

一种台风灾情综合评估模型及应用*

陈仕鸿¹, 隋广军¹, 唐丹玲²

(1. 广东外语外贸大学, 广东 广州 510521; 2. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

摘 要: 对台风灾情评估提出了一种基于台风灾害案例历史案例分析、综合模糊数学和灰色关联分析的综合评估模型; 利用模糊隶属函数将台风灾情原始数据无量纲化, 再设定一极重灾为参考序列。根据台风各评估指标与参考序列的距离, 计算出关联系数; 将关联系数加权平均和定义为灾度, 根据灾度值评定台风的灾级。并以广东省台风灾情为例, 验证了此模型。

关键词: 台风灾情评估; 模糊数学; 灰色关联分析; 层次分析法; 广东省

中图分类号: X43; P444 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2012)02-0087-05

0 引言

台风是世界上最严重的自然灾害之一。台风引发的强风、暴雨和风暴潮危害严重。我国位于太平洋西岸, 受台风影响尤其严重, 1945-2009 年, 平均每年有 7.4 个台风登陆我国, 其中有 3.1 个在广东境内登陆。在台风灾害结束后, 为了指导灾区灾后重建工作, 以及台风灾害的风险评估、防台减灾的研究工作, 在灾情统计数据的基础上, 需要按一定的模型算法对灾情进行等级评估。

台风灾情评估方法对防台减灾、援灾重建工作具有重要的意义。上世纪 90 年代初, 我国学者开始对台风灾损指数和等级的评估展开研究, 取得一定的成果。马宗晋提出的 5 级灾度, 分别称为巨灾、大灾、中灾、小灾和微灾^[1]。冯利华提出了一个衡量灾害损失的定量指标——灾级^[2]。李春梅等采用层次分析法, 叶雯等采用感知器算法分别建立台风灾情等级评估模型^[3-5]。任鲁川提出了模糊灾度概念, 并建立了模糊灾度等级的隶属函数^[5]。梁必骥等、赵飞等、张永恒等分别采用模糊数学原理和方法建立评估模型^[6-8]。刘合香等利用模糊聚类分析方法进行了灾害评估^[9]。王秀荣等及吴慧等利用灰色关联分析法计算出灾级^[10-11]。刘少军等将评估结果与 GIS 集成^[12]。但

是, 这些模型方法只是对单个台风灾害损失数据进行评估, 忽略了台风灾害的历史案例的比较, 以及台风灾害巨灾大灾少、微灾小灾多的评估原则, 评估结果也过于主观。

本文从台风灾害历史案例出发, 综合运用模糊数学、灰色关联分析等方法, 提出一种快速有效的台风灾情综合评估模型。

1 综合评估模型

1.1 数据来源

本文所用资料为 1991-2008 年影响广东省的 65 个台风灾情个例, 数据从文献[13]中整理得到。灾级评估追求时效性, 因此评估指标的数据应该能够较快、较易取得。一般情况下, 选取 5 个具有代表性的评估指标: 农作物受灾面积(X_1)、死亡人口(X_2)、受灾人口(X_3)、倒塌房屋(X_4)、直接经济损失(本文中的直接经济损失数据已按 2000 年广东省物价指数为基准进行换算)(X_5)^[14]。

1.2 台风灾情评估指标的转换函数

设台风灾情原始数据集为 X , 则 $X = (x_{ij})_{n \times m}$ (其中, n 为台风样本个数, m 为评估指标个数, 在本实例中, n 的值为 65, m 的值为 5)。由于各指标的量纲不同, 彼此之间难于比较, 所以要先

* 收稿日期: 2011-09-08

基金项目: 广东省自然科学基金团队项目“华南沿海台风遥感检测与灾害评估”(8351030101000002); 广东省科技计划重点项目“重大台风灾害及城市火灾应急响应集成系统研制”(2010B031900041); 广东省哲学社会科学规划项目“广东省台风灾情预测研究”(GD11YGL03); 广东高校优秀青年创新人才培养计划项目“台风灾情预测和灾级评估模型研究: 基于广东省台风灾害的实证分析”(LYM11062)

作者简介: 陈仕鸿(1979-), 男, 广东仁化人, 讲师, 硕士, 研究方向: 数据挖掘. E-mail: ibm255@126.com

对评估指标作相应的函数转换,使各单指标值都转换成[0, 1]区间的值。台风灾情评估是一个模糊的系统,因此,可以选择某一合适的模糊隶属+函数 f 作为转换函数,将 X 转换为模糊矩阵 U ,即 $U=f(X)$,实现各指标数据无量纲化。

