

姚蓉, 唐佳, 王晓雷, 等. 湖南短时强降水时空分布及相关环境参数统计分析[J]. 灾害学, 2020, 35(2): 116-121. [YAO Rong, TANG Jia, WANG Xiaolei, et al. Temporal-spatial distribution of short-time Heavy Rainfall in Hunan and statistical analysis of related environmental parameters[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(2): 116-121. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.02.022.]

## 湖南短时强降水时空分布及相关环境参数统计分析<sup>\*</sup>

姚 蓉<sup>1,2</sup>, 唐 佳<sup>1,2</sup>, 王晓雷<sup>1</sup>, 欧小锋<sup>3</sup>, 王起唤<sup>3</sup>, 何炜炜<sup>4</sup>

(1. 湖南省气象台, 湖南 长沙 410118; 2. 气象防灾减灾湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410118;  
3. 怀化市气象局, 湖南 怀化 41800; 4. 衡阳市气象局, 湖南 衡阳 421001)

**摘 要:**为探讨湖南不同区域短时强降水气候规律及相关环境参数特征, 利用2002-2018年1 h雨量资料, 对湖南5个区域短时强降水时空分布特征进行了统计分析。同时, 利用NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料, 对5个相关环境参数进行了计算分析。研究表明: 短时强降水主要出现在4-9月, 以夏季最多, 呈单峰型分布; 不同月份也有一定差异, 4-5月夜雨出现较多, 而6-7月对流降水频繁, 8-9月则各时段都可能出现短时强降水; 湖南5个区域短时强降水日变化也有较大差异, 洞庭湖地区日变化较小, 湘西北和湘中地区在夜间和傍晚有两次峰值, 湘西南有夜雨特征, 湘东南在午后达峰值; 地形对短时降水有一定影响, 武陵山脉、雪峰山、南岭与罗霄山附近是短时强降水高发区。各月短时强降水发生时环境条件存在差异, 热力不稳定参数百分位变化存在南高于北, 且暖季高于冷季特征, 水汽参数亦南高于北, 动力不稳定参数冷季高于暖季, 尤其在湘东南无论在水汽、动力、热力及不稳定参数都高于其他区域。

**关键词:** 短时强降水; 日变化; 环境参数; 统计分析

**中国分类号:** P642; X43; X915.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-811X(2020)02-0116-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.02.022

短时强降水是强对流天气的一种, 同时也是极端降水天气之一, 具有突发性强、小时雨强大且降水集中等特点, 常引发城市内涝、山洪、泥石流与滑坡等地质灾害。如2010年8月7日舟曲突发性强降水引发的特大山洪泥石流、2012年北京“7.21”特大暴雨均带来了巨大的财产损失和人员伤亡。湖南处于季风影响区, 春季、夏季对流性降水频繁, 雨强大, 致灾性强, 2016年6月15日株洲极端暴雨小时雨强达到了111.4 mm, 导致了严重的内涝。2017年6月下旬-7月初湖南持续暴雨、大暴雨期间, 多地雨强出现了50 mm以上降水, 局地达100 mm以上, 导致了严重的人员伤亡和财产损失, 而雨强大是强致灾的主要原因之一。短时强降水作为我国最主要的强对流灾害之一, 受到我国气象工作者的高度关注<sup>[1-6]</sup>。韩宁<sup>[7]</sup>、王芬<sup>[8]</sup>、王国荣<sup>[9]</sup>、董旭光<sup>[10]</sup>、王雯燕等<sup>[11]</sup>分别对本省短时强降水或极端小时降水进行了统计分析, 得到了本地时空分布特征与日变化规律。郭凌曜等<sup>[12]</sup>对湖南短时强降水事件气候特

征分析的结果表明, 小时强降水出现频次夏季高于春季, 春季高于秋季, 且夏季出现频次白天高于夜间, 春季夜间高于白天等结论。近年来, 短时强降水相关的环境参数及临近预报指标成为研究重点<sup>[13-17]</sup>。田付友<sup>[18]</sup>、沈澄等<sup>[19]</sup>对多个表征不同强度短时强降水环境场的水汽、热力和触发抬升条件的物理量特征进行研究, 提炼了具有指示意义的物理量分布特征及其阈值和判定指标。

