

周绍毅,林彬,苏志,等. 北部湾致灾风暴潮与热带气旋路径和强度关系研究[J]. 气象研究与应用,2023,44(2):45–50.

Zhou Shaoyi, Li Bin, Su Zhi, et al. Study on the relationship between disastrous storm surge and the tracks and intensities of tropical cyclone in Beibu Gulf[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2023, 44(2): 45–50.

# 北部湾致灾风暴潮与热带气旋路径和强度关系研究

周绍毅<sup>1</sup>, 林彬<sup>2</sup>, 苏志<sup>1</sup>, 潘春江<sup>3</sup>

(1.广西壮族自治区气象灾害防御技术中心, 南宁 530022; 2.广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022;  
3.贺州市气象局, 广西 贺州 542800)

**摘要:** 基于 2001—2021 年北部湾风暴潮和热带气旋资料, 运用相关分析、线性趋势等统计方法分析了北部湾致灾风暴潮的变化特征, 探讨了致灾风暴潮与热带气旋路径和强度关系。结果表明: (1) 北部湾致灾风暴潮平均每年出现 1.8 次, 序列年际变化趋势不明显, 但有显著的阶段性变化特征; 月变化呈单峰型, 主要出现在 6—11 月; (2) 不同级别风暴潮出现次数差异极大, 其中 V 级(一般)风暴潮出现次数最多(22 次), 其次是 IV 级(中等)风暴潮(9 次); (3) 影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋强度年际变化不明显, 最强热带气旋出现在 11 月, 最弱热带气旋出现在 6 月; 西路路径的热带气旋引起北部湾致灾风暴潮最大, 其次是中路路径, 东路没有影响; (4) 风暴潮增水与最低气压呈负相关, 与最大风速呈正相关, 最大增水超过 150cm 的风暴潮, 对应的热带气旋最大风速在  $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上。

**关键词:** 风暴潮; 热带气旋路径; 热带气旋强度; 北部湾

**中图分类号:** P444

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.2.08

## 引言

北部湾位于中国南海的西北部, 东临广东雷州半岛和海南岛, 北临广西壮族自治区, 西临越南, 与琼州海峡和中国南海相连, 被中越两国陆地与中国海南岛所环抱, 海域总面积约 12.8 万  $\text{km}^2$ , 是中国西南最便捷的出海港湾。2008 年国家批准临岸的南宁市、北海市、钦州市、防城港市、玉林市、崇左市组成了北部湾经济区, 并将其定位为“重要国际区域经济合作区”。根据 2019 年国家发展改革委印发的《西部陆海新通道总体规划》, 北部湾开发是国家一带一路的重要战略。由于特殊的地理位置, 北部湾台风风暴潮灾害易发频发<sup>[1-2]</sup>, 已成为制约北部湾经济发展的重要因素之一。

风暴潮特征研究是开展风暴潮防灾减灾工作的基础<sup>[3]</sup>。关于北部湾风暴潮的研究大致始于 20 世纪 80 年代。李树华<sup>[4]</sup>采用 1969—1982 年的验潮资料, 对珍珠港台风风暴潮特性和物理机理进行了探讨, 并于 90 年代初步建立了广西沿海风暴潮数值模式<sup>[5]</sup>。

2000 年以后, 陈波等<sup>[6-9]</sup>对广西沿海风暴潮增水极值、风暴潮增减水与台风路径和地形效应的关系、风暴潮数值模拟等方面进行了较深入的研究。也有学者对广西沿海风暴潮的灾害进行了分析并提出了防治对策<sup>[10-11]</sup>。由于分析北部湾风暴潮与热带气旋强度和路径关系的研究较少, 因此本文采用 2001—2021 年的风暴潮资料, 统计分析北部湾致灾风暴潮变化特征, 并讨论北部湾风暴潮增水的影响因素, 期为北部湾风暴潮防治提供参考。

## 1 资料与方法

本文所使用的 2001—2021 年风暴潮资料来自《中国海洋灾害公报》《广西海洋环境质量公报》和《广西海洋灾害公报》, 热带气旋资料来自中国气象局上海台风研究所。

