

# 1951—2020 年南京市降水量变化特征分析

方功先<sup>1</sup>, 钟华昱<sup>2</sup>, 闻 昕<sup>2</sup>

(1. 南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210006; 2. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:**为分析南京市降水量的年际变化趋势及年内分配规律,根据 1951—2020 年南京站逐日实测降水资料,采用滑动平均法、Mann-Kendall 趋势检验法、R/S 法、累计距平法、小波分析法等多种方法,对降水量年际变化特性进行分析,并采用多种特征指标分析了变异前后的降水序列年内分配特性。结果表明,南京站年度、夏季和冬季的降水量均呈现显著上升趋势,月降水量变化幅度较大,年内分配在 1986 年前后存在较大差异,变化后的降水量年内分配趋于均匀,变化幅度减小。

**关键词:**降水; 演变规律; 年际变化; 年内分配; 南京市

**中图分类号:**TV125

**文献标识码:**B

**文章编号:**1007-7839(2022)11-0050-0004

## Analysis of precipitation characteristics in Nanjing from 1951 to 2020

FANG Gongxian<sup>1</sup>, ZHONG Huayu<sup>2</sup>, WEN Xin<sup>2</sup>

(1. Nanjing Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210006, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In order to analyze the interannual variation trend and annual distribution law of precipitation in Nanjing, based on the 70 years (1951—2020) daily measured precipitation data of Nanjing station, the interannual variation characteristics of precipitation are analyzed by using moving average method, Mann-Kendall trend test method, R/S method, cumulative anomaly method and other methods, and the annual distribution characteristics of precipitation series before and after variation are analyzed by using a variety of characteristic indicators. The results show that the annual, summer and winter precipitation of Nanjing station shows a significant upward trend, and the annual precipitation changes around 1986. The annual distribution of precipitation after the variation tends to be uniform, and the variation range decreases.

**Key words:** precipitation; evolution law; interannual variation; annual distribution; Nanjing city

南京市属于长江中下游地区,受北亚热带季风气候和城市化的影响,降水变化明显<sup>[1]</sup>。近年以来,许多研究学者分析了南京的降水特性。沈澄等<sup>[2]</sup>采用南京气象站 2008—2012 年的逐时降水量

资料,分析了南京短时强降水的发生规律特征。毛宇清等<sup>[3]</sup>利用南京近 50 年的夏季逐日降水资料,分析了南京地区旱涝年和夏季降水的变化特征。陈其旭等<sup>[4]</sup>利用南京市浦口区 1981—2017 年

收稿日期: 2022-08-02

基金项目: 江苏省水利科技项目(2019027)

作者简介: 方功先(1993—),男,硕士,主要从事水利规划设计工作。E-mail:fgx7050@126.com

夏季(5—9月)各类强降水资料,从时间和量级2个方面对各类强降水特征展开分析。目前,已有的研究主要集中于对南京市夏季降水或短时强降水等进行分析,对于南京市降水的年内、年际演变规律分析不多。

本文根据南京站1951—2020年逐日实测降水资料,采用滑动平均法、Mann-Kendall趋势检验法、R/S法、累积距平法及小波分析法等多种方法对降水量年际变化特性进行分析,并采用多种特征指标分析了变异前后的降水序列年内分配特性。

## 1 研究概况

南京市区域内雨量充沛,降水集中在6—7月,常年平均降雨天数超过100 d。由于南京市城市化发展较快,在长期的历史进程中,其气候条件也发生了较大变化<sup>[5]</sup>。本文收集整理了南京站1951—2020年逐日降水量数据,统计出逐年、逐月 and 不同季节的长系列降水量资料,根据南京市的气候特征,将春季划分为3至5月、夏季为6至8月、秋季为9至11月、冬季为12月至次年2月。

## 2 研究方法

### 2.1 滑动平均法

从 $N$ 个降水量数据中选取 $k$ (本研究 $k=5$ )个相邻降水数据,并计算得到其平均值,采用平均值代替这 $k$ 个降水数据的最中间数据,依次处理降水序列中的每个点,即得到原降水量序列的滑动平均序列<sup>[6]</sup>。

