

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.01.024

基于 GIS 空间分析技术的云南省地质灾害 气象风险预警系统

王裕琴, 杨迎冬, 周翠琼, 晏祥省
(云南省地质环境监测院, 云南 昆明 650216)

摘要: 本文分析了云南省地质环境条件、降雨与地质灾害的关系, 将影响地质灾害的因素分为控制因素和诱发因素, 并按地质环境背景条件差异将全省划分为 11 个预警区, 建立了特定地质环境条件下地质灾害气象风险预警模型, 使预警精度达乡镇级。在此基础上, 应用 GIS 空间分析技术开发研制了云南省地质灾害气象风险预警系统, 并于 2014 年汛期投入业务正式运行, 结果表明该模型的应用极大地提高了云南省地质灾害风险预警水平。

关键词: 地质灾害气象风险预警; 模型; GIS 空间分析; 云南省

中图分类号: P694; P66

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)01-0134-04

Meteorological early warning of geo-hazards system in Yunnan province based on GIS spatial analysis

WANG Yuqin, YANG Yingdong, ZHOU Cuiqiong, YAN Xiangsheng
(Yunnan Institute of Geo-Environment Monitoring, Kunming, Yunnan 650216, China)

Abstract: This paper analyzes the relationship of geological conditions, rainfall and geological disasters in Yunnan province. The influence factors of geo-disaster are divided into control factors and induced factors. And according to the differences of geological environment background conditions the main land of Yunnan is divided into eleven regions. Meteorological early warning of geo-hazards model was developed by different geological conditions to making the accuracy reach township-level. Based on the research work, applying with advanced GIS spatial analysis techniques, the geo-hazards meteorological early warning system of Yunnan province was successfully set up and run in 2014. After been used for a year, it shows that the use of the model has improved the level of early warning of geo-hazards in Yunnan province.

Keywords: meteorological early warning of geo-hazards; model; GIS spatial analysis; Yunnan province

0 引言

2003 年以来, 国家、省级和部分市(州)先后开展了地质灾害气象风险预警业务。第一代国家级地质灾害预警系统是将全国划分预警区, 研究建立了区域临界降雨量等级判据模式图的预警预报方法; 第二代国家级预警系统提出了全面考虑地质灾害发育度、潜势

度、危险度及危害度的“N 度”的分析方法^[1-2]。四川省将对影响地质灾害的地质环境因素进行概率量化处理, 结合气象因子建立了综合预警模型。云南省提出考虑地质灾害周期性、地质灾害易发性、降雨、地震叠加的地质灾害预报方法^[3]。贵州、福建等省按地质环境分区从气象角度开发研究了考虑降雨特征量的预警方法^[4-5]。江西采用了降雨特征与地质环境条件叠加

收稿日期: 2014-10-11; 修订日期: 2014-11-29

第一作者: 王裕琴(1984-), 女, 重庆梁平人, 工程师, 硕士, 地图学与地理信息系统, 现在主要从事水工环地质工作。E-mail: wangyuqin1894@163.com

建立地质灾害-预警预报模型的方法^[6]。浙江省研究开发了基于GIS和神经网络的地质灾害预警系统^[7]。温州市以近似于点状的行政村为预警单元,通过分析其发生滑坡地质灾害潜在能力的大小与灾害发生的降雨阈值,建立预警系统^[8]。国家和省级地质灾害预警预报系统大多是宏观的面状预警,通常因预警单元较大、降水数据精度低等限制,预警精度不高。随着地质环境调查程度和气象部门降水量数据在时空精细化程度的不断提高,省级地质灾害气象预警迎来新的发展机遇。笔者依托云南省地质灾害调查与区划综合研究成果划分地质灾害预警区,利用精度达乡镇级的降水数据构建特定地质环境条件下的地质灾害气象风险预警模型,以提高地质灾害气象风险预警精度。

1 云南省地质灾害气象风险预警模型

通过对发生的地质灾害、降雨等资料的分析,崩塌滑坡泥石流灾害发生的原因是地质环境条件、降雨、人类工程活动等因素的相互交织,自然与社会因素相互叠加的结果。地质灾害系统是一个复杂的开放系统和耗散体系,具有高度非线性和复杂性,其系统行为具有非确定性和突发性^[9]。

