

王平, 赵启帆, 黄英良, 等. 基于归一化的地震灾区道路危险性综合评价[J]. 灾害学, 2021, 36(2): 54–59. [WANG Ping, ZHAO Qifan, HUANG Yingliang, et al. Comprehensive risk assessment of Road Affected by Earthquake Based on Normalization [J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(2): 54–59. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.02.010.]

# 基于归一化的地震灾区道路危险性综合评价<sup>\*</sup>

王 平<sup>1</sup>, 赵启帆<sup>2,3</sup>, 黄英良<sup>4</sup>, 毛雪珉<sup>5</sup>, 徐 娜<sup>1</sup>, 李文波<sup>3,4</sup>

(1. 应急管理部国家减灾中心, 北京 100124; 2. 安徽大学 物质科学与信息技术研究院, 安徽 合肥 230039;  
3. 中科院合肥技术创新工程院, 安徽 合肥 230088; 4. 中国科学院合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031;  
5. 合肥工业大学 管理学院, 安徽 合肥 230046)

**摘要:** 道路选择问题是地震灾后应急救援必须解决的问题之一。为了对救援道路进行合理的选择, 需要对灾区道路危险性进行综合评价。现有的综合评价中较少考虑归一化方法的选取对评价结果的影响, 该文使用 EM (Entropy Method) 改进 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) 对汶川地震道路危险性进行综合评价, 发现了不同的归一化方式会对评价结果产生不同程度的影响。通过对其影响因素进行分析, 探讨适合于 EM 改进 TOPSIS 的灾区道路危险性综合评价归一化方式, 其结果对地震灾后道路选择提供了新的思路。

**关键词:** 应急救援; 路径选择; 危险性; 归一化方法; 综合评价; 地震; 指标体系

**中图分类号:** X43; X915.5; P315 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2021)02-0054-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.02.010

地震所造成道路损毁, 会对救援进程产生严重的影响。以 2008 年汶川地震为例, 地震致使公路损毁极其惨重, 通往灾区的道路一度中断; 地震灾区范围公路分布总里程 62 671 km, 受损公路达 31 412 km, 占总里程 50.1%<sup>[1]</sup>。与此同时, 地震造成灾区地质环境更为脆弱, 原本山地灾害不活跃的区域也很可能发生灾害<sup>[2]</sup>。地震所带来的滑坡、崩塌、泥石流等次生灾害, 也对救援进程产生不可忽视的影响<sup>[3]</sup>。如汶川地震带来 555 处次生灾害点(崩塌 273 处, 滑坡 155 处, 泥石流 37 处), 分布在四川省内的 14 条不同公路(总里程达 1 640 km), 公路沿线次生灾害平均密度 0.34 个/km<sup>[1]</sup>。大量的地质灾害使得交通基础设施损毁严重, 救援人员和救援设备难以进入救灾现场, 严重阻碍应急救灾工作<sup>[4]</sup>。

为了快速高效的规划救援路线, 需要对灾区道路危险性进行综合评价<sup>[3]</sup>。由于各个指标的量纲、单位或数量级的差异, 不便于进行比较与分析。为统一标准, 首先要对所有评价指标进行归一化处理, 以消除这些差异性<sup>[5]</sup>。评价指标的归一化是道路危险性综合评价的基础与重要环节, 也是其有效性的保障。

面向灾害应急救援道路规划的实际问题, 本

文构建了地震灾区道路危险性评价指标, 用 EM 改进的 TOPSIS<sup>[6-10]</sup>对汶川地震道路数据进行综合评价。重点研究适合于道路危险性指标和综合评价方法的归一化方式。本文研究成果预期能提高其综合评价的合理性, 能在地震发生期间对应急物资调运、应急响应启动和应急救援提供辅助决策支持。

## 1 归一化处理的准备阶段

### 1.1 建立理论框架

理论框架是构建综合指标的起点<sup>[11]</sup>。该框架应明确定义目标对象所要衡量的现象及其组成部分, 选择能反映其重要性和整体性的指标。构建理论框架首先要定义概念, 然后确定分类, 同类指标应在理论上或经验上有类似的表现形式。最后确定指标的选择标准, 选择标准需要描述所测量的现象, 即指标与综合评价本身的联系。

### 1.2 选择指标

综合指标的选择取决于基础变量的质量, 应根据变量的相关性, 分析的稳健性, 数据的可靠性和可测量性等来选择变量<sup>[11]</sup>。比如, 道路损毁

\* 收稿日期: 2020-09-07 修回日期: 2020-11-16

基金项目: 国家重点研发项目(2017YFC1503000); 国家自然科学基金(41871302)

