

基于联合分布的珠江口设计潮位过程线方法研究

周月英¹, 关 帅²

(1. 中山大学新华学院, 广东 广州 510520; 2. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510630)

摘 要:针对同倍比方法与同频率方法推求设计潮位过程线中的局限性,采用4种边际分布函数对珠江口年最高潮位与年最大潮差序列进行拟合的基础上,选取4种不同的二维 Archimedean Copula 函数建立珠江口年最高潮位与年最大潮差的联合分布,并分析了高潮位重现期与潮位过程同现重现期的线性关系。结果表明:高潮位与潮差的同现重现期总是大于相应边际分布的重现期,并且随着边际分布重现期的增大,同现重现期增幅也越大,说明较高重现期的高潮位与潮差同时发生的可能性很小;基于高潮位重现期与潮位过程同现重现期的线性关系,采用基于联合分布的方法推求珠江口潮位过程线,推求结果较同频率法更为合理。

关键词:设计潮位过程线;高潮位;潮差;Copula 函数;概率

中图分类号:TV87 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0852(2018)05-0001-05

设计潮位过程线是具有一定防洪防潮标准的潮位过程线,在感潮河段进行水利水电工程设计、网河区水量计算时,常采用设计潮位过程线作为水动力模型的外海边界条件。在进行防洪防潮设计时,常采用外海的高潮位作为控制要素;在进行排涝设计时,常采用低潮位作为控制要素。设计潮位过程线直接决定着工程的规模与经济、社会效益的发挥,在实际应用中还广泛存在着采用设计潮位代替设计潮位过程线的做法,因此提出一种科学推求设计潮位过程线的方法显得至关重要。

目前对推求设计潮位过程线方法的研究处于起步阶段,常用的方法是通过对典型潮位进行同倍比放大,但是这种方法存在“失真”的问题,陈静^[1]基于此提出了按照潮位与潮差同频率控制放大的算法,但这种方法未考虑潮位与潮差同频率遭遇的概率,容易出现设计潮差过大的情况,造成工程与经济上巨大的浪费^[2]。杨星等^[3]应用风险概率分析的方法对深圳赤湾站的设计潮位过程线进行推求,通过与以往推求设计潮位过程线的方法进行比较,指出了现行推求方法存在一定

的问题。

最近10年来,Copula 函数因其简单灵活、适用性强的特点被广泛应用到多变量水文分析中,在丰枯遭遇^[4]、旱涝组合^[5]、洪峰洪量联合分布^[6]、推求洪水过程线^[7]等方面都有大量研究,但在潮位过程线的推求中应用的还很少^[8]。鉴于此,本文在采用4种边际分布函数对珠江口年最高潮位与年最大潮差序列进行拟合的基础上,选取4种不同的二维 Archimedean Copula 函数建立珠江口年最高潮位与年最大潮差之间的联合分布,以期对珠江口设计潮位过程线的推求提供一种科学的方法与探索。

1 研究地区及数据介绍

1.1 研究区域概况

珠江是中国南方流域面积最大的水系,流域面积达452 616 km²,珠江流域是一个复合流域,由西江、北江、东江以及珠江三角洲各小河组成。珠江口是漏斗湾与网河并存的河口区,潮汐作用明显,由于珠江口地形、上游来水及气象因素的综合影响,珠江口的潮

收稿日期:2017-07-23

基金项目:国家自然科学基金项目(41301627);高等学校专业综合改革试点项目(20152003);广东省水利科技创新项目(2017-12)

作者简介:周月英(1991-),女,广东湛江人,硕士研究生,主要研究方向为水文水资源。E-mail:zhouyy8@mail2.sysu.edu.cn

通讯作者:关帅(1992-),男,河南商丘人,硕士研究生,主要从事水文水资源研究工作。E-mail:gshuai@mail2.sysu.edu.cn

汐运动规律属于不规则混合半日潮^[9]。

磨刀门水道是珠江水系的主要出海水道,河道内分布着较多的水利工程。灯笼山水文站断面是磨刀门水道的控制断面,距离口门约 10km,多年平均潮差为 0.86m。因此本文选取灯笼山站(见图 1)为代表站点来推求珠江口的设计潮位过程线。

