

凯里市暴雨天气特征和“三个叫应”阈值研究

阮玲丽^{1*}, 文建川¹, 吴 虑¹, 白 慧², 欧阳大亮², 魏正全³, 易志学⁴, 陈丹凤⁵

¹贵州省凯里市气象局, 贵州 凯里

²贵州省黔东南州气象局, 贵州 凯里

³贵州省平坝区气象局, 贵州 安顺

⁴贵州省雷山县气象局, 贵州 雷山

⁵贵州省施秉县气象局, 贵州 施秉

收稿日期: 2025年4月2日; 录用日期: 2025年5月1日; 发布日期: 2025年5月9日

摘 要

目的: 旨在减轻暴雨诱发的山洪、城市内涝及地质灾害对凯里市的影响, 更好地服务于地方政府和本地人民群众民生福祉。方法: 基于2012至2022年凯里国家气象站及所辖34个地面自动站的小时降水数据, 采用统计分析手段探究凯里市暴雨特性, 并结合应急管理局的灾情数据, 探索“三个叫应”机制的阈值设定。结果: 凯里市年均暴雨站点数为80.6站, 年均暴雨天数达14.8天; 其中, 6月暴雨天数最多, 共计38天, 占比23.9%, 且该月暴雨站点数达到峰值261站; 暴雨事件在时间及空间分布上呈现显著的不连续性。结论: 结合暴雨特征与灾情数据, 采用百分位法优化本地“三个叫应”阈值标准。经2024年暴雨事件的实践检验, 修订后的标准在应急响应与资源调度中展现出更高的实用性和指导价值。

关键词

凯里市, 暴雨特征, 气象服务, “三个叫应”

Study on the Characteristics of Rainstorm Weather and the “Three Major Call and Response Mechanisms” Threshold in Kaili City

Lingli Ruan^{1*}, Jianchuan Wen¹, Lyu Wu¹, Hui Bai², Daliang Ouyang², Zhengquan Wei³, Zhixue Yi⁴, Danfeng Chen⁵

¹Kaili Meteorological Bureau of Guizhou Province, Kaili Guizhou

²Qiandongnan Prefecture Meteorological Bureau of Guizhou Province, Kaili Guizhou

³Pingba District Meteorological Bureau of Guizhou Province, Anshun Guizhou

*第一作者。

文章引用: 阮玲丽, 文建川, 吴虑, 白慧, 欧阳大亮, 魏正全, 易志学, 陈丹凤. 凯里市暴雨天气特征和“三个叫应”阈值研究[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(3): 311-320. DOI: 10.12677/ccrl.2025.143033

⁴Leishan County Meteorological Bureau of Guizhou Province, Leishan Guizhou⁵Shibing County Meteorological Bureau of Guizhou Province, Shibing GuizhouReceived: Apr. 2nd, 2025; accepted: May 1st, 2025; published: May 9th, 2025

Abstract

The purpose of this study is to effectively reduce the adverse impacts of secondary disasters, such as flash floods, urban waterlogging, and geological hazards caused by rainstorm, and to better serve local governments and residents in Kaili City. By using hourly precipitation data from the Kaili National Basic Meteorological Station and 34 ground-based automatic meteorological observation stations from 2012 to 2022, statistical analysis was conducted on the characteristics of rainstorm in Kaili City. Combined with heavy rainfall disaster data provided by the Kaili Emergency Management Bureau, the study investigates the “Three Major Call and Response Mechanisms” threshold. The results show that the number of average annual rainstorm stations in Kaili City is 80.6, with an average of 14.8 heavy rain days. During the statistical period, June had the highest number of rainstorm days, with 38 days, accounting for 23.9%. The peak monthly rainstorm station count also occurred in June, reaching 261 stations. There were obvious temporal and spatial discontinuities in the number of rainstorm days and the maximum daily rainfall. By combining rainstorm weather characteristics with disaster data, the local “Three Major Call and Response Mechanisms” thresholds were revised using the percentile method. The revised thresholds were applied to test the rainstorm weather processes in 2024. The revised “Three Major Call and Response Mechanisms” standards are more objective and practical for local emergency calls and coordination work.