第一作者简介: 王平(1984-), 男, 汉族, 山西晋城人, 助理研究员, 主要从事空间技术防灾减灾与应急管理应用、自然灾害风险普查与评估等方面研究。E-mail: wangping@ndrc.org.cn

通信作者: 赵启帆(1994-), 男, 汉族, 江西九江人, 硕士研究生, 主要从事应急救援、物资调配、最优化和风险评估等方面研究。E-mail: qifanzhao@qq.com

率这一指标, 是否选择了同一类型的道路、选择道路的损毁程度是否容易测量、数据的来源是否可靠, 这都是指标设计者所需考虑的问题。

### 1.3 缺失数据处理

缺少数据通常会阻碍综合评价的进程<sup>[11-13]</sup>。数据可能以随机或非随机方式缺失, 缺失的模式可能是: 完全随机缺失, 缺失值不取决于目标变量或数据集中任何其他观察到的变量; 随机缺失, 缺失值不取决于目标变量, 而是取决于数据集中的其他变量; 非随机缺失, 缺失值取决于值本身, 例如高收入家庭报告其收入的可能性较小。

处理丢失数据常用的方法有3种<sup>[11]</sup>: 案例删除、单一估算和多重估算。第一种, 案例删除也称为完整案例分析, 只是省略了分析中丢失的记录。但是, 这种方法忽略了完整样本和不完整样本之间可能的系统差异。其他两种方法将缺失的数据视为分析的一部分, 并尝试通过单个插补, 例如取均值、中位数、众数等进行替换。

## 2 归一化方法的选择

### 2.1 归一化与指标类型相匹配

按照对评价指标的期望, 主要的区分方法是把指标分为效益型和成本型<sup>[5, 10]</sup>。效益型指标, 也称为正指标, 是指评价指标值越大目标对象越显著; 成本型指标, 也称为逆指标, 是指评价指标值越小目标对象越显著。不同类型的评价指标适用于不同类型的归一化方法, 需要根据评价指标的类型对归一化方法进行选择<sup>[14, 15]</sup>。

假设评价指标矩阵为  $X = (x_{ij})_{m \times n}$ , ( $x_{ij}$  表示第  $i$  个样本第  $j$  个指标), 经过归一化处理后的评价指标矩阵变为  $X = (x_{ij}) = 0$ 。

#### 2.1.1 线性比例归一化

线性比例归一化(Linear Proportional Normalization, LPN)<sup>[14]</sup>主要有以下两种方法。

(1) 效益型线性比例归一化(Positive Linear Proportional Normalization, PLPN), 当  $\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) \neq 0$ , 则

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})} \quad (1)$$

式中:  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ 。

(2) 成本型线性比例归一化(Negative Linear Proportional Normalization, NLPN), 则

$$x'_{ij} = \frac{\min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})}{x_{ij}} \quad (2)$$

#### 2.1.2 极差变换法

极差变换法(Min-max Normalization, MMN)<sup>[9-11]</sup>。

(1) 效益型极差变换(Positive Min-max Normalization, PMMN)

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})}{\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})} \quad (3)$$

(2) 成本型极差变换(Negative Min-max Normalization, NMMN)

$$x'_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) - x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})} \quad (4)$$

### 2.1.3 Z-Score

Z-Score<sup>[5, 11, 16]</sup>是基于原始数据的均值和标准差进行数据的归一化, 这种方法在原始数据呈正态分布的情况下, 转化结果是较为合理的, 其计算公式为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu}{\sigma}; \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \mu)^2}. \quad (6)$$

式中:  $\mu$  为样本数据的均值,  $\sigma$  为样本数据的标准差。

缺点<sup>[5]</sup>: 若  $x_{ij} < \mu$ , 经样本变换后的  $x'_{ij} < 0$ , 会使得某一些权重计算方法受到限制, 例如经常使用的 EM<sup>[17-23]</sup>, 它要求指标经变换之后能够满足  $x'_{ij} \geq 0$ 。

#### 2.1.4 和归一化

和归一化(Sum Normalization, SN)<sup>[24]</sup>公式如下:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}. \quad (7)$$

#### 2.1.5 向量归一化法

向量归一化(Vector Normalization, VN)<sup>[9, 21]</sup>的公式如下:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}. \quad (8)$$

