

文章编号:1004-4574(2012)01-0001-08

长三角地区台风危险性定量分析

陈文方^{1 3}, 方 建^{1 3}, 徐 伟^{1 3}, 史培军^{1 2 3}, 聂建亮^{1 3}

(1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 3. 民政部-教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

摘 要:台风灾害是影响我国最主要的自然灾害之一。由于地处西北太平洋西侧,长三角地区每年都会受到台风的侵袭。根据中国气象局公布的 1949-2010 年西北太平洋台风最佳路径数据,首先提取了影响长三角 16 个城市的台风最大风速数据,分别从台风影响频次、强度和最大风速极值分布的角度定量地分析了各个城市的台风灾害危险性,并通过对比分析得出了台风灾害危险性在长三角地区的分布状况。结果显示,台风影响频次和强度都呈现从东南向西北递减的趋势,综合台风影响频次、强度和极端台风重现水平,这 16 个城市可以划分为 3 个危险等级:“高危险”城市,包括台州、绍兴、宁波和舟山;“中危险”城市,包括杭州、上海、嘉兴、湖州、无锡和苏州;“低危险”城市,包括南通、常州、镇江、南京、泰州和扬州。致灾因子危险性定量评估是灾害风险评估中重要的一环,研究结果可供制定长三角地区台风灾害防灾规划参考。

关键词:台风灾害;危险性分析;极值理论;长三角地区

中图分类号:P458.1+24

文献标志码:A

Quantitative analysis of typhoon hazard in the Yangtze River Delta region

CHEN Wenfang^{1 3}, FANG Jian^{1 3}, XU Wei^{1 3}, SHI Peijun^{1 2 3}, NIE Jianliang^{1 3}

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing 100875, China)

Abstract: Typhoon disaster is one of the most major natural disasters influencing China. Being located in the western side of the northwest Pacific Ocean, the Yangtze River Delta region in China is particularly vulnerable to typhoon hazards. This study proposed a quantitative method to assess the typhoon hazard of specified typhoon prone regions. With the best track data of northwestern Pacific typhoon (1949-2010) published by China Meteorological Administration (CMA), this paper first extracted the maximum wind speed data of the typhoons affecting 16 cities in the Yangtze River Delta Region, then analyzed the risk of the typhoon disaster in different cities with respect to typhoon frequencies, intensities and extreme maximum wind speeds, and through comparison and analysis, obtained the spatial distribution of the risk of the typhoon disasters in the Yangtze River Delta Region. Results indicated that, typhoon influence frequencies and intensities both show a trend of decrease from southeast to northwest. Integratedly considered typhoon frequency, intensity and return period of extreme typhoon events, the 16 cities can be classified into three grades of hazard: “high-hazard” cities, including Taizhou (in Zhejiang Province), Shaoxing, Ningbo and Zhoushan; “moderate-hazard” cities, including Hangzhou, Shanghai, Jiaxing, Huzhou, Wuxi

收稿日期:2011-07-06; 修回日期:2011-10-21

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2008BAK50B07)

作者简介:陈文方(1987-),女,博士研究生,主要从事自然灾害风险管理研究。E-mail: wenfang.bnu.2009@gmail.com

通讯作者:徐伟(1979-),副教授。E-mail: xuwei@bnu.edu.cn

and Suzhou, and “low-hazard” cities, including Nantong, Changzhou, Zhenjiang, Nanjing, Taizhou (in Jiangsu Province) and Yangzhou. Because hazard assessment is an important part in disaster risk assessment, the results of the research will provide a reference for typhoon risk assessment, and typhoon disaster prevention and control planning of the Yangtze River Delta region.

Key words: typhoon disaster; hazard analysis, extreme value theory, the Yangtze River Delta region

台风是世界上引起死亡人数仅次于洪水的自然灾害,中国是世界上受台风危害最严重的国家之一。根据中国气象局的统计,1949–2008 年的 60 a 间,西北太平洋和南海共生成 1 453 个热带风暴,其中共有 442 个(约 30%)登陆中国,平均每年 7 个^[1]。台风给我国沿海地区造成的损失也不容忽视。据统计,2000–2009 年期间每年台风引起的直接经济损失最低达到 110 亿元,最高达到 814.7 亿元,尤其是 2005 年的“麦莎”、2006 年的“碧利斯”和“桑美”造成了巨大的直接经济损失和庞大的伤亡人口数。尤其在社会财富和人口高度密集的沿海地区,台风灾害风险更应引起重视。

台风致灾因子危险性的评估,是开展区域台风灾害风险的分析和计算的基础^[2–4]。台风灾害,根据台风致灾因子过程,可以从台风大风和台风暴雨两个层面进行分析^[5]。台风引起的风灾一般通过根据历史数据模拟台风路径和台风风场、结合登陆后风场衰减模型和地表粗糙度等模拟研究区域遭受的台风大风强度^[6–9]。台风暴雨则更为复杂,因为它涉及到更多的因素,包括当地的气候、地形以及天气状况等。本文中,将台风强度定义为近中心最大风速,而将台风降雨看成是台风引起的次生致灾因子而不予以直接考虑。

