

# 2018~2022年淮河航道强风的时空特征及聚类分析

王凯<sup>1</sup>, 刘倪<sup>1\*</sup>, 邱康俊<sup>2</sup>, 胡珊珊<sup>3</sup>

<sup>1</sup>淮河流域气象中心, 安徽 合肥

<sup>2</sup>安徽省气象信息中心, 安徽 合肥

<sup>3</sup>滁州市气象局, 安徽 滁州

收稿日期: 2023年6月25日; 录用日期: 2023年7月24日; 发布日期: 2023年7月28日

## 摘要

强风, 特别是区域性强风天气严重影响淮河通航安全, 因此研究淮河航道强风的时空分布特征及其变化规律, 分析区域性强风发生的天气环流背景十分重要, 可以为及时发布预报预警、做好气象防灾减灾工作提供重要参考。利用安徽省气象信息中心提供的2018~2022年淮河航道93个气象站的小时观测资料, 结合业务规定和预警需求, 筛选出5a来淮河航道出现的所有强风事件, 分析淮河航道强风的时空变化特征及其对航运安全的影响, 并对区域性强风天气过程的环流背景进行分类。结果显示: 淮河航道强风年平均日数33 d, 年强风日数最多为103 d, 最少为5 d; 淮河航道强风年平均小时数110 h, 年小时数最多为524 h, 最少为10 h; 淮河航道日强风风险概率大部分在20%以下, 有78.5%的站点日强风风险概率在5%~15%之间, 最大值为28%, 最小值为1%。结果表明: 淮河航道强风次数的时间变化整体趋势较为一致, 春、冬季多, 秋季最少, 3月最多, 9月最少, 夜间多, 白天少, 峰值一般出现早晨; 淮河航道每月都有影响航运安全的强风发生, 强风以瞬时风为主, 风速的极大值多出现在夏季; 淮河航道北岸、下游出现强风的概率较大, 风向以偏北风为主, 其中大多是偏北横向风; 淮南港与蚌埠港之间强风盛行风向存在东、西方向的突变, 3月和7月是港口发生强风的高峰期; 淮河航道区域性强风过程主要由强冷空气和强盛偏南季风引起的, 分为东北冷涡型(I)、西南强风型(II)、冷空气大风型(III)3类。

## 关键词

淮河航道, 强风, 极大风速, 最大风速, 聚类分析

## Studies on Temporal and Spatial Characteristics and Cluster Analysis of Strong Winds in Huai River Channel from 2018 to 2022

\*通讯作者。

Kai Wang<sup>1</sup>, Ni Liu<sup>1\*</sup>, Kangjun Qiu<sup>2</sup>, Shanshan Hu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Huai River Basin Meteorological Center, Hefei Anhui

<sup>2</sup>Anhui Meteorologic Information Center, Hefei Anhui

<sup>3</sup>Chuzhou Meteorological Bureau, Chuzhou Anhui

Received: Jun. 25<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jul. 24<sup>th</sup>, 2023; published: Jul. 28<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Strong winds, particularly those of regional nature, have serious influence on Huai River navigation safety. Therefore, it is very important to study the temporal and spatial distribution of strong winds in the Huai River channel and analyze the synoptic situation of regional strong winds. The study provides important reference for issuing forecast and warning in time, likewise for prevention and mitigation of meteorological disaster. In this paper, based on the hourly wind observation data including 93 stations in the Huai River channel provided by Anhui Meteorological Information Center from 2018 to 2022, combining with business rules and early warning requirements, all strong wind events occurred in the Huai River channel in past 5 years have been screened out, the temporal and spatial variation characteristics of strong winds in the Huai River channel and its influence on shipping safety have been analyzed, the circulation background of regional strong wind weather process has been classified. The analysis shows that the average year of strong wind days in the Huai River channel is 33 days, with a maximum of 103 days and a minimum of 5 days. Average year of strong wind hours in Huai River channel is 110 h, with a maximum of 524 hours and a minimum of 10 hours. The risk probability of daily strong wind in the Huai River channel is mostly below 20%, primarily between 5% and 15% in 78.5 percent stations, the maximum probability is 28% and the minimum probability is 1%. The results show that the general trend of strong wind frequency for the time variation in the Huai River channel is consistent, which is more in spring and winter than in autumn, the most in March, the least in September, more at night and less during the day, and the peak value usually occurs in morning. The strong winds that affect shipping safety in the Huai River Waterway keep happening every month. The majority of strong wind is instantaneous wind, and extreme wind speed often appears in summer. The strong wind appears in the north bank and lower reaches of Huai River channel with more probability. The strong wind is usually in a northern direction, which is mainly attributed to northerly crosswind. The strong wind prevails between Huainan and Bengbu ports, which has a sudden change in the East-west direction. The peak period of strong winds arise in March and July at the ports. The regional strong wind in Huai River channel mainly because of strong cold air and southerly monsoon, which can be divided into three types: northeast cold vortex type (I), southwest strong wind type (II) and cold air strong wind type (III).

