

梧州市万秀区单狗山崩塌、滑坡地质灾害稳定性分析及防治技术研究

文 / 李立锋 广西壮族自治区地质环境监测站

摘要:以梧州市万秀区单狗山崩塌、滑坡地质灾害为例,深入分析了降雨诱发滑坡成因及机理,采用规范计算方法,分析了崩塌、滑坡的影响因素和评估了滑坡安全稳定性。研究结果表明松木滑坡灾变机理是雨水入渗黏土层,风化层遇水极易软化形成软弱夹层,软弱层土体强度低,诱发局部变形最后发生滑动,该滑坡的形成机理可为为滑坡未来的变形发展实施初步预测和滑坡治理提供指导意义。

关键词:梧州市;影响因素;降雨;滑坡机理;稳定性分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.036

引言

目前,诸多学者针对滑坡失稳机理、稳定性分析方法,国内外学者开展了大量的研究。周金等^[2]对广西滑坡地质灾害的分布及驱动因子进行了研究;范秋雁等^[3]对某边坡进行了稳定性评价并提出了治理措施;刘昶^[4]对玉林某坡面泥石流形成机理和致灾机理进行了研究;黄希明等^[5]利用Flac3D数值模拟技术对桂东南容县平梨滑坡的成因机制及稳定性进行了评价;李志宇等^[6]对花岗岩风化土滑坡发育特征及应急治理进行了研究;江思义等^[7]对工程振动对边坡的影响进行了归纳总结;降雨对边坡稳定性的影响主要为自重的增加和土体孔隙水压力减小^[8],或降雨入渗导致岩土体强度降低^[9-10]。

本文梧州市万秀区单狗山崩塌、滑坡地质灾害为案例,进行崩塌、滑坡稳定性分析和滑坡机理研究,该崩塌、滑坡的形成机理可为类似崩塌和滑坡的处置与防治提供工程借鉴。

一、滑坡区地质背景

(一) 地形地貌

滑坡所属区域地貌为处在剥蚀~侵蚀垄状低丘地貌区,丘顶标高90~120m,相对标高40~100m,山体走向以北东、北西向和南北向为主。

研究区边坡坡高11~22m、坡度15°~75°,局部90°,现状边坡局部地段采用浆砌块石挡土墙进行支护,边坡坡面裸露,无防护措施。

(二) 地层岩性及工程地质性质

研究区处于碎屑岩地段,出露的地层为第四系(Q₄)和寒武系黄洞口组上段(∈h³),自上而下分别为:

1. 第四系(Q₄)

①第四系杂填土层(Q₄^{ml})

分布于勘察区大部分边坡表层,层厚0.2~1.2m,呈褐黄、褐灰等杂色,主要由黏性土及建筑垃圾填筑而成,夹较多碎砾、碎砖块等,未经分层压实,结构松散。

②第四系坡积层(Q₄^{dl})

分布于坡顶及部分山坡地带,岩性为粉质黏土,层厚0.3~4.4m,呈褐红色,硬塑~可塑状,切面光滑,

干强度较高。

③第四系残积层(Q₄^{el})

分布于坡顶及山坡绝大部分地带,岩性为含碎石黏土,层厚0.8~8.5m,呈褐黄色,碎石含量25%~40%,碎石成分以强风化泥质粉砂岩为主,块径0.5~2cm。

2. 寒武系黄洞口组上段(∈h³)

为下伏基岩,整个勘查区均有分布。岩性主要为泥质粉砂岩,颜色主要呈褐黄色、灰褐色、褐红色、青灰色,粉砂质结构夹泥质结构,中~厚层状构造,岩层产状为130°∠55°,在钻孔深度范围内,根据其风化程度划分为强风化、中风化两个风化带。

(三) 水文地质条件

根据含水介质特征和地下水赋存条件,项目区地下水类型可分为松散岩类孔隙水、碎屑岩构造裂隙水两种类型。

松散岩类孔隙水:该类地下水主要分布在第四系土体的孔隙中。孔隙水主要接受大气降水的入渗补给,天然状态含水量不大,一般在18.9%~19.7%之间。

碎屑岩构造裂隙水:该类地下水主要赋存于基岩构造与风化裂隙中,构造裂隙和风化裂隙比较发育,多被土体或碎屑充填,地下水枯季径流模数1.5~2.4L/s·km²,水量极贫乏;地下水的化学类型为HCO₃-Ca-Mg型,具弱酸性;地下水主要接受大气降雨入渗补给。该地下水分为两类,一类是具有统一水位的构造裂隙水,由于基岩裂隙分布不均匀,水力联系不一致,在接受大气降雨补给后,表现出渗流各向异性的特点,运移带有局限性,大部分在低洼处以分散流的形式排泄;二类是暂时性裂隙水,主要赋存在包气带基岩构造与风化裂隙中,主要是边坡揭露岩体裸露在外,降雨时雨水易渗入到裂隙内,甚至导致整个裂隙充水,雨后不久受蒸发等影响干涸。

