

1951—2018年华南前汛期暴雨特征分析

——以韶关市为例

周嘉琦, 陈世发

(韶关学院 旅游与地理学院, 广东 韶关 512005)

摘要:研究长时间尺度的华南前汛期暴雨特征,为该区暴雨的预测预防提供参考。利用韶关市1951—2018年逐日降水资料,采用M-K检验法、morlet小波分析法和皮尔逊三型频率曲线,研究了韶关市前汛期(4—6月)不同等级暴雨变化的趋势、突变点和周期变化规律及重现期。结果表明:(1)韶关市68年间前汛期暴雨对前汛期降水贡献大,平均贡献率为27%,前汛期降水量呈明显的增加趋势;(2)暴雨等级的雨量突变年份在1953年、1957年、2006年、2015年,而大暴雨等级雨量的UF曲线大于 $U_{0.01}$ 临界值,大暴雨等级的雨量在1951年、1952年的上升及在1960年、1961年、1963—2018年的下降趋势均十分显著;(3)68a来韶关市的前汛期不同等级暴雨日数呈现多重震荡周期性规律,暴雨日数的主要震荡周期是6 a、8 a、15 a、22 a,大暴雨日数的主要震荡周期是4 a、8 a、15 a、27 a;(4)暴雨频次较多的属于小概率事件、频次较少的发生概率较大。研究为韶关市抗洪防灾、水土保持等工作提供参考。

关键词:Morlet小波分析; M-K突变; 前汛期; 皮尔逊三型频率曲线; 韶关市

中图分类号:P426.616

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)03-0163-07

Analysis on Characteristics of Rainstorm in South China During the Previous Flood Season from 1951 to 2018

—Taking Shaoguan City as an Example

ZHOU Jiaqi, CHEN Shifa

(College of Tourism and Geography, Shaoguan University, Shaoguan, Guangdong 512005, China)

Abstract: To study the characteristics of rainstorm in pre-flood period in South China on a long time scale, and to provide reference for the prediction and prevention of rainstorm in this area, based on the daily precipitation data of Shaoguan City from 1951 to 2018, we used M-K test method, Morlet wavelet analysis method and Pearson three-type frequency curve to study the variation trend, abrupt change point, periodic change rule and recurrence period of rainstorm of different grades in the pre-flood period (April to June) of Shaoguan City. The results show that: in 68 years, the average contribution rate of rainstorm in the pre-flood period was 27%, and the precipitation in the pre-flood period showed an obvious increasing trend; the abrupt transition years of the rainstorm grade were found in 1953, 1957, 2006 and 2015, and the UF curve of the rainstorm grade was greater than the $U_{0.01}$ critical value, so the rainstorm grade increased in 1951 and 1952 and decreased significantly in 1960, 1961 and 1963 to 2018; the number of rainstorm days of different grades in the pre-flood season to Shaoguan City presented multiple cyclical patterns; the main fluctuation cycles of rainstorm days are 6 years, 8 years, 15 years and 22 years, while the main fluctuation cycles of rainstorm days are 4 years, 8 years, 15 years and 27 years; the occurrence probability of rainstorms with more frequency and less frequency was large. The study on the variation trend, abrupt change point, periodic change rule and recurrence period of rainstorm of different grades in the pre-flood period of Shaoguan City can provides the references for flood prevention, soil and water conservation and other work in Shaoguan City.

收稿日期:2020-06-04

修回日期:2020-07-02

资助项目:广东省哲学社会科学共建项目“气候变化背景下的粤北山区贫困农户生计脆弱性与适应力研究”(GD18XGL55);广东省教育厅青年创新人才项目“贫困农户生计行为及对水土流失影响研究”(2015KQNCX148);广东省哲学社会科学规划项目“台湾农业在大陆欠发达地区技术扩散分析”(GD17CGL13);韶关市科技计划项目“韶关红壤低山丘陵区果园开发的水土流失效应及调控研究”(2018sn055)

第一作者:周嘉琦(1997—),女,广州人,本科,主要从事自然地理研究。E-mail:229523785@qq.com

通信作者:陈世发(1984—),男,湖南省平江县人,博士,副教授,主要从事土壤侵蚀与气候变化研究。E-mail:sgxycsf@163.com

Keywords: Morlet wavelet analysis; M-K mutation; before the flood season; Pearson three frequency curve; Shaoguan City

