

基于 GIS 的粤北地区暴雨山洪灾害风险评价

邓智荣, 周月英*, 汪菲, 唐波, 闫超

广州新华学院资源与城乡规划学院, 广东广州, 中国

*通讯作者

【摘要】对暴雨洪涝灾害其进行风险评价是提高城市灾前预警和防灾减灾能力的重要手段。本文从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体脆弱性和防灾减灾能力四个层面构建评价指标体系, 采用综合加权法和 GIS 软件, 对粤北地区暴雨山洪灾害风险进行评价。结果表明: (1) 致灾因子危险性分布北高南低, 孕灾环境敏感性呈无规律星状分布; (2) 承灾体脆弱性分布零散, 防灾减灾能力风险区域呈斑块状分布; (3) 综合风险呈北低南高、高风险区域靠近珠三角的分布特征; (4) 暴雨天数随重现期增加从南向北递增, 连续最大三日降雨量则从北向南递减, 风险区域随重现期增加从中低风险向高风险扩展。

【关键词】暴雨山洪灾害; 粤北地区; 风险评价; GIS 空间分析

【基金项目】大学生创新创业项目(202413902074); 广州新华学院校级大学生社会实践教学基地项目(2022D002); 广东省哲学社会科学规划项目(GD24XGL035); 广州新华学院2024年度校级科研项目(2024KYZDZK01); 广东省普通高校特色创新类项目(2024KTSCX126); 广州新华学院高等教育教学改革研究项目(2024J039); 大学生创新创业项目(202413902003)

1. 引言

暴雨山洪灾害是由持续或突发性强降雨引发的自然灾害, 其表现形式多样, 包括河流洪水泛滥以及由此引发的泥石流、山体滑坡等现象[1]。随着全球气候变化和城市化进程的加速, 暴雨山洪灾害的频率和强度呈上升趋势, 对人类社会和自然环境存在严重威胁。因此, 关于暴雨山洪灾害风险的科学评价已成为防灾减灾工作的重要组成部分。在自然灾害领域, “风险”一词指的是在特定区域和规定时间范围内, 由特定自然灾害引发的期望避免的损失值, 主要包含危险度和易损度两个核心要素[2]。进行暴雨山洪灾害风险进行科学评价, 对防灾减灾工作具有重要意义。

国外对暴雨山洪灾害的研究起步较早, 且成果丰硕。在灾害形成机制方面, Borga 等将山洪看作是一种快速泛滥的洪水, 多数是由于局部地区短历时强降雨引起, 其产汇流过程极其迅速[3]。在风险评估与管理方面, 国外学者提出了多种风险评估模型和方法, 如 Kavzoglu 等利用 GIS 技术和多准则决策分析、支持向量机等方法进行滑坡易发性制图[4]。此外, 国外在山洪灾害的预警和应急响应方面也进行了深入研究, 一些国家建立了较为完善的山洪灾害监测和预警系统, 能够

及时准确地发布预警信息, 有效减少灾害损失[5]。

国内在暴雨山洪灾害研究方面也取得了显著进展。在灾害区域特征方面, 张平仓等对中国山洪灾害的区域特征进行了深入研究, 明确了不同区域山洪灾害的分布规律和形成机制[6]。同时, 赵士鹏等在山洪灾害系统的整体特征及危险度区划方面也取得了重要成果[7]。在风险评估与区划方面, 王英基于 GIS 及综合权重法对甘肃黄土高原区山洪灾害风险区划进行了研究[8]。此外, 近年来随着技术的发展, 国内学者开始将机器学习等新技术应用于山洪灾害的研究中, 如葛涛涛利用机器学习算法研究了日喀则地区泥石流易发性[9]。

粤北地区地形复杂、气候多变, 是暴雨山洪灾害的频发区域。受气候变化与城市化进程的影响, 该地区的灾害频率与强度不断增加, 严重威胁着当地居民的生命财产安全。同时, 粤北地区在粤港澳大湾区的发展中占据重要地位, 不仅为大湾区提供重要的生态保护功能, 还对促进区域协调发展、推动大湾区未来建设具有显著作用。因此, 对该地区的暴雨山洪灾害风险进行科学系统地评价具有重要意义。本文基于粤北地区的地形、气候、社会经济等多重因素的全面分

析, 构建评价模型, 对该地区的暴雨山洪灾害进行评价, 为其灾害预警、防灾减灾规划以及应急管理提供科学依据。

2. 研究区域、指标与数据来源

2.1 研究区域概况

论文粤北地区位于北纬 22.93° 至 24.84° , 东经 112.02° 至 116.1° , 包含梅州、河源、韶关、清远及云浮五个地级市, 地处广东省北部、珠江流域, 与福建、江

西、湖南、广西接壤, 是连接南北的重要枢纽, 如图 1。该地区以丘陵和山地为主, 河流众多, 属于亚热带季风气候, 夏季高温多雨, 冬季温和湿润, 是粤港澳大湾区的绿色生态屏障[10]。粤北地区经济相对落后, 以农渔业和小规模工业为主, 但近年来工业投资和外贸增长显著, 经济呈现向好趋势。此外, 该地区拥有丰富的文化遗产和自然遗产, 如南粤古驿道和丹霞山世界自然遗产地。

