

# 1954 ~ 2012 年乐安河流域水文气象要素 变化规律分析

郭庆冰

(江西省水利科学研究院,江西 南昌 330029)

**摘要:**根据乐安河流域 1954 ~ 2012 年水文、气象资料,采用滑动平均法和 Mann - Kendall 秩次相关检验法对其降水、气温、暴雨、干旱和径流进行趋势分析。结果表明:流域平均气温呈显著上升趋势( $P < 0.01$ ),近 10 年来干旱情况日益加剧,尤其是 2003 年、2004 年和 2007 年干旱时间分别达到 56d、81d、57 d;蒸发量总体呈振荡缓慢下降趋势;降水量呈增加趋势,且近些年来暴雨强度和暴雨频率都有所增加。通过 Mann - Kendall 突变点检验,发现径流在 1985 和 2003 年存在两个显著的突变点。以上结果说明,该流域季节性干旱和旱涝灾害有进一步加剧的风险,需要采取措施应对全球气候变化对区域水资源的影响。

**关键词:**气候;径流;变化特征;乐安河流域

**中图分类号:**P339

**文献标识码:**B

**文章编号:**1004 - 4701(2017)03 - 0205 - 07

## 0 引言

气候变化与人类的生活和社会经济发展有着密切的联系<sup>[1]</sup>,气候变化直接影响地球森林、生物、水、土地资源的变化,工业革命以后这种影响一直在不断的加剧<sup>[2]</sup>。近年来鄱阳湖水位连创新低,低水位持续时间延长、旱涝灾害频发等引起学术界的广泛关注<sup>[3-8]</sup>。乐安河是汇入鄱阳湖的主要河流之一,其水文气象要素的变化将直接影响鄱阳湖的水量平衡<sup>[9-11]</sup>,本文综合采用线性回归、滑动平均法、Mann - Kendall 检验法对乐安河流域历史上长时间序列的水文气象要素(1954 ~ 2012 年)进行趋势分析,以期乐安河流域水资源可持续利用提供有益借鉴。

## 1 研究区概况

乐安河流经婺源、香屯、乐平、波阳等县,地理坐标 28°55'41" ~ 29°1'21"N、116°29'35" ~ 117°48'24"E,海拔 12 ~ 57 m,全长 279 km,流域总面积 7 946.71 km<sup>2</sup>。乐安河流域地处中亚热带湿润季风区,年均气温 17.5 °C。

多年年均降水量为 1 845.19 mm,降水分布不均匀,4 ~ 6 月降水量约占全年降水量的 46.12%。乐安河流域地貌类型主要由丘陵(51.10%)、山地(28.65%)、岗地(9.96%)、阶地(0.43%)、平原(9.86%)组成,地质构造主要由变沉凝灰岩(47.81%)及砾岩(25.18%)组成。流域地带性植属于亚热带常绿阔叶林,土地利用类型以林地为主,约占流域总面积的 70%,植被类型有针叶林、阔叶林、针阔混交林、竹林、亚热带灌丛等。

## 2 资料和方法

### 2.1 数据来源

本研究选取虎山水文站(1952 ~ 2012 年)为流量控制站,通过逐日流量计算平均流量。气象数据(1954 ~ 2012 年)来源于包括段莘、清华、大坑等 21 个气象站。所需数据主要包括气温、降水、日照时数、风速及 20cm 蒸发皿蒸发量等。温度数据为各站点加权平均所得,降水数据经过前期处理(异常的插补和数据缺失等)构成完整序列,利用基于 ArcGIS 平台的泰森多边形法计算区域平均降水量,解决了传统方法计算泰森多边形面积与面积权重系数的难题,提高了区域平均降水量的时效

性和准确性。

### 2.2 研究方法

近年来 Mann - Kendall 秩次相关检验法被学者们广泛运用于降雨、径流、泥沙等气候水文变量的趋势分析<sup>[12-14]</sup>。假定时间序列  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  是由  $n$  个独立的、随机变量组成的样本,  $F(x)$  为样本  $x_i$  的分布函数, 则在 Mann - Kendall 假设检验中,  $H_0: F(x) = -F_n(x)$ , 即  $x_i (1 = 1, 2, \dots, n)$  为独立同分布随机样本;  $H_1: F(x) > \dots > F_n(x)$  或  $F_1(x) < \dots < F_n(x)$ , 即序列存在趋势。在零假设下, 当  $n > 10$  时, 定义统计量  $S$  为:

