

# 基于 Copula 函数的不同条件下洪水组合对桂平航运枢纽水闸防洪设计水位的影响

胡秀英<sup>1</sup> 廖富权<sup>2</sup> 常萍<sup>1</sup>

1 南宁学院 2 中国能源建设集团广西电力设计研究院有限公司

DOI:10.32629/hwr.v3i6.2197

**[摘要]** 在实际工程中,有些水闸受干、支流洪水的共同作用,其洪水的特征由干、支流洪水等多个方面的特征属性构建而成,其统计规律必须通过干、支流洪水等多个方面的特征属性来进行定义和描述。已有成熟的单变量频率分析方法无法全面准确描述干、支流洪水共同作用下的多变量统计规律以及它们之间的相关关系,必须进行多变量水文频率分析计算。本研究将以桂平航运枢纽为例,用 Copula 函数对在不同条件下洪水组合对水闸防洪设计水位的影响进行分析。

**[关键词]** Copula 函数; 洪水组合; 桂平航运枢纽; 水闸防洪设计

## 引言

桂平航运枢纽位于广西西江流域郁江河段,处于郁江和西江干流汇合口<sup>[1]</sup>,因为洪水倒灌,过流水位受到西江干流和郁江的共同作用,是典型的水闸设计洪水组合确定问题。该枢纽工程根据经验方法确定原防洪设计水位为43.48m。

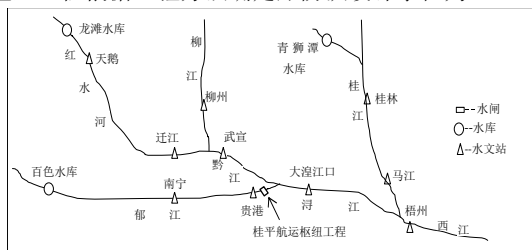


图1 西江水系示意图

目前国内外很多专家学者已经对多变量洪水的组合问题进行深入研究并取得丰硕的成果<sup>[2-4]</sup>,为本研究奠定了理论基础。桂平航运枢纽水闸防洪设计水位问题属于典型的多变量洪水组合问题,在对桂平航运枢纽进行计算的过程中,发现干流洪水对于坝址水位的影响起决定性作用,而支流洪水的影响微小。若改变这一关系,洪水组合是否会发生变化,除上述条件外,还有哪些条件能够造成洪水组合的变化?为研究这些问题,本文拟构建干、支流洪水作用下水闸的分析模型,计算出分析模型中水闸防洪设计水位等特征值,然后通过改变不同的条件,得到新的防洪设计水位等特征值,将两个结果相比较,总结不同条件下符合设计标准的洪水组合变化规律。

## 2 分析模型的构建

### 2.1 Copula函数选择

本文选取在水文领域得到广泛运用,而且结构简单、计算简便,并且已被证明在多变量水文问题中可以有效应用的CClayton Copula函数建立Copula函数模型<sup>[5]</sup>:

$$C(u_1, u_2) = u_1 + u_2 - 1 + [(1 - u_1)^{-\theta} + (1 - u_2)^{-\theta} - 1]^{(-1/\theta)} \quad (2-1)$$

$$\tau = \frac{\theta}{2 + \theta} \quad (2-2)$$

式中:  $\theta \in [-1, 1]$ , Kendall秩相关系数大于0。

### 2.2 洪水特征及边缘函数参数计算

国内大多数流域的洪水水文系列频率曲线都服从P-III型分布函数<sup>[6]</sup>,同时参考其他文献,对于洪水组合共同作用下的水闸干、支流洪水水文系列频率曲线同样服从P-III型分布函数,本文研究对象是广西西江流域的水文序列,所以本研究采用P-III分布函数建立水文序列的边缘函数。

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} \quad (2-3)$$

式中,  $\alpha$  为P-III型分布函数的形状参数,  $\beta$  为尺度参数,  $a_0$  为位置参数,其中  $\alpha, \beta > 0$ 。

在P-III型分布函数的形状参数、尺寸及位置参数确定以后,可以得到总体的水文统计参数  $\bar{x}$ 、 $c_v$ 、 $c_s$ ,其关系式如下:

$$\alpha = \frac{4}{c_s^2}, \quad \beta = \frac{2}{\bar{x} c_v c_s}, \quad a_0 = \bar{x} \left(1 - \frac{2c_v}{c_s}\right) \quad (2-4)$$

### 2.3 Copula函数参数估值

本研究采用相关性指标法来计算概率分布参数值,干流以大湟江口水文站为代表站,支流洪水以贵港水文站为代表站,构建干、支流50年洪峰流量系列以便于确定边缘分布函数相关参数。对上述洪峰流量进行边缘分布函数参数计算,结果如下表所示:

表1 干、支流边缘分布函数参数值

干流			支流		
平均流量	Cv	Cs	平均流量	Cv	Cs
25087	0.35	0.6	10072	0.4	0.8

表2 干、支流边缘分布函数的参数值

干流			支流		
$\alpha$	$\beta$	$a_0$	$\alpha$	$\beta$	$a_0$
11.11	0.0004	-4257.8	6.25	0.0006	0

