

富春江流域径流量变化及其气候因子影响分析

骆月珍, 潘娅英, 张青, 王亚男, 朱占云

(浙江省气象服务中心, 杭州 310017)

摘要:为掌握富春江流域径流变化特征,从气候变化角度对水资源影响的研究做出了科学分析。利用该流域 1969—2016 年实测入库流量资料分析了流域径流的年、月际变化特征;同时结合流域内 18 个水文站的降雨资料及 8 个气象站点的气象要素资料等作为分析因子,利用相关分析方法分析了径流与降水、气温和蒸发等气候因子对径流的响应情况。结果表明:富春江流域的径流自 20 世纪 60 年代末至今均经历了两个丰—枯年的转换,目前进入第 3 个丰水年的阶段。年降水量的年际变化与径流一致,其多雨期与径流的偏丰期对应,少雨期与偏枯期对应。降水量是影响富春江流域径流量的最主要因子,气温因子仅在 7—8 月对流域径流的影响达到显著水平,年蒸发与年径流呈显著负相关,对径流的减少有一定影响。本研究结果可以为富春江流域的水资源优化开发和合理利用提供参考。

关键词:流域; 径流; 降水量; 蒸散发

中图分类号:P49; P333.3; P426.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)02-0223-04

Runoff Change of Fuchunjiang River Basin and Its Impact Factor Analysis

LUO Yuezhen, PAN Yaying, ZHANG Qing, WANG Yanan, ZHU Zhanyun

(Zhejiang Meteorological Service Center, Hangzhou 310007, China)

Abstract: In order to master the characteristics of runoff changes in the Fuchunjiang River Basin, a scientific analysis of the impact on water resources is made from the perspective of climate change. The annual and inter-monthly characteristics of runoff in the basin were analyzed by using the flow data from 1969 to 2016. At the same time, based on the rainfall data of 18 hydrological stations and meteorological element data of 8 meteorological stations in the river basin, the response of runoff and precipitation, temperature and evaporation factors to runoff was analyzed. The runoff of the Fuchunjiang River Basin has undergone two periods of transition from the end of the 1960s to the present, and it is currently entering the third period with water-abundant years. The interannual variation of annual precipitation was consistent with that of runoff, and the rainy period corresponded to the partial peak period of runoff, and the less rainy period corresponded to the partial dry period. Precipitation is the most important factor affecting runoff in the Fuchunjiang River Basin. The impact of temperature factor on runoff only reached a significant level in July and August, and the annual evaporation had a significant negative correlation with annual runoff, which had a certain effect on the reduction of runoff. The results of this study can provide the reference for the optimal development and rational utilization of water resources in Fuchunjiang River Basin.

Keywords: basin; runoff; precipitation; evaporation

自 20 世纪 70 年代以来,全球出现明显增温,气候变暖引起大气环流的变化,进而改变全球气温、降水、蒸发以及冰雪条件等因子,从而流域的土壤水分、河川径流和地下径流等均出现改变,进而水文循环状态随之改变,这样水资源会在时间和空间上进行再分配,同时水源量也会发生变化,最终人类对水资源的

管理和利用会受到影响。可见从气候变化出发对水资源影响的研究分析具有非常重要的意义。很多气象和水文学者从不同角度开展研究,比如:梁红^[1]、郭晓英^[2]、陈玉娜^[3]等分析了辽河流域水文气象要素变化特征。刘伟^[4]、张文兴^[5]等做了降水与径流的影响分析。李林^[6]、张建兴^[7]、周园园^[8]等分析了长江、黄

河径流量变化及其影响因子,指出径流对降水的响应要比气温变化的响应更为显著。

本文选取富春江流域近 48 a 的水文径流资料以及气温、降水等气象资料,分析径流、降雨、气温、蒸发之间的关系特征,该研究成果可以为富春江流域水资源的优化开发和合理利用提供参考。

