

宜昌中小洪水及致洪降雨特征分析

王继竹¹ 郭英莲² 田刚¹ 彭涛²

(1 武汉中心气象台, 武汉 430074; 2 中国气象局武汉暴雨研究所暴雨监测预警湖北省重点实验室, 武汉 430205)

摘要: 普查1981—2012年宜昌站中小洪水个例, 统计发现宜昌站中小洪水20世纪80年代偏多, 90年代明显偏少, 2000年以后有所增加, 洪水出现时间呈现最早洪水时间逐渐提前而最晚洪水时间则逐渐推迟趋势; 长江上游及分流域致洪面雨量呈现同样的周期性变换规律, 长江上游中小洪水6—9月占97%, 且各月面雨量特点不同, 6月自西向东“阶梯”增加, 7月分布较均匀, 8月和9月面雨量分布则差异较大; 长江上游致洪面雨量流域间差异小, 但洪水过程强降雨分布及组合方式较复杂, 掌握长江上游致洪面雨量分布特征可为三峡水库中小洪水调度提供科学依据。

关键词: 宜昌, 中小洪水, 致洪降雨, 面雨量

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.04.009

Analysis of Medium-Light Floods in Yichang and the Flood Rainfall Characteristics

Wang Jizhu¹, Guo Yinglian², Tian Gang¹, Peng Tao¹

(1 Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074 2 Hubei Key Laboratory for Heavy Rain Monitoring and Warning Research, Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan 430205)

Abstract: In this article, we census the light and medium flood events in Yichang for 1981-2012, and found that the flood events presented a regular changes: excessive in 1980s, decreased in 1990s and increased in 2000s. The earliest flood case become earlier and earlier, but the last one become latter and latter. The rainfall of floods in the flooding areas appeared as same periodic variation. The floods account to 97% in June to September, in which the flood events, increased from west to east in June, uniform-distributed in July, and obviously different in August and September. The rainfall of floods in the flooding area occurred slightly differences, while the distribution and of heavy rainfall was more complex. Mastering the distribution characteristics of flood rainfall in the upper reaches of the Yangtze River may provide a scientific basis for the dispatch of small and medium flood in the Three Gorges Reservoir.

Keywords: Yichang, light and medium flood, flood rainfall, rainfall in flooding area

0 引言

宜昌水文站是长江上游洪水出口唯一的控制站, 上游地区暴雨频发, 洪水肆虐。1994年三峡大坝在宜昌站上游的三斗坪镇正式动工兴建, 2003年6月开始蓄水发电, 于2009年全部完工。目前三峡水库是治理和开发长江上游水资源关键性骨干工程, 具有防洪、发电、航运、供水及生态等巨大综合效益。三峡水库中小洪水调度是以大洪水来临之前迅速将水库水位预泄至145 m为条件, 由防汛部门根据防洪形势、实际来水以及预测预报情况进行机动控制, 其目的是减轻三峡下游的防汛、航运压力, 同时可抬高水库水位发

挥兴利效益^[1]。相对于大洪水巨大的破坏性和广泛的影响力, 中小洪水对于防洪调度具有重要的意义, 同时也是日常调度的工作重点。中小洪水调度的好坏, 直接影响到随后演变而成的大洪水的灾害程度^[2-3]。

目前对于长江上游宜昌洪水研究主要以大洪水为主, 如袁瑞英^[4]对长江上游历史大洪水进行了普查研究, 结果表明历史上曾经发生了5次特大洪水; 张世民等^[5]、肖中等^[6]、陈金荣等^[7]对近年来长江上游多次洪水过程及预报经验进行分析; 何明琼等^[8]分析了长江上游面雨量与致洪关系, 利用1988—1998年长江上游各流域面降雨量作因子建立统计回归方程, 预测长江宜昌站洪峰。但对于长江上游宜昌中小洪水的关注较少, 本研究将着重研究1981—2012年间宜昌中小洪水致洪雨量的分布特征, 以期得出对三峡水库日常调度具有重要意义, 为实现水库的科学、合理、有序调度提供科学依据。

收稿日期: 2017年12月13日; 修回日期: 2018年5月31日

第一作者: 王继竹(1982—), Email: 18814863@qq.com

通信作者: 郭英莲(1983—), Email: zhuxiayao@mail.google.com

资助信息: 湖北省自然科学基金(2018CFB706); 武汉暴雨研究所科研业务经费(IHRKYW201807); 中国气象局山洪地质灾害防治气象保障工程项目

1 概念和方法

1.1 宜昌中小洪的定义

洪水通常指由暴雨、急骤融冰化雪、风暴潮等自然因素引起的江河湖海水量迅速增加或水位迅猛上涨的水流现象，其特征为水体水位的突发性上涨。水文学上，通常用洪峰流量、洪水水位等特征来表征同一区域洪水的大小，为了便于对不同集水面积的河流或者河段洪水进行横向比较，于是引入洪水重现期 T （单位：a）作为划分区域洪水等级的标准^[9]。

