

# 山洪灾害自动测报系统平台研究

王杰红, 夏世德, 李英龙, 宋振华

(昆明理工大学 材料与冶金工程, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 山洪灾害诱发因子很多, 关键控制因素是降雨强度. 论文主要对山洪灾害自动测报系统的工作原理及设计方法进行了研究, 通过建立临界雨量的判别模型, 采用自动测量雨量方法、GSM 短信的无线传输方法, 构建监测中心信息处理平台. 系统对山洪灾害的及时预测提供了有效的方法, 对减少人们生命财产的损失具有重要意义.

**关键词:** 山洪灾害; 测报; 临界雨量; 灾害预测

**中图分类号:** TP277 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2007)06-0025-04

## System Platform of Automatic Torrent Forecasting

WANG Jie-hong, XIA Shi-de, LI Ying-long, SONG Zhong-hua

(Faculty of Materials and Metallurgical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract** Among many factors leading to torrents, rainfall is a key controlling factor. The principle and design methods of automatic torrent forecasting system are introduced in this paper. An information processing platform of monitoring center is constructed through the establishment of the discriminative model on the critical rainfall, the introduction of the automatic measurement method of the rainfall, and the wireless transmission system of rainfall-messaging technology used in GSM. It is proved that this system is an effective method for in-time torrent forecasting and a significant approach to reduce the loss of lives and property.

**Key words** torrent forecasting; critical rainfall; disaster forecast

## 0 引言

“山洪灾害”是 2002 年 9 月才提出的一个新灾种, 2003 年 4 月形成了定义: 山洪灾害是指由于降雨在山丘区引发的洪水灾害及由山洪诱发的泥石流、滑坡等对国民经济和人民生命财产造成损失的灾害. 它与其它自然灾害类似, 是自然演化过程中的微调和变异, 然而这种微调是对人类生存和发展的严重威胁. 这种变异, 是随社会经济发展才逐渐认识到它的危害, 并组织社会力量去防治这类变异的诸多因素. 根据国家防汛办统计, 近几年山洪灾害平均每年造成的死亡人数占全部洪涝灾害死亡人数的 80% 左右, 已经大大超过了大江大河洪水伤亡数. 其防治措施可供借鉴的相关技术领域主要是泥石流预防技术.

据灾害协会统计, 目前, 预防泥石流采用的方法较多, 但归纳起来有 3 种. 第 1 种是对应雨量站的降雨为依据做成设备, 如四川省气象局科研所试制的 UY-1 型无线遥测雨量计, 对东川蒋家沟泥石流的发生进行了 3 年 26 次预报, 准确率 86%, 提前 40 min 左右. 第 2 种是前苏联曾利用泥石流的震动声波及振幅特性做成仪器, 但未见成功报道, 而成都电讯工程学院利用相同原理研制成 NJ-2 型泥石流遥测报警器, 遥测距离 8~12 km, 提前报警时间为 7 min 44 s. 还有上海长宁科协合作研制超声波 VI-1 (有线) 和 DFT-3 (无线) 2 种非接触式超声波泥信报警, 也有良好的实验效果报道. 第 3 种是铁路部门防止泥石流破坏桥涵, 曾试图在铁路桥上游稳定断面的岸边安设探头, 用断线法或导通法发出泥石流危险信号, 称为接触式泥信报警, 但成功事例极少.

以上三种方法各有千秋, 但只对低频泥石流有效. 因未涉及电源、信道、组网、调度等内容, 至今没有推

收稿日期: 2007-05-09. 基金项目: 省教育基金项目 (项目编号: 07Y40817).

第一作者简介: 王杰红 (1973-), 女, 在读博士研究生, 助理研究员. 主要研究方向: 冶金物理化学.

E-mail: jhwang126@126.com

广实例。

本系统正是突破了防治山洪灾害的瓶颈,有效解决了电源、信道、组网等问题.对于人类社会而言,山洪灾害是不可避免的,面对他的挑战,只有认识其成因,掌握致灾因子及规律,增强防灾减灾意识,依靠科技进步,才能把灾害所造成的损失减少到最低限度.

