

中国天山山区风速变化特征^{*}

张明军^{1,2}, 李瑞雪³, 黄小燕¹, 贾文雄¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000;
3. 河北邯郸市第三中学, 邯郸 056000)

提 要: 利用天山山区 27 个气象站 1960~2009 年日平均风速、日平均气温、日最高和日最低气温等资料, 运用一元回归分析法、IDW 空间插值法、Mann-Kendall 突变检验法和 Matlab7.0 软件, 对天山山区风速的时空变化, 突变年份和周期变化进行分析。结果表明: 天山山区风速年际变化倾向率为 $-0.013\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, 表明该区的风速呈明显减小趋势, 比全国风速的减小更显著; 四季的风速减小变化趋势也都比较显著; 年风速自 60 年代逐渐减少, 2000 年以来减小幅度略有下降。风速突变检验显著, 年及夏、秋季检验一致, 在 1980 年发生突变; 年风速距平序列在 11 年左右的振荡最为明显, 其次是 3 年, 由于时间序列较短, 风速变化还可能存在更长的周期变化。

关键词: 风速; 时空变化; 突变; 小波分析; 天山山区

中图分类号: P425

文献标识码: A

2008 年, 澳大利亚科工组织(CSIRO)土地与水研究所的首席研究员 Tim Mc Vicar 博士研究小组关于澳大利亚风速的研究^[1]引起了近年来许多学者对风速的进一步关注。全球气候变化背景下我国大部分地区的风速呈下降趋势^[2-3], 90 年代和 50 年代相比, 全国平均风速减小了约 16%, 减小最显著的西北西部, 减小了近 29%, 幅度非常大^[4]; 王遵亲^[5]等人认为我国风速大幅减小主要是由于亚洲冬、夏季风的减弱。天山山区地处西风环流区, 在我国西风带上游, 同时受到副热带高压的影响, 春、夏之交盛行西风和西北风, 是我国著名的多风地区。对我国风速的研究已有很多, 但揭示区域风速更细致的变异特征, 特别是对各地风速突变年份和周期变化的信息研究, 对揭示风速变化趋势意义重大。刘苏峡^[6]对华北平原近几十年的风速变化特征进行了分析; 王毅荣^[7]研究发现河西走廊区域风速变幅较小、气候变化趋势较稳定; 道然·加帕依^[8]对新疆东部地区风速变化及原因进行了研究; 李祥余等^[9]对塔中地区春季风速廓线特征进行了研究。天山山区风速的研究至今还未见到, 但天山山区是风力资源非常丰富的地区, 其中达坂城、十三间房和哈密地区都属于天山山区。因此, 对天山山区进行风速研究是十分必要的。

1 材料与方法

选取天山山区 27 个气象站(图 1) 1960~2009 年的日平均风速、日平均气温、日最高和日最低气温等资料。

首先利用一元回归法进行风速变化趋势分析, 其次在 ArcGIS 环境下通过 IDW 插值法分析风速变化的空间分布特征; 然后在 Dps7.05 软件中进行突变年份分析; 最后, 利用 Matlab7.0 软件的小波分析^[14-15]工具箱, 分析得出风速年际变化的周期。此外运用相关分析法对影响风速变化的主导因素—气温进行了探讨, 还对各气象站点的纬度、经度和海拔高度与风速变化相关性进行简单分析。

^{*} 收稿日期: 2011-6-18。

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-10-0019); 国家自然科学基金项目(40701035, 40631001, 40571033); 陇原青年创新人才扶持计划; 西北师范大学知识与科技创新工程创新团队项目(NWNU-KJCXGC-03-66)和科研骨干培育项目(NWNU-KJCXGC-03-78)资助。

