

Wavelet Analysis of the Temperature and Precipitation Time Series in Xinyi during the Last 60 Years

Ziping Li, Chaosheng Guo, Laitian Zhang

Meteorological Bureau of Xinyi City, Maoming Guangdong
Email: 570558585@qq.com

Received: Jul. 29th, 2016; accepted: Aug. 15th, 2016; published: Aug. 18th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Based on the data of daily precipitation and air temperature observed during the past 60 years in the national basic meteorological station of Xinyi, the characteristics of precipitation and temperature change are analyzed by wavelet analysis. Analysis results show that: the annual precipitation in Xinyi is on the upward trend; the annual precipitation change period is 5 - 6 years, 10 years, 22 and 29 years; the temperature is rising; the temperature change period is 6 years, 14 years and 28 years, respectively. According to the period of the shock change period, Xinyi will be in a period of more precipitation and lower temperature in the future. This analysis provides a certain reference value for the prediction of climate change in Xinyi.

Keywords

Precipitation, Temperature, Change Characteristics, Wavelet Analysis

信宜近60年气温降水变化的多尺度分析

李子平, 郭潮升, 张来添

广东省信宜市气象局, 广东 茂名
Email: 570558585@qq.com

收稿日期: 2016年7月29日; 录用日期: 2016年8月15日; 发布日期: 2016年8月18日

摘要

统计信宜国家基本气象站近60年观测到的日降水和气温资料,通过小波分析年降水和气温变化特征。结果表明:信宜年降水量呈上升趋势,年降水变化震荡周期分别为5~6年,10年,22年和29年;气温呈上升趋势,气温变化周期分别为6年,14年和28年。根据震荡变化周期预测,信宜今后一段时间将处于降水偏多而气温偏低的时期。此统计分析对信宜气候变化预报预测分析提供一定的参考价值。

关键词

降水量, 气温, 变化特征, 小波分析

1. 引言

小波分析是一种时间-频率分析方法,在时、频域都能反映出信号的振幅、位相和功率的局部变化特征,近年来广泛应用于多尺度气候分析研究中,并取得了良好的效果。许多气象工作者对气候变化、降雨与气温的影响进行了一系列研究,许月卿等[1]基于小波分析方法研究了河北平原降水变化规律,揭示了河北平原降水变化的多时间尺度的复杂结构,分析了不同时间尺度下降水序列变化的周期和突变点,并根据主周期对未来降水变化进行预测;林振耀等[2]研究了青藏高原气温降水变化的时空特征,结果表明青藏高原地区气温与降水变化都表现出多个时间尺度的相对冷暖或多少交替特征;邵晓梅等[3]进行了黄河流域降水序列变化的小波分析研究,揭示了黄河流域降水变化的多时间尺度的复杂结构,分析了不同时间尺度下降水序列变化的周期和突变点,并确定了各序列中存在的主要周期;万明波等[4]进行了青藏铁路沿线气温和降水的小波分析研究,指出小波分析作为一种较强的局域分析方法,具有给出尺度和时间周期变化细微结构的能力,对气温、降水等要素值的周期性变化有较好的显示能力;匡正等[5]进行了华北降水时间序列资料的小波分析,在对华北地区降水100年资料的分析过程中,运用不同的时间尺度分别得到6~7年,21~22年和35~36年的时间周期规律。由以上学者的研究成果可以看出,小波分析在对气温、降水等离散时间序列的分析上具有广阔的前景。本文利用小波分析方法对信宜近60a来的降水、气温的年际变化规律及特征进行多时间尺度分析研究,找出其多尺度演变特征,更好地为中短期气候预测预报参考。

2. 研究方法

2.1. 小波函数

20世纪80年代初,由Morlet提出的一种具有时-频多分辨功能的小波分析(Wavelet Analysis)为更好的研究时间序列问题提供了可能,它能清晰的揭示出隐藏在时间序列中的多种变化周期,充分反映系统在不同时间尺度中的变化趋势,并能对系统未来发展趋势进行定性估计[6]。

小波分析的基本思想是用一簇小波函数系来表示或逼近某一信号或函数[7]。因此,小波函数是小波分析的关键,它是指具有震荡性、能够迅速衰减到零的一类函数,即小波函数 $\psi(t) \in L^2(R)$ 且满足:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (1)$$

式中, $\psi(t)$ 为基小波函数,它可通过尺度的伸缩和时间轴上的平移构成一簇函数系:

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \text{ 其中, } a, b \in R, a \neq 0 \quad (2)$$

