

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221272

中国沿海地区热带气旋变化特征分析

王振康^{a,b}, 雍 斌^{a,b}

(河海大学 a. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室; b. 水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为探讨中国沿海地区登陆台风的影响, 基于 1949~2020 年间的台风数据和社会经济数据, 采用 M-K 趋势分析、R/S 分析、风雨分析和灾情量化等研究方法, 全面分析登陆中国台风的时空变化、风雨特征及灾情状况。结果表明, 中国台风登陆数量呈减少态势, 维持时间呈延长趋势, 强度方面呈弱减少、强增多的变化, 登陆地点存在向东和向北偏移的状态; 登陆台风的风速和降水均呈上升趋势, 从最大值角度考虑, 风速和降水均呈显著的增加趋势; 台风影响已逐渐演变成从第二产业转移到第一、第三产业的灾害格局。研究结果将为减少台风灾害的经济损失提供数据支撑和科学依据。

关键词: 台风; 时空变化; 风雨分析; M-K 分析; R/S 分析; 经济损失

中图分类号: [TV11]; P444

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)04-0022-05

风, 为台风灾害的防灾减灾提供了科学参考。

1 引言

在全球变暖的气候背景下, 极端天气事件在全球范围内频发。台风作为最严重的一种急性自然灾害, 由于其发生频率高、影响地域广, 灾害严重程度和损失仅次于洪涝灾害。而中国是世界上受台风影响最严重的国家之一, 特别是沿海地区毗邻台风最为活跃的西北太平洋盆地, 加之人口快速增长且高度集中、城市化发展迅速, 致台风灾损呈几何级数迅速递增^[1]。尽管现阶段关于台风特征分析的研究成果较丰富, 但仍有几处需进一步探究: ①目前大多基于全球尺度, 虽有以省级尺度研究也主要集中在台风频发的地区, 鲜有从国家尺度来探讨中国沿海地区台风特征^[2]。②台风灾情分析仍停留于基本统计分析阶段, 未深入探讨台风灾害影响的演变情况, 缺乏定量解析台风灾情的经济变化趋势^[3]。因此, 本文基于 1949~2020 年中国气象局(CMA)最佳路径数据集^[4,5], 结合 ERA5 再分析风速和降水数据及社会经济数据, 采用 M-K 趋势分析法、R/S 分析法、灾情量化等研究方法, 从台风的频数、时间、强度、路径、风速、降水和灾情的角度全面分析登陆中国的台

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

中国沿海地区具体指辽、冀、京、津、鲁、苏、沪、浙、闽、粤、港、澳、台、桂、琼, 研究对象为登陆中国的热带低压(TD)及其强度以上的热带气旋(TC), 包括热带风暴(TS)、强热带风暴(STS)、台风(TY)、强台风(STY)和超强台风(SuperTY), 统称为台风。台风基础数据来源于 CMA 最佳路径数据集(<https://tcdata.typhoon.org.cn>)^[4,5], 涵盖 1949~2021 年西北太平洋海域的台风路径、强度、时间等信息, 记录频次为 6 h 一次。台风灾害数据采用欧洲中期天气预报中心(ECWMF)最新反演产品 ERA5 再分析资料(<https://climate.copernicus.eu/>), 该产品同化了多种历史观测数据, 因此在时间序列、分辨率等方面具有较显著的优势, 本文选取 ERA5 数据中的 10 m 风和降水数据, 两者时空分辨率均为 1 h 和 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, 用于提取 1949~2020 年台风在中国行进期间带来的大风和降水。台风灾情数据来源于中国气象年鉴(1986~2020 年)和中国气象灾害年鉴(2004~

收稿日期: 2022-06-20, **修回日期:** 2022-07-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(51979073)

作者简介: 王振康(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为灾害风险, E-mail: 201301050003@hhu.edu.cn

通讯作者: 雍斌(1975-), 男, 博士、教授、博导, 研究方向为流域水文气象学、地表水文过程及其对气候变化的响应机制与机理等, E-mail: yongbin_hhu@126.com

