

# 金沙江干流与雅砻江洪水遭遇规律研究

张新田, 邵 骏, 邴建平, 邓鹏鑫

(长江水利委员会水文局, 湖北 武汉 430010)

**摘 要:** 由于环流形势、天气影响系统和水汽输送等共同之处, 金沙江和雅砻江所出现的大暴雨过程多具有同期性, 加上产汇流在时间和空间上的组合, 易形成干支流同期同步的大洪水。采用攀枝花站、桐子林站 1965~2014 年实测水文资料, 分析金沙江与雅砻江的洪水组成及遭遇情况。研究结果表明, 金沙江上中游和雅砻江洪水一般发生在 6~10 月, 尤以 7~9 月最为集中, 金沙江中游和雅砻江年最大洪峰流量在此期间出现的频率达 95% 以上。金沙江中游和雅砻江下游洪水均有涨落平缓、历时长、洪量大的特点, 洪水持续时间约 15d 左右, 攀枝花和雅砻江年最大洪峰遭遇概率达 50% 左右。从金沙江与雅砻江洪水过程遭遇次数和概率上来看, 年最大 3d、7d、15d 洪水过程遭遇的概率分别为 30%、36%、52%, 金沙江与雅砻江 3d 以上洪水过程遭遇概率较高。基于二维 Copula 函数建立的金沙江攀枝花站与雅砻江桐子林站年最大洪峰流量联合分布计算结果可知, 虽然金沙江与雅砻江常遇洪水易发生洪水遭遇, 但两江同时发生稀遇大洪水的概率并不高, 但是当金沙江发生大洪水时, 雅砻江出现较大洪水的概率较高。

**关键词:** 洪水遭遇; Copula 函数; 金沙江; 雅砻江

中图分类号: P333.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2018)04-0029-06

受季风气候影响, 金沙江和雅砻江水汽主要来自孟加拉湾和南海、北部湾<sup>[1]</sup>。现有研究表明, 金沙江和雅砻江大洪水主要由中、大雨量级的大面积、长历时降雨所形成, 其中金沙江中下游及雅砻江下游、支流安宁河是暴雨集中地区, 也是各种历时面雨深最大值出现的地区<sup>[1]</sup>。由于环流形势、天气影响系统和水汽输送等共同之处, 金沙江和雅砻江自有水文实测记录以来所出现的大暴雨过程多具有同期性, 加上产汇流在时间和空间上的有利组合, 易形成干支流同期同步的大洪水。研究金沙江干流与雅砻江洪水遭遇, 分析极端气候条件下洪水变化规律, 对于合理运用雅砻江及金沙江中下游梯级水库群防洪调度、充分发挥各自的防洪效益, 具有重要的意义。本文采用金沙江攀枝花水文站、雅砻江桐子林水文站 1965~2014 年实测洪水资料, 采用统计分析及 Copula 函数研究金沙江与雅砻江的洪水遭遇情况。

## 1 研究区域及数据处理

金沙江和雅砻江暴雨的时空分布极不均匀。金沙江岗拖、雅砻江甘孜以上地区, 地处青藏高原, 海拔较高, 气候严寒, 基本无暴雨发生。金沙江岗拖以下至奔子栏、雅砻江甘孜以下至洼里区间, 受崇山峻岭阻隔, 西南暖湿气流很难到达, 基本属无暴雨区。流域内的暴雨主要发生在金沙江奔子栏、雅砻江洼里以南地区, 该地区高程相对较低, 河谷多南北向, 有利于来自孟加拉湾西南暖湿气流入侵, 年降水量及时段降水量都有较大增加, 汛期时有暴雨发生。暴雨强度和暴雨量由上游向下游逐步增加。金沙江攀枝花河段洪水由上游融雪(冰)水与中游暴雨洪水共同形成。由于流域面积大, 一般降雨历时长, 汛期 6~10 月平均每月雨日达 20d 左右, 造成洪水涨落较平缓, 连续多峰, 峰高大, 一次洪水持续时间最短约 15d 左右, 最长可达 40d