### 1 山洪灾害测报系统工作原理

#### 1.1 山洪灾害诱发因子

诱发山丘区小流域山洪灾害的因素有:降雨激发因素、物质主导因素和坡降驱动因素.其中,降雨激发因素和坡降驱动因素为自然因素;而物质主导因素中,有地质构造、地震、岩性、土壤等自然因素补给的物源,也有森林低价消耗、坡地垦殖、工程弃土等人为活动形成水土流失补给的物源.按最小限制律筛选,降雨、特别是短历时暴雨量(量),是引发山洪灾害和危及环境安全的控制因子.只要我们测得某一点山洪灾害发生的雨量阈值即临界雨量  $RT_{临界}$  (临界雨量  $RT_{临界}$ :是指降雨引发山洪灾害的门槛值,是山洪灾害降雨强度预警划分标准的参考指标),用适时雨量与临界雨量 ( $RT_{临界}$ ) 比对,就可预测山洪灾害发生的可能性.虽然各个小流域的实际情况不同,以及同一地点在不同时间、季节,因土壤含水量不同,都将导致临界雨量  $RT_{临界}$  值不同,但在影响  $RT_{临界}$  诸因素中,一旦监测点确定了,该点的坡降、地质结构、土质均已确定并基本不变,所以  $RT_{临界}$  主要与降雨量和土壤水两个因子有关,是一个二元方程.有资料的小流域用单站临界雨量法计算,无资料的小流域用内插法、比拟法、调查法或频率分析法计算.

#### 1.2 山洪灾害测报系统工作原理

山洪灾害测报系统是利用雨量自动测报装置适时监测雨量强度,系统利用适时雨量强度自动与该点的临界雨量  $RT_{临界}$  比较,判别山洪灾害发生的可能性及严重程度,发出预警信息.采用容栅位移传感器检测雨量,把单位雨量变成数字电信号,再经微型计算机处理,转换成脉冲信号输出给采集器的放大器,经 CPU SP430 处理后,传输给 GPRS 模块发送,然后通过移动公网,把雨量数据传送到山洪灾害监测中心,山洪灾害监测中心接收到适时雨量数据后,通过处理比对后,显示、存储、打印,如果达到报警阈值就同时发出声光报警.通过短信平台,根据需要,把报警信号及雨量情况分别发送到相关领导及值班人员的手机、传呼机上,以提醒领导注意灾害.原理详见图 1、2.

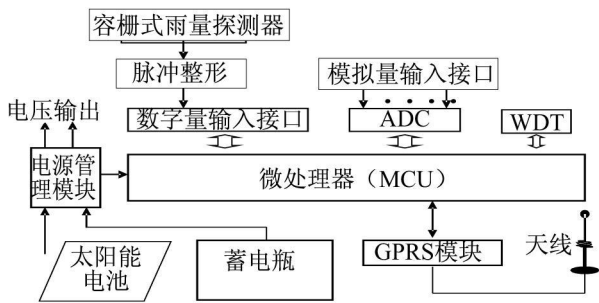


图1 测报系统室外部分原理图

Fig.1 Map of forecasting system principles outside part

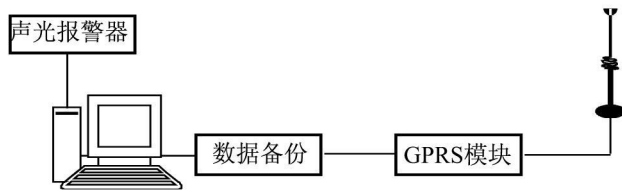


图2 测报系统室内部分原理图

Fig.2 Map of forecasting system principles inside part

### 2 山洪灾害测报系统设计方案

整个系统采用模块化结构的同时又高度集成,前端集成在探头里面,中心全部集成在工控机里面,系统整体性强、美观、易安装管理.结构见图 3.

