

# 新乡市城区近64年气温和降水量特征分析

张钰<sup>1</sup>, 孙涛<sup>2</sup>, 方国华<sup>1</sup>, 闻昕<sup>1</sup>

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 南水北调东线江苏水源有限责任公司, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 为全面分析和掌握河南省新乡市气温、降水变化特征, 基于新乡气象台站 1951-2014 年月平均气温和月降水量资料, 利用滑动平均、小波分解、滑动 T 检验、Mann-Kendall 检验和 Morlet 小波变换, 对年平均气温和年降水量进行趋势分析、突变检验和周期分析。结果表明: 新乡市近 64 年年平均气温有明显上升趋势(显著性水平  $\alpha=0.01$ ), 在 1997 年左右发生突变, 年平均气温存在 55 年左右的第一主周期; 新乡市近 64 年年降水量呈不显著减少趋势, 未发生突变, 年降水量存在 54 年左右的第一主周期; 年平均气温与年降水量的第一主周期几乎吻合。

**关键词:** 气温; 降水量; 变化趋势; 突变年份; 周期; 新乡市

中图分类号: TV125

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)01-0094-06

## Analysis of the characteristics of air temperature and precipitation in near 64 years in Xinxiang

ZHANG Yu<sup>1</sup>, SUN Tao<sup>2</sup>, FANG Guohua<sup>1</sup>, WEN Xin<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Water Resources Limited Liability Company of Eastern Route of South-to-North Water Diversion Project, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Based on the monthly average air temperature and precipitation data of Xinxiang meteorological station in Henan province during 1951-2014, the trend analysis, mutation test and periodical analysis of the annual air temperature and precipitation were conducted by using the moving average, wavelet decomposition, moving t-test, Mann-Kendall test and Morlet wavelet transformation in order that the overall variation characteristics of air temperature and precipitation in Xinxiang could be analyzed and known. The results showed that the temperature had an obvious upward trend at the 0.01 significance level in recent 64 years; the mutation happened around 1997; the first main period was 55 years for annual mean air temperature, and the precipitation had a insignificant decrease trend but had no mutate during recent 64 years; the first main period of annual precipitation was 54 years. The annual average temperature and precipitation was almost identical in the first main period

**Key words:** air temperature; precipitation; change trend; mutation year; period; Xinxiang city

根据《第三次气候变化国家评估报告》, 从 1909 年至 2011 年, 中国陆地区域平均增温  $0.9^{\circ}\text{C} \sim 1.5^{\circ}\text{C}$ , 变暖速率高于全球平均值, 约为  $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 近十五年来处于近百年来气温最高阶段。近 100 年中国年降水量变化趋势不显著, 但区域差异明显, 西部干旱和半干旱地区近 30 年降水持续增加, 华北、西北东部等地区年降水量出现下降趋势<sup>[1]</sup>。全球气候变化已成既定事实, 在这一过程中, 区域局地变化研究也引

起越来越多的关注。范泽孟等<sup>[2]</sup>综合考虑 DEM 数据、经纬度、坡度等地形特征因子的影响, 对全国平均气温和平均降水的空间分布趋势模型进行构建, 结果表明全国年平均气温倾向率为  $0.28^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 全国平均降水总量变化幅度不大, 但区域分布差异显著。张一驰等<sup>[3]</sup>利用泰森权重计算了华北地区面平均气温和面平均降水, 并对两种气象因子的变化趋势进行分析, 结果表明华北地区 59a 间气温上升了  $1.5^{\circ}\text{C}$ , 存在

收稿日期: 2016-09-12; 修回日期: 2016-12-05

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(201401003)

作者简介: 张钰(1993-), 女, 河南新乡人, 硕士研究生, 主要研究方向为水资源规划及利用与工程经济。

通讯作者: 方国华(1964-), 女, 安徽定远人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源规划及利用、水利水电系统规划与优化调度、水利经济、工程管理等方面的教学科研工作。