1 研究区概况

富春江流域位于浙江省中西部的钱塘江上游,即仙霞岭山脉北侧的衢州、金华地区,分别由衢江、金华江、兰江上游构成。流域内的富春江水力发电站始建于 20 世纪 50 年代,库容 4.4 亿 m^3 ,总装机容量 36 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$,为径流式日调节水库。水库控制流域面积 31 645 km^2 ,占钱塘江总流域面积的 64.73%。该水库以发电为主,兼有航运、灌溉、水产、城市供水等综合经济效益。富春江流域属于亚热带季风气候,四季分明,年气温适中,光照较多,雨量丰沛,空气湿润,雨热季节变化同步,干旱和洪涝是该流域主要气象灾害。

2 资料和方法

2.1 资料

本文选用富春江水库 1969—2016 年共 48 a 的实测入库流量资料以及流域内 18 个水文站的降雨资料,同时还选取流域内 8 个气象站点的日最高气温、日最低气温、日平均相对湿度、日照时数、日降水量等气象要素资料作为分析资料。流域面雨量通过各站点的降水量资料由泰森多边形法计算得到^[9-10]。为径流量与降水量方便比较,换算入库流量为径流深,单位为 mm 。

2.2 计算方法

2.2.1 蒸发的计算 采用 FAO Penman_Monteith 方法估算蒸散发^[11-12],其计算公式如下:

$$\text{ET} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

式中:ET 为蒸散发(mm/d); Δ 为饱和水汽压曲线斜率($\text{kPa}/^\circ\text{C}$); R_n 为净辐射 [$\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; T_a 为平均气温($^\circ\text{C}$); γ 为干湿常数($\text{kPa}/^\circ\text{C}$); G 为土壤热通量 [$\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; u_2 为 2 m 高处风速(m/s); e_s 为平均饱和水汽压(kPa); e_a 为实际水汽压(kPa)。

$$R_n = (1 - \alpha) \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a - \delta \left(\frac{T_{\max,k}^4 + T_{\min,k}^4}{2} \right) \quad (2)$$

$$(0.56 - 0.08\sqrt{e_a}) \left(0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right)$$

式中: R_a 为大气顶层的太阳辐射 [$\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; n 为实际日照时数(h); δ 为波尔兹曼常数 [4.903×10

$\text{MJ}/(\text{K}^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d})$]; N 为最大日照时数(h); a_s 为云全部遮盖下($n=0$)大气外界辐射到达地面的分量; b_s 为晴天($n=N$)大气外界辐射到达地面的分量;这里 a_s, b_s 分别取值 0.207, 0.725; $T_{\max,k}$ 为最高绝对气温(K); $T_{\min,k}$ 为最低绝对气温(K); α 为地表反射度,取值 0.23。

$$G = 0.14(T_i - T_{i-1}) \quad (3)$$

式中: T_i 为第 i 月的平均气温; T_{i-1} 为第 $i-1$ 月的平均气温。

2.2.2 流域丰枯年的计算 采用《水文情报预报规范》(GB/T22482—2008)中的距平百分率 P 作为划分径流丰平枯的标准,逐年 P 值计算公式如下:

$$\text{距平百分率} = (\text{某年年径流量} - \text{多年平均径流量}) / \text{多年平均径流量} \times 100\% \quad (4)$$

3 结果与分析

3.1 富春江流域径流变化特征

3.1.1 年际变化 富春江流域 1969—2016 年径流变化过程如图 1 所示,可见:径流的年际分配不均匀,总体上呈略增加的趋势,其增加速率达 21.2 $\text{mm}/10 \text{ a}$ 。径流的极大值出现在 2015 年,流域径流达 1 387 mm ,极小值出现在 1979 年,仅 322.3 mm 。

