

杨浩,周文,汪小康,等,2022.“21·7”河南特大暴雨降水特征及极端性分析[J].气象,48(5):571-579. Yang H, Zhou W, Wang X K, et al, 2022. Analysis on extremity and characteristics of the “21·7” severe torrential rain in Henan Province[J]. Meteor Mon, 48(5):571-579(in Chinese).

“21·7”河南特大暴雨降水特征及极端性分析^{*}

杨浩^{1,2} 周文¹ 汪小康¹ 李山山¹ 王婧羽¹ 王晓芳¹ 胡泊¹

1 中国气象局武汉暴雨研究所 暴雨监测预警湖北省重点实验室, 武汉 430205

2 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心/气象灾害教育部重点实验室, 南京 210044

提 要: 利用国家气象信息中心提供的2373个国家气象观测站(以下简称国家站)和区域气象观测站(以下简称区域站)小时降水量资料,从累计降水量、降水强度和时间演变等角度,分析了“21·7”(2021年7月17—22日)河南特大暴雨的极端性特征。结果表明:此次暴雨过程具有持续时间长、累计降水量大、突发性强、暴雨落区集中等特点。6天累计降水量平均达到219.05 mm·站⁻¹,有155个站超过600 mm。全省5.43万 km² 累计过程降水量大于250 mm,超过“75·8”过程(1975年8月)的3.45万 km²。强降水主要出现在3个时段(18日15时至19日04时、19日09时至21日08时、21日09时至22日14时),最大降水时段发生在19—21日,落区集中在太行山东南侧、伏牛山东北侧的豫中北地区。有1514个站出现至少1个时次的短时强降水(≥20 mm·h⁻¹),大值中心分别位于郑州、新乡和鹤壁等地,部分区域短时强降水贡献率超过70%。强降水中心在20日中午至21日夜间由河南中部向河南北部移动,强度由强变弱再加强。此次持续性暴雨过程的极端性表现出明显的局地性特征,郑州国家站7月20日17时1 h降水量达201.9 mm,超过“75·8”过程的小时降水强度,并打破全国国家站历史记录。3 h和6 h最大降水量均发生在郑州尖岗水库附近。郑州站7月总降水量高达902.0 mm,约是近70年历史平均值的6倍。

关键词: “21·7”特大暴雨,短时强降水,极端性,河南

中图分类号: P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.111201

Analysis on Extremity and Characteristics of the “21·7” Severe Torrential Rain in Henan Province

YANG Hao^{1,2} ZHOU Wen¹ WANG Xiaokang¹ LI Shanshan¹
WANG Jingyu¹ WANG Xiaofang¹ HU Po¹

1 Hubei Key Laboratory for Heavy Rain Monitoring and Warning Research, Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430205

2 Ministry of Education and Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD)/
Key Laboratory of Meteorological Disaster (KLME), Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: Based on the hourly precipitation data of 2373 national and regional stations from China Meteorological Administration, the extreme characteristics of accumulated precipitation, precipitation intensity and time evolution during the “21·7” (17—22 July 2021) severe torrential rain in Henan Province are analyzed. The results show that this torrential rain process had the characteristics of long duration, large accumulated rainfall, strong abruptness and concentrated torrential rain area. The average accumulated precipitation within 6 days reached 219.05 mm per station, and exceeded 600 mm at 155 stations. There were about 5.43×10^4 km² in Henan Province where the cumulative process rainfall was more than 250 mm, larger than that (3.45×10^4 km²) in the “75·8” (August 1975) process. Three periods of extremely heavy

^{*} 国家自然科学基金项目(41975058)、湖北省气象局科技发展基金项目(2021Q04、2020Q03、2022Y25)、南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心/气象灾害教育部重点实验室联合开放课题(KLME202106)共同资助

2021年9月3日收稿; 2022年1月13日收修定稿

第一作者:杨浩,主要从事极端天气气候研究. E-mail: yanghao0202@126.com

precipitation were from 15:00 BT 18 to 04:00 BT 19, from 09:00 BT 19 to 08:00 BT 21, and from 09:00 BT 21 to 14:00 BT 22 July 2021. The maximum precipitation period occurred from 19 to 21 July, and the rainfall falling area was concentrated in the southeast of Taihang Mountain and northeast of Funiu Mountain. 1514 stations had at least one time of flash heavy rain ($\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$), the large value centers were located in Zhengzhou, Xinxiang and Hebi respectively, with the contribution rate of flash heavy rain in some regions exceeding 70%. The severe precipitation center moved from the central part to northern part of Henan Province from noon of 20 July to the night of the 21 July, and the intensity changed from strong to weak and to strong again. The extremity of the rainstorm process shows obvious local characteristics. The hourly rainfall of Zhengzhou Station at 17:00 BT 20 July was 201.9 mm, exceeding the hourly rainfall intensity of the “75·8” process, and breaking the historical record among the national stations. The maximum rainfall intensity within 3 h and 6 h both occurred at Jiangang Reservoir in Zhengzhou. The total precipitation of Zhengzhou Station in July was 902.0 mm, which is nearly 6 times of the historical average in recent 70 years.

