

基于物联网技术的公路边坡监测预警系统

李 果¹ 侯岳峰² 陈 贺¹

(1. 云南省交通规划设计研究院 陆地交通气象灾害防治技术国家工程实验室, 云南 昆明 650011;

2. 中国科学院力学研究所, 北京 100190)

摘 要: 本文针对公路边坡呈现的点状分布、数量众多、规模较小、变形破坏模式多样的特点, 在借鉴国内外地质灾害监测先进技术和经验的基础上, 通过挑选经济合理的监测手段和监测设备, 并与最新无线传输技术相结合, 通过云平台的方式进行数据存储展示, 结合基于 GMD 边坡安全风险综合评估方法, 形成对于公路边坡的有效预测的公路边坡监测预警系统。

关键词: 公路边坡; 物联网; 云平台; 涡卷弹簧位移计; 深部岩土变形测量仪; 高档墙倾斜测量仪

中图分类号: U416.1

文献标识码: B

高速公路边坡灾害预防采用自动化、远程化、高精度的边坡监测技术及设备已逐渐成为高速公路边坡管理发展的必然趋势。边坡岩土体由初始变形到最终破坏性滑坡的失稳破坏过程是一个从渐变到突变的动态演变过程。应用适当的监测手段, 实时掌握其变形运动特征及相关影响指标的定量演化过程, 准确捕捉灾害前兆特征信息, 就可以有根据地判断灾害险情的发生, 做到提前预防, 科学决策。因此, 公路边坡监测已逐渐发展成为评价公路高边坡安全稳定性、实施灾害预警的前提保障。

1 系统总体介绍

基于物联网技术的公路边坡监测预警系统, 是在物联网体系架构下打造的、集软硬件与应用服务为一体的信息化、智能化网络平台, 用以提升管理部门应对公路边坡地质灾害的防范能力和管理水平。作为物联网技术在公共安全领域最早、最典型的应用, 基于物联网技术的公路边坡监测预警系统具有以下技术优势:

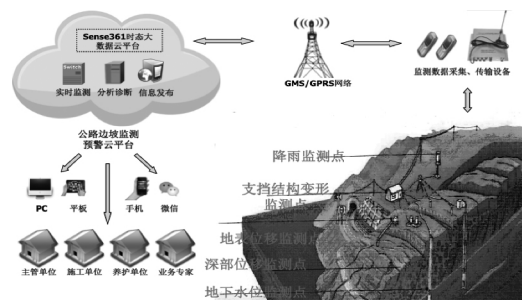
(1) 系统具有全面感知、实时采集功能。系统通过各类智能传感器及 ZigBee、工业现场总线等短距离无线/有线传输技术, 随时随地感知公路边坡所处环境信息(如温度、湿度、降雨量、水位、外荷载、地应力等)、监测对象自身状态信息(如位移、应变、角度、应力、土压力、孔隙水压力等);

(2) 系统具有可靠传递、高效管理功能。系统借助现有的移动通信网、互联网及专用网络, 将感知到的边坡岩土体及支挡结构相关信息实时、准确、安全地传递出去, 存储于信息管理中心云计算平台内, 实现感知数据进行统一存储、查询和分析;

(3) 系统具体智能分析、科学决策功能。系统利

用岩土力学分析软件及云计算、模糊识别等智能计算技术, 对感知和传输的数据进行分析和处理, 识别潜在的公路边坡安全隐患, 评估灾害发生的可能性, 解决突发事件发生后各部门之间如何互联互通, 为科学决策提供依据, 最终实现智能化的管理、服务及应用。

利用地质灾害与岩土工程安全监测预警系统, 公路管理部门可以在任何时间、任何地点, 通过台式机、笔记本电脑或移动终端, 即可了解管辖区域内边坡体当前状态及未来发展趋势, 实现安全隐患的可靠预防、应急管理。



1 基于物联网技术的公路边坡监测预警系统体系架构

2 系统核心设备

2.1 涡卷弹簧式位移计

传统的滑坡坡面位移通常采用全站仪等监测技术, 在恶劣气候、复杂地形及植被茂盛等环境下, 难以准确测量。为此, 本系统采用自主研发的全天候坡面位移实时测量设备——涡卷弹簧式位移计(见图2)。该设备在滑坡体坡面不同位置布设测点, 在滑坡体外布设固定测点, 并用柔性钢线两两连接, 因而不受外部环境条件的影响。当测点间发生相对位移时, 两点间的相对位移量转换为滑轮的角度位移量, 并被角度位移传感器所记录。该装置具有精度高、受地形通视和气候