显著上升趋势,在 1993 年左右发生突变,年降水序列无显著变化趋势,不存在突变年份。郭瑜<sup>[4]</sup>研究了河南省降水和温度的多时间尺度特征、周期变化、突变特征以及降水与气温变化的相关性等问题,结果表明河南省年降水量呈不显著的减少趋势,并具有明显的年际和年代变化,平均气温上升趋势显著,且两种气象因子之间存在显著的相关性等结论。

新乡市作为“中原崛起”战略布局中的核心经济区域,市场潜力巨大,地理位置重要,粮食优势突出。但是水资源短缺已经成为该地区经济和农业发展的绊脚石,本地人均水资源量仅  $380 \text{ m}^3$ ,属严重缺水区域。目前,王声峰等<sup>[5]</sup>建立了新乡市降水量年值模拟模型,用于预测未来年份年降水量及水文年型,并进一步指导该地区灌溉用水管理及灌溉预报工作,夏露等<sup>[6]</sup>利用新乡市 1953–2010 年降水资料,采用一元线性回归法和 Mann–Kendall 法分析了降水的时间变化规律,并建立 GM(1,1) 模型,用于对该地区未来一定时间内干旱发生的时间进行预测,上述研究中关于新乡市气温、降水的变化特征及其周期性的研究并不全面。本文采用多种分析方法,对新乡市 1951–2014 年气温降水系列的变化特征进行全面深入的分析,以期为区域雨洪资源利用、防洪减灾及农业经济发展提供决策支持。

## 1 研究方法选择

气温、降水均为非平稳时间序列,一般可认为是由趋势、跳跃、周期以及其他随机成分线性迭加而成,会表现出多方面特征,因此采用恰当的分析方法对区域气温、降水时间序列的变化趋势、突变年份、以及周期性进行分析十分必要。本文首先采用线性倾向估计、滑动平均、小波分解<sup>[7]</sup>对时间序列进行趋势分析,并采用 Mann–Kendall (M–K) 趋势检验<sup>[8]</sup>,对趋势变化的显著性进行分析;再由滑动 T 检验 (Moving T–Test, MTT 检验)<sup>[9]</sup>和 M–K 突变检验<sup>[10]</sup>进行突变年份检测;之后采用 Morlet 小波变换<sup>[11–12]</sup>对其周期变化进行分析。数据选用中国气象科学数据共享服务网中新乡市气象台站 1951–2014 年近 64 年月降水、月平均气温以及年降水、年平均气温资料,并对数据一致性进行对比检查,保证数据真实有效。

## 2 气温、降水变化特征分析

### 2.1 趋势分析

采用 5 年滑动平均、线性倾向估计以及小波分

解对新乡市近 64 年年平均气温和降水量的变化趋势进行分析,并用 M–K 趋势检验对上述两个时间序列趋势变化的显著性进行分析。

2.1.1 气温变化趋势分析 新乡市近 64 年逐年及 5 年滑动平均气温变化过程如图 1 所示:

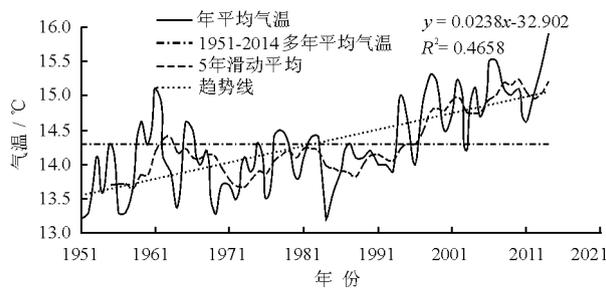


图 1 气温趋势变化曲线

由图 1 可以看出:

(1) 在研究时段内,1951–1983 年气温呈平稳波动,具体情况为 1951–1961 年气温呈上升趋势,1961–1969 年气温呈下降趋势,1969–1978 年气温又呈现小幅的上升趋势,1978–1984 年气温再次下降,之后呈明显上升趋势,至 2014 年达到最高温度  $15.9^\circ\text{C}$ 。

(2) 由 5 年滑动平均曲线可以看出 1995 年之前,年平均气温基本低于多年平均水平  $14.3^\circ\text{C}$ ,1995 年之后明显高于  $14.3^\circ\text{C}$ 。

(3) 整体而言,近 64 年的年平均气温呈上升趋势,气温倾向率为  $0.24^\circ\text{C}/10\text{a}$ 。

利用小波分解提取气温时间序列中低频成分所代表的趋势分量,以第 3 层趋势变化线  $a_3$  为例进行分析,新乡市近 64 年年平均气温的小波分解趋势变化线如图 2 所示。

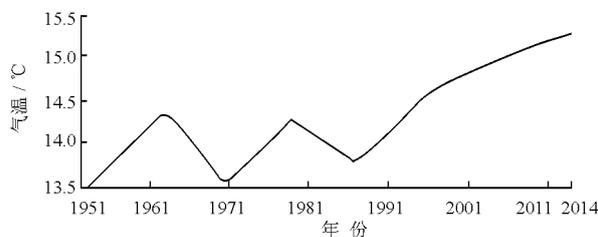


图 2 气温的小波分解 ( $a_3$ )

由图 2 可知:年平均气温在 20 世纪 50 年代至 80 年代中期呈平稳波动,经历了两次上升和两次下降的过程,80 年代中期以后,年平均气温呈现明显上升趋势。

对新乡市气温时间序列变化趋势进行显著性分析,得到 M–K 趋势检验值  $U = 5.0636$ ,  $U > U_{\alpha/2}$ ,

表明新乡市近 64 年来年平均气温呈显著上升趋势 (显著性水平  $\alpha = 0.01$ )。

2.1.2 降水变化趋势分析 新乡市近 64 年逐年及 5 年滑动平均年降水量变化过程如图 3 所示。

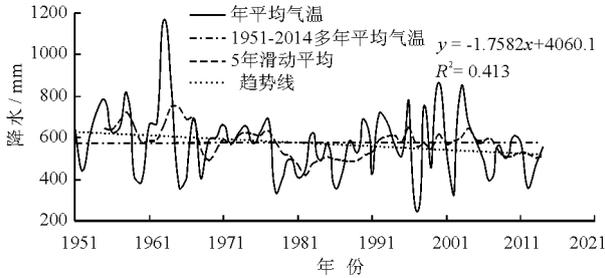


图3 年降水量特征变化曲线

由图 3 可以看出:

(1)局部来看,年降水量变化频繁。忽略个别年份的降水变化进行分析,1951-1963 年年降水量呈上升趋势,并于 1963 年达到年降水量的最大值 1168.1mm,1963-1982 年年降水量呈下降趋势,1982-2000 年呈现上升趋势,之后呈下降趋势。

(2)从年降水量的 5 年滑动平均曲线可看出,1951-1978 年年降水量基本高于平均水平,1978-1992 年低于平均水平,1992-2005 年年降水量基本高于平均水平,并且波动频繁,但是无明显的上升或下降趋势,2005 年之后呈下降趋势。

(3)整体而言,近 64 年降水量呈下降趋势,降水量倾向率为  $-17.6 \text{ mm}/10\text{a}$ 。

同样采用小波分解提取降雨时间序列中低频成分所代表趋势分量,以第 3 层趋势变化线  $a_3$  为例进行分析,新乡市近 64 a 年降水量的小波分解趋势变化线如图 4 所示。

