

文章编号: 1001-4179(2005)01-0022-02

# 长江流域面雨量变化趋势及对干流流量影响

陈正洪<sup>1</sup> 杨宏青<sup>1</sup> 任国玉<sup>2</sup> 沈浒英<sup>3</sup>

(1. 中国气象局武汉暴雨研究所, 湖北武汉 430074; 2. 国家气候中心, 北京 100081; 3. 长江水利委员会水文局, 湖北武汉 430010)

**摘要:** 根据长江流域 1960~2001 年 42 a 间 109 个气象站的雨量资料和大通、宜昌水文站(分别为全流域、上游控制站)同期的流量资料, 分别计算了全流域和上游年、季、月平均面雨量、流量的变化趋势及其相关性, 分析了雨量对干流流量影响, 发现: 全流域面雨量, 冬、夏季显著增加, 秋季显著减少, 全年为弱增加趋势, 主要发生在 1、6、9 月; 而上游仅秋季明显减少, 夏、冬季呈弱增加趋势, 全年无变化, 主要发生在 1、9 月。大通流量, 为冬、夏、年季显著增加, 秋季无变化, 主要发生在 1~3、7~8 月; 宜昌流量仅秋季明显增加, 冬、夏季为弱增加趋势, 全年无变化, 主要发生在 1~2、10 月。全流域或上游的面雨量与同期流量均为显著正相关, 尤其是年、春夏季, 主要发生在全流域的 1~8 月、上游的 3~11 月。全流域所有月份、上游 1~3、10、12 月面雨量与下月流量的相关性均比同期更好, 表明流量对雨量的响应有一定的时空滞后性。

**关键词:** 面雨量; 流量; 相关分析; 时空差异; 水文分析; 长江上游

**中图分类号:** P333 **文献标识码:** A

## 1 概述

进入 20 世纪 80 年代以来长江洪水灾害频繁发生, 给国家和沿江人民群众生命财产造成巨大损失, 与我国北方广大地区旷日持久的干旱灾害一起, 成为了我国两大严重的自然灾害<sup>[1-3]</sup>, 近年关于长江洪水的变化事实、成因和对策研究显著增加<sup>[4-6]</sup>。本文拟对长江流域面雨量变化趋势及对干流流量影响进行更深入细致的时空差异分析, 以便更好指导防洪抗旱减灾工作。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料

本文分析所采用的资料为长江流域 109 个气象站(其中上游 46 个气象站) 1960~2001 年逐月降水资料及大通、宜昌水文站(分别为长江流域和上游控制站)逐月平均流量资料。长江流域边界按照中国气象局的规定。季节划分采用冬季为 12~2 月, 春季为 3~5 月, 夏季为 6~8 月, 秋季为 9~11 月。

### 2.2 方法

(1) 采用泰森多边形方法计算流域的面雨量<sup>[7]</sup>, 该方法是先求得各测站的面积权重系数, 然后用各测站雨量与该测站面积权重系数相乘后累加得到面雨量, 即:

$$\bar{p} = f_1 p_1 + f_2 p_2 + \dots + f_n p_n$$

式中  $f_1, f_2, \dots, f_n$  分别为各测站的面积权重系数;  $p_1, p_2, \dots, p_n$  分别为各测站同时期降雨量;  $\bar{p}$  为同时期流域面雨量。

(2) 对长江流域及其上游雨量和流量的年、季、月序列 ( $y_t$ ), 采用一元线性回归来拟合其线性变化趋势和气候倾向率, 即:

$$y_t = at + b \quad (t \text{ 为年份序号}, t = 1, 2, \dots, n)$$

式中  $a$  为回归系数,  $a \times 10$  称为气候倾向率, 即每 10 a 气象要素的变化值。相关系数  $r_{yt}$  称为气候趋势系数(以下简称趋势系数), 为正(负)时, 分别表示所研究的气象要素在该时段内呈增加(或减小)趋势, 对于  $n = 42$ , 查表知, 当  $r_{yt}$  的绝对值不小于 0.26、0.30、0.39 时分别表示拟合方程线性趋势通过了信度 0.1、0.05 和 0.01 的显著性检验。

(3) 求取全流域和上游的年、季、月面雨量与流量的同期及隔月相关系数。

## 3 分析与讨论

### 3.1 面雨量的变化趋势

长江流域及长江上游年(季)、月面雨量的趋势系数见表 1、表 2, 其中四季面雨量的变化趋势见图 1。分析可知: 长江流域面雨量变化以夏季、冬季、1、6 月显著增加, 秋季、9 月显著减少为主要特征, 而春季略有减少, 全年略有增加; 上游面雨量变化则以秋季、9 月显著减少为特征, 而冬季、夏季略有增加, 1~2 月显著增加, 春季和年无变化, 10 月显著减少。其中在夏季、冬

