

文章编号:1674-2869(2015)12-0031-05

# 基于多源数据的公路边坡稳定远程实时监测系统设计

甘露<sup>1</sup>,袁润<sup>2,4</sup>,贾伟<sup>3</sup>

1. 湖北省交通投资集团有限公司,湖北 武汉 430074;
2. 武汉工程大学资源与土木工程学院,湖北 武汉 430074;
3. 湖北省宜巴高速公路建设指挥部,湖北 宜昌 443700;
4. 中建三局集团有限公司,湖北 武汉 430002

**摘要:**针对传统边坡监测方法测量精度低、监测参数类型单一及自动化程度低等问题,提出了基于 GPS 技术的多源监测方法. 首先建立现场监测单元,实时获取多维参数;然后利用 GPRS 无线通信技术建立数据通信单元,实现现场监测数据的远程自动化传输;最后利用计算机技术构建监测预警系统,实现监测数据存储、分析及灾害预警的功能,达到了监测的实时、自动化、全天候等要求. 该系统能及时预测边坡地质灾害,发布预警信息,以减少人员与财产损失.

**关键词:**GPS 技术;多源监测;GPRS

中图分类号:TU196

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2015.12.007

## 0 引言

随着我国公路建设的快速发展,公路边坡失稳事故频繁发生,给社会经济和人民生命安全造成了严重影响. 因此,预防边坡灾害成为公路工程建设和运营过程中的必要环节<sup>[1]</sup>.

大山坡隧道边坡位于宜昌市夷陵区官庄镇境内,全长 200 m 高约 60 m,为一五级边坡. 据区域地质资料及现场地质调绘结果,工程区所处大地构造位置属于新华夏系第二沉降带的次级构造-宜昌单斜凹陷之上,构造简单,无区域性断裂构造,属稳定的构造区段. 区内普遍出露白垩系地层,岩层产状  $115^{\circ} \angle 9^{\circ}$ . 工程区出露基岩为白垩系下统五龙砂岩,属软质岩类,力学强度较不均匀;表层零星分布第四系残坡积粘性土等松散土层. 水文地质条件比较简单,主要为基岩裂隙水等,赋水性一般较弱. 本监测系统以 3S 技术,电子技术,计算机技术为基础,高效准确监测边坡的实时动态并进行危险预警,为宜巴高速公路的安全施工和正常运营提供科学依据.

## 1 监测项目

在工程应用中,边坡监测包括地表位移监测、地下变形监测、影响因素监测和宏观地质监测等<sup>[2]</sup>. 本系统结合大山坡隧道边坡的结构特点和地质水

文条件,选取边坡位移、土体应力、间隙水压对边坡进行多源监测,确保监测信息全面有效. 本系统的主要监测项目及设备如表 1 所示.

表 1 主要监测项目及设备

Table 1 Main monitoring projects and equipments

设备名称	设备型号	监测项目
GPS 位移监测(基)站	S2	边坡位移监测
土压力计	VWE	土体应力监测
振弦式渗压计	VWP	间隙水压监测

监测结果的准确性与监测位置的选取有一定关系. 传统的边坡监测主要是施工监测,确保施工期边坡的安全. 本次监测着重于评价边坡施工期和运营期的稳定性,对滑坡的边界条件、滑坡规模、滑动方向、滑坡发生时间及危害程度等作出预测预警. 因此,在边坡位移监测中,首先估计主要滑动方向,按滑动方向及范围确定测线;其次选取典型断面,布置测线;再按测线布置相应监测点,通过空间布展形成监测网<sup>[3]</sup>. 本系统中有 5 个位移监测点及 1 个监测基准点,基准站布设在周边基岩. 其中 1 号点位于 2、3 阶层交接坡肩;2 号点位于 2 阶中心位置;3 号点位于 2 阶靠近山谷谷端;4 号点位于 4 阶中心位置;5 号点位于 4 阶边坡靠近山谷谷端. 具体位移监测点位置如图 1 所示.

收稿日期:2015-10-14

作者简介:甘露(1983-),男,湖北蕲春人,工程师. 研究方向:道路工程施工与管理.