研究短时强降水的时空变化规律和环境参数特征, 对于开展强对流潜势预报有较好的指导意义, 而目前湖南对短时强降水气候特征与环境背景参数方面的综合分析甚少, 因此本文利用区域自动站逐时降水资料与NCEP再分析资料, 通过对湖南5个区域短时强降水时空分布及年、月与日变化特征分析, 并对业务中常用且应用效果较好的5个相关环境背景参数统计分析, 探讨不同区域不同季节之间的气候背景与环境参数特征及其差异, 为湖南短时强降水潜势预报与短时预警提供参考。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2019-09-27 修回日期: 2020-01-10

基金项目: 湖南省气象局重点项目“湖南省雷暴大风预报预警技术指标提炼与应用”(XQKJ16A002); 湖南省气象局重点项目“资水流域精细化降水预报研究和应用”(XQKJ17A004); 中国气象局预报员专项“弱天气尺度强迫下三例不同类型湖南暖区暴雨中小尺度特征分析”(CMAYBY2019-077)

第一作者简介: 姚蓉(1963-), 女, 汉族, 湖南长沙人, 正研级高级工程师, 主要从事灾害性天气预报与机理研究。

E-mail: 543828780@qq.com

通讯作者: 唐佳(1989-), 女, 汉族, 湖南永州人, 高级工程师, 主要从事短时临近天气预报工作。E-mail: 156286532@qq.com

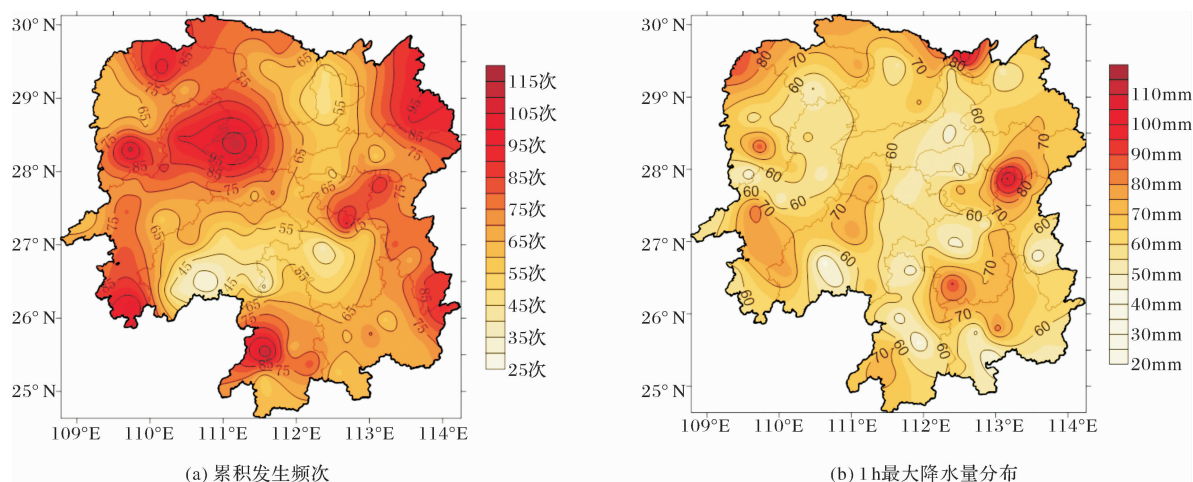


图1 2002-2018年湖南短时强降水(1 h $\geq$ 20 mm)累积发生频次和1 h最大降水量分布

## 1 资料及说明

本文依据短时强降水业务规定,将1 h降水量 $\geq 20$  mm的降水定义为短时强降水,24 h内,1个站出现1 h降水量 $\geq 20$  mm定义为一次短时强降水,1个站出现多个时段短时强降水,站点数累加统计。文中所统计的短时强降水资料为2002-2018年湖南省97个县市逐小时雨量资料。此外,利用NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料插值计算出湖南97站各时段CAPE、850与500 hPa温度差,850 hPa比湿,700 hPa垂直速度、0~3 km垂直风切变等表征热力与动力不稳定及水汽与上升运动环境参数,同时,依据湖南省气候区划、结合天气分区、流域地理特性<sup>[12]</sup>,针对湘西北、洞庭湖、湘中、湘西南、湘东南五个区(图略)开展分区分月对上述环境参数分析。