随着全球气候变暖,气候异常事件明显增多,各地极端降水事件频现,暴雨是我国常见的气象灾害之一,其特点是长时间、强度大,导致洪涝灾难的发生,对人们生命安全和生产、生活安全带来非常大的灾难^[1-3]。因此,重视暴雨观测、研究暴雨特点,是气象灾害预防工作的基础。

国内外学者们对暴雨气候特征进行了相关研究,Barredo^[4]研究表明,1970—2005 年欧洲的暴雨灾害加重的主要原因不是气候异常,是人口暴增而导致脆弱性增加的结果。广东前汛期降水为全年降水量的 40%~60%,前汛期降水的多少直接影响到广东省汛期的旱涝^[5-7];艾卉等^[8]从暴雨日数、暴雨强度和暴雨贡献率,分析广州汛期的暴雨的变化特征;李明华等^[9]认为,惠州城区 50 a 的雨日气候特征应全面研究雨日及不同强度雨日的气候统计特征;凌良新等^[10]认为,潮州市暴雨主要发生在 4—9 月,而且暴雨天气的发生时间有提前的趋势。虽然对不同区域的暴雨有所研究,但针对前汛期暴雨的研究相对较少。

华南地区是我国汛期最长的区域,暴雨气候有地域差异,对气候变化反映也不尽相同。为探讨前汛期(4—6 月)不同等级暴雨变化的趋势、突变点和周期变化规律及重现期,本文选取韶关市 1951—2018 年的日降水资料目的在于探讨:(1) 韶关市前汛期暴雨、大暴雨事件变化特征及其与降水的关系;(2) 前汛期暴雨、大暴雨事件的周期变化规律;(3) 前汛期暴雨、大暴雨事件的重现期。本研究以期找出长时间前汛期不同等级暴雨的变化趋势和周期变化规律,有利于更加全面了解韶关市的气候变化特征,对于预测气候灾害,及防灾减灾有重大意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

韶关市处于广东省的北部,北江的中上游地区,对内连接珠三角,具有重要的经济、生态地位。山地丘陵地形显著且北部依靠南岭,气候属于中亚热带季风气候,季风气候明显,雨热同期,多年平均降水量为 1 618.91 mm(1951—2018 年),降水丰富且集中,易发生涝灾、泥石流和滑坡等灾害。

1.2 数据来源与方法

1.2.1 数据来源 本文运用中国气象共享服务网提供的 1951—2018 年韶关市气象站降水资料(日降水量),分别算出前汛期暴雨、大暴雨的频次和降水量,

再通过 Excel, SPSS, Origin, Matlab, Furfer 等软件进行数据处理。

1.2.2 前汛期的确定和暴雨等级的方法 华南地区降水呈现双峰型特征,其中主峰为 6 月,次峰为 8 月。每年 4—6 月,华南地区受大型降水过程主要受冷空气及华南低空西南急流的影响,往往造成雨量大,持续时间长,形成汛期,称为前汛期^[1,11]。

我国气象上规定,24 h 降水量有 50 mm 或以上的雨,定义为“暴雨”^[12]。根据降水强度分为三级。其范围在 50~99.9 mm,则定义为“暴雨”;100~199.9 mm,定义为“大暴雨”;200 mm 以上,定义为“特大暴雨”。由于该研究区在 1951—2018 年的前汛期期间的 24 h 降水量无大于 200 mm,因此本文仅研究暴雨和大暴雨两个等级的情况。

1.2.3 降水变率 降水变率是指降水量的年(或季、月)际变化,是降水绝对变率(又称降水距平)。它是指某地实际降水量与同期多年平均降水量之差与多年平均降水量的百分比,具体计算公式如下^[13]:

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{x}| / \bar{x} \quad (1)$$

式中: V 是韶关市 1951—2018 年的降水相对变率; X_i 表示逐年降水量; \bar{x} 表示多年平均降水量; n 表示资料年数。降水平均相对变率表明韶关市降水量的稳定程度,变率大时,韶关市年际降水量稳定性弱,这容易加大气象灾难的发生几率。