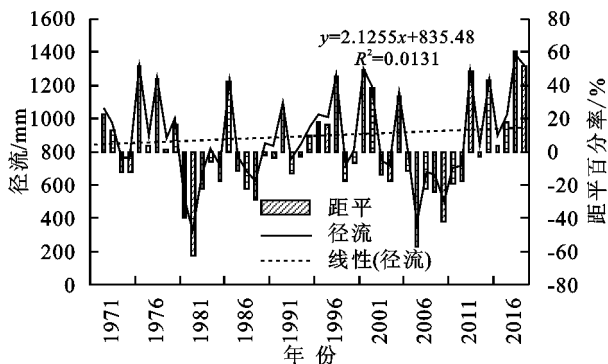


图 1 富春江流域径流年际变化

富春江流域特丰年,即 $P > 20\%$,有 13 a,占总年数的 27.1%。偏丰年,即 $10\% < P \leq 20\%$,有 6 a,占总年数的 12.5%。平年即 $-10\% < P \leq 10\%$,有 9 a,占总年数的 18.7%。偏枯年即 $-20\% < P \leq -10\%$ 有 11 a,占总数的 22.9%。特枯年即 $P < -20\%$ 有 9 a,占总年数的 18.8%。其中 20 世纪 60 年代末—70 年代中期径流偏多,以丰年为主。70 年代后期—80 年代径流迅速减少,转枯年为主。90 年代径流明显偏多,以丰年为主。21 世纪初径流持续偏少,以枯年为主。2010 年以后径流迅速增多,以丰年为主。总体来看,富春江流域分别经历了两个丰—枯年的转换,目前进入第 3 个丰年的阶段。

3.1.2 富春江流域径流年内变化 统计富春江流域月平均径流为 72 mm ,各月径流分配极不均匀,呈单

峰型分布(各月径流变化图略)。富春江流域 1—2 月平均径流量小于均值;3 月起径流迅速增大,3—7 月是该流域径流最为集中的时段,各月平均径流均大于均值,3—7 月总平均径流量达 558 mm,占全年平均总量的 62.4%,其中 6 月平均径流量达最大值 157.6 mm,占全年平均总量的 17.6%。7 月起径流迅速减少,至 10 月达全年最小值仅 39.9 mm,占全年总量的 4.5%。

可见,富春江流域径流从初春到夏季台汛期前,即 3—7 月是富春江流域径流最为集中的时段,也是同期洪水灾害最为多发的时段。

3.2 降水量变化及其对径流的影响

计算富春江流域降雨、径流序列的相关系数,同期年相关系数达 0.880 8,通过信度 0.001 的显著性检验。

富春江流域降水量的年际变化来看,与径流变化趋势一致,呈增加趋势,其气候倾向率为 19.77 mm/10 a (图 2)。从年际变化来看,20 世纪 60 年代末—70 年代中期、90 年代、21 世纪 10 年代至今均是多雨期,对应的同期也是该流域径流偏丰年;20 世纪 70 年代后

期—80 年代、21 世纪的 00 年代均为少雨期,同期对应的该流域径流偏枯年。

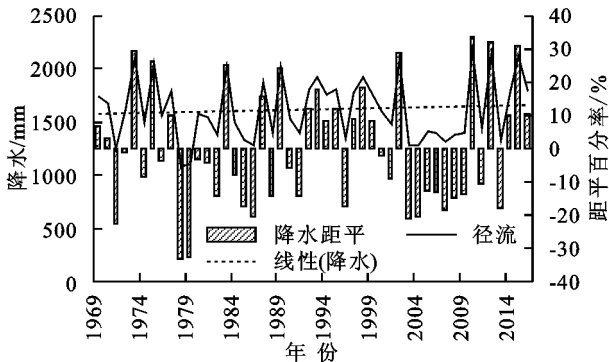


图 2 富春江流域年降水量年际变化曲线

从富春江流域降水量的年内变化来看(表 1),与径流量变化趋势一致,亦呈单峰型分布,降水集中期在 3—7 月,降雨总量占全年的 61.6%,最高值在 6 月,达 292.4 mm,占全年总量的 18%;7 月起降水量迅速减少,10 月—翌年 1 月月平均降水量均小于 100 mm,其中 12 月达最少值仅 57 mm,占全年总量的 3.5%。

表 1 富春江流域月平均雨量

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
平均雨量/mm	48.4	52.0	89.7	101.2	113.3	157.6	96.1	61.6	50.1	39.9	41.0	43.1

因此,可以认为富春江流域属于雨水补给型河流,降雨是影响该流域径流最主要的因子。

3.3 气温变化及其对径流的影响

计算富春江流域年平均气温与年径流的相关系数,为 0.007 3,没有通过显著性检验,从富春江流域年平均气温的年际变化曲线来看(图 3),富春江流域气温自 20 世纪 70 年代以来呈明显增温的趋势,其中年平均气温的气候倾向率为 0.328℃/10a。气温的改变会影响流域的总蒸散力水平,进而影响流域径流,同时气温的改变会影响小流域气候的形成,但年平均气温对径流的影响不显著。