大多数风暴潮会造成灾害损失, 但有少数风暴潮没有引起灾害损失, 本文的致灾风暴潮是指造成灾害损失的风暴潮。按风暴潮增水的大小将风暴潮分为 I 级(特强)、II 级(强)、III 级(较强)、IV 级(中

收稿日期: 2023-02-20

基金项目: 广西气象科研计划项目(桂气科 2023M11)、广西气象灾害防御技术中心科研项目(桂气防 2021M01)

作者简介: 周绍毅(1980—), 男, 高级工程师, 主要从事气候应用与气候资源研究。E-mail: 343173058@qq.com

等)和 V 级(一般)5 个等级<sup>[12]</sup>。北部湾致灾风暴潮通常由热带气旋造成。

为了更好地分析引起北部湾致灾风暴潮的热带气旋路径特征,根据前人研究的经验和成果<sup>[13-20]</sup>,本文将热带气旋路径分为 3 类:第一类是西路,指的是在湛江市以西(或以南)沿海登陆;第二类是中路,指的是在湛江市到珠江口以西之间的沿海登陆;第三类是东路,指的是在珠江口以东至福州之间的沿海登陆。

本文使用的主要方法有相关分析、线性趋势等统计方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 致灾风暴潮特征

#### 2.1.1 时间变化特征

图 1 为 2001—2021 年北部湾致灾风暴潮出现次数年际变化。由图 1 可见,2001—2021 年间北部湾致灾风暴潮共出现了 37 次,平均每年出现 1.8 次,除 2004 年没有致灾风暴潮出现外,其余年份均有致灾风暴潮出现,其中 2013 年出现次数最多,为 4 次,其次是 2007、2009、2012 和 2021 年,均出现了 3 次。2001—2021 年致灾风暴潮出现次数气候倾向率为  $0.42 \text{ 次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,相关系数  $R$  为 0.259,未通过 0.05 的显著性检验,说明整体上致灾风暴潮出现次数年际变化趋势不显著,但不同年份阶段性变化差异较大,将 2001—2021 年序列分为 2001—2006 年、2007—2013 年和 2014—2021 年三个阶段进行分析,三个阶段的平均值分别为 1.0 次、2.4 次和 1.8 次,2007—2013 年平均出现次数比 2001—2006 年多 1.4 次,通过了 0.05 的显著性  $t$  检验,说明 2007—2013 年出现次数比 2001—2006 年明显增多,2014—2021 年平均出现次数比 2007—2013 年少

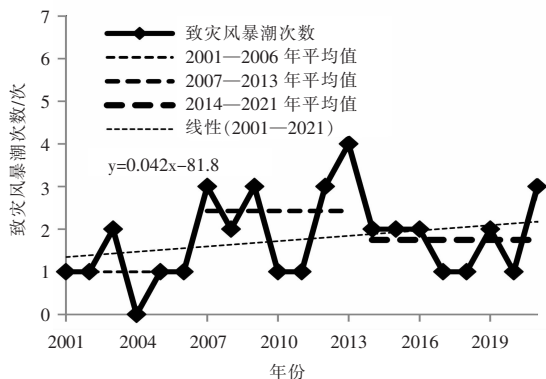


图 1 2001—2021 年北部湾致灾风暴潮出现次数年际变化

0.6 次,未通过 0.05 的显著性  $t$  检验,说明 2014—2021 年出现次数与 2007—2013 年差异不明显。

图 2 为 2001—2021 年北部湾致灾风暴潮出现次数月变化。由图 2 可见,北部湾致灾风暴潮月变化呈单峰型,主要出现在 6—11 月,其中 8 月出现次数最多,为 10 次,占总次数的 27.0%,其次是 7 月和 9—10 月,分别出现 8 次,各占总次数的 21.6%,6 月出现 2 次,占总次数的 5.4%,11 月出现 1 次,占总次数的 2.7%,其余月份没有出现。