本案例将灾害划分微灾、小灾、中灾、大灾和巨灾5个等级。划分方法遵循两个原则^[15]:

①符合金字塔状规律分布,即巨灾和大灾一般应为少数,中小灾害应为多数;②符合历史,即对少数灾害,尤其是造成很大影响的灾害,应能符合巨灾或大灾等级。根据广东省的实际情况,以65个影响广东省的台风灾情数据作为灾害案例历史序列,制定出各评估指标等级的划分方法^[14],如表1所示。

表1 广东省台风灾害评估指标分级标准

评估指标	巨灾	大灾	中灾	小灾	微灾
X_1 : 农作物受灾面积/万 hm^2	≥ 40	30 ~ 40	20 ~ 30	5 ~ 20	0 ~ 5
X_2 : 死亡人数/人	≥ 100	20 ~ 100	10 ~ 20	1 ~ 10	0
X_3 : 受灾人口/万人	≥ 900	700 ~ 900	300 ~ 700	100 ~ 300	0 ~ 100
X_4 : 倒塌房屋/万间	≥ 10	3 ~ 10	1 ~ 3	0.5 ~ 1	0 ~ 0.5
X_5 : 直接经济损失/亿元	≥ 100	30 ~ 100	20 ~ 30	5 ~ 20	0 ~ 5

对评估指标进行等价转换,转换函数依据单个评估指标分级标准来构造,目的是使各评估指标都转换成0~1之间的值,并与5个灾级一一对应,即单个评估指标在[0.8, 1]区间时,对应的是巨灾;在[0.6, 0.8)、[0.4, 0.6)、[0.2, 0.4)和[0, 0.2)区间时分别对应大灾、中灾、轻灾和微灾。因此,转换函数应该是一个分段函数,于是,根据表1的评估指标分级标准,建立灾级临界点矩阵 V :

$$V = \begin{pmatrix} 40 & 30 & 20 & 5 & 0 \\ 100 & 20 & 10 & 1 & 0 \\ 900 & 700 & 300 & 100 & 0 \\ 10 & 3 & 1 & 0.5 & 0 \\ 100 & 30 & 20 & 5 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

本文选择2次抛物形分布作为转换函数,即:

$$f(x) = \left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, \quad (a \leq x \leq b)$$

根据临界矩阵 V ,确定转换函数 $f(X)$ 为分段函数, a 、 b 的取值取决于 V ,转换后得模糊矩阵 U :

式中: $x_{ij} \in X$, $v_{jp} \in V$, $p = 1, 2, 3, 4, 5$; $\max(X_j)$ 为评估指标 X_j 的最大值。经过函数转换后, U 的分布如图1所示。可以看出,各指标的灾级呈金字塔分布。

1.3 计算台风灾情关联系数

设极重灾 $U_0 = (U_{0j})$, ($U_{0j} = 1; j = 1, 2, 3, \dots, m$)为参考序列^[10], U_{ij} 为比较序列,计算比较序列与参考序列的距离矩阵 D :

$$D = (d_{ij}), \quad (d_{ij} = |u_{0j} - u_{ij}|, i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (3)$$

模仿灰色关联系数的定义方法^[9],计算比较序列与参考序列各评估指标间的关联系数矩阵 R ,计算方法为:

$$U = f(x_{ij}) = \begin{cases} 0.8 + 0.2 \times \left(\frac{x_{ij} - v_{j1}}{\max(X_i) - v_{j1}}\right)^2, & x_{ij} \geq v_{j1}; \\ 0.6 + 0.2 \times \left(\frac{x_{ij} - v_{j2}}{v_{j1} - v_{j2}}\right)^2, & v_{j2} \leq x_{ij} < v_{j1}; \\ 0.4 + 0.2 \times \left(\frac{x_{ij} - v_{j3}}{v_{j2} - v_{j3}}\right)^2, & v_{j3} \leq x_{ij} < v_{j2}; \\ 0.2 + 0.2 \times \left(\frac{x_{ij} - v_{j4}}{v_{j3} - v_{j4}}\right)^2, & v_{j4} \leq x_{ij} < v_{j3}; \\ 0.2 \times \left(\frac{x_{ij} - v_{j5}}{v_{j4} - v_{j5}}\right)^2, & v_{j5} \leq x_{ij} < v_{j4}. \end{cases} \quad (2)$$

$$R = (r_{ij}), \quad (r_{ij} = \frac{1}{1 + \xi \cdot d_{ij}^k}, i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (4)$$

