

# Risk Zoning of Mountain Flood Disaster in Hubei Province Based on Improved Grey Clustering Method

Qiong Li<sup>1,2</sup>, Jianzhong Zhou<sup>2</sup>, Jian Zhou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hubei Polytechnic University, Huangshi Hubei

<sup>2</sup>Institute of Hydropower and Digital Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei  
Email: liqiong070108@163.com

Received: Nov. 18<sup>th</sup>, 2018; accepted: Dec. 5<sup>th</sup>, 2018; published: Dec. 12<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In view of the limitations of the classical grey clustering method, an improved grey clustering method for comprehensive risk assessment of mountain torrents is proposed by constructing an exponential whitening function and an entropy weight method. This method makes full use of the known limited information, improves the resolution and avoids the influence of subjective factors, so as to make the evaluation results more objective and accurate. Finally, combined with the investigation and evaluation data of mountain torrent disasters in Hubei Province, the risk distribution results of mountain torrent disasters in Hubei Province are obtained, and the risk zoning map of mountain torrent disasters in Hubei Province is compiled.

## Keywords

Grey Clustering Method, Whitening Function, Information Entropy, Mountain Torrents Disaster Risk, Evaluation, Zoning

---

# 基于改进灰色聚类法的湖北省山洪灾害风险区划

李琼<sup>1,2</sup>, 周建中<sup>2</sup>, 周健<sup>2</sup>

<sup>1</sup>湖北理工学院, 湖北 黄石

<sup>2</sup>华中科技大学, 水电与数字化工程学院, 湖北 武汉  
Email: liqiong070108@163.com

收稿日期: 2018年11月18日; 录用日期: 2018年12月5日; 发布日期: 2018年12月12日

## 摘要

针对传统灰色聚类法的局限性,通过构造指数型白化函数和熵权法加以改进,提出了山洪灾害风险综合评价的改进灰色聚类法。此法充分利用已知的有限信息,既提高分辨率又避免主观因素的影响,使评价结果更加客观、准确;最后结合湖北省山洪灾害调查评价数据,得到湖北省山洪灾害风险性分布结果,并编制湖北省山洪灾害风险性区划图。

## 关键词

灰色聚类法,白化函数,信息熵,山洪灾害风险,评价,区划

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

山洪灾害分布广范围大、水量集中、突发性强、破坏力大、预报难、防御困难,往往造成毁灭性的灾害。主要是受气候、地理环境和人类活动的共同影响,中国山洪灾害频繁而严重,每年都造成大量人员伤亡和财产损失[1]。建国以来我国因洪水死亡约 27 万余人,其中有 19 万余人是由山洪灾害造成的,约占 70%。上世纪 90 年代以来,我国平均每年因山洪灾害造成的人员死亡超过 1000 人,山洪灾害年均经济损失在 400 亿元以上(全国山洪灾害防治规划,2005)。山洪灾害已成为我国防洪减灾的薄弱环节和减少因洪水人员死亡的突出灾种。山洪灾害风险区划研究是减轻山洪造成的损失,保障山丘区人民生命安全,促进社会经济持续稳定发展的重要方法。

客观、准确地对山洪灾害风险进行评价,是正确认识环境污染现状、制定相关防治政策和措施的前提。山洪灾害风险评价对于减灾防灾决策和管理具有非常重要的意义,山洪灾害风险区划通过对山洪易发区的规划决策而减轻山洪灾害的影响,同时也为当地居民提供了灾害的风险信息[2]。

目前,在山洪灾害风险评价中应用较多的有层次分析法、统计法、GIS 空间分析与水文模拟相结合的方法、模糊综合评判法和灰色聚类法等,其中灰色聚类法充分考虑了山洪灾害风险的模糊性和环境系统的灰色性[3] [4] [5] [6]。但是该方法还存在着几点不足,如:白化函数所覆盖的指标取值范围较窄,损失了很多有用的信息;同时,当评价等级是一个范围而不是某个确定的值,三角白化函数的单峰值点则难以适用此类情况,这些都导致评价结果会出现偏差。

随着遥感技术(Pus)与地理信息系统(GIS)技术的集成应用取得长足的进展,并逐渐应用到山洪灾害的危险性评价工作中,大大地促进了我国山洪灾害的危险性评价研究的发展。