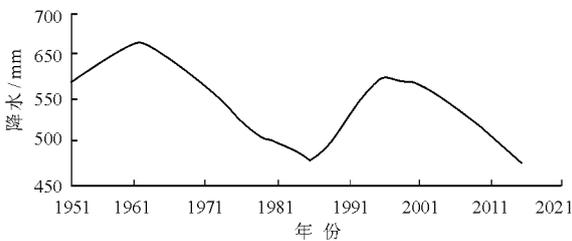


图4 年降水量的小波分解( $a_3$ )

由图 4 可知,研究时段内,新乡市年降水量较为明显的波动过程有 4 个,20 世纪 50 年代至 60 年代初,年降水量呈上升趋势;60 年代初至 80 年代中期,年降水量呈下降趋势;80 年代中期至 90 年代末,年降水水量又呈现上升趋势;之后呈现下降趋势。

利用 M-K 趋势检验对新乡市年降水变化趋势进行分析,获得 M-K 趋势检验值为  $U = -1.6114$ ,  $|U| < U_{\alpha/2}$ ,表明新乡市近 64 年来年降水呈下降趋势,但是下降趋势不明显(显著性水平  $\alpha = 0.05$ )。

## 2.2 突变检验

采用滑动 T 检验和 M-K 突变检验对新乡市近 64 年年平均气温和降水量的突变年份进行检测,显著性水平取  $\alpha = 0.05$ 。

2.2.1 气温序列突变检验 当子序列长度  $n = 10$  时,新乡市近 64 年年平均气温的 MTT 统计量曲线如图 5 所示。

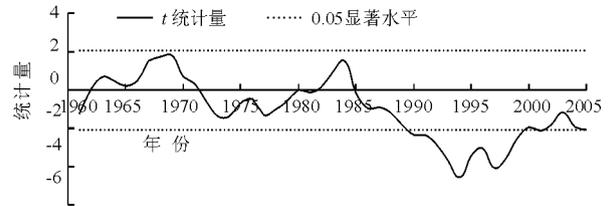


图5 年平均气温 MTT 统计量曲线( $n = 10$ )

由图 5 可知:当子序列长度  $n = 10$  时,滑动 T 检验得到的突变点在 1989-2000 年之间。

当子序列长度  $n = 7$  时,新乡市近 64 年年平均气温的 MTT 统计量曲线如图 6 所示。

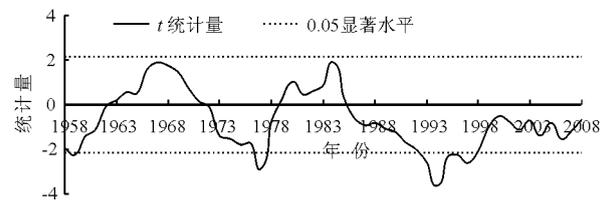


图6 年平均气温 MTT 统计量曲线( $n = 7$ )

由图 6 可知,当子序列长度  $n = 7$  时,突变点可能发生在两个时段,分别是 1977-1978 年之间,1992-1998 年之间。

新乡市近 64 年年平均气温的 M-K 统计量曲线如图 7 所示。

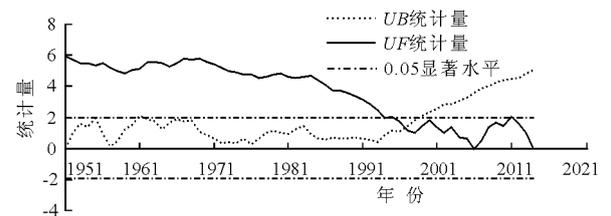


图7 气温的 M-K 统计量曲线

由图 7 可知:M-K 突变检验所得 UB 和 UF 曲线在 1997 年相交,交点位于两条显著性水平线之间,并且位于滑动 T 检验识别出的突变点可能发生

的时间段内,因此可大致判定新乡市气温在 1997 年左右发生突变。

**2.2.2 降水序列突变检验** 对新乡市近 64 年年降水量进行滑动 T 检验,选取子序列长度  $n = n_1 = n_2 = 7, 9, 10, 12$  (对于既定样本量的时间序列,确定基准点前后两个子序列一般取相同长度;由于子序列长度的单一性可能造成突变点失真,因此会选择多个子序列长度,以提高计算结果的稳定性)。文中仅列举子序列长度  $n = 10, 7$  时的 MTT 统计量曲线进行举例分析。

