

1960—2019 年山西省地面风速变化分析

王大勇 王晓琼 张冬峰 刘文平

(山西省气候中心, 太原 030006)

摘要 利用山西省 1960—2019 年 108 个地面气象观测站的风速观测资料, 采用线性拟合、M-K 检验等方法分析了近 60 年山西省地面风速的变化特征。结果表明: 山西省晋西北及西部山区、晋中市北部、长治市东南部、运城盆地西南部等地风速较大, 中部断陷盆地区风速较小; 春季风速最大, 冬季和夏季次之, 秋季最小; 近 60 年山西省年和四季平均风速变化趋势和阶段特征较为明显, 20 世纪 60—70 年代前期, 风速为增加趋势, 之后到 80 年代末期减少趋势明显, 90 年代开始风速减少趋势变缓; 而冬季风速则自 1990 年之后显著增加。经 M-K 检验可知, 年、春、夏和秋季平均风速突变时间点均在 20 世纪 80 年代初, 年和秋季在 1982 年、春季和夏季在 1984 年; 冬季则没有显著突变发生。

关键词 平均风速; 变化分析; 突变; 山西省

中图分类号: P467 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20200351 **文献标识码:** A

引言

全球变暖背景下, 区域气候和气候变化与区域国民经济和社会发展密切相关。风是最重要的气象要素之一, 也是自然界中随机变化最强的因子之一^[1-2]。风速变化对各行业均会产生不同程度的影响, 尤其对风能行业产生影响巨大, 风能是一种具有能源提供和环境保护双重功能的清洁能源, 已成为世界上发展最快的能源模式之一^[2-5], 近地表风作为直接利用的风能来源, 对风能的开发利用具有重要意义。Seidel 等和 Yin 等利用气候模式进行研究表明了风速在中纬地区以减小为主, 高纬地区呈现相反的趋势^[6-7]。随着人们对风能和气候变化的日益关注, 越来越多的研究探讨了中国近地面风速的变化, Zhang 等研究指出 1958—2015 年, 中国近地面风速下降约为 $0.109 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10\text{a}$; 然而自 2000 年以来, 这种下降趋势并不明显^[8]。王遵娅等、任国玉等在分析全国地面气候变化特征时, 均指出我国平均地面风速普遍呈现出明显下降趋势^[9-10], 认为中国几乎全部地区的风速都在显著减小, 冬、春季和西北西部最为明显, 该区 20 世纪 90 年代的年平均风

速比 50 年代减小约 29%, 冬季显著增暖导致中国寒潮发生频率和强度减弱, 另外, 中国大陆气压的增加, 减小了与西伯利亚高压的气压差, 也使得冬季风减小^[9]。李艳等通过对中国地面观测资料和 NCEP/NCAR 再分析资料中风功率密度长期变化趋势差异的比较(OMR 方法), 提出了人类活动导致的下垫面变化是中国陆地地面风能变化的主要原因^[11]。丁一汇等认为中国地面风速在过去几十年整体呈减弱趋势, 但存在明显的季节、区域和风速段差异, 主要是全球变暖背景下欧亚大陆与西太平洋之间以及欧亚大陆高低纬度地区之间的热力差异减弱所致^[12]。刘学锋等认为城市化和台站附近局地环境变化则是河北省风速减弱的主要原因^[13]。韩柳等对中国北方风蚀区风速数据分析指出北方风蚀区年和四季平均风速均呈下降趋势, 山西风速减小较缓, 甚至出现增大趋势, 空间上山西属风速降低不明显区域^[14]。郝玉峰等指出山西沙尘天气过程近地层气象要素演变中风速在沙尘暴、扬沙的发生、发展过程中均较大^[15]。山西地处东亚季风区的西北部边缘, 冬夏受不同属性气团控制产生明显的季节风, 由于山多川少, 沟壑纵横, 地形复杂, 各种气流

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

中国气象局预报员专项项目(CMAYBY2020-018)、山西省气象局面上项目(SXKMSQH20185114)资助

作者简介: 王大勇, 男, 1982 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事气候预测、气候变化和应用气候研究, Email: dayong_cuit@sina.com

