

## 地质灾害气象预报预警方法研究

肖伟<sup>1</sup>, 黄丹<sup>2</sup>, 黎华<sup>3</sup>, 崔振昂<sup>4</sup>, 蒙格平<sup>5</sup>

- (1. 国家地质实验测试中心, 北京 100037; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;  
3. 中国科学院广州地球化学所, 广东 广州 510640; 4. 中国地质大学计算地球化学实验室, 湖北 武汉 430074;  
5. 北京市大兴区水资源局, 北京 102600)

**摘要** 地质灾害的诱发因素包括自然因素和人为因素。人为因素主要与人类工程活动有关。在一定的地质地形条件下, 自然诱发因素则主要是降雨。因此在确定的地质环境背景下, 研究气象和地质灾害发生的耦合关系极其重要。本文通过总结前人关于地质灾害预报预警的研究, 提出了一套完整的应用降雨对地质灾害进行预报预警的方法体系。

**关键词** 地质灾害; 气象预报预警; 信息量模型; 临界降雨指标

自然灾害是指造成人员伤亡、财产损失的各种自然现象。地质灾害属于自然灾害中的一个重要灾种, 是岩石圈在各种地质营力作用下, 发生的一系列灾害性地质作用(或地质事件), 包括地震、滑坡、泥石流、火山喷发、地面塌陷和沉降等。许多地质灾害是因人类活动和气象环境的变化产生的, 其发生具有区域空间上的规律性和时间上的突发性特点。因此, 一次大的区域性地质灾害的发生, 其后果往往十分严重。我国是世界上地质灾害最严重的国家之一, 在过去的近20年时间内, 造成百人以上死亡的重大地质灾害事件在我国几乎年年发生。今后, 随着人类活动, 尤其是人类工程活动范围和规模的不断扩大, 地质灾害的次数和可能性必将有增加的趋势, 给社会带来的危害也必将增大。现在大量的研究和事实表明, 大多数地质灾害的发生是由于降雨诱发或直接触发生产生的, 而现有的气象预报的准确度明显优于地质灾害的预报, 因此根据气象资料预测预报地质灾害在理论上和实际上都是切实可行的。地质灾害的气象预报预警是地质灾害防灾的关键环节, 所以进行地质灾害气象预报预警的研究是极其重要和必要的。本文所指的地质灾害是指由于降雨诱发生产生的区域群发型突发性地质灾害: 滑坡、泥石流、崩塌。

### 1 地质灾害气象预报预警的合理性

地质灾害的发生是一个由多种自然因素和人为因素共同作用下从缓变到突变的过程, 但在一定的地质

结构特征及环境条件下, 降雨是地质灾害发生的最主要的诱发因素。降雨本身的预报不仅在准确度比滑坡预报的准确度高得多, 而且预报方法也简单得多(主要借助于天气预报成果)。因此我们可以从降雨这一诱发地质灾害的主要和关键的自然因素入手, 在充分考虑地质灾害发生的各种内在因素以及人工活动这一外在因素的同时, 精心研究降雨变化规律和地质灾害发生的关系, 建立各种地质环境背景下降雨过程与地质灾害的耦合模型, 进而确定各种地质环境下地质灾害发生的降雨指标, 最后通过气象资料对地质灾害进行预报预警。

### 2 地质灾害预警的类型

地质灾害气象预警可分为时间预警、空间预警和强度预警<sup>[1]</sup>。地质灾害空间预警是在地质灾害调查与区划基础上, 比较明确地划定非确定时间内地质灾害将要发生的地域或地点及其危害性大小, 主要适用于群发型地质灾害。地质灾害的时间预警是在空间预警的基础上针对某一具体地域或地点(单体), 给出地质灾害在某一种(或多种)诱发因素作用下将在某一时段内或某一时刻将要发生的预警信息。空间预警基于地质灾害的主要控制因素(如地层岩性、地质结构、地貌形态等)和诱发因素(如降雨、地震、人为活动)开展工作, 控制因素是基本条件, 诱发因素在不同地区或同一地区的不同地段常常表现出极大差异<sup>[1]</sup>。时间预警基于预警区域的地质环境状况、诱发因素发生范围与强

度及其持续时间等开展工作。地质灾害强度预警是指对地质灾害发生的规模、暴发方式、破坏范围和强度等做出的预测或警报,是在时空预警基础上做出的进一步预警<sup>[1]</sup>。

