

# 1961~2010年河西地区平均风速时空变化趋势分析

张克新, 潘少明, 曹立国

(南京大学地理与海洋科学学院海岸与海岛开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210023)

**摘要:** 利用河西地区15个气象站点1961~2010年月平均风速和最大风速日值资料, 采用M-K突变检验、ArcGIS中的IDW插值和小波分析等方法分析河西地区平均风速的时空变化趋势。结果表明: 近50 a来, 河西地区年平均风速呈明显下降趋势, 其递减速率为 $0.14 \text{ m}/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$  ( $\alpha=0.001$ ); 该地区四季平均风速均呈减少趋势且减少趋势相同; 平均风速的变化在空间分布上存在差异, 具体表现为年平均风速的递减趋势是自西向东逐渐减小, 瓜州和玉门是该地区减幅最大的区域, 而乌鞘岭却呈现出微增的趋势; 风速的长期变化具有一定的突变性, 其年平均风速在1985年发生突变; 该地区平均风速存在存在多尺度的周期结构特性, 其变化周期为6、19和25 a。

**关 键 词:** 河西地区; 平均风速; 时空变化

**中图分类号:** P425      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2014)11-1404-05

风速是表征气候变化以及气候形成的重要气象要素, 被广泛应用于气候变化研究、风蚀强度评估、沙尘暴预测以及大气污染评价等领域; 其中大风是形成沙尘暴的主要原因, 它除了在地表裸露的沙尘源地及其附近形成沙尘暴灾害以外, 还使土壤风蚀、沙化, 作物和树木产生机械性损害, 最终导致生态环境破坏<sup>[1]</sup>。近年来, 国内外学者越来越多地关注地面附近风速的变化趋势<sup>[2-8]</sup>。已有研究表明<sup>[2,3]</sup>, 在过去的30~50 a间, 位于澳洲和北美中纬度的风速表现出 $0.004\sim 0.017 \text{ m}/(\text{s} \cdot \text{a})$ 的递减速率; 王遵亲、任国玉等<sup>[4,5]</sup>在研究全国地面气候变化特征时均指出: 中国平均地面风速普遍呈现出明显下降趋势, 平均风速递减速率为 $0.012 \text{ m}/(\text{s} \cdot \text{a})$ ; 刘苏峡等<sup>[6]</sup>对华北平原的风速变化研究表明该地区的风速也呈减小趋势; 马芹等<sup>[7]</sup>对黄土高原地区平均风速的变化趋势研究发现黄土高原地区年、四季平均风速均呈极显著减小趋势; 李耀辉等<sup>[8]</sup>研究表明西北多数地区近40 a来大风日数呈减少趋势。甘肃省河西地区东起乌鞘岭, 西至甘肃、新疆两省界, 南以祁连山与青海省相接, 北有北山山系与内蒙古毗邻, 东西长约1 000 km, 南北宽50~100 km, 面

积 $21.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 约占甘肃全省面积的60%, 是甘肃省重要的粮油生产中心<sup>[9-11]</sup>。因此, 研究对河西地区平均风速的变化趋势, 揭示其区域分布特点以及在全球变化背景下的发展情景, 对合理利用风能资源, 防灾减灾、改善当地生态环境等有深远意义。

## 1 资料来源与研究方法

### 1.1 资料来源

选取河西地区(图1)15个气象台站1961~2010年月平均风速(梧桐沟、金塔站点数据分别为1966~1987年及1988~2010年)和最大风速日值资料(最大风速日值取值为1971年1月1日至2010年12月31日), 资料来源于国家气象信息中心(网址: <http://www.nmic.gov.cn/>)。

### 1.2 研究方法

本文采用5 a滑动趋势, 计算各气象站点各季节变化的趋势系数, 并以此为参数, 采用ArcGIS中的反距离加权(Inverse Distance Weighted)插值法, 分析河西地区年及四季风速变化趋势在空间的变化特征; 利用Mann-Kendall<sup>[12,13]</sup>对河西地区平均风

收稿日期: 2013-07-18; 修订日期: 2013-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41166002, 41271289, 41230751)共同资助。

