

原州区设施大棚破坏性大风天气学分析

牟仕运¹, 翟昱明^{2*}, 施红霞¹, 袁淑杰¹, 韩琳¹, 苏丽欣², 史海玲³, 顾娟³

¹成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

²吉林省气象科学研究所, 吉林 长春

³固原市气象局, 宁夏 固原

收稿日期: 2025年10月16日; 录用日期: 2025年11月11日; 发布日期: 2025年11月19日

摘要

为了明确固原市原州区大风天气学特征, 本文利用2011~2022年固原市原州区区域自动观测站逐小时极大风速(风向)、隆德站风廓线数据和ERA5再分析资料通过统计学方法深入分析了该地区大风过程。结果发现: (1) 原州区的大风主要发生在3~6月, 集中时间段在11~17时, 大风风向主要为西北风或北风。(2) 原州区大风环流形势主要有两种: 东北冷涡型: 700和500 hPa我国环流形势受东北冷涡支配, 与冷涡有关的槽南压, 槽后西北气流支配原州区, 大风暴发。低压(低槽)东移型: 700 Pa宁夏北部有一低槽或低压中心自西向东移动, 槽后西北气流支配原州区, 配合500 hPa槽后西北急流, 大风暴发。(3) 原州区大风过程表现为槽前暖湿区向槽后干冷区的转变, 湿度显著降低。春季南支槽前暖流与冷空气交汇, 地面热力条件复杂, 而其他季节则地面气温普遍降低。未来可基于高空槽形态、垂直运动及温湿压演变, 综合研判大风生成与热力结构。(4) 大风灾害持续时间的三个等级: 轻度(4~6小时)、中度(7~9小时)与重度(≥ 10 小时)。

关键词

原州区, 大风, 分布特征, 高度场, 风场

Analysis of the Impact of Severe Wind Weather on Facility Greenhouses in Yanchuan District

Shiyun Mou¹, Yuming Zhai^{2*}, Hongxia Shi¹, Shujie Yuan¹, Lin Han¹, Lixin Su², Hailing Shi³, Juan Gu³

¹School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

²Jilin Provincial Institute of Meteorological Science, Changchun Jilin

³Guoyuan Meteorological Bureau, Guoyuan Linxia

Received: October 16, 2025; accepted: November 11, 2025; published: November 19, 2025

*通讯作者。

文章引用: 牟仕运, 翟昱明, 施红霞, 袁淑杰, 韩琳, 苏丽欣, 史海玲, 顾娟. 原州区设施大棚破坏性大风天气学分析[J]. 自然科学, 2025, 13(6): 1297-1306. DOI: 10.12677/ojns.2025.136135

Abstract

To clarify the synoptic characteristics of strong winds in Yuanzhou District, Guyuan City, this study conducted an in-depth statistical analysis of local wind events using hourly maximum wind speed (and direction) data from regional automatic weather stations, wind profile data from Longde Station, and ERA5 reanalysis data from 2011 to 2022. The findings are as follows: (1) Strong winds in Yuanzhou District occur predominantly from March to June, with a peak frequency between 11 and 17 h, and are mainly from the northwest or north. (2) Two primary synoptic patterns are identified: the Northeast Cold Vortex type, where systems at both 700 hPa and 500 hPa are dominated by a cold vortex over Northeast China, with its associated trough extending southward and northwesterly flows behind the trough controlling Yuanzhou District, triggering strong winds; and the Eastward-Moving Low-Pressure (trough) type, characterized by a trough or low-pressure center moving eastward across northern Ningxia at 700 hPa, where northwesterly flows behind the trough, coupled with an upper-level northwesterly jet at 500 hPa, initiate strong winds. (3) The strong wind process in Yuanzhou District manifests as a transition from the warm, moist air ahead of the trough to the dry, cold air behind it, accompanied by a significant drop in relative humidity. In spring, warm advection from the southern branch trough interacts with cold air, leading to complex surface thermal conditions, whereas in other seasons, surface temperatures generally decrease. Future forecasting should comprehensively consider the configuration of the upper-level trough, vertical motion, and the evolution of thermal and moisture fields to better predict wind generation and thermal structural changes. (4) Strong wind disasters are classified into three levels based on duration: light (4~6 hours), moderate (7~9 hours), and severe (≥ 10 hours).