Key words: “21·7” severe torrential rain, flash heavy rain, extremity, Henan Province

引 言

2021 年 7 月 17—22 日,河南省遭遇极端强降雨,郑州、新乡、开封、周口、焦作等地部分地区出现特大暴雨(累计过程降水量为 250~350 mm),郑州城区局地达 500~657 mm,最大小时降水强度达到 $201.9 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,已超过 1975 年的“75·8”特大暴雨($189.5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)(丁一汇,2015;孙跃等,2021),这也是全球大中城市小时降水强度的最高纪录。此次特大洪涝灾害过程造成河南数百人遇难及失踪。

受全球变暖影响,大气不稳定性增加,更多陆地地区出现极端降水事件(Li et al, 2018; Qin et al, 2021)。我国极端强降水量或暴雨降水量在总降水量中的比重有所增加,极端强降水或暴雨级别的降水强度也逐渐增强(Zhai et al, 2005; 高荣等, 2018; Wu et al, 2020; 周璇等, 2020),群发性暴雨也普遍呈增多增强趋势(张芳华等, 2020; Chen et al, 2021)。

已有研究表明,我国短时强降水($20 \sim 40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)发生频率的空间分布与暴雨($\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$)相似,总体呈由东南向西北递减的趋势,主要发生在夏季,与东亚夏季风北进南撤、西太平洋副热带高压北跳南退较为一致,其日变化多峰特征明显,大部分地区短时强降水都是夜间多发,短时强降水量级一般都很大,对总降水量的贡献率远大于其发生率(陈炯等, 2013; 钱忠华等, 2020)。毛冬艳等(2018)通过对西南地区短时强降水气候特征的分析,指出贵州

东南部、四川盆地西南部和云南东南部是短时强降水高发区,其中贵州地区的短时强降水的年际变化在高发区离散度较大,在贵州西北部低发区离散度较小(肖蕾等, 2021)。此外,我国东北(陈相甫和赵宇, 2021)、华北(Zhong et al, 2015; Li et al, 2017)、长江中下游(Luo et al, 2014)等地区的极端降水均具有典型的区域特征和影响系统。

河南省位于中国中部,地处中国暖温带半湿润区与北亚热带气候过渡带中,也是黄淮西部地貌过渡区,其北邻太行山,西邻西北—东南走向的伏牛山,南部位于淮河流域上游,东部位于华北平原南缘(图 1a)。王婧羽等(2019)统计发现,河南省短时强降水集中发生在 7 月和 8 月,主要存在 4 个大值区,即豫北黄河以北地区、豫东商丘地区、豫西南伏牛山以南以东地区、豫南沿淮及其以南地区;地形对降水的增幅作用显著,主要通过增加短时强降水发生频次实现。近些年河南降水呈现出明显的极端化,大到暴雨对全年总降水量的贡献呈明显上升趋势,季风对其影响较大,暴雨空间分布总体上自西向东逐渐增加,南多北少,区域差异明显(鲁坦等, 2017; 梁钰等, 2020)。

历史上河南发生过多次导致重大生命财产损失的极端暴雨事件(丁一汇, 2015; 栗晗等, 2018),此次河南极端降水过程具有突发性强、生命史长、短时降水强度大、预测预报难、致灾严重等特点(冉令坤等, 2021; 苏爱芳等, 2022; 汪小康等, 2022; 蔡芃宁, 2022)。本文将从累计降水量、降水强度和时间演变等角度分析导致本次洪涝灾害的强降水极端性特征。

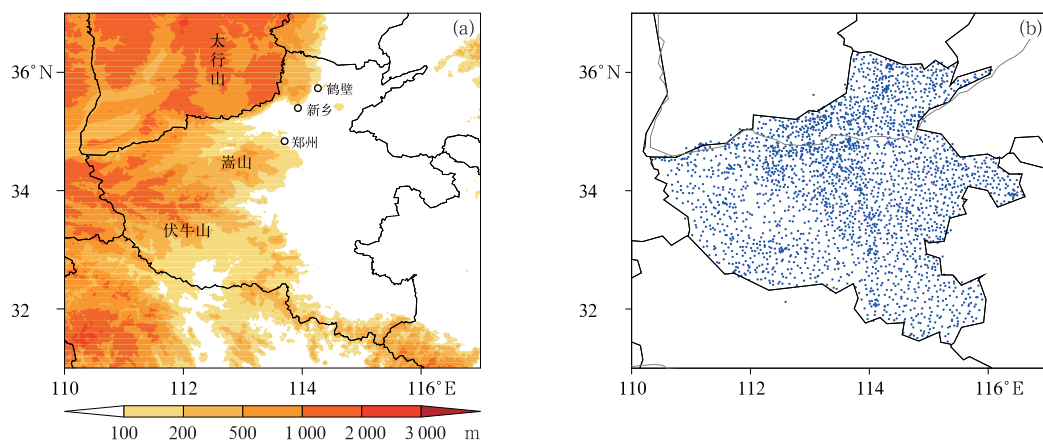


图1 河南省周边(a)地形和(b)气象站点分布

Fig. 1 Distribution of (a) topography and (b) meteorological stations in Henan Province

1 资料和方法

本文所用资料为国家气象信息中心提供的国家气象观测站(以下简称国家站)及区域气象观测站(以下简称区域站)小时降水量,数据在使用前经过质量控制,共选取河南省内有效站点 2 373 个(图 1b),时段为 2021 年 7 月 17 日 09 时至 23 日 08 时(北京时,下同)。郑州国家站降水数据来自国家气象信息中心提供的 1951—2021 年逐日降水资料。参考俞小鼎(2013),将降水强度 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降水定义为短时强降水。日降水量等级采用中央气象台定义标准,大雨:25~50 mm,暴雨:50~100 mm,大暴雨:100~250 mm,特大暴雨: $\geq 250 \text{ mm}$ 。

2 累计降水量极端性特征

2.1 空间分布特征

2021 年 7 月 17—22 日,河南省发生的大范围暴雨过程主要集中在豫中北地区(图 2a)。统计表明,全省 2 373 个站 6 天累计降水量平均达到 $219.05 \text{ mm} \cdot \text{站}^{-1}$,有 155 个站超过 600 mm,主要集中在郑州、新乡和鹤壁等地区,400~600 mm 的站数达到 266 个,分布在平顶山、许昌、郑州、新乡、鹤壁和安阳等区域,降水量为 200~400 mm 的站数最多,达到 556 个(表 1)。全省 32.5% 的国土面积(5.43 万 km^2)累计降水量大于 250 mm(表 2),超过