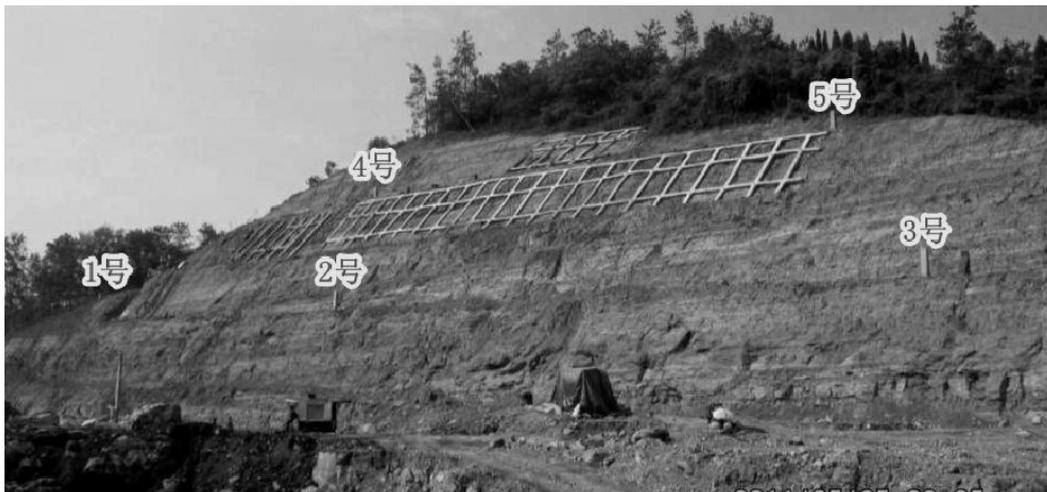


图 1 监测点位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the monitoring position

在土体应力监测和间隙水压监测中,根据不良地质及有特殊要求的地段,在边坡中心左右 5 m 处各设置 1 个监控量测断面,土压力计和振弦式渗压计分别位于监测断面的 1、2 阶处。

## 2 监测系统

监测系统主要由现场采集单元,信息传输单元,数据库单元和计算机控制单元等四部分组成(图 2)。

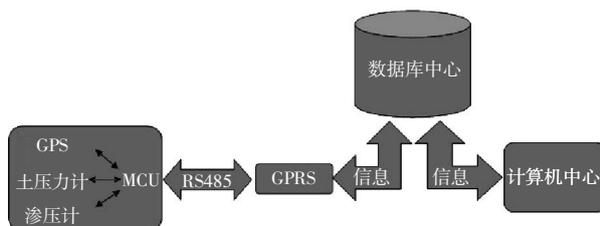


图 2 监测系统图示

Fig. 2 Diagram of the monitoring system

现场采集单元以微型处理器 MCU 作为控制核心,通过放大电路,测量电路连接监测设备采集数据,数据采集的频率可由工程需要自行设定。在现场采集单元中,为解决 GPS 技术监测成本高的问题,本系统采用一机多天线技术。一机多天线技术利用微波开关,控制多个天线以分时复用的方式共享一台 GPS 接收机,从而使一台 GPS 接收机可以对多个测点监控,使昂贵的 GPS 接收机阵列变为天线阵列,使监测成本成倍降低<sup>[4]</sup>。

信息传输单元主要完成数据信息的传输工作。实际中,因考虑了远距离无线通信稳定性和使用成本等因素,而选用 GPRS 通信设备。GPRS 的英文

全称为 General Packet Radio Service, 中文含义为通用分组无线服务,它是利用“包交换”(Packet-Switched)的概念所发展出的一套无线传输方式。GPRS 的最大优势是它的数据传输速度,这是 WAP 数据传输不能比拟的,且因 GPRS 具有“永远在线”的特点,也即用户随时与网络保持联系,这样能保证数据在传送过程中的快速、准确、可靠等明显效果。现场采集的数据通过串行接口 RS485 传输至 GPRS 无线通信模块后,由 GPRS 模块将所有信息传至数据库中心,从而完成数据信息的高效快速传输,以达到远程实时监控的要求。