### 3 地质灾害气象预报预警的思路和方法

地质灾害气象预报预警的思路是:①以地质灾害大调查的资料为基础,利用“3S”技术(RS+GIS+GPS),配合野外地质灾害调查,确定该区域各种地质灾害位置、类型、数量、大小、强度及其影响范围,完成基础资料的收集。②根据调查的结果,结合该区域的地质特征,选取影响地质灾害的自然因素和人为因素,建立基于GIS的地质灾害信息系统,编制相应的空间数据库和图层,主要包括地质灾害空间数据库、各种地质灾害点分布图、地形地貌图、地质图、工程地质岩土类型图、地质构造形迹图、降雨分布图、植被分布图、人类工程活动图等。③对该区域的地质灾害与各影响因素进行相关分析,确定“最佳因素组合”,建立相应的数学模型,根据数学模型进行定量计算,生成该区域的地质灾害区划图。④在地质灾害区划图的基础上,根据历史的资料确定各地灾区分地质灾害与气象因素的关系,进而得出各地灾区分地质灾害发生的临界降雨指标。⑤确定地质灾害气象预警预报的等级。⑥根据气象预报确定的降雨范围、降雨持续时间、降雨强度和各地灾区分地质灾害的临界降雨指标来预警预报该区域的地质灾害。地质灾害气象预报预警的思路和方法如图1。

#### 3.1 地质灾害调查

利用“3S”技术结合野外地质调查确定该区域的各种地质灾害的位置、数量、大小、强度。对单个地质灾害具体调查它的地层岩性、坡度结构、结构面组合特征、可能构成崩塌或危岩体的边界条件、坡体异常、可能的影响因素(如降雨、人类工程活动等)以及附近人口、经济状况<sup>[2]</sup>。暴雨往往是诱发地质灾害的直接因素。一般地,暴雨多呈面型分布,由其引发的地质灾害也多表现为区域性,且多形成地质灾害链。为此,采用传统的调查方法,不仅因面积大难以做到实时性,也难以保证真实性和准确性。相反,“星载雷达技术”能穿透云雨,不受气候条件影响。利用该技术可以实时、准确地开展突发性地质灾害调查<sup>[3]</sup>。地质灾害的发生主要受制于地层岩性、构造展布、植被覆盖、地形地貌以及降水强度等要素。遥感技术有宏观性强、时效性好、信息量丰富等特点,不仅能有效地监测、预报天气状况,进行地质灾害预警,研究查明不同地质地貌背景下

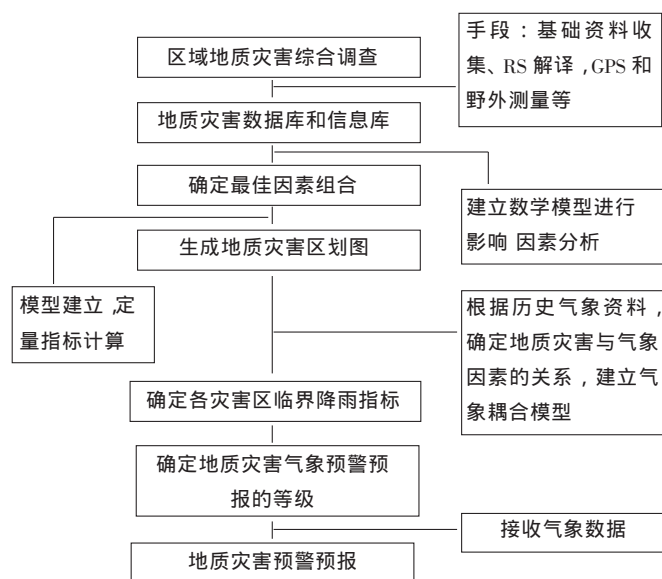


图1 地质灾害气象预报预警流程图

Fig. 1 The flow chart of geo-hazard early warning based on weather forecast

地质灾害隐患区段,同时能对突发性地质灾害进行实时或准实时的灾情调查、动态监测和损失评估<sup>[3]</sup>。因此我们可以利用“3S”技术结合野外地质调查进行地质灾害调查,其方法为首先根据预报预警区域范围和现有的地质灾害调查成果选择合适比例尺的遥感信息源(全色图像、多光谱图像、雷达图像等)、地形地貌图、地质图,然后进行几何校正和统一的地理编码,接着根据现有的辅助资料对该区域的地质灾害进行目视和计算机解译,最后结合野外地质调查最终确定该区域地质灾害的位置、数量、大小、强度及其影响范围和各灾种的地质环境。其方法如图2。