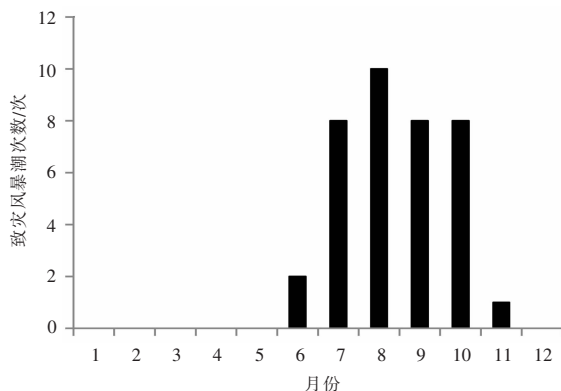


图 2 2001—2021 年北部湾致灾风暴潮出现次数月变化

#### 2.1.2 强度特征

分别统计北部湾各月不同级别致灾风暴潮出现次数和最大增水,结果见表 1。由表可见,2001—2021 年北部湾共出现致灾风暴潮 37 次,其中 V 级(一般)风暴潮最多,出现了 22 次,出现在 6—10 月,其次是 IV 级(中等)风暴潮,出现了 9 次,出现在 7—11 月;III 级(较强)风暴潮出现了 2 次,出现在 8 月和 9 月,风暴最大增水分别为 179cm 和 161cm,分别由 0312 号台风“科罗旺”和 1415 号台风“海鸥”造成;I 级(特强)风暴潮出现了 1 次,出现在 7 月,风暴最大增水达 286cm,是由 1409 号超强台风“威马逊”造成的。

### 2.2 影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋特征

本文以热带气旋最大风速和最低气压来分析影响北部湾热带气旋强度变化特征。图 3 为 2001—2021 年影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋强度年际变化,从图 3a 可以看出,2001—2021 年影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋最大风速在  $18.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \sim 78.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  之间,最小值出现在 2020 年,最大值出现在 2013 年,最大风速气候倾向率为  $2.367 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,相关系数  $R$  为 0.092,没有通过 0.10 的显著性检验,说明最大风速年际变化趋势不显著。影响

表 1 2001—2021 年北部湾各月不同级别致灾风暴潮出现次数和最大增水

等级	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合计
I (特强) /次	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
II (强) /次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
III (较强) /次	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
IV (中等) /次	0	0	0	0	0	0	2	3	2	1	1	0	9
V (一般) /次	0	0	0	0	0	2	4	5	5	6	0	0	22
其他/次	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	3
合计/次	0	0	0	0	0	2	8	10	8	8	1	0	37
最大增水/cm	0	0	0	0	0	73	286	179	161	117	109	0	

北部湾致灾风暴潮的热带气旋最低气压在 888hPa~992hPa 之间(图 3b),最低值出现在 2014 年,最高值出现在 2002 年,最低气压气候倾向率为  $-7.903\text{hPa}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,相关系数  $R$  为 0.163,没有通过

0.10 的显著性检验,说明最低气压变化趋势不显著。由此可见,2001—2021 年影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋强度年际变化不明显。

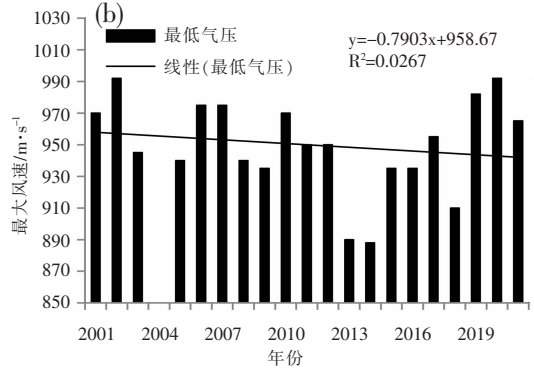
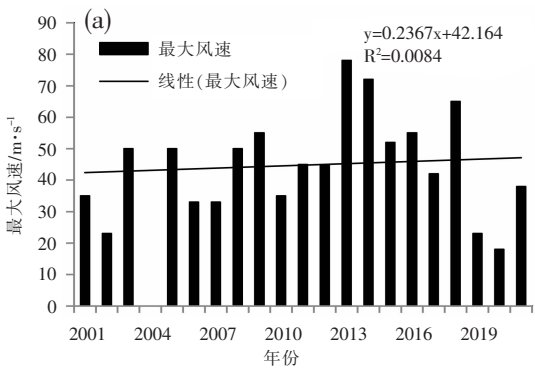


