

洪增林, 李永红, 张玲玉, 等. 一种基于主成分分析法的区域性地质灾害危险性评估方法[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 118–124. [HONG Zenglin, LI Yonghong, ZHANG Lingyu, et al. A method of regional geological hazard assessment based on principle component analysis[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(1): 118–124. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.022.]

一种基于主成分分析法的区域性地质灾害危险性 评估方法^{*}

洪增林^{1,2}, 李永红^{1,3}, 张玲玉⁴, 李傲雯⁵, 任超⁶

- (1. 矿山地质灾害成灾机理与防控重点实验室, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省地质调查院, 陕西 西安 710054;
3. 陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054; 4. 西安科技大学 地质与环境学院, 陕西 西安 710054;
5. 长安大学 水利与环境学院, 陕西 西安 710054; 6. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘要:以榆神府地区为研究对象, 基于研究区已知在册的地质灾害隐患点, 探讨一种区域性地质灾害危险性评估方法。首先利用地质灾害隐患威胁户数、威胁人数、威胁财产以及防治所需经费等数据, 选取两个主成分, 分别命名为隐患威胁指数和聚落抗灾指数; 然后利用两个主成分方差贡献率获得权重得到各乡(镇、街道办)地质灾害危险性评估综合指标; 最后应用地质灾害危险性评估综合指标以乡(镇、街道办)为单元划定地质灾害危险性分区。地质灾害危险评估分区分为5个级别, 为危险性大区、危险性较大区、危险性中等区、危险性小区、不危险区。

关键词:区域性; 地质灾害; 危险性评估; 主成分分析

中图分类号: P694; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)01-0118-07
doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.022

随着《地质灾害防治条例》《国务院关于加强地质灾害防治工作的决定》颁布与出台, 建设工程地质灾害危险性评估工作逐渐制度化、规范化, 这项工作主要包括工业与民用建筑、道路交通、油气管道、水利水电、港口码头及城市、村庄、集镇规划等建设工程地质灾害危险性评估, 旨在为工程建设和用地规划地质灾害防治提供技术指导^[1-2]。随着国土空间规划的“资源环境承载力评价”和“国土空间开发适宜性评价”即“双评价”的实施, 地质灾害危险性评估作为“双评价”的重要组成部分, 建设工程地质灾害危险性评估工作的缺点逐渐显现出来, 因为该项工作主要围绕规划工程在局部场地或线状一定范围内进行地质灾害危险性评估, 适用的前提是工程建设已进入可行性研究阶段或规划实施阶段, 这远不能满足国土空间总体规划的需求。因此, 区域性地质灾害危险性评估工作应运而生, 目前自然资源部正在重庆等地试点, 相关的技术标准出台尚需一段时间。为此, 探讨区域性地质灾害危险性评估方法是国

家机构改革形势所趋, 是资源环境承载力评价的要求, 也是国土空间开发适宜性评价的要求。

1 方法的提出

中国是世界上地质灾害最严重的国家之一。2000年后, 各级国土资源主管部门通过地质灾害调查与区划、地质灾害详细调查等工作, 初步摸清了全国地质灾害隐患的家底, 这些隐患点正通过群测群防、专业监测或群专结合的手段进行监测预警。但是, 近年来造成人员伤亡和财产损失的地质灾害有一部分并不在我们监测预警范围内。也就是说, 如何利用已知隐患点预测未知点发生的范围与时间一直是地质灾害防治学者科技攻关的热点, 其中, 从已知点到未知区域的危险性评估是科技攻关的内容之一。目前专家学者已经将多种方法应用到该项研究中^[3-5], 如层次分析法、模糊评判法、综合评价指数法、多元回归分析方法等, 这些方法共性的特点是必须准确判断地质

^{*} 收稿日期: 2019-07-16 修回日期: 2019-10-30

基金项目: 陕财办预[2017]6号《陕西省财政厅关于批复2017年省级部门预算的函》

第一作者简介: 洪增林(1963-), 男, 汉族, 甘肃陇西人, 教授、博士生导师, 主要从事水工环地质工作。E-mail: lhqhzl@163.com

灾害各个引发因素的权重,但实际上权重的界定因人而异,计算结果也因人而异,这就给防灾减灾工作带来很多的困惑。

目前,在全国以乡(镇、街道办)为单元的地质灾害隐患点台账很清楚,一个在册的地质灾害隐患点实际是特定孕灾环境的综合体现,从这些点中“抽丝剥茧”,提取主要成分,进行危险性评估是一种可行的方法与思路,不仅避免大量无谓的重复的外业调查工作,而且基于已有的成果资料以乡(镇、街道办)为单元进行研究分级分类,可作为国土空间规划“双评价”的依据。