当子序列长度  $n = 10$  时,新乡市近 64 年年降水量的 MTT 统计量曲线如图 8 所示。

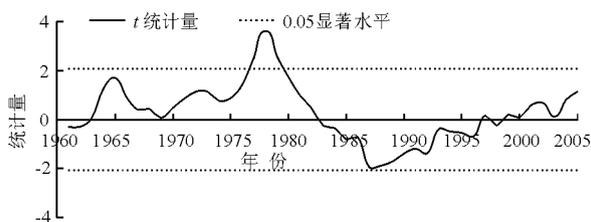


图 8 年降水量的滑动  $t$  统计量曲线 ( $n = 10$ )

由图 8 可知:当子序列长度  $n = 10$  时,滑动 T 检验得到的突变点在 1977 - 1979 年之间。

当子序列长度  $n = 7$  时,新乡市近 64 年年降水量的 MTT 统计量曲线如图 9 所示。

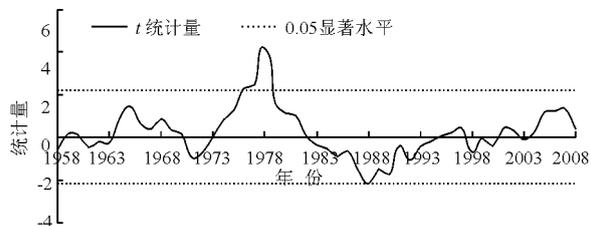


图 9 年降水量的滑动  $t$  统计量曲线 ( $n = 7$ )

由图 9 可知:当子序列长度  $n = 7$  时,滑动 T 检验得到的突变点在 1976 - 1979 年之间。

新乡市近 64 年年降水量的 M - K 统计量曲线如图 10 所示。

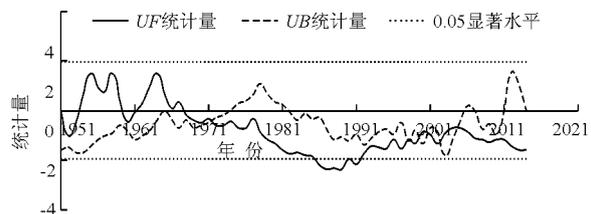


图 10 年降水量 M - K 统计量曲线

由图 10 可知:在 M - K 曲线中,  $UF$  和  $UB$  曲线相交于 6 点,分别为 1971、1998、2000、2001、2003 及

2005 年。

根据 M - K 检验识别的突变点年份,同时分别进行 4 种子序列长度的滑动 T 检验,可知 6 个年份滑动 T 检验的  $t$  统计量均未通过  $\alpha = 0.05$  的置信度水平检验,因此大致判断新乡市近 64 年年降水量未发生突变。

### 2.3 周期分析

利用 Morlet 小波对新乡市近 64 年年平均气温和降水量的周期性进行分析。其中,利用 Morlet 小波系数实部等值线图反映上述两种时间序列不同时间尺度的周期变化及其在时间域中的分布,利用 Morlet 小波系数模等值线图反映上述两种时间序列不同时间尺度周期变化所对应的能量密度在时间域中的分布,利用方差图反映上述时间序列的波动能量随时间尺度的分布情况。

