

涪陵焦页老37号平台滑坡勘察与治理对策研究

黄巧缘,甘泽,文武,冯小川,邹弦,胡冰莲,覃豪令

(重庆市勘测院有限公司,重庆市 400021)

摘要: 针对重庆市涪陵区焦页老37号平台因连续强降雨引发的滑坡灾害,研究其成因、稳定性特征及治理对策,为类似工程提供参考。基于现场勘察成果,结合工程地质条件分析,通过宏观稳定性评价、滑带土力学参数反演计算及破坏模式分析,揭示滑坡的形成机制,综合运用削坡减载、支挡加固、排水堵漏及后期监测等措施提出治理建议。该滑坡属牵引式滑移破坏,主要受强降雨和挡土墙修建形成的临空面影响,按饱和工况分析,滑带土力学参数反演结果显示弱变形区稳定系数为1.15(稳定),强变形区稳定性系数为1.01(欠稳定)。治理建议以抗滑桩支挡与地表排水系统为核心,辅以动态监测,有效提升边坡稳定性,降低灾害风险。

关键词: 滑坡勘察;稳定性分析;治理对策;牵引式滑移破坏;岩土工程;地质灾害

中图分类号: U418.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0369-05

Research on Investigation and Control Countermeasures for Landslide at Old Platform No.37 in Jiaoye, Fuling

HUANG Qiaoyuan, GAN Ze, WEN Wu, FENG Xiaochuan, ZOU Xian, HU Binglian, QIN Haoling

(Chongqing Surveying Institute Co., Ltd, Chongqing 400021, China)

Abstract: Aiming at the landslide hazards triggered by continuous heavy rainfall at old Platform No.37 in Jiaoye, Fuling District, Chongqing, the causes, stability characteristics and control countermeasures are studied in order to provide the references for similar projects. Based on field investigations and combined with the engineering geological analysis, the formation mechanism of landslide is revealed through the macroscopic stability assessment, and the inversion calculation of mechanical parameters and failure mode analysis of sliding zone soil. The control suggestions are proposed through comprehensively applying measures such as slope cutting and load reduction, retaining and reinforcement, drainage and leakage plugging, as well as later monitoring. This landslide belongs to a towed slip failure mainly affected by heavy rainfall and the open surface formed by the construction of retaining walls. According to the analysis of saturated conditions, the inversion results of the mechanical parameters of the sliding zone soil show that the stability coefficient of the weak deformation zone is 1.15 (stable), and the stability coefficient of the strong deformation zone is 1.01 (unstable). The control suggestions focus on anti-slide pile retaining and surface drainage systems, supplemented by dynamic monitoring so as to effectively upgrade the slope stability and reduce the hazard risks.

Keywords: landslide investigation; stability analysis; control countermeasures; towed slip failure; geotechnical engineering; geological hazard

0 引言

滑坡是一种常见的地质灾害,山区地貌尤为常见,一旦发生滑坡,轻则影响交通、拖延工期,重则造成重大的生命财产损失^[1]。滑坡的影响因素主要分为自然因素和人为因素,自然因素包括如岩土类型、地形地貌、水文地质条件等,人为因素就是在工程项

目建设过程中,人为破坏了斜坡原本的稳定状态,比如坡脚开挖、蓄水排水等^[2-3]。同时,根据勘察成果进行滑坡成因机制分析、稳定性验算及治理方案选择,是确保治理工程科学性和有效性的重要环节^[4]。

重庆市涪陵区焦页老37号平台因2017年连续强降雨引发滑坡,导致重力式挡墙开裂、土体滑塌,威胁周边居民及交通设施安全。基于该滑坡的岩土工程勘察成果,结合工程经验,探讨其稳定性评价与治理策略,以为类似工程提供借鉴。

1 工程概况

涪陵焦页老37号平台滑坡治理工程位于重庆市

收稿日期: 2025-04-11

作者简介: 黄巧缘(1996—),男,硕士,工程师,从事岩土勘察、地灾评估等工作。

通信作者: 甘泽(1987—),男,硕士,高级工程师,从事岩土勘察、地灾评估等工作。电子信箱:1053709103@qq.com

涪陵区天台乡瓦窑堡附近。该平台于2016年采用重力式挡土墙支挡成5个阶梯平台后,在2017年经历1~4月的连续多日强降雨后,滑坡体南侧2#~5#平台重力式挡墙开裂变形,挡墙墙顶土体向下滑塌,并出现平行挡墙走向的裂缝,该平台南侧前沿四阶梯平台挡墙发生滑塌,垮塌挡墙长约55.0 m,根据前期勘察报告成果此区域划为强变形区,其余地段划为弱变形区,场地南东侧不属于原平台建设范围,未见变形迹象,现状整体稳定,为无变形区(见图1)。