作者简介: 张明军(1975-), 男, 甘肃宁县人, 教授, 博士生导师, 主要从事气候变化与冰川方面的研究。

E-mail: mjzhang2004@163.com

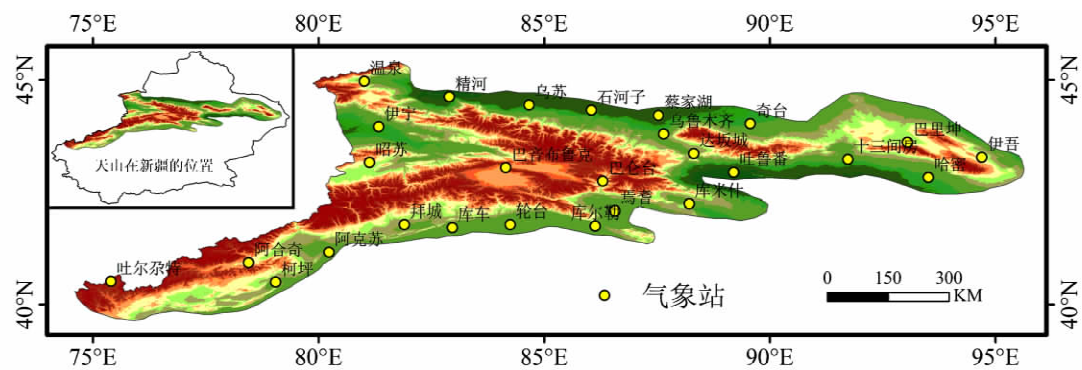


图 1 天山山区气象站点的分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in the Tianshan mountainous region

2 风速的年代际变化特征

2.1 年际变化

近 50 年来,天山山区风速的年际变化倾向率为 $-0.013 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ (图 2), 表明该区的风速总体上呈明显减小趋势,比全国风速的递减率^[9] ($-0.012 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) 减小还要显著。由于十三间房和达坂城地区风速较大,因此与天山山区年平均风速进行了对比,结果发现:十三间房地区自 60 年代以来年平均风速呈波状上升趋势,平均每 10 年上升 $0.78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,特别是 2000 年以后风速上升迅速;达坂城地区年平均风速变化趋势不大,呈下降趋势,其下降趋势大于天山山区,平均每 10 年下降 $0.18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.2 年代际变化

天山山区的年风速在各年代变化不同(表 1), 20 世纪 60、70、80、90 年代及 2000 ~ 2009 年分别与多年平均年风速相差 $0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $-0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $-0.32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $-0.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,表明在 80 年代之前风速较大,之后减小。年风速自 60 年代到 90 年代逐年减少,2000 年以来略有上升。各季节的风速变化与年风速变化基本相同。

表 1 天山山区年及季节风速的年代际变化

Tab. 1 Interdecadal change of the annual and seasonal wind speed in the Tianshan mountainous region

年代	春季	夏季	秋季	冬季	全年
1960 ~ 1969	3.14	3.03	2.38	1.99	2.64
1970 ~ 1979	3.19	2.97	2.33	1.95	2.62
1980 ~ 1989	2.86	2.71	2.07	1.68	2.33
1990 ~ 1999	2.56	2.35	1.81	1.53	2.06
2000 ~ 2009	2.73	2.56	2.02	1.75	2.26

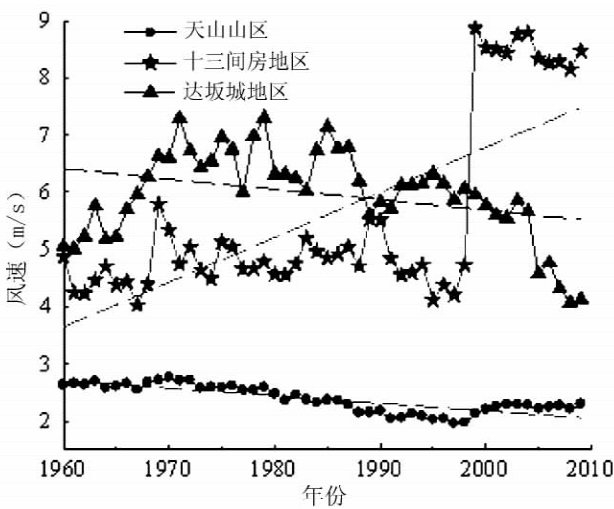


图 2 天山山区年风速的年际变化趋势(1960 - 2009 年)

Fig. 2 Interannual change trend of the annual wind speed from 1960 to 2009 in the Tianshan mountainous region

