



引用格式: 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.

基于聚类分析法的地质灾害风险评价 ——以韩城市为例

李冠宇¹, 李 鹏¹, 郭 敏^{1,2}, 苏生瑞^{1*}, 董永超³

(1. 长安大学地质工程与测绘学院, 西安 710061; 2. 西安市地质环境监测站, 西安 710007;

3. 陕西省水工环地质调查中心, 西安 710068)

摘 要 在充分分析韩城市地质灾害调查数据的基础上, 采用聚类分析方法对韩城市地质灾害进行风险性评价。首先借助 ArcGIS 和 SPSS 软件, 抽象出 11 类地质灾害危险性评价因子和 5 类易损性评价因子, 然后分别基于 K 平均聚类分析法和系统聚类分析法评价了韩城市地质灾害的危险性和承灾体的易损性, 最后根据地质灾害危险性与承灾体易损性的评价结果对韩城市地质灾害风险性进行了评价和分级。研究表明, 地质灾害风险评价分区结果与实际情况相符, 评价方法合理有效, 与传统的层次分析和专家打分法相比, 规避了人为主观因素的影响, 而且操作简单, 具有较高效率。该问题的研究能够为地质灾害风险评价提供一定的理论依据和实际指导。

关键词 地质灾害; 危险性; 易损性; 风险性; 聚类分析

中图法分类号 P642.21;

文献标志码 A

Application of Cluster Analysis Method in Geological Hazard Risk Assessment: A Case Study of Hancheng City

LI Guan-yu¹, LI Peng¹, GUO Min^{1,2}, SU Sheng-rui^{1*}, DONG Yong-chao³

(1. College of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710061, China;

2. Xi'an Geological Environment Monitoring Station, Xi'an 710007, China;

3. Shaanxi Hydrogeology Engineering Geology and Environmental Geology Survey Center, Xi'an 710068, China)

[Abstract] On the base of fully analyzing the survey data of geological hazards in Hancheng City, the cluster analysis method was used to evaluate the risk of geological hazards. Firstly, 11 types of geological hazard probability evaluation factors and 5 types of vulnerability evaluation factors were abstracted with ArcGIS and SPSS. Then, the risk of geological hazard in Hancheng City was evaluated based on the K -means cluster analysis method, and the vulnerability of hazard bearing body was analyzed by hierarchical cluster method. Finally, the geological hazard risk of Hancheng City was evaluated and graded according to the evaluation results of geological hazard risk and vulnerability of hazard bearing body. The research results show that the zoning results of the geological hazard risk assessment zone are consistent with the actual situation. The evaluation method is reasonable and effective. Compared with the traditional analytic hierarchy process and expert scoring method, the method proposed avoids the influence of human subjective factors, and has the advantages of simple operation and high efficiency. Through this research, the theoretical and practical guidance can be provided for geological hazard risk assessment.

[Keywords] geological hazard; hazard; vulnerability; risk; cluster analysis

中国领土幅员辽阔, 地形复杂多样, 约 65% 为山地丘陵区, 近年来, 由于人类工程活动规模与强度不断增加, 造成崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等地质灾害频发^[1]。地质灾害防治通报显示, 2019 年

产生地质灾害数目、地质灾害造成失踪和死亡人数及带来的直接经济损失较前五年相比均有所减少^[2]。尽管中国在防灾减灾上已取得了显著成效, 但仍然面临着较为严峻的防灾减灾工作^[3]。因此

收稿日期: 2021-03-17; 修订日期: 2021-05-10

基金项目: 国家自然科学基金重大专项(42041006); 甘肃省地下水工程及地热资源重点实验室开放基金(211826190519); 中央高校基本科研业务费项目(300102260105, 300102261402); 国土资源部黄土地质灾害重点实验室开放基金(KLGLAMLR201506)

第一作者: 李冠宇(1995—), 男, 汉族, 山东菏泽人, 硕士研究生。研究方向: 地质灾害防治。E-mail: 763702748@qq.com。

***通信作者:** 苏生瑞(1963—), 男, 汉族, 甘肃庆阳人, 博士, 教授。研究方向: 地质灾害防治。E-mail: shengruisu@163.com。

投稿网址: www.stae.com.cn

开展地质灾害风险评价和建立健全地质灾害防治体系迫在眉睫,识别和预测地质灾害发生尤为重要。

随着地理信息系统 (geographic information system, GIS) 技术、数学学科及信息全球化的发展,中外利用 GIS 对地质灾害进行风险性评价手段和方法逐渐成熟。由传统的专家打分法、模糊数学法、层次分析法、信息量法等评价模型,逐渐转变为结合数理统计和机器学习,支持向量机 (support vector machine, SVM)、神经网络、聚类分析等多种评价模型相结合的评价方法^[4-9]。像模糊数学法、指数法等传统的评价方法,需要采用专家打分法或层次分析法等方法确定各评价因子的权重,主观因素对评价结果的干扰较大^[10]。而聚类分析法不采用专家打分法、层次分析法对评价因子进行权重计算,避免了主观因素的影响,其评价结果更为客观可靠。

最早的聚类分析概念由 Tryon 于 1939 年建立,早期应用于生物学和生态学研究^[11]。因聚类分析具有计算方便、结果直观、不受其他约束条件的限制等优越性,21 世纪以来已被广泛应用于地学与环境大量存在的各种分类工作^[12]。张海燕等^[13]以吉林省灾害监测数据为基础,采用阈回归联合聚类分析方法对研究区进行地质灾害易损性评价,该方法对数据具有较高的拟合精度;王滨等^[14]以重庆市北碚区为例,采用因子—聚类分析方法,对研究区泥石流进行危险性区划与实际情况吻合度较高;王欣^[15]运用不确定性层次聚类分析方法对延安市宝塔区滑坡进行危险性评价,其精度较传统层次分析方法高;刘宏^[16]采用模糊聚类分析对深圳地区场地建设进行适宜性评价,将场地分为适宜性差区、基本适宜区和适宜区。