数据库单元接收数据信息后,将完成 3 项工作:**a.**监测数据预处理。由于现场监测的数据存在较多缺陷,数据库中心将使用最小二乘法,三次样条插值法和 Mallat 算法对这些数据进行预处理,完善监测数据;**b.**GPS 数据解算。GPS 接收机上传的原始数据格式为 RT17,RT17 包含载波相位数据和星历等数据。这些数据通过数据库中心的实时解算才能得到监测需要的信息<sup>[5]</sup>。**c.**数据保存和输出,所有处理解算后的数据将保存在数据库中心并可输出至监测终端。

计算机控制单元具有以下功能:**a.**数据采集管理。通过远程传输指令给 MCU,实时管理现场监测设备;**b.**数据分析。将采集的数据进行处理,生成过程线分析图,断面分析图和安全评价分析图;**c.**数据输出。完成数据的整理,形成日报表并输出到数据库中;**d.**发布预警信息。根据数据分析图和有限元建模确定的滑坡阈值进行预警反馈,预警的方式包括短信和电子邮件等。图 3 所示为计算机控制系统主界面。



图 3 计算机控制系统主界面

Fig.3 Main interface of the computer-control system

### 3 监测结果

监测系统获取边坡各项监测数据后,通过与已确定的滑坡阈值进行比对,可以判定边坡的稳定程度和预警级别.在本系统中,为了得到较准确的滑坡阈值,采取有限元强度折减法进行数值分析,模拟软件根据有限元的计算结果得到边坡破坏滑动面和边坡强度储备安全系数<sup>[6]</sup>.根据摩尔-库伦强度准则,边坡的强度折减系数可表示为:

$$\pi' = \frac{\pi}{\omega} = \frac{c + \sigma \tan \varphi}{\omega} = c' + \sigma \tan \varphi' \quad (1)$$

因此

$$c' = \frac{c}{\omega}, \varphi' = \arctan\left(\frac{\tan \varphi}{\omega}\right) \quad (2)$$

$c$  为岩土体粘聚,  $\varphi$  为内摩擦角,  $\omega$  即为强度折减系数.

自 2012 年 7 月监测系统安装应用至今,获取了多种边坡监测数据,边坡整体处于稳定状态.图 4 为 2012 年 8 月份边坡应力监测图,图 5 为 2012 年 8 月份间隙水压力监测图,图 6 为 2012 年 8 月份 GPS 水平位移监测图.

通过 ANSYS 模拟分析可知,取安全系数  $F=1.5$  时,1 号监测点临滑水平应力为 652.7 kPa,2 号监测点临滑水平应力为 317.2 kPa.在图 4 中 1 号土压力计最大数值为 421.3 kPa,2 号监测点最大

数值为 265 kPa,均不超过临滑控制值,各点应力水平较低.

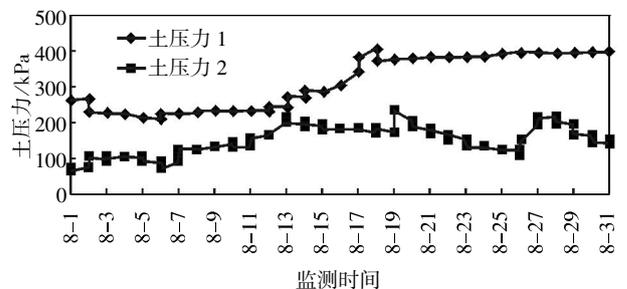


图 4 边坡应力监测

Fig.4 Slope stress-monitoring graph

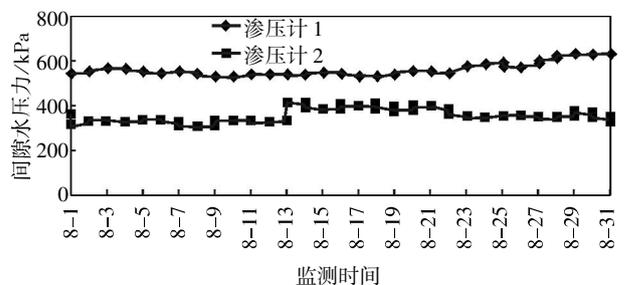


图 5 间隙水压力监测

Fig.5 Interstitial water pressure-monitoring graph

在边坡灾害中,降雨和地下水会使间隙水压力有一定的增加,从而使土体的有效应力减少,抗剪强度降低,土体的整体强度衰弱.在图 5 中,间隙水压力值整体平稳,其中 1 号渗压计的最大值仅为 615.3 kPa,小于监测控制值,对边坡稳定的

