

水阳江洪峰与强降水

吴有训¹ 程光宇² 李敬义¹ 郑光明¹
包明木¹ 李来根¹ 潘荣山¹ 王周青¹

(1. 安徽省宣城地区气象局, 242000 2. 安徽省宣城地区水电局)

提 要

用 1964~1999 年水阳江水位和雨量资料, 分析水阳江水位、面雨量变化规律和洪峰出现特征。结果表明, 6 月平均面雨量为 241.5mm, 7、8 月平均面雨量分别为 186.5mm、155.7mm。宣城出现 13 次超警戒水位过程; 新河庄出现 25 次超警戒水位过程, 且连续超警戒水位日数长。洪峰出现前一周为连阴雨天气, 一周平均面雨量为 164.5mm。季内日面雨量存在 60 天周期变化现象, 新河庄日平均水位存在 60~120 天周期变化; 1999 年宣城日平均水位的小波分析结果为 60 天周期变化, 与新河庄日平均水位功率谱分析结果一致。

关键词: 水阳江 面雨量 水位变化 小波分析 谱分析

引 言

水阳江源于天目山北麓绩溪县龙从, 流经绩溪、宁国、宣城、江苏高淳, 于当涂县太平口注入长江; 河道走势近南北向, 全长 253km, 是长江一级支流。由于水阳江流域地理条件复杂, 支流众多, 河网交织, 干流沿岸湖泊星罗棋布; 水利设施薄弱, 行、蓄洪能力差, 一旦连降暴雨, 江水上涨, 泛滥成灾。如 1999 年的特大洪水, 宣城地区 90 个圩口溃破, 全区受灾耕地 $10.88 \times 10^4 \text{hm}^2$, 有 30.28 万人被洪水围困, 直接经济损失达 51.95 亿元。因此, 分析水阳江的水位与降水的气候变化规律、强降水与洪峰之间的关系, 对洪水的预测具有重要的意义。

1 资料和方法

用安徽省水利厅出版的《中华人民共和国水文年鉴》长江流域水文资料, 取水阳江新河庄站和宣城站 1964~1999 年各年的 5~9 月逐日平均水位; 新河庄上游 24 个站 1964~1999 年各年的 6~8 月逐日降水资料。

将新河庄上游的 24 个站点构成 34 个三角形, 将某三角形面积和区域面积之比作为该三角形的权重, 将该三角形三个顶点的雨

量平均值作为该三角形的雨量代表值计算面雨量^[1], 即

$$P_A = \frac{1}{A}(F_1 P_1 + F_2 P_2 + \dots + F_n P_n) \quad (1)$$

其中 F_i 为某三角形的面积, A 为区域总面积, P_i 为某三角形的雨量代表值。

设日面雨量为 $x_1(t)$, 日平均水位为 $x_2(t)$, 且 $x_1(t)$ 与 $x_2(t)$ 是两个经过标准化了的随机过程, 称 $x_2(t)$ 落后于 $x_1(t)$ τ 时刻的交叉相关函数为^[2]

$$r_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_1(t) x_2(t + \tau) dt \quad (2)$$

它的大小表征 $x_2(t)$ 落后 τ ($\tau > 0$) 时刻的相关关系密切程度。反过来, $x_1(t)$ 落后 $x_2(t)$ τ 个时刻的交叉相关函数为

$$r_{21}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_2(t) x_1(t + \tau) dt \quad (3)$$

协谱可表示为

$$p_{12}(\omega) = \int_0^{+\infty} [r_{12}(\tau) + r_{21}(\tau)] \cos \omega \tau d\tau \quad (4)$$

其中 $\omega = 2\pi/T$ 。只要式(2)中被积函数换成两个相同的随机过程, 通过式(4)的计算得

$x_1(t)$ 或 $x_2(t)$ 的功率谱。

小波变换^[3]实质上是一种数据平滑过程,因而也是一种过滤。在形式上类似傅立叶变换,只不过基底函数不是指数函数而改用小波基底函数。由小波分析得到时间序列在任一时刻的频率特征及在时间-频率上的变化特征。

