

# 汉江上游近 50 a 来降水变化与暴雨洪水发生规律

殷淑燕, 黄春长

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** 使用 EOF 分解、滑动平均和线性回归趋势分析, 对汉江上游流域 1960—2009 年逐月及全年降水量变化进行时空分析。结果表明, 汉江上游在近 50 a 来, 年降水量在总体上呈现出减少的趋势。各月份降水量变化以 4 月和 9 月降水量减幅最大, 而 6 月和 8 月降水量则有所增加。1980—1988 年是汉江上游流域气候转型期。由于大气环流形势发生变化, 春季和秋季西南季风环流减弱, 夏季东南季风环流增强。西南季风在 6—7 月中旬和 9 月通常会在汉江上游造成暴雨洪水, 该阶段降水量的减少, 可能会导致洪水发生几率减小。东南季风在 7 月下旬和 8 月会在汉江上游造成暴雨洪水, 此期间季风的增强, 可能会使该阶段暴雨洪水的发生几率增大。这些结果对于指导汉江上游水资源水能资源开发和防洪减灾具有重要的意义。

**关键词:** 汉江上游; 降水量; 暴雨; 洪水; 气候变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)01-0019-07

中图分类号: P467

## Precipitation Change and Occurrence of Rainstorms and Floods in Upper Reaches of Hanjiang River During Last 50 Years

YIN Shu-yan, HUANG Chun-chang

(College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** Temporal and spatial changes of monthly/annual precipitation in the upper reaches of the Hanjiang River were analyzed by using empirical orthogonal function, moving average, and linear regression analysis. Results showed that annual precipitation manifested a decreasing trend during the last 50 years on the whole. Monthly precipitation varied with a major decrease in April and September, but a slight increase in June and August. A major climatic shift occurred in the upper reaches of the Hanjiang River from 1980 to 1988. The shift caused a change in atmospheric circulation pattern with a decreased intensity of southwest monsoon in spring and autumn and an increased intensity of southeast monsoon in summer. Southwest monsoon could induce rainstorms and floods from June to early-middle July and in September. In the periods, reduction in precipitation possibly caused a reduction in the occurrence of flood. Southeast monsoon could cause rainstorms and floods in the late July and August, in which the enhanced monsoon possibly cause an increase in the occurrence of rainstorm and flood. These findings are of great importance in water resources and energy development and flood mitigation in the upper reaches of the Hanjiang River.

**Keywords:** upper reaches of the Hanjiang River; precipitation; rainstorm; flood; climatic change

汉江上游是南水北调中线水源区, 受全球气候变化影响, 其降水量和水资源量减少, 将会危及供水安全, 因而受到各方面的关注<sup>[1-6]</sup>。因此, 深入研究汉江上游气候水文系统演变, 以及暴雨洪水发生规律问题, 有重要的理论和现实意义。统计分析结果表明, 汉江流域降水变化对水资源的影响要大于气温的影响, 据模拟分析, 温度增加 4 °C (温度最大变化范围), 径流减少 4%; 而降水增加 10%, 径流增加 12%<sup>[7]</sup>。

这表明区域降水的变化是影响水资源变化的主要因素, 而气温的增高对水资源的变化影响不是很明显, 这与 IPCC 的报告是相符合的<sup>[8]</sup>。

目前对于汉江上游降水量特征的研究, 只涉及到年、季降水量<sup>[1-2,7]</sup>, 还没有进行过逐月降水量变化的研究。在全球气候变化的背景下, 大气环流格局的变化, 不仅体现在气候要素的年际与年代际变化上, 在东亚季风转换的月份, 气候要素的月变化具有特别的

收稿日期: 2011-02-28

修回日期: 2011-05-16

资助项目: 国家社会科学基金重点项目“历史时期汉江上游极端性气候水文事件及其社会影响研究”(11AZS009); 国家自然科学基金重点项目“汉江上游(南水北调水源区)万年尺度古洪水水文学研究”(41030637); 中央高校基本科研业务费专项基金项目“气候变化对陕西省经济作物物候影响研究”(GK201002015); 陕西省教育厅自然科学研究计划项目“陕南汉江上游洪水水文学研究”(11JK0733)

作者简介: 殷淑燕(1970—), 女(汉族), 黑龙江省木兰县人, 博士, 副教授, 主要从事环境变迁研究。E-mail: yinshy@snnu.edu.cn.

