

陈德桥,戴泽军,叶成志,等. 南岳高山站 1953—2010 年风的气候特征分析[J]. 气象,2012,38(8):977-984.

南岳高山站 1953—2010 年风的气候特征分析^{*}

陈德桥¹ 戴泽军² 叶成志² 张剑明³

1 湖南省衡阳市气象局,衡阳 421001

2 湖南省气象局,长沙 410007

3 湖南省株洲市气象局,株洲 412003

提 要: 利用 1953—2010 年南岳高山站风观测资料,采用趋势分析、矢量分解、小波分析及 M-K 突变分析等方法,分析了南岳站风的气候变化特征。结果表明:(1)南岳山盛行风具有明显的季节变化,春夏盛行西南风,秋冬盛行北风。(2)年平均风速呈显著减弱趋势,减小速率为 $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ 年}$,四季中夏季变率最大,冬季变率最小,夏、冬季分别从 20 世纪 70 年代后期和 80 年代后期开始风速发生了明显减弱。风矢量分解后显示,经、纬向风速均呈减弱趋势,经向风速的减小速率远大于纬向,南、北风分量风速都在减弱,北风分量风速减小速率明显大于南风分量,西、南风分量仅在夏季显著减弱,而北风分量在春、秋、冬季都呈显著减弱趋势。分析还发现,南岳山风场年代际变化特征显著,年以及冬季平均风速 16 年周期振荡在 20 世纪 90 年代后发生了明显转折,与同时期的大气环流变化趋势基本一致。

关键词: 南岳高山站, 风, 统计, 气候特征

An Analysis of the Climatic Variations in Winds Observed at the Nanyue Mountain Observatory During 1953—2010

CHEN Deqiao¹ DAI Zejun² YE Chengzhi² ZHANG Jianming³

1 Hengyang Meteorological Office of Hunan Province, Hengyang 421001

2 Hunan Meteorological Service, Changsha 410007

3 Zhuzhou Meteorological Office of Hunan Province, Zhuzhou 412003

Abstract: Based on the 1953—2010 meteorological records at the Nanyue Mountain Observatory, the climatic variations of winds are examined by using the trend analysis, the vector decomposition, the wavelet analysis, and the Mann-Kendall test statistics. The results can be shown that: (1) the prevailing winds over the Nanyue Mountain exhibit significant seasonal variations, with the prevailing wind being southwesterly in spring and summer and being northerly in autumn and winter; (2) annual mean wind speed experienced statistically significant decreasing at an averaged rate of $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/\text{decade}$, with the maximum trend occurring in summer and minimum trend in winter. In addition, vector decomposition analysis indicates that both meridional and zonal wind speeds show decreasing trends, with the meridional declining faster than the zonal declining. For the meridional slowdown, the north wind decrease is faster than the south wind. Statistically significant declining trends in the west and south wind components can only be detected in summer, while significant slowdown in the north wind can be found in all seasons except in summer. Analysis also indicates that winds over the Nanyue Mountain exhibit significant interannual and interdecadal variations. Oscillations with 16-year periods can be detected both in annual mean and winter wind speeds, but they are remarkably changed after the 1990s. It is suggested that the interdecadal

^{*} 中国气象局 2011 年气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2011M35)和湖南省气象局 2010 年重点科研项目(NO. 201004)共同资助
2011 年 8 月 30 日收稿; 2012 年 2 月 6 日收修定稿

第一作者: 陈德桥,主要从事天气预报技术与方法研究. Email:cdq872@163.com

variation of wind speed may be closely associated with the variations of large-scale East Asian monsoon systems.

Key words: Nanyue Mountain Observatory, mountain wind variations and trends, statistical characteristics, climate features

引 言

风是研究大气动力学和气候变化的一个重要参量,风向和风速的变化与大气的能量和物质循环紧密相关,对区域气候有重大影响。近年来诸多工作研究了我国地面及高空风的气候特征,如王遵娅等^[1]、任国玉等^[2]、Zou 等^[3]、江滢等^[4-5]分别统计了我国地面平均风速的变化趋势,指出全国平均风速经历了明显减弱的趋势。王遵娅等发现 20 世纪 90 年代和 50 年代相比,全国平均风速减小了 16%,减小最显著的西北地区西部,减小了近 29%;江滢等认为我国年平均风速减小趋势主要是由于风速较大的西北、华北、东北和东部沿海地区风速明显减小所致。对区域平均风速的变化亦有大量研究工作^[6-8],结果发现,近 50 年我国地面年平均风速存在显著减弱的变化趋势。此外,张爱英等^[9]、任国玉等^[10]利用 1980—2006 年全国 119 个探空站月平均风速资料,分析了我国高空风的变化及气候学特征,并和同期地面风速变化进行了对比,指出我国近 27 年来对流层中下层和对流层上层风速呈下降趋势,同期全国地面风速则呈现更显著的降低趋势。