尽管台风路径和强度的数值模拟方法能够得到具体某一地点的台风大风风速序列,然而由于数据不足、对台风机理的认识不够全面等原因,模拟的结果往往带有很大的不确定性。尤其是中国对北太平洋及南海这一带的观测数据是从 1949 年开始,至今不到 100 a,这给台风路径和强度建模带来了极大的限制。由于目前的台风最佳路径数据集中都包含了近中心最大风速,较为可信,因此,本文采用统计落在各区域内的台风最大风速数据的方法来表征、分析和对比各区域的台风灾害危险性^[10]。相对于数值模拟的方法,该方法摒弃了区域地形等因素对台风的影响,但同时也消除了建模中不确定性对结果造成的影响而单纯地从“遭遇”致灾因子的角度考虑区域台风致灾的可能性。

本文选取我国经济发展最快、水平最高、人口密度最大的地区之一的长江三角洲经济区为研究区,通过分析和对比研究区 16 个城市(包括江苏省的南通、常州、扬州、南京、无锡、苏州、泰州、镇江和浙江省的杭州、宁波、绍兴、台州、嘉兴、湖州、舟山 15 个地级城市以及上海市)遭遇的台风的频率、强度,揭示该地区台风灾害危险性的总体情况以及区域分异。同时,运用极值理论中的超阈值模型,分析各城市区域遭遇的最大风速值的分布,为分析各城市遭遇台风巨灾的可能性提供参考。

1 数据来源与方法

1.1 数据及处理

本文采用的数据来自中国台风网(www.typhoon.gov.cn)“CMA–STI 热带气旋最佳路径数据集”。该数据集中包括 1949–2010 年西太平洋和南海(赤道以北,东经 180°以西)海域生成的热带气旋每 6 h 的位置和强度,包括台风中心点位置、中心气压、近中心最大风速。将每 6 h 的位置和强度用样条法插值为每 1 h 的数据,以减少信息的丢失。

为了选取对各城市有影响的台风及其强度,采用缓冲圆的方法以各城市行政区域几何中心为圆心,以 200 km 为半径做圆,将落在圆内台风最大风速作为影响该城市的台风强度^[10–11]。缓冲圆的半径应根据研究区的大小和形状来选取。Malmstadt 等^[10]在分析佛罗里达州城市的强飓风大风风险时选取了 100 m 的半径,而 Lin 等^[12]在分析纽约市的飓风风暴潮风险时选择了 200 km 的缓冲半径。本文中选取 200 km 作为缓冲半径所做的缓冲圆能够覆盖各个城市的范围,由此提取了各城市台风影响频率和强度,并且运用极值理论分析了影响各城市的极值台风风速的分布。

1.2 超阈值模型

超阈值模型是极值理论中最常用的模型之一。极值理论是专门研究很少发生、但一旦发生却往往产生

巨大影响的随机变量极端变异性的统计分析方法^[13-14]在水文、气象、保险、金融等众多领域得到了广泛的应用,其原因在于,相对于低强度高频率的事件,人们越来越关注极端事件的发生及其引发的巨大影响^[13,15]。为应对台风灾害,工程建设和政府风险管理中常运用极值理论估计区域台风大风极值的概率分布^[10,16-20],以确定工程设防标准和做出相应的备灾策略。极值理论的经典模型是块最大值模型,即关注某单元时间内某随机变量的最大值的分布形式;而超阈值模型则关注超出某阈值以上的随机事件的概率分布。超阈值模型的优势在于能够充分利用已有的数据对极值分布做出估计,而块最大模型则仅考虑了特定时间内的最大值,而忽视了同一时段内其他的极端值。关于极值理论的基础知识可参见文献^[12-13],这里对超阈值模型做一个简单的介绍。

设 $X_1, \dots, X_n$ 是独立同分布的随机变量序列,选定一个特定的阈值 u ,则阈值超出量 $X_i - u$ 出现的频次服从泊松分布,超出量服从广义 Pareto 分布(GPD)。广义 Pareto 分布的形式为:

$$G(x) = 1 - \left(1 + \xi \frac{x-u}{\sigma}\right)^{-1/\xi}, \quad x > u \text{ 且 } 1 + \xi \frac{x-u}{\sigma} > 0. \quad (1)$$

式中: ξ 为形状参数, σ 为尺度参数。当 ξ 趋近于 0 时, $G(x)$ 趋近于指数分布。当 $\xi > 0$ 时,分布没有上限;当 $\xi < 0$ 时,分布在 $u - \sigma/\xi$ 时达到上限,即分布具有最大可能值。由式(1)可知,

$$\Pr\{X > x \mid X > u\} = \left[1 + \xi \left(\frac{x-u}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}. \quad (2)$$