#### 3.2 建立地质灾害空间数据库和信息管理库

根据上述地质灾害调查的结果,基于GIS编制该区域的地质灾害空间数据库,然后选取影响地质灾害的自然因素和人为因素,根据资料基于GIS编制相应

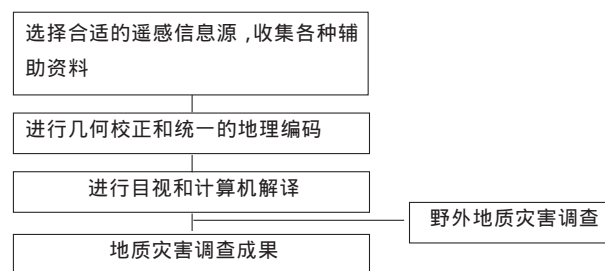


图2 地质灾害调查流程图

Fig. 2 The flow chart of geo-hazard survey

的图层,如地质灾害分布图层、地形地貌图层、地质图

图层、人类工程活动图层等。其地质灾害信息系统如图 3。

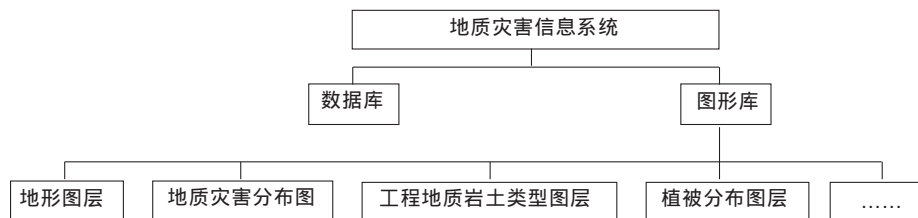


图 3 地质灾害信息系统

Fig. 3 The geo-hazard information system

### 3.3 地质灾害区划

地质灾害危险性分区一般有两种方法：一是以地质灾害分布图和各因素图的叠加,定量、半定量确定地质灾害评价指标体系,然后根据各指标进行相加处理。高指标区代表易发生区,低指标区代表不易发生的区域。另一种方法是根据各地质灾害影响因素与地质灾害关系的理论分析,采用打分或评级的方法赋予各因素以权重系数,再对各权重系数进行相关数学运算,从而得到地质灾害危险性区划的定量依据<sup>[4]</sup>。无论应用那种方法,首先都要建立合理的评价指标体系。在地质灾害的危险性区划中,选择合理的评价预测指标是至关重要的。

#### 3.3.1 地质灾害区划指标体系的建立

大量的研究事实表明,地质灾害的发生主要由两类因素决定,一是内在因素(即环境因素),二是诱发因素。环境因素是指地质灾害形成的基本地质环境条件,诱发因素是指影响和诱发地质灾害演化和发生的外在因素。环境因素一般包括地形地貌、工程地质岩组、岸坡结构类型、软弱地层状况、构造情况、地面变形情况、植被发育情况、已有动力地质现象、河流动力地质作用、结构面组合状况、裂隙发育程度等<sup>[5]</sup>。诱发因素一般有 3 个,分别是降雨、地震和人类工程活动。虽然地质灾害受多种因素的影响,各种因素所起作用的大小、性质是不相同的。在各种不同的地质环境中,对于地质灾害的发生而言,总会存在一种“最佳因素组合”。因此,在对某个具体地区进行实际分析评价时,不是以上所有因素都参与评价,而是根据研究区的具体特点,确定各个因素与该地区地质灾害的关联度,然后根据关联度的大小,选择这个地区的“最佳因素组合”进行评价。

#### 3.3.2 地质灾害区划数学模型

本文主要介绍地质灾害区划中信息量模型。信息

预测的观点认为,地质灾害产生与否是与预测过程中所获取的信息的数量和质量有关,是用信息量来衡量的<sup>[6]</sup>：

$$I(y, x_1, x_2, \dots, x_n) = \log_2 \frac{P(y, x_1, x_2, \dots, x_n)}{P(y)} \quad (1)$$

根据条件概率运算,上式可进一步写成：

$$I(y, x_1, x_2, \dots, x_n) = I(y, x_1) + I_{x_1}(y, x_2) + \dots + I_{x_1 x_2 x_3 \dots x_{n-1}}(y, x_n) \quad (2)$$

