

丁建闯, 钟海仁, 许礼林, 等. 三种方法的乡镇减灾能力评估结果比较——以某市区18个乡镇为例[J]. 灾害学, 2024, 39(1): 80–88. [DING Jianchuang, ZHONG Hairen, XU Lilin, et al. Comparison of Township Disaster Reduction Capacity Assessment Results Based on Three Methods: A Case Study for 18 townships in a certain district of a city[J]. Journal of Catastrophology, 2024, 39(1): 80–88. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2024.01.014.]

# 三种方法的乡镇减灾能力评估结果比较<sup>\*</sup>

## ——以某市区18个乡镇为例

丁建闯<sup>1,2</sup>, 钟海仁<sup>3</sup>, 许礼林<sup>3</sup>, 余洁<sup>1</sup>

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 2. 华北科技学院建筑工程学院, 河北 三河 065201;  
3. 国信司南(北京)地理信息技术有限公司, 北京 100142)

**摘要:** 减灾能力是区域防灾减灾、应急救援和恢复重建过程中所具有的综合能力。以某市区“第一次全国自然灾害综合风险普查”基础调查数据为例, 分别采用秩和比法(RSR)、非整秩和比法(非整RSR)和TOPSIS法对该区18个乡镇的减灾能力进行量化评估, 从评估模型的实用性、数值大小、等级排名、整体趋势、计算工作量等五方面进行对比分析。结果表明: 三种模型均适用于区域减灾能力量化评估, 可根据区域评估目的和需求进行选择。总体上, 以秩和比法优劣分档最佳、信息损失最大, TOPSIS法信息损失最小、优劣分档最差。而基于非整秩和比法评估原理, 利用线性插值法对各评价指标进行编秩, 所编秩次与原指标值间存在更为紧密的线性对应关系, 既克服了秩和比法源数据的信息损失, 又能对TOPSIS法的优劣分档进行优化。因此, 改进后的非整秩和比法的信息损失与优劣分档均比较适中, 是三者中的较优选择。对非整秩和比法的研究可为减灾能力量化评估提供参考。

**关键词:** 减灾能力评估; RSR模型; 非整RSR模型; TOPSIS模型; 线性插值法; 信息损失; 优劣分档

**中图分类号:** X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2024)01-0080-09

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2024.01.014

减灾能力是综合风险管理的重要组成部分, 科学评价减灾能力、摸清区域综合减灾能力底数、查明重点区域减灾能力, 是提升灾害风险管理能力的有效途径<sup>[1]</sup>。如何采用科学、合理的评价方法来更好开展区域减灾能力评估, 一直是减灾能力研究的关键, 国内外学者在该领域相继开展了大量的研究工作。

在国内, 单灾种减灾能力研究有借助灰色关联分析法、GIS技术、云模型、模糊综合(聚类)评价法、广义目标函数关系、层次分析法、熵权TOPSIS-PCA耦合优化模型、数据包络分析法等分别针对地震、干旱、火灾、泥石流、洪涝、风暴雨、气象等灾害的减灾能力进行了研究<sup>[2-14]</sup>; 综合减灾能力研究方面: 借助模糊数学法、层次分析法、可变模糊聚类法、熵权-灰靶模型和GIS技术、综合评价法等分别针对城市综合减灾能力、脆弱性综合评价能力、城市灾害应急能力、区域减灾基础能力、社区减灾能力、区域综合减灾能力等进行了研究<sup>[15-24]</sup>; 灾害系统减灾能力研究方面: 基于灾害群、灾害链、灾害遭遇等灾害系统

情景, 分别从理念与框架、灾害链适应对策与适应模式、多级模糊综合评估模型的角度对灾害系统减灾能力的评估进行了研究<sup>[25-27]</sup>。国外, 美国是世界上最早、最成功将防灾减灾能力评价运用到实践的国家, 20世纪80年代起就着手建立社区、州、国家三个层级的综合防灾减灾能力建设指标体系, 于1997—2000年间应用研发的政府、企业、社区、家庭联动的灾害应急能力评估程序在全国开展了实践评估<sup>[28]</sup>。英国内阁办公室制订《关于形成社区减灾能力的战略框架》<sup>[29]</sup>, 细化了在形成社区减灾能力建设中个人、社区和其他参与者行为的指导原则。CUTTER等<sup>[30-31]</sup>提出了广泛应用于减灾能力定量评估的基于社会结构、经济条件、制度结构、基础设施和社区资本5个维度36项指标的社区减灾能力基线指标。KUNIHIRO等<sup>[32]</sup>通过阪神地震震害分析, 认为城市抗震能力或城市地震易损性取决于城市自然条件、空间结构、社会特性、救灾资源和风险管理能力等多种

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2023-05-23 修回日期: 2023-09-09

基金项目: 北京市全市灾害综合风险普查(综合减灾能力评估部分)(2141STC62669); 廊坊市科技支撑计划项目(2022011013)

第一作者简介: 丁建闯(1982-), 男, 汉族, 河南驻马店人, 博士研究生, 讲师, 主要从事灾害风险评估、测绘与地理信息应用研究。E-mail: 317729092@qq.com

通信作者: 许礼林(1973-), 男, 汉族, 安徽舒城人, 高级工程师, 主要从事地理信息技术在应急管理、自然资源、统计与文物保护等行业中的应用研究。E-mail: xulilin@geo-compass.com

通信作者: 余洁(1964-), 女, 汉族, 湖南长沙人, 教授, 博士生导师, 主要从事遥感影像处理与应用及空间数据分析方面研究。E-mail: yuj2015@cnu.edu.cn

因素影响，提出一种综合性、定量的城市抗震能力评价方法。PARSONS 等<sup>[33]</sup>基于应急能力和适应能力构建了澳大利亚自然灾害减灾能力指数。国际上，欧盟 FP7 项目“城市防洪减灾能力协作研究”<sup>[34]</sup>通过量化减灾措施的成本效益，针对相关驱动因素量化了洪水管理计划。《2005—2015 年兵库行动框架：加强国家和社区的抗灾能力》<sup>[35]</sup>和《2015—2030 年仙台减轻灾害风险框架》<sup>[36]</sup>更是将加强减灾能力建设推向了新的维度和高度，提倡将减灾能力纳入可持续发展与灾害风险管理的过程中，强调国际协同减灾的理念。

