

福建省台风灾害直接经济损失预评估模型

于小龙¹, 潘伟然^{1,2*}, 张国荣^{1,2}, 骆智斌¹

(1. 厦门大学海洋与环境学院, 2. 福建省海洋环境科学联合重点实验室(厦门大学), 福建 厦门 361005)

摘要: 基于 2000—2009 年对福建省造成灾害损失的 22 个台风数据, 将台风分为气象型灾害和混合型灾害, 利用数理统计的方法建立台风灾害直接经济损失预评估模型, 在得到致灾因子和损失因子的多项式拟合关系基础上, 进行了台风损失的悲观估计和乐观估计, 并对台风灾害的影响等级进行了评估. 研究结果显示该模型具有较高的拟合率, 由误差分布和实际评估结果计算的模型的有效率均达到 80% 以上, 能够较好地预评估台风可能造成的直接经济损失并能有效地分析台风灾害的趋势; 灾害等级预报的准确性稍低于灾害经济损失预报的准确性, 但总体属于同一水平. 模型的建立可为防灾减灾提供科学依据, 具有实际意义.

关键词: 台风; 直接经济损失; 灾害等级; 数理统计; 预评估模型

中图分类号: P 731.2

文献标志码: A

文章编号: 0438-0479(2011)06-1047-06

福建省地处我国东南沿海, 濒临西北太平洋, 是台风灾害较严重的省份之一. 福建东部沿海地区经济发达、人口密集, 研究表明其遭受台风灾害的危险性大而承灾能力较弱^[1]. 侵袭福建省的台风主要集中在 5—10 月, 尽管福建省位于台湾岛西面, 台湾岛形成其天然屏障, 但由于台湾岛和台湾海峡特殊的地形及其狭管效应, 通常会使得福建沿海地区出现两次台风增水峰, 使台风暴潮的灾害历时增长、灾情加大. 因此, 基于台风预报信息和观测数据, 在台风灾害成灾之前对其可能造成的直接经济损失进行预评估是十分有意义的.

台风灾害损失评估具有模糊性、复杂性和不确定性的特点, 是当前国内外关注的难点和热点之一^[2]. 国内外很多学者对此做了大量的研究, 孙伟等^[3]采用可拓评估法对海南岛台风灾害损失进行评估, 姜伟平等^[4]将主成分神经网络法应用于浙江省台风灾害直接经济损失评估模型中, 李春梅等^[5]利用层次分析法对广东省的热带气旋灾害进行评估, 马清云等^[6]基于模糊综合评价法建立登陆台风灾害影响评估模型. 这些研究多数考虑了台风强度指标中致灾因子权重的科学性确定, 较少定量评估台风直接经济损失和分析台风灾害趋势, 并且在国内遭受台风侵袭严重的省份中, 对福建省的研究较少. 国外比较有代表性的成果是 HAZARDS-MU 应用系统^[7]和 FPHL 模型^[8], 但均需要大量实时更新、高分辨率的基础数据, 在我国应用有

一定困难.

本文建立福建省台风灾害直接经济损失预评估模型, 旨在以现有的台风观测能力和预报水平, 能够对可能影响福建省的台风进行预评估, 得出灾情可能的直接经济损失区间. 从而给相关部门提前采取相应防范措施, 做好台风的防灾减灾工作提供科学定量的决策依据.

1 模型描述和建立

1.1 数据来源

本文主要采用中国气象出版社出版的《台风年鉴》和《全国气候影响评价》中的台风直接经济损失数据, GDP 数据来源于《全国年度统计公报》, 台风资料来自国家 908 专项中的灾害调查项目成果. 共选取了 22 个台风作为模型的样本, 统计时, 根据台风灾害引起的风暴潮增水情况, 将台风过程中极值高潮位低于危险潮位的 12 个台风归为气象型灾害, 极值高潮位高于危险潮位的 10 个台风归为混合型灾害.