指示意义。例如,有学者分析发现,在我国西北地区,近 30 a 来 6 月份降水明显增多<sup>[9-10]</sup>。这不仅体现在年降水量明显增多的新疆、内蒙古西部、甘肃河西地区以及青海高原绝大部分地区;在年降水量减少的青海东南部、甘肃省河东地区、宁夏及陕西也有同样的变化趋势<sup>[9]</sup>。因此,在气候变化的区域响应研究方面,以月为单位,对典型区域进行更加深入细致的分析,有助于认识大气环流格局的变化。对于水资源规划与管理来说,月降水量的变化对于汉江上游地区未来水量的存储、调节及防洪减灾工作也具有更重要的意义,可以为南水北调中线工程运行提供可靠的科学依据。

## 1 数据来源、研究范围和研究方法

数据源自陕西省气象局以及中国气象数据中心。选取汉江上游沿岸 9 个测站,包括宁强、勉县、汉中、洋县、石泉、紫阳、安康、旬阳、白河。选取 1960—2009 年的月降水量进行统计分析。对数据进行距平处理、计算距平百分率,并进行 EOF 分解和回归分析。

EOF 分解即经验正交函数分析 (empirical orthogonal function)<sup>[11-12]</sup>,是一种分析矩阵数据中的结构特征,提取主要数据特征量的一种方法。Lorenz 在 1950 年代首次将其引入气象和气候研究,现在在地学及其他学科中得到了非常广泛的应用。地学数据分析中,通常特征向量对应的是空间样本,所以也称空间特征向量或空间模态;主成分对应的是时间变化,也称时间系数。

## 2 分析结果与讨论

### 2.1 月降水量变化特征

对 9 站点 1960—2009 年 50 a 的月降水量进行

距平处理,对处理后的资料按月值、年值组成 13 个 (每个为 9 站点  $\times$  50 a) 资料阵,再分别对它们进行 EOF 分解。EOF 分解的结果分为 2 个方面,一是空间向量,表现各地之间降水量空间差异大小,二是时间系数分量,是消除空间影响后降水量随时间的变化。通过 EOF 分解发现,陕南汉江上游从源头到白河,在空间向量上,近 50 a 降水量各月和全年变化特点是一致的。各月和全年降水 EOF 第 1 特征向量空间值符号全区一致,且 EOF 第 1 特征向量的方差贡献占绝对优势(表 1)。该空间型解释了 54.06%~80.99% 的方差,其中,7 月相对较低,但也超过 50%。1,2,4,9,10,12 月在 70% 以上,3 月高达 80.99%。第 1 特征向量全区符号一致且其方差贡献占有绝对优势,说明汉江上游各地处于相同的环流形势控制之下(汉江上游处于东亚副热带季风区,其降水主要来源于西南和东南两股暖湿气流<sup>[13-15]</sup>),具有相同的变化趋势,降水变化的空间分布全区一致。相对来说,6—8 月,尤其是 7 月各地之间降水变化趋势表现出轻微的差异,应该是受到局地风的影响造成的。6—8 月汉江上游地区降雨受局地风影响较大,7 月份受到影响最大,在一定程度上,消弱了大气环流的影响。

由于 9 地降水变化趋势一致性强,空间差异小,用折线散点图绘制的 EOF 分解第 1 特征向量对应的第一时间系数分量的变化,与直接用 9 地月降水量进行算术平均得到的折线图有相同的变化特征。因为算术平均折线图上可以更直接地看到降水量的多少和均值,所以此处省略第一时间系数变化图,直接给出 9 地各月降水量算术平均后的折线散点图(图 1),并以 5 a 为单位进行滑动平均及线性回归趋势分析,给出线性回归方程以及线性回归的信度检验。

表 1 汉江上游各月和全年降水量 EOF 第 1 特征向量方差贡献

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
方差贡献/%	72.78	72.65	80.99	74.93	68.59	60.70	54.06	66.77	76.29	75.64	68.56	79.28	64.17

从图 1—2 可以发现,近 50 a 来,汉江上游各月与全年降水量变化各有特点。由于季风气候的控制,降水的年内分配很不均匀,5—10 月降水量占全年降水的 80%,尤以 6—9 月降水量为最丰,占全年降水量的 60% 左右。降水量最多的月份为 7 月(近 50 a 均值: 161.97 mm),其次为 9 月(145.54 mm),再次为 8 月(129.83 mm)、6 月(102.77 mm)、5 月(92.47 mm)、10 月(81.97 mm)。冬、春两季降水量较少,只占全年降水量的 20% 左右,降水量最少的月份是 1 月(5.57 mm),其次为 12 月(7.90 mm)。全年降水量近 50 a 平均值为 863.93 mm。