2019 年),选取资料中每年每场台风所造成的死亡人口、倒塌房屋、受灾面积、直接经济损失进行基本统计分析。社会数据分别包括农产品生产价格指数,来源于国家统计局(<http://www.stats.gov.cn/>);农村人口、农村人均住宅建筑面积,来自《中国统计年鉴》;农村户数、农村住宅平均竣工成本,来源于《中国农村统计年鉴》。社会数据用于量化台风造成的农业、建筑业方面的经济损失。

2.2 研究方法

2.2.1 Mann-Kendall 趋势分析

Mann-Kendall(M-K)检验作为一种广泛使用的非参数秩检验方法,适用于所有的分布,即数据不需要满足正态分布的假设,因此可客观地表示样本序列的整体特征趋势,在水文、气象等研究中具有较大的适用性^[6]。

2.2.2 R/S 分析

R/S 分析是 Hurst 在分析尼罗河水文资料时构建的一种分析方法^[7]。得出的 Hurst 系数 H 可定量表征时间序列的持续性或长期相关性:① $0 < H < 0.5$ 表明序列具有长期相关性,但未来总体趋势和过去相反,且越接近于 0,越负相关。② $H = 0.5$ 表明序列不相关,现在不会影响未来。③ $0.5 < H < 1$ 表明序列同样具有持续性。 H 越接近 1,正相关性越强。④ $H = 1$ 说明未来可用现在来预测,时间序列是一条直线。

2.2.3 风雨分析

定义台风风速时间段为台风登陆我国至消亡之间,采用 ERA5 小时尺度再分析数据,根据热带气旋数据集的路径信息,按栅格最大值进行合并,得到中国沿海每年登陆台风的风速空间分布数据,精度为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 。

计算的台风降水与台风风速数据一致,具体方法为:定义台风降水为台风通过前 1 d 至通过后 1 d 期间内,台风中心 500 km 范围内发生的降水。将每个台风的降水空间分布数据,按栅格最大值进行叠加,生成中国登陆台风降水空间分布结果。

2.2.4 灾情量化

(1)房屋倒塌经济损失。倒塌房屋数据主要集中在农村地区,因此房屋倒塌造成的经济损失采用农村的经济指标,具体计算方法如下:房屋倒塌经济损失(亿元)=平均房屋价值(万元)×倒塌房屋数量(万间),其中平均房屋价值(万元)=农村人口(万人)÷农村户数(万户)×农村人均住宅建筑面积(平方米)×农村住宅平均竣工成本(元/平方米)。

(2)农作物经济损失。农作物经济损失计算方法为:农作物经济损失(亿元)=受灾面积(万亩)×农作物价格(元/亩)。但随着时间的推移,农作物价值存在明显差异。因此,通过生产者价格指数计算农作物经济价值:

$$P_j = 100P_{j+1}/Q_{j+1} \quad (1)$$

式中, P_j 为 j 年(1990~2019 年)的农作物价格; Q_j 为 j 年农作物的生产价格指数。

选取 j 为 1990 年。

3 结果与分析

3.1 1949~2020 年中国台风基本特征

3.1.1 时间变化态势

1949~2020 年间,西北太平洋地区共生成 2 363 个台风,平均每年 32.8 个,整体呈下降趋势,幅度为 1.7 个/10a,且 M-K 检验表明其变化趋势显著。反观中国地区,在过去 72 年间共有 642 个台风登陆,占总生成数的 27.17%,平均每年登陆 8.9 个。整体上来讲,中国台风个数处于减少状态,降幅为 0.03 个/10a,但 M-K 结果显示趋势不显著。表 1 为 1949~2020 年中国不同年代际登陆台风个数统计。由表 1 可知,中国登陆台风个数具有明显的年代际特征,基本处于逐步减少的态势。

表 1 1949~2020 年中国不同年代际登陆台风个数统计

Tab. 1 Statistics on number of landfall typhoons in different decades of China during 1949-2020

年代	个数/个	占比/%	年代	个数/个	占比/%
1950s	97	15.47	1990s	86	13.72
1960s	97	15.47	2000s	85	13.56
1970s	88	14.03	2010s	80	12.76
1980s	94	14.99			

