

DOI: 10.12401/j.nwg.2023058

## 地质灾害风险评估在国土空间规划中的应用 ——以陕北榆林高西沟为例

马红娜, 刘江\*, 冯卫, 王化齐, 李彦娥, 孙巧银

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710119)

**摘要:** 榆林市米脂县高西沟村位于黄土高原丘陵沟壑区, 属于地质灾害多发区, 因此, 考虑地质灾害风险的国土空间规划具有极其重要的意义。笔者基于地质灾害调查数据, 选取坡度、坡向、地质灾害发育密度等评价指标, 采用信息量模型以斜坡单元进行危险性评价, 在此基础上叠加承灾体易损性进行定量风险评估, 划定地质灾害风险分区。利用 ArcGIS 将地质灾害风险区划与现状功能区叠加, 将高西沟重构为 4 个国土空间分区: 地质灾害中风险-生活居住区、地质灾害低风险-生态功能区、地质灾害低风险-农业生产区和沟谷区, 并提出国土空间优化策略。

**关键词:** 地质灾害; 风险评估; 国土空间规划; 信息量模型; 高西沟

中图分类号: P642

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)03-0223-09

### Application of Geological Hazard Risk Assessment in Territorial Space Planning: A Case Study of Gaoxigou Village in Yulin City of Northern Shaanxi Province

MA Hongna, LIU Jiang\*, FENG Wei, WANG Huaqi, LI Yan'e, SUN Qiaoyin

(Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710119, Shaanxi, China)

**Abstract:** Gaoxigou village of Mizhi county in Yulin city, is located in the hilly and gully region of the Loess plateau. It is a geological disaster prone area. Therefore, it is of great importance to consider the risk of geological disaster in territorial space planning. Based on geological disaster survey data, evaluation indexes such as slope, slope aspect and geological disaster development density were selected, the information quantity model was used to evaluate the risk with slope element, on this basis, the vulnerability of disaster bearing body was superimposed for quantitative risk assessment, and delineated risk zones of geological disasters. Using ArcGIS, the risk zoning of geological disasters and current functional areas were superimposed, and Gaoxigou was reconstructed into four territorial space zones: medium risk in geological hazards-living area, low risk in geological hazards-ecological functional area, low risk in geological hazards-agricultural production area, and ravine region, and put forward the territorial space optimization strategy.

**Keywords:** geological disasters; information quantity model; risk assessment; territorial space planning; Gaoxigou

收稿日期: 2022-09-13; 修回日期: 2023-04-11; 责任编辑: 贾晓丹

基金项目: 中国地质调查局项目“丝绸之路境内段(新疆)资源环境承载能力监测评价”(DD20221731), 西安市科技产业化计划项目“自然资源综合监管与监测预警系统研发”(XA2020-RGZNTJ-0061)联合资助。

作者简介: 马红娜(1979-), 女, 高级工程师, 主要从事水工环地质调查工作。E-mail: 54459589@qq.com。

\* 通讯作者: 刘江(1985-), 男, 副研究员, 主要从事水工环地质调查工作。E-mail: liujiang689@163.com。

地质灾害评价与防治是国土空间规划中重要的内容之一(马云飞等, 2020), 地质灾害风险评估是地质灾害风险管理的重要组成部分, 是城乡建设规划、土地利用规划和地质灾害防治规划的编制依据(卢全中等, 2003; 齐信等, 2012; 徐继维等, 2015)。省、市级国土空间规划编制指南中提出: “考虑山地丘陵地区崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害, 提出防治标准和规划要求, 明确应对措施; 对国土空间开发不适宜区域, 根据治理需求提出应对措施。”

众多学者针对地质灾害风险评价开展了一系列的深入研究(张茂省等, 2008; 唐亚明等, 2011; 吴树仁等, 2012; 唐亚明等, 2015; 杨柳等, 2020; 杨淞月等, 2021; 王颖等, 2022), 相关评价方法包括层次分析法、信息量法、聚类分析法等(周超等, 2020; 邱维蓉等, 2020; 李冠宇等, 2021; 解明礼等, 2021)。借助 GIS 空间分析, 在危险性评价和易损性评价基础上开展地质灾害风险评价成为国内外学者普遍采用的方法(张茂省等, 2019; 冯凡等, 2022; 姬永涛等, 2022)。目前, 各地村庄规划工作正在陆续开展, 关于乡村规划研究方兴未艾(冯旭等, 2022; 万成伟等, 2022; 李畅, 2022), 但基于地质灾害风险评估的国土空间规划研究尚处于探索阶段。笔者以陕北榆林米脂县高西沟为研究单元, 基于野外地质灾害调查数据, 进行地质灾害风险评价, 以此划定国土空间分区, 提出国土空间优化策略。

