

巢子豪, 王斌, 张伟. 广东省地质灾害隐患空间分布格局研究[J]. 华南地震, 2024, 44(3): 71-80. [CHAO Zihao, WANG Bin, ZHANG Wei. Spatial Distribution Pattern of Hidden Geological Hazards in Guangdong Province[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(3): 71-80]

广东省地质灾害隐患空间分布格局研究

巢子豪^{1,2,3}, 王斌^{1,2,3}, 张伟⁴

(1. 广东省国土资源测绘院, 广州 510663; 2. 自然资源部华南亚热带自然资源监测重点实验室, 广州 510663; 3. 广东省自然资源科技协同创新中心, 广州 510663; 4. 广东省地质环境监测总站, 广州 510510)

摘要: 广东省地质灾害易发多发, 为全国地质灾害严重省份之一。基于GIS的地质灾害隐患点空间分布格局研究可以挖掘出广东省地质灾害隐患的空间异质性与空间自相关性等空间信息, 支撑广东省地质灾害识别与防治需求。基于广东省多年地质灾害隐患点数据, 利用GIS的多元空间统计与分析方法, 从数量、时间、密度、聚类 and 地形五个方面综合分析广东省地质灾害隐患点的空间分布格局。结果表明: 广东省地质灾害主要以崩塌和滑坡为主, 粤北山区最多发, 梅州市地质灾害隐患点数量最多, 河源市威胁程度最大。地质灾害隐患多发于上半年, 6月和8月为最高发月份。东部地质灾害隐患点密度远高于其他地区, 在东北部呈现出高-高聚类模式。高程0~200 m, 坡度10°~20°, 坡向朝南为易发地形区间。

关键词: 地质灾害隐患; 空间分布格局; 空间分析

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)03-0071-10

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.03.08

Spatial Distribution Pattern of Hidden Geological Hazards in Guangdong Province

CHAO Zihao^{1,2,3}, WANG Bin^{1,2,3}, ZHANG Wei⁴

(1. Surveying and Mapping Institute, Lands and Resource Department Guangdong Province, Guangzhou 510663, China; 2. Key Laboratory of Natural Resources Monitoring in Tropical and Subtropical Area of South China, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510663, China; 3. Guangdong Science and Technology Collaborative Innovation Center for Natural Resources, Guangzhou 510663, China; 4. Guangdong Geological Environment Monitoring Station, Guangzhou 510510, China)

Abstract: Guangdong is one of the provinces with serious and frequent geological hazards in China. Research on the spatial distribution pattern of hidden geological hazards based on Geographic Information System (GIS) can obtain some spatial information of hidden geological hazards in Guangdong, such as the spatial heterogeneity and spatial autocorrelation, so as to support the identification and prevention of geological hazards in Guangdong. This pa-

收稿日期: 2024-03-11

基金项目: 广东省自然资源厅科技项目(GDZRZYKJ-ZC2020003); 广东省自然资源科技协同创新中心(2018B020202002); 自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室2023年度自主研究项目(2023NRMZ04)联合资助。

作者简介: 巢子豪(1991-), 男, 博士研究生, 主要从事地理空间数据分析与地质灾害研究等工作。

E-mail: 1518942446@qq.com

通信作者: 王斌(1986-), 男, 高级工程师, 主要从事摄影测量与遥感研究等工作。

E-mail: 547539038@qq.com

per analyzed the spatial distribution pattern of hidden geological hazards in Guangdong comprehensively from five aspects, including quantity, time, density, cluster, and topography, by using diverse spatial statistics and analysis methods of GIS and years of hidden geological hazard point data in Guangdong. The results show that collapse and landslide are the major geological hazards in Guangdong. Mountainous areas in northern Guangdong have the most frequent geological hazards. The number of the hidden geological hazard points in Meizhou is the largest, while the hidden geological hazards in Heyuan has the greatest threats. There are more hidden geological hazards in the first half of the year, and June and August have the highest incidence. The density of the hidden geological hazards in the east of Guangdong is much higher than those in other regions, and the hidden geological hazards present a high-high clustering pattern in northeast Guangdong. The section with an elevation of 0–200 m, a slope of 10° – 20° , a southward aspect is most prone to collapse and landslide.

Keywords: Hidden geological hazards; Spatial distribution pattern; Spatial analysis

0 引言

地质灾害是地壳内动力地质作用与岩石圈表层在大气圈、水圈、生物圈相互作用和影响下,使得区域的生态环境和人类生命财产遭受损失的现象^[1]。根据《地质灾害防治条例》,地质灾害分为由自然因素诱发的自然地质灾害和由人类活动诱发的人为地质灾害,主要包括山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝和地面沉降等。广东省地貌类型复杂,地质环境脆弱,热带风暴与强降雨频繁,是我国地质灾害多发省份之一。随着经济社会发展,人类活动对地质环境的影响也逐年增大,导致地质灾害日益频发。截至2020年底,广东省地质灾害威胁人数24.95万人,潜在经济损失达81.77亿元^[2]。广东作为经济和人口大省,地质灾害一旦发生会给生态环境、社会经济发展和人民生命财产安全造成难以估量的损失。广东省高度重视地质灾害综合防治工作,广东省人民政府办公厅印发了广东省地质灾害综合防治能力提升三年行动方案(2023—2025年),要求全方位提升地质灾害风险隐患识别、管控、综合治理能力。