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

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

近似服从正态分布, 该统计量期望和方差分别为:

$$E[S] = 0$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

将  $S$  标准化得到:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

在双侧检验中, 当  $Z \leq |Z_{1-\alpha/2}|$  接受零假设  $H_0$ ; 否则  $Z < -Z_{1-\alpha/2}$  表明序列呈下降趋势,  $Z > -Z_{1-\alpha/2}$  呈上升趋势。

设原始时间序列为  $X_1, X_2, \dots, X_n, m_i$  表示第  $i$  个样本  $X_i$  大于  $X_j (1 \leq j \leq i)$  的累积数, 定义统计量:

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i, (2 \leq k \leq n) \quad (5)$$

在原序列随机独立等假设下,  $d_k$  的均值和方差分别为:

$$E(d_k) = \frac{k(k-1)}{4}$$

$$\text{Var}(d_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (6)$$

$$d_k \text{ 标准化得: } UF_k = \frac{d_k - E(d_k)}{\sqrt{\text{var}(d_k)}} \quad (7)$$

$UF_k$  组成一条  $UF$  曲线, 通过信度检验可得出其是否有明显的变化趋势。把此方法引用到反序列中, 计算得到另一条曲线  $UB$ , 则两条曲线在置信区间内的交点确定为突变开始的时间。给定显著性水平, 如  $\alpha = 0.05$ , 那么临界值为  $U_{0.05} = \pm 1.96$ 。  $UF > 0$ , 表示序列呈上升趋势; 反之, 表明呈下降趋势, 大于或小于  $\pm 1.96$ , 表示上升或下降趋势明显。

## 3 结果及分析

### 3.1 气温变化特征

根据乐安河流域气温变化趋势分析可知(见图1), 流域多年平均气温为  $17.5^\circ\text{C}$ , 总体呈显著上升趋势( $P < 0.01$ )。其中, 20世纪50年代初至60年代初、20世纪80年代末至21世纪初气温呈上升趋势, 流域为较暖时期段, 这与整个江西省气温变暖时间基本一致。

由 Mann - Kendall 法计算得  $UF/UB$  曲线可知(见图2): 从1957年开始,  $UF$  曲线一直都大于0, 表明近60年来乐安河流域平均气温有持续上升的趋势。尤其是1988年以后,  $UF$  值一直大于1.96, 气温呈显著上升趋势。

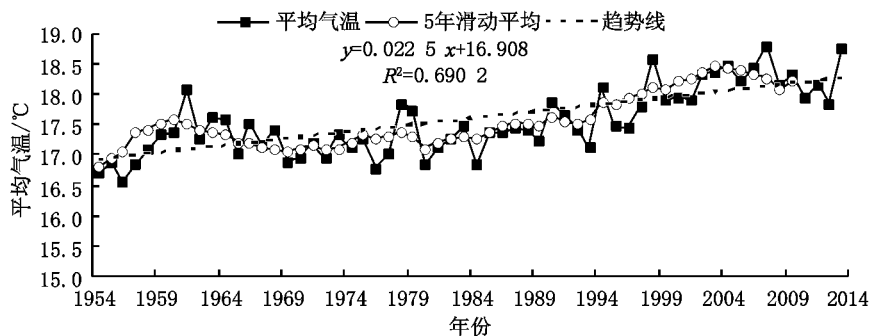


图1 乐安河流域平均年气温年际变化

### 3.2 潜在蒸发散变化特征

根据乐安河流域蒸发散变化趋势分析可知(见图 3),流域多年平均潜在蒸发散为 1 231. 16 mm,总体呈振

荡变化趋势。其中,20 世纪 50 年代、90 年代末~21 世纪初,潜在蒸发散呈上升趋势;20 世纪 60 年代~70 年代初、21 世纪 00 年代中期后潜在蒸发散呈下降趋势。

