

Development Characteristics and Formation Mechanism of H1 Landslide in Kele Village, Yunnan Province, China

Wei Chen Li Zhang Feng Xu Xuefeng Zhang Qimin Yu

317th Team of Yunnan Nonferrous Geological Bureau, Qujing, Yunnan, 655000, China

Abstract

Taking the H1 landslide in Kele Village as an example, based on detailed regional geological and drilling survey data, this paper systematically analyzes the spatial distribution, material composition, hydrogeological characteristics, engineering geological characteristics, and structural features of the H1 landslide in Kekecun. The formation mechanism of the H1 landslide in Kekecun is analyzed and discussed in detail. The internal and external factors that contribute to the stability of the H1 landslide in Kekecun are comprehensively analyzed. The current situation of the H1 landslide in Kekecun is unstable, and there is a high possibility of further sliding and expanding the sliding surface under the combined effects of rock and soil weight, earthquakes, and heavy rainfall. The in-depth study of the formation mechanism of the H1 landslide in Kele Village has important reference value for analyzing and identifying similar landslides.

Keywords

Kele village H1 landslide; geological hazard characteristics; internal factors; external factors; formation mechanism

中国云南可乐村 H1 滑坡发育特征及形成机制

陈伟 张莉 徐峰 张雪锋 余其敏

云南省有色地质局三一七队, 中国·云南 曲靖 655000

摘要

以可乐村H1滑坡为例, 基于详尽的区域地质和钻孔勘察等资料, 系统性分析可乐村H1滑坡的空间展布、物质组成、水文地质特征、工程地质特征、结构特征等, 对可乐村H1滑坡的形成机制进行了详细分析和论述, 综合分析可乐村H1滑坡稳定的内在和外在因素, 可乐村H1滑坡现状不稳定, 在岩土体自重、地震、强降雨综合作用下, 滑坡进一步滑动扩大滑面的可能性较大。以可乐村H1滑坡形成机制深入研究类似滑坡分析及识别具有重要的参考价值。

关键词

可乐村H1滑坡; 地质灾害特征; 内在因素; 外在因素; 形成机制

1 引言

可乐村 H1 滑坡位于可乐村下部斜坡低洼区, 于 2022 年 6 月 18 日夜间至 6 月 20 日, 可乐村突降大到暴雨, 累积降雨量达 60mm, 6 月 22 日在强降雨诱发因素下发生滑动, 滑体下沉值在 0.5~1m。期间滑坡后缘区域裂缝持续发生变形, 导致左侧壁道路及旁边房屋局部悬空, 右侧地面部分开裂, 前缘臃胀隆起 (图 1)。

2 地质灾害发育背景

2.1 地形地貌

可乐村 H1 滑坡在地形上位于山体斜坡低洼区 (图 2), 斜坡西高东低, 最高海拔位于西部山头 2052.57m, 最低点位于斜坡坡脚沟谷区 1995.43m, 相对高程 57.14m。

H1 滑坡位于斜坡中下部低凹地区, H1 滑坡分布高程 2027.5~2006.2m, 高差 21.3m, 坡向 83°, 坡度 10~20°, 左壁滑动后形成高 2~3m 陡坎, 坡度达 70°~80°。



