

# 层次分析法在山地地质灾害危险性评价中的应用 ——以辽宁凌源地区为例

姚玉增<sup>1</sup>, 任群智<sup>1,2</sup>, 李仁峰<sup>2</sup>, 温守钦<sup>1</sup>, 赵玉山<sup>1</sup>

(1 东北大学地质系, 沈阳 110004; 2 辽宁冶金地勘局地质勘查研究院, 鞍山 114002)

摘要: 凌源市是辽西地区山地地质灾害危害较为严重的区域。在 GIS 技术支持下, 选取地形、岩性、构造、降雨、道路、土地利用等 6 个因素作为评价指标, 根据已发生的 68 个山地地质灾害点计算了各指标因子的敏感性, 分别采用层次分析法、信息量法和统计量法确定了各指标的权重, 利用因子叠置法对危险性进行了综合评价。结果表明层次分析法在该区山地地质灾害危险性评价中效果良好。该研究对相似地区山地地质灾害危险性区划具有一定的借鉴意义。

关键词: 层次分析法; 信息量法; 统计量法; 山地地质灾害; 危险性评价

中图分类号: P694 文献标识码: A 文章编号: 1000-3665(2010)02-0130-05

辽宁省依山傍海, 地形地貌复杂, 构造较为发育, 历史上曾多次发生地质灾害, 给人们的生产、生活及发展空间造成极大的危害<sup>[1]</sup>。由于自然(地形、降雨等)和社会(经济发展程度、人口密集度、人类工程活动等)等原因, 省内地质灾害的研究与评价多集中于辽东南地区<sup>[2~4]</sup>, 而辽西北地区该方面研究较为匮乏。近年来, 人类活动对自然环境的扰动逐渐加剧, 辽西北地区地质灾害也频繁发生, 20 世纪末发生于凌源市的多起滑坡和泥石流灾害(造成 10 余间民房被毁、4 人死亡)就是例证。

本文提及的山地地质灾害主要指崩塌、滑坡、泥石流(以下简称为崩滑流)三个灾种。以辽西北地区崩滑流危害较严重的凌源市作为研究对象, 借助 MAPGIS 平台, 采用层次分析法、信息量法和统计量法等三种方法对凌源地区的山地地质灾害危险性进行了评价。

## 1 凌源地区山地地质灾害概况

凌源市位于辽宁省西部, 地处辽、冀、蒙三省(区)交界, 地貌单元属于辽西低山与丘陵区中部, 自古有

“七山一水二分田”之称。全市现辖 24 个乡镇, 国土面积 3 278 km<sup>2</sup>, 总人口 65 万, 境内流经大凌河、青龙河 2 条较大河流, 支流十余条(图 1)。

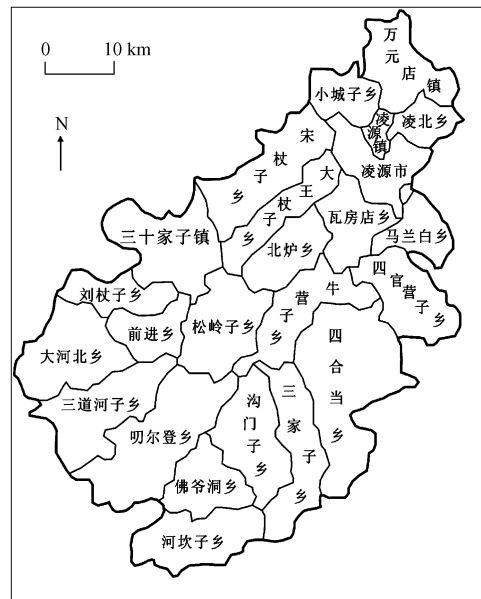


图 1 凌源市行政区划略图

Fig 1 Sketch administrative map of Lingyuan City

凌源地区地貌形态变化大, 地质构造复杂, 地质环境十分脆弱。在自然因素或人类活动的影响下, 产生了多种的地质灾害。据统计<sup>[5]</sup>, 凌源地区山地地质灾害共 68 处(表 1), 其中, 崩塌占总数的 54.41%, 滑坡 36.77%、泥石流占 8.82%。目前, 已造成损失的地质灾害点 28 处, 30 余处存在隐患, 受威胁人数达 1306 人。

收稿日期: 2009-03-23; 修订日期: 2009-05-28

基金项目: 辽宁省“十五”重点攻关项目“辽宁省北部、西部地质灾害分布规律、演化趋势及防治对策研究”(2001230008); 国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2006BAC04B01)联合资助