1.2 研究方法

1.2.1 模型尺度和方法

福建省海岸线漫长曲折, 侵袭台风的路径复杂多变, 故将福建省分为闽北、闽中、闽南 3 个部分, 其坐标分别为福州梅花验潮站(26.01°N, 119.41°E)、泉州崇武验潮站(24.55°N, 118.56°E)、厦门鼓浪屿验潮站(24.27°N, 118.04°E). 针对不同的台风路径, 选取距离验潮站最近的台风特征路径点数据, 使用数理统计

收稿日期: 2010-11-08

基金项目: 福建省 908 专项(FJ908-01-01-ZH)

* 通信作者: panht12@public.xm.fj.cn

表 1 2000—2009 年影响福建省的台风灾害造成的福建省直接经济损失
Tab.1 Direct economic losses caused by influential typhoons from 2000 to 2009 in Fujian Province

年份	台风编号	直接经济损失/ 亿元	国内生产总值/ 亿元	登陆近距 城市	近距中心 气压/hPa	近距最大 风速/(m·s ⁻¹)
2000	0010	11.90	89403.6	崇武	962	36
2001	0102	45.20	95933.3	福州	977	32
2001	0104	6.93	95933.3	厦门	967	33
2001	0108	5.03	95933.3	福州	995	20
2001	0119	0.84	95933.3	福州	998	18
2002	0216	32.58	102398	福州	983	27
2003	0309	2.50	116694	崇武	998	18
2003	0313	2.18	116694	厦门	950	43
2004	0418	24.85	136515	厦门	978	32
2005	0505	26.33	182321	福州	979	30
2005	0513	37.20	182321	崇武	975	32
2005	0519	74.67	182321	厦门	975	35
2006	0601	38.02	209407	福州	996	35
2006	0604	50.62	209407	福州	960	24
2006	0605	15.20	209407	厦门	985	26
2006	0608	63.87	209407	福州	957	41
2007	0709	22.03	246619	崇武	975	33
2007	0713	10.03	246619	福州	960	40
2007	0716	4.60	246619	福州	971	35
2008	0807	5.01	300670	福州	985	25
2008	0808	14.22	300670	福州	985	28
2009	0908	19.83	335353	福州	970	33

方法,将直接经济损失指数与致灾因子进行多项式拟合来建立模型.

1.2.2 直接经济损失指数的确定

表 1 列出了模型样本中台风灾害造成的直接经济损失,为了保持评估对象的稳定性,有必要将以当年价格货币表征的直接经济损失转换为一个在不同时期的灾害之间可比较的量,本文采用评估灾害直接经济损失常用的数据处理方法^[4],并利用对数函数换算成规范化指数,其表达式为

$$De = \ln\left(\frac{l}{T_g}\right) + m, \quad (1)$$

式(1)中, De 为直接经济损失指数, l 为灾害直接经济损失, T_g 为我国的当年国内生产总值. 为调整 De 值域到原点附近,可设置一任意常量 m , 这里取 $m=10$.

1.2.3 致灾因子的选取

台风的主要致灾因素是台风本身携带的大风、暴雨和风暴潮. 研究表明台风中心气压、登陆时最大风速对灾害影响大小起主导作用^[9], 在发生风暴潮灾害时, 必须把台风风暴潮增水情况纳入考虑. 这样共选取 7 个因子放入模型进行计算: 台风最低气压 P_{min} 、近距中心模型气压 P_{mod} 、热带气旋现时强度指数 Tn 、最大风速半径 R_{mc} 、等效距离 R_c 、各站点的极值高潮位 H_{max} 、防汛设施强度因子 M .

