

云南省盘龙河流域河流输沙率变化的多时间尺度分析

丁文荣,周 跃

(昆明理工大学 环境科学与工程学院,昆明 650093)

摘 要:对云南省盘龙河流域 55 a 来的河流输沙率进行复值 Morlet 小波变换,通过分析输沙率变化的小波变换结果研究其多时间尺度特征。结果表明:盘龙河流域悬沙输移率从 1951 年以来总体呈波动上升趋势,且存在多时间尺度特征,有 4,7,22 a 的振荡周期,其中 22 a 的振荡周期最为明显,贯穿整个研究时段,而 4,7 a 时间尺度却局部性特征很强。以小波系数实部图上的零点作为判据,且以主要周期附近的小波系数实部值进行突变分析得知,对应于 4 a 尺度的突变有 27 a,7 a 尺度的突变有 16 a,22 a 尺度的突变有 5 a。

关键词:河流输沙率;复值 Morlet 小波变换;多时间尺度;云南省盘龙河流域

中图分类号:TV143. 6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)06-0278-02

The Multi-time Scale Analysis on the Suspended Sediment Flux of
Panlong River Basin of Yunnan Province

DING Wen-rong,ZHOU Yue

(The Faculty of Environment Science and Engineering, Kunming University of Science
and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract :The complex Morlet wavelet was applied to analyze the multi-time scale and abrupt characters of Panlong River of Yunnan Province ,the results show :The suspended sediment flux has raised since 1951 and existed multi-time scale character ; There are 3 time scales in the suspended sediment flux time series ,4 years ,7 years and 22 years ,and the time-scale-22-year is very strong ;When take the zeros point that near the mainly period to analyze the abrupt point ,we can come to the conclusion that there are 27 times in the 4-year period scale ,16 times in the 7-year period scale and 5 times in the 22-year period scale .

Key words :suspended sediment flux ;complex Morlet wavelet transformation ;multi-time scale ;Panlong River basin of Yunnan province

小波分析是一种新的数学分析方法,是继 Fourier 分析之后纯粹数学与应用数学殊途同归的又一完美结合。以往对河流输沙率变化的研究大多是使用传统的功率谱分析方法,建立在 Fourier 变换的基础之上,由于 Fourier 分析无法表述信号的时频局域性质,所以不能分析出信号长期变化过程中的多层次时间尺度结构和某些局部化特征。而作为工具和方法上有重大突破的小波分析,能够同时在时域和频域保持良好的局部化特征,揭示突变点位置。此外,小波分析还具有多分辨特性等优点^[1-3]。所以,用小波变换研究河流悬沙输移中存在的特征或规律具有很大的优越性和潜力,为揭示悬沙输移变化的规律提供了一种新的研究途径。

1 研究区概况

研究区盘龙河流域位于云南省东南缘文山壮族苗族自治州境内,东经 103°35. 4' - 104°51. 9',北纬 22°51. 0' - 23°51. 3',龙潭寨国家基本水文站以上面积 3 128 km²,属于红河流域泸江水系,自西北向东南流注,在麻栗坡县船头(中越边界)出境越南。区内海拔一般在 1 000 ~ 2 800 m 之间,平均 1 969 m,薄竹山海拔 2 991 m 为流域最高点,盘龙河出境处海拔 107 m 为流域最低点,平均坡降 6. 02 ‰,流域内

年均气温 15. 8 ~ 19. 3 ℃,年均降雨量 922 ~ 1 329 mm,年日照 1 492 ~ 2 090 h,无霜期可达 273 ~ 353 d,主要属于亚热带季风气候。由于地处滇东南喀斯特山原,区内多峰林、峰丛、溶蚀洼地等喀斯特地貌。

2 资料和方法

该文所使用的输沙率资料为云南省文山壮族苗族自治州文山县龙潭寨国家水文站 1951 - 2005 年的年平均输沙率序列,1951 年及 1953 年的缺失值通过与径流的回归插值而补全,长度为 55 a。为减小边缘效应的影响,小波变换前将序列分别向两端作了对称周期性延拓,小波变换后将延拓的部分舍弃,保留原始时段内的小波系数进行分析。