作者简介: 姚玉增(1972-), 男, 博士, 讲师, 主要从事国土资源遥感方面的教学与研究工作。

E-mail yz\_yao@126.com

表 1 凌源市山地地质灾害分布统计表

Table 1 Statistics of mountain disasters in Lingyuan City

乡 镇	合计	地质灾害类型						规模			危害程度			稳定程度	
		崩塌		滑坡		泥石流		大	中	小	一般	较大	重大	基本稳定	不稳定
		已发	潜在	已发	潜在	已发	潜在								
小城子镇	1		1						1			1			1
河坎子乡	9	1	4	2	2				9	6	2	1	1		8
杨杖子镇	3			2		1			3	2	1		1		2
叨尔登镇	17	4	5	3	4	1			17	8	9		3		14
刘杖子乡	5	1	4						5	3	2				5
佛爷洞乡	2	1		1					2	2			1		1
三道河乡	6		1	1	2	2			6	3	2	1	1		5
三家子乡	4		3	1					4	3	1				4
前进乡	6	1	3	1	1				6	3	3		1		5
大河北乡	5			2	2	1			5	1	4		2		3
牛营子乡	2		1						2	1	1				2
沟门子镇	2		2						2		2				2
松岭子乡	2		1		1				2	2			1		1
北炉乡	1	1							1		1				1
三十家子镇	3	1	2						3	1	2				3
合计	68	10	27	13	12	5	1		68	35	31	2	11		57

## 2 山地地质灾害危险性评价指标

地质灾害的危险性是指地质灾害发生活动的可能性。为突出研究区山地地质灾害形成的主要诱导因子,借鉴前人成果<sup>[6~7]</sup>,综合研究后选择区内岩性、构造、地形、降水、道路和土地利用类型等 6 个指标来构建研究区山地地质灾害危险性的评价体系,其中地形、岩性、构造是山地地质灾害发生的基础地质条件;而降雨、道路和土地利用是本区山地地质灾害发生的主要诱导因素。研究遵循 Vames 在完成联合国建议的山地地质灾害危险度区划研究中所提出的三个基本原理,即将山地地质灾害历史活动程度与潜在形成条件结合起来综合评价山地地质灾害危险性<sup>[8]</sup>。

### 2.1 地形因子

地表形貌是山地地质灾害发育的首要条件。采用 1:5 万辽宁省地形图,在 MAPGIS 中矢量化生成 DEM 得到坡度。为了分析不同地形坡度条件下的山地地质灾害危险度,将坡度值划分 0~5°、6~10°、11~15°、16~20°、21~25°、26~30°、31~35°、36~40° 和大于 40° 共 9 个属性,并进行敏感性分析。

### 2.2 岩性因子

采用辽宁省地质矿产局 1984 年编制的 1:50 万辽宁省岩土体类型图及说明材料,依据不同地层岩性的物理力学性质及易崩、易滑、易风化的特征,参考各岩石类型的工程地质条件分类<sup>[9]</sup>,将凌源地区岩性因子划分为 5 个大的岩组,参与敏感性分析。

### 2.3 构造因子

由于研究区域并不大,故本次研究中采用构造而非地震烈度。将辽宁省 1:25 万区域地质图中的断裂构造提取出来形成专题图。考虑到辽西地区的实际情况,在 MAPGIS 平台中按照  $d \leq 5\text{km}$ ,  $5\text{km} < d \leq 10\text{km}$ ,  $10\text{km} < d \leq 15\text{km}$  和  $d > 15\text{km}$  ( $d$  指距断裂的距离) 4 种情况做缓冲区处理并进行敏感性计算。

### 2.4 土地利用因子

采用 2000 年 ETM 遥感影像,在 ERDAS 中进行土地利用分类,共分成农田、林地、草地、裸地、城镇用地和未利用地 6 类,进行敏感性分析。

### 2.5 道路因子

公路是研究区内广泛分布的、人类活动最频繁且对斜坡稳定性影响最明显的因素。将 1:5 万辽宁省地形图中的公路矢量化,按照  $d \leq 5\text{km}$ ,  $5\text{km} < d \leq 10\text{km}$ ,  $10\text{km} < d \leq 15\text{km}$  和  $d > 15\text{km}$  ( $d$  指距公路的距离) 4 种情况做缓冲区分析,参与敏感性计算。

