

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20222010

广东省山洪时空特征与诱发因子解析

杨帆¹, 康亚静², 王乾³, 马美红⁴, 刘荣华⁵

(1. 广东省防汛保障与农村水利中心, 广东 广州 510635; 2. 中国南水北调集团水务投资有限公司, 北京 100036;
3. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 4. 天津师范大学地理与环境科学学院,
天津 300387; 5. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 分析山洪灾害的时空分布特征对于山洪防治至关重要。以广东省为例, 首先整理 2017~2021 年广东省历史山洪灾害资料, 利用标准差椭圆、核密度等方法, 分析其时空特征, 进而探讨诱发因子的复杂交互关系。结果表明, 山洪灾害共发生 79 起, 主要集中在 5~6 月, 时间分布不均。山洪灾害空间分布格局呈“东西分散”、“南北集聚”, 其中北部的河源市、韶关市和梅州市属于山洪灾害高发区。短历时强降水是山洪灾害发生最主要的驱动因素, 地形、植被覆盖及土地利用的影响也很显著。研究结果可为广东省山洪灾害防治提供参考。

关键词: 山洪灾害; 时空特征; 影响因素; 广东省

中图分类号: TV122

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)09-0081-04

1 概况

广东省是我国大陆最南端的省份, 属于典型的季风区, 南部为平原三角洲, 中部为丘陵, 北部为山地, 陆地总面积的 3/5 为山地丘陵区, 海拔最高处为韶关、茂名等地。广东省降水时空分布不均匀, 全省年平均降水量为 1 777 mm, 降水春夏多, 秋冬少, 南多北少。暴雨时常诱发洪涝、泥石流等灾害, 严重影响了社会经济发展和人们的生产生活^[1]。广东省经济总量位居全国前列, 借助于粤港澳大湾区建设这一历史机遇, 广东省将获得快速发展。因此, 研究广东地区山洪灾害极其重要。基于广东省 2017~2021 年历史山洪灾害数据, 分析其时空变化特征; 在此基础上, 探究致灾因子对山洪分布的影响, 以期为广东省山洪灾害防治提供参考。

2 数据与方法

2.1 数据来源

灾害数据主要来源于中国气象局, 从广东省

2017~2021 年山洪灾害事件中选取 79 起。其他基础数据类型及获取方式见表 1。

表 1 基础数据与来源

Tab. 1 Basic data and sources

| 名称 | 格式 | 来源 |
|------------|-----|------------------|
| DEM 数字高程数据 | tif | 地理空间数据云 |
| 土地利用类型 | shp | 中国科学院资源与环境科学数据中心 |
| 广东省区划矢量数据 | shp | 国家地球系统科学数据中心 |

2.2 研究方法

标准差椭圆的变化可用来描述空间点数据的空间分布变化。本文主要采用标准差椭圆识别山洪灾害的空间分布特征, 揭示山洪中心的位移趋势。平均中心主要表征空间数据集合的中心位置及其移动变化。利用山洪平均中心研究山洪灾害的移动变化过程, 公式表述为:

$$\begin{cases} \bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N} \\ \bar{Y} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{N} \end{cases} \quad (1)$$

式中, \bar{X} 、 \bar{Y} 分别为平均中心处理后的经、纬度; X_i 、 Y_i 分别为山洪事件 i 的经、纬度坐标; N 为山洪灾害总发生次数。

收稿日期: 2022-09-26, 修回日期: 2022-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(42101086, 42271095); 中国水科院基本科研业务费专项(JZ110145B0012021)

作者简介: 杨帆(1981-), 男, 硕士、高级工程师, 研究方向为山洪灾害防治及水利水电信息化, E-mail: 75513404@qq.com

通讯作者: 马美红(1987-), 女, 博士、讲师, 研究方向为山洪灾害预警预报, E-mail: mamh@tjnu.edu.cn

核密度估计利用离散点计算生成连续的密度表面,以反映离散点在空间的疏密情况。计算公式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (2)$$

