



基于 ArcGIS 的廊坊地区洪涝灾害风险评估及洪水淹没分析

武 杰, 安洪岩, 李 翱, 朱梅涛, 龚 伦, 牛学瑶, 宋东阳, 王 兴, 顾亚强, 李学光

中国地质调查局 廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000

摘 要: 基于 ArcGIS 平台, 提取高精度 DEM 数据, 选取洪涝灾害风险评估指标体系因子, 运用洪涝灾害风险评估原理方法、AHP 层次分析法、加权综合评价法和 ArcGIS 空间分析模块重点分析了危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力 4 个复合因子。在自然灾害与社会经济因素的基础上, 对廊坊市广阳、永清、文安、大城等区县洪涝灾害进行风险评估与区划。结果认为, 廊坊地区洪涝灾害综合风险区划呈现出南部洪涝风险大于北部洪涝风险。而快速提取洪水淹没区域范围、水量信息, 取得研究区天然状态下的洪水淹没分析成果, 对洪水灾情评估、救援以及资源分配有着重要意义, 同时可为洪涝灾害预警和防灾减灾提供科学依据。

关键词: 洪涝灾害; 洪水淹没; ArcGIS; 风险评估; 廊坊地区

Risk assessment and inundation analysis of flood in Langfang region based on ArcGIS

WU Jie, AN Hong-yan, LI Xuan, ZHU Mei-tao, GONG Lun, NIU Xue-yao,

SONG Dong-yang, WANG Xing, GU Ya-qiang, LI Xue-guang

Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Langfang 065000, Hebei Province, China

Abstract: Based on ArcGIS platform, this study extracts the high-precision DEM data, selects the factors of flood disaster risk assessment index system, and uses the methods of flood disaster risk assessment, analytic hierarchy process (AHP), weighted comprehensive evaluation as well as ArcGIS spatial analysis module to analyze four composite factors of risk, exposure, vulnerability and disaster prevention and mitigation capacity. Besides, the risk assessment and zoning of flood disasters in the counties and districts of Langfang City are conducted in terms of natural disasters and socioeconomic factors. The results show that the flood disaster comprehensive risk in the southern area is greater than that in the northern area of the city. The rapid extraction of flood inundation area and water volume information, and analysis results of flood inundation under natural state in the study area is of great significance for flood disaster assessment, rescue and material allocation, which can also provide scientific basis for flood disaster early warning and prevention.

Key words: flood disaster; flood inundation; ArcGIS; risk assessment; Langfang City

收稿日期: 2023-07-11; 修回日期: 2023-11-14. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局“京津冀廊坊地区生态修复支撑调查”(ZD20220202).

作者简介: 武杰(1992—), 男, 主要从事生态环境地质调查与研究, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail//827679553@qq.com

通信作者: 安洪岩(1994—), 男, 工程师, 主要从事生态环境地质调查与研究, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail//568548265@qq.com

引用格式: 武杰, 安洪岩, 李翱, 朱梅涛, 龚伦, 牛学瑶, 宋东阳, 王兴, 顾亚强, 李学光. 基于 ArcGIS 的廊坊地区洪涝灾害风险评估及洪水淹没分析[J]. 地质与资源, 2025, 34(1): 103-111.

Wu J, An H Y, Li X, Zhu M T, Gong L, Niu X Y, Song D Y, Wang X, Gu Y Q, Li X G. Risk assessment and inundation analysis of flood in Langfang region based on ArcGIS [J]. Geology and Resources, 2025, 34(1): 103-111.

0 引言

在众多自然灾害中,洪涝灾害是一种发生频繁且危害较大的自然灾害,低洼地区极易被洪水淹没,严重威胁人类社会经济发展与生命财产安全,已经成为制约社会与经济可持续发展的重要因素^[1]。近年来全球气候变暖,各种极端天气和气象灾害频繁发生,廊坊市所处北方的政治经济核心地区,地势开阔平坦,河系众多,水网发育较好,极易发生洪涝灾害。为了对该地区洪涝灾害进行有效管理,了解洪涝灾害造成的影响范围,有必要对研究区进行洪涝灾害风险评估和洪水淹没分析^[2]。

廊坊市位于华北平原中东部,河北省中部,地处东经 116°7′—117°14′、北纬 38°28′—40°15′之间,海拔多在 1 200~1 500 m,接壤北京、天津和雄安新区。研究区为南七区县,包括“两区”(广阳、安次)“四县”(固安、永清、文安、大城)“一市”(霸州)。土地利用类型以耕地、林地为主,建筑用地为辅。土壤类型主要为砂质土和黏质土。地形平坦开阔,地势由西北向东南微倾斜,地面海拔高程 9~21 m,地面坡降 0.3‰~0.5‰。本区由永定河、大清河冲洪积物堆积而成,地貌成因类型、基本地貌形态较为复杂,总体可分为古河道高地或微高地区和扇上平地或缓斜地两个地貌区。

研究区水系属海河水系,作为海河流域内主要的泄洪区,区内河流洼淀分布较多,有北运河、永定河、大清河、子牙河等,在流域洪水调度中多次发挥重要作用,其中主要有东淀滞洪区和文安洼,均由国家防汛抗旱总指挥部直接调度。东淀滞洪区设计滞洪水位 6.44 m,相应滞洪量 $12.88 \times 10^8 \text{ m}^3$,滞洪面积 377 km²;文安洼设计滞洪水位 5.94 m,滞洪量 $34.63 \times 10^8 \text{ m}^3$,总淹没面积 1 557 km²。气候属于暖温带半干旱半湿润季风气候,处于中纬度季风区,夏季常受偏南暖湿气流影响,全年 60%以上的降雨集中在汛期,极易发生洪涝灾害^[3]。本研究通过历史水文资料和前人的经验总结,结合廊坊地区洪水调度方案,并考虑到降水入渗对径流的影响作用,基于 ArcGIS 软件,从自然状态方面,进行本区域洪水淹没分析,评估廊坊市南七区县的泄洪能力。

