

承德市近 58 年气温和降水序列多时间尺度分析

张月丛¹, 张才玉², 成福伟¹, 孟宪峰¹, 杨依天³

(1. 河北民族师范学院, 河北 承德 067000;

2. 北京大学 城市与环境学院, 北京 100871; 3. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:利用墨西哥帽小波(Mexican Hat)函数对承德市 1951—2008 年共 696 个月的气温和降水数据进行多尺度分析,确定序列中存在的主周期,并用 Mann—Kendall 法进行检验。结果表明:承德市气候总体变化特征为小尺度变化嵌套在较大尺度的复杂背景之中,气温序列数据表现出 14 a、6 a 和 2 a 左右变化周期,14 a 左右为变化主周期。降水序列数据表现出 10~12 a、4 a 和 1 a 左右周期,4 a 左右为变化主周期。气温序列 14 a 主周期反应冷暖交替的情况,21 世纪以前在多尺度波动的背景下,气温呈现上升的总趋势。降水序列 4 a 尺度主周期反应干湿交替的情况,表明多雨年份明显减少,且当前降水仍然偏少。

关键词:小波分析; 气温; 降水; 尺度效应; 承德市

中图分类号:P332.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0070-04

Multi-Time Scale Analysis of Temperature and Precipitation in Recent 58 Years in Chengde City

ZHANG Yue-cong¹, ZHANG Cai-yu², CHENG Fu-wei¹, MENG Xian-feng¹, YANG Yi-tian³

(1. Hebei Normal University for Nationalities, Chengde, Hebei 067000, China;

2. College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 3. Institute of

Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: By using Mexican Hat Wavelet to analyze the multi-scale characteristics of the temperature and precipitation data for 696 months during 1951—2008 to determine the main cycle in the sequences and test by the Mann-Kendall method, the conclusion has been drawn that the overall climate feature in Chengde was that small scale change was embedded in the large-scale complex background. Temperature sequence data showed the general cycle was 14 a, 6 a and 2 a, and 14 a was the main cycle. Precipitation sequence data revealed the general cycle was the 11 a, 4 a and 1 a, and 4 a was the main cycle. The main cycle 14 a of the temperature sequence showed the state of alternation of cold and warm and the overall trend of temperature rise in the multi-scale background before 21 century. The main cycle 4 a of the precipitation sequence showed the alternation of wetness and drought, and the sharp reduction of rainy years and less precipitation.

Key words: wavelet analysis; temperature; precipitation; scale effect; Chengde City

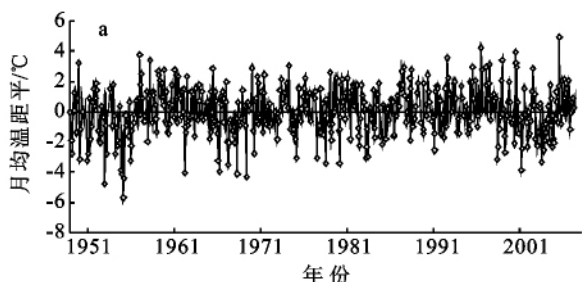
气候作为人类赖以生存的自然环境的重要组成部分,它的任何变化都会对自然生态系统以及社会经济系统产生深远的影响^[1-2]。气候学家从气候资料分析发现,近百余年来全球平均气温呈上升趋势,平均增加约 0.5℃,北半球气温上升趋势更加明显,增温达 1℃以上^[3],而 20 世纪 80 年代以来,增温最为迅速,统计学上达到了突变程度^[4-6]。气候变化给全球的自然生态系统以及社会经济系统造成的影响是持

续、多方面和多层次的^[7],因此,全球气候变化研究备受关注,同时,区域性气候变化也已经引起人们的普遍重视^[8-11]。承德市位于河北省东北部,属暖温带向亚寒带过渡地带,半湿润半干旱大陆性季风型气候,生态环境较为脆弱。作为京津冀地区重要的水源供应地及其环境卫士^[12],气候变化不仅给本区域自然生态系统、社会经济系统造成影响,也影响到环首都大经济圈的发展。为研究在全球气候变化大背景下

