

文章编号:2096-5389(2022)04-0056-06

宜昌小时极端降水长期变化特征分析

雷东洋^{1,2}, 何卫平¹, 周 雪³, 丁丽丽¹, 杜 裕¹, 向 焱¹

(1. 湖北省宜昌市气象局, 湖北 宜昌 443000; 2. 湖北省远安县气象局, 湖北 宜昌 444200;
3. 湖北省宜昌市葛洲坝中学, 湖北 宜昌 444300)

摘 要:利用宜昌 1956—2020 年 4—10 月逐分钟降水资料分析了宜昌小时极端降水的长期变化特征, 对极端降水分布较为集中的 6 月下旬—8 月下旬极端降水强度进行主分量分析。结果表明: 宜昌极端降水频次及强度均呈弱增加趋势, 在 1975 年前后出现了 1 次由强到弱的突变, 在 1985 年前后出现了 1 次由弱到强的突变, 此外还呈现出接近 3 a 的周期性变化特征。极端降水频次旬变化呈单峰型分布, 主要集中在 6 月下旬—8 月下旬, 峰值出现在 7 月下旬。其日变化呈“V 字型”分布, 主要集中在 17 时—次日 03 时之间, 峰值出现在 22—23 时之间。极端降水持续时间多集中在 2~4 h 之间, 其中以 2 h 居多, 数学期望值是 2.4 h。旬降水强度在 6 月下旬—8 月下旬表现出 3 种主要特征: ①各旬极端降水强度呈现整体一致性, 即同时增大或同时减小; ②极端降水强度在 7 月下旬和其他各旬呈反向分布; ③极端降水强度在 7 月下旬—8 月上旬与其他各旬呈反向分布。

关键词:小时极端降水; 鄂西山区降水; 长期变化趋势; 主分量分析

中图分类号:P426.61+4 **文献标识码:**B

Analysis of Long Term Variation Characteristics of Hourly Extreme Precipitation in Yichang

LEI Dongyang^{1,2}, HE Weiping¹, ZHOU Xue³, DING Lili¹, DU Yu¹, XIANG Yan¹

(1. Yichang Meteorological Bureau of Hubei Province, Yichang 443000, China;

2. Yuan'an Meteorological Bureau of Hubei Province, Yichang 444200, China;

3. Yichang Gezhouba Senior Middle School of Hubei Province, Yichang 443000, China)

Abstract: Based on the minute precipitation data from April to October in Yichang from 1956 to 2020, the long-term variation characteristics of extreme hourly precipitation in Yichang hour were analyzed, and the intensity of extreme precipitation from late June to late August was analyzed by principal component analysis. The results show that the frequency and intensity of extreme precipitation in Yichang show a weak increasing trend, with a sudden change from strong to weak around 1975 and a sudden change from weak to strong around 1985. In addition, it also shows a periodic change of nearly three years. The ten day variation of extreme precipitation frequency in Yichang presents a single peak distribution, mainly from late June to late August, and the peak appears in late July. The diurnal variation is a "V-shaped" distribution, mainly between 17:00 and 03:00 the next day, with the peak value between 22:00 and 23:00. The duration of extreme precipitation in Yichang is mostly between 2~4 hours, most of which are 2 hours, and the mathematical expectation is 2.4 hours. During the precipitation concentration period from late June to late August, the intensity of precipitation in each ten day period shows three main characteristics: ①The intensity of extreme precipitation in each ten day period is consistent, that is, it increases or decreases at the same time; ②The intensity of extreme precipitation is inversely distributed in

收稿日期:2021-07-01

第一作者简介:雷东洋(1986—),男,工程师,主要从事气象服务与应用气象研究工作,E-mail:ldy852@qq.com。

通讯作者简介:何卫平(1963—),男,高工,主要从事气象服务与应用气象研究工作,E-mail:ycqxfwzx@163.com。

资助项目:湖北省气象局科技基金项目(2018Z01);湖北智能网格降水预报订正技术研究。

late July and other ten days; ③The intensity of extreme precipitation is inversely distributed with other ten days from late July to early August.