### 2.6 降雨因子

为了表征暴雨空间分布对山地地质灾害危险程度的影响,本文选择平均大到暴雨权重综合日数作为评价指标参与运算。统计方法是根据 1971~2000 年间逐日降雨资料,以出现日降雨量大于 50mm, 2 次降雨大于 25mm 的降雨或 4 次降雨大于 10mm 计为一次大到暴雨,即把各级雨量综合到大到暴雨次数上,以此分析研究区内暴雨空间分布及区域差异。

### 3 敏感性分析

区内山地地质灾害危险性是由各影响因素综合评价的,分析和优选评价因子并确定其贡献率是危险度评价的基础和关键。采用统计学方法对研究区山地地质灾害点与各因子属性类进行相对频率组合的定量计算。具体方法是:①建立评价因子的GIS图形数据库,并划分因子属性;②建立山地地质灾害点的GIS空间数据库,提取山地地质灾害点所处位置各因子属性数据;③分别计算泥石流灾害点和各因子属性的相对组合频率,并计算每1000km<sup>2</sup>内灾害点密度,以表示每因子属性的敏感性<sup>[10]</sup>。

设  $F_{mn}$  为因子  $m$  中属性为  $n$  的灾害点出现的相对频率(因子敏感性);  $N_{mn}$  为某因子  $m$  中属性为  $n$  的灾害点出现次数,  $S_{mn}$  为某因子  $m$  中属性  $n$  的面积总数,那么各因子属性中灾害点的敏感度按下式计算:

$$F_{mn} = N_{mn} / S_{mn} \text{ (单位: 个 / 1000km}^2\text{)}$$

按照上公计算可得各因子敏感性,敏感性表征了某因子内部各属性对山地地质灾害的贡献率。

### 4 山地地质灾害危险性评价

已有研究表明,对于区域地质灾害评价,因子叠置法简便快捷,易于把握,特别适于GIS空间分析工具处理和计算<sup>[10]</sup>。本次研究中即采用因子叠置法。

由于各因子量纲不同,因子的属性值差别也非常大,无法直接进行因子叠置,因此在进行空间分析前应首先进行标准化处理,方法是将各因子根据其敏感性不同,统一划分为4个等级,分别赋予1、2、3、4,其次划分研究区评价单元并进行属性综合。本研究采用2km × 2km 格网,在MAPGIS环境中用面积加权法对各专题图栅格化,然后再进行因子叠置。

山地地质灾害危险性评价研究中,不同地区选择的因子可能不同,同一因子在不同地区对山地地质灾害的贡献可能也不相同,因此在进行因子叠置时,因子权重的选取至关重要。本研究中采用层次分析、信息量和统计量三种方法来确定因子的权重,并对三种结果进行了比较和分析。

#### 4.1 信息量法

信息量计算方法是一种统计分析方法,在我国以前多用于地质找矿等领域。信息量模型用于地质灾害空间区划的主要思路是通过已知变形或破坏区域的现实情况和提供的信息,把反映各种影响区域稳定性因素的实测值转化为反映区域稳定性的信息量值。

其方法主要是通过某些因素对所提供的研究对象信息量的计算来评价,亦即用信息量的大小来评价影响因素与研究对象关系的密切程度<sup>[11-12]</sup>。其计算公式为:

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

上述公式较为复杂,一般在计算过程中采用简化公式:

$$I(y, x_1, x_2, \dots, x_n) = \lg \left( \frac{S_0 / S}{A_0 / A} \right)$$

式中:  $I(y, x_1, x_2, \dots, x_n)$  ——因素组合  $x_1, x_2, \dots, x_n$  对地质灾害所提供的信息量;

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

$A$  ——区域内单元总面积;

$S$  ——已经发生地质灾害的单元面积之和;

$A_0$  ——具相同因素  $x_1, x_2, \dots, x_n$  组合的单元总面积;

$S_0$  ——具相同因素  $x_1, x_2, \dots, x_n$  组合的单元中发生地质灾害的单元面积之和。

利用上述公式计算得到凌源地区各指标因子的权重,见表2。危险性评价结果见图2。

表2 信息量法所得山地地质灾害危险性评价指标权重

Table 2 Weights of mountain geological disasters assessment indices obtained with information models

指标	地形因子	岩性因子	构造因子	土地利用因子	道路因子	降雨因子
权重	0.09	0.57	0.06	0.02	0.04	0.22

#### 4.2 统计量法

统计量法是由丛威青等提出的对原始数据进行检查对比的一种二元统计模型<sup>[13]</sup>,其原理主要是按照一定的统计学方法,对数据进行灾害发生与各因素相关性分析。通过该方法可以发现每个评价因子与地质灾害之间的对应关系。统计量法计算公式为:

$$F_k = \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot I_{ki}$$

式中:  $F_k$  ——单元  $k$  地质灾害危险性区划值;

