

江苏省暴雨统计参数规律分析与研究

周月娇, 闻余华, 孙浩晖, 孙金凤, 姚思源

(江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029)

摘要:为满足水利工程规划、设计应用需求,保障设计暴雨和设计洪水结果的准确性,在相关统计成果的基础上,对江苏省暴雨统计参数进行分析和研究。采用522个站点自设站起至2022年的暴雨数据资料,选取10 min、30 min、60 min、3 h、6 h、12 h、24 h和3 d共8种历时进行了水文频率分析。首先,采用分钟与小时、四段制与逐小时滑动的修正处理及年最大24 h缺测数据的插补等3种方式对数据进行了一致性处理。其次,基于离散系数累积过程线和Morlet小波分析,揭示出本次选用暴雨极值系列具有较好的代表性。最后,通过皮尔逊Ⅲ型曲线适线得到全省单站的均值和Cv值,并对其变化规律进行深入分析。

关键词:暴雨参数; 统计分析; 均值; 变化规律

中图分类号:TV212 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2025)07-0001-0004

Analysis and research on the laws of rainstorm statistical parameters in Jiangsu Province

ZHOU Yuejiao, WEN Yuhua, SUN Haohui, SUN Jinfeng, YAO Siyuan

(Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China)

Abstract: In order to meet the needs of water conservancy project planning, design and application, and ensure the accuracy of the design rainstorm and design flood results, the statistical parameters of rainstorm in Jiangsu Province are analyzed and studied on the basis of the results. Based on the rainstorm data from 522 stations from their establishment to 2022, the hydrological frequency analysis is carried out by selecting 8 durations of 10 min, 30 min, 60 min, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h and 3 d. Firstly, data consistency processing is carried out in three methods: correction of minute/hour data and four-segment/hourly sliding data, and interpolation of missing data for the annual maximum 24-hour rainfall. Secondly, based on the discrete coefficient cumulative hydrograph and Morlet wavelet analysis, it is revealed that the selected rainstorm extreme value series has good representativeness. Finally, the mean and Cv values of individual stations in the province are obtained through Pearson III curve fitting, and their variation patterns are analyzed in depth.

Key words: rainstorm parameters; statistical analysis; mean value; variation patterns

1 概述

暴雨参数统计分析成果是工程设计暴雨和设计洪水的基础,是水利水电、铁路、公路、桥涵、厂

矿、机场、山地灾害防治、城市防洪排涝等工程规划设计和审查的重要水文依据,因此,暴雨参数统计分析研究是非常重要和有意义的一项工作^[1-2]。

江苏省暴雨参数统计分析总体经历3个阶段:

收稿日期: 2024-12-28

作者简介: 周月娇(2000—),女,助理工程师,硕士,主要从事水文水资源等方面工作。E-mail:425480770@qq.com

通信作者: 闻余华(1965—),男,教授级高级工程师,硕士,主要从事水文水资源等方面的工作。E-mail:178213596@qq.com

第一阶段是江苏省水文总站于1984年编写刊印的《江苏省暴雨洪水图集》(以下简称“84图集”)。“84图集”采用的暴雨资料系列长度为设站至1979年,系列长度较短且代表站数较少。第二阶段是江苏省水文局于2005年编写刊印的《江苏省暴雨参数图集》(以下简称“05图集”),“05图集”采用的暴雨资料系列长度为设站至2000年,与第一阶段相比,系列长度和代表站数均有显著的增加。第三阶段为2021—2024年,江苏省水文局组织开展了新一轮江苏省暴雨参数图集的编制,暴雨资料系列延长至2022年,选用代表站数和系列长度较“05图集”均大幅增加^[3],形成了新的《江苏省暴雨参数图集》(初步成果,以下简称“新图集”)。本文在暴雨参数图集编制过程中,着重对江苏省暴雨统计的系列代表性以及均值和离差系数 C_v 值的变化规律进行分析研究。

2 资料选用

选用522个代表站进行暴雨统计参数的计算与分析,各站点雨量系列长度由设站到2022年。其中,系列长度大于20 a的共469站,占90%;系列长度大于30 a的共445站,占85%;系列长度大于40 a的共428站,占82%。数据主要来源于《江苏省水文年鉴》。考虑实际工程设计的应用需求,统计了10 min、30 min、60 min、3 h、6 h、12 h、24 h和3 d共8种历时的年最大值构建点暴雨样本系列。

采用上述实测点暴雨极值系列进行水文频率分析,确定暴雨统计参数取值。为保证统计参数的准确性、一致性和代表性,需对数据资料进行审核,并对资料系列进行一致性处理与代表性分析。