收稿日期: 2017-06-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402201; 2016YFC0400901)

作者简介: 张新田(1962-), 男, 湖北武汉人, 高级工程师, 研究方向为水文学及水资源。E-mail: zhangxt@cjh.com.cn

左右<sup>[2]</sup>。

根据攀枝花站、桐子林站的流量资料分析金沙江与雅砻江的洪水遭遇情况(研究区域示意图见图1)。攀枝花站有1965~2014年的实测流量资料,桐子林站有1999~2014年的实测流量资料,桐子林站1965~1998年流量系列由雅砻江小得石站及安宁河湾滩站考虑洪水传播时间叠加得到。

金沙江与雅砻江两江的洪水传播时间采用长江水利委员会水文局编制的《长江流域洪水预报方案汇编》中成果。金沙江攀枝花站距龙街站116km,洪水传播时间约为9h,雅砻江桐子林站至龙街洪水传播时间约为9h,因此攀枝花站与桐子林之间洪水传播时差按0d考虑。

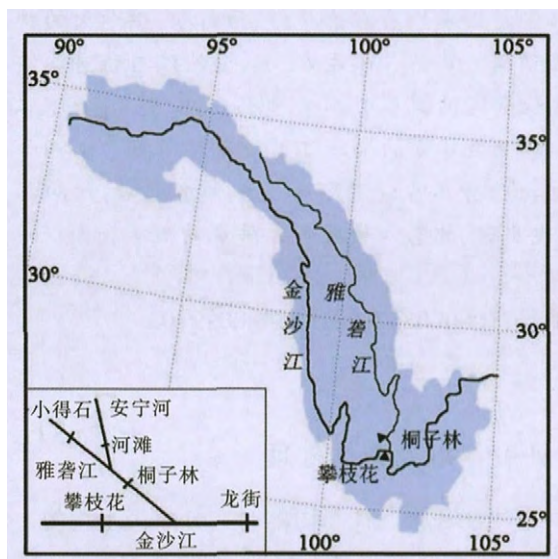


图1 研究区域示意图

Fig.1 The study area

## 2 研究方法概述

对洪水遭遇的研究,多采用统计分析方法。边玮等<sup>[3]</sup>就金沙江和长江中下游洪水的遭遇问题进行了分析和讨论,研究表明金沙江和长江中下游洪水遭遇的可能性很大,而且以15d以上的洪量遭遇最为恶劣。郑静等<sup>[4]</sup>基于金沙江攀枝花站和长江中游螺山、城陵矶、宜昌站的洪量和洪水过程并考虑泄水传播时间及区间来水过程,分析了金沙江中游洪水与长江中下游洪水的遭遇规律。张洪刚等<sup>[5]</sup>探讨了长江上游干支流和中游宜昌-汉口区间洪水遭遇的类型及其概率。熊莹<sup>[6]</sup>分析了金沙江与岷江、长江与岷江、长江与嘉陵江、长江与乌江的洪水遭遇概率和遭遇洪水量级。范可旭等<sup>[7]</sup>研究了乌江洪水与长江三峡洪水遭遇的问题。

郭加力<sup>[8]</sup>等分析了鄱阳湖流域洪水产生的机理和洪水遭遇情况,评价了鄱阳湖洪水遭遇造成的危险程度。

现有研究成果表明,流域的干支流洪水遭遇之间存在着一定的相依关系,洪水遭遇是一个多变量的频率组合问题<sup>[9-11]</sup>。Copula函数由于能够通过边缘分布和相关性结构两部分来构造多维联合分布,使得近年来Copula函数在水文方面的应用成为研究热点<sup>[12]</sup>。Copula函数是定义域为 $[0,1]$ 均匀分布的多维联合分布函数,它将联合分布分为变量的边缘分布和变量间的相关性结构分别处理,而且不要求变量服从同分布,因此可将多个任意形式的边缘分布连接起来,生成一个多变量联合概率分布模型。Favre等<sup>[13]</sup>首先将Copula函数应用于洪水地区组成和洪水遭遇的概率问题,熊立华等<sup>[14]</sup>采用Copula函数构建流域上下两个相邻站点的洪水联合分布,开展了洪水遭遇分析,陈璐等<sup>[15]</sup>利用Archimedean Copula函数,分析长江上游干支流洪水发生时间及量级的遭遇概率。Copula函数相关理论方法详见参考文献<sup>[12]</sup>。