本文在分析传统灰色聚类法及其局限性的基础上,从白化函数和权重方面加以改进,以期提供一种科学、客观、具有普适性的环境质量评价方法,并结合湖北省山洪灾害风险评价的实例,说明了评价的一般过程。

## 2. 传统灰色聚类模型

灰色聚类方法是灰色理论的一个重要部分。它是将聚类对象(评价对象)对不同评价指标的白化值,按  $N$  个灰类(评价等级)进行划分,从而判断聚类对象属于哪一灰类的灰色统计法。传统灰色聚类法的具体步骤如下:

对评价指标  $x_i (i=1,2,3,\dots,15)$ , 第  $s$  个数据属于第  $e$  个评价灰类的灰色评价系数记为:

$x_{ie}^{(s)} (e=1,2,3,4,5)$ , 则  $x_{ie}^{(s)} = f_{ie}(x_i)$ ,  $x_i$  表示第  $i$  个指标值。

对评价指标  $x_i (i=1,2,3,\dots,15)$ , 第  $s$  个数据属于各个评价灰类的总灰色评价系数记为  $x_i^{(s)}$ , 则有:

$$x_i^{(s)} = \sum_{e=1}^{15} x_{ie}^{(s)} \quad (1)$$

对所有指标值就评价指标  $x_i (i=1,2,3,\dots,15)$ , 第  $s$  个数据属于第  $e$  个灰类的灰色评价权记为  $r_{ie}^{(s)}$ , 则有:

$$r_{ie}^{(s)} = \frac{x_{ie}^{(s)}}{x_i^{(s)}} \quad (2)$$

则第  $s$  个数据就评价指标  $x_i (i=1,2,3,\dots,15)$  对于各灰类的灰色评价权向量:

$$r_i^s = (r_{i1}^{(s)}, r_{i2}^{(s)}, \dots, r_{i5}^{(s)}) \quad (3)$$

将第  $s$  个数据的全部指标对于各评价灰类的灰色评价权向量综合后, 得到第  $s$  个数据对于各评价灰类的评价权矩阵:

$$R^{(s)} = \begin{pmatrix} r_{1,1}^{(s)} & r_{1,2}^{(s)} & \cdots & r_{1,5}^{(s)} \\ r_{2,1}^{(s)} & r_{2,2}^{(s)} & \cdots & r_{2,5}^{(s)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{15,1}^{(s)} & r_{15,2}^{(s)} & \cdots & r_{15,5}^{(s)} \end{pmatrix} \quad (4)$$

用灰色聚类综合评价:

对第  $s$  个数据作综合评价, 模型为:

$$B^{(s)} = U_R \cdot R^{(s)} = (b_1^{(s)}, b_2^{(s)}, \dots, b_5^{(s)}) \quad (5)$$

若  $b_k = \max\{b_1^{(s)}, b_2^{(s)}, \dots, b_5^{(s)}\}$ , 则确定第  $s$  个数据属于第  $k$  类, 进而得到所有数据分类的结果[7]。

传统灰色聚类模型中的白化函数是分段线型, 每个等级的白化函数只与其相邻的两个评价等级有关, 这样使得直线型白化函数覆盖的范围有限, 因此损失了许多的有用信息; 而且, 若评价等级不是某个确定的值而是某个范围, 这时三角白化函数的单峰值点难以应用, 这些都是传统白化函数的不足。因此, 有必要对传统灰色聚类中的直线型白化函数进行改进[8]。

### 3. 模型改进

#### 3.1. 指数型白化函数

针对传统灰色聚类模型中白化函数的不足, 本文构造指数型白化函数  $f_{jk}$  对传统函数进行改进, 能拓展白化函数的覆盖范围, 而且能更有效的利用有限的信息。

具体改进方法如下:

取  $f_{jk} = e^{-\frac{x-\lambda_{jk}}{x}}$ , 若  $x \in (0, \lambda_{jk})$ , 则  $f_{jk}$  在区间  $(0, \lambda_{jk})$  内单调递增, 且  $\lim_{x \rightarrow 0^+} f_{jk} = 0$ ; 若  $x \in (\lambda_{jk}, +\infty)$ , 则  $f_{jk}$  在区间  $(\lambda_{jk}, +\infty)$  内单调递减, 且  $\lim_{x \rightarrow +\infty} f_{jk} = 0$ 。

