

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.03.004

西苕溪径流变化特性及影响因素分析

蔡娟,许有鹏,石怡

(南京大学地理与海洋科学学院,江苏南京 210093)

摘要 :以西苕溪横塘村站以上流域为研究对象,基于长期水文气象实测资料,运用多种数值分析方法、累积距平法以及 Mann-Kendall 非参数检验法,分析了 1972—2009 年西苕溪径流年内和年际变化特征、变化趋势及其影响因素。结果表明,西苕溪径流年内分配不均匀程度自 20 世纪 80 年代初逐渐减弱,相比年降水,径流的年际波动幅度普遍较大,2000 年后流域基本处于枯水或偏枯状态,年径流量总体上呈显著的减少趋势,而年降水量减少趋势微弱,且两者相关性逐年代递减,西苕溪径流大幅度减少除降水驱动外,还与流域内水利工程、水土保持以及水资源利用等人类活动因素有关。

关键词 :径流;变化特征;降水;人类活动;西苕溪流域

中图分类号 :TV121+.4 文献标识码 :A 文章编号 :1004-6933(2011)03-0016-04

Analysis of characteristics and influencing factors of runoff variations in Xitiaoxi Basin

CAI Juan, XU You-peng, SHI Yi

(School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract : Using upstream of Hengtangcun station in Xitiaoxi Basin as a study target, the characteristics, trend and influencing factors of annual runoff variation from 1972 to 2009 was analyzed with various numerical analysis methods, cumulative average deviation method and Mann-Kendall method based on long-term hydrological and meteorological observation data. The results indicated that the distribution of annual runoff was uneven, and the non-uniformity of distribution had weakened since 1980's. Compared to annual precipitation, annual runoff showed a bigger fluctuation, and the basin had been in a state of low flow or dried up since 2000. There was a significant decline in the annual runoff, while the decline trend in precipitation was not significant, and the correlation between precipitation and runoff was decreasing year after year. Precipitation was not the only factor influencing the runoff, and human activities such as hydraulic engineering, soil and water conservation, and water resources utilization were important factors for the large decrease of annual runoff.

Key words : runoff; variation characteristics; precipitation; human activities; Xitiaoxi Basin

随着经济社会的发展、人类活动的增强,水资源在自然形成的固有规律下,表现出新的特征^[1]。近些年来,众多研究人员对气候变化和人类活动影响下的水资源演化规律做了大量研究^[2-6],这些研究成果不仅有利于人们重新认识变化环境下的径流演变特征,了解区域水资源变化的特性和趋势,还有利于

流域水资源的科学管理与合理开发。

西苕溪是太湖上游的重要支流,年均注入太湖水量为 26.8 亿 m³,约占太湖年均入湖水量的 27.7%,其径流演变特征直接关系太湖流域的来水情况,进而影响太湖流域水资源的开发利用和水环境保护。笔者选取西苕溪主要控制性水文站——横

塘村站以上的流域为研究区,运用多种分析方法,系统分析 1972—2009 年西苕溪横塘村站径流的年内和年际变化特征、变化趋势及其影响因素。研究成果有利于更好地掌握西苕溪及太湖流域的水文情势,具有一定的实际指导意义。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

西苕溪位于浙江省北部,流域集水面积(横塘村以上)1 316 km²,地势西南高,东北低,依次呈山地、丘陵、平原的梯度分布。流域属亚热带季风性气候区,年平均气温为 15.5℃。多年平均降水量为 1 465.8 mm,径流年内变化与降水基本一致,呈双峰型,峰值主要出现在 5—6 月和 9 月,5—9 月径流量占全年径流量的 45%~54%。流域内土地利用类型以林地和耕地为主,地带性土壤主要为红壤和黄红壤。

1.2 数据来源

为了分析研究区多年来的降水和径流变化,笔者收集了 1972—2009 年流域内 13 个雨量站逐日降水数据以及同时期流量控制站横塘村的逐日流量数据,这些数据来源于安吉县水利局。研究区水系水文站、雨量站的分布如图 1 所示。