根据泊松分布的性质,假如 $X_i - u (X_i > u)$ 服从参数为 λ_u 的泊松分布,那么 $X_i - v (v \geq u)$ 服从参数为 λ_v 的泊松分布,

$$\lambda_v = \lambda_u \Pr\{X > v \mid X > u\}. \quad (3)$$

假设平均 r 年超越一次的水平为 $v = x_r$,即每年有超过 x_r 的事件发生的概率为

$$\Pr(W_{\max} \geq v) = 1/r, \quad (4)$$

其中 $W_{\max}$ 表示一年中随机 X 变量的最大值。若 N_v 表示一年内发生超过 v 的事件的次数,其服从泊松分布,且期望 λ_v 为,则

$$\begin{aligned} \Pr(W_{\max} \geq v) &= 1 - \Pr(W_{\max} \leq v) \\ &= 1 - \Pr(N_v = 0) \\ &= 1 - \exp(-\lambda_v). \end{aligned} \quad (5)$$

结合式(2)-(5)可求解重现期 r 对应的重现水平 x_r ,或者重现水平 x_r 对应的重现期 r 。

超阈值模型应用的关键是阈值的选取。显然,选取不同的阈值将会影响分布参数值,从而影响重现期和重现水平的值。也就是说,当目标是计算某一最大风速出现的重现期时,其结果对于阈值是非常敏感的。因此,选择阈值需要综合应用多种手段,既能保证超阈值的个数足够进行分布拟合,又能够体现极值的意义。目前选阈值的方法主要包括平均剩余寿命图法和判断阈值变化引起参数估计量变化的方法。

平均超出量函数为

$$e(u) = E(X - u \mid X > u) = \frac{\sigma}{1 - \xi} = \frac{\sigma + \xi u}{1 - \xi}, \quad \xi < 1, \quad (6)$$

即 $e(u)$ 是 u 的线性函数。对给定的样本 $X_1, \dots, X_n$,定义样本平均超出量函数为

$$e_n(u) = \frac{1}{N_u} \sum_{i \in \Delta_n(u)} (X_i - u), \quad u > 0, \quad (7)$$

其中 N_u 表示超出量的个数。如果对于某个阈值 u_0 ,超出量分布近似服从参数为 σ_{u_0}, ξ 的广义 Pareto 分布,则对于大于 u_0 的 u ,样本平均超出量函数应该在一条直线附近波动。定义点集 $\{u, e_n(u) : u < x_{\max}\}$ 为平均剩余寿命图。合适的阈值能使该 $e_n(u)$ 关于 $u \geq u_0$ 近似成线性。

用样本超出量估计广义 Pareto 分布的参数时,假如 u_0 是一个合适的阈值,那么当取大于 u_0 的值时,形状参数 ξ 应该是保持不变的,而尺度参数 σ 则是 u 的函数,即

$$\sigma_u = \sigma_{u_0} + \xi(u - u_0). \quad (8)$$

令 $\sigma^* = \sigma_u - \xi u$,则 σ^* 与 u 无关,称为修正的尺度函数。因此,结合参数 ξ 和 σ^* 关于 u 的图形,选取使两者近似为常数的最小 u 值作为阈值。

广义 Pareto 分布与样本超出量的拟合效果的检验可以结合拟合诊断图和统计拟合优度检验来实现。诊

断图是常用的一种检验方式。

拟合诊断图包括 P - P 图(概率图) 、Q - Q 图(分位数图) 、重现水平图和直方图。通过比较样本经验分布和模型模拟分布得到的概率、分位数、重现水平和直方图之间的一致性 ,可以初步判断模型是否能够很好地拟合数据。

此外 ,采用 χ - square 检验和 Kolmogrov - Smirnow(K - S) 检验可以进行拟合优度检验。本文中采用 χ - square 检验对模型的拟合效果进行了检验。

2 结果与分析

2.1 各城市台风影响频率

各城市受台风影响频次如图 1 所示。1949 - 2010 年 ,长三角各城市受台风影响频次平均值为 65.4 ,台州、舟山、宁波、绍兴、上海、杭州和嘉兴受影响频次值在平均值以上 ,其他城市低于平均值。位于长三角最南端近海的台州市受影响最多 ,为 92 次 ,平均每年 1.48 次;位于西北端的扬州市受影响最少 ,为 44 次 ,平均每年 0.71 次。各城市受台风影响的年频次服从泊松分布 ,并通过了 χ - square 检验($p > 0.05$)。

2.2 各城市台风影响强度

图 2 中给出了各城市台风最大风速的箱图。舟山、台州、宁波等城市遭遇的台风最大风速分布较为分散 ,且最大值达到 $60\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上;上海、绍兴、杭州等城市台风最大风速最大值在 $50\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 附近 ,风速值分布较为集中;其他城市台风最大风速的最大值则在 $40\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下 ,且分布集中在较小的范围内 ,尤其是泰州和扬州 ,最大风速的最大值均不超过 $30\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

