

DOI: 10.11779/CJGE2018S1021

## 某二级高边坡健康监测试验研究与分析

李京榜<sup>1, 2</sup>, 朱彦鹏<sup>1, 2</sup>, 叶帅华<sup>1, 2</sup>, 马孝瑞<sup>1, 2</sup>

(1. 兰州理工大学土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 西部土木工程防灾减灾教育部工程研究中心, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 近年来, 随着中国建设事业规模的增大, 多级高边坡工程安全问题日益突出, 对边坡工程进行监测预警尤为必要。依托舟曲灾后重建项目某二级高边坡项目, 建立了一套综合立体的自动化监测系统。通过对边坡内力、位移的监测与分析, 发现了边坡在施工和运营阶段的一些变化特征和规律: 边坡支护初期, 应力、位移变化的幅度较大; 随着支护结构与边坡内部岩体的相互调整, 二者变化趋于平稳。该边坡运营阶段的最大位移变化速度为  $0.25 \text{ mm/d} < 0.5 \text{ mm/d}$ , 监测点最大位移累积变化量小于  $10 \text{ mm}$ ; 格构梁的内力与变形也均处于弹性范围之内。综合各项监测结果可以得出, 支护结构对该边坡起到有效的加固效果, 该边坡在运营阶段处于稳定状态。该试验对今后同类边坡的加固设计与监测分析具有一定的参考价值。

**关键词:** 二级高边坡; 锚索格构梁; 变形; 应力; 自动化; 健康监测

**中图分类号:** TU753.8      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4548(2018)S1-0129-06

**作者简介:** 李京榜(1987-), 男, 河南方城人, 博士研究生, 主要从事支挡结构的研究。E-mail: lst\_123143567@163.com。

## Health monitoring tests on a secondary high slope

LI Jing-bang<sup>1, 2</sup>, ZHU Yan-peng<sup>1, 2</sup>, YE Shuai-hua<sup>1, 2</sup>, MA Xiao-rui<sup>1, 2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Northwest Center for Disaster Mitigation

in Civil Engineering, Ministry of Education, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** In recent years, with the increasing scale of construction in China, the safety issues of multistage high slope have become increasingly prominent, and it is necessary to monitor and warn the slope work. A comprehensive three-dimensional automatic slope monitoring system based on a high slope reinforcement work instance of Zhouqu reconstruction project after disaster is established. Through monitoring and analysis of the slope of stress and displacement, it is found that the changes of the slope in the characteristics and laws during the construction and operational phases are: as follows during the initial phase of slope support, the stress and displacement amplitude is greater. With the mutual adjustment of internal support structure and rock slope, both changes are stable. The maximum displacement speed of this slope is  $0.25 \text{ mm/d} < 0.5 \text{ mm/d}$ , accumulated variation of the maximum displacement is less than  $10 \text{ mm}$ . The force and deformation lattice beams are also in the elastic range. Based on the monitoring results, it can be drawn that the anchor lattice beam can play an effective reinforcement effect, and during the operational phase this slope is in a stable state. The test has certain reference value for the reinforcement design and monitoring analysis of similar slopes in the future.

**Key words:** secondary high slope; anchor lattice beam; deformation; stress; automation; health monitoring

## 0 引言

近年来, 中国各类建设事业发展速度越来越快、规模越来越大。受场地、施工条件等因素的限制, 产生了大量的二级边坡, 甚至是多级高边坡, 此类边坡工程的安全问题已然成为了专家学者研究的重大课题。

多级高边坡的地质条件复杂多变, 其稳定性问题贯穿于设计、施工及运行等各个阶段, 单靠理论分析很难把握边坡的稳定状况, 有必要对多级高边坡进行全过程的动态监测, 实时掌握边坡施工及运营阶段的

稳定性变化, 并对边坡失稳现象及时预警<sup>[1-4]</sup>。刘汉东等<sup>[5]</sup>、黄志怀等<sup>[6]</sup>分别对粤赣高速公路沿线两处多级高边坡进行了加固前后的变形与结构应力监测, 监测结果表明边坡加固后的稳定性满足设计要求; 黄志鹏等<sup>[7]</sup>、关松等<sup>[8]</sup>通过对锦屏一级水电站岸边两处多级高边坡进行坡体变形及应力监测数据分析表明, 边坡