## 2 短时强降水时空分布特征

### 2.1 短时强降水累积发生频次分布特征

分析湖南短时强降水累积发生频次分布图发现(图1a),张家界-常德西部为短时强降水发生频率较高区域,降水频次最高位于安化(114站次),降水频次最少位于新宁(30站次),安化、道县、吉首、通道、桑植为短时强降水高发地区,主要分布在位于湘西、湘南的武陵山脉、雪峰山、南岭与罗霄山附近,短时强降水多发地可能与地形影响有一定相关。1 h最大雨强可以反映短时强降水雨强的最大强度。图1b可以看出高值区都位于雪峰山西南部、武陵山北部、洞庭湖区域和湘中的东部,1 h最大降水量为111.4 mm(株洲站),而从衡邵一带则是明显的低值区,1 h最大雨量都只有45 mm左右。

湖南短时强降水的分布与天气系统也有一定关系。湘西北地区在6月底7月初常处于较为稳定的副高边缘,在高温高湿环境下,多中小尺度系统影响,易导致持续的短时降水发生,另位于湘

南的通道及道县与广西接壤,常受热带季风云团影响,且云贵低涡南移进入广西境内时也是对湖南影响最大区域。

### 2.2 短时强降水年际变化特征

分析发现湖南省平均每年有390个站次出现1 h降水量 $\geq 20$  mm的短时强降水。2006年出现1 h降水量 $\geq 20$  mm短时强降水的站次数最多,共611个站次。2002-2018年全省短时强降水的站次数呈显著增多趋势(图2),通过95%显著性水平。从全省短时强降水的趋势系数图(图3)看出,线性倾向均为正值,表明短时强降水均存在增多趋势,并且湘中地区显著增多,通过0.05信度检验。

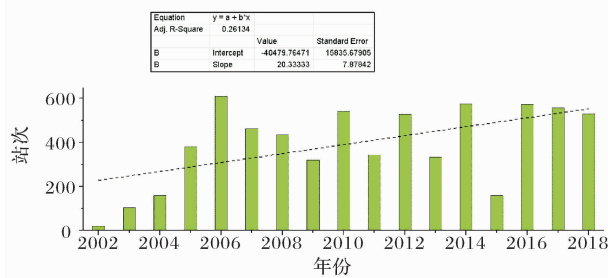


图2 2002-2018年湖南短时强降水频次逐年分布特征

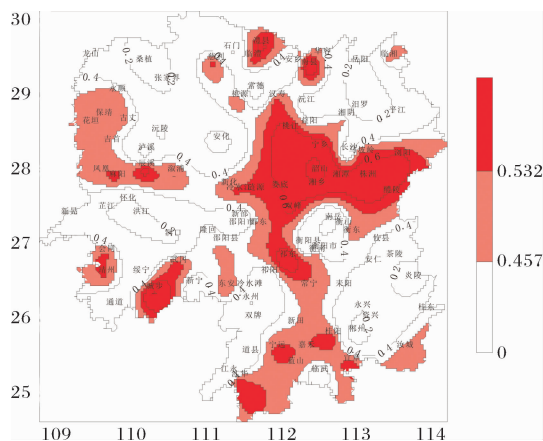


图3 2002-2018年湖南短时强降水频次线性倾向(等值线)和显著相关(阴影)分布

### 2.3 短时强降水逐月分布特征

湖南省各区域短时强降水均呈单峰分布(图4), 短时强降水主要发生在4-9月, 与湖南主汛期时间一致, 4-6月发生强降水频次最多。短时强降水峰值除了洞庭湖地区出现在8月份、湘西北在7月, 其他区域均出现在6月份。湘中、湘东南6月发生短时强降水的峰值在450~500次之间, 湘西南峰值在6月, 但次数明显偏少, 仅为200次左右, 而湘西北峰值出现在7月为300次左右, 洞庭湖区峰值出现在8月仅为250次左右。上述分析说明夏季6-8月发生短时强降水次数多, 范围广, 且湘中、湘东南出现峰值月的次数较多, 而湘西南、洞庭湖区出现峰值月的次数明显偏少。

