

1949—2019年中心经过渤海的北上台风统计分析

朱男男^{1,2}, 王科¹, 胡田田¹, 赵玉娟³, 孙晓磊¹

(1. 天津海洋中心气象台, 天津 300074; 2. 天津市海洋气象重点实验室, 天津 300074; 3. 天津市气象信息中心, 天津 300074)

摘 要: 利用中国气象局热带气旋最佳路径数据集、自动站资料和常规观测资料, 统计1949—2019年中心经过渤海海域的北上台风, 共计25次过程。台风强度统计结果表明44%的台风过程为热带低压, 16%为热带风暴, 28%为强热带风暴, 12%为台风残涡。台风中心进入渤海后, 48%的台风强度减弱, 28%的强度不变, 24%的强度增强。中心经过渤海的台风96%出现在7—8月, 其中7月中下旬—8月上旬占总数的64%, 8月上旬的台风数目最多, 占总数的29%。北上台风中心最大风速在10~30 m/s, 台风入海后平均风速减弱2 m/s。台风中心最小气压为970 hPa, 中心最大气压为1 004 hPa, 平均气压为992 hPa。西北路径台风中88%进入渤海后强度减弱, 偏北路径台风中87.5%进入渤海后强度不变, 东北路径台风中83.3%进入渤海后强度增强。

关键词: 北上台风; 统计分析; 聚类分析; 渤海; 预报指标

中图分类号: P442⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2024)03-0090-08

0 引言

当台风临近渤海时, 其强度和路径的预报难度较大。例如2018年8月14日08时(北京时, 下同)中央气象台对14号台风“摩羯”停止编号后, 减弱的台风残涡向北移动, 进入渤海海域后突然增强, 与北方的冷空气结合后给渤海带来了一次历史上罕见的大风、特大暴雨和风暴潮过程。根据自动站记录, 2018年8月15日渤海中部出现10~11级东北风, 阵风14级(渤中3号自动站2 min平均风速为26.2 m/s, 极大风速为41.7 m/s; 渤中13号自动站2 min平均风速为31.7 m/s, 极大风速为42.3 m/s); 旅大32号自动站24 h降水量达到423.6 mm; 滨海新区验潮站监测显示, 最高潮位达到5.18 m(警戒潮位为4.80 m)。然而, 在台风“摩羯”24 h预报中, 仅预报渤海会出现7~8级东北风, 14级强风、特大暴雨和风暴潮均出现漏报。

近年来北上台风对渤海影响频繁^[1], 对渤海周边港口、海上石油平台作业及船舶运输产生较大影

响, 给环渤海经济带来巨大的损失。学者对影响我国台风的研究多集中在台风强度、台风路径、发生频数和登陆地点^[2-4]等, 研究区域多为登陆相对频繁的华南、华东区域^[5-7], 研究内容多为环流形势、影响系统、垂直风切变、冷空气侵入和海表温度等环境因子的个例分析^[8-11]以及针对台风路径转变^[12]和台风近海加强的成因研究^[13]。对影响渤海的北上台风的研究甚少, 研究内容多是台风强度变化和路径变化成因探讨的个例分析^[14-15], 包括单个台风环境场^[16]、北上变性成因分析^[17]、降水成因分析^[18]、台风形成灾害的成因分析^[19-20]和数值模拟^[21]等。前人对渤海台风的统计分析多是针对台风路径及其对应的环流形势, 没有对进入渤海的台风强度变化深入研究。而北上台风进入渤海后的强度变化是台风预报的难点, 沿海作业用户对台风进入渤海后准确的强度预报需求十分迫切。文中侧重研究台风进入渤海后的强度变化以及研究范围内台风路径对台风强度的预报指标。

文中通过中国气象局热带气旋最佳路径数据

收稿日期: 2023-02-17。

基金项目: 国家自然科学基金(41675046); 国家重点研发计划重点专项(2019YFC1510100); 环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM-202210)。

作者简介: 朱男男(1980-), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事海洋预报和研究工作。E-mail: 18296759@qq.com

集、自动站资料和常规观测资料,统计1949—2019年中心经过渤海海域的北上台风过程,对进入渤海的台风强度、台风中心进入渤海后的强度变化、台风出现时间、台风中心最大风速、台风中心气压等进行总结和分析,针对进入渤海的台风路径进行聚类分型并提取经验指标,希望为中心进入渤海的北上台风强度预报工作提供帮助。