洪水重现期 T 等于洪水频率 P （%）的倒数（ $1/P$ ）。洪水频率是指洪峰水位、洪峰流量等洪水特征值出现的累计频率。

本文使用1981—2012年宜昌站日均流量，其中2003年6月三峡水库开始蓄水，宜昌站日均流量以三峡入库日均流量代替。通过绘制宜昌站年最大日平均流量频率曲线（图1）来确定宜昌中小洪水标准。如图1所示宜昌站年最大日平均流量的变差系数 $Cv=0.19$ ，偏态系数 $Cs=0.38$ ，与经验频率计算的结果进行比较后，理论分布曲线和实测数据符合较理想。4年一遇日平均流量为55000 m³/s，20年一遇日平均流量为66900 m³/s，50年一遇日平均流量为71700 m³/s，百年一遇日平均流量为75100 m³/s，千年一遇日平均流量为85000 m³/s，万年一遇日平均流量为93800 m³/s。

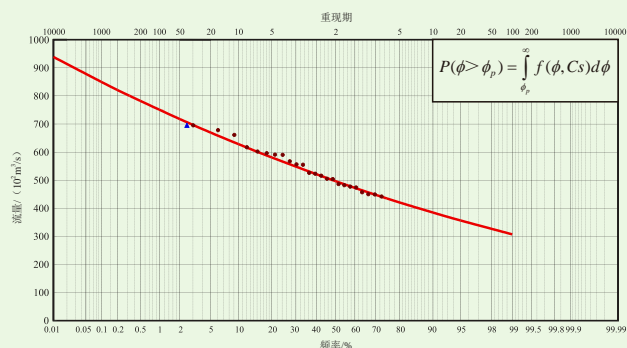


图1 宜昌站年最大日平均流量频率曲线（圆点为实测数据，曲线为理论频率）

Fig. 1 Annual maximum daily average flow rate curve for Yichang Station

中小洪水与大洪水可以用防洪工程体系保护对象的洪水标准来加以区分。标准以下的洪水为小洪水，标准洪水或其左右的洪水为中等洪水，标准以上的洪水为大洪水^[1]。根据宜昌站年最大日均流量频率分布，本文以4年一遇日平均流量为中小洪水标准，选定洪峰前最近的流量最低点为该次洪水过程的起涨时间，洪峰流量与起始流量差不小于5000 m³/s，且规定洪峰的最小流量不小于3000 m³/s。综上，本研究定义

长江上游中小洪水筛选条件如下：

- 1) 流量增幅条件： $Q_{mi} - Q_{m(i-1)} \geq 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ ；
- 2) 流量峰值条件： $30000 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q_{mi} < 55000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

其中 Q_{mi} 为一次中小洪峰， $Q_{m(i-1)}$ 为洪水起始流量。

1.2 致洪面雨量的定义

面雨量是描述整个区域（流域）内单位面积上的平均降水量的物理量，能较客观地反映整个区域的降水情况，是洪水预报中重要的参数。常见计算方法有等值线法、数值法、算术平均法等。本文面雨量计算采用算数平均法。

致洪面雨量是指导致宜昌站发生洪水的上游面雨量，本文中分为长江上游致洪面雨量和分流域致洪面雨量。长江上游致洪面雨量是指宜昌一次中小洪水过程中（起涨时间—洪峰时间）长江上游日面雨量。分流域致洪面雨量是指中小洪水过程中长江上游各个分流域日面雨量。由于每个分流域洪水到达宜昌的时间不同，即洪水传播时间不同，每个流域致洪面雨量要根据宜昌站洪水的起涨时间、洪峰时间及洪水传播时间（表1、表2）来确定，同时受三峡大坝蓄水的影响，以2013年6月10日为界，洪水传播时间略有不同。长江上游分流域致洪面雨量具体时间如下表所示， Ra_1, \dots, Ra_n 为日面雨量序列，灰色填充表示该日面雨量对洪水过程无贡献，不计入过程致洪面雨量。

表1 长江上游分流域致洪面雨量统计时间表
Table 1 Statistical timetable for area rainfall in the upper reaches of the Yangtze River

宜昌站	三峡蓄水前					
	金沙江	岷沱江	嘉陵江	乌江	宜宾—重庆	重庆—宜昌
起涨时间	Ra_1	Ra_1				
	Ra_2	Ra_2	Ra_1			
	Ra_3	Ra_3	Ra_2	Ra_1	Ra_1	Ra_1
			Ra_3	Ra_2	Ra_2	Ra_2
				Ra_3	Ra_3	Ra_3
	Ra_n	Ra_n				
洪峰时间			Ra_n	Ra_n	Ra_n	Ra_n
宜昌站	三峡蓄水后					
	金沙江	岷沱江	嘉陵江	乌江	宜宾—重庆	重庆—宜昌
起涨时间	Ra_1	Ra_1				
	Ra_2	Ra_2	Ra_1	Ra_1	Ra_1	Ra_1
	Ra_3	Ra_3	Ra_2	Ra_2	Ra_2	Ra_2
			Ra_3	Ra_3	Ra_3	Ra_3
	Ra_n	Ra_n				
洪峰时间			Ra_n	Ra_n	Ra_n	Ra_n

