

变化条件下常德市降水气温特征分析

黄济琛¹, 陆宝宏^{1,2}, 徐玲玲³, 侯盼¹, 钱纯纯¹, 徐伟¹

(1.河海大学 水文水资源学院,江苏 南京 210098;
2.河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098
3.江苏省水利工程科技咨询有限公司,江苏 南京 210029)

摘要:基于1968~2012年常德站降水量及平均气温资料,采用一元线性回归、九点二次平滑、Mann-Kendall 检验、Yamamoto 法、Morlet 小波分析研究了常德市降水量和气温序列的趋势、突变、周期特征,运用 R/S 分析法计算得 Hurst 指数预测了两者未来的变化趋势。结果表明,近45年常德市年降水量呈略微上升趋势,未发生突变,降水序列存在6a、15a和28a三个周期,在未来年降水量有增加趋势;近45年常德市年平均气温呈明显升高趋势(显著性水平 $\alpha=0.01$),在1994年发生突变,气温序列存在28a的主周期,在未来年平均气温有升高趋势。

关键词:降水;气温;常德市;趋势;Yamamoto 法;Morlet 小波;Hurst 指数

中图分类号:P468.0+2;TV21

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)05-0085-07

1 引言

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告^[1]指出气温上升仍是气候系统面临的主要问题之一。近130多年(1880~2012年)来,全球地表平均温度上升约0.85℃,1983~2012年可能是过去1400年以来最热的30年,气候变化将对水文水资源带来一定的影响^[2-3]。作为水文循环重要组成部分的降水与人类社会的生产、生活密切相关。近年关于气候变化方面的研究已取得众多成果^[4-5],但这些研究大多为较大流域/区域,或是沿海发达城市,目前关于我国中部地区大中型城市的研究相对较少。常德市位于湖南省西北部,地处长江中游洞庭湖水系、沅江下游和澧水中下游以及武陵山脉、雪峰山脉东北端;常德是环洞庭湖生态经济圈核心城市之一,地处中亚热带湿润季风气候向北亚热带湿润季风气候过渡区,热量丰富,雨量丰沛,是气象灾害易发地带。2012年湖南省水资源公报显示常德市多年平均水资源量为 $134.2 \times 10^8 \text{m}^3$,用水量为 $36.80 \times 10^8 \text{m}^3$,开发利用率27.4%,在湖南省处于中上水平。本文采用多种分析手段对常德市降水、气温

的趋势以及突变、周期进行了系统的研究,预测了未来变化趋势,以期为常德市水资源开发利用及防汛抗旱提供支撑。

2 研究资料与方法

2.1 研究资料

本文选用来自中国气象科学数据共享服务网的常德站1968~2012年的降水和平均气温资料。表1中列出了近45年降水和平均气温的基本数理特征。

表1 降水和平均气温数理特征

Table1 The mathematical statistics of the precipitation and mean temperature

水文气象要素	均值	极大值(年份)	极小值(年份)	方差
年降水/mm	1 338.46	2 063.70(2002)	716.50(2011)	78 583.25
年平均气温/℃	17.13	18.50(2006)	16.10(1984)	0.45

注:年降水、年平均气温方差的单位分别为 mm^2 、 $^{\circ}\text{C}^2$ 。

2.2 分析方法

本文采用一元线性回归分析、九点二次平滑^[5]、

收稿日期:2015-07-07

基金项目:国家自然科学基金(NSFC-50979023);水利部公益性行业科研专项(201201026);江苏省高校研究生科研创新计划(KYZZ_0144)

作者简介:黄济琛(1991-),男,湖南常德人,硕士研究生,研究方向为水资源规划与管理。E-mail:huangjichen_hhu@163.com

通讯作者:陆宝宏(1962-),男,安徽天长人,教授,研究方向为水文水资源。E-mail:lubaohong@126.com

Mann-Kendall(M-K)检验^[7]进行趋势分析,通过 M-K 检验和 Yamamoto 法进行突变检验,应用 Morlet 小波变换进行周期分析。最后,基于 R/S 分析法计算 Hurst 指数预测常德市年降水量及年平均气温的未来变化。

2.2.1 九点二次平滑

对时间序列 X 作九点二次平滑,起到低通滤波的作用,它可以克服滑动平均削弱过多波幅的特点,展示出变化趋势。具体计算式如下:

$$\hat{x}_{i-4} = \frac{1}{231} (-21x_{i-4} + 14x_{i-3} + 39x_{i-2} + 54x_{i-1} + 59x_i + 54x_{i+1} + 39x_{i+2} + 14x_{i+3} - 21x_{i+4}) \quad (1)$$