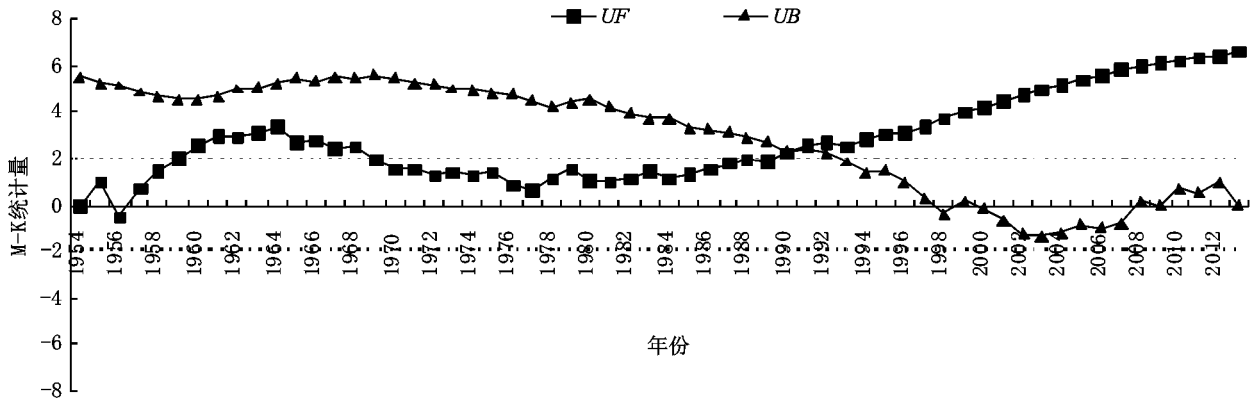


图 2 乐安河流域平均气温 MK 趋势检验(虚线为  $\alpha=0.05$  显著水平临界值)

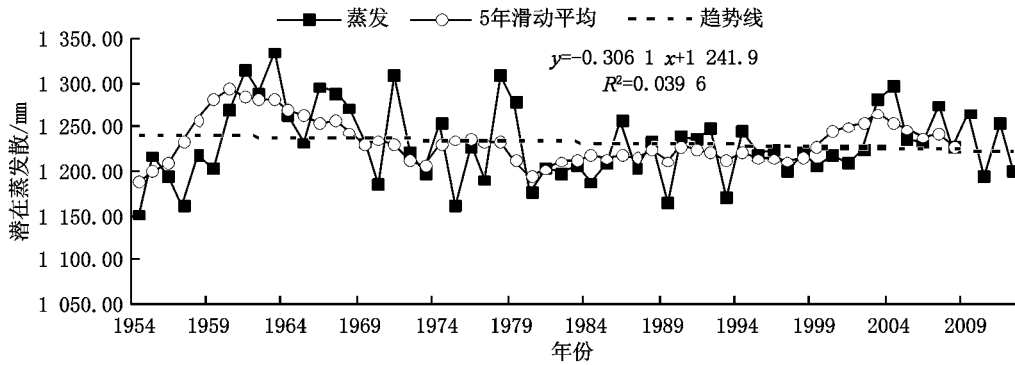


图 3 乐安河流域潜在蒸发散年际变化

由 Mann - Kendall 法计算得  $UF/UB$  曲线可知(见图 4):突变检验表明 1972 年、2001 年为突变点。潜在蒸发散减少的原因很多,其中该流域风速和太阳辐射量

的减小有一定的影响,其抵消了气温上升所导致的蒸发量上升,进而使得蒸发散呈下降趋势。

### 3.3 降水变化特征

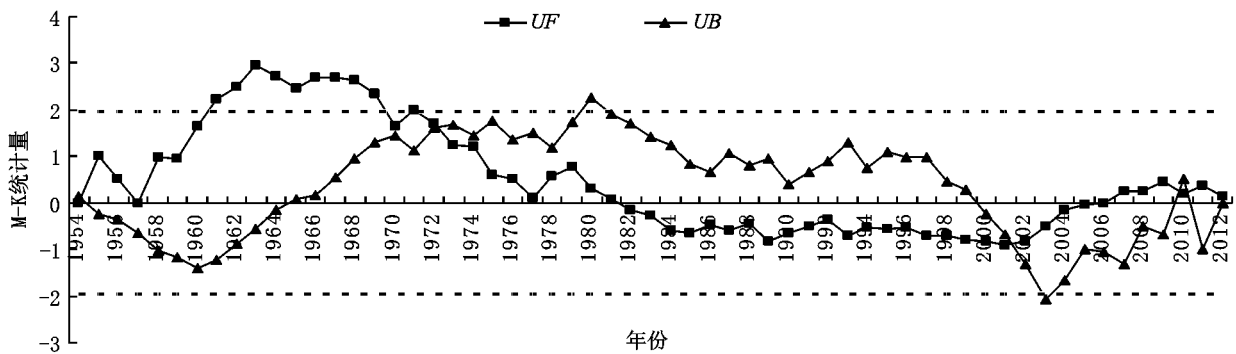


图 4 乐安河流域潜在蒸发散 MK 趋势检验(虚线为  $\alpha=0.05$  显著水平临界值)

