

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.03.032

木里县水洛乡东拉滑坡安全监测及变形破坏分析

董建辉^{1,3}, 魏良帅², 唐 然³, 李大鑫³, 邓 韧³

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059;
2. 中国地质调查局 探矿工艺研究所, 成都 611734; 3. 四川省地质工程勘察院, 成都 610072)

摘要: 木里县水洛乡东拉滑坡为一老滑坡复活体, 剧烈变形约始于2011年, 坡体拉裂缝遍布, 变形累加遂产生大规模的滑动破坏。通过该滑坡现场变形特征调查, 布设了地表位移观测墩、测斜孔、渗压计对滑坡体的变形和水位进行监测。通过对变形和水位监测成果进行了深入分析, 根据累积位移-孔深曲线图、滑带位错-时间曲线、孔口累积位移与转动方位角-时间曲线图、地表位移与转动方位角-时间曲线图的对应关系, 查明了滑动带的位置及厚度, 确定了新滑面位于18.5~19.5 m处的土体中, 为阐明滑坡蠕滑变形破坏提供了可靠依据, 该滑坡处于等速蠕滑变形阶段, 随着时间发展, 该滑坡将会处于加速变形阶段。研究工作系统总结了该滑坡的监测成果, 对今后类似滑坡的勘查设计、监测和资料分析具有参考意义。

关键词: 滑坡; 测斜孔; 地表位移; 变形; 位移

中图分类号: TV 698.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)03-0543-05

Safety monitoring and deformation damage of Dongla landslide in Shuiluo of Muli County

DONG Jianhui^{1,3}, WEI Liangshuai², TANG Ran³, LI Daxin³, DENG Ren³

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Institute of Exploration Technology, CGS, Chengdu 611734, China; 3. Sichuan Institute of Geological Engineering Investigation, Chengdu 610072, China)

Abstract: Dongla landslide in Shuiluo of Muli County is an old landslide revival body. Its intensive deformation began in 2011 with tension cracks everywhere, and incremental deformation caused large scale sliding and destruction. According to the in situ deformation characteristics of landslide, surface displacement pier, inclinometer piezometers, and osmometers were installed to monitor the landslide deformation and water level variation. Based on the in depth analysis on the deformation and water level monitoring results, and according to the cumulative displacement- hole depth curve, slide dislocation slip- time curve, orifice cumulative displacement and rotation azimuth- time curve, surface displacement and rotation azimuth- time curve, the location and thickness of a new sliding surface were determined, which suggested that the new sliding surface is located in the soil layer of 18.5 to 19.5 m. The results provided reliable reference for the illustration of creep deformation of landslide, which indicated that the landslide is currently in the creep deformation stage with constant speed but can enter into the accelerated deformation stage over time. The research summarizes the monitoring results of the landslide, and is beneficial to the survey design, monitoring, and data analysis of similar landslides.

Key words: landslide; inclinometer hole; surface displacement; deformation; displacement

在滑坡稳定性安全监测中, 获取的监测资料信息较多^[1-3], 要准确和完整评价监测对象的稳定性状态, 长期以来都是人们致力于探索研究的领域。王义峰、任伟中、靳晓光、金泉豪等^[4-7]运用钻孔测斜仪监测对滑坡变形机制、抗滑桩变形受力状态、滑坡稳定状态进行了系统深入研究; 黄秋香、刘文庆^[8-9]运用多点位移计监测成果的坡体变形特征、稳定

性分析; Zhu, H. H.^[10]通过初步揭示了分布式光纤应变监测技术在边坡稳定性分析方面具有的巨大潜力; 马山水等^[11]通过对滑坡体监测资料的因子分析, 定量地分析了在滑坡体不同发展时期影响其位移的主要因素; 滑坡是多种复杂地质综合作用的产物, 影响滑坡稳定性的因素(变量)很多, 而且不同条件下各种因素(变量)的影响程度不同^[12-15]。将各个