2.2.2 M-K 检验

对具有 n 个样本量的时间序列 X ,构造一秩序列:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad k=2,3,\dots,n \quad (2)$$

$$\text{其中, } r_i = \begin{cases} +1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i < x_j \end{cases} \quad j=1,2,\dots,i$$

在时间序列随机独立的假定下,定义统计量

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{Var(s_k)}} \quad k=1,2,\dots,n \quad (3)$$

式中: $UF_1=0$; $E(s_k)$, $Var(s_k)$ 为累计数 s_k 的均值和方差,在 x_1, x_2, \dots, x_n 相互独立且有相同连续分布时,它们可由下式算出:

$$\begin{cases} E(s_k) = \frac{k(k-1)}{4} \\ Var(s_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \end{cases} \quad k=2,3,\dots,n \quad (4)$$

式中: UF_k 为标准正态分布,给定显著性水平 α ,若 $|UF_k| > U_\alpha$,表明序列存在明显趋势变化。

按时间序列 X 逆序,再重复上述过程,同时令:

$$\begin{cases} UB_{k'} = -UF_k \\ k' = n+1-k \end{cases} \quad k=1,2,\dots,n \quad (5)$$

若 $UF_k > 0$,表明序列呈上升趋势;若 $UF_k < 0$,表明呈下降趋势。如果 UF_k 和 $UB_{k'}$ 两条曲线出现交点,且交点在临界线之间,那么交点对应的时刻便是突变开始时间。

2.2.3 Yamamoto 法

对于时间序列 X ,人为设置某一时刻为基准点,基准点前后长度分别为 n_1, n_2 的两子序列(一般取 $n_1=n_2$), x_1 和 x_2 的均值分别为 \bar{x}_1 和 \bar{x}_2 ,标准差分别为 s_1 和 s_2 ,连续设置基准点,滑动计算各区域信噪比,得到信噪比 R_{SN} 序列。定义信噪比为:

$$R_{SN} = \frac{|x_1 - x_2|}{s_1 + s_2} \quad (6)$$

当 $R_{SN} > 1.0$ 时,认为气候序列在基准点出现突变; $R_{SN} > 2.0$ 时,认为在基准点出现强突变。

2.2.4 小波分析

小波分析被广泛应用于长期水文序列的研究中^[8-9]。本文选用与降水、气温时间序列形态相近的 Morlet 小波对它们的周期进行分析, Morlet 为非正交复小波,它的定义为:

$$\varphi(t) = e^{ict} e^{-\frac{1}{2}t^2} \quad (7)$$

式中: c 为小波中心频率。

2.2.5 R/S 分析法

通过 R/S 分析法能对长期时间序列的记忆过程进行探寻。本文中采用 R/S 分析法计算 Hurst 指数^[10-11],通过判别 H 所处的区间来判断所给时间序列的持续性,具体判别如下:若 $H=0.5$,表明时间序列为相互独立的随机序列;若 $0 < H < 0.5$,表明时间序列具有反持续性, H 越小,反持续性越强;若 $0.5 < H < 1$,表明时间序列具有持续性, H 越大,持续性越强。

3 结果与分析

3.1 降水

3.1.1 变化趋势

(1)根据年降水量变化过程线(见图1)分析常德站年降水量变化趋势,可得:①常德站多年平均降水量为 1338.5mm,年降水量曲线呈上下波动形态,没有明显的增加或减少趋势;②从九点二次平滑曲线可以看出,20世纪80年代至21世纪初有一次明显的降水量增加的过程,在2002年达到最大值,为2063.7mm,

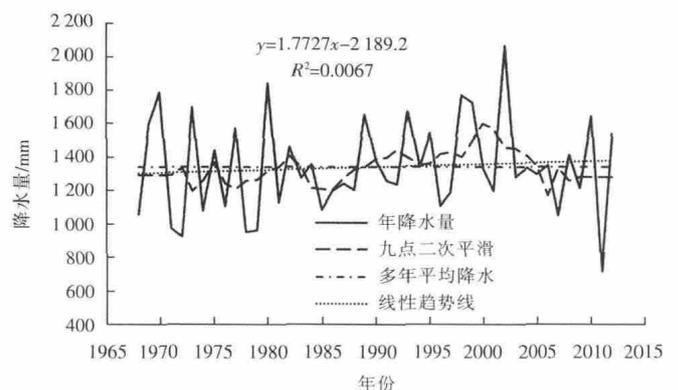


图1 年降水量变化过程曲线

Fig.1 The change of the annual precipitation

随后降水量有明显减少趋势,在2011年出现最小值,为716.5mm,极值比为2.88;③由一元线性回归趋势线可看出,近45年常德市降水呈不明显的增加趋势,气候倾向率为17.7mm/10a。