Keywords

Yanzhou District, Strong Wind, Distribution Characteristics, Height Field, Wind Field

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

风是空气因气压差异在地面上流动所形成的现象，它有助于农作物的授粉、控制病虫害、提升空气的流通性以及减少霜冻的发生等[1]。当风速达到8级并与特殊地形结合时，可能引发严重的大风灾害[2]，例如破坏植被、损坏建筑物以及威胁交通安全等，严重影响了当地经济发展[3]。这类灾害造成的损失仅次于地震灾害，位居全球第二大灾害[4]。

设施农业作为一种产业得到了大规模和迅猛的发展，伴随着各国对设施农业的投入和补贴增加，设施农业的发展呈现出良好的态势[5]。固原地处黄土高原，海拔较高，地形以丘陵和山地为主，属于温带大陆性气候。近年来，固原充分利用其独特的冷凉气候，积极发展设施蔬菜种植，取得了显著的经济效益[6][7]。然而在全球极端天气频发的背景下，固原大风频发[8]，对大棚结构的稳定性和农作物的生长产生了显著影响[9]。而固原大棚主要设立在原州区。因此，研究固原原州区大风天气学特征意义重大。

Zhou等[10]分析了2008年5月宁夏北部一次罕见大风的成因，指出蒙古冷空气与青海低压共同作用导致强风。纪晓玲等[11]利用宁夏25个气象站多年雷暴大风观测资料进行分析进一步发现宁夏雷暴大风天气主要环流形势有4类：蒙古冷涡(槽)型、东北冷涡后部横槽型、河套低涡型、西风槽型。近年来，在以上基础上，多位学者深入研究宁夏大风，发现蒙古冷涡、低空切变线、高低空急流和东北冷涡等气象

系统在特定的气候条件下交织作用，会导致宁夏地区的风力增强，尤其是在春秋季节，冷涡系统的活动频繁，可能造成了局部地区风速加大[12]-[14]。近年来，在全球气候变化的背景下，宁夏地区极端天气事件频发，其中大风天气的影响尤为显著。然而，目前关于该区域大风天气的研究存在明显不足：一方面，现有学术成果多聚焦于单一案例的剖析，缺乏对大时间尺度下大风天气的系统性研究，难以揭示其长期演变规律和共性特征；另一方面，作为宁夏重要地区的原州区，其大风天气研究更为薄弱，相关文献极为匮乏。这种研究现状不仅制约了对区域大风天气形成机制的深入理解，也影响了防灾减灾工作的科学开展。

因此，本文利用 2011~2022 年固原市原州区区域自动观测站逐小时极大风速(风向)、2021.11~2022.12 隆德站风廓线数据和欧洲中期天气预报中心(ERA5)再分析资料，通过统计学方法分析了该地区多年大风过程，并对典型个例进行了分析。

2. 资料来源和研究方法

本研究所用气象资料来源于固原市气象局和欧洲中期天气预报中心(ERA5)，主要包括：(1) 2011~2022 年固原市原州区区域自动观测站逐小时极大风速(风向)，用于统计固原大风分布特征。固原大棚设施主要集中在原州区地区，故我们主要利用该地区区域自动观测站数据研究固原大风。国际上通常认为当 8 级及以上风为大风[15]，会对设施大棚造成损失，故我们定义至少存在 2 个气象站极大风速大于等于 17.2 m/s 且至少持续 4 小时的大风为原州区的一次典型大风天气。要求至少 2 个站点同时达标可排除局地干扰，确保事件代表中尺度天气系统，设定持续 4 小时以上则排除瞬时湍流，聚焦由天气系统驱动、致灾风险更高的持续性强风过程。(2) 2021.11~2022.12 隆德站风廓线数据，用于分析 2021~2022 年大风个例。(3) 欧洲中期天气预报中心(ERA5)再分析资料，用于分析典型大风发生时环流形势，包括 500、700 hPa 位势高度、气温、垂直速度、散度、相对湿度、u 分量风速，v 分量风速，地面平均海平面气压、2 m 气温、10 mu 分量风速、10 mv 风量风速，以上数据均为逐小时数据。全文采用北京时。