1.3 模型建立

1.3.1 气象型灾害的模型建立

根据气象型灾害的特征,可以确定气象型台风强度因子 Sd , 即

$$Sd = \left(\frac{P_{\min}}{P_{\text{mod}}} \right) \frac{Tn}{R_c/R_{mw}}, \quad (2)$$

该因子 Sd 的表达式是台风当时状态的集合,表达了气象型台风对福建省的综合影响程度.那么, Sd 和 De 之间应存在着统计联系,结果如图 1 所示,其中 De 的表达式如下:

$$De = -14.389(Sd)^3 + 16.028(Sd)^2 - 0.7882Sd - 1.3427. \quad (3)$$

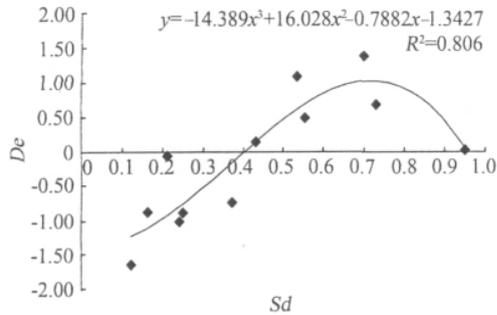


图 1 直接经济损失指数与气象型台风强度因子的关系
Fig. 1 Relation between De and Sd

1.3.2 混合型灾害的模型建立

套用气象型灾害模型的结果可由气象因素造成的直接经济损失指数 De_w ,那么

$$l_t = l - T_g \cdot \exp(De_w - m), \quad (4)$$

式(4)中 l_t 是风暴潮因素造成的灾害损失,则单纯由风暴潮因素造成的直接经济损失指数 De_t 为

$$De_t = \ln \left[\frac{l - T_g \cdot \exp(De_w - m)}{T_g} \right] + m. \quad (5)$$

基于福建省东山,厦门,崇武,平潭,白岩潭,梅花,三沙,沙埕 8 个站点潮位数据,定义风暴潮影响指数 W 为

$$W = \sum_{n=1}^8 \left(\frac{H_{\max} - H_j}{H_j} \right) - M, \quad (6)$$

其中, H_{\max} 是各站点的极值高潮位, H_j 是该站点的警戒水位. M 是防汛设施强度因子,通过经验分析得到.用 W 的二次函数拟合 De_t ,如图 2 所示,得到

$$De_t = 39.534W^2 - 2.7716W - 0.2741. \quad (7)$$

De_t 的方程建立后,即可求出混合型灾害的直接经济损失指数

$$De = \ln[\exp(De_w - m) + \exp(De_t - m)] + m. \quad (8)$$

2 结果和分析

2.1 损失区间的估计

台风灾害损失是由台风的孕灾环境、致灾因子和

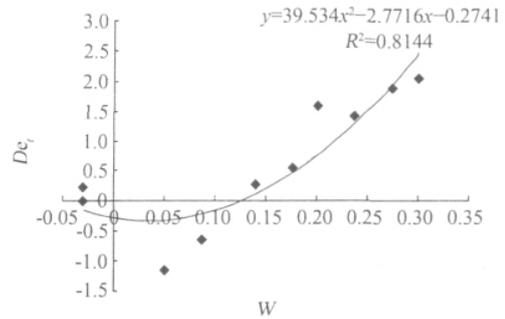


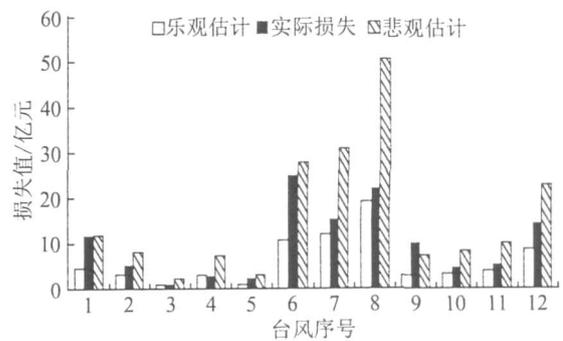
图 2 潮灾直接经济损失指数与风暴潮影响指数的关系
Fig. 2 Relation between De_t and W