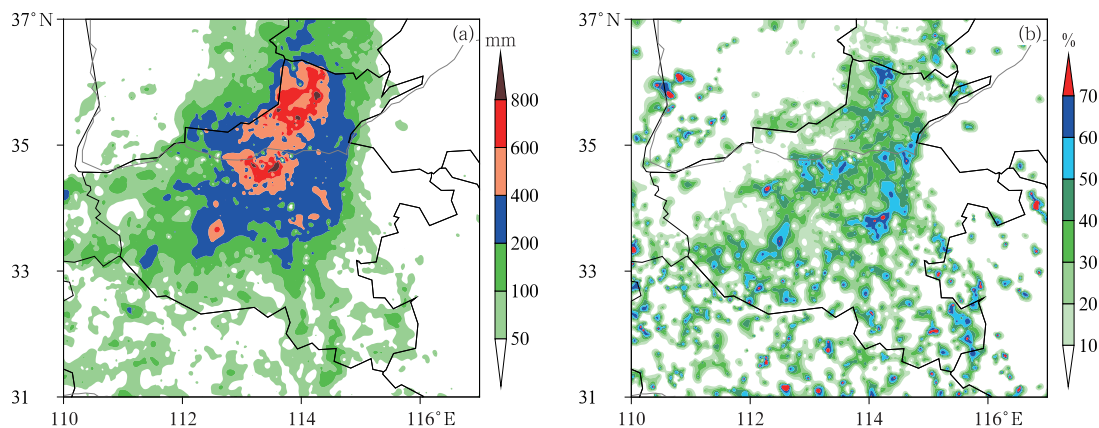
图2 2021 年 7 月 17 日 09 时至 23 日 08 时(a)过程累计降水量分布和
(b)同期短时强降水量占总降水量的百分比

Fig. 2 Spatial distribution of (a) accumulated precipitation and (b) the ratio of flash heavy rain to total precipitation from 09:00 BT 17 to 08:00 BT 23 July 2021

表 1 2021 年 7 月 17 日 09 时至 23 日 08 时河南省
2373 个站累计总降水和短时
强降水(括号内数字)统计

Table 1 Statistics of accumulated precipitation and
flash heavy rain (number in bracket) at
2373 stations in Henan Province
from 09:00 BT 17 to 08:00 BT 23 July 2021

累计降水量/mm	总降水(短时强降水)	
	站数/个	站数比例/%
≥800	26(1)	1.10(0.00)
[600,800)	129(3)	5.44(0.00)
[400,600)	266(55)	11.23(2.32)
[200,400)	556(206)	23.43(8.68)
[100,200)	414(373)	20.82(15.72)
[50,100)	418(343)	18.88(14.45)
[0,1,50)	454(533)	19.13(22.46)

河南“75·8”特大暴雨过程的 3.45 万 km²(丁一汇, 2015)。结合地形(图 1a)发现,此次暴雨落区位于太行山东南侧、伏牛山东北侧,与王婧羽等(2019)研究结果一致,即伏牛山以东支脉的喇叭口地形区为河南强降水的高频区之一。

将各站短时强降水量进行累计,计算同期短时强降水量及其占总降水量的百分比(贡献率)。短时强降水总量的空间分布与总降水量基本一致,大值中心分别位于郑州、新乡和鹤壁的部分地区(图略),总共有 1514 个站出现至少 1 个时次的短时强降水,累计短时强降水量超过 600 mm 的站有 4 个(表 1)。短时强降水贡献率的大值区比较分散,除了东部的商丘和西部的三门峡之外,其他地区都有一定

表 2 河南“21·7”和“75·8”特大暴雨情况对比

Table 2 Comparison between the “21·7” and “75·8” rainstorms in Henan Province

项目	暴雨过程		
	时效	“21·7”过程	“75·8”过程
不同时段降水量(站名)	1 h	201.9 mm(郑州)	189.5 mm(林庄)
	3 h	333.2 mm(尖岗)	494.6 mm(林庄)
	6 h	465.9 mm(尖岗)	830.1 mm(林庄)
	24 h	777.5 mm(科创中心)	1060.3 mm(林庄)
	3 d	1025.8 mm(科创中心)	1606.1 mm(林庄)
	5 d	1116.2 mm(科创中心)	1631.1 mm(林庄)
200 mm 以上面积/万 km ²		7.52	6.53
250 mm 以上面积/万 km ²		5.43	3.45
受影响区域		河南中部、北部	河南南部、中部

数量站点的短时强降水贡献率超过 50%,其中郑州、鹤壁、洛阳、许昌、南阳和信阳等地区的部分站点超过 70%(图 2b)。

这次特大暴雨过程从 7 月 17 日上午自河南东南部开始发生,然后向北部地区扩展,23 日上午基本结束,持续时间超过 6 天。其中,18 日强降水主要位于河南中部和北部,驻马店、平顶山、新乡、鹤壁和安阳出现暴雨和大暴雨,尤其是新乡和安阳部分地区超过 100 mm(图 3b)。19 日和 20 日强降水范围迅速扩大且强度增大,250 mm 以上降水落区分布在郑州、新乡、开封和平顶山地区,郑州城区平均降水量连续 2 天超过 300 mm(图 3c,3d)。21 日雨带北移,强降水范围有所减小,但强度进一步加强,集中到新乡、鹤壁和安阳三个地区,400 mm 以上面积超过 19 日和 20 日(图 3e)。22—23 日降水逐渐减弱,河南东北和西南部分区域超过大暴雨量级(图 3f)。

2.2 历史极端性特征

上文分析表明,此次河南特大暴雨过程共持续了 6 天,其中 7 月 19—21 日最强,全省共有 19 个国家站日降水量突破有气象记录以来历史极值。对比“75·8”极端暴雨过程不同时段降水强度发现,此次过程小时降水量达到 201.9 mm,出现在郑州国家站,超过“75·8”过程林庄站的 189.5 mm。3 h、6 h、12 h、1 d、3 d 和 5 d 降水强度虽然没有超过林庄站(表 2),但是 200 mm 以上过程降水量面积为 7.52 万 km²,大于“75·8”过程的 6.53 万 km²。