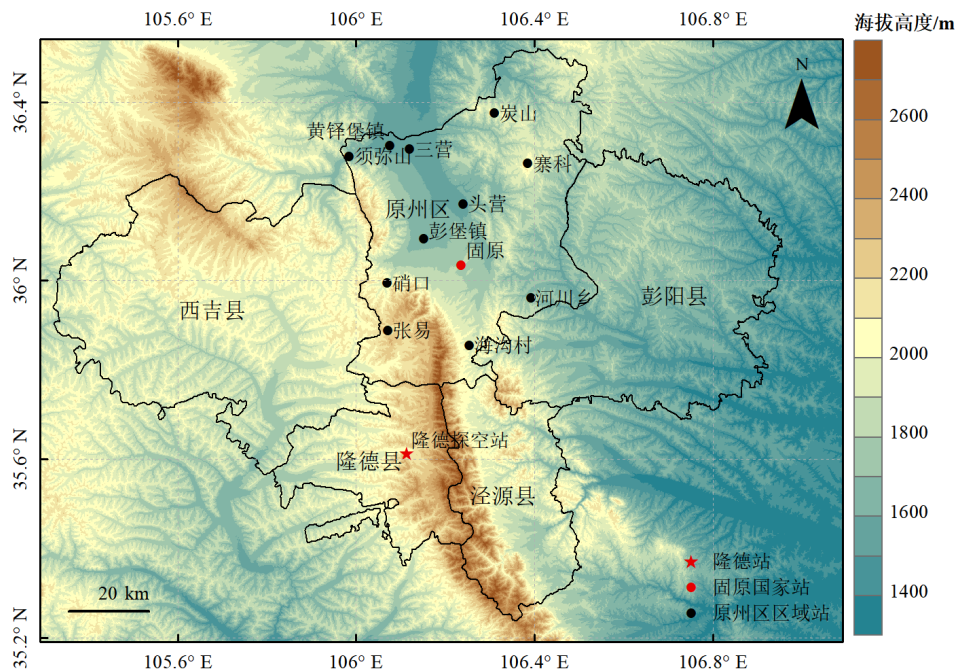


Figure 1. Distribution of meteorological stations in Yuanzhou district, Guoyuan city
图 1. 固原市原州区气象站点分布

固原地形和原州区气象站分布见图 1，数字高程地图(DEM)由地理数据云网站提供，分辨率为 90 m × 90 m。

3. 研究结果

3.1. 原州区大风分布特征

当一天中存在极大风速大于等于 17.2 m/s 时，认为该日为大风日，统计 2011~2022 年原州区气象站月大风日数平均值(图 2(a))。同理，当某小时极大风速大于等于 17.2 m/s 时，认为该时发生大风，统计 2011~2022 年原州区气象站时大风时数平均值(图 2(b))。我们发现原州区 4~5 月大风日数平均值最大，分别为 15.2、20.5 日数，15~16 时大风时数平均值最大(22.3、20.2 时数)。总的来说，大风主要发生在每年 3~6 月(10.7~15.2 日数)，每日 11~17 时(11.7~22.3 时数)。

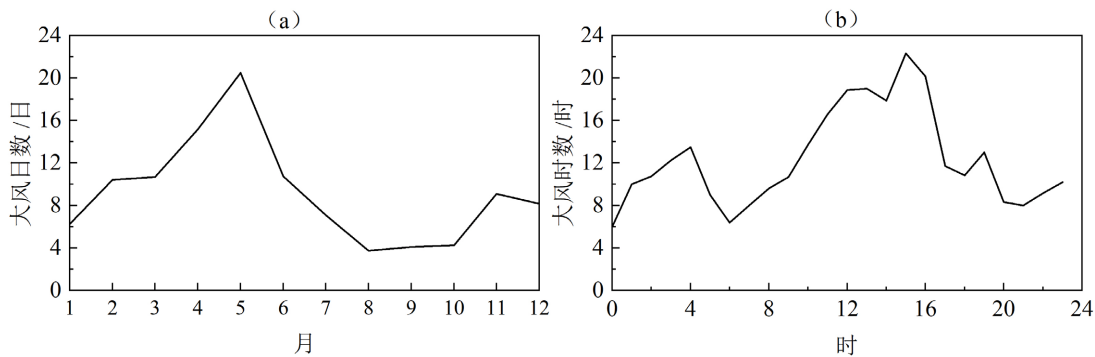


Figure 2. The average monthly distribution characteristics of strong winds (a) and the average hourly distribution characteristics of strong winds (b) from 2011 to 2022

图 2. 2011~2022 年月大风日数平均值分布特征 (a)和时大风日数平均值分布特征 (b)

统计固原站大风风向，如图 3。可以看出，1~7、9、11 月固原站大风风向主要为西北风(均大于 50%)，8、11 月大风风向主要为北风(均大于 50%)，频率分别为 100、60%，10 月无大风。

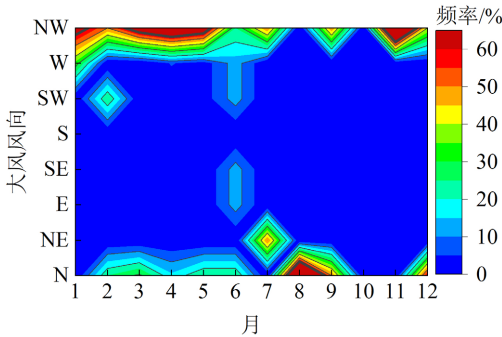


Figure 3. Monthly distribution characteristics of wind direction at Guyuan station at 2011~2022

图 3. 2011~2022 年固原站大风风向月分布特征

3.2. 大风天气学特征

通过统计将至少存在 2 个气象站极大风速大于等于 17.2 m/s 且至少持续 4 小时大风过程定义为一次典型大风天气，并利用 ERA5 数据分析典型大风过程环流形势，其中由于 2015 年前数据大量缺失，不考虑。表 1 为大风环流形势，原州区环流形势分为两种，东北冷涡型(占 33.3%)：500 hPa 和 850 hPa 我国东

北方存在一低压中心支配我国,在固原大风爆发时,冷涡相关的槽南压,槽后西北气流流经原州区。低压(低槽)东移型(占 66.6%): 850 hPa 宁夏北部有一低压中心自西向东移动并向南发展,高空 500 hPa 有一槽或低压与之对应移动,大风发生时,固原位于槽后。选取 20221221、20210526、20220313、20210515 为代表进行具体分析。

