

镇江烈士陵园边坡地质灾害远程监测预警预报系统 开发及应用

姜朋明, 梅 岭, 季佩祥, 周爱兆

(江苏科技大学土木工程与建筑学院, 江苏 镇江 212003)

摘 要: 以镇江烈士陵园西侧一边坡为研究对象, 确定降雨量以及坡体位移为监测内容, 用翻斗式雨量计对降雨量进行监测, 基于 GNSS 技术的实时变形监测系统, 通过分布在边坡的 GPS 设备, 实时在线全自动监测边坡位移的变化, 形成了高效、节能的边坡监测硬件系统; 利用 Visual C++ 网络编程技术, 以 SQL Server 2005 为后台数据库, 自主开发了镇江市烈士陵园边坡地质灾害远程预警预报系统, 实现数据的远程实时接收存储, 为管理部门及时了解现场监测结果和快速决策提供了强有力软件支持; 系统建立了降雨量统计预警模型, 并集成了多种时间预测模型, 形成了变形预测模型库, 通过选取合适的预报模型, 为边坡预警预报的可靠性提供有力保证; 结合本项目当前监测数据, 系统给出该边坡处于安全状态。

关键词: 边坡工程; 地质灾害; 远程监测; 预警预报系统

中图分类号: TU441.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2013)S1-0340-06

作者简介: 姜朋明(1970-), 男, 江苏阜宁人, 教授, 主要从事边坡工程等方面的研究。E-mail: justcojpm@hotmail.com。

Development and application of monitoring and warning system geological disasters of slope in Zhenjiang Martyrs Cemetery

JIANG Peng-ming, MEI Ling, JI Pei-xiang, ZHOU Ai-zhao

(School of Civil and Architecture Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: A slope located in the west of Zhenjiang Martyrs Cemetery is studied. An efficient and energy-saving slope monitoring device system is established based on the real-time monitoring system of the GNSS technology. The system mainly aims at displacement and rainfall monitoring. The rainfall is measured by means of the tipping bucket rain gauge. Using the GPS equipments distributed around the slope, the real-time on-line automatic monitoring system works well. Based on the Microsoft Visual C++ network technology and SQL Server 2005 database, a remote warning and forecast system for geological disasters of the slope in Zhenjiang Martyrs Cemetery is developed so as to realize the real-time remote receiving and saving of the monitoring data. It can help the administrative departments know the monitoring results in time and supports them to make wise decisions. The system sets up a rainfall warning model and integrates several time forecast models to establish the slope deformation prediction model database, all of which provide a powerful guarantee of the reliability of predictions. According to the monitored data, the slope is still in a safe state.

Key words: slope engineering; geological disaster; remote monitoring; prediction and warning system

0 引 言

镇江市位于江苏省沿江经济带, 北滨长江, 与扬州市隔江相望。镇江枕山濒江, 市内山丘林立、市外群山环抱, 山中有城, 城中有山, 享有“城市山林”美誉。然而由于镇江独特的地形地貌和城市格局, 美丽的城市山林时常遭受到滑坡、崩塌、塌陷、危石跌落等斜坡地质灾害的危害。特别自 20 世纪 80 年代以来, 由于气候、人为及山体自身风化的影响, 在暴雨和暴雪直接诱导下, 多处山体曾先后出现过多处滑坡,

给周围人民生命财产造成严重威胁。

镇江市北固山一带, 尤其是烈士陵园, 由于连降暴雨, 造成陵园几处山体严重滑坡, 邻近居民区近 200 m 长的围墙严重倾斜, 随时存在倒塌的危险。陵园西侧与居民区相邻的山体, 滑坡点多, 面积大, 成为全省 316 个地质灾害隐患地之一。部分山体呈明显

基金项目: 江苏省社会发展项目 (BE2011746); 江苏省国土资源厅自然科学基金项目 (2009015)

收稿日期: 2013-03-01

的滑坡特征、坍塌迹象,坡面上见有马刀树,醉汉林,山脚底部可见基岩出露,呈台阶状,是典型的临滑特征,雨水冲刷或人的工程活动极易打破平衡,造成滑坡,给周围环境等带来威胁。所以,有必要采取一定的实时监测手段,掌握坡体变形、受力特征,判别坡体的安全状态,做到提前预防,合理决策。