### 2.2 Mann-Kendall趋势性与突变检验

Mann-Kendall趋势检验法是气象学、水文学、气候学中常用的时间序列趋势检验方法<sup>[7]</sup>。Mann-Kendall突变检验<sup>[8]</sup>是分析水文气象资料突变性的常用方法。针对时间序列 $X_i(i=1,2,\dots,n)$ 构造秩序列 $S_k$ , $S_k$ 表示第 $i$ 个样本中 $X_i>X_j(1\leq j\leq i)$ 的累计数。在时间序列独立随机的假定下,可计算 $S_k$ 的均值、方差和统计量 $UF_k$ 。其中, $UF_k$ 为标准正态分布,当 $UF_k$ 大于0,表明降水量序列存在上升趋势;当 $UF_k$ 小于0,表明降水量序列存在下降趋势。选取置信水平 $\alpha$ ,一般选取 $\alpha=0.05$ ,若 $|UF_k|>U_\alpha$ ,表明该序列存在明显变化趋势。将 $UF_k$ 在时间坐标轴上绘制成曲线,然后进行逆序排列,按上述方法绘制逆序系列的统计量 $UB_k$ 曲线。当2个统计量序列出现交叉点,且该交叉点位于置信区间内,该点则为时间序列发生突变的时刻。

### 2.3 R/S法

R/S法<sup>[9]</sup>最早由英国科学家H.E.Hurst提出。本文通过计算Hurst指数判断南京站降水序列变化趋势的持续性。当 $H=0.5$ 时,表示径流序列为独立的随机变化,为一般的布朗运动;当 $0.5<H<1$ 时,表示降水序列未来的变化与之前的变化趋势一致,具有正的持续性, $H$ 越接近于1说明持续性趋势越强;当 $0<H<0.5$ 时,表示降水序列未来的变化趋势与之前的相反,即具有反持续性, $H$ 越接近于0则反持续性趋势越强。

### 2.4 累积距平法

累积距平法<sup>[10]</sup>能够直观判断出时间序列的变化趋势,在水文气象领域较为常用。对于降水量序列,可逐时段计算降水量的累积距平,并绘制成曲线。当累积距平持续增大时,为丰水时段;当累积距平持续减小时,为枯水时段;当累积距平持续不变时,为平水时段。

### 2.5 Morlet小波分析法

小波函数<sup>[11]</sup>是小波分析法的关键,其震荡性很强,能够在很短的时间内迅速衰减至零。降水序列数据大多是离散的,设函数 $f(k\Delta t)$ , ( $k=1,2,\dots,n;\Delta t$ 为取样的间隔),可得出对应的离散型小波变换形式。实际研究过程最重要的就是要由小波变换方程得出小波系数,随后通过这些系数来分析判断径流时间序列的时频变化特征。将小波系数的平方值进行积分,便可得到小波方差,小波方差能反映信号波动的能量随尺度 $a$ 的分布,小波方差图用来确定信号中不同种尺度扰动的相对强度和存在的主要时间尺度。

### 2.6 降水量年内分配特征指标

通过计算降水量的不均匀系数 $C_u$ 和完全调节系数 $C_r$ ,来表征降水量年内分配的均匀程度。根据降水量的最小月降水量、最大月降水量与月平均降水量的比值(分别为极小比 $C_{\min}$ 、极大比 $C_{\max}$ 和极值比 $C_m$ ),以此表示降水量的年内相对变化幅度,采用集中度 $C_n$ 表示降水量的年内分配集中程度<sup>[12]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 降水年际变化特征分析

#### 3.1.1 降水年际变化趋势性分析

采用Mann-Kendall趋势检验法和线性回归法对南京站1951—2020年的降水量序列进行分析,详见表1。南京市的多年平均降水量为1 064.4 mm,降水年际变化分布不均匀,变化幅度较大。通过分