Table 1. Gale circulation pattern

表 1. 大风环流形势

环流类型	时间
东北冷涡型	20221221、20221128、20220526、20210503、20210430、20210429、20210514、20210515、20201121、20200517、20200318、20200308、20170420、20160614、20160227
低压(低槽)东移型	20221211、20221111、20220324、20220325、20220313、20211106、20211009、20210522、20210415、20210111、20210110、20200823、20200510、20200325、20200319、20200220、20200213、20200214、20191225、20191122、20191117、20190201、20180521、20180419、20180404、20160511、20160225、20160206、20150930、20150610

3.2.1. 东北冷涡型

利用 ERA5 数据绘制大风环流形势(如图 4 和图 5),其中绿色轮廓为宁夏地区,此时为东北冷涡型。可知:(1)2022 年 12 月 21 日,在大气环流呈“西高东低”的背景下,500 hPa 位势高度场表现为西部高、东部低的分布特征。我国东北地区受东北冷涡控制,位势高度值介于 509 至 512 dagpm 之间,而新疆地区存在一高压脊。冷涡槽后的西北气流以约 30 m/s 的风速经宁夏一带输送。在 700 hPa 层面,我国黑龙江地区存在一低压中心,其位势高度为 276 dagpm,该系统缓慢东移并南压,与 500 hPa 冷涡槽后的西北急流共同作用,触发了原州区的大风天气。(2)2022 年 5 月 26 日的天气形势与 2021 年 12 月 21 日类似。在 500 hPa 层面上,东北地区受东北冷涡控制,位势高度为 542 dagpm;700 hPa 上亦有低压中心与之对应,该低压相关的槽区南压,配合高空西北急流,共同导致原州区出现大风。值得注意的是,该日在孟加拉湾地区存在一低压中心,其槽前西南气流可能将南方海域的暖湿空气输送至宁夏地区。因此,2022 年 5 月 26 日原州区气温究竟是升高还是降低,尚需进一步分析。

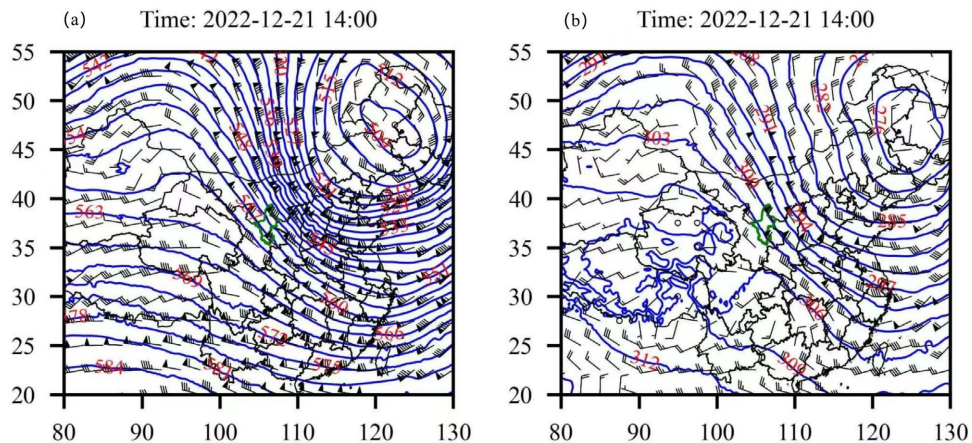


Figure 4. 500 hPa altitude field and wind field (a) and 700 hPa altitude field and wind field (b) at 20211221

图 4. 20221221 的 500 hPa 高度场和风场 (a); 700 hPa 高度场和风场 (b)

鉴于隆德站于 2021 年 11 月方才建成,本研究在绘制 2021 年 5 月 26 日各高度层风羽图(图 6)时,采用了 ERA5 再分析数据。我们将分析范围限定在原州区(106~106.5°E, 35.7~36.5°N),并基于 ERA5 数据计

算了该区域内散度、垂直速度、风速、平均海平面气压及位势高度的逐小时平均值(表 2)，以作进一步分析。结合图 6 与表 2 可知：(1) 观测显示，地面至高空的风向整体以西风或西北风为主。在大风发生前，风向随高度呈现顺转，表明此时暖平流主导大气层结。至 14 时大风发生时，2022 年 12 月 21 日近地层风速显著增强，同时风向随高度转为逆转，为冷平流。而 2021 年 5 月 26 日大风时风向随高度转向不大。(2) 2021 年 5 月 26 日，尽管原州区位于东北冷涡的槽后下沉区，本该受冷平流影响而降温，但同期活跃的南支槽及其前部的强盛西南气流，将源自孟加拉湾气旋区的暖空气远程输送至该地区。这股强劲的暖平流主导了热力场，不仅抵消了冷涡后部的冷却效应，最终导致地面气温上升。同时，冷涡下沉气流依然主导了湿度场，抑制了降水，形成了气温升高但天气晴朗的特殊局面。(3) 2022 年 12 月 21 日，原州区大风主要由东北冷涡槽后的强西北气流主导，伴随干冷平流，导致相对湿度和地面气温下降。