承德市气候要素如何响应,本文采用墨西哥帽小波(Mexican Hat Function)函数对承德市1951—2008年逐月气温和降水序列数据进行分析,得到承德市近58 a来气温和降水在不同时间尺度上的变化特征,运用小波方差图确定主要振荡周期,并用Mann—Kendall(MK)方法进行验证。基于分析的结果,对未来一段时间内气温、降水演变的趋势做出预测。

1 数据与方法

本文选用承德市1951年1月—2008年12月气温和降水数据,数据来自国家气象局气候资料中心和承德市气象局。其中气温数据共696个(12月×58 a),降水数据696个(12月×58 a),数据总样本数



1 392个。为消除月份变化的影响,首先对气温、降水序列进行距平,以去除年周期的趋势影响。以逐月气温序列距平为纵坐标、以时间为横坐标作图(图1a)。从图1a可知,月气温距平20世纪60年代初期(1960—1962年)和20世纪90年代末期(1996—1998年)较高。在20世纪50年代中期(1954—1956年),20世纪60年代末期(1966—1969年)及21世纪初期(2002—2005年)较低。

以逐月降水序列距平为纵坐标、以时间为横坐标作图(图1b)。从图1b可知,对于降水变化序列波动幅度没有明显变化,且1958年以后正距平出现次数明显低于负距平累计出现次数,说明1958年后降雨量存在减小的趋势。

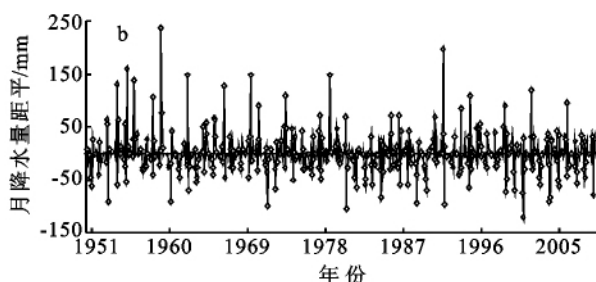


图1 承德市1951—2008年逐月气温和降水序列数据距平

选用墨西哥帽(Mexican Hat)为基本小波,进行连续小波变换。提取不同尺度的小波系数并作图,以时间序列(a)为横轴,实际尺度(以月为单位)为纵轴,作小波系数分布图。利用小波变换分别计算不同尺度下气温、降水的小波方差。用Mann—Kendall法对小波分析结果进行检验。

2 结果与分析

2.1 逐月气温序列的小波分析

2.1.1 逐月气温序列的小波分析 图2是承德市1951—2008年逐月气温距平墨西哥帽(Mexican Hat)小波变换的小波系数图。图的上半部分为低频,对应较长尺度周期的振动;下半部分为高频,对应较短尺度周期的振动。