图 3 2001—2021 年影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋强度年际变化  
(a)最大风速;(b)最低气压

图 4 为 2001—2021 年影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋强度月变化,由图 4 可见,影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋出现在 6—11 月,其余月份没有出现。热带气旋风速最大值出现在 11 月,风速达  $78.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,其次是 7 月,风速为  $72.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,风速最小值出现在 6 月,风速为  $25.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 4a)。热带气旋

中心气压最低值出现在 7 月,气压为 888hPa,其次是 11 月,气压为 890hPa,中心气压最高值出现在 6 月,气压为 982hPa(图 4b)。可见,影响北部湾致灾风暴潮的最强热带气旋出现在 11 月,最弱热带气旋出现在 6 月。

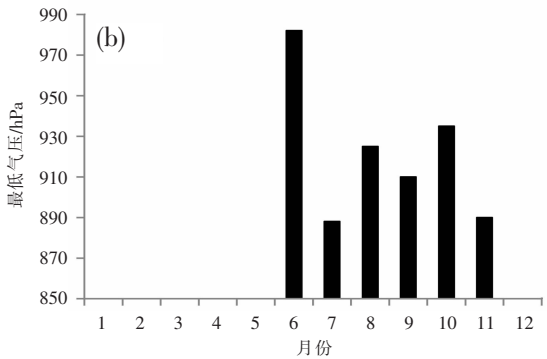
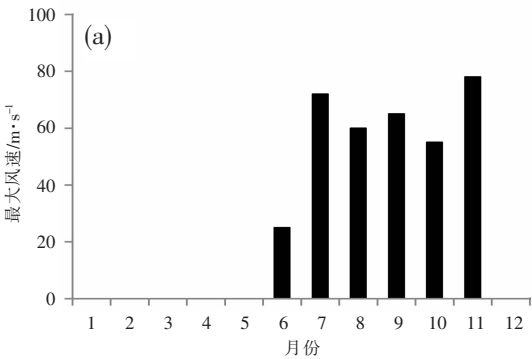


图 4 2001—2021 年影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋强度月变化

2.3 致灾风暴潮与热带气旋路径和强度的关系

2.3.1 与热带气旋路径的关系

引起北部湾致灾风暴潮的热带气旋路径见表 2,由表可见,引起北部湾致灾风暴潮的热带气旋路径只出现在西路和中路,热带气旋个数分别为 27 个和 10 个,东路没有出现。西路路径中,在广东湛江市登陆的热带气旋最多,为 9 个,风暴潮增水也最大,达 286cm,其次是在海南琼海市登陆,为 5 个,最大

增水为 117cm,在海南万宁市、海南文昌市和越南登陆的热带气旋均为 4 个,最大增水分别为 98cm、161cm 和 109cm。中路路径中,在广东阳江市登陆的热带气旋最多,为 6 个,最大增水为 120cm,其次是茂名市,为 4 个,最大增水为 146cm。由此可见,西路路径的热带气旋引起的北部湾致灾风暴潮最大,其次是中路路径,东路路径没有影响。

表 2 影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋路径、登陆地点、个数和风暴潮最大增水

登陆地点	热带气旋个数/个	风暴潮最大增水/cm	热带气旋路径	热带气旋个数/个
广东湛江市	9	286	西路	27
海南琼海市	5	117		
海南万宁市	4	98		
海南文昌市	4	161		
海南三亚市	1	58		
越南	4	109	中路	10
广东阳江市	6	120		
广东茂名市	4	146		

