

基于WEB的浙江省降雨型 滑坡预警预报系统

张桂荣,殷坤龙,刘礼领,谢剑明

中国地质大学工程学院,湖北武汉 430074

摘要: 滑坡发生的最主要诱发因素是降雨. 基于浙江省淳安、磐安、庆元和永嘉4个县的历史滑坡资料,在研究降雨量、降雨强度和降雨过程与滑坡灾害的空间分布、时间上的对应关系,建立起滑坡灾害时空分布与降雨过程的统计关系,确定区域性滑坡的临界降雨量和降雨强度阈值的基础上,开发出了降雨型滑坡预警预报系统,其中采用临界降雨量模型和有效降雨量模型来进行预警预报. 系统留给浙江省气象台一个传送数据的接口,气象台将每天按时上传降雨数据,数据保存在后台数据库 Microsoft SQL Server 中. 建成的系统能够自动获取数据库中的数据生成时间与降雨量实时曲线,当降雨量达到降雨强度阈值时,触发 MAPGIS 图件,在 Internet 上发布区域预警预报信息,并提供预警措施.

关键词: 浙江省;降雨型滑坡;有效降雨量;降雨阈值;预警预报;网络.

中图分类号: P642

文章编号: 1000-2383(2005)02-0250-05

收稿日期: 2004-07-12

Warning System for Rain-Induced Landslides Based on Internet in Zhejiang Province, China

ZHANG Gui-rong, YIN Kun-long, LIU Li-ling, XIE Jian-ming

Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: One of the main factors attributed to landslide causation is rainfall. On the basis of historic landslide information from Chun'an, Pan'an, Qingyuan and Yongjia, in east China's Zhejiang Province, this paper studies the relationship between rainfall, rain intensity, rain process, and the spatial distribution and time effects of landslides. Statistical connections between time, spatial distribution and precipitation are set up, and the critical rainfall and the threshold values of rain intensity are presented. Based on these, a warning system for rain-induced landslides is developed. In the system, the critical rainfall model and effective rainfall model were adopted for prediction, and an interface was provided for the Zhejiang Province observatory. The rain data will be uploaded to the server using this interface, and saved in a Microsoft SQL Server database. The data can be obtained automatically from the database to build a real-time curve between time and rainfall. When the rain intensity reaches the rainfall threshold values, a geo-hazards map will be triggered, prediction information will be released, and preventative measures will be provided via the internet.

Key words: Zhejiang Province; rain-induced landslide; effective rainfall; threshold values of rain intensity; prediction and warning; internet.

降雨,尤其是暴雨是滑坡活动最重要的触发因素. 中外历史资料表明,区域性的大、暴雨或久雨(历时 6~10 d,以大中雨为主并结合有小雨和暴雨,雨停时间间隔不超过 2 d)常常会引发大量滑坡(林孝松,2001). 降雨对滑坡作用的研究一直是学术界关注的难点之一,本文侧重于基于大气降雨的观测,研

基金项目:浙江省科学技术厅重大科技攻关招标项目(浙江省突发性地质灾害预警预报系统及应用示范研究项目);教育部博士点基金资助项目(No. 20030491004).

作者简介:张桂荣(1979-),女,地质工程专业博士研究生,主要研究方向是地质灾害预测预报与防治. E-mail: zhgr52971@sina.com

究降雨量、降雨强度和降雨过程与滑坡灾害的空间分布、时间上的对应关系,建立滑坡灾害时空分布与降雨过程的统计关系,确定宏观上的统计关系,以达到预警预报的目的。

地处亚热带湿润季风气候区的浙江省,年均降雨量平均在 1 100~1 900 mm,东南沿海和西南山区受台风影响和山地气流的抬升作用,降雨量可在 1 500~1 900 mm,局部地区可达 2 000 mm。一年中雨量分布也极不均匀,呈双峰型曲线:第一雨季在 3~6 月,包括 3~4 月的春雨和 5~6 月的梅雨,春雨 200~400 mm,梅雨达 300~600 mm,分别占年降雨量的 16%~23%和 25%~26%。第二雨季在 8 月底至 9 月底,为台风雨季节。表现为集中暴雨(10 d 左右),雨量可达 200 mm,占全年雨量的 10%~16%。降雨给滑坡提供了润滑剂和动力,是滑坡的自然诱发因子。在浙江,一般滑坡始发于春雨,暴发在梅雨,突发于台风暴雨(王深法等,2000)。