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAK12B07); 教育部长江学者创新团队支持计划项目(2013IRT13068); 国家自然科学基金项目(51508256); 甘肃省建设科技攻关计划项目(JK2015-5)

收稿日期: 2017-06-11

支护结构作用效果明显，边坡变形趋于稳定，且在安全范围内；张永安等<sup>[9]</sup>通过对云南凤凰谷水电站左岸多级高边坡锚索预应力的实时监测，研究了锚索预应力变化规律及预应力损失的影响因素；高大水等<sup>[10]</sup>对三峡永久船闸某处多级高边坡锚索预应力受力状态进行了实时监测；黄秋香等<sup>[11]</sup>通过对某大坝口岸四级高边坡变形监测研究，掌握了坡体变形特征，进而确定坡体的稳定性状况；赵欢等<sup>[12]</sup>对某公路三级边坡的变形及应力进行了施工过程监测，为边坡动态设计和施工提供了重要依据，保证了边坡的稳定性。这些对于多级高边坡的监测研究，有助于边坡施工及运营阶段的稳定性分析及评价，也有助于对边坡进行动态设计和施工。

本项目基于舟曲春长南路东侧高边坡进行监测试验，对此二级边坡及其支护结构的变形及应力进行监测，对该边坡运营阶段的稳定性进行分析及评价，并建立了一套远程无线自动化健康监测系统。该试验对于今后同类边坡的监测分析有一定的指导意义。

## 1 工程概况

该边坡地处甘肃省舟曲县老城区春长南路东侧，曾多次发生不同程度的滑塌，该边坡工程系舟曲“8.8”特大泥石流灾后重建项目。该边坡的地层主要为：①表层坡积混合土，以粉质黏土为主，含少量岩石碎屑，一般厚度 0.5~3 m；②强风化千枚岩，节理发育，全长度边坡削坡开挖揭露。

该边坡脚紧邻春长南路，拟治理长度约 344.5 m，边坡加固区域序号为 ABCDEFGH。其中，边坡 FG 区长度为 37.5 m，支护设计高度为 39.0 m，坡度为 68.7°，加固设计安全等级为一级。按设计坡率进行坡面清理，一级边坡为浆砌石片，高度 3 m；二级边坡为预应力锚索格构梁。边坡加固施工自 2013 年 3 月开始，至 2013 年 9 月结束（FG 区边坡加固前后如图 1、2）。



图 1 FG 区边坡加固前坡面

Fig. 1 FG slope before reinforcement



图 2 FG 区边坡加固后现状

Fig. 2 FG slope after reinforcement

## 2 边坡健康监测设计

依据边坡监测设计原则，结合边坡的实际状况，将各类监测仪器埋设于 FG 区边坡的主滑动面及其附近部分位置。基于 FG 区边坡的支护结构形式，将边坡监测所用传感器与格构梁以及锚索安装埋置在一起，主要监测内容如下：

(1) 边坡坡面位移及格构梁节点处变形监测：在锚索钻孔、安装施工过程中，将单点位移计与锚索一起穿孔埋设，监测 FG 区边坡主剖面的坡面位移及格构梁的节点位移。

(2) 锚索预应力监测：在锚索锚具安装过程中，将锚索测力计置于锚具和锚垫板之间，监测锚索张拉锁定后预应力损失情况及后期锚固力变化规律。

(3) 格构梁内力监测：在边坡格构梁施工过程中，将钢筋应力计安置于格构梁钢筋上，对格构梁的应力进行实时监测。

(4) 边坡内部变形监测：在 FG 区边坡坡顶位置竖向打设钻孔，将固定式测斜探头按设计深度置于孔内，监测边坡内部一定深度范围的变形。FG 区边坡各类传感器布置如图 3、4 所示：M13-M22 为锚索测力计，C11-C18 为单点位移计，Z1-Z4 为固定式测斜探头。