影响较小。

ANSYS 模拟分析可知,取安全系数  $F=1.5$  时,1 号监测点临滑位移  $X_1=25.69$  mm,2 号监测点临滑位移  $X_2=40.32$  mm,3 号监测点临滑位移  $X_3=55.7$  mm,4 号监测点临滑位移  $X_4=30.29$  mm,5 号监测点临滑位移  $X_5=36.12$  mm. 图 6 中 GPS 水平位移值均小于临滑值,边坡各点处于稳定范围内。

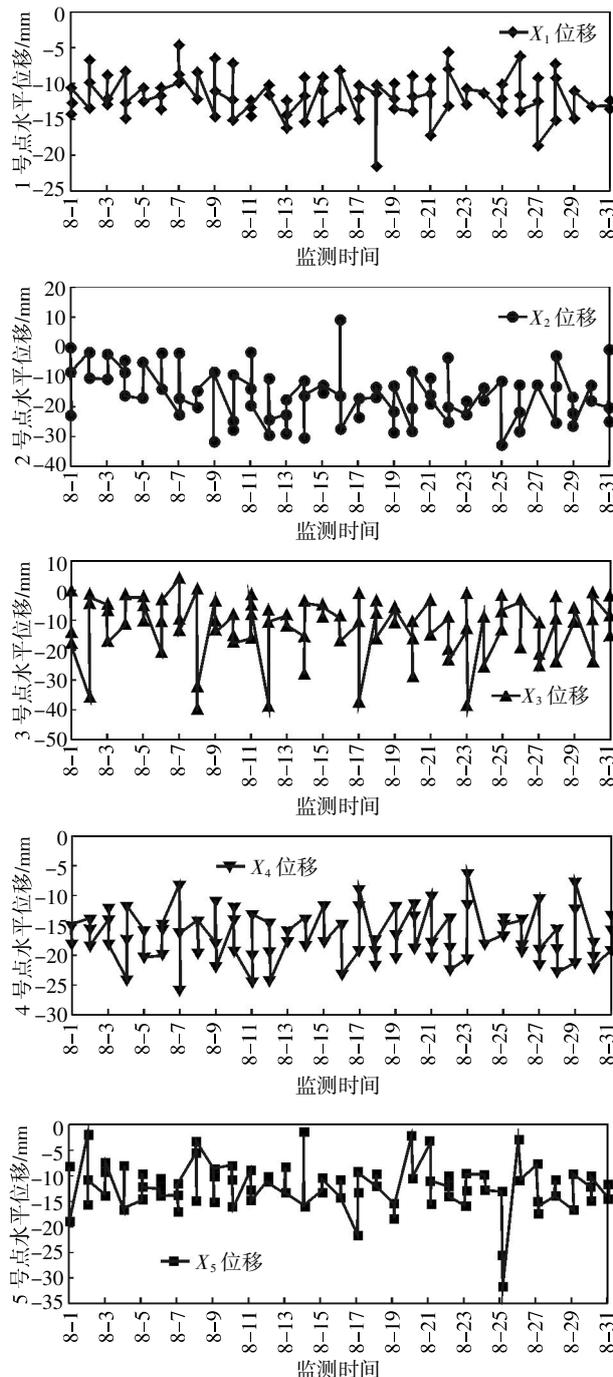


图 6 水平位移监测

Fig.6 Horizontal displacement monitoring graph

## 4 结 语

宜巴高速公路边坡稳定远程多源实时监测系

统采用 GPS 全站仪与土压力计,振弦式渗压计的组合,对公路边坡多源监测,为进一步数据融合提供了信息基础,提高了监测分析的准确性. 现场监测设备通过微型处理器控制,可以按需调整采集频率,降低了监测设备的工作负荷,提高其有效使用率. 同时,在系统中使用 GPRS 无线通信技术和计算机控制技术,实现了监测的实时、自动化、全天候等要求。