郑州国家站 2021 年 7 月总降水量高达 902.0 mm,是绝大多数南方城市都从未有过的数据。从 1951—2021 年的 7 月郑州降水量序列来看,2021 年的降水量远远大于往年,是历史第二大值(1957 年,376.3 mm)的两倍多,是历史平均值(153.2 mm)的近 6 倍(图 4)。

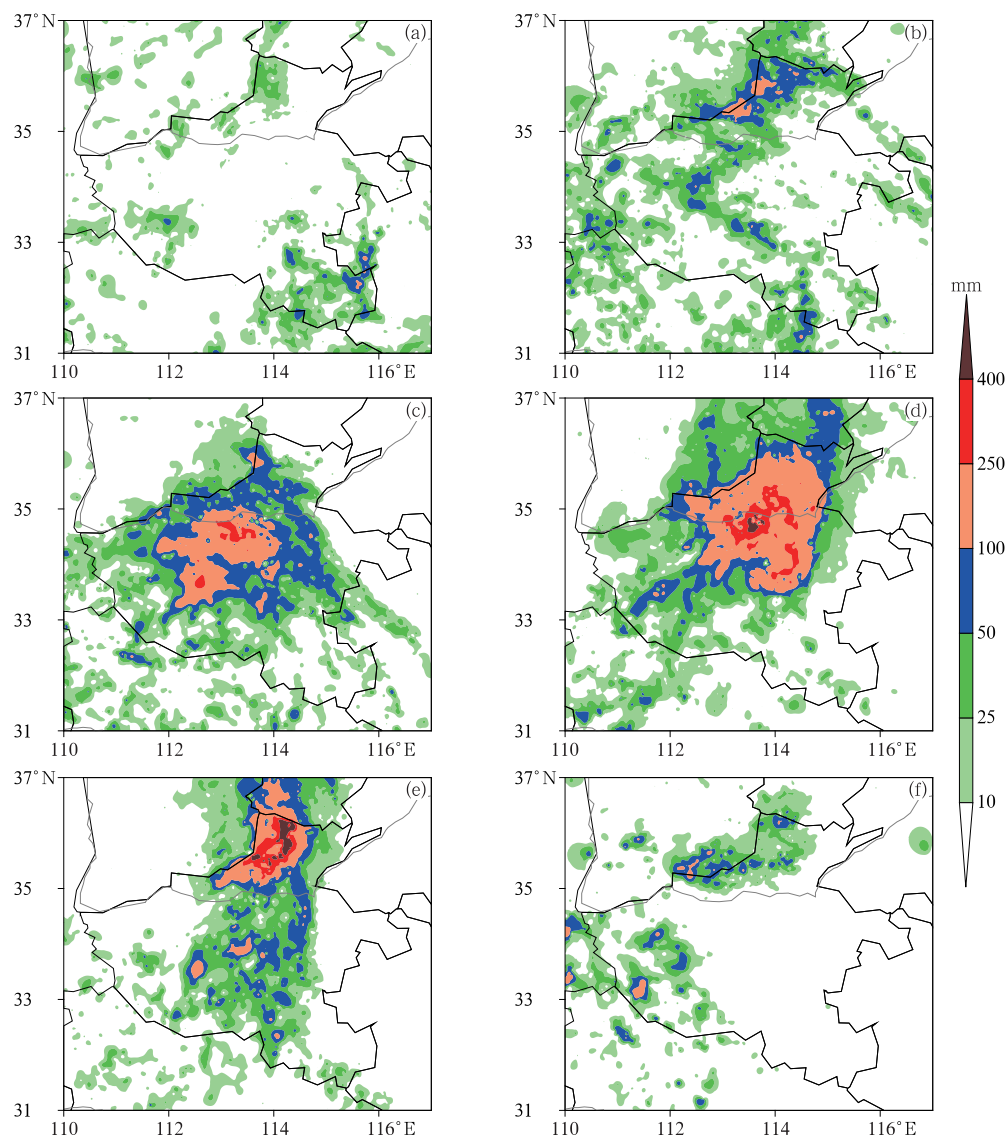


图 3 2021 年 7 月 17 日 09 时至 23 日 08 时逐日降水量空间分布
(a)17 日,(b)18 日,(c)19 日,(d)20 日,(e)21 日,(f)22 日

Fig. 3 Spatial distribution of daily precipitation from 09:00 BT 17 to 08:00 BT 23 July 2021
(a) 17 July, (b) 18 July, (c) 19 July, (d) 20 July, (e) 21 July, (f) 22 July

3 降水强度极端性特征

小时尺度的短历时强降水是强降水的极端特征之一。统计此次河南特大暴雨过程(144 个时次)每个时次的极大值,其平均值达到 $56.6 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,有 73 个时次的降水强度超过 $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (表 3),最大时次降水强度出现在 7 月 20 日 17 时,郑州国家站降水强度为 $201.9 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,第二大降水强度出现在前一时次(20 日 16 时),为尖岗水库站的 $158.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 5)。从各时次最大降水强度空间分布

表 3 2021 年 7 月 17 日 09 时至 23 日 08 时河南省逐时(144 个时次)最大降水强度量级
Table 3 Statistics of hourly maximum precipitation intensity in Henan Province from 09:00 BT 17 to 08:00 BT 23 July 2021

小时雨强/ mm	频次/站数	代表站	发生时刻/ 年-月-日-时
[5,10)	4	/	/
[10,25)	16	/	/
[25,50)	51	/	/
[50,100)	60	/	/
[100,150)	11	/	/
[150,200)	1	郑州尖岗水库	2021-7-20-16
[200,250)	1	郑州国家站	2021-7-20-17