基于浙江省淳安、磐安、庆元和永嘉 4 个县的历史滑坡资料,根据浙江省的降雨特点,即主要有梅雨和台风暴雨 2 种形式,台风暴雨袭击的地区主要分布于浙江省东南部,而梅雨主要由内地带来,影响浙中西部。因此,本文将位于浙江省东南部的庆元和磐安归为台风影响区,将位于浙中西部的淳安和磐安归为非台风影响区,并建立不同区域、不同地质条件下的地质模型,然后运用统计方法分析区域地质—气象耦合关系,确定区域性滑坡的临界降雨量和降雨强度阈值,建立了区域滑坡灾害的宏观预警模型。

1 系统设计目标与要求

1.1 系统的研究目标

本系统的研究思路是在基于国产优秀地理信息软件平台 MAPGIS 系统上,构建浙江省降雨型滑坡预警预报系统平台,目标是在系统建成后可以在 Internet 网络平台上进行浙江省滑坡灾害信息浏览、查询,能够自动获取数据库中的数据生成时间与降雨量实时曲线,当降雨量达到临界降雨量时,触发 MAPGIS 图件,在 Internet 上发布区域地质灾害预警预报信息,并提供预警措施。另外用户还可以从 WWW 的任意一个节点浏览该集成系统站点中的地质灾害综合信息,并进行各种信息查询、浏览和处理,实现地质灾害信息的开放和共享。

系统设计要求:(1)具备跨平台和开放性,外界

用户无论使用何种操作系统和浏览器,只要能连上网络就能远程访问该系统;(2)具备易用性和交互性,界面友好,查询功能丰富;(3)系统扩展性强,便于数据的随时扩充和更新;(4)安全性好,用户虽然能访问和使用系统提供的数据信息,但若不具备一定的权限就不能在客户端存储这些数据。

用户界面主要用 Html 代码来编写,主界面为了表达清楚,通过表元素的组合如按钮、文本框、下拉列表框、复选框、表单等达到界面友好的效果,同时增强了可视性。通过组合 Html 脚本语言、C# 高级语言以及安装的 ActiveX 控件等一系列元素的使用可以带来交互性更强的人机界面。

1.2 系统的运行环境及配置

系统的开发是以 WEBGIS 软件为开发平台,系统运行包括浏览器与服务器 2 个方面,而且都与操作系统无关,可以跨平台运行。网络设备包括 HUB、路由器、交换机、硬件防火墙等。服务器端的设计比客户端复杂得多。它不仅要接受客户端的请求,还要负责 WEB 服务器与数据库服务器之间的通信。

另外,本系统服务器端运行在 Microsoft Window2000 操作系统上,GIS 平台选用 MAPGIS6.2,系统的网页页面制作工具选择的是 Microsoft Visual Studio. Net,编程语言采用的是 C#,网页数据库系统平台采用 Microsoft SQL Server,通过 ODBC 与后台数据库连接,WEB 服务器采用 Microsoft IIS 5.0,客户端使用 IE 浏览器来访问系统。

2 浙江省降雨型滑坡预测预报系统开发方法

地质灾害的实时预警预报技术主要是建立在地质灾害易发区成果基础之上的,以地质灾害的空间预测成果作为基础资料,并结合地质灾害产生的触发因素如降雨量预测与实时降雨过程资料、灾害点动态监测资料等建立相应的区域预测模型进行预测。对于降雨型滑坡,其预测方法就是在空间预测区划基础上叠加降雨量模型,进行区域实时预警。具体方法如下:

2.1 有效降雨量模型的确定

由于一次降雨并不一定会导致滑坡的发生,而每次降雨量中也只有部分对滑坡的发生起作用,累计降雨量显然不能作临界降雨量,因此,用一段时间

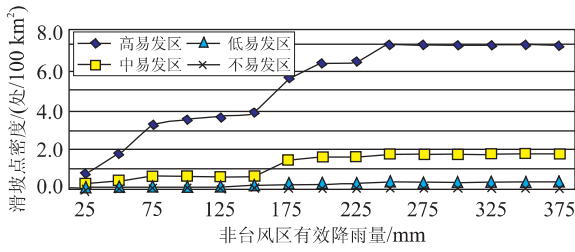


图 1 有效降雨量与滑坡点密度的关系曲线

Fig. 1 Curve of effective rainfall in non-typhoon zone and point density of landslides

的当天降雨量分别乘以有效降雨系数得到有效降雨量. 有效降雨系数的确定采用了幂指数形式.

$$R_e = R_0 + \alpha R_1 + \alpha^2 R_2 + \Lambda \alpha^n R_n \quad (1)$$

R_e : 有效降雨量; R_0 : 当天降雨量; R_n : n 日前降雨量; α : 有效降雨量系数; n : 经过的天数. 根据历史资料的统计分析, 对于非台风区的滑坡, 取 $\alpha = 0.8$ 来计算有效降雨量; 对于台风区的滑坡, 取 $\alpha = 0.7$ 作为有效降雨量系数, 计算有效降雨.

