

基于 AHP-TOPSIS 最优组合赋权的台风灾害风险评估^{*}

潘金兰¹ 徐庆娟¹ 刘合香^{1,2}

(1. 南宁师范大学 数学与统计学院 广西 南宁 530100;
2. 广西北部湾海洋灾害研究重点实验室 广西 钦州 535000)

摘 要: 该文从台风致灾源危险性、承灾体脆弱性、防灾减灾能力三个方面来选取评价指标,提出了一个基于 AHP-TOPSIS 最优组合赋权的华南台风灾害风险评估模型。主要基于改进的层次分析法(AHP)和 TOPSIS 方法计算评价指标的主观和客观权重,基于最小熵原理最优组合赋权计算台风的致灾源危险性指数、承灾体脆弱性指数和防灾减灾能力指数,进而利用 TOPSIS 方法计算其权重,得到台风灾害综合风险指数。对 1984-2016 年华南 50 个台风进行台风风险评估和等级划分,评估结果与实际情况基本一致。

关键词: 台风灾害; 风险评估; AHP; TOPSIS 法; 最小熵原理; 组合权重

中图分类号: P444

文献标志码: A

1 引言

中国是世界上遭受台风灾害最多的国家之一。对台风灾害进行合理、客观的风险评估对进一步做好防灾减灾工作,尽可能地降低台风造成的损失尤为重要。在对台风灾害风险评估的大量工作中,其指标的选取、指标权重的计算、台风灾害风险评估模型的构建等问题受到不少学者的关注与研究。

在指标选取方面,陈香等^[1]、周亚飞等^[2]从致灾因子、承灾体、防灾减灾能力三个方面选取指标,牛海燕等^[3]从致灾因子和承灾体两个方面选取指标, Jie Yin 等^[4]根据自然灾害和承灾体暴露度、脆弱性选取指标,陈映强等^[5]从致灾因子、孕灾环境和承灾体三个方面选取指标。

在模型构建方面,陈文方等^[6]、张悦等^[7]均从致灾因子和承灾体两个方面选取指标,分别利用主成分分析和传统的层次分析法计算台风灾害风险指数,进而对台风灾害风险进行评估。刘合香等^[8]利用遗传-投影寻踪和层次分析法的组合权重,构建华南台风灾害风险评估模型,主要从灾情因子和致灾因子两个方面进行分析。陈楷俊等^[9]从致灾因子、承灾体、防灾减灾能力三个方面选取指标,利用熵值法确定各指标的权重,构建了近 30 年来粤东地区的台风灾害风险评估模型。由于传统的层次分析法的主观性太强和对城市防灾减灾能力的忽视会导致模型评估误差,因此指标选取、权重计算和模型构建还需要进一步研究。

在权重计算方面,改进的层次分析法(AHP)^[8,10]采用模糊评价矩阵构造判断矩阵,免去了传统层次分析法中专家打分这个环节,克服了其主观性太强的缺陷。TOPSIS 方法(又称逼近理想解排序法),主要根据评价对象与最优向量和最劣向量的距离对方案进行排序。该方法简单易操作,可有效反映风险因子决策问题的复杂性^[11,12]。最小熵原理^[13]作为计算最优组合权重的重要方法,不仅可以避免权重过于主观或客观,而且会使主观和客观权重比例达到最佳。

本文尝试从台风致灾、承灾、防灾减灾三个方面选取台风灾害评价指标,基于改进的层次分析法、TOPSIS 方法确定其主、客观权重,利用最小熵原理进行组合优化赋权,构建台风灾害风险评估模型,对 1984-2016 年华南台风进行灾害风险评估。

收稿日期: 2020-12-18

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金(41665006); 广西自然科学基金(2020GXNSFAA159103); 南宁师范大学博士科研启动项目(20180406001)

作者简介: 潘金兰(1991-),女,广西贺州人,硕士研究生,研究方向: 优化算法、数学模型、自然灾害风险分析。

通信作者简介: 徐庆娟(1979-),女,山东成武人,副教授,博士,硕士生导师。

2 台风风险评估体系

台风灾害风险评估是一个较为复杂的问题,需要多种方法综合运用^[1].本文尝试以致灾源危险性、承灾体脆弱性、防灾减灾能力为评价因素,基于最小熵原理将改进的层次分析法和 TOPSIS 法相结合,计算最优组合权重,然后分别计算致灾源危险性指数、承灾体脆弱性指数、防灾减灾能力指数,再基于 TOPSIS 法计算台风灾害综合风险指数,从而构建台风灾害综合风险评估模型(具体流程见图1).