采用M-K检验对常德市近45年降水量进行趋势分析,首先观察图2中UF曲线可以发现,1968~1980年UF值围绕统计量等于0的基准线上下波动,未呈现明显趋势,而1980年以后UF值基本大于0,表明降水有增加趋势;整体而言,计算得到的趋势检验值为1.01,表明年降水量呈上升趋势,但趋势并不明显(显著性水平 $\alpha=0.01$)。

(2)常德市降水量的年内分配四季分明,不均匀性强,从降水量年内分配过程曲线(见图3)可以看出,全年降水主要集中在春(3~5月)、夏(6~8月)两季,占全年的71%。

3.1.2 突变检验

采用M-K检验联合Yamamoto法对常德市近45年降水量进行突变检验。通过M-K统计量曲线图(见图2)可以发现UF曲线与UB曲线有数个交点,采用

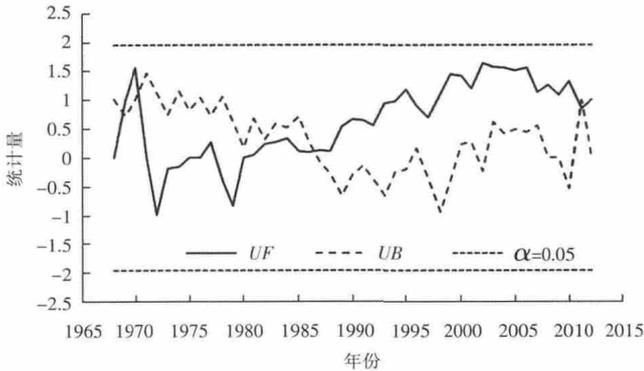


图2 年降水量M-K统计量曲线

Fig.2 The M-K test statistics of the annual precipitation

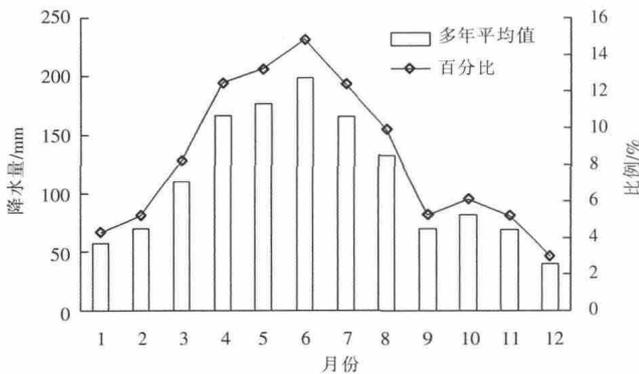


图3 降水量年内分配过程

Fig.3 The intra-annual distribution of the precipitation

Yamamoto法进行进一步的突变检验,此步骤中,分别取子序列长度 $n_1=n_2=5, n_1=n_2=10, n_1=n_2=15$,以上3次检验中,均未出现超过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平的年份。综上可得,1968~2012年常德市年降水量并未发生突变,而是存在较频繁的丰枯交替。

3.1.3 周期分析

采用Morlet小波对近45年常德市年降水量进行周期分析,计算得到小波系数和小波方差,绘出小波系数实部等值线图(见图4(a))以及小波方差图(见图4(b))。图4(a)中,小波系数实部为正值时用实线绘出,为负值时用虚线,分别表示降水量偏丰、偏枯。通过图4(a)可以清楚地看到年降水量变化过程中的多时间尺度特征。具体而言,在年降水量变化过程中存在着1~3a,3~10a,11~20a,21~32a的4类尺度的周期变化规律。降水序列的能量中心分别位于特征时间尺度2a,6a,15a以及28a左右,表明在这4a左右的信号振荡最为强烈。以上4个尺度除2a之外的周期变化在整个分析时段表现的非常稳定,具有全域性。由图4(b)可进一步得到1968~2012年常德市年降水量第一主周期为28a,第二主周期为6a,第三主周期为15a;分别绘制第一、第二主周期尺度下小波系数实部过程线(见图4(c)、图4(d))。图4(c)显示,在28a特征时间尺度上,年降水量变化平均周期为20a左右,大约经历了2个周期的丰-枯转换;而在6a特征时间尺度上(见图4(d)),其平均周期为4a左右,大约经历了11个周期的丰-枯转换。