### 2.2 归一化与指标单位相匹配

归一化不会导致测量单位的变化<sup>[11]</sup>, 但对于有不同单位的评价对象, 使用相同的归一化变换可能会导致不同的结果。下面是一个简单的例子, 当指标为温度的时候, 摄氏度和华氏度转换公式为:

$$F = \frac{9}{5}C + 32. \quad (9)$$

式中:  $F$  表示华氏度,  $C$  表示摄氏度。分别对  $F$  和  $C$  进行线性比例变换发现:

$$\frac{F}{F_{\max}} \neq \frac{C}{C_{\max}}. \quad (10)$$

可见, 华氏度为单位和摄氏度为单位在线性比例变换下的结果是不相同的, 不同的归一化结果有可能导致最终的评价结果和真实评价结果产生差异。若对  $F$  和  $C$  进行极差变换法发现:

$$\frac{F - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}} = \frac{C - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}}. \quad (11)$$

可见在极差变换法下的结果是相同的。所以, 对于有不同单位的评价对象, 需要选取合适的归一化方法, 或者在进行归一化之前, 对评价对象进行单位转换。

### 2.3 归一化与评价方法相匹配

对于不同的综合评价方法, 需要选择合适归一化方法处理样本数据。熵是香农在1948年引入信息论的, 以前是热力学的物理概念。熵值法是一种客观赋权方法, 其原理是结果的不确定性越大, 分配给结果的概率就越均匀<sup>[21]</sup>。TOPSIS模型是由HWANG和YOON于1981年首次提出的。它是一种基于距离的综合评价方法, 广泛应用于多属性决策<sup>[21]</sup>。

基于EM的TOPSIS<sup>[6-10]</sup>是一种客观方法, 其

权值和决策结果的确定不涉及任何主观因素，完全依赖于备选方案的客观数据。以该方法为例，该如何选择归一化方式呢？

CHEN P<sup>[9]</sup> 提出归一化通过影响属性多样性 DAD 来影响基于 EM 的 TOPSIS 方法的决策结果，而归一化对 DAD 的影响可以通过信息熵(IE)来测量。归一化作为一种去除量纲的数据处理方法，显然不希望它对综合评价结果产生影响。因此，对于基于 EM 的 TOPSIS 的综合评价，我们通过归一化方法是否影响 DAD，来选择合适的归一化方法。

### 3 实验与讨论

#### 3.1 准备阶段

首先，建立理论框架。以地震灾区道路危险性进行综合评价为目标，可按照道路损毁程度、工程实施的难度、道路所处环境、地区风险性这四个方向对指标进行分类。按照道路损毁程度分类：包括道路受损长度、道路受损面积、道路损毁比例和道路损毁类型<sup>[25]</sup>；按照工程实施的难度分类：包括对不同种受损类型道路的施工机械作业能力和施工人员水平<sup>[25]</sup>；按照道路所处环境分类：包括道路地震烈度、地形、地质<sup>[26]</sup>；按照地区风险性分类：包括地质灾害危险度<sup>[27]</sup>。

然后，制定指标的选择标准。①道路需选择国道与省道，相比于县道和乡道，国道和省道的运输能力更强，也更可能作为地震灾区救援的选择。②所选取的指标可以清晰的表达评价目标要求，并且指标可以量化。③需选取数据来源可靠，且影响更为显著的指标。④根据实际情况，工程实施的难度设定为定值。

依据以上规则选取道路损毁比例(Road Damage Ratio, RDR)、地震烈度(Seismic Intensity, SI)、地质灾害危险度(Risk Degree of Geological Disaster, RDGD)作为道路危险性综合评价的指标。选取指标后，收集指标数据，并对缺失数据处理，得到样本初始数据。

本文选取的道路损毁率可通过遥感卫星监测数据来测量，地震烈度通过地震台网获得，地质灾害危险度是对崩塌、滑坡、泥石流造成的危害居民地(处)、危害公路(处)、威胁堵塞河流(处)、威胁桥梁(座)、威胁水库(座)、损毁土地( $\text{km}^2$ )等，进行等权加权归一化处理，得到各县(市、区)指标值<sup>[27]</sup>。

汶川地震重灾区各县地质灾害危险度如表 1 所示<sup>[27]</sup>。

表 1 极重、重灾各县地质灾害危险度

城市	危险度	城市	危险度
理县	0.5~1.0	安县	0.5~1.0
汶川	1.5~2.0	平武	0.5~1.0
崇州市	0.5~1.0	青川	0.5~1.0
都江堰	1.0~1.5	文县	0.5~1.0
彭州	1.5~2.0	陇南市	1.0~1.5
什邡	>2.0	广元市	0.5~1.0
绵竹	1.5~2.0	旺苍	>2.0
茂县	>2.0	剑阁	0.5~1.0
北川	1.5~2.0	德阳市	<0.5