各种承灾体共同决定的.台风灾害的复杂性、不确定性等特征决定模型预测的数值和实际的直接经济损失指数之间,总存在着一定的误差.为了提高模型精度,基于预测值进行悲观估计和乐观估计.借鉴黄金分割法:

$$\text{悲观估计} = \text{预测值} / G,$$

$$\text{乐观估计} = \text{预测值} \times G,$$

其中 G 为黄金分割率,这样悲观估计大约是乐观估计的 2.7 倍,模型预计效果是多数的实际台风直接灾害损失将介于模型预测的乐观估计和悲观估计之间.由图 3 和 4 可见,在 22 个样本中,18 个样本达到了模型的预计效果,模型有效率为 81.8%.

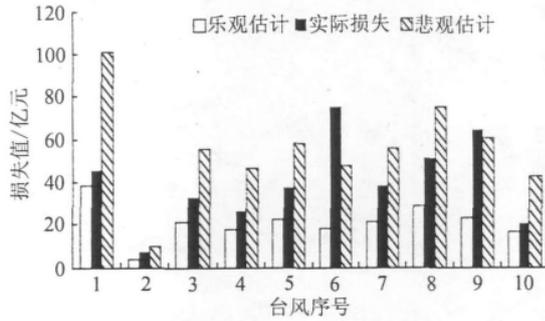


1~12 对应的台风编号依次为:0010,0108,0119,0309,0313,0418,0605,0709,0713,0716,0807,0808.

图 3 气象型台风损失区间分布图
Fig. 3 Distribution of the loss range of meteorological typhoon

2.2 模型验证

在 De 轴上应用黄金分割法时,应将损失区间的上下限倍率取自然对数,得到模型计算的 De 函数和实际经济损失的 De 函数之间的误差限为 ± 0.481 .运用 SPSS 软件对模型进行验证,实际 De 和模拟 De 的 Pearson 相关性系数达到 0.931,二者在 0.01 水平上显著相关;对误差数据的 Kolmogorov-Smirnov 检验



1~10 对应的台风编号依次为:0102,0104,0216,0505,0513,0519,0601,0604,0608,0908.

图 4 混合型台风损失区间分布图

Fig. 4 Distribution of the loss range of mixed typhoon

结果表明在 95% 的置信水平上,误差为正态分布,且 $\sigma = 1.04$, $\mu = -0.93$. 那么模型中,误差落入误差限的概率为

$$\int_{-x_1}^{x_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = F\left(\frac{x_1-\mu}{\sigma}\right) - [1 - F\left(\frac{x_1-\mu}{\sigma}\right)] = 2F\left(\frac{1.411}{1.04}\right) - 1 \approx 0.826, \quad (9)$$

其中 x_1 为模型预定误差限 0.481. 根据式(9)计算的台风灾害直接经济损失预评估模型的有效率约为 82.6%.

2.3 灾害等级计算和评估

考虑到福建省情况,并结合本文研究,在只考虑直接经济损失因素情况下,各台风灾害等级对应的直接经济损失范围如表 2 所示.

表 2 福建省台风灾害等级划分标准

Tab. 2 Graded standard of typhoon disaster in Fujian Province

灾害等级名称	符号	损失下限/亿元	损失上限/亿元
轻度台风灾害	I	0	1
较大台风灾害	II	1	10
严重台风灾害	III	10	45
特大台风灾害	IV	45	$+\infty$

在 22 个样本中,根据实际统计资料确定了各个台风灾害的等级,并把模型结果与之进行了对比,结果如表 3 和 4 所示.