作者简介: 张克新(1980-), 男, 甘肃省民勤县人, 博士研究生, 研究方向为土壤侵蚀、干旱区域环境与绿洲建设等。E-mail: xbsdz-kx2008@163.com

通讯作者: 潘少明, 教授。E-mail: span@nju.edu.cn

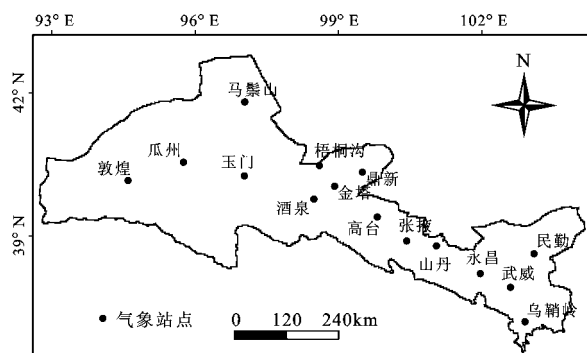


图1 研究区气象站点分布

Fig.1 The spatial distribution of the meteorological stations in study area

速进行突变分析;采用 Morlet 小波分析河西地区平均风速变化的周期性。由于区域范围也较小,在计算区域平均风速序列时,采用算术平均对月、季节和年平均风速进行一次线性趋势拟合,得到线性变化趋势。季节划分:春季为 3~5 月、夏季为 6~8 月、秋季为 9~11 月、冬季 12 月至翌年 2 月;年平均风速为每年 12 个月的算术平均。

## 2 结果分析

### 2.1 平均风速的逐年变化趋势

近 50 a 来,河西地区全年平均风速为 2.9 m/s,最大风速 3.64 m/s(1972 年),最小风速 2.43 m/s(1993 年),极差 1.21 m/s。统计分析表明,该地区年平均风速呈明显下降趋势(图 2a),其递减速率为  $0.14 \text{ m}/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$  ( $\alpha=0.001$ )。从 5 a 滑动平均曲线看出,该地区平均风速在 1966~1987 年均高于多年平均风速,而 1987 年以后,平均风速均低于多年平均风速。河西地区平均风速的年代际变化也较为明显(图 2b),1980 s 之前,年平均风速呈逐渐增大的趋势且增幅较大,1960 s 和 1970 s 均高于多年平均值;而 1970 s 之后,1980 s 和 1990 s 年平均风速

均呈逐渐降低的趋势,且减小趋势明显,1990 s 的年平均风速比多年平均风速小  $0.4 \text{ m}/(\text{s} \cdot \text{a})$ ;2000 年以后呈略微增大趋势,但仍小于多年平均风速;整个区域风速呈现出增大-降低-微增大的趋势。由此看出,河西地区平均风速的递减速率大于全国平均风速的递减速率 [ $0.012 \text{ m}/(\text{s} \cdot \text{a})$ ]<sup>[5]</sup>,且远大于西北地区的平均风速递减速率 [ $0.009 \text{ m}/(\text{s} \cdot \text{a})$ ]<sup>[14]</sup>,可见河西地区的风速变化和全国的风速变化趋势一致,但下降的幅度却高于全国以及西北地区。

### 2.2 平均风速的季节变化趋势

从平均风速的四季变化趋势(图 3)中可以看出,河西地区四季平均风速均呈减少趋势,且四季减少趋势相同,均为  $0.14 \text{ m}/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$  ( $\alpha=0.001$ );且季节平均风速减少趋势和年平均风速减少趋势相同。该地区春季平均风速最大,达到 3.38 m/s,秋季最小为 2.62 m/s;四季平均风速的大小顺序为:春季>夏季>冬季>秋季。

### 2.3 平均风速的逐月变化趋势

河西地区 1961~2010 年的 1~12 月平均风速(表 1)均呈减少趋势。其中:平均风速最大为 4 月,为 3.57 m/s;5 月次之,为 3.30 m/s;平均风速最小为 10 月,为 2.50 m/s;其它各月在 2.53~2.99 m/s 之间。而 1 月、5 和 6 月平均风速递减趋势最强,线性变化倾向率为  $-0.17 \sim -0.15 \text{ m}/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ ;7 月、10 月及 12 月平均风速递减趋势最弱,线性变化倾向率为  $-0.11 \sim -0.1 \text{ m}/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ 。