2.3 季节变化

图 3 是 1960 ~ 2009 年中国天山山区各季节年际变化趋势图,图中曲线表示历年值,斜线表示趋势线。春季、夏季、秋季、冬季的风速的年际变化倾向率分别为 $-0.15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 、 $-0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 、 $-0.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 、 $-0.09 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,都通过了 0.01 的置信度检验,表明四季风速都呈减小趋势,其中夏季的减小幅度最大,冬季最小。季节的风速减小变化趋势都比较显著,这与王遵娅等人^[9]对我国四季的风速都减小的结果相一致,特别是与西北地区研究结果完全一致。

3 风速的空间变化

3.1 年代际的空间分布

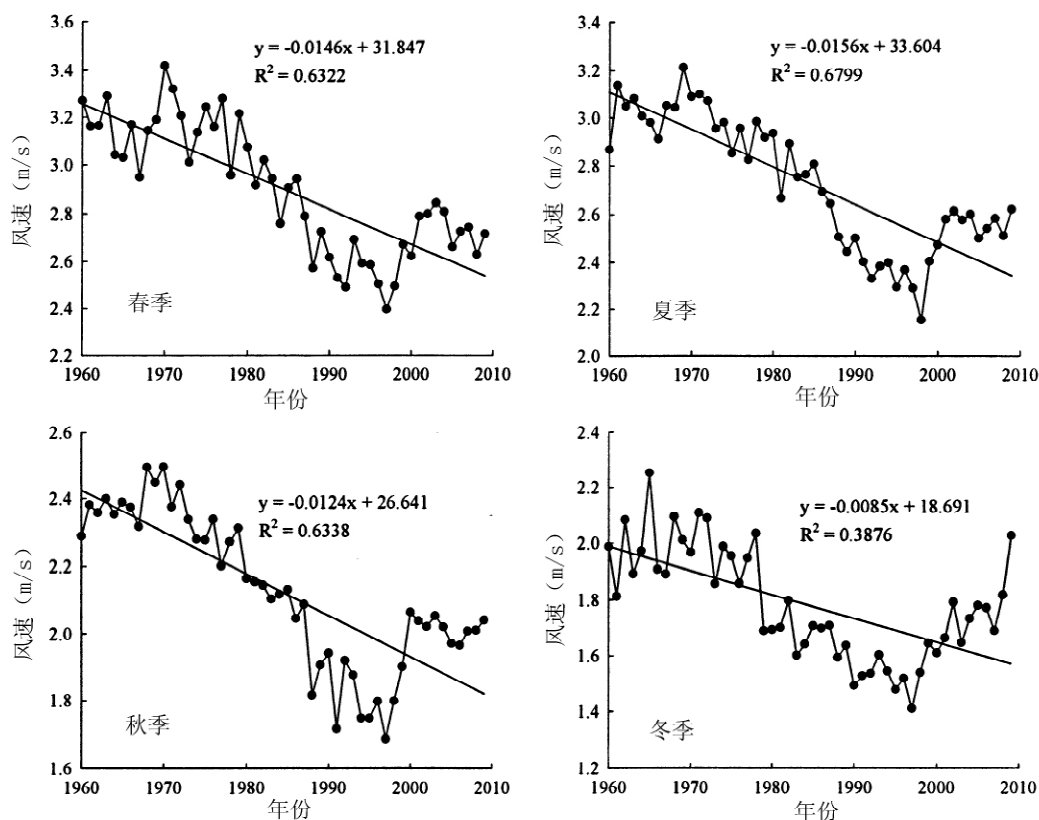


图3 天山山区四季风速的年际变化趋势(1960~2009年)

Fig. 3 Interannual change trend of the seasonal wind speed from 1960 to 2009 in the Tianshan mountainous region

天山山区的地面风速在不同年代其变化特征明显不同,并在空间上呈现出一定差异(图4)。20世纪60年代天山山区风速较强,距平值在 $-1.49 \sim 3.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间。大部分地区的风速高于多年平均值,其中达坂城地区风速距平最大为 $3.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;70年代绝大部分地区的风速高于多年平均,距平值在 $-1.24 \sim 4.37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间;到20世纪80年代,天山山区的绝大部分地区开始低于多年平均,平原地区减小幅度较大,从空间分布图上可以明显看出80年代是风速减小开始的年代;90年代,除达坂城、十三间房等少部分地区外,其它地区的年风速低于多年平均,风速减小的趋势进一步加强。西部地区的拜城气象站减小最为明显,距平值为 $-1.85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。特别指出的是20世纪90年代以前,达坂城地区风速较大,距平值为各年代的最高值;2000~2009年十三间房地区风速增大迅速,距平值达到 $6.07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。相反达坂城地区风速有所减小。