在诸多因素中,地形、岩土体类型、活动断裂等为控制性因素,对地质灾害的分布、形成、发展起着控制性作用。降雨、人类工程活动、地震为诱发因素。本文将影响地质灾害的因素归纳为控制因素和诱发因素。控制因素有表征地质环境条件的地形、岩土体类型、活动断裂、水网密度、构造及人类工程活动;云南省降雨诱发型地质灾害约占90%,因此将降雨作为诱发因素来考虑。

1.1 滑坡泥石流灾害与地质环境的关系

本文在总结前人研究成果的基础上进一步深入研究,提出以下几点看法。

1.1.1 滑坡泥石流与地形地貌

(1)崩塌滑坡泥石流主要发育于海拔500~2500 m区域,3000 m以上分布数量少;其中1000~2500 m区域内滑坡最为集中,占滑坡总数的86%。

(2)云南省地貌以元阳河谷和云岭山脉一线为界,可将全省分为滇东高原盆地区、滇西山峡谷区,根据地貌特征细分地貌亚区。不同地貌区灾害发育分布特征不同。

1.1.2 崩塌滑坡泥石流与岩土体类型

岩土体作为地质灾害的活动主体,是地质灾害产生的物质基础,岩土体类型、性质、结构及构造特征对

地质灾害的形成发育产生重要影响。薄-中层状极软-较硬含煤砂岩、泥岩岩组易发生塑性变形破坏导致滑坡泥石流灾害;块状坚硬片麻岩、混合岩、变粒岩岩组由于风化层厚,容易沿强/弱风化界面产生滑动;中-厚层状强岩溶化较硬-坚硬灰岩、白云岩岩组中滑坡泥石流地质灾害很少发生。

1.1.3 崩塌滑坡泥石流与地质构造

构造控制着地形地貌及大地构造分区并进一步影响微地貌和岩土体类型,从而影响地质灾害的发育。活动性断裂构造密集的区域,岩土体破碎,斜坡较为陡峻,较易发生地质灾害。

1.1.4 崩塌滑坡泥石流与地震

云南省地震活动频繁,地震发生的同时,常常诱发滑坡、崩塌和地裂缝等次生地质灾害,同时导致岩土体破碎,斜坡物质失稳,为泥石流提供大量物质来源。

1.1.5 崩塌滑坡泥石流与水系密度

云南省地质灾害与水系关系比较密切,地质灾害沿河流两侧呈带状分布,山区河流两侧一般为交通要道,人类工程活动对岩土体产生扰动,加剧地质灾害的形成。

1.2 降雨与崩塌滑坡泥石流灾害的关系

云南具有“一山分四季、十里不同天”的气候特征,小尺度单点性强降水经常发生^[8]。依据最新的气候区划,云南大致可分为北热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带、温带和高原气候带等6个气候带。因气候类型不同,不同区域降雨时空分布特征差异明显,对地质灾害的诱发作用不同。

云南省降雨与地质灾害关系具有以下几个特点:

(1)降雨对地质灾害发育发生具有明显的分带特征,不同区域诱发地质灾害的临界雨量差异明显。

(2)在降雨发生当天及前几天,大部分地质灾害的发生都会伴随有降雨的发生,并且规律性非常明显。因此,短时强降雨对地质灾害具有明显的诱发效应。

(3)将滑坡、崩塌和泥石流灾害发生当天、前3 d、前5 d、前7 d、前10 d、前15 d的累计有效降雨情况进行统计分析,结果表明累计有效降雨量随时间推移与地质灾害相关性逐渐减弱,前7 d累计有效降雨量与地质灾害相关性较明显。

1.3 地质灾害预警区划

通过对地质环境条件、气候特征、地质灾害发育特征等分析,对云南省进行预警区域划分,将全省划分为11个预警区:哀牢山地区、大理丽江地区、大盈江地区、滇东北地区、滇南地区、滇西北地区、滇中高原湖盆

区、滇中红层地区、金沙江中下游地区、临沧地区、文山岩溶地区。不同预警区域,对降雨量诱发地质灾害的敏感程度不同,因此根据预警区特征设置不同的降雨阈值;不同预警区,地质环境条件因子对地质灾害敏感性不同,因此根据预警区特征设置因子权值。

1.4 地质灾害气象风险预警模型

(1) 地质灾害敏感性指数

在不同的地质环境背景条件下,由控制因素影响发生地质灾害的可能性差异用地质灾害敏感性指数(Z)表示,根据云南省滑坡泥石流形成机理及特点,选取与崩滑流地质灾害密切相关的地形地貌、地震、水网密度、岩土体类型、构造、人类工程活动共 6 个因子,用信息量模型^[10]来计算地质灾害敏感性指数,计算公式如下:

$$Z = \sum_{i=1}^6 \alpha_i M_i$$

$$M_i = \sum_{j=1}^k \frac{A_{ij} P_{ij}}{A}$$

式中: Z ——地质灾害敏感性指数;

