

贺芳芳, 梁卓然, 董广涛. 上海地区洪涝致灾因子复合概率及未来变化分析[J]. 灾害学, 2021, 36(2): 9-13, 18. [HE Fangfang, LIANG Zhuoran and DONG Guangtao. Analysis on the Compound Probability and Future Change of Flood and Waterlogging Disaster Factors in Shanghai [J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36 (2): 9 - 13, 18. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.02.002.]

上海地区洪涝致灾因子复合概率及未来变化分析^{*}

贺芳芳¹, 梁卓然², 董广涛¹

(1. 上海市气候中心, 上海 200030; 2. 杭州市气象局, 浙江 杭州 310051)

摘 要: 根据上海地区三阶段(1970-2004年, 2020-2054年和2060-2094年)四要素(降水、吴淞口风速、太湖流域面雨量、吴淞口潮位)提取年极值时间序列, 采用GEV分布首先开展“雨洪风潮”各致灾因子气候变化分析, 结果显示: “雨洪风潮”各致灾因子年极值受气候变化影响均呈增加趋势; 进而基于Copula联合函数中的三维变量的超越概率模型, 计算“雨洪风”“雨洪潮”和“雨风潮”三种“三碰头”联合超越概率, 结果表明: 未来气候变化时段相对于历史基期, 上海地区“雨洪风”“雨洪潮”和“雨风潮”三种三碰头概率呈增加趋势。洪涝灾害致灾因子同时发生的复合概率增加, 预示着气候变化影响下上海地区防汛排涝安全存在更大风险。

关键词: 洪涝灾害; 复合概率; 未来变化

中图分类号: X43; P42; P45; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2021)02-0009-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.02.002

全球气候变化背景下极端降水事件的增加^[1], 使得暴雨洪涝频发, 就全球而言, 暴雨洪涝造成的损失占各种自然灾害损失的40%^[2]。由于极端暴雨事件危害越来越大, 暴雨洪涝灾害评估已成为关注的焦点。近年来暴雨洪涝风险评估研究进展较快, 从运用组合赋权法确定致灾因子和孕灾环境指标权重来评估安徽沿江流域暴雨洪涝灾害危险性^[3], 到通过阶段性动态风险评估方法实现针对杭州暴雨灾害过程的滚动加密评估^[4]、利用主成分分析法、GIS自然断点法对青海省暴雨洪涝灾害风险度进行评估^[5], 以及采用FloodArea水文模型推演山西洪安涧河流域暴雨洪水淹没的情景^[6]、基于突变理论综合分析衡阳暴雨灾害风险的时间演变和空间变化情况^[7]等等, 众多研究成果表明全国暴雨灾害评估不仅方法多样化研究结论也较深较广。此外, 重现期原理和Copula函数也为暴雨洪涝灾害评估提供了有利技术手段, 多位学者采用广义极值分布研究表明RCP8.5高排放情景下100a重现期的中国地区洪涝风险更为明显^[8]; 同时基于Copula函数构建联合分布发现广西降水的重现期越长洪涝灾害也越严重^[9]和北京地区短时强降水基于持续时间和过程降水量的重现期受降水持续时间影响明显^[10]; Copula函数在

浙江和深圳沿海流域遭遇暴雨和高潮位碰头的水文组合事件风险评估中也有应用^[11-12]。但在多种灾害同时出现的应用较少见报道。

上海地区经常受到台风侵袭, 若逢高潮位和其他天气系统影响, 会出现“台风、暴雨、高潮位、上游洪水”多种灾害同时出现的“三碰头”乃至“四碰头”事件, 极易导致极端的复合洪涝灾害。2012年8月“海葵”和2013年10月“菲特”台风影响上海期间就形成了“多碰头”的复合洪涝灾害事件, 不仅造成城区积水、农田受淹严重, 而且出现防汛墙垮塌、河道堤防受损等危害, 直接经济损失分别高达5.2亿元和3.7亿元^[13-14]。因此了解台风、暴雨、高潮位等洪涝致灾因子同时出现的发生发展情况, 对城市防灾减灾具有重要指导意义。