实际上,22 个样本中,有 17 个样本的后报等级与实际等级一致,占有所有样本的 77.3%. 从表 5 中可以看出,灾害等级预报的准确性稍低于直接经济损失预报的准确性,但两者的准确率相差不大,且错报等级也均仅差一级.这也说明了模型预报在允许误差区间范

表 3 气象型台风等级评估结果

Tab. 3 Assessment result of meteorological typhoon

台风编号	实际损失/亿元	模拟损失/亿元	实际等级	后报等级
0010	11.90	7.35	III	II
0108	5.03	5.00	II	II
0119	0.84	1.28	I	II
0309	2.50	4.51	II	II
0313	2.18	1.74	II	II
0418	24.85	17.23	III	III
0605	15.20	19.03	III	III
0709	22.03	31.23	III	III
0713	10.03	4.43	III	II
0716	4.60	5.14	II	II
0807	5.01	6.15	II	II
0808	14.22	14.14	III	III

表 4 混合型台风等级评估结果

Tab. 4 Assessment result of mixed typhoon

台风编号	实际损失/亿元	模拟损失/亿元	实际等级	后报等级
0102	45.20	62.35	IV	IV
0104	6.93	6.07	II	II
0216	32.58	34.15	III	III
0505	26.33	28.66	III	III
0513	37.20	36.16	III	III
0519	74.67	29.30	IV	III
0601	38.02	34.38	III	III
0604	50.62	46.34	IV	IV
0608	63.87	37.10	IV	III
0908	19.83	26.10	III	III

表 5 22 个样本后报等级的准确性

Tab. 5 The accuracy of disaster grading from samples

等级	实际个例数	后报个例数	准确率/%
I 轻度台风灾害	1	0	0
II 较大台风灾害	6	6	100
III 严重台风灾害	11	9	81.8
IV 特大台风灾害	4	2	50.0
合计	22	17	77.3

围较小的情况下具有较好的有效性。另外,对于轻度台风灾害和特大台风灾害,模型的准确率较低,这可能是由于轻度和特大台风的损失受人重视程度影响过大,往往在较小的台风中防范和准备不足,而在特大台风中加强了抵御台风的工作,使直接经济损失指数和致灾因子的相关性减小。

2.4 台风灾害趋势分析

模型的方程表明,气象型灾害造成最大的直接经济损失有一定的上限。经过计算,未来气象型灾害达到历史资料中最大直接经济损失指数 $De_w = 1.03$,以2009年价格核算,约相当于42.6亿元。对于潮灾,其直接经济损失指数 De_t 的模型预测随着极值高潮位以二次方增长,理论上没有上限。结合历史风暴潮资料,采用GUMBEL分析和数值模拟方法对福建地区可能出现的极端增水及其发生的概率进行分析和推断。如果各站位均遭遇百年一遇的潮位,那么潮灾造成的最大直接经济损失指数 De_t 的悲观估计为2.92,以2009年的价格核算,相当于103亿元。

在台风引发的灾害中,出现频率较高的是气象型灾害,而造成经济损失严重的均是混合型灾害,这说明了严重和特大台风灾害的主导因素是潮灾。考察未来台风灾害的发展趋势,一方面,随着福建省经济的快速发展和海西开发开放的进一步深化,面对台风灾害的易损性在增加。另一方面,还面临着全球变暖导致热带气旋的强度和频率增加、地面沉降、海平面上升等一系列不利因素^[10]。

3 结论和讨论

1) 台风灾害评估是福建省防台减灾的重要环节,根据台风的预报和观测数据开展台风直接经济损失的预评估,可以为开展防灾救灾工作提供客观依据。模型所用致灾因子,除 P_{mod} 、 H_{max} 用预报模型得到外,其他均可在台风入侵时较短时间得到观测数据。另外在建模过程中,为了提高模型的准确率,模型中使用观测的近距离中心气压和各站位潮位数据。

2) 模型评估结果与实际的灾害损失均很接近,多项式拟合的相关性均在0.8以上,通过误差分布计算的模型有效率为82.6%,实际评估情况的模型有效率为81.8%,表明该模型具有较高的准确率。在等级评估方面,准确率稍低于灾害经济损失评估的准确率,但相差不大,错报等级也仅差一级,说明该模型能够较好

