

贵州龙家岩滑坡稳定性监测及防治方法分析

王青超¹, 方美平², 梁恩妙³

(1. 中铁二十四局集团浙江工程有限公司, 浙江 杭州 310009; 2. 杭州地方铁路开发有限公司, 浙江 杭州 310003;
3. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要: 滑坡灾害经常出现在我国西部, 对于人们正常的生产生活造成了严重影响。本文以贵州龙家岩山体滑坡监测工程为例, 对于龙家岩滑坡的稳定性进行了分析, 得出了滑坡整体并未稳定, 需要进一步整治的结论, 并对防止滑坡进一步发展的方法进行了分析。可为类似工程提供一定的参考。

关键词: 边坡; 滑坡; 滑坡监测

中图分类号: TU42

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)06-0516-06

Stability monitoring and control methods of Longjiayan landslide in Guizhou province

WANG Qing-chao¹, FANG Mei-ping², LIANG En-miao³

(1. Zhejiang Engineering Co., Ltd., of China Railway 24th Bureau Group, Hangzhou 310009, China;
2. Hangzhou Local Railway Development Co., Ltd., Hangzhou 310003, China;
3. Power China Huadong Engineering Corporation Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: The landslide disaster often occurs in western China, which severely affected people's normal production and living activities. Taking the monitoring project of landslide in Longjiayan in Guizhou province as an example, this paper analyzes the stability of the Longjiayan landslide, and concludes that the Longjiayan landslide is not stable and needs to be further treated. In addition, the methods to prevent the further development of landslide are analyzed. This paper can provide a certain reference for similar projects.

Key words: slope; landslide; landslide monitoring

0 引言

滑坡在我国是一种分布广泛、特别典型的地质灾害类型, 在西南山区尤为常见, 其他的山区、丘陵区, 包括黄土高原, 亦有不同类型的滑坡分布。滑坡灾害对公路、铁路、水利工程都有着极大的危害, 特别当滑坡出现在村庄、城镇时, 对于人民群众的生命财产安全也有着极大的威胁。2003年7月发生在三峡库区的千将坪滑坡, 是三峡水库蓄水后诱发的第一个特大型、灾害性滑坡, 造成了14人死亡, 10人失踪, 近千人受灾, 直接经济损失达5735万元^[1]。在2008年汶川地震发生时, 北川县城坍塌的大部分建筑物是由王家岩滑坡和新北川中学岩崩引起的, 造成了极为惨烈的伤亡, 约2300人死亡^[2]。1972年7月, 香港宝城路附近, 2万m³残积

土从山坡上下滑, 巨大滑动体冲过一幢高层住宅——宝城大厦, 顷刻间宝城大厦被冲毁倒塌并砸毁相邻一幢大楼一角约五层住宅。铜川地区位于渭北黄土高原, 原高沟深, 黄土堆积层厚, 古滑坡成群展布, 是陕西有名的滑坡区, 近30年由于建设工程及地下水的作用, 古滑坡复活连续发生, 给矿区经济建设和人民生命财产带来极大的灾害和损失。2015年12月20日, 深圳恒泰裕工业园的堆积体滑坡造成73人遇难、4人失联, 直接经济损失达8.81亿元。2017年6月24日, 四川省茂县叠溪镇发生特大滑坡灾害, 导致83人死亡^[3]。2019年7月23日, 贵州水城特大山体滑坡灾害造成24人遇难27人失联^[4]。对滑坡灾害进行监测和防治, 是一项艰巨而重要的任务, 根据中国地质环境监测院环境监测院制定的《全国地质灾害通报》, 全国平均

每年由地质灾害导致的死亡失踪人口约 760 人, 直接经济损失高达 48 亿人民币。其中, 滑坡灾害占全国地质灾害总数的大部分, 比例约为 66.8%。

滑坡的产生总是受到环境因素的影响, 环境因素主要有地表水和地下水的作用、地震和爆破引起的振动作用、以及人类工程活动三方面^[5]。土中水位的升降、降雨渗入等可使岩土软化、强度降低, 还可使岩土体风化加速。人为因素如人工开挖基坑、船闸、坝肩、隧洞出入口导致坡脚破坏、排水破坏、堆载不当等都会破坏斜坡原有的稳定条件。环境因素变化或者增大下滑力, 或者减小抗滑力, 促使土坡变形破坏的发生和发展。