1.2.4 Morlet 小波分析方法 小波分析是以 Fourier 变换为基础,运用三角函数来表示信号和解释时域成分的一种研究方法^[14],通过小波函数变换判断某段时间的周期振荡特点。基本小波为平方可积函数 $t, t \in L^2(R)$,对 t 伸缩和平移得一簇函数,即连续小波 t ,再计算小波变换系数和小波方差,本文采用的 Morlet 小波为:

$$\varphi(t) = e^{2\pi i t} e^{-\frac{(2\pi)^2 t^2}{k_\varphi^2}} \quad (2)$$

式中: $k_\varphi = 10$,分析小波为:

$$\varphi_{cd}(t) = |c|^{-\frac{1}{2}} e^{2\pi i (\frac{t-d}{c})} e^{-\frac{1}{2} (\frac{2\pi}{k_\varphi})^2 (\frac{t-d}{c})^2} \quad (3)$$

式中: $c > 0, b \in R; c$ 为尺度参数; d 为平移参数。

当 $f(t)$ 为平方可积时,则满足: $\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(t) dt < \infty$, $f(t) \in L^2$ 这时连续小波变换为:

$$\omega(cd) = (f, \varphi_{cd}) = \frac{1}{a^2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \varphi^* \left(\frac{t-d}{c} \right) dt \quad (4)$$

Morlet 小波系数的实部表示不同特征时间尺度

信号在不同时间上的分布和位相,正的小波系数反映出分析对象在该时间段为偏多期,反之为偏少期,零值则为突变点。

1.2.5 Man-Kendall 趋势检验与突变 本文采用 Man-Kendall (M-K 检验) 是非参数秩次统计检验法,用于研究降水变化趋势与突变分析。M-K 检验应用于水文和气象要素分析^[15],在 Man-Kendall 趋势检验中, n 个独立的、随机变量同分布的样本为时间序列数据 $X_i (i=1,2,3,\dots,n)$; 假设是双边检验。对于所有的 $i, j \leq n$, 且 $i \neq j$, x_k 和 x_j 的分布是不相同的。定义检验统计量 S :

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(X_i - X_j) \quad (5)$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (6)$$

式中:取值如下:

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (7)$$

当 M-K 统计量公式如下:

$$\begin{cases} Z = (S-1)/\sqrt{\text{var}(S)} & S > 0 \\ Z = 0 & S = 0 \\ Z = (S+1)/\sqrt{\text{var}(S)} & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

在双边趋势检验中,在指定的置信水平 θ , 若 $|z| \geq Z_{1-\frac{\theta}{2}}$, 则反对原假设,则在置信水平 θ 上,时间序列数据表现为降水量增多或减少的变化。

此外,M-K 法还可研究突变检验:把具有 n 个样本量的时间序列为 $X_i (i=1,2,3,\dots,n)$, 确定统计量:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad r_i = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (9)$$

式中: $j=1,2,\dots,i; k=1,2,\dots,n$ 。在假设时间序列随机独立时:

$$E[S_k] = k(k-1)/4 \quad 1 \leq k \leq n \quad (10)$$

$$\text{var}[S_k] = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad 1 \leq k \leq n \quad (11)$$

将标准化:

$$UF_k = (S_k - E[S_k]) / \sqrt{\text{var}[S_k]} \quad (12)$$

指定显著性水平为 α , 该序列存在明显的趋势变化。再根据以上公式得出逆序列,其中把逆序列 X_n, X_{n-1}, \dots, X_1 对应表示为 X'_1, X'_2, \dots, X'_n ; r_i 表示第 i 个样本 X_i 大于 $X_j (i \leq j \leq n)$ 的累计数,当 $i' = n+1-i$ 时, $r_i = r'_i$, 则逆序列的 UB_k 由下式给出:

$$UB_k = -UF_k, i' = n+1-I, i' = 12, L, n, \dots, \quad (13)$$

最后,将 UB_k 和 UF_k 的值分别组成曲线,当

UB_k 或 UF_k 的值大于 0, 则表明降水量为上升的特点,反之则相反;如果和两条曲线出现交点,且交点在 α 值临界线之间,那么交点为突变开始。 UB_k 大于临界值,则变化明显。

1.2.6 皮尔逊三型频率曲线 根据皮尔逊三型频率曲线对于概率事件预测的优越性,本文用于分析韶关市前汛期不同等级的暴雨数据,计算其重现期,对当地的暴雨频次进行预测,为当地防洪防旱工作提供数据支持。