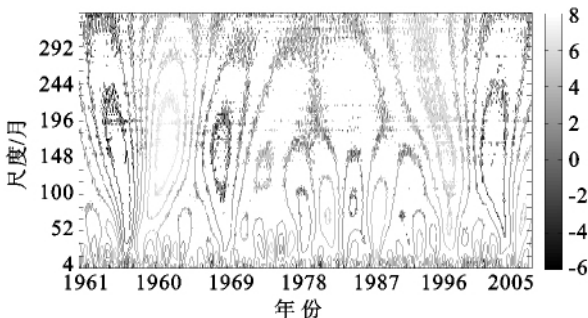


图2 承德市1951—2008年逐月气温序列数据小波系数
在图2上部,年代际尺度(10 a以上尺度)有1个

最明显的高值中心出现在20世纪60年代初期(1960—1962年),有1个次高值中心出现在20世纪90年代(1996—1998年),有1个最明显的低值中心出现在20世纪50年代中期(1954—1956年),有2个次低值中心出现在20世纪60年代末期(1966—1969年)及21世纪初期(2002—2005年)。1970—1990年之间年代际尺度上并没有出现明显的高低值中心,波动变化不明显,气温处于相对较低水平。总体来看,承德市自1951年以来气温出现低—高—低—高—低的波动变化。最明显的波动变化出现在20世纪50年代到60年代。最后一个低值中心比较明显(可能与承德市气象观测站2001年迁址有关)且正在闭合中,表明承德市气温正在从气温下降的趋势向升高转变。在图2的下部,年际尺度(10年以下尺度)上振荡复杂多变,但2 a尺度和6 a尺度表现较为明显。2 a尺度上有3个高值中心(1955年、1975年、1989年,其中1975年高值中心最为显著),1个低值中心(1976年)。6 a尺度上有3个高值中心(1983年、1998和2007),3个低值中心(1956—1957年、1985—1986年以及2003—2004年,其中1956—1957年最为显著)。可见,高值中心均出现在20世纪80年代以后,20世纪50年代的低值中心最为明显,说明气温存在升高的趋势。

为了揭示气温变化的主周期,本研究进行了小波

方差分析。图 3 为 1951—2008 年气温距平系列小波方差图。纵坐标表示小波方差 (Wavelet variance), 横坐标表示时间尺度 (Scale)。由图 3 可见, 承德市气温序列的优势尺度表现的简单明显, 在 14 a (168 个月) 尺度上出现了主要的气温小波方差极大值, 说明承德市的气温变化的主周期为 14 a, 表现为年代际尺度。次一级的方差极值在尺度为 12 个月, 说明承德市气温变化次一级的周期为 1 a。年际尺度上以 1 a 为周期印证了承德市四季冷暖分明的气候特点。

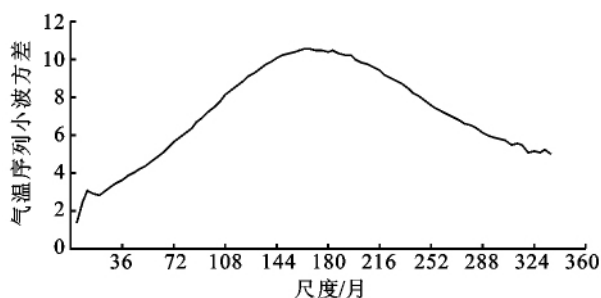


图 3 承德市 1951—2008 年逐月气温序列数据小波方差

2.1.2 气温序列数据 M—K 检验 由图 4 可见, M—K 对于主周期尺度小波系数检验结果的突变点一致。可以看出, 1958 年和 2000 年对应着气温序列数据的两个突变点, 承德市 1951—2008 年逐月气温序列数据小波系数图 1958 年位于最低值中心和 high 值中心的中间点, 即 1958 年对应着气温加速升高的突变点; 2000 年则对应着小波系数图中高值中心向低值中心转变的突变点。M—K 检验充分印证了小波分析的结论。

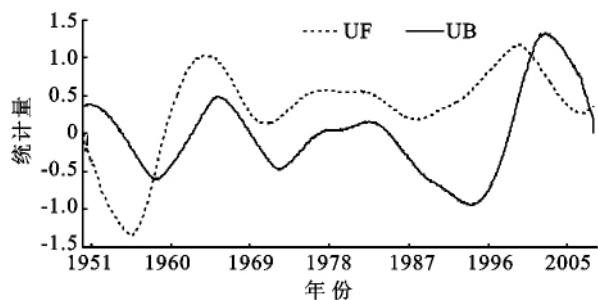


图 4 承德市 1951—2008 年逐月气温序列数据 168 个月尺度的小波系数 M—K 检验

2.2 逐月降水序列的小波分析

2.2.1 逐月降水序列的小波分析 图 5 是承德市 1951—2008 年逐月降水距平墨西哥帽 (Mexican Hat) 小波变换的小波系数图, 纵坐标表示实际尺度 (以月为单位), 横坐标表示相对时间 (以 1951 年为起始年份)。图 5 的上半部分为低频, 对应较长尺度周期的振动; 下半部分为高频, 对应较短尺度周期的振动。