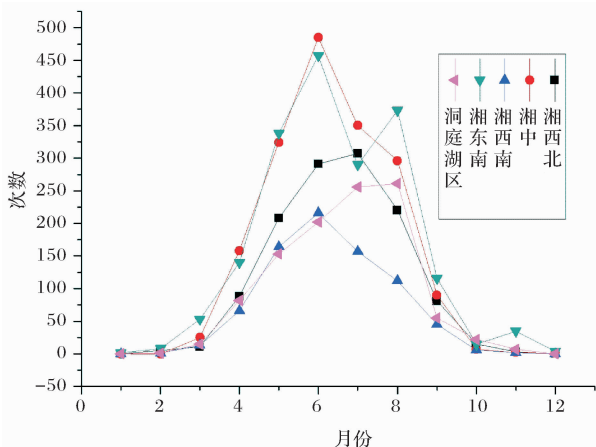


图4 2002-2018年湖南不同区域短时强降水频次逐月分布

### 2.4 短时强降水日变化特征

湖南不同区域短时强降水日变化分布图(图5)显示, 除了洞庭湖地区日变化较小外, 其他地区均有明显的日变化特征, 其中湘西北和湘中地区都存在两个短时强降水峰值, 夜间和傍晚短时强降水频次较高, 湘西北出现在06时和20时前后、湘中出现在07时和20时前后; 湘西南短时强降水夜雨特征较明显, 06至07时更为集中; 湘东南短时强降水受午后热对流影响, 在午后17时达峰值。

### 2.5 不同量级短时强降水日变化特征

不同量级短时强降水日变化特征(图6)显示, 1 h 大于20 mm 的频次明显高于其他量级短时强降水, 大部分时段在200次以上; 1 h 大于30 mm 的短时强降水大部分时段在80~100次; 1 h 大于50 mm 的短时强降水频次明显少于其他量级, 大部分时段在8~16次之间。1 h 大于20 mm 和30 mm 均为双峰型结构, 凌晨和傍晚短时强降水出现频次更高, 其中1 h 大于20 mm 的极大值出现在05时、17时; 大于30 mm 与大于20 mm 的短时强降水日变化特征基本相似, 但呈波动增加与减少趋势,

