

# 基于小波分析 1956—2010 年焉耆盆地 清水河径流量季节变化规律

古丽孜巴·艾尼瓦尔<sup>1,2</sup>, 麦麦提吐尔逊·艾则孜<sup>1,2</sup>,  
米热古丽·艾尼瓦尔<sup>3</sup>, 麦尔丹·阿不拉<sup>2</sup>

(1. 新疆师范大学 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆师范大学  
地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054; 3. 新疆大学 绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** 基于焉耆盆地清水河 1956—2010 年径流量实测资料, 采用小波分析法, 分析了清水河平均径流量季节变化规律。研究结果表明: 清水河春季、夏季、秋季、冬季平均径流量分别为 4.38, 24.98, 11.98, 5.11 m<sup>3</sup>/s。清水河四季平均径流量变化趋势有较大的差别; 清水河四季平均径流量的年际变化过程中存在着多重时间尺度上的复杂嵌套结构, 在不同的尺度周期中, 表现出不同的丰、枯振荡规律, 总体表现为由小尺度无明显规律的剧烈振荡向大尺度有明显规律的振荡变化; 1956—2010 年四季平均径流量变化周期总体上呈现 15~22 a 大尺度的变化周期以及 7~12, 4~5 a 小尺度的变化周期。

**关键词:** 径流量; 小波分析; 清水河

**中图分类号:** P333.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2016)01-0210-05

## The Seasonal Runoff Variation of Qingshui River in Yanqi Basin During Period from 1956 to 2010 Based on Wavelet Analysis

Gulziba · Anwar<sup>1,2</sup>, Mamattursun · Eziz<sup>1,2</sup>, Mihrigul · Anwar<sup>3</sup>, Mardan · Ablat<sup>2</sup>

(1. Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. College of Geographical Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 3. Key Laboratory of Oasis Ecdogy, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** Based on runoff data of Qingshui River during the period from 1956 to 2010, we analyzed the characteristics of seasonal runoff variations of Qingshui River using the wavelet transform analysis. The results indicated that the seasonal runoff rates of Qingshui River in spring, summer, autumn and winter were 4.38, 24.98, 11.98, 5.11 m<sup>3</sup>/s, respectively. The runoff changing trend of Qingshui River in four seasons was different; a complex nested structure for multi-time scales existed in the process of seasonal runoff change, and the oscillation trend was not consistent at different temporal scales, while it changed from a disorderly and violent oscillation at short term scale to a regular oscillation at long-term scale; the seasonal runoff change of Qingshui River showed principal change period of 15~22 years at long-term scale, and 7~12 years, 4~5 years at short-term scale during the period from 1956 to 2010.

**Keywords:** runoff; wavelet analysis; Qingshui River

河川径流是支撑区域经济发展和生态环境改善的重要因素<sup>[1]</sup>。径流的年内分布特征不仅影响人类社会系统的安全, 同时也影响自然生态系统的健康<sup>[2]</sup>。作为水资源的冰川、积雪融水是河川径流的重

要补给来源, 是我国西部干旱地区绿洲农业赖以生存和发展的生命线<sup>[3]</sup>。IPCC (International Panel on Climate Change) 第 4 次评估综合报告指出, 近百年来, 受全球变暖的影响, 气候异常现象时有发生, 下垫

收稿日期: 2015-03-02

修回日期: 2015-03-25

资助项目: 新疆师范大学地理科学与旅游学院地理学博士点支撑学科和新疆维吾尔自治区重点实验室——新疆干旱区湖泊环境与资源实验室资助项目(XJNU-DL-201319); 国家自然科学基金资助项目(U1138302, 41201032)

第一作者: 古丽孜巴·艾尼瓦尔(1990—), 女(维吾尔族), 新疆库车人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区水资源与生态环境。E-mail: gulziba95@126.com

通信作者: 麦麦提吐尔逊·艾则孜(1981—), 男(维吾尔族), 新疆喀什人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事干旱区水资源与生态环境研究。E-mail: oasiseco@126.com

