

惠农区1981~2020年风气候特征分析研究

李淑君^{1,2}, 董国庆^{1,2}, 朱婷艳², 杨炯辉², 李学英², 吴尚毅²

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宁夏回族自治区惠农区气象局, 宁夏 石嘴山

收稿日期: 2023年5月4日; 录用日期: 2023年7月14日; 发布日期: 2023年7月21日

摘要

本文作者分析了惠农国家气象观测站1981~2020年的风气候特征。根据统计分析得出, 1981~2020年惠农区2分钟平均风速、10分钟平均最大风速、极大风速均呈明显下降趋势, 气候倾向率分别为 -0.30 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)/10a、 -2.69 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)/10a、 -2.83 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)/10a; 通过6阶多项式拟合曲线分析方法得出惠农区年平均风速的变化趋势为波动下降-快速增长-快速下降-波动增长-波动下降; 累计距平分析显示, 年平均风速总体呈现先增加后下降的趋势。惠农区平均大风日数为38.4 d, 大风日数以8.96 d/10a的趋势减少, 尤其以2004年之后减少趋势明显; 通过风向的风玫瑰图分析, 得出惠农区全年盛行风向以北西北风为主, 风向频率为8.4%; 春冬季盛行风向主要以偏北风为主, 夏秋季盛行风向主要以偏南风为主。

关键词

惠农区, 风气候特征, 分析研究

Analysis and Research of Wind Climate Characteristics in Huinong District from 1981 to 2020

Shujun Li^{1,2}, Guoqing Dong^{1,2}, Tingyan Zhu², Jionghui Yang², Xueying Li², Shangyi Wu²

¹Key Laboratory for Meteorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management of Characteristic Agriculture in Arid Regions, CMA, Yinchuan Ningxia

²Huinong Meteorological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Shizuishan Ningxia

Received: May 4th, 2023; accepted: Jul. 14th, 2023; published: Jul. 21st, 2023

Abstract

The authors of this article analyze the wind climate characteristics of Huinong National Meteorolog-

文章引用: 李淑君, 董国庆, 朱婷艳, 杨炯辉, 李学英, 吴尚毅. 惠农区 1981~2020 年风气候特征分析研究[J]. 自然科学, 2023, 11(4): 668-678. DOI: 10.12677/ojns.2023.114080

ical Observation Station from 1981 to 2020. According to the statistical analysis, the 2-minute average wind speed, 10-minute average maximum wind speed and maximum wind speed in Huinong District showed an obvious downward trend during 1981~2020. The climate tendency rates were -0.30 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)/10a, -2.69 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)/10a and -2.83 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)/10a, respectively. According to the sixth-order polynomial fitting curve analysis method, the variation trend of annual mean wind speed in Huinong District is as follows: fluctuation decline-rapid growth-rapid decline-fluctuation growth-fluctuation decline. The cumulative anomaly analysis shows that the average annual wind speed increases first and then decreases. The average gale days in Huinong District are 38.4 days, and the gale days decrease with the trend of 8.96 d/10a, especially after 2004. Through the analysis of the wind rose diagram of wind direction, it is concluded that the prevailing wind direction in Huinong District is mainly north-northwest wind, and the wind direction frequency is 8.4%. The prevailing wind direction is mainly northerly in spring and winter, and southerly in summer and autumn.

Keywords

Huinong District, Wind Climate Characteristics, Analysis and Research

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

石嘴山市惠农区地处宁夏最北端，是宁夏的北大门。西侧为贺兰山，东侧为桌子山，中间是黄河河谷，地势相对较低，由于这种大地形的狭管效应，形成了一个南北方向的大风通道[1]，因此，惠农区有较丰富的风力资源。风能开发利用与气象工作密切相关，风资源评估方法中明确规定需要收集气象部门保存的有代表性的长序列的平均风资料，分析其与风电场测站风之间的关系，从而对风电场风能资源进行评估[2] [3] [4]。同时，根据 2011~2021 年惠农区气象灾害统计数据进行分析，大风灾害共发生 11 次，占气象灾害总次数的 32.36%，是除暴雨洪涝外的第二大灾害。综上所述，研究惠农区风气候特征意义重大。国内外许多专家对我国风气候特征进行了分析研究，邱博等研究表明，近 50a 来，全国范围内大风日数都具有减少的变化趋势，其中青藏高原地区减少趋势最显著[5]；王小玲等研究表明，我国平均的 5~8 级及以上各级风日数近几十年来均呈线性减少趋势。其中，5 级线性减少趋势最大，且北方地区大于南方，沿海大于内陆[6]；曲巧娜等、李超等、曹宗元等研究表明，黄、渤海沿海、江苏沿海、浙江沿海等地区最大不同等级大风日数均呈下降趋势[7] [8] [9]；王遵娅等、黄小燕等研究表明，近几十年中国风速有明显的减弱趋势，全国平均风速约减小了 16%，西北地区年平均风速也呈明显减少趋势，平均每 10a 减少 $0.09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，其西部地区的减少率大致高于东部地区的减少率，以新疆大部分地区、青海大部分地区以及河西走廊减少最为明显[10] [11]。另外，许多专家也对宁夏气候特征进行了分析[12]-[17]，但多为气温和降水方面的研究，对风的研究仅限于对大风及其灾害的研究[18] [19] [20] [21]，对惠农区风的气候特征变化均没有研究。本文收集整理惠农国家气象观测站 1981~2020 年 2 分钟平均风速、10 分钟最大风速、极大风速、大风日数及风向等观测资料，采用线性趋势分析、6 阶多项式拟合曲线等数理统计方法、累计距平等方法分析了惠农区 1981~2020 年的风气候特征，同时制作年、季、月各风向玫瑰图，深入研究惠农区 1981~2020 年风变化规律，为惠农区风力资源的开发和利用提供科学依据和参考，为惠农区生产建设提供精准的风资料，为政府决策服务材料提供依据，对于防灾减灾、合理安排工业