Keywords

Kaili City, Rainstorm Characteristics, Meteorological Service, “Three Major Call and Response Mechanisms”

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

凯里市坐落于贵州省东南部黔东南州的西部，地理位置特殊，位于云贵高原向中部丘陵过渡的苗岭山麓、清水江旁，其地势呈现出西北、西南及东南部高，而中部与东北部低的格局。气候上，该市年平均气温 16.2℃，年均降雨量达 1230.1 毫米，特别是 5 至 10 月间，降雨量占全年的 66%，显示出显著的季节性特征，且单日最大降雨量和小时最强雨强均较高。

暴雨作为凯里市的主要气象灾害，尤其在夜间频发，对气象预警信息的有效传播及防汛救灾工作构成挑战。现行的“三个叫应”服务阈值虽自 2017 年起在防灾减灾中发挥了作用，但因未充分考虑本地灾情特点，其合理性和科学性有待提升，已难以满足当前防灾需求。

针对这一问题，多位气象学者围绕暴雨天气特征分析及地方叫应服务阈值展开了深入研究，姚莉等[1]指出雨强日变化存在地区差异，彭芳等[2]发现贵州省内短时降水阈值分布不均，顾欣等[3]研究表明黔东南地区暴雨具有显著的地域特性。此外，代瑞华等[4]、杨平会等[5]、安承德等[6]、帅龙等[7]其他地区如印江县、荔波县等的暴雨特征及“三个叫应”阈值研究也为本地化服务提供了参考，通过结合灾情数

据修订服务标准,取得了良好效果。

鉴于上述背景,为响应气象高质量发展和地方防灾减灾的需求,本研究拟采用凯里市国家基本气象站及 34 个地面自动气象观测站的降水数据,并结合近六年应急管理等部门暴雨灾情信息,对凯里市的暴雨“三个叫应”阈值进行深入研究和修订。旨在通过这一举措,提升暴雨预报预警服务的质量,有效减轻暴雨引发的山洪、城市内涝及地质灾害等次生灾害的影响,从而更好地服务于地方政府及民众。

2. 资料和方法

本文选取了 2012 至 2022 年凯里国家基本气象站及其所辖 34 个地面自动气象观测站的逐小时降水数据,这些数据由贵州省气象数据中心经过整编与质控后提供。同时,灾情调查数据则来源于凯里市应急管理局。在研究方法上,本文主要依赖常规统计手段来解析地方暴雨特性,并借助百分位法来优化“三个叫应”的阈值标准。

定义:当国家站或各镇(街道)的自动气象站中,至少有一个站点在 24 小时(从 20 时至次日 20 时)内的累计降水量达到或超过 50 mm 时,即视为一个暴雨日。此外,若该累计降水量发生在夜间(20 时至次日 08 时),则称为夜间暴雨;若发生在白天(08 时至 20 时),则称为白天暴雨。

3. 暴雨统计特征分析

3.1. 暴雨年变化特征

2012 至 2022 年凯里市共出现 163 天的暴雨天气,涉及 887 站次,年均暴雨站次为 80.6,年均暴雨天数为 14.8 天。暴雨站次在 2015 年达到峰值(图 1),共计 160 站次,而 2012 年最少,仅 40 站次,其余年份则介于 48 至 136 站次之间。就暴雨天数而言,2020 年最多,达 22 天,其次是 2015 年的 20 天,最少的是 2012 年的 10 天,多数年份在 11 至 17 天范围内。从昼夜分布来看(见图 2),除 2017 年白天暴雨相对较多外,其余年份夜间暴雨显著多于白天,夜间暴雨占比高达 58.51%,白天则为 18.99%。同时,夜间与白天均发生暴雨的情况较少,仅占 1.3%。另有超过五分之一的暴雨是由单日累计降水量超过 50 mm 造成,占比 21.2%。

