

# 近60年来潦河径流变化特征分析

刘燕萍<sup>1</sup>, 万丹<sup>1</sup>, 赵军凯<sup>1\*</sup>, 汤明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九江学院旅游与地理学院, 江西 九江

<sup>2</sup>九江学院江西省长江流域产业生态模拟与环境健康重点实验室, 江西 九江

Email: \*191703285@qq.com

收稿日期: 2021年8月9日; 录用日期: 2021年9月29日; 发布日期: 2021年10月8日

## 摘要

在气候变化和人类活动的双重作用下, 潦河径流过程发生了较为明显的改变。以近60年潦河万家埠水文站的逐月径流资料为基础, 用不均匀系数、Mann-Kendall趋势检验、滑动 $t$ 突变检验、功率谱周期分析等方法对径流量的年内分配、年际过程、年际突变和周期性等特征进行了分析。结果表明: 万家埠站径流量的年内分配不均匀且呈单峰型; 年径流量呈现显著上升趋势, 并于1968年和1999年发生突变; 年径流量存在21a的显著周期。

## 关键词

径流特征, 趋势, 突变, Mann-Kendall检验法, 功率谱

# Analysis of the Runoff Characteristics Variation of Liao River in Recent 60 Years

Yanping Liu<sup>1</sup>, Dan Wan<sup>1</sup>, Junkai Zhao<sup>1\*</sup>, Ming Tang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Tourism and Geography, Jiujiang University, Jiujiang Jiangxi

<sup>2</sup>Jiangxi Province Key Laboratory of Industrial Ecological Simulation and Environmental Health in Yangtze River Basin, Jiujiang University, Jiujiang Jiangxi

Email: \*191703285@qq.com

Received: Aug. 9<sup>th</sup>, 2021; accepted: Sep. 29<sup>th</sup>, 2021; published: Oct. 8<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

**Under the dual action of climate change and human activities, the runoff process of Liao River has signif-**

作者简介: 赵军凯(1973-), 男, 河南新郑人, 博士, 副教授。主要研究方向为水文与水资源。

\*通讯作者。

文章引用: 刘燕萍, 万丹, 赵军凯, 汤明. 近 60 年来潦河径流变化特征分析[J]. 水资源研究, 2021, 10(5): 500-508.

DOI: 10.12677/jwrr.2021.105054

icantly changed. Based on the monthly runoff data of Wanjiabu hydrological station in recent 60 years, the characteristics of annual distribution, interannual process, interannual abrupt change and periodicity of runoff were analyzed by using the methods of non-uniformity coefficient, Mann-Kendall trend test, sliding  $t$  abrupt change test and power spectrum period analysis. The results show the annual runoff distribution of Wanjiabu station not uniform with a unimodal pattern; the annual runoff has a significant upward trend and significant period of 21a, a sudden change is occurred in 1968 and 1999.

## Keywords

Runoff Characteristics, Trend, Mutation, Mann-Kendall Test, Power Spectrum

Copyright © 2021 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## 1. 引言

河川径流是重要的地表水资源,其形成和演化,对维系区域生态平衡和促进经济社会发展具有重要作用[1]。近年来,鄱阳湖流域的赣江、修水、饶河和修水等河流径流序列均呈不显著的增加趋势[2],且降水是修河中上游径流变化的主要控制因素[3];随着修河流域年降水量、年平均气温的上升和柘林水库的蓄水运行,修河干流年内分配变得更为均匀且流域内河川径流的年内分配过程被大大改变了[4];其中潦河径流在气候变化以及人类活动的影响下也发生了变化,在 1956~2008 年间,万家埠站的径流量呈小幅度上升趋势[5],而年最大流量则呈现出了不显著的减少趋势[6],且年径流量于 1968、1972 和 1976 等年份发生了突变[7]。故,潦河径流变化特征及其原因还需要进一步探索。

## 2. 研究区概况与数据

潦河发源于九岭山脉,为修水最大支流。潦河流域地处  $114^{\circ}87'E\sim 115^{\circ}38'E$ ,  $28^{\circ}38'N\sim 29^{\circ}04'N$  (图 1),流域