### 2.4 年平均风速的空间差异

为更好反映河西地区平均风速的变化趋势,本文用各站点年平均风速变化趋势系数作为参数,利用 ArcGIS 的反距离加权(Inverse Distance Weighted)插值法绘制河西地区平均风速的空间分布图(图 4),以分析该地区平均风速的空间变化趋势。从图中可以明显看出该地区平均风速变化的空间差异,具体表现为年平均风速的递减趋势是

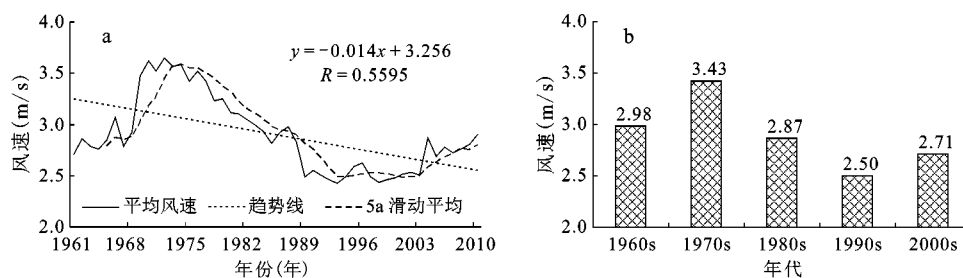


图2 1961~2010年河西地区年(a)和年代际(b)平均风速变化趋势

Fig. 2 Annual and interdecadal trends of the average wind speed in Hexi area in 1961-2010

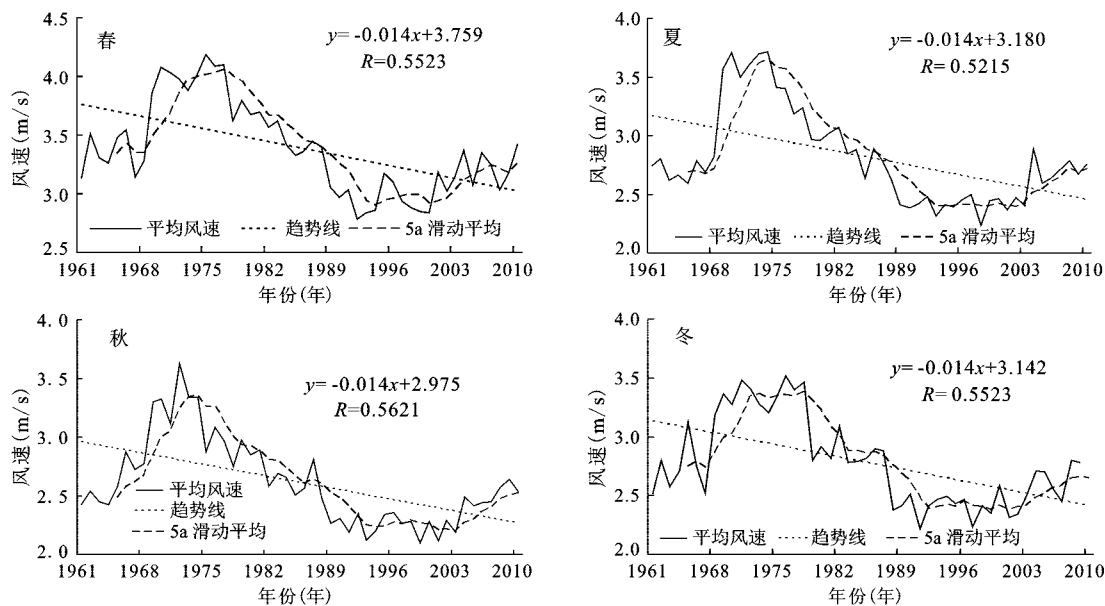


图3 河西地区季节平均风速的变化趋势

Fig.3 Trends of seasonal average wind speed in Hexi area

表1 平均风速的月变化趋势[m/(s·a)]