目前上海地区复合洪涝灾害方面探讨甚少, 也有学者通过构建大气~海洋~陆地相耦合的一体化数值模拟系统实现了上海市“风、暴、潮、洪”多灾种复合情景的极端洪涝淹没模拟^[15], 这也仅停留在未来情景假设层面最极端风险情况, 并没进行上海地区各个洪涝致灾因子同时出现概率及其未来变化的研究。在未来气候变化和海平面上升背景下^[16], 上海可能会面临更严峻的极端

^{*} 收稿日期: 2020-09-27 修回日期: 2020-12-18

基金项目: 国家重点研发计划“重大自然灾害监测预警与防范”重点专项项目(2018YFC1505806); 上海市发改委节能减排项目(SHXM-00-20180628-5471)

第一作者简介: 贺芳芳(1963-), 女, 汉族, 江苏无锡人, 正研级高级工程师, 主要从事气候监测与灾害评估研究。

E-mail: hff@sowweather.com

通讯作者: 梁卓然(1983-), 男, 汉族, 江苏南京人, 博士研究生, 主要从事气候变化分析评估。

E-mail: zhuoran.liang@yahoo.com

复合洪涝灾害风险,十分有必要研究上海台风、暴雨、天文大潮及上游洪水这些影响上海防汛安全领域的致灾因子变化特征。本文基于广义极值(GEV)分布和 Copula 联合函数中的三维变量的超越概率模型统计分析历史上及未来变暖背景下上海地区“台风、暴雨、天文大潮及上游太湖流域来水”各致灾因子气候变化和同时发生的复合概率,并分析其未来变暖背景下的变化,为上海市政府制定有效的防汛抗洪决策和工程设计标准提供可靠的科学依据。

1 数据和方法

1.1 数据

1.1.1 基本数据

本文基于上海地区降水、吴淞口风速、太湖流域面雨量、吴淞口潮位数据的逐日数据,提取年极值时间序列。上海地区 1 d 最大降水取年最大值代表局地暴雨影响,太湖流域面雨量取对应的 1 d 最大降水量当天和前 3 d 中的最大值(太湖流域范围及模式采用格点分布见图 1)代表上游洪水影响,吴淞口风速和潮位取 1 d 最大降水量当天和后 3 d 中的最大值,分别代表大风增水影响和天文潮、海平面上升的影响。通过以上极值,共构成 4 条(降水、风速、太湖流域面雨量、吴淞口潮位)极值时间序列数据,分别表征影响上海地区的暴雨、大风、高潮位和上游洪水事件。

上海地区历史和未来时段降水、吴淞口风速数据和太湖流域面雨量数据来自 25 km 水平分辨率的英国气象局哈德莱中心的区域气候模式 PRECIS 的 RCP4.5 情景下的模拟结果,该模式已经在中国和中国东部的气候评估与气候变化预估中广泛应用,具有较好的模拟效果^[17-22]。吴淞口未来潮位数据采用历史资料外推叠加海平面上升分量重构获得。

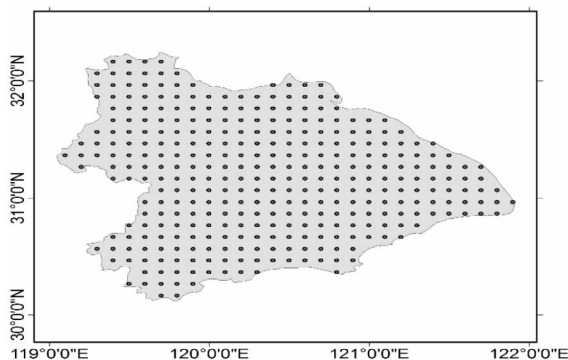


图 1 太湖流域所采用的区域气候模式网格

计算多个致灾因子复合概率的数据分为 3 个时段,分别为 1970 - 2004 年(共 35 a)的历史基期,2020 - 2054 年和 2060 - 2094 年的气候变化情景时段,通过 3 个 35 a 气候时段复合概率的对比和对应重现期极端值对比,分析气候变化对洪涝致灾因子同时发生复合概率的影响。

