

# 佳木斯地区 1956—2010 年径流量时间序列变异分析

曹伟征<sup>1</sup>, 邢贞相<sup>2,3</sup>, 李衡<sup>2,3</sup>, 娄丹<sup>1</sup>, 张玉国<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省水文局, 哈尔滨 150001; 2. 东北农业大学 水利与土木工程学院, 哈尔滨 150030;  
3. 东北农业大学 农业部 农业水资源高效利用重点实验室, 哈尔滨 150030)

**摘要:** 日趋频繁的极端天气和大规模的水资源开发对区域生态环境产生严重的影响, 准确获取径流量时间序列的变化特征可为水资源的合理开发和水利水电工程规划运用提供科学的决策依据。采用趋势检验法、Mann-Kendall 突变分析法和小波分析对佳木斯地区 1956—2010 年径流量变化的趋势性、突变性和周期性特征进行了深入的研究。结果表明: 近 45 年来, 佳木斯地区各季节及全年径流量的年际总体变化趋势的倾向率各不相同, 春季、夏季、秋季及全年径流量呈明显下降趋势, 而冬季径流量则呈缓慢上升趋势; 各季节及年径流量的时间突变点基本一致, 都分别发生在 1967 年、1972 年和 1998 年左右; 该地区四季及年径流量的周期变化特征差异较大, 22 年、13 年、9 年和 4 年左右尺度波动较为明显。

**关键词:** 径流量; 时间序列分析; 趋势分析法; Mann-Kendall 突变分析法; 小波分析

中图分类号: P333

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)06-0126-05

## Time Series Analysis on Runoff in Jiamusi Area From 1956 to 2010

CAO Weizheng<sup>1</sup>, XING Zhenxiang<sup>2,3</sup>, LI Heng<sup>2,3</sup>, LOU Dan<sup>1</sup>, ZHANG Yuguo<sup>1</sup>

(1. Hydrological Bureau of Heilongjiang Province, Harbin 150001, China; 2. School of Water Conservancy & Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 3. Key Laboratory of High Efficient Utilization of Water Resources, Ministry of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Obtaining the characteristics of time series of runoff can provide the references for catching the temporal characteristics and rational development of water resources and programming of water conservancy and hydropower engineering. The trend analysis method, Mann-Kendall abrupt change analysis, and wavelet analysis were used to analyze the temporal trends of runoff based on observed runoff data in the Jiamusi from 1956 to 2010. The results showed that the annual tendency of seasonal and annual runoff in Jiamusi were different, runoff decreased significantly in spring, summer, autumn, annual runoff significant reduced, and runoff rose slowly in winter; the abrupt change points of runoff were roughly consistent with each other in 1967, 1972 and 1998 or so; there was obvious change trend in general with different internal variation trends, four main periods of 22 years, 13 years, 9 years and 4 years or so for seasonal and annual runoff series existed.

**Keywords:** runoff; time series analysis; trend analysis method; Mann-Kendall abrupt change analysis; wavelet analysis

径流是地貌形成的外营力之一, 影响土壤的发育, 植物的生长和湖泊、沼泽的形成等。同时, 一个国家或区域的径流量的多寡对其国民经济可持续发展

具有重要的战略意义。径流量是构成地区工农业、城乡居民生活供水和生态环境需水的重要保障条件, 是制约社会经济发展规模的重要因素。河川径流与气

收稿日期: 2017-11-16

修回日期: 2017-12-19

资助项目: 国家重点研发计划(2017YFC0406004); 国家自然科学基金(51109036); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20112325120009); 黑龙江省自然科学基金(E2015024); 黑龙江省领军人才梯队后备带头人项目(500001); 黑龙江省水利厅科技开发项目(201402, 201404); 东北农业大学“学术骨干”项目(16XG11)

第一作者: 曹伟征(1965—), 男, 黑龙江七台河人, 高工, 学士, 主要从事水文测验与预报方面的研究。E-mail: 450058251@qq.com

通信作者: 邢贞相(1976—), 男, 黑龙江讷河人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事水文不确定性方面的研究。E-mail: zxxing@neau.edu.cn