2.1 数据审核和一致性处理分析

考虑到由水文年鉴摘录的原始数据系列与实际计算所需的各历时降水数据存在着统计时长单位不统一的情况,有些年份采用年最大60 min、180 min、360 min、720 min统计,有些年份采用年最大1 h、3 h、6 h、12 h数据统计,有些年份对6 h、12 h和24 h数据统计仅为4段制(2:00—8:00、8:00—14:00、14:00—20:00、20:00—2:00)统计而非逐小时滑动统计,有些年份有从8:00至次日8:00的最大1 d数据,但缺少年最大24 h数据。为保证资料系列的一致性,本次分别进行了分钟与小时,四段制与逐小时滑动修正处理,并对年最大24 h缺测数据进行插补处理。

(1)分钟与小时修正处理:选取南京、盐城和徐州3个地区21个雨量代表站2010—2021年共12 a

的遥测数据系列,分别分析各代表站各年最大60 min、180 min、360 min、720 min雨量与年最大1 h、3 h、6 h、12 h的对应关系,得到其比值分别为0.87~0.88、0.96、0.98~0.99、0.99。因此,若短历时数据均以小时进行统计,则将最大1 h按照0.87的比例转化为最大60 min;若短历时数据均以分钟进行统计,则将最大180 min、360 min、720 min分别按照0.97、0.98、0.99的比例转化为最大3 h、6 h、12 h。

(2)四段制与逐小时滑动处理:选取全省206个雨量代表站2013—2022年共11 a的遥测数据,分析各代表站4段制与逐小时滑动相关关系,得到4段制中最大6 h、12 h、24 h与逐小时滑动统计的最大6 h、12 h、24 h平均比值分别为0.90、0.96、0.98。因此,对206个分析代表站涉及四段制统计的系列,采用各自的分析比值进行修正,其他代表站根据其所在地区平均比值修正。

(3)年最大24 h缺测数据处理:选取具有10 a以上同时具有最大1 d和最大24 h数据样本的代表站,计算各站点历年最大24 h和相应年最大1 d数据的比值,得到该站的平均比值。经统计,全省最大24 h与最大1 d的平均比值为1.15。用各站的平均比值乘以该站年最大1 d数值,得到相应缺测年份最大24 h值。本次参与插补的站数有365个,插补记录数4 740条,占最大24 h时段总记录数25 289的18.7%。

2.2 资料代表性分析

代表性是指样本资料的统计特性能否很好反映总体的统计特性^[3]。暴雨作为随机的水文现象,存在着上升、下降、平稳的周期变化规律。若数据样本系列有1个或几个完整的丰枯周期,能较好地反映出暴雨的周期性变化情况,则说明数据系列代表性较好。考虑到实际工程设计应用中24 h设计暴雨使用频次最高,因此以最大24 h暴雨数据系列为例,选取淮北、江淮和苏南3个地理分区内具有代表性且资料系列较长的徐州站、兴化站和镇江站3个站点,采用离散系数累积过程线^[3-4]和Morlet小波分析^[5-6]2种方法,对资料代表性进行分析,结果如图1所示。

通过离散系数累积过程线可知,徐州站在1950—1980年、1985—1995年、2005—2015年为下降期,即逐年暴雨量大多小于多年平均值;在1980—1985年、1995—2005年为上升期,即逐年暴雨量大多大于多年平均值。兴化站上升期为1950—1960年以及1995—2003年,下降期为