## Keywords

Huai River Channel, Strong Wind, Extreme Wind Speed, Maximum Wind Speed, Cluster Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

淮河发源于河南省桐柏山主峰太白顶，流经河南、安徽、江苏，全长 1000 公里，是我国水运“一纵

三横”主通道之一，也是我国中部地区重要的黄金水道。近年来，随着全球气候变暖，天气系统不稳定性增加，强对流、大风、龙卷等极端天气事件频发。2015年6月1日，受极端强风(瞬时风，极大风力达12~13级)袭击，重庆“东方之星”号客轮行驶至长江大马洲水道时发生翻沉，事故中有442人遇难，造成了重大的人员伤亡。引起了社会对航运气象安全的广泛关注。近年来，对近地面风的研究也逐渐增多[1][2][3][4]，同样也有学者对淮河流域风场进行研究，李丽等[5]对风速资料进行拟合适度检验，估算了淮河流域不同重现期最大风速和极大风速的时间变化以及空间分布，叶金印等[6]分析了近50年淮河流域气候变化时空特征分析，指出淮河流域风速的变化及其空间差异性总体上均呈减小趋势，但在淮干上游山区、沂蒙山区以及里下河沿海地区地面风速有增大的趋势。两者均着重从气候角度分析淮河流域风的时空变化特征，没有使用时空精度更高的观测资料对淮河航道进行深入研究。天气学上，风受大气环流、水陆分布、地形等因素的综合影响，淮河航道处于中部内陆地区，上游为桐柏山区、大别山区，中下游为地势平坦的平原，上游近地面风主要受大气环流和地形影响，主要是天气系统过境时产生的系统性风和地形影响而产生的局地风，中下游近地面风则主要受大气环流的影响。Fujita等[7]在上世纪定义了下击暴流，并指出下击暴流是造成雷暴大风的主要原因，刘菡等[8]分析了大气背景、地理环境等因素对长江航道强风和强横风发生的影响，宋丽萍等[9]利用数量统计和谱分析等方法，计算分析了由于复杂地形影响而导致的局地低层强风的平均和脉动特征，指出贵州省西南部复杂山地平均风场主要表现在受当地主要特征地形影响。这些研究从天气背景、统计学方面揭示了强风产生的成因机理，但缺乏对区域性强风天气的环流背景分析。

Spyrou等[10]使用Melnikov方法评估横风浪下船舶倾覆的临界值，并将大量船舶几乎对称和强烈不对称性晃动时的观测记录与数值模拟的结果进行了对比，发现数值模拟的准确率较高。Igor Backalovcha等[11]尝试采用先进的概率计算方法，引入耦合了横摇和横摆的非线性方程，分析了横风阵风对内河集装箱船的影响，发现以前简化的方法对其危害的估计过高。早期的汽车由于速度较低，侧风稳定性问题还没引起研究者的重视。程宏林等[12]指出，在内河航运发生的重大和特大事故中，有38%的事故出现在大风天气中，风力和风向对内河航运均有明显的影响，当风力增大到6~7级时，容易出现沉船事故，可见风是影响水上交通安全的重要因素。《淮河流域气象保障能力提升工作方案(2021~2023年)》也指出要实现航道高影响天气的实时监测、精细化预报和针对性预警服务，为水上交通的指挥调度提供数据支撑，提升航运安全气象服务保障能力。

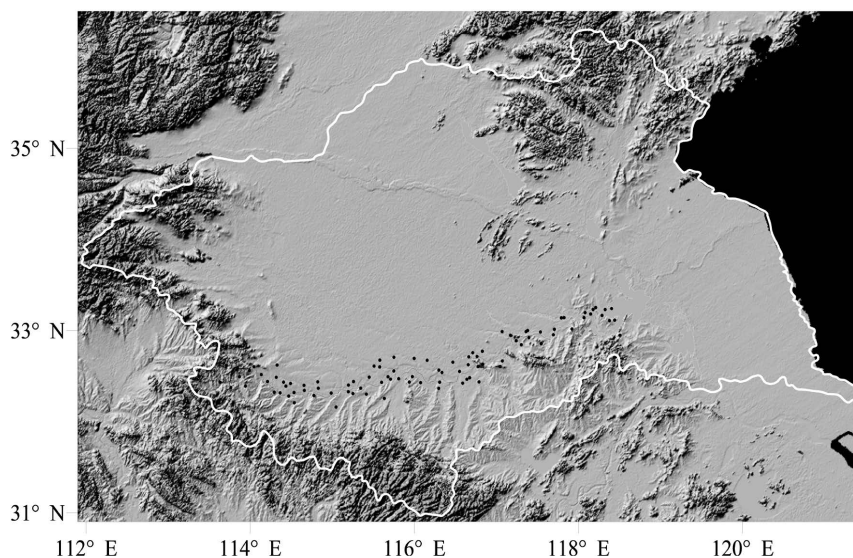
近十年来，对淮河通航安全的研究较少，高穆帅[13]通过分析影响淮河航道安徽段通航的气象、交通、人为因素，有针对性地提出设立灾害天气预警机制，完善和提升交通保障设施、规范水域船舶通航秩序。张威，贾寿良[14]以淮河干流王家坝至临淮岗段行洪区调整及河道整治工程案例，分析影响航道通航条件的影响，并从技术和行业管理方面提出不同应对措施，这些研究大多侧重于分析航运安全的对策措施，缺少基于气象观测数据的客观分析，有关强风灾害对淮河航运安全的影响研究几乎没有。本文首次利用风的小时观测数据分析淮河航道强风的时空分布特征，并在此基础上提出强风对淮河通航的风险影响，同时为减少极端天气对群众生命的危害以及生产生活的影响，本文创新性地对区域性强风天气过程的天气环流背景进行分类分析，划分引起淮河航道区域性强风天气的主要环流形态，这为后期做好淮河航道强风的预报预警业务工作提供了重要思路。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料