采用 R/S 分析法计算年际变化,得到其指数 H 为 0.562,表明台风登陆数未来趋势和历史变化一致,即未来在中国登陆的台风数仍将呈下降趋势,但减幅相较平缓。

从月尺度来说,除了 1~3 月,其余月份台风均有登陆中国的可能性。图 1 为 1949~2020 年中国登陆台风各月份的变化特征和趋势分析。由图 1 可知,6~10 月是台风登陆的高峰期,占总数的 94.39%。其中 7~9 月尤为集中,8 月占 28.66%,7、9 月分别占 24.61%、23.21%,三个月份处于夏至秋初,说明台风的生成与海表温度存在较强的联系^[8]。分析月尺度变化发现,台风强度越大,登陆时间越集中。总体而言,台风登陆高峰期的数量呈不显著的下降状态,最大值出现

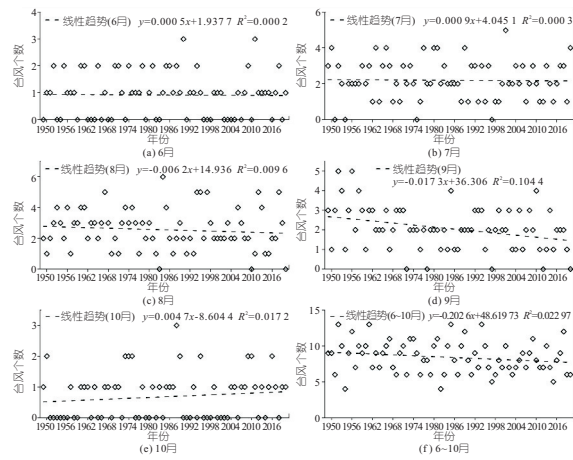


图1 1949~2020年中国登陆台风各月份的变化特征和趋势分析

Fig.1 Monthly variation characteristics and trend analysis of China's landfall typhoons during 1949-2020

在1980年代,而最小值分别出现在1990、2010年代,且台风登陆时间点的极端性更趋明显。

登陆台风维持时间是指从台风的第一个登陆点起至消亡的总时长。1949~2020年间,中国登陆台风平均维持时间呈不显著的下降趋势,降幅为0.5 h/10a,主要表现为低强度台风的不显著下降和高强度台风的显著上升。利用R/S分析法得到Hurst指数为0.305,说明未来变化趋势与过去相反,即未来登陆我国台风的维持时长将缓慢延长,且增幅较显著。

3.1.2 强度变化情况

为深入了解登陆台风强度的变化特征,从年尺度、最低中心气压和平均中心气压等方面探讨各强度台风的变化情况。表2为1949~2020年中国不同等级台风登陆个数统计。由表2可知,登陆我国台风主要以TD、TS、STS、TY为主,共占92.06%。

表2 1949~2020年中国不同等级台风登陆个数统计

Tab.2 Statistics on number of landfall typhoons of different grades in China during 1949-2020

等级	个数/个	百分比/%	等级	个数/个	百分比/%
TD	142	22.12	TY	185	28.82
TS	114	17.76	STY	39	6.07
STS	150	23.36	SuperTY	12	1.87

年统计结果显示,台风强度呈弱减少、强增多变化,即登陆台风强度存在逐渐增强趋势。其中,TD呈显著下降趋势,降幅为0.4个/10a;TS呈不显著上升趋势,增幅为0.09个/10a;STS处于不显著上升阶段,增幅为0.02个/10a;TY呈显著下降趋势,降幅为0.25个/10a;STY呈不显著上升趋势,增幅为0.02个/10a;SuperTY呈不显著上升趋势,增幅为0.06个/10a。

登陆强度由最低中心气压 M_{Min_p} 和平均中心气压 M_{Mean_p} 两个参数表示。 M_{Min_p} 、 M_{Mean_p} 分别指一年内登陆中国台风第一个登陆点中心气压的最小值、算术平均值。 M_{Min_p} 整体上呈不显著的下降趋势,幅度为0.8 hPa/10a; M_{Mean_p} 总体呈明显的下降趋势,幅度为1.3 hPa/10a。 M_{Min_p} 、 M_{Mean_p} 的R/S分析结果分别为0.604、0.825,说明登陆台风最低和平均中心气压的未来变化趋势与过去相一致,即未来登陆中国台风强度将继续呈增强趋势,且增幅较明显。