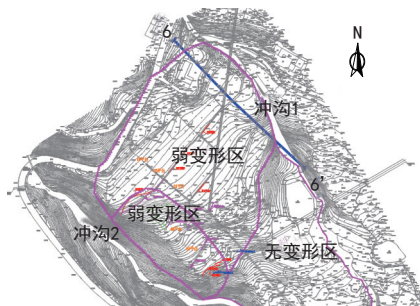


图1 变形区现状平面示意图

2 工程地质条件

2.1 地形地貌

场地原始地形属构造剥蚀低山地貌,平面上呈“长舌状”,总体呈南南东向展布,“舌尖”位于南东侧最低点,最低点地面高程约323.32 m。场地中部至上部乡道白天路之间为原焦页37号场平平台,平台面呈不规则椭圆形展布,场地经场平分阶成阶梯状,共有5个阶梯缓坡平台,每阶梯采用重力式挡土墙支挡,挡墙高1.50~3.00 m(见图2)。

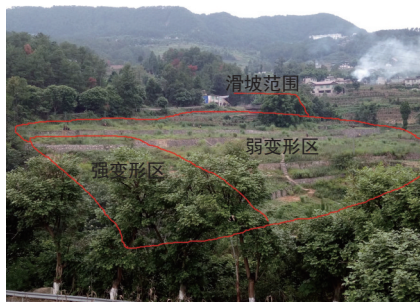


图2 现场地形地貌图片

2.2 地层构造

根据勘察钻孔揭示,勘察区出露的地层由上而下依次为第四系全新统崩坡积层粉质黏土夹块石(Q_4^{col+dl})及三叠系中统雷口坡组(T_2l)的灰色薄层~中厚层泥灰岩和灰岩。

土层结构以稍密状为主。厚度变化大,一般5~20 m左右,厚者可能达30 m以上(位于场地北东

侧)。岩层总体裂隙发育,属较破碎~破碎。

勘察区位于川东南弧形构造带,地质构造隶属珍溪场向斜东翼,岩层产状 $335^\circ\angle 12^\circ$,岩体中主要发育两组构造裂隙,均为硬性结构面,结合差。

2.3 水文地质

场地为构造剥蚀低山斜坡地貌,场地地形总体北西高南东低,场地土厚度较大,岩土界面相对低洼,整个坡面为上层松散层孔隙水的汇集区,如遇雨季地下水补给条件较好,大气降水可直接汇入场地,且坡度总体较平缓,排泄较慢,根据当地施工经验,综合判定,大气降水时土层厚的地段及层间裂隙中有地表水渗入补给,存在暂时性上层滞水,主要分布在土层较厚及层间裂隙较发育位置,无统一地下水位,水量随大气降水及地表水的补给量大小而变化。同时,两侧冲沟水径流范围较广,常年均有流水,冲沟水具雨涨晴消的特点。根据经验判定,粉质黏土夹块石中渗透系数 $k>10\text{ m/d}$,为强透水层。

3 变形区基本特征

3.1 形态特征及边界

根据现场踏勘、钻探揭示,场地前缘(双沟汇合处)沟谷剖面形态为“V”字形峡谷,沟谷狭窄,地形平缓,前缘整体转移空间小,现状地表为耕地,未见变形迹象,定性为无变形区,现状整体稳定。

场地中部至上部白天路之间为原焦页37号场平台,平台面呈不规则椭圆形展布,根据现场裂隙走向及挡墙变形垮塌方向,并结合地表斜坡坡向,滑坡主轴方向约 135° 左右,滑坡前缘位于边坡中部陡缓相间以及冲沟2左岸陡坡处,因未见明显剪出口,根据现状地形坡向推测剪出口高程在360~390 m之间,滑坡后缘边界以白天路为界,高程408.00 m左右,北侧冲沟1为滑坡左边界,南侧冲沟2陡坡为滑坡右边界,主轴长约155.00 m,高差48 m左右,横向上滑坡宽约177.00 m左右,总面积约21 903 m^2 。根据钻探揭露及以上分析,滑坡体主要由粉质黏土夹块石组成,极不均匀,滑坡体平均厚度15 m左右,总方量约 $32.8\times 10^4\text{ m}^3$,属中型滑坡。