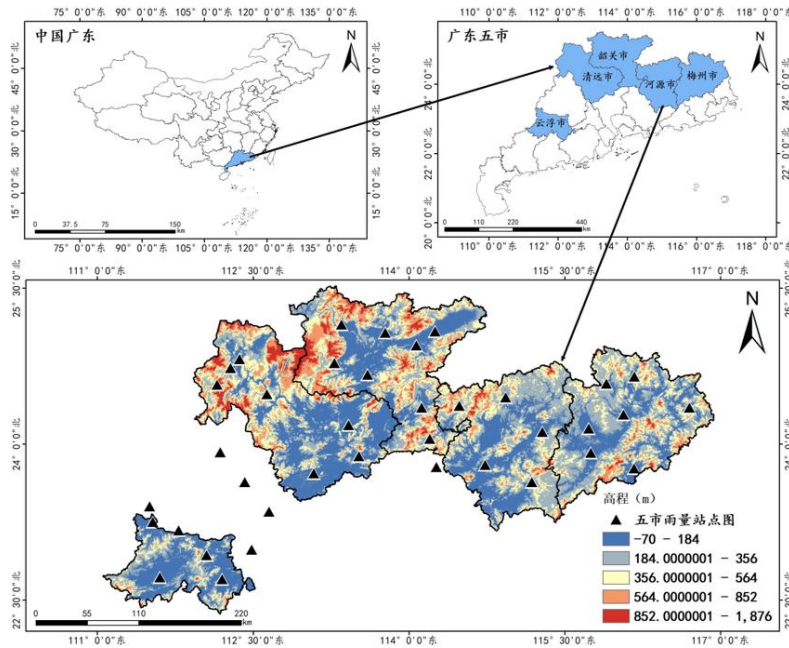


图 1. 粤北地区区位图

2.2 构建评价指标体系

按照研究目的导向原则、数据可获取性及可操作原则、指标独立原则和要素综合全面原则进行暴雨山洪灾害风险评价指标的选取。粤北地区以其独特的地理特征而著称, 其多山的地形和复杂的降水模式为暴雨山洪灾害的形成提供了条件。因灾害风险评价有一定针对性, 除了灾害学主流定义的危险度和易损度, 本研究还考虑孕灾环境的诱发性和承载灾害的载体的性质, 故选取致灾因子危险性、承灾体脆弱性、孕灾环境敏感性和防灾减灾能力 4 个二级指标和暴雨天数等 17 个三级指标, 建立评价指标体系, 以全面地评估粤北地区暴雨山洪灾害风险。

粤北地区属于亚热带季风气候区, 降水集中且强度较大, 易引发山洪灾害。暴雨山洪灾害由降水引发, 降水强度与频率是关键影响因素[11]。当降水强度大或持续时间长时, 会加剧地表冲刷, 破坏土壤稳定性, 使山洪灾害发生概率急剧上升。结合粤北地区

降水集中、强度大的特点, 本研究选取年连续最大三日降雨量均值和年暴雨天数均值两个指标, 用于表征致灾因子危险性。

承灾体的性质是山洪灾害风险评价的重要方面。粤北地区经济发展水平相对不平衡, 部分地区基础设施建设有待完善, 农业区域分布广, 人口密度差异大, 土地利用类型多样。区域经济发展水平、地区基础设施、防洪措施和应急管理能力, 能降低山洪灾害影响。农业区域易受洪水侵袭。人口密度高的地区意味着更多居民和资产暴露在洪水威胁下。土地利用类型不同, 对洪水产生和传播的影响也不同。因此采用地均 GDP、地均耕地面积百分比、人口密度、土地利用类型和道路密度评估承灾体脆弱性[12]。

孕灾环境敏感性受下垫面状态影响。粤北地区地形复杂, 多山地丘陵, 地势起伏大, 高程低洼处易汇聚降水, 形成积水区域, 增加山洪灾害风险[13]。粤北地区广泛分布的河谷地带, 利于水流快速汇集和流动,

增加山洪灾害风险。同时,粤北地区农业活动集中,土地开发和利用强度大,地表土壤被外力破坏、搬运和沉积的程度较高,这会改变地表径流的形成和传输过程。此外,该地区植被覆盖度在部分地区较低,地表植被稀疏使得截留地表径流的作用较弱,导致降水直接转化为径流的比例增加,从而加剧山洪的形成。综合考虑粤北地区地形地貌和土地利用特点,选取高程、坡度、河网密度、土壤侵蚀度、绿化覆盖率、农业产业占比六个指标,以评估孕灾环境的敏感性。

面对自然灾害,人类可借助工程与非工程手段减轻其对社会的影响。。粤北地区部分区域人口密集,避难场所密度高,在灾害发生时为居民提供足够的避险空间,减少伤亡;足够的卫生技术人员能提高救援和防疫效率,防止灾后疾病传播;该地区地形复杂,河流众多且分布不均,防汛监测站点可实时监测河流数据,为预警和管理提供依据;粤北地区城市化进程加快,城市扩张至山麓地带,排水管道密度影响城市排水效能[14]。选取避难场所密度、每万人卫生技术人员数、防汛监测站点密度、排水管道密度四个指标,评估防灾减灾能力。所构建的指标体系见表1。

表 1.评价指标具体权重

二级指标	三级指标	相关性
致灾因子 危险性	年连续最大三日降雨量均值	正
	年暴雨天数均值	正
孕灾环境 敏感性	高程	负
	坡度	正
	河网密度	负
	土壤侵蚀度	正
	绿化覆盖率	负
	农业结构占比	正
承灾体脆 弱性	地均 GDP	正
	地均耕地面积百分比	正
	人口密度	正
	土地利用类型	/
	道路密度	正
防灾减灾 能力	避难所密度	负
	每万人卫生技术人员数	负
	防汛监测站点密度	负
	排水管道密度	负