收稿日期: 2014-09-10 修回日期: 2014-10-14 网络出版时间: 2015-05-14
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150514.1147.019.html>
基金项目: 国家自然科学基金项目(41102190)
作者简介: 董建辉(1984), 男, 江西乐平人, 博士研究生, 主要从事岩土体稳定性、信息化施工及设计研究工作。E-mail: djianhui1982@163.com

监测影响因子分析方法引入滑坡监测资料分析中进行综合分析评价。

木里县水洛乡东拉滑坡位于四川省凉山州木里县水洛乡东拉村 2 组,滑坡直接威胁着东拉大桥、滑坡体下部缓坝上藏民和在建设水洛河 500 kV 输变电工程架线工人约 20 余人,另外滑坡失稳将会堵塞水洛河,潜在威胁损失达到 5 000 万元。从受威胁对象分布情况来看,主要分布于危险区内,滑坡变形仍在继续,东拉大桥破坏受损,新修道路拉裂变形,灾害危害程度高。查明滑动带的位置及厚度,分析其破坏机制及稳定性分析研究迫在眉睫。

1 地质条件

木里县地处青藏高原东南缘、横断山脉中段东侧,属青藏高原与云贵高原的过渡地带。木里县水洛乡东拉滑坡坡体处于中高山斜坡的中下部,该区域地层主要有第四系崩积层(Q_4^{al})、第四系滑坡堆积层(Q_4^{sl})、第四系冲洪积层(Q_4^{pl})、三叠系下统缙麦沟组地层(T_1^1),从岩性结构分析,滑坡区岩土体为块碎石土,块石土:灰青色,干燥,稍密,碎块石为灰青色凝灰岩,呈棱角状及次棱角状,交错接触,粒径一般 20~60 cm,约占 70%,碎石粒径 2~8 cm,约占 20%,其余为黏土充填。碎石土:褐黄色,干燥,稍密,碎石为灰青色凝灰岩,呈棱角状及次棱角状,交错接触,粒径一般 2~10 cm,个别达 20 cm,约占 70%,角砾约占 10%~15%,其余为粉砂、黏土充填。下覆岩性为凝灰岩、硅质灰岩,暗青色、灰绿色,晶粒结构,节理裂隙发育,多呈碎块状、短柱状。在水洛河左岸地表和沟底有出露,局部地段埋深 5~15 m;在右岸坡埋藏较深,此次钻探揭露深度 36~64 m。强风化层厚约 4~6 m。现场调查结合遥感影像分析,该滑坡位于中高山斜坡中下部,滑坡呈不对称形状。其北侧(左侧)及南侧(右侧)均有缓沟发育,西侧为后缘陡缓部位,东侧为前缘水洛河河沟。从纵向上分析,坡体中上部相对平缓,下部坡度较陡,坡上中下部有新修的变电站公路,平坝上分布有居民区,后缘外围为斜坡,有一条村道,且滑坡后缘边界呈似弧形,中前部为斜坡,崩塌主要堆积区,前缘有宽缓平坝,前缘外侧为区域河流水洛河。详见图 1、图 2。

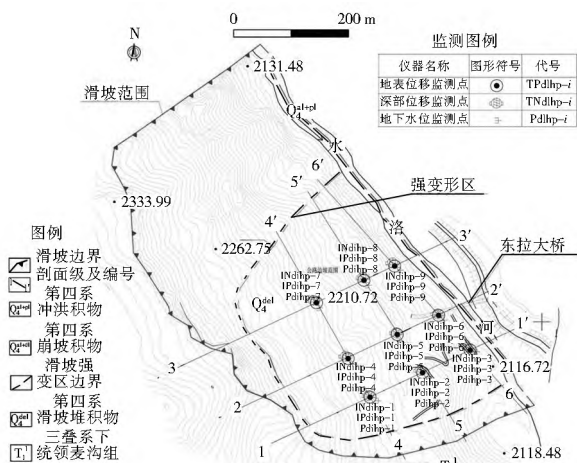


图 1 木里县水洛乡东拉滑坡工程地质平面

Fig. 1 Map of engineering geology of the Dongla landslide in Shuilup of Muli County