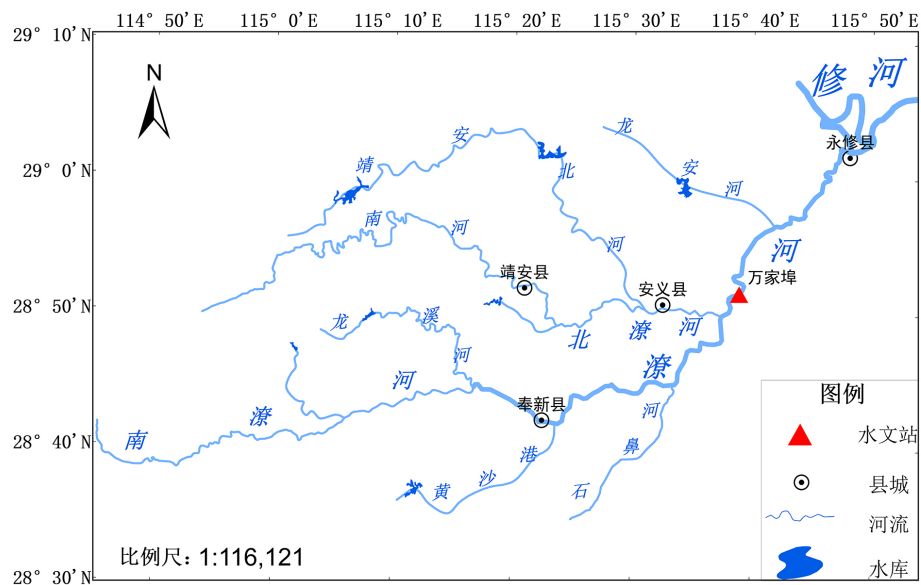


Figure 1. Schematic diagram of Liao River system

图 1. 潦河水系示意图

面积约为 3548 km<sup>2</sup>，流域大致呈东西长，南北短的四边形；流域内地势西高东低，自西向东依次为中低山区、丘陵和冲积平原。流域位于中亚热带湿润季风气候区，气候温湿，四季分明，多年平均降水量 1778 mm，年径流量 42.8 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>，4 月~7 月降水量约占全年总降水量的 60% [4]。

本文用辽河下游万家埠水文站 1956~2020 年的逐月径流数据(2012 年数据缺失)对辽河径流变化特征进行分析，使用数据均来自全国水雨情信息网。

### 3. 主要研究方法

#### 3.1. Mann-Kendall 检验法

Mann-Kendall 检验法(简称 M-K 法)是目前较常用的水文变量趋势性检验方法，该方法优点是变量不需要服从一定的分布，适合于水文变量的趋势检验。Z 为一个服从正态分布的统计量，当 Z > 0 表明原序列可能有上升趋势，Z < 0 表示原序列可能有下降趋势；当 |Z| ≥ 1.96 和 2.56 时，分别表示通过了 α = 0.05 和 α = 0.01 的显著性水平检验[8]。

#### 3.2. 滑动 t 检验法

滑动 t 检验法是通过考察极端降水指数时间序列两组子序列的平均值差异是否超过了一定的显著性水平，来判断样本序列是否发生突变[9]。此方法需要反复改变子序列长度进行试验比较，以提高计算结果的可靠性。给定显著性水平 α，查 t 分布表可得到临界值 t<sub>α/2</sub>。若 |t<sub>i</sub>| < t<sub>α/2</sub>，则认为基准点前后的两个序列均值无显著差异，否则认为在基准点时刻有突变发生。

#### 3.3. 功率谱周期分析方法

功率谱周期方法是分析时间序列常用的方法，根据功率谱图的特点可以直观地揭示出离散数据序列的周期性并可以快速、准确地识别出径流序列的周期性，操作较为简单[10]。其分析方法步骤如下：

给定离散时间序列 Y(t) (t = 1, 2, ..., n)，并将径流量序列进行标准化，设序列 Y(t) 的均值和标准差分别为  $\bar{Y}$  和 S，则标准化后的新序列为：

$$y' = [Y(t) - \bar{Y}] / S \quad (t = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

