

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.03.010

# 西藏吉太曲流域地质灾害易发性评价

李洋<sup>1</sup>,王平<sup>2</sup>,石豫川<sup>1</sup>,吉锋<sup>1</sup>,李毅<sup>1</sup>,刘海明<sup>1</sup>

(1.成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,四川 成都 610059;

2.浙江华东建设工程有限公司,浙江 杭州 310014)

**摘要:** 地质灾害易发性评价方法有多种,而采用单一的评价方法所得结果往往可信度较低。文中采取相同的评价指标,分别应用信息量法与层次分析法对西藏吉太曲及其一级支流日东曲流域地质灾害易发性进行评价,两种方法的评价结果表明吉太曲流域内地质灾害发生的主要控制因素为坡度、地层岩性和植被,同时该流域地质灾害具有沿河道一定范围内易发性高,距离河道远地质灾害易发性低的特点。两种方法的评价结果相互对比验证,使评价结果更可信,更具有说服力。

**关键词:** 吉太曲;地质灾害易发性;信息量法;可信度

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2015)03-0049-05

## Evaluation of Probability of Geological Hazard Occurrence in Jitai River Basin of Tibet

LI Yang<sup>1</sup>, WANG Ping<sup>2</sup>, SHI Yu-chuan<sup>1</sup>, JI Feng<sup>1</sup>, LI Yi<sup>1</sup>, LIU Hai-ming<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. East China Construction Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310014, China)

**Abstract:** There are a variety of methods of evaluating the susceptibility of geological hazards, and the result of a single evaluation method is often less reliable. Here, the geological hazard susceptibility of Jitai river and its tributary Ridong river in Tibet were evaluated respectively according to the information method and analytical hierarchy process, based on the same evaluation indexes. The evaluation results indicate that the main controlling factors inducing geological hazards in Jitai river basin are slope gradient, formation lithology and vegetation coverage. The susceptibility of geological hazards is high along the river channel, but low away from the river. The evaluation results of the two methods validate each other, which makes the final results more credible and reliable.

**Keywords:** Jitai river; susceptibility of geological hazard; information method; credibility

地质灾害易发性评价是地质灾害评价的基础,可为地质灾害危险性预测与防治提供重要依据<sup>[1-3]</sup>。目前针对地质灾害易发性进行评价的理论方法应用较多的为信息量法与层次分析法。吴柏清等应用基于GIS的信息量法对九龙县进行了地质灾害危险性评价,通过引入GIS分析法解决了传统信息量法数据采集与处理问题<sup>[4]</sup>;王哲,易成发应用层次分析法对绵阳市地质灾害易发性进行评价,确定了绵阳市影响地质灾害易发程度因子的权重<sup>[5]</sup>。但是对某一区域地质灾害易发性进行评价应用单一的

评价方法往往导致评价结果不具有较高的可信度,如若采用不同评价方法分别对某一区域地质灾害易发性进行评价,通过对比两种评价方法的结果,使不同评价方法的结果相互印证,从而可提高评价结果的可信度。

本文通过对西藏吉太曲及其一级支流日东曲流域进行实地调查和相关的地质资料收集,并通过查阅大量文献选取了坡度、岩性、断层、植被指数和高程五个指标<sup>[6-10]</sup>(该区域降雨资料极度匮乏,影响因素对降雨的选取受到很大限制,同时流域范围较

小,区域内降雨差别极小,因此未考虑降雨的影响)运用基于 GIS 的信息量法和层次分析法分别对该流域进行地质灾害易发性评价,得到了该流域地质灾害易发性分区。

## 1 评价区区域地质背景

评价区为西藏林芝地区吉太曲及其一级支流日东曲流域,区内总体地势为北高南低,平均海拔 3 000 m 左右,主要山脉及水系均呈 NWW - NW 走向,且具有明显层状地貌特征。由平均海拔 4 000 m 左右向东南渐降到 2 000 m 上下,总体上呈现高山峡谷的地貌特征。