3.2 年及季节的空间分布

近50年来,天山地区年风速的年际变化在绝大部分地区呈减小趋势(图5),但十三间房地区除外。其中哈密气象站的减小幅度最大,其气候倾向率达到了 $-0.40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。就季节而言,春季风速的年际变化呈减小趋势,其中仍是哈密的减小幅度较大,减幅为 $-0.44 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$;夏、秋季风速的年际变化基本上相同,在绝大部分地区呈减小趋势,夏季风速变化倾向率在 $-0.46 \sim 1.06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 之间,秋季在 $-0.39 \sim 0.75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 之间,十三间房地区夏季风速增大趋势大于秋季;冬季风速的年际变化在绝大部分地区呈减小趋势,但减小幅度不大,风速变化倾向率在 $-0.35 \sim 0.39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,而平原地区的乌鲁木齐呈微弱的增加趋势,十三间房地区冬季风速增大趋势相对其它季节较小。通过分析四季及年风速倾向率的空间分布,发现位于山口的十三间房地区风速终年呈上升趋势,这与该地区潜在蒸发量也呈上升趋势的研究结果一致^[6],说明风速是影响潜在蒸发量的一个重要因素。

为了进一步的了解风速变化趋势大小的分布情况,还对天山山区风速趋势变化的不同频率进行了统计,年风速趋势变化在 $-0.1 \sim 0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 范围内,视为无明显趋势变化,属于这一范围内的站数有12个;线性趋势在 $-0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 以上范畴内,是真正具有趋势减小意义的,该区域站点高达15个,尤其是哈密地区减小趋势达到了 $-0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$,是风速减小最显著的地区。春、秋两

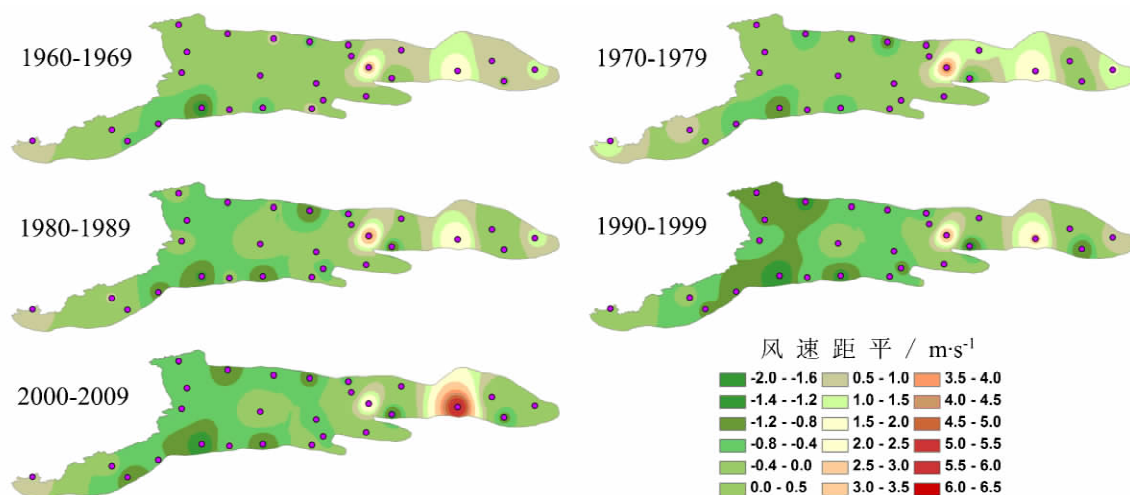


图 4 天山山区的年风速距平空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of the wind speed departure in the Tianshan mountainous region