1 资料简介

文中使用中国气象局热带气旋最佳路径数据集资料,包括热带气旋编号、名称、时间、强度、中心位置、中心最低气压和最大风速,时间为1949—2019年。实况使用渤海海洋平台自动站风和降水资料,滨海新区验潮站逐10 min潮位监测数据。

2 中心经过渤海的北上台风统计分析

2.1 中心经过渤海的北上台风个例

统计了1949—2019年中心经过渤海的北上台风过程,共计25次,分别是2019年9号台风“利奇马”("Lekima")、2018年14号台风“摩羯”("Yagi")、

2018年18号台风“温比亚”("Rumbia")、2012年10号台风“达维”("Damrey")、2005年9号台风“麦莎”("Matsa")、2004年21号台风“海马”("Haima")、2002年9号台风“风神”("Fengshen")、2001年8号台风“桃芝”("Toraji")、1994年6号台风“Tim”、14号台风“Ellie”、16号台风“Fred”、1985年9号台风“Mamie”、1984年6号台风“ED”、1973年3号台风“Billie”、1972年6号台风“Rita”、1967年9号台风“Dot”、1966年14号台风“Winnie”、1965年14号台风“Harriet”、1964年11号台风“Helen”、1962年8号台风“Opal”、1960年8号台风“Polly”、10号台风“Shirley”、1955年7号台风“Clara”、1953年3号台风“Kit”、6号台风“Nina”。中心经过渤海的北上台风的年度分布并不均匀(见图1),一般一年只有一个,偶尔会出现两个,最多的是1994年,有3个。此类台风一般间隔3~5 a出现一次,时间间隔最长的是1973年和1984年,相距超过10年,近两年出现在渤海的北上台风有增多的趋势。

2.2 中心经过渤海台风强度和入海后强度变化

在25次北上台风过程中,当台风到达渤海时有4次强度为台风残涡,占总数的12%;有11次是热带

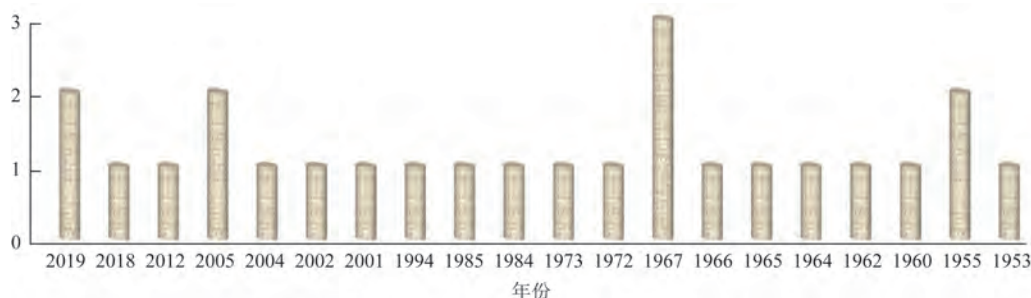


图1 1949—2019年中心经过渤海的台风

Fig.1 Number of typhoons passing through the Bohai Sea from 1949 to 2019

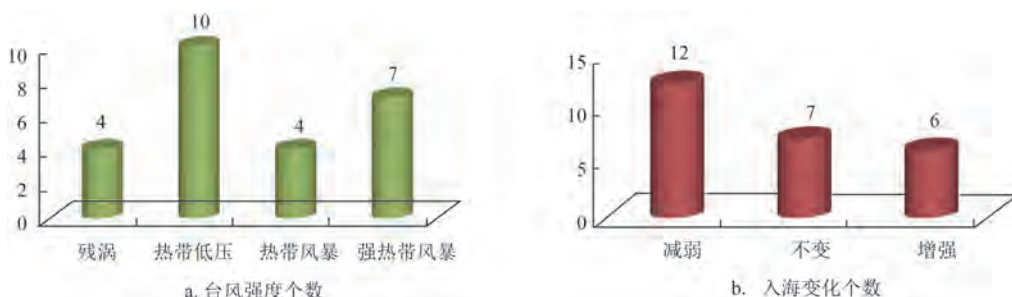


图2 1949—2019年北上台风强度及其入海后强度变化

Fig.2 The intensity and its variation of the northward-movement typhoons from 1949 to 2019

低压,占总数的44%,比例最大;有4次是热带风暴,占总数的16%;有7次是强热带风暴,占总数的28%(见图2a)。由于影响渤海的台风中有28%为强热带风暴,所以仍需要高度重视和警惕。为讨论渤海下垫面对北上台风的影响,文中统计了25次北上台风中心进入渤海前后的强度变化,其中,12个台风进入渤海后减弱(见图2b),占总数的48%,7个台风入海强度不变,占总数的28%,6个台风入海强度增强,占总数的24%。大部分台风中心进入渤海后减弱,入海增强的台风数目最少。这其中,2018年14号台风“摩羯”中心进入渤海后快速增强,气压由1 000 hPa减小到992 hPa(图略),中心最大风速由13 m/s增大至23 m/s,是北上台风入海增强个例中最突出的。