评价区内出露的岩层由老至新为元古界高黎贡群变质岩系,上古生界沉积岩,华力西 - 印支期、燕山期和喜马拉雅期的巨厚层岩浆岩和火山碎屑岩。

表 1 指标指数划分原则

等级	坡度/(°)	岩性	断层 <sup>①</sup> /m	植被指数	高程/m
1	> 45	片岩、片麻岩、泥岩、第四系	< 500	> 170	> 4000
2	30 ~ 45	板岩、变质砂岩、变质砾岩	500 ~ 1000	120 ~ 170	3000 ~ 4000
3	15 ~ 30	灰岩、白云岩	1000 ~ 1500	70 ~ 120	2000 ~ 3000
4	< 15	花岗岩类、闪长岩类	> 1500	< 70	< 2000

注:①表示距离某条断层的距离。

## 2.2 信息量值计算

地质灾害易发性( $Y$ )受多种因素控制,各因素对地质灾害发生的信息量是用下式来衡量的:

$$I(Y, X_1, X_2, \dots, X_n) = \ln \frac{P(Y, X_1, X_2, \dots, X_n)}{P(Y)} \quad (1)$$

式中: $I(Y, X_1, X_2, X_3, \dots)$ 为因素组合  $X_1, X_2, X_3, \dots$ 对地质灾害提供的信息量; $P(Y, X_1, X_2, X_3, \dots)$ 是在因素  $X_1, X_2, X_3, \dots$ 组合下发生地质灾害的概率, $P(Y)$ 为地质灾害发生的总概率。

信息量模型的原理是在一定环境条件下的最有利因素组合,各影响因素提供的信息量值主要是根据如下公式计算得出:

$$I(X_i, H) = \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (2)$$

式中: $S$ 为评价区面积; $N$ 为评价区发育地质灾害的单元总数; $S_i$ 为评价区包含评价指标的面积; $N_i$ 为分布在评价指标内特定类别内地质灾害的总数。

应用 GIS 的栅格计算功能将评价区划分为若干栅格,利用 GIS 的空间分析(SpatialAnalystTools)功能提取各评价指标图层,根据公式(2)可计算各评价指

在区域构造上,评价区发育有两条近平行走向为 NW 的断层,规模较大,具有逆冲推覆性质,且一致的倾向表明可能具有叠瓦状发育特征。日东曲下游河道与北端断层小角度相交,吉太曲河道沿南端断层展布。此外评价区内发育多条小型断层,走向多为 NE 与近 SN,多具走滑性质或逆冲推覆性质。

## 2 基于 GIS 的信息量法的地质灾害易发性评价

### 2.1 评价指标选取

结合评价区特点和已有地质资料,选取坡度、地层岩性、地质构造、植被<sup>[11]</sup>、高程 5 个在该区域内地质灾害易发性中影响较大的因素<sup>[12]</sup>,利用 GIS 获得评价的各指标分级图层,建立评价指标分级表。根据评价区指标特点将指标分成四级,具体见表 1。

标图层每一栅格的信息量值。

### 2.3 信息量值叠加与评价分级

对于单个评价单元内的总信息量值计算公式为:

$$I_i = \sum I(X_i, H) = \sum_i^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (3)$$

式中: $I_i$ 为评价单元总的信息量值; $n$ 为参评因子数,采用 GIS 的加权计算功能可得到评价区各单元信息量值,采用自然间断法对信息量值进行分级由此得到评价结果(见表 2)。

表 2 评价结果信息量值表

评价结果	高易发	较易发	低易发	不易发
信息量值	0.889 ~ 6.895	-1.924 ~ 0.889	-4.251 ~ -1.924	-6.848 ~ -4.251

根据信息量模型的原理,总的信息量作为该评价单元影响的综合指标,其值越大地质环境越差,地质灾害易发性越高。利用 GIS 对各评价指标图层的信息量进行叠加,生成吉太曲流域地质灾害易发性分区图(见图 1)。

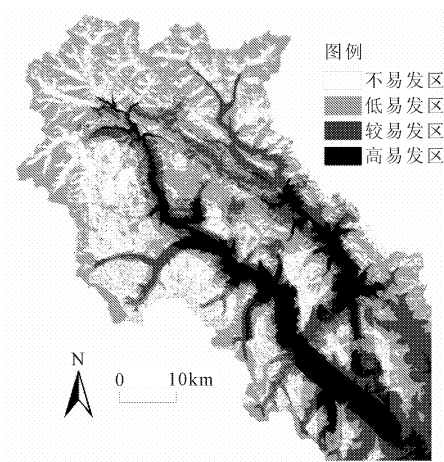


图1 基于信息量法的吉太曲流域地质灾害易发性分区图

### 3 基于层次分析法的地质灾害易发性评价

层次分析法通过建立层次结构模型、构造判断矩阵并检查判断矩阵一致性,通过进行层次单排序与层次总排序得到各层各因素对目标层权重的组合<sup>[13]</sup>。本次评价选取了与进行信息量法进行评价相同的5个因素,采用层次分析法确定各评价指标对地质灾害发生的权重指标。

