

福建省极端持续性强降水的时空特征分析

邱子健

福建省龙岩市气象局

DOI:10.12238/as.v8i7.3169

[摘要] 极端持续性强降水(Extremely Persistent Heavy Rainfall, EPHR)具有降雨强度大、持续时间长、可引起破坏性自然灾害等特点。本文利用2008–2019年福建省区域自动站逐时降水数据,研究了福建地区的EPHR时空分布特征。结果表明,EPHR具有快长慢消的特征。空间分布为沿武夷山脉和海岸的双雨带特征,这与对流的触发和地形抬升机制有关。多发于7–9月,呈现午后和夜间双峰型特征。

[关键词] 极端持续性强降水; 双雨带; 日变化; 台风

中图分类号: P458.1+24 **文献标识码:** A

#Analysis of Temporal and Spatial Characteristics of Extremely Persistent Heavy Rainfall in Fujian Province

Zijian Qiu

Longyan Meteorological Bureau of Fujian Province

[Abstract] Extremely Persistent Heavy Rainfall (EPHR) is characterized by high rainfall intensity, long duration, and the potential to cause destructive natural disasters. This paper uses the hourly precipitation data from the regional automatic stations in Fujian Province from 2008 to 2019 to study the temporal and spatial distribution characteristics of EPHR in the Fujian region. The results show that EPHR has the feature of rapid growth and slow dissipation. The spatial distribution shows a double – rain – belt feature along the Wuyi Mountains and the coast, which is related to the triggering of convection and the orographic lifting mechanism. It occurs frequently from July to September and presents a bimodal feature in the afternoon and at night.

[Key words] Extremely Persistent Heavy Rainfall; double rain belts; diurnal variation

引言

受东亚夏季风和复杂地形的影响,中国是强降水事件的高发区,全球气候变化导致了更频繁、更严重的暴雨事件,并导致洪水和城市内涝等灾害,防灾和减灾更具挑战性^[1]。而极端持续性强降水常引发致洪暴雨,与短时强降水相比,具有更长的持续时间,也更易造成洪涝等自然灾害^[2]。

持续强降水一般是指连续持续数天以上,且日累积降水达到一定阈值的降水事件。Tang等人^[3]综合考虑了中国持续强降雨事件的强度、范围和持续时间,总结了持续强降雨事件的时空分布和天气背景。持续强降雨事件往往与稳定的大尺度环流异常有关,大尺度环流异常使冷暖气流持续向某一区域汇聚,从而导致持续暴雨^[4]。Chen等人^[5]提出了日尺度的持续极端降水事件,建立了区域持续极端降水事件识别方法。研究发现,江淮流域是持续极端降水事件的高发区,其维持与中高纬度地区的阻塞高压密切相关。当乌拉尔山脉和鄂霍次克海出现阻塞高时,贝加尔湖附近出现低压槽,在西太平洋副热带高压和夏季风的有利条件下,低槽带来的冷空气和来自南方的暖湿空气在江

淮流域不断汇聚,支持了持续极端降水事件的发生^[2,6]。大气遥相关(如ENSO)的稳定和维持也会引起大气环流异常,从而导致持续的强降雨事件^[7]。中国华南地区的持续性极端降水事件(Extremely Persistent Heavy Rainfall, EPHR)的持续时间占比虽然只占降水过程的40%,但是却贡献了超过3/4的降水量^[8]。

福建省是强降水的高发区,受地形、季风热带系统、副热带高压边缘等多方面因素影响,极端降水表现更为突出^[9,10]。但是对致灾更严重的持续性极端降水事件缺乏系统性的研究。本文使用福建省近十年(2008–2019年)自动站观测数据统计分析福建省EPHR的时空变化特征,并进一步分析其演变特征,采用经验正交分解方法对其进行时空特征分析,并讨论台风对其触发和维持的影响。

1 数据与方法

1.1 福建省区域自动站逐小时降水数据和热带气旋最佳路径数据集

本文采用降水观测数据为福建省2008–2019年气象站的逐小时降水数据。热带气旋最佳路径数据集来自中国气象局上海

台风研究所^[11](<https://tcdata.typhoon.org.cn/>), 该数据集包含研究时段内西北太平洋海域热带气旋每6小时的位置和强度。

1.2 极端持续性强降水的定义

本文采用Zhang等^[8]提出的EPHR的定义, 我们考虑了以下几个问题:

(a) 当小时降水 $\geq 20\text{mm}$ 时, 即定义该站点出现一次短时强降水(Short-duration Heavy Rainfall, SHR)。

(b) SHR的持续时间超过2小时, 定义该站点出现持续性强降水(Persistent Heavy Rainfall, PHR)。从降水 $\geq 20\text{mm}$ 到最终降水 $\leq 20\text{mm}$ 的时间定义为强降水的持续时间(Duration of Heavy Rain, DHR)。表1展示了不同持续时间的PHR的频率, 2008–2019年福建省共发生PHR14655次。

(c) 我们采用百分位法来计算持续时间的阈值。我们取第95百分位数作为极端持续时间阈值(本文中第95百分位为4h), 表1显示阈值为5小时。本文使用的“极端”一词指的是强降水持续时间的极端性。在本文研究中我们考虑了生长时间、消亡时间、频次、持续时间、累积降水量等指标。

2 主要结论

2.1 EPHR的基本特征

2008–2019年4月至9月, 福建省共发生524起EPHR。每次事件的持续时间频率分布如图2所示, 持续时间为12小时的EPHR发生率最高, 共283例。随着持续时间的增加, 相应事件的发生频率相应降低, 占有强降水事件的0.05%。EPHR的持续时间范围为5–45h, 基本服从伽马分布, 最常见的持续时间为12h(图1a)。平均持续时间为16.9h, 80%的DR值集中在9–28h之间(图1b)。

Zhang等人^[8]的研究表明, 华南地区的EPHR的降水过程具有明显的不对称性, 即降水达到峰值所需的时间短于从峰值到事件结束的时间。且降水强度越强, 不对称性越明显。本文将降水发生到达到强降雨标准定义的时间称为增长时间($GT=TH-TS$), 从强降雨结束到降水结束的时间称为消亡时间($FT=TES-TE$)。结果表明, 整个降水过程是不对称的(图2), 增长时间平均9.68小时, 而消亡时间平均为11.82小时, 生长过程比衰落过程短2小时左右。因此, EPHR事件可迅速达到峰值或强降雨阶段, 而减弱过程则需要较长的时间。

2.2 空间分布特征

图3a展示了2008至2019年所有EPHR的累积降水量的空间分布, 也反映了降雨强度和发生频率的综合影响。分布呈现东西双雨带的特征, 武夷山脉东麓和沿海地区的累积降水量最多。几乎整个海岸线都有EPHR的发生, 但在内陆地区主要有闽西和闽中两个中心, 闽西北鲜有EPHR发生。尽管闽西北地区的纬度地形特征与其他地区相似, 但是仅在靠近武夷山脉东侧的部分地区有零星的事件发生。双雨带的分布于黄美金等^[12]在福建暖区暴雨的研究类似, 在海岸的分布与Bai等^[13]发现的对流初生(convection initiation, CI)的热点分布相似。

频率的空间分布与累积降水的空间分布有很好的对应关

系。发生频率较高的区域主要分布在海岸线附近, 靠近海岸线的陆海边界区域和地形对持续性强降水具有促进和触发作用^[2,14]。此外, 夏季偏南风在进入汛期以后开始活跃, 将大量热带暖湿空气从海洋输送到东南沿海^[15], 结合地形的阻塞和抬升作用, 也促进了EPHR的发生。

2.3 季节变化和日变化特征

在讨论EPHR的季节变化和日变化时, 本文统计降水小时数的分布特征。图4a所示, 极端持续强降水的出现主要集中在7月至9月, 其中8月出现频率最高(948小时), 4月出现频率最低(25小时)。SHR事件(图4b)趋势与EPHR一致, 7至9月的总降水时数均在7000次以上。EPHR主要发生在后汛期, 即台风汛期, 前汛期以短时强降水为主。采用EOF分解对2008至2019年EPHR的累积降水量的距平序列进行分析, 前两个模态的方差贡献率分别为32.96%和25.67%, 且均通过了North检验(图中未显示)。结果显示2015和2016年为EPHR的高发年份, 该年份出现了“苏迪罗”和“莫兰蒂”等多个超强台风, 且在福建登陆, 引发了大范围的大暴雨到特大暴雨, EPHR的范围、雨量等与台风的路径、强度等有关。