关于我国风速变化原因,尚未有完全一致的结论,王遵娅等^[1]、Xu 等^[11]认为风速减小的实质是东亚季风中冬、夏季风的减弱;张爱英等^[9]、刘学锋等^[12]及李艳等^[13]通过分析不同高度风速的变化以及器测和 NCEP/NCAR 资料,认为风速减弱可能受到大尺度大气环流变化的影响,更可能与台站附近观测环境变化和城市化等人为因素影响有密切关系。

南岳高山站(27.30°N、112.70°E)为全国 7 个高山气象观测站之一,地处湖南省中部的风景名胜区南岳山望日台,观测场海拔高度 1265.9 m,与南岳山最高峰——祝融峰(1300.2 m)相距 400 m,高度接近对流层自由大气的底部,由于受环境变化影响小,气象要素的变化具有良好的预报指示作用,其风向、风速变化可以从一个侧面直观地反映自由大气底部的环流特征^[14-16]。目前国内针对高山站风气

候变化的研究比较少,本文着重分析南岳高山站风的气候变化特征和演变规律,研究结果对分析风速变化的原因、了解自由大气底部环流的气候变化以及深入理解区域气候变化机理具有实际的参考意义。

1 资料与方法以及均一性检验

1.1 资料与方法

南岳高山气象观测站 1952 年 11 月建站并开始常规气象要素观测,站址未发生变动,1994 年位于观测场北面的办公楼进行过改造,改建后建筑物高出观测场 4.5 m,符合探测环境要求。本文采用 1953—2010 年南岳山地面气象观测站器测 10 m 高程的 2 分钟平均(定时)风,资料通过湖南省气候中心质量控制。资料引入采用报表实有观测次数,日观测次数 1953 年为 3 次、1954—2004 年为 4 次、2005—2010 年为 24 次(冬季结冰时,日观测次数由 24 次改为 8 次),期间无缺测记录,资料统计按照《月地面气象记录处理和报表编制规范》。测风仪器变更情况为 1968 年 7 月之前使用维尔德风压板,其后开始使用 EL 型电接风向风速计,至 2005 年 1 月开始使用风向风速传感器,冬季结冰时,按观测规范要求均采用三杯式轻便风向风速表进行观测。文中分析均基于 1971—2000 年 30 年标准气候平均值;季节划分为 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。

将统计时段内 16 个方位的风速按下式进行分解:

$$u_j = -F_j \times \sin(\Phi_j \times \pi/180)$$

$$v_j = -F_j \times \cos(\Phi_j \times \pi/180)$$

$j=1,2,\dots,16$, F_j 为风速, π 为圆周率, Φ_j 为风向方位角,方位角 Φ 以正北为 0°,按 16 个风向方位以 22.5°间隔沿顺时针方向递增。分解后 u_j 为东—西向, v_j 为南—北向,按照正、负值区分 4 个分量,然后,各分量取绝对值后求和,再除以总观测次数,即得到相应时段内经、纬向及东、西、南、北风分量的平

均风速。

对年、季平均风速时间序列进行一次线性趋势拟合,可得到风速线性变率 b 及相关系数 r 。文中对气候变化趋势的性质和幅度采用时间序列的变化气候倾向率(即 $b \times 10$)、趋势系数(即相关系数 r)来表示,选择 α 为显著性水平,对趋势系数 r 进行显著性检验;并利用 Morlet 小波方法^[17]及 M-K 方法^[18]对时间序列进行周期及突变分析,以考察其不同时间尺度上的变化特征及突变状况。

1.2 年平均风速的均一性检验

刘小宁^[19]、曹丽娟等^[20]对我国年平均风速进行了均一性检验,认为我国年平均风速质量基本可靠,仪器的变更和台站的迁移是引起风速序列非均一性的主要原因。本文采用二相回归方法^[21]对南岳山年平均风速序列进行均一化检验,选择与之相近、相关系数均大于 0.8 的桂东、衡山、永兴及新宁四站建立参考序列。永兴、新宁在 1960 年之后站址未迁移,衡山、桂东台址虽有变动,但迁站距离分别仅为 2.2 和 0.5 km,且海拔高度变化不超过 30 m,因此,认为参考序列是均一的。图 1 为二相回归方法检验得到的南岳山 1960—2010 年年平均风速与参考序列的差值序列,对比南岳台站历史沿革及测风仪器变更,以及台站海拔高度造成的风速变化之间的差异,认为 1968 年之前风速偏小可能与使用仪器有关,但总体上该差值序列无明显突变点存在。因此,认为南岳山年平均风速序列大体是均一的。