但常规监测方法效率低下,决策部门和专家难以及时了解地质灾害现场的动态监测结果,影响决策速度。随着近年来光学、电学、计算机技术和通信技术的发展,给地质灾害监测仪器的研究和监测预报系统的开发带来发展空间。许利凯等^[1]、何满潮等^[2]利用无线通讯技术提高了远距离监测数据传输的自动化程度,形成了适用于水电库区和矿山边坡的远程实时监测系统;张成平等^[3]、叶英等^[4]也将自动采集和无线传输应用于隧道工程,建立了隧道施工远程监测系统。在边坡远程监测软件开发方面,张强勇等^[5]、梁桂兰等^[6]、邬凯等^[7]基于大型数据库平台、可视化和网络编程技术,开发了边坡监测信息管理系统,实现了监测数据的信息化和网络化。但城市山体边坡易受人类活动和环境变化影响,其变形破坏模式具有多样性、复杂性等特点,上述远程预报监测系统有诸多不足^[8]。为此,本文以镇江烈士陵园西侧一边坡为研究对象,选择经济合理的监测手段与无线传输技术相结合,形成了高效、节能的边坡监测硬件系统;基于大型数据库平台,利用可视化网络编程技术,开发了边坡地质灾害远程监测预警预报系统,实现了多任务的网络通信、信息管理和边坡稳定性预警预报功能。

1 监测内容及设备

1.1 降雨量监测

降雨是边坡失稳的主要诱发因素,因此,本系统以降雨量为主要监测内容之一。本次监测采用翻斗式雨量计,通过记录翻斗次数来计量降水,利用太阳能电板供电,安装在固定的水泥墩上,如图 1 所示。

降雨时,翻斗式雨量计的承雨口承接降水,经引水漏斗导入翻斗,当降雨量达到雨量计翻斗容量时,翻斗翻转,带动磁钢翻转,出发簧管开关,产生一个脉冲信号送入数据采集器(安装在主机内),采集器接受脉冲信号并累计,存入主机内的固态存储器(RAM)内。

1.2 坡体位移监测

本项目在监测坡面上、中、下各选取一个监测点,如图 2 所示,在 3 个监测点上分别布置 GPS 监测站,如图 3 所示,并在边坡附近的建筑物上固定基站,如图 4 所示。基于 GNSS(全球导航卫星系统)技术的

实时变形监测系统,对坡体的实际性状实施高精度、实时、连续、自动监测,运用静态相对定位和动态相对定位 2 种数据处理方法^[9-10],为判断坡体安全提供必要的信息,确保数据采集准确。



图 1 翻斗式雨量计

Fig. 1 Tipping bucket rain gauge



图 2 测点布置图

Fig. 2 Layout of measuring points



图 3 GPS 监测站

Fig. 3 Monitoring station

1.3 数据传输

为实现对监测数据的远程实时监控,把所有的监测设备与 GPS 接受天线相连,通过移动发射塔把采集

的数据由 GPS 卫星传输给 GPS 基站，通过服务器把数据输入到远程电脑，从而实现了现场监测数据的远程实时传输与监控。数据远程传输系统工作原理图详见图 5。



图 4 GPS 基站

Fig. 4 GPS base station

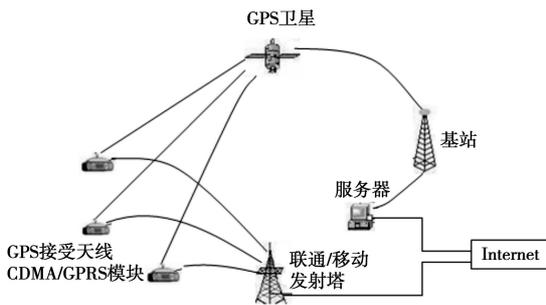


图 5 数据远程传输系统工作原理图

Fig. 5 Working principle of remote data transmission system

2 系统主要功能

现场安装传感器和数据采集传输设备，把采集到的数据读入 SQL Server2005 数据库，采用 Visual C++ 为开发平台，自主开发了镇江市烈士陵园边坡地质灾害远程预警预报系统。该系统通过 GPRS 技术与现场监测仪器建立通讯，实现数据的远程实时接收存储。在此基础上通过 ADO 连接数据库，实现数据查询、图形可视化等功能。通过建立边坡变形预测模型库，实现了数据处理和预测分析功能。