减灾能力影响因素涉及社会经济、自然系统的多个领域，具有复杂性、动态性和相对性，其评估模型以多指标综合评价法最为常见，有定性评价法，如适用于战略层决策分析的专家会议法和德尔菲法；运筹学法，如适用于评价经济学中技术及规模有效性等的数据包络分析法；统计分析法，如适用于主体对象分类评价等的主成分分析、因子分析、聚类分析等；系统工程法，如适用于系统安全性评价、成本效益决策等的层次分析法、评分法、关联矩阵法等；模糊数学法，如适用于专家系统等的模糊综合评价、模糊模式识别、模糊积分等；智能化评价法，如适用于城市综合发展水平评价等的基于神经网络的评价<sup>[37-44]</sup>。而减灾能力评估实质属于评价指标的加权聚合过程，对其进行定量化评估属多项减灾能力的归一统算问题，应重点关注指标权重的制定与指标聚合过程<sup>[24]</sup>。前述可知，减灾能力评估模型并不唯一，国内外专家学者在减灾能力定量化评估方法方面并未达成一致。因此，还没有一个公认和普适的方法供大规模使用，有必要引入新的评估方法并基于已有方法开展基于实例数据评估的深入对比分析研究；乡镇(街道)减灾能力是区域减灾能力的一种呈现形式，国务院第一次全国自然灾害综合风险普查领导小组办公室将其定义为：乡镇(街道)在灾害管理(应急预案、风险评估、资金投入)、防灾备灾(物资储备、医疗保障)、自救互救(专业和志愿者队伍、公众避险、转移安置)方面具备的各种能力，并力荐且已成功使用 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, 优劣解距离法)法进行评估，该法适用于多组可比较样本数据，或与标准数据进行比较获得指标的归一化数值，再将各指标数值进行加权叠加，能最大化保留原始数据信息，指标归一化处理消除了不同量纲带来的影响，评估结果量化准确直观，但缺点是原始数据正负向标准

化没有统一的标准，评估结果极易受少数极端值的影响，优劣分档欠佳<sup>[45-46]</sup>。同时，在全国范围的第一次全国自然灾害综合风险普查与综合减灾能力评估项目的开展、执行与协调中，相关专家结合本地区该法评估的减灾能力在大小、等级、及各层级综合减灾能力评估总结建议方面，对 TOPSIS 法提出了一些异议；RSR(Rank Sum Ratio, 秩和比法)法是田凤调<sup>[47]</sup>提出的、在医药卫生领域应用较为成熟的一种多指标综合评价法，采用秩次参与评估计算能有效消除异常值干扰，且待评对象间的评估结果差距显著，应用时需将定量的指标值转换为半定量的秩次，即定量信息定性化(等级化)，但用秩次代替原始指标值会丢失大量的源数据信息，即较多地损失了原始指标值提供的定量信息，无法体现源数据准确性；而对 RSR 法改进后的非整 RSR 法集成了两者的优点，为验证 RSR 法及非整 RSR 法的可行性与高效性，以 TOPSIS 法评估结果数据为参照，选取某市区 18 个乡镇的基础调查数据为例进行论证。基于此，在对 RSR 法进行改进与完善的基础上，以实际调查数据为例开展基于三种评估方法的比较研究，可为区域减灾能力定量化评估提供可行的较优方法。

1 数据来源

以某市区“第一次全国自然灾害综合风险普查”数据为基础，该调查数据主要包括常住人口数量、本级灾害管理工作人员总数、是否开展乡镇(街道)灾害风险评估、上一年度防灾减灾救灾资金投入总金额、现有储备物资装备折金额、实有住院床位数、消防员志愿者民兵预备役人数、上一年度组织的应急管理培训和演练参与人次、本级灾害应急避难场所容量等九类数据，减灾能力评估中的评估指标和权重数据即是基于此基础调查数据所派生出的。

1.1 评估指标及构成

乡镇减灾能力评估数据主要通过《乡镇与社区减灾能力调查技术规范》<sup>[48]</sup>调查获取，如医疗保障能力指标数据通过《公共服务设施调查技术规范》<sup>[49]</sup>医疗卫生机构表格调查获取，自救互救能力指标数据通过《政府减灾能力调查技术规范》<sup>[50]</sup>政府专职和企事业专职消防队伍表格调查获取，乡镇(街道)减灾能力的评估指标包括灾害管理能力、灾害备灾能力和自救转移能力三方面(表 1)。

表 1 乡镇(街道)减灾能力评估指标

一级指标	二级指标	二级指标解释	二级指标计算方式(以乡镇为评估单元)
灾害管理能力	队伍管理能力	万人管理人员比例/%	管理人员/乡镇(街道)总人口×10 000
	风险评估能力	是否开展了风险评估	有为 1，无为 0
	财政投入能力	万人经费投入率/%	投入资金(元)/乡镇(街道)总人口×10 000
灾害备灾能力	物资储备能力	万人物资储备率/%	储备物资装备总金额(元)/乡镇(街道)总人口×10 000
	医疗保障能力	万人拥有床位数/(张/万人)	乡镇(街道)内医院床位数/总人口×10 000
自救转移能力	自救互救能力	万人消防员、预备役和志愿者队伍比率/%	(消防员+志愿者+预备役)人数/乡镇(街道)总人口×10 000
	公众避险能力	居民参与演练培训百分率/%	乡镇(街道)演练培训参与人次/乡镇(街道)总人口×100
	转移安置能力	应急避难场所容纳率/%	避难所总容量(人)/乡镇(街道)总人口

1.2 指标与权重数据

每个指标对评估结果的影响不同, 权重大小反映了各指标在综合评估中的重要性程度。权重确定方法总体可分为侧重专家经验的主观赋权法、侧重样本各属性指标间相关特征或内在数学关系的客观赋权法与综合考虑专家经验和客观评估数据的组合(综合)赋权法三种, 使用中应综合考虑主观赋权法、客观赋权法和组合赋权法的应用条件, 结合区域评估要求进行选取。根据国务院普查办印发的《评估指标权重制定技术规范》<sup>[51]</sup> 要求, 国务院普查办组织有关行业部门、省级普查办组建指标权重制定专家团队, 集中完成减灾能力评估指标权重打分工作, 前期制定了“乡镇(街道)减灾能力评估指标权重(参考值)”<sup>[46]</sup>(表2、表3)。

表2 乡镇(街道)减灾能力评估指标权重

一级指标名称	一级指标权重	二级指标名称	二级指标权重
灾害管理能力	0.4	队伍管理能力	1/3
		风险评估能力	1/3
		财政投入能力	1/3
灾害备灾能力	0.3	物资储备能力	3/5
		医疗保障能力	2/5
自救转移能力	0.3	自救互救能力	1/3
		公众避险能力	1/3
		转移安置能力	1/3