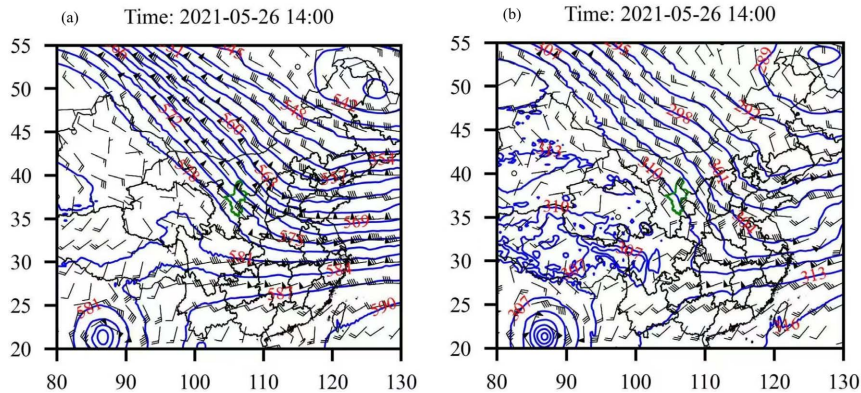


Figure 5. 500 hPa altitude field and wind field (a) and 700 hPa altitude field and wind field (b) at 20210526
图 5. 20220526 的 500 hPa 高度场和风场 (a); 700 hPa 高度场和风场 (b)

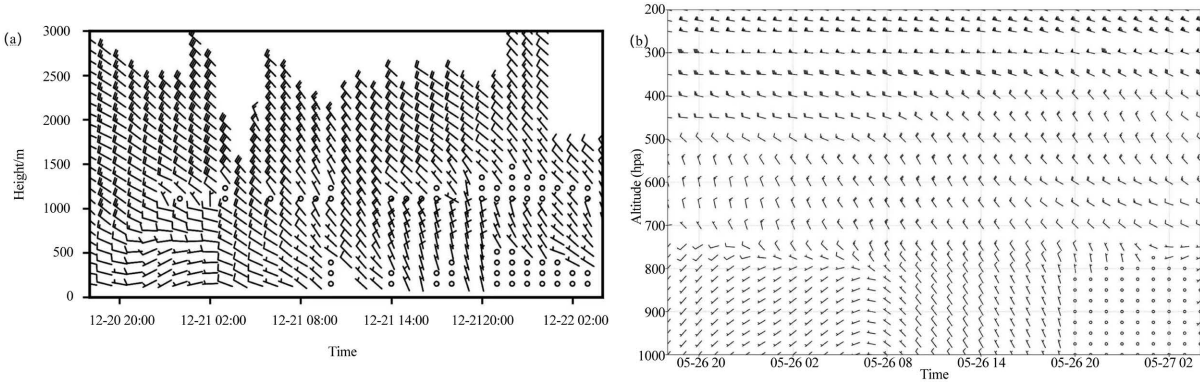


Figure 6. Height wind bar charts for 20221221 (a) and 20210526 (b)
图 6. 20221221 (a)和 20210526 (b)各高度风羽图

Table 2. Meteorological element analysis of northeast China cold vortex-induced wind events in Yuanzhou district
表 2. 原州区东北冷涡型大风天气气象要素分析表

环流类型	时间	500 和 700 hPa 散度	500 和 700 hPa 垂直速度	500 hPa	700 hPa	地面
东北冷涡型	20210526	辐合 + 辐散	下沉 + 下沉	高度升高，相对湿度降低，气温下降	高度上升，相对湿度降低，气温恒定	气压下降，气温升高
	20221221	辐合 + 辐合	下沉 + 下沉	槽脊波动，相对湿度恒定，气温恒定	槽脊波动，相对湿度降低，气温上升	气压升高，气温下降

3.2.2. 低压(低槽)东移型

如图 7 和图 8, 其中绿色轮廓为宁夏地区, 此时为低压(低槽)东移型。可知: (1) 2022 年 3 月 13 日, 在大气环流呈“西高东低”的背景下, 500 hPa 层面上宁夏北部有一低槽自西向东移动并南伸, 槽后西北气流经宁夏时风速显著增强(超过 20 m/s)。700 hPa 上蒙古地区存在一与高空槽相对应的低压槽东移南压, 二者配合, 共同触发了固原地区的大风过程。(2) 2021 年 4 月 15 日, 500 hPa 蒙古地区有一低槽东移南压, 700 hPa 层面存在与之对应的低压中心东移, 当宁夏处于槽后位置时, 原州区出现大风。与前述过程类似, 该日孟加拉湾地区存在南支槽活动, 其可能带来的暖平流与槽后冷平流相互叠加, 导致气温变化方向仍需结合热力平流分析进一步判断。