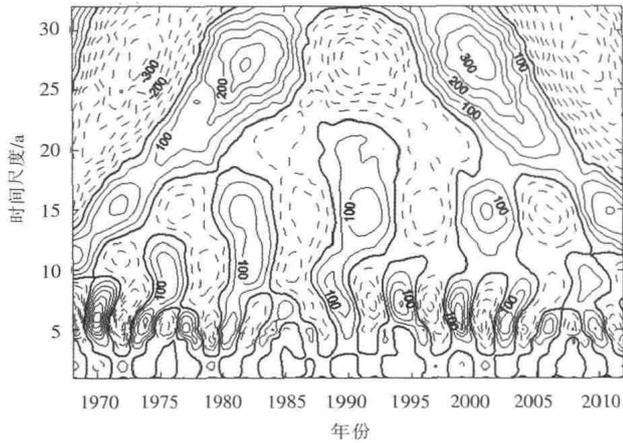
3.1.4 未来变化

采用Hurst指数判别常德市未来年降水量的变化趋势,本文运用R/S分析法计算得到R/S序列,并在双对数直角坐标系中点绘曲线,最后采用最小二乘法求得Hurst指数。图5绘出了常德市年降水的Hurst指数分析结果,得到Hurst指数,大于0.5,故可预测降水序列呈现正持续性,变化趋势与过去一致,即呈增加趋势。

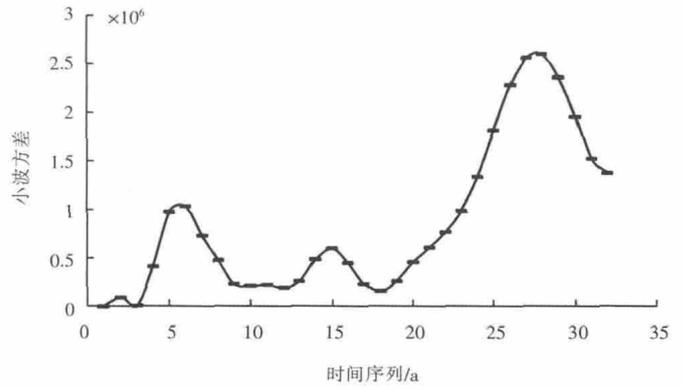
3.2 气温

3.2.1 变化趋势

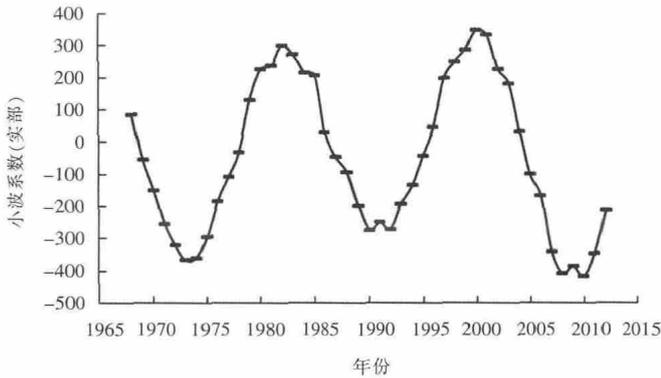
(1)由1968~2012年常德市年平均气温数据绘得年平均气温变化过程曲线(见图6),分析得到:①常德市近45年多年平均气温为17.1℃,20世纪60年代至90年代年平均气温基本处于多年平均气温以下,之后基本高于多年平均气温;②九点二次平滑曲线显示,20世纪60年代末到70年代中期有一次短暂的温升



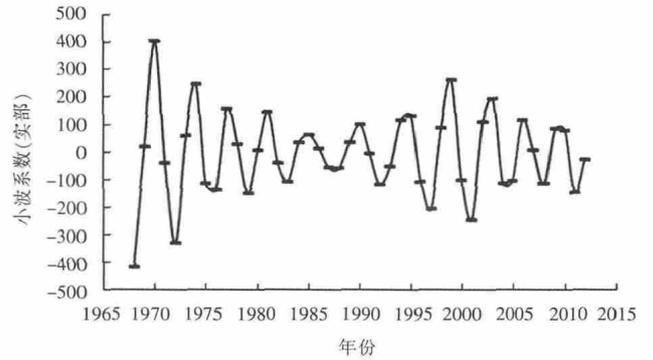
(a)小波系数实部等值线图



(b)小波方差图



(c)28a 特征时间尺度小波系数实部过程线



(d)6a 特征时间尺度小波系数实部过程线

图4 年降水量变化小波分析

Fig.4 Wavelet analysis of the annual precipitation

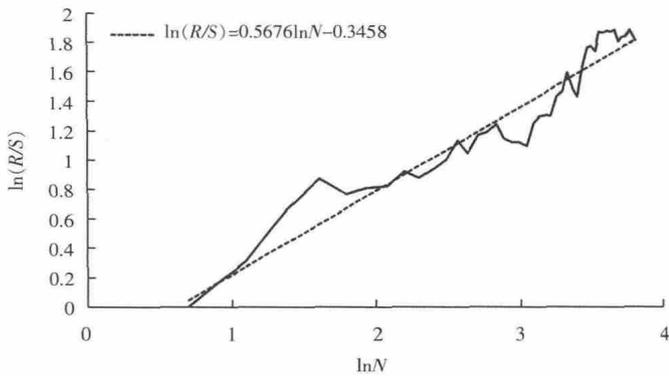


图5 Hurst 指数分析结果(降水)

