

# 地质灾害危险性评价指标规范化方法研究

匡乐红<sup>1,2</sup>, 徐林荣<sup>1</sup>, 刘宝琛<sup>1</sup>

(1. 中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075;  
2. 中南林业科技大学 土木建筑与力学学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:**阐述了评价指标规范化处理在地质灾害危险性评价中的重要作用;针对传统线性规范化处理方法在实际应用中存在的不足,对评价指标危险等级的取值论域进行处理;基于模糊数学理论,提出直线型和曲线型2种规范化处理方法,使地质灾害危险性评价指标规范化处理更合理、更符合实际情况。实例应用结果表明,该规范化处理方法能较真实地反映地质灾害危险性等级。

**关键词:**地质灾害;危险性评价指标;模糊理论;规范化

**中图分类号:**P642      **文献标识码:**A      **文章编号:**1672-7029(2007)01-0039-05

## Research on the normalization method of risk evaluation indexes of geological hazard

KUANG Le-hong<sup>1,2</sup>, XU Ling-rong<sup>1</sup>, LIU Bao-chen<sup>1</sup>

(1. School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China;  
2. College of Civil Engineering, Architecture and Mechanics, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

**Abstract:** The important role of the standardized handling of risk evaluation indexes was described in the geological hazard. Considering the deficiencies of the traditional linear normalization method in the practical application, the domain of the risk level of evaluation indexes were conducted. Based on fuzzy theory, the linear and curve standardized handling method were established. It is more reasonable and more realistic for the standardized handling of risk evaluation indexes of geological hazard. The example shows that this method can be used to reflect truly the risk level of geological hazard.

**Key words:** geological hazard; risk evaluation indexes; fuzzy theory; normalization

评价指标的规范化处理是地质灾害危险性评价工作的重要组成部分。因为各个评价指标的意义彼此不同,表现形式也不一样,有的是绝对数指标,有的是相对数指标,还有的是平均数指标;对地质灾害危险性评价的作用趋向也不一致,有的属于正指标,有的属于逆指标,各个指标之间不具有可比性。如不进行所谓的规范化处理或无量纲处理,就无法进行综合,也就失去了综合评价的真正意义和价值。

地质灾害危险性评价指标的规范化处理,它是通过一定的数学变换来消除指标的量纲影响,即把性质、量纲各异的指标转化为可以进行综合的量化值。从理论上来说,地质灾害危险性评价指标的规范化处理非常重要,但在实践中,人们却往往忽视了它的重要性,不顾及各个指标的性质和意义,在处理方法上避难就简,习惯于采用线性的处理方法<sup>[1-2]</sup>。当然,有些指标按其性质来讲,实际值的变化将会引起量化值以相应的比例变化,采用线性

收稿日期:2006-08-20

基金项目:铁道部科技研究开发计划重点课题基金资助项目(2005F024)

作者简介:匡乐红(1976-),男,湖南桃江人,博士研究生,从事地质灾害防治研究

的处理方法是可行的,但对于大多数指标,指标实际值的变化对量化值变化的影响并不是线性的。当指标数值处于较低的水平或状态时,要进行等量改变相对容易,但当指标数值处于较高水平或状态时,要作进一步的等量改变往往很困难。对这类指标如仍采用线性规范化处理显然是不合理的,这时运用非线性规范化处理方法比较适合<sup>[3]</sup>。一般来说,地质灾害危险性评价指标分为两类:一类为正指标,即随着指标值的增加,对地质灾害危险性的“贡献”就越大,如地震烈度、降雨强度等;另一类为逆指标,即随着指标值的增加,对地质灾害危险性的“贡献”就越小,如森林覆盖率、治理程度等。本文将对这两类指标的规范化处理方法进行探讨,使地质灾害危险性评价结果更合理、更符合实际。

