

宋阿伟,田红,王胜,等.2024.基于风雨综合指数的安徽省台风灾害房屋风险评估方法[J].暴雨灾害,43(3):363–370. SONG Awei, TIAN Hong, WANG Sheng, et al. 2024. Risk assessment method of housing damage by typhoon disaster based on comprehensive wind and rain intensity index in Anhui Province [J]. *Torrential Rain and Disasters*,43(3):363–370 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2023–073

基于风雨综合指数的安徽省台风灾害房屋风险评估方法

宋阿伟¹,田红¹,王胜¹,刘前²,谢五三¹,唐为安¹,戴娟¹,丁小俊¹,吴蓉¹

(1.安徽省气候中心,合肥 230031;2.蒙城县气象局,亳州 230031)

摘要: 台风致灾因子具有多重性,相对于其他灾种其风险评估更加复杂。采用安徽省81个国家气象站及1 035个区域气象站台风过程逐日降水量、最大风速资料,构建台风风雨综合指数;利用台风风雨综合指数及孕灾环境影响系数,开展台风致灾危险性评估;基于自然灾害风险系统理论,综合致灾危险性、承灾体暴露度和脆弱性信息,评估安徽省台风灾害房屋风险。结果表明:影响安徽省台风年均个数为1.9个,持续天数以2~4 d居多;台风降水南部多于北部、山区多于平原。台风致灾高风险区位于皖南山区和大别山区,较高风险区位于江淮之间东部,低风险区位于沿淮淮北大部及江淮之间西北部。台风灾害房屋高及较高风险区主要分布在大别山区、江淮之间东部及皖南山区,这些区域海拔总体较高,台风过境易引发山洪地质灾害,加之房屋脆弱性较高,房屋倒塌及损毁风险高;中等风险区位于沿淮至江淮之间、江南部分地区,呈零星分布;较低和低风险区位于淮河以北中西部、沿江部分地区及城市主城区。利用全省各县区台风造成的房屋倒塌数据,从空间一致性及散点相关对区划结果进行验证得到,区划结果与灾损具有高度的空间一致性,二者散点相关通过0.01的显著性水平检验,安徽省台风灾害房屋风险区划结果与实际情况基本吻合。

关键词: 台风灾害;风险评估;致灾因子;风雨综合指数;承灾体;栅格

中图分类号: P429

文献标志码: A

DOI: 10.12406/byzh.2023–073

Risk assessment method of housing damage by typhoon disaster based on comprehensive wind and rain intensity index in Anhui Province

SONG Awei¹, TIAN Hong¹, WANG Sheng¹, LIU Qian², XIE Wusan¹, TANG Weian¹,
DAI Juan¹, DING Xiaojun¹, WU Rong¹

(1. Anhui Province Climate Center, Heifei 230031; 2. Mengcheng County Meteorological Bureau, Bozhou 233500)

Abstract: Typhoon disaster factors show multiplicity, so the risk assessment of typhoon-related disasters is more difficult than other hazards. Using the typhoon precipitation and maximum wind speed data of 81 national meteorological stations and 1 035 regional automatic meteorological stations in Anhui Province, a comprehensive typhoon wind and rain intensity index is first constructed. Then the typhoon wind and rain intensity index and disaster pregnant environment impact coefficient are used to assess the risk of typhoon disasters. According to the theory of natural disaster risk assessment, the risk assessment of housing damage by typhoon disaster in Anhui Province is conducted by integrating disaster-causing hazards, exposure level and vulnerability of disaster-bearing bodies. The results show that Anhui Province is affected by about 1.9 typhoons per year on average, with a duration of 2–4 days. The results are as follows. The southern part and mountainous areas usually have more typhoon precipitation than the northern part and plain areas. The high-hazard region caused by typhoon disasters is mainly located in the southern mountainous and Dabie Mountains in Anhui Province, with the relatively high-hazard region in the east of Jianguhuai region, and the low-hazard area in most of the regions to the north of the Huaihe River and in the northwest of Jianguhuai region. The high and relatively high-risk area of housing damage caused by typhoon disasters is located in the Dabie Mountains, the eastern part of the Jianguhuai region, and the southern mountainous area in Anhui Province. These areas are generally high in elevation, and easily suffer from geological disasters and mountain floods during typhoon transit. In addition, the vulnerability of houses is high, which further causes a high risk of house collapse and damage. The medium-risk region is scattered in the Huaihe River region and Jiangnan region. Lower and low-risk ar-

收稿日期: 2023–04–19;定稿日期:2023–12–19

资助项目: 华东区域气象科技协同创新基金合作项目(QYHZF202309);中国气象局创新发展专项(CXFZ2023J007)

第一作者: 宋阿伟,主要从事气候影响评估研究。E-mail: songawei0306@sina.com

通信作者: 田红,主要从事气候应用服务研究。E-mail: linda2383@163.com

© Editorial Office of *Torrential Rain and Disasters*. OA under CC BY–NC–ND 4.0

areas are located in the central and western parts to the north of the Huaihe River, regions along the Yangtze River, and main urban areas. Using reports on house damage caused by typhoons from different counties in Anhui Province, the zoning results are verified through spatial consistency and scatter correlation. A high degree of spatial consistency between the risk zoning results and the actual damage, with scatter correlation between them passing a significance test of 0.01, indicating that the risk zoning results of housing damage by typhoon disaster in Anhui Province are basically consistent with the actual situation.

