

文章编号:1673-8411 (2015) 02-0085-05

1954–2013 年湖北省黄石市极值气温变化特征分析

张新宜^{1, 2} 周晓宇³ 刘熠炎^{1, 2}

(1.中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京, 100081; 2.湖北省黄石市气象局, 黄石, 435002; 3.沈阳区域气候中心, 沈阳, 110016)

摘要:利用黄石市气象台 1954 年 1 月 1 日至 2013 年 12 月 31 日共 60a 的地面观测资料,选取逐日的平均气温、最高气温和最低气温做为研究对象,采用气候趋势分析、相关分析、Mann-Kendall 突变检验分析和小波分析等方法对黄石市极值气温变化特征进行分析,结果表明:(1)1954–2013 黄石市年平均气温、平均最高气温和平均最低气温呈波动上升的趋势,其中年平均气温和平均最低气温上升趋势显著,对于近 60a 黄石市年平均气温的升高,年平均最低气温的贡献是主要的;(2)近 60a 黄石市极端最高气温和极端最低气温均呈波动上升的趋势,其中极端最低气温上升趋势显著,1984–2013 年极端最低气温的升高是造成近 60 年极端最低气温显著升高的主要原因;(3)近 60a 黄石市年最大日较差呈波动下降的趋势,但不显著,平均最低气温的上升速度明显大于平均最高气温的上升速度,极端最低气温的上升速度明显大于极端最高气温的上升速度,这造成了气温日较差的不断减小;(4)近 60a 黄石市气温(年平均气温、年最高\最低气温、极端最高\最低气温)的显著升高,与最高气温出现在 20℃以上的天数增加和出现在 20℃以下的天数减少有关,与最低气温出现在 10℃以上的天数增加和出现在 10℃以下的天数减少有关,其中 $T < 0^{\circ}\text{C}$ 的高温日数和低温日数的显著减少以及 $20 \leq T < 30^{\circ}\text{C}$ 的低温日数的显著增加贡献最大。

关键词:极值气温;趋势分析;Mann-Kendall 突变检验;小波分析;界限气温

中图分类号:P468.0⁺.21

文献标识码:A

Characteristics analysis of extreme temperature changes from 1954 to 2013 in Huangshi of Hubei province

Zhang Xin-yi, Zhou Xiao-yu, Liu Yi-yan

(The Chinese Meteorological Sciences Academy of Disaster Weather National Key Laboratory, Beijing, 10081; 2. Huangshi Municipal Meteorological Service, Huangshi, 435002; 3. Shenyang Regional Climate Center, Shenyang, 110016)

Abstract: Based on the daily mean temperature, maximum temperature and minimum temperature from January 1th, 1954 to 31th December 2013 in Huangshan, the changing characteristics of extreme temperature was studied by the climate trend analysis, correlation, Mann - Kendall mutation test and wavelet analysis methods. The results show that: (1) the average annual average temperature, average maximum temperature and minimum temperature rise by fluctuation trend, in which the rising trend of annual average temperature and the average minimum temperature is significant and the contribution of annual mean minimum temperature account for the most for average temperatures rising nearly 60 years in Huangshi; (2) the extreme maximum temperature and extreme minimum temperature show upward trend, in which the extreme minimum temperature rise significantly; (3) the largest diurnal range fluctuates declining, but not significantly, the rising speed of average minimum temperature is greater than that of average highest temperature, extreme minimum temperature rising speed is greater than that of extreme maximum temperature, which caused the decreases of temperature diurnal range; (4) the temperatures (annual average temperature, annual maximum, minimum temperature and extreme highest and lowest temperature) increased significantly, and the increasing number of days of the highest temperature above 20 °C associated with the reducing number of days below 20 °C, and the increasing number of days of the lowest temperature above 10 °C associated with the reducing number of days below

收稿日期:2014-12-28

基金项目:灾害天气国家重点实验室基金(2013LASW-A02)资助。

作者简介:张新宜(1983-),女,辽宁省喀左县人,学士,工程师,主要从事气候变化方面研究。

10 ℃, in which the high temperature days and cold days ($T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) significant reduction and the significant increase of number of days of low temperature $20 \leq T < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ account for the largest contribution.

Key Words: extreme temperature; trend analysis; Mann – Kendall mutation test; wavelet analysis; demarcation temperature

1 引言

第二次气候变化国家评估报告指出,1951–2009年,中国陆地表面平均气温上升 1.38°C ,变暖速率为 $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,与全球变暖趋势一致^[1]。近年来许多学者对我国气温变化特征进行了研究和分析,卢雪勤等^[2]根据广西百色站1951–2010年的气温资料,利用一元回归、Morlet小波分析等方法分析了百色气温气候变化规律。郝立生等^[3]利用河北省60个气象观测站资料,对全省近50年极值气温变化特征进行了分析。贲维芬^[4]利用龙胜站1961–2010年的气温、降水和日照资料,通过线性回归、多项式回归、滑动平局和距平的方法,分析了龙胜县近50a来的气候变化特征。任广成等^[5]利用1951–2007年中国大陆160站和台湾地区3个代表站盛夏(7–8月)温度资料、北半球500hPa高度及北太平洋海温资料,通过合成分析、对比分析和相关分析等方法,研究了台湾地区及其与华南大陆地区盛夏气温的一致性,华南地区盛夏气温异常的年代际变化特征及其与北半球500hPa高度场、北太平洋海温场的关系。刘正洪等^[6]利用启东市1956–2010年逐日温度观测资料,分析了启东地区平均气温、极端气温、冷积温和热积温的变化趋势和特征。利赛明和陈静林^[7]根据珠海站1962–2010年逐日地面气温观测数据与1979–2010年NCEP/NCAR R1再分析资料,分析了珠海市平均气温、平均最高气温、平均最低气温的年和四季变化特征,探讨城市化对珠海气温变化的影响。史军等^[8]基于华东气象站点1960–2005年逐日最高地面气温和同期西太平洋副高环流指数、赤道太平洋海温和登陆华东及我国的台风个数,分析了华东极端高温日数和高温日平均最高气温的时空动态变化特征及高温成因。凌颖和黄海洪^[9]对城郊地面站常规观测及地面自动观测气温资料进行统计分析,对城市热岛效应特征进行了研究。郑祚芳等^[10]应用1951–2000年的逐月平均气温和降水量资料,分析了湖北省5个代表站的年、季、月气温降水的变化情况,结果表明,近50年湖北省各地气候变化的地域