监测预警作为地质灾害综合防治体系建设的重要组成部分, 是减少地质灾害造成人员伤亡和财产损失的重要手段。“十二五”以来, 我国建立了已知地质灾害隐患点全覆盖的地质灾害群测群防体系, 监测预警工作历经群测群防、专业监测等发展阶段, 防灾减灾成效显著。当前, 智能传感、物联网、大数据、云计算和人工智能等新技术快速发展, 为构建专群结合的地质灾害监测预警网络提供了技术支撑。本文介绍了贵州省沿河县龙家岩滑坡的监测预警情况, 龙家岩滑坡为强降雨条件下开挖路基引起复活的大型牵引式古滑坡, 开挖路基是滑坡复活的主要因素^[6]。

1 工程概况

1.1 滑坡体情况

该滑坡位于贵州省沿河县沙子镇龙家岩村及金龙村, 滑坡体经过 326 国道及在建沿德高速公路, 在滑坡区域房屋出现不同程度开裂和下沉现象, 涉及 69 户 285 人, 严重威胁附近村民及道路交通运行安全。滑坡体位于山体南麓, 坡体较陡, 前缘后缘高差 90 m。坡体两侧均为自然冲沟及洼地, 从地貌上大致可分为三级缓坡平台, 由北向南依次递减: 国道 326 所经地带及龙家岩村村委北侧为三级平台; 坡体中东部金龙村位置属二级平台, 再下为一级平台, 如图 1。滑坡长度约 550 m, 宽度 95~155 m, 预估方量 180 万 m³, 属大型牵引式滑坡。

滑坡所在地地质构造较复杂, 滑坡物质来源主体是由早期崩坡积的灰岩孤石、块石、砂岩碎石, 冲洪积的砾石、黏性土、软土等组成, 属不良地质区域。据地质调查及勘探结果揭示: 在大坪隧道出口发育一条逆断层, 受断层影响, 上盘灰岩高而陡, 下盘泥质粉砂岩较破碎, 坡体地层为灰岩孤石、块

石, 下部较破碎的泥质粉砂岩风化强烈, 岩层软硬相间。坡体地下水发育较丰富, 坡体东侧出露涌水量较大的泉水。

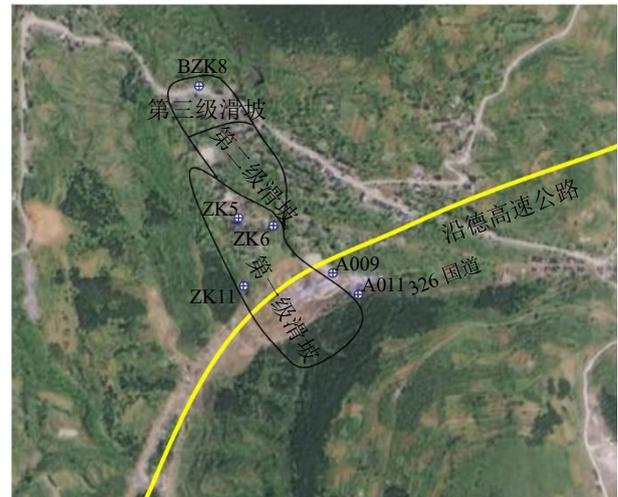


图 1 滑坡体示意图

Fig. 1 Schematic diagram of landslide body

1.2 监测布置情况

根据山体滑坡的变形发展情况和地层特点, 经现场实际踏勘确定了地表和深部相结合的监测原则。对坡体出现的长大贯通裂缝布设简易观测点观测裂缝的发展状况; 对滑坡深层岩土体的变形则布设深部位移观测孔采用测斜仪进行观测; 对坡体不同部位出现的下沉及水平变形, 布设地表变形观测网进行观测。该滑坡治理工程前期监测项目共布设观测点 72 个, 其中地表变形监测点 11 个, 裂缝简易观测点 47 组, 地下水位以及深部位移观测孔 14 个。

