doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.04.14

引用格式: 袁婷婷,齐超,席雪萍,等. 基于 ArcGIS 的天津市蓟州区北部山区地质灾害综合评价[J]. 中国地质调查,2023, 10(4): 116-122. (Yuan T T, Qi C, Xi X P, et al. Geological hazards evaluation of northern mountainous area in Jizhou District of Tianjin based on ArcGIS[J]. Geological Survey of China,2023,10(4): 116-122.)

基于 ArcGIS 的天津市蓟州区北部山区地质 灾害综合评价

袁婷婷,齐超,席雪萍,高学飞,杨斌,罗福贵

(天津市地质工程勘测设计院有限公司,天津 300000)

摘要:为调查清楚天津市蓟州区北部山区地质灾害潜在风险,更好地保障人民生命财产安全,基于 ArcGIS 平台, 选取相关评价因子,采用数学综合评判的半定量方法,对蓟州区北部山区进行了地质灾害综合评价研究。结果表 明:研究区主要以崩塌、滑坡、泥石流地质灾害为主;中、高风险区面积约 247.76 km²,占蓟州区总面积的 25.59%,高风险区主要分布在研究区北部黄崖关以及常州村—黄花山等地势较高、人员较为密集的景区内;地 质灾害高风险区大多集中在地质灾害高易发区、地质灾害极高危险和高危险分布区,人类活动较为密集,是未来 地质灾害监测预警的重点。研究结果可为国家和地方政府灾害防治、应急管理和决策指挥工作提供可靠的科学 依据和资料。

关键词:地质灾害;易发性;危险性;风险等级;综合评价

中图分类号: P66 文献标志码: A 文章编号: 2095-8706(2023)04-0116-07

0 引言

蓟州区位于天津市最北部,是天津市唯一的山 区,整体北高南低,北起长城,南至蓟运河,地势逐 渐下降,呈阶梯状分布。北部山区的最高点在区内 北缘的九山顶,海拔1078.5 m,地形和地质条件复 杂,地质环境脆弱^[1-2],是崩塌、滑坡、泥石流等地 质灾害多发区,频发的地质灾害对蓟州北部山区村 镇规划建设、人民生命财产安全都带来了严重威 胁。因此,查清地质灾害发育特征、分布规律以及 孕灾条件,对地质灾害风险管控和防治有着重要意 义。目前,国内外地质灾害研究多采用层次分析 法、信息量模型法等进行评价。20世纪90代初期 至今,国内外学者利用 ArcGIS 技术进行了地质灾 害评价工作,通过对研究对象的信息数据综合归 类,借助 ArcGIS 内部存储以及综合分析的能力进 行分析评价,有效提升了灾害评价的质量和效 果^[3]。王存智等^[4]利用层次分析法和地理信息系 统空间分析技术对沙溪流域滑坡地质灾害易发性 进行评价并提出防御重点:杨秀元等^[5]基于斜坡 单元完成了三峡库区大周镇地质灾害风险评价,为 地方地质灾害防治起到了示范作用。AreGIS 在地 质灾害评价方面提供了高效率、高精度的方法^[6], 运用 AreGIS 进行评价已经成为新时代地质灾害预 测评价的主流趋势。本文以蓟州区北部山区为研 究对象,在大量野外踏勘工作的基础上,利用 Arc-GIS 平台与卫星遥感数据相结合的方法,充分考虑 各个影响因素,对研究区地质灾害进行了科学评价 与综合分析,旨在为国家和地方政府的灾害防治、 应急管理和决策指挥工作提供可靠的科学依据和 资料。

基金项目:天津市地质工程勘测设计院有限公司"天津市第一次地质灾害风险普查项目(编号:HYGP-2021-C-091)"资助。 第一作者简介:袁婷婷(1995—),女,工程师,主要从事环境地质方面的工作。Email:740091925@qq.com。 通信作者简介:席雪萍(1987—),女,高级工程师,主要从事水文地质工程和地质环境方面的工作。Email:xixueping1981@163.com。

