



## 河南嵩县伊洛河流域大型水库地质灾害综合评价 ——以陆浑水库为例

周晓鹏<sup>1</sup>, 张豪杰<sup>2</sup>, 杜晓阳<sup>1</sup>, 刘书亚<sup>1</sup>, 黄天浩<sup>1</sup>

1. 河南省第一地质矿产调查院有限公司, 河南 洛阳 471000;

2. 洛阳市规划建筑设计研究院有限公司, 河南 洛阳 471000

**摘 要:** 水库是调查地质灾害的重要研究区域之一。伊洛河流域大型水库之一陆浑水库的主库区周边环境存在一定的地质灾害隐患。在嵩县地质灾害隐患调查的基础上, 结合野外调查以及 DEM 数据, 选取坡度、坡向、降雨量、植被覆盖率等评价指标, 利用 GIS 模型对陆浑水库的主库区周边乡镇进行地质灾害易发性、危险性、风险性评价并划分地质灾害防治区。研究结果表明: 研究区域划分为极高风险区面积约为 14.7 km<sup>2</sup>, 占比 7.24%; 高风险区面积约为 45.29 km<sup>2</sup>, 占比 22.32%; 中风险区面积约为 99.13 km<sup>2</sup>, 占比 48.86%; 低风险区面积约为 43.75 km<sup>2</sup>, 占比 21.56%。该研究可作为后续防灾减灾工作的基础, 为陆浑水库的主库区及其周边的地灾防护工作提供科学依据。

**关键词:** 伊洛河流域; GIS; 水库; 地质灾害; 河南省

## GEOLOGICAL HAZARD ASSESSMENT OF LARGE RESERVOIRS IN YILUO RIVER BASIN OF SONGXIAN, HENAN PROVINCE: A Case Study of Luhun Reservoir

ZHOU Xiao-peng<sup>1</sup>, ZHANG Hao-jie<sup>2</sup>, DU Xiao-yang<sup>1</sup>, LIU Shu-ya<sup>1</sup>, HUANG Tian-hao<sup>1</sup>

1. No.1 Institute of Geological & Mineral Resources Survey of Henan, Luoyang 471000, Henan Province, China;

2. Luoyang Planning and Architectural Design Institute Co., Ltd., Luoyang 471000, Henan Province, China

**Abstract:** Reservoir is one of the important research areas for geohazard survey. There are certain hidden dangers of geohazards in the surrounding area of Luhun Reservoir, one of the large reservoirs in Yiluo River Basin. Based on the geohazard survey in Songxian County, combined with the field investigation and DEM data, the evaluation indexes such as slope gradient, slope aspect, rainfall and vegetation coverage are selected, and GIS model is used for the susceptibility, danger and risk assessment of geohazards and zoning of prevention areas in the towns around the main reservoir area. The results show that the very high risk area is 14.7 km<sup>2</sup>, accounting for 7.24% of the study area; the high-risk area 45.29 km<sup>2</sup>, accounting for 22.32%; the medium-risk area 99.13 km<sup>2</sup>, accounting for 48.86%; and the low-risk area 43.75 km<sup>2</sup>, accounting for 21.56%. The study can provide scientific basis for subsequent disaster prevention and mitigation in the main reservoir area of Luhun Reservoir and its surroundings.

**Key words:** Yiluo River Basin; GIS; reservoir; geological disaster; Henan Province

收稿日期: 2023-03-26; 修回日期: 2023-06-08. 编辑: 张哲.

基金项目: 河南省自然资源厅项目“河南省嵩县 1:5 万地质灾害风险调查(普查)评价”(豫财招标采购-2021-929 包 10).

作者简介: 周晓鹏(1994—), 女, 从事水文、工程、环境地质相关工作, 通信地址 河南省洛阳市洛龙区开元大道 222 地矿大厦, E-mail//15036165610@163.com

0 引言

地质灾害是地质环境异常变化对人类生命财产、生活、生产以及支持人类生存与发展的资源、环境破坏的现象或过程，是地质活动与人类活动相互作用的结果<sup>[1-2]</sup>。地质灾害风险调查评价是一项基础性和专业性较强的地质研究，是指在一定的面积范围内，根据区域地质条件背景、地质灾害触(诱)发因素及人类活动状况，对区域地质灾害发生的空间、时间和可能造成的危害、损失所做出的各种分析与判断，客观地认识各地区自然灾害综合风险水平<sup>[3]</sup>。目前基于 GIS 的地灾风险评价方法是定性和定量分析相结合的方法，是应用较为广泛和成熟的评价技术之一<sup>[4-6]</sup>。

2021 年 7 月 20 日暴雨之后，河南各地频繁发生地质灾害，实时威胁着人民的生命财产安全。而大中型水库多数为集雨中心，滑坡、泥石流等地质灾害易发高发，严重威胁水库库区及周围人民的生命财产安全，因此水库是调查地灾的重要研究区域之一。陆浑水库为河南省第二大水库，是伊洛河流域的大型水库之一，是集灌溉、发电、供水、养殖和旅游为一体的综合水利设施，其周围存在的环境地质问题或不良地质现象主要有崩塌和滑坡。

本研究是对陆浑水库的主库区及其周边乡镇的地灾隐患进行调查，按照地质灾害易发性—危险性—风险性的研究层次关系<sup>[7]</sup>，在资料收集与分析 and 地面调查的基础上，利用 GIS 分析的方法，逐步开展地质灾害