主成分分析法是通过统计分析将多个变量组合筛选,以少数变量表达同等信息量的方法。该法在各个学科领域应用广泛,许多专家学者也将主成分分析法应用在地质学科,并取得了丰硕的成果。甘露等^[6]用主成分分析方法研究地质样品的X荧光光谱强度与浓度的关系,证明其对未知样品组分浓度预测结果较多元回归分析方法好;朱小鸽^[7]提出多重主成分分析方法,将原始遥感数据经过图像变换或运算处理后,有针对性地进行二次乃至多次处理,并应用于柴达木盆地西部山区提取地质构造信息,取得显著效果;范文等^[8]介绍了主成分分析法的分类原理和实施步骤以及多指标体系中指标的选取,针对地质灾害的危险性,建立了评价的多指标体系和分级特征,同时分析了该方法在地质灾害危险性综合评价中的应用;李连香等^[9]在主成分分析的基础上,构建分层构权主成分分析评价法,对皖北地下水水质评价,其结果与水文地质调查及取样分析结果基本一致;余丰华等^[10]通过地质灾害点的坡度、坡向、岩性等因素的敏感性计算,采用主成分分析法对浙江海洋经济示范区地质灾害脆弱性进行评价,并绘制了地质灾害易发程度分区图。

陕西省由北向南地跨沙漠高原和黄土高原、关中断陷盆地、陕南秦巴山地三大地貌单元,地质环境脆弱,加之极端气候与人类工程活动的影响,地质灾害多发、频发,是全国地质灾害严重的省份之一。2000年后,省内大专院校、科研院所、企事业单位做了大量的地质灾害研究工作。刘海南、宁奎斌等^[11-12]对陕西省的地质灾害及其成功预报的时空分布规律进行了总结;李永红、仵拨云、孙魁、宁奎斌等^[13-16]用数值模拟或统计法分析了多种不同灾害类型的致灾模式,韩健楠、姬怡微、李永红^[17-19]等对地质灾害的风险管控、调查评价方法进行了研究。在此基础上,由于陕北榆神府地区煤炭资源丰富,矿产开采强度高、规模大,导致该区生态环境受损,地质灾害危害

巨大。多年来,许多专家学者对榆神府地区地质灾害的现状、分布规律、防控措施以及地质灾害演化规律进行了专项研究。范立民等^[20]通过高分遥感结合地面调查研究,总结了榆神府地区地面塌陷、地裂缝、矿震、地表水体缩减、地下水位下降、土地退化等地质灾害现状,并在此基础上分析了防控技术;彭捷等^[21]以榆神府煤矿开采区为研究对象,分析了地面塌陷对地质环境的影响;刘海南等^[20]分析了神木市地质灾害群测群防体系现状与对策;刘海南、李永红、韩健楠等^[22-25]研究了榆神府生态环境脆弱区地质灾害发育规律;分析了生态脆弱矿区地质灾害演化过程,并提出了防治对策建议。可以说榆神府地区乃至陕西省地质灾害的研究程度相对深入。

为此,作者基于在册的地质灾害隐患,利用主成分分析法,以榆神府地区为研究对象,探讨一种区域性地质灾害危险性评估方法。首先利用地质灾害隐患威胁户数、威胁人数、威胁财产以及防治所需的经费等数据,选取两个主成分,分别命名为隐患威胁指数和聚落抗灾指数;然后利用两个主成分方差贡献率获得权重得到各乡(镇、街道办)综合指标;最后根据综合指标以乡(镇、街道办)为单元划定地质灾害危险性分区。

2 地质灾害隐患概况

榆神府地区地理坐标为 $108^{\circ}52'19''\sim 111^{\circ}15'07''$ E、 $37^{\circ}46'38''\sim 39^{\circ}35'44''$ N,面积 $17\,572.73\text{ km}^2$,位于陕西省北部,秦晋蒙三角地带。西北依内蒙古自治区鄂尔多斯市伊金霍洛旗、准格尔和乌审旗;东临黄河,与山西省河曲县、保德县和兴县隔河相望;南接榆林市横山区、米脂县和佳县。境内有包神铁路、神朔铁路及神延铁路;主干公路有包茂高速、沧榆高速及210国道、301省道、204省道等,通村公路均与这些主干道相连,区内交通便利。

研究区地貌以黄土地貌和河谷阶地为主,沟谷发育,地形被切割得较为破碎,并形成了高陡边坡、谷中谷及基座阶地等,为滑坡、崩塌等地质灾害的形成提供了地形地貌条件。同时,区内煤矿资源丰富,煤矿的开采形成了大面积的采空区,从而易引发地面塌陷灾害。至2017年底,研究区有地质灾害隐患点403处,类型为崩塌、滑坡、地面塌陷和泥石流,其中崩塌274处、滑坡83处、地面塌陷38处、泥石流8处,潜在威胁2610户10541人和21691.3万元财产的安全。地质灾害规模以小型为主,占总点数的59.3%。