式中

$I(y, x_1, x_2, \dots, x_n)$  :因素组合  $x_1, x_2, \dots, x_n$  对地质灾害发生所提供的信息量(bit)；

$P(y, x_1, x_2, \dots, x_n)$  :因素  $x_1, x_2, \dots, x_n$  组合条件下地质灾害发生的概率；

$I_{x_1}(y, x_2)$  :因素  $x_1$  存在时,因素  $x_2$  对地质灾害发生提供的信息量(bit)；

$P(y)$  地质灾害发生的概率。

因素组合  $x_1, x_2, \dots, x_n$  对地质灾害发生所提供的信息量等于因素  $x_1$  提供的信息量,加上因素  $x_1$  确定后因素  $x_2$  对地质灾害发生提供的信息量,直至因素  $x_1 x_2 x_3 \dots x_{n-1}$  确定后,  $x_n$  对地质灾害发生提供的信息量,说明区域地质灾害信息预测是充分考虑因素组合的共同影响与作用的。区域地质灾害的预测是在对研究区域网格单元划分的基础上进行的根据不同地区具体的地质、地形条件,采用相应的网格形状和网格大小,进一步结合区域地质灾害分布图开展信息统计分析<sup>[6]</sup>。假定某区域内共划分成  $N$  个单元,已经发生地质灾害的单元为  $N_0$  个。具相同因素  $x_1 x_2 \dots x_n$  组合的单元共  $M$  个,而在这些单元中有地质灾害的单元数为  $M_0$  个。按照统计概率代表先验概率的原理,据式(2),因素  $x_1 x_2 \dots x_n$  在该地区内对地质灾害发生提供的信息量：

$$I(y, x_1, x_2, \dots, x_n) = \log_2 \frac{M_0 / M}{N_0 / N} \quad (3)$$

### 3.3.3 地质灾害区域划分

根据上述确定的指标体系和数学模型进行定量指标计算,从而生成该区域的地质灾害区划图,其方法如图4.

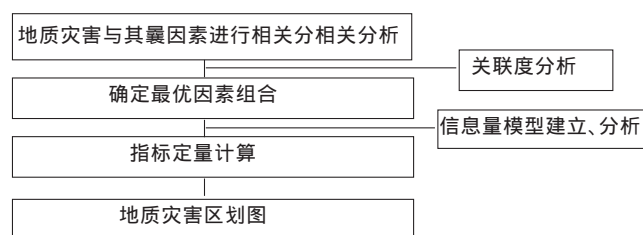


图4 地质灾害区划流程图

Fig. 4 The flow chart of geo-hazard zonation

### 3.4 地质预报预警气象临界指标的确定

地质灾害的发生是一个由多种自然因素包括人为因素共同作用下的复杂的从缓变到突变的过程,但在一定的地质结构特征及环境条件下,降雨是地质灾害发生的最主要的诱发因素.研究表明,降雨下渗进入山坡时,在渗透障(多数情况下是覆盖物的基底)之上的一个饱和带内积累.孔隙水压力增大将引起有效荷载应力增大,斜坡组成物的剪切强度减小,导致滑坡的发生.然而,在降雨增加孔隙水压力之前,斜坡组成物的毛细孔隙中必定已充填了足够的水分,从而抵消了干燥土壤具有的吸水性.因此需要对地质灾害易发区进行前期的降雨观测.对于任何给定的斜坡,都存在一个临界降雨量,当在饱和带内滞留的降雨量超过这个值,就会导致地质灾害的发生,并且对于不同的地质、地貌和水文地质背景,导致地质灾害发生的临界降雨量是不同的.目前地质灾害气象临界降雨指标的确定主要是根据历史地质灾害事件和降雨过程的相关性进行统计分析而得到的.因此由此确定的临界降雨指标的精确性不是很高.笔者认为,由降雨诱发引起的突发性地质灾害应该是一个复杂的、包括各种因素相互作用的耗散系统,具有自组织临界性,确定其临界降雨指标必须考虑其各种地质环境因素和气象因素.因此本文建议根据地质灾害发生的历史降雨量、降雨强度、降雨持续的时间和其内在地质环境因素建立耦合模型,通过非线性的方法(例如人工神经网络)确定其临界降雨指标.