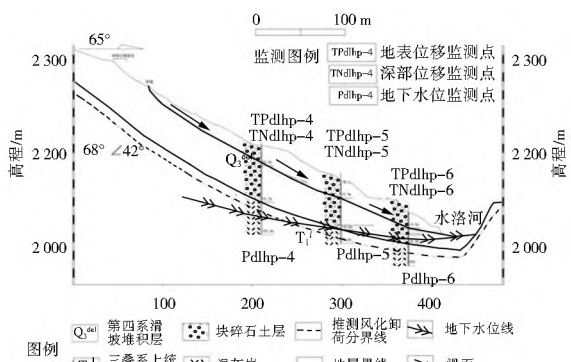


图 2 木里县水洛乡东拉滑坡 2-2' 工程地质剖面

Fig. 2 Engineering geology of profile 2-2' of the Dongla landslide in Shuilup of Muli County

木里县水洛乡东拉滑坡前缘高程 2 110 m,后缘高程 2 340 m,相对高差 230 m。滑体主要为碎石土,下覆凝灰岩、硅质灰岩及局部板岩等组合,岩层产状为 $42^\circ - 58^\circ \angle 50^\circ - 86^\circ$ 。滑坡平面似短舌状,纵向长约 400 m,横向宽约 740 m,滑体平均厚度约 19 m,滑坡体积约 600 万 m^3 ,整体滑动方向 65° ,属大型土质滑坡,滑坡右侧区域持续变形更强烈,为强变形区,纵向长约 330m,横向宽约 415 m,斜坡体平均厚度约 19 m,体积约 280 万 m^3 。

2 监测成果分析

在现场地质调研基础上,安全监测主要集中布设在强变形区内,其滑坡体上监测手段主要为(1)测斜孔监测;(2)地表位移监测;(3)孔隙水压力监测;详见图 1 和图 2。本文选取 2-2' 剖面的监测数据进行重点分析和研究。

2.1 测斜孔监测分析

图 3 为 INdlhp 4 测斜孔累积位移-孔深曲线图。从曲线图上看,该监测点深部在 19~19.5 m 处出现产生滑面的迹象。目前 A 向位移方向为朝水洛河进行变形,A 向孔口累积位移为 41.38 mm,孔口累计位移变化速率为 5.91 mm/d。B 向位移方向为朝 B180 方向位移,B 向孔口累积位移为 -11.85 mm,孔口累计位移变化速率为 -1.69 mm/d。滑体整体性进行滑动变形,变形相对集中在表层 0~10 m 段,10~19.5 m 段变形相对较小,在该测斜孔监测点未形成明显的滑面,但可见该点从 19.5 m 以上坡体开始逐渐产生变形,故判断出滑面在 19.5 m 处,根据钻探揭露出来的基岩深度(该监测点基岩埋深为 64.20 m)判断,该滑面位于块碎石土中。

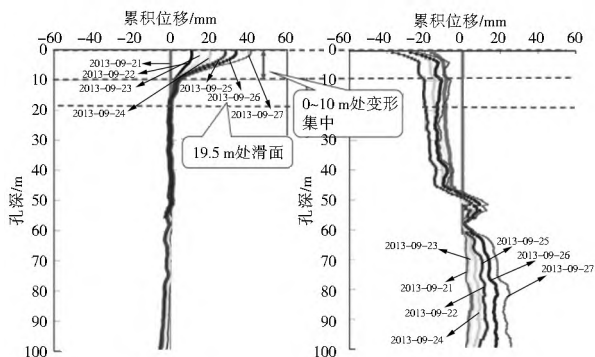


图 3 INdlhp 4 累积位移-孔深曲线

Fig. 3 INdlhp 4 cumulative displacement - hole depth curve

图4为INdlhp4孔口累积位移与转动方位角-时间曲线图。从孔口累积位移-时间曲线图上看,该合位移同时间关系目前近似成线性关系,这个说明目前滑坡处于等速蠕滑阶段。从孔口转动方位角-时间曲线图来看,其转动方位角随着时间推移而产生一定的波动,目前孔口转动方位角为66°,这个与滑坡整体滑动方向65°近似一致。