## 1 评价指标危险等级取值论域的方法

通常,各指标危险等级取值论域与危险等级的最高级和最低级对应的是大于或小于一个确定的点值,即  $\Omega = \{m_1, m_1 - m_2, \dots, m_{n-1} - m_n, m_n\}$ ,这对于地质灾害危险性评价指标规范化处理带来了不便。如文献[4]中对于滑坡、泥石流区域危险度的综合评价,其岩石风化程度系数的危险等级取5级,相应的取值论域为  $\Omega = \{\geq 2.0, 2.0 - 1.9, 1.9 - 1.8, 1.8 - 1.7, \leq 1.7\}$ 。假设某地区划分为10个区划单元,其岩石风化程度系数取值为  $x = \{2.5, 2.4, 2.05, 1.95, 1.82, 1.92, 1.75, 1.6, 2.3, 1.5\}$ 按传统的线性规范化对其进行处理,如极差规范化:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_j\}}{\max\{x_j\} - \min\{x_j\}} \quad (1)$$

式中:  $x_{ij}$  为第  $i$  个区划单元的第  $j$  个指标实际值,  $\min\{x_j\}$  和  $\max\{x_j\}$  分别为所有区划单元中第  $j$  个指标的极小、极大实际值;  $y_{ij}$  为评价指标规范化值。按式(1)处理后评价指标取值为  $y = \{1.00, 0.90, 0.55, 0.45, 0.32, 0.42, 0.25, 0.10, 0.80, 0\}$ ,并且其取值论域也变换成  $\Omega = \{1.00 - 0.80, 0.80 - 0.60, 0.60 - 0.40, 0.40 - 0.20, 0.20 - 0\}$ 。从上述结果可以看出,单元3的岩石风化程度系数危险等级本来为第1级,而按传统的极差规范化处理后降低为第3级,同时单元4、5和6的岩石风化程度系数危险等级也有所下降。通过上述分析,可以看出按传统的规范化处理将有可能降低(或升高)评价区域的危险等级,从而给地质灾害危险性评价结果

带来很大的误差。

为此,本文在进行地质灾害危险性评价指标规范化之前,对于指标危险等级的最大级和最小级的取值论域进行相应的处理,使之也像其他危险等级一样其取值域处于某个具体区间。经处理后得  $\Omega = \{m_0 - m_1, m_1 - m_2, \dots, m_{n-1} - m_n, m_n - m_{n+1}\}$ ,且  $m_0 - m_1$  级为最高危险等级,  $m_n - m_{n+1}$  级为最低危险等级,各取值区间是成等间隔或成等比间隔的。为了在表达上更为直观和方便,令评价指标危险等级取值论域的上确界为  $\sup(m)$ , 下确界为  $\inf(m)$ 。同时规定:当指标值实际值  $x_{ij} > \sup(m)$  时,取  $x_{ij} = \sup(m)$ ;  $x_{ij} < \inf(m)$  时,取  $x_{ij} = \inf(m)$ 。

## 2 直线型规范化方法

直线型规范化处理是指在指标实际值转化成为不受量纲影响的指标值时,二者之间呈线性关系,指标实际值的变化引起规范化后数值相应的比例变化。直线型规范化处理的方法有很多,如总和规范化、标准差规范化、极大值规范化、极差规范化等。经过上述的指标危险等级取值论域处理后,本文仿照极差规范化,提出直线型规范化处理,如图1(a)和(c)所示。

对于正指标:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \inf(m)}{\sup(m) - \inf(m)} \quad (2)$$

对于逆指标:

$$y_{ij} = \frac{\sup(m) - x_{ij}}{\sup(m) - \inf(m)} \quad (3)$$

式中:  $\sup(m)$  和  $\inf(m)$  分别为评价指标危险等级取值论域的上、下确界,  $y_{ij}$  为指标规范化值。经过这种规范化处理所得到的新数据均在0与1之间。

## 3 曲线型规范化处理

采用曲线型规范化处理方法,意味着指标实际值与转化值之间不是成等比例的变动,而是非线性关系,其模型实质上是一个具有一定区间变化特性的非线性模糊隶属度函数。从而,本文采用半升和半降梯形分布的模糊隶属度函数<sup>[5]</sup>作为指数函数的自变量,见图1(b)和(d)。

