

## 蓬莱阁丹崖山安全监测与分析

刘兆成<sup>1</sup>, 杨颖<sup>1</sup>, 孙涛<sup>2</sup>, 李登秀<sup>2</sup>

(1. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014; 2. 山东省蓬莱阁管理委员会, 山东 蓬莱 265600)

**摘要:**丹崖山边坡稳定性是关系古文物蓬莱阁安全的关键问题。丹崖山边坡高差大、断层裂隙发育、岩体卸荷深度大,地质条件十分复杂,边坡在施工期和运行期的稳定性问题特别突出。该文介绍了丹崖山岩体加固后的监测布置,并对岩体表面变形趋势、空间分布形态、加固后变形趋势进行分析,通过对多点位移计、锚杆测力计、锚索测力计、表面裂缝计及地表变形等监测结果进行综合分析,得到边坡岩体的变形规律。

**关键词:**岩质高边坡;边坡加固;安全监测;变形规律;稳定性分析;蓬莱阁丹崖山

**中图分类号:**TU451;P624.8

**文献标识码:**B

岩质高边坡开挖暴露面积大,边坡高陡,断层、节理、弱结构面、软弱夹层穿插其中,岩质高边坡工程地质的复杂性决定了其各项研究的复杂性。由于边坡内部岩土力学的复杂作用,边坡岩土体的力学参数和稳定状态不仅难以确定,而且也不是一成不变的<sup>[1]</sup>。为了反映边坡真实力学效应、检测边坡设计的可靠性以及掌握边坡加固处理后的稳定状态,边坡安全监测在边坡工程中具有其重要的意义<sup>[2]</sup>。对于复杂地质、气候条件下古文物岩石高边坡的监测研究相对较少。该文以蓬莱阁丹崖山岩石高边坡监测为依托,拟对古文物复杂岩质高边坡的安全监测及稳定性进行分析和探讨,以期类似工程提供一定的经验和参考。

## 1 工程概况

丹崖山位于蓬莱市西北 1.1 km,拔海而立。山体岩壁直立陡峭,基岩裸露,山脚下即为渤海海滨,海蚀凹槽、海蚀洞发育,属典型的海蚀地貌。丹崖山与海平面高差约 36 m。丹崖山山体主要由新元古代蓬莱群辅子乔组的石英岩和板岩组成,丹崖山自东向西分布有厚层石英岩,紫色薄层硅质板岩,青灰



图 1 蓬莱阁丹崖山岩质边坡监测平面布置图

色厚层板岩和紫红色薄层石英岩等不同岩性地层。地层产状受构造影响,变化较大,岩层倾向一般为  $130^{\circ}\sim 150^{\circ}$ ,倾角为  $26^{\circ}\sim 40^{\circ}$ (图 1)。

统计分析表明:丹崖山陡壁岩体受多次构造作用,节理裂隙极其发育,主要的节理裂隙有 4 组:第一组为 NE 向 ( $28^{\circ}$ ) 裂隙,产状  $298^{\circ}\angle 77^{\circ}$ ,  $115^{\circ}\angle 80^{\circ}$ ,剪节理密度为 30~137 条/m;第二组为 NE 向 ( $300^{\circ}$ ) 裂隙,产状  $210^{\circ}\angle 80^{\circ}$ ,  $25^{\circ}\angle 61^{\circ}$ ,先剪后张性节理密度为 40~112 条/m。第三组为 SN 向 ( $2^{\circ}$ ) 裂隙,产状  $92^{\circ}\angle 71^{\circ}$ ,节理密度 23~87 条/m。第四组为 EW 向 ( $90^{\circ}$ ) 裂隙,产状  $180^{\circ}\angle 88^{\circ}$ ,  $12^{\circ}\angle 84^{\circ}$ ,张性节理。其中  $25^{\circ}\angle 61^{\circ}$  裂隙为崖壁岩体潜在滑动裂

\* 收稿日期:2011-01-12;修订日期:2011-04-06;编辑:曹丽丽

作者简介:刘兆成(1983—),男,山东沂南人,工程师,主要从事岩土、基础相关类施工工作;E-mail:lzc9907@163.com。

①山东省地矿工程勘察院,刘兆成、白延钊、郑杰,蓬莱阁丹崖山岩体加固工程竣工总结报告,2009年。

隙面,为最危险的裂隙。

边坡加固采取了预应力锚杆和预应力锚索相结合的方式,变形监测主要分布在 3 个加固分区(图 1)。

## 2 监测布置

蓬莱阁丹崖山断边坡加固处理难度高,边坡稳定性直接关系到蓬莱阁古文物群的安全,是整个工程主要技术难题之一,在施工过程中采用了多种监测手段对边坡稳定性进行监测,主要布置以下监测项目。

(1)采用表面变形测点观测边坡上部岩体变形和监控边坡宏观整体变形。在蓬莱阁城墙及边坡上部视线通透位置设立了 3 个外部观测墩,采用徕卡 DNA03 电子水准仪进行观测,其每千米偶然中误差为  $\pm 0.30$  mm,观变形进行 2 个方向的岩体表面变形观测: X 方向为水平方向; Y 方向为竖直方向。