本文取成那线 G317 理县至汶川县路段、银杏乡

至映秀镇路段、汶川县至银杏乡路段，兰磨线 G213 茂县至渭门乡路段、茂县至南新镇路段，万阿线 S302 光明乡至土门乡路段、漩坪乡至禹里乡路段，万阿线 S302 和成青线 S205 交汇的曲山镇至沙坝村路段，成青线 S205 房石镇至前进乡路段，南遂线 S205 北川羌族自治县至桂溪乡路段。按次序分别用  $A_1, A_2, \dots, A_{10}$  来表示，各指标实际值见表 2。

表 2 各指标实际值

道路	实际值		
	RDR	SI	RDGD
$A_1$	0.207	1.75	8
$A_2$	0.167	1.75	9
$A_3$	0.643	1.75	9
$A_4$	0.524	2.00	9
$A_5$	0.227	2.00	9
$A_6$	0.741	2.00	9
$A_7$	0.412	1.75	11
$A_8$	0.333	1.75	11
$A_9$	0.148	0.75	9
$A_{10}$	0.808	1.75	11

#### 3.2 归一化方法的选取

##### 3.2.1 选取与评价对象的类型、单位相匹配的归一化

归一化的选取要与评价对象的类型、单位相匹配，对评价指标分析如下：

(1) 道路损毁比例是受损道路长度与道路总长度的比值，不受道路长度单位影响，只需受损道路长度与道路总长度单位一致即可，无需单位转换；道路损毁比例属于效益型指标，其值越大，道路危险性越大；道路损毁比例的数据在 0~1 之间。

(2) 地质灾害危险度是对崩塌、滑坡、泥石流造成的地质损毁情况的等权加权归一化处理值，无需单位转换；地质灾害危险度属于效益型指标，其值越大，道路危险性越大；地质灾害危险度的数据在 0.75~2 之间。

(3) 地震烈度数据通过地震台网获得，无需单位转换；地震烈度属于效益型指标，其值越大，道路危险性越大；地震烈度的数据在 8~11 之间。

通过分析比较，三个指标的数据都大于 0，都是效益型指标，且无需单位转换。初步排除 NLPN、NMMN。

##### 3.2.2 选取与评价方法相匹配的归一化

###### 3.2.2.1 归一化对 EM 的影响

EM 是通过属性的信息熵(IE)来确定权重的。IE 越小，则属性数据的多样性(DAD)越高，权重越大，反之亦然<sup>[22]</sup>。

EM 的计算公式如下：

(1) 建立评价指标矩阵为  $X = (x_{ij})_{m \times n}$ ，通常，评价指标矩阵  $X$  不需要归一化处理<sup>[28~29]</sup>。然而，在一些学者的研究中，对评价指标矩阵进行了归一化<sup>[30~32]</sup>，将其转变为  $X' = (x'_{ij})_{m \times n}$ 。

(2) 计算 IE：

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}; \quad (12)$$

$$k = \frac{1}{\ln m}; \quad (13)$$

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}. \quad (14)$$

式中:  $f_{ij}$  为第  $j$  项指标下第  $i$  条样本道路的比重;  $k$  为待定常数;  $E_j$  为第  $j$  项指标的 IE;  $m$  为道路总数;  $n$  为指标总数。

(3) 确定第  $j$  项指标权重  $w_j$ :

$$w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)}; \quad (15)$$

$$w_j \in [0, 1]; \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1. \quad (17)$$

由公式(12)发现, EM 算法中其实已经包含归一化方法 SN, 若在 EM 之前对评价指标矩阵为  $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$  进行 SN 处理, 则是对公式(12)的重复, 若使用其它归一化方法有可能改变 DAD, 因此, 有必要分析若采用归一化对 EM 的计算结果影响。对候选的几种归一化方法进行 IE 计算和权重计算, 结果如表 3 和表 4 所示。

表 3 不同归一化方法处理后的 IE 值

归一化方法	IE		
	RDR	SI	RDGD
None	0.933	0.989	0.997
PLPN	0.933	0.989	0.997
PMMN	0.819	0.951	0.889
Z-Score	归一化结果出现负值无法计算信息熵		
SN	0.933	0.989	0.997
VN	0.933	0.989	0.997

表 4 不同归一化方法处理后的权重

归一化方法	权重		
	RDR	SI	RDGD
None	0.838	0.130	0.031
PLPN	0.838	0.130	0.031
PMMN	0.533	0.142	0.324
Z-Score	归一化结果出现负值无法计算信息熵		
SN	0.838	0.130	0.031
VN	0.838	0.130	0.031