收稿日期: 2023-01-05;修订日期: 2023-04-26。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

研究区面积为840.34 km²,位于天津市北部山 区,属暖温带半湿润大陆性季风气候,地势整体北高 南低,北起长城,南至蓟运河,逐渐下降,呈阶梯分 布。地貌可分为山地丘陵、山前冲洪积平原、潮白河 冲积平原等,出露地层有太古宇、中元古界、新元古 界和古生界。第四系主要分布在南部平原区,不整 合覆盖于古老地层之上,其厚度由北向南迅速变厚, 一般厚约50~200 m。滑坡、崩塌、地面塌陷等地质灾 害频发,研究区内共有地质灾害244 处,其中崩塌 212 处,滑坡 22 处,泥石流9 处,地面塌陷1 处(图1)。



图 1 研究区地质灾害分布图 Fig. 1 Geological sketch of the study area

1.2 数据来源

2021年11月至2022年6月,综合采用地面调 查、地球物理勘探、工程地质钻探、岩土试验等多种 技术手段,对研究区开展地质灾害调查和数据收 集,室内工作利用2021年WorldView2卫星拍摄的 0.5m分辨率遥感影像对灾害隐患进行识别解译, 制定调查路线,利用无人机航拍、GPS定点进行调 查验证。

地形坡度、坡向、起伏度等数据基于分辨率 12.5 m的 DEM 数据提取生成。地貌、断裂、地层 岩性数据主要来源于《天津市区域地质志》,降雨数 据来源于蓟州区 31 个雨量站 2016—2021 年的汛 期(6—9月)月平均降雨量。

2 评价方法

2.1 地质灾害易发性评价

本研究基于精度为12.5 m的数字高程模型数据,以0.5 m 精度 WorldView2 卫星遥感影像为辅助,采用 ArcGIS 的栅格赋值和叠加运算方法进

行评价, 栅格像元分辨率为 25 m×25 m, 整个北 部山区共划分为1 344 548 个像元。每个像元对 各项因子分别打分赋值, 经数值化处理后, 获得各 像元的各项指标影响程度分值, 然后对各项指标 进行加权叠加分析^[7]。

按照地质灾害易发区划分原则,建立地质灾害 易发区评价体系。易发性指数计算公式为

$$N = \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot x_i \quad (1)$$

式中: N 为易发指数; i 为选取的因子(分别为地貌 类型、地形坡度、坡向、地形起伏度、与断裂褶皱距 离、地层岩性); n 为选取因子的个数(本次选取 6 个评价因子); x_i 为各评价因子影响易发程度的分 值(按影响程度分别取 2 分、3 分、4 分、5 分); b_i 为 该因子的影响程度权重系数。

根据研究区地质环境条件,选取地貌类型、地 形坡度、坡向、地形起伏度与距断裂褶皱距离、地层 岩性6个评价因子^[8-9]。充分考虑各评价因子对 地质灾害的影响程度,对其分别赋予不同权重 (表1)。

Tab. 1 Weight assignment of geological hazard susceptibility assessment factors						
	证从田乙	影响程度分级量值				
	评价四丁	非易发(2分)	低易发(3分)	中易发(4分)	高易发(5分)	四丁权里
地形地貌	地貌类型	平原亚区	山间盆地亚区	丘陵亚区	低山亚区	0.25
	地形坡度/(°)	[0,5)	[5,15)	[15,35)	[35,90)	0.15
	坡向/(°)	无	[0,45),[315,360)	[45,90),[225,315)	[90,225)	0.10
	地形起伏度/m	[0,20)	[20,50)	[50,80)	[80,240)	0.25
地质条件	距断裂褶皱距离/m	≥300	[100,300)	[50,100)	[0,50)	0.05
	地层岩性	松散土	页岩、片麻岩	侵入岩、喷出岩	碳酸盐岩、碎屑岩	0.20