复值 Morlet 小波作为复数形式的小波,在应用中比实数形式的小波有更多的优点,由于它的实部与虚部位相相差 $\pi/2$,消除了实数形式小波在变换过程中系数模的振荡。且从其小波系数中可以分离出模和位相,故本文在进行连续小波变换时选取的母小波为复值 Morlet 小波,通过其变换结果来分析输沙率序列变化的多时间尺度特征。此外,对于复值 Morlet 小波,由于其伸缩尺度与 Fourier 分析中周期 T

的关系为 $T = \frac{4}{c + \sqrt{2 + c^2}}$, 因此取 $c = 6.2$ 时, 周期 T 可以近似地用 $\frac{4}{c}$ 来代替。

3 河流输沙率变化的多时间尺度分析

通过传统的滑动平均法的分析得知(图略), 1951 年以来, 盘龙河输沙率总体呈波动上升趋势, 且变化具有一定的阶段性, 在不同的时间段内具有不同的变化特点, 即具有多时间尺度特征。这种多时间尺度特征可以通过分析小波实部、模、方差等小波变换的结果来获得。

3.1 Morlet 小波变换实部

研究表明, 复值 Morlet 小波用于时间序列的分析时, 小波系数实部的变化趋势与信号的起伏是基本一致的^[4]。等值线中心分别为高低值中心(正小波值为高值, 负小波值为低值), 中心值的大小可以反映出波动的振荡强度。

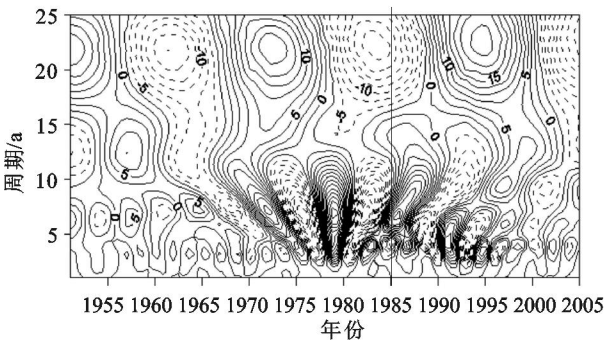


图 1 复值 Morlet 小波变换系数的实部

3.2 Morlet 小波变换模

小波系数模值的大小代表某一尺度成分的多少, 反映了它所对应时段的周期性强弱。由于小波系数模值都是大于或等于零的实数, 因此周期性的强弱通过模值的大小反映出来。模值越大则周期性越显著, 反之不显著。小波方差与小波系数模的区别在于小波系数模能反映各时间尺度的局部化特征, 而小波方差则不能, 但能定量地表明各时间尺度的周期强度。

图 2 是盘龙河年平均输沙率的复值 Morlet 小波变换系数模, 由图可以看出, 22 a 时间尺度的振荡在研究时段内一直很明显, 而其它尺度则局部化特征很强。如 7 a 尺度的振荡在 1965 - 1995 年较明显, 振荡中心位于 1980 年左右, 4 a 尺度的振荡在 1975 - 1995 年内比较明显, 其它时段则较弱。

图 1 是盘龙河年平均输沙率序列的复值 Morlet 小波变换实部(正小波系数为实线, 负小波系数为虚线), 从中可以看出, 盘龙河年平均输沙率序列在 22.7 a 左右的振荡最为明显, 其次是 4 a。其中, 22 a 时间尺度上的振荡是全时域的, 存在着 2 个明显的多沙中心和 2 个少沙中心, 2 个多沙中心分别是 1973 年和 1995 年, 2 个少沙中心分别是 1963 年和 1985 年; 7 a 尺度上存在 7 个多沙中心, 分别是 1958 年、1965 年、1972 年、1979 年、1986 年、1993 年和 1998 年, 8 个少沙中心, 分别是 1954 年、1961 年、1968 年、1975 年、1982 年、1989 年、1996 年和 2003 年, 7 a 时间尺度上的振荡在 1965 - 1995 年时间段内振荡相对较强; 4 a 尺度的振荡在 1975 - 1995 年内比较明显。此外, 从图 1 中还可以看出 22 a 时间尺度上的周期振荡最为强烈, 其次是 7 a, 而 4 a 时间尺度上的振荡最弱。