通过表 3 发现, PLPN、SN、VN 和 None 的各指标的 IE 分别为 0.933、0.989、0.997, 指标 IE 在这 4 种情况下相等。说明这 3 种归一化方法对原始数据的 DAD 不产生影响, 因此也不会影响 EM 的权重计算结果。

在表 4 中, 这 3 种方法处理后的各指标权重分别为 0.838、0.130、0.031, 指标权重相等正好证明这一点。

表 3 中原始数据经过 PMMN 法的处理, 其 IE 在道路损毁率、地质灾害危险度和地震烈度这三个指标上与 None 相比分别降低了 0.114、0.038、0.108。通过 CHEN<sup>[22]</sup>的研究结果, IE 降低, 说明 PMMN 法处理非归一化数据会使数据的 DAD 升高, 从而改变 EM 的权重计算结果。对同一处理方式下的 3 个指标之间进行权重比较发现, IE 越低, 权重越高。若对不同处理方式的同一指标之间进行权重比较, 得到与 CHEN<sup>[22]</sup>相反的结果, IE 下降权重反而下降, 例如 None 的道路损毁率 IE 为 0.933, 权重为 0.838, PMMN 处理后 IE 为 0.819, 权重为 0.533。根据权重计算的公式(15)看出, 这种现象的产生和 IE 整体变化有关。不妨得出以下结论: EM 算法计算的 IE 越低权重越高, 这一理论只适用于同一归一化指标间的比较, 不适用于不同归一化间的比较, 不同归一化间的比较还需

考虑 IE 的整体变化。

根据以上实验分析, 本文建议对于 EM 算法 None, 或者选取不改变 DAD 的归一化。归一化的目的是为了去除量纲和简化数据, 若其影响运算结果, 则是不合理的。因此, 对于 EM 算法可选取归一化方法有 PLPN、SN、VN, 并且这 3 种方法计算出的指标权重结果一致。

### 3.2.2 归一化对 TOPSIS 的影响

在 EM 计算权重后, 需要 TOPSIS 计算综合评价指数, 公式如下<sup>[21]</sup>。

计算正理想解( $D_{IS}$ )和负理想解( $D_{NIS}$ ):

$$s_j^+ = \max(w_j x'_{1j}, w_j x'_{2j}, \dots, w_j x'_{mj}); \quad (18)$$

$$s_j^- = \min(w_j x'_{1j}, w_j x'_{2j}, \dots, w_j x'_{mj}); \quad (19)$$

式中:  $s_j^+$  为第  $j$  项指标的  $D_{IS}$ ;  $s_j^-$  为第  $j$  项指标的  $D_{NIS}$ 。

计算各方案的欧式距离:

$$sep_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_j x'_{ij} - s_j^+)^2}; \quad (20)$$

$$sep_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_j x'_{ij} - s_j^-)^2}. \quad (21)$$

式中:  $sep_i^+$  为第  $i$  道路方案与最优解的欧式距离;  $sep_i^-$  为第  $i$  道路方案与最劣解的欧式距离。

计算综合评价指数:

$$z_i = \frac{sep_i^-}{sep_i^+ + sep_i^-}; \quad (22)$$

$$Z_i \in [0, 1]. \quad (23)$$

式中:  $Z_i$  为道路综合评价指数; 若  $Z_i$  越大, 则表示该道路方案危险性越高; 若  $Z_i$  越小, 则该道路方案的危险性越低。

由 EM 的测试实验推断出, DAD 的改变会影响 EM 计算权重, 那是否 DAD 也会影响 TOPSIS 的客观评价呢?

TOPSIS 方法的决策结果与  $D_{IS}$  和  $D_{NIS}$  有关, 而  $D_{IS}$  和  $D_{NIS}$  与每个指标的权重和归一化值相关联, 为了分析各指标对“距离”的影响, 建立了以下贡献因子<sup>[9]</sup>。

指标对  $D_{IS}$  的贡献定义如下:

$$C_j^+ = \frac{\sum_{i=1}^m w_j^2 (x'_{ij} - x'^+_j)^2}{\sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^m w_j^2 (x'_{ij} - x'^+_j)^2)}. \quad (24)$$

指标对  $D_{NIS}$  的贡献定义如下:

$$C_j^- = \frac{\sum_{i=1}^m w_j^2 (x'_{ij} - x'^-_j)^2}{\sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^m w_j^2 (x'_{ij} - x'^-_j)^2)}. \quad (25)$$