近 50 a 来各月降水量变化趋势有明显的不同(图 3)。12 月至翌年 2 月(冬季)降水为增多趋势;3—5 月(春季)为减少趋势。6,8 月为增加趋势,而 7 月有微弱减少,夏季整体呈增加趋势。9—11 月(秋季)为减少趋势。8 月降水量有明显的增多倾向,增幅居各月之首,递增率达 4.715 mm/10 a。其次是 6 月,递增率为 3.623 mm/10 a。减少幅度最大的是 9 月,平均减少 14.229 mm/10 a,其次为 4 月,平均减少 8.05 mm/10 a,即初秋降水减少趋势最为明显。由于减少量远高于增加量,所以从全年来看,降水总量呈减少趋势,平均减少 17.499 mm/10 a。从线性

拟合的信度来看,  $r_{0.05} = 0.273$ ,  $r_{0.01} = 0.354$ 。4 月线性拟合  $r = 0.414 > r_{0.01}$ , 拟合度最好, 呈极显著相关;

1 月( $r = 0.344$ )、2 月( $r = 0.328$ )、9 月( $r = 0.277$ )呈显著相关。

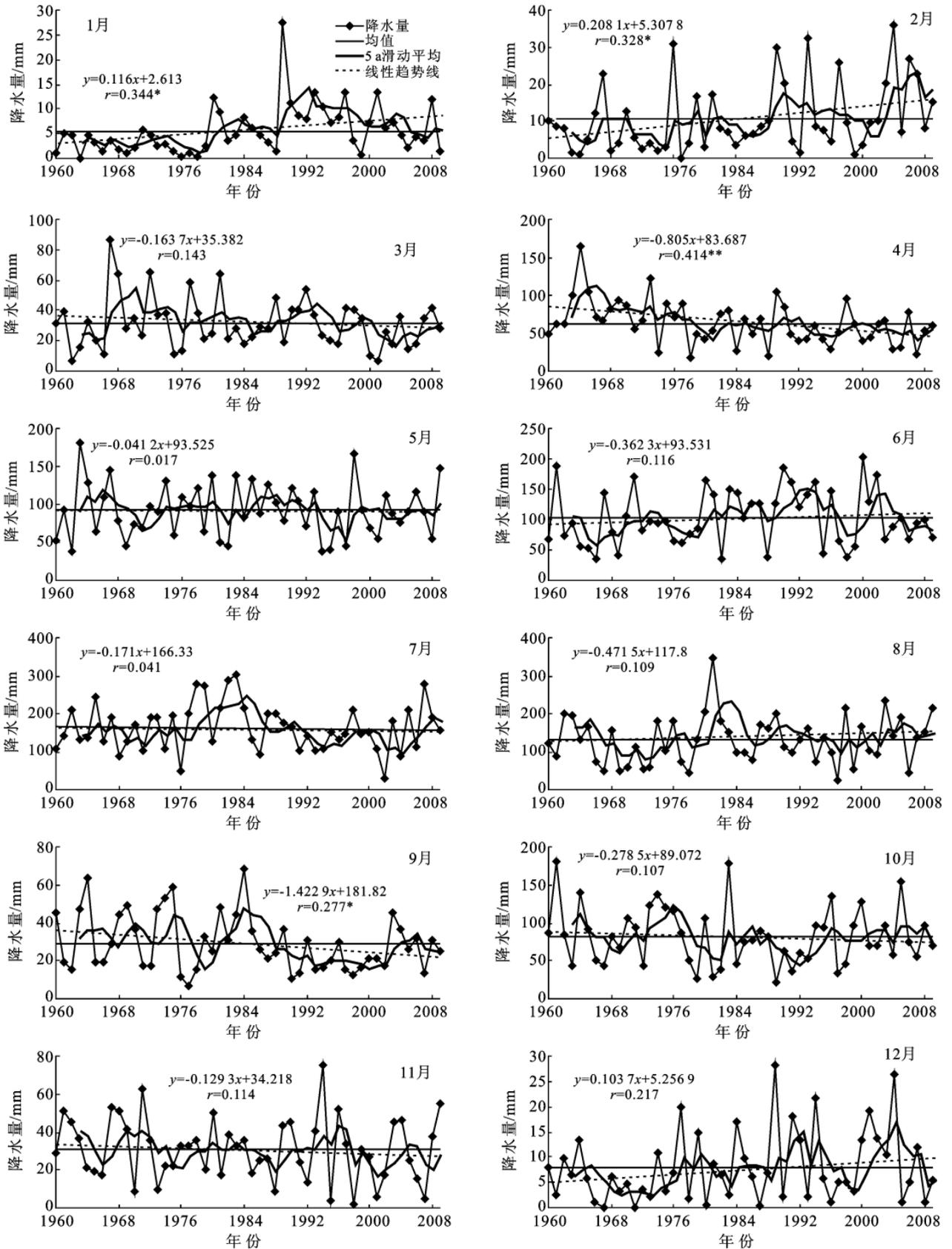


图 1 汉江上游 1960—2009 年各月降水量变化曲线

注: \* 为显著水平, \*\* 为极显著水平。

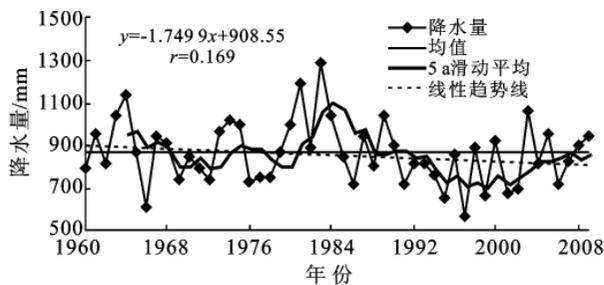


图 2 汉江上游 1960—2009 年年降水量变化曲线

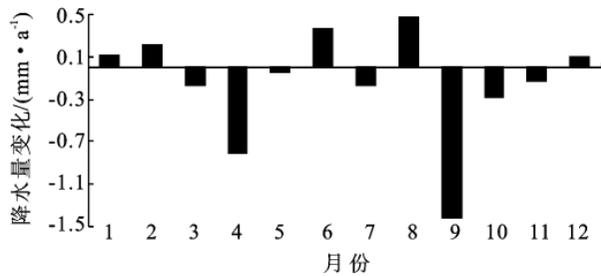


图 3 汉江上游各月份降水量线性方程斜率