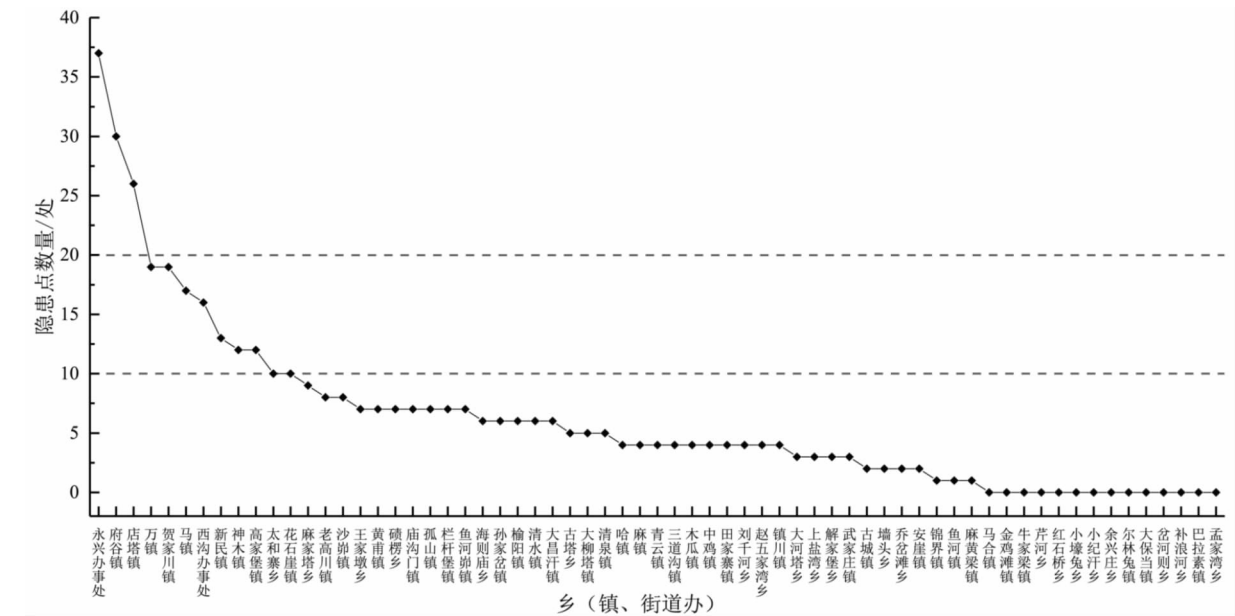


图1 研究区地质灾害隐患点数量分布图

研究区由于复杂的地形地貌条件、岩土体工程地质条件、气象水文条件和人类工程活动，地质灾害隐患点在三个市(县、区)65个乡(镇、街道办)分布差异明显(图1)，神木市地质灾害隐患点分布最多，有223处，府谷县次之，有135处，榆阳区最少，45处。从经济社会角度上看：地势陡峻、交通便利、人类工程活动强烈、人口密度高的乡(镇、街道办)地质灾害分布相对较多；地势平坦、人口密度低、人类工程活动弱的乡(镇、街道办)地质灾害分布较少。神木市永兴街道办地质灾害隐患点分布最多，有37处，其次为府谷县府谷镇，有30处，神木市店塔镇，有26处；没有地质灾害隐患点分布的乡(镇、街道办)有14个，分别是神木市尔林兔镇、大保当镇和榆阳区小壕兔乡、岔河则乡、孟家湾乡、马合镇、金鸡滩镇、小纪汗乡、牛家梁镇、补浪河乡、巴拉素镇、芹河乡、红石桥乡、余兴庄乡。

3 主成分的确定

本文提取了地质灾害隐患点中的聚落隐患点

数量(X_1 /个)、威胁财产(X_2 /万元)、威胁户数(X_3 /户)、威胁人数(X_4 /人)、威胁房屋(X_5 /间)、防治费用(X_6 /万元)以及聚落面积(X_7 /km²)7个指标对榆神府地区地质灾害危险性进行评价。使用IBM SPSS Statistics 22.0对数据进行处理和分析。

因指标量纲不同，首先对数据进行标准化处理，然后对标准化处理后的数据使用主成分分析的方法进行因子降维分析。其结果如下：

3.1 KMO 和 Bartlett 检验

KMO 值用于比较变量间简单相关系数和偏相关系数，Bartlett 值用于检验各个变量是否各自独立，这两者是检验数据是否适合做因子分析的。由表1可知，KMO 值为0.694，Bartlett P 值为0.000，说明所选指标适合做因子分析。

表1 KMO 和 Bartlett 检验		
KMO 的值		0.694
卡方分布近似值		737.019
Bartlett 检验	自由度	21
	P 值	0.000

表2 总方差解释

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差百分比/%	累积百分比/%	合计	方差百分比/%	累积百分比/%
1	4.588	65.544	65.544	4.588	65.544	65.544
2	1.125	16.068	81.612	1.125	16.068	81.612
3	0.899	12.838	94.450			
4	0.315	4.494	98.943			
5	0.056	0.803	99.746			
6	0.012	0.177	99.923			
7	0.005	0.077	100.000			

