

贵州省清镇市近50年来气候系统的多时间尺度分析

严 汾, 蒙吉军

(北京大学环境学院资源与环境地理系, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘 要: 利用小波分析对贵州省清镇市1958~2003年的逐月平均气温和1979~2003年的逐月降水量进行多时间分辨率分析。结果表明, 小波系数图和小波方差图可以清楚地显示气候变化在不同时间尺度上的演变特征, 并能够对未来气候演变的趋势做出定性的判断。

关键词: 小波分析; 时间尺度; 气温; 降水; 清镇市

中图分类号: P413

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)04-0093-03

Multi-timescales Analysis of Climate Variation in Qingzhen Town in the Last 50 Years

YAN Fen, MENG Ji-jun

(Department of Resources, Environment and Geography, the Centre for Land Study, Peking University,
Laboratory for Earth Surface Processes, the Ministry of Education, Beijing 100871, China)

Abstract: Wavelet transformation is used to analyze monthly mean temperature from the year 1958 to 2003 and the monthly precipitation from the year 1979 to 2003 in Qingzhen town, in order to get the information of the multi-timescale climatic change. The results show that the wavelet coefficients and wavelet variances can reveal the characteristics of the climate variation on different time scales. In addition, it can also be used to estimate qualitatively the future tendency of climate.

Key words: wavelet analysis; timescales; temperature; precipitation; Qingzhen town

1 引言

气候系统是一个多时间尺度的系统^[1], 可以短到月、季节和年, 也可以长到万年甚至百万年。因而研究气候的变化, 一定要明确其尺度, 不同尺度的研究方法不同, 其结果的解释与应用的方向也有差别。大尺度的气候变化信息为其他自然现象的研究提供了一个大的背景, 而中小尺度的气候变化信息直接关系到未来一段时间内气候的变化趋势。如何将气候变化的信息与尺度结合起来, 提取不同时间分辨率的气候变化信息, 近年发展起来的小波分析被广泛应用于气候多尺度变化的研究^[2~6], 且被证明是一个很好的分析工具。

小波分析是近15年来在傅立叶分析基础上发展起来的一种新的时频分析方法。最早由法国工程师J. Morlet在1974年提出, 在1986年数学家Y. Meyer构造出一个真正的小波基之后蓬勃发展起来^[7]。与传统的傅立叶分析相比, 其优势在于它能进行多分辨率分析, 并在时域和频域都具有良好的局部化的性质, 从而解决了傅立叶变换不能解决的许多问题, 被成为“数学显微镜”, 这就利于揭示不同尺度上气候变化的结构。因此, 小波分析的应用领域十分广泛, 包括数学的许多学科, 信号分析、图像处理、量子力学、理论物理、军事电子对抗与武器的智能化、计算机分类与识别、医学成像与诊断以及地震勘探数据的处理等等。近几年, 小波变换理论与人工智能相结合已经成为研究的热门课题^[8], 如小波变换和神经网络的结

合^[9], 小波变换和模糊逻辑的结合^[10], 小波变换和神经网络、专家系统的结合^[11], 小波变换和神经网络、粗糙集的结合^[12]等都成为目前小波研究的新的发展方向。

本文利用小波分析的方法用Morlet小波和Mexican Hat对贵州省清镇市1958~2003年逐月气温及1979~2003年逐月降水量的时间序列进行分析, 得到清镇市近50年来气温及降水在不同时间尺度上的详细变化信息, 并用气温和降水的年代距平对照小波分析的结果, 利用小波方差图确定其主要的振荡周期, 进而对其在未来一段时间内的演变趋势定性的估计。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本文选用清镇市1958~2003年历年逐月气温数据和1979~2003年逐日降水量数据, 都来自清镇市气象局。由逐日的降水量数据得到逐月降水量数据, 数据总样本数:

气温: $N_1 = 12 \times 46 = 552$;

