

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2020.03.12

引用格式: 董毅兵, 郁文, 张仲福. 基于 GIS 的地质灾害易发性分区评价——以甘肃省会宁县为例[J]. 中国地质调查, 2020, 7(3): 89–95.

基于 GIS 的地质灾害易发性分区评价 ——以甘肃省会宁县为例

董毅兵, 郁文, 张仲福

(甘肃工程地质研究院, 兰州 730000)

摘要: 会宁县地处甘肃省中部, 地质灾害极为发育, 共发育有崩塌 16 处、滑坡 12 处、泥石流 7 条, 地质灾害已对研究区造成了重大经济损失。为了对会宁县地质灾害易发性进行分区评价及指导防灾减灾, 在区域地质灾害调查的基础上, 建立了地质灾害数据库, 采用层次分析法和 GIS 空间分析统计方法, 选取 14 个基础指标, 建立了会宁县地质灾害易发性分析评价模型, 对评价单元叠加分析计算及验证分析, 将会宁县地质灾害的易发程度划分为 3 个区, 即高易发区、中易发区和低易发区。通过专家评审法检验地质灾害易发性评价结果, 认为评价结果与实际地质灾害情况相符性较好, 可以为制定会宁县地质灾害综合防治措施提供依据。

关键词: GIS; 地质灾害; 易发性分区; 会宁县

中图分类号: P694; P642.2; P208.2

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2020)03–0089–07

0 引言

会宁县地处甘肃省中部, 属陇西黄土高原的一部分, 处于西海固地震带的影响区, 1920 年海原大地震致使该区域山体十分破碎。水流长期切割作用使得区内沟壑纵横。境内植被覆盖较差, 水土流失严重, 地质环境相对比较脆弱, 人类工程活动相对强烈, 地质灾害是本区最突出的环境地质问题。据统计, 近 100 年来, 会宁县地质灾害共造成 398 人死亡, 共造成经济损失 2 229.62 万元^[1]。随着当地经济社会的持续发展, 突发性地质灾害数量和频率显著增高, 因此, 对会宁县进行地质灾害易发性分区很有必要。

目前, 常用的地质灾害易发性分区评价方法主要包括层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)、易发程度指数法、BP 神经网络法、信息量模型法、模糊综合评判法和综合危险性指数法等^[2–8]。甘肃省地质环境监测院在调查区做了较

为系统的、富有成效的工作, 研究了区内自然条件和地质灾害分布规律, 这些成果对于本次研究工作具有重要的参考价值^[9–11]。但是, 以往工作成果主要侧重地质灾害基础因子研究, 已经不能满足当下会宁县社会经济发展和新时期防灾减灾工作的需要。地质灾害的产生和发展是环境和人类活动共同作用的动态过程, 其对人类生活和城市发展具有深远的影响。因此, 应综合考虑环境和人类活动多方面的因素, 准确合理地划分出地质灾害高、中、低易发区。本文综合考虑地质灾害发育因子、基础因子和诱发因子, 利用 GIS 定量研究调查区地质灾害易发程度, 为制定会宁县地质灾害综合防治措施提供依据。

1 研究区地质灾害概况

根据本次调查, 会宁县共发育地质灾害 (隐患) 点 102 处。其中, 泥石流 7 条, 占地质灾害总数的 7%; 不稳定斜坡 38 处, 占总数的 37%; 滑坡 12

