

文章编号: 2096-1618(2016)05-0531-06

近 54 a 云南西北地区极端降水频数和强度特征

邹璐², 肖国杰¹, 黎跃浩³

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 巴中通江气象局, 四川 巴中 636700; 3. 鹤山气象局, 四川 江门 529700)

摘要:为探究云南西北地区极端降水的变化特征,采用云南西北地区6个典型的气象站1960~2013年的逐日降水数据,通过百分位阈值选取、线性倾向、小波分析、突变检验、滑动t检验等对云南西北地区近54a极端降水频数和强度的时空变化特征进行了研究。结果表明:年极端降水频数的范围在3.3~11.2 d,自东向西逐渐增大。年极端降水强度的范围在42.6~26.2 mm/d,自北向南逐渐增大。云南西北地区的极端降水频数总体上是增加趋势,但并不显著。年极端降水频数在80年代末达到最大。极端降水强度也呈现弱增长趋势。年极端降水强度在20世纪60~70年代先出现减少,之后平稳上升。极端降水频数主要有一个6~7 a的短振荡周期,以及11~12 a的中振荡周期和一个27~28 a的长振荡周期。而极端降水强度主要存在一个27~28 a的长振荡周期。年极端降水频数发生了2次突变,1966年由偏多转为偏少,1977年后极端降水量开始增加。年极端降水强度在1979年发生突变,由减少转为增加趋势。

关键词:气象学;应用气象;极端降水;频数;强度;变化趋势;时空分布

中图分类号:P467

文献标志码:A

0 引言

20世纪90年代以来,由于受到全球暖化的影响,世界各地极端天气频发,给中国经济发展和社会生产生活秩序造成严重的威胁,引发国内外学者关注。作为极端天气的极端降水可以引发山洪暴发,江河垮坝,极容易导致大量的人员财产损失。IPCC第四次报告^[1]中阐述了极端天气在近几十年里已经成日益增加趋势的现状。邹用昌等^[2]得出中国长江中下游地区、西北地区北部和西南地区西部年极端降水过程频数表现为明显的趋势性增加,且所反映的主要是夏季的特征。刘琳等^[3]发现西南地区降水总量略有减少,但降水强度和最大日降水量呈增加形势。丁文荣等^[4]得出20世纪60年代以来,西南地区极端降水频数呈现增加趋势,速率为0.017/10 a。闵岫等^[5]发现云南的极端降水持续性比较好,极容易造成连续性强降雨事件。林建等^[6]得出云南平均暴雨日最多的月份在6~8月,云南西部地区为3月和6月。刘丽等^[7]发现近50 a年来云南汛期极端强降水事件频数呈现弱线性增长趋势。云南西北地区是青藏高原向东的过渡带,地势复杂,气候多样,针对该地区的极端降水频数和强度进行研究,希望能为云南西北地区极端降水的预测、预防提供一些参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源

表1 云南省西北地区气象站点

站点名称	经度/°E	纬度/°N	海拔/m
德钦	98.92	28.48	3319
贡山	98.67	27.75	1583
维西	99.28	27.17	2326
香格里拉	99.70	27.83	3277
丽江	100.22	26.87	2392
华坪	101.27	26.63	1245

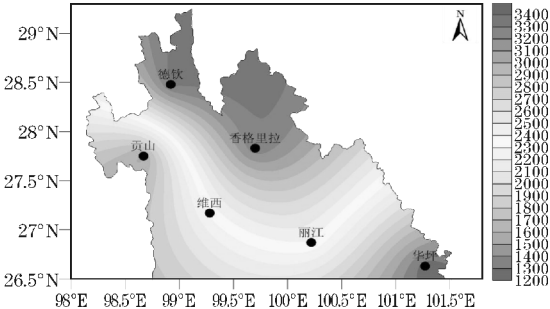


图1 云南西北地区研究站点分布图

区,整个横断山区地形极为复杂,高山河谷相间,河流纵横,海拔相差极大,使这里是“一山分四季,隔里不同天”。在此区域选取 6 个较典型的气象站,站点的海拔高度和经纬度如表 1 所示,空间位置如图 1 所示。数据资料为 1960~2013 年的逐日降水资料(其中华坪测站缺测 1968 年 6~10 月,因此在分析华坪测站时剔除了 1968 年的数据)。