皮尔逊三型频率曲线的绘制要求求出指定的频率 P 所对应的随机变量 x_p , 也就是对密度曲线进行积分^[16], 即:

$$P = P(x \geq x_p) = \frac{\beta^a}{\tau(\alpha)_{x_p x_p}} \int_{x_p}^{\infty} (x-a_0)^{a-1} e^{-\beta(x-a_0)} dx \quad (14)$$

求出等于及大于 x_p 的累计频率 p 值。实际操作还可通过变量转换,则:

$$P(x) = F(x, \bar{X}, C_v, C_s) \quad (15)$$

式中: x, C_v, C_s 为 3 个统计参数,分别代表均值、离差系数和偏态系数。频率计算就是如何从样本资料中估算 3 个参数值,比如矩法公式、极大似然法、概率权重矩法等,但图解适线(即“三点法”)来确定参数较简便。

频率曲线绘制后,可在频率曲线上求频率 P 的设计值 x_p 。由于“频率”比较抽象,可用水文学的“重现期”表示。两者的关系式为:当频率 $p < 50\%$, 重现期 T 为:

$$T = 1/P \quad (16)$$

当频率 $P > 50\%$, 重现期 T 为:

$$T = 1/(1-P) \quad (17)$$

2 结果与分析

2.1 前汛期暴雨变化特征

2.1.1 前汛期暴雨变化特征 对 1951—2018 年韶关市前汛期的降水特征进行统计,结果表明:前汛期年降水变率极大值为 2.36,出现在 1957 年;1963—1992 年中(除了 1970 年、1972 年、1973 年、1974 年、1975 年的相对变率分布在 $0.00\% \sim 50\%$),其余年份降水相对变率较稳定,均分布在 $0.00\% \sim -50\%$;1993—2018 年中,降水较多的年份有 10 a,分别是 1993 年、1994 年、1998 年、2001 年、2005 年、2010 年、2012 年、2014 年、2015 年、2016 年,降水较少的有 16 a 且降水变率小于 35% ,分别是 1995 年、1996 年、1997 年、1999 年、2000 年、2002 年、2003 年、2004 年、2006 年、2007 年、2008 年、2009 年、2011 年、2013 年、2017 年、2018 年。

其中,降水变率大于50%的有1954年、1957年、1962年、1993年、2010年、2015年共6 a。综上,说明68 a间,降水变率差异大,但总体在增加。

前汛期暴雨变率变化曲线与降水变率基本一致,前汛期暴雨变率最大值为2.70,出现在2015年。1951—1955年大部分年份的降水较多;降水较少的年份主要分布在1956—1992年、1997年、1999年、2001年、2002年、2007年、2008年、2011年、2014年、2017年、2018年,其中,降水变率为-100%的有1967年、1970年、1979年、1985年、1986年共5 a,即这五年的暴雨量为0 mm。而降水变率大于100%的有6 a,分别为1954年、1962年、1993年、2005年、2010年、2015年。说明90年代以后暴雨变率变化大,极端降水发生的频率高,极端事件增多的趋势一致。

前汛期暴雨对前汛期降水的平均贡献率为27%,最大暴雨贡献率为65.7%,出现在2015年。前汛期暴雨贡献率大于40%的有13 a,分别为1953年、1954年、1955年、1962年、1972年、1993年、1995年、1996年、2000年、2003年、2005年、2015年、2016年,均为前汛期暴雨贡献率高峰期。

由韶关市1951—2018年前汛期降水变率与前汛期暴雨变率和前汛期暴雨的贡献率(图1)可得,在1992年以后前汛期暴雨变率有明显的增大,而降水变率也明显加大,即近30 a极端降水事件发生几率将加大。过去68 a间,以1992年为界点,降水变率差异大,即1992年以后易出现洪涝灾害。