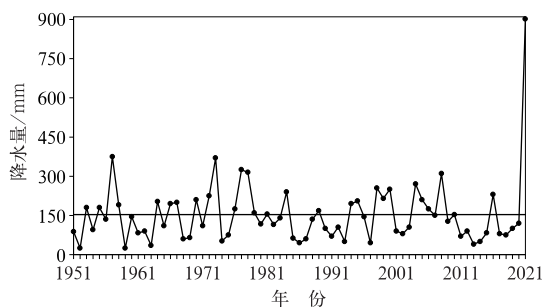


图 4 1951—2021 年郑州国家站

7 月降水量逐年变化

(黑线为气候平均值)

Fig. 4 Variation of monthly precipitation in July from 1951 to 2021 at Zhengzhou Station (Black line indicates the climatological mean value)

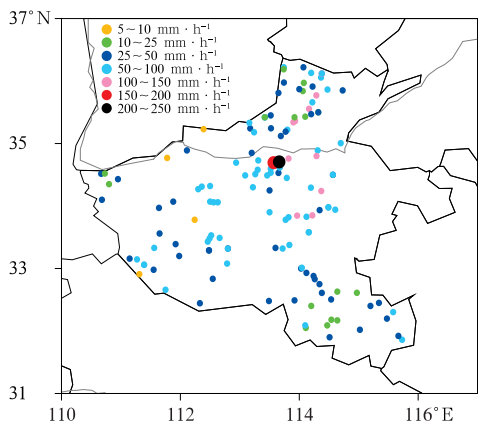


图 5 2021 年 7 月 17 日 09 时至 23 日 08 时
河南省逐时(144 个时次)最大
降水强度站点分布

Fig. 5 Spatial distribution of hourly maximum precipitation intensity in Henan Province from 09:00 BT 17 to 08:00 BT 23 July 2021

来看, $100 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以下降水强度的分布较为均匀, 出现位置具有随机性。 $100 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上降水强度主要发生在郑州、鹤壁、新乡和开封等地, 这与上文中总降水量的空间分布较为一致, 也进一步证实了此次过程极端性表现出显著的局地性特征。

图 6 给出此次过程累计降水量排名前十站点和郑州国家站的逐时降水变化。10 个区域站分布在鹤壁、郑州和新乡 3 个地市, 鹤壁 2 个站(科创中心和外国语学校)、郑州 6 个站(白寨、侯寨、石板沟、尖岗、新中镇和文化站)、新乡 2 个站(凤凰山和牧野

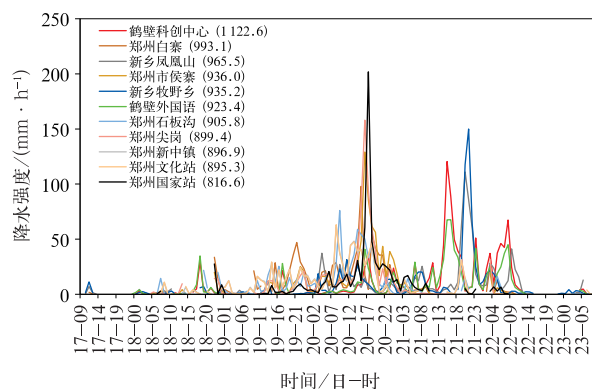


图 6 2021 年 7 月 17 日 09 时至 23 日 08 时

河南省累计降水量排名前十站点和

郑州国家站的逐时降水强度

(站名后面数字表示过程累计降水量, 单位: mm)

Fig. 6 Hourly precipitation intensity at the top 10 stations and Zhengzhou Station from 09:00 BT 17 to 08:00 BT 23 July 2021 (The number behind the station name indicates the accumulated precipitation, unit: mm)

乡)。排名第一的鹤壁科创中心的降水量为 1122.6 mm , 排名第十的郑州文化站也达到了 895.3 mm 。从图 6 可以看出, 特大暴雨过程主要分为 3 个时段, 即 7 月 18 日 15 时至 19 日 04 时、19 日 09 时至 21 日 08 时、21 日 09 时至 22 日 14 时。第一时段降水强度较小、持续时间较短, 第二时段降水强度最大、持续时间最长, 3 个时段间隔时间很短, 尤其是第二和第三时段基本是连续的。其中, 1 h 最大降水量为上文多次提到的 201.9 mm (郑州国家站, 20 日 17 时), 3 h 和 6 h 最大降水量分别为 333.2 mm (20 日 15—17 时) 和 465.9 mm (20 日 14—19 时), 均发生在郑州尖岗水库附近。可见, 这次持续性暴雨过程具有显著的局地性特征。

本文选取降水大值区的 4 个典型测站, 对小时降水量进行排序并计算对应累计小时降水量(图 7)。4 个测站最大小时降水量都接近或超过 100 mm , 并且分别出现了 11 个时次(郑州国家站)、21 个时次(鹤壁科创中心)、20 个时次(郑州白寨)和 12 个时次(新乡凤凰山)的短时强降水 ($\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)。4 个测站中排名前 2 个时次的降水量之和均超过了常年 7 月平均累计降水量, 前 21、11、18 和 17 个时次累计降水量超过各自测站全年平均累计降水量。上述数据表明此次特大暴雨过程不仅持续时间长, 降水强度的极端性也非常突出。