从年际变化来看,虽然各月降水量变化趋势不同,如 4,9 月表现出明显的下降趋势,而 6,8 月降水量表现出增加的趋势,但可以看出有一个共同的特点:各月降水量的变化都是在大约 1980—1988 年前后变化最为明显(图 1),出现了转折性变化。为了更清楚地分析这一点,将 1988 年前后各月降水的平均值与标准差相对比(图 4)。凡是近 50 a 来降水总趋势呈增多的月份:1,2,6,8,12 月,在大约 1980—1988 年之前降水较少,滑动平均基本在距平之下,波动幅度也较小,1980—1988 年之后降水量明显增多,滑动平均基本在距平之上,且波动幅度增大;而总体降水呈减少趋势的月份:3,4,5,7,9,10 月,与以上月份正好相反,在大约 1980—1988 年之前降水滑动平均基本在距平之上,之后则在距平之下。1980—1988 年之前降水较多,波动幅度也较大,而 1980—1988 年之后降水变少,波动幅度也变小了。可见,1980—1988 年是汉江上游各月降水量和年降水量出现明显转折的时期。

充足的水汽供应是维持持续性降水或大暴雨的必要条件。不同月份降水变化趋势有明显不同,是因为在汉江上游不同月份环流形势不同,水汽供应的来源有一定差异。在汉江上游,夏季从 7 月中旬至 8 月底的暴雨洪水,是受东南季风系统控制,由来自北太平洋暖湿气团形成<sup>[16]</sup>;春季和秋季尤其是 9 月暴雨洪水,主要是受西南季风系统控制,由来自印度洋暖湿气团形成<sup>[17-19]</sup>。1980—1988 年前后,汉江上游降水发生了转型变化,8 月份降水明显增多,9 月降水呈显著减少,表现出春秋西南季风减弱,夏季东南季风加

强的趋势,大气环流形势在这个时期出现了转型变化。有学者研究认为,夏季西太平洋副热带高压廓线的东西位置在 1985 年出现了跃变<sup>[20-21]</sup>。月降水的突变和逐年变化与副高关系紧密,这可能是造成汉江上游 1980—1988 年前后月降水量转折、环流形势变化的重要原因。