厂区布局、农业生产均有着重要作用。

2. 资料和方法

2.1. 资料来源

本文所用资料为惠农国家气象观测站 1981~2020 年的 2 分钟平均风速、10 分钟最大风速、极大风速(时间段为 1993~2020 年,地面气象月报表数据文件从 1993 年 3 月开始统计极大风速)、大风出现日数、各风向频率等观测资料(注:2004 年惠农国家气象观测站风观测资料由原来的人工观测改为自动观测获取)。

2.2. 统计方法

以瞬时风速 $\geq 17.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或目测估计风力达到或超过 8 级作为大风标准,测站一日内出现大风定为一个大风日。季节划分:3~5 月为春季,6~8 月为夏季,9~11 月为秋季,12 月至次年 2 月为冬季。采用线性趋势分析、6 阶多项式拟合曲线及累积距平法等方法分析惠农区的风气候特征,采用 Excel 表格制作各风向年、季、月的风玫瑰图。

线性趋势分析是通过建立回归方程, $Y = mK + n$, 其中 n 为常数, m 为回归系数,气象上称气候倾向率,当 m 为正(负)时,表示气象要素值在计算时间内线性增加(减小); K 代表年份。

累积距平也就是距平的累积,累积距平法是一种常见的由曲线直观判断要素变化趋势的方法,其主要步骤如下:

1) 首先定义一组变量(x_1, x_2, \dots, x_n), 求平均值 \bar{x} , 其公式为:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \text{ 其中 } \bar{x} \text{ 为统计值的平均值, } n \text{ 为统计值的数量, } x_i \text{ 为所统计的统计值。}$$

2) 将每一个变量与 \bar{x} 相减得到距平, 即 $x_i - \bar{x}$, 变量对应时间为 t_i , 求 t_i 时间之前所有距平值的和, 即为累积距平, 公式如下:

$$x_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (t = 1, 2, \dots, n)$$

3) 通过绘制各时间点所对应的累积距平, 绘制一条累积距平曲线。由曲线的上下起伏变化表明距平值的增加或者减少, 从而可以判断其长期显著的演变趋势及持续性变化[22]。

3. 风速变化

3.1. 平均风速

3.1.1. 平均风速年变化及趋势分析

1981~2020 年惠农区平均风速总体呈明显下降趋势, 气候倾向率为 $-0.30 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})/10\text{a}$; 年平均风速为 $2.74 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 最大年平均风速为 $3.70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 分别出现在 1992~1994、1996 年; 最小年平均风速为 $1.90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (出现在 2011 年)。6 阶多项式拟合曲线显示, 惠农区平均风速变化具有明显的阶段性特征, 大致可以分为 3 个时期和 5 个阶段: 1981~1989 年的相对稳定期, 除 1981 年外, 其它各年距平值均在 $\pm 0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以内, 年平均风速变化不大; 1990~2003 年相对大风时期, 年距平值在 $0.3\sim 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间; 2004~2020 年相对小风时期, 年距平值在 $-0.8\sim -0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间; 1981~1985 年、1998~2011 年、2018~2020 年的下降阶段和 1986~1997 年、2012~2017 年的上升阶段, 年均风速的变化趋势为波动下降 - 快速增长 - 快速下降 - 波动增长 - 波动下降(图 1)。

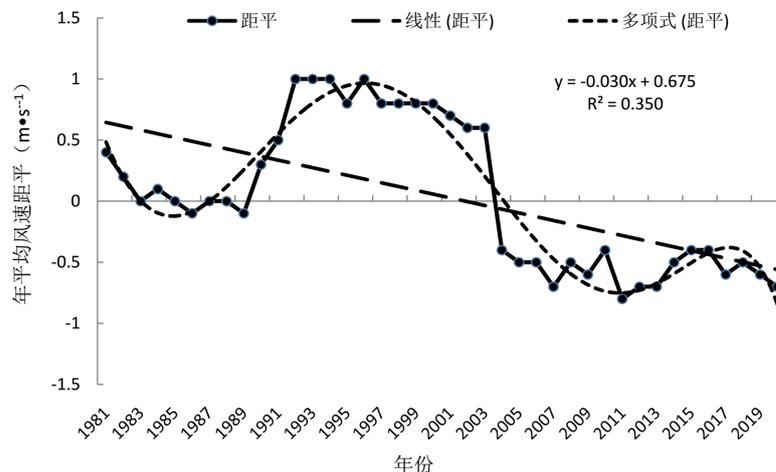


Figure 1. Variation trend of annual mean wind speed in Huinong District from 1981 to 2020
图 1. 1981~2020 年惠农区年平均风速变化趋势