Key words: typhoon disaster; risk assessment; hazard factor; wind and rain intensity index; disaster bearing body; grid

引言

1947—1980年全球10种主要自然灾害中,由台风造成的死亡人数为49.9万人,占全球自然灾害死亡总人数的41%(任振球,2000)。西北太平洋台风有近50%影响我国,平均每年有7.2个台风造成明显灾情,所引起的直接经济损失约占当年GDP的0.4%,死亡人口每年约400人(雷小途等,2009;丁一汇等,2013;江漫和漆梁波,2016)。2022年西北太平洋和南海共有25个台风生成,有4个登陆我国。2305号台风“杜苏芮”停编后的残余环流仍继续北上,先后影响13省(区、市),河北临城(1 003 mm)、福建涵江(756 mm)、北京昌平(745 mm)和门头沟(729 mm)、吉林舒兰(501 mm)等站降水量极端性突出。在全球气候变化背景下,登陆我国的台风强度明显增强,21世纪以来登陆台风中有一半台风的最大风力超过12级,且造成极端降水的台风相对频发,危害呈加重趋势(IPCC,2014;Knutson et al.,2020)。

台风是一个动态变化的复杂系统,当前还无法对其路径、发展趋势提前数日做出精准动态预报。与其他气象灾害相比,台风致灾因子多样,兼有强降水和大风危害(Wang et al.,2016;康邵钧,2023)。因此,要做好台风灾害防御工作,除了提高其预报能力和监测预警水平,将灾害防御与社会经济情况相结合开展灾害风险评估必不可少。台风灾害风险主要由致灾因子及承灾体共同决定(Emanuel and Kerry,1987;方佳毅和史培军,2019)。致灾因子包括极端降水和大风要素;承灾体包括人口、建筑物、GDP等经济社会要素,为直接承受灾害损失的主体单位。针对以上两种评价元素,产生了灾情数值模拟、历史灾情统计、指标体系评估等自然灾害评估方法。早期的台风灾害风险评估与预警方法主要基于传统数理统计方法(娄伟平等,2009;Chen et al.,2011;Gao et al.,2020)。随着地理信息系统(Geographic Information Systems, GIS)技术的发展,将传统的数理统计方法与GIS技术相结合是当前台风灾害风险性评价的主流趋势。Maskrey(1989)认为自然灾害风险程度是致灾因子危险性与承灾体脆弱性之和。Feng和Luo(2009)基于内外集模型对浙江省登陆台风风险的模糊期望值进行了计算,以确定浙江省台风灾害风险区划;王胜等(2012)基于致灾危险性、承灾

体暴露度、抗灾能力风险四要素开展安徽省台风灾害风险评估。总体来说,灾害风险评估是多学科交叉研究的前沿,目前台风灾害风险研究还未全面结合人类经济社会行为,承灾体未针对特定对象且未考虑到脆弱性影响,精细化和精准程度不高。台风强降水引发的山洪常造成房屋倒塌、生命线工程中断,其中房屋破坏直接威胁着人民的生命财产安全(魏一鸣等,2001;李方一等,2011;Cui et al.,2013)。因此,开展台风灾害房屋风险精细化评估具有重要意义。

安徽省地处华东内陆,受台风影响程度虽不比沿海地区,但台风强降水在该地区不仅引发洪涝,在山区还可引发山洪及地质灾害(温克刚和翟武全,2007)。如0513号台风“泰利”导致大别山区和江淮地区出现历史罕见强降水,岳西日降水量达493.1 mm,创全省历史极值,强降水导致81人死亡,倒塌房屋7.7万间,损坏16.47万间。《第一次全国自然灾害综合风险普查总体方案》(国灾险普办发[2021]11号)要求,开展安徽省暴雨、干旱、台风等9种气象灾害综合风险普查。本文基于台风事件历史调查库,考虑地形及地质灾害对台风灾害的影响构建致灾危险性指数;以20"栅格房屋数据为承灾体,综合致灾危险性、承灾体暴露度和脆弱性,开展台风灾害房屋风险评估区划,以期使评估结果更加准确和精细,为政府部门制定房屋台风灾害风险防范、国土空间规划提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料说明

所用的资料为:(1)台风路径资料,包括台风编号、登陆(影响)时间、地点、强度等,年限为1961—2022年,来源于《台风年鉴(1949—1988)》和《热带气旋年鉴(1989—2022年)》,用于影响安徽省台风个数分析;(2)安徽省81个国家气象观测站(以下简称国家站)及1 035个区域气象观测站(以下简称区域站)建站至2022年逐日降水量和最大风速资料,来源于安徽省气象信息中心,用于开展台风风雨强度评估。(3)基础地理信息、地形高程数据、2018年地质灾害隐患数据,其中30"的地形高程数据来自航天飞机雷达地形测绘任务(Shuttle Radar Topography Mission, SRTM),地质灾害隐患数据来自安徽省自然资源厅。(4)2022年安徽省

行政区划图及30"的房屋栅格数据(房屋密度及安全系数),来自国务院第一次全国自然灾害综合风险普查办公室;(5) 1996—2022年台风灾害造成的房屋灾情数据,来自安徽省应急管理厅。

开展危险性 & 风险评估时,鉴于国家站最大风速观测始于1980年,故国家站采用1980—2022年资料;针对国家站站网密度不足的问题,使用了安徽省具有风雨观测功能的1741个四(六)要素区域站资料,时段为建站至2022年。相对于仅用国家站资料,结合区域站计算台风风雨综合指数,更能反映台风风雨影响的局地特征。针对区域站疑误、缺测及异常值进行质控,最终筛选出质量较好且年限较长的1035个区域站资料。此外,对国家站与区域站资料年限选取进行论证,分别利用相同时段(国家站及区域站均采用2005—2022年)、不同时段(国家站为1980—2022年、区域站建站至2022年)资料开展风雨要素空间分布对比(图略),结果