2.3 中心经过渤海台风出现时间

在25次北上台风过程中,8月上旬出现7次过程(见图3),7月下旬出现5次过程,7月中旬出现4次过程,8月中旬和下旬均出现3次过程,7月上旬和9月中旬均出现1次过程。中心经过渤海的台风绝大多数出现在主汛期,其中有一个台风例外,即

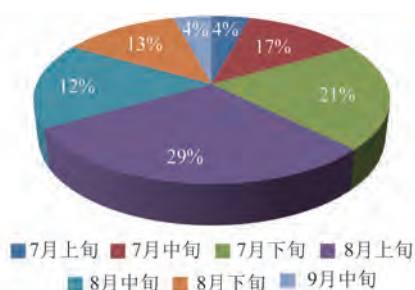
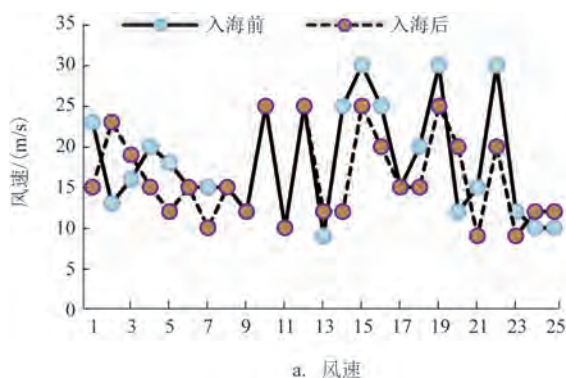


图3 北上台风出现时间

Fig.3 The timing of the northward-movement typhoons



a. 风速

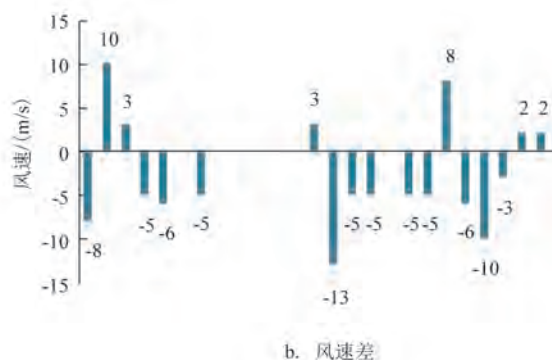
2004年21号台风“海马”，出现在9月中旬。大部分台风出现在7月中下旬—8月上旬，共有16个台风，占总数的一半以上。8月上旬的台风最多，共有7次，占总数的29%。

2.4 中心经过渤海北上台风的最大风速

图4a为北上台风入海前后中心最大风速,最大值为30 m/s,最小值为10 m/s,25个台风入海前平均风速为18 m/s,入海后为16 m/s,相差2 m/s,说明台风中心进入渤海后风速减弱。从台风入海前后风速差值上看(见图4b),入海后风速减弱,最大可达13 m/s,为1973年3号台风“Billie”,它的热带气旋等级由入海前的强热带风暴减弱为热带低压;另一次入海减弱过程是1960年8号台风“Polly”,台风中心到达渤海后风速减小了10 m/s。入海增强的台风过程有两次比较明显,一次是2018年14号台风“摩羯”,入海后风速增大10 m/s;另一次是1962年8号台风“Opal”,入海后风速增大8 m/s。

2.5 中心经过渤海北上台风的海平面气压

北上台风入海后,海平面气压随着台风强度的变化而变化,台风入海增强则气压减弱,最大减小8 hPa,台风入海减弱则气压增加,最大增加14 hPa(见图5)。从25个台风过程的中心气压看,最小中心气压为970 hPa,最大中心气压为1 004 hPa,平均中心气压为992 hPa,入海后中心气压平均增加1 hPa。台风中心气压与台风风速总体上呈反位相分布,即气压低时风速大,如1972年6号台风“Rita”,中心气压为970 hPa,风速也是所有台风中最大的,为30 m/s。但风速和气压不完全是一一对应关系,如一次台风



b. 风速差

图4 北上台风入海前后风速和风速差

Fig.4 Wind speed and wind speed difference before and after the northward-movement typhoons passing through the Bohai Sea