3.1.2. 平均风速季变化及趋势分析

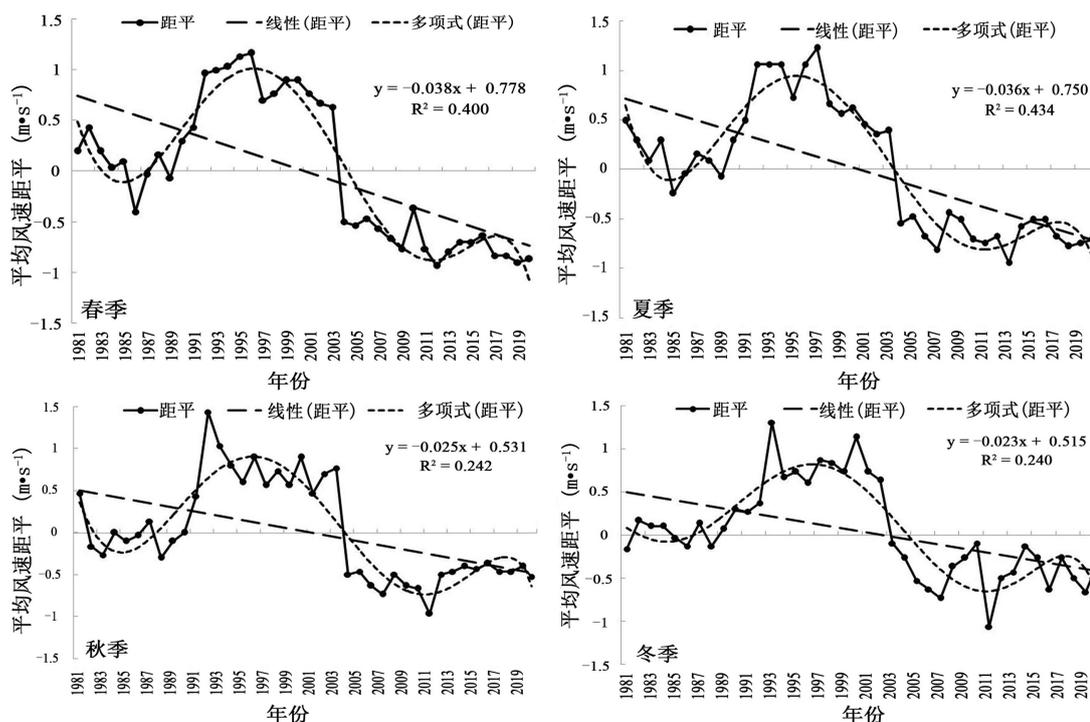


Figure 2. Seasonal mean wind speed variation maps in Huinong District from 1981 to 2020
图 2. 1981~2020 年惠农区四季平均风速变化图

四季平均风速变化与全年平均风速变化基本一致,均表现为下降趋势(图 2)。四季平均风速春、夏、秋、冬依次为 $3.27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $2.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $2.48 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $2.44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。风速最大为春季,风速最小为冬季。倾向率变化显示,下降最显著的为春季 $-0.38 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})/10\text{a}$,其次为夏季 $-0.36 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})/10\text{a}$ 、秋季 $-0.25 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})/10\text{a}$,冬季下降最小 $-0.23 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})/10\text{a}$ 。6 阶多项式拟合曲线表明,四季平均风速变化与全年变化趋势具有一致性,大致可分为 5 个阶段: 2 个风速上升阶段和 3 个风速下降阶段。

3.2. 累计距平法分析

由图 3 可知, 年平均风速累计距平曲线图总体呈现先增加后下降的趋势。1981~1989 年的累积距平呈略有波动的平滑曲线, 表明该时段的各年平均风速接近历年平均风速; 1990~2003 年累积距平值呈上升趋势, 表明该时段各年平均风速较历年平均风速偏大, 2004~2020 年累积距平值呈下降趋势, 表明该时段各年平均风速较历年平均风速偏小。