Fig.5 The result of Hurst index (precipitation)

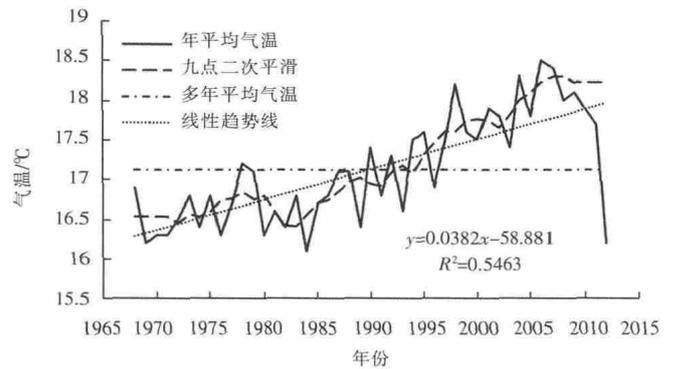


图6 年平均气温变化过程曲线

Fig.6 The change of the annual mean temperature

过程, 然后到 20 世纪 80 年代中期气温降低, 并在 1984 年取得最小值, 为 16.1℃, 之后直至 21 世纪初为一个较长时期的温升过程, 气温达到最大值 18.5℃ (2006 年), 极值比为 1.15。③由一元线性回归趋势线可知, 近 45a 常德市年平均气温呈上升趋势, 气候倾向率为 0.38/10a。

通过 M-K 检验法分析近 45 年常德市年平均气温

变化趋势, 首先由图 7 中 UF 曲线可以看出 1968~1972 年 UF 值小于 0, 气温有短暂的降低过程, 在 1972 年以后 UF 值基本大于 0, 表明温度呈持续升高之势; 总体来看, 计算得到的趋势检验值为 5.45, 表明年平均气温有明显上升趋势 (显著性水平 $\alpha=0.01$)。

(2)从季节尺度上平均气温统计值(见表 2)可见, 45a 来常德市春、夏、秋、冬四季的季平均气温分别为

16.7℃、27.5℃、18.1℃、6.2℃；四季的极值比分别为1.29、1.12、1.26、2.45，冬季最大，夏季最小；四季的气候倾向率为春季>秋季>冬季>夏季，春季的气候倾向率是夏季的1.69倍。因此，夏季的增温对常德市的年平均气温影响最小，春季变暖对常德市45年来年平均气温增温的贡献最大。

3.2.2 突变检验

年平均气温 M-K 统计量曲线（见图 7）显示，UF 与 UB 序列相交于 1994 年，且交点位于显著性水平的

表2 季节尺度上平均气温变化特征

Table2 The basic characteristics of inter-seasonal variations of mean temperature

季节	平均气温 /℃	极大值 /℃(年份)	极小值 /℃(年份)	极值比	气候倾向率 /℃·(10a) ⁻¹
春	16.7	19.3(2008)	14.9(1991)	1.29	0.49
夏	27.5	28.9(2009)	25.8(1980)	1.12	0.29
秋	18.1	20.2(1998)	16(1981)	1.26	0.38
冬	6.2	8.7(1999)	3.6(1984)	2.45	0.35

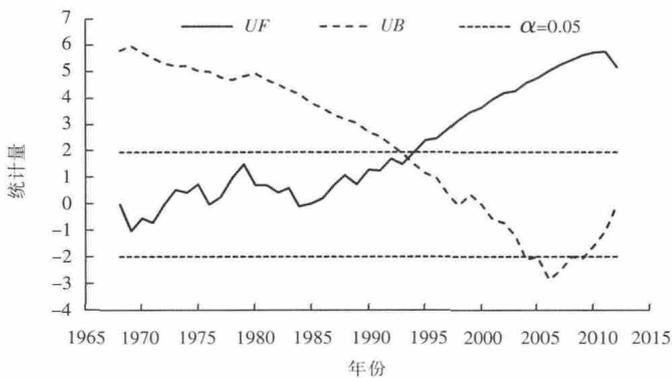
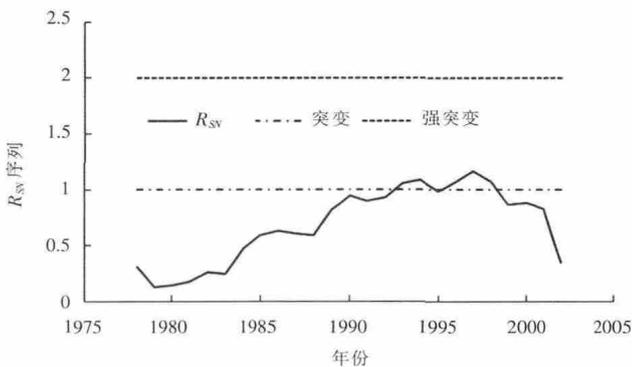


