

## 成果与方法

# 综合危险性指数法在苍山县 地质灾害易发区划分中的应用

韩娟<sup>1</sup>, 张永伟<sup>2,3</sup>, 祁娟<sup>3</sup>, 魏嘉<sup>3</sup>

(1. 济南华强市政工程有限责任公司, 山东 济南 250022; 2 中国地质大学, 北京 100083; 3 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014)

**摘要:** 地质灾害的发生和发展是地质环境因素和人类工程经济活动共同作用的结果, 其易发性主要受自然因素和人为因素的共同影响。以山东省苍山县地质灾害易发区划分为例, 探讨性地采用了地质灾害综合危险性指数法, 定量划分了苍山县地质灾害易发区, 结果符合当地地质灾害发育的实际情况, 为苍山县地质灾害的预防和治理工作提供了科学依据。

**关键词:** 综合危险性指数; 地质灾害易发区; 地质灾害强度; 归一化; 山东苍山  
**中图分类号:** P642.2; X43; X45 **文献标识码:** A

## 0 引言

苍山县位于山东省临沂市西南部, 地处鲁南低山丘陵南缘, 地势自西北向东南逐渐降低, 西北部为低山丘陵区, 面积约为 600 km<sup>2</sup>, 东北部为丘陵地区, 面积约为 400 km<sup>2</sup>, 中部、南部为平原区, 面积约为 800 km<sup>2</sup>。区内断裂构造较发育, 矿产资源丰富, 矿业开发强度大。由于当地降水量相对较大, 地质环境条件较为复杂, 崩塌、采空塌陷等地质灾害时有发生。截至 2006 年 5 月, 全县共发现各类地质灾害及隐患点 45 处, 主要类型为崩塌 (含不稳定斜坡)、泥石流和地面塌陷, 地质灾害隐患点的分布具有区域分散、局部集中的特点, 大部分集中在山地丘陵区 and 矿产资源集中开采区, 全县 21 个乡镇中发现 12 个地质灾害隐患。

在工作中为使地质灾害易发区的内涵清晰, 评价单元选择合理, 指标选取和赋值依据充分, 划分结果层次分明, 体现地质环境条件对于地质灾害形成和发展的控制规律和地质灾害发育的基本特点。对苍山县地质灾害易发区的划分采用“地质灾害综合

危险性指数法”进行定量分析。该方法既考虑潜在地质灾害强度, 又考虑现状 (已发) 地质灾害强度, 运用归一化数据处理方法, 利用 MapGIS 软件的空间分析功能和 Microsoft Excel 强大的数据计算功能, 划定苍山县地质灾害易发区, 为类似地区地质灾害易发区的划分提供借鉴模式。

## 1 地质灾害综合危险性指数法

### 1.1 单元网格划分

将县 (市) 行政区划图进行网格剖分。运用栅格数据处理方法对整个调查区进行剖分, 每个单元面积为 1km × 1km ~ 3km × 3km。

### 1.2 计算方法

地质灾害综合危险性指数的计算方法:

$$Z = Z_q \cdot \eta_1 + Z_x \cdot \eta_2 \quad (1)$$

式中:  $Z$ —地质灾害综合危险性指数;  $Z_q$ —潜在地质灾害强度指数;  $\eta_1$ —潜在地质灾害强度权值, 此处根据实际情况取 0.6;  $Z_x$ —现状地质灾害强度指数;  $\eta_2$ —现状地质灾害强度权值, 此处取根据实际情况

收稿日期: 2007-04-11; 修订日期: 2007-06-11; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 韩娟 (1977-), 女, 山东济南人, 助理工程师, 主要从事工程施工、工程监理、工程勘察工作。

张永伟, 姚春梅, 姚英强等, 山东省苍山县地质灾害调查与区划报告, 山东省地质环境监测总站, 2006 年。

国土资源部《县 (市) 地质灾害调查与区划基本要求》实施细则 (修订稿), 2006 年。

取 0.4。

### 1.3 潜在地质灾害强度指数计算

潜在地质灾害强度指数 ( $Z_q$ )按以下公式计算:

$$Z_q = T_i \cdot A_i = D \cdot A_D + X \cdot A_X + Q \cdot A_Q + R \cdot A_R \quad (2)$$

