

1969 ~ 2018 年衢州站降水变化特征分析

王如沙¹ 李鹏程²

1 衢州市水文与水旱灾害防御中心 2 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

DOI:10.32629/hwr.v4i9.3329

[摘要] 论文根据1969—2018年衢州站的降雨资料,采用了Mann-Kendall趋势检验法和小波分析法等方法对衢州站51年的降雨年际年内变化情况进行分析。结果表明:该站年降水量具有显著的年代际差异及明显的丰枯变化,基本上经历了4个丰枯演变阶段,且未来几年降水量还有可能继续增多,过后才可能出现减少的趋势;年内降水量主要集中在汛期,尤其8月降水比重呈显著上升趋势,且冬季降水量呈上升趋势;年内极值降水量呈不显著上升趋势,与年降水量的丰枯周期性变化基本一致,此外极值降水量的历年最大值与衢州典型大洪水对应的降水过程密切相关。由此可见,未来衢州站的年降雨及极值降雨仍将继续增多,这将会对今后几年的衢江防汛工作产生重大的压力,需要防汛工作者持续关注。

[关键词] 衢州站; 降水变化; Mann-Kendall趋势检验法; 小波分析

中图分类号: P457.6 **文献标识码:** A

随着近年来浙江省经济社会的快速发展和以人为本理念的提升,对省内防洪减灾和人民生命财产安全保障提出了更高的要求,尤其是第一大河钱塘江的防洪问题是重中之重,而研究钱塘江的上游—衢江的防洪减灾对钱塘江防洪和水资源等问题则有着重要的意义。本文旨在通过研究衢江的主要控制站—衢州站降水量年内年际变化情况,为衢江的防洪、水资源等问题有着提供重要的决策支撑^[1]。降水量变化规律研究是解决防洪关键问题的重要一环,也是在全球增暖背景下众多学者广泛关注的热点^[2-3]。张洁祥等人^[4]采用一元线性回归法、Mann-Kendall法和小波分析等方法,对上海市40年来的年代际降水、年降水、汛期与非汛期降水的变化和周期变化特征进行研究和分析;李鹏程等人^[5]以北京、天津两个气象站近51a的日降水资料为例,采用Mann-Kendall法和小波分析法分析了两地区的降水变化特征;李加顺等人^[6]通过趋势分析和连续小波变换分析研究昆明地区降水量序列变化特征和周期性规律率。本文则采用MK检验和小波分析方法,对衢州站降水量的趋势、周期等规律进行深入分析,可为衢江的防洪、水资源等问题提供一定的决策支

撑,具有重要的现实及经济意义。

1 研究区概况

衢州站是衢江的主要控制站,该站位于常山港和江山港两支流交汇下游3km处,集水面积5424km²,于1930年3月7日设立,下游5km处纳入乌溪江。论文选用衢州站为研究对象,采用1969~2019年的逐日降水量数据,分析衢州站51年的降水年际年内变化特征。

2 研究方法

论文主要采用Mann-Kendall趋势检验方法和小波分析法等方法对衢州站降水量年际年内变化情况进行分析。Mann-Kendall趋势检验方法和小波分析法简要介绍如下:

(1) Mann-Kendall趋势检验方法

趋势检验的主要目的是诊断序列随时间变化是否表现出一致性上升或下降的态势。在水文学和气象学领域,有多种趋势检验方法。其中最常用的是Mann-Kendall秩次相关法(简称“MK”)。近年来,国内外有学者还对该方法作了改进,如提取了预置白处理的MK方法,已在长江流域等地区具有一定的应用。MK方法的基本原理概述如下:

对于具有n个样本的时间序列 X_t ($t=1, 2, \dots, n$), 计算如变量值:

$$P = \sum_{t=1}^n p_t \quad (1)$$

式中: p_t 是t时刻数据大于t时刻以前数据的累计次数。对于趋势序列, P的数学期望和方差分别为:

$$E = \frac{n(n-1)}{4} \quad (2)$$

$$V = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (3)$$

定义变量 $Z_{\alpha/2} = \frac{P-E}{V^{0.5}}$, 给定某一置信水平 α , 根据Z与标准正态分布临界值 $U_{\alpha/2}$ 的大小关系, 可以判断原序列是否存在显著趋势。若 $|Z| > U_{\alpha/2}$, 则认为原序列趋势显著; 否则, 原序列趋势不显著。

MK检验的一个重要的指标是倾斜度, 该指标表示单位时间内序列的变化量, 其计算公式为:

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{x_i - x_j}{i - j}\right), \forall j < i \quad (4)$$

式中: $Median(\bullet)$ 为 \bullet 的中位数符号, 当 β 为正时, 表示序列呈上升趋势, 当 β 为负时, 表示序列呈下降趋势。

(2) 周期波动分析方法

降水等水文要素与大气环流、天文周期变化之间具有重要联系, 因此常随这些因素的变化而表现出多时间尺度的准周期波动。常用的检验水文时间序列周期性的方法有功率谱法、最大熵谱法、方差图法、小波分析法等。小波分析因其多尺度分析功能, 故较其它方法具有明显的优越性, 素有“数学显微镜”之称。小波分析分为连续小波分析和离散小波分析两种, 本文主要采用Morlet小波分析法进行降水量周期波动分析, 为连续小波分析, 基本原理如下。

