

## 区县级滑坡灾害预测预报系统研究与应用\*

易静<sup>1</sup>, 徐永进<sup>2</sup>, 杨世琦<sup>3</sup>, 刘灿<sup>4</sup>

(1. 重庆市气象学会, 重庆 401147; 2. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715;  
3. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 4. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047)

**摘要:** 滑坡灾害是危害最为严重的地质灾害之一, 防治这种地质灾害最有效的途径是对其进行预测预报。为了较好地预测预报滑坡灾害, 通过对滑坡灾害危险等级区划模型进行深入研究分析, 采用滑坡有效降水引发的滑坡灾害危险区划模型, 运用 GIS 二次开发方式设计实现了区县级精细化滑坡预测预报系统, 完成了滑坡灾害危险等级区划结果预测及滑坡灾害信息管理。该系统以文本、图片的方式, 通过电视、广播、互联网、远程 Web 访问、手机短信服务等多种渠道向公众发布当日及未来 3 日可能发生危险滑坡等级, 提供应对措施等有效参考信息, 也为当地政府部门制订防灾、减灾措施等提供科学的决策依据。

**关键词:** 滑坡灾害; 地理信息系统; 数据库; 模型预测; WebGIS

**中图分类号:** P694

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6693(2013)02-0030-04

滑坡灾害是自然环境的一部分, 是仅次于地震灾害和洪水灾害的一种严重自然灾害<sup>[1-2]</sup>。中国是一个滑坡灾害发生十分频繁且灾害损失极为严重的国家, 尤其是大型灾难性滑坡, 它们往往具有规模大、机理复杂、危害大、防治难度高等特点<sup>[3]</sup>。目前对于滑坡灾害防治, 主要是根据滑坡危险等级分布图对滑坡危害程度大的区域加强监测和整治, 预防灾害的发生。受经济和技术条件的制约以及滑坡灾害发生频率之大、范围之广, 人类不可能对所有滑坡灾害点都进行全面的工程治理。防治滑坡灾害最有效的途径是对其进行预测预报, 使得人们能够在灾害可能发生度高的情况下, 提前做出应对策略, 将危害程度降至最低。

地理信息系统(GIS)以其强大空间分析功能、图形图像处理 and 空间数据管理功能, 在滑坡灾害危险性评价中的研究, 已逐渐成为国际上的热点科学研究之一<sup>[4]</sup>。利用 GIS 对滑坡的各种信息进行综合管理, 与 GPS、RS 等滑坡监测技术手段结合, 可以实现滑坡预报全过程的数据采集、分析评价、可视化表达等各种功能。

滑坡灾害的发生是多种因素综合的结果, 其发生不仅取决于灾害发生点的地质和地貌特点, 同时还由多种诱发因素引起, 而其中降水又是主要的诱发因素<sup>[5]</sup>。采用区县级高精度地面高程数字模型(DEM)

进行区域滑坡灾害危险等级预报, 将滑坡灾害危险等级结果和灾害事件发生点等因素与降水预报结果相结合, 生成新的因降水因素而诱发的滑坡灾害危险等级预报结果, 并将结果通过网络或手机短信等方式向公众发布, 使公众能够及时地了解自身所在地当日及未来 3 日可能发生危险滑坡等级, 进而做好相应的预防工作, 降低滑坡可能带来的危害。本文将基于此理论依据进行区县级精细化滑坡预测预报系统的研究和应用。

### 1 区县级精细化滑坡灾害预测模型

#### 1.1 滑坡灾害易发程度等级区划模型

证据因子权重法是进行滑坡灾害危险等级区划研究的方法之一, 其主要处理流程如图 1 所示。首先, 选取所处区域的岩性、土地利用类型、路网密度、断裂带密度、水系密度、地形坡度等一系列和滑坡灾害相关的证据因子; 其次, 根据实地情况以及参考专家意见等方法对选取的证据因子进行条件独立性删减; 再次, 根据删减后的证据因子结合历史滑坡灾害点分布, 进行各证据因子的权重赋值; 把各证据因子进行加权累计得到的滑坡灾害危险度空间分布状况, 分级得到最终的滑坡灾害危险性区划成果。