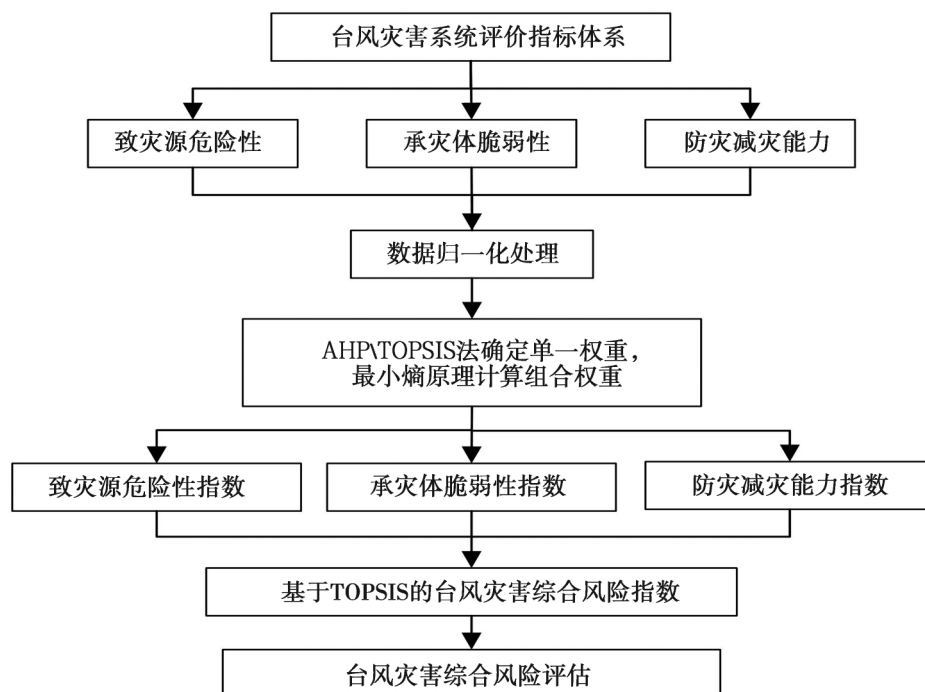


图1 台风灾害综合风险评估流程图

3 研究方法

3.1 数据归一化

在台风灾害综合风险研究中所选取的指标中,各评价指标的量纲间有一定的差异,为消除各因子的量纲不同对模型的影响,本文运用如下公式对指标进行归一化处理,将数据映射到区间 $[0.5, 1]$ ^[14].

$$\text{逆向指标: } Z_{ij} = 0.5 + 0.5 \times \frac{\max\{X_{ij}\} - X_{ij}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}}, \quad (1)$$

$$\text{正向指标: } Z_{ij} = 0.5 + 0.5 \times \frac{X_{ij} - \min\{X_{ij}\}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}}, \quad (2)$$

其中, Z_{ij} 表示第 j 个指标的第 i 个样本的归一化值, X_{ij} 表示第 j 个指标的第 i 个样本值, $\max\{X_{ij}\}$ 、 $\min\{X_{ij}\}$ 分别表示第 j 个指标的样本值的最大值和最小值.

3.2 指标权重的确定

在台风灾害综合风险评估中,各个指标的权重赋值对综合评估起着决定性作用.因主观赋权具有强烈的主观随意性,客观赋权并未顾及各属性的偏好,所以为了使评估更科学、合理,将改进的层次分析法(AHP)作为主观赋权, TOPSIS 法作为客观赋权,基于最小熵原理计算最优组合权重.

3.2.1 用改进的层次分析法确定指标主观权重 $W_1 = (w_{1j} \ j = 1 \ 2 \ \cdots \ n)$

层次分析法是一种既简便又灵活的对定性问题进行定量分析的多准则决策方法. 本文运用文[10]的改进的层次分析法(AHP), 计算各指标的主观权重. 该方法既简便灵活, 又克服了传统层次分析法主观性太强的不足, 常用于评价指标的排序权重. 在自然灾害评估中备受研究者的青睐.