Key words: hourly extreme precipitation; precipitation in mountain area of western Hubei; long term trends; principal component analysis

0 引言

全球变暖加速了地表水的蒸发,使得大气中水分增多,促进地表及大气之间的水循环,导致降水愈加不均匀,造成极端降水事件呈增多和增强趋势,进而不断引起山洪、内涝、泥石流等灾害事件。极端降水事件对国民经济及人民生命财产安全造成重大威胁,成为各国学者关注和研究的重点^[1]。近年来,国内多位学者对小时极端降水分布特征进行了分析。付超等^[2]利用江西省 2010—2016 年 5—9 月 1597 个观测站逐小时降水数据分析了短时强降水高频区主要分布。王靖羽等^[3]根据河南省 2929 个地面观测站 2010—2015 年 5—9 月逐时降水量数据分析了短时强降水集中发生期、主要大值区及地形对降水的增幅作用。李强等^[4]利用四川和重庆 123 个气象观测站 1980—2012 年小时降水数据,分析了川渝地区强降水时空分布特征和持续性特征。杨熠等^[5]利用 2010—2019 年 4—8 月遵义 13 个国家站逐时地面降水观测资料,从不同等级雨强的时空分布进行分析,研究了遵义短时强降水事件的时空分布特征。以上分析多侧重于强降水的空间分布特征,缺少对长期变化趋势的研究。也有学者采用多年观测资料对极端降水长年代变化趋势进行了研究,部分研究发现极端降水呈增加趋势^[6-7],部分研究则发现极端降水呈减少趋势^[8-9],表明在不同区域,极端降水变化情况并非一致。以上研究多是针对平原地区,而山区极端强降水的监测和预报一直是气象科研和业务工作中的重点和难点。因此,有必要对山区极端强降水的长期变化趋势进行分析研究。本文利用宜昌 1956—2020 年 4—10 月逐分钟资料分析了宜昌极端小时降水的长期变化特征,有助于提高对该地区极端降水发生、发展规律的认识,为山区防灾减灾提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 资料说明

本文采用的降水数据来源于湖北省气象信息与技术保障中心提供的 1956—2020 年 4—10 月逐分钟资料。其中 1956—2002 年原始降雨资料为自记纸降雨资料,经过湖北省气象信息与技术保障中

心的信息化处理,对降水记录纸进行扫描、检查及降水曲线提取,得到人工审核后的逐分钟雨量资料。2003—2020 年降雨资料为新型自动气象站自动记录的逐分钟雨量数据。

1.2 小时极端降水事件的定义

通过宜昌逐分钟降水资料统计逐小时降水量,得到宜昌 1956—2020 年逐小时雨量。小时雨量分布具有较大的随机性,显然不遵从均匀分布,因此小时雨量分布不能按均匀分布处理,本文采用实际累积频率分布来计算阈值。此方法是按小时雨量遵从的实际概率分布来确定百分位阈值。具体计算方法如下:首先确定宜昌 1956—2020 年小时雨量序列样本频率分布的组数,即:

$$\text{组数} = 1 + 3.22 \log N \quad (1)$$

其中: N 为序列的样本容量,这里 $N = 23\ 081$ 。用极值(最大值和最小值的差)除以组数,得到每组的组距,依组距进行分组,确定各组上限和下限。计算落入各组的频数、频率和累积频率,作为实际概率分布的估计。然后将 $P = 5\%$ 的百分位与各组的累积频率值进行比较,当 P 落入某两组的累积频率值时,使用该对应的两组边界值,线性插值求取第 5 百分位阈值,此法被称为使用实际概率分布阈值法^[10]。

按宜昌小时雨量遵从的实际概率分布来确定百分位阈值。第 5 百分位的阈值为 10.3 mm,而对样本数据按传统的从大到小升序排列的方法,计算第 5 百分位值都是 8.8 mm,与实际频率分布计算得到的差值为 1.5 mm。本文将小时雨量的极端气候事件确定为小时雨量 ≥ 10.3 mm 的事件。

2 结果分析

2.1 小时极端降水事件多年变化规律

从 1956—2020 年宜昌小时极端降水频次年际、年代际变化图(图 1)可以看到,宜昌小时极端降水频次每年均有差别,年际变化明显,总体来说,年平均出现小时极端降水频次为 14 次,具有弱增加趋势($0.18 \text{ 次} \cdot 10\text{a}^{-1}$)。短时强降水出现最多的年份为 1973 年,达 29 次,出现最少的年份为 1959 年,仅出现 1 次。从年代际变化来看,各年代交替变化明显,最多出现在 2000 年代,达 $15.5 \text{ 次} \cdot \text{a}^{-1}$,最少出现