收稿日期: 2020 年 8 月 21 日; 定稿日期: 2021 年 1 月 15 日

因受阻挡而形成各地方性风场,风向和风速的时空分布较为复杂^[16]。目前针对山西省长时间序列风速变化特征的详细研究较少,本文利用 108 个地面气象站观测资料,对山西省风速变化趋势及特征进行分析研究,以期对未来风能资源的可持续开发和利用、调整能源结构以及空气污染气象预报提供一定的参考依据。

1 资料和方法

1.1 数据资料

文中所用的数据资料为国家气象信息中心提供的中国国家级地面气象站均一化风速月值数据集(V1.0),该数据集订正了台站迁移、环境变化、观测时制和时间变化、仪器变更、人工观测转自动观测等多种人为原因造成的断点,改进了地面风速观测资料时间序列的均一性,订正后的地面风速变化趋势更加真实地反映长期气候的自然变化,能够用于开展气候变化研究。本文研究 1960—2019 年近 60 年山西省 108 个气象站地面风速的变化特征,气象站点分布如图 1 所示。

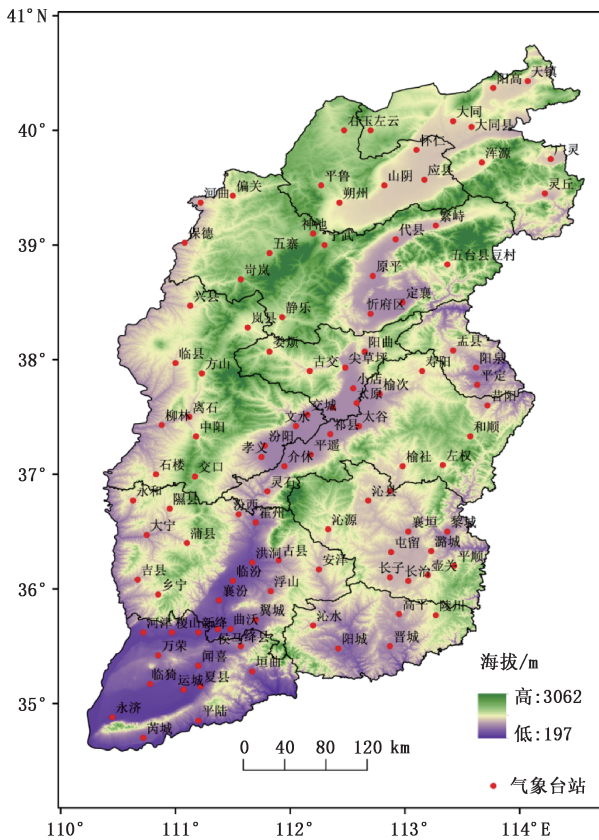


图 1 山西省 108 个气象站点分布

1.2 方法

采用线性拟合、M-K 检验等对近 60 年山西省地面风速的变化趋势进行分析。为了得到山西省地面风速的总体趋势,将山西省内站点风速进行算术平均得到山西省年和四季平均风速的时间序列。本文中年平均风速为当年 1—12 月算术平均值。采用气象季节定义即上一年 12 月至当年 2 月为冬季,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季。

2 结果分析

2.1 山西省风速空间分布特征

根据山西省 108 个气象站逐月平均风速求出年和四季平均风速,然后对 108 个气象站的年和四季平均风速取 60 年(1960—2019 年)平均,得到 108 个气象站的多年平均风速,图 2 给出了山西省年和四季多年平均风速的空间分布。由图 2 可知,山西省多年平均风速一般在 1.0~3.5 m/s 之间。晋西北及西部山区、晋中市北部、长治市东南部、运城盆地西南部等地风速较大,均在 2 m/s 以上,其中浑源、平鲁—神池一带、潞城平均风速在 3 m/s 以上,随着海拔高度增加,风速逐渐加大。中部断陷盆地区风速较小,在 1~2 m/s 之间。山西省不同季节风速差异较大,春季风速最大,冬季和夏季次之,秋季最小。

2.2 山西省风速空间变化趋势特征

图 3 是 1960—2019 年山西省年和四季平均风速空间变化趋势分布。由图 3 可知,除少数气象站风速变化有微弱显著增加趋势外,其他地区均风速呈显著减少变化趋势。四季平均风速空间变化趋势分布与年变化趋势分布类似,夏季和秋季通过 0.05 显著性水平检验的区域较其他季节少。