上世纪末以来,我国对地质灾害防治的关注度日益增长,国内专家学者围绕地质灾害问题开展了多方面研究。研究视角层面,通过定性定量相结合的方式,开展了地质灾害早期识别^[3–4]、地质灾害类型及其特征^[5]、地质灾害分布规律^[6–78]、地质灾害风险评价与分区^[9]、地质灾害影响因素与孕灾机理^[10–11]、地质灾害防治措施^[12]、行业综述^[13]等研究,其中,关于地质灾害分布规律的研究多以数理统计结合地质分析的方法展开。张伟^[6]从地形地貌、岩土类型、地质构造、地震、降雨以及人类工程活动与地质灾害的关系入手,基于统计

方法研究了广东省地质灾害的空分布规律。刘羊等^[8]通过定性和半定量的方法,阐明了广州市土质崩塌灾害的时空分布规律。从研究区域层面,现有研究多集中于市县等较小行政尺度的研究,覆盖广东省全省的地质灾害隐患研究较少。目前,基于定性或统计学量化方法的小尺度地域研究,难以从空间角度挖掘广东省地质灾害发生的潜在规律,无法充分支撑现阶段地质灾害隐患早期识别与防治的需求,而基于GIS的地质灾害隐患点空间格局研究可以探究广东省地质灾害的空间异质性与空间自相关性,挖掘更多潜在空间信息。

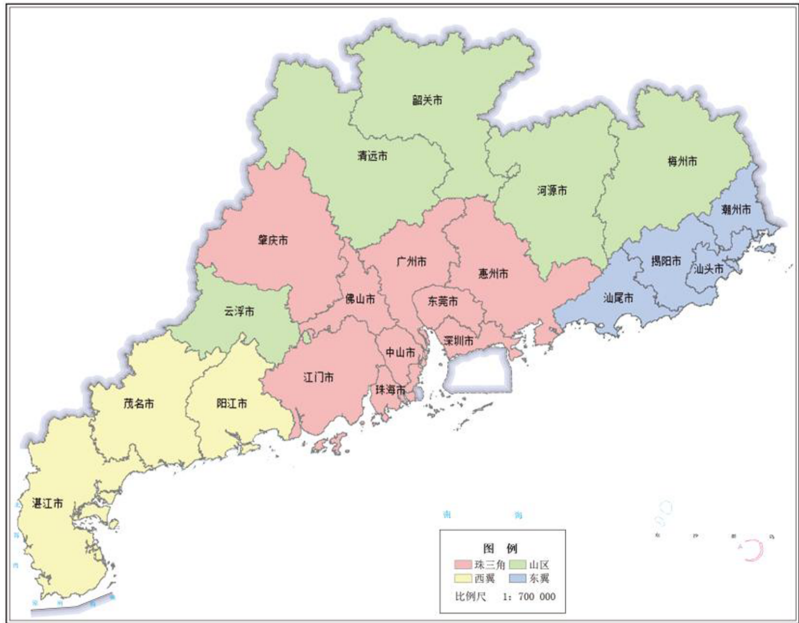
本文基于“一网统管”地质灾害数据综合管理系统中的1992—2022年广东省地质灾害隐患点数据,从数量、时间、密度、聚类 and 地形五个方面综合分析广东省地质灾害隐患的空间分布格局,从地理空间视角发现不同区域地质灾害工作的侧重点,为在全省层面开展地质灾害隐患遥感综合识别奠定理论基础、提供数据支撑与知识储备。

1 研究区

广东省地处中国大陆最南部,陆地范围北纬 $20^{\circ}09'$ ~ $25^{\circ}31'$,东经 $109^{\circ}45'$ ~ $117^{\circ}20'$ 之间。东临福建省,南邻南海,西接广西壮族自治区,北接江西省、湖南省,珠江口东西两侧分别与香港、澳门特别行政区接壤,西南部雷州半岛隔琼州海峡与海南省相望。广东省土地总面积17.98万平方千米。广东省地貌类型复杂多样,有山地、丘陵、台地和平原,其面积分别占全省土地总面积的49.78%、17.62%、12.82%和19.78%。地势总体北高南低,北部多为山地和高丘陵,南部则多为平原和台地,按地理分区可划分为珠三角、东翼、西翼和粤北山区^[14]。广东省地质构造发育,地层岩

性多样,地质环境条件复杂。广东省属于东亚季风区,光、热和水资源较丰富,且雨热同季,降

水主要集中在4~9月,由暴雨洪涝、热带气旋等引发的自然灾害多发频发^[15]。



审图号: 粤S(2022)310号

图1 广东省地域分区

Fig.1 Regional division of Guangdong Province

2 数据和方法

2.1 研究数据

本文中的广东省地质灾害隐患点来源于“一网统管”地质灾害数据综合管理系统中的广东省多年地质灾害隐患点数据。该数据更新日期截止至2022年12月31日,最早为1992年12月3日,记录有灾害类型、经纬度坐标、发现时间、稳定性、危害性、受威胁人数和潜在经济损失等地质灾害隐患点的关键属性。本文基于地质灾害隐患点的经纬度坐标添加XY数据,形成地质灾害隐患矢量点数据,进行空间格局分析。本文辅助研究数据为广东省12.5 m分辨率数字高程模型数据(DEM)。

2.2 研究方法

本文综合运用地统计学方法、核密度估算法、局部莫兰指数、空间叠加分析法等空间统计与分析方法,分别从数量、时间、密度、聚类 and 地形共五个方面分析广东省地质灾害隐患点的空间格局。

2.2.1 核密度估算法

密度分析是空间点模式分析的常用方法之一,是一种无需利用数据分布先验知识,从样本自身出发研究数据分布特征的方法,在诸多统计学和应用领域受到高度关注。核密度估计方法常被用于计算要素在其周围邻域中的密度。本研究基于广东省地质灾害隐患点的地理位置信息,利用核密度估计方法来研究广东省地质灾害隐患点的密度分布。