2.3.2 与热带气旋强度的关系

本文以热带气旋最大风速和中心最大气压来分析热带气旋强度与风暴潮增水的关系(图 5)。由图

5a 可见,热带气旋最大风速与风暴潮增水有着正的相关关系,2001—2021 年风暴潮最大增水在 30cm~286cm 之间变化,对应的热带气旋最大风速在

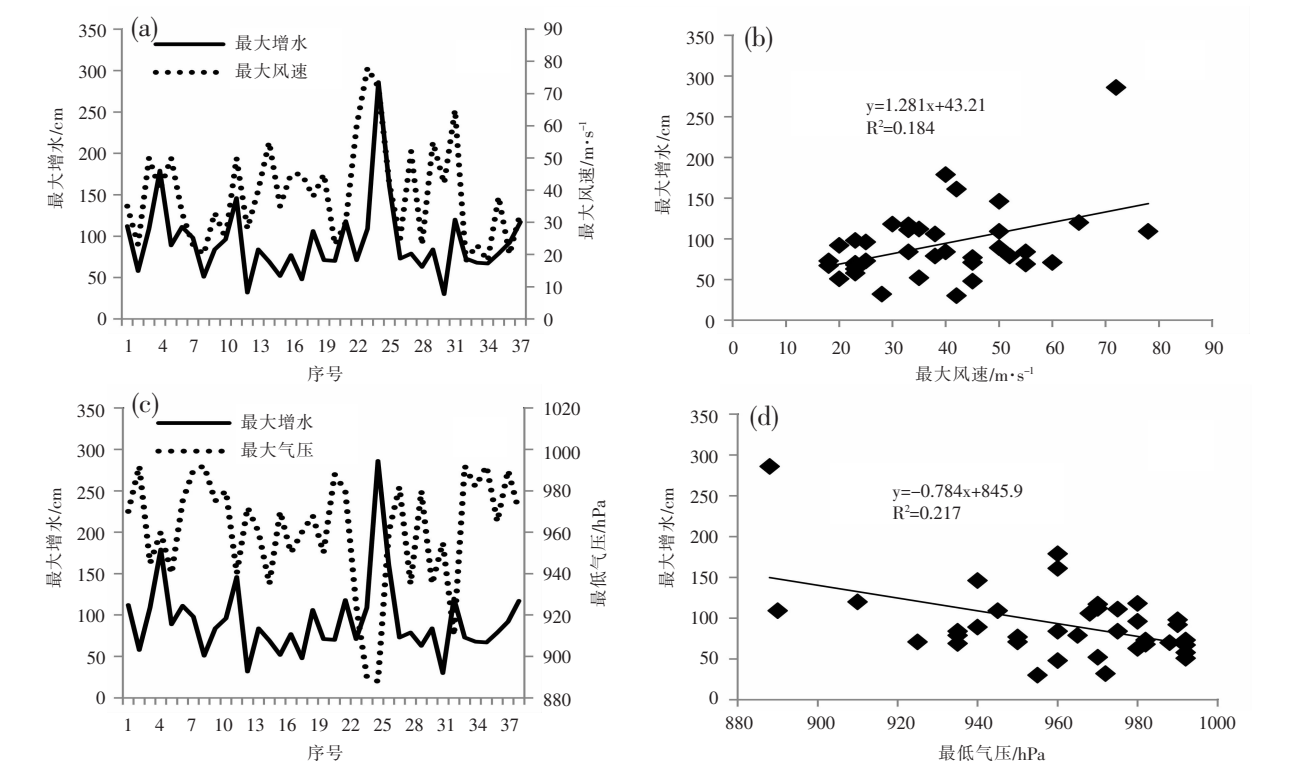


图 5 2001—2021 年广西热带气旋强度与风暴潮最大增水的关系



$18.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\sim 78.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  之间变化, 风暴潮最大增水和热带气旋最大风速年际变化趋势均不显著, 最大增水超过  $150\text{cm}$  的风暴潮, 对应的最大风速在  $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上, 热带气旋等级在台风等级以上。热带气旋最大风速与风暴潮最大增水的相关系数为  $0.43$ , 通过了  $0.001$  的显著性检验(图 5b), 表明热带气旋最大风速越大, 风暴潮最大增水也越大。引起北部湾致灾风暴潮的热带气旋最低气压在  $888\text{hPa}\sim 992\text{hPa}$  之间变化, 热带气旋最低气压与风暴潮增水有着负的相关关系(图 5c), 两者的相关系数为  $0.47$ , 通过了  $0.001$  的显著性检验(图 5d), 表明热带气旋最低气压越低, 风暴潮最大增水越大。由此可见, 热带气旋强度与风暴潮强度有较好的相关性。

