

# 基于层次分析法的 台风灾害直接经济损失评估

## Evaluation on Direct Economic Loss Caused by Typhoon Disaster Based on Analytic Hierarchy Process

李成(广东省电信规划设计院有限公司,广东 广州 510660)

Li Cheng(Guangdong Planning and Designing Institute of Telecommunications Co.Ltd.,Guangzhou 510660,China)

### 摘要:

提出了一种基于监测数据汇聚和数据建模分析对台风灾害在一定区域内造成的直接经济损失的评估方法。通过合理选取致灾因子,确定台风灾害风险危险性指数、台风孕灾环境敏感性指数、台风经济脆弱性指数等指数数值和评级,求出台风灾害经济脆弱性指标等级。然后,通过数据建模和计算分析,实现致灾因子危险性评估、承灾体暴露度分析和承灾体脆弱性分析,最后完成台风灾害直接经济损失评估。

### Abstract:

It presents an evaluation method of direct economic loss caused by typhoon disaster in a certain area based on monitoring data aggregation and data modeling analysis. By reasonably selecting the disaster causing factors, the index values and ratings of typhoon disaster risk index, typhoon disaster pregnant environmental sensitivity index and typhoon economic vulnerability index are determined, and the economic vulnerability index grade of typhoon disaster is calculated. Then, through data modeling and calculation analysis, the risk assessment of disaster causing factors, the exposure analysis of disaster bearing body and the vulnerability analysis of disaster bearing body are realized, and finally the direct economic loss assessment of typhoon disaster is completed.

### Keywords:

Typhoon disaster; Disaster causing factors; Data modeling; Loss assessment

### 关键词:

台风灾害; 致灾因子; 数据建模; 损失评估

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.02.016

文章编号:1007-3043(2023)02-0085-04

中图分类号:F272.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式:李成. 基于层次分析法的台风灾害直接经济损失评估[J]. 邮电设计技术, 2023(2):85-88.

## 1 概述

台风是指发生在热带洋面上具有暖中心结构的强烈气旋性涡旋(热带气旋),台风灾害每年都会给我国沿海地区造成巨大的经济损失。尤其是近几年来异常气候事件频发,气候年景偏差,受极强厄尔尼诺影响,我国南方沿海各省先后经历多个超强台风,多次发生暴雨洪涝灾害和相关地质次生灾害,造成重大人员伤亡及经济损失。面对如此可怕的自然灾害侵

袭和如此严峻的抗灾救灾形势,开展台风直接经济损失评估研究有利于灾前转移、灾害救助和灾后评估等工作更加科学高效地开展。

## 2 模型介绍

层次分析法(Aalytic Hierarchy Process, AHP)把研究对象作为一个系统,按照分解、比较判断、综合的思维方式进行决策,成为继机理分析、统计分析之后发展起来的系统分析的重要工具。系统的思想在于不割断各个因素对结果的影响,而层次分析法中每一层的权重设置最后都会直接或间接影响到结果,而且

收稿日期:2022-12-04

每个层次的每个因素对结果的影响程度都是量化的,非常清晰明确。这种方法尤其适用于对无结构特性的系统评价以及多目标、多准则、多时期等的系统评价。现对层次分析法的数学模型介绍如下。

### 2.1 模型引入

对于方案选择类问题、评价类问题,采用层次分析法模型进行评分,评分高的就是最佳方案。

### 2.2 模型详解

#### 2.2.1 建立层次结构

分析系统中各因素之间的关系,建立系统的递阶层次结构,并将其绘制成层次清晰的示意图。层次结构分为3层。

a) 目标层(Objective):回答评价目标是什么的问题。

b) 准则层(Criterion):回答评价指标是什么的问题。

c) 方案层(Plan):回答可选方案是什么的问题。

#### 2.2.2 构造判断矩阵

针对准则层构造一个判断矩阵。若有 $n$ 个可选方案,则可以构造 $n$ 个判断矩阵。

#### 2.2.3 一致性检验

需要检验构造的判断矩阵和一致矩阵是否有太大差别(定量角度)。

若正互反矩阵中的元素是上下两行是成倍数的关系,可以说2个矩阵具有一致性。但在绝大多数情况下成为严格的一致矩阵不太可能,因此可以规定在某个偏离范围内进行一致性检验。