在 1970 年代,为 $12.4 \text{ 次} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

采用滑动步长为 10 a 的滑动 T 检验法对 1956—2020 年宜昌逐年小时极端降水事件频次进行分析发现,小时极端降水事件频次在 1975 年前后发生了 1 次由多到少的突变,在 1985 年前后发生了 1 次由少到多的突变,均通过了 0.1 的显著性检验。进一步将 1956—2020 年宜昌逐年小时极端降水

事件频次的逐年变化序列进行谱分析,采用一维连续功率谱分析方法,取最大落后时间步长为 18 a,图 2 给出了功率谱分布曲线。可见存在 2.6 a 周期通过了 95% 置信上限,说明宜昌小时极端降水频次除长期趋势变化外,还存在 2.6 a 左右的周期变化。

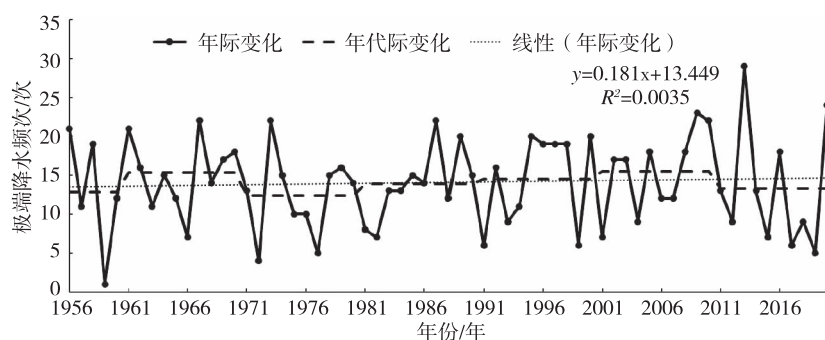


图 1 宜昌小时极端降水事件频次年际、年代际变化

Fig. 1 Interannual and interdecadal variation of hourly extreme precipitation event frequency in Yichang

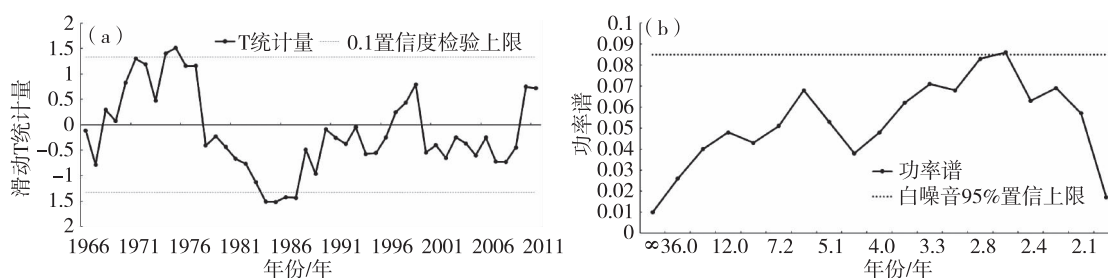


图 2 宜昌小时极端降水事件频次滑动 T 突变检验统计量(a)及功率谱分布(b)

Fig. 2 Sliding T abrupt change test statistics (a) and power spectrum distribution (b) of hourly extreme precipitation event frequency in Yichang

2.2 小时极端降水事件旬、日变化规律

从宜昌小时极端降水频次旬变化分布来看(图略),小时极端降水频次呈单峰型变化,这种单峰型分布与中国大陆降水量的季节分布基本一致,是典型的季风气候。其中 4 月上旬—6 月中旬缓慢增多,6 月下旬开始显著增多;7 月下旬达到峰值,平均小时极端降水次数为 1.8 次;随后平均次数迅速减少,9 月上旬降到 1.0 次以下。其中,6 月下旬—8 月下旬小时极端降水频次占比达 69%,可见该时段是宜昌小时极端降水出现较为集中的时段。

从宜昌平均小时极端降水频次日变化分布来看(图略),小时极端降水频次呈“V 字型”分布,17 时—次日 03 时是小时极端降水发生最为集中的时段,尤其是 22 时出现的频次最高,年均出现小时极端降水次数为 0.89 次。13 时出现频次最低,仅为 0.2 次。