式中, $f(x)$ 为核函数; n 为带宽内像元数; h 为带宽; K 为核函数; $x - X_i$ 为估计点到样本 X_i 处的距离。

当 h 增加时,核密度曲面变平滑, h 减小时,核密度曲面变凹凸。

3 广东省山洪灾害时空分布规律

3.1 广东省山洪灾害时间分布特征

3.1.1 年内变化特征(月际特征)

广东省 2017~2021 年山洪灾害年内分布见图 1。山洪灾害共发生 79 起,其中 92.4% 主要集中在 4~9 月;尤其 6 月山洪灾害发生次数高达 33 起,占比 41.8%,因此山洪灾害主要集中于夏、秋两季。

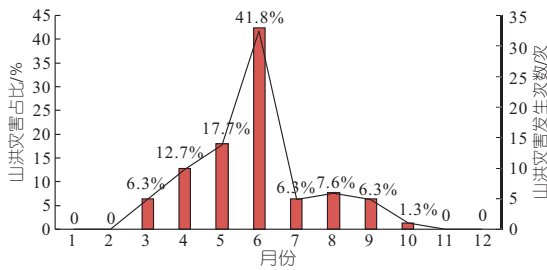


图 1 广东省山洪灾害年内变化情况

Fig. 1 Annual changes of flash flood disasters in Guangdong Province

3.1.2 年际变化特征

广东省平均每年发生约 15.8 起山洪灾害事件,年际变化见图 2。2019 年山洪灾害次数最多,这主要因为 2019 年广东省出现大范围暴雨,导致山洪灾害明显多于其他年份。2021 年山洪灾害次数为五年中最少,主要由于当年登陆广东的台风较少,且受拉尼娜现象的影响,降水显著偏少。

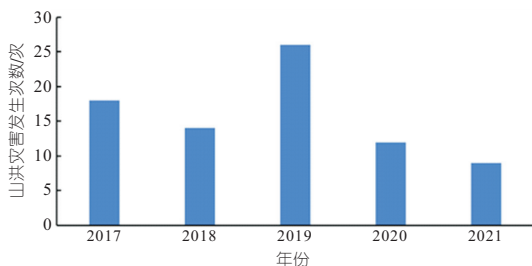


图 2 广东省山洪灾害年际变化

Fig. 2 Inter-annual variation of flash flood disasters in Guangdong Province

3.2 广东省山洪灾害空间分布特征

3.2.1 各市山洪灾害分布

统计广东省各市山洪灾害发生情况可知,2017~2021 年,除沿海地区(如汕头市、汕尾市等)未发生山洪灾害外,其他各市均发生过山洪灾害事件,其中韶关市(18 次)最多,平均每年发生 3.6 次。从山洪灾害发生密度看,平均为 4.4 次/10⁴ km²,但多个市均远高于该值,如韶关市大于 10 次/10⁴ km²,河源市和梅州市大于 7 次/10⁴ km²。利用 ArcGIS 软件将山洪灾害次数划分为低、中、高风险三级,得到广东省各市山洪灾害发生次数分级见图 3。山洪灾害分布具有明显的凝聚性,主要集中于广东省北部如梅州、韶关等地,而位于南部的深圳、汕头等地发生山洪灾害的频率较低。

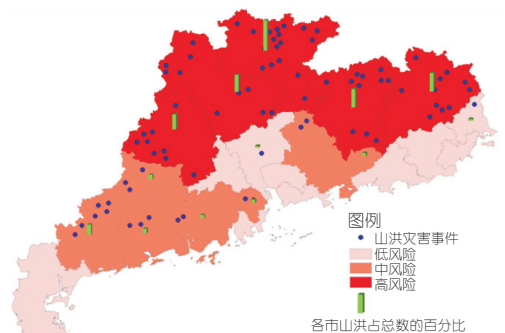


图 3 广东省各市山洪灾害发生频次及占比

Fig. 3 Frequency and proportion of flash flood disasters in various cities in Guangdong Province