某市区乡镇减灾能力评估是在该区 18 个乡镇的评估指标和权重数据基础上, 借助评估模型开展的。出于数据保密性, 实际评估中用别名代替各乡镇名称, 每个乡镇(用  $A_i$  表示)的灾害管理能力、灾害备灾能力和自救转移能力 3 个一级指标下队伍管理、风险评估、财政投入、物资储备、医疗保障、自救

互救、公众避险、转移安置(用  $X_i$  表示)8 个二级指标及权重值(用  $W_i$  表示)(表3)。

2 评估方法

利用评估模型开展减灾能力评估, 实质就是评估指标的加权聚合过程, 在此借助以下三种模型方法。

2.1 RSR 评价法

秩和比是内涵极为丰富的一个统计量, 表示不同计量单位多个指标的综合水平或指数, 它是非参数统计向参数统计的“接口”, 是行或列秩次的平均值, 受分组数和指标数两项因素影响, 具有 0~1 连续变量的特征。 $RSR$  法集参数统计与非参数统计于一身, 用一个指标来综合反映各计量单位不同、功能类别各异的多个指标的综合水平, 综合评价能力较强, 可广泛应用于综合评价与鉴别分类、因素与关联分析、统计监控与预测决策等领域。 $RSR$  法评价原理是: 首先在一个  $n$  行  $m$  列矩阵中, 通过秩转换获得无量纲统计量  $RSR$ , 再运用参数统计分析的概念与方法来研究  $RSR$  的分布, 最后依据  $RSR$  值对评价对象进行排序或分档排序进而得出综合评价<sup>[47]</sup>。

1) 编秩: 将  $n$  个评价对象的  $m$  个评价指标列成  $n$  行  $m$  列的原始数据表或矩阵, 依次编出各评价对象每个指标的秩。在指标编秩时, 高优指标编秩法的最大指标值编以最高的秩次  $n$ , 次大的编以  $n-1$ , ……次小的指标值编以 2, 最小的编以 1; 低优指标编法则与高优指标相反, 最小的指标值编以最高的秩次  $n$ , 次小的编以  $n-1$ , ……次大的编以 2, 最大的编以 1; 若几个指标值相同, 则均编以平均秩次。

表3 乡镇减灾能力评估指标及权重数据

乡镇	二级指标							
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$
$A_1$	1.39	1	0.42	0.46	2.78	103.85	13.88	0.08
$A_2$	0.62	1	0.00	0.00	37.30	149.63	0.14	0.01
$A_3$	1.06	0	0.64	4.07	222.81	173.57	0.32	0.00
$A_4$	0.55	1	5.48	5.48	0.00	398.98	1.39	0.00
$A_5$	2.13	1	1.52	15.24	9.14	48.15	0.15	0.91
$A_6$	2.99	1	0.00	7.22	0.00	766.16	1.18	0.61
$A_7$	2.13	1	13.90	2.13	25.55	292.55	0.85	0.02
$A_8$	2.83	1	5.66	2.83	27.16	230.82	1.56	0.00
$A_9$	1.24	0	16.49	16.49	46.17	293.91	1.09	1.24
$A_{10}$	11.51	1	126.64	29.93	34.54	292.42	11.51	0.46
$A_{11}$	4.78	1	130.72	71.74	23.91	1 119.08	3.76	0.26
$A_{12}$	2.40	1	0.00	7.80	0.00	625.41	0.36	0.90
$A_{13}$	16.70	1	92.79	98.97	0.00	209.08	1.30	0.19
$A_{14}$	3.16	1	0.00	1.05	0.00	384.21	1.58	0.02
$A_{15}$	14.28	1	142.79	71.39	0.00	221.32	7.14	0.00
$A_{16}$	8.89	1	11.12	97.84	0.00	0.00	6.67	1.11
$A_{17}$	4.98	1	66.46	33.23	0.00	54.83	4.32	1.00
$A_{18}$	40.50	1	16.20	12.15	0.00	1 263.67	0.77	0.12
$W_2$	1/3	1/3	1/3	3/5	2/5	1/3	1/3	1/3
$W_1$		0.4			0.3		0.3	

2) 计算  $RSR$ : 通常按行或列或加权形式计算秩和比。

若按行计算:

$$RSR_R = \frac{\sum_{i=1}^m R}{m \cdot n} \quad (1)$$

若按列计算:

$$RSR_C = \frac{\sum_{i=1}^n R}{m \cdot n} \quad (2)$$

若按加权秩和比计算:

$$RSR_W = WRSR = \frac{\sum_{i=1}^m W \cdot R}{n} \quad (3)$$

式中:  $R$  为各评价对象每个指标的秩;  $W$  为各指标权重。

3) 确定  $RSR$  的分布或计算概率单位 ( $Probit$ ): 根据累计频率, 对照“百分数与概率单位对照表”, 求其所对应的  $Probit$  值。

4) 分档排序:  $0 \leq RSR \leq 1$ ,  $RSR \rightarrow 1$  表明评价对象越优。

## 2.2 非整 $RSR$ 评价法

非整  $RSR$  法(非整秩次秩和比法)是对  $RSR$  法的进一步改进和完善。高优指标编秩中, 最小指标值的秩编为 1, 最大指标值的秩编为  $n$ , 其余指标值的秩由小到大分别编为 1 与  $n$  之间的线性递增的非整秩次, 所编秩次与原指标值之间存在定量的线性对应关系, 即原指标值被定量地转换为秩次, 而不是生硬的等级化; 低优指标的编秩原理与高优指标相同, 但大小方向相反, 非整  $RSR$  法编秩计算见式(4)和式(5)。

对高优指标编秩:

$$R = 1 + (n-1) \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

对低优指标编秩:

$$R = 1 + (n-1) \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (5)$$

式中:  $X$  为各评价指标;  $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$  分别为指标最大、最小值。

非整  $RSR$  法对  $RSR$  法的编秩方法进行了优化, 避免了秩次化后原指标值定量信息的损失, 尤其在待评区域同时具有高优指标、低优指标、不分高低及其组合指标时, 非整  $RSR$  法最大化保留源数据信息的优势更加明显。除编秩方法外, 非整  $RSR$  法与  $RSR$  法的计算步骤几乎相同, 其过程是在将  $n$  个评价对象的  $m$  个评价指标列成  $n$  行  $m$  列的原始矩阵后, 判定高优、低优、不分指标, 首先按式(4)或式(5)依次编出各评价对象每个指标的秩, 再按式(1)、式(2)或式(3)计算出非整  $RSR$  值。

