

# 利用 AMH Copula 函数分析磨刀门水道潮洪组合风险

邵 檀

(广东省水文局佛山水文分局,广东 佛山 528000)

**[摘要]** 为探讨磨刀门水道潮洪组合风险,借助 AMH Copule 函数,利用竹银水文站及马口水文站的实测资料,构建年高潮位与西江洪水量的联合分布,分析该水道潮洪遭遇组合风险率。结果表明:磨刀门水道的年最高潮位与上游洪水呈现正相关性;高潮位遭遇上游洪水的风险率为洪水量愈大,风险率愈小;重现期大于 30 a 一遇的潮位,遭遇上游洪水的风险率随潮位的增高而有所上升,遭遇上游多年平均洪水量的风险率接近 20%,遭遇上游 10 年一遇洪水量的风险率约为 5%。

**[关键词]** 联合分布;AMH Copule 函数;磨刀门水道;潮洪遭遇;组合风险

**[中图分类号]** TV122.5 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1003-1510(2017)04-0079-03

DOI:10.16014/j.cnki.1003-1510.2017.04.025

磨刀门水道位于珠江三角洲西部,北接西海水道,流经江门市与珠海市,南至珠海市石栏洲附近入海,常年受海潮和上游径流影响:自上而下,磨刀门水道水位受上游洪水的影响作用逐渐减弱,而受河口潮波的影响作用逐渐增强<sup>[1]</sup>,为典型的感潮河段。感潮河段由于受潮汐和上游径流等多因素影响,水文情势较复杂,因此其设计水面线的计算分析需要同时考虑潮位与洪水两个因素<sup>[2]</sup>。

马口水文站位于西江干流水道左岸,是西北江三角洲河网区起点控制站之一,其流量监测断面是西江上游洪水进入河网区的必经之地,也是磨刀门水道上游距离较近的流量控制站之一。竹银站位于磨刀门水道右岸,距离磨刀门约 30 km,该站监测断面是西江来水主要的出海途径。本文利用马口站和竹银站的实测资料和目前较流行的联合分布 Copula 函数,分析磨刀门水道潮洪组合风险。

Copula 联合函数能够用于描述变量之间的各种相关关系,是当前多变量分析中比较流行的一种模型构建方法<sup>[3-4]</sup>。研究表明 Copula 函数的计算过程是可逆的,推求的结果相对可靠,无偏性和有效性等统计性能也较适用于多变量水文计算领域<sup>[5]</sup>。Copula 函数包含许多种,如 Frank Copula, GH Copula, AMH Copula 等,它们各有优缺点和适用方面<sup>[6]</sup>。本文选择 AMH copula 作为此次分析的函数,主要考虑到一是该函数既能够描述正相关的随机变量,也能够描述存在着负相关性的随机变量;二是该函数

构建起来相对简单,仅有的参数  $\theta$  除了采用与经验分布函数拟合率定外,还可以直接用秩相关系数  $\tau$  来估算,便于快速分析;三是该函数有应用先例,也相对适合感潮河段潮洪相关性较弱的组合分析<sup>[8]</sup>。

AMH copula 描述如下:

$$F(x, y) = F(x)F(y)[1 - \theta(1 - F_x(x))(1 - F_y(y))]$$

式中:  $F(x)$ 、 $F(y)$  为对应变量的边缘分布。

## 1 Copula 函数构建潮洪遭遇风险模型

### 1.1 联合分布变量选取

一般认为上游洪水对感潮河段的影响从上游到河口逐渐减弱,河口的海潮对河段的影响则从河口到上游逐渐减弱,对于磨刀门水道,河口的潮位受潮汐的影响要大于受上游洪水的影响<sup>[2]</sup>,那么潮位与上游洪水的联合分布,主要以选取河口某频率的潮位  $Z$  为主,并查找与其对应的上游洪水量  $Q$  来构建。为使问题能够简化,假设马口站的过境洪水传播到磨刀门水道的分流比、传播时间,随洪量的变化是线性的<sup>[6-8]</sup>,选用竹银站的实测年最高潮位  $Z$  出现的时间向前平移 1 天内马口站实测洪水流量  $Q$  来构建联合分布<sup>[8]</sup>:

$$F(Z, Q) = FZ(z)FQ(q)[1 - \theta(1 - FZ(z))(1 - FQ(q))] \quad (1)$$

式中:  $Z$  为竹银站实测潮位;  $Q$  为马口站实测洪水量;  $FZ(z)$ 、 $FQ(q)$  分别为用潮位、流量构建的边缘分布函数,本文选取成熟的 P--III 型分布作为变

