

潘筱龙^{1,2} 叶成志³ 张剑明⁴ 陈德桥⁵

近 58 a 南岳高山站气候变化特征分析

摘要

采用 1953—2010 年南岳高山站逐日气象资料,运用线性回归、突变分析和小波分析方法,对该站平均风速、气温和降水的气候变化特征进行了分析,并对与平均风速变化密切相关的气温和降水进行了年际变化特征比较.结果表明:1)年和四季平均风速均呈明显减小趋势,在 20 世纪 90 年代前后风速有由大到小的突变,年平均风速存在显著的准 2 a 和准 4 a 周期;2)年平均气温、最低气温、最高气温均呈明显升高趋势,气温存在显著的准 2 a 和准 4 a 周期,且于 20 世纪 90 年代中期前后气温有由偏低向偏高的突变;3)年降水量呈下降趋势,存在显著的准 2 a 和准 3 a 周期;4)风速与平均气温、最高气温和最低气温呈负相关关系,均通过 0.01 显著性检验,风速与降水的相关性没有通过显著性检验,但风速与降水的变化趋势在 20 世纪 60 年代中后期、70 年代中期到 21 世纪初有较好的反相位变化.

关键词

南岳高山站; Mann-Kendall 突变分析; 小波分析; 气候变化特征

中图分类号 P467

文献标志码 A

收稿日期 2013-03-04

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GYH Y201306016)

作者简介

潘筱龙,男,助理工程师,主要从事高山站气象资料应用研究工作.15974199903@qq.com

叶成志(通信作者),女,研究员,主要从事高山站资料应用技术研究工作.

yechengzhi@cma.gov.cn

0 引言

风是地球上的一种自然现象,它是由太阳辐射不均匀从而引起大气运动形成的.利用风的数据,可以获得大气运动状态的变化,提高气候分析和预测的能力,因此分析风速变化对于深入理解区域气候变化机理具有重要作用.我国学者近些年对风速的时间变化特征开展了大量研究,文献[1-6]分析了我国平均风速的气候变化趋势,一致认为我国年平均风速存在显著减弱的变化趋势.其中,王遵娅等^[2]、任国玉等^[3]发现风速在 20 世纪 60 年代末期以前变化不大,但自 20 世纪 70 年代中期开始风速呈明显的持续减弱趋势,每 10 a 减小速率约为 0.11 m/s,相对于 50 年代,90 年代我国平均风速减小了约 16%.刘苏峡等^[7]发现,华北平原风速呈减小趋势,尤其以冬季风速降低趋势最为明显,夏季风速降低趋势最不明显.蒋冲等^[8]指出秦岭南北地区年平均风速呈现显著下降趋势,下降最快的为秦岭南坡,最慢的为汉水流域.陈德桥等^[9]在分析南岳高山站风速变化时发现,年平均风速呈显著减弱趋势,年以及冬季平均风速 16 a 周期振荡在 20 世纪 90 年代后发生了明显转折.

研究表明,20 世纪 60 年代中期开始,东亚夏季风有年代际减弱的趋势^[10-12],且于 20 世纪 70 年代中期出现转折.而全球大气环流也在历史同期发生了一次突变,并能够清楚地在大气候要素场的变化上表现出来^[13-17].任国玉等^[3]在分析中国近地面气候变化基本特征发现:中国近 50 a 来年平均地表气温变暖幅度约 1.1 °C,增温速率接近 0.22 °C/(10 a),地表气温变暖主要发生在 20 世纪 80 年代以后;中国平均降水量则较年平均地面气温增加幅度要小,1956 年以来中国年平均降水量仅有微弱增多趋势.另有研究发现,长江中下游地区在 20 世纪 50 年代初期为“暖湿”期,50 年代初期到 50 年代末为“冷湿”期,50 年代末到 60 年代中期为“暖干”期,60 年代中期到 70 年代末为“冷干”期,70 年代末到 80 年代末为“冷湿”期,80 年代末到 21 世纪初为“暖湿”期^[18-25].于 20 世纪 80 年代以来经历了一次由“干冷”向“暖湿”转变,90 年代是长江中下游地区近百年来降水最多的 10 a^[26].

就目前的研究情况来看,对高山站的气候要素时间变化还少有关研究,且探讨高山站风速与气温和降水等气候要素之间关系的文献更不多见.南岳高山站(112.70°E,27.30°N)位于湖南省中部偏东南

1 中国气象局 成都高原气象研究所,成都,610071

2 湖南省防雷中心,长沙,410007

3 湖南省气象台,长沙,410007

4 湖南省株洲市气象台,株洲,412003

5 湖南省衡阳市气象台,衡阳,421001

地区,观测场海拔为 1 265.9 m,接近自由大气的底部,其特殊的地理位置和特定的高度层,使其观测资料具有代表性与不可替代性^[27].因此,在全球变暖大背景下,利用南岳高山站 1953—2010 年的风速、温度和降水资料,分析自由大气底部环流的气候变化特征及风速与气温、降水的相关性等问题具有十分重要的意义.

1 资料与方法

南岳高山气象观测站(图 1)自 1952 年 11 月建站并开始常规气象观测,资料均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,风日观测次数由 24 次改为 8 次),资料通过湖南省气候中心质量控制及均一性检验^[28].站点无搬迁历史,观测环境良好.分析均基于 1971—2000 年 30 a 气候平均值.季节划分是 3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12 月—次年 2 月为冬季.

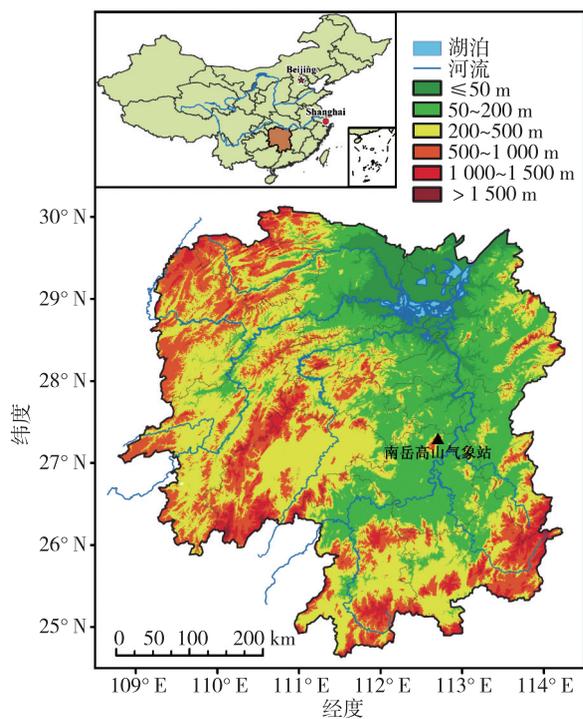


图 1 南岳高山站地理位置

Fig. 1 The location of Nanyue mountain observatory

本文变化趋势采用一次线性趋势拟合^[29]:

$$Y_t = a_0 + a_1 t, \quad t = 1, 2, \dots, n,$$

其中, $a_1 = dY_t/dt$ 为线性趋势, a_0 为常数, $b = a_1 \times 10$ 为气候倾向率.当 $b > 0$ 时,说明气候要素随时间 t 的增加呈上升的趋势, $b < 0$ 时说明气候要素随时间 t 的

增加呈下降的趋势.