### 3.5 地质灾害预警等级的划分

根据《国土资源部和中国气象局关于联合开展地质灾害气象预报预警工作协议》,地质灾害气象预报预警分为5个等级.

I级:发生可能性很小;

II级:发生可能性较小;

III级:发生可能性较大;

IV级:发生可能性大;

V级:发生可能性很大.

对于III级以上发布预报,其中III级为注意级,IV级为预警级,V级为警报级.

### 3.6 地质灾害预报预警

根据气象部门未来24小时降雨预报数据,结合前期实际降雨数据和各地地质灾害区的临界降雨指标,分析判断降雨诱发地质灾害的空间范围及其可能性大小,最后依据地质灾害预警等级进行预报预警.

## 4 结束语

地质灾害发生的诱发因素分别是降雨、地震和人类工程活动,而降雨是地质灾害发生的最主要的因素.气象预报预警方法正是抓住降雨这一主要因素,对地质灾害进行预报预警.但是气象预报预警的精度目前依然受很多方面的制约.最主要有3个方面,一是对降雨量的预测的精确度;二是正确建立地质灾害与降雨之间的关系,目前大多数数学模型都是统计模型,确定准确的临界降雨指标需要建立气象与地质灾害地质环境空间分析的耦合模型;三是复杂地质环境下地质灾害的建模方法.解决了这3方面的问题,气象预报预警的精度将大大提高.

### 参考文献:

- [1] 刘传正. 区域滑坡泥石流灾害预警理论与方法研究[J]. 水文地质与工程地质, 2004, 31(3): 1—6.
- [2] 刘传正, 李铁锋, 程凌鹏, 等. 区域地质灾害评价预警的递进分析理论与方法[J]. 水文地质与工程地质, 2004, 31(4): 1—8.
- [3] 钟颐, 等. 遥感在地质灾害调查中的应用及前景探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(1): 134—136.
- [4] 殷坤龙, 等. 滑坡灾害区划系统研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(4): 28—32.
- [5] 阮沈勇, 等. 基于GIS的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(1): 89—92.
- [6] 殷坤龙, 等. 滑坡灾害空间区划及GIS应用研究[J]. 地学前缘, 2001, 8(2): 279—284.

## RESEARCH ON THE EARLY WARNING OF GEO-HAZARDS BASED ON WEATHER FORECAST

XIAO Wei<sup>1</sup>, HUANG Dan<sup>2</sup>, LI Hua<sup>3</sup>, CUI Zhen-ang<sup>4</sup>, MENG Ge-ping<sup>5</sup>

( 1. *National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China*; 2. *Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China*;  
3. *Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, China*; 4. *Computation Geochemistry Laboratory,*  
*China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*; 5. *Department of Water Resource, Daxing District, Beijing 102600, China*)

**Abstract:** Two kinds of triggering factors are currently considered in prediction or forecast of geo-hazards: natural and man-made. Under given geological and geomorphic conditions, rainfall presents a key natural factor. Therefore it is important to study the coupling relation between the occurrences of geo-hazards and weather under certain geological background. After thereview of previous research on early warning of geo-hazards, the paper works out a suit of method to early warn geo-hazards based on weather forecast.

**Key words:** geo-hazard; early warning based on weather forecast; information model; critical precipitation index

作者简介:肖伟(1981—),男,湖北仙桃人,硕士,2005年6月毕业于中国科学院地质与地球物理研究所,地球化学专业,现从事环境方面研究,通讯地址:北京市西城区百万庄大街26号国家地质实验测试中心,邮政编码100037, E-mail//xiaowei@mails.gucas.ac.cn

---

(上接第273页)

## LOCAL ENVIRONMENTAL EFFECT BY THE DEGRADATION OF GROUNDWATER SYSTEM IN NORTHEAST CHINA

LI Jing-chun, JIA Wei-guang, JIN Hong-tao

(*Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110033, China*)

**Abstract:** The degradation of groundwater system in Northeast China is presented as the lowering of water table and reducing of self-cleaning capacity. The local environmental effect is on the increasing of desertification in western Songliao plain, as well as groundwater pollution, land subsidence and collapse in urban areas.

**Key words:** environment effect; groundwater system; degradation; Northeast China

作者简介:李景春(1963—),男,博士,教授级高级工程师,1984年毕业于武汉地质学院,通讯地址:沈阳市北陵大街25号,邮政编码110033, E-mail//syljingchun@cgs.gov.cn