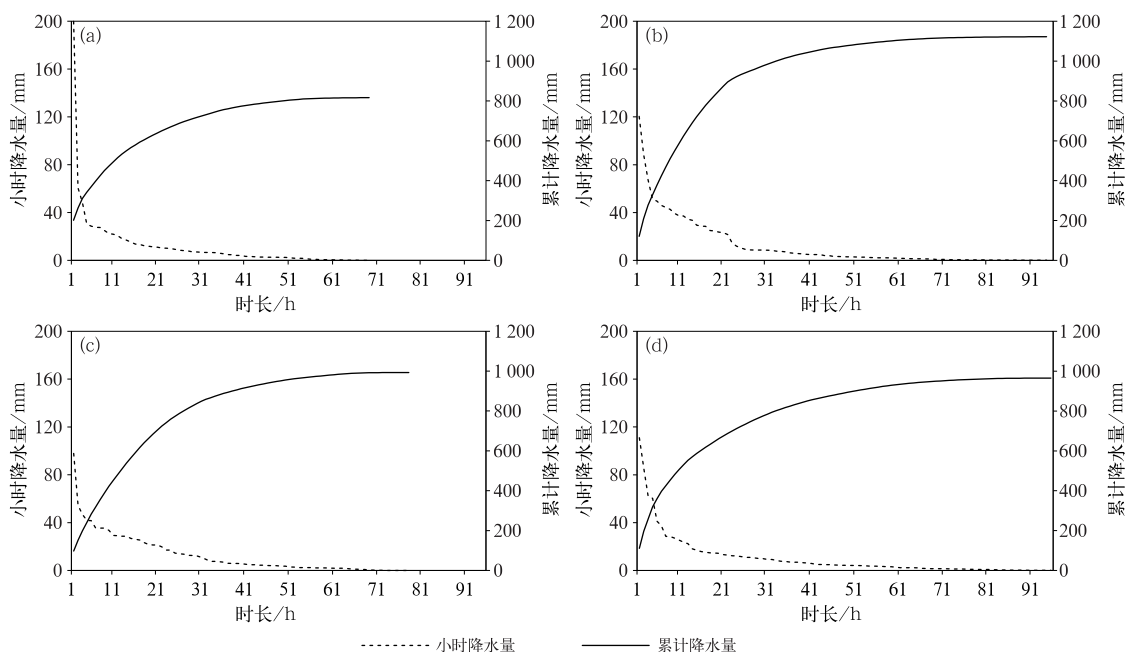


图7 2021年7月17日09时至23日08时河南省代表站点小时降水量排序及其累计降水量

(a)郑州国家站,(b)鹤壁科创中心,(c)郑州白寨,(d)新乡凤凰山

Fig. 7 The ranking of hourly precipitations and their accumulations

from 09:00 BT 17 to 08:00 BT 23 July 2021

(a) Zhengzhou Station, (b) Hebi Kechuangzhongxin Station,

(c) Zhengzhou Baizhai Station, (d) Xinxiang Fenghuangshan Station

4 强降水中心时空演变特征

上文分析指出,总降水量前十的代表性气象站的降水变化显示暴雨过程主要经历了3个时段。进一步对河南省2373个站的逐小时降水量进行统计,得到全省短时强降水的时间变化特征(图8)。研究时段内144个时次共发生6676个站次的短时强降水,平均每个时次有46.4个站。整个过程有多个短时强降水站点数峰值,最多短时强降水站点出现在20日14时,共有151个站降水强度超过 $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。7月20日17时仅有74个站发生短时强降水,但是该时刻郑州国家站发生了 $201.9 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的超强降水。

为了详细了解强降水中心的空间移动、合并等演变特征,将站点降水量插值到格点进而绘制出纬度-时间和经度-时间剖面图(图9)。由图9a可见,7月17日上午,河南南部和北部有零星降水,强度较小,17日下午到夜间只有南部有降水。18日上午降水面积增大,从南到北均有强降水发生,其中河南北部降水在18日下午加强,但到了19日中午又逐渐

减弱消失。河南中部(34.5°N 附近)的强降水从19日中午开始出现,19日夜間进一步增强,20日中午到夜间是降水最强时段,也就是在该时段郑州市区遭遇了严重洪涝灾害,降水强度突破历史极值。21日凌晨开始,强降水中心分别向南北两侧有所转移,21日中午,强降水中心北移,南部降水减弱,河南北部的新乡鹤壁等地强降水一直持续到22日下午(图9a)。经度-时间剖面图显示(图9b),强降水中心

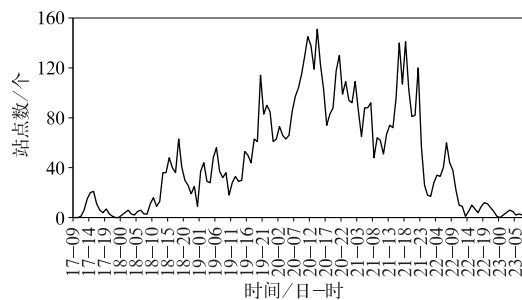


图8 2021年7月17日09时至23日08时河南省发生短时强降水($\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)站点数

Fig. 8 Number of stations with flash heavy rain ($\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$) in Henan Province from 09:00 BT 17 to 08:00 BT 23 July 2021

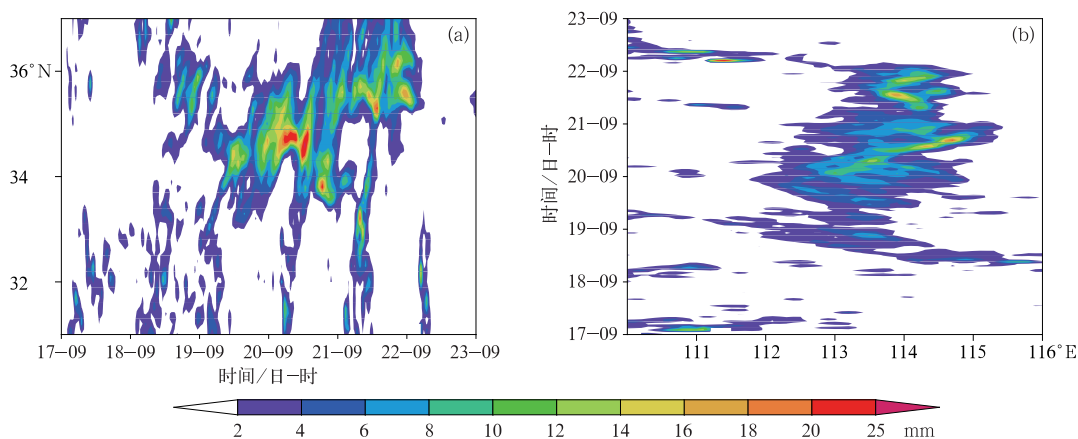


图 9 2021 年 7 月 17 日 09 时至 23 日 08 时逐时降水量的(a)纬度-时间($113^{\circ}\sim 114.5^{\circ}\text{E}$ 平均)和(b)经度-时间($34^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$ 平均)剖面