性、季节性差异较大。上述学者的研究表明,由于受到气候类型、地形和城市化进程等多种因素的影响,气温的变化特征在空间上存在着较大的差异性,鉴于此,本文通过对黄石市近60年的年平均气温、年平均最高/最低气温、极端最高/最低气温、最大日较差和界限气温日数进行分析,揭示黄石市近60年的气温极值变化特征,为其他学者的研究提供参考。

2 资料和方法

2.1 资料来源与选取

资料来源于黄石市气象台1954年1月1日至2013年12月31日共60年的地面观测资料,选取逐日的平均气温、最高和最低气温做为研究对象。

2.2 研究方法

2.2.1 气候趋势分析方法

趋势分析方法是气象要素进行气候变化趋势分析常用的方法之一^[11],用如下公式表示: $y(t)=at+b$, ($t=1,2,3,\dots,n$),其中 t 为时间,其中 $y(t)$ 为气象要素, b 为回归常数, a 为回归系数,表示气象要素 $y(t)$ 的趋势倾向,正为增加,负为减少,通常采用 $a \times 10$ 来表示 $y(t)$ 的变化速率,单位为: $^{\circ}\text{C}/10\text{年}$ 。

2.2.2 Mann-Kendall 突变检验方法

Mann-Kendall方法^[12]是世界气象组织(WMO)推荐的应用于气象要素时间序列趋势分析的非参数统计检验方法,常用来对气象要素进行突变检验,其优点是样本不需要遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,计算也比较便捷。该方法的原理是,定义统计量 UF 为标准正态分布,给出显著性水平 α ,通过查表得到 UF 的概率分布 β ,若 $\beta > \alpha$,则表明序列存在明显的趋势变化,将 UF 序列反向得到 UB ,将 UB 和 UF 绘成曲线,若 UB 或 UF 的值大于0,则表明序列呈上升趋势,小于0则表明呈下降趋势,当它们超过临界直线时,表明上升或下降趋势显著,超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域。进行突变性检验,需要对样本序列 X 构造一秩序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{i-1} a_{ji}, (k=2,3,4,\dots,n)$$

当 $x_i < x_j$ 时, $a_{ji}=1$, 当 $x_i \geq x_j$ 时, $a_{ji}=0$, 其中 $1 \leq i \leq j$, 定义统计变量:

$$UF_k = |S_k - E(S_k)| [\sqrt{\text{Var}(S_k)}]^{-1}, (k=1, 2, 3, \dots, n)$$

$$E(S_k) = k(k-1)/4$$

$$\sqrt{\text{Var}(S_k)} = k(k-1)(2k+5)/72$$

按此方法对数据序列进行处理, 对结果进行绘图, 若 UB 和 UF 两条曲线出现交点且交点在临界线之间, 则交点对应的的时间便是突变开始的时间。若交叉点位于信度线之外, 则不确定是否为突变点。

2.2.3 小波分析

记 $L^2(R)$ 是定义在整个实数轴 R 上满足条件

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^2 dx < \infty \text{ 的全体可测函数 } f(x)$$

及其相应的函数运算和内积所组成的集合, 则小波就是函数空间 $L^2(R)$ 中满足下述条件的一个函数或者信号 $\Psi(x)$:

$$C_{\Psi} = \int_{R^*} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \text{ 或}$$

$$\int_R \Psi(\omega) d\omega = 0$$

上两式称为容许性条件, 其中 R^* 代表非零实数全体, $\Psi(x)$ 被称为母小波或小波母函数, 也称为小波函数, 对于任意的实数对 (a, b) , 其中, 参数 a 必须为非零实数, 称如下形式的函数 $\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \left(\frac{x-b}{a} \right)$

为由小波母函数 $\psi(x)$ 生成的依赖于参数 (a, b) 的连续小波函数, 简称为小波。其中, a 称为伸缩尺度参数, b 称为平移尺度参数, 本文采用的是 Morlet 小波分析, 其定义为 $\psi(x) = e^{icx} e^{-2/2}$, 由于非零均值小于典型的计算舍入误差, 可以认为此式的母小波满足公式 $\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(t) dx = 0$, 可以证明 Morlet 小波变换系数的变化趋势与气候信号变化趋势基本一致^[13]。

3 结果分析

3.1 平均气温变化特征

从对图 1(a) 的分析可知, 1954—2013 黄石市年平均气温呈显著上升的趋势, 通过了 99.9% 的信度检验, 上升趋势显著, 增温速率为 $0.19^\circ\text{C}/10\text{a}$, 高于全球近 50a 增温速率 $0.13^\circ\text{C}/10\text{a}$, 低于中国近 54 年增温速率 $0.25^\circ\text{C}/10\text{a}$ ^[14]。年平均气温平均值为 17.3°C , 最高值为 18.5°C (2013 年), 偏高 6.9%, 最低