为详细了解山西省各气象站风速趋势变化的分布情况,对各气象站年和四季风速趋势变化进行统计(表 1)。由表 1 可知,山西省年和春季风速显著性减少的气象站达到 70% 以上,冬季达到 63%,夏季和秋季最少,均在 50% 以上,年和四季风速显著性增加的气象站均在 12% 以下,其中春季只有 2 个气象站显著性增加,冬季最多,有 13 个气象站显著性增加。由此可见,山西省平均风速以减少趋势变化的气象站数量更多。总体上看,山西省除少数气象站为微弱显著增加趋势外,其他大部分地区为显著减少趋势。与韩柳等人在中国风蚀区风速变化时空特征分析中的结论基本一致^[14]。

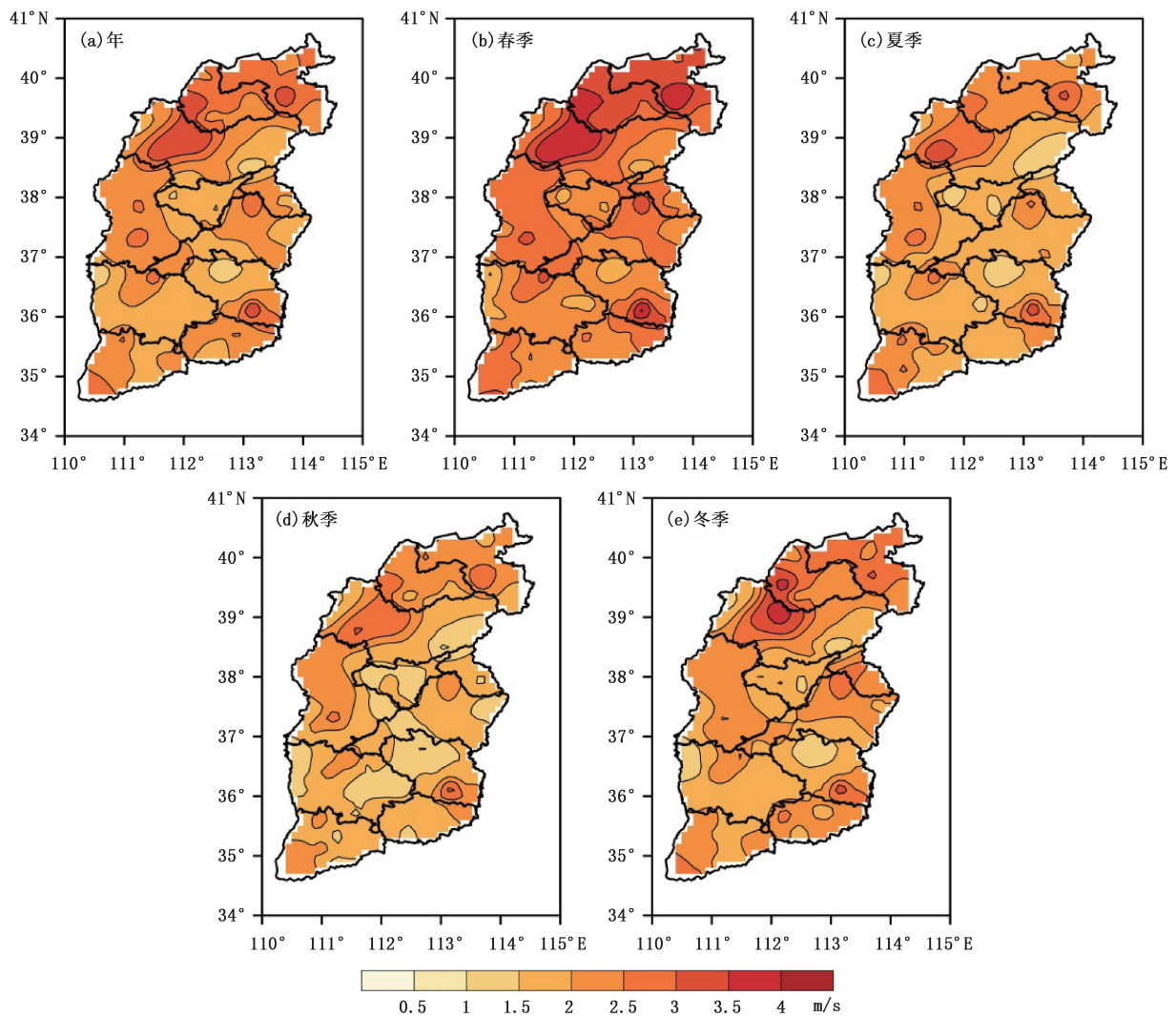


图 2 1960—2019 年山西省年和四季平均风速空间分布

表 1 1960—2019 年山西省年和四季风速趋势变化的
台站统计

	显著增加	不显著增加	显著减少	不显著减少
年	7	12	77	12
春季	2	10	83	13
夏季	10	19	56	23
秋季	10	20	54	24
冬季	13	9	68	18

注:显著表示通过 0.05 显著性水平检验,不显著表示未通过 0.05 显著性水平检验。

2.3 山西省风速时间变化趋势特征

图 4 是 1960—2019 年山西省年和四季平均风速变化。从图中可以看出:近 60 年山西省年平均风速为 2.19 m/s,最大风速为 2.62 m/s(1972 年),最小风速为 1.87 m/s(2007 年),极差 0.75 m/s;年平均风速

以 $0.109 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$ 的速率显著减少(表 2),60 年中平均风速减少了 0.654 m/s。四季平均风速也呈显著减少趋势(图 4、表 2),但减少幅度不同:春季平均风速减少幅度最大,为 0.846 m/s;其次冬季为 0.78 m/s;秋季风速减少最小,为 0.408 m/s;四季中春季和冬季平均风速减少趋势大于年平均风速减少趋势。近 60 年来,年平均风速阶段性变化特征较为明显,20 世纪 60—70 年代前期为增加趋势,之后到 80 年代末期减少趋势明显,90 年代开始减少趋势变缓,但从 2015 年开始则有恢复性增加。其中 1960—1989 年,年平均风速以 $0.153 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$ 的速率显著减少;1990—2019 年,风速以 $0.005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$ 的速率不显著增加。四季中,1960—1989 年平均风速均减少,除秋季通过 0.1 显著性检验外,其余各季节