1.1.2 基于海平面上升的潮位数据重构

已有的诸多研究显示,受全球海平面升高和

局地地面沉降等因素的影响,上海地区未来的海平面还将持续升高。由于项目中使用的潮位数据主要基于天文潮协调函数的拟合,并没有考虑未来气候变化海平面上升带来的吴淞口潮位总体的升高,因此本文根据 WANG Jun 等^[23]的预测结果数据和年份(预测 2030 年、2050 年和 2090 年上海长江口的海平面将分别上升 0.09 m、0.19 m 和 0.44 m)做二项式拟合求得潮位的海平面上升分量(图 2),最后吴淞口潮位数据是天文潮拟合数据与海平面上升分量的叠加。

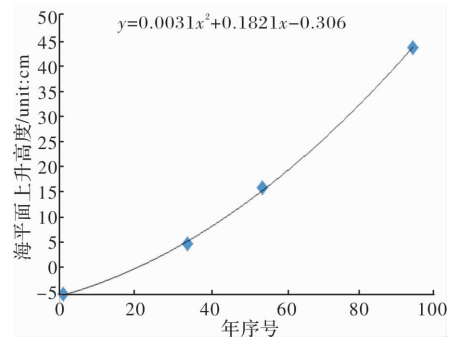


图 2 长江口海平面上升高度二项式拟合

2 计算方法

2.1 边缘分布拟合方法

本文单变量边缘分布拟合采用广义极值分布(GEV 分布)拟合,该模型的表达式为:

$$G(z, \mu, \sigma, \xi) = \exp\{-[1 + \xi(z - \mu)/\sigma]^{-1/\xi}\}. \quad (1)$$

式中: μ 是位置参数,取值范围 $-\infty < \mu < \infty$, σ 是尺度参数,取值范围 $\sigma > 0$, ξ 为形状参数,取值范围 $-\infty < \xi < \infty$ 。GEV 分布重现水平的计算,是将累积分布函数设为需求的概率 $(1 - p)$,再采用下述公式求解其重现水平:

$$z_p = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\xi} \{1 - [-\log(1 - p)]\}^{-\xi}, & \text{当 } \xi \neq 0; \\ \mu - \sigma \log[-\log(1 - p)], & \text{当 } \xi = 0. \end{cases} \quad (2)$$

式中: p 为不同重现期相应的概率; z_p 为重现水平,即不同重现期下边缘分布的要素极值。

2.2 多变量联合分布方法—Copula 函数

本文涉及多个致灾因子同时出现的联合概率分布,需要采用合适的函数对多变量联合分布进行建模。目前,研究多变量联合分布的方法很多,而 Copula 函数因其不受边缘分布的限制,能够完整描述变量间的相关性,可根据实际情况灵活构造随机变量的多维联合分布,定量准确地计算出不同变量遭遇组合下的风险概率,且计算十分简便,因此在降水和水文事件组合分析计算中得到了广泛的应用^[9-12]。

2.2.1 四碰头概念模型的建立和三碰头联合概率公式引入

根据图 3 的四碰头概念模型,在上海地区有台风影响并产生暴雨的时候,如果上游的太湖流域已经由大量降水形成流域洪水,下游的河口区域由于潮汐作用、海平面上升变化产生高潮位,则会产生“风、雨、潮、洪”四碰头的复合洪涝灾害事件。根据概念模型的气候事件产

生顺序,在四碰头的情景中,太湖流域面雨高值一般发生在局地暴雨之前的时段,需要经过一定的产汇流时间影响下游的上海地区,而上海地区的涝水也需要在局地产汇流后经过河道河口排入海洋,所以暴雨后的高潮位会影响上海地区的涝水外排。

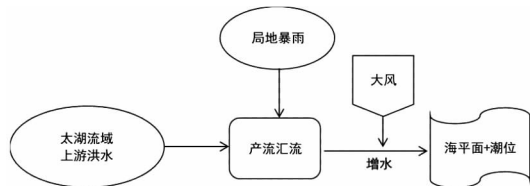


图3 四碰头概念模型

由于本文中所能应用的“雨、洪、风、潮”逐日时间序列长度有限(1970-2004年,2020-2054年和2060-2094年共105 a资料),计算“雨、洪、风、潮”的四碰头概率会是一个非常小的数值,在有限时间序列下,计算非常小的联合概率往往会使得计算的概率值小于联合概率分布函数的拟合误差,同时考虑到暴雨的确是上海防汛致涝的最关键因子,因此本文主要通过“雨洪风”“雨洪潮”和“雨风潮”三种“三碰头”联合概率的计算来体现洪涝致灾因子同时发生复合概率和气候变化的影响。为此引入“多变量联合分布方法—Copula函数”中的三维变量的超越概率公式^[24]:

$$F(d, s, m) = P(D \geq d, S \geq s, M \geq m) = 1 - u - v - w + C(u, v) + C(u, w) + C(v, w) - C(u, v, w). \quad (3)$$

