

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2023.02.010

长江中下游各省市洪涝灾情时空变化及影响因素

王小杰, 夏军强, 李启杰, 周美蓉, 董柏良

(武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要:基于 SL 579—2012《洪涝灾情评估标准》确定了长江中下游各省市 1991—2020 年的洪涝灾害等级, 并采用 Mann-Kendall 趋势检验法、 R/S 分析法和随机森林法对洪涝灾情的时空变化及影响因素进行了分析。结果表明: 在时间尺度上, 1991—2020 年长江中下游各省市洪灾损失率和洪灾等级均呈下降趋势, 防洪减灾能力有着显著的提升; 在空间尺度上, 洪涝灾情呈现明显的中游高、下游低, 江南高、江北低的分布特征, 中游湖北、湖南和江西洪涝灾害等级突变点均为 1998 年, 下游安徽、江苏和浙江为 2007 年; 洪涝灾害等级与降水呈正相关关系, 而与防洪减灾能力、社会经济发展水平和自然资源总体呈负相关关系, 湖北、江西、江苏、浙江和上海的洪涝灾害等级主要受降水和防洪减灾能力影响, 而湖南和安徽则主要受降水和耕地面积影响。

关键词:洪涝灾情; 变化特征; Mann-Kendall 趋势检验; R/S 分析; 随机森林; 长江中下游

中图分类号:TV122 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2023)02-0078-09

Spatiotemporal variation of flood distribution and influencing factors in provinces in middle and lower reaches of Yangtze River // WANG Xiaojie, XIA Junqiang, LI Qijie, ZHOU Meirong, DONG Boliang (*State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China*)

Abstract: The flood grades in provinces in the middle and lower reaches of Yangtze River (MLYR) from 1991 to 2020 are evaluated based on the *Chinese Flood Damage Assessment Standard* (SL579-2012). The spatiotemporal variation of flood disasters and the influencing factors are analyzed using the Mann-Kendall trend test, R/S method and random forest method. The results showed that, from the temporal perspective, the flood loss rates and flood grades decreased in provinces in the MLYR from 1991 to 2020. The flood control and disaster reduction capacity of the MLYR was significantly improved. From the spatio perspective, the flood disasters in the middle Yangtze River (MYR) were higher than the lower Yangtze River (LYR), and that on the south side of the MLYR were higher than the values on the north side of the MLYR. The mutation points of flood grades in Hubei, Hunan and Jiangxi provinces in the MRY occurred in 1998. The mutation points of flood grades in Anhui, Jiangsu and Zhejiang provinces of the LRY occurred in 2007. The flood grades in the MLYR were positively influenced by precipitation, and negatively influenced by socio-economic, natural resources and disaster prevention and mitigation capabilities. The flood grades in Hubei, Jiangxi, Jiangsu, Zhejiang provinces and Shanghai municipality were mainly affected by precipitation and disaster prevention and mitigation capabilities. The flood grades in Hunan and Anhui provinces were mainly affected by precipitation and cultivated area.

Key words: flood disasters; variation characteristics; Mann-Kendall trend test; R/S analysis; random forest; middle and lower reaches of Yangtze River

洪涝灾害是发生频率最高、影响范围最广、死亡人数最多的自然灾害之一。就 2019 年来说, 洪涝灾害受灾人口占全球自然灾害受灾人口的 33%, 死亡人口占 44%, 直接经济损失占 36%^[1-2]。随着全球气候变化和城市化进程的加快, 暴雨洪涝灾害频发,

造成了严重的经济损失和人员伤亡^[3]。据统计, 1995—2018 年全国年均有 196 座城市、1 980 个县(市)发生洪涝灾害, 平均每年因灾死亡 1 677 人, 直接经济损失 1 662 亿元^[4]。我国人口密集、经济发达的长江中下游地区, 因多湖泊、多洼地的地形及

基金项目:国家自然科学基金(51725902, 41890823); 中英牛顿高级学者基金(NSFC52061130219 + NAF\RI\201156)

作者简介:王小杰(1995—), 女, 博士研究生, 主要从事城市洪涝研究。E-mail: wangxiaojie@whu.edu.cn

通信作者:夏军强(1974—), 男, 教授, 博士, 主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: xiajq@whu.edu.cn

亚热带季风气候的影响,是暴雨洪涝灾害多发区域^[5-6]。因此,研究长江中下游各省市洪涝灾情时空变化特征,定量分析洪涝灾害的不同影响因素,对科学开展区域防洪减灾和风险管理具有重要意义。

近年来,国内外学者采用不同方法研究洪涝灾情的时空变化特征^[6-8]。例如,Zhang 等^[9]将历史灾情资料与降水数据对比,建立了长江三角洲洪涝灾害程度年表,对洪涝灾害变化特征进行了分析;沈澄等^[10]以死亡人口、受灾人口、农作物受灾面积和直接经济损失作为评价指标,构建灾度计算模型对江苏省洪涝灾情进行了综合评估;Bai 等^[11]采用 Z 指数法对降水量序列进行分析,研究了新疆塔里木河三源区洪涝灾害等级的变化趋势;陈长坤等^[12]采用熵权-灰色关联法结合 SL 579—2012《洪涝灾情评估标准》对全国年度洪涝灾情进行了评估。洪涝灾情评估研究主要集中在三方面:一是基于历史灾情资料来划分洪涝等级^[10,13];二是基于水文气象数据的分析,主要采用降水来量化洪涝灾害^[8,11,14];三是采用 SL 579—2012《洪涝灾情评估标准》来计算洪涝灾害等级^[12,15]。目前长江中下游地区洪涝灾情研究主要集中在采用降水和历史灾情资料构建区域洪涝指标^[6,14,16],而采用 SL 579—2012《洪涝灾情评估标准》的研究成果较少,且对未来洪涝灾情的变化趋势未进行预估。

本文基于 SL 579—2012《洪涝灾情评估标准》对长江中下游各省市 1991—2020 年洪涝灾害等级进行评估,并采用 Mann-Kendall 趋势检验(M-K 检验)法、R/S 分析法和随机森林法对洪涝灾情的时空变化特征及影响因素进行分析,以期为长江中下游各省市洪涝灾害风险管理和防洪减灾政策的制定提供参考。