2.3 极端降水事件的持续性

极端强降水事件的长时间持续往往是暴雨洪涝灾害的主要原因,因此有必要对极端降水的持续性进行研究。定义当某一时次降水之后连续 2 h 没有降水时,判定 1 次降水过程结束,将 1 次降水事件开始至结束的小时数定义为其持续时间。当 1 次降水过程包含至少 1 h 极端降水事件时,定义该过程为 1 次极端降水事件。分析 1956—2020 年期间宜昌极端降水的持续时间分布(图 3)发现,极端降水的持续时间为 1~40 h 之间。从图中可看出,宜昌极端降水的持续时间频次分布多集中在 2~4 h。其中以持续时间 2 h 出现最多,并随着持续时数增加而迅速递减。最长持续时间为 40 h,历史上仅发生了 1 次,从 2013 年 9 月 23 日 17 时开始,持续到 25 日 09 时结束,过程累积雨量 106.9 mm。

不同极端降水的持续时间出现频率是通过不

同持续时间的极端降水频次除以 65 a 总降水时数 (即前文提到的 23 081 h 降水样本数)得到的。为了求出极端降水最多出现的持续时数,利用期望公式,即:

$$EX = \sum_{i=1}^{40} x_i \cdot p_i \tag{2}$$

其中: x_i 为持续 i 小时的极端降水事件出现总小时数; p_i 为对应出现的频率。由公式(2)可以求得宜昌极端降水的持续时间的期望为 2.4 h。可见宜昌极端降水事件最为常见的降水持续时长是 2.4 h。

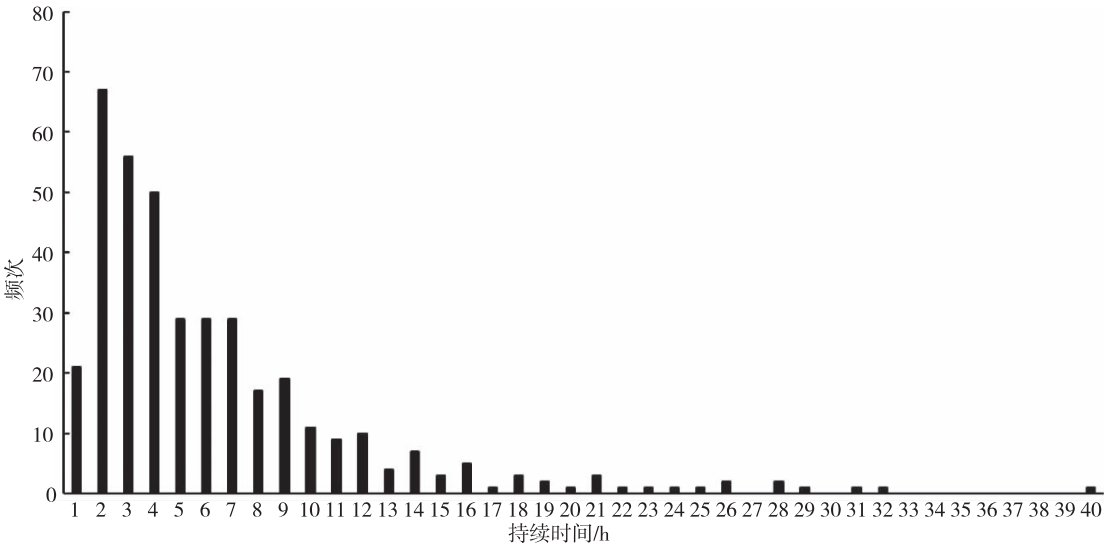


图3 宜昌极端降水事件持续时长分布

Fig.3 Duration distribution of extreme precipitation events in Yichang

2.4 极端降水事件的强度特征

2.4.1 极端降水强度年际变化 本文定义某时段内所有小时极端降水降水量总和为该时段降水极端强度。图 4 给出的是 1956—2020 年宜昌极端降水强度年际及年代际变化曲线。由图可知,宜昌极端降水强度总体上呈弱上升趋势 (3.4 mm · 10

a⁻¹),波动变化明显。最大强度为 562.6 mm(1989 年),最小值为 11.1 mm(1959 年)。从年代际变化来看,各年代极端降水强度也呈明显的波动变化趋势,最大值出现在 2000 年代,年均强度为 307.8 mm,最小值出现在 1970 年代,年均强度为 230.8 mm。

