

基于EAR5数据的宁夏固原市偏南大风的特征分析

曹 静^{1,2,3*}, 翟昱明^{1,2,3}, 何 云^{1,2,3}, 景 博^{1,2,3}, 温昕晟^{1,2,4}

¹中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 宁夏 银川

²宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川

³宁夏固原市气象局, 宁夏 固原

⁴宁夏气象台, 宁夏 银川

收稿日期: 2025年10月18日; 录用日期: 2025年11月13日; 发布日期: 2025年11月21日

摘 要

基于1994~2023年逐日地面极大风速观测数据, 筛选9个代表性偏南大风案例, 利用ERA5再分析数据的逐小时气象要素资料, 对大风天气形势分类并分析相关气象要素特征。结果表明: 天气形势分三类, 分别是平直西风气流下的东高西低型、宽广槽区下的东高西低型以及两槽一脊下的短波槽型; 700 hPa受南风控制且常伴南风急流, 地面普遍受热低压影响, 大风多出现于中高空槽前暖平流区和地面热低压区。此外, 700 hPa散度与地面风速显著正相关, 700 hPa位势高度与多个气象要素显著相关。

关键词

宁夏固原, 偏南大风, 形势场, 要素特征

Characteristics of Strong Southerly Winds in Guyuan City, Ningxia: An Analysis Based on EAR5 Data

Jing Cao^{1,2,3*}, Yuming Zhai^{1,2,3}, Yun He^{1,2,3}, Bo Jing^{1,2,3}, Xinsheng Wen^{1,2,4}

¹Key Laboratory of Monitoring, Early Warning, and Risk Management of Agricultural Meteorological Disasters in Arid Regions, China Meteorological Administration, Yinchuan Ningxia

²Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation, Yinchuan Ningxia

³Meteorological Bureau of Guyuan City, Guyuan Ningxia

⁴Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan Ningxia

*第一作者。

文章引用: 曹静, 翟昱明, 何云, 景博, 温昕晟. 基于 EAR5 数据的宁夏固原市偏南大风的特征分析[J]. 自然科学, 2025, 13(6): 1323-1329. DOI: 10.12677/ojns.2025.136138

Abstract

Based on daily surface maximum wind speed observations from 1994 to 2023, this study screened 9 representative cases of southern-blowing winds. Using hourly meteorological element data from ERA5 reanalysis, we classified wind patterns and analyzed their meteorological characteristics. Results indicate three main types: 1) East-high west-low configuration under steady westerly airflow, 2) East-high west-low configuration under a broad trough region, and 3) Short-wave trough pattern under two troughs and one ridge. The 700 hPa level is predominantly controlled by southerly winds and often accompanied by southerly jet streams, with surface areas generally influenced by warm low-pressure systems. Strong winds typically occur in warm advection zones ahead of meso-altitude troughs and surface thermal low-pressure areas. Additionally, 700 hPa divergence shows significant positive correlation with surface wind speed, while 700 hPa potential height demonstrates significant correlations with multiple meteorological elements.

Keywords

Guyuan, Ningxia, Strong Southerly Winds, Surface Conditions, Element Characteristics

Copyright © 2025 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

在全球气候变化的大背景下, 极端天气事件呈现频发态势。中国作为全球重要经济体之一, 气候风险对其经济高质量发展产生了显著的负面影响。与东部和中部地区相比, 中国西部地区所受影响更为严重, 且农业占比较高的区域面临着更为突出的气候风险[1]。宁夏位于中国西部的黄河上游地区, 固原市地处宁夏南部、黄土高原西部, 是一个以农业为主要产业的地区[2]。近年来, 设施农业发展迅猛, 有力推动了农业供给侧结构性改革, 已成为农民增收的新增长点[3]。风灾对设施农业具有极强的破坏效应, 若未能提前采取有效的防范举措, 将给设施农业生产造成巨大的经济损失[4]-[6]。因此, 提升大风天气预报预警的准确性与时效性显得尤为必要。在大背景下, 大风天气的特征也可能随之发生变化[7], 预警指标体系需依据气候变化的实际状况进行动态调整, 以保障其科学性与适用性。因此, 本文针对宁夏固原市偏南大风天气的天气学背景及相关要素指标展开分析, 旨在剖析偏南大风天气的形成机理, 总结预报预警指标, 为公共服务提供技术支撑。

2. 资料和方法

2.1. 资料

利用 1994~2023 年宁夏固原市 4 个国家站的逐日地面极大风速观测资料(观测时段为前日 20 时~今日 20 时)筛选大风日; 利用 2000~2023 年的 ERA5 再分析资料的逐小时的海平面气压、位势高度(500 hPa 和 700 hPa)、气温(1000 hPa, 500 hPa, 700 hPa)、散度(500 hPa 和 700 hPa)、垂直速度(500 hPa 和 700 hPa)、10 m 风速等要素, 分析大风个例的要素变化。