表 1 地质灾害易发性评价因子权重赋值 Weight assignment of geological hazard suscentibility assessmen

在对所有像元(评价网格)易发指数汇总分 析后,对其进行归一化处理,同时结合野外调查核 实情况,综合确定地质灾害易发指数阈值(表2)。

表 2 北部山区崩塌和滑坡地质灾害易发指数阈值 Tab. 2 Susceptibility index threshold of collapse and landslide geological hazards in northern mountainous

area

易发程度	非易发	低易发	中易发	高易发
易发指数(N)	(0,0.10]	(0.1,0.40]	(0.40,0.70]	(0.70,1.00]

2.2 地质灾害危险性评价

根据研究表明,地质灾害灾情有 90% 左右发生 在汛期(6—9月),因此,降雨是地质灾害灾情发生 的重要诱发因素^[9]。本研究收集了蓟州区 31 个雨 量站 2016—2021 年的汛期月平均降雨量,利用 ArcGIS 的空间分析功能,绘制 6—9 月平均降雨量 等值线,对有记载以来发生的 85 起地质灾害灾情 分布进行核密度分析,两者进行空间叠加,结合地 质灾害隐患分布现状,根据实际情况确定山区修正 的降雨影响等级图,再结合地质灾害易发性分区结 果,利用矩阵分析法(表 3),确定地质灾害危险性 结果。

表 3 地质灾害危险性等级划分

 Tab. 3
 Classification of geological hazard danger grade

收雨影响笙妞	易发性等级				
萨阳影响守纵	高	中	低	丰臣	
强	极高	高	中	低	
中	高	中	低	低	
弱	中	低	低	低	

2.3 地质灾害易损性评价

地质灾害易损性是指在发生自然灾害时,承灾 体受到伤害和破坏的程度,确定可能遭受灾害威胁 的人口、工程、财产等,其中人类工程活动是地质灾 害易损性评价的主体^[11-12]。通过地质灾害隐患分 布范围和影响范围内的承灾体调查,详细了解受威 胁人数和受威胁财产,确定危害程度分级,再根据 危害程度分级结果,将易损性划分为极高、高、中、 低4个等级(表4)。

表4 承灾体易损性等级划分

Tab. 4 Vulnerability level classification of disaster bearing bodies

易损性等级	危害程度分级	受威胁人数/人	受威胁财产/万元
极高	特大	>1 000	>5 000
南	大	[100,1000)	[1 000,5 000)
中	中	[10,100)	[500,1000)
低	小	< 10	< 500

2.4 地质灾害风险等级评价

综合危险性和易损性评价结果,划分地质灾害 风险等级并进行综合评价(表5)。

表 5 地质灾害风险等级划分

Fab. 5 Classification o	f geological	hazard	risk	level
-------------------------	--------------	--------	------	-------

目把杜宏风	危险性等级				
勿坝性守纵	极高	高	中	低	
极高	极高	极高	高	中	
青同	极高	高	中	中	
中	高	高	中	低	
低	高	中	低	低	

3 结果与分析

3.1 地质灾害易发性评价成果

根据 ArcGIS 叠加分析对地貌类型、地形坡度、 坡向、地形起伏度、与断裂褶皱距离、地层岩性权重 因子进行叠加,结合野外调查实际情况进行修正, 得到地质灾害易发性评价结果(图2)。