2 监测结果及分析

2.1 地表静态观测结果

地表静态观测点在观测期 16 d 内共正常静态联测 8 次, 后因观测效果不佳, 未继续采纳。从现场记录曲线的走势看, 滑坡呈现间隙性变形特点, 持续产生大变形的时间段并不多见, 值得注意的是 A009 号及 A011 号监测点较其他监测点变形要大, 累积位移为 13.21 mm 和 16.43 mm (图 2), 分析认为两点处于一级滑坡平台, 当前滑坡一级平台正处于蠕动变形阶段, 其余各点的变形速率均小于 0.5 mm/d。通过 GPS 静态联测来短期监测该滑坡变形, 其波动较大且不稳定, 可大致确定地表变形方向处于 135°~220° 之间。地表变形速率及变化量受误差及精度影响, 图形显示效果不明显, 但总体大致可看出坡体地表仍处于局部蠕动变形阶段。

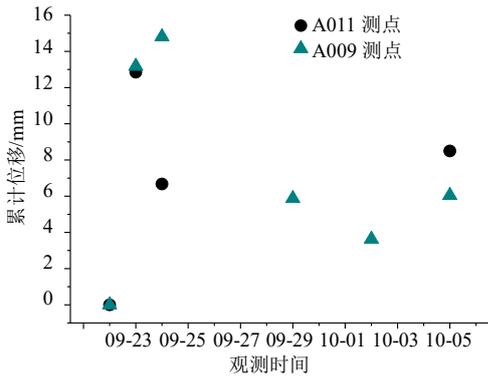


图2 A009号及A011号测点GPS静态联测结果

Fig. 2 Static GPS joint measurement results of A009 and A011

2.2 简易裂缝观测

为及时掌握裂缝的变化情况，以及施工可能引起的变化情况，依据坡体上出现的几条长大裂缝，从侧面了解滑坡的滑动信息，分别在不同位置布设了47个简易观测点。分析认为，滑坡体下部受前缘阻抗力影响蠕变变形接近完成，中部及二级滑坡平台之间受一级牵引作用，仍处于蠕变变形阶段，且变化明显，新裂缝断续出现。

从各级滑坡平台裂缝观测点时间位移曲线图上分析，自8月20日进行简易裂缝观测以来，第一级滑坡平台变形从8月下旬呈现缓增趋势，进入9月份变形趋于平缓，且进入一个暂时的稳定期，见图3。第二级滑坡变形较第一级局部裂缝有继续发展的现象，如GC09、GC11、GC509号点，到9月下旬以后，裂缝发展平缓，表明该级也进入一个暂时相对稳定期，见图4。9月份第三级滑坡平台较前两级滑坡平台有明显的变形发展趋势，且9月份坡体新裂缝分布多在第三级区域，10月份、11月份第三级滑坡后缘出现较多深大裂缝，经雨天有突变，平日监测趋于平稳，表明该级滑坡平台变形发展仍在继续，见图5。一、二级滑坡到9月底及10月初，发展变形逐渐趋于平缓，第三级滑坡10月份变形发展较快，11月份逐渐趋于平缓。

2.3 深部位移观测

滑坡体下部坡体仍以缓慢的速度产生变形，月均位移量8~10 mm左右。该部位坡体上设置有监测孔ZK9、ZK11、ZK12、BZK4共四孔，其滑动面位置ZK9孔大约在17.5 m、ZK11孔在9 m、BZK4孔约在3.5~4 m和15.5 m，深层的变形变化不大，ZK12孔变形不明显，截至2014年11月15日，观测四孔变形带部位的累计位移量分别为8 mm、5.51 mm、5 mm和7.2 mm；坡体整体（浅层）的变形方向170°左右。

其中ZK11号孔设于滑坡体前缘西侧荒地内，终孔深度27.4 m，有效测深25.0 m，定向槽方位118°。2014年9月24日读取初始观测值，该孔在孔口以下9.5 m，产生侧向位移，截至2014年11月15日，该部位累计位移量已有10.50 mm，变形方向187°，变形呈现减速发展，日均位移增量小于0.5 mm，变形逐渐趋于稳定，见图6。遇雨天，变形发展较大。