1.2 极端降水阈值的确定

由于各个研究测站的地理环境和气候特点不同,需要根据每一个研究测站不同的降水量特点定义不同的阈值。采用百分位法定义每个台站的极端降水阈值,具体方法是:将各个研究测站 1960~2013 年的逐日降水资料中 ≥ 0.1 mm的降水量按升序排列,然后参照 Bonsal^[8]方法,取第 95 个百分位对应的线性插值作为各个测站极端降水量的阈值^[9]。

1.3 分析方法

通过线性倾向^[10]分析其极端降水频数和强度的年际变化特征,利用 Mann-Kendall 突变检验法^[11-12]和滑动 t 检验^[13]对极端降水频数和强度进行突变分析。极端降水频数和强度的周期性分析采用 Morlet 小波变换分析法^[14-16]。Morlet 小波用于时间序列的分析时,小波系数实部的变化趋势与信号的起伏基本一致,其中系数为正值时表现出分析对象在该时间段为偏多期,而负值时表现为偏少期,零值则代表发生突变。对于 Morlet 小波系数的模值,它是不同时间尺度变化周期所对应的能量密度在时间域中分布的反映,系数模值愈大,表明其所对应时段或尺度的周期性就愈强。

2 结果与分析

2.1 极端降水频数和强度的空间分布特征

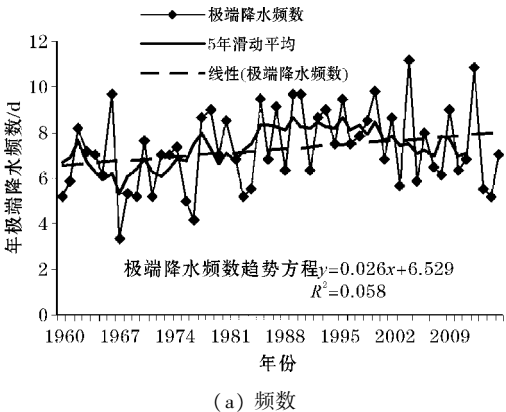
表 2 云南西北地区年极端降水频数和强度分布

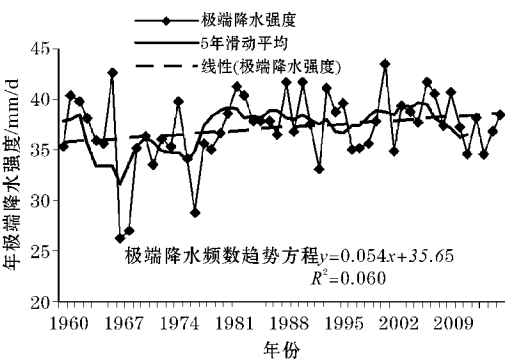
站点	阈值/mm	年极端降水 频数/d	年极端降水 强度/mm/d
德钦	18.1	6.6	24
贡山	28.5	11.0	42
维西	24.8	7.7	34
华坪	41.3	5.1	25
丽江	26.8	6.8	59
香格里拉	18.1	6.5	38

表 2 是云南西北地区极端降水阈值与年极端降水频数和强度的分布情况,从表中可以看出各站点阈值分布范围在 18.1~41.3 mm,平均阈值为 26.3 mm,阈值的最高、最低值相差较大。结合图 1,可以看出极端降水阈值自北向东南逐渐增大,由高海拔向低海拔地区逐渐增大。各站点的年极端降水频数和强度均相差较大,年极端降水频数范围在 5.1~11.0 d,平均年极端降水频数为 7.3 d,而年极端降水强度范围在 24.3~59.1 mm/d,平均年极端降水强度为 37.1 mm/d。年极端降水频数在空间分布上呈现自东向西逐渐增大的趋势,最大值位于西部贡山站,年极端降水强度与阈值的分布十分相似,也是自北向东南增大,高海拔向低海拔地区增大。