收稿日期: 2019–05–09; 修订日期: 2020–03–02。

基金项目: 甘肃省国土资源厅“白银市会宁县地质灾害详细调查 (编号: 201462042201)”项目资助。

第一作者简方数据 (1990—), 男, 工程师, 主要从事水文地质、工程地质和环境地质工作。Email: 2386498841@qq.com。

处,占总数的 12%; 崩塌 16 处,占总数的 16%; 地裂缝 29 处,占总数的 28%。以上地质灾害类型在会宁县 28 个乡镇均有分布(图 1)。

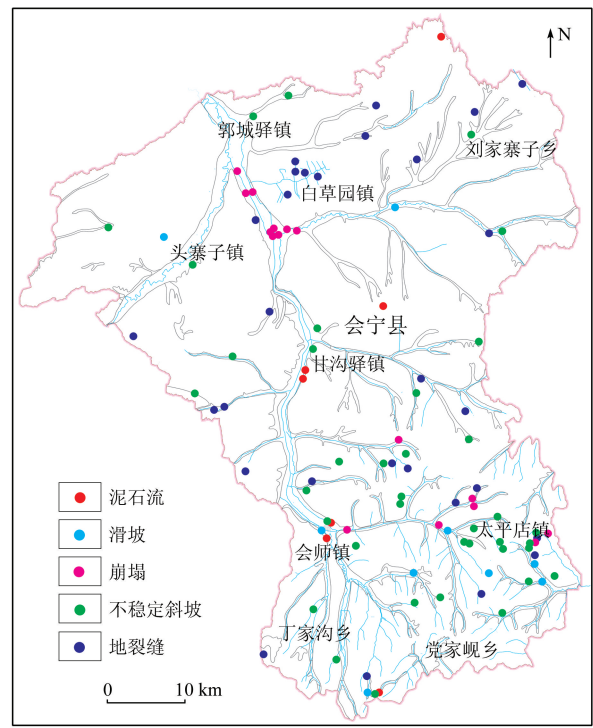


图 1 会宁县地质灾害分布

Fig.1 Geological disaster distribution in Huining County

2 评价方法

李松等^[12]利用层次分析法和 GIS 平台对白龙江流域甘肃段开展了地质灾害易发性评价,划分为高、中、低、极低易发区;金福喜等^[13]基于 GIS 分别采用综合危险指数法和层次分析法对资兴市地质灾害易发程度进行了分析评价,认为层次分析法结果更可靠;高丽琰等^[14]基于 GIS 和层次分析法开展了宁夏地质灾害易发性评价,认为高易发区主要分布于宁夏南部;张公等^[15]应用 GIS 技术和层次分析法对修武县地质灾害易发性进行划分,分区结果与野外调查结果较为一致;于成龙^[16]采用数学综合评判的半定量方法,并应用 GIS 技术对临江市开展了地质灾害易发程度分区评价,为临江市地质灾害的分区及分期防治、地质环境资源的合理保护与开发利用提供了基础依据。前人在地质灾害易发性评价方面做了很多工作,验证了 GIS 方法结合

层次分析法的适用性和实用性,故本文采用 GIS 方法和层次分析法对位于陇西黄土高原的会宁县进行地质灾害易发性评价。具体技术路线如图 2 所示。

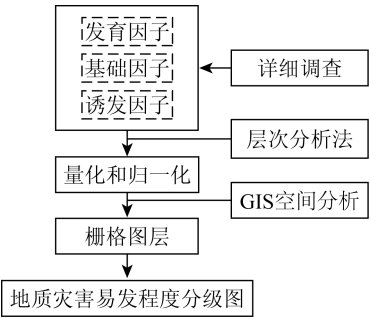


图 2 研究思路流程

Fig.2 Flow chart of the research

首先,进行影响因子的量化及归一化处理,利用层次分析法确定各因子权重系数;其次,构建影响因子栅格图层,利用 GIS 中的栅格工具对各统计单元进行影响因子加权叠加,构建研究区地质灾害易发性栅格图;最后,综合考虑各种影响因素,概化出会宁县地质灾害易发性分区评价图。此方法充分利用野外详细调查采集的地质灾害数据,综合考虑与地质灾害相关的各类影响因子,兼顾准确性和实用性。

3 评价因子系统建立

3.1 建立递阶层次结构模型

分析问题所包含的各个因素之间的相互关系,通过属性的不同将有关的各个因素自上而下地分解整理成若干层次,层次结构整体分为 3 层,自上而下分别为目标层、准则层和措施层。地质灾害易发区主要是指容易发生地质灾害的特定区域,考虑到这个原则,在确定评判因子时要参考具体工作区内地质灾害发育的普遍性和代表性特点,最终所选取的评判因子需要能够全面系统地反映区内地质灾害的发育特点和孕灾状况。