表明二者的风雨要素空间分布基本一致。

1.2 研究方法

1.2.1 评估流程

自然灾害风险是致灾因子、承灾体综合作用的结果(周姝天等,2020)。选取气象、地理信息、社会经济统计等数据,从致灾因子危险性、承灾体暴露度及脆弱性角度,构建风险评价指标,建立风险评估模型,计算风险指数并划分风险等级,开展安徽省台风灾害房屋风险评估与区划。

风险指数计算需要叠加各因子层,不同图层空间匹配将以离散形式存在的站点致灾因子危险性指标值转化成连续的面状数据。各指标权重确定均采用信息熵(谢涛等,2019)和专家打分相结合的主客观组合赋权法,既规避信息熵客观方法未考虑决策者意向的缺陷,又尽量减少赋权的主观性。台风灾害风险区划技术流程如图1所示。

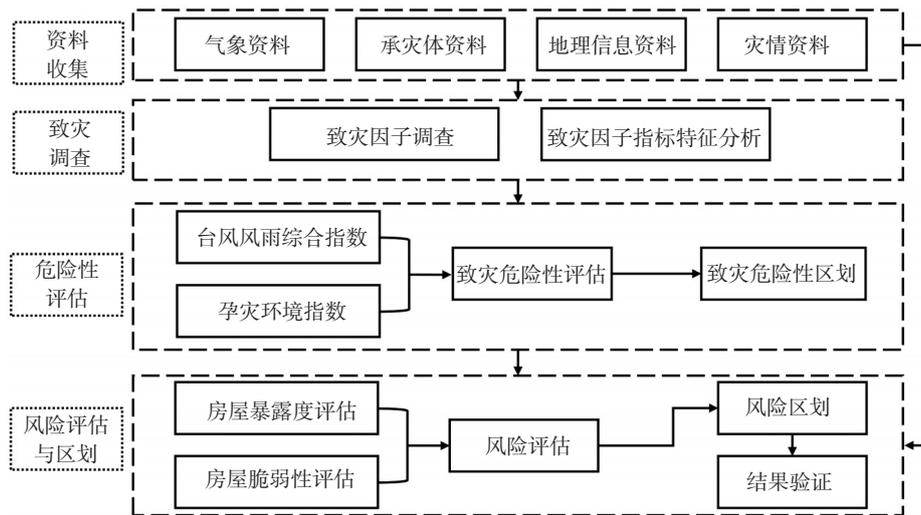


图1 台风灾害房屋风险区划技术流程

Fig. 1 Flow chart of risk zoning of housing damage by typhoon disaster

1.2.2 风险评估与区划

台风作为原生致灾因子,其经过的地带地理环境不同,引发的次生致灾因子也不同。台风在平原地区,其携带的暴雨可引发洪涝或内涝;在山区地形起伏大,常引发滑坡、崩塌、泥石流等灾害。自然灾害危险性包含灾害强度和孕灾环境敏感性(刘毅等,2011)。台风致灾危险性评估主要考虑台风风雨强度和孕灾环境敏感性,具体如下:

(1) 台风风雨综合指数。本文以台风在安徽省境内造成至少10个台站过程降水量 ≥ 25 mm作为标准,据此挑选出1961—2022年影响安徽省台风共117个。台风对安徽省的影响以其引发的强降水及大风为主。选取台风风雨指标,通过相关分析识别并筛选关键因子,确定过程累积降水量(P_a)、过程最大日降水量(P_m)

和过程最大风速(F_m)作为致灾因子,各因子经归一化处理(王胜等,2023)后,按式(1)计算台风风雨综合指数

$$I_d = (P_a + P_m + F_m) / 3 \quad (1)$$

式(1)中, I_d 为台风风雨综合指数, P_a 、 P_m 和 F_m 分别为经归一化处理后的3个评估指标数值。

(2) 孕灾环境影响系数。孕灾环境受地形因子(P)和地质灾害易发条件系数(P_d)影响,其对致灾因子起扩大或缩小作用。地形因子主要包括高程和地形变化的影响,高程从基础地理信息数据中直接提取,地形变化采用高程标准差表示。根据安徽省地形特点及台风降水影响,参考谢五三等(2023)等方法确定地形因子影响指数。地质灾害易发条件系数基于GIS密度分析,滑坡、泥石流等地质灾害隐患点划分为不易发、低易发、中易发及高易发4个等级,分别赋值分别为0、0.3、0.6和

0.9。孕灾环境影响系数计算公式(王胜等,2023)如下

$$I_c = 0.7 \times P_i + 0.3 \times P_d \quad (2)$$

式(2)中, I_c 为孕灾环境影响系数, P_i 和 P_d 分别为经归一化处理的评估指标值。

(3) 致灾危险性指数。致灾危险性指数计算公式(王胜等,2023)如下

$$H = (0.7 - 0.6 \frac{I_c - I_{cmin}}{I_{cmax} - I_{cmin}}) \times I_d \quad (3)$$

式(3)中, H 为致灾危险性指数, I_d 和 P_d 分别为台风风雨综合指数和孕灾环境影响系数。

(4) 承灾体指标。承灾体指标包括房屋暴露度和脆弱性指数,暴露度以房屋密度(单位面积的房屋栋数)表征,脆弱性指数以房屋安全系数表征,安全系数越低,则脆弱性指数越大。