注:由于土地利用类型这一指标数据属性非数值型,故在此不说明正负向。

2.3 数据来源

1960-2020年的逐日降雨数据来自中国气

象数据网(<http://data.cma.cn>);数字高程模型(DEM)来自地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>);行政区划图、土地利用、排水管道长度、应急避难场所、防汛检测站点、每万人卫生技术人员、路网数据、农业结构占比等来源于广东省民政、水利等部门;2020年1km×1km人口密度数据由中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)提供;土壤侵蚀度数据来源于地理遥感生态网(<http://www.gasrs.cn/>)。各市经济数据来自2020年粤北地区各市的统计年鉴,计算得到地均GDP密度(GDP/面积)。数据均通过ArcGIS转换为栅格格式,其中水系、路网利用ArcGIS线密度分析划分栅格后计算,得到河网密度和路网密度。由于部分地区土壤侵蚀度等数据缺失,因此在孕灾环境敏感性区划图以及最终的综合风险图中,部分地区存在空白。

3.研究方法

3.1 ArcGIS 空间分析

本文利用选取的评价指标,通过GIS空间分析技术对粤北地区的暴雨山洪灾害风险进行评价。首先,对收集到的多源原始数据进行标准化处理,包括数据格式统一、坐标系转换和缺失值处理,以确保数据的准确性和一致性。接着,将矢量数据栅格化,设定1km栅格分辨率,为后续的空间分析奠定基础。

对于降水数据等连续性变量,采用克里金插值法进行空间插值,生成连续的降水强度和频率分布图层[15]。为了计算各评价指标的客观权重,构建覆盖整个研究区域的渔网状格网,并对每个格网单元提取各类评价指标数据,形成标准化的数据矩阵[16]。通过叠置分析技术,将不同指标图层逐层叠加,实现多因素的综合考量。在此基础上,根据预设的评价标准和风险等级划分阈值,对叠置分析后的数据进行重分类,得到风险区划图,将复杂的数据转化为直观的风险等级数据,最终实现评价结果的可视化展示[17]。

3.2 层次分析法(AHP)及熵权法

本文采用层次分析法(AHP)与熵权法相结合确定指标权重。

层次分析法(AHP)通过主观赋权的方式将复杂的多目标决策问题分解为一个有序的层次结构进行分析[18]。熵权法是一种基于信息熵的客观赋权法,主要用于多指标综合

评价中确定各指标的权重。它根据信息论的基本原理，通过计算各因素的熵值来判断其离散程度，进而确定权重[19]。

层次分析法（AHP）依赖专家的专业知识与经验，依据其对事物的理解确定指标权重，但易受个人经验与研究偏向影响，主观性较强。熵权法则基于数据客观性，通过理性计算确定权重，避免主观干扰，更具科学性和客观性，却可能忽略专家知识与经验，致重要信息未被充分考量。鉴于此，基于专家打分法构造判断矩阵，运用层次分析法确定主观权重，并利用渔网状格网提取的数据矩阵，通过熵权法计算客观权重。最后取主客观权重的均值，融合主客观赋权法的优势，减少单一方法带来的偏差，增强评价结果的稳定性与可靠性，为决策提供全面、客观的依据。各指标权重见表2。

3.3 数据重分类与风险值赋值

在暴雨山洪灾害风险评价中，由于不同来源的数据量纲和单位各异，本研究使用

ArcGIS 软件对原始数据进行重分类后赋值，以表示原始指标的风险高低值[20]即通过自然断点法将原始数据划分为5个等级区间，然后为每个等级区间赋予相应的风险值，风险值的大小通常根据该区间内灾害发生的可能性或严重程度来确定。例如，对于降雨强度指标，较高的降雨强度等级被赋予较高的风险值，表明其更易引发山洪灾害。通过这种方式，将不同量纲的指标转化为无量纲的风险值，便于后续的综合分析和评价。

对于土地利用现状这一非数据型的评价指标，由于其数据属性为非数值型，无法直接进行量化分析，因此采用直接赋值的方法对其进行处理[21]。具体而言，根据土地利用现状的不同类型，赋予其相应的数值，以反映不同类型土地利用在暴雨山洪灾害风险中的潜在影响。原始数据及风险值划分如表3所示。

表 2.评价指标具体权重

二级指标	权重	三级指标	权重
致灾因子危险性	0.28	年连续最大三日降雨量均值	0.13
		年暴雨天数均值	0.14
孕灾环境敏感性	0.12	高程	0.04
		坡度	0.03
		河网密度	0.03
		土壤侵蚀度	0.05
		绿化覆盖率	0.02
		农业结构占比	0.03
		承灾体脆弱性	0.28
地均耕地面积百分比	0.03		
人口密度	0.05		
土地利用类型	0.05		
道路密度	0.03		
防灾减灾能力	0.32	避难所密度	0.08
		每万人卫生技术人员数	0.1
		防汛监测站点密度	0.07
		排水管道密度	0.07

表 3.暴雨山洪灾害指标分类数据

指标层	分级与指标值				
	高风险区	较高风险区	中等风险区	较低风险区	低风险区
	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
连续最大三日降雨量	(182.26, 204.82)	(176.15, 182.26)	(169.81, 176.15)	(162.76, 169.81)	(144.91, 162.76)
暴雨天数	(504.42, 622.16)	(422.16, 504.42)	(351.19, 422.16)	(296.36, 351.19)	(210.88, 296.36)
高程	(-70, 184)	(184, 356)	(356, 564)	(564, 852)	(8, 521, 876)