1 数据来源

气象数据选取廊坊市各县 2018 年 7 月降水数据,来自廊坊市气象局。查阅历史数据显示,1963 年大清

河流域最大日降雨量为 704 mm,发生在保定司仓。参考历史降水数据^[4-5],平均降雨量分别约为 235.5 mm、300 mm。2023 年 7 月 31—8 月 5 日,永定河上游突降暴雨,永清县部分村庄受灾严重,永定河流域平均降水量 287.5 mm。永定河固安水文监测站 2023 年 8 月 1 日 10 时 0 分水位达到 30.75 m,大清河流域平均降水量 350.6 mm,北运河流域平均降水量 260.9 mm。临近固安县的涿州市突发暴雨,受灾十分严重,全市平均降水量 355.1 mm,最大降水量为两河村 435.7 mm,泄洪受灾区域最低水位约 2 m,最高水位约 6 m。

根据前人资料,在较小流域内,降水汇流时间一般小于 1 d。廊坊境内的大清河流域虽然面积较大,但属于典型的扇形流域,汇流时间较短,本次模拟采用最大 24 h 暴雨进行计算。因此,在文安洼区 100 a 重现周期设计暴雨量为 217.6 mm。考虑进行模拟的降水最大化原则,本次模拟流域面积虽超过 400 km²,但未计算点面折算系数,设定日降水量 700 mm 作为极值降水量。

基础数据包括廊坊市 DEM 数据、土地利用类型、土壤类型图、水系图,以及应用 ArcGIS 提取的坡度数据及河网密度数据。统计数据来自廊坊市 2020 年统计年鉴。

2 研究方法

2.1 洪涝风险评估体系构建

洪涝风险评估需要收集的数据主要是空间数据和属性数据资料。在对数据处理后,通过 GIS 因子叠加等技术方法,得到洪涝风险评价图^[6]。数据分析处理及评价方法如下。

1) 灾害风险评估原理

灾害风险评估可以分析与评价人类生存的环境等可能存在的潜在威胁与伤害的致灾因子和承载体的脆弱性,从而得出风险性质、受灾范围和灾害损失。灾害风险由 4 个主要因子构成,即危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力。每个因子又由一系列因子组成^[7]。

2) AHP 层次分析法

层次分析法是指将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统,将目标分解为多个目标或准则,进而分解为多指标(或准则、约束)的若干层次,通过定性指标模糊量化方法算出层次单排序(权数)和总排序,以作为目标(多指标)、多方案优化决策的系统方法。可以通

过定性与定量相结合的方式,通过将复杂问题分解为若干层次与若干因素,在各因素之间进行简单的比较和计算,就可以得出不同因子重要性程度的权重^[8]。

3) 加权综合评价法

加权综合评价法可以结合各个因子对总体对象的影响程度,将各个具体的指标进行加权综合,最终用一个数值对整体进行评价。其表达式为:

$$C = \sum_{i=1}^n T_i W_i \quad (1)$$

式中, C 为综合评价因子, T_i 为第 i 指标 ($T_i \geq 0$), W_i 为指标 i 的权重值 ($0 \leq W_i \leq 1$), n 为评价指标个数。

4) ArcGIS 空间分析

采用 ArcGIS 平台中空间克里金插值、空间重分类、坡度计算、空间叠加分析等功能,栅格分辨率均为 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 。

2.2 洪水淹没分析评价构建

1) 降雨入渗量

在一般的暴雨分析中,通常不考虑入渗量对汇流的影响,但通过前期的路面调查和资料分析,大清河流域地标类型主要为耕地和林地,而表层出露多为松散的耕植土或粉土、粉砂,入渗作用明显,故在前期没有充足降水、地面土壤水分未饱和的情况下,不应忽视入渗作用对降水汇流的影响。结合前期进行的渗水试验和区域上一般采用的经验系数,设定 1 d 降水内,入渗系数为 $5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。

2) 模型范围

文安洼、东淀滞洪区的绝大部分区域均在廊坊市境内,有小部分区域在天津境内,另廊坊境内有小部分子牙河流域的贾口洼,行政区划外的减少面积与流域外的增加面积类似。为便于计故将模型范围确定为廊坊市南七区县。计算面积为 $3\,612 \text{ km}^2$ 。

高程数据采用收集到的廊坊市南七区县高精度 DEM 数据,模拟软件采用 ArcGIS,进行淹没分析,建立淹没区域与洪水量的数学模型^[9]。DEM 数据未能将堤坝计算在内,故本次模拟的淹没范围均为天然状态下的洪水淹没范围^[10-11]。

数学基础:

$$W_{\text{产流}} = Q \cdot A - W_{\text{入渗}} \quad (2)$$

式中, $W_{\text{产流}}$ 为暴雨产生的洪水量, m^3 ; Q 为日最大降水量, mm ; A 为模拟区域面积, m^2 ; $W_{\text{入渗}}$ 为入渗水量, m^3 。

本研究仅考虑降水和入渗的影响,不考虑其他源汇项。

3 洪涝灾害风险评估指标体系因子选取

风险通常是指在一定时间与空间内产生有害事件的概率与有害时间后果的乘积。风险值则是洪涝灾害风险的具体表征,其包括危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力。研究区受到 4 种主要风险源的相互作用,每一种风险源在整个区域的风险强度大不相同,相同区域的不同地点受不同风险区的多重影响,其综合风险存在着差异。为了体现这种差异,需要将风险细化因子,通过 GIS 叠加分析得到 4 种风险源的影响分级,进而划分小区^[12]。

危险性主要是气象要素及地理环境。降雨量越大、河网越密集、地形越低洼、土壤透水性越差的地区易发生洪涝灾害。

暴露性主要是可能受到危险因素危害的社会、经济和自然环境体系,即受灾体,具体包括人类、城市、工业和农业等。一般来说,暴露于危险因素的价值密度越高,可能受到的潜在损失就越大,研究区的行政区面积、总人口数、工农业总产值越大的地方暴露性越高。