#### 3.2. 基于熵的聚类权确定

在信息论中, 若评价对象在某个指标上的值相差较大, 熵值较小, 说明该指标提供的有效信息量就越多, 在综合评价中所起的作用越大, 其权重也应越大, 反之则越小。

由于在熵中的变量取值范围在 0~1, 因此需要对原始样本值进行处理, 本文采用归一化处理, 即:

$$u_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^m d_{ij}} \quad (6)$$

对于系统中的某个指标  $j$ , 其信息熵为:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m u_{ij} \ln u_{ij} \quad (7)$$

式中:  $k = 1/\ln n$ ,  $0 < e < 1$ 。

则可定义第  $j$  个指标的聚类权为:

$$w_j = (1 - e_j) \left( m - \sum_{j=1}^n e_j \right) \quad (8)$$

结合熵权法, 可将灰色聚类系数计算公式(4)改写为:

$$\sigma_{ik} = \sum_{j=1}^n f_{jk} (d_{ij}) w_j \quad (9)$$

## 4. 应用实例

### 4.1. 山洪灾害风险区划评价对象及数据

山洪灾害是自然界的洪水作用于人类社会的产物, 是人与自然关系的一种特殊表现。准确来说, 形成山洪灾害必须具备以下条件: 存在诱发山洪的因子和形成山洪灾害的环境(危险性); 山洪暴发区有人类居住或分布有社会财产(易损性)。从系统论的观点来看, 两者相互作用、相互影响、相互联系, 形成了一个具有一定结构、功能、特征的复杂体系, 这就是山洪灾害系统。

本文以湖北省 10 个乡镇作为山洪灾区的研究对象, 以研究提出的 TFN-AHP 方法得到风险评价指标的权重系数, 采用灰色聚类分析法对湖北省进行山洪灾害危险、易损和风险评价。

根据湖北省 2013~2015 年度调查评价数据和湖北省 74 个县(市、区)的小流域设计暴雨分析计算、计算单元的设计暴雨洪水、现状防洪能力, 综合考虑水文气象、地形地貌和社会经济特征以及历史山洪灾害情况等, 结合湖北省植被覆盖指数和小流域空间信息数据, 运用地理信息系统软件(ArcGIS)的空间数据提取、空间数据采样插值及空间数据分析计算等功能, 为风险分析提供数据支撑, 整理得到 10 个乡镇的山洪灾害危险性、易损性评价数据, 如表 1 及表 2 所示。

**Table 1.** Hazard assessment data for mountain torrents

**表 1.** 山洪灾害危险性评价数据

乡镇名称	降雨量(mm)	临界雨量(mm)	水位(m)	平均坡度(°)	相对高差(m)	河网密度(km/km <sup>2</sup> )	植被覆盖指数(%)
龙港镇	84.66	126.90	1.84	18.18	431	0.88	80.41
香口乡	61.01	72.90	0.88	28.56	610	0.86	95.28
丰溪镇	122.44	75.94	0.41	39.22	1619	0.62	93.31
螺祖镇	204.39	193.60	1.36	32.43	679	0.54	95.22
湾潭镇	105.63	178.10	34.19	20.80	1312	0.58	98.43
车埠镇	105.88	217.25	-0.29	3.32	33.00	0.51	76.97
三里乡	84.33	125.75	1.29	19.17	719.00	0.54	95.25
清太平镇	98.46	124.08	-3.57	23.23	982.00	0.49	95.89
沙道沟镇	115.84	132.21	-0.05	32.23	1193.00	0.59	94.84
容美镇	136.18	150.00	1.64	30.33	1205.00	0.58	97.39