3.2 物质组成及结构特征

3.2.1 滑坡变形体物质组成特征

根据现场调查,场地原焦页37号平台工程于2015年开始修建,于2016年完工,焦页37号平台挡墙基础持力层多以粉质黏土夹块石作为基础持力

层,基底宽度在2~3 m,下宽上窄,墙顶收缩成宽约1.0 m,墙身为浆砌块石,为重力式挡土墙,基底埋置较浅,在1.0~3.0 m,岩土界面坡角在0~15°,局部达30°。挡墙边坡由粉质黏土夹块石层组成,为一元结构;场地经场平分阶成阶梯状,共有5个阶梯缓坡平台,每阶梯采用重力式挡土墙进行支挡。

根据地面调查和勘探成果,滑坡变形体岩性主要为粉质黏土夹块石,下伏基岩为三叠系中统雷口坡组(T_1)泥灰岩和灰岩,滑坡变形体物质主要由黏性土、砂岩、页岩块等组成,堆积物主要为土夹块石,块石粒径一般0.2~1.5 m,大者可达3 m以上,块石含量一般25%~50%之间,一般上部块石含量较高,下部块石含量相对较低含量变化大,结构以稍密状为主,厚度变化大,一般5~20 m左右,厚者可能达30 m以上(位于场地北东侧)。

3.2.2 滑带(面)特征

根据勘察资料发现,该滑坡潜在滑带(面)局部位于岩土接触带和粉质黏土夹块石内软弱带,其基本特征如下:由于勘探的局限性滑动带未见明显的滑动擦痕、滑动镜面,滑动带与滑体无明显分界线,局部钻孔如ZK10、ZK3呈渐变关系,孔隙水含量较上部滑体高,颜色较深(见图3、图4)。



图3 典型钻孔ZK10内12 m附近含水量渐变岩心照片

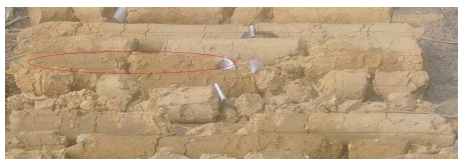


图4 典型钻孔ZK3内8 m附近含水量渐变岩心照片

3.2.3 滑床特征

通过勘察资料显示,该滑坡的滑床为第四系粉质黏土夹块石,主要由黏性土、砂岩、页岩块等组成,主要为土夹块石,滑床一般含水量较上部高,块石含量不均,滑床一般埋深10~20 m之间。

3.3 危害对象

根据现场踏勘,现状边坡变形区范围内主要为北东侧弱变形区的砖砌民房和场地内的10 kV电杆,上方为北侧的白天路,下方主要为耕作地为主,下部滑动后将造成上部公路挡墙临空不稳,危及行人及车辆安全。

4 滑坡稳定性分析

4.1 稳定性宏观分析

根据现场踏勘以及当地村民介绍了解,2017年1至4月连续暴雨后,弱变形区形成三条垂直滑动方向的裂缝及一处挡墙鼓包变形,后期运行至今未发现新的变形且原变形部位亦未有新增之势,北东侧民房、场地内10 kV电杆亦未有变形,当地村民目前已恢复耕作,宏观分析判定弱变形区现状整体为稳定,强变形区形成多条垂直滑动方向的裂缝,梯步外倾以及多处挡墙鼓包、错开,现状原有变形处多植被茂密,无斜歪变形现象,后期运行至今未发现新的变形且原变形部位亦未有新增之势,但前缘由于地形坡度较陡且在冲沟的掏蚀下切作用加之降雨等综合不利因素共同作用下,出现3条垂直滑动方向的新近裂缝,证明强变形区前缘现处于缓慢的变形过程中,目前该区域存在前缘滑动后使上部失去支撑而变形滑动的可能,宏观分析判定强变形区整体为欠稳定,储备不足。