Table 1 Annual decline rate of monthly average wind velocity in the Hexi area[m/(s·a)]

月份(月)	1	2	3	4	5	6
倾向率	-0.015*	-0.012**	-0.014*	-0.013*	-0.016*	-0.017*
月份(月)	7	8	9	10	11	12
倾向率	-0.011**	-0.014*	-0.014*	-0.011*	-0.014*	-0.01**

注: \*和\*\*分别代表 $\alpha=0.001$ 和 $\alpha=0.01$ 。

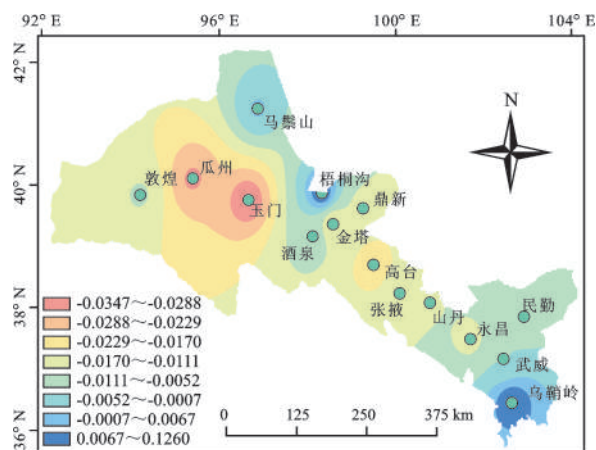


图4 河西地区平均风速空间变化趋势(1961~2010年)

Fig.4 The spatial variation trend of average wind speed in Hexi area in 1961-2010

大的区域;而乌鞘岭的平均风速却呈现出微增的趋势。

## 2.5 平均风速的突变分析

采用 Mann-Kendall 非参数统计检验方法对河西地区的平均风速进行突变检验。结果表明:该地区年和各季节平均风速的突变点都发生在 1985 年左右;年平均风速在 1985 年发生突变;春季平均风速发生突变较晚,在 1987 年;夏、秋季平均风速突变年份一致,均在 1985 年发生突变;冬季平均风速在 1986 年发生突变。此结果与全国范围平均得到的突变点年限为 1969 年的结论<sup>[5]</sup>不一致,说明在大尺度范围内风速的空间差异。

## 2.6 年平均风速的周期分析

采用 Morlet 小波分析,分析了河西地区平均风速变化的周期性,小波分析通过平移和伸缩参数对信号的不同频率分量采用不同持续时间的窗函数来分析信号,它不仅给出气候序列变化的尺度,还可以显示出变化的时间位置。通过对河西地区平均风速的 Morlet 小波功率谱分析(图 5)表明,该地区平均风速存在多尺度的周期结构特性,该地区平均风速存在 6、19 和 25 a 的变化周期。