式中: d, s, m 为多维变量,其中 $F(d, s, m)$ 代表 D, S, M 三维变量分别超越 d, s, m 三个阈值情况下的联合超越概率, P 为具体的概率值。 u, v, w 分别是他们的边际分布函数。 C 为基于 copula 函数的联合分布函数, $C(u, v)$ 为 u, v 两个边际分布函数的联合分布函数, $C(u, w)$ 为 u, w 两个边际分布函数的联合分布函数, $C(v, w)$ 为 v, w 两个边际分布函数的联合分布函数, $C(u, v, w)$ 为 u, v, w 三个边际分布函数的联合分布函数。

3 结果分析

在计算洪涝致灾因子同时发生的复合概率和评价气候变化对其影响之前,首先要对“雨洪风潮”各致灾因子气候变化趋势进行分析。

3.1 “雨洪风潮”各致灾因子气候变化趋势分析

3.1.1 “雨洪风潮”各致灾因子平均统计量气候变化分析

表1显示了1970-2004年,2020-2054年和2060-2094年三个35 a气候情景下,上海年1 d最大降水量、和与之对应的太湖流域平均日面雨量、上海地区吴淞口风速、吴淞口潮位的平均统计量变化。年1 d最大雨量基期平均值为97.99 mm,未来2020-2054年和2060-2094年将分别增加11.5%和30%;与年1 d最大雨量对应的太湖流域面雨量基期均值为61.27 mm,未来两个气候时段将分别上升14.8%和37.5%;风速平均统计量在未来较基期有30%以上的增大,但未来两

个时段之间变化不大;年1 d最大雨量对应的潮位平均值,在2020-2054年时段较基期将上升3.2%,在2060-2094时段将上升7.9%。

表1 “雨洪风潮”各致灾因子平均统计量变化

	1971 - 2004 年	2020 - 2054 年	2060 - 2094 年
1 d 最大雨量/mm	97.99	109.29(11.5%)	127.37(30%)
流域面雨量/mm	61.27	70.32(14.8%)	84.26(37.5%)
风速/(m/s)	5.80	7.77(34%)	7.73(33.4%)
潮位/m	3.71	3.83(3.2%)	4.01(7.9%)

3.1.2 “雨洪风潮”各致灾因子发生概率气候变化分析

从以上分析结果可知,气候变化将会使得“雨洪风潮”四个致灾因子中每个致灾因子呈不同程度的增加,接着选取广义极值分布 GEV 分布函数对单个致灾因子发生概率进行拟合。表2为历史基期“雨洪风潮”各致灾因子边缘分布概率,取2%,5%,10%和20%四组发生概率,分别对应50 a一遇,20 a一遇,10 a一遇和5 a一遇四种重现期。1 d最大雨量在表2中重现期对应的雨量在121~167.2 mm之间,最大相差38%,流域面雨量在76.4~93.4 mm之间,最大相差23%,风速在7~12.4 m/s之间,最大相差77%,而潮位在4.09~4.55 m之间,最大相差11%。

表2 历史基期“雨洪风潮”各致灾因子边缘分布概率

	P/%			
	2(50 a 一遇)	5(20 a 一遇)	10(10 a 一遇)	20(5 a 一遇)
1 d 最大雨量/mm	167.2	150.7	136.8	121
流域面雨量/mm	93.4	88.4	83.3	76.4
风速/(m/s)	12.4	10	8.5	7
潮位/m	4.55	4.41	4.27	4.09