图 1 可乐村 H1 滑坡全貌

【作者简介】陈伟 (1981-), 男, 中国云南镇雄人, 本科, 高级工程师, 从事水工环、地质矿产勘查研究。

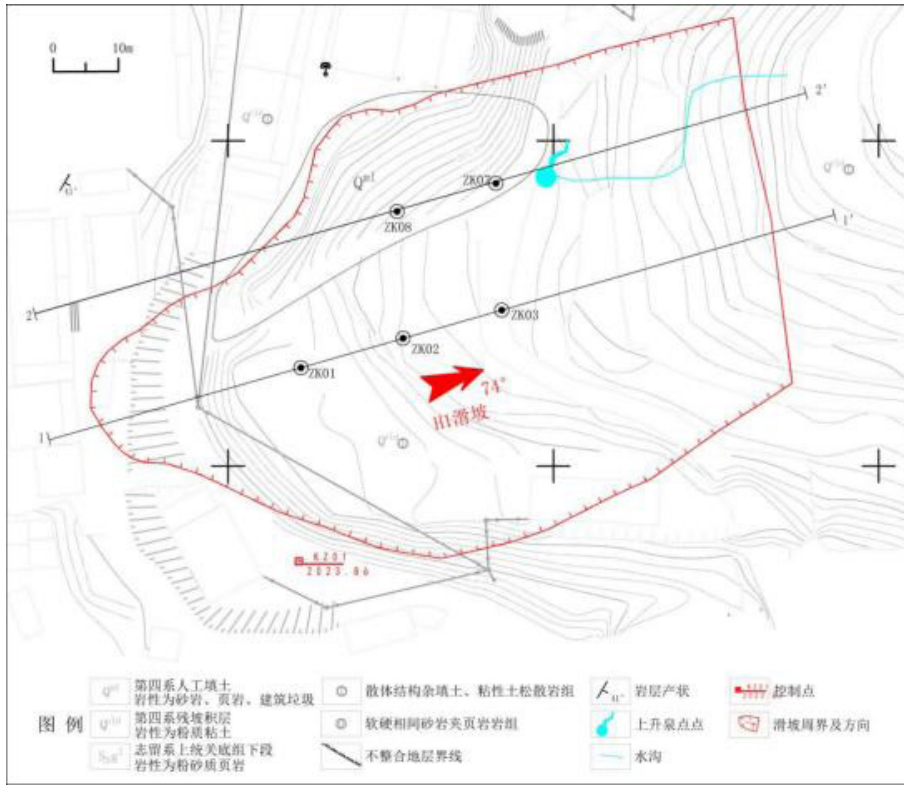


图2 可乐村 H1 滑坡平面分布图

2.2 水文地质特征

可乐村 H1 滑坡范围内无地表水，但滑坡区位于地形凹地区，属于天然汇水地形，大气降水及村内生活用水均向滑坡区汇集，汇水面积约 0.056km²；地下水较为丰富，在钻探期间 ZK07 钻孔地下水直接从孔口溢出（图 3），水量 19mL/s；同时在 ZK07 钻孔下部 18m 耕地内分布有一泉水点，四季均有泉水分布，水量 31mL/s。

2.3 工程地质特征

根据本次野外调查、钻探及浅井揭露，项目区范围内

分布的地层按新老顺序分别为第四系人工填土（Q^m）、滑坡堆坡积层（Q^{del}）、残坡积层（Q^{cd}），出露基岩为志留系上统关底组下段（S₃g¹）（图 4），各地层特征述如下：

①素填土（Q^m）。

岩性为杂填土，黄褐色、棕褐色、灰白色，高压缩性，成份主要为杂质粘性土混约 30% 角砾、碎石，松散状态，主要小面积分布于滑坡的后缘及斜坡表层，为村民建房基础、场地整平、滑坡反压及乡村道路修建形成。

②第四系残坡积层（Q^{cd}）。

工程名称		可乐村H1滑坡		孔口标高 (m)		2015.00		稳定水位深度 (m)		0.00	
地层编号	地层名称	风化带	时代成因	层底高程 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图 1:200	地层描述	岩芯采取率 %	标贯击数 (击)	备注
①	素填土		Q ^m	2014.30	0.70	0.70	[Diagram]	素填土：灰黄色、棕红色、松散状态，稍湿，主要含杂填土且约 20% 碎石，角砾组成，欠固结。		=6.0 1.55-1.85	
②	粉质黏土		Q ^{cd}	2007.80	7.20	6.50	[Diagram]	粉质黏土：灰黄色、灰褐色，可塑状态，均质结构，切面粗糙，局部含角砾，无光泽，干强度及韧性中等。		=5.0 4.35-4.65	
③	页岩			2005.50	9.50	2.30	[Diagram]	强风化粉砂质页岩：灰色、深灰色，块状结构，页理构造，块状胶结，节理裂隙发育，岩体破碎，钻探岩芯多呈土柱状，角砾状，少量块状。		=5.0 6.15-6.45	
④	页岩		E	1990.90	24.10	14.60	[Diagram]	中风化粉砂质页岩：灰色、深灰色，块状结构，页理构造，块状胶结，结构面光滑，节理裂隙发育，岩体破碎，钻探岩芯多呈土柱状，节理长 5-20cm，少量块状，角砾状，采取率约 70-75%，RQD=30%。			