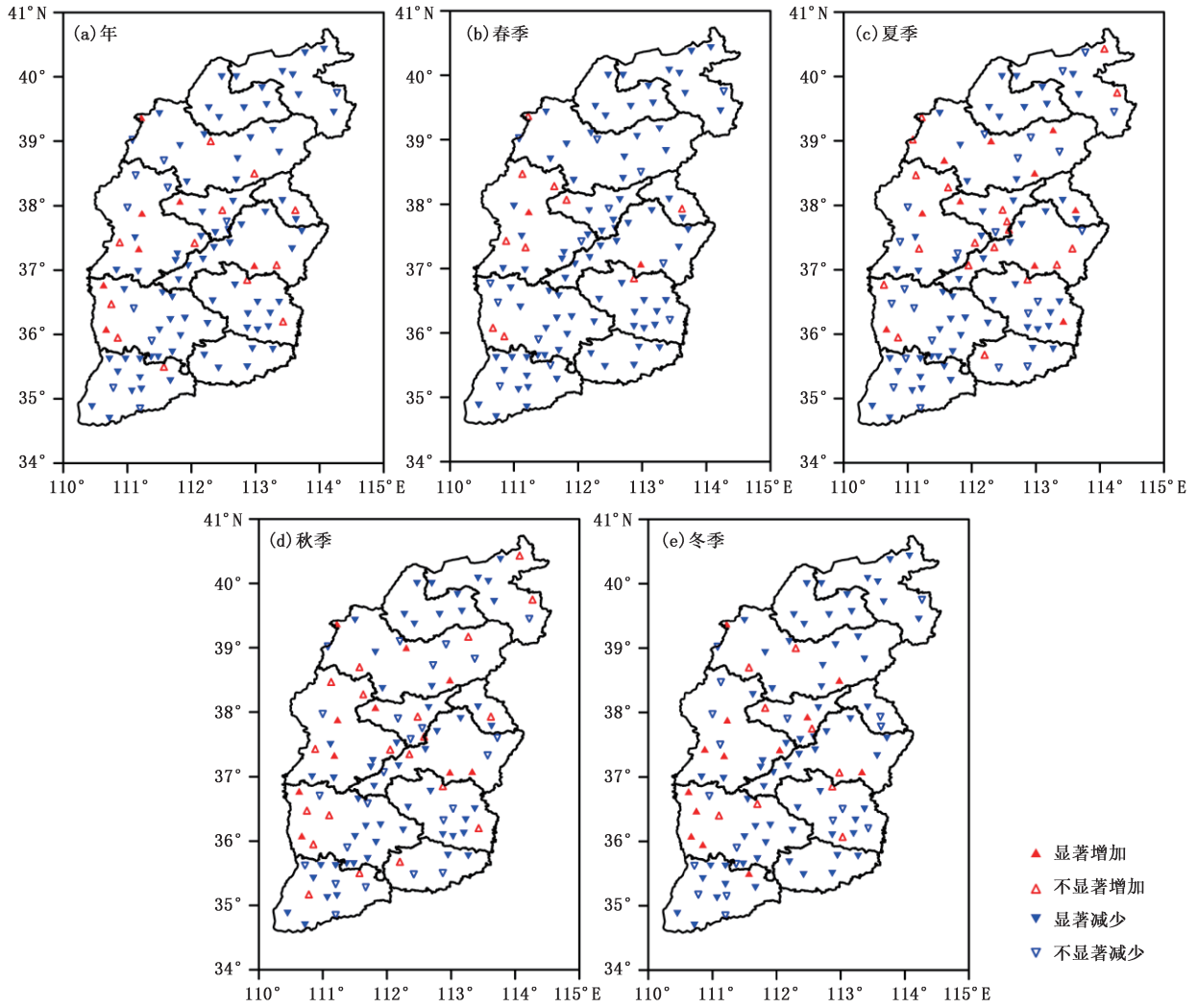


图 3 1960—2019 年山西省年和四季平均风速线性趋势空间分布

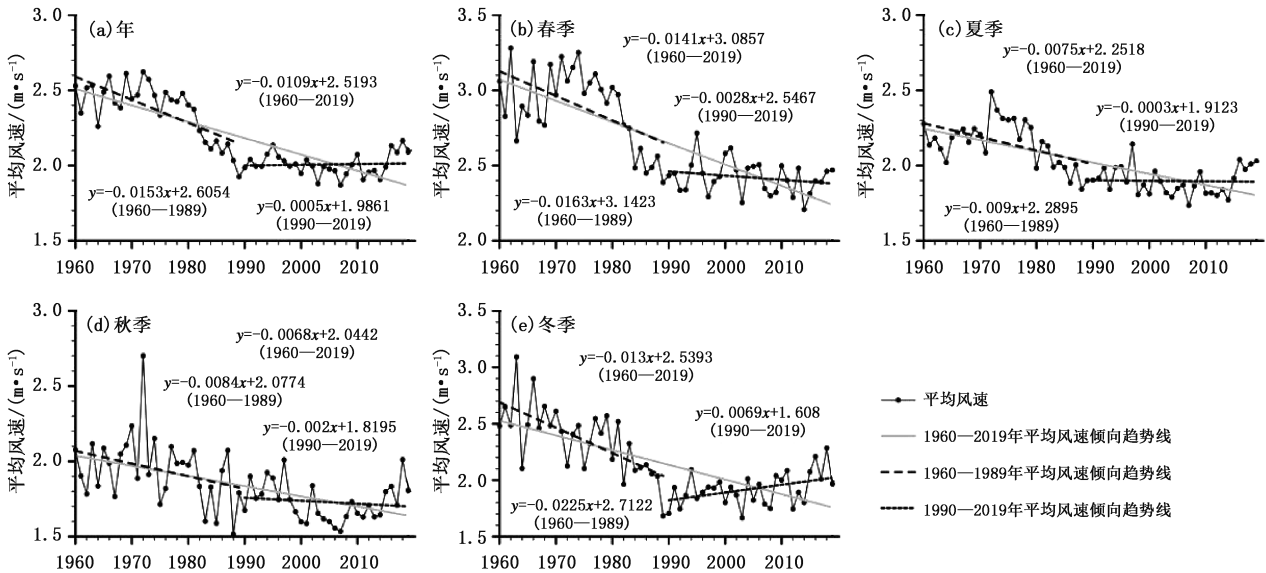


图 4 1960—2019 年山西省年和四季平均风速变化

均通过 0.01 显著性检验,且春季和冬季高于整个研究时段的减少幅度,冬季降幅最大($-0.225 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$),秋季降幅最小($-0.084 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$);1990—2019 年,冬季风速以 $0.069 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$ 的速率显著增加,其余季节呈不显著减少趋势。总体上近 60 年来季节风速明显减少,其中自 1990 年之后冬季风速显著增加。