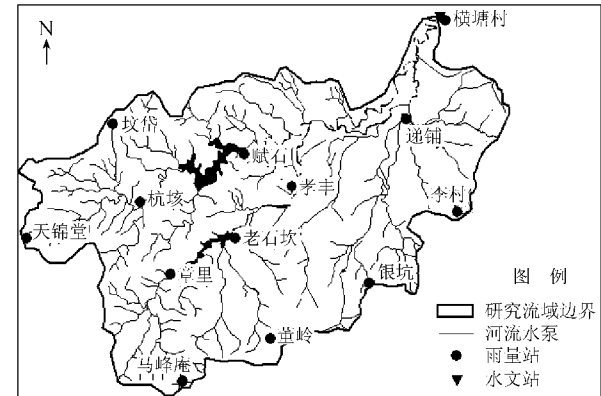


图 1 研究区水系水文站、雨量站分布

2 径流的年内变化

降水是西苕溪流域径流的主要补给来源,受降水时空分布不均的影响,径流年内变化明显。大部分径流主要集中在 3—9 月,占多年平均径流量的 77.12%,其中径流量最大的 3 个月(6—8 月)所占比例为 38.84%,在季节分配上,横塘村站径流量夏季最丰,其次为春季、秋季,冬季因降水量明显减少而相应减少,仅占多年平均径流量的 12.65%,为流域内的枯水时间。

为了更好地描述径流年内变化特征,笔者对研究区径流年内分配不均匀系数和集中度这 2 个特征

值进行对比分析^[7-8]。结果表明,横塘村站径流年内分配具有一定的不均匀性,集中度和不均匀系数表现出较好的同步性变化规律,除个别年份外,集中度高的年份,不均匀系数也大(图 2)。从各个年代变化看(表 1),径流集中度和不均匀系数变化规律一致,20 世纪 70 年代到 80 年代,集中度和不均匀系数均有所上升,80 年代后 2 指标开始下降。导致这种变化的原因可能有:70 年代西苕溪上游赋石、老石坎 2 座大型水库仍处于保坝扩建中,水库调蓄功能不明显,经历 60 年代“大办钢铁”、“三年困难时期”的严重毁林后,水土流失的综合治理、小型水库和蓄水塘坝的兴建于 70 年代初才刚刚起步;而进入 80 年代后,随着 2 个大型水库的正式交付使用、其他水利设施的配套完善以及流域内停垦还林、封山育林、山地造林等水保措施的深入推进,流域调蓄功能增强,径流年内分配集中程度开始减弱。

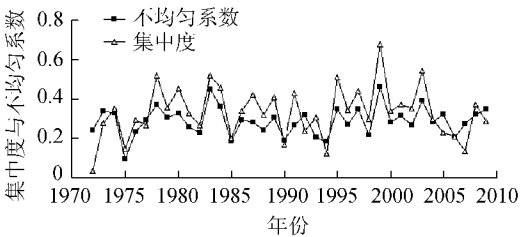


图 2 横塘村站径流集中度和不均匀系数年际变化

表 1 横塘村站不同时段径流年内分配统计特征

统计特征	1972—1979 年	1980—1989 年	1990—1999 年	2000—2009 年	1972—2009 年
不均匀系数	0.15	0.22	0.21	0.16	0.19
集中度	0.20	0.36	0.32	0.21	0.28

3 径流的年际变化及趋势

3.1 径流年际变化的特征值

径流年际变化的特征通常采用年径流变差系数和年际极值比来衡量。经计算,西苕溪横塘村站多年平均径流量为 10.23 亿 m³,实测最大流量(1999 年)为 17.01 亿 m³,最小(1978 年)为 4.32 亿 m³,变差系数和年际极值较大,分别为 0.34 和 3.94,说明该流域径流年际变化的起伏程度比较明显。