面的能量和水分循环特征发生了很大变化,将改变全球水文循环的现状<sup>[4]</sup>。有关研究表明<sup>[3,5]</sup>,在全球变暖的大背景下,我国西北地区气候出较明显的气候变化现象,其对水资源带来的最直接影响就是改变了径流的大小及其时空分布,进而影响到生态环境和社会经济的发展。清水河位于新疆焉耆盆地,是博斯腾湖主要入湖径流之一,其径流量变化及其影响因子直接影响博斯腾湖水量以及博斯腾湖湿地生态安全<sup>[2]</sup>。虽然一些学者对博斯腾湖入湖径流变化方面进行了研究<sup>[6-8]</sup>,但是对清水河径流季节变化规律的分析并不多见。本文通过对焉耆盆地清水河克尔古提水文站四季平均径流量资料分析,采用滑动平均法与小波分析法来探讨径流量季节变化规律,能为研究区水资源开发、保护与绿洲生态安全提供科学依据。

## 1 研究区概况

焉耆盆地位于新疆巴音郭楞蒙古自治州境内,为南天山山脉之间的中生代断陷盆地,是一个典型的绿洲—荒漠交错地区。盆地总面积为 72.31 万  $\text{hm}^2$ ,地势西高东低、北高南低,总体表现为四周向盆地倾斜的地貌形态,海拔高程 1 050~2 000 m,最低处为我国最大的内陆淡水湖——博斯腾湖。焉耆盆地降水稀少,多年实测平均降水量约 70 mm,年蒸发量约 1 141 mm,多年平均气温 7.9℃,7 月平均气温 22.8℃,1 月平均气温 -8.1℃。清水河流域位于巴州和硕县北部,发源于中天山支脉的天格尔山南麓,流域东面与曲惠沟流域接壤,西面与黄水沟流域毗邻,北界阿拉沟流域,流域最高点海拔 4 594.4 m。地理位置为 86°35′—87°10′E,42°10′—42°50′N,山口以上为山区产流区,海拔多在 1 510 m 以上,山口以下为径流散失区,海拔多在 1 000 m 以下,海拔 4 000 m 以上终年积雪。清水河河流发源于天格尔山海拔 4 265 m 的阿勒古达板,从河源至出山口河长 60.2 km,流域平均宽度 22.1 km,最大宽度 36.0 km,流域平均海拔为 3 110 m,河道平均坡度 3.7%,流域发育冰川面积 5.64  $\text{km}^2$ ,占流域总面积的 0.56%<sup>[9]</sup>。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

本文所用水文资料为 1956—2010 年清水河克尔古提水文站月平均径流量的时间序列数据,资料来源于当地水文站。数据在 Matlab 软件平台的支持下,采用对称性延拓消除或减小“边界效应”,选取 Morlet 复值小波计算小波系数,并绘制小波方差图,分析了清水河四季平均径流量周期振荡特征,揭示了径流量季节变化规律。

### 2.2 小波分析

水文水资源系统具有时变性,因此水文时间序列常表现出非平稳特性。水文序列的非平稳性与时间变化性,要求一种可以同时满足时域分析和频域分析的函数,来刻画它的变动信息。Morlet 提出的小波分析(Wavelet Analysis)满足这一要求<sup>[10]</sup>。20 世纪 80 年代初在傅里叶变换(Fourier transform, FT)基础上发展起来的小波分析技术很好地克服了传统谱分析方法的缺点,它采用一种窗口大小可变、位置可动的变窗进行谱分析,从而满足了信号时、频局部化的要求。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<sup>[10]</sup>。小波函数为一组震荡变换的伸缩平移基  $\Psi(t)$ 。将小波母函数  $\Psi(t)$  进行伸缩平移,就可以得到一组函数序列  $\Psi(t)$ :

$$\Psi_{a,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \quad (1)$$

式中: $a$ ——伸缩因子; $\tau$ ——平移因子; $\Psi(t)$ ——子小波; $t$ ——平移参数。

Morlet 小波函数为复数小波,其表达式为:

$$\psi(t) = e^{it} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (2)$$

式中: $c$ ——常数; $i$ ——虚部。小波变换是把一称为基本小波的函数做位移后,再在不同的尺度域下对待分析信号做内积。将函数  $f(x) \in L(R)$  在小波基下展开,得到  $f(t)$  的连续小波变换表达式,则小波系数为:

$$W_{f(a,t)} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{\mathbb{R}} f(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt \quad (3)$$

$W_f(a,t)$  随参数  $a, t$  变化,可以做出以  $t$  为横坐标,  $a$  为纵坐标的二维  $W_f(a,t)$  等值线图。通过此图能得到关于时间序列的小波特征。不同尺度的小波系数可以反映系统在该时间尺度的变化特征。正负小波系数的转折点对应着突变点。小波系数绝对值越大,表明该时间尺度变化越显著。将时间域上关于  $a$  的所有小波系数的平方进行积分,得到小波方差:

$$\text{var}(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W_f(a,t)|^2 dt \quad (4)$$