3.2.2 用 TOPSIS 法确定指标客观权重 $W_2 = (w_{2j} \ j = 1 \ 2 \ \cdots \ n)$

TOPSIS 方法的基本思想是构建最劣向量和最优向量, 在可行方案中寻找一个最优方案, 使得指标值离最劣向量最远, 距离最优向量最近^[11]. 本文使用 TOPSIS 方法确定指标客观权重.

计算步骤

构建最劣向量 $\bar{S} = (\bar{s}_1 \ \bar{s}_2 \ \cdots \ \bar{s}_n)$, 最优向量 $S = (s_1 \ s_2 \ \cdots \ s_n)$, 其中,

$$\bar{s}_j = \begin{cases} \max(X_{ij}) & \text{当 } X_{ij} \text{ 为逆向指标时} \\ \min(X_{ij}) & \text{当 } X_{ij} \text{ 为正向指标时} \end{cases},$$

$$s_j = \begin{cases} \max(X_{ij}) & \text{当 } X_{ij} \text{ 为正向指标时} \\ \min(X_{ij}) & \text{当 } X_{ij} \text{ 为逆向指标时} \end{cases}.$$

构造相对误差矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$:

$$\bar{r}_{ij} = \frac{|X_{ij} - \bar{s}_j|}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})},$$

$$r_{ij} = \frac{|X_{ij} - s_j|}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}.$$

计算夹角余弦来确定权重:

$$\theta_j = \cos \langle r_{ij}, \bar{r}_{ij} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^m r_{ij} \cdot \bar{r}_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m \bar{r}_{ij}^2}}.$$

归一化得权重:

$$w_{2j} = \frac{\theta_j}{\sum_{j=1}^m \theta_j}.$$

3.2.3 最小熵原理确定组合权重 $W = (w(j) \ j = 1 \ 2 \ \cdots \ n)$

本文基于最小熵原理将 AHP 和 TOPSIS 方法结合, 计算各评价指标最优组合权重. 依据最小熵原理, 应使组合权重与主观权重、客观权重尽可能地接近, 为此构建如下的最优化问题:

$$\min F = \sum_{j=1}^n w(j) \ln \frac{w(j)}{W_1(j)} + \sum_{j=1}^n w(j) \ln \frac{w(j)}{W_2(j)},$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n w(j) = 1 \quad w(j) \geq 0.$$

可利用拉格朗日乘子法求解得到:

$$w(j) = \sqrt{W_1(j) W_2(j)} / \sum_{j=1}^n \sqrt{W_1(j) W_2(j)}.$$

3.3 致灾、承灾、防灾减灾评价指标指数的计算

为综合考虑各影响因子对总体的影响程度, 可利用加权综合评价法, 计算致灾源危险性指数 VH 、承灾体脆弱性指数 VS 和防灾减灾能力指数 VR , 计算公式简记为

$$V(H \ S \ R) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot Z_{ij}, \quad (3)$$

其中, w_j 为第 j 个评价指标的权重, Z_{ij} 表示各台风样本指标数据经归一化处理后的值.

3.4 台风风险综合评价指数计算

根据传统台风灾害系统风险的合成规则,采用的台风灾害综合风险指数的计算公式为

$$I_{\text{TDR}} = (VH^{WH})(VS^{WS})(VR^{WR}), \quad (4)$$

其中, I_{TDR} 为台风综合风险指数, I_{TDR} 越大,说明台风灾害风险程度越高. WH , WS , WR 分别表示致灾源危险性、承灾体脆弱性和防灾减灾能力影响台风灾害综合风险的权重.

4 案例分析

本文以 1984—2016 年数据较为完整的 50 个影响华南地区(广西、广东和海南)的台风为例,对台风灾害风险进行综合评估. 灾害风险评估的致灾源危险性指标数据来源于《热带气旋年鉴》(气象出版社出版的 1984 年至 2014 年各年的《热带气旋年鉴》)和 华南三省区气候中心. 承灾体脆弱性与防灾减灾能力指标数据来源于《中国统计年鉴》(中国统计出版社出版的 1984 年至 2016 年各年的《中国统计年鉴》).