从2020-2054年和2060-2094年“雨洪风潮”各致灾因子边缘分布概率来看,受气候变化影响,1 d最大雨量,对应的流域面雨量,风速和潮位的极值呈现数值增大,频率上升的特点为:在2020-2054年时段,1 d最大雨量在不同概率区间分别增加17%~43%,尤其需要注意的是2%概率区间,也就是对应50 a一遇重现期上,极端暴雨雨量增加了43%。此外,其他三个致灾因子极值分别在50 a一遇重现期上增加了63%,90%和4%;在2060-2094时段除了风速在50 a一遇重现期极值增加幅度小于2020-2054时段,其他致灾因子极值在不同重新期又进一步增加,且重现期越长增加幅度越大,意味着“雨洪风潮”单个事件在未来气候变化背景下极端事件增加的风险越大(表3和表4)。

3.2 洪涝致灾因子复合概率历史时候及未来气候变化计算分析

以上“雨洪风潮”各致灾因子气候变化趋势分析可见,“雨洪风潮”均有增加趋势。本文接着采用 Copula 函数三维变量的超越概率公式计算上海地区“雨洪风”“雨洪潮”和“雨风潮”三种“三碰头”联合概率,计算结果见表5至表7。

表 3 2020 – 2054 年“雨洪风潮”各致灾因子边缘分布概率

	P/%			
	2 (50 a 一遇)	5 (20 a 一遇)	10 (10 a 一遇)	20 (5 a 一遇)
1 d 最大雨量/mm	239.8(43%)	199.8(33%)	170.6(25%)	141.4(17%)
流域面雨量/mm	152.1(63%)	132(49%)	115.2(38%)	96.7(27%)
风速/(m/s)	23.6(90%)	15.8(58%)	11.8(39%)	9(29%)
潮位/m	4.74(4%)	4.6(4%)	4.46(4%)	4.28(5%)

表 4 2060 – 2094 年“雨洪风潮”各致灾因子边缘分布概率

	P/%			
	2 (50 a 一遇)	5 (20 a 一遇)	10 (10 a 一遇)	20 (5 a 一遇)
1 d 最大雨量/mm	251.6(50%)	219.1(45%)	192.9(41%)	164.7(36%)
流域面雨量/mm	258.3(177%)	189.6(114%)	147.5(77%)	111.9(46%)
风速/(m/s)	20.1(62%)	15.2(52%)	12.2(44%)	9.7(39%)
潮位/m	5(10%)	4.85(10%)	4.71(10%)	4.53(11%)

表 5 “雨洪风”同时出现超越概率

重现期/a			同时出现超越概率/%	概率的变化率/%	
雨	洪	风	1970 – 2004 年	2020 – 2054 年	2060 – 2094 年
50	50	50	0.043	7	13
20	20	20	0.257	14	20
10	10	10	0.976	22	32
5	5	5	3.679	32	43

表 6 “雨洪潮”同时出现超越概率

重现期/a			同时出现超越概率/%	概率的变化率/%	
雨	洪	潮	1970 – 2004 年	2020 – 2054 年	2060 – 2094 年
50	50	50	0.035	4	10
20	20	20	0.216	12	16
10	10	10	0.857	20	28
5	5	5	3.450	28	40

表 7 “雨风潮”同时出现超越概率

重现期/a			同时出现超越概率/%	概率的变化率/%	
雨	风	潮	1970 – 2004 年	2020 – 2054 年	2060 – 2094 年
50	50	50	0.002	16	28
20	20	20	0.022	32	44
10	10	10	0.154	58	76
5	5	5	1.112	79	93

在 1970 – 2004 年期间,“雨洪风”代表局地暴雨,上游洪水和局地大风在同一个时段内发生的极端复合事件。局地暴雨是城市内部致灾的直接因子,上游洪水提高河道水位使得河道排水能力下降,局地向岸风向的大风会使得河口水位增长影响城市内部涝水沿河道排向大海的能力。“雨洪风”三碰头在上海地区发生的典型情况一般为前期太湖流域发生历时长,范围广和雨量大的梅雨过程,后期上海地区遭遇台风袭击,带来局地暴雨和大风,这样的情况往往会大大的增加防汛排涝的风险,根据计算结果“雨洪风”三碰头 50 a 重现期的概率为 0.043%,20 a 重现期的同现超越概率为 0.257%,10 a 重现期的同现超越概率为 0.976%,5 a 重现期设计值对应的 3 种事件同现超越概率为 3.679%。受气候变化影响不同重现期对应的同现超越概率都呈现上升态势,重现期较短