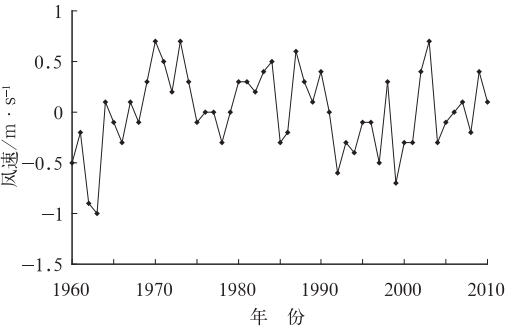


图 1 南岳站年平均风速与参考序列的差值

Fig. 1 The anomaly of annual mean wind speed with respect to the chosen reference at the Nanyue Mountain Observatory (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

2 南岳山风的季节变化特征

2.1 风向频率及对应风速的季节变化特征

Yu 等^[14]研究表明,我国中东部地区的高山站风场具有明显的季节变化,最大西南风一般发生在夏季。南岳高山站处于我国夏季降水日变化位相转变的关键区^[22],其风场受复杂地形和下垫面影响,也具有明显的季节变化特征(见表 1),主要表现在三个方面:(1)最大风向频率及对应风速逐月变化,1—2 月、9—12 月最大风向频率都为北风,1 月北风频率(21%)为年内最大,对应风速为 $5.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,3—8 月最大风向频率都为西南风,7 月西南风频率(29%)为年内最大,对应风速为 $9.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;年内北风及西南风风速的最大值分别出现在 12 和 7 月。(2)次大风向频率及对应风速,1—2 月、12 月为西南风,3 月为北风,4—8 月为南西南(SSW)风,9—11 月为北东北(NNE)风;(3)16 个风向方位中,年内月最大风速的风向都是南西南(SSW)风。

由此可见,南岳山盛行风向为“春、夏西南风,秋、冬北风”;次大风向与盛行风向比较,春季为过渡季节,3 月和冬季大致表现为相反的风向,4、5 月和夏、秋季风向基本一致;南西南风为年内风速最强盛的风向。

2.2 平均风速的季节变化特征

图 2 为南岳山多年候、月及年平均风速。58 年平均风速为 $5.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 2 虚线所示)。候平均风速在第 37 候(7 月第 1 候)达年内最大,为 $9.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,第 54 候(9 月第 6 候)达年内最小,为 $4.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。值得关注的是,在第 22~29 候(4 月第 4 候至 5 月第 5 候即南海季风爆发之前^[23])风速呈减弱趋势,至第 30 候(5 月第 6 候即南海季风爆发之后^[23])风速开始加大。月平均风速大于年平均风速的月份为 3—7 月,其中 7 月最大,为 $7.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;8 月迅速减少到 $5.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,9 月为年内最小,仅为 $4.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,风速呈现“7 月大,9 月小”的特点。季节平均的风速表现为“春夏大,秋冬小”(图略),春、夏两季均高于年平均风速,且夏季最大($6.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),春季次之,秋冬两季均小于年平均风速,秋季最小,仅为 $5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表 1 月最大/次大频率风向对应频率(单位: %)及风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)和月最大风速对应的风向及风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Table 1 Monthly principal and secondary maxima of wind frequency (unit: %) and wind speed (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), and monthly maximum wind speed and its corresponding direction												
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
最大频率风向	N	N	SW	SW	SW	SW	SW	SW	N	N	N	N
最大频率	21	16	18	16	16	19	29	14	17	17	16	17
对应风速	5.5	5.5	8.7	8.4	8.3	8.8	9.4	7.2	5.1	5.4	5.5	5.7
次大频率风向	SW	SW	N	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	NNE	NNE	NNE	SW
次大频率	14	15	14	11	11	12	17	9	11	13	11	10
对应风速	6.9	8.5	5.7	10.5	9.4	10.1	10.4	7.4	4.5	5	5.3	5.7
最大风速	7.6	10.5	9.7	10.5	9.4	10.0	10.4	7.4	5.7	5.9	6.3	6.5
对应风向	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW

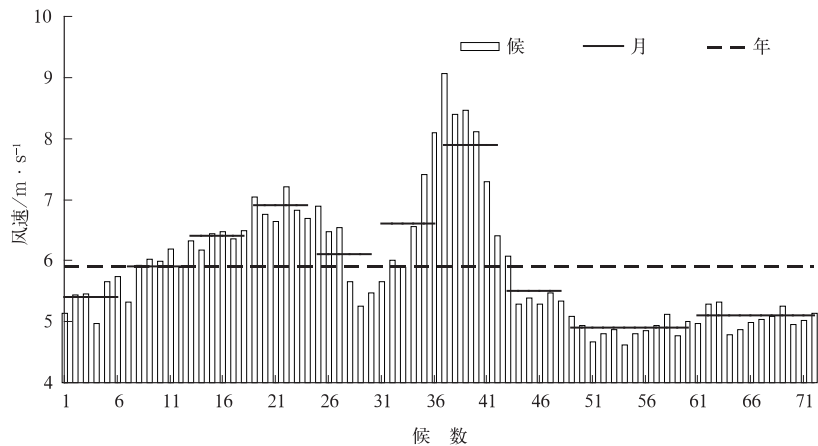


图 2 南岳山 1953—2010 年多年候(直方图)、月(横实线)及年(横虚线)平均风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 2 The mean pentad (histogram), monthly (horizontal solid line) and annual (horizontal dashed line) wind speeds (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at the Nanyue Mountain Observatory during 1953—2010

从以上分析可知,南岳山年内盛行风具有显著的季节变化,其风向风速的变化与东亚季风系统的冬、夏季风活动密切相关,具体表现为:春夏盛行强盛西南风,秋冬盛行较弱的北风。

3 年平均风速的变化特征

3.1 年际变化特征

图 3a 为南岳山 1953—2010 年平均的风速变化,总体呈明显的下降趋势,气候倾向率为 $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ 年}$,趋势系数为 -0.59 ,通过 0.05 显著性水平检验。年最大风速出现在 1954 年,距平值为 $1.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,1970、1973 年次之,距平值为 $1.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;年最小风速出现在 1999 年,距平值为 $-1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,2008 年次之,距平值为 $-1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在 58

年中年平均风速变化经历了“两降一升”3 个阶段:1955—1963 年呈下降趋势,1964—1973 年呈较强的增长趋势,较大的风速维持在 1969—1973 年,1974 年开始风速呈十分明显的持续下降趋势,与全国地面风速变化的情况基本一致^[2],1990 年前后大致可分为两个明显减小期,之前的 17 年中有 13 年为正距平,距平值为 $0.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,之后的 20 年中有 18 年为负距平,距平值为 $-0.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

四季平均风速(图 3b~3e)总体呈下降趋势,倾向率及趋势系数以冬季最小,分别为 $-0.19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ 年}$ 和 -0.32 ,春、夏、秋季的倾向率及趋势系数接近,其中夏季倾向率最大,为 $-0.28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ 年}$,春、秋季次之,四季均通过 0.05 显著性水平检验。与年平均风速类似,各季风速变化均存在“两降一升”3 个阶段及 2 个明显的减小期,1990 年后的 20 年中春、冬季有 17 年为负距平,夏季有 16 年为负距平,秋季

都为负距平,春、夏、冬季距平值都为 $-0.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,秋季距平值为 $-0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;滑动平均曲线表明夏季在 20 世纪 70 年代后期开始平均风速下降到均值以下,而冬季在 20 世纪 80 年代后期开始下降到均值以下,近年来四季风速均有不同程度增长趋势。

可以看出,南岳山风速变化在 58 年中经历了

“两降一升”3 个阶段,总体呈明显减弱的趋势,四季风速气候倾向率“夏季大、冬季小”,20 世纪 90 年代初开始四季风速均出现显著减弱,减小幅度以秋季最大,其中,夏季在 20 世纪 70 年代后期开始平均风速下降到均值以下,而冬季在 20 世纪 80 年代后期,相差了近 10 年。