条件影响小的特点。

典型案例: 2014 年 12 月, 龙瑞高速 K30 南天门 2 号隧道口涡卷弹簧式位移计监测(见图 3)。

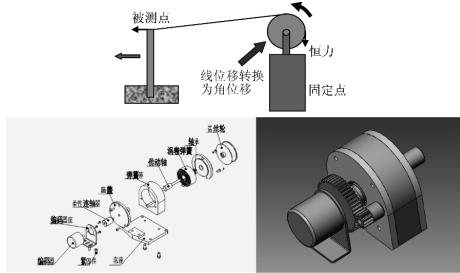


图 2 设备测量原理图及核心结构图



图 3 涡卷弹簧式地表变形测量仪现场实物图

2.2 深部岩土变形测量仪

深部位移监测借助深入岩土层内部的变形观测设备, 通过测量岩土层不同深度地层的水平位移量、水平位移方向和变形速率, 对岩土层的当前变形状态、未来发展趋势进行识别和判定。最常用的深部位移监测设备是移动式钻孔测斜仪, 需要测量人员现场采集数据, 不能实施自动化遥测, 实效性差, 并且只适用于岩土层的早期变形监测, 无法适应中后期钻孔局部大变形时的测量要求。

本系统采用自主研发的新一代深部位移监测系统——基于 MEMS 阵列的深部位移监测系统(见图 4)。该系统集成移动式钻孔测斜仪、固定式钻孔测斜仪、MEMS 阵列式位移计的优点, 引入先进的双轴 MEMS 加速度传感器阵列技术, 不仅能够满足边坡不同变形破坏阶段深部位移监测的需要, 而且具有低成本、高精度和自动化等诸多优点。

典型案例: 云南省普洱市景东至镇沅预制梁厂边坡(见图 5)。



图 4 MEMS 传感器(左)、测量单元(中)、原理效果图(右)

2.3 高挡墙倾斜测量仪

本系统采用采用新型 MEMS 传感技术, 自主研发高精度、低成本、易安装、可重复使用的高挡墙自动化变形监测系统。本系统具有如下功能: 将自主研发的

结构微变形倾角测量仪快速布设于高挡墙墙体外表面, 组装形成网格型传感阵列, 通过实时测量高挡墙不同区域结构单元微小倾斜角度变化, 实现高挡墙水平方向倾斜位移和垂直方向沉降位移的自动化监测; 采用自主研发的 Zigbee + GPRS 集成模块, 实现长距离高挡墙传感阵列监测数据的无线汇聚和海量远传; 将自主开发的高挡墙监测数据接收管理平台部署于云端服务器, 实现监测数据的在线接收、高效存储、智能分析与异常报警。

典型案例: 浙江上三高速 K243 + 100 下边坡监测预警工程。



图 5 深部岩土变形测量仪现场安装实物图



图 6 挡土墙倾测量仪现场安装实物图

3 软件技术与分析方法

3.1 基于 Sense361 的监测预警云平台

系统采用 SAAS 云服务模式, 是对公路病害边坡提供安全评估服务的大型智能化软件云平台。平台仿照现实医院的组织结构与运行模式, 组建了服务病害边坡的虚拟科室, 采用具有自主知识产权的 Sense361 时态大数据云平台, 同时配备先进的力学分析模型、算法和工具, 将岩土专家、设备制造商、施工方、养护方、管理部门以医院员工身份多租户的管理方式有机组织起来, 采用综合考虑边坡静态体质数据、动态体征数据与力学演化机理的 GMD 诊断方法, 科学、高效地完成病害边坡的监测、预警及风险评估业务。

公路边坡监测预警智能化云平台不单是物联网技术在公路边坡行业的应用, 而是创新性地对物联网基本特征——智能处理进行了诠释与践行。集中体现在以下 4 个方面:

(1) 科室制的管理模式。云平台通过护理科、监测科、诊断科、外联科、后勤科、院长办公室等 6 个虚拟科室, 有机分解边坡安全评估业务。

(2) 员工制的服务模式。云平台设置了各级员工岗位, 制定岗位职责, 聘请岩土专家、设备管理员、数据管理员与平台管理员担任边坡医院的各级医护员工, 确保安全评估服务质量的专业性;

(3) 病历制的诊断模式: 云平台自病害边坡入院起即为边坡建立病历档案, 采用文字、图表形式, 完整记录边坡就诊期间搜集的边坡各类体质、体征基础数据, 以及医护人员对边坡病情的分析、诊断活动, 并以体质检查报告、监测实施方案、设备竣工报告、设备定期维护报告、日报、旬报、月报、年报等报告方式存档发布, 确保安全评估服务成果的科学性;

(4) 专属制的展现模式: 云平台为每个病害边坡及其隶属管理单位都建立了专属探视室和探视大厅, 内放病害边坡的所有基础资料及不同时间节点的安全评估报告。病害边坡管理人员通过微信、PC、手机、平板等终端设备, 可以随时随地访问探视室和探视大厅, 了解病害边坡各项安全指标, 最大程度地发挥安全评估服务的效果。

