

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.03.002

气候和人类活动对赣江径流变化的作用分析

叶许春^{1,2}, 刘健³, 李相虎², 张奇²

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;
3. 山东省水利科学研究院水资源与环境重点实验室, 山东 济南 250013)

摘要: 以鄱阳湖最大入湖支流——赣江流域为例, 以流域的水量-能量收支为基础, 分析流域近50年来水文、气候的变化特征, 研究流域尺度上气候变化和人类活动对径流变化影响的相对作用。结果表明: 相对于20世纪60年代, 其他年代赣江径流的变化主要是由气候变化作用引起的, 而人类活动的作用相对较弱。基于蒸发率函数的定量研究结果进一步揭示, 不同时期气候变化和人类活动对径流变化的影响相差较大, 但气候因素始终起着增大径流的作用, 人类活动起着不同程度的辅助作用。

关键词: 气候变化; 趋势分析; 水热收支; 蒸发率函数; 赣江流域

中图分类号: P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2013)03-0196-08

Effects of climate variability and human activities on runoff variation of Ganjiang River Basin

YE Xuchun^{1, 2}, LIU Jian³, LI Xianghu², ZHANG Qi²

(1. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China;
3. Shandong Provincial Key Laboratory of Water Resources and Environment, Water Research Institute of Shandong Province, Jinan 250013, China)

Abstract: The Ganjiang River is the largest inflow branch of Poyang Lake. In this study, the characteristics of hydrological and climate variability of the Ganjiang River Basin over the last 50 years were analyzed, and the effects of climate variability and human activities on water resources variation of the river basin were investigated based on a coupled water and energy budget analysis. The results show that, with the depth of runoff in the 1960s as a reference value, the variations of depth of runoff in the Ganjiang River in other periods were mainly caused by climate variability, while the effect of human activities was relatively small. The quantitative analysis based on the evaporation rate function further reveals that there is a large difference between the effects of climate variability and human activities on runoff variations in different periods, and climate variability always leads to an increase of runoff, while human activities play a complementary role at different levels.

Key words: climate variability; trend analysis; water and energy budget; evaporation rate function; Ganjiang River Basin

由于全球气候变化和人类活动的影响, 地球上的水文循环和水资源状况发生了改变, 变化环境下水文循环机理及其演变规律的研究已成为国际水文学领域的研究热点^[1-4]。这些研究中, 很大一部分侧重于分析历

收稿日期: 2012-06-29

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2012CB417003); 中国科学院湖泊与环境国家重点实验室开放基金(2010SKL014); 国家自然科学基金(41201026); 西南大学博士基金(SWU110055)

作者简介: 叶许春(1982—), 男, 安徽潜山人, 讲师, 博士, 主要从事水文水资源变化及流域水文过程模拟研究。E-mail: yxch2000@swu.edu.cn

史观测资料,探讨气候变化条件下流域水文循环要素如降雨量、径流、蒸发等的响应过程^[5-8]。在一些干旱缺水 and 生态脆弱的地区,人类活动的水文响应研究正逐渐受到关注。如我国北方的黄河流域,人类活动对水资源的开发利用、水土保持以及土地覆被变化等的影响已成为部分地区河川径流变化的重要因素^[9-11]。然而,这些研究只注重分析水资源变化过程中气候因素或人类活动的单方面影响,却不能确定其相对作用的大小。尽管一些研究人员应用流域水文模型或基于水文变量的相关统计模型,在定量水资源变化的气候和人类活动影响分量上取得了不错效果^[12-13],但也受到一些限制,如水文模型结构复杂,对空间数据的要求较高,一些统计模型的外延精度差等。因此,如何高效合理地评价气候和人类活动对流域水文水资源变化的相对作用,一直是水资源变化研究的重点和难点。

鄱阳湖流域是长江中下游水旱灾害的重灾区和多发区^[14]。已有研究表明,受气候和流域内人类活动的影响,近几十年来流域的降雨-径流关系发生了变化^[15-17]。随着社会经济的发展,流域水资源的需求日益增大,但由于鄱阳湖五河(赣江、抚河、信江、饶河、修河)流域降水时空分布不均匀情况加剧,其旱涝灾害的风险也在增加^[18]。因此研究鄱阳湖流域径流变化特征,探讨气候变化和人类活动的影响,对评估湖泊水量安全、应对湖泊极端水文事件、减小干旱和洪水灾害损失具有重要意义。本文以鄱阳湖最大入湖支流——赣江流域为例,研究流域尺度上气候变化和人类活动对水资源变化影响的相对作用,为建立变化环境下的鄱阳湖流域水文水资源的响应机制提供依据,并为其他流域的相关研究提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究区概况及基础数据