在地质灾害风险评价中要考虑众多因素,其中主观干扰因素较多,由于 K 平均聚类分析方法在处理大数据集时,相对容易实现高效收敛,而且操作简单、分类结果较好,可以在一定程度上规避人为主观因素的影响。现以韩城市地质灾害风险评价项目为依托,利用 GIS 平台和 SPSS 统计分析相结合的手段,基于 K 平均聚类分析和系统聚类分析方法,以韩城市为例进行地质灾害风险评价,为韩城市防灾减灾提供一定的理论依据。

1 风险评价模型构建和聚类分析方法

1.1 风险评价概述

地质灾害风险性评价主要由易损性、危险性和风险性评价 3 部分组成^[12]。现今普遍认同的灾害风险概念是由美国滑坡灾害专家 Varnes 提出的,即

因地质灾害造成不好结果的可能性,包括地质灾害发生的可能性和其导致后果(损失)两个方面^[17]。地质灾害风险性评价的基础是查清灾害发展历史及趋势、变化规律和形成条件,其主要是对灾害发展程度和其危害能力进行分析和判断。危险性评价是考虑地质灾害的活动程度和破坏能力,以及地质灾害发生概率的大小。易损性评价的主要对象是承灾体,是为了研究在已有经济技术条件下人类社会对地质灾害的抗御能力,得到不同社会经济要素的易损性参数。

1.1.1 评价单元选取

根据研究区的实际情况选取合适的评价单元^[18]。规则栅格单元、自然斜坡和地貌单元和行政单元划分是划分单元格的主要方法。由于自然斜坡和地貌单元法受主观影响较大和行政单元划分对区域地质条件考虑欠缺的缺点,一般采取规则栅格单元法对研究区进行地质灾害危险性评价。而地质灾害易损性评价主要考虑的是经济因素,对区域地质条件考虑较少,一般采取行政单元划分法或规则栅格单元法对研究区进行评价。栅格单元划分的大小影响评价结果的精度,划分单元越小,评价结果精度越高,然得到栅格数据较多,后续处理任务较大,对电脑要求较高,反而不利于研究工作^[18-19]。

1.1.2 评价因子的选取

根据研究区地质灾害分布规律和孕育条件,可将研究区致灾因子分为历史因子、基础地质因子和诱发因子三类。历史因子主要包括灾点密度;基础因子包括高程、坡度、地层岩性、地质构造和水系;诱发因子包括降雨量和人类活动,其中将人类活动分为修建公路和采矿两种。9 个二级评价因子共同构成了研究区易发性评价指标体系。在易发性评价的基础上,考虑地质隐患点的规模大小以及稳定性两个影响因素,与易发性评价因子共同构成研究区危险性评价指标体系。易损性因子分为人口易损性、物质经济易损性和环境资源易损性,其中人口易损性为人口密度;物质经济易损性为公路交通密度和国内生产总值 (gross domestic product, GDP) 密度;环境资源易损性为耕地密度和矿产资源密度,5 个因子构成地质灾害易损性评价体系。如表 1 所示。

1.2 K 平均聚类分析

聚类分析就是根据多个指标进行数学分类的一种多元统计方法。聚类分析主要分为三类:①系统聚类主要是对小样本的样品间聚类以及对变量聚类;②动态聚类适用于样本量较大时样品间的聚

表1 地质灾害风险性评价指标
Table 1 Geological hazard risk evaluation index

目标层	要素类	一级评价指标	二级评价指标	属性	
风险性	危险性	历史因子	灾点密度 x_1	定量	
			高程 x_2	定量	
		基础地质因子	坡度 x_3	定量	
			地层岩性 x_4	定性	
			构造距离 x_5	定量	
			水系距离 x_6	定量	
			降雨量 x_7	定量	
		诱发因子	公路距离 x_8	定量	
			矿产开采 x_9	定性	
			灾点规模 x_{10}	定量	
	易损性	易损性	稳定性 x_{11}	定性	
			人口易损性	人口密度 x_{12}	定量
			物质经济	公路交通密度 x_{13}	定量
			易损性	GDP 密度 x_{14}	定量
			环境资源	耕地密度 x_{15}	定量
			易损性	矿产资源密度 x_{16}	定量

类,常用 K -平均聚类分析方法处理;③有序样品聚类是对有排列次序的样品的样品间聚类,要求必须是次序相邻的样品才能聚成一类。根据分类对象的不同,聚类分析可分为研究变量之间关系的 R 型和研究样品之间关系的 Q 型;根据数学原理和分类方法的不同,又将聚类分析分为动态聚类、模糊聚类、图论聚类、系统聚类和灰色聚类^[11]。

采用动态分析中的 K 平均聚类分析方法进行危险性分析,其优点是:对于大数据集, K 均值聚类分析方法相对是可伸缩和高效的,容易实现,收敛速度快;当结果簇是密集的,而簇与簇之间区别显著时,它的分类结果较好;主要调控的参数是簇数 k 。尽管无监督 K 平均聚类分析方法经常以局部最优结束,但一般情况下达到局部最优就已经可以满足聚类的需求^[21-22]。具体步骤如下。

步骤一 确定需要计算的数据集 X 。

步骤二 确定 k 个聚类中心向量 $C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_k$ 。

步骤三 对数据集中每一个数 x_i , 计算其与聚类中心的距离(计算距离的方式有:欧式距离、曼哈顿距离、切比雪夫距离等,其中欧式距离应用较为广泛。),若 x_i 满足:

$$\|x_i - C_j\| = \min_{1 \leq j < k} \|x_i - C_l\|, 1 < j < k \quad (1)$$

则 $x_i \in C_j$ 。

步骤四 计算各聚类中心新的向量值 $C'_j (1 < j < k)$, 计算公式为

$$\begin{cases} C'_j = [C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jm}]^T \\ C_{jm} = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in s_j} x, \quad j = 1, 2, \dots, k \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中: m 为数据属性个数; N_j 为第 j 个聚类域 s_j

