

基于小波变换的韩江年径流多时间尺度演变特征分析

李俊伟

(广东省水文局汕头水文分局, 广东 汕头 515041)

摘要: 运用小波分析的多分辨率功能, 对韩江近 62 年年径流多时间尺度演变特征进行分析。结果表明: 韩江年径流演变过程存在明显的多时间尺度特征, 在不同的时间尺度分辨率下, 会表现出不同的周期交替现象, 主要存在 17 年、12 年、7 年及 4 年左右的振荡周期。径流量在整个研究时域内主要经历了 6 次丰枯交替变化, 从中尺度来看, 未来几年可能会出现持续来水偏少的状况。

关键词: 小波变换; 韩江; 年径流; 多时间尺度

中图分类号: P333 **文献标志码:** B **文章编号:** 1008-0112(2014)04-0005-03

径流是水循环的基本环节, 河川径流量是水资源系统最重要的组成部分。径流是流域气候和下垫面各种自然地理因素综合作用的产物, 大气降水的多变性和流域自然地理条件的复杂性以及人类活动的多样性决定了径流形成过程的错综复杂, 河川径流量在各种因素影响下具有确定性成分、随机成分, 具有多时间尺度结构。

在水文系统多时间尺度分析中, 常用的有滑动平均、滤波、Fourier 变换等方法, 这些方法在时域与频域不具有局部化性质^[1]。20 世纪 80 年代初, 由 Morlet 提出的一种具有时域与频域多分辨率功能的小波分析 (Wavelet Analysis) 为更好地研究水文时间序列问题提供了可能, 它能清晰地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。利用小波分析的多分辨率功能, 可以充分挖掘水文时间序列所包含的信息, 展现水文时间序列的精细结构, 从而能更好地掌握水文时间序列的多时间尺度变化特征^[2-3]。

韩江是广东省第二大河流, 发源于广东省紫金县的七星嶼, 干流全长为 470 km, 流域集雨面积为 30 112 km², 河道平均坡降为 0.4‰。据流域代表水文站潮安站近 62 a(1951-2012 年)资料统计, 韩江流域多年径流总量为 247.6 亿 m³, 且年径流量年际变幅大, 年径流量离散程度 C_v 为 0.31。韩江径流量的多寡直接影响到流域经济社会的发展, 其演变特征对区域内水资源统一规划管理、合理配置有着现实意义。

本文尝试采用小波分析方法, 对韩江近 62 a 年径流多时间尺度演变特征进行分析。

1 小波分析基本原理

从数学上讲, 小波分析与 Fourier 分析的原理相同, 归为函数逼近, 或者函数“展开”。傅里叶分析以三角函数为基底, 小波分析以小波基函数为基底。三角函数的优势在于光滑性, 小波基函数的主要优点是多尺度和紧支撑。小波分析的主要特点是通过变换能够充分突出问题某些方面的特征。与 Fourier 变换相比, 小波变换是空间(时间)和频率的局部变换, 因而能有效地从信号中提取信息。通过伸缩和平移等运算功能可对函数或信号进行多尺度的细化分析, 最终达到高频处时间细分, 低频处频率细分, 能自动适应时频信号分析的要求, 从而可聚焦到信号的任意细节, 解决了 Fourier 变换不能解决的许多困难问题^[4]。

1.1 小波函数

小波函数是指具有震荡特性、能够迅速衰减到零的一类函数, 即

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

也称为基小波, 由其作尺度的伸缩和时间轴上的平移得:

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

式中 a 为尺度(宽度)因子, 反映小波的周期长度, 也叫伸缩因子; b 为时间因子, 反映在时间上的平移, 也叫平移因子。目前广泛使用的小波函数有 Haar 小

收稿日期: 2014-02-11; 修回日期: 2014-03-27

作者简介: 李俊伟(1975), 男, 本科, 高级工程师, 从事水文分析工作。

波、Mexican hat 小波、Morlet 小波、正交小波、半正交小波和 Meyer 小波等。

1.2 小波变换

令 $L^2(R)$ 表示定义在实轴上、可测的平方可积函数空间, 对于 $f(t) \in L^2(R)$, 连续小波变换为:

$$W_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (3)$$

式中 $W_f(a, b)$ 为 $f(t)$ 在相平面 (a, b) 处的小波变换系数, $\overline{\Psi(t)}$ 为 $\Psi(t)$ 的复共轭函数。

