

滑坡泥石流地质灾害野外监测预警系统的设计

谭承君, 曾国强, 葛良全, 罗群, 龚春慧, 刘玺尧

成都理工大学核技术与自动化工程学院, 成都, 610051

中国是世界上地质灾害最严重、受威胁人口最多的国家之一, 地质条件复杂, 构造活动频繁, 滑坡、泥石流、地面沉降、地裂缝等灾害隐患多、分布广, 且隐蔽性和破坏性强, 防范难度大。特别是近年来受极端天气、汶川“512”雅安“420”地震、工程建设等因素影响, 地质灾害多发频发, 给人民群众生命财产造成严重损失。因此, 地质环境监测、地质灾害预警显得尤为重要。

结合地质灾害的实际, 针对我国地质灾害频发的现象, 本文讲述了一种基于传感网与多网络融合技术的地质灾害监测预警系统的设计。本系统以基于 Cortex-M3 内核的微控制器 STM32 为核心、多通道信号调理电路为数据采集单元, 采用电台、Zigbee 和直接连线等方式组建本地监测网, 将多种传感器(雨量计、地表裂缝位移计、孔隙水压力计、土壤含水率计、地下水位计、地声传感器等)的数据采集、处理后通过 GPRS 网络和北斗卫星传回数据中心, 数据中心对数据进行综合分析处理, 采用隐式统计预警预报方法、显式统计预警预报方法和动力预警预报方法实现滑坡泥石流地质灾害的预警。实际应用显示, 本系统具有功耗低、稳定好等特点, 能适应野外恶劣的环境, 满足监测需要。

1 地质灾害区域预警原理

经过几十年的发展目前有三代区域预警预报方法: 第一代隐式统计预警预报方法、第二代显式统计预警预报方法及第三代动力预警预报方法。

隐式统计预警预报方法把地质环境因素的作用隐含在降雨参数中, 某地区的预警判据仅考虑降雨参数建立模型。在地质环境模式比较单一的小区域或在预警系统建立的初期采用此方法进行预警是可行的。

显式统计预警预报方法是一种考虑地质环境

变化与降雨参数等多因素叠加建立预警判据模型的方法。这种方法可以充分反映预警地区地质环境要素的变化, 并随着调查研究的深入, 会相应的提高地质灾害的空间预警精度。目前这种预警方法在整个行业中尚处探索阶段, 适用于地质环境模式比较复杂的各类区域。

动力预警预报方法是一种考虑地质体在降雨过程中地—气耦合作用下, 研究对象自身动力变化过程而建立预警判据方程的方法, 实质上是一种解析方法。该方法主要依据降雨前、降雨过程中和降雨后降水渗入斜坡体内的动力转化机制, 具体描述整个过程斜坡体内的地下水动力作用变化与斜坡体状态及其变形破坏过程的关系。通过钻孔监测地下水位动态、孔隙水压力、土壤含水率、斜坡应力—位移等, 揭示降雨前、降雨过程中和降雨后斜坡体内各项地质参数的实时动态变化规律、整个滑坡体物理状态变化及其变形破坏过程的关系。在充分考虑含水量、基质吸力、孔隙水压力、饱和带形成和滑坡—泥石流转化因素条件下, 选用数学物理方程研究解析斜坡体内地下水动力场变化规律与斜坡稳定性的关系, 确定多参数的预警阈值, 从而实现地质灾害的实时动力预警。该方法依赖于滑坡体内实时的数据监测和传输, 预警精度高, 在整个行业中尚处于研究阶段。

2 系统通信组网总拓扑图

以滑坡监测为例, 介绍系统的通信组网方式。对一个滑坡面的地质环境参数监测包括土壤含水率监测、地下水位监测、土壤孔隙水压力监测、多路地表位移监测、雨量监测等, 它们分布在整个滑坡面上, 由于滑坡面一般都比较宽, 如果所有的传感器均采用有线方式连接到主板上会引起施工繁琐、成本高昂、可靠性较低等问题。因此对于一个滑坡面的监测采用主机与从机结合的方式组建本地监测网(后文将主机和从机统称为监测站), 主

机建立在传感器相对集中的地方,离主机较近的传感器通过有线的方式连接到主机上;从机建立在传感器离主机比较远的位置,主机与从机之间采用无线通信,将整个滑坡面传感器的数据全部采集传输到主机上。主机与数据中心之间的通信采用 GPRS 或北斗卫星进行。系统总体拓扑图如图 1。