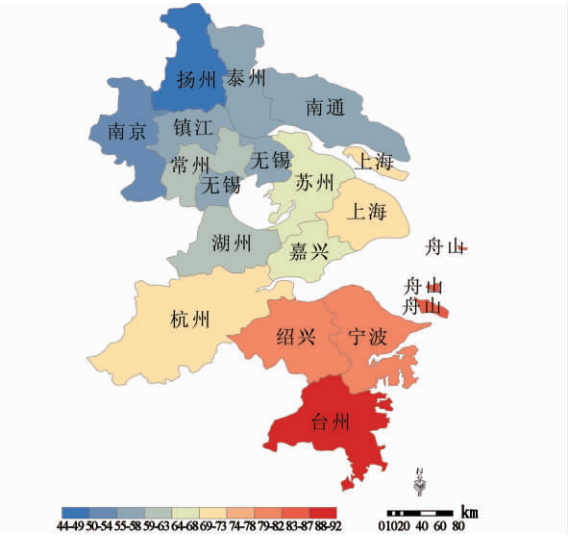


图 1 长三角各城市受台风影响频次(1949 - 2010 年)
Fig. 1 Typhoon frequency of each city in Yangtze River Delta Region (1949 - 2010)

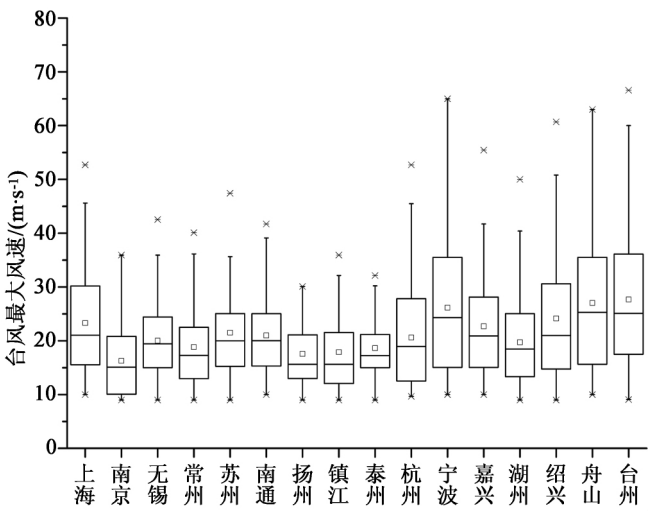


图 2 长三角各城市台风最大风速箱图(1949 - 2010 年)
Fig. 2 Box plot of typhoon maximum wind speed of each city in the Yangtze River Delta (1949 - 2010)

将最大风速如表 1 所示分为 7 个区间 ,分别统计各城市落在各个风速区间内的影响台风个数。结果显示 ,16 个城市均未遭受到最大风速强度达到 $70\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的台风侵袭 ,仅有宁波、绍兴、舟山和台州等城市遭受过强度为 $59\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上台风影响;上海、无锡、苏州、杭州、宁波、绍兴、舟山和台州等市受到过强台风($>42\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)的影响;而南京(1 次) 、扬州(0 次) 、镇江(1 次) 和泰州(0 次) 几乎没有遭受过台风及台风以上级别的热带气旋影响;无锡(4 次) 、常州(3 次) 、南通(6 次) 和湖州(5 次) 仅受到过为数不多的台风及台风以上级别的热带气旋影响。总体来看 ,台州、舟山、绍兴、宁波、嘉兴和上海等 6 个城市受到的强台风影响较多 ,尤其是台州、舟山、绍兴和宁波遭受极端台风事件的影响概率较大;其他长三角城市遭受的台风数量少、强度很低。

表 1 长三角各城市台风最大风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)分组频次统计(1949–2010 年)
Table 1 Frequency statistics of different typhoon intensitiy ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) groups for each city
in the Yangtze River Delta Region (1949–2010)

	次															
最大风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	上海	南京	无锡	常州	苏州	南通	扬州	镇江	泰州	杭州	宁波	嘉兴	湖州	绍兴	舟山	台州
<25	40	42	44	47	46	41	38	44	44	47	42	42	45	48	42	44
25~32	16	8	10	11	11	9	6	10	10	13	16	12	12	13	16	18
33~42	9	1	3	3	6	6	0	1	0	6	15	11	4	13	19	17
43~49	2	0	1	0	2	0	0	0	0	1	5	0	0	3	4	8
50~58	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1	2	3	3
59~69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2
≥ 70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.3 各城市台风最大风速极值分布

假设一定区域每年遭受的台风强度是独立同分布事件,运用极值理论可以计算极端事件发生的概率。运用超阈值模型,将各城市影响范围内的台风最大风速值作为样本,选取合适的阈值,拟合 GPD 模型,从而得到各城市可能遭受的台风最大风速极值的概率分布。

以上海市为例,在 R 语言中运用 extRemes 工具^[21]进行极值分析的步骤如下:

(1) 选取阈值

由图 3 可知,当阈值在 10~25 之间时,平均剩余寿命曲线近似为直线。 $u=26$ 时,曲线出现突变,此后由于数据量的减少,置信区间的范围逐渐增大,可信度下降。图 4 呈现出相似的趋势,但在 20~25 之间最为稳定。因此 $\mu=20$ 是一个合适的阈值选择。