易发性、危险性以及风险性评价，最终完成地质灾害防治区的划分。开展陆浑水库的主库区及其周边乡镇的地质灾害风险评价有助于及时研判陆浑水库及其周围环境的地质灾害形势，有针对性地采取风险管控措施，减轻地质灾害对周围百姓造成的损失<sup>[8]</sup>。

1 研究区地质环境概况

1.1 研究区地理位置

研究区位于河南省西部，伏牛山北麓及秦岭支脉熊耳山、外方山之间，洛阳市嵩县境内。地理位置介于东经 111°24′—112°22′，北纬 33°35′—34°21′之间。流经境内的伊河、汝河、白河 3 条河流分别注入黄河、淮河、长江。

陆浑水库位于嵩县东北部、黄河二级支流伊河上，南邻县城、北接嵩县产业集聚区，四周环绕有洛栾高速及南车线(S247)、洛栾线(Z001)、饭嵩线(X040)等公路，对外交通便捷。本文研究范围为陆浑水库的主库区以及周边的乡镇。

1.2 地质灾害发育分布特征

据调查，嵩县地区地质环境复杂，地形地貌多样，断裂构造发育，人类工程活动较强烈。特殊的自然地理环境和地质构造背景，导致该地区存在独特的环境地质问题，地质灾害时有发生，且地质灾害具有分布面广、相对集中、稳定性差等特点。嵩县目前存在 96 个地灾隐患点(表 1)，包括 46 个崩塌点，47 个滑坡点，2

表 1 研究区地质灾害点基本信息

Table 1 Basic information of geohazard sites in the study area

| 编号    | 灾害名称 | 位置         | 斜坡类型 | 坡向/(°) | 宽度/m | 厚度/m   | 面积/m <sup>2</sup> | 规模(万方) | 风险等级 |
|-------|------|------------|------|--------|------|--------|-------------------|--------|------|
| BT-01 | 崩塌   | 田湖镇毛庄村西干渠  | 土质   | 85     | 143  | 2.2    | 315               | 0.0944 | 小型   |
| BT-02 | 崩塌   | 田湖镇屏凤庄二组   | 土质   | 210    | 136  | 3      | 408               | 0.2448 | 小型   |
| BT-03 | 崩塌   | 饭城镇寺沟村寺沟   | 土质   | 160    | 21   | 3      | 63                | 0.0284 | 小型   |
| BT-04 | 崩塌   | 陆浑镇望城港村四组  | 土质   | 160    | 120  | 2      | 240               | 0.108  | 小型   |
| BT-05 | 崩塌   | 城关镇南街村齐家沟  | 土质   | 30     | 280  | 2      | 560               | 0.14   | 中型   |
| BT-06 | 崩塌   | 城关镇菜园村三组   | 土质   | 30     | 25   | 1      | 25                | 0.0075 | 小型   |
| BT-07 | 崩塌   | 城关镇杨岭村十一组  | 土质   | 248    | 70   | 1      | 70                | 0.035  | 小型   |
| BT-08 | 崩塌   | 城关镇安康社区刘家岭 | 土质   | 15     | 80   | 3      | 240               | 0.24   | 中型   |
| HP-01 | 滑坡   | 饭城镇饭坡村下坑   | 土质   | 51     | 127  | 92(长度) | 11 684            | 5.842  | 中型   |

个泥石流点以及 1 个地面塌陷点,其中大型 4 处、中型 14 处、小型 114 处. 境内灾害分布类型具有明显的区域特点,滑坡、崩塌主要分布于中低山地区及伊河、白河沿岸人口集中的谷坡地段.

陆浑水库是嵩县伊洛河流域的大型水库之一,控制流域面积 3 492 km<sup>2</sup>,占伊河流域面积的 61%. 位于陆浑水库周边的隐患点有 22 个,本次研究区内的地灾点有 9 个,包括崩塌点有 8 个,滑坡点有 1 个,其中中型 3 处、小型 6 处(表 1). 地灾隐患点主要分布在陆浑水库的主库区的东北和西南方向(图 1).

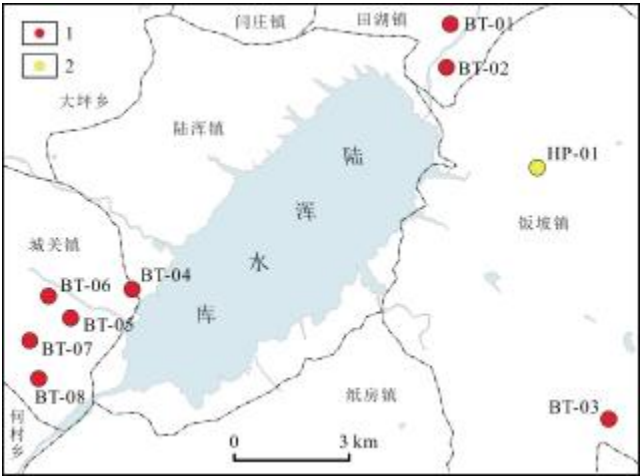


图 1 研究区地质灾害点分布情况  
Fig. 1 Distribution map of geohazard sites in the study area  
1—崩塌(collapse); 2—滑坡(landslide)