脆弱性可以描述载体中一些自然、人文要素受到致灾因素影响的程度,可以综合反映洪涝灾害的损失程度。洪涝灾害对农业影响较大,所以农业指标比例越大,其脆弱性也就越大。0~14 岁儿童人数、女性人口及个体经营户应对灾害的防护能力和稳定性较差,与脆弱性成正比。

防灾减灾能力主要为灾害防控能力和灾害恢复能力,地区经济水平(GDP、地方财政收入)越高,恢复能力越强。林地可以蓄水,水利工程用地可以防控洪水,从而减轻洪涝灾害的损失程度^[13]。据此确定廊坊市南七区县洪涝灾害风险评估指标体系,并利用 AHP 层次分析法确定权重(见图 1)。

4 廊坊市南七区县洪涝灾害风险评估与区划

4.1 洪涝灾害危险性评估与区划

危险性包括海拔高度、坡度、河网密度、土壤类型和 7 月降雨量。根据各指标数据与危险性关系进行标准化处理。将 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 的栅格数据根据权重进行叠加得到廊坊市南七区县洪涝灾害危险性栅格数据。划分标准如表 1。

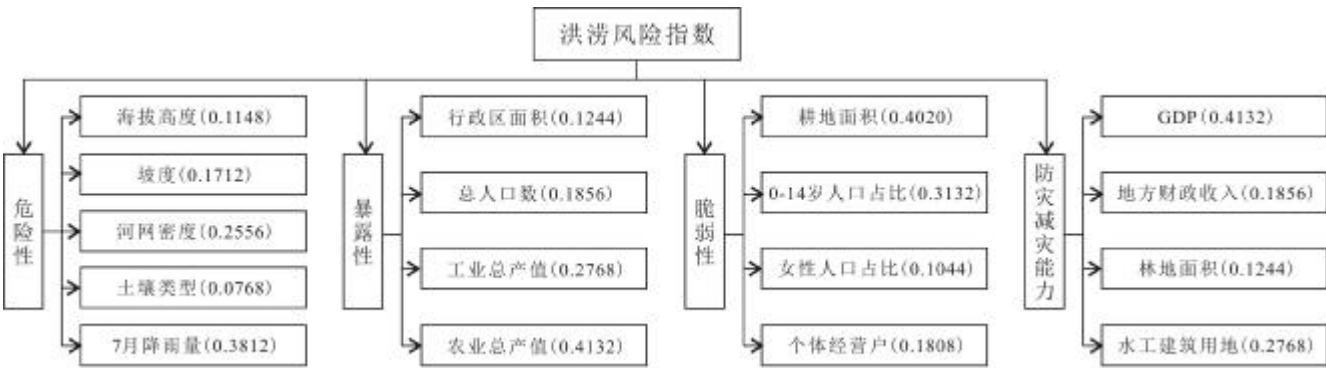


图 1 廊坊市南七区县洪涝灾害风险评价指标系统及权重值

Fig. 1 Risk evaluation index system and weight values of flood disaster in Langfang City

表 1 廊坊市南七区县洪涝灾害危险性等级划分标准

Table 1 Risk levels of flood disaster in Langfang City

危险性指数	0.4937~0.6214	0.6214~0.6845	0.6845~0.7418	0.7418~0.8681
等级	轻危险性	低危险性	中危险性	高危险性

廊坊市南七区县洪涝灾害危险性风险区划结果如图 2 所示. 轻危险性主要分布在固安、霸州、大城一带, 主要是由于这些地方海拔较高, 坡度较大, 降雨较少, 河网较稀疏. 高危险性主要分布在廊坊市区和文安县. 这些地区高程坡度较低, 土壤渗水性较差, 河流密度大, 短时降雨较大, 易发生洪涝灾害^[14-15].

4.2 洪涝灾害暴露性评估与区划

暴露性包括行政区面积、总人口数、工业总产值和农业总产值. 数据来源为廊坊市 2020 年统计年鉴. 对各暴露性指标进行标准化和加权计算得到暴露性指数 (如表 2).

廊坊市洪涝灾害暴露性风险区划结果如图 3 所示. 安次区和大成县为轻暴露性, 广阳区为低暴露性, 文安县为中暴露性, 固安县、永清县和霸州市为高暴露性. 廊坊市洪涝灾害暴露性整体偏高^[16].

4.3 洪涝灾害脆弱性评估与区划

脆弱性包括耕地面积、0~14 岁人口占比、女性人口占比和个体经营户数量. 数据来源为廊坊市 2022 年统计年鉴和廊坊市第七次人口普查. 对各脆弱性指标进行标准化和加权计算得到脆弱性指数. 划分标准如表 3.

