

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2023.03.003

非平稳性条件下设计洪水地区组成分析

胡义明,杨晨曦,梁忠民,唐超,陈钰,郭举坤

(河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:针对非平稳性条件下不同区域洪水间组合设计值计算难题,采用 Copula 函数构建了可综合考虑不同区域洪水边缘分布非平稳性和洪水间相依结构非平稳性的变参数 Copula 模型,分析了不同区域洪水间联合分布规律随时间的演变特征。基于等可靠度法和条件期望组合法,提出了变化环境下设计洪水地区组成分析方法,实现了非平稳性条件下不同区域洪水组合设计值的计算。以寸滩站和宜昌站年最大 15 d 洪量系列为例,分析了两站洪量及其区间洪量的变化特征。结果表明,寸滩站和宜昌站的洪量系列均具有减少趋势,两站洪量的联合分布随时间变化,指定重现期对应的宜昌站、寸滩站及寸滩—宜昌区间洪水设计值随使用年限的增加而减小。

关键词:非平稳性;设计洪水地区组成;Copula 函数;条件期望法;等可靠度法

中图分类号:TV122

文献标志码:A

文章编号:1000-1980(2023)03-0019-06

Analysis of regional composition of design flood under non-stationary conditions

HU Yiming, YANG Chenxi, LIANG Zhongmin, TANG Chao, CHEN Yu, GUO Jukun

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To address the problem of calculating the combined design value of different regional flood under non-stationary conditions, this paper firstly constructs a varying-parameter Copula model based on the Copula function, which can consider the non-stationarity of the marginal distribution of different flood variables and the non-stationarity of their dependence structure. The non-stationary evolution characteristics of the joint distribution of floods in different regions over time are analyzed. Based on the equal reliability method and the conditional expectation combination method, a method for analyzing the regional composition of non-stationary design floods under changing environments is proposed, which can be used to calculate the design value combinations of different regional floods corresponding to a specified return period under non-stationary conditions. Based on the annual maximum 15-day flood volume (AM15FV) series at Cuntan and Yichang stations, the proposed method is used to analyze the change on design flood combinations among the Cuntan, Yichang and Cuntan-Yichang section. The results show that the AM15FV series at Cuntan and Yichang stations exhibits a decreasing trend, and their joint distribution of floods at Cuntan and Yichang stations varies with time. The design values of floods at Yichang station, Cuntan station and Cuntan-Yichang section corresponding to the specified return period tend to decrease with increasing design lifetime.

Key words: non-stationarity; regional composition of design flood; Copula function; conditional expectation combination method; equivalent reliability method

在分析工程对下游的防洪作用以及进行水库群联合调洪计算时,需要解决设计洪水的地区组成问题,以厘清当设计断面发生指定标准设计洪水时,上游水库及其区间的洪水空间组成情况。设计洪水地区组成的计算方法主要有地区组合法、频率组合法和随机模拟法^[1]。在实践应用中,地区组合法中的同频率组合法最为常用,即根据工程防洪要求,指定某一局部地区的洪量与下游控制断面的洪量同为设计频率,再根据水量平衡原则推求其余分区的洪量,如典型的“上游和下游同频、区间相应”或“下游和区间同频、上游相应”方法^[2-3]。设计洪水地区组成分析是一种多维洪水特征变量联合求解问题,诸多研究也采用 Copula 函数构建不同区域洪水特征变量间的联合分布函数,以此推求设计洪水的地区组成^[4-6]。应用上述各类方法分析设计

基金项目:国家重点研发计划(2018YFC1508001);中央高校基本科研业务费专项(B220202031)

作者简介:胡义明(1986—),男,副教授,博士,主要从事水文水资源研究。E-mail:yiming_hu@hhu.edu.cn

引用本文:胡义明,杨晨曦,梁忠民,等.非平稳性条件下设计洪水地区组成分析[J].河海大学学报(自然科学版),2023,51(3):19-24.

HU Yiming, YANG Chenxi, LIANG Zhongmin, et al. Analysis of regional composition of design flood under non-stationary conditions[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2023, 51(3): 19-24.