为了定量评价金沙江与雅砻江洪水在不同量级来水条件下的遭遇情况,利用1965~2014年历年最大洪峰流量资料,采用Copula函数建立攀枝花水文站与桐子林水文站最大洪峰流量的联合分布函数,进行量级组合遭遇概率和条件概率分析。

## 3 金沙江与雅砻江洪水遭遇分析

### 3.1 金沙江与雅砻江洪水遭遇规律分析

根据攀枝花水文站和桐子林水文站1965~2014年实测洪峰流量,逐年统计各代表站年最大洪水发生的时间和洪量,然后在考虑洪水传播时间的基础上,分析洪水是否发生遭遇。若两江洪水过程的洪峰同日出生,即为洪峰遭遇;统计最大3d、7d、15d过程,若超过1/2时间重叠,即为洪水过程遭遇,最后统计年份内遭遇概率。

金沙江上中游和雅砻江洪水一般发生在6~10月,尤以7~9月最为集中,金沙江中游和雅砻江年最大洪峰流量在此期间出现的频率为95%以上。金沙江中游干流攀枝花站和雅砻江下游干流桐子林历年年最大流量各月出现频次见表1。

统计金沙江干流攀枝花站和雅砻江桐子林1965~2014年年最大洪峰流量及相应的出现时间,在50年中,攀枝花和雅砻江年最大洪峰出现在同一天的有10年,出现相差一天的有15年。金沙江中游和雅砻江下

表1 攀枝花和桐子林历年最大流量出现频次表  
Table1 The occurrence frequency of the maximum flood peaks at the Panzhihua and Tongzilin stations

项目		6月	7月	8月	9月	10月	系列
攀枝花	次数		14	20	16		1965~2014
	频率/%		28.0	40.0	32.0		
桐子林	次数	1	16	16	16	1	1965~2014
	频率/%	2.0	32.0	32.0	32.0	2.0	

游洪水均有涨落平缓、历时长、洪量大的特点,洪水持续时间约 15d 左右。所以,攀枝花和雅砻江年最大洪峰遭遇概率达 50%左右。

统计 1965~2014 年金沙江与雅砻江洪水过程遭遇次数和概率,见图 2 和表 2。年最大 3d 洪量有 15 年发生了遭遇,占 30%;年最大 7d 洪量有 18 年发生了遭遇,占 36%;年最大 15d 洪量有 26 年发生了遭遇,占 52%。由此可见金沙江与雅砻江 3d 以上洪水过程遭遇概率较高。

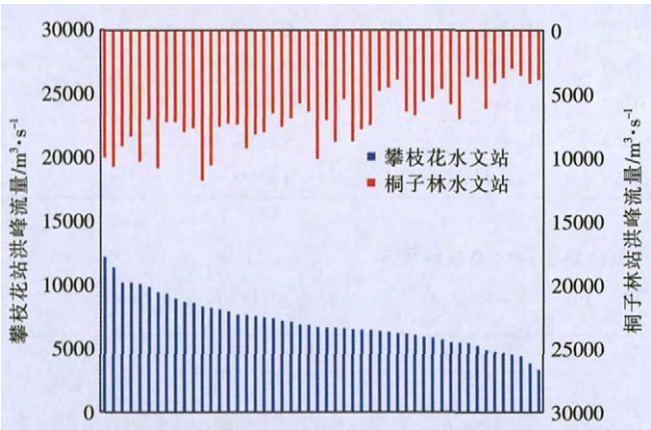


图 2 1965~2014 年攀枝花站、桐子林站年最大洪峰流量遭遇情况  
Fig.2 The maximum peak discharge at the flood coincidence between the Panzhihua and Tongzilin stations during 1965–2014