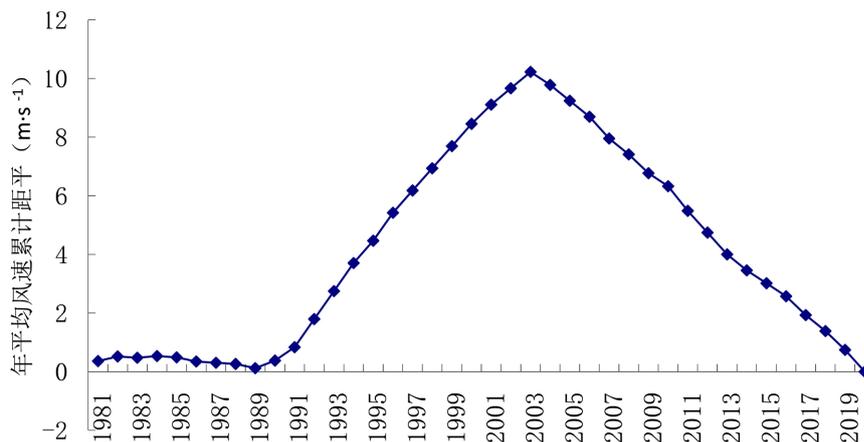


Figure 3. Cumulative anomaly curve of annual mean wind speed
图 3. 年平均风速累计距平曲线图

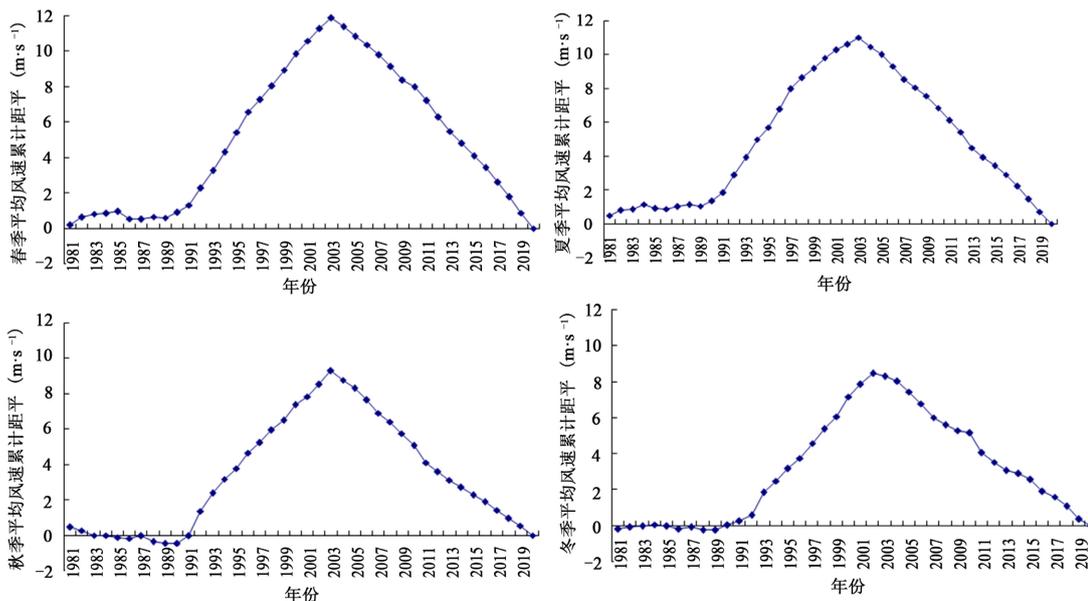


Figure 4. Cumulative anomaly curves of average wind speed of four seasons
图 4. 四季平均风速累计距平曲线图

累计距平法分析四季平均风速变化表明(图 4), 1981~1991 年春季和夏季平均风速累计距平为正, 说明这些年份风速较平均风速值接近, 且风速变化不大; 秋季 1983~1991 年, 冬季 1981~1982、1984~1990 年为负距平, 说明秋冬季相应年份风速较小。1991~2003 年距平累计值四季均呈上升趋势, 这些年份风速呈增加趋势; 2004~2020 年距平累计值四季均呈下降趋势, 这些年份风速呈减小趋势。

3.3. 平均风速月变化及趋势分析

6 阶多项式拟合曲线表明, 1981~2020 年惠农区各月平均风速呈单峰状分布, 3~5 月为波峰, 9~10 月为波谷。平均风速最大值出现在 4 月份, 为 $3.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 之后缓慢减弱; 9~10 月处于波谷, 为 $2.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 最小值出现在 1 月, 为 $2.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 其它月份在 $2.5\sim 3.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间(图 5)。

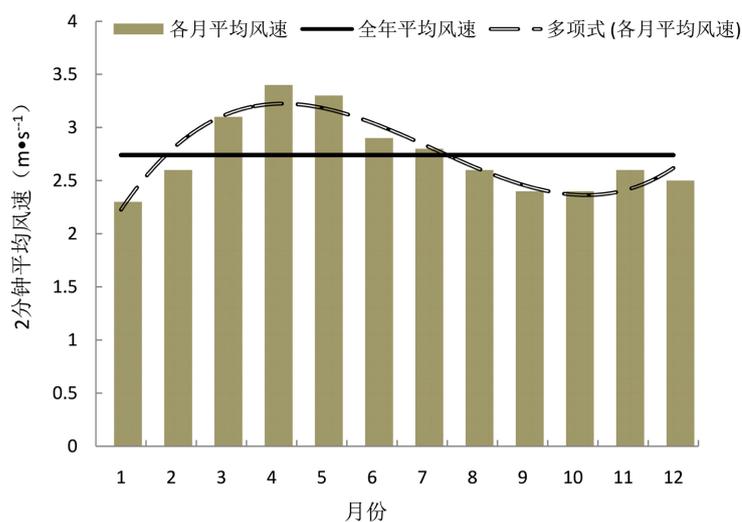


Figure 5. Monthly variation trend of mean wind speed in Huinong District from 1981 to 2020
图 5. 1981~2020 年惠农区平均风速各月变化趋势

3.4. 最大风速和极大风速

3.4.1. 最大风速和极大风速年际变化

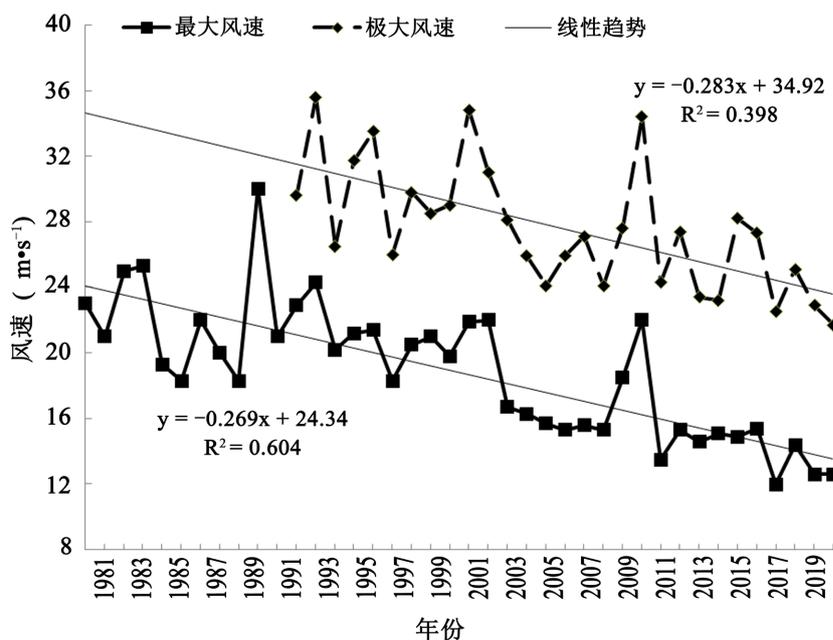


Figure 6. Annual variation curve of maximum wind speed during 1981~2020 and 1992~2020
图 6. 1981~2020 年最大风速和 1992~2020 年极大风速年变化曲线