计算新序列的自相关函数：

$$r(\tau) = \frac{1}{n - \tau} \sum_{t=1}^{n-\tau} y'(t) y'(t + \tau) \quad (\tau = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

其中 τ 为自相关函数的时延，m 为最大时延，一般取为  $\frac{n}{3} \sim \frac{n}{10}$ ，在本文中取  $m = \frac{n}{3}$ 。

通过以下公式计算不同时延的粗谱估计值：

$$\hat{S}_k = \begin{cases} \frac{1}{2m} [r(0) + r(m)] + \frac{1}{m} \sum_{\tau=1}^{m-1} r(\tau) & (k = 0) \\ \frac{1}{m} \left[ r(0) + 2 \sum_{\tau=1}^{m-1} r(\tau) \cos \frac{k\pi}{m} \tau + r(m) \cos k\pi \right] & (k = 1, 2, 3, \dots, m-1) \\ \frac{1}{2m} [r(0) + (-1)^m r(m)] + \frac{1}{m} \sum_{\tau=1}^{m-1} (-1)^\tau r(\tau) & (k = m) \end{cases} \quad (3)$$

式中：k 为谐波波数。

粗谱估计值与真实谱存在一定的误差，故采用 Hanning 平滑系数进一步对  $\hat{S}_k$  做平滑处理得到其精细谱值：

$$\tilde{S}_k = \begin{cases} 0.5\hat{S}_0 + 0.5\hat{S}_1 & (k=0) \\ 0.25\hat{S}_{k-1} + 0.5\hat{S}_k + 0.25\hat{S}_{k+1} & (1 \leq k < m) \\ 0.5\hat{S}_{k-1} + 0.5\hat{S}_k & (k=m) \end{cases} \quad (4)$$

以  $k$  为横坐标、精细谱  $\tilde{S}_k$  为纵坐标绘制功率谱图，并根据图形的极大值确定序列得到周期  $T_k$ ：

$$T_k = \frac{2m}{k} \quad (5)$$

同时比较标准谱与精细谱，进行周期的显著性检验。标准谱检验有以下两种情况：①如果式(2)中自相关函数  $r(1)$  为较大正值，则序列为“红噪声”，采用式(6)进行计算。

$$S_{ok} = \bar{S} \left[ \frac{1 - r^2(1)}{1 + r^2(1) + 2r(1)\cos\frac{k\pi}{m}} \right] \quad (6)$$

式中： $\bar{S}$  为第  $m+1$  个精细谱估计值的均值，即

$$\bar{S} = \left[ \frac{1}{2m} [\tilde{S}(0) + \tilde{S}(m)] + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m-1} \tilde{S}(k) \right] \quad (7)$$

②若  $r(1)$  接近零或为负值，序列则为“白噪声”，则采用式(8)进行计算。

$$S'_{ok} = S_{ok} \left( \frac{\chi^2_{\alpha}}{\nu} \right) \quad (8)$$

其中  $S_{ok} = \bar{S}$ ，自由度  $\nu$  可通过式(9)计算。

$$\nu = \frac{2n - \frac{m}{2}}{m} \quad (9)$$

在给定显著性水平条件下，查表得到  $\chi^2_{\alpha}$  值，计算  $S'_{ok}$ ；若  $\tilde{S}_k > S'_{ok}$ ，则表明波数  $k$  对应的周期是显著的。

