第28卷 第4期 气象科学 Vol. 28, No. 4
2008年8月 SCIENTIA METEOROLOGICA SINICA Aug., 2008

樊高峰,苗长明.用小波分析方法诊断杭州近50 a夏季气温变化.气象科学,2008,28(4):431-434

用小波分析方法诊断杭州近50 a夏季气温变化

樊高峰[1] 苗长明[2]
(1 浙江省气候中心,杭州 310017)(2 浙江省气象局,杭州 310002)

摘 要 应用小波分析方法对杭州市1951年以来的夏季气温进行分析,发现杭州夏季平均气温发生过4次转折,每次年代际转换中都伴随着年际剧烈振荡。1978—1981年是一次大幅度转折点,随后气温剧烈振荡的发生频率明显增多,强度增大。随着全球气候变化杭州夏季平均气温周期多变,不稳定性增加。

关键词 杭州 夏季 气温 小波分析
分类号 P423.32 **文献标识码** A

Diagnostic study of summer temperature variation in Hangzhou during the last 50 a using wavelet analysis

Fan Gaofeng[1] **Miao Changming**[2]
(1 *Zhejiang Climate Center*, *Hangzhou* 310017) (2 *Zhejiang Meteorological Bureau*, *Hangzhou* 310002)

Abstract The wavelet translation method has been used to analyze the temperature changing trend of Hangzhou in summer since 1951. the results show that there exist four shifts in the trend. Every shift tends to accompany with the summer temperature violent surge. There is an obvious shift in 1978—1981 and there are more violent surge since 1980s. By reason of global climatic change, the temperature changing cycle will be more fickle, the changing trend will be more instable.

Key words Hangzhou Summer Temperature Wavelet analysis

引 言

近些年来,全球一直在关注气候变暖的趋势,气候变化及其对生态环境的影响,已引起各国政府的重视[1-4]。有关科学家指出,近几十年来,全球环境变化的速率和强度人类历史上少见[5]。国内研究指出,我国气候变暖明显的季节在冬季,明显地区在北方,长江以南的夏季气温呈下降趋势[6]。但随着全球气候变化的加剧,长江以南夏季气温表现出了新的变化特征。

地处我国东部沿海的杭州,其气温变化受大范围气候变化背景的影响,但也有局地性的变化特点。近几年,随着经济发展出现了能源紧张的问题,尤其夏季异常高温引起供电的严重紧张,影响了经济的发展和居民的生活,夏季高温成为大家关注的一个热点问题。作者通过对夏季气温变化的研究,揭示杭州夏季气温变化特点和规律,不仅对杭州生态保护,能源建设提供参考,也希望对东部其他城市有一定借鉴意义。

1 杭州夏季气温的近50 a变化

我国东南沿海地区在7月、8月受副热带高压的控制,为高温天气阶段,因此本文用这两个月平均气温代表夏季气温。

图1为1951—2004年杭州夏季气温历年变化,波动明显,标准差为0.97 ℃。平均气温最低出现在1980年(26.3 ℃),最高出现在1953年(30.7 ℃),两者相差达4.4 ℃。用气温异常的标准判断(判断

收稿日期:2006-09-16;**修改稿日期**:2007-05-16
基金项目:浙江省科技厅重点科研社会发展项目(2005C23050)
第一作者简介:樊高峰(1973-),男,山西临猗,硕士生,主要从事气候诊断预测研究

标准为平均气温距平的绝对值大于两倍的标准差），异常偏高的年份为1953、1994、2003年，异常偏低年份为1980年。

图1反映杭州夏季气温年代际变化比较明显，从1950s开始气温处于偏暖期，并逐渐升高，1960s前期达最高，然后开始下降，在1960s末偏暖期结束，到1980s初降到最低点，之后气温又逐渐上升且年际振荡加剧，到1990s中期偏冷期结束，目前处于偏暖阶段。

丁一汇[6]曾指出，在全球气候变暖的趋势下，长江以南的增温并不明显，尤其是夏季气温呈下降趋势。杭州夏季气温从1951年以来总体线性变化特点为近于稳定的弱降温趋势，其中在1980s以前降温变化趋势明显，之后表现出了在剧烈振荡起伏的变化中逐渐升高的趋势。