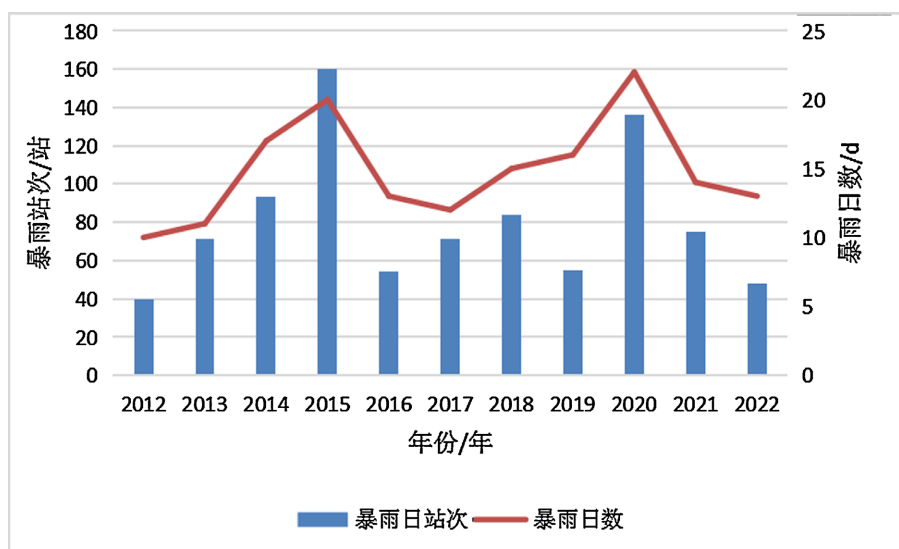


Figure 1. Changes in the average number of stations experiencing rainstorms and average number of rainstorm days in Kaili City from 2012 to 2022

图 1. 凯里市 2012~2022 年平均暴雨站次及平均暴雨日数变化

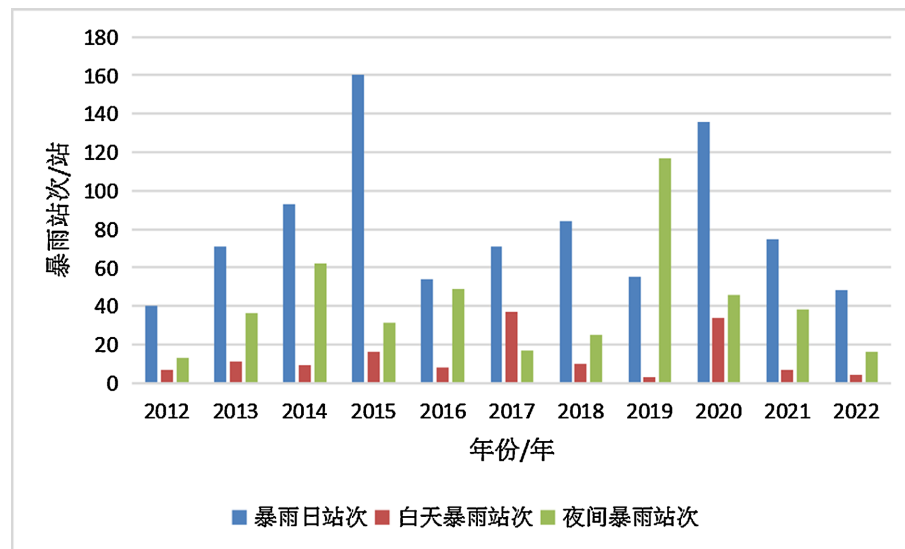


Figure 2. Changes in the annual number of stations experiencing rainstorms and the number of stations experiencing rainstorms during day and night in Kaili City from 2012 to 2022

图 2. 凯里市 2012~2022 年逐年暴雨站次及昼夜暴雨站次变化

3.2. 暴雨月变化特征

2012 至 2022 年凯里市的暴雨主要集中在 5 月至 9 月(见图 3), 但 3 月至 4 月及 10 月至 11 月期间也有发生, 最早时间于 3 月 13 日, 最晚则在 11 月 7 日。月暴雨日数呈单峰分布, 6 月达到最高, 共 38 天, 占全年 23.9%, 7 月紧随其后, 占比 20.12%。同样, 暴雨站次也呈现单峰形态(见图 4), 6 月最多, 达 261 站次, 占 29.29%, 7 月次之, 占 22.11%。在昼夜分布上, 5 月至 8 月夜间暴雨频次明显高于白天, 而 9 月则白天暴雨多于夜间。特别是 6 月, 夜间与白天暴雨均达高峰, 占比分别为 30.43%和 41.8%。7 月后, 夜间与白天暴雨均有所减少。此外, 8 月和 9 月的暴雨多由雨强较弱但持续时间长的降水导致, 占比分别为 50%和 60%, 而 5 月至 7 月的暴雨则多由短时强降水引发。