1 研究区概况与研究数据

研究区位于我国中东部,包括长江中游湖北、湖南和江西 3 省和长江下游安徽、江苏、浙江和上海 3 省一市,素有“水乡泽国”之称,是中国重要的工业基地,粮、油、棉生产基地,亦为中国水资源最丰富的地区,以平原和丘陵山地为主,河渠纵横,湖泊星布,水陆交通发达。研究区是中国经济最发达的地区之一,包含长江中游城市群和长三角城市群两个国家级城市群,2019 年国内生产总值约占全国的 35%,人口约占全国的 29%。研究区年平均气温 14 ~ 18℃,年降水量 1 000 ~ 1 500 mm,降雨多集中在汛期(5—10 月)。此外,受亚热带季风和台风等因素的影响,该地区是中国暴雨多发区和暴雨强度最大的

区域之一,也是洪涝灾害威胁最严重的地区,每年的 6—7 月梅雨期是洪涝发生的集中期^[5]。

长江中下游各省市 1990—2020 年洪涝灾害数据来源于《中国洪涝灾情统计汇编 1950—2014》《中国水旱灾害公报》《中国水利年鉴》和《中国减灾》。

洪涝出现时间与暴雨季节一致,基本为汛期的 5—10 月^[17]。长江中下游各省市 25 个气象台站 1991—2020 年日降水数据来源于中国气候数据网(<http://data.cma.cn>)。采用反距离权重法对气象台站的降水数据进行空间插值,生成空间连续数据,通过区域平均得到各省市降水数据。采用 Spearman 相关系数筛选出与洪涝灾害等级相关性最高的降水量(汛期降水量、年暴雨量)、降水强度(汛期降水强度、年暴雨强度)和降水日数(汛期降水日数、年暴雨日数)进行重要度分析。

长江中下游各省市 1991—2020 年人口、人均地区生产总值(人均 GDP)、城市化率、建城区面积、城市园林绿地面积、道路面积、排水管道长度、水库总库容量、堤防长度、水利建设防洪投资、水利基本建设投资、耕地面积和森林覆盖率数据来源于中国经济社会大数据研究平台(<https://data.cnki.net/YearData/Analysis>)、《中国城市统计年鉴》《中国水利年鉴》和长江中下游各省市统计年鉴。本文采用插值法对缺失数据进行插值补全,包括 2018 年和 2020 年耕地面积、1992 年建成区面积、2002 年水利建设防洪投资、1998—1999 年浙江堤防长度和 1992 年湖北城市园林绿地面积。

2 研究方法

同样的灾情发生在不同承灾体和不同年份,其承受能力是不一样的,因此引入洪灾损失率^[18]来表征洪涝灾害的影响程度。洪灾损失率包括受灾人口率(受灾人口与总人口之比)、死亡人口率(死亡人口与总人口之比)、受灾面积率(农作物受灾面积与耕地面积之比)和经济损失率(经济损失与地区生产总值之比)。

2.1 年度洪涝灾害等级划分

根据 SL 579—2012《洪涝灾情评估标准》,洪涝灾情评估值计算公式为

$$C = (D + L) \times 0.3 + (P + A + F + H) \times 0.1 \quad (1)$$

式中: C 为洪涝灾情评估值; D 为死亡人口指标的参数取值; L 为直接经济损失指标的参数取值; P 为受灾人口指标的参数取值; A 为农作物受灾面积指标的参数取值; F 为水利设施经济损失占直接经济损失比例指标的参数取值; H 为倒塌房屋指标的参数取值。根据 SL 579—2012《洪涝灾情评估标准》,年

度洪涝灾害等级划分如下: $C \geq 80$ 为特别重大洪涝灾害年(Ⅳ级), $60 \leq C < 80$ 为重大洪涝灾害年(Ⅲ级), $40 \leq C < 60$ 为较大洪涝灾害年(Ⅱ级), $C < 40$ 为一般洪涝灾害年(Ⅰ级)。

2.2 累积距平法

累积距平法是一种由曲线直观判断离散数据变化趋势的方法。对于时间序列 $\{x_t\}$, 某一时刻 t 的累积距平值 L_t 为

$$L_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (t = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

其中

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

根据曲线的起伏变化, 可以判断时间序列的长期演变趋势及发生突变的大致时间。当数据持续大于平均值时, 曲线呈上升趋势, 反之则呈下降趋势; 曲线的拐点即为变量阶段性变化的时间点^[19-20]。

2.3 R/S 分析法

R/S 分析法是一种衡量时间序列持续性或反持续性的方法, 能够简单有效地对未来发展趋势进行预估。R/S 分析得到的 Hurst 指数 (H) 能很好地识别时间序列中的趋势性成分, 可根据 H 值的大小来判断趋势性成分的强度。当 $0.5 < H < 1.0$ 时, 表明该时间序列具有持续性, 即未来的变化趋势将与过去一致, 且 H 值越接近 1, 持续性就越强; 当 $H = 0.5$ 时, 表明该时间序列变化是随机的; 当 $0 < H < 0.5$ 时, 表明该时间序列具有反持续性, 即未来的变化趋势将与过去相反, 且 H 值越接近 0, 反持续性就越强^[21]。

2.4 随机森林法

随机森林(random forest, RF)^[22]法是一种基于决策树的非线性集成机器学习算法, 可以对指标重要性进行度量, 且各指标的重要度之和为 1。随机森林法利用 bootstrap 重抽样方法和节点随机分裂技术构建多棵决策树, 通过投票得到最终分类结果。将分类树结果进行汇总, 根据分类树特征选择方法量化变量的重要性。随机森林法具有泛化误差小、精度高、不易出现过拟合等优点, 适用于无先验知识或非线性多变量约束和数据不完备的问题求解, 近年来被广泛应用于洪涝灾害研究^[23]。本文采用 Python 语言 Scikit-learn 库的随机森林法实现变量重要度的计算。随机森林法的原理详见文献^[22]。

