

登陆中国台风灾害损失预评估模型研究^{*}

赵 飞¹, 廖永丰¹, 张妮娜¹, 张云霞¹, 陈阳斯琪²

(1. 民政部国家减灾中心, 北京 100022; 2. 首都师范大学, 北京 100089)

摘 要: 整理了 2000–2008 年登陆中国且灾情记录完整的 34 个台风案例, 建立案例集; 基于模糊数学法建立了台风灾害损失预评估模型。选择 8 项影响因子作为模型输入指标, 利用层次分析法确定影响因子权重, 计算案例集中每个台风的综合评价指数; 通过对综合评价指数与受灾人口、农作物受灾面积及直接经济损失等典型灾情指标进行拟合; 通过适当调整影响因子权重, 拟合得出最优幂函数回归方程, 从而实现对台风灾情的定量预评估。

关键词: 台风灾害; 模糊数学; 预评估; 影响因子; 中国

中图分类号: X43; P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000–811X(2011)02–0081–04

中国是世界上受台风影响最严重的国家之一。据近 50 年资料统计, 平均每年登陆我国的台风有 7 个左右。台风登陆, 常伴有狂风、暴雨等恶劣天气, 导致洪涝、风暴潮、山体滑坡等灾害。对台风可能造成的灾害进行有效的预评估, 对各地应急决策部门制定科学合理的防台减灾及救灾策略有着重要的意义。

目前, 国内已经有不少专家、学者在台风灾害灾情预评估方面做了研究, 并取得了一定成果^[1–3]。其中, 模糊综合评价法在预评估模型的构建中得到广泛运用, 张永恒、马清云、樊琦等^[4–6]分别应用模糊数学法建立了灾害评估或预评估模型, 这类模型的优点是可以全面考虑致灾因子、承灾体、孕灾环境及防灾减灾能力等影响因子的作用, 局限之处在于往往只能预评估得出表征台风灾害灾情等级的指数, 预估结果只能让人对台风灾害的级别有一个定性的了解。陈佩燕等^[7]在分析台风灾情主要成因的基础上建立了台风灾情的预估方程, 能够定量地预估出倒塌房屋数、受淹农田面积、直接经济损失率等灾情损失指标。但是其为台风灾害影响因子的分析仅局限于台风引发的大风、降雨等致灾因子的作用, 没有考虑承灾体和防灾减灾能力的影响。

在综合考虑以上两类预评估方法的基础上, 本文采用模糊数学法建立评估模型; 引入表征台

风致灾因子、承灾体、孕灾环境和防灾减灾能力的 8 项影响因子作为模型输入指标; 利用层次分析法确定影响因子权重, 计算案例集中每个台风的综合评价指数; 对综合评价指数与受灾人口、农作物受灾面积及直接经济损失率等典型灾情损失指标进行拟合; 通过适当调整影响因子权重, 拟合得出最优幂函数回归方程, 从而实现对台风灾情的定量预评估。

1 资料和因子选取

1.1 资料来源

考虑到社会经济发展及地方防灾抗灾能力变化等因素的影响, 选取与当年较为接近的 2000–2008 年资料进行计算。整理 2000–2008 年登陆我国且灾情记录完整的 34 个台风案例建立案例集。其中热带气旋资料取自《热带气旋年鉴》^[8], 灾情资料来源于民政部救灾司、国家减灾中心的统计数据。

1.2 影响因子选取

参考以往研究成果, 共选取 8 项影响因子引入模型。其中“最低气压”、“最大风速”、“过程最大降水量”、“天文大潮指数”等指标表征台风引发的风、雨、潮等致灾因子的影响; “区域人口密度”、“影响区耕地面积”表征承灾体的易损性; “地质灾

^{*} 收稿日期: 2010–09–16

基金项目: 国家科技支撑项目“亚洲巨灾综合风险评估技术及应用研究”