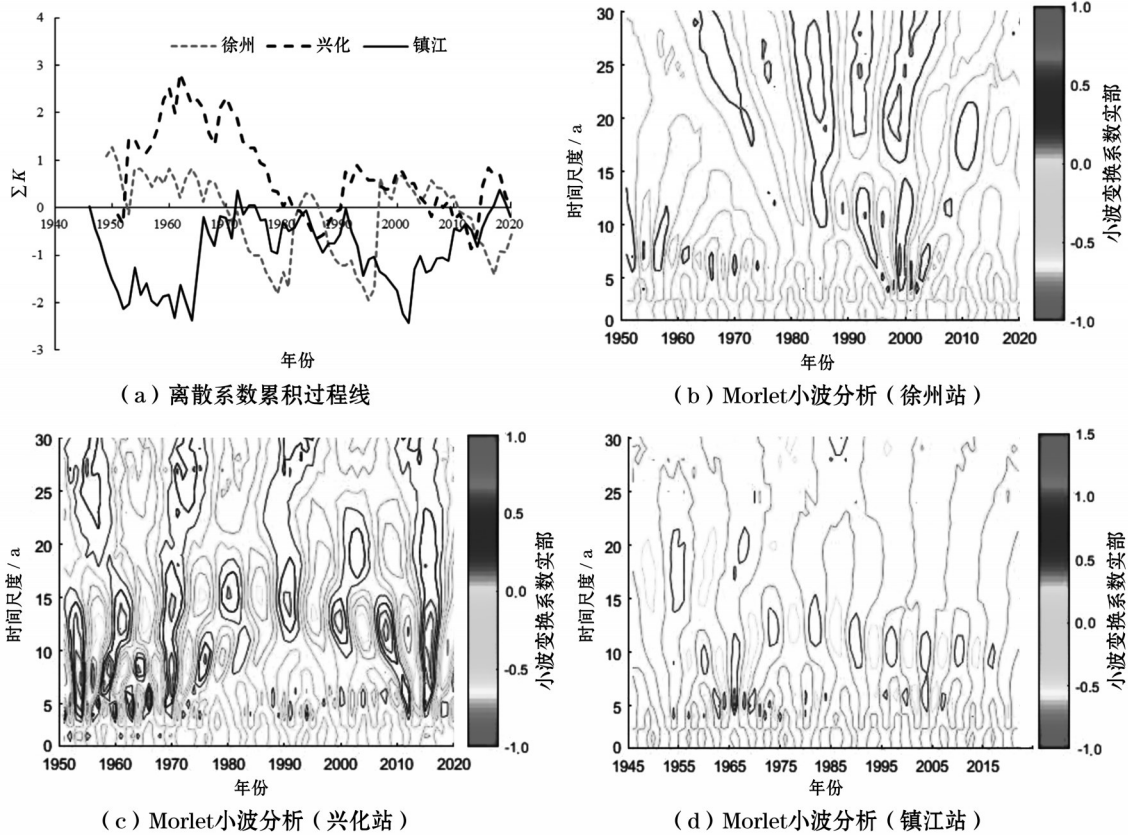


图1 典代表站离散系数累积过程线和Morlet小波分析结果

1960—1995年。镇江站上升期为1965—1975年以及2000—2020年,下降期为1975—2000年。其次,通过Morlet小波分析得到3个站的周期规律,徐州站暴雨极值的小波实部等值线图存在3个明显的主周期,分别对应28 a、20 a、7 a;兴化站存在12 a、8 a、5 a共3个主周期;镇江站存在5 a、10 a共2个主周期。综上所述,3个站均存在上升期与下降期,且主周期数均小于系列长度,表明这3个具有74 a以上长系列资料的代表站均具有较好代表性。由于相同地理分区中各站点的气候与下垫面条件具有一致性,其周期变化也应存在相似特点,且本次参与统计分析的各历时平均系列长度为48~57 a,说明本次选取的各站点的暴雨极值系列均具有较好的代表性。

3 暴雨统计参数分析

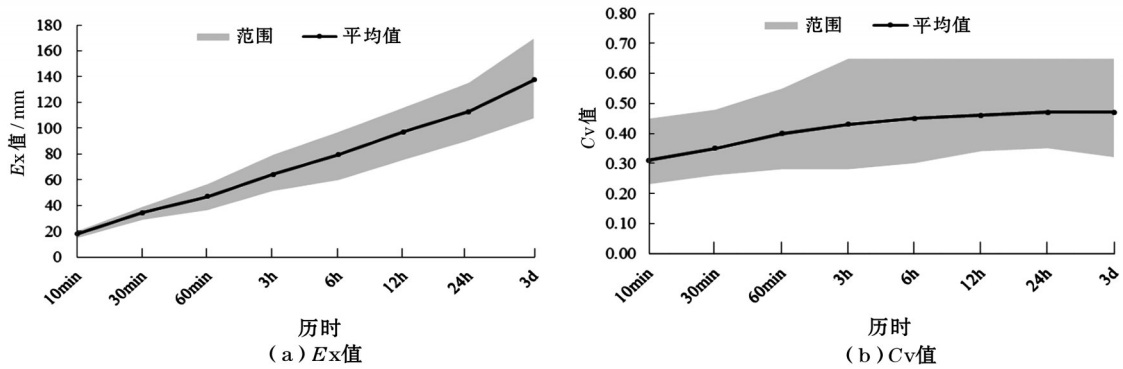
采用皮尔逊Ⅲ型分布曲线对不同暴雨历时的单站频率进行分析,涉及参数包括暴雨统计参数 E_x 、离散系数 C_v 、偏差系数 C_s 以及 C_s/C_v 之比值。在暴雨统计参数的统计整理中,发现江苏省不同历时 C_s/C_v 均值在3.30~3.50之间,其中10 min~24 h的 C_s/C_v