降水: $N_2 = 12 \times 25 = 300$ 。

2.2 处理方法

小波分析是利用小波函数的伸缩和平移来实现其对信号不同尺度特征的提取, 其基本原理与傅立叶分析一样, 也是用一族函数来逼近信号或函数的。对于小波函数选取的一个标准就是自相似原则^[7], 即所选的小波对信号具有一定的

* 收稿日期: 2005-04-26

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“西南喀斯特山区土地利用/土地覆被变化及其对土地资源利用可持续性的影响”(40335046)资助

作者简介: 严汾(1982-), 女, 福建建瓯人, 硕士研究生。

相似性,这样使变换后的能量比较集中,有效的减少计算量。基于这一原则,通过对原始序列波动情况的分析判断,本文采用Morlet小波对气温数据进行分析,采用Mexican Hat对降水数据进行分析。

Morlet小波是一个具有解析表达式的小波,它不具备正交性,不存在紧支集只能进行连续小波变换。其解析形式如下:

$$\Psi(t) = Ce^{-t^2/2} \cos(5t) \quad (1)$$

Mexican Hat小波与Morlet小波类似,具有解析表达式,不具备正交性,解析形式如下:

$$\Psi(t) = \frac{2}{3} \pi^{1/4} (1-t^2) e^{-t^2/2} \quad (2)$$

Morlet和Mexican Hat小波变换的表达式为:

$$C_f(a, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{a,\tau}(t) dt \quad (3)$$

(3)式中, $C_f(a, \tau)$ ——小波系数, $f(t)$ ——信号, α ——尺度因子,反映不同的时间分辨率, τ ——平移因子。其逆变换的表达式为:

$$f(t) = \frac{1}{C_\Psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C_f(\alpha, \tau) \Psi_{\alpha,\tau}(t) \frac{d\alpha d\tau}{\alpha^2} \quad (4)$$

小波变换的时间分辨率随尺度因子 α 的变化而变化, α 值越小,时间分辨率越大。 α 值的选择根据所分析序列的长度和想得到的时间尺度来决定。本文气温数据的小波变换取 $\alpha_i = 2i-1, i=1, 3, 5 \dots 64$,降水数据的小波变换取 $\alpha_i = i, i=1, 2, 3 \dots 48$ 。为了将 α 值转换成我们现实生活中所熟知的时间尺度,如年,月等,则需找到 α 值与时间尺度的对应关系,这就需要知道小波的中心频率 centfrq ,利用matlab函数可以得到Morlet小波在8次迭代的情况下的中心频率为0.8125, Mexican Hat小波在8次迭代的情况下的中心频率为0.25,本文采用的是逐月的气温和降水数据,将之转换成以年为单位的时间尺度:

$$T = (\alpha / \text{centfrq}) / 12 \quad (5)$$

气温数据值对应的时间尺度为1个月~13年,降水数据 α 值对应的时间尺度为1/3月~16年。

小波方差的变换情况可以反应序列变换的显著周期,不同的尺度因子 α 都有其对应的小波方差:

$$v(\alpha) = V \alpha r(C_f(\alpha, \tau)) \quad (6)$$

3 气候系统的小波分析

年气温序列的分析是对1958~2003年46年来逐月气温数据的距平值进行分析,月降水序列的分析是对1979~2003年25年来逐月降水数据的距平值进行分析,这样可以滤去不同月气温变化的影响。此外,对各序列进行10年平均距平和线性趋势计算,以便与小波分析的结果进行对比。

3.1 逐月气温序列的小波分析

表1反映了1958~1959年20世纪60~90年代及2000~2003年年均温的10a和5a平均距平值。图1反映了1958~2003年年均温的变化趋势。

从表1可以看出,1958~1959年距平为负值,说明气温偏低,1960年代距平为正值,气温开始回升,但回升幅度不大,到了1970和1980年代距平又转为负值,说明气温又开始下降,而1990年代以来尤其是2000~2003年又出现比较大幅度的增温。5年距平又反映出1958~2003年的气温出现了低、高、低、高这样的周期性变化。图1得到的趋势线的斜率为0.0104,为正值,说明从1958~2003年总体来说气温是呈

上升趋势的。

表1 清镇市1958~2003年年均温10a和5a距平()