EPHR具有明显的日变化特征。于太阳辐射日变化的影响, 低层大气的不稳定性在下午增强, 导致强对流活动增加, 强降水的发生频率在18时和3时达到峰值, 呈现午后和夜间双峰型特征(图4a、b), SHR和EPHR具有相似的日变化特征, 这与以往研究发现的华南地区的单峰结构的EPHR有所不同^[8]。夜间强降水的发生和维持可能与陆海风^[7]、夜间低空急流加速^[16]有关。此外, 边界层非地转风气流的惯性振荡也可能对极端持续强降水起到关键促进作用^[8]。

3 总结与讨论

基于2008–2019年4至9月福建省区域自动站降水数据, 采用百分点相对阈值法将EPHR定义为持续时间超过4小时且小时降水大于 20mm/h 的强降水事件。研究了EPHR的发生发展等基本特征; 其次分析了空间分布和季节变化、日变化特征。结论如下:

(1) EPHR的持续时间范围为5–25h, 平均持续时间为16.9h, 80%集中在9–28h之间。其增长与消亡事件不对称, 具有快长慢消的特征。

表1 不同持续时间的持续强降雨(PHR)的频率。百分比(%)表示PHR占总数的比例, 发生阈值是指不同持续时间PHR首次发生的百分位数。5小时PHR的发生阈值首先超过95百分位数, 因此定义为极端持续性强降雨。

持续时间	2h	3h	4h	5h	6h	$\geq 7\text{h}$
频次	10148	3010	972	283	124	117
百分比	69.25%	20.54%	6.63%	1.93%	0.85%	0.78%
发生阈值	0	69.25%	89.79%	96.42%	98.35%	99.19%