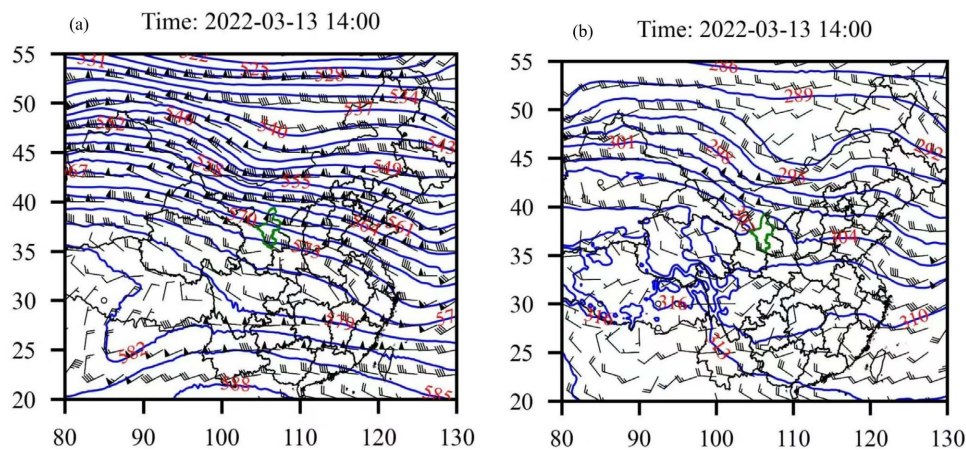


Figure 7. 500 hPa altitude field and wind field (a) and 700 hPa altitude field and wind field (b) at 20210313
图 7. 20210313 的 500 hPa 高度场和风场 (a); 700 hPa 高度场和风场 (b)

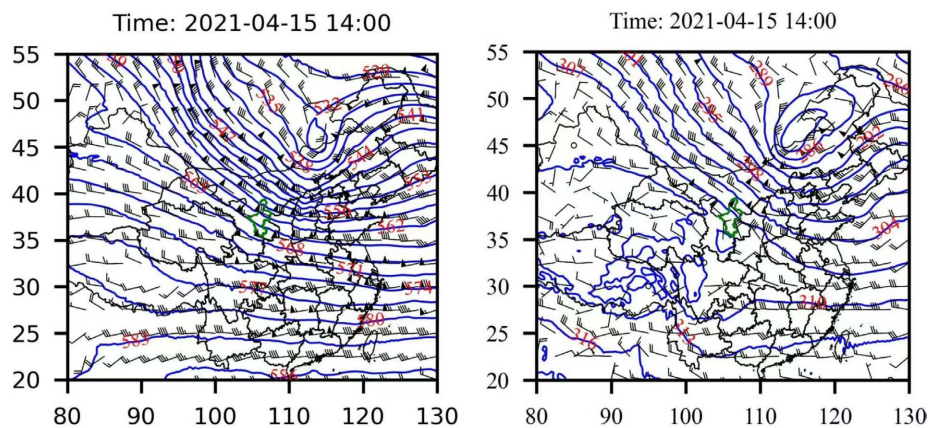


Figure 8. 500 hPa altitude field and wind field (a) and 700 hPa altitude field and wind field (b) at 20210415
图 8. 20210415 的 500 hPa 高度场和风场 (a); 700 hPa 高度场和风场 (b)

鉴于隆德站于 2021 年 11 月方才建成, 本研究在绘制 2021 年 4 月 15 日各高度层风羽图(图 9)时, 采用了 ERA5 再分析数据。我们将分析范围限定在原州区(106~106.5°E, 35.7~36.5°N), 并基于 ERA5 数据计算了该区域内散度、垂直速度、风速、平均海平面气压及位势高度的逐小时平均值(表 2), 以作进一步分析。结合图 9 与表 3 可知: (1) 大风期间高层大气始终受西北或偏北风控制。大风发生时, 2022 年 3 月 13 日风向由西北风转为北风, 风速增至约 6 m/s, 风场均随高度逆转, 为冷平流; 2021 年 4 月 15 日则由西风

转为北风，风速增大 2~4 m/s，风场均随高度转向不大。(2) 与 2021 年 5 月 26 日过程类似，2021 年 4 月 15 日原州区同样处于槽后下沉区。槽后西北冷平流与南支槽前西南暖空气在此相互作用并相互抵消，最终暖平流贡献占优，导致地面气温呈现上升趋势。该过程相对湿度显著下降。(3) 2022 年 3 月 13 日，原州区大风主要由东北冷涡槽后的强西北气流主导，伴随干冷平流，导致相对湿度和地面气温下降。