本次会宁县地质灾害易发性分区以地质灾害易发性为目标层,综合考虑当地实际情况,选择发育因子、基础因子和诱发因子 3 方面为准则层,即二级评判因子,对二级评判因子进一步细分,考虑属性和特点,选取了对地质灾害易发性影响较为显著的 14 个因子构成措施层,即三级评判因子,具体

层次结构如图 3 所示。

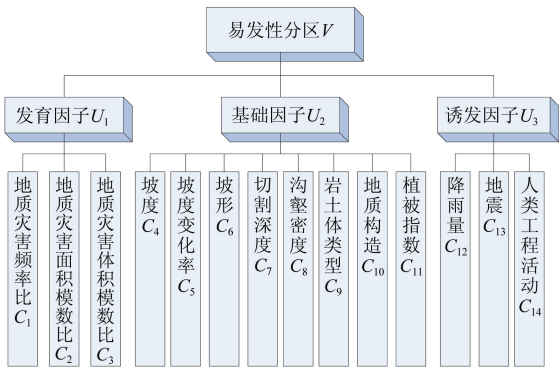


图 3 评价因子结构

Fig.3 Structure diagram of the evaluation factors

3.2 评价指标的量化

3.2.1 发育因子 (U₁)

发育因子主要表达的内容是工作区内已有的地质环境及人类活动交叉作用下地质灾害现阶段的发育程度,主要通过 3 方面体现,分别是地质灾害的空间发生频率、面积和体积模数分布比率。具体操作过程为应用栅格数据处理方法对调查区进行网格化,按 3 km×2.5 km 的范围划分单元网格,将全区离散为 36 行、24 列,共计 864 个单元网格,然后以单元格为单位计算各指标并进行归一化变换。

3.2.1.1 地质灾害频率比 (C₁)

可以设第 (i,j) 单元内灾害频率为 $f_{(i,j)}$,该单元面积为 $S_{(i,j)}$,单元内灾害的频率密度为 $\rho_{f(i,j)}$,整个研究区面积为 S ,灾害总数为 f ,总频率密度为 ρ_f ,则第 (i,j) 单元格灾害频率比为

$$R_{f(i,j)} = \rho_{f(i,j)} / \rho_f \circ \tag{1}$$

3.2.1.2 地质灾害面积模数比 (C₂)

设第 (i,j) 单元内灾害体分布面积为 $s_{(i,j)}$,单元面积为 $S_{(i,j)}$,单元内灾害的面积模数为 $\rho_{s(i,j)}$,整个研究区面积为 S ,灾害点总面积为 s ,总面积模数为 ρ_s ,则第 (i,j) 单元格灾害面积模数为

$$R_{s(i,j)} = \rho_{s(i,j)} / \rho_s \circ \tag{2}$$

3.2.1.3 地质灾害体积模数比 (C₃)

设第 (i,j) 单元内灾害点总体积为 $V_{(i,j)}$,单元面积为 $S_{(i,j)}$,单元内灾害的体积模数为 $\rho_{v(i,j)}$,整个研究区面积为 S ,灾害点总体积为 V ,总面积模数为 ρ_v ,则第 (i,j) 单元格灾害体积模数为

$$R_{v(i,j)} = \rho_{v(i,j)} / \rho_v \circ \tag{3}$$

3.2.2 基础因子 (U₂)

基础因子的作用主要是对工作区内的地质环境背景进行评价,选取了坡度、坡形、沟壑密度、岩土体类型等 8 项对地质灾害发育影响较大的因子并进行归一化。

3.2.2.1 坡度 (C₄)

以工作区 1:5 万 DEM 数据提取坡度数据。根据前人研究和工作经验,发现工作区内滑坡、崩塌等灾害大量分布于 20°~70°之间的斜坡(图 4),而 20°以下斜坡基本不发生滑坡、崩塌等灾害,考虑到这个分布特征,此次评价将 70°以上斜坡的易发程度推定为 1,20°以下易发程度推定为 0,为了进一步的评价工作,将坡度数据进行 0~1 之间的线性归一化。