表2 金沙江与雅砻江洪水过程遭遇次数和概率  
Table2 The frequency and probability of the flood process coincidence of Jinshajiang and Yalongjiang

站名	3d 洪量		7d 洪量		15d 洪量		统计年限
	次数	概率/%	次数	概率/%	次数	概率/%	
攀枝花与桐子林	15	30	18	36	26	52	1965~2014

3.2 金沙江与雅砻江洪水遭遇定量评价

在构建 Copula 函数之前,先要确定变量的边缘分布函数。对于水文变量,国内常采用皮尔逊型分布(P- )作为分布线型,国外则常采用指数分布(EXP)、

广义极值分布(GEV)和对数正态分布(LOGN)等分布线型。为了准确描述金沙江与雅砻江最大洪峰流量所服从的边缘分布,本次分别选取皮尔逊型分布(P- )、指数分布(EXP)、广义极值分布(GEV)和对数正态分布(LOGN)作为边缘概率分布函数,并利用线性矩法对皮尔逊型分布进行参数估计,利用极大似然法对指数分布、广义极值分布和对数正态分布进行参数估计。采用柯尔莫可洛夫-斯米洛夫检验(Kolmogorov-Smirnov 检验)样本理论分布与经验分布的拟合程度,并用最小二乘法(OLS)、均方误差(MSE)和 AIC 准则评价确定出与攀枝花水文站和桐子林水文站数据拟合效果最好的边缘分布。

由检验结果可知(见表 3),对于攀枝花水文站,四种分布拟合差别不大,在 1%显著性水平下,K-S 检验接受域为小于等于临界值 0.244,四种分布线型均通过了 K-S 检验。桐子林水文站则以 P- 型分布拟合最佳。考虑到国内常采用 P- 型作为分布线型,因此,采用 P- 型分布来构建边缘分布。

表3 攀枝花站及桐子林站年最大洪峰分布拟合检验结果  
Table3 The test results of the distribution fitting of the maximum annual flood peaks at the Panzhihua and Tongzilin stations

评价 指标	攀枝花				桐子林			
	P-	Gamma	GEV	LONG	P-	Gamma	GEV	LONG
K-S	0.055	0.058	0.055	0.052	0.071	0.084	0.078	0.104
OLS	0.024	0.023	0.022	0.022	0.031	0.042	0.033	0.050
MSE	4.50 ×10 <sup>-6</sup>	4.35 ×10 <sup>-6</sup>	4.01 ×10 <sup>-6</sup>	3.97 ×10 <sup>-6</sup>	7.67 ×10 <sup>-6</sup>	1.44 ×10 <sup>-5</sup>	8.97 ×10 <sup>-6</sup>	2.07 ×10 <sup>-5</sup>
AIC	-77429	-77644	-78164	-78224	-71688	-67872	-70733	-65660

基于边缘分布函数,采用样本 Kendall 相关系数,计算攀枝花站~桐子林站的二维 Copula 联合分布参数。分析分别选用 Clayton、Frank、Gumbel 和 Gaussian Copula,同样采用最小二乘法(OLS)、均方误差(MSE)和 AIC 准则评价确定出与各站数据拟合效果最好的 Copula 函数,结果如表 4。由检验结果可知,四种 Copula 函数均通过 K-S 检验,依据 OLS、MSE 及 AIC 最小准则,Clayton Copula 在众多组合中综合拟合效果较好,故本次采用 Clayton Copula 进行概率分析。