## 1 研究区概况

高西沟位于陕西省米脂县北部 20 km, 地理位置为 E 110°10′~110°12′, N 37°51′~37°53′, 总土地面积为 4.07 km<sup>2</sup>。地貌属于典型的黄土高原丘陵沟壑区, 地势南北高中间低、东高西低, 海拔为 938~1 127 m, 高差为 189 m。高西沟属无定河支流金鸡河流域(图 1、图 2), 年平均降雨量为 451.6 mm。区内地层大部分为第四系黄土, 河谷两侧裸露少量基岩, 以三叠系为主, 在河流岸边及冲蚀沟谷中部出露新近系砂泥岩。高西沟地质灾害破坏类型为小型土质崩塌, 破坏模式包括滑移式、倾倒式及复合式等(图 3), 发育在沟谷两侧、居民房后边坡地带, 其诱发因素主要为人工开挖、自然风化及降雨等, 区内共发育崩塌隐患 26 处。



图 1 研究区水系图

Fig. 1 The drainage map of Gaoxigou

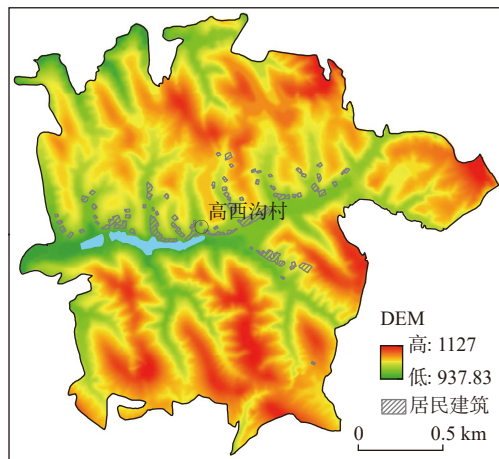


图 2 研究区地貌图

Fig. 2 The geomorphic map of Gaoxigou

## 2 风险评估方法和数据来源

### 2.1 评估原理和方法

采用信息量模型进行地质灾害风险评估, 通过特定评价单元内某种因素作用下地质灾害发生频率与区域地质灾害发生频率相比较而实现, 对应某种因素特定状态下的地质灾害信息量公式表示为:

$$I(x_i, H) = \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (1)$$

式中:  $I(x_i, H)$  为评价因素  $x_i$  对地质灾害发生提供的信息量值;  $S$  为研究区评价单元总数;  $S_i$  为研究区内含有评价因素  $x_i$  的单元数;  $N$  为研究区内含有地质灾害分布的单元总数;  $N_i$  为地质灾害落在评价因素  $x_i$  内的单元数。



a. 滑移式崩塌隐患; b. 倾倒式崩塌隐患

图3 陕北榆林高西沟崩塌隐患示意图

Fig. 3 Collapse hazard of of Gaoxigou area in Yulin city, Northern Shaanxi

计算单个评价单元内 $n$ 种因素组合情况下,提供地质灾害发生的总的信息量 $I_i$ ,即:

$$I_i = \sum_{i=1}^n I(x_i, H) = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (2)$$

将总的信息量值 $I_i$ 的大小作为该评价单元影响地质灾害发生的综合指标,单元信息量值越大,地质灾害发生的概率越高,即该单元的地质灾害危险性越高。

地质灾害风险评价通过以下公式进行计算(Fell et al., 2005),财产风险计算公式如下:

$$R_{(prop)} = P_{(L)} \times P_{(T-L)} \times P_{(T)} \times V_{(prop)} \times E \quad (3)$$

式中: $R_{(prop)}$ 为财产年损失, $P_{(L)}$ 为地质灾害发生概率, $P_{(T-L)}$ 为地质灾害到达承灾体概率, $P_{(T)}$ 为承灾体时空概率, $V_{(prop)}$ 为承灾体财产易损性, $E$ 为承灾体价值。

人员风险计算公式如下:

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T-L)} \times P_{(T)} \times V_{(D)} \quad (4)$$

式中: $P_{(LOL)}$ 为单人年死亡概率, $V_{(D)}$ 为人员易损性。

## 2.2 数据来源说明

DEM数据来源于全球12.5 m分辨率DEM数字高程数据(ALOS DEM),影像数据采用天地图影像,像素分辨率为1 m。坡度、坡向、坡型数据利用ArcGIS软件中栅格表面处理计算得到;斜坡单元使用ArcGIS软件中水文分析计算得到;地层、地质数据来源于米脂县地质灾害详查报告(许创智等, 2016);地质灾害、斜坡结构、斜坡发育特征、切坡高度等通过野外调查与勘察获得;承灾体房屋和人员信息、公路等通过现场调查比对确定。国土空间现状功能分区以第三次全国土地调查数据为基础,结合影像和野外