#### 2.1 山洪灾害发生的临界雨量 $RT_{临界}$ 的判别模型

山洪灾害降雨强度预警等级分为 3 级 (III, II, I),按照发生山洪灾害的严重性和紧急程度,颜色依次为黄色、橙色、红色,3 种颜色预警信号分别代表较重、严重、特别严重.降雨强度分析表见表 1.

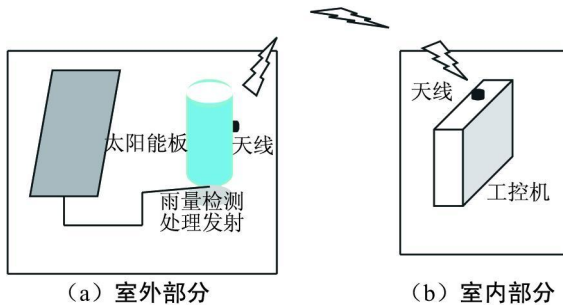


图3 测报系统结构图

Fig.3 Map of forecasting system architecture

1) 第 II 级为黄色预警信号 (预警等级为较重). 其含义为: 根据降雨预报, 24 h 之内将有强降雨发生, 降雨强度  $R$  可能接近或达到临界雨量  $RT_{\text{临界}}$ , ( $R \approx RT_{\text{临界}}$ ), 而且降雨可能持续, 预报将可能发生较重山洪灾害. 此时, 各行政主管机构应当启动相应的应急程序, 进入防灾状态, 相关部门加强值班, 做好可能发生山洪灾害的跟踪预报、预测、警报服务工作. 随时关注天气变化及河流水位、地质状况变化, 并做好转移受灾害威胁的居民、工作人员及财产的准备.

2) 第 II 级为橙色预警信号 (预警等级为严重). 其含义为: 根据降雨预报, 24 h 之内将有强降雨发生, 降雨强度为临界雨量的 1~2 倍 ( $RT_{\text{临界}} < R \leq 2 \times RT_{\text{临界}}$ ), 且降雨可能持续. 预报可能发生严重的山洪灾害, 此时各主管机构应当启动紧急应急程序, 进入紧急防灾状态, 相关部门做好重大山洪灾害的跟踪预报、预测、警报服务工作, 密切监视雨情、水情及由强降雨诱发的山体滑坡、山洪灾害等地质灾害, 部署并落实防御措施. 及时对受灾害威胁的人员及财产 (可转移) 进行撤离和转移.

3) 第 I 级为红色预警信号 (预警等级为特别严重). 其含义为根据降雨预报, 24 h 之内将有强降雨发生, 降雨强度超过临界雨量  $RT_{\text{临界}}$  的两倍 ( $R > 2 \times RT_{\text{临界}}$ ), 且降雨可能在较长时间内持续. 24 h 内可能发生特别严重的山洪灾害, 此时各主管机构应当启动特别紧急应急程序, 进入特别紧急防灾状态, 相关部门要做好重大山洪灾害的监测、预报、预测、警报服务工作, 及时启动抢险应急方案. 保证受灾威胁的人员财产 (可转移) 在规定时间内迅速撤离, 转移至安全场所避灾, 并实施相应的救灾措施.

根据临界雨量  $RT_{\text{临界}}$  的判别模型进行测报, 系统工作流程见图 4

## 2.2 适时雨量测量仪

适时雨量测量仪结构如图 5

用双阀容栅式位移探测器作为雨量计的感应计, 通过高精度容栅位移传感器检测降雨量, 把降雨量变成数字电信号再经微型计算机处理, 转换成脉冲输出, 每输出一个脉冲为 0.1 mm 的降雨量.