的同现概率增加幅度较大,但可以看到在长重现期阶段,超越概率仍然有明显增加,其中 2020 – 2054 年间“雨洪风”50 a 一遇三碰头概率增加 7%,到 2060 – 2094 年则增加 13%。

“雨洪潮”代表局地暴雨,上游洪水和天文大潮在同一个时段内发生的极端复合事件。天文大潮会使得河口区域增水影响城市内部涝水沿河道排向大海的能力。“雨洪潮”三碰头在上海地区一般表现为前期流域性暴雨使得河道水文和土壤湿度都处于饱和状态的情况下,遭受当地暴雨(包括台风外围云系或残留云系与冷空气共同影响)袭击又恰逢农历初一或十五前后的天文高潮位的极端暴雨事件。“雨洪潮”50 a 一遇三碰头概率在未来两个时段分别增加 4% 和 10%。

“雨洪潮”同时出现超越概率变化与“雨洪风”类似,但总体受气候变化超越概率上升较小。主

要原因是:“雨洪潮”三碰头与“雨洪风”三碰头相比,潮位上升是一个主要受海平面上升分量控制的慢变过程,潮位边缘分布重现期在气候变化影响下变率小。

“雨风潮”主要表现为上海在遭遇台风影响时,发生暴雨,大风增水和天文大潮同期发生的现象。与“雨洪风”和“雨洪潮”相比,“雨风潮”同现超越概率在历史基期气候阶段概率值较小,其主要原因是“雨洪风”和“雨洪潮”中的“雨”一局地暴雨和“洪”一上游洪水受同样的天气系统控制,因此具有较强的相关性,而“雨风潮”中潮位的天文潮分量、局地暴雨和大风并没有天气学背景的相关性。但受气候变化影响,台风暴雨造成的极端事件可能性最大,使得“雨风潮”同现超越概率未来会产生较大比率的增加,“雨风潮”50 a 一遇三碰头概率在未来 2020–2054 年和 2060–2094 年期间将增加 16% 和 28% 的发生频率。“雨风潮”与“雨洪潮”三碰头事件非常值得上海地区防汛关注。

4 结论与讨论

本文根据三个时段(1970–2004 年,2020–2054 年和 2060–2094 年共 105 a 资料)上海地区降水、吴淞口风速、太湖流域面雨量、吴淞口潮位的逐日数据,通过年极值提取,构成上海地区年 1 d 最大降水值、太湖流域面雨量取对应的 1 d 最大降水量当天和前 3 d 中的最大值,吴淞口风速和潮位取 1 d 最大降水量当天和后 3 d 中的最大值共 4 条时间序列数据进行计算分析。

首先根据广义极值分布(GEV 分布),分析“雨洪风潮”各致灾因子平均统计量和发生概率的气候变化,显示“雨洪风潮”各致灾因子受气候变化影响均呈现增加的趋势,且除潮位以外重现期越长的致灾因子增加幅度越大。接着运用 Copula 连接函数,将上海本地暴雨,太湖流域洪水,吴淞口风速和潮位各变量的边缘分布函数联系起来,采用 Copula 联合函数中的三维变量的超越概率模型计算“雨洪风”“雨洪潮”和“雨风潮”三种“三碰头”针对不同重现期的联合同现超越概率,研究结果表明未来气候变化时段相对于历史基期,上海地区“雨洪风”“雨洪潮”和“雨风潮”三种三碰头概率呈增加趋势。洪涝致灾因子同时发生概率的增加,预示着在气候变化影响下,原来较长重现期发生的洪涝致灾因子多碰头事件将更加频繁,由台风引发的“三碰头”“四碰头”事件的城市内涝问题将会愈发严重,城市防汛除涝安全形势十分严峻。