候变化、人类活动密切相关,其特性复杂多变<sup>[1-3]</sup>。

随着区域气候变化和人类活动影响的加剧,致使水文时间序列发生显著的变异。为了区域水资源的高效利用和科学开发,各地对其年径流量的变化特征进行了深入研究。Hou 等<sup>[4]</sup>利用肯达尔检验方法分析了长江上游径流的变化,发现嘉陵江、岷江、金沙江、乌江等地径流量有所减少。Li 等<sup>[5]</sup>利用 Hurst 指数对黄河流域 1951—1998 年径流的趋势性和持续性,分析结果表明,不同子区域的年径流在洪水季节不仅有下降趋势而且在一定程度上具有持久性。秦年秀等<sup>[6]</sup>认为 20 世纪 90 年代长江流域径流冬季、夏季径流增加明显,90 年代汛期径流呈明显增加趋势,大大增加了洪灾发生的可能,通过突变分析指出 1926 年宜昌、汉口径流量明显减小。这与 20 世纪 20 年代初,北半球变暖有关。Jha 等<sup>[7]</sup>采用非参数 Mann-Kendall 趋势检验对地貌和气候不受干扰的东南亚马来西亚半岛 4 个主要流域的 25 a 极值径流数据进行了分析,结果表明其中 3 个流域的最大流量都显示出了减少趋势。不同流域所处地理位置、气候条件及其下垫面条件也差异较大,所表现出的径流变化特征也不尽相同<sup>[2,8]</sup>。以上的研究表明,采用趋势分析和突变检验研究径流变化特征是可行的,但多针对径流的大尺度径流的变化趋势进行分析,因而,难以发现流域内局部地区径流变化特征。因此,本文对佳木斯地区 1956—2010 年的径流量变化特征进行深入分析,研究成果可对以农业为主的区域防灾排涝和灌区水资源的高效利用具有重要的意义。

## 1 研究区概况

佳木斯位于中国东北的松花江、黑龙江、乌苏里江汇流而成的三江平原腹地。佳木斯行政区域包括佳木斯市及其所属的桦川县、桦南县、汤原县、富锦市、同江市、抚远县 6 个市县。区域总面积为 3.29 万 km<sup>2</sup>,占黑龙江省总面积的 7.21%,是中国重要的粮食储备基地和商品粮生产基地。该区域内水系较为丰富,有松花江及其支流倭肯河、安邦河,黑龙江及其支流浓江河、鸭绿河,乌苏里江及其支流别拉洪河,区内多年平均年径流量约为 3.7 亿 m<sup>3</sup>,且年内分配不均,7—10 月径流量占多年平均径流的 45% 左右。近些年来,佳木斯由于盲目扩展水田面积,加之农民节水意识淡薄,使得佳木斯地下水位普遍下降,进而诱发了一系列水资源短缺和水生态环境问题<sup>[9]</sup>。径流量是区域发展中的限制性资源要素,揭示佳木斯地区

年径流量的变化特征对保障区域粮食安全、维持水生态健康都具有重要意义。

## 2 数据与分析方法

### 2.1 基本气象数据

本文所用的主要摘录自 1956—2010 年《黑龙江省水文年鉴》的相关统计数据,并结合相应年份的《黑龙江省经济统计年鉴》中的统计成果,对部分县市的径流量进行了必要的对比和检验。

### 2.2 分析方法

本文分别从趋势性、突变性和周期性 3 方面对径流量时间序列变化特征展开分析。其中,趋势性分析采用趋势分析法<sup>[10]</sup>;突变性分析选用世界气象组织(WMO)推荐的 Mann-Kendall(M-K)突变分析法<sup>[11]</sup>;周期性分析采用 Morlet 小波分析方法<sup>[12-13]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 径流量趋势性分析