(5) 风险指数。将致灾危险性指数、承灾体暴露度和脆弱性指数进行空间化处理,形成具有统一的空间分辨率和投影坐标系统的栅格数据,风险指数计算公式(王胜等,2023)如下

$$R = Hw_h \times Ew_e \times Vw_v \quad (4)$$

式(4)中, H 为致灾危险性指数, E 为房屋暴露度, V 为体脆弱性指数, w_h 、 w_e 、 w_v 分别为对应的权重系数,采用组合赋权重法,分别取0.7、0.2和0.1。

(6) 风险区划。采用自然断点法对风险指数分类,将风险等级划分为高风险、较高风险、中等风险、较低风险和低风险等5个等级。

2 结果分析

2.1 影响安徽省台风的气候特征

2.1.1 台风年际和月变化特征

基于国家站历次台风灾害事件调查结果表明,1961—2022年影响安徽省台风总数为117个,年均1.9个台风(图2),其中1994年有6个,而1967、1968、

1976、1986、1991、1993和2011年无影响安徽省台风。

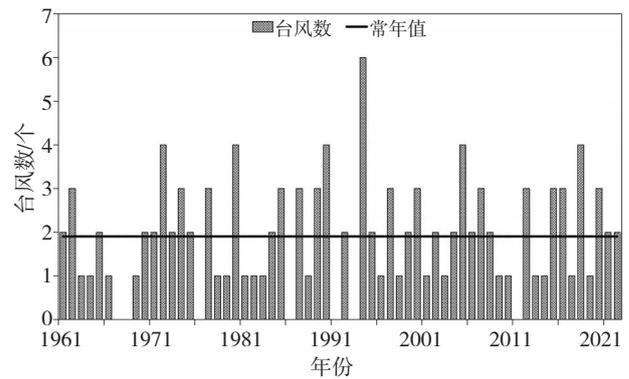


图2 1961—2022年影响安徽省台风数的年际变化

Fig. 2 The inter-annual variation of typhoons that affect Anhui Province during 1961—2022

统计表明,每年7—9月是影响安徽省台风的集中期,其中8月份影响安徽省台风个数占全年的50%。从影响安徽省台风发生时间来看,最早为5月24日(8004号“乔琪亚”),最晚为11月9日(7220号“波密拉”)。台风对安徽省的影响时间一般较短,1961—2022年影响时间在2~4 d的台风有105个,占总数的90%;其中影响时间为2 d和3 d的分别占比37%和36%;影响时间在5 d及以上的有9个,其中0808号台风“凤凰”(2008年7月28日—8月3日)的影响时间为7 d。

2.1.2 台风风雨特征

台风给安徽带来的降水量和降水强度一般不及沿海省份。分析影响安徽省单个台风平均的风雨特征(图3)可知,过程累积降水量南多北少、山区多平原少,沿淮淮北中西部11~30 mm,淮北东部及淮河以南普遍超过30 mm,其中大别山区、江淮之间东部及沿江江南大部40~80 mm,黄山北海和玉屏楼分别达133 mm和106 mm。过程最大日降水量与过程累积降水量的空间分布相似,沿淮淮北中西部7~20 mm,淮北东部及淮河以南大部20~50 mm,霍山青枫岭达82 mm。

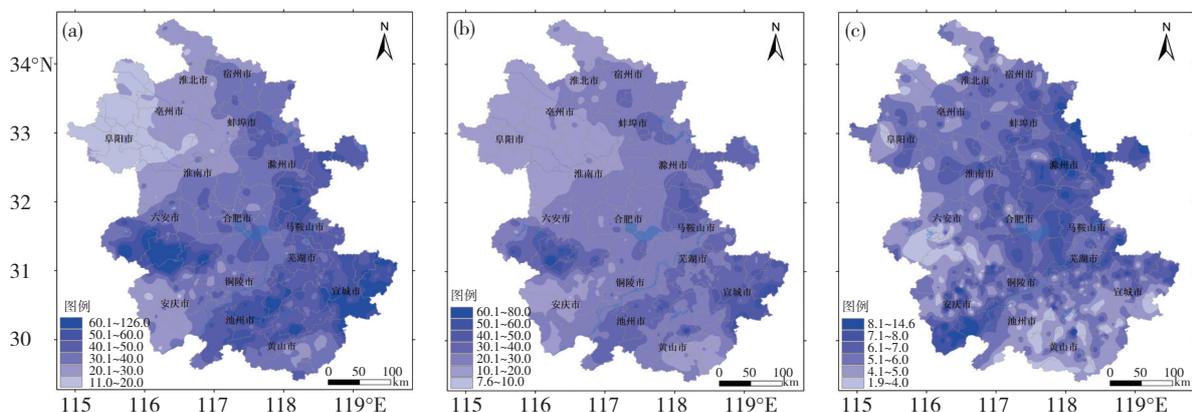


图3 1980—2022年影响安徽省单个台风平均的累积降水量(a,单位: mm)、最大日降水量(b,单位: mm)和最大风速(c,单位: $m \cdot s^{-1}$)的空间分布

Fig. 3 The spatial distribution of average (a) cumulative rainfall (unit: mm), (b) maximum daily rainfall (unit: mm), and (c) maximum wind speed (unit: $m \cdot s^{-1}$) of the single typhoon processing in Anhui Province during 1980—2022