极大值分别出现在06时与19时, 12时出现短时强降水频次少。1 h 大于50 mm 为单峰型结构, 17时前后出现频次最高, 而在12至13时发生频次最少。

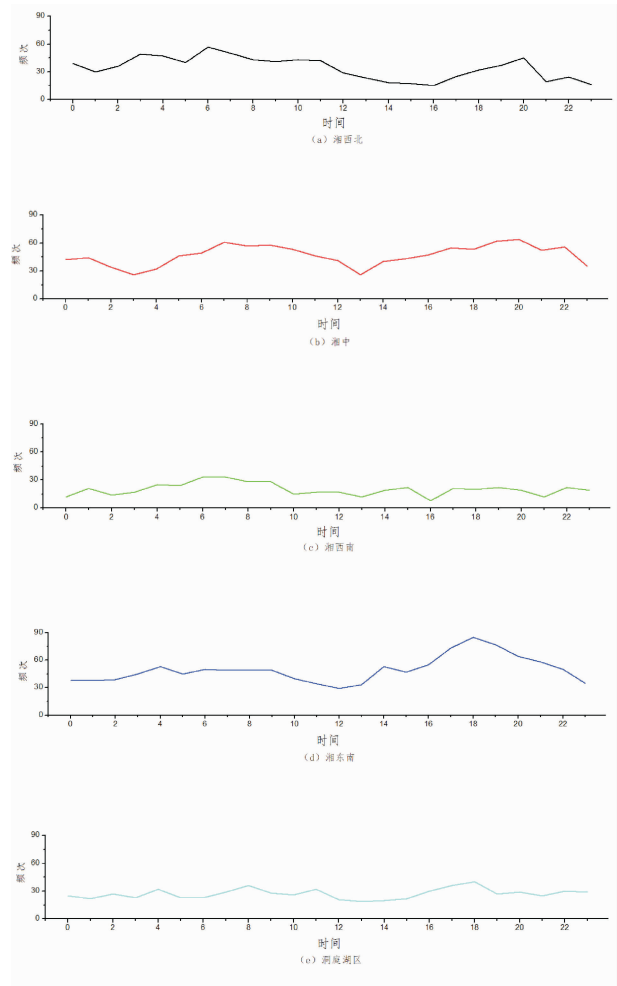


图5 2002-2018年湖南不同区域短时强降水频次日变化特征

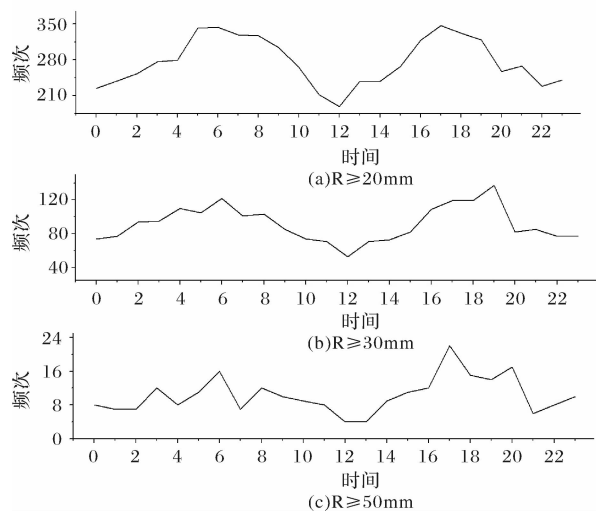


图6 2002-2018年湖南不同量级短时强降水频次日变化特征

### 3 不同区域环境参数特征

为了解短时强降水发生月 1-11 月内分月分区域的不稳定参数、水汽和动力参数特征, 本文对参数的季节变化和区域特征进行了重点分析, 为短时降水预报预警提供背景场。

#### 3.1 不稳定能量参数

从全省分月 CAPE 的 50% 分位演变特征(图 7)看, 全年中 5-9 月明显大于其他月份, 其中 7-8 月最大, 达 708、723 J/kg; 从分区分月特征看(图略), CAPE 大于 100 J/kg 持续的时间湘东南最长, 达 7 个月, 湘西南次之, 达 6 个月, 湘中 5 个月, 湘西北及洞庭湖仅 4 个月, 呈由南向北递减特征。

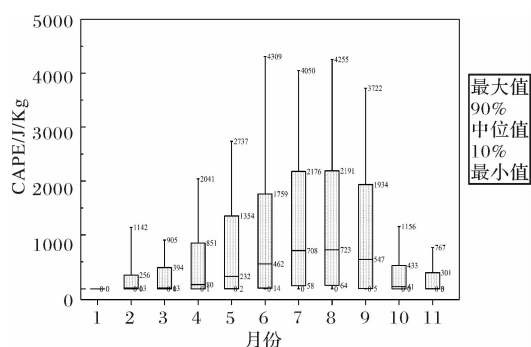


图 7 2002-2018 年湖南短时强降水发生时  
CAPE 分月百分位统计图

分析图 8 全省 850 与 500 hPa 温度差 50% 分位发现, 出现短时强降水的 1-11 月, 全省平均 2-11 月在 22~23℃, 仅 1 月为 13℃; 从分区、分月特征看(图略), 50% 分位湘中、湘西南、湘东南以 2 月、8 月最高, 并以湘东南 2 月 25℃ 为最高值。且出现短时强降水时, 大于 23℃ 持续时间呈由南向北减少特征, 湘东南维持时间最长, 此外, 湘东南 850 与 500 hPa 温度差的 50% 分位平均值高于其他区域。

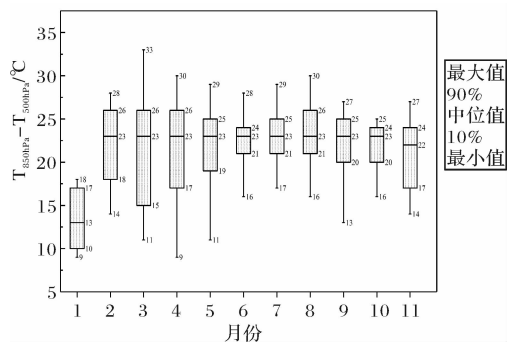


图 8 2002-2018 年湖南短时强降水发生时  
850 hPa 与 500 hPa 温差分月百分位统计图

#### 3.2 水汽参数

由图 9 发生短时强降水的 1-11 月分月平均 850 hPa 比湿 50% 分位看, 4-11 月大于 10 g/kg, 其中 7-8 月最大, 达 15 g/kg。从各区域分月的统计看(图略), 50% 分位最大值湘西南、湘东南出现在 6-8 月, 湘中、洞庭湖及湘西北主要出现在 7-8 月。大于 10 g/kg 的 850 hPa 50% 分位比湿在湘东南持续时间最长, 达 10 个月, 湘西南持续了 9 个月, 湘中持续了 8 个月、洞庭湖及湘西北仅持续了 7 个月。由此看出, 发生短时强降水时, 湘南水汽强于湘北, 且暖季高于冷季, 夏季最高、秋季次之, 冬季最小。