式中:  $T_i$  分别为控制评价单元地质灾害形成的地质条件 ( $D$ )、地形地貌条件 ( $X$ )、气候植被条件 ( $Q$ )、人为条件 ( $R$ )充分程度的表度分值,各评价指标的选取与评判标准依据具体情况而定。 $A_i$  分别为各形成条件的权值,根据实际情况分配。

### 1.4 现状地质灾害强度指数计算

现状地质灾害强度指数 ( $Z_x$ )可以用灾害点密度、灾害面积密度以及灾害体积密度求得。

崩塌、滑坡、泥石流强度指数 ( $Z_x$ ):

$$R = a + b + c \quad (3)$$

地面塌陷和地裂缝强度指数 ( $Z_x$ ):

$$R = a + b \quad (4)$$

其中:  $a$ —归一化处理后的灾害个数密度系数;  $b$ —归一化处理后的灾害面积密度系数;  $c$ —归一化处理后的灾害体积密度系数。

### 1.5 地质灾害综合危险性指数

根据各单元的地质、地形地貌、气候以及人类工程活动等条件(上述判别方法),利用 MapGIS 软件

的空间分析功能和 Microsoft Excel 数据计算功能,求取评价单元的潜在地质灾害强度指数与现状地质灾害强度指数,分级赋值进行换算叠加,获得评价单元的地质灾害综合危险性指数。

### 1.6 地质灾害易发区划分

依据地质灾害综合危险性指数,结合苍山县的实际情况,考虑各项致灾害因素,合并相同单元格,划定出地质灾害易发区。

## 2 评价过程

### 2.1 单元网格划分

将苍山县行政区划图进行网格剖分。主要运用栅格数据处理方法对调查区进行剖分,每个单元面积为  $2\text{km} \times 2\text{km}$ ,共划分为 442 个单元网格。

### 2.2 潜在地质灾害强度指数计算

(1)评价因子的选取原则。潜在地质灾害强度要综合考虑自然地质环境条件和人类工程—经济活动情况,尽可能多的考虑各种因素,必须把那些最直接、最重要的因子包括在内<sup>[1]</sup>,主要包括控制评价单元地质灾害形成的地质条件、地形地貌条件、气候植被条件、人为条件充分程度的表度分值,各评价指标的选取与评判标准依据具体情况而定(表 1)。

表 1 潜在地质灾害强度评价因子强度分级与充分程度的表度分值

强度 分级	地质条件 ( $D$ )					地形地貌条件 ( $X$ )		气候植被条件 ( $Q$ )		人为条件 ( $R$ )	
	矿产资源	场地土 类型	地面峰值 加速度 ( $g$ )	反映谱特 征周期 ( $s$ )	岩土体承 载力 ( $\text{MPa}$ )	地貌单元	地形坡度 ( $^\circ$ )	气候条件	植被条件	人口密度 (人/ $\text{km}^2$ )	工程活动 强度
	丰富	软弱	>0.125	<0.1	<0.15	低山	>30	极差	极差	>800	大
	较丰富	中软	0.1~0.125	0.1~0.3	0.15~0.3	丘陵	10~30	较差	较差	600~800	中
	一般	中硬	0.069~0.1	0.3~0.6	0.3~0.6	河谷 山前平原	5~10	一般	一般	400~600	小
	贫乏	坚硬	<0.069	>0.6	>0.6	冲积平原	<5	优良— 良好	优良— 良好	<400	无

(2)评价因子的基本分值。每个评价因子分级均按 4 级处理, - 级的评价因子根据其其对地质灾害强度影响轻重确定其级别(表 2)。

表 2 地质灾害单项因子基本分值

级 别	基本分值	100	70	40	10

(3)评价因子权重的确定。 $A_i$  分别为各形成条件的权值,根据实际情况分配。

评价单元地质灾害形成的地质条件 ( $D$ )、地形地貌条件 ( $X$ )、气候植被条件 ( $Q$ )、人为条件 ( $R$ ),确定各个评价因子权重采用傅勒三角形法,字母代