作者简介: 赵飞(1979–), 女, 山东高唐人, 助理研究员, 主要从事灾害管理研究。E-mail: zhaofei@ndrec.gov.cn

害危险性”、“区域减灾能力”分别表征孕灾环境的危险性和防灾减灾能力的对灾害损失情况的影响。

1.3 灾情指标选取

防灾减灾工作中,政府及相关部门最关注的核心灾情指标包括受灾人口、因灾死亡和失踪人口、倒塌房屋、农作物受灾面积和直接经济损失等指标。我国沿海城乡各地房屋建筑质量相差比较悬殊,倒塌房屋与灾情评估的关联性并不理想;死亡失踪人数有极大的偶然性。尽管台风灾害造成的人员伤亡能够反映台风的危害,能够反映环境的脆弱性以及防灾减灾工作的成效,但是它很难作为预评估对象。因此,本文选择“受灾人口”、“农作物受灾面积”、“直接经济损失”三项指标作为进行预评估的灾情指标。

其中,台风灾害造成的直接经济损失是表征台风危害强度的重要指标,但其受货币价值变化的影响难以确定标准。为消除这种影响,在进行相关分析时,我们采用台风灾害损失率与综合评价指数进行拟合。台风灾害损失率为台风灾害的直接经济损失占同期区域国内生产总值(GDP)的比值。

1.4 资料处理

其中“最低气压”、“最大风速”、“过程最大降水量”根据气象部门发布的预测或观测值;天文大潮的处理为登陆时遇阴历初一、初二、初三或十五、十六、十七时考虑,否则不予考虑。“区域减灾能力”直接摘自文献[9],此指数在考虑社会基础支持能力、监测预警基础能力、防灾工程基础能力和抢险救灾在基础能力等四方面能力的基础上综合得出。“地质灾害危险性”引用文献[10]中数据。“区域人口密度”、“影响区耕地面积”、“地质灾害危险性”、“区域减灾能力”为风速5级以上(8.0 m/s),且过程降雨量大于50 mm的覆盖区域(以省为单位)相应指标的平均值。

模型采用典型函数法的戒下型函数作为隶属函数,建立总的评价矩阵和影响因子权重集。由隶属函数计算公式可以得到模糊综合评价系数集,从而计算每个登陆台风灾情的综合评价指数,系数越大表示灾害程度越严重。应用层次分析法,构建判断矩阵,计算各指标权重。

2 预评估模型

2.1 隶属函数的确定

模糊数学是研究和处理模糊性现象的数学,

现代数学与集合论是密切相关的,因此引入模糊集论。模糊集是研究和处理客观世界中存在的模糊现象的,一般是用隶属函数来刻画,以实现定量描述模糊性事物。隶属函数的确定在一定程度上具有主观性和经验性,确定方法一般有模糊统计法、典型函数法等。本模型中采用典型函数法的戒下型函数,表达式为:

$$f(u) = \begin{cases} 0 \\ \frac{1}{1 + [a(u-c)]^b} \end{cases}, \quad (1)$$

式中: $f(u)$ 为因子 u 的隶属函数; a 、 b 、 c 均为参数,且 $a > 0$, $b < 0$, $c > 0$ 。 $f(u)$ 的分布,可以表示台风灾害轻重程度。当因子 u 的值大于某一界值 c 的时候,认为可以成灾,否则不成灾。灾情因子统计数据 u 的增大,表示灾情轻重的隶属函数 $f(u)$ 也会增大。

2.2 参数的确定

式(1)中,规定 $b = -2$; $c = u_{\min}$, 为因子 u 的统计最小值; a 的确定如下:

令 u 的统计最大值为 u_{\max} , 所对应隶属函数的值为 0.99, 则有:

$$a = \frac{\sqrt{99}}{u_{\max} - u_{\min}}. \quad (2)$$

在实际计算中, a 值偏大。为使 a 值能够有利于隶属度的计算,定义一个经验系数 K , 取 K 为 0.3。因此得到:

$$a = \frac{\sqrt{99}}{u_{\max} - u_{\min}} \times K. \quad (3)$$

规定好 a 、 b 、 c 参数后,利用解析式便可以确定各因子灾情隶属度值。

2.3 计算方法

设有 n 件事物的某一特征等待评价,这 n 件事物构成对象集 X 和影响因子集 U :