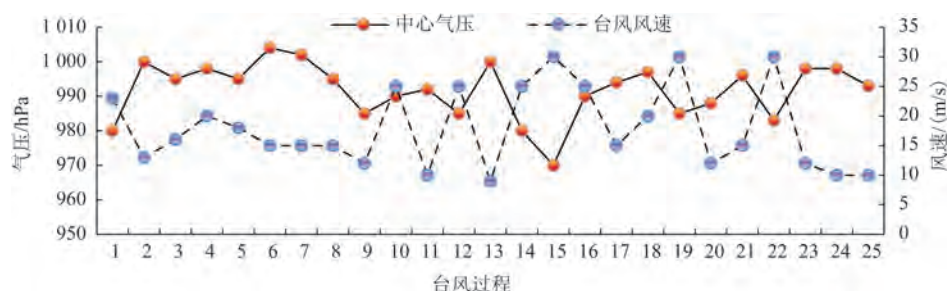


图5 北上台风海平面中心气压和中心最大风速

Fig.5 Sea level pressure and maximum wind speed at the typhoon center of the northward-movement typhoons

过程中中心气压为 1 004 hPa, 中心最大风速可达 15 m/s, 而另一次过程的中心气压为 993 hPa, 中心最大风速则是 10 m/s。

3 北上台风路径分型和预报指标

北上台风路径分类方法采取的是 K 均值聚类法, 研究范围是 $33^{\circ}\sim 41^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ 的黄渤海海域及其沿海地区。利用中国气象局最佳路径数据资料集中 3 h 一次的台风路径经纬度和强度资料, 计算台风路径中的 5 个指标^[22], 即台风中心经度、纬度、经向方差、纬向方差和对角线方向方差。3 个方差是用不同时刻的台风经度、纬度计算得到的。计算公式为:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n w(i) x_i}{\sum_{i=1}^n w(i)} \quad (1)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n w(i) y_i}{\sum_{i=1}^n w(i)} \quad (2)$$

式中: x_i 和 y_i 是台风第 i 时刻的经度和纬度; n 是定位次数; $w(i)$ 是第 i 时刻对应台风强度权重, 用风速平方根表示。台风路径按经纬度聚类分析可分为 4 类, 分别为西北路径型、偏北路径型、东北路径型、转折路径型。

西北路径型为 $33^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 之间向西北方向移动的台风(见图 6a), 33°N 前后的台风路径的经度范围在 $125^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$, 位置在黄海中部海域范围内。此类台风路径多经过东海并向黄海移动, 再经过渤海海峡或者从黄海北部伸向渤海。西北路径型台风共有 9 个, 其中 8 个台风中心经过渤海后强度减弱,

仅有 1 个台风中心强度不变, 即 88% 的西北路径型台风进入渤海后强度减弱。台风路径与 500 hPa 高度场密切相关^[23-24], 西北路径型台风 500 hPa 环流形势中的副热带高压位置偏北(见图 7a), 西伸脊点偏西, 脊线位置明显偏北, 台风东侧副热带高压 588 等高线呈西北—东南向分布, 副热带高压外围环流引导北上台风向西北方向移动。因此, 这种环流背景下研究区域内的台风多为西北路径。

东北路径型为在 $33^{\circ}\sim 41^{\circ}\text{N}$ 之间向东北方向移动的台风(见图 6b)。此类台风多为从华南沿海或者江浙一带登陆的北上台风, 深入内陆后, 在 33°N 前后转向东北方向移动, 在 $33^{\circ}\sim 41^{\circ}\text{N}$ 之间经过山东省或者河北省移向渤海, 33°N 前后台风所在经度在 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 之间。东北路径型台风共有 6 个, 其中 5 个台风经过渤海后强度增强, 1 个台风强度不变, 因此, 83.3% 的东北路径型台风进入渤海后强度增强。东北路径型和西北路径型台风的 500 hPa 环流形势相反(见图 7b), 前者副热带高压西伸脊点位于台风南部, 脊线位置明显偏南, 台风东侧副热带高压 588 等高线在研究区域内呈东北—西南向分布, 副热带高压外围环流引导台风向东北方向移动。因此, 这种环流背景下研究区域内的台风多为东北路径。

偏北路径型为在 $33^{\circ}\sim 41^{\circ}\text{N}$ 之间向偏北方向移动的台风(见图 6c)。北上台风登陆后向北移动, 路径多在沿海和陆地交界处移动, 33°N 前后台风所在经度在 $120^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$ 之间。偏北路径型台风共有 8 个, 其中 7 个台风中心经过渤海后强度不变, 1 个台风强度减弱, 因此, 87.5% 的偏北路径的台风进入渤海后强度不变。偏北路径下 500 hPa 副热带高压在研究区域内的环流呈南北向(见图 7c), 这种形势下台风多向偏北方向移动。