表 2 1960—2019 年山西省年和四季平均风速变化幅度

	m·s ⁻¹ /10a		
	1960—2019	1960—1989	1990—2019
年	-0.109**	-0.153**	0.005
春季	-0.141**	-0.163**	-0.028
夏季	-0.075**	-0.09**	-0.003
秋季	-0.068**	-0.084#	-0.02
冬季	-0.13**	-0.225**	0.069*

注:**表示通过 0.01 水平显著性检验,*表示通过 0.05 水平显著性检验,
#表示通过 0.1 水平显著性检验

2.4 山西省风速突变特征

对近 60 年来山西省年和四季平均风速时间序列进行 M-K 检验,由图 5 中 UF 曲线可见,年平均风速在 1960 年代开始增加,到 1970 年代前期开始减少,于 1980 年代前期通过 0.001 水平的显著性检验,减少趋势显著。山西省年、春、夏和秋季平均风速的突变点在显著区内(两条虚线之间,显著性水平 $\alpha=0.05, u_{0.05}=\pm 1.96; \alpha=0.001, u_{0.001}=\pm 2.56$),可认为突变存在,突变时间分别为 1982 年、1984 年、1984 年和 1982 年,冬季平均风速突变点在显著区外,表明没有显著突变发生。不同季节出现突变的时间有先后之分,秋季最先出现突变,其次是春季和夏季。

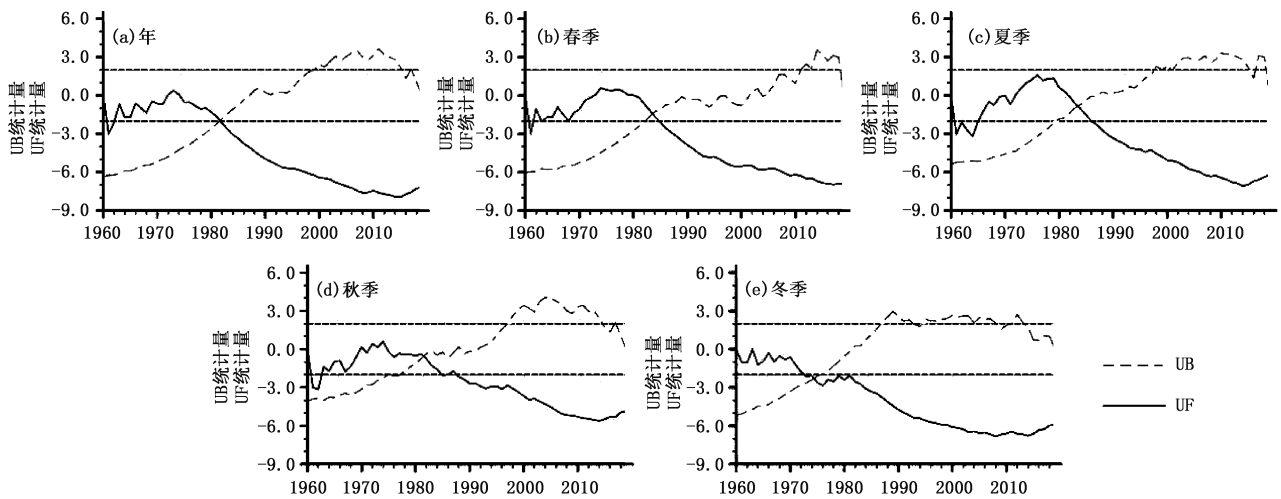


图 5 1960—2019 年山西省年和四季平均风速突变检验

3 结论和讨论

(1)从近 60 年来山西省年和四季平均风速的空间分布来看,山西省晋西北及西部山区、晋中市北部、长治市东南部、运城盆地西南部等地风速较大,其中浑源、平鲁—神池一带、潞城平均风速在 3 m/s 以上,随着海拔高度增加,风速逐渐加大。山西省中部断陷盆地地区风速较小。春季风速最大,冬季和夏季次之,秋季最小。