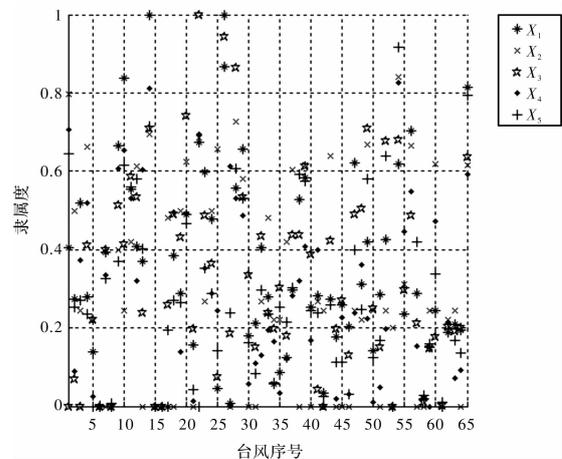


图1 65个台风5个灾情评估指标分布图

1.4 灾度的计算和灾级划分

引入文献[5]中提出的灾度概念,本文用比较序列各评估指标间关联系数的加权平均和作为灾度 G 的值,即:

$$G = (g_i), (g_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m), \quad (5)$$

式中: w_j 为第 j 个评估指标的权重。

1.5 计算评估指标的权重

为使评估更加合理而客观, 需要考虑评估指标权重的影响。目前常用的定权方法主要有专家估测法、频数分析法、加权统计法、层次分析法等。

层次分析法是美国匹兹堡大学教授 T. L. Saaty 最早提出的, 它是一种多层次权重解析法。层次分析法以定性定量相结合的方法处理各种决策因素, 通过判断矩阵、排序计算和一致性检验得出结果。与前面提到的方法相比, 这种方法计算权重, 将人的主观判断用数量形式表达和处理, 克服了由人的主观性引起的偏差, 系统性强, 使用灵活、方便, 在社会经济研究的多个领域得到了广泛的应用¹⁶。因此, 本文采用层次分析法确定台风灾情评估因子权重值。具体步骤如下¹⁴:

步骤 1: 确定影响台风灾情评估的指标集, 建立系统的递阶层次结构模型。

步骤 2: 分析系统中各评估指标间的关系, 对同一层的各元素关于上一层中某一准则的重要性进行两两比较, 采用九分位法的比较方法, 比较尺度如表 2 所示, 同时构造两两比较判断矩阵 R , 如表 3 所示。

两因子间比较	特别重要	很重要	比较重要	同等重要	比较不重要	很不重要	特别不重要	
量化值	9	7	5	3	1	1/3	1/7	1/9
两相邻判断的中间值	6, 4, 2, 1/2, 1/4, 1/6							

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
X_1	1	1/2	2	1	1/3
X_2	2	1	3	3	1
X_3	1/2	1/3	1	1/2	1/3
X_4	1	1/3	2	1	1/3
X_5	3	1	3	3	1

步骤 3: 由判断矩阵 R 计算被比较元素对该准则的相对权重, 然后计算各层评估指标对系统目标的合成权重, 并进行层次总排序和一致性检验, 计算结果如表 4 所示。

评估指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	总和
权重值 w	0.130	0.308	0.087	0.140	0.335	1

1.6 计算灾度和灾级

根据式(3), d_{ij} 的取值区间为 $[0, 1]$; 根据式(4), r_{ij} 的结果范围是 $[0.5, 1]$; 所以, 根据式(5), 灾度 g_i 的范围也是区间 $[0.5, 1]$ 。灾度与灾级的对应关系, 如表 5 所示。

灾级	巨灾	大灾	中灾	小灾	微灾
灾度	$[0.9, 1]$	$[0.8, 0.9]$	$[0.7, 0.8]$	$[0.6, 0.7]$	$[0.5, 0.6]$

在参考文献[9]的基础上, 本文在式(4)中加入了 ξ 和 k 两个系数, 目的是对关联系数进行适当的调整, 使得后面计算出来的灾级分布符合金字塔分布。在本案例中, 假设由重到轻的 5 个台风灾级数量的比例大致为 1:2:3:4:5, 经过反复训练, 确定 ξ 与 k 的最佳取值分别为 1 和 1.9。