洪水地区组成时,都需要洪水样本系列满足平稳性要求。然而,由于气候变化和人类活动的影响,诸多站点的洪水样本系列呈现非平稳性变化,理论上,现行的基于平稳性假定的工程水文计算理论与方法已不再适用于变化环境下的非平稳性情,给设计洪水地区组成分析带来了挑战^[7-11]。目前,变化环境下水文设计值的计算主要有 3 种途径:①基于水文极值系列重构途径;②基于分布函数加权综合途径;③基于变参数概率分布模型途径^[9]。诸多研究主要集中在单一洪水变量设计值计算或不同时段洪量组合设计值计算方面^[12-16]。关于非平稳性条件下,如何分析设计洪水的地区组成的研究较少,是工程水文领域亟须解决的难题。

本文基于 Copula 函数构建不同区域非平稳性洪量系列间的变参数多维联合分布模型,结合条件期望组合法和等可靠度法,研究非平稳性条件的设计洪水地区组成计算问题,并以寸滩站和宜昌站年最大 15 d 洪量为例进行了应用分析。

1 理论与方法

1.1 非平稳性边缘分布模型

以我国设计洪水计算规范中推荐的皮尔逊三型分布(PE3)为基础,假定 PE3 分布中的某些参数随其他因素(协变量)变化,构建非平稳性边缘分布模型,以描述洪水特征的非平稳性分布规律。非平稳性 PE3 密度函数为^[14]

$$f(x)=\frac{\beta_t^{\gamma_t}}{\Gamma(\gamma_t)}(x-\alpha_t)^{\gamma_t-1}e^{-\beta_t(x-\alpha_t)}\quad(\alpha_t\geqslant 0,\beta_t>0,\gamma_t>0)$$

(1)

其中
$$\alpha_t = AZ + a_0 \quad \beta_t = BH + b_0 \quad \gamma_t = CW + c_0$$
式中: x 为洪水特征变量; α_t 、 β_t 、 γ_t 分别为 PE3 分布中 t 时刻的位置参数、尺度参数和形状参数; $\Gamma(\gamma_t)$ 为 Gamma 函数; Z 、 H 、 W 分别为影响位置参数、尺度参数和形状参数变化的环境状态变量因子集; A 、 B 、 C 、 a_0 、 b_0 、 c_0 为系数。

1.2 非平稳性多维联合分布模型

考虑到不同洪量自身的非平稳性及其相依结构的非平稳性,基于 Copula 函数构建可综合分析上述两类非平稳性的变参数 Copula 模型^[14],用于描述不同年份多变量联合分布规律的演变特征。在变参数 Copula 模型中,各变量边缘分布参数及 Copula 结构参数随协变量变化,不再是常数^[14-17]。

本文以常用的 Gumbel Copula 函数为基础,构建非平稳性多维联合分布模型,以分析非平稳性条件下不同区域洪水特征变量联合分布特征随时间的演变规律。非平稳性 Gumbel Copula 函数可表示为^[14,18]:

$$C(\mu_t, \nu_t) = \exp\{-[(-\ln \mu_t)^{\theta_{ct}} + (-\ln \nu_t)^{\theta_{ct}}]^{1/\theta_{ct}}\}\quad(\theta_{ct} \geqslant 1)$$

(2)

其中
$$\theta_{ct} = \exp(\theta D + \theta_0) + 1$$
式中: $C(\cdot)$ 为时变 Gumbel Copula 函数; μ_t 、 ν_t 为第 t 年变量 x_t 和 y_t 对应的概率值; θ_{ct} 为第 t 年 Gumbel Copula 模型的结构参数; D 为影响参数 θ_{ct} 变化的协变量; θ 和 θ_0 为系数和截距。

1.3 条件期望组合法

基于构建的不同区域间洪量(如上、下断面洪量间或下断面与区间洪量间)的非平稳性 Gumbel Copula 函数,可以推求给定下断面设计洪量 $X=x_p$ (x_p 为超过频率 p 对应的下断面设计流量)条件下,上断面洪量或区间洪量 Y 的条件概率密度函数。基于该条件概率密度函数,可进一步推求 x_p 对应的 Y 的条件期望值 $y_{t,E}$ 。 $(x_p, y_{t,E})$ 即为变量 X 和变量 Y 的条件期望组合^[14]。

1.4 等可靠度法

等可靠度方法是由梁忠民等^[19]提出,可用于推求非平稳性条件下指定重现期的洪水设计值。以 R_S 、 R_{NS} 分别表示一致性、非一致性条件下,工程设计年限 L 和设计重现期 T 对应的水文设计可靠度,其计算公式为

$$R_S = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L \quad R_{NS} = \prod_{t=1}^L (1 - F_t(X_{T,NS})) \quad (t = 1, 2, \cdots, L)$$