2.2 极端降水频数和强度的年际变化特征

云南西北地区的极端降水频数趋势总体上是增加的趋势,其气候倾向率仅为 0.3 d/10 a,最大值出现在 2002 年,各站点极端降水频数均值为 11.2 d,最小值在 1967 年,为 3.3 d。根据检验其相关系数 r ,其未通过 $\alpha=0.05$ 的显著检验,说明总体增加的趋势不显著。从图 2(a) 极端降水频数的 5 年滑动平均看,20 世纪 60 年代存在一个低值期,之后转为上升,直至 80 年代末达到最大,之后又出现减小的趋势,但是减小幅度不大。云南西北地区极端降水强度也呈现增长趋势,但不显著,相关系数 r 未通过 $\alpha=0.05$ 的显著检验,极端降水强度气候倾向率为 0.5 mm/d/10a,最大值出现在 1999 年,各站点极端降水强度均值为 43.5 mm/d,最小值出现在 1967 年,为 26.2 mm/d。图 2(b) 5 年滑动平均曲线同极端降水频数变化一样,也先经历了一个下降过程,60~70 年代为减少的低值区,之后波动上升到 80 年代,80 年代后的趋势一直较平稳,偶尔出现小幅波动,可见该地区在 80 年代后发生极端降水的频数较之前要多,强度较之前要大,造成的灾害也更值得关注。





(b) 强度

图2 极端降水的年际变化趋势

表3为云南西北地区极端降水频数倾向率和强度倾向率分布,从极端降水频数倾向率来看,位于西部地区的贡山增加幅度较大,达到0.73 d/10a,只有华坪的极端降水频数倾向率为负值,其他站点的极端降水频数倾向率均为正值,即除华坪极端降水频数处于减少趋势外其余地区的极端降水频数都处于增加的趋势。但根据检验只有德钦和贡山极端降水频数通过 $\alpha = 0.05$ 的显著检验,即研究区域的西北部的极端降水频数呈明显增加趋势,其他地方极端降水频数变化不显著。表3中极端降水强度倾向率的空间分布正好和频数的分布相反,在东部地区增加幅度较大,华坪达到2.47 mm/d/10a,其中只有贡山的极端降水强度倾向率为负值,其他站点的极端降水强度倾向率均为正值,即除贡山极端降水强度处于减少趋势外其余地区的极端降水强度都处于增加的趋势。根据检验,研究区域站点均未通过 $\alpha = 0.05$ 的显著检验,即研究区域极端降水强度线性变化不显著。

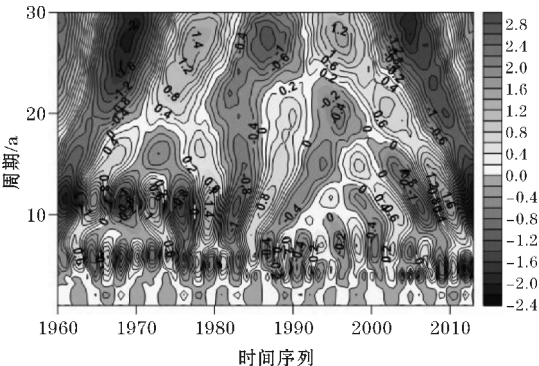
表3 云南西北地区极端降水频数倾向率和强度倾向率分布

站点	频数倾向率/d/10a	强度倾向率/mm/d/10a
德钦	0.59	0.72
贡山	0.73	-0.61
维西	0.02	0.00
华坪	-0.04	2.47
丽江	0.23	0.54
香格里拉	0.08	0.11

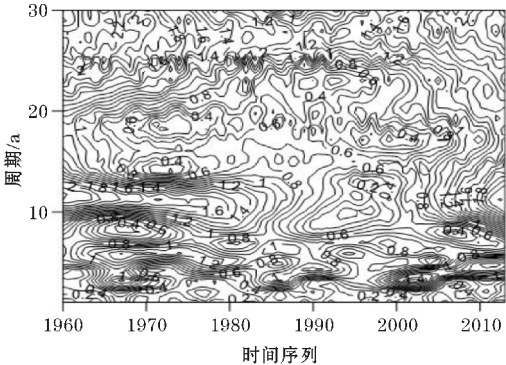
2.3 周期分析

为更清楚地分析云南西北地区近54 a极端降水频数的变化规律的多周期性,对极端降水频数进行 Morlet 小波变换。由图 3(a)可以看出近54 a的极端降水频数存在多时间尺度特征,主要有一个6~7 a的短振