#### 2.2.4 求指标权重

求解指标权重时需要先通过一致性检验,一般采用以下3种方法进行指标权重的求解。

a) 算术平均法求权重。

(a) 将判断矩阵按照列归一化。

(b) 将归一化的各列相加。

(c) 将相加后得到的向量中的每个元素除以 $n$ ,即可得到权重向量。

b) 几何平均法求权重。

(a) 将判断矩阵元素按照行相乘得到一个新的列向量。

(b) 将新的向量的每个分量开 $n$ 次方。

(c) 对该列向量进行归一化即可得到权重向量。

c) 特征值法求权重。

(a) 求出判断矩阵的最大特征值以及其对应的特

征向量。

(b) 对求出的特征向量进行归一化即可得到权重。

#### 2.2.5 计算得分

每一个方案的任意评价指标最终得分=该评价指标在准则层的权重 $\times$ 方案在方案层的权重。因此,任意一个方案的最终得分等于各项评价指标之和。

## 3 解决思路

针对台风灾害造成的直接经济损失评估难题,本方案了结合层次分析法,通过构建数据模型,实现对台风灾害造成的直接经济产值影响的智能评估,支撑辅助决策和灾后重建,进一步提升应急管理部门保障人民群众生命财产安全的体系能力。

### 3.1 直接经济产值影响评估模型综述

经济台风灾害风险指数(Economy Typhoon Risk Index, ETRI) $=H^\alpha \times S^\beta \times V^\delta$ 。其中, $H$ 、 $S$ 、 $V$ 分别表示风险评价模型中的台风致灾因子危险性、台风孕灾环境敏感性(不稳定性)、承灾体易损性(台风经济脆弱性)的评价因子指数; $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$ 分别是各评价因子的权重系数, $\alpha+\beta+\delta=1$ ,权重系数由层次分析法取得,需结合实际情况进行调整。

a) 台风灾害风险危险性指数(大风、降水) $H$ , $H = H_1^{\alpha_1} + H_2^{\beta_1}$ ,其中, $\alpha_1+\beta_1=1$ 。

b) 台风孕灾环境敏感性指数(地形) $S$ , $S = S_1^{\alpha_2}$ ,其中, $\alpha_2=1$ 。

c) 台风经济脆弱性指数(地均GDP、人口密度) $V$ , $V = V_1^{\alpha_3} + V_2^{\beta_3}$ ,其中, $\alpha_3+\beta_3=1$ 。

同时,台风致灾因子危险性、孕灾环境不稳定性、经济脆弱性这3个评价因子又含有各类子指标,为消除各指标量纲和数量级差异,各指标规范化计算采用式(1)进行无量纲化处理。

$$D_{ij} = 0.5 + 0.5 \times \frac{A_{ij} - \min_i}{\max_i - \min_i} \quad (1)$$

其中, $D_{ij}$ 是第 $j$ 区第 $i$ 个指标的规范化值, $A_{ij}$ 是第 $j$ 区第 $i$ 个指标值, $\min_i$ 和 $\max_i$ 分别是第 $i$ 个指标值中的最小值和最大值。

基于台风灾情历史数据,研究城市人口密度、相应时期总GDP及第一产业GDP比重、城市人口数比重等作为承灾体脆弱性指标,对承灾体脆弱性影响方向进行划分,将高、较高、中等、较低和低脆弱性赋值给每个研究单元,同时采用层次分析法确定这5个指标

的权重。

在经济损失承灾体的选取、等级和权重的设置方面,本文主要选取了人口密度和地均GDP作为承灾体,且二者的权重系数相同,考虑分别设置为0.5、0.5。综上,台风灾害对经济的影响是各因子综合作用的结果,但是它们的作用和地位是不同的,本文结合层次分析法和过往研究来确定各因子的权重,各指标权重如表1所示。

表1 台风影响经济风险指标体系权重系数分布

因子	权重	指标	权重
台风危险性 $H$	0.5	降水强度	0.5
		大风等级	0.5
敏感性 $S$	0.1	地形	1.0
脆弱性 $V$	0.4	地均GDP	0.5
		人口密度	0.5