对比确定。为消除评价指标量纲不一致的影响,评价采用极差标准化对数据进行归一化处理。

## 3 评估过程和结果

### 3.1 评估指标的选取

选取斜坡坡度、坡向、坡高、工程地质岩组、地质灾害发育密度和距公路距离6项主要因素作为地质灾害的危险性评价指标(图4)。其中,坡型利用地表的曲率 $P$ 进行量化,当 $P \geq 0.5$ 时,坡型为凸形坡;当 $-0.5 < P < 0.5$ 时,坡型为直线形坡;当 $P \leq -0.5$ 时,坡型为凹形坡。地质灾害发育密度为每个评价单元内地质灾害体面积所占总面积的比例(地质灾害面积/单元面积),其值为0~1。

### 3.2 危险性评估

将评价因子生成信息量图,然后进行空间叠加分析,生成地质灾害危险性评价图,利用ArcGIS中的自然断点法(Natural break)将高西沟地质灾害危险性分为危险性中、危险性低和危险性极低3级(表1、图5)。高西沟地质灾害危险性特征明显,中部区域的主沟道两侧地质灾害危险性以中低为主,南部和北部区域的危险性以低和极低为主,海拔较低的沟谷地带是地质灾害危险聚集区。其中,中危险区面积为0.850 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的20.89%,主要分布在中部区域沟谷两侧,这与该区人类活动频繁、崩塌发育密度相对较大有关。低危险区面积0.932 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的22.90%,主要分布在主沟道东南部及北侧中部区域,该区坡度相对较大,人口密度较低,人类活动以农业种植为主。极低危险区面积2.133 km<sup>2</sup>,占研究区总面