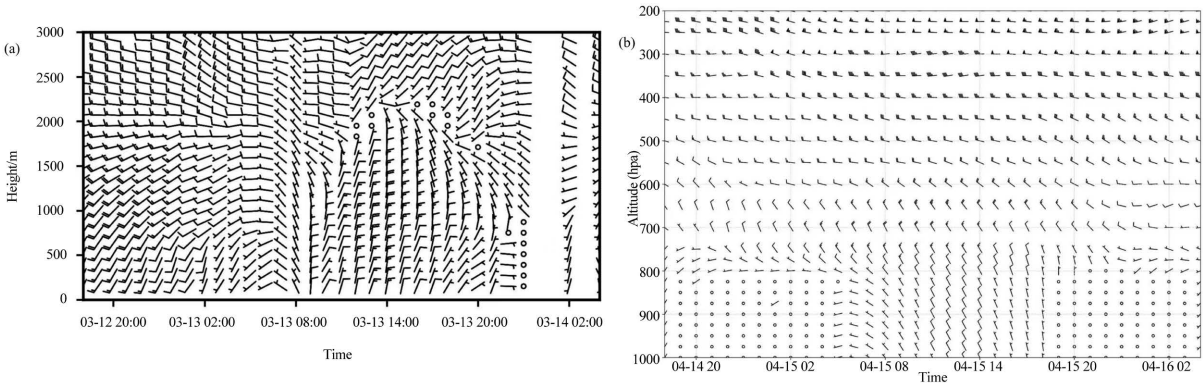


Figure 9. Height wind bar charts for 20220313 (a) and 20210415 (b)
图 9. 20220313 (a)和 20210415 (b)各高度风羽图

Table 3. Analysis of meteorological elements during eastward-moving low-pressure (trough) events in Yuanzhou district
表 3. 原州区低压(低槽)东移型大风天气气象要素分析表

环流类型	时间	500 和 700 hPa 散度	500 和 700 hPa 垂直速度	500 hPa	700 hPa	地面
低压(低槽)东移型	20210415	辐合 + 辐散	下沉 + 下沉	槽脊波动，相对湿度下降，气温下降	槽脊波动，相对湿度恒定，气温下降	气压降低，气温升高
	20210313	辐合 + 辐合	下沉 + 下沉	高度升高，相对湿度上升，气温上升	高度升高，相对湿度下降，气温下降	气压升高，气温降低

3.3. 大风预警及防范对策

3.3.1. 大风预警

根据表 2 与表 3 的分析结果，原州区大风天气普遍发生于高空槽后西北气流控制下的下沉区，伴随相对湿度显著下降，且地面气压与气温常呈反向变化特征。春季受南支槽活动影响，其槽前向东北方向输送的暖平流与槽后冷平流相互抵消，使温度变化趋于复杂。因此，在开展春季地面大风预报时，应重点分析天气学形势图中高空槽的位置与强度、辐散场与垂直速度的配置、相对湿度的下降趋势，以及地面 24 小时气压与气温的演变特征，以综合判断大风的发生与热力结构变化。

为提升大风灾害评估的科学性与实用性，本研究基于持续时间的累积频率分布建立了分级指标体系。统计显示，大风持续时间为 4、5、6、7、8、9 及 >10 小时的事件数依次为 8、8、6、8、4、4、7 次。以此为基础，将总时数的 50%与 80%分位点(约 22.5 小时与 36 小时)作为划分阈值，对应确定持续性大风灾害的三个等级：轻度(4~6 小时)、中度(7~9 小时)与重度(≥ 10 小时)。该指标实现了对大风灾害强度的客观分类，为精细化预警与灾害评估提供了有效依据。

3.3.2. 防范对策

根据固原地区地形特征(图 1)，其西北部由须弥山、硝口至张易一带的山脉，与东北部炭山、寨科至河川乡一带的山脉共同构成一个典型的“喇叭口”地形，该喇叭口朝向西北敞开。结合原州区所处的环

流背景,影响该区域的大风多以西北气流为主。这种地形与主导风向的配置,使西北气流在进入喇叭口后产生狭管效应,风速进一步集中增强,从而显著加大了对原州区农业设施(特别是温室大棚)的风压与风损风险,突显出西北风向大风对该区域大棚安全生产的突出危害。

因此,为有效缓解固原地区因“喇叭口”地形与西北主导风向叠加效应造成的设施农业风灾风险,建议构建“监测-预报-防护”一体化的气象保障体系。在预报预警方面,应研发融合地形狭管效应的精细化风力预报模型,建立与大风持续时间及强度分级相匹配的预警机制,面向农业部门提供风向风速定时定量预报及防风作业适宜期提示。在工程防护方面,指导农户优化大棚布局与建造标准,采取延长轴避让主导风向、加固棚体结构、设置防风网等抗风设计,并推广使用与气象预警联动的自动卷帘装置。在综合防灾层面,建议建设多部门联动的应急响应平台,绘制大棚风灾风险区划图,推行大风指数保险,同时加强对农户的防风技术培训,形成从风险预警到灾后恢复的全流程防灾减灾链条,系统提升区域设施农业的气象灾害抵御能力。

