000 (含)	大于 10 (含)	大于 50 (含)	大于 10 (含)
大型	500 (含) 至 5000	5 (含) 至 10	10 (含) 至 50	1 (含) 至 10
中型	100 (含) 至 500	0.5 (含) 至 5	1 (含) 至 10	0.1 (含) 至 1
小型	小于 100	小于 0.5	小于 1	小于 0.1

研究区崩塌分为：岩质崩塌和土质崩塌。岩质崩塌分布在长湖发电公司长湖大坝左岸公路路堑边坡的岩质边坡中，以陡坡为主，基岩裸露，节理裂隙较发育，坡脚有少量崩落堆积体，局部小岩块掉落。土质崩塌位于研究区中部偏南侧山体中，多集中于人工开挖路堑边坡中，主要表现为陡坡表层土体崩落、掉块，多发生在浅层残积土或全风化岩中，呈松散状堆积于坡脚。

表2 崩塌发育程度评估要素表

评价要素	类别	特征说明
崩塌规模	小型崩落体积	< 100m ³
	中型崩落体积	100 m ³ ≤ ~ < 500m ³
	大型崩落体积	500 m ³ ≤ ~ < 5000m ³
	特大型崩落体积	≥ 5000m ³
稳定性	稳定	坡平缓；硬质岩石构成的岩层，其结构单一，凸显了地质特征的独特性；轻微的风化现象，对物质结构的影响有限；在土体构造中，密实性普遍存在，但亦偶见局部出现松动之状。
	基本稳定	平缓的坡度，为地形增添了宜人的景观；在单一岩层中，以坚硬质地岩石为主导，夹杂少许柔软岩质，断裂现象相对稀少；轻度的风化现象，对相关物质结构的影响相对较小；岩体结构面保持密闭状态，无破碎带存在，斜坡上仅散落个别危石。

评价要素	类别	特征说明
	欠稳定	坡较陡；软弱夹层在岩体中的存在，对岩体的稳定性构成了显著影响；中等风化程度，在描述地质演变的过程中扮演着关键角色；在岩体中，结构面发育明显，组合关系错综复杂，进而形成了若干破碎带与分离体。
	不稳定	坡陡；发育着断裂的岩层，其软硬质地相互交错，呈现出独特的地质景观；严重风化现象；软弱岩体之结构面发育，其组合关系繁复，进而催生众多破碎带与分离体。
处理难易程度	不需处理	无破坏或轻微破坏
	易于处理	破坏力小
	一般处理	破坏力中等
	难于处理	破坏力强

研究区滑坡均集中于调查范围南侧山顶电塔工地附近及人工开挖土路边坡周边，组成滑体的物质为：上部（厚13~33m）主要由灰黄色碎、块石夹粉质粘土构成。下部为碎、块石成份绝大多数为灰白、灰绿色千枚岩组成。由于滑坡在滑动变形过程中压、剪应力的共同作用，使本来裂隙和层间结构面就较发育的岩体，多呈碎裂、碎块状产出，但层理仍可辨认。