### 3 结论

经过以上分析, 得到以下结论:

(1) 北部湾致灾风暴潮平均每年出现  $1.8$  次,  $2013$  年出现次数最多( $4$  次),  $2004$  年出现次数最少( $0$  次), 序列年际变化趋势不明显, 但有显著的阶段性变化特征。北部湾致灾风暴潮月变化呈单峰型, 主要出现在  $6\sim 11$  月, 其中  $8$  月出现次数最多, 为  $10$  次, 占总次数的  $27.0\%$ , 其次是  $7$  月和  $9\sim 10$  月, 分别出现了  $8$  次, 各占总次数的  $21.6\%$ 。

(2) 北部湾不同级别风暴潮出现次数差异极大, 其中  $\text{V}$  级(一般)风暴潮出现次数最多( $22$  次), 其次是  $\text{IV}$  级(中等)风暴潮( $9$  次),  $\text{III}$  级(较强)风暴潮出现了  $2$  次,  $\text{I}$  级(特强)风暴潮出现了  $1$  次, 没有  $\text{II}$  (强)风暴潮出现。

(3) 影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋最大风速在  $18.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\sim 78.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  之间, 最低气压在  $888\text{hPa}\sim 992\text{hPa}$  之间, 最大风速和最低气压气候倾向率分别为  $2.367\text{ms}^{-1}\cdot(10\text{a})^{-1}$  和  $-7.903\text{hPa}\cdot(10\text{a})^{-1}$ , 影响北部湾致灾风暴潮的热带气旋强度年际变化不明显。影响北部湾致灾风暴潮的最强热带气旋出现在  $11$  月, 最大风速达  $78.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 最弱热带气旋出现在  $6$  月, 最大风速为  $25.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(4) 引起北部湾致灾风暴潮的热带气旋路径只有西路和中路两类, 其中西路路径的热带气旋引起的风暴潮最大, 其次是中路路径, 东路路径没有影响。西路路径中, 在广东湛江市登陆的热带气旋最多, 为  $9$  个, 风暴潮增水也最大, 达  $286\text{cm}$ 。

(5) 引起北部湾致灾风暴潮的热带气旋强度与风暴潮强度有较好的相关性, 风暴潮增水与最大风

速有正的相关关系, 与最低气压有负的相关关系, 相关系数分别为  $0.43$  和  $0.47$ , 最大增水超过  $150\text{cm}$  的风暴潮, 对应的热带气旋最大风速在  $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上。