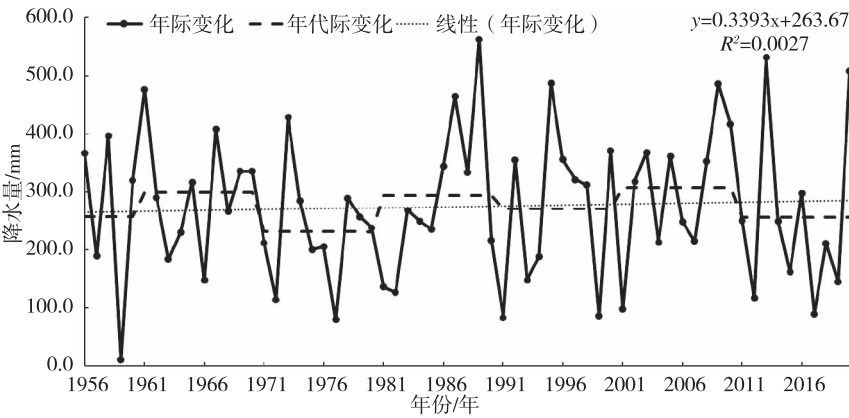


图4 宜昌极端降水强度年际、年代际变化

Fig.4 Interannual and interdecadal variation of extreme precipitation intensity in Yichang

采用滑动步长为 10 a 的滑动 T 检验法分析 1956—2020 年宜昌逐年极端降水强度发现,极端降

水事件频次在 1975 年前后发生了 1 次由强到弱的突变,在 1986 年前后发生了 1 次由弱到强的突变,

均通过了 0.1 的显著性检验。进一步将 1956—2020 年宜昌逐年极端降水强度的逐年变化序列进行谱分析,发现宜昌逐年极端降水强度存在 2.8 a 左右的周期变化,与小时极端降水频次 2.6 a 的周期变化较为接近,并通过了 95% 置信度检验。

2.4.2 极端降水集中期强度特征 由前文对小时极端降水旬变化特征的分析可知,宜昌小时极端降水分布主要集中在 6 月下旬—8 月下旬之间。对宜昌 1956—2020 年 6 月下旬—8 月下旬逐年逐旬极端降水强度组成的二维矩阵归一化后进行主分量分析,得到前 3 个模态解释方差。第 1 模态方差贡献率为 50.19%,第 2 模态方差贡献率为 14.12%,第 3 模态方差贡献率为 11.44%,第 4 模态方差贡献率为 8.94%。前 3 个模态方差明显大于第 4 个模态,且累计方差贡献率达到 75.75%,基本能够反映出宜昌极端降水的主要分布特征。

第 1 模态荷载向量均为正值,属于正值同相位,表明宜昌极端降水强度变化呈现整体一致特性,即同时增大或同时减小,出现这种特征的分布显然与共同的气候变化因素具有明显相关性。7 月下旬是

主要的高值区域,表明该旬极端降水强度变化相对显著。这种分布类型占总方差的 50.19%,是宜昌极端降水强度变化趋势的最主要分布特征。从第 1 时模态间系数曲线看出,1956—2020 时间系数均为正值,表明在各年份里宜昌极端降水强度在 6 月下旬—8 月下旬的分布与第 1 特征向量的分布是一致的。

第 2 模态荷载向量在 7 月下旬与其他各旬呈反向分布,表明宜昌极端降水强度变化趋势在 7 月下旬和其他各旬呈反向分布。这种空间分布特征类型占总方差的 14.12%,是宜昌极端降水强度变化趋势的另一个重要分布特征。从第 2 模态时间系数曲线看出,1956—2020 年波动性变化明显,无显著趋势性变化。其中 1970 年、1988 年、2013 年有明显的极大值,表明在上述年份宜昌极端降水强度变化分布与第 2 特征向量空间分布较接近,在上述年份里,7 月下旬强度显著偏弱;1973 年、1995 年、2018 年有明显的极小值,表明在上述年份里宜昌极端降水强度变化分布与第 2 特征向量空间反向分布较接近,即 7 月下旬强度偏强,其他旬强度偏弱。