该模型得到的滑坡灾害危险等级结果, 为常态下

\* 收稿日期: 2012-02-06 修回日期: 2012-10-17 网络出版时间: 2013-03-16 13:37

资助项目: 科技部公益性行业科研专项“强降雨诱发山体滑坡、泥石流气象预报报警技术”(No. 201006040); 国务院三峡办三峡工程生态与环境监测系统(No. sx2009-004); 重庆市科技攻关计划项目(No. 2009AC0125)

作者简介: 易静, 女, 工程师, 研究方向为气象知识推广与科普宣传, E-mail: 252689344@qq.com

网络出版地址: [http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20130316.1337.201302.30\\_007.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20130316.1337.201302.30_007.html)

的滑坡灾害危险等级区划分布情况,对于一些突发的自然因素(如降雨、干旱等)、人为因素(采矿等)等所引发的地质滑坡灾害危险性不能及时准确地反映,对可能发生的滑坡灾害无法预测预报。

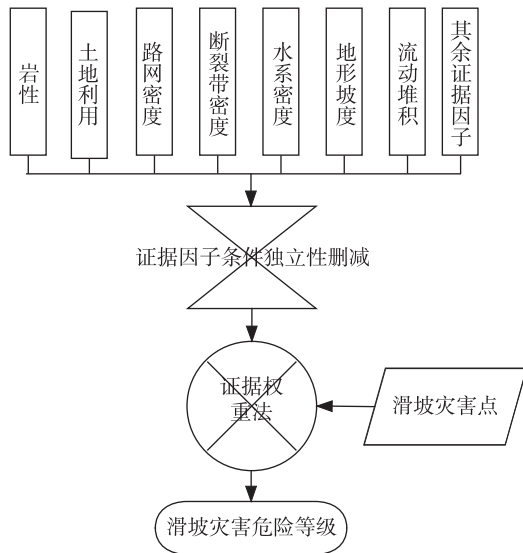


图 1 证据因子权重法流程图

Fig. 1 Flowchart of evidence factor weights method

### 1.2 基于滑坡有效降水量的滑坡灾害危险等级模型

随着气象预测预报技术的进步,对降水尤其是强降水已经可以做出较为准确的预报。对于因降水引起的滑坡地质灾害也变得成为可能,周国兵、马力<sup>[6-7]</sup>等因强降水诱发滑坡灾害进行了相关研究,指出降水对滑坡灾害的诱发作用不仅取决于当日降水而且与前期降水量有关,需要考虑滑坡发生之前数日内的降水量对本次滑坡贡献的累积降水量,即滑坡有效降水量。用滑坡有效降水量和滑坡灾害危险等级区划与实际滑坡个例进行拟合分析,最后得出了有效降水量和滑坡灾害发生之间的拟合关系。(1)、(2)、(3)式分别为滑坡高、中、低易发区的有效降水量权重计算公式。其中, $x$ 为滑坡发生前第几天,如滑坡当天, $x=0$ ,滑坡前一天, $x=1$ ,以此类推。 $f(x)$ 表示滑坡前第 $x$ 天的降水量对滑坡的贡献率。最终,得到滑坡有效降水的计算公式为(4)式所示<sup>[7]</sup>。