利用趋势分析法可得出佳木斯地区年、季径流量(图 1)。由图 1 可知,年际变化上,近 60 年来佳木斯春季、夏季及秋季均呈下降趋势,年际倾向率分别为 $-7.895 \text{ 亿 m}^3/10 \text{ a}$ 、 $-24.811 \text{ 亿 m}^3/10 \text{ a}$ 和 $-28.666 \text{ 亿 m}^3/10 \text{ a}$ ;冬季呈微弱上升趋势,年际倾向率为 $0.635 \text{ 亿 m}^3/10 \text{ a}$ 。而整个佳木斯年总径流量呈下降趋势,年际倾向率为 $-60.737 \text{ 亿 m}^3/10 \text{ a}$ 。为消除周期变化对数据进行 5 a 滑动平均处理,结果表明近 60 年来径流量并没有明显的上升或下降趋势,而是呈波动状态。

### 3.2 突变性分析

水文时间序列的突变点往往包含丰富的突变信息,它反映了引起突变的气候原因、人类活动的影响等,但趋势性分析只能发现时间序列的整个变化趋势,无法具体反映序列内部的变化特征,因此采用 M-K 方法深入分析径流量时间序列内部的突变特征,M-K 突变检验分析结果如图 2 所示(图中虚线表示  $\alpha=95\%$  的显著性水平的临界值)。

春季径流量 UF-UB 两条曲线在 1968 年、1995 年交于临界线之间。表现为春季径流量 1968 年前呈明显下降趋势,1968—1995 年后呈明显上升趋势,1995 年后呈明显下降趋势。

夏季径流量 UF-UB 曲线在 1967 年、1975 年和 1998 年交于临界线之间。表现为夏季径流量 1967 年前呈明显上升趋势,1967—1975 年呈明显下降趋