根据攀枝花站~桐子林站年最大洪峰 Copula 函数,计算特定条件下的联合概率。本次主要考虑同现概率和条件概率。

同现概率是指两个变量同时都超过特定值时事



表4 攀枝花站与桐子林站年最大洪峰  
二维Copula联合分布检验结果

Table4 The test results of the two-dimensional Copula joint distributions of the maximum annual flood peaks at the Panzhihua and Tongzilin stations

评价指标	攀枝花~桐子林			
	Clayton	Frank	Gumbel	Gaussian
K-S	0.121	0.122	0.122	0.121
OLS	0.048	0.053	0.052	0.050
MSE	0.00229	0.00284	0.00272	0.00246
AIC	-302	-291	-293	-298

表5 攀枝花站与桐子林站洪水发生量级组合遭遇同现概率

Table5 The co-occurrence probabilities of the various-magnitude floods at the Panzhihua and Tongzilin stations

站点	重现期/年	设计值 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	桐子林						重现期/年 设计值/m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
			1000	200	100	50	20	10	
			23600	19900	18300	16700	14400	12700	
攀枝花	1000	18000	0.0004	0.0020	0.0040	0.0079	0.0189	0.0349	组合遭遇概率/%
	200	15400	0.0020	0.0101	0.0199	0.0393	0.0939	0.1739	
	100	14200	0.0040	0.0199	0.0396	0.0780	0.1865	0.3459	
	50	13000	0.0079	0.0393	0.0780	0.1538	0.3682	0.6844	
	20	11400	0.0189	0.0939	0.1865	0.3682	0.8851	1.6559	
	10	10100	0.0349	0.1739	0.3459	0.6844	1.6559	3.1299	

表6 攀枝花站与桐子林站洪水发生量级组合遭遇条件概率

Table6 The coincidence condition probabilities of the various-magnitude floods at the Panzhihua and Tongzilin stations

站点	重现期/年	设计值 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	桐子林						重现期/年 设计值/m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
			1000	200	100	50	20	10	
			23600	19900	18300	16700	14400	12700	
攀枝花	1000	18000	0.41	2.02	4.01	7.90	18.87	34.92	金沙江发生洪 水条件概率/%
	200	15400	0.40	2.01	3.99	7.86	18.77	34.77	
	100	14200	0.40	1.99	3.96	7.80	18.65	34.59	
	50	13000	0.40	1.96	3.90	7.69	18.41	34.22	
	20	11400	0.38	1.88	3.73	7.36	17.70	33.12	
	10	10100	0.35	1.74	3.46	6.84	16.56	31.30	

表 5 给出了金沙江与雅砻江发生 1 000、200、100、50、20、10 年一遇情况下的设计洪水值和不同重现期洪水的遭遇概率，并由此可以得到金沙江与雅砻江洪水遭遇的同现概率。金沙江与雅砻江同时遭遇超过 1 000 年一遇洪水的概率为 0.0004%，同时遭遇超过 100 年一遇的概率为 0.0396%，同时遭遇超过 10 年一遇的概率为 3.1299%，低重现期的洪水遭遇比高重现期的洪水遭遇概率大。

件发生的概率。两变量  $X、Y$  的同现概率可定义为：

$$P(X>x,Y>y)=1-u-v+C(u,v)$$

式中： $u、v$  为边缘分布函数； $C(u,v)$  为联合分布函数。

条件概率，可以描述给定单一变量范围，另一变量发生的概率问题。设  $X>x$  时， $Y>y$  的条件概率为：

$$P(Y>y \mid X>x)=\frac{P(Y>y,X>x)}{P(X>x)}=\frac{1-u-v+C(u,v)}{1-u}$$

由此计算攀枝花站~桐子林站年最大洪峰同现概率和条件概率，并绘制等值线图，见表 5、表 6 和图 3、图 4。

表 6 给出了金沙江和雅砻江分别发生 1 000、200、100、50、20、10 年一遇洪水的条件概率。由计算结果可知，金沙江发生 1000 年一遇洪水时，雅砻江发生 1000 年一遇的洪水概率为 0.41%，发生 100 年一遇的洪水概率为 4.01%，发生 10 年一遇洪水概率为 34.92%，低重现期洪水的可能性比高重现期洪水的可能性大。

