

吉林敦化泥石流灾害区域预警系统研究

张熠斌¹, 刘传深¹, 王立春¹, 朱宝臣², 齐斌², 宋金红³

(1. 吉林省地质环境监测总站, 吉林 长春 130021; 2. 敦化市国土资源局, 延边 敦化 133700;
3. 吉林农业大学 资源与环境学院, 吉林 长春 130118)

摘要: 本文通过总结前人关于地质灾害预报预警的研究, 选取敦化地区近 10 年来发生灾害的泥石流沟为例, 基于功效系数法, 建立了一套地质环境条件与气象因素相耦合的泥石流预报预警流程, 并基于 GIS 技术, 运用 C++ 和 VB 语言编码, 设计开发了敦化典型泥石流地质灾害自动预警系统。系统以地质环境条件、前期有效降雨量和当日降雨量为综合评价对象, 能较准确预测泥石流发生概率, 预报精度较高; 多线程、XML 和组件式软件开发等技术的应用, 提高了系统自动预警的速度, 增强了系统的灵活性、重用性和开放性, 便于维护。

关键词: 泥石流; 功效系数法; 自动预警系统; 吉林敦化

文章编号: 1003-8035(2012)04-0011-05

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

0 引言

目前, 针对泥石流等地质灾害的预报预警, 大多基于从灾害发生的降雨条件入手, 采用人工神经网络法、灰色理论、可拓学、回归分析法等理论, 对泥石流灾害进行预报预警^[1-4]。

上述方法大多只以降雨量作为研究对象, 没有考虑诱发泥石流地质灾害发生的植被覆盖率、沟谷松散物储量、山坡坡度和流域面积等诸多因素, 且只能对泥石流沟作整体研究, 在单一泥石流沟的预报预警方面, 预测精度往往不高。泥石流的发生除受降水条件限制外, 地质环境条件对泥石流的发生与否影响也较为重要^[5-6]。因此, 建立基于地质环境条件与气象因素相耦合的泥石流预报预警模型是十分必要的, 开发相应的预报预警软件系统也是当务之急。

功效系数法^[7,8]在多目标规划的基础之上, 可对多个指标从不同侧面进行综合定量分析与评价, 并为各指标确定上限(满意值)和下限(不允许值), 计算各指标的单项功效系数值, 再经加权计算总功效系数值, 进而评价被研究对象的综合状况。该方法能较客观的预测泥石流发生概率, 预报精度较高。

1 功效系数法预报预警

敦化市地质环境条件较为复杂, 地质灾害较为发育。根据县(市)地质灾害调查与区划成果, 全市共发育地质灾害点 160 处, 主要类型为泥石流、崩塌, 威胁人口 2000 余人, 威胁资产 2389.50 万元。每年汛期受降雨影响, 地质灾害频繁发生。本文选取敦化境

内四条典型泥石流沟为研究对象, 建立了基于功效系数法的预报预警流程。泥石流沟特征见表 1。

表 1 敦化典型泥石流沟特征表

Table 1 Characteristics of Dunhua typical debris flow

灾害点名称	植被覆盖率 (%)	松散物储量 (10 ⁴ m ³ /km ²)	山坡坡度 (°)	流域面积 (km ²)	相对高差 (m)
松江河村泥石流	20	3.0	30	0.40	150
于家上村泥石流	30	3.0	35	0.25	130
三道沟村泥石流	25	2.2	30	1.00	170
小东沟泥石流	30	3.0	40	0.50	130

1.1 前期有效降雨量

根据敦化泥石流发生特点及实际监测情况, 选取当天及前三天的降雨量作为雨量值分析数据。由于地表径流、水分蒸发等因素的影响, 使得进入岩土体的雨量小于实际记录雨量, 即前期降雨量不能全部对泥石流的发生产生影响, 故在分析降雨量时, 采用前期有效降雨量的概念。所谓前期有效降雨量, 是指前期降雨进入岩土体并一直滞留至研究当天的雨量。国外学者对此已作过相应的研究^[9], 并提出了经验公式:

$$P_z = \sum_{i=1}^n k^i p_i \quad (1)$$

式中: P_z ——前期有效降雨量;