4.2 形成机制与破坏模式

场地滑坡区范围整体大致为阶梯状斜坡平台地形,整个滑坡区覆盖层很厚,而滑坡区后缘覆盖层相对薄,从整个斜坡地质、地形特征来看,如此厚的覆盖层是经过长时期的历史累积,在水流侵蚀搬运作用下,经过长期演化进而形成了现有的滑坡体空间形态。大量的松散层堆积在斜坡上,为滑坡的形成提供了必要的物质基础。由于人类工程活动,即焦页37号平台的修建,一是修建挡土墙形成临空面而为斜坡的失稳创造有利条件;二是修建平台后较平缓,形成了一个相对平坦的雨水滞留带,降雨不易及时向坡下排泄,堆积体主要为崩坡积粉质黏土夹块石组成,渗透性好,易于地表水下渗,地表水下渗后,在堆积体内长期附存运移,软化了土体而形成软弱带。由此可知,滑坡区环境地质条件极其脆弱,经过长时期的物资储备后,在暴雨、人工开挖等不利因素影响下,场地岩土体力学性能下降,岩土体处于饱水状态,土体原有结构及其黏聚力减弱,强度降低,其物理力学性质发生显著变化,使得场地岩土体极易变形。在暴雨时场地岩土体受地下水动水压力增加,场地稳定性降低,土体应力重新分布,在土体自重应力和局部动水压力的双重作用下,引起滑坡体上部平台开裂变形,挡墙滑塌,平台即产生变形失稳而形成了滑坡。

结合前述分析,综合判断该滑坡破坏模式属牵引式滑移破坏。

4.3 滑带(面)力学参数取值与稳定系数

4.3.1 弱变形区

通过上文定性分析,该区域现状整体稳定性属稳定。结合《地质灾害防治工程勘察规范》(DB50/T-143—2018)中13.2.19章节,边坡等级为三级,滑坡稳定性系数 F_s 应大于稳定安全系数 $F_{st}=1.10$ 。由于场地

边坡整体地形较缓,结合现场的变形区域,对滑带土的力学参数采用反演分析和室内试验综合确定,按饱和工况选取最危险滑面(典型剖面6-6')计算(见图5),反演成果见表1。

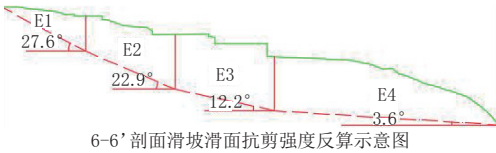


图5 典型剖面6-6'滑坡滑面抗剪强度反演示意图

表1 典型剖面6-6'滑带土抗剪强度指标反演计算表

条块号	单宽体积/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$)	滑面倾角/($^\circ$)	滑面长/m	黏聚力/kPa	内摩擦角/($^\circ$)	稳定性系数 F_s
E1	82.54	27.60	22.05	13.50	9.00	1.15
E2	209.74	22.90	22.27	13.50	9.00	
E3	307.28	12.20	23.24	13.50	9.00	
E4	502.80	3.60	51.92	13.50	9.00	

通过分析反演计算及室内试验成果并结合重庆地区经验,综合考虑后选取该滑坡弱变形区指定最危险滑动面的抗剪参数,为黏聚力15.0 kPa、内摩擦角取 11° (与室内粉质黏土饱和直剪强度标准值基本一致,实际可能随着滑动面的颗粒物质含量高低略有差异,但不影响整体稳定性评价)。

4.3.2 强变形区

通过上文定性分析,该区域现状整体稳定性为欠稳定,储备不足。由于钻探工艺的局限性,滑带土力学参数难以取样实验确定,对滑带土的力学参数采用反演分析确定,选取具代表性的主滑动剖面进行反演分析,稳定性计算参照《地质灾害防治工程勘察规范》(DB50/T-143—2018)中13.2.13节所示方法进行稳定性计算,按饱和工况。反演过程及成果见表2。

表2 滑带土抗剪强度指标反演计算表

$\varphi/(^\circ)$	C/kPa					
	15	14	13	12	11	10
11	1.01	0.99	0.97	0.95	0.93	0.91
10	0.94	0.92	0.90	0.88	0.86	0.84
9	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77
8	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70

根据主滑动剖面反演结果,当滑带土的内摩擦角 $\varphi=11^\circ$ 、黏聚力 $c=15.0\text{ kPa}$ 时,该剖面的稳定性系数为1.01,欠稳定。综合分析,本变形体稳定性计算、支护设计参数选用反演计算抗剪强度指标,即: $\varphi=11.0^\circ$ 、黏聚力 $c=15.0\text{ kPa}$ 。