3.1.3 空间分布特征

登陆台风是指登陆中国的台风。沿海岛屿除台湾地区、舟山群岛、香港地区、海南岛外,均不作为登陆地点处理。台风登陆后越过海面,再次登陆也会统计在内。图2为1949~2020年中国登陆台风的分布特征及年际变化。由图2(a)可知,中国台风登陆地主要分布在东南沿海地带、台湾地区和海南岛。1949~2020年间台风登陆次数为833次,其中登陆次数最多的为广东省,共计255次,占比为30.61%,登陆次数排序为STS、TD、TS、TY;其次是海南岛,登陆次数共计161次,占比为19.33%,登陆次数排序为TD、TS、STS、TY、STY;接着是台湾地区,总计有144次,占比为17.29%,强度方面以TY、STY、SuperTY为主,尤其STY和SuperTY次数远超其余登陆地;最后是福建省,登陆次数为125次。值得注意的是,若只按第一登陆点统计,有64%台风登陆地属于台湾地区,福建省是其第二登陆地。其余登陆地排序分别为浙江省、广西省、山东省、香港地区、辽宁省、上海市、江苏省、天津市。

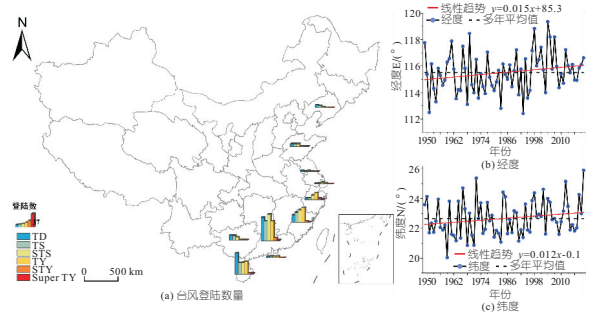


图2 1949~2020年中国登陆台风的分布特征及年际变化

Fig.2 Spatial distribution characteristics and interannual variation of landing typhoons in China during 1949-2020

在台风登陆地分布研究的基础上,进一步统计分析登陆点,结果见图2(b)、(c)。由图2(b)、(c)可知,近72年台风登陆点的平均经度呈增加趋势,增幅为0.15°/10a,即具有向东移的趋势,且M-K检验结果表明其趋势明显。平均纬度也呈

增加趋势,增幅为 $0.11^{\circ}/10a$,即具有北向偏移的趋势,且通过 M-K 显著性检验。台风登陆点的经度、纬度 R/S 分析结果 Hurst 指数分别为 0.580、0.541,说明未来变化趋势与过去一致,即未来我国台风登陆位置有继续向东、向北偏移的趋势。台风登陆点北移可能是由于热带季风槽减弱,而东移在一定程度上与全球厄尔尼诺效应有关联^[9]。

3.2 1949~2020 年登陆台风风雨分析

3.2.1 风速变化

图 3(a)、(b)为 1949~2020 年中国登陆台风风速的年际变化。由图 3(a)、(b)可知,1949~2020 年间登陆台风平均风速呈不显著的上升趋势,最大风速则呈显著的上升趋势。平均风速的波动状态主要由于台风频数的减幅和强度的增幅,而最大风速的明显增加归因于登陆台风强度的变化。台风最大风速与台风频数分布类似,即由东南沿海向西北内陆递减的特征。在华南登陆的台风引起的最大风速明显高于华东和华北,而华东又高于华北,且台风风速的大值区与登陆地带较一致,登陆台风纬度与风速成反比关系。