3.2 主成分分析

计算标准化数据的相关系数矩阵, 并求解特征根(表2)。由表2可知, 初始特征值大于1的因子有两个, 其方差累积百分比达到81.612, 说明前两个因子包含了原始数据的大部分信息, 可以将这两个因子选做主成分。

由表3可知, 主成分1中, 威胁财产、威胁户数、威胁人数、威胁房屋这四个指标载荷较大, 因此, 命名为隐患威胁指数; 主成分2中, 隐患点数、防治费用、聚落面积三个指标载荷较大, 且隐患点数、防治费用载荷为负值, 因此, 命名为聚落抗灾指数。

表3 因子载荷矩阵

指标	主成分1	主成分2
隐患点数	0.774	-0.535
威胁财产	0.824	0.376
威胁户数	0.943	0.273
威胁人数	0.940	0.317
威胁房屋	0.922	0.098
防治费用	0.785	-0.525
聚落面积	-0.266	0.487

3.3 主成分与各指标关系

表4为主成分系数表。

表4 主成分系数表

指标	主成分1	主成分2
隐患点数	0.169	-0.475
威胁财产	0.180	0.335
威胁户数	0.205	0.243
威胁人数	0.205	0.282
威胁房屋	0.201	0.087
防治费用	0.171	-0.467
聚落面积	-0.058	0.433

由表4可以得到两个主成分分别与7个指标的关系:

$$F_1 = \sqrt{4.588} (0.169X_1 + 0.180X_2 + 0.205X_3 + 0.205X_4 + 0.201X_5 + 0.171X_6 - 0.058X_7); \quad (1)$$

$$F_2 = \sqrt{1.125} (-0.475X_1 + 0.335X_2 + 0.243X_3 + 0.282X_4 + 0.087X_5 - 0.467X_6 + 0.433X_7)。 \quad (2)$$

利用两个主成分的方差贡献率求得综合指标:

$$F = \frac{65.544}{81.612}F_1 + \frac{16.068}{81.612}F_2。 \quad (3)$$

3.4 主成分及综合指标值计算结果

利用两个主成分与7个指标的关系, 分别计算65个乡(镇、街道办)的隐患威胁指数、聚落抗灾指数及地质灾害危险性评估综合指标值(表5)。

表5 聚落隐患发育程度描述

排序	地名	聚落面积/km ²	隐患威胁指数	聚落抗灾指数	综合指标值	排序	地名	聚落面积/km ²	隐患威胁指数	聚落抗灾指数	综合指标值
1	府谷镇	204.04	12.88	3.57	11.05	34	田家寨镇	210.34	-0.66	-0.08	-0.55
2	西沟街道办	173.00	5.36	-0.27	4.25	35	古塔乡	139.14	-0.65	-0.38	-0.59
3	神木镇	103.34	4.86	0.33	3.97	36	清泉镇	128.84	-0.66	-0.42	-0.62
4	永兴街道办	201.31	3.73	-3.93	2.23	37	青云镇	89.48	-0.67	-0.41	-0.62
5	榆阳镇	208.56	1.97	0.85	1.75	38	哈镇	236.85	-0.76	-0.08	-0.63
6	新民镇	202.83	2.25	-0.35	1.74	39	解家堡乡	391.89	-0.90	0.47	-0.63
7	王家墩乡	117.46	1.39	-0.03	1.11	40	赵五家湾乡	141.41	-0.72	-0.27	-0.63
8	马镇	193.24	1.74	-1.66	1.07	41	上盐湾乡	100.04	-0.73	-0.26	-0.64
9	万镇	228.63	1.67	-2.17	0.91	42	武家庄镇	137.82	-0.73	-0.24	-0.64
10	店塔镇	333.17	1.69	-2.43	0.88	43	刘千河乡	191.87	-0.79	-0.13	-0.66
11	庙沟门镇	207.75	0.59	0.11	0.49	44	大河塔乡	266.23	-0.91	0.18	-0.70
12	贺家川镇	204.07	0.81	-2.22	0.21	45	安崖镇	246.04	-0.97	0.23	-0.73
13	三道沟镇	147.05	0.11	0.20	0.13	46	墙头乡	40.73	-0.83	-0.38	-0.74
14	木瓜镇	173.10	0.04	0.09	0.05	47	古城镇	181.06	-0.94	0.04	-0.75
15	高家堡镇	449.42	0.18	-0.63	0.02	48	麻黄梁镇	452.97	-1.17	0.92	-0.76
16	太和寨乡	210.68	0.18	-0.75	-0.01	49	乔岔滩乡	227.23	-0.99	0.17	-0.76
17	碛楞乡	107.07	0.13	-0.57	-0.01	50	鱼河镇	129.59	-1.00	0.01	-0.80
18	大柳塔镇	363.35	-0.13	0.04	-0.10	51	锦界镇	824.13	-1.48	1.88	-0.82
19	黄甫镇	137.02	0.04	-0.69	-0.11	52	余兴庄乡	128.21	-1.08	0.11	-0.84
20	花石崖镇	234.54	0.00	-0.80	-0.16	53	牛家梁镇	204.97	-1.14	0.32	-0.85
21	老高川镇	235.31	-0.17	-0.33	-0.20	54	马合镇	223.98	-1.15	0.37	-0.85
22	清水镇	165.25	-0.18	-0.39	-0.22	55	金鸡滩镇	279.78	-1.19	0.53	-0.85
23	麻家塔乡	505.25	-0.33	0.10	-0.24	56	芹河乡	351.35	-1.25	0.72	-0.86
24	沙峁镇	270.96	-0.21	-0.39	-0.25	57	岔河则乡	351.40	-1.25	0.72	-0.86
25	大昌汗镇	212.32	-0.42	-0.26	-0.39	58	巴拉素镇	426.73	-1.30	0.93	-0.86
26	孤山镇	176.59	-0.34	-0.63	-0.40	59	孟家湾乡	434.11	-1.31	0.95	-0.86
27	海则庙乡	71.16	-0.40	-0.63	-0.44	60	补浪河乡	463.99	-1.33	1.04	-0.86
28	鱼河镇	189.31	-0.49	-0.44	-0.48	61	尔林兔镇	538.33	-1.38	1.24	-0.87
29	栏杆堡镇	525.74	-0.71	0.44	-0.48	62	红石桥乡	573.03	-1.41	1.34	-0.87
30	中鸡镇	487.30	-0.77	0.63	-0.49	63	小壕兔乡	582.58	-1.42	1.36	-0.87
31	孙家岔镇	417.12	-0.70	0.20	-0.52	64	大保当镇	625.08	-1.45	1.48	-0.87
32	麻镇	103.42	-0.55	-0.41	-0.52	65	小纪汗乡	631.69	-1.45	1.50	-0.87
33	镇川镇	62.45	-0.57	-0.46	-0.55						