核密度估计方法(Kernel Density Estimation, KDE)由Rosenblatt和Emanuel Parzen提出,是一种用于估计概率密度函数的非参数检验方法。该方法通过一个移动窗口,计算每个栅格单元内的点密度,从而得到研究对象空间连续的密度分布图。对独立同分布的n个样本点,其核密度估计函数如下^[16]:

$$\hat{f}_h(X) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{X - X_i}{h}\right) \tag{1}$$

式(1)中, $\hat{f}_h(X)$ 为中心栅格X的核密度估计值,n为落入移动窗口中地质灾害隐患点的数量,h为搜索半径(带宽),K(.)为核函数,(X - X_i)为地质灾害隐患点与窗口内中心栅格的距离。考虑到拟合

效果,本文带宽值设置为5 km,核函数选择了二次核函数。二次核函数公式如下:

$$K(X) = \begin{cases} \frac{3}{4}(1 - X^2), & x \in [0, 1] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

2.2.2 局部莫兰指数

局部莫兰指数(Local Moran's I) 是一种衡量局部空间自相关的检验方法,可对研究区域及其相邻区域的局部空间关系进行度量。局部莫兰指数的取值范围为-1~1,正值I表示研究区域及其相邻区域内研究对象呈现高-高(High-High)或者低-低(Low-Low)聚类,负值I表示不同研究对象彼此间有属性相反的相邻区域,呈现高-低(High-Low)或者低-高(Low-High)聚类。局部莫兰指数表达式如下^[17]:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{X}) \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{X})}{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{X})^2} \quad (3)$$

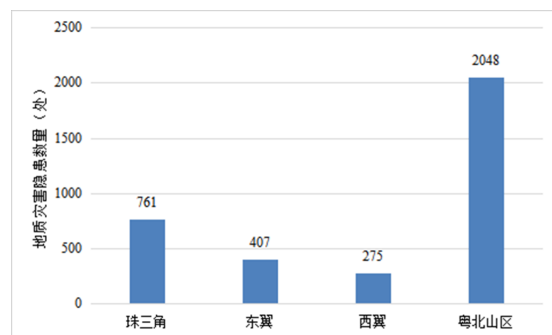
$n - 1$

式(3)中, x_i 为目标区域内地质灾害隐患点数量, \bar{X} 为地质灾害隐患点数量均值, w_{ij} 为地质灾害隐患点*i*和*j*之间的空间权重。

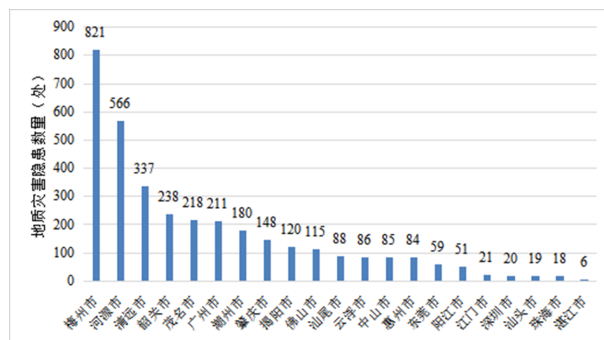
3 空间分布格局分析

3.1 地质灾害隐患数量分布

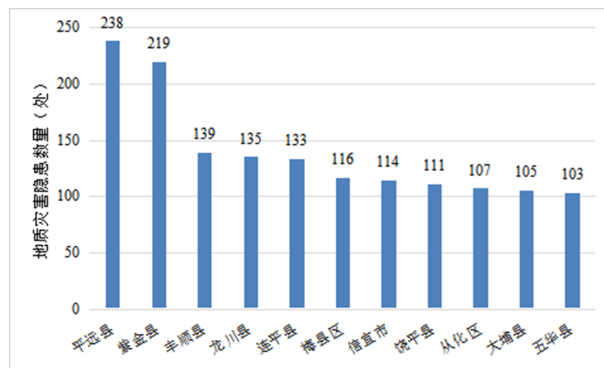
不同空间尺度下广东省地质灾害隐患点的空间异质性明显。从地域分区尺度来看,地质灾害隐患点总数粤北山区>珠三角>东翼>西翼,粤北山区的地质灾害隐患点明显高于其他地区,占据全省的58.67%。地质灾害隐患点排名前四地城市均位于粤北山区(图2 a);从地市尺度来看,广东省共有3491处地质灾害隐患点,其中,梅州市、河源市、清远市位列全省前三,地质灾害隐患点数分别高达821处、566处和337处,断层领先于其他城市,西翼的湛江市地质灾害隐患点最少,仅6处(图2 b);从县区尺度来看,全省共有11个县区存在100处以上的地质灾害隐患点,其中,梅州市平远县和河源市紫金县地质灾害隐患点分别高达238和219处,远高于其他县区,除西翼的茂名市信宜市、东翼的潮州市饶平县、珠三角的广州市从化区外,其他地质灾害隐患点数量高排位县区均位于粤北山区(图2 c)。



a 按地域分区统计



b 按地市统计



c 按县区统计

图2 广东省地质灾害隐患空间分布数量统计

Fig.2 Quantity statistics of hidden geological hazards in Guangdong

结果显示,广东省共有7种不同灾害类型的地质灾害隐患点,崩塌占比最高,占全省地质灾害总数的53.88%,滑坡数量仅次于崩塌,占比高达40.16%,其余5种灾害隐患点仅占5.96%,占比依次为不稳定斜坡2.41%>地面塌陷1.55%>泥石流1.23%>地面沉降0.63%>地裂缝0.14%(图3 a)。

