

典型多水源平原区暴雨洪水特征及相关性分析

雷四华¹, 王洪军², 杨凯³, 陈占才², 吴巍¹, 张擎天³

¹南京水利科学研究院, 水灾害防御全国重点实验室, 江苏 南京

²连云港市临洪水利工程管理处, 江苏 连云港

³河海大学计算机与软件学院, 江苏 南京

收稿日期: 2024年2月25日; 录用日期: 2024年3月18日; 发布日期: 2024年4月28日

摘要

新沭河下游区域有蔷薇河、范河、石安河等洪水来源, 同时接纳沂沭河闸坝调控分洪洪水, 为典型多水源平原区, 所纳洪水均通过三洋港闸泄洪入海。本文对新沭河下游区域洪水来源分为7个区域, 对近10年发生的8场暴雨洪水过程特征进行分析, 建立暴雨洪水数据集, 计算各洪水来源区的暴雨洪水关系。沂沭区暴雨与三洋港闸上游水位具有较好的正相关, 沂沭区暴雨对新沭河下游洪水具有控制性作用, 三洋港闸调度运行应密切关注沂沭区暴雨状况。该数据集构建方法可作为雨洪大数据分析模拟计算研究的技术基础。

关键词

多水源, 平原区, 暴雨洪水, 特征选取, 相关分析, 新沭河

Characteristics and Correlation Analysis of Rainstorm and Flood in Typical Multi-Water Source Plain Area

Sihua Lei¹, Hongjun Wang², Kai Yang³, Zhancai Chen², Wei Wu¹, Qingtian Zhang³

¹State Key Laboratory of Hydrology Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing Jiangsu

²Linhong Water Conservancy Project Management Office of Lianyungang City, Lianyungang Jiangsu

³College of Computer Science and Software Engineering, Hohei University, Nanjing Jiangsu

Received: Feb. 25th, 2024; accepted: Mar. 18th, 2024; published: Apr. 28th, 2024

Abstract

The downstream area of the Xinshu River has flood sources such as the Qiangwei River, Fan River, and

作者简介: 雷四华, 江西南昌人, 硕士, 正高, 研究方向: 水文水资源、水利信息化。Email: shlei@nhri.cn

Shi'an River, and also accepts flood control by the Yishu River gate dam, making it a typical multi water source plain area; the Xinshu River discharges all its floods into the sea through the Sanyang Port Sluice. The flood source is divided into seven regions. The main characteristics of rainstorm flood are used to analyze the eight rainstorm flood processes in recent 10 years,. This paper establishes the rainstorm flood data set and calculates the relationship between the rainstorm and flood in each flood source area. The rainstorm volume in Yishu District has a good positive correlation with the water level in the upstream of Sanyang Port Gate, which has a controlling effect on the flood in the downstream of Xinshu River. The rainstorm situation in Yishu District should be paid close attention to during the operation of Sanyang Port Gate. The data set construction method plays a fundamental role in the analysis and simulation of flood and rainstorm big data.

Keywords

Multi-Water Source, Plain Area, Rainstorm and Flood, Characteristics Selection, Correlation Analysis, Xinshu River

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

平原区暴雨洪水特征与所在地理区位密切相关,因水利工程调度运行,导致洪水受自然流域、外调洪水等多种因素控制,是我国多数平原区洪水形成的原因。在暴雨洪水特性研究方面,国内外学者常对典型暴雨洪水开展深入分析研究,洪水特性研究是当前研究热点,如2018年新沭河特大洪水[1]、沂沭泗流域2019年台风洪水[2]、淮河流域颍河2021洪水[3]、桃江上游2022年洪水[4]、四川泸州市2014年暴雨洪水[5]等。平原区暴雨洪水特点及调控历来是国内外学者研究重点,V. S. LEBEDEVA、Godwin E.等分别在伏尔加-阿赫图、乌干达东部低地平原地区开展了洪水的水工程时空调度及风险评估研究[6][7]。我国平原区承载了大部分人口及经济产值,其暴雨洪水特征已有较长的研究历史,如20世纪50年代龚召熊以5次大洪水为实例对长江中游平原区洪水特性进行了总结分析[8],近年来,杨劲松等对平原区暴雨洪水沉积重建研究进行了归纳分析[9],刘洋采用灾害场次频率分析法和实测水面线反推法等探索了平原区洪涝灾害调查评价方法[10]。然而,对平原区因工程调度引起的多源洪水特征及应对策略有待进一步深入研究。