尹明泉,袁西龙,王杜玲等,青岛地区生态环境地质调查报告,青岛地质工程勘察院,2003 年。

傅勒三角形 表各个评价因子,每两行为一组,如第一行和第二行为一组,将评价因子 D (地质条件)与其他因子分别进行比较,在认为对地质灾害影响较重要的因子上画一圆圈,同样把其他组依次进行比较,圈定较重要因子,然后进行统计,计算因子的权重。经过组织具有高级及以上职称的水工环地质专家根据傅勒三角形对各评价因子的重要性进行评判,经统计计算,确定各因子的权重(表 3)。

表 3 评价因子权重

代号	权重	代号	权重	代号	权重	代号	权重
$A_D$	0.333	$A_X$	0.333	$A_Q$	0.167	$A_R$	0.167

### 2.3 现状地质灾害强度指数计算

首先进行归一化处理,或无量纲化处理。

(1)灾害个数密度系数(即地质灾害频度比  $a$ )。设第  $i$  单元内灾害个数(灾害频率)为  $f_i$ ,单元面积为  $S_i$ ,单元内灾害个数(灾害频率)密度  $f_i$ ;整个研究区面积为  $S$ ,灾害总数为  $f$ ,总灾害个数(灾害频率)密度  $f$ ,则:第  $i$  单元频数比:

$$a = f_i / f \quad (5)$$

其中:  $f_i = f_i / S_i$ ;  $f = f / S$

(2)灾害面积密度系数( $b$ )。设第  $i$  单元内灾害点总面积为  $S_{si}$ ,单元面积为  $S_i$ , $i$  单元内灾害的面积模数  $s_i$ ;整个研究区面积为  $S$ ,灾害点总面积为  $s$ ,总面积模数为  $s$ ,则:第  $i$  单元面积模数比:

$$b = s_i / s \quad (6)$$

其中:  $s_i = s_i / S_i$ ;  $s = s / S$

(3)灾害体积密度系数( $c$ )。设第  $i$  单元内灾害点总体积为  $V_{si}$ ,单元体积为  $V_i$ , $i$  单元内灾害的体积模数  $v_i$ ;整个研究区总体积为  $V$ ,灾害点总体积为  $v$ ,总体积模数  $v$ ,则:

第  $i$  单元体积模数比:

$$c = v_i / v \quad (7)$$

其中:  $v_i = V_{si} / V_i$ ;  $v = v / V$

现状地质灾害强度指数( $Z_x$ )按公式(3)(4)进行计算。

### 2.4 地质灾害综合危险性指数计算

按照公式(1)计算各评价单元的地质灾害综合危险性指数(表 4),按照表 5 中所列地质灾害综合危险性评价分级标准,对区内的地质灾害综合危险

性进行分级,并根据计算结果的分布规律,综合考虑各类致灾因素和苍山县实际情况,划定地质灾害易发区(图 1)。

表 4 各评价单元的地质灾害综合危险性指数

单元号	$Z_q$	$Z_x$	$Z$	单元号	$Z_q$	$Z_x$	$Z$
14	80	26	58	159	75	19	53
27	85	52	72	160	75	13	50
35	65	15	45	163	75	36	59
45	80	10	52	186	75	16	51
47	75	10	49	201	85	19	58
49	80	22	57	202	85	56	73
63	75	49	65	221	75	11	50
73	85	11	55	223	55	62	58
95	85	13	56	226	85	69	79
108	75	17	52	227	85	44	69
132	75	27	56	246	85	26	62
133	75	13	50	264	85	36	66
137	80	20	56	377	75	10	49
145	70	11	46	433	65	183	112
155	75	54	67	11	85	0	51
157	75	21	54	31	95	0	57
28, 32, 74, 131, 134, 135, 136, 158, 162, 203, 204, 220, 228, 240, 241, 242, 243, 245, 247		0	40 ~ 50				
其他 391 个单元格均同		0	<40				