4 地质灾害危险性评估

根据表5综合指标值的大小,结合榆神府地区地质环境条件,将研究区65个乡(镇、街道办)地质灾害危险性分为5个等级,对应关系是:综合指标 >1 的区域为危险性大区、综合指标 $0 \sim 1$ 的区域为危险性较大区、综合指标 $-0.5 \sim 0$ 的区域为危险性中等区、综合指标 $-0.8 \sim -0.5$ 的区域为危险性小区、综合指标 < -0.8 的区域为不危险区。根据各个乡(镇、街道办)地质灾害危险性等级,绘制榆神府地区地质灾害危险性评估分区图(图2)。根据图2可以发现,榆神府地区地质灾害危险性程度不均匀,整体上西部低、东部高,南部低、北部高。

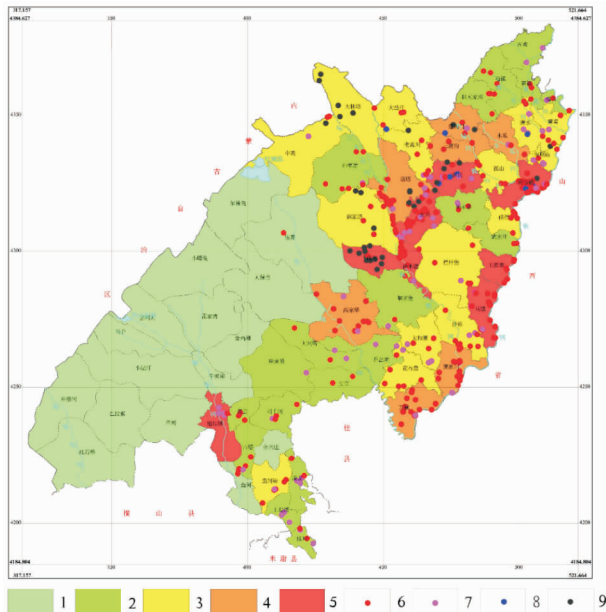


图2 地质灾害危险性评估分区图

注 1 不危险区; 2 危险性小区; 3 危险性中等区; 4 危险性较大区; 5 危险性大区; 6 崩塌; 7 滑坡; 8 泥石流; 9 地面塌陷

4.1 危险大区

主要分布于研究区东部,面积 $1\,403.78\text{ km}^2$,占研究区的 8.00% ,包括府谷镇、西沟街道办、神木镇、永兴街道办、榆阳镇、新民镇、王家墩乡、马镇8个乡(镇、街道办)。该区地势相对高差较大,人口密集,人类工程活动强烈。如:府谷镇是府谷县人民政府所在地,地理位置和地形地貌独特,地势西北高,东南低,地形地貌主要是低山丘陵和河谷阶地,黄河、孤山川河从境内流过,府店公路、神朔铁路、沿黄公路、府准公路等交通干线穿越全镇;出露地层涵盖了府谷县出露的所有地层类型,岩性以砂岩、泥岩及其互层为主,岩体破碎,稳定性较差,是形成地质灾害的主要原因。同时,区内人类工程活动强烈,人口分布密集,经济较为发达,是研究区地质灾害危险性大的地区。