3.2 径流年际变化的持续性

根据径流丰枯等级的划分标准^[9],按距平百分率 P 来划分径流的丰枯等级。计算结果(图 3)显示,西苕溪横塘村站径流丰枯变化明显,1972—1999 年间丰水年份所占比例约为 46.4%,主要集中于 20 世纪 80 年代初至 90 年代末,丰水时段历时最长为 3 年,相比之下,枯水年份所占比例仅为 17.9%。而进入 2000 年后,流域尚未出现丰水年份,基本处于

枯水或偏枯状态。引发这种状态的原因有 :①流域内 2000 年后降水量明显减少 ,仅占 80 年代多年平均降水量的 86% ;②随着人口增长 ,农业灌溉以及工业生活用水消耗了大量的地表水。20 世纪 80 年代安吉县多年平均耗水量为 0.95 亿 m^3 ,其中农业灌溉耗水 0.833 亿 m^3 ,工业生活耗水 0.149 亿 m^3 ,总耗水量占全县多年平均径流量的 5.2% ;2000 年以后 ,农业灌溉和工业生活耗水量分别为 0.946 亿 m^3 和 0.336 亿 m^3 (2000、2002 和 2010 年数据的算术平均)约是 80 年代相应耗水量的 1.1 倍和 2.6 倍 ,其中工业生活耗水量增加迅猛 ,总耗水量占多年平均径流量的 17.6%。

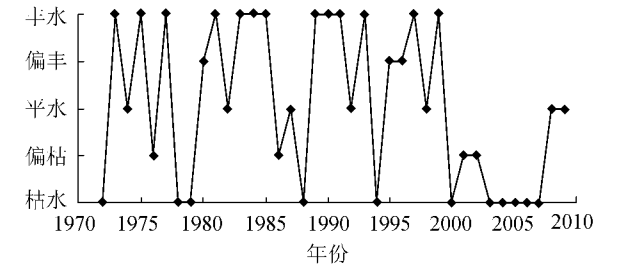


图 3 1972—2009 年横塘村站年际径流丰枯变化

3.3 年径流的变化趋势分析

年径流量的变化趋势反映了径流演变的总体规律。采用线性趋势法和 Mann-Kendall 检验法^[10] ,对年径流系列趋势性进行统计检验和分析。线性趋势法定性地反映径流系列的变化趋势 ,Mann-Kendall 检验法 (以下简称 M-K 检验法)则对径流系列的变化趋势做出定量说明。分析结果表明 ,西苕溪横塘村站年径流系列的线性趋势线倾向率为 -0.10 ,呈下降趋势 ;其 M-K 统计量 Z 值为 -2.07 (显著水平 α 取 0.1) ,说明 38 年来横塘村站年径流整体上呈现出显著的负变化趋势 ,通过 95% 显著性检验。

4 影响因素分析

河川径流量变化是自然条件和人类活动综合作用的结果。以降水为径流主要补给源的西苕溪流域 ,自然因素方面主要考虑降水对径流的影响。人类活动因素方面 ,主要考虑包括流域内水利工程建设、水土保持措施引起的流域下垫面变化以及在经济社会发展过程中水资源的利用 3 个因素。

4.1 降水因素

降水是径流的主要来源 ,其量的多少直接影响径流的变化。对西苕溪横塘村站径流量和研究区内年降水量做累积距平分析 (图 4) ,可以看出 ,研究区内径流量和降水量密切相关 ,两者的曲线波动基本一致。降水量在 20 世纪 80 年代初到 90 年代末期间呈现出波动增长 ,2000 年后则减少趋势明显 ,且