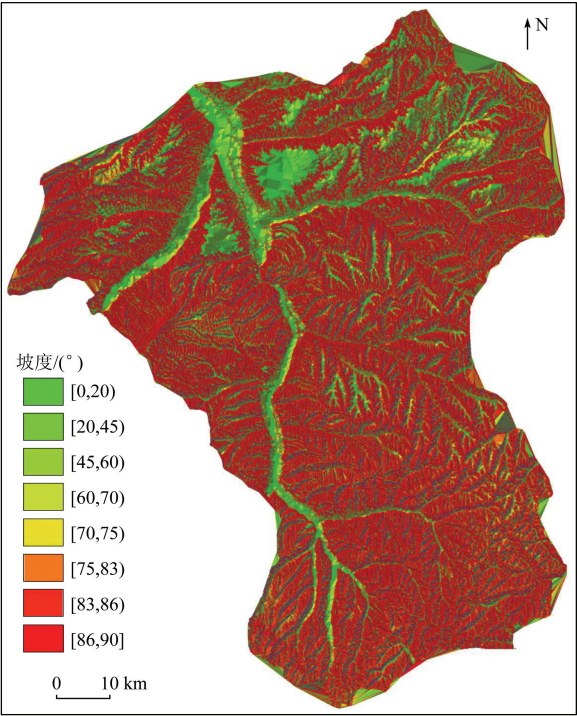


图 4 会宁县坡度

Fig.4 Slope in Huining County

3.2.2.2 坡度变化率 (C₅)

坡度变化率是对地形基本因子中的坡度变化情况进行量化的指标。由于斜坡拉张应力区的分布与斜坡坡度呈正相关关系,所以随着斜坡坡度变化率增大,斜坡坡脚地带形成的最大剪应力也不断增大,导致斜坡也就愈容易产生变形破坏。通过 DEM 对全区坡度变化率数据进行提取,再进行 0~1 之间归一化处理。

3.2.2.3 坡形(C_6)

坡形则主要通过地表的曲率进行描述和量化,其中直线形和凸型斜坡在曲率上的数值关系为曲率 ≥ 0 ,凹型坡和阶梯型坡的曲率 <0 。因此,可通过 ArcGIS 平台从 DEM 数据中提取分析调查区地表曲率信息,然后展开对斜坡坡形的归一化。

3.2.2.4 切割深度(C_7)

地形切割深度主要是指平均高程与最小高程之间的差值,它主要表征了地形的起伏程度和切割侵蚀强度,也同时从侧面反映了沟谷的发育程度。相对于泥石流灾害而言,切割深度与沟床比降显著相关,滑坡灾害同时也与坡高具直接联系(图 5)。因此,综合选取了切割深度指标对地形因素进行评价。

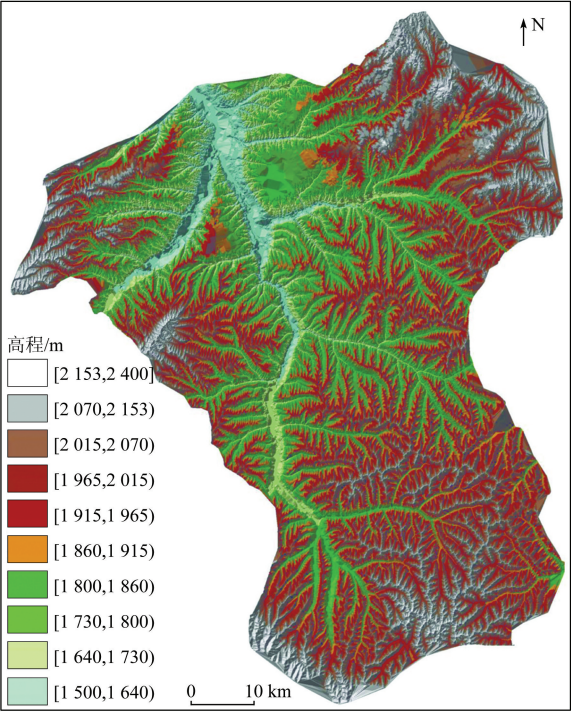


图 5 会宁县高程
Fig. 5 Elevation in Huining County

3.2.2.5 沟壑密度(C_8)