式中, $\psi_{a,b}(t)$ 为子小波; a 为尺度因子, 反映小波的周期长度; b 为平移因子, 反应时间上的平移。

2.2. 小波变换

若 $\psi_{a,b}(t)$ 是由(2)式给出的子小波, 对于给定的能量有限信号 $f(t) \in L^2(R)$, 其连续小波变换 (Continue Wavelet Transform, 简称为 CWT) 为:

$$W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \int_R f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

式中, $W_f(a,b)$ 为小波变换系数; $f(t)$ 为一个信号或平方可积函数; a 为伸缩尺度; b 平移参数; $\bar{\psi}\left(\frac{x-b}{a}\right)$ 为 $\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$ 的复共轭函数。气象观测到的时间序列数据大多是离散的, 设函数 $f(k\Delta t)$, ($k=1,2,\dots,N; \Delta t$ 为取样间隔), 则式(3)的离散小波变换形式为:

$$W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \Delta t \sum_{k=1}^N f(k\Delta t) \bar{\psi}\left(\frac{k\Delta t-b}{a}\right) \quad (4)$$

由式(3)或(4)可知小波分析的基本原理, 即通过增加或减小伸缩尺度 a 来得到信号的低频或高频信息, 然后分析信号的概貌或细节, 实现对信号不同时间尺度和空间局部特征的分析。本文研究中, 主要的要由小波变换方程得到小波系数, 然后通过这些系数来分析时间序列的时频变化特征。

2.3. 小波方差

将小波系数的平方值在 b 域上积分, 就可得到小波方差, 即

$$Var(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(a,b)|^2 db \quad (5)$$

小波方差随尺度 a 的变化过程, 称为小波方差图。由式(5)可知, 它能反映信号波动的能量随尺度 a 的分布, 即反映时间序列中所包含的各种尺度(周期)的波动及其强弱(能量大小)随尺度变化的特性。因此, 通过小波方差图可确定信号中不同种尺度扰动的相对强度和存在的主要时间尺度, 即主周期[7]。

3. 降水及气温变化特征的小波分析

为分析信宜降水和气温的变化规律, 综合考虑时间序列的观测长度和地理位置, 选取信宜国家基本气象站 1954~2013 年共 60 年的日降水资料和日气温资料进行年代距平分析和小波变换。

3.1. 降水特征变化分析

经过计算得到信宜近 60 年的年均降水量约为 1777.6 mm。近 60 年年降水最小值发生在 1956 年, 为 1024.5 mm, 最大值发生在 1981 年, 为 2718.5 mm; 最大值与最小值相差 1694 mm, 从总体上看信宜的年降水量年际变化较为剧烈。

将信宜的年降水量在 matlab 中进行 Morlet 子波分析。

从信宜 1954~2013 降水年际变化趋势图(图 1)可见, 信宜年降水呈增加趋势, 且年降水的线性倾向增加幅度为 12.82 mm/10 a。图 2 为信宜年降水量小波系数实部, 图上清楚的显示了信宜近 60 年来降水在不同时间尺度上的周期振荡和突变特征。总的来看信宜年降水量周期变化存在着 5~6 年的小尺度、10 年左右的尺度度和 22 年、29 年左右的大尺度三个层次, 而且从图中可看出 22 年和 29 年左右时间尺度的周期变化在整个时段都有较强的信号。在 22 年尺度上, 1954 年到 2013 年降水量出现了: 多-少-多-少-多-少-多-少的准 4 次周期震荡, 在 29 年尺度上, 出现了: 多-少-多-少-多-少的准 3 次周期震荡。10 年左