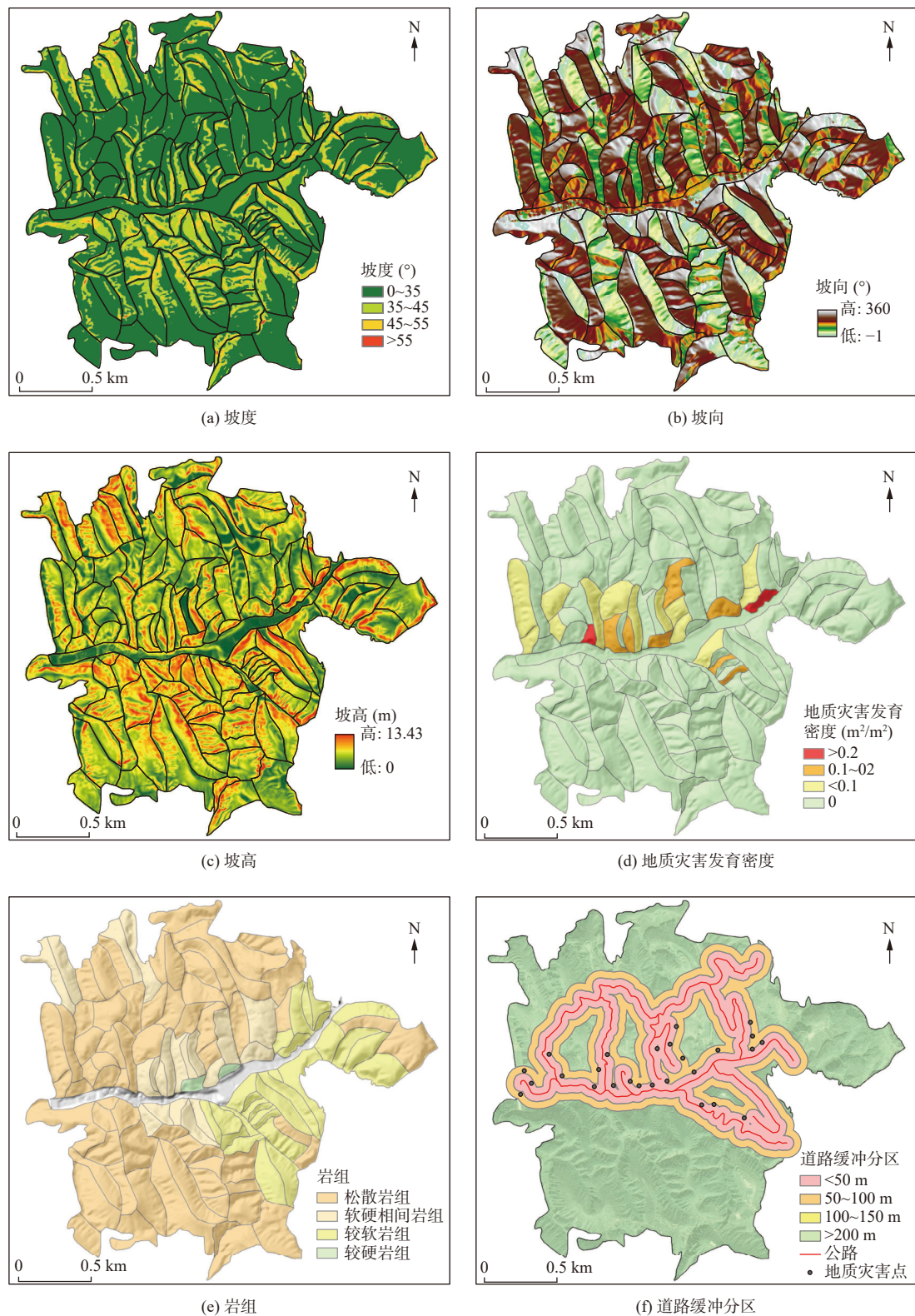


图4 高西沟地质灾害危险性评价指标图

Fig. 4 Risk assessment index of geological hazards in Gaoxigou

积的 52.40%，主要分布在西南侧、最北侧和东侧区域，该区海拔较高、林草发育，属于无人居住区，人类工程活动很少。

### 3.3 风险评估

在地质灾害危险性评价的基础上，以斜坡单元为风险评价单元，结合承灾体易损性进行评价。

表1 信息量值对应危险性等级及灾点分布的对比表

Tab. 1 Comparison of information value corresponding to risk grade and disaster point distribution

| 危险性等级 | 信息量值        | 面积 (km <sup>2</sup> ) | 面积所占比 (%) | 崩塌数 (个) | 崩塌所占比 (%) |
|-------|-------------|-----------------------|-----------|---------|-----------|
| 危险性中  | 2.401~6.015 | 0.850                 | 20.89     | 20      | 76.9      |
| 危险性低  | 0~2.401     | 0.932                 | 22.90     | 6       | 23.1      |
| 危险性极低 | -2.171~0    | 2.133                 | 52.40     | 0       | 0         |
| 沟谷区   | 0           | 0.155                 | 3.81      | 0       | 0         |
| 总计    |             | 4.07                  | 100       | 26      | 100       |

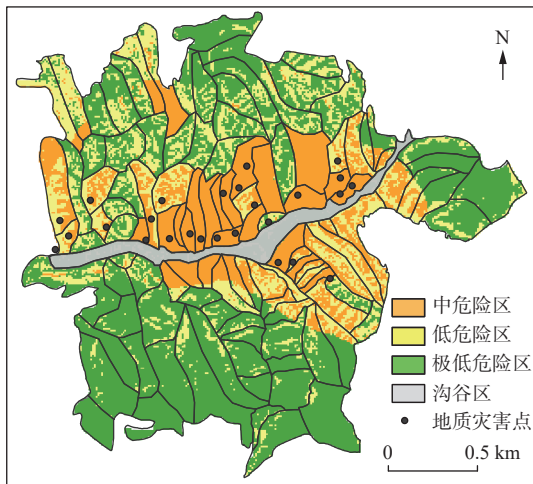


图5 高西沟地质灾害危险性分区图

Fig. 5 Geological hazard zoning map of Gaoxigou

## (1) 承灾体易损性评价

承灾体主要考虑受潜在地质灾害威胁的人员或财产,包括动态的人员、静态的房屋建筑、基础设施、道路等。高西沟居民房屋几乎全部建在山脚或山坡斜坡处,威胁对象一般位于主滑方向的坡脚或坡体上,房屋建筑多为窑洞,参照《地质灾害风险调查评价技术要求(试行)》,财产易损性  $V_{(prop)}$  取值为 0.3~0.7,威胁人口 10 人以内的人员易损性  $V_{(D)}$  取值为 0~0.3,威胁人口 10~100 人  $V_{(D)}$  取值为 0.3~0.5。

## (2) 地质灾害风险评价

地质灾害发生年概率根据野外实地调查定性,参考澳大利亚地质力学联合会(AGS, 2008)规定的灾害可能性描述,对于失稳可能性是“可能”的相当于年概率  $10^{-3}$ ,对于失稳可能性是“不一定”的相当于年概率  $10^{-4}$ 。承灾体时空概率根据当地生活模式,考虑居民在建筑物内的居住时间为 15 h 计算(张茂省等, 2019)。地质灾害到达承灾体概率主要由承灾体距离灾害体的远近和相对位置决定,研究区灾害点均位于

斜坡坡脚处,灾害到达承灾体的概率为 1.0。评价结果表明(表2),单人年死亡概率在  $10^{-4} \sim 10^{-3}$  的风险源为:2号、4~6号、8~9号、12号、15号、18号、23号,其余风险源的单人年死亡概率为  $10^{-5} \sim 10^{-4}$ 。

叠加地质灾害危险性和易损性评价将评价区划分为地质灾害中风险区、低风险区和极低风险区(图6、图7)。中风险区主要分布在主沟道两侧中危险区,面积约为 0.182 km<sup>2</sup>,占评价区总面积的 4.50%,区内人类活动剧烈、崩塌发育密度较大,承灾体单人年死亡概率和财产年损失相对较高。低风险区主要分布在主沟道两侧中低风险区,面积约为 0.505 km<sup>2</sup>,占评价区总面积的 12.40%。