滑坡体中部，设有观测孔ZK3、ZK5、ZK6、ZK7、BZK1及BZK2共六孔，该部位坡体目前的变形主要集中表现在坡体中部。

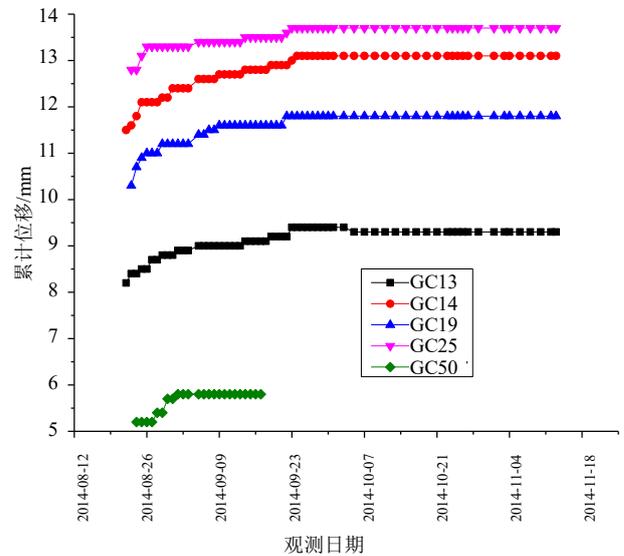


图3 第一级滑坡简易裂缝观测点时间位移曲线

Fig. 3 Time-displacement curve of observation point for simple crack of first grade landslide

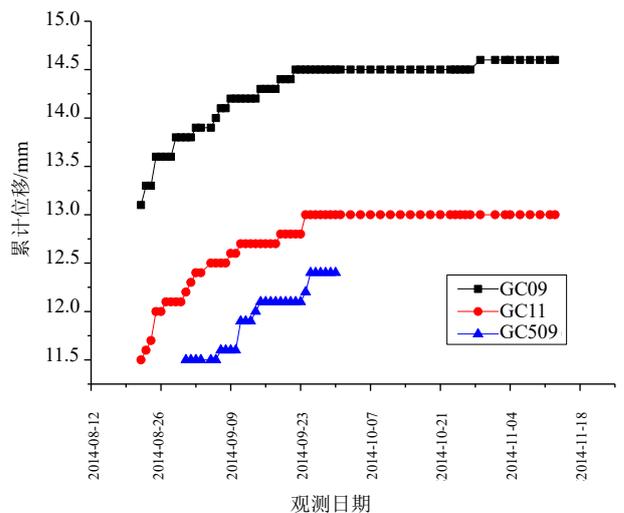


图4 第二级滑坡简易裂缝观测点时间位移曲线

Fig. 4 Time-displacement curve of observation point for simple crack of the second grade landslide

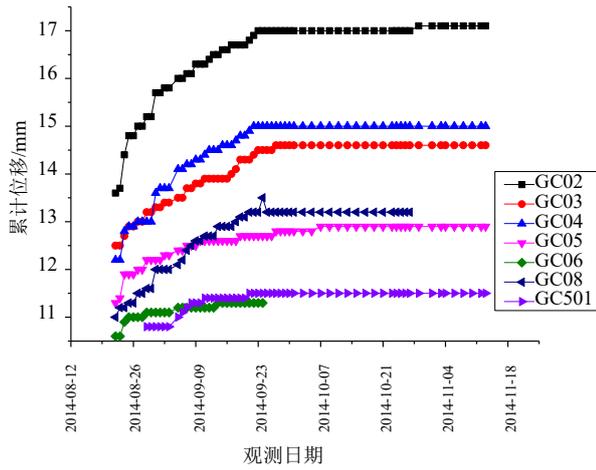


图 5 第三级滑坡简易裂缝观测点时间位移曲线
Fig. 5 Time-displacement curve of observation point for simple crack of the third grade landslide

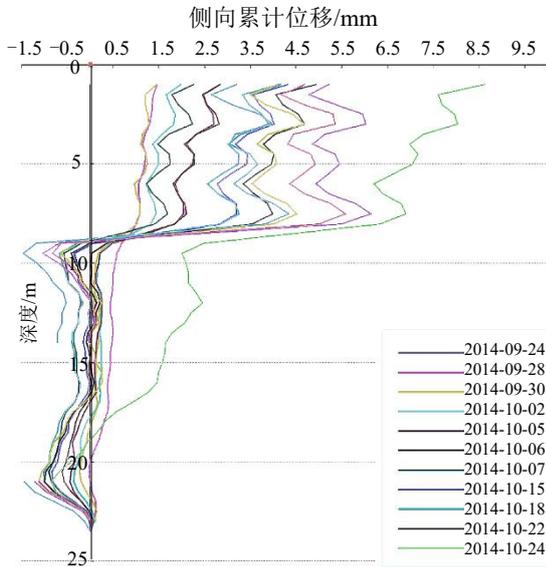


图 6 ZK11 号孔侧向位移深度关系曲线
Fig. 6 Relationship between the lateral displacement and the depth of ZK11 hole