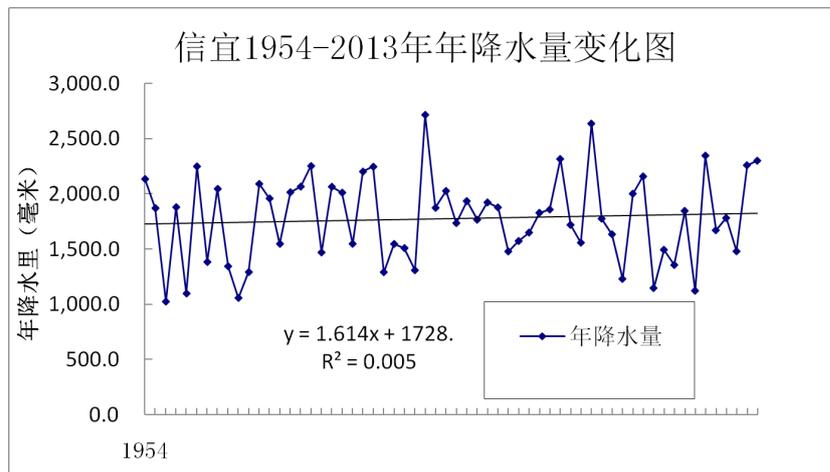


Figure 1. Annual precipitation variation in Xinyi from 1954 to 2013

图 1. 信宜 1954~2013 年年降水量变化图

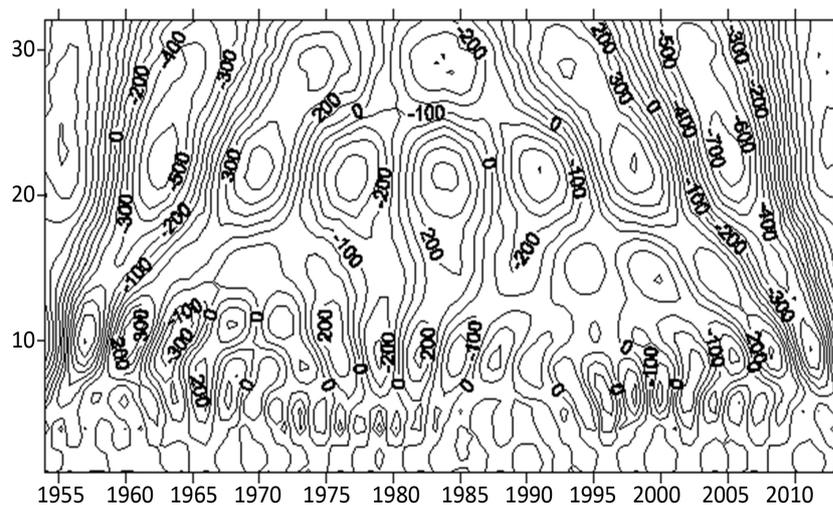


Figure 2. The real part of the wavelet coefficient of precipitation in Xinyi

图 2. 信宜年降水小波系数实部图

右尺度周期变化特征在 1954~1990 年和 2005~2013 年两个时段表现得较明显, 5~6 年尺度则在 1957~1983 年和 1995~2007 年两个时段表现得较明显。

综上所述, 信宜的年降水序列存在多时间周期尺度上的复杂嵌套结构, 小尺度的变化嵌套在较大尺度的变化下。

小波方差图能反映年降水时间序列的波动能量随尺度 a 的分布情况, 用来确定降水演化过程中存在的主周期(图 2)。

图 3 为信宜近 60 年年降水的小波方差图。从图上可以看出信宜的年降水的小波方差图有 3 个明显的峰值, 它们依次对应着 10 年、22 年和 29 年的时间尺度。其中, 最大峰值对应着 22 年时间尺度, 说明 22 年左右的周期震荡最强, 为信宜年降水变化的第一主周期; 29 年时间尺度对应着第二峰值, 为降水变化的第二主周期, 第三峰值对应着 10 年的时间尺度, 为降水变化的第三主周期。这说明上述 3 个周期的波动控制着区域降水在整个时间域内的变化特征。并且从主振荡周期上看, 信宜长期震荡降水偏多的等值线还未闭合, 说明在未来的一段时间里信宜将处于降水偏多的时期。

一般而言,不同的周期变化是由不同的机制产生的,降水量多时间层次结构的时间变化也可以说明不同的机制在不同的时期内作用强度不同,而且一种机制加强时另一种机制往往减弱,这可能就形成了降水量变化的非周期性和复杂性[8]。

3.1. 气温变化特征分析

经过计算得到信宜近 60 年的年平均气温为 22.6°C 。近 60 年年气温最小值发生在 1976 年,为 21.7°C ,最大值发生在 2003 年,为 23.8°C ;最大值与最小值相差 2.1°C 。从信宜 1954~2013 年气温年际变化趋势图(图 4)可见,信宜年气温呈上升趋势,且年平均的线性倾向上升幅度约为 $0.17^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,总体上看信宜的年平均气温年际变化幅度较为平稳,波动变化没有年降水剧烈。