图 2 易发性评价结果 Fig. 2 Susceptibility assessment results

由图 2 可知,研究区共划分为 9 个高易发区 (A)、15 个中易发区(B)、5 个低易发区(C)、2 个非 易发区(D)。其中:高易发区面积为 253.68 km², 占山区面积的 30.19%,主要以崩塌、滑坡、泥石流 地质灾害为主;中易发区面积为 253.97 km²,占山 区面积的 30.22%,主要以崩塌、滑坡地质灾害为 主;低易发区面积为 233.40 km²,占山区面积的 27.77%,主要以崩塌地质灾害为主;非易发区面 积为 99.29 km²,占山区面积的 11.82%,主要是于 桥水库和杨庄水库,该区不发育突发性地质灾害。 根据易发区特点分析,高中易发区地貌类型以低山 和丘陵为主,高易发区坡度大多在 35°以上,受构 造、岩性影响,山势陡峻,地形切割强烈,岩组主要 为碳酸岩,碎屑岩山体浑圆,沟浅谷宽,山低坡缓, 岩层风化剥蚀较剧烈;中易发区坡度大多在5°~ 35°之间,地形起伏度多为20~50m,岩组主要以碳酸盐岩和碎屑岩为主,局部为侵入岩、喷出岩、页岩和片麻岩,岩石节理裂隙发育;低易发区地貌类型以山间盆地为主,坡度大多在0°~5°之间,地形起伏度多为0~20m,土质松散。

3.2 地质灾害危险性与易损性评价成果

根据蓟州区 31 个雨量站 2016—2021 年的汛 期(6—9月)月降雨量分析,平均降雨量在 55.56~ 154.34 mm 之间,结合有记载以来发生的地质灾 害灾情分布密度,绘制降雨量等值线,结合实际 情况修正降雨量影响等级图(图3),利用矩阵分 析方法,与易发性结果相结合,得出危险性评价 结果。



图 3 研究区降雨影响等级

Fig. 3 Rainfall impact grade in the study area

研究区地质灾害危险性等级分为极高、高、中和低4个级别,包括3个极高危险区(A)、5个高危险 区(B)、12个中危险区(C)和5个低危险区(D) (图4)。其中极高危险区面积约20.16 km²,占山区 面积的2.40%;高危险区面积约124.15 km²,占山区 面积的 14.77%; 中危险区面积约 268.07 km²,占山 区面积的 31.90%; 低危险区面积约 427.96 km²,占 山区面积的 50.93%。从结果看,极高危险区主要集 中在降雨量比较大的黄崖关和九山顶所在的低山区, 并且整体呈现出随着雨量增加危险性升高的趋势。



图 4 研究区地质灾害危险性评价 Fig. 4 Danger assessment of geological hazards in the study area

研究区易损性分区可分为中易损区和低易损 区(图5)。研究区中易损性地区主要分布在景区、 居民区等人员密集区域。易损性结果则直接反应 出了人类工程活动情况,人类活动密集的地区,承 灾体越多,易损性也相对较高。易损性和危险性评 价结果也是风险性评价结果的重要组成部分^[13]。



图 5 研究区易损性评价 Fig. 5 Vulnerability assessment in the study area

3.3 地质灾害风险等级评价结果

综合危险性和易损性评价结果,得出地质灾害 风险等级评价结果,蓟州区北部山区地质灾害风险 划分为2个高风险区(B)、8个中风险区(C)和1 个低风险区(D)(图6)。高风险区面积约 43.08 km²,占研究区面积的5.13%,主要分布在黄崖 关、常州村—黄花山;中风险区面积约204.68 km²,占 研究区面积的24.36%,主要分布在前干涧—丈烟 台、田家峪—偏桥子、九龙山—东水厂、西五百户— 新房子、大星峪—铁岭子、芳峪—果香峪、别山、崔各 寨—山前屯;低风险区592.58 km²,占研究区面积 的70.51%。

· 121 ·





综上可知,地质灾害风险性评价结果受到多方 面因素的综合制约。高风险区属于地质灾害高易 发区、地质灾害极高危险和高危险分布区,主要集 中在低山区,岩性为软弱的碎屑岩和碳酸盐,降雨 量大部分地区大于140 mm,局部在120~140 mm 之间,地质灾害隐患密度相对较大,人类活动较为 稠密,如公路交通、切坡建房等,较易引发崩塌、滑 坡、泥石流等突发性地质灾害;中风险区大部分属 于地质灾害高危险分布区,局部属于地质灾害中危 险分布区,降雨量多在120~140 mm 之间,局部小 于120 mm,地质灾害隐患密度相对较大,大部分承 灾体分布和影响范围为低易损区;低风险区属于 地质灾害中、低危险分布区,处于低山和丘陵区,降 雨量多在120~140 mm之间,山间盆地和于桥水库 区域降水量小于120 mm,地质灾害隐患密度相对 较小,大部分承灾体分布和影响范围为低易损区。 在今后的地质灾害监测预警工作中,要着重于中、 高风险区的地质灾害监测预警。