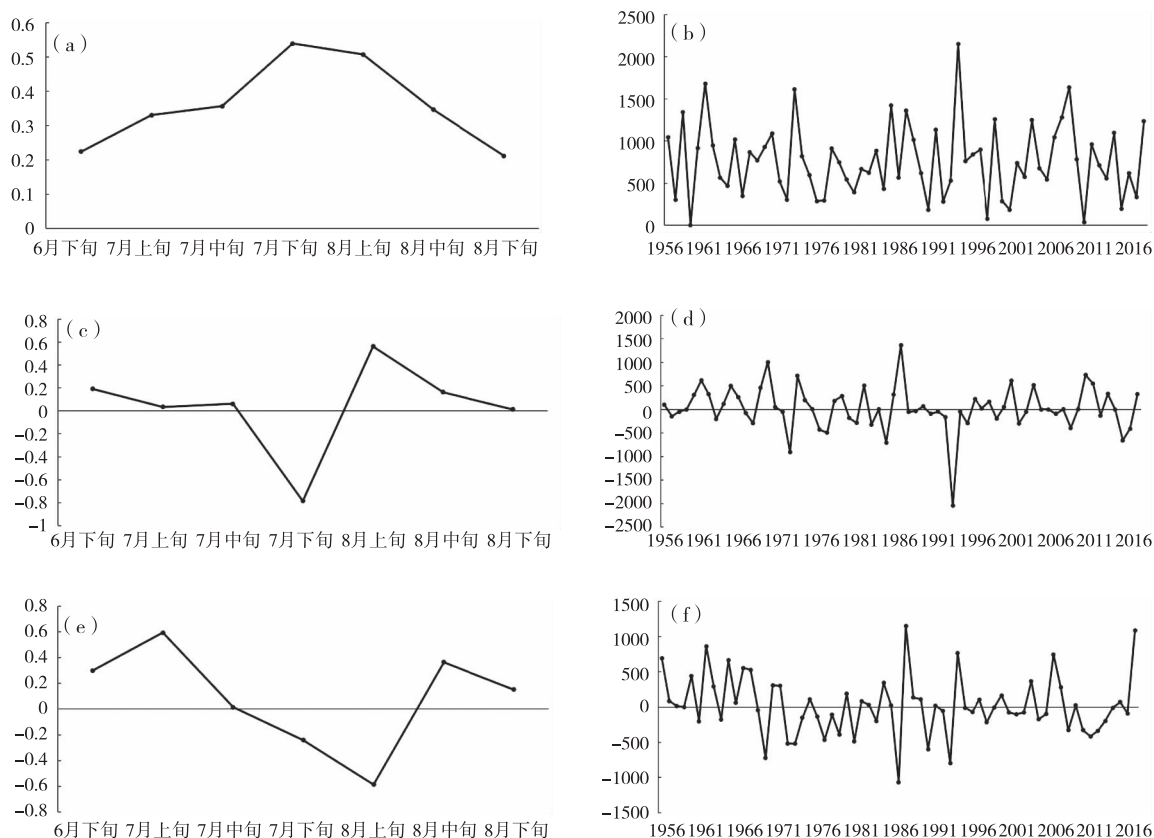


图 5 宜昌极端降水强度前 3 个模态特征向量及时间系数分布(第 1 模态 a、b;第 2 模态 c、d;第 3 模态 e、f)

Fig. 5 Eigenvector field distribution and time coefficient curve of the first three modalities of extreme precipitation intensity in Yichang(modality 1:a,b; modality 2:c,d; modality 3:e,f)

第3模态荷载向量在分布上与第2模态较为类似,7月下旬—8月上旬与其他各旬呈反向分布,表明宜昌极端降水强度变化趋势在7月下旬—8月上旬与其他各旬呈反向分布。这种分布特征类型占总方差的11.44%,是宜昌极端降水强度变化趋势的另一个重要特征。从第3时间系数曲线看,1962年、1989年、2020年有明显的极大值,表明在上述年份里宜昌极端降水强度分布与第3特征向量空间分布较接近,即在上述年份里,7月下旬—8月上旬显著偏弱;另外1970年、1988年、1995年有明显的极小值,表明在上述年份里宜昌极端降水强度分布与第3特征向量反向空间分布较接近,即7月下旬—8月上旬偏强,其他各旬偏弱。