$\delta_i$  ——利用相关性分析获得的因子  $i$  的相关性系数;

$I_{ki}$  ——单元  $k$  因子  $i$  出现区段的敏感性数值;

$m$  ——评价因子总数。

在完成因子对照的基础上,利用GIS空间分析功

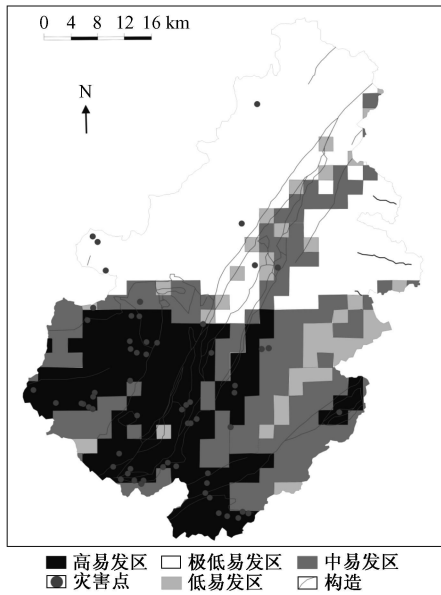


图 2 信息量法评价结果

Fig. 2 Zonation results of information models

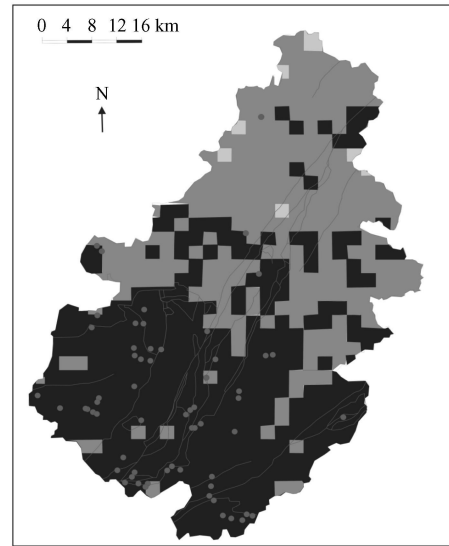


图 3 统计量法评价结果

Fig. 3 Zonation results of statistical models

能, 将历史地质灾害分布图和各主要影响因素分布图进行分析处理, 得到每个格网单元的统计量值。利用统计量法得到凌源地区各指标因子的权重值见表 3。山地地质灾害危险性评价结果见图 3(图例同图 2)。

表 3 统计量法所得山地地质灾害危险性评价指标权重

Table 3 Weights of mountain geological disasters assessment indices obtained with statistics models

指标	地形因子	岩性因子	构造因子	土地利用因子	道路因子	降雨因子
权重	0.31	0.12	0.04	0.11	0.08	0.34

### 4.3 层次分析法

层次分析法的基本过程为<sup>[14]</sup>: 首先将复杂问题分解成递阶层次结构, 然后将下一层次各因素相对于上一层次各因素请有经验的专家进行两两比较判断, 构造出判断矩阵。通过对判断矩阵的计算, 进行层次单排序和一致性检验, 若满足一致性检验则可得最后各指标因子的权重。结果见表 4。

利用上述权重结果, 在 MAPGIS 环境中进行加权叠加, 结果见图 4(图例同图 2)。

由图 2~4 可以看出, 三种方法对凌源市山地地质灾害危险性区划结果差别较大。信息量模型结果将整个凌源市山地地质灾害危险性划分为四个等级, 其中北部地区大都为极低易发区, 6 个已发地质灾害点落入此区, 与实际地质灾害情况差别较大。统计量模型结果将整个凌源市山地地质灾害危险性划分为三级,

无极低易发区, 无极低易发区, 98% 以上地区均为高易发区和中易发区, 该结果对山地地质灾害危险性具有一定程度的夸大, 无法有效地指导凌源市山地地质灾害防治。层次分析法将凌源市山地地质灾害危险性划分为四个级别, 其中已发的地质灾害绝大部分均位于高易发区和高易发区与中易发区的接触部位, 只有极个别的已发地质灾害点位于中易发区或低易发区, 表明这种方法是有效的, 可以作为凌源市山地地质灾害危险性区划的最终结果。