**2.3.1 气温序列周期分析** 新乡市近 64 年年平均气温的 Morlet 小波系数实部等值线图如图 11。

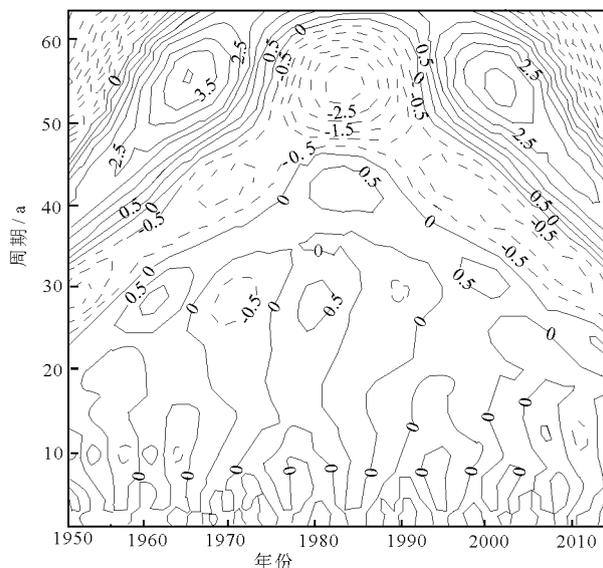


图 11 气温的 Morlet 小波系数实部等值线图

由图 11 可以看出:新乡市年平均气温存在 4 个明显的特征时间尺度,分别是 10a、29a、43a、55a 左右,其中 10a 左右的特征时间尺度主要存在于 20 世纪 50 年代至 60 年代中期以及 2008 年之后,29a 左右的时间尺度始终存在,且周期震荡稳定,43a 左右的时间尺度主要分布在 1970 年至 2000 年,55a 左右的时间尺度贯穿整个研究时段,表现比较稳定,具有全域性。

新乡市近 64 年年平均气温的 Morlet 小波系数模等值线图如图 12 所示。

由图 12 可以看出:新乡市近 64 年年平均气温

在 55a 左右的特征时间尺度所对应的小波系数模值最大,因此周期性最强,29a 次之。

新乡市近 64 年年平均气温的小波方差如图 13 所示。

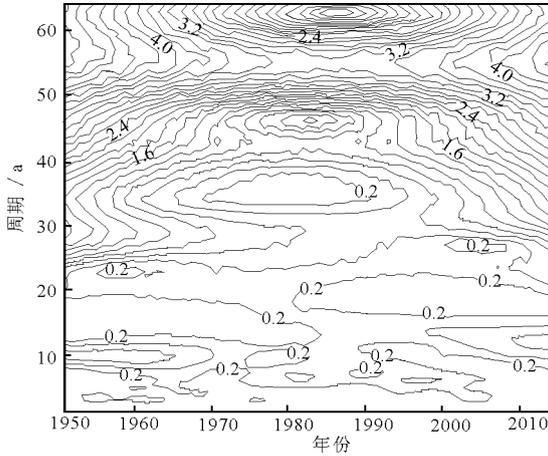


图 12 气温的 Morlet 小波系数模等值线图

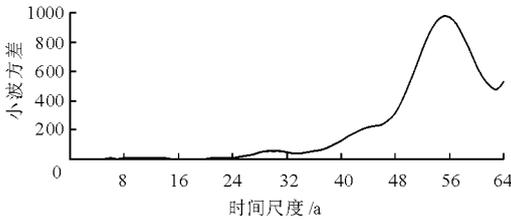


图 13 气温的 Morlet 小波方差图

由图 13 可知:新乡市年平均气温的小波方差存在 3 个较为明显的峰值分别为 55a、29a 及 10a,其中 55a 对应最大峰值,说明周期性最强,进一步验证了新乡市年平均气温变化的第一主周期为 55a。