小波方差随尺度  $a$  变化过程在图像上显示出来便是小波方差图,其反映了波动能量随尺度的分布情况,可以用来确定一个时间序列中存在的主要周期成分<sup>[11-14]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 清水河径流量季节变化趋势

由图 1 可知,1956—2010 年清水河春季平均径流量为 4.38  $\text{m}^3/\text{s}$ ,最小值出现在 1956 年,为 1.80  $\text{m}^3/\text{s}$ ,最大值出现在 1996 年,为 7.27  $\text{m}^3/\text{s}$ 。与 5 年滑动平均曲线相结合得知,春季平均径流量在 1956—2010 年总体上呈增加趋势;夏季平均径流量为 24.98  $\text{m}^3/\text{s}$ ,最小值出现在 1985 年,为 7.68  $\text{m}^3/\text{s}$ ,最大值出现在 2002

年,为  $80.90 \text{ m}^3/\text{s}$ 。夏季平均径流量在 1956—2002 年呈波动增加趋势,2002—2010 年呈减少趋势;秋季平均径流量为  $11.98 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最小值出现在 1985 年,为  $5.18 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大值出现在 2005 年,为  $24.50 \text{ m}^3/\text{s}$ 。秋季平均径流量在 1956—1985 年呈波动减少趋势,1986—2005 年呈波动增加趋势,2006—2010 年呈减少趋势;

冬季平均径流量为  $5.11 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最小值出现在 1956 年,为  $2.24 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大值出现在 1957 年,为  $6.74 \text{ m}^3/\text{s}$ 。冬季平均径流量在 1956—1993 年呈多次波动变化趋势,1993—2010 年无明显变化。以上分析可以看出,清水河四季平均径流量变化趋势有较大的差别,即在 1956—2010 年四季平均径流量呈现不同的变化趋势。