荡周期,以及11~12 a的中振荡周期和一个27~28 a的长振荡周期。从较大尺度27~28 a分析,此尺度在整个分析时段表现得非常稳定,具有全域性,主要经历了5个交替振荡阶段,极端降水频数偏少期(1965~1975年)→极端降水频数偏多期(1975~1983年)→极端降水频数偏少期(1983~1992年)→极端降水频数偏多期(1992~1999年)→极端降水频数偏少期(1999~2009年),振荡中心依次是1969年,1978年,1987年,1996年,2005年。而6~7 a的短振荡周期总体上是比较明显的,但最为明显的时期是1960~1985年,同时1960~1985年前后也是11~12 a中振荡周期最显著的时期。整个看来,对于较大尺度极端降水频数的年代际周期变化较明显。图3(b)代表极端降水频数 Morlet 小波系数模值图,由该图可以看出不同时间尺度在不同时间段上强弱的分布,可以对周期性有一个更好地了解。极端降水频数多周期时域上的强弱分布是较复杂的,不过可以看出整个时域上1~3 a尺度的数值相对较低,周期性较弱,15~20 a时间尺度的周期性也弱。而在1990~2000年,11~12 a尺度范围的周期性也相对较弱,整个时域上周期性普遍较强的尺度位于25 a及其以上的范围,另外1960~1985年,11~12 a左右的周期性同样非常强。



(a) 实部



(b) 模值

图3 极端降水频数 Morlet 小波分析

图4(a)是极端降水强度 Morlet 小波变换系数实部图。中低振荡周期的时间尺度在整个时域上都表现的不明显,较长尺度的振荡周期表现较明显。这个较长尺度的振荡周期约是在 27 ~ 28 a, 不仅明显而且稳定,具有全域性,主要经历 5 个交替振荡阶段,极端降水强度偏少期(1965 ~ 1975 年)→极端降水强度偏多期(1975 ~ 1985 年)→极端降水强度偏少期(1985 ~ 1992 年)→极端降水强度偏多期(1992 ~ 1999 年)→极端降水强度偏少期(1999 ~ 2008 年),振荡中心依次是 1970 年,1980 年,1987 年,1997 年,2005 年。整体上中低振荡周期没有明显稳定存在的,但在 1960 ~ 1975 年存在一个相对较明显的 11 ~ 12 a 的中振荡周期。通过观察图 4(b) 的极端降水强度 Morlet 小波系数模值图,可以发现 25 a 时间尺度之下的数值都较小,周期性不强,特别是 1975 ~ 2005 年中低时间尺度的周期性最弱,1975 年前和 2005 年后还存在一定强度的中振荡周期,整个来说周期性较强的主要集中在较大尺度上。