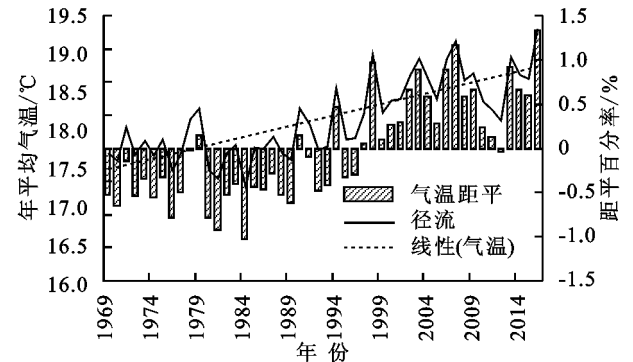


图 3 富春江流域年平均气温变化曲线

每年的梅汛期结束之后进入 7—8 月,富春江流域常出现一段时间的高温干旱天气,称之为台风干旱期,这期间气温高、降水相对减少,流域径流也随之减

少(图 4)。9 月—翌年 2 月为该流域的秋冬季节,降水、流域径流明显减少。分别计算这两个时段的平均气温与同期径流的相关系数,7—8 月的相关系数为 -0.619 4,通过显著性检验,9 月—翌年 2 月的相关系数为 -0.072 3,没有通过显著性检验。可见 7—8 月的气温对于同期径流量的影响显著。

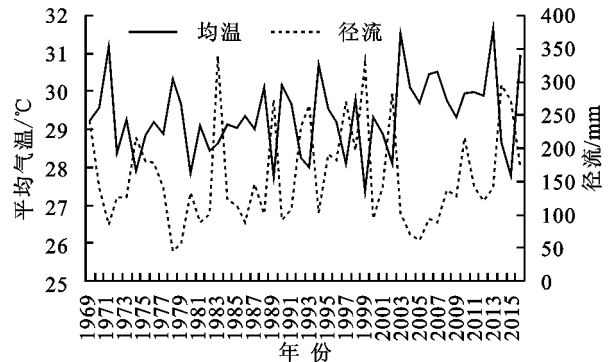


图 4 富春江流域 7—8 月平均气温、径流年际变化曲线

由此可知,富春江流域气温不是影响年径流量的主要因子,但在 7—8 月气温与径流呈负相关,径流随着气温的升高而减少,随着气温的降低而增加。因此在降水减少,气温升高的背景下,流域径流明显减少,干旱多发。

3.4 蒸发变化及其对径流的影响

从蒸发的年际变化图(图 5)可知:2000 年之前蒸发呈减少趋势,其气候倾向率为 -21.6 mm/10 a。2000 年

以后,蒸发迅速增加,呈增加趋势,其气候倾向率为 $10.5 \text{ mm}/10 \text{ a}$,至 2013 年达历史最大值 942.3 mm 。自 20 世纪 90 年代起富春江流域气温明显升高(图 3),同期由于处于多雨期中,蒸发继续维持低位;至 2000 年后气温进一步升高,转为少雨期,蒸发迅速增加。计算富春江流域蒸发与径流的相关系数,同期年相关系数是 -0.3555 ,通过显著性检验,可见富春江流域蒸发与径流呈显著的负相关。

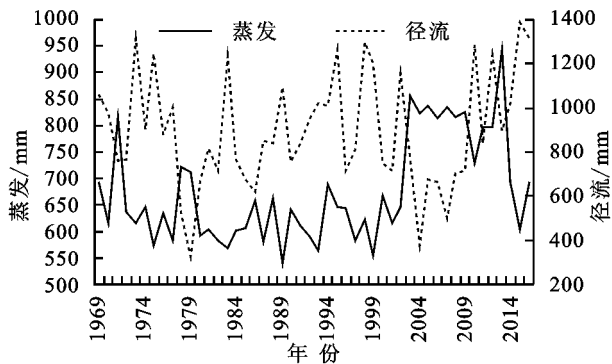


图5 径流、蒸发年际变化曲线

另从年内分布来看蒸发亦呈单峰型分布,但不同于径流的分布形态,一年中蒸发最小值在 1 月份,之后逐月增加,至 5 月达到第一高值,6 月与 5 月持平,至 7 月达到年内最高值,8 月略小,为年内次高值月份,之后迅速回落,到 9 月与 5 月、6 月基本持平,10 月继续减少,到 12 月回落到最低值附近。