另外,近年大数据技术发展迅速,水利科研人员在洪涝灾害预警、洪水预报等方面积极探索大数据技术应用[11][12]。应用粗糙集(Rough Sets)、决策树(Decision Tree)、神经网络(Neural Network)、相关规则、K-nearest邻居、联机分析处理、数据可视化等方法[13],对数据进行总结、分类、关联及聚类是数据挖掘有效途径,其中相关规则法描述了一个事物中某些属性同时出现的规律和模式,为本研究的基本方法。

位于沂沭泗流域的新沭河下段平原区是多水源洪水典型代表区域。新沭河是在原沙河基础上开挖的漫滩行洪入海人工河道,西起大官庄枢纽,向东流经大兴镇入江苏省石梁河水库,出库后东流至临洪河口入海。新沭河河道全长80 km,其中山东境内长20 km,入江苏境内至石梁河水库坝址长15 km,石梁河水库泄洪闸至入海口长45 km,本文称该段为新沭河下游,区间流域面积2850 km²。入海口三洋港闸2008年10月动工兴建,2013年12月建成投运。

据2021年1月鉴定评估及相关资料分析[14],三洋港闸下游回淤严重,影响工程安全,过流能力安全评级为B级,安全评定为二类闸。针对新沭河下游河段凸显的问题,利用洪水资源进行水闸工程调度是防淤减淤重

要的非工程措施。开展新沭河暴雨洪水特征分析有利于掌握洪水资源利用途径与方式，为工程调度取得先机条件。三洋港闸调度控制的蓄泄过程、上游降雨等均属于随机事件的非平稳时间序列，开展数据集制定与处理方法研究，其成果可为多水源平原区开展暴雨洪水关系大数据方法研究奠定良好基础。

2. 分析方法

2.1. 水源分区

根据新沭河下游区域地理区位特点，以地形特征及水利工程调度为分区依据，将新沭河下游洪水来源分为沂河、沭河、石梁河水库、蔷薇河、石安河、范河、连云港城区等 7 个区域，图 1 为分区概化示意图。