值为 16.4°C (1956 年), 偏低 5.2%, 标准差 STDEV 为 0.53。

年平均气温年代际距平分析的结果表明 (图 1b), 1954—1993a 的四个年代际均为负距平, 分别为 -0.27 、 -0.35 、 -0.24 和 -0.25 , 1994—2013a 两个年代际为正距平, 均为 0.5。说明 1994—2013a 平均气温的显著升高 (已通过 99% 的信度检验) 是造成近 60 年平均气温显著升高的主要原因。

基于 M-K 突变检验的结果表明 (图 1c), 1954—1957 年 $UF < 0$, 平均气温呈下降的趋势, 但不显著, 从 1958a 开始至 2013a $UF > 0$, 平均气温呈上升的趋势, 其中 1963—1966、1997—2013a $UF > 1.96$, 上升趋势显著, UF 与 UB 的交点位于置信区间内, 发生突变的时间为 1989 年, 这与任国玉等^[15]提出的中国从 20 世纪 80 年代中后期平均增温速率呈加大趋势的研究成果是一致的。

采用标准 Morlet 小波变换, 对 1954—2013a 黄石市年平均气温的周期性特征进行分析发现 (图 1d), 近 60a 黄石市年平均气温值有 3a 和 18a 的变化信号存在, 3a 的变化信号一直存在, 18a 的变化信号在 60—80 年代最强。

3.2 平均最高气温、平均最低气温变化特征

从对图 2(a) 和 2(b) 的分析可知, 1954—2013 黄石市年平均最高气温和年平均最低气温均波动呈上升的趋势, 增温速率分别为 $0.17^\circ\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.23^\circ\text{C}/10\text{a}$, 其中年平均最低气温通过了 99.9% 的信度检验, 上升趋势显著。年平均最高气温的标准差 STDEV 为 0.6, 平均值为 21.6°C , 最高值为 23.4°C (2013 年), 偏高 8.3%, 最低值为 20.5°C (1984 年), 偏低 5.1%; 年平均最低气温的标准差 STDEV 为 0.56, 平均值为 13.9°C , 最高值为 15.1°C (2002 年), 偏高 8.6%, 最低值为 12.4°C (1956 年), 偏低 10.8%。

年代际距平分析的结果表明 (图 2c 和图 2d), 年平均最高气温和年平均最低气温在 1954—1993 年的四个年代际均为负距平, 在 1994—2013 年的两个年代际均为正距平, 呈现相似的变化规律。说明 1994—2013 这 20 年平均最高气温和平均最低气温的升高导致平均气温的显著升高, 其中平均最低气温的显著升高对其贡献最大。

基于 M-K 突变检验的结果表明 (图 2e 和图 2f), 对于年平均最高气温, 1972—1996 年 $UF < 0$, 呈下降的趋势但不显著, 1954—1971a、1997—2013a $UF > 0$, 年平均最高气温呈上升趋势, 其中 2004—

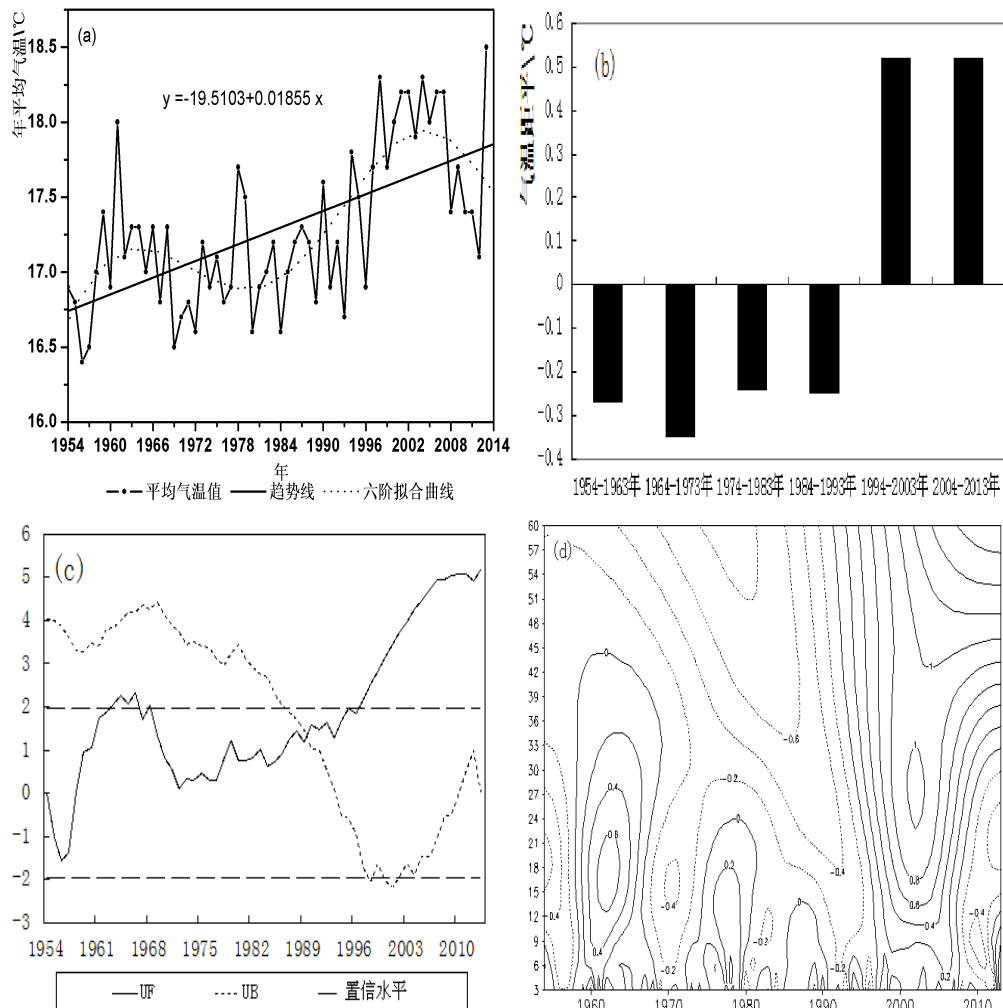


图1 1954—2013a 黄石市年平均气温时间序列(a)、年代际距平(b)、M-K 突变检验(c)和小波分析(d)