3 结果与分析

3.1 洪涝灾害损失变化特征分析

长江中下游各省市 1991—2020 年汛期平均降水量及 M-K 检验结果如图 1 所示(图中“显著上升”

指通过了 5% 的显著性检验)。取显著水平 $\alpha = 0.10, 0.05, 0.01, 0.001$, 临界值 $Z_{\alpha/2} = 1.64, 1.96, 2.58, 3.29$ 。由图 1 可知, 研究区汛期降水量在空间上分布不均, 从东南至西北总体呈减少趋势, 且江南明显大于江北。此外, 研究区汛期降水量总体呈上升趋势, 其中上升和下降趋势的气象台站分别占研究区台站总数的 68% 和 32%, 汛期降水量有上升趋势的气象台站主要分布在长江两岸, 且长江入海口的上海汛期降水量上升趋势通过了 5% 的显著性检验。

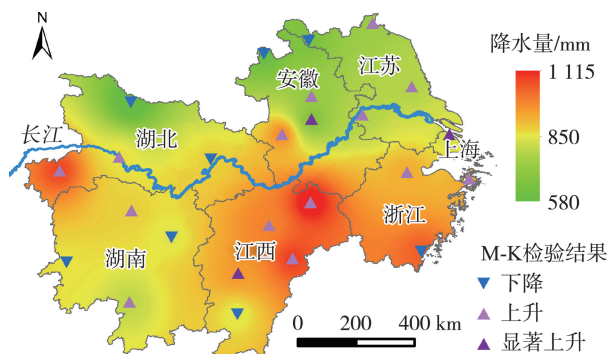


图 1 长江中下游各省市多年平均汛期降水量分布及趋势检验

Fig. 1 Distribution and trend testing of average precipitation during flood seasons in provinces in the MLYR

长江中下游各省市 1991—2020 年洪涝灾害损失变化特征如表 1 所示。从洪灾损失分布来看, 长江中游洪涝灾害损失相较于长江下游更严重, 长江南岸洪涝灾害损失(除受灾面积)相较于长江北岸更严重, 且自西向东洪涝灾害损失总体呈减小趋势。其中, 湖南和湖北的洪涝灾害损失最大, 而面积小、经济发达的上海洪涝灾害损失最小。从时间变化特征来看, 长江中下游各省市洪涝受灾人口、死亡人口和受灾面积均呈下降趋势, 其中各省市死亡人口均通过了 5% 的显著性检验, 呈显著性下降趋势。与此同时, 洪涝经济损失则仅在上海和江苏呈下降趋势, 且上海和江苏的汛期降水量呈增大趋势(图 1), 表明经济发达的上海和江苏具有更强的防洪减灾能力。此外, 长江中下游各省市洪涝受灾人口率、死亡人口率、经济损失率和受灾面积率均呈下降趋势, 其中各省市死亡人口率和经济损失率分别通过了 5% 和 1% 的显著性检验, 呈显著性下降趋势, 表明长江中下游各省市的防洪减灾能力得到了显著提升。总的来说, 长江南岸洪涝灾害损失(率)变化趋势相较于长江北岸更显著, 其中湖南、江苏和浙江的变化趋势最显著, 而上海和安徽变化趋势则较弱。长江中下游各省市洪涝经济损失呈增大趋势, 而经济损失率呈下降趋势, 这是因为随着经济发展和社会财富

表 1 长江中下游各省市 1991—2020 年洪涝灾害损失变化特征

Table 1 Variation of flood loss in provinces in the MLYR from 1991 to 2020

省市	平均值				Z 值							
	受灾人口/万人	死亡人口/人	经济损失/亿元	受灾面积/万 hm ²	受灾人口	死亡人口	经济损失	受灾面积	受灾人口率	死亡人口率	经济损失率	受灾面积率
湖北	1 218.51	118	100.85	1 530.99	-1.50	-4.01	1.11	-1.71	-1.61	-4.14	-3.89	-2.71
湖南	1 378.46	180	143.31	1 423.48	-3.21	-5.21	1.64	-2.21	-3.25	-5.25	-4.25	-2.93
江西	909.35	67	103.57	783.31	-2.25	-3.73	1.57	-0.11	-2.39	-4.07	-3.60	-1.03
安徽	939.87	56	97.98	1 267.08	-0.96	-2.91	0.36	-0.75	-1.00	-2.91	-3.14	-1.18
浙江	870.10	104	135.69	643.47	-3.57	-4.21	0.36	-3.28	-4.00	-4.30	-4.71	-3.53
江苏	611.13	24	48.08	1 046.34	-3.18	-4.89	-0.89	-2.68	-3.43	-4.94	-4.25	-2.64
上海	17.11	2	3.02	29.93	-1.68	-2.16	-0.70	-1.73	-2.07	-2.41	-2.64	-1.37