3.2.2 方向分布特征

由于山洪灾害具有明显的空间离散分布,首先利用 ArcGIS 得到 2017~2021 年各年的标准差椭圆参数,结果见表 2、图 4。由图 4 可知,在空间上,广东省山洪灾害分布格局为“东西分散,南北聚集”,其中 2018、2020、2021 年的椭圆方向角变化范围为 84°~90°,差别很小且长轴和短轴接近,说明山洪灾害分布差距较小。2017、2019 年的椭圆方位角分别为 62°、67°,椭圆的长轴增加了 1.0、0.5,短轴增加了 0.1、0.2,表明这两年山洪灾害分布范围扩大,密度降低。结合表 2,山洪发生的中心在 113°9'E~114°30'E, 23°28'N~

表 2 标准差椭圆参数变化

Tab. 2 Variation of standard deviation ellipse parameters

| 年份 | 经纬度 / (°) | 椭圆方向角 / (°) | x 轴长度 / km | y 轴长度 / km |
|------|---------------|-------------|------------|------------|
| 2017 | 113.42, 23.48 | 67.29 | 3.19 | 0.88 |
| 2018 | 113.85, 24.29 | 90.10 | 2.06 | 0.80 |
| 2019 | 113.16, 23.78 | 62.50 | 2.49 | 1.03 |
| 2020 | 113.89, 24.38 | 86.46 | 1.77 | 0.98 |
| 2021 | 114.51, 24.13 | 84.42 | 1.98 | 0.68 |

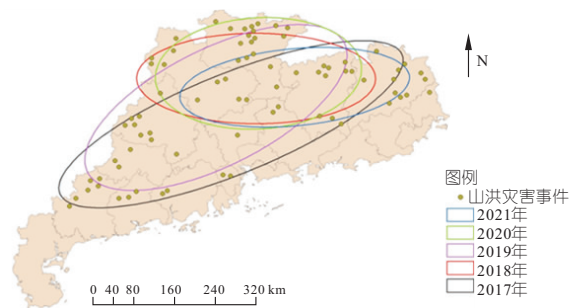


图 4 广东省各年山洪灾害标准差椭圆

Fig. 4 Standard deviation ellipse of flash flood disasters in Guangdong Province

24°22'N 间(主要为韶关市)变化,无明显位移,说明广东省各年的灾害中心无显著改变。

3.2.3 核密度分析

广东省山洪灾害核密度分布见图 5。高密度主要分布在北部山地丘陵区,可能由于短时间内

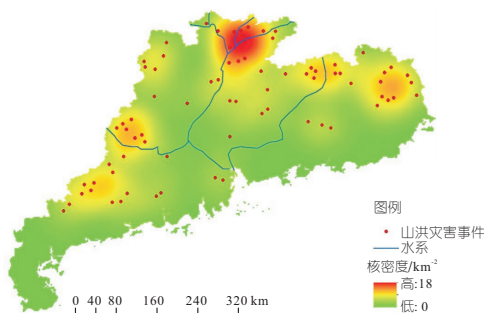


图 5 广东省历史山洪灾害核密度

Fig. 5 The nuclear density of historical flash flood disasters in Guangdong Province