2 面雨量的气候特征

统计1964~1999年每年6~8月逐日降水资料,面雨量连续最长日数为31天,出现在1997年6月23日~7月23日(即日面雨量 $\geq 0.1\text{mm}$);过程最大面雨量为660.3mm,出现在1983年6月19日~7月17日;1999年6月20日~7月1日总面雨量为543.0mm,位居第二。6月平均面雨量为241.5mm,7、8月平均面雨量分别为186.5mm、155.7mm。从表1可见,6月份大雨以上量级的强降水日数较7、8月份明显偏多,7、8月份的小雨日数比6月份多,各月的中雨日数相差不大。表2中6、7月份的日最大面雨量是在梅雨环流形势下产生的^[4],1990年8月31日受台风袭击,日面雨量为

119.9mm。

表1 1964~1999年日面雨量各量级总日数月分布

	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨	特大暴雨
6月	399	134	81	36	3	0
7月	559	140	49	18	2	0
8月	589	125	47	7	1	0

表2 历年各月日最大面雨量及日期

	6月	7月	8月
面雨量/mm	159.0	129.5	119.9
日期(日/年)	13/1984	4/1983	31/1990

3 新河庄和宣城水位时间演变特征

统计36年5~9月逐日水位资料,新河庄有500天超过警戒水位;日平均水位为8.92m,方差为2.19m;最高水位为14.47m,出现在1999年7月2日,最低水位为5.85m,出现在1978年9月9日(表3)。宣城只有19天超警戒水位,比新河庄出现超警戒水位次数少,且超警戒水位的持续日数短;日平均水位为10.52m,方差为0.92m;最高水位17.48m,出现在1999年6月30日,最低水位为5.82m,出现在1978年9月8日(见表3)。

表3 宣城和新河庄各月最高(低)日平均水位

月份	宣城				新河庄			
	最低水位/m	日期(日/年)	最高水位/m	日期(日/年)	最低水位/m	日期(日/年)	最高水位/m	日期(日/年)
5	9.63	31/1997	15.89	16/1973	6.03	30/1996	11.57	10/1977
6	9.16	27/1981	17.48	30/1999	6.06	25/1966	14.09	30/1999
7	9.14	16/1978	17.23	1/1999	6.77	27/1972	14.47	2/1999
8	7.21	29/1978	15.54	31/1980	5.93	17/1971	12.45	31/1980
9	5.82	8/1978	17.05	3/1984	5.85	9/1978	12.43	1/1980

新河庄与宣城水位时间演变规律基本一致。5~9月季内水位变化受降水制约,约在6月10日到7月20日时段内,受梅雨降水影响,为高水位期;另外,在8月下旬到9月初,受台风降水影响,有两次水位峰值(见图1)。宣城13次超警戒水位过程中有12次新河庄同时超警戒水位。宣城水位变化曲线反映了山区河流特点,河道宽浅,比降大,河水暴涨暴落,日平均水位方差小。新河庄水位变化曲线反映了平原河流特点,河道深窄,比

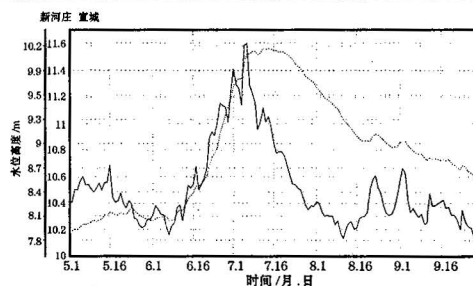


图1 新河庄(虚线)和宣城(实线)5~9月逐日平均水位变化曲线

降小,日水位变化曲线平滑,日平均水位方差大,出梅以后还受长江水位顶托作用,水位缓慢下降。

4 洪峰与面雨量

新河庄和宣城的警戒水位分别为11.0m、15.5m。水位序列中,连续超警戒水位的一段称超警戒水位过程,这段的天数称连续超警戒水位日数,在这个过程中,峰值称洪峰,在同一超警戒水位过程中,若为双峰或多峰现象,则取一主峰作为洪峰。宣城出现13次超警戒水位过程,最长连续超警戒水位日数为5天;新河庄出现25次超警戒水位过程,最长连续超警戒水位日数为93天(见表4)。