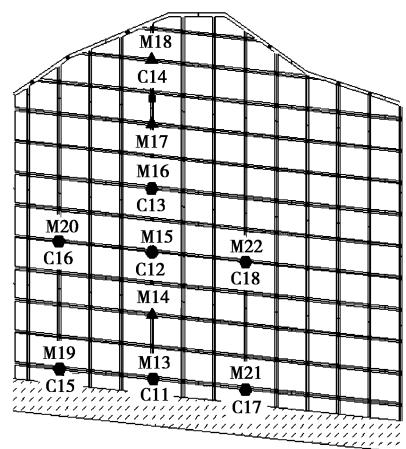


图 3 FG 区监测系统布点立面图

Fig. 3 Distribution of monitoring system in FG area

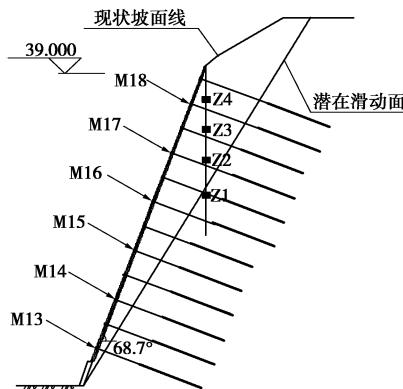


图 4 FG 区监测系统布点剖面图

Fig. 4 Distribution of monitoring system of typical section in FG area

### 3 监测结果分析

此次边坡监测试验建立了一套远程无线自动化健康监测系统, 便于对边坡运营阶段稳定性状态进行实时监测。经过调试, 该系统开始数据自动化监测采集。

#### 3.1 边坡坡面水平位移的监测分析

该试验采用埋入式单点位移计对边坡坡面水平位移进行实时监测。该位移计主要由电测位移传感器、拉杆及锚头等组成整体, 该位移计量程为 100 mm, 灵敏度为 0.01 mm, 位移计锚头锚固到基岩, 位移计本体锚固到结构物表面。当锚头和位移计本体之间发生拉伸或者压缩变化时, 传感器线圈与拉杆之间发生相对滑移, 输出信号, 获取位移读数。在安装位移计时, 设定拉杆与线圈之间的相对位移为 50 mm, 作为位移计的初始值。<sup>#11~#14</sup> 位移计沿 FG 区边坡主剖面自下向上布置, <sup>#13, #18</sup> 位移计安装后受损, 无法读取数据。监测结果如图 5 所示。

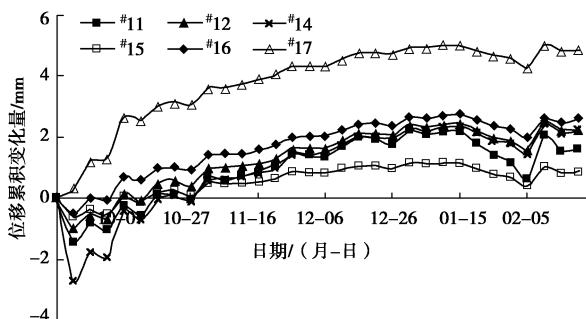


图 5 坡面位移时程曲线

Fig. 5 Time-history curves of cumulative displacement of slope

由数据显示, 各监测点的位移变化基本一致。在 2013 年 10 月 7 日之前, 位移变化较为明显, 呈现出突变的现象, 变化速度介于  $-1.44 \sim 1.48 \text{ mm/d}$ 。究其原因是因为该时期处于锚索张拉锁定阶段, 位移计本体固定于格构梁节点处(即锚索的锚固端), 锚索张拉

时, 锚固端向边坡方向收缩变形, 导致位移急剧减小; 张拉结束的几天之内, 锚固力损失较大, 导致节点处位移较快增长; 之后的两个月左右的时间内, 加固后的边坡处于卸荷阶段, 各节点位移缓慢增长; 之后, 各监测点位移变化基本平稳, 偶尔出现小幅波动, 但位移变化速度在  $-0.12 \sim 0.06 \text{ mm/d}$  之间(见图 6)。