#### 3.1 构建层次模型

层次模型包括最底层(又称措施层或基础指标层)、中间层(又称准则层或指标层)和最高层(又称目标层)。本次评价构建的层次模型见图2。

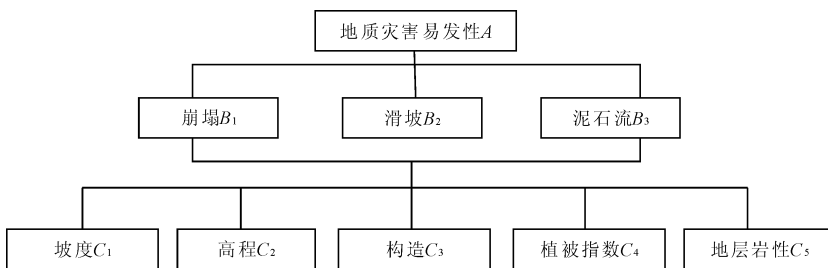


图2 评价区层次结构模型

#### 3.2 构建判断矩阵

依据所构建的层次模型并结合评价区的实际地质条件和不同地质灾害类型的发育特点构造判断矩阵,采用 Saaty 的 1~9 标度来表示评价指标间的相对重要性关系<sup>[14-15]</sup>,见表3。

表3 判断矩阵1~9标度的含义

标度	含义
1	表示两个评价指标相比,二者有相同的重要性
3	表示两个评价指标相比,前一指标比后一指标稍重要
5	表示两个评价指标相比,前一指标比后一指标明显重要
7	表示两个评价指标相比,前一指标比后一指标强烈重要
9	表示两个评价指标相比,前一指标比后一指标极端重要
2,4,6,8	表示上述判断标度之间的值
倒数	若某一评价指标 $a_i$ 与另一评价指标 $a_j$ 的重要性比较结果为 $a_{ij}$ ,那么 $a_j$ 与 $a_i$ 的重要性比较结果为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

#### (1) 崩塌

$$(B_1 \sim C) = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 2 & 1 & 1/3 \\ 1/5 & 1 & 1/4 & 1/5 & 1/5 \\ 1/2 & 4 & 1 & 1/5 & 1/5 \\ 1 & 5 & 5 & 1 & 1 \\ 3 & 5 & 5 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

#### (2) 滑坡

$$(B_2 \sim C) = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 1/4 & 1/4 & 1/5 \\ 2 & 1 & 1/5 & 1/4 & 1/5 \\ 4 & 5 & 1 & 1 & 1/5 \\ 4 & 4 & 1 & 1 & 1 \\ 5 & 5 & 5 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

#### (3) 泥石流

$$(B_3 \sim C) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 5 & 1 & 5 \\ 1 & 1 & 5 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 1/5 & 1/3 \\ 1 & 1 & 5 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

中间层对最高层即各种不同类型的地质灾害对地质灾害易发性的判断矩阵为:

$$(A \sim B) = \begin{pmatrix} 1 & 1/7 & 1/3 \\ 7 & 1 & 5 \\ 3 & 1/5 & 1 \end{pmatrix}$$

最底层指标 C 对中间层 B 的每一准则的成对比较矩阵依次为对应的崩塌、滑坡和泥石流的判断矩阵。

### 3.3 层次单排序及一致性检验

层次单排序是指对判断矩阵最大特征值  $\lambda_{\max}$  的特征向量  $W$  进行归一化,得到某一层所有评价指标对上层某一指标相对重要性的权重值<sup>[16]</sup>。随机一致性比率计算公式为:

$$C_R = C_1/R_1 \quad (4)$$

其中:  $C_1$  为一致性指标,其计算公式为  $C_1 = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)(n$  为判断矩阵的阶数);  $R_1$  值(2 ~ 5 阶判断矩阵)分别为 0.00、0.58、0.90、1.12。