(2)采用三点位移计监测边坡内部岩体内部不同深度水平(钻孔轴向)位移。共布设多点位移计 4 套,采用 BGK-4450 型位移传感器。最深锚头布置在相对稳定岩体内,位移计测点穿过断层上下盘,能有效监测岩体变形,典型监测剖面。

(3)为了解锚索受力状态和评价支护效果,安装了 3 台预应力锚索测力计,采用高强度合金钢圆筒内置高精度钢弦式荷载传感器的 BGK-4900 锚索测力计进行锚索预应力监测。

(4)锚杆测力计采用 BGK-4910 型,监测结构锚杆应力及其变化。

(5)裂缝开度测量采用带有测温装置的 BGK-4420 型裂缝计,可同时测量裂缝的变形及温度的变化趋势。

## 3 主要监测成果及分析

### 3.1 表面变形

表面变形监测结果表明边坡岩体表面变形以 Y 方向变形即垂直于边坡变形为主,其量值为  $0.03 \sim 0.3$  mm。沿 X 方向变形很小,在  $0.07$  mm 以内,可认为沿此方向为稳定状态。山体变形曲线见图 2。

### 3.2 多点位移计

三点式多点位移计,3 点埋置深度分别为 5 m, 15 m, 25 m,其位移-时间关系曲线和位移-深度关系

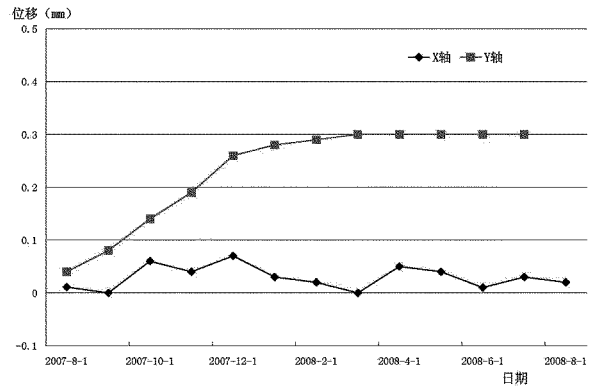


图 2 山体变形曲线图

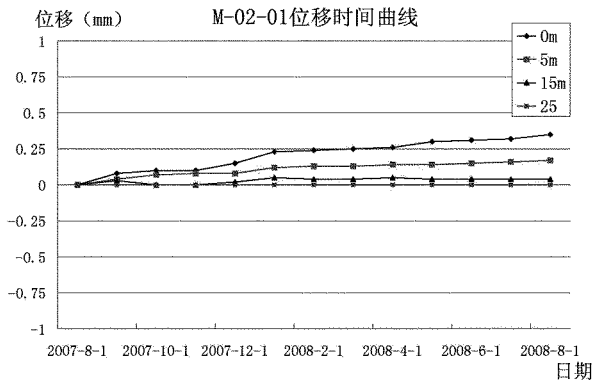


图 3 M-02-01 位移时间曲线图

曲线分别如图 3。从图 3 可以看出,在前期,边坡的变形位移呈缓慢增加的趋势,而后随着加固措施效果的发挥,变形基本趋于稳定。从多点位移计不同深度变形曲线可以分析得出,边坡变形在水平方向上是从坡体表面到坡体深部逐渐减小的,当某一深度时,边坡变形趋于零,当变形趋于零时对应的边坡深度,可以看作是一个分界,该深度以外为边坡变形体,该深度以内为稳定岩体<sup>[3]</sup>。M-02-01 所在位置多点位移计最深测点为 25 m,说明埋置深度超过了变形体深度范围,接触到了稳定岩体,可以有效地捕捉到边坡变形体范围的全部变形。

### 3.3 锚索测力计

锚索测力计监测结果表明初期主要以预应力损失为主,图 4 中曲线在监测期间一直很平缓,说明在这一段时间内锚索预应力始终保持某个值附近,没有明显变化,边坡在此期间很稳定,虽有起伏,但变化不大这表明边坡的锚固效果良好,边坡经过加固处理后趋于稳定。