(2)近 60 年山西省年和四季平均风速空间变化趋势除少数地区风速变化有微弱显著增加外,风速呈显著减少趋势变化的区域几乎覆盖了整个山西地区。

(3)近 60 年来,年平均风速阶段性变化特征较为明显,20 世纪 60—70 年代前期为增加趋势,之后到 80 年代末期减少趋势明显,90 年代开始风速减少趋势变缓。四季变化中各季节风速明显减少,但冬季风速自 1990 年之后显著增加。

(4)对近 60 年山西省地面风速时间序列进行 M-K 检验后发现,年、春季、夏季、秋季平均风速的突变时间点均在 20 世纪 80 年代初,分别为 1982 年、1984 年、1984 年、1982 年,冬季平均风速没有显著突变发生。

近 60 年山西省地面风速呈显著减小的趋势,这与国内大部分学者研究全国和各地区得出的结论相一致^[9-14]。风速是一个重要的气候学统计特征,对

各种有利或不利天气的形成过程均有显著的影响。风速变化的影响因素有很多,我国地面风速变化趋势可能主要与观测环境改变和城市化等非自然因素影响有关,但大尺度大气环流的变化也对地面风速减弱具有一定影响^[17]。大范围地面平均风速下降现象,既有局地人为因素的影响,也有大尺度大气环流变化的作用,但可能以城市化和观测台站附近环境变化等人为因素影响为主,但不是地面风速下降的唯一原因^[13,17]。Jiang 等认为城市化发展、气象台站的迁址和测风仪器的变更对中国年(季)平均风速的长期变化产生一定影响,但大气环流的变化才是造成中国年(季)平均风速呈显著减小趋势的最可能原因^[18]。同时土地利用变化是全球环境变化的一个重要方面,是人类活动影响自然环境程度的重要反映,人类的活动更多体现在改变土地利用方式上,这就会改变大气运动下边界的地表属性,影响地气系统能量交换、辐射平衡和水分平衡等过程,从而导致区域性风速状况的变化^[19]。中国近几十年城市化进程不断加快,城市规模不断增加,建筑物聚集,高低大小不等,造成了大气层下垫面粗糙度增加,风流动时增加了阻力,使得风速观测值减小^[19-20]。气候变暖背景下,我国高纬度地区冬季和夜间增温明显,使得高低纬之间、冬夏之间和白夜之间的温差减小,而温差的大小决定了冷暖空气交换的剧烈程度,从而造成了高低纬之间的经向气流减弱,冬夏的冷暖空气交换也减弱,进而造成风速的普遍减小^[21-22]。

本文对近 60 年山西省地面风速变化进行了分析,得出了与前人基本一致的结论,但是关于风速具体减少和近年来风速的恢复性增加的原因研究的还不够透彻,还需要进一步的深入分析及讨论,这也是作者在接下来的工作中需要努力的方向。