当  $C_R$  小于 0.1 时,认为判断矩阵满足一致性要求,否则对判断矩阵进行优化。经层次单排序可得各最底层指标相对于中间层的权向量:

$$U(B_1 \sim C) = (0.0557 \quad 0.0703 \quad 0.2028 \quad 0.2676 \quad 0.4037)^T;$$

$$U(B_2 \sim C) = (0.2995 \quad 0.2995 \quad 0.0481 \quad 0.2704 \quad 0.0826)^T;$$

$$U(B_3 \sim C) = (0.1976 \quad 0.0448 \quad 0.0397 \quad 0.2956 \quad 0.3683)^T。$$

一致性检验结果为:

$$C_R(B_1 \sim C) = 0.0843 < 0.1 \text{ 满足一致性};$$

$$C_R(B_2 \sim C) = 0.0298 < 0.1 \text{ 满足一致性};$$

$$C_R(B_3 \sim C) = 0.0670 < 0.1 \text{ 满足一致性}。$$

### 3.4 层次总排序及一致性检验

层次总排序是指最下层所有指标相对于最高层的权重,根据公式(4)进行一致性检验。经层次总排序可得最底层基础指标各因素对目标层的权向量为

$$U(A \sim C) = (0.2317 \quad 0.2617 \quad 0.0693 \quad 0.2749 \quad 0.1624)^T$$

一致性检验结果为

$$C_R(A \sim C) = 0.0624 < 0.1 \text{ 满足一致性}。$$

基于上述计算结果,将各评价指标权重应用 GIS 的栅格计算与重分类功能进行加权计算与评价等级划分,得到对吉太曲流域地质灾害易发性的评价结果,如图 3。

## 4 评价结果对比及分析

### 4.1 评价结果对比

将图 1 与图 3 进行对比可知,两种评价方法的结果总体上是相同的,各易发级别分布具有较高的一致性,同时都具有沿河道一定范围内地质灾害易发性高,距离河道远地质灾害易发性低的特点。但局部有一定微小差异,如在吉太曲与日东曲交汇处层次分析法评价结果的较易发区域面积较大。

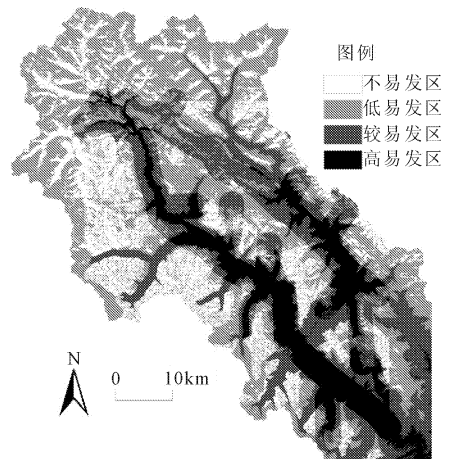


图 3 基于层次分析法的吉太曲流域地质灾害易发性分区图

将信息量法中各评价因子所贡献的信息量值换算为权重,并对不同评价方法的结果进行统计可得表 4 与表 5。

表 4 两种评价方法各指标权重统计

评价指标	坡度	高程	地质构造	植被指数	岩性
信息量法权重	0.2766	0.0712	0.1633	0.2285	0.2604
层次分析法权重	0.2749	0.0693	0.1624	0.2317	0.2617

表 5 两种评价方法结果统计

评价结果	面积/km <sup>2</sup>		所占比例/%	
	信息量法	层次分析法	信息量法	层次分析法
不易发	689.0725	723.5650	27.6	26.2
低易发	1060.8480	1053.8000	40.2	40.5
较易发	481.5750	462.0350	17.6	18.4
高易发	389.8425	381.9735	14.6	14.9

由表 4 与表 5 可以看出两种不同的评价方法中各评价指标的权重总体上是相近的,误差控制在允许的范围内,评价结果中各易发等级所占比例相近。两种评价结果可以相互印证,表明评价两种结果均具有较高的可信赖度。