## 2.3 TOPSIS 评价法

TOPSIS 法是一种常用的组内综合评价法, 它能充分利用原始调查数据信息, 在与标准数据进行比较获得指标归一化数值后, 再将各指标数值进行加权叠加的过程, 优点是评估结果量化准确、直观。第一次全国自然灾害综合风险普查推荐利用 TOPSIS 法开展评估, 该法对数据分布及样本含

量没有严格限制, 数据计算简单易行, 着重体现评估单元能力与目标值的差异, 评估结果能准确反映各评价区域或单元间的减灾能力差距。TOPSIS 法评价原理是: 首先基于归一化后的标准化矩阵, 采用余弦法找出有限方案中的最优方案和最劣方案, 再分别计算各评价对象与最优方案和最劣方案间的距离, 进而获得各评价对象与最优方案的相对接近程度, 以此作为评价优劣的依据<sup>[45-46]</sup>。

1) 构建标准化矩阵, 假设有  $n$  个评价对象(计算单元), 每个对象都有  $m$  个属性指标, 则原始数据矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

进行属性归一化:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (7)$$

根据专家知识经验判定法, 得到每个指标的权重  $W_j$ , 进行向量定权:

$$Z_{ij} = W_j \times p_{ij} \quad (8)$$

构造加权规范矩阵, 求得归一化和定权后的标准化矩阵  $Z$ :

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nm} \end{bmatrix} \quad (9)$$

2) 确定最优方案和最劣方案, 最优方案  $Z^+$  由  $Z$  中每列元素的最大值构成:

$$Z_j^+ = \max(z_{1j}, z_{2j}, \cdots, z_{nj}) \quad (10)$$

最劣方案  $Z^-$  由  $Z$  中每列元素的最小值构成:

$$Z_j^- = \min(z_{1j}, z_{2j}, \cdots, z_{nj}) \quad (11)$$

3) 计算各评价对象与最优、最劣方案的距离:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^+ - z_{ij})^2}; \quad (12)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^- - z_{ij})^2} \quad (13)$$

式中:  $D_i^+$  为各评价对象与最优方案的距离;  $D_i^-$  为各评价对象与最劣方案的距离。

4) 计算各评价对象与最优方案的贴近程度  $C_i$ :

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (14)$$

式中:  $0 \leq C_i \leq 1$ ,  $C_i \rightarrow 1$  表明评价对象最优。

5) 根据  $C_i$  大小进行排序, 给出评价结果。

## 3 结果与对比分析

### 3.1 $RSR$ 法、非整 $RSR$ 法、TOPSIS 法评估结果

基于  $RSR$  模型评估原理及计算过程, 某市区乡镇减灾能力评估计算与结果见表 4。

基于非整  $RSR$  模型评估原理及计算过程, 某市区各乡镇减灾能力评估计算与结果见表 5。



表 4 RSR 法评估  $RSR_w$  值分布

乡镇	加权秩和比 ( $RSR_w$ )	频数 ( $f$ )	累计频数 ( $\sum f$ )	秩次 ( $R$ )	平均秩次 ( $\bar{R}$ )	累计频率 ( $\bar{R}/n \times 100\%$ )/%	概率单位 (Probit)
$A_2$	0.289	1	1	1	1	5.6	3.41
$A_3$	0.322	1	2	2	2	11.1	3.78
$A_4$	0.395	1	3	3	3	16.7	4.03
$A_1$	0.405	1	4	4	4	22.2	4.23
$A_{14}$	0.413	1	5	5	5	27.8	4.41
$A_{12}$	0.462	1	6	6	6	33.3	4.57
$A_7$	0.464	1	7	7	7	38.9	4.72
$A_5$	0.470	1	8	8	8	44.4	4.86
$A_8$	0.479	1	9	9	9	50.0	5.00
$A_6$	0.489	1	10	10	10	55.6	5.14
$A_9$	0.576	1	11	11	11	61.1	5.28
$A_{18}$	0.611	1	12	12	12	66.7	5.43
$A_{17}$	0.634	1	13	13	13	72.2	5.59
$A_{16}$	0.642	1	14	14	14	77.8	5.77
$A_{15}$	0.660	1	15	15	15	83.3	5.97
$A_{13}$	0.673	1	16	16	16	88.9	6.22
$A_{10}$	0.754	1	17	17	17	94.4	6.59
$A_{11}$	0.760	1	18	18	18	98.6	7.20

表 5 非整 RSR 法评估  $RSR_w$  值分布

乡镇	非整加权秩和比 (非整 $RSR_w$ )	频数( $f$ )	累计频数 ( $\sum f$ )	秩次 ( $R$ )	平均秩次 ( $\bar{R}$ )	累计频率 ( $\bar{R}/n \times 100\%$ )/%	概率单位 (Probit)
$A_3$	0.192	1	1	1	1	5.6	3.41
$A_2$	0.213	1	2	2	2	11.1	3.78
$A_{14}$	0.232	1	3	3	3	16.7	4.03
$A_4$	0.234	1	4	4	4	22.2	4.23
$A_8$	0.239	1	5	5	5	27.8	4.41
$A_7$	0.244	1	6	6	6	33.3	4.57
$A_9$	0.247	1	7	7	7	38.9	4.72
$A_5$	0.292	1	8	8	8	44.4	4.86
$A_1$	0.295	1	9	9	9	50.0	5.00
$A_6$	0.313	1	10	10	10	55.6	5.14
$A_{12}$	0.318	1	11	11	11	61.1	5.28
$A_{17}$	0.420	1	12	12	12	66.7	5.43
$A_{18}$	0.451	1	13	13	13	72.2	5.59
$A_{16}$	0.516	1	14	14	14	77.8	5.77
$A_{13}$	0.522	1	15	15	15	83.3	5.97
$A_{10}$	0.532	1	16	16	16	88.9	6.22
$A_{15}$	0.538	1	17	17	17	94.4	6.59
$A_{11}$	0.574	1	18	18	18	98.6%	7.20

