

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.06.04

云南鲁甸地震红石岩堰塞湖右岸特高边坡综合 监测及变形特征分析

郭延辉^{1,2}, 杨 溢¹, 高才坤², 杨志全¹

(1. 昆明理工大学公共安全与应急管理学院, 云南 昆明 650093;
2. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650051)

摘要: 鲁甸 M_s6.5 地震诱发红石岩右岸发生超大规模崩塌, 并形成罕见的 634 m 特高崩塌边坡, 严重影响后续堰塞体整治工程的安全。在现场特高边坡工程处置的基础上, 提出了基于 GNSS, 多点位移计和锚索测力计的综合监测方法和技术。现场监测结果表明, 经过工程处置的边坡, 在监测期内, 表面和深部变形缓慢且较小, 坡体内没有发生明显的应力增高, 边坡整体处于基本稳定-稳定状态。由于该山体受到震损后, 岩体裂隙和后缘地表裂缝较多, 后续应持续加强时实监测和预警工作。研究成果对于下部堰塞体整治工程以及后期堰塞体作为永久挡水建筑物的安全性具有重要意义, 同时为类似工程提供参考。

关键词: 地震; 堰塞湖; 特高边坡; 综合监测; 稳定性

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)06-0030-08

Comprehensive monitoring and deformation analysis of extra high slope on the right bank of Hongshiyan Dammed Lake in Ludian Earthquake

GUO Yanhui^{1,2}, YANG Yi¹, GAO Caikun², YANG Zhiqian¹

(1. Faculty of Public Safety and Emergency Management, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China; 2. Power China Kunming Engineering Corporation Limited, Kunming, Yunnan 650051, China)

Abstract: Ludian M_s6.5 earthquake induced a super large-scale collapse on the right bank of Hongshiyan, and formed a rare 634 m extra-high collapse slope, which seriously affected the safety of the subsequent weir body treatment project. Based on the disposal of extra high slope, the comprehensive monitoring method and technology based on GNSS, multi-point displacement meter and anchor cable dynamometer are proposed. The field monitoring results show that the surface and deep deformation of the slope is slow and small during the monitoring period, and there is no obvious stress increase in the slope body, and the slope is basically stable-stable. Since there are many cracks in the rock mass and the surface cracks in the back edge of the mountain after the earthquake damage, the on-line monitoring and early warning work should be

收稿日期: 2020-08-18; 修订日期: 2020-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41402272); 云南省应用基础研究计划项目(2018FB075); 云南省科技计划项目(科技惠民计划 2015RA069)

第一作者: 郭延辉(1985-), 男, 陕西延安人, 博士(后), 副教授, 主要从事地质灾害监测与预测预警方面的研究。E-mail: guoyanhui0818@163.com

通讯作者: 杨 溢(1965-), 男, 云南大理人, 博士, 教授, 主要从事地质灾害机理与防治方面研究。E-mail: 2919847230@qq.com

strengthened. The research results are of great significance for the lower weir body regulation project and the safety of the later weir plug body as a permanent water retaining structure, and provide reference for similar projects.

Keywords: earthquake; weir plug lake; super high slope; integrated monitoring; stability

0 引言

2014年8月3日16时30分,云南省鲁甸县发生 $M_s 6.5$ 地震,震中位置 $27.10^\circ N, 103.33^\circ E$,震源深度12 km^[1-2]。位于巧家县包谷垭乡红石岩村与鲁甸县火德红乡李家山村交界的牛栏江干流,因地震诱发红石岩左岸古滑坡体前缘崩塌,同时右岸也发生超大规模崩塌,左右岸崩塌体一起将牛栏江堵塞,形成高120 m、体积近 $1.20 \times 10^7 m^3$ 的大型堰塞体,并形成红石岩堰塞湖,图1为红石岩堰塞湖航拍图^[3-4]。堰塞湖形成后,上游会泽、鲁甸两个县牛栏江沿岸 $3.3 km^2$ 土地及居民房屋被淹没,近4 000名群众进行了紧急转移安置;同时堰塞湖直接对下游的10个乡镇、3万余人、数万亩耕地造成危害^[5]。