### 4.2 评价结果分析

通过上述两种评价方法的评价结果可知,吉太曲及其一级支流日东曲流域内地质灾害高易发区域

沿河道分布,距离河道远的区域,地质灾害易发性较低。地质灾害多沿河道发育,距离河道越远地质灾害发育越少。这是由于河道两侧岸坡陡峻,水流冲刷作用影响较大,局部植被覆盖率较低,基岩裸露,风化作用强烈且该区域断层多沿河道发育,导致崩塌和滑坡较为发育。同时河道两侧沟道众多,泥石流沿沟道发育,堆积区多发于河流阶地或直接汇入河道中。因此,多种因素叠加导致吉太曲(含日东曲)流域内有距离河道越近,地质灾害易发性越高的特点。

根据现场调查流域内地质灾害类型以泥石流为主,占总数的70%以上,崩塌与滑坡发育较少,因此控制泥石流发育的因素:坡度、植被与第四系物质对该流域内地质灾害发育影响较大,最终导致植被指数、坡度与地层岩性的权重较大。

## 5 结论

(1) 信息量法与层次分析法基于不同的数学方法与理论依据,在对吉太曲(含日东曲)流域进行地质灾害易发性评价过程中选取了地质资料较为丰富的评价指标:坡度、高程、植被指数、地层岩性和地质构造。

(2) 分别运用信息量法与层次分析法对吉太曲及其一级支流日东曲流域进行地质灾害易发性评价的结果总体上是相同的,但在某些局部区域有一定差异性。所选取的指标权重和结果中各易发等级区域面积和分布有较高的一致性。

(3) 吉太曲(含日东曲)流域水系沿断层展布,岸坡陡峻,受水流冲刷作用影响显著。该流域具有沿河道一定范围内地质灾害易发性高,距离河道远地质灾害易发性低的特点。

(4) 应用不同的评价方法分别对吉太曲及其支流日东曲流域进行地质灾害易发性评价的结果可以相互印证,提高了评价结果的可信度。

### 参考文献:

[1] 徐克文.四川省地质环境状况及地质灾害发育特征研

究[J].地质与勘探,2006,42(4):97-102.

- [2] 曾昭华.江西省地质灾害的形成及其分布规律[J].地质与勘探,1997,33(4):12-20.
- [3] XU Chong, DAI F C, CHEN J, et al. Identification and analysis of secondary geological hazards triggered by a magnitude 8.0 Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Remote Sensing, 2009,13(4):746-749.
- [4] 吴柏清,何政伟,刘岩松.基于GIS的信息量法在九龙县地质灾害危险性评价中的应用[J].测绘科学,2008,33(4):146-147.
- [5] 王哲,易发成.基于层次分析法的绵阳市地质灾害易发性评价[J].自然灾害学报,2009,18(1):14-23.
- [6] 刘凤顺.基于ARCGIS的广西地质灾害易发性分区研究[D].南宁:广西师范学院,2013.
- [7] 单博.基于3S技术的奔子栏水源地库区岸地地质灾害易发性评价及灾害风险性区划研究[D].长春:吉林大学,2014.
- [8] 宁娜,马金珠,张鹏,等.基于GIS和信息量法的甘肃南部白龙江流域泥石流灾害危险性评价[J].资源科学,2013,35(4):892-897.
- [9] 钱玲玲,薛宝恒,范柱国,等.层次分析法在瑞丽市地质灾害易发性评价中的运用[J].矿山测量,2014,(4):88-90.
- [10] Bintaol L, Heping T, Jianrong F, et al. Application of high-resolution SAR images in Wenchuan earthquake hazard monitoring and assessment[J]. Journal of Mountain Science, 2008,26(3):267-271.
- [11] 李苗苗.植被覆盖度的遥感估算方法研究[M].北京:中国科学院遥感应用研究所,2003.
- [12] 中国地质调查局.DD 2004—02,区域环境地质调查总则(试行)[S].北京:地质出版社,2004.
- [13] 申玉松,石豫川,李小龙,等.基于层次分析法的物理模拟相似材料权重研究[J].人民长江,2014,45(15):78-81.
- [14] 周美立.相似性科学[M].北京:科学出版社,2004.
- [15] 刘国栋,申璐,李翔.模糊评价法在生物安全实验室环境风险评价中的应用[J].中国安全科学学报,2009,(4):114-120.
- [16] 席盼盼.基于GIS的郎县地质灾害易发性评价研究[D].长春:吉林大学,2014.