坡度	(32.37, 58.11)	(23.36, 32.37)	(15.69, 23.36)	(8.01, 15.69)	(0.00, 8.01)
河网密度	(0.07, 0.09)	(90.06, 0.07)	(0.04, 0.06)	(0.03, 0.04)	(0.00, 0.03)
土壤侵蚀度	(793.43, 1926.00)	(498.73, 793.43)	(272.03, 498.73)	(90.68, 272.03)	(0.00, 90.68)
绿化覆盖率	(0.06, 0.57)	(0.57, 0.70)	(0.70, 0.78)	(0.78, 0.85)	(0.85, 1.00)
农业产业占比	(0.18, 0.19)	(0.15, 0.18)	(0.14, 0.15)	(0.12, 0.14)	(0.10, 0.12)
地均 GDP	(23205.97, 35276.03)	(11547.39, 23205.97)	(4826.56, 11547.39)	(1809.05, 4826.56)	(300.29, 1809.05)
地均耕地面积百分比	(61.93, 91.29)	(40.81, 61.93)	(22.55, 40.81)	(7.51, 22.55)	(0.00, 7.52)
人口密度	(13037.62, 31364.12)	(5903.83, 13037.64)	(2336.93, 5903.83)	(491.99, 2336.93)	(0.00, 491.99)
土地利用现状	裸地	建设用地	耕地	草地	水体和林地
道路密度	(13037.64, 31364.12)	(5903.83, 13037.64)	(2336.93, 5903.83)	(491.99, 2336.93)	(0.00, 491.99)
每万人卫生技术人员数	0	(0, 26.80)	(26.80, 81.49)	(81.49, 136.17)	(136.17, 273.41)
防汛监测站点密度	62.81	(62.81, 63.53)	(63.53, 68.41)	(68.41, 70.42)	(70.42, 81.12)
避难场所密度	0	(0, 26.80)	(26.80, 81.49)	(81.49, 136.17)	(136.17, 273.41)

3.3 数据重分类与风险值赋值

结合主客观赋权法获得的权重及重分类赋值的指标值，构建暴雨山洪灾害风险评价模型。具体公式如下：

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times \beta_i \quad (1)$$

式中， γ 是暴雨山洪灾害风险评价的结果值。 α_i 和 β_i 分别是同一级别第*i*个指标的权重和重分类赋值的指标值，*n*为该级别指标的个数。最后通过 ArcGIS 栅格计算器进行叠置分析，得出的图层使用自然断点法获得粤北地区暴雨山洪灾害风险等级区划图。

4. 结果分析

4.1 数据重分类与风险值赋值

通过对新闻报道和资料的详细分析，确定山洪灾害的发生地点，并将其坐标导入 ArcGIS 软件，直观展示灾害点位置及其风险等级，如图 2。数据分析显示，灾害点在高风险区的拟合度接近 50%，表明风险评价模型和区划图具有较高精确度和可靠性，为后续分析提供重要依据。进一步分析发现，灾害点与孕灾环境敏感性区划图拟合度较高，集中在易成灾区域，这验证了本文风险评估方法的有效性，如图 3。

4.2 致灾因子危险性评价

粤北地区致灾因子危险性等级空间分布呈现由北向南递增的环形带状特征，低风险区主要在云浮西部和韶关北部，高风险区集中在清远、韶关南部及河源南部且邻近珠三角。各危险等级面积占比依次为：低等级

24.8%，较低等级 32.9%，中等危险性 14.9%，较高危险性 10%，高风险性 17.6%。致灾因子危险性平均等级评分，最高为清远市 3.41，河源市 3.31 次之，第三为梅州市 2.01，第四为韶关市 1.95，云浮市 1.34 最低，如图 4。致灾因子危险性评价受暴雨天数指标影响较大，暴雨天数的增加会显著提升区域的致灾因子危险性等级。在高风险区，暴雨天数相对较多，频繁的暴雨事件加剧了山洪灾害的发生概率，导致这些区域的致灾因子危险性等级较高。

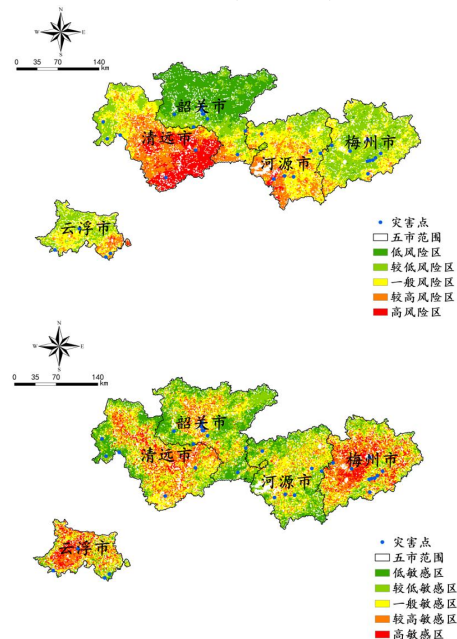


图 2. 综合风险（上）和孕灾环境敏感性（下）验证分析图

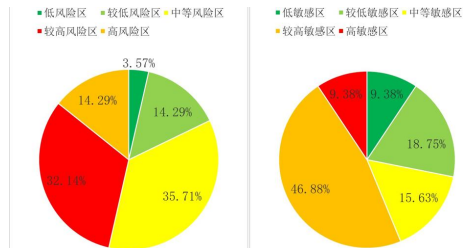


图 3. 综合风险 (左) 和孕灾环境敏感性 (右) 验证分析统计饼状图

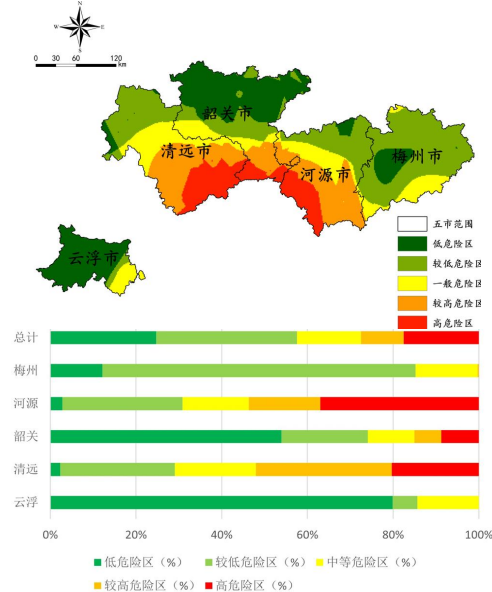


图 4. 致灾因子危险性区划图 (上) 和致灾因子危险性等级在各城市中占比图 (下)