2.3.2 降水序列周期分析 新乡市近 64 年年降水量的小波系数实部等值线图如图 14 所示。

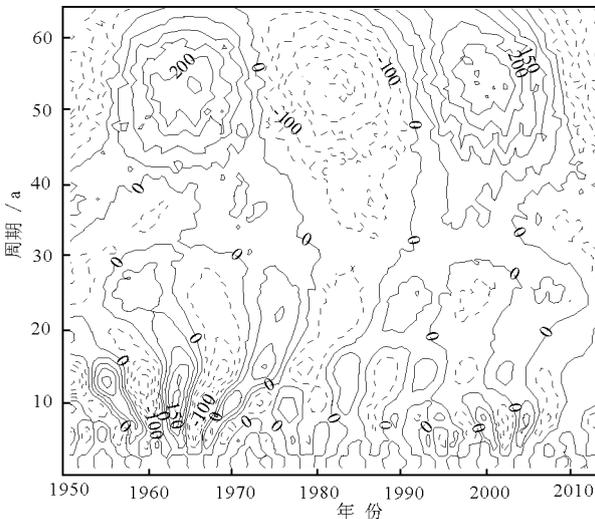


图 14 年降水量 Morlet 小波系数实部等值线图

由图 14 可以看出:新乡市年降水量存在 3 个明显的特征时间尺度,分别为 14a、25a、54a,并且 3 个特征时间尺度均贯穿整个研究时段,另外还存在 4a、10a 左右的两个特征时间尺度,其中 4a 左右的特征时间尺度主要存在于 20 世纪 50 年代,10a 左右的特征时间尺度主要存在于 20 世纪 70 年代。

新乡市近 64 年年降水量的 Morlet 小波系数模等值线图如图 15。

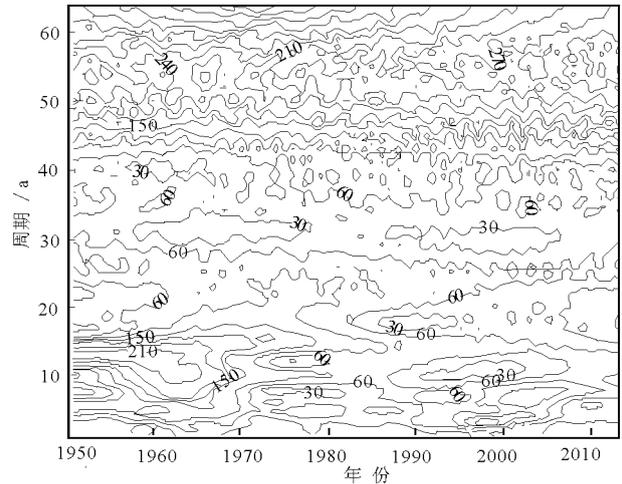


图 15 年降水量 Morlet 小波系数模等值线图

由图 15 可以看出,新乡市近 64 年年降水量在 54 年左右的特征时间尺度对应的小波系数模值最大,因此该特征时间尺度周期性最强,14 年左右的特征时间尺度次之。

新乡市近 64 年年降水量的 Morlet 小波方差图如图 16 所示。

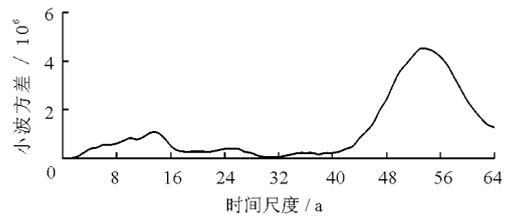


图 16 年降水量 Morlet 小波方差图

由图 16 可知:新乡市年降水量的小波方差存在 3 个较为明显的峰值,分别为 54a、14a、25a,其中 54a 左右的特征时间尺度对应最大峰值,也进一步说明了新乡市年降水量变化的第一主周期为 54a 左右。

### 3 结论

根据新乡站 1951 - 2014 年月平均气温和月降水量资料,利用滑动平均、小波分解、Mann - Kendall 检验和 Morlet 小波变换,对年平均气温和年降水量

进行趋势分析、突变检验和周期分析,结果表明:

(1)新乡市近 64 年年平均气温呈明显上升趋势,气温倾向率为  $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,年平均气温在 1997 年左右发生突变,之后年平均气温高于多年平均水平,并呈显著上升趋势,存在 55a 左右的第一主周期。