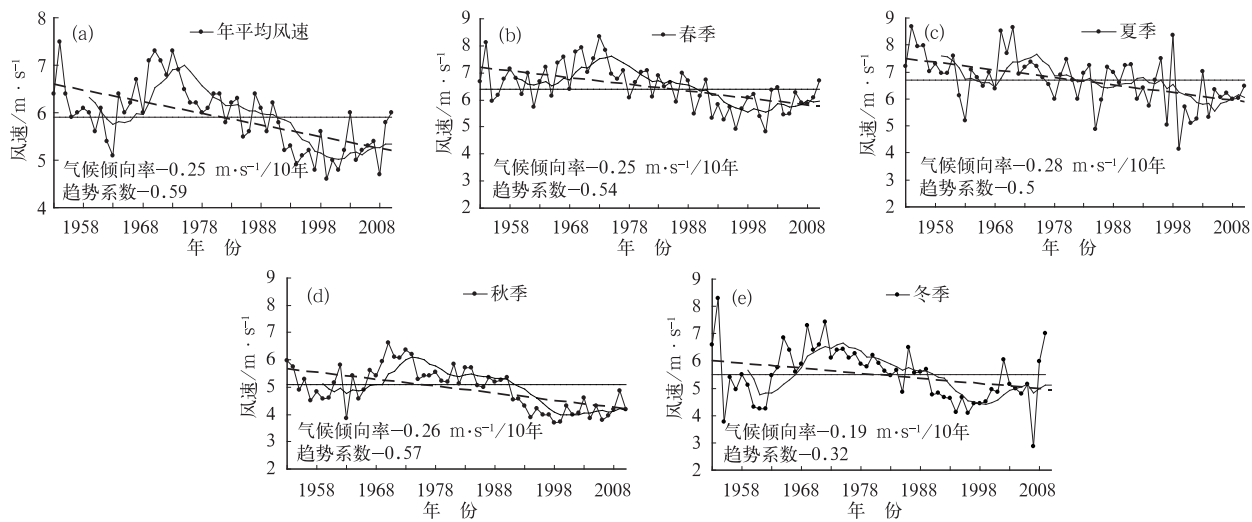


图 3 1953—2010 年南岳山年(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)和冬(e)季平均风速年际变化
(细直线为平均值,虚线为趋势线,细曲线为 7 年滑动平均,单位 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,下同)

Fig. 3 Annual and seasonal mean wind speeds (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; thick curves) at the Nanyue Mountain Observatory during 1953—2010
(a) annual, (b) spring, (c) summer, (d) autumn, and (e) winter
(Dashed line stands for trend and thin curve stands for 7-year running mean)

3.2 经、纬向及东、西、南、北风分量的变化特征

为了进一步研究南岳山风的变化特征,对风矢量进行分解,图 4 给出了经、纬向及南、北风分量平均风速的变化曲线。由图 4a 可见,年平均经向风速明显大于纬向,经、纬向年平均风速整体均呈下降趋势,与年平均风速变化相类似,经、纬向年平均风速分别在 1970 年、1973 年达到最大值 5.8 和 $4.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,与年平均风速曲线的两个极大峰值相对应,之后分别开始持续明显减弱,至 2001 年纬向年平均风速达到最小值($2.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),而经向在 2006 年达到最小值($3.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$);经、纬向风速 1990 年以后都处于持续偏小状态,1991—2010 年的 20 年中只有 4 年为正距平,距平值分别达 -0.37 和 $-0.25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;滑动平均曲线表明 2000 年中期后纬向风速有明显的增大趋势,而经向风速变化不明显。

图 4b 南风分量平均风速明显大于北风分量,在

58 年中,南风分量年际间风速变化较大,1969 年最大($3.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),1985 年最小($2.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),1975—2010 年风速持续偏小,36 年中有 22 年为负距平,但距平值仅为 $-0.02\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,距平变化并不明显;而北风分量 1970 年风速最大($2.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),从 1971 年开始风速持续减小,1994 年达最小($1.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),1991—2010 年都为负距平,距平值达 $-0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

表 2 给出了经、纬向和风分量平均风速的年、季倾向率及趋势系数。从经、纬向风速的倾向率和趋势系数来看,经向风均明显大于纬向风,经向风的春、夏、秋季倾向率较为接近,且秋季最大,为 $-0.25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10$ 年,四季均通过 0.05 显著性水平检验;纬向风的夏季倾向率最大,为 $-0.13\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10$ 年,其他季节较小,除冬季外,春、夏、秋季均通过 0.05 显著性水平检验。从风分量倾向率和趋势系数来看,北风分量明显大于其他分量,春、秋、冬季较为接

近,最大值为 $-0.22\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{ 年}$,夏季最小。西、南风分量倾向率夏季明显偏大,分别为 -0.1 和 $-0.13\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{ 年}$,且均通过 0.05 显著性水平检验。东风分量风速倾向率都小,值得关注的是南风分量平均风速冬季呈弱的增长趋势。

以上分析表明:南岳山经、纬向平均风速都在减

弱,经向风速的减小速率远大于纬向风速;北风分量年平均风速倾向率和趋势系数都显著大于南风分量,在冬季风盛行的春、秋、冬季都呈显著减弱趋势,而西、南风分量仅在夏季风盛行的夏季显著减弱,说明冬、夏季风都在减弱,冬季风的减弱比夏季风更为明显,经向风速的减小主要是由北风分量减小造成。