(3)

式中: $F_t(X_{T,NS})$ 为第 t 年水文极值的概率分布函数; $X_{T,NS}$ 为指定重现期 T 对应的下断面洪量设计值。根据等可靠度方法:令 $R_{NS}=R_S$,即可获得非平稳性条件下的 $X_{T,NS}$ 。通过变量 X 和变量 Y 的条件期望组合 $(x_p, y_{t,E})$,可计算 $X_{T,NS}$ 条件下 Y 对应的条件期望值 $y_{T,E}$ 、 $X_{T,NS}$ 和 $y_{T,E}$ 的差值为区间(或上断面)的洪量;进而获得指定设计标准条件下,上、下断面及区间的设计洪量组合。

1.5 模型评价

采用赤池信息量准则(AIC)和贝叶斯信息准则(BIC)对模型进行评价。AIC 和 BIC 是评估模型性能的常用指标^[20]。AIC 建立在熵的概念基础上,可以权衡所估计模型的复杂度和此模型拟合数据的优良性。模型参数个数越少,模型越简单,AIC 值越小;对数似然值越大,模型精度越高,AIC 值也越小。因此 AIC 准则对模型的评价兼顾了模型的简洁性和精确性。AIC 值越小,模型越好。

BIC 准则是对 AIC 准则的改进,其将未知参数个数的惩罚权重由 AIC 准则中的常数 2 变成了样本容量。BIC 值越小,模型越优。

2 实例分析

以长江流域寸滩站和宜昌站 1946—2014 年的年最大 15 d 洪量系列为例进行实例分析。寸滩站位于长江干流上游,是三峡水库入库重要控制站,集水面积约 86.66 万 km²,宜昌站位于长江干流中游,集水面积约 100.55 万 km²(图 1)。

由图 2 可知,寸滩站、宜昌站的洪量系列均存在下降趋势。Mann-Kendall 统计量的计算值分别为 -2.626 1 和 -3.319,其绝对值均大于 0.05 显著性水平下对应的阈值 1.96,表明两站年最大 15 d 洪量系列减少趋势显著。

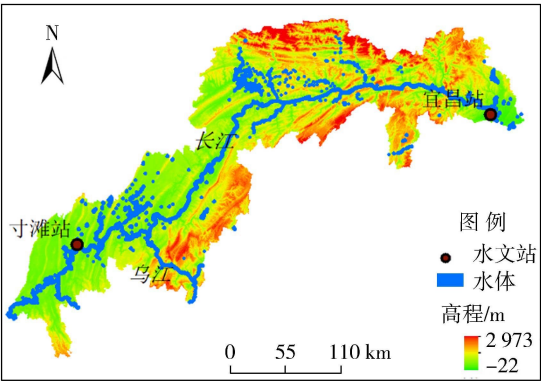


图 1 宜昌站和寸滩站位置信息
Fig.1 Geographical location of Yichang and Cuntan stations

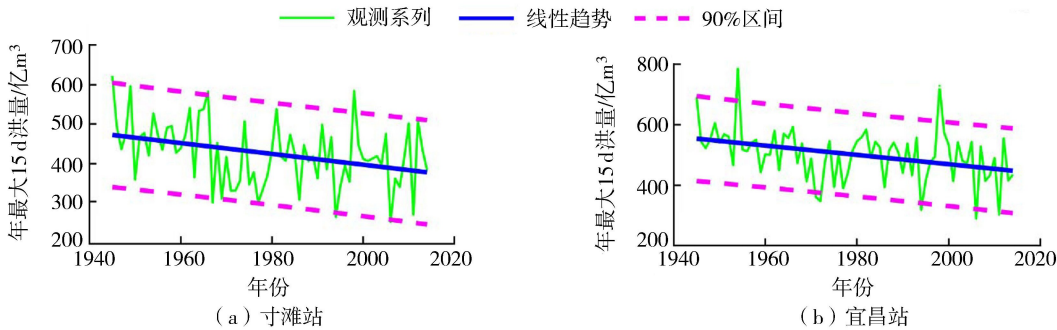


图 2 寸滩站、宜昌站年最大 15 d 洪量系列

Fig.2 Annual maximum 15-day flood volume series at Cuntan Station and Yichang Station