从地市尺度来看,尽管多数地市最主要的灾害类型为崩塌,但广东省北部的滑坡比重明显高于其他地区,其中,粤北山区的韶关市、河源市,东翼的潮州市,粤西翼的阳江市最主要的地质灾害类型为滑坡,而珠三角的深圳市最主要的地质灾害类型为不稳定斜坡。在东翼、粤西翼和北部山区滑坡与崩塌灾害占灾种比例的绝大部分的情况下,珠三角

周边和东翼的汕头市地质灾害类型相对具有多样性。珠江入海口两岸的东莞市、深圳市、中山市和珠海市不稳定斜坡比例普遍高于其他地区,汕头市

的地面沉降和地裂缝占比全省最高,阳江市的地面塌陷和泥石流比例全省最高(图3 b)。

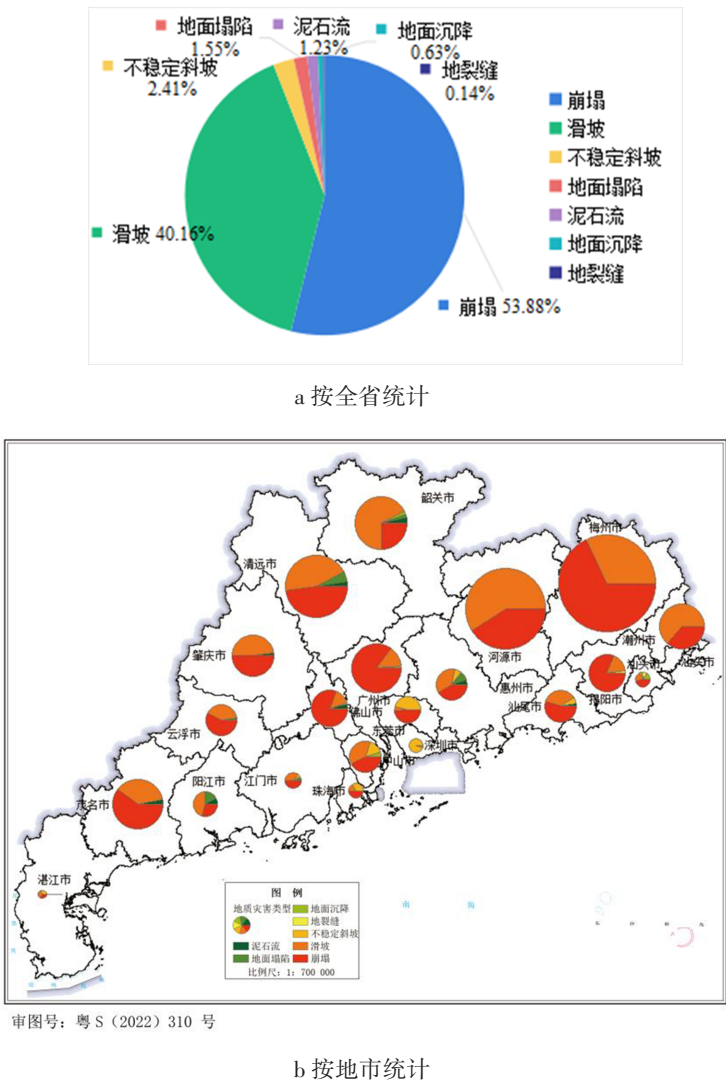


图3 广东省地质灾害隐患点灾害类型占比统计

Fig.3 Proportion of geological hazard types of hidden geological hazard points in Guangdong

结果显示,广东省受地质灾害隐患威胁的总人数为241 126人,其中,河源市受地质灾害隐患受威胁的人数高居全省第一,为67 933人,远多于省内其他地市,是排名第二清远市的约2.8倍,占全省受威胁总人数的28.17%(图4 a)。广东省受地质灾害隐患威胁的潜在经济损失高达84亿元,其中,河源市受地质灾害隐患威胁的潜在经济损失同样高居全省第一,达20.36亿,占全省潜在经济损失的24.24%(图4 b)。河源市在地质灾害隐患点数量少于梅州市排名全省第二的情况下,受威胁人数和潜在经济损失却远高于广东省其他城市,可见河源市地质灾害总体的影响范围更广,威胁性更大,是日后地质灾害识别与防治的重点区域。

3.2 地质灾害隐患点时间分布

崩塌与滑坡是广东省最主要的地质灾害发生类型,占全部地质灾害隐患点的约94%,因此,本文统计了广东省崩塌与滑坡隐患点的时间分布情况(图5 a)。结果显示,地质灾害发生年际不均匀,具有明显的时间特征,柱状图以2016年为中心,呈正态分布状,2016年以前地质灾害隐患点数量整体呈上升,2016年后整体呈下降趋势。2016年地质灾害隐患点数量最多,崩塌和滑坡分别达578和486处。据统计,2016年为2000以来年均降雨量最高年份,该年地质灾害隐患点数量多或与当年的特大暴雨过程密切相关,2016年后年均降雨量

下降与地质灾害数量减少也基本吻合。但2016年之前,地质灾害隐患点数量与年均降雨量不存在明显相关性,这或与地质灾害隐患点的调查统计标准与判定尺度等因素有关。多年来,仅有2001