表2 长江上游主要干支流控制站至宜昌洪水传播时间
Table 2 Flood transmission time from main branch control stations in the upper Yangtze River to Yichang

控制站/流域	传播至宜昌时间(蓄水前)	传播至宜昌时间(蓄水后)
屏山/金沙江	69 h (3 d)	46 h (2 d)
高场/岷江	69 h (3 d)	46 h (2 d)
富顺/沱江	65 h (3 d)	42 h (2 d)
北碚/嘉陵江	41 h (2 d)	18 h (1 d)
寸滩/长江干流	35 h (1 d)	12 h (0 d)
武隆/乌江	35 h (1 d)	12 h (0 d)

注: 蓄水前: 1981—2002年(2003—06—10前), 蓄水后: 2003—2012年(2003—06—10后)。

2 宜昌中小洪水特征分析

2.1 宜昌中小洪水次数

在1981—2012年32年的资料系列中, 宜昌站共出现128次中小洪水过程, 平均每年出现4.0次。32年中小洪水次数整体呈“多—少—多”的分布特征(图2), 其中20世纪80年代偏多(平均4.7次), 90年代明显偏少(平均3.3次), 2000年以后有所增加(平均4.0次)。

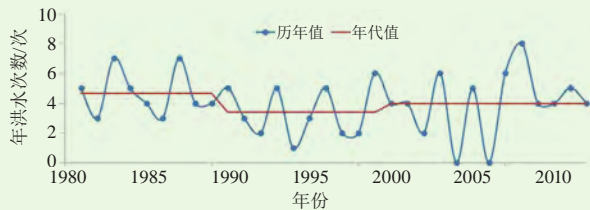


图2 宜昌站中小洪水次数年分布

Fig. 2 Inter-annual variation of light and medium floods number at Yichang Station

1981—2012年宜昌站有8年出现了4次中小洪水过程, 7年出现了5次中小洪水过程; 年中小洪水过程次数最多达8次, 出现在2008年; 2004、2006年没有出现中小洪水过程(表3)。

表3 宜昌站1981—2012年中小洪水次数年分布
Table 3 Distribution of annual number of light and medium floods at Yichang Station for 1981 to 2012

年洪水次数	出现年份
0次	2004, 2006
1次	1994
2次	1992, 1997, 1998, 2002
3次	1982, 1986, 1991, 1995
4次	1985, 1988, 1989, 2000, 2001, 2009, 2010, 2012
5次	1981, 1984, 1990, 1993, 1996, 2005, 2011
6次	1999, 2003, 2007
7次	1983, 1987
8次	2008

2.2 宜昌中小洪水时间

1981—2012年宜昌中小洪水过程主要集中在6—11月, 其中7月最多为53次, 占总次数的41.41%,

其次是8月为33次占总次数的25.78%, 11月最少仅1次(表4)。

表4 1981—2012年宜昌站中小洪水次数月分布
Table 4 Monthly distribution of light and medium floods at Yichang Station from 1981 to 2012

月份	6月	7月	8月	9月	10月	11月	合计
多年总次数	11	53	33	27	3	1	128
多年平均次数	0.4	1.7	1.1	0.9	0.1	0.0	4.2
所占比例/%	8.59	41.41	25.78	21.09	2.34	0.78	100

宜昌中小洪水洪峰年最早出现时间平均为7月3日, 且每年最早出现时间有逐渐提前的趋势。80年代和90年代初期洪峰最早出现时间年际波动较大, 90年代后期以后波动幅度减小。年最早洪峰出现时间最早为6月18日, 发生于1989和1991年, 最晚为8月1日, 发生于1998年(图3)。

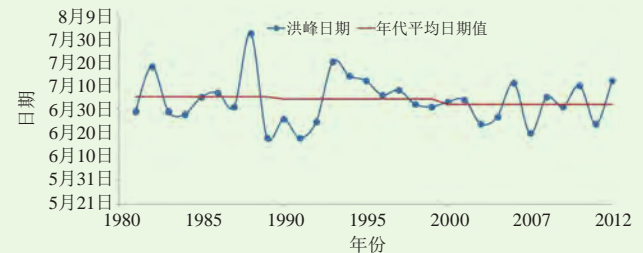


图3 宜昌站年最早中小洪水日期

Fig. 3 Inter-annual variation of the earliest date of light and medium floods at Yichang Station

