

辽宁沿海台风风暴潮特征分析

郑冬梅¹, 杨生彪¹, 陈海军¹, 许鹏¹, 李涛^{2,3*}, 邓小花²

(1. 辽宁省海洋预警监测中心, 辽宁 沈阳 110001; 2. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081; 3. 自然资源部 海洋灾害预报技术重点实验室, 北京 100081)

摘 要: 收集了1991—2021年北上影响辽宁沿海的台风资料及由其引起的台风风暴潮过程资料, 通过统计分析方法, 得到北上影响辽宁沿海的台风及辽宁沿海台风风暴潮的特征。结果表明: 31年间有24个台风北上影响辽宁沿海, 平均每年为0.8个, 影响时间主要集中在7—8月。北上影响辽宁沿海的台风路径主要分为3类, 其中由中路北上的台风引起的风暴增水最大, 由西北路北上的台风引起的风暴增水最小, 由东北部北上的台风引起的台风风暴潮过程最多。北上台风的路径形成与西太平洋副热带高压及西风带的位置有关。合成分析表明, 当夏季西太平洋副热带高压偏弱、位置偏北偏东时, 有利于台风北上影响辽宁沿海。

关键词: 台风; 风暴潮; 副热带高压; 辽宁沿海

中图分类号: P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2025)06-0017-07

0 引言

辽宁省沿海海域广阔, 海洋线漫长, 处于冷暖水交汇的中纬度地区, 海洋资源丰富, 是海洋大省。辽宁省所属海域地处中纬度大陆边缘季风区, 天气过程复杂多变, 海洋灾害类型较多, 其中以风暴潮灾害造成的经济损失最大。

辽宁沿海台风风暴潮发生频率较低, 每年仅有0~1次, 主要影响时间集中在6—9月。值得注意的是, 近十年来北上台风有增多趋势, 尤其自2018年开始, 每年都有1~2个台风影响辽宁沿海, 受其影响, 台风风暴潮也呈增多趋势。风暴潮灾害居海洋灾害之首, 其破坏力巨大, 给沿海经济造成的损失也非常严重, 例如, 2020年第8号台风“巴威”引起的台风风暴潮给辽宁造成的直接经济损失达980万元^[1]。在全球变暖的大背景下, 风暴潮强度有增加趋势, 其造成的直接经济损失也呈上升趋势^[2]。

近些年来, 已有不少学者利用统计分析方法对

渤海海域的风暴潮特点进行了分析研究, 为渤海的风暴潮灾害预警防御提供了重要参考。温连杰等^[3]对1960—2013年间影响渤海的热带气旋特征进行了分析, 并根据路径和影响特点将其分成四类。李健等^[4]对影响渤海风暴潮的天气系统进行了分析, 认为渤海区域吹东南风时引起的风暴增水极值最大。徐灵芝等^[5]详细分析了北上台风及其在渤海湾引起的风暴潮过程的影响。张琪等^[6]、李杰等^[7]、曾继平等^[8]等利用统计分析方法对天津的台风风暴潮特征进行了分析。郭迎春^[9]、褚芹芹等^[10]对河北省沿海风暴潮特征、成因及发生发展规律进行了分析研究。从上述研究成果来看, 渤海不同区域台风风暴潮的特点和成因都有所不同, 因此分析辽宁沿海的台风风暴潮特征是非常有必要的。然而, 仅有王斌飞等^[11]从气象角度对辽宁风暴潮灾害的整体特点进行了分析, 认为风暴潮在辽宁各地出现次数及灾害损失程度因地理位置不同而存在差异, 辽东湾风暴潮强度小于黄海北部海岸, 但没有专门对台风风

收稿日期: 2025-02-10。

基金项目: 国家自然科学基金项目(42430407); 自然资源部海洋灾害预报技术重点实验室开放基金项目(LOMF2007)。

作者简介: 郑冬梅(1983-), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事辽宁省海洋环境预报及研究。E-mail: zzhengdongmei@163.com