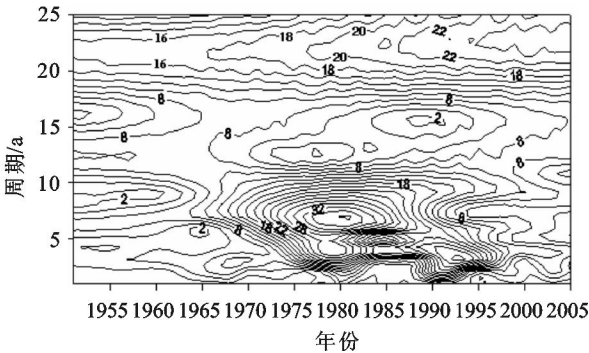


图 2 复值 Morlet 小波变换系数的模

3.3 Morlet 小波变换方差

小波方差图反映了波动的能量随尺度的分布, 可以用来确定一个时间序列中各种尺度扰动的相对强度, 对应峰值处的尺度即为该序列的主要时间尺度, 即主要周期^[5]。因此, 小波方差提供了一种确定一个时间序列中存在主要周期的客观而有效的分析方法。

图 3 是盘龙河年平均输沙率序列变化的小波方差图, 图中横坐标为相应的周期, 纵坐标为小波方差。由图 3 可以看出, 小波方差有 3 个明显的峰值, 分别对应着周期为 4 a, 7 a 和 22 a, 由此可见盘龙河年平均输沙率序列变化存在着 4 a, 7 a 和 22 a 这 3 个主要的振荡周期。对比图 1 小波系数实部的分析, 可见盘龙河年平均输沙率序列变化的时间尺度特征和主要周期是基本一致的。

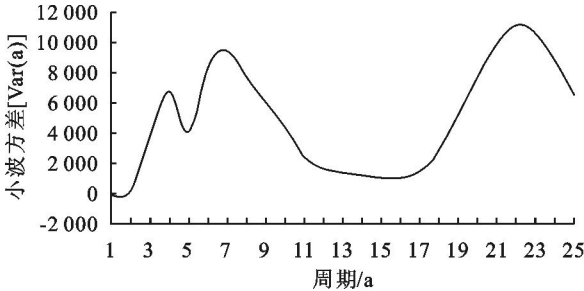


图 3 复值 Morlet 小波方差

此外, 从图 3 中还可以看出 22 a 时间尺度上的周期振荡最为强烈, 其次是 7 a, 而 4 a 时间尺度上的振荡最弱。因此, 盘龙河输沙率存在 22 a 左右的明显长周期和 7 a, 4 a 左右的短周期, 且 22 a 左右的长周期比 7 a, 4 a 左右的短周期更为显著。

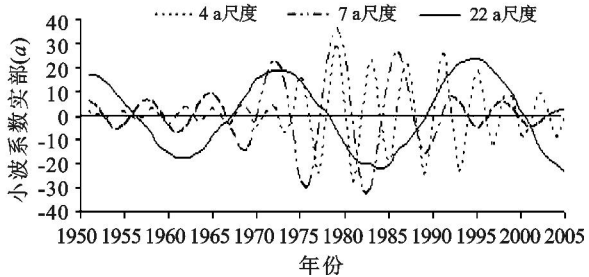


图 4 不同时间尺度复值 Morlet 小波系数实部变化过程

3.4 典型时间尺度 Morlet 小波系数实部变化过程

Morlet 小波变换的零点对信号突变点的诊断也是严格的, 由小波系数实部图上的零点可以判断时间序列在不同时

(2)改变资源消耗型的经济增长模式,提高资源利用效率。从产业结构战略性调整的角度,要大力发展低能耗、低污染的高新技术产业,降低矿业城市经济发展对化石燃料消费的过度依赖;积极发展循环经济,推行清洁生产模式,这样既能减少污染物排放量,改善生态环境,又能直接减少能源消费带来的生态赤字。

(3)生态足迹的理论分析表明,生活模式是影响区域生态足迹大小的关键因素,高消费的生活模式将直接导致人均生态足迹的增加。因此,在居民生活水平不断提高的同时,要积极创建资源节约型社会,大力倡导环保型消费理念,尽可能减少自身对生态足迹面积的需求,从根本上缓解生态赤字。控制人口膨胀,从总量角度降低生态负荷,促进区域可持续发展。

参考文献:

[1] 张坤民,温宗国,杜斌.生态城市评估与指标体系[M].北京:化学工业出版社,2003:58-63.

[2] Ree W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity:What urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization,1992,4(2):121-130.

[3] Wackernagel M,Rees W E. Our Ecological Footprint:Reducing Human Impact on the earth[M]. Gabriela Island:New Society Publishers,1996.