1981~2020年惠农区最大风速年平均值为 $18.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。从图6可以看出,最大值为 $30.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (风向WNW),出现在1990年。最小值为 $12.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (风向NW),出现在2017年。1981~2020年惠农区年最大风速气候倾向率为 $-2.69(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})/10\text{a}$,年最大风速呈明显减小趋势。最大风速风向频率最多为NW,NNW次之,两者出现频率之和为88%。

1992~2020年惠农区极大风速平均值为 $27.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。从图6可以看出,年极大风速最大值出现在1993年,为 $35.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (风向NW);极大风速次大值为 $34.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (风向NW),出现在2001年;极大风速最小值为 $21.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (风向为NNW),出现在2020年。1992~2020年惠农区年极大风速气候倾向率为 $-2.83(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})/10\text{a}$,年极大风速与最大风速趋势一致,均呈减小趋势。年极大风速风向以NW、NNW出现较多。

3.4.2. 最大风速和极大风速月际变化

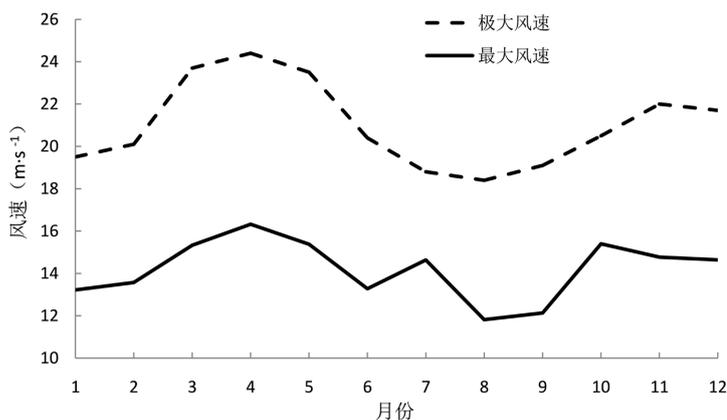


Figure 7. Monthly variation curve of average maximum wind speed from 1981 to 2020 and average maximum wind speed from 1992 to 2020

图7. 1981~2020年平均最大风速和1992~2020年平均极大风速月变化曲线

从惠农区月平均最大风速(1981~2020年)和月平均极大风速(1992~2020年)(图7)可以看出,惠农区月平均最大风速呈“双峰”型变化:1~4月最大风速逐渐增大,4月达全年最大,平均最大风速为 $16.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。5月风速开始减小,7月风速略有增大,之后继续减小,8月达年最小值为 $11.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。9月风速又开始增大,10月达第二峰值,平均最大风速为 $15.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,之后风速又开始减小。惠农区月平均极大风速与月平均最大风速变化趋势基本一致,也呈“双峰”型。1~4月风速逐渐增大,4月最大,平均极大风速为 $24.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,5月风速开始减小,8月最小,为 $18.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。9月风速又逐渐增大,11月达第二峰值,平均极大风速为 $22.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,之后风速又开始减小。从季节变化来看,惠农区平均最大风速和平均极大风速春季最大,秋季次之,夏季最小。

3.5. 大风日数的年变化和月变化

由图8(a)可以看出,惠农区1981~2020年大风日数呈明显下降的趋势,以 $8.96\text{ d}/10\text{a}$ 的速度下降,平均大风日数为 38.4 d ,尤其以2004年之后下降趋势明显。大风日数最多年出现在1996年,为 68 d ;最少年出现在2018年,为 10 d 。

由图8(b)可以看出,惠农区大风日数月变化呈“双峰”型分布:1~4月大风日数呈逐月增加,4月增至全年最多,40年累积出现大风日数 231 d ;5月大风日数开始减少,9月最少,出现大风日数仅 59 d ;9月以后冷空气活动加强,大风日数又开始逐渐增多,12月达到第二峰值,出现大风日数 142 d 。从季节变化来看,春季惠农区冷暖空气活动频繁,大风日数最多,40年累积有 625 d ;冬季次之,出现大风日

数 338 d; 秋季和夏季大风较少, 大风日数分别为 294 d 和 278 d。

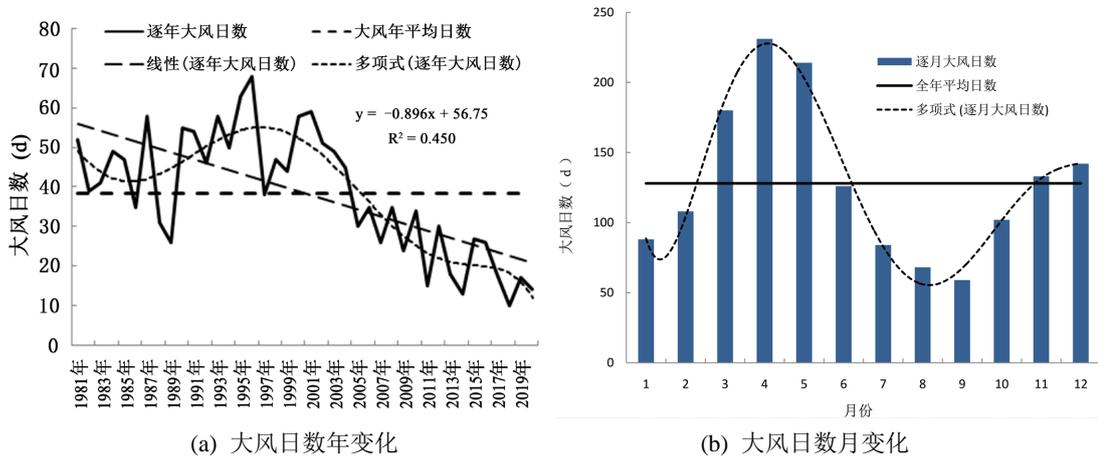


Figure 8. Annual and monthly variation of gale days in Huinong District from 1981 to 2020
图 8. 1981~2020 年惠农区大风日数年变化和月变化