参考文献

- [1] 马玉峰,宋进华,高春香. 内蒙古东部电网最大风速及其重现期极值分布特征[J]. 气象科技, 2015, 43 (1): 162-167.
- [2] 鹿翠华. 最大风速变化特征及再现期极值估算[J]. 气象科技, 2010, 38 (3): 399-402.
- [3] Redlinger R Y, Andersen P D, Morthorst P E. Wind energy in the 21st century [M]. London: Palgrave Macmillan, 2001: 116.
- [4] Devine-Wright P. Beyond NIMBYism: towards an integrated framework for understanding public perceptions of wind energy [J]. Wind Energy, 2005, 8 (2): 125-139. <https://doi.org/10.1002/we.124>.
- [5] Obama B. The irreversible momentum of clean energy [J]. Science, 2017, 355 (6321): 126-129. <https://doi.org/10.1126/science.aam6284>.
- [6] Seidel D J, Fu Q, Randel W J, et al. Widening of the tropical belt in a changing climate [J]. Nature Geosci, 2008 (1): 21-24.
- [7] Yin J H. A consistent poleward shift of the storm tracks in simulations of 21st century climate [J]. Geophys Res Lett, 2005, 32(18): L18701. doi:10.1029/2005GL023684.
- [8] Zhang R H, Zhang S Y, Luo J L, et al. Analysis of near-surface wind speed change in China during 1958—2015 [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, 132(2): 2785-2801.
- [9] 王遵娅,丁一汇,何金海,等. 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.
- [10] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63 (6): 942-956.
- [11] 李艳,王元,储惠芸,等. 中国陆域近地层风能资源的气候变异和下垫面人为改变的影响[J]. 科学通报, 2008, 53 (21): 2646-2653.
- [12] 丁一汇,李霄,李巧萍. 气候变暖背景下中国地面风速变化研究进展[J]. 应用气象学报, 2020, 31 (1): 1-12.
- [13] 刘学锋,任国玉,梁秀慧,等. 河北地区边界层内不同高度风速变化特征[J]. 气象, 2009, 35 (7): 46-53.
- [14] 韩柳,王静璞,王光镇,等. 中国北方风蚀区风速变化时空特征分析[J]. 干旱区地理, 2018, 41 (5): 963-971.
- [15] 郝玉峰,施占军,相栋,等. 典型沙尘天气过程近地层气象要素演变特征[J]. 气象科技, 2014, 42 (4): 671-677.
- [16] 钱林清,郑炎谋,胡慧敏,等. 山西气候[M]. 北京:气象出版社, 1991.
- [17] 张爱英,任国玉,郭军,等. 近 30 年我国高空风速变化趋势分析[J]. 高原气象, 2009, 28 (3): 680-687.
- [18] Jiang Y, Luo Y, Zhao Z C, et al. Changes in Wind Speed over China during 1956-2004 [J]. Theor Appl Climatol 99, 421 (2010).
- [19] 邹立尧,国世友,王冀,等. 1961—2004 年黑龙江省近地层风速变化趋势分析[J]. 气象, 2010, 36 (10): 67-71.
- [20] 史培军,张钢锋,孔锋,等. 中国 1961—2012 年风速变化区划[J]. 气候变化研究进展, 2015, 11 (6): 387-394.
- [21] 道然,加帕依,车罡. 新疆东部地区风速的年代际变化及其成因[J]. 干旱气象, 2008, 26 (3): 14-21.
- [22] 郭春燕. 近 50 年内蒙古自治区风速变化周期及突变分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29 (9): 154-158.

Analysis of Surface Wind Speed Changes in Shanxi during 1960—2019

WANG Dayong WANG Xiaoqiong ZHANG Dongfeng LIU Wenping

(Shanxi Climate Center, Taiyuan 030006)

Abstract: Based on the observed wind speed data from 1960 to 2019 from 108 ground meteorological stations in Shanxi Province, the trend characteristics of surface wind speeds in Shanxi over the past 60 years are analyzed by the linear fitting, M-K test and other methods. The results show that the wind speeds were relatively high in the northwestern and western mountainous areas, the north part of Jinzhong, the southeast part of Changzhi, and the southwest part of Yuncheng Basin, while it was relatively low in the central basin. The wind speed was the highest in spring, followed by winter and summer, and the lowest in autumn. In recent 60 years, the annual and seasonal average wind speeds in Shanxi had obvious change trends and stage characteristics. From the 1960s to the early 1970s, the wind speed increased, and then decreased significantly in the late 1980s. Since the 1990s, the wind speed decreased and slowed down, while the winter wind speed have increased significantly since 1990. The M-K test of surface wind speed in Shanxi shows that the abrupt change time of annual, spring, summer, autumn average wind speed was 1982, 1984, 1984 and 1982, respectively, but there was no significant abrupt change in winter average wind speed.

Keywords: average wind speed; variation analysis; abrupt change; Shanxi