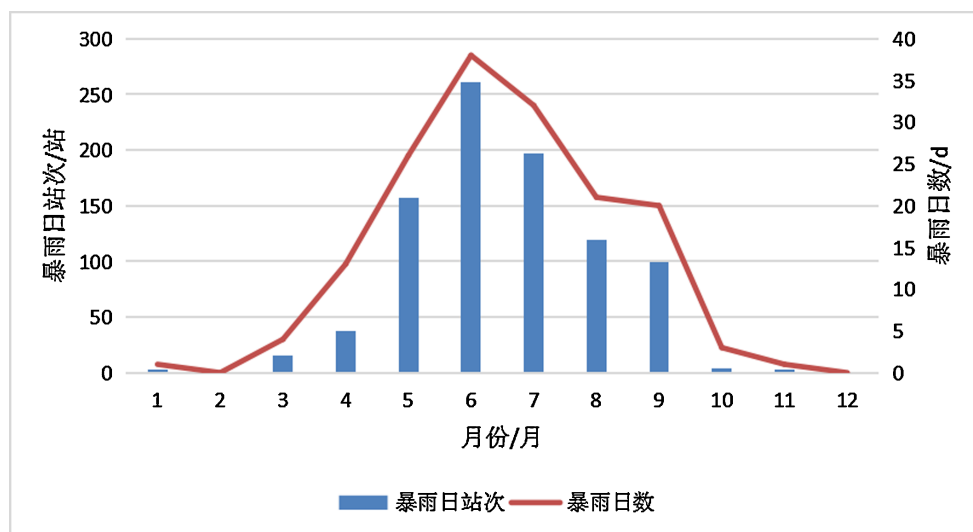


Figure 3. Changes in the monthly average number of rainstorm days and the number of stations experiencing rainstorms in Kaili City from 2012 to 2022

图 3. 凯里市 2012~2022 年各月平均暴雨日数及暴雨站次变化

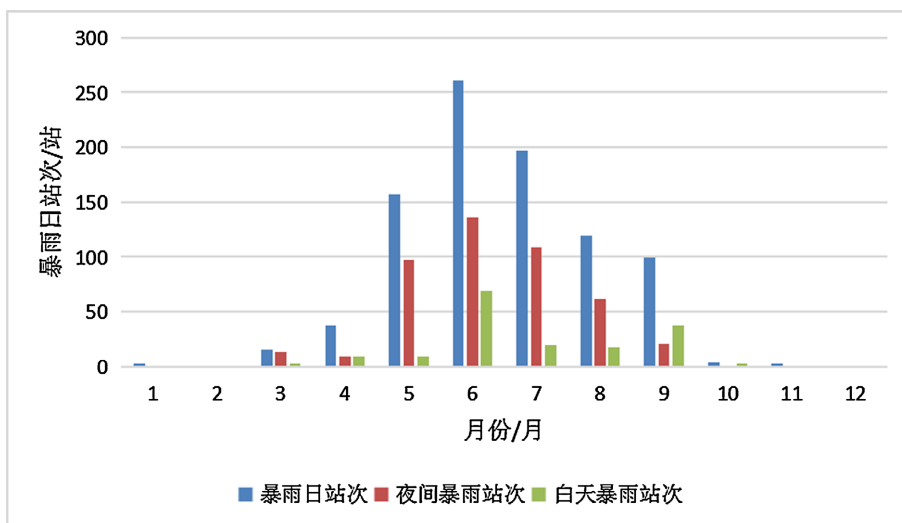


Figure 4. Changes in the monthly average number of stations experiencing rainstorms and the number of stations experiencing rainstorms during day and night in Kaili City from 2012 to 2022

图 4. 凯里市 2012~2022 年各月平均暴雨站次及昼夜暴雨站次变化

3.3. 暴雨日变化特征及集中时段

为提升政府服务水平,针对 6 月和 7 月暴雨日中的短时强降水(≥ 20.0 mm/h)及最大小时雨强进行了深入分析(图 5)。结果显示,从傍晚 17 时开始,短时强降水次数与最大小时降水量均逐渐上升,至夜间 23 时至次日 4 时达到高峰,随后逐渐下降,但在清晨 6 时至 7 时又略有增加,之后显著减弱或结束。总体而言,傍晚至夜间是短时强降水及最大雨强的高发时段。