式中:  $x_{ij}$  是原始数据归一化后的数值,  $x'^+_j$  与  $x'^-_j$  分别是归一化后每列的最大值与最小值,  $w_j$  是第  $j$  项指标的权重。 $\sum_{j=1}^n C_j^+ = 1$ ,  $\sum_{j=1}^n C_j^- = 1$ 。

指标的平均贡献定义如下:

$$C_j = 0.5(C_j^+ + C_j^-) \quad (26)$$

式中:  $C_j$  为指标贡献因子属性 ( $CFA$ ),  $0 \leq C_j \leq 1$ ,  $\sum_{j=1}^n C_j = 1$ 。

显然, 如果指标值在所有备选项中都是相同的, 则 EM 计算的权重为零, 并且由公式(24)和(25)得到,  $C_j^+ = C_j^- = 0$ 。在该种情况下, 该指标对  $D_{IS}$  和  $D_{NIS}$  的贡献为 0, 由此可见, DAD 与  $CFA$  是存在一

定关系的。以下对 DAD 与 CFA 之间的关系的进一步推理, 计算五种归一化的 CFA, 如表 5 所示。

表 5 五种归一化的 CFA

指标 归一化方法	CFA		
	RDR	SI	RDGD
PLPN	0.982	0.017	0.000
PMMN	0.969	0.029	0.001
Z-Score	0.951	0.047	0.001
SN	0.993	0.006	0.000
VN	0.991	0.008	0.000

根据表 5 分析, PLPN、SN、VN, 这 3 种归一化方式处理下的各指标 CFAs 相差小于 0.011, 差别不大。但 PMMN 和 Z-Score 相对于前 3 种的 CFAs 差别较为明显, PMMN 与前 3 种的差值达到 0.024, Z-Score 达到 0.042。并且它们的道路损毁率 CFAs 数值明显减少, 地质灾害危险度和地震烈度 CFAs 明显增加, 由此推断, DAD 改变会使 CFAs 产生较大的变化, DAD 不变则 CFAs 的改变也不明显。接下来进一步探讨这三种归一化下 IEs 与 CFAs 之间的关系, 例如使用 PLPN 计算各属性 IEs 与 CFAs 之间的关系如图 1 所示, 其中, IE 与 CFA 之间存在非线性关系, 表现为 IE 越大, CFA 越小。例如, 3 个指标中地震烈度 IE 最大, 而其 CFA 接近于 0, 不影响决策结果; 道路损毁率 IE 最小, CFA 最大, 超过 0.98。这说明 DAD 会影响 CFA, 进而影响 TOPSIS 方法的综合评价结果。

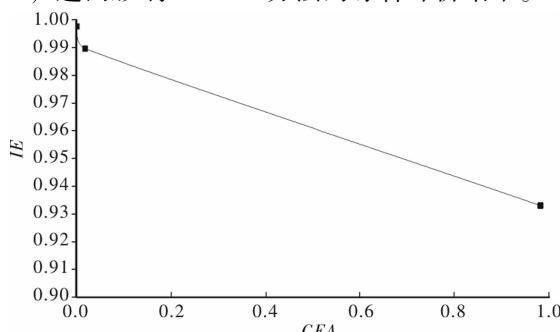


图 1 PLPN 计算下 IEs 与 CFAs 的关系

基于 EM 的 TOPSIS 计算综合评价值, 如图 2 所示。其中, PLPN、SN、VN 的评价结果基本相同, 而 PMMN、Z-Score 的值与其他三种的差异较大。例如, 对  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_8$ 、 $A_9$ , 这 4 个道路, 使用 PMMN、Z-Score 计算出的评价值相比于 PLPN、SN、VN 明显增加。这更直观的说明 DAD 的改变会影响 TOPSIS 的综合评价结果, 选择不改变 DAD 的归一化方式处理指标数据, 这样或许能提高综合评价的准确性。