图3 ZK07 钻孔柱状图

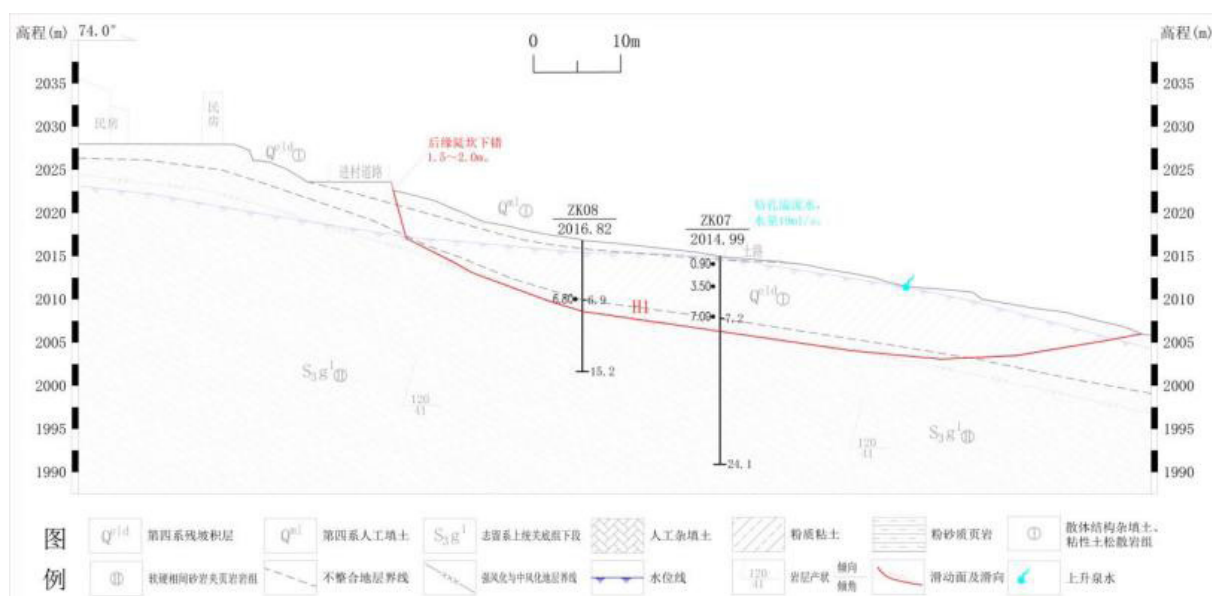


图 4 2-2' 工程地质剖面图

岩性为粉质粘土，棕褐色、灰黄色，呈可塑状，干强度及韧性中等，据钻探揭露层厚 0.6~7.2m，整个项目区均有分布，滑坡体多为该层土体。

③强风化志留系上统关底组下段 (S₃g¹)。

强风化粉砂质页岩夹泥质粉砂岩，其中泥质粉砂岩风化程度强，中厚层状，呈灰白色、灰褐色，粉砂质结构，泥质胶结，节理裂隙发育，岩体破碎，岩体风化较强烈，岩体多呈散体状碎裂结构。岩石抗压强度标准值(fr_k)为 5.01MPa，为软岩，岩体基本质量等级为Ⅳ级；粉砂质页岩呈全~强风化，棕褐色，薄层状夹于泥质粉砂岩中呈互层状分布，粉砂质结构，页理构造，节理裂隙发育，岩体极其破碎，岩块用手可捏碎，为极软岩，岩体基本质量等级为Ⅴ级。该套地层厚 0.8~2.3m。