同样,将信宜的年平均气温在 matlab 中进行 Morlet 子波分析得到年平均气温的小波系数实部图如图 5。由图 5 可知,信宜近 60 年来气温在不同时间尺度上的周期振荡和突变特征。总的来看信宜的年平均气温比降水的时间周期尺度简单很多,主要存在 26~28 年左右的大尺度周期变化特征,在大尺度周期下面存在 14 年和 6 年两个中小尺度周期变化特征。在 26~28 年时间尺度上,从 1954 年到 2013 年气温明显的存在着:低-高-低-高-低-高的循环过程,且该尺度的周期变化在 1954~1970 和 1990 年~2014 年的时段表现非常平稳,但是在 1970~1990 年的时间段内表现不是那么明显。另两个 14 年和 6 年的中小尺度周期

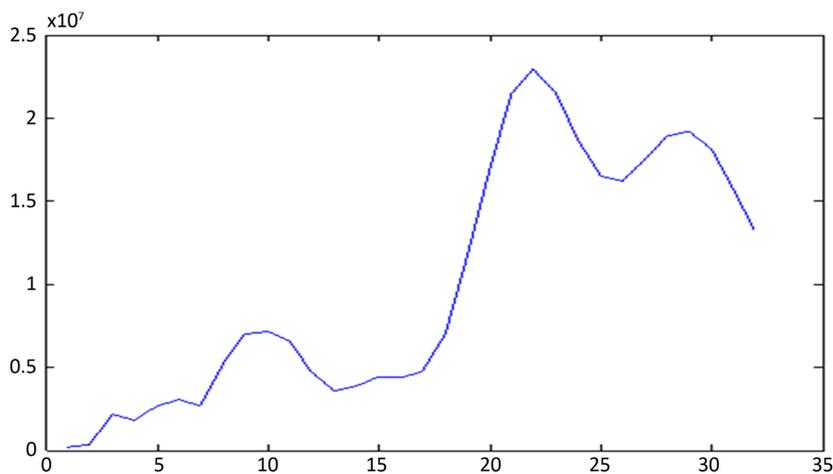


Figure 3. Wavelet variance of annual precipitation series in Xinyi
图 3. 信宜年降水量小波方差图

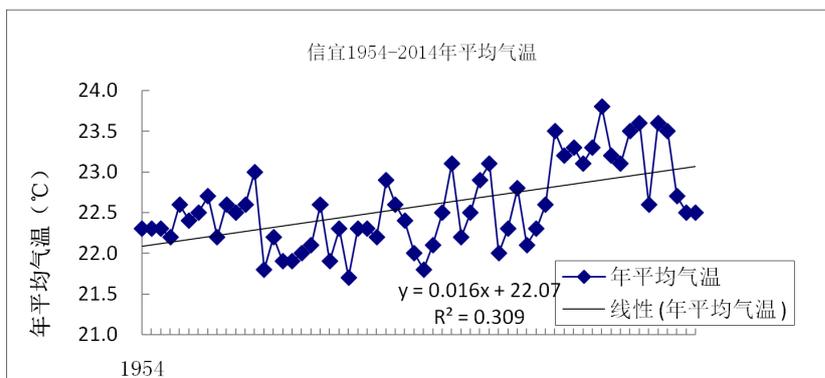


Figure 4. Annual temperature variation in Xinyi from 1954 to 2014
图 4. 信宜 1954~2014 年年平均气温变化图

变化在整个分析时间段内都表现得不是那么明显。综上所述,信宜的气温变化主要周期尺度为 26~28 年。

信宜近 60 年年平均气温的小波方差图如图 6,从图上可以看出信宜的小波方差图的存在三个峰值,但主峰值是 28 年,说明信宜的振荡周期主要是 28 年,并且从主振荡周期上看,信宜长期震荡气温偏低的等值线还未闭合,说明在未来的一段时间里信宜将处于气温偏低的时期。