沟壑密度主要表征了地形发育阶段和地表抗蚀能力,其对地质灾害的发育有重要的影响作用。本次评价工作主要应用 ArcGIS 平台中的 Hydrology 工具集,基于工作区 1:5 万栅格 DEM 提取各流域单元的沟壑密度,然后将沟壑密度进行归一化处理并转换为栅格数据参与评价。

3.2.2.6 岩土体类型(C_9)

根据评价区内不同岩土体类型对地质灾害发育的影响程度分级进行赋值(表 1),之后开展栅格

化和归一化处理。

表 1 会宁县岩土体类型分级赋值一览表
Tab.1 List of rock and soil type classification
evaluation in Huining County

地层 (岩组)	工程地质岩组	赋值	所占比 例/%	面积/ km ²
加里东 中期花 岗岩体 (γ)	铁木山一带出露,加里东中期 灰白色花岗岩	1	2.76	177.72
二叠系 (P)	县域南部,经多次变质作用的碎 屑岩建造,岩性主要为石英片岩、 角闪片岩、石英砂岩夹大理岩	2	5.80	373.46
白垩系 + 古近系 (K + E)	县域内河沟大部分布的层状 较坚硬砂岩、砾岩岩组	3	10.04	646.48
新近系 + 第四系 (N + Q)	广布县域的主要为层状软弱 泥岩岩组及马兰黄土	4	81.40	5 241.35
合计			100.00	6 439.01

3.2.2.7 地质构造(C_{10})

地质构造对地质灾害的发育及分布也具有重要影响,考虑到区内新构造运动比较活跃,本次评价主要是以区内第四纪以来发育的活动断裂为基准线,向两侧以 250 m 间距各做三级缓冲区分析评价。

3.2.2.8 植被覆盖率(C_{11})

利用会宁县 2013 年 2 月 ETM⁺ 遥感数据,选取近红外波段 4 和可见光红外波段 3,进行计算求取植被覆盖指数 NDVI,然后将计算结果进行归一化处理再参与评价。

3.2.3 诱发因子(U_3)

区内地质灾害诱发因素主要分为 3 类,分别是降雨、地震及人类工程活动,然后进行归一化。

3.2.3.1 降雨量(C_{12})

降雨是诱发因子中对地质灾害影响最显著的一个因素,尤其是短时间强降雨。本次评价共收集了会宁县气象局会师镇、党岷乡、太平镇、大沟乡、汉岔乡和刘寨镇 6 个雨量监测点的多年雨量监测数据(图 6)。因此,根据全县降水等值线及重点乡镇降雨量数据参与易发性评价。

3.2.3.2 地震(C_{13})

工作评价区内新构造运动活跃,地震相对来说较为频繁,而且区内地震引发的崩塌、滑坡等灾害也有一定数量。因此,将地震活动也作为一项诱发评价因子进行考虑。本次评价主要通过会宁县地震烈度Ⅶ、Ⅷ区划成果进行赋值栅格计算。

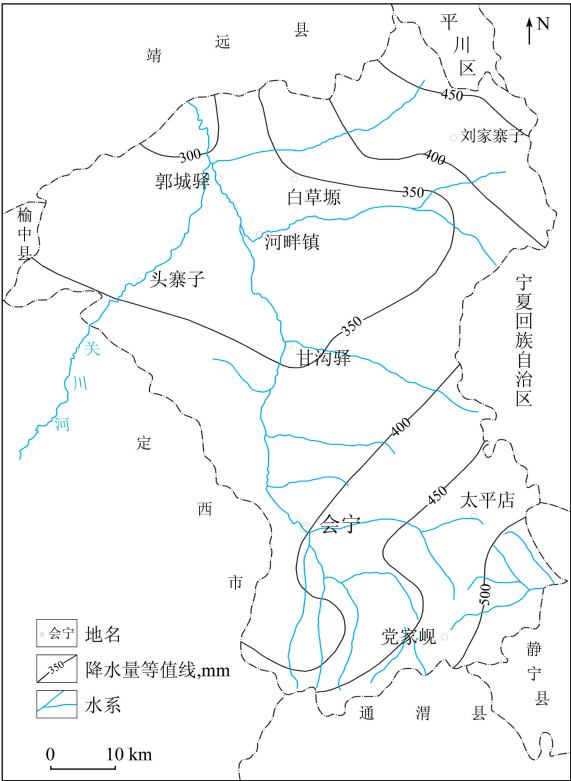


图6 会宁县降雨等值线

Fig. 6 The rainfall isoline in Huining County

3.2.3.3 人类工程活动(C₁₄)

