

甬江流域台汛期降雨时空演变分析

张 芳, 张卫国, 王新龙, 赵思远
(宁波市水利水电规划设计研究院, 浙江 宁波 315192)

摘要: 为识别甬江流域台汛期降雨量变化规律, 指导流域防洪治涝, 以流域内及其周边 47 个国家雨量站逐日降雨资料为基础, 采用 Mann-Kendall 法、Pettitt 法和 Morlet 小波分析法, 分析了甬江流域台汛期降雨量的趋势、突变和周期. 结果表明: 台汛期降雨量呈不明显增加趋势; 在 1980 年发生突变但未通过显著性检验; 降雨量变化存在 22 a 主周期, 未来甬江流域台汛期降雨可能处于偏丰期.

关键词: 甬江流域; 台汛期; 降雨; 趋势; 突变; 周期

中图分类号: TV125

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 03-0094-04

甬江流域位于浙江省东部沿海, 杭州湾之南, 属北亚热带季风气候区, 平均气温 16.3~16.5℃, 多年平均降雨量 1 511 mm, 台汛期(7 月 16 日~10 月 15 日)内易遭受“台暴”, 台风暴雨雨量集中、量多、历时短、强度大, 是本流域最为主要的灾害性天气^[1]. 近年来, 极端天气频发, 流域内发生了多场严重的洪涝灾害, 其中 2013 年“菲特”台风, 造成直接经济损失达 300 多亿元.

目前, 有关甬江流域降雨量演变特征的相关研究较少, 为进一步识别甬江流域台汛期降雨量演变特征, 本文以甬江流域 1957~2016 年台汛期降雨量资料为基础, 分析其时空演变规律, 对流域防洪治涝有重要的指导意义.

1 研究资料

本文采用甬江流域内及其周边 47 个国家雨量站 1957~2016 年经过整编后的逐日降雨资料, 采用泰森多边形法, 计算甬江流域 60 年来逐日降雨量, 再进一步求取流域内逐年各月降雨量及台汛期降雨量. 雨量站分布图见图 1.

根据计算出的甬江流域台汛期逐年及每月的降雨量系列, 统计降雨量的特征值, 结果见表 1 和表 2. 月降雨量最大与最小值均出现在 10 月份.

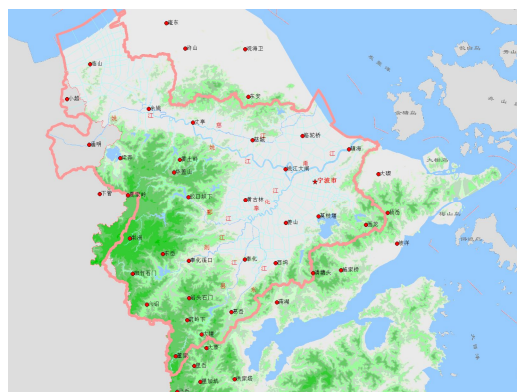


图 1 甬江流域及其周边国家雨量站分布

表 1 甬江流域台汛期年降雨量特征值

年平均 值/mm	年最大 值/mm	最大值 出现年份	年最小 值/mm	最小值 出现年份
538.6	980.6	1962	140.2	1967

表 2 甬江流域台汛期月降雨量特征值 mm

7 月 均值	8 月 均值	9 月 均值	10 月 均值	月最 大值	月最 小值
69.9	204.9	205.2	58.6	472.2	0.6

2 研究方法

2.1 Mann-Kendall 检验法

Mann-Kendall 非参数秩次检验法能够有效区

收稿日期: 2017-05-27.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省水利厅科技项目(RA1502); 宁波市水利科技项目(NSK201715).

第一作者: 张芳(1979-), 女, 陕西咸阳人, 高级工程师, 主要研究方向: 水利规划. E-mail: fzhang6213@163.com

分某一自然过程是处于自然波动还是存在确定的变化趋势^[2]. 设降雨量时间序列 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 其趋势检验统计量 S 为:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k), \quad (1)$$

其中:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1, & x_j - x_k > 0, \\ 0, & x_j - x_k = 0, \\ -1, & x_j - x_k < 0, \end{cases} \quad (2)$$

式中, x_j, x_k 分别为第 j, k 年的主汛期降雨量.