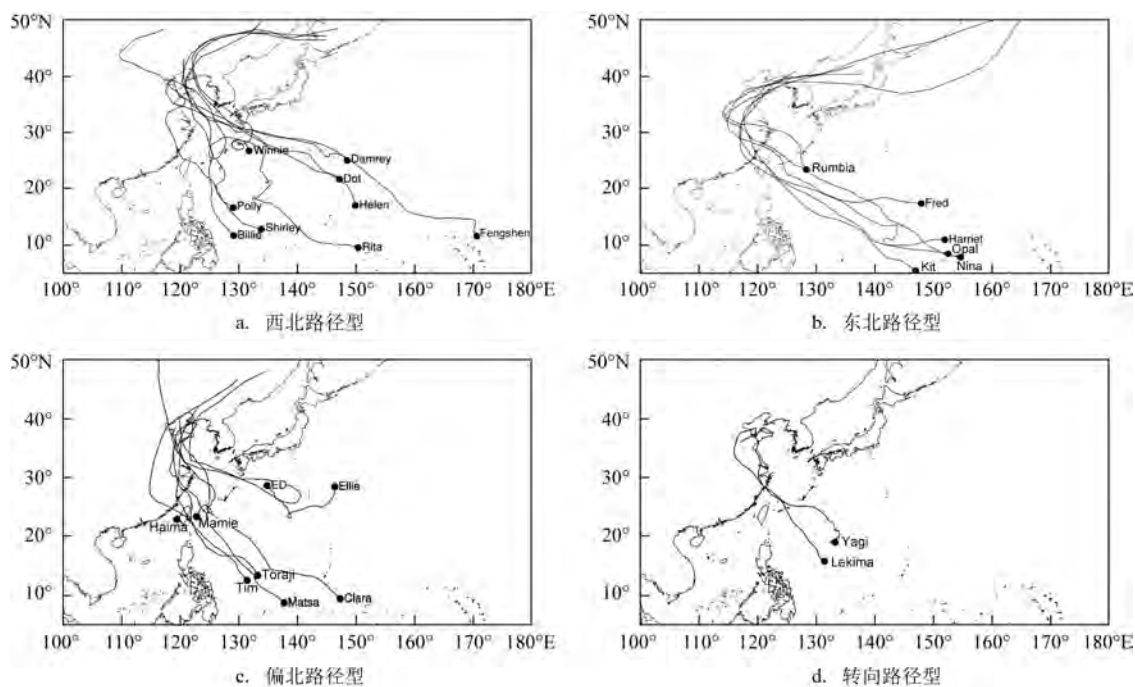


图6 中心经过渤海北上台风路径分型

Fig.6 Track patterns of northward-movement typhoons passing through the Bohai Sea