廊坊市南七区县洪涝灾害脆弱性风险区划结果如图 4 所示. 广阳区和固安县为轻脆弱性, 安次区为低

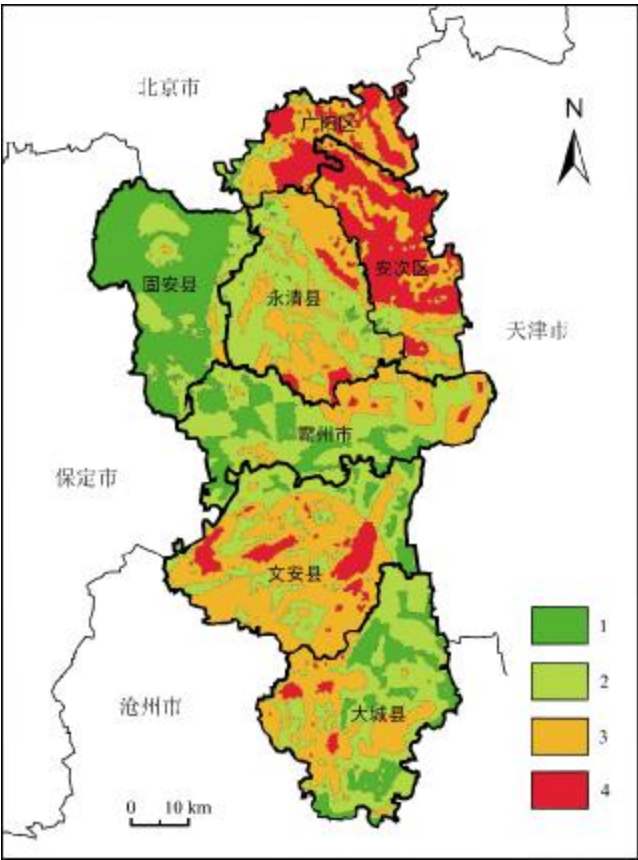


图 2 廊坊市南七区县洪涝灾害危险性风险区划图

Fig. 2 Flood disaster risk zoning map of Langfang City

1—轻危险性 (mild risk); 2—低危险性 (low risk); 3—中危险性 (medium risk); 4—高危险性 (high risk)

表 2 廊坊市南七区县洪涝灾害暴露性等级划分标准

Table 2 Exposure levels of flood disaster in Langfang City

暴露性指数	0.3620~0.4026	0.4026~0.4660	0.4660~0.5502	0.5502~0.6272
等级	轻暴露性	低暴露性	中暴露性	高暴露性

表 3 廊坊市南七区县洪涝灾害脆弱性等级划分标准

Table 3 Vulnerability levels of flood disaster in Langfang City

脆弱性指数	0.4351~0.4869	0.4869~0.5685	0.5685~0.6812	0.6812~0.7654
等级	轻脆弱性	低脆弱性	中脆弱性	高脆弱性

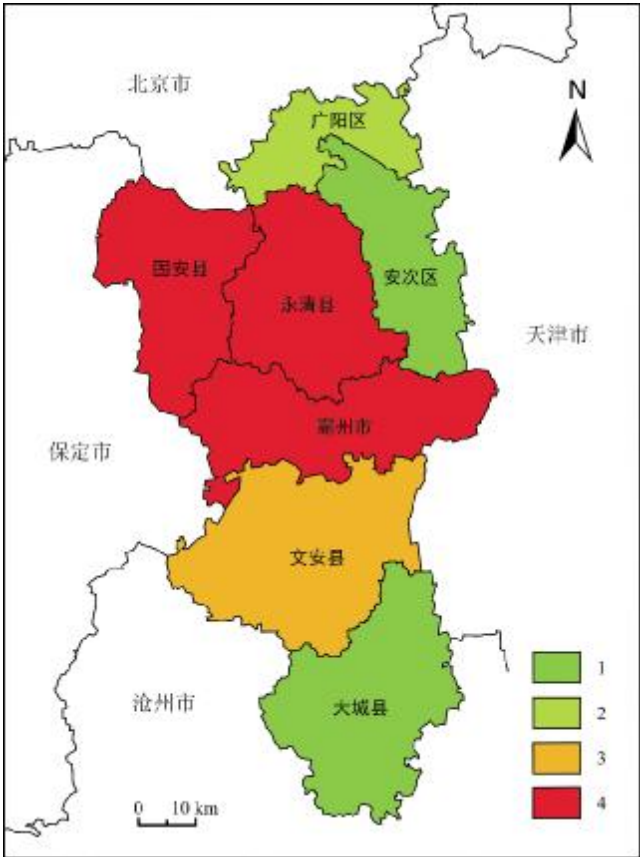


图 3 廊坊市南七区县洪涝灾害暴露性风险区划图

Fig. 3 Flood exposure risk zoning map of Langfang City

1—轻暴露性(mild exposure); 2—低暴露性(low exposure); 3—中暴露性(medium exposure); 4—高暴露性(high exposure)

脆弱性,永清县和霸州市为中脆弱性,文安县和大城县为高脆弱性.廊坊市南七区县洪涝灾害脆弱性以高、中等级为主,整体偏高^[47].

4.4 洪涝灾害防灾减灾能力评估与区划

防灾减灾能力包括 GDP、地方财政收入、林地面

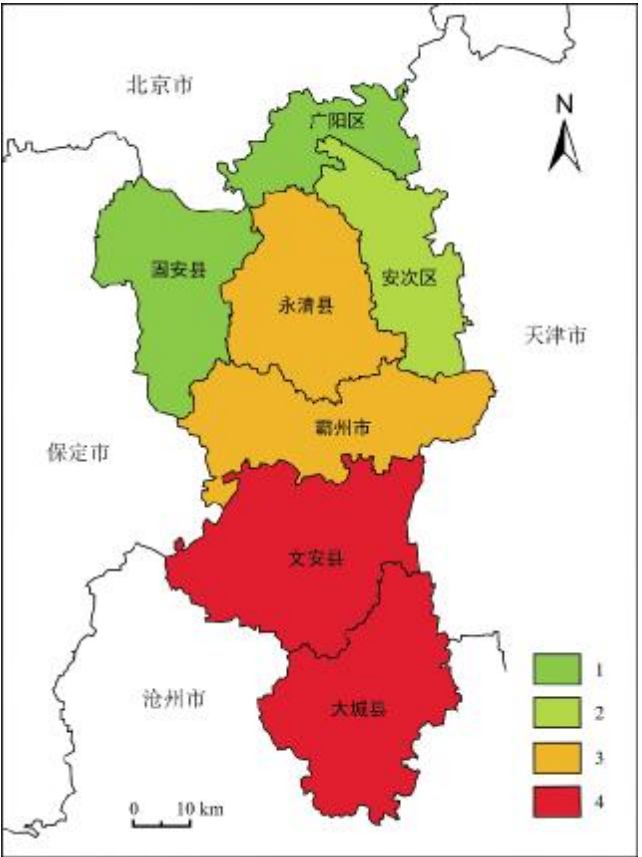


图 4 廊坊市南七区县洪涝灾害脆弱性风险区划图

Fig. 4 Flood disaster vulnerability risk zoning map of Langfang City

1—轻脆弱性(mild vulnerability); 2—低脆弱性(low vulnerability); 3—中脆弱性(medium vulnerability); 4—高脆弱性(high vulnerability)

积和水利工程建筑面积.数据来源为廊坊市 2022 年统计年鉴和第三次国土变更调查公开数据.对各防灾减灾能力指标进行标准化和加权计算,得到防灾减灾能力指数(如表 4).