Fig. 9 (a) Latitude-time ($113^{\circ}\sim 114.5^{\circ}\text{E}$) averaged and (b) longitude-time ($34^{\circ}\sim 37^{\circ}\text{N}$) averaged cross-section of hourly precipitation from 09:00 BT 17 to 08:00 BT 23 July 2021

的东西向摆动不太明显,大范围暴雨的起止时间是从 18 日下午到 22 日下午。

5 结 论

河南“21·7”特大暴雨是继“75·8”特大暴雨之后的又一次历史罕见极端降水过程,本文主要基于河南全省 2 373 个站点降水数据进行统计分析,主要结论如下:

(1)“21·7”特大暴雨过程持续时间长(7 月 17—22 日),6 天累计降水量平均达到 $219.05\text{ mm}\cdot\text{站}^{-1}$,有 155 个站超过 600 mm。全省 32.5% 面积(5.43 万 km^2)累计过程降水量大于 250 mm,超过“75·8”过程的 3.45 万 km^2 。强降水主要有 3 个时段(18 日 15 时至 19 日 04 时、19 日 09 时至 21 日 08 时、21 日 09 时至 22 日 14 时),最大降水时段发生在 19—21 日,降水落区主要集中在豫中北地区,位于太行山东南侧、伏牛山东北侧。

(2)共计 1514 个站出现至少 1 个时次的短时强降水($\geq 20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$),短时强降水总量的空间分布与总降水量基本一致,大值中心分别位于郑州、新乡和鹤壁等地。短时强降水贡献率的大值区比较分散,其中郑州、鹤壁、洛阳、许昌、南阳和信阳等地部分站点超过 70%。强降水中心时空演变特征表现出南北位置的摆动,20 日中午到夜间集中在河南中部,21 日中午集中在河南北部,东西向摆动不明显。

(3)此次持续性暴雨过程的极端性具有显著的局地特征,且突发性强。郑州国家站 7 月 20 日 17 时 1 h 降水量达 201.9 mm,超过“75·8”过程,并打

破全国国家站历史纪录。3 h 和 6 h 最大降水量均发生在郑州尖岗水库附近。郑州国家站 7 月总降水量高达 902.0 mm,约是近 70 年历史平均值的 6 倍。

参考文献

- 陈炯,郑永光,张小玲,等,2013. 中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其与中尺度对流系统日变化关系分析[J]. 气象学报,71(3):367-382. Chen J, Zheng Y G, Zhang X L, et al, 2013. Analysis of the climatological distribution and diurnal variations of the short-duration heavy rain and its relation with diurnal variations of the MCSs over China during the warm season[J]. Acta Meteor Sin, 71(3):367-382(in Chinese).
- 陈相甫,赵宇,2021. 冷涡背景下东北地区短时强降水统计特征[J]. 高原气象,40(3):510-524. Chen X F, Zhao Y, 2021. Statistical analysis on hourly heavy rainfall in Northeast China induced by cold vortices[J]. Plateau Meteor, 40(3):510-524(in Chinese).
- 蔡芾宁,陈涛,湛芸,等,2022. 对流层高层冷涡对“21·7”河南持续性极端暴雨影响分析[J]. 气象,48(5):545-555. Cai X N, Chen T, Chen Y, et al, 2022. Dynamic impact of upper tropospheric cold low on persistent extreme rainstorm of Henan during 17—22 July 2021[J]. Meteor Mon, 48(5):545-555(in Chinese).
- 丁一汇,2015. 论河南“75.8”特大暴雨的研究:回顾与评述[J]. 气象学报,73(3):411-424. Ding Y H, 2015. On the study of the unprecedented heavy rainfall in Henan Province during 4—8 August 1975: review and assessment[J]. Acta Meteor Sin, 73(3):411-424(in Chinese).
- 高荣,宋连春,钟海玲,2018. 2016 年汛期中国降水极端特征及与 1998 年对比[J]. 气象,44(5):699-703. Gao R, Song L C, Zhong H L, 2018. Characteristics of extreme precipitation in China during the 2016 flood season and comparison with the 1998 situation[J]. Meteor Mon, 44(5):699-703(in Chinese).
- 栗哈,王新敏,张霞,等,2018. 河南“7·19”豫北罕见特大暴雨降水特征及极端性分析[J]. 气象,44(9):1136-1147. Li H, Wang X M,