2.2 临界降雨量的确定

临界降雨量的大小与一个地区的滑坡土体结构、滑坡类型、规模、植被及当地常年降水量大小等因素有关. 根据浙江省的降雨资料滑坡点密度几乎都为 0; 地质灾害低易发区在降雨量较大时, 滑坡点密度才有所增大, 增幅较小; 地质灾害高易发区的滑坡点密度均大于其他易发区的滑坡点密度, 并且随着雨量的增加, 滑坡点密度逐渐增大; 中易发区的滑坡点密度略小于高易发区; 在非台风区, 在当日降雨量为 50 mm 和 130 mm, 有效降雨量为 150 mm 和 225 mm 时, 高易发区和中易发区滑坡点密度都有明显的增加, 曲线斜率明显增大; 在台风区, 在当日降雨量为 90 mm 和 150 mm, 有和历史滑坡相关资料, 无论在非台风区还是在台风区, 地质灾害不易发区在任何雨量情况下, 有效降雨量为 150 mm 和 225 mm 时, 高易发区和中易发区滑坡点密度都有明显的增加, 曲线斜率显著增大(谢剑明等, 2003). 据此根据这些阈值将预警等级划分为 3 个.

在表 1 中, 绿色预警区是指不进行预警预报的地区, 即不加强监测; 黄色预警区是指应加强对灾害点监测的地区, 采取一定的防范措施; 红色预警区是指应全天对灾害点进行监测, 直接受灾对象尤其是住户和人员在必要时应采取避让措施.

2.3 数据库的设计

由于在该系统中降雨数据量不是很大, 为了易

表 1 滑坡灾害预警区等级划分

Table 1 Early-warning grade

易发等级	降雨量危险性等级		
	低危险性	中危险性	高危险性
高易发区	不预警区	预警区	预警区
中易发区	不预警区	初步预警区	预警区
低易发区	不预警区	初步预警区	初步预警区
不易发区	不预警区	不预警区	不预警区

表 2 降雨量数据库

Table 2 rainfall database

字段名称	数据类型	说明
deliverer	文本	发送者
deliver-time	日期/时间	提交时间
place	文本	发送地点
raintime	日期/时间	降雨时间
rainfall	数字	降雨量
AxisX	数字	雨量观测站 X 坐标
AxisY	数字	雨量观测站 Y 坐标

于使用, 本数据库管理系统选用了安装、维护都比较简单 Microsoft Access 数据库, 程序通过 ODBC 和 ADO 操作数据库. 在降雨期间, 降雨数据通过降雨信息发布页面传送到数据库中. 数据库的格式设计如表 2 所示.

2.4 降雨信息的实时传递与接收方式

在浙江省降雨型滑坡的预测预报中, 降雨信息主要是通过浙江省气象台对省内各降雨量观测站的实时降雨记录信息进行采集、汇总、加工和预测, 并生成预测预报所需要的数据格式, 以图件、文本、数据库等形式上传至服务器, 其上传界面如图 2 所示. 降雨信息主要包括连续降雨量实测信息和连续降雨量预测信息—12 h、24 h、36 h(图 3, 4).

2.5 基于 WEBGIS 技术的降雨型滑坡预警预报网上发布

在网上发布体系中, WEBGIS 软件中的网络服务是整个系统的物质基础, 负责网络连接和网络的安全性, 保障数据在内部网和 Internet 上的正确传输. 系统采用客户机/服务器模式(C/S)作为 GIS 访问网络数据库的模式. C/S 结构通过平衡客户机/服务器间的数据通讯, 利用服务器的高性能处理复杂的关键性的应用, 降低网络数据流量, 并简化了客户端的应用运行环境, 降低了软件的维护费用. 在设计 WEBGIS 时从客户机、应用服务器和数据库服务器 3 个方面加以考虑(张怀莉, 2002).