二、滑坡地质灾害发育特征

(一) 滑坡边界、规模、形态特征

梧州市万秀区单狗山崩塌、滑坡位于钱鉴路东侧,属于山坡地带,山坡周边及山顶均有房屋建设,山坡人为扰动较大。导致山体西侧P1、东侧P2、北侧P3形成3处崩塌、滑坡体。这3处边坡坡高11~22m、坡度

15°~75°，局部90°，由杂填土、坡积层粉质黏土、残积层含碎石黏土，强~中风化泥质粉砂岩组成，这3处边坡坡面未进行治理，具体边坡情况见表2-1，边坡大多裸露，在降雨影响下坡面经常出现崩塌现象，水土流失亦严重。根据调查，梧州市万秀区单狗山3处崩塌、滑坡在降雨影响下可能产生更大的地质灾害，如遇极端降雨，每处崩塌、滑坡体均可能产生进一步整体崩塌、滑坡地质灾害，预计每处最大规模达到1200~3000m³，预计总规模达到6800m³；对周边坡脚和坡顶居民生命财产安全构成威胁，威胁人员约600人，威胁财产约2000万元。

从地面调查及勘探结果分析，项目区斜坡坡体主要物质成分由第四系杂填土、坡积层粉质黏土、残积层含碎石黏土及强~中风化泥质粉砂岩组成，表层覆盖第四系松散土体（杂填土、坡积层粉质黏土、残积层含碎石黏土），由于上部土体性状差异不大，可看作土质斜坡体考虑，属类土质滑坡，可以按类土质边坡分析计算，目前未产生整体滑坡，滑动面未形成，在降雨等影响下可能在岩土体内部形成次生结构面，产生圆弧型滑动。根据理正软件6.0搜索最危险滑裂面，这些斜坡滑面后缘为边坡中上部范围，前缘为边坡坡脚，搜索的最危险潜在滑体厚度约为1.5~8.5m。

此外，西侧P1斜坡局部为强~中风化泥质粉砂岩（具体分布可见平面图），节理裂隙较发育，岩层产状125°∠57~81°，节理裂隙较发育，主要发育有两组节理裂隙，部分节理裂隙面外倾，属不稳定结构面，预测边坡在强降雨影响下边坡坡面岩体容易沿节理裂隙面产生崩塌，可运用赤平投影进一步确定危险结构面。勘查平面图见图1。

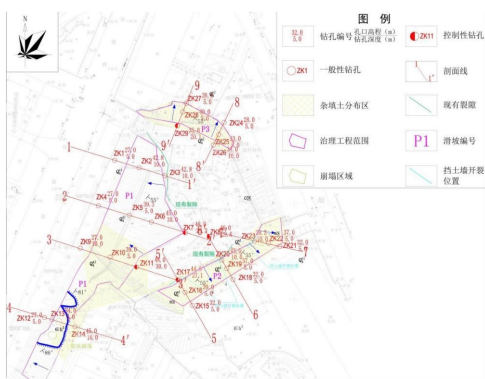


图1 梧州市万秀区单狗山崩塌、滑坡勘查平面图

(二) 滑坡变形破坏特征

根据现场地质测绘，工程区山体西侧P1、东侧P2、北侧P3形成3处崩塌、滑坡体。这3处边坡坡高11~22m、坡度15°~75°，局部90°，3处边坡坡面未进行治理，边坡大多裸露，在降雨影响下坡面经常出现崩塌现象，水土流失亦严重。

剖面1-1'~3-3'附近斜坡曾于2006年6月发生约100m³滑坡，之后为安全起见，在坡脚进行浆砌石挡墙支护，运行至今，挡土墙整体外表较好，未发生整体失稳但局部出现轻微鼓胀开裂，经验算，其稳定系数已不满

足规范要求的安全系数储备，在今后的运行中存在失稳风险；且挡土墙上部坡面因没有进行防护，近年坡面在降雨冲刷下，常有崩塌，山坡顶部有裂缝，特别是剖面4-4'附近，风化岩块时有掉落。