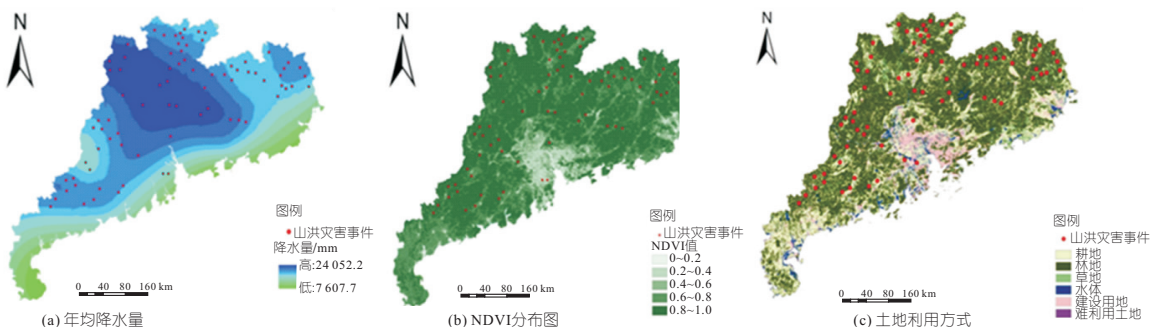


图 6 广东省年均降水量、NDVI、土地利用方式分布图

Fig. 6 Distribution map of annual average precipitation, NDVI, and land use patterns in Guangdong Province

不同土地利用方式是影响山洪形成的重要条件。由于山地丘陵区耕地会破坏植被,加之大多耕地选择在河流两侧,当受到强降水时,极易引发山洪。人类活动的增强改变了山区地表结构,增加了山洪发生频次。结合图 6(c),人类活动影响了土地利用类型,其中建设用地大部分集中在南部平坦地区,降水相对较少,导致山洪发生密度低。而北部山地丘陵区的建设用地集中在河谷或河流两侧,易造成水土流失,当遇到强降水尤其是暴雨后,极易诱发山洪灾害,故山洪灾害发生概率高。

的强降雨天气,加之地势起伏大,诱发了山洪灾害。位于河流上游地区的山洪灾害密度显著高于下游地区。同时,山洪灾害密度高的区域距离河流较近,如武江、锦江和浈江的交汇处为密度最高的区域。因此,河流汇合处也易诱发山洪灾害。

4 山洪灾害诱发因素

强降雨是山洪灾害爆发的直接诱因,土地利用类型、GDP、植被覆盖等因素加速了山洪灾害的形成^[2]。以下主要从降水、地形、植被覆盖度、土地利用类型四个方面分析广东省山洪致灾因素。

突发性强降雨是山洪形成的基本动力。由图 6(a)可知,广东省中部地区降水量最多,沿海地区年均降水量高于北部。主要因为中部丘陵山地的迎风坡会产生大量地形雨,而沿海地区夏季受到海洋热带气旋的影响,降水量高。北部山区虽然相较其他地区降水量少,但由于地势高易形成降水,导致其山洪灾害发生次数多,密度大。

同时,山洪灾害的形成与下垫面条件高度相关。山区发生灾害次数多于其他地区,丘陵地区次之,主要由于山区迎风坡容易形成强对流天气,促进了山洪灾害的发生。结合图 6(b)归一化植被指数(NDVI)数量特征,广东省 NDVI 较高,但在城市化水平高的地区如三角洲、城区等较低。因此,植被会增加下渗和减少径流,一定程度上减少了山洪灾害的发生。

5 结论

a. 广东省山洪灾害时空分布不均。在时间上,山洪灾害集中发生在夏、秋两季;在空间上,韶关市(18次)和河源市(11次)发生山洪灾害次数较多,共占广东省总发生次数的 36.7%;从山洪发生密度看,韶关市大于 10 次/10⁴ km²,河源市和梅州市均大于 7 次/10⁴ km²,均远高于全省平均山洪发生密度 4.4 次/10⁴ km²,属于山洪灾害

高风险区。

b. 山洪灾害空间分布格局为“东西分散,南北聚集”;2017、2019 年山洪灾害分布范围扩大,分布密度降低,其随机性和偶然性变强。

c. 地形、降雨、人类活动等致灾因子是诱发山洪的关键因素。降水尤其是短时间强降水对山洪时空分布特征影响最显著。地形高程、NDVI 及土地利用类型均是诱发山洪灾害的重要因素。

参考文献:

[1] 叶超凡,张一驰,熊俊楠,等. 湖南省山丘区小流域山洪灾害危险性评价[J]. 地球信息科学学报,2017,19(12):1593-1603.