宜昌中小洪水洪峰年最晚出现时间平均为9月7日, 且每年最晚出现时间有逐渐推迟的趋势。20世纪80年代和2000年之后洪峰最晚出现时间较晚, 20世纪90年代洪峰最晚出现时间较早。多年最晚洪峰出现时间为11月3日, 发生于2008年(图4)。

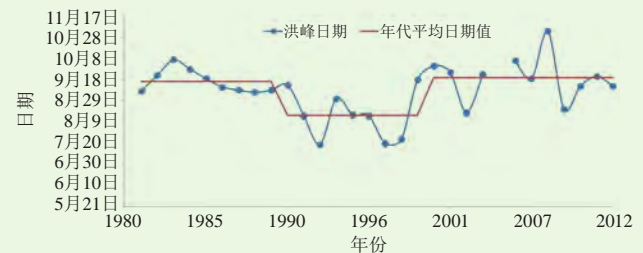


图4 宜昌站年最晚中小洪水日期

Fig. 4 Inter-annual variation of the last date of light and medium flood at Yichang Station

3 宜昌中小洪水致洪面雨量特征分析

宜昌以上通称为长江上游, 分为金沙江、岷沱江、嘉陵江、乌江、宜宾—重庆、重庆—宜昌六大流域(图5), 长江上游致洪面雨量研究以六大流域日面雨量(每日08时—次日08时)为分析对象, 强降雨标准为流域日面雨量 $Ra \geq 20 \text{ mm}^{[10-11]}$, 由于金沙江流

域面积较大（为岷沱江流域面积的2.8倍），地形地势复杂，本研究定义金沙江流域 $Ra \geq 15$ mm为流域性强降水，主要分析洪水个例面雨量时空分布特征，以期掌握引发中小洪水降雨分布规律；由于流域内气象站点分布较均匀，因而面雨量计算方法采用算数平均法^[12-13]，所选站点均为国家级气象观测站点。

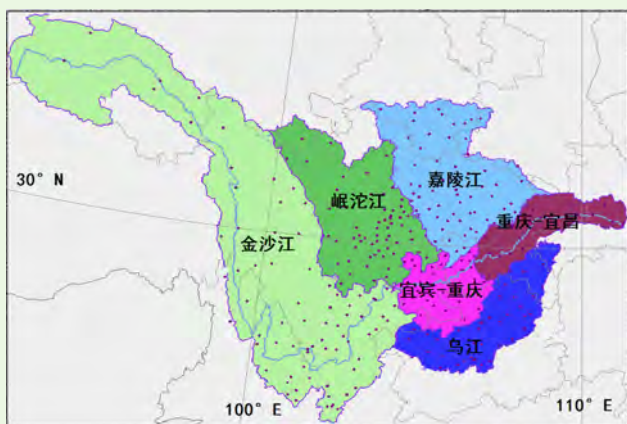


图5 长江上游流域分区图

Fig. 5 Zoning map of branches in the upper reaches of the Yangtze River

3.1 分析方法

长江上游中小洪水致洪面雨量分析除了通过极值分析、平均分析等方法外，还通过箱线图分析的方法分析中小洪水个例面雨量的分布特征。

箱线图又称为盒须图、盒式图或箱形图，因形状如箱子而得名。1977年由美国著名统计学家John Tukey发明^[14]，是将某些中央趋势的衡量统计量与分散度的衡量统计量利用图形表现出来的一种图示法。箱线图是数据分布特征直观简洁的表示方法，将标识数据总体特征的最小值、下四分位数、中位数、上四分位数和最大值展现在图中，以反映属性数据的集中性、分散性、偏态性和异常极端性等的分布隋况^[15]。

箱线图与描述统计中的最大值、上四分位数、中位数、下四分位数、最小值这5个统计量密切相关，这些数值给出集中性、分散性、极端数据的分布情况^[16]。中位数反映了该组数据向中心分布的集中性，越向中位数集中，表示这组数据集中的程度或水平越高。四分位距：四分位距为第1个四分位数和第3个四分位数的差， $IQR=Q1-Q3$ ，也就是观测值（箱子）的范围。四分位距则反映了数据的分散趋势。如果中位数值近似位于四分位距箱体的中间，可以看出数据具有明显的对称性；中位数不位于四分位距箱体的中间，那么数据是偏态的。

长江上游中小洪水涉及洪水共128次，其中每个个例的降雨时间长短、降雨区间各不相同，降雨数据

分布较离散，使用箱线图可以较直观的了解中小洪水过程中降雨的分布情况，直观反映降雨数据分布的中心位置和散布范围。

3.2 致洪面雨量特征

长江上游中小洪水过程致洪面雨量与宜昌站流量增量的雨洪关系如图6，雨洪关系线性回归系数 $R^2=0.28$ ，说明长江上游中小洪水与上游面雨量存在一定的线性关系，同时还受到其他因素，如上游水利设施调蓄等影响；宜昌站平均流量增量为 $17000 \text{ m}^3/\text{s}$ ，最大增量为 $38000 \text{ m}^3/\text{s}$ ，长江上游致洪面雨量平均为 56 mm ，最大为 139 mm 。