Mann-Kendall 方法是一种非参数检验方法,其优点是不需要样本遵循一定的分布,也不受少数异常值的干扰^[29-30].本文用 Mann-Kendall 方法对时间序列进行突变分析,以考察不同时间尺度上的突变状况.

由于小波分析在时域和频域上同时具有良好的局部性质,有助于分析时间序列周期变化的局部特征,能更清楚地反映各周期随时间的变化规律^[31-34].小波系数模、小波系数实部是 Morlet 小波变换得到的最重要的变量.小波系数模的大小表示特征时间尺度信号的强弱,其模值越大,表明其所对应的时段和尺度周期性越明显.小波变换系数的实部可以用来判别气候资料序列中所包含的不同时间尺度降水的结构.本文用 Morlet 小波方法对时间序列进行周期分析,以考察不同时间尺度上的周期变化特征.

2 气候要素的时间变化特征

2.1 年气候要素的时间变化趋势

1953—2010 年南岳高山站年平均风速呈明显减小趋势(图 2a),倾向率为 $-0.245 \text{ m}/(\text{s} \cdot (10 \text{ a}))$ (通过 0.01 显著性检验).年平均风速变化曲线分别在 20 世纪 50 年代中期和 70 年代初期存在 2 个波峰,尤其以 1954 年(风速为 7.5 m/s)、1970 年(风速为 7.3 m/s)和 1973 年(风速为 7.3 m/s)为最高,20 世纪 70 年代中期以后风速持续减小,到 90 年代末期达到谷底,尤其以 1999 年(风速为 4.6 m/s)为最低.7 a 滑动平均曲线表明,20 世纪 50 年代初到 50 年代末、60 年代中期到 80 年代后期年平均风速偏大,50 年代末到 60 年代中期、80 年代后期以后年平均风速偏小.南岳年平均风速的时间变化与我国地面风速的时间变化较为一致,都是在 20 世纪 60 年代末年平均风速显著增强,且维持到 70 年代中期,之后呈持续减小的趋势.

年平均气温、最低气温、最高气温均呈明显上升趋势(图 2b),其中最低气温增加的幅度最大,平均气温增加幅度次之,最高气温增加幅度最小,气温倾向率分别为 0.177 、 0.187 和 $0.140 \text{ }^\circ\text{C}/(10 \text{ a})$ (均通过 0.01 显著性检验).7 a 滑动平均曲线表明,年平均气温、最低气温、最高气温的时间变化非常相似,20 世纪 50 年代初到 60 年代初、60 年代中期到 90 年代中期年气温偏低,60 年代初到 60 年代中期、90 年代中期以后年气温偏高.

年降水量呈下降趋势(图 2c),降水量倾向率为 $-22.4 \text{ mm}/(10 \text{ a})$.7a 滑动平均曲线表明,20 世纪 60 年代中期以前、70 年代初到 70 年代中期、90 年代初到 2005 年前后年降水量偏多,60 年代中期到 70 年代初、70 年代中期到 90 年代初、2005 年之后年降水量偏少.

2.2 四季气候要素的时间变化趋势

2.2.1 四季风速的时间变化趋势

对南岳高山站四季平均风速的逐年变化(图 3)分析表明,1953—2010 年四季平均风速均呈减小趋势,其中夏季平均风速减小趋势最为明显,秋季、春季次之,冬季最小,趋势倾向率分别为 -0.251 、 -0.278 、 -0.260 和 $-0.191 \text{ m}/(\text{s} \cdot (10 \text{ a}))$ (春季、夏季、秋季风速通过 0.01 显著性检验,冬季风速通过 0.05 显著性检验).

7 a 滑动平均曲线表明:春季平均风速 20 世纪 80 年代中期以前偏大,之后偏小(图 3a);夏季平均风速 20 世纪 50 年代初到 60 年代初、60 年代中期到 80 年代初偏大,60 年代初到 60 年代中期、80 年代初期之后偏小(图 3b);秋季平均风速 20 世纪 50 年代初到 50 年代中期、60 年代中期到 90 年代初偏大,50 年代中期到 60 年代中期、90 年代初期之后偏小(图 3c);冬季平均风速 20 世纪 50 年代初到 50 年代中

期、60 年代中期到 80 年代末偏大,50 年代中期到 60 年代中期、80 年代末之后偏小(图 3d).可以发现,不论是年平均风速,还是四季平均风速在 20 世纪 90 年前后均有明显下降的趋势,之前以正距平值为主,之后以负距平值为主.

2.2.2 四季气温的时间变化趋势

对南岳高山站四季平均气温、最低气温和最高气温的 7 a 滑动平均曲线分析发现,三者的时间变化均比较相似.

南岳高山站春季平均气温、最低气温、最高气温均呈显著上升趋势(图 4a),其中最低气温上升的幅度最大,平均气温次之,最高气温最小,气温倾向率分别为 0.214 、 0.224 、 $0.175 \text{ }^\circ\text{C}/(10 \text{ a})$ (平均气温、最低气温通过 0.01 显著性检验,最高气温通过 0.05 显著性检验).7 a 滑动平均曲线表明,春季气温 20 世纪 50 年代初到 60 年代初、60 年代后期到 90 年代中期气温偏低,60 年代初到 60 年代后期、90 年代中期以后气温偏高.

夏季平均气温、最低气温呈上升趋势,最高气温呈降低趋势(图 4b),气温倾向率分别为 0.044 、 0.054 、 $-0.024 \text{ }^\circ\text{C}/(10 \text{ a})$ (平均气温、最高气温没有通过显著性检验,最低气温通过 0.1 显著性检验).7 a 滑动平均曲线表明,夏季气温 20 世纪 50 年代初

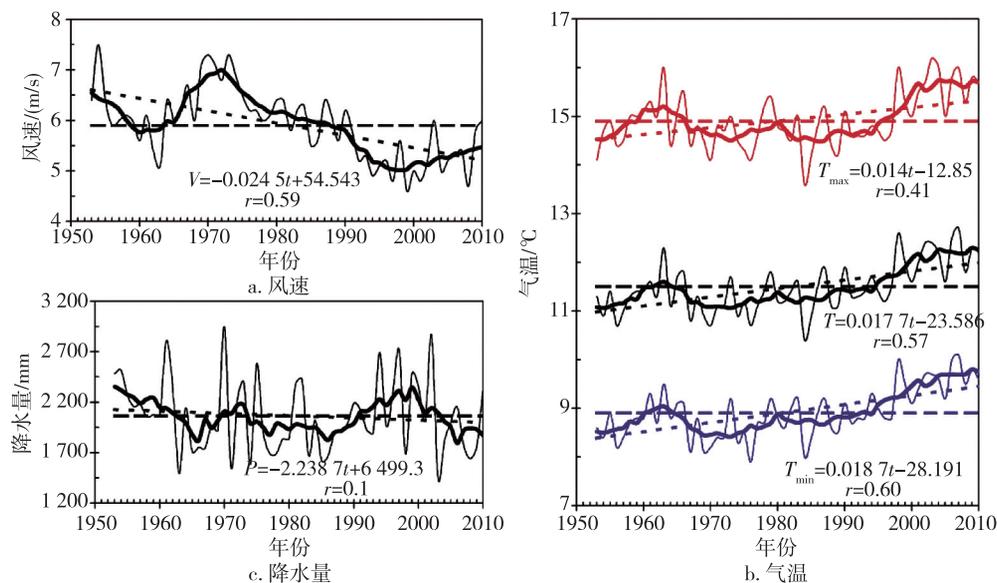


图 2 年气候要素的 annual 变化(细实线为气候值,粗实线为 7 a 滑动平均值,长虚线为多年平均值,短虚线为趋势线)