1.3 地质灾害风险评价因子选取

地质灾害的属性包括自然属性和社会属性两方面, 因此它的成灾条件离不开自然条件和社会条件. 自然条件包括地形地貌、地质构造、工程岩组、植被覆盖等,降雨是最直接的引发因素;社会条件主要为人类工程活动<sup>[9]</sup>. 本次地灾风险评价根据研究区域内地质灾害调查资料的统计分析,结合对典型灾害点的研究,初步查明区域内地质灾害的主要影响因素包括高程、坡度、坡向、地形地貌等. 根据研究区域地理位置和地质灾害隐患点特征, 选取 9 个因子作为易发性评价的因子(见表 2),基于 DEM 分析各因子指标分布情况<sup>[10]</sup>(见图 2).

2 地质灾害易发性评价

2.1 评价方法

对研究区开展地质灾害易发程度评价, 利用 GIS 的重分类功能, 将层次分析法中的 7 个评价因子(坡度、坡向、距水系距离、距构造距离、地貌类型、工程岩组以及植被覆盖率)结合地质灾害点位置,运用信息量法把实测值转化为各因子的信息量值<sup>[11]</sup>,然后计算各影响因素对斜坡变形破坏所提供的总信息量值, 作为区划的定量指标, 即用信息量大小来评价地质因素及其状态与地灾发生的关系, 以栅格表达易发性评价结果. 其计算公式如下<sup>[12]</sup>:

表 2 地质灾害评价因子指标分级表  
Table 2 Grading of indexes for geohazard evaluation factors

| 评价因子    | 级数 | 指标等级                                                                             |
|---------|----|----------------------------------------------------------------------------------|
| 高程/m    | 4  | 0~300, 300~450, 450~550, >550                                                    |
| 地貌      | 4  | 丘陵, 中山, 低山, 河谷                                                                   |
| 工程岩组    | 8  | 坚硬花岗岩岩组, 软弱黏性土岩组, 较软弱砾岩岩组, 较坚硬砂岩页岩互层岩组, 较软弱砂质砾岩岩组, 坚硬安山岩类岩组, 较软弱千枚岩片岩岩组, 较坚硬灰岩岩组 |
| 降雨量/mm  | 8  | /                                                                                |
| 距构造距离/m | 5  | 0~500, 500~1 000, 1 000~1 500, 1 500~2 000, >2 000                               |
| 距水系距离/m | 5  | 0~500, 500~1 000, 1 000~1 500, 1 500~2 000, >2 000                               |
| 坡度/(°)  | 4  | 0~10, 10~25, 25~40, >40                                                          |
| 坡向      | 8  | N, NE, E, SE, S, SW, W, NW                                                       |
| 植被覆盖度/% | 4  | 0~50, 50~65, 65~75, 75~100                                                       |