[2] 陈宫燕,普布桑姆,次仁,等. 西藏林芝降水引发的山洪地质灾害分布特征[J]. 中国地质灾害与防治学报,2018,29(2):100-103.

Analysis of Spatiotemporal Characteristics and Inducing Factors of Flash Floods in Guangdong Province

YANG Fan¹,KANG Ya-jing²,WANG Qian³, MA Mei-hong⁴, LIU Rong-hua⁵

(1. Guangdong Flood Control Support and Rural Water Conservancy Center, Guangzhou 510635,China; 2. China South to North Water Diversion Group Water Investment Co., Ltd., Beijing 100036, China; 3. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 4. College of Geography and Environmental Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China; 5. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Analyzing the spatial and temporal distribution characteristics of flash flood disasters is crucial for flood control and prevention. Taking Guangdong Province as an example, this study first compiled historical data on flash flood disasters in Guangdong Province from 2017 to 2021. Using methods such as standard deviation ellipse and kernel density, the spatial and temporal characteristics were analyzed, and the complex interaction relationships of triggering factors were explored. The results show that there were a total of 79 flash flood disasters, mainly concentrated in May and June, with uneven temporal distribution. The spatial distribution pattern of flash flood disasters exhibited a "dispersed east and west, concentrated north and south" pattern, with the northern cities of Heyuan, Shaoguan, and Meizhou being high-risk areas for flash flood disasters. Short-duration heavy rainfall was the main driving factor for flash flood disasters, with significant influences from topography, vegetation cover, and land use. The findings of this study can provide reference for flash flood disaster prevention and control in Guangdong Province.

Key words: flash flood disaster; spatiotemporal characteristics; influencing factors; Guangdong Province

(上接第 106 页)

参考文献:

[1] 葛新峰,孙洁,吴丹,等. 基于 VOF 模型的排水渠道流动数值模拟及消能措施优化研究[J]. 水电能源科学, 2021, 39(5): 109-112.

[2] 李国杰,黄萌,陈斌. 基于 PISO 算法的非结构化网格 VOF 算法[J]. 工程热物理学报, 2013, 34(3): 476-479.

[3] 刘文,贺昌海,江维,等. 某工程溢洪道掺气水流场数值模拟研究[J]. 中国农村水利水电, 2021 (12): 181-186, 191.

Numerical Simulation of Hydraulic Characteristics and Structural Optimization of T-shaped Pier Stilling Pool

LIU Zeng-wen¹,JIN Jin^{1,2},YAN Wen-bo¹,LI Qiang¹

(1. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China; 2. Key Laboratory of Cold and Arid Regions Eco-Hydraulic Engineering of Xinjiang Production & Construction Corps, Shihezi 832003, China)

Abstract: The water flow disorder, shock, spray splashing out of the side wall and incomplete water jump are often caused by insufficient discharge energy dissipation in the pool. In order to solve this problem, the influence law of the layout of T-shaped pier and its parameter variation on the hydraulic characteristics in the ballast tank was studied by using the model test method and numerical simulation. The results show that the energy dissipation rate increases with the increase of the length of T-shaped pier legs; The water depth increases with the installation of the impingement baffle, and the efficiency increases, and the energy dissipation rate decreases with the increase of the impingement baffle; The flow state of the water in the stilling pool is stable after the double-row T-shaped piers are arranged, and the energy dissipation increases first and then decreases with the increase of the distance between the front and back. According to the simulation results, a reasonable scheme is recommended and verified by model test. The results show that the energy dissipation rate of the recommended scheme reaches 76.06%, which increases by 12.51%. The flow state is stable and meets the engineering requirements.

Key words: stilling pool; T-shaped pier; structure; numerical simulation; effect of energy dissipation