Fig. 2 Variation of annual climatic elements at the Nanyue mountain observatory, for wind speed, for temperature, and for precipitation (Thin solid line stands for climatic element variation, thick solid line for 7-year moving average value, long dashed line for average of climatic element and short dashed line for trend of climatic element. The same indications are in following figures of 3, 4 and 5)

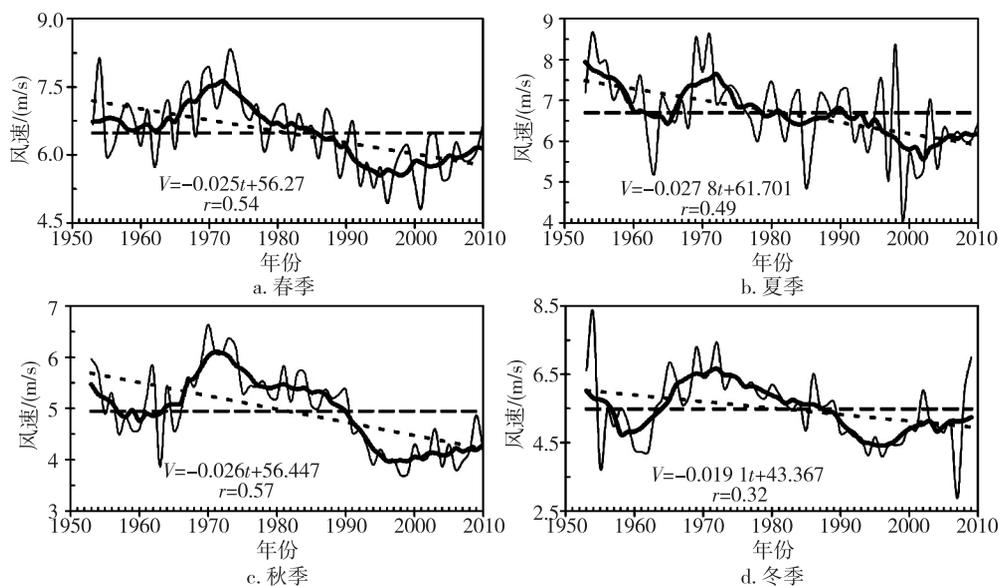


图3 四季风速的年际变化(细实线为气候值,粗实线为7 a 滑动平均值,长虚线为多年平均值,短虚线为趋势线)

Fig. 3 Variation of seasonal wind speeds at the Nanyue mountain observatory, for spring, for summer, for autumn, and for winter

到60年代后期、80年代初、21世纪初以后气温偏高,其余时段气温偏低。

秋季平均气温、最低气温、最高气温均呈明显上升趋势(图4c),其中最低气温上升的幅度最大,平均气温次之,最高气温最小,气温倾向率分别为0.164、0.170、0.138 $^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ (平均气温、最低气温通过0.01显著性检验,最高气温通过0.05显著性检验).7 a 滑动平均曲线表明,秋季气温20世纪50年代初到60年代初、60年代后期到70年代末、80年代中期到90年代中期气温偏低,60年代初到60年代后期、90年代中期以后气温偏高。

冬季平均气温、最低气温、最高气温均呈明显波动上升趋势(图4d),其中最低气温上升的幅度最大,平均气温次之,最高气温最小,气温倾向率分别为0.320、0.309和0.260 $^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ (平均气温、最低气温通过0.01显著性检验,最高气温通过0.05显著性检验).7 a 滑动平均曲线表明,冬季气温20世纪50年代初到60年代初、60年代后期到80年代后期气温偏低,60年代初到60年代后期、80年代后期以后气温偏高。

综上所述,冬季气温明显升高趋势的时间早于年、春季、夏季和秋季,夏季气温升高趋势的时间最晚.年、春季和秋季的平均气温、最低气温、最高气温在20世纪90年代中期前后有明显升高趋势,夏季平均气温、最低气温、最高气温在2002年前后有升高趋势,冬季平均气温、最低气温、最高气温在20世

纪80年代后期有明显升高趋势。

2.2.3 四季降水的时间变化趋势

1953—2010年南岳高山站春季降水量呈显著下降趋势(图5a),降水量倾向率为 $-26.7\text{ mm}/(10\text{ a})$ (通过0.05显著性检验).7 a 滑动平均曲线表明,20世纪60年代中期以前、70年代初到70年代后期降水量偏多,60年代中期到70年代初、70年代后期以后降水量偏少。

夏季降水量呈显著上升趋势(图5b),降水量倾向率为 $31.5\text{ mm}/(10\text{ a})$ (通过0.05显著性检验).7 a 滑动平均曲线表明,20世纪70年代中期到70年代后期、90年代初期以后降水量偏多,70年代中期以前、70年代后期到90年代初期降水量偏少。

秋季降水量呈波动下降趋势(图5c),降水量倾向率为 $-21.5\text{ mm}/(10\text{ a})$.7 a 滑动平均曲线表明,20世纪50年代初到70年代初、80年代末到21世纪初降水量偏多,70年代初到80年代末、21世纪初以后降水量偏少。

冬季降水量呈下降趋势(图5d),降水量倾向率为 $-7.9\text{ mm}/(10\text{ a})$.7 a 滑动平均曲线表明,20世纪50年代初到60年代末、80年代初到90年代后期降水量偏多,60年代末到80年代初、90年代后期以后降水量偏少。

