

基于近20 a历史数据的中国沿海城市台风灾害风险评估

王洁^{1,2}, 杨奕杰¹, 王杰¹, 吕阳阳¹, 栾奎峰^{1,2}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海河口海洋测绘工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 基于2000—2018年的历史资料,运用离差标准法、AHP层次分析法和GIS技术,以台风致灾、社会防灾减灾和自然承灾为子系统建立评价模型,对中国遭遇台风灾害严重的主要沿海城市进行了灾害风险评估和灾害等级分析。结果显示:沿海城市台风灾害综合风险地域性差异明显,从南到北总体呈现递减趋势。山东省是受台风灾害风险最低的区域,广东省和福建省是受台风灾害影响的高风险区,需要重点加强台风防灾系统建设。

关键词: 台风灾害; 风险评估; AHP; 中国沿海城市; GIS

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2021)05-0024-07

1 引言

台风具有极强的破坏性,我国濒临世界上最为频繁和严重的台风发源地——西太平洋,从沿海到内陆每年都经受因台风造成的巨大损失^[1]。在台风灾害风险管理中,通过风险评估进行台风灾害风险区划是台风风险管理的重要依据,是防御台风灾害的基础^[2]。

台风灾害风险评估方法众多,涉及领域广且具有学科交叉的特点。经过长期发展,台风灾害风险评估已从对致灾因子的单一研究转变为结合灾害地区的自然和社会属性进行全面的评估研究^[3]。常用的评估方法包括层次分析法(Antalytic Hierarchy Process, AHP)、专家打分法、典型相关分析法、模糊风险评估和神经网络^[4]等方法。评估体系与方法的多样性是现如今台风灾害研究的特点,而运用数理统计与地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的结合已经成为了台风灾害评估的主要趋势。

本文借鉴国内外研究经验,基于2000—2018年台风灾害和自然社会经济资料,选取中国遭受台风

灾害严重的39个沿海城市作为研究区域,建立多因子评价体系进行台风灾害风险评估^[5],并进行研究区台风灾害风险区划,展示台风灾害风险的等级分布。不同于大多数台风风险评估限于小区域或仅集中于致灾因素分析,本文进行大范围、长时间和多因子的沿海地区台风灾害风险评估,突出台风灾害风险的等级和具体成因,为中国沿海省市防灾减灾政策制定提供一定依据。

2 资料来源与处理方法

2.1 资料来源

本文根据台风成灾机制,选取研究区2000—2018年间的相关数据进行分析。具体数据来源如下:

(1)台风灾情数据。来源于日本国立情报学研究所(National Institute of Informatics, NII, 网址: <https://www.nii.ac.jp/>)台风数据库中2000—2018年共17 235条西北太平洋台风路径数据,包括台风登陆点编号、时间、位置和强度等。

收稿日期: 2020-08-01; 修回日期: 2020-11-04。

基金项目: 上海市海洋局科研项目(沪海科2019-05、沪海科2020-05); 上海海洋大学博士启动项目(A2-0203-00-100345)。

作者简介: 王洁(1982-), 女, 副教授, 博士, 主要从事海洋遥感研究。E-mail: wangjie@shou.edu.cn

通讯作者: 栾奎峰(1981-), 男, 副教授, 博士, 主要从事主动光学海洋测绘与激光雷达成像质量控制方面研究。E-mail: kfluan@shou.edu.cn

(2)中国地级市行政区划数据,选取表1中台风受灾严重的39个沿海城市为研究区域。

(3)自然地理及社会经济指标数据。来源于2000—2018年间公开发表的中国统计年鉴和研究

表1 研究区域按省份划分

省份/直辖市	山东省	江苏省	上海	浙江省	福建省	广东省	海南省
城市	青岛、烟台、威海、日照、临沂	苏州、连云港、盐城、南通	上海市	杭州、宁波、嘉兴、绍兴、台州、温州	福州、厦门、漳州、莆田、泉州、宁德	广州、深圳、珠海、汕头、佛山、湛江、茂名、江门、惠州、汕尾、阳江、东莞、中山、潮州、揭阳	海口、三亚