④中风化志留系上统关底组下段 (S₃g¹)。

中风化泥质粉砂岩夹粉砂质页岩、泥质灰岩，位于强风化层以下。灰色、深灰色，泥质结构，页理构造，泥质胶结，结构面光滑，节理裂隙发育，岩体破碎，钻探岩芯多呈短柱状，节长 5~10cm，少量块状，角砾状。采取率约 80%~85%，RQD≈5%~10%。总体上该套中风化地层岩体属较软岩，岩体较破碎，岩体基本质量等级为Ⅳ级，为项目区内主要下伏地层，在项目区内大面积分布，岩层产状 120° ∠ 41°。

3 滑坡地质灾害特征

3.1 滑坡基本特征

可乐村 H1 滑坡体已经整体下滑，斜坡滑动后左壁填土区沿进村道路水泥路面外侧下错，形成高 2~3m 陡坎，为避免滑坡进一步下滑，扩大滑动范围，乡政府采取了紧急处置措施，主要对滑坡左壁埋设排水管、对坡脚进行填土反压的同时铺盖防水布阻止雨水下渗。滑坡平面形态为不规则“舌

状”，总体滑向 74°。该滑坡体后缘、左壁均紧邻村民房屋及进村道路，滑动前原始地形坡度成后陡 (30°)、中稍缓 (20°)、下缓 (15°) 的“台地”型地貌，滑坡平均横宽约 70.0m，纵长约 108m，总的面积 5700m²，滑坡体厚度 2~7.2m，平均厚 4.5m，体积约 2.6 × 10⁴m³。滑坡后缘最大高程 2027.5m，前缘剪出口最低高程 2006.2m，前后缘地形高差约 21.3m。

3.2 滑坡结构特征

①滑坡体结构特征：滑体主要为第四系坡残积粉质粘土和少量人工填土，据钻孔揭露由于受地下水浸润影响，表现为地表浅部土体以可塑状为主，在接近土岩结合面处由于受地下水的浸润呈软塑状。根据工程地质剖面，滑体中部最大厚度可达 7.2m 左右，前、后缘薄，一般厚度仅 0.6~3.0m。
 ②滑动面 (带) 特征：根据钻探揭露在 2—2' 剖面位置土层厚度较大，滑坡主滑段主要沿土岩结合部的软弱带滑动，滑动面垂直埋深 0.6~7.2m，滑面呈折线状，倾角后部陡 (> 39°)，中部较陡 (14°~20°)，前部缓 (< 10°)。
 ③滑床结构特征：根据现场勘查，滑床主要为③层强风化志留系上统关底组下段 (S₃g¹) 粉砂质页岩夹泥质粉砂岩，呈粉砂质结构，泥质胶结，节理裂隙发育，岩体破碎，岩体风化较强烈，岩体多呈散体状碎裂结构。
 ④滑坡水文特征：根据区域水文地质资料，项目区地下水埋深浅，特别是 2-2' 剖面，其 ZK07 号钻孔，在钻探工作结束 24 小时后仍有地下水溢出，水量 19mL/s。丰富的地下水不但增加了土体重度，更降低了土体抗剪能力，为岩土软弱结构面提供了润滑作用。

4 滑坡形成机制

4.1 内在因素

①地形地貌：滑坡所处位置微地貌为一斜坡低洼地貌，前后缘最大地形高差 21.3m，较大的高差形成较大的重力势

能,为滑坡的滑动提供了动力基础。

②地层岩性:滑坡区上覆土主要为②层粉质粘土,其土质均匀细腻,其孔隙比大、压缩性高,在地下水作用下极易被软化,力学强度明显降低,多呈可塑状,局部呈软塑状。很容易在岩土结合处形成软弱带。为滑坡的滑动提供了物质基础。