3.2 基于 GMD 的边坡安全风险综合评估方法

本系统采用综合考虑边坡静态体质数据、动态体征数据与力学演化机理的 GMD 评估方法进行公路边坡预警分析(图 7)。该方法采用自主研发的滑坡预警模型和力学分析软件, 在查明公路边坡地质结构特征、物理力学参数和变形破坏机理的基础上, 建立其数值分析模型, 进行形变-应力场的分析, 通过现场动态监测数据和数值模拟结果比对分析, 建立边坡体观测物理量及其内部破坏状态之间的联系, 在线分析边坡体当前破坏状态, 预测边坡体在外动力因素变化条件下的发展趋势, 实现边坡灾害全过程模拟与预测预警。

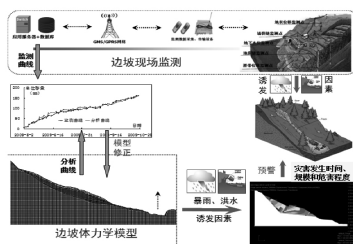


图 7 基于 GMD 的边坡安全风险综合评估方法工作流程图

4 结语

近年来, 随着传感器技术、计算机技术和通信技术的飞速发展, 世界各国开始致力于构建基于物联网(传感网)技术的地质灾害远程自动化监测系统。该系统由现场布设的各类分布式传感器、数据采集发射设备、传感器数据通讯网络和监控中心的数据处理软件构成, 以实现地质灾害的全面感知和可靠传输。目前, 美国的滑坡实时监测系统采用地面倾斜仪、伸缩仪、地下水压力传感器、地声监测仪和雨量计等自动化

监测设备进行实时监测; 欧盟先后启动了基于传感器网络的滑坡实时监测计划, 如 WINSOCH 和 SLEWS 项目; 日本的滑坡传感网由雨量计、地面及地下的传感器和视频组成; 韩国滑坡实时监测系统主要运用地面伸缩仪和倾斜仪组合传感器、地下水压力传感器和雨量计, 实时掌握危险边坡的当前动态; 我国相关部门与科研院校合作, 在三峡库区、汶川灾区等地区也开展了滑坡灾害监测系统研发, 重点解决现场传感器智能组网、智能传感器研制、基于 3G 的通信模块等核心技术。

当前, 基于物联网技术的地质灾害远程监测系统主要还主要应用于国土、水利、矿山行业, 在公路交通行业的工程实践还处于探索试验阶段。并且, 在其它行业一些已较为广泛应用的远程监测设备也并不适用于公路边坡监测。例如, 应用于库岸滑坡的全自动全站仪、应用于矿山边坡的微变形监测雷达、应用于大坝边坡的锚索测力计、应用于隧道桥梁的光纤光栅型变形监测设备都不适于呈点状分布、数量众多、规模较小、变形破坏模式多样的山区公路边坡。为此, 亟需在借鉴国内外地质灾害监测先进技术和经验的基础上, 针对高速公路高边坡自身特点, 通过挑选经济合理的监测手段和监测设备, 并与最新无线传输技术相结合, 研发具有推广应用价值的高速公路高边坡自动化远程监测系统。

参考文献:

- [1] 何相呈, 古芸琳, 曹云刚. 物联网技术在我国公路灾害监测预防中的应用. 2012(18).
- [2] 陈旺, 张社荣, 潘飞. 基于物联网的边坡工程稳定性评价方法及系统开发. 2015, 41(12): 36-39.
- [3] 冯保记, 刘文峰, 朱琳, 等. 基于物联网技术的边坡倾斜度监测方法. CN 101968921 A. 2011.
- [4] 张东风, 田志伟, 钟志波. 基于拉线式位移传感器和 Zigbee 无线网络的边坡裂缝位移远程自动监测系统. CN 201359486 Y. 2009.
- [5] 曹百岗. 基于物联网的道路边坡稳定性预测. 东南大学. 2012.
- [6] Li, C., Fernandez, T. M., Link, J. A. Use of MEMS Accelerometers/Inclinometers as a Geotechnical Monitoring Method for Ground Subsidence. Acta Geodyn. Geomater. 2014, 11(4): 337-349.
- [7] 刘晓宇, 陈猛, 侯岳峰, 等. 基于 MEMS 阵列的组装机深部位移监测设备及系统. 发明专利(201310711825X).
- [8] 李果, 房锐, 戴锐, 吴铸. 新型柔性测斜装置在大变形公路滑坡监测中的应用. 公路交通科技: 应用技术版. 2015, 122(2): 33-35.
- [9] 许强, 黄润秋, 李秀珍. 滑坡时间预测预报研究进展. 地球科学进展. 2004, 19(3): 478-483.
- [10] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制. 岩石力学与工程学报. 2007, 26(3): 433-454.