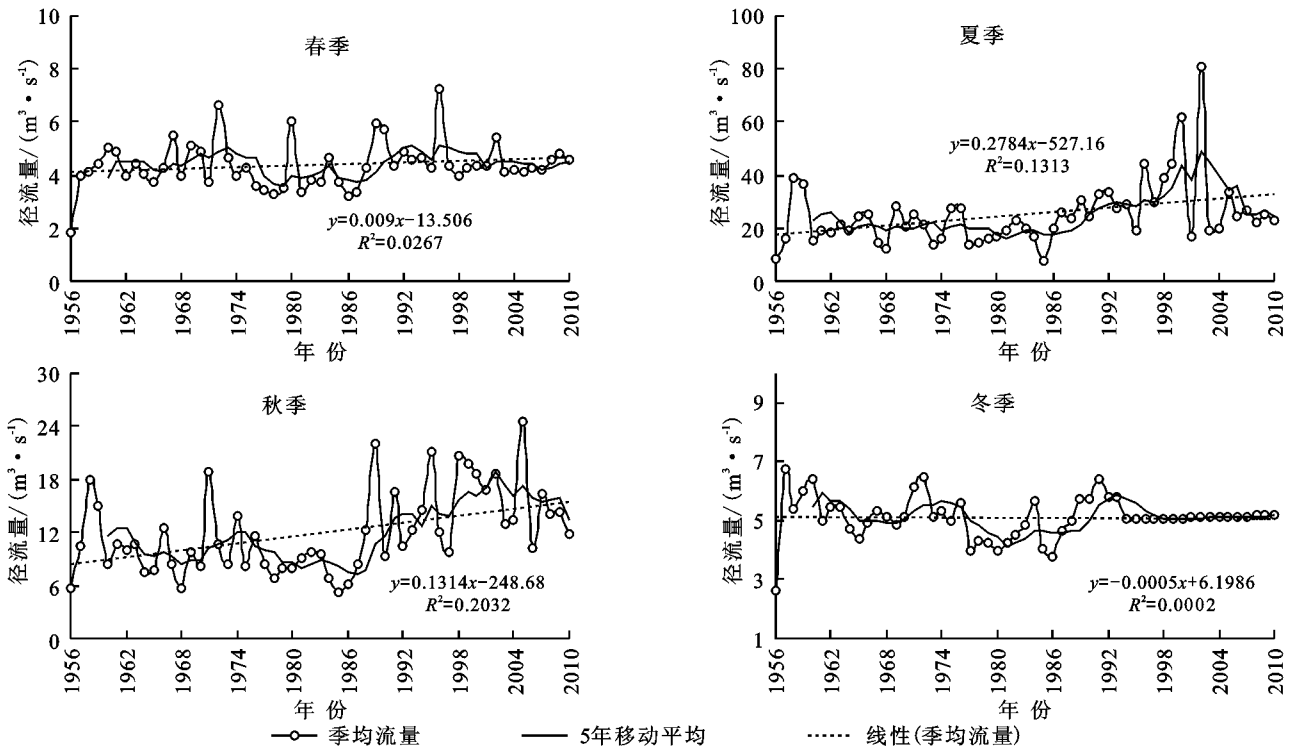


图1 1956—2010年清水河四季平均径流量间变化趋势

### 3.2 清水河径流量季节变化规律分析

小波系数等值线图能够反映径流量中所包含的各种周期与振幅大小,以及同周期的振幅随时间的变化规律<sup>[15]</sup>。根据 1956—2010 年清水河四季径流量变化数据,绘制了 Morlet 小波变换后的小波系数实部等值线图(图 2),可以观察出径流量随着不同时间尺度丰、枯交替的变化特征<sup>[12]</sup>。由图 2 可见,清水河春季平均径流量的年际变化过程中存在着 15~21 a 和 8~13 a 的多重时间尺度上的复杂嵌套结构。1956—2010 年清水河春季平均径流量在整个时间域上具有 15~21 a 尺度的明显周期振荡规律,共经历 5 次“丰”/“枯”循环交替,8~13 a 尺度的周期共经历了 12 次“丰”/“枯”循环交替;夏季平均径流量的年际变化过程中存在着 15~23 a 和 10~13 a 的多重时间尺度上的复杂嵌套结构。15~23 a 尺度的周期振荡规律共经历 2 次“丰”/“枯”循环交替,10~13 a 尺度的短周期存在于 1984—2007 年,共经历了 4 次“丰”/“枯”循环交替;秋季平均径流量的年际变化过程中存在着 15~23 a 和 7~13 a 的多重时间尺度上的复杂嵌套结构。15~23 a 尺度的周期振荡规律共经历 2 次“丰”/“枯”循环交替,7~13 a 尺度的周期共经历了

13 次“丰”/“枯”循环交替;冬季平均径流量的年际变化过程中存在着 13~21 a 和 8~12 a 的多重时间尺度上的复杂嵌套结构。13~21 a 尺度的周期振荡规律共经历 6 次“丰”/“枯”循环交替,8~12 a 尺度的短周期存在于 1974—2005 年,共经历了 6 次“丰”/“枯”循环交替。以上分析可以看出,清水河四季平均径流量并不以固定周期的形式发生变化,而是以不同尺度周期相互嵌套的形式出现。从不同时间尺度分析四季径流量变化发现:大尺度反映了径流量季节变化的年代际背景,而小尺度的变化过程则反映了大尺度背景下四季径流量的详细变化。

小波方差能反映径流量时间序列的波动能量随时间尺度的分布情况和小波变换系数在不同频域内方差贡献的相对极大值,从而准确地判读径流量变化过程中存在的主周期<sup>[15]</sup>。

由图 3 可知,清水河春季平均径流量时间序列存在 4 个峰值,春季平均径流量变化的第 1 主周期为 17 a,第 2, 3, 4 主周期分别为 12, 9, 5 a;夏季平均径流量时间序列存在 5 个峰值,夏季平均径流量变化的第 1 主周期为 22 a,第 2, 3, 4, 5 主周期分别为 20, 12, 8, 4 a;秋季平均径流量时间序列存在 3 个峰值,

秋季平均径流量变化的第 1 主周期为 22 a,第 2,3 主周期分别为 20,9 a。冬季平均径流量时间序列存在 4 个峰值,冬季平均径流量变化的第 1 主周期为 15 a,第 2,3,4 主周期分别为 12,7,4 a。以上分析可以看出,清水河 1956—2010 年四季平均径流量变化周期总体上呈现了 15~22 a 大尺度的变化周期和 7~12,4~5 a 小尺度的变化周期。显著性水平来看,春季径流量变化存在 9 a 的显著周期,即春季流量变化序列的主周期。在整个时间尺度范围内,也存在着 12,17 a 的振荡周期,但未通过显著性检验。春季流量最高峰值在 17 a 处,但未通过显著性检验,不能