2013aUF>1.96, 上升趋势显著; 对于年平均最低气温, 1956—1957aUF<0, 呈下降的趋势但不显著, 从1958年开始至2013aUF>0, 年平均最低气温呈上升的趋势, 其中1965—1967、1978—2013aUF>1.96, 上升趋势显著。

采用标准 Morlet 小波变换, 对 1954—2013a 黄石市年平均最高气温和年平均最低气温的周期性特征进行分析发现 (图 2g 和图 2h), 3a 的变化信号一直存在, 18a 的变化信号在 60—80 年代最强。

3.3 极端最高气温、极端最低气温变化特征

极端最高气温的标准差 STDEV 为 1.0, 平均值为 38.2℃, 最高值为 40.7℃ (2013 年), 偏高 6.5%, 最低值为 36.0℃ (1997 年), 偏低 5.8%, 年极端最高气温大于等于 40℃ 的年份有 5 年, 大于等于 37℃ 小于 40℃ 的年份有 52 年, 小于 37℃ 的有 3 年, 说明极端最高气温介于 37℃ 和 40℃ 的年份所占比例最大, 达到 86.7%; 年极端最低气温均在 0℃ 以下, 平均值为 -

4.9℃, 最高值为 -1.2℃ (1982 年), 偏高 75.5%, 最低值为 -11.0℃ (1969 年), 偏低 124.5%, 其标准差 STDEV 为 2.3, 说明年极端最低气温数值分布较分散, 数据波动幅度大。

年代际距平分析的结果表明 (图 3c 和图 3d), 对于年极端最高气温, 1954—1963 年、1974—2003 年共四个年代际均为负距平, 分别为 -0.07、-0.08、-0.20 和 -0.14, 1964—1973 年和 2004—2013 年为正距平, 分别为 0.16、0.41。2004—2013 年的距平绝对值明显大于其他年代际且为正距平, 说明近 60 年极端气温呈升高趋势主要是由于 2004—2013 年极端最高气温的显著升高 (已通过 99% 的信度检验) 造成的; 对于年极端最低气温, 1954—1973a 的两个年代际均为负距平, 分别为 -2.02 和 -1.16, 1974—2013a 的四个年代际均为正距平, 分别为 0.02、0.93、1.81 和 0.48。2004—2013a 的距平绝对值明显大于其他年代际且为正距平, 说明 1984—2013a 极端最低气温的升高是