赣江为鄱阳湖流域第一大河,发源于江西、福建两省交界处武夷山的黄竹岭,自南向北流经赣州、吉安、樟树等 20 多个县市至南昌市后分 4 支注入鄱阳湖(图 1)。赣江干流全长 766 km,其下游外洲水文站以上集水面积约 8.09 万 km²。赣江流域属亚热带湿润季风区,气候温和,雨量丰沛,多年平均(1960—2010 年)气温 18.8℃,降雨量 1 555.9 mm。流域降水主要集中在每年的 4—6 月,占全年降雨量的 46.8%。赣江外洲站多年平均(1960—2010 年)实测入湖径流量 683 亿 m³,超过鄱阳湖流域总入湖水量的 46%,对鄱阳湖水量平衡的变化具有重要影响。受流域降雨时空分布不均匀性的影响,赣江径流的年际、年内变化也具有明显的季节性和地区性特点。截至 2007 年,赣江流域共修建中型以上水库 107 座,总库容近 75 亿 m³^[19],对调蓄流域水资源的时空分配、提高水资源利用率起到了重要作用。

选取赣江下游控制站——外洲站、中游控制站——峡江站 1960—2010 年逐日径流量数据作为水文分析的基础,计算中各站点流量数据均换算成测站以上流域面积的径流深,气象数据来自于流域及周边 12 个国家气象站(位置见图 1)逐日资料,包括日降雨量、气温、最高气温、最低气温、日照时数、风速、相对湿度和气压等,其中上高、高安、井冈山气象站的气象数据时间序列为 1980—2010 年,其余各站均为 1960—2010 年。

1.2 研究方法

1.2.1 Mann-kendall 检验

时间序列分析中,常常需要分析变量的趋势显著性和突变性特征。Mann-Kendall 检验法(MK 法)^[19]是世界气象组织推荐并广泛使用的非参数检验方法,已广泛应用于降水、径流、气温和水质等要素时间序列的长期趋势分析^[20-21]。该方法检测范围宽、人为干扰少、定量化程度高,并能大体确定时间序列数据突变发生的位置。

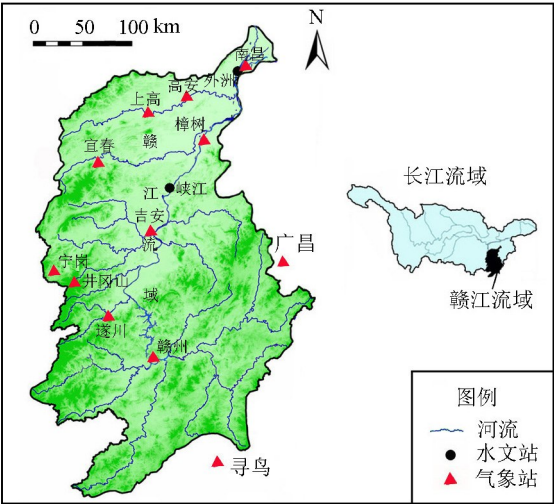


图 1 赣江流域位置及主要水文、气象站点分布

Fig. 1 Location of Ganjiang River Basin and distribution of main hydrological and meteorological stations

1.2.2 气候变化和人类活动相对作用的经验判别

流域的水量和热量收支状况是影响水循环强度及其变化的基础。降雨量的多少可以反映流域的干湿状况,潜在蒸发量(蒸发能力)能在一定程度上反映流域的热力条件,而实际蒸发量则反映了流域水量和热量的损耗。从流域水量和能量收支的角度来看,系统中未利用(剩余)的水量和能量可用如下公式计算^[22]:

$$P_{ex} = \frac{P - E_T}{P}$$

$$E_{ex} = \frac{E_0 - E_T}{E_0}$$

式中 P, E_T, E_0 分别为流域降雨量、实际蒸发量和潜在蒸发量。式(1)和(2)以小数的形式反映系统中剩余水量和能量的变化。

流域多年平均实际蒸发量采用水量平衡法计算:

$$E_T = P - Q$$

式中 Q 为径流量,以径流深计。

式(3)认为在一个相对较长时期内流域蓄水量的变化为零,本文以年代为单位。

潜在蒸发量由 Penman-Monteith (PM) 公式计算^[23]。流域降雨量及潜在蒸发量为各气象站计算数据的平均值,各年降雨量和潜在蒸发量为逐日数据之和。