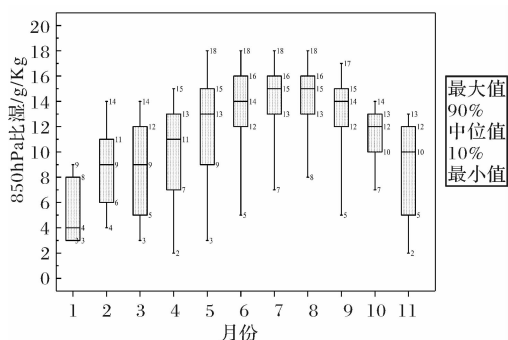


图 9 2002-2018 年湖南短时强降水发生时  
850 hPa 比湿分月百分位统计图

#### 3.3 动力参数

图 10 统计分析短时强降水发生时 3 km 以下垂直风切变 50% 分位中, 1-3 月大于其他各月, 为 15~21 m/s, 其中以 2 月最大, 为 21 m/s, 而 6-9 月明显偏小, 为 5~6 m/s, 具有冷季垂直风切变明显大于暖季特征。从 5 个区域逐月演变看(图略), 同样具有冷季大于暖季规律, 50% 分位中 1-2 月明显高于其他各月。最大垂直风切变出现在洞庭湖 1-2 月, 为 23 m/s, 其次出现在 2 月的湘中、湘西南, 为 22 m/s, 湘西北最小。

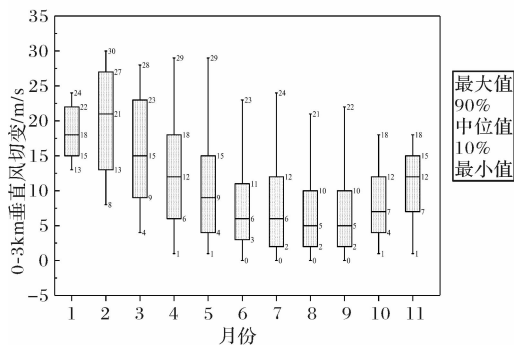


图 10 2002-2018 年湖南短时强降水发生  
时 0~3 km 垂直风切变分月百分位统计图

图 11 统计分析短时强降水发生时 700 hPa 垂直速度 50% 分位演变看, 11 月最大, 为  $-0.3 \text{ Pa/s}$ 。从各区域逐月垂直速度看(图略), 50% 分位湘东南 11 月上升运动相对最强, 为  $-0.4 \text{ Pa/s}$ , 湘中 2、4、11 月有 3 个月达  $-0.3 \text{ Pa/s}$ , 湘西南及湘西北 2 月达  $-0.3 \text{ Pa/s}$ , 洞庭湖最大垂直速度最小, 为  $-0.2 \text{ Pa/s}$ 。由此看出, 暖季短时强降水发生时, 上升运动较弱, 热力不稳定条件相对占主导地位, 而冷季相对而言要大于暖季, 冷季热力不稳定作用较小, 只有当存在较强的动力作用时, 才可能产生短时强降水。

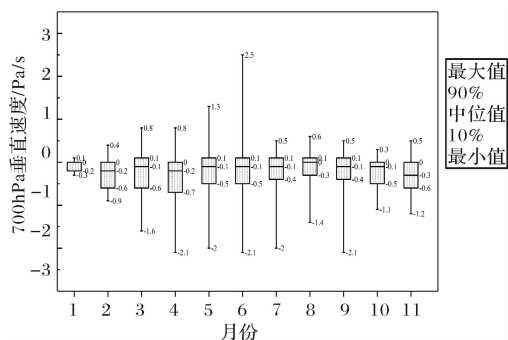


图 11 2002-2018 年湖南短时强降水发生时 700 hPa 垂直速度分月百分位统计图

## 4 结论和讨论

(1) 短时强降水累积频次空间分布具有湘西、湘南多发特点, 可能与山脉地形等影响有关。全省短时强降水存在逐年增多趋势, 其中湘中地区显著增多, 通过 0.05 信度检验。逐月短时强降水站次分布呈“单峰型”, 短时强降水峰值除了洞庭湖地区出现在 8 月份、湘西北在 7 月, 其他区域均出现在 6 月份, 说明夏季发生短时强降水次数多, 范围广。