2 杭州夏季平均气温的转折

用Maxhat小波和Haar小波对杭州夏季平均气温距平进行小波变换，以通过多尺度分析探讨杭州夏季平均气温50多年的变化规律。用不同时间尺度的小波变换分析可以得出不同的结果，一方面结果的离散性体现了气候转折本身是针对不同时间尺度而言的，另一方面通过它们的相对集中性能够反映出转折的真实状况。本研究的时间尺度取 $s=8$、16、32 a，分别得到Maxhat小波和Haar小波各尺度的变换曲线（图2，图3）。

2.1 Maxhat小波的分析结果

Maxhat小波变换曲线比较平滑，小波变换曲线的零值点就是在这个时间尺度下的可能转折点（图2）。从图2首先关注一下 $s=32$ 变换，这条曲线一直是向下倾斜，在1981年有一个明显的自上而下的穿零点，也就是 $s=32$ 这个尺度上，在这两年左右夏季气温有一个转折，在这之前温度偏高，在这之后温度偏低。从这条变换曲线上还可明显看出夏季气温的缓慢下降的趋势，与丁一汇等[7-8]。

$s=8$ 和 $s=16$ 这2条变换曲线没有反映1981年的大尺度转折，两条曲线在1964年以前的差异较大，1964年以后有基本相同的变化轨迹。$s=8$ 变换曲线有3个过零点（1955—1956、1971—1972、1994—1995年），而 $s=16$ 曲线有2个过零点（1967—1968、1993—1994年）。1955—1956年转折点只有 $s=8$ 曲线有反映；1967—1972年两条曲线先后过零点；1993—1994年是2条曲线的集中转折点。三个转折点中第一个时段是夏季气温从偏低向偏高转变，第二个时段是从偏高向偏低转变，第三个时段是从偏低向偏高转变。

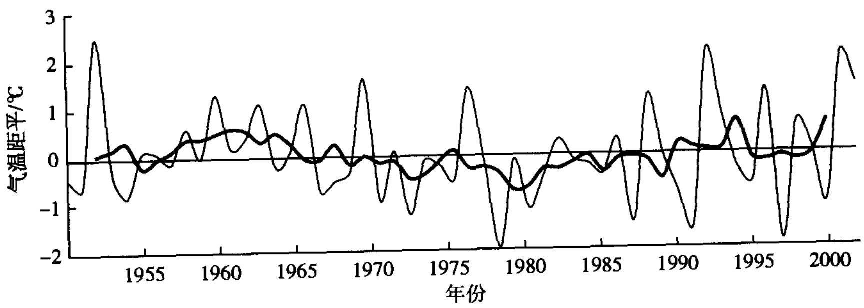

图1 杭州夏季平均气温距平历年变化（黑粗线为5年滑动平均）
Fig.1 Yearly variation of summer average temperature's departure

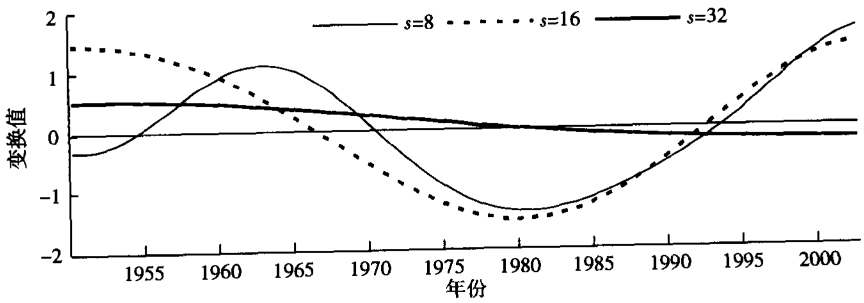

图2 不同放大因子下Maxhat小波分析结果
Fig.2 The results of the Maxhat wavelet analyses with different amplification factors