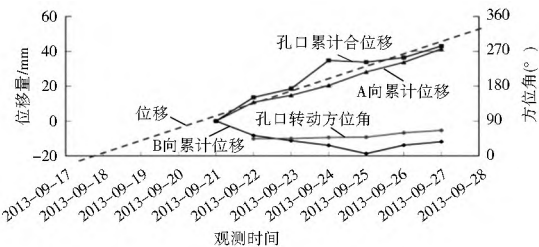


图4 INdlhp4孔口累积位移与转动方位角-时间曲线
Fig. 4 INdlhp4 cumulative displacement and the rotation of opening azimuth-time curve

图5为INdlhp5测斜孔累积位移-孔深曲线图和图6为INdlhp5滑带位错-时间曲线图。从曲线图上看,该监测点深部在19~19.5m处出现产生滑面的迹象。目前A向位移方向为朝水洛河进行变形, A向孔口累积位移为32.98mm,孔口累积位移变化速率为1.94mm/d; A向滑带位错累积位移为12.77mm,其累积位移变化速率为0.75mm/d。B向位移方向为朝B180方向位移, B向孔口累积位移为-15.04mm,孔口位移变化速率为-1.11mm/d; B向滑带累积位移为-5.70mm,孔口位移变化速率为-0.34mm/d。滑带以上的坡体也在整体向水洛河进行变形运动,但其滑带体的累积位移占了孔口累积位移的62.10%;滑带也在向水洛河进行变形运动,其滑带位错累积位移量占了孔口累积位移的37.90%,与INdlhp4的监测成果有一定的差异性,这与该监测点埋设位置靠近滑坡前缘有关,说明滑面在该测斜孔监测点已经形成,且滑面变形集中在19~19.5m。根据钻

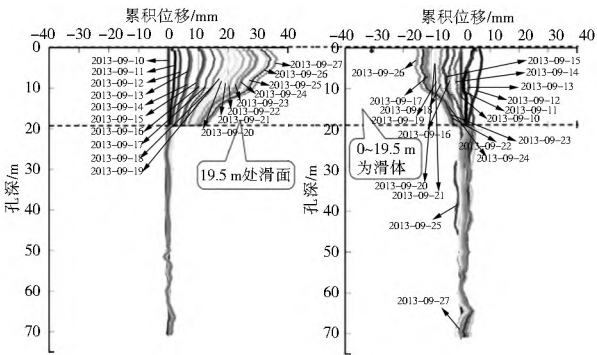


图5 INdlhp5累积位移-孔深曲线
Fig. 5 INdlhp5 cumulative displacement-hole depth curve

探揭露出来的岩性(该监测点基岩埋深为55.00m)判断,该滑面位于覆盖土层中。

图7为INdlhp5孔口累积位移与转动方位角-时间曲线图。从孔口累积位移-时间曲线图上看,该合位移同时间关系目前近似成线性关系,这个说明目前滑坡处于等速蠕滑阶段。从孔口转动方位角-时间曲线图来看,其转动方位角随着时间推移而产生一定的波动,目前孔口转动方位角为66°,这个与滑坡整体滑动方向65°近似一致。

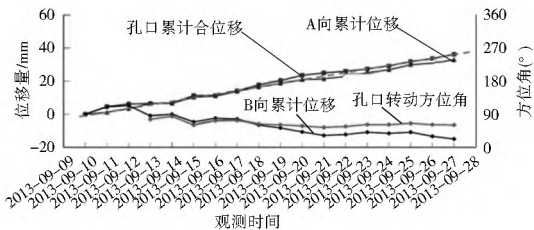


图7 INdlhp5孔口累积位移与转动方位角-时间曲线
Fig. 7 INdlhp5 cumulative displacement and the rotation of opening azimuth-time curve