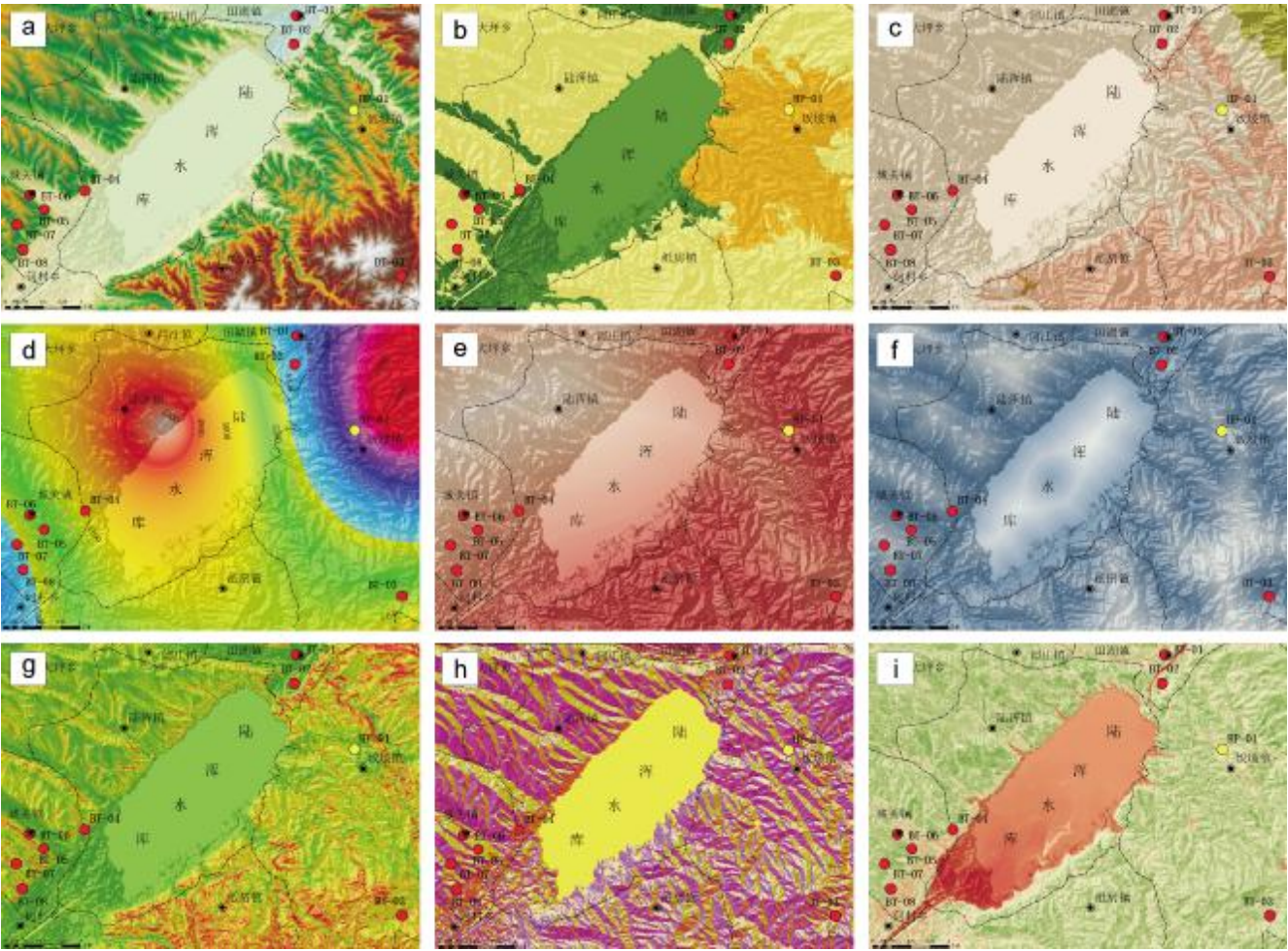


图 2 基于 DEM 的研究区地质灾害风险评价因子

Fig. 2 Geohazard risk evaluation factors in the study area based on DEM

a—高程(elevation); b—地貌(geomorphic type); c—工程岩组(engineering rock group); d—月累计降雨量(cumulative monthly rainfall); e—距构造距离(distance from structure); f—距水系距离(distance from river); g—坡度(slope gradient); h—坡向(slope aspect); i—植被覆盖度(vegetation coverage)

$$I=\sum_{i=1}^n\ln\frac{N_i/N}{S_i/S}$$

式中,  $I$ —对应特定单元地质灾害发生的总信息量,可作为地灾易发性指数;  $N_i$ —对应特定因素第  $i$  状态(或细分区间)条件下的地质灾害数量;  $N$ —调查区地质灾害总数量;  $S_i$ —对应特定因素第  $i$  状态(或细分区间)的评价单元数;  $S$ —调查区总评价单元数。

根据  $I$  值的大小,确定稳定性等级,最终利用 GIS 中的自然断点法<sup>[13-14]</sup>将研究区域易发性划分为高易发区、中易发区、低易发区、非易发区 4 个等级。

2.2 评价结果与分析

由分析结果(图 3)可得,研究区内不存在非易发区;低易发区主要位于主库区的正西以及西北部,涉及到的主要乡镇为陆浑镇和大坪乡,总面积约为

42.99 km<sup>2</sup>,占全区面积的 21.19%;中易发区分布范围比较广泛,主要位于陆浑水库主库区的西北、西南部以及东南方向的周边乡镇,涉及到的主要乡镇有闫庄镇、城关镇、何村乡以及饭坡镇,总面积约为 100.59 km<sup>2</sup>,占全区面积的 49.58%;高易发区主要位于陆浑水库主库区北边至西南边的沿岸和扩散区域以及东北方向的村镇,涉及到的乡镇主要有饭坡镇西部、纸房镇西北部以及田湖镇,总面积约为 59.31 km<sup>2</sup>,占全区面积的 29.23%。

3 地质灾害危险性评价

3.1 评价方法

地质灾害危险区是指明显可能发生地质灾害且将可能造成较多人员伤亡和严重经济损失的地区。危险

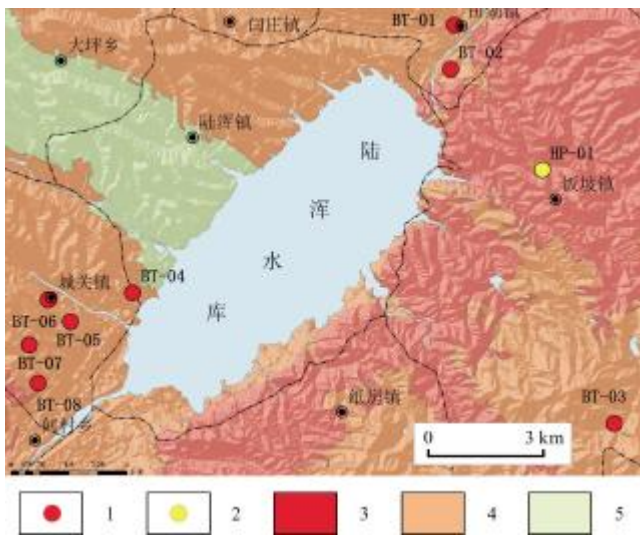


图 3 研究区地质灾害易发性分区图

Fig. 3 Geohazard susceptibility zoning map of the study area  
1—崩塌(collapse); 2—滑坡(landslide); 3—高易发区(high-prone area);  
4—中易发区(medium-prone area); 5—低易发区(low-prone area)

性区划是在易发性分区的基础上进行的,根据调查区存在的诱因在一定时期内可能引发地质灾害可能性的判定,确定不同区段的地质灾害危险性<sup>[15]</sup>,计算出危险区界限,划分出极高危险区、高危险区、中危险区和低危险区 4 个等级.本次调查区中由于地震活动频次少、强度低,因此危险性评价是在易发性评价结果的基础上叠加了降雨诱发因素<sup>[16]</sup>,基于 ArcGIS 依据近几年的降雨量数据,计算出累计降雨量,并对降雨量进行归一化处理.计算公式:

$$y=\frac{x-\min(x)}{\max(x)-\min(x)}$$

式中,  $y$ —降雨量归一化值;  $x$ —降雨量;  $\max(x)$  —降雨量最大值;  $\min(x)$ —降雨最小值.