4.1 评价指标权重的计算

4.1.1 致灾源危险性

台风灾害危险性是指引起台风的致灾源危险性强度及概率特征^[1]. 结合登陆华南区域的台风特征,选取登陆时中心气压、登陆时最大风速和降雨天数作为致灾源危险性指标. 其中,登陆时中心气压为逆向指标,归一化时运用式(1)进行处理,其余两个指标为正向指标,归一化时运用式(2)进行处理. 运用 3.2 节指标权重的确定方法,得到华南台风灾害致灾源危险性评价指标的最优组合权重为 $W = (0.370\ 2\ 0.289\ 9\ 0.339\ 9)$,即登陆时中心气压的权重为 0.370 2,对致灾源危险性影响最大;登陆时最大风速的权重为 0.289 9,对致灾源危险性影响最小;降雨天数的权重为 0.339 9,对致灾源危险性影响仅次于登陆时中心气压.

4.1.2 承灾体脆弱性

台风灾害脆弱性是指受灾区承灾体的抗灾性能. 本文选取地方财政一般预算收入、全社会固定资产投资、建筑业房屋竣工面积、建筑业总产值、农业总产值、农作物总播种面积、经济密度、人口密度和人均 GDP 9 个指标作为承灾体脆弱性指标. 所有的脆弱性指标均为正向指标,利用式(2)进行归一化,按照 3.2 节方法计算指标权重,可得到承灾体脆弱性评价指标最优组合权重 $W' = (0.092\ 0\ 0.092\ 5\ 0.125\ 4\ 0.092\ 7\ 0.111\ 5\ 0.153\ 2\ 0.098\ 3\ 0.132\ 3\ 0.102\ 1)$. 其中,农作物总播种面积对台风灾害脆弱性的影响权重最大,为 15.32%;人口密度仅次于农作物总播种面积,占比 13.23%;建筑业房屋竣工面积第三高,占比 12.54%;农业总产值和人均 GDP 再次之,占比分别为 11.15%和 10.21%;地方财政一般预算收入、全社会固定资产投资、建筑业总产值和经济密度占比基本持平,大约为 9%. 显然,农作物总播种面积对华南台风灾害脆弱性的影响最大,这与实际情况是十分吻合的.

4.1.3 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指受灾区在受到台风袭击后的恢复能力. 选取电话普及率、单位面积公路里程、单位面积铁路营业里程、每千人拥有医生数、每万人拥有医疗机构数、每万人在校大学生数和普通高等学校专任教师数作为华南台风防灾减灾能力的评价指标. 这 7 个指标均为逆向指标,利用式(1)将数据归一化,基于 3.2 节指标权重计算方法,可得防灾减灾能力评价指标的最优组合权重 $W'' = (0.126\ 9\ 0.153\ 0\ 0.151\ 7\ 0.173\ 5\ 0.136\ 2\ 0.125\ 3\ 0.133\ 4)$. 其中,每千人拥有医生数对台风防灾减灾能力的影响最大,权重为 17.35%;单位面积公路里程和铁路营业里程对台风防灾减灾能力的影响次之,占比约为 15%;再次是每万人拥有医疗机构数和普通高等学校专任教师数,比重略高于 13%;电话普及率和每万人在校大学生数对其影响最小,占比约为 12.5%. 显然,医生人数的直接占比、交通状况对防灾减灾能力的影响较大,其他指标的影响基本持平,这与实际情况基本一致.

表 1 华南区域台风风险评价指标及其权重

评价目标	评价因素	评价指标	组合权重
台风风险	致灾源危险性 (0.468 9)	登陆时中心气压(hp)	0.370 2
		登陆时最大风速(m/s)	0.289 9
		降雨天数(d)	0.339 9
	承灾体脆弱性 (0.319 2)	地方财政一般预算收入(亿元)	0.092 0
		全社会固定资产投资(亿元)	0.092 5
		建筑业房屋竣工面积(万平方米)	0.125 4
		建筑业总产值(亿元)	0.092 7
		农业总产值(亿元)	0.111 5
		农作物总播种面积(万公顷)	0.153 2
		经济密度(万元/平方公里)	0.098 3
		人口密度(人/平方公里)	0.132 3
		人均 GDP(千元/人)	0.102 1
	防灾减灾能力 (0.211 9)	电话普及率(%)	0.126 9
		单位面积公路里程(公里/万平方公里)	0.153 0
		单位面积铁路营业里程(公里/万平方公里)	0.151 7
		每千人拥有医生数(人)	0.173 5
		每万人拥有医疗机构数(个)	0.136 2
		每万人在校大学生数(人)	0.125 3
		普通高等学校专任教师数(万人)	0.133 4

注: 表中三个评价因素的权重值见 4.3 节的陈述.