**Table 2.** Vulnerability assessment data for mountain torrents  
**表 2.** 山洪灾害易损性评价数据

乡镇名称	现状防洪能力(年)	耕地面积占比(%)	人口密度(人/km <sup>2</sup> )	历史山洪直接经济损失(万元)	历史山洪死亡失踪人口(人)	防治区居民住房财产(万元)	农业总产量(吨)	地方财政收入(万元)
龙港镇	1.02	0.18	301.61	120,000	7	12.59	31,069.86	4890.50
香口乡	2.89	0.02	53.28	39,966	11	21.78	14,990.80	1374.00
丰溪镇	2.91	0.04	29.48	2000	16	11.24	18,062.50	2375.00
螺祖镇	7.15	0.07	70.81	3100	5	28.56	17,153.29	16,714.29
湾潭镇	3.99	0.09	53.82	2497	45	180.63	17,441.71	4157.14
车埠镇	3.14	0.24	299.34	4950.00	0	11.79	27,450.33	17,193.50
三里乡	5.80	0.26	254.61	159.00	2	43.21	38,012.70	15,926.00
清太平镇	31.99	0.14	144.64	8000.00	8	62.42	26,683.83	4519.92
沙道沟镇	3.04	0.07	101.33	303.00	0	25.89	24,048.00	3232.00
容美镇	16.32	0.08	133.95	112.00	0	40.36	19,733.57	30,286.29

## 4.2. 用改进灰色聚类法确定评价对象灰类及风险等级

灰色聚类分析法是以灰色系统的关联分析法确定的关联系数为基础进行聚类的方法，目前比较广泛的应用于水质分析、大气污染评价，尤其在地质灾害评价领域得到广泛发展与运用。灰色白化权函数聚类主要用于检查观测对象是否属于事先设定的不同类别，以区别对待。基于梯形白化权函数的灰色评估，其核心方法是先按照评估要求所需，将各个指标的取值范围划分为多个灰类，然后通过梯形白化权函数计算每个指标值对于每个灰类的隶属度，再利用隶属度值计算每个对象对于灰类的综合聚类系数，最后根据综合聚类系数，确定每个对象归属的灰类，以达到聚类的目的。

然而，传统灰色聚类模型中白化函数的构造是分段直线型的，使得白化函数的覆盖范围有限，从而损失了大量有用信息，易导致评价结果出现偏差。针对传统灰色聚类法的局限性，通过构造指数型白化函数和熵权法加以改进，提出了山洪灾害风险综合评价的改进灰色聚类法。此法充分利用已知的有限信息，既提高分辨率又避免主观因素的影响，使评价结果更加客观、准确。

### 4.2.1. 建立指数形白化权函数进行综合评价确定评价对象灰类

根据指标的数据情况并参考已有的分级标准，确定危险性指标和社会易损性指标评价灰类为 I 类、II 类、III 类、IV 类和 V 类 5 个等级，对应高风险、较高风险、中等风险、较低风险、低风险 5 个风险等级(表 3)。确定灰类的灰数、以及灰数的指数形白化权函数。

**Table 3.** Risk assessment grading standard  
**表 3.** 风险性评价分级标准

评价指标	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	
降雨量(mm)	<10	10~70	70~00	100~150	>150	
临界雨量(mm)	>171.2	149.8~171.2	128.5~149.8	107.1~128.5	<107.1	
水位(m)	<-1.4	-1.4~-0.5	-0.5~0.1	0.1~1.4	>1.4	
危险性	平均坡度(°)	<5	5~10	10~30	30~50	>50
	相对高差(m)	<100	100~200	200~500	500~1000	>2000
	河网密度(km/km <sup>2</sup> )	<0.5	0.5~0.7	0.7~0.9	0.9~2	>2
	植被覆盖指数(%)	>95	80~95	60~80	40~60	<40

Continued

	危险区现状防洪能力(年)	>100	10~100	5~10	2~5	<2
	耕地面积占比	<0.2	0.2~0.3	0.3~0.5	0.5~0.8	>0.8
	人口密度(人/km <sup>2</sup> )	0~150	150~300	300~420	420~500	>500
易损性	历史山洪直接经济损失(万元)	<100	100~200	200~300	300~1000	>1000
	历史山洪死亡失踪人口(人)	<2	2~5	5~10	10~30	>30
	防治区居民住房财产(万元)	<10.2	10.2~16.1	16.1~51.2	51.2~80.46	>80.46
	农业总产量(吨)	<10,000	10,000~20,000	20,000~30,000	30,000~50,000	>50,000
	地方财政收入(万元)	<3000	3000~5000	5000~10,000	10,000~20,000	>20,000