作为主周期,9 a 符合要求,是春季径流量变化主周期。夏季径流量变化存在 22 a 的显著周期,但未通过显著性检验,不能作为主周期,6 a 符合要求,是夏季径流量变化主周期。秋季径流量变化存在 7 a 的显著周期,通过了显著性检验,是秋季径流量变化的主周期。冬季径流量变化存在 7 a 的显著周期,通过了显著性检验,为冬季径流量变化序列的主周期。为了更明确地说明四季流量交替变化的波动特性,分析了四季主周期( $a=9,a=6,a=7,a=7$ )所对应的小波系数实部与年份(1956—2010 年)之间的过程线(图 4)。

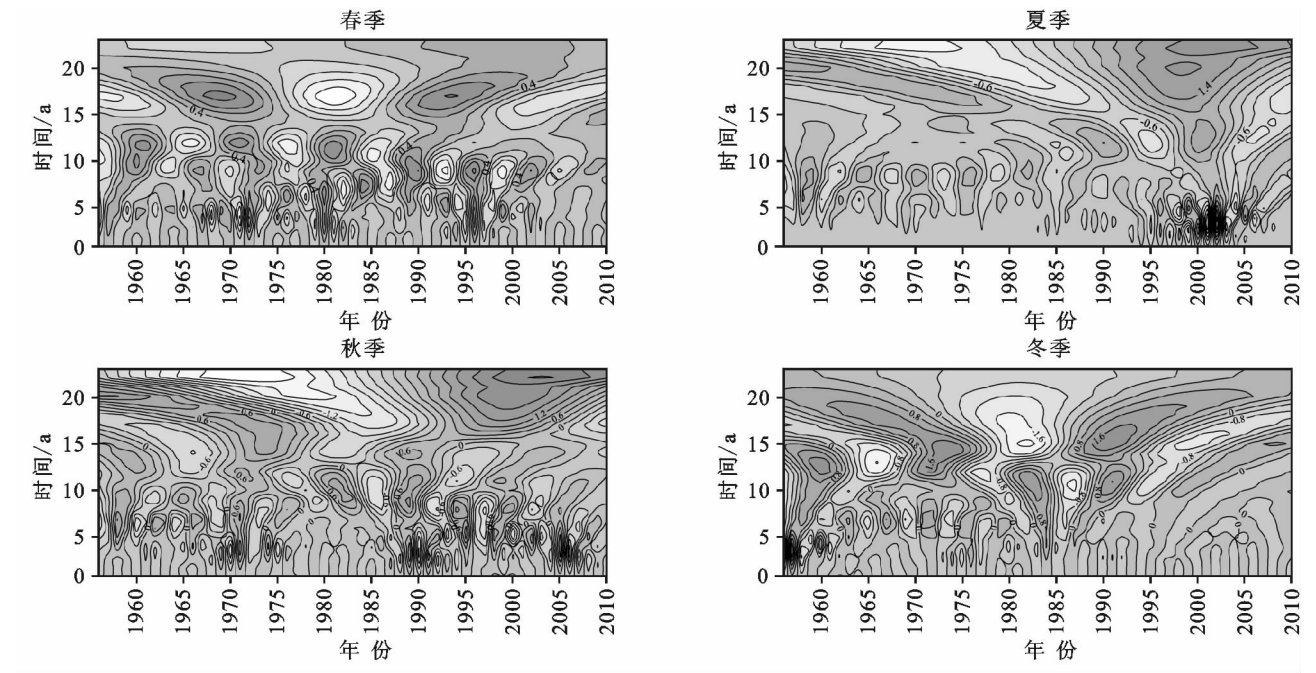


图 2 清水河四季平均径流量 Morlet 小波变换系数

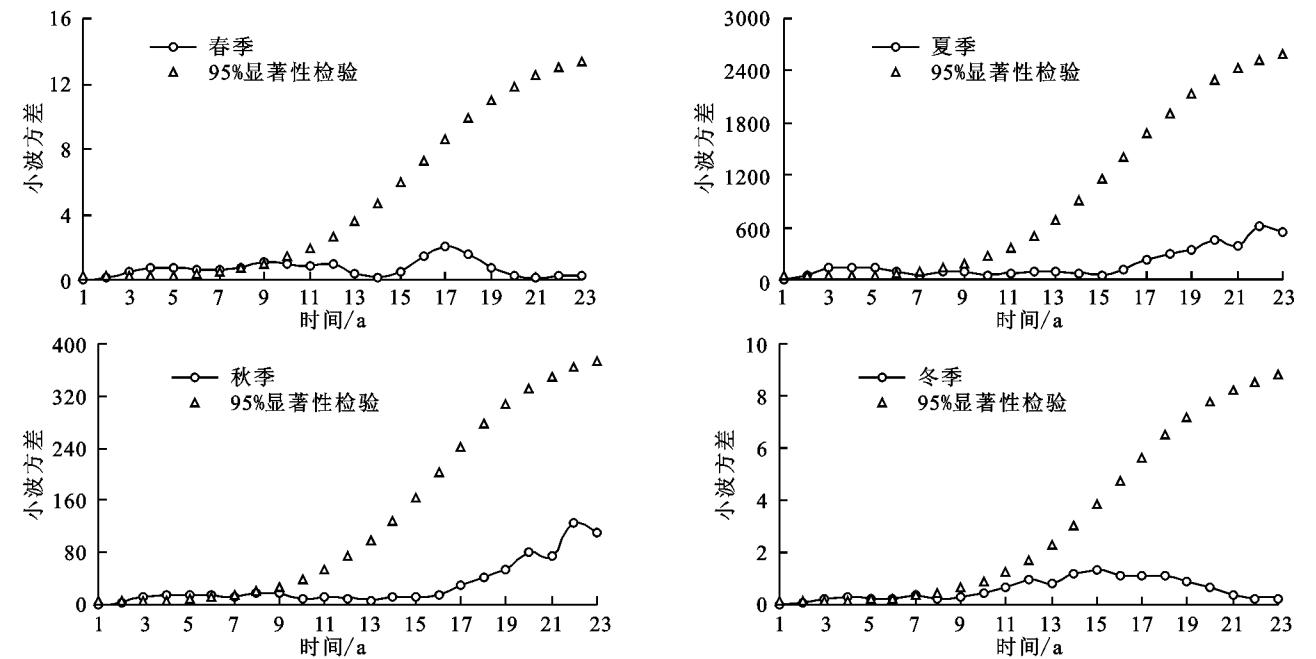


图 3 清水河四季平均径流量 Morlet 小波变换的方差

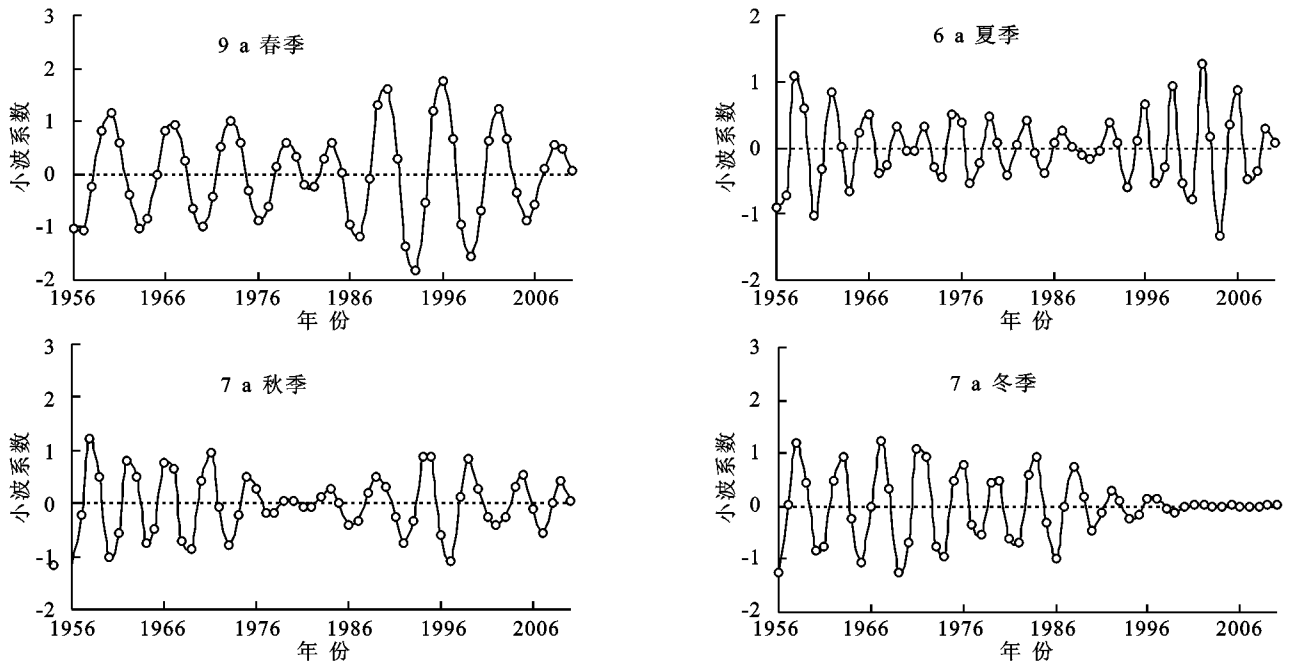


图 4 清水河四季平均径流量小波系数波动

由图 4 可知,春季径流量变化在 9 a 尺度上 1992—1994 年、1998—2000 年、2004—2006 年为负位相,径流量偏小,1959—1961 年、1989—1991 年、1995—1997 年、2001—2003 年为正位相,流量偏多;夏季径流量变化在 6 a 尺度上,1960—1961 年、2000—2001 年、2004 年左右为负位相,属于径流量偏小期;1958—1959 年、1999 年、2005—2006 年为正位相,径流量偏多;秋季径流量变化在 7 a 尺度上,1956—1957 年、1960—1961 年、1996—1997 