3.2 评价结果与分析

由分析结果(图 4)可得,研究区地质灾害危险性划分为极高危险区、高危险区、中危险区和低危险区 4 个等级.极高危险区主要位于陆浑水库东北部饭坡镇的中部区域,总面积约为 5.18 km<sup>2</sup>,占全区面积的 2.55%;高危险区主要位于陆浑水库东部和东北部地区,主要涉及田湖镇、饭坡镇和纸房镇,总面积约为 41.64 km<sup>2</sup>,占全区面积的 20.52%;中危险区主要位于陆浑水库东和东北以及西南的周边乡镇,涉及到的乡镇有纸房镇、陆浑镇以及大坪乡,总面积约为 78.79 km<sup>2</sup>,占全区面积的 38.83%;低危险区主要是陆

浑水库主库区的沿岸以及西北部,涉及到的乡镇有闫庄镇、田湖镇、何村乡和纸房镇,总面积约为 77.26 km<sup>2</sup>,占全区面积的 38.08%.

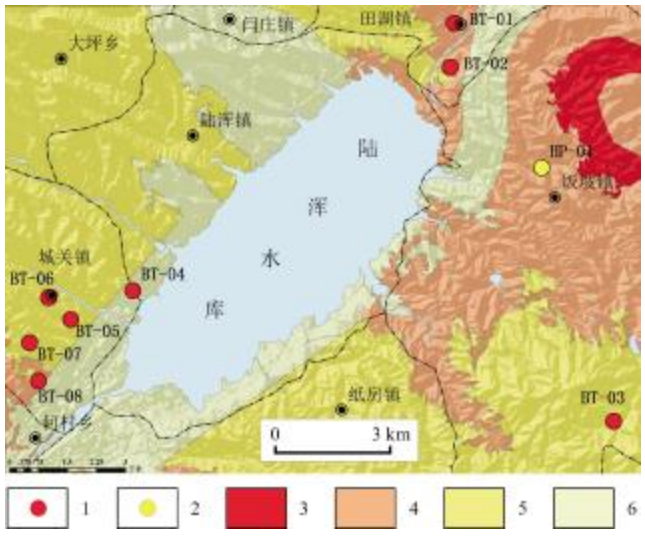


图 4 研究区地质灾害危险性分区图

Fig. 4 Geohazard danger zoning map of the study area  
1—崩塌 (collapse); 2—滑坡 (landslide); 3—极高危险区 (very high danger area); 4—高危险区 (high-danger area); 5—中危险区 (medium-danger area); 6—低危险区 (low-danger area)

4 地质灾害风险性评价

4.1 评价方法

本次研究区域易损性评价主要考虑建筑物易损性、人员易损性和交通设施易损性,从而确定全区的综合易损性.采用对建筑物面积归一化处理的方法<sup>[17]</sup>,取归一化值作为调查区内的基础易损性,统计到各村;对研究区域内不同交通设施类型和等级按表 3 进行易

表 3 研究区承灾体易损性赋值表  
Table 3 Vulnerability assignment of disaster bearing body in the study area

| 承灾体类型         | 分级       | 赋值   |
|---------------|----------|------|
| 受地质灾害直接威胁人口数量 | 10~100 人 | 0.4  |
|               | <10 人    | 0.2  |
| 交通设施          | 高速公路     | 0.8  |
|               | 国家级公路    | 0.7  |
|               | 省级公路     | 0.4  |
|               | 其他道路     | 0.25 |

损性赋值;根据调查研究区域内获取地质灾害点及隐患的威胁人口数量,采用核密度算法获得人员易损性.将3种易损性统计到各村,各村综合易损性结果则为3种易损性的高值,得到综合易损性分布图(图5).

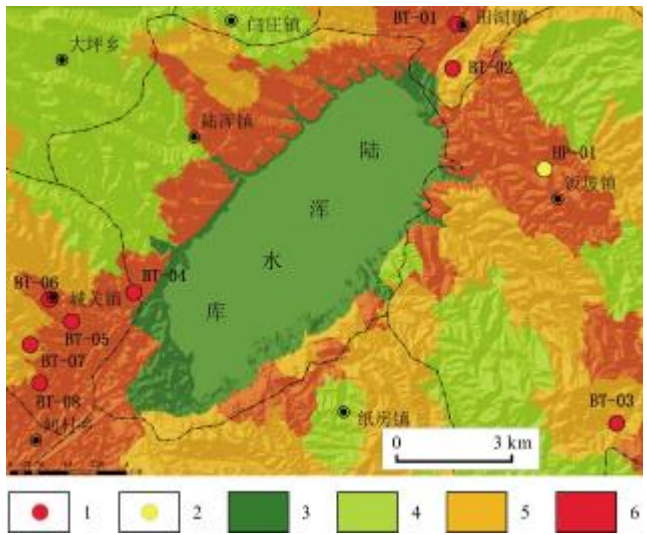


图5 研究区综合易损性分区图

Fig. 5 Composite vulnerability zoning map of the study area  
1—崩塌(collapse); 2—滑坡(landslide); 3—低易损区(low vulnerable area); 4—中易损区(medium vulnerable area); 5—高易损区(high vulnerable area); 6—极高易损区(very high vulnerable area)