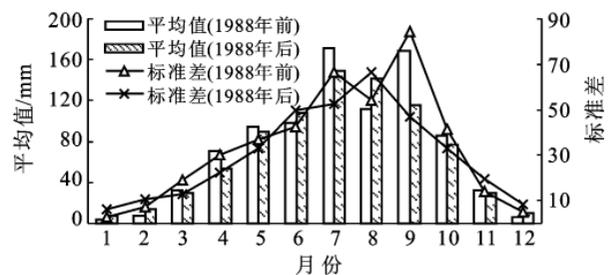


图 4 汉江上游 1988 年前后各月份降水量平均值与标准差对比

这种环流形势的变化,不会只发生在汉江上游一个地区,而应该是季风环流整体变化的一部分,我国大部分地区降水都受季风强烈影响,这必将对我国大部分地区的降水和旱涝形势产生较大影响。东南季风夏季风强的年份,主要雨带分布在我国北方,而夏季风弱的年份,主要雨带分布在我国南方,夏季风为正常的年份,雨带分布一般在我国中部<sup>[22]</sup>。按以上规律,夏季东南季风的增强,会导致我国受到东南季风影响的北方部分地区夏季雨水增多,而我国南方地区春夏季表现为干旱少雨;冬季时正相反,北方地区趋于干旱,南方雨雪增加。但春秋西南季风的明显减弱,会导致主要依靠西南季风带来较多降水的我国西南地区春秋雨水减少,出现干旱。这与我国近年气候变化的情况是基本一致的。当然,天气系统的影响因素众多,实际情况可能更为复杂。

## 2.2 月降水量变化与暴雨洪水发生规律

近 50 a 汉江洪水灾害非常频繁,1960—2010 年,安康流量大于  $15\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  的大洪水有 20 次(表 2),1965,1974,1983,2005,2010 年,安康洪峰流量均超过  $20\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 。

从环流形势分析,汉江上游暴雨洪水有 3 种类型<sup>[16]</sup>:(1) 夏西型:发生于 6 月中旬至 7 月中旬,水汽来源于西南季风。随孟加拉湾暖湿空气北上东移,7 月上、中旬,长江流域盛行西南季风,先由上游西南向东北发展,涌向汉江上游地区而为秦岭所阻,沿坡向东伸展,而此时北方冷空气南下的仍然不少,再加地形作用,如又遇高压阻塞系统去路,可造成大暴雨洪水,如 1998.7.9 大洪水<sup>[23]</sup>;(2) 夏东型:发生在 7 月下旬至 8 月下旬,水汽来源于东南季风。从 7 月中旬至 8 月底,西太平洋副热带高压强盛,显著北移和西

进,其西南部的东南气流代替了西南季风,即东南季风出现,副高边缘所形成的雨带,随着时令的增加逐渐向西北推进,8月在汉江中上游活动最盛。8月中下旬,东南季风基本上控制了汉江流域绝大部分地区,产生相应降雨与洪水,是夏季东南季风边缘雨区所形成的洪水,如 1983·7·31 特大洪水<sup>[24-25]</sup>; (3) 秋

北型:9月初到 10月中旬,北方冷空气强盛,大举南下,恢复对我国大陆的控制,在汉江上中游及川黔山地,由于高山阻拦,极锋停滞不前,与从孟加拉湾地区沿高原南侧北上的西南气流和副高南侧的东南气流两股暖湿气流相汇集,而形成历时间较长的降雨(华西秋雨)与洪水,如 2005·10·2 大洪水<sup>[26]</sup>。

表 2 汉江上游安康站主要洪水特征

发生时间	洪峰流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )						
19600906	18 500	19751002	15 300	19830722	17 200	19870719	19 800
19630526	16 900	19780705	16 000	19830731	31 000	19980709	16 980
19650713	20 400	19790715	16 000	19831005	15 700	20030907	16 100
19680913	19 700	19810908	15 400	19840707	19 700	20051002	21 700
19740914	23 400	19820721	15 000	19840910	16 300	20100718	25 500