表 5 地质灾害综合危险性评价分级标准

综合危险性	60	50 ~ 60	40 ~ 50	<40
分级标准				
地质灾害	高易发区	中易发区	低易发区	非易发区
易发区划分				

### 3 地质灾害易发区分区评价

根据上述定量计算结果,结合地质灾害形成、发育的地质环境条件,将苍山县地质灾害划分为高易发区(A)、中易发区(B)、低易发区(C)及非易发区(D)。考虑到具体情况,将易发区按照灾种进一步划分:用数字表示,“1”代表滑坡崩塌地质灾害易发区;“2”代表泥石流地质灾害易发区;“3”代表滑坡、崩塌、泥石流地质灾害易发区;“4”代表地面塌陷灾害易发区。如:  $A_1$  表示崩塌、滑坡高易发区;  $A_2$  表示泥石流高易发区;  $A_3$  表示崩塌、滑坡、泥石流高易

刘传正,三峡库区地质灾害调查评价综合研究报告,中国地质环境监测院,2003年。

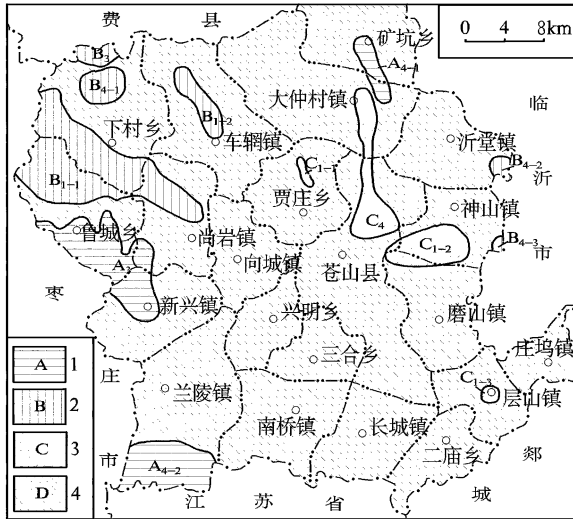


图 1 苍山县地质灾害易发区图

1—高易发区;2—中易发区;3—低易发区;4—非易发区

发区;A<sub>4</sub>表示地面塌陷高易发区;B<sub>1</sub>代表崩塌、滑坡中易发区。以此类推,不同区段类型相同的地质灾害易发区将按不同区段顺序依次编号,如A<sub>4-1</sub>,A<sub>4-2</sub>等。

根据上述划分原则标准与方法,结合苍山县实际,将工作区划分为高易发区(A)3个、中易发区(B)6个、低易发区(C)4个和非易发区(D)(表6,图1)。

表 6 苍山县地质灾害易发区划分

易发区代号		易发区名称	面积 (km <sup>2</sup> )	灾害点 (处)
A	A <sub>3</sub>	鲁城 - 新兴滑坡崩塌泥石流高易发区	52.53	15
	A <sub>4-1</sub>	矿坑 - 金桥屯地面塌陷高易发区	10.77	3
	A <sub>4-2</sub>	刘河崖 - 大庄子地面塌陷高易发区	36.49	2
B	B <sub>1-1</sub>	西薄岭 - 文峰山滑坡崩塌中易发区	97.00	11
	B <sub>1-2</sub>	傅家山 - 节义庄滑坡崩塌中易发区	13.15	3
	B <sub>3</sub>	北崮滑坡崩塌泥石流中易发区	6.66	2
	B <sub>4-1</sub>	下村龙宝山地面塌陷中易发区	12.73	2
	B <sub>4-2</sub>	大槐树地面塌陷中易发区	3.41	3
	B <sub>4-3</sub>	东道庄地面塌陷中易发区	1.32	1
C	C <sub>1-1</sub>	潘家沟滑坡崩塌低易发区	2.12	1
	C <sub>1-2</sub>	燕柱山 - 青竹山滑坡崩塌低易发区	24.29	1
	C <sub>1-3</sub>	层山山后滑坡崩塌低易发区	2.24	1
	C <sub>4</sub>	大仲村 - 卞庄地面塌陷低易发区	28.77	
D	地质灾害非易发区		1508.52	