α_i ——第 i 因子权值,主要反映各因子对地质灾害影响的相对重要性;

M_i ——某一评价单元第 i 个评价因子对地质灾害发育的综合影响值,反映各因子对地质灾害发育影响的作用大小,采用信息量法计算。

(2) 降雨诱发指数

本文引用了岳建伟^[4]等在地质灾害预警预报及信息管理系统应用研究中提出的前期累计降雨量对地质灾害影响的降雨诱发指数计算方法。根据云南省降雨与地质灾害关系特征,将有效累计降雨天数修正为 7 d,选取当日降雨量,1 d、3 d、5 d、7 d 累计有效降雨量为特征值,设置降雨阈值。参考李铁峰等在哀牢山地区的研究成果, α 取值 0.75。

① 特征天累计有效降雨量

$$R_e = R_0 + \alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2 + \cdots + \alpha_n R_n$$

式中, R_e 为有效雨量, R_0 为当天预报降雨量, R_n 为前第 n 日降雨量。

② 降雨诱发指数(R) 计算

降雨诱发指数是根据各降雨特征指标临界值(当日降雨量,1 d、3 d、5 d、7 d 累计有效降雨量)与各降雨特征指标实际值关系计算。

$$R_i = (m - 1) + \frac{R_r - R_l}{R_n - R_l}$$

$$R = \max(R_i)$$

式中, m 为降雨特征指标实际值所处临界值区间对应的预警级别, R_r 为降雨特征指标实际值, R_n 为降雨特征指标实际值所处临界值区间的上限, R_l 为降雨特征指标实际值所处临界值区间的下限。

(3) 地质灾害气象风险预警单元

按云南省气象局预报雨量网格划分方法将全省划分为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 网格单元。

(4) 气象风险预警指数

气象风险预警指数(H) = 地质灾害敏感性指数(Z) $\times$ 降雨诱发指数(R)。

(5) 地质灾害气象预报预警等级划分

地质灾害气象预报预警级别按全国统一要求划分为 5 级,根据预警指数计算结果,进行预警级别划分。

2 地质灾害气象风险预警系统实现

2.1 基于 WebGIS 的地质灾害预警系统的设计

云南省地质灾害气象风险预警系统基于 GIS 空间分析技术和 WebGIS 技术,实现对地质灾害数据、雨量数据、地图数据进行存储与集成管理、预警分析等,系统包含预警分析子系统、雨量管理子系统、灾害数据管理子系统、地图管理子系统。预警分析流程:首先导入地质环境背景因子,设置各预警区因子权值,通过 GIS 空间分析计算地质环境敏感指数;然后对各预警区设置降雨量临界值雨量,导入前 7 d 及预报降雨量,计算出当日地质灾害降雨诱发指数,再计算预警指数并按划分的预警等级,对预警结果进行分析,最后发布预警产品(图 1)。

2.2 地质灾害气象风险预警系统特点

云南省人民政府确定的地质灾害防治“以防滑坡泥石流为主、以预测预报为主、以灾前避让为主”的“三为主”方针,突出了地质灾害预报预警对地质灾害防治的重要性。2011 年 8 月 26 日,云南省国土资源厅与云南省气象局签订了《深化地质灾害气象预警预报工作合作协议》。从如何利用好现有资源为地质灾害防灾减灾服务为出发点,研发了云南省地质灾害气象风险预警系统。该系统具有以下特点:

(1) 系统预警单元为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 网格,精度可达乡镇级,且预警精度可以随气象局雨量站加密而提高,提升了云南省地质灾害气象风险预警水平。

(2) 系统模型中因子权值、降雨阈值等参数可根据预警结果反馈情况和地质灾害发生机理研究结果进行调整,预警方法具有可优化性。为后期雨量数据加密后分析地质灾害与降雨量、地质环境条件的关系提