4. 主要结论

本研究基于原州区区域气象站观测数据识别大风日,并结合 ERA5 再分析资料与隆德站风廓线数据,系统分析典型大风日的环流形势与相关气象要素演变特征。主要结论如下:(1) 原州区大风天气主要集中在每年 3~6 月(年均大风日数 10.7~15.2 天),日内多发于 11~17 时(11.7~22.3 时),主导风向为西北风。(2) 影响原州区的大气环流形势可分为两类:东北冷涡型:500 hPa 与 700 hPa 层我国东北地区受冷涡控制,与冷涡有关的槽南压,槽后西北气流引发原州区大风;低压(低槽)东移型:700 hPa 有低压中心或低槽自西向东移动并南压,500 hPa 有对应低槽配合东移,槽后西北气流触发原州区大风。(3) 从天气过程演变来看,大风发生前原州区多处于槽前西南气流控制的上升区,受暖平流影响;大风发生时则转受槽后西北气流下沉区控制,以冷平流为主。春季受南支槽活动影响,其槽前西南气流可向宁夏地区输送暖空气,在一定程度上调节温度变化,使热力条件趋于复杂。(3) 大风灾害持续时间的三个等级:轻度(4~6 小时)、中度(7~9 小时)与重度(≥ 10 小时)。(4) 未来可根据天气学形势图中高空槽的位置与强度、辐散场与垂直速度的配置、相对湿度的下降趋势,以及地面 24 小时气压与气温的演变特征,以综合判断大风的发生与热力结构变化。

本文基于 2015~2022 年共 45 次大风过程观测资料,系统分析了原州区大风天气的环流分型与气象要素演变特征,构建了基于持续时间的大风灾害等级指标,并针对不同灾害等级提出了相应的防灾减灾对策。展望未来,可从以下三方面深化研究与实践:一是拓展观测资料时空分辨率,融合多源数据提升大风过程识别的准确性;二是发展基于机器学习的分类与预报模型,实现大风类型与强度的智能识别与预测;三是构建大风灾害风险评估与动态预警业务平台,形成集监测、预报、预警、防控于一体的综合防灾体系,为区域设施农业与公共安全提供精细化气象保障。

基金项目

宁夏自然科学基金项目(2023AAC02088)和四川省 2024 年度科技计划项目(2024YFTX0016)资助。

参考文献

- [1] 次珍,索朗措姆,次仁旺姆. 大风天气对农作物的影响[J]. 农家科技(下旬刊), 2022(7): 73-75.
- [2] 张学文,张家宝. 新疆气象手册[M]. 北京:气象出版社, 2006: 185.
- [3] 吕勇斌,李志生,郭懿晨. 逆风前行:台风灾害与银行风险行为[J]. 金融研究, 2024(1): 19-37.
- [4] Augusti, G., Borri, C. and Niemann, H. (2001) Is Aeolian Risk as Significant as Other Environmental Risks? *Reliability Engineering & System Safety*, 74, 227-237. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(01\)00077-1](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(01)00077-1)

-
- [5] 刘博, 景博, 常耀军, 等. 固原市塑料大棚内外温度变化特征对比分析[J]. 农业科技与信息, 2016(24): 66-67+72.
 - [6] 李亚琼. 固原市原州区设施大棚番茄高产栽培技术[J]. 现代农业科技, 2014(21): 90, 94.
 - [7] 李永伟. 临夏县北塬灌区日光温室番茄栽培技术[J]. 农民致富之友, 2014(18): 203.
 - [8] 陈建文, 马金仁, 聂晶鑫. 宁夏主要气象灾害预警信号发布分析[J]. 宁夏工程技术, 2018, 17(4): 300-305, 310.
 - [9] 白凤虎. 大棚风灾的防御及灾后处置措施[J]. 新农业, 2021(3): 50-51.
 - [10] 周翠芳, 张广平. 宁夏北部地区一次大风天气诊断分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(14): 6520-6523+6527.
 - [11] 纪晓玲, 王式功, 穆建华, 等. 宁夏雷暴天气过程划分及环流分型和环境场特征[J]. 应用气象学报, 2010, 21(3): 329-334.
 - [12] 喇楠, 牛宏宇, 李金霞, 等. 宁夏中北部一次雷暴大风天气特征分析[J/OL]. 宁夏大学学报(自然科学版): 1-7. <https://link.cnki.net/urlid/64.1006.n.20221027.1428.014>, 2025-01-21.
 - [13] 谭志强, 桑建人, 纪晓玲, 等. 宁夏一次大风扬沙天气过程机制分析[J]. 干旱区地理, 2017, 40(6): 1134-1142.
 - [14] 李典南, 刘春艳, 陈婷. 冷平流强迫背景下攀枝花市一次雷暴过程综合分析[J]. 高原山地气象研究, 2022, 42(2): 113-119.
 - [15] 徐健. 山西农业自然灾害情况分析对策[J]. 山西农业科学, 2008(10): 17-18.