收稿日期: 2012-07-27; 修订日期: 2012-09-03

作者简介: 张熠斌(1983—), 男, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事地理信息系统开发、地质环境信息化方面的研究工作。

E-mail: zhybxmsur@163.com

P_i ——第 i 日降雨量;
 k ——降雨影响常数,一般取 0.7~0.8。

1.2 功效系数法预报预警基本原理概述

(1) 评价指标等级划分

本文选取敦化地区境内四处较为典型的泥石流沟为研究对象,按《泥石流灾害防治工程勘查规范》

中的相关规定为依据,以泥石流沟的沟谷松散物储量(C)、山坡坡度(E)、前三天有效降雨量(F)、植被覆盖率(G)、相对高差(H)、流域面积(I)、当日降雨量(J)为评价指标,并对上述评价指标统计分析。建立了预警等级与评价指标之间的关系,并确定了评价指标的满意值和不允许值(表2)。

表2 评价指标与预警等级关系及满意值和不允许值

Table 2 The Relationship of evaluation and warning grade, and satisfaction and not allowed value of evaluation							
预警等级	C(10 ⁴ m ³ /km ²)	E(°)	F(mm)	G(%)	H(m)	I(km ²)	J(mm)
I	<1	<15	<60	>60	<60	<0.10	<30
II	1~3	15~25	60~80	45~60	60~80	0.1~0.5	30~50
III	3~5	>45	80~100	30~45	80~100	0.5~1.0	50~70
IV	5~7	25~32	100~120	15~30	100~120	1.0~1.5	70~100
V	>7	32~45	>120	<15	>120	>1.5	>100
满意值	7	32~45	120	15	120	1.5	100
不允许值	上限	-	55	-	-	-	-
	下限	1	15	60	60	0.1	30

(2) 单项功效系数

在表2所示的泥石流预警评价指标体系中,沿沟松散物储量、前三天有效降雨量、相对高差、流域面积和当日降雨量的单项功效系数值按式(2)计算:

$$g1_i = \begin{cases} \frac{x_i - x_{ni}}{x_{yi} - x_{ni}} \times 40 + 60, x_i < x_{yi} \\ 100, x_i \geq x_{yi} \end{cases} \quad (2)$$

植被覆盖率的单项功效系数值按式(3)计算:

$$g2_i = \begin{cases} \frac{x_i - x_{ni}}{x_{yi} - x_{ni}} \times 40 + 60, x_i > x_{yi} \\ 100, x_i \leq x_{yi} \end{cases} \quad (3)$$

山坡坡度的单项功效系数值按式(4)计算:

$$g3_i = \begin{cases} \left(1 - \frac{x_{\min} - x_i}{x_{\min} - x_{n\min}}\right) \times 40 + 60, x_i < x_{\min} \\ 100, x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max} \\ \left(1 - \frac{x_i - x_{\max}}{x_{n\max} - x_{\max}}\right) \times 40 + 60, x_i > x_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

式(2)、(3)、(4)中, $g1_i$ 、 $g2_i$ 、 $g3_i$ 为单项功效系数。 x_i 、 x_{yi} 、 x_{ni} 分别为第 i ($i=1,2,\dots,m$) 个评价指标的实际值、满意值、不允许值。 $x_{\min}$ 、 $x_{\max}$ 、 $x_{n\min}$ 、 $x_{n\max}$ 分别为下限值、上限值、上限不允许值、下限不允许值。