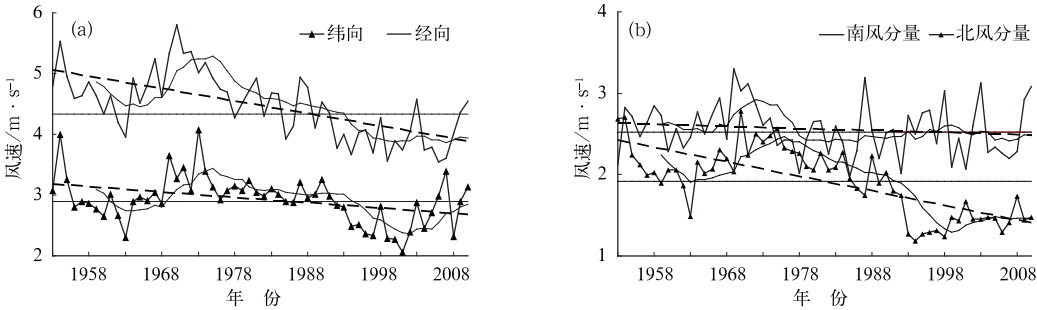


图 4 经向、纬向(a)和南、北风分量(b)平均风速年际变化

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for annual mean (a) meridional and zonal, and (b) north and south components of wind speed

表 2 南岳山年与四季经、纬向及东、南、西、北风分量平均风速
气候倾向率(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{ 年}$)/趋势系数

Table 2 Tendency ratios and trend coefficients of annual and seasonal mean meridional, zonal, east, south, west and north components of wind speed (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}/\text{decade}$)					
	年	春	夏	秋	冬
经向	$-0.2/-0.64^*$	$-0.22/-0.55^*$	$-0.23/-0.48^*$	$-0.25/-0.63^*$	$-0.14/-0.31^*$
纬向	$-0.09/-0.38^*$	$-0.09/-0.36^*$	$-0.13/-0.33^*$	$-0.06/-0.28^*$	$-0.06/-0.21$
南风分量	$-0.04/-0.19$	$-0.03/-0.08$	$-0.13/-0.27^*$	$-0.02/-0.11$	$0.08/0.23$
北风分量	$-0.18/-0.71^*$	$-0.19/-0.67^*$	$-0.09/-0.42^*$	$-0.22/-0.59^*$	$-0.22/-0.59^*$
东风分量	$-0.02/-0.17$	$-0.02/-0.11$	$-0.03/-0.15$	$-0.01/-0.05$	$-0.04/-0.25^*$
西风分量	$-0.08/-0.43^*$	$-0.08/-0.30^*$	$-0.1/-0.25^*$	$-0.05/-0.31^*$	$-0.02/-0.08$

* 表示通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验
Symbol * stand for for passing through the significance level test at $\alpha=0.05$

4 风速的周期变化特征

研究表明^[24],东亚季风系统中冬、夏季风的年循环更明显表现在经向方向上,而且主要出现经向风的变化,南岳山风场的变化体现了这一特征。以下利用 Morlet 小波分析方法对南岳山年平均和冬、夏季平均风速序列进行周期分析,进一步考察其年际及年代际变化特征。由图 5 可见,南岳山年平均风速主要存在 3 个特征尺度,其中年代际 16 年准周期振荡最强,但在 20 世纪 90 年代以后振荡周期出现了明显转折;年际尺度为 3 年、7 年准周期振荡;对 16 年准周期而言,58 年中平均风速大约经历了 6 个高一低态转换,转折年份大约在 1957、1966、1976、

1985、1995 和 2005 年,平均周期为 19 年左右。

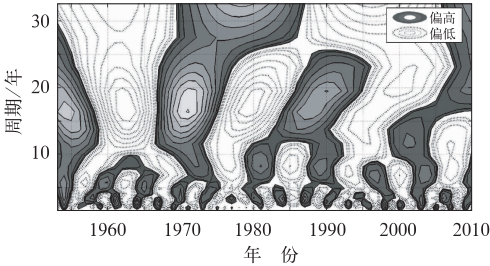


图 5 南岳山 1953—2010 年平均风速序列 Morlet 小波变换实部系数的时频分布

Fig. 4 Time-frequency distribution of the real part of Morlet wavelet transform coefficients of annual mean wind speed at the Nanyue Mountain Observatory from 1953 to 2010