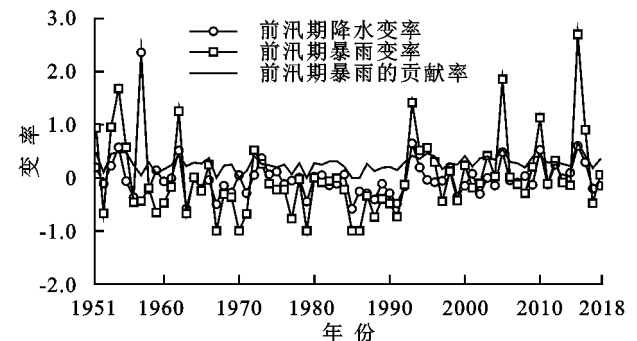


图1 1951—2018年韶关前汛期降水变率与前汛期暴雨变率和前汛期暴雨的贡献率

分析韶关市68 a间4—6月逐月暴雨量占前汛期雨量比例的年际变化特征(图2),可以看出:4月累积暴雨量<5月累积暴雨量<6月累积暴雨量,但是部分年份出现差异。比如,1951年、1983年、1996—2000年、2004年、2007年中4月的暴雨量为前汛期暴雨量之首,其中1951年4月暴雨量占前汛期降水的比例高达33%;而5月暴雨量的比例为最高的年份则有1980—1982年、2010—2015年、其中2015年的比例是各年份中前汛期逐月暴雨占前汛期降水的比例的最高值、为49%;而6

月暴雨量的比例为最高的年份有1952—1968年、1990—1995年、2005年、2009年、2016—2018年,其中1995年的比例占46%为最高。综上,4月份的累积暴雨量占前汛期雨量的比例最小,5月、6月份的累积暴雨量占前汛期雨量的比例较大,但是部分年份的前汛期逐月暴雨量变化差异大,在气象观测中应加强关注,为韶关市防洪抗旱灾做好预测。

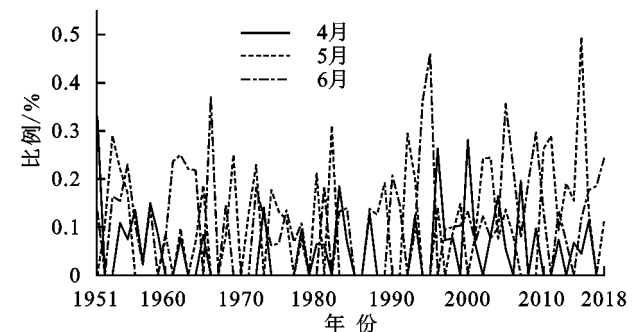


图2 不同年份4—6月逐月暴雨占前汛期雨量比例

2.1.2 前汛期不同等级暴雨多时间尺度变化特征
1951—2018年韶关市出现暴雨频次共为341 d,全年平均暴雨频次为5 d,年极大值为12 d,出现在2015年、2016年,而有个别年份无暴雨出现(1986年);68 a间韶关前汛期出现暴雨频次198 d,前汛期年平均暴雨频次为3 d,极大值为9 d,出现在2015年,有5个年份前汛期未出现暴雨,分别是1967年、1970年、1985年、1986年;另外68 a间前汛期暴雨频次约占全年暴雨频次的58.06%。由此可见,前汛期暴雨对全年暴雨有较大影响,导致韶关市发生旱涝灾害的几率变大。

分析全年暴雨频次和前汛期暴雨频次变化特征发现(图3),二者变化曲线基本一致,在过去的68 a间,前汛期暴雨频次总体呈波动上升的趋势,气候倾向率为0.02次/a,上升趋势明显。

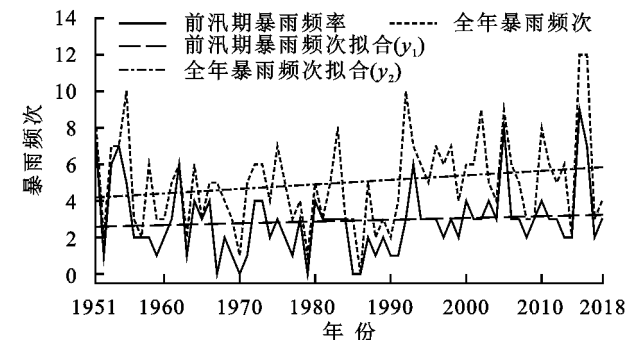


图3 全年暴雨频次和前汛期暴雨频次变化

从暴雨日数的年际变化来看(图4),1951—2018年的暴雨雨日共175 d,年平均暴雨雨日为2.6 d,其中1951年、2005年、2016年最多,为7 d,1967年、1969年、1970年、1979年、1985年、1986年、1990年最少为0 d,暴雨日数的变化幅度较大;出现大暴雨雨日共23 d,年均0.34 d,其中2015年、1993年最多,为

3 d,出现大暴雨日数为 0 d 的有 50 a,且大暴雨日数的年际变化趋势为从无到剧烈增加,说明韶关市 68 a 来发生大暴雨事件的变率较大,对韶关市同期的农业、水利和防洪抗灾的影响较大。综上,68 a 间前汛期发生暴雨的频次最多且对同期韶关市暴雨贡献较大,大暴雨发生频次虽少,但因其降水量大,一旦发生易增加韶关市旱涝事件。