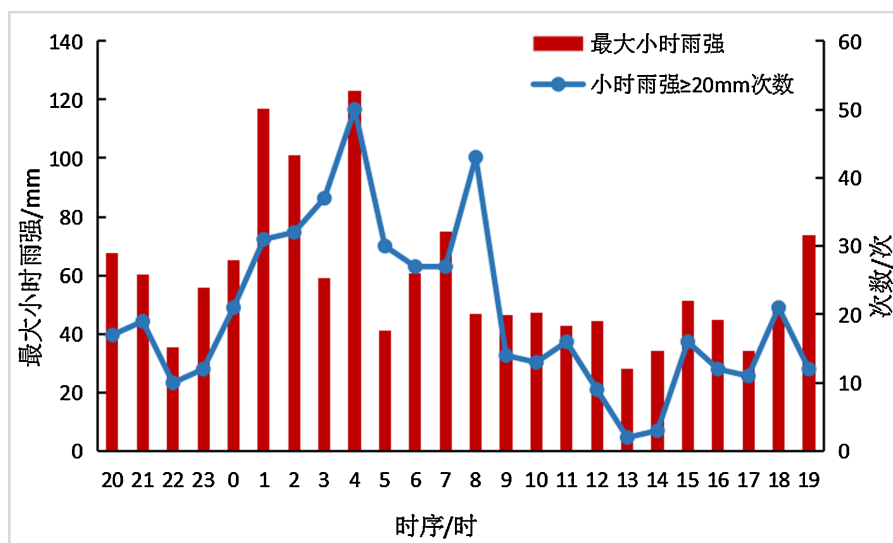


Figure 5. Changes in short-duration heavy rainfall (≥ 20.0 mm/h) and maximum hourly rainfall from 20:00 to 20:00 (the next day) in June and July in Kaili City from 2012 to 2022

图 5. 凯里市 2012~2022 年 6~7 月 20~20 时(次日)短时强降水(≥ 20.0 mm/h)和最大小时降水量变化

4. 暴雨空间分布特征

通过凯里市 2012~2022 年最大日降水量的空间分布显示(图 6),最大日降雨量存在明显空间分布不均

的特点，凯里市中东部和北部地区日最大降水量相对较小，中西部和南部地区较大，最大日降水量出现在西部的碧波和南部的舟溪，日降水量在 90~110 mm 之间。

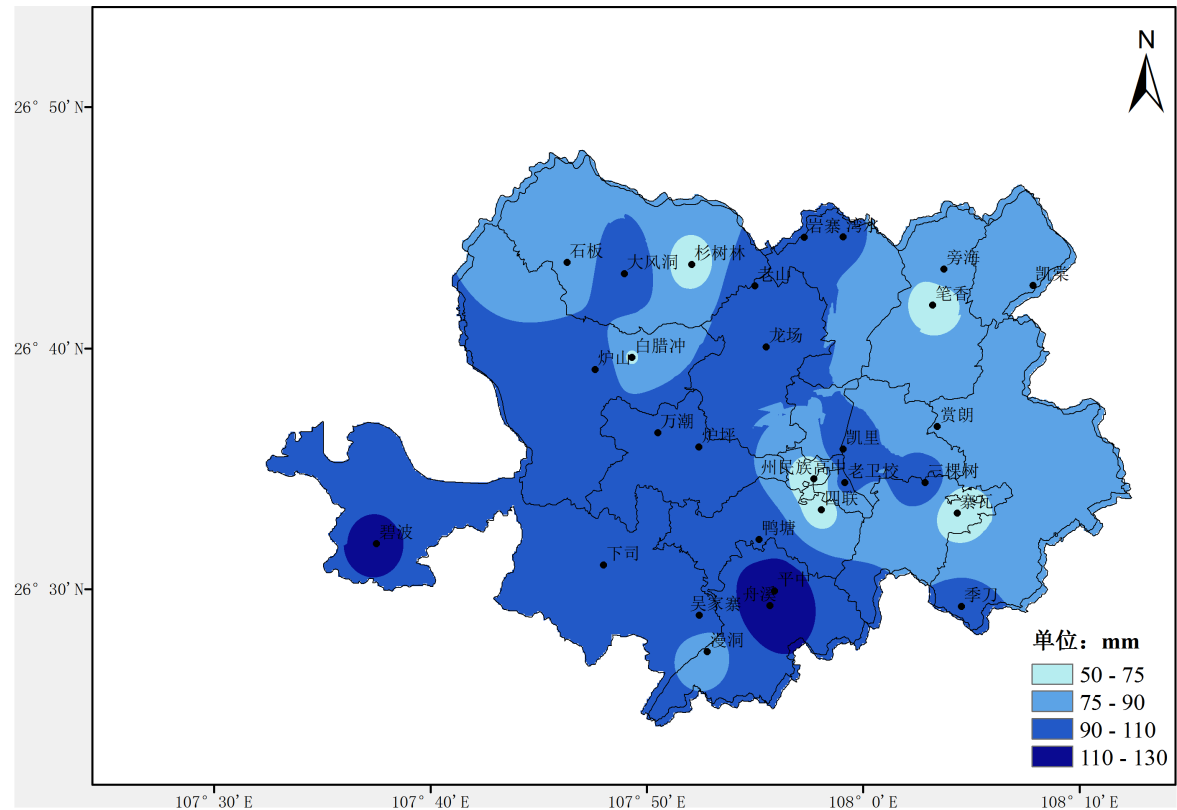


Figure 6. Distribution of maximum daily rainfall during rainstorm weather in Kaili City from 2012 to 2022
图 6. 凯里市 2012~2022 年暴雨天气最大日降雨量分布