剖面5-5'~7-7'附近斜坡由于边坡陡峭，曾于2015年雨季发生的崩塌，目前坡顶房屋开裂严重，坡顶挡墙宽50厘米，地面以上1.6米，墙顶最大外倾7厘米，裂缝6厘米，现状坡面裸露，存在水土流失、掉块等现象。

剖面8-8'~9-9'附近斜坡坡面裸露，存在水土流失、掉块等现象，山坡顶部有裂缝。

三、滑坡成因分析

单狗山崩塌、滑坡影响因素既有自然因素，也有人因素。

(一) 自然因素

1. 地形地貌因素

勘查区处于丘陵地带，人工切坡地段较为陡峭，为滑坡、崩塌的形成提供了较有利的地形及临空面。为滑坡、崩塌的形成提供了较有利的地形及临空面。

2. 地层岩性因素

斜坡坡体主要物质成分由第四系杂填土、坡积层粉质黏土、残积层含碎石黏土及强~中风化泥质粉砂岩组成，揭露的岩土体遇水易软化、崩解，属地质灾害易发岩性。

另外强~中风化泥质粉砂岩，节理裂隙较发育，岩层产状130°∠55°，节理裂隙较发育，主要发育有两组节理裂隙，部分节理裂隙面外倾，属不稳定结构面，在降雨影响下边坡坡面岩体容易沿节理裂隙面产生小崩塌、掉块现象。

3. 降雨因素

降雨是可能导致边坡失稳最主要的诱发因素，降雨可以使边坡坡面岩土体物理力学性质降低，当降低到一定程度其有效凝聚力不能维持自身稳定时即失稳，产生崩塌或滑坡。

(二) 人为因素

由于历史上基础建设，存在坡脚进行切坡，形成高陡挖方边坡现象，给崩塌、滑坡的形成创造了空间条件和力学条件。

山坡坡顶为居民房，存在周边山坡无序开挖、堆填的现象，农民在山坡进行耕种活动，对山坡自然地貌扰动大，对边坡稳定性也有一定的影响。

四、滑坡稳定性分析与评价

(一) 计算参数确定

根据勘查资料显示滑坡岩土体上层为黏土层，其次为全风化泥岩、强风化泥岩和中风化泥岩。土层物理力学参数如表1。

(二) 滑坡稳定性分析

梧州市万秀区单狗山崩塌、滑坡属于山坡地带，山坡周边及山顶均有房屋建设，山坡人为扰动较大，山体西侧P1、东侧P2、北侧P3形成3处斜坡。这3处边坡坡高11~22m、坡度15°~75°，局部90°，由杂填土、坡积层粉质黏土、残积层含碎石黏土，强~中风化泥质粉砂岩组成，这3处边坡坡面大多裸露，坡面呈阶状或

表 1 滑坡稳定性计算参数表

岩土名称	天然状态			饱和状态			基底摩擦系数 μ	岩土体与锚固体极限黏结强度标准值	水平地基弹性抗力系数 (MN/m ⁴)
	重度 γ	黏聚力 C	内摩擦角 ψ	重度 γ	黏聚力 C	内摩擦角 ψ			
	KN/m ³	KPa	度	KN/m ³	KPa	度	KPa	MN/m ⁴	
①杂填土	*18.5	*16.6	*15.8	*18.8	*10	*13	-	-	*4
②粉质黏土	18.9	18.7	17.0	19.3	13.1	15.5	*6	*60	*10
③含碎石黏土	20.3	19.8	17.5	20.8	12.8	16.8	*0.30	*85	*35
④强风化砂岩	21	51.1	29.6	21.5	42.7	25.8	*0.40	*285	*50
⑤中风化砂岩	*21.8	*200	*30	*22.3	*190	*28.0	*0.50	*600	*60

局部直立状，遇水易软化，饱水时物理力学性质显著降低，在降雨影响下坡面经常出现崩塌现象，水土流失亦严重。上述已对斜坡稳定性进行了定性分析及定量分析，根据稳定性定量计算，土质边坡工况 I 情况下稳定系数在1.178~1.481，处于稳定状态；在工况 II 情况下稳定系数在1.012~1.086之间，处于欠稳定~基本稳定状态。岩质边坡工况 I 情况下稳定系数在1.094~1.888之间，处于基本稳定~稳定状态；在工况 II 情况分别为0.972~1.091，处于不稳定~基本稳定状态。定性分析及定量分析结果与现场实际情况基本相符。