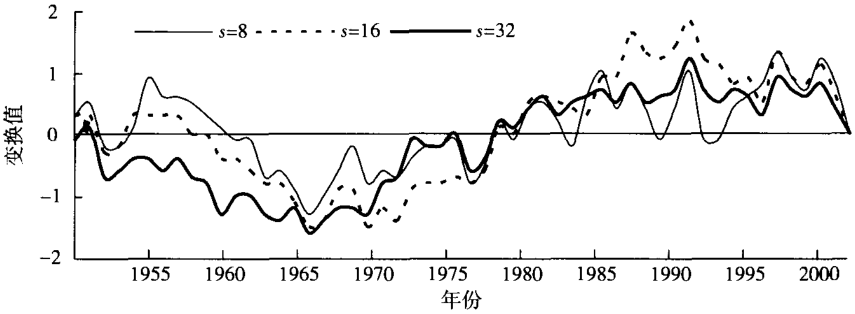

图3　不同放大因子下 Haar 小波分析结果

Fig. 3　The results of the Haar wavelet with different amplification factors

表1　Maxhat 小波与 Haar 小波转折点检测结果比较

Table 1　Comparison of test results for Maxhat and Haar wavelets' inflection points

模型	s	1	2	3	4	5	6
Maxhat 小波	8		1955—1956	1971—1972		1994—1995	
	16			1967—1968		1993—1994	
	32				1981—1982		
Haar 小波	8	1953—1954	1956	1967	1978	1993	1999
	16		1955—1958	1967		1993	
	32			1967		1993	

2.2　Haar 小波的分析结果

Haar 小波变换曲线的峰谷点为相应时间尺度下的可能转折点,但由于其波动较多,需要综合考虑曲线的连续性和极值点的绝对值大小确定其可信度(图3)。虽然小波的变换曲线不是很平滑,但三条曲线的峰谷点对应比较一致。$s=32$ 变换曲线是一个正弦波形,有2个显著的可能转折点,1967年为负极值点,1993年为正极值点;$s=16$ 变换曲线也有2个相同的显著极值点(1967、1993年),同时在1955—1958年间还有一次弱的正峰;$s=8$ 变换曲线有3个显著极值点(1956、1967、1999年),同时在1953—1954、1978、1993年等还出现了若干小幅振动的峰谷值。

2.3　杭州夏季气温的转折

各小波函数的性质和特点各不相同,对转折点的检测也有差异,表1给出了 Maxhat 小波变换和 Haar 小波变换检测出的主要转折点。从表中可以看出,Haar 小波检测出的转折点基本与 Maxhat 小波的检测结果基本同步,说明两种小波对转折点的诊断结果具有一定的可比性。

综合两种小波多尺度分析结果,杭州夏季气温在1951—2004年间发生过4次转折:1956—1957年、1967—1968年、1978—1982年、1993—1994年。

对照杭州夏季气温变化(图1),可以发现这些检测出的转折点较好地反映了实际情况:1956—1957年夏季气温从连续几年的负距平转入正距平阶段;1968年比1967年急剧降温1.8 ℃,并转向负距平阶段,且年际变化振幅加大;1978年在负距平期内突然升温1.9 ℃,之后连续两年大幅降温,1980年温度降至历史最低值;1992—1993年出现连续降温,1994年发生了一次突然升温达3.6 ℃的急剧跃变,形成第二最高点,转向正距平阶段。

由此可见,杭州夏季气温的4次转折既反映显著的年际短期剧烈振荡,也揭示出了年代际长期转折的存在,每次年代际长期转折的转换中都伴随着年际剧烈振荡。其中,1978—1981年的转折是一次长周期、大幅度变化,与北半球气候趋势变化同步,随后杭州夏季气温转换的发生强度增大。