## 4. 结果与讨论

### 4.1. 年内分配特征

#### 4.1.1. 年内变化过程

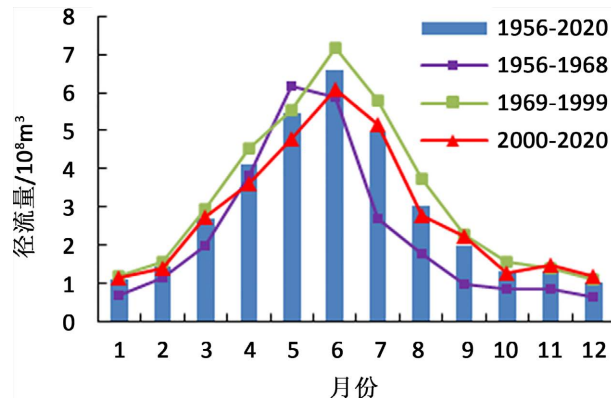
万家埠站的径流量年内分配呈单峰型曲线(图 2)，径流量集中在 4~7 月，该时期径流量为  $21.10 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占年径流量的 60%，其中 6 月经流量最大为  $6.57 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，12 月经流量最小为  $1.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。近 60 年来径流量的年内分配出现了峰值后移现象，在 1968 年以前峰值位于 5 月，之后则位于 6 月，这可能是受江西省在 1958~1966 年间开展的水土保持工作的影响[11]。

#### 4.1.2. 年内不均匀系数变化

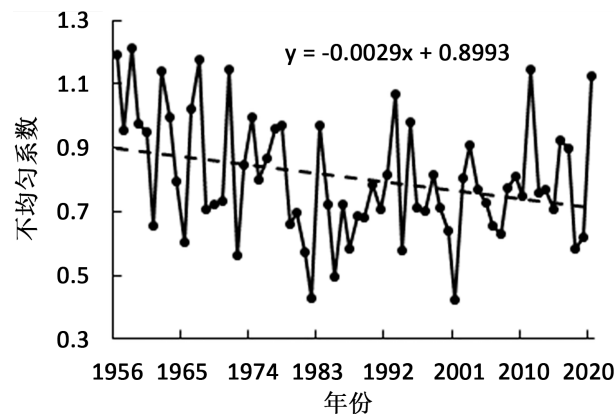
径流量年内分配不均匀系数的多年平均值为 0.81 (图 3)，这表明径流量年内分配极不均匀，其中最小值为 0.42 (2001 年)，最大值为 1.22 (1958 年)；将万家埠站的年径流数据按年代分为 6 个时段(表 1)，其中 1960 s 不均匀系数数值最大为 0.88，1980 s 最小为 0.66，且自 1960 s 到 1980 s 不均匀系数值持续下降，随后又呈现出波动上升的趋势，但总体来说径流量年内分配不均匀系数呈现出微弱的下降趋势，其趋势线斜率为  $-0.029/10\text{a}$ ，这说明径流量的年内分配不均匀性有所降低，这可能是受人类活动的影响。截至到 2007 年，濠河流域内已建了中型水库 7 座、小型水库 229 座，总库容达到了  $3.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，这对于濠河径流的年内分配具有一定的影响。

**Table 1.** Statistical characteristic values of interdecadal variation of runoff at Wanjiabu station  
**表 1.** 万家埠站径流量年代际变化统计特征值

	1960 s	1970 s	1980 s	1990 s	2000 s	2010 s
年径流量( $10^8 \text{ m}^3$ )	28.86	36.61	34.24	45.46	28.21	39.67
不均匀系数	0.88	0.85	0.66	0.79	0.71	0.83



**Figure 2.** Annual distribution of runoff of Liao River  
**图 2.** 辽河径流量年内分配



**Figure 3.** Interannual variation of the Cv  
**图 3.** 不均匀系数年际变化

#### 4.2. 年际变化分析

在 1956~2020 年，万家埠站的年径流量呈现出上升趋势(图 4)，其变化率大致为  $1.36 \times 10^8 \text{ m}^3/(10\text{a})$ 。进一步利用 Mann-Kendall 检验法对径流量的变化趋势进行分析得出其 Z 值为 2.14 (表 2)，表明万家埠站的年径流量呈现出显著上升的趋势。在汛期(4~7 月)径流量呈现出了不显著的上升趋势，其中径流量最大月(6 月)呈现出微弱的上升趋势，7 月则呈现出了显著的上升趋势；在非汛期(8 月~次年 3 月)径流量则呈现非常显著的上升趋势，其中 1、9 和 12 月的上升趋势都非常显著。

**Table 2.** The results of Mann-Kendall trend test  
**表 2.** Mann-Kendall 趋势检验结果

	1 月	6 月	7 月	9 月	12 月	汛期	非汛期	年径流量
Z 值	3.01**	0.21	2.44*	2.74**	2.70**	0.62	3.34**	2.14*