淮河航道气象观测资料由安徽省气象信息中心提供，包括2006~2022年淮河航道全线177个站的小时观测资料，要素包括2 min风向和风速、10 min风向和风速、最大风速及出现时间、极大风向风速及出

现时间。由于自动站并非同一批次建设，因而一般时间距离越近，数据完整度越高。为保证研究结果的可靠性，确保 90% 以上的资料完整率，这里按照以下原则处理资料：一是资料时间长度定为 2018~2022 年；二是台站距离淮河航道最小距离不超过 20 km；三是尽可能保留多的站点、尽量保留国家站。最终选定 93 个代表站，其站点分布如图 1 所示。



**Figure 1.** The distribution of observation stations (black spots) in the Huai River channel  
**图 1.** 淮河航道观测站点(黑点)分布

大气环流场资料包括 500 hPa 位势高度、850 hPa 风场以及 1000 hPa 温度，均取自于全球 NCEP 再分析数据集，空间分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ，资料的时间范围是 2018~2022 年。

数字高程数据来源于地理空间数据云，SRTMDEM 90M 分辨率高程数据。

## 2.2. 方法

### 2.2.1. 强风标准界定

根据中国地面气象观测规范中业务标准规定[15]，最大风速指在某个时段内出现的最大 10 min 平均风速值，极大风速指在某个时段内出现的最大 3 s 平均风速值。安徽省公共气象服务中心在业务规范《内河航运气象风险预警等级划分》中规定：当出现风力  $\geq 5$  级(即风速达到 8 m/s 以上)，内河航运存在一定的风险安全隐患。长江干线恶性天气等条件下船舶禁限航管理规定明确当地气象部门预报或实际蒲氏风力达到 5 级及以上时，渡船禁止开航[16]，另外，我国内河水路上交通管理中风的监测及分级预警要求：发布临近预报的风速指标为阵风风速达 8 m/s~10 m/s。综合考虑实际需求，定义最大风速  $\geq 8$  m/s 和极大风速  $\geq 10.8$  m/s 为强风事件。

最大风、极大风日数是指观测站出现最大风、极大风事件的日数，强风日数是指两种标准中，出现任何一种强风事件的天数，如一天中两种标准都出现时，只计为一个强风日，不重复计算；最大风、极大风小时数是指观测站出现最大风、极大风事件的小时数，强风时数是指两种标准中，出现任何一种强风事件的小时数，不重复计算。

### 2.2.2. 聚类分析

聚类分析是一种对数据进行聚类的技术，即将数据分割成指定数量的几个类，揭示数据的内在性质及规律，在没有先验知识的前提下，对淮河航道区域性强风日当天的大气环流背景进行层次聚类，聚类分

析的主要过程是：在进行聚类分析之前，每一个事件自成一类。聚类过程每进行一步，均有 2 个最相似的事件被归为新的一类，并取均值作为新一类的中心。类之间相似程度的客观标准有很多，这里采用最常用的平方 Euclidean 距离，也称欧式距离作为度量标准。在聚类过程中，误差平方和差值的变化越小，表示新聚类的 2 个事件越相似，随着聚类过程的不断进行，当聚类过程进行到  $t$  步时，误差平方和差值显著增大，说明此时将要聚为一类的 2 个事件有显著差别，那么聚类过程应该在第  $t-1$  步终止，一般以此作为判断最优聚类的依据。

### 3. 强风的时空特征

#### 3.1. 强风的统计概况

通过统计 2018~2022 年淮河航道 93 个站强风日数(表 1)发现，淮河航道强风年平均日数 33 d，中位数 31 d，年强风日数最多为 103 d，最少为 5 d，其中出现最大风事件年平均日数 12 d，中位数 6 d，平均值为中位数的 2 倍，说明出现最大风事件的区域差异较大，最大风事件最多为 80 d，最少为 0 d，出现极大风事件年平均日数 32 d，中位数 31 d，最多为 97 d，最少为 5 d。

**Table 1.** Strong wind days in the Huai River channel from 2018 to 2022

**表 1.** 2018~2022 年淮河航道强风日数

统计量	年平均日数/d	年中位数日数/d	年最多日数/d	年最少日数/d
强风	33	31	103	5
最大风	12	6	80	0
极大风	32	31	97	5

通过统计 2018~2022 年淮河航道 93 个站强风小时数(表 2)发现，淮河航道强风年平均小时数 110 h，中位数 91 h，年强风小时数最多为 524 h，最少为 10 h，其中出现最大风事件年平均日数 40 h，中位数 16 h，平均值为中位数的 2.5 倍，这与强风日数的最大风统计情况一致，说明出现最大风事件的中存在异常偏多的站点，出现最大风事件的区域差异较大。出现极大风事件年平均日数 108 h，中位数 88 h，最多为 479 h，最少为 10 h。综合来看，强风日数和强风小时数分析结果基本一致，淮河航道出现极大风事件远多于最大风事件，因此强风事件以瞬时风(6 级以上)为主。