(3) 总体功效系数

被评价对象的总功效系数值按式(5)计算:

$$G = \sum_i^m g_i \times \omega_i \quad (5)$$

式中: G ——总功效系数;
 g_i ——单项功效系数;
 ω_i ——权重系数。

(4) 最优组合赋权理论确定权重

权重系数是评价指标重要程度的一个量化标准,量化值越大,说明评价指标的重要程度越高,它的合理性将直接影响泥石流预报预警的准确与否。最优组合赋权理论以多个对象的多个属性为研究对象,且在多个决策参与者组成的群决策模型下,将几种单一模型的权重进行协调取优的一种方法^[10-11]。本文将偏好比率法和熵值法进行优化组合,以求实现权重的确定满足主观判断以及客观分析的组合最优化。

(5) 预警等级划分

参照文献^[12]的相关研究,将总功效系数值作为判别泥石流等级的主要依据,并以此划分了如表3所示的泥石流预警等级判别表。

表3 泥石流预警等级划分表

Table 3 Warning classification value of debris flow			
预警等级	总功效系数值	灾害发生的可能性	等级
I	≤60	很小	一级
II	60~70	较小	二级
III	70~80	较大	三级
IV	80~90	大	四级
V	≥90	很大	五级

2 自动预警系统设计与开发

系统基于GIS技术、多线程技术、数据库和XML

等技术,实现了降雨量的实时监控和泥石流灾害的自动预报预警,设计合理,运行稳健。

2.1 实时气象数据获取

敦化市国土资源局和敦化市气象局联合在 18 个地质灾害易发区建立了 26 个区域自动气象监测站,并开发了敦化市地质灾害气象预警服务系统,以便实时获取气象信息,更好的监测地质灾害。区域自动监测站通过移动通讯公司的通用分组无线服务技术(GPRS),定时发送数据到气象局内部 SQL 数据库,完成气象数据的实时更新。敦化市国土资源局通过建立虚拟专用网络连接,借助客户端程序,访问气象局内部数据库,获取各种气象信息。自动预警系统通过监测由气象平台生成的降雨文件,实时获取各灾害点的降雨量值。

2.2 开发环境和系统结构

本文选用 MapGIS 为地理信息系统平台,运用 C# 和 VB 编码。按照系统聚散程度和耦合程度,结合组件式软件开发相关技术要求,先后设计开发了工作空间控件(Work Space Ctl)、地图操作控件(Map Operation Ctl)、空间查询控件(Spatial Query Ctl)、降雨量实时监测控件(Rain Monitor Ctl)、泥石流预报预警控件(Debris Flows Warning Ctl)和数据管理控件(Data Management Ctl),各控件之间可通过接口互相通信。最后在 .Net 环境下集成了系统应用。图 1 为系统组织结构图。



图 1 系统组织结构图

Fig. 1 Graphic of system framework

2.3 数据组织和预报预警

系统通过扫描监控目录,实时获取气象平台生成的降雨文件,根据降雨文件特征,自动获取当日降雨文

件、前一天降雨文件、前两天降雨文件和前三天降雨文件。为了避免系统下次启动时,重新遍历监控目录,加快系统数据处理速度,将获取的降雨文件组织为 XML 文件(预警降雨 XML 文件),同时,将降雨量值写入 MDB 数据库,以便系统对数据进行综合管理。完全获取某一泥石流沟的当日降雨量、前一天降雨量、前两天降雨量和前三天降雨量后,系统执行自动预警。当预警等级达到三级、四级或五级时,系统自动发出警报声,相应的易发区(或灾害点)开始闪烁,并调用群策群防数据库,搜索并获取群策群防员和灾害点等相关信息,供决策者参阅。图 2 为系统流程图。