为了描述寸滩站和宜昌站年最大 15 d 洪量的非平稳性分布特征,采用了非平稳性 PE3 分布模型。在模型构建中,考虑到 PE3 分布函数中的参数必须大于 0 这一约束,参数均采用指数回归形式。通过设定 PE3 分布函数中的位置参数和尺度参数随时间变化,构造了 2 种形式的非平稳性 PE3 模型:分布函数中位置参数随时间变化(PE3(L))、分布函数的位置参数和尺度参数随时间变化(PE3(LS))(表 1)。

表 1 时变边缘概率分布模型

Table 1 Time-varying marginal probability distribution models

非平稳分布模型	位置参数	尺度参数	形状参数
PE3(L)	$\lambda_t = \exp(b_0 + b_1 t)$	$\beta_t = \exp(\beta)$	$\gamma_t = \exp(\gamma)$
PE3(LS)	$\lambda_t = \exp(b_0 + b_1 t)$	$\beta_t = \exp(b_0 + b_1 t)$	$\gamma_t = \exp(\gamma)$

注: b_1 为系数; λ, β 为待估算参数。

关于非平稳性边际分布函数和变参数 Copula 模型中的参数估计,均采用贝叶斯方法并结合马尔科夫链蒙特卡洛方法(MCMC)抽样技术进行估计,以最大后验估计作为模型使用参数^[12,16-17]。在抽样过程中,平行运行 5 条链,每条链上抽取 30 000 个样本(每条链都能满足收敛要求),去掉预热的 29 000 个样本,每条链上仅采用最后的 1 000 个样本,5 条链共计 5 000 个样本,其中使参数后验密度值达到最大的为参数的最大后验估计。

由表 2 可知,PE3(L)模型在寸滩站表现最优;而对于宜昌站,PE3(L)和 PE3(LS)模型对应的 AIC 和 BIC 值较为接近,但考虑到 PE3(LS)模型具有更大的不确定性,最终选取 PE3(L)模型描述宜昌站年最大 15 d 洪量的非平稳性分布特征^[13]。表 3 给出了优选的非平稳性边际分布函数和变参数 Copula 函数中的参数估计值。

表 2 非平稳性分布模型对应的 AIC 和 BIC 值

Table 2 Values of AIC and BIC corresponding to the non-stationary distribution model

洪量系列	非平稳分布模型	AIC 值	BIC 值
寸滩站年最大 15 d 洪量系列	PE3(L)	813.733 1	822.727 1
	PE3(LS)	814.076 6	825.319 1
宜昌站年最大 15 d 洪量系列	PE3(L)	852.810 3	859.681 7
	PE3(LS)	852.161 9	859.033 3

表 3 非平稳性分布模型参数值

Table 3 Parameters of the non-stationary distribution models

变量要素	非平稳分布模型	参数 1	参数 2	参数 3	参数 4
寸滩站洪量	PE3(L)	$b_0=0.05$	$b_1=3.737\ 6$	$\beta_i=-2.672\ 9$	$\gamma_i=3.349\ 3$
宜昌站洪量	PE3(L)	$b_0=-0.017$	$b_1=4.822$	$\beta_i=-2.453\ 8$	$\gamma_i=3.684\ 9$
寸滩—宜昌洪量	Copula	$\theta=0.003\ 2$	$\theta_0=-0.058$		

基于非平稳性 Gumbel Copula 函数模型分析了寸滩站和宜昌站年最大 15 d 洪量系列的联合分布随时间的演变特征。图 3(a)给出了 1990 年、2000 年、2010 年、2020 年和 2030 年 5 个典型年不同联合概率(0.4、0.6、0.8、0.95)条件下,两站年最大 15 d 洪量联合分布规律的演变特征。由图 3(a)可知,对于指定的联合概率,5 个典型年份的联合分布是不同的,这就导致 2 个站点年最大 15 d 洪量的最可能组合在不同年份不同。

图 3(b)给出了 1990 年、2000 年、2010 年和 2030 年 4 个典型年不同联合重现期(10 a、20 a、50 a、100 a)条件下,宜昌站和寸滩站年最大 15 d 洪量联合分布特征变化特征。由图 3(b)可知,对于给定的联合重现期,2 个站点年最大 15 d 洪量的最可能组合在不同年份不同。