4. 风向变化

4.1. 1981~2020 年惠农区平均风向频率年变化规律

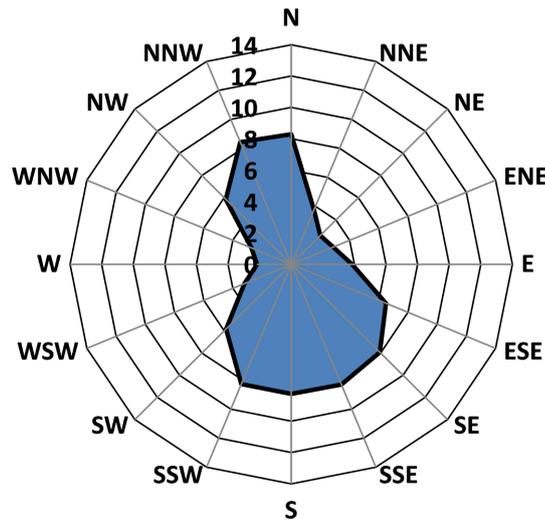


Figure 9. Rose chart of annual average wind direction frequency in Huinong District from 1981 to 2020
图 9. 1981~2020 年惠农区年平均风向频率玫瑰图

由图 9 可知, 惠农区全年盛行风向以北西北风为主, 风向频率为 8.4%; 次多风向为北风、南风、南西南风、南东南风等 4 个风向, 频率为 8.3%。最少风向为西风, 风向频率仅为 2.2%, 次少风向为东北风, 风向频率为 2.6%。

4.2. 1981~2020 年惠农区平均风向频率季节变化规律

由图 10 可知: 惠农区春季盛行风向为北西北风, 风向频率为 10.1%; 次多风向为南西南风, 风向频率为 8.4%; 最少风向为西风, 风向频率为 2.3%, 次少风向为东北风, 风向频率为 2.7%。