设 S 服从正态分布, 则 S 均值为 0, 方差为:

$$\text{var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18, \quad (3)$$

式中, n 为降雨序列年限. 当 $n > 10$ 时, 标准化统计检验数 M 定义为:

$$M = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{\text{var}(S)}, & S > 0, \\ 0, & S = 0, \\ (S+1)/\sqrt{\text{var}(S)}, & S < 0. \end{cases} \quad (4)$$

当 $M < 0$ 时, 时间序列 X 呈下降趋势; 当 $M > 0$ 时, 时间序列 X 呈上升趋势; 否则, 时间序列 X 无变化趋势. 当 $|M| > 1.96$ 时, 表示变化趋势显著 ($\sigma = 0.05$); 当 $|M| > 2.576$ 时, 表示变化趋势极为显著 ($\sigma = 0.01$).

2.2 Pettitt 分析法

Pettitt 法是一种非参数检验方法, 用于水文系列的突变时间点分析^[3-4]. 该方法以序列要素均值变化的时间点来确定系列突变的时间点, 计算方便且突变时间点明确.

设降雨量时间序列 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 其突变检验统计量 $U_{t,n}$ 为:

$$U_{t,n} = U_{t-1,n} + \sum_{j=1}^n \text{sgn}(x_t - x_j), \quad t = 2, 3, \dots, n, \quad (5)$$

式中, x_t, x_j 分别为第 t, j 年的主汛期降雨量. 设 k_t 为统计量 $U_{t,n}$ 的绝对值, 即:

$$k_t = |U_{t,n}|, \quad t = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

若 t 年份 k_t 取最大值, 则 t 年份为序列突变年份. 显著性检验的公式为:

$$P = 2 \exp\{-6k_t^2 / (n^3 + n^2)\}. \quad (7)$$

若 $P \leq 0.5$, 则认为该年份的突变是显著的.

2.3 Morlet 小波分析法

Morlet 连续复小波分析能够清晰地揭示出隐

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, 并能对系统未来发展趋势进行定性估计^[5-7].

Morlet 复小波函数为:

$$\varphi(t) = e^{i2\pi t} e^{-t^2/2}. \quad (8)$$

其离散小波变换形式为:

$$W_f(a, b) = |a|^{1/2} \Delta t \sum_{k=1}^n f(k\Delta t) \overline{\varphi\left(\frac{k\Delta t - b}{a}\right)}, \quad (9)$$

$k = 1, 2, \dots, n,$

式中, $W_f(a, b)$ 为小波变换系数, 反映小波变化的特征; a 为尺度因子, 反映小波的周期长度; b 为时间因子, 反映时间上的平移; $\overline{\varphi\left(\frac{k\Delta t - b}{a}\right)}$ 为 $\varphi\left(\frac{k\Delta t - b}{a}\right)$ 复共轭函数.

将时间域上的关于 a 的所有小波变换系数的平方在 b 域上进行积分, 即为小波方差:

$$\text{var}(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W_f(a, b)|^2 db. \quad (10)$$

小波方差随尺度 a 的变化过程即为小波方差图, 反映信号波动的能量随尺度 a 的分布, 其峰值对应的尺度为降雨量序列的主周期.

3 结果与分析

通过对甬江流域降雨统计分析可知, 流域台风汛期多年平均降雨量 538.6 mm, 其中 8 月、9 月较大, 占整个台风汛期降雨总量的 75% 左右, 其次为 7 月. 具体如图 2 所示.

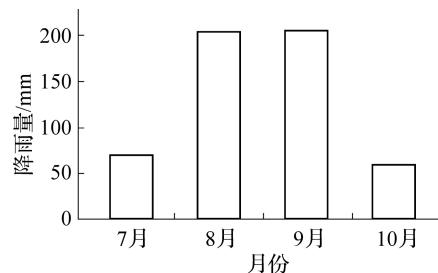


图2 甬江流域台风汛期逐月平均降雨量

3.1 降雨量趋势分析

甬江流域台风汛期逐年降雨量见图 3, 其中 1962 年台风汛期降雨量最大, 1967 年最小. 通过 Mann-Kendall 趋势检验, $M=1.001$, 说明台风汛期降雨量总体呈增加趋势, 但未能通过显著性水平 $\sigma = 0.05$ 的假设检验, 增加趋势不明显. 检验结果见表 3.