5. “三个叫应” 阈值研究

5.1. 地方叫应标准

凯里市政府现行“三个叫应”标准依据 24 小时累积降水量设定，分别为：(1) 全市 10 个镇(街道)24 h 内降水量达 30~50 mm，且降雨可能持续时；(2) 全市 10 个镇(街道)24 h 内降水量达 50~100 mm；(3) 全市 10 个镇(街道)24 h 内降水量 ≥ 100 mm。然而，根据文中统计与分析，凯里市暴雨在时空分布上展现出显著的不规则性和极端性。因此，仅凭 24 小时累积降水量作为叫应依据，已难以满足实际需求。为适应政府防灾减灾及高质量发展要求，需对叫应标准进行更为细致、审慎的研究与修订。

5.2. 凯里市 2017~2022 年暴雨天气过程灾情信息

2017 年 6 月 29 日受暴雨影响，经对降雨情况分析(如表 1 所示)：出现灾情镇街对应站点 1 小时最大降雨量为 24.4~51.3 mm；3 小时最大 45.6~82.2 mm；6 小时最大降雨量 60.8~105.9 mm；12 小时最大降雨量 83.7~133.4 mm。

2018 年 6 月 21 日受暴雨影响，经对降雨情况分析(如表 2 所示)：出现灾情镇街对应站点 1 小时最大降雨量为 28.3~46.3 mm；3 小时最大 56.6~91.8 mm；6 小时最大降雨量 105.0~172.8 mm；12 小时最大降雨量 166.3~230.3 mm。

Table 1. Towns (streets) with disasters during heavy rain on June 29, 2017 and corresponding short-term heavy rainfall
表 1. 2017 年 6 月 29 日暴雨天气过程出现灾情的镇(街道)与对应的不同量级短时强降水

出现灾情乡镇(镇街)	1 小时最大降水量 (mm)	3 小时最大降水量(mm)	6 小时最大降水量 (mm)	12 小时最大降水量 (mm)
凯里	40.9	70.2	81.3	98.7
碧波	24.4	45.6	76.9	93.7
大风洞	40.4	65.6	84.3	122.7
老山	29.4	51.2	68.6	133.4
湾水	28.4	46.7	68.2	127.8
万潮	38.7	79.5	93.6	116.5
鸭塘	27.6	59.1	60.8	83.7
龙场	38.7	68.0	79.7	110.9
炉山	51.3	82.2	105.9	129.7
赏朗	44.9	77.1	88.0	92.1

Table 2. Towns (streets) with disasters during heavy rain on June 21, 2018 and corresponding short-term heavy rainfall of different magnitudes
表 2. 2018 年 6 月 21 日暴雨天气过程出现灾情的镇(街道)与对应的不同量级短时强降水

出现灾情镇(街道)	1 小时最大降水量(mm)	3 小时最大降水量(mm)	6 小时最大降水量(mm)	12 小时最大降水量(mm)
炉山	46.3	91.8	172.8	230.3
碧波	28.3	56.6	105.0	173.9
大风洞	29.4	61.9	121.1	166.3

Table 3. Towns (streets) with disasters during heavy rain on June 22, 2020 and corresponding short-term heavy rainfall of different magnitudes
表 3. 2020 年 6 月 22 日暴雨天气过程出现灾情的镇(街道)与对应的不同量级短时强降水

出现灾情镇(街道)	1 小时最大降水量(mm)	3 小时最大降水量(mm)	6 小时最大降水量(mm)	12 小时最大降水量(mm)
万潮	39.2	57.2	63.4	103.0
龙场	26.7	51.3	66.1	76.9
舟溪	27.3	69.0	77.2	92.7
笔香	39.7	65.7	79.0	92.3
下司	23.6	48.7	60.5	89.6

2020 年 6 月 22 日受暴雨影响, 经对降雨情况分析(如表 3 所示): 出现灾情镇街对应站点 1 小时最大降雨量为 23.6~39.7 mm; 3 小时最大 48.7~69.0 mm; 6 小时最大降雨量 60.5~79.0 mm; 12 小时最大降雨量 76.9~103.0 mm。