气候变化会引起流域降雨和蒸发能力的变化,从而导致 P_{ex} 增大、 E_{ex} 减小,或 P_{ex} 减小、 E_{ex} 增大(取决于 P/E_0 的增加或减小)。然而,在短时间尺度上,人类活动如土地利用/覆被变化、水利工程建设以及引水灌溉等,都将直接或间接引起流域实际蒸发量的变化,而不是 P 或 E_0 的变化。因此,当流域内人类活动相对较强时,会导致 P_{ex} 和 E_{ex} 的变化呈同向增加或减少趋势。流域内 P_{ex} 和 E_{ex} 的变化及其所反映的气候变化和人类活动的相对作用情况见图 2^[22]。通过综合分析不同时期流域 $P_{ex} \sim E_{ex}$ 的变化情况,可以合理解释特定时间内水资源变化的气候因素和人类活动相对作用的大小。

1.2.3 气候变化和人类活动相对作用的定量区分

气候变化将导致降雨和潜在蒸发量能力的变化,从而引起流域水文水资源发生相应的变化。在流域水量平衡的基础上,Zhang 等^[24] 研究指出流域长期的多年平均蒸发量很大程度上是由降雨量和潜在蒸发量决定的,并提出蒸发率函数:

$$\frac{E_T}{P} = \frac{1 + w\left(\frac{E_0}{P}\right)}{1 + w\left(\frac{E_0}{P}\right) + \left(\frac{E_0}{P}\right)^{-1}}$$

式中 w 为植被有效水系数,表示植被状况对蒸发率函数的影响。

式(4)在已知流域降雨量和潜在蒸发量的情况下,可用于无实测水文资料地区的水资源计算。

当已知气候变化引起的降水和蒸发变化情况时,可以采用干旱指数来模拟多年河川径流量的变化。基于蒸发率函数,气候变化引起的流域多年平均径流的改变量可以表示为^[25]

$$\Delta Q_{clim} = \beta \Delta P + \gamma \Delta E_0$$

其中
$$\beta = \frac{1 + 2x + 3wx}{(1 + x + wx^2)^2} \quad \gamma = -\frac{1 + 2wx}{(1 + x + wx^2)^2} \quad x = \frac{E_0}{P}$$

式中: $\Delta Q_{clim}, \Delta P, \Delta E_0$ ——流域径流、降雨量和潜在蒸发的改变量; β, γ ——径流量对降雨量和潜在蒸发量的敏感性参数^[26]; x ——干旱系数。

对于一具体流域,径流量的改变是气候变化和人类活动综合作用的结果。已知气候变化引起的径流改变量,则人类活动导致的径流变化量为

$$\Delta Q_{hum} = \Delta Q_{obs} - \Delta Q_{clim}$$

式中 ΔQ_{obs} 为实测径流的变化量。

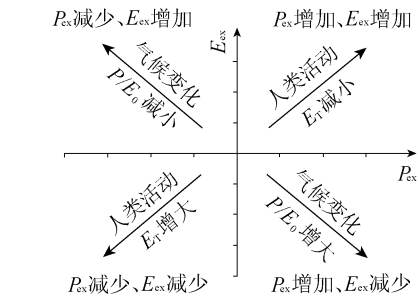


图2 气候变化和人类活动对水资源影响的相对作用概念模型(修改自文献[20])

Fig. 2 Conceptual model of hydrological response to climate variability and human activities

2 结果分析

2.1 赣江径流量的年际变化

根据外洲站和峡江站水文资料,采用 MK 法对赣江干流年径流量的变化趋势进行分析。图 3 为外洲站和峡江站径流深历时曲线及 MK 检验趋势变化统计图(MK 检测趋势曲线中 UF 线代表变化趋势,UF>0 表示增加趋势,UF<0 表示下降趋势,UF 线上任一点超过置信线,即表示变化趋势显著;UB 为实线序列的反序列,变化趋势显著时,若两线交点在置信区间内即为突变点;水平虚线为 $\alpha=0.05$ 置信线)。由图 3 可知,外洲站和峡江站径流量年际变化过程高度一致,总体上呈微弱的增加趋势,但年际变化呈现出较大的波动(图 3(a))。不同时期径流变化差异明显:20 世纪 60 年代、80 年代以及 21 世纪初,径流深相对较低,为流域的枯水阶段,而 20 世纪 70 年代和 90 年代是径流深相对较高的丰水阶段。以外洲站为例,统计结果显示,20 世纪60 年代多年平均径流深是近 50 年来最低的时期,为 760.70 mm;20 世纪 70 年代、80 年代、90 年代以及 21 世纪初多年平均径流深比 20 世纪 60 年代分别高 115.7 mm,52.4 mm,180.3 mm 和 56.9 mm。赣江径流量在 20 世纪 90 年代增加迅猛,达到近几十年来的最大。MK 检验趋势表明,两站径流量在 20 世纪 60 年代表现为下降趋势,自 20 世纪 70 年代初开始总体呈长期的缓慢上升趋势,1992 年以后径流量增加较为明显,但在整个研究时段内径流量增加趋势未达到显著性水平(图 3(b)(d))。