根据乐安河流域 1954 ~ 2012 年降水变化趋势分析可知(图 5),多年平均降水量为 1 845. 19 mm,总体呈

上下波动状态,上升趋势不明显。其中,20 世纪 60 年代和 80 年代降水量呈上升趋势,20 世纪 90 年代降水

量较多,21世纪初又出现下降趋势,然而近10年间,旱涝灾害频发,百年一遇暴雨次数就出现了4次,枯水年也出现多次,因此,极端气候的变化导致降雨频次和强度也在不断的变化。

由 Mann - Kendall 法计算得  $UF/UB$  曲线可知(图

6): $UF$  曲线显示,自1965年开始,降水量总体上呈增长趋势。其中1973~1978年、1997~2004年两个时期内, $UF$  值一直大于1.96,表明呈显著增加趋势。突变检验表明,1962年、2007年为突变点。

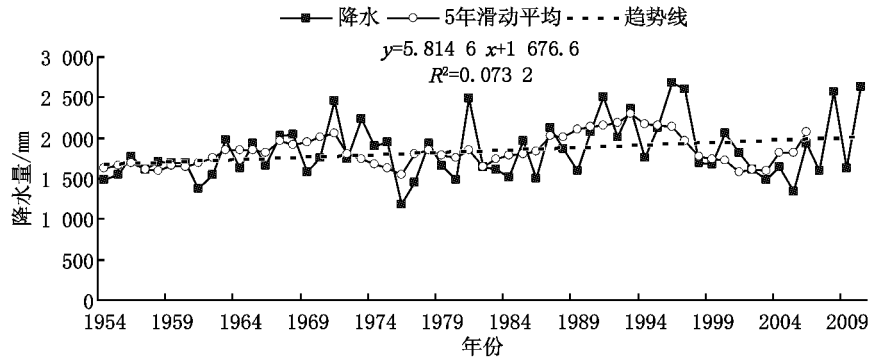


图5 乐安河流域降水量年际变化

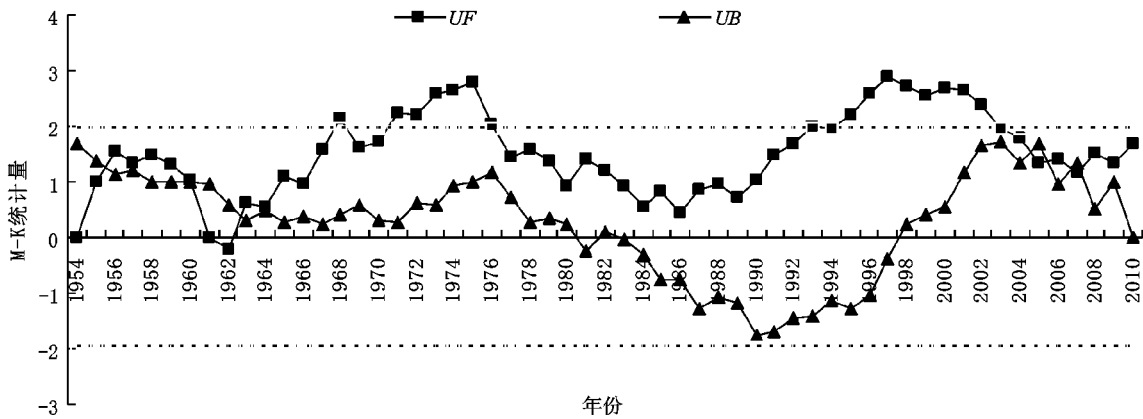


图6 乐安河流域降水量 MK 趋势(虚线为  $\alpha=0.05$  显著水平临界值)