势,1975—1998 年呈明显上升趋势,1998 年后呈明显下降趋势。

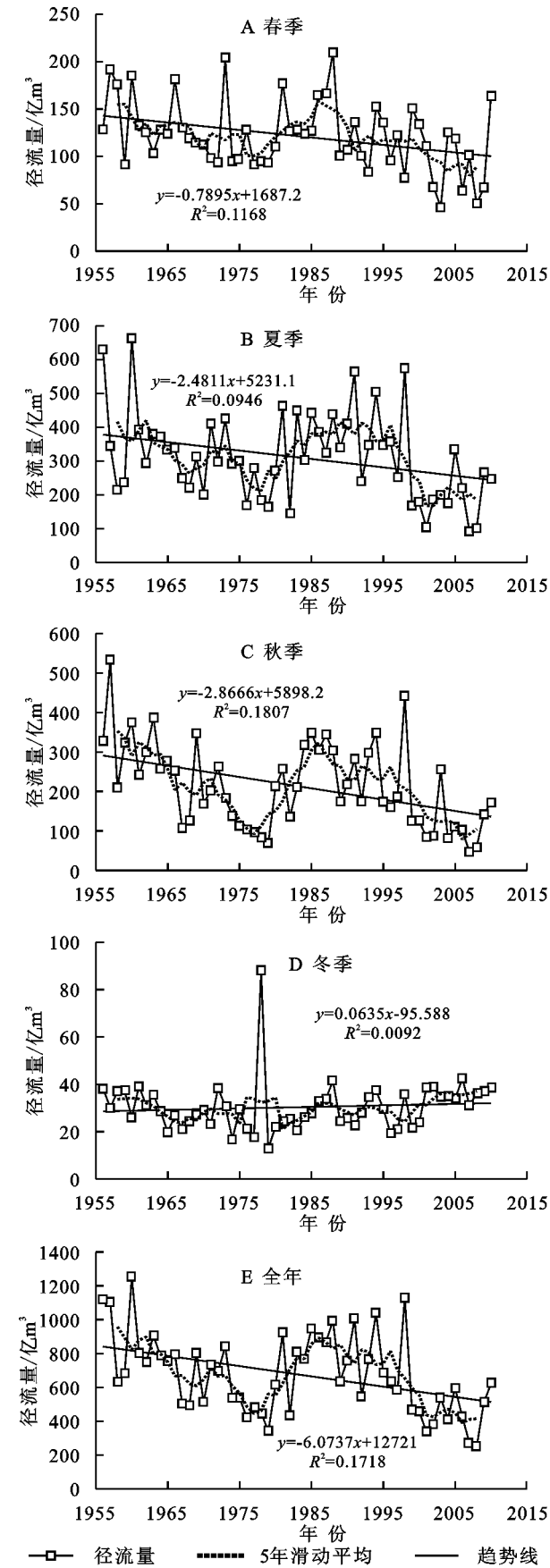


图 1 佳木斯径流量趋势变化特征

秋季径流量 UF-UB 曲线在 1966 年、1998 年交于临界线之间。表现为秋季径流量 1966 年前呈明显下降趋势,1966 年后呈明显上升趋势,1998 年后呈明显下降趋势。

冬季径流量 UF-UB 两条曲线只有 2008 年一个交点且交于临界线之间。表现为冬季径流量 2008 年发生突变后呈明显上升趋势。

年径流量 UF-UB 曲线在 1967 年、1972 年和 1998 年交于临界线之间。表现为年径流量 1967 年前呈明显上升趋势,1967—1972 年呈明显下降趋势,1972—1998 年呈明显上升趋势,1998 年后呈明显下降趋势。

各季节径流量及年径流总量表现出的突变点基本都出现在 1967 年、1972 年、1998 年左右,究其原因可能是以下两类所致。一是由于气候因素中的降水变化所致。因为松花江流域 20 世纪 60 年代后期到 80 年代初、90 年代后期出现少雨期,其降水量均表现下降趋势<sup>[14]</sup>。二是区域土地利用发生变化。佳木斯地区所在三江平原于 20 世纪 60 年代末—70 年代初进行过大规模农业开发,90 年代末—21 世纪初,水田种植面积骤增致使农业灌溉用水量增加,河道径流量减少<sup>[15]</sup>。

3.3 周期性分析

运用小波分析对 1956—2010 年佳木斯年径流量数据进行分析,得到小波变换系数实部时频分布图(图 3)。从图 3 可以看出,近 60 年来佳木斯四季及全年包含了不同尺度的周期变化。为进一步分析其周期性,图 4 给出了佳木斯四季及年径流 Morlet 小波方差分布。综合分析图 3 和图 4 可知,佳木斯 22 a, 13 a, 9 a, 4 a 左右尺度波动较为明显,存在径流量偏多偏少循环交替变化,在 2010 年后上述尺度的小波正在形成,小波系数为正,因此预测未来径流量在这 4 种尺度上均呈偏多趋势(表 1)。

表 1 佳木斯主周期变化 a

时间	第 1 主 周期	第 2 主 周期	第 3 主 周期	第 4 主 周期
春季	22	10	16	4
夏季	26	27	6	15
秋季	22	13	5	9
冬季	27	12	4	8
全年	23	13	6	4