2.1 系统通讯

本系统使用 TCP/IP 协议，在服务器、PC 及其兼容机模型下采用 Winsock 机制实现 GPRS 模块与服务器之间，服务器与 PC 及其兼容机之间的实时网络通讯。系统为计算机提供服务器和 PC 及其兼容机 2 种工作模式，主监控中心采用服务器工作模式的计算机与 GPRS 模块建立连接之后，会自动将接收的数据实

时存储到 SQL Server2005 后台数据库，同时将数据转发给使用 PC 及其兼容机模式的联网计算机，由此可以实现多用户的远程组网和数据实时共享，图 6 为系统实时通讯的界面。

如图 6 所示，界面大致分为 4 个部分，左上部分是边坡剖面示意图窗口；左下部分是监测数据图形可视化窗口；右上部分是“坡面信息”、“边坡监测”以及“边坡预测”选择按钮；右下部分是数据显示窗口。

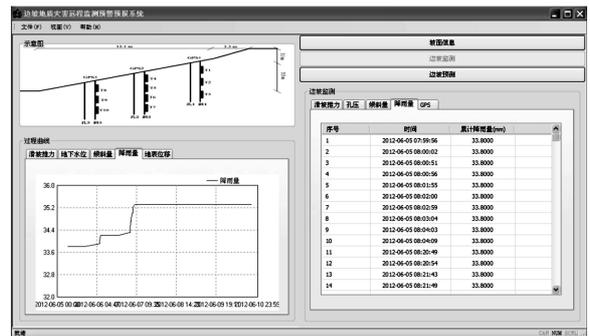


图 6 系统通讯界面

Fig. 6 System communication interface

2.2 坡面信息查询

点击界面右边的“坡面信息”按钮，即可在界面右下部分的数据显示窗口输入边坡每段的水平投影长度及竖向投影长度，根据此数据，边坡的剖面示意图即可显示在界面的左上部分的图形显示窗口，如图 7 所示，图形的尺寸可根据个人要求进行调整。

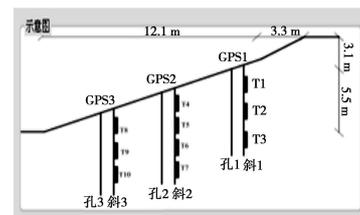
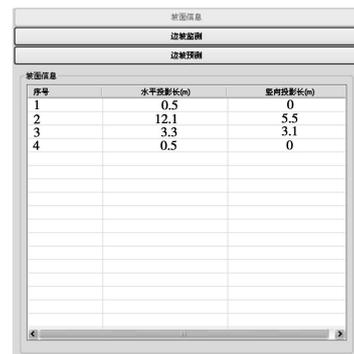


图 7 坡面信息输入窗口及图形显示窗口

Fig. 7 Windows of slope information input and graphics display

2.3 监测数据查询及图形可视化

本系统可根据日期来查询相应的降雨量和位移数

据。工具栏中的“文件”下拉菜单中,选择“查询”,即出现如图 8 所示的对话框,用来设置所需监测数据起止时间,点击“确定”按钮,返回主界面,即获取指定时间段内传感器数据。



图 8 数据起止时间段设置对话框

Fig. 8 Time setting of data

选定所需数据区间后,点击“边坡监测”按钮,界面右边的数据显示窗口就会出现相应的监测数据。选择“降雨量”,即可显示采集数据时间点与对应累积降雨量的数据;此时根据这些数据,在界面左下部分的图形可视化窗口显示出时间与累计降雨量的关系图,如图 9 所示。选择“GPS”,即可显示 3 个 GPS 监测站在采集数据时间点 x , y , z 三个方向上的位移增量;根据 3 个方向上的位移增量,及可得到该点的位移矢量,界面的左下部分即为时间与 GPS 监测站位移矢量的关系图,如图 10 所示。

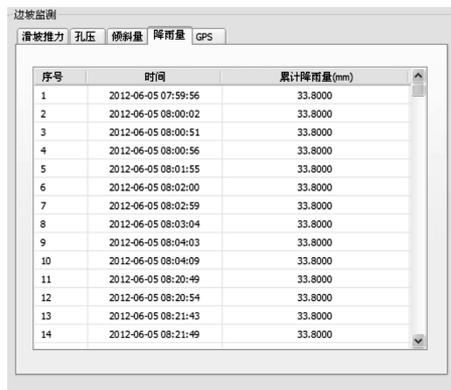


图 9 降雨量监测数据及图形显示

Fig. 9 Monitoring data and graphic display of rainfall

由图 9, 10 还可以发现,监测项目除了“降雨量”和“GPS”以外,还有“滑坡推力”、“孔压”以及“倾

斜量”的监测数据查询按钮,这是为进一步研究预留的接口,即本项目下一阶段将继续进行坡体滑坡推力、孔压以及深部土体倾斜量的监测,对边坡进行多角度、深层次的实时监测,提高对边坡稳定性的预警预报精度。