从以上分析不难看出,南岳高山站只有夏季降水量呈上升趋势,其余季节降水量均呈下降趋势,其中春季降水量下降趋势最为明显,冬季次之,秋季降

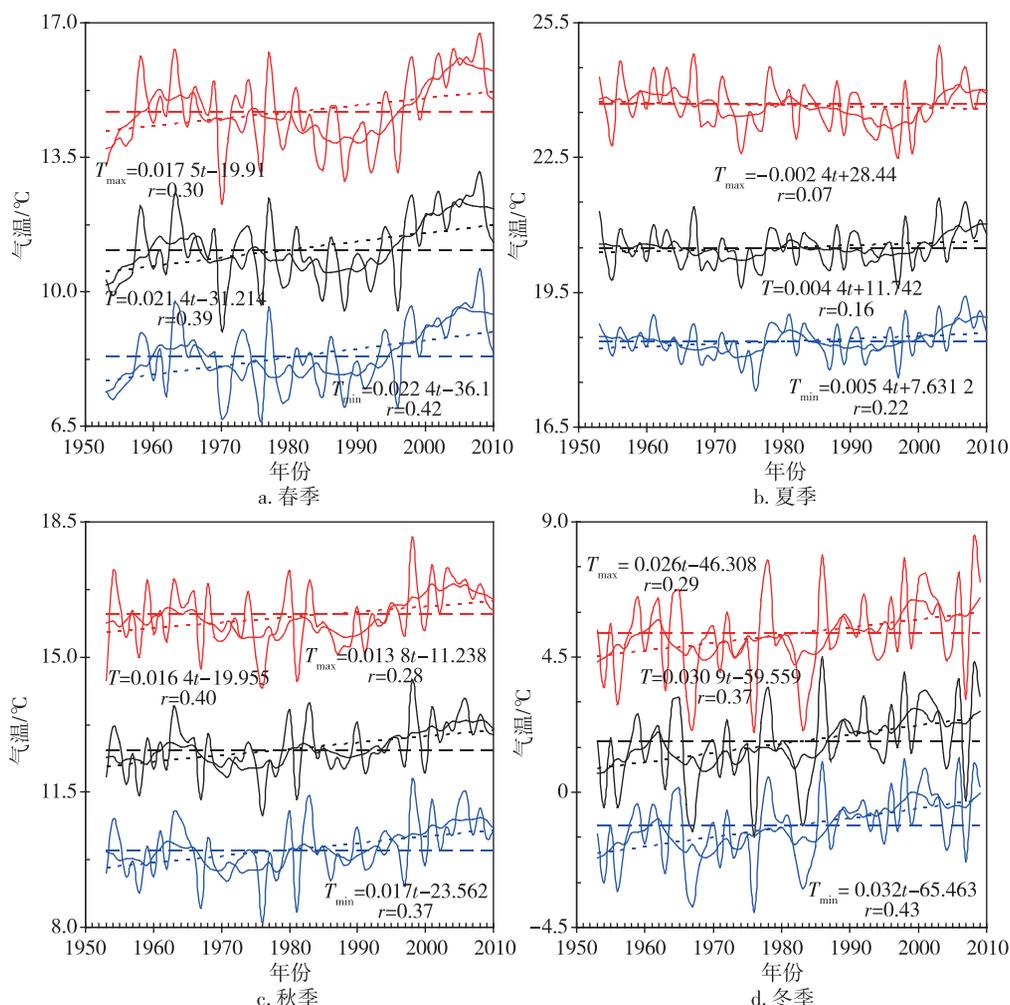


图 4 四季气温的年际变化(细实线为气候值,粗实线为 7 a 滑动平均值,长虚线为多年平均值,短虚线为趋势线)

Fig. 4 Variation of seasonal temperature at the Nanyue mountain observatory for spring, for summer, for autumn, and for winter

水量下降幅度最小。

3 气候要素的 Mann-Kendall 突变分析

3.1 年气候要素的 Mann-Kendall 突变分析

南岳高山站年平均风速在 20 世纪 90 年代中期以后下降趋势显著(图 6a),在 20 世纪 90 年代初期以后风速减小是一突变现象,具体开始年份为 1990 年。

年气温在 20 世纪 60 年代初期到 60 年代中期、90 年代后期以后呈显著上升趋势(图 6b—d),在 20 世纪 90 年代中期以后气温的增加是一突变现象,具体开始年份分别为 1995 年(平均气温)、1995 年(最低气温)和 1998 年(最高气温)。

年降水量在 20 世纪 50 年代末、60 年代中期到 70 年代初、70 年代末、80 年代后期到 90 年代初 UF 值超过显著性水平 0.05 临界线(图 6e),表明年降

水量在该时段内下降趋势显著.在研究时段内 UF 和 UB 曲线有多个交点,不能确定南岳高山站年降水量是否存在突变现象。

3.2 四季气候要素的 Mann-Kendall 突变分析

3.2.1 风速的突变分析

对南岳高山站四季平均风速进行 Mann-Kendall 统计分析(图略)表明,四季平均风速在 20 世纪 90 年代以后减小趋势明显,且这种减小趋势超过了 0.001 显著性水平($U_{0.001} = 2.56$),表明四季平均风速减小趋势十分显著.根据 UF 和 UB 曲线交点的位置,确定四季平均风速在统计时段内均发生了突变,具体开始年份分别为 1987 年(春季)、1980 年(夏季)、1992 年(秋季)和 1987 年(冬季)。

3.2.2 气温的突变分析

南岳高山站春季平均气温、最低气温、最高气温

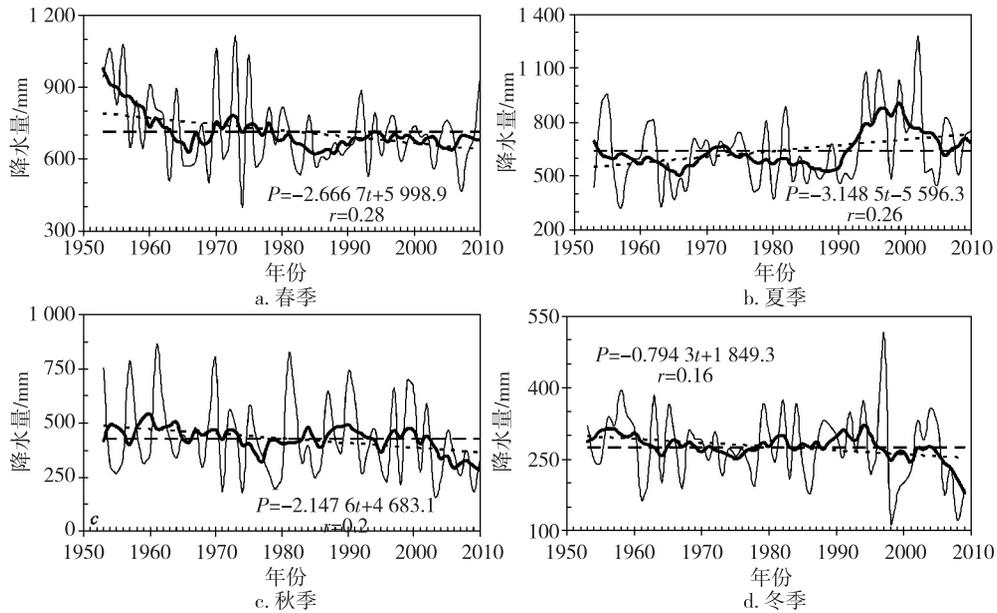


图5 四季降水量的年际变化(细实线为气候值,粗实线为7 a 滑动平均值,长虚线为多年平均值,短虚线为趋势线)
Fig. 5 Variation of seasonal precipitation at the Nanyue mountain observatory, for spring, for summer, for autumn, and for winter