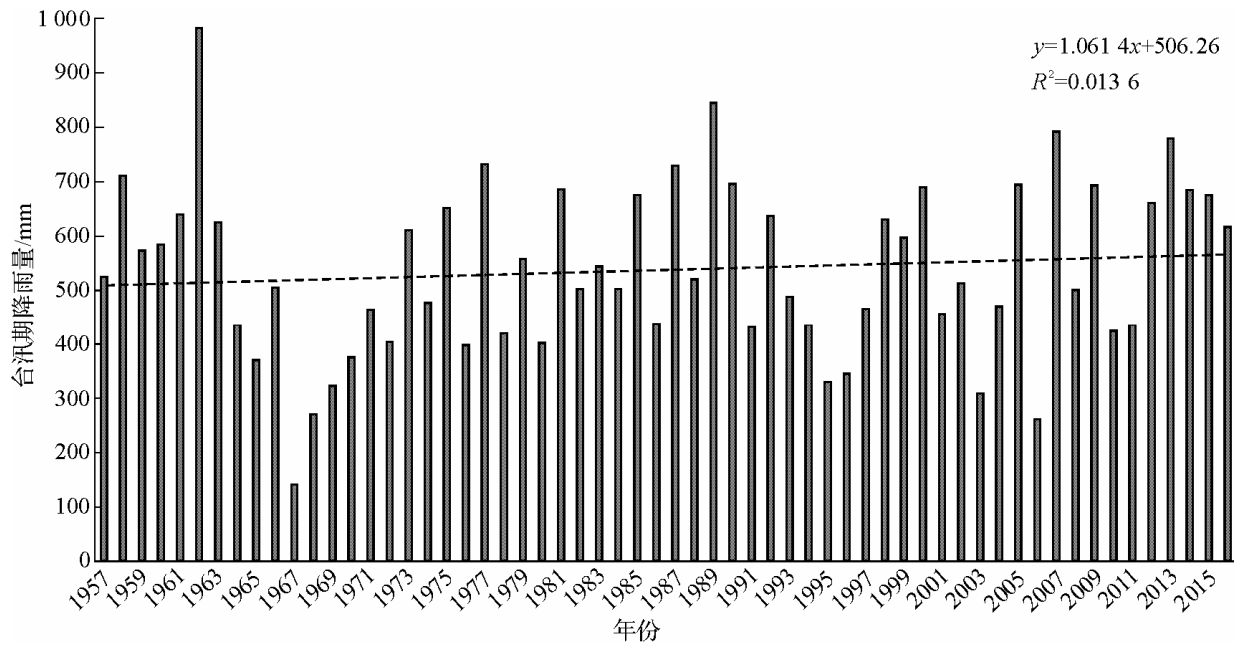


图3 甬江流域台汛期逐年降雨量

表3 台汛期逐年降雨量 Mann-Kendall 趋势检验结果

区域	统计量 M	变化趋势	显著性水平
甬江流域	1.001	增加	不显著

3.2 降雨量突变分析

采用 Pettitt 法对甬江流域台汛期降雨量进行突变分析, 结果见表4. 由表4可知, 1980年降雨量发生突变, 但 P 值大于0.5, 说明突变不显著. 以1980年为界, 分别统计前后台汛期降雨量均值. 1980年之前, 台汛期降雨量均值为510 mm; 1980年之后, 台汛期降雨量均值为560 mm. 1980年之后降雨量均值相比1980年之前增加约10%.

表4 甬江流域台汛期逐年降雨量 Pettitt 突变检验结果

区域	突变年份	P 值	显著性
甬江流域	1980	0.73	不显著

3.3 降雨量周期分析

采用 Morlet 连续复小波对甬江流域台汛期降雨量进行周期分析. 图4为甬江流域台汛期逐年降雨量 Morlet 小波变换系数等值线, 其中实线部分代表正值, 表示降雨量处于偏丰状态, 虚线部分代表负值, 表示降雨量处于偏枯状态. 图5为甬江流域台汛期逐年降雨量 Morlet 小波方差, 峰值即为降雨量序列存在的主要时间尺度.