2.2. 大风日的选取

宁夏固原市由四县一区构成，当原州区、西吉县、隆德县、泾源县 4 个国家站点中的某一站点的极大风速所对应的风力等级达到 8 级及以上时，则判定该站点出现大风天气。当某一日有 2 个及以上站点同时出现大风天气，则将该日视为全市性大风日。经筛选，1994~2023 年期间，固原市共有 9 天为偏南大风日(表 1)。

Table 1. Classification and impact system of strong southerly winds in Guyuan, Ningxia
表 1. 宁夏固原市偏南大风个例的形势场分类和影响系统

时间	类型	影响系统
19940511	平直西风气流下的东高西低型	08 时新疆东部 - 青海 - 四川槽前，陕西南部 - 内蒙西部脊后；20 时内蒙古西部 - 陕西南部 - 重庆槽前；700 hPa 南风急流和切变；地面热低压
19940529	两槽一脊下的短波槽型	青海槽东移，陇南为脊区；08 脊区控制；20 槽区控制；700 hPa 上有切变，南风气流；地面热低压
19951015	两槽一脊下的短波槽型	甘肃北部 - 内蒙西部为脊区、甘肃南部、四川为槽区；槽脊区东移；700 hPa 上有切变，南风气流；地面均压场
19990511	平直西风气流下的东高西低型	西藏涡，内蒙西部浅槽前，西北东部 - 华北一带为脊区；700 hPa 南风急流；地面热低压
20000319	平直西风气流下的东高西低型	08 时青海 - 四川西北 - 东南向槽前，内蒙中部 - 陕西东部 - 重庆竖脊后部；20 时槽东移为宁夏 - 重庆竖槽；700 hPa 南风急流；地面热低压
20030220	平直西风气流下的东高西低型	08 时新疆中部 - 甘肃 - 青海 - 四川中部槽，新疆北部 - 甘肃 - 宁西南 - 陕南江西东部脊，固原受脊控制，20 时新疆北部 - 甘肃 - 宁夏 - 陕东南 - 江西东部槽；700 hPa 南西南急流；地面热低压
20180419	平直西风气流下的东高西低型	河南 - 山西 - 内蒙中部脊后部，甘肃西部 - 青海 - 四川槽前部；槽脊东移，内蒙西部 - 陇南 - 贵州槽前部，槽脊加深；700 hPa 上有切变，南风急流加强；地面热低压
20200307	宽广槽区下的东高西低型	08 时内蒙 - 甘肃 - 青海 - 宁夏 - 陕西为脊区，陇南地区为弱槽，受偏西气流控制；20 时宁夏南部 - 陕西南部为弱槽；700 hPa 南风急流；地面热低压
20231212	宽广槽区下的东高西低型	重庆 - 宁夏 - 陕南为脊区，西藏 - 青海 - 四川为槽区，槽区有短波槽东移挤压脊区；700 hPa 上强南风急流(核心 > 30 m/s)和切变；地面热低压

3. 形势场分类

将 9 次大风个例的环流形势归纳为三类：平直西风气流下的东高西低型、宽广槽区下的东高西低型以及两槽一脊下的短波槽型[8] (图 1)。

平直西风气流下的东高西低型。我国以北地区受平直西风气流主导，冬季地面伴有高压系统。大风发生前，新疆至青海至四川一带为槽区，该槽通常呈西北 - 东南走向；内蒙古中部至陕西一带为脊区。宁夏位于槽前脊后过渡区。700 hPa 等压面上，宁夏处于南风急流影响区，地面受热低压控制。其中，1999 年 5 月 11 日的环流形势较为特殊：500 hPa 等压面上西藏高原存在低压中心，控制西藏、青海、甘肃、四川及新疆南部地区；陕西、山西及内蒙古中部为脊区；宁夏位于低压前部、脊区后部。

宽广槽区下的东高西低型。我国以北地区为明显东移南压的宽广槽区控制，地面为高压系统。新疆南部、西藏、青海、甘肃受平直西风气流影响，有短波槽东移。700 hPa 等压面上，宁夏处于南风急流控制下，地面气压梯度减弱，转为热低压控制。