中所包含的样本个数。

步骤五 若聚类中心不再变动,迭代公式如式(3)所示,则终止计算;否则转到步骤三。

$$N = \sum_{i=1}^n \sum_{x_i \in s_j} |x_i - C_j| = \min \quad (3)$$

式(3)中: $N = 1, 2, \dots, k$; s_j 为中心为 C_j 的聚类域。

1.3 系统聚类分析

系统聚类分析是将所有单个样品(或变量)看作是多维变量(或样品)空间中矢量的一个端点,经由给定的公式运算,得出各“点”之间的相似性统计量,组成对称的相似性矩阵,在该矩阵的基础上进一步寻找各“点”之间,或“点”群之间的相似程度,依据相似程度大小,把样品(或变量)归类成群;分类结果由二维谱系图表示出来^[12]。具体计算步骤如下。

步骤一 合理选取变量和样品,构成原始数据矩阵,表达式为

$$X = [x_{ij}]_{n \times m} \quad (4)$$

式(4)中: x_{ij} 为第 i 个样品的第 j 个指标的观测数据。

步骤二 将原始数据矩阵进行数据变换处理,数据变换处理方法有标准化变换、对数化变换、规格化变换,根据实际需要选择变换处理方法,一般采取标准化变换处理。标准化变换公式为

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \quad (5)$$

式(5)中: $\bar{x}_j$ 为第 j 个指标所有样品均值; S_j 为所有样品第 j 个指标的数值之和。

步骤三 数据标准变换后,构建相关系数矩阵 $R = [r_{jk}]_{m \times m}$, 其中相关系数 r_{jk} 计算公式为

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{ij} - \bar{x}_j)}{n \sqrt{S_{jj} S_{kk}}} \quad (6)$$

步骤四 对相关系数矩阵 $R = [r_{jk}]_{m \times m}$ 采取一次聚类法或逐步聚类法,直到所有的变量和样品聚类完成为止。

一次聚类法:从相似性矩阵中选出最大的一对变量或样品,形成第1级分类,选出次大的一对变量或样品,形成第2级分类,继续操作,直到所有的变量或样品聚集成一类为止。

逐步聚类法:从相似性矩阵中选出最大的一对变量或样品,如 $r_{st} = \max\{r_{jk}\} (j = 1, 2, \dots, m, s < t)$, 将 $x_{ij} = \frac{n_s x_{sj} + n_t x_{tj}}{n_s + n_t} (j = 1, 2, \dots, m)$ 取代 X 矩阵的第 s 行。

步骤五 经与实际情况对比,选取合适的分类方案,整理联结表,绘制谱系图,并对分类结果进行地质解释。

2 研究区概况

韩城市位于陕西关中平原的东北隅, 关中盆地与陕北黄土高原的过渡地带, 北靠宜川, 西临黄龙, 南接合阳, 东隔黄河与山西省乡宁、河津、万荣县相望。地理坐标东经 $110^{\circ}07'19'' \sim 110^{\circ}37'24''$, 北纬 $35^{\circ}18'50'' \sim 35^{\circ}52'08''$, 总面积 $1\,621\text{ km}^2$ 。研究区属暖温带半干旱大陆性季风气候, 年平均气温 $13.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上, 区内年平均降雨量为 538.1 mm , 但降水分布很不均, 多集中于 7、8、9 月份。研究区水资源丰富, 濠水、芝水、盘水、凿开河、白矾河等 9 条主要河流纵贯东西, 汇入黄河。研究区地势西北高、东南低, 自然地貌单元主要有中山区、低山丘陵区、黄土台塬区和河谷阶地区。研究区是陕西省的主要煤炭开发基地, 采煤历史悠久, 在开采煤矿时, 常常形成一定规模的采空区, 引发滑坡、崩塌、地面塌陷等地质灾害频发。根据韩城市地质灾害风险调查评价, 研究区共有地质灾害隐患点 175 处, 其中: 崩塌 85 处 (48.57%), 滑坡 49 处 (28.00%), 地面塌陷 34 处 (19.43%), 其他地质灾害 6 处 (4.00%)。研究区地质灾害呈不均匀分布, 在东北部的低山丘陵区及东南部的黄土台塬区发育较多, 在同一镇办地质灾害发育情况也具有差异性, 集中发育在桑树坪镇、芝川镇、西庄镇、板桥镇以及金城办, 如图 1 所示。

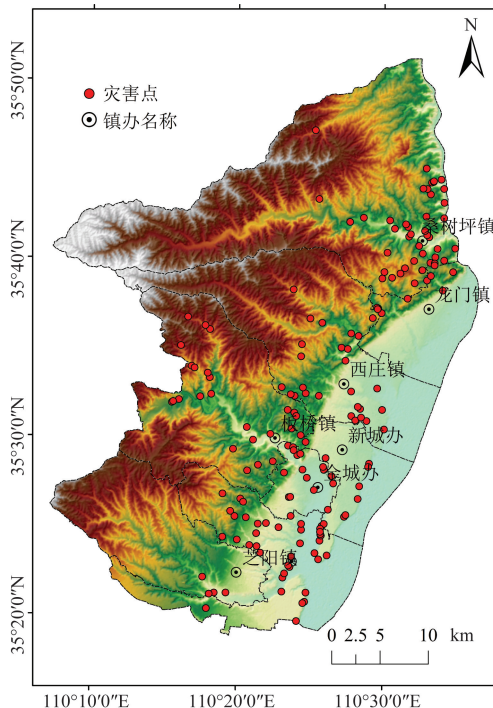


图 1 韩城市地质灾害隐患点分布图

Fig. 1 Distribution map of hidden danger points of geological disasters in Hancheng City

3 基于 K 平均聚类分析的危险性评价

3.1 危险评价体系

由于自然斜坡和地貌单元法受主观影响较大且行政单元划分对区域地质条件考虑欠缺的缺点, 再结合研究区实际情况, 采取规则栅格单元法, 即 $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ 矩形进行等面积划分, 共划分 618 844 个栅格, 根据表 1 选取 11 个危险性二级评价因子共同构成了韩城市危险性评价指标体系, 进行研究区的危险性评价。对于定性的因子, 将研究区评价因子划分为: 极低、低、中、高危险区 4 个等级^[5, 19-20]。