$$f(x) = 51.7 \exp(-1.03x) + 1.94 \quad (1)$$

$$f(x) = 61.98 \exp(-1.32x) + 1.53 \quad (2)$$

$$f(x) = 63.78 \exp(-1.4x) + 1.53 \quad (3)$$

$$R = \sum_{x=0}^n R_x (f(x)/100) \quad (4)$$

根据区域内各台站的滑坡有效降水量,对其进行降水分布空间化处理<sup>[8]</sup>,最后得到所在区域内各格点的有效滑坡降水数据。

### 1.3 滑坡有效降水引起的滑坡灾害危险等级确定

周国兵、马力<sup>[5]</sup>根据滑坡有效降水量计算(4)式,

计算了含滑坡当天近 10 日的有效降水状况,结合实际气象业务应用经验,得出滑坡等级定义,确定出不同风险区内的有效降水滑坡等级预报指标(表 1)。

表 1 不同地质灾害易发分区内滑坡预报分级指标<sup>[7]</sup>

Tab. 1 Classification index in high, middle and low-prone area

滑坡等级	滑坡概率	临界有效降水量 $R/\text{mm}$		
		高易滑区	中易滑区	低易滑区
一级	<35%	$R < 5$	$R < 10$	$R < 15$
二级	35%~50%	$5 \leq R < 15$	$10 \leq R < 20$	$15 \leq R < 30$
三级	50%~80%	$15 \leq R < 30$	$20 \leq R < 40$	$30 \leq R < 80$
四级	80%~90%	$30 \leq R < 55$	$40 \leq R < 60$	$80 \leq R < 95$
五级	$\geq 90\%$	$R \geq 55$	$\geq 60$	$\geq 95$

根据滑坡有效降水来确定滑坡灾害危险等级区划(图 2),对国家气象局每天下发的不同数值预报模式的降水预报产品进行 TS 评分,选择近期评分结果最好的模式生成各台站的降水预报数据,并存储到系统数据库;采用高精度的所在区县 DEM 数据、台站的地理位置数据及台站近 10 日内的降水实况数据,通过滑坡有效降水空间化分布处理生成整个区域内的所有滑坡有效降水,滑坡有效降水和滑坡灾害危险等级区划叠加,根据不同地质灾害易发分区内滑坡预报分级指标,确定各处的滑坡危险等级,最终生成因为降水而引起的滑坡灾害危险等级区划预报产品。

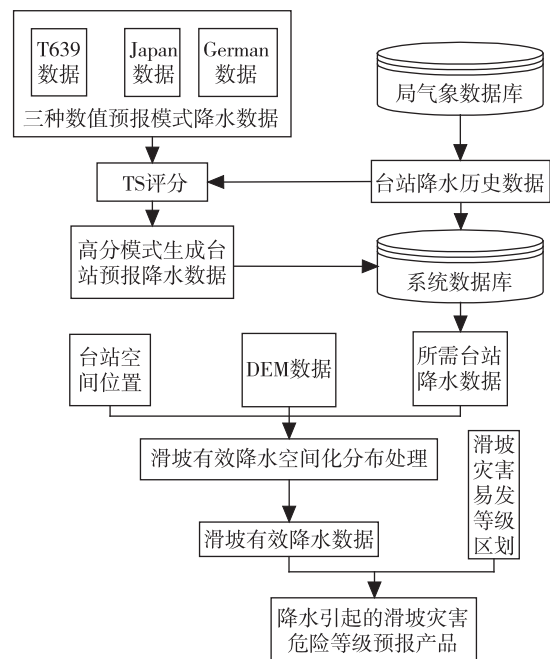


图 2 滑坡有效降水滑坡危险等级区划流程图

Fig. 2 Technical approach of the landslide disaster risk rating

## 2 滑坡预报系统组成和基本功能

基于上述理论模型,笔者以 ArcGIS Engine 9.2

SDK For. Net 为 GIS 二次开发平台,以 Microsoft. Net 平台下的 C# 作为开发语言, ArcIMS 9.2 作为 WebGIS 发布平台,采用 GeoDatabase 和 MS SQLServer 2005 作为系统数据库存储平台,采用插件式设计<sup>[9]</sup> 框架设计实现了 C/S 和 B/S 混合结构的区县级精细化滑坡灾害预测预报系统。

根据面向对象程序设计理念,以理论模型为系统核心,数据流程为设计路线,实际工作流程为分析导向,系统划分为数据输入与输出、系统设置、滑坡灾害预报、降水评分、三维浏览查看、系统工具、网络发布等功能模块,其中滑坡灾害预报和网络发布为系统的核心模块,系统工具则主要包括区划产品渲染美化、气象数据更新等方面的功能,三维浏览查看模块提供三维地形模式下的滑坡危险分布情况,以便于用户更好地确认预报结果。

系统结构原理如图 3 所示,局域网服务器主要存储台站降水数据库、DEM 等地理空间数据库,同时也完成数据库向远程服务器请求获取所在区域台站的历史降水数据;局域网客户端完成整个系统的滑坡灾害分析和将结果发布到 Web 网络服务器的功能,使得远程用户能够通过各种网络终端访问预报灾害结果,并据此采取相应措施,减少可能带来的危害;除此之外,系统还能够通过和居民点等信息叠加分析生成文字预报结果,当危险等级高的时候,通过手机短信平台或电视传播等手段向公众发布信息,使系统发挥更大的作用。