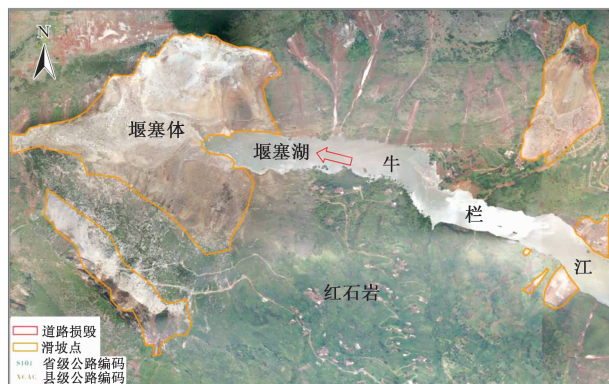


图1 红石岩堰塞湖航拍图

Fig.1 Aerial photos of Hongshiyang Dammed Lake

地震发生后,余震和降雨不断,次生地质灾害形势极其严重。特别是堰塞体右岸的特大型崩塌,崩塌总体积约 $1.00 \times 10^7 m^3$,沿河流方向长度约890 m。由于现场地形地质条件复杂,地震后整个右岸崩塌边坡坡底至坡顶的垂直距离达634 m^[6-7],坡度 $70^\circ \sim 85^\circ$,后缘为近直立的陡崖(图2),属于特高边坡范畴^[7]。在不断余震和连续降雨等影响下,该崩塌特高边坡很有可能继续发生失稳滑塌,严重影响红石岩堰塞体抢险,以及周边人民生命财产安全^[8]。因此,合理确定堰塞体右岸崩塌边坡的整治方案,并对整治后的特高边坡进行综合监测,根据实

时监测数据,对该特高边坡的稳定性进行预测和预警,保障整个堰塞湖整治工程及人民生命财产安全,意义重大。

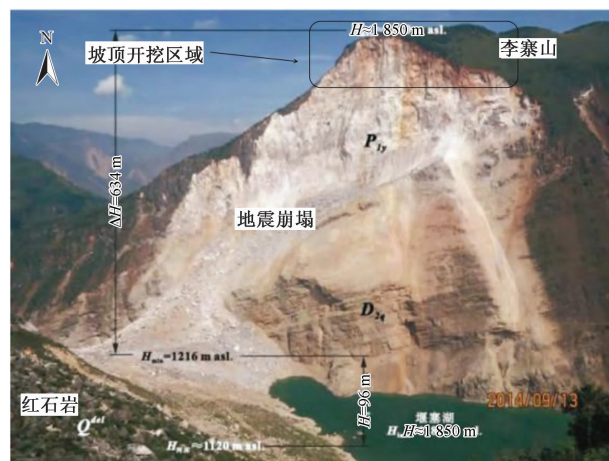


图2 右岸特高边坡处置前全貌

Fig.2 Full view of extra high slope on right bank before disposal

1 红石岩堰塞湖右岸崩塌特高边坡地质概况

右岸崩塌边坡呈现“陡峭—倾斜—陡峭”的地貌特征。根据现场地质调查资料,边坡坡体结构呈上硬下软的岩质边坡,其中上部岩层为厚层、巨厚层状灰岩、白云岩、白云质灰岩,而下部为中层状、薄层状泥质灰岩、石英砂岩^[9]。坡面岩体发育三组节理,即横河向陡倾节理、顺河向陡节理及层间节理。边坡岩体软硬相间,边坡岩体软岩在上部岩体自重的作用下,不断压缩变形,致使上部脆性岩体拉裂、解体,形成压致拉裂变形,在地震作用下沿顺河向卸荷裂隙在其它结构面(如层面节理)组合作用下产生大范围崩塌,向下游方向滑动。因此该崩塌的破坏模式主要以拉裂-滑移为主^[9-10]。图3为右岸崩塌特高边坡地质剖面图。

地震引起右岸崩塌形成特高边坡后,坡体围岩应力会发生重新分布,在卸荷作用下,坡面上会新出现很多卸荷裂隙,新出现的卸荷裂隙容易和坡体内其他不利结构面形成危岩体块^[11]。在余震、降雨等影响下,

危岩体块很可能发生崩塌和坠落等情况^[12]。此外,现场调查发现,在该崩塌边坡的后缘还发育一些凌乱的裂缝,使得坡体边缘岩体处于松弛状态,若在持续降雨、雨水入渗、冲刷和侵蚀的影响及作用下,坡体发生崩塌冒落的可能性和危险性就大大增加。因此,需尽快对地震后右岸崩塌形成的特高边坡进行合理的工程处置,并对处置后的边坡进行监测,根据监测成果分析特高边坡处置效果及特高边坡的稳定性,对后续堰塞体的防渗加固以及整个堰塞湖整治工程的安全至关重要。