年、2010年和2022年等个别年份滑坡数量大于崩塌数量。另外,2022年地质灾害隐患点数量自2016年以来首次出现了增长现象,且滑坡数量首次明显多于崩塌。

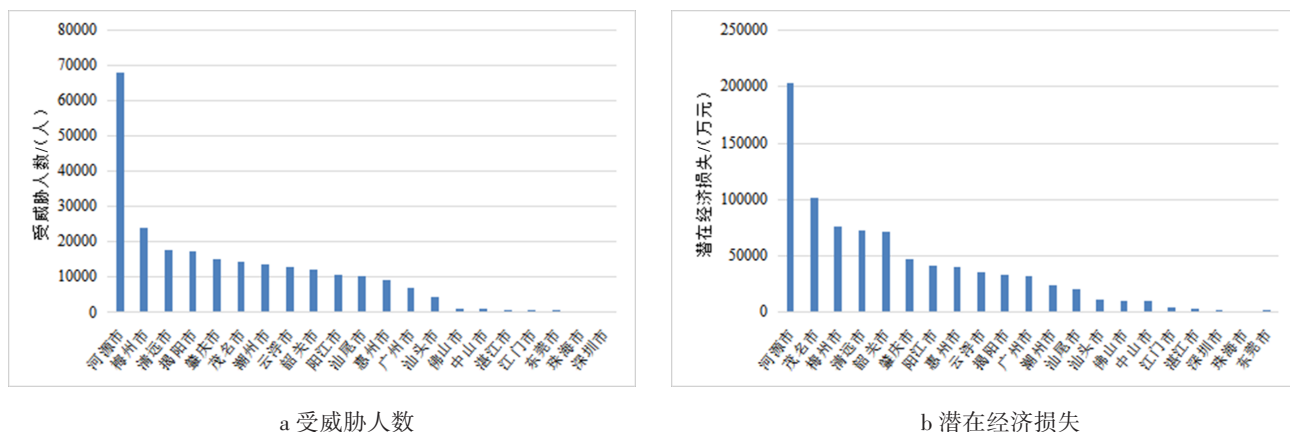


图4 广东省地质灾害隐患危害程度统计

Fig.4 Hazard degree of hidden geological hazards in Guangdong

按月度统计结果显示,广东省地质灾害隐患多发于上半年,6月和8月发生频率最高。统计分析发现,6月与8月的崩塌与滑坡隐患数量大致相当,约为550处;上半年1月、4月和5月发现的隐患数量次之;10月和11月是全年地质灾害隐患发生的最低谷。广东降水的时空分布不均衡,每年的4~9月,广东进入降水集中时期,这期间有两个峰值,主峰为5~6月,次峰出现在8~9月,

前者是锋面降水,后者为热带气旋降水,7月锋面降水基本绝迹,热带气旋方兴未艾,各地受副热带高压控制,故降水较少。广东省地质灾害的时间分布规律受降雨周期及降雨量影响明显,广东省雨季降水与地质灾害隐患点的时间特征基本重合,自4月起。地质灾害隐患发生数量开始增多,6月和8月为全年的地质灾害隐患点高发月份,而7月因降水减少则是相对低谷(图5b)。