该发布技术主要是利用地理信息系统、网络技



图 2 气象台降雨数据传送界面

Fig. 2 Upload interface of observatory's rain data

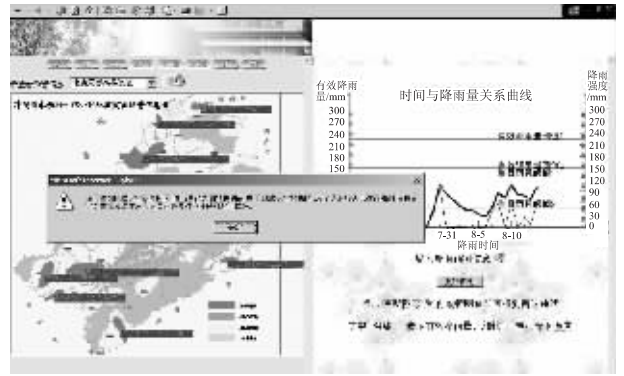


图 5 地质灾害预警预报信息网上发布界面

Fig. 5 Releasing interface on internet about the geo-hazards warning information

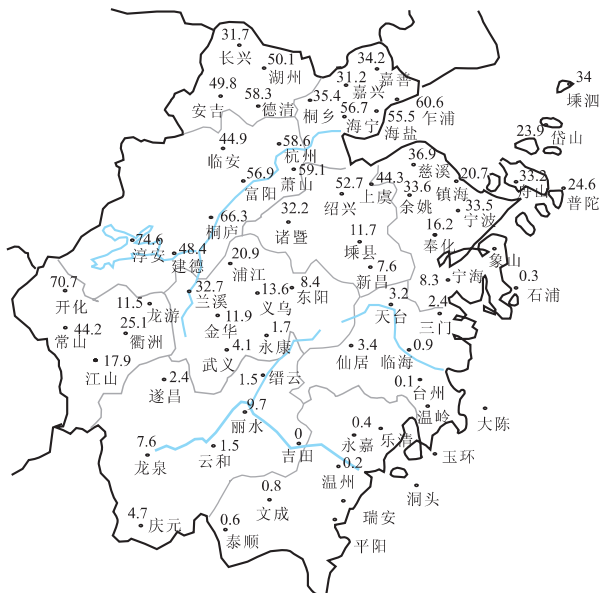


图 3 浙江省连续降雨实测信息(2003 年 06 月 27 日 08 时至 2003 年 06 月 28 日 08 时)日降雨量)

Fig. 3 Real information of continuous raining

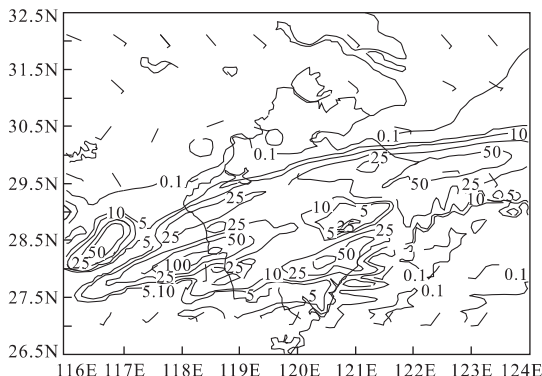


图 4 连续降雨量预测信息

Fig. 4 Predicting information of continuous raining

气象台将降雨数据上传到服务器,预警中心接收上传来的降雨数据并运用 GIS 技术对接收到的数据进行统计、分析,计算出有效降雨量以及累计降雨量并自动成图(图 5),根据生成的降雨量模型并结合已有空间预测信息,绘制出地质灾害预警信息分区图,然后运用 WEBGIS 技术进行网上发布(图 5).在 2003 年 6 月下旬的梅雨季节,结合浙江省气象台的降雨信息运用该系统对浙江省淳安县的地质灾害进行了初步预警.

3 结语

地质灾害实时预警预报是一项复杂的系统工程,该系统面临的是全新的信息化载体,因而这个项目对笔者而言是个大胆的尝试.在系统开发中,关键问题就是降雨量模型的构造与生成问题.任何模型方法都不是通用的,不同地区、不同时期滑坡地质灾害的形成条件存在着明显的差异性,加之随着对地质灾害问题认识程度的不断加深,预测评价方法也在不断的更新和完善,所以要求系统具有较强的模型建造能力,以便快速灵活的开发出适合研究区具体条件的应用模型.