积累,单位面积固定资产投资额增多,遭遇洪涝时经济损失会呈增大趋势;而与此同时由于防洪建设的不断加强,洪涝灾害应对能力和防御能力增强,经济损失率会呈下降趋势。

3.2 洪涝灾害等级变化特征分析

3.2.1 洪涝灾害等级时空分布

长江中下游各省市年度洪涝灾害等级评估结果如表 2 所示。1991—2020 年湖北、湖南、江西、安徽、浙江、江苏和上海的特别重大洪涝灾害年(Ⅳ级)分别发生了 3 次、4 次、4 次、1 次、1 次、0 次和 2 次,重大洪涝灾害年(Ⅲ级)分别发生了 3 次、2 次、2 次、4 次、4 次、2 次和 1 次,较大洪涝灾害年(Ⅱ级)分别发生了 5 次、6 次、7 次、6 次、6 次、4 次和 4 次。其中,特别重大洪涝灾害年基本发生在 1991 年、1994 年、1995 年、1996 年和 1998 年,占总数的 80%。在年代际尺度上,长江中下游各省市 1991—1999 年洪涝灾情最严重,尤其是中游 3 省 40.7% 为特别重大洪涝灾害年;2010—2020 年洪涝灾情最轻,无特别重大灾害年。1991—2020 年长江中下游各省市洪涝灾害等级总体呈下降趋势,特别重大洪涝灾害年占比由 1991—1999 年的 22.0% 下降到 2000—2009 年的 1.4%,再下降到 2010—2020 年的 0.0%;与此同时一般洪涝灾害年占比由 1991—1999 年的 44.4% 上升到 2000—2009 年的 72.9%,再上升到 2010—2020 年的 74.0%。研究区在 1991 年、1995 年、1996 年和 1998 年发生了大洪水,其中 1991 年湖北、安徽和江苏 3 省受灾最重,1995 年湖南和江西两省受灾最重,1996 年湖南和湖北两省受灾最重,1998 年湖南、湖北和江西 3 省受灾最重。21 世纪以来,研究区洪涝灾害总体偏轻,但局部年份偏重,其中 2003 年、2005 年、2010 年和 2020 年发生了较为严重的洪涝灾害。2003 年江苏和安徽两省受灾较重,2005 年受台风灾害影响的上海、浙江受灾较重,2010 年江西、湖南和湖北 3 省受灾严重,2016 年湖北受灾最重,2020 年安徽、江西和湖北 3

省受灾较重。此外,20 世纪 90 年代以来,江苏 1991 年洪涝灾害最为严重,其次为 2003 年^[24]。由以上分析可知,本文的计算结果与这些典型年份的洪涝灾害分布基本一致,验证了所得结果的合理性。

表 2 长江中下游各省市洪涝灾害等级的年度变化

Table 2 Annual variation of flood grades in provinces in the MLYR

年份	洪涝灾害等级						
	湖北	湖南	江西	安徽	浙江	江苏	上海
1991	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅳ
1992	Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ
1993	Ⅰ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
1994	Ⅰ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅰ
1995	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
1996	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ
1997	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ
1998	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
1999	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ
2000	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2001	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2002	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
2003	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ
2004	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ
2005	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅳ
2006	Ⅰ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	
2007	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ
2008	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2009	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2010	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2011	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2012	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ
2013	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ
2014	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	
2015	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ
2016	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ
2017	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2018	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2019	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
2020	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	

长江中下游各省市多年平均洪涝灾害等级如表 3 所示。1991—2020 年长江中游洪涝灾害程度较长江下游更严重,长江南岸洪涝灾害程度较长江北岸

更严重,且自西南向东北方向,各省洪涝受灾程度越来越弱,其中湖南和江西受灾最重,上海和江苏受灾最轻。从年代际尺度分布来看,在不同年代长江南岸洪涝灾害程度均较长江北岸更严重,且上海和江苏受灾均最轻。此外,1991—1999 年和 2010—2020 年长江中游洪涝灾害程度较长江下游更严重,其中江西受灾最重。2000—2009 年长江下游洪涝灾害程度总体较长江中游更严重,其中浙江受灾最重。与此同时,还发现长江中下游各省市人均 GDP 较低的江西洪涝灾害等级较高,而经济发达的上海和江苏洪涝灾害等级较低。此外,在长江中游人均 GDP 最低的江西洪涝灾害等级最高,人均 GDP 最高的湖北洪涝灾害等级最低;在长江下游人均 GDP 较低的安徽和浙江洪涝灾害等级较高,人均 GDP 较高的上海和江苏洪涝灾害等级较低。由以上分析可知,经济发展水平较高的省市洪涝灾害等级较低,而经济发展水平较低的省市洪涝灾害等级较高,这表明洪涝灾害程度与经济发展水平相关。

表 3 长江中下游各省市多年平均洪涝灾害等级
Table 3 Average flood grades in provinces in the MLYR

省市	洪涝灾情评估值			
	1991—2020 年	1991—1999 年	2000—2009 年	2010—2020 年
湖北	36(I)	50(II)	28(I)	32(I)
湖南	40(II)	62(III)	30(I)	32(I)
江西	42(II)	65(III)	28(I)	36(I)
安徽	32(I)	38(I)	31(I)	27(I)
浙江	36(I)	49(II)	36(I)	26(I)
江苏	25(I)	28(I)	25(I)	21(I)
上海	23(I)	31(I)	26(I)	15(I)

注:括号中为洪涝灾害等级。

3.2.2 洪涝灾害等级突变分析

采用累积距平法对长江中下游各省市 1991—2020 年洪涝灾害等级变化特征进行分析,结果如图 2 所示。长江中游湖北、湖南和江西 3 省洪涝灾害等级在 1998 年以前总体呈增大趋势,1998 年以后呈减小趋势。长江下游安徽、浙江和江苏 3 省洪涝灾害等级在 2007 年以前总体呈波动增大趋势,2007 年以后呈减小趋势;而上海洪涝灾害等级在 2005 年以前总体呈增大趋势,2005 年以后呈减小趋势。总的来说,长江中下游各省市洪涝灾害等级明显存在 1 个拐点、2 个不同的变化阶段,即增大—减小的变化过程,其中长江中游湖北、湖南和江西 3 省洪涝灾害等级突变点均为 1998 年,下游安徽、浙江和江苏 3 省洪涝灾害等级突变点为 2007 年,上海为 2005 年。中游 3 省洪涝灾害等级在 1998 年发生突变,可能是因为该地区 1998 年发生了严重的洪涝灾害,引起了地方各级政府及相关部门的高度重视,1998 年洪灾过后,各地加大了水利基础设施建设投入,采取

了一系列相应的积极措施,提高了防洪减灾能力^[17]。下游地区洪涝灾害等级在 2007 年发生突变,可能是因为三峡工程从 2007 年开始进入初期运行阶段,且在 2008 年开始以正常蓄水位 175 m 进行试验性蓄水,防洪、发电、水资源利用等综合效益开始全面发挥,长江中下游的防洪减灾能力显著提高^[25-26]。