### 3.1 地质灾害高易发区(A)

主要分布于鲁城乡、新兴镇、尚岩镇、矿坑乡、大仲村镇和兰陵镇,主要为铁矿、石膏矿、石英砂矿的开采区和煤矿采空区。

区内地形坡度较小,多为丘陵。变质岩和第四系广泛分布,地质构造较为复杂。人类工程活动强烈,易形成地面塌陷地质灾害,一些地段在特殊条件下易形成崩塌、滑坡、泥石流(渣石流)地质灾害。苍山县地质灾害高易发区共3个,地质灾害点20个,面积99.79km<sup>2</sup>,占全县总面积的5.54%。

#### 3.1.1 鲁城 - 新兴滑坡崩塌泥石流高易发区(A<sub>3</sub>)

该高易发区位于苍山县西部的鲁城乡、新兴镇和尚岩镇,为铁矿、石英砂矿的重要开采区。主要地层为泰山岩群山草峪组、石炭系和第四系,矿山开采后形成不稳定边坡,易产生崩塌、滑坡,开采的尾矿堆积后在强降雨的情况下易产生渣石流等灾害,随着铁矿逐渐转入地下开采,该区又是采空塌陷隐患区。面积52.53km<sup>2</sup>,灾害点数15个,是地质灾害点分布最集中的区域之一。威胁206国道公路和当地村民的生产生活。

#### 3.1.2 矿坑 - 金桥屯地面塌陷高易发区(A<sub>4-1</sub>)

该高易发区分布于苍山县东北部矿坑乡矿坑村、升平庄、大仲村镇金桥屯村。该区主要为石炭纪煤系地层,为煤矿采空区和铝土矿开采区,煤矿开采后形成大面积采空区,矿坑村产生多处房裂,面积10.77km<sup>2</sup>,灾害点数3个。威胁当地村民的生命安全及破坏土地资源。

#### 3.1.3 刘河崖 - 大庄子地面塌陷高易发区(A<sub>4-2</sub>)

该高易发区位于苍山县西南部兰陵镇刘河崖、大庄子村,是苍山县石膏矿开采区,上为第四系覆盖,面积36.49km<sup>2</sup>,灾害点数2个,地面塌陷地质灾害主要对土地资源造成了破坏。

### 3.2 地质灾害中易发区(B)

该区主要分布在下村镇、鲁城乡、车辋镇、沂堂镇和神山镇,主要位于苍山县西北部低山丘陵区 and 东部平原区,主要为古生代碳酸盐岩和第四纪松散沉积物,面积为134.27km<sup>2</sup>,占全县面积的7.46%,灾害点数22个。

#### 3.2.1 西薄岭 - 文峰山滑坡崩塌中易发区(B<sub>1-1</sub>)

该中易发区位于苍山县西北部低山丘陵区,主要位于下村镇西南、鲁城乡北部,出露古生代碳酸盐岩,崮形地貌上部节理裂隙发育,易产生崩塌,面积97.00km<sup>2</sup>,灾害点数11个。

#### 3.2.2 傅家山 - 节义庄滑坡崩塌中易发区(B<sub>1-2</sub>)

该中易发区位于苍山县车辋镇,出露石炭系中统本溪组下部地层,主要为铝土矿开采区形成的不

稳定边坡,节理裂隙较发育,易产生崩塌,面积 13.15 km<sup>2</sup>,灾害点数 3 个。

### 3.2.3 北崮滑坡崩塌泥石流中易发区 (B<sub>3</sub>)

该中易发区位于苍山县西北部下村乡,出露寒武纪碳酸盐岩,崮形地貌节理裂隙发育,易产生崩塌,在一定的汇水面积条件下易产生小型泥石流灾害,面积 6.66 km<sup>2</sup>,灾害点数 2 个。

### 3.2.4 下村龙宝山地面塌陷中易发区 (B<sub>4.1</sub>)

该中易发区位于下村龙宝山,出露花岗岩斑岩体,节理裂隙发育处,地形较陡,易产生崩塌,金矿开采后产生地面塌陷,面积 12.73 km<sup>2</sup>,灾害点数 2 个。