从表 2 中可见,对于汉江上游来说,洪水主要发生在 7 月上、中旬和 9 月以后,即以夏西型和秋北型较常见,夏东型较少。水汽来源主要是由西南季风带来的暖湿气流。汉江上游洪水的主要来源,不象我国大部分地区那样主要来自东南季风,而主要来自西南季风,有其特殊的环流与地形原因。分析其原因有两方面:一是由于西南季风潮湿、空气层厚、水汽丰沛,并且空气层的不稳定性也很大<sup>[27-28]</sup>,同时 7 月上、中旬北方冷空气仍有南下,9 月以后冷空气南下较多,气流较强,与西南季风相持在汉江上游,就会导致暴雨或长时期的降雨与洪水。而夏东型洪水由东南季风边缘雨区所造成,太平洋气流不及印度洋南海气流温高湿重,含水量不及西南季风<sup>[28]</sup>,空气层厚度及不稳定性均不及西南季风利于致雨,且此时属盛夏,冬季风衰颓,难能造成“拉锯”状态,边缘雨区很快被推向山地直至秦岭以北,故降雨次数不多历时也不太长。二是汉江上游大洪水灾害的频繁发生,既与降雨量有关,也与降水走向密切相关。西南季风带来的暖湿气流走向与汉江上游径流方向一致,导致暴雨移动方向与支流先后涨水的顺序方向一致,对洪水的发生起着放大的作用。而夏东型洪水为东南季风边缘雨区所造成,常呈西南东北向的带状,与汉江上游水系处于正交状态,以致流域常仅局部面积处于雨区之中,故受雨的面积不太大<sup>[29-30]</sup>。因此,在汉江上游,由东南季风造成的夏东型大或特大洪水很少见,从多次调查的历史洪水也可以明显地发现这一点。在安康,1500—1960 年大于  $25\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  的特大洪水,没有一次出现在 8 月,只有 1852 年的洪水,发生在 8 月 31 日,实质上属于秋北型的早到洪水<sup>[16]</sup>。表 2 中 1960 年以后的大洪水,除了 1983 年大洪水发生在 7 月下

旬之外,其它所有大洪水也都是发生在 7 月中旬之前或 9 月之后。

从月降水量的逐年变化来看,1980—1988 年以后,7 月和 9 月的降水量呈明显减少,尤其 9 月,减少趋势显著,而 6 月和 8 月降水量明显递增。表现出了春秋西南季风减弱,夏季东南季风加强的趋势。由于汉江上游的洪水主要发生在 7 月上、中旬和 9 月以后,以夏西型和秋北型为主,水汽来源主要是来自孟加拉湾和南海的西南暖湿气流,这种降水变化特点和环流形势变化在总体上无疑会减少汉江上游洪水灾害的发生。表 2 中也可以看出,1989 年以后,安康洪峰入库流量大于  $15\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  的洪水发生频率是呈减少趋势的,1960—1989 年 30 a 间发生了 16 次,平均 1.8 a 发生 1 次,而 1990—2010 年 21 a 中只发生了 4 次,平均 5.2 a 发生 1 次。虽然整体上,洪水频次呈减少趋势,但是,随着夏季东南季风的加强,也可能会发生夏东型的大洪水,如 2010·7·18 的特大洪水。

汉江上游近 50 a 来洪水发生的另一特点是:在月降水量发生明显转折的 20 世纪 80 年代,大洪水发生频率明显高于其他年代际。安康在此 10 a 间发生了 8 次大洪水,平均 1.25 a 发生 1 次。不仅发生频率高,而且洪水的强度也大。最大洪峰流量达到了  $31\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ ,导致安康毁城之灾的 1983·7·31 特大洪水就发生在这一时期。而且,1982—1983 年出现的 3 次最大洪峰流量超过  $15\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  的大洪水,包括 1983·7·31 特大洪水,都发生在 7 月下旬,这在安康洪水发生历史上是极为罕见的。可见,1980—1988 年这一时期,汉江上游出现明显的气候转型,不仅各月和全年降水量的变化出现了转折,还导致这一时期出现了频率高,强度大,发生时间特殊的洪水灾害。