分析新河庄1964~1999年6~8月的20次超警戒水位过程,出现洪峰前的一周时间内为连阴雨天气,雨日占91%;一周平均面雨量为164.5mm,一周最大面雨量为403.9mm(出现在1999年6月26日~7月2日),一周最小面雨量为62.6mm(出现在1998年7月28日~8月3日);一周内至少有一天日面雨量在25.0mm以上,洪峰出现的当天除有一天面雨量为20.0mm外,一般为小雨或无雨,即在一次较大降雨结束后才出现洪峰。洪峰的出现还与一周前的水位有关;1998年8月3日出现的洪峰受长江水位顶托、江水逆流影响,一周面雨量仅62.6mm也出现了洪峰。

取洪峰出现前一周内,第二天日平均水位减去前一天的日平均水位,称日平均水位增量;用120个样本计算得日平均水位增量与前一天的日面雨量的相关系数为0.63。图2为日平均水位增量与日面雨量点聚图,图中斜线为一元线性回归线,回归方程

$$y = 0.0451 + 0.0084x \quad (5)$$

式(5)中 x 为前一天的日面雨量, \hat{y} 为预报量(第二天的日平均水位增量)。

表4 宣城和新河庄洪峰水位/m统计表

宣城			新河庄		
洪峰水位	日期	连续超警戒水位日数	洪峰水位	日期	连续超警戒水位日数
15.72	1969.7.6	1	11.19	1969.7.6	1
15.86	1970.7.14	1	11.08	1969.7.9	3
15.89	1973.5.16	1	11.55	1969.7.17	17
15.54	1980.8.31	1	11.77	1970.7.16	11
16.19	1983.6.30	1	11.41	1973.6.25	10
16.26	1983.7.5	2	11.03	1974.8.1	1
17.01	1984.6.14	2	11.77	1975.7.6	15
17.05	1984.9.3	1	11.57	1977.5.10	10
16.12	1991.7.6	1	11.36	1977.7.2	8
15.58	1995.6.23	1	12.45	1980.8.31	28
15.83	1995.6.25	1	13.25	1983.7.7	44
16.75	1996.7.1	1	12.96	1984.6.15	19
17.48	1999.6.30	5	11.07	1984.7.4	3
			11.84	1984.9.3	5
			11.31	1987.7.9	4
			11.84	1989.7.10	9
			11.22	1989.8.7	4
			11.30	1989.9.17	4
			11.98	1991.6.18	9
			13.05	1991.7.8	24
			12.12	1993.8.23	14
			13.13	1995.7.7	33
			13.25	1996.7.17	48
			12.33	1998.8.3	83
			14.47	1999.7.2	93

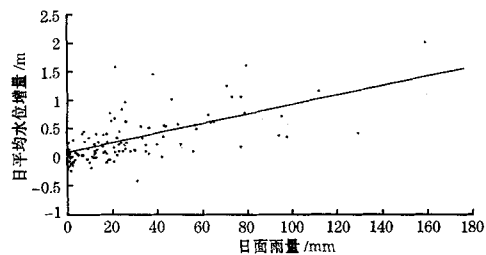


图2 日平均水位增量与日面雨量点聚图

5 水位与面雨量的统计分析

5.1 功率谱和协谱分析

我们制作了水阳江流域历年5~9月逐日面雨量功率谱估计值(图略)。功率谱最大值分布在60天周期上有13年,最大值分布在15~40天周期上分别为2~5年,另外在12天周期上有2年,9.2天周期上有1年,表明水阳江流域季内面雨量主要存在60天周期低频变化。1983年面雨量功率谱估计值为历年最大(最大值在0.11以上),该年梅雨