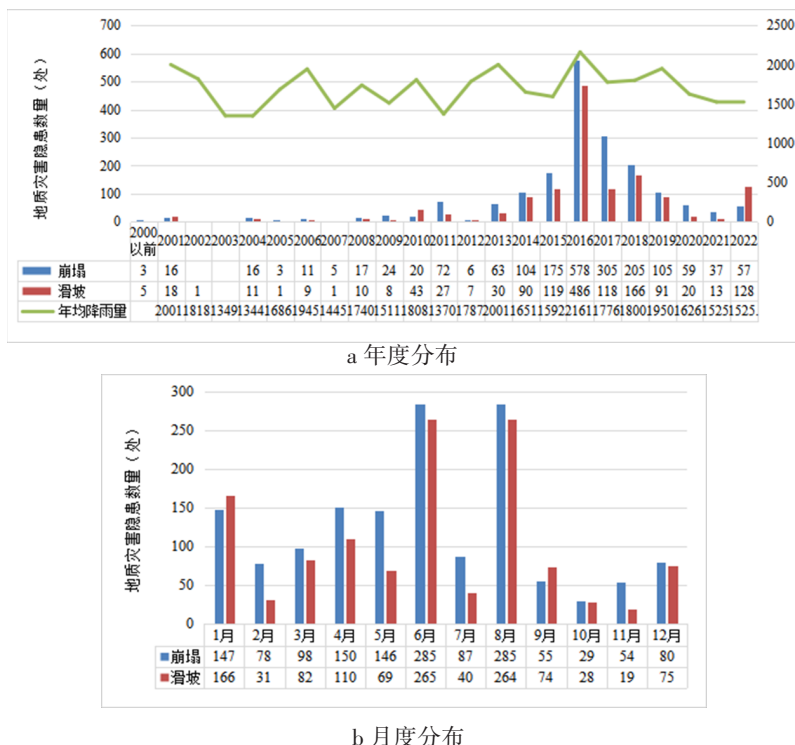


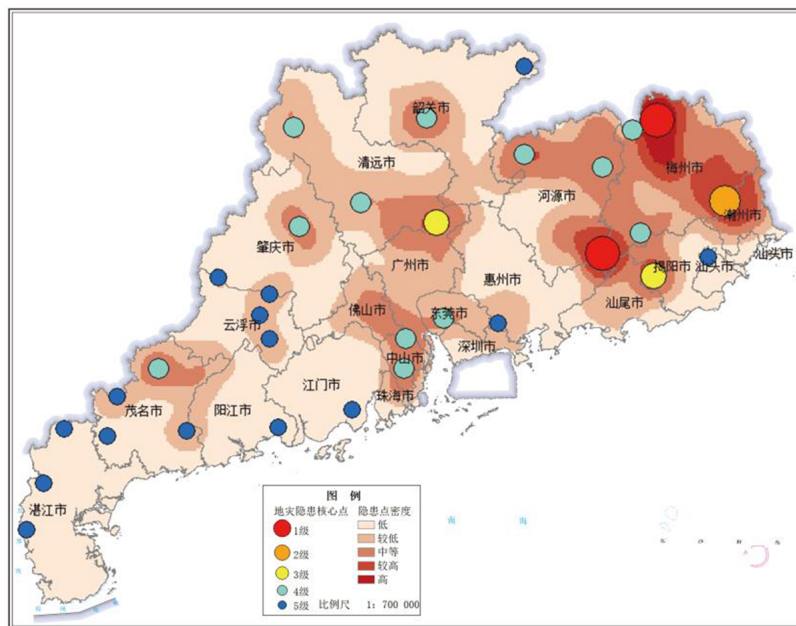
图5 广东省地质灾害隐患时间分布

Fig.5 Time distribution of hidden geological hazards in Guangdong

3.3 地质灾害隐患密度分布

对地质灾害隐患点数据进行核密度分析,重分类后可得广东省地质灾害隐患的密度分布情况(图6)。结果显示,广东省东部的地质灾害隐患点无论是高密度值或是高密度范围都远大于其他地区,梅州市全市,以及河源市和潮州市的大部分地区呈现出地质灾害隐患点的高密度连片,地质灾害密度最大的区域位于梅州市北部和河源市东南部。地质灾害隐患的次高密度连片区位于广州市北部和清远市南部交界处,以及珠三角内的中山市、佛山市、广州市和东莞市交界处。

基于广东省地质灾害隐患密度场,运用“山顶点提取法”,识别出全省的密度峰值点,并应用重分类将峰值点分为5类,获取广东省地质灾害隐患核心点布情况(图6)。结果显示,全省共有两个地质灾害隐患的一级核心点,具体位于梅州市平远县河头镇与河源市紫金县南岭镇;全省唯一的地质灾害隐患二级核心点位于梅州市与潮州市接壤的大埔县桃源镇。地质灾害隐患三级核心点一个位于清远市佛冈县与广州市从化区的交界处,另一个位于揭阳市普宁市与汕头市陆河县的交界处。纵览全省,广东省地质灾害隐患分布密度东部>珠三角>北部>西部。



审图号: 粤S(2022)310号

图6 广东省地质灾害隐患密度与核心点分布

Fig.6 Density and core points distribution of hidden geological hazards in Guangdong

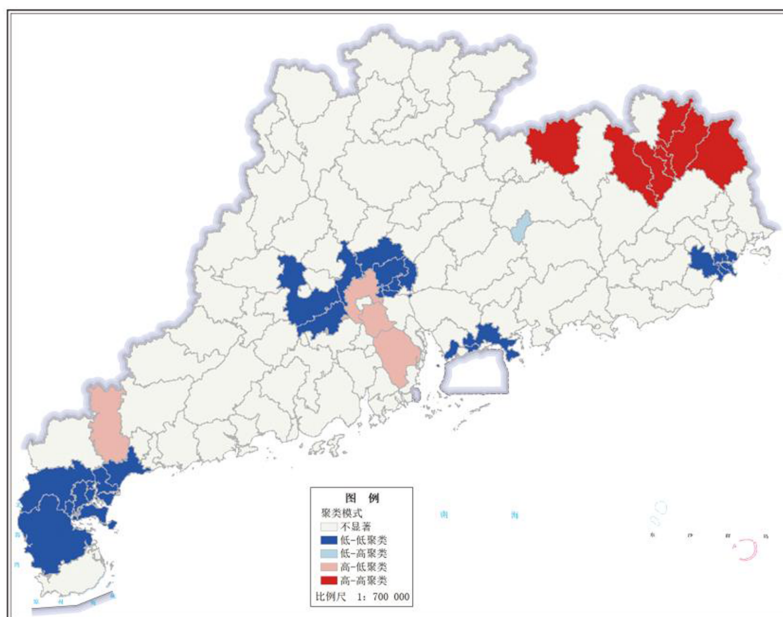
3.4 地质灾害隐患聚类分布

基于县域尺度的局部莫兰指数可以计算广东省地质灾害隐患点的局部空间自相关性,不仅可以检验地质灾害隐患发生的聚类区域,还可以验证其聚类的热点和冷点(图7)。研究结果表明,广东省地质灾害隐患点共有四种聚类模式:高-高聚类、低-低聚类、高-低聚类和低-高聚类。在广东省东北部,地质灾害隐患点呈现出明显的高-高聚类模式,该区域主要涉及梅州市的大埔县、梅县、蕉岭县、梅江区与兴宁市和河源市的和平县等6个县区,说明该区域及其周边区域的地质灾害隐患

点普遍较多。地质灾害隐患点的低-低聚类模式分布较广,位于粤东、珠三角和粤西的三个区域,分别为粤东汕头市的金平区、龙湖区、朝阳区与濠江区,珠三角的深圳市(龙岗区、南山区与罗湖区)、广州市(天河区、花都区与海珠区)、佛山市(高明区与三水区)与肇庆市(高要市),粤西湛江市的吴川市、坡头区、麻章区、霞山区、遂溪县与雷州市,说明该区域及其周边区域的地质灾害隐患点在空间上存在低值聚类,地质灾害隐患点普遍较少。广东省地质灾害隐患点的两处高-低聚类模式,分别分布于珠三角的中山全市与佛山市的南海区、顺德区与禅城区和粤西茂名市的化州