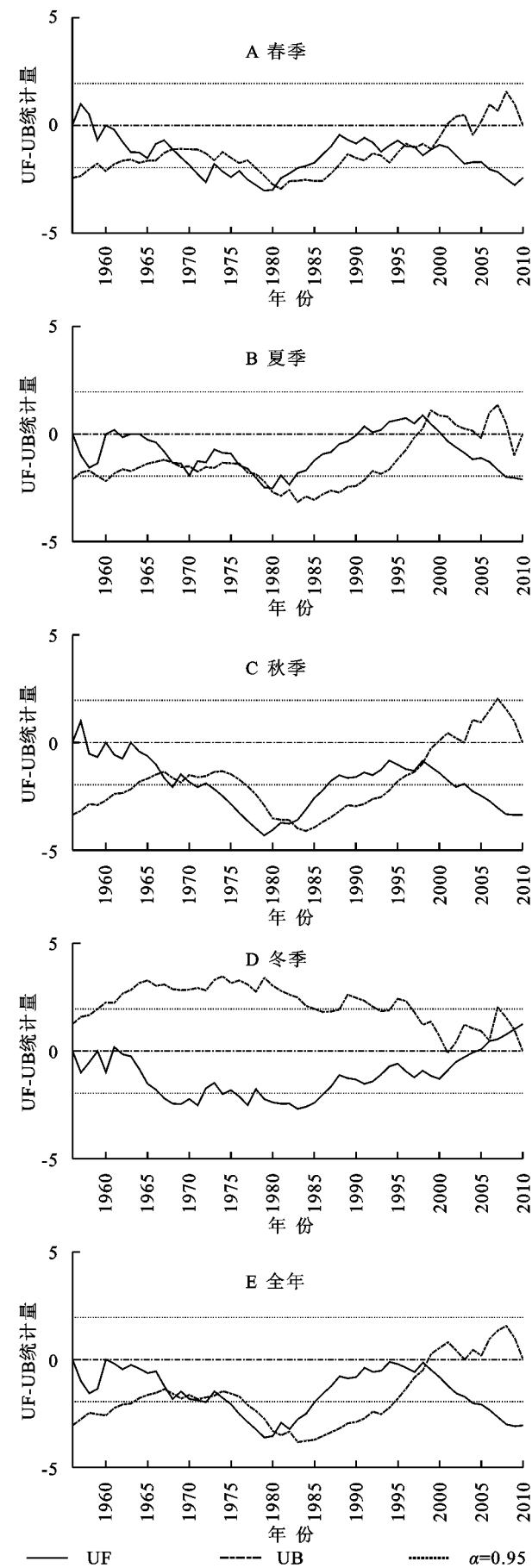


图 2 佳木斯径流量 M-K 突变分析结果

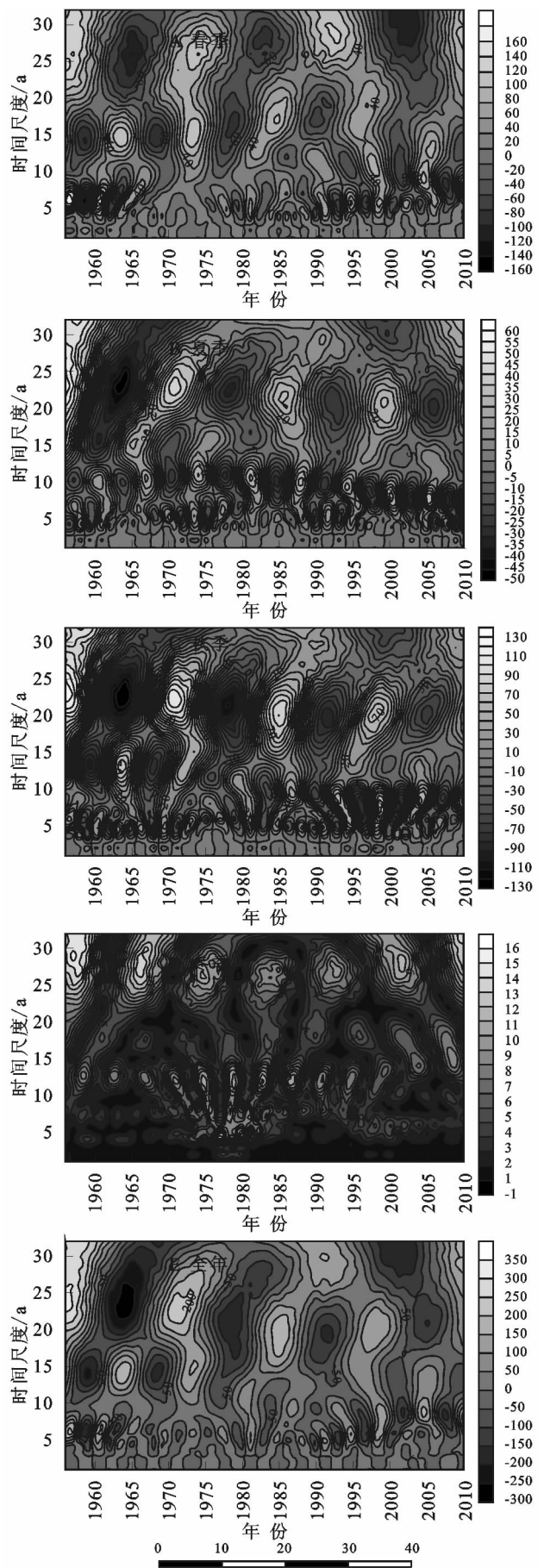


图 3 小波变换系数实部时频分布

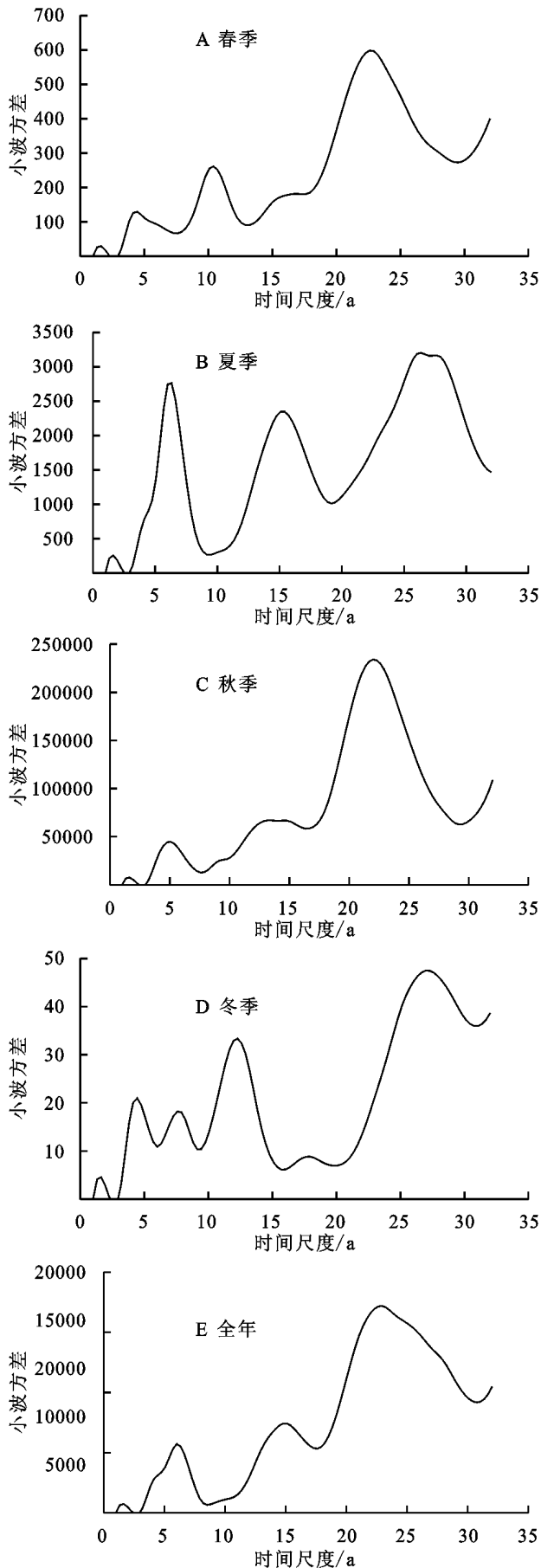


图 4 Morlet 小波方差分布

## 4 结论

(1) 年际变化上,近 60 年来佳木斯春季、夏季及秋季径流量均呈下降趋势,年际倾向率分别为 $-7.895$  亿  $\text{m}^3/10 \text{ a}$ , $-24.811$  亿  $\text{m}^3/10 \text{ a}$  和 $-28.666$  亿  $\text{m}^3/10 \text{ a}$ ;冬季径流量呈微弱上升趋势,年际倾向率为 $0.635$  亿  $\text{m}^3/10 \text{ a}$ 。而整个佳木斯年径流量呈下降趋势,年际倾向率为 $-60.737$  亿  $\text{m}^3/10 \text{ a}$ 。为消除周期变化对数据进行 5 a 滑动平均处理,结果表明近 60 年来径流量并没有明显的上升或下降趋势,而是呈波动状态。