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad (4)$$

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}. \quad (5)$$

对因子的权重分配为 U 上的模糊子集 W , 记为:

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

式中: m 表示影响因子的个数; w_i 表示第 i 个因子 u_i 所对应的权重。

这 n 件事物中,每个因子的评价集 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$, $i = 1, 2, \dots, m$, 从而可以得到 m 个影响因子评价矩阵 R , 矩阵中的每 1 个元素都是通过隶属度公式(式(1))计算得到,因此,当 a 、 b 、 c

确定后,便可以求出每个台风的各灾情因子隶属度值,这样总的评价矩阵可以表示为:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

则对该评价对象的模糊综合评价集 B 为:

$$B = W \circ R \quad (8)$$

B 就是 n 件事物的模糊综合评价系数集,系数

越大表示灾害程度越严重。在这里,“ \circ ”为广义模糊算子,其算法有多种模型,我们采用加权平均型模型,即: $b_j = \min \{1, \sum_{i=1}^m w_i r_{ij}\}, j = 1, 2, \dots, n$; 且 $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。

2.4 影响因子权重的确定

模糊综合评价中权重系数的大小反映了各参评因子的相对重要程度,取值的好坏将直接影响到评价结果的好坏。常用的定权方法有专家咨询法、调查统计法、相关分析法、加权规划法等。由于层次分析法在处理复杂的决策问题上的实用性和有效性,本研究采用层次分析法确定权重值,并在后期回归分析过程中,为取得最优拟合曲线,对权重值进行调整。最终的权重值见表 1。

表 1 各因子权重分配

因子	风速	最低气压	过程最大雨量	天文大潮	人口密度	耕地面积	地质灾害危险性	区域减灾能力
权重	0.202 0	0.233 3	0.176 7	0.032 9	0.155 9	0.037 3	0.065 1	0.096 8

2.5 综合评价指数计算

总的评价矩阵 R 和影响因子权重集 W 通过上述确定后,由隶属函数计算公式可以得到 n 件事物的模糊综合评价系数集 B 。 b_j 就是每个登陆台风灾情的综合评价指数。具体如表 2 所示。

表 2 2000—2008 年登陆我国台风个例的综合评价指数

序号	中央台编号	中文名称	综合评价指数
1	0010	碧利斯	0.687 2
2	0016	悟空	0.510 6
3	0102	飞燕	0.522 5
4	0103	榴莲	0.515 8
5	0212	北冕	0.433 4
6	0218	黑格比	0.424 9
7	0307	伊布都	0.539 8
8	0312	科罗旺	0.480 7
9	0311	环高	0.242 7
10	0313	杜鹃	0.472 1
11	0414	云娜	0.624 5
12	0418	艾利	0.546 8
13	0421	海马	0.225 3
14	0505	海棠	0.595 3
15	0509	麦莎	0.677 4
16	0510	珊瑚	0.466 4
17	0513	泰利	0.661 3
18	0515	卡努	0.546 6
19	0518	达维	0.665 4
20	0519	龙王	0.410 7
21	0601	珍珠	0.586 6
22	0604	碧利斯	0.533 2
23	0605	格美	0.500 7
24	0606	派比安	0.500 6

续表 2

25	0608	桑美	0.647 9
26	0709	圣帕	0.488 8
27	0713	韦帕	0.593 0
28	0714	范斯高	0.328 6
29	0716	罗莎	0.445 5
30	0806	风神	0.414 3
31	0807	海鸥	0.346 3
32	0808	凤凰	0.587 3
33	0812	鹦鹉	0.345 9
34	0814	黑格比	0.610 7

2.6 建立综合评价指数和灾情损失指标的关联

分别将综合评价指数和受灾人口、农作物受灾面积、台风灾害损失率等三项损失指标进行相关分析,剔除一个异常值(2006 年碧利斯台风),最终建立最优幂函数回归方程,各回归方程的负相关系数都达到 0.69 以上。