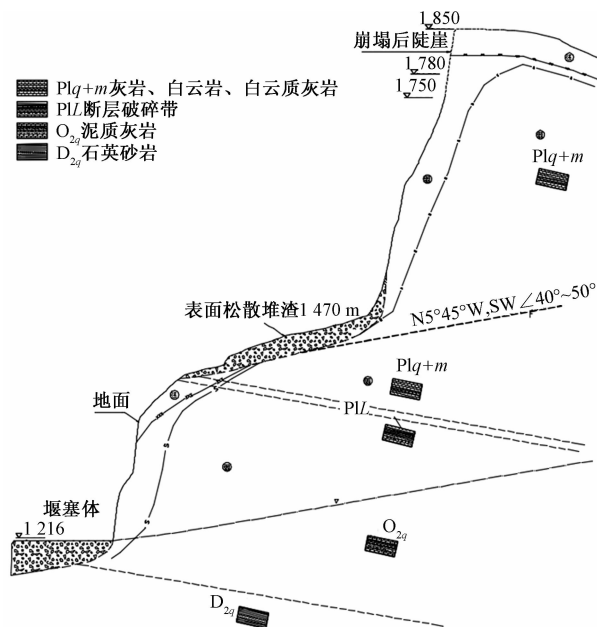


图3 右岸崩塌特高边坡地质剖面图

Fig.3 Geological section of collapse extra high slope on right bank

2 红石岩堰塞湖右岸崩塌特高边坡处置方案

基于现场实际工程地质条件和特高边坡岩体力学性质,对该崩塌后形成的特高边坡采取了由上至下的工程加固处置措施^[13](图4、图5)。

(1)海拔1 750 m以上震裂松动岩体进行清除开挖。设计坡比为1:0.75和1:0.6,每15 m布置宽度为3 m的马道。边坡采用锚网喷支护形式(锚杆+钢筋网+喷射混凝土),具体支护参数如下:系统锚杆采用 $\Phi 28$ 和 $\Phi 25$ 两种形式,长度 L 分别为6 m和4.5 m,锚杆间排距2.5 m×2.5 m;钢筋网采用的钢筋直径 $\Phi 6.5$ mm,网眼间距为200 mm×200 mm,喷射混凝土等级为C20,厚度为15 cm;在加固边坡上布设孔深为5 m,直径 $\Phi 76$ mm的排水孔,排水孔内插 $\Phi 50$ mm塑

料盲沟管,其间排距为5 m×5 m。同时,在马道外边缘处和边坡开挖开口线位置设置一排锁口锚筋桩 $3\Phi 25$ ($L=9$ m)@2 m。

(2)海拔位于1 470~1 750 m松动和倒悬岩体进行清理。对清坡后的边坡表面及时喷砼封闭保护。混凝土喷层厚度为10 cm,强度等级为C20。若清坡过程中揭露软岩,则采用锚索+钢筋网+喷射混凝土的加固方式。设计锚索采用2排2 000 kN级预应力锚索,锚索水平间距为4 m,长度约为50 m;混凝土喷层等级为C25,厚度为60 cm,混凝土喷层内采用双层双向钢筋网。

(3)海拔位于1 470 m以下缓倾平台,主要进行松渣清理,对于靠近堰塞体部位堆渣较厚的区域,进行坡比修整。

(4)截排水处理,沿崩塌范围外缘布设一条截水天沟,同时将各马道之间排水沟与截水天沟连接,从而形成边坡坡面整体排水系统。

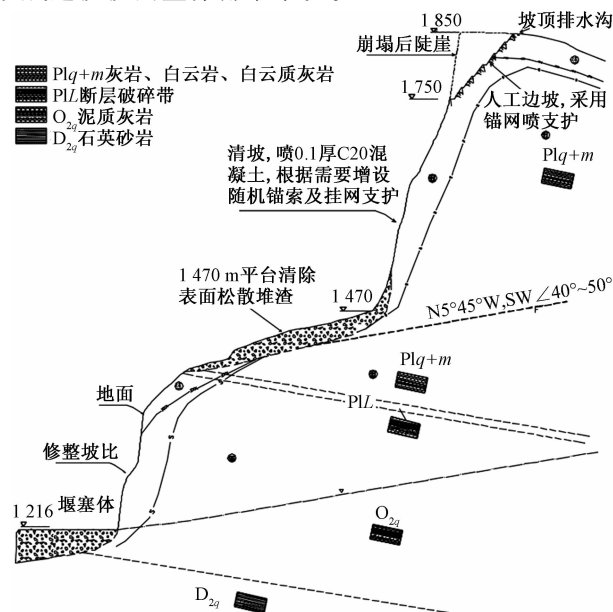


图4 工程处置方案典型剖面图

Fig.4 Typical section of engineering disposal plan

3 特高边坡综合监测方案

根据该特高边坡的变形破坏模式,监测布置时,重点将边坡分为高陡边坡区、中部缓坡区、下部修整坡比区三个区域来进行监测。监测方式主要有表面位移监测,深部位移监测和支护效应监测。

(1)高陡边坡区,由于上部开挖处置形成的高陡边坡危险性相对最大,因此该区域监测种类和监测测点布置也较多。该区域监测包括GNSS表面位

移监测、多点位移计深部位移监测以及锚索测力计支护效应监测。根据 GNSS 工作原理及其特点^[14-15],参考 GNSS 在国内外边坡监测中的应用实例^[16-17],在该区域设计三条测线共布置 9 个 GNSS 测点小。该区域边坡深部位移主要通过多点位移计来完成,共布置 3 套 4 锚式多点位移计(RP-M-02、RP-M-03、RP-M-04),最深监测深度为 60 m。为了监测边坡的支护效果和稳定性,在锚索测力计原理分析的基础上^[18-19],在右岸特高边坡布