ZK5 号孔设于滑坡体中部龙家岩村小学操场东侧, 终孔深度 23.10 m, 有效测深 21.0 m, 定向槽方位 180°, 是坡体中部位移发展最快的观测孔。2014 年 9 月 5 日读取初始观测值, 该孔自成孔观测开始即在孔口以下 15 m 处有侧向位移产生, 越来越明显, 9 月 18 日, 测斜管从 15 m 处剪断, 累计位移已有 19.37 mm。滑动方向 163.6°, 呈现减速变形趋势, 位移速率自 3.54~1.37 mm/d, 见图 7。后期观测反映该部位的位移量继续以每天 1 mm 左右速度增加, 但同时有减缓趋势, 分析认为该部位蠕变变形趋于结束而进入匀速变形阶段。

ZK6 号孔设于滑坡体东侧中部民房前, 终孔深度 48.8 m, 有效测深 32 m, 定向槽方位 132°。2014 年 9 月 20 日读取初始观测值。该孔自开始观测即

在孔口以下 21.5~23 m, 产生侧向位移, 截至 2014 年 11 月 15 日, 该处的位移量累计约 27 mm, 变形方向 168° 左右, 见图 8。从孔口及滑动面位移时间曲线可看出, 滑坡滑动呈渐变趋势, 10 月下旬受降雨影响有突增趋势, 之后又趋于平缓发展。

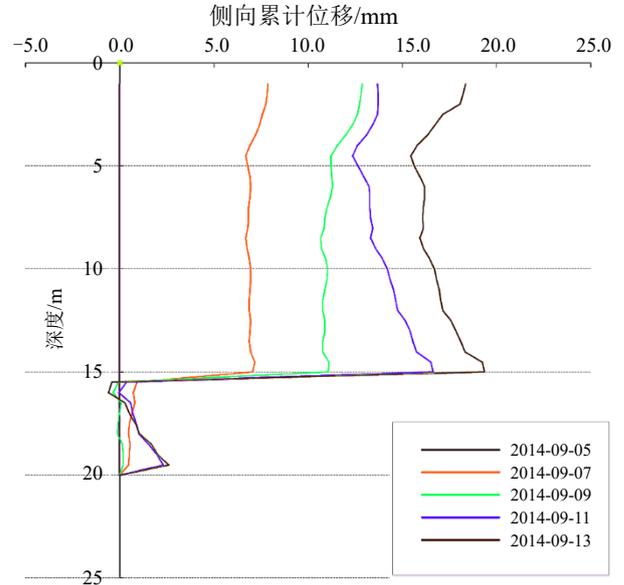


图 7 ZK5 号孔侧向位移深度关系曲线
Fig. 7 Relationship between the lateral displacement and the depth of ZK5 hole

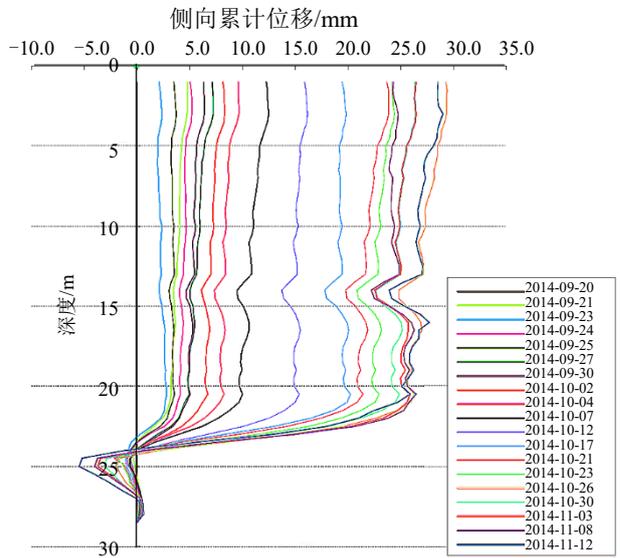


图 8 ZK6 号孔侧向位移深度关系曲线
Fig. 8 Relationship between the lateral displacement and the depth of ZK6 hole