普遍低于多年平均降水量 ,受此影响 ,径流量表现出大致相同的变化过程。这与前文径流年际变化的持续性分析结果是一致的。值得注意的是 ,2007 年以后降水量开始增加 ,而对应的径流量仍持续减少。通过计算 1972—2009 年降水、径流距平百分率 (图 5) 可知 ,年径流在年间的波动幅度普遍大于年降水的波动幅度。相比年径流 ,降水系列经 M-K 检验后 ,其统计量 Z 为 -1.08 ,下降趋势不显著。此外 ,不同年代的降水、径流相关系数的分析结果表明 ,两者相关性表现为逐年代递减 ,由 20 世纪 70 年代的 0.97 减小到 2000 年以后的 0.79。

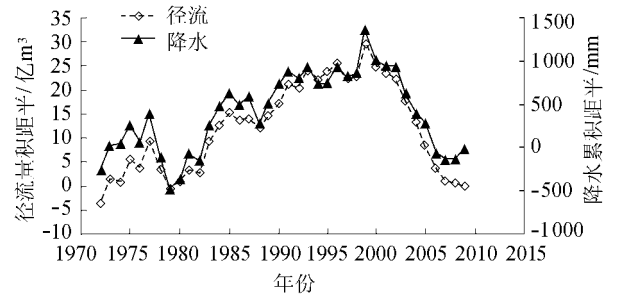


图 4 降水—径流累积距平

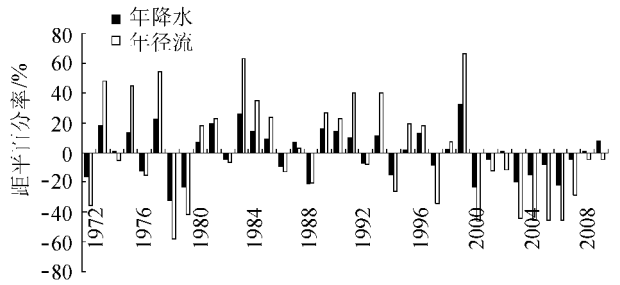


图 5 年降水、年径流距平百分率变化

以上各种分析结果在一定程度上说明 :西苕溪年径流的变化主要是流域降水造成的 ,但降水并非是影响径流演变的唯一因素。随着经济社会的发展 ,人类活动因素所导致的径流减少量占径流总减少量的比例会越来越大。

4.2 人类活动因素

4.2.1 流域水利工程建设

西苕溪流域水利工程数量众多。蓄水工程方面 ,西苕溪横塘村站以上流域内共有大型水库 2 座 ,总集水面积为 589 km^2 ,总库容 3.33 亿 m^3 ,正常库容 1.565 亿 m^3 ,都是以防洪为主 ,结合供水、发电、灌溉、养鱼的综合性水库 ;小型水库 45 座 ,总库容达 1509 万 m^3 。引水工程方面 ,共有堰坝 146 座 ,其中灌溉面积为 666 hm^2 以上的堰坝 3 座 ,66 ~ 666 hm^2 的 17 座 ,6 ~ 66 hm^2 以下的 126 座 ,总灌溉面积达 1.4 万 hm^2 左右 ,流域内还有中型引水工程 1 座 (赋石渠道) ,其水源为赋石水库 ,设计供水能力为 9235 万 m^3 ,设计灌溉面积 8133 hm^2 。此外 ,还有大量的山

塘、塘坝以及小规模引、提水工程。这些水利工程改变了径流在时间和空间上的分配,使得河道水量日益减少。

4.2.2 流域水土保持措施

西苕溪上游流域水土保持措施改变了流域下垫面条件,导致入渗、蒸散发等要素发生变化,进而改变了产流条件。通过停垦还林、封山育林、山地造林等生物措施以及谷坊、鱼鳞坑等工程措施,仅20世纪90年代初至今,水土流失综合治理程度达64.3%,森林覆盖率从55.9%提高到69.4%,25度以上坡耕地的退耕还林比例达96%,林草保存面积占宜林宜草面积的90%。水土保持措施加大了流域植被对天然降水的截留作用,增强了流域蓄水能力,从而对流域径流造成影响。