同样,气温多时间层次结构的时间变化可能说明不同的机制在不同的时期内作用强度不同,而且一种机制加强时另一种机制往往减弱才形成了气温变化的非周期性和复杂性。

4. 结论

小波分析的时、频局部化特性可展现降水、气温等离散时间序列的周期结构,为分析气候多时间尺度变化特征及中短气候预测等问题研究提供了一种新途径。

经过分析信宜近 60 年来气温和降水变化的时间多尺度周期性规律,结果表明:近 60 年来信宜降水

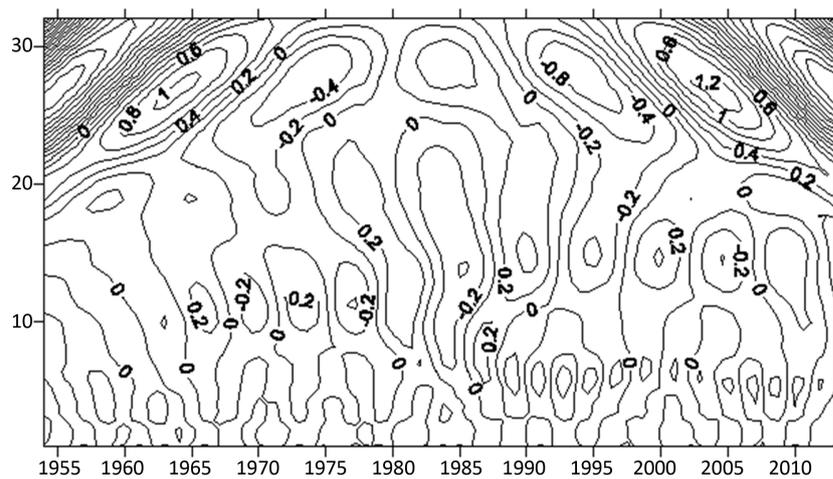


Figure 5. The real part of the wavelet coefficients of annual average temperature in Xinyi

图 5. 信宜年平均气温小波系数实部图

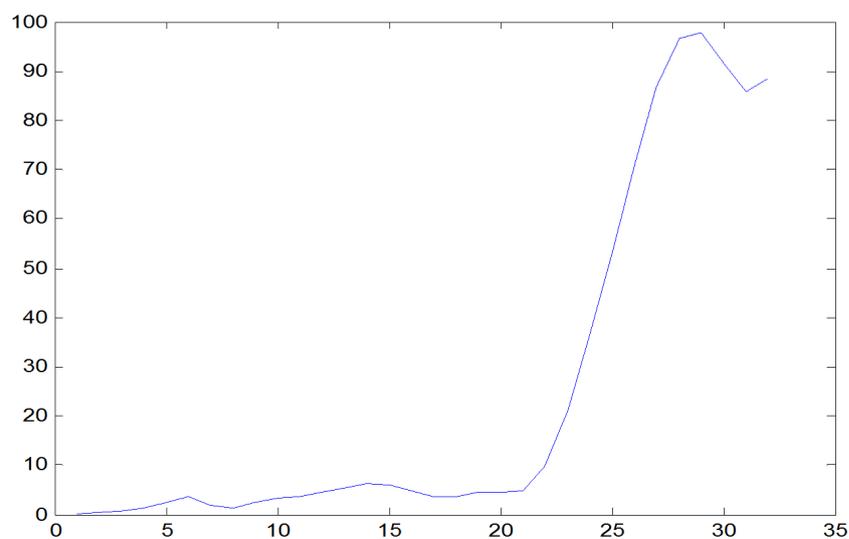


Figure 6. Wavelet variance of annual temperature series in Xinyi

图 6. 信宜年平均气温小波方差图

量和气温呈现上升趋势,年降水量具有 5~6 年、10 年、22 年和 29 年的振荡周期,其中 22 年尺度周期变化最显著,为信宜降水变化的第一主周期;气温具有 6 年、14 年和 28 年的振荡周期,其中 28 年尺度周期变化最显著,为信宜气温变化的第一主周期。从主振荡周期上看,在未来的一段时间里信宜将处于降水偏多,气温偏低的时期。分析信宜的降水和气温时间尺度周期性变化,有助了解信宜的年降水序列和气温序列变化的总体特点,可为今后的中长期气候预测预报提供一定依据,为当地的天气预报服务提供参考。

参考文献 (References)

- [1] 许月卿,李双成,蔡云龙. 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.
- [2] 林振耀,赵昕奕. 青藏高原气温降水变化的时空特征[J]. 中国科学 D 辑,地球科学,1996,26(4): 354-358.
- [3] 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.
- [4] 万明波,程智,王文. 青藏铁路沿线气温和降水的小波分析[J]. 干旱气象,2006,24(4): 35-39.
- [5] 匡正,季仲贞,林一骅. 华北降水时间序列资料的小波分析[J]. 气候与环境研究,2000,5(3): 312-317.
- [6] 周伟,张一鸣,桂林,陈燕东,张龙. 基于 MATLAB 的小波分析应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2010.
- [7] 俞开炬. 景德镇市近 50 年降水的小波变化特征[J]. 气象与减灾研究,2004,27(1): 23-25.
- [8] 梁君,邵骏. 基于小波的宝兴河流域降雨序列近似周期分析[J]. 四川水力发电,2010,29(2): 73-75.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>