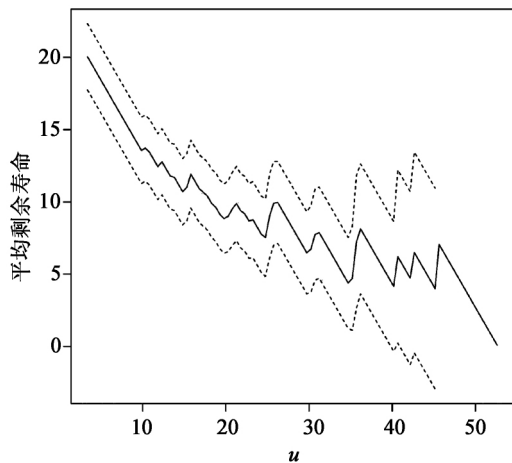


图 3 上海市台风最大风速平均剩余寿命图
Fig.3 Mean residual life plots of typhoon maximum wind speeds in Shanghai Municipality

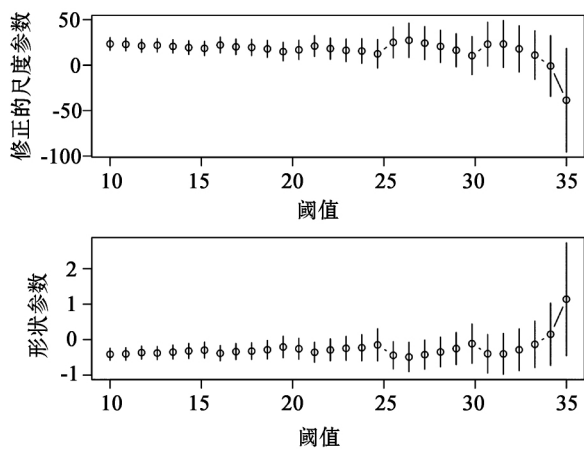


图 4 上海市台风最大风速关于不同阈值的参数估计
Fig.4 Parameter estimates against threshold for typhoon maximum wind speeds of Shanghai Municipality

(2) 拟合 GPD 模型

设定阈值为 20,最大似然法拟合 GPD 参数的结果是: $\sigma=11.22(\pm 2.44)$ $\xi=-0.23(\pm 0.15)$ 。

(3) 模型检验

图 5 给出了模型拟合诊断图。概率图和分位数图中,样本大多分布在斜率为 1 的对角线附近;重现水平图中,样本大多在中央的模型估计的重现水平线附近,且均在 95% 的置信区间内;密度函数图中样本的直方图与模型估计的概率密度曲线趋势一致。因此,GPD 模型对样本超出量的拟合效果较好的结论是可以接受的。同时对 GPD 模型模拟结果进行 χ^2 检验 $p=0.54$,大于 0.05,通过检验。因此,该模型能够合理地模拟上海市大于 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的台风最大风速的概率分布。

同样的,对其他 15 个城市台风最大风速样本做极值分析,GPD 拟合结果如表 2 所示。由于均小于零,为短尾分布,具有上限值,因此对每个城市计算台风最大风速的最大可能值,图 6 中给出了各城市最大可能风

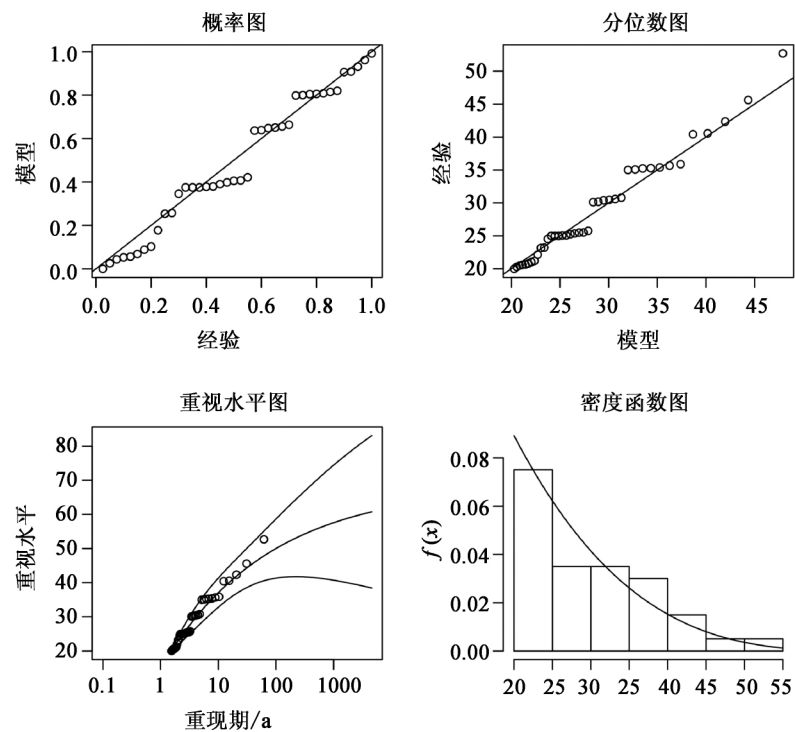


图 5 上海市台风最大风速 GPD 模型拟合诊断图

Fig. 5 Diagnostic plots of GPD model for typhoon maximum winds of Shanghai Municipality