**Table 2.** Strong wind hours in the Huai River channel from 2018 to 2022

**表 2.** 2018~2022 年淮河航道强风小时数

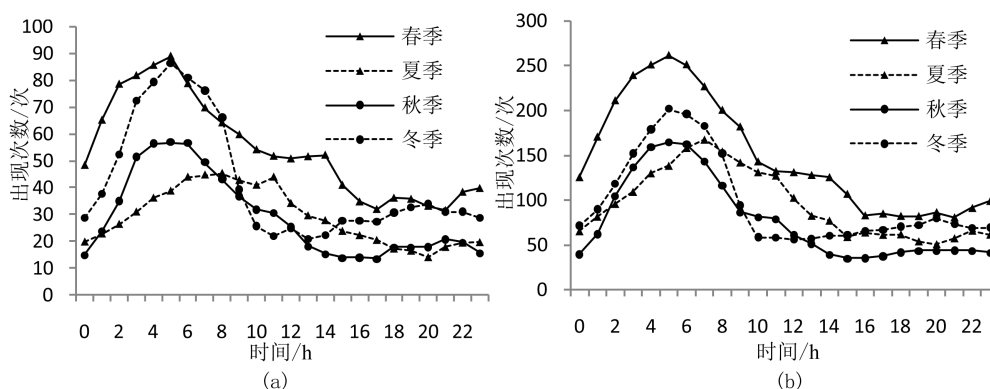
统计量	年平均小时数/d	年中位数小时/d	年最多小时数/d	年最少小时数/d
强风	110	91	524	10
最大风	40	16	394	0
极大风	108	88	470	10

#### 3.2. 强风的时间变化

毛文茜[17]指出：淮河流域对流层中低层以下，较大风速在春、冬季所占比重增大，淮河航道强风的防范重点应该放在春、冬两季，王传辉[18]分析认为季节分布上，最大风速出现在春季的频率最高。我们将淮河航道 5a 中发生的强风小时数按照四季进行划分，得到 2018~2022 年淮河航道年平均强风日变化曲

线(图 2),可以看出,最大风事件、极大风事件在四季中都有明显日变化,整体趋势大体一致,春季最多,冬季次之,秋季最少。从 2018~2022 年淮河航道各月强风小时数(图略)也可以看出,3 月出现最大风事件、极大风事件小时数最多,9 月最少。具体原因可能是春、冬季受大尺度天气背景和季风环流双重影响,冷暖空气交汇频繁,更易出现强风事件。

从夜间 20 时后,强风小时数逐渐增加,到凌晨 0~1 时强风时数陡增,并在日出前后达到峰值,春、秋、冬季峰值一般发生在 5~6 时,夏季峰值出现在 7~8 时,随后强风时数迅速下降,到中午 12 时后趋于平缓下降,春、夏、秋季谷值一般出现在 16~17 时,冬季谷值出现在中午 12~13 时。

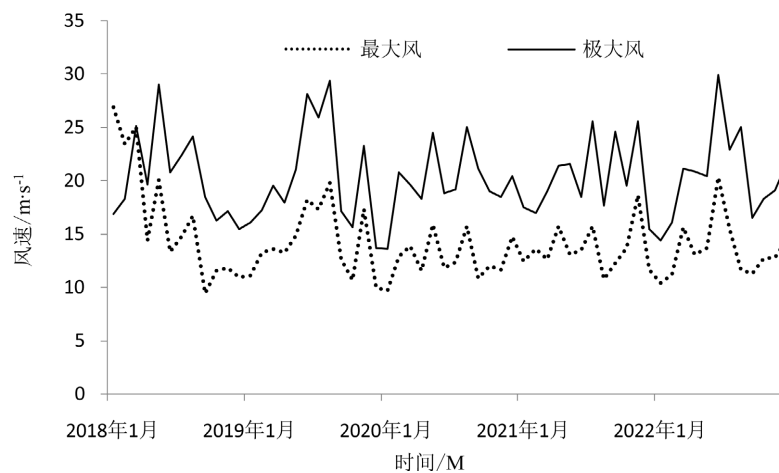


**Figure 2.** The annual average daily variation of strong winds in the Huai River channel from 2018 to 2022((a) maximal wind events; (b) extreme instantaneous wind events)

**图 2.** 2018~2022 年淮河航道年平均强风日变化((a) 最大风事件; (b) 极大风事件)

### 3.3. 月极端风速的年变化

对淮河航道各代表站点月极端风速的年变化进行了统计(图 3),最大风与极大风变化基本一致,且风速每个月都达到了强风标准,最大风月极端风速范围为 9.4 m/s~26.9 m/s,极大风月极端风速范围为 13.6 m/s~29.9 m/s,可见 2018~2022 年每月都有影响航运安全的强风发生,风速的极大值多出现在夏季。这是因为夏季大气经常表现为较强的对流不稳定,如果有强烈的触发机制出现,就可能产生飚线、冰雹、龙卷等强对流性天气,特别是强对流发展快时,造成的瞬时风速较大。



**Figure 3.** The distribution of monthly extreme wind speeds in the Huai River channel from 2018 to 2022

**图 3.** 2018~2022 年淮河航道各月极端风速分布

### 3.4. 强风的空间分布

淮河航道年平均强风小时数空间分布(图 4)与年平均强风日数空间分布(图略)一致, 总体来看, 淮河航道北岸年平均强风小时数大于南岸, 航道下游年平均强风小时数大于上游, 可见淮河航道下游、北岸更易发生强风。从水平经向上看, 发生强风次数较多的主要分布在淮河航道的上游北岸和下游两岸。淮河上游山丘起伏、中游地势平缓、下游地势低洼, 近地面风容易受地形因素影响, 特别是上游南岸受桐柏山、大别山阻挡削弱, 发生强风的次数自然较少; 中下游以平原为主, 不受丘陵等较高地形阻隔, 所以无论是冬季干冷空气的南侵, 还是夏季暖湿气流的北上, 风所受摩擦削弱作用较弱, 相比较而言, 强风发生次数自然就多。