夏季平均风速(图 6a)存在 4 个特征尺度,年代际周期振荡最强,但周期不稳定,表现为 20 世纪 50 年代 16 年逐渐过渡到 2000 年后 22 年周期振荡,中心周期在 19 年左右;年际尺度分别为 2、4 和 8 年准周期振荡。冬季(图 6b)存在 3 个特征尺度,年代际 16 年准周期振荡最强,但在 20 世纪 90 年代以后振荡发生了明显转折,振荡周期明显变小;年际尺度分别为 3 和 6 年准周期振荡。小波方差(图略)显示 2

~3 年的周期变化通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。

综上所述:南岳山风场在 58 年变化中具有显著的年代际周期振荡,年及冬季平均风速 16 年准周期振荡在 20 世纪 90 年代以后明显转折;年际尺度上周期信号强弱分布差异较大,夏季周期信号明显偏强,其中,夏季两年准周期振荡与东亚夏季风系统准两年周期振荡一致,冬季 3 年准周期振荡与冬季风准 4 年周期振荡接近^[24]。

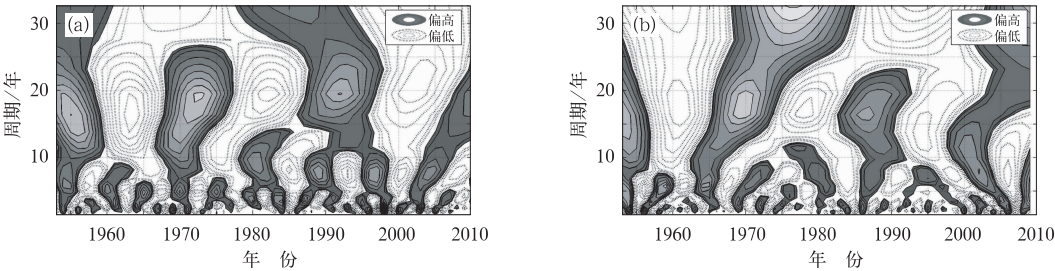


图 6 南岳山 1953—2010 年夏(a)、冬(b)季平均风速序列的 Morlet 小波实部系数的时频分布
Fig. 6 Same as Fig. 5, but for the wind speed in (a) summer and (b) winter

5 结论与讨论

本文详细分析了 1953—2010 年南岳高山站年平均和季节平均的风向风速以及经向和纬向风分量的气候变化特征和演变规律,主要结论如下。

(1)南岳山盛行风具有显著的季节变化,春夏盛行西南风,秋冬盛行北风;南西南风为年内风速最强盛的风向。

(2)南岳山近 58 年中风速总体呈明显的下降趋势,年平均风速气候倾向率为 $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10$ 年,四季中以夏季最大,冬季最小;经、纬向风速都呈减弱趋势,且经向风速减弱远大于纬向风速;北风分量年平均风速减小速率最大 ($-0.22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/10$ 年),春、秋、冬季风速变率明显大于其他分量,1990 年后北风分量风速持续偏小;西、南风分量在夏季也呈明显减弱趋势,而东风分量风速整体变化不明显。

(3)南岳山风场在 58 年变化中具有显著的年代际周期振荡,年及冬季平均风速 16 年准周期振荡在 20 世纪 90 年代后发生明显转折;年际尺度上年平均风速呈现 3 和 7 年准周期振荡,与冬季比较,夏季周期振荡明显偏强。

本文分析表明,近 58 年来南岳山年平均风速与全国地面风速的变化特征基本一致,呈明显的下降趋势;使用 M-K 法对南岳山年平均风速检验(图 7)

发现 1990 年前后为明显突变点(通过 10 年滑动 T 检验^[25-27]0.001 显著性水平),夏、冬季平均风速 M-K 检验(图略)中 UF 和 UB 曲线交点分别在 1978 和 1989 年前后。相关研究表明,东亚季风系统夏季风从 20 世纪 70 年代中后期以及冬季风从 20 世纪 80 年代中后期起发生了明显变弱^[24,28-29],戴新刚等^[30]和 Ren 等^[31]也均指出 850 hPa 经向风在 20 世纪 70 年代发生了明显的年代际尺度减弱;以上分析

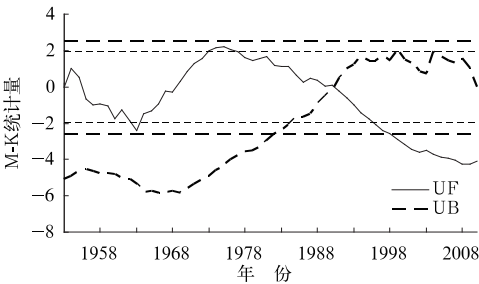


图 7 南岳山 1953—2010 年逐年平均风速 M-K 检验
(实曲线为正序列 UF,虚曲线为反序列 UB;
虚直线分别为 $\alpha=0.05$ 的临界线 ± 1.96 , $\alpha=0.001$ 的临界线 ± 2.56)
Fig. 7 The Mann-Kendall (M-K) test of annual mean wind speed at the Nanyue Mountain Observatory during 1953—2010