年左右为负位相,属于径流量偏小期,1958—1959 年、1970—1971 年、1994—1995 年、1999—2000 年为正位相,径流量偏多;冬季径流量变化在 7 a 尺度上,1958—1959 年、1967—1968 年、1983—1984 年为负位相,属于流量偏小期,1960—1961 年、1969—1970 年、1985—1986 年为正位相,径流量偏多。

## 4 结论

(1) 清水河春、夏、秋、冬季平均径流量分别为 4.38, 24.98, 11.98, 5.11  $\text{m}^3/\text{s}$ 。清水河四季平均径流量变化趋势有较大的差别。

(2) 清水河春季平均径流量的年际变化过程中存在着 15~21 a 和 8~13 a 的多重时间尺度上的复杂嵌套结构。夏季平均径流量的年际变化过程中存在着 15~23 a 和 10~13 a 的变化周期。秋季平均径流量的年际变化过程中存在着 15~23 a 和 7~13 a 的多重时间尺度变化周期。冬季平均径流量的年际变化过程中存在着 13~21 a 和 8~12 a 的多重时间尺度变化周期。从不同时间尺度分析四季径流量变

化情况来看,大尺度反映了径流量季节变化的年代际背景,而小尺度的变化过程则反映了大尺度背景下四季径流量的详细变化。

(3) 清水河 1956—2010 年四季平均径流量变化周期总体上呈现 15~22 a 大尺度的变化周期以及 7~12, 4~5 a 小尺度的变化周期。

### 参考文献:

- [1] 王国庆,张建云,李雪梅,等. 黄土高原泾水河流域径流变化及其对环境要素的响应[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 192-196.
- [2] 麦麦提吐尔逊·艾则孜,海米提·依米提,马蓉. 1956—2010 年新疆焉耆盆地径流变化特征及驱动力分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(3): 670-677.
- [3] 李佳,杨太保,何毅,等. 1990—2011 年天山东部冰川退缩对气候的响应[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 212-216.
- [4] 李佳秀,徐长春,王晓,等. 开都河流域极端水文事件变化及其对气候的响应[J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 285-292.
- [5] 沈永平,苏宏超,王国亚,等. 新疆冰川、积雪对气候变化的响应(II): 灾害效应[J]. 冰川冻土, 2013, 35(6): 1355-1370.
- [6] 薛杰,李兰海,李雪梅,等. 开都河流域降水与径流年内分配特征及其变化的同步性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(12): 99-104.
- [7] 张一驰,李宝林,程维明,等. 开都河流域径流对气候变化的响应研究[J]. 资源科学, 2004, 26(6): 69-76.
- [8] 陶辉,王国亚,邵春,等. 开都河源区气候变化及径流响应[J]. 冰川冻土, 2007, 29(3): 413-417.
- [9] 白淑英,王莉,史建桥,等. 基于 SWAT 模型的开都河流域径流模拟[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(9): 79-84.