4.3 承灾体脆弱性评价

如图 5, 粤北地区承灾体脆弱性自外圈向内部逐渐增强, 高脆弱性地区分布范围小且呈零散组团状, 平均脆弱性等级 1.82。清远市与珠三角交界地带为高脆弱性区域, 因地均耕地面积广阔, 农作物种植区域广泛分布, 人口密度高, 地均 GDP 高, 路网密度大, 建设用地多。而清远市与韶关市、韶关市与河源市交界的部分区域多为低脆弱性地区, 这些区域多为山区, 设有生态保护区, 土地利用以水体和林地为主, 人口稀疏, 基础设施配套滞后, 路网稀疏, 地均耕地面积和地均 GDP 均较低。承灾体脆弱性受地均 GDP 指标影响较大, 在清远市与珠三角交界地带等地均 GDP 较高的区域, 因其经济活动频繁, 土地开发强度大, 改变了原有的地表径流条件, 导致致灾因子危险性相对较高。

4.4 孕灾环境敏感性评价

孕灾环境敏感性等级分布呈无规律星状。梅州市与云浮市有大面积高敏感及较高敏感区域; 韶关市与云浮市有较多连片的较

低敏感和低敏感区域, 如图 6。高敏感区域形成因素: 一是地形坡度变化大, 有大片平坦低洼地带环绕山体, 形成密集集水区河网, 易积水; 二是农业开发程度高, 绿化覆盖率低, 土壤侵蚀严重, 截流效率低。此外, 土壤侵蚀度作为关键因素, 对孕灾环境敏感性影响显著。在梅州市与云浮市等地, 由于农业开发强度大、植被覆盖不足, 土壤侵蚀问题突出, 导致地表径流增加, 进一步加剧了暴雨洪涝风险。

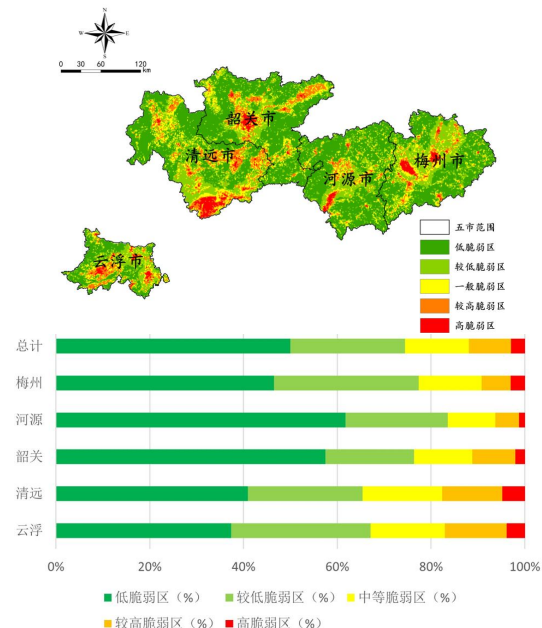


图 5. 承灾体脆弱性区划图 (上) 和承灾体脆弱性等级在各城市中占比图 (下)

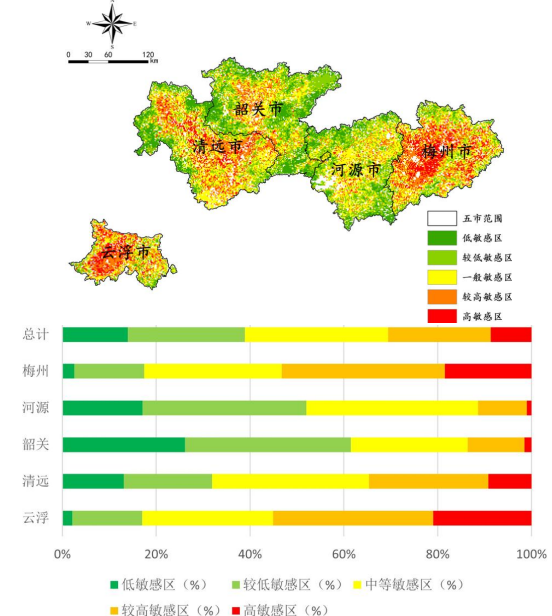


图 6. 孕灾环境敏感性区划图 (上) 和孕灾环境敏感性等级在各城市中占比图 (下)

4.5 防灾减灾能力分析

如图7, 粤北地区防灾减灾能力呈斑块状散乱分布, 高风险区集中在韶关市, 清远和云浮则因防灾减灾能力较强, 风险较低。人类可通过工程性与非工程性手段干预自然灾害。五市中心区域防灾减灾设施完善, 表明防灾减灾能力与人口密度、GDP水平及基础设施完善程度密切相关。其中, 避难所密度对防灾减灾能力评价影响显著。在清远和云浮等防灾减灾能力强的地区, 避难所密度较高, 为居民提供了充足的应急避险场所, 有效降低了灾害风险。而在韶关市等高风险区, 避难所密度相对较低, 导致防灾减灾能力相对较弱。