市,说明这些县区在局部地域范围内,地质灾害隐患点相对更多。广东省地质灾害隐患点仅存在

一处低-高聚类模式,位于河源市源城区,说明该县相较于周围县区地质灾害隐患点更少。



审图号: 粤S(2022)310号

图7 广东省地质灾害隐患点聚类模式

Fig.7 Clustering pattern of hidden geological hazard points in Guangdong

3.5 地质灾害隐患地形分布

不同高程的植被类型与覆盖度、土壤、温度、日照等均有一定差异,此外,人类活动与地震波的振幅与能量也随高程的改变而发生变化。因此,不同高程内的地质灾害隐患点也必然存在差异。本文基于DEM数据通过叠置分析统计了广东省不同高程区间内地质灾害隐患点数量(图8a和图8b)。结果显示,高程0~200m的隐患点数量最多,该高程区间内共有1118个崩塌隐患点,占崩塌隐患点总数的59%;679个滑坡隐患点,占滑坡隐患点总数的48%。200~400m是地质灾害隐患点的次要发生区间,崩塌和滑坡数量分别为570处和525处。

坡度是宏观反应地形起伏大小的重要因子,是控制滑坡和崩塌等地质灾害发育的关键性因素之一,影响着坡面水流、堆积层覆盖厚度、坡体结构等环境因子。坡度越大,斜坡岩土体的下滑力越大、剪应力越集中,地质灾害发生的可能性也会增加。本文基于DEM数据进行坡度分析,按照10°间隔对地形坡度进行重分类,与地质灾害隐患点叠置后统计了广东省不同坡度范围内的地质

灾害隐患点数量(图8c和图8d)。结果显示,广东省崩塌与滑坡的隐患点均主要集中于坡度10°~20°区间,该区间内崩塌隐患点有877个,占总体46%,滑坡隐患点有616个,占总体43%。坡度20°以下的崩塌和滑坡隐患点分别占据总量的78%和72%。

坡向与斜坡的稳定也存在一定相关性。阳坡气温高、温差大、日照时间长、降雨量多且强度大,以及雨热同期共同促进了岩土体裂缝的形成,并加速了岩体的物理风化和化学风化,造成斜坡失稳,从而导致地质灾害的发生。本文基于DEM数据进行坡向分析,与地质灾害隐患点叠置后统计了广东省地质灾害隐患点在不同坡向内的分布情况(图8e和图8f)。坡向的划分标准为:正北(337.5°~22.5°)、东北(22.5°~67.5°)、正东(67.5°~112.5°)、东南(112.5°~157.5°)、正南(157.5°~202.5°)、西南(202.5°~247.5°)、正西(247.5°~292.5°)、西北(292.5°~337.5°)方向。结果显示,崩塌与滑坡隐患点均较多分布于南向,其中,崩塌隐患点的坡向主要为东南、正南与西南向,而滑坡隐患点的坡向分布差距更大,正南和东南向分布明显多于其他方向。

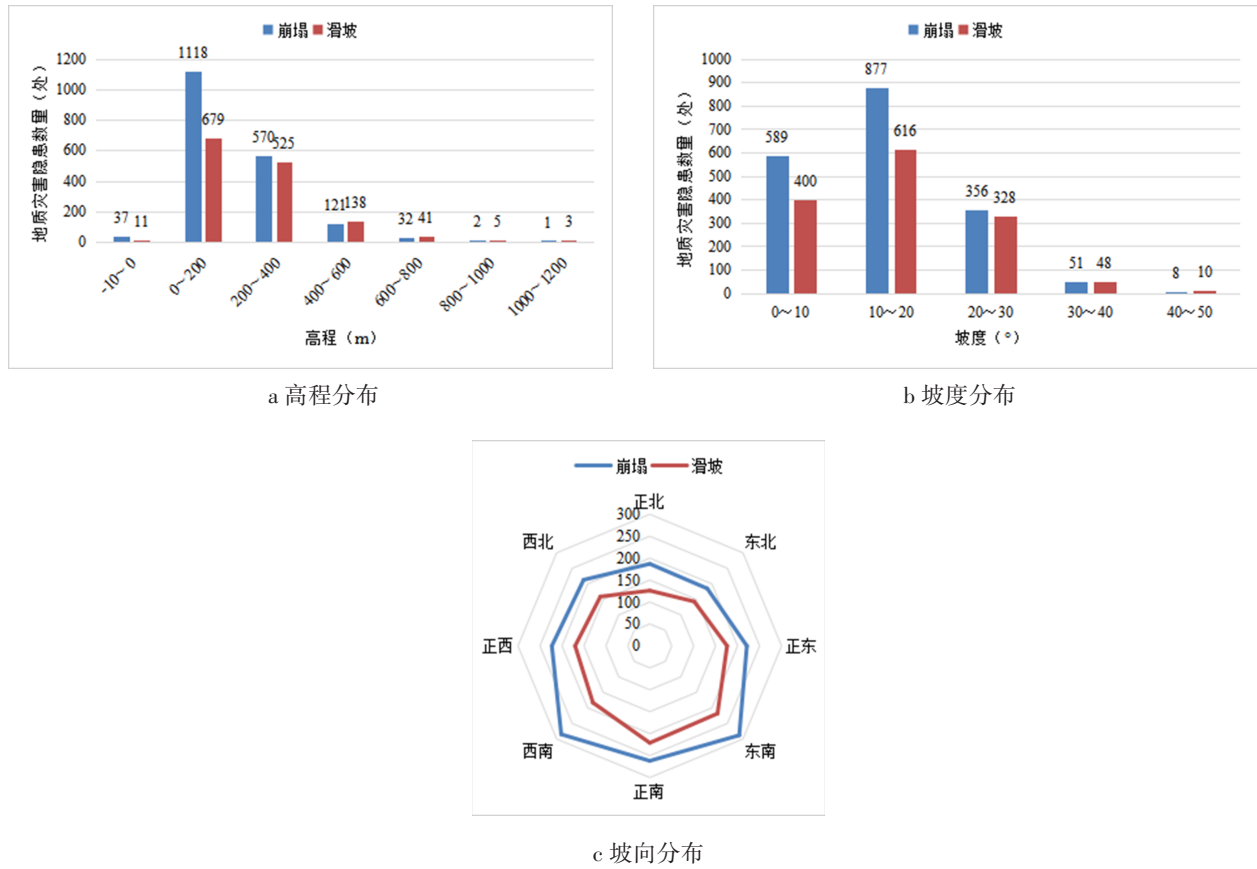


图8 地质灾害隐患点地形分布

Fig.8 Terrain distribution of hidden geological hazard points

4 结论

本文基于广东省多年地质灾害隐患点数据,运用数理统计和GIS空间分析相结合的方法,从数量、时间、密度、聚类 and 地形五个方面综合分析了广东省地质灾害隐患点的空间格局,得出如下结论:

(1)广东省粤北山区的地质灾害隐患点数量远多于其他地区,占据全省的58.67%,梅州市、河源市、清远市地质灾害隐患点数量位列全省前三;广东省地质灾害隐患点主要为崩塌和滑坡,分别占总数的53.88%和40.16%,全省大多地市的主要地质灾害类型为崩塌,但滑坡为粤北山区多地的主要地质灾害类型;河源市受地质灾害威胁的人数和潜在经济损失均为全省第一。

(2)广东省地质灾害隐患具有明显的时间特征,发生的年际与月度不均匀,2016年为地质灾害隐患发生最多的一年,2022年的滑坡隐患数量则明显多于崩塌;地质灾害隐患点上半年偏多,6

月和8月为最高发月份,与广东雨季呈现高度相关性。

(3)广东省东部地质灾害隐患点的密度值与密度范围均远高于其他地区,地质灾害隐患点密度的一级核心点位于梅州市北部和河源市南部,二级核心点位于梅州市与潮州市交界处,三级核心点位于广州与清远交界处,以及汕尾市与揭阳市交界处。

(4)地质灾害隐患点在广东省东北部呈现出明显的高-高聚类模式,在粤东、珠三角和粤西则呈现不同范围的低-低和高-低聚类模式。

(5)广东省地质灾害隐患更易于发生于高程0~200 m,坡度10°~20°,坡向朝南的地形区间内。

本文从地理空间视角出发,挖掘了广东省地质灾害隐患的多重时空信息。未来可进一步研究水文环境、土壤地质、植被覆盖、人类活动等与地质灾害隐患点的空间关系,以深入理解广东省地质灾害的发生机理,为广东省多尺度多地区的地质灾害识别与防治工作提供依据和有针对性的前期知识储备。

参考文献

- [1] 胡广韬,杨文远. 工程地质学[M]. 北京:地质出版社,1984.
- [2] 广东省自然资源厅. 广东省自然资源厅关于印发《广东省地质灾害防治“十四五”规划》的通知[EB/OL]. (2022-06-01)[2024-02-20]. http://nr.gd.gov.cn/zwgknew/zcfg/flfg/df/content/post_3944903.html.
- [3] 王斌,周立鹏,李琴. 顾及 InSAR 形变特征的斜坡灾害隐患早期识别遥感方法[J]. 华南地震,2023,43(1):105-110.
- [4] 易隆科,刘春艳,张云斌. 广东几种典型斜坡类地质灾害体的电性结构特征分析及物探解释方法研究[J]. 物探化探计算技术,2023,45(06):783-795.
- [5] 李媛,孟晖,董颖,等. 中国地质灾害类型及其特征——基于全国县市地质灾害调查成果分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2004,15(2):29-34.
- [6] 张伟. 广东省地质灾害的空间分布及成因分析[J]. 绿色科技,2012(7):221-223.
- [7] 王博. 复杂山地地质灾害发育特征及其规律研究——以某气田地质灾害区为例[D]. 徐州:中国矿业大学,2021.
- [8] 刘羊,楼康明,陈凌伟,等. 广州市土质崩塌分布规律及影响因素分析[J]. 广州市土质崩塌分布规律及影响因素分析[J]. 2023,25(1):31-39.
- [9] 赵魁. 基于 ArcGIS 平台的广东云浮云安区地质灾害危害程度分区评价[J]. 中国地质灾害与防治学报,2020,31(3):89-95.
- [10] 冯冬宁. 基于 GIS 的广东省崩滑流地质灾害影响因素及其风险性研究[D]. 广州:中国科学院广州地球化学研究所,2016.
- [11] 冯冬宁. 阳春市崩塌、滑坡地质灾害空间分布与影响因素研究[J]. 惠州学院学报,2022,42(6):66-71.
- [12] 蒋拉弟,李松. 兰州市地质灾害防治模式研究[J]. 甘肃地质,2023,32(4):48-58.
- [13] 殷跃平,高少华. 高位远程地质灾害研究:回顾与展望[J]. 中国地质灾害与防治学报,2024,35(01):1-18.
- [14] 邹利林,梁一凡,熊立,等. 广东省可补充类耕地资源适宜性评价与整治分区[J/OL]. 农业资源与环境学报,2024:1-9[2024-02-20]. <https://link.cnki.net/urlid/12.1437.S.20240129.1405.002>.
- [15] 广东省情网. 广东省志资源环境卷[EB/OL]. (2022-06-01)[2024-02-20]. <https://dfz.gd.gov.cn/dfz/html/gdsqsj/sxnj/pc/page1.shtml#/?id=69dcef909a4b49b3a86fc6729aa4f764>.
- [16] Silverman B W. Density estimation for statistics and data analysis[M]. New York:Chapman and Hall,1986.
- [17] Anselin L. Local indicators of spatial association—LISA[J]. Geographical Analysis,1995,27(2):93-115.