年代	1958~1959	1960	1970	1980	1990	2000~2003
10a距平	-0.38	0.016	-0.154	-0.124	0.13	0.52
年代	1958~1962	1963~1967	1968~1972	1973~1977	1978~1982	1983~1987
5a距平	-0.19	0.127	-0.157	-0.26	0.036	-0.15
年代	1988~1992	1993~1997	1998~2003			
5a距平	0.019	-0.08	0.512			

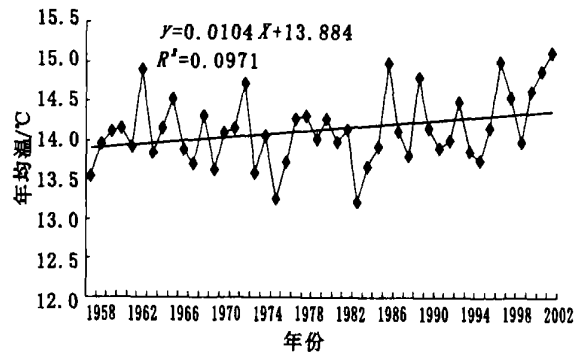


图1 清镇市1958~2003年年均温变化趋势图

下面利用小波分析的方法来分析逐月气温序列不同时间尺度的变化周期。图2(a)为清镇市1958~2003年逐月气温距平Morlet小波变换的小波系数,图2(b)为小波方差图。是根据2.2中的式(5)由 a_1 值换算而来。图中正值用实线表示,反应气温偏低的时期,负值用虚线表示,反应气温偏高的时期,0值用点划线表示,反应气温高低的转折,等值线间隔为0.5。从图中可以看到清镇市近50年来气温主要有2~4年,7~10年的变化周期。

首先,在图2(a)的上部,7~10年的周期振荡非常明显,从1958年至今表现为低、高、低、高、低、高、低、高、低等10个中心。其高、低中心的交替变化与气温5年距平值所表现出的气温高、低交替比较吻合;其次,在图2(a)的底部,主要为2~4年的周期振荡,它们在1960~1980年代表现得比较明显的2~3年的周期振荡,90年代至今振荡周期有所增大,大致为3~5年。从图2(b)的小波方差图上可以更清楚的看出气温序列的主要周期:在尺度为3和9的时候出现了两个很明显的峰值,说明这一气温序列存在明显的以3年为主的短周期和以9年为主的长周期。

3.2 逐月降水序列的小波分析

表2反映了1979~2003年年降水量的10a和5a平均距平值。图3反映了1979~2003年降水量的变化趋势。

表2 清镇市1979~2003年年降水量10a和5a距平mm

年代	1979~ 1989	1990~ 1999	2000~ 2003		
10a 距平	- 43.7487	64.234	- 40.276		
年代	1979~ 1983	1984~ 1988	1989~ 1993	1994~ 1998	1999~ 2003
5a 距平	- 55.476	- 7.956	- 21.896	68.004	17.324

从表2可以看出,1979~2003年的10年距平呈现出正负交替的规律,1979~1989年距平为负,说明降水量偏少,1990~1999年距平转为正值,而且于80年代距平值相差很大,说明90年代平均降水量有了大幅度的增加,而进入21世纪后,距平又出现负值,说明降水量又开始大幅下降,可以说在这25年里降水量的变动是很大的,干湿的交替是很明显的,降水变动的幅度要比气温变动的幅度大的多。5年距平又反映出1979~2003年的年降水量以1993年为界,1993年以前偏少,1993年以后偏多。图3得到的趋势线的斜率为3.4688,为正值,说明从1979~2003年总体来说降水量是呈增

加趋势的。下面利用小波分析的方法来分析逐月降水序列不同时间尺度的变化周期。

图 4(a) 为清镇市 1979~ 2003 年逐月降水距平 M_{exh} 小波变换的小波系数, 图 4(b) 为小波方差图。图中横坐标为时间(年), 纵坐标为时间尺度(年), 是根据式 (5) 由 a_2 值换算而