## 3 风速变化原因分析

风速的减小与气候变暖有一定的关系,风速

自西向东逐渐减小,瓜州和玉门是该地区减幅最

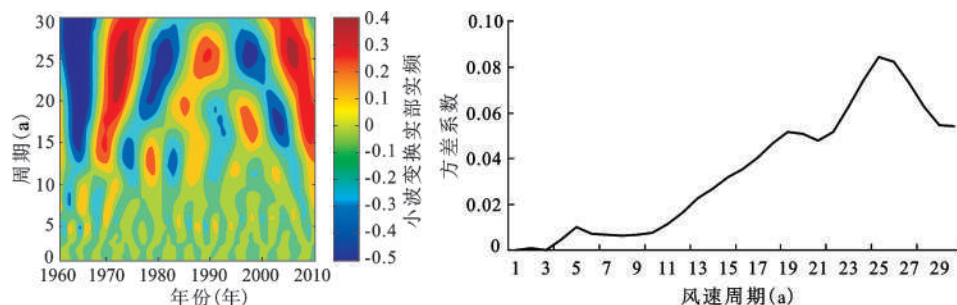


图5 平均风速的周期强弱与小波方差系数

Fig. 5 Cycle strength and wavelet variance coefficient of average wind speed

的变化是因为温度差异和高空气流辐合(辐射)所致;蒋冲<sup>[15]</sup>分析发现风速与最低气温的相关性最好。其次,中国大部分地区收亚洲季风控制,近50 a来,东亚夏季风、南海疾风明显减弱,意味着中国大部分地区夏季偏南风减小;而亚洲冬季环流的减弱必然会导致冬季风减弱<sup>[16,17]</sup>。再次,最大风速的变化也会影响平均风速的变化<sup>[7]</sup>;本文拟采用日最大风速的变化趋势来分析对平均风速变化的影响。

在河西地区选取具有代表性的6个站点1971~2010年的最大风速日值资料来分析最大风速变化特征。本文主要研究5级和5级以上风速在不同年代大风日数的发生频率;风速等级划分为风速5级(8~10.7 m/s)和5级以上( $\geq 10.7$  m/s)(表2)。最大风速的发生频率是指该级别最大风速发生的日数占所统计总日数的比例。

表2 各站点日最大风速为5级或5级以上的发生频率(%)

Table 2 Frequency of maximum wind speed  $\geq 5$  grades in all stations(%)

	瓜州	酒泉	张掖	武威	民勤	乌鞘岭
1970 s	12.44	6.67	6.08	4.95	9.94	22.44
1980 s	7.74	4.20	3.64	3.94	7.20	22.63
1990 s	4.58	1.99	2.19	1.57	5.57	22.23
2000 s	4.25	3.28	1.35	1.85	4.72	21.68

从各站点日最大风速为5级或5级以上的发生频率的变化趋势(见表2)可以看出,1970 s至1990 s,各站点5级或5级以上大风日数的发生频率(除乌鞘岭外)都呈逐渐减少趋势,瓜州减少趋势最明显,从12.44%减少到4.58%,减少约8%;武威减少趋势最弱,减少3.38%;乌鞘岭的5级大风发生频率在1980 s略微增加,之后也呈减少趋势;1990 s~2000 s,除酒泉和武威的5级或5级以上大

风日数的发生频率呈微增加趋势外,其余的均呈减少趋势。由此可以推断:河西地区平均风速显著减小的原因主要是由于5级或5级以上的大风发生频率减少造成的。

## 4 结 论

通过上述分析与讨论,可以得出以下结论:

1) 近50 a来,河西地区年平均风速呈明显下降趋势,其递减速率为 $0.14 \text{ m}/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ ( $\alpha=0.001$ );该地区四季平均风速也呈减少趋势,且四季减少趋势相同,均为 $0.14 \text{ m}/(\text{s} \cdot 10 \text{ a})$ 。其平均风速减小的主要原因是5级或5级以上的大风发生频率降低造成的。

2) 河西地区平均风速变化存在空间差异,具体表现为年平均风速的递减趋势是自西向东逐渐减小,瓜州和玉门是该地区减幅最大的区域;而乌鞘岭的平均风速却呈现微增的趋势。

3) 该地区年平均风速在1985年发生突变;春季平均风速发生突变较晚,在1987年;夏、秋季平均风速突变年份一致,均在1985年发生突变;冬季平均风速在1986年发生突变。

4) 近50 a来,该地区平均风速存在多尺度的周期结构特性,其平均风速存在6、19和25 a的变化周期。

## 参考文献:

- [1] 许炯心.基于气候地貌植被耦合的黄河中游侵蚀过程[M].北京:科学出版社,2009:50~67.
- [2] McVicar T R, Van Niel T G, Li L T, et al. Wind speed climatology and trends for Australia, 1975-2006: Capturing the stilling phenomenon and comparison with near-surface reanalysis output [J]. Geophysical Research Letters, 2008, **35**(20): L20403.
- [3] Mahrt Larry. Surface Wind Direction Variability [J]. Journal of