收稿日期: 2004-08-10; 修回日期: 2004-10-10;

基金项目: “十五”国家科技攻关项目(2001BA611B)、全国水资源综合区划气候变化专题、湖北省新世纪高层次人才择优项目共同资助

作者简介: 陈正洪, 男, 中国气象局武汉暴雨研究所, 工程师。

季,全流域和上游为一致的增加,但全流域更显著,表明全流域流量的增加以中下游为主;在秋季,全流域和上游为一致的显著减少,程度相当,表明秋雨减少是全流域的共同特征。由于流量在春季变化不明显,而在冬季和夏季增加,在秋季减少,二者相互抵消,从而造成全年变化不明显。

表 1 长江流域、长江上游年及四季面雨量的趋势系数

时段	长江流域	长江上游	时段	长江流域	长江上游
春	-0.14	-0.02	冬	0.28 <sup>*</sup>	0.19
夏	0.37 <sup>**</sup>	0.15	年	0.15	-0.02
秋	-0.36 <sup>***</sup>	-0.33 <sup>***</sup>			

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示通过 0.10、0.05、0.01 的显著性检验,分别表示趋势显著、很显著、极显著,下同。

表 2 长江流域、长江上游各月面雨量的趋势系数

月	长江流域	长江上游	月	长江流域	长江上游
1	0.52 <sup>***</sup>	0.39 <sup>***</sup>	7	0.25	0.17
2	0.12	0.09	8	0.14	-0.02
3	0.16	0.10	9	-0.38 <sup>**</sup>	-0.30 <sup>**</sup>
4	-0.15	0.03	10	-0.03	-0.13
5	-0.21	-0.10	11	-0.16	-0.07
6	0.37 <sup>**</sup>	0.18	12	-0.07	-0.14

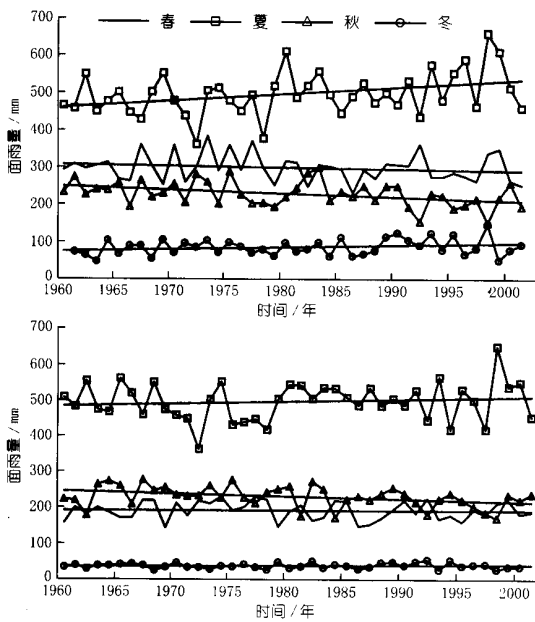


图 1 长江流域(上)、长江上游(下)四季面雨量变化趋势

### 3.2 流量的变化趋势分析

大通、宜昌水文站(分别为全流域、上游控制站)的年(季)、月流量的变化趋势系数见表 3、表 4。分析表明,大通流量变化以夏季、冬季、年、1~3、7~8 月显著增加为主要特征,与面雨量的增加趋势基本一致,秋季几乎无变化,这与面雨量显著减少不同,而春季略有增加;宜昌流量则以秋季显著减少为特征,而冬季、夏季略有增加,春季和年无变化,年及各季流量变化趋势与上游同期面雨量的变化完全一致。

### 3.3 面雨量与流量的相关分析

面雨量与流量的相关分析结果(表 5、表 6、图 2、图 3)表明:长江流域或长江上游,面雨量与同期流量在多数时间里具有显著的正相关性,多数达到极显著程度,即多雨对应洪涝或丰

水,少雨对应干旱或枯水。若以年、季为单位,除长江上游冬季为显著、长江流域秋季为很显著外,其余均为极显著,尤其是年流量与面雨量相关系数达到 0.80 以上;若以月为单位,仅长江流域 9、11、12 月等 3 个月正相关不显著,长江流域 10 月、长江上游 2、12 月显著,长江流域 4 月很显著,其余均达到极显著。可见,不显著或显著多集中在秋冬季节,其原因主要是这些季节雨水相对较少,水库、塘堰等蓄水较多,从而降低了面雨量与长江干流流量的相关性。