表 4 廊坊市南七区县洪涝灾害防灾减灾能力等级划分标准

Table 4 Flood disaster prevention and mitigation capacity levels of Langfang City

防灾减灾能力指数	0.3000~0.4217	0.4217~0.5658	0.5658~0.7119	0.7119~0.8174
等级	轻防灾减灾能力	低防灾减灾能力	中防灾减灾能力	高防灾减灾能力

廊坊市南七区县洪涝灾害防灾减灾能力区划结果如图 5 所示,安次区、文安县和大城县为轻防灾减灾能力,广阳区和永清县为低防灾减灾能力,霸州市为中防灾减灾能力,固安县为高防灾减灾能力。廊坊市南七区县洪涝灾害防灾减灾能力以低、轻等级为主,整体

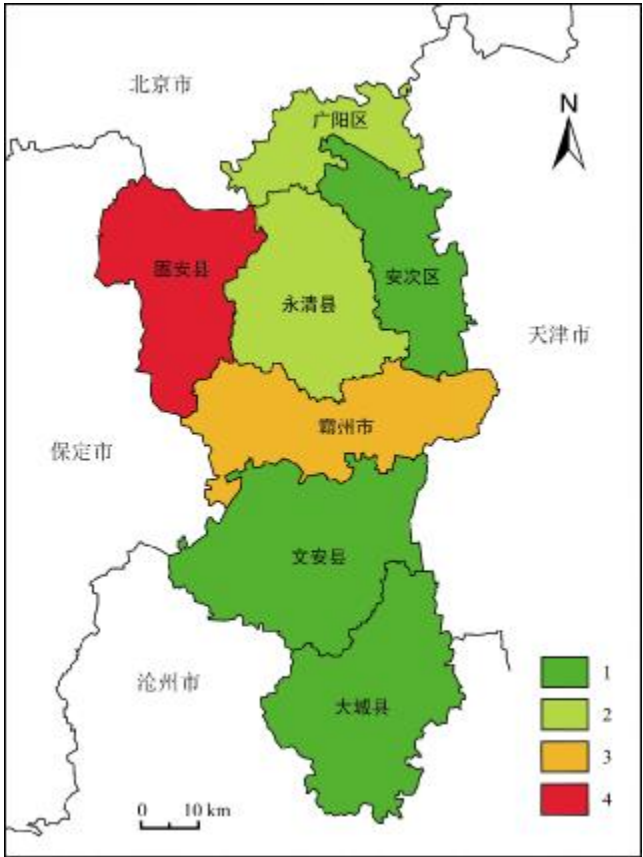


图 5 廊坊市南七区县洪涝灾害防灾减灾能力风险区划图
Fig. 5 Disaster prevention and mitigation capacity risk zoning map of Langfang City
1—轻防灾减灾能力 (light capacity); 2—低防灾减灾能力 (low capacity); 3—中防灾减灾能力 (medium capacity); 4—高防灾减灾能力 (high capacity)

偏低^[18-19]。

4.5 洪涝灾害综合风险评估与区划

洪涝灾害风险指数是由危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力综合作用而得来的结果,其中防灾减灾能力与灾害风险成反比。洪涝灾害综合风险指数计算表达式为:

$$UDRI=0.5\times DH+0.4\times DE+0.3\times DV-0.2\times DC \quad (3)$$

式中,UDRI 为洪涝灾害风险指数,DH 为危险性,DE 为暴露性,DV 为脆弱性,DC 为防灾减灾能力。

根据公式(3)对廊坊市南七区县洪涝灾害危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力栅格数据进行加权叠加得到综合风险指数,风险等级划分见表 5。

廊坊市南七区县洪涝灾害综合风险区划如图 6 所示,总体上呈现出南部洪涝风险大于北部洪涝风险,轻度风险主要集中于固安县及广阳区少部分,低度风险主要集中于廊坊市区,高度风险区主要集中于文安县及霸州市少部分、永清县少部分,整体上偏重、高等级,各级风险空间分布差异明显,空间差异性较强,中、高度风险占到廊坊市南七区县面积的 60%以上,表明廊坊市南七区县洪涝灾害风险较高,受灾影响程度较大。相关部门可根据洪涝灾害规律,采取相应措施,提高脆弱地区的防灾减灾能力,做好洪涝灾害的预警和防护措施,特别是高度风险地区,应该予以重视^[20-21]。

4.6 洪涝灾害分析评估

研究区内轻度风险区面积约 797.34 km²,约占 15.40%,分布于南七区县北部,主要集中在固安县,少数零星分布于广阳区和安次区南部。主要影响因素是危险性与脆弱性较低,海拔高度及坡度较高,河网密度较小,土壤渗水性强较小,该区域多为城镇化较高,防灾减灾能力较强的地区。在现有程度上,建议加强防

表 5 廊坊市南七区县洪涝灾害综合风险等级划分标准

Table 5 Comprehensive risk levels of flood disaster in Langfang City

综合风险指数	0.4515~0.5483	0.5483~0.6238	0.6238~0.6867	0.6867~0.7722
等级	轻度风险	低度风险	中度风险	高度风险