两槽一脊下的短波槽型。新疆地区和东北地区为槽区，脊区位于两槽之间。青海地区生成的短波深

槽东移。700 hPa 等压面上, 宁夏受南风控制, 但风速未达急流标准, 地面为热低压系统。

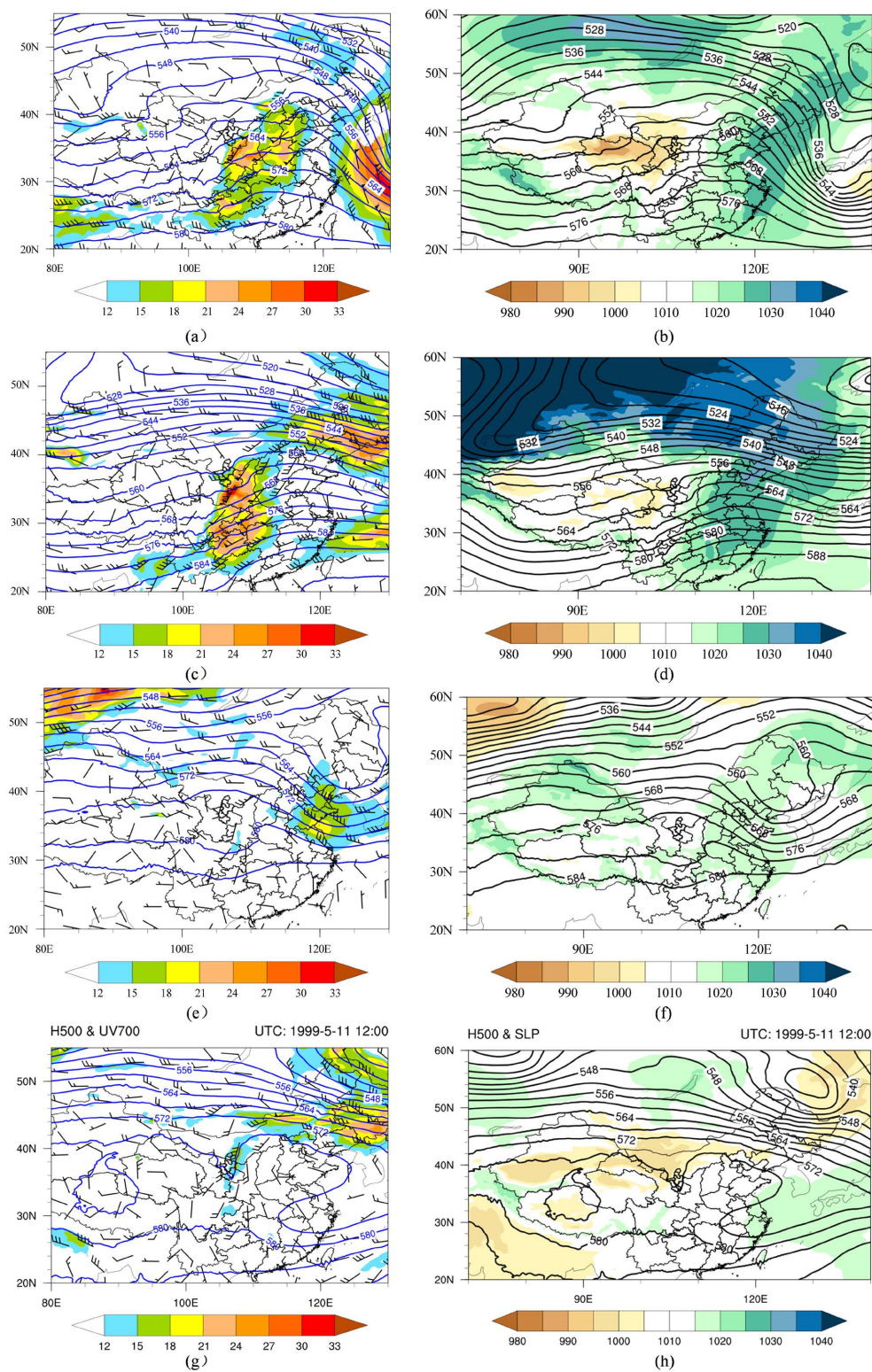


Figure 1. Conceptual models of three wind regime scenarios (a~f) and special regimes (g, h)
图 1. 三种大风天气形势场的概念模型图(a~f)及特殊形势场(g, h)