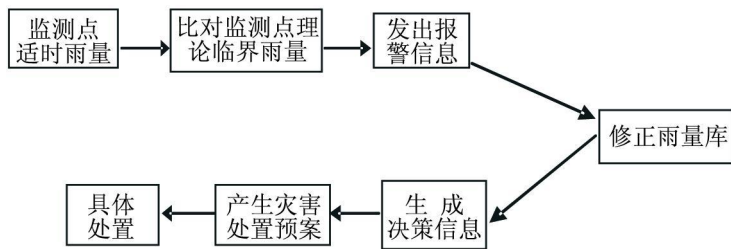


图4 测报系统工作流程图

Fig.4 Workflow of forecasting system

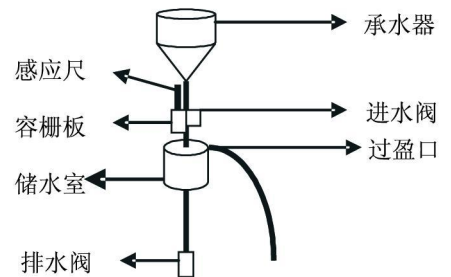


图5 雨量测量仪结构图

Fig.5 Architecture of rainfall-measuring instrument

检测精度为 0.01mm, 对于 0.1mm 的降雨量也能精确计量, 是目前国际上精度最高的雨量测量仪.

测量仪主要由承水器、感应尺、储水室、进水阀门、排水阀、容栅板组成. 工作原理如下:

当雨水由承水器流入储水室的过程中, 进水阀门处于常开状态, 排水阀门处于常闭状态, 这段时间所收集的降雨量经浮子的上升运动被记录仪记录下来, 当浮子上升到 5 mm 降水量时进水阀门闭合, 排水阀门打开, 储水室内水通过排水阀门将水排出. 在排水过程中承水器所接的雨水被进水阀门挡在承水器内, 随着雨水被排出储水室外, 储水室内浮子也同步下降, 当浮子降到 0 mm 时, 排水阀门闭合, 进水阀门打开, 储水室又开始接收雨水, 浮子随之上升并带动记录仪记录雨量. 周而复始以上过程就实现了准确测量降水量的目的. 采用两个电动阀门控制, 即使遭遇特大暴雨, 雨量也不会有任何流失, 确保了测量精度; 同时, 测量仪内部采用模块化结构, 兼容性好, 整体性强.

## 2.3 适时雨量数据处理子系统

整个系统的核心是微处理器 (MCU), 其它模块受 MCU 的综合管理和控制. 雨量计输出的脉冲信号经过

电平变换、整形后输入 MCU, 由 MCU 完成干扰抑制、定时计数、数据打包成帧等处理, 然后通过串口发送到 GPRS 模块, 以短消息 (SM) 或者 GPRS 的方式发送到数据处理中心; 模拟量输入模块主要完成对模拟量的采集, 通过模数转换器 (ADC), 把模拟量转换成数字量输入到 MCU, 输入的模拟量主要有蓄电池输出电压、太阳能电池的输出电压等, 根据需要还可以增加温度、风力风速、湿度、水文水位采样等. 电源管理模块主要完成对系统电源的综合监控管理, 保证系统供电正常, 当太阳能电池能正常工作时, 电源管理模块把未经稳压的太阳能电池电压调整为稳定的 DC12V 和 DC5V 电压. DC12V 主要供雨量计以及其他需要 DC12V 电压是模块使用, 另一路 DC5V 供给 MCU、ADC 等模块使用. 如果蓄电池电压不足时, 电源管理模块会通过太阳能电池给电瓶充电, 并在充满后自动停止充电. 如果太阳能电池输出电压过低或者出现故障时, 电源管理模块会自动启动蓄电池为系统供电, 同时监测蓄电池的输出电压, 如果电压低于允许的最低电压时自动关闭系统, 避免了电池的过放电. 经初步计算, 室外系统总功耗为 3W, 最大工作电流为 300 mA, 只需配备 100A 时的蓄电池一个, 40W 的单晶硅太阳能电池板和控制器, 就能保证 15 个连续阴天的供电.