相比较降雨量和地震因子,人类工程活动对地质环境的影响特别复杂,对地质环境改变强烈的主要为公路、铁路等长距离工程的修建,因而本次评价将工作区内的公路做为基准线,间隔 250 m 做缓

冲区分析,分别向两边做 3 个缓冲区,进行栅格化和归一化处理后参与评价。

3.3 构造判断矩阵

各因子权重的排序打分值采用通用的 1~9 标度方法(表 2),层次单排序的成果见表 3—表 6,经检验表 3—表 6 评价模型各层次均具有满意的一致性。层次总排序的成果见表 7。

表 2 判断矩阵标度

Tab. 2 Scale of judgment matrix

序号	重要性等级	C _{ij} 赋值
1	i,j 两因素同样重要	1
2	i 因素比 j 因素稍微重要	3
3	i 因素比 j 因素明显重要	5
4	i 因素比 j 因素强烈重要	7
5	i 因素比 j 因素极端重要	9

表 3 准则层判断矩阵

Tab. 3 Judgment matrix of the target layer

易发性分区	发育因子	基础因子	诱发因子	权值
发育因子	1	1	5	0.454 5
基础因子	1	1	5	0.454 5
诱发因子	0.2	0.2	1	0.091 0

表 4 发育因子判断矩阵

Tab. 4 Judgment matrix of developmental factors

发育因子	灾害频率比 C ₁	灾害面积模数比 C ₂	灾害体积模数比 C ₃	权值
灾害频率比 C ₁	1	3	5	0.637 0
灾害面积模数比 C ₂	0.333 3	1	3	0.258 3
灾害体积模数比 C ₃	0.2	0.333 3	1	0.104 7

表 5 基础因子判断矩阵

Tab. 5 Judgment matrix of basic factors

基础因子	坡度 C ₄	坡度变化率 C ₅	坡形 C ₆	切割深度 C ₇	沟壑密度 C ₈	岩土体类型 C ₉	地质构造 C ₁₀	植被指数 C ₁₁	权值
坡度 C ₄	1	3	1	1	0.333 3	0.2	3	5	0.098 4
坡度变化率 C ₅	0.333 3	1	0.333 3	0.333 3	0.2	0.142 9	1	3	0.041 8
坡形 C ₆	1	3	1	1	0.333 3	0.2	3	5	0.098 4
切割深度 C ₇	1	3	1	1	0.333 3	0.2	3	5	0.098 4
沟壑密度 C ₈	3	5	3	3	1	0.333 3	5	7	0.215 2
岩土体类型 C ₉	5	7	5	5	3	1	7	9	0.385 0
地质构造 C ₁₀	0.333 3	1	0.333 3	0.333 3	0.2	0.142 9	1	3	0.041 8
植被指数 C ₁₁	0.2	0.333 3	0.2	0.2	0.142 9	0.111 1	0.333 3	1	0.021 2

表 6 诱发因子判断矩阵

Tab. 6 Judgment matrix of evoked factors

诱发因子	降雨量 C ₁₂	地震 C ₁₃	人类工程活动 C ₁₄	权值
降雨量 C ₁₂	1	3	3	0.6
地震 C ₁₃	0.333 3	1	1	0.2
人类工程活动 C ₁₄	0.333 3	1	1	0.2