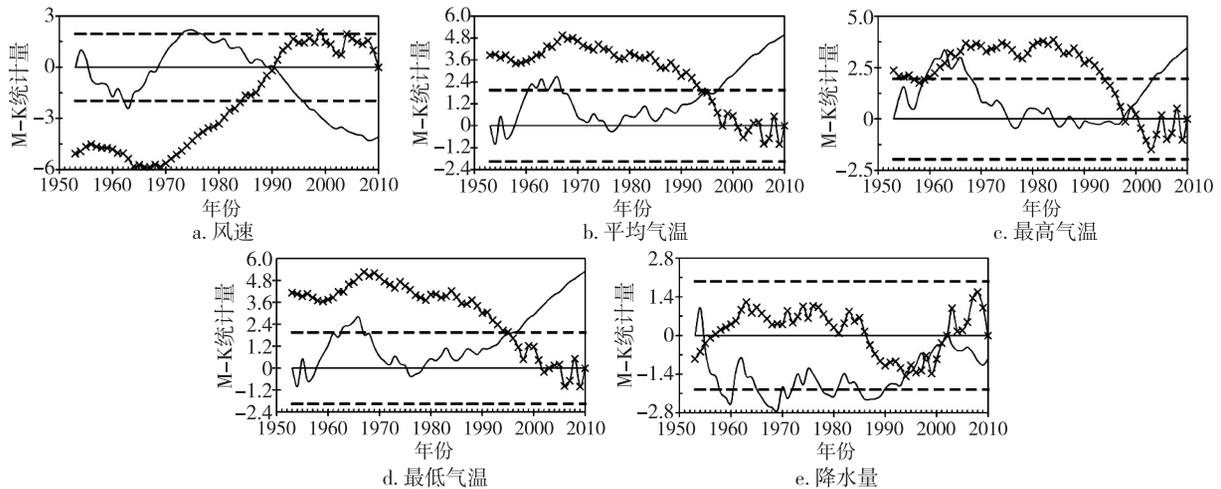


图6 年气候要素的 Mann-Kendall 检验(实线为 UF 曲线,叉线为 UB 曲线,虚线为 0.05 显著性水平)
Fig. 6 The forward(solid line) and backward(cross line)statistic rank series in the Mann-Kendall test of climatic elements, for wind speed, for mean temperature, for maximum temperature, for minimum temperature, and for precipitation(The dashed line indicates the 0.05 significance level in the Mann-Kendall test)

Mann-Kendall 统计量曲线时间变化非常类似(图略),在 20 世纪 50 年代末期到 60 年代末期,2005 年以后上升趋势显著,且于 20 世纪 90 年代后期到 21 世纪初气温的增加是一突变现象,具体开始年份分别为 1997 年(平均气温)、2000 年(最低气温)和 1998 年(最高气温)。

夏季气温在统计时段内变化趋势不显著,于 21

世纪初以后气温的上升是一突变现象,具体开始年份分别为 2005 年(平均气温)、2002 年(最低气温)和 2009 年(最高气温)。

秋季气温在 2000 年代中期以后上升趋势显著,且于 20 世纪 90 年代中期气温的上升是一突变现象,具体开始年份分别为 1995 年(平均气温)、1994 年(最低气温)和 1995 年(最高气温)。

冬季平均气温和最低气温在 2005 年之后上升趋势显著,且在 20 世纪 80 年代末到 90 年代中期气温的上升是一突变现象,具体开始年份分别为 1989 年(平均气温)、1989 年(最低气温)和 1995 年(最高气温).

3.2.3 降水量的突变分析

南岳高山站春季降水量在 20 世纪 60 年代中期到 70 年代初、80 年代后期到 90 年代初下降趋势显著,且于 20 世纪 50 年代后期有一由多到少的突变,具体开始年份为 1957 年(图略);夏季降水量在 20 世纪 90 年代中期到 21 世纪初降水量的上升趋势未通过显著性检验,于 20 世纪 90 年代初期夏季降水有增多的突变,具体开始年份为 1991 年;秋季降水量在 20 世纪 70 年代后期以后降水量减小的趋势未通过显著性检验,于 2005 年之后秋季降水存在突变,具体开始年份为 2006 年;冬季降水量在置信区间内有很多交点,故不能确定冬季降水是否存在突变.

4 气候要素的周期变化

4.1 年气候要素的周期变化

图 7 为 1953—2010 年南岳高山站年平均风速、气温和降水的 Morlet 小波功率谱,其中虚线为功率谱红噪声检验的 95% 置信线,虚线以下区域受边缘

效应影响功率谱减小.

南岳高山站年平均风速存在显著的 2 a 和 3 a 准周期,且周期的强度随时间变化(图 7a),准 2 a 周期振荡在 20 世纪 60 年代初到 60 年代后期、90 年代中后期到 21 世纪初之后较显著,准 3 a 周期振荡在 20 世纪 50 年代中期、80 年代中期较显著.此外,小波功率谱分析还检测出年平均风速存在准 16 a 左右周期尺度.

年平均气温存在显著的 2 a 和 4 a 准周期(图 7b),准 2 a 周期振荡在 20 世纪 60 年代初到 70 年代初期较显著,准 4 a 周期振荡在 20 世纪 70 年代末期到 2010 年较显著.年平均最高气温存在显著的 2 a 和 4 a 准周期(图 7c),准 2 a 周期振荡在 20 世纪 60 年代初到 70 年代初期、90 年代中期到 2010 年较显著,准 4 a 周期振荡在 20 世纪 70 年代末期到 90 年代初期较显著.年平均气温存在显著的 2 a 和 4 a 准周期(图 7d),准 2 a 周期振荡在 20 世纪 60 年代初到 70 年代中后期、2005 年前后较显著,准 4 a 周期振荡在 20 世纪 70 年代末期到 90 年代初、90 年代中期到 2005 年前后较显著.此外,小波功率谱分析还检测出年平均气温、最高气温和最低气温存在准 8 a 和准 16 a 左右的周期尺度.