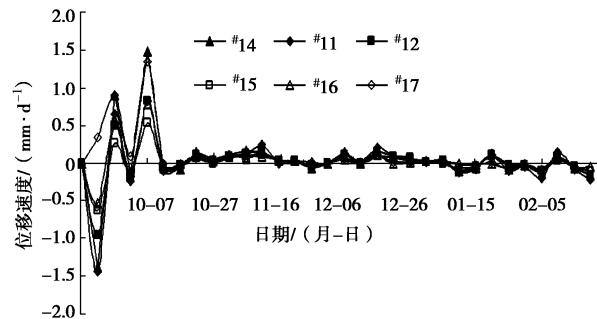


图 6 坡面位移速度时程曲线

Fig. 6 Time-history curves of displacement speed of slope

<sup>#11~#17</sup> 位移计累积变化量分别为: 1.58, 2.25, 2.25, 0.86, 2.61, 4.88 mm; 支护结束以后最大位移速度绝对值为  $0.25 \text{ mm/d} < 0.5 \text{ mm/d}$ , 监测点最大位移累积变化量小于 10 mm<sup>[13]</sup>, 说明边坡现阶段处于稳定状态, 基本没有滑动趋势。

#### 3.2 锚索锚固力的监测分析

该工程锚索锚固力锁定值为 230 kN, 分两级进行张拉。锚索张拉锁定之后, 受混凝土格构梁变形、岩土体裂隙、注浆体强度、锚具等因素的影响, 锁定值急剧减小; 随着加固后边坡土体自身应力进行调整, 锚索锚固力会出现小幅度升降波动, 最后趋于稳定状态。当边坡因稳定性问题有滑动趋势时, 锚索锚固力才会出现较大幅度的上升趋势。

锚索锚固力变化大致分为 3 个阶段<sup>[14]</sup>: 加速损失阶段、波动变化阶段和持续稳定阶段。图 7 为锚索测力计的锚固力变化曲线。

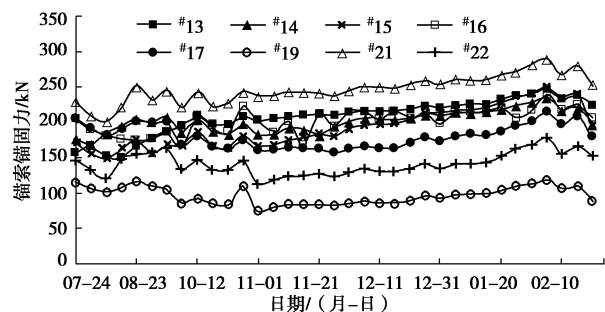


图 7 锚索锚固力时程曲线

Fig. 7 Time-history curves of prestressed anchors

第一阶段为锚固力加速损失阶段。锚索张拉锁定之后的 15 d 之内, 锚固力损失较大。原因如下: 该边坡土体强度较低, 岩体内部裂隙较多、较大, 导致张

拉锚固时岩体收缩变形较大; 钢绞线的应力松弛是一个很重要的影响因素。

本试验对锚索锚固力变化监测后发现: 该边坡锚索张拉锁定后, 锚固力瞬间损失情况较为严重(见图7)。除了受锚具、钢绞线应力松弛等因素之外, 笔者认为最主要的原因是, 该边坡岩体为强风化千枚岩, 岩体内部裂隙较多、较大, 注浆时漏浆情况过于严重, 导致孔中浆体饱满度较差, 因此导致了锚固力瞬间损失过大。这也可能是导致FG区锚索锚固力的变化直接跳过第一阶段的原因。此外, 张拉过程中发现有部分锚具夹片明显松动、锚垫板损坏的现象, 因此锚具的质量也是影响本试验锚固力损失的一个重要因素。

第二阶段为锚固力波动下降阶段。该阶段锚索锚固力出现小幅波动、缓慢下降的现象, 大概持续70 d左右。该阶段锚索与边坡岩土体内部进行应力调整, 出现了回弹和压缩的反复变化, 导致锚索锚固力的波动变化。