## 4 地质灾害风险区划与国土空间的叠加分析

### 4.1 叠加分析方法和过程

首先,利用 ArcGIS 将斜坡单元与高西沟土地利用现状叠加,将高西沟土地利用现状划分为生态功能区、农业生产区、生活居住区和沟谷区四区(图8)。然后,将地质灾害风险区划与现状功能区进行叠加,得到地质灾害中风险-生活居住区、地质灾害低风险-生活居住区、地质灾害低风险-生态功能区、地质灾害极低风险-生态功能区、地质灾害低风险-农业生产区、地质灾害极低风险-农业生产区及沟谷区,按照“就高不就低”的原则,将地质灾害中风险-生活居住区、地质灾害低风险-生活居住区划为地质灾害中风险-生活居住区,将地质灾害低风险-生态功能区、地质灾害极低风险-生态功能区划为地质灾害低风险-生态功能区,将地质灾害低风险-农业生产区、地质灾害极低风险-农业生产区划为地质灾害低风险-农业生产区。最后将高西沟重构为 4 个国土空间分区,分别为地质灾害中风险-生活居住区、地质灾害低风险-生态功能区、地质灾害低风险-农业生产区和沟谷区(图9)。

### 4.2 叠加分析结果

(1) 地质灾害中风险-生活居住区呈散状分布于高西沟主沟道北侧沟道,面积约为 0.634 km<sup>2</sup>,占高西沟总面积的 15.57%。受地形限制,该区存在地质灾害隐患,这些斜坡段目前总体稳定性尚可,但在极端气候条件下也有发生崩塌灾害的可能,沟道内不适宜发展居民居住用地。

(2) 地质灾害低风险-生态功能区呈片状分布于

表 2 高西沟地质灾害风险评价结果表

Tab. 2 Risk assessment results of geological hazards in Gaoxigou

| 风险源<br>编号 | 发生<br>概率 $P_{(L)}$ | 到达<br>概率 $P_{(TL)}$ | 承灾体<br>时空概率 $P_{(T)}$ | 财产易<br>损性 $V_{(prop)}$ | 人员易<br>损性 $V_{(D)}$ | 承灾体价值<br>$E$ (万元) | 财产年损失<br>$R_{(prop)}$ (万元/a) | 单人年死亡<br>概率 $P_{(LoL)}$ |
|-----------|--------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1号        | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.2                 | 60                | 0.001 9                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 2号        | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.6                    | 0.3                 | 30                | 0.011 3                      | $1.88 \times 10^{-4}$   |
| 3号        | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.3                 | 100               | 0.003 1                      | $1.88 \times 10^{-5}$   |
| 4号        | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.6                    | 0.3                 | 20                | 0.007 5                      | $1.88 \times 10^{-4}$   |
| 5号        | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.6                    | 0.3                 | 50                | 0.018 8                      | $1.88 \times 10^{-4}$   |
| 6号        | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.7                    | 0.3                 | 15                | 0.006 6                      | $1.88 \times 10^{-4}$   |
| 7号        | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.2                 | 40                | 0.001 3                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 8号        | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.7                    | 0.3                 | 60                | 0.026 3                      | $1.88 \times 10^{-4}$   |
| 9号        | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.6                    | 0.5                 | 80                | 0.030 0                      | $3.13 \times 10^{-4}$   |
| 10号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.3                 | 90                | 0.002 8                      | $1.88 \times 10^{-5}$   |
| 11号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.3                    | 0.2                 | 30                | 0.000 6                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 12号       | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.6                    | 0.5                 | 80                | 0.030 0                      | $3.13 \times 10^{-4}$   |
| 13号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.4                    | 0.2                 | 85                | 0.002 1                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 14号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.2                 | 90                | 0.002 8                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 15号       | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.6                    | 0.5                 | 80                | 0.030 0                      | $3.13 \times 10^{-4}$   |
| 16号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.2                 | 50                | 0.001 6                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 17号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.2                 | 16                | 0.000 5                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 18号       | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.6                    | 0.3                 | 18                | 0.006 8                      | $1.88 \times 10^{-4}$   |
| 19号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.3                 | 40                | 0.001 3                      | $1.88 \times 10^{-5}$   |
| 20号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.2                 | 30                | 0.000 9                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 21号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.2                 | 15                | 0.000 5                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 22号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.2                 | 38                | 0.001 2                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 23号       | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.6                    | 0.3                 | 40                | 0.015 0                      | $1.88 \times 10^{-4}$   |
| 24号       | $10^{-3}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.7                    | 0.3                 | 80                | 0.035 0                      | $1.88 \times 10^{-4}$   |
| 25号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.2                 | 15                | 0.000 5                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |
| 26号       | $10^{-4}$          | 1.0                 | 0.625                 | 0.5                    | 0.2                 | 85                | 0.002 7                      | $1.25 \times 10^{-5}$   |