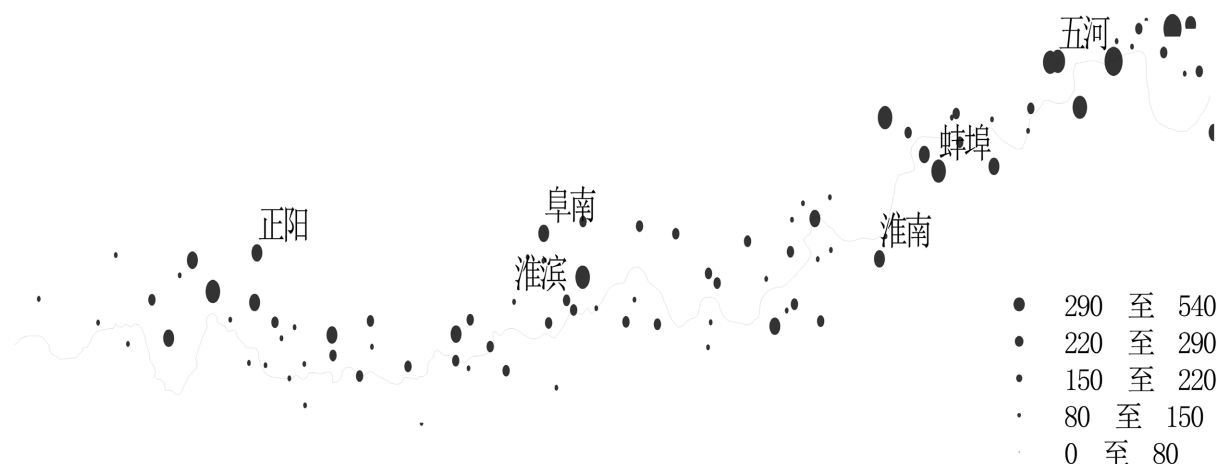


Figure 4. The spatial distribution of annual average of strong winds hours in the Huai River channel from 2018 to 2022 (unit: h)  
图 4. 2018~2022 年淮河航道年平均强风小时空间分布(单位: h)

### 3.5. 强风的盛行风向

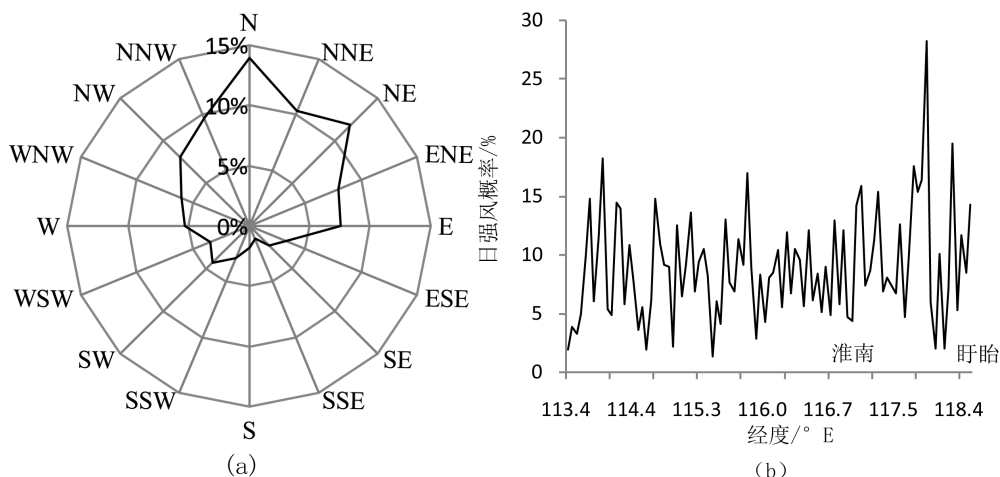


Figure 5. The wind rose diagram of strong winds (a) and the daily longitudinal distribution probability of strong winds (b) in the Huai River channel from 2018 to 2022

图 5. 2018~2022 年淮河航道强风风向频率玫瑰图(a)及日强风概率的经向分布(b)

将淮河航道 93 个站点 5a 中发生的所有强风的风向进行 16 个方位风向统计, 绘制淮河航道强风风向占比玫瑰图(图 5(a)), 由图可见, 在 16 个方位中占比超过 10% 的风向分别为: 北风、东北风、北东北风。

占比最多的风向为正北 13.9%，占比最少的风向为南东南 1.2%。强风风向绝大部分为偏北风，可见当淮河航道出现强风时，偏北风远大于偏南风，偏东风占比大于偏西风。

通常当风以  $45^{\circ}\sim 130^{\circ}$  作用于船体上时，对航行影响最大[19]，秦岭 - 淮河是我国划分南北的分界线，若将淮河航行方向的切线方向近似于东 - 西水平方向，当淮河航道发生强风时，大多为偏北向的强横风，在强风天气侧风作用下，船只的空气阻力、升力、横向力迅速增加，运行性能迅速恶化，尤其影响船只的横向稳定性，对航行安全影响较大。