风险评价利用地质灾害的危险性和综合易损性评价结果叠加运算,采用矩阵分析的方法<sup>[14,18]</sup>,对全区地质灾害风险性进行等级划分.地质灾害风险评价重点考虑地质灾害破坏影响及可能性.根据危险性结果和易损性结果得到该研究区的风险等级区划图(图6).

4.2 评价结果与分析

由分析结果可得,研究区地质灾害风险性划分为极高风险区、高风险区、中风险区和低风险区4个等级.极高风险区主要位于陆浑水库东部饭坡镇中部区域,总面积约为14.7 km<sup>2</sup>,占全区面积的7.24%;高风险区主要位于陆浑水库东部、东北部以及西南部地区,主要涉及城关镇、饭坡镇、纸房镇和何村乡,总面积约为45.29 km<sup>2</sup>,占全区面积的22.32%;中风险区分布范围比较广泛,主要位于陆浑水库东南部和西北部的周边乡镇,涉及到的乡镇有纸房镇、陆浑镇、闫庄镇以及大坪乡,总面积约为99.13 km<sup>2</sup>,占全区面积的48.86%;低风险区主要位于陆浑水库主库区的沿岸以及东北部,涉及到的乡镇有田湖镇和饭坡镇,总面积约为43.75 km<sup>2</sup>,占全区面积的21.56%.

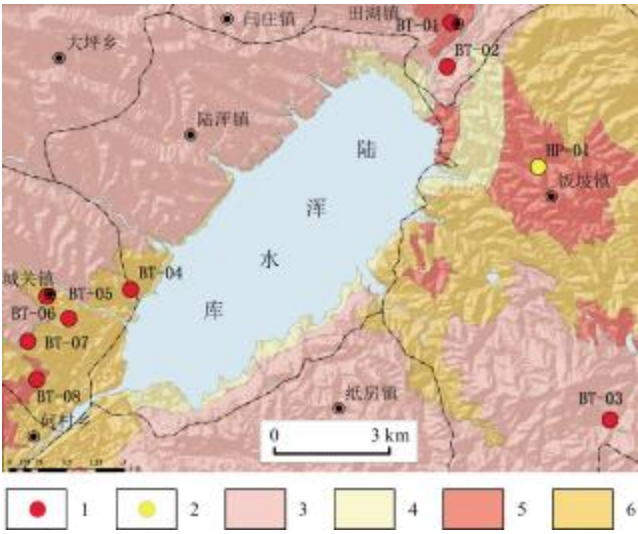


图6 研究区地质灾害风险性分区图

Fig. 6 Geohazard risk zoning map of the study area  
1—崩塌(collapse); 2—滑坡(landslide); 3—极高风险区(very high risk area); 4—高风险区(high-risk area); 5—中风险区(medium-risk area); 6—低风险区(low-risk area)

5 研究区地质灾害防治区划分

5.1 划分方法

地质灾害防治区划在风险区划的基础上开展,以区内地质灾害风险分区为主要考虑因素,结合国土空间规划或土地利用规划,采用综合定性方法,遵循集中连片的原则,将研究区域划分为重点防治区、次重点防治区和一般防治区3个等级并且编制地质灾害防治区划图,充分反映区内影响地质灾害防治措施的系统因素,体现灾害防治措施的差异性,达到指导区域防治工作和减轻灾害的目的.根据地质灾害风险分区结果、地质灾害隐患点所在位置以及规模大小确定防治措施,分别为工程治理、监测预警、避险搬迁和排危除险.

5.2 划分结果与分析

根据上述划分标准以及地质灾害隐患点的威胁范围,得到研究区内防治区划图(图7).其中重点防治区面积约为59.15 km<sup>2</sup>,占研究区的29.15%,主要位于陆浑水库主库区的东北和西南部;次重点防治区面积约为99.97 km<sup>2</sup>,占研究区的49.27%,主要位于西北和东南部;一般防治区面积约为43.75 km<sup>2</sup>,占研究区的21.56%,多分布于沿库周边.