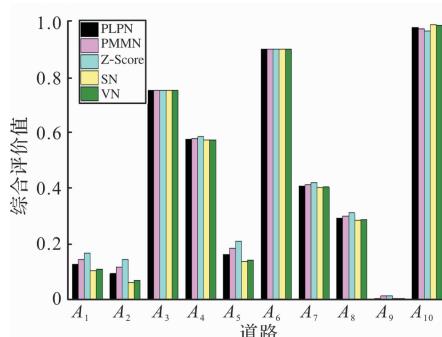


图 2 不同归一化方法处理下的综合评价值

### 3.3 综合评价结果分析

分别将图 2 中各方法的综合评价值由高到低排序, 发现其顺序相同, 顺序为:  $A_{10}$ 、 $A_6$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_7$ 、 $A_8$ 、 $A_5$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_9$ 。其中若评价结果越大, 则表示该道路危险性越高, 可能造成的救援延误几率也越高; 若评价结果越小, 则该道路危险性越低, 可能造成的救援延误几率也越低。 $A_{10}$  在 5 种方法下的危险性评价值分别为 0.976、0.970、0.962、0.985、0.984, 是 10 条道路中危险性和可能造成延误几率最高的道路。若选择此路线, 应急救援队将会花更长的时间开拓道路, 而且还面临着突发的滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害的风险, 从而到达目标地点的时间会严重推迟, 错过地震灾区应急救援的最佳时间;  $A_9$  在 5 种方法下的危险性评价值分别为 0.125、0.143、0.167、0.104、0.107, 是道路危险性和可能造成延误几率最低的道路, 若选择此道路, 则会较为通畅, 清理路面的时间也相对较少, 地质灾害突发风险也较小, 能够快速响应应急需求, 快速到达目标地点实施救援。所以, 通过地震灾区道路危险性综合评价结果能很快判断出危险性较低的道路, 从而对灾区应急救援道路选择工作提供帮助。

图 2 中的部分道路所使用不同归一化方法计算出的评价值差异较大, 说明了归一化的使用确实会改变综合评价值大小。应选用不改变原始数据 DAD 的归一化方式, 如 PLPN、SN、VN, 这样可以减少归一化对综合评价值计算的影响。

虽然, 在本实验中综合评价值大小排序并未改变, 但并不排除在其他实验中使用不当的归一化处理, 导致综合评价值的误差过大, 从而对综合评价值的整体排序产生影响的情况。

## 4 结论与展望

本文通过对地震灾区救援道路危险性理论框架的构建, 制定了地震灾区道路危险性指标的选择标准, 并通过对常规归一化方法的分析和总结, 找到适合于其指标类型、指标单位和综合评价方法的归一化方式, 从而提高综合评价的准确性。

本文讨论了不同归一化方法在基于 EM 的 TOPSIS 方法中的适用性, 结论如下:

(1) EM 可以不选用归一化方式, 若需选用, 应选用不改变原始数据 DAD 的归一化方式, 例如, PLPN、SN、VN。

(2) TOPSIS 也需选用不改变原始数据 DAD 的归一化方式, 这样能减少归一化对综合评价的影响, 提高综合评价的准确性。

本文构建综合评价体系的思路, 还可以运用于其他领域的综合评价体系的构建, 比如地区经济发展评价, 工程安全综合评价, 公司业绩综合评价等。本文选取归一化方法, 或许能对其他综合评价方法的归一化选取提供一定的帮助。

## 参考文献:

- [1] 陈乐生. 汶川地震公路震害与分类[J]. 西南公路, 2010(2): 38-44.
- [2] 刘爱文, 夏珊, 徐超. 汶川地震交通系统震害及震后抢修[J]. 震灾防御技术, 2008, 3(3): 243-250.
- [3] 赵启帆, 王平, 黄英良, 等. 基于 GSO 改进 TOPSIS 的灾区救