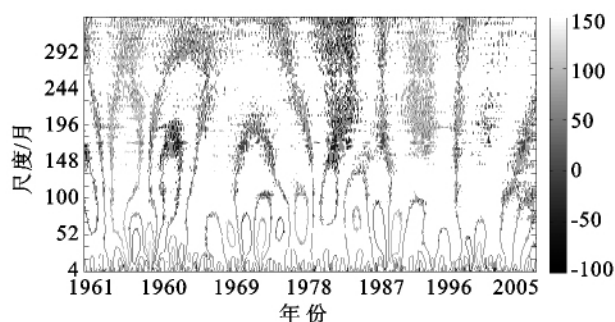


图 5 承德市 1951—2008 年逐月降水序列数据小波系数

在图 5 上部, 年代际尺度 (10 a 以上尺度) 有 1 个高值中心出现在 20 世纪 50 年代中期 (1954—1957 年), 有 3 个低值中心出现在 20 世纪 50 年代初期 (1951 年)、60 年代初期 (1960—1963 年) 和 80 年代初期 (1980—1982 年)。其他时段年代际尺度上并没有出现明显的高低值中心, 波动变化不明显。最明显的波动变化出现在 20 世纪 50 年代到 60 年代。相对于高值中心, 低值中心比较明显, 表明承德市过去的 50 a 内降水减少的趋势明显, 相对的降水增加的趋势并不明显。20 世纪 50 年代中期高值中心以及 20 世纪 70 年代没有出现明显的低值中心与中国降水变化状况基本吻合^[13]。在图 5 的下部, 年际尺度 (10 a 以下尺度) 上振荡复杂多变, 但 4 a 尺度表现较为明显。4 a 尺度上有 1 个高值中心 (1959 年), 5 个低值中心 (1957 年、1960—1961 年、1971 年、1988—1989 年和 2000 年)。可见, 20 世纪 60 年代以后承德市降水没有出现高值中心, 只有低值中心出现, 即降水呈减少趋势。与黄河流域降水 4~6 a 周期变化规律基本一致^[10]。

为了揭示降水变化的主周期, 本研究进行了小波方差分析。图 6 为 1951—2008 年降水距平系列小波方差图, 纵坐标表示小波方差 (Wavelet variance), 横坐标表示时间尺度 (Scale)。从图上可以清楚地看出, 尺度为 48 个月时降水小波方差出现主要的极大值, 表征承德市降水变化的主周期为 4 a。年代际尺度上并没有明显的变化周期。年际尺度上也存在一个次一级的变化周期, 为 1 a (12 个月), 这印证了承德市四季干湿分明的气候特点。

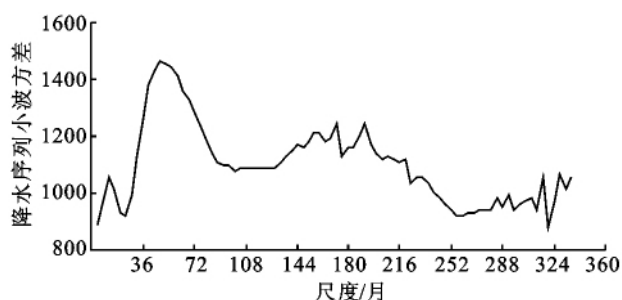


图 6 承德市 1951—2008 年逐月降水序列数据小波方差

2.2.2 降水序列数据 M—K 检验 由主周期尺度的小波系数 M—K 检验(图 7)可以看出,1952 年、1980 年、1987 年、1990 年、1997 年、1998 年、2000 年、2002 年、2005 年和 2007 年降水序列数据的多个突变点。对应着承德市 1951—2008 年逐月降水序列数据小波系数图在主周期 4 年尺度上高值、低值之间相互转换的主要中间突变点。