表 7 标度层次总排序结果判断矩阵

Tab. 7 Judgement matrix of scale level total sort results

$V-U$	发育因子 U_1	基础因子 U_2	诱发因子 U_3	总权值	排序
$U-C$	0.454 5	0.454 5	0.091 0		
地质灾害频率比 C_1	0.637 0			0.289 5	1
地质灾害面积模数比 C_2	0.258 3			0.117 4	3
地质灾害体积模数比 C_3	0.104 7			0.047 6	6
坡度 C_4		0.098 4		0.044 7	7
坡度变化率 C_5		0.041 8		0.019 0	10
坡形 C_6		0.098 4		0.044 7	8
切割深度 C_7		0.098 4		0.044 7	9
沟壑密度 C_8		0.215 2		0.097 8	4
岩土体类型 C_9		0.385 0		0.175 0	2
地质构造 C_{10}		0.041 8		0.019 0	11
植被指数 C_{11}		0.021 2		0.009 6	14
降雨量 C_{12}			0.600 0	0.054 6	5
地震 C_{13}			0.200 0	0.018 2	12
人类工程活动 C_{14}			0.200 0	0.018 2	13

4 地质灾害易发程度等级划分

以上述评价指标分析和数据归一化为参考,利用 ArcGIS 系统中的栅格运算功能,将通过层次分析法所确定的评价因子权重(表 7)进行信息叠加计算,从而得到会宁县地质灾害易发性定量计算成果,区间为 0.043 986~0.712 534,其值大小代表地质灾害的易发程度,数值越大,易发程度越高。

经进一步综合分析研究,根据所得的易发性评价计算结果将会宁县地质灾害划分为高易发、中易发和低易发区。根据自然间断点分级法,取 0.302 565 和 0.492 158 这 2 个突变点作为临界点,进行易发区域划分(表 8、图 7)。地质灾害易发程度分区结果得到了评审专家的认可。

表 8 地质灾害易发程度区划评价分级

Tab. 8 Zoning evaluation scales of geological disaster proneness degrees

评价分级	分级区间	单元格数量	所占比例/%	面积/ km ²
低易发区	[0.043 986,0.302 565)	444 231	44.48	2 864.1
中易发区	[0.302 565,0.492 158)	425 355	42.59	2 742.5
高易发区	[0.492 158,0.712 534]	129 134	12.93	832.4
万方数据		998 720	100.00	6 439.0

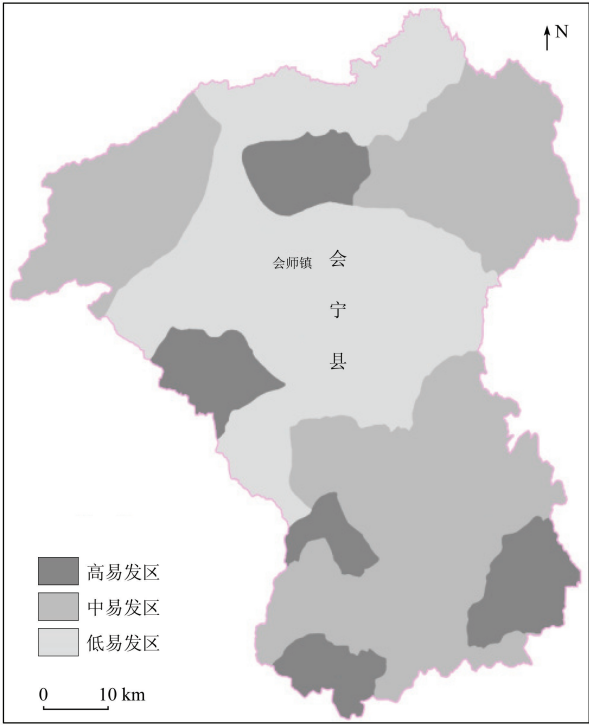


图 7 会宁县地质灾害易发性分区

Fig. 7 Geological disaster susceptibility in Huining County

5 结论

(1)通过 AHP 和 GIS 平台工具,以地质灾害易发性为评价目标层,确定发育因子、基础因子、诱发因子为要素层,选取主要影响和构成要素层的 14 个基础因子为指标层,建立了会宁县地质灾害易发

性分析评价模型,并进一步确定了各基础指标层的因子对目标层的权重及排序。

(2)以会宁县地质灾害易发性评价模型为依据,对评价单元进行叠加、分析、计算、调试及修正,按易发程度将会宁县地质灾害区分为高易发区、中易发区和低易发区,占比分别为 12.93%、42.59% 和 44.48%。

(3)针对地质灾害高易发区,要做好地质灾害监控,对该区工程建设活动应该进行规范管理。

参考文献:

[1] 甘肃工程地质研究院. 白银市会宁县地质灾害详细调查报告[R]. 兰州:甘肃工程地质研究院,2016:4-5.