表 6 TOPSIS 法评估  $C_i$  值分布

乡镇	与最优方案的距离/ $D_i^+$	与最劣方案的距离/ $D_i^-$	与最优方案的贴近程度/ $C_i$
$A_1$	0.209	0.072	0.257
$A_2$	0.212	0.039	0.155
$A_3$	0.189	0.113	0.374
$A_4$	0.213	0.039	0.155
$A_5$	0.205	0.052	0.204
$A_6$	0.203	0.056	0.215
$A_7$	0.206	0.039	0.160
$A_8$	0.206	0.039	0.159
$A_9$	0.192	0.060	0.238
$A_{10}$	0.152	0.104	0.405
$A_{11}$	0.155	0.119	0.434
$A_{12}$	0.205	0.058	0.221
$A_{13}$	0.158	0.124	0.438
$A_{14}$	0.213	0.039	0.155
$A_{15}$	0.156	0.119	0.433
$A_{16}$	0.171	0.119	0.411
$A_{17}$	0.182	0.074	0.291
$A_{18}$	0.174	0.128	0.425

表 7 乡镇减灾能力评估结果对照表

乡镇	TOPSIS 评估( $C_i$ )	排名 1	乡镇	$RSR_w$	排名 2	乡镇	非整 $RSR_w$	排名 3
$A_4$	0.155	1	$A_2$	0.289	1	$A_3$	0.192	1
$A_{14}$	0.155	2	$A_3$	0.322	2	$A_2$	0.213	2
$A_2$	0.155	3	$A_4$	0.395	3	$A_{14}$	0.232	3
$A_8$	0.159	4	$A_1$	0.405	4	$A_4$	0.234	4
$A_7$	0.160	5	$A_{14}$	0.413	5	$A_8$	0.239	5
$A_5$	0.204	6	$A_{12}$	0.462	6	$A_7$	0.244	6
$A_6$	0.215	7	$A_7$	0.464	7	$A_9$	0.247	7
$A_{12}$	0.221	8	$A_5$	0.470	8	$A_5$	0.292	8
$A_9$	0.238	9	$A_8$	0.479	9	$A_1$	0.295	9
$A_1$	0.257	10	$A_6$	0.489	10	$A_6$	0.313	10
$A_{17}$	0.291	11	$A_9$	0.576	11	$A_{12}$	0.318	11
$A_3$	0.374	12	$A_{18}$	0.611	12	$A_{17}$	0.420	12
$A_{10}$	0.405	13	$A_{17}$	0.634	13	$A_{18}$	0.451	13
$A_{16}$	0.411	14	$A_{16}$	0.642	14	$A_{16}$	0.516	14
$A_{18}$	0.425	15	$A_{15}$	0.660	15	$A_{13}$	0.522	15
$A_{15}$	0.433	16	$A_{13}$	0.673	16	$A_{10}$	0.532	16
$A_{11}$	0.434	17	$A_{10}$	0.754	17	$A_{15}$	0.538	17
$A_{13}$	0.438	18	$A_{11}$	0.760	18	$A_{11}$	0.574	18

基于 TOPSIS 模型评估原理及计算过程, 某市区各乡镇减灾能力评估计算与结果见表 6。

将表 4、表 5 与表 6 中的数据进行汇总, 三种模型评估的结果数据及排名对照见表 7。

### 3.2 RSR 法、非整 RSR 法、TOPSIS 法评估结果数据分析

将表 7 中的评估结果数据分别绘制成图 1、图 2 和图 3, 由图中趋势线的斜率及极值差异可知, 基于不同模型单个乡镇或整体区域的评估结果差

异显著。但从评估效果来看, 三种方法都能对乡镇减灾能力进行定量化评估, 采用任一方法结合均值-标准差等分级法均能对各乡镇减灾能力大小进行有效地分等定级。

从评估结果数值来看, 基于相同的评估指标和权重, 同一乡镇的三种模型评估结果均存在不同程度的差异, 区域整体上以 RSR 法评价价值最大、TOPSIS 法评价价值最小、非整 RSR 法评价价值居中(图 4)。