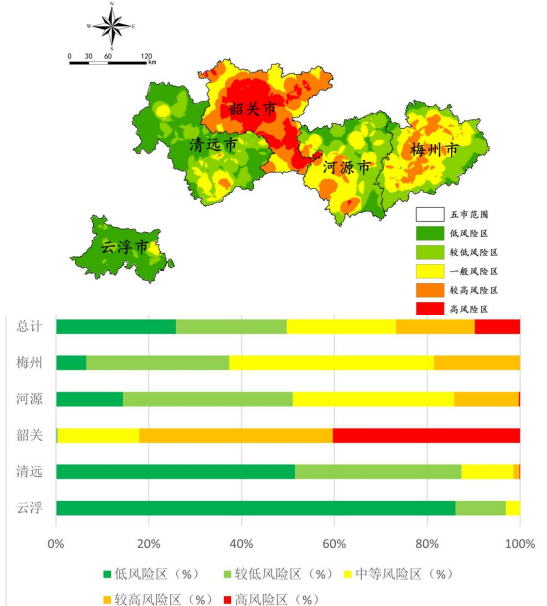


图7.防灾减灾能力区划图(上)和防灾减灾能力等级在各城市中占比图(下)

4.6 暴雨山洪灾害综合风险分析

粤北地区风险等级由北向南递增, 呈蔓延式团块状分布, 如图8。低风险区主要在韶关市, 绿化好, 生态佳。较低和低风险区多山地丘陵, 降雨少。靠近珠三角的地区多为高风险区, 因珠江三角洲地势低洼、城市

化高、人口密集、排水能力弱, 增加灾害易损性。中等和较高风险区环绕高风险区。各城市平均综合风险等级值为2.35, 仅清远市超过3。高风险区集中在珠三角周边。从风险占比看, 较低风险区最多, 高风险区最少。城市平均等级排序: 清远、河源、云浮、梅州、韶关。清远高风险区占比最高, 达27.9%; 河源次之, 占比2.13%; 其余城市均在1%以下。韶关低风险区占比最高, 达54.14%, 主要在北部山区。具体占比见表4。

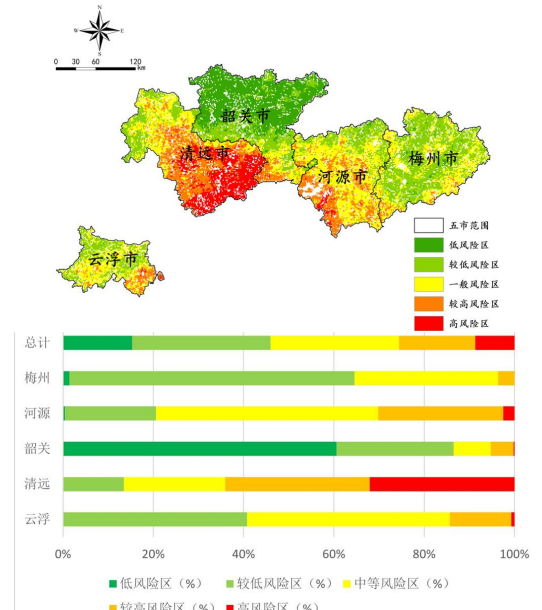


图8.暴雨山洪灾害综合风险区划图(上)和暴雨山洪灾害综合风险等级在各城市中占比图(下)

综上, 可将粤北五座城市分为三类: 第一类清远和河源, 因降雨多、强度大, 地势起伏大, 河网密布, 风险等级高; 第二类云浮, 降雨强度和降水量低, 但河网密度高、蓄水面积大, 路网密度大, 防灾能力弱; 第三类梅州和韶关, 两城市的防灾能力强, 风险等级最低, 其中梅州降雨强度小、地势平坦、排水不畅, 而韶关降水量相对较大。

表4.暴雨山洪灾害综合风险等级在各城市面积占比

城市名称	面积 (km ³)	低风险 (%)	较低风险 (%)	中等风险 (%)	较高风险 (%)	高风险 (%)	平均等级
云浮	7779	0.02	33.32	36.65	11.12%	0.58%	2.24
清远	19000	0.04	11.68	19.58	27.84%	27.90%	3.33
韶关	18218	54.14	23.21	7.32	4.49%	0.20%	1.41
河源	15821	0.36	17.13	41.67	23.47%	2.13%	2.64
梅州	15925	1.24	53.71	27.07	3.06%	0.00%	2.02
总计	76743	13.20	26.46	24.52	14.56%	7.45%	2.35

4.7 情景分析

基于粤北及毗邻区域 38 个气象站 1960-2020 年降水数据，使用 P-III 分布模型估算不同重现期降水量，通过 GIS 技术和反距离权重插值制作粤北地区年降水量分布图，得出降水对山洪灾害影响的量化指标，如图 9-图 11。

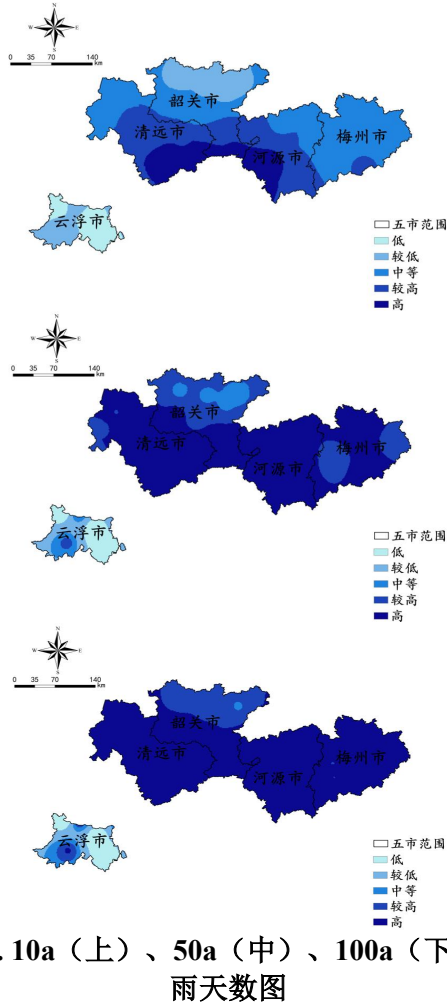


图 9. 10a (上)、50a (中)、100a (下) 暴雨天数图

粤北地区暴雨天数最大值集中在云浮市以南，随重现期增加，暴雨天数从南部向北部递增。总体暴雨天数上升，降雨量持续增加。云浮市随重现期延长，风险值从中心向外围扩散，表明区域降雨差异，极端洪涝灾害可能性增大。

