

西安骊山滑坡自动化监测系统建设

黄鑫^{1,2}, 牛晶蕊³, 杨卓¹, 陈桂贤⁴

(1. 中国航天科工集团 航天科工惯性技术有限公司, 北京 100070; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3. 中国科学院地质与地球物理研究所 工程地质力学重点实验室, 北京 100029; 4. 西安市地质环境监测站, 陕西 西安 710600)

摘要: 骊山滑坡位于西安市临潼区骊山北坡, 目前骊山北坡局部发生变形, 滑坡正在发育。鉴于骊山滑坡所处位置的重要性, 结合工作实际, 为了提高骊山滑坡监测精度和监测时效, 实现人防与技防相结合、实现实时变形监测与监控, 在主要变形区域: I、II、III 区坡体上建立一套滑坡自动化监测及视频监控系统, 进行 24 小时不间断监测。通过该系统提供的有效数据, 结合人工监测数据进行综合分析, 可及时发现坡体变形隐患, 并发出地质灾害预警信息, 为政府决策提供可靠依据。监测内容包括: 降雨量、孔隙水压力、土壤含水率、地表位移及深部位移、视频监控。

关键词: 骊山滑坡; 自动化监测; 监测系统; 视频监控系统

文章编号: 1003-8035(2013)02-0092-05

中图分类号: TU443; P642. 22

文献标识码: A

0 引言

骊山滑坡位于西安临潼区骊山北坡。1985 年西安市在全市滑坡普查时发现骊山北坡坡体出现蠕动变形迹象, 随后成立专门机构委托陕西省综合勘察设计院、铁道部科学研究院西北分院分别进行了滑坡勘察及详勘, 同时委托国家地震局第二形变监测中心进行了地形测量以及坡体变形监测, 并邀请国内知名的滑坡、工程地质方面的专家、教授进行评审论证, 普遍认为“骊山北坡局部发生变形, 滑坡正在发育”^[1-4]。

骊山滑坡直接威胁到华清池等名胜古迹, 并危及附近多个单位及西尧居民区, 涉及 2430 人生命财产安全。24 年的形变监测资料表明, 骊山滑坡一直存在蠕动变形。近年来, 极端天气现象增多, 暴雨、强降雨等诱发因素会随时出现, 加上骊山滑坡体坡面陡峭, 活动变形复杂, 很容易失稳造成灾害, 分析对比滑坡监测技术^[5-6], 认为滑坡实时动态监测意义重大。

1 骊山滑坡概况

1.1 骊山滑坡简介

骊山滑坡位于西安市临潼区南部的骊山北坡, 在著名旅游胜地华清池的上方。滑坡区总面积约 0.7 km²。根据地貌形态和变形特征及其对华清池的危害性, 将该滑坡划分为以下六个区(图 1):

其中 I 区东西宽 140 m, 南北长 170 m, 坡度 35°左右, 为潜在的黄土及浅层基岩沿破碎基岩中缓倾角断层的滑动; II 区东西宽约 150 m, 南北长约 300 m, 坡度 28°~45°, 主要以坡积物及破碎基岩蠕动变形为主;

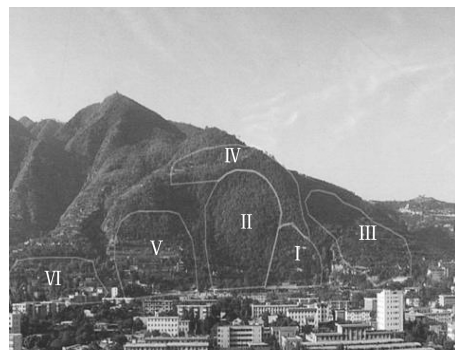


图 1 骊山滑坡分区示意图

Fig. 1 The subarea of Lishan Landslide

III 区是洪坡积黄土老滑坡群; IV 区为一断层下盘, 基岩高耸, 容易造成重力错落; V 区为以坡洪积物为主的老黄土滑坡; VI 区主要为湿陷性黄土, 由于黄土的不均匀沉降。

1.2 地层岩性及地质构造

斜坡地层: 基底由太古界太华群片岩、片麻岩构成, 由于断层错动, 部分转化为碎裂岩, 角砾岩, 糜棱岩。岩体结构松散, 节理裂隙发育, 且多呈松弛状态, 产状较乱。