4 结论

(1) 自 1969 年以来富春江流域径流量经历了两个丰—枯年的转换,目前进入第 3 个丰水年的阶段。其中 20 世纪 60 年代末—70 年代中期径流偏多,以丰水期为主。70 年代后期—80 年代径流迅速减少,转枯年为主。90 年代径流明显偏多,以丰年为主。2000 年起径流持续偏少,以枯年为主。2010 年以后径流迅速增多,以丰年为主。一年之中 3—7 月是该流域径流最为集中的时段,也是同期洪水灾害最为多发的时段。

(2) 富春江流域属于雨水补给型河流,降水量的年际变化与径流一致,呈增加趋势,降雨量与径流量的丰枯变化一致。

(3) 富春江流域年平均气温的年际变化呈明显增加的趋势,气温因子不如降水因子对径流的影响显

著,但在 7—8 月一年中气温最高的时段里,气温对流域径流的影响显著。

(4) 富春江流域的蒸发在 2000 年之前蒸发呈减少趋势,之后呈增加趋势,与径流呈显著的负相关,蒸发对径流的减少有一定的影响。

(5) 富春江流域在 20 世纪 60 年代末—70 年代中期降水、径流均偏多,气温偏低、蒸发偏少;70 年代后期—80 年代径流偏枯,降水偏少,气温偏低,蒸发偏少;20 世纪 90 年代以及 21 世纪 10 年代至今径流偏丰,降水偏多,气温偏高,蒸发偏少;21 世纪的 00 年代径流偏枯,降水偏少,气温偏高,蒸发偏多。

参考文献:

- [1] 梁红,孙风华,隋东. 1961—2009 年辽河流域水文气象要素变化特征[J]. 气象与环境学报,2012,28(1):59-64.
- [2] 郭晓英,陈兴伟,陈莹,等. 气候变化与人类活动对闽江流域径流变化的影响[J]. 中国水土保持科学,2016,14(2):88-94.
- [3] 张玉娜,徐长春,李卫红,等. 开都河流域气候变化特征及其对径流的影响[J]. 中国水土保持科学,2014,12(1):81-89.
- [4] 刘伟,何俊仕,陈杨,等. 浑河流域降水与径流变化特征及同步性分析[J]. 水土保持研究,2016,23(1):150-154.
- [5] 张文兴,姜晓燕,张菁,等. 沈阳市降水对水资源的影响及对策[J]. 气象与环境学报,2009,25(3):24-29.
- [6] 李林,王振宇,秦宁生,等. 长江上游径流量变化及其与影响因子关系分析[J]. 自然资源学报,2004,19(6):694-700.
- [7] 张建兴,马孝义,屈金娜,等. 气候变化对黄河中游何龙区间径流量的影响分析[J]. 水土保持研究,2007,14(4):197-204.
- [8] 周园园,师长兴,杜俊,等. 无定河流域 1956—2009 年径流量变化及影响因素[J]. 自然资源学报,2012,27(5):856-865.
- [9] 宋小燕,穆兴民,高鹏,等. 松花江流域哈尔滨站降雨径流历史演变及其驱动力分析[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):46-51.
- [10] 杨丽桃,李喜仓,侯琼,等. 1961—2005 年嫩江流域右岸气候变化及对水资源的影响[J]. 气象与环境学报,2008,24(5):16-19.
- [11] 杨志刚,唐小萍,路红亚,等. 近 50 年雅鲁藏布江流域潜在蒸散量的变化特征[J]. 地理学报,2013,68(9):1263-1268.
- [12] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京:中国水利水电出版社,2017.