置 5 台锚索测力计小。(2)中部缓坡区,该区域主要布置 3 个 GNSS 测点(RP-GTP-15、RP-GTP-16、RP-GTP-17);2 个多点位移计测点(RP-M-05、RP-M-01)。(3)下部修整坡比区,对于西侧下部修坡区域,主要布置 2 个 GNSS 测点(RP-GTP-02、RP-GTP-03)。此外在坡顶四周截水天沟区域布置了 3 个 GNSS 测点(RP-GTP-01、RP-GTP-04 和 RP-GTP-14)。各测点布置详见图 5。

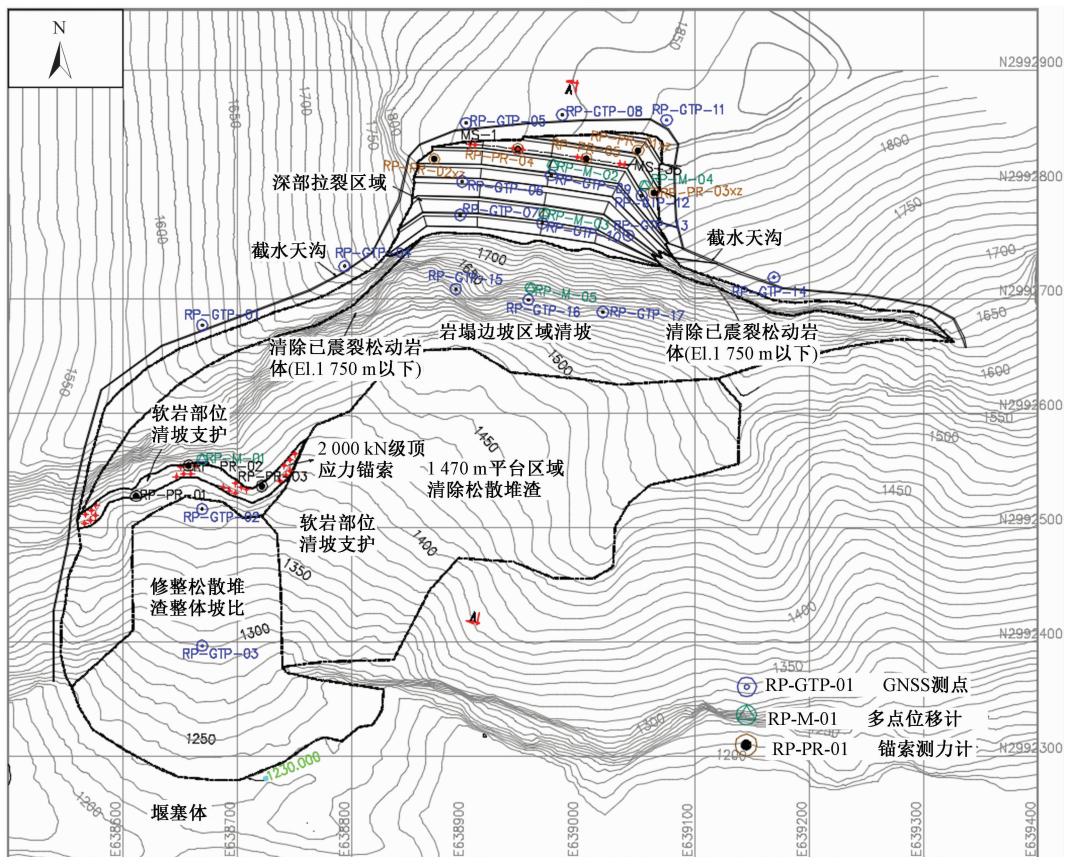


图 5 右岸崩塌边坡各测点位置示意图

Fig.5 Schematic diagram of measuring points of collapse slope on right bank

4 监测成果综合分析

4.1 表面变形监测结果分析

图 6 为右岸特高边坡表面水平位移历时曲线,图 7 为右岸特高边坡表面垂直位移历时曲线,可以看出,在 2015 年 6 月 25 日至 2017 年 9 月 17 日两年多的时间,各测点的水平位移曲线和垂直位移曲线均有一些波动。RP-GTP-12、RP-GTP-13、RP-GTP-09 三个测点的水平位移波动相对较大。监测数值的波动与监测区域受夏季降雨活跃期影响情况

密切相关。监测期内,RP-GTP-11 的测点水平位移最大,最大值为 15.3 mm,其余各点位移均小于该处,主要原因是该测点位于右侧坡顶位置,由于卸荷所产生的的水平位移也是最大的。从垂直位移分布来看,截止 2017 年 9 月 17 日,垂直位移最大为 -29.8 mm,为测点 RP-GTP-08 和 RP-GTP-08,其他各测点位移值均小于该值。总体来看,监测期内各测点水平位移基本上小于垂直位移,且监测期内的累计位移较小,未出现明显的递增趋势,位移变化相对比较缓慢。