表 3 大通、宜昌年及四季流量的趋势系数

时段	大通	宜昌	时段	大通	宜昌
春	0.09	-0.03	冬	0.37 <sup>**</sup>	0.15
夏	0.28 <sup>*</sup>	0.08	年	0.26 <sup>*</sup>	0.01
秋	0.01	-0.27 <sup>*</sup>			

表 4 大通、宜昌各月流量的趋势系数

月	大通	宜昌	月	大通	宜昌	月	大通	宜昌
1	0.44 <sup>***</sup>	0.28 <sup>*</sup>	5	-0.25	-0.15	9	0.15	-0.19
2	0.50 <sup>***</sup>	0.31 <sup>**</sup>	6	0.06	0.07	10	-0.11	-0.27 <sup>*</sup>
3	0.35 <sup>**</sup>	0.15	7	0.30 <sup>**</sup>	0.17	11	-0.12	-0.20
4	0.21	0.08	8	0.26 <sup>*</sup>	-0.05	12	0.05	0.03

表 5 长江流域、长江上游年及四季面雨量分别与大通、宜昌流量的相关系数

时段	长江流域	长江上游	时段	长江流域	长江上游
春	0.72 <sup>***</sup>	0.69 <sup>***</sup>	冬	0.41 <sup>***</sup>	0.29 <sup>*</sup>
夏	0.60 <sup>***</sup>	0.76 <sup>***</sup>	年	0.89 <sup>***</sup>	0.84 <sup>***</sup>
秋	0.33 <sup>**</sup>	0.53 <sup>***</sup>			

表 6 长江流域、长江上游月面雨量分别与宜昌、大通月流量的相关系数

月	长江流域	长江上游	月	长江流域	长江上游
1	0.65 <sup>***</sup>	0.39 <sup>***</sup>	7	0.58 <sup>***</sup>	0.57 <sup>***</sup>
2	0.43 <sup>***</sup>	0.28 <sup>*</sup>	8	0.53 <sup>***</sup>	0.73 <sup>***</sup>
3	0.43 <sup>***</sup>	0.63 <sup>***</sup>	9	0.12	0.54 <sup>***</sup>
4	0.33 <sup>**</sup>	0.64 <sup>***</sup>	10	0.26 <sup>*</sup>	0.52 <sup>***</sup>
5	0.52 <sup>***</sup>	0.50 <sup>***</sup>	11	0.25	0.50 <sup>***</sup>
6	0.50 <sup>***</sup>	0.48 <sup>***</sup>	12	0.21	0.27 <sup>*</sup>

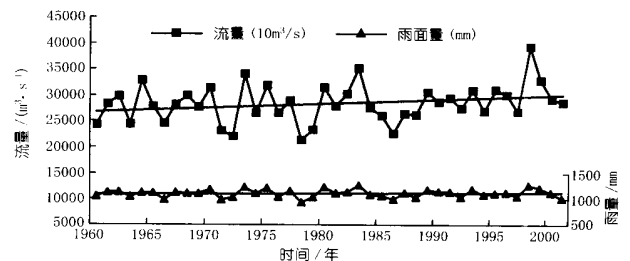


图 2 长江流域年平均面雨量与大通水文站年平均流量的历年变化

进一步分析表明(见表 7):对上游而言,面雨量与下月流量的相关系数在 1~3、10、12 月等 5 个月有所增加,其中 11 月增加了 0.45,主要集中在冬半年,可能是冬季流速慢的原因,其余 7 个月下降,最多下降 0.2,可见增加的幅度大于下降的幅度;对全流域而言,月面雨量与下月流量的相关系数,比与同期流量的

(下转第 30 页)

表5 汉江库区支流拦门淤积特征值统计

河名	距坝里程/ km	回水长度/ km	平均河宽/ m	157 m 库容/ 亿 m <sup>3</sup>		淤积量/ 亿 m <sup>3</sup>	口门高程(吴淞 m)		口门淤积厚度/ m	河口段河床纵比降/ ‰	
				1960年	2003年		1960年	2003年		1960年	2003年
龙门河	81.3	9.6	650	9 060	7 260	1 800	120.8	141.9	21.1	6.8	- 2.4
远河	67.6	22.0	270	10 000	8 570	1 430	112.0	140.7	28.7	9.0	- 4.0