首先, 定义某“小波函数”: 设 $\varphi(t)$ 为一平方可积函数, 若其傅立叶变换满足容许条件, 则 $\varphi(t)$ 称为一个基本小波或母小波。将 $\varphi(t)$ 进行伸缩和平移, 得到连续小波函数 $\varphi_{a,b}(t)$:

$$\varphi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a, b \in R, a > 0 \quad (5)$$

对于任意连续且平方可积函数 $f(t)$, 其连续小波变换为:

$$W_f(a,b) = \langle f(t) | \varphi_{a,b}(t) \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_R f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (6)$$

变换结果称为小波变换系数:

当 $f(t)$ 为离散时间序列 $f(k\Delta t)$, $k=1, 2, \dots, N$ 时, 上式的离散形式为:

$$W_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Delta t \sum_{k=1}^N f(k\Delta t) \varphi\left(\frac{k\Delta t - b}{a}\right) \quad (7)$$

$W_f(a,b)$ 关于 a 的所有小波变换系数平方的积分, 称为小波方差。小波方差反映了波动能量随时间尺度的分布, 通过小波方差图可确定水文序列的主周期。

$$W_p(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W_f(a,b)|^2 db \quad (8)$$

以上各式中: a 为尺度因子, 反映小波的周期长度。 b 为时间因子, 反映时间上的平移。 $W_f(a,b)$ 称为小波变换系数, $W_f(a,b)$ 随参数 a 和 b 变化。对于Morlet小波而言, 其对应的尺度

因子 a 与周期 T 之间具有如下关系:

$$T = \frac{4\pi}{(c + \sqrt{2 + c^2})} a \quad (9)$$

根据上式, 当 $c=5$ 时, $T=1.2a$; 当 $c=6.2$ 时, $T=a$ 。

$W_f(a,b)$ 的二维等值图反映了不同时间尺度下系统的变化特征。正的小波变换系数对应着水文变量的偏多期, 负的对应用于偏少期, 小波系数为零对应着突变点。故通过小波分析, 不仅可识别水文系统多时间尺度周期演变特性, 而且也可以发现水文序列的突变点。周期的显著性可以通过小波系数方差图识别。某一时间尺度对应的小波方差越大, 则说明准周期越显著。

3 结果分析

3.1 年降水量年代际变化趋势

对衢州站年降水量的年代际变化进行统计分析, 衢州站年降水量具有显著的年代际变化, 最大值出现在1983年(2495.1mm), 最小值出现在1979年(1109.3mm), 极值比达2.3倍。对该站年降水量进行MK趋势检验, 均呈上升趋势, 但不显著, 由年降水量变化趋势图也可以看出该站降水量没有发生多年连续降低或增加的情况, 上升趋势不明显。此外该站年降水量具有显著的年代际差异, 依图可知, 1990-1999年和2010-2018年的平均降水量是大于多年平均, 其他年代际平均降水量小于多年平均, 说明这两个年代的降水量是明显增加, 且2010-2018年的增加幅度明显大于1990-1999年, 即2010年以来年降水量整体呈上升趋势, 如2015年和2011年降水量分别达2489.0mm和2476.6mm, 位列历史第2位和第3位, 仅次于1983年。

该站年降水量具有明显的丰枯变化。由年降水量的小波方差图可以看出, 该站年降水量有2个较为明显的峰值, 依次对应着2年和37年的时间尺度, 说明这两个周期控制着降水量在整个时间域内的变化特征, 同时给出了2个主周期的小波系数实部变换图, 可以看出该站年降水量具有显著的多时间尺度演变特征,

表现出不同时间尺度的周期振荡和多个变异点: 在2年特征时间尺度上, 年降水量降水周期震荡非常剧烈, 没有明显的规律, 但是随着时间尺度的增加, 周期震荡趋于平缓, 且规律越来越明显, 在37年特征时间尺度上, 流域降水变化的平均周期是25年, 大约经历了4个丰-枯转换循环期, 规律性比较明显。同时我们给出了该站年降水量小波系数实部等值线图, 由图可知, 在主周期 $a=37$ 年的时间尺度上, 降水量周期振幅最大, 在这一级时间尺度上, 降水量基本上经历了4个丰枯演变阶段, 相应的丰枯突变点分别是1977年、1989年、2001年和2013年, 且2018年降水增多的等值线即将闭合但还没有闭合, 说明该站降水量未来几年还有可能继续增多, 过后才可能出现减少的趋势。