注：“\*”和“\*\*”分别表示序列变化的趋势显著和非常显著。

径流量的五年滑动平均值围绕年径流量趋势线呈现出“增-减”的波动(图 4)。其中在 1956~1973 年、1978~1994 年和 2007~2013 年间年径流量大致呈现出波动上升趋势,而在 1973~1977 年、1995~2006 年和 2014 年后则大体呈现出下降趋势。径流量大致呈现出“丰-枯”交替变化的特征(表 1, 图 5), 在 1960 s、1980 s 和 2000 s 径流量低于多年平均径流量  $35.03 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 表现为枯水期, 其中 2000 s 的平均径流量最小值为  $28.21 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 低于多年平均径流量  $6.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。而在 1970 s、1990 s 和 2010 s 平均径流量则高于多年平均值, 表现为丰水期, 其中 1990 s 的平均径流量最大值为  $45.46 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 高出多年平均值  $10.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 此时鄱阳湖流域正处于偏湿时期[12]。

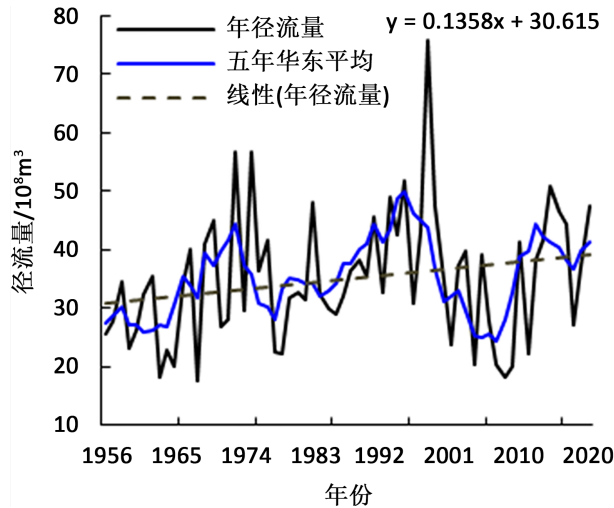


Figure 4. Interannual variation process of runoff of Liao River

图 4. 辽河径流年际变化过程

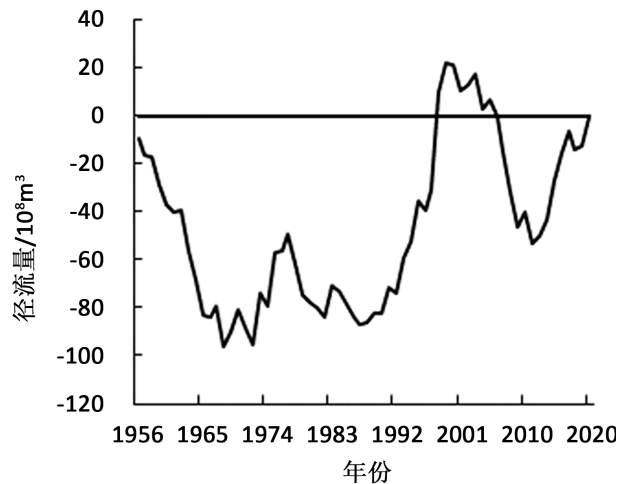


Figure 5. Annual cumulative anomaly of runoff

图 5. 年径流量累计距平

### 4.3. 突变分析

利用滑动  $t$  检验, 选取子序列  $n_1 = n_2 = 7$ , 临界值为  $t_{0.05} = \pm 2.18$  对万家埠站的径流可能的突变年份进行检验。1968 和 1999 年的滑动  $t$  值分别为  $-2.25$  和  $2.81$ , 达到了显著水平, 而 1977 和 1987 年分别为  $1.35$  和  $-1.89$ , 均没有达到显著水平(图 6)。因此确定径流量的突变年份为 1968 和 1999 年, 这与刘剑宇等的研究结果较为一致