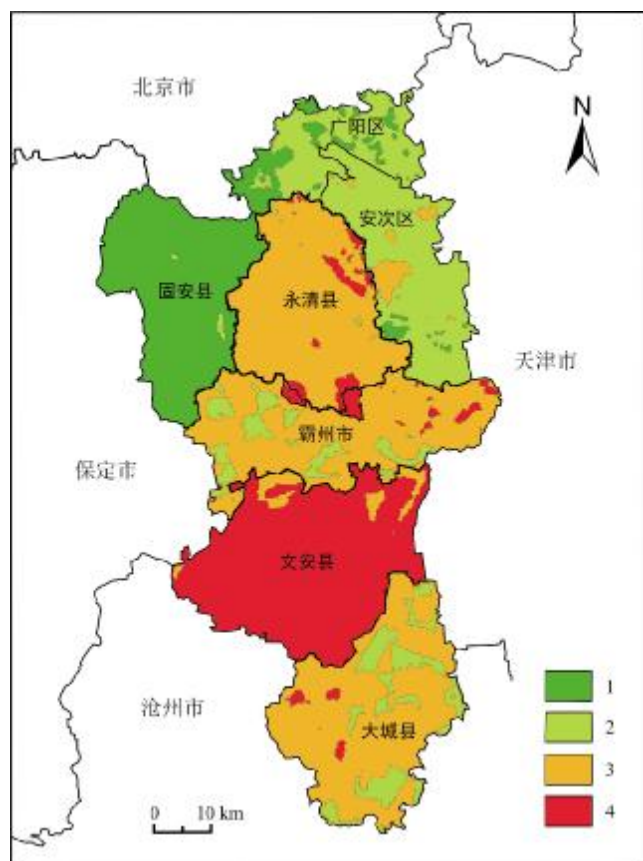


图 6 廊坊市南七区县洪涝灾害综合指数风险区划图

Fig. 6 Comprehensive index risk zoning map of Langfang City

1—轻度风险(mild risk); 2—低度风险(low risk); 3—中度风险(moderate risk); 4—高度风险(high risk)

洪宣传教育,积极兴建城市防洪排涝设施。

低度风险区面积约 1 098.62 km²,约占 21.21%,主要分布于廊坊市区,少部分零星分布于霸州市和大城县。主要影响因素是危险性较高,防灾减灾能力较低,城镇化较高,雨季降雨量较高,耕地面积较少。该区域多为经济较发达地区,人均 GDP 较高,但水利工程用地较低,导致防灾减灾能力较低。应加大力度兴建城市防洪排涝设施,做好防洪宣传教育。

中度风险区面积约 2 209.79 km²,约占 42.67%,主要呈片状分布于永清县、霸州市和大城县。主要影响因素是暴露性和脆弱性较高,防灾减灾能力较低,河网密度较高,耕地面积较大。该区域多为农业区,主要为耕地,河流沟渠密集,防洪减灾能力较低,应杜绝占用河道沟渠现象,在现有工程基础上,修建水利设施,提高防洪减灾能力。

高度风险区面积约 1 073.25 km²,约占 20.72%,主

要分布于文安县,少部分零星分布于永清县、霸州市和大城县。主要影响因素是危险性、暴露性和脆弱性较高,防灾减灾能力较低,海拔高度较低,河网密度较高,耕地面积较高。该区域为洼淀区与滞洪区,极易发生洪涝灾害,应充分发挥现有水利工程的作用,完善防洪体系,做好应急预案;发生洪涝灾害后,及时疏散洼淀区居民,保护人民生命安全。

5 天然状态下洪水淹没分析

根据廊坊市防洪评价标准,文安洼区 100 a 重现周期设计暴雨量为 217.6 mm,但是历史上曾多次发生 700 mm 以上的降水。为更好地评估研究区域洪涝灾害风险,本次模拟采用日最大降水量为 700 mm,远大于可能发生的最大降雨极值(217.6 mm/d)。

当日降水量为 700 mm 时,不考虑入境水量和出境水量带来的影响,忽略洪水蒸发量,设定入渗系数为 5×10^{-5} cm/s,入渗率为 4.32%,洪水量为 24.2×10^8 m³,淹没面积为 1 754 km²,淹没深度为 4.85 m。淹没范围见图 7。

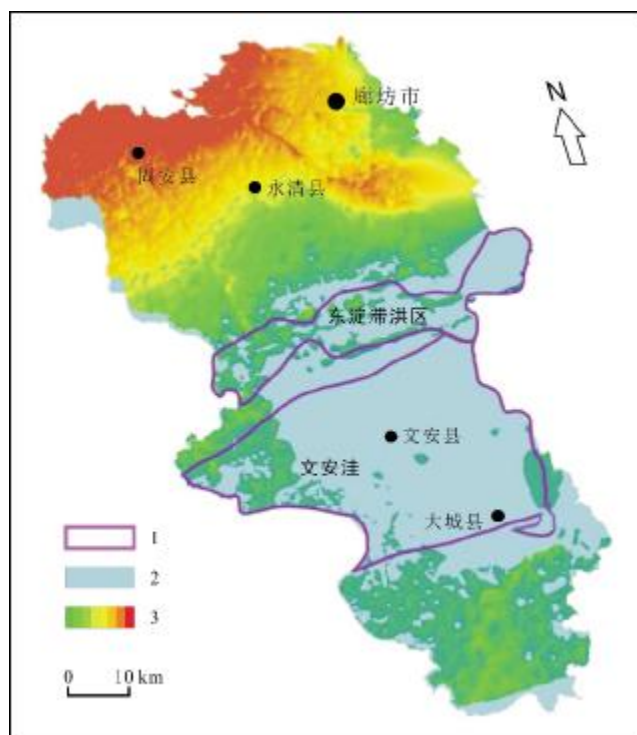


图 7 日降水量为 700 mm 时洪水淹没范围示意图

Fig. 7 Flood inundated area at the daily precipitation of 700 mm

1—滞洪区范围(flood detention area); 2—淹没区域(inundated area); 3—海拔高度:80~180 m (altitude of 80~180 m)