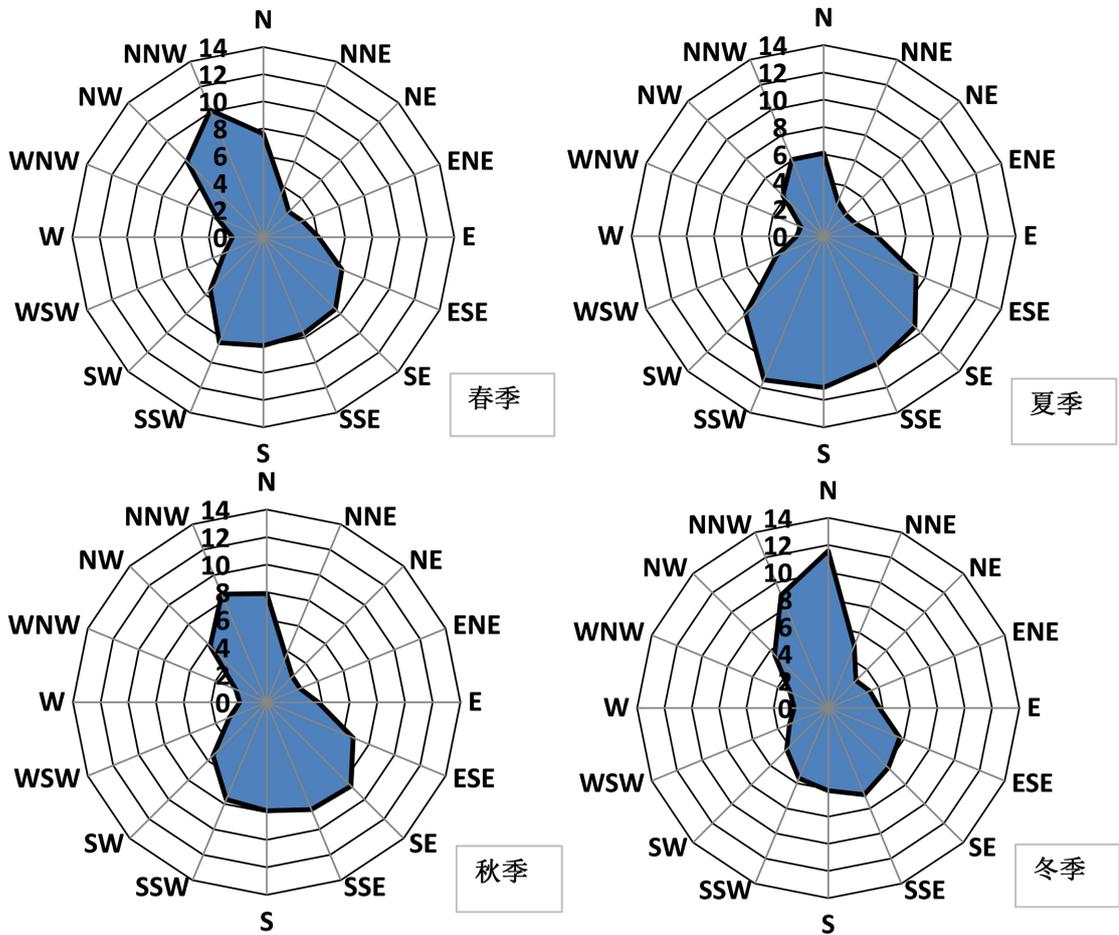


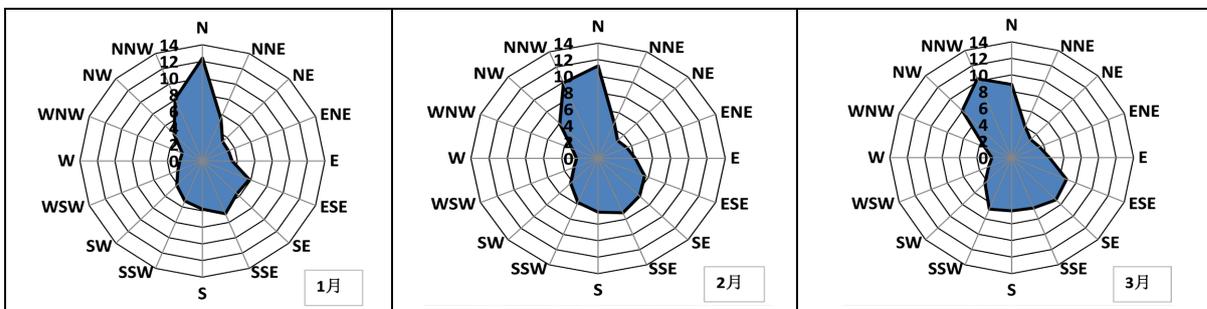
Figure 10. Rose charts of seasonal wind direction frequency in Huinong District from 1981 to 2020
图 10. 1981~2020 年惠农区季节风向频率玫瑰图

夏季盛行风向为南西南风，风向频率为 11.4%；次多风向为南风，风向频率为 11.1%；最少风向为西西北风，风向频率为 1.8%，次少风向为西风，风向频率为 2.0%。

秋季盛行风向为东南风，风向频率为 8.6%；次多风向为北西北风，风向频率为 8.5%；最少风向为西风，风向频率为 2.0%，次少风向为西西北风，风向频率为 2.4%。

冬季盛行风向为北风，风向频率为 11.6%；次多风向为北西北风，风向频率为 9.0%；最少风向为西风，风向频率为 2.5%，次少风向为东北风，风向频率为 2.9%。

4.3. 1981~2020 年惠农区平均风向频率月份变化规律



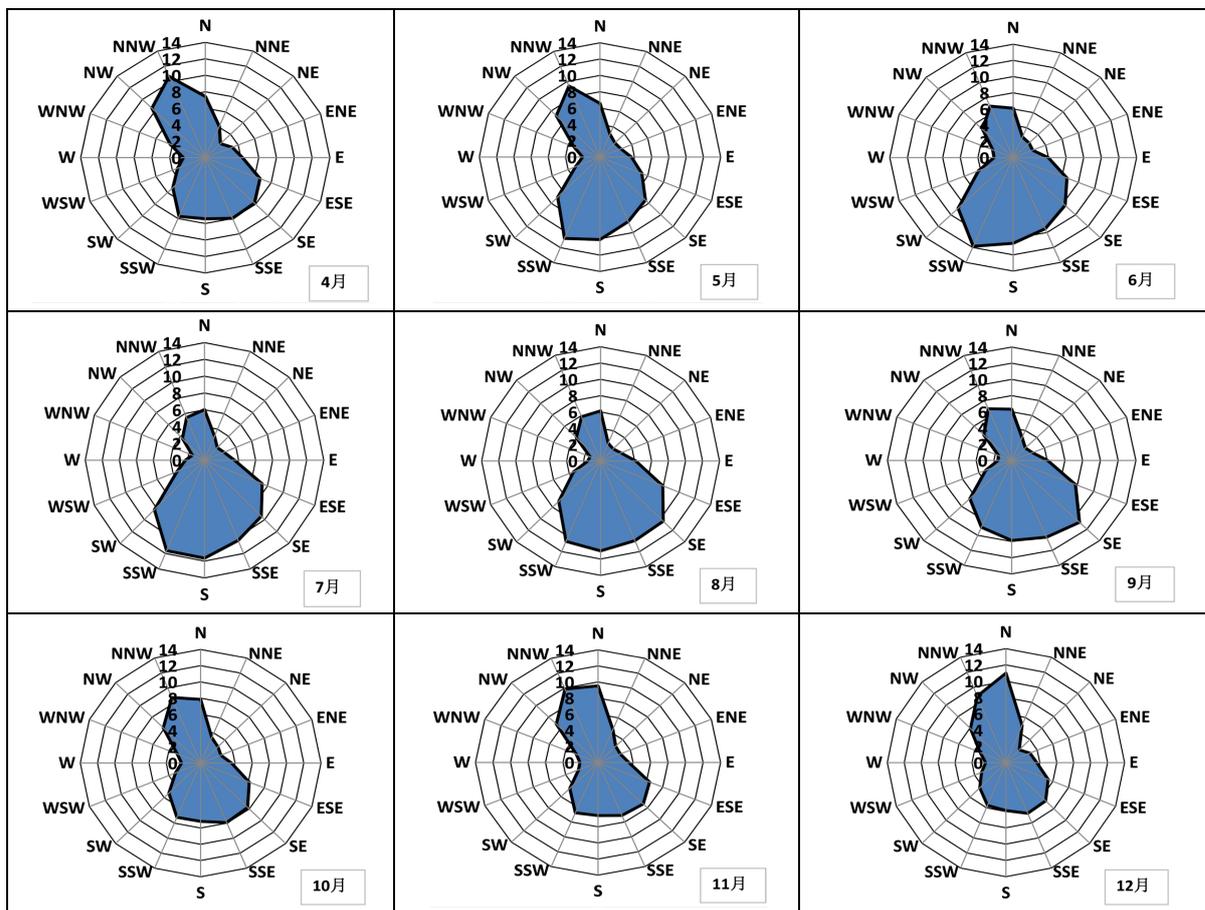


Figure 11. Rose charts of monthly average wind direction frequency in Huinong District from 1981 to 2020