[7]。1969~1999 年间万家埠站的径流量发生了显著增加(图 7),相较于 1956~1968 年径流量增加了  $11.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,而在 2000~2020 年间平均径流量则下降至  $33.94 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,相较于 1956~1968 年径流量仍增加了  $6.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,这可能与鄱阳湖流域降雨量在 1969 年之前呈下降趋势,之后呈上升趋势有关[13]。

#### 4.4. 周期性分析

利用功率谱对万家埠站的径流量进行周期性分析,发现当年径流量在波数  $k$  为 2、6 和 11 时,精细谱取得极大值,表明径流与波数存在着对应的周期(图 8)。根据式(5)计算得对应的周期分别为 21a、7a 和 3.8a。由于万家埠站的年径流量自相关函数  $r(1)$  的值为 0.22,故利用式(8)进行周期显著性检验。计算得出  $S_{ok} = 0.06$  和  $v = 5.5$ ,查表得  $\chi_{0.05}^2 = 11.07$ ,根据式(8)计算得出在  $\alpha = 0.05$  水平下的  $S'_{ok} = 0.11$ ,将其与精细谱进行对比发现,当  $k = 2$  时即周期为 21a 时通过显著性检验,而 7a 和 3.8a 均没有通过显著性检验,故万家埠站的年径流量存在一个 21a 的显著周期和两个不显著周期。这与前人研究万家埠站最大径流量呈现 22a 的周期大致吻合[6]。由于 3.8a 周期和修水流域实测降水量的 3.6a 周期相接近,故推测万家埠站的径流量变化可能是受到了修水流域降水量变化的影响[14],而 21a 的周期变化由于与鄱阳湖流域年降水变化周期 22a 相接近,故推测其可能是受到鄱阳湖流域降水量变化的影响[15]。