3.1.1 灾点密度

研究区灾害点沿南北方向呈带状分布, 主要分布在低山丘陵区 and 黄土台塬区, 大都分布在河流附近, 且受人类活动影响强烈, 具有聚集性的特点, 使用灾点密度分析实现灾点密度提取。

3.1.2 高程

通过研究区数字高程模型 (digital elevation model, DEM) 提取高程, 发现随着高程的增大, 灾点分布减少, 主要分布在 $380 \sim 900\text{ m}$, 在 $1\,100\text{ m}$ 以上无灾害点分布。反而高程越低, 人类工程活动越强烈, 对环境破坏程度越大, 采空区越多, 造成地质灾害隐患点数量越多。

3.1.3 坡度

坡度是地质灾害发生的重要控制因素, 坡度不同地质灾害发生的概率也不尽相同。通过研究区 DEM 进行表面分析获取研究区坡度, 发现地质灾害分布在坡度小于 40° 以下。坡度越陡, 受重力影响越大, 斜坡越不稳定, 但受人类工程活动相对较小。

3.1.4 地层岩性

地层岩性是地质灾害稳定性的重要因素, 研究区共分布有四种不同软硬程度的岩土。根据岩性的力学性质, 极低、低、中、高危险区分别为块状坚硬岩、层状中等坚硬岩、层状较坚硬岩、松散软弱岩。

3.1.5 构造

研究区主要包括 8 条断裂构造和两条褶皱构造, 构造主要以南北向为主。地质构造的分布使周围岩土体发生错断和破碎, 工程地质性质较差, 以距构造距离对其进行缓冲区分析。极低、低、中、高危险区构造距离分别为 $>1\,500$ 、 $1\,000 \sim 1\,500$ 、 $500 \sim 1\,000$ 、 $<500\text{ m}$ 。

3.1.6 水系

研究区水资源丰富, 有 72 处灾害点沿河流分布, 因此对水系做距离分析。极低、低、中、高危险区水系距离分别为 >900 、 $600 \sim 900$ 、 $300 \sim 600$ 、 $<300\text{ m}$ 。

3.1.7 降雨

降雨是诱发灾害发生的重要因素, 降雨量从东

南到西北逐渐减小,以降雨在空间上分布规律为依据分为 6 个区域,分别为 >650 、 $600 \sim 650$ 、 $550 \sim 600$ 、 $500 \sim 550$ 、 $450 \sim 500$ 、 <450 mm。

3.1.8 公路

人类活动范围往往是沿着道路分布,以乡级及以上级别的道路做缓冲区分析。极低、低、中、高危危险区水系距离分别为 $>3\ 000$ 、 $2\ 000 \sim 3\ 000$ 、 $1\ 000 \sim 2\ 000$ 、 $<1\ 000$ m。

3.1.9 采矿

采矿活动是研究区重要的人类活动,也是诱发

地质灾害发生的重要因素,以矿产开采情况进行危险性分级。极低、低、中、高危危险区分别为未开采区、闭坑煤矿区、计划开采区、开采区。

3.2 评价因子归一化

由于选取的评价因子中有定性和定量两种因子,且各因子间的单位不能统一,无法对地质灾害进行统一评价,因此需要对定性的危险性评价指标根据其对危险性的影响大小进行量化。评价因子定量后,在 ArcGIS 中利用栅格计算器根据式(7)实现数据的阈值法归一化处理,结果如图 2 所示。