区各省市统计年鉴、公报及地方志等。

2.2 研究方法

2.2.1 台风灾害风险理论

根据台风灾害风险理论,台风灾害综合风险是由台风致灾因子、台风灾害的承灾体脆弱性和暴露性以及区域防灾减灾能力共同组成的复杂体系^[6]。结合该理论,综合考虑各风险要素,台风灾害风险评估体系可划分为台风致灾、社会防灾减灾及自然承灾这3个子系统,参考相关研究对其使用多因子综合描述^[2,5]来建立台风灾害风险评估体系。本文主要针对强台风灾害进行研究分析,因此台风致灾因素选择台风频率和强度作为因子,自然承灾方面选择地形和绿化覆盖等因素,社会防灾减灾因素选用人口、经济、交通和医疗等多因子,完整体系如图1所示。

2.2.2 权重确定

由于各风险指标对于台风灾害风险的重要程度不同,因此采用AHP^[7]来确定评价体系中各指标因子的权重系数。在构造目标层、领域层和指标层3层组成的层次树后,具体的指标权重确定步骤为:

(1)建立判断矩阵。通过建立矩阵两两相互比较,尽可能减少性质不同的因素相互比较的困难,以提高准确度。 A 为图1中目标层台风灾害风险, B_1 为子系统台风致灾因素, B_2 为子系统社会防灾减灾因素, $C_1—C_{14}$ 分别为从左到右14个指标因子。我们构建 $A—B$ 为3大子系统判断矩阵, $B_i—C$ 为子系统下指标因子判断矩阵。

$$A = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} \end{bmatrix}, B_i = \begin{bmatrix} C_{i1} & \cdots & C_{ij} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{i1} & \cdots & C_{ij} \end{bmatrix},$$

$$(i=1,2,\cdots,n; j=1,2,\cdots,n)$$

(2)使用和积法求最大特征根:

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (1)$$

并得到对应于最大特征值 λ 的特征向量 W ,向量归一化处理后进行层次单排序,比较确定各因素重要性。

(3)经一致性检验通过后计算最终指标层因素权重,台风灾害风险评估体系权重系数如表2所示。

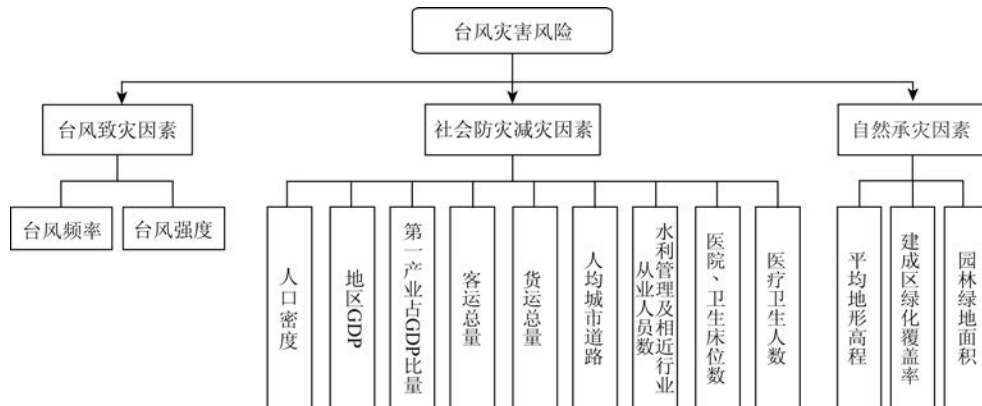


图1 台风灾害风险评估指标体系

表2 风险评价体系各层次各指标权重系数表

指标层	领域层权重			指标层因素总权重
	台风致灾因素	社会防灾减灾因素	自然承灾因素	
	0.539 0	0.163 8	0.297 3	
台风频率	0.333 3	—	—	0.179 7
台风强度	0.666 7	—	—	0.359 3
人口密度	—	0.267 2	—	0.043 8
地区 GDP	—	0.142 1	—	0.023 3
第一产业占 GDP 的比重	—	0.142 1	—	0.023 3
客运总量	—	0.046 6	—	0.007 6
货运总量	—	0.046 6	—	0.007 6
人均城市道路	—	0.071 1	—	0.011 6
水利管理及相近行业从业人员数	—	0.071 1	—	0.011 6
医院、卫生床位数	—	0.142 1	—	0.023 3
医疗卫生人数	—	0.071 1	—	0.011 6
平均地形高程	—	—	0.600 0	0.178 4
建成区绿化覆盖率	—	—	0.200 0	0.059 5
园林绿地面积	—	—	0.200 0	0.595 0