**自动调零功能:** 仪器在使用过程中, 随着环境条件的变化会出现漂移. 当漂移严重时, 仪器会出现误报, 为了进一步提高仪器工作的稳定性, 克服误报, 需要采取相应的补偿措施对漂移进行抑制. 根据雨量进入传感器后引起的微电流放大器输出电压变化情况, 设计了定时、限幅、快速调零电路. A/D 变换器对微电流放大器的漂移进行定时取样, 将其进行模数转换并送入微电脑中与零点电平进行比较, 根据其相对于零点电平的漂移大小, 送出数字控制信号, 快速改变数控电位器 IC3(X9C103) 的节点, 从数控电位器送出一个  $-5 \sim 0V$  的负电压值至微电流放大器  $V_2$  输出端, 抵消了因漂移引起的输出电压变化, 起到了抑制漂移和自动调零的作用. 为了不影响仪器的灵敏度, 对每次调整的幅度作了限定. 此外, 数字控制信号也改变 IC5(9312W) 节点, 对补偿电压作必要的调整.

## 2.4 雨量无线传输子系统

雨量数据采集终端采集到雨量数据后, 通过 GSM (GPRS) 模块作为无线数据传输设备, 选择短消息业务或者 GPRS 业务来传输雨量数据. 采用国际标准的 TCP/IP 格式, 数据发送的过程中经过反复校验, 确保数据的正确无误. 对于 GSM 网或其他公网没有覆盖的地方, 采用微波通讯传输到有公网的地方上网.

## 2.5 山洪灾害监测中心信息处理平台

监测中心信息处理平台由 GSM (GPRS) 模块、RS232C 或 USB 转换器、声光报警设备、工业控制机等部分组成, GSM (GPRS) 模块接收各数据采集终端发来的雨量数据, 然后通过 RS232C 或 USB 接口传输到工业控制机, 由工控机对数据进行分析 and 处理并根据处理的结果显示相应的图表、发出预警、报警信号. 根据需要, 把报警信号分别发送到相关领导的手机、传呼机上, 以提醒领导注意灾害. 设置电话、手机查询接口, 方便查询. 同时, 中心备有数据储存子系统: 当主机停止工作 (停电、故障、关机) 时, 接收、储存前端传送来的数据, 确保数据不丢失. 中心计算机开机后, 自动读取储存子系统的数据. 监测中心数据流程见图 6

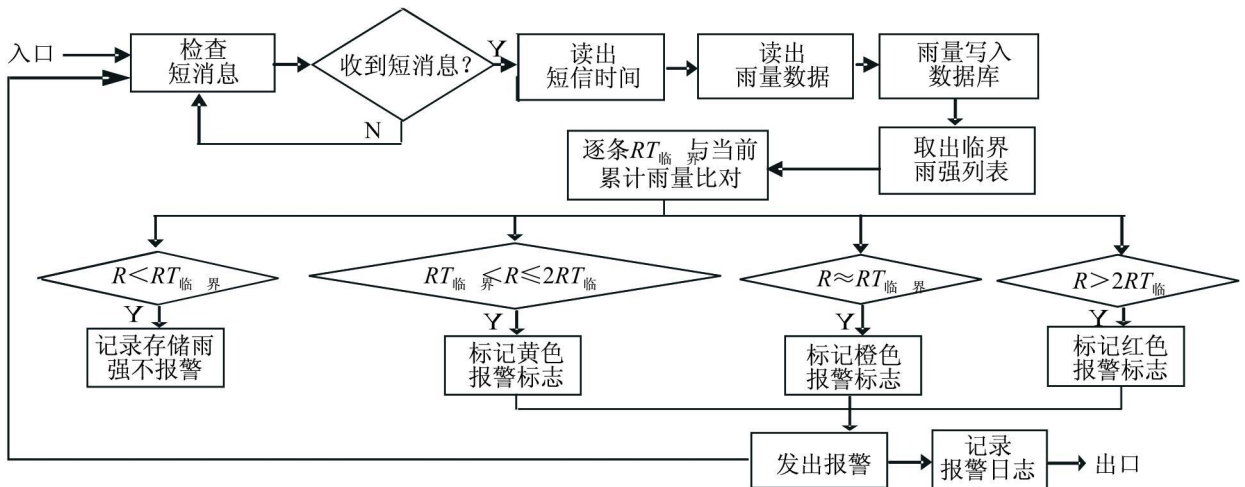


图6 监测中心数据流程图

Fig.6 Data flowchart in monitoring center

(下转第 37 页)



力增加,这就使得应力应变曲线的下降段变得较为平缓,混凝土的极限压应变得以提高,因而推迟了受压区混凝土的破碎,充分发挥了纵向钢筋的塑性变形性能,显著改善了构件的延性,提高了构件的承载力,这与箍筋的作用基本相同.同时从试验中可以看出,由于纤维布在其包裹范围内的连续使用,且直接约束最外层混凝土,所以它比箍筋的约束作用更为直接更加有效;约束机制如图 3 所示.