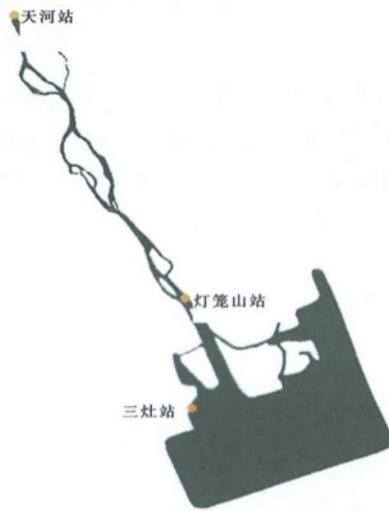


图 1 灯笼山站在磨刀门水道位置示意图

Fig.1 The location of the Denglongshan station in the Modaomen channel

1.2 数据来源

本文从水文年鉴和相关部门收集了灯笼山站 1963~2012 年共 50 年的年最高潮位及其相应潮差,以及年最大潮差系列。

2 研究方法

2.1 Copula 函数

Copula^[10]函数是 Sklar 在 1959 年提出的多维联合分布函数,它将联合分布分为变量的边际分布和变量间的相关性结构分别处理。由于其可以将任意不同形式的边际分布函数连接起来构造多维联合概率分布函数,因此 Copula 函数具有很广泛的应用性与便利性^[11-13]。数学上 Copula 函数分为很多种形式,在水文领域常用的是构造方便、适应性强且计算简单的 Archimedean(阿基米德) Copula 函数。其中最常用也是本文用来构造灯笼山站年最高潮位及年最大潮差联合分布的 4 种二维阿基米德型 Copula 函数分别是 Gumbel-Hougaard Copula 函数、Clayton Copula 函数、Frank Copula 函数和 Ali-Mikhail-Haq Copula 函数,其构造形式如下:

(1)Gumbel-Hougaard (GH) Copula

$$C_{\theta}(u_1, u_2) = \exp\{-[(-\ln u_1)^{\theta} + (-\ln u_2)^{\theta}]^{\frac{1}{\theta}}\}, \theta \in [1, \infty) \quad (1)$$

(2)Clayton Copula

$$C_{\theta}(u_1, u_2) = (u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} - 1)^{\frac{1}{\theta}}, \theta \in (0, \infty) \quad (2)$$

(3)Frank Copula

$$C_{\theta}(u_1, u_2) = -\frac{1}{\theta} \ln\left[1 + \frac{(e^{-\theta u_1} - 1)(e^{-\theta u_2} - 1)}{e^{-\theta} - 1}\right], \theta \neq 0 \quad (3)$$

(4)Ali-Mikhail-Haq (AMH) Copula

$$C_{\theta}(u_1, u_2) = \frac{u_1 u_2}{1 - \theta(1 - u_1)(1 - u_2)}, \theta \in [-1, 1) \quad (4)$$

式中: u_1, u_2 为边际分布函数; θ 为 Copula 函数的参数。

2.2 边缘分布函数的确定与优选

确定各变量序列的边际分布函数是构造 Copula 函数的第一步,对于潮水位的边缘分布线型,我国水文部门常采用皮尔逊 III 型分布^[14],交通部门采用耿贝尔型分布^[15]。本文为了计算的严谨,选取国内外较为常用的皮尔逊 III 型分布(P-III)函数,耿贝尔型(Gumbel)分布函数,广义极值分布(GEV)函数和对数正态分布(LOGN)函数对灯笼山站年最高潮位和年最大潮差分别进行拟合,采用 Kolmogorov-Smirnov(K-S)^[16]法进行假设检验。然后综合考虑均方根误差法(RMSE)、相关系数法(PPCC)^[17]和 AIC 最小准则法^[18]优选出拟合效果最好的边际分布函数。边际分布函数的经验频率计算方法如下:

$$H(x) = P(X \leq x_i) = (i - 0.44) / (n + 0.12) \quad (5)$$

式中: P 为 $X \leq x_i$ 的经验频率; i 为样本从小到大排列后的序号; n 为序列个数。

K-S 假设检验的原理: 假设有变量 X , 容量为 n , 检验原假设: 变量 X 服从理论分布 $F(x)$, 那么 K-S 统计量 D 计算公式为:

$$D = \sup_x |F_n(x) - F(x)| = \max_i \{ |F(x_i) - F_n(x_i)|, |F(x_i) - F_n(x_{i+1})| \} \quad (6)$$