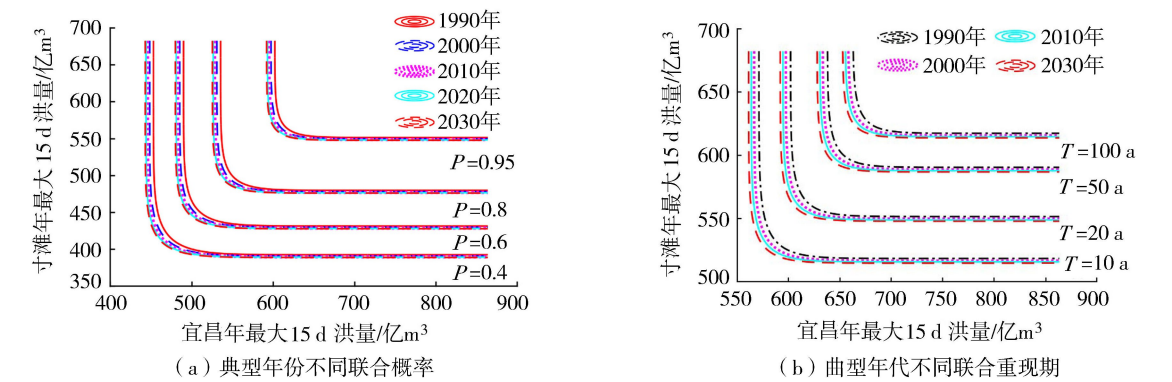


图 3 寸滩站和宜昌站年最大 15 d 洪量联合分布特征

Fig.3 Characteristics of the joint distribution of annual maximum 15-day flood volume at Cuntan and Yichang stations

基于非平稳性分布模型 PE3(L),计算了 0.01 和 0.02 超过概率对应的宜昌站年最大 15 d 洪量的分位数(2015—2114 年)。结合非平稳性 Copula 模型,计算了不同超过概率条件下,与宜昌站年最大 15 d 洪量对应的寸滩站年最大 15 d 洪量的条件期望值,进而获得了不同概率条件下宜昌站和寸滩站年最大 15 d 洪量的组合样本系列。基于该组合样本系列,构建了不同超过概率条件下两站年最大 15 d 洪量之间的条件期望组合关系曲线,如图 4 所示。

根据等可靠度方法计算了不同重现期(50 a 和 100 a)条件下,不同工程设计寿命(10 ~ 100 a)对应的宜昌站年最大 15 d 洪量的设计值。随后基于不同超过概率下宜昌站和寸滩站年最大 15 d 洪量的条件期望组合关系曲线,推求了不同重现期条件下,与宜昌站年最大 15 d 洪量设计值对应的寸滩站年最大 15 d 洪量设计值。由于宜昌站的来水与寸滩站来水及区间来水要满足水量平衡约束,为此宜昌站和寸滩站设计值之差即为区间来水设计值,结果如图 5 所示。

由图 5 可知,在同一重现期条件下,宜昌站和寸滩站的洪量设计值随着设计寿命的增加呈现减少趋势,这主要是由两站的洪量系列本身呈现减少趋势导致。如在宜昌站设计重现期为 100 a、工程设计寿命为 10 a 和 50 a 条件下,宜昌站、寸滩站及相应区间洪量的设计值分别为(652.8,581.9,70.9)和(636.5,576.4,60.1)。

在指定重现期条件下,宜昌站、寸滩站及区间的年最大 15 d 洪量设计值随着工程设计寿命增加而减小。

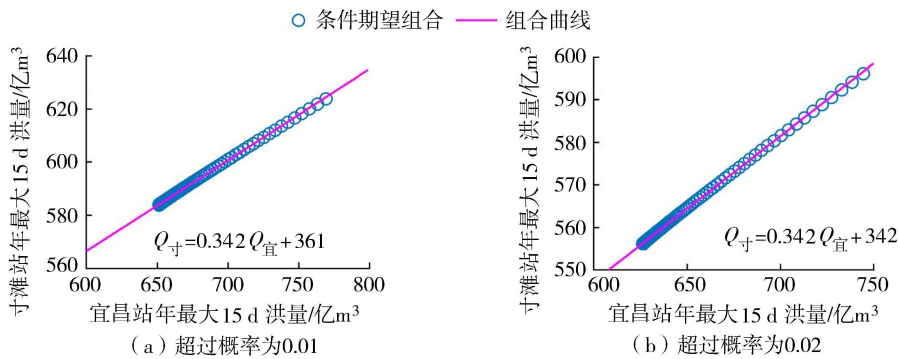


图 4 不同超过概率条件下寸滩站和宜昌站年最大 15 d 洪量的期望组合关系

Fig. 4 Expectation combination relationship curves between annual maximum 15-day flood volume at Cuntan and Yichang stations under different exceedance probabilities