2021 年 5 月 12 日受暴雨影响, 经对降雨情况分析(如表 4 所示): 因实际降雨集中在 3 小时内, 因此累计降雨数据统计持续到 3 小时。出现灾情镇街对应站点 1 小时最大降雨量为 20.2~46.3 mm; 3 小时最大 36.0~58.3 mm。

2021 年 8 月 24 日受暴雨影响, 经对降雨情况分析(如表 5 所示): 因实际降雨集中在 6 小时内, 因此

累计降雨数据统计持续到 6 小时。出现灾情镇街对应站点 1 小时最大降雨量为 20.7~56.2 mm；3 小时最大 44.8~115.5 mm；6 小时最大降雨量 55.0~128.5 mm。

Table 4. Towns (streets) with disasters during heavy rain on May 12, 2021 and corresponding short-term heavy rainfall of different magnitudes

表 4. 2021 年 5 月 12 日暴雨天气过程出现灾情的镇(街道)与对应的不同量级短时强降水

出现灾情镇(街道)	1 小时最大降水量(mm)	3 小时最大降水量(mm)
岩寨	46.3	58.3
老山	32.2	43.3
炉山	25.5	47.7
大风洞	20.2	36.0
龙场	43.5	53.0
鸭塘	37.1	53.8

Table 5. Towns (streets) with disasters during heavy rain on August 24, 2021 and corresponding short-term heavy rainfall of different magnitudes

表 5. 2021 年 8 月 24 日暴雨天气过程出现灾情的镇(街道)与对应的不同量级短时强降水

出现灾情镇(街道)	1 小时最大降雨	3 小时最大降雨	6 小时最大降雨
龙场	20.7	44.8	55.0
下司	56.2	84.8	97.1
鸭塘	53.3	115.5	128.5

Table 6. Towns (streets) with disasters during heavy rain on July 18, 2022 and corresponding short-term heavy rainfall of different magnitudes

表 6. 2022 年 7 月 18 日暴雨天气过程出现灾情的镇(街道)与对应的不同量级短时强降水

出现灾情镇(街道)	1 小时最大降水量(mm)	3 小时最大降水量(mm)	6 小时最大降水量(mm)	12 小时最大降水量(mm)
岩寨	80.3	125.8	126.3	132.0
老山	66.7	108.1	112.0	114.9
龙场	101.2	154.6	160.7	166.6
湾水	51.3	95.7	99.7	100.9
笔香	38.8	73.5	78.1	79.9

2022 年 7 月 18 日受暴雨影响，经对降雨情况分析(如表 6 所示)：出现灾情镇街对应站点 1 小时最大降雨量为 38.8~101.2 mm；3 小时最大 73.5~154.6 mm；6 小时最大降雨量 78.1~160.7 mm；12 小时最大降雨量 79.9~166.6 mm。

5.3. “三个叫应” 阈值研究

依据凯里市应急管理局的灾情资料，分析了近 10 年暴雨特点及 6 次洪涝灾害的降雨数据，发现致灾时降雨量均超暴雨量级。参考石阡县的研究，我们采用百分位数方法，以 25%、75%、90%为划分标准，针对 1 小时、3 小时、6 小时和 12 小时累积降雨量进行阈值划分，旨在制定更符合本地实际的“三个叫应”标准。通过分析暴雨致灾时的最大雨量，我们能更有效地发挥气象服务作用，为不同叫应级别提供

参考雨量，即得到 25%分位 1 h、3 h、6 h、12 h 累计降雨量分别为 27.6 mm、48.7 mm、68.6 mm、92.3 mm；75%分位 1 h、3 h、6 h、12 h 累计降雨量分别为 46.3 mm、77.1 mm、105.9 mm、132.0 mm；90%分位 1 h、3 h、6 h、12 h 累计降雨量分别为 56.2 mm、95.7 mm、128.5 mm、166.6 mm (如表 7 所示)。

Table 7. Rainfall characteristics under each percentile value during heavy rain disaster weather in Kaili City (unit: mm)
表 7. 凯里市暴雨灾害性天气过程中各百分位值下的雨量特征(单位: mm)

小时	最小值	分位值			最大值
		25%	75%	90%	
1h	20.2	27.6	46.3	56.2	101.2
3h	36.0	48.7	77.1	95.7	154.6
6h	55.0	68.6	105.9	128.5	172.8
12h	76.9	92.3	132.0	166.6	230.3