## 参考文献:

- [1] Rapport D J. What constitutes ecosystem health[J]. Perspectives in Biology and Medicine, 1989, 33(1): 120-132.
- [2] Rapport D J. Ecosystem Health[M]. Oxford: Blackwell Science, 1998.
- [3] 唐涛, 蔡庆华, 刘健康. 河流生态系统健康及其评价[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1191-1194.
- [4] 边博, 程小娟. 城市河流生态系统健康及其评价[J]. 环境保护, 2006(4): 66-69.
- [5] 张晓琴, 石培基. 基于 PSR 模型的兰州城市生态系统健康评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(3): 77-82.
- [6] 樊自立, 马英杰, 王让会, 等. 干旱区内陆河流域生态系统的类型及整治途径[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 393-397.
- [7] 杨春红, 张正栋, 田楠楠, 等. 基于 PSR 模型的汕头市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 209-214.
- [8] 颜利, 王金坑, 黄浩. 基于 PSR 框架模型的东溪流域生态系统健康评价[J]. 资源科学, 2008, 30(1): 107-113.
- [9] 任建丽, 金海龙, 叶茂, 等. 基于 PSR 模型对艾比湖流域生态系统健康评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(2): 37-41.
- [10] 史永亮, 杨东峰, 王如松, 等. 基于 PSR 模型的大丰市城市生态系统健康综合评价[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(2): 120-124.
- [11] 张秀娟, 周立华. 基于 DFRS 模型的北方农牧交错区生态系统健康评价: 以宁夏盐池县为例[J]. 中国环境科学, 2012, 32(6): 1134-1140.
- [12] 冯科, 吴次芳, 刘勇. 浙江省城市土地集约利用的空间差异研究: 以 PSR 与主成分分析的视角[J]. 中国软科学, 2007(2): 102-108.
- [13] 石晓枫, 兰芬. PSR 模式在城市规划环境影响评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2006, 32(6): 442-445.
- [14] 林倩, 张树深, 刘素玲. 辽河口湿地生态系统健康诊断与评价[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(1): 41-46.
- [15] 陈奕, 许有鹏, 宋松. 基于“压力—状态—响应”模型和分形理论的湿地生态健康评价[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(6): 27-31, 59.
- [16] 乔蕻强, 陈英. 基于 PSR 模型的干旱绿洲灌区耕地集约利用评价[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 238-243.
- [17] 陈美球, 刘桃菊, 许莉. 基于 PSR 框架模型的流域生态系统健康评价研究现状及展望[J]. 江西农业大学学报: 社会科学版, 2011, 10(3): 83-89.
- [18] 陈美球, 许莉, 刘桃菊, 等. 基于 PSR 框架模型的赣江上游生态系统健康评价[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(4): 839-845.
- [19] 林和山, 陈本清, 许德伟, 等. 基于 PSR 模型的滨海湿地生态系统健康评价: 以辽河三角洲滨海湿地为例[J]. 台湾海峡, 2012, 31(3): 420-429.
- [20] 罗遵兰, 赵志平, 孙光, 等. 松花江流域湿地生态系统健康评价[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 105-110.
- [21] 田青, 李宗杰, 宋玲玲, 等. 甘肃河西地区 1986—2011 年水土保持生态安全格局[J]. 中国沙漠, 2015, 34(6): 1692-1698.
- [22] 刘海娟, 陆凡. 遗传投影寻踪插值模型在生态安全评价中的应用: 以甘肃省民勤县为例[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013, 41(1): 118-124.
- [23] 谢余初, 巩杰, 赵彩霞, 等. 干旱区绿洲土地利用变化的生态系统服务价值响应: 以甘肃省金塔县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 165-170.

~~~~~  
(上接第 214 页)

- [10] 夏库热·塔依尔, 海米提·依米提, 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 等. 基于小波分析的开都河径流变化周期研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 142-147.
- [11] 爱勤, 王文科, 段磊, 等. 渭河流域基流及降雨的多尺度特征和突变分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(6): 144-148.
- [12] 米热古力·艾尼瓦尔, 海米提·依米提, 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 等. 基于小波分析的伊塞克湖水位变化特征[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 168-172.
- [13] 王欢, 李栋梁, 蒋元春. 1956—2012 年黄河源区流量演变的新特征及其成因[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 403-412.
- [14] 沈雪峰, 艾成. 新疆玛纳斯河径流时间变化特征及其趋势分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(7): 14-19.
- [15] 杨丁丁, 欧阳华, 周才平, 等. 青藏高原年楚河 1961—2000 年的径流变化特征分析[J]. 资源科学, 2011, 33(7): 1272-1277.