### 3.6. 强风的风险概率

图 5(b)给出了 5a 淮河航道日强风概率的经向分布，由图可见，除个别站点外，淮河航道日强风风险概率大部分在 20% 以下，78.5% 的站点日强风风险概率在 5%~15% 之间，最大值为 28%，最小值为 1%。淮河航运主要集中在中下游，主要港口有息县港、阜阳港、凤台港、淮南港、蚌埠港、临淮关、五河港、盱眙港等。不难发现，从淮南港到盱眙港，强风风险概率震荡上升，因此淮河航运的主要风险位于下游淮南至盱眙段。下面选择淮南港、蚌埠港、五河港、盱眙港作为代表来研究港口强风的主要特点。

按照距离最近原则，选择距离淮南港、蚌埠港、五河港、盱眙港最近的站点作为相应港口的代表站，绘制 2018~2022 年港口代表站强风风向频率玫瑰图(图 6(a))，与整个航道的盛行风向一致，四个代表站强风的盛行风向以偏北风为主，淮南港以偏西风为主，其它 3 个港口以偏东风为主。可见，淮南港与蚌埠港之间存在东、西方向强风盛行风向的突变。

从四个代表站强风的日变化(图略)来看，日内出现强风概率最高的在凌晨 5~6 时，下午 14 时前后出现强风概率最低。

从四个港口代表站月平均强风日数(图 6(b))来看，四个港口强风日数的月变化基本一致，呈双峰型，3 月和 7 月是港口强风发生的高峰期。港口强风预警重点应放在春、夏两季，这是因为淮河中下游地势较为平坦，基本无阻挡，春季北方冷空气可以快速南下，形成较大的气压梯度，易产生大风天气。7 月产生大风天气主要是因为夏季是江淮气旋的多发期，迅速发展的江淮气旋一般会伴有较强的大风，另外夏季大气经常表现为较强的对流不稳定，容易出现雷暴大风等强对流天气。

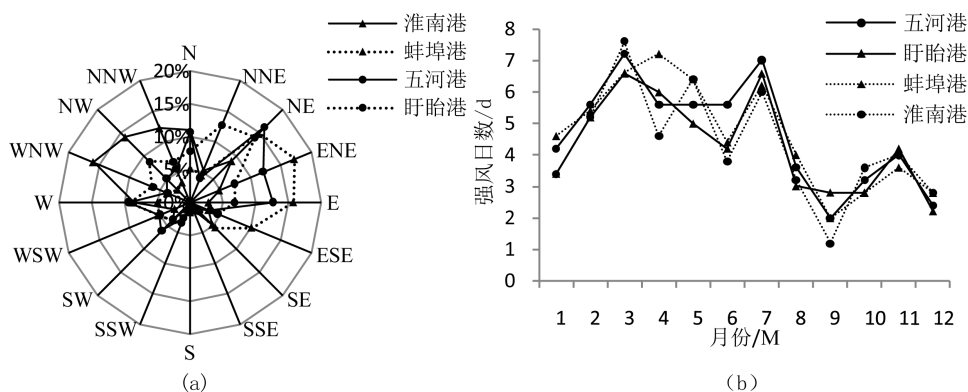


Figure 6. The wind rose diagram of strong winds (a) and the monthly average days of strong winds days (b) for a representative sample of ports from 2018 to 2022

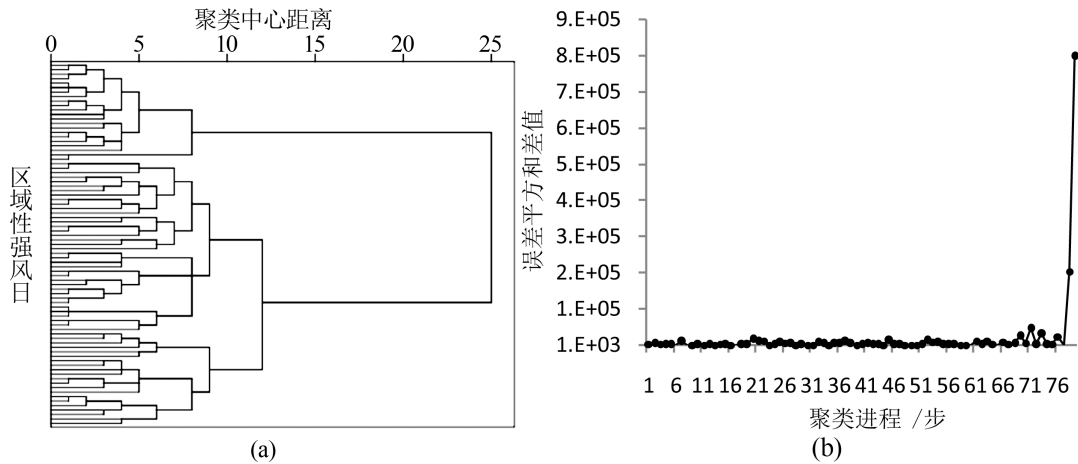
图 6. 2018~2022 年港口代表站强风风向频率玫瑰图(a)及月平均强风日数(b)

## 4. 区域性强风的聚类分析

按照若某一日区域内有超过 60% 的站点风速达到大风的风速标准，则该日被定义为一个区域性大风日[20]，对淮河航道所有强风天气过程进行筛选，选出 81 个区域性强风天气过程，采用聚类分析法对区