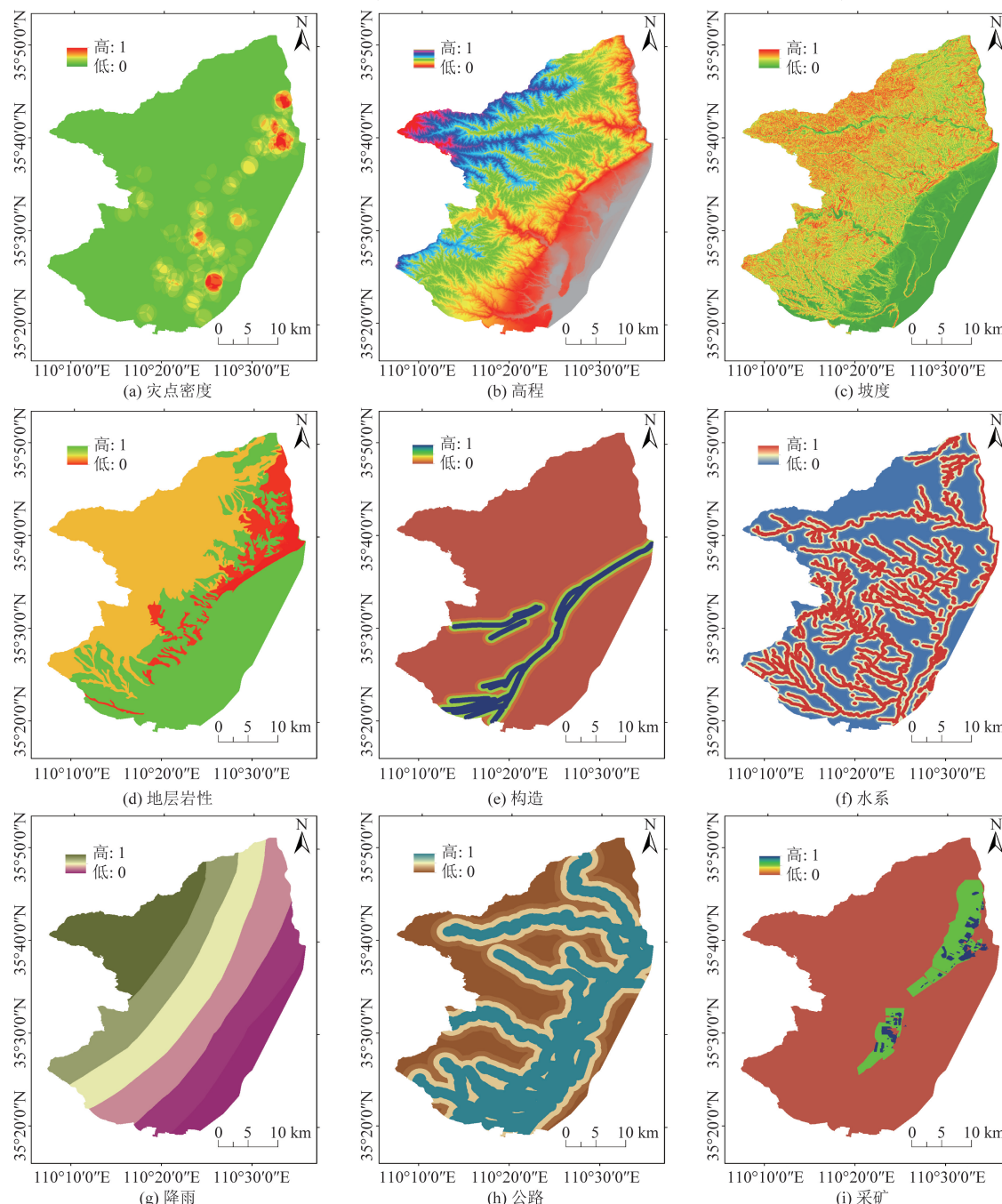


图2 韩城市易发性评价指标归一化图

Fig.2 Normalized map of Hancheng City susceptibility evaluation index

$$y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad x_i = 0, 1, \dots \quad (7)$$

式(7)中; x_i 为样本数据; $x_{\max}$ 为样本最大值; $x_{\min}$ 为样本最小值; y_i 为经过归一化处理后的样本数据。

3.3 基于 SPSS 的 K 平均聚类分析

利用 ArcGIS 将评价区域的 618 844 个栅格转化

为点,将 9 个因子归一化处理后的数据多值提取至点。提取的数据导入 SPSS,为消除数据间的差异,先进行标准化处理,并对各评价因子进行 K 平均聚类分析,变量选取为标准化后的 9 个因子,聚类数为 4,聚集中心如表 2 所示,经过 18 次迭代最终将 618 844 个栅格分为 4 类,如表 3 所示。

表 2 聚集中心
Table 2 Clustering center

因子	起始聚集中心				最终聚集中心			
	1	2	3	4	1	2	3	4
灾点密度归一化	0.046 29	6.112 24	-0.560 31	-0.560 31	1.496 83	0.324 64	0.108 83	-0.417 16
高程归一化	-1.397 26	-1.456 00	-0.875 11	2.924 58	-0.388 00	-1.184 48	-0.563 67	0.671 11
坡度归一化	4.515 44	-1.422 92	-0.034 86	1.030 18	0.260 02	-1.171 14	-0.295 53	0.491 08
地层岩性归一化	-3.169 12	0.930 66	0.930 66	-0.435 93	-0.912 39	0.868 86	0.271 21	-0.250 12
构造距离归一化	1.795 65	-0.430 98	2.908 97	-0.430 98	-0.163 85	-0.338 08	2.423 18	-0.388 43
水系距离归一化	1.185 82	0.356 40	1.185 82	-1.302 44	-0.110 66	0.049 17	0.241 68	-0.055 43
降雨量归一化	-1.116 87	-1.116 87	-0.466 77	1.483 52	-0.557 04	-1.258 72	-0.434 49	0.701 02
公路距离归一化	0.996 80	0.996 80	0.996 80	-1.528 68	0.268 32	0.468 28	0.588 34	-0.368 81
矿产开采归一化	-0.312 50	-0.312 50	4.384 65	-0.312 50	2.852 78	-0.312 31	-0.272 79	-0.312 50

表 3 每个聚集中的观察值数目
Table 3 Number of observations in each cluster

	类	数目
聚集	1	60 107.000
	2	137 452.000
	3	78 232.000
	4	343 053.000
有效		618 844
遗漏		0

将 SPSS 统计分析的分类结果导入 ArcGIS 中,将点转化为栅格,根据各评价因子距离各聚集中心的距离大小,将韩城市地质灾害分为极低、低、中、高易发区 4 个等级,得到地质灾害易发性区划图,如图 3 所示。

3.4 危险性评价及区划

危险性反映的是地质灾害的活动程度和破坏能力,以及地质灾害发生概率的大小。在易发性区划的基础上,考虑地质隐患点的规模大小以及稳定性两个影响因素,对灾点做缓冲区分析,并根据灾点稳定性和破坏能力的大小分别对其赋值,并在 ArcGIS 中与易发性区划进行叠加运算,将计算结果通过自然断点法重分类后,结合实际情况与前人研究概况,对计算结果进行修饰、合并,将韩城市地质灾害危险性分为极低、低、中、高危险区 4 个等级,并根据危险性区划图得出各个等级危险区的面积,结果如表 4、图 4 所示。

危险性高的区域主要分布在低山丘陵和黄土台源区;高危险区到极低危险区灾害点占比和灾点密度呈递减趋势,由此可见,基于 K 平均聚类分析方法得到的危险性区划效果良好,具有较高的准确度。

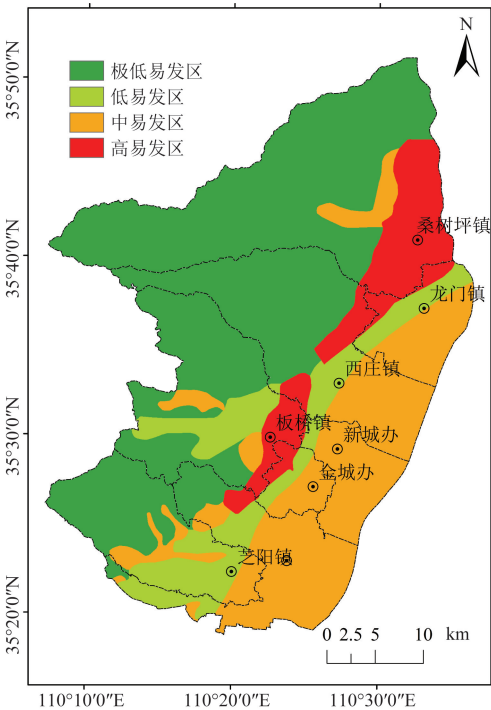


图 3 韩城市地质灾害易发性区划图
Fig. 3 Geological susceptibility zoning map of Hancheng City

表 4 地质灾害危险性区划统计表
Table 4 Statistical table of geological disaster risk zoning

危险性分区	面积/ km ²	面积比/ %	灾点 数量/个	灾点 比/%	灾点 密度
极低危险区	956.19	58.99	3	1.71	0.029 1
低危险区	323.56	19.96	11	6.29	0.314 9
中危险区	191.91	11.84	41	23.43	1.979 0
高危险区	149.34	9.21	120	68.59	7.442 8