(2) 湖南不同区域短时强降水日变化特征: 除了洞庭湖地区日变化较小外, 其他地区均有明显的日变化特征, 其中湘西北和湘中地区都存在夜间和傍晚两个短时强降水峰值, 湘西南短时强降水有夜雨特征, 湘东南短时强降水受午后热对流影响明显, 在午后 17 时达峰值。

(3) 湖南不同量级短时强降水日变化特征: 1 h 大于 20 mm 和 30 mm 均为双峰型结构, 凌晨和傍晚短时强降水出现频次更高, 1 h 大于 50 mm 为单峰型结构, 出现在傍晚到夜间。

(4) 短时强降水发生在不同区域与季节环境参数存在较大差异。各月热力不稳定参数变化存在南高于北, 且暖季高于冷季特征, 水汽与水汽辐合都具有南高于北趋势, 上升运动与动力不稳定参数则与热力不稳定参数相反, 冷季高于暖季,

尤其在湘东南无论在水汽、动力、热力及不稳定参数的 50% 分位都高于其他区域。

在暴雨预报预警中, 掌握以上气候特点与产生强降水的环境参数百分位阈值, 有助于提高其预警准确率, 其研究成果在 2016 年湘西古丈默戎小时雨量达 104.9 mm 的特大暴雨山洪过程提前预警并成功避险发挥了关键作用, 为暴雨或短时强降水的预报预警提供有效的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 俞小鼎. 短时强降水临近预报的思路与方法[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 202-209.
- [2] 孙继松, 雷蕾, 于波, 等. 近 10 年北京地区极端暴雨事件的基本特征[J]. 气象学报, 2015, 73(4): 609-623.
- [3] 王丛梅, 俞小鼎, 李芷霞, 等. 太行山地形影响下的极端短时强降水分析[J]. 气象, 2017, 43(4): 425-433.
- [4] 吴涛, 万玉发, 王珊珊. 多雷达反演参量联合的短时强降水识别方法研究[J]. 高原气象, 2012, 31(5): 1393-1406.
- [5] 李华宏, 胡娟, 闵颖, 等. 云南短时强降水时空分布特征分析[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 57-62.
- [6] 白晓平, 王式功, 赵璐, 等. 西北地区东部短时强降水概念模型[J]. 高原气象, 2016, 35(5): 1248-1256.
- [7] 韩宁, 苗春生. 近 6 年陕甘宁三省 5-9 月短时强降水统计特征[J]. 应用气象学报, 2012, 23(6): 691-701.
- [8] 王芬, 严小冬, 谷晓平, 等. 2006-2015 年黔西南初夏短时强降水时空特征分析[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(5): 460-466.
- [9] 王国荣, 王令. 北京地区夏季短时强降水时空分布特征[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 276-279.
- [10] 董旭光, 顾伟宗, 曹洁, 等. 山东省汛期小时极端强降水分布和变化特征[J]. 气象, 2017, 43(8): 953-961.
- [11] 王雯燕, 王丽, 李国平, 等. 陕西省汛期极端降水时空演变特征[J]. 干旱气象, 2016, 34(6): 952-957.
- [12] 郭凌曜, 章新平, 廖玉芳, 等. 湖南短时强降水事件气候特征[J]. 灾害学, 2013, 28(2): 76-80.
- [13] 樊李苗, 俞小鼎. 中国短时强对流天气的若干环境参数特征分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 156-165.
- [14] 陈元昭, 俞小鼎, 陈训来. 珠江三角洲地区重大短时强降水的基本流型与环境参量特征[J]. 气象, 2016, 42(2): 144-155.
- [15] 李文娟, 赵放, 赵璐, 等. 基于单站探空资料的不同强度短时强降水预报指标研究[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(2): 132-138.
- [16] 许敏, 丛波, 张瑜, 等. 廊坊市短时强降水特征及其临近预报指标研究[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(3): 243-250.
- [17] 段鹤, 夏文梅, 苏晓力, 等. 短时强降水特征统计及临近预警[J]. 气象, 2014, 40(10): 1194-1206.
- [18] 田付友, 郑永光, 张涛, 等. 我国中东部不同级别短时强降水天气的环境物理量分布特征[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(6): 518-526.
- [19] 沈澄, 孙燕, 魏晓奕, 等. 基于物理量参数的江苏短时强降水预报模型的研究[J]. 气象, 2016, 42(5): 557-566.