③水文地质条件:志留系上统关底组下段(S_3g^1)的泥质粉砂岩中的页岩夹层其岩体极为软弱,属典型软岩,易风化,风化后粉砂质页岩区可能存在丰富的地下水,地下水活动可能导致基础冲刷、渗流力作用等问题,且其透水性弱,遇水稳定性差,特别是受地下水长期浸泡软化时,力学强度会大幅降低。此外,由于岩土体透水性上存在差异,在地下水长期浸润下会在泥质粉砂岩岩和页岩接触面上形成软弱滑动面,并降低岩土体的承载能力和岩土体的抗剪强度,从而为斜坡的滑动提供了充足的条件。

④岩土体性质及结构因素:第四系人工填土(Q^m)、残坡积层(Q^{el}),出露基岩为志留系上统关底组下段(S_3g^1),项目区下伏地层含粉砂质页岩,该类岩体属软岩,易风化,风化后的粉砂质页岩通常具有较低的抗剪强度,容易导致边坡失稳,发生滑坡;风化后粉砂质页岩在干湿循环条件下可能会发生膨胀与收缩,导致结构物产生裂缝或变形。

4.2 外在因素

①地震因素:H1滑坡区地震动峰值加速度为0.20g,对应的地震动反应谱特征周期为0.45s,地震基本烈度为8度,属于地壳次稳定地区。

②降水因素:当地降水较丰沛,多年平均降雨量较大,特别是5—10月雨季,以6、7月降雨量最大,约占全年降雨的58.45%,斜坡低洼地貌易汇集地表水,形成的地表水在松散的土体内入渗、浸泡并产生地下径流,沿软弱结构面相对富集与运移,浸润软化了潜在滑动面(带)土层,使岩土体强度急剧降低,不利于斜坡的稳定。

③人类工程活动:根据实地调查,滑坡区上部村民房屋多依地势而建,滑坡后侧居民排水不规范,生活污水随意排

放均汇集至滑坡区自然下渗,也对滑坡的稳定性造成了一定影响。

5 发展趋势

根据现场调查访问,可乐村H1滑坡在2022年雨季开始出现滑动,总体上滑坡现状不稳定。滑坡体位于斜坡洼地区,滑坡体岩土层结构松散,滑体已下沉造成道路及部分房屋悬空,加之外围排水系统不完善,降雨地表水无法及时排除,沿坡体自由散流、下渗,软化滑坡体内的岩土体,增加岩体自重,在岩土体自重、地震、强降雨作用下,滑坡进一步滑动扩大滑面的可能性较大。

6 结论

可乐村H1滑坡的发育受地形地貌、岩土体特征、水文地质特征等内在因素的控制,而区域降雨和人类工程经济活动等作为外在因素也对滑坡的变形作用显著,在岩土体自重、地震、强降雨作用下,滑坡进一步滑动扩大滑面的可能性较大,对其进行有效治理是十分必要而较紧迫的。建议及时予以治理,并进一步加强对边坡的监测预报工作,最大限度地避免在治理前再次发生地质灾害。

参考文献

- [1] 邓建辉,高云建,余志球,等.堰塞金沙江上游的白格滑坡形成机制与过程分析[J].工程科学与技术,2019,51(1):9-16.
- [2] 黎义勇,彭轲,赵信文,等.郁江流域堡上滑坡形成机制及稳定性分析[J].华南地质与矿产,2011,27(1):69-75.
- [3] 王子,王栋,姜帅,等.西气东输管道工程陕西岭湾村滑坡变形特征及成因机制分析[J].中国地质灾害与防治学报,2023,34(3):8-19.
- [4] 史立群,魏刚,殷志强,等.青海尖扎盆地寺门村滑坡发育特征及成因分析[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(5):15-21.
- [5] 林锋,王茜,葛海龙,等.贵州省岑巩县大榕滑坡特征及形成机制研究[J].工程地质学报,2014,22(3):396-404.
- [6] 倪凯军,王浩,房艳国,等.大村滑坡群的成因及其古滑坡活化机制分析[J].工程地质学报,2016,20(1):396-404.
- [7] GB18306—2015 中国地震动参数区划图[S].