式中: \sup 等同于 \max ; $F_n(x)$ 为累计频率函数。

比较 D 与临界值 D_c , 如果 $D > D_c$, 那么拒绝原假设, 认为变量 X 不服从理论分布; 否则认为服从理论分布。

2.3 Copula 函数参数估计与拟合优度检验

本文通过 Kendall 相关系数 τ 与 Copula 函数的参数 θ 的关系计算 4 种 Copula 函数的参数, 其中 Kendall 相关系数计算公式如下:

$$\tau = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq n} \text{sign}[(x_i - x_j)(y_i - y_j)] \quad (7)$$

式中: n 为样本容量; sign 为符号函数; $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ 为随机样本。

确定了 4 种 Copula 函数的参数后,本文采用 AIC 最小准则法和 OLS 最小准则法进行拟合优度评价,筛选出构造效果最好的 Copula 函数。其中 OLS 最小准则的计算公式如下:

$$OLS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_{emp}(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}) - C(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}))^2} \quad (8)$$

式中: $u_{ij} = F_j(x_{ij})$ 为 x_{ij} 的边际分布函数值; $F_{emp}(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$ 和 $C(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im})$ 分别为联合变量的经验频率和理论频率; n 为样本容量。

2.4 同现重现期

在水文统计中,重现期是与频率 P 相对应的概念。对于两变量来说,同现重现期是指两者同时超过某

一特定值时事件发生的重现期,两变量 X 、 Y 的同现重现期 $T(x, y)$ 计算公式为:

$$T(x, y) = \frac{1}{P(X > x, Y > y)} = \frac{1}{1 - u - v + C(u, v)} \quad (9)$$

式中: u 、 v 为变量的边际分布函数; $C(u, v)$ 为两变量的联合分布函数。

3 结果与讨论

3.1 边缘分布函数的确定

利用 P-、GEV、Gumbel 和 LOGN 边际分布函数对灯笼山站年最高潮位与年最大潮差进行拟合,并采用 K-S 假设检验与三种方法进行优选,评价结果见表 1。由表 1 结果可见四种边际分布函数都通过了 K-S 检验($n=50$ 时, D_c 为 0.1923)。在四种边际分布函数中选择 RMSE 最小、PPCC 值最大、AIC 值最小的边际分布函数作为最优边际分布函数,在表 1 中加粗表示。从表 1 可知,灯笼山站年最高潮位系列服从 LOGN 分布,年最大潮差系列服从 GEV 分布。

表1 年最高潮位与年最大潮差边缘分布拟合检验结果

Table1 The fitting results of the marginal distribution of annual maximum tidal level and maximum tidal range

评价指标	年最高潮位				年最大潮差			
	P-	GEV	Gumbel	LOGN	P-	GEV	Gumbel	LOGN
D-KS	0.0794	0.0705	0.0671	0.0719	0.1186	0.0681	0.1124	0.0849
RMSE	0.0317	0.0250	0.0287	0.0250	0.0464	0.0213	0.0485	0.0286
PPCC	0.9853	0.9806	0.9896	0.9900	0.9863	0.9957	0.9812	0.9946
AIC	-366.71	-392.21	-379.44	-392.24	-325.56	-409.71	-322.88	-377.92

3.2 Copula 函数参数估计与拟合优度检验

首先按照公式(7)计算出灯笼山站年最高潮位与年最大潮差的 Kendall 相关系数 τ , 然后根据 τ 计算出 4 种年最高潮位与年最大潮差联合分布参数, 结果见表 2。从表 2 可知灯笼山站年最高潮位与年最大潮差的 Kendall 相关系数为 0.3326, 可见两者之间存在一定的正相关性, 但是相关性不强。