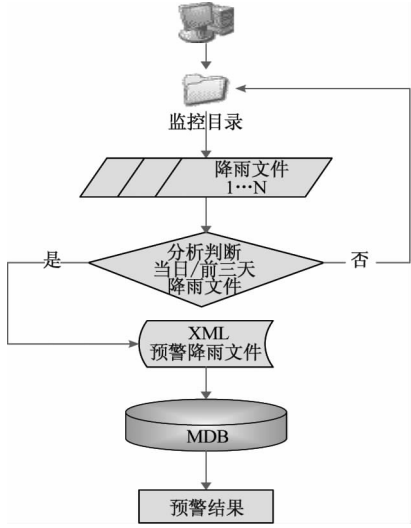


图 2 系统自动预警流程图

Fig. 2 Automatic Warning Flow Chart of System

2.4 系统集成

在完成系统架构和控件开发的基础上,在 .Net 环境下集成了系统,系统主界面由菜单、工具栏、图层管理面板、降雨文件监控面板、实时预报面板和地图视图窗口组成(图 3)。系统具备实时降雨文件监控、自动预测预报、图形参数和属性编辑、信息查询、评价指标数据管理、预警文件管理等功能。在地图视图窗口中,既可实时查看灾害点周围当日气象信息,又可查看各灾害点和易发区详细信息,当系统检测到有新的降雨文件生成时,更新地图视图窗口中的区域自动气象监测站的气象信息,并执行自动预警。

对于预警等级评价标准和各评价指标权重值,系统采用动态参数调配的策略,可通过系统提供的设置对话框进行自定义设置,以加强系统的可靠性;对于各评价指标实际值及其满意值和不允许值,可通过评

价指标管理功能进行自定义设置,以加强系统的实用性。

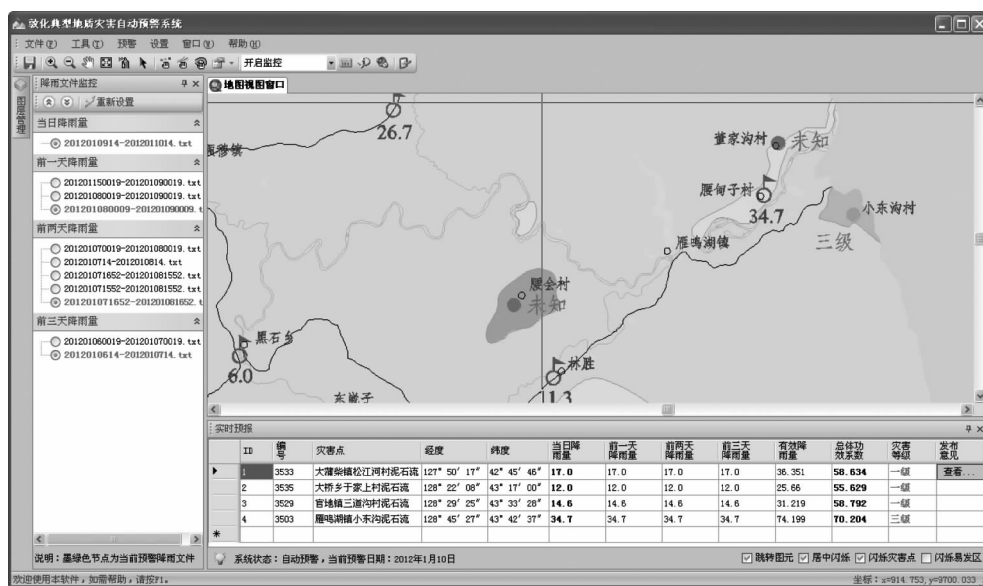


图3 系统主界面

Fig. 3 Main dialog of system

3 结束语

本文基于 GIS 技术和组件式软件开发等技术,结合功效系数法,设计并开发了敦化典型泥石流地质灾害自动预警系统,系统设计合理,运行稳健,预警精度较高。

(1) 功效系数法以多目标规划原理为基础,可对多个指标从不同侧面进行综合定量分析与评价,能较客观的反映泥石流发生的概率,预测精度较高。

(2) 自动预警系统与气象平台的有机结合,使气象信息监测和地质灾害自动预报预警一体化,提高了用户体验;在地质灾害易发区分布图上实时更新区域自动气象监测站获取的气象信息,体现了“一张图”的理念。

(3) 采用多线程、XML 文件等技术,加快了系统自动预警的速度;预警等级评价标准、评价指标等相关参数的动态配置,在一定程度上,提高了系统预警的准确度;基于组件式技术进行开发,增强了系统的灵活性、重用性和开放性,便于系统维护。

参考文献:

- [1] 白利平,王业耀,龚斌,等.基于托理论的泥石流灾害预警预报系统开发:以北京市为例[J].现代地质,2009,23(1):157-163.