*通信作者: 李涛(1981-), 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事风暴潮预报及研究。E-mail: litao@nmefc.cn

暴潮特征进行详细深入的研究。目前,对辽宁省海域的台风风暴潮特征分析的研究还较少,研究尚不够充分。本文收集整理1991—2021年台风资料及辽宁沿海台风风暴潮过程相关资料,并采用统计分析的方法,综合分析了北上影响辽宁沿海的台风时空分布特征、台风路径成因、辽宁省台风风暴潮的特征及其与西太平洋副热带高压(以下简称“西太副高”)的关系,以为辽宁台风风暴潮的预警报及防灾减灾工作提供参考。

1 数据资料来源

本文所用的台风资料主要来源于《中国海洋灾害公报》^[1]及中国气象局热带气旋资料中心最佳路径数据集^[12-13](网址: <https://tcdata.typhoon.org.cn/>);台风风暴潮增水资料部分来自辽宁沿海的验潮站,部分来自《中国风暴潮灾害史料集》^[14];500 hPa位势高度距平场资料来自欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium - Range Weather Forecasts, ECMWF)的ERA5再分析资料。

2 北上台风的特征分析

2.1 北上台风的统计特征

辽宁沿海的台风风暴潮主要由北上台风引起,分析研究北上台风的特征有助于了解辽宁沿海台风风暴潮的特征。这里的北上台风是指北上引起辽宁沿海风暴增水的台风。

根据收集到的资料,统计分析了1991—2021年的台风资料,台风特征如下:

①北上台风个数:1991—2021年北上影响辽宁沿海的台风共有24个,年平均为0.8个;

②影响区域:主要集中在辽东半岛东部沿岸(占58.3%,见图1),其次为辽东湾西部沿岸(占25.0%)、辽东半岛南部沿岸(占16.7%);

③影响月份:分布在6—9月(见图2),主要集中在7—8月,共有21个台风影响辽宁(占87.5%),9月共有2个影响辽宁沿海(占8.3%),6月共有1个影响辽宁沿海(占4.2%);

④影响强度:主要为热带风暴和热带低压,其次为强热带风暴和台风;

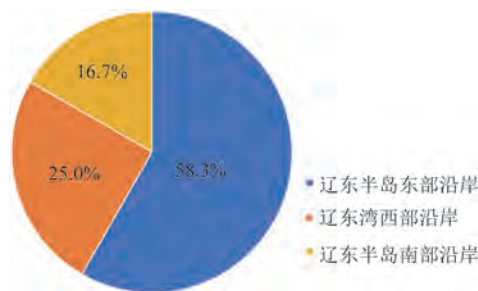


图1 1991—2021年北上台风影响区域统计图

Fig.1 Statistical chart of the affected areas by typhoons moving northward from 1991 to 2021

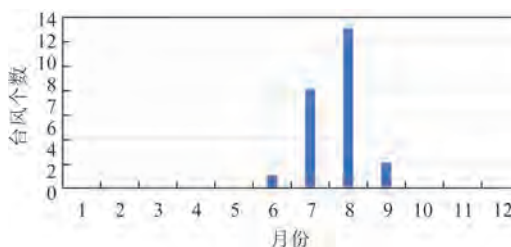


图2 1991—2021年各月北上台风次数统计

Fig.2 Statistics on the number of typhoons moving northward in each month during 1991—2021

⑤生成源地:北上台风的生成源地主要集中在(130°~140°E, 10°~20°N)附近,占总数的62.5%。

2.2 北上台风个数与生成及登陆我国的台风个数的关系

图3展示了1991—2021年间北上台风个数、登陆我国台风个数以及台风生成数的时间序列图。基于1991—2021年影响辽宁沿海的台风个数,分别



图3 1991—2021年北上台风及生成台风、登陆台风数量时间序列图

Fig.3 Temporal variations in the numbers of northward-moving typhoons, typhoon genesis, and landfall typhoons during 1991—2021