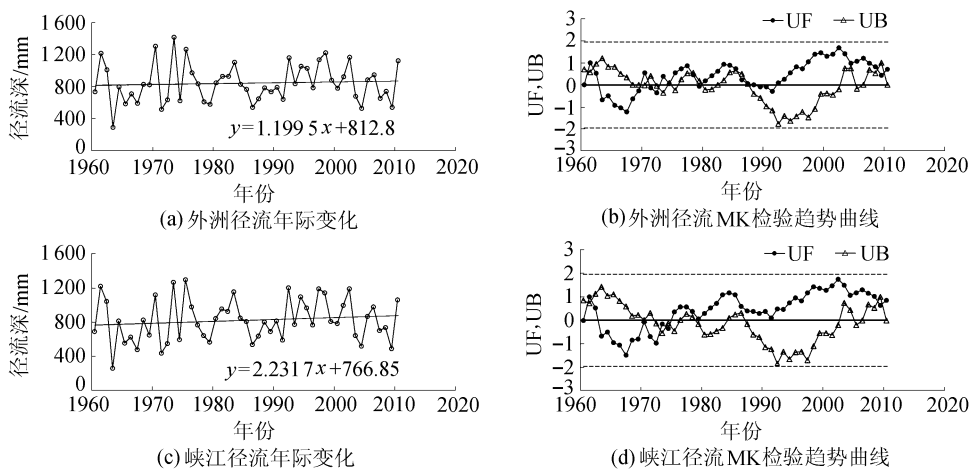


图 3 1960—2010 年间赣江外洲站和峡江站径流深年际变化及其检验趋势

Fig. 3 Inter-annual variation of depth of runoff and its variation trend at Waizhou and Xiajiang stations on Ganjiang River from 1960 to 2010

2.2 赣江流域气候变化

基于 50 a 的气象资料,采用 MK 法对流域尺度上 6 个气候要素(气温、降水、相对湿度、气压、风速、日照时数)以及 PM 公式计算的潜在蒸发量长期变化趋势进行分析。从表 1 的 MK 检验趋势统计量可以看出,在年际尺度上,7 个变量中气温(年均值 18.4℃)、风速(年均值 1.9 m/s)、日照时数(年均值 4.8 h)以及潜在蒸发量(年均值 1053.4 mm)均出现了显著的变化(达到 0.01 的显著性水平),降雨量(年均值 1578.6 mm)、相对湿度(年均值 78.4%)和气压(年均值 10.0 kPa)的变化趋势不明显。发生显著变化的变量中,气温呈上升趋势,而其他则表现出下降趋势。变差系数(C_v)显示,7 个变量中,以流域降雨量和风速的年际变化差异最大。在季节尺度上,流域气温的增加以春季最为突出,其次是冬季。各季节中,流域降雨量均未表现出显著的增加或下降趋势,但总体上夏季和冬季呈增加趋势,春季和秋季呈减少趋势。相对湿度在春季减少趋势显著,在其他季节变化不明显。各季节气压均表现出微弱的减小趋势;与此相反,四季风速下降趋势十分显著。日照时数总体呈下降趋势,其中以夏季和冬季最为显著。通过气候变量计算的潜在蒸发量,在夏季和秋季的下降趋势显著,但在春季却表现出微弱的增加趋势。

以上分析表明,赣江流域主要气候要素在过去 50 a 发生了显著的变化。然而,不同时期气候变化的阶段性和差异性明显。由于 PM 公式计算的潜在蒸发量的变化是各气候要素的综合反映,本文着重分析流域降雨量和潜在蒸发量的变化过程。流域降雨量在 20 世纪 60 年代和 80 年代相对偏少,而 20 世纪 70 年代和

表1 1960—2010年赣江流域主要气候变量的季节和年际变化 MK 统计量

Table 1 MK trend analysis of seasonal and inter-annual variations of main climate factors for Ganjiang River Basin from 1960 to 2010