图8为INdlhp6测斜孔累积位移-孔深曲线图,图9为INdlhp6滑带位错-时间曲线图。从曲线图上看,该监测点深部在18~18.5m处出现产生滑面的迹象。目前A向位移方向为朝水洛河进行变形, A向孔口累积位移为15.89mm,孔口位移变化速率为0.69mm/d; A向滑带位错累积位移为14.41mm,其位移变化速率为0.63mm/d。B向位移方向为朝B180方向位移, B向孔口累积位移为-3.59mm,其位移变化速率为-0.16mm/d; B向滑带位错累积位移为-0.14mm,其位移变化速率为0.00mm/d。该测斜孔监测点位移变化主要集中在滑带处,达到了孔口累积位移的91.19%,滑体整体累计位移量只占8.81%,这个同INdlhp4, INdlhp6都有一定的差异,这个与INdlhp6埋设在滑坡前缘有直接关系,目前该测斜孔监测点的滑面已经形成,且基本贯

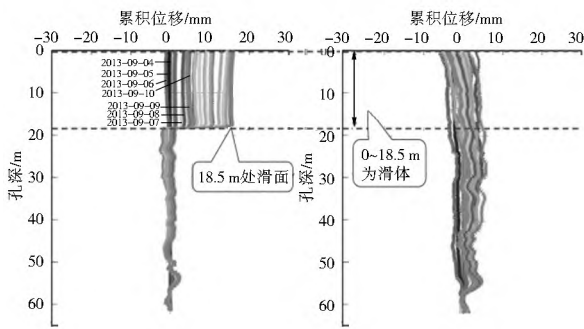


图8 INdlhp6累积位移-孔深曲线
Fig. 8 INdlhp6 cumulative displacement-hole depth curve

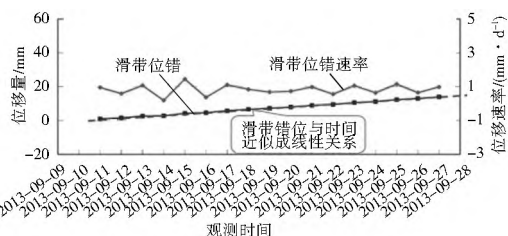


图6 INdlhp5滑带位错-时间曲线
Fig. 6 INdlhp5 dislocation slip-time curve

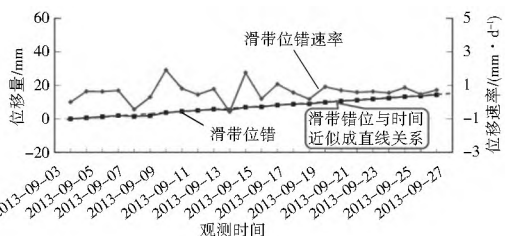


图9 INdlhp6滑带位错-时间曲线
Fig. 9 INdlhp6 dislocation slip-time curve

通,目前还未发生整体滑动。根据钻探揭露出来的岩性判断(该监测点基岩埋深为 35 90 m),该滑面位于覆盖土层中。

图 10 为 INdlhp 6 孔口累积位移与转动方位角-时间曲线图。从孔口累积位移-时间曲线图上看,该合位移同时间关系目前近似成线性关系,这个说明目前滑坡处于等速蠕滑阶段。从孔口转动方位角-时间曲线图来看,其转动方位角随着时间推移而产生一定的波动,目前转动方位角为 62°,这个与滑坡整体滑动方向 65° 近似一致。

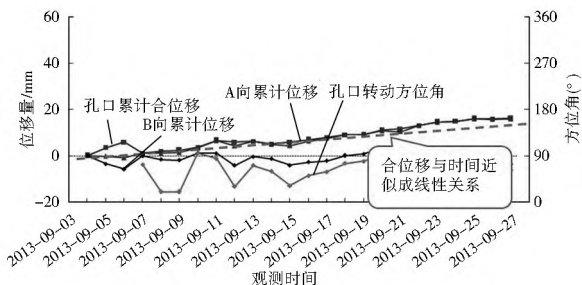


图 10 INdlhp 6 孔口累积位移与转动方位角-时间曲线
Fig. 10 INdlhp 6 cumulative displacement and the rotation of opening azimuth-time curve