表2 联合分布参数估计结果

Table2 The parameter estimations of joint distribution

τ	θ			
	GH	Clayton	Frank	AMH
0.3326	1.4984	0.9969	3.2974	0.7139

然后采用 AIC 与 OLS 两种方法对 4 种 Copula 函数进行优选, 结果见表 3。从表 3 可知, 无论是 AIC 还是 OLS 方法, 均是 GH Copula 函数拟合度最高, 因此本文选择 GH Copula 函数作为灯笼山站年最高潮位与年最大潮差的连接函数。

表3 各Copula函数的OLS值和AIC值

Table3 The values of AIC and OLS in the various Copula functions

评价指标	GH	Clayton	Frank	AMH
AIC	-572.99	-552.26	-551.63	-553.89
OLS	0.049	0.059	0.059	0.059

将 GH Copula 联合分布函数作为理论分布, 将计算的理论联合频率与经验联合频率绘制成拟合图, 拟合图见图 2。

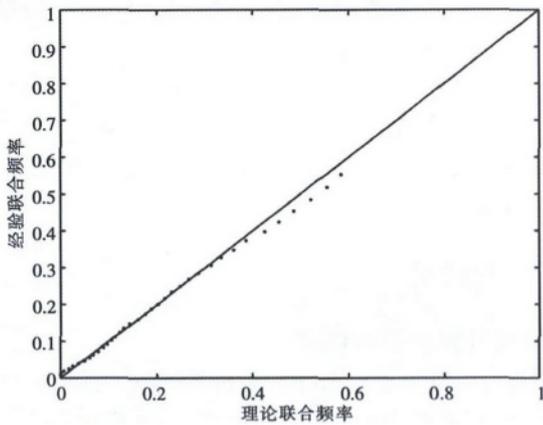


图2 灯笼山站经验联合频率与理论联合频率拟合图

Fig.2 The fitting of empirical and theoretical joint frequencies at the Dengloushan station

3.3 同现重现期

根据公式(9)可以计算出灯笼山站年最高潮位与年最大潮差不同频率下遭遇的同现重现期,结果见表4。从表4可以看出,灯笼山站出现1、5、10、20、50、100a一遇的高潮位时,同时出现1a、5a、10a、20a、50a、100a一遇潮差的概率分别是1a、11.25a、25.84a、55.87a、147.06a、294.12a。由此可见,除一年一遇的高潮位与一年一遇的潮差遭遇外,同现重现期总是大于相应边际分布的重现期,而且随着边际分布重现期的增大,同现重现期增幅也越大。这说明当发生风暴潮的时候,不止高潮位会增加,低潮位也会相应的有所抬升,较大重现期的高潮位与潮差遭遇的概率很小。这也说明同频率法推求设计潮位过程线不合理的方面,容易使工程偏安全,造成浪费。

表4 不同频率遭遇时同现重现期计算成果

Table4 The concurring return period of annual maximum tidal level and tidal range with different frequency

变量	重现期/a	年最大潮差					
		1	5	10	20	50	100
年最高潮位	1	1	5	10	20	50	100
	5	5	11.25	18.05	30.86	67.11	125
	10	10	18.05	25.84	40	79.37	140.85
	20	20	30.86	40	55.87	98.04	163.93
	50	50	67.11	79.37	98.04	147.06	217.39
	100	100	125	140.85	163.93	217.39	294.12

3.4 设计潮位过程线推求

在设计潮位过程线推求过程中,根据同频率法设计不合理的问题,可将设计高潮位作为决定性要素,寻求相应准确的潮差,使高潮位与潮差在实际风暴增水过程中同时发生的可能性最高。本文对灯笼山站实际