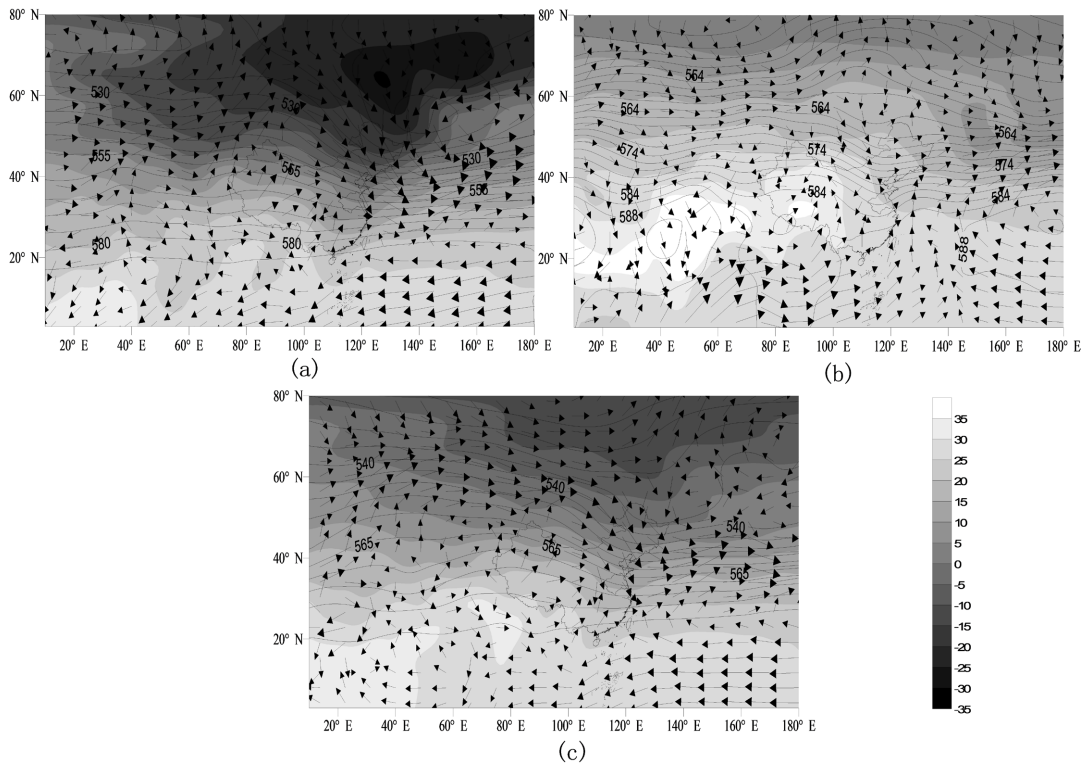


域性强风天气过程的环流背景进行分类。在对 81 个强风日的环流形势进行层次聚类的过程中，当聚类进行到第 79 步时，误差平方和差值的变化出现陡增(图 7(b))，说明接下来的聚类过程中，将要聚为 1 类或 2 类的强风日有很显著的差别，层次聚类过程应在第 78 步完成后终止，最优分类数是 3 类。因此，淮河航道出现的 81 个强风当日的环流形势最终聚为 3 类背景型。



**Figure 7.** The results of daily circulation pattern clustering of strong winds (a) D-value variation of error sum of squares in the hierarchical clustering process (b) in the Huai River channel

**图 7.** 淮河航道强风日环流形势的层次聚类结果(a)层次聚类树及聚类过程中误差平方和差值的变化(b)



**Figure 8.** Three types of synoptic patterns for strong wind days in the Huai River channel (Isopleth represents 500 hPa geopotential height  $t$  (m); Coloring indicates a temperature of 1000 hPa ( $^{\circ}\text{C}$ ); Representing 850 hPa wind field using wind vector ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ))

**图 8.** 淮河航道强风日 3 类天气型的合成(等值线表示 500 hPa 位势高度(m); 填色表示 1000 hPa 温度( $^{\circ}\text{C}$ ); 850 hPa 高度上的风场用风矢表示( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ))

在最终的3类天气型中,区域性强风日数分布较为平均,第1类有28 d、第2类25 d、第3类28 d,所占比例分别为35%、30%、35%。将3类天气型所对应的强风日当日的环流背景进行合成,即对500 hPa位势高度、1000 hPa气温以及850 hPa风场分别计算其平均值,具体来看:第Ⅰ类东北冷涡型,在天气背景合成图(图8(a))中,500 hPa淮河航道处于东北冷涡底部,850 hPa处于强盛西北气流控制中,受北方南下强冷空气影响,最大风速达13.1 m/s,淮河航道出现西北强风天气。第Ⅱ类西南强风型,在天气背景合成图(图8(b))中,500 hPa上受北方南下冷空气影响,副高断裂成两部分,一部分退居海上,淮河航道处于500 hPa高空低槽前部。850 hPa上淮河航道处于来自海上的强盛西南暖湿气流控制中,出现西南或偏南强风,最大风速达16.0 m/s。第Ⅲ类冷空气大风型,在天气背景合成图(图8(c))中,与第1类天气型相似,500 hPa淮河航道处于高空冷槽后部,850 hPa上淮河航道处于低槽后部西北气流控制下,出现偏北强风,最大风速达12.5 m/s。综合来看,淮河航道区域强风的天气背景主要是强冷空气影响和强盛偏南季风。