4 结论

在对天津市蓟州区北部山区进行了详细的地质 调查基础上,综合考虑多种评价因子,对研究区的地 质灾害进行科学全面的分析评价,得出以下结论。

(1)研究区主要以崩塌、滑坡、泥石流地质灾害为主,易发程度主要受地貌、坡度、坡向、起伏度、主要断裂、岩组等因素影响。整体呈现出随着雨量增加危险性升高的趋势。

(2)通过矩阵分析将地质灾害风险划分为

高、中、低3个等级,高风险区大多集中在地质灾 害高易发区、地质灾害极高危险和高危险分布 区,人类活动较为密集,是未来地质灾害监测预 警的重点。

(3)高风险区主要分布在研究区北部黄崖关以 及常州村一黄花山等地势较高、人员较为密集的景 区内。中、高风险区面积约 247.76 km²,占蓟州区 总面积的 25.59%。日后应加强地质灾害隐患巡查 排查和工程治理,实时掌握地质灾害隐患风险变化 趋势,从而有效防止地质灾害的发生,保护国家人 民的财产安全。

参考文献(References):

 [1] 贾超,刘禧超,谷丛楠,等.天津市蓟州区切坡建房引发的地质灾害特征及其防治对策[J].国土资源导刊,2022,19(2): 33-36.

Jia C, Liu X C, Gu C N, et al. Characteristics and prevention countermeasures of geological hazards caused by building houses in cut slopes in Jizhou district, Tianjin [J]. Land and Resources Herald, 2022, 19(2):33 – 36.

- [2] 焦洋.山区突发性地质灾害形成条件及影响因素分析——以 天津市蓟州区为例[J].中国房地产,2019(13):72-75.
 Jiao Y. Analysis of formation conditions and influencing factors of sudden geological disasters in mountainous areas: Taking Jizhou District, Tianjin as an example[J]. China Real Estate,2019(13): 72-75.
- [3] Cees, J., Van, et al. Westen C J. The modelling of landslide hazards using GIS[J]. Surveys in Geophysics, 2000, 21 (2/3): 241-255.
- [4] 王存智,张炜,李晨冬,等.基于 GIS 和层次分析法的沙溪流域 滑坡地质灾害易发性评价[J].中国地质调查,2022,9(5): 51-60.

2023 年

Wang C Z, Zhang W, Li C D, et al. Susceptibility evaluation of landslide hazards of Shaxi river basin based on GIS and AHP[J]. Geological Survey of China,2022,9(5):51-60.

- [5] 杨秀元,付杰,韩旭东,等. 三峡库区万州至巫山段城镇地质 灾害调查进展[J]. 中国地质调查,2021,8(1):97-107.
 Yang X Y, Fu J, Han X D, et al. Progress of geological hazards survey in the urban area from Wanzhou to Wushan in the Three Gorges Reservoir[J]. Geological Survey of China,2021,8(1): 97-107.
- [6] 胡屿,陈静,刘勇,等. 基于 GIS 与信息量法的贵州省丹寨县地 质灾害易发性评价[J].贵州科学,2022,40(5):60-64.
 Hu Y,Chen J,Liu Y, et al. Susceptibility evaluation of geological hazards in Danzhai, Guizhou based on GIS and information quantity method[J]. Guizhou Science,2022,40(5):60-64.
- [7] 石旭飞,江山,郭晓东,等. 长吉图经济区地质灾害易发性区划研究[J]. 地质与资源,2022,31(5):660-666.
 Shi X F, Jiang S, Guo X D, et al. Vulnerability zoning of main geological hazards in Changchun Jilin Tumen economic zone[J].
 Geology and Resources,2022,31(5):660-666.
- [8] 王存智,张炜,李晨冬,等.基于 GIS 和层次分析法的沙溪流域 滑坡地质灾害易发性评价[J].中国地质调查,2022,9(5): 51-60.