### 2.3 汉江上游气候转折期与其他地区的对比

20 世纪 80—90 年代气候的转型变化,并不是汉江上游地区孤立的现象。远在非洲的撒哈拉沙漠于 1984 年最为干旱,其植被指数最低,沙漠扩展,但 1985 年后明显转向湿润<sup>[31]</sup>;有学者研究认为,夏季西太平洋副热带高压廓线的东西位置在 1985 年出现跃变,月降水的突变和逐年变化与副高关系紧密,造成了我国黄土高原地区在 1985 年发生突变,降水减少趋势加剧<sup>[21-22]</sup>;在我国西北的新疆北部、天山及其两侧地带,塔里木盆地西侧、叶尔羌河下游、祁连山及其北侧中西段地区,以及柴达木盆地东南侧格尔木河和察汗乌苏河地区,气候和水文记录显示,1950—1987 年,53 条河流出口径流量总体呈下降趋势<sup>[32]</sup>,但在 20 世纪 80 年代以后降水和径流出现了明显的增加,洪水灾害也迅猛增加<sup>[33]</sup>。新疆学者首先报道了博斯腾湖水位自 1987 年开始转为迅速上升,艾比湖面积也迅速扩大<sup>[34]</sup>。这种现象启发施雅风提出了我国西北气候自 1987 年开始由暖干向暖湿转型的假说<sup>[35-36]</sup>。施雅风认为是由于全球显著变暖和水循环加快,使得中国西北主要是新疆地区于 1987 年气候发生突然变化,随着温度上升,降水量、冰川消融量和径流量连续多年增加,内陆湖泊水位显著上升,洪水灾害也迅猛增加。以上地区气候变化的共同特点是在 20 世纪 80—90 年代,气候出现了明显的转型变化,虽然不同地区的转型方向并不一致,对转型的原因目前也仅限于推测,但 20 世纪 80—90 年代气候发生了明显转型是不争的事实,气候的这种转型变化对很多地区的降水产生了显著的影响,同时,也导致了洪水灾害的明显增加。因此,在 80—90 年代,汉江上游气候的转折变化与全球气候变化是有相关性的,是汉江上游气候水文系统对于全球变化的一种响应,是由于全球气候变化导致的环流形势变化,而在降水和特大暴雨洪水发生方面表现出了转型的特点。

## 3 结论

(1) 通过 EOF 分解发现,汉江上游流域近 50 a 来降水量各月和全年变化特点是一致的。各月 EOF 第 1 特征向量空间值符号全区一致,且 EOF 第 1 特征向量的方差贡献达 54.06%~80.99%,占有绝对优势,说明汉江上游各地处于相同的环流控制之下,具有相同的变化趋势,降水变化的空间分布全区一致。

(2) 降水量在各月的变化趋势不同。近 50 a 来,汉江上游 4 月和 9 月降水量明显减少。4 月降水量呈极显著的线性减少,9 月呈显著线性减少。减少幅度

最大的是 9 月,平均减少 14.23 mm/10 a。其次是 4 月,平均减少 8.05 mm/10 a。降水量增加幅度最大的为 8 月,平均增加 4.715 mm/10 a,其次为 6 月,平均增加 3.623 mm/10 a。由于降雨的减少量远高于增加量,所以从全年来看,降水总量呈减少趋势。年降水量平均减少 17.431/10 a。

(3) 各月和年降水量年代际变化表现出一个共同特点,即在约 1980—1988 年,降水量变化最为明显,出现了转折性变化,凡是近 50 a 来降水总体趋势呈增多的月份:1,2,6,8,12 月,在大约 1980—1988 年之前降水量较少,1980—1988 年之后降水量明显增多;而总体降水呈减少趋势的月份:3,4,5,7,9,10 月,以及全年,与以上月份正好相反,在大约 1980—1988 年之前降水较多,1980—1988 年之后降水变少。可见,1980—1988 年是汉江上游气候的转型期,此期间环流形势发生变化,汉江上游出现了春秋季节西南季风减弱,夏季东南季风加强的趋势。

(4) 在 1980—1988 年这一气候转型时期,不但各月和全年降水量的变化出现了转折,同时,也导致这一时期出现了频率高、强度大、发生时间特殊的洪水灾害。1990 年以后,随着环流形势的变化,7,9 月降水量减少,汉江上游大洪水的发生频率总体上呈减少趋势,但需要预防夏东型的大洪水发生。汉江上游气候的这种转型变化与全球气候变化密切相关,是由于全球气候变化导致的环流形势变化所引起的,是汉江上游气候水文系统对于全球气候变化的一种响应。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 蔡新玲,孙娴,乔秋文,等. 气候变化对汉江上游径流的影响[J]. 气候变化研究进展,2008,4(4):220-224.
- [2] 赵德芳,孙虎,延军平,等. 陕南汉江谷地近年气候变化及其生态环境意义[J]. 山地学报,2005,23(3):313-318.
- [3] 徐元顺. 近 75 年丹江口水库入库流量时间变化特征与气候成因[J]. 湖北气象,2005,24(4):21-23.
- [4] 赵红莉,陈宁,蒋云钟,等. 汉江上游水资源时空演变及成因分析[J]. 南水北调与水利科技,2009,7(6):90-93.
- [5] 陈华,闫宝伟,郭生练,等. 汉江流域径流时空变化趋势分析[J]. 南水北调与水利科技,2008,6(3):49-53.
- [6] 李文浩. 汉江上游流域水文特性分析[J]. 水资源与水工程学报,2004,15(2):54-58.
- [7] 朱利,张万昌. 基于径流模拟的汉江上游区水资源对气候变化响应的研究[J]. 资源科学,2005,27(2):16-22.
- [8] UNEP. Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability, summary for policymakers and technical summary of the IPCC WGII third assessment report [R]. London, UK: Cambridge University Press, 2001: 8-9.