速的分级图。台州、杭州、宁波、绍兴和舟山的最大可能风速均在 $70\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,上海、嘉兴、湖州、无锡和苏州的最大可能风速在 $50\sim70\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,即这些城市可能遭遇超强台风的影响,而南通、常州、镇江、南京、泰州、扬州等城市的最大可能风速都低于 $50\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,尤其是扬州,仅为 $33.05\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (台风级别),可见这几个城市的台风灾害危险性偏低,遭遇台风巨灾的可能性均较低。

根据模型拟合结果,各城市 10、20、50、100、500 a 一遇台风最大风速最大似然估计及其 95% 置信区间如表 3 所示。台州市 10 a 一遇台风最大风速达到 $49.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,是所有城市中最大的;舟山、宁波、绍兴等均达到了 $40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上;常州、镇江、南京、泰州、扬州等均低于 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,扬州最低,仅为 $23.93\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。对于 500 a 一遇台风最大风速,台州市最高为 $68.39\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,宁波、绍兴、舟山等均超过了 $60\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,杭州、上海、嘉兴、湖州、苏州等城市均超过 $50\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,南通和常州分别为 44.0 和 $41.47\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,而镇江、南京、泰州和扬州则低于 $40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。总体上来看,台州、绍兴、宁波、舟山等 4 个长三角东南部的城市 10 a 一遇到 100 a

表 2 长三角各城市台风最大风速 GPD 模型拟合结果
Table 2 Fitting results of GPD model for typhoon maximum wind speed of each city in the Yangtze River Delta Region

城市	阈值/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	σ	σ 标准差	ξ	ξ 标准差
上海	20	11.22	2.44	-0.23	0.15
南京	10	10.78	2.07	-0.35	0.12
无锡	15	9.40	2.07	-0.21	0.16
常州	13	11.67	2.24	-0.36	0.13
苏州	17	12.10	2.64	-0.30	0.16
南通	16	12.83	3.14	-0.41	0.19
扬州	19	5.43	1.83	-0.39	0.26
镇江	18	7.60	2.03	-0.33	0.19
泰州	15	7.71	1.97	-0.33	0.21
杭州	20	10.60	2.63	-0.19	0.18
宁波	20	16.66	2.83	-0.30	0.11
嘉兴	25	11.15	3.01	-0.26	0.17
湖州	17	11.62	2.52	-0.26	0.13
绍兴	19	15.21	2.91	-0.28	0.13
舟山	25	14.62	2.78	-0.31	0.12
台州	20	18.29	2.87	-0.33	0.10

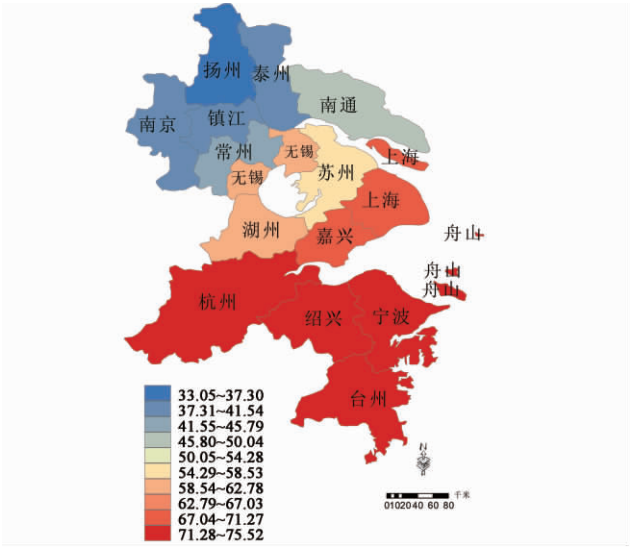


图 6 长三角各城市台风最大可能风速($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)分级图
Fig. 6 Maximum possible typhoon wind speed($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) for each city in the Yangtze River Delta Region

一遇的台风最大风速在 $40 \sim 70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,杭州、上海、嘉兴、湖州、无锡和苏州等长三角中部城市的则在 $30 \sim 60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,南通和常州这两个偏北部城市集中在 $25 \sim 45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的范围内,而镇江、南京、泰州和扬州这 4 个北部城市则集中在 $20 \sim 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的范围内。

表 3 长三角各城市不同重现期台风最大风速的最大似然估计值及 95% 置信区间
Table 3 The maximum likelihood estimates of typhoon maximum wind speeds of different return periods for each city in YRD and their 95% confidence intervals $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