小波变换的离散形式为

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

式中 Δt 为取样时间间隔; N 为样本容量。

小波变换系数能同时反映时域参数 b 和频域参数 a 的特性, 可作出以 b 为横坐标、 a 为纵坐标的关于 $W_f(a, b)$ 的二维等值线图, 即小波变换系数图, 通过小波变换系数图可得到时间序列的时频变化特征。

1.3 小波方差

通过小波变换得到的是一个尺度时间函数, 若要从该函数准确地对一些复杂过程进行解释需要借助小波方差来进行小波分析检验从而确定显著周期^[5]。将时间域 b 上关于尺度 a 的所有小波系数的平方进行积分(离散时为求和), 即得小波方差:

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

小波方差随尺度 a 的变化过程称小波方差图。它反映了波动的能量随尺度的分布。小波方差图可用来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。

2 基于小波变换的韩江年径流多时间尺度演变特征分析

2.1 选择小波函数及基本资料的处理

在水资源领域中, 最常采用的小波函数为 Morlet 小波和 Marr 小波。由于 Morlet 小波计算出的小波系数具有实部、虚部两部分, 小波变换系数的实部和模是 2 个重要的变量, 分别反映信号的波动特征和能量特征, 而且其实部和虚部之间有 $\pi/2$ 的位相差, 消除了实数形式小波在变换过程中系数模的振荡。所以本文选用 Morlet 小波作为小波函数。为便于处理和计算, 对潮安站 1951-2012 年 62 a 年径流量资料进行中心(距平)化处理。

2.2 分析结果

经对中心化处理后的径流序列进行连续小波变换, 计算小波系数 $W_f(a, b)$ 及其模平方和实部及小波方差, 最后绘制以尺度因子 a 为纵坐标、时间因子 b 为横坐标的模平方等值线图(见图 1)和实部等值线图(见图 2)及以尺度因子 a 为横坐标、小波方差为纵坐标的小波方差图(见图 3)。

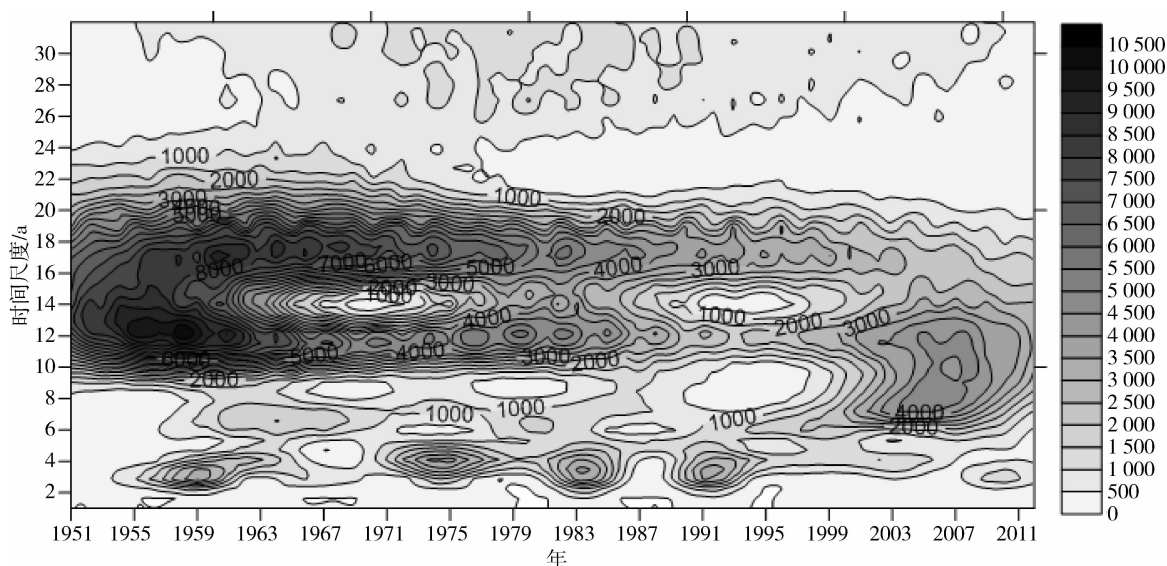


图 1 韩江距平年径流量的小波变换的模平方时频分布

小波系数的模方相当于小波能量谱, 它可以分析出不同周期的振荡能量。模方越大, 其对应时段和尺度的周期性越显著。从图 1 可以看出: 在不同的时间

尺度分辨率下, 年径流量序列表现出了不同的周期交替现象。11~17 a 尺度的周期变化一直延伸到 20 世纪 90 年代, 持续比较长, 振荡中心在 1959 年左右;