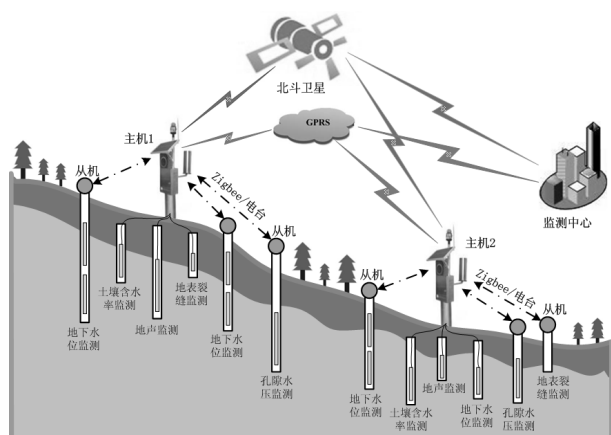


图 1 系统总体拓扑图

主机与从机之间采用无线通信,无线通信的方式有很多种,他们各有各的特点,详见表 1。从表中可以看出,Bluetooth 和 WiFi 的通信距离较近,难以应对野外复杂的环境。适合于本系统的无线通信方式有数传电台和 Zigbee。Zigbee 是一种高可靠的无线传输网络,处于免执照的 2.4GHz 频段,具有自组网、低功耗、低成本等特点,可工作在路由节点模式、中心节点模式、终端节点模式。无线数传电台是采用数字信号处理、数字调制解调、具有前向纠错、均衡软判决等功能的无线通信方式,具有绕射能力强、通信距离远、安装维护方便、组网结构灵活等特点,适合点多而分散、地理环境复杂等场合。在本系统中,如果滑坡面的环境较为简单,则选用 Zigbee 模块实现主机与从机之间的通信;如果环境复杂、通信距离较远,则选用数传电台实现主机与从机之间的通信。

表 1 几种无线通信方式

种类	数传电台	Bluetooth	WiFi	Zigbee
工作频段	0.4-2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
最大传输速率	19.2kbps	10Mbps	1-11Mbps	250kbps
单点覆盖距离	可达 15km	10m	50m	50-2000m
网络节点数	无	7	255	$2^{16} - 2^{64}$
使用成本	较高	低	一般	低
联网所需时间	无	约 10s	3s	仅 30ms

主机与数据中心之间的通信方式也有很多种,如光纤、GPRS/GSM、北斗卫星等。由于光纤的通信需要铺设线缆,使用成本高,故采用无线通信方式。GPRS/GSM 是基于地面基站和信号发射塔的无线通信,具有传输速率高、延时小、实时性强、成本低、使用方便等显著特点。北斗卫星通信是基于地面基站和通信卫星的空地结合无线通信网络,具有通信距离远、覆盖区域广等特点。因此本系统主站在一般情况下通过 GPRS 网络实现与数据中心的数据传输,而在 GPRS 网络不能满足实时性的情况下利用北斗系统的通信链路形成互补。

3 野外监测系统设计

野外监测站的供电问题是首先要考虑的,本系统采用太阳能电池板对铅酸蓄电池充电的方式给系统供电,同时兼容市电。在太阳能充足的情况下系统采用太阳能电池板供电,在太阳能电池板供电不足的情况自动切换使用市电供电。为了适应野外监测点供电不足的缺点,系统设计中加入了电源管理模块,在传感器和电路需要工作的时候才打开电源,其他时间电路均处于休眠状态,以实现低功耗。

根据上文分析,野外监测站主板应该主要包括传感器信号调理采集电路、无线通信电路以及预警电路。信号调理电路需要根据不同的传感器来设计,系统所使用的传感器,其输出信号主要有 4-20mA (地下水位计、土壤含水率计、超声波泥位计)、电阻信号 (地表位移计)、振弦信号 (也称频率信号,有孔隙水压力计、土压力计等)、地声信号 (地声传感器)、微震信号 (微震传感器) 等,主板上设计了不同的信号调理电路对不同的信号进行处理。

值得注意的是,在实际应用中,由于传感器都是深埋于地下,在雷雨天气下传感器的传输线缆上会耦合出感应雷,如果传感器的接口不做防护和隔离那么接口电路很容易被感应雷烧坏,系统就很难长期稳定的工作。因此在传感器的接口采取添加空气放电管、压敏电阻、瞬态抑制二极管等进行端口保护,以保证系统在恶劣的环境中也能长期稳定的工作。

4 数据采集软件及预警模型

在现场安装传感器和野外监测设备的基础上,

采用 Visual C++ 为开发平台, 以 SQL Server2005 为后台数据库, 自主开发了滑坡泥石流地质灾害综合监测预警系统。该系统采用 GPRS 网络、北斗卫星与野外监测系统建立通讯, 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。通过建立滑坡泥石流地质灾害综合监测预警系统预测模型库, 实现了变形数据处理和预测分析等功能。

根据地质灾害区域预警原理, 本系统的预警方法采用隐式统计、显式统计及动力预警预报三者结合的方法开展。在系统建设初期, 由于对每个监测点内在地质结构, 动力模型研究比较粗浅, 主要采用隐式统计方法实现预报, 其主要预警参考指标为降雨量。随着地质勘查工作的进一步细化、历史灾害数据的进一步丰富、每个监测点监测数据的进一步完善, 根据历史数据与历年地质灾害发生情况, 深入剖析降雨前、降雨过程中和降雨后降水入渗在斜坡体内的动力转化机制, 将土壤容积含水率、地下水位、土壤孔隙水压力、地表裂缝位移、降雨量、土压力和声发射等数据融合起来, 确定多参数的预警阈值, 建立动力预警模型, 实现高准确度的滑坡泥石流地质灾害预报预警。