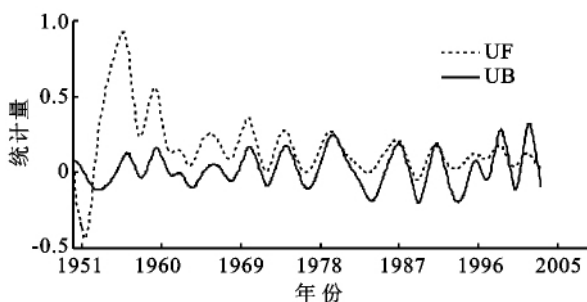


图 7 承德市 1951—2008 年逐月降水序列数据
48 个月尺度小波系数 MK 检验

3 结论

(1) 承德市气候总体变化特征为小尺度变化嵌套在较大尺度的复杂背景之中,气温序列数据表现出 14 a、6 a 和 2 a 左右变化周期,小波方差分析结果表明 14 a 左右为变化主周期,M—K 检验充分印证了小波分析的结论。降水序列数据表现出 10~12 a、4 a 和 1 a 左右周期,小波方差分析结果表明 4 a 左右为变化主周期,1 a 周期印证了承德市四季干湿分明的气候特点。

(2) 从气温序列数据变化 14 a 主周期看,气温为低—高—低—高—低的波动变化。最明显的波动变化出现在 20 世纪 50 年代到 60 年代,50 年代中期到 60 年代初期温度升高,60 年代初期到末期气温降低,之后保持气温上升状态。与 35°N 以北地区变化规律基本一致,在多尺度波动的背景下,21 世纪以前气温呈现上升的总趋势。

(3) 从降水序列数据变化 4 a 主周期看,存在 1 个高值中心(1959 年),5 个低值中心(1957 年、1960

—1961 年、1971 年、1988—1989 年和 2000 年)。可见,20 世纪 60 年代以后承德市降水没有出现高值中心,只有低值中心出现,即降水呈减少趋势。从主周期干湿交替的情况可以判断多雨年份明显减少,且当前降水仍然偏少。

参考文献:

- [1] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来温度变化[J]. 气象, 1994,20(12):19-26.
- [2] 范丽红,崔彦军,何清,等. 新疆石河子地区近 40 年来的气候变化特征分析[J]. 干旱区研究,2006,23(2):334-338.
- [3] Houghton J T. Climate Change 1995: The Science of Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press,1996.
- [4] 李玲萍,杨永龙,钱莉. 石羊河流域近 45 年气温和降水特征分析[J]. 干旱区研究,2008,25(5):706-710.
- [5] 李克让. 全球气候变化及其影响研究进展和未来展望[J]. 地理学报,1996,51(12):1-14.
- [6] 宋春英,延军平,刘路花. 黄河三角洲地区气候变化特征及其对气候生产力的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2011,25(7):106-111.
- [7] 陈克龙,李双成,周巧富. 江河源区达日县近 50 年气候变化的多尺度分析[J]. 地理研究,2007,26(5):526-532.
- [8] 李双成,赵志强,高江波. 基于空间小波变换的生态地理界线识别与定位[J]. 生态学报,2008,28(9):4313-4322.
- [9] 李小梅,沙晋明,连江龙. 基于小波变换的 NDVI 区域特征尺度[J]. 生态学报,2010,30(11):2864-2873.
- [10] 许月卿,李双成,蔡运龙. 基于小波分析的河北平原降水变化规律研究[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2004, 34(12):1176-1183.
- [11] 张月丛,李双成. 基于 EMD 的河北省耕地数量变化与社会经济因子多尺度关系分析[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(10):14-18.
- [12] 邵晓梅,许月卿,严昌荣. 黄河流域降水序列变化的小波分析[J]. 北京大学学报:自然科学版,2006,42(4): 503-509.
- [13] 王绍武. 近百年气候变率的诊断研究[J]. 气象学报, 1994,52(3):261-273.