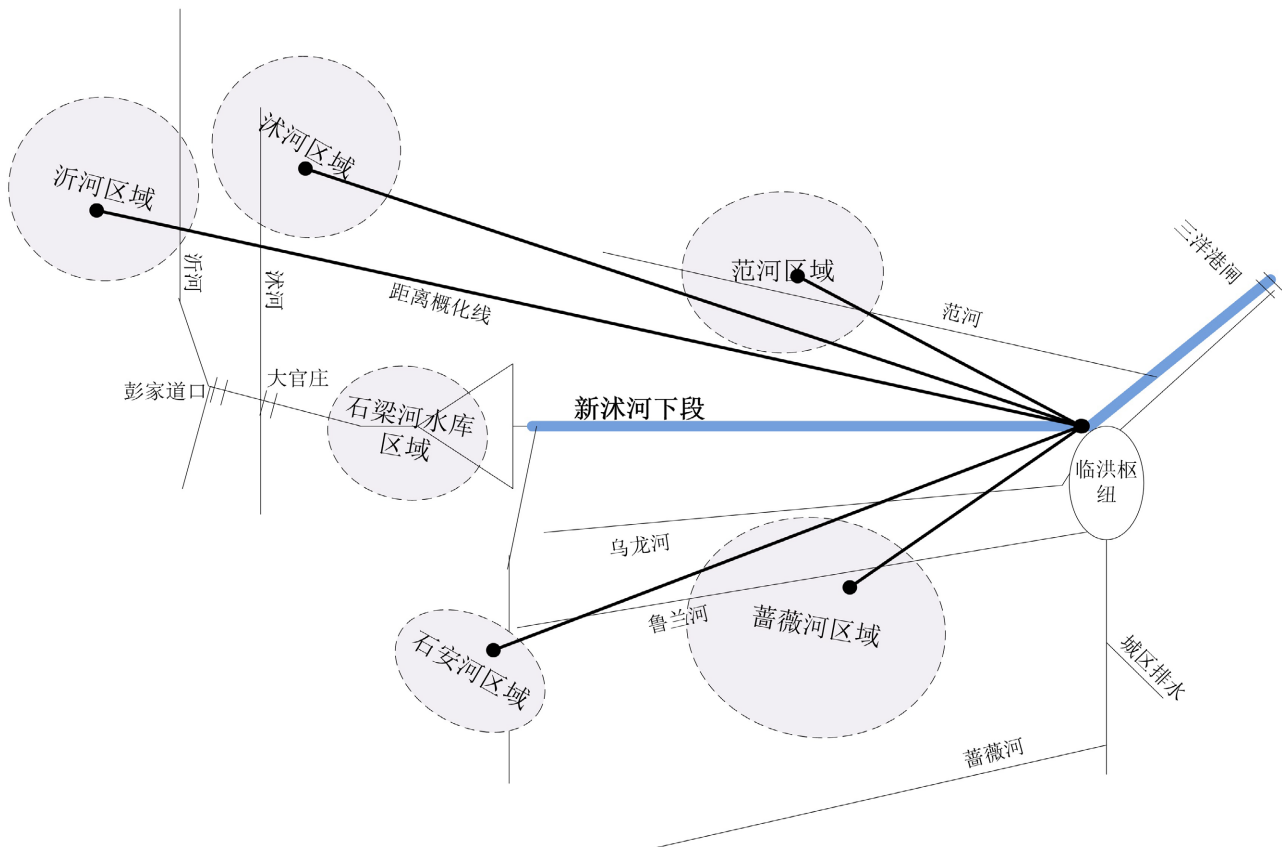


图 1. 暴雨分析区域与新沭河下游关系示意图

2.2. 降雨特征属性

本文以降雨历时、总降雨量、站点 24 h 最大降雨强度、覆盖面积、最强点距新沭河距离等特征反映区域暴雨状况，分别定义如下。

- 1) 降雨历时：以区域内各代表站进行分析，区域内本场降雨起始时间至结束时间。
- 2) 总降雨量：降雨历时内，区域内各站降雨量代数值的平均值，即平均降雨量。
- 3) 站点 24 h 最大降雨强度：降雨历时内，区域内各代表站中单站 24 h 最大降雨量。
- 4) 覆盖面积：若区域内各代表站均有降雨，则该覆盖面积为区域总面积，否则为降雨测站占比数对应的面积。
- 5) 暴雨中心距新沭河距离：最大降雨量站点与新沭河下游临洪断面的距离，或称为中心与新沭河距离，如图 1 所示的距离概化线。

图 1 所示的距离概化线。

本文对 7 个区域各场次暴雨分别计算出以上特征，以新沭河下游洪水最大水位及出现时间作为洪水特征，用于分析各区域暴雨对新沭河下游洪水影响。

2.3. 分析方法

洪水影响采用相关性分析方法，本研究采用皮尔逊相关系数法，计算总降雨量、最强点距新沭河距离的洪水相关系数，并进行对比分析，得出各区域对新沭河下游洪水影响程度。该方法步骤如下：

- 1) 整理暴雨洪水资料，得出场次洪水的暴雨分布特征；
- 2) 计算各区域暴雨的总雨量(P)、暴雨中心距新沭河距离(D)，计算各场次洪水新沭河下游最大水位(Z)、出现时间与最大雨量发生时间差值(T)；
- 3) 建立(P,Z)、(P,T)、(D,Z)、(D,T)等散点系列；
- 4) 数据合理性分析与整理；
- 5) 计算各区域(P,Z)、(P,T)、(D,Z)、(D,T)相关系数；
- 6) 分析各区域的相关系数，确定各区域降雨与新沭河下游洪水关系。