3.2 降水量年内变化趋势

(1) 各月降水

1969-2018年衢州站不同过程降水量箱线图可知, 衢州站降水量仍主要集中在汛期(4月15日~10月15日), 汛期和年降水量的相关系数高达0.93, 多年平均情况下汛期降水量约占年降水量的61%, 尤其是2011年汛期降水量占全年降水量的比重达到了79%, 居于历史最高水平。各月中降水最多的两个月份依次为汛期的6月和5月, 其次是4月和3月(二者降水量相当), 其中6月降水量级比较集中, 且极值较多, 且该站月降水量的历史记录是2011年6月, 该月降水量达761.4mm, 占当年总量的47%。此外汛期前期各月降水量整体要高于汛后期的各月降水量。由逐旬过程来看, 该站逐旬降水量在年内分布呈3个峰型, 第1个峰值处于汛初的3月下旬至4月中旬, 其中1995年4月下旬最大, 降水量达243.8mm, 约占当年降水量的12%; 第2个峰值处于6月, 为梅雨期降水, 尤以6月下旬降水最为丰沛, 该旬降水量的多年平均值也在年内最高, 同时54年来旬降水量的历史记录也发生在此旬(2011年6月中旬降水量569.5mm, 达到了当年降水量的35%, 汛期降水量的75%); 而第3个峰值处于8月中下旬附近, 主要受台风或冷暖空气交汇影响, 其中

2014年8月中旬降水量最大,达200.0mm,约占当年降水量的10%。对各月降水进行MK趋势检验,1、4、6、8、11、12月降水呈上升趋势,其他月份呈下降趋势,其中8月和11月在 $\alpha=95\%$ 的置信水平上显著上升,5月在 $\alpha=90\%$ 的置信水平上显著下降,其他月份趋势不显著,由此可见衢州站冬季降水量呈上升趋势,汛期降水量在4月、6月和8月更趋于集中,尤其8月降水比重呈显著上升趋势。

(2)年内极值降水

年内极值降水量是指年内最大连续90天、60天、45天、30天、15天、7天、3天、1天降水量。总结出了衢州站8种极值降水量序列变化图。由此可知,衢州站极值降水量同样具有显著年际变化,降水的极值序列主要集中在1969—1977年、1989—2001年、2013—2018年,与年降水量的周期性变化基本一致,此外极值降水量的历年最大值与衢州典型大洪水对应的降水过程密切相关,主要由1989、1993、1995、1997、2011年等典型年份梅雨期集中强降水造成;极值降水量的历年最小值主要集中在1978年历史干旱年份。对各极值降水量进行MK趋势检验,各极值降水量均呈上升趋势,但在 $\alpha=90\%$ 的置信水平上变化不显著。

4 结束语

论文根据1969—2018年衢州站的降

雨资料,采用Mann-Kendall趋势检验法和小波分析法等方法对衢州站的降雨年际年内变化情况进行分析,结果如下:

(1)该站年降水量具有显著的年代际差异,尤其是1990—1999年和2010—2018年这两个年代的降水量是明显增加,且2010—2018年的增加幅度明显大于1990—1999年。

(2)该站年降水量具有明显的丰枯变化,基本上经历了4个丰枯演变阶段,且2018年降水增多的等值线即将闭合但还没有闭合,说明未来几年还有可能继续增多,过后才可能出现减少的趋势。

(3)该站年内降水量仍主要集中在汛期,且在4月、6月和8月更趋于集中,尤其8月降水比重呈显著上升趋势,此外该站冬季降水量呈上升趋势。

(4)该站年内极值降水量同样具有显著年际变化,呈不显著上升趋势,同时极值序列主要集中在1969—1977年、1989—2001年、2013—2018年,与年降水量的丰枯周期性变化基本一致,此外极值降水量的历年最大值与衢州典型大洪水对应的降水过程密切相关,主要由1989、1993、1995、1997、2011年等典型年份梅雨期集中强降水造成;极值降水量的历年最小值主要集中在1978年历史干旱年份。

(5)由该站的降雨年际年内变化情况

降雨及极值降雨仍将继续增多,这将对今后几年的衢江防汛工作产生重大的压力,需要防汛工作者持续关注。

[基金项目]

上海市科技人才计划(19QB1405400)。

[参考文献]

[1]戴笑冰.钱塘江干流衢江段防洪能力分析及其洪水调度对策探讨[J].浙江水利科技,2012,(4):29—30.

[2]黄荣辉,蔡榕硕,陈际龙,等.我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系[J].大气科学,2006,30(5):730—743.

[3]任国玉,郭军.近50a中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6):942—955.

[4]张洁祥,张雨凤,李琼芳,等.1971—2010年上海市降水变化特征分析[J].水资源保护,2014,30(4):48—52.

[5]李鹏程,李琼芳,蔡涛,等.北京天津地区近51a降水变化特征分析[J].水电能源科学,2010,28(10):6—9.

[6]李加顺,刘丽.1951—2015年昆明地区降水变化规律分析[J].人民长江,2017,48(1):120—122.

作者简介:

王如沙(1984—),男,汉族,临海人,大学本科,工程师,从事水旱灾害防御工作。