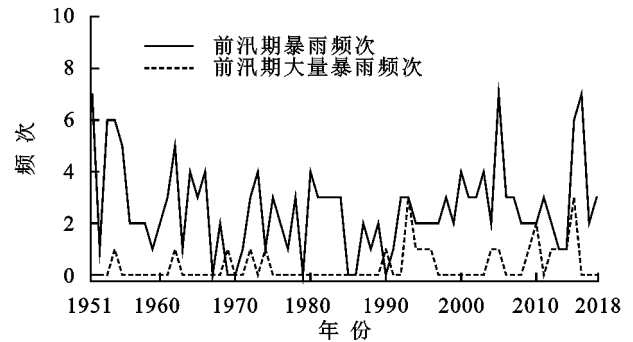
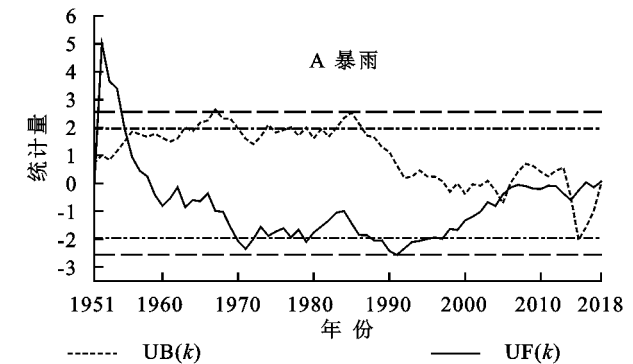


图 4 前汛期暴雨、大暴雨频次年际变化

2.1.3 韶关市前汛期不同等级暴雨量的 Man-Kendall 趋势检验与突变分析 通过 Man-Kendall 法对 68 a 来韶关市的前汛期不同等级的暴雨量进行趋势检验与突变分析,结果见表 1 和图 5 所示。68 a 来韶关市大暴雨等级的降水量呈明显上升趋势,通过了显著性检验($|Z|$ 值大于 1.28),韶关市 1951—2018 年来前汛期的大暴雨等级的雨量上升趋势显著。而暴雨等级的降雨量的变化趋势,未通过显著性检验($|Z|$ 值小于 1.28),韶关市前汛期暴雨下降趋势不显著。

由图 6A 可知,前汛期暴雨从 1951—1998 年、2007—2016 年有明显的上升趋势,并且通过了 0.05 显著性检验($U_{0.05}=1.96$)。在 1952—1955 年中, $UF(k)$



大于 0.01 显著水平($U_{0.01}=2.56$),这表明在 1952—1955 年中韶关市的暴雨量增加的趋势十分显著。根据 $UF(k)$ 和 $UB(k)$ 曲线交点的位置,确定韶关市前汛期暴雨量的变化存在 4 个突变点,分别为 1953 年(上升趋势);1957 年(下降趋势);2006 年(下降趋势向上升趋势的转变)以及 2015 年(平稳趋势向下降趋势的转变)。

表 1 韶关市前汛期不同等级暴雨变化趋势的 M-K 检验结果

类别	Z
前汛期暴雨(降水量)	-0.03
前汛期大暴雨	1.83

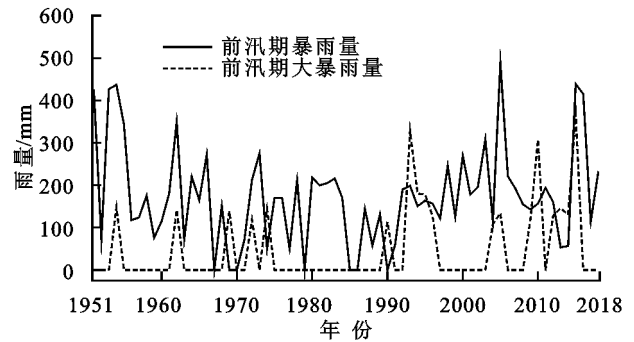


图 5 前汛期暴雨、大暴雨总量年际变化

由图 6B 可知,大暴雨的 UF 曲线的变化趋势并没有通过 0.05 显著性检验($U_{0.05}=1.96$)。在 1951 年、1952 年中, $UF(k)$ 大于 0.01 显著水平($U_{0.01}=2.56$),所以韶关市前汛期的大暴雨在 1951 年、1952 年间的上升趋势十分显著。在 1960 年、1961 年、1963—2018 年中、 $UF(k)$ 大于 0.01 显著水平($U_{0.01}=2.56$)、所以韶关市前汛期的大暴雨在此期间的下降趋势十分显著。