对于正指标:

$$y_{ij} = \frac{1}{e-1} [\exp(\frac{x_{ij} - \inf(m)}{\sup(m) - \inf(m)}) - 1]; \quad (4)$$

对于逆指标:

$$y_{ij} = \frac{1}{e - 1} \left[ \exp\left(\frac{\sup(m) - x_{ij}}{\sup(m) - \inf(m)}\right) - 1 \right]. \quad (5)$$

根据上述分析,对于地质灾害危险性评价指标规范化处理,其具体步骤为:1) 对各评价指标危险性等级取值论域进行处理;2) 对各评价指标进行性态分析,即对评价指标的一些定性特征进行详细分析,这些特征包括评价指标所属类型的静态分析(正指标、逆指标)和动态特性分析(越大越难、越小越难)等;3) 确定各评价指标规范化处理的模式。

## 4 实 例

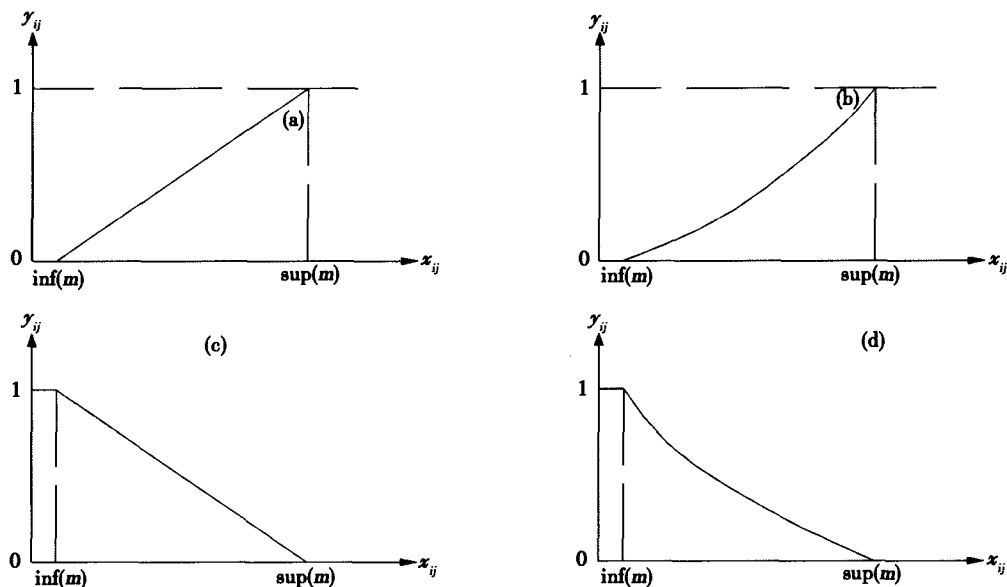
根据文献[6]所提供的基础资料,以云南昭通地区滑坡、泥石流危险度综合评价为例简述地质灾害

害危险性评价指标规范化处理的运算过程。

### 4.1 评价指标及等级的确定

在地质灾害危险性评价中,评价指标的选取非常重要。然而,由于受到各种客观条件的限制,不可能将各种影响因素全部反映到地质灾害危险性评价中来,这样就需要从这些众多因素中选取对评价起控制作用的最主要的指标,而忽略对其影响较微的次要指标。根据文献[6],选用区域最大相对高差  $c_1$ ,河网密度  $c_2$ ,岩石风化程度系数  $c_3$ ,垦殖率  $c_4$ ,  $\geq 50$  mm 年降水日数  $c_5$ ,地震烈度  $c_6$ ,荒草地面积百分比  $c_7$ ,年降水变差系数  $c_8$ ,  $\geq 25^\circ$  山坡面积百分比  $c_9$  这 9 个指标作为云南昭通地区滑坡、泥石流危险度综合评价指标。