研究中所采用的潮位预估数据主要考虑了天文潮的周期变化和海平面上升的趋势变化,大风增水对潮位的影响主要通过大风本身来体现,因此在潮位中不再重复考虑大风增水的分量,这可能给“雨风潮”3 个致灾因子的序列相关性带来一定的影响;此外本文主要基于区域气候模式数据,虽然本文中极值变化或者概率变化一般用百分比表示,尽量避免模式系统误差的影响,但其极端气候实际数值可能和实际观测还是存在一定误差;同时本文中所采用的气候变化预估结果主要来自于 RCP4.5 一个情景,在未来气候变化情景上也存在不确定性;重现期分析结果除了有模式结果不

确定性的影响还会有边缘分布及 copula 函数拟合误差的影响,这些误差有待于今后进一步研究。

参考文献:

- [1] 翟盘茂,王萃萃,李威. 极端降水事件变化的观测研究[J]. 气候变化研究进展,2007,3(3):144–148.
- [2] 周月华,彭涛,史瑞琴. 我国暴雨洪涝灾害风险评估研究进展[J]. 暴雨灾害,2019,38(5):494–501.
- [3] 黄晓梅,程先富. 安徽省沿江地区暴雨洪涝灾害危险性评估[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版),2019,42(2):151–158.
- [4] 张玮玮,王颖,许浩恩,等. 阶段性动态风险评估方法在暴雨灾害风险评估中的应用[J]. 干旱气象,2017,35(4):694–701.
- [5] 李万志,余迪,冯晓莉,等. 基于风险度的青海省暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 冰川冻土,2019,41(3):680–688.
- [6] 张亚琳,安伟,李毓富,等. 基于 FloodArea 模型的洪安河流域暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 干旱气象,2018,36(4):694–700.
- [7] 刘慧,刘波,许霞,等. 基于突变理论的湖南衡阳暴雨灾害风险评估[J]. 灾害学,2019,34(3):221–226.
- [8] 李柔珂,李耀辉,徐影. 未来中国地区的暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 干旱气象,2018,36(3):341–352.
- [9] 倪增华,刘合香,罗彦丽,等. Copula 函数在广西洪涝灾害的降水概率预测中的应用[J]. 气象研究与应用,2014,35(2):32–39.
- [10] 曹伟华,梁旭东,赵晗萍,等. 基于 Copula 函数的北京强降水频率及危险性分析[J]. 气象学报,2016,74(5):772–783.
- [11] 张卫国,朱从飞,江雨田,等. 基于 Copula 函数的甬江流域雨潮遭遇组合分析[J]. 水电能源科学,2018,36(1):24–27.
- [12] 陈浩,徐宗学,班春广,等. 基于 Copula 函数的深圳河流域降雨潮位组合风险分析[J]. 北京师范大学学报,2020,56(2):307–314.
- [13] 宋连春. 中国气象灾害年鉴(2013)[M]. 北京:气象出版社,2013:27.
- [14] 宋连春. 中国气象灾害年鉴(2014)[M]. 北京:气象出版社,2015:36.
- [15] 王璐阳,张敏,温家洪,等. 上海复合极端风暴洪水淹没模拟[J]. 水科学进展,2019,30(4):546–555.
- [16] 程和琴,王冬梅,陈吉余. 2030 年上海地区相对海平面变化趋势的研究和预测[J]. 气候变化研究进展,2015,11(4):231–238.
- [17] XU Yinlong, ZHANG Yong, LIN Erda, et al. Institute of environment and sustainable development in aganalyses on the climate change responses over China under SRES B2 scenario using PRECIS[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(18):2260–2267.
- [18] 潘婕,刘珂,夏冬冬. PRECIS 对 SRESA1B 情景下的中国区域气候变化预估分析[J]. 海洋预报,2017,34(1):34–46.
- [19] 王芳栋,李涛,许吟隆,等. PRECIS 和 RegCM3 对中国区域气候的长期模拟比较[J]. 中国农业气象,2012,33(2):159–165.
- [20] 张延伟,魏文寿,姜逢清,等. RegCM3 模式和 PRECIS 模式对于新疆气候变化的模拟比较[J]. 地球科学期刊,2012,2(1):19–26.
- [21] 许吟隆,张勇,林一骅. 利用 PRECIS 分析 SRES B2 情景下中国区域的气候变化响应[J]. 科学通报,2006,51(17):2068–2074.
- [22] 王芳栋,许吟隆,李涛. 区域气候模式 PRECIS 对中国气候的长期数值模拟试验[J]. 中国农业气象,2010,31(3):327–332.
- [23] WANG Jun, GAO Wei, XU Shiyuan, et al. Evaluation of the combined risk of sea level rise, land subsidence, and storm surges on the coastal areas of Shanghai, China[J]. Climate Change, 2012, 115:537–558.
- [24] 李计. 基于 Archimedean Copulas 函数的多变量干旱频率及空间分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012.