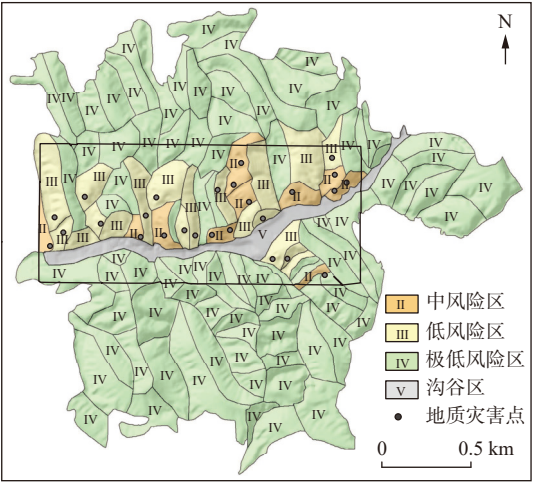


图 6 高西沟地质灾害风险区划图

Fig. 6 Geological hazard risk zoning map of Gaoxigou

高西沟南侧区域,北侧有少量分布,面积约为 2.115 km<sup>2</sup>, 占高西沟总面积的 51.97%。该区位于高西沟高山区,以阴坡面为主,种植油松、刺槐、杨、柳等。现状地质灾害风险较低,在今后发展过程中做好生态保护措施,维持生态系统良性发展,促进经济与生态的和谐发展。

(3)地质灾害低风险-农业生产区呈片状分布于高西沟北侧及东南侧,面积约为 1.166 km<sup>2</sup>, 占高西沟总面积的 28.65%。高西沟农业生产主要在阳坡面种植苹果、梨、枣、核桃,沟里淤地坝平整处,山上缓坡处修建梯田,种植传统农业作物。该区现状地质灾害风险较低,农业生产条件良好,在今后发展过程中可以科学规划农业用地结构与布局,以保护耕地为前提

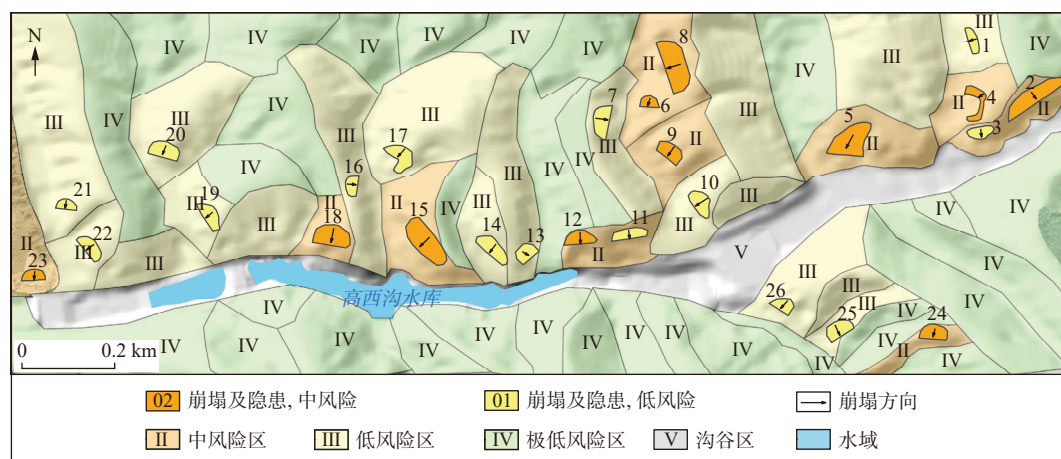


图7 高西沟地质灾害风险区划图(局部放大)

Fig. 7 Geological hazard risk zoning map of Gaoxigou (local amplification)