另外,由于经费和时间的关系,笔者对降雨引起滑坡的机理并没有做深入研究.对滑坡而言,大气降雨主要影响滑坡体的含水量和容重,该影响具有一定的时间效应,同时滑坡滑带土的含水率对内摩擦角和内聚力均有一定的影响(李先华等,2001).因而如果可能可通过降水—滑体含水率—滑体容重,滑带土内摩擦角、内聚力以及它们与滑坡稳定系数的定量关系及其时间效应,建立起滑坡启动的速度、推

术以及实时降雨预报数据进行的.首先由浙江省气

力、方向、启动时间的预测、预报模型。这样由于综合考虑了多方面的因素,预测结果将更为有效。

References

Li, X. H., Lin, H., Chen, X. Q., et al., 2001. GIS aimed and numeric simulation of initiation mechanism of landslide due to precipitation. *Journal of Engineering Geology*, 9 (1): 133-140 (in Chinese with English abstract).

Lin, X. S., 2001. The study of landslide related to rainfall. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 18(4): 1-7 (in Chinese with English abstract).

Wang, S. F., Wang, Y. G., Hu, Z. Z., 2000. Actuality of hill sliding and its cause in mountainous region of Zhejiang Province. *Journal of Mountain Science*, 18(4): 373-376 (in Chinese with English abstract).

Xie, J. M., Liu, L. L., Yin, K. L., 2003. Study on threshold values of rainfall about landslide hazards for early-warning and prediction in Zhejiang Province. *Geologic Sci-*

ence and Technology Information, 22(4): 101-105 (in Chinese with English abstract).

Zhang, H. L., 2002. A web based on real estate information releasing system. *Engineering of Surveying and Mapping*, 11 (1): 28-31 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

李先华, 林琿, 陈晓清, 等, 2001. GIS 支持下降雨滑坡的启动机制研究与数字仿真. *工程地质学报*, 9(1): 133-140.

林孝松, 2001. 滑坡与降雨研究. *地质灾害与环境保护*, 18 (4): 1-7.

王深法, 王援高, 胡珍珍, 2000. 浙江山地滑坡现状及其成因. *山地学报*, 18(4): 373-376.

谢剑明, 刘礼领, 殷坤龙, 2003. 浙江省滑坡灾害预警预报的降雨阈值研究. *地质科技情报*, 22(4): 101-105.

张怀莉, 2002. 基于 WEBGIS 的房地产信息发布系统. *测绘工程*, 11(1): 28-31.

(上接 249 页)

Mallik, A. U., Lamb, E. G., Rasid, H., 2001. Vegetation zonation among the microhabitats in a lacustrine environment; Analysis and application of belowground species trait patterns. *Ecological Engineering*, 18: 135-146.

Naito, K., Fukahori, Y., Peiming, H., et al., 1995. Oxygen and carbon isotope zonations of wall rocks around the Kamioka Pb-Zn skarn deposits, central Japan; Application to prospecting. *Journal of Geochemical Exploration*, 54: 199-211.

Robion, P., Kissel, C., Lamotte, D. F., et al., 1997. Magnetic mineralogy and metamorphic zonation in the Ardennes

massif (France-Belgium). *Tectonophysics*, 271: 231-248.

Sarkar, A., Guha, A. K., 1997. Pleistocene paleoclimatic zonation in northern Indian Ocean as revealed from Globorotalia Menardii abundance. *Indian Journal of Marine Sciences*, 26: 84-87.

Wogelius, R. A., Fraser, D. G., Wall, R. T., et al., 1997. Trace element and isotopic zonation in vein calcite from the Mendip Hills, UK, with spatial-process correlation analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61: 2037-2051.

(上接 214 页)

and evolution of petroliferous basins on the southeast side of the Altun fault belt. *Geological Review*, 49(3): 277-285 (in Chinese with English abstract).

——来自与同构造生长锆石 U-Pb SHRIMP 定年证据, *地质论评*, 47(3): 315-316.

任纪舜, 1997. 中国及邻区大地构造图. 北京: 地质出版社.

赵澄林, 季汉成, 胡爱梅, 等, 2002. 敦煌盆地群侏罗系石油地质研究. 北京: 石油工业出版社.

赵文智, 何登发, 范士芝, 2002. 含油气系统术语、研究流程与核心内容之我见. *石油勘探与开发*, 29(2): 1-7.

郑孟林, 曹春潮, 李明杰, 等, 2003. 阿尔金断裂带东南缘含油气盆地群的形成演化, *地质论评*, 49(3): 277-285.

附中文参考文献

陈开远, 孙爱霞, 杜宁平, 等, 1998. 成油体系中的层序地层学. *石油与天然气地质*, 19(3): 221-226.

程克明, 1994. 吐哈盆地油气生成. 北京: 石油工业出版社.

李海兵, 杨经绥, 许志琴, 等, 2001. 阿尔金断裂带的形成时代