4.2 致灾、承灾、防灾减灾评价指标的计算

将归一化处理的指标数据和最优组合权重代入式(3), 可得到致灾源危险性指数 VH 、承灾体脆弱性指数 VS 、防灾减灾能力指数 VR 结果见表 2.

表 2 1984—2016 年华南台风灾害各评价指数值、综合风险指数值和等级划分

编号	VH	VS	VR	I_{TDR}	等级	编号	VH	VS	VR	I_{TDR}	等级
8410	0.637 3	0.535 1	0.985 6	0.661 1	II	0107	0.581 6	0.672 0	0.901 0	0.668 3	II
8521	0.588 7	0.530 4	0.982 7	0.634 7	I	0307	0.619 8	0.675 6	0.870 8	0.684 7	II
8710	0.679 9	0.513 8	0.974	0.670 9	II	0312	0.637 3	0.675 6	0.870 8	0.693 7	III
8805	0.581 6	0.522 4	0.979 3	0.627 6	I	0313	0.609	0.675 6	0.870 8	0.679 1	II
8823	0.567 5	0.522 4	0.979 3	0.6204	I	0320	0.609 9	0.675 6	0.870 8	0.679 6	II
8905	0.686 6	0.544 9	0.977 5	0.687 3	II	0518	0.760 4	0.703 7	0.839 8	0.757 6	IV
8908	0.627 2	0.544 9	0.977 5	0.658 8	II	0601	0.675 7	0.661 3	0.797 6	0.695 1	III
8926	0.638 1	0.544 9	0.977 5	0.664 1	II	0606	0.609 9	0.661 3	0.797 6	0.662 5	II
9106	0.665 5	0.572 5	0.977 5	0.688 1	II	0814	0.724 6	0.710 6	0.771 7	0.729 8	IV
9107	0.685 6	0.572 5	0.977 5	0.697 8	III	0906	0.563 2	0.736 5	0.699 2	0.642 3	I
9108	0.673 8	0.572 5	0.977 5	0.692 1	III	0915	0.598 9	0.736 5	0.699 2	0.661 1	II
9111	0.712 1	0.572 5	0.977 5	0.710 3	III	1002	0.598 9	0.766 1	0.675 4	0.664 6	II
9204	0.732 4	0.572 5	0.977 5	0.719 7	IV	1003	0.627 2	0.766 1	0.675 4	0.679 2	II
9205	0.570 6	0.572 5	0.977 5	0.640 2	I	1117	0.637 2	0.808 1	0.655 7	0.691 6	III
9302	0.598 9	0.577 7	0.975 7	0.656 6	II	1208	0.729 4	0.839 9	0.636 4	0.741 3	IV
9309	0.620 0	0.577 7	0.975 7	0.667 3	II	1213	0.642 1	0.839 9	0.636 4	0.698 3	III
9315	0.614 5	0.577 7	0.975 7	0.664 5	II	1311	0.767 8	0.876 1	0.599 2	0.759 8	IV

续表

编号	VH	VS	VR	I_{TDR}	等级	编号	VH	VS	VR	I_{TDR}	等级
9316	0.581 6	0.577 7	0.975 7	0.647 6	I	1319	0.744 0	0.876 1	0.599 2	0.748 7	IV
9318	0.702 2	0.577 7	0.975 7	0.707 4	III	1409	0.943 3	0.893 8	0.573 8	0.834 5	V
9509	0.580 8	0.617 9	0.961 2	0.659 1	II	1415	0.672 7	0.893 8	0.573 8	0.712 2	IV
9612	0.591 7	0.639 5	0.941 9	0.669 3	II	1510	0.598 9	0.932 2	0.557 8	0.679 4	II
9615	0.695 4	0.639 5	0.941 9	0.722 0	IV	1522	0.685 3	0.932 2	0.557 8	0.723 7	IV
9903	0.570 6	0.653 5	0.911 4	0.658 0	II	1604	0.606 0	0.952 7	0.500 0	0.672 2	II
0016	0.637 2	0.661 5	0.930 1	0.698 6	III	1621	0.675 4	0.952 7	0.500 0	0.707 3	III
0103	0.627 2	0.672 0	0.901 0	0.692 3	III	1622	0.644 4	0.952 7	0.500 0	0.691 9	III