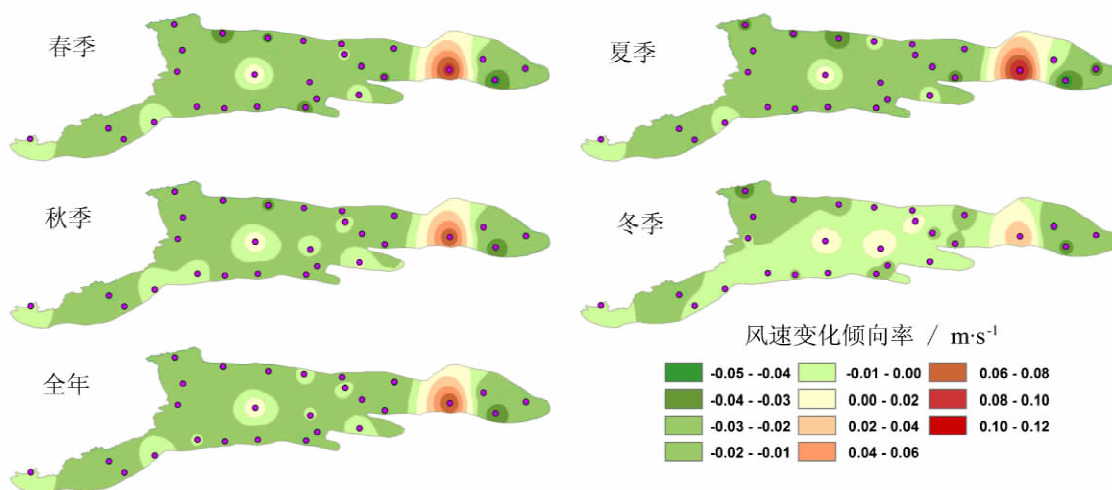


图 5 地面风速的倾向率空间分布(1960~2009 年)

Fig. 5 Spatial distribution of the wind speed change rate from 1960 to 2009 in the Tianshan mountainous region

季风速趋势变化在 $-0.1 \sim 0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 范围内的站数分别有 10、12 个,真正具有趋势减小意义的站点分别有 15、14 个;夏季风速趋势变化最明显,在 $-0.1 \sim 0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 范围内的站数有 7 个,真正具有趋势减小意义的站点有 19 个;冬季风速趋势变化在 $-0.1 \sim 0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 范围内的站数有 11 个,真正具有趋势减小意义的站点有 6 个,风速无明显趋势变化的站点数量较多。

总体上看,除十三间房地区一年四季风速都呈增加趋势且增加趋势十分明显,其它大部分地区都呈减小趋势,尤以夏季最显著。

4 风速变化的突变检验

图 6 为 1960~2009 年天山山区风速 Mann-Kendall 突变检验,给定显著性水平:当 $\alpha = 0.01$,临界线 $U = \pm 2.576$ 。由图 6 可以看出,UF 与 UB 曲线相交于 1980 年左右,并且相交后 UF 于 1983 年突破信度为 0.01 的临界线 -2.576 ,因此可以认定 1980 年为该区风速明显减少的突变点。任国玉等人^[4]研究:我国平均风速在 1969 年附近有突变点。天山山区风速发生突变时间比全国大概晚 10 年。就季节来看,夏、秋两季检验与全年一致,都在 1980 年发生突变;春季在 1982 年发生突变,比年突变晚 2 年;冬季在 1977 年发生突变,比年突变早 3 年(图略)。

5 风速的周期分析

图7是该流域1960~2009年风速距平序列的复值 Morlet 小波变换实部。可以看出,该流域风速距平序列在11年左右的振荡最为明显,有研究表明^[17]:在总共22个太阳活动周中,太阳黑子相对数的最强的周期为128个月,约10.67年,与风速的11年左右的周期变化基本一致;其次,该流域风速还存在3年左右的周期变化,恰好与厄尔尼诺的循环周期大体一致^[18]。因此,天山山区风速周期变化可能与太阳黑子及厄尔尼诺现象活动的周期有关。

11年时间尺度上的振荡存在着3个明显的偏多中心,分别是1960年、1970年和2001年;3个偏少中心,分别是1965年、1997年和2005年。从图中可知该区域的风速变化还存在更大的周期变化,由于文中选用的时间序列只有50年,需要更长时间序列的研究。

各季节的周期变化也有所差异,春季风速的最长周期为12年左右,其它季节存在更长的周期变化;冬季风速变化的周期与其它季节不同,冬季风速周期变化较短,5年和3年周期振荡较为明显(图略)。