量为最多年份;最小值小于 0.04 的年份,一般梅雨量特少。图 3 是新河庄历年 5~9 月逐日平均水位功率谱变化,功率谱最大值分布在 120 天和 60 天周期上分别有 19 年、16 年;1972 年最大功率谱值为 0.2,与其他年份比较为最小,分布在 30 天周期上。日平均水位功率谱最大值比日面雨量功率谱最大值明显偏高,表明日水位变化周期性显著;另一方面水位的变化周期长,短周期变化的降水只

影响到地表,水位的变化中已过滤掉了这一部分。水阳江流域日面雨量与新河庄日平均水位历年 5~9 月逐日协谱变化(图略)反映两个时间函数在各频率上的同位相相关程度。在波数 5~15 段协谱值接近零;在波数 0~4 波,1968~1969 年、1986 年、1988 年、1990 年和 1992 年存在同位相负相关,其余年份两要素基本上为同位相正相关关系;1989 年两要素无明显同位相相关关系。

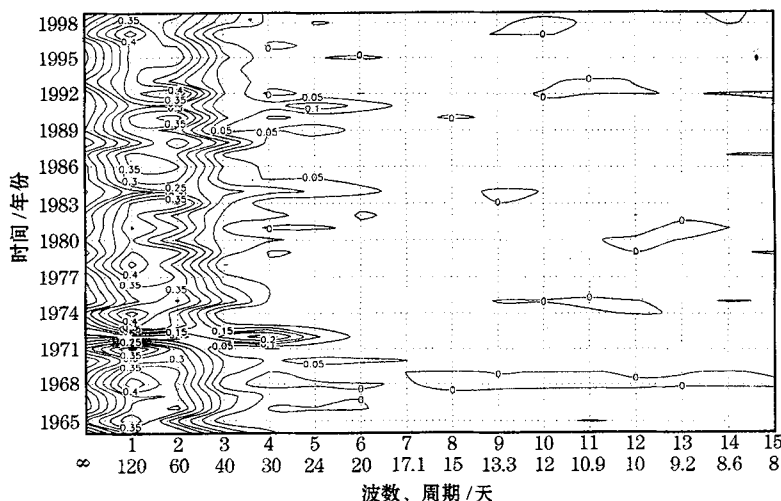


图 3 新河庄历年 5~9 月逐日平均水位功率谱图

5.2 Morlet 小波分析

1999 年是 36 个样本中水位最高且持续时间最长的大水年,对宣城 1999 年 5~9 月份逐日平均降水作小波分析,时间滞后取 80 天(图 4)。从图 4 可见,50~80 天周期上,有 5 个中心区,中心对应纵坐标周期随横坐标日期的增大递减,表明存在准 60 天左右的周期变化。1999 年新河庄日平均水位功率谱最大值在 60 天周期附近(图略),这与小波分析得出的结果一致;即水阳江上游宣城与下游新河庄日平均水位有相同的变化周期。

6 结论与讨论

(1)研究水阳江流域源头至新河庄段的面雨量,对预报新河庄、宣城的洪峰预报具有重要意义,因为它们的水位变化主要是受这一地区的降水制约,日平均水位增量与日面雨量的相关系数为 0.63。

(2)6、7 月份日最大面雨量是在梅雨环流形势下产生的,8 月份日最大面雨量则是受台风影响出现的,因此在洪峰预报时,应重点考虑这两种天气形势。

(3)宣城位于新河庄上游,两地水位时间演变特征基本一致。主要差异是梅雨结束后,受长江水位顶托作用,新河庄水位下降缓慢;由于这种原因,超警戒水位持续时间也长;另外新河庄日水位变化方差明显大于宣城。

(4)新河庄洪峰出现前一周时间内为连阴雨天气,一周平均面雨量为 164.5mm,且至少有一天日面雨量在 25.0mm 以上,日平均水位增量与日面雨量呈线性关系,这一降水特征可供洪峰预报参考。