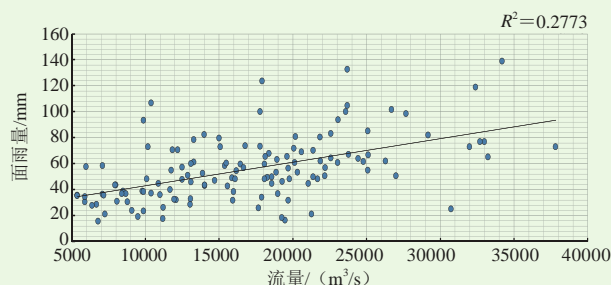


图6 宜昌站中小洪水流量增量—致洪面雨量散点分布

Fig. 6 The scatter diagram between the flood flow and the flooding area rainfall for the light and medium floods at the Yichang Station

3.2.1 致洪面雨量时间分布

3.2.1.1 致洪面雨量年分布

1980—2012年长江上游致洪面雨量年分布（图7），长江上游致洪面雨量呈现一定周期性变化规律，1991年为面雨量极大值，在此之前面雨量变化不明显，波动周期为 $1\sim 2 \text{ a}$ ，峰值面雨量为 78 mm （1995年），且逐渐变小，进入21世纪，峰值接近多年平均值（ 61 mm ），谷值在1991年后均稳定为 40 mm 左右。

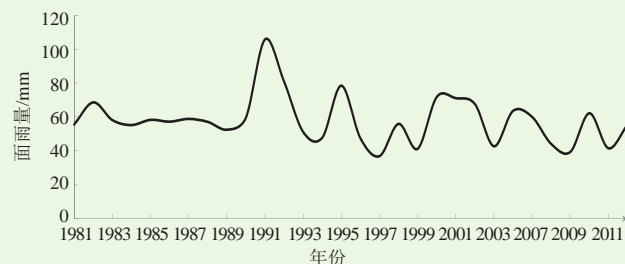


图7 长江上游致洪面雨量年分布图

Fig. 7 Inter-annual variation of the flooding area rainfall in the upper reaches of the Yangtze River

1980—2012年长江上游分流域致洪面雨量年分布（图8），同样表现为周期性变化规律，且与长江上游面雨量年分布有很好的相关性（除重庆—宜昌相关系数 0.55 外，其余5个流域相关系数均达 0.75 ），长江上游分流域多年平均面雨量分布差别较小（表5），

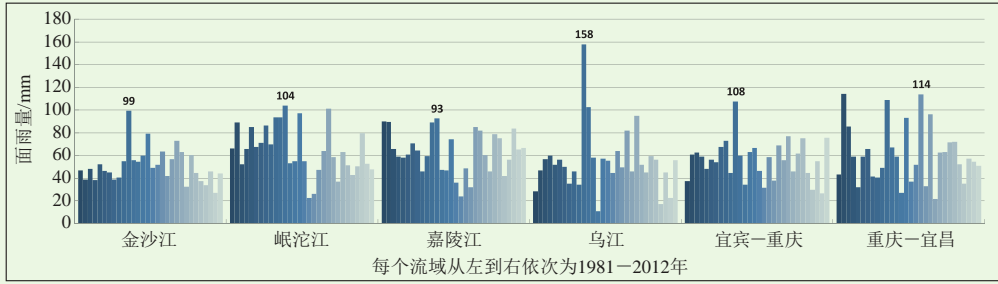


图8 长江上游分流域致洪面雨量年分布

Fig. 8 Diagrams of inter-annual flooding area rainfall for each branch valleys in the upper reaches of the Yangtze River

其中岷沱江最大为65 mm，金沙江最小为51 mm；从分流域年平均面雨量箱线图（图9）分布看，所有流域面雨量分布偏态性不强，其中乌江致洪面雨量年际波动（落差）最大，四分位距最小，分布最集中，说明乌江流域致洪面雨量分布较集中（45~58 mm），但要关注过程极端强降雨过程，1991年6月30日—7月9日，乌江连续8 d出现强降雨，乌江大洪水与上游来水叠加，形成宜昌洪峰流量37400 m³/s；岷沱江、嘉陵江、重庆—宜昌致洪面雨量四分位距较大，分布较离散；从分流域面雨量极大值看，极大值出现年较集中，分别为1982年（嘉陵江、宜宾—重庆），1991年（金沙江、岷沱江、乌江、重庆—宜昌），其中1991年最大洪峰流量50400 m³/s，过程流量增量34200 m³/s。

表5 分流域致洪面雨量年平均及极值统计表

Table 5 Annual average and extreme values of flooding area rainfall for each branch valley in the upper reaches of the Yangtze River