[4] Wackernagel M,Rees W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital:economics from an ecological footprint perspective[J]. Ecological Economics,1997,20:3-20.

[5] 徐中民,张志强,程国栋.甘肃省 1998 年生态足迹的计算与分析[J].地理学报,1999,55(5):607-616.

[6] 徐中民,程国栋,张志强.生态足迹方法:可持续性定量研究的新方法:以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例[J].生态学报,2001,21(9):1484-1493.

[7] 陈敏,王如松,张丽君.中国 2002 年省域生态足迹分析[J].应用生态学报,2006,17(3):424-428.

[8] 陈东景,徐中民,程国栋,等.中国西北地区的生态足迹[J].冰川冻土,2001,23(2):164-169.

[9] 赵秀勇,缪旭波,孙勤芳,等.生态足迹分析法在生态持续发展定量研究中的应用:以南京市 1998 年的生态足迹计算为例[J].农村生态环境,2003,19(2):58-60.

[10] 郭秀锐,杨居荣,毛显强.城市生态足迹计算与分析:以广州为例[J].地理研究,2003,22(5):654-662.

[11] 李金平,王志石.澳门 2001 年生态足迹分析[J].自然资源学报,2003,18(2):197-202.

[12] 肖寒,欧阳志云,赵景柱,等.森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探:以海南岛尖峰岭热带森林为例[J].应用生态学报,2000,11(4):481-484.

[13] 吴隆杰.基于生态足迹指数的中国可持续发展动态评估[J].中国农业大学学报,2005,10(6):95-98.

[14] 易理强,金晓斌,周寅康.基于生态足迹时序分析的区域可持续发展研究:以江苏省为例[J].石家庄经济学院学报,2006,29(4):443.

[15] 顾晓薇,王青.可持续发展的环境压力指标及其应用[M].北京:冶金工业出版社,2005.

[16] 徐州市统计局.徐州统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2005.

[17] 枣庄市统计局.徐州统计年鉴[Z].枣庄:枣庄统计局,2005.

[18] 淮北市统计局.徐州统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2005.

[19] 济宁市统计局.徐州统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2005.

[20] 淮南市统计局.徐州统计年鉴[Z].淮南:淮南统计局,2005.

(上接第 279 页)

间尺度上的突变点。由小波分解图可以更清楚地看出不同层次上的变化特征和零点的具体位置^[6]。但用小波分析进行突变特性研究时需要指明时间尺度,离开了时间尺度论突变没有实际意义。因此,本文选择输沙主要周期附近的 α 值进行突变分析,即 22 a、7 a 和 4 a。

上文已述及,小波系数的零点对应于序列的突变点,因此找出小波系数 α 值的零点即为突变点所在。从图 4 中可以看出,对应于 4 a 尺度的突变有 27 a,1975 年后突变特征最为明显,1995 年后又逐渐变弱;对应于 7 a 尺度的突变有 16 a,并且从 20 世纪 50 年代逐步加强,至 20 世纪 80 年代达到最强,然后逐步趋弱;对应于 22 a 尺度的突变有 5 a,分别是 1957 年、1967 年、1977 年、1987 年和 2002 年,其突变趋势在全时域都很明显。

4 结 论

研究结果表明盘龙河流域悬沙输移率从 1951 年以来总体呈波动上升趋势,且存在多时间尺度特征,有 4、7、22 a 的振荡周期,其中 22 a 的振荡周期最为明显,贯穿整个研究时段,而 4 a、7 a 时间尺度却局部性特征很强。以小波系数实部图上的零点

作为判断时间序列在不同时间尺度上突变点的判据,且以主要周期附近的 α 值进行突变分析得知,对应于 4 a 尺度的突变有 27 a,7 a 尺度的突变有 16 a,22 a 尺度的突变有 5 a。

参考文献:

[1] Kumar P,Foufoular Geogiou E. Wavelet analysis for geophysical applications [J]. Reviews of Geophysics, 1997,35(4):385-412.

[2] Christopher T,Gilbert P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society,1998,79(1):61-78.

[3] 刘会玉,林振山,张明阳.建国以来中国洪涝灾害成灾面积变化的小波分析[J].地理科学,2005,25(1):43-48.

[4] 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.

[5] 纪忠萍,谷德军.广州近百年来气候变化的多时间尺度[J].热带气象学报,1999,15(1):48-55.

[6] 林振山.气候建模、诊断和预测的研究[M].北京:气象出版社,1996:176-186.