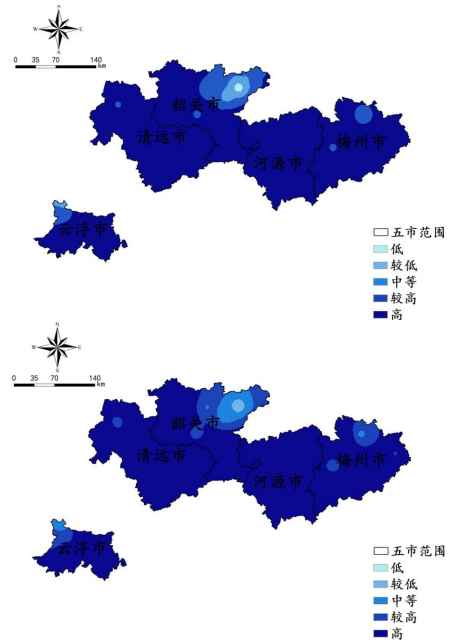
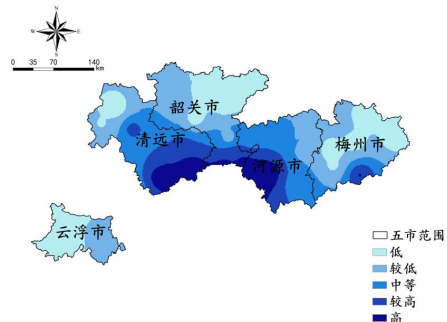


图 10. 10a (上)、50a (中)、100a (下) 连续最大三日降雨量图

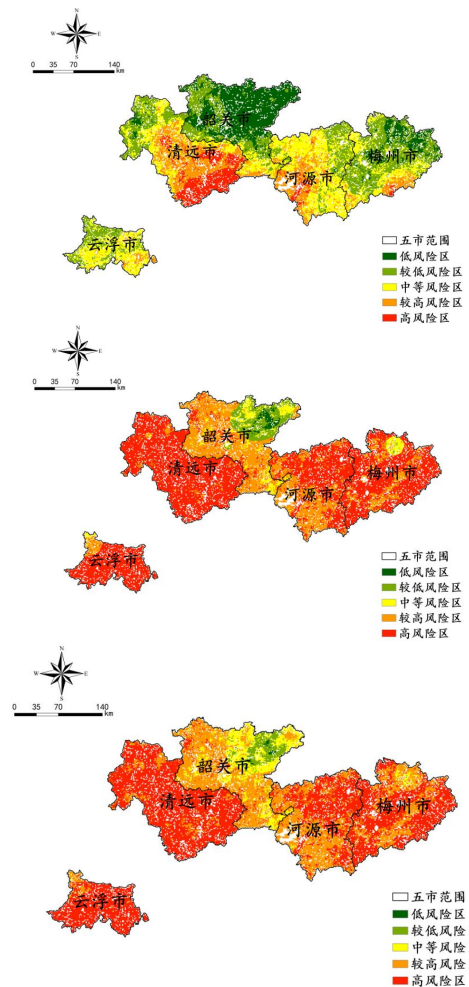


图 11. 10a (上)、50a (中)、100a (下) 暴雨山洪灾害综合风险区域区划图
年连续最大三日降雨量最大值集中在粤

北北部, 云浮除外, 呈南向北递减趋势, 最大值集中在清远南部和河源西南部, 云浮最大降雨量在其东南部。随着重现期延长, 年连续最大三日降雨量空间分布递增, 极端值分布更突出, 这可能与气候变化和地形有关。

对比不同重现期下年连续最大三日降雨量和暴雨天数成果图, 空间分布与两个致灾因子总体一致, 其他二级指标弱化特征但无明显变化。10年一遇暴雨时, 云浮、梅州、河源东部、清远西北部等地区综合风险为中低; 50年一遇及以上暴雨时, 仅韶关东北部少数地区为中低风险, 其余地区风险上升至较高或高风险。三种重现期情境下, 成果图空间分布与致灾因子降雨量及暴雨天数分布总体一致, 引入其他二级指标后特征弱化但趋势不变。10年一遇暴雨时, 多地综合风险中低; 极端暴雨时, 仅韶关东北部少数区域维持中低风险, 其余地区风险提升至较高或高风险, 表明极端天气下粤北风险分布显著变化, 需关注并应对。

5. 结论和建议

5.1 结论

本文利用粤北地区自然环境以及社会经济的相关数据, 构建暴雨山洪灾害评价指标体系, 采用综合加权法、风险评价模型和GIS软件, 对粤北地区暴雨山洪的致灾因子、孕灾环境、承灾体和防灾减灾能力的分布规律进行讨论, 主要结论如下:

(1) 随着粤北地区暴雨日数增加, 致灾因子危险性显著上升, 空间分布由北向南递增的环形带状, 清远市危险性最突出; 当地地区土壤侵蚀度加剧, 孕灾环境敏感性提升, 等级分布呈无规律的星状, 梅州市和云浮市存在大面积高敏感及较高敏感区域;