过程最大风速的空间分布显示,淮北北部、大别山区北部及江南南部较小,为 $1.7 \sim 5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,其他地区普遍在 $5 \sim 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,其中黄山达 $15.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

2.2 台风致灾危险性的空间分布

2.2.1 台风风雨综合指数及孕灾环境的空间分布

根据影响安徽省台风的气象观测资料,按式(1)计算台风风雨综合指数序列,采用百分位数法(王胜等,2022)将其划分为一般性、偏强、强和极端4个等级(表1)。

分析影响安徽省台风的风雨综合指数的空间分布(图4a)可知,台风风雨综合指数东部大于西部、南部大于北部、山区大于平原;沿江西部、江淮之间东部及沿江江南中东部最大,这些区域受台风影响较重;淮西北

表1 影响安徽省台风的风雨综合指数等级划分

Table 1 Classification of typhoon comprehensive wind and rain intensity index in Anhui Province

等级	百分位区间/%	风雨综合指数(I_d)	评估等级
IV	≤ 50	$I_d \leq 0.546$	一般性
III	(50, 80]	$0.546 < I_d \leq 0.574$	偏强
II	(80, 95]	$0.574 < I_d \leq 0.613$	强
I	> 95	$I_d > 0.613$	极端事件

北部风雨综合指数最小,该区域受台风影响程度较轻。分析台风孕灾环境影响指数的空间分布(图4b)可知,孕灾环境敏感性区域差异大,高敏感性位于大别山区和皖南山区,低敏感性位于沿淮淮北和江淮之间大部。

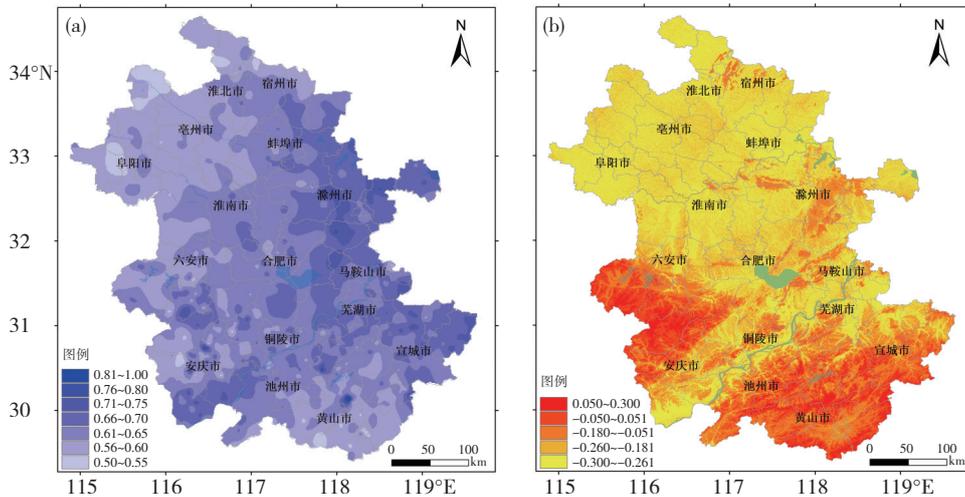


图4 1980—2022年影响安徽省台风的风雨综合指数(a)及孕灾环境影响系数(b)的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of (a) typhoon comprehensive wind and rain intensity index and (b) disaster pregnant environment impact coefficient in Anhui Province during 1980-2022

2.2.2 致灾危险性评估

基于台风致灾危险性指数模型,采用Kriging插值(许美玲等,2020)得到1980—2022年台风致灾危险性评估结果(图5)。可见安徽省台风致灾高危险区位于皖南山区和大别山区;较高危险区位于江淮之间东部、江南东部和南部山区;低危险区位于沿淮淮北大部及江淮之间西北部。

2.3 房屋暴露度和脆弱性评估结果

以房屋为承灾体,评估其暴露度和脆弱性指标。从房屋暴露度的空间分布(图6a)可见,房屋高密度区主要位于城镇地区,每平方米300~700栋,其中大中城市中心城区密度每平方米超过700栋;农村地区房屋相对稀疏,每平方米普遍不足300栋;大别山区和皖南山区因海拔较高,基本无房屋分布。从房屋脆弱性分布看(图6b)可见,房屋安全系数城市高于农村,即农村房屋脆弱性高、城市脆弱性低。