6~9 a尺度的周期在20世纪80年代以前明显,90年代变弱,2000-2009年又加强,振荡中心在2007年,

主要周期为7 a; 3~4 a尺度的周期在20世纪50年代末、70年代初、80年代中期和90年代初出现。

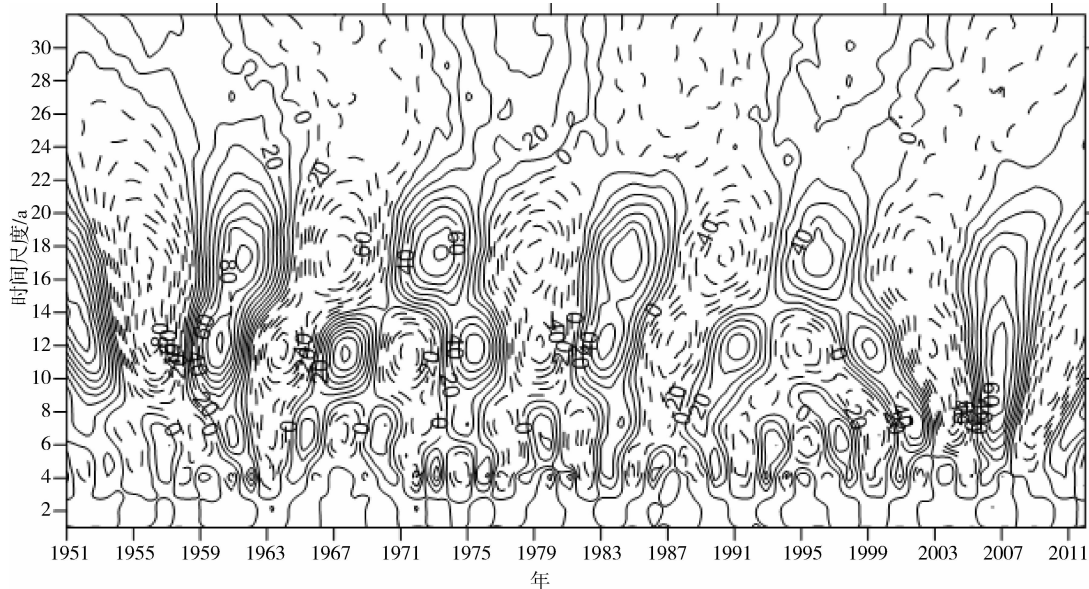


图2 韩江距平年径流量的小波变换系数实部时频分布

小波变换系数的实部包含了在一定时间和尺度下,信号的强度和位相两方面的信息。图2实线对应小波变换系数的实部为正,表示径流量偏多,虚线对应小波变换系数的实部为负,表示径流量偏少,为0时对应着突变点。从图2可看出,它们存在11~17 a、6~9 a及4 a左右3类尺度的周期性变化规律。这与图1的分析结果是一致的。其中11~17 a周期尤为显著,存在2个中心时间尺度,即12 a和17 a交替出现。1954-1956年、1965-1967年、1977-1979年、1988-1989年各时段为负相位,表示年径流量偏少;1959

-1961、1975-1976年、1992-1993年、2005-2007年各时段为正相位,表示年径流量偏丰。径流量在整个研究时域内主要经历了6次丰枯交替变化,对于更小的时间尺度,虽然也有丰枯交替变化,但表现得有些零乱,3~4 a尺度周期年际变化频率快,且波动极值点分布散乱,这说明较小尺度年径流波动频繁,振荡行为明显。由于负相位等值线自2008年还没完全闭合,所以从中尺度来说,未来几年可能会出现持续来水偏少的状况。