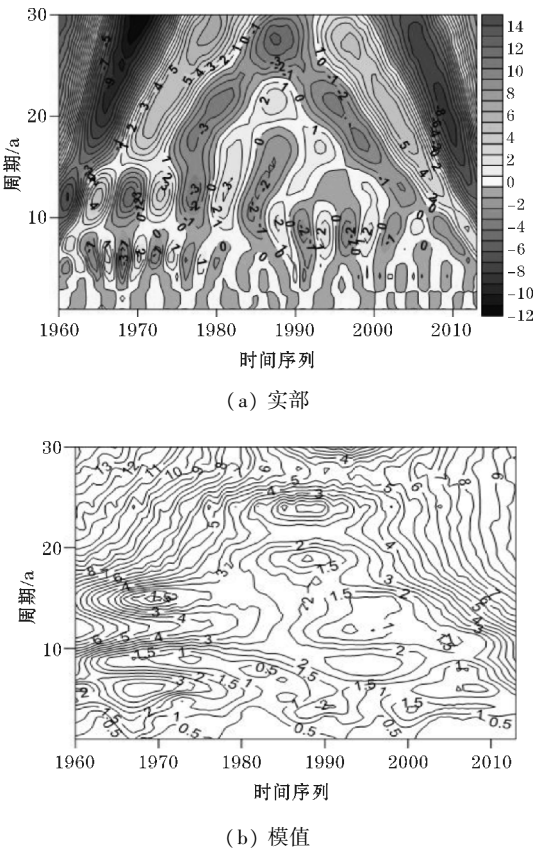


图4 极端降水强度 Morlet 小波分析

2.4 极端降水频数和强度的突变检验

气候的突变也是研究气候变化的一个很重要的方面,选择 Mann-Kendall 突变检验法,对近54 a 云南西北

地区极端降水频数和强度进行突变检验分析。图5(a)是 1960 ~ 2013 年极端降水频数的突变曲线图,可以看到 UF 曲线在 1968 ~ 1977 年位于零线以下,这段时期也是极端降水频数减少的时期,在 1968 年前和 1977 年后(除 1982 年,1983 年短期波动外)位于零线之上,即整个时期经历增加-减少-增加的阶段,并且增加趋势也通过 0.05 的显著检验,这与极端降水频数呈不明显增加趋势的结论基本一致。由于 UF 和 UB 曲线存在多个交点,利用滑动 t 检验判断这些交点中的突变点,发现真正的突变点为 1966 年和 1977 年,在 1966 年后发生了极端降水频数开始减少的突变,而在 1977 年后发生了增加的突变。图 5(b) 中极端降水强度也大致呈现 3 个阶段,1967 年之前 UF 在零线附近徘徊,1967 ~ 1981 年是一个相对较明显的减少阶段,1981 年之后越过零值,极端降水强度便处于明显的增加阶段,且通过了显著性检验。整个变化趋势同近 54a 极端降水强度的线性趋势相一致。图中 UF 和 UB 曲线在 1979 年的交点通过了滑动 t 检验,极端降水强度在 1979 年发生了突变,1979 年后极端降水强度较之前增大。

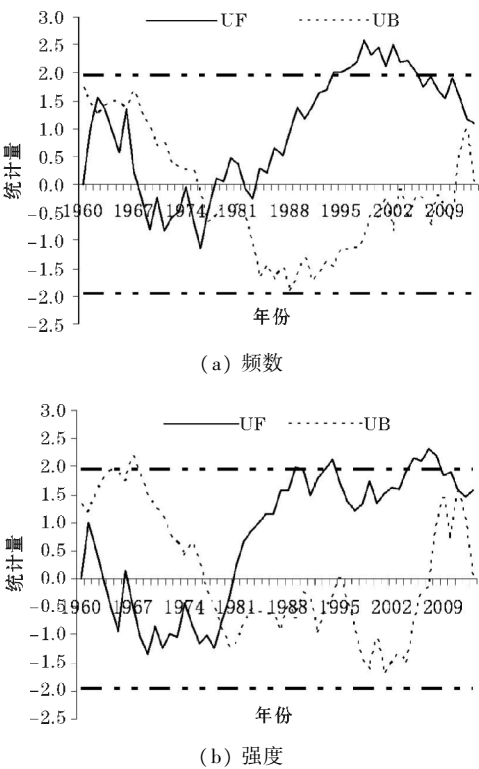


图5 极端降水突变检验

3 结论

利用 1960 ~ 2013 年云南西北地区 6 个站点的降

水数据分析极端降水强度和发生频数的时空分布特征,得到以下结论:

(1)云南西北地区极端降水阈值的范围在18.1~41.3 mm,平均为26.3 mm,总体上是自北向东南逐渐增大,由高海拔向低海拔地区逐渐增大。年极端降水频数的范围在5.1~11.0 d,平均为7.3 d,分布上呈现自东向西逐渐增大的趋势。年极端降水强度范围在24.3~59.1 mm/d,平均为37.1 mm/d,其与阈值的分布很相似,也是自北向东南增大,高海拔向低海拔地区增大。

(2)极端降水频数气候的倾向率为0.3 d/10a,年际变化虽然呈增加趋势,但并未通过显著性检验。极端降水频数在20世纪60年代处于低值期,其后转为上升,直至到80年代末达到最大,90年代末后出现减小的趋势,但是减小幅度不大。极端降水强度也呈现弱增长趋势,气候倾向率为0.5 mm/d/10a。极端降水强度在60~70年代最少,之后波动上升到80年代,80年代后的趋势一直较平稳,偶尔出现小幅波动。

(3)极端降水频数主要有一个6~7 a的短振荡周期,以及11~12 a的中振荡周期和一个27~28 a的长振荡周期。较大尺度27~28 a在整个分析时段表现非常稳定,具有全域性。极端降水强度的中低振荡周期的时间尺度在整个时域上都表现的不明显,只有较大尺度27~28 a的振荡周期表现较明显。