6 风速与气温的关系

风速的变化是因温度差异和高空气流辐合或辐射所致。已有研究表明:风速的减小可以从气候变暖得到解释^[12]。

从表2中可以看出风速与平均气温、平均最高气温和平均最低气温之间存在负相关关系。年风速与年平均气温、年平均最高气温和年平均最低气温之间负相关性的显著性检验超过0.01显著性水平,表明气温对风速有一定的影响,特别是平均最低气温影响最显著;从气温的变化趋势变化来看,最低气温的变化倾向率全年上升趋势显著,对应的风速与最低气温的相关性就越强。冬季平均气温的倾向率达0.501℃/10a,因此,它与风速的相关性就越显著。

文中还对各气象站点的经度,纬度和海拔高度分别与年及四季风速倾向率的相关性进行分析,结果不显著。

7 结果与讨论

(1) 年际变化倾向率为 $-0.013\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,表明天山山区的风速呈明显减小趋势,比全国风速的减小更显著;四季风速也都呈减小趋势。

(2) 20世纪60、70、80、90年代及2000~2009年分别与多年平均风速相差 $0.25\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.24\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、



图6 天山山区风速的 Mann-Kendall 突变检测

Fig. 6 Abrupt changes of wind speed in the Tianshan mountainous region

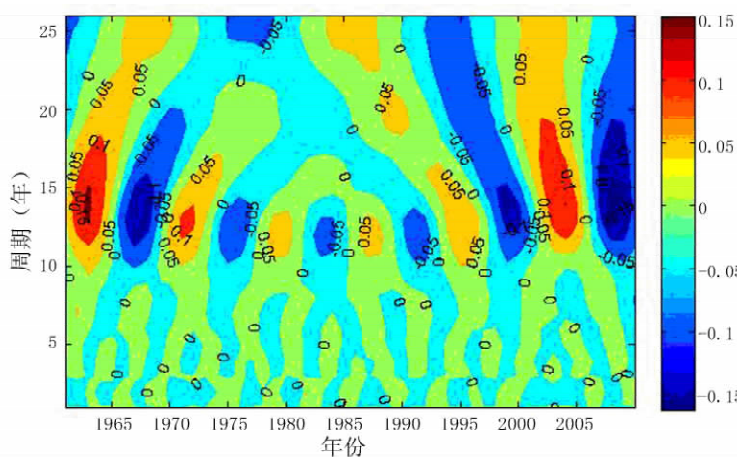


图7 天山山区年风速距平序列的复值 Morlet 小波变换实部

Fig. 7 The real part of the Morlet wavelet analysis of the annual wind speed in the Tianshan mountainous region

表2 风速与气温的相关系数及气温的变化倾向率

Tab. 2 The correlation coefficients between wind speed and temperature and changing rate of temperature in the Tianshan mountainous region

气温	相关系数			气温倾向率(℃/10a)		
	平均气温	平均最高	平均最低	平均气温	平均最高	平均最低
春季	-0.303*	-0.172	-0.465**	0.235	0.221	0.442
夏季	-0.335*	-0.259	-0.533**	0.196	0.196	0.390
秋季	-0.437**	-0.356*	-0.486**	0.386	0.333	0.532
冬季	-0.405**	-0.258	-0.461**	0.501	0.168	0.475
全年	-0.459**	-0.291**	-0.581**	0.300	0.198	0.450

注: *、** 分别表示通过0.05、0.01的置信度检验。

$-0.05\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $-0.32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $-0.12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,表明在70年代之前风速较大,之后减小。年风速自60年代逐渐减少,2000年以来减小幅度略有下降。

(3) 风速突变检验显著,年及夏、秋季检验一致,在1980年发生突变。春季在1982年发生突变,比年突变要晚2年;而冬季在1977年发生突变,比年突变早3年。年风速距平序列在11年左右的振荡最为明显,其次是3年,由于时间序列较短,风速变化还可能存在更长的周期变化。

(4) 风速与气温之间存在负相关关系,年风速与气温显著性检验超过0.01显著性水平,表明气温对风速有一定的影响,特别是平均最低气温影响最显著;十三间房地区全年风速呈增加趋势且增加趋势十分明显的原因还需要进一步的研究,可能与该地区的位置和地势有关。