可以看出,不考虑水利工程发挥作用的情况下,当单日降水量达到 700 mm 时,霸州东南部、文安大部、大城北部全部淹没,文安县城、大城县城、胜芳镇、左各庄镇等全部淹没,淹没范围略大于文安洼与东淀滞洪区的范围,考虑到洪水总量 $24.2\times 10^8\text{ m}^3$,明显低于区域最大滞洪量 $47.51\times 10^8\text{ m}^3$,实际发生 700 mm 降雨时,主要城镇不会淹没,区域现有滞洪能力为 $47.51\times 10^8\text{ m}^3$,不考虑入境出境水量,考虑入渗作用的影响,根据计算模型,反推可以承受的日最大降水量为 1 375 mm,说明廊坊地区的滞洪能力远大于本地区的暴雨量,计算结果见表 6。

当区域滞洪能力达到允许的最大降水量时,得到文安洼和东淀滞洪区累计最大滞洪能力为 $47.51\times 10^8\text{ m}^3$,针对此洪水量模拟无水利工程时,淹没面积 $2\,347\times 10^8\text{ m}^3$,淹没深度 6.1 m,淹没范围见图 8。

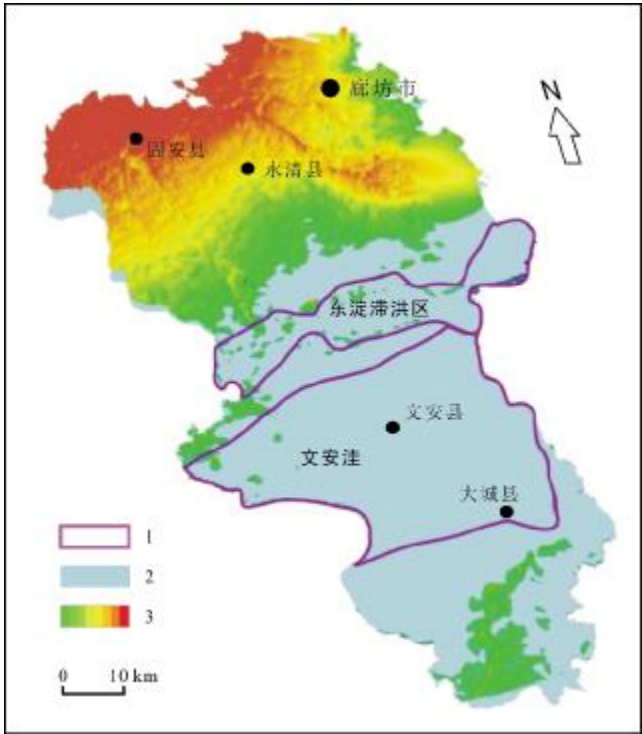


图 8 洪水淹没深度 6.1 m 时淹没范围示意图

Fig. 8 Flood inundated area at the water depth of 6.1 m
1—滞洪区范围(flood detention area); 2—淹没区域(inundated area);
3—海拔高度:80~180 m (altitude of 80~180 m)

可见,当大清河流域承接洪水达到两处洼淀最大滞洪量时,假设没有相应的水利工程,霸州大部、文安全部、大城大部均将淹没,东淀北大堤、千里堤、子牙河大堤等水利工程在应对洪水时发挥了重要的作用,保证了重要城镇的防洪安全,减少淹没区域 21.8%。

6 结论

本研究基于 GIS 技术方法,综合分析了廊坊市南七区县洪涝灾害危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力这 4 个复合因子,在综合考虑影响廊坊市南七区县洪涝灾害风险自然与社会经济因素的基础上,对洪涝灾害综合风险进行了区划,重点对 4 种因子进行空间分析,对所选指标特别是自然指标做到空间上的精细化。廊坊地区现有滞洪能力是靠水利工程和人为调蓄实现的,当大清河上游发生的洪水达到设计最大滞洪水量时,明显高于本地区产生的洪水量,再考虑到突发暴雨时,结合区域下垫面性质,将降雨量和入渗水量(计算结果为:入渗量占降水总量的 4.32%)汇入河流中,此时水利工程的防洪能力基本失效,综合研究表明,廊坊地区洪涝灾害综合风险区划呈现出南部洪涝风险大于北部洪涝风险,因此,维护水利工程完好,保持洪水调度正常十分必要。

参考文献(References):

[1]方佳毅,史培军. 全球气候变化背景下海岸洪水灾害风险评估研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2019, 38(5): 625-636.
Fang J Y, Shi P J. A review of coastal flood risk research under global climate change[J]. Progress in Geography, 2019, 38(5): 625-636.
[2]冯凌彤. 基于 GIS 技术的河南省洪灾风险评估与分析[J]. 人民黄河, 2022, 44(5): 67-70, 74.
Feng L T. Flood risk assessment and analysis of Henan Province based on GIS technology[J]. Yellow River, 2022, 44(5): 67-70, 74.
[3]王清川,寿绍文,许敏,等. 廊坊市暴雨洪涝灾害风险评估与区划[J]. 干旱气象, 2010, 28(4): 475-482.
Wang Q C, Shou S W, Xu M, et al. Evaluation and division for risks of rainstorm and flood disasters in Langfang of Hebei Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2010, 28(4): 475-482.