4.3 台风灾害综合风险指数的计算

基于 3.2 节 TOPSIS 权重计算方法,计算致灾源危险性、承灾体脆弱性和防灾减灾能力对华南台风综合风险影响的权重,结果为 $w = (WH, WS, WR) = (0.468\ 9\ 0.319\ 2\ 0.211\ 9)$ 。由此可以看出 $WH > WS > WR$,即对华南台风综合风险影响最大的是致灾源危险性,其次是承灾体脆弱性,影响最弱的是防灾减灾能力。

需要指出的是,尽管本文选取的指标与文献[1]所选取的指标不全相同,二者的数据和各评价指数对台风综合风险影响权重的计算方法完全不同,但本文所得到的各评价指数的权重与文献[1]对台风灾害风险的影响程度赋予的权重 $w = (WH, WS, WR) = (0.4\ 0.35\ 0.25)$ 相差并不大。这在一定程度上说明,无论是福建省,还是华南三省区,在台风灾害综合风险评估中,都是致灾源危险性对综合风险的影响最大,承灾体脆弱性影响次之,防灾减灾能力影响最弱。

将前面计算得到的 VH, WS, VR 以及权重 w ,代入式(4),即可得到华南 50 个台风综合风险指数 I_{TDR} ,结果见表 2(表 2 中的风险等级划分方法见表 3)。

4.4 台风灾害综合风险等级划分

对华南 50 个台风灾害综合风险进行等级划分,具体划分方法如表 3 所示。

表 3 华南台风灾害综合风险等级划分方法

综合风险指数	≤ 0.65	$(0.65, 0.69]$	$(0.69, 0.712]$	$(0.712, 0.8]$	> 0.8
灾害风险等级	I	II	III	IV	V

利用表 3 的风险等级划分方法,可得华南 50 个台风灾害样本的综合风险等级,具体结果详见表 2。

4.5 结果分析

4.5.1 致灾源危险性分析

致灾源危险性指数 VH 越大,危险性就越高,台风灾害综合风险就越大。从表 2 结果可知,1409号台风“威马逊”的危险性指数最高,为 0.943 3;第二高为 1311号台风“尤特”,其危险性指数为 0.767 8;第三高是 0518号台风“达维”,其危险性指数为 0.760 4。这与实际情况基本相符。台风“威马逊”登陆海南时的最大风力等级高达 17 级,在华南 50 个台风中危险性最强。

同年 8 月和 9 月登陆的 9612号台风“耐克”和 9615号台风“莎莉”的承灾体脆弱性和防灾减灾能力基本一致,后者的致灾源危险性指数为 0.695 4,高于前者的致灾源危险性指数 0.591 7。因此,台风“莎莉”的危险性比台风“耐克”的危险性高,导致其综合风险也高于后者。这是符合实际的,因为台风“莎莉”登陆时最大风速远大于台风“耐克”的最大风速,其中心气压明显低于台风“耐克”,导致其危险性远大于台风“耐克”。

4.5.2 承灾体脆弱性分析

承灾体脆弱性指数 VS 越大,脆弱性就越高,台风灾害综合风险就越大。承灾体的脆弱性主要是从社会、经济以及人口方面选取指标。从表 2 可以看出,承灾体脆弱性指数基本上是逐年增长的,说明承灾体脆弱性逐年增加。

4.5.3 防灾减灾能力分析

由于防灾减灾因子对台风灾害风险来说是逆向型指标,因此,防灾减灾能力指数 VR 越小,防灾减灾能力就越高,台风灾害综合风险就越小。从表2结果可知,防灾减灾能力指数基本上是逐年减小的,说明防灾减灾能力逐年增强。

4.5.4 综合风险分析

从表2的综合风险评估结果可以看出,Ⅳ级风险的台风有1个,为1409号超强台风“威马逊”。该台风综合风险指数达到0.834 5,在1984—2016年华南50个台风中是最高的。资料显示,该台风是中华人民共和国成立以来登陆我国的最强的台风,造成的直接经济损失在华南50个台风中也是最高的,达到416.7亿元。