流域名称	金沙江	岷沱江	嘉陵江	乌江	宜宾—重庆	重庆—宜昌
年平均/mm	51	65	63	55	56	61
最大值/mm 及对应年份	99 1991年	104 1992年	93 1992年	158 1991年	108 1991年	114 1998年
最小值/mm	27	23	24	11	27	22

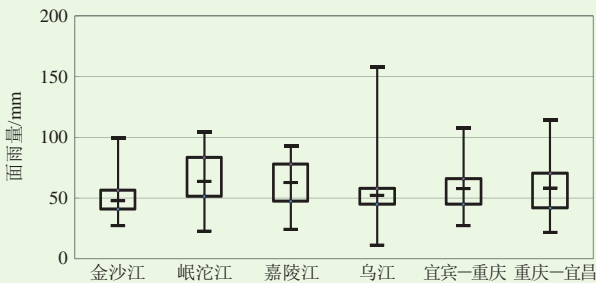


图9 长江上游分流域年平均致洪面雨量箱线图

Fig. 9 Box-plots of annual averaged flooding area rainfall for each branch valley in the upper reaches of the Yangtze River

3.2.1.2 致洪面雨量月分布

长江上游中小洪水6—9月占97%，其中7月占41%，8月占26%，9月占21%，6月占9%，以下重点

分析6—9月分流域面雨量分布特征（图10）。6月分流域面雨量自西向东呈“阶梯”增加，重庆—宜昌最大，平均一次洪水过程面雨量为83 mm，其次为乌江69 mm，金沙江最小为45 mm；7月分流域面雨量分布较均匀（平均54 mm）；8月面雨量岷沱江最大85 mm，其次为嘉陵江67 mm，其他流域为50 mm左右；9月面雨量嘉陵江最大65 mm，其次为岷沱江59 mm，乌江最小为4 mm（表6）。

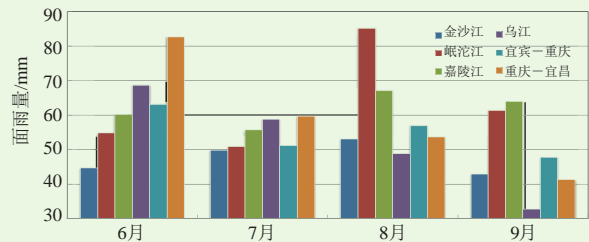


图10 长江上游分流域致洪面雨量月分布

Fig. 10 Monthly distribution of flood area rainfall in the upper reaches of the Yangtze River based on Divided River Valleys

从分流域6—9月逐月面雨量箱线图（图11）来看，金沙江中位数分布稳定在40 mm左右，7月、8月分布较离散，且呈现负偏态，6月为正偏态，9月分布较集中；岷沱江中位数以8月、6月、7月、9月顺序依次递减，8月分布最分散，8月和9月呈现负偏态，6月正偏态；嘉陵江中位数7月较小为45 mm，其他3个月为60 mm左右，8月和9月分布较分散，6月和7月呈现负偏态；乌江中位数以从6月到9月依次递减，7月分布最分散，且有极大值出现；宜宾—重庆中位数以6月、8月、7月、9月顺序依次递减，6月呈现正偏态，7—9月分布较分散；重庆—宜昌中位数以6月、8月、7月、9月顺序依次递减，6月呈现负偏态。