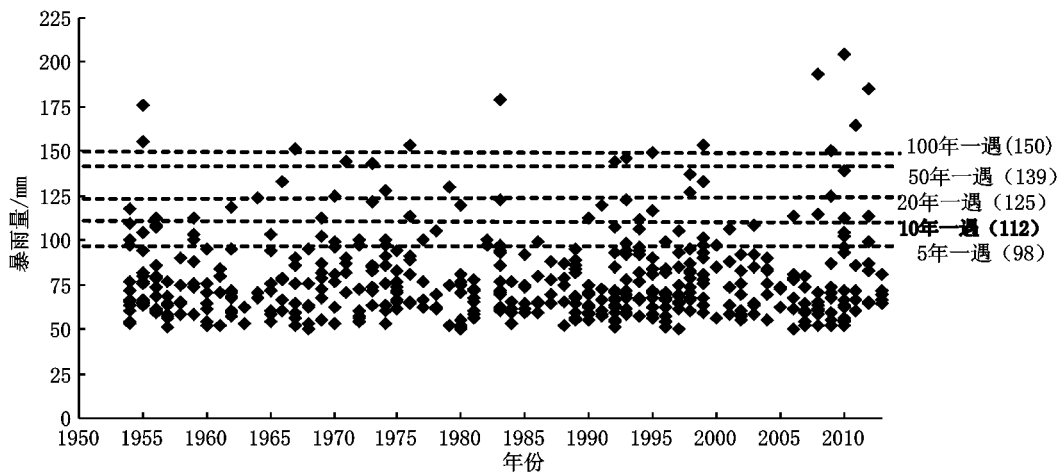


图7 乐安河流域年暴雨量变化

### 3.4 暴雨、干旱年际变化特征

根据乐安河流域暴雨数据(24 h 降水量)的统计分析可知(图 7),其中 5 年、10 年、20 年、50 年、100 年一遇的暴雨量分别为 98.40 mm、112.00 mm、125.00 mm、139.00 mm、150.00 mm,且在各个时代出现的次数也不相同,以 100 年一遇暴雨量为例,历史上总共发生过 7 次,而近 10 多年就集中了 4 次。此外,由表 1 可知 20 世纪 60 年代暴雨发生次数最少(59 次),90 年代最多

(111 次),尤其是 1990 年之后暴雨强度和暴雨频率都显著增加。因此,也使得近年来洪涝灾害频发。

对 1954 ~ 2013 年干旱数据分析可知,乐安河流域秋冬旱出现频率整体高于夏旱,主要是由于秋冬季雨水较少的缘故。此外,近 20 年中,尤其是 2003 年、2004 年和 2007 年干旱天数分别达到 56 d、81 d、57 d(图 8、图 9),与此对应的暴雨出现的频率、强度也再明显加大,这说明近年来极端气候出现频率在不断的增加<sup>[15]</sup>。