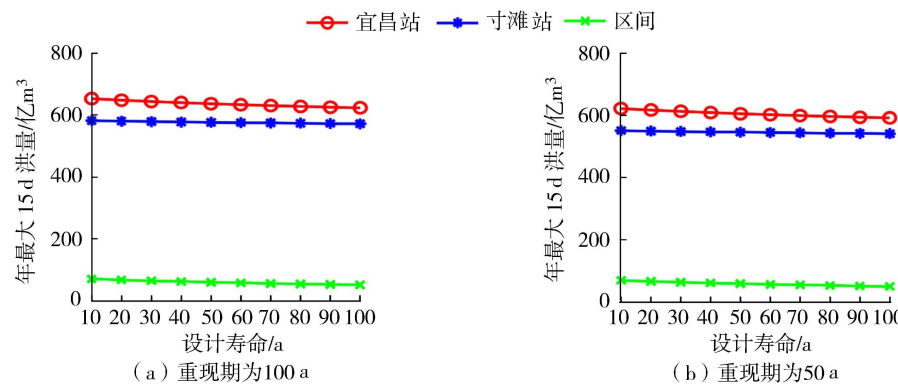


图 5 不同重现期条件下宜昌站、寸滩站及区间的年最大 15 d 洪量设计值

Fig. 5 Design values of annual maximum 15-day flood volume for Yichang Station, Cuntan Station and intervals under different design lifetime and different return periods

3 结 语

本文构建了可综合考虑不同区域洪量边缘分布非平稳性及区域洪量间相关结构非平稳性的时变动态 Copula 模型,可用于分析不同区域洪水间的多维联合分布规律随时间的非平稳性演变特征。综合运用等可靠度法和条件期望组合法,提出了变化环境下设计洪水地区组成分析方法,可用于变化环境下指定重现期对应不同区域洪水组合设计值的推求。宜昌站和寸滩站的应用结果表明,宜昌站、寸滩站及两站区间洪水设计值均随着工程使用年限的增加呈减小趋势,这与宜昌站、寸滩站的洪量系列本身的减少趋势相吻合。

在示例分析中,关于非平稳性 Copula 模型的构建,限于资料条件,只考虑了边缘分布参数和 Copula 结构参数随时间因子变化,而没有考虑其他因素对模型参数的影响。在后续研究中,可考虑基于不同类型 Copula 函数、不同因素驱动模型参数变化等方式,构建多套不同的非平稳性 Copula 模型,并通过优选方式确定优势联合分布模型。

参考文献:

[1] 梁忠民,李国芳,王军. 水文分析与计算[M]. 北京:中国水利水电出版社,2019.

[2] 水利部长江水利委员会水文局. 水利水电工程设计洪水计算手册[M]. 北京:水利电力出版社,1995.

[3] 黄一听,梁忠民,胡义明,等. 关于水文同频率地区组合法中相应洪量频率的探讨[J]. 南水北调与水利科技,2020,16(3):189-193. (HUANG Yixin, LIANG Zhongmin, HU Yiming, et al. Discussion on the corresponding flood frequency in the Hydrological Equivalent Frequency Regional Composition method[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology,2020,16(3):189-193. (in Chinese))

[4] 刘章君,郭生练,李天元,等. 设计洪水地区组成的区间估计方法研究[J]. 水利学报,2015,46(5):543-550. (LIU

Zhangjun, GUO Shenglian, LI Tianyuan, et al. Interval estimation method for design flood region composition [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(5): 543-550. (in Chinese))

[5] 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. (YAN Baowei, GUO Shenglian, GUO Jing, et al. Regional design flood composition based on Copula function [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(6): 60-65. (in Chinese))