2.4 台风灾害房屋风险评估结果

从安徽省台风灾害房屋风险区划图(图7a)可见,

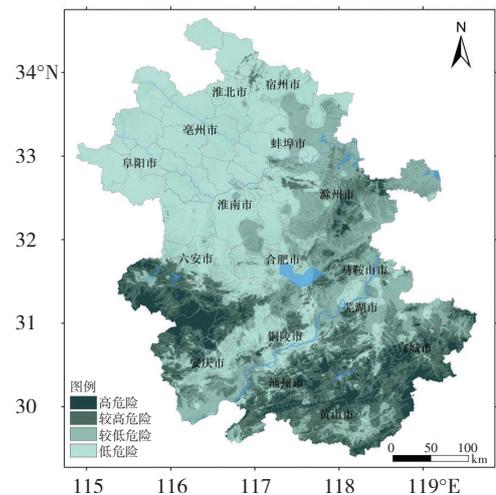


图5 1980—2022安徽省台风致灾危险性区划图

Fig. 5 Risk zoning of typhoon disaster in Anhui Province during 1980-2022

台风灾害房屋风险高及较高风险区主要分布在大别山区、江淮之间东部及皖南山区,这些区域海拔总体较高,台风过境易引发山洪地质灾害,加之房屋脆弱

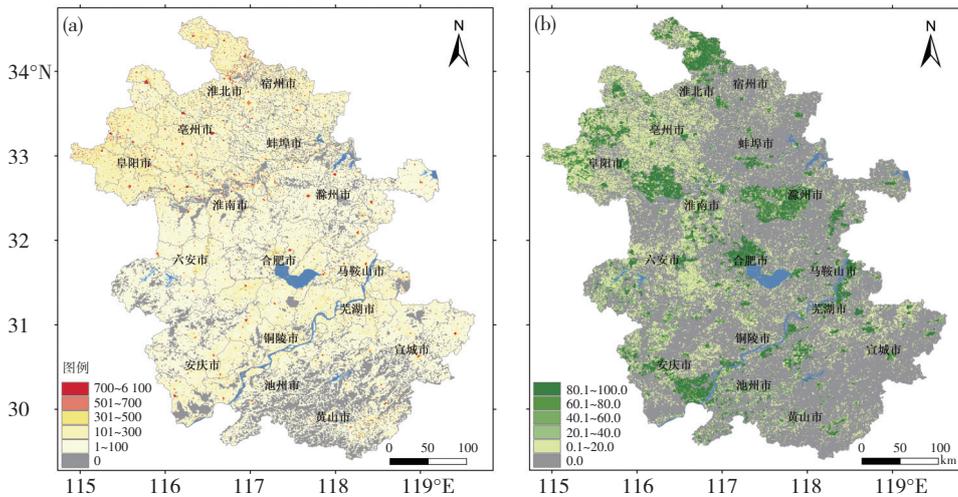


图6 2022年安徽省房屋密度(a,单位:栋·km⁻²)及房屋安全系数(b,单位:%)的空间分布

Fig. 6 Space distribution of (a) distribution of housing density (unit: building·km⁻²) and (b) housing safer factor (unit: %) in Anhui Province in 2022

性较高,房屋倒塌及损毁风险高;中等风险区位于沿淮至江淮之间、江南部分地区,呈零星分布;较低和低风险区位于沿淮淮北中西部、沿江部分地区及城市主城区,其中沿淮淮北台风致灾危险性较低,而沿江部分地区及城市主城区房屋脆弱性低,故台风灾害房屋风险总体较低和低。

2.5 区划结果验证

安徽省自然灾害年报统计表明,1996—2022年27 a中有17 a台风造成了灾害。统计有灾情的17 a资料,利用各县区台风造成的房屋倒塌数据,从空间一

致性及散点相关对区划结果进行验证。分析可知,区划结果与灾损具有高度的空间一致性(图7a);利用各县(区)倒塌房屋间数与对应范围内台风房屋灾害风险值(基于GIS空间分析工具Zonal Statistics统计各栅格点平均值)作散点相关,二者相关系数达0.33,通过0.01显著性水平检验(图略),可见因台风造成的年平均房屋倒塌数分布与台风灾害房屋风险空间分布基本一致。此外,通过专家咨询和向全省所有市县征求意见等方式进行验证,均认定安徽省台风灾害房屋风险区划结果与实际基本相符。

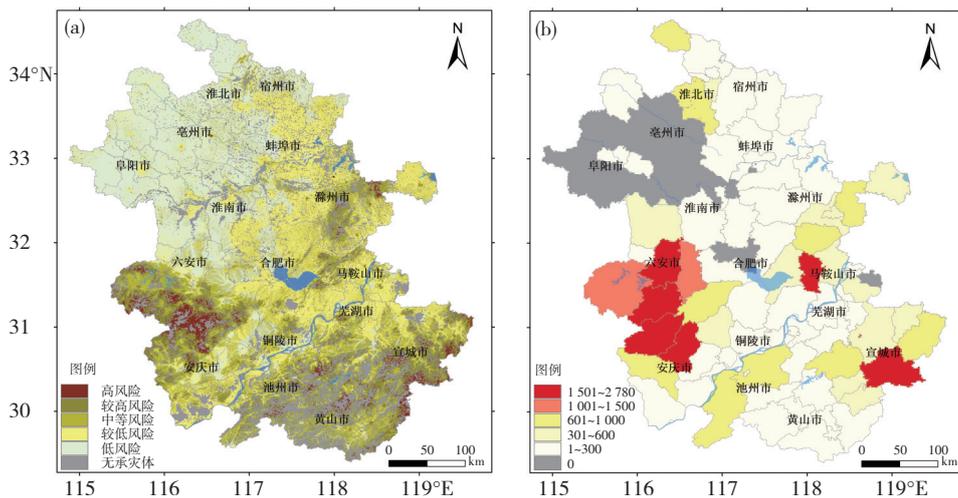


图7 安徽省台风灾害房屋风险区划(a)及因台风导致的年均倒塌房屋间数(b)的空间分布

Fig. 7 (a) Housing damage risk zoning of typhoon disaster and (b) spatial distribution of the annual average number of collapsed houses caused by typhoon in Anhui Province during 1980–2022

3 结论与讨论

根据自然灾害风险理论和方法,构建安徽省台风灾害房屋风险评价指标体系,开展台风灾害房屋风险评估与区划,得出如下主要结论:

(1) 1961—2022年影响安徽省台风共有117个,年均1.9个台风;每年7—9月是影响安徽省台风的集中期,其中8月份数影响安徽省台风占全年的50%;影响安徽省台风持续天数较短,以2~4 d为主,其中影响持续天数为2 d和3 d的分别达37%和36%。