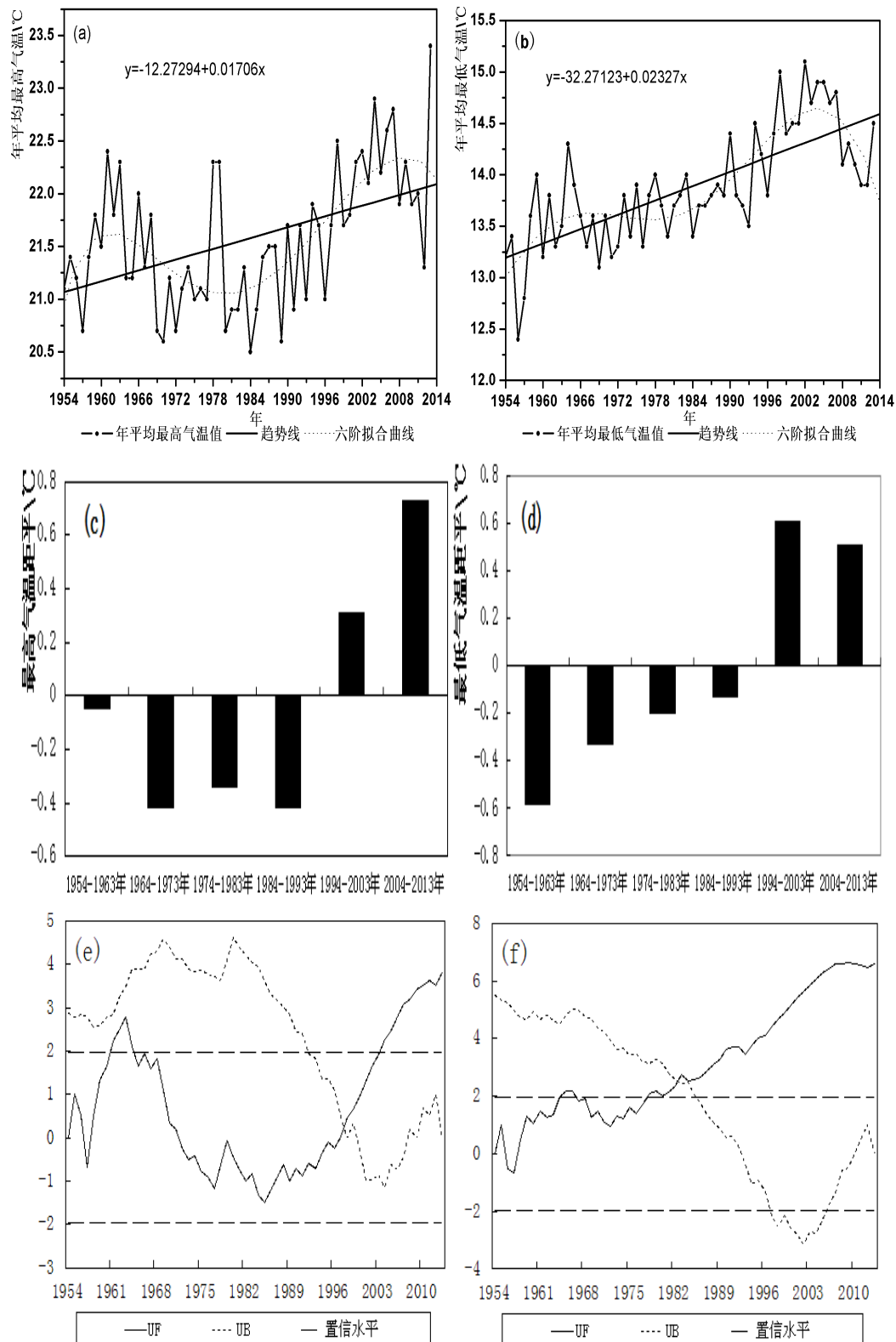


图2 1954—2013a 黄石市年平均最高(a)最低(b)气温时间序列、最高(c)最低(d)气温年代际距平、最高(e)最低(f)气温 M-K 突变检验、最高(g)最低(h)气温小波分析

造成近 60a 极端最低气温显著升高的主要原因。

采用标准 Morlet 小波变换, 对 1954—2013a 黄石市年极端最高气温和极端最低气温的周期性特征

进行分析发现(图 3e 和图 3f), 年极端最高气温值有 3a 和 12a 的变化信号存在, 年极端最低气温值有 3a 的变化信号始终存在, 60 年代初到 80 年代初有 18a

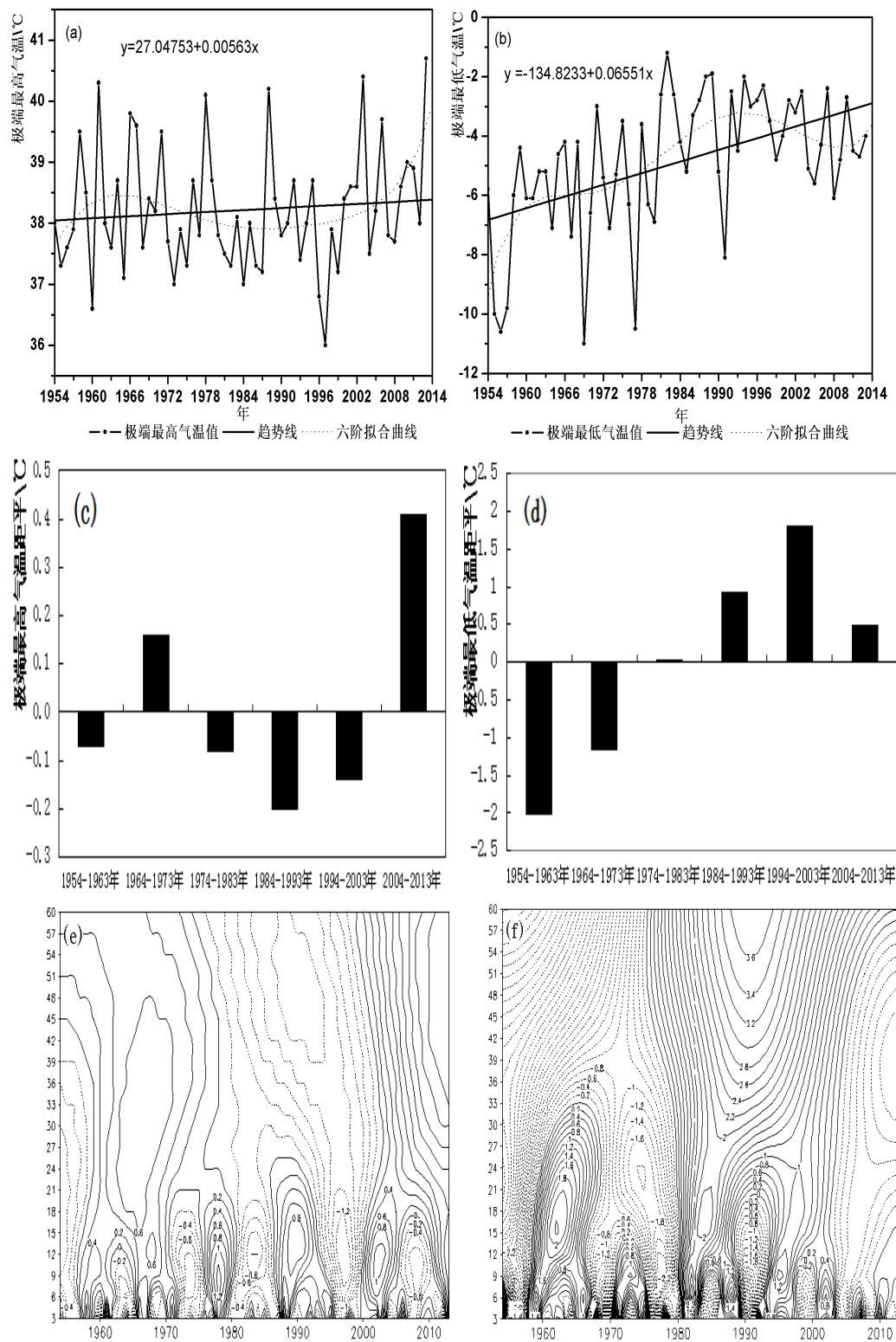


图3 1954–2013年黄石市极端最高(a)最低(b)气温时间序列、极端最高(c)最低(d)气温年代际距平、极端最高(e)最低(f)气温小波分析

的变化信号存在。

3.4 最大日较差年际变化

从对图4(a)的分析可知,1954–2013年黄石市年最大日较差呈波动下降的趋势,但不显著,下降速

率为 $0.16^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,年最大日较差平均值为 16.7°C ,最高值为 21.8°C (1964年),最低值为 14.5°C (1995年),标准差 STDEV 为 1.6。