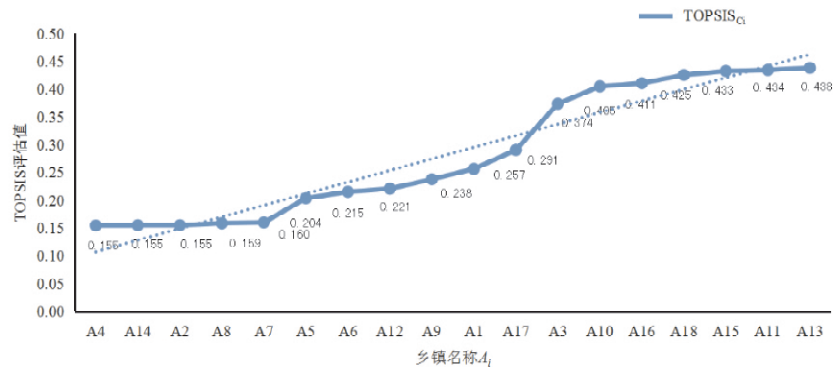


图 1 TOPSIS 法评估结果图

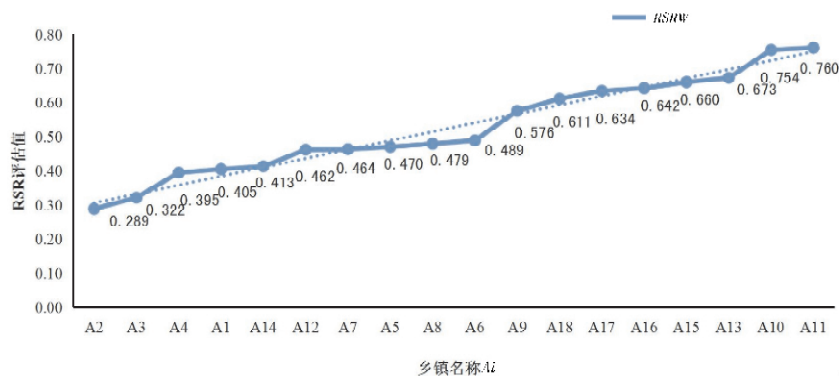


图 2 RSR 法评估结果图

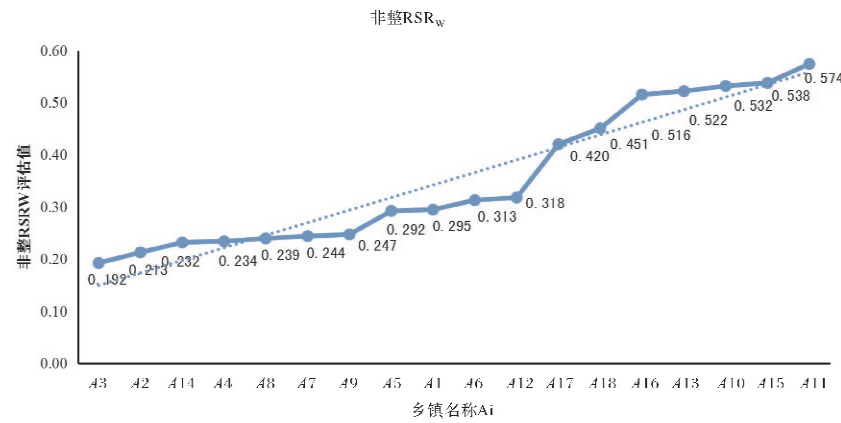


图3 非整RSR<sub>w</sub>法评估结果图

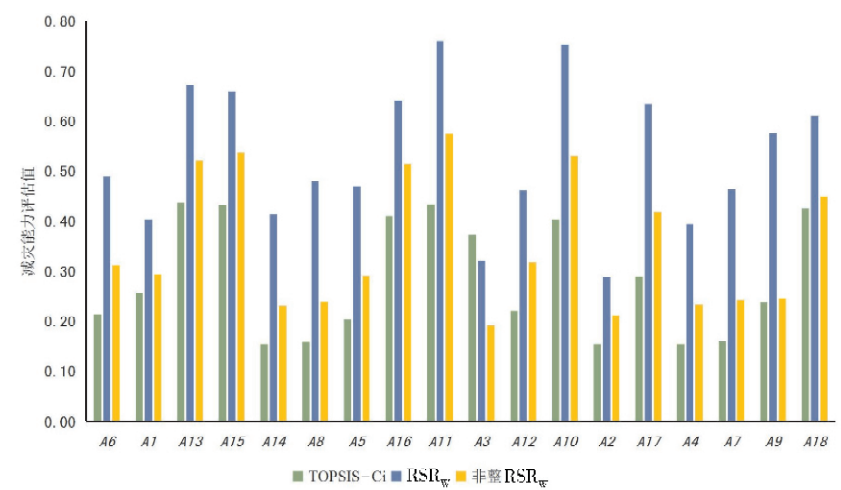


图4 三种方法评估结果数值对比图

对评估结果深入分析可知，TOPSIS 法评估结果的平均值为 0.285、极值差为 0.283、标准差为 0.115，均为三者中最小；非整  $RSR$  法评估结果的平均值为 0.354、极值差为 0.382、标准差为 0.134，处于居中； $RSR$  法评估结果的平均值为 0.528、极值差为 0.472、标准差为 0.141，均为三者中最大(表 8)。表明  $RSR$  法下各乡镇间评估结果差异明显、区分度最大，即各乡镇优劣分档的效果最佳。

表 8 评估结果数据处理分析

分析内容	TOPSIS - $C_i$	RSR - $RSR_w$	RSR - 非整 $RSR_w$
最大值(max)	0.438	0.760	0.574
最小值(min)	0.155	0.289	0.192
极值差( $\Delta$ )	0.283	0.472	0.382
平均值( $\mu$ )	0.285	0.528	0.354
标准差( $\sigma$ )	0.115	0.141	0.134

从评估对象排名来看， $RSR$  法与 TOPSIS 法的评估结果差异最大，18 个乡镇中，减灾能力排名差距为 2 级的为  $A_2$ 、 $A_4$ 、 $A_5$ 、 $A_7$ 、 $A_9$ 、 $A_{12}$ 、 $A_{13}$ 、 $A_{17}$ ，排名差距为 3 级的为  $A_6$ 、 $A_{14}$ 、 $A_{18}$ ，排名差距为 4、5、6、10 级的分别为  $A_{10}$ 、 $A_8$ 、 $A_1$ 、 $A_3$ ；其次为非整  $RSR$  法与 TOPSIS 法，减灾能力排名差距

为 2 级的为  $A_5$ 、 $A_9$ 、 $A_{18}$ ，排名差距为 3 级的为  $A_4$ 、 $A_6$ 、 $A_{10}$ 、 $A_{12}$ 、 $A_{13}$ ，排名差距为 11 级的为  $A_3$ ；非整  $RSR$  法与  $RSR$  法排名差异相对较小，减灾能力排名差距为 2 级的为  $A_{14}$ 、 $A_{15}$ ，排名差距为 4 级的为  $A_8$ 、 $A_9$ ，排名差距为 5 级的为  $A_1$ 、 $A_{12}$ (图 5)。

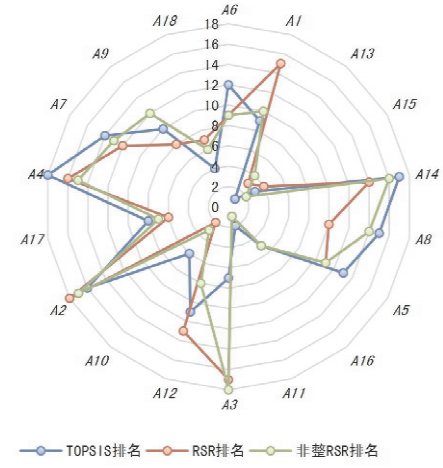


图5 三种方法评估结果排名对比图

从评估结果整体趋势来看，非整  $RSR$  法评估结果整体处于 TOPSIS 与  $RSR$  法之间，该法既吸取了 TOPSIS 法最大化保留源数据信息的优点，又继承了  $RSR$  法较好的优劣分档的优势(图 6)。

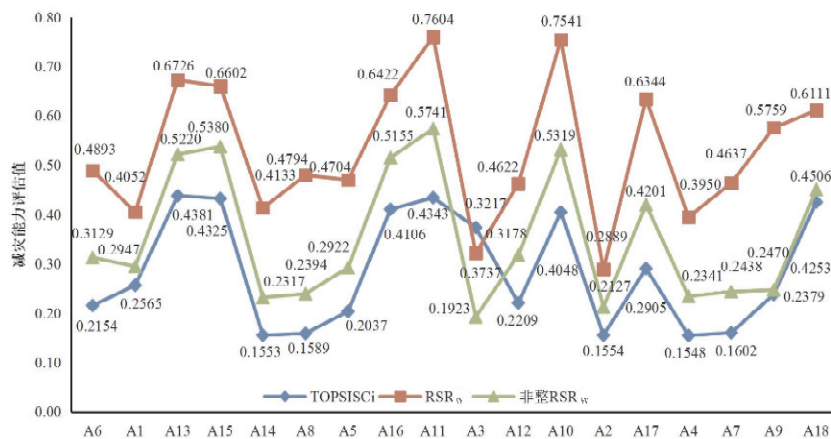


图6 三种方法评估趋势图

对评估结果数据进行深入对比分析,并结合三种模型的评估原理,可知:

1)实用性方面。非整 *RSR* 法与 *RSR* 法评估差异相对较小,两种方法与 *TOPSIS* 法的差异显著。评估指标及权重数据虽相同,由于三种方法的计算方式不尽相同,评估结果差异明显,但三种方法均可实现区域减灾能力量化评估,仅对各乡镇减灾能力评估值整体大小进行对比意义不太明显,而基于各乡镇减灾能力的排名差距,探究其主导因素并对应提出提升减灾能力的措施意义重大。

2)数值大小方面。以 *TOPSIS* 法评估计算的数值最小、标准差最小;*RSR* 法评估计算的数值最大、标准差最大;非整 *TOPSIS* 法评估计算的数值居中、标准差居中。基于三种方法的评估原理及式(1)~(14),表明 *RSR* 法降低了异常指标的干扰、优劣分档最佳;*TOPSIS* 法最大化保留了源数据信息,但易受异常指标干扰;非整 *RSR* 法继承了两者的优点,是三者中既重视源数据信息又强调排名的较好方法。

3)等级排名方面。非整 *RSR* 法与 *RSR* 法的排名相差2级以上的乡镇有6个,最大相差5级;非整 *RSR* 法与 *TOPSIS* 法排名相差2级以上的乡镇有9个,最大相差11级;*RSR* 法与 *TOPSIS* 法排名相差2级以上的乡镇有15个,最大相差10级。

4)整体趋势方面。非整 *RSR* 法居于 *TOPSIS* 法、*RSR* 法两者之中,以非整 *RSR* 法为最优。

5)计算工作量方面。由三种模型评估公式及实际计算知,*TOPSIS* 法计算工作量最大,是另两种方法的几倍,非整 *RSR* 法与 *RSR* 法的计算工作量相当。

## 4 结论与展望

经采用 *RSR* 法、非整 *RSR* 法与 *TOPSIS* 法对某市区各乡镇减灾能力进行定量评估与对比分析,主要结论如下:

1)三种方法均适用于区域减灾能力量化评估,采用任一种方法均可量化出各区域分异的减灾能力,应根据区域评估目的和要求进行选择。

2)*RSR* 法优劣分档最佳、信息损失最大;*TOPSIS* 法信息损失最小、优劣分档最差;非整 *RSR* 法信息损失和优劣分档均居中,为三者中的较好方法。

3)从实用性、数值大小、等级排名、整体趋势、计算工作量等五方面综合考量,非整 *RSR* 法评估模型最为理想。

4)三种方法评估结果产生差异的内在机理:借助评估模型进行层层计算时,对指标数据的近似取值程度或处理方式,及指标与权重的加权聚合过程不同,如 *TOPSIS* 法的式(6)~(14)和 *RSR* 法的式(1)~(5)所示;各乡镇单一指标极端值对该指标及18个乡镇减灾能力值的影响与贡献程度不同,如  $A_3$ 、 $A_6$ 、 $A_{10}$ 、 $A_{18}$  在三种方法下评估数值及排名的差异等。

因此,后续研究应对三种模型下减灾能力排名差距较大的主导诱因进行深入分析。

## 参考文献:

- [1] 张继权,冈田宪夫,多多纳裕一.综合自然灾害风险管理:全面整合的模式与中国的战略选择[J].自然灾害学报,2006,15(1):29-37.
- [2] 张风华,谢礼立.城市防震减灾能力评估研究[J].自然灾害学报,2001,10(4):57-64.
- [3] 谢礼立.城市防震减灾能力的定义及评估方法[J].地震工程与工程振动,2006,26(3):1-10.
- [4] 熊国锋.基于GIS的上海市防震减灾能力评价方法研究[D].上海:同济大学,2007.
- [5] 王威,田杰,马东辉,等.基于云模型的城市防震减灾能力综合评估方法[J].北京工业大学学报,2010,36(6):764-770.
- [6] 顾颖,倪深海,王会容.中国农业抗旱能力综合评价[J].水科学进展,2005,16(5):700-704.
- [7] 闫宏.城市防火减灾能力评估研究及应用[D].西安:西安科技大学,2006.
- [8] 宋超,刘长礼,叶浩.泥石流防灾减灾能力评价方法初探[J].南水北调与水利科技,2007,5(5):117-120.
- [9] 胡俊锋,杨佩国,杨月巧,等.防洪减灾能力评价指标体系和评价方法研究[J].自然灾害学报,2010,19(3):82-87.
- [10] 黄大鹏,郑伟,张人禾,等.安徽淮河流域洪涝灾害防灾减灾能力评估[J].地理研究,2011,30(3):523-530.
- [11] 孙鸿鹄,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.
- [12] 王一新.超大城市洪涝灾害情景评估及其在太湖流域应用研究[D].天津:天津大学,2016.
- [13] 李莉,沈琼.风暴潮灾害防灾减灾能力评价:以山东省沿海城市为例[J].中国渔业经济,2011,29(6):98-106.
- [14] 孔锋.三论灾害防御能力的基本定义与特征[J].灾害学,2021,36(1):69-75.
- [15] 刘艳,康仲远,赵汉章,等.我国城市减灾管理综合评价指标体系的研究[J].自然灾害学报,1999,8(2):61-66.
- [16] 樊运晓,罗云,陈庆寿.区域承灾体脆弱性综合评价指标权重的确定[J].灾害学,2001,16(1):85-87.
- [17] 铁永波,唐川.城市灾害应急能力评价指标体系建构[J].城市问题,2005(6):76-79.
- [18] 高庆华,张业成,刘惠敏,等.中国区域减灾基础能力初步研究[M].北京:气象出版社,2006.
- [19] 易亮,张亚美,黄维,等.社区防灾减灾资源评价体系探讨[J].灾害学,2012,27(1):125-129.
- [20] 连达军,朱进,李广斌.社区减灾能力的熵权-灰靶评价方法研究:以苏州新区为例[J].测绘通报,2017(12):98-102.
- [21] 张明媛,刘妍,袁永博.基于可变模糊聚类的城镇综合承灾能力评价研究[J].灾害学,2012,27(1):135-138.