年降水量存在显著的 2 a 和 4 a 准周期,且周期的强度随时间变化(图 7e),准 2 a 周期振荡在 20 世

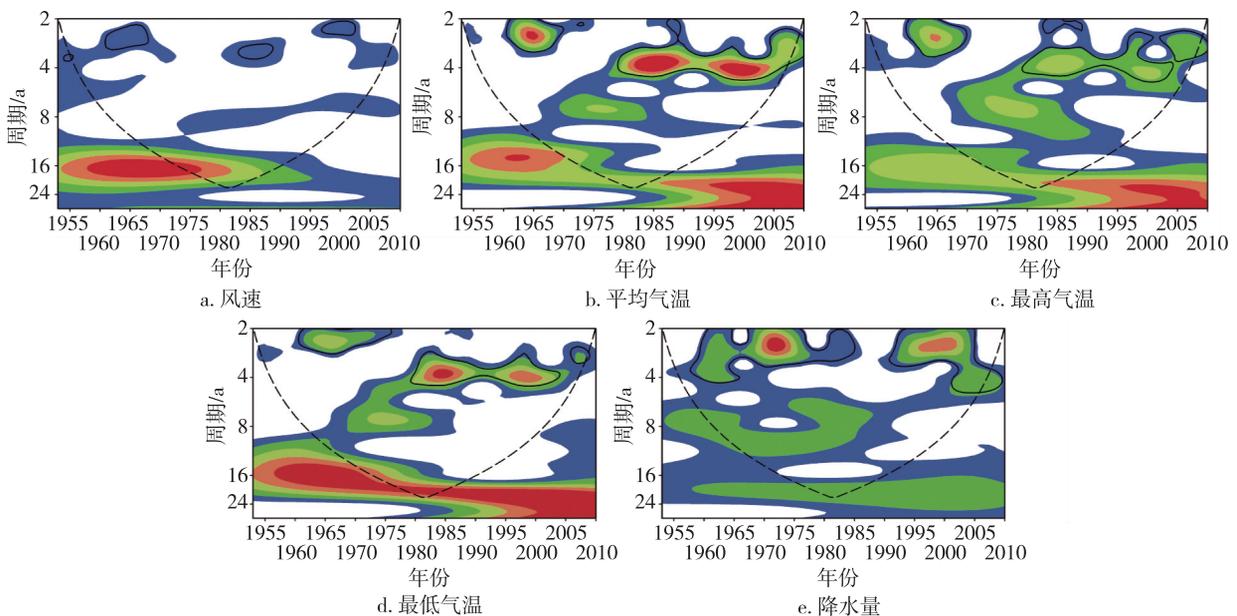


图 7 年气候要素的 Morlet 小波功率谱

Fig. 7 Morlet wavelet power spectrum of annual climatic elements, for wind speed, for mean temperature, for maximum temperature, for minimum temperature, and for precipitation

纪60年代中期到80年代中期、90年代初到21世纪初较显著,准4 a周期振荡在20世纪50年代末期到60年代中期、21世纪初到2010年较显著.此外,小波功率谱分析还检测出年降水量存在准8 a和准21 a左右周期尺度.

4.2 夏季、冬季平均风速的周期变化

对南岳高山站夏季、冬季平均风速进行 Morlet 小波功率谱分析(图略)表明,夏季平均风速存在显著的2 a和4 a准周期,准2 a周期振荡在20世纪60年代中期到70年代初期较显著,准4 a周期振荡在20世纪60年代初期到60年代中期、20世纪70年代末到80年代末期较显著.此外,小波功率谱分析还检测出夏季平均风速存在准7 a、准10 a和准16 a左右周期尺度.冬季平均风速在20世纪60年代后期至70年代初、2005年之后显示为显著的准3 a周期振荡.此外,小波功率谱分析还检测出冬季平均风速存在准8 a、准11 a和准16 a左右周期尺度.

有研究发现^[35-36],东亚冬、夏季风都存在准2 a (Quasi-biennial Oscillation)、3~6 a (Low-frequency Oscillation)的际振荡,16~18 a (Interdecadal Oscillation)的年代际振荡和长期变化趋势,夏季风在20世纪70年代后期开始呈现明显减弱的趋势^[37],近20 a来东亚地区的季风环流相对1950—1960年的季风环流发生了年代际变化^[38].由此可知,南岳夏、

冬季平均风速的周期振荡与东亚夏、冬季周期振荡比较一致.南岳夏、冬季平均风速的变化对东亚夏、冬季风的变化具有一定的指示作用.

5 风速与气温、降水量气候要素的关系

从上述分析可知,南岳高山站风速明显减弱的时期与季风的年代际减弱趋势基本吻合,年平均风速在20世纪90年代初发生的突变是季风持续减弱的结果,即东亚季风明显减弱可能是引起南岳高山站风速减弱的原因.那么该高山站风速的变化是否会影响其温度和降水等气候要素场的变化呢?对南岳高山站58 a平均风速、平均气温、最高气温、最低气温和降水距平进行相关性分析,结果表明:平均风速与平均气温、平均最高气温、平均最低气温均呈负相关关系,相关系数分别为-0.483、-0.368和-0.527(均通过0.01显著性检验);平均风速与降水相关系数为0.024(没有通过显著性检验).

南岳平均风速距平与其他气候要素距平对比(图8)表明:平均风速距平与平均气温、最高气温和最低气温距平的变化趋势是相反的,呈反相位变化,平均风速距平与降水距平的变化趋势在20世纪60年代中后期、70年代中期到21世纪初有较好的反相位变化;平均风速在20世纪70年代到90年代减速度最快;平均气温、最高气温和最低气温在20世

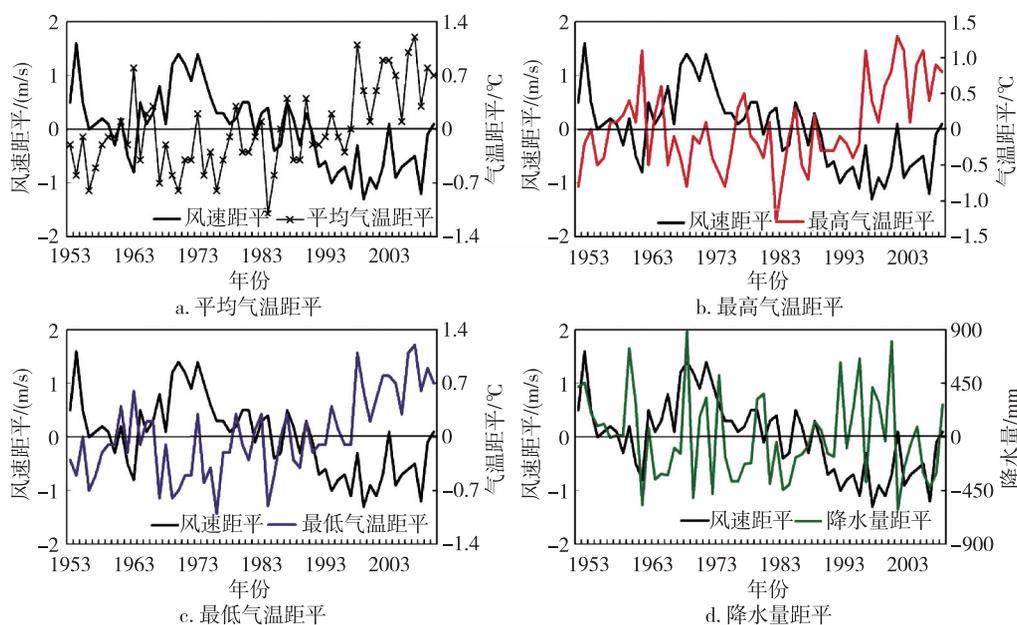


图8 南岳平均风速距平与平均气温距平、最高气温距平、最低气温距平和降水量距平的对比

Fig. 8 Comparisons between the anomaly of wind speed and anomalies of mean temperature, maximum temperature, minimum temperature and precipitation

纪 80 年代到 21 世纪初增加速度最快,降水量的变化不是很明显,但 20 世纪 90 年代到 21 世纪初降水量相对最多,而平均风速正好该段时期内最小;平均风速正负距平转折的年代大概在 20 世纪 70 年代末期到 90 年代初,平均气温、最高气温和最低气温由偏低时期到偏高时期的转变大概在 20 世纪 80 年代初到 90 年代后期,降水距平由偏少时期到偏多时期的转变大概在 20 世纪 80 年代到 90 年代中期.这与前面的突变分析有较好的一致性,平均风速在 20 世纪 90 年代初期由大到小转变,气温在 20 世纪 90 年代中期以后由偏低向偏高转变,即平均风速的突变要早于气温的突变.