最大日较差年代际距平分析的结果表明(图

4b), 1974–2003 年的三个年代际均为负距平, 分别为 -0.44 、 -0.85 和 -0.73 , 1954–1973 年和 2004–2013 年三个年代际均为正距平, 分别为 1.08 、 0.42 、 0.62 。采用标准 Morlet 小波变换, 对 1954–2013 年黄石市年最大日较差的周期性特征进行分析发现 (图 4c), 近 60 年黄石市年最大日较差有 3a 和 9a 的变化信号始终存在。结合前面的分析可知, 平均最低气温的上升速度明显大于平均最高气温的上升速度。极端最低气温的上升速度明显大于极端最高气温的上升速度, 这造成了气温日较差的不断减小。

3.5 界限气温日数年际变化

3.1–3.4 分析了年平均气温、平均最高气温和平均最低气温以及极端最高气温和极端最低气温的变化规律和特征, 但是这些变化到底是哪个气温区间发生变化而引起的? 气温的变化存在什么样的内在特征? 为了解决上述问题, 则需要对界限气温日数的年际变化进行研究。年界限气温日数是指在一年中最高或最低气温 t 出现在 $t < 0^{\circ}\text{C}$ 、 $0 \leq t < 10^{\circ}\text{C}$ 、 $10 \leq t < 20^{\circ}\text{C}$ 、 $20 \leq t < 30^{\circ}\text{C}$ 、 $t \geq 30^{\circ}\text{C}$ 区域内的日数, 当气温超过 37°C 时, 就超过了人体的正常体温, 对人民的生产和生活产生重大的影响, 而且气温达到了 37°C 也是发布高温橙色预警信号的标准, 故对 $t \geq 30^{\circ}\text{C}$ 的高温日数分为 $30 \leq t < 37^{\circ}\text{C}$ 和 $t \geq 37^{\circ}\text{C}$ 两段来研究。

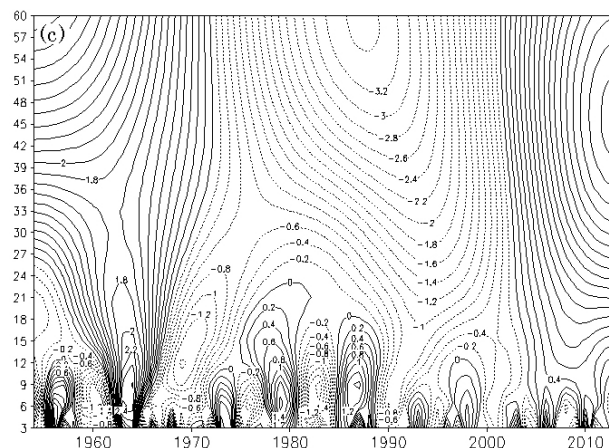
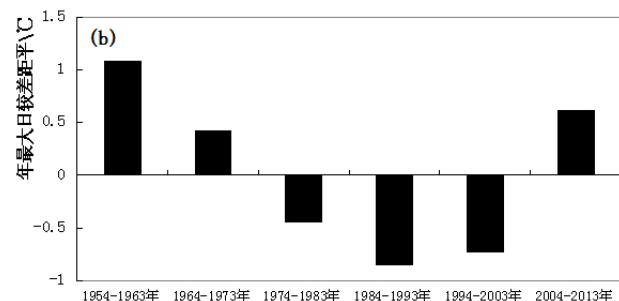
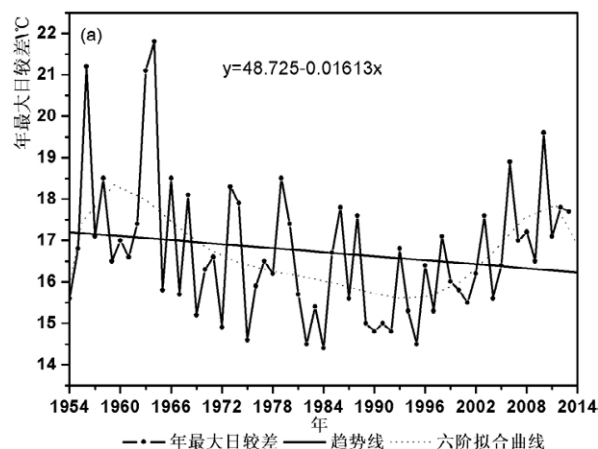


图 4 1954–2013 年黄石市年最大日较差时间序列 (a)、年代际距平 (b) 和小波分析 (c)

通过对图 5 的综合分析可知, 1954–2013 年, 最低气温 $T < 0^{\circ}\text{C}$ 的天数最多为 47 天 (1956 年), 最少为 6 天 (1990 年和 2007 年), 年际差异较大, 最高气温 $T < 0^{\circ}\text{C}$ 的天数最多为 10 天 (1955 年), 最少为 0 天 (多年); 最低气温 $30^{\circ}\text{C} \leq T$ 的天数最多为 7 天 (2003 年), 最少为 0 天 (多年), 最高气温 $37^{\circ}\text{C} \leq T$ 的天数最多为 26 天 (2013 年), 最少为 0 天 (1960、1996 和 1997 年), 年际差异较大。