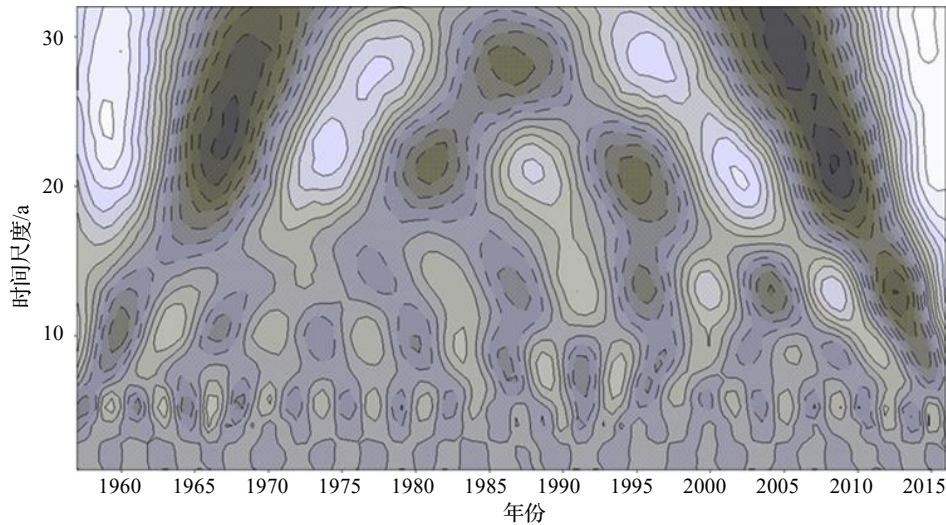


图4 甬江流域台汛期逐年降雨量 Morlet 小波变换系数等值线

根据图4可知, 甬江流域台汛期降雨量的主要时间尺度约为10~20 a, 在此时间尺度上, 台汛期降雨量的偏丰期与偏枯期交替出现. 2016年台汛期降雨量小波变换系数等值线未闭合, 且大致处于实线部分的中心位置, 说明未来5~10 a 甬江流域台汛期降雨量可能处于偏丰状态.

根据图5可知, 小波方差的主峰值为22 a, 次峰值为13 a, 因此认为甬江流域台汛期降雨的主周期为22 a, 即每隔22 a, 流域台汛期降雨会完成一次丰枯交替; 台汛期降雨的次周期为13 a.

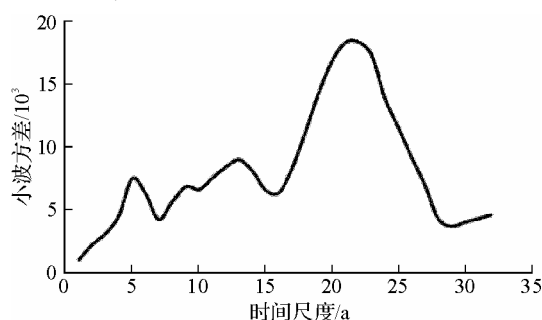


图5 甬江流域台汛期逐年降雨量 Morlet 小波方差

4 结论

甬江流域台汛期降雨是引起洪涝灾害的直接因子. 本文通过对甬江流域台汛期降雨量进行趋势、突变、周期分析, 得出以下主要结论:

(1)甬江流域台汛期降雨量以8月、9月最多, 7月其次, 10月最少.

(2)甬江流域台汛期降雨量总体呈增加趋势, 但未通过显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的假设检验, 增加趋势不明显.

(3)甬江流域台汛期降雨量在1980年发生突变, 但突变不显著, 突变后降雨量均值相比突变前增加约10%.

(4)甬江流域台汛期降雨量存在22 a主周期和13 a次周期, 未来5~10 a 甬江流域台汛期降雨量可能处于偏丰状态, 需特别注意台汛期内防洪治涝工作.

参考文献:

- [1] 刘家顺, 邹逸江. 宁波市热带气旋降水量分布特征研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2016, 29(4):101-106.
- [2] 夏继勇, 钟平安, 刘畅, 等. 近58年大汶河流域降水量演变特征分析[J]. 水电能源科学, 2017, 35(3):6-10.
- [3] 薛建民, 苏律文, 杨侃, 等. 洛阳市降水量时空变化特征分析[J]. 水电能源科学, 2016, 34(11):13-16.
- [4] 杨明明, 钟平安, 魏蓬. 淮河流域主汛期降水演变规律研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7):37-40.
- [5] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2007.
- [6] 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.
- [7] 赵利红. 水文时间序列周期分析方法的研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.

Spatial and temporal evolution of rainfall in typhoon season in Yong River Basin

ZHANG Fang, ZHANG Wei-guo, WANG Xin-long, ZHAO Si-yuan

(Ningbo Hydraulic Waterpower Planning and Designing Research Institution, Ningbo 315192, China)

Abstract: In order to identify the variation regularities of rainfall in typhoon season in Yong River Basin for guiding the watershed flood prevention and control, based on daily rainfall data collected from 47 rainfall stations in the basin and its surrounding areas, the trend, sudden variation and period of rainfall in typhoon season in Yong River Basin are analyzed using Mann-Kendall method, Pettitt method and Morlet wavelet analysis method. The results show that the rainfall in typhoon season does not significantly increase over the past decades. Also found is that, although the sudden variation is recorded in 1980, no significant change has been witnessed as a consequence. Twenty-two-year span may be considered the major period of the rainfall. It is predicted that the precipitation in the Yong River Basin could be increasing in the future.

Key words: Yong River Basin; typhoon season; precipitation; trend; mutation; period

(责任编辑 韩 超)