片岩、片麻岩上覆新第三系棕红色粘土碎屑岩, 已风化破碎后为亚粘土, 并混有大量片麻岩和片岩块石, 分布不连续。

收稿日期: 2012-10-18; 修订日期: 2013-01-15

基金项目: 国家科技重大专项课题(2010ZX03006-007)

作者简介: 黄鑫(1984—), 男, 博士, 主要从事工程地质及地质灾害监测预警方面的研究。

E-mail: kouzi84@vip.qq.com

斜坡表层主要是第四系黄土,厚度从几米到几十米不等,成因类型较多,有坡积、崩坡积及洪坡积,呈淡黄色及棕黄色,多为黄土混碎块石。老鸦沟以西、红土沟以东主要由厚层黄土组成。

地质构造:骊山是由近东西向和近南北向两组断裂构造交叉切割、隆起而形成的断块山。骊山北坡实质上是有多条断裂活动形成的断裂破碎带或构造岩带组成的陡倾斜基岩斜坡。

近东西向的一组,包括北东东向和北西西向断层十多条,均为高角度正断层,断距小者数十米,大者超过千米,其中 F0(N80°W/N70°~80°)山前断裂的新生界底部断距大于 1000m,第四系底部断距约 400m,全新统底部断距 10m 余,是全新世活动断层,主要活动期为晚更新世晚期和全新世,沿断层有热水带分布。F1(N80°~85°E/N80°~85°)、F2(N86°W/N66°)断层是骊山北坡坡体上的主断层,沿 F1 断层有热气溢出,F2 位于标高 650m 一线,下盘陡壁由较完整片麻岩组成,上盘为断层角砾岩,被崩坡积层覆盖。

1.3 现有监测手段

目前骊山滑坡监测主要有精密水准测量、高精度光电测距、孔内测斜、伸缩变形测量、三维以及裂缝测量 6 种形变监测手段。水准、光电测距点均布设在地表,主要反映坡体表面的变化情况;孔内倾斜测量主要反映坡体深部的变化情况;伸缩计及裂缝监测在地表及洞内均布设有监测点,既可以监测地表变形,也可以监测地下的变形,三维主要布设于平洞内,观测洞体的变形情况。

1.4 滑坡变形情况

从 1987 年开始滑坡形变监测,24 年的形变监测资料表明,骊山滑坡一直存在蠕动变形,变形主要发生在 I、II、III 区的坡积层、黄土层以及破碎基岩中,完整基岩稳定。坡积层年垂直变形量 0~2mm,水平变形量 2~3mm;黄土层年垂直变形量 2~4mm,水平变形量 3~4mm;破碎基岩年垂直变形量 0~2mm,水平变形量 1~2mm。如遇强降雨年份,坡积层、黄土层变形量均会增大,可达 5~7mm。

1.5 骊山滑坡监测现状

目前 6 种监测方法均为人工监测,监测工作量大,每次监测都需要人工到现场观测,监测周期长;特别是垂直形变监测点,测点全部位于陡峭坡体上,树木杂草丛生,监测非常困难,监测周期长,数

据处理速度较慢;特别是遇到下雨天,人工就无法到现场进行监测,这样的监测空档,往往会漏掉极为重要的变形信息,时效性难以保障。鉴于骊山滑坡所处位置的重要性,结合工作实际,为了提高骊山滑坡监测精度和监测时效,实现人防与技防相结合、实现实时变形监测与监控,拟在主要变形区域:I、II、III 区坡体上建立一套滑坡自动化监测及视频监控系统,进行 24h 不间断监测,补充人工监测在时间上的缺陷。通过该系统提供的有效数据,结合人工监测数据进行综合分析,可及时发现坡体变形隐患,并发出地质灾害预警信息,为政府决策提供可靠依据。

2 监测网络布设

2.1 滑坡监测对象及目的

滑坡监测包括滑坡体灾变的变形因素、诱发因素和相关因素的监测(表 1)。变形因素监测包括深部位移监测、地表位移监测,目的是掌握滑坡体三维空间位置变化、判定滑坡滑动范围、滑移量和滑移方向,判定滑坡滑动面数量和深度;诱发因素监测为降雨量监测,目的是监测滑坡体不同位置的降雨量,可以更清楚地掌握滑坡灾害的发生机理、活动状态和发展趋势,并为滑坡灾害预警、预报服务;相关因素监测包括孔隙水压力监测、土壤含水率监测等,这些物理量不能直接反映变形量,但能反映变形强度,可配合其他监测,分析、掌握变形动态,进行崩滑变形破坏预报。另外,在重点区域可以辅助视频监控,这样就可对整个滑坡体形成多参数、全方位的监测体系。监测仪器平面位置见图 2。