#### 参考文献:

- [1] 陈宪云, 刘晖, 董德信, 等. 广西主要海洋灾害风险分析[J]. 广西科学, 2013, 20(3): 248-253.
- [2] 陈剑飞, 苏 志, 罗红磊. 2001—2018 年广西沿海风暴潮特征分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(2): 21-24.
- [3] 罗志发, 黄本胜, 邱静, 等. 粤港澳大湾区风暴潮时空分布特征及影响因素[J]. 水资源保护, 2022, 38(3): 72-79.
- [4] 李树华. 珍珠港台风风暴潮特征及其预报的初步研究[J]. 海洋预报, 1986, 3(4): 17-24.
- [5] 李树华, 陈文广, 陈波, 等. 广西沿海风暴潮数值模拟试验[J]. 海洋学报, 1992, 14(5): 15-25.
- [6] 陈波, 邱绍芳. 北海港多年一遇风暴潮增减水极值推算[J]. 广西科学院学报, 2000, 6(3): 112-114.
- [7] 陈波, 邱绍芳. 广西沿海港湾风暴潮增减水与台风路径和地形效应的关系[J]. 广西科学, 2000, 7(4): 282-285.
- [8] 陈波, 侍茂崇. 廉州湾风暴潮的数值模拟[J]. 海洋通报, 2001, 20(3): 88-92.
- [9] 陈波, 魏更生. 广西沿海风暴潮的数值计算研究[J]. 海洋湖沼通报, 2002(2): 1-8.
- [10] 陈宪云, 刘晖, 董德信, 等. 广西主要海洋灾害风险分析[J]. 广西科学, 2013, 20(3): 248-253.
- [11] 陈宪云, 陈波, 刘晖, 等. 广西沿海风暴潮灾害及防治对策[J]. 海洋湖沼通报, 2013(4): 17-24.
- [12] 自然资源部. 海洋灾害风险评估和区划技术导则第 1 部分: 风暴潮: HY/T 0273-2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [13] 林良勋, 冯业荣, 黄忠, 等. 广东省天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 35-100.
- [14] 李艳兰, 欧艺, 唐炳莉, 等. 近 50 年影响广西的热带气旋变化特征[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(2): 1-3.
- [15] 黄海洪, 林开平, 高安宁, 等. 广西天气预报技术和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2012: 199-206.
- [16] 黄雪松, 廖雪萍, 覃卫坚. 广西热带气旋特征变化与灾损变化态势[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(1): 1-6.
- [17] 唐晓春, 刘会平, 潘安定, 等. 广东沿海地区近 50 年登陆台风灾害特征分析[J]. 地理科学, 2003, 23(2): 182-187.
- [18] 罗小莉, 姚才, 谭金凯. 登陆华南台风的频数及强度变化特征分析[J]. 海洋预报, 2018, 35(4): 58-67.
- [19] 肖志祥, 姚才, 赵金彪, 等. 广西热带气旋预报业务和研究进展[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(4): 20-27.
- [20] 覃卫坚, 蔡悦幸, 廖雪萍. 影响广西热带气旋与海洋大气低频振荡的关联性分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(3): 7-11.

# Study on the relationship between disastrous storm surge and the tracks and intensities of tropical cyclone in Beibu Gulf

Zhou Shaoyi<sup>1</sup>, Li Bin<sup>2</sup>, Su Zhi<sup>1</sup>, Pan Chunjiang<sup>3</sup>

(1.Guangxi Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanning 530022, China;

2.Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning 530022, China;

3.Hezhou Meteorological, Bureau Guangxi Hezhou 542800, China)

**Abstract:** Based on the data of storm surges and tropical cyclones in the Beibu Gulf from 2001 to 2021, the variation characteristics of storm surges in the Beibu Gulf are analyzed by using statistical methods such as correlation analysis and linear trend analysis, and the relationship between disasters causing storm surges and the tracks and intensities of tropical cyclones were also explored. The results show that: (1) The average occurrence of storm surges in the Beibu Gulf is 1.8 times per year. The interannual variation trend of this series is not obvious, but there is a significant phased change characteristic, with a unimodal monthly variation, which mainly occurs from June to November; (2) There are great differences in the frequency of storm surges at different levels, of which the frequency of V-level (general) storm surges is the highest (22 times), followed by IV-level (medium) storm surges (9 times); (3) The interannual variation of the intensity of tropical cyclones affecting the disastrous storm surges in the Beibu Gulf is not obvious. The strongest tropical cyclone appears in November and the weakest tropical cyclone appears in June. The tropical cyclones on the west tracks cause the greatest hazardous storm surge in the Beibu Gulf, followed by the middle track, and the east track has no impact; (4) The water gain of a storm surge has a negative correlation with the minimum pressure and a positive correlation with the maximum wind speed. For a storm surge with a maximum water gain of more than 150 cm, the maximum wind speed of the corresponding tropical cyclone is above  $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Key words:** storm surge; tropical cyclone tracks; tropical cyclone intensity; Beibu Gulf