将各评价指标作 5 级定量划分<sup>[6]</sup>(见表 1),并规定危险性影响程度最大的为第 1 级,最小的为第 5 级。



(a) 和 (b) 为正指标类; (c) 和 (d) 为逆指标类

图 1 地质灾害危险性评价指标规范化函数图

Fig.1 The normalization chart of the risk evaluation indexes of geological hazard

表 1 云南昭通地区滑坡、泥石流危险度综合评价指标等级<sup>[6]</sup>

Table The level of evaluation indexes of landslide and debris flow risk degree in ZhaoTong, YunNan

区划指标	等级 1	等级 2	等级 3	等级 4	等级 5
$c_1/m$	$\geq 2\ 000$	2 000 ~ 1 750	1 750 ~ 1 500	1 500 ~ 1 250	$\leq 1\ 250$
$c_2/(km \cdot km^{-2})$	$\geq 0.50$	0.50 ~ 0.45	0.45 ~ 0.40	0.40 ~ 0.35	$\leq 0.35$
$c_3$	$\geq 2.0$	2.0 ~ 1.9	1.9 ~ 1.8	1.8 ~ 1.7	$\leq 1.7$
$c_4/\%$	$\geq 40$	40 ~ 35	35 ~ 30	30 ~ 25	$\leq 25$
$c_5/d$	$\geq 3.0$	3.0 ~ 2.0	2.0 ~ 1.0	1.0 ~ 0.5	$\leq 0.5$
$c_6/(^\circ)$	$\geq 8$	8 ~ 7	7 ~ 6	6 ~ 5	$\leq 5$
$c_7/\%$	$\geq 40$	40 ~ 35	35 ~ 30	30 ~ 25	$\leq 25$
$c_8$	$\geq 0.20$	0.20 ~ 0.18	0.18 ~ 0.15	0.15 ~ 0.12	$\leq 0.12$
$c_9/\%$	$\geq 50$	50 ~ 40	40 ~ 30	30 ~ 20	$\leq 20$

4.2 评价指标危险等级取值论域的处理

在评价指标规范化处理之前,首先对各指标危险等级取值论域进行处理,处理后的各指标危险等级取值论域如表 2 所示。

4.3 评价指标非线性规范化处理

根据文献[4],云南省昭通地区滑坡、泥石流危险度综合评价指标的取值如表 3 所示。

对于上述所选的 9 个指标进行性态分析,所有

指标均为正指标。并且当这些指标数值处于较低状态时,要进行等量改变相对来说比较容易,但当指标数值处于较高状态时,要作进一步的等量改变往往很困难,随着数值的逐渐提高,再改变的难度将越来越大。从而,根据本文的方法进行研究,用式(4)对评价指标进行非线性规范化处理。所有指标规范化处理后的结果,如表 4 所示。

表 2 云南昭通地区滑坡、泥石流危险度综合评价指标等级取值论域

Table 2 The domain of evaluation indexes value of landslide and debris flow risk degree in Zhaotong, Yunnan

区划指标	等级 1	等级 2	等级 3	等级 4	等级 5
$c_1/\text{m}$	2 250 ~ 2 000	2 000 ~ 1 750	1 750 ~ 1 500	1 500 ~ 1 250	1 250 ~ 1 000
$c_2/(\text{km} \cdot \text{km}^{-2})$	0.55 ~ 0.50	0.50 ~ 0.45	0.45 ~ 0.40	0.40 ~ 0.35	0.35 ~ 0.30
$c_3$	2.1 ~ 2.0	2.0 ~ 1.9	1.9 ~ 1.8	1.8 ~ 1.7	1.7 ~ 1.6
$c_4/\%$	45 ~ 40	40 ~ 35	35 ~ 30	30 ~ 25	25 ~ 20
$c_5/\text{d}$	4.0 ~ 3.0	3.0 ~ 2.0	2.0 ~ 1.0	1.0 ~ 0.5	0.5 ~ 0.0
$c_6/(\text{^\circ})$	9 ~ 8	8 ~ 7	7 ~ 6	6 ~ 5	5 ~ 4
$c_7/\%$	45 ~ 40	40 ~ 35	35 ~ 30	30 ~ 25	25 ~ 20
$c_8$	0.22 ~ 0.20	0.20 ~ 0.18	0.18 ~ 0.15	0.15 ~ 0.12	0.12 ~ 0.09
$c_9/\%$	60 ~ 50	50 ~ 40	40 ~ 30	30 ~ 20	20 ~ 10