第三阶段为锚固力持续稳定阶段。说明锚索与边坡内部作用调整之后, 基本趋于平衡。该阶段的锚固力出现了缓慢增长趋势, 究其原因是受到周围环境因素的影响(坡顶公路时常有重车经过), 边坡内部受到较小扰动, 导致锚固力的微小变化, 也说明了锚索对该边坡起到了较好的加固效果。

### 3.3 锚索锚固力和坡面位移监测的对比分析

锚索锚固力与相应位置坡面位移有着紧密的联系。下面提取#15位移计、#19测力计这两组数据(如图8所示), 研究二者的相关性。由数据显示, 锚索预应力与边坡位移呈现出“一增一减”的变化现象, 变化模式呈现了较好的一致性。在锚索张拉锁定初期, 锚索锚固力损失较快, 此时坡面位移变化也比较明显; 经过一段时间的调节后, 锚索锚固力变化比较平稳之后, 边坡位移的变化也趋于平缓。但是由二者的变化趋势来看, 位移变化比较灵敏。两种监测数据可以相互对比, 便于更好的分析、预报边坡的稳定性情况。

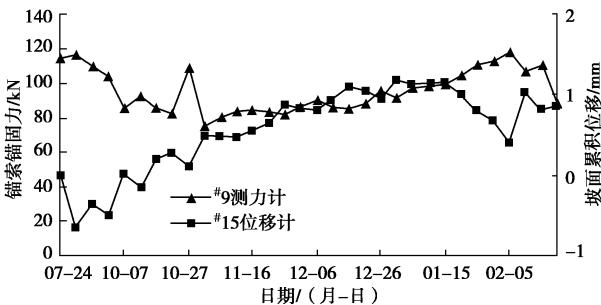


图8 坡面位移与锚索预应力时程关系曲线

Fig. 8 Time-history comparison curves of slope displacement and prestress

### 3.4 格构梁内力的监测结果分析

该试验采用钢筋计对格构梁应力变化进行监测, 监测结果见图9。由数据显示, 各点钢筋计应力变化基本一致: 支护初期数据变化没有规律, 且大部分读数小于零, 说明支护初期格构梁的钢筋受压力作用; 伴随边坡卸荷导致边坡应力继续释放, 钢筋应力呈增长趋势, 读数大于零, 引起格构梁钢筋受拉力作用; 90 d以后, 格构梁应力基本稳定, 变化趋势趋于平缓, 出现先增后减的变化规律。整个变化过程中, 钢筋计的最大拉应力不超过64 MPa, 远小于钢筋的设计屈服强度335 MPa, 在钢筋正常弹性工作范围之内。由钢筋应力数据可知, 格构梁的受力处于容许范围, 说明格构梁对该边坡的防护效果较好, 也反映了该边坡在运营阶段处于稳定状态。

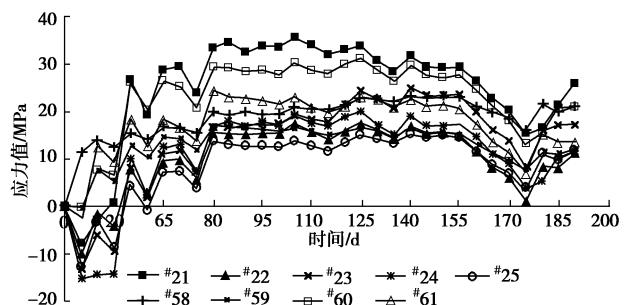


图9 钢筋计应力时程曲线

Fig. 9 Time-history curves of stress of steel bar meter

### 3.5 边坡内部位移监测结果分析

边坡内部水平位移也是边坡监测的重要项目之一, 位移时程曲线如图10所示。孔深3, 9 m处位移变化幅度较大, 9 m处幅度最大。其中, 3 m处历史最大位移7.75 mm, 以后缓慢变小; 9 m处位移则一直呈增大趋势, 水平位移达到16.5 mm, 为历史最大位移, 表明该位置处坡体内部水平位移在持续增大。