与同期台风生成数、登陆我国的台风个数进行相关分析。结果表明:北上台风个数与登陆我国的台风个数以及台风生成数之间不存在明显的相关性,其相关系数仅为0.04和0.01。这一结果清晰地表明,每年北上进入辽宁沿海的台风数量,与当年台风生成数量以及登陆我国的台风数量并无显著关联。

3 北上台风路径及其成因

3.1 北上台风的路径特点分析

影响辽宁沿海的北上台风路径大致可分为3类:一类是从东北路北上进入黄海北部,影响辽宁沿海的辽东半岛东部沿岸,这类路径为影响辽宁沿海的主要路径,1991—2021年共有14个,占58.3%;一类是从西北路北上进入渤海或靠近渤海,进而影响辽宁沿海的辽东湾西部沿岸,1991—2021年共有6个,占25.0%;最后一类是从中路北上进入渤海海峡,进而影响辽宁沿海的辽东半岛南部沿岸,1991—2021年共有4个,占16.7%。

3.2 北上台风路径的成因分析

夏季西太副高是最强盛的天气系统,对台风的生成、移动都有着至关重要的影响。为了分析北上影响辽宁沿海台风路径的成因,本文对1991—2021年台风影响辽宁海域时的500 hPa高度场进行合成分析,得到台风影响时西太副高的特征。

为了分析从西北路进入渤海的台风路径成因,对1991—2021年间从西北路进入渤海影响辽宁沿海时的500 hPa位势高度距平场进行合成分析,结果见图5a。从合成的位势高度距平场可以看出:①当热带气旋北上进入渤海海域时,与气候值相比,西太副高主体偏北,除中纬度区域外,均呈现出明显的正距平。受北环西太副高脊点西伸加强的影响,北上后的热带气旋位置更偏西,然后进入渤海。②从图中还可分析得出,气候态西太副高控制的区域($20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$)呈现明显的负距平。从位势高度等值线分布来看,该区域存在多个低值中心,表明气旋北上进入渤海前后,整个副热带地区有多个热带系统(热带气旋或热带扰动)存在,背景场有利于热带系统活动。这一点从北上台风的统计资料中也可看出,如热带气旋“达维”在渤海活动时,台风“苏拉”和“海葵”同时也在西北太平洋活动;台风“安比”在渤海活动时,台风“悟空”和“山神”同期也在活动。

为了分析从东北路进入黄海北部影响辽宁沿海的台风路径成因,对台风影响时的天气实况图及西太副高特征进行了分析。从北上台风进入黄海北部时的天气实况图及北上台风影响月西太副高的指数特征(见表1)可以看出,当西太副高主体偏北偏东、强度偏弱时,热带气旋北上进入黄海北部海域的概率加大,并在入西风槽后向东北快速移动,强度减弱或变性为温带气旋;同时,从图5b合成的台风影响时500 hPa位势高度距平场可以看出,东亚中高纬度地