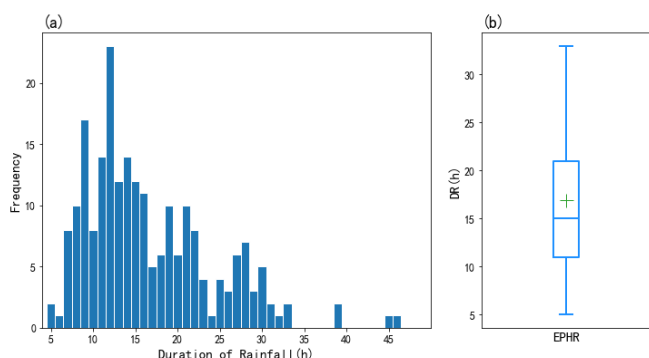


图1 (a) EPHR的降雨持续时间的频率分布直方图和(b)箱线图。(b)中框内的短线表示中位数, 框的顶部和底部表示四分位数范围

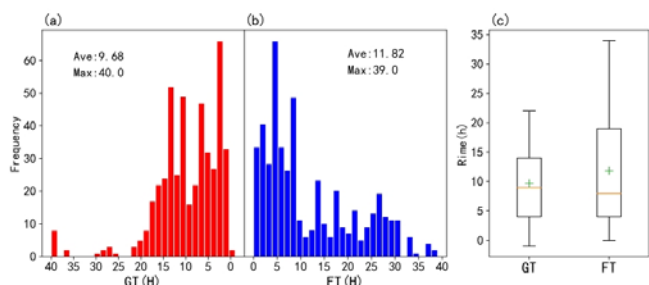


图2 (a) EPHR的降雨持续时间的频率分布直方图和(b)箱线图。(b)中框内的短线表示中位数, 框的顶部和底部表示四分位数范围

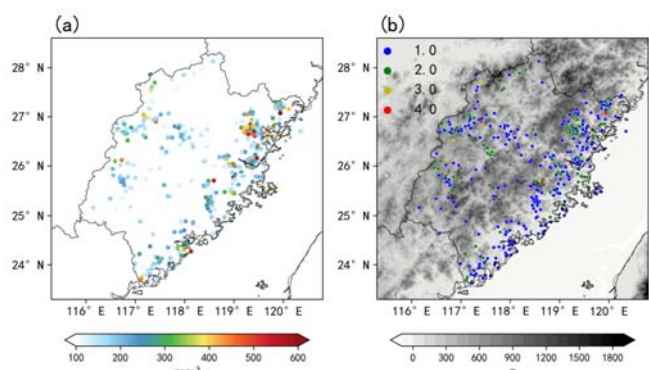


图3 EPHR的(a)累计雨量和(b)频次的空间分布, (b)中填色为海拔高度

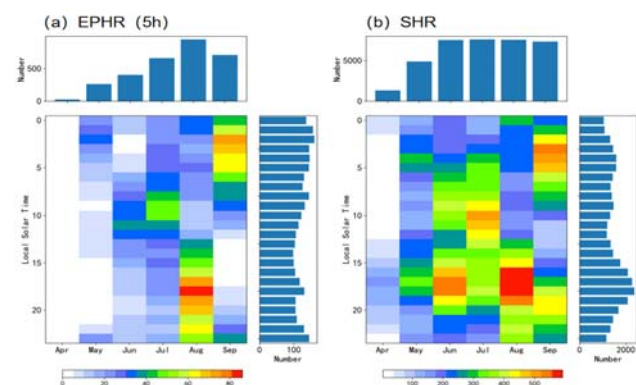


图4 (a) EPHR和(b)SHR频次的月变化和日变化分布图

(2) 空间分布为沿武夷山脉和海岸线的双雨带特征, 这与对流的触发和地形抬升机制有关。EPHR多发生于7-9月, 强降水的发生频率在18时和3时达到峰值, 呈现午后和夜间双峰型特征。

【参考文献】

[1] Zhang Q, Zheng Y, Singh V P, et al. Summer extreme precipitation in eastern China: Mechanisms and impacts[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2017, 122(5): 2766-2778.

[2] Wu M, Luo Y. Mesoscale observational analysis of lifting mechanism of a warm-sector convective system producing the maximal daily precipitation in China mainland during pre-summer rainy season of 2015[J]. Journal of Meteorological Research, 2016, 30(5): 719-736.

[3] Tang Y, Gan J, Zhao L, et al. On the climatology of persistent heavy rainfall events in China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2006, 23(5): 678-692.

[4] Lau W, Kim K. The 2010 Pakistan Flood and Russian Heat Wave: Teleconnection of Hydrometeorological Extremes[J]. Journal of Hydrometeorology, 2012, 13: 392-403.

[5] Chen Y, Zhai P. Persistent extreme precipitation events in China during 1951-2010[J]. Climate Research, 2013, 57: 143-155.

[6] Chen Y, Zhai P. Two types of typical circulation pattern for persistent extreme precipitation in Central-Eastern China[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2014, 140(682): 1467-1478.

[7] Chen Y, Zhai P. Synoptic-scale precursors of the East Asia/Pacific teleconnection pattern responsible for persistent extreme precipitation in the Yangtze River Valley[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2015, 141(689): 1389-1403.

[8] Zhang C, Huang X, Fei J, et al. Spatiotemporal Characteristics and Associated Synoptic Patterns of Extremely Persistent Heavy Rainfall in Southern China[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2021, 126(1).

[9] 刘爱鸣, 何小宁, LIU Ai-ming, 等. 1209号台风“苏拉”登陆福建后垂直结构和暴雨落区关系[J]. 应用海洋学学报, 2015(4): 451-458.

[10] 吴启树, 郑颖青, 沈新勇, 等. 福建一次秋季大范围暴雨成因分析[J]. 气象科学, 2010, 30(1): 6.

[11] Ying M, Zhang W, Yu H, et al. An Overview of the China Meteorological Administration Tropical Cyclone Database[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2014, 31(2): 287-301.

[12] 黄美金, 刘铭, 郭弘, 等. 福建省南移类与北抬类跑线中尺度模态与环境场条件特征分析: 2018年全国重大天气过程总结

和预报技术经验交流会[C],2018.

[13]Bai L,Chen G,Huang L.Convection Initiation in Monsoon Coastal Areas (South China)[J].Geophysical Research Letters,2020,47(11):e2020GL087035.

[14]Liu X,Luo Y,Guan Z,et al.An Extreme Rainfall Event in Coastal South China During SCMRX-2014: Formation and Roles of Rainband and Echo Trainings[J].Journal of Geophysical Research: Atmospheres,2018,123(17):9256-9278.

[15]Liu H,Huang X,Fei J,et al.Characteristics and Prelimin

ary Causes of Extremely Persistent Heavy Rainfall Generated by Landfalling Tropical Cyclones Over China[J].Earth and Space Science,2022,9(4).

[16]Du Y,Chen G.Heavy Rainfall Associated with Double Low-Level Jets over Southern China. Part I: Ensemble-Based Analysis[J].Monthly Weather Review, 2018,146(11):3827-3844.

作者简介:

邱子键(1995--),汉族,福建长汀人,硕士研究生,助理工程师,研究方向:灾害性天气的预报预警技术。