图7 年平均气温 M-K 统计量曲线

Fig.7 The M-K test statistics of the annual mean temperature



(a)取 $n_1=n_2=10$ 的 R_{sv} 序列曲线

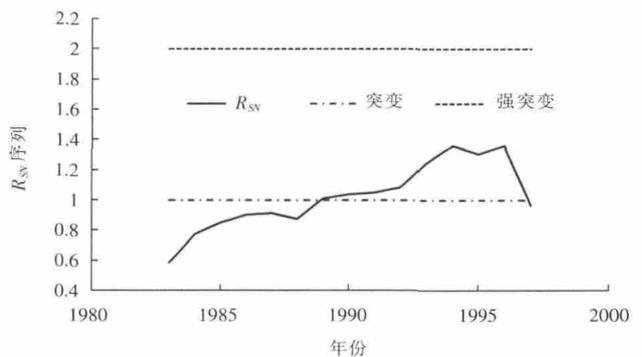
临界线之间。进一步采用 Yamamoto 法进行突变检验，当分别取子序列为 $n_1=n_2=10, n_1=n_2=15$ ，时绘得图 8(a)、图 8(b)。由图 8(a)可以看出，发生突变的时段为 1993~1994 年、1996~1998 年；从图 8(b)可得突变时段为 1989~1996 年。综上，联合 M-K 检验、Yamamoto 法对年平均气温进行突变分析，可以做出如下判断：1968~2012 年常德市年平均气温在 1994 年左右发生突变，并于其后呈持续上升状态，与刘可群等^[12]用滑动 t 检验得到的我国中部年平均气温的变化趋势相符。

3.2.3 周期分析

同降水一样，采用 Morlet 小波对近 45 年常德市年平均气温进行周期分析。图 9(a)中实线和虚线分别表示温度偏暖和偏冷。图 9(a)显示出在年平均气温变化过程中存在着 10~32a 尺度的周期变化规律，气温序列的能量中心位于特征时间尺度 28a 左右，说明在 28a 左右信号振荡最为强烈；该尺度的周期变化在整个分析时段表现的非常稳定，具有全域性；另外从 20 世纪 80 年代以后气温序列存在着 15~22a 尺度的周期变化规律。由图 9(b)可进一步得到 1968~2012 年常德市年平均气温的主周期为 28a。主周期的小波系数实部变化过程（见图 9(c)）显示，在 28a 特征时间尺度上，年平均气温变化平均周期为 20a 左右，大约经历了 2 个周期的冷-暖转换。

3.2.4 未来变化

通过 Hurst 指数判别常德市未来年平均气温的变化趋势。图 10 绘出了常德市年平均气温的 Hurst 指数分析结果，得到 Hurst 指数 $H=0.9179$ ，远大于 0.5，故可预测气温序列呈现显著的持续性，与 1968~2012 年整体趋势保持一致，呈上升趋势。