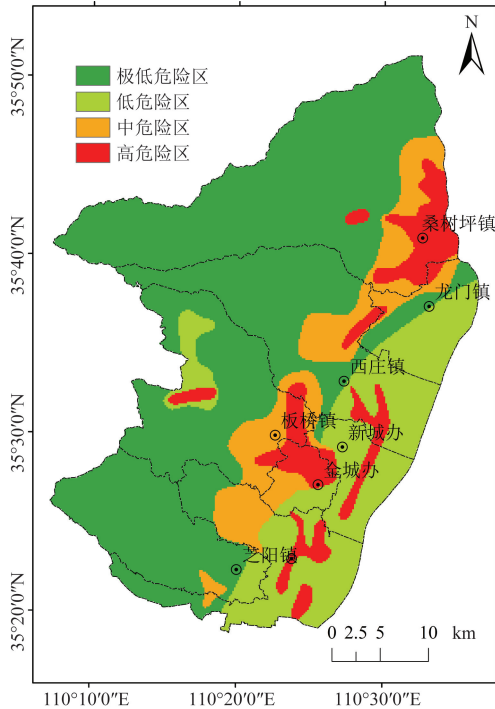


图4 韩城市地质灾害危险性区划图

Fig. 4 Geological hazard risk zoning map of Hancheng City

4 基于系统聚类的易损性评价

4.1 易损性评价指标体系

承灾体应是受地质灾害威胁的所有人与事物,但由于一些因子无法获取和量化,此外一些因子对整体性评价的影响很小。根据表1选取5个易损性二级评价因子共同构成了韩城市易损性评价指标体系。以韩城市8个镇办作为评价单元,通过对各评价指标统计、分析、计算得出各评价单元的评价因子数据如表5所示。

表5 韩城市各镇办易损性评价因子数据

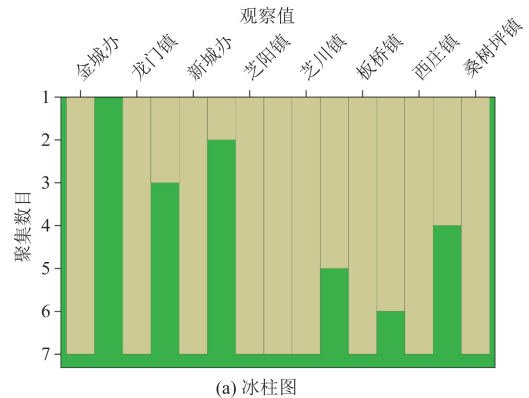
Table 5 Vulnerability assessment factor data of each town office in Hancheng City

镇(办)	人口密度/(人·km ⁻²)	公路交通密度/(km·km ⁻²)	GDP密度/(万元·km ⁻²)	耕地密度/(km ² ·km ⁻²)	矿产资源密度/(km ² ·km ⁻²)
桑树坪镇	85.760	0.427	735.088	0.018	0.157
西庄镇	204.590	0.772	5114.749	0.146	0.079
板桥镇	83.091	0.500	538.014	0.127	0.091
新城办	2785.832	1.178	7997.567	0.169	0.003
金城办	1292.028	1.743	4258.908	0.486	0.205
芝川镇	332.724	0.928	1554.528	0.167	0.018
芝阳镇	206.034	0.732	606.656	0.191	0.000
龙门镇	626.132	1.741	17427.337	0.118	0.097

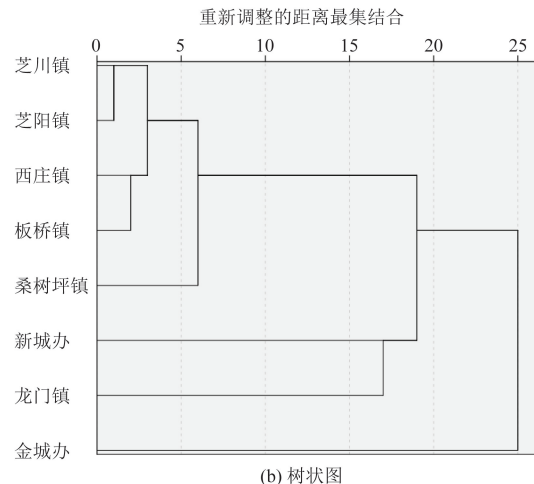
4.2 基于 SPSS 的系统聚类分析

根据表5构建易损性评价因子原始数据矩阵

X ,在 SPSS 中采用标准变化对数据进行预处理后,进行系统聚类分析。对图5系统聚类结果,并结合实际情况分析,可以将韩城市易损性划分为极低、低、中、高4个区域,并得出各等级易损性分区面积,如表6和图6所示。其中高易损区的镇办人口密度大、乡镇化程度高、道路便利、经济较发达、人类工程活动强烈,易损性区划结果与实际情况相符。



(a) 冰柱图



(b) 树状图

图5 系统聚类分析结果图

Fig. 5 Hierarchical clustering analysis result graph

表6 地质灾害易损性区划统计表

Table 6 Statistical table of geological disaster vulnerability zoning

易损性分区	镇办数	占全区面积比例/%	主要分布
极低易损区	5	86.5	桑树坪镇、西庄镇、板桥镇、芝川镇和芝阳镇
低易损区	1	7.0	龙门镇
中易损区	1	4.8	新城办
高易损区	1	2.6	金城办