- [9] 王宝灵. 中国西北地区6月降水量最近30年明显递增[J]. 气象, 1997, 23(6): 37-39.
- [10] 王鹏祥. 西北地区干湿演变及其成因分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008: 24-98.
- [11] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 42-54.
- [12] 马开玉, 丁裕国, 屠其璞. 气象统计原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 277-288.
- [13] 张洪刚, 王辉, 徐德龙, 等. 汉江上游降水与径流变化趋势研究[J]. 长江科学院院报, 2007, 24(5): 27-30.
- [14] 卫金容. 汉江上游区域枯季径流预报研究[J]. 陕西水利, 2010(2): 129-130.
- [15] 熊炳恒, 陈凡. 陕西境内汉江上游水文特性[J]. 西北水力发电, 1987, 3(1): 7-13.
- [16] 苏连璧. 汉江洪水成因及其出现规律[J]. 人民长江, 1981(4): 82-87.
- [17] 王旭仙, 武麦凤, 吕俊杰, 等. 2005年渭河、汉江流域一次致洪暴雨过程浅析[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 68-71.
- [18] 鲍媛媛, 阿布力米提, 李峰, 等. 2001年华西秋雨时空分布特点及其成因分析[J]. 应用气象学报, 2003, 14(3): 215-222.
- [19] 李军社. 汉江秋汛雨洪特性分析及对策[J]. 陕西水利, 2010(1): 113-114.
- [20] Zhu Yinmin, Yang Xiuquan. Joint propagating patterns of SST and SLP anomalies in the North Pacific on Bidecadal and Pentadecadal Timescales[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2000, 20(5): 694-710.
- [21] 傅朝, 王毅荣. 中国黄土高原月降水对全球变化的响应[J]. 干旱区研究, 2008, 25(3): 447-451.
- [22] 赵汉光, 张先恭. 东亚季风和我国夏季雨带的关系[J]. 气象, 1996, 22(4): 8-12.
- [23] 李庆宝. 汉江上游十大洪水气象特征分析[J]. 灾害学, 1991, 6(2): 39-44.
- [24] 李幼木, 安康水电厂水调班. 汉江安康流域洪水规律分析及水库对安康城区的防洪作用[J]. 陕西电力, 2007, 35(10): 37-40.
- [25] 安康特大洪水分析小组. 汉江安康“83·7”特大洪水分析[J]. 水文, 1986, 6(2): 6-12.
- [26] 崔讲学, 徐双柱, 王仁乔, 等. 2005年汉江秋汛气象水文特征分析[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(4): 289-294.
- [27] 谢义炳. 中国夏半年几种降水天气系统的分析研究[J]. 气象学报, 1956, 7(1): 1-23.
- [28] 陶诗言, 陈隆勋. 夏季亚洲大陆上空大气环流的结构[J]. 气象学报, 1957, 23(3): 234-247.
- [29] 王学琪. 汉江上游流域暴雨洪水特征[J]. 陕西水利, 1988(1): 26-33.
- [30] 杨永德, 邹宁, 郭希望, 等. 汉江上游水文特性的初步分析[J]. 水文, 1997, 17(2): 54-56.
- [31] Tucker C J, Nichol S E. Variation in the size of the Sahara Desert from 1984—1997[J]. Ambio, 1999, 28(7): 582-591.
- [32] 赖祖铭, 叶伯生. 西北地区河川径流变化及其趋势[C]//施雅风. 气候变化对西北华北水资源影响研究. 济南: 山东科技出版社, 1995: 95-119.
- [33] 姜逢清, 朱诚, 穆桂金, 等. 新疆洪旱灾害扩大化: 人类活动影响分析[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 57-66.
- [34] 胡汝骥, 马虹, 樊自立, 等. 近期新疆湖泊变化所示的气候趋势[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(1): 20-27.
- [35] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2000, 24(3): 219-226.
- [36] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.