3　杭州夏季气温的变化趋势

图4是1951—2004年杭州夏季平均气温 Haar 小波变换图,反映了其变化的多尺度层次结构。

(1)在各时间尺度层次上,1978—1981年降温到升温的转换完全一致,表明这次转折是系统性的趋势转换,对杭州夏季平均气温的总体发展具有重要的主导作用。

(2)在 $s=32$、64 a的大尺度下,杭州夏季平均气温表现了显著的周期变化特征。1979—1980年是

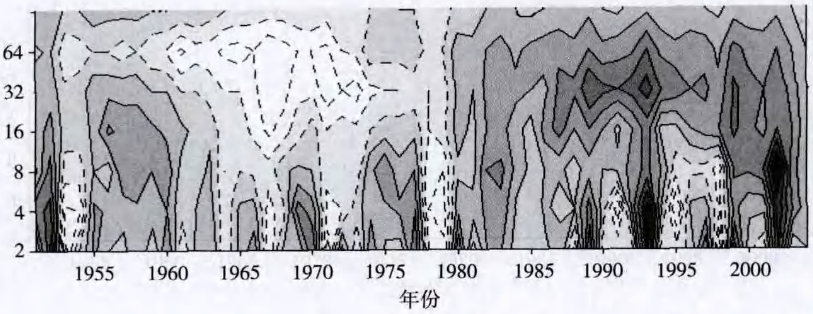

图 4 杭州夏季平均气温距平 Haar 小波变换(图中虚线并且淡颜色表示负,实线并且深颜色表示正)
Fig. 4 Haar wavelet analysis on average temperature departure in summer in Hangzhou

长周期转换点:1979 年之前为降温过程,1967 年降温(负)中心,1964 年和 1971 年有两个次中心;1980 年之后为升温过程,1993 年是升温(正)中心,1989 年和 1999 年有两个次中心。

(3)在 $s=16$ a的中长尺度下,总体上与大尺度分析的趋势一致,具有相同的波型和极值点,但 1956 年有一个明显的正中心,1980 年以后变化比较紊乱,可见杭州夏季平均气温的中尺度周期性不显著。

(4)在 $s=2$、4、8 a的小尺度下,杭州夏季平均气温短期振荡特征也比较明显,并且从 1955 年以后变化强度(中心绝对值)日益增大、变化幅度(尺度范围)跨度增加,1980 年以后以后更显著。证明随着全球气候变化杭州夏季平均气温周期多变,振荡更加剧烈,不稳定性增加。

4 结 语

(1)杭州夏季平均气温年代际变化比较明显,1950 s初到1960 s末处于偏暖期,1970 s初到1990 s中期为偏冷阶段,之后到目前处于偏暖阶段。总体上存在极弱的下降趋势,但从1980 s初以后,表现出在剧烈年际振荡起伏的变化中逐渐升高的趋势。

(2)杭州夏季平均气温在 1951—2004 年间发生过 4 次转折:1956—1957 年、1967—1968 年、1978—1981 年、1993—1994 年。这些转折揭示出了年代际长期转换的存在,每次年代际长期转换中都伴随着年际剧烈振荡。

(3)杭州夏季平均气温在 1978—1981 年发生了大幅度转换,随后杭州夏季气温剧烈振荡频率明显增多、强度增大。这次转变与北半球气候转换同步,既是一次长周期转换,也有短期剧烈振荡发生。

(4)随着全球气候变化杭州夏季平均气温周期多变,振荡更加剧烈,不稳定性增加。

参 考 文 献

[1] 许吟隆. 中国21 世纪气候变化的情景模拟分析. 南京气象学院学报,2005,28(3):323-329.
[2] 郑广芬,陈晓广,孙银川,等. 宁夏气温、降水、蒸发对全球气候变暖的响应. 气象科学,2006,26(4):412-421.
[3] 曹楚,彭加毅,余锦华. 全球气候变暖背景下登陆我国台风特征的分析. 南京气象学院学报,2006,29(4):455-461.
[4] 姜爱军,项瑛,彭海燕,等. 近 40 年江苏省各区域气候变化分析. 气象科学,2006,26(5):525-529.
[5] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势. 气象,1990,6(2):11-15.
[6] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年温度变化. 气象,1994,20(12):19-26.
[7] 丁一汇,孙颖,徐影. 中国近 50 年和未来 50 年气候变化. //全国政协人口资源环境委员会,中国气象局编. 气候变化与生态环境研讨会文集. 北京:气象出版社,2004:52-57.
[8] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, Noguer M, van der Linden P J, Dai X, Maskell K, Johnson C A, eds. IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge, Cambridge University Press, U K, 2001.