5 地质灾害风险性评价

地质灾害风险性评价采用矩阵分析法,对地质灾害危险性和易损性区划结果利用 ARCGIS 栅格计算工具进行叠加运算,结果如图7所示,并对风险分区

结果进行统计如表 7 所示。地质灾害风险等级划分建议如表 8 所示。从风险性区划图可以看出,风险性具有西低东高的特点,与危险性和易损性相符,且风险性分区和野外地质调查结果能够较好地相匹配。

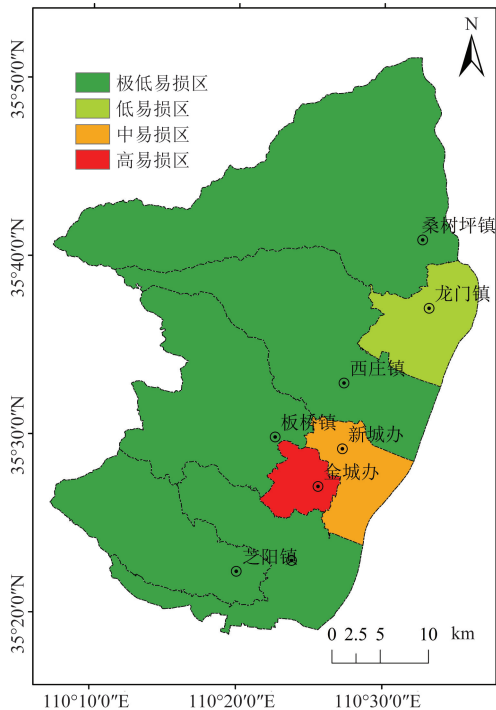


图 6 韩城市地质灾害易损性区划图
Fig. 6 Zoning map of geological disaster vulnerability in Hancheng City

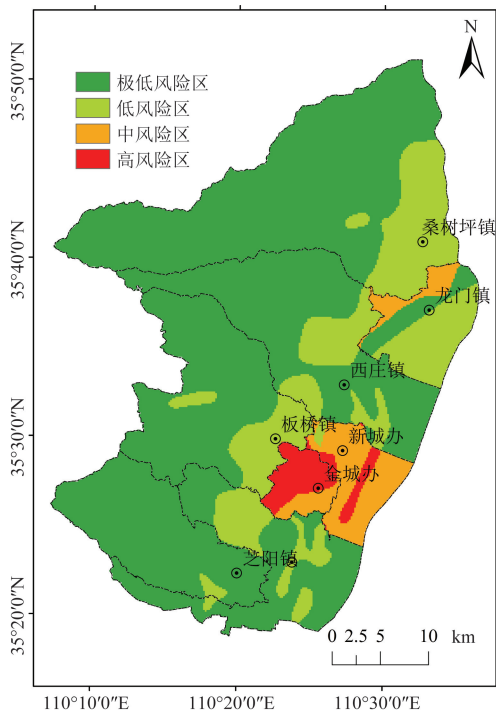


图 7 韩城市地质灾害风险性区划图
Fig. 7 Geological hazard risk zoning map of Hancheng City

表 7 地质灾害风险性区划统计表
Table 7 Geological disaster risk zoning statistics table

风险性区划	面积/ km ²	比例/ %	主要分布
极低风险区	1 155. 66	71. 29	金城办西北部及中部大部分地区、新城办中部
低风险区	328. 88	20. 29	金城办西南部、新城办大部分区域以及龙门镇西北部
中风险区	93. 53	5. 77	桑树坪镇、龙门镇、西庄镇、板桥镇和芝川镇
高风险区	42. 93	2. 65	桑树坪镇、西庄镇、板桥镇、芝川镇和芝阳镇

表 8 地质灾害风险等级划分建议表
Table 8 Suggested form for classification of geological hazard risk levels

风险等级	危险性等级			
	高	中	低	极低
易损性等级	高	高	中	低
	中	高	中	低
	低	中	中	低
	极低	中	低	极低

- (1)高风险区。该区发育有韩城大断裂,岩土体类型为松散软弱岩类,灾点密度大,水资源和矿产资源丰富,且金城区和新城为韩城市主城区,城镇化高,交通发达,人类活动强烈,致使该区域风险性高。
- (2)中风险区。该区距韩城大断裂距离较近,岩土体类型主要为松散软弱岩类,灾点密度大,水资源丰富,且金城区和新城为韩城市主城区,龙门镇经济较发达,城镇化高,交通发达,人类活动强烈,致使该区域为中风险性。
- (3)低风险区。该区内工程地质条件较好,公路分布密度较小,且城镇化低,人类活动较弱,致使该区域为低风险性。
- (4)极低风险区。该区工程地质条件好,公路分布密度较小,人口密度小,且城镇化低,人类活动弱,致使该区域风险性极低。

6 结论

- (1)研究区高危险区到极低危险区灾害点占比和灾点密度呈递减趋势,证明 K 平均聚类分析法在地质灾害危险性评价中评价效果良好,具有较高的准确度,相对容易实现高效收敛,且规避了主观因素的影响。
- (2)通过 SPSS 采用系统聚类分析法得到分类结果冰柱图和树状图,将韩城市分为高、中、低和极低易损区,其中高易损区的镇办人口密度大、道路便利、经济较发达、人类工程活动强烈,与实际情况相符。