表 4 层次分析法所得山地地质灾害危险性评价指标权重

Table 4 Weights of mountain geological disasters assessment indices obtained with AHP

岩性因子 (0.18)	地层岩性 (1)
地形因子 (0.31)	流域坡度 (1)
	草地 (0.49)
土地利用因子 (0.15)	农田 (0.17)
	林地 (0.2)
	其它 (0.14)
构造因子 (0.2)	距断裂带距离 (1)
降雨因子 (0.05)	暴雨天数 (1)
道路因子 (0.1)	道路 (1)

## 5 结论

(1) 信息量模型和统计量模型作为两种常用的地质统计方法, 在地质领域内得到了广泛的应用, 但其自动化程度较高, 计算结果不易把握, 层次分析法在构造判断矩阵过程中需要选定对评价区地质灾害熟知的地质专家, 通过专家评分来完成地质灾害及影响因素的

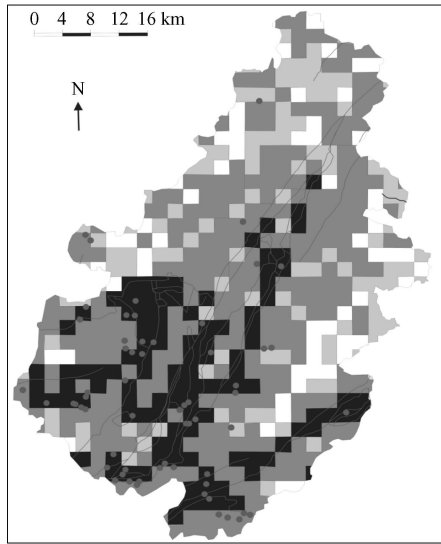


图 4 层次分析法评价结果

Fig 4 Zonation result for AHP

相对重要性分析,即需要专家的经验来判断,因此层次分析法也是一种定性与定量相结合的多目标决策分析方法,在进行区域山地地质灾害危险性评价过程中具有独特的优势。

(2)运用层次分析法对凌源市山地地质灾害危险性进行综合评价,结果表明研究区高易发区面积约 290km<sup>2</sup>,占全区面积的 8.8%;中易发区面积约 2458km<sup>2</sup>,占 75%;低和极低易发区面积 530km<sup>2</sup>,占 16.2%。高易发区分布具有一定的地带性,主要与区域性张家营子—叨尔登断裂有关。

参考文献:

[ 1 ] 钟以章,蒋秀琴,陈爱萍,等. 辽宁地质灾害 [M]. 地震出版社, 1991.

[ 2 ] 兰荣华,郭志全,颜凡尘. 辽东山区泥石流特征及防治措施 [J]. 中国水土保持, 2006, 27(3): 19- 21.

[ 3 ] 李雪铭. 辽宁南部沿海山区暴雨型泥石流沉积物粒度分布模式研究 [J]. 水土保持通报, 2000, 20(3): 20- 22

[ 4 ] 王晓朋,潘懋,丛威青,等. 辽宁鞍山市岫岩县泥石流区域危险性评价 [J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(2): 93- 95

[ 5 ] 伊文祥. 辽宁省凌源市地质灾害调查与区划报告 [R]. 沈阳: 辽宁矿产勘查院朝阳分院, 2006

[ 6 ] 唐川,朱静. 澜沧江中下游山地地质灾害分布规律和危险评价 [J]. 地理学报, 1999, 54(增刊): 84- 92

[ 7 ] 唐川. 金沙江流域云南境内山地地质灾害危险性评价 [J]. 山地学报, 2004, 22(4): 451- 460

[ 8 ] Vames D J. Landslide hazard zonation A review of principle and practice [M]. Paris, 1984

[ 9 ] 中华人民共和国水利部. GB50218-94 工程岩体分级标准 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1995

[ 10 ] 唐川,朱大奎. 基于 GIS 技术的泥石流风险评价研究 [J]. 地理科学, 2002, 22(3): 300- 304

[ 11 ] 陈亮,孟高头,张文杰,等. 信息量模型在县市地质灾害调查与区划中的应用研究: 以浙江省仙居县为例 [J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(5): 49- 52

[ 12 ] 曹恺,李春贵,陈亮,等. 信息量模型在地质灾害调查与区划中的应用研究 [J]. 安全与环境工程, 2004 11(1): 38- 41.