表 3 云南昭通地区滑坡、泥石流危险度综合评价指标取值<sup>[4]</sup>

Table 3 The values of evaluation indexes of landslide and debris flow risk degree in Zhaotong, Yunnan

县(市)	$c_1/\text{m}$	$c_2/(\text{km} \cdot \text{km}^{-2})$	$c_3$	$c_4/\%$	$c_5/\text{d}$	$c_6/(\text{^\circ})$	$c_7/\%$	$c_8$	$c_9/\%$
昭通	1 250	0.47	1.86	30.91	0.50	7	44.47	0.15	22.1
鲁甸	1 500	0.37	1.99	27.52	1.10	6	45.37	0.17	30.9
巧家	2 250	0.45	2.02	18.09	1.41	6	39.68	0.17	56.0
盐津	1 400	0.41	1.85	22.65	3.29	7	32.17	0.19	53.9
大关	1 750	0.29	2.01	24.23	1.86	8	42.70	0.15	55.7
永善	2 200	0.31	1.96	20.71	1.00	7	41.43	0.13	52.4
绥江水富	1 175	0.51	1.70	26.16	2.92	6	14.44	0.15	45.6
镇雄	1 000	0.34	1.89	40.10	1.25	6	16.52	0.12	35.5
彝良	1 450	0.35	1.92	19.67	1.20	8	44.97	0.15	39.5
威信	1 000	0.38	1.82	29.06	1.35	5	21.35	0.11	41.4

表 4 云南昭通地区滑坡、泥石流危险度综合评价指标规范化值

Table 4 The normalization values of evaluation indexes value of landslide and debris flow risk degree in Zhaotong, Yunnan

县(市)	$c_1/\text{m}$	$c_2/(\text{km} \cdot \text{km}^{-2})$	$c_3$	$c_4/\%$	$c_5/\text{d}$	$c_6/(\text{^\circ})$	$c_7/\%$	$c_8$	$c_9/\%$
昭通	0.129	0.567	0.397	0.318	0.078	0.478	0.967	0.341	0.159
鲁甸	0.286	0.188	0.688	0.204	0.184	0.286	1.000	0.495	0.302
巧家	1.000	0.478	0.766	0	0.246	0.286	0.697	0.495	0.878
盐津	0.219	0.322	0.378	0.065	0.743	0.478	0.365	0.674	0.818
大关	0.478	0	0.739	0.107	0.345	0.713	0.861	0.341	0.870
永善	0.938	0.024	0.614	0.017	0.165	0.478	0.789	0.210	0.777
绥江水富	0.087	0.766	0.129	0.163	0.626	0.286	0	0.341	0.604
镇雄	0.000	0.101	0.457	0.718	0.213	0.286	0	0.151	0.387
彝良	0.252	0.129	0.522	0	0.204	0.713	0.998	0.341	0.468
威信	0	0.219	0.322	0.254	0.234	0.129	0.032	0.097	0.509

同时,用式(4)对表2中评价指标危险等级取值论域进行非线性规范化处理。由于指标  $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7$  和  $c_9$  的危险等级取值各区间为等间隔区间,从而非线性规范化处理后同一危险等级区间的论域值相同,为  $1.000 \sim 0.713, 0.713 \sim 0.478, 0.478 \sim 0.286, 0.286 \sim 0.129, 0.129 \sim 0$ ;而指标  $c_5$  非线性规范化后为  $1.000 \sim 0.650, 0.650 \sim 0.378, 0.378 \sim 0.165, 0.165 \sim 0.077, 0.077 \sim 0.000$ ;指标  $c_8$  非线性规范化后为  $1.000 \sim 0.774, 0.774 \sim 0.581, 0.581 \sim 0.341, 0.341 \sim 0.151, 0.151 \sim 0$ ;分别对应各指标危险等级  $1 \sim 5$  级。