#### 4 结论

以有限元为基础,运用 ANSYS 软件对不同纤维材料约束钢筋混凝土轴心受压柱进行了非线性分析,并将分析结果与试验结果进行了对比,得出以下结论:

1)纤维布加固后柱的裂缝出现较晚,且发展缓慢;纤维布有效约束了混凝土的横向变形,使混凝土处于三向受压状态,推迟了混凝土的破碎,使纵向钢筋的塑性变形能得到充分发挥,改善了构件的延性和破坏形态,其中碳纤维布加固柱的性能改善更为显著.

2)纤维布包裹加固钢筋混凝土柱可明显提高柱的轴压承载力和极限应变,其承载力和极限压应变的提高随纤维布约束能力的增强而增加,即纤维布抗拉强度越高,加固效果越好.

3)碳纤维布加固柱的承载力和压应变的提高明显大于玻璃纤维布加固柱,在实际加固工程中,如经济条件许可,应尽量采用高强高弹的碳纤维布.

4)合理地选用有限元单元类型、材料模型和有限元计算模型,可以对纤维布约束钢筋混凝土结构的受压性能作准确的模拟,从而达到减轻试验工作量,提高工作效率的目的.

#### 参考文献:

- [1] 陆征新,江见鲸. Solid65 单元分析混凝土组合构件复杂应力 [J]. 建筑结构, 2003, 33(6): 22-24.
- [2] 惠军民,孙静,屈永照. 碳纤维布和玻璃纤维布加固柱的特性分析 [J]. 西安理工大学学报, 2003, 19(3): 261-264.
- [3] 赵彤,谢剑著. 碳纤维布补强加固混凝土结构新技术 [M]. 天津:天津大学出版社 2001.
- [4] 周志军,郭光玲. 纤维布包裹钢筋混凝土轴心受压柱有限元数值模拟 [J]. 四川建筑科学研究, 2006 32(4): 55-57

(上接第 28 页)

#### 3 结论

山洪灾害自动测报系统采用现代最新信息技术方法进行测报,可以改变传统的人工测报方法,在数据传输方面有所创新,是地形复杂地区进行山洪灾害自动预测的有效手段.此系统集成目前较为先进的科技资源,实现测报功能,具有科技减灾、保持当地经济持续增长和维护社会稳定的现实意义,有很强的推广和实用价值.

#### 参考文献:

- [1] 马东涛,张金山. 云南盈江滑坡泥石流山洪灾害成因及减灾对策 [J]. 灾害学, 2005, (1): 61-71.
- [2] 胡伯谦. 河北省诱发山洪灾害的临界雨量分析 [J]. 南水北调与水利科技, 2006(B06): 28-29
- [3] 王仁乔,周月华. 湖北省山洪灾害临界雨量及降雨区划研究 [J]. 高原气象, 2006(2): 330-334

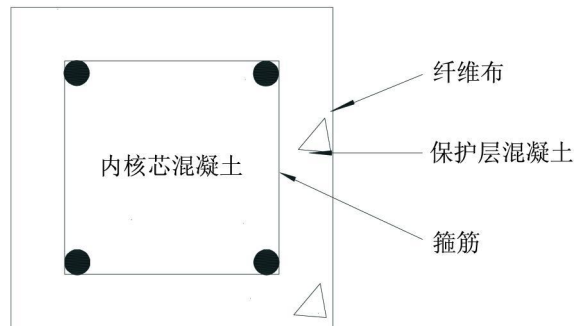


图3 约束机制示意图

Fig.3 Sketch map of FRP confined mechanism