显示南岳山风速发生显著变化的时期与冬、夏季风的年代际变化基本吻合,年平均风速在 20 世纪 90 年代初发生的突变是冬、夏季风持续减弱的结果,由此推断东亚季风系统中冬、夏季风的明显减弱可能是引起南岳高山站风速减弱的重要原因。

参考文献

- [1] 王遵娅,丁一汇,何金海. 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.
- [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):942-952.
- [3] Zou H C, Li D I, Hu Y Q, et al. Characteristics of climatic-trends and correlation between pan-evaporation and environmental factors in the last 40 years over China[J]. Sci Bull, 2005,50(12):1235-1241.
- [4] 江滢,罗勇,赵宗慈. 近 50 年中国风速变化及其可能原因分析 //第四届亚洲风能大会暨国际风能设备展览会[C]. 北京, 2007.
- [5] 江滢,罗勇,赵宗慈. 近 50 年我国风向变化特征[J]. 应用气象学报,2008,19(6):666-672.
- [6] 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.
- [7] 李艳,耿丹,董新宁,等. 1961—2007 年重庆风速的气候变化特征[J]. 大气科学学报,2010,33(3):336-340.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 任国玉,张爱英,王颖,等. 我国高空风速的气候学特征[J]. 地理研究,2009,28(6):1583-1592.
- [11] Xu M, Chang C, Fu C, et al. Steady decline of East Asian monsoon winds, 1969-2000: Evidence from direct ground measurements of wind speed[J]. Geophys Res, 2006,111: 1-8.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Yu R C, Li J, Chen H M. Diurnal variation of surface wind over central eastern China[J]. Climate Dynamics, 2009, 33: 1089-1097, doi:10.1007/s00382-008-0478-3.
- [15] Chen H, Yu R, Li J, et al. Why nocturnal long-duration rainfall presents an eastward-delayed diurnal phase of rainfall down the Yangtze River Valley[J]. J Climate, 2010, 23(4): 905-917.
- [16] Yuan W, Yu R, Chen H, et al. Subseasonal characteristics of diurnal variation in summer monsoon rainfall over central eastern China[J]. J Climate, 2010, 23(4): 6684-6695.
- [17] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1998, 79(1): 61-78.
- [18] 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: 63-65, 69-72.
- [19] 刘小宁. 我国 40 年年平均风速的均一性检验[J]. 应用气象学报, 2000, 11(1): 27-33.
- [20] 曹丽娟,鞠小慧,刘小宁. PMFT 方法对我国年平均风速的均一性检验[J]. 气象, 2010, 36(10): 52-56.
- [21] Lund R, Reeves J. Detection of undocumented Change-points: A revision of the two-phase regression model[J]. J Climate, 2002, 15(17): 2547-2554.
- [22] 戴泽军,宇如聪,陈昊明. 湖南夏季降水日变化特征[J]. 高原气象, 2009, 28(6): 1463-1470.
- [23] 李春晖,梁建茵,郑彬,等. 南海夏季风北推时间及相关环流变化特征[J]. 应用气象学报, 2007, 18(2): 202-210.
- [24] 黄荣辉,顾雷,陈际龙,等. 东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 691-716.
- [25] 符淙斌,王强. 气候突变的定义与检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.
- [26] 向辽元,陈星. 近 55 年中国大陆气温突变的区域特征和季节特征[J]. 气象, 2006, 32(6): 44-47.
- [27] 尹云鹤,吴绍洪,陈刚. 1961—2006 年我国气候变化趋势与突变的区域差异[J]. 自然资源学报, 2009, 24(12): 2147-2157.
- [28] 陈桦,丁一汇,何金海. 亚洲夏季风指数的重新评估与季风的长期变化[J]. 气象学报, 2006, 64(6): 770-779.
- [29] 晏红明,段玮,肖子牛. 东亚夏季风与中国夏季气候变化[J]. 热带气象学报, 2003, 19(4): 367-376.
- [30] 戴新刚,汪萍,丑纪范. 华北汛期降水多尺度特征与夏季风年代际衰变[J]. 科学通报, 2003, 48(23): 2483-2487.
- [31] Ren B H, Lu R Y, Xiao Z N. A possible linkage in the inter-decadal variability of rainfall over North China and the Sahel [J]. Adv Atmos Sci, 2004, 21(5): 699-707.