地进行台风灾害预评估和评价。

3) 采用数理统计方法建立台风灾害直接经济损失模型,能够有效的评估灾害的变化趋势。模型方程表明,气象型灾害造成的损失存在一定的上限,混合型灾害则随着极值高潮位的二次方增长。通过模型计算,如果未来发生历史罕见的特大台风侵袭福建省,那么可能造成的最大直接经济损失约为146亿。

4) 准确的预报模型、观测数据是提高台风灾害预评估的关键,模型在评估轻度和特大台风灾害时准确率较低,这说明发生极端台风时,台风强度与经济损失相关性降低,这可能是受政府关注程度的影响。而且在全球变暖、海平面上升的背景下,对台风灾害的防灾准备也正面临着日益严峻的挑战,政府部门应该在防灾减灾工作投入更多的精力。

5) 由于模型刚建立不久,评估样本偏少,时间尺度较小,在致灾因子的选取上还不够全面。模型还需在不断总结和修正中进行改进和完善。利用更先进的模型进行评估将作为今后进一步的研究方向。

参考文献:

- [1] 陈香. 福建省台风灾害风险评估与区划[J]. 生态学报, 2007, 26(6): 961-966.
- [2] 王国栋, 康建成, 闫国东. 沿海城市风暴潮灾害风险评估研究述评[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 114-118.
- [3] 孙伟, 高峰, 刘少军, 等. 海南岛台风灾害损失的可拓评估方法及应用[J]. 热带作物学报, 2010, 31(2): 319-324.
- [4] 姜伟平, 陈海燕, 郑峰, 等. 基于主成分神经网络的台风灾害经济损失评估[J]. 地理研究, 2009, 28(5): 1243-1254.
- [5] 李春梅, 罗晓玲, 刘锦奎. 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.
- [6] 马清云, 李佳英, 王秀荣, 等. 基于模糊综合评价法的登录台风灾害影响评估模型[J]. 气象, 2008, 34(5): 20-25.
- [7] Jain V K, Davidson R, Rosowsky D. Modeling changes in hurricane risk over time [J]. Natural Hazards Review, 2005, 6(2): 88-96.
- [8] Powell M, Soukup G, Cocke S, et al. State of Florida hurricane loss projection model: atmospheric science component[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2005, 93(8): 651-674.
- [9] 张永恒, 范广州, 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.
- [10] McInnes K L, Walsh K J E, Hubbert G D, et al. Impact of sea-level rise and storm surges on a coastal community[J]. Natural Hazards, 2003, 30(2): 187-207.

The Pre-evaluation Model of Typhoon Disaster Losses on Fujian Province

YU Xiao-long¹, PAN Wei-ran^{1,2*}, ZHANG Guo-rong^{1,2}, LUO Zhi-bin¹

(1. College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University,

2. Fujian Provincial Joint Key Laboratory for Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Based on twenty-two typhoons data from 2000 to 2009 which caused great impact on Fujian Province, an assessment model of direct economic losses for typhoon disaster was established. The typhoon disaster was divided into two different types, one was meteorological typhoon and the other was mixed typhoon. The mathematical statistics method was applied to polynomial fitting for further calculation of the losses ranges. Meanwhile, the assessment of disaster grade was also included. The results show that the accuracies calculated distribution of error and actual result of the model are both above 80%, while the discrepancy between the two methods is less than one percent. So the model established can reasonably pre-evaluate the losses caused by typhoon disaster of different density and analyze the trend of typhoon disaster effectively. The consequence also shows that the pre-assessment results of disaster grading are in accordance with the results of direct economic losses, although the former accuracy is slightly lower than the latter. Therefore, this model can be applied in the actual pre-assessment of direct economic loss from typhoon disasters, which is based on the observation data as well as the economic data. The result could be given to the government as a reference and support decision-making for disaster recovery.

Key words: typhoon; direct economic losses; hazard grade; mathematical statistics; pre-evaluation model