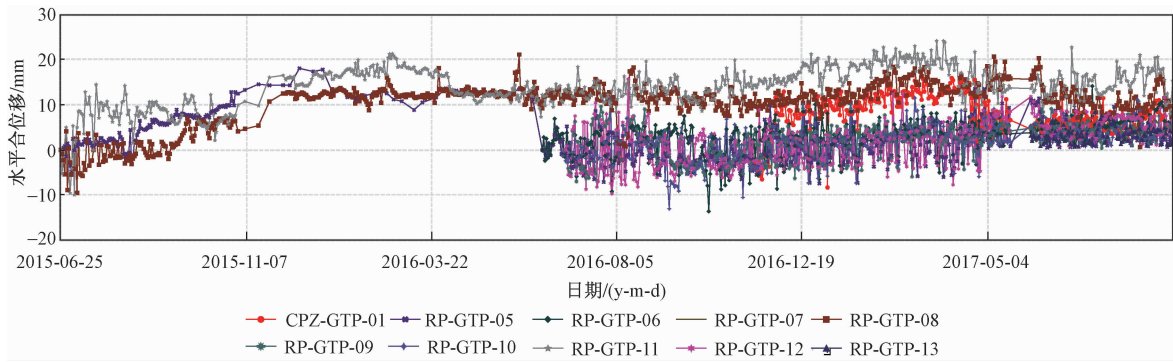


图6 右岸特高边坡表面水平位移历时曲线

Fig. 6 Surface horizontal displacement duration curve of extra high slope on right bank

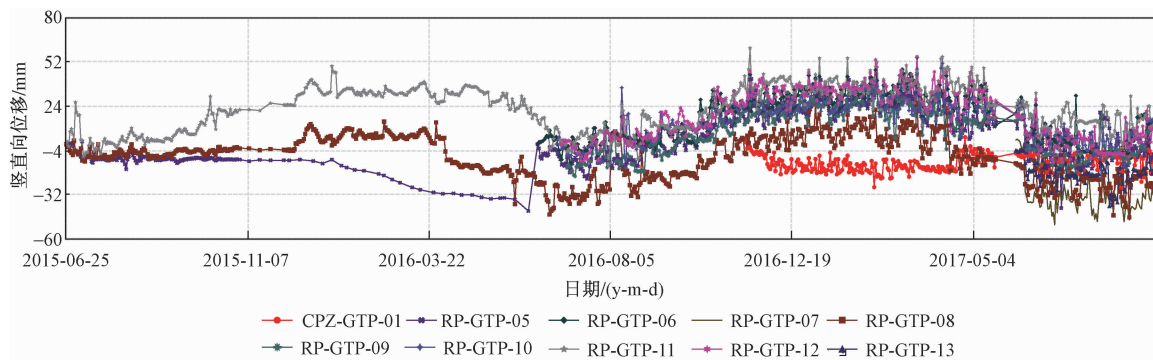


图7 右岸特高边坡表面垂直位移历时曲线

Fig. 7 Surface vertical displacement duration curve of extra high slope on right bank

4.2 深部变形监测分析

RP-M-02 为 4 锚式多点位移计,所测深度距表面分别为 5 m,15 m,30 m,60 m。图 8 为 RP-M-02 多点位移计监测曲线图,监测时间段为 2016 年 12 月 7 日至 2017 年 9 月 9 日,从 2016 年 12 月 7 日开始至 2017 年 4 月 12 日,各锚头所测位移基本呈下降趋势,而从 2017 年 4 月 12 日开始,各锚头测点位移逐渐增大,截止 2017 年 9 月 9 日,位移最大的测点位移约为 0.25 mm,测点变形很小。RP-M-03 多点位移计 4 锚测点深度分别为 2 m,7 m,15 m 和 30 m,截止 2017

年 9 月 9 日,最大变形为 2#锚头(距表面 2 m)位置,最大值为 0.5 mm(图 9),说明右岸边坡 1 781 m 断面测点处基本没有发生变形。图 10 为 RP-M-04 多点位移计监测结果图,各锚头测点深度为 5 m,15 m,30 m 和 60 m,监测结果表明,1#测点锚头(距表面 5 m)处位移最大,为 1.5 mm,其余三个测点位移均小于该值,说明 1 826 m 断面 RP-M-04 测点处,边坡位移很小。综合分析,多点位移计深部位移监测结果,在典型断面的三个测点,基本没有发生明显位移,表明监测期内,边坡处于基本稳定-稳定状态。