图 2 (a) 清镇市 1958~ 2003 年逐月气温距平 M_{orlet} 小波变换的小波系数图

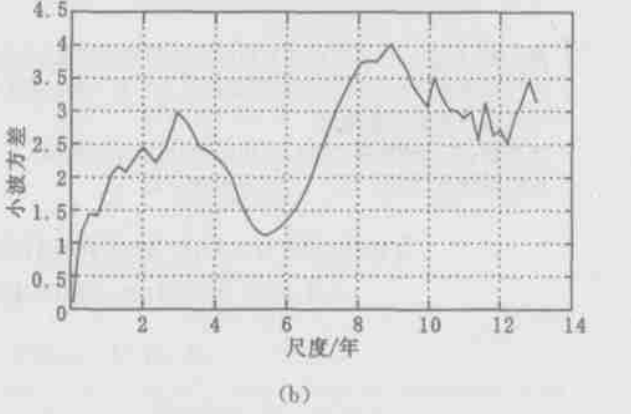


图 2 (b) 清镇市 1958~ 2003 年逐月气温距平 M_{orlet} 小波变换的小波方差图

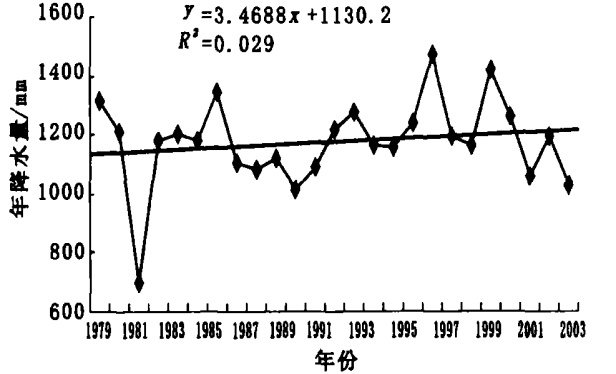


图 3 清镇市 1979- 2003 年年降水量变化趋势图
首先, 在图 4(a) 的上部, 13 年左右的周期振荡并不是明

显, 曲线还未闭合, 从 1979 年至今表现为干、湿这 2 个中心, 大致以 1992 年为界, 1979~ 1991 年较干燥, 1992~ 2000 年较湿润, 2000 年至今又变得比较干燥, 这与降水 10 年距平值所表现出的正、负交替比较吻合; 其次, 在图 4(a) 的中部, 5~ 6 年的周期振荡在 1991 年之前非常明显, 从 1979 年至 1991 年表现出干、湿、干这 3 个中心。其高、低中心的交替变化与降水 5 年距平值所表现出的正、负交替比较吻合; 第三, 在图 4(a) 的中下部, 1991 年以后出现 2~ 3 年的周期振荡, 表现出湿、干、湿、干这 4 个中心。从图 4(b) 的小波方差图上可以更清楚的看出降水序列的主要周期: 在尺度为 4~ 5 和 14 的时候出现了两个很明显的峰值, 说明这一降水序列存在明显的以 5 年为主的短周期和以 14 年为主的长周期。