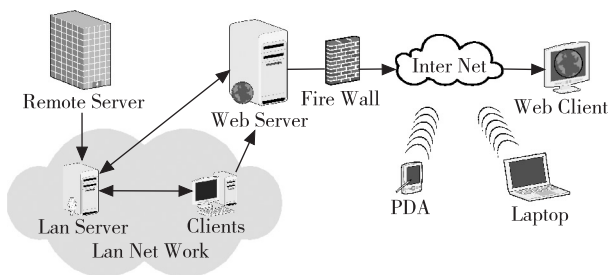


图 3 滑坡灾害预报系统结构图

Fig. 3 Architecture of landslide disaster forecast system

### 3 系统应用

重庆市黔江区地处四川盆地周山地区域,地质构造复杂,属新华夏构造体系,北东方向展布褶皱断裂明显,地形地貌受地质拼迭的控制,山脉走向多与构造线方向一致,气候方面为典型的山地气候,四季分明雨量充沛,灾害性气候频发,为山地滑坡灾害高发区。由黔江区气象局提供相应的地质岩性、土地利用、DEM 和水系等数据,笔者采用证据因子权重法以 Arc-GIS9.3 为工具,进行了基于地质条件的滑坡危险等级区划,后又开发实现了区县级精细化滑坡灾害预测预报系统。系统使用此区划成果和黔江区内所有气象观测台站的降水记录及预报降水等数据,运用前文所述的滑坡有效降水引发的滑坡灾害危险等级区划模型完成了根据日常降水预报进行滑坡灾害危险预报。

该系统已在重庆市黔江区运行使用,它基于精细化的前期降水观测及近期降水预测,提供黔江区街道、村社级别的滑坡地质灾害预警产品,可以预报区域空间内任意点(分辨率达到  $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ )的滑坡危险等级。当滑坡危险等级较高时,以电视、广播、互联网、远程 Web 访问、手机短信服务等多种渠道发布预警信息,提高了黔江地区滑坡地质灾害气象预报的准确率和精细化程度,提升了地质灾害气象决策服务能力。同时,它改变了传统的滑坡预报模式,使滑坡灾害预报做到了日常化、精细化、立体化,图 4 为该系统部分展示图,从左到右依次为系统主界面、三维浏览图、互联网客户端界面。目前,精细化滑坡预测预报系统经过修改升级,已经在重庆其他 9 个区县推广使用。

### 4 结论

本文在对滑坡灾害预测理论模型分析的基础上,采用 GIS 二次开发的方式开发实现了区县级精细化滑坡预测预报系统,并在重庆市黔江区得到了实际应用。结果表明,GIS 为滑坡灾害预测预报提供了可靠的技术支持,尤其在预报结果精细化方面,具有其他技

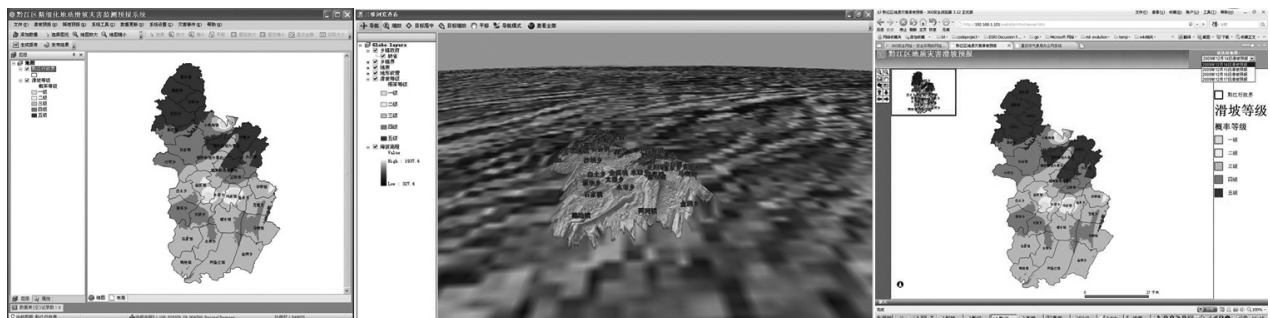


图 4 系统展示图

Fig. 4 Landslide analysis result of system

术无法比拟的优势;利用 GIS 强大的空间分析和空间数据管理功能,采用现有的各种滑坡灾害预测理论模型中的适宜模型,进行程序建模分析处理,结合已有网络化信息化条件,将得到的预报结果向公众及时发布,是减少滑坡灾害带来损失的有效方法。