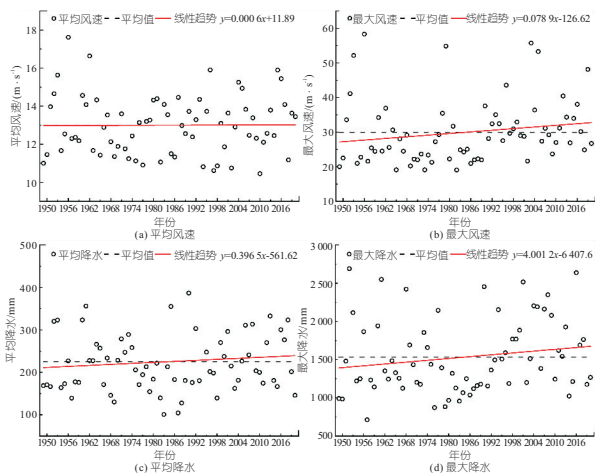


图 3 1949~2020 年中国登陆台风风速、降水的年际变化
Fig. 3 Interannual variation of landing typhoon wind speed and precipitation in China during 1949-2020

3.2.2 降水变化

图 3(c)、(d)为 1949~2020 年中国登陆台风降水的年际变化。由图 3(c)、(d)可知,降水趋势与风速趋势相似,不过变化更明显,台风最大降水上升趋势比平均降水上升趋势更强烈。研究结果表明,虽然中国登陆台风频数逐渐减少,但台风降水反而呈增加趋势。同时,台风最大降水显著增加主要体现为中国登陆台风强度“弱减少、强增多”的变化情况。从空间纬度上来说,中国登陆台风降水分布存在很强的地域性差异,呈由东南沿海向西北内陆地区递减的趋势,其分布不均匀性的特征明显,较大值分布于华南及东南沿海地带,

而最大值位于台湾地区。

3.3 1990~2020 年台风灾情分析

由于缺乏关于台湾地区的灾情资料,故本文只统计分析中国大陆的台风灾害情况,见图 4。由图 4 可知,死亡人数呈显著的降低趋势,经济损失呈显著的增加趋势,这在一定程度上说明台风对于人的风险影响由于社会的进步在不断降低,而对于硬环境的风险在不断增加。

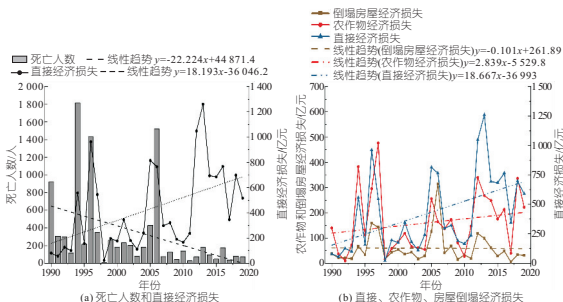


图 4 1990~2020 年中国登陆台风灾情的量化分析
Fig. 4 Quantitative analysis of landing typhoon disasters in China during 1990-2020

为更深入探讨台风造成的灾情在农作物、建筑等方面的变化特征,根据灾情量化方法,计算出了房屋倒塌、农作物受灾的经济损失。整个时间段内,农作物经济损失和直接经济损失的线性变化基本一致,而倒塌房屋经济损失呈不显著的下降趋势。这主要是由于随着社会经济的发展和人民生活水平的提高,对于台风的认识和预防措施不断提高,防灾减灾能力不断加强。而随着台风强度的增强,直接经济损失呈显著的上升趋势。台风造成的直接经济损失主要包括房屋倒塌、农作物损失、路面损失、电力设施和水利设施损坏。鉴于倒塌房屋经济损失逐年减少,水电设施损失和道路路面损坏应逐年增加^[10]。

4 结论

- 登陆中国台风数量呈平缓的下降趋势,表现为强增多、弱减少的态势,这与维持时间的变化情况一致;登陆时间点存在趋向极端的情况,这与登陆位置表现出的向东和向北偏移有相似的归因;强度表现出较明显的增强趋势。
- 登陆中国台风的大风和降水在均值方面呈不显著的上升趋势,在最大值方面均处于显著的上升阶段。台风风速和降水分布均存在很强的地域性差异,呈东南沿海向西北内陆地区递减的趋势。
- 台风影响逐渐演变成由第二产业向第一、第三产业转移的灾害格局。

参考文献:

[1] 黄昌兴,周国良,郑磊,等. 登陆我国台风的时空分布特征及其影响[J]. 水文, 2014, 34(6):81-85.

[2] 黄峰中,周玉良,周平,等. 安徽省近 60 年台风降水特征分析[J]. 水电能源科学, 2019,37(12):1-5.