3.2.2 致洪面雨量空间分布

长江上游中小洪水空间分布主要从致洪面雨量流域分布、多流域强降雨组合分布特征等方面分析。

3.2.2.1 致洪面雨量分流域分布

从长江上游中小洪水过程平均面雨量分布（图12）

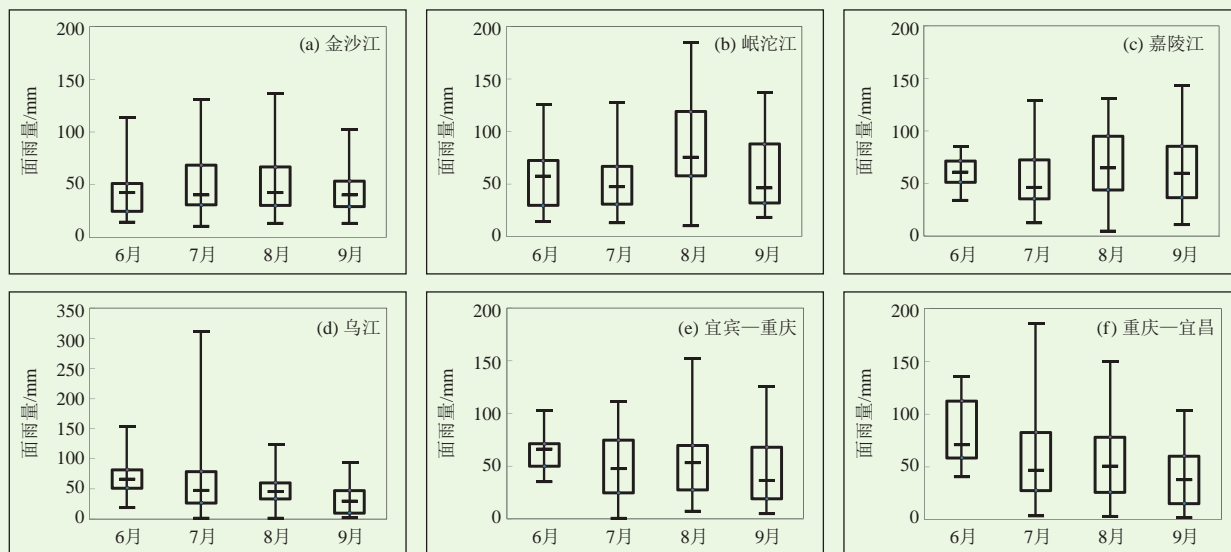


图11 长江上游分流域致洪月面雨量箱线图

Fig. 11 Box-plots of monthly flooding area rainfall for each branch valley and June to September in the upper reaches of the Yangtze River

表6 长江上游中小洪水分流域面雨量月统计表

Table 6 Monthly averaged and extreme values of the area rainfall of light and medium floods for each branch valley in the upper reaches of the Yangtze Rive

月份	面雨量/mm	金沙江	岷沱江	嘉陵江	乌江	宜宾-重庆	重庆-宜昌
6月	最大值	113	126	85	152	103	135
	平均值	45	55	60	69	63	83
	最小值	14	14	33	18	35	40
7月	最大值	131	127	129	310	111	185
	平均值	50	51	56	59	51	60
	最小值	10	13	12	0	0	3
8月	最大值	136	185	130	122	152	149
	平均值	53	85	67	49	57	54
	最小值	13	10	4	0	7	2
9月	最大值	102	137	143	103	125	126
	平均值	44	59	65	38	51	46
	最小值	13	18	10	1	5	1

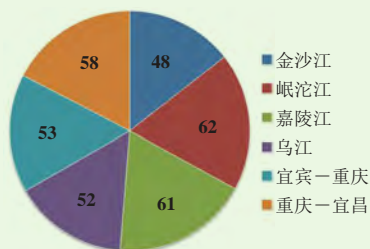


图12 长江上游分流域过程平均面雨量分布 (单位: mm)
Fig. 12 Distribution of averaged area rainfall for the whole flooding process in each branch valley of the upper Yangtze River (unit: mm)

看, 各个流域降雨量分布较均匀 (平均57 mm), 其中金沙江流域偏少9 mm, 乌江偏少5 mm, 宜宾-重庆偏少4 mm, 岷沱江偏多5 mm, 嘉陵江偏多4 mm,

重庆-宜昌偏多1 mm。

3.2.2.2 分流域强降雨组合分布

分流域强降雨标准为日面雨量 $Ra \geq 20$ mm, 由于金沙江流域面积较大 (为岷沱江流域面积的2.8倍), 本研究定义金沙江流域 $Ra \geq 15$ mm为流域性强降水标准。

统计每次中小洪水过程分流域强降雨日数, 长江上游中小洪水过程强降雨平均为5 d, 除金沙江无强降雨外, 其余平均为1 d; 分流域过程强降雨日数极大值, 乌江最长为8 d, 岷沱江和宜宾-重庆最短为3 d。

统计每次中小洪水过程强降雨发生流域数 (图13), 28% (35次) 的中小洪水过程有4个和2个流域发生强降雨, 其次为2个流域发生强降雨, 这3种组合方式合计占74%, 5个流域都发生强降雨的过程有12次, 占9.4%, 全流域强降雨过程有2次, 占1.6%, 值得特别关注。从强降雨日流域分布看, 重庆-宜昌最多, 占22%, 其次为岷沱江和嘉陵江, 均占19%。

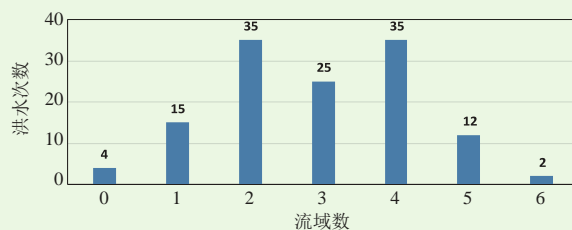


图13 长江上游中小洪水强降雨流域数分布
Fig. 13 Diagram of flood-number on branch-number of heavy rainfall for light and medium floods in the upper Yangtze River