永兴街道办位于神木县城东北 16 km 处,地貌属土石丘陵区,地势呈东高西低,高差较大,中上更新统黄土广泛披覆于梁峁之上,其间沟谷地带出露物质以侏罗系砂泥岩为主,人口密度较大,受地形条件的限制,居民修窑建房多选择边坡坡脚地带,开挖坡脚常引发滑坡、崩塌灾害,同时工程建设活动较为强烈,矿产资源丰富,煤矿企业较多,易发生地质灾害。

4.2 危险较大区

主要分布于研究区东北部,面积 $1\,743.20\text{ km}^2$,占研究区的 9.92% ,包括万镇、店塔镇、庙沟门镇、贺家川镇、三道沟镇、木瓜镇、高家堡镇7个镇。如:万镇位于神木县最南端,距县城 84 km ,地貌以土石丘陵为主,地势呈东北高西南低,相对高差大,流经该镇河流为黄河及其支流秃尾河,河谷及支沟沟谷地带出露三叠系砂泥岩,梁峁顶部披覆中上更新统黄土。人口密度较大,人类工程活动较强,以居民建房修窑为主。

店塔镇地处神府煤田腹地,位于神木县北 20 km 处,地理位置十分优越,矿产资源丰富,地貌以土石丘陵为主,总体地势呈东北高西南低,高差较大,牯牛川及窟野河从该镇流过,河谷地带出露侏罗系砂泥岩及三叠系砂泥岩,上覆中上更新统黄土,镇中部局部沟谷地带出露新近系红粘土。该镇人口密集,经济较为发达,修路建房、煤矿开采等人类工程活动强烈。

木瓜镇位于府谷县中部,地貌类型属黄土梁峁沟壑地貌,出露地层以黄土为主,黄土层较厚,在沟谷两侧斜坡可见基岩出露,主要为侏罗系砂岩、泥岩及其互层,岩体较为松散软弱。区内人类工程活动较为强烈,以公路建设、房屋建设为主,人口分布较为密集。

4.3 危险中等区

主要分布于研究区东北部,面积 $3\,891.85\text{ km}^2$,占研究区的 22.14% ,包括太和寨乡、磾楞乡、大柳塔镇、皇甫镇、花石崖镇、老高川镇、清水镇、麻家塔乡、沙峁镇、大昌汗镇、孤山镇、海则庙乡、鱼河镇、栏杆堡镇、中鸡镇15个乡(镇)。如:大柳塔镇位于神木县最北端,经济发达,人口较为密集,人类工程活动强烈,以煤矿开采活动为主,大型煤矿企业较多,地貌属土石丘陵区,梁峁较为发育,总体地势呈北高南低,主要河流为乌兰木伦河及牯牛川,镇北部地层以全新统风积沙为主,河谷及支沟沟谷地带出露侏罗系砂泥岩,局部沟谷地带出露新近系红粘土。煤矿企业主要集中在镇北部,大型机械化的综采使得采空区遍布,地面塌陷灾害发育;镇南部地质灾害较少。

花石崖镇位于神木县城南 58 km 处,地貌以土石丘陵为主,地势呈东北高西南低,秃尾河从该镇西侧流过,中上更新统黄土广泛披覆于梁峁之上,其间沟谷地带出露三叠系砂泥岩,面积较小,局部沟谷地带出露新近系红粘土。人口密度较大,

人类工程活动较强, 以居民修房建窑为主。

清水镇位于府谷县城东北部 36 km 处, 清水川河在境内由北向南穿越, 地势为西北高东南低, 地貌类型以黄土梁峁、峡谷丘陵地貌为主, 梁峁顶部被第四系砂质黄土、新近系红粘土覆盖, 沟谷出露三叠系、侏罗系砂岩、泥岩及其互层等, 有三条小型断裂从境内东、南部穿越。区内人类工程活动较为强烈, 以公路建设、房屋建设为主, 南部为冯家塔煤矿, 区内人口分布密度不大。

4.4 危险性小区

散布于研究区东部, 面积 3 764.95 km², 占研究区的 21.42%, 包括孙家岔镇、麻镇、镇川镇、田家寨镇、古塔乡、清泉镇、青云镇、哈镇、解家堡乡、赵五家湾乡、上盐湾乡、武家庄镇、刘千河乡、大河塔乡、安崖镇、墙头乡、古城镇、麻黄梁镇、乔岔滩乡 19 个乡(镇)。如: 孙家岔镇位于神木县城以北 40 km 处, 主要位于土石丘陵区, 地势呈西北高东南低, 主要河流为乌兰木伦河, 地层以侏罗系砂泥岩为主, 出露在河谷及支沟沟谷地带, 镇北部沟谷地带有新近系红粘土出露, 梁峁表层披覆中上更新统黄土。该镇地质灾害点主要分布在 301 省道和乌兰木伦河沿线。其他地区人类工程活动较弱, 地质灾害不发育。