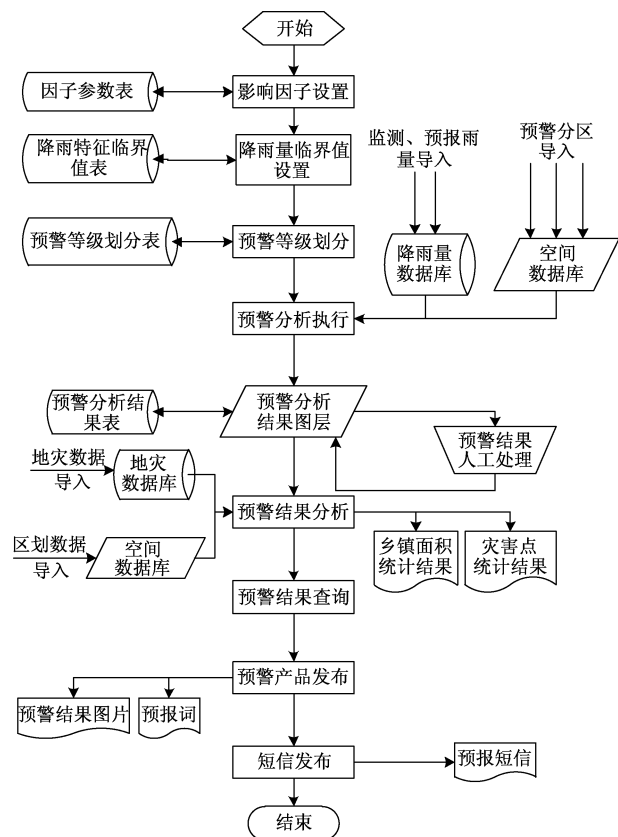


图1 预警分析流程图

Fig.1 Flow chart of early warning analysis

供模型优化接口,提高模型的实用性和可靠性。

(3)系统应用关系数据库 SQLServer 管理属性数据,用 MAPGIS K9 的空间数据库管理空间数据,数据管理方式更加安全、高效。

(4)通过对州(市)级行政区划内地质环境条件对地质灾害的控制作用特征、降雨对地质灾害的诱发特征研究,构建适合各州、市的预警区划及降雨阈值,本模型方法及预警系统具有可推广性。随着气象部门雨量监测站网及监测手段迅速提高,州(市)国土资源部门承担辖区内地质灾害气象风险预警预报将成为新的发展方向。

3 地质灾害气象风险预警成果检验

系统于 2013 年汛期试运行,通过新老系统预警结果对比、地质灾害灾情信息反馈,不断调整、修正模型因子权值及降雨阈值。2014 年系统投入正式运行。对 2014 年汛期大型以上地质灾害灾情所在预警区域进行统计,在 3 级预警区的地质灾害约占 60%、在 2 级预警区的约占 30%、另外 10% 大型以上地质灾害未在预警区内。新系统在缩小预警面积、减少空报的同

时提高了成功预警率。

4 结语

通过分析地质环境背景条件对地质灾害的控制作用特征和降雨对地质灾害的诱发作用特征,构建云南省地质灾害气象风险预警模型,并开发了应用系统。系统投入正式使用并取得良好的效果。本模型和系统还可推广到州、市应用,通过构建适合各州、市的预警区划及降雨阈值,可为各级国土资源管理部门提供更高精细度的地质灾害气象风险预警成果。

参考文献:

- [1] 刘传正,刘艳辉,温铭生,等. 中国地质灾害区域预警方法与应用[M]. 北京:地质出版社,2009:11-23.
LIU Chuazheng, LIU Yanhui, WEN Mingsheng, et al. Method and application of regional warning for geo-hazards in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009:11-23.
- [2] 刘传正,温铭生,唐灿. 中国地质灾害气象预警初步研究[J]. 地质通报, 2004, 23(4): 303-308.
LIU Chuazheng, WEN Mingsheng, TANG Can. Meteorological early warning of geo-hazards in China based on raining forecast[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(4): 303-308.
- [3] 张红兵. 云南省地质灾害预报预警模型方法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(1): 40-42.
ZHANG Hongbing. A model used for geological hazard prediction in Yunnan province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(1): 40-42.
- [4] 陈百炼,杨胜元,杨森林,等. 基于 GIS 的地质灾害气象预警方法初探[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(4): 93-96.
CHEN Bailian, YANG Shengyuan, YANG Senlin, et al. A case study on the meteorologic early warning of geological hazards based on GIS [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(4): 93-96.
- [5] 陈百炼,帅士章. 贵州省地质灾害气象预警系统[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3): 111-118.
CHEN Bailian, SHUAI Shizhang. The meteorologic early-warning system of geological hazards in Guizhou province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(3): 111-118.

(下转第 144 页)