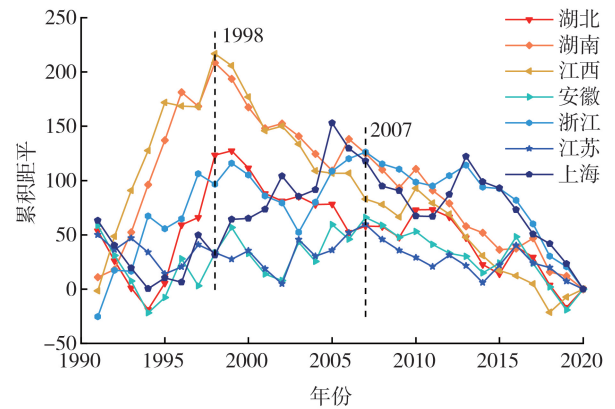


图 2 长江中下游各省市洪涝灾害等级的突变分析
Fig. 2 Analysis on mutation points of flood grades in provinces in the MLYR

3.2.3 洪涝灾害等级变化趋势

采用线性回归和 M-K 检验法对长江中下游各省市 1991—2020 年洪涝灾害等级变化趋势进行分析,结果如表 4 所示。长江中下游各省市洪涝灾害等级均呈减小趋势,其中湖南洪涝灾害等级减小趋势最显著,安徽减小趋势最不显著,且湖南、江西和浙江 3 省洪涝灾害等级减小趋势分别通过了 5%、10% 和 5% 的显著性检验。总的来说,长江中游洪涝灾害等级减小趋势比长江下游更显著,长江南岸洪涝灾害等级减小趋势比长江北岸更显著。

表 4 长江中下游各省市洪涝灾害等级的变化趋势分析
Table 4 Analysis on variation trend of flood grades in provinces in the MLYR

省市	线性趋势 变化率/a ⁻¹	M-K 检验		Hurst 指数
		Z 值	显著性水平	
湖北	-0.68	-0.95	0.34	0.62
湖南	-1.30	-2.11	0.04	0.82
江西	-1.19	-1.75	0.08	0.87
安徽	-0.37	-0.04	0.97	0.40
浙江	-1.02	-2.07	0.04	0.70
江苏	-0.40	-0.50	0.62	0.45
上海	-0.90	-1.59	0.11	0.54

采用 R/S 分析法对长江中下游各省市洪涝灾害等级未来趋势进行分析,结果如表 4 所示。除安徽和江苏外,长江中下游其余省市洪涝灾害等级的 Hurst 指数均大于 0.5,皆表现出与过去历史呈正相关性,即未来相同时间内除安徽和江苏外,其余省市

洪涝灾害等级将呈持续减小趋势。其中,湖南和江西两省洪涝灾害等级持续减小趋势更显著,安徽则未来增大趋势更显著。总体而言,研究区在未来相同时间内自西南向东北方向,各省洪涝灾害等级将呈显著减小—减小—增大的变化趋势,其中长江南岸或长江中游地区洪涝灾害等级将均呈持续减小趋势。此外,还发现洪涝灾害等级减小趋势越显著则 Hurst 指数越大,减小趋势越弱则 Hurst 指数越小,表明 M-K 检验值与 Hurst 指数呈正相关关系,即洪涝灾害等级变化趋势越显著,未来持续性变化趋势则越显著;变化趋势越弱,未来持续性变化趋势则越弱,甚至可能反持续性变化。

3.3 洪涝灾害影响因素分析

3.3.1 相关性分析

洪涝灾害是由多种影响因素相互作用而形成的典型复杂自然现象,涉及气候变化、社会经济发展、防洪减灾能力和自然资源环境等,这些因素对洪涝灾害发生频率及其可能造成的损失有着重要的影响。降水是洪涝灾害的主要致灾因子,包括降水量、降水强度和降水日数。采用相关系数法筛选出与洪涝灾害等级相关性最高的雨量、雨强和雨日,分别为年暴雨量(F_1) (湖北和湖南为汛期降水量(F_2))、汛期降水强度(F_3)和年暴雨日数(F_4)。防洪减灾能力的提升能有效降低洪涝灾情,水利基本建设投资(F_5)、水利建设防洪投资(F_6)、堤防长度(F_7)、水库总库容量(F_8)、排水管道长度(F_9)是反映防洪减灾能力的主要指标。人均 GDP (F_{10})、人口(F_{11})、城市化率(F_{12})、建成区面积(F_{13})、城市园林绿地面积(F_{14})和道路面积(F_{15})是反映社会经济发展水平的常用指标,而耕地面积(F_{16})和森林覆盖率(F_{17})是影响洪涝灾害常用的自然资源指标。采用 Spearman 相关系数分析洪涝灾害等级和不同影响因素之间的相关性,结果如表 5 所示。取显著水平 $\alpha=0.10, 0.05, 0.01, 0.005$,查表得临界值 $r=0.31, 0.36, 0.46, 0.50$ 。长江中下游各省市洪涝灾害等级与降水指标均呈显著正相关关系,而与防

洪减灾能力指标、社会经济发展水平指标和自然资源指标总体呈负相关关系,表明降水越大洪涝灾害越严重,社会发展水平越高、防洪减灾能力越强则洪涝灾害越轻。其中,洪涝灾害等级与防洪减灾能力指标、社会经济发展水平指标和自然资源指标在湖南、江西和浙江 3 省总体呈显著负相关关系,而在湖北、安徽、江苏 3 省和上海则呈弱负相关关系,表明湖北、安徽、江苏和上海的洪涝灾害等级主要受降水影响。由长江中下游各省市洪涝灾害等级与影响因素(除降水指标)的相关系数显著性检验可知,湖北和江苏洪涝灾害等级受堤防长度影响最显著,湖南洪涝灾害等级受耕地面积影响最显著,安徽洪涝灾害等级受人口影响最显著,而江西、浙江和上海洪涝灾害等级受水利建设投资影响最显著。