Wang C Z, Zhang W, Li C D, et al. Susceptibility evaluation of landslide hazards of Shaxi river basin based on GIS and AHP[J]. Geological Survey of China,2022,9(5):51-60.

[9] 田仕雄,张路飞,孟思宇,等. AHP-信息量模型在斜坡类地质 灾害易发性评价中的应用[J].河北地质大学学报,2022, 45(6):62-68.

Tian S X, Zhang L F, Meng S Y, et al. Application of AHP – informational quantity model in assessment of susceptibility of slope geological disasters [J]. Journal of Hebei GEO University, 2022, 45(6):62-68.

- [10] 刘晓. 基于 AHP 的吉林省辽源市地质灾害危险性评价[J]. 首都师范大学学报:自然科学版,2022,43(5):35-43. Liu X. Risk assessment of geological hazards in Liaoyuan city of Jilin province based on AHP[J]. Journal of Capital Normal University:Natural Science Edition,2022,43(5):35-43.
- [11] 周保,隋嘉,孙皓,等. 基于多源遥感数据的青海省地质灾害 评价[J]. 自然灾害学报,2022,31(4):231-240.
 Zhou B,Sui J,Sun H, et al. Evaluation of geological disasters in Qinghai Province based on multi - source remote sensing data[J].
 Journal of Natural Disasters,2022,31(4):231-240.
- [12] 张春山,吴满路,张业成. 地质灾害风险评价方法及展望[J]. 自然灾害学报,2003,12(1):96-102.
 Zhang C S, Wu M L, Zhang Y C. Method and prospect of geological disaster risk assessment[J]. Journal of Natural Disasters, 2003,12(1):96-102.
- [13] 杨宗佶,丁朋朋,乔建平,等. 输电线路地质灾害易损性评价
 ——以四川路茂线为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017,28(4):113-118,124.

Yang Z J,Ding P P,Qiao J P, et al. Vulnerability evaluation of geological hazards along a transmission line; A case stualy of the Lumao line, Sichuan province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2017, 28 (4) :113 – 118, 124.

Geological hazards evaluation of northern mountainous area in Jizhou District of Tianjin based on ArcGIS

YUAN Tingting, QI Chao, XI Xueping, GAO Xuefei, YANG Bin, LUO Fugui

(Tianjin Geological Engineering Survey and Design Institute Co., Ltd, Tianjin 300000, China)

Abstract: In order to investigate the potential risks of geological disasters in the northern mountainous area in Jizhou District of Tianjin and better ensure the safety of people's lives and property, the authors in this paper selected relevant evaluation factors based on the ArcGIS platform to conduct a comprehensive evaluation of geological disasters in the northern mountainous area of Jizhou District, using semi quantitative method of mathematical comprehensive evaluation. The evaluation results indicate that the main geological hazards in the study area are collapses, landslides and mudslides. The area of high and medium risk areas is about 247. 76 km², accounting for 25.59% of the area of Jizhou District. The high risk areas are mainly distributed in scenic areas with high terrain and densely populated areas such as Huangyaguan and Changzhou Village – Huanghuashan in the northern part of the research area. The high risk areas of geological disasters are mostly concentrated in areas with high susceptibility to geological disasters, and extremely high risk and high risk geological disaster monitoring and warning. The research results could provide reliable scientific basis and information for disaster prevention, emergency management, and decision – making and command work of national and local governments.

Keywords: geological hazards; susceptibility; danger; risk level; comprehensive evaluation