5 工程实例

根据《四川省绵竹市地质灾害调查与区划报告》, 绵竹市内共有地质灾害隐患约 108 处, 威胁人数 5815 人, 潜在经济损失高达 5.46 亿元。其中白房子滑坡群位于遵道镇棚花村西南部, 地势陡峻, 沟谷切割较深。在滑坡群附近有大量居民。经现场调查, 该滑坡规模达 $1.8 \times 10^7 \text{ m}^3$, 属大型滑坡。故在此建立远程监测设备, 如图 2 所示, 图中显示的是系统的野外监测主机, 传感器分布在主机附近的滑坡面上 (图中未给出), 主机上的声光报警和喇叭是用来发布预警信息的。若数据异常, 数据中心立即向主机发送命令启动声光报警发布预警信息, 同时向监测点负责人发送预警短信。负责人收到预警短信后可通过手机拨打主机内部 GPRS 模块上的手机号码, 通过远程喊话将自己的声音通过喇叭传递出去实现预警, 组织居民安全撤离。

系统在此安装 3 台地表裂缝位移计观察滑坡的运动方向和位移程度; 安装 1 台孔隙水压力计、3 台土壤含水率计及 1 台地下水位计观测岩土中空

水压力和地下水位情况; 安装 1 台雨量计监测降雨量; 安装 2 台微震传感器监测岩土破裂发射的微震信号, 用以判断滑坡结构体的稳定性。



图 2 野外监测系统

地表位移计应安装在地表已出现裂缝或有可能出现裂缝的地方, 同时在传感器拉线外套 PVC 管, 中间添加支撑柱形成“T”型结构以减小环境因素 (如刮风、降雨) 对测量的影响。土壤含水率计的安装是将传感器放在事先挖好的坑里, 然后用水稀释泥土形成泥浆包裹传感器, 一段时间水干以后, 传感器将与土壤紧密结合从而提高测量精度。孔隙水压力计在安装前应浸泡饱和, 排除透水石中的气泡; 其安装点应在隔水层上, 并在水压力变化影响深度范围内按土层布置, 竖向间距约 4-5 米为宜。孔隙水压力计安装时应当首先向钻孔内注入湿砂, 使砂子在孔底形成砂垫层, 然后缓慢放入孔隙水压力计, 继续注入湿砂, 使传感器完全被湿砂包裹, 最后回填原土, 埋实。

另外, 在绵竹市国土局建立远程数据监控中心, 实时的接收野外监测站传回来的数据, 监测地

质体内各项参数的变化情况。监测数据显示,在 2012 年 7 月 26 日,该地区发生了强降雨,日降雨量达 87.5mm,其中,土壤含水率、地下水位、孔隙水压力监测数据明显升高,但是地表位移数据在 237.85mm 到 238.20mm 之间变化,变化幅度为 0.35mm,在可接受的范围内;同时微震信号也很微弱。由此可见,该滑坡群的截水沟和内部排水孔可以有有效的排水,防止雨水下渗软化滑坡体,对疏干滑坡体保持其稳定起了重要作用。当然,在更大的降雨情况下该滑坡群的稳定性还需要进一步的监测。

6 结论

(1) 针对我国地质灾害频发的现状,本文采用 Zigbee 和无线数传电台组建本地监测网络,以 GPRS 和北斗卫星作为无线传输单元,通过太阳能电池板给系统供电,设计了节能、高效、稳定的滑坡硬件监测系统,可以实时、有效的监测滑坡体内的各项地质参数。本系统将 Zigbee、数字电台、GPRS 网络、北斗卫星等无线传输方式融入,提高了数据

传输网络的冗余度,增加了系统数据传输的可靠性。

(2) 系统采用 Visual C++ 网络编程技术,以 SQL Server 2005 为后台数据库,开发了滑坡泥石流地质灾害远程监测预报系统,实现了对监测数据的远程实时接收和可视化管理分析,为管理部门及时了解滑坡现场的监测结果和快速决策提供了平台。

(3) 系统的预警方法采用隐式统计、显式统计及动力预警预报三者相结合的方式开展。在系统建立初期采用隐式统计预警方法,在系统建立的中后期采用显式统计及动力预警预报方法。目前,显式统计及动力预警预报方法尚处于研究阶段,野外监测系统实时的数据监测传输为显式统计及动力预警预报方法的研究提供了平台。

(4) 在四川绵竹市、南部县、雅安市等地区运行的监测系统表明:滑坡地质灾害远程监测系统具有实时性、稳定性、无人值守和低功耗等特点。根据实时的监测数据可以综合的预测地质灾害发生的风险,为地质灾害的防灾减灾提供参考依据。