3.3.2 重要度分析

采用随机森林法定量分析洪涝灾害等级不同影响因素的重要度,结果如图 3 所示。从降水指标、防洪减灾能力指标、社会经济发展水平指标和自然资源指标中各选取重要度最高的影响因素进行分析,4 种主要影响因素由高至低依次分别为:湖北的汛期降水量、堤防长度、城市化率、耕地面积,湖南的耕地面积、汛期降水量、水利基本建设投资、城市园林绿地面积,江西的水利建设防洪投资、年暴雨量、建成区面积、耕地面积,安徽的年暴雨量、耕地面积、水利建设防洪投资、人口,浙江的年暴雨量、水利建设防洪投资、耕地面积、建成区面积,江苏的年暴雨量、堤防长度、耕地面积、人均 GDP,上海的年暴雨量、水利建设防洪投资、耕地面积、人均 GDP。总体而言,湖北、江西、浙江、江苏和上海的洪涝灾害等级主要受降水和防洪减灾能力影响,而湖南和安徽则主要受降水和耕地面积影响。在防洪减灾能力指标中,除湖北和江苏洪涝灾害等级受堤防长度影响最大外,其余省市均受水利建设防洪投资影响最大。此外,对比不同影响因素的相关系数和重要度可知,影响因素的相关性越显著,其重要度越大,相关系数和重要度总体成正比。研究区洪涝灾害等级受耕地面

表 5 长江中下游各省市洪涝灾害等级和不同影响因素的相关性分析

Table 5 Analysis on correlations between flood grades and different influencing factors in provinces in the MLYR

省市	相关系数																
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}
湖北	0.458	0.562	0.628	0.403	-0.145	-0.212	-0.290	-0.139	-0.077	-0.148	0.121	-0.115	-0.046	-0.002	-0.156	-0.052	-0.180
湖南	0.220	0.352	0.270	0.298	-0.430	-0.486	-0.422	-0.402	-0.407	-0.418	-0.322	-0.406	-0.403	-0.475	-0.413	-0.558	-0.424
江西	0.468	0.439	0.413	0.424	-0.425	-0.461	-0.353	-0.351	-0.357	-0.357	-0.319	-0.357	-0.345	-0.358	-0.357	-0.082	-0.393
安徽	0.735	0.574	0.694	0.734	-0.036	-0.053	-0.011	0.027	-0.022	-0.010	0.289	-0.010	-0.001	-0.016	-0.010	-0.198	-0.024
浙江	0.401	0.040	0.355	0.272	-0.364	-0.376	-0.354	-0.365	-0.354	-0.353	-0.355	-0.354	-0.366	-0.368	-0.364	-0.093	-0.327
江苏	0.671	0.443	0.460	0.646	-0.062	-0.119	-0.257	0.077	-0.097	-0.095	-0.093	-0.093	-0.067	-0.106	-0.087	0.183	-0.105
上海	0.462	0.107	0.372	0.316	-0.391	-0.349	0.047		-0.261	-0.306	-0.325	-0.135	-0.293	-0.311	-0.279	0.292	-0.325

积影响较大,可能是因为该地区属于我国重要的农业基地,其中安徽和江苏两省的耕地面积均占地区土地面积的40%以上,且防洪行之有效的蓄洪垦殖工程影响着区域耕地面积。

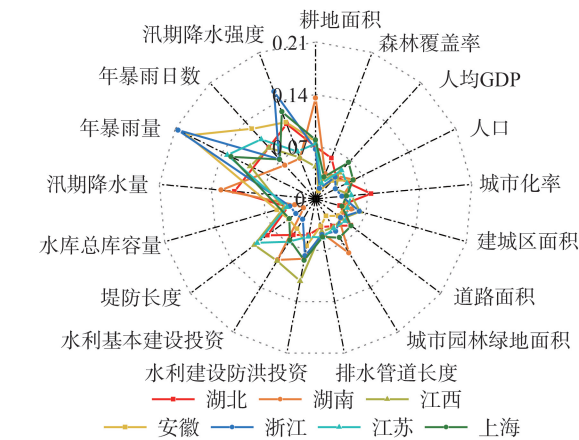


图3 长江中下游各省市洪涝灾害等级不同影响因素的重要度分析

Fig.3 Analysis on importance degrees of different influencing factors to flood grades in provinces in the MLYR

湖北和江苏洪灾多发生在沿江沿河的低洼处和平原区,防洪主要依赖堤防^[13,27];湖南洪灾主要集中在湘资沅澧四水流域下游和洞庭湖区^[28];江西洪灾多发生在赣东北及鄱阳湖区^[29];安徽洪灾主要发生在淮北平原、沿江圩区以及皖南大别山区^[30];浙江洪灾多发生在东南沿海丘陵平原和各大盆地河谷平原^[18];上海临江濒海,易遭洪潮、涝渍灾害^[31]。水利工程建设是改善长江中下游防洪形势的主要措施^[5],对于沿江沿河的低洼处和平原湖区需采取加高加固堤防、整治河道、开辟蓄滞洪区和增建排水泵闸等措施,对于沿海地带需采取加高加固海塘、防浪墙等措施,而对于山丘区则需采取兴修水库、塘堰等措施^[17,26,31]。由以上分析可知,为了降低洪涝灾情,湖北和江苏两省可首先考虑在洪灾多发的沿江沿河低洼处和平原区加固与增建堤防,而湖南、江西、安徽、浙江和上海则可考虑提高水利建设防洪投资,并根据区域洪涝多发地的灾害特点选取合适的防洪措施。与此同时,在完善防洪工程建设短板的基础上,未来长江防洪策略将会由洪水防治向洪水管理过渡,需要加强非工程措施的建设^[26]。

4 结 论

a. 长江中下游各省市洪灾损失率均呈下降趋势,而洪涝经济损失仅在上海和江苏呈下降趋势,表明该地区防洪减灾能力有着显著的提升,且经济越发达的城市具有更强的防洪治涝能力;洪涝灾情呈