4.4 发展趋势分析

根据现场踏勘调查及以上所述,强变形区前缘现状出现了3条垂直滑动方向的新近裂缝,裂缝最长约20.5 m,裂缝宽1~30 mm,证明前缘现处于缓慢

的变形过程中,目前变形体处于蠕滑阶段。在暴雨的情况下,可能导致雨水集中下渗至强变形区后缘陡倾裂隙以及滑动面,将进一步软化滑带土,造成滑带土的力学性质再次降低,加快变形体的滑移速度。

5 治理措施建议

根据场地工程地质条件及环境条件,场地边坡变形区可采取以下防治措施。

(1)削坡减载

场地变形区周边一定范围内主要建筑物为北侧白天路、场地内10 kV电杆以及北东侧的砖砌民房。现状地形坡度一般 $5\sim 15^\circ$,局部稍陡,建议在具备放坡条件的情况下,后缘以距离白天路外边墙一定安全距离为开口先进行放坡处理,由于地形总体较平缓,放坡坡比应结合地形条件以不陡于1:1.75的原则确定,同时应做好与弱变形区的衔接问题,放坡后按《地质灾害防治工程勘察规范》(DB50/T 143—2018)中13.2.19章节规定,暴雨工况的稳定性系数应大于1.10,否则,应结合其他支挡措施进行处理。

因场地现状地形坡度总体较缓,治理后需作为耕作地还作于民,按该方案实施后需占用耕地,该方案的总体可行性较差,若对边坡支护设计应综合比选,选择可行性较强的方案。

(2)支挡及加固

若受其他条件限制,不能按上述方案放坡时,建议设置支挡及加固处理。在坡脚或部分放坡后的适当位置设置抗滑桩支挡,对坡面采取支护、加固措施。抗滑桩施工应跳桩施工,应加强监测和桩壁支护。

(3)排水堵漏

水是诱发边坡失稳的主要因素之一,排水工程对坡体稳定性起着十分重要的作用,其主要目的是截断坡体地下水的补给通道,增强边坡自身的稳定性,主要措施包括两方面:一是建立完善的地表排水系统,即坡面应作防冲刷和防渗措施,设置截水沟、排水沟等,同时建议修复后缘公路边沟,并做好引排、防渗工作;二是前缘支挡结构部位应做好排水措施,避免因修建支挡措施导致坡体土排水不畅。

(4)后期监测

施工期加强边坡的监测工作,适时掌握边坡的变形趋势及动向,确保施工安全;边坡治理完成后应继续对边坡进行监测一段时间,且适当加大监测范围,对比监测数据以检验边坡治理效果。

6 结 语

滑坡地质灾害对交通、农业耕作、居民生活等影响破坏性巨大^[5],作为人类生活中较为常见的地质灾害,必须加强对该类灾害的重视^[6]。滑坡治理工程是一项复杂和系统性工作,应做好地质勘察工作,并根据勘察结果采取合适的防治措施,从而达到最

佳的防治效果,为人们的生命财产安全、社会经济的健康发展提供保障^[7]。

综上所述,本文以涪陵焦页老 37 号平台滑坡为例,结合工程勘察成果,深入分析了滑坡的成因,包括地形地貌、地层条件和变形区基本特征、施工因素等方面。对滑坡现状稳定性及后续发展趋势的分析,提出了相应治理措施及施工建议,为同类型滑坡的治理提供了可行的方案。

参考文献:

[1] 陈明. 福建某滑坡的岩土工程勘察和治理[J]. 江西建材, 2015(16): 228-229.
[2] 尹学博. 公路滑坡地质勘察及治理对策[J]. 交通世界, 2020(30): 95-96.
[3] 邹康. 工程滑坡的勘察与治理关键技术研究[J]. 工程建设与设计, 2021(18): 34-35; 41.
[4] 向仕容. 滑坡治理工程的勘察设计与实施策略[J]. 四川建材, 2024, 50(9): 89-91; 111.
[5] 方志华. 滑坡地质灾害勘查及防治治理探究[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(12): 89-91.
[6] 李佳男, 杨殷哲. 滑坡地质灾害勘查和防治治理[J]. 华北国土资源, 2018(3): 51-52.
[7] 田祖涛. 滑坡工程地质勘察内容与治理[J]. 资源信息与工程, 2017, 32(5): 188-189.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