从剖面上测斜孔监测点所处的位置来看,(1)目前 INdlhp 4 处于滑坡体强变形区中部,其孔口位移总量和位移变化速率相对 INdlhp 5 和 INdlhp 6 都较大,表现为该点处的滑体整体在滑动,其滑带变形量和位移速率相对较小;(2)INdlhp 5 处于滑坡体强变形区中前部,位移总量较 INdlhp 4 要小些,但是 INdlhp 6 要大些;INdlhp 5 滑带变形和滑体都在变形。(3)INdlhp 6 处于滑坡剪出口附近,位移总量和位移变化速率都相对较小,其位移变化主要集中在滑带变形,而滑体目前基本无变形。(4)INdlhp 4 至 INdlhp 6 三个测斜孔监测点的孔口转动方向在 61°~66° 之间,与滑坡整体滑动方向基本一致。

2.2 地表位移监测分析

图 11-图 13 为 TPdlhp 4 至 TPdlhp 6 地表位移-时间曲线图。从曲线图上看,TPdlhp 4 监测点目前累计位移达到了 4 584.01 mm,转动方位角为 74°;TPdlhp 5 监测点目前合位移达到了 1 599.67 mm,转动方位角为 70°;TPdlhp 6 监测点目前合位移达到了 351.69 mm,转动方位角为 75°。滑坡前部地表位移量最小,中后部位移量依次增加,其转动方位角在 70°~75° 之间,这个同测斜孔监测成果基本一致。

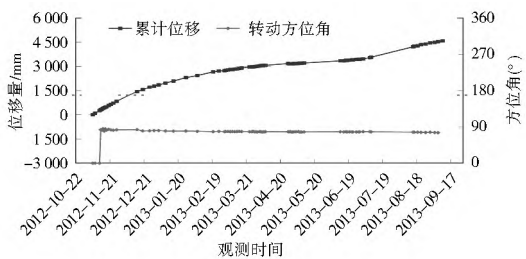


图 11 TPdlhp 4 地表位移与转动方位角-时间曲线
Fig. 11 TPdlhp 4 cumulative displacement and the rotation of opening azimuth-time curve

2.3 孔隙水压力监测分析

图 14 为地下水水位高程-时间曲线图, Pdlhp 4 的水位高

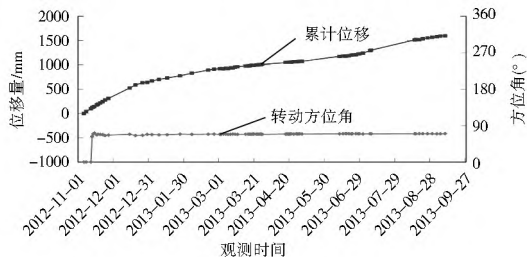


图 12 TPdlhp 5 地表位移与转动方位角-时间曲线
Fig. 12 TPdlhp 5 cumulative displacement and the rotation of opening azimuth-time curve

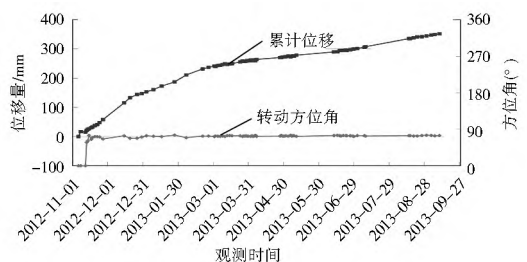


图 13 TPdlhp 6 地表位移与转动方位角-时间曲线
Fig. 13 TPdlhp 6 cumulative displacement and the rotation of opening azimuth-time curve

程稳定在 2 125.40 m,该监测点的水位线埋藏在基岩中;Pdlhp 5 的水位高程稳定在 2 118.37 m,该监测点的水位线埋藏在滑坡体中;Pdlhp 6 的水位高程稳定在 2 109.91 m,该监测点的水位线埋藏在滑坡体中。