### 3.2 直接经济产值影响评估模型数据处理方法

#### 3.2.1 因子选取

a) 致灾因子数据。所用的气象数据包括实况(过去1h)及预报(未来3、6、12、24h)的格点累积降水及风速数据;数据范围是经度 $106.10^{\circ}\text{E}\sim 120.36^{\circ}\text{E}$ ,纬度 $1.30^{\circ}\text{N}\sim 23.61^{\circ}\text{N}$ ,网格分辨率为 $0.01^{\circ}\times 0.01^{\circ}$ 。

b) 承灾体暴露度数据。该数据包括高精度数字高程数据(栅格数据,分辨率为5m格网)以及行政区划数据(矢量数据,试点范围行政区划的Shapefile格式数据)。

c) 承灾体脆弱性数据。基于乡镇级的经济GDP数据 $P_k$ (单位:万元),土地面积 $S_k$ (单位: $\text{km}^2$ ),人口总数数据 $N_k$ (单位:人), $k$ 代表第 $k$ 个行政镇,每个行政镇对应一个固定的地理坐标(经度、纬度)。

#### 3.2.2 计算方法

a) 根据乡镇一级的经济GDP数据 $P_k$ ,土地面积数据 $S_k$ 和人口总数数据 $N_k$ ,计算出地均GDP数据 $p_k$ (单位:万元/ $\text{km}^2$ )和人口密度数据 $\rho_k$ (单位:人/ $\text{km}^2$ )。

$$p_k = \frac{P_k}{S_k} \quad (2)$$

$$\rho_k = \frac{N_k}{S_k} \quad (3)$$

b) 对计算出的地均GDP数据 $p_k$ 和人口密度数据 $\rho_k$ 完成插值运算,插值到气象数据对应格点 $(i,j)$ 上,以获得相应栅格点 $(i,j)$ 对应的地均GDP数据 $p_{ij}$ 和人口密度数据 $\rho_{ij}$ 。

#### 3.2.3 致灾因子危险性评估

以1949年以来的历史台风为分析对象,对台风影响期间各观测站的风、雨资料进行分析,来刻画台风致灾因子的危险性。考虑将过去1h累积降水量、1h极大风速作为衡量台风致灾因子危险性的2个主要因素,雨量和风速等指标的强度指标、相关权重系数和综合强度指数参考人口影响评估模型。1h累积降水强度指标 $I_R$ 和1h极大风速强度指标 $I_w$ 的划分分别见表2和表3。

表2 1h累积降水强度指标 $I_R$

1h累积降水/mm	$I_R$
16~20	0.5
20~25	0.6
25~30	0.7
30~35	0.8
35~40	0.9
$\geq 40$	1.0

表3 1h极大风速强度指标 $I_w$

极大风速/级	$I_w$
8	0.5
9	0.6
10	0.7
11	0.8
12	0.9
$\geq 13$	1.0

综合强度指数 $I = a \times I_R + b \times I_w$ ,其中, $a=0.5, b=0.5$ 。

所以不同网格点 $(i,j)$ 上的致灾因子综合强度指数为 $I_{ij} = 0.5 \times I_{Rij} + 0.5 \times I_{wij}$ 。

#### 3.2.4 承灾体暴露度分析

主要考虑地形对经济的影响。结合过去的研究经验,地形的影响主要考虑高程标准差 $h_1$ 和坡向 $h_2$ 的影响,且设置权重系数分别为0.5、0.5。

a) 高程标准差 $h_1$ 是通过GIS空间分析对区域内DEM进行微观地貌提取,提取后将各地形因子栅格模型转化为各分级模型。利用栅格高程标准差作为表征地形变化程度的指标,定义出栅格高程对经济的影响程度 $h_{1ij}$ ,大小为0~1。

b) 提取区域内的坡向信息,将输出的坡向数据中的坡向分为平坡、迎风坡、背风坡等,定义迎风坡影响为1,其他坡向影响为0。

c) 格点上地形影响指数为 $H_{ij} = 0.5 \times h_{1ij} + 0.5 \times h_{2ij}$ 。

### 3.2.5 承灾体脆弱性分析

本文中的模型分析的是直接经济损失,所以承灾体暂时不考虑土地利用类型,主要考虑人口密度和地均GDP对经济损失产生的影响。结合人口影响评估模型中给出的承灾体强度等级和权重,在只考虑人口密度和地均GDP 2个承灾体指数时,分别设置其权重为  $W_p=0.5$  和  $W_g=0.5$ ,结合计算出的台风灾害承灾体不同脆弱性指标等级标准化值。不同等级人口密度和不同等级地均GDP承灾体指标标准化值分别如表4和表5所示。