4.2.3 水资源利用

一方面,由于工业的发展和城镇化建设、农村饮用水工程的实施使得工业用水、生活用水量不断增加。农业用水在总用水量中比重虽不断下降,但仍占河道外总引用水量的71.0%左右,从而消耗了大量的地表水资源。另一方面,由于地方经济不发达,节水意识缺乏,用水浪费现象严重。工业用水上,以家居、竹制品、造纸、水电等耗水企业为主,很多企业设备陈旧、工艺落后,耗水量大;农业用水上,灌溉工程标准低,大多已老化失修,灌溉管理粗放,灌水技术落后,大水漫灌、跑马水现象严重;城镇居民用水上,给水管网漏损率高达15%~20%,而发达国家漏损率仅5%左右。水资源的高需求量以及水资源的低利用率势必造成更多的水资源消耗,进而影响河道径流量。

5 结果与讨论

5.1 结果

a. 西苕溪径流年内分配的不均匀性表现出先增加后减弱的变化过程,相比年降水,年径流的年际波动幅度普遍较大,20世纪80年代初至90年代为流域丰水期,而2000年后流域基本处于枯水或偏枯状态。

b. 1972—2009年西苕溪年径流整体上表现出显著的减少趋势,而年降水量减少趋势微弱。年降水与年径流的相关系数逐年代递减,由0.97减少到0.79,说明降水与径流的关系越来越复杂,人类活动对径流减少的影响逐渐突出。

c. 研究时段内西苕溪年径流表现出的变化特

性是降水和人类活动双重作用的结果。流域内水利工程的调蓄、水土保持措施的实施以及工农业生产生活用水的猛增等人类活动是引发年径流减少的重要影响因素。

5.2 讨论

近十几年来,西苕溪流域内城镇化进程加快,大量的耕地和林地转换为建设用地,但由于土地利用变化后的不透水面积比例仅占研究区总面积的4.6%,由此产生的城镇化水文效应不明显。因此,笔者未将人类活动因素中城镇化对径流的影响作为解释西苕溪年径流大幅度减少的影响因素。此外,受资料限制,笔者针对各项影响因素的定量分析还不够充分。因此,如何利用现有的各类实测数据,建立科学、准确的径流驱动力模型,计算并预测各项影响因素对径流变化的贡献率,并依此使人类活动对径流演变的不利影响降到最低,将成为今后重要的研究内容之一。

参考文献:

- [1] 栾兆擎,胡金明,邓伟,等.人类活动对挠力河流域径流情势的影响[J].资源科学,2007,29(2):46-51.
- [2] LEGESSE D, VALLET-COULOMB C, GASSE F. Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa: case study South Central Ethiopia[J]. Journal of Hydrology, 2003, 275(1/2): 67-85.
- [3] 王浩,贾仰文,王建华,等.人类活动影响下的黄河流域水资源演化规律初探[J].自然资源学报,2005,20(2):157-162.
- [4] 龚宇,邢开成,王聪玲,等.气候变化对沧州水资源的影响与对策[J].水资源保护,2007,23(3):20-23.
- [5] 郝振纯,李丽,王加虎,等.气候变化对地表水资源的影响[J].地球科学——中国地质大学学报,2007,32(3):425-432.
- [6] 张圣微,雷玉平,姚琴,等.土地覆被和气候变化对拉萨河流域径流量的影响[J].水资源保护,2010,26(2):39-44.
- [7] 杨远东.年径流不均匀系数的分析与计算[J].自然资源,1983(3):76-81.
- [8] 刘贤赵,李嘉竹,宿庆,等.基于集中度和集中期的径流年内分配研究[J].地理科学,2007,27(6):791-795.
- [9] 胡兴林.甘肃省主要河流径流时空分布规律及其演变趋势分析[J].地球科学进展,2000,15(5):516-520.
- [10] GERSTENGARBE F W, WERNER P C. Estimation of the beginning and end of recurrent events within a climate regime [J]. Climate Research, 1999, 11: 97-107.

(收稿日期 2010-10-08 编辑 徐娟)