参数	$C_v/\%$	MK 统计量				
		春季	夏季	秋季	冬季	年
气温	2.3	2.32**	0.94	1.51	2.18*	3.25**
降雨量	15.4	-0.65	1.56	-0.91	1.37	0.77
相对湿度	2.5	-2.22*	-0.23	-1.32	0.09	-0.84
气压	0.1	-1.73	-0.03	-0.99	0	-1.11
风速	15.2	-7.25**	-4.87**	-6.87**	-7.30**	-7.65**
日照时数	9.5	-0.39	-4.20**	-1.35	-2.54**	-3.97**
潜在蒸发量	5.2	0.54	-3.49**	-2.19*	-1.65	-3.46**

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 的显著性水平; - 表示下降趋势。

90 年代相对偏多,2000 年后(尤其自 2003 年以后)降雨量又明显减小(图 4(a))。这种流域降雨量的阶段性上升和下降,是流域降雨过程存在年代际尺度的枯、丰交替变化的重要表现。年降雨量时间变化的 MK 趋势检验显示,自 20 世纪 70 年代初流域降雨量发生突变以来,总体呈长期的上升趋势并以 20 世纪 90 年代年增加量最为明显,但在研究时段内 MK 检验统计量未超出显著性水平(图 4(b))。流域潜在蒸发量总体呈下降趋势,与降雨量变化趋势相反,并且年际间的波动相对较小(图 4(c))。MK 检验表明,赣江流域潜在蒸发量自 20 世纪 70 年代初以来呈下降趋势,并于同期发生突变,自 1976 年起下降趋势显著,2002 年降到最低(图 4(d))。

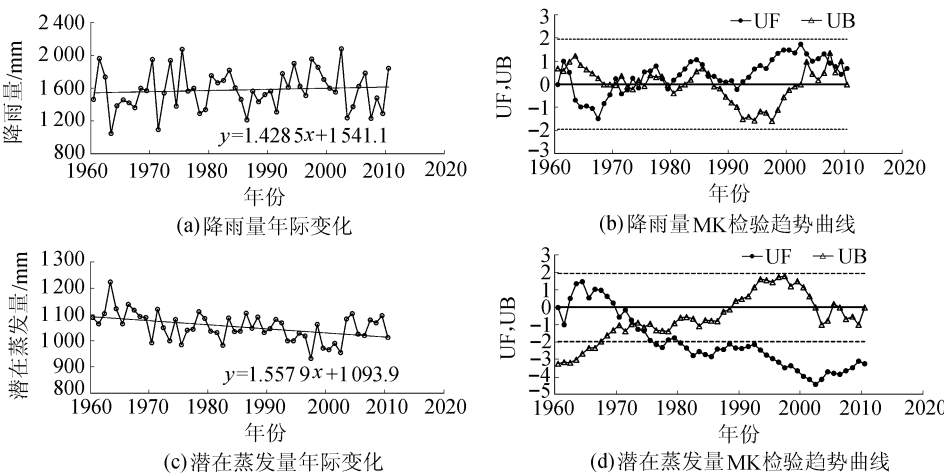


图4 1960—2010年间赣江流域降水量和潜在蒸发量的年际变化及其检验趋势

Fig. 4 Inter-annual variations of precipitation and potential evapotranspiration and their variation trends in Ganjiang River Basin from 1960 to 2010

2.3 气候和人类活动对径流量的影响

受自然因素和人为因素的影响,年径流序列表现出一定的变化趋势,反映了河川径流演变的总体规律。从流域水量-能量收支变化的角度来看,不同年代 P_{ex} 和 E_{ex} 的变化呈现出一定的差异。图 5(a)为近 50 年来流域 $P_{ex} \sim E_{ex}$ 曲线的变化过程,表明在不同年代气候因素和人类活动的相对作用影响下,流域的水文状况也在发生变化。由于研究时段内,以 20 世纪 60 年代流域内人类活动相对较弱,因此选择该时段的径流特征为基准,则其他年代气候和人类活动对径流变化影响的相对作用见图 5(b)。由图 5(b)可见,相对于基准期 20 世纪 60—90 年代及 21 世纪初流域 P_{ex} 和 E_{ex} 的变化方向均是 P_{ex} 增大、 E_{ex} 减小,表明相对于基准期,这几个时期流域径流量的增加主要是由气候作用