- Zhang X, et al, 2018. Analysis on extremity and characteristics of the 19 July 2016 severe torrential rain in the north of Henan Province[J]. Meteor Mon, 44(9): 1136-1147(in Chinese).
- 梁钰, 乔春贵, 董俊玲, 2020. 近34年河南首场暴雨时空分布特征及环流背景分析[J]. 气象与环境科学, 43(2): 26-32. Liang Y, Qiao C G, Dong J L, 2020. Spatial-temporal distribution and impact analysis of the first rainstorm in Henan Province over the recent 34 years[J]. Meteor Environ Sci, 43(2): 26-32(in Chinese).
- 鲁坦, 徐文明, 俞小鼎, 等, 2017. 2003—2014年河南春季暴雨特征及影响系统分析[J]. 气象与环境科学, 40(2): 92-99. Lu T, Xu W M, Yu X D, et al, 2017. Analysis of characteristics and influence systems on spring rainstorm in Henan during 2003—2014[J]. Meteor Environ Sci, 40(2): 92-99(in Chinese).
- 毛冬艳, 曹艳察, 朱文剑, 等, 2018. 西南地区短时强降水的气候特征分析[J]. 气象, 44(8): 1042-1050. Mao D Y, Cao Y C, Zhu W J, et al, 2018. Climatic characteristics of short-time severe precipitation in Southwest China[J]. Meteor Mon, 44(8): 1042-1050(in Chinese).
- 钱忠华, 周前进, 刘莉, 等, 2020. 中国东部雨季降水事件的静默时间特征及内在动力学机制初探[J]. 气象学报, 78(6): 914-927. Qian Z H, Zhou Q J, Liu L, et al, 2020. A preliminary study on the characteristics of quiet time and intrinsic dynamic mechanism of precipitation events in the rainy season in eastern China[J]. Acta Meteor Sin, 78(6): 914-927(in Chinese).
- 冉令坤, 李舒文, 周玉淑, 等, 2021. 2021年河南“7·20”极端暴雨动、热力和水汽特征观测分析[J]. 大气科学, 45(6): 1-18. Ran L K, Li S W, Zhou Y S, et al, 2021. Observational analysis of the dynamic, thermal, and water vapor characteristics of the “7·20” extreme rainstorm event in Henan Province, 2021[J]. Chin J Atmos Sci, 45(6): 1-18(in Chinese).
- 苏爱芳, 席乐, 吕晓娜, 等, 2022. 豫北“21·7”极端暴雨过程特征及成因分析[J]. 气象, 48(5): 556-570. Su A F, Xi L, Lyu X N, et al, 2022. Analysis on characteristics and causes of the July 2021 extreme rainstorm in Northern Henan[J]. Meteor Mon, 48(5): 556-570(in Chinese).
- 孙跃, 肖辉, 杨慧玲, 等, 2021. 基于遥感数据光流场的2021年郑州“7·20”特大暴雨动力条件和水凝物输送特征分析[J]. 大气科学, 45(6): 1-16. Sun Y, Xiao H, Yang H L, et al, 2021. Analysis of dynamic conditions and hydrometeor transport of Zhengzhou superheavy rainfall event on 20 July 2021 based on optical flow field of remote sensing data[J]. Chin J Atmos Sci, 45(6): 1-16(in Chinese).
- 王婧羽, 李哲, 汪小康, 等, 2019. 河南省雨季短时强降水时空分布特征[J]. 暴雨灾害, 38(2): 152-160. Wang J Y, Li Z, Wang X K, et al, 2019. Temporal and spatial distribution characteristics of flash heavy rain in Henan during rainy season[J]. Torr Rain Dis, 38(2): 152-160(in Chinese).
- 汪小康, 崔春光, 王婧羽, 等, 2022. “21·7”河南特大暴雨水汽和急流特征诊断分析[J]. 气象, 48(5): 533-544. Wang X K, Cui C G, Wang J Y, et al, 2022. Diagnostic analysis on water vapor and jet characteristics of the July 2021 severe torrential rain in Henan Province[J]. Meteor Mon, 48(5): 533-544(in Chinese).
- 肖蕾, 杜小玲, 武正敏, 等, 2021. 贵州省短时强降水时空分布特征分析[J]. 暴雨灾害, 40(4): 383-392. Xiao L, Du X L, Wu Z M, et al, 2021. Temporal and spatial distribution characteristics of short-time heavy rainfall in Guizhou Province[J]. Torr Rain Dis, 40(4): 383-392(in Chinese).
- 俞小鼎, 2013. 短时强降水临近预报的思路与方法[J]. 暴雨灾害, 32(3): 202-209. Yu X D, 2013. Nowcasting thinking and method of flash heavy rain[J]. Torr Rain Dis, 32(3): 202-209(in Chinese).
- 张芳华, 陈涛, 张芳, 等, 2020. 2020年6—7月长江中下游地区梅汛期强降水的极端性特征[J]. 气象, 46(11): 1405-1414. Zhang F H, Chen T, Zhang F, et al, 2020. Extreme features of severe precipitation in Meiyu period over the middle and lower reaches of Yangtze River Basin in June—July 2020[J]. Meteor Mon, 46(11): 1405-1414(in Chinese).
- 周璇, 孙继松, 张琳娜, 等, 2020. 华北地区持续性极端暴雨过程分类特征[J]. 气象学报, 78(5): 761-777. Zhou X, Sun J S, Zhang L N, et al, 2020. Classification characteristics of continuous extreme rainfall events in North China[J]. Acta Meteor Sin, 78(5): 761-777(in Chinese).
- Chen Y, Liao Z, Shi Y, et al, 2021. Detectable increases in sequential flood-heatwave events across China during 1961—2018[J]. Geophys Res Lett, 48(6): e2021GL092549.
- Li H Q, Cui X P, Zhang D L, 2017. A statistical analysis of hourly heavy rainfall events over the Beijing Metropolitan Region during the warm seasons of 2007—2014[J]. Int J Climatol, 37(11): 4027-4042.
- Li W, Jiang Z H, Zhang X B, et al, 2018. Additional risk in extreme precipitation in China from 1.5°C to 2.0°C global warming levels[J]. Sci Bull, 63(4): 228-234.
- Luo Y L, Gong Y, Zhang D L, 2014. Initiation and organizational modes of an extreme-rain-producing mesoscale convective system along a Mei-Yu front in East China[J]. Mon Wea Rev, 142(1): 203-221.
- Qin P H, Xie Z H, Zou J, et al, 2021. Future precipitation extremes in China under climate change and their physical quantification based on a regional climate model and CMIP5 model simulations[J]. Adv Atmos Sci, 38(3): 460-479.
- Wu J, Han Z Y, Xu Y, et al, 2020. Changes in extreme climate events in China under 1.5°C—4°C global warming targets: projections using an ensemble of regional climate model simulations[J]. J Geophys Res Atmos, 125(2): e2019JD031057.
- Zhai P M, Zhang X B, Wan H, et al, 2005. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. J Climate, 18(7): 1096-1108.
- Zhong L Z, Mu R, Zhang D L, et al, 2015. An observational analysis of warm-sector rainfall characteristics associated with the 21 July 2012 Beijing extreme rainfall event[J]. J Geophys Res Atmos, 120(8): 3274-3291.

(本文责编:何晓欢)