结合表 1 综合分析可知, 对于 T (最高气温), $T < 20^{\circ}\text{C}$ 的日数呈减少的趋势, $T \geq 20^{\circ}\text{C}$ 的日数呈增加的趋势, 其中 $T < 0^{\circ}\text{C}$ 和 $10 \leq T < 20^{\circ}\text{C}$ 的日数呈显著减少的趋势, $20 \leq T < 30^{\circ}\text{C}$ 和 $37^{\circ}\text{C} \leq T$ 的日数呈显著增加的趋势; 对于 T (最低气温), $T < 10^{\circ}\text{C}$ 的日数呈减少的趋势, $T \geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数呈增加的趋势, 其中 $T < 0^{\circ}\text{C}$ 的日数呈显著减少的趋势, $20^{\circ}\text{C} \leq T$ 的日数呈显著增加的趋势。

从以上的分析可知, 近 60 年黄石市气温 (年平均气温、年最高、最低气温、极端最高、最低气温) 的显著升高, 与最高气温出现在 20°C 以上的天数增加和出现在 20°C 以下的天数减少有关, 与最低气温出现在 10°C 以上的天数增加和出现在 10°C 以下的天数减少有关, 其中 $T < 0^{\circ}\text{C}$ 的高温日数和低温日数的显著减少以及 $20 \leq T < 30^{\circ}\text{C}$ 的低温日数的显著增加贡献最大。

4 结论与讨论

在全球气候变暖的背景下, 近 60 年黄石市的气温极值也发生了显著的变化, 本文采用趋势分析、相关分析、M-K 突变检验和小波分析等方法, 对黄石市近 60 年气温极值变化特征进行了分析, 结果表明:

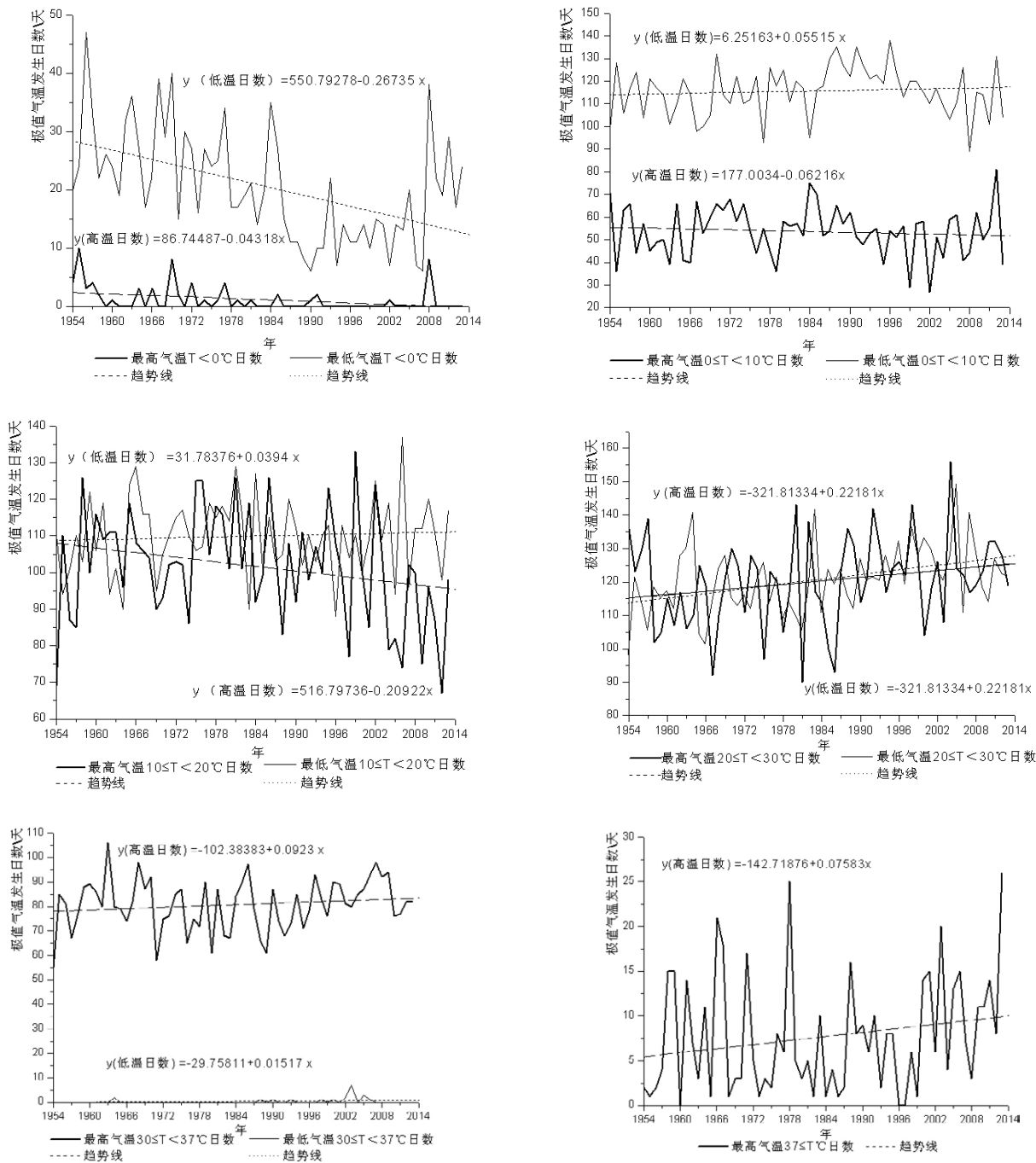


图 5 最高气温、最低气温在不同界限温度日数的分布特征

表 1 不同界限气温日数线性变化趋势显著性检验(相关系数)