五、防治方案比选及确定

根据滑坡的变形破坏特征、滑坡的稳定性情况及其危害对象的分布范围综合分析建议采取方案如表2：

综上推荐采用各段的方案一对边坡进行治理。采用方案一对梧州市单狗山崩塌、滑坡地质灾害进行治理，主要治理思路如下：

因坡顶坡脚都有邻近建筑物，为确保建筑物安全，且各段边坡具体情况变化较大。总体原则为因地制宜的设置各段的治理方案，以安全第一，兼顾经济，合理可行；尽量不削坡，坡面土石方以局部简单修平修顺为

主，保证坡顶到建筑物的安全距离，减少土石方量。

参考文献

- [1] 周金, 范秋雁, 朱真. 广西滑坡灾害的空间分布特征及其影响因子研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(09): 40-43.
- [2] 范秋雁, 何伟, 刘孟瀚. 某厂区别边坡稳定性分析及加筋挡墙设计[J]. 西部探矿工程, 2020, 32(09): 24-27+30.
- [3] 刘昶. 广西玉林某坡面泥石流发育条件及形成机理研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(02): 188-190.
- [4] 黄希明, 江思义, 李海良. 桂东南容县平梨滑坡的成因机制及稳定性评价[J]. 资源信息与工程, 2019, 34(06): 112-118.
- [5] 李志宇, 刘小明, 刘振宇. 梧州地区花岗岩风化土滑坡发育特征及应急治理研究——以岑溪市三堡镇某花岗岩滑坡为例[J]. 南方国土资源, 2021(03): 38-41.

作者简介：李立锋（1992—02），男，广西梧州市人，本科，工程师，主要从事地质调查和岩土工程勘查与设计工作。

表 2 项目区边坡治理方案对比结果

斜坡编号	方案一	方案二	方案三	两方案对比
P1	1~3剖面段：清坡+锚索+格构梁+植生袋绿化+截排水+护脚墙（已有）； 4剖面段：锚索+挂网喷砂+植生孔绿化+截排水+护脚墙（已有）	1~3剖面段：清坡+锚杆+挂网喷砂+植生袋绿化+截排水+护脚墙（已有）； 4剖面段：锚杆+格构梁+格构梁间挂网喷砂+植生袋绿化+截排水+护脚墙（已有）	1~3剖面段：清坡+锚杆（索）+格构梁+草皮绿化+截排水+护脚墙（已有） 4剖面段：锚索+抗滑桩+植生袋绿化+截排水+护脚墙（已有）	方案一、方案二和方案三对主体支护均可行，清坡+锚杆（索）+格构梁+植生袋绿化，施工速度快，绿化效果好，有利于植被养护。清坡+锚杆（索）+挂网喷砂+绿化，由于挂网喷砂粉尘污染大，由于挂网喷砂层隔绝了植生袋与坡面土体的直接接触，不利于植被生长绿化效果差。方案三的草皮绿化效果远不如植生袋绿化成长好、效果好。故本区段建议采用方案一对边坡进行支护。4剖面段方案三抗滑桩支护成本较高，不经济，且场地狭小，不利于施工。
P2	预应力锚索+格构梁+截排水+植生袋绿化+护脚墙	分散型锚索+压面板+截排水+护脚墙	清坡+锚杆+格构梁间挂网喷砂+草皮绿化+截排水+护脚墙	方案一、方案二和方案三对主体支护均可行，方案一施工速度快、绿化效果好，有利于及时治理及植被养护；方案二考虑到城市景观和斜坡绿化，故不适宜采用。方案三的草皮绿化效果远不如植生袋绿化成长好、效果好。本区段建议采用方案一对边坡进行支护。
P3	清坡+锚索+格构梁+植生袋绿化+截排水+护脚墙	清坡+锚杆+挂网喷砂+植生袋绿化+截排水+护脚墙	清坡+锚杆+格构梁+草皮绿化+截排水+护脚墙	方案一、方案二和方案三对主体支护均可行，清坡+锚索+格构梁+植生袋绿化，施工速度快，绿化效果好，有利于植被养护。清坡+锚杆+挂网喷砂+绿化，由于挂网喷砂粉尘污染大，由于挂网喷砂层隔绝了植生袋与坡面土体的直接接触，不利于植被生长绿化效果差。方案三的草皮绿化效果远不如植生袋绿化成长好、效果好。故本区段建议采用方案一对边坡进行支护。