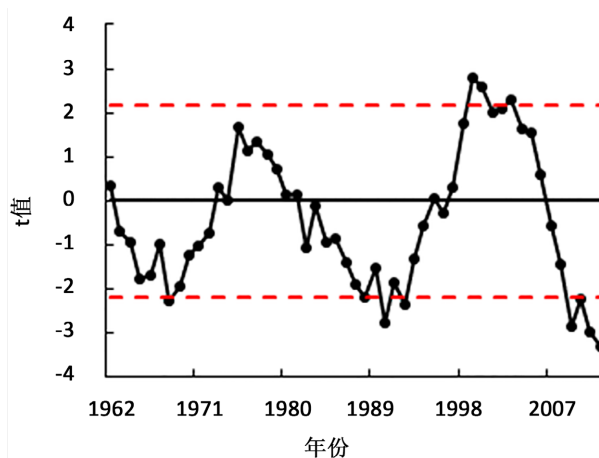


Figure 6. Sliding  $t$ -test of annual runoff

图 6. 年径流量的滑动  $t$  检验

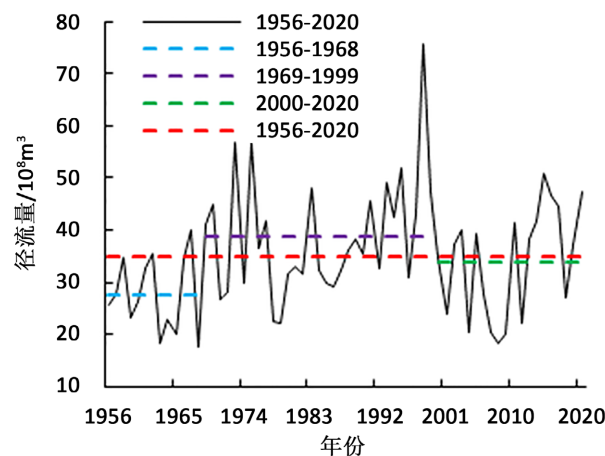


Figure 7. Comparison of runoff before and after abrupt change

图 7. 突变前后径流量对比

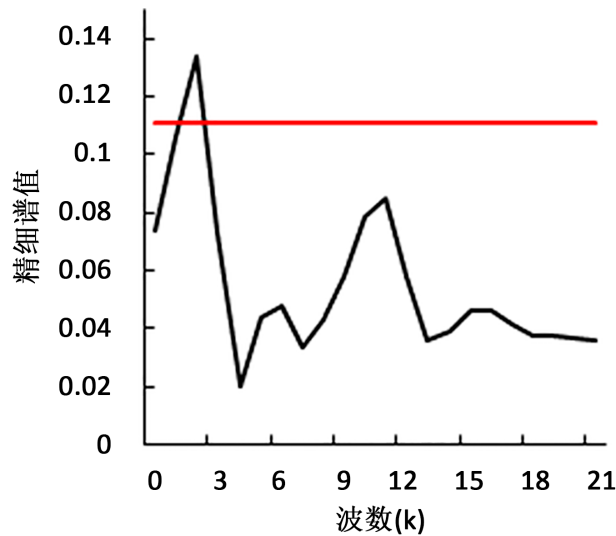


Figure 8. Annual runoff power spectrum  
图 8. 年径流量功率谱图

## 5. 结论

辽河径流量的年内分配为单峰型并出现了峰值后移的现象,在 1968 年以前峰值位于 5 月,之后则位于 6 月,且径流量年内分配的不均匀性呈现出微弱下降的年际变化趋势,这可能是由于人类活动的影响;近 60 年辽河年径流量呈现出显著的上升趋势,并大致呈现出“丰-枯”交替的变化特征,其中在 1960 s、1980 s 和 2000 s 表现为枯水期,在 1970 s、1990 s 和 2010 s 则表现为丰水期;辽河年径流量在 1968 年和 1999 年发生突变现象;辽河年径流量存在 21a、7a 和 3.8a 的变化周期,其中 21a 为显著周期,并推测该周期可能是受到鄱阳湖流域降水变化的影响。

## 基金项目

江西省教育厅科技项目(GJJ180903)。

## 参考文献

- [1] 张建云, 王国庆, 金君良, 等. 1956-2018 年中国江河径流演变及其变化特征[J]. 水科学进展, 2020, 31(2): 153-161.  
ZHANG Jianyun, WANG Guoqing, JIN Junliang, *et al.* Evolution and variation characteristics of the recorded runoff for the major rivers in China during 1956-2018. *Advances in Water Science*, 2020, 31(2): 153-161. (in Chinese)  
<https://doi.org/10.14042/j.cnki.32.1309.2020.02.001>
- [2] WANG, R. N., PENG, W. Q., LIU, X. B., *et al.* Characteristics of runoff variations and attribution analysis in the Poyang Lake basin over the past 55 years. *Sustainability*, 12: 944. <https://doi.org/10.3390/su12030944>
- [3] 黄一鹏, 刘卫林, 万一帆, 等. 基于 SWAT 模型的修河上中游流域径流与气候变化响应研究[J]. 人民珠江, 2020, 41(11): 16-23.  
HUANG Yipeng, LIU Weilin, WAN Yifan, *et al.* Study on runoff and climate change response of upper and middle reaches of Xiuhe River basin based on SWAT model. *Pearl River*, 2020, 41(11): 16-23. (in Chinese)  
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-9235>
- [4] 周秋红, 刘成, 吴绍飞. 修河干流径流极值系列多时间尺度变异及成因[J]. 人民珠江, 2020, 41(9): 79-84+91.  
ZHOU QiuHong, LIU Cheng and WU Shaofei. Research on variation and cause of the multi-time-scale extreme runoff series in the mainstream of Xiuhe River basin. *Pearl River*, 2020, 41(9): 79-84+91. (in Chinese) <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-9235>
- [5] 罗蔚, 张翔, 邓志民, 等. 1956-2008 年鄱阳湖流域水沙输移趋势及成因分析[J]. 水科学进展, 2014, 25(5): 658-667.  
LUO Wei, ZHANG Xiang, DENG Zhimin, *et al.* Runoff and sediment load transport and cause analysis in Poyang Lake basin over the period 1956-2008. *Advances in Water Science*, 2014, 25(5): 658-667. (in Chinese)