(2) 地均GDP对承灾体脆弱性影响显著, 脆弱性区域分布相对集中, 呈小范围零散组团状, 自外围向内部逐渐增强; 每万人卫生技术人员数量是关键影响因素, 整体防灾减灾能力有待提升, 区域分布呈斑块状且散乱, 韶关市高风险区域集中, 清远市和云浮市防灾减灾能力相对较强。

(3) 综合风险自北向南逐渐升高, 低风险区域集中于韶关市, 高风险区域集中在靠近珠江三角洲的地区, 不同城市风险等级差异明显。

(4) 暴雨天数与年连续最大三日降雨量最大值集中于粤北南部(云浮除外), 随重

现期变化空间分布趋势不同, 10年一遇暴雨情境下云浮市、梅州市等部分地区为中低风险, 50年一遇及以上暴雨情境下仅韶关市东北部为中低风险, 其余地区风险大幅上升。

5.2 建议

(1) 优化监测预警系统。在粤北地区高风险区域, 如靠近珠江三角洲的地带以及清远、梅州、云浮等降雨量大的地方, 增密监测点, 实时共享数据, 提升暴雨山洪监测精度与预报警示性; 利用多渠道精确监测暴雨日数、降雨量、土壤侵蚀度等关键指标的动态变化, 为预警提供更准确的数据支持。

(2) 加强基础设施与应急能力建设。对韶关、清远等高风险区域, 提高防洪工程和城市排水系统建设标准, 增强其排水防洪能力; 在梅州、云浮土壤侵蚀敏感区实施生态保护坡工程, 增强水土保持能力, 减少山洪带来的土壤侵蚀和洪水风险; 提升区域整体应急救援水平。

(3) 推动区域协同与资源合理布局。打破行政区域限制, 构建粤北地区暴雨山洪灾害防控联盟, 实现防控措施联动, 实现监测数据共享、应急资源调配, 共同应对跨区域山洪灾害风险; 引导高风险区域产业和人口向低风险区域转移, 降低风险暴露度。

参考文献

- [1]徐永年, 曹文洪, 周新福, 等.山洪灾害特性及其防治对策[J].中国水利水电科学研究院学报, 2004, 2(2): 115-119.
- [2]葛星, 骆建雄.GIS支持下的小流域山洪灾害风险区划分方法研究[J].中国农村水利水电, 2018, (10): 170-176.
- [3]王协康, 刘兴年, 周家文.泥沙补给突变下的山洪灾害研究构想和成果展望[J].工程科学与技术, 2019, 51(4): 1-10.
- [4]Kavzoglu T, Sahin E K, Colkesen I. 2014. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. Landslides, 11(3):425-439.
- [5]刘海知, 徐辉, 包红军, 宋巧云, 鲁恒, 闫旭峰, 狄靖月, 杨寅.2024.基于数据驱动的山区暴雨山洪水沙灾害易发区早期识别方法研究.气象学报, 82(2): 257-273.
- [6]张平仓, 任洪玉, 胡维忠, 等.中国山洪灾害防治区划初探[J].水土保持学报,

- 2006, 20 (6) : 196-200.
- [7]赵士鹏.中国山洪灾害系统的整体特征及其危险度区划的初步研究[J].自然灾害学报, 1996, 5 (3) : 7.
- [8]王英.基于 GIS 及综合权重法的甘肃黄土高原区山洪灾害风险区划研究[J].中国农村水利水电, 2018 (8) : 118-122.
- [9]葛涛涛.基于机器学习算法的日喀则地区泥石流易发性研究[D].江苏: 南京信息工程大学, 2019.
- [10]刘香华, 王秀明, 刘谓承, 等.基于外溢生态系统服务价值的广东省生态补偿机制研究[J].生态环境学报, 2022, 31 (05) : 1024-1031.
- [11]朱晓晨, 高场, 高佳琦, 李钢, 唐会荣.基于 GIS 的区县级暴雨洪涝风险评估方法[J].热带地理, 2014, 34 (5) : 704-711.
- [12]包文轩, 宫阿都, 徐灏, 李博艺, 黄智卿.基于区域灾害系统论的广东省台风灾害风险评估——以“山竹”台风为例[J].北京师范大学学报(自然科学版), 2023, 59 (1) : 94-103.
- [13]周超, 方秀琴, 吴小君, 等.基于三种机器学习算法的山洪灾害风险评价[J].地球信息科学学报, 2019, 21 (11) : 1679-1688.
- [14]蒋新宇, 范久波, 张继权, 等.基于 GIS 的松花江干流暴雨洪涝灾害风险评估[J].灾害学, 2009, 24 (3) : 6.
- [15]黄凡津, 刘惠雯, 曾秀华, 等.ArcGIS 克里金插值法在北海市降水演变时空分析中的应用[J].广西水利水电, 2024, (05) : 15-20.
- [16]安全.基于渔网算法的喀斯特流域水系特征提取与地貌发育阶段识别研究[D].贵州师范大学[2024-12-23].
- [17]王金虎, 许俊辉.基于 ArcGIS 的长三角地区暴雨灾害风险评估研究[J].运筹与模糊学, 2024, 14 (3) : 1397-1409.
- [18]陈明星, 陆大道, 张华.中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J].地理学报, 2009, 64 (4) : 387-398.
- [19]章穗, 张梅, 迟国泰.基于熵权法的科学技术评价模型及其实证研究[J].管理学报, 2010, 7 (1) : 34.
- [20]杨俊.基于 GIS 和 RS 的庐山风景区山洪灾害调查与风险区划研究[D].南昌工程学院, 2018.
- [21]彭建, 魏海, 武文欢, 等.基于土地利用变化情景的城市暴雨洪涝灾害风险评估——以深圳市茅洲河流域为例[J].生态学报, 2018.