2.2.3 指标风险评估计算

使用极差标准化方法对 2000—2018 年间各指标数据进行处理,计算公式如下:

当 S_{ij} 为正指标时:

$$S_{ij} = (P_{ij} - \min P_{ij}) / (\max P_{ij} - \min P_{ij}) \quad (2)$$

$(i = 1, 2, 3, \Lambda, m; j = 1, 2, 3, \Lambda, n)$

当 S_{ij} 为负指标时:

$$S_{ij} = (\max P_{ij} - P_{ij}) / (\max P_{ij} - \min P_{ij}) \quad (3)$$

$(i = 1, 2, 3, \Lambda, m; j = 1, 2, 3, \Lambda, n)$

式中, S_{ij} 为标准化后的某指标值; P_{ij} 代表标准化前 i 市 j 指标值; m 为地级市数量; n 为指标个数。

之后将结果按式(4)进行加权计算^[8]:

$$R = \sum_{k=0}^n S_k \times W_k \quad (4)$$

式中, R 为综合风险; S_k 为标准化后的第 k 个指标值; W_k 为指标 k 的权重。

综合得到研究区各指标风险评价得分,逐市逐指标进行 2000—2018 年得分平均并计算最终结果。进行台风灾害风险评估分析时,为了使结果明显,我们将综合风险值进行 5 类排序输出:极低风险、低风险、中等风险、高风险和极高风险,以此进行台风

灾害风险等级的划分^[9]。为了使结果显示更加直观,在风险等级的输出过程中,3 个子系统的等级确定采用自然断点分级法,综合风险等级确定采用人工和等隔分类相结合的方法。

3 风险评估结果与分析

3.1 台风致灾因素风险区划

根据 2000—2018 年西北太平洋台风登陆点数据,统计研究区内各市的总台风数量与强度。由于台风影响范围较大,即使周边过境台风都可能对该城市造成十分大的影响。经查阅相关资料,台风对距城市 220 km 以内的地区都会产生不可忽视的影响,因此我们对各市的登陆台风和缓冲区 110 km 和 220 km 内的过境台风进行综合考虑。对于未登陆该城市的台风强度的赋权,按照距研究区距离由近到远依次递减的原则进行计算,之后各范围加权累计再除以年份得到台风年均强度,数量和强度统计结果如图 2 所示。综合分析可知湛江、阳江、茂名、江门、福州和漳州等城市受台风影响频繁,影响台

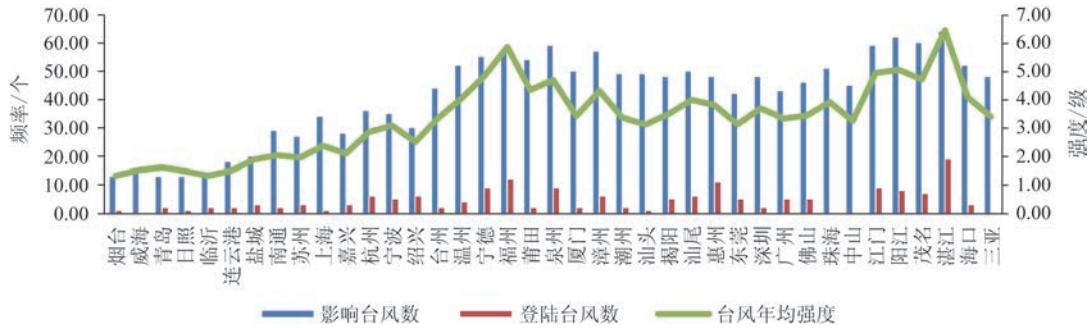


图2 2000—2018年研究区台风数量和强度统计图

风数量达到60个左右,其中湛江市受台风影响最大,2000—2018年间的登陆台风数达到了19个,台风平均年强度也是研究区内最高的,达到6.46级。青岛、烟台、威海、日照和临沂等城市受台风灾害影响较小,19 a间的影响台风数不足20个,台风年均强度均在2级以下。