### 3.2.5 大槐树地面塌陷中易发区 (B<sub>4.2</sub>)

该中易发区位于苍山县沂堂镇东部大槐树村,出露石炭系中统本溪组下部地层,主要为铝土矿、煤矿开采后形成的采空区,面积 3.41 km<sup>2</sup>,灾害点数 3 个。

### 3.2.6 东道庄地面塌陷中易发区 (B<sub>4.3</sub>)

位于苍山东部的神山镇,为采煤后形成的塌陷区,破坏了良田,面积 1.32 km<sup>2</sup>,灾害点数 1 个。

## 3.3 地质灾害低易发区 (C)

位于苍山县中东部的贾庄乡、大仲村镇、神山镇和层山镇,出露灰岩和变质岩地层,主要为石灰石和铝土矿开采后形成的不稳定边坡,节理裂隙发育,易产生崩塌,面积 57.42 km<sup>2</sup>,占全县总面积的 3.19%,灾害点数 3 个。

### 3.3.1 潘家沟滑坡崩塌低易发区 (C<sub>1.1</sub>)

位于贾庄乡潘家沟村,为石灰岩开采后的采坑,

面积 2.12 km<sup>2</sup>,灾害点数 1 个。

### 3.3.2 燕柱山 - 青竹山滑坡崩塌低易发区 (C<sub>1.2</sub>)

位于神山镇 206 国道两侧低山丘陵区,主要为公路两侧可视范围内的石灰岩损毁山体,面积 24.29 km<sup>2</sup>,灾害点数 1 个。

### 3.3.3 层山山后滑坡崩塌低易发区 (C<sub>1.3</sub>)

位于层山镇山后村,为石灰岩开采后形成的采坑,威胁村民房屋,面积 2.24 km<sup>2</sup>,灾害点数 1 个。

### 3.3.4 大仲村 - 卞庄地面塌陷低易发区 (C<sub>4</sub>)

该区为岩溶水的径流区,局部为泉水排泄,河床的局部地带,第四系为砂及砂砾石层,一般为双层结构,厚 3~5m,砂层直接覆盖于灰岩之上,目前尚未发生岩溶塌陷,当将来地下水大量开采后,水位变化频繁,易产生潜蚀作用,从而有可能导致岩溶塌陷的发生,为岩溶塌陷低易发区,面积 28.77 km<sup>2</sup>。

## 3.4 地质灾害非易发区 (D)

该非易发区位于苍山县南部平原区、中部丘陵区,主要分布在南桥镇、长城镇、二庙乡、庄坞镇、磨山镇、三合乡、向城镇和卞庄镇及其他地质灾害不易发生的区域,主要为第四系覆盖区,局部出露碳酸盐岩等,不易产生崩塌、滑坡、地面塌陷等地质灾害,未发现灾害点,面积 1508.52 km<sup>2</sup>,占全县总面积的 83.81%。

## 参考文献:

- [1] 贾永刚,谭长伟,刘永军,等.青岛城市工程地质[M].青岛:青岛海洋大学出版社,1995,116-122.

# Application of Synthetic Hazards Index Method in Classifying Geological Hazards Easy - happening Areas in Cangshan County

HAN Juan<sup>1</sup>, ZHANG Yong - wei<sup>2,3</sup>, QI Juan<sup>3</sup>, WEI Jia<sup>3</sup>

(1. China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 2. Jinan Huaqiang Municipal Engineering Limited Corporation, Shandong Jinan 250022, China; 3. Shandong Monitoring Center of Geo - Environment, Jinan, 250014, China)

**Abstract:** Happening and development of Geological hazards are the result of geological environment elements human engineering activities. Regarding easy - happening areas of geological hazards in Cangshan county as an example, by using synthetic hazards index method, geological hazards easy - happening areas can be classified quantitatively, and the result fits the factual condition of geological hazards. It will provide scientific basis for prevention and management of geological hazards.

**Key words:** Synthetic dangerous hazard index; geological hazards easy - happening areas; geological hazards intensity; classify; Cangshan in Shandong province