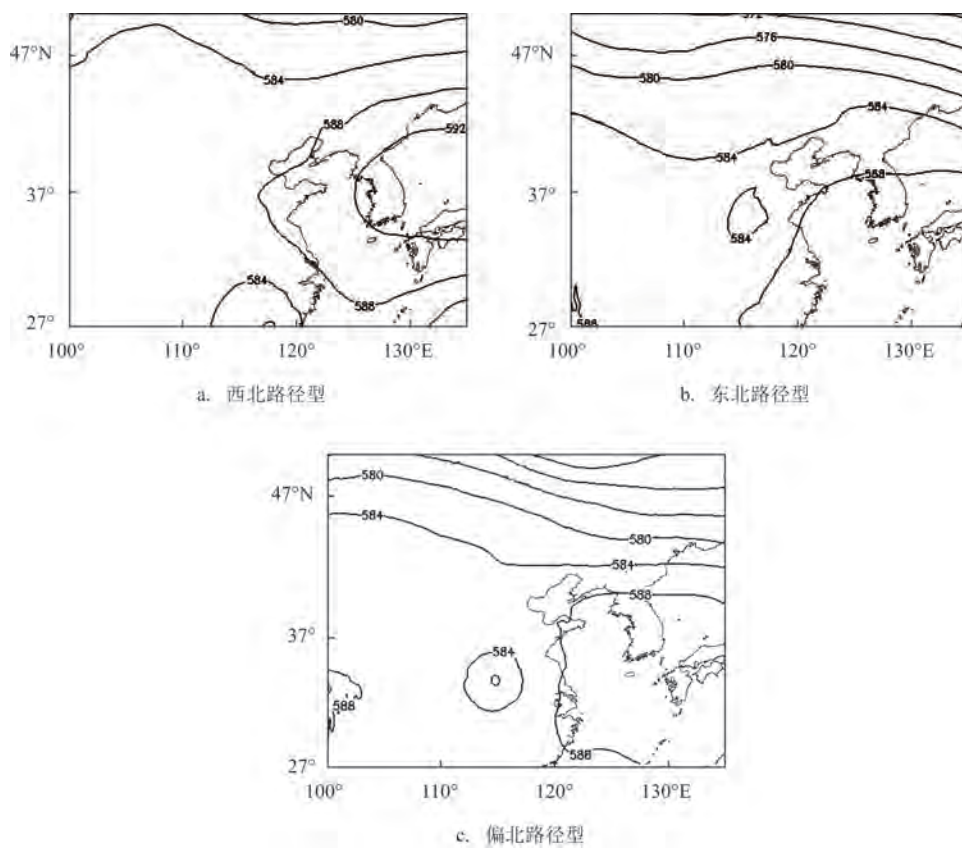


图7 不同路径北上台风的500 hPa高度场(单位:10 gpm)

Fig.7 500 hPa geopotential height of northward-movement typhoons (unit: 10 gpm)

转折路径型台风共有2个(见图6d),分别是2019年9号台风“利奇马”和2018年14号台风“摩羯”。台风“摩羯”在改变路径前为东北路径型,它符合东北路径型的特征,北部的冷空气南下使得引导气流变为偏北风,台风在进入渤海一段时间后转向南移动。该类台风在未转向前符合东北路径型的指标特征,入海后强度增强。转向路径的台风较为复杂,需要结合具体环流形势进行分析。

500 hPa副热带高压东侧与台风相近的等高线走向对北上台风路径有一定指示意义,通过北上台风移动到33°N以北的路径特征可以大致判断其进入渤海后的强度变化。

4 结论

文中利用中国气象局热带气旋最佳路径数据集、自动站资料和常规观测资料,统计了1949—2019年中心经过渤海海域的北上台风。结论如下:

①在25次北上台风中心到达渤海时,12%的台风强度是台风残涡,44%是热带低压,占总数比例最多,16%是热带风暴,28%是强热带风暴。48%的台风经过渤海后强度减弱,12%的强度不变,24%的强度增强。

②中心经过渤海的北上台风有7次出现在8月上旬,5次出现在7月下旬,4次出现在7月中旬。大部分台风出现在7月中下旬—8月上旬,一共有16个台风,占总数的64%,其中,8月上旬的台风最多,占总数的29%。25个台风入海后平均中心最大风速比入海前减少2 m/s,最小中心气压在970~1 004 hPa之间。

③台风路径经过聚类分析后,分为西北路径型、偏北路径型、东北路径型和转折路径型。西北路径型台风副热带高压西伸脊点偏西,脊线位置明显偏北,台风东侧副热带高压588等高线呈西北—东南向分布,88%的台风进入渤海后强度减弱。东北路径型台风副热带高压脊线位置偏南,台风东侧副热带高压588等高线在研究区域内呈东北—西南向分布,83.3%的台风进入渤海后强度增强。偏北路径型台风的500 hPa副热带高压在研究区域内的环流呈南北向,87.5%的台风进入渤海后强度不变。转向路径的台风较为复杂,需要具体问题具体分析。

参考文献:

- [1] 周群, 黄焕卿, 张润宇, 等. 2019年11月西北太平洋热带气旋生成频数异常偏多的成因分析[J]. 海洋预报, 2021, 38(1): 18-25.
ZHOU Q, HUANG H Q, ZHANG R Y, et al. Study of the causation of anomaly higher tropical cyclone genesis frequency over the western North Pacific in November 2019[J]. Marine Forecasts, 2021, 38(1): 18-25.
- [2] 陈联寿, 孟智勇. 我国热带气旋研究十年进展[J]. 大气科学, 2001, 25(3): 420-432.
CHEN L S, MENG Z Y. An overview on tropical cyclone research progress in China during the past ten years[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2001, 25(3): 420-432.
- [3] 王艳玲, 黄磊. 2009—2018年西北太平洋台风特征统计分析[J]. 广州航海学院学报, 2021, 29(2): 28-32.
WANG Y L, HUANG L. Statistics and analysis of typhoon in the Northwest Pacific from 2009 to 2018[J]. Journal of Guangzhou Maritime University, 2021, 29(2): 28-32.
- [4] 曾瑾瑜, 林金淦, 余洋, 等. 2109号台风“卢碧”路径和强度特征及预报偏差分析[J]. 海洋预报, 2022, 39(3): 10-24.
ZENG J Y, LIN J G, YU Y, et al. An analysis on the track and intensity characteristics and forecast deviation of typhoon 2109 "Lupit"[J]. Marine Forecasts, 2022, 39(3): 10-24.
- [5] 吴幸毓, 高珊, 韩美, 等. 影响福建的早台风统计特征[J]. 应用海洋学报, 2020, 39(4): 453-459.
WU X Y, GAO S, HAN M, et al. Statistical characteristics of early typhoons affecting Fujian Province[J]. Journal of Applied Oceanography, 2020, 39(4): 453-459.
- [6] 吴迪生, 赵雪, 冯伟忠, 等. 南海灾害性土台风统计分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21(3): 309-314.
WU D S, ZHAO X, FENG W Z, et al. The statistical analyse to the local harmful typhoon of South China Sea[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2005, 21(3): 309-314.
- [7] 刘巧辉, 郑有飞, 宋雅杰. 近60年登陆和影响福建福鼎地区台风的统计分析[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(1): 129-133.
LIU Q H, ZHENG Y F, SONG Y J. Statistical analysis of typhoon landing and impacting Fuding area of Fujian Province during 1948-2007[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(1): 129-133.
- [8] 刘天绍, 刘孙俊, 杨玺, 等. 1951—2015影响广东沿海台风的统计分析[J]. 海洋预报, 2018, 35(4): 68-74.
LIU T S, LIU S J, YANG X, et al. Statistical analysis of the typhoon influencing Guangdong province during 1951—2015[J]. Marine Forecasts, 2018, 35(4): 68-74.
- [9] 徐明, 余锦华, 赖安伟, 等. 环境风垂直切变与登陆台风强度变化关系的统计分析[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(4): 339-344.
XU M, YU J H, LAI A W, et al. A statistical analysis on the relations between effect of wind vertical shear and landing typhoons intensity[J]. Torrential Rain and Disasters, 2009, 28(4):