表 1 滑坡监测内容
Table 1 Landslide monitoring content

序号	监测项目	监测内容	使用仪器
1	降雨量监测	监测滑坡体不同位置的降雨量	雨量计
2	孔隙水压力监测	监测滑带岩土的孔隙水压力变化	孔隙水压力计
3	土壤含水率监测	监测土壤容积含水率	土壤含水率仪
4	深部位移监测	监测坡体深部的变形活动状况和变化规律	固定式测斜仪
5	地表位移监测	滑坡坡体表面的变形活动状况和变化规律	裂缝位移计
6	视频监控	监测滑坡体的影像变化信息	视频监控系统



图2 骊山滑坡监测点布置图

Fig. 2 Distribution of the automatic monitoring system

2.2 降雨量监测

降雨量监测选用 YLZ-501A 智能雨量站。该仪器智能化数据传输,太阳能供电,自动触发工作,可实现现场声光报警,稳定可靠。智能雨量站由雨量传感器、数据采集平台、远程通信单元、供电模块及声光报警设备组成。太阳能供电满足智能雨量站在 7d 无市电(或日照)情况下工作正常。仪器现场安装简单,具有防锈蚀、防盗能力。测量准确度: $< \pm 2\%$ 。

2.3 孔隙水压力监测

孔隙水压力计是孔隙水压力观测的传感器,包含传感器本体、激振模块、测频模块,适用于测压管中水压、水位的测定、回填或原位孔隙水压力的测定、扬压力的测定、水位或容器中流体压力的测定,抗干扰能力强、长期稳定、密封可靠。综合误差: $< 1\% \text{ F.S.}$ 。

2.4 土壤含水率监测

土壤含水率仪是土壤容积含水率观测的传感器,每套产品包含数只传感器本体和一个高精度 A/D 采集卡,采用 TDR(时域反射)原理,适用于土壤容积含水率的测量,采用环保材料,全密封设计,经久耐用。测量精度: $\pm 2\%$ 。

2.5 变形系统监测

2.5.1 地表位移监测

地表位移监测采用 WYZ-501 裂缝位移计,具有量程大、低功耗、可埋设安装等特点。测量精度: 优于 $0.1\% \text{ F.S.}$ 。

2.5.2 深部位移监测

选用 ETP-502 固定式测斜仪作为深部位移监测仪器,其核心传感器为航天高精度石英挠性加速度计,灵敏度高、稳定性好。位移测量精度: 优于 $\pm 0.05\% \text{ F.S.}$ 。

滑坡体的深部横向位移参数是判断滑坡体变化趋势及稳定与否的核心指标。深部位移监测系统探

头组安装在专用测斜管内(同移动式测斜仪),横跨有变形(相对位移)的区域。其测量原理是:地层/结构物移动变形引起测斜管变形,测量探头通过敏感自身的斜度(倾角)的变化来解算出测斜管在预定方位上的形变量,多个测量探头组合安装可以获得沿测斜管的挠度变形剖面图。

2.6 视频监控

视频监控系统包括现场监控设备、通讯设备、现场监控中心。

现场监控设备包括 4 套全天候夜视监控摄像机、市电配电箱、监控杆等组成;

通讯设备包括无线中心基站(无线中继站)、无线网桥、天线、通讯三角塔等组成。

3 系统架构及特点

3.1 系统架构

针对自动化监测需求,结合地质灾害监测预警系统现有技术条件及以往相关项目的实施经验,进行如下配置。系统主要由三层设备组成(图 3)。第一层为专业监测传感器,第二层为数据采集层,第三层为数据传输层。根据骊山滑坡的分布,系统配置为六个部分,分别为 I 区监测设备、II 区监测设备、III 区监测设备、现场主控单元、现场监控系统、视频监控系统。