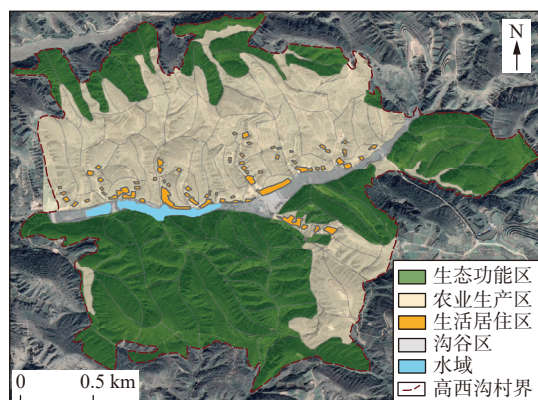


图8 高西沟现状功能分区图

Fig. 8 Current functional partition diagram of Gaoxigou

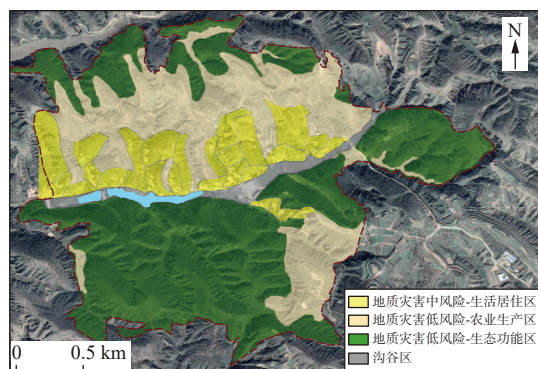


图9 基于地质灾害风险区划的国土空间分区图

Fig. 9 Territorial space zoning map based on geological disaster risk zoning

提高农业综合生产能力,建设山区高标准农田,发展特色农业。

(4)沟谷区分布于高西沟中部,面积约为 $0.155\text{ km}^2$ ,占高西沟总面积的3.81%。河谷中部较开阔的地方现

状为广场和红色教育宣教中心,该区地势开阔,受地质灾害影响较小。沟谷中部可作为红色教育展示区,传承高西沟精神,发展特色旅游基地。

## 5 结论

(1)利用 ArcGIS 将地质灾害风险区划与现状功能区进行叠加,将高西沟重构为4个国土空间分区,分别为地质灾害中风险-生活居住区、地质灾害低风险-生态功能区、地质灾害低风险-农业生产区和沟谷区,并提出国土空间优化策略。

(2)通过本次地质灾害风险评估在国土空间规划中的应用,表明地质灾害风险评估和国土空间规划的综合叠加分析是一条可行的途径,但分析过程使用的斜坡单元、评价指标等数据精度,直接影响评估结果的准确性。

(3)国土空间规划不仅受到地质环境条件的影响,很大程度上也受到当地经济社会发展阶段的制约,其最终的规划需要权衡两者的需求。

致谢:衷心感谢项目组成员洪勃、王冬等在野外调查工作中的辛勤付出。

## 参考文献(References):

- 冯凡,唐亚明,潘学树,等.不同尺度下地质灾害风险评价方法探讨——以陕西吴堡县为例[J].中国地质灾害与防治学报,2022,33(2):115-124.
- FENG Fan, TANG Yaming, PAN Xueshu. et al. An Attempt of Risk Assessment of Geological Hazards in Different Scales: A Case

- Study in Wubao County of Shaanxi Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2022, 33(2): 115–124.
- 冯旭, 王凯, 毛其智, 等. 国土空间规划体系下的乡村空间规划方法—基于规划与治理的一体化视角[J]. 城市规划, 2022, 46(11): 21–31.
- FENG Xu, WANG Kai, MAO Qizhi, et al. Rural spatial planning methods in the territorial planning: from an integrated perspective of planning and governance[J]. City Planning Review, 2022, 46(11): 21–31.
- 姬永涛, 王鲜, 郝业, 等. 基于斜坡单元的陕西省城镇地质灾害风险调查评价—以西安市蒋村街道为例[J]. 灾害学, 2022, 37(4): 211–219.
- Ji Yongtao, WANG Xian, HAO Ye, et al. Investigation and Evaluation of Urban Geological Hazard Risk Based on Slope Unit in Shaanxi Province: A Case Study of Jiangcun Sub-district in Xi'an City[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(4): 211–219.
- 李畅. 基于生态环境保护的乡村发展规划策略[J]. 林业调查规划, 2022, 47(4): 170–174.
- LI Chang. Rural development planning strategy based on ecological environment protection[J]. Forest Inventory and Planning, 2022, 47(4): 170–174.
- 李冠宇, 李鹏, 郭敏, 等. 基于聚类分析法的地质灾害风险评价—以韩城市为例[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(25): 10629–10638.
- LI Guanyu, LI Peng, GUO Min, et al. Application of Cluster Analysis Method in Geological Hazard Risk Assessment: A Case Study of Hancheng City[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(25): 10629–10638.
- 卢全中, 彭建兵, 赵发锁. 地质灾害风险评估(价)研究综述[J]. 灾害学, 2003, 18(4): 59–63.
- LU Quanzhong, PENG Jianbing, ZHAO Fasuo. A Review of Geological Hazard Risk Assessment[J]. Journal of Catastrophology, 2003, 18(4): 59–63.
- 马云飞, 邹芳, 徐海燕. 基于地质灾害风险评价的衡东县国土空间管制研究[J]. 地理信息世界, 2020, 27(6): 14–20.
- MA Yunfei, ZOU Fang, XU Haiyan. Land Space Control of Hengdong County Based on Geological Hazard Risk Assessment[J]. Geomatics World, 2020, 27(6): 14–20.
- 齐信, 唐川, 陈州丰, 等. 地质灾害风险评价研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(5): 33–40.
- QI Xin, TANG Chuan, CHEN Zhoufeng, et al. Research of Geohazards Risk Assessment[J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(5): 33–40.
- 邱维蓉, 吴帮玉, 潘学树, 等. 几种聚类优化的机器学习方法在灵台县滑坡易发性评价中的应用[J]. 西北地质, 2020, 53(1): 223–233.
- QIU Weirong, WU Bangyu, PAN Xueshu, et al. Application of Several Cluster-optimization-based Machine Learning Methods in Evaluation of Landslide Susceptibility in Lingtai County[J]. Northwestern Geology, 2020, 53(1): 223–233.
- 唐亚明, 冯卫, 毕银强, 等. 基于风险评价的黄土滑坡分类及特征[J]. 地质通报, 2015, 34(11): 2092–2099.
- TANG Yaming, FENG Wei, BI Yinqiang, et al. The classification and features of loess landslide based on risk assessment[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(11): 2092–2099.
- 唐亚明, 张茂省, 薛强. 一种大比例尺的滑坡风险区划方法—以延安市区黄土滑坡风险评价为例[J]. 地质通报, 2011, 30(1): 166–172.
- TANG Yaming, ZHANG Maosheng, XUE Qiang. Landslide risk assessment methods and flow on a large scale—A case study of loess landslide risk assessment in Yan'an urban district, Shaanxi, China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(1): 166–172.
- 万成伟, 宋代军. 可持续的乡村振兴规划建设模式—基于海峡两岸的案例比较[J]. 城市规划, 2022, 46(6): 90–102.
- WAN Chengwei, SONG Daijun. Sustainable planning and construction mode of rural revitalization: based on the comparative study of cases between Zhejiang and Taiwan provinces[J]. City Planning Review, 2022, 46(6): 90–102.
- 王颖, 王志一, 纪轶群. 北京地质灾害风险评价研究[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2022, 43(3): 54–61.
- WANG Ying, WANG Zhiyi, JI Yiqun. Risk Assessment of Geological Hazards in Beijing[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2022, 43(3): 54–61.
- 吴树仁, 石菊松, 张春山, 等. 滑坡风险评估理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- WU Shuren, SHI Jusong, ZHANG Chunshan, et al. Theory and Technique of Landslide Risk Assessment[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- 解明礼, 巨能攀, 刘蕴琨, 等. 崩塌滑坡地质灾害风险排序方法研究[J]. 水文地质工程地质, 2021, 48(5): 184–192.
- XIE Mingli, JU Nengpan, LIU Yunkun, et al. A Study of the Risk Ranking Method of Landslides and Collapses[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2021, 48(5): 184–192.
- 许创智, 岳连雄, 赵文川, 等. 陕西省榆林市米脂县地质灾害详细调查报告[R]. 西安: 中国人民武装警察部队黄金第五支队, 2016.