根据以上计算成果可知，虽然金沙江与雅砻江易发生洪水遭遇，但两江同时发生大洪水的概率并不

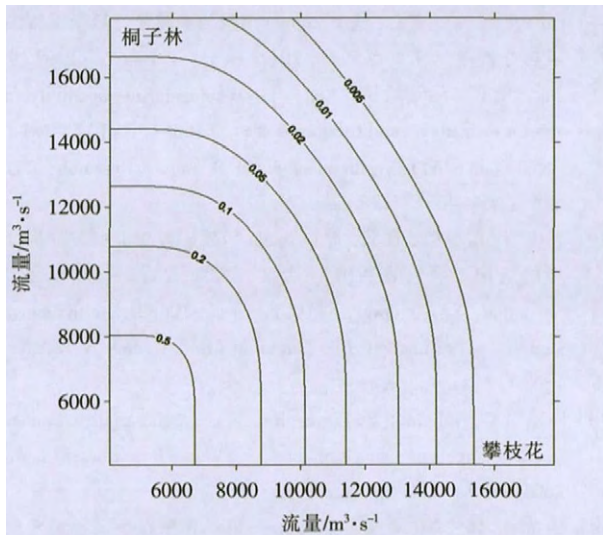


图3 攀枝花站与桐子林站年最大洪峰流量同现概率等值线图

Fig.3 The contour of co-occurrence probabilities of the maximum annual flood peak discharge at the Panzhihua and Tongzilin stations

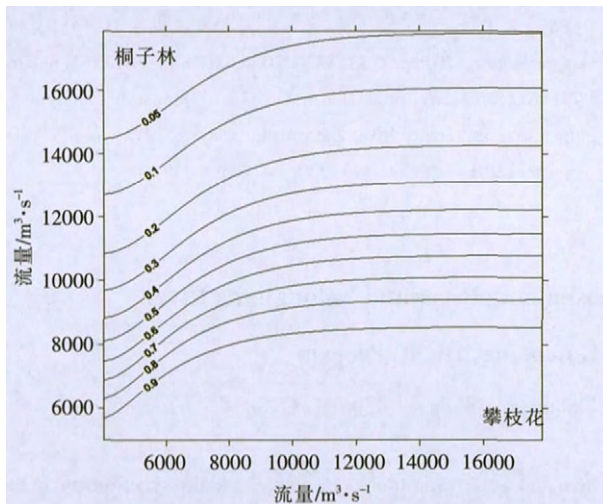


图4 攀枝花站与桐子林站年最大洪峰流量条件概率等值线图

Fig.4 The contour of conditional probabilities of the maximum annual flood peak discharge at the Panzhihua and Tongzilin stations

高,特别是百年以上的稀遇洪水,概率都在0.04%以下。但是,当金沙江发生大洪水时,雅砻江也极有可能出现较大的洪水,比如说,当金沙江发生100年一遇洪水时,雅砻江发生20年一遇洪水概率达到18.65%,发生10年一遇洪水概率达到34.59%,发生几率非常高。

#### 4 结论

采用金沙江攀枝花站、雅砻江桐子林站1965~2014年实测水文资料,分析金沙江与雅砻江的洪水组成及遭遇情况。研究结果表明:

(1)金沙江上中游和雅砻江洪水一般发生在6~10月,尤以7~9月最为集中,金沙江中游和雅砻江年最大洪峰流量在此期间出现的频率达95%以上。在1965~2014年的50年中,攀枝花和雅砻江年最大洪峰出现在同一天的有10年,出现相差一天的有15年。金沙江中游和雅砻江下游洪水均有涨落平缓、历时长、洪量大的特点,洪水持续时间约15d左右,攀枝花和雅砻江年最大洪峰遭遇概率达50%左右。