(下转第 18 页)

degree of infrastructure damage and the level of earthquake disasters is determined. Collecting earthquake disaster information and detecting earthquake disaster level as an important index for damage resilience assessment. In addition, combining with the analysis results of other influencing factors of damage resilience, the evaluation index system of damage resilience is constructed. By solving the index and comparing it with the set standard data, the final evaluation result of damage resilience is obtained. In the case study taking an urban area as an example, the damage resilience was evaluated by simulating the earthquake disaster, and the evaluation results were analyzed. The results showed that the average evaluation index of the resilience was 0.81, which could effectively improve the accuracy of the resilience evaluation and had a certain application prospect.

Key words: earthquake disasters; urban facilities; critical infrastructure; facilities are damaged; assessment of resilience

(上接第 13 页)

Analysis on the Compound Probability and Future Change of Flood and Waterlogging Disaster Factors in Shanghai

HE Fangfang¹, LIANG Zhuoran² and DONG Guangtao¹

(1. Shanghai Climate Center, Shanghai 200030, China; 2. Hangzhou Meteorological Bureau, Hangzhou 310051, China)

Abstract: According to the time series by extracted annual extreme values of four elements (precipitation, wusong wind speed, surface rainfall in taihu lake basin, and wusong mouth tidal level) in the third stage of Shanghai area (1970 – 2004, 2020 – 2054 and 2060 – 2094), first, the single-factor climate change analysis of “rainstorm or flood or wind or tide” was carried out based on the GEV distribution, it showed that the annual extreme value of the single factor of “rainstorm or flood or wind or tide” is increasing under the influence of climate change. Then, the transcendental probability model of the three-dimensional variables in the Copula function is used to calculate the joint probability of “rainstorm-flood-wind”, “rainstorm-flood-tide” and “rainstorm-wind-tide”, the results show that the probability of “rainstorm-flood-wind”, “rainstorm-flood-tide” and “rainstorm-wind-tide” increases in the future climate change period compared with the historical base period in Shanghai. The increase in the Composite probability of simultaneous occurrence of flood and waterlogging disaster factors indicates that there are greater risks in flood control and drainage safety in Shanghai under the influence of climate change.

Key words: flood disaster; compound probability; future change

《灾害学》入编《中文核心期刊要目总览》(2020 版)

《灾害学》编辑部收到北京大学图书馆的入编通知,《灾害学》入编《中文核心期刊要目总览》(2020 版)(即第 9 版)。

《中文核心期刊要目总览》采用定量评价与定性分析相结合的方法,每 3 年遴选一次。定量评价指标体系采用了被摘量(全文、摘要)、被摘率(全文、摘要)、被引量、他引量(期刊、博士论文)、影响因子、他引影响因子、5 年影响因子、5 年他引影响因子、特征因子、论文影响分值、论文被引指数、互引指数、获奖或被重要检索系统收录、基金论文比(国家级、省部级)、Web 下载量、Web 下载率 16 个评价指标,选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达 48 种,统计到的文献数量共计 142 亿余篇次,涉及期刊 13 764 种。参加核心期刊评审的学科专家 1 万多位。经过定量筛选和专家定性评审,从我国正在出版的中文期刊中评选出 1 990 种核心期刊。

《灾害学》继入编《中文核心期刊要目总览》2011 年版、2017 年版之后,再次入编《中文核心期刊要目总览》(2020 年版)。这项荣誉的获得,离不开主办单位、各协办单位的大力支持,离不开编委会各位编委和审稿专家的热心帮助,更离不开广大作者和读者的信任、关心和支持。此项荣誉的获得,更加巩固了《灾害学》杂志在灾害研究领域的学术地位。《灾害学》将一如既往的为广大作者提供最好的服务,努力为党和国家的防灾减灾事业做出应有的贡献。

《灾害学》编辑部