(2)新乡市近 64 年年降水量呈下降趋势,降水量倾向率为  $-17.6\text{ mm}/10\text{a}$ ,下降趋势不显著,近 64 年未发生突变,年降水量存在 54a 左右的第一主周期。

(3)通过 Morlet 小波分析,可知新乡市年平均气温第一主周期为 55a,第二、三主周期分别为 29a、10a;新乡市年降水量的第一主周期为 54a,第二、三主周期分别为 14a、25a;可以看出新乡市年平均气温与年降水量在周期演变上存在一定程度的吻合。

#### 参考文献:

[1] 《第三次气候变化国家评估报告》[EB/OL]. [2014-12-07] [http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/201412/t20141207\\_269047.html](http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/201412/t20141207_269047.html)

[2] 范泽孟,岳天祥,陈传法,等. 中国气温与降水的时空变化趋势分析[J]. 地球信息科学学报,2011,13(4):526-533.

[3] 张一驰,吴凯,于静洁,等. 华北地区 1951-2009 年气温、降水变化特征[J]. 自然资源学报,2011,26(11):1930-1941.

[4] 郭瑜. 河南省近 49 年来降水和气温变化特征研究[D]. 郑州大学,2012.

[5] 王声锋,张展羽,段爱旺,等. 豫北地区降水的时间序列特性分析[J]. 中国农村水利水电,2008(3):13-16.

[6] 夏露,宋孝玉,马细霞. 新乡市近 60 年降水序列变化规律及干旱预测[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(5):14-18+27.

[7] 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.

[8] 史红玲,胡春宏,王延贵,等. 淮河流域水沙变化趋势及其成因分析[J]. 水利学报,2012,43(5):571-579.

[9] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-493.

[10] 张应华,宋献方. 水文气象序列趋势分析与变异诊断的方法及其对比[J]. 干旱区地理(汉文版),2015,38(4):652-665.

[11] 衡彤,王文圣,丁晶. 降水量时间序列变化的小波特征[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(5):466-470.

[12] 祁顺杰,陈皓锐. Morlet 小波在降雨的多时间尺度分析中的应用[J]. 南水北调与水利科技,2010,8(3):79-82.

(上接第 93 页)

[12] 沈永平,王国亚,张建岗,等. 人类活动对阿克苏河绿洲气候及水文环境的影响[J]. 干旱区地理,2008,31(4):524-534.

[13] 刘新华,徐海量,凌红波,等. 阿克苏河源流区径流量与降水量丰枯变化和相关性研究[J]. 冰川冻土,2013,35(3):741-750.

[14] 苏骅,王平. 云龙天池自然保护区垂直气候带划分[J]. 云南地理环境研究,2013,25(2):90-94.

[15] 李思诺,翁白莎,严登明,等. SPI 和 SPEI 在阿克苏河流域的适用性分析[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(1):101-107.

[16] 姚国刚. 阿克苏河流域水资源现状及管理对策[J]. 才智,2013,(13):283-284.

[17] 刘俊萍,朱凯,黄挺军. 阿克苏河气象水文序列变化趋

势分析[J]. 人民长江,2012,43(Z1):105-107+149.

[18] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第 2 版)[M]. 北京:气象出版社,2007.

[19] 罗启华,郭生练,李天元,等. 江汉平原区域降水与气温长期变化趋势分析[J]. 长江科学院院报,2011,28(3):10-14.

[20] 周莹. 汾河上游水文气象要素演变特征及径流影响因素研究[D]. 太原理工大学,2016.

[21] 顾西辉,张强,刘剑宇,等. 新疆塔里木河流域洪水过程集聚性及低频气候影响[J]. 水科学进展,2016,27(4):501-511.

[22] 吴福婷,符淙斌. 全球变暖背景下不同空间尺度降水谱的变化[J]. 科学通报,2013,58(8):664-673.