- XU Chuangzhi, YUE Lianxiong, ZHAO Wenchuan, et al. Detailed Investigation Report of Geological Disaster in Mizhi County, Yulin City, Shaanxi Province[R]. Xi'an: the Fifth Gold Detachment of Chinese People's Armed Police Force, 2016.
- 徐继维, 张茂省, 范文. 地质灾害风险评估综述[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 130–134.
- XU Jiwei, ZHANG Maosheng, FAN Wen. A Review of Geological Hazard Risk Assessment[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(4): 130–134.
- 杨柳, 牟鑫亮, 李晨, 等. 延安市宝塔区地质灾害风险评价[J]. 山地学报, 2020, 38(5): 679–690.
- YANG Liu, MOU Xinliang, LI Chen, et al. Geological Hazard Risk Assessment of Baota District in Yan'an City[J]. Mountain Research, 2020, 38(5): 679–690.
- 杨淞月, 翁茂芝, 田华, 等. 湖北省鹤峰县城区滑坡地质灾害风险评价[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(1): 144–155.
- YANG Songyue, WENG Maozhi, TIAN Hua, et al. Landslide Risk Evaluation in the Rrban Area in Hefeng County, Hubei Province[J]. Safety and Environmental Engineering, 2021, 28(1): 144–155.
- 张茂省, 唐亚明. 地质灾害风险调查的方法与实践[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1205–1216.
- ZHANG Maosheng, TANG Yaming. Risk Investigation Method and Practice of Geohazards[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(8): 1205–1216.
- 张茂省, 薛强, 贾俊, 等. 山区城镇地质灾害调查与风险评价方法及实践[J]. 西北地质, 2019, 52(2): 125–135.
- ZHANG Maosheng, XUE Qiang, JIA Jun, et al. Methods and Practices for the Investigation and Risk Assessment of Geo-hazards in Mountainous Towns[J]. Northwestern Geology, 2019, 52(2): 125–135.
- 周超, 常鸣, 徐璐, 等. 贵州省典型城镇矿山地质灾害风险[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(11): 1782–1791.
- ZHOU Chao, CHANG Ming, XU Lu, et al. Geological Hazard Risk of Mines in Typical Towns of Guizhou Province[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(11): 1782–1791.
- AGS. Landslide Risk Management Practice Note[S]. Australian Geomechanics Society, 2008, In press.
- Fell R, Ho K K S, Lacasse S, et al. A framework for landslide risk assessment and management[A]. Hungr O, Fell R, Couture R, et al. Landslide Risk Management[C]. The International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada, 2005.