- 339-344.
- [10] 郑峰, 曾智华, 雷小途, 等. 中国近海突然增强台风统计分析[J]. 高原气象, 2016, 35(1): 198-210.
ZHENG F, ZENG Z H, LEI X T, et al. A statistical study of rapid intensification of typhoons over coastal water of China[J]. Plateau Meteorology, 2016, 35(1): 198-210.
- [11] 谢骏, 朱先德, 高大鲁, 等. 我国东部海域不同类型的登陆再发展变性台风的统计分析[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(2): 251-262.
XIE J, ZHU X D, GAO D L, et al. Statistical analysis of different types of typhoon landed on China's eastern coast with re-intensification and extratropical transition[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2018, 49(2): 251-262.
- [12] 杨诗琪, 李英, 陈联寿. 西北太平洋热带气旋强度变化的若干特征[J]. 热带气象学报, 2017, 33(5): 666-674.
YANG S Q, LI Y, CHEN L S. The characteristics of tropical cyclone intensity change in Western North Pacific[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2017, 33(5): 666-674.
- [13] 文永仁, 戴高菊, 龚月婷, 等. 我国台风路径突变研究进展[J]. 气象科技, 2017, 45(6): 1027-1035.
WEN Y R, DAI G J, GONG Y T, et al. Advances in research on sudden track change of typhoons in China[J]. Meteorological Science and Technology, 2017, 45(6): 1027-1035.
- [14] 张玲, 许映龙, 黄奕武. 1330号台风海燕强烈发展和快速移动原因分析[J]. 气象, 2014, 40(12): 1464-1480.
ZHANG L, XU Y L, HUANG Y W. Analysis of the intense development and fast-moving of No. 1330 typhoon Haiyan[J]. Meteorological Monthly, 2014, 40(12): 1464-1480.
- [15] 孙密娜, 杨洋, 姜皓严. 影响黄渤海区域两次北上台风的对比分析[J]. 海洋预报, 2018, 35(5): 74-84.
SUN M N, YANG Y, JIANG H Y. Comparative analysis of two northward typhoons affecting the Bohai and Yellow Sea areas[J]. Marine Forecasts, 2018, 35(5): 74-84.
- [16] 朱男男, 王彦, 苏杭, 等. 台风“摩羯”(1814)残涡经渤海突然增强成因分析[J]. 海洋通报, 2020, 39(4): 464-474.
ZHU N N, WANG Y, SU H, et al. Analysis of the intense development on residual vortex of typhoon Yagi (1814) [J]. Marine Science Bulletin, 2020, 39(4): 464-474.
- [17] 朱男男, 左涛, 苏杭. 台风“摩羯”和“利奇马”经渤海强度变化特征分析[J]. 气象科技, 2022, 50(2): 214-223.
ZHU N N, ZUO T, SU H. Characteristic analysis of intensity variation of typhoon Yagi and Lekima above Bohai Sea[J]. Meteorological Science and Technology, 2022, 50(2): 214-223.
- [18] 杨晓亮, 杨敏, 隆璘雪, 等. 影响环渤海地区的北上台风特征及其各类型典型大暴雨过程分析[J]. 海洋预报, 2021, 38(4): 99-106.
YANG X L, YANG M, LONG L X, et al. The characteristics of northward-moving typhoons affecting the Bohai rim region and the analysis of various types of related heavy rainfall processes [J]. Marine Forecasts, 2021, 38(4): 99-106.
- [19] 温连杰, 刘桂艳, 刘清容, 等. 1960-2013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.
- [20] 梁军, 陈联寿, 李英, 等. 北上变性热带气旋对辽东半岛降水的影响[J]. 热带气象学报, 2008, 24(5): 449-458.
LIANG J, CHEN L S, LI Y, et al. Impacts of tropical cyclone extratropical transition on the rainfall over Liaodong Peninsula[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2008, 24(5): 449-458.
- [21] 张敏, 米婕, 戴志军, 等. 海平面上升对北部湾风暴潮增水影响研究——以2012年台风“山神”为例[J]. 海洋通报, 2021, 40(3): 309-318.
ZHANG M, MI J, DAI Z J, et al. Impacts of sea-level rise on storm surge in the Beibu Gulf: a case study on typhoon Son-Tinh in 2012[J]. Marine Science Bulletin, 2021, 40(3): 309-318.
- [22] 彭跃华, 易大江, 王挺, 等. 西北太平洋台风路径的聚类分析[J]. 海洋预报, 2019, 36(5): 63-70.
PENG Y H, YI D J, WANG T, et al. Clustering analysis of typhoon track in the North-West Pacific Ocean[J]. Marine Forecasts, 2019, 36(5): 63-70.
- [23] 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.
- [24] 郭丽霞, 陈联寿, 李英. 登陆热带气旋入黄渤海强度变化的环境场特征[J]. 应用气象学报, 2010, 21(5): 570-579.
GUO L X, CHEN L S, LI Y. Characteristics of environment flow related to intensity change of landing tropical cyclones towards the Yellow Sea and the Bohai Sea[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2010, 21(5): 570-579.

Statistical analysis of typhoons moving northward through the Bohai Sea from 1949 to 2019

ZHU Nannan^{1,2}, WANG Ke¹, HU Tiantian¹, ZHAO Yujuan³, SUN Xiaolei¹

(1. Tianjin Central Observatory for Oceanic Meteorology, Tianjin 300074, China; 2. Tianjin Key Laboratory for Oceanic Meteorology, Tianjin 300074, China; 3. Tianjin Meteorological Information Center, Tianjin 300074, China)

Abstract: Based on the best path data set of tropical cyclones of the China Meteorological Administration, automatic weather station data and conventional observation data, statistical analysis on 25 northward-movement typhoons passing the Bohai Sea from 1949 to 2019 are conducted, with the proportions categorized as tropical depression, tropical storm, strong tropical storm, and typhoon remnant being 44%, 16%, 28%, and 12%, respectively. 48%, 28%, and 24% of the typhoons weakened, remained unchanged, and strengthened after moving into the Bohai Sea, respectively. 96% of the typhoons passing through the Bohai Sea occurred in July—August, of which 64% were from mid July to early August, and the number of typhoons in early August was the largest, accounting for 29% of the total. The maximum wind speed of the northward-movement typhoons was 10~30 m/s, and the average wind speed decreased by 2 m/s after moving into the sea. The minimum central pressure of the typhoons was 970 hPa, the maximum central pressure was 1 004 hPa, and the average central pressure was 992 hPa. 88% of the northwestward-movement typhoons weakened after moving into the Bohai Sea, 87.5% of the northward-movement typhoons remained unchanged after moving into the Bohai Sea, and 83.3% of the northeastward-movement typhoons strengthened after moving into the Bohai Sea.

Key words: northward typhoon; statistical analysis; cluster analysis; Bohai Sea; forecast index