采用自然断点分级法对风险等级进行确定,分析所得台风风险评价等级结果如表3所示。广东省和福建省是台风致灾风险最大的两个省份,广东省的湛江、茂名、阳江和江门等城市和福建省的泉州、福州和宁德等市都处于台风致灾风险的极高风险区,且广东和福建两省均无极低风险区域。致灾系统的极低风险区集中分布在江苏省北部及山东省,由于距离台风发源地较远,台风的数量和强度都较低。江苏南部、上海市及浙江省东南部城市为低风险区,由图2可知这些城市的台风登陆数量并不多,台风致灾风险主要来自于过境台风的波及。总之,受西北太平洋台风发源地的距离影响,中国沿海城市的台风致灾风险南方比北方大,地域差异明显。

3.2 社会防灾减灾因素风险区划

受地理条件和政策的影响,中国沿海城市的经

济发展多数处于较高水平,因此在表4所示的社会防灾减灾因素台风风险评价结果中可以看出,研究区内各城市之间的风险差异并不明显,大部分台风都处于中低风险区。中等风险和低风险区的城市均占有研究城市的41%,15%的地级市处于此因素的高风险区域,另有3%处于极高风险区。按省份进行分析,研究区中山东省和浙江省的大部分城市、江苏省的苏州、福建省的福州和泉州以及广东省的惠州、东莞和江门等市为低风险区域,分析因为这些城市管理和医疗系统完善,人口密度也较其他地区低,可以有效减少台风灾害带来的损害。而广东省的阳江、湛江、汕尾、揭阳和汕头等城市经济水平较其他沿海城市低,社会防灾工程建设不够完善,且第一产业发展水平高,属于社会防灾减灾子系统的中高风险区。上海和深圳经济发展水平极高,医疗和城市设施系统完善,但由于人口密度大、地区国内生产总值极高,且发展模式受环境影响较大,所以遭受台风灾害时的损失会更大,社会防灾减灾子系统风险处于中高级水平,Yin等^[8]对中国沿海台风灾害脆弱性的研究也得到相似结果。分析还发现,杭州市作为优秀的旅游城市,凭借良好的绿化环境、较高的经济水平和较低的人口密度成为了社会防灾减灾因素台风风险最低的城市,而

表3 研究区台风致灾因素风险得分等级表

等级	得分范围×100	城市名称
极低风险	$0 \leq R \leq 6.44$	烟台、临沂、日照、青岛、威海;连云港、盐城
低风险	$6.44 < R \leq 18.82$	苏州、南通;上海;嘉兴、绍兴、杭州
中等风险	$18.82 < R \leq 28.96$	宁波、台州;厦门;东莞、广州、中山、汕头、佛山、潮州、揭阳、深圳;三亚
高风险	$28.96 < R \leq 36.38$	莆田、漳州;温州;惠州、珠海、汕尾;海口
极高风险	$36.38 < R \leq 53.9$	宁德、泉州、福州;茂名、江门、阳江、湛江

表 4 研究区社会防灾减灾因素风险得分等级表

等级	得分范围×100	城市名称
极低风险	0	
低风险	$0 < R \leq 6.83$	威海、烟台、青岛、临沂;苏州;杭州、温州、绍兴、宁波、台州;珠海、惠州、江门、东莞;泉州、福州
中等风险	$6.83 < R \leq 7.61$	广州、中山、佛山、潮州;厦门、漳州、宁德、莆田;嘉兴;南通、盐城、连云港;上海;日照;海口、三亚
高风险	$7.61 < R \leq 8.35$	深圳、湛江、阳江、茂名、揭阳、汕尾
极高风险	$8.35 < R \leq 9.78$	汕头