的远河两条支流的拦门淤积为例,将这两条支流的主要淤积特征值列于表5。

从表5中可知,龙门河1960~2003年口门拦门沙已淤高21.1 m,2003年口门高程已达141.9 m。龙门河1960年的河口段内1 700 m是正坡降6.8‰,2003年河口同库段河床纵坡降为负比降2.4‰。远河口则同期口门已淤高28.7 m,口门高程也达140.7 m,1960年河口段内1 400 m,正坡降9.0‰,2003年同库段河床纵坡降为负4.0‰。表5中,龙门河及远河的口门拦门沙顶高都已达141.9~140.7 m,这意味着,当库水位消落至140 m以下时,这两条支流都成死水套或称消落套,也即,这两条支流目前在库水位140 m以下的库容已全部损失。据实测资料分析,这两条支流所在的汉江干流库段内,目前尚属淤积发展阶段,今后拦门沙槛还会继续淤高。在此,有一个值得注意的隐患问题必须提出,在距坝56.7 km库段内的支流较多且较大,特别其中距坝39.8 km的支流曾河库区,157 m的库容达19.7亿m<sup>3</sup>,回水长32.6 km;距坝19.4 km的浪河库区,库容5.1亿m<sup>3</sup>,回水长34.4 km。这两条大支流库区的库容量都主要是靠汉江干流充水期倒灌。本库段目前尚不属重点淤积区,今后迟早会发展成重点淤积区的。如上述两条大支流库区今后产生大量拦门

淤积,那就不是小支流形成的消落套,而将成为两个大消落湖了,此时,支流库容损失就大了,问题就复杂了。因此,对支流口门拦门淤积问题必须引起重视,监测其发展及早研究对策。

(4) 重点淤积区内的港口码头淤积问题。距坝100 km的郧县县城是汉江干流库区内的最大水运港口,20世纪60~70年代建库初期,郧县港有上下两个大港口、码头,一个是郧县改装厂河边的客轮码头及附近西菜园的港口,是郧县至丹江的客运码头。支流棒锤河是很好的进港航道,口门及港口原高程133~136 m左右,到20世纪80年代的几年大水年,郧县上下淤积发展较快,成为重点淤积区。由于棒锤河支流口门拦门淤积高达148 m,致使,港口、码头低水位已无法使用而外迁。郧县县城的另一个港口、码头,蓄水初期建在耿家垭的观音堂,该处原为弯道顶深潭,是个好港口、码头位置,是郧县向上游陕西方向的客运码头及港口。但因上首长达5~6 km的顺直段大边滩的淤高、扩大,上伸下延,使得观音堂弯道顶也不断下移,客运码头也不断下移,至今,该码头已下移约1 km左右。至于沿途客运码头点,也有不少因两岸边滩的淤高、扩大、上伸下延,无法靠岸而上迁下移。

(编辑:刘毅)

(上接第23页)

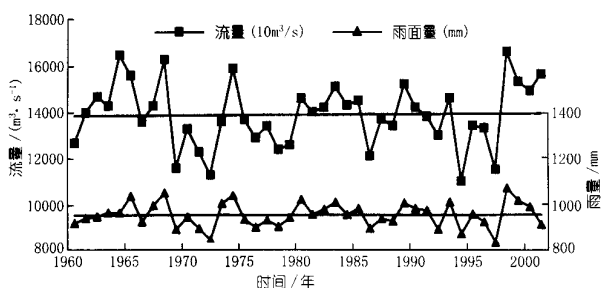


图3 长江上游年平均雨量与宜昌水文站年平均流量的历年变化

表7 长江流域、长江上游月面雨量分别与大通、宜昌下月流量的相关系数

月	长江流域	长江上游	月	长江流域	长江上游
1	0.65 ***	0.55 ***	7	0.83 ***	0.48 ***
2	0.68 ***	0.64 **	8	0.80 ***	0.61 ***
3	0.57 ***	0.66 ***	9	0.54 ***	0.51 ***
4	0.69 ***	0.44 ***	10	0.75 ***	0.57 ***
5	0.54 ***	0.43 ***	11	0.67 ***	0.34 **
6	0.65 ***	0.28 *	12	0.48 ***	0.72 ***

相关系数都有不同程度增加,其中10月增加了0.49,这是由于全流域干流长,面积大,滞后影响也更显著。

参考文献:

- [1] 翟盘茂,任福民等.中国降水极值变化趋势检测.气象学报,1999,57(2):208~215.
- [2] Zhai P M, Sun A J, Ren F M, et al. Changes of climate extremes in China. Climatic Changes, 1999,42(1):203~218.
- [3] 任国玉,吴虹,陈正洪.我国降水变化趋势的空间特征.应用气象学报,2000,11(3):322~330.
- [4] 施雅风,姜彤,王俊等.全球变暖对长江洪水的可能影响及其前景预测.湖泊科学,2003,15(S1):1~15.
- [5] 任国玉,陈正洪,杨宏青.长江流域近50年降水变化及其对干流洪水的影响.湖泊科学,2003,15(S1):49~55.
- [6] 沈许英.长江流域降雨径流的年代际变化分析.湖泊科学,2003,15(S1):90~96.
- [7] 徐晶,林建,姚学祥等.七大江河流域雨量计算方法及应用.气象,2001,27(11):13~16.