(2) 时间突变上,春季径流量 1968 年前呈明显下降趋势,1968—1995 年后呈明显上升趋势,1995 年后呈明显下降趋势;夏季径流量 1967 年前呈明显上升趋势,1967—1975 年呈明显下降趋势,1975—1998 年呈明显上升趋势,1998 年后呈明显下降趋势;秋季径流量 1966 年前呈明显下降趋势,1966 年后呈明显上升趋势,1998 年后呈明显下降趋势;冬季径流量 2008 年发生突变后呈明显上升趋势;年径流量 1967 年前呈明显上升趋势,1967—1972 年呈明显下降趋势,1972—1998 年呈明显上升趋势,1998 年后呈明显下降趋势。

(3) 周期变化上,佳木斯地区春季径流量 22 a 为第 1 主周期,10 a,16 a,4 a 分别为第 2、第 3 和第 4 主周期;夏季径流量 26 a 为第 1 主周期,27 a,6 a,15 a 分别为第 2、第 3 和第 4 主周期;秋季径流量 22 a 为第 1 主周期,13 a,5 a,9 a 分别为第 2、第 3 和第 4 主周期;冬季径流量 27 a 为第 1 主周期,12 a,4 a,8 a 分别为第 2、第 3 和第 4 主周期;年径流量 23 a 为第 1 主周期,13 a,6 a,4 a 分别为第 2、第 3 和第 4 主周期。

### 参考文献:

- [1] 王彦君,王随继,苏腾. 1955—2010 年松花江流域不同区段径流量变化影响因素定量评估[J]. 地理科学进展, 2014,33(1):65-75.
- [2] 宋小燕,穆兴民,高鹏. 松花江哈尔滨站近 100 年来径流量变化趋势[J]. 自然资源学报,2009,24(10):1803-1809.
- [3] Chen J, Wu X, Finlayson B L, et al. Variability and trend in the hydrology of the Yangtze River, China: Annual precipitation and runoff[J]. Journal of Hydrology, 2014,513(5):403-412.
- [4] Hou B J, Wang M L. Runoff trend analysis and distributed hourly model application study of the upper reaches of Yangtze River[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science,2011,30(2):291-294.