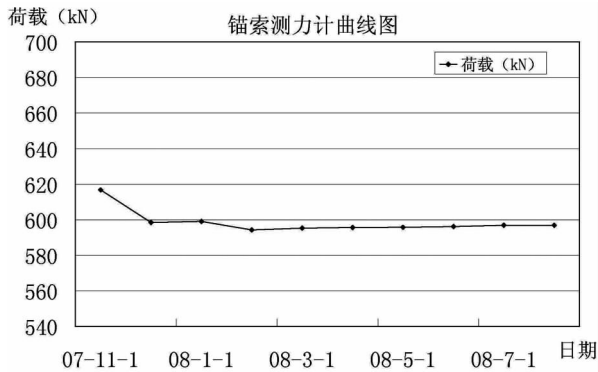


图 4 锚索测力计曲线图

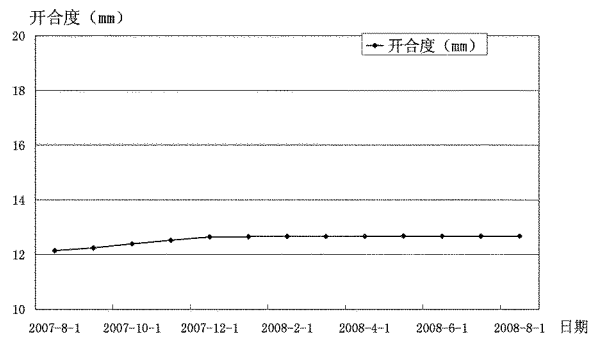


图 6 裂缝开合度曲线图

### 3.4 锚杆测力计

图 5 锚杆测力计 RA-01-02-02(距孔口 2 m)、RA-01-02-08(距孔口 8 m)监测结果表明,初期主要以应力损失为主,产生上述现象的原因是锚杆在埋设初期边坡位移方向向外,引起锚杆被动受拉,且拉应力稳定在一定范围内变化,后慢慢趋于稳定,说明在这一段时间内锚杆应力始终保持在某个值附近,没有明显变化,边坡经过加固处理后趋于稳定<sup>[4]</sup>。

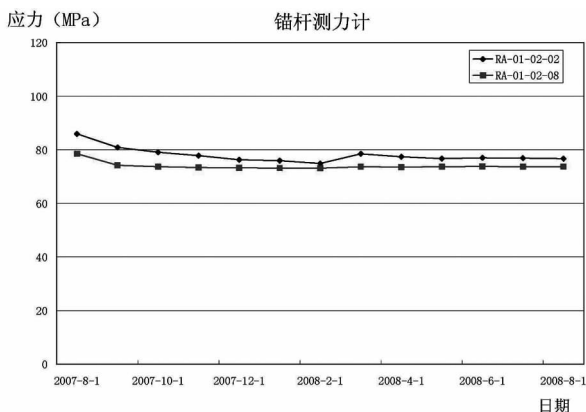


图 5 锚杆应力曲线图

### 3.5 裂缝开度测量

裂缝开度测量结果表明边坡岩体裂缝变化率不大,但变形累计值逐渐增大,后期裂缝开度保持稳定,说明坡体呈稳定状态。裂缝开合度曲线见图 6。

## 4 结语

岩质高边坡安全监测工作受许多复杂因素控制,如何合理地分析监测资料,并通过监测资料反馈分析研究边坡稳定,是岩质高边坡安全监测资料的

重要应用之一<sup>[5]</sup>。

(1)监测资料的综合分析。结合高边坡安全监测的内观、外观等监测资料,通过地表变形、裂缝开合度、内部位移变形监测曲线,综合分析高边坡变形稳定情况,推断高边坡滑移体、滑体厚度、位移错动带等不利结构面所在的位置。

(2)通过对监测数据的直接分析表明,位移曲线变化率在后期明显小于前期,锚杆应力开始时有一定的变化,但是变化速率缓慢,后期曲线近似呈一条水平直线。说明该岩石高边坡在锚固后已逐渐趋于稳定。各监测曲线,后期均趋近于一条水平直线,说明位移及应力都有趋于某一固定值而不再变化的趋势,可以判定目前高边坡处于稳定状态,锚固效果良好。

(3)对有古文物等重要历史价值的高边坡加固后进行监测是必要的,多项监测数据的对比能直接反映边坡的变形趋势,并能把边坡的变形进行量化,为文物的安全提供有效的数据支持。

## 参考文献:

- [1] 张金龙,徐卫亚,金海元,刘大文,蔡德文.大型复杂岩质高边坡安全监测与分析[J].岩石力学与工程学报,2007,(9):62-63.
- [2] 高俊强,严伟标.工程监测技术及其应用[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [3] 刘兴远,雷用,康景文.边坡工程设计·监测·鉴定与加固[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [4] 夏才初.土木工程监测技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [5] 黄声享,尹晖,蒋征,等.变形监测数据处理[M].武汉:武汉大学出版社,2004.

# Security Monitoring and Analysis of Danyashan Mountain in Penglai Pavilion

LIU Zhaocheng<sup>1</sup>, YANG Ying<sup>1</sup>, SUN Tao<sup>2</sup>, LI Dengxiu<sup>2</sup>

(1. No. 801 Hydrogeology and Engineering Geology Brigade Subordinated to Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250014, China; 2. Penglai Pavilion Management Committee, Shandong Penglai 265600, China )

**Abstract:** Slope stability of Danyashan Mountain is a critical issue related to the security of antiques Penglai Pavilion. The slope height of Danyashan Mountain is large. Its fault fissures developed well, the depth of rock unloading is large, and geological condition is very complex. The stability problems of slopes happened during the construction period are especially outstanding. Monitoring arrangement after the post-rock reinforcement of Danyashan mountain has been introduced in this paper. The rock surface deformation trends, spatial distribution, deformation trend after the reinforcement have been analyzed as well. Through comprehensive analysis on results gained by using multi-point displacement meter, dynamometer bolt, anchor load, surface cracks and surface deformation, deformation rule of rock slope has been gained.

**Key words:** High rock slope; slope reinforcement; safety monitoring; deformation rule; stability analysis; Danyashan mountain in Penglai Pavilion