[6] 程旭,马细霞,肖遥,等. 黄河中游河南段设计洪水及其地区组成研究[J]. 中国农村水利水电, 2022(4): 65-71. (CHENG Xu, MA Xixia, XIAO Yao, et al. Research on the design flood and Its regional composition in Henan Section of the middle reaches of the Yellow River[J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(4): 65-71. (in Chinese))

[7] 张建云,王国庆,金君良,等. 1956—2018 年中国江河径流演变及其变化特征[J]. 水科学进展, 2020, 31(2): 153-161. (ZHANG Jianyun, WANG Guoqing, JIN Junliang, et al. Evolution and variation characteristics of the recorded runoff for the major rivers in China during 1956-2018[J]. Advances in Water Science, 2020, 31(2): 153-161. (in Chinese))

[8] 熊立华,江聪,杜涛,等. 变化环境下非一致性水文频率分析研究综述[J]. 水资源研究, 2015, 4(4): 310-319. (XIONG Lihua, JIANG Cong, DU Tao, et al. Review on nonstationary hydrological frequency analysis under changing environments[J]. Journal of Water Resources Research, 2015, 4(4): 310-319. (in Chinese))

[9] 胡义明,梁忠民,姚轶,等. 变化环境下水文设计值计算方法研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2018, 38(4): 89-94. (HU Yiming, LIANG Zhongmin, YAO Yi, et al. Review on computational methods of hydrological design values in changing environment[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2018, 38(4): 89-94. (in Chinese))

[10] MILLY P, BETANCOURT J, FALKENMARK M, et al. Stationarity is dead; whither water management? [J]. Science, 2008, 319(5863): 573-574.

[11] FRANCOIS B, SCHLEF K E, WI S, et al. Design considerations for riverine floods in a changing climate : a review[J]. Journal of Hydrology, 2019, 574: 557-573.

[12] CHENG L, AGHAKOUCHAK A, GILLELAND E, et al. Non-stationary extreme value analysis in a changing climate[J]. Climatic Change, 2014, 127(2): 353-369.

[13] 何朝飞,王晓云,陈伏龙,等. 玛纳斯河不同峰量组合下的融雪洪水风险分析[J]. 水利水电科技进展, 2023, 43(1): 15-21. (HE Chaofei, WANG Xiaoyun, CHEN Fulong, et al. Risk analysis of snowmelt flood under different combination of flood peaks and flood volumes in Manas River [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2023, 43(1): 15-21. (in Chinese))

[14] 胡义明,梁忠民,姚轶,等. 变化环境下洪峰-洪量组合设计值计算方法研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2021, 49(6): 492-498. (HU Yiming, LIANG Zhongmin, YAO Yi, et al. Calculation method of design value combination of flood peak and flood volume under changing environment [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2021, 49(6): 492-498. (in Chinese))

[15] BENDER J, WAHL T, JENSEN J. Multivariate design in the presence of non-stationarity[J]. Journal of Hydrology, 2014, 514: 123-130.

[16] BRACKEN C, HOLMAN K D, RAJAGOPALAN B, et al. A Bayesian Hierarchical Approach to Multivariate Nonstationary Hydrologic Frequency Analysis[J]. Water Resources Research, 2018, 54(1): 243-255.

[17] SARHADI A, BURN D H, AUSIN M C, et al. Time-varying nonstationary multivariate risk analysis using a dynamic Bayesian copula[J]. Water Resources Research, 2016, 52(3): 2327-2349.

[18] HU Y M, LIANG Z M, HUANG Y, et al. A nonstationary bivariate design flood estimation approach coupled with the most likely and expectation combination strategies[J]. Journal of Hydrology, 2022, 605: 127325.

[19] 梁忠民,胡义明,王军,等. 基于等可靠度法的变化环境下工程水文设计值估计方法[J]. 水科学进展, 2017, 28(3): 398-405. (LIANG Zhongmin, HU Yiming, WANG Jun, et al. Estimation of design flood using equivalent reliability method under changing environment[J]. Advances in Water Science, 2017, 28(3): 398-405. (in Chinese))

[20] 晋恬,闻昕,方国华,等. 不同重现期标准双变量设计洪水计算方法[J]. 水利水电科技进展, 2018, 38(4): 7-13. (JIN Tian, WEN Xin, FANG Guohua, et al. Calculation method for bivariate design flood of different return periods[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2018, 38(4): 7-13. (in Chinese))