径流量距平序列的小波方差图见图3。

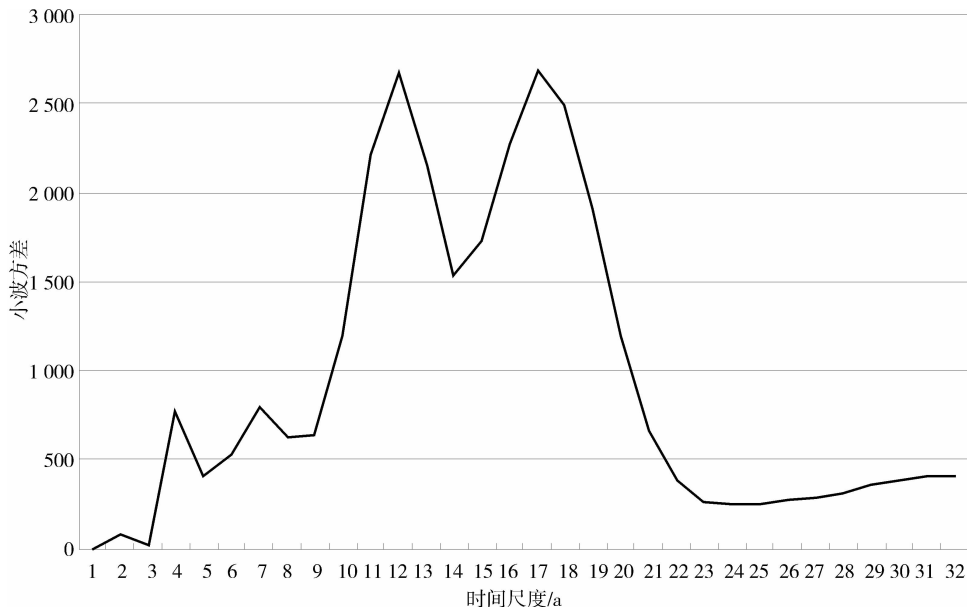


图3 韩江距平年径流量的小波方差

(下转第10页)

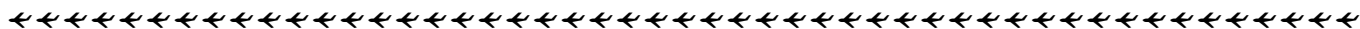
Analysis of Urban Drainage's Pump Station Planning Discharge to PanCun Pump Station Small Plain Catchment Area

YAN WanLing, DENG DongSheng

(FoShan Water Conservancy and Hydropower Construction Design Company, FoShan 528000, China)

Abstract: Take Pancun pump station in Foshan Chancheng District as an example, a new drainage and water logging standard has been accepted to calculate the pump planning discharge under the standards of urban waterlogging and municipal drainage. Analyzing the differences between the draining standards, it comes out to be that once every five years drainage standard is similar with once every 20 years storm drainage standard as to small plain catchment area of urban drainage pumping station's plan flow.

Key words: storm drainage; pumping station; standard; planning discharge



(上接第7页)

图中有4个小波方差值较大,分别对应于4 a、7 a、12 a及17 a的时间尺度。最大的峰值对应着17 a,说明17 a左右的周期振荡最强,为韩江年径流量变化的第1周期,即主周期;次之为12 a,第3主周期为7 a,第4主周期为4 a。

3 结语

通过以上分析,韩江年径流量具有明显的多时间尺度演变特征,在过去的62 a中,存在17 a、12 a、7 a、4 a这4个主要的变化周期,作用着韩江年径流量的变化。径流量在整个研究时域内主要经历了6次丰枯交替变化,从中尺度来看,未来几年可能会出现持续来水偏少的状况。本文运用小波分析的多分辨率功能,对韩江年径流量时间序列进行多时间尺度的分析,研究内容具有一定的实际意义和应用价值。

参考文献:

- [1] 王文圣,丁晶,李跃清. 水文小波分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 刘素一,权先璋,张勇传. 小波变化在径流序列中应用[J]. 自然科学进展,2003,13(6): 659-662.
- [3] 汪丽娜,李粤安,陈晓宏,等. 合水水库径流变化的小波分析[J]. 广东水利水电,2009(11): 5-7.
- [4] 郭文献,夏自强,王鸿翔,等. 近年来长江宜昌站水温变化的多尺度分析[J]. 水利学报,2008,39(11): 1197-1203.
- [5] 陈克龙,李双成,周巧富,等. 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(3): 526-532.

(本文责任编辑 王瑞兰)

Multiple Time Scales Analysis of Annual Runoff Series Based on Wavelet Transform in Hanjiang River

LI Junwei

(Bureau of Hydrology of Shantou, Guangdong Province, Shantou 515041, China)

Abstract: Based on Wavelet Transform Method, the annual runoff time series data of recent 62 years in Hanjiang River has been analyzed, and it is shown that the annual runoff evolution process is with multiple time scales features. It has high and low periods. The major periods are about 17 years, 12 years, 7 years and 4 years. It interchanges periodic law between the wet period and the drought period by 6 times. By this law, Hanjiang River will be low inflow in the coming years.

Key words: wavelet transform; Hanjiang; annual runoff; multiple time scales analysis