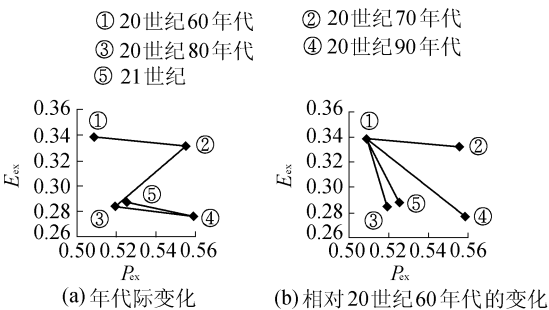


图5 流域 $P_{ex} \sim E_{ex}$ 的变化

Fig. 5 Variation of $P_{ex} \sim E_{ex}$ curve for Ganjiang River Basin

引起的,人类活动作用相对较弱。

以上分析大致判别出不同时期气候和人类活动的相对作用,但要具体了解相对作用的大小,还必须通过相关的定量研究。在定量分析之前,根据基准期赣江流域的实测水文和气象资料,率定 $w=0.36$,并分别计算出 β 和 γ 为 0.87 和-0.66。在此基础上,定量计算不同年代赣江流域气候和人类活动对径流变化的影响分量,结果见表 2。表 2 显示,各时期流域气候和人类活动对径流变化的影响分量相差较大。

表 2 赣江流域不同年代气候和人类活动对径流变化的影响分量

Table 2 Contribution of climate variability and human activities to runoff variation of Ganjiang River Basin in different periods mm

时期	P	E_0	Q	E_T	ΔQ_{clim}	ΔQ_{hum}
20 世纪 60 年代	1495.0	1110.6	760.7	734.3		
20 世纪 70 年代	1579.2	1051.3	876.4	702.8	112.6	3.1
20 世纪 80 年代	1564.0	1048.8	813.0	750.9	100.9	-48.6
20 世纪 90 年代	1684.1	1027.0	940.9	743.0	219.9	-39.7
21 世纪初	1556.5	1036.9	817.6	738.9	102.2	-45.3

注:-表示减小径流量的作用。

气候因素始终起着增大径流量的作用,而人类活动除 20 世纪 70 年代外主要起着减小径流量的作用。相对于基准期,气候变化引起的径流增量最大为 20 世纪 90 年代,80 年代最小。与此同时,不同时期内流域人类活动对水土资源开发利用程度差异造成的径流量变化也不同。相对于基准期,20 世纪 70 年代人类活动引起径流深增加 3.1 mm,而到 80 年代,人类活动作用的减流效应十分突出。尽管在随后的 20 世纪 90 年代和 21 世纪初,人类活动作用的减流效应有所减弱,但总体水平仍然较高。就不同年代人类活动和气候要素变化对径流影响的相对作用而言,气候作用是引起流域径流量变化的主导因素,而人类活动在一些时期内主要起着减小径流量的辅助作用。

3 结 语

近 50 年来赣江流域径流量变化与气候条件的改变密切相关,但流域内人类活动作用的影响也不容忽视,主要表现在不同时期流域地表覆被的变化以及水资源的开发利用。赣江流域一直是江西省水土流失的重灾区,流域水土流失最严重的时期是 20 世纪 70 年代中期到 80 年代末。但是自从 1983 年进行“山江湖工程”治理后,流域森林覆盖率迅速提高,水土流失状况有所缓解。研究表明,森林覆盖率的降低将导致年径流量增加;反之将减小地表径流量^[27]。因此 20 世纪 70 年代人类活动导致流域径流量的增加,与流域森林植被覆盖率降低、水土流失严重存在一定的相关性。另外,随着社会经济发展,流域的用水需求不断增长,特别是 20 世纪 90 年代以来流域工业用水量明显增加。赣江流域自 20 世纪 50 年代开始共修建各类型水库总库容达 75 亿 m³^[19]。水库对天然水量进行调蓄,不仅在时间上对水量进行再分配,还将极大地方便工农业取水,从而减小下游河道的地表径流量。根据江西省水利厅 1997—2010 年的水资源公报,江西省多年平均工农业用水量占地表水资源总量的 7.7%~22.4%,其中 53% 的水最终通过蒸发等途径耗散而不能回归河道。由此可见,流域水资源的开发利用是人类活动减少地表径流量的重要表现。

a. 流域的水量和热量收支状况是影响水循环强度及其变化的基础。研究表明,相对于 20 世纪 60 年代,其他年代赣江流域均表现出剩余水量增加、剩余能量减小的变化趋势,反映出这几个时期流域径流量的变化主要是由气候作用引起的,而人类活动的作用相对较弱。但是,这种经验方法只能大体判断不同时期气候和人类活动的相对作用,并且其结果有赖于对流域降雨量、潜在蒸发量、实际蒸发量的准确计算。本文对不同年代实际蒸发量采用简单的水量平衡方法进行估算,并没有很好地考虑不同年代间流域蓄水量的变化,特别是大型蓄水工程的影响,所以计算结果存在一定的不确定性。

b. 定量研究表明,赣江流域不同时期气候和人类活动对径流量变化的影响分量相差较大,但气候因素始终起着增大径流量的作用。相对于基准期,20 世纪 90 年代气候对径流量的增加作用明显,而 20 世纪 80 年代人类活动作用的减流效应最为突出。

c. 对尺度较大的流域来说,人类活动对水资源影响的方式是复杂多样的。如当流域土地利用中森林面积减少,将可能增加流域的地表产水量;建设更多的水利工程和农业灌溉强度较大时,可能增加水资源量消