从以上的统计分析看, 分流域强降雨组合方式较繁杂、规律性不强, 为了进一步研究中小洪水遭遇组

合方式，将7个流域按照地理位置分为上、中、下三段：金沙江为上段，岷沱江、嘉陵江、宜宾—重庆为中段，乌江、重庆—宜昌为下段。

统计6—11月长江上游中小洪水强降雨分段组合方式共8种（表7），其中长江上游中、下段同时发生强降雨的中小洪水次数最多，占比47%，其中7月占20%，8月占12%；长江上游三段同时发生强降雨的中小洪水次数为22次，占比17%。同时，从组合方式看，6月、10月、11月由于降雨量偏少，暴雨发生概率较低，因而中小洪水发生的组合方式较少，主要以中、下段和三段两种方式为主，而又以中、下段居多；7—9月为长江上游的主汛期，暴雨频发，因而中小洪水发生的组合方式较多。

表7 长江上游中小洪水强降雨分段组合统计表

Table 7 Flood-number of heavy rainfall in each month of June to November in divided regions of the upper Yangtze River for light and medium floods

组合方式	6月	7月	8月	9月	10月	11月	合计
上、中、下	3	8	4	6	0	1	22
上、中	0	5	3	0	0	0	8
中、下	8	26	15	8	3	0	60
上、下	0	0	0	0	0	0	0
上	0	1	1	1	0	0	3
中	0	7	6	9	0	0	22
下	0	4	3	2	0	0	9
无	0	2	1	1	0	0	4

4 结论

1) 1981—2012年宜昌站中小洪水次数整体呈“多—少—多”的分布特征，20世纪80年代偏多，90年代明显偏少，2000年以后有所增加；年最早出现时间有逐渐提前的趋势，20世纪80年代和90年代初期洪峰最早出现时间年际波动较大，20世纪90年代后期以后波动幅度减小；年最晚出现时间有逐渐推迟的趋势。

2) 长江上游及分流域致洪面雨量年际变化呈现

同样的周期性变化规律，20世纪以来，波动周期为1~2 a，致洪面雨量多年平均值为50~60 mm，分流域间差别较小，且偏态性不强，其中乌江致洪面雨量年际波动最大，应关注该流域连续性极端强降雨过程。

3) 长江上游中小洪水6—9月最多，占比97%，且各月面雨量特点不同：6月自西向东呈“阶梯”增加，7月分布较均匀，8月和9月面雨量分布则差异较大。

4) 长江上游致洪面雨量流域间差异小，但洪水过程强降雨分布及组合方式较复杂，以4个和2个流域强降雨组合方式最多，其次为3个流域组合强降雨，全流域性强降雨仅有2次过程。

参考文献

- [1] 田友, 杨学军. 海河流域中小洪水调度探析. 海河水利, 2003, (2): 4-5.
- [2] 周新春, 闵要武, 等. 大型水库中小洪水实时预报调度技术在三峡水库中的应用. 水文, 2011, 31(S1): 180-184.
- [3] 陈桂亚, 郭生练. 水库汛期中小洪水动态调度方法与实践. 水电发电学报, 2012, 31(4): 22-27.
- [4] 袁瑞英. 长江上游千余年来特大洪水的初步探讨. 四川大学学报: 工程科学版, 2001, 33(6): 22-25.
- [5] 张世民, 王小凤, 等. 长江上游寸滩站2010年“7.19”洪水预报分析. 人民长江, 2011, 42(6): 25-30.
- [6] 肖中, 赵东, 曹磊. 长江上游“10.7”洪水及寸滩站水位流量关系分析. 人民长江, 2010, 41(21): 39-41.
- [7] 陈金荣, 曾德聪. 1981年7月长江上游特大暴雨洪水预报. 长江志季刊, 2000, (3): 437-440.
- [8] 何明琼, 熊传辉, 尤利民. 清江流域、长江上游面雨量与致洪关系分析. 四川气象, 2000, 20(3): 49-53.
- [9] 许武成, 王腊春. 长江干流洪峰等级和洪量等级的划分探讨. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2008, 39(2): 278-282.
- [10] 王仁乔, 李才媛, 王丽, 等. 六大流域强降雨水面雨量气候特征分析. 气象, 2003, 29(7): 38-42.
- [11] 李才媛, 王仁乔, 王丽, 等. 长江上游流域短期强降雨水面雨量预报系统. 气象, 2003, 29(3): 34-37.
- [12] 徐晶, 林建, 姚学祥, 等. 七大江河流域面雨量计算方法及应用. 气象, 2001, 27(11): 13-16.
- [13] 熊秋芬, 何志学. 三峡区间面雨量预报方法及其试验效果. 气象, 2000, 26(11): 19-23.
- [14] Magri M H, Solari A. The SCI journal citation reports: a potential tool for studying journals. Scientometrics, 1996, 35: 93-117.
- [15] 王远飞, 何洪林. 空间数据分析方法. 北京: 科学出版社, 2007: 34-39.
- [16] 朱兵. 箱线图及其在JCR网络版中的应用. 农业图书情报学刊, 2011, 23(8): 15-18.