3 结论与讨论

利用宜昌1956—2020年4—10月逐分钟资料分析了宜昌极端小时降水的长期变化特征,主要结论如下:

①宜昌年均小时极端降水频次为14次,呈弱增加趋势,1975年左右发生1次由多变少的突变,1985年左右出现1次由少变多的突变,且都通过0.1的信度检验,除长期变化趋势以外,小时极端降水频次还存在2.6 a左右的周期比变化趋势,且通过了95%的置信度检验。表明宜昌小时极端降水频次除长期趋势性变化外还存在突变和周期性变化特征。

②宜昌小时极端降水频次旬变化呈单峰型分布,主要集中在6月下旬—8月下旬,峰值出现在7月下旬。其中4月上旬—6月中旬西太平洋副高脊线通常位于20°N以南,宜昌处于前汛期,小时极端降水增加并不明显;6月下旬—7月中旬,宜昌往往处于梅雨期间,此时大型降水过程增多,小时极端降水也相应增多;7月下旬—8月下旬,副高脊线通常继续西伸北抬,宜昌位于副高边缘对流不稳定区域,局地强对流天气频发,小时极端降水显著增多;随后副高脊线通常继续北抬,宜昌进入盛夏,小时极端降水减少。可见宜昌小时极端降水频次旬变化与西太平洋副热带高压脊线的调整密切相关。

宜昌小时极端降水频次日变化呈“V字型”分布,主要集中在17时—次日03时之间,峰值出现在

22—23时之间。鄂西山区强降水在凌晨多发与西南低空急流通常在凌晨达到最大值有关,而且凌晨03—04时的地面气压是一天中的次低值,地面气压的降低使辐合增强,也有利于短时强降水的发生发展,这也与高原东侧地区“夜雨”多发类似。

③宜昌极端降水持续时间多集中在2~4 h之间,其中以2 h居多,数学期望值是2.4 h。

④宜昌逐年极端降水强度与降水频次类似,呈弱增加趋势,在1975年左右出现了由强到弱的突变,1986年左右出现了由弱到强的突变,且都通过了90%的信度检验,除长期变化趋势以外,极端降水强度还存在2.8 a左右的周期比变化趋势,且通过了95%的置信度检验。通过主分量分析发现,在6月下旬—8月下旬的降水集中期,宜昌极端降水强度具备以下特征:极端降水强度变化呈现整体一致性,即同时增大或同时减小,该特征方差贡献率为50.19%;极端降水强度变化在7月下旬和其他各旬呈反向分布,该特征方差贡献率为14.12%;极端降水强度变化在7月下旬—8月上旬与其他各旬呈反向分布,该特征方差贡献率为11.44%。

参考文献

- [1] 卢芹芹,秦年秀,汪军能,等.近60 a来百色地区极端降水事件的时空节律变化特征[J].水土保持研究,2021,28(3):216-222.
- [2] 付超,湛芸,朱克云,等.2010—2016年江西省暖季短时强降水特征分析[J].气象,2019,45(9):1238-1247.
- [3] 王婧羽,李哲,汪小康,等.河南省雨季短时强降水时空分布特征[J].暴雨灾害,2019,38(2):152-160.
- [4] 李强,邓承之,张勇,等.1980—2012年5—9月川渝盆地小时强降水特征研究[J].气象,2017,43(9):1073-1083.
- [5] 杨熠,李霞,刘红双,等.2010—2019年遵义4—8月短时强降水的时空特征分析[J].中低纬山地气象,2021,45(1):33-39.
- [6] 春兰,秦福莹,宝鲁,等.近55 a内蒙古极端降水指数时空变化特征[J].干旱区研究,2019,36(4):963-972.
- [7] 叶飞,柳苗.近48 a浙江省不同等级降水变化特征分析[J].中低纬山地气象,2020,44(6):38-43.
- [8] 周旗,张海宁,任源鑫.1961—2016年渭河流域极端降水事件研究[J].地理科学,2020,40(5):833-841.
- [9] 张俊,高雅琦,徐卫立,等.长江流域极端降雨事件时空分布特征[J].人民长江,2019,50(8):81-86.
- [10] 李庆祥,黄嘉佑.北京极端低温事件的长期变化特征[J].高原气象,2012,31(4):1145-1150.