加概括区域地形,使山谷线和山脊线更明显,但会导致大量细部信息的丢失。

(4) DEM 所提取的地面剖面曲率值随着 DEM 分辨率的下降显著减小,即地面坡度的变化减小,地面的转折棱角逐渐趋于平滑,地形起伏变化特征精度降低。

#### 参考文献:

- [1] 陈楠,汤国安,刘咏梅,等.基于不同比例尺的 DEM 地形信息比较[J].西北大学学报:自然科学版,2003,33(2):237-240.
- [2] Mallet C, Bretar F. Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art[J]. *Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2009,64(1):1-16.
- [3] 汤国安.我国数字高程模型与数字地形分析研究进展[J].地理学报,2014,69(9):1305-1325.
- [4] 谢轶,群汤国,安江岭. DEM 提取坡向变率中的误差特征与消除方法[J].地理与地理信息科学,2013,29(2):49-53.
- [5] 杨勤科,贾大韦,李锐,等.基于 DEM 的坡度研究:现状与展望[J].水土保持通报,2007,27(1):146-150.
- [6] 陈楠,林宗坚,李成名,等.基于信息论的不同比例尺 DEM 地形信息比较分析[J].遥感信息,2004(3):5-9.
- [7] 汤国安,赵牡丹,李天文,等. DEM 提取黄土高原地面坡度的不确定性[J].地理学报,2003,58(6):824-830.
- [8] 陈楠,王钦敏,汤国安.黄土高原坡向信息量变化与 DEM 分辨率的关系[J].高技术通讯,2008,18(5):525-530.
- [9] 杨昕.基于 DEM 地形指数的尺度效应与尺度转换[D].南京:南京师范大学,2007.
- [10] 杨勤科, Jupp D, 郭伟玲,等.基于滤波方法的 DEM 尺度变换方法研究[J].水土保持通报,2008,28(6):58-62.
- [11] 李抗彬,沈冰,李智录. DEM 数据分辨率对黑河金盆水库流域地形参数提取的影响分析[J].西安理工大学学报,2012,28(2):127-131.
- [12] 陈楠. DEM 分辨率与平均坡度的关系分析[J].地球信息科学学报,2014,16(4):524-530.
- [13] 刘学军,龚健雅,周启鸣,等.基于 DEM 坡度坡向算法精度的分析研究[J].测绘学报,2004,33(3):258-263.
- [14] 刘学军,龚健雅,周启鸣,等. DEM 结构特征对坡度坡向的影响分析[J].地理与地理信息科学,2004,20(6):1-5.
- [15] 贾志成,杨光,杨国苑.基于不同精度 DEM 的黄土丘陵沟壑区地形指标提取误差分析[J].安徽农业科学,2008,36(5):2147-2148.
- [16] 陈楠.剖面曲率精度变化与 DEM 分辨率关系[J].中国矿业大学学报,2013,42(1):147-151.
- [17] 呼雪梅,秦承志.地形信息对确定 DEM 适宜分辨率的影响[J].地理科学进展,2014,33(1):50-56.
- [18] 周启鸣,刘学军.数字地形分析[M].北京:科学出版社,2006.
- [19] 刘娜,杨斌斌,房靖楠,等. DEM 分辨率对地形因子提取影响的研究[J].森林工程,2016,32(6):57-60.
- [20] 朱雪龙.应用信息论基础[M].北京:清华大学出版社,2001.
- [21] 朱伟,王东华,周晓光.基于信息熵的 DEM 最佳分辨率确定方法研究[J].遥感信息,2008(5):79-82.

(上接第 130 页)

- [5] Li C H, Yang Z F, Wang X. Tendency and persistence of natural runoff in the Yellow River Basin[J]. *Water International*, 2004,29(4):447-454.
- [6] 秦年秀,姜彤,许崇育.长江流域径流趋势变化及突变分析[J].长江流域资源与环境,2005,14(5):589-594.
- [7] Jha M K, Singh A K. Trend analysis of extreme runoff events in major river basins of Peninsular Malaysia[J]. *International Journal of Water*, 2013,7(1/2):142-158.
- [8] 李东龙,王文圣,李跃清,等.中国主要江河年径流变化特性分析[J].水电能源科学,2011,29(11):1-5.
- [9] 陆志华,夏自强,于岚岚.松花江佳木斯站径流变化规律及演变趋势分析[J].水电能源科学,2011,29(4):14-17.
- [10] 陈玉壮,管仪庆,谢悦波.海流兔河流域径流变化的周期和趋势分析[J].水资源保护,2016,32(2):45-50,56.
- [11] 龚云,孔兰.南明河流域径流量时间序列演变趋势分析[J].中国农村水利水电,2011(1):14-15,18.
- [12] 王文圣,丁晶,李跃清,等.水文小波分析[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [13] 桑燕芳,王栋.水文序列小波分析中小波函数选择方法[J].水利学报,2008,39(3):295-306.
- [14] 李想,李维京,赵振国.我国松花江流域和辽河流域降水的长期变化规律和未来趋势分析[J].应用气象学报,2005,16(5):593-599.
- [15] 侯伟,张树文,张养贞,等.三江平原挠力河流域 50 年代以来湿地退缩过程及驱动力分析[J].自然资源学报,2004,19(6):725-731.