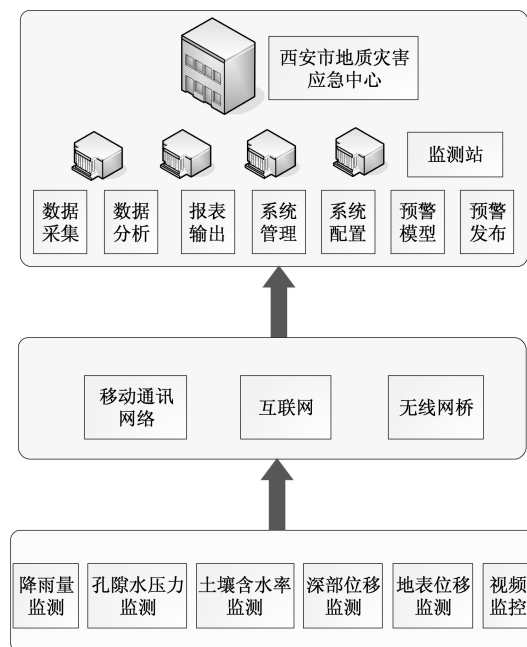


图3 监测系统架构图

Fig. 3 Structure of automatic monitoring system

所有传感器通过现场主控单元控制进行数据采集传输,并进行传感器的电源管理、防雷保护等,现场主控单元将采集到的数据传输至现场监控系统,现场监控系统软件主要功能有远程数据接收和发送功能、数据处理功能、系统管理功能、系统配置功能、报表输出功能等。

监测系统实现对多种灾变参数的综合监测。现场监测传感器网络兼顾地表、地下相关因素及诱因因素,实现了组件化、智能化,具有可扩展性。通过多视角的动态立体监测,实现对灾变体的状态及变化趋势的有效把握,便于对灾害发生的可能性进行综合判断。

3.2 系统特点

(1)高精度:该系统采用行业内高精度的传感器,保障了专业监测的准确性、权威性。其中基于高精度石英挠性加速度计传感器的固定式测斜系统技术国内领先。

(2)高可靠:该系统采用了航天军工产品的可靠性工程设计、工艺方法,产品设计生产过程中严格执行军工产品质量管理体系要求,保障了监测仪器长期野外工作的高可靠性和环境适应性。

(3)自动化:利用先进的无线网络技术及公用网络的无线传输技术,采用智能化的电源管理及数据采集管理,实现了监测仪器的低功耗、自动化运行及无线传输。

(4)人性化:产品设计的全过程始终贯彻人机工程的设计方法,遵循产品设计的标准化、通用性、维护性、保障性、安全性,保障了设备在运行过程中的可靠使用。

(5)可视化:监测系统充分利用现代视频监控领域的高新技术,实现监测对象及监测数据的实时性和可视化。

(6)报警方式灵活多样:系统报警功能包括现场报警和监控中心报警。

a) 监控中心报警

为了将现场报警信息准确及时的发布给用户,系统提供了三级报警功能,即红、橙、黄三级报警,监测对象包括地表位移日位移量、地表位移日位移速率、日降雨量、最大雨强等各种参数,各参数可单独设置三级阈值,也可组合构成预警模型。在预警模型中,三级阈值中的各个参数分别设置阈值,当同时满足时发生报警。

在应用中,用户预先设置三级阈值和相关人员手

机号码,当监测数值超过某一级别阈值时,报警信息将实时显示在软件界面上,同时会将相应报警信息通过短信的方式发送到相关人员的手机上。

b) 现场报警

现场报警用于监测参数的较大异常变化,报警阈值可设置,当监测数值超过阈值时发生现场报警,现场声光报警器将发出声光报警,并同时会将报警信息发送到监控中心和相关人员的手机上。

4 结论

(1)骊山滑坡自动化监测系统主要由三层设备组成。第一层为专业监测传感器,第二层为数据采集层,第三层为数据传输层。

(2)监测系统共布置固定式测斜仪3套,智能雨量站3套,智能地表位移计7套,孔隙水压力计1套,土壤含水率仪1套,视频监测系统4套。

(3)运用自动化远程监测手段对骊山滑坡进行远程实时监测,大大提高了骊山滑坡监测精度和监测时效,可为骊山滑坡变形破坏研究提供长期、连续、可靠的监测数据。该系统优点突出,可广泛应用于滑坡监测预警。

致谢在此,对西安市地质环境监测站所提供资料深表感谢。

参考文献:

- [1] 陈桂贤,宋瑞刚,李春厚. 骊山滑坡Ⅱ区变形稳定性分析[J]. 防灾科技学院学报, 2009, 11(2): 29-33.
CHEN Guixian, SONG Ruigang, LI Chunhou. Stability analysis on district II of Lishan Landslide[J]. Institute of Disaster-Prevention Science and Technology, 2009, 11(2): 29-33.
- [2] 祝意青,梁伟锋,徐云马,等. 西安骊山滑坡区三维变形观测[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 29-33.
ZHU Yiqing, LIANG Weifeng, XU Yunma, et al. Three dimension deformation monitoring in Lishan Landslide Area[J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(2): 29-33.
- [3] 殷跃平,康卫东,方长生,等. 基于绿色设计的骊山明圣宫滑坡防治工程[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(3): 16-19.
YIN Yueping, KANG Weidong, FANG Changsheng, et al. Green design based controlling engineering on the Mingsheng Palace landslide of Lishan, Shaanxi[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2001, 12(3): 16-19.
- [4] 郑书彦,李占斌,聂忠权. 骊山明圣宫滑坡工程地质特

- 征及其数值模拟研究[J]. 西安工程学院学报, 2002, 24 (2):9-12.
- ZHENG Shuyan, LI Zhanbin, NIE Zhongquan. Study of character of engineering geology and numerical simulation of Mingshenggong Landslide [J]. Journal of Xi'an Engineering University, 2002, 24 (2):9-12.
- [5] 李远宁,冯晓亮. GPS在三峡水库云阳县滑坡监测中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(1):124-127.
- LI Yuanning, FENG Xiaoliang. Application of GPS technique for landslide monitoring in yunyang county of the Three Gorges Reservoir area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007, 18(1):124-127.
- [6] 冯春,张军,李世海,等. 滑坡变形监测技术的最新进展[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2011, 22(1):11-16.
- FENG Chun, ZHANG Jun, LI Shihai, et al. A review of the latest development of landslide deformation monitoring techniques[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(1):11-16.

Automated remote monitoring system for Lishan landslides in Xi'an City

HUANG Xin^{1,2}, NIU Jing-rui³, YANG Zhuo¹, CHEN Gui-xian⁴

(1. China Aerospace Science & Industry COPR, ASIT CO., LTD, Beijing 100070, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Key Laboratory of Engineering Geomechanics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 4. Geological Environment Monitoring Station of Xi'an, Shaanxi, 710600, China)

Abstract: Lishan landslide is located in the northern slope of Lishan in Lintong District of Xi'an. The landslide deformation is increasing and the landslide is developing. View of the importance of the Lishan landslide location, combined with the actual work, in order to improve the Lishan landslide monitoring accuracy and monitoring of aging, we design a real-time automated landslide monitoring system, including video surveillance system, to be install in the main deformation zone: I, II, III on the slope for 24-hour monitoring. The system provides an effective data, combined with manual monitoring data to conduct a comprehensive analysis, the timely detection of slope deformation and security, and issue a warning of geological disasters, and provide a reliable basis for government decision-making. Monitoring include: rainfall, pore water pressure, soil moisture, surface displacement and deep displacement, video surveillance.

Key words: Lishan landslide; automated monitoring; monitoring system; video surveillance

(上接第 52 页)

Stability analysis and evaluation of the cut slopes behind a middle school in Western Guangdong province

LIN Bi-hua¹, MA Xiao-xuan²

(1. Geological Construction Engineering Group Corporation of Guangdong Province, Guangzhou 510080, China;
2. Guangzhou Tunnel Development Corporation, Guangzhou, 510140, China)

Abstract: The western Guangdong Province is one of the areas most prone to slope failure in Guangdong province due to its mountainous terrain. In recent years, along with large-scale infrastructure construction and urbanization, cutting and filling on slopes frequent occur, leading to more slope failure. Based on the extensive investigation, factors controlling and influencing stability of the cut slopes behind a middle school was analyzed in this paper, followed by discussion of their possible failure mechanism. The cut slopes' stability under different conditions was quantitatively evaluated using the limit equilibrium method. Finally comprehensive treatment measures against the slope failure were proposed, including monitoring, engineering and biological measures.

Key words: mountainous area in western Guangdong province; cut slope; comprehensive treatment