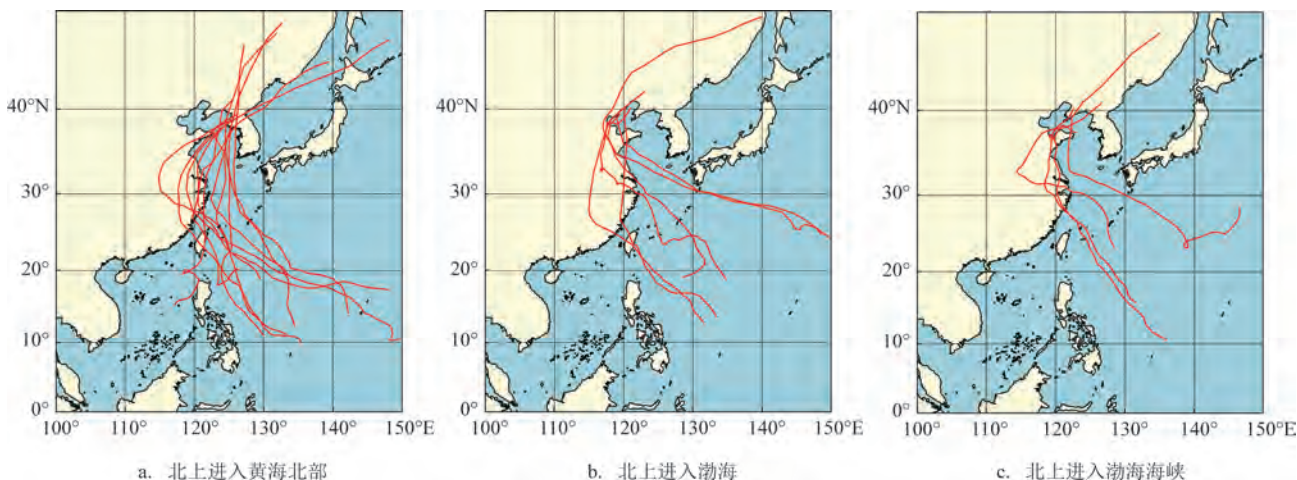
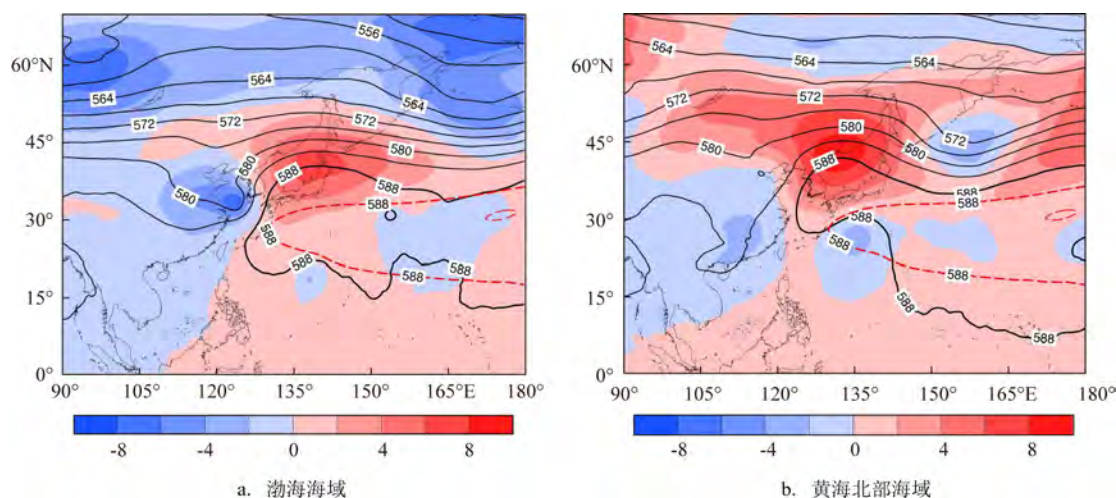


图4 1991—2021年北上进入辽宁沿海的台风路径

Fig.4 Typhoon paths moving northward into the coastal area of Liaoning Province during 1991—2021



注:填色为距平值,黑色等值线为台风影响时合成的位势高度平均值,红色虚线为1991—2020年位势高度气候值

图5 台风500 hPa位势高度距平场(单位:gpm)

Fig.5 The 500 hPa geopotential height anomaly field of typhoons (unit:gpm)

表1 北上进入黄海北部台风影响月西太副高指数距平

Tab.1 Anomalies of the Northwest Pacific Subtropical High Index in the months influenced by typhoons moving northward into the northern Yellow Sea