研究区东南角区域建议管控措施为监测预警为主,排危除险为主;东北和西南角区域建议管控措施为

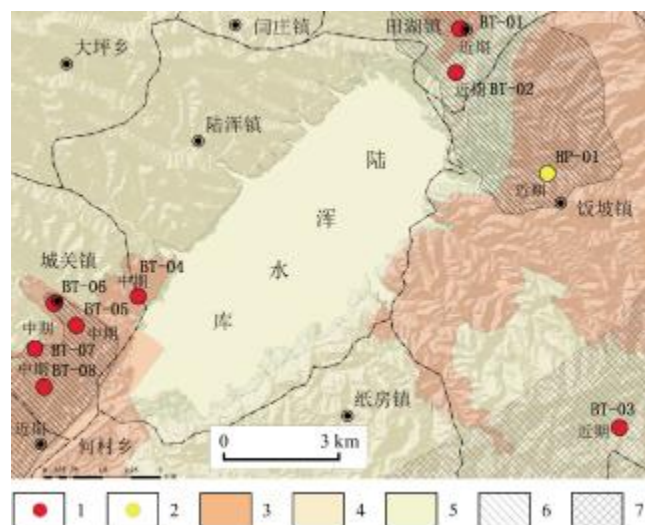


图7 研究区地质灾害防治区划图

Fig. 7 Geohazard prevention zoning map of the study area

1—崩塌 (collapse); 2—滑坡 (landslide); 3—重点防治区 (major prevention area); 4—次重点防治区 (second-emphasis prevention area); 5—一般防治区 (general prevention area); 6—工程治理为主、监测预警为辅区域 (engineering management area, with monitoring and early warning); 7—监测预警为主、排危除险为辅区域 (monitoring and early warning area, with risk elimination)

工程治理为主, 监测预警为辅。研究区域内需要防治的点整体位于库区东北和西南部, 其中工程治理点2处, 分别为田湖镇屏风庄崩塌和饭坡镇下坑滑坡; 排危除险点3处, 分别为田湖镇毛庄村崩塌、饭坡镇寺沟村崩塌和城关镇刘家岭崩塌; 监测预警点4处分别为城关镇南街村崩塌、城关镇菜园村崩塌、城关镇杨岭村崩塌和陆浑镇望城港村崩塌。

## 6 结论

基于GIS模型, 对陆浑水库的主库区以及周边乡镇的地质环境进行调查, 整个研究区不存在非风险区和非危险区。研究区域内陆浑水库的主库区沿岸均为地灾易发区, 研究区域内陆浑水库主库区的东北和西南部为地质灾害重点分布区域, 其他区域地质灾害零星分布, 规模较小, 但由于周边大量村镇聚集, 威胁一定的人口安全, 研究区域内的地灾情况仍需重视。根据研究区地灾综合评价结果, 提出如下建议:

(1)从风险性的结果来看, 陆浑水库的主库区沿岸基本上是中风险区, 一旦沿岸的易损性条件和危险性条件发生改变, 地质灾害的风险级别将会发生变化<sup>[19]</sup>,

因此在今后的建设中, 无论是在开发资源还是进行各种工程活动中都应注意保护环境, 避免地质灾害向着严重的方向发展。

(2)根据研究区内防治区划的结果, 研究区内饭坡镇、城关镇和何村乡为重点防治区域, 近期应针对该区域开展更多的地灾防治工作和研究, 尤其是在陆浑水库的东北和西南区域, 突出重点防治工作, 对症下药, 有效减灾防灾<sup>[2]</sup>。

(3)研究区滑坡、崩塌等地质灾害易发高发, 严重威胁水库库区及周围人民的生命财产安全。在水库的运行中, 受周围地理环境及地形地貌的影响, 极易产生地质灾害, 尤其是降雨条件。应基于研究区域的地质环境条件, 依据研究结果建立突发地质灾害动态风险预警系统, 尤其关注降雨过程中地质灾害风险动态, 有效预防地灾的发生<sup>[19-21]</sup>。

## 参考文献 (References):

- [1]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 X, Tang C, Chen Z F, et al. Research of geohazards risk assessment [J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(5): 33-40.
- [2]郭邦梅, 权开兄. 基于ArcGIS的青海隆务河流域灾害风险性评价[J]. 地质与资源, 2019, 28(3): 289-292.  
Guo B M, Quan K X. ArcGIS-based disaster risk assessment of Longwu River basin in Qinghai Province[J]. Geology and Resources, 2019, 28(3): 289-292.
- [3]黄润秋, 向喜琼, 巨能攀. 我国区域地质灾害评价的现状和问题[J]. 地质通报, 2004, 23(11): 1078-1082.  
Huang R Q, Xiang X Q, Ju N P. Assessment of China's regional geohazards: Present situation and problems[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(11): 1078-1082.
- [4]侯兴利, 陈建勋, 张恋. 基于ArcGIS的滑坡空间分布的变维分形研究——以江西省宁都县为例[J]. 地质与资源, 2019, 28(3): 293-297.  
Hou X L, Chen J X, Zhang L. Fractal dimension study on the spatial distribution of landslides based on ArcGIS: A case study of Ningdu County, Jiangxi Province[J]. Geology and Resources, 2019, 28(3): 293-297.
- [5]李信, 阮明, 杨峰, 等. 基于GIS技术和信息量法的地质灾害易发性研究——以海南省昌江县为例[J]. 地质与资源, 2022, 31(1): 98-105.  
Li X, Ruan M, Yang F, et al. Evaluation of geological hazard susceptibility based on GIS and information method: A case study of Changjiang County, Hainan Province [J]. Geology and Resources, 2022, 31(1): 98-105.