(b)取 $n_1=n_2=15$ 的 R_{sv} 序列曲线

图8 年平均气温 Yamamoto 法分析结果

Fig.8 Analysis of the annual mean temperature using Yamamoto method

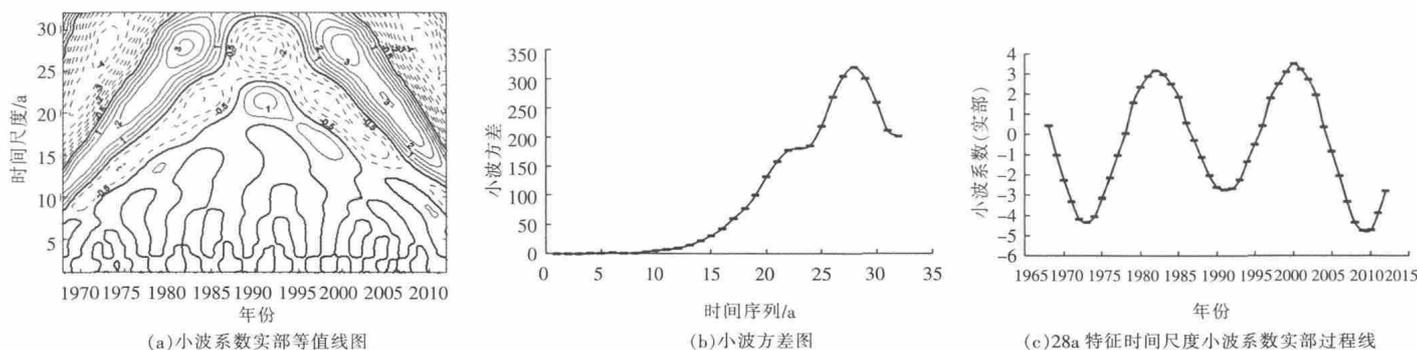


图9 年平均气温变化小波分析

Fig.9 Wavelet analysis of the annual mean temperature

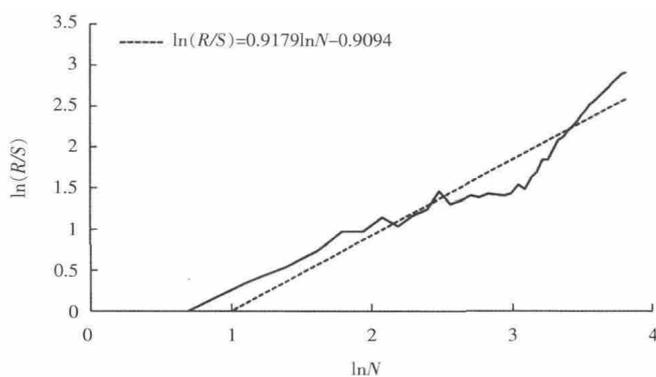


图10 Hurst指数分析结果(气温)

Fig.10 The result of Hurst index (temperature)

4 结论

(1)1968~2012年常德市年降水量呈现略微的增加趋势,气候倾向率为 $17.7\text{mm}/10\text{a}$,并未发生突变。年降水量存在6a、15a和28a三个周期。Hurst指数大于0.5,表明年降水具有持续性,可预测未来降水有少量增加。

(2)1968~2012年常德市年平均气温有着显著升高趋势(显著性水平 $\alpha=0.01$),气候倾向率为 $0.38^\circ\text{C}/10\text{a}$,在1994年发生突变,此后呈持续上升趋势。年平均气温存在28a的主周期。Hurst指数为0.92,表明年平均气温具有明显的持续性,预测未来气温保持升高趋势。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M/OL]. Cambridge: Cambridge University Press, in press.2013-09-30[2015-1-1]. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf.
- [2] 郭生练,李兰,曾光明. 气候变化对水文水资源影响评价的不确定性分析[J]. 水文, 1995,(6):1-5+65. (GUO Shenglian, LI Lan, ZENG Guangming. Uncertainty analysis of impact of climate change on hydrology and water resources [J]. Journal of China Hydrology, 1995(6):1-5+65. (in Chinese))
- [3] 王玲,刘海隆. 重庆岩溶区气候变化对水文水资源的影响[J]. 水文, 2007,(3):71-74+38. (WANG Ling, LIU Hailong. Influence of climate changes on hydrologic regimes and water resources in Chongqing Karst ecosystem [J]. Journal of China Hydrology, 2007, (3):71-74+38. (in Chinese))
- [4] 郑祚芳,陈家华,祁文. 湖北省近50年气候变化特征分析[J]. 气象科学, 2002,(3):279-286. (ZHENG Zuofang, CHEN Jiahua, QI Wen. The character of climate variation of Hubei province during recent 50 years [J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2002,(3):279-286. (in Chinese))
- [5] 邓山,陆晓明,陆宝宏,等. 南京市近53年气温和降水量特征分析[J]. 水电能源科学, 2014,(8):14-17. (DENG Shan, LU Xiaoming, LU Baohong, et al. Variation analysis of annual mean temperature and precipitation near 53 years in Nanjing city [J]. Water Resources and Power, 2014,(8):14-17. (in Chinese))
- [6] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007:45-46.(WEI Fengying. Modern Climatological Statistical Diagnosis and Prediction Technology (2nd Edition) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007:45-46. (in Chinese))
- [7] 肖义,唐少华,陈华,等. 湘江流域1960~2008年降水气温变化趋势分析[J]. 人民长江, 2013,(3):10-12+32. (XIAO Yi, TANG Shaohua, CHEN Hua, et al. Temporal and spatial trends of precipitation and temperature from 1960 to 2008 in Xiangjiang River basin [J]. Yangtze River, 2013,(3):10-12+32. (in Chinese))
- [8] 康玲,杨正祥,姜铁兵. 基于Morlet小波的丹江口水库入库流量周期性分析[J]. 计算机工程与科学, 2009,(11):149-152. (KANG Ling, YANG Zhengxiang, JIANG Tiebing. The periodical analysis of the Danjiangkou reservoir inflow based on the Morlet wavelet [J]. Computer Engineering & Science, 2009,(11):149-152. (in Chinese))
- [9] 陆建宇,陆宝宏,朱从飞,等. 沂河流域天然径流变化规律分析[J]. 中国农村水利水电, 2014,(7):67-71. (LU Jianyu, LU Baohong, ZHU Congfei, et al. An analysis of the variation of natural runoff at the Yihe River basin [J]. China Rural Water and Hydropower, 2014, (7):67-71. (in Chinese))
- [10] 常远勇,侯西勇,毋亭,等. 1998~2010年全球中低纬度降水时空特征分析[J]. 水科学进展, 2012,(4):475-484. (CHANG Yuanyong, HOU Xiyong, WU Ting, et al. On spatial-temporal dynamics of precipitation in global mid-low latitudes from 1998 to 2010 [J].