北上进入黄海南部的台风	面积指数距平	强度指数距平	脊线指数距平	西伸脊点指数距平
9417 台风“Fred”	-16.8	-50.2	+3.2	+39.7
9906 台风“Olga”	-29.5	-76.8	+4.0	+17.8
0004 台风“启德”	-55.9	-118.7	+0.3	+24.6
0012 台风“派比安”	-39.5	-91.9	+0.7	+2.4
0713 台风“韦帕”	+10.5	+9.7	+2.9	+9.6
0807 台风“海鸥”	-24.5	-35.0	-1.3	-0.8
1105 台风“米雷”	-37.1	-76.6	+2.0	+1.7
1109 台风“梅花”	-39.0	-107.0	0	+7.0
1215 台风“布拉万”	-46.1	-167.1	+4.5	+4.6
1410 台风“麦德姆”	+11.7	+60.2	-1.3	-9.2
1509 台风“灿鸿”	+5.5	+66.6	+0.8	+8.4
1913 台风“玲玲”	+13.6	+80.7	+1.9	-34.6
2002 台风“黑格比”	+59.5	+155.6	+2.1	-8.8
2008 台风“巴威”				

注:西太副高的面积指数和强度指数在2009年发生了一次气候跃变,在统计距平时平均值分别用的是2009年之前和之后的平均值

区位势高度距平以负值为主,在日本及日本海附近有正距平存在,表明西太副高的主体较气候态仍偏北,但我国中纬度地区有明显的西风槽东移。

对比图5a和图5b可以看出,当西太副高主体偏北,且北环西太副高西伸加强时,北上的热带气旋

容易进入渤海海域;而当西太副高同样整体偏北(较前种情况偏南)时,若西风槽槽底较深,北上的热带气旋容易在较低纬度(与进入渤海海域的气旋相比)并入西风槽,即影响黄海中北部海域。金荣花等^[15]的研究也表明,不仅西太副高位置和强度变

化对台风登陆北上起决定性作用,西风带系统活动也有利于台风登陆后北折和持续北上。

4 辽宁台风风暴潮特征及与西太副高的关系

4.1 辽宁台风风暴潮特征分析

对以上3个路径的台风风暴潮增水进行统计分析,结果表明,北上进入渤海海峡的台风引起的风暴增水较大,最大为160 cm;其次为北上进入黄海北部的台风引起的风暴增水,最大为110 cm;北上进入渤海的台风引起的风暴增水最小,均小于100 cm,这与王斌飞等^[1]的研究结论一致。分析其原因,进入渤海海峡时台风强度较强,均为热带风暴级别,受影响区域都处于台风的右半圆,台风本身引起的增水较大;另外,由于渤海海峡自身的地理位置,产生的海浪也较大,因此浪潮叠加引起的风暴增水较大;而进入渤海的台风强度较弱,为热带低压,且距离辽东湾较远,所以引起的增水较小。

在24次台风风暴潮过程当中,仅有两次台风风暴潮过程对辽宁造成了经济损失,分别是9415号台风风暴潮造成经济损失26.1亿元,0509号台风风暴潮造成经济损失0.7亿元^[1]。引起这两次台风风暴潮灾害的台风路径均为中路北上进入渤海海峡,进而引发了大连市及丹东市沿海的台风风暴潮灾害,给大连市、丹东市造成了经济损失,其中9415号台风风暴潮在辽东半岛东部沿岸造成80~160 cm的风暴增水,0509号台风风暴潮在辽东半岛东部沿岸造成的风暴增水较小(低于100 cm)。这两次风暴潮过程的增水均未超过当地警戒潮位,但由于台风影响时强度较强,且台风位置距离受影响沿海较近,产生的海浪较大,海浪与风暴潮叠加,进而对沿岸造成了经济损失。

4.2 辽宁台风风暴潮发生时夏季西太副高特征分析

对辽宁沿海台风风暴潮发生年份夏季西太副高的面积指数、强度指数、脊线指数及西伸脊点指数进行合成分析,结果见表2。从表中可以看到,辽宁台风风暴潮发生年份的夏季西太副高面积偏小、强度偏弱,位置偏北偏东的特点非常明显,这说明此时台风更容易受西太副高边缘引导气流影响北