(5) 由于天山部分地区风速较大(如十三间房和达坂城地区),可以进一步研究其风能的稳定性及变化规律^[9],便于风能的开发利用,发展风能产业^[20]。

参考文献

- [1] Tim R. Mc Vicar, Thomas G. Van Niel. 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: L20403.
- [2] 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): 948–952.
- [3] 毛飞,卢志光,郑凌云,等. 近40年那曲地区日照时数和风速变化特征 [J]. 气象, 2006, 32(9): 77–83.
- [4] 王鹏祥,杨金虎,张强,等. 近半个世纪以来中国西北地区地面气候变化基本特征 [J]. 地球科学进展, 2007, 22(6): 649–656.
- [5] 张素云,周顺武,郭艳岭,等. 近47a河北风速季节变化特征及影响因子分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(12): 93–99.
- [6] 李瑞,余锦华,李如琦. 乌鲁木齐市近43年风速气候特征分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(5): 106–110.
- [7] 荣艳淑,梁嘉颖. 华北地区风速变化的分析 [J]. 气象科学, 2008, 28(6): 655–658.
- [8] 詹科杰,赵明,方峨天,等. 民勤地区沙尘暴近地面风速特征及其与环境因子的关系 [J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(9): 100–105.
- [9] 王遵娅,丁一汇,何金海,等. 近50年来中国气候变化特征再分析 [J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228–236.
- [10] 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.
- [11] 王毅荣. 河西走廊风能时空特征 [J]. 干旱区地理, 2007, 30(3): 343–350.
- [12] 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.
- [13] 李祥余,何清,艾力·买买提明,等. 塔中春季晴天近地层温度、湿度和风速廓线特征 [J]. 干旱区地理, 2008, 31(3): 389–396.
- [14] 孙然好,潘保田,牛最荣,等. 河西走廊近50年来地表水资源时间序列的小波分析 [J]. 干旱区地理, 2005, 28(4): 455–459.
- [15] 王海军,张勃,赵传燕,等. 中国北方近57年气温时空变化特征 [J]. 地理科学进展, 2009, 28(4): 643–650.
- [16] 张明军,李瑞雪,贾文雄,等. 中国天山山区潜在蒸发量的时空变化 [J]. 地理学报, 2009, 64(7): 798–806.
- [17] 乐贵明,王家龙. 太阳黑子相对数最强周期的小波分析 [J]. 地球物理学报, 2004, 47(5): 743–746.
- [18] 刘琳,于卫东. ENSO循环之中的海气相互响应—对次表层海温和大气旋度的资料分析 [J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 45–51.
- [19] 郭洪旭,王雪芹,盖世广,等. 古尔班通古特沙漠腹地半固定沙垄顶部风沙运动规律 [J]. 干旱区地理, 2010, 33(6): 954–961.
- [20] 刘静,俞炳丰,姜盈露. 乌崃岭地区风速数据分析及风能密度计算 [J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(5): 10–13.

Changes of wind speed in Tianshan Mountains

ZHANG Mingjun^{1,2}, LI Ruixue³, HUANG Xiaoyan¹, JIA Wenxiong¹

(1. Geography and Environment College of Northwest Normal University, Lanzhou 730070, P. R. China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, P. R. China;

3. No. 3 Middle School of Handan, Handan 056000, P. R. China)

Abstract: Based on the daily data of 24 meteorological stations from 1960 to 2009 and combined with the methods of linear analysis, IDW, Mann–Kendall and Matlab7.0 software, the temporal and spatial variation of wind speed, abrupt year and periodic variation were analyzed in this study. The results indicated that the changing rate of annual wind speed was $-0.013\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ in Tianshan Mountains. That is to say the wind speed in Tianshan Mountains showed a remarkable decreasing tendency even more remarkable than that of China, and so was it in the four seasons; The annual wind speed decreased in 1960s and 1990s, but the extent of decreasing declined slightly from 2000. The exam of wind speed mutation was remarkable, and it occurred in 1980 and 1977; The annual wind speed anomaly sequence surged about 11 years remarkably and 3 years secondly, but a longer periodic change in wind speed may be existed because of the short time sequence; Negative correlation was found between the wind speed and temperature, which meant the wind speed was influenced by the temperature, especially for the mean minimum temperature.

Key words: wind speed; tianshan Mountains; spatio-temporal change; abrupt change; wavelet analysis