## Temporal-spatial Distribution of Short-time Heavy Rainfall in Hunan and Statistical Analysis of Related Environmental Parameters

YAO Rong<sup>1,2</sup>, TANG Jia<sup>1,2</sup>, WANG Xiaolei<sup>1</sup>, OU Xiaofeng<sup>3</sup>, WANG Qihuan<sup>3</sup> and HE Weiwei<sup>4</sup>

(1. *Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410118, China;*

2. *Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation in Hunan Province, Changsha 410118, China;*

3. *Huaihua Meteorological Service, Huaihua 41800, China;*

4. *Hengyang Meteorological Service, Hengyang 421001, China*)

**Abstract:** In order to explore the climate changes of short-time heavy precipitation and the characteristics of relevant environmental parameters in different regions of Hunan, 1h rainfall data from 2002 to 2018 are used to conduct a statistical analysis on the spatial and temporal distribution of short-time heavy precipitation in five regions of Hunan. Meanwhile, five related environmental parameters are calculated by NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  reanalysis data. Research results show: short-time heavy rainfall occur mainly in the 4-9 month, summer season is the most frequently, a single peak modal distribution; there are certain differences in different months, in April and May, it always rains at night, and convective precipitation is frequently in June-July. Short-term heavy precipitation may occur in each period from August to September; The diurnal variation in five regions of Hunan are also different, daily variation in the Dongting Lake region are relatively small, there are two peaks at night and evening in northwest Hunan and central Hunan, the daily in The characteristics of night rain are found in southwest Hunan and the peak value is reached in the afternoon in southeast Hunan; Affected by topography, near the wulingshanmai, Xuefeng mountain, Nanling and Luoxiao hill are high incidence areas of short-time heavy precipitation. In addition, when short-time heavy precipitation occur in each month, the environmental conditions are different. The percentile of thermal instability parameters in south area is higher than that in the north, warm season is higher than cold season, water vapor parameters are also applicable, the percentile of dynamic instability parameters in cold season is higher than that in warm season, especially in the southeast of Hunan Province in terms of water vapor, thermal and dynamic and unstable parameters are higher than that of the other area.

**Key words:** short-time heavy rainfall; diurnal variation; environmental parameters; statistical analysis

(上接第 101 页)

## Observation and Genesis of an Extreme Local Gale in Anhui Province

ZHOU Houfu<sup>1,2,3,4</sup>, FAN Wei<sup>1</sup>, TAO Ying<sup>1</sup> and ZHAO Qian<sup>1</sup>

(1. *Anhui Institute of Meteorological Sciences, Hefei 230031, China;*

2. *Anhui Province Key Lab of Atmospheric Science and Satellite Remote Sensing, Hefei 230031, China;*

3. *Huaihe River Basin Typical Farm Eco-meteorological Experiment Field of CMA, Shouxian 232200, China;*

4. *Shouxian National Climatology Observatory, Shouxian 232200, China*)

**Abstract:** Using ground, radar, satellite and sounding data, an extreme local gale in Anhui Province is analyzed from the perspective of refined observation, and its causes are discussed from the perspectives of instability, power, negative buoyancy and dragging. The main results are as followings. Vertical wind shear near the stratum is very large, convective index indicated that the atmosphere is highly unstable, and the ground convergence line is the triggering condition for local gale. The wet downburst is divided into two supercells by one supercell, and extreme gales are produced by different supercell storms respectively. The common drag effect of precipitation and hail particles promoted rapid subsidence airflow. The negative buoyancy effect is more obvious when the temperature dropped rapidly in a short time, and the descending of the centroid height or the strongest echo height of the supercell storm aggravated the velocity of the downdraft. The dragging effect of precipitation and hail, the negative buoyancy effect of middle dry layer and temperature, and the decrease of the height of storm center of mass and the height of strong echo all contributed to the generation of local gale, which resulted in extreme gale on the ground. The models of the downburst are drawn, and the formation concept of the downburst is explained.

**Key words:** local extreme gale; refined observation; supercell storm; wet downburst; cause