重现期/a		台州	杭州	宁波	绍兴
重现	10	49.65 (45.65 55.37)	34.92 (29.31 40.27)	46.14 (43.11 51.99)	42.77 (38.85 48.71)
水平	20	54.93 (50.22 62.94)	39.94 (32.47 49.31)	51.62 (47.96 59.87)	48.21 (43.40 57.40)
(95%	50	60.30 (54.86 72.78)	45.63 (36.0 64.34)	57.31 (52.99 70.62)	53.98 (48.21 70.19)
置信	100	63.40 (57.54 79.96)	49.32 (38.30 70.71)	60.69 (55.97 78.82)	57.47 (51.12 79.12)
区间)	500	68.39 (61.86 90.69)	56.21 (42.60 82.62)	66.26 (60.90 89.35)	63.39 (56.07 88.38)
重现期/a		舟山	上海	嘉兴	湖州
重现	10	46.29 (42.80 51.58)	37.08 (33.43 42.17)	37.05 (34.24 42.36)	32.52 (30.20 37.58)
水平	20	51.29 (46.99 58.78)	41.72 (37.59 50.12)	42.15 (38.16 49.80)	37.33 (34.30 44.49)
(95%	50	56.44 (51.30 68.91)	46.81 (41.78 62.99)	47.63 (43.46 62.88)	42.50 (38.70 54.82)
置信	100	59.48 (53.84 76.84)	50.00 (44.40 69.22)	51.00 (46.20 71.63)	45.66 (41.39 63.46)
区间)	500	64.45 (58.00 86.48)	55.70 (48.96 78.56)	56.83 (50.96 82.10)	51.15 (46.06 72.96)
重现期/a		无锡	苏州	南通	常州
重现	10	30.06 (26.76 34.53)	34.26 (31.02 38.89)	32.02 (30.74 35.92)	29.52 (28.47 33.23)
水平	20	34.05 (30.31 41.79)	38.58 (34.52 45.71)	35.75 (34.17 41.49)	33.02 (31.74 38.23)
(95%	50	38.50 (34.14 53.74)	43.07 (38.16 55.91)	39.29 (37.43 49.64)	36.48 (34.99 45.04)
置信	100	41.34 (36.40 58.42)	45.73 (40.33 64.18)	41.20 (39.19 56.10)	38.44 (36.82 50.18)
区间)	500	46.51 (39.90 66.95)	50.13 (43.90 71.41)	44.00 (41.76 64.12)	41.47 (39.66 57.52)
重现期/a		镇江	南京	泰州	扬州
重现	10	26.69 (25.92 29.78)	24.89 (23.94 28.47)	25.88 (23.98 28.75)	23.93 (23.09 26.44)
水平	20	29.64 (28.61 34.09)	28.30 (27.13 33.25)	28.46 (26.11 33.64)	26.07 (24.87 29.05)
(95%	50	32.63 (31.34 41.39)	31.71 (30.33 39.94)	31.09 (28.29 41.71)	28.15 (26.59 34.66)
置信	100	34.37 (32.92 47.19)	33.65 (32.14 45.11)	32.62 (29.55 45.85)	29.30 (27.55 39.51)
区间)	500	37.15 (35.46 52.16)	36.68 (34.98 51.74)	35.09 (31.58 50.17)	31.04 (29.71 42.96)

3 结论与讨论

根据以上分析得到的结论如下:

- (1) 对于长三角各城市来说,受台风影响的频次呈现从东南至西北递减的趋势。16 个城市的台风影响频次为平均 1.0 次/a,杭州、嘉兴、上海一线以北城市低于该平均值,以南(包括这 3 个城市)高于该平均值,台州市最高,为 1.48 次/a,扬州市最低,为 0.71 次/a。
- (2) 各城市遭遇的历史台风最大风速强度呈现类似的趋势。台州、舟山、绍兴、宁波、嘉兴和上海等 6 个城市受到的强台风影响最多,尤其是台州、舟山、绍兴和宁波遭受极端台风事件的影响概率较大,其它城市则几乎没有遭遇过超强台风和强台风的影响。
- (3) 根据极值理论分析的结果,台州、绍兴、宁波和舟山等 4 个城市遭遇超强台风的概率最大,杭州、上海、嘉兴、湖州、无锡和苏州等城市次之,其他城市遭遇超强台风的概率都比较低。
- 根据以上结果可知,长三角地区的台风灾害主要集中在浙江省的 7 个城市以及上海市,对江苏省的 8 个南部城市的影响很少。综合台风影响频次、强度和极端台风重现水平的分析结果,可以将这 16 个城市根据台风灾害危险性级别分为 3 类:“高危险”城市,包括台州、绍兴、宁波和舟山;“中危险”城市,包括杭州、上海、嘉兴、湖州、无锡和苏州;“低危险”城市,包括南通、常州、镇江、南京、泰州和扬州。针对这 3 类城市,应分别采取相应的防灾减灾措施。应重点关注“高危险”城市的台风灾害防御工作,增强基础设施设防能力的同时,提高居民防灾意识,并通过保险等转移风险;对“中危险”城市除了采取基本的防御措施和手段外,还