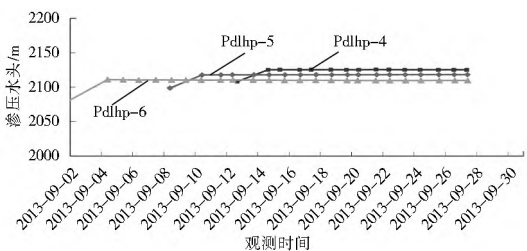


图 14 地下水水位高程-时间曲线
Fig. 14 Groundwater level-time curve

3 变形破坏分析

经现场调查走访可知:木里县水洛乡东拉滑坡变形历史较为久远,自 2011 年开始出现明显变形,并逐渐加剧,地面裂缝发育,破坏一切支护工程,并将电站公路和东拉大桥(桥墩之间桥面相互挤压,桥墩倾斜)破坏。该滑坡所在斜坡坡度陡缓相间,前缘具备临空条件,具明显剪出口,滑坡左右两侧边界为缓沟,后缘具长大拉裂缝,利于汇水;滑坡所在坡体为古滑坡体堆积物,复活和扩展后结构较为松散,局部块石架空,稳定性差。由于该区近期的人类工程活动较为频繁,公路边坡开挖、修建大桥等,对斜坡的稳定性产生不利影响,坡体裂缝十分发育,路基沉降、路面开裂,护坡破坏、挡墙开裂等现象突出,加上暴雨影响,入渗坡体,增加土体重度的同时,降低土体的物理力学参数,滑坡剧烈变形,破坏严重。

目前滑坡体很大程度上脱离了左右周界的岩土介质,运动方向的趋势性较强,后缘的滑坡变形量明显大于前缘的滑坡变形量,由于目前前缘滑动面没有贯通,随着变形和推力

不断向前传递,在前缘形成了一个变形和推力的叠加应力场,只能以隆胀的形式协调不断从后面传来的变形和应力,由此在滑坡前缘产生隆起带,结合上述监测成果分析,该滑坡目前处于蠕滑变形阶段。

从滑坡的变形特征上看,滑坡的形成机制在力学模型上可概括为“滑移-拉裂”破坏,局部存在滑塌破坏,外部主控因素为降雨和人类工程活动影响。

4 结论

(1) 通过滑坡的安全监测,实时监控了滑坡的变化,滑坡变形主要集中在强变形区,确定了新滑面位于 18.5~19.5 m 处的土体中。

(2) 目前滑坡在前部已经形成滑面,中后部正逐渐形成一个较清晰的滑面,目前还未发生整体滑动,滑坡处于等速蠕滑阶段。

(3) 从滑坡的变形特征上看,滑坡的形成机制在力学模型上可概括为“滑移-拉裂”破坏。

参考文献(References):