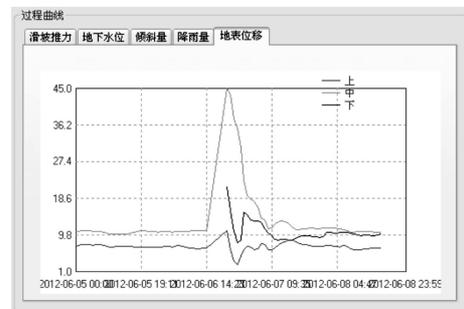
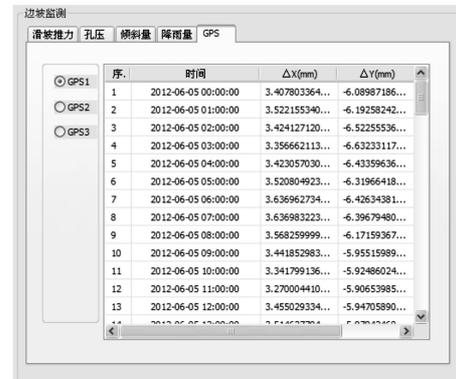


图 10 坡体位移监测数据及图形显示

Fig. 10 Monitoring data and graphic display of slope displacement

2.4 边坡稳定性预测分析

本系统在统计分析本地区历史滑坡与降雨资料的基础上,确定降雨阈值,建立了降雨量统计预警模型,根据实时的降雨查询结果和统计图进行地质灾害的气象预警预报。针对边坡的变形分析,系统提供了适用于短期临滑预报的灰色动态模型、Verhulst 反函数模型,以及适用于中长期预报的最小二乘拟合模型、神经网络模型和时间序列模型,建立边坡变形预测模型库。根据实测曲线,与模型预测结果进行对比分析,选择最合适的预测模型,对边坡稳定性进行预测。

综合以上两个方面的预测结果,从而对该边坡的稳定性做出最终判断。选择“边坡预测”按钮,系统给出了边坡地质灾害预警预报等级。预警预报等级共分为五级:常规级(V)、预测级(IV)、预警级(III)、预报级(II)和警报级(I),分别用绿、蓝、黄、橙及红色来表示,如图 11 所示。

通过对本项目 6 月 5 日至 6 月 10 日的降雨量监测数据查询可知,如图 9 (b) 所示,6 日至 7 日有一次降雨过程,但雨量不大,累积降雨量达到 35.2 mm;

对同时段的位移监测数据查询可知,如图 10 (b) 所示,边坡在 6 日左右,也即降雨期间,3 个监测站的位移同时达到最大,其中,边坡中间监测站的位移最大,达到 45 mm。边坡下部的监测站由于设备故障,6 日之前的数据没有采集,但也能看出降雨期间其位移有所增大。系统对监测数据进行处理,由于降雨量较小,给出了此时边坡预警预报等级为 V,属于绿色警报,一般无危害。

	警报级	可能危害特别严重	红
I	警报级	可能危害特别严重	红
II	预警级	可能危害严重	橙
III	预警级	可能危害较重	黄
IV	预测级	可能危害一般	蓝
V	常规级	一般无危害	绿

图 11 边坡预警预报等级

Fig. 11 Forecast warning levels of slope

3 结 论

(1) 本文以镇江烈士陵园西侧一边坡为研究对象,用翻斗式雨量计对降雨量进行监测,并在坡面上、中、下各取一点设置 GPS 监测站,在附近的建筑物上固定基站,基于 GNSS 技术的实时变形监测系统,在线全自动监测边坡位移数据的变化,形成了高效、节能的边坡监测硬件系统。

(2) 通过远程传输技术,把监测数据读入 SQL Server2005 数据库中,利用 Visual C++网络编程技术,自主开发了镇江市烈士陵园边坡地质灾害远程预警预报系统,实现数据的远程实时接收存储,为管理部门及时了解现场监测结果和快速决策提供了强有力软件支持。