直接经济损失方程:

$$E = \text{GDP} \times 0.006\ 74 \times r^{4.893}, \quad (9)$$

受灾人口方程:

$$P = 9\ 659 \times r^{4.103}, \quad (10)$$

农作物受灾面积方程:

$$C = 4\ 969 \times r^{4.261}, \quad (11)$$

上述式中: r 代表综合评价指数; E 代表直接经济损失; GDP 代表当年国内生产总值(亿元); P 代表受灾人口(万人); C 代表农作物受灾面积(km^2)。图 1~图 3 所示为综合评价指数分别与直接经济损失率、受灾人口及农作物受灾面积的散点图。

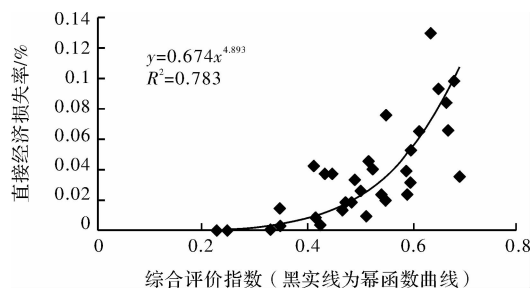


图1 综合评价指数与直接经济损失率的散点

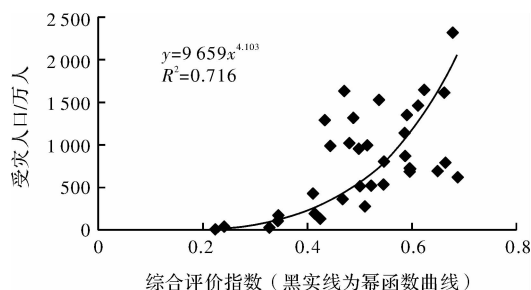


图2 综合评价指数与受灾人口的散点

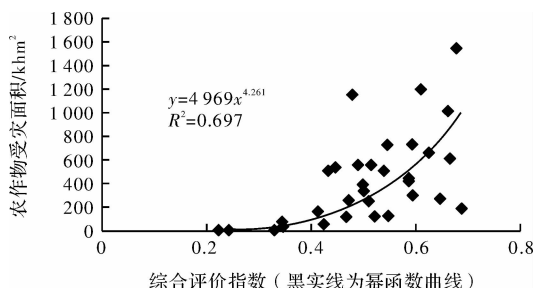


图3 综合评价指数与农作物受灾面积的散点

3 独立样本试验

对2009年登陆我国大陆地区的莫拉克台风按照上述模型进行试验。根据气象部门对台风登陆时间、登陆强度(风、降雨、最低气压)的观测数据,结合社会经济统计数据等,确定台风灾害风险监测预警模型的8项输入因子,得出莫拉克台风的综合评价指数 $R = 0.60738$ 。

2009年8月9日,“莫拉克”中心在福建省霞浦县沿海登陆,登陆时中心附近最大风力为12级(33 m/s),最低气压970 hPa,最大降雨极值达1250 mm,50 mm雨区覆盖福建、浙江、江苏、安徽等省,“区域人口密度”、“影响区耕地面积”、“地质灾害危险性”、“区域减灾能力”为覆盖省区相应指标的平均值。

应用幂函数回归方程进行灾情预评估,与实际灾情对比如表3所示。

表3 莫拉克台风灾情预评估值与实际值对比表

灾情\结果	预测值	实际值	误差/%
受灾人口/万人	1 248.736	1 447	13.7
农作物受灾面积/千公顷	593.737	773	23.2
直接经济损失/亿元	197.076	127.5	54.6

从表3可以看出,模型对于受灾人口、农作物受灾面积的预评估情况非常理想,误差都在25%以内。对于直接经济损失的评估较实际情况偏高,可能是由于防灾减灾综合能力的提升减轻了灾害可能造成的直接经济损失。