- <https://www.cnki.net/kcms/doi/10.14042/j.cnki.32.1309.2014.05.008.html>
- [6] 刘卫林, 刘丽娜. 修河流域洪水变化特征及其对气候变化的响应[J]. 水土保持研究, 2018, 25(5): 306-312.  
LIU Weilin, LIU Lina. Variation characteristics of extreme runoff and its responses to climate fluctuation in midstream of Xiuhe River. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(5): 306-312. (in Chinese)  
<https://www.cnki.net/kcms/doi/10.13869/j.cnki.rswc.2018.05.044.html>
- [7] 刘剑宇, 张强, 顾西辉. 水文变异条件下鄱阳湖流域的生态流量[J]. 生态学报, 2015, 35(16): 5477-5485.  
LIU Jianyu, ZHANG Qing and GU Xihui. Evaluation of ecological flow with considerations of hydrological alterations in the Poyang Lake basin. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(16): 5477-5485. (in Chinese)  
<https://doi.org/10.5846/stxb201404080664>
- [8] 赵军凯, 李立现, 李九发, 等. 人类活动对鄱阳湖水位变化的影响[J]. 水文, 2020, 40(4): 53-60.  
ZHAO Junkai, LI Lixian, LI Jiufa, *et al.* Response of water level variation of Poyang Lake to human activities. Journal of China Hydrology, 2020, 40(4): 53-60. (in Chinese) <https://doi.org/10.19797/j.cnki.1000-0852.20190052>
- [9] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第二版. 北京: 气象出版社, 2008: 58-60.  
WEI Fengying. Modern climate statistical diagnosis and prediction technology. 2nd Edition. Beijing: China Meteorological Press, 2008: 58-60. (in Chinese)
- [10] 李勋贵, 胡啸, 魏霞. 基于功率谱周期和去趋势波动分析的河川径流特性分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(6): 986-995.  
LI Xungui, HU Xiao and WEI Xia. Runoff characteristics analysis based on power spectrum method and detrended fluctuation analysis. Journal of Natural Resources, 2015, 30(6): 986-995. (in Chinese) <https://doi.org/10.11849/zrzyxb.2015.06.009>
- [11] 肖洋, 张汶海, 张颖. 赣江中下游近 60 年水沙时空分布特征[J]. 水文, 2014, 34(6): 86-92.  
XIAO Yang, ZHANG Wenhai and ZHANG Ying. Spatial and temporal distribution characteristics of runoff and sediment discharge in middle and lower reaches of Ganjiang River in recent 60 years. Journal of China Hydrology, 2014, 34(6): 86-92. (in Chinese)
- [12] 霍雨, 王腊春, 陈晓玲, 等. 1950s 以来鄱阳湖流域降水变化趋势及其持续性特征[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 454-462.  
HUO Yu, WANG Lachun, CHEN Xiaoling, *et al.* Long-term trend and persistence of precipitation over Lake Poyang basin science 1950s. Journal of Lake Science, 2011, 23(3): 454-462. (in Chinese)
- [13] 叶许春, 刘健, 张奇, 等. 鄱阳湖流域气候变化特征及其对径流的驱动作用[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(7): 103-109.  
YE Xuchun, LIU Jian, ZHANG Qi, *et al.* Characteristics of climate variability and its driving effect on the change runoff across the Poyang Lake catchment. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2014, 36(7): 103-109. (in Chinese)  
<https://doi.org/10.13718/j.cnki.xdzk.2014.07.018>
- [14] 郭家力, 祝薄丽, 李英海, 等. 基于 EEMD 的鄱阳湖流域年降水量周期预测[J]. 水电能源科学, 2017, 35(2): 1-6.  
GUO Jiali, ZHU Boli, LI Yinghai, *et al.* Prediction of annual precipitation period of Poyang Lake basin based on EEMD. Water Resources and Power, 2017, 35(2): 1-6. (in Chinese)
- [15] 谢毅文, 张强, 李越, 等. 鄱阳湖流域年降水量周期、趋势及响应特征分析[J]. 西安理工大学学报, 2014, 30(2): 225-230.  
XIE Yiwen, ZHANG Qi, LI Yue, *et al.* An analysis of period, tendency and response characteristics of annual precipitation in Poyang Lake basin. Journal of Xi'an University of Technology, 2014, 30(2): 225-230. (in Chinese)  
<https://doi.org/10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2014.02.017>