[3] 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.

[4] YING M, ZHANG W, YU H, et al. An overview of the China Meteorological Administration tropical cyclone database[J]. Journal of atmospheric and oceanic technology, 2014, 31(2):287-301.

[5] LU X, YU H, YING M, et al. Western north pacific tropical cyclone database created by the china meteorological administration [J]. Advances in atmospheric sciences,2021,38(4):690-699.

[6] MANN H B. Nonparametric test against trend[J].

Econometrica, 1945,13(3):245-259.

[7] RAO A R, BHATTACHARYA D. Hypothesis testing for long-term memory in hydrologic series[J]. Journal of hydrology,1999,216(3):183-196.

[8] LI R C Y, ZHOU W, SHUN C M, et al. Change in destructiveness of landfalling tropical cyclones over China in recent decades[J]. Journal of climate, 2017,30(9):3367-3379.

[9] HONG C C, TSOU C H, HSU P C, et al. Future changes in the tropical cyclone intensity and frequency over the Western North Pacific based on 20-km HiRAM and MRI models[J]. Journal of climate, 2020, 34(6):1-47.

[10] CHOU JIEMING, DONG WENJIE, TU GANG, et al. Spatiotemporal distribution of landing tropical cyclones and disaster impact analysis in coastal China during 1990-2016[J]. Physics and chemistry of the earth, parts A/B/C, 2020, 115:102830.

Analysis of Characteristics of Typhoon Disasters in Coastal Areas of China

WANG Zhen-kang^{a,b}, YONG Bin^{a,b}

(a. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering;

b. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to explore the impact of landfall typhoons in China's coastal areas, based on the typhoon data and socioeconomic data from 1949 to 2020, M-K trend analysis, R/S analysis, wind and rain analysis, and disaster quantification and other research methods were used to comprehensively analyze the temporal and spatial changes, wind and rain characteristics and disaster situation of landfall typhoons in China. The research results show that the number of typhoons landing in China is decreasing, and the duration is prolonged. In terms of intensity, there is a situation of "weak decrease and strong increase", and the landfall sites are shifted to the east and north. Both the wind speed and precipitation of the landfall typhoon showed an upward trend. Considering the maximum value, it was found that the wind speed and precipitation showed a significant increase trend. The impact of typhoon has gradually evolved into a disaster pattern that has shifted from the secondary industry to the primary and tertiary industries. The research results can provide data support and scientific basis for reducing the economic losses of typhoon disasters.

Key words: typhoon; spatiotemporal variation; wind and precipitation analysis; M-K test; R/S analysis; economic loss



(上接第 55 页)

Analysis of Variation of Water Surface in Core Area of Huixian Karst Wetland Based on Multi-source Data

PENG Xin-yue¹, ZHANG Hong-yan², DAI Jun-feng³, XU Jing-xuan⁴,
BAI Kai-hua³, XU Bao-li², LI Zhe-qing¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;
2. Guangxi Collaborative Innovation Center for Water Pollution Control and Water Security in Karst Region, Guilin 541004, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Environmental Pollution Control Theory and Technology, Guilin 541004, China; 4. Guilin Hydrology Center, Guilin 541000, China)

Abstract: Due to the disturbance of human activities and the influence of climate change, the water area of Mudong Lake, the core area of Huixian Wetland, the largest karst landform original wetland in the Lijiang River Basin, has shrunk and faced severe ecological and environmental risks. Using the Sentinel remote sensing image data of 65 scenes from 2017 to 2021, the water area of Mudong Lake was extracted by random forest classification. The temporal and spatial changes of the water area of Mudong Lake in the past five years were analyzed to explore the correlation between the water level and area of Mudong Lake. The results show that the water area of Mudong Lake has been relatively stable in the past five years, but the changes in the wet and dry periods are obvious; The area changes are mainly distributed in the northern part of the lake area; The correlation between water level and area is relatively good, and the correlation coefficients of different water periods are different; The correlation coefficients of the wet periods and dry season are 0.90 and 0.60, respectively.

Key words: wetlands; water surface area; water level; remote sensing images; abundant and dry periods