(2) 安徽省台风降水南部多于北部、山区多于平原。平均单个台风过程累积降水量沿淮北以北中西部 11~30 mm, 淮北东部及淮河以南普遍超过 30 mm, 黄山北海和玉屏楼分别达 133 mm 和 106 mm。过程最大风速局地特征显著, 淮北北部、大别山区北部及江南南部较小, 为 1.7~5.0 m·s⁻¹; 沿江东部和西部、江淮东部较大, 为 5~10 m·s⁻¹, 其中黄山达 15.0 m·s⁻¹。

(3) 安徽省台风风雨综合指数由西北向东南递增, 淮北西北部最小, 沿江西部、江淮之间东部及沿江江南中东部最大。孕灾环境敏感性区域差异大, 高敏感区位于大别山区和皖南山区, 低敏感区位于沿淮淮北和江淮之间大部。台风致灾高危险区位于大别山区和皖南山区, 较高危险区位于江淮之间东部, 低危险区位于淮河以北及江淮之间西北部。

(4) 台风灾害房屋风险高及较高风险区位于大别山区、江淮之间东部及皖南山区, 中等风险区位于沿淮至江淮之间、江南, 呈零星分布, 较低和低风险区位于沿淮淮北中西部、沿江部分地区及城市主城区。

本文构建的台风风雨综合指数, 提升了台风监测评估的客观、定量化水平。针对国家站站网密度不足、区域站资料质量不高问题, 开展了区域站数据质控, 并对国家站与区域站选取年限进行论证。致灾因子对灾害形成起决定性作用, 孕灾环境对灾害则具有放大或缩小的作用, 在台风致灾危险性评估时, 采用台风风雨综合指数及孕灾环境系数构建致灾危险性指数。此外, 相较于以往房屋数据以县(区)行政单元来统计, 30" 的房屋栅格数据是一种具有地理编码、地图代数和区域统计多重属性空间数据, 根据像素值评估地理位置信息, 显著提升了评估的准确性和精细化水平。

灾害风险是对造成损失的概率或损失程度的可能性, 台风灾害房屋损毁风险相关因素复杂。本文仅对影响房屋损毁风险的暴露度和脆弱性、致灾危险性强度等主要因素进行分析, 未考虑抗灾能力, 与全面精准评估还有一定差距(韩晓栋等, 2022)。后续将利用第一次全国自然灾害综合风险普查成果, 全面厘清区域自然灾害风险水平, 完善灾危险性指标、房屋暴露度和脆弱性指标、防灾减灾能力等多个环节指标权重, 实现台风灾害房屋风险科学精准评估。

参考文献(References):

丁一汇, 朱定真, 石曙卫, 等. 2013. 中国自然灾害要览(上卷)[M]. 北京: 北京大学出版社: 158-190. Ding Y H, Zhu D Z, Shi S W, et al. 2013. Natural disasters in China [M]. Beijing: Peking University press: 158-190 (in Chinese)

方佳毅, 史培军. 2019. 全球气候变化背景下海岸洪水灾害风险评估研究

进展与展望[J]. 地理科学进展, 38(5): 625-636. Fang J Y, Shi P J. 2019. A review of coastal flood risk research under global climate change [J]. Progress in Geography, 38(5): 625-636 (in Chinese). doi: 10.18306/dlxxjz.2019.05.001

韩晓栋, 王曼曼, 舒慧勤. 2022. 第一次全国自然灾害综合风险普查成果应用思考[J]. 中国减灾, 428(17): 36-38. Han X D, Wang M M, Shu H Q. 2022. Thoughts on the application of the results of the first national comprehensive risk survey of natural disasters [J]. Disaster Reduction in China, 428(17): 36-38 (in Chinese). doi: 10.3969/j.issn.1002-4549.2022.17.016

江漫, 漆梁波. 2016. 1959-2012年我国极端降水台风的气候特征分析[J]. 气象, 42(10): 1230-1236. Jiang M, Qi L B. 2016. Analysis on climatic characteristics of extreme precipitating typhoon in China during 1959-2012 [J]. Meteorological Monthly, 42(10): 1230-1236 (in Chinese). doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.10.007

康邵钧, 康庄, 朱蒙. 2023. 台风“温比亚”引发豫东“18.8”极端降水的特征与成因分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 17(2): 36-43. Kang S J, Kang Z, Zhu M. 2023. Characteristics and causes of extreme precipitation in East Henan caused by typhoon “Rumbia” in 2018 [J]. Desert and Oasis Meteorology, 17(2): 36-43 (in Chinese). doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2023.02.005

雷小途, 陈佩燕, 杨玉华, 等. 2009. 中国台风灾情特征及其灾害客观评估方法[J]. 气象学报, 37(5): 875-883. Lei X T, Chen P Y, Yang Y H, et al. 2009. Characters and objective assessment of disasters caused by typhoons in China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 37(5): 875-883 (in Chinese)

李方一, 高晓路, 王英杰. 2011. 中国农村地区住房结构的区域差异及其影响因素[J]. 地理科学进展, 30(12): 1555-1563. Li F Y, Gao X L, Wang Y J. 2011. Regional differentiation of housing structure and its influencing factors in rural areas of China [J]. Progress in Geography, 30(12): 1555-1563 (in Chinese)

李瑞英, 吕桂恒, 樊杰, 等. 2024. 华东地区台风气候特征及危险性分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 18(1): 119-125. Li R Y, Lv G H, Fan J, et al. 2024. Climatic characteristics and risk analysis of Typhoon in East China [J]. Desert and Oasis Meteorology, 18(1): 119-125 (in Chinese). doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2024.01.015