(2)统计1965~2014年金沙江与雅砻江洪水过程遭遇次数和概率,年最大3d洪量有15年发生了遭遇,占30%;年最大7d洪量有18年发生了遭遇,占36%;年最大15d洪量有26年发生了遭遇,占52%,可见金沙江与雅砻江3d以上洪水过程遭遇概率较高,说明金沙江和雅砻江的汛期最大洪水过程具有一定的同步性。

(3)从统计及概率角度,定量评价了金沙江与雅砻江不同量级洪水遭遇的同现概率及条件概率。虽然金沙江与雅砻江易发生常遇洪水遭遇,但两江同时发生稀遇洪水的概率并不高,但是,当金沙江发生大洪水时,雅砻江也极有可能出现较大的洪水。

#### 参考文献:

- [1] 余娟.金沙江雅砻江流域暴雨特性分析[J].水力发电学报,1989,(1):34-45.(YU Juan. Analysis of rainstorm characteristics of Jinsha River, Yalong River[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 1989, (1): 34-45. (in Chinese))
- [2] 邴建平,范可旭,徐高洪.下游支流顶托影响下的银江水电站坝址处水位流量关系[J].水电能源科学,2014,(8):43-47.(BING Jianping, FAN Kexu, XU Gao hong. Stage-discharge relationship at Yinjiang hydropower dam affected by downstream tributary backwater[J]. Water Resources and Power, 2014, (8): 43-47. (in Chinese))
- [3] 边玮,张新田.金沙江与长江中下游洪水遭遇分析[J].水利水电快报,2002,23(4):8-10.(BIAN Wei, ZHANG Xintian. Analysis of floods coincidence in the middle and lower reaches of the Yangtze river[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2002, 23 (4): 8-10. (in Chinese))
- [4] 郑静,周鹏飞,许银山,等.金沙江中游与长江中下游洪水遭遇规律分析[J].人民长江,2015,46(18):43-47.(ZHEN Jing, ZHOU Pengfei, XU Yinshan, et al. Analysis on flood encountering law of middle Jinsha River and mid-lower Yangtze River[J]. Yangtze River, 2015, 46(18): 43-47. (in Chinese))
- [5] 张洪刚,郭海晋,欧应钧.长江流域洪水地区组成与遭遇规律研究[J].人民长江,2013,44(10):62-65.(ZHANG Honggang, GUO Haijin, OU Yingjun. Research on composition and encounter laws of flood in Yangtze River basin[J]. Yangtze River, 2013, 44(10): 62-65. (in Chinese))
- [6] 熊莹.长江上游干支流洪水组成与遭遇研究[J].人民长江,2012,