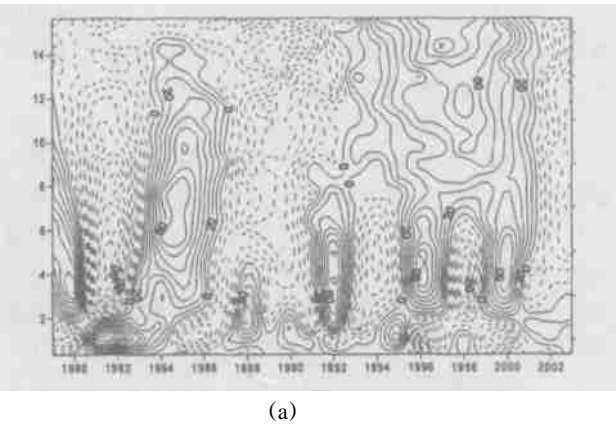


图 4 (a) 清镇市 1979~ 2003 年逐月降水距平 M_{exh} 小波变换的小波系数图

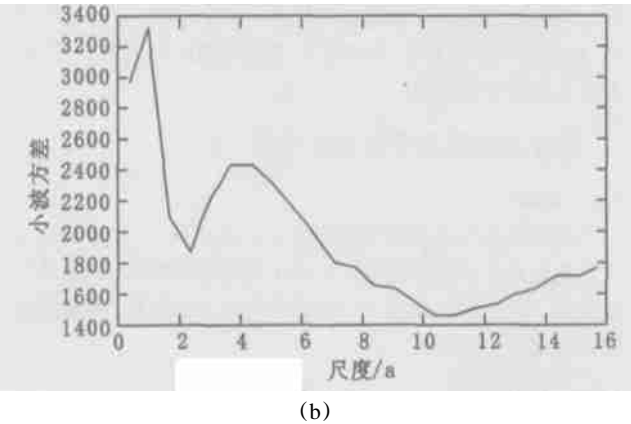


图 4 (b) 清镇市 1979~ 2003 年逐月降水距平 M_{exh} 小波变换的小波方差图

4 结论与讨论

4.1 结 论

通过小波分析可以看到, 清镇市 1958~ 2003 年这 46 年的逐月气温序列存在明显的以 3 年为主的短周期和以 9 年为主的长周期, 从其冷暖交替的情况, 以及最后一个暖周期还未形成闭合的曲线, 可以判断, 在未来 3~ 4 年内清镇市的年气温仍会偏高, 属于暖期, 之后将进入 7~ 8 年的冷期。清镇市 1979

~ 2003 年这 25 年的逐月降水序列存在明显的以 5 年为主的短周期和以 14 年为主的长周期, 从其干湿交替的情况, 以及最后一个干周期还未形成闭合的曲线, 可以判断, 在未来 6~ 7 年内清镇市的降水量仍会偏低, 属于干燥期, 即清镇市在未来几年的气候将处于相对干热的状况。但由于降水量的地区波动比较大, 一个站点的数据很难反应一个区域的总体变化情况, 比较理想的是用区域内几个站点记录的平均。

特点:根据降雨图层,可以分析降雨量、降雨强度等特征。

此外,将这些图层以及相关的图层叠加在一起形成的综合图层,并结合数字地图的三维可视化,就可以直观清楚地看到整个地区的所有特征,加深对该区各部分的了解,从而可以对水土流失进行综合研究。

4.2 信息存储、查询方面的应用

北京市水土流失详查可采用1:1.8万航片和1:2.5万地形图,结合专题地图、定位观测数据和社会经济统计数据,以5~30 km²的闭合小流域为流域单位进行研究。

数字地图可对不同信息进行分层存储,而且大量属性信息不占用地图表面空间,从而使得数字地图容纳和存储海量信息。它的随意放大、缩小以及动态比例尺显示等功能,可使人们详细查询该区的各种信息,进而分析关于水土流失的各种情况,极大的方便了人们的信息查询和对小区域的分析 and 研究。此外,数字地图的无缝拼接功能使得人们不受地图图幅的限制,在研究了小比例尺地图上的资料后,进而分析大中比例尺上的信息,从而更好的对水土流失进行研究。

4.3 数字地图结合GIS技术的应用

结合GIS技术,数字地图不仅可以为显示各种信息构建

良好的地理环境信息平台,而且最终可以成为表达诸多领域研究成果和规划成果的表现形式。北京大学遥感所在对北京郊区的水土流失评价中,就是运用GIS的空间分析原理,通过建立水土流失评价的专家权重模型和专家评判模型,设计并建立起了北京市水土流失信息系统^[8]。生产部门使用后认为该系统具有以下优点:

(1)节省人力物力,与常规方法相比,数据处理效率可提高120倍,改变了过去数据汇总周期长、速度慢、差错多的状况。

(2)本系统结构简单,使用方便,可为不同层次、不同部门的人员使用,还可为县(区)和流域管理系统移植数据。

(3)对水土流失数据进行统计、成因分析和综合评价,可为小流域治理规划提供依据。

5 小结

数字地图在地质灾害方面的应用具有广阔的前景。应用数字地图对水土流失进行研究,并结合应用GIS技术,可建立覆盖全国的水土流失信息系统,也可以为水土流失灾情评估、动态区划以及防治决策提供信息服务和技术方法支持,并且还可以为国内外交流与合作提供渠道。

参考文献:

- [1] 李锐,杨克勤 区域水土流失快速调查与管理信息系统研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2000
- [2] 刘传正 中国环境地质工作概况[J]. 岩土工程界,2004,7(11):15-17
- [3] 廖克 现代地图学的最新进展与新世纪的展望[J]. 测绘科学,2004,29(1):5-9
- [4] 苏山舞,等 全国1:1000 000数据库建设与更新[J]. 地理信息世界,2003,1(2):21-25
- [5] 蔡国林,李永树 基于Supernap的图形处理技术[J]. 四川测绘,2004,27(3):11-13
- [6] 李玲慧,等 基于GIS的数字地图的应用[J]. 地域研究与开发,2003,22(6):52-54
- [7] 杜涛,于秀治,韦京莲 北京市地质灾害状况及制定地质环境管理办法论证[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(3):39-42
- [8] 胡良军 谈地理信息系统(GIS)在水土流失中的应用领域[J]. 周口师范学院学报,2003,20(5):53-55

(上接第95页)

4.2 讨论

小波分析在从不同的时间尺度上分析气温、降水序列的变化周期和冷暖、干湿交替情况有着不可比拟的优势,通过对周期的分析和曲线是否闭合的判断,还可以预测未来一段时间内的气温变化的趋势。但是小波系数只反应了冷暖、干湿变化的情况,但是反映不出其变化的程度。即能预测未来一段时间内是增温变干的,但对增温变干程度的预测却无能

为力了,而通过对气温和降水序列进行传统的回归分析应该能解决增温和变干的程度估计问题,但单纯的回归是不可靠的,如果有小波分析得出的冷暖、干湿变化的趋势作为依据,便能检验回归分析结果的可信度。在今后的工作中,会考虑将小波分析和其他方法相结合,互补不足,实现对气候参数序列的更好的分析和预测。

参考文献:

- [1] 林振山 气候层次理论及其应用(II)-气候突变[J]. 北京大学学报,1990,26(3):355-360
- [2] 吴慧,陈小丽 海南省四十年来气候变化的多时间尺度分析[J]. 热带气象学报,2003,19(2):213-218
- [3] 纪忠萍,谷德军 广州近百年来气候变化的多时间尺度分析[J]. 热带气象学报,1999,15(1):48-55
- [4] 谢庄,曹鸿兴 近百余年北京气候变化的小波特征[J]. 气象学报,2000,58(3):362-369
- [5] 李占玲,陈飞星 呼和浩特市80余年气温序列的小波分析[J]. 内蒙古师范大学学报自然科学版(汉文),2004,33(1):81-85
- [6] 廖德春,廖新浩 上海气象参数与太阳活动和ENSO的关系[J]. 自然灾害学报,2003,12(2):18-24
- [7] 董长虹 Matlab小波分析工具箱原理与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2004
- [8] 郭彤颖,吴成东,曲道奎 小波变换理论应用进展[J]. 信息与控制,2004,33(1):67-71
- [9] Zhang Q, et al Wavelet network[J]. IEEE Trans Neural Networks, 1992, 3(6): 889-898
- [10] Ringrose M, Negnevitsky M. Automatic disturbance recognition in power system[J]. Journal of Electrical and Electronics Engineering, 1999, 19(1): 83-90
- [11] Kim S, et al Automatic detection of epileptic form activity using wavelet and expert rule base[A]. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology[C]. Piscataway, New Jersey, 1998, 4: 2 078-2 081.
- [12] Marcin S, Piotr W. Neuro-wavelet classifiers for EEG signals based on rough set methods[J]. Neurocomputing, 2001, 36(1): 103-122