上进入辽宁,进而在辽宁引起台风风暴潮过程,这一结论与前文北上台风路径成因分析的结论一致。

表2 西太副高指数合成分析

Tab.2 Composite analysis of the Northwest Pacific Subtropical High Index

副高指数	合成年平均值	气候平均值
面积指数	66.9	81.6
强度指数	156.8	183.4
脊线指数	28.7	25.7
西伸脊点指数	129.1	123.7

5 结论

本文收集并统计了1991—2021年北上影响辽宁沿海的台风资料及由其引起的台风风暴潮过程资料,分析了辽宁沿海台风风暴潮特征。结论如下:

①1991—2021年共有24个台风北上影响辽宁沿海,年平均为0.8个,主要影响时间集中在7—8月,其中有两次台风风暴潮过程对辽宁沿海造成灾害,主要影响区域为大连市沿海。

②影响辽宁沿海的北上台风路径主要分为东北路、中路和西北路3条,其中由中路北上的台风引起的风暴潮增水最大,影响区域为大连附近沿岸海域,给辽宁沿海造成经济损失的两次台风风暴潮过程也由中路北上的台风引起;由西北路北上的台风引起的风暴潮增水最小,影响区域为辽东湾沿岸海域;由东北路北上的台风个数最多,影响区域主要为黄海北部沿岸海域。

③当西太副高主体位置偏北,且北环西太副高西伸加强时,北上的热带气旋容易进入渤海海域;而当西太副高同样整体偏北(较进入渤海时的位置偏南),且西风槽槽底较深时,北上的热带气旋容易在较低纬度(与进入渤海海域的气旋相比)并入西风槽,即影响黄海中北部海域。