- Applied Meteorology and Climatology, 2010, **50**(1): 144-152.
- [4] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, **62**(2): 228-236.
- [5] 任国玉, 郭 军, 徐铭志. 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.
- [6] 刘苏峡, 邱建秀, 莫兴国. 华北平原 1951 年至 2006 年风速变化特征分析[J]. 资源科学, 2009, **31**(9): 1486-1492.
- [7] 马 芹, 张晓萍, 万 龙, 等. 1957~2009 年黄土高原地区风速变化趋势分析[J]. 自然资源学报, 2012, **27**(12): 2123-2133.
- [8] 李耀辉, 张存杰, 高学杰. 西北地区大风日数的时空分布特征[J]. 中国沙漠, 2004, **24**(6): 715-723.
- [9] 贾文雄, 何元庆, 李宗省, 等. 近 50 年来河西走廊平原区气候变化的区域特征及突变分析[J]. 地理科学, 2008, **28**(4): 525-531.
- [10] 贾文雄. 近 50 年来祁连山及河西走廊极端气温的季节变化特征[J]. 地理科学, 2012, **32**(11): 1377-1383.
- [11] 魏 伟, 石培基, 脱敏雍, 等. 基于 GIS 的甘肃省道路网密度分布特征及空间依赖度分析[J]. 地理科学, 2012, **32**(11): 1297-1303.
- [12] 符淙斌, 王 强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, **16**(4): 482-493.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 57-76.
- [14] 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.
- [15] 蒋 冲, 王 飞, 刘 焱序, 等. 秦岭南北风速时空变化及突变特征分析[J]. 地理科学, 2013, **22**(2): 244-250.
- [16] 赵 平, 周自江. 东亚副热带夏季风指数及其与降水的关系[J]. 气象学报, 2005, **63**(6): 933-941.
- [17] 施 能, 鲁建军, 朱乾根, 等. 夏季风 100 年强度指数及其气候变化[J]. 南京气象学院学报, 1996, **19**(2): 168-177.

## Spatial and Temporal Trends of Average Wind Speed in Hexi Area in 1961-2010

ZHANG Ke-xin, PAN Shao-ming, CAO Li-guo

(Ministry of Education Key Laboratory for Coastal and Island Development, School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210023, China)

**Abstract:** Hexi area is characterized with a vulnerable ecological system and severe soil erosion in the north-west of China. Analyzing the trend of the average wind speed is critical for wind resources management and soil erosion control in this region. Based on the monthly average wind speed of the 15 weather stations in Hexi area from 1961 to 2010 and using the methods of climate trending rate, 5 years running mean tread, Inverse Distance Weighted interpolation, Mann-Kendall abrupt change test and wavelet analysis method, the spatial and temporal trends of the average wind speed as well as the possible influential factors were analyzed in Hexi area of Gansu Province from 1961 to 2010. The main results are as follows: 1) The annual average wind speed was 2.9 m/s in Hexi area. The annual average wind speed obviously decreased at the rate of approximately 0.14m/(s·10 a) ( $\alpha=0.001$ ) in Hexi area during the period of 1961-2010. Furthermore, on the seasonal scale, the decreased rate of four seasons was similar. The mainly reason why the annual average wind speed decreased significantly was that the frequency of 5 or more than 5 levels of wind have decreased over recent years. 2) This trend has different spatial distribution in Hexi area. The average wind speed decreased significantly in the whole region and different subregions in recent 50 years, the decreasing rate in Guangzhou County and Yumen City were the biggest and the smallest one was in Wushaoling area. 3) Abrupt change was found in the long-term climate variation. The Mann-Kendall abrupt change test showed that the year of 1985 can be viewed as turning point of the abrupt change on an annual wind speed basis. While from the perspective of seasonal wind speed, the abrupt change points in summer and autumn appeared slightly earlier than those in spring and winter. The abrupt change of the average wind speed happened in 1985 in summer and autumn while that of spring appeared in 1987. The abrupt change of winter happened in 1986. 4) Morlet wavelet analysis revealed that average wind speed exhibited quasi-periodic variations of around 6 years, 19 years and 25 years.

**Key words:** Hexi area; average wind speed; spatial and temporal variation