本文利用淮河航道沿岸93个气象站的实测数据,对2018~2022年间淮河航道发生的强风过程进行了统计,分析淮河航道强风的时空变化特征及其对航运的影响,并对区域性强风天气过程的环流背景进行分类,探讨了区域性强风的成因。得到以下结论:

1) 淮河航道强风日数和强风小时数分析结果基本一致,淮河航道出现极大风事件次数远多于最大风事件,因此强风以瞬时风(6级以上)为主。

2) 淮河航道最大风事件、极大风事件在四季中都有明显日变化,整体趋势较为一致,从季节变化上看,春季最多,冬季次之,秋季最少;从月变化上看,3月最多,9月最少;从日变化上看,夜间多,白天少,春、秋、冬季峰值一般发生在5~6时,夏季峰值出现在7~8时。

3) 淮河航道每月都有影响航运安全的强风发生,强风风速的极大值多出现在夏季。淮河航道北岸、下游出现强风的频率较高。

4) 淮河航道强风风向以偏北风为主,出现强风时大多是偏北横向风,对航行安全影响较大。淮河航道下游出现强风的概率呈震荡上升形态,淮南港与蚌埠港之间强风盛行风向存在东、西方向的突变,3月和7月是港口强风发生的高峰期。

5) 淮河航道区域性强风过程主要由强冷空气和强盛偏南季风引起的,按照最优分类,分为3类,东北冷涡型(Ⅰ)、西南强风型(Ⅱ)和冷空气大风型(Ⅲ)。

本文虽然试图给出了淮河航道强风的一些特征和风险分析,讨论了产生差异的原因,但其深层次的内在原因还需要进一步深入研究,在研究机理的基础上定量化明确一些的预警和预报指标,建立横风预警预报技术方案,是今后的主要研究目标。

## 基金项目

中国气象局创新发展专项“淮河流域生态服务功能及其气候驱动力研究”(CXFZ2023J073)。

## 参考文献

- [1] 潘新民,祝学范,黄智强,等.新疆百里风区地形与大风的关系[J].气象,2012,38(2):234-237.
- [2] 汤浩,周雅蔓,杨杰尧,等.新疆百里风区强风中尺度特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(4):1-8.
- [3] 肖庆农,伍荣生.地形对于气流运动影响的数值研究[J].气象学报,1995,53(1):38-49.
- [4] 李艺苑,王东海,王斌.中小尺度过山气流的动力问题研究[J].自然科学进展,2009,19(3):310-324.
- [5] 李丽,王业斌,鲁俊,等.1981-2020年安徽省不同重现期最大风速和极大风速时空变化特征[J].热带气象学报,2022,38(5):662-670.
- [6] 叶金印,黄勇,张春莉,杨祖祥.近50年淮河流域气候变化时空特征分析[J].生态环境学报,2016,25(1):84-91.

- [7] Fujita, T.T. and Byers, H.R. (1977) Spearhead Echo and Downbursts in the Crash of an Airliner. *Monthly Weather Review*, **105**, 129-146. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1977\)105<0129:SEADIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1977)105<0129:SEADIT>2.0.CO;2)
- [8] 刘菡, 包云轩, 袁成松, 等. 长江航道江苏段强风和强横风的时空分布特征研究[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(4): 155-169.
- [9] 宋丽莉, 吴战平, 秦鹏, 等. 复杂山地近地层强风特性分析[J]. 气象学报, 2009, 67(3): 452-460.
- [10] Spyrou, K.J., Cotton, B. and Gurd, B. (2002) Analytical Expressions of Capsize Boundary for a Ship with Roll Bias in Beam Waves. *Journal of Ship Research*, **46**, 167-174. <https://doi.org/10.5957/jsr.2002.46.3.167>
- [11] Igor, B., Milan, K. and Milan, H. (2010) Inland Vessel Rolling Due to Severe Beam Wind: A Step towards a Realistic Model. *Probabilistic Engineering Mechanics*, **25**, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.probengmech.2009.05.003>
- [12] 程宏林, 王宝才. 江苏内河航运交通事故气象条件分析[J]. 气象, 1996, 22(12): 52-53.
- [13] 高慕帅. 淮河航道安徽段通航风险分析与应对措施[J]. 船舶物资与市场, 2021, 29(5): 69-70.
- [14] 张威, 贾寿良. 淮河干流王家坝至临淮岗段行洪区调整及河道整治工程航道通航条件影响分析及应对措施[J]. 珠江水运, 2019(21): 96-97.
- [15] 俞卫平. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 24-31.
- [16] 交通运输部. 长江干线恶劣天气等条件下船舶禁限航管理规定[Z]. 北京: 交通运输部, 2016.
- [17] 毛文茜, 冷文楠, 樊旭, 等. 淮河流域风场垂直结构特征分析[J]. 气候与环境研究, 2019, 24(3): 333-340.
- [18] 王传辉, 周建平, 刘承晓, 等. 近 32a 安徽省风速、风向分布特征[J]. 干旱气象, 2015, 33(2): 236-243.
- [19] 刘明俊, 齐传新. 风、流对航行安全影响的探讨[J]. 水运科技信息, 1998(3): 32-34.
- [20] 石晓雪, 龚道溢, 董雪晨. 1979-2018 年冬季京津冀区域大风日环流型的聚类分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2020, 56(5): 710-718.