滑坡后缓坡平台与 326 国道之间的坡体, 共设三个监测孔 ZK1、ZK2、BZK8, ZK1 孔变形极小, 且处于滑坡后缘, 地层为强中风化泥质粉砂岩, 基本未有变形发展; ZK2 孔存在多层蠕变变形现象, 仅在孔口以下 6~8 m 及 26~28 m 范围内有蠕变迹

象,其它部位表现的不明显,可以认为没有多大的变动,该处的位移量累计约 7 mm,变形的方向 180°左右。

BZK8号孔变形较为明显,其设于滑坡三级后缘附近,终孔深度 40.8 m,有效测深 36 m,定向槽方位 214°。10月5日读取初始观测值。该孔观测已始分析存在多层蠕动变形,即在孔口以下 25.5 m 及 31.5 m 处,有较为明显的变形,截至 2014年11月15日,该部位累计位移量已有 23.54 mm,变形方向 171°,变形呈现缓速变形发展,日均位移增量 1~3 mm,变形未见收敛迹象,见图 9,分析认为该孔仍处于发展变形阶段。

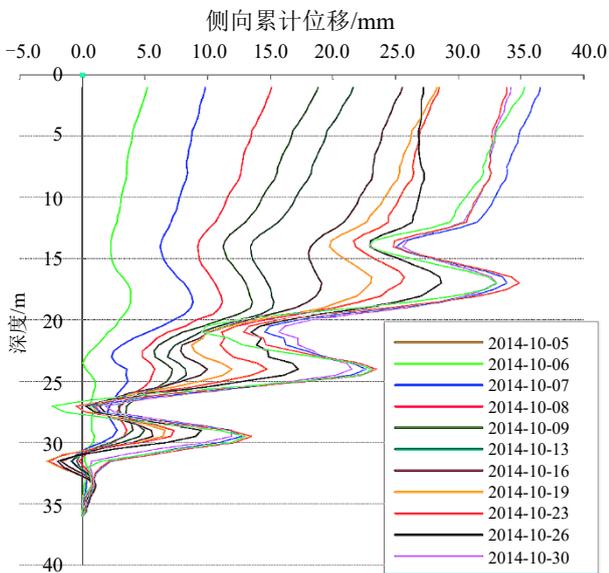


图 9 ZK8号孔侧向位移深度关系曲线

Fig. 9 Relationship between the lateral displacement and the depth of ZK8 hole

从各孔位移变化的情况看:滑坡体中部坡体的变形相对比较明显,活动明显的滑带埋深大约 15 m,较深一层的变形大约在 25~28 m 附近;更深层的变形目前尚处于蠕动变化阶段,位移量不大但应给与慎重考虑。

3 滑坡稳定性分析及治理措施

自开展贵州省沿河县沙子镇龙家岩山体滑坡病害治理工程前期监测工作以来,从设于不同部位各观测点位移的变化情况分析:整体的变形量是呈现逐渐减缓的,产生变形的范围也逐渐缩小。但遇降雨天气,滑坡体变形将呈加速趋势,局部滑坡变形较大主要体现在滑坡体中上部一带。

目前滑坡体中下部的变形暂处于一个相对平

期,但在强降雨的情况下,变形明显,位移不收敛。滑坡体中部经历过 8 月份降雨期后变形显著,进入 9 月份呈减缓的趋势。滑坡体上部及国道 326 一带受中部变形牵引,9~10 月份变形显著,且呈现减缓趋势,位移不收敛。

滑坡体物质组成主体是由早期崩坡积的灰岩孤石、碎石、砂岩碎石,冲洪积的砾石、黏性土、软土等组成,呈松散稍密状,局部区域存在多层蠕动变形,推断剪出口位置可能从中部薄弱层(尤其汇水、强透水层)剪出,需引起设计、施工重视。

滑坡的治理工程中“一次根治、不留后患”已成为共识,但也需根据被保护对象的重要不同,合理确定安全系数,做到“技术可行,经济合理”^[7]。殷跃平^[8]指出,在进行防治工程设计也应引入现代设计的理论与技术,应包括并行性、反馈性、智能性和绿色性。