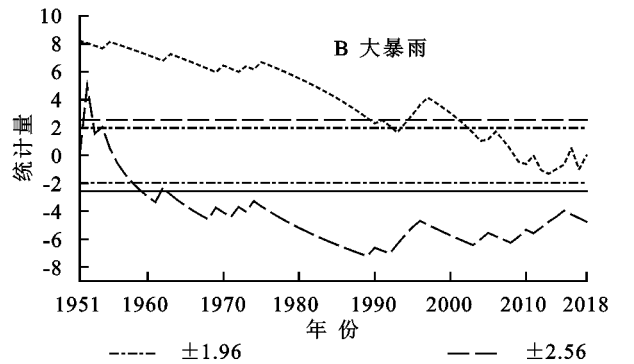


图 6 韶关市前汛期不同等级暴雨量 M-K 统计曲线

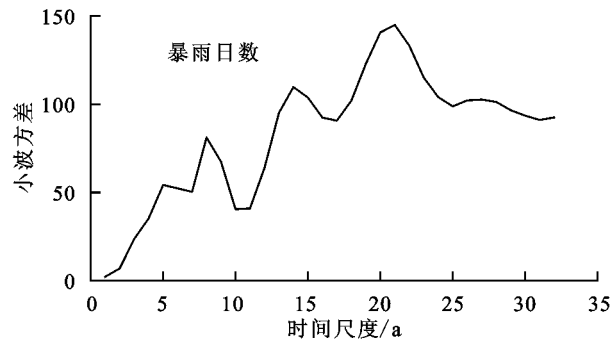
2.2 韶关市前汛期不同等级暴雨日数的周期性分析

由图 7 的前汛期不同等级 68 a 来暴雨日数序列的小波变换时频分布图,可知在不同等级中都存在多重时间周期尺度上的嵌套复杂结构现象。

由图 7A 可得,前汛期暴雨明显可见存在 6~9 a 短期震荡周期、12~18 a 的中期震荡周期、22 a 的长期震荡周期。为了得到更加准确的降水量周期特征,

计算前汛期不同等级的暴雨日数的小波变换方差,得出其主要周期(图 8)。由图 8A 可得,暴雨频次序列存在 22 a 的主振荡周期,其中 15 a,8 a,6 a 的振荡周期也明显可见。从图 7A 的变化规律看,1951—1990 年韶关前汛期暴雨正处在 6 a 短期震荡的少降水期,2005—2018 年韶关前汛期暴雨正处在 8 a 短期震荡

现期为 4~10 a;暴雨频次为 0 的频率为 90%~99%,重现期为 10~100 年。综上,年暴雨频次较多



的属于小概率事件,如 7 次、6 次、5 次;年暴雨频次较少的发生概率较大,如 3 次、2 次、1 次和 0 次。

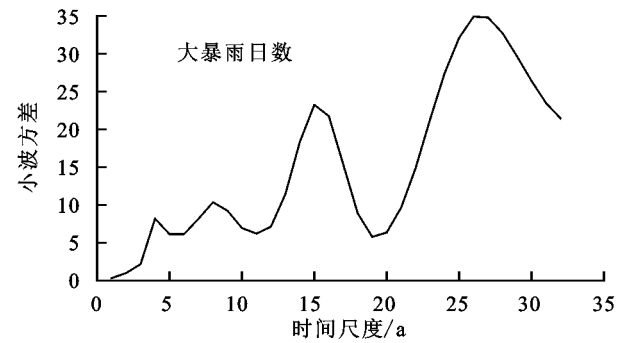


图 8 韶关市前汛期不同等级暴雨日数小波方差

前汛期大暴雨频次:由图 9B 可得在 $C_s=C_v$ 时的理论分布对经验频率小于 50% 的拟合效果最好。当 $C_v=1.95$ 时,出现大暴雨频次为 3 的频率为 2%~5%,重现期为 20~50 a,即二十至五十年一遇,属于小概率事件;大暴雨频次为 2 的频率为 5%,重现期为 20 a;大暴雨频次为 1 的频率为 5%~30%,重现期为 3.3~20 a;暴雨频次为 0 的频率为 30%~