**[收稿日期]** 2017-05-31

**[作者简介]** 邵 檀(1987-),男,广东梅县人,广东省水文局佛山水文分局助理工程师,学士,从事水文工作。

量边缘分布函数。

### 1.2 参数的估算与检验

式(1)中 $\theta$ 为函数的唯一参数,其与秩相关系数 $\tau$ 的关系为<sup>[4]</sup>:

$$\tau=(1-2/(3\theta))-(2/3)(1-\theta)^2\ln(1-\theta), \theta \in [-1, 1] \quad (2)$$

在一般应用中,Copula函数的参数的检验和评价最常用的方法是建立相应变量的经验联合分布函数 $K(x, y)$ ,并与理论估计值 $F(x, y)$ 点绘成关系图,当图上的点落在 $45^\circ$ 对角线附近,那么就能够说明联合分布函数 $F(x, y)$ 的参数 $\theta$ 处于合理范围内<sup>[9]</sup>。本文采用秩相关系数 $\tau$ 估算参数 $\theta$ ,并采用理论联合分布率与经验联合分布率相关关系图检验,确保取得合理的参数值。

### 1.3 组合风险模型

对于感潮河段的设计水面线,一般需要分析其特定频率的潮位与不同的上游洪水的组合风险概率,也就是说需要确定潮位 $Z < z$ 时, $Q > q$ 的概率,可用公式描述如下<sup>[8]</sup>:

$$P(Q > q, | Z \leq z) = P(Z \leq z, Q > q) / P(Z \leq z) \\ = (FZ(z) - F(z, q)) / FZ(z) \quad (3)$$

式中: $F(z, q)$ 为构建的联合分布函数, $FZ(z)$ 为潮位 $Z$ 的边缘分布函数。

对于确定的潮位标准, $FZ(z)$ 是确定的,与其相组合的洪水频率越小,其组合风险就越小,反之亦然。对于设计潮位 $Z$ 愈高,潮洪组合风险率愈小,结果就愈偏保守。但实际工作中设计潮位需要综合考虑各方面因素,一般取决于设计潮位的用途与目的。以堤防设计为例,设计值愈高,潮洪遭遇风险率愈低,那么堤防就愈安全,但是相应的建设成本也愈高,所以设计值需综合考虑经济成本和实际防御需要。而以警戒潮位为例,设计值过高,反而不利于及时开展防潮防汛工作,那么设计值则要考虑堤防防御能力和三防单位的工作实际。

## 2 计算分析

### 2.1 边缘分布

以1959-2013年竹银站的年实测最高潮位和对应马口站向前平移1天的实测洪水流量资料分析潮洪遭遇规律,采用P-III型分布别构建 $FZ(z)$ 和 $FQ(q)$ ,边缘分布函数参数则参考测验机构的研究成果及采取目估适线法进行微调。统计参数见表1, $FZ(z)$ 和 $FQ(q)$ 的边缘分布设计值见表2。

表1 Z、Q边缘分布统计参数

参数	$FZ(z)$	$FQ(q)$
Cv	0.14	0.52
Cs	0.59	0.38
Cs/Cv	4.21	0.73
Ex	1.87	20 900

表2 Z、Q边缘分布设计值

变量	均值	设计值						
		T=100 a	T=50 a	T=30 a	T=20 a	T=10 a	T=5 a	T=2 a
Z/m	1.87	2.63	2.53	2.44	2.38	2.25	2.11	1.87
Q/(m <sup>3</sup> /s)	20900	49200	45400	42400	39900	35200	29810	20 900

### 2.2 联合分布参数 $\theta$ 估算与检验

根据式(2),求得参数 $\theta$ 需要先计算变量的kendall秩相关系数 $\tau$ 。

kendall秩相关系数 $\tau$ 是一种无参数的变量相关性统计值,用于度量变量之间联系的强弱。令 $\{(x_i, y_j), \dots, (x_n, y_n)\}$ 为一个由随机变量 $(X, Y)$ 的 $n$ 组观测值组成的样本,其中 $X, Y$ 均为连续的随机变量。用 $C_n^r$ 表示从 $n$ 个样本中取 $r$ 个样本的组合数,则样本中总共包含 $C_n^2$ 项由观测值 $(x_i, y_i)$ 和 $(x_j, y_j)$  ( $i \neq j; i, j = 1, 2, \dots, n$ )构成的组合,且每项组合中的两组观测值要么是一致的,要么是不一致的。将 $C_n^2$ 项组合分为两部分,即 $C_n^2 = a + b$ ,其中 $a$ 表示两组观测值一致的组合的数量, $b$ 表示不一致的组合的数量,秩相关系数定义如下:

$$\tau = (a - b) / C_n^2 \quad (4)$$

若 $\tau > 0$ ,则表明为正相关;若 $\tau < 0$ ,则表明为负相关; $\tau$ 绝对值越大,相关性越强。

根据式(4)和选取的 $z, q$ ,计算的最高潮位和相应洪水流量的Kendall秩相关系数为 $\tau = 0.1335$ ,由此可见最高潮位与相应的洪水流量存在一定的正相关关系,这也符合高潮位和上游洪水多发于台风季和汛期的预期。

经验联合分布又称联合概率分布,可以理解为两个事件同时发生时的概率,事件A为 $X=x$ ,事件B为 $Y=y$ ,即 $P(A \cap B)$ ,也就是两变量 $X, Y$ 的 $P(X=x, Y=y)$ 的概率,具体计算方法不详细描述。根据式(2)与秩相关系数 $\tau$ ,估算得联合分布参数 $\theta = 0.5928$ 。由式(1)计算得出理论联合分布率,再与经验联合分布率绘制散点图(见图1),图1中点据基本落在 $45^\circ$ 对角线上,且相关系数达0.95以上,那么可以认为估算的参数是合理的。

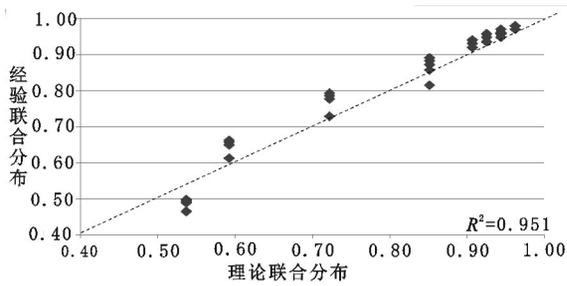


图1 理论联合分布率与经验联合分布率相关关系图

### 2.3 遭遇组合风险率计算

依据估算的参数,由式(3)计算得到磨刀门水道潮洪遭遇风险率,选取部分结果作分析。

表3 磨刀门水道潮洪遭遇组合风险率

最高潮位 /m	重现期 /a	相应流 量/(m <sup>3</sup> /s)	超值概 率/%	相应洪水 于年分布 重现期 /a	超值概 率/%	联合 分布率 $F(z, q)$	组合 风险率 $P(Q > q Z \leq z) / \%$
2.63	100	49 200	1	69	1.45	0.98	0.0 099
2.63	100	45 400	2	31	3.23	0.97	0.020
2.63	100	42 400	3.33	17	5.88	0.96	0.033
2.63	100	39 900	5	11	9.09	0.94	0.050
2.63	100	35 200	10	5	20.00	0.89	0.099
2.63	100	29 810	20	2	50.00	0.79	0.199
2.53	50	49 000	1	69	1.45	0.97	0.0 099
2.53	50	45 000	2	31	3.23	0.96	0.020
2.53	50	41 800	3.33	17	5.88	0.95	0.033
2.53	50	39 200	5	11	9.09	0.93	0.049
2.53	50	34 200	10	5	20.00	0.88	0.099
2.53	50	28 400	20	2	50.00	0.79	0.198
2.44	30	49 000	1	69	1.45	0.96	0.0 098
2.44	30	45 000	2	31	3.23	0.95	0.020
2.44	30	41 800	3.33	17	5.88	0.94	0.033
2.44	30	39 200	5	11	9.09	0.92	0.049
2.44	30	34 200	10	5	20.00	0.87	0.098
2.44	30	28 400	20	2	50.00	0.78	0.197
2.25	10	49 000	1	69	1.45	0.89	0.0 094
2.25	10	45 000	2	31	3.23	0.88	0.019
2.25	10	41 800	3.33	17	5.88	0.87	0.031
2.25	10	39 200	5	11	9.09	0.86	0.047
2.25	10	34 200	10	5	20.00	0.81	0.095
2.25	10	28 400	20	2	50.00	0.73	0.190

### 3 结论

本文利用AMH copula联合分布函数的特性,以竹银站和马口站的资料计算得到了磨刀门水道的潮洪遭遇风险(详见表3),主要结论分析如下:

(1) 磨刀门水道的年最高潮位与上游洪水量呈现一定的正相关性,与年最高潮位多发于汛期的经验相符合;

(2) 特定频率的潮位遭遇上游洪水的风险率为洪水量愈大,风险率愈小;

(3) 重现期大于30 a一遇的潮位,遭遇特定频率的上游洪水的风险率,却随潮位的增高而有微小上升;

(4) 磨刀门水道重现期为100、50、30 a的潮位遭遇上游多年平均洪水量的风险率接近20%,遭遇上游10年一遇洪水量的风险率约为5%。

### 参考文献

[1] 刘增美,余增鑫.磨刀门水道水位与上游洪水及下游潮位的关联性分析[J].人民珠江,2013(4):35-39.  
 [2] 茅泽育,马吉明,余云童,等.感潮河段潮流数值计算[J].海洋工程,2003,21(4):86-90.  
 [3] 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.  
 [4] 肖义,郭生练,刘攀,等.基于Copula函数的设计洪水过程线方法[J].武汉大学学报(工学版),2007,40(4):13-17.  
 [5] 黄锋华,郭磊,邱静.基于Copula函数的东江博罗站年最大洪水联合分布研究[J].广东水利水电,2015(8):22-26.  
 [6] 韦艳华,张世英.Copula理论及其在金融分析上的应用[M].北京:清华大学出版社,2008.  
 [7] 沈汉堃,刘建业,湛晓东,等.珠江出海口门泄洪形势分析[J].人民珠江,2006(2):10-11.  
 [8] 刘增美,陈子燊,李粤安.感潮河段潮洪遭遇组合风险研究[J].中山大学学报(自然科学版),2010,49(2):113-118.  
 [9] 王亚雄,刘祖法,陈俊合.基于Copula函数的飞来峡水库坝址洪水峰量联合分布研究[J].广东省水利水电,2014(5):18-21.

(责任编辑:周群)

(英文摘要下转第89页)

景区的发展驱动力。

## 6 结语

(1) 广西水利风景资源分布广、数量多,以水库型资源为主,近半的资源条件良好,达到申报省级水利风景区的条件;

(2) 调查的部分景区已经成为国家3A、4A级景区,资质优异、条件成熟,可积极申报国家级水利风景区;

(3) 广西水利风景资源丰富,但目前已建成的

水利风景区仅12个(9个国家级、3个省级),开发利用程度不高,具有巨大的开发潜力。

## 参考文献

[1] 广西水利电力勘测设计研究院.广西壮族自治区水利风景资源调查评价[R].南宁:广西水利电力勘测设计研究院,2014.

[2] 广西水利电力勘测设计研究院.广西水利风景区发展总体规划[R].南宁:广西水利电力勘测设计研究院,2014.

(责任编辑:刘征湛)

# Investigation and evaluation of water conservancy scenery resources in Guangxi

ZHUANG Wan-ying

(Guangxi Water and Power Design Institute, Nanning 530023, China)

**Abstract:** Guangxi is characterized by numerous rivers, abundant water, complex and variable topography. Numerous water conservancy projects such as reservoirs, hydropower stations, flood dikes and irrigation zones scatter all over Guangxi like stars in the sky. With rich and high-quality water conservancy scenery resources, Guangxi has great potential in development and utilization since the present development degree is low. Based on investigation of the water conservancy scenery resources in Guangxi, the author analyzed and evaluated 192 potential water conservancy scenic zones in accordance with relevant specifications.

**Key words:** Water conservancy scenery resource; water conservancy scenic zone; investigation; evaluation; Guangxi

(上接第 81 页)

# Modaomen river flood-tide combination risk analysis base on AMH copula function

SHAO Tan

(Foshan Hydrological Bureau of Guangdong, Foshan 528000, China)

**Abstract:** In order to analyze the flood-tide combination risk of Modaomen river, the joint distribution of annual high tide level and flood volume of Xijiang River was set up by AMH copula function, with the measuring records of Zhuyin hydrological station and Makou hydrological station. The results of analysis demonstrate that there exists positive correlation between annual maximum tide level and upstream flood; the combination risk of flood-tide encounter decrease with the increase of upstream flood volume; at the tide level with a recurrence period greater than 30 years, the combination risk of flood-tide encounter increase with the rising of tide level; the risk of encountering mean annual flood volume is close to 20% while the risk of encountering a 10-year recurrence flood is approximately 5%.

**Key words:** Joint distribution; AMH Copula function; Modaomen river; flood-tide encounter; combination risk