4 结语

本文基于模糊数学法和回归分析法构建台风灾害损失预评估模型,最终得出的幂函数回归方程。对历史台风的拟合和2009年“莫拉克”台风的试验均取得较好的效果。本文提出的预评估方法,是在前人研究的基础上,基于多年灾情统计工作中积累的对灾情指标的深刻理解,对台风致灾因子与灾情的关联进行了有益的探索。模型能较好地对台风灾情进行定量预评估,预评估结果对实际工作有一定的参考价值。为进一步完善预评估模型,我们需要对更多实例进行评估并检测,同时重点对台风影响区的防灾减灾能力进行分析,以便在今后的应用中能够更加快速、准确地进行灾前预测、评估,为减灾、救灾工作提供依据。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张斌,陈海燕,顾骏强.基于GIS的台风灾害评估系统设计开发[J].灾害学,2008,23(1):47-50.
- [3] 李春梅,罗晓玲,刘锦奎,等.层次分析法在热带气旋灾害影响评估模式中的应用[J].热带气旋学报,2006,22(3):223-228.
- [4] 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.
- [5] 马青云,李佳英,王秀荣,等.基于模糊综合评价法的登陆台风灾害影响评估模型[J].气象,2008,34(5):20-25.
- [6] 樊琦,梁必骥.热带气旋灾情的预测及评估[J].地理学报,2000,55(S0):52-55.
- [7] 陈佩燕,杨玉华,雷小途,等.我国台风灾害成因分析及灾情预估[J].自然灾害学报,2009,18(1):64-73.
- [8] 中国气象局.热带气旋年鉴[M].北京:气象出版社,2000-2008.
- [9] 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.
- [10] 刘丽,代宏霞.中国自然灾害保险风险度综合评判与区划[J].山地学报,2004,22(4):477-482.

A Pre-evaluation Model for Typhoon Disasters in China

Zhao Fei¹, Liao Yongfeng¹, Zhang Nina¹, Zhang Yunxia¹ and Chen Yangsiqi²

(1. *National Disaster Reduction Center of China, Beijing 100022, China*; 2. *Capital Normal University, Beijing 100089, China*)

Abstract: In order to establish a collection, 34 typhoons with complete disaster record occurred from 2000 to 2008 are arranged. A model for pre-evaluation of losses from typhoon disasters is established on the basis of fuzzy mathematical method. Choosing 8 effective factors as input indexes of the model, and determining impact factor weights by analytic hierarchy process, composite evaluation indexes of each typhoon in the collection are calculated, which are then fitted with typical index of disaster loss as affected population, afflicted crop amount and direct economic losses etc. The optimal power function regression equation is obtained by properly adjusting impact factor weights to realize quantitative pre-evaluation of typhoon disasters.

Key words: typhoon disaster; fuzzy mathematics; pre-evaluation; impact factor; China

欢迎订阅《灾害学》杂志

随着《灾害学》杂志内在质量和社会影响力的不断提高, 其订户日益增多, 稿源日益丰富。《灾害学》为大 16 开, 144 个页码。从 2011 年起的每季初月 20 日出版, 80 克胶印纸印刷, 彩色插页, 国内统一刊号: CN 61-1097/P。

《灾害学》杂志定价每期 25.00 元, 全年 100.00 元(含邮费)。另外, 编辑部还存有少量 1988-1990 年、1994-2010 年的各年的精装合订本, 每册定价 120 元。

《灾害学》杂志编辑部热忱欢迎广大读者和作者订阅本刊。订阅方式有:

(1) 通过邮局直接汇款至编辑部, 即: 西安市边家村水文巷 4 号《灾害学》杂志编辑部, 邮编: 710068。

(2) 通过银行转帐, 单位: 灾害学杂志编辑部; 帐号: 3700023109014486285; 开户行: 工行西安市含光路支行。

(3) 通过全国非邮发报刊联合征订服务部征订。地址: 天津市大寺泉集北里别墅 17 号; 代号: 9875; 邮编: 300385。

款到后即寄杂志(需要正式发票请在汇款时注明)。需要征订单请来函或来电告知。

编辑部电话: 02988465341

《灾害学》投稿邮箱为: zhx02988465341@163.com, zhx@eqsn.gov.cn, zhxu@chinajournal.net.cn