(5)谱分析结果表明,季内日面雨量主要存在 60 天的低频变化现象;新河庄日平均水

位存在 120 天和 60 天周期变化。小波分析表明 1999 年 5~9 月宣城日平均水位表现为

60 天变化周期,与新河庄日平均水位功率谱分析结果一致。

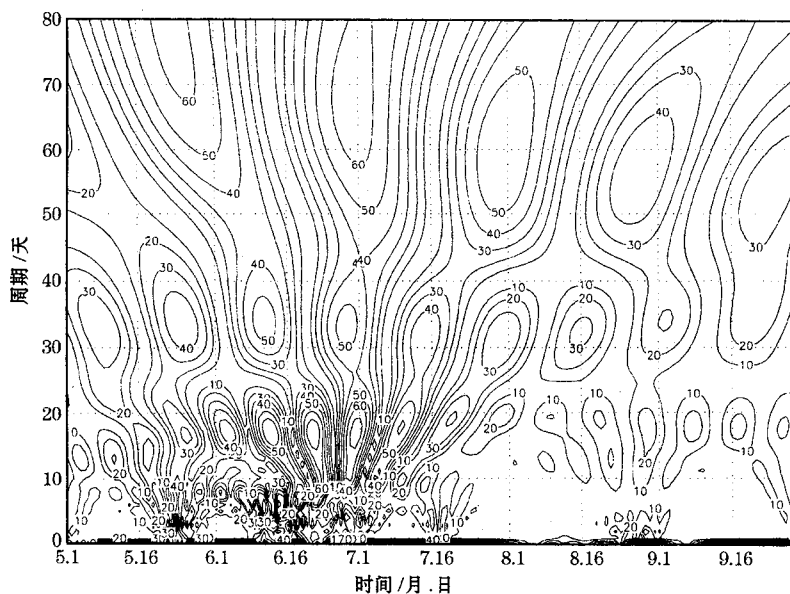


图4 宣城 1999 年 5 月 1 日到 9 月 30 日平均水位 Morlet 小波分析

参考文献

1 R. K. Linslog et al. 工程水文学(刘光文等译). 北京:水利出版社. 1991:18~81.
 2 黄嘉佑等. 气象中的谱分析. 北京:气象出版社. 1984:96~128.
 3 Nimal Gamage and Willim Blumen. Comparative analysis of low-level cold fronts: wavelet, fourier, and empirical orthogonal function decompositions. Monthly Weather Review, 1993, 121:2867-2878.
 4 吴有训等. 皖东南地区暴雨环流形势分型. 气象, 1993, 19(8):53~56.

Flood Peak and Heavy Rainfall in the Shuiyang River

Wu Youxun¹ Cheng Guangyu² Li Jingyi¹ Zheng Guangming¹
 Bao Mingmu¹ Li Laigen¹ Pan Rongshan¹ Wang Zhouqing¹

(1. Xuancheng Meteorological Office, Anhui Province, 242000
 2. Water and Electricity Bureau of Xuancheng)

Abstract

The climatic characteristics of area precipitation and flood peak in Shuiyang River are analyzed using the water level and precipitation data from 1964 to 1999. The results show that in June, July and August, the average area rainfall are 241.5mm, 186.5mm and 155.7mm, respectively. There are 13 and 25 times of over alerting water level in Xuancheng and in Xinhuzhuang of Anhui Province, respectively. There is weekly continuous rain days before the flood peak, the weekly area precipitation is 164.5mm. Moreover, the results also show that the area precipitation within a season undergoes 60-day quasi-period, and the water level 60-and 120-day quasi-period in Xinhuzhuang. And, by using the wavelet analysis, it is found that the mean daily water level in Xuancheng in 1999 undergoes 60-day quasi-period. It is consistent with that in Xinhuzhuang by using the spectral analysis.

Key Words: area precipitation water level Wavelet analysis spectral analysis