(3) 系统在统计分析本地区历史滑坡与降雨资料的基础上,建立了降雨量统计预警模型,并集成了多种时间预测模型,形成了变形预测模型库,通过选取合适的预报模型,为边坡预警预报的可靠性提供有力保证;结合本项目当前监测数据,系统给出边坡预警预报等级为 V,属于绿色警报,一般无危害。

(5) 对边坡还需进行多角度、深层次、多断面的实时监测,并提出相应的边坡失稳判别标准,以提高对边坡稳定性的预警预报精度。

参考文献:

[1] 许利凯,李世海,刘晓宇,等. 三峡库区奉节天池滑坡实时遥测技术应用实例[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(增

刊 2): 4476 - 4483. (XU Li-kai, LI Shi-hai, LIU Xiao-yu, et al. Application of real-time telemetry technology to landslide in Tianchi Fengjie of Three Gorges reservoir region[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(S2): 4476 - 4483. (in Chinese))

[2] 何满潮. 滑坡地质灾害远程监测预报系统及其工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(6): 1081 - 1090. (HE Man-chao. Real-time remote monitoring and forecasting system for geological disasters of landslides and its engineering application[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(6): 1081 - 1090. (in Chinese))

[3] 张成平,张顶立,骆建军,等. 地铁车站下穿既有有线隧道施工中的远程监测系统[J]. 岩土力学, 2009, 30(6): 1861 - 1866. (ZHANG Cheng-ping, ZHANG Ding-li, LUO Jian-jun, et al. Remote monitoring system applied to the construction of metro station undercrossing existing metro tunnel[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(6): 1861 - 1866. (in Chinese))

[4] 叶英,穆千祥,张成平. 隧道施工多元信息预警与安全管理系统研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(5): 900 - 907. (YE Ying, MU Qian-xiang, ZHANG Cheng-ping. Tunnel construction multivariate information forewarning and safety management system research[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(5): 900 - 907. (in Chinese))

[5] 张强勇,陈晓鹏,刘大文,等. 岩土工程监测信息管理与数据分析网络系统开发及应用[J]. 岩土力学, 2009, 30(2): 362 - 373. (ZHANG Qiang-yong, CHEN Xiao-peng, LIU Da-wen, et al. Development of monitoring information management and monitoring data analysis network system for geotechnical engineering and its application[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(2): 362 - 373. (in Chinese))

[6] 梁桂兰,徐卫亚,何育智,等. 边坡工程监测信息可视化分析系统研发及应用[J]. 岩土力学, 2008, 29(3): 849 - 853. (LIANG Gui-lan, XU Wei-ya, HE Yu-zhi, et al. Visual system development and application of data analysis for slope engineering[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(3): 849 - 853. (in Chinese))

[7] 郭凯,盛谦,张勇慧,等. 山区公路路基边坡地质灾害远程监测预报系统开发及应用[J]. 岩土力学, 2010, 31(11): 3683 - 3687. (WU Kai, SHENG Qian, ZHANG Yong-hui, et al. Development of real-time remote monitoring and forecasting system for geological disasters at subgrade slopes of mountainous highways and its application[J]. Rock and

- Soil Mechanics, 2009, **31**(11): 3683 - 3687. (in Chinese))
- [8] 许 强, 黄润秋, 李秀珍. 滑坡时间预测预报研究进展[J]. 地球科学进展, 2004, **19**(3): 478 - 483. (XU Qiang, HUANG Run-qiu, LI Xiu-zhen. Research progress in time forecast and prediction of landslides[J]. Advance in Earth Sciences, 2004, **19**(3): 476 - 483. (in Chinese))
- [9] 张 琳, 李英芹. 基于 GNSS 技术的尾矿库在线安全监测预警系统[J]. 电气技术, 2011(5): 42 - 44. (ZHANG Lin, LI Ying-qin. The research about the monitoring and warning system of online security which was based on gnss tailing pond technology[J]. Electrical Technology, 2011(5): 42 - 44. (in Chinese))
- [10] 王 晖. 新一代高精度低成本 GNSS 实时形变监测系统在水利设施变形监测预警中的应用[J]. 数字通信世界, 2011(4): 18 - 20. (WANG Hui. Monitoring and warning system of online security based on GNSS in the application of water conservancy facilities[J]. Digital Communication World, 2011(4): 18 - 20. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)