观测的数据进行研究,选取50a资料系列中年最高潮位及相应潮差,分别计算高潮位重现期和同现重现期,作出二者之间的线性拟合图,见图3。经计算两者间相关系数为0.996,说明灯笼山站年最高潮位重现期与同现重现期的相关关系很好,其关系式如下:

$$y=1.6154x+0.1395 \quad (10)$$

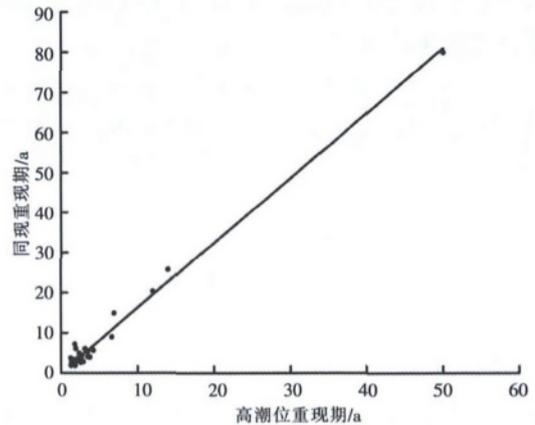


图3 同现重现期与高潮位重现期拟合图

Fig.3 The linear relationship between return period of highest tide level and simultaneous return period of tide level process

设计条件下潮差值由式(10)和式(9)联合求得。现以推求高潮位重现期为50年一遇的设计潮位过程线为例说明推求方法:由公式(10)可知,50年一遇高潮位与其对应条件下潮差的同现重现期为80年一遇;再根据公式(9),由联合分布模型可计算得到其对应条件下的潮差为2.81m,重现期为25年一遇。而采用同频率设计方法的话,相应潮差重现期应同为50年一遇,潮差大小为2.98m。而实际情况下50年一遇的潮位与潮差遭遇的概率竟高达147年一遇。通过联合分布法与通过同频率法分别推求的潮位过程线见图4。

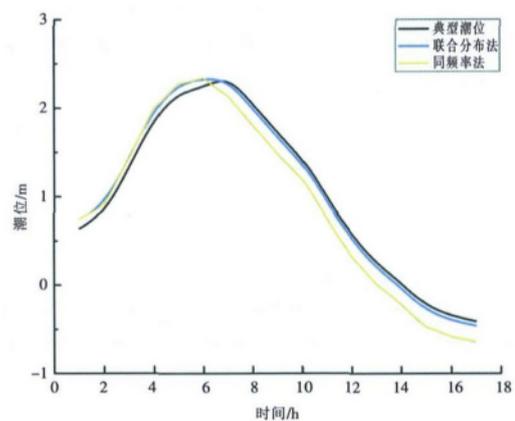


图4 基于联合分布法与同频率法推求的潮位过程线

Fig.4 The derivation of the design tide curve based on the bivariate joint distribution and same frequency method

由图4可以看出,基于联合分布法与同频率法推求的潮位过程线相比,两种方法推求出的高潮位值相同,但是同频率法推求的设计低潮位值比基于联合分布法明显偏低,所求设计潮位过程线潮差较实际情况偏大,因此结果往往偏安全,易造成经济上的浪费。而采用联合分布法推求的设计潮位过程线,考虑了年最高潮位与对应潮差的相关性,根据实际的统计资料拟合确定,所推求出的潮位过程线与典型潮位过程更为接近,因此将联合分布的概念引进设计潮位过程线中,对设计防洪防潮等标准的确定具有一定的借鉴意义。

4 结论

针对同倍比方法与同频率方法推求设计潮位过程线中的局限性,采用4种边际分布函数对珠江口年最高潮位与年最大潮差序列进行拟合的基础上,选取4种不同的二维 Archimedean Copula 函数建立珠江口年最高潮位与年最大潮差的联合分布,研究表明同现重现期总是大于相应边缘分布的重现期,而且随着边缘分布重现期的增大,同现重现期增幅也越大,说明同频率法推求设计潮位过程线存在不合理的地方,容易使工程偏安全,造成浪费。本文利用高潮位重现期与潮位过程同现重现期的线性关系,采用基于联合分布的方法推求潮位过程线,推求结果较同频率法更为合理,为珠江口潮位过程线的推求提供了一种较优算法。

参考文献:

- [1] 陈静. 设计潮位过程线及其推求[J]. 水文, 2012,32(3):47-50. (CHEN Jing. Design tide curve and derivation method[J]. Journal of China Hydrology, 2012,32(3):47-50. (in Chinese))
- [2] 刘学,诸裕良,孙波,等. 基于 Copula 函数推求设计潮位过程线[J]. 水利学报, 2014,45(2):243-247. (LIU Xue, ZHU Yuliang, SUN Bo, et al. Derivation of design tide curve based on Copula function[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014,45(2):243-247. (in Chinese))
- [3] 杨星,刘志龙,李朝方,等. 应用风险概率分析方法计算设计潮位过程[J]. 水力发电学报, 2013,32(4):175-178. (YANG Xing, LIU Zhilong, LI Chaofang, et al. Calculation of design tide curve based on risk probability analysis method [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013,32(4):175-178. (in Chinese))
- [4] 关帅,查悉妮,丁波,等. 基于 Copula 函数的珠江流域河川径流丰枯遭遇[J]. 热带地理, 2015,35(2):208-217.(GUAN Shuai, ZHA Xini, DING Bo, et al. Wetness-dryness encountering of runoff of the Pearl River basin based on Copula functions [J]. Tropical Geography, 2015,35(2):208-217.(in Chinese))
- [5] 关帅,丁波,查悉妮,等. 基于 Copula 函数的韩江流域旱涝组合事件概率特征研究[J]. 亚热带资源与环境学报, 2015,10(1):10-17. (GUAN Shuai, DING Bo, ZHA Xini, et al. Probability of drought-flood combinations in Hanjiang basin: based on Copula function [J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2015,10 (1):10-17.(in Chinese))
- [6] 冯平,李新. 基于 Copula 函数的非一致性洪水峰量联合分析[J]. 水利学报, 2013,44 (10):1137-1147. (FENG Ping, LI Xin. Bivariate frequency analysis of non-stationary flood time series based on Copula methods[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013,44(10): 1137-1147. (in Chinese))
- [7] Zhang L, Singh V P. Bivariate flood frequency analysis using the Copula method [J]. Journal Hydrologic Engineering ASCE, 2006,11 (2):150-164.
- [8] 刘学,诸裕良,孙林云,等. 基于 Copula 函数的设计潮位过程要素组合风险分析[J]. 水文, 2014,34(2):32-37. (LIU Xue, ZHU Yuliang, SUN Linyun, et al. Risk probability analysis of element combination in design tide process based on Copula function[J]. Journal of China Hydrology, 2014,34(2):32-37. (in Chinese))
- [9] 罗宪林,杨清书,贾良文,等. 珠江三角洲网河河床演变[M]. 广州:中山大学出版社,2002. (LUO Xianlin, YANG Qingshu, JIA Liangwen, et al. River-bed Evolution of the Pearl River Delta[M]. Guangzhou: Sun Yet-Sen University Press, 2002. (in Chinese))
- [10] NELSON RB. An Introduction to Copulas[M]. New York: Springer, 1999.
- [11] Genest C, Favre AC. Everything you wanted to know about copula modeling but were afraid to ask [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2007,12(4):347-368.
- [12] VANDENBERGHE S, VERHOEST N E C, ONOF C, et al. A comparative copula-based bivariate frequency analysis of observed and simulated storm events: a case study on Bartlett-Lewis modeled rainfall[J]. Water Resource Research, 2011,47:W07529.
- [13] SUBIMAL G. Modelling bivariate rainfall distribution and generating bivariate correlated rainfall date in neighbouring meteorological subdivisions using copula [J]. Hydrological Process, 2010,24:3558-3567.
- [14] SL278-2002, 水利水电工程水文计算规范 [S]. (SL278-2002, Regulation for Hydrologic Computation of Water Resources and Hydropower Projects[S]. (in Chinese))
- [15] JTJ211-1987, 港口工程技术规范 [S]. (JTJ211-1987, Technical Specifications of Port Engineering [S]. (in Chinese))
- [16] MASSEY JR FJ. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit [J]. Journal of the American Statistical Association, 1951,46 (253): 68-78.
- [17] FILLIBEN JJ. The probability plot correlation coefficient test for normality[J]. Technometrics, 1975,17(1):111-117.
- [18] BOZDOGAN H. Model selection and Akaike's information criterion (AIC): the general theory and its analytical extensions[J]. Psychometrika, 1987,52(3):345-370.