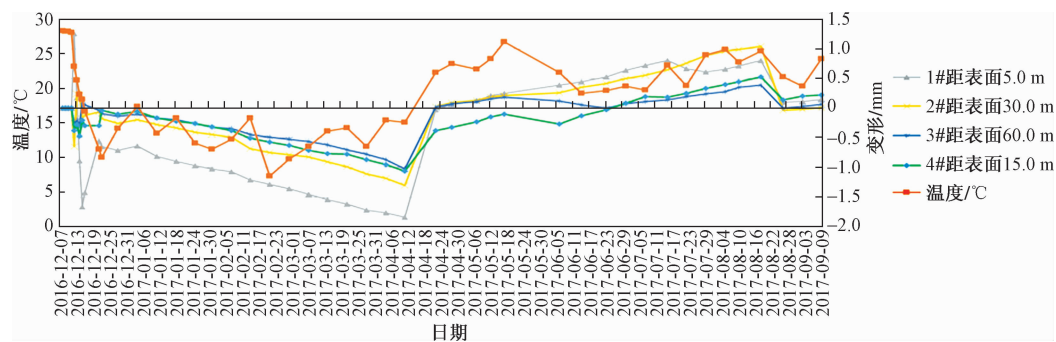


图8 右岸 1 811 m 断面 RP-M-02 多点位移计监测曲线图

Fig. 8 Monitoring curve of multi-point displacement meter of RP-M-02

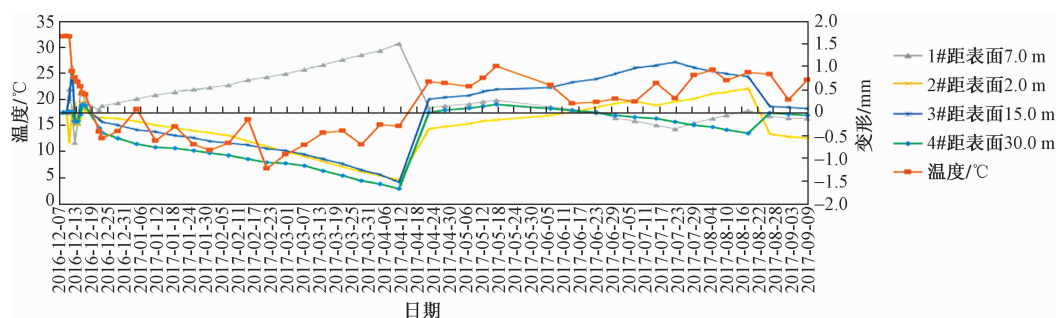


图9 右岸1781 m断面 RP-M-03 多点位移计监测曲线图

Fig. 9 Monitoring curve of multi-point displacement meter of RP-M-03

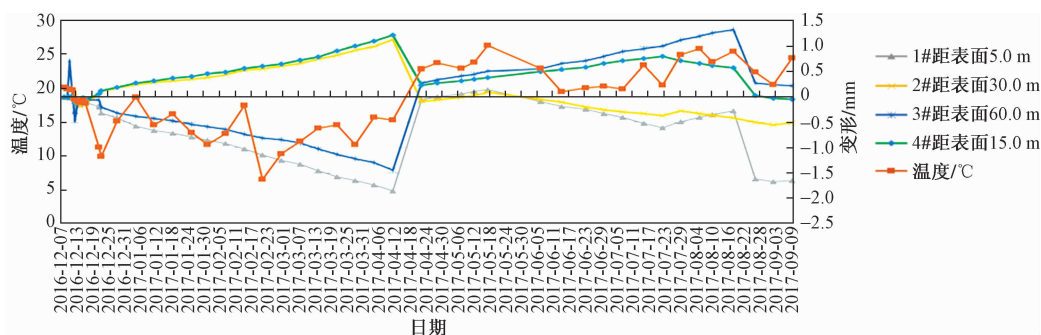


图10 右岸1826 m断面 RP-M-04 多点位移计监测曲线图

Fig. 10 Monitoring curve of multi-point displacement meter of RP-M-04

4.3 锚索支护效应分析

图11为2016年10月至2017年10月5个锚索测力计监测位移曲线图,从图中可以看出,RP-PR-03XZ锚索测力计测点有一定的起伏,从2017年4月15日开始,逐渐增大,到2017年8月15日达到峰值后开始逐渐降低,其余各测点所测数值起伏变化不大。各监测点锚索锁定荷载介于1569.3~1643.4 kN之

间,截止2017年10月7日各测点锚索荷载介于1674.02~1866.53 kN,为设计荷载的0.84~0.93,锁定后荷载变化量为30.62~297.23 kN之间,荷载损失率介于-18.9%~-1.9%。说明锚索测力计受力效果较好,未超过锚索设计荷载,表明边坡内部没有发生应力集中和应力增高的现象,进一步验证了边坡基本满足稳定要求^[18-19]。