广东粤电长源发电有限责任公司长源大坝左岸公路边坡地质灾害风险评估地质灾害分布与易发分区图

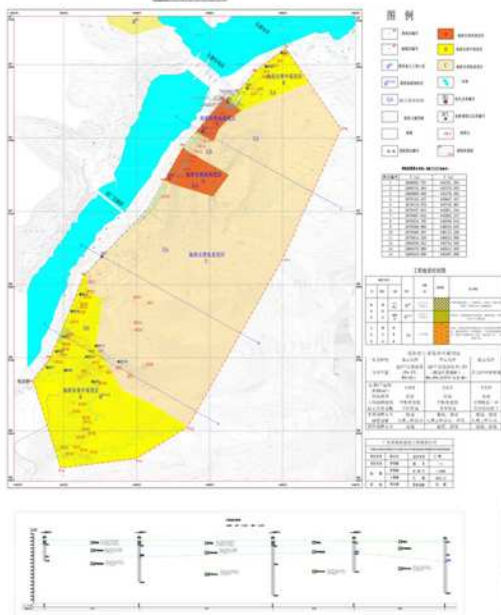


图6 研究区地质灾害分布与易发分区图

(三) 研究区地质灾害形成机理与危险性现状评估

(1) 研究区地质灾害形成机理

1) 崩塌形成机理

①形成条件，地形地貌：崩塌区主要为剥蚀丘陵地貌，由于原始地形或道路建设开挖山体形成高陡边坡，坡度60~85°，为崩塌的发生提供了有利的地形条件。

岩土体性质：组成边坡的岩性为中~微风化千枚岩，节理裂隙发育，是发生崩塌的主导地质潜因。

②诱发因素，人为因素：由于建设对山体开挖，改变了山体原有的应力平衡状态，使山体坡脚失去支撑，形成的边坡坡度陡、节理裂隙较发育且未采取任何措施防护，也是引发崩塌灾害的主要原因之一。

降雨因素：边坡基岩裸露，在雨季或强降雨期间，降雨

形成的地表水汇集直接下渗到岩体裂隙中，形成贯通面，降低了岩体抗剪强度是崩塌产生的激发因素。

植物根劈作用：岩石裂隙中孕育的植物，其根系持续伸展，进而对裂隙的侧壁施加压力，使岩石裂隙扩大，从而引起基岩挤压破坏。

2) 滑体形成机理：滑体前缘因人工开挖而形成了陡倾角，使边坡应力失衡，坡体向临空面方向膨胀回弹，特别是滑坡坡脚部位形成新的剪应力集中区，在自重应力长期作用下，土体逐渐向临空面方向沿坡脚剪应力集中区形成剪切破裂面，土体在降雨条件下被软化，抗剪强度降低，此时在坡体中下部产生了拉裂缝，发生了最初蠕滑变形破坏；随时间推移，坡体多次受到降雨特别是持续降雨入渗补给时，裂隙为降雨入渗提供了良好的入渗通道，加剧了雨水入渗速度，滑体体内地下水来不及排泄，引起地下水位急剧抬高顺坡方向的渗透力增大，基覆界面处积累的孔压随之增大，坡体的裂隙持续向后缘及两侧发展，变形加剧。

日久年深，降水的入渗使裂隙不断扩展，地表变形愈加明显，同时地下水多渗透至沿基覆界面径流导致滑带物质被软化，抗剪强度降低，在由坡体自重前产生的下滑推力作用下，导致后缘拉裂面与两侧裂隙贯近，由局部向下蠕动逐渐发展为整体向下滑动，最终形成了该滑坡地质灾害。

(2) 研究区地质灾害危险性现状评估

BT1~BT32 产生崩塌的基本前提是路堑边坡坡度陡峭，且坡面无防护，有利于地表水的下渗，故此，在雨季，特别是长时间的降雨或洪暴期间，地表水径流强度大，对坡面冲刷作用较强，同时边坡土体受浸润，其重度增大，抗剪强度明显降低，陡坡地段便失稳、崩塌。

BT33~BT50 产生崩塌的基本前提是人工开挖路堑边坡，道路建设时平整场地开挖坡脚，造成坡脚出现临空面且没有及时支护，由此降低边坡的稳定性。

HP1~HP8 主要集中调查范围南侧坡顶，为道路建设时平整场地开挖坡脚，造成坡脚出现临空面且没有及时支护，由此降低边坡的稳定性，其工程性质较差，雨季期间坡体将出现重度增大、抗剪强度降低现象，该滑坡坡度为45°~80°，局部近直立。

表3 现状崩塌、滑坡地质灾害危险性评估表

崩塌编号	发育程度分析			危害程度分析		地质灾害危险性分级评估
	崩塌规模	稳定性	处理难易程度	综合评估	灾情	
BT1~32	小型	欠稳定	难处理	弱	中等	中等
BT33~50	小型	欠稳定	易于处理	弱	小	小
HP1~HP8	小型	欠稳定	易于处理	弱	小	小

(3) 研究区地质灾害易发程度评价

本研究区域地质灾害调查结果显示，灾害点类型、数量、规模、危险性等主要特征显著，据此，研究者从灾害点类型、数量、规模、危险性大小等关键特性出发，探究了区域分布特征。同时，综合分析主要致灾因素，遵循“区内相似、区际相异”的原则，将研究区域定性划分为多个具有相同或相近致灾因素的子区域。结合地区实际情况，确立了各类灾害类型易发分区影响要素划分表。依据各区域实际影响要素，按主次顺序进行分析，对原有区域划分范围进行了适度调整，包括扩大、删减和整合。主要采用定性方法，辅以定性与半定量相结合的方式，划分出高、中、低易发区。