抗滑桩墙与排水系统是最常见的两种滑坡防治手段,虽设置地下水观测孔的结果看不出地下水活动对坡体稳定的影响,但坡体两侧冲沟发育且在东侧冲沟已发育裂缝,应着重考虑地下水的因素。且对于滑坡体的治理来说,建立排水体系是增强滑坡体稳定性最为简便与有效的方法^[3],为此,建议对坡体尽快完善排水系统。首先对于地表出露的泉水,应采取措施将出露的泉水引出滑坡体外,降低泉水对于坡体稳定性影响。对于地表裂缝进行封堵并设置排水沟将地表降水汇集排出。对于滑坡体内地下水,可采取截水隧洞和渗管以及设置仰斜排水孔进行排水。针对在建高速公路及原有国道,建议采取抗滑桩,锚索抗滑桩,微型桩群等措施进行支挡。

4 结论与讨论

本文从龙家岩滑坡的监测工程出发,介绍了监测工程的布置,对于监测结果进行了分析,得出了滑坡整体不稳定的结论,并针对滑坡的防治方法进行了合理建议。

通过地表静态观测,简易裂缝观测与深部位移观测,得出了滑坡体中下部的变形相对平稳,滑坡体中部上部变形显著,且呈现减缓趋势的结论。

基于滑坡体地下水发育情况以及降雨后滑坡体出现位移速度骤增的现象,认为降水是诱发滑坡发展的重要原因,完善坡体排水系统是治理滑坡的简便与有效方法。

参考文献

- [1] 廖秋林, 李晓, 李守定, 等. 三峡库区千将坪滑坡的发生、地质地貌特征、成因及滑坡判据研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(17): 3146-3153.
LIAO Qiu-lin, LI Xiao, LI Shou-ding, et al. Occurrence, geology and geomorphology characteristics and origin of Qian-Jiang-Ping landslide in three gorges reservoir area and study on ancient landslide criterion[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(17): 3146-3153.
- [2] 董金玉, 杨国香, 杨继红, 等. 汶川地震灾区滑坡的成因及典型实例分析[J]. 华北水利水电学院学报, 2011, 32(5): 10-13.
DONG Jin-yu, YANG Guo-xiang, YANG Ji-hong, et al. Analysis of causes and typical example of the landslide in Wenchuan earthquake disaster area[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2011, 32(5): 10-13.
- [3] 许强, 李为乐, 董秀军, 等. 四川茂县叠溪镇新磨村滑坡特征与成因机制初步研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(11): 2612-2628.
XU Qiang, LI Wei-le, DONG Xiu-jun, et al. The Xinmocu landslide on June 24, 2017 in Maoxian, Sichuan: characteristics and failure mechanism[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(11): 2612-2628.
- [4] 郑光, 许强, 刘秀伟, 等. 2019年7月23日贵州水城县鸡场镇滑坡-碎屑流特征与成因机制研究[J]. 工程地质学报, 2020, 28(3): 541-556.
ZHENG Guang, XU Qiang, LIU Xiu-wei, et al. The Jichang landslide on July 23, 2019 in Shuicheng, Guizhou: characteristics and failure mechanism[J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(3): 541-556.
- [5] 李媛, 孟晖, 董颖, 等. 中国地质灾害类型及其特征——基于全国县市地质灾害调查成果分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(2): 29-34.
LI Yuan, MENG Hui, DONG Ying, et al. Main types and characteristics of geo-hazard in China—Based on the results of geo-hazard survey in 290 counties[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2004, 15(2): 29-34.
- [6] 吴维义. 龙家岩多级滑坡机理分析及其防治技术研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.
WU Wei-yi. Research on evolution mechanism and controlling techniques for Long jiayan multi-stage landslide abstract[D]. Guiyang: Guizhou University, 2016.
- [7] 王恭先. 滑坡防治方案的选择与优化[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(S2): 3867-3873.
WANG Gong-xian. Choice and optimization of landslide control plan[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(S2): 3867-3873.
- [8] 殷跃平. 中国滑坡防治工程理论与实践[J]. 水文地质工程地质, 1998(1): 3-5.
YIN Yue-ping. Study on theory and practice for landslide controlling[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 1998(1): 3-5.