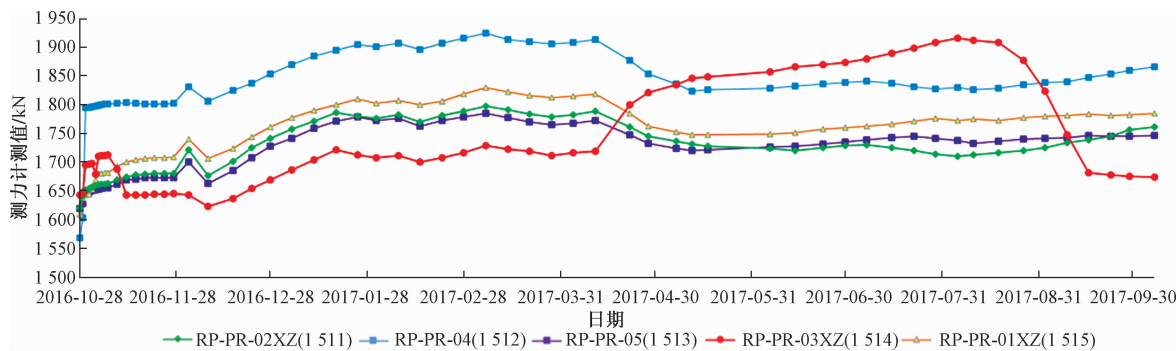


图11 右岸特高边坡锚索测力计测值过程线

Fig. 11 Measuring process line of anchor cable dynamometer on right bank extra high slope

5 结论

(1)总结了红石岩堰塞体右岸崩塌形成的复杂特高边坡从上至下的工程处置方案和措施,即海拔

1750 m以上至坡顶范围内开挖支护(锚杆+钢筋网+喷射混凝土);1470~1750 m之间,清坡后素喷射混凝土,若遇软岩则采用锚索+钢筋网+喷射混凝土支护形式;1470 m以下松渣清理和坡比修正;边坡四周

设置截排水系统。

(2)针对工程整治后的特高边坡,提出了基于表面变形、深部位移、支护效应相结合的综合监测方法。其中表面变形采用先进的 GNSS 技术进行监测,深部位移采用 4 锚式多点位移计监测,支护效应采用锚索测力计进行监测。

(3)监测期内,各测点边坡表面水平合位移介于 1.3 ~ 15.3 mm 之间,垂直位移介于 -29.8 ~ 12.9 mm 之间,各测点位移变化缓慢,无明显递增趋势。多点位移计各测点孔口变形介于 -1.65 ~ 0.15 mm,变形量值较小,从测值过程线来看,各测点测值变化很小。锚索测力计各测点荷载介于 1 674.02 ~ 1 866.53 kN,未超过设计荷载,为设计荷载的 0.84 ~ 0.93。

(4)综合分析可知,红石岩堰塞体右岸经过工程处置的特高边坡,在监测期内,表面和深部变形缓慢且较小,锚索测力计受力状态良好,特高边坡整体处于基本稳定-稳定状态。但由于该山体受到震损后,岩体裂隙和后缘地表裂缝较多,应持续加强在线监测和预警工作,确保后续堰塞体整治工程的安全。

参考文献:

- [1] 张宗亮,张天明,杨再宏,等. 牛栏江红石岩堰塞湖整治工程[J]. 水力发电, 2016, 42(9): 83 - 86. [ZHANG Z L, ZHANG T M, YANG Z H, et al. Remediation project of hongshiyuan dammed lake in niulan river[J]. Water Power, 2016, 42(9): 83 - 86. (in Chinese)]
- [2] 刘传正,葛永刚,江兴元,等. 鲁甸地震红石岩崩塌触发机理分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2016, 36(4): 601 - 608. [LIU C Z, GE Y G, JIANG X Y, et al. Dynamic analysis the Hongshiyuan collapse triggered by Ludian earthquake [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2016, 36(4): 601 - 608. (in Chinese)]
- [3] 陈晓利,常祖峰,王昆. 云南鲁甸 M_s6.5 地震红石岩滑坡稳定性的数值模拟[J]. 地震地质, 2015, 37(1): 279 - 290. [CHEN X L, CHANG Z F, WANG K. Numerical simulation study of hongshiyuan landslide triggered by the M_s6.5 Ludian earthquake[J]. Seismology and Geology, 2015, 37(1): 279 - 290. (in Chinese)]
- [4] 王叶,周伟,马刚,等. 堰塞体形成全过程的连续离散耦合数值模拟[J]. 中国农村水利水电, 2017(9): 156 - 163. [WANG Y, ZHOU W, MA G, et al. Numerical simulation of formation process of

landslide dams based on finite-discrete element method [J]. China Rural Water and Hydropower, 2017(9): 156 - 163. (in Chinese)]