刘毅, 吴绍洪, 徐中春, 等. 2011. 自然灾害风险评估与分级方法论探研—以山西省地震灾害风险为例[J]. 地理研究, 30(2): 195-208. Liu Y, Wu S H, Xu Z C, et al. 2011. Methodology for assessment and classification of natural disaster risk: A case study on seismic disaster in Shanxi province [J]. Geographical Research, 30(2): 195-208 (in Chinese). doi: 10.11821/yj2011020001

娄伟平, 陈海燕, 郑峰, 等. 2009. 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, 28(5): 1243-1254. Lou W P, Chen H Y, Zheng F, et al. 2009. Economic loss assessment of typhoon based on principal component analysis and neural network [J]. Geographical Research, 28(5): 1243-1254 (in Chinese). doi: 10.11821/yj2009050011

任振球. 2000. 台风灾害及其防御的新形势[J]. 中国减灾, 10(1): 43-45. Ren Z Q. 2000. The new situation of typhoon disaster and its prevention [J]. Disaster Reduction in China, 10(1): 43-45 (in Chinese)

王胜, 宋阿伟, 丁小俊, 等. 2022. DB34/T 4271-2022 区域性暴雨过程等级划分[S]. 安徽省市场监督管理局. Wang S, Song A W, Ding X J, et al. 2022. DB34/T 4271-2022 Classification of regional rainstorm pro-

- cess [S]. Anhui Provincial Market Supervision and Administration Bureau (in Chinese)
- 王胜,田红,程向阳,等.2023. DB34/T 4637.3-2023 气象灾害综合风险普查技术规范第3部分:台风[S].安徽省市场监督管理局. Wang S, Tian H, Cheng X Y, et al. 2023. DB34/T 4637.3-2023 Specification for meteorological disaster comprehensive risk investigation technology-Part 3: Typhoon [S]. Anhui Provincial Market Supervision and Administration Bureau (in Chinese)
- 王胜,田红,谢五三.2012.基于GIS技术的台风灾害风险区划研究—以安徽省为例[J].中国农业大学学报,17(1):161-166. Wang S, Tian H, Xie W S, et al. 2012. GIS-based risk evaluation and zoning of typhoon disaster: A case study of Anhui province [J]. Journal of China agricultural university,17(1):161-166 (in Chinese)
- 魏一鸣,范英,金菊良.2001.洪水灾害风险分析的系统理论[J].管理科学学报,4(2):7-11, 44. Wei Y M, Fan Y, Jin J L. 2001. System theory for risk analysis of flood disaster [J]. Journal of Management Sciences in China,4(2):7-11,44 (in Chinese)
- 温克刚,翟武全.2007.中国气象灾害大典:安徽卷[M].北京:气象出版社. Wen K G, Zhai W Q. 2007. Encyclopedia of meteorological disasters in China: Anhui [M]. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese)
- 谢五三,唐为安,王胜.2023.安徽省暴雨致灾危险性评估[J].暴雨灾害,42(3):353-359. Xie W S, Tang W A, Wang S. 2023. Disaster-causing hazard assessment of rainstorms in Anhui Province [J]. Torrential Rain and Disasters,42(3):353-359 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2022-118
- 谢涛,尹前锋,高贺,等.2019.基于地貌信息熵的天山公路冰川泥石流危险性评价[J].冰川冻土,41(2):400-406. Xie T, Yin Q F, Gao H, et al. 2019. Risk assessment of glacial debris flow along the Tianshan Highway based on geomorphic information entropy [J]. Journal of Glaciology and Geocryology,41(2):400-406 (in Chinese). doi:10.7522/j.issn.1000-0240.2018.0408
- 许美玲,邢通,韩敏.2020.基于时空Kriging方法的时空数据插值研究[J].自动化学报,46(8):1681-1688. Xu M L, Xing T, Han M. 2020. Spatial-temporal data interpolation based on spatial-temporal Kriging method [J]. Acta Automatica Sinica,46(8):1681-1688(in Chinese). doi: 10.16383/j.aas.2018.c170525
- 周姝天,翟国方,施益军,等.2020.城市自然灾害风险评估研究综述[J].灾害学,35(4):180-186. Zhou S T, Zhai G F, Shi Y J, et al. 2020. A literature review of urban natural disaster risk assessment [J]. Journal of Catastrophology,35(4):180-186 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.033
- Gao Z, Wan R, Ye Q, et al. 2020. Typhoon disaster risk assessment based on emergy theory: A case study of Zhuhai city, Guangdong Province, China [J]. Sustainability, 12. doi:10.3390/su12104212
- IPCC. 2014. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]//Climate Change 2013: The physical science basis. New York:Cambridge University Press
- Knutson T, Camargo S J, Chan J C L, et al. 2020. Tropical cyclones and climate change assessment part II: Projected response to anthropogenic warming [J]. Bulletin of the American Meteorological Society,101. doi: 10.1175/BAMS-D-18-0194.1
- Maskrey A. 1989. Disaster mitigation: a community based approach [M]. Oxford: England Oxfam
- Wang Y, Li X C, Wang R. 2016. Spatiotemporal distributions of influential tropical cyclones and associated economic losses in China in 1984-2015 [J]. Natural Hazards,84(3):2009-2030. doi:10.1007/s11069-016-2531-6

(责任编辑 唐永兰)