- [42] 陈国轩,梁海涛,林睿璇. MIKE SHE 分布式水文模型在广东省中小河流洪水预报中的应用展望[J]. 广东水利水电, 2016,5:34-36. (CHEN Guoxuan, LIANG Haitao, LIN Rongxuan. Application of MIKE SHE model to flood forecasting of small and medium rivers [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2016,5:34-36. (in Chinese))
- [43] 汤旻,曹双和,胡红兵,等. MIKESHE 在电厂洪峰计算中的应用与结果分析[J]. 人民长江, 2015,46(9):26-30. (TANG Min, CAO Shuanghe, HU Hongbing. Application of MIKE SHE in peak flood calculation of hydropower plant and result comparison[J]. Yangtze River, 2015,46(9):26-30. (in Chinese))
- [44] 姚建,张晓威. 运用 MIKE SHE 对鲢鱼圈地区地下水资源量进行评价[J]. 黑龙江水利科技, 2012,40(9):8-10. (YAO Jian, ZHANG Xiaowei. Applying MIKE SHE model to evaluate groundwater resources in Bayuquan area[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2012,40(9):8-10. (in Chinese))
- [45] 刘蛟,刘铁,黄粤. 基于遥感数据的叶尔羌河流域水文过程模拟与分析[J]. 地理科学进展, 2017,36(6):753-761. (LIU Jiao, LIU Tie, HUANG Yue, BAO Anming. Simulation and analysis of the hydrological processes in the Yarkant River basin based on remote sensing data[J]. Progress in Geography, 2017,36(6):753-761. (in Chinese))
- [46] Refsgaard, J.C., Storm, B., Clausen, T. Système Hydrologique Européen (SHE): review and perspectives after 30 years development in distributed physically-based hydrological modeling[J]. Hydrol. Res., 2010,41:355-377
- [47] Beven, K., Changing ideas in hydrology: the case of physically-based models[J]. J. Hydrol., 1989,105:157-172.
- [48] Beven, K. How far can we go in distributed hydrological modeling [J]. Hydrol., 2001,5(1):1.
- [49] Beven, K., Binley, A. GLUE: 20 years on [J]. Hydrological Processes., 2014,28(24):5897-5918.
- [50] Christine, E., McMichael, ALLEN S., Hope, Predicting streamflow response to fire-induced land cover change: implications of parameter uncertainty in the MIKE SHE model [J]. J. Journal of Environmental Management., 2007,84(3):245-256.

Development and Application of MIKE SHE Model

LIU Siwen¹, LIU Hailong², WANG Ling³

(1. Institute of Water Conservancy Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China;

2. College of Resources and Environment, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;

3. School of Civil Architecture and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: As a typical representative of a distributed hydrological model which is based on physical processes, Mike SHE (Mike System Hydrological European) can clearly describe the complete surface water-groundwater process with the advantages of accurate data, multiple module simulation and convenient user interface. This paper made a brief summary and analysis of the development history and main application of the model, and also briefly explained its main problems and improvement methods.

Key words: MIKE SHE model; development; application

(上接第 5 页)

Derivation of Design Tide Curve for Pearl River Estuary Based on Bivariate Joint Distribution

ZHOU Yueying¹, GUAN Shuai²

(1. Xinhua College of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510520, China;

2. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510630, China)

Abstract: For the limitation of calculating and designing the design tide level process line with the same ratio method and same frequency methods, and based on using 4 kinds of marginal distribution functions to fit the annual highest tide level and maximum tide range sequence in the Pearl River estuary, this paper selected 4 kinds of different two-dimensional Archimedean Copula functions to establish the joint distribution of annual highest tide level and annual maximum tide range in the Pearl River estuary, and analyzed the linear relationship between the return period of highest tide level and simultaneous return period of tide level process. The results show that the simultaneous recurrence period of highest tide level and tide range is always more than that of marginal distribution. Besides, with the increase of return period of marginal distribution, the simultaneous return period will also be increased, and this shows that the possibility of simultaneous return period of highest tide level and tide range is very small. In the end, the joint distribution method is more reasonable than the same frequency method in calculating the tide level process line in the Pearl River estuary.

Key words: design tide curve; high tidal level; tidal range; Copula function; probability