表4 地质灾害易发分区说明表

易发程度	高易发区	中易发区	低易发区
分区位置	X377 县道沿线	X377 县道沿线 (研究区西南侧)、(研究区东北侧)	研究区中偏东侧
面积(平面投影)(km ²)	0.018	0.112	0.319
地貌类型	丘陵	丘陵	丘陵
工程地质岩组	千枚岩岩组	千枚岩岩组	松散软弱土体
致灾主导因数	节理发育	节理发育	第四系松软土
主要地质灾害类型	崩塌	崩塌、滑坡	崩塌、滑坡
诱发因素	人类工程活动、降雨、地震	人类工程活动、降雨、地震	人类工程活动、降雨、地震
潜在地质灾害类型	崩塌	崩塌、滑坡	崩塌、滑坡

(四) 地质灾害发展趋势及危害性预测

在特定研究区域的地质环境条件下,可能发生或恶化的地质灾害,主要包括崩塌与滑坡两种类型;在地质灾害范畴内,崩塌与滑坡(包括自然斜坡崩塌与滑坡)为常见类型。在预测分析中,评价要素涵盖岩土体特征、工程地质条件、水文地质条件、地形地貌条件、地质构造条件、气候条件以及规划设计与人类工程活动等多个维度。

表5 预测地质灾害的分类与分布

序号	地灾类型	主要诱发因素	地质灾害类型	地貌区类型
1	工程建设引发或加剧	高压电塔塔基大偏心荷载	边坡崩塌/滑坡	低山丘陵区
2		道路施工建造工程活动	边坡崩塌/滑坡	低山丘陵区
3	可能遭受	自然因素	自然斜坡崩塌/滑坡	低山丘陵区
4			滑坡/泥石流	低山丘陵区

(1) 发展变形趋势

通过分析,研究区在极端条件下可能发生崩塌、滑坡,将引发上部坡体的移动。边坡坡度 60~85°,相对高差大于 10m,若不处理,边坡将不断崩塌,崩塌物不断堆积在坡脚,甚至威胁过路行人。边坡崩塌发展趋势见下图:

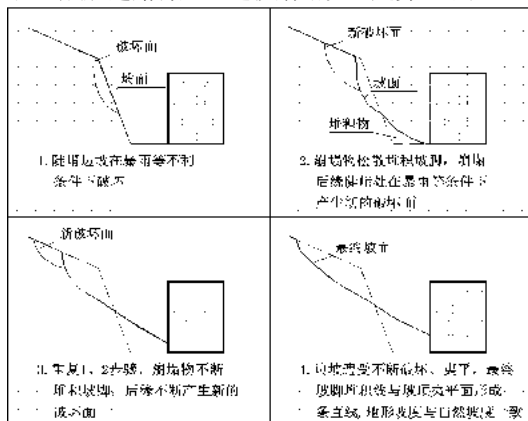


图7 边坡崩塌发展趋势图

研究区在极端条件下可能再发生滑坡,将引发上部坡体的移动。边坡坡度 45~80°,路西侧(路上方)相对高差

约 5~10m,若不处理,边坡将不断滑坡,滑坡物不断堆积在坡脚,直至边坡坡度推至斜坡坡度。此时崩塌厚度可达 10m 左右。边坡滑坡发展趋势见下图:

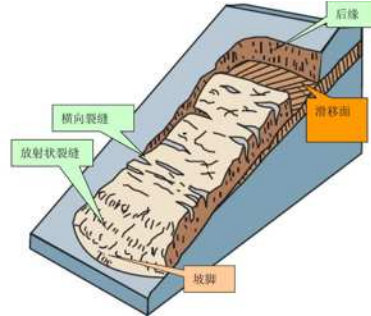


图8 边坡滑坡发展趋势图示意

(2) 其他潜在地质灾害

1) 沟谷泥石流: 沟谷泥石流的形成必须同时具备以下 3 个条件: 陡峻的地形地貌、丰富的松散物质、短时间内有大量的洪流。

2) 坡面泥石流: 控制泥石流形成的条件主要有 3 个方面: 地形条件、物源条件、水源条件。

(3) 稳定性分析

1) 崩塌稳定性分析与评价

边坡稳定性主要从边坡的高度、坡度、组成边坡的岩性、地下水的发育程边坡的变形破坏特征等进行分析。

表6 斜坡稳定性野外判别表

斜坡要素	稳定性差	稳定性较差	稳定性好
坡脚	地表径流频繁冲刷,坡度陡峭的临空地带,呈现出发展趋势,且季节性泉水时有涌出,岩土始终保持湿润、充水状态。	间歇性地,季节性迳流在临空区域流淌,岩土体湿润,斜坡坡度介于 15 至 45 度。	该斜坡坡度平缓,临空处高差不大,且地表无径流痕迹,亦无持续变形现象显现,岩土体保持干燥状态。
坡体	坡度超过 40 度,坡面呈现多条新出现的裂缝,裂缝上方的建筑与植被出现新的变形征兆,裂隙的发育或存在易于滑动的软弱结构面。	在 15 至 40 度之间的平均坡度范围内,坡面局部出现裂缝,然而,其上建的建筑与植被并未显现出新的变形迹象,裂隙发育良好或存在软弱的结构面。	该坡地平均坡度为 15°,未出现裂缝扩展现象,其上建的建筑与植被均未显现新的变形征兆,裂隙未发育,且无软弱结构面存在。
坡肩	积水现象下,裂缝与位移迹象显露无遗。	有小裂缝,无明显变形迹象,存在积水地形	无位移迹象,无积水,也不存在积水地形

采用赤平投影法分析岩质边坡稳定性。赤平投影评价方法如下: ①若两结构面交点位于边坡投影弧之反侧,则组合交线之倾向与边坡倾向相逆,不存在滑动风险,此乃最稳固之结构形态。②若结构面交点与边坡投影弧同侧且位于边坡内侧,其组合交线倾向与边坡倾向相吻合,且倾角超越坡角,此类结构可视为稳定。③在两结构面的交汇处形成交点,若此交点位于边坡投影弧的同一侧且边坡之外,其组合交线的倾向将与边坡倾向保持一致,且倾角将小于坡角,此种情形构成不稳定结构。

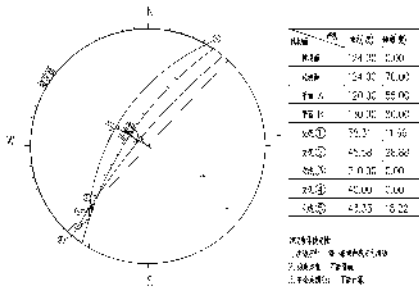


图9 岩质边坡赤平投影图

岩质边坡受节理裂隙结构面的影响下，稳定性均较差，可能形成顺层滑动、楔形滑动、掉块等边坡破坏形式，从而形成崩塌/滑坡地质灾害。逆向边坡通常切削高度较小时就会出现规模较小的崩塌、塌落，这类斜坡失稳主要发生在切削期。因此预测岩质边坡引发崩塌的可能性较大，危害对象为边坡下方行人及长湖发电站公司工作人员，潜在的危害性中等，危险性中等，对地质环境影响较严重。

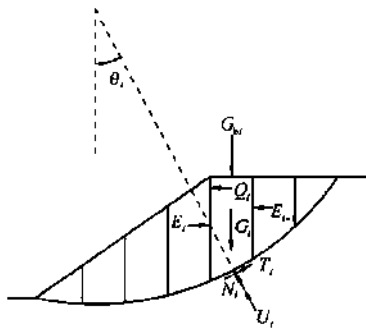
2) 滑坡稳定性分析与评价

根据野外调查，见滑坡坡面有开裂、坡面松动等迹象。近年来雨季偶有小规模塌方，因此该边坡仍有滑坡的可能性，分析边坡在极端不利条件下的稳定性。根据调查和钻探揭露，滑坡坡体主要为坡残积粉质粘土中~微风化千枚岩，中风化岩和微风化岩埋深较浅。