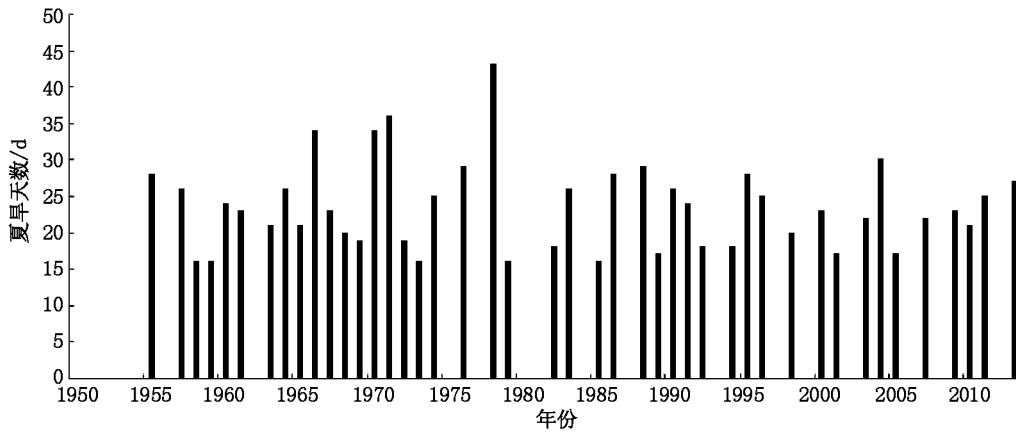


图 8 乐安河流域年夏旱天数

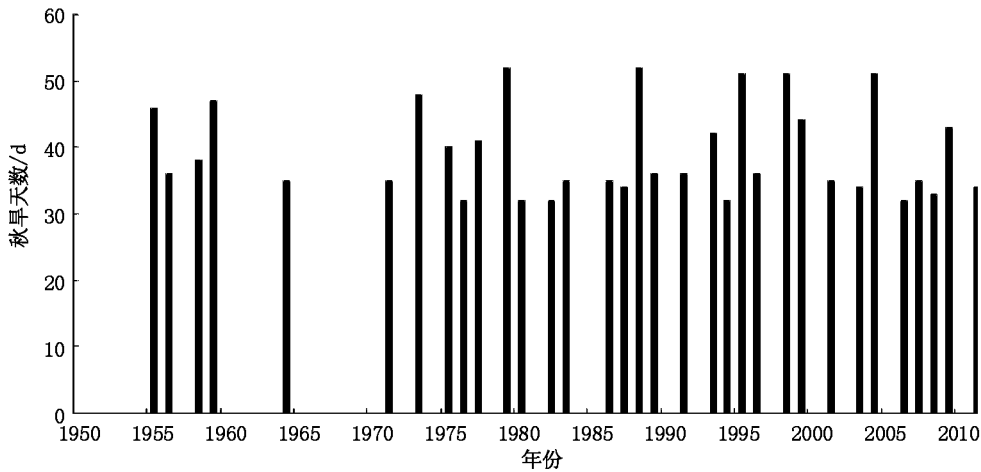


图 9 乐安河流域年秋冬旱天数

表 1 乐安河流域夏旱、秋冬旱、暴雨分布统计

时间(年)	夏旱/d	秋冬旱/d	暴雨/次
1954 ~ 1960	110	167	70
1961 ~ 1970	221	35	59
1971 ~ 1980	184	280	67
1981 ~ 1990	160	224	75
1991 ~ 2000	156	292	111
2001 ~ 2010	152	263	96

### 3.5 径流变化特征

根据乐安河流域 1954 ~ 2012 年径流变化趋势分析可知(见图 10),多年平均径流深为 1 130.68 mm,其中最大径流深为 2 298.40 mm(1998 年),最小径流深为 488.00 mm(1963 年)。其中,1978 ~ 1995 年径流量呈显著上升趋势( $P = 0.002$ ),2000 年以后径流量呈下降趋势,尤其是 2003 年、2004 年、2007 年三个枯水年,年径流深明显下降。因此可知,径流量变化基本上与降水

量变化相吻合,两者有着密切相关。

丰水期平均径流深为 611.84 mm,占年均径流值的 54.11%。丰水期径流最大值为 1 283.10 mm(1995 年),最小值为 273.80 mm(1997 年),相差 1 009.30 mm,由此可见,近几十年来这种极端气候(洪水、干旱)对当地造成了极大的威胁。由图 11 可知,丰水期径流

的变化规律与全年径流变化规律基本吻合,因此丰水期的变化趋势一定程度上反映了全年径流的变化趋势。

枯水期平均径流深为 78.39 mm,除 1997 年枯水期径流(290.60 mm)大于丰水期径流(273.80 mm),其他年份径流深都相对稳定,因此,我们可知,该流域枯水期径流主要以基流为主。