Ⅳ级风险的台风有9个,分别是1522、9615、1415、1319、1311、0814、0518、1208和9204号台风。其中,2000年以后的台风有7个,占77.78%。除了9204号台风,其他台风均属于强台风或超强台风。其中,1311号强台风“尤特”综合风险指数第二高,达到0.759 8,其直接经济损失高达190.7亿元。造成288亿元直接经济损失的1522号强台风“彩虹”的综合风险指数为0.723 7,略低于1319、1311、0814和0518号强台风。尽管其直接经济损失高于这些台风,但其死亡人数明显低于这些台风。与1415号强台风相比,9204号台风的直接经济损失较小,但其风险指数却明显偏高,原因是9204号台风的降雨天数为8天,在所有华南台风中最多,而降雨天数在三个致灾因子中的权重又高于风速。

Ⅲ级风险的台风有12个,分别是9107、9108、9111、9318、0016、0103、0312、1213、0601、1117、1621和1622号台风。除了1621号台风“莎莉嘉”和1622号台风“海马”属于强台风,风险估计值偏低,其他均属于台风级别,风险估计值正常。1621号台风综合风险指数为0.707,很接近Ⅳ等级的风险阈值0.712。1622号强台风综合风险指数为0.691 9,其风险指数之所以偏小,可能是由于其降雨天数在强台风中偏少,气压偏大。1117号台风“纳沙”的风险指数为0.691 6,风险指数在Ⅲ级台风中最小,分析其原因,一是该台风的降雨天数偏少,气压偏大;二是该台风的防灾减灾能力指数为0.655 7,有点偏高。

Ⅱ级风险的台风有22个,分别是0606、1003、9509、9309、0915、0313、0307、9315、1510、0320、9302、9612、8926、9903、8908、0107、1604、9106、8905、8410、1002、8710号台风。其中,2000年前发生的台风有17个,占77.27%。其中,直接经济损失为80.765 6亿元的0606号台风“派比安”综合风险指数为0.662 5,在Ⅱ级台风中处于中等偏低位置,很可能是由于该台风登陆时的中心气压较高,登陆时的最大风速较低,导致其致灾危险性指数偏低,进而其综合风险指数也偏低。9509号台风“肯特”综合风险指数在Ⅱ级台风中位于第四低,这可能与其在广东登陆时最大风速较低,中心气压偏高,降雨天数偏少导致的致灾危险性指数较低有关,同时也与其防灾减灾能力指数0.961 2较高有关。

Ⅰ级风险的台风有6个,分别是8823、9205、0906、8521、8805和9316号台风,全部是2000年之前的台风。9316号台风“贝姬”综合风险指数为0.647 6,在Ⅰ级台风中最高,已非常接近Ⅱ级风险阈值0.65。该综合风险指数偏低可能与其登陆时中心气压较高,最大风速较低有关,也与其防灾减灾能力指数在Ⅰ级台风中第二高有关。

综上所述,Ⅳ级和Ⅴ级风险的台风有10个,除了9204号台风风险指数估计偏高,其他台风均为强台风或超强台风,与实际非常一致。Ⅲ级风险的台风有12个,除了1621号和1622号台风属于强台风,其他台风被划为Ⅲ级台风,与实际情况也很一致。Ⅱ级和Ⅰ级风险的台风28个,除了0606号、9509号和9316号台风,其他台风的等级也与实际吻合。分析个别台风风险指数存在偏误的原因,可知在一定程度上都与致灾因子的评价指标选取有关,这也是以后进一步的研究方向。

5 结语

本文选取台风致灾源危险性、承灾体脆弱性、防灾减灾能力三个方面的评价指标,分别利用改进的层次分析法和TOPSIS计算指标主观和客观权重,基于最小熵原理进行最优组合赋权,构建了台风灾害综合风险评估模型。以1984—2016年华南50个台风为例,进行台风灾害风险评估和等级划分,并得出如下结论:

(1) 从致灾源危险性指数来看,1409号台风的危险性最大;承灾体脆弱性指数逐年增大,其脆弱性逐年递增;防灾减灾能力指数逐年降低,防灾减灾能力逐年增强。

(2) 得出致灾源、承灾体、防灾减灾能力评价指标对华南台风综合风险影响的权重为 $w = (WH, WS, WR) = (0.4689, 0.3192, 0.2119)$, $WH > WS > WR$, 致灾源危险性对华南台风综合风险影响最大, 其次是承灾体脆弱性, 影响最小的是防灾减灾能力。