根据式(5)以及表 4 中的权重值, 最终计算出 65 个台风的灾度, 按表 5 中灾级与灾度的对应关系, 最终转换成灾级, 如表 6 所示。

序号	台风编号	灾度	灾级	序号	台风编号	灾度	灾级	序号	台风编号	灾度	灾级
1	199107	0.85	大灾	23	199515	0.71	中灾	45	200218	0.56	微灾
2	199108	0.66	小灾	24	199516	0.72	中灾	46	200220	0.53	微灾
3	199111	0.66	小灾	25	199610	0.67	小灾	47	200307	0.71	中灾
4	199116	0.74	中灾	26	199615	1	巨灾	48	200510	0.58	微灾
5	199119	0.56	微灾	27	199618	0.6	小灾	49	200518	0.56	微灾
6	199206	0.5	微灾	28	199710	0.88	大灾	50	200312	0.66	小灾
7	199207	0.63	小灾	29	199713	0.82	大灾	51	200313	0.82	大灾
8	199212	0.5	微灾	30	199803	0.56	微灾	52	200601	0.75	中灾
9	199302	0.76	中灾	31	199810	0.54	微灾	53	200602	0.53	微灾
10	199309	0.79	中灾	32	199903	0.66	小灾	54	200604	0.96	巨灾
11	199315	0.8	中灾	33	199908	0.67	小灾	55	200605	0.67	小灾
12	199316	0.81	大灾	34	199909	0.57	微灾	56	200606	0.88	大灾

续表 6

序号	台风编号	灾度	灾级	序号	台风编号	灾度	灾级	序号	台风编号	灾度	灾级
13	199318	0.66	小灾	35	199910	0.6	小灾	57	200707	0.62	小灾
14	199403	0.93	巨灾	36	200010	0.64	小灾	58	200709	0.51	微灾
15	199404	0.5	微灾	37	200013	0.73	中灾	59	200801	0.58	微灾
16	199411	0.5	微灾	38	200103	0.7	中灾	60	200806	0.74	中灾
17	199413	0.63	小灾	39	200104	0.83	大灾	61	200807	0.5	微灾
18	199419	0.64	小灾	40	200107	0.59	微灾	62	200808	0.61	小灾
19	199504	0.69	小灾	41	200114	0.64	小灾	63	200809	0.6	微灾
20	199505	0.82	大灾	42	200116	0.55	微灾	64	200812	0.55	微灾
21	199506	0.53	微灾	43	200212	0.72	中灾	65	200814	0.9	巨灾
22	199509	0.78	中灾	44	200214	0.54	微灾				

这些台风灾度、灾级分布以及灾级的汇总分析如图 2 所示。可以看出,灾级的分布呈金字塔分布。在被评估为“巨灾”的台风中,“200814”号台风黑格比在粤西登陆后,造成广东受灾人口 737 万人,死亡 26 人,房屋倒塌 2.92 万间,农业受灾面积 41 万 hm^2 ,直接经济总损失达 113.8 亿元。而编号为“199403”、“199615”、“200604”的三个台风给广东省带来的灾害更严重。这四个台风被评估为“巨灾”,符合相关专家的认定,与公众对“巨灾”的理解相吻合,也符合“少数造成很大影响的灾害,应能符合巨灾”的原则。

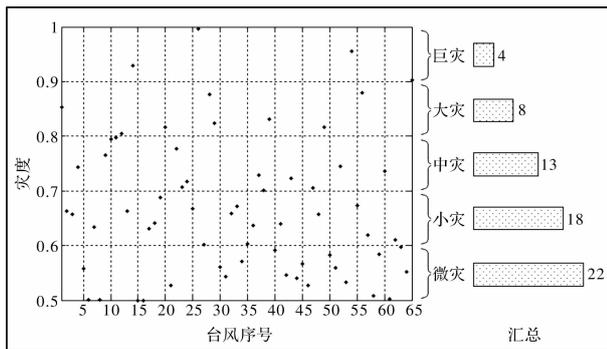


图 2 65 个台风灾度、灾级分布及灾级汇总图

2 总结

本文对台风灾情评估提出了一种基于台风灾害案例历史序列分析,综合模糊数学和灰色关联分析的评估模型,方法简单、计算量小、评估结果合理,实例证明,该模型切实可行,可以作为台风灾情评估的实用方法。该模型方法还可以运用到不同灾种、不同地域的灾情评估。评估时只要分析历史灾情数据,建立评估因子的灾级临界点矩阵 V (即式(1)),在式(4)中,调节 ξ 和 k 的值,使得灾级分布呈金字塔分布即可,简单灵活,

值得推广。

参考文献:

- [1] 马宗晋. 自然灾害的评估和灾度[N]. 中国地震报, 1990-3-1(2).
- [2] 冯利华. 灾害损失的定量计算[J]. 灾害学, 1993, 8(2): 17-19.
- [3] 李春梅, 罗晓玲, 刘锦鑫, 等. 层次分析法在热带气旋灾害影响评估模式中的应用[J]. 热带气象学报, 2006, 22(3): 223-228.
- [4] 叶雯, 刘美南, 陈晓宏. 感知器算法在台风风暴潮灾情等级评估中的应用[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(2): 117-120.
- [5] 任鲁川. 灾害损失等级划分的模糊灾度判别法[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(3): 13-17.
- [6] 梁必骥, 樊琦, 杨洁, 等. 热带气旋灾害的模糊数学评价[J]. 热带气象学报, 1999, 15(4): 305-311.
- [7] 赵飞, 廖永丰, 张妮娜, 等. 登陆中国台风灾害损失预评估模型研究[J]. 灾害学, 2011, 26(2): 81-85.
- [8] 张永恒, 范广洲, 马清云, 等. 浙江省台风灾害影响评估模型[J]. 应用气象学报, 2009, 20(6): 772-776.
- [9] 刘合香, 黄鹄. 基于模糊聚类分析的区域热带气旋灾害评估与预测[J]. 广西师范学院学报: 自然科学版, 2009, 26(1): 67-71.
- [10] 王秀荣, 王维国, 马清云. 台风灾害综合等级评估模型及应用[J]. 气象, 2010, 36(1): 66-71.
- [11] 吴慧, 陈德明, 吴胜安, 等. 灰色关联分析在热带气旋灾害等级评估中的应用[J]. 热带作物学报, 2009, 30(2): 244-248.
- [12] 刘少军, 张京红, 何政伟, 等. 基于 GIS 的台风灾害损失评估模型研究[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 64-67.
- [13] 《中国气象灾害大典》编委会. 中国气象灾害大典: 广东卷[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [14] 陈仕鸿, 刘晓庆. 基于离散型 Hopfield 神经网络的台风灾情评估模型[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(5): 47-52.
- [15] 谢龙大, 王宁, 卢可源, 等. 水旱灾害灾情评估方法的研究[J]. 浙江水利科技, 2001(6): 1-5.
- [16] 汪应洛. 系统工程理论、方法与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998: 170-173.

A Model of Typhoon Disaster Comprehensive Evaluation and Its Application

Chen Shihong¹, Sui Guangjun and Tang Danling²

(1. *Guangdong University of Finance, Guangzhou 510521, China*; 2. *South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China*)

Abstract: Based on the case study, comprehensive fuzzy mathematical analysis and grey relational analysis of historical typhoon cases, a model for comprehensive evaluation of typhoon disasters is worked out. In this model, the typhoon disaster raw data are processed with dimensionless method by use of fuzzy membership function, and a severely affected area is set as the reference series. The correlation coefficients are calculated according to the distance between the typhoon evaluation index and the reference series. Then, the correlation coefficients are processed by weighted average and defined as disaster degree. The disaster grade of typhoon is evaluated based on the disaster degree. Taking typhoon disasters in Guangdong province, the model is verified.

Key words: typhoon disaster evaluation; fuzzy mathematics; grey relational analysis; analytic hierarchy process; Guangdong province

.....
(上接第 86 页)

Effects and Their Control of Strong Earthquake Disaster Chains of Mountainous Highway

—A Case Study of the Highway from Yingxiu to Wolong

Cheng Liangxia¹, Su Shengrui¹, Li Song² and Zhang Ningbo¹

(1. *College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China*;
2. *Gansu Institute of Geo-Environmental Monitoring, Lanzhou 730050, Chian*)

Abstract: Earthquake can cause a variety of disaster chains, especially strong earthquakes. Different environments of earthquake region trigger different disaster chains. After the Wenchuan earthquake, there existed severe secondary geological disasters along the highway from Yingxiu to Wolong, and traffic had been snarled, which influenced the highway safe operation and reconstruction seriously. Due to the particularity of mountainous highway environment, through the field survey on the highway from Yingxiu to Wolong after the earthquake, strong earthquake disaster chains of Mountainous highway can be divided into two parts: the highway own system and its disaster chains and highway social system and its disaster chains. On this basis, the formation of disaster chains and their environmental impacts on the mountainous highway and surrounding environments are put forward. In view of the different chain influences, in order to achieve the purpose of broken chains and minimize the losses, different disaster prevention and control measures are given, which provides a certain reference for the rehabilitation of mountainous highway after the earthquake in the future.

Key words: mountainous highway, Wenchuan strong earthquake; disaster chain; highway from Yingxiu to Wolong; effect