- [22] 胡俊锋, 张宝军, 杨佩国, 等. 区域综合减灾能力评价模型和方法研究与实证分析[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(5): 13–22.
- [23] 胡俊锋, 杨佩国, 吕爱锋, 等. 基于 ISM 的区域综合减灾能力评价指标体系研究[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 75–80.
- [24] 张欣然, 徐伟. 区域减灾能力研究: 进展与挑战[J]. 水利水电技术(中英文), 2023, 54(3): 47–58.
- [25] 马宗晋, 高庆华, 陈建英, 等. 减灾事业的发展 and 综合减灾[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(1): 1–6.
- [26] 王静爱, 雷永登, 周洪建, 等. 中国东南沿海台风灾害链区域规律与适应对策研究[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2012(2): 130–138.
- [27] 王婷, 吴绍洪, 高江波, 等. 区域台风-洪涝-地质灾害链减灾能力评估[J]. 灾害学, 2022, 37(4): 193–200, 210.
- [28] U. S. Federal Emergency Management Agency. State capability assessment for readiness, a report to United States senate committee on appropriations[R]. Washington, D. C.: Federal Emergency Management Agency, 1997.
- [29] Cabinet Office. strategic national framework on community resilience[R]. London: Cabinet Office, 2011.
- [30] CUTTER S L, ASH K D, EMRICH C T. The geographies of community disaster resilience[J]. Global Environmental Change, 2014, 29: 65–77.
- [31] CUTTER S L, BURTON C G, EMRICH C T. Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions[J]. Journal of Homeland Security and Emergency Management, 2010, 7(1): 1–22.
- [32] KUNIHIRO A, TAKAHISA E, TOSHIO M. Intercity comparison using evaluation techniques on vulnerability of earthquake disaster: A case study of ordinance-designated City[J]. Journal of Japan Society for Natural Disaster Science, 2000, 18(4): 489–500.
- [33] PARSONS M, GLAVAC S, HASTINGS P, et al. Top-down assessment of disaster resilience: a conceptual framework using coping and adaptive capacities[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2016, 19: 1–11.
- [34] DJORDJEVIC S, BUTLER D, GOURBESVILLE P, et al. new policies to deal with climate change and other drivers impacting on resilience to flooding in urban areas; the CORFU approach[J]. Environmental Science & Policy, 2011, 14(7): 864–873.
- [35] United Nations. Hyogo framework for action 2005–2015: Building the resilience of nations and communities to disasters[R]. Kobe: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2005.
- [36] United Nations. Sendai Framework for disaster risk reduction 2015–2030[R]. Sendai: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015.
- [37] 杨文婷. 湖北省社区防灾减灾能力的综合评价研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [38] 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.
- [39] TIAN C S, FANG Y P, YANG L E, et al. Spatial-temporal analysis of community resilience to multi-hazards in the Anning River basin, Southwest China[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2019, 39: 101144.
- [40] WANG T, YANG L S, WU S H, et al. Quantitative assessment of natural disaster coping capacity: an application for typhoons[J]. Sustainability, 2020, 12(15): 5949.
- [41] 伍仁杰. 中国内陆地区公路洪灾风险区划研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2020.
- [42] 潘金兰, 徐庆娟, 刘合香. 基于 AHP-TOPSIS 最优组合赋权的台风灾害风险评估[J]. 南宁师范大学学报(自然科学版), 2021, 38(1): 60–66.
- [43] 郑茂. 基于系统动力学地震灾害防灾减灾能力评价与仿真研究: 以四川省为例[D]. 成都: 西华大学, 2021.
- [44] 孙瑞玲. 长三角地区洪涝灾害风险与韧性评估研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2022.
- [45] 应急管理部. 综合减灾能力评估技术规范: FXPC/YJP-17[S]. 北京: 国务院第一次全国自然灾害综合风险普查领导小组办公室印发, 2022.
- [46] 应急管理部. 乡镇与社区减灾能力评估技术规范: FXPC/YJP-15[S]. 北京: 国务院第一次全国自然灾害综合风险普查领导小组办公室印发, 2022.
- [47] 田凤调. 秩和比法的应用[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2002.
- [48] 应急管理部. 乡镇与社区减灾能力调查技术规范: FXPC/YJ I-03[S]. 北京: 国务院第一次全国自然灾害综合风险普查领导小组办公室印发, 2021.
- [49] 应急管理部. 公共服务设施调查技术规范: FXPC/YJ G-10[S]. 北京: 国务院第一次全国自然灾害综合风险普查领导小组办公室印发, 2021.
- [50] 应急管理部. 政府减灾能力调查技术规范: FXPC/YJ I-01[S]. 北京: 国务院第一次全国自然灾害综合风险普查领导小组办公室印发, 2021.
- [51] 应急管理部. 评估指标权重制定技术规范: FXPC/YJP-19[S]. 北京: 国务院第一次全国自然灾害综合风险普查领导小组办公室印发, 2022.

## Comparison of Township Disaster Reduction Capacity Assessment Results Based on Three Methods: A Case Study for 18 Townships in a Certain District of a City

DING Jianchuang<sup>1,2</sup>, ZHONG Hairen<sup>3</sup>, XU Lilin<sup>3</sup>, YU Jie<sup>1</sup>

- (1. School of Resource, Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China;
2. School of Architectural Engineering, North China Institute of Science and Technology, Sanhe 065201, China;
3. GEO-COMPASS Information Technology Co., Ltd., Beijing 100142, China)

**Abstract:** Disaster reduction capacity is a comprehensive capability possessed in the process of regional disaster prevention and reduction, emergency rescue, and recovery and reconstruction. Taking the basic survey data of the First National Comprehensive Risk Survey of Natural Disasters in a certain district of a city as an example, the disaster reduction capacities of 18 townships in the area are quantitatively assessed using the RSR method, non-integer RSR method, and TOPSIS method, respectively, and a comparative analysis is made from the five aspects of the practicality of the evaluation model, the size of the value, the rank, the overall trend, and the calculation workload. The results show that: All of the three methods are suitable for quantitative assessment of regional disaster reduction capacity, and can be selected based on the purpose and needs of regional evaluation. Overall, the RSR method has the best grading of advantages and disadvantages and the highest information loss, while the TOPSIS method has the lowest information loss and the worst grading of advantages and disadvantages. However, based on the evaluation principle of non-integer RSR method, ranking each evaluation index by using the linear interpolation method, there is a linear corresponding relation between the compiled rank and the original index value, it not only overcomes the information loss of the RSR method's source data, but also optimizes the grading of advantages and disadvantages of TOPSIS method. Therefore, the improved non-integer RSR method has a moderate information loss and grading of advantages and disadvantages, making it the better choice among the three. The study of non-integer RSR method can provide reference for quantitative assessment of disaster reduction capacity.

**Keywords:** assessment of disaster reduction capacity; RSR model; non-integer RSR model; TOPSIS model; linear interpolation method; information loss; the grading of advantages and disadvantages