图 11. 1981~2020 年惠农区月平均风向频率玫瑰图

由图 11 可以看出, 1、2、12 月最多风向为北风, 风向频率分别为 12.4%、11.3%、11.0%; 3~4、10~11 月最多风向为北西北风, 3、4 月风向频率分别为 10.3%、10.7%; 10、11 月风向频率分别为 8.8%、9.9%; 5、6 月最多风向为南西南风, 风向频率分别为 10.8%、11.9%; 7、8 月最多风向为南风, 9 月最多风向为东南风, 风向频率分别为 11.7%、11.0%、10.8%。

5. 结论

1) 1981~2020 年惠农区年平均风速总体呈明显下降趋势, 与全国和西北地区的风速变化趋势基本一致, 气候倾向率为 $-0.30 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})/10\text{a}$; 平均风速变化具有明显的阶段性特征, 大致可以分为 3 个时期和 5 个阶段。四季平均风速变化与全年变化趋势一致。各月平均风速呈单峰状分布, 3~5 月为波峰, 9~10 月为波谷。

2) 平均风速累计距平曲线图总体呈现先增加后下降的趋势。1981~1991 年四季风速累计距平在零线附近摆动, 风速变化不大。1991~2003 年距平累计值四季均呈上升趋势, 风速呈增加趋势; 2004~2020 年距平累计值四季均呈下降趋势, 风速呈减小趋势。

3) 1981~2020 年惠农区年最大风速、极大风速均呈明显减小趋势, 气候倾向率分别为 $-2.69 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})/10\text{a}$ 、 $-2.83 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})/10\text{a}$; 平均大风日数为 38.4 d, 大风日数变化趋势与全国大风日数变化趋势一致, 呈减少趋势, 气候倾向率为 $-8.96 \text{ d}/10\text{a}$, 尤其以 2004 年之后下降趋势明显。

4) 1981~2020 年惠农区全年盛行风向以北西北风为主, 风向频率为 8.4%; 春冬季盛行风向主要以偏北风为主, 夏秋季盛行风向主要以偏南风为主。

参考文献

- [1] 冯建民, 胡文东, 陈楠, 等. 宁夏天气预报手册[M]. 北京: 气象出版社, 2012: 136-138.
- [2] 刘韶平, 张铭, 朱滢. 气象数据在风资源评估和风电场设计中的应用[J]. 新型工业化, 2018, 8(7): 94-100.
- [3] 蔡继峰, 胡高硕, 石浩. 国内外风能资源评估标准研究综述[J]. 风能, 2021(12): 54-63.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18710-2002 风电场风能资源评估方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [5] 邱博, 张录军, 谭慧慧. 中国大风集中程度及气候趋势研究[J]. 气象科学, 2013, 33(5): 543-548.
- [6] 王小玲, 宋文玲. 近 30a 我国 5 级以上风日数的时空变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(6): 347-351.
- [7] 曲巧娜, 盛春岩, 杨晓霞, 范苏丹. 黄、渤海沿海大风变化特征及影响系统[J]. 气象科学, 2018, 38(2): 212-220.
- [8] 李超, 魏建苏, 严文莲, 等. 江苏沿海大风特征及其变化分析[J]. 气象科学, 2013, 33(5): 584-589.
- [9] 曹宗元, 王坚侃, 何晴, 等. 浙江沿海大风气候特征及影响系统分析[J]. 海洋预报, 2023, 40(2): 89-97.
- [10] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 虞俊. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.
- [11] 黄小燕, 张明军, 王圣杰, 等. 西北地区近 50 年日照时数和风速变化特征[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 825-835.
- [12] 王剑林, 陈建军, 高龙龙. 宁夏气候时空变化特征分析[J]. 河南农业, 2017(32): 35-36.
- [13] 张月晴, 肖国杰, 陈孟佳. 近 60 年银川气温变化特征分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2021, 36(6): 680-686.
- [14] 万佳, 延军平. 宁夏近 51 年气候变化特征分析[J]. 资源开发与市场, 2012, 28(6): 511-515.
- [15] 孔祥伟, 黄玉霞, 王勇. 1960~2010 年宁夏降水和温度极端气候事件变化分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(9): 2683-2688.
- [16] 李艳春, 李艳芳. 宁夏近百年来气候变化及突变分析[J]. 高原气象, 2001, 20(1): 100-104.
- [17] 苏战胜, 王连喜. 宁夏气候变化特征分析[J]. 陕西气象, 2002(3): 1-4.
- [18] 马蕾, 刘垚, 武万里, 等. 宁夏高速公路大风灾害风险评价[J]. 干旱气象, 2020, 38(3): 504-510.
- [19] 李荣, 陈彦虎, 李春艳, 何佳. 石嘴山市 2018 年气候特点及其影响评价[J]. 宁夏工程技术, 2020, 19(1): 5-9.
- [20] 李晓虹, 李荣, 陈彦虎, 周翠芳. 石嘴山市 2020 年气候特征及极端天气分析[J]. 宁夏工程技术, 2021, 20(3): 198-203.
- [21] 张智, 郑广芬, 林莉, 等. 宁夏大风日数气候变化及其对沙尘天气的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(4): 30-34.
- [22] 陈寒冰, 陈末, 刘睿姝, 王冠华. 1992-2019 年长春市多年降雨量和蒸发量变化特征分析[J]. 水利科技与经济, 2022, 28(1): 51-58.