在上述三类环流形势下，500 hPa 高度场分布特征存在显著差异。然而，700 hPa 风场均受南风控制，多伴有南风急流，地面则普遍受热低压影响。

4. 相关要素

4.1. 变化特征

针对宁夏固原市偏南大风个例，对其相关气象要素的逐小时演变特征进行系统分析，并将结果整理为表 2。海平面气压以及 500 hPa 和 700 hPa 位势高度均呈下降态势，1000 hPa、700 hPa 及 500 hPa 气温均有不同程度升高，结合形势场分析，显示大风易出现在中高空槽前暖平流区和地面热低压区。700 hPa 强辐散与 500 hPa 弱辐合或弱辐散的配置更易诱发大风天气，地面大风现象与 700 hPa 辐散关联性更强。图 2 表明地面风速变化与 700 hPa 散度呈明显正相关关系，风速增大时散度增强，风速减小时散度减弱；当 500 hPa 散度与 700 hPa 散度同步变化时，地面风速进一步强化。大风期间，700 hPa 垂直速度表现为下沉运动并逐渐减弱，一旦垂直速度降至零或以下转为上升运动，大风天气趋于结束。

Table 2. Variation range of relevant elements under strong wind
表 2. 大风天气下相关要素的变化范围

	最小值	最大值	平均值
500 hPa 最低位势高度(hPa)	547.88	566.65	557.12
700 hPa 最低位势高度(hPa)	285.70	304.44	295.46
海平面气压最小值(hPa)	996.86	1011.48	1003.79
500 hPa 最高气温(℃)	-14.04	-8.04	-11.67
700 hPa 最高气温(℃)	-1.93	9.90	4.72
1000 hPa 最高气温(℃)	16.55	30.86	21.06
700 hPa 最大散度(s ⁻¹)	38.54	70.96	52.75
700 hPa 最大垂直速度(Pa/s)	0.34	0.59	0.48

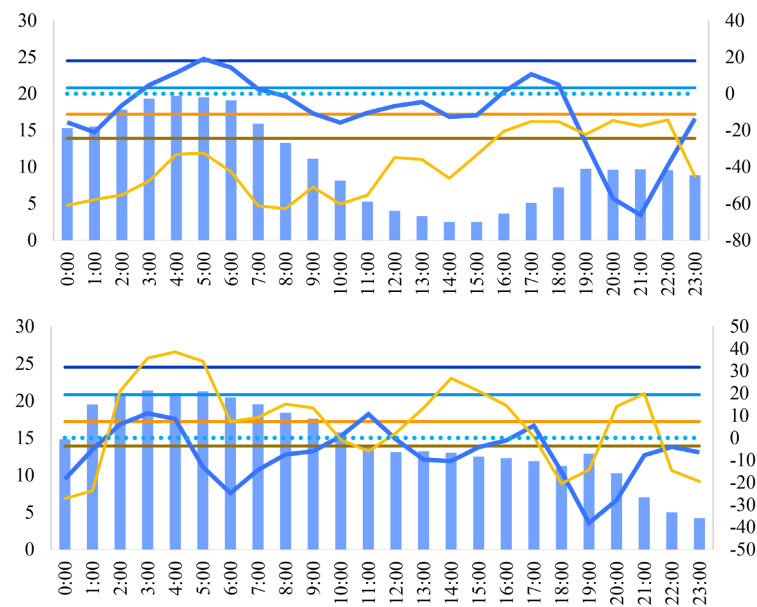


Figure 2. Distribution map of 10 m wind speed with 500 hPa (blue curve) and 700 hPa divergence (yellow curve) on February 20, 2003 (upper) and April 19, 2018 (lower)
图 2. 2003 年 2 月 20 日(上)和 2018 年 4 月 19 日(下) 10 m 风速与 500 hPa (蓝色曲线)、700 hPa 散度(黄色曲线)分布图

4.2. 相关性检验

在 3.1 的分析中,发现 700 hPa 散度与地面风速、700 hPa 垂直速度与位势高度之间存在相关性。为了评估这些气象要素之间的线性关系,本小节计算了 Pearson 相关系数,并进一步执行 t 统计量和 p 值的计算,以进行 Pearson 相关性检验[9] [10]。

4.2.1. 各气象要素和 700 hPa 散度

经过计算,证实了 700 hPa 散度与地面风速之间存在显著的正相关性($p < 0.1$)。进一步发现,在宽广槽区下的东高西低型中,700 hPa 散度与 500 hPa 散度及 700 hPa 温度之间表现出显著的负相关性($p < 0.1$),与 500 hPa 气温呈现显著的正相关性($p < 0.05$)。在平直西风气流下的东高西低型中,700 hPa 散度与 500 hPa 散度之间存在显著的正相关性($p < 0.1$) (表 3)。

Table 3. Correlation coefficients and p-values between meteorological elements and 700 hPa divergence
表 3. 各气象要素和 700 hPa 散度之间的相关系数和 p 值