(3) 得出华南 50 个台风的综合风险指数, 并进行等级划分。结果表明, 1409 号台风综合风险最大, 等级为 V 级; IV 级风险的 9 个台风中, 仅 9204 号台风风险估计偏高; III 级风险的 12 个台风中, 仅 1621 和 1622 号台风风险估计偏低; II 级和 I 级风险的 28 个台风中, 仅 0606 号、9509 号和 9316 号台风风险估计偏低。因此, 除个别台风风险估计存在偏误外, 其他台风的风险估计均与实际情况一致。

参考文献:

- [1] 陈香. 福建省台风灾害风险评估与区划[J]. 生态学杂志, 2007(6): 961-966.
- [2] 周亚飞, 程霄楠, 蔡靖, 等. 台风灾害综合风险评价研究[J]. 中国公共安全(学术版), 2013(1): 31-37.
- [3] 牛海燕, 刘敏, 陆敏, 等. 中国沿海地区近 20 年台风灾害风险评价[J]. 地理科学, 2011(6): 764-768.
- [4] Yin J, Yin Z, Xu S. Composite risk assessment of typhoon-induced disaster for China's coastal area[J]. Natural Hazards, 2013, 69(3): 1423-1434.
- [5] 陈映强, 黄育娇, 郑继玲. 基于 GIS 揭西县台风灾害风险的区划[J]. 广东气象, 2014, 36(6): 56-59.
- [6] 陈文方, 徐伟, 史培军. 长三角地区台风灾害风险评估[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(4): 77-83.
- [7] 张悦, 李珊珊, 陈灏, 等. 广东省台风灾害风险综合评估[J]. 热带气象学报, 2017, 33(2): 281-288.
- [8] 刘合香, 徐庆娟. 多种权重与信息扩散相结合的灾害风险评估模型的比较研究[J]. 模糊系统与数学, 2011, 25(5): 164-173.
- [9] 陈楷俊, 陈艺仪, 陈菁. 近 30 年粤东地区台风灾害风险评估与分析[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 362-366, 372.
- [10] 金菊良, 魏一鸣, 丁晶. 基于组合权重的系统评价模型[J]. 数学的实践与认识, 2003(11): 51-59.
- [11] 郑亚男, 庄科俊. 基于最优组合赋权的城市人才吸引力分析[J]. 宿州学院学报, 2019, 34(5): 16-20, 27.
- [12] 陈悦, 胡雅婷, 汪程, 等. 基于 FAHP-EWM-TOPSIS 的大坝风险识别模型[J]. 水利水电技术, 2019, 50(2): 106-111.
- [13] 陶柯方, 叶建康, 陈柏如. 基于优化赋权的人文旅游资源可变模糊评价模型[J]. 统计与决策, 2019, 35(13): 56-59.
- [14] 王胜, 田红, 谢五三. 基于 GIS 技术的台风灾害风险区划研究——以安徽省为例[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 161-166.

Risk Assessment of Typhoon Disaster in South China Based on Optimal Combination Weights of AHP-anti-entropy-TOPSIS

PAN Jin-lan¹, XU Qing-juan¹, LIU He-xiang^{1,2}

(1. School of Mathematics and Statistics, Nanning Normal University, Nanning 530100, China;

2. Key Laboratory of Ocean Disasters Research of Guangxi Beibu Gulf, Qinzhou 535000, China)

Abstract: In this paper, the evaluation indexes are selected from three aspects: the risk of typhoon disaster source, the vulnerability of disaster-bearing body and the ability of disaster prevention and reduction, and a typhoon disaster risk assessment model in South China based on AHP-TOPSIS optimal combination weighting is proposed. Based on the improved analytic hierarchy process (AHP) and TOPSIS method, the subjective and objective weights of evaluation indexes are calculated. Based on the principle of minimum entropy, the hazard index of typhoon disaster source, the vulnerability index of disaster-bearing body and the ability index of disaster prevention and reduction are calculated. Then the weight is calculated by TOPSIS method, and the comprehensive risk index of typhoon disaster is obtained. Taking 50 typhoons in South China from 1984 to 2016 as an example, the typhoon risk assessment and classification are carried out, and the assessment results are basically consistent with the actual situation.

Keywords: typhoon disaster; risk assessment; AHP; TOPSIS method; minimum entropy principle; combination weight

[责任编辑: 班秀和]