古塔乡位于榆阳区东南 15 km 处, 人口集中分布于北部的三岔公路两侧、贾家沟流域和南部的徐家崖沟流域内, 其他地区人口稀少, 属于黄土丘陵沟壑地貌单元。地层以中更新统黄土为主, 主要成分为含砂质粉质粘土, 部分地段有棕色、深红色早更新统黄土出露, 通村公路边可见侏罗系中统直罗组砂岩出露, 网状裂隙发育, 将基岩切割成块状、巨块状, 极易产生崩塌。

哈镇距府谷县 65 km, 地理分区属长城沿线风沙区, 地势起伏不平, 地表千沟万壑, 地貌类型以黄土梁岗、黄土梁峁地貌为主, 梁峁顶部被第四系砂质黄土、新近系红粘土覆盖, 沟谷出露三叠系、侏罗系砂岩、泥岩及其互层等。区内人类工程活动较为强烈, 以公路建设、房屋建设为主, 人口分布密度不大。

4.5 不危险区

集中分布于研究区西南部, 面积 6 768.95 km², 占研究区的 38.52%, 包括鱼河镇、锦界镇、余兴庄乡、牛家梁镇、马合镇、金鸡滩镇、芹河乡、岔河则乡、巴拉素镇、孟家湾乡、补浪河乡、尔林兔镇、红石桥乡、小壕兔乡、大保当镇、小纪汗乡 16 个乡(镇)。

该区人口稀少, 人口密度小, 人类工程活动主要为城镇建设、通村公路修建及居民建房与耕作。地貌属沙漠滩地区, 地形平坦, 地势开阔, 地质灾害不发育。

5 主要结论与方法局限性

5.1 主要结论

(1) 对比图 1、图 2, 地质灾害隐患点数量分布与地质灾害危险性评估分区图的结果基本一致, 说明隐患点数量对地质灾害危险性综合指标有较大的影响, 这与主成分分析中隐患点数量在两个主成分中载荷都比较大相一致。而大柳塔、中鸡、榆阳镇、庙沟、木瓜出现了差异, 这体现了人口密度、经济发展、人类工程活动等对地质灾害危险性起到一定的影响。

(2) 文章以榆神府地区 403 处地质灾害隐患点为样本, 通过 KMO 和 Bartlett 检验、主成分分析等得出两个与地质灾害危险性评估相关的主成分, 一个是隐患威胁指数, 包含隐患点对人民财产安全的威胁信息; 另一个是聚落抗灾指数, 表示乡(镇、街道办)对地质灾害的抵抗能力, 主要与地质隐患点分布、防治费用、聚落面积相关。主成分的提出为地质灾害的危险性评估提供了评价指标, 既考虑到隐患存在的自然地质条件的客观性, 也强调了人类对地质灾害隐患的防范能力, 避免了过度强调地质灾害的危害性, 而忽略了人类对地质灾害抵抗的主观能动性, 符合地质灾害防范的工作思路。该方法为国土空间规划的“资源环境承载力评价”和“国土空间开发适宜性评价”即“双评价”的实施提供了一种指标体系。

(3) 基于两个主成分求得研究区 65 个乡(镇、街道办)的综合指标值, 结合研究区地质环境条件, 将全区 17572.73 km² 地质灾害的危险性划分为 5 个级别, 综合指标 > 1 的区域为危险性大区、综合指标 0 ~ 1 的区域为危险性较大区、综合指标 - 0.5 ~ 0 的区域为危险性中等区、综合指标 - 0.8 ~ - 0.5 的区域为危险性小区、综合指标 < - 0.8 的区域为不危险区, 占比分别是 8.00%、9.92%、22.14%、21.42%、38.52%。

(4) 榆神府地区地质灾害的危险性整体上东高西低、北高南低。地质灾害危险性大区集中分布在人口密度大、人类工程活动强烈、水系发达的地区; 而地势平坦、人口密度小、人类活动较弱的远离河流区为地质灾害危险性小区或不危险区。

5.2 方法局限性

本文是一种方法的探讨, 其结果取决于地质灾害样本的多少, 由于资料基于掌握的地质灾害调查与区划、地质灾害详细调查等成果, 这些成果的地质灾害是“以人为本”的前提下取得的, 如果国土空间规划时, 还应该补充那些具备地质灾害发育特征, 但无威胁财产的自然地质现象, 以便提高危险性分区的准确性。

参考文献:

- [1] 国务院[2003]394 号令. 地质灾害防治条例[S/OL]. [2019-05-01]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2004/content_63064.htm.
- [2] 国务院. 国务院关于加强地质灾害防治工作的决定(国发[2011]20 号)[S/OL]. [2011-06-17][2019-05-01]. http://www.gov.cn/jzwgk/2011-06-17/content_1886569.htm.
- [3] 张晓敏, 李辉, 刘海南, 等. 基于灰色理论的陕西省地质灾害趋势预测[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(5): 7-12.
- [4] 李永红, 向茂西, 贺卫中, 等. 陕西汉中汉台区地质灾害易发性和危险性分区评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(3): 107-113.
- [5] 李永红. 基于 ArcGIS 的陕西山洪灾害易发程度区划[J]. 灾害学, 2008, 23(1): 37-42.
- [6] 甘露, 罗立强, 吴晓军. 主成分分析在地质样品分类与浓度预测中的应用研究[J]. 岩矿测试, 1999(2): 19-22.
- [7] 朱小鸽. 多重主成分分析及在地质构造信息提取中的应用[J]. 遥感学报, 2000(4): 299-303, 322.
- [8] 范文, 刘雪梅, 高德彬, 等. 主成分分析法在地质灾害危险性综合评价中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2001, 23(4): 53-57.
- [9] 李连香, 许迪, 程先军, 等. 基于分层构权主成分分析的皖北地下水水质评价研究[J]. 资源科学, 2015, 37(1): 61-67.
- [10] 余丰华, 刘正华, 夏跃珍, 等. 基于敏感指数主成分分析法的浙江沿海突发性地质灾害易发区评价[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 64-68.
- [11] 刘海南, 李永红, 杨渊, 等. 2001-2017 年陕西省地质灾害成功预报时空分布规律[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 117-121.
- [12] 宁奎斌, 李永红, 何倩, 等. 2000-2016 年陕西省地质灾害时空分布规律及变化趋势[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(1): 93-101.
- [13] 李永红, 刘海南, 杨渊, 等. 秦巴山区泥石流动力学特征及致灾模式[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 71-75.
- [14] 作拨云, 李永红, 向茂西, 等. 神府矿区西沟-柳沟流域地面塌陷及其环境效应[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(11): 31-36.
- [15] 孙魁, 李永红, 刘海南, 等. 彬长矿区“对滑型”黄土滑坡及其形成机制[J]. 煤炭学报, 2017, 42(11): 2989-2997.
- [16] 宁奎斌, 刘海南, 姚超伟, 等. 对高速远程链生突发地质灾害防治问题的思考[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 11-17.
- [17] 韩健楠, 李永红, 刘海南, 等. 基于综合防治体系抗灾能力的泥石流沟风险评价[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 230-234.
- [18] 姬怡微, 李永红, 向茂西, 等. 陕西秦岭南麓 316 国道沿线地质灾害防治对策研究[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 199-204.
- [19] 李永红, 范立民, 贺卫中, 等. 对如何做好地质灾害详细调查工作的探讨[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 102-112.
- [20] 范立民, 马雄德, 李永红, 等. 西部高强度采煤区矿山地质灾害现状与防控技术[J]. 煤炭学报, 2017, 42(2): 276-285.
- [21] 彭捷, 李永红, 刘海南, 等. 榆神矿区大砭窑煤矿地面塌陷与地裂缝发育规律[J]. 中国煤炭, 2015, 41(10): 37-41.
- [22] 刘海南, 李永红, 杜江丽, 等. 陕西省神木县地质灾害群测群防体系现状与对策[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 144-147.
- [23] 李永红, 刘海南, 范立民, 等. 陕西榆神府生态环境脆弱区地质灾害分布规律[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(3): 116-121.
- [24] 李永红, 贺卫中, 刘海南, 等. 典型煤矿区地质灾害演变及防控技术[M]. 北京: 地质出版社, 2018.
- [25] 韩健楠, 刘海南, 贺卫中, 等. 陕西榆神府生态脆弱矿区地质灾害演化过程[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 177-182.

A Method of Regional Geological Hazard Assessment Based on Principle Component Analysis

HONG Zenglin^{1,2}, LI Yonghong^{1,3}, ZHANG Lingyu⁴, LI Aowen⁵ and REN Chao⁶

(1. Key Laboratory of Mine Geological Hazards Mechanism and Control, Xi'an 710054, China;
 2. Shaanxi Geological Survey, Xi'an 710054, China; 3. Shaanxi Institute of Geo-Environment
 Monitoring, Xi'an 710054, China; 4. College of Geology and Environment, Xi'an University of Science
 and Technology, Xi'an 710054 China; 5. School of Water and Environment, Chang'an University,
 Xi'an 710054 China; 6. College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University,
 Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on the inventory of the geological hazard in Yushenfu area, this article discussed a novel method of regional geological hazard assessment. In this method, two principle components were determined and named as “threat index” and “resistance index” by the given data such as the number of threaten families and people, potential property loss and the requirements for disaster prevention. Then the comprehensive indexes of each sub-region were calculated by the contribution rates of these two main components' variance, the hazard zonation was based the comprehensive indexes. In the study area, five levels indicating hazard degree were assigned: high, relatively high, medium, low, none hazard. Currently, the authority of natural resources is conducting a pilot project for regional geological hazard assessment which has not yet formed a technical criterion, and the introduction to this method provides a possible idea for that work.

Key words: regional geological disasters; hazard assessment; principle component analysis