6 结论

本文采用 1953—2010 年南岳高山站逐日气象资料,运用线性回归、突变分析和小波分析等方法,对南岳平均风速、气温和降水的气候变化特征进行了分析,并对与平均风速变化密切相关的气温和降水进行了年际变化特征比较,结果表明:

1) 年和四季风速均呈明显减小趋势,其中夏季风速减小最为明显,秋季、春季次之,冬季最小,风速在 20 世纪 90 年代前后有由大到小的突变.年平均风速在 20 世纪 60 年代初到 60 年代后期、90 年代中后期到 21 世纪初以后显示为显著的准 2 a 周期,在 20 世纪 50 年代中期、80 年代中期显示为显著的准 3 a 周期.

2) 年平均气温、最低气温、最高气温均呈明显上升趋势,除了夏季最高气温呈下降趋势外,其余季节气温均呈上升趋势.年气温存在显著的 2 a 和 4 a 准周期,且于 20 世纪 90 年中期前后气温有由偏低向偏高的突变,其中冬季气温突变的时间早于年、春季、夏季和秋季,夏季气温突变的时间最晚.

3) 年降水量呈减小趋势,四季降水除夏季呈上升趋势,其余季节呈减小趋势.年降水量在 20 世纪 60 年代中期到 80 年代中期、90 年代初到 21 世纪初显示为显著的准 2 a 周期,在 20 世纪 50 年代末期到 60 年代中期、21 世纪初到 2010 年显示为显著的准 3 a 周期.

4) 南岳夏(冬)季平均风速的周期振荡与东亚夏(冬)季周期振荡比较一致.南岳风速距平与平均气温、最高气温和最低气温距平的变化趋势呈反相位变化,而风速距平与降水距平的变化趋势在 20 世纪 60 年代中后期、70 年代中期到 21 世纪初有较好

的反相位变化.风速由偏大到偏小,平均气温、最高气温、最低气温由偏低到偏高的转折均发生在 20 世纪 90 年代前后,且风速最先转变,其次是平均气温、最低气温、最高气温和降水量,它们这种变化关系是否有必然联系还需进一步研究.

参考文献

References

- [1] 丁一汇,任国玉.中国气候变化科学概论[M].北京:气象出版社,2008:63-87
DING Yihui, REN Guoyu. Introduction to climate change science of China [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008: 63-87
- [2] 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
WANG Zunya, DING Yihui, HE Jinhai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 228-236
- [3] 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
REN Guoyu, GUO Jun, XU Mingzhi, et al. Climate changes of China's mainland over the past half century [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(6): 942-956
- [4] Zuo H C, Li D L, 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]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(12): 1235-1241
- [5] Xu M, Chang C P, Fu C B, et al. Steady decline of east Asian monsoon winds, 1969—2000: Evidence from direct ground measurements of wind speed [J]. Journal of Geophysical Research, 2006, 111(D24): 1-8
- [6] 江滢,罗勇,赵宗慈,等.中国及世界风资源变化研究进展[J].科技导报,2009,27(13):96-104
JIANG Ying, LUO Yong, ZHAO Zongci, et al. Review of research on wind resources changes in China and in the world [J]. Science & Technology Review, 2009, 27(13): 96-104
- [7] 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
LIU Suxia, QIU Jianxiu, MO Xingguo. Wind velocity variation from 1951 to 2006 in the North China plain [J]. Resources Science, 2009, 31(9): 1486-1492
- [8] 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,2013,33(2):244-250
JIANG Chong, WANG Fei, LIU Yanxu, et al. Spatial-temporal variation and mutation of wind speed in the northern and southern regions of the Qinling Mountains [J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(2): 244-250
- [9] 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
CHEN Deqiao, DAI Zejun, YE Chengzhi, et al. An analysis of the climatic variations in winds observed at the Nanyue mountain observatory during 1953—2010 [J]. Meteorological Monthly, 2012, 38(8): 977-984