析南京站5年滑动平均降水量序列可知,2012—2020年的降水量较多,其中2014—2018年的5年滑动平均降水量最大,为1 437.3 mm;1964—1968年的5年滑动平均降水量最小,为857.8 mm,降水总体呈增加趋势。年降水量、夏季降水量和冬季降水量呈现显著上升趋势,年降水日数呈现显著下降趋势,春季和秋季降水量呈现不显著下降趋势。采用R/S法估算南京站年降水量、降水日数和各季降水量的Hurst指数,各项指标的Hurst指数均大于0.5,表明未来的年降水量、降水日数和各季降水量与往年的变化趋势相同。综合分析各指标的 $Z_c$ 统计值和Hurst指数,未来南京站降水量仍将持续增加,年降水日数将持续减少,夏季和冬季降水量将持续增加,即降水在未来会更加不均匀。

表1 南京站降水量变化趋势分析

指标	$Z_c$ 值	变化趋势	显著性	Hurst指数
年降水量	2.28	上升	显著	0.60
春季降水量	-1.16	下降	不显著	0.54
夏季降水量	2.57	上升	显著	0.58
秋季降水量	-0.03	下降	不显著	0.62
冬季降水量	4.45	上升	显著	0.91
年降水日数	-4.40	下降	显著	0.94

第二主周期为22 a左右,第三主周期为3 a左右。

### 3.2 降水年内分配规律分析

南京站各季节降水量呈现不同的变化趋势,夏季和冬季的降水呈明显增加趋势,对南京站的降水量年内分配特性进行分析比较,如表2所示。南京站降水量集中在夏季,降水量变异前占46.46%,变异后增加至49.99%;冬季降水量最小,变异前占比仅为8.18%,变异后增加至12.17%;7月降水量最大,约占全年的20%;1月降水量最小,占比不超过3%;5—8月的降水量最大,占比超过全年的50%。由以上分析可知,南京站年内降水极不均匀,冬春交替之际补水形势严峻,夏季防洪压力较大。

南京站年降水量的年内分配特征指标如表3所示。南京站降水量的 $C_v$ 、 $C_n$ 值均较小,表明南京站降水年内分配较均匀,南京站降水量的 $C_{\max}$ 、 $C_{\min}$ 和 $C_m$ 值之间相差较大,表明南京站年内月降水量变化幅度较大。南京站降水量的年内分配在1986年前后存在较大差异,1986年后的 $C_v$ 、 $C_n$ 值变小, $C_{\max}$ 、 $C_{\min}$ 和 $C_m$ 值向中值靠拢,表明南京站降水量年内分配趋于

### 3.1.2 降水年际变化突变性分析

采用Mann-Kendall突变检验法和累积距平法对南京站70年的降水量进行变异诊断,在1970—2000年之间,2条序列存在多个交点,表明南京站降雨量在该时段内变化较为明显,并在2000年左右发生突变,突变后呈现上升趋势。根据累积距平法统计结果分析发现,在1986年前降水量累积距平值持续下降,其后持续上升,综合分析表明1986年为南京站降水量变化的突变年份。

### 3.1.3 降水年际变化周期性分析

南京站年降水量的小波方差图如图1所示,南京市年降水量存在3个较为明显的峰值,分别为3 a、9 a、22 a。9 a左右的时间尺度对应的峰值最大,即9 a左右的时间尺度为南京年降水量的第一主周期,