现明显的中游高、下游低,江南高、江北低的分布特征,且自西南向东北受灾程度越来越小。

b. 长江中下游各省市20世纪90年代洪涝灾情最严重,尤其是中游3省40.7%为特别重大洪涝灾害年;21世纪10年代洪涝灾情最轻,无特别重大灾害年。中游湖北、湖南和江西洪涝灾害等级突变点均为1998年,下游安徽、江苏和浙江为2007年。1991—2020年研究区洪涝灾害等级总体呈减小趋势,且未来相同时间内自西南向东北方向,各省洪涝灾害等级将呈显著减小—减小—增大的变化趋势,其中安徽和江苏将呈增大趋势。

c. 长江中下游各省市洪涝灾害等级与降水呈显著正相关关系,而与防洪减灾能力、社会经济发展水平和自然资源总体呈负相关关系。湖北、江西、江苏、浙江和上海洪涝灾害等级主要受降水和防洪减灾能力影响,而湖南和安徽则主要受降水和耕地面积影响。在防洪减灾能力指标中,除湖北和江苏洪涝灾害等级受堤防长度影响最大外,其余省市均受水利建设防洪投资影响最大。

参考文献:

[1] CRED. Natural disasters 2019:now is the time to not give up [R/OL]. [2022-06-13]. https://cred.be/sites/default/files/adsr_2019.pdf.

[2] WANG X J, XIA J Q, DONG B L, et al. Spatiotemporal distribution of flood disasters in Asia and influencing factors in 1980-2019[J]. Natural Hazards, 2021, 108(3): 2721-2738.

[3] 徐宗学,任梅芳,陈浩. 我国沿海城市洪潮组合风险分析[J]. 水资源保护, 2021, 37(2): 10-14. (XU Zongxue, REN Meifang, CHEN Hao. Analysis on urban flooding risk caused by flood tide combination in coastal cities [J]. Water Resources Protection, 2021, 37 (2): 10-14. (in Chinese))

[4] 中华人民共和国水利部. 中国水旱灾害公报 2018 [M]. 北京:中国水利水电出版社, 2019.

[5] 宁磊. 长江中下游防洪形势变化历程分析 [J]. 长江科学院院报, 2018, 35(6): 1-5. (NING Lei. History of flood control situation in the midstream and downstream of Yangtze River [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research, 2018, 35(6): 1-5. (in Chinese))

[6] 张桂香,霍治国,吴立,等. 1961—2010 年长江中下游地区农业洪涝灾害时空变化 [J]. 地理研究, 2015, 34 (6): 1097-1108. (ZHANG Guixiang, HUO Zhiguo, WU Li, et al. The temporal and spatial variations of agricultural flood disaster over the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1961 to 2010 [J]. Geographical Research, 2015, 34(6): 1097-1108. (in Chinese))

- [7] 郝志新,熊丹阳,葛全胜. 过去 300 年雄安新区涝灾年表重建及特征分析[J]. 科学通报,2018,63(22):2302-2310. (HAO Zhixin, XIONG Danyang, GE Quansheng. Reconstruction of the chronology and characteristics of flood disasters in the Xiong'an New Area over the last 300 years[J]. Chinese Science Bulletin,2018,63(22):2302-2310. (in Chinese))
- [8] YANG C G, YU Z B, HAO Z C, et al. Impact of climate change on flood and drought events in Huaihe River Basin, China[J]. Hydrology Research, 2012, 43(1/2): 14-22.
- [9] ZHANG Q, CHEN J Q, BECKER S. Flood/drought change of last millennium in the Yangtze Delta and its possible connections with Tibetan climatic changes[J]. Global and Planetary Change, 2007, 57(3/4): 213-221.
- [10] 沈澄,孙燕,尹东屏,等. 江苏省暴雨洪涝灾害特征分析[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(2): 203-212. (SHEN Cheng, SUN Yan, YIN Dongping, et al. Characteristic analysis of rainstorm-induced flood disaster in Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2015, 24(2): 203-212. (in Chinese))
- [11] BAI Y, XU H L, LING H B. Drought-flood variation and its correlation with runoff in three headstreams of Tarim River, Xinjiang, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 71(3): 1297-1309.
- [12] 陈长坤,孙凤琳. 基于熵权-灰色关联度分析的暴雨洪涝灾情评估方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(6): 1067-1073. (CHEN Changkun, SUN Fenglin. Flood damage assessments based on entropy weight-grey relational analyses[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2022, 62(6): 1067-1073. (in Chinese))
- [13] 葛云健,吴笑涵. 江苏历史时期洪涝灾害时空分布特征[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 1998-2007. (GE Yunjian, WU Xiaohan. Spatial and temporal distribution of historical flood disasters in Jiangsu Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(8): 1998-2007. (in Chinese))
- [14] 陈鲜艳,李威,张强,等. 长江中下游地区雨涝指数构建及其应用[J]. 水科学进展, 2021, 32(6): 834-842. (CHEN Xianyan, LI Wei, ZHANG Qiang, et al. Construction and application of a flood-waterlogging index in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. Advances in Water Science, 2021, 32(6): 834-842. (in Chinese))
- [15] 万金红,张葆蔚,刘建刚,等. 1950—2013 年我国洪涝灾情时空特征分析[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 63-68. (WAN Jinhong, ZHANG Baowei, LIU Jiangang, et al. The distribution of flood disaster loss during 1950—2013[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 63-68. (in Chinese))
- [16] 卞洁,李双林,何金海. 长江中下游地区洪涝灾害风险性评估[J]. 应用气象学报, 2011, 22(5): 604-611. (BIAN Jie, LI Shuanglin, HE Jinhai. Risk assessment of flood disaster in the mid-lower reaches of the Yangtze[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2011, 22(5): 604-611. (in Chinese))
- [17] 水利部长江水利委员会. 长江流域水旱灾害[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.
- [18] 袁晓玉,薛根元,顾骏强,等. 浙江省洪涝灾害的统计分析[J]. 灾害学, 2002, 17(1): 56-61. (YUAN Xiaoyu, XUE Genyuan, GU Junqiang, et al. A statistical analysis of flood disasters in Zhejiang Province[J]. Journal of Catastrophology, 2002, 17(1): 56-61. (in Chinese))
- [19] WANG X J, JIANG R G, XIE J C, et al. Multiscale variability of precipitation and their teleconnection with large-scale climate anomalies: a case study of Xi'an City, China[J]. Journal of Coastal Research, 2019, 93(Sup1): 417-426.
- [20] 姜瑶,徐宗学,王静. 基于年径流序列的五种趋势检测方法性能对比[J]. 水利学报, 2020, 51(7): 845-857. (JIANG Yao, XU Zongxue, WANG Jing. Comparison among five methods of trend detection for annual runoff series[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2020, 51(7): 845-857. (in Chinese))
- [21] 王小杰,姜仁贵,解建仓,等. 基于分形和R/S分析的渭河干流径流变化特征研究[J]. 水利水运工程学报, 2019(1): 102-108. (WANG Xiaojie, JIANG Rengui, XIE Jiancang, et al. Analysis of runoff variation characteristics in the mainstream of Weihe River based on fractal theory and R/S analysis method[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(1): 102-108. (in Chinese))
- [22] BREIMAN L. Random forests[J]. Machine Learning, 2001, 45(1): 5-32.
- [23] 陈军飞,李倩,邓梦华,等. 基于随机森林与可变模糊集的城市洪涝脆弱性评估[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(11): 2551-2562. (CHEN Junfei, LI Qian, DENG Menghua, et al. Urban flood vulnerability assessment based on random forests and variable fuzzy sets[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(11): 2551-2562. (in Chinese))
- [24] 田心如,姜爱军,高苹,等. 江苏省典型年梅雨洪涝灾害对比分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(5): 8-13. (TIAN Xinru, JIANG Aijun, GAO Ping, et al. Contrastive analysis of plum rains floods in typical years in Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(5): 8-13. (in Chinese))
- [25] 卢纯. 百年三峡 治水楷模 工程典范 大国重器: 三峡工程的百年历程、伟大成就、巨大效益和经验启示[J]. 人民长江, 2019, 50(11): 1-17. (LU Chun. The Three Gorges Project: its centennial history and significance and how it benefits and inspires the country as