- [10] Wang H J. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970s[J]. *Advance in Atmospheric Sciences*, 2001, 18(3): 376-386
- [11] Xue F. Interannual to interdecadal variation of East Asian summer monsoon and its association with the global atmospheric circulation and sea surface temperature[J]. *Advance in Atmospheric Sciences*, 2001, 18(4): 567-575
- [12] 宋燕, 季劲钧. 60年代亚非夏季风十年尺度的突变[J]. *大气科学*, 2001, 25(2): 200-208
SONG Yan, JI Jinjun. The interdecadal abrupt change of the African-Asian summer monsoon in the 1960s[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2001, 25(2): 200-208
- [13] Wang H J. The instability of the East Asian summer monsoon-ENSO relations[J]. *Advance in Atmospheric Sciences*, 2002, 19(1): 1-11
- [14] 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
ZHANG Aiyang, REN Guoyu, GUO Jun, et al. Change trend analysis on upper-air wind speed over China in past 30 years[J]. *Plateau Meteorology*, 2009, 28(3): 680-687
- [15] 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
REN Guoyu, ZHANG Aiyang, WANG Ying. Climatology of upper wind speeds over China[J]. *Geographical Research*, 2009, 28(6): 1583-1592
- [16] 侯伟芬, 王谦谦. 江南地区近50年地面气温的变化特征[J]. *高原气象*, 2004, 23(3): 400-406
HOU Weifen, WANG Qianqian. The change characteristics of surface air temperature between Changjiang River and Nanling Mountain in recent 50 years[J]. *Plateau Meteorology*, 2004, 23(3): 400-406
- [17] 王少鹏, 王志恒, 朴世龙, 等. 我国40年来增温时间存在显著的区域差异[J]. *科学通报*, 2010, 55(16): 1538-1543
WANG Shaopeng, WANG Zhiheng, PIAO Shilong, et al. Regional differences in the timing of recent air warming during the past four decades in China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(16): 1538-1543
- [18] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. *气象学报*, 1997, 55(4): 418-429
ZHAI Panmao, REN Fumin. On changes of China's maximum and minimum temperatures in the recent 40 years[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, 55(4): 418-429
- [19] 任福民, 翟盘茂. 1951—1990年中国极端气温变化分析[J]. *大气科学*, 1998, 22(2): 217-227
REN Fumin, ZHAI Panmao. Study on changes of China's extreme temperatures during 1951—1990[J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1998, 22(2): 217-227
- [20] 唐红玉, 翟盘茂, 王振宇. 1951—2002年中国平均最高、最低气温及日较差变化[J]. *气候与环境研究*, 2005, 10(4): 728-735
TANG Hongyu, ZHAI Panmao, WANG Zhenyu. On change in mean maximum temperature, minimum temperature and diurnal range in China during 1951—2002[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2005, 10(4): 728-735
- [21] 丁斌, 顾显跃, 缪启龙. 长江流域近50年来的气温变化特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2006, 15(4): 531-536
DING Bin, GU Xianyue, MIAO Qilong. Characteristics in the variation of temperature over the Yangtze River Valley over last 50 years[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, 15(4): 531-536
- [22] 刘莉红, 郑祖光. 我国1月和7月气温变化的分析[J]. *热带气象学报*, 2004, 20(2): 151-160
LIU Lihong, ZHENG Zuguang. The analysis of temperature changes in January and July in China[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2004, 20(2): 151-160
- [23] 翟盘茂, 任福民, 张强. 中国降水极值变化趋势检测[J]. *气象学报*, 1999, 57(2): 208-216
ZHAI Panmao, REN Fumin, ZHANG Qiang. Detection of trends in China's precipitation extremes[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1999, 57(2): 208-216
- [24] 王叶红, 王谦谦, 赵玉春. 长江中下游降水异常特征及其与全国降水和气温异常的关系[J]. *南京气象学院学报*, 1999, 22(4): 685-691
WANG Yehong, WANG Qianqian, ZHAO Yuchun. Characteristics of precipitation anomaly over the Middle-lower reaches of the Yangtze River related to precipitation and temperature anomalies of China[J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 1999, 22(4): 685-691
- [25] 江志红, 丁裕国. 近40年我国降水量年际变化的区域性特征[J]. *南京气象学院学报*, 1994, 17(1): 73-78
JIANG Zhihong, DING Yuguo. Regional features of interannual variation of rainfall over China over the past 4 decades[J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 1994, 17(1): 73-78
- [26] 龚道溢, 王绍武, 朱锦红. 1990年代长江中下游地区多雨的机制分析[J]. *地理学报*, 2000, 67(5): 567-575
GONG Daoyi, WANG Shaowu, ZHU Jinhong. Surplus summer rainfall along the middle to lower reaches of Changjiang River in the 1990s[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 67(5): 567-575
- [27] 叶成志, 陈静静, 傅承浩. 南岳高山站风对湖南2011年6月两例暴雨过程的指示作用[J]. *暴雨灾害*, 2012, 31(3): 242-247
YE Chengzhi, CHEN Jingjing, FU Chenghao. Wind variations at the Nanyue Mountain Observatory as indicators for two different kinds of heavy precipitation in Hunan[J]. *Torrential Rain and Disasters*, 2012, 31(3): 242-247
- [28] 彭嘉栋, 廖玉芳, 谭萍. 湖南省气候变化代表站的选取[J]. *气候变化研究进展*, 2010, 6(5): 383-385
PENG Jiadong, LIAO Yufang, TAN Ping. Selection of representative meteorological stations for climate change studies in Hunan Province[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2010, 6(5): 383-385
- [29] 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
WEI Fengying. Modern climatic statistical diagnosis and forecasting technology[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999
- [30] 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
FU Congbin, WANG Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change[J]. *Scientia Atmospherica*

- Sinica, 1992, 16(4):482-493
- [31] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1):61-78
- [32] Zhi X F. Interannual variability of the Indian summer monsoon and its modeling with a zonally symmetric 2D-model[M]. Aachen:Shaker Verlag, 2001:152
- [33] Yang H, Zhi X F, Gao J, et al. Variation of East Asian summer monsoon and its relationship with precipitation of China in recent 111 years[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(11):1711-1716
- [34] 韩荣青,陈丽娟,李维京,等.2—5月我国低温连阴雨和南方冷害的时空分布特征[J].应用气象学报, 2009, 20(3):312-320
HAN Rongqing, CHEN Lijuan, LI Weijing, et al. The spatial and temporal characteristics of china continuous cold rainy weather and south cold damage from February to May[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(3):312-320
- [35] 徐建军,朱乾根,施能.近百年东亚季风长期变化中主周期振荡的奇异谱分析[J].气象学报, 1997, 55(5):620-627
XU Jianjun, ZHU Qiagen, SHI Neng. The singular spectral analysis of periodic oscillation in long-term vari-
- ation of East Asian monsoon in recent century[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1997, 55(5):620-627
- [36] 李建平,曾庆存.一个新的季风指数及其年际变化和与雨量的关系[J].气候与环境研究, 2005, 10(3):351-365
LI Jianping, ZENG Qingcun. A new monsoon index, its interannual variability and relation with monsoon precipitation[J]. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(3):351-365
- [37] 江丽俐,管兆勇,卢楚翰,等.东亚夏季风年际变化与IOD、ENSO间联系的年代际特征[J].南京气象学院学报, 2009, 32(1):32-44
JIANG Lili, GUAN Zhaoyong, LU Chuhan, et al. Interdecadal characters of relationships of the interannual variability of east Asian summer monsoon with IOD and ENSO[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2009, 32(1):32-44
- [38] 钱维宏.季风的季节、年际和年代际变化[J].热带气象学报, 2005, 21(2):199-206
QIAN Weihong. Review of variations of the summer monsoon from seasonal to interannual and interdecadal scales[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2005, 21(2):199-206

Climate change characteristics at the Nanyue mountain observatory in recent 58 years

PAN Xiaolong^{1,2} YE Chengzhi³ ZHANG Jianming⁴ CHEN Deqiao⁵

1 Chengdu Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610071

2 Hunan Lightning Protection Center, Changsha 410007

3 Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410007

4 Zhuzhou Meteorological Bureau of Hunan Province, Zhuzhou 412003

5 Hengyang Meteorological Bureau of Hunan Province, Hengyang 421001

Abstract Using the 1953—2010 meteorological records at the Nanyue mountain observatory, the climate change characteristics are analyzed using linear regression, Mann-Kendall test and wavelet analysis. In addition, the interannual variations of precipitation and temperature are comparatively analyzed which are related to mean wind speed closely. Results show that both annual and seasonal mean wind speed have obvious decreasing trends during the period analyzed, and abrupt descending changes occurred in the early 1990s. Generally, the wind speeds had noticeable quasi-2-year and quasi-4-year periods. While the mean temperature, the maximum temperature and the minimum temperature show obvious increasing trends. In general, the temperature had noticeable quasi-2-year and quasi-4-year periods, and there are abrupt changes from low temperature to high temperature in the mid-1990s. Precipitation had a decreasing trend. In general, the precipitation had significant quasi-2-year and quasi-3-year periods. There is a significant negative correlation between wind speed and mean temperature, maximum temperature and minimum temperature, all of which have passed the confidence test ($p \leq 0.01$). The correlation coefficient between wind speed and precipitation does not pass the significance test, but the variations of wind speed and precipitation have anti-phase changes in the mid-1960s, and the mid-1970s until the beginning of 21st century.

Key words Nanyue mountain observatory; Mann-Kendall mutation analysis; wavelet analysis; climate change