5.4. “三个叫应” 标准划分

基于百分位分析结果，我们设定了三个不同级别的叫应标准，与暴雨可能引发的灾害程度相对应：一般级别(III)对应较轻灾害，较重级别(II)对应较大灾害，重点级别(I)对应重大及以上灾害。各级别的叫应阈值分别采用 25%、75%、90%分位的 1 h、3 h、6 h、12 h 致灾雨量。

具体划分如下：

一般级别(III)：当自动站雨量达到 1 h/30mm、3 h/50mm、6 h/70mm、12 h/90mm 且降雨持续时，值班人员电话通知相关责任单位及地方政府值班室。

较重级别(II)：当雨量达到 1 h/50mm、3 h/80mm、6 h/105mm、12 h/130mm 且降雨持续时，值班领导进行电话叫应。

重点级别(I)：当雨量达到 1 h/60mm、3 h/100mm、6 h/130mm、12 h/165mm 且降雨持续时，值班领导电话叫应并上报至市政府主要领导。

这些标准结合了凯里市近 10 年的降雨特征及洪灾数据分析，旨在更有效地指导防灾减灾工作。

5.5. 新修订“三个叫应” 标准的应用检验

经过修订的凯里市“三个叫应”标准在 2024 年 6 月 29 日的暴雨天气中得到了实际应用验证。当天，监测到凯棠蓝莓园近 1 小时降雨量达 30.0 mm，即启动一般级别叫应；监测至 3 h 累积降水量为 71.8 mm，将达到 3 h 修订后较重级别叫应标准 80 mm，则启动较重级别叫应，当 12 小时累积降水量为 139.2 mm 时，天气过程已趋于减弱结束，则维持较重级别叫应。此次过程中，各级工作人员有序开展应急救援与调度，有效减少了经济损失。实践表明，相比以往的 24 小时累积降雨量标准，修订后的“三个叫应”标准提供了更多准备时间和心理防备，调度工作更加有序，大幅减轻了各级人员的工作量和紧迫感，具有更高的参考价值。

6. 结论

(1) 2012~2022 年间，凯里市暴雨站次总计 887 站，年均 80.6 站，其中 2015 年最多达 160 站。暴雨日数为 163 天，年均 14.8 天，主要集中在 6 月，占全年暴雨站次的 29.29%及暴雨日数的 23.9%。

(2) 凯里市最大日降雨量时空分布不均，西部、南部较高，碧波、舟溪等镇尤为突出，降雨量多在 90~110 mm 之间。

(3) 结合地方灾情资料, 针对 2012~2022 年最大日降水量的时空不连续变化, 修订并制定了凯里市“三个叫应”标准。

(4) 5~8 月是暴雨洪涝灾害高发期, 当自动站雨量达到特定阈值(1 h/30mm、3 h/50mm、6 h/70mm、12 h/90mm 及以上)且降雨持续时, 需及时启动“三个叫应”气象服务。

(5) 2024 年暴雨天气过程中, 修订后的“三个叫应”标准得到了检验与应用, 相比地方政府原标准, 更适应当地应急叫应需求。

基金项目

贵州省气象局科研业务项目(黔气科登[2023]08-07 号): 《凯里市强降水“三个叫应”服务阈值修订研究》; 黔东南科合基础[2024]0014 号项目《凯里市城区暴雨强度公式编制及暴雨雨型分析研究》。

参考文献

- [1] 姚莉, 李小泉, 张立梅. 我国 1 小时雨强的时空分布特征[J]. 气象, 2009, 35(2): 80-87.
- [2] 彭芳, 吴古会, 杜小玲. 贵州省汛期短时降水时空特征分析[J]. 气象, 2012, 38(3): 307-313.
- [3] 顾欣, 田楠, 潘平珍. 黔东南暴雨气候特征及其地形影响[J]. 气象科技, 2006(4): 441-445.
- [4] 代瑞华, 方启云, 等. 印江县汛期短时强降水时空分布特征及“三个叫应”服务[J]. 中低纬山地气象, 2018(1): 308-315.
- [5] 杨平会, 梁恒飞, 张伟元, 等. 荔波县“三个叫应”阈值研究和外部叫应流程优化[J]. 中低纬山地气象, 2019(4): 74-78.
- [6] 安承德, 朗贵英, 杜小玲, 等. 石阡县近 10a 暴雨天气特征和三个叫应阈值研究[J]. 中低纬山地气象, 2022, 46(2): 71-75.
- [7] 帅龙, 王志红, 姚浪, 等. 七星关区暴雨天气特征和“三个叫应”阈值研究[J]. 山地气象学报, 2024, 48(3): 69-73.