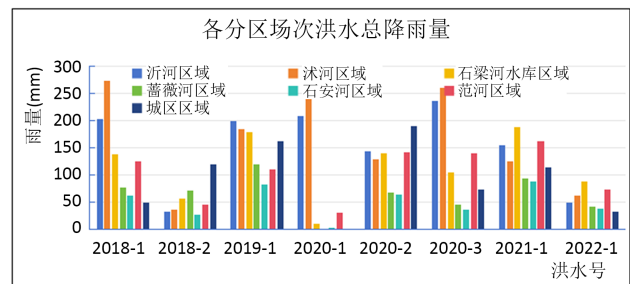
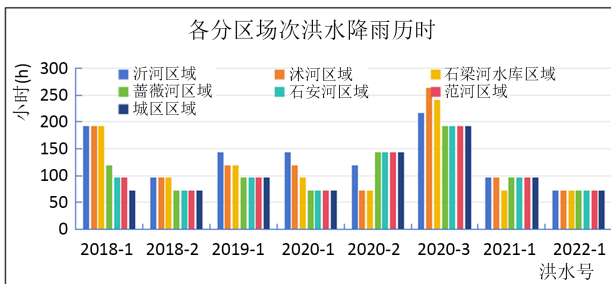
3. 数据资料

本研究以 2013 年至 2022 年期间实测降雨、洪涝水情等实时雨水情数据[15]及水文年鉴为资料来源，洪涝水情有临洪枢纽闸坝水情及三洋港闸实测闸上水位、闸下水位、过闸流量等。

根据 2013 至 2022 年的雨洪资料，三洋港闸出现行洪过程年份有 2018 年、2019 年、2020 年、2021 年、2022 年，其中 2018 年新沭河出现 2 次、2020 年 3 次洪水过程，其他年份各 1 次，依次编号为 2018-1、2018-2、2019-1、2020-1、2020-2、2020-3、2021-1、2022-1，研究区各洪水过程降雨时段及 24 h 最大雨量如表 1 所示，各场次洪水暴雨特征如图 2 所示。

表 1. 研究区各洪水过程降雨时段及 24 h 最大雨量

编号	降雨时段	24 h 最大雨量			
		雨量(mm)	起始时间	站名称	距代表点(km)
2018-1	8 月 13 日 6 时至 20 日 7 时	187	8 月 14 日 4 时	石拉渊	78.2
2018-2	9 月 18 日 8 时至 21 日 8 时	142	9 月 18 日 16 时	房山水库	38.1
2019-1	8 月 10 日 7 时至 16 日 18 时	303.5	8 月 10 日 15 时	跋山	146.3
2020-1	8 月 12 日 1 时至 19 日 17 时	460	8 月 13 日 21 时	陡山	77.1
2020-2	7 月 18 日 10 时至 23 日 2 时	213	7 月 22 日 1 时	许家崖	131.5
2020-3	7 月 27 日 1 时至 8 月 9 日 5 时	185	7 月 31 日 1 时	刘家道口(闸上)	74.5
2021-1	7 月 27 日 4 时至 30 日 13 时	178	7 月 28 日 3 时	角沂	93.5
2022-1	6 月 27 日 4 时至 29 日 19 时	234.5	6 月 26 日 14 时	莒县	106.3