(4)极端降水频数经历了增加-减少-增加的阶段,突变发生在1966年和1977年,先由多变少,再由少变多。极端降水强度也大致呈现3个阶段,强度的突变发生在1979年前后,20世纪80年代后极端降水强度较之前增大。

参考文献:

- [1] Solomon S, Q in Dahe, Manning M, et al. Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 邹用昌, 杨修群, 孙旭光, 等. 我国极端降水过程频数时空变化的季节差异[J]. 南京大学学报, 2009, 45(1): 98-109.
- [3] 刘琳, 徐宗学. 西南五省市极端气候指数时空分布规律研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(2): 294-301.
- [4] 丁文荣. 西南地区极端降水的时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7): 1071-1079.
- [5] 闵岫, 钱永甫. 中国极端降水的区域性和持续性研究[J]. 水科学发展, 2008, 19(6): 763-771.
- [6] 林建, 杨贵名. 近30年中国暴雨时空特征分析[J]. 气象, 2014, 40(7): 816-826.
- [7] 刘丽, 陶云. 云南省汛期极端强降水事件的气候特征[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 15-20.
- [8] Bonsal BR, Zhang XB, Vincent LA, et al. Characteristic of daily and extreme temperature over Canada[J]. Climate, 2001, 5(14): 1959-1976.
- [9] 谢五三, 田红, 王胜. 安徽省近50年汛期极端强降水量特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, S2: 226-230.
- [10] 刘瑜, 赵尔旭, 黄玮, 等. 云南近46年降水与气温变化趋势的特征分析[J]. 灾害学, 2010, 25(1): 39-44.
- [11] 符宗斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.
- [12] 周晓宇, 赵春雨, 张新宜, 等. 1961-2009年辽宁省气温、降水变化特征及突变分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 10: 87-93.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 42-106.
- [14] 李鹏飞, 张庆国, 周晓飞, 等. Morlet小波在铜陵降水序列分析中的应用[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(4): 563-568.
- [15] 马中华, 张勃, 王兴梅, 等. 近50a甘肃省夏季日极端降水频数与强度变化特征[J]. 干旱区研究, 2012, 29(2): 296-302.
- [16] 曹玲, 李岩瑛, 刘明春, 等. 1958~2000年河西走廊极端天气气候事件变化特征[J]. 干旱区研究, 2009, 26(5): 649-655.

Analysis on the Frequency And Intensity of Extreme Precipitation in the Northwest Yunnan during Last 54 Years

ZOU Lu^{1,2}, XIAO Guo-jie¹, LI Yue-hao³

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Meteorological Bureau of Tongjiang in Bazhong, Bazhong 636700, China; 3. Meteorological Bureau of Heshan, Heshan 529700, China)

Abstract: In order to explore the variation characteristics of extreme precipitation in northwest Yunnan. The daily precipitation data of six typical meteorological stations in northwest Yunnan were analyzed by using percentile threshold method, linear trend, wavelet analysis, Mann-Kendall test and moving t-test so as to research on the temporal and spatial distribution of the change in the frequency and intensity of extreme precipitation from 1960 to 2013. The results showed that the annual frequency of extreme precipitation was 3.3–11.2 d and had the trend increase from east to west. The annual intensity of extreme precipitation was 42.6–26.2 mm/d and had the trend from north to southeast. The frequency of extreme precipitation of northeast of Yunnan province presented increasing tendency, the tendency was not obvious. The annual frequency of extreme precipitation reached the maximum at the end of the 80's. The intensity of extreme precipitation also presented a weak increasing tendency. the annual intensity of extreme precipitation showed trend during the 60's to 70's, after that had a smooth rise. The frequency of extreme precipitation had a short periodic oscillation, a periodic oscillation and a long periodic oscillation, while the intensity of extreme precipitation mainly had long periodic oscillation. The annual frequency of extreme precipitation had two abrupt change points, it changed from more to less in 1966, then began to increase in 1977. The annual intensity of extreme precipitation had an abrupt change in 1979, from reduce to increase.

Key words: meteorology; applied meteorology; extreme precipitation; frequency; intensity; variation trend; temporal and spatial distribution