时间要素	20000319		20030220		20180419		20200307		20231212	
	相关系数	p 值	相关系数	p 值	相关系数	p 值	相关系数	p 值	相关系数	p 值
500 散度	0.05	0.868	0.75	0.012	0.40	0.083	-0.87	0.002	-0.46	0.070
10 m 风速	0.52	0.082	0.67	0.034	0.44	0.052	0.00	0.993	0.52	0.037
700 hPa 气温	0.12	0.704	0.08	0.826	-0.31	0.180	-0.63	0.071	-0.72	0.002
500 hPa 气温	0.07	0.824	0.71	0.020	0.26	0.262	0.79	0.011	0.68	0.004

4.2.2. 各气象要素和 700 hPa 位势高度

700 hPa 位势高度与 700 hPa 垂直速度、海平面气压、500 hPa 位势高度之间存在明显的正相关性($p < 0.05$),与 1000 hPa 气温呈现显著的负相关性($p < 0.05$)。在平直西风气流下的东高西低型中,700 hPa 位势高度与 500 hPa 散度和垂直速度之间也显示出显著的相关性($p < 0.1$) (表 4)。

Table 4. Correlation coefficients and p-values between meteorological elements and 700 hPa potential height
表 4. 各气象要素和 700 hPa 位势高度之间的相关系数和 p 值

时间要素	20030220		20000319		20200307		20180419		20231212	
	相关系数	p 值	相关系数	p 值	相关系数	p 值	相关系数	p 值	相关系数	p 值
500 hPa 散度	-0.60	0.07	-0.72	0.01	0.84	0.00	0.06	0.82	0.08	0.72
500 hPa 垂直速度	0.56	0.09	-0.59	0.04	-0.52	0.15	0.11	0.64	0.02	0.94
700 hPa 垂直速度	0.82	0.00	0.85	0.00	0.89	0.00	0.56	0.01	0.41	0.08
海平面气压	0.96	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00	0.76	0.00	0.87	0.00
500 hPa 位势高度	0.82	0.00	0.97	0.00	0.99	0.00	0.62	0.00	0.99	0.00
1000 hPa 气温	-0.92	0.00	-0.80	0.00	-0.91	0.00	-0.52	0.02	0.48	0.03

5. 总结

- (1) 形势场可分为平直西风气流下的东高西低型、宽广槽区下的东高西低型以及两槽一脊下的短波槽型三类;
- (2) 700 hPa 风场均受南风控制,多伴有南风急流,地面则普遍受热低压影响;

- (3) 大风易出现在中高空槽前暖平流区和地面热低压区；
- (4) 700 hPa 散度与地面风速之间存在显著的正相关性($p < 0.1$)；
- (5) 700 hPa 位势高度与 700 hPa 垂直速度、海平面气压、500 hPa 位势高度之间存在明显的正相关性($p < 0.05$)，与 1000 hPa 气温呈现显著的负相关性($p < 0.05$)。

基金项目

宁夏自然科学基金重点项目(2023AAC02088)。

参考文献

- [1] 曹姗姗, 孙伟, 曹梦迪, 王龙, 安民, 孔繁涛. “十五五”加快现代设施农业发展的研究思考[J/OL]. 特产研究, 2025: 1-6. <https://link.cnki.net/doi/10.16720/j.cnki.tcyj.2025.120>, 2025-06-17.
- [2] 李祥哲. 气候风险对中国经济高质量发展的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东财经大学, 2025.
- [3] 詹玮璇, 范威威, 刘畅, 刘明宇. 生态环境视域下极端天气气候防灾减灾特征研究[J]. 环境科学与管理, 2023, 48(2): 50-54.
- [4] 余文梅, 翟昱明, 马国涛. 基于层次分析法的固原市原州区设施农业气象灾害影响评估[J]. 现代农业, 2020(12): 102-104.
- [5] 董庆庆, 郭洪波. 灾害性天气对设施农业的影响及其防御建议[J]. 南方农机, 2019, 50(4): 73.
- [6] 王女华. 风灾对设施农业的影响及防灾减灾措施[J]. 农业科技与装备, 2016(9): 74-75.
- [7] 甘庆君. 固原市设施农业发展方向的思考[J]. 宁夏农林科技, 2015, 56(12): 75-76+86.
- [8] 何文, 夏文梅, 马中元, 钟思奕, 段和平. 江西强雷电天气形势场及雷达回波特征分析[J]. 气象科学, 2018, 38(5): 699-706.
- [9] 吴荣, 韩林雨瞳, 万成, 王璐, 陈星宜. 中宁县不同等级大雾与气象要素相关性分析[J]. 现代农业科技, 2025(11): 139-142.
- [10] 耿博潞. 两随机向量之间的相关性检验[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2023.