④北上影响辽宁省的台风个数与西太平洋台风生成个数和登陆我国个数的关系并不明显,而受夏季西太副高的影响比较明显,当夏季西太副高偏弱、位置偏北偏东时,台风容易北上影响辽宁沿海。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国自然资源部. 中国海洋灾害公报[EB/OL]. [2025-02-10]. <https://www.nmdis.org.cn/hygb/zghyzhgb/>.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. China marine disaster bulletin[EB/OL]. [2025-02-10]. <https://www.nmdis.org.cn/hygb/zghyzhgb/>.
- [2] 谢丽, 张振克. 近20年中国沿海风暴潮强度、时空分布与灾害损失[J]. 海洋通报, 2010, 29(6): 690-696.
XIE L, ZHANG Z K. Study on the relationship between intensity, spatial-temporal distribution of storm surges and disaster losses along the coast of China in past 20 years[J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(6): 690-696.
- [3] 温连杰, 刘桂艳, 刘清容, 等. 1990—2013年影响渤海的热带气旋特征分析[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(8): 84-89.
WEN L J, LIU G Y, LIU Q R, et al. Statistical analysis of tropical cyclones which affected the Bohai Sea during 1960—2013[J]. Ocean Development and Management, 2016, 33(8): 84-89.
- [4] 李健, 侯一筠, 莫冬雪, 等. 黄、东海天气系统对渤海风暴潮影响[J]. 海洋与湖沼, 2020, 51(2): 219-227.
LI J, HOU Y J, MO D X, et al. Storm surge in the Bohai Sea affected by the Yellow sea and East China Sea weather systems[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2020, 51(2): 219-227.
- [5] 徐灵芝, 卜清军. 北上台风及其对渤海湾的影响分析[J]. 天津航海, 2017(4): 65-68.
XU L Z, PU Q J. Analysis of northward-moving typhoons and their impacts on the Bohai Bay[J]. Tianjin of Navigation, 2017(4): 65-68.
- [6] 张琪, 牛福新, 叶凤娟, 等. 近30年影响天津的台风风暴潮分析[J]. 天津航海, 2019(3): 64-66.
ZHANG Q, NIU F X, YE F J, et al. The analysis of the typhoon storm surge influencing Tianjin over the last nearly 30 years[J]. Tianjin of Navigation, 2019(3): 64-66.
- [7] 李杰, 谭晓璇, 牛福新, 等. 天津沿海风暴潮特征及其与环境要素的关系[J]. 天津航海, 2021(1): 50-54.
LI J, TAN X X, NIU F X, et al. The features of Tianjin coastal storm surge and its relations with the environmental elements[J]. Tianjin of Navigation, 2021(1): 50-54.
- [8] 曾继平, 姜欢欢, 李希彬. 天津沿海风暴潮灾害近20年统计及其成因分析[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 42(S1): 187-191.
ZENG J P, JIANG H H, LI X B. Statistical analysis of Tianjin coastal storm surge disasters of the past 20 years[J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(S1): 187-191.
- [9] 郭迎春. 河北省沿海风暴潮的发生规律研究[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(4): 84-91.
GUO Y C. Study on the rules of occurrence of storm tide in Hebei coastal area[J]. Journal of Natural Disasters, 1997, 6(4): 84-91.
- [10] 褚芹芹, 张万磊, 洪新, 等. 河北省沿海风暴潮特征及成因分析[J]. 海洋预报, 2020, 37(1): 18-27.
CHU Q Q, ZHANG W L, HONG X, et al. Characteristic and affecting factors of storm surges along the coast of Hebei Province[J]. Marine Forecasts, 2020, 37(1): 18-27.
- [11] 王斌飞, 翟晴飞, 敖雪, 等. 辽宁风暴潮灾害分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(6): 1765-1768.
WANG B F, ZHAI Q F, AO X, et al. Analysis of storm surge disasters in Liaoning[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(6): 1765-1768.
- [12] 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.
- [13] LU X Q, 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.
- [14] 于福江, 董剑希, 叶琳, 等. 中国风暴潮灾害史料集: 1949—2009[M]. 北京: 海洋出版社, 2015.
YU F J, DONG J X, YE L, et al. Collection of storm surge disasters historical data in China 1949—2009[M]. Beijing: China Ocean Press, 2015.
- [15] 金荣花, 高拴柱, 顾华, 等. 近31年登陆北上台风特征及其成因分析[J]. 气象, 2006, 32(7): 33-39.
JIN R H, GAO S Z, GU H, et al. An analysis on characteristics of landing and going Northward typhoons and its causes during 1975—2005[J]. Meteorological Monthly, 2006, 32(7): 33-39.

Analysis of typhoon storm surge characteristics in the Liaoning coast

ZHENG Dongmei¹, YANG Shengbiao¹, CHEN Haijun¹, XU Peng¹, LI Tao^{2,3*}, DENG Xiaohua²

(1. Liaoning Center for Marine Warning and Monitoring, Shenyang 110001, China; 2. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China; 3. Key Laboratory of Marine Hazards Forecasting, Ministry of Natural Resources, Beijing 100081, China)

Abstract: We collected data on typhoons that affected the coastal area of Liaoning Province from 1991 to 2021, and analyzed the characteristics of the northward movement typhoons and the typhoon storm surges in the coastal

area of Liaoning Province through statistical analysis methods. The results show that 24 typhoons have moved northward and affected the Liaoning coastal area during the 31 years, with an average frequency of 0.8 per year and an impacting period from July to August. The major typhoon paths can be divided into three categories. The storm surge caused by typhoons moving north in the middle path is the largest, the storm surge caused by typhoons moving north in the northwest path is the smallest, and the storm surge process caused by typhoons moving north in the northeast path has the most frequency. The path of a northward typhoon is related to the position of the western Pacific subtropical high and westerlies. Through synthetic analysis, it is shown that the relative weak subtropical high pressure in the western Pacific in summer benefits the formation of a northward movement typhoon affecting the Liaoning coastal area.

Key words: typhoon; storm surges; subtropical high pressure; Liaoning coast