#### 4.4 危险性综合评价结果

本文根据文献[6],用危险性评价指标与滑坡、泥石流灾害点分布密度的关联度来确定各指标的权重。并根据刘希林<sup>[1]</sup>提出的区域泥石流危险度计算公式(式(5)),对云南昭通地区滑坡、泥石流危险度进行综合评价。其危险度  $R$  的分级标准相应于评价指标也采用5级。

$$R_i = \sum_{j=1}^9 \lambda_j y_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 10) \quad (5)$$

式中:  $R_i$  为第  $i$  个区域的危险度;  $\lambda_j$  为第  $j$  个评价指标的权重;  $y_{ij}$  为评价指标的规范化值,其取值见表4。

根据式(5),计算得到昭通地区各县(市)的滑坡、泥石流的危险度  $R$  后,可以评判巧家县的地质灾害危害等级为第1级,永善县为第2级,昭通市、鲁甸县、盐津县、大关县和彝良县为第3级,绥江—水富县、镇雄县和威信县为第4级。其评判结果与文献[1]中结果相比较,彝良县的危险等级有所提高,镇雄县的危险等级有所下降,这两县的评价结果与文献[4]中的结果基本一致。

由此可见,是否对评价指标进行非线性规范化处理对地质灾害危险性评价结果影响很大。由于危险性评价指标的非线性规范化处理有其独特的数学物理意义,所以,由此获得的评价结果更加符合实际。

## 5 结 论

评价指标的规范化处理是地质灾害危险性评

价工作的重要组成部分,其处理结果将直接影响评判结果的准确性。如果按传统的直线型规范化处理将有可能降低(或升高)评判区域(或单体灾害)的危险等级,从而给评判结果带来很大的误差。作者对评价指标危险等级的取值论域进行处理,提出了正、逆指标的直线型和曲线型规范化处理方法,使地质灾害危险性评价指标规范化处理更合理、更符合实际情况。实例应用表明,采用该方法能较真实地反映地质灾害危险性等级。

#### 参考文献:

- [1] 刘希林,唐 川. 泥石流危险性评价[M]. 北京:科学出版社,1995.  
LIU Xi-lin, TANG Chuan. The risk evaluation of debris flow [M]. Beijing: Science Press, 1995.
- [2] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国泥石流[M]. 北京:商务印书馆,2000.  
Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS. The debris flow in China[M]. Beijing: Commerce Press, 2000.
- [3] 许开立,陈宝智,王英刚,等. 危险评价指标特征值的非线性模糊处理[J]. 东北大学学报,1999,20(6):601-604.  
XU Kai-li, CHEN Bao-zhi, WANG Ying-gang, et al. Non-linear fuzzy handling method of characteristics value of risk evaluation indexes [J]. Journal of Northeastern University, 1999, 20 (6): 601-604.
- [4] 刘 丽,王士革. 滑坡、泥石流区域危险度二级模糊综合评判初探[J]. 自然灾害学报,1996,5(3):51-59.  
LIU Li, WANG Shi-ge. Preliminary research of two-level fuzzy comprehensive evaluation on landslide and debris flow risk degree of a district [J]. Journal of Natural Disasters, 1996, 5 (3): 51-59.
- [5] 李士勇. 工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.  
LI Shi-yong. Engineering fuzzy mathematics with application [M]. Harbin: Harbin Industry Press, 2004.
- [6] 刘 丽,王士革. 云南昭通滑坡泥石流危险度模糊综合评判[J]. 山地研究,1995,13(4):261-266.  
LIU Li, WANG Si-ge. Fuzzy comprehensive evaluation on landslide and debris flow risk degree in Zhaotong, Yunnan [J]. Mountain Research, 1995, 13 (4): 261-266.