耗而减小地表产水量。对整个流域来说,一定时间内不同人类活动作用的水文效应可能相互叠加或抵消,从而在水量平衡中无法识别出单因素人类活动的影响分量。本文探讨的人类活动对径流量的影响,是各种人类活动作用水文效应的综合体现。

参考文献:

[1] DOUGLAS A B,JULIAN K,MICHAEL R M. Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, New York, USA[J]. Journal of Hydrology,2007,36:155-170.

[2] STOCKER T F,RAIBLE C C. Water cycle shifts gear[J]. Nature,2005,434:830-832.

[3] 江善虎,任立良,雍斌,等. 气候变化和人类活动对老哈河流域径流的影响[J]. 水资源保护,2010,26(6):1-4. (JIANG Shanhu,REN Liliang,YONG Bin,et al. The effects of climate variability and human activities on runoff from the Laohahe River Basin in Northern China[J]. Water Resources Protection,2010,26(6):1-4. (in Chinese))

[4] 蔡娟,许有鹏,石怡. 西苕溪径流变化特性及影响因素分析[J]. 水资源保护,2011,27(3):16-19. (CAI Juan,XU Youpeng,SHI Yi. Analysis of characteristics and influencing factors of runoff variations in Xitiaoqi Basin[J]. Water Resources Protection,2011,27(3):16-19. (in Chinese))

[5] 张建云,王国庆,贺瑞敏,等. 黄河中游水文变化趋势及其对气候变化的响应[J]. 水科学进展,2009,20(2):153-158. (ZHANG Jianyun,WANG Guoqing,HE Ruimin,et al. Variation trends of runoffs in the Middle Yellow River basin and its response to climate change[J]. Advances in Water Science,2009,20(2):153-158. (in Chinese))

[6] 陈亚宁,徐长春,杨余辉,等. 新疆水文水资源变化及对区域气候变化的响应[J]. 地理学报,2009,64(11):1331-1341. (CHEN Yaning,XU Changchun,YANG Yuhui,et al. Hydrology and water resources variation and its responses to regional climate change in Xinjiang[J]. Acta Geographica Sinica,2009,64(11):1331-1341. (in Chinese))

[7] AIZEN V B,AIZEN E M,MELACK J M,et al. Climate and hydrologic changes in the Tian Shan,Central Asia[J]. Journal of Climate,1997,10:1393-1404.

[8] ZHAO G,GEORG H,NICOLA F,et al. Streamflow trends and climate variability impacts in Lake Poyang Basin,China[J]. Water Resour Manage,2010,24:689-706.

[9] 刘昌明,成立. 黄河干流下游断流的径流序列分析[J]. 地理学报,2000,55(3):257-265. (LIU Changming,CHENG Li. Analysis on runoff series with special reference to drying up courses of lower Huanghe River[J]. Acta Geographica Sinica,2000,55(3):257-265. (in Chinese))

[10] 邓慧平,李秀彬,陈军峰,等. 流域土地覆被变化水文效应的模拟:以长江上游源头区梭磨河为例[J]. 地理科学,2003,58(1):53-62. (DENG Huiping,LI Xiubin,CHEN Junfeng,et al. Impacts of land-cover changes on basin hydrology:a case study of the Suomo basin in the upper Yangtze River[J]. Acta Geographica Sinica,2003,58(1):53-62. (in Chinese))

[11] 王根绪,张钰,刘桂民,等. 马营河流域 1967—2000 年土地利用变化对河流径流的影响[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2005,35(7):671-651. (WANG Genxu,ZHANG Yu,LIU Guimin,et al. Effect of landuse change on stream flow in Mayinghe River basin during 1967—2000[J]. Science in China D:Earth Science,2005,35(7):671-681. (in Chinese))

[12] 王国庆,张建云,贺瑞敏. 环境变化对黄河中游汾河流域径流情势的影响研究[J]. 水科学进展,2006,17(6):853-858. (WANG Guoqing,ZHANG Jianyun,HE Ruimin. Impacts of environmental change on runoff in Fenhe river basin of the middle Yellow River[J]. Advances in Water Science,2006,17(6):853-858. (in Chinese))