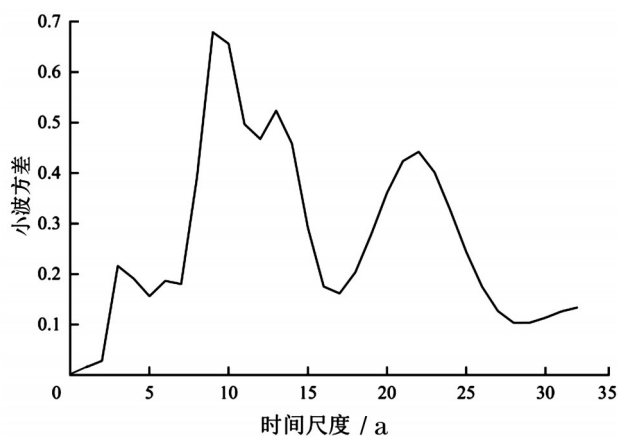


图1 南京站年降水量小波方差

均匀,降水量变化幅度减小。

## 4 结 论

(1)根据1951—2020年逐月降水资料分析可知,南京站年降水量在1986年前后发生突变,年降水量、夏季降水量和冬季降水量呈现显著上升趋势

表2 南京站降水年内分配统计

变异前:1951—1986年			变异后:1987—2020年		
指标	降水量/mm	占比/%	指标	降水量/mm	占比/%
春季降水	247.83	25.01	春季降水	250.59	21.94
夏季降水	460.46	46.46	夏季降水	571.01	49.99
秋季降水	201.69	20.35	秋季降水	181.50	15.89
冬季降水	81.05	8.18	冬季降水	139.04	12.17
最大月降水	184.25	18.59	最大月降水	223.70	19.59
最小月降水	21.37	2.16	最小月降水	32.71	2.86
连续最大4个月降水	556.12	56.12	连续最大4个月降水	659.63	57.75

表3 南京站降水年内分配特征指标

指标	变异前: 1951—1986年	变异后: 1987—2020年
	指标值	指标值
不均匀系数 $C_u$	0.97	0.95
完全调节系数 $C_r$	0.25	0.25
极大比值 $C_{\max}$	2.23	2.35
极小比值 $C_{\min}$	0.26	0.34
极值比 $C_m$	8.62	6.84
集中度 $C_n$	0.40	0.37

势,且未来南京站降水量仍将持续增加,年降水日数将持续减少,夏季和冬季降水量将持续增加。

(2)南京站年降水量存在3个主周期,其第一、第二、第三主周期分别为9 a、22 a、3 a左右的时间尺度。

(3)南京站降水量集中在夏季,降水量变异前占46.46%,变异后增加至49.99%;冬季降水量最小,变异前占比仅为8.18%,变异后增加至12.17%;7月降水量最大,约占全年的20%;1月降水量最小,占比不超过3%;5—8月的降水量最大,占比超过全年的50%。

(4)南京站降水量降水年内分配较均匀,年内月降水量变化幅度较大,年内分配在1986年前后存在较大差异,变化后的降水量年内分配趋于均匀,

变化幅度减小。

#### 参考文献:

- [1] 朱璇,肖薇,王晶苑,等. 南京降水氢氧同位素监测特征[J]. 应用气象学报,2022,33(3):353–363.
- [2] 沈澄,颜廷柏,刘冬晴,等. 2008—2012年南京短时强降水特征分析[J]. 气象与环境学报,2015,31(1):28–33.
- [3] 毛宇清,吴海英,裴海瑛,等. 近50 a南京夏季降水的气候特征[J]. 气象科学,2012,32(6):646–652.
- [4] 陈其旭,季厚瑜,陈旭. 南京浦口夏季强降水特征及影响因素[J]. 中国农学通报,2019,35(33):124–130.
- [5] 李宜轩. 南京城市化进程对气温和降水影响分析[J]. 农家参谋,2018(23):127–128.
- [6] 钟华昱,黄强,杨元园,等. 变化环境下汉江径流时空演变规律分析[J]. 人民珠江,2020,41(5):123–131.
- [7] 邹磊,夏军,张印,等. 海河流域降水时空演变特征及其驱动力分析[J]. 水资源保护,2021,37(1):53–60.
- [8] 管新建,张一鸣,孟钰,等. 径流序列突变检验与环境流量组成——以淮河干流王家坝为例[J]. 水土保持研究,2020,27(1):353–359.
- [9] 邢广君,崔弼峰. 贵州省干旱变化特征及其与大气环流关系[J]. 南水北调与水利科技,2019,17(6):75–85.
- [10] 王淑丽,李志萍,赵贵章,等. 2005—2018年涡河玄武河段水质演变趋势分析[J]. 人民长江,2021,52(5):13–17.
- [11] 冯怡,张敏,王晶,等. 淮河中上游水文气象要素演变特征分析[J]. 江苏水利,2019(3):9–16.
- [12] 陈立华,刘为福,冷刚,等. 西江干流径流年际及年内变化趋势分析[J]. 南水北调与水利科技,2018,16(4):74–81.