以此建立的指数形白化权函数以降雨量为例:

$$f_1 = \begin{cases} 1 & x \in [0, 10] \\ e^{\frac{10-x}{10}} & x \in (10, +\infty) \end{cases} \quad f_2 = \begin{cases} e^{\frac{x-10}{10}} & x \in [0, 10] \\ 1 & x \in (10, 70] \\ e^{\frac{70-x}{70}} & x \in (70, +\infty) \end{cases} \quad f_3 = \begin{cases} e^{\frac{x-70}{70}} & x \in [0, 70] \\ 1 & x \in (70, 100] \\ e^{\frac{100-x}{100}} & x \in (100, +\infty) \end{cases}$$

$$f_4 = \begin{cases} e^{\frac{x-100}{100}} & x \in [0, 100] \\ 1 & x \in (100, 150] \\ e^{\frac{150-x}{150}} & x \in (150, +\infty) \end{cases} \quad f_5 = \begin{cases} 1 & x \in (150, +\infty) \\ \frac{x-125}{125} & x \in [0, 150] \end{cases}$$

#### 4.2.2. 计算灰色评价权矩阵

对评价指标  $x_i (i=1, 2, 3, \dots, 15)$ , 第  $s$  个数据属于第  $e$  个评价灰类的灰色评价系数记为:  $x_{ie}^{(s)} (e=1, 2, 3, 4, 5)$ , 则  $x_{ie}^{(s)} = f_{ie}(x_i)$ ,  $x_i$  表示第  $i$  个指标值。

对评价指标  $x_i (i=1, 2, 3, \dots, 15)$ , 第  $s$  个数据属于各个评价灰类的总灰色评价系数记为  $x_i^{(s)}$ , 则有:

$$x_i^{(s)} = \sum_{e=1}^{15} x_{ie}^{(s)} \quad (6)$$

对所有指标值就评价指标  $x_i (i=1, 2, 3, \dots, 15)$ , 第  $s$  个数据属于第  $e$  个灰类的灰色评价权记为  $r_{ie}^{(s)}$ , 则有:

$$r_{ie}^{(s)} = \frac{x_{ie}^{(s)}}{x_i^{(s)}} \quad (7)$$

则第  $s$  个数据就评价指标  $x_i (i=1, 2, 3, \dots, 15)$  对于各灰类的灰色评价权向量:

$$r_i^{(s)} = (r_{i1}^{(s)}, r_{i2}^{(s)}, \dots, r_{i5}^{(s)}) \quad (8)$$

将第  $s$  个数据的全部指标对于各评价灰类的灰色评价权向量综合后, 得到第  $s$  个数据对于各评价灰类的评价权矩阵:

$$R^{(s)} = \begin{pmatrix} r_{1,1}^{(s)} & r_{1,2}^{(s)} & \dots & r_{1,5}^{(s)} \\ r_{2,1}^{(s)} & r_{2,2}^{(s)} & \dots & r_{2,5}^{(s)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{15,1}^{(s)} & r_{15,2}^{(s)} & \dots & r_{15,5}^{(s)} \end{pmatrix} \quad (9)$$



## 5. GIS 软件的应用

由于山洪是具有空间属性的自然过程，其风险评估与地理空间信息和属性信息关系密切，而 GIS 软件又具有功能齐全的处理地理空间信息的能力和好的模型结合与处理效果，所以在山洪风险区划研究中运用 GIS 技术，可以大大提高评估的精度和速度。与区划评价相关的因素包括地形因素，历史洪水以及气候因素，这些因子都具有很强的区域地理差异性，适宜用空间数据表达，而地理信息系统作为空间数据管理与分析的重要技术工具，对山洪灾害风险区划有着极大的支持与辅助作用[9]。

## 6. 山洪灾害风险分析

将山洪灾害危险性分布与易损性分布叠加等到山洪灾害的风险分布图，其计算公式如下：

$$R = 0.8H + 0.2V$$

式中  $R$  为山洪灾害的风险指数， $H$  为山洪灾害的危险性指数， $V$  为山洪灾害的易损性指数。

根据湖北省山洪灾害风险分析指标体系，在收集整理资料的基础上，综合考虑影响湖北省山洪灾害的致灾因子危险性和承灾体易损性，利用灰色评价方法结合层次分析法(AHP)建立分析模型并编写计算程序，对山洪灾害危险性和易损性按权重进行叠加分析，将湖北省山洪灾害风险性划分为五个等级：低风险性、较低风险性、中等风险性、较高风险性、高风险性(表 4)，得到湖北省山洪灾害风险性分布结果(表 5)，并编制湖北省山洪灾害风险性区划图。