- a model of water governance, an engineering marvel and a pillar project[J]. Yangtze River, 2019, 50(11):1-17. (in Chinese))
- [26] 夏军,陈进. 从防御 2020 年长江洪水看新时代防洪战略[J]. 中国科学:地球科学, 2021, 51(1):27-34. (XIA Jun, CHEN Jin. A new era of flood control strategies from the perspective of managing the 2020 Yangtze River flood [J]. Scientia Sinica Terrae, 2021, 51(1):27-34. (in Chinese))
- [27] 黄利民,刘成武. 湖北省近代洪涝灾害的特点及其成因分析[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2006, 40(1):115-118. (HUANG Limin, LIU Chengwu. The features and reasons of the flood disaster in Hubei Province in modern times [J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences), 2006, 40(1):115-118. (in Chinese))
- [28] 李梦婕,汪明,史培军. 湖南暴雨洪涝灾害损失时空特征及影响因素分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2014, 50(4):429-434. (LI Mengjie, WANG Ming, SHI Peijun. Temporal-spatial distribution of rainstorm-flood disasters in Hunan, China and its affecting factors [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2014, 50(4):429-434. (in Chinese))
- [29] 黄国勤. 江西洪涝灾害的时空分布规律[J]. 灾害学, 1999, 14(1):60-64. (HUANG Guoqin. Spatial and temporal distribution law of flood and waterlogging in Jiangxi Province [J]. Journal of Catastrophology, 1999, 14(1):60-64. (in Chinese))
- [30] 檀华芬,张友德,蔡其华. 安徽省洪涝旱灾特征及减灾对策[J]. 人民长江, 1996, 27(3):33-34. (TAN Huafen, ZHANG Youde, CAI Qihua. Variation characteristics and reduction countermeasures of flood and drought disasters in Anhui province [J]. Yangtze River, 1996, 27(3):33-34. (in Chinese))
- [31] 袁志伦. 上海水旱灾害[M]. 南京:河海大学出版社, 1999.

(收稿日期:2022-04-20 编辑:熊水斌)

· 简讯 ·

2023 年(第十一届)中国水利信息化技术论坛将在武汉举办

2023 年是全面贯彻落实党的二十大精神开局之年,也是推动新时代水利事业高质量发展迈上新台阶的奋进之年。当前,水利部将智慧水利建设作为推动水利高质量发展新阶段的重要实施路径之一,将数字孪生水利建设作为推进智慧水利建设的核心与关键。数字孪生技术的应用正进一步推动水利行业构建新的发展格局。

为进一步推动水利数字孪生技术的研究与应用,增进各级水利部门及水利工程管理、水利信息化相关企业事业单位业务交流与合作,展示学术成果及科技成果,经研究,由河海大学联合武汉大学、长江水利委员会网络与信息中心等单位共同主办的“2023(第十一届)中国水利信息化技术论坛”拟定于 2023 年 4 月 26—28 日在武汉大学举办。会议主题为数字孪生赋能新阶段水利高质量发展,主要内容包括数字孪生流域建设、数字孪生水网建设、数字孪生水利工程建设、水利智能业务应用系统、涉水重点领域的“四预”技术研究、网络与信息安全及通信技术、全景化智能感知新技术研究、地理信息系统与遥感技术、水利大数据理论与技术研发、水文水资源数字孪生交互与协同技术、水文水资源监测自动化及智能化新技术以及优秀应用案例及经验分享等。欢迎行业内各有关企事业单位和科研院校的专家学者、技术人员及研究生投稿。会议论文经专家评审将于 2023 年 4 月 10 日前完成,入选论文将收录至《2023(第十一届)中国水利信息化技术论坛》论文集。获奖论文经审定后可推荐至《河海大学学报(自然科学版)》《水资源保护》《人民长江》《水利水电快报》《武汉大学学报(工学版)》《水资源研究》等期刊上发表,会议还将邀请部分优秀论文作者在专题论坛上做报告。请登录会议官网 www.sinowbs.com 或查阅微信公众号“水利水务网”了解会议最新资讯或网上申请参会。

(本刊编辑部供稿)