99%,重现期为 30~100 年。综上,年大暴雨频次较多的属于小概率事件,如 2 次;年暴雨频次较少的发生概率较大,如 1 次和 0 次。

综上,年暴雨频次较多的属于小概率事件,但对于研究暴雨洪水问题有重要意义;年暴雨频次较少的发生概率较大,对于水库兴利调节和研究枯水问题有较大意义。

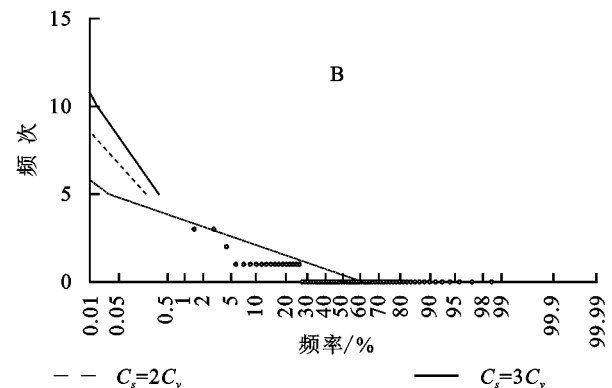
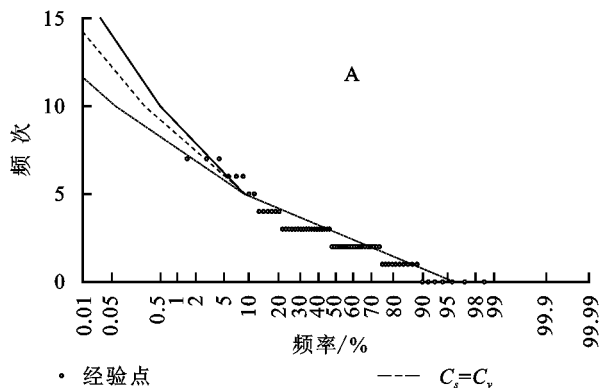


图 9 韶关市前汛期不同等级暴雨频次累积频率曲线

3 结论

(1) 前汛期暴雨对前汛期降水贡献大,平均贡献率为 27%,暴雨的多少与前汛期降水呈正比关系。前汛期降水量呈明显的增加趋势,但降水变率差异大。而前汛期暴雨气候倾向率为 0.02 次/年,上升趋势明显。

(2) 暴雨的突变现象明显,大暴雨的上升或下降趋势显著。暴雨的 UF 曲线增加和下降趋势通过了 0.05 显著性检验 ($U_{0.05}=1.95$),且有 1953 年、1957 年、2006 年、2015 年 4 个突变点;大暴雨的 UF 曲线的大于置信水平,其 UF 曲线的变化趋势并没有通过 0.05 显著性检验。

(3) 68 a 来韶关市的前汛期不同等级暴雨日数受多重震荡周期性规律控制,27 a、22 a 的长期震荡周期是韶关市前汛期暴雨等级和大暴雨等级的暴雨日数的主要震荡周期。同时,4 a、6 a、8 a 的短期震荡周期以及

15 a 的中期震荡周期都对 68 a 来韶关市年际前汛期暴雨日数的周期有一定的影响;暴雨日数的主要震荡周期是 6 a、8 a、15 a、22 a,大暴雨日数为 4 a、8 a、15 a、27 a。

(4) 年暴雨频次较多(7 次、6 次、5 次)的属于小概率事件、频次较少(3 次、2 次、1 次和 0 次)的发生概率较大;年大暴雨频次较多(2 次)的属于小概率事件、频次较少(1 次和 0 次)的发生概率较大。

参考文献:

- [1] 伍红雨,杜尧东,秦鹏.华南暴雨的气候特征及变化[J].气象,2011,37(10):1262-1269.
- [2] 谢五三,王胜.近 40 a 淮河流域暴雨特征分析[J].暴雨灾害,2010,29(4):377-380.
- [3] 包澄澜,王德瀚.暴雨的分析与预报[M].北京:农业出版社,1981.
- [4] Barredo J I. Major flood disasters in Europe:1950—2005 [J]. Natural Hazards, 2007,42(11):125-148.