- Advances in Water Science, 2012,(4):475-484. (in Chinese))
- [11] 孙银凤,陆宝宏. 基于EEMD的南京市降水特征分析[J]. 中国农村水利水电, 2013,(3):5-9. (SUN Yinfeng, LU Baohong. The characteristic analysis of precipitation in Nanjing based on EEMD method [J]. China Rural Water and Hydropower, 2013,(3):5-9. (in Chinese))
- [12] 刘可群,王海军,王凯,等. 我国中部年、季平均气温变化的趋势性分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2010,(S1):62-66. (LIU Kequn, WANG Haijun, WANG Kai, et al. Variation trend analysis of the annual and seasonal average temperature in central China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010,(S1):62-66. (in Chinese))

Characteristics and Trend Analysis of Annual Precipitation and Mean Temperature in Changde City under Changing Environment

HUANG Jichen¹, LU Baohong^{1,2}, XU Lingling³, HOU Pan¹, QIAN Chunchun¹, XU Wei¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Jiangsu Province Water Engineering Sci-tech Consulting Co. LTD, Nanjing 210029, China)

Abstract: Based on the precipitation and mean temperature series in Changde City from 1968 to 2012, one-dimensional linear regression, Nonuple-Quadratic-Smooth filters, Mann-Kendall test, Yamamoto method and Morlet wavelet analysis were used to analyze the trend, abrupt change, periodicity of precipitation and temperature series, and then Hurst index were calculated using R/S analysis method to do some prediction of the change trend. The results show that the annual precipitation have a slightly increasing trend, no abrupt change was found in this series; it has 3 periods of 6, 15 and 28 years, and the precipitation will increase in the future; while the annual mean temperature appeared significantly rising trend at the 0.01 significance level, the abrupt change happened in 1994; temperature series have a primary period of 28 years, and the temperature will rise in the future.

Key words: precipitation; temperature; Changde City; trend; Yamamoto method; Morlet wavelet; Hurst index

(上接第 32 页)

Potential of Development and Utilization for Water Resources in Irrigation Areas of Shulehe River Basin

ZHAO Chunhong, HUANG Yuefei, HAN Jingcheng, WANG Guangqian

(State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The potentials of development and utilization for water resources in the Changma, Shuangta and Huahai irrigation areas of the Shulehe River Basin were evaluated by using fuzzy synthetic judgment method and analytic hierarchy process. The results show that there are different potentials in the 3 irrigation areas. The development and utilization of the water resources in the Changma irrigation area is situated in the advanced stage, while the Shuangta and Huahai irrigation areas are in the intermediate stage. The exploitation potential in the Huahai irrigation area is the most and the Changma is the least. Further development in the Changma irrigation area should focus on the depth exploitation and strengthen the water resources integrated management, while width exploitation and water consumption in water resources should be gradually shifted to depth exploitation and water saving in the Shuangta and Huahai irrigation areas.

Key words: water resources; development and utilization potential; fuzzy synthetic judgment; irrigation area; Shulehe River Basin

(上接第 96 页)

natural runoff, and to analyze the factors of precipitation, temperature, population, industry, principal industry. The results show that (1) There are rising trends of the precipitation and temperature changes in the Jinghe River Basin. The runoff is stable, the trend line is almost parallel to X axis of the linear slope of 0.001. (2) The runoff mutated point appears in 1988, passing 0.01 significance test, and there is a significant upward trend after 1999. The runoff anomaly change in recent 54 years can be divided into two stages: smaller change range from 1958 to 1966, greater change range from 1966 to 2012. (3) The analysis of the impact factors show that the influence of the human activities on the runoff is great, with contribution rate of 48.98 percent, which is much higher than other factors.

Key words: Jinghe River; Mann-Kendall test; mutation point test; principal component analysis; runoff