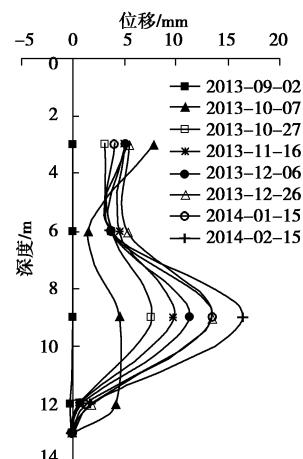


图10 边坡内部水平位移时程曲线

Fig. 10 Time-history curves of internal horizontal displacement of slope

经过现场实地勘察,发现边坡未有失稳现象发生。究其原因,可能是该深度处岩体内部存在的裂隙较大所致,当坡体受到外部环境因素较小影响时,这些裂隙就可能产生较大幅度的移动、变形,从而导致内部产生较大的位移。对此,需在后续监测过程中,对该深度的水平位移重点监测,判断其发展趋势,必要时进行预警;但在现阶段,该点水平位移增长速度不大,累积位移增量也处于安全范围之内。总体来说,现阶段边坡内部水平位移变化不大,说明锚索格构梁对该边坡起到了很好的支护作用,保证了边坡在运营阶段的稳定性。

## 4 结 论

本文通过对舟曲春长南路东侧二级高边坡的健康监测结果进行分析与研究,得出以下主要结论:

(1) 在高边坡治理工程中建立自动化健康监测系统,对边坡变形及内力进行监测,可以实时掌握施工和运营阶段边坡的变化情况,确保边坡的安全稳定。

(2) 对边坡坡面位移监测发现,边坡坡面位移在监测初期受锚索张拉影响变化比较大,边坡支护结束以后最大位移变化速度为  $0.25 \text{ mm/d} < 0.5 \text{ mm/d}$ , 监测点最大位移累积变化量小于  $10 \text{ mm}$ ; 对格构梁内力监测发现,格构梁受力纵筋主要承受拉力作用,但数值较小,最大拉应力低于  $64 \text{ MPa}$ , 在钢筋正常弹性工作范围内。

(3) 边坡锚索的锚固力变化大致分为 3 个阶段,锚索锚固力随着边坡内部岩土体应力的调整而变化,但边坡地质条件以及锚索施工质量对此影响很大;边坡深层水平位移的变化可以很好的反映边坡内部变形情况,但也需要结合现场实地勘查,最终对边坡稳定情况做出准确判断。

## 参考文献:

- [1] 吕建红, 袁宝远, 杨志法, 等. 边坡监测与快速反馈分析[J]. 河海大学学报自然科学版, 1999, 27(6): 98 - 102. (LÜ Jian-hong, YUAN Bao-yuan, YANG Zhi-fa, et al. study on slope monitoring and quick feedback[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 1999, 27(6): 98 - 102. (in Chinese))
- [2] 李志峰, 喻军华, 张林峰. 某公路高边坡现场监测与分析[J]. 东北公路, 2003, 26(2): 75 - 78. (LI Zhi-feng, YU Jun-hua, ZHAGN Lin-feng. Inspection and analysis of highway slope in-situ[J]. Northeastern Highway, 2003, 26(2): 75 - 78. (in Chinese))
- [3] 张振华, 冯夏庭, 周辉, 等. 基于设计安全系数及破坏模式的边坡开挖过程动态变形监测预警方法研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(3): 603 - 612. (ZHANG Zhen-hua, FENG Xia-ting, ZHOU Hui, at al. Research on dynamic early warning method of slope deformation monitoring during excavation based on designed safety factor and failure mode[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(3): 603 - 612. (in Chinese))
- [4] 傅志峰, 罗晓辉, 李杰, 等. 基于安全预警分级的基坑安全模糊评价研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(12): 3693 - 3700. (FU Zhi-feng, LUO Xiao-hui, LI Jie, at al. Study of fuzzy evaluation of foundation pit safety based on classification of safety early warning[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(12): 3693 - 3700. (in Chinese))
- [5] 刘汉东, 阮飞鹏, 李国维. 粤赣高速公路 k2 边坡监测与稳定性研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(12): 3365 - 3369. (LIU Han-dong, RUAN Fei-peng, LI Guo-wei. K2 slope monitoring and stability analysis of Yue-Gan expressway[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(12): 3365 - 3369. (in Chinese))
- [6] 黄志怀, 李国维, 王思敬, 等. 粤赣高速公路 k35 高边坡加固效果监测与评价[J]. 岩土力学, 2008, 29(10): 2783 - 2788. (HUANG Zhi-huai, LI Guo-wei, WANG Si-jing, at al. Monitoring and evaluation high slope k35 of Yue-Gan Expressway[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(10): 2783 - 2788. (in Chinese))
- [7] 黄志鹏, 董燕军, 廖年春, 等. 锦屏一级水电站左岸开挖高边坡变形监测分析[J]. 岩土力学, 2012(增刊 2): 235 - 242. (HUANG Zhi-peng, DONG Yan-jun, LIAO Nian-chun, at al. Deformation monitoring and analysis of left bank high slope at Jinping I hydropower station[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012(S2): 235 - 242. (in Chinese))
- [8] 关松, 谭运坤, 赵娜. 锦屏一级电站高陡顺层边坡支护内部安全监测分析[J]. 三峡大学学报自然科学版, 2013, 35(2): 16 - 19. (GUAN Song, TAN Yun-kun, ZHAO Na. Monitoring analysis of internal safety for high-steep bedding slope supporting in jinping I hydropower station[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2013, 35(2): 16 - 19. (in Chinese))
- [9] 张永安, 李峰, 蒋鸥. 泥岩高边坡锚索预应力变化规律分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(9): 1888 - 1892. (ZHAGN Yong-an, LI Feng, JIANG Ou. Analysis of prestress variation of cable in mudstone high slope reinforcement[J].)

- Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, **26**(9): 1888 - 1892. (in Chinese))
- [10] 高大水, 曾 勇. 三峡永久船闸高边坡锚索预应力状态监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, **20**(5): 653 - 656. (GAO Da-shui, ZENG Yong. Analysis of anchor cable prestress monitoring on high slope of TGP permanent lock during operation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, **20**(5): 653 - 656. (in Chinese))
- [11] 黄秋香, 汪家林, 邓建辉. 基于多点位移计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**(a01): 2667 - 2673. (HUANG Qiu-xiang, WANG Jia-lin, DENG Jian-hui. Slope deformation character analysis based on monitoring results of multiple multi-point borehole extensometer[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, **28**(a01): 2667 - 2673. (in Chinese))
- [12] 赵 欢, 李东升. 某公路高边坡施工监测分析[J]. 公路工程, 2014(5): 63 - 67. (ZHAO Huan, LI Dong-sheng. A highway high slope monitoring analysis of construction[J]. Highway Engineering, 2014(5): 63 - 67. (in Chinese))
- [13] 阮飞鹏. 粤赣高速公路 k32 边坡监测与稳定性分析研究[D]. 郑州: 华北水利水电学院, 2007. (RUAN Fei-peng. Study of monitoring and stability of k32 slope of Yuegan highway[D]. Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2007. (in Chinese))
- [14] 孟祥铭. 现代监测手段在黑岱沟露天矿边坡中的应用研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2012. (MENG Xiang-ming. Research on modern monitoring means and its application for Heidaigou open pit slope[D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science and Technology, 2012. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)

(上接第 258 页)

- [16] 张延军, 于子望, 黄 茜, 等. 岩土热导率测量和温度影响研究[J]. 岩土工程学报, 2009, **31**(2): 213 - 217. (ZHANG Yan-jun, YU Zi-wang, HUANG Rui, et al. Measurement of thermal conductivity and temperature effect of geotechnical materials[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, **31**(2): 213 - 217. (in Chinese))
- [17] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. (SHAO Ming-an, WANG Quan-jiu, HUANG Ming-bin. Soil physics[M]. Beijing: Higher

Education Press, 2006. (in Chinese))

- [18] DE VRIES D A. Thermal properties of soils[M]// Physics of Plant Environment. VAN WIJK W R, Ed. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1963: 210 - 235.
- [19] ABU-HAMDEH N H, KHDAIR A I, REEDER R C. A comparison of two methods used to evaluate thermal conductivity for some soils[J]. Heat and Mass Transfer, 2001, **44**: 1073 - 1078.

(本文责编 明经平)