- 援道路选择研究——以地震为例[J]. 灾害学, 2020, 35(3): 230–234.
- [4] 陈世荣, 马海建, 范一大, 等. 基于高分辨率遥感影像的汶川地震道路损毁评估[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 949–955.
- [5] 李德顺. 基于广义集对分析的系统危险性评价研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2010.
- [6] 张永领, 游温娇. 基于TOPSIS的城市自然灾害社会脆弱性评价研究——以上海市为例[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 109–114.
- [7] 张颖超, 范金平, 邓华. 基于加权TOPSIS法的浙江省抗台风减灾能力评估[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 74–80.
- [8] YU D, YANG Y, CHENG J. Application of time-frequency entropy method based on Hilbert-Huang transform to gear fault diagnosis [J]. Measurement, 2007, 40(9/10): 823–830.
- [9] CHEN P. Effects of normalization on the entropy-based TOPSIS method [J]. Expert Systems with Applications, 2019, 136: 33–41.
- [10] DING L, SHAO Z, ZHANG H, et al. A comprehensive evaluation of urban sustainable development in China based on the TOPSIS-entropy method [J]. Sustainability, 2016, 8(8): 746.
- [11] Joint Research Centre-European Commission. Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide [M]. OECD publishing, 2008.
- [12] 胡玄子, 陈小雪, 钱叶亮, 等. 数据处理中缺失数据填充方法的研究[J]. 湖北工业大学学报, 2013, 28(5): 82–84.
- [13] 尔古打机, 寇纲, 杜义飞. 不完全信息下非常规突发事件应急决策缺数据处理模型[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(3): 702–713.
- [14] 叶宗裕. 关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化方法的选择[J]. 浙江统计, 2003(4): 24–25.
- [15] 李柏年. 确定功效函数的新方法[J]. 技术经济, 2002(7): 52–53.
- [16] 马立平. 统计数据标准化——无量纲化方法——现代统计分析方法的学与用(三)[J]. 数据, 2000(3): 34–35.
- [17] 魏章进, 马华铃, 唐丹玲. 基于改进熵值法的台风灾害风险趋势评估[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 7–11.
- [18] 刘文方, 李红梅. 基于熵权理论的斜坡地质灾害链综合评判[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 8–11.
- [19] 朱吉祥, 张礼中, 周小元, 等. 基于信息熵的灰色模型在地质灾害评价中的应用——以四川青川县为例[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 78–82.
- [20] 孙鸿鸽, 程先富, 倪玲, 等. 基于云模型和熵权法的巢湖流域防洪减灾能力评估[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 222–227.
- [21] TZENG G H, HUANG J J. Multiple attribute decision making: methods and applications [M]. CRC press, 2011.
- [22] CHEN P. On the diversity-based weighting method for risk assessment and decision-making about natural hazards [J]. Entropy, 2019, 21(3): 269.
- [23] JHA R, SINGH V P. Evaluation of riverwater quality by entropy [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2008, (12): 61–69.
- [24] ARAS G, TEZCAN N, FURTUNA O K, et al. Corporate sustainability measurement based on entropy weight and TOPSIS [J]. Meditari Accountancy Research, 2017, 25(3): 391–413.
- [25] 秦军, 曹云刚, 耿娟. 汶川地震灾区道路损毁度遥感评估模型[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(5): 768–774.
- [26] 陈爱莲, 朱博勤, 吴艳华, 等. 汶川大地震重灾区道路震害航空遥感评估[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(4): 152–157.
- [27] 民政部国家减灾中心. 汶川地震灾害监测评估图集[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [28] BHOWMIK C, GANGWAR S, BHOWMIK S, et al. Selection of energy-efficient material: an Entropy-TOPSIS approach [M]// Soft Computing: Theories and Applications. Springer, Singapore, 2018, 584: 31–39.
- [29] GUPTA A, GUPTA N, GARG R K. Implementing weighted entropy – distance based approach for the selection of software reliability growth models [J]. International Journal of Computer Applications in Technology, 2018, 57(3): 255–266.
- [30] DONG Q, AI X, CAO G, et al. Study on risk assessment of water security of drought periods based on entropy weight methods [J]. Kybernetes, 2010, 39(6): 864–870.
- [31] XU H, MA C, LIAN J, et al. Urban flooding risk assessment based on an integrated k-means cluster algorithm and improved entropy weight method in the region of Haikou, China [J]. Journal of hydrology, 2018, 563: 975–986.
- [32] ZENG J, HUANG G. Set pair analysis for karst waterlogging risk assessment based on AHP and entropy weight [J]. Hydrology Research, 2018, 49(4): 1143–1155.

## Comprehensive Risk Assessment of Road Affected by Earthquake Based on Normalization

WANG Ping<sup>1</sup>, ZHAO Qifan<sup>2,3</sup>, HUANG Yingliang<sup>4</sup>, MAO Xuemin<sup>5</sup>, XU Na<sup>1</sup> and LI Wenbo<sup>3,4</sup>

(1. Department of Airborne Remote Sensing, National Disaster Reduction Center of China, Beijing 100124, China; 2. Institutes of Physical Science and Information Technology, Anhui University, Hefei 230039, China; 3. Institute of Technology Innovation, Hefei Institute of Physical Science, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230088, China; 4. Institute of Intelligent Machinery, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; 5. School of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230046, China)

**Abstract:** The problem of road selection is one of the problems that must be solved in emergency rescue after the earthquake. In order to make a reasonable choice of rescue roads, it is necessary to comprehensively evaluate the road hazards in the disaster area. Existing comprehensive evaluations seldom consider the influence of the selection of normalization methods on the evaluation results. This article uses Entropy Method (EM) to improve Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS) to comprehensively evaluate the road hazard of the Wenchuan earthquake and find that different normalization methods will have different degrees of impact on the evaluation results. Through the analysis of its influencing factors, the normalization method of comprehensive evaluation of road hazards in disaster areas suitable for EM to improve TOPSIS is discussed. The results provide new ideas for road selection after the earthquake.

**Key words:** emergency rescue; route selection; risk; normalization method; comprehensive evaluation; earthquake; index system