本系统不仅能有效监测公路边坡灾害,而且可以推广到铁路、水库、矿山等工程建设项目中. 另外,采用该系统能及时预测边坡地质灾害,供政府部门采取措施整治,发布预警信息,有效避免交通安全和人民生命财产损失。

## 致 谢

感谢湖北宜巴高速公路建设指挥部对本项目的支持!

## 参考文献:

- [1] 杨航宇,颜志平,朱赞凌,等.公路边坡防护与治理[M].北京:人民交通出版社,2002.  
YANG Hang-yu, YAN Zhi-ping, ZHU Zan-ling, et al. Protection and governance of the highway slope [M]. Beijing: China Communications Press, 2002. (in Chinese)
- [2] 杨明,姚令侃,刘成龙.山区公路斜坡工程外部变形监测技术[J].路基工程,2006(5):54-55.  
YANG Ming, YAO Lin-kan, LIU Cheng-long. The monitoring technology of external deformation of mountain highway slope [J]. Subgrade Engineering, 2006(5):54-55.(in Chinese)
- [3] 徐勇,何秀凤.浦东海塘 GPS 位移监测系统[J].工程勘测,2004(1):43-44.  
XU Yong, HE Xiu-feng. The displacement monitoring system of Pudong seawall by GPS [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2004(1):43-44.(in Chinese)
- [4] 何秀凤,华锡生. GPS 一机多天线变形监测系统[J].水电自动化与大坝监测,2002,26:34-35.(in Chinese)  
HE Xiu-feng, HUA Xi-sheng. Development of GPS multi-antenna based deformation monitoring system [J]. Hydropower Automation and Dam Monitoring, 2002,26:51-53.(in Chinese)
- [5] 付建萍,于银辉. GPS 与 GIS 集成在公安交通指挥系统中的应用 [J]. 吉林大学学报:信息科学版,2003(1):65-66.  
FU Jian-ping, YU Yin-hui. Integration of GPS and GIS used in traffic direction system [J]. Journal of Jilin Uni-

- versity:Information Science Edition,2003 (1):65-66.  
(in Chinese)
- [6] 王琛,石湛.基于有限元强度折减法的连拱隧道洞口边坡稳定性分析 [J].公路交通科技:应用技术版,2011(1):165-168.
- WANG Chen, SHI Zhan. The stability analysis of the tunnel entrance slope based on finite element shear strength reduction method[J]. Highway Traffic Science and Technology: Application Version, 2011(1): 165-168.(in Chinese)

## Design of real-time monitoring system for freeway slope based on multisource remote

*GAN Lu<sup>1</sup>, YUAN Run<sup>2,4</sup>, JIA Wei<sup>3</sup>*

1.Hubei Provincial Communications Investment Group Co.,Ltd,Wuhan 430074, China;

2.School of Resource and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology,Wuhan 430074, China;

3.The Construction Headquarters of Yichang to Badong Freeway, Yichang 443700,China;

4.China Construction Third Engineering Bureau Co., Ltd, Wuhan 430002, China

**Abstract:** Aimed at the low measuring precision, single type of monitoring parameters and low automation, a multi-source data monitoring method based on GPS technology was proposed. Firstly, the on-site monitoring unit was established to obtain real-time multi-dimensional parameters. Then, the data communications unit was established by using GPRS wireless communication technology to realize automatic transmission of site monitoring data. Finally, the monitoring and warning system was established by using computer technology, to realize the function of storage and analysis of monitoring data and disaster warning, which meets the requirements of real-time, automated and all-weather detection, etc. The system can forecast slope geological disaster and release warning information promptly, which would reduce the personnel and property losses.

**Keywords:** GPS technology; multisource monitoring; GPRS

本文编辑:龚晓宁