表4 不同等级人口密度承灾体指标标准化值  $D_p$

人口密度/(人/km <sup>2</sup> )	$D_p$
<225	0.6
225≤X<415	0.7
415≤X<555	0.8
555≤X<730	0.9
≥730	1.0

表5 不同等级地均GDP承灾体指标标准化值  $D_g$

地均GDP/(万元/km <sup>2</sup> )	$D_g$
<250	0.6
250≤X<645	0.7
645≤X<1250	0.8
1250≤X<2325	0.9
≥2325	1.0

结合上面的分析,可以得到台风对经济影响的综合强度指数  $C_{ij}$ :

$$C_{ij} = 0.5 \times (0.5 \times I_{Rij} + 0.5 \times I_{Wij}) + 0.1 \times H_{ij} + 0.4 \times (0.5 \times D_{p_{ij}} + 0.5 \times D_{g_{ij}})$$

### 3.2.6 直接经济损失评估

前文已给出每个网格点  $(i, j)$  上台风对经济影响的综合强度指数  $C_{ij}$  的计算公式。结合每个格点上的经济GDP数据  $p_{ij}$ , 就可以计算出每个格点(即单位面积上)的经济影响总值  $q_{ij}$ :

$$q_{ij} = C_{ij} \times p_{ij} \quad (4)$$

统计所选行政区网格点的经济影响总值  $q_{ij}$ , 就可得到受台风影响的经济总值  $Q_e$ :

$$Q_e = \sum_{j=k_1}^{k_2} \sum_{i=m_1}^{m_2} q_{ij} \times s_{ij}, \quad i \in [m_1, m_2], \quad j \in [k_1, k_2] \quad (5)$$

其中,  $s_{ij}$  为台风影响所选行政区划陆地面积;  $[m_1, m_2]$  为所选择的行政区经度方向网格点范围,  $[k_1, k_2]$  为所选择的行政区纬度方向网格点范围, 均可

自由选择调配。

## 4 应用案例

本方案评估方法已在某省应急管理部的信息化项目中应用, 并完成多次实战检验, 效果显著。以台风灾害引发的多灾种综合风险监测为主攻方向, 收集实时台风的路径预测信息, 通过对历史上在该省登陆以及对该省造成影响的台风进行大数据智能分析, 基于人口热力图、与实时台风路径相似的历史台风个例情况、历史台风个例所导致的灾情信息和未来气象预报数据进行灾害评估预测。结合应急管理指挥的实际应用需求, 考虑从人口、交通和经济损失角度出发构建台风灾害影响评估专业模型, 确定台风灾害对人口和直接经济损失的影响权重。同时, 基于台风的主要致灾因子(大风和降水), 结合台风历史灾情数据和未来气象预报数据进行灾害评估预测。

## 5 研究结论

本文探讨构建一种基于数据分析和建模的台风灾害直接经济损失评估方法, 为各级政府提供台风灾害的风险评估和灾害预警决策支持, 可有效提高台风灾害防控能力, 辅助开展台风灾害的预测、预警、预防等工作。该方案已在项目中应用, 后续需进一步结合应急管理救援实战运用, 不断完善应用体系。

### 参考文献:

- [1] 习近平. 积极推进我国应急管理体系和能力现代化[N]. 人民日报海外版, 2019-12-02(1).
- [2] 王中丙. 聚焦四大问题勇于改革创新全力推进应急管理体系和能力现代化[N]. 中国应急管理报, 2020-10-09(3).
- [3] 薛澜. 学习四中全会《决定》精神, 推进国家应急管理体系和能力现代化[J]. 公共管理评论, 2019, 1(3): 33-40.
- [4] 蔡世同, 彭荣南, 罗键, 等. 基于台风路径的台风灾害风险评估及区划[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(S2): 58-60.
- [5] 张忠伟. 基于RS与GIS海南岛台风灾害对橡胶影响的风险性评价研究[D]. 海口: 海南师范大学, 2011.

### 作者简介:

李成, 毕业于英国约克大学, 工程师, 硕士, 长期从事智慧应急、智慧教育、智慧环保等多个行业信息化咨询、规划、设计、建设等工作。