[ 13 ] 丛威青,潘懋,李铁锋,等. 基于 GIS 的滑坡、泥石流灾害危险性区划关键问题研究 [J]. 地学前缘, 2006 13(1): 185- 190

[ 14 ] 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]. 水文地质工程地质, 2007, 34(3): 93- 98

## Application of Analytic Hierarchy Process to the probability assessment of mountain geological disasters A case study of Lingyuan Region, Liaoning Province

YAO Yu-zeng<sup>1</sup>, REN Qun-zhi<sup>1,2</sup>, LI Ren-feng<sup>2</sup>, WEN Shou-qin<sup>1</sup>, ZHAO Yu-shan<sup>1</sup>

(1. Geology Department of Northeastern University, Shenyang 110004 China;

2. Geological Exploration Institute, Liaoning Metallurgy Bureau of Geological Exploration, Anshan 114002 China)

**Abstract** Lingyuan City lies in the west of Liaoning Province where mountain geological disasters frequently  
(下转第 138 页)

(1)地裂缝出现时间 2006年 7月一场大雨之后;  
 (2)裂缝呈断续状和串珠状分布,裂隙剖面显示上宽下窄,下雨或浇地时裂缝可成为地下通道使地表水流失;  
 (3)物探资料证明,断裂两侧地层结构存在差异,同时发现有埋藏地裂缝和裸露地裂缝两种类型。  
 (4)邢台柏乡地裂缝并非构造活动直接产生,而是多种因素共同作用的结果。地质历史时期形成的先存断裂构造或地震引起的断裂、裂缝是产生地裂缝的基础,决定了地裂缝的发生位置;过量开采地下水导致了该地区大面积的地面沉降,由于断裂两边地层岩性差别导致的差异沉降诱发了地裂缝;当时河北平原的大量降水,造成表层土软化,有些表层土随雨水流入下

面的裂缝中,使地裂缝显现出来。

参考文献:

[ 1 ] Dev in Galloway, David R Jones, Ingebritsen S E. Land subsidence in the United States[ R]. [ S 1 ]: [ s n ].  
 [ 2 ] 易学法. 西安市地面沉降及地裂缝成因的讨论 [ J]. 地震, 1984( 6): 50- 54  
 [ 3 ] 王光亚, 施斌, 王晓梅, 等. 江阴南部地面沉降及地裂缝研究 [ J]. 水文地质工程地质, 2009, 36( 2): 117- 122  
 [ 4 ] 王瑞久. 滑坡和沉降文选 [ R]. 北京, 2004  
 [ 5 ] 杨旭东, 孙党生, 彭成, 等. 华北平原地裂缝地球物理勘查项目成果报告 [ R]. 保定: 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 2008

### An analysis of earth fissure at Baixiang County Xingtai City

LI Zhiming<sup>1,2</sup>, YANG Xu-dong<sup>3</sup>, LAN Jian-mei<sup>1</sup>, TONG Jir-qing<sup>4</sup>

(1. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;

2. China Institute for Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China;

3. Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding 071005, China;

4. Qinghai Province environment Geology Prospecting Bureau, Xining 8100015, China)

**Abstract** Earth fissures occurs in Hengshui, Baixiang, Wen'an, Anping, Xianghe and Bazhou in Hebei Province in summer and autumn. The earth fissure at Baixiang at Xingtai is as long as 8km. This paper reveals that the Baixiang earth fissure was caused owing to groundwater overdrafts through general combination of geophysical exploration data and ground water level analysis. Over-extraction of groundwater had resulted in large-area land subsidence in this area. The difference in land subsidence occurring at both sides of the former faults finally conducted earth fissure in Baixiang County. At the same time, when superficial earth being intererated by large amount of meteoric precipitation in Hebei Plain filtered into earth fissure underlying the land surface following the rain water, the Baixiang earth fissure finally emerged on the land surface.

**Key words** earth fissure; geophysical exploration; change in groundwater level

责任编辑:汪美华

(上接第 134页)

occur. Based on GIS, six indices, i.e., topography, lithology, structure, rainfall, land-use type and road are selected for the assessment of geological disasters. The sensitivity of various indices are based on 68 historically happened disasters, and the weights of the factors are determined by information models, statistical models and analytic hierarchy process (AHP) separately. The synthetic appraisal of mountain disasters in Lingyuan City is carried out by factor overlay method. The results indicate that the AHP is obviously advantageous in the probability assessment of regional mountain disasters. The research is helpful in the zonation of mountain disasters assessment of similar areas.

**Key words** AHP; information model; statistical model; mountain disaster; probability assessment

责任编辑:汪美华