(3)利用 ArcGIS 将危险性和易损性区划结果叠加计算,把研究区划分为高、中、低和极低四个风险区,划分结果和野外调查结果能够较好地相匹配,进而建立了一种简单、高效的韩城市地质灾害风险性评价模型,研究结果可以为地质灾害风险评价提供一定的理论依据和实际指导。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国自然资源部. 全国地质灾害防治“十三五”规划[Z]. 中华人民共和国自然资源部, 2016.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. The 13th five-year plan of national geological disaster prevention and control[Z]. Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, 2016.
- [2] 中华人民共和国自然资源部中国地质调查局地质环境监测院. 全国地质灾害通报(2019年)[Z]. 自然资源部地质灾害技术指导中心, 2019.
Geological Environment Monitoring Institute of China Geological Survey, Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. National geological hazard bulletin(2019)[Z]. Geological Hazard Technical Guidance Center of the Ministry of Natural Resources, 2019.
- [3] 关凤峻, 沈伟志, 张志防. 全国地质灾害防治分析研究与趋势预测[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(1): 1-2.
Guan Fengjun, Shen Weizhi, Zhang Zhifang. National geological disaster prevention analysis research and trend forecast[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(1): 1-2.
- [4] 唐亚明, 程秀娟, 薛强, 等. 基于层次分析法的黄土滑塌风险评价指标权重分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(4): 40-46.
Tang Yaming, Cheng Xiujian, Xu Qiang, et al. Weights analysis of Loess collapse risk assessing factors based on analytical hierarchy process[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(4): 40-46.
- [5] 王佳佳, 殷坤龙, 肖莉丽. 基于GIS和信息量的滑坡灾害易发性评价——以三峡库区万州区为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(4): 797-808.
Wang Jiajia, Yin Kunlong, Xiao Lili. Landslide susceptibility assessment based on GIS and weighted information value: a case study of Wanzhou District, Three Gorges reservoir[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(4): 797-808.
- [6] 王念秦, 郭有金, 刘铁铭, 等. 基于支持向量机模型的滑坡危险性评价[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(35): 70-78.
Wang Nianqin, Guo Youjin, Liu Tieming, et al. Landslide susceptibility assessment based on support vector machine model[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(35): 70-78.
- [7] 刘艺梁, 殷坤龙, 刘斌. 逻辑回归和人工神经网络模型在滑坡灾害空间预测中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(5): 92-96.
Liu Yiliang, Yin Kunlong, Liu Bin. Application of logistic regression and artificial neural network in spatial assessment of landslide hazards[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010, 37(5): 92-96.
- [8] 武雪玲, 杨经宇, 牛瑞卿. 一种结合SMOTE和卷积神经网络的滑坡易发性评价方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(8): 1223-1232.
Wu Xueling, Yang Jingyu, Niu Ruiqing. A landslide susceptibility assessment method using SMOTE and convolutional neural network[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(8): 1223-1232.
- [9] 黄发明, 殷坤龙, 蒋水华, 等. 基于聚类分析和支持向量机的滑坡易发性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(1): 156-167.
Huang Faming, Yin Kunlong, Jiang Suihua, et al. Landslide susceptibility assessment based on clustering analysis and support vector machine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2018, 37(1): 156-167.
- [10] 张宁博. 基于GIS的岚皋县地质灾害易发性分区评价[D]. 西安: 长安大学, 2012.
Zhang Ningbo. The evaluating of the susceptibility about geological disaster in Langao County based on GIS[D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [11] 夏玉成, 陈练武, 薛喜成. 地学信息数字化技术概述[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2003.
Xia Yucheng, Chen Lianwu, Xue Xicheng. Overview of digitalization of geoscience information[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2002.
- [12] 黄润秋, 向喜琼, 巨能攀. 我国区域地质灾害评价的现状与问题[J]. 地质通报, 2004, 23(11): 1078-1082.
Huang Runqiu, Xiang Xiqiong, Ju Nengpan. Assessment of China's regional geohazards: present situation and problems[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(11): 1078-1082.
- [13] 张海燕, 王新民, 尹慧, 等. 地质灾害风险评价阈值回归联合聚类分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(2): 529-535.
Zhang Haiyan, Wang Xinmin, Yin Hui, et al. Threshold regressive model and cluster analysis of sediment-related disaster[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2011, 41(2): 529-535.
- [14] 王滨, 陈淋册, 赵佩哲. 基于因子-聚类分析的泥石流危险性评价研究——以重庆市北碚区为例[J]. 现代地质, 2015, 29(2): 454-460.
Wang Bin, Chen Lince, Zhao Peizhe. Study on risk assessment of debris flow based on factor-clustering analysis: a case study from Beibei District in Chongqing[J]. Geoscience, 2015, 29(2): 454-460.
- [15] 王欣. 不确定性层次聚类滑坡灾害危险性评价方法及应用研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2016.
Wang Xin. Uncertainty hierarchical clustering landslide hazard evaluation method and application research[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2016.
- [16] 刘宏. 基于模糊聚类分析的深圳地区场地建设适宜性区划研究[D]. 上海: 东华大学, 2017.
Liu Hong. Study on suitability zoning of site construction in Shenzhen based on fuzzy clustering analysis[D]. Nanchang: East China University of Technology, 2017.
- [17] 豆敬翔. 基于GIS的平武县地质灾害危险性评价研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2012.
Dou Jingxiang. Based on GIS for Pingwu County disaster of geological research[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012.

- gy, 2012.
- [18] 王磊. 基于GIS的理县滑坡地质灾害风险性评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
Wang Lei. Risk assessment of landslide in Li County based on GIS [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2013.
- [19] 姚淼. 基于GIS的延安市吴起县地质灾害危险性评价[D]. 西安: 西安科技大学, 2018.
Yao Miao. Geological hazard risk assessment based on GIS of Wuqi County in Yan'an [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2018.
- [20] 杨志. 基于GIS的雷波县地质灾害风险性评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
Yang Zhi. Research on risk assessment of geological disasters in Leibo County based on GIS [D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [21] 张俊, 殷坤龙, 王佳佳, 等. 三峡库区万州区滑坡灾害易发性评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(2): 284-296.
Zhang Jun, Yin Kunlong, Wang Jiajia, et al. Evaluation of landslide susceptibility for Wan-hou District of Three Gorges reservoir [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016, 35(2): 284-296.
- [22] 王同兴, 郭骏杰, 王强. 基于K均值动态聚类分析的土样识别[J]. 建筑科学, 2010, 26(7): 52-56.
Wang Tongxing, Guo Junjie, Wang Qiang. The recognition of soil sample based on the K-means dynamic clustering analysis [J]. Building Science, 2010, 26(7): 52-56.