中值均为3.50^[7]。考虑到工程设计中的可操作性与便捷性^[8],采用 C_s/C_v 值为3.50进行后续分析计算。

3.1 均值 E_x 和 C_v 值规律分析

全省 E_x 值和 C_v 值计算结果如图2所示。由图2可知,随着历时的增加,全省暴雨统计参数 E_x 的变化范围逐渐增加, E_x 均值的增加幅度逐渐减小; C_v 的变化范围在3 h以后最大值取值稳定在0.65, C_v 均值逐渐增大后趋于稳定,未超过0.50。

在空间分布上,单站暴雨统计参数 E_x 整体上呈现北高南低的特点。 C_v 呈现出沿海一带与洪泽湖以西 C_v 值较高,苏北腹地与苏南部分地区 C_v 值较低的特点。单站 E_x 最小值除最大10 min、最大6 h出现在江淮地区外,其余历时均出现在苏南地区;单站 E_x 最大值除最大24 h出现在江淮地区外,其余历时均出现在淮北地区。各时段淮北地区 E_x 值均高于全省以及江淮和苏南分区的平均值,即相同的设计频率下,淮北地区设计暴雨普遍较大。苏南地区各时段 C_v 值相较其他分区普遍偏小,但差异不大,即随着设计情景严苛程度的增强,各区域设计暴雨参数值的增加趋势相近。各地理分区 E_x 值和 C_v 值计算结果如表1所示。

图2 江苏省各历时暴雨统计参数 E_x 值和 C_v 值表1 各分区各历时暴雨参数 E_x 和 C_v 均值

历时	淮北		江淮		苏南	
	E_x	C_v	E_x	C_v	E_x	C_v
10 min	18.1	0.31	17.9	0.31	17.4	0.31
30 min	35.2	0.34	34.1	0.35	33.4	0.34
60 min	48.6	0.40	46.6	0.40	44.3	0.38
3 h	67.1	0.44	63.7	0.44	59.7	0.40
6 h	82.0	0.46	78.8	0.45	74.2	0.42
12 h	99.9	0.46	95.8	0.46	92.4	0.45
24 h	115.3	0.47	111.6	0.47	110.7	0.46
3 d	138.6	0.47	136.4	0.47	137.1	0.47

3.2 与“05图集”参数比较分析

将本次计算得到的暴雨统计参数与“05图集”进行对比,如表2所示。整体上,暴雨统计参数 E_x 值虽有变动但变化幅度较小, C_v 值较以往成果减小趋势明显。

(1) E_x 值:暴雨参数 E_x 值呈现出北部与沿海一带减小、西南部增大的微弱变化特点,且3个地理分区间 E_x 值差距有所缩小。在全省范围内,除最大3 h暴雨统计参数 E_x 的均值较以往减小0.6 mm外,其余历时均较以往增大1.2~2.3 mm。淮北地区除最大60 min增大0.8 mm外,其余 E_x 的均值均较以往减小1.3~2.6 mm;江淮地区除最大3 h减小1.0 mm外,其余 E_x 的均值均较以往增大0.9~2.3 mm;苏南地区 E_x 的均值均较以往增大3.1~8.1 mm。分析 E_x 值发生变化的原因,主要是由于近年来气候变化加剧,暴雨量及暴雨次数呈自南向北增加的趋势^[9],且长江以南地区发生多场量级较大的暴雨。

(2) C_v 值:在全省与3个地理分区8个任意历时下,计算成果均较以往减小,减少幅度在0.05~0.08之间。对各行政分区的暴雨参数 C_v 值进行分析,发

现扬州、苏州、镇江、徐州4地均值偏小尤其明显。分析 C_v 值发生变化的原因,主要是因为本次成果延长了资料系列长度,增加了站点数量,且通过数据插补转换等形式保障了数据的连续性。长系列暴雨数据既兼顾了特大值,又因为点据的增多保障了P-Ⅲ型曲线适线的稳定性,降低了暴雨极值系列离散度。因此,离差系数 C_v 值呈减小趋势,成果合理可信。

暴雨统计参数值与“05图集”的差值(差值=本次数值-“05图集”值)见表2。

4 结论

以522个江苏省雨量代表站自设站起到2022年的数据系列为基础,通过皮尔逊Ⅲ型分布曲线适线,计算得到了江苏省暴雨统计参数 E_x 和 C_v 值的分布规律。将结果与“05图集”进行对比,验证其合理性,得到结论如下:淮北、江淮和苏南3个地理分区的代表站最大24 h暴雨数据系列均存在主周期数均小于系列长度的特点。由于相同地理分区内