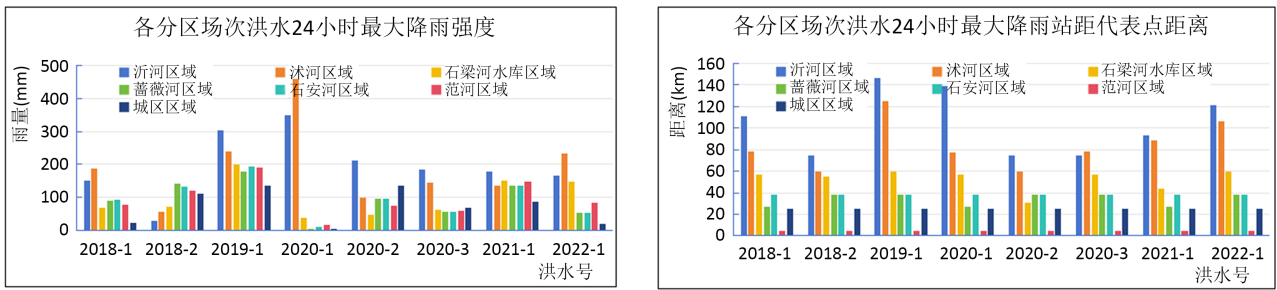


图 2. 研究区场次洪水暴雨特征值

三洋港闸过闸流量观测资料不足，本研究以水位为主要要素反映新沭河下游洪水水情，代表站为三洋港闸站，采用其上游水位。以各场次洪水三洋港闸上水位及最大值发生时间反映洪水特征。各场洪水闸上水位特征值分别如图 3 所示。

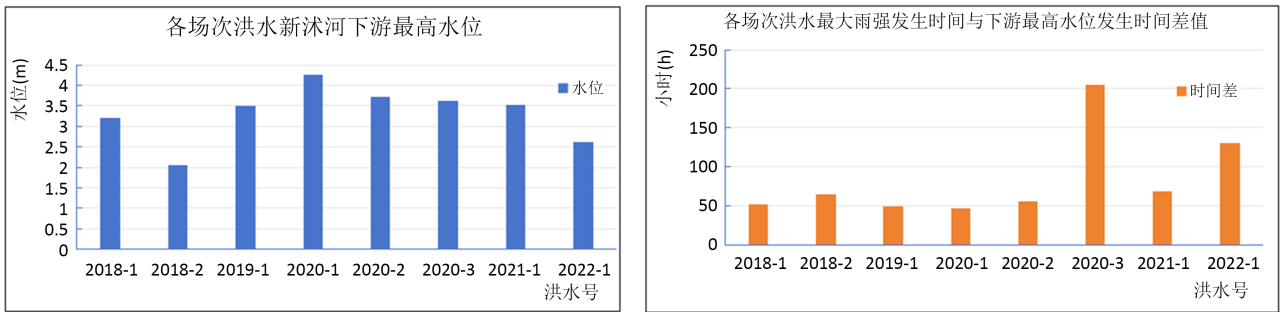


图 3. 各场次洪水三洋港闸上洪水特征信息图

4. 数据处理分析

4.1. 相关性计算

以各区域暴雨特征、新沭河下游洪水特征等为数据源，构建各区域暴雨与新沭河下游洪水特征值散点系列，即(P,Z)、(P,T)、(D,Z)、(D,T)。分别计算相关系数。计算成果如图 3 所示。从相关系数计算成果分析可知，沂河区、沭河区的总雨量与新沭河下游水位具有较好的正相关，其他区域各散点相关性较差。

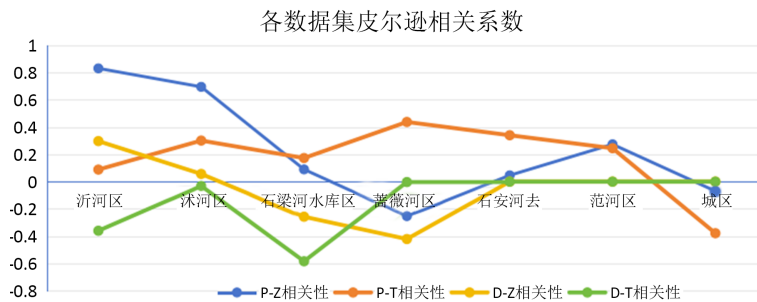


图 4. 各区域暴雨洪水散点相关系数分布图

4.2. 合理性分析

从表 1、图 2 各暴雨特征可看出，沂沭区各暴雨总量及覆盖面积均大于其他区域，占明显优势，对新沭河下游洪水具有控制性作用，其相关性计算成果符合实际。

5. 主要结论

新沭河下游地处沂沭泗下游平原区,洪水来源可划分为7个区域,属典型多水源平原区,经对2013年三洋港闸建成运行以来的近10年的暴雨洪水关系研究,形成以下主要结论:

1) 新沭河下游,需接纳蔷薇河区域、石安河区域、范河区域、城区等周边洪水,同时是沂沭河区域、石梁河水库区域等上游由水利工程调度泄洪通道,洪水水源组成复杂。

2) 沂沭区暴雨量与三洋港闸上游水位具有较好的正相关,受水利工程调度分洪驱动,对于新沭河下游,沂河区、沭河区的外调洪水具有控制性作用,三洋港闸调度运行应密切关注沂沭区暴雨状况。

3) 本文给出了多水源洪水与暴雨之间的特征值相关性分析方法,可作为洪水与暴雨数据挖掘模拟计算研究的数据处理基础。

基金项目

江苏省水利科技项目(2022020)资助。

参考文献

- [1] 封一波,王欢,王波. 2018年新沭河特大洪水行洪分析[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 29(12): 36-38+43. <https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2018228>
- [2] 陈长奇,毛媛媛,张明,等. 江苏省沂沭泗流域2019年台风“利奇马”洪涝灾害探讨[J]. 江苏水利, 2020(7): 24-27. <https://doi.org/10.16310/j.cnki.jssl.2020.07.007>
- [3] 陈晓成. 淮河流域颍河“2021.7.20”暴雨洪水特性及防洪调度启示[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(7): 61-65. <https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2022053>
- [4] 李明亮,黄国新,谭正发,等. 桃江上游2022年“6·13”暴雨洪水特性分析及水情预警实践[J]. 人民珠江, 2023, 44(S2): 419-424.
- [5] 刘媛媛,刘业森,刘方华,等. 沿江城市降雨特性及雨洪关系分析——以四川泸州市为例[J/OL]. 中国防汛抗旱: 1-17[2024-01-27]. <https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2023196>
- [6] LEBEDEVA, S. V., ZEMLYANOV I. V. and LOMONOSOV, A. A. Flow distribution, flooding and water engineering measures in the Volga-Akhtuba Floodplain region: 2 modeling. Russian Meteorology and Hydrology, 2018, 43(10): 655-663. <https://doi.org/10.3103/S1068373918100047>
- [7] GODWIN, E., ISA, K., ANTONY, G., et al. Differentiated spatial-temporal flood vulnerability and risk assessment in lowland plains in eastern Uganda. Hydrology, 2022, 9(11): 201-201. <https://doi.org/10.3390/hydrology9110201>
- [8] 龚召熊. 长江中游平原区洪水特性的分析[J]. 人民长江, 1956, (3): 14-19. <https://doi.org/10.16232/j.cnki.1001-4179.1956.03.005>
- [9] 杨劲松,王永,尹金辉,等. 我国冲积平原区洪水事件重建研究进展及展望[J]. 地球科学, 2022, 47(11): 3944-3959.
- [10] 刘洋. 平原区洪涝灾害调查评价方法探讨及实例研究[J]. 水土保持应用技术, 2019(2): 1-4.
- [11] 翟思贝,范海玲,杨波. 基于水文大数据分析技术的洪涝灾害预警系统设计[J]. 水利技术监督, 2022(5): 53-56+74.
- [12] 云奥婷,张静芳,张浩斐,张炜,张涛. 基于人工智能技术的洪水预报调度模型关键技术与应用[J]. 内蒙古水利, 2021(6): 15-17.
- [13] 韩明. 数据挖掘及其对统计学的挑战[J]. 统计研究, 2001(8): 55-57. <https://doi.org/10.19343/j.cnki.11-1302/c.2001.08.014>
- [14] 陈占才. 连云港临洪水利枢纽运行调度模式探析[J]. 江苏水利, 2021(6): 60-63.
- [15] 王金星,等. SL323-2011, 实时雨水情数据库表结构与标识符[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.