表 6 允许最大降水量计算表

Table 6 Calculation results of maximum allowable precipitation

计算面积/km ²	渗透系数/(cm/s)	入渗量/10 ⁸ m ³	洪水量/10 ⁸ m ³	最大淹没深度/m	淹没面积/km ²	降雨量/mm
3612	0.00005	2.1	47.5	6.1	2347	1375

- [4] 齐兵. 对廊坊市 2012 年“7·12”暴雨的反思[J]. 中国水利, 2013 (S2): 89–90, 118.
- Qi B. Lessons on “7·21” rainstorm in 2012 of Langfang City [J]. China Water Resources, 2013(S2): 89–90, 118.
- [5] 齐兵. 廊坊市“16·7”暴雨洪水初探[J]. 地下水, 2017, 39(4): 163–164.
- Qi B. Preliminary study on “16·7” rainstorm flood in Langfang City [J]. Ground Water, 2017, 39(4): 163–164. (in Chinese)
- [6] 张静, 倪金, 马诗敏, 等. 基于 GIS 的大连市金普新区洪水淹没分析[J]. 地质与资源, 2021, 30(5): 590–594.
- Zhang J, Ni J, Ma S M, et al. GIS-based analysis of flood submergence in Jinpu New District, Dalian City [J]. Geology and Resources, 2021, 30(5): 590–594.
- [7] 姜蓝齐, 马艳敏, 张丽娟, 等. 基于 GIS 的黑龙江省洪涝灾害风险评估与区划[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(5): 238–246.
- Jiang L Q, Ma Y M, Zhang L J, et al. Assessment and zoning of flood disaster risk in Heilongjiang Province based on GIS [J]. Journal of Natural Disasters, 2013, 22(5): 238–246.
- [8] 王国卫, 李明波, 蒋明光, 等. 基于加权信息量模型的湖南省麻阳县地质灾害危险性评价与区划[J]. 地质与资源, 2020, 29(3): 266–272.
- Wang G W, Li M B, Jiang M G, et al. Risk assessment and zoning of the geological hazards in Mayang County of Hunan Province based on weighted information model [J]. Geology and Resources, 2020, 29 (3): 266–272.
- [9] 赵雪莲, 陈华丽. 基于 GIS 的洪灾遥感监测与损失风险评价系统[J]. 地质与资源, 2003, 12(1): 54–60.
- Zhao X L, Chen H L. The GIS-based RS monitoring and risk evaluating system for flood hazard [J]. Geology and Resources, 2003, 12(1): 54–60.
- [10] 郭利华, 龙毅. 基于 DEM 的洪水淹没分析[J]. 测绘通报, 2002 (11): 25–27, 30.
- Guo L H, Long Y. Analysis of flood submerging based on DEM [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2002(11): 25–27, 30.
- [11] 金哲, 肖旒旒. 基于 GIS 的洪水淹没区分析[J]. 吉林水利, 2014 (6): 30–32, 37.
- Jin Z, Xiao N N. Analysis of the area of flood based on GIS [J]. Jilin Water Resources, 2014(6): 30–32, 37.
- [12] 李谢辉, 王磊, 李景宜. 基于 GIS 的渭河下游河流沿线区域生态风险评价[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5523–5534.
- Li X H, Wang L, Li J Y. Regional ecological risk assessment in catchment area along the Weihe River based on GIS [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5523–5534.
- [13] 李军. 石家庄市某片区暴雨强度及雨型分析[J]. 地下水, 2023, 45 (1): 211–213, 265.
- Li J. Analysis of rainstorm intensity and rain pattern in a district of Shijiazhuang City [J]. Ground Water, 2023, 45(1): 211–213, 265. (in Chinese)
- [14] 张行南, 罗健, 陈雷, 等. 中国洪水灾害危险程度区划[J]. 水利学报, 2000(3): 1–7.
- Zhang X N, Luo J, Chen L, et al. Zoning of Chinese flood hazard risk [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000(3): 1–7.
- [15] 刘建芬, 张行南, 唐增文, 等. 中国洪水灾害危险程度空间分布研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(6): 614–617.
- Liu J F, Zhang X N, Tang Z W, et al. Spatial distribution of flood hazards in China [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2004, 32(6): 614–617.
- [16] 吴红, 邵亮, 陆登荣. 兰州市区地质灾害与暴雨强度[J]. 干旱气象, 2005, 23(1): 63–67.
- Wu H, Shao L, Lu D R. The geological calamity and the rainstorm intensity in Lanzhou City [J]. Journal of Arid Meteorology, 2005, 23 (1): 63–67.
- [17] 宋怡轩, 何永青, 陈晋. 基于 GIS 的四川省暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 绿色科技, 2022, 24(18): 33–37.
- Song Y X, He Y Q, Chen J. Risk assessment of refined rainstorm and flood disaster in Sichuan Province based on GIS [J]. Journal of Green Science and Technology, 2022, 24(18): 33–37.
- [18] 车璐阳, 史维良. 陕西省暴雨洪涝灾害防灾减灾能力的评估[J]. 农业灾害研究, 2022, 12(12): 144–147.
- Che L Y, Shi W L. Evaluation on disaster prevention and mitigation ability of rainstorm and flood disaster in Shaanxi Province [J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 2022, 12(12): 144–147.
- [19] 麻荣永, 易云梅, 李荏. 基于 GIS 的广西桂林市城区洪水灾害风险评估[J]. 红水河, 2016, 35(5): 1–5.
- Ma R Y, Yi Y M, Li J. GIS-based flood disaster risk assessment for Guilin City in Guangxi [J]. Hongshui River, 2016, 35(5): 1–5.
- [20] 姜月华, 陈立德, 向芳, 等. 长江演化及其对洪涝灾害防治的启示[J]. 中国地质, 2023, 50(4): 975–1003.
- Jiang Y H, Chen L D, Xiang F, et al. Evolution of the Yangtze River and its implications for prevention and control to flood disaster [J]. Geology in China, 2023, 50(4): 975–1003.
- [21] 黄国如, 李碧琦. 基于模糊综合评价的深圳市暴雨洪涝风险评估[J]. 水资源与水工程学报, 2021, 32(1): 1–6.
- Huang G R, Li B Q. Risk assessment of storm water flooding in Shenzhen City based on fuzzy comprehensive evaluation method [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2021, 32(1): 1–6.