目前,预测预报模型的多样化、区域间地质气象条件差异化等因素可能在系统移植方面引起误差,在系统的推广、本地化方面还有很多工作需要开展,这也将是下一步研究的重点。

#### 参考文献:

- [1] Liu Y H, Ge Q S, Wu W X. Risk management—Challenge in New Century [M]. Beijing: Weather Press, 2005.
- [2] Malone A W, Huang R Q. Slope safety and landslides risk management [J]. Journal of Mountain Science, 2000, 18 (02): 187-191.
- [3] 黄润秋, 许强. 中国典型灾难性滑坡[M]. 北京: 科学出版社, 2008.  
Huang R Q, Xu Q. Catastrophic landslides in China [M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [4] 楚敬龙, 杜加强, 滕彦国, 等. 基于 GIS 的重庆市万州区滑坡灾害危险性评价[J]. 地质通报, 2008, 27(11): 1876-1881.  
Chu J L, Du J Q, Teng Y G, et al. Landslide hazard evaluation for Wanzhou District, Chongqing City, China, using GIS [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27 (11): 1876-1881.
- [5] 马占山, 朱蓉, 张强. 三峡库区强降水的数值模拟及其在滑坡灾害预报中的应用[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 318-326.
- Ma Z S, Zhu R, Zhang Q. Numerical simulation of severe precipitation in Three-gorge Reservoir area and its application to landslide forecast [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(6): 318-326.
- [6] 马力, 游扬声, 缪启龙. 强降水诱发山体滑坡预报[J]. 山地学报, 2008, 26(5): 583-589.  
Ma L, You Y S, Miao Q L. The research of landslip forecast reduced by strong precipitation [J]. Journal of mountain science, 2008, 26(5): 583-589.
- [7] 周国兵, 马力, 韩余. 基于地质灾害易发程度分区的滑坡预报模型[J]. 山地学报, 2009, 27(4): 466-470.  
Zhou G B, Ma L, Han Y. The research of landslide forecast model based on the subarea of easily to produce geological disaster [J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27(4): 466-470.
- [8] 陆忠艳, 马力, 缪启龙, 等. 起伏地形下重庆降水精细的空间分布[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(3): 408-412.  
Lu Z Y, Ma L, Miao Q L, et al. Fine spatial distribution of precipitation on Chongqing rugged terrain [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2006, 29(3): 408-412.
- [9] 蒋波涛. 插件式 GIS 应用框架的设计与实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.  
Jiang B T. Design and implementation of GIS plug-in application framework [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009.

## Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

### Study and Application of Landslide Forecast System in District Level

YI Jing<sup>1</sup>, XU Yong-jin<sup>2</sup>, YANG Shi-qi<sup>3</sup>, LIU Can<sup>4</sup>

(1. Chongqing Meteorological Society, Chongqing 401147;

2. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715;

3. Chongqing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147;

4. School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

**Abstract:** Landslide is one of the most serious geological disasters, and the most effective way to prevent landslide disaster is forecast. In this paper, landslide disaster regionalization model induced effective precipitation is used in analyzing in-depth landslide disaster risk rating regionalization models, and implemented landslide disaster refinement forecast system in district level based on GIS secondary development approach. The main function of system is to achieve the result of landslide disaster risk rating forecast and landslide disaster information management. The forecasting results obtained by the system can provide a scientific basis for the local government departments such as planning measures on prevention and mitigation disaster. While the forecasting results are also published to the public, which can help the public take response timely and reduce losses.

**Key words:** landslide; GIS; database; model forecast; WebGIS

(责任编辑 欧红叶)