- [1] 唐亚明,张茂省,薛强,等.滑坡监测预警国内外研究现状及评述[J].地质评论,2012,58(3):533-541.(TANG Yaming, ZHANG Maosheng, XUE Qiang, et al. Landslide Monitoring and Early warning: an Overview [J]. Geological Review, 2012, 58(3): 533-541. (in Chinese))
- [2] 彭欢,黄帮芝,杨永,等.滑坡监测技术方法研究[J].资源环境与工程,2012,26(1):45-50.(PENG Huan, HUANG Bangzhi, YANG Yong, et al. Study on Technical Methods of Landslide Monitoring [J]. Resources Environment & Engineering, 2012, 26(1): 45-50. (in Chinese))
- [3] 王少强,赵飞.监测技术在高速公路高边坡治理中的应用[J].公路工程,2010,35(2):31-34.(WANG Shaoliang, ZHAO Fei. Application of Monitoring Technique to High Slope Treatment of Expressway [J]. Highway Engineering, 2010, 35(2): 31-34. (in Chinese))
- [4] 王义锋.基于测斜仪监测成果的蠕滑体变形机制分析[J].岩石力学与工程学报,2009,28(1):212-216.(WANG Yifeng. (2009). Analysis of creep deformation mechanism based on inclinometer monitoring results [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(1): 212-216. (in Chinese))
- [5] 任伟中,陈浩,唐新建,等.运用钻孔测斜仪监测滑坡抗滑桩变形受力状态研究[J].岩石与力学工程学报,2008,27(增2):3667-3672.(REN Weizhong, CHEN Hao, TANG Xinjian, et al. Study on monitoring of deformation and stress state of landslide anti-slide piles using borehole inclinometer [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(supp. 2): 3667-3672. (in Chinese))
- [6] 勒晓光,李晓红,王兰生,等.滑坡深部位移曲线特征及稳定性判别[J].山地学报,2000,18(5):440-444.(LE Xiaoguang, LI Xiaohong, WANG Liansheng, et al. Characteristics of landslide deep displacement curve and stability discriminant [J]. Journal of mountain science, 2000, 18(5): 440-444. (in Chinese))
- [7] 金泉豪,王刚,郭宁,等.钻孔倾斜仪在塘角村1#滑坡预警监测中的作用[J].中国地质灾害与防治学报,2009,20(1):103-107.(JIN Xiaohao, WANG Gang, GUO Ning, et al. The effect of inclinometers for slope monitoring of No. 1 Landslide in Tangjiao Village [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009, 20(1): 103-107. (in Chinese))
- [8] 黄秋香,汪家林,邓建辉.基于多点位移监测成果的坡体变形特征分析[J].岩石力学与工程学报,2009,28(增1):2667-2673.(HUANG Qiuxiang, WANG Jialin, DENG Jianhui. Slope deformation character analysis based on monitoring results of multiple multi-point borehole extensometer [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(supp. 1): 2667-2673. (in Chinese))
- [9] 刘文庆,赵飞,董建辉,等.多点位移计在高速公路高边坡稳定性监测中的应用[J].地质灾害与环境保护,2010,21(4):104-107.(LIU Wenqing, ZHAO Fei, DONG Jianhui, et al. Application of multiple point rod extensometer to high slope of expressway stability monitoring [J]. Journal of Geological Hazard and Environment Preservation, 2010, 21(4): 104-107. (in Chinese))
- [10] Zhu H H, Ho A N L, Yin J-H, et al. An optical fibre monitoring system for evaluating the performance of a soil nailed slope [J]. Smart Structures and Systems, 2012, 9(5): 393-410.
- [11] 马水山,王志旺,张漫,等.滑坡监测资料的因子分析[J].岩石力学与工程学报,2002,21(7):1003-1006.(MA Shuishan, WANG Zhiwang, ZHANG Man, et al. Factor analysis on monitoring data of landslide [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(7): 1003-1006. (in Chinese))
- [12] 梁桂兰,徐卫亚,谈小龙,等.高边坡安全监测资料反馈分析研究[J].水利与建筑工程学报,2010,8(4):37-40.(LIANG Guilan, XU Weiya, TAN Xiaolong, et al. Feedback Analysis and research on monitoring data of high slope [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2010, 8(4): 37-40. (in Chinese))
- [13] 金福喜,卿笃干,彭环云.常吉高速某红砂岩滑坡治理监测及分析[J].湖南大学学报:自然科学版,2008,35(11):188-193.(JIN Fuxi, QING Zhugan, PENG Huan Yun, et al. The monitoring and analysis on the reinforcement of landslide of red sandstones in Changji expressway [J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2008, 35(11): 188-193. (in Chinese))
- [14] 刘殿华,袁建力.虎丘塔加固工程的监控和观测技术[J].土木工程学报,2004,37(7):51-58.(LIU Dianhua, YUAN Jianli. et al. Construction monitoring and observation technology applied to strengthening of huqiu pagoda [J]. China Civil Engineering Journal, 2004, 37(7): 51-58. (in Chinese))
- [15] 姚晓阳.堆积体古滑坡抗滑桩受力监测及分析[J].公路,2013(1):185-190.(YAO Xiaoyang. Monitor and analysis on stabilizing piles force of accumulation ancient landslide [J]. Highway. 2013(1): 185-190. (in Chinese))