- [6]陈毅,薛桂澄,柳长柱,等.海南省保亭县地质灾害易发程度区划[J].地质与资源,2017,26(2):165-170.  
Chen Y, Xue G C, Liu C Z, et al. Zoning of probable occurrence levels of geological hazards in Baoting County, Hainan Province[J]. Geology and Resources, 2017, 26(2): 165-170.
- [7]孟庆华,孙炜锋,张春山.地质灾害风险评估与管理方法研究——以陕西凤县为例[J].水文地质工程地质,2014,41(5):118-124.  
Meng Q H, Sun W F, Zhang C S. A study of geo-hazards risk assessment and management methods, exemplified by Feng County, Shaanxi[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2014, 41(5): 118-124.
- [8]王海宝,王应政,严登才.三峡库区地质灾害避灾移民迁移风险评价[J].统计与决策,2016,32(5):65-68.  
Wang H B, Wang Y Z, Yan D C. Risk assessment of migration for geological disaster avoidance in Three Gorges Reservoir area[J]. Statistics & Decision, 2016, 32(5): 65-68. (in Chinese)
- [9]张群,易靖松,张勇,等.西南山区县单元单元的地质灾害风险评价——以怒江流域泸水市为例[J].自然灾害学报,2022,31(5):212-221.  
Zhang Q, Yi JS, Zhang Y, et al. Geohazard risk assessment about county units in southwest mountainous areas of China: Take Lushui County of Nujiang River basin as an example[J]. Journal of Natural Disasters, 2022, 31(5): 212-221.
- [10]薛强,张茂省,董英,等.基于DEM和遥感的黄土地质灾害精细化风险识别——以陕北黄土高原区米脂县为例[J].中国地质,2023,50(3):926-942.  
Xue Q, Zhang M S, Dong Y, et al. Refinement risk identification of loess geo-hazards based on DEM and remote sensing: Taking Mizhi County in the Loess Plateau of Northern Shaanxi as an example[J]. Geology in China, 2023, 50(3): 926-942.
- [11]孙冉,王成都,夏哲兵,等.基于AHP-信息量法的费县地质灾害风险评价[J].环境科学与技术,2015,38(6P):430-435.  
Sun R, Wang C D, Xia Z B, et al. Geological disasters risk assessment in Fee County based on AHP-information method[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 38(6P): 430-435.
- [12]王飞飞. ArcGIS 信息量模型方法在区域地质灾害风险评价中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2022(13):178-180.  
Wang F F. Application of ArcGIS information model in risk assessment of regional geological hazard[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2022(13): 178-180. (in Chinese)
- [13]邹凤钗,邹银先,陶小郎,等.基于GIS分析的万山区地质灾害风险评价[J].贵州大学学报(自然科学版),2022,39(6):117-124.  
Zou F C, Zou Y X, Tao X L, et al. Risk Assessment of geological disasters based on GIS analysis in Wanshan[J]. Journal of Guizhou University (Natural Sciences), 2022, 39(6): 117-124.
- [14]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 F, Tang Y M, Pan X S, 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.
- [15]张以晨,郎秋玲,陈亚南,等.基于自然灾害风险评估框架的省级地质灾害风险区划方法探讨——以吉林省为例[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(6):104-110.  
Zhang Y C, Lang Q L, Chen Y N, et al. Provincial geological disaster risk zoning method based on natural disaster risk assessment framework: A case study in Jilin Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(6): 104-110.
- [16]杨秀元,付杰,韩旭东,等.三峡库区沿江城镇地质灾害风险评价——以重庆市万州区大周镇为例[J].中国地质调查,2022,9(4):27-36.  
Yang X Y, Fu J, Han X D, et al. Risk assessment of geological hazards in towns alongside the Yangtze River in the Three Gorges Reservoir area: A case study of Dazhou Town in Wanzhou District of Chongqing City[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(4): 27-36.
- [17]谭伟,田巍,李卫华,等.天台山风景区地质灾害风险评价[J].工程技术研究,2022,7(13):229-231.  
Tan W, Tian W, Li W H, et al. Risk assessment of geological disasters in Tiantai Mountain scenic area[J]. Engineering and Technological Research, 2022, 7(13): 229-231.
- [18]江攀和,张明思,梁劲松,等.信息量模型在山地斜坡地质灾害风险评价中的应用——以贵定县宝山盘江重点区为例[J].贵州地质,2022,39(2):159-166.  
Jiang P H, Zhang M S, Liang J S, et al. Application of information quantity model in risk assessment of geological hazards in mountain slopes-taking the key area of Panjiang in Baoshan, Guiding County as an example[J]. Guizhou Geology, 2022, 39(2): 159-166.
- [19]范远芳,黄俊宝,王国民,等.降雨型地质灾害风险动态评价方法探讨[J].中国地质灾害与防治学报,2015,26(3):107-113.  
Fan Y F, Huang J B, Wang G M, et al. Study on the dynamic risk assessment of regional geo-hazard of rainfall[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015, 26(3): 107-113.
- [20]徐兴华,唐小明,游省易,等.东南沿海山区小流域突发地质灾害动态风险评价与应急预警[J].灾害学,2018,33(4):78-85,92.  
Xu X H, Tang X M, You S Y, et al. Dynamic risk assessment and emergency warning for sudden geological disasters in small watershed of southeastern coastal mountainous area[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 78-85, 92.
- [21]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 Y T, Wang X, Hao Y, et al. Investigation and evaluation of urban geo-hazards risk in Shaanxi Province based on slope unit: A case study of Jiangcun Street in Xi'an[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(4): 211-219.