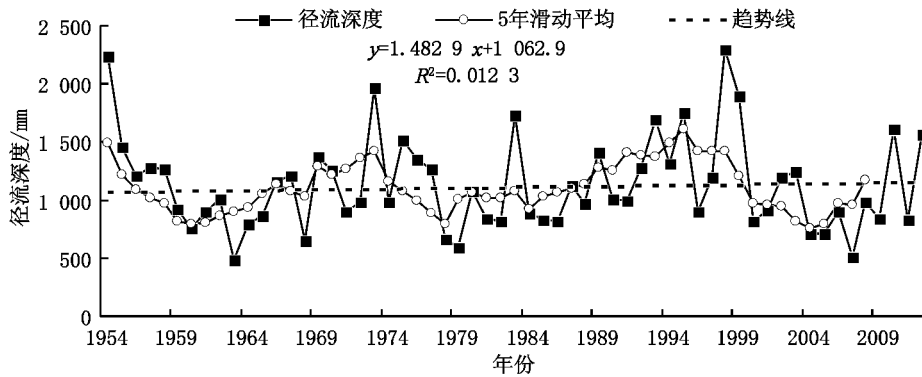


图 10 乐安河流域径流深年际变化

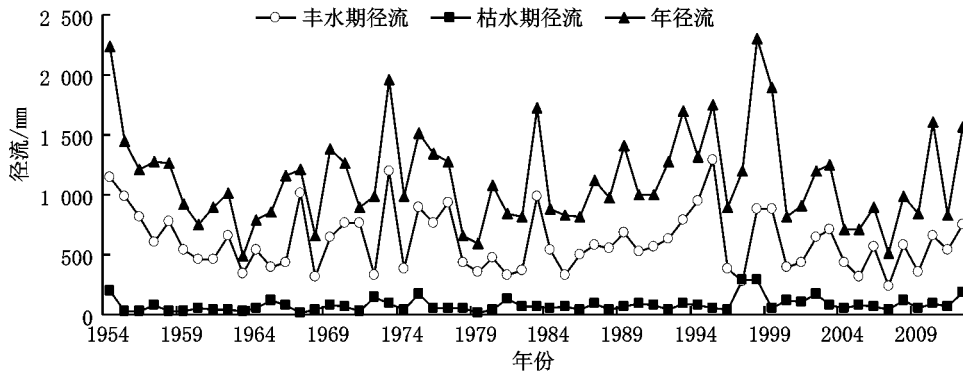


图 11 乐安河流域丰水期(枯水期)径流深年际变化

由 Mann - Kendall 法计算得  $UF/UB$  曲线可知(图 12): $UF$  曲线显示,1959 ~ 1968 年期间  $UF$  曲线均超过了 0.05 显著性水平线,表明呈显著减少趋势,20 世纪 90 年代后  $UF > 0$ ,表示径流量呈缓慢增加趋势。其中, $UF$  和  $UB$  曲线在临界范围有 2 个交点,分别为 1985 年和 2003 年,因此,我们定义突变年份为 1985 年和 2003 年。

### 4 结 语

通过对乐安河流域气温、蒸发散、降水量、暴雨干旱、径流量近 60 年数据趋势分析和突变点检验分析可

知,该流域气候变化特征如下:

(1)1954 ~ 2012 年乐安河流域平均气温呈显著上升趋势( $P < 0.01$ ),期间主要有两个显著增温时期,分别是 20 世纪 50 年代初至 60 年代初、80 年代末至 21 世纪初。

(2)流域近 10 年来干旱情况日益加剧,尤其是 2003 年、2004 年和 2007 年干旱时间分别达到 56d、81d、57 d,降水量较多年平均值偏少 40% 以上。此外,近 10 年乐安河流域夏季存在明显的旱涝并存、交替现象,针对流域出现的这种不稳定水文情势,应该积极采取措施,提高防御干旱、洪涝灾害的能力。

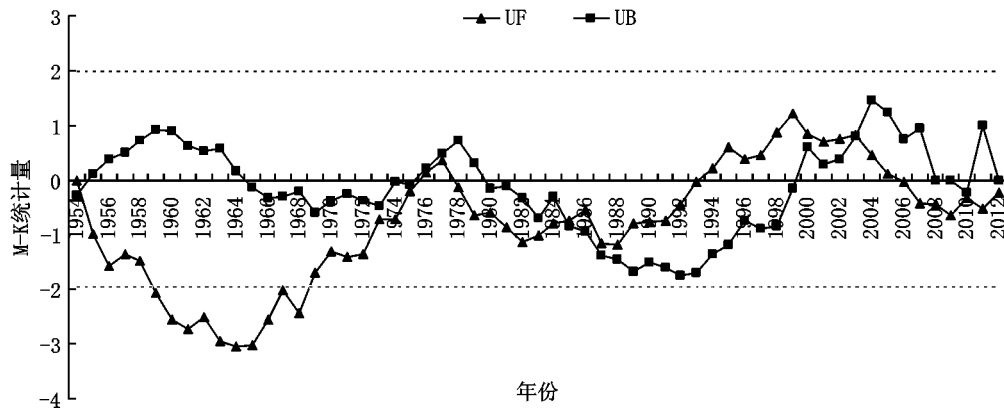


图12 乐安河流域径流深 MK 趋势(虚线为  $\alpha = 0.05$  显著水平临界值)

(3) 乐安河流域蒸发量年内分配不均匀,主要集中在7~9月份,约占全年总蒸发量的50%。潜蒸发散总体呈振荡变化趋势,蒸发突变年份为1972年和2001年。

(4) 乐安河流域降水量总体呈震荡增加趋势,近年来暴雨频率和暴雨强度均显著增加,这与任王玉等提出的江西省近50年极端降水事件强度、频率呈上升趋势,尤其是暴雨和极端强降水强度和时间增加明显的结论相似。

(5) 乐安河流域径流量变化基本上与降水量变化相吻合,1978~1995年径流量呈显著上升趋势( $P = 0.002$ ),这可能与该时期内降水量显著增加和人类活动变化密切相关。