[2] 张永军,侯云龙,刘武. 层次分析法和GIS空间分析法在兰州市区地质灾害易发性评价中的应用[J]. 甘肃地质,2009,18(4):84-88.

[3] 许兆军,肖妮娜,刘志尧,等. 基于易发程度指数法的桂阳县地质灾害易发性分区研究[J]. 长春工程学院学报:自然科学版,2012,13(3):54-59.

[4] 成玉祥,任春林,张骏. 基于BP神经网络的地质灾害风险评估方法探讨——以天水地区为例[J]. 中国地质灾害与防治学报,2008,19(2):100-104.

[5] 杜谦,范文,李凯,等. 二元 Logistic 回归和信息量模型在地质

灾害分区中的应用[J]. 灾害学,2017,32(2):220-226.

[6] 王哲,易发成,陈廷方. 基于模糊综合评判的绵阳市地质灾害易发性评价[J]. 科技导报,2012,30(31):53-60.

[7] 黄国平,郑惠华. 福建省建瓯市地质灾害综合危险性指数分区方法[J]. 江西理工大学学报,2011,32(1):32-34.

[8] 余成,葛伟亚,贾军元,等. 苏南地区地质灾害区划评价[J]. 中国地质调查,2019,6(5):131-136.

[9] 陈耀乾. 甘肃省会宁县地质灾害调查与区划报告[R]. 兰州:甘肃省地勘局第二地质矿产勘查院,2002.

[10] 甘肃省地质环境监测院. 甘肃省会宁县城区地质灾害综合防治工程可行性研究报告[R]. 兰州:甘肃省地质环境监测院,2012.

[11] 甘肃省地质环境监测院. 会宁县城区综合治理建议书[R]. 兰州:甘肃省地质环境监测院,2012.

[12] 李松,张永军,王睿宗,等. 基于GIS的白龙江流域甘肃段地质灾害易发性评价[J]. 甘肃地质,2015,24(4):68-73.

[13] 金福喜,何亨武,徐志. 基于GIS的地质灾害易发程度分区方法[J]. 防灾科技学院学报,2015,17(4):18-25.

[14] 高丽琰,余江宽,张幼莹,等. 基于GIS的层次分析法在宁夏地质灾害易发性评价的应用[J]. 防灾科技学院学报,2017,19(4):8-15.

[15] 张公,刘承勇,黄继超,等. 基于GIS技术的修武县地质灾害易发性分析[J]. 地下水,2018,40(1):124-125,176.

[16] 于成龙. 临江市地质灾害易发程度分区评价[J]. 防灾科技学院学报,2018,20(4):68-76.

Susceptibility zoning of geological disasters based on GIS:
A case of Huining area in Gansu Province

DONG Yibing, YU Wen, ZHANG Zhongfu
(Gansu Institute of Engineering Geology, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Huining County is located in the central part of Gansu Province, and the geological disasters are extremely developed in this area. There are 16 collapses, 12 landslides and 7 mudslides, which have caused great economic loss. In order to divide and evaluate the susceptibility zoning of geological disasters in Huining County, the authors established the geological disaster database based on the regional geological disaster investigations. The evaluation model of geological disaster susceptibility analysis was established by the analytic hierarchy process and statistical method of GIS spatial analysis, and 14 basic indicator layers were selected. The evaluation units were overlaid, analyzed and verified, and the results show that the geological disaster susceptibility in Huining County can be divided into three zones of high easy-happening area, medium easy-happening area and low easy-happening area. It is considered that the evaluation results are in good agreement with the actual situation of geological disasters, with the expert evaluation method to examine the geological disaster susceptibility results. The evaluation results can provide some reference for the comprehensive prevention and treatment of geological disasters in Huining County.

Keywords: GIS; geological disasters; susceptibility zoning; Huining County