- [5] 吴学明,高才坤,王俊,等. 综合物探方法在红石岩堰塞体探测中的应用研究[J]. 物探化探计算技术, 2018, 40(3): 364 - 371. [WU X M, GAO C K, WANG J, et al. Study of comprehensive geophysical prospecting method in detecting of the Hongshiyuan damming body [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 40(3): 364 - 371. (in Chinese)]
- [6] 刘建康,程尊兰,余涛. 云南鲁甸红石岩堰塞湖溃坝风险及其影响[J]. 山地学报, 2016, 34(2): 208 - 215. [LIU J K, CHENG Z L, SHE T. Assessment of dam failure and secondary hazards for Hongshiyuan dammed lake caused by Ludian earthquake in Niulanjiang River [J]. Journal of Mountain Science, 2016, 34(2): 208 - 215. (in Chinese)]
- [7] 宋胜武,徐光黎,张世殊. 论水电工程边坡分类[J]. 工程地质学报, 2012, 20(1): 123 - 130. [SONG S W, XU G L, ZHANG S S. On slope classification for hydropower engineering[J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(1): 123 - 130. (in Chinese)]
- [8] 王自高. 西南水利水电工程地质灾害问题与预防措施研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013: 1 - 265. [WANG Z G. Study on geological hazards and preventive measures of water conservancy and hydropower projects in Southwest China[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2013: 1 - 265. (in Chinese)]
- [9] 白志华,李万州,李海波,等. 红石岩震损高陡边坡工程岩体质量评价[J]. 工程地质学报, 2018, 26(5): 1155 - 1161. [BAI Z H, LI W Z, LI H B, et al. Engineering rock mass quality assessment for post earthquake high slope at Hongshiyuan[J]. Journal of Engineering Geology, 2018, 26(5): 1155 - 1161. (in Chinese)]
- [10] 罗宇凌,姚翠霞,汪志刚. 红石岩堰塞湖整治工程综合勘察技术应用[J]. 中国高科技, 2019(16): 101 - 103. [LUO Y L, YAO C X, WANG Z G. Application of comprehensive survey technology of Hongshiyuan Landslide Dam improvement Project[J]. China High and New Technology, 2019(16): 101 - 103. (in Chinese)]
- [11] 王自高,何伟,王昆. 水利水电工程中地质灾害预

- 防与地质环境保护对策探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(2): 70-74. [WANG Z G, HE W, WANG K. Geological hazard prevention and environment protection for water conservancy and hydropower engineering[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(2): 70-74. (in Chinese)]
- [12] 王启国. 汉江孤山航电枢纽工程区近坝滑坡稳定性分析及防治工程建议[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(1): 41-51. [WANG Q G. Stability of near-dam landslides and engineering countermeasures on Gushan marine power station project[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(1): 41-51. (in Chinese)]
- [13] 花润泽, 张天明, 龚爱民. 红石岩堰塞湖右岸高边坡整治技术研究[J]. 水利科技与经济, 2016, 22(1): 15-17. [HUA R Z, ZHANG T M, GONG A M. Technology research on the remedy of the right gradient section of Hongshiyuan bammed lake[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2016, 22(1): 15-17. (in Chinese)]
- [14] 韩军强. 高精度 GNSS 实时滑坡变形监测技术及环境建模分析研究[J]. 测绘学报, 2020, 49(3): 397. [HAN J Q. Research on high precision GNSS real time landslide deformation monitoring technology and environmental modeling[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2020, 49(3): 397. (in Chinese)]
- [15] 喻小, 赵其华, 张垚豪, 等. GNSS 实时监测在滑坡预警中的应用——以陕西省周至 G108 路段滑坡为例[J]. 人民长江, 2019, 50(10): 126-130. [YU X, ZHAO Q H, ZHANG C H, et al. Application of GNSS real-time monitoring in landslide early warning: case of Landslide of G108 section in Zhouzhi County, Shannxi Province [J]. Yangtze River, 2019, 50(10): 126-130. (in Chinese)]
- [16] 韩军强, 黄观武, 黄观文, 等. 多种监测手段在滑坡变形中的组合应用[J]. 测绘科学, 2019, 44(11): 116-122. [HAN J Q, HUANG G W, HUANG G W, et al. Multi-monitoring methods joint application in landslide deformation monitoring[J]. Science of Surveying and Mapping, 2019, 44(11): 116-122. (in Chinese)]
- [17] 李家春, 宋宗昌, 侯少梁, 等. 北斗高精度定位技术在边坡变形监测中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(1): 70-74. [LI J C, SONG Z C, HOU S L, et al. Application of Beidou high-precision positioning technology in slope deformation monitoring[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(1): 70-74. (in Chinese)]
- [18] 王立朝, 温铭生, 冯振, 等. 中国西藏金沙江白格滑坡灾害研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(1): 1-9. [WANG L C, WEN M S, FENG Z, et al. Researches on the baige landslide at Jinshajiang river, Tibet, China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(1): 1-9. (in Chinese)]
- [19] 唐世祥, 蔡敏. 大理玉皇阁水库左右岸边坡锚索监测分析[J]. 人民长江, 2020, 51(增刊1): 248-251. [TANG S X, CAI M. Anchor cable monitoring on the left and right bank slope of Yuhuangge Reservoir in Dali [J]. Yangtze River, 2020, 51(Sup1): 248-251. (in Chinese)]