Kendall秩相关系数  $\tau = 0.5$ 。运用相关性指标法,通过关系系数求得Copula函数间接相关系数  $\theta = 2$ 。

3 符合设计标准的洪水组合变化规律分析

为分析不同条件下洪水组合对桂平航运枢纽水闸防洪设计水位的影响,本研究从洪水相关性、洪峰流量、水闸泄流能力3个方面具体分析洪水组合变化的影响因素及变化规律。

3.1不同洪水相关性条件下的变化规律

受干、支流共同作用影响下的水闸,其干、支流流量必然存在相关性,本文采用Kendall 秩相关系数  $\tau$  来描绘相关性,  $\tau$  越大说明干、支流流量相关性越强,所以可以通过改变  $\tau$  值来研究干、支流洪水相关性对洪水组合的影响。现分别讨论相关系数  $\tau=0.2$ 、 $\tau=0.5$  和  $\tau=0.8$  三种情况下的洪水组合的分布情况,将结果整理后并进行比较。计算结果如下:

表3 不同洪水相关性对应的坝上水位计算结果

方案	各重现期对应的坝上水位(m)			
	2年一遇	10年一遇	50年一遇	100年一遇
$\tau=0.2, \theta=0.25$	36.20	41.88	45.61	47.08
$\tau=0.5, \theta=2$	36.10	42.57	46.64	48.28
$\tau=0.8, \theta=8$	36.12	42.68	46.71	48.39

当改变干、支流洪水的相关性时,符合设计标准的洪水组合也随之改变。基于计算结果说明,干、支流洪水的相关性越强,设计洪水组合流量取值范围越小,重现期越大防洪设计水位越高;反之,相关性越弱,设计洪水组合流量取值范围越大,重现期越小防洪设计水位越高。

3.2不同洪峰流量条件下的变化规律

根据Kendall秩相关系数计算方法可知,当同步改变干、支流洪水系列的洪峰流量时,不会改变干、支流洪水的相关性。因此,根据这一特性,在不改变干、支流洪水相关性情况下,整体改变干、支流洪水系列的洪峰流量大小,对不同洪峰流量条件下洪水组合的变化规律进行分析。现分别改变干、支流洪峰流量,制定两种方案,结果见表4所示:

表4 不同洪峰流量对应的坝上水位计算结果

方案		各重现期对应的坝上水位(m)			
		2年一遇	10年一遇	50年一遇	100年一遇
方案1:增减支流洪峰	减小 3000m³/s	36.52	43.62	47.42	48.67
	正常	36.10	42.57	46.64	48.28
	增加 3000m³/s	36.84	43.12	47.13	48.47
方案二:增减干流洪峰	减小 3000m³/s	34.05	40.90	45.03	46.57
	正常	36.10	42.57	46.64	48.28
	增加 3000m³/s	37.97	44.14	48.18	49.49

基于计算结果表明,在干、支流洪水相关性不变条件下,当同步增加或减小干、支流洪峰流量时,其设计洪水组合的频率不变。增大干流或支流洪峰流量,对应水闸防洪设计水位增大;减小干流或支流洪峰流量时,对应水闸防洪设计水位也随之减小。但是干流流量对坝址水位的影响更大。

3.3不同泄流能力条件下的变化规律

水闸的泄流能力主要由闸门尺寸、类型、数量等结构参数决定,本研究通过改变净溢流宽度对不同泄流能力条件下洪水组合变化规律进行分析,计算结果见表5所示:

表5 不同泄流能力下对应的坝上水位计算结果

方案	各重现期对应的坝上水位(m)			
	2年一遇	10年一遇	50年一遇	100年一遇
200m	36.20	42.66	46.72	48.38
238m	36.10	42.57	46.64	48.28
260m	36.08	42.51	46.55	48.05

水闸泄流能力变化,不会改变设计洪水组合情况,但会改变相应防洪设计水位。基于计算结果表明,当增大水闸泄流能力时,防洪设计水位降低;反之,减小水闸泄流能力时,防洪设计水位上升。

通过分析可知,洪水相关性、洪峰流量和水闸泄流能力3个条件,其中洪水相关性、洪峰流量由洪水特性决定,水闸泄流能力由水闸特性决定,因此干、支流洪水作用下水闸设计洪水组合及防洪水位是由洪水特性、水闸特性共同决定的。

4 结语

本文建立了西江干流黔江段和郁江支流的Copula函数模型,对不同条件下,符合设计标准的洪水组合变化规律进行分析,具体结论如下:

4.1干、支流洪水的相关性大小对防洪设计水位的影响成正比,洪水相关性越大,防洪设计水位越大。

4.2在干、支流洪水相关性不变条件下,改变干、支流洪峰流量,均对水闸防洪设计水位有影响。

4.3当增大水闸泄流能力时,防洪设计水位降低;反之,减小水闸泄流能力时,防洪设计水位上升。

4.4干、支流洪水作用下水闸设计洪水组合及防洪水位是由洪水特性、水闸特性及河道特性共同决定。

【参考文献】

[1]甘富万,胡秀英,刘欣,等.广西境内西江流域洪水特性分析[J].广西大学学报(自然科学版),2015,40(1):244-250.

[2]闫宝伟,郭生练,郭靖,等.基于 Copula 函数的设计洪水地区组成研究[J].水力发电学报,2010,29(6):60-65.

[3]甘富万,黄永俊,熊健,等.基于Copula函数的桂平航运枢纽水闸设计洪水位[J].广西大学学报(自然科学版),2016,41(4):284-290.

[4]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.

[5]韦吉华.基于 Copula 函数的水闸设计洪水[D].广西大学硕士论文,2015,(03):77.

[6]侯芸芸,宋松柏,赵丽娜,等.基于Copula函数的3变量洪水频率研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(2):219-228.

作者简介:  
胡秀英(1990--),女,广西桂林人,汉族,硕士,讲师,从事工作:洪水调度研究。

基金项目:  
南宁学院科研基金资助项目(洪水组合作用下的水闸防洪设计水位研究:2017XJ24)。