应该要警惕概率较小的极端事件的发生,重大的损失往往是由这类事件造成的;对于“低危险”城市,也不应该完全忽视台风的影响,应做好基本的防御工作。

然而,风险不仅与致灾因子的强度有关,而且与承灾体的脆弱性以及区域抗灾能力等有关。因此,在分析风险状况时,需要结合相应承灾体的脆弱性来看。例如尽管上海、杭州的台风灾害危险性不及台州、绍兴等城市,然而,由于这两个城市经济发展水平在全国名列全茅,并且人口密度较高,各种产业链相互依存,因此,一旦巨灾发生,就有可能造成严重的人员伤亡以及产业链中断带来的巨额损失。在这种情况下,上海、杭州等城市的台风灾害风险可能比台州、绍兴要高得多。因此,今后因进一步分析该地区各城市人口、财产和基础设施等承灾体的台风脆弱性,定量分析该地区的台风灾害风险状况,为降低台风灾害风险提供科学的评估结果。

参考文献:

- [1] 中国气象局上海台风研究所. 西北太平洋及南海海域热带风暴生成频数和登陆我国热带风暴频数序列 [EB/OL]. <http://www.typhoon.gov.cn/data/detail.php?id=36&type=5> 2009-6-3.
China Meteorological Administration Shanghai Typhoon Institute (CMA-STI). Tropical storm frequency generating from Northwest Pacific and South China Sea and landfall frequency series of tropical storms in China [EB/OL]. <http://www.typhoon.gov.cn/data/detail.php?id=36&type=5> 2009-6-3. (in Chinese)
- [2] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践 [J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 6-17.
SHI Peijun. Second discussion of theory and practice for systematic studies on disasters [J]. Journal of Natural Disasters, 1996, 5(4): 6-17. (in Chinese)
- [3] 孙绍骋. 灾害评估研究内容与方法探讨 [J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 122-130.
SUN Shaocheng. A study on the contents and methods of disaster assessment [J]. Advances in Earth Science, 2001, 20(2): 122-130. (in Chinese)
- [4] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践 [J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 1-9.
SHI Peijun. Third discussion of theory and practice for systematic studies on disasters [J]. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(3): 1-9. (in Chinese)
- [5] 梁必骥, 梁经萍. 中国台风灾害及其影响的研究 [J]. 自然灾害学报, 1995, 4(1): 84-91.
LIANG Biqi, LIANG Jingping. Study of typhoon disasters and its affects in China [J]. Journal of Natural Disasters, 1995, 4(1): 84-91. (in Chinese)
- [6] Batts M, Simiu E, Russell L. Hurricane wind speeds in the United States [J]. Journal of the Structural Division, 1980, 106(10): 2001-2016.
- [7] Coles S, Casson E. Extreme value modelling of hurricane wind speeds [J]. Structural Safety, 1998, 20(3): 283-296.
- [8] FEMA. HAZUS-MH MR3 Technical Manual-multi-hazard Loss Estimation Methodology Hurricane Model [R]. Washington: D. C. F. E. M. A. Department of Homeland Security, Mitigation Division. 2003.
- [9] Emanuel K, Ravela S, Vivant E et al. A statistical deterministic approach to hurricane risk assessment [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2006, 87(3): 299-314.
- [10] Malmstadt J, Elsner J, Jagger T et al. Risk of strong hurricane winds to Florida Cities [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2010, 49: 2121-2132.
- [11] Neumann C J. The National Hurricane Center Risk Analysis Program (HURISK) [R]. Coral Gables: National Hurricane Center, 1991.
- [12] Lin N, Emanuel K, Smith J et al. Risk assessment of hurricane storm surge for New York City [J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115 (D18): D18121.
- [13] Coles S. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values [M]. Springer Verlag 2001.
- [14] 史道济. 实用极值统计方法 [M]. 天津: 天津科学技术出版社 2006.
SHI Daoji. Practical Extreme Value Statistical Method [M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 2006. (in Chinese)
- [15] 欧阳资生. 极值理论: 巨灾保险的统计理论基础 [J]. 统计与决策, 2006(21): 13-14.
OU' yang Zisheng. Extreme value theory: statistical theory basis for catastrophe insurance [J]. Statistics and Decision, 2006(21): 13-14. (in Chinese)
- [16] Casson E, Coles S. Extreme hurricane wind speeds: estimation, extrapolation and spatial smoothing [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1998, 74-76: 131-140.
- [17] Palutikof J, Brabson B, Lister D, et al. A review of methods to calculate extreme wind speeds [J]. Meteorological Applications, 1999, 6(2): 119-132.
- [18] Walshaw D. Modelling extreme wind speeds in regions prone to hurricanes [J]. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 2000, 49(1): 51-62.
- [19] Jagger T, Elsner J. Climatology models for extreme hurricane winds near the United States [J]. Journal of Climate, 2006, 19(13): 3220-3236.
- [20] Goldstein J, Langlois J D, DiMitrijevic M et al. Approaches for extreme wind speed assessment: a case study [C]//7th World Wind Energy Conference 2008. St. Lawrence College, Kingston, Ontario, Helimix Energy Inc. 2008.
- [21] Gilleland E, Katz R. extRemes: Extreme value toolkit. R package version 1.62 [CP/OL]. 2010. <http://CRAN.R-project.org/package=extRemes>.