**Table 4.** Risk classification of mountain torrents in Hubei Province

**表 4.** 湖北省山洪灾害风险等级划分

等级划分	灾害含义
低风险区	发生山洪灾害的可能性极低，即便发生其造成的损失也很小，几乎无影响。
较低风险区	发生山洪灾害的可能性较低，对建筑损坏、人员安全、农田的影响较小。
中等风险区	发生山洪灾害的可能性较高，对危险区居民点、人员安全、农田的影响不可忽视。
较高风险区	发生山洪灾害的可能性很高，对防治区企事业单位的运行、人员财产安全、农田的影响较大。
高风险区	发生山洪灾害的可能性极高，暴雨时极有可能发生山洪，造成人员伤亡、农田淹没、房屋损毁，是重点关注对象。

运用基于指数型白化函数和熵权法的模糊灰色聚类的风险等级确定方法，对上述 10 个乡镇进行风险等级评价，研究结果如表 5 所示。

**Table 5.** Risk evaluation results

**表 5.** 风险评价等级表

乡镇名称	风险等级
龙港镇	III
香口乡	IV
丰溪镇	V
螺祖镇	IV
湾潭镇	II
车埠镇	I
三里乡	IV
清太平镇	III
沙道沟镇	V
容美镇	IV

本文对已有的基于层次分析法的风险区划等级分类方法的不足进行了分析,提出了一种基于指数型白化函数和熵权法的模糊灰色聚类的风险等级确定方法,运用该方法进行实例分析,研究结果表明:① 评价过程在模糊的环境下更客观精确的反映了所研究的问题,提高了风险等级评价的精度;② 灰色聚类分析法更好的运用了研究数据本身的特征信息,更准确、细致的计算各评价单元的风险等级,克服了风险分析等级分类中的不确定性和不可靠性;③ 结果很好的与历史山洪灾害损失程度相吻合,提高了风险分析结果的可信度与稳定性;④ 权重系数较与单一的层次分析法更加客观、更加符合实际,得到的区划结果具有较高应用价值,具有一定可行性。

## 7. 结论与展望

根据 DEM 资料及部分统计年鉴资料对山洪灾害风险性进行研究,可绘制湖北省山洪灾害风险区划图(图 1)。应用 ArcGIS 的空间数据处理分析方法使复杂的灾害风险区划变得简便,也提高了风险区划的精度。研究结果显示高风险区主要集中在西南部、西北部以及中部地区。