汕头市的风险最高,是唯一一个处于极高风险区的城市,需要着重完善台风防灾工程建设,提高城市绿化水平,制定台风防灾减灾措施。

3.3 自然承灾因素风险区划

自然承灾子系统评估体系中的3个指标因子即平均地形高程、建成区绿化覆盖率及园林绿地面积,均与台风灾害风险相关。从指标数据来看,福州、厦门、青岛、临沂、烟台、威海和杭州等城市平均地形高程较高,上海、杭州、苏州、青岛、广州、深圳、东莞和珠海等城市绿化水平相比其他城市较高。综合表5自然承灾风险等级评估结果,山东省的青岛、烟台、威海和临沂,福建省的福州和厦门,广东省的广州、深圳和珠海都处于低或极低风险区;江

苏省的连云港、盐城和南通,浙江省的嘉兴、宁波和温州,福建省的泉州和宁德,广东省的汕头、揭阳、汕尾、中山和佛山,海南省的海口等城市为极高风险区。自然承灾子系统的评估中地形高程权重系数较大,所以评估结果在空间分布上具有连续性。

3.4 研究区台风灾害风险区划

进行综合风险等级区划,对应的风险得分范围见表6。台风灾害综合风险地域性差异明显,总体来说,从南到北呈现递减趋势。以省份为单位分析,低风险区的城市全部位于山东省内,江苏省、上海市和浙江省南部的城市为中等风险,极高风险区的城市位于福建省和广东省南部,其余城市为台风灾害高风险区。广东省和福建省作为台风灾害风

表 5 研究区自然承灾因素风险得分等级表

等级	得分范围×100	城市名称
极低风险	$0 \leq R \leq 8.97$	厦门
低风险	$8.97 < R \leq 21.09$	临沂、烟台、威海、青岛;福州;珠海、深圳、广州
中等风险	$21.09 < R \leq 24.32$	上海;杭州;东莞、江门、湛江、茂名、惠州
高风险	$24.32 < R \leq 26.32$	日照;苏州;绍兴、台州;漳州、莆田;阳江、潮州;三亚
极高风险	$26.32 < R \leq 27.90$	南通、连云港、盐城;宁波、嘉兴、温州;泉州、宁德;佛山、揭阳、中山、汕尾、汕头;海口

表 6 台风风险得分等级表

等级	得分范围×100	城市名称
极低风险	$0 < R \leq 17$	
低风险	$17 < R \leq 34$	临沂、青岛、烟台、威海、日照
中等风险	$34 < R \leq 51$	连云港、盐城、苏州、厦门、南通、嘉兴、上海、杭州、绍兴
高风险	$51 < R \leq 68$	东莞、广州、宁波、深圳、珠海、台州、中山、惠州、潮州、佛山、三亚、汕头、揭阳、海口、温州、汕尾
极高风险	$68 < R \leq 85.69$	莆田、漳州、福州、江门、茂名、泉州、宁德、阳江、湛江

险的重灾区,需要重点加强沿海城市的台风防灾工作。

经对比分析,综合风险的区划结果同国内台风灾害研究中引用度较高的文章结果高度吻合,如牛海燕等^[5]对1990—2007年中国沿海地区的台风灾害评价的结果显示,广东省台风灾害风险最高,浙江省和福建省其次;叶金玉等^[10]研究评选出中国台风灾害暴露性最高的10个单位,除本文未研究的区域外,湛江、宁德、福州、漳州、江门和茂名等城市均在本研究结果的极高风险区中,所以证明此本文研究有一定的合理性。

4 结语

本文以台风灾害风险理论为基础,基于AHP方法,综合2000—2018年的台风数据及自然社会因素数据,对中国沿海受台风灾害影响的39个城市进行了多因子的台风灾害风险评估,实现台风灾害风险分级分区。结果表明:

(1)在评估体系中,台风致灾因子的权重比例最大,台风数量和强度与台风发源地的位置距离相关,因此造成了台风灾害综合风险地域性差异明显,从南到北呈现递减趋势的结果。

(2)通过对子系统和综合评估体系的分析,台风致灾子系统的风险分布差异性最大,而社会防灾减灾子系统的风险分布差异最不明显。自然承灾子系统中风险等级受高程影响多为连续分布,其中宁德、汕尾、揭阳和嘉兴等城市因绿化不足造成风险较高,需要重点加强城市绿化建设。

本研究通过台风本身、自然和社会3个方面,分别展示了子系统风险等级区划及综合风险等级区划。在前人研究的基础上构建了由台风致灾、自然承灾和社会防灾减灾等子系统组成的更加全面有效的台风灾害风险评估体系,针对台风灾害严重的

中国沿海地区进行研究,分析了研究区2000—2018年间自然、经济和人文等多方面数据,得出了较为合理的分析结果。由于台风灾害评估尚在不断发展和完善中,因此本研究仍存在一些不足,一方面社会防灾减灾子系统中各社会指标数据通过国家及各地的统计文献获得,各地各级的统计标准不同可能使得评估结果有少许偏差,今后的研究中需要收集更加详细的指标数据进行校准;另一方面海防工程作为台风灾害风险的影响因素之一也应被列为评估体系的一部分,但由于研究区涉及多个省份,而各地海防工程建设标准不同,对台风灾害风险的影响程度难以量化,因此无法进行统一考量,若日后针对海防工程建设完善的江浙一带进行台风灾害研究,必将其列入系统统计分析。

参考文献:

- [1] 王慧民. 福建省近500a台风灾害多尺度时空数据库构建及动态分析[D]. 福州: 福建师范大学, 2013.
- [2] 周小梅, 杜清运, 彭瑞. 浙江省台风灾害风险区划研究[J]. 地理空间信息, 2018, 16(8): 12-14, 27.
- [3] 岳心阳, 管长龙. 基于1985—2010年历史资料的山东省台风灾害风险评估[J]. 中国海洋大学学报, 2014, 44(8): 1-10.
- [4] 朱智慧, 曹庆, 徐杰. 神经网络方法在上海沿海海浪预报中的应用[J]. 海洋预报, 2018, 35(05): 25-33.
- [5] 牛海燕, 刘敏, 陆敏, 等. 中国沿海地区近20年台风灾害风险评价[J]. 地理科学, 2011, 31(6): 764-768.
- [6] 尹宏伟. 山东沿海地区台风灾害评估研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2016.
- [7] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 69-84, 224-249.
- [8] Yin J, Yin Z N, Xu S Y. Composite risk assessment of typhoon-induced disaster for China's coastal area[J]. Natural Hazards, 2013, 69(3): 1423-1434.
- [9] 殷洁, 戴尔阜, 吴绍洪. 中国台风灾害综合风险评估与区划[J]. 地理科学, 2013, 33(11): 1370-1376.
- [10] 叶金玉, 王舒凡, 丁凤. 基于空间参数的中国沿海地区台风灾害暴露性分析[J]. 防灾科技学院学报, 2019, 21(1): 82-88.

Typhoon disaster risk assessment of coastal cities in China based on historical data over the past 20 years

WANG Jie^{1,2}, YANG Yi-jie¹, WANG Jie¹, LYU Yang-yang¹, LUAN Kui-feng^{1,2}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306 China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Estuarine and Oceanographic Mapping, Shanghai 201306 China)

Abstract: Based on historical data from 2000 to 2018, using deviation standardization, AHP method and GIS technology, an evaluation model is established with typhoon disaster, social disaster prevention and mitigation, and natural disaster bearing as subsystems, which is used to conduct disaster risk assessment and disaster level analysis for major coastal cities in China that are severely affected by typhoon disasters. The results show that the regional difference of typhoon disaster risk in coastal cities is significant, with an overall decreasing trend from south to north. Shandong province is the region with the lowest risk of typhoon disasters, while Guangdong and Fujian provinces are high-risk areas affected by typhoon disasters. Therefore, it is necessary to strengthen the typhoon disaster prevention systems.

Key words: typhoon disaster; risk assessment; AHP; coastal cities in China; GIS