(下转第14页)

水资源开发利用效率。

参考文献:

- [1] 王浩,许新发,成静清,等. 水资源保护利用“四水四定”:基本认知与关键技术体系[J]. 水资源保护,2023,39(1):1-7.
- [2] 王瑶,张北赢. 水足迹视角下江苏省泰州市水资源利用评价[J]. 人民长江,2023,54(6):88-94.
- [3] 石晓晴,袁建平,张瑞嘉,等. 跨省江河流域水量分配工作思考与建议[J]. 中国水利,2023(17):53-56.
- [4] 李原园,李云玲. 新时期江河流域水量分配思路与技术路径探讨[J]. 中国水利,2020(7):17-19.
- [5] 沈际杰,柏欣莉,衣鹏. 节水建设城市用水时空差异模

型研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2022,50(1):38-43.

- [6] 陈转兰,黄斌,周勤华. 基于多角度分析的水量分配方法研究[J]. 江苏水利,2012(12):31-33.
- [7] 钟美凤. 南宁市大王滩水库水量分配方案研究[J]. 地下水,2020,42(3):94-96.
- [8] 曹菊萍,周宏伟,姚俊. 江河流域水量分配方案研究——以建溪流域为例[J]. 水利水电快报,2024,45(4):35-40.
- [9] 夏细禾,高华斌,李庆航. 科学推进长江流域水量分配工作[J]. 中国水利,2019(17):59-61.
- [10] 陶聪,戴昌军,李书飞. 关于长江流域跨省江河流域水量分配若干问题的思考[C]//. 中国水利学会2021学术年会论文集第一分册. 北京:中国水利学会,2021:6.

(上接第4页)

表2 暴雨统计参数值与“05图集”的差值

历时	全省		淮北		江淮		苏南	
	E_x	C_v	E_x	C_v	E_x	C_v	E_x	C_v
60 min	1.76	-0.08	0.78	-0.08	1.96	-0.09	3.29	-0.07
3 h	-0.59	-0.07	-2.05	-0.07	-0.97	-0.07	3.09	-0.07
6 h	1.56	-0.08	-1.29	-0.08	1.33	-0.07	5.32	-0.08
12 h	1.91	-0.07	-1.59	-0.08	1.29	-0.07	7.36	-0.07
24 h	1.19	-0.06	-2.51	-0.07	0.87	-0.06	8.11	-0.05
3 d	2.33	-0.07	-2.61	-0.08	2.33	-0.07	8.11	-0.06

站点具有气候与下垫面一致性,以及采用系列平均长度在48~57 a间,暴雨极值系列具有较好的代表性。单站暴雨统计参数在空间分布上, E_x 值整体上呈现北高南低的特点; C_v 值则表现为沿海一带与洪泽湖以西较高,苏北腹地与苏南部分地区较低。此外,与“05图集”暴雨统计参数比较, E_x 均值存在淮北减小,苏南增大的特点, C_v 值存在普遍减小的特点。

参考文献:

- [1] 黄志珍,楼峰青,丁伯良,等. 浙江省降水特征及其参数空间变化分析[J]. 水资源保护,2022,38(4):117-123.
- [2] 王帅人,胡静,兰平,等. 四川省小时极值降水统计参数空间分布特征研究[J]. 四川水力发电,2024,43(2):1-5,27.

- [3] 王海宁,郎洪钢,毕远山. 河北省暴雨资料系列代表性分析[J]. 南水北调与水利科技,2002(4):20-22.
- [4] 许红燕,金新芽. 浙江省各历时暴雨资料系列代表性分析[J]. 水文,2000(5):41-44.
- [5] 吴建峰,罗娜,张凤太,等. 基于Morlet小波分析的云贵高原区春季降水特征研究[J]. 中国农村水利水电,2018(5):123-127.
- [6] 张晓晗,王丽丹,刘英昊. 基于Morlet小波分析的潍坊市降水量周期规律分析[J]. 陕西水利,2023(1):43-47.
- [7] 吴志勤,闻余华. 江苏省暴雨统计参数规律性分析[J]. 江苏水利,2000(10):36-38.
- [8] 李桃英,王红艳,曹逸希. 陕西省暴雨统计参数特征分析[J]. 陕西水利,2022(3):85-89.
- [9] 傅帅,陈舒慧,张小泉,等. 江苏省1960—2014年降水及气温变化特征[J]. 环保科技,2017,23(2):26-33.