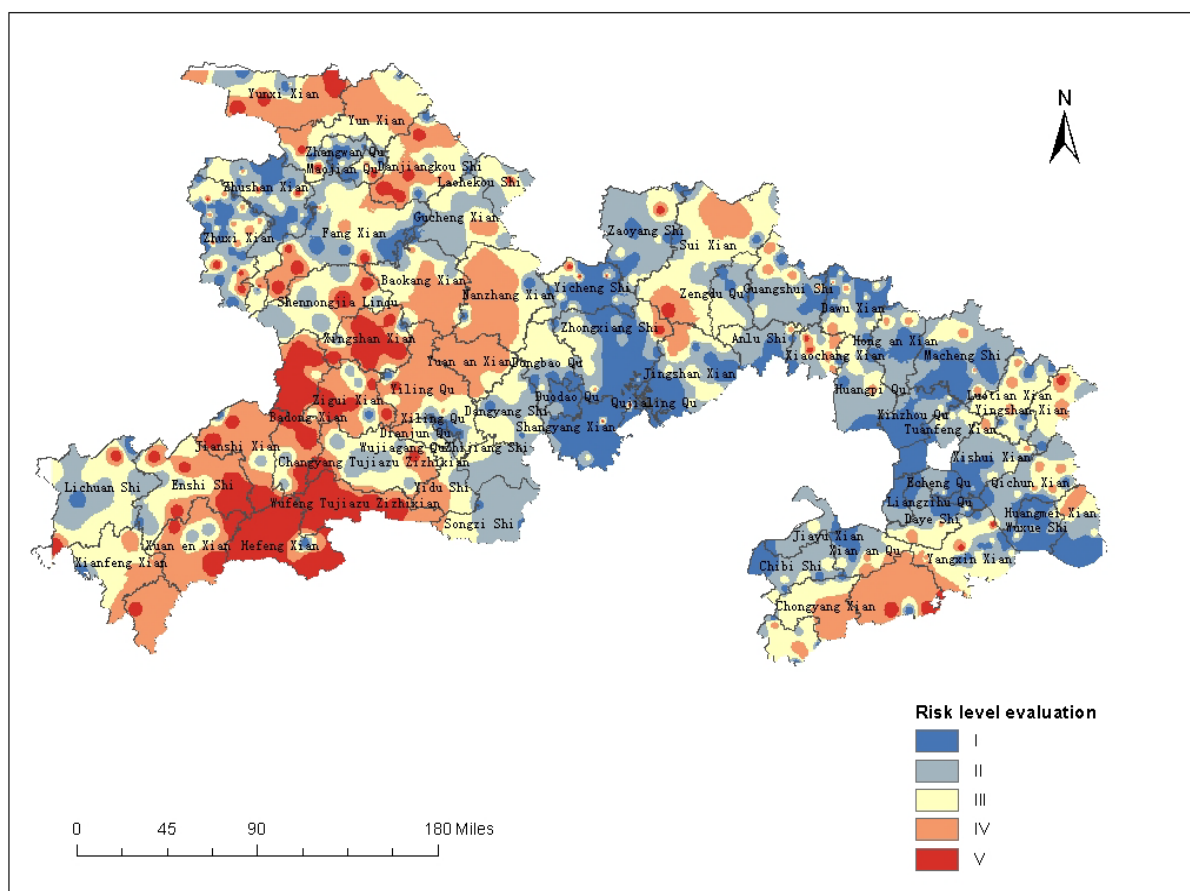


Figure 1. Risk zoning map for mountain torrents in Hubei

图 1. 湖北省山洪风险区划图

根据山洪灾害危险区划图可以有针对性的对山区的土地利用进行规划并设置一些主动避灾的防洪减灾非工程措施,这对完善湖北省的防洪减灾体系有着十分重要的意义。今后可采用遥感图像结合山洪灾害普查信息,充分考虑影响行洪过程的土地使用类型、植被情况、土壤利用率等信息,使得区划结果更加合理、可靠。



## 基金项目

国家自然科学基金重大研究计划重点项目(91547208); 2017 年度湖北省教育厅科学研究计划资助项目(B2017255), 中国博士后科学基金第 61 批面上资助(2017M612460)。

## 参考文献

- [1] 仇蕾, 王慧敏, 马树建. 极端洪水灾害损失评估方法及应用[J]. 水科学进展, 2009, 20(6): 869-875.
- [2] 魏一鸣, 金菊良, 杨存建, 等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 11-18.
- [3] Zou, Q., Zhou, J.Z., Zhou, C., *et al.* (2013) Comprehensive Flood Risk Assessment Based on Set Pair Analysis-Variable Fuzzy Sets Model and Fuzzy AHP. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, **27**, 525-546. <https://doi.org/10.1007/s00477-012-0598-5>
- [4] Li, Q., Zhou, J.Z., Liu, D.H., *et al.* (2012) Disaster Risk Assessment Based on Variable Fuzzy Sets and Improved Information Diffusion Method. *Human and Ecological Risk Assessment*, **19**, 857-872. <https://doi.org/10.1080/10807039.2012.713824>
- [5] 汪志红, 王斌会. 投影寻踪技术在突发事件风险分类评级中的应用-以广东省雷电灾害风险评价为例[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 78-82.
- [6] 徐建新, 闫旂君. 基于变异系数法的灰色关联决策模型在城市供水方案优选中应用[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(4): 9-11.
- [7] 王正新, 党耀国, 裴玲玲. 基于相对隶属度的灰色聚类评估方法[J]. 统计与决策, 2012(3): 100-102.
- [8] 杨秀文, 付诗禄, 顾又川, 等. 两类白化权函数的比较[J]. 后勤工程学院学报, 2010, 26(1): 88-91.
- [9] 丁文峰, 杜俊, 陈小平, 等. 四川省山洪灾害风险评估与区划[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(12): 41-45.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)