BAI Liping, WANG Yeyao, GONG Bin, et al. Development of the debris flow forecasting system based on extension theory: A case study of Beijing [J]. Geoscience, 2009, 23(1): 157-163.

- [2] D Amboise D, Gregorio S D, et al. A first simulation of the Samo debris flows through cellular automata modeling [J]. Geomorphology, 2003, 54: 97-117.

- [3] CAI Wen. Extension theory and its application [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(17): 1538-1548.

- [4] Farinin R J, Rollerson T P. Debris flows: some physical characteristics and behaviors [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1993, 30: 71-81.

- [5] 刘传正. 突发性地质灾害的监测预警问题 [J]. 水文地质工程地质, 2001, 28(4): 1-4.

LIU Chuangzheng. Study on the early warning of the abrupt geo-hazards [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2001, 28(4): 1-4.

- [6] 刘传正. 中国地质灾害区域预警方法与应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2009.

LIU Chuangzheng. Regional Warning Methods and its application of geo-hazards in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.

- [7] 徐佳, 张勤, 吴继敏. 功效系数法在确定岩体优势面中的应用 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2008, 36(4): 538-541.

XU Jia, ZHANG Qin, WU Jimin. Application of efficacy coefficient method to determination of rock preferred

- structural plane[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2008, 36(4): 538 – 541.
- [8] 孟凡其. 基于 GIS 的泥石流预测预报[D]. 吉林大学, 2011.
- MENG Fanqi, Prediction of debris flow based on GIS[D]. Jilin University, 2011.
- [9] Bruce J P, Clark R H. Introduction to hydrometeorology [M]. London: Pergamon Press, 1969: 252 – 270.
- [10] Wei Q L, Yan H. A method of transferring polyhedrom between the intersection-form and the sum form. Computers and Mathematics with Applications, 2001 (41): 1327 – 1342.
- [11] 王明涛. 确定组合预测权系数最优近似解的方法研究. 系统工程理论与实践, 2000, 20(3): 104 – 109.
- WANG Mingtao. Study on method of calculating optimal approximate solution about weight coefficients of combined forecasting methods [J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2000, 20(3): 104 – 109.
- [12] 王迎超, 尚岳全, 孙红月, 等. 基于功效系数法的岩爆烈度分级预测研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(2): 529 – 534.
- WANG Yingchao, SHANG Yuequan, SUN Hongyue, et al. Study of prediction of rockburst intensity based on efficacy coefficient method [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(2): 529 – 534.

Study on regional warning system for debris flows in Dunhua city of Jilin province

ZHANG Yi-bin¹, LIU Chuan-shen¹, WANG Li-chun¹, ZHU Bao-chen², QI bin², SONG Jin-hong³

1. Jilin Institute of Geological Environment Monitoring, Changchun 130021, China;

2. Dunhua Bureau of Land and Resources, Dunhua 133700, China;

3. College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun, 130118, China)

Abstract: This paper summarizes the previous research on geological disasters, chooses the debris flow that happened in recent 10 years of Dunhua as experimental data, proposes a method for forecasting and warning of debris flows about geological environment condition and meteorological factors based on the efficacy coefficient method, and using C# and VB to code, designs and develops an automatic warning system for typical debris flows of Dunhua city based on GIS. The system, with the geological environment condition, antecedent effective rainfall and the daily rainfall as the comprehensive evaluation object, can objectively forecast the debris flow occurrence probability, with high prediction accuracy. Based on the multi thread technology, XML technology and component technology, it improves the speed of automatic warning system, increases flexibility, reusability and openness of the system, and is easy to maintain.

Key words: debris Flows; efficacy coefficient method; automatic warning system; Dunhua city in Jinlin province