(编辑:刘毅)

## Residual life estimation and reliability analysis of hydraulic steel gate member

REN Yu-shan WANG Lian-xin

(1. Changchun Engineering College , Changchun 130012 , China ; 2. Design Institute , Changjiang Water Resources Commission , Wuhan 430010 , China)

**Abstract :** The many - years - operated hydraulic steel gates are all rusted in some degree , the serious rust erosion can reduce the strength of hydraulic steel gate member and influence the safety operation of the gate. How to reasonably appraise the existing hydraulic steel gate and estimate the residual life and reliability is an issue worthy to be discussed. Mainly adopting mathematical - statistical method and in combination with engineering practice , this paper discusses the residual life estimation method of hydraulic steel gate structure under different rusty conditions and analyses the reliability of residual life of existing hydraulic steel gate (including extended service ones) .

**Key words :** hydraulic steel gate ; rust erosion ; residual life ; reliability analysis

## Area rainfall variation tendency in the Yangtze river basin and its influence on runoff of the main stream

CHEN Zheng-hong YANG hong-qing REN Guo-yu SHEN Hu-ying

(1. Wuhan Storm Research Institute , China Meteorological Bureau , Wuhan 430074 ; 2. National Climate Center , Beijing 100081 , China ; 3. Hydrology Bureau , Changjiang Water Resources Commission , Wuhan 430010)

**Abstract :** According to the rainfall data of 109 meteorological stations in 42 years from 1960 to 2001 and discharge data of Yichang and Datong hydrological stations (respectively as upstream and basin - wide control stations) in corresponding periods , the average annual , seasonal and monthly area rainfalls were computed and the discharge variation tendency , discharge - rainfall correlativeness and influence of rainfall on discharge were analyzed , it was discovered that : the basin - wide area rainfalls in winter and summer significantly increase but decrease significantly in autumn and increase slightly for the annual basin - wide rainfall , mainly occurring in January , June and September ; the upstream area rainfalls in autumn significantly decrease and increase slightly in summer and winter and no change for annual upstream area rainfall , mainly occurring in January and September ; the average winter , summer and annual discharges at Datong station increase significantly and no change for average autumn discharges , mainly occurring in January - to - March , July , August ; the average autumn discharge at Yichang station increase significantly and average winter and summer discharges increase slightly and no change for average annual discharge , mainly occurring in January , February and October ; the basin - wide and upstream area rainfalls have positive relation with corresponding discharges , especially for average annual , spring , summer , mainly occurring in January - to - August for basin - wide area and in March - to - November for upstream area ; the correlativeness of monthly area rainfall and next monthly runoff of basin - wide in all months of a year and upstream area in the periods of January - to - March and October , December are stronger than the rainfall - discharge correlativeness of corresponding periods , which means that influence of rainfall on runoff possesses some lagging effect in time - spatial.

**Key words :** area rainfall ; discharge ; correlative analysis ; time - spatial difference ; hydrological analysis ; the upstream of the Yangtze river

## Summarization of design method of stepped chute spill way

CHEN Li-hong XIONG Yao-xiang YIN Ya-min

(College of Water Conservancy , Hydropower and Construction , Yunnan Agriculture University , Kunming 650201 , China)

**Abstract :** Stepped chute spillways have greatly attracted the engineering circles ' attention for their remarkable effects of aeration and energy dissipation. Based on extensive experimental studies , hydraulic computation methods are put forward for the design of the stepped discharge chute and the stilling basin formed by lowering apron. The design of the stepped discharge chute includes 3 respects : determining the chute 's inclination angle , step height , step width and side wall height ; computing the hydrodynamic pressures on steps ; determining cavitation erosion prevention measures. Although a lot of experimental studies were conducted on stepped spillways , systematic computation methods for designing stepped spillways have not been reported. Researches on systematic computation methods for stepped spillways are of significance.

**Key words :** stepped chute spillway ; spillway design ; sliding flow ; falldown flow