	$T < 0$	$0 \leq T < 10$	$10 \leq T < 20$	$20 \leq T < 30$	$30 \leq T < 37$	$37 \leq T$
T(最高气温)	-0.35**	-0.10	-0.24*	0.23*	0.15	0.22*
T(最低气温)	-0.49**	-0.09	0.07	0.41**	0.25*	

**表示通过了 99.9%的信度检验,*表示通过了 99.5%的信度检验

(1)1954–2013 黄石市年平均气温、平均最高气温和平均最低气温呈波动上升的趋势,其中年平均

气温和平均最低气温上升趋势显著,对于近 60 年黄石市年平均气温的升高,年平均最低气温的贡献是主要的;三者均有 3a 的变化信号存在,其中年平均最高气温和年平均最低气温在 60–80 年代有 18a 的变化信号存在。

(2)近 60 年黄石市极端最高气温和极端最低气温均呈波动上升的趋势,其中极端最低气温上升趋势显著,其数据

下转第 95 页

平均值作为参考值,以图表的形式,跟本站当月的数据进行比对,发现相差较大时,就要分析原因,当作可疑数据处理。也可以研发一些专门的审核工具,挑出疑误信息、减少误审,以确保观测资料的准确性、连续性和代表性。

参考文献

- [1] 张雪梅,王道田,王一二等.剖析自动站各层低温的垂直变化[J].气象研究与应用,2011,32(4):69-71.
- [2] 李静锋,赵艳玲,黄小雯.自动气象站地温线路老化引起数据异常故障判断分析[J].气象研究与应用,2013,34(3):75-77.
- [3] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003.87-89.
- [4] 黄丽超,张桂华.自动气象站地温常见故障及处理[J].气象研究与应用,2012,33(S2):111-112.

- [5] 林堃儒,陈小燕,甘昭芳.自动站数据维护和一次处理之浅析[J].气象研究与应用,2011,32(2):49-51.
- [6] 程爱珍,王超球,许嘉玲.地温异常数据原因分析及处理方法[J].气象研究与应用,2013,34(4):61-66.
- [7] 张桂华,刘金燕,李忠党.一次自动站地温数据异常的原因分析及处理[J].气象研究与应用,2014,35(2):75-77.
- [8] 南庆红,桑修诚,黄增林.一种深层地温的推算方法[J].应用气象学报,1995,6(1):83-85.
- [9] 何振文,陈文燕,赖文惠.自动气象站地温传感器故障成因及排除[J].广东气象,2011,33(2):65-66.
- [10] 中国气象局监测网络司.气象仪器和观测方法指南[M].北京:气象出版社,2005.121.
- [11] 刘文杰,杨永兴,陈林.自动气象站保障与维护经验体会[J].气象研究与应用,2011,32(1):89-90.

(上接第92页)

分布较分散,波动幅度大,其中1984-2013年极端最低气温的升高是造成近60年极端最低气温显著升高的主要原因;年极端最高气温和年极端最低气温均有3a的变化信号存在,此外年极端最高气温还有12a的变化信号存在,年极端最低气温在60年代初到80年代初有18a的变化信号存在。

(3)近60年黄石市年最大日较差呈波动下降的趋势,但不显著,平均最低气温的上升速度明显大于平均最高气温的上升速度,极端最低气温的上升速度明显大于极端最高气温的上升速度,这造成了气温日较差的不断减小。

(4)近60年黄石市气温(年平均气温、年最高、最低气温、极端最高、最低气温)的显著升高,与最高气温出现在20℃以上的天数增加和出现在20℃以下的天数减少有关,与最低气温出现在10℃以上的天数增加和出现在10℃以下的天数减少有关,其中 $T < 0^{\circ}\text{C}$ 的高温日数和低温日数的显著减少以及 $20 \leq T < 30^{\circ}\text{C}$ 的低温日数的显著增加贡献最大。

参考文献

- [1] 第二次气候变化国家评估报告[M].北京:科学出版社,2011:38.
- [2] 卢雪勤,汪强,黄荟,等.广西百色市近60年气温变化特征研究[J].气象研究与应用,2012,33(2):34-39.

- [3] 郝立生,张婧,姚学祥.河北省极值气温变化特征[J].气象,2010,36(8):26-31.
- [4] 贲维芬.龙胜县近50年气候变化特征分析[J].气象研究与应用,2012,33(3):34-37.
- [5] 任广成,沈爱华,令聪靖.华南盛夏气温异常成因及预测研究[J].气象研究与应用,2011,32(1):3133.
- [6] 刘正洪,黄诚,程向东,等.启动近半个世纪气温变化特征分析[J].气象研究与应用,2012,33(1):39-41.
- [7] 利赛明,陈静林.近49年珠海气温变化及城市化影响初探[J].气象研究与应用,2014,35(2):40-45.
- [8] 史军,丁一汇,崔林丽.华东极端高温气候特征及成因分析[J].大气科学,2009.33(2):347-358.
- [9] 凌颖,黄海洪.南宁市城市热岛效应特征分析[J].气象研究与应用,2003,24(3):25-26.
- [10] 郑祚芳,陈家华,祁文.湖北省近50年气候变化特征分析[J].气象科学,2002,22(3):279-286.
- [11] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2010:58-78.
- [12] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].气象出版社,2007:18-19.
- [13] 尤卫红.气候变化的多尺度诊断分析和预测的多种技术方法研究[M].北京:气象出版社,1998,9-20.
- [14] 秦大河,陈振林,罗勇.气候变化科学的最新认知[J].气候变化研究进展,2007,3(2):63-73.
- [15] 任国玉,徐铭志.近54年中国气温的变化[J].气候与环境研究,2005,10(4):717-727.