- 43(10): 42–45. (XIONG Ying. Research on flood composition and encounter of main streams and tributaries in upper Yangtze River [J]. Yangtze River, 2012, 43(10): 42–45. (in Chinese))
- [7] 范可旭, 徐长江. 乌江洪水与长江三峡洪水遭遇研究 [J]. 水文, 2010, 30(4): 63–65. (FAN Kexu, XU Changjiang. Research on meeting of floods from Wujiang River and Three Gorges [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30(4): 63–65. (in Chinese))
- [8] 郭家力, 郭生练, 徐高洪, 等. 鄱阳湖流域洪水遭遇规律和危险度初步研究[J]. 水文, 2011, 31(2): 1–5. (GUO Jiali, GUO Shenglian, XU GaoHong, et al. Preliminary study on flood combination rules and hazards in the Poyang Lake basin [J]. Journal of China Hydrology, 2011, 31(2): 1–5. (in Chinese))
- [9] 关帅, 林颖妍, 查悉妮, 等. 基于 Copula 函数的韩江流域干支流洪水遭遇分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2015, 54(5): 130–137. (GUAN Shuai, LIN Yingyan, ZHA Xini, et al. Copula function-based flood coincidence probability analysis for mainstream and tributary of the Hanjiang River basin[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2015, 54(5): 130–137. (in Chinese))
- [10] 甘富万, 韦吉华, 刘欣, 等. 基于 Copula 函数的郁江与西江干流洪水遭遇概率[J]. 武汉大学学报(工学版), 2016, 49(3): 341–346. (GAN Fuwan, WEI Jihua, LIU Xin, et al. Flood encounter probability of Yujiang River and main stream of Xijiang River based on Copula function[J]. Journal of Wuhan University (Engineering), 2016, 49(3): 341–346. (in Chinese))
- [11] 冉啟香, 彭畅, 凌旋. 基于 Copula 函数的嘉陵江流域干支流洪水遭遇分析[J]. 水资源研究, 2017, 6(5): 459–467. (RAN Qixiang, PENG Chang, LING Xuan. Flood coincidence probability analysis for mainstream and tributaries of the Jialing River basin based on Copula function[J]. Journal of Water Resources Research, 2017, 6(5): 459–467. (in Chinese))
- [12] 郭生练, 闫宝伟, 肖义, 等. Copula 函数在多变量水文分析计算中的应用及研究进展[J]. 水文, 2008, 28(3): 1–7. (GUO Shenglian, YAN Baowei, XIAO Yi, et al. Multivariate hydrological analysis and estimation[J]. Journal of China Hydrology, 2008, 28(3): 1–7. (in Chinese))
- [13] Favre A C, Adlouni S E, Perreault L, et al. Multivariate hydrological frequency analysis using Copulas[J]. Water Resources Research, 2004, 40(1): 290–294.
- [14] 熊立华, 郭生练, 肖义, 等. Copula 联结函数在多变量水文频率分析中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005, 38(6): 16–19. (XIONG Lihua, GUO Shenglian, XIAO Yi, et al. Application of Copulas to multivariate hydrological frequency analysis[J]. Journal of Wuhan University(Engineering), 2005, 38(6): 16–19. (in Chinese))
- [15] 陈璐, 郭生练, 张洪刚, 等. 长江上游干支流洪水遭遇分析[J]. 水科学进展, 2011, 22(3): 323–330. (CHEN Lu, GUO Shenglian, ZHANG Honggang, et al. Flood coincidence probability analysis for the upstream Yangtze River and its tributaries[J]. Advances in Water Science, 2011, 22(3): 323–330. (in Chinese))

## Flood Coincidence Probability Analysis for Jinshajiang River and Yalongjiang River

ZHANG Xintian, SHAO Jun, BING Jianping, DENG Pengxin

(Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** Due to the similarity of the circulation situation, weather impact system and water vaportransportation lead to the synchronism of the rainstorm processes in the river basins of Jinshajiang and Yalongjiang, and the combination of runoff yield and flow concentration in spatio-temporal movement, it is easy to form great flood in the mainstream and tributaries at the same time. The hydrological data of the Panzhuhua and Tongzilin stations from 1965 to 2014 were used to analyze the flood compositions and coincidence probabilities between the rivers of Jinshajiang and Yalongjiang. The results indicate that the great floods generally occur in the upper and middle reaches of Jinshajiang River and Yalongjiang River from June to October, especially from July to September, during which the occurrence frequency of the maximum annual flood peak discharge is over 95%. The floods are characterized of flat fluctuation, long duration and large water volume in the middle reaches of the Jinshajiang River and the lower reaches of the Yalongjiang River. The floods can last about 15d, and flood peak coincidence probability is about 50%. The probabilities of 3d, 7d and 15d flood process coincidence are respectively 30%, 36% and 52%. Based on the results of peak flood two-dimensional Copula joint distributions between the Panzhuhua and Tongzilin station, great floods generally occur between the Jinshajiang River and Yalongjiang River. However, the probability of great floods in both two rivers is not high at the same time. If it happens a great flood in the Jinshajiang River, there would be a higher probability for a large flood in the Yalong River.

**Key words:** flood coincidence; Copula function; Jinshajiang River; Yalongjiang River