[13] 王西琴,张远,张艳会. 渭河上游天然径流变化及其自然与人为因素影响贡献量[J]. 自然资源学报,2006,21(6):981-990. (WANG Xiqin,ZHANG Yuan,ZHANG Yanhui. Change of natural runoff and contribution of the natural and artificial factors to the upper reaches of Wei River[J]. Journal of Natural Resources,2006,21(6):981-990. (in Chinese))

[14] 王凤,吴敦银,李荣昉. 鄱阳湖区洪涝灾害规律分析[J]. 湖泊科学,2008,20(4):500-506. (WANG Feng,WU Dunyin,LI Rongfang. Analysis on flood disaster characteristics in Lake Poyang region[J]. Journal of Lake Sciences,2008,20(4):500-506. (in Chinese))

[15] 郭华,苏布达,王艳君,等. 鄱阳湖流域 1955—2002 年径流系数变化趋势及其与气候因子的关系[J]. 湖泊科学,2007,19(2):163-169. (GUO Hua,SU Buda,WANG Yanjun,et al. Runoff coefficients change and the analysis of the relationship between climate factors and runoff coefficients in Poyang Lake Basin(China):1955—2002[J]. Journal of Lake Sciences,2007,19(2):163-169. (in Chinese))

[16] ZHAO G J,HÖRMANN G,FOHRER N,et al. Streamflow trends and climate variability impacts in Poyang Lake basin[J]. Water Resources Management,2009,24(4):689-706.

[17] 叶许春,张奇,刘健,等. 气候变化和人类活动对鄱阳湖流域天然径流的影响[J]. 冰川冻土,2009,31(5):835-842. (YE

Xuchun,ZHANG Qi,LIU Jian,et al. Impacts of climate change and human activities on streamflow of Poyang Lake Catchment [J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2009,31(5):835-842. (in Chinese))

[18] 王怀清,赵冠男,彭静,等. 近 50 年鄱阳湖五大流域降雨变化特征研究[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(7):615-619. (WANG Huaiqing,ZHAO Guannan,PENG Jing,et al. Precipitation characteristics over five major river systems of Poyang drainage areas in recent 50 years[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2009,18(7):615-619. (in Chinese))

[19] 孙鹏,张强,陈晓宏,等. 鄱阳湖流域水沙时空演变特征及其机理[J]. 地理学报,2010,65(7):828-840. (SUN Peng,ZHANG Qiang,CHEN Xiaohong,et al. Spatio-temporal patterns of sediment and runoff changes in the Poyang Lake basin and underlying causes[J]. Acta Geographica Sinica,2010,65(7):828-840. (in Chinese))

[20] BURN D H, ELNUR M A H. Detection of hydrologic trends and variability[J]. Journal of Hydrology,2002,255:107-122.

[21] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.

[22] MONTEITH J L. Evaporation and environment[J]. Symposia of the Society for Experimental Biology,1965,19:205-234.

[23] MILNE B T,GUPTA V K,RESTREPO C. A scale invariant coupling of plants,water,energy and terrain[J]. Ecoscience,2002,9(2):191-199.

[24] ZHANG L,DAWES W R,WALKER G R. The response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale[J]. Water Resources Management,2001,37(3):701-708.

[25] KOSTER R D,SUAREZ M J. A simple framwork for examing the interannual variability of land surface moisture fluxes[J]. Journal of Climate,1999,12: 1911-1917.

[26] LI L J,ZHANG L,WANG H,et al. Assessing the impact of climate variability and human activities on streamflow from the Wuding River basin in China[J]. Hydrological Processes,2007,21:3485-3491.

[27] GUO H,HU Q,JIANG T. Annual and seasonal stream flow responses to climate and land-cover changes in the Poyang Lake basin,China[J]. Journal of Hydrology,2008,33:172-186.

.....

· 简讯 ·

第八届国际水文科学地下水水质学术讨论会在美国佛罗里达大学举行

2013 年 4 月 21—26 日,第八届国际水文科学地下水水质学术讨论会(IAHS)在美国佛罗里达大学举行,会议主题是地下水质量控制(GQ13)。将近 200 名来自世界 30 多个国家和地区的学者参加了本次大会,其中有河海大学、中国地质大学、南京大学、中国海洋大学、中国科学院地质古生物研究所等单位的 10 位中国学者,河海大学陈建生教授赴会并做了题为“青藏高原的渗漏水补给中国北方干旱区”的报告。

会后,代表们参观了佛罗里达州水源地的管理与修复研究现场,考察了喀斯特溶洞、湿地与水源地保护区,以及克斯特地区地下河的监测与管理工

(本刊编辑部供稿)