#### 参考文献:

- [1] 孟悦. 松花江流域气候年代际变化分析及预测[D]. 兰州:兰州大学, 2007.
- [2] 闫国栋,康建成. 全球环境变化、影响及国际行动[J]. 科学:上海, 2007,59(5):16~19.
- [3] Shankman D, Davis L, Leeuw J. River management, landuse change, and future flood risk in China's Poyang Lake region[J]. International Journal of River Basin Management, 2009,7(4):423~431.
- [4] Shankman D, Keim B D, Song J. Flood frequency in China's Poyang Lake region: trends and teleconnections[J]. International Journal of Climatology, 2006,26(9):1255~1266.
- [5] Guo H, Hu Q, Jiang T. Annual and seasonal streamflow responses to climate and land - cover changes in the Poyang Lake basin, China[J]. Journal of Hydrology 2008(355):106~122.
- [6] 简虹,骆云中,谢德体. 基于 Man - Kendall 法和小波分析的降水变化特征研究——以重庆市沙坪坝区为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2011,36(4):217~222.
- [7] 胡振鹏,林玉茹. 气候变化对鄱阳湖流域干旱灾害影响及其对策[J]. 长江流域资源与环境, 2012,21(7):897~904.
- [8] 闵岫,严蜜,刘健. 鄱阳湖流域干旱气候特征研究[J]. 湖泊科学, 2013,25(1):65~72.
- [9] 万金宝,闫伟伟,谢婷. 鄱阳湖流域乐安河重金属污染水平[J]. 湖泊科学, 2007,19(4):421~427.
- [10] 高海鹰,庄霞,张奇. 鄱阳湖乐安河流域非点源氮污染时空变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011,20(5):597~602.
- [11] 简敏菲,徐鹏飞,熊建秋,等. 乐安河 - 鄱阳湖段湿地表土重金属污染风险及水生植物群落多样性评价[J]. 生态与村环境学报, 2013,29(4):415~421.
- [12] Yue S, Wang C Y. Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann - Kendall test[J]. Water Resources Management, 2002,38(6):1068~1074.
- [13] Novotny E V, Stefan H G. Streamflow in Minnesota: Indicator of climate change[J]. Journal of Hydrology, 2007,334(3-4):319~333.
- [14] Li Z, Liu W Z, Zhang X C, et al. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China[J]. Journal of Hydrology, 2009,377(1-2):35~42.
- [15] 郭庆冰,刘文飞,李凤,等. 乐安河流域水文气象要素变化特征分析. 中国水土保持[J]. 2015(8):60~61.

编辑:张绍付

## Regularity analysis of hydrometeorological elements in the Lean river watershed during 1954 ~ 2012

GUO Qingbing

(Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** This paper used the Le'an watershed, the major tributary of Poyang lake basin as an example to analyze the dynamics of precipitation, temperature, storm events, drought and streamflow (1954 - 2012). The Sliding Average Method and Mann - Kendall test were used for this study. Results showed that the annual mean temperature increased significantly ( $P < 0.01$ ), in the past decades, the drought days was increasing, especially in the 2003 (56 d), 2004 (57 d) and 2007 (81 d) year; evaporation showed a reducing trend; besides, the average intensity and frequency of storm rainfall were increased. Through the Mann - Kendall mutation point test, two breakpoints in the runoff (year 1985 and year 2003) were detected in the Le'an river watershed. All above results clearly demonstrate that there are increased trend in storm intensity and the duration of drought, which may have the risk of flood and drought in the future. Therefore, integrated watershed management strategies should be made to minimize the effects of climate change on water resources.

**Key words:** Climate; Runoff; Variation characteristics; The Le'an river watershed

翻译: 郭庆冰

## 江西省水利厅政务信息工作获江西省政府办公厅表彰

日前,江西省政府办公厅印发《关于2016年度全省政务信息工作考评结果的通报》(赣府厅字[2017]10号),通报表彰2016年度政务信息报送工作优秀单位和优秀个人。江西省水利厅办公室荣获优秀单位,江西省水利厅办公室钟建平同志荣获优秀个人。

江西省政府办公厅根据《江西省人民政府办公厅关于政府系统政务信息工作考评的通知》(赣府厅字[2016]25号)精神,以及2016年度信息报送及采用累计得分情况,通过综合考评,经省政府同意,对40个优秀单位和40名优秀个人予以通报表彰,其中25个市、县(区)和15个省直部门荣获优秀单位,25个市、县(区)和15个省直部门个人荣获优秀个人。

2016年,江西省水利厅进一步强化政务信息工作,始终围绕水利中心工作,促使信息渠道更畅、质量更高、报送更快,被采用率较高。突出水利工作的热点、焦点,捕捉亮点,提高信息质量。强调快搜集、速传送,紧跟工作形势的信息,及时地编发。树立超前意识,对重大的时效性强的信息,采取快报、续报、加报等方式,保证连续性、准确度和时效性,充分发挥政务信息服务党委政府决策的重要作用。

(江西省水利厅办公室 钟建平)