计算方法选用圆弧滑动法，计算时采用“理正岩土计算软件7.0版”进行辅助计算。简化毕肖普法是计算单一圆弧型破坏最为常用和有效的方法。

数学模型如下：

①计算示意图：



②计算公式：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_{\theta_i}} [c_i l_i \cos \theta_i + (G_i + G_{bi} - U_i \cos \theta_i) \tan \varphi_i]}{\sum_{i=1}^n [(G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + Q_i \cos \theta_i]}$$

$$m_{\theta_i} = \cos \theta_i + \frac{\tan \varphi_i \sin \theta_i}{F_s}$$

$$U_i = \frac{1}{2} \gamma_w (h_{w_i} + h_{w_{i-1}}) l_i$$

土质边坡在强降雨或连续暴雨侵蚀时，在土体自重、雨水侵蚀等因素的作用下，处于不稳定状态，容易发生崩

塌/滑坡，预测引发或遭受崩塌/滑坡的可能性中等，发育程度属于低易发区，滑坡量小于0.5万m³，规模属于小型。

(五) 地质灾害规模及危险区范围预测

1、崩塌地质灾害

长湖水电站左岸边坡崩塌，属于岩质崩塌，规模为小型，崩塌体的体积0.5~10m³。崩塌的危险范围区范围为调查范围内县道X377两侧地带。危害对象为区内主要建筑，包括场区的发电房、道路、水渠、办公楼等建构筑物。

2、滑坡地质灾害

长湖水电站左岸边坡滑坡主要集中于调查范围南侧山顶电塔工地附近及人工开挖土路边坡周边，组成滑体的物质为：上部(厚13~33m)主要由灰黄色碎、块石夹粉质粘土构成。滑坡规模为小型，滑坡体的体积小于0.5万m³。滑坡的危险范围为调查范围内南侧山体内部土路，危害对象为过路行人。

四、研究的主要成果

1、预测长湖水电站左岸边坡可能引发或加剧的地质灾害类型为崩塌、滑坡。其他类型地质灾害发生可能性较低。

2、根据边坡稳定性分析结果，评估区在天然状态下，边坡处于稳定状态；评估区在连续暴雨等极端天气状态下，处于欠稳定~不稳定状态，此时评估区地质灾害易发程度等级为中等~高易发。其中位于X377县道沿线区域易发地质灾害为崩塌；位于X377县道沿线(研究区西南侧)、(研究区东北侧)区域易发地质灾害为崩塌及滑坡。

3、对于崩塌及可能产生崩塌、滑坡的危险斜坡有避让、坡后地表排水、削方减载、坡面防护、坡脚支挡、种草、植树、种竹等措施稳固边坡。研究区地质灾害监测是十分必要和重要的，需进行降雨量监测、潜在不稳定松散固体物质监测、宏观监测。

五、讨论探索

1、地质灾害频发，为降低人员伤亡与财产损失，其应对策略亟待优化；坚持以防为主、防抗救相结合；注重灾前预防；科学认识致灾规律，有效减轻灾害风险。文章对于最大高差超100m、岩土质混合、存在崩塌、滑坡的边坡地质灾害隐患分析评估的方法探索及研究，是一个特殊的案例。

2、在评估区，综合剖析各地质环境要素对关键致灾地质现象生成与演化的影响及其特性，进而确认起主导作用的地质环境要素为岩石土壤类别与工程地质状况、水文地质状况，触发因素主要涉及气象水文状况与人类工程行为，其他则被视为从属的地质环境要素。

3、基于对边坡变形形成条件、活动规律的深入掌握，采取科学方法与手段，根据不同地形地势，实施因地制宜、顺应趋势的防治措施，坚持实事求是、经济合理、高效益的工程布局。聚焦灾害治理，巧妙融合资源开发与环境保护，力求全社会广泛助力，以最低成本实现最大社会与经济效益。

参考文献

[1]《清远市地质灾害防治“十四五”规划》，清远市自然资源局，2022年8月；
 [2]《广东省英德市地质灾害调查与区划报告》，广东省地质环境监测总站，2006年4月；
 [3]《广东粤电长湖发电有限责任公司长湖大坝左岸公路边坡地质灾害隐患分析评估报告》，广东省地质建设工程集团公司，2023年12月。