

郑苗苗, 牛树轩, 郑泓. 延河流域加权信息量法地质灾害分区研究[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 87-91. [Zheng Miaomiao, Niu Shuxuan and Zheng Hong. The Geological Hazards with Zoning Research Based on Weighted Information Method of Yanhe River Basin[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 87-91.]

## 延河流域加权信息量法地质灾害分区研究<sup>\*</sup>

郑苗苗<sup>1,2</sup>, 牛树轩<sup>3</sup>, 郑泓<sup>1</sup>

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054;  
3. 中交路桥技术有限公司, 北京 100011)

**摘要:**以延河流域为例, 依据区县地质灾害详细调查资料, 建立 GIS 地质灾害数据库, 包含地理数据、基础地质数据、地质灾害点数据和栅格数据, 选取坡度、坡型、植被、河谷地貌、地层、降雨量、道路距离、居民点 8 因素, 采用加权信息量法进行地质灾害易发性分区研究。结果表明, 延河流域高易发面积为 1 664.96 km<sup>2</sup>, 占流域总面积的 19.2%, 灾害点有 486 处, 灾害点密度为 0.29 处/km<sup>2</sup>; 中易发面积为 3 102.02 km<sup>2</sup>, 占流域总面积的 35.8%, 灾害点有 300 处, 密度为 0.10 处/km<sup>2</sup>; 低易发面积为 3 888.99 km<sup>2</sup>, 占流域总面积的 44.9%, 灾害点有 171 处, 密度为 0.04 处/km<sup>2</sup>。

**关键词:** 延河流域; 地质灾害; 加权信息量法; 易发性; 分区研究

**中图分类号:** X43; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)01-0087-05

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.01.018

黄土高原地区由于黄土层堆积厚度大, 剥蚀侵蚀比较严重, 形成沟壑纵横, 地形破碎的地貌景观, 滑坡、崩塌、不稳定斜坡等地质灾害频发<sup>[1-3]</sup>。2013 年 7 月初, 延河流域发生持续强降雨, 引发滑坡、崩塌等地质灾害多起, 造成重大人员伤亡和经济损失, 据灾后调查, 此次强降雨过程中共发生滑坡、崩塌等地质灾害 96 起(其中中型滑坡 5 起), 造成 6 人死亡, 18 人受伤, 受灾群众多达 7 000 余人, 直接经济损失达 3 000 余万元<sup>[4]</sup>。2013 年 7 月 29 日, 延安宝塔山景区的强降雨, 引发山体陡坡崖畔黄土崩滑 196 处, 窑洞损毁 13 处<sup>[5]</sup>。

地质灾害危险性的评价方法主要有统计分析法、模糊评判法、层次分析法、主成分分析法、神经网络法、信息量法和 GIS 计算机技术分析等。其中层次排序法(AHP)由美国著名运筹学家 T. L. Saaty<sup>[6]</sup>教授于 1970 年代提出, 可以对非定量事物作定量分析。1988 年许树柏<sup>[7]</sup>将其引入国内, 褚洪斌<sup>[8]</sup>为最早应用层次分析法进行地质灾害危险性分区评价的学者之一, 其后, 层次分析法在地质灾害危险性分区评价研究领域得到了广泛的应用<sup>[9]</sup>, 最近王小江等<sup>[10]</sup>用层次分析法进行重庆某县地质灾害危险性分区评价。

信息量计算法在数学上属于单变量统计分析法, 前苏联的维索科奥斯斯特罗夫斯卡娅及恰金先后应用该方法于区域找矿, 其基本计算步骤分两步<sup>[11]</sup>。阮沈勇等<sup>[12]</sup>是最早将信息量法用于地质灾害危险性区划中的学者之一, 其后的大量学者采用信息量法用于地质灾害危险性评价, 如郑书彦<sup>[13]</sup>等, 邓辉等<sup>[14]</sup>用信息量模型评价(四川泸定县)地质灾害危险性。加权信息量法最早见于学者李萍等<sup>[15]</sup>对中国区域地壳稳定性的分区评价; 王小江等<sup>[16]</sup>采用加权信息量模型, 以重庆市某县为例对地质灾害的危险性进行评价。

在地质灾害易发性分区评价中, 层次分析法和信息量法有各自的优劣势: 层次分析法的优势在于可以通过判断矩阵给出各因素间的权重, 不足在于对因素内部各分类的内值权重依然需要主观给定; 信息量法的优势在于很好地计算出因素的分类的信息量, 不足在于没有考虑各因素间的权重。

以往的地质灾害评价多以行政区域为单位进行<sup>[10,16-19]</sup>, 对黄土高原地质灾害发育类型及分布规律的分析表明, 地质灾害发育具有流域性特点, 故以流域为单位研究地质灾害发育特点, 并将层次分析法和信息量法相结合, 采用加权信息量法

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2015-07-01 修回日期: 2015-08-24

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“九七三”项目(2014CB744700); 黄土重大灾害及灾害链的发生、演化机制与防控理论(2014CB744701); 国家自然科学基金项目(41372329, 40772181)

作者简介: 郑苗苗(1984-), 女, 陕西西安人, 博士研究生, 工程师, 主要从事地质灾害、地质工程方面的研究工作。

E-mail: zhengmiaomiao07@126.com

对延河流域进行地质灾害易发性分区评价。

利用 MapGIS 的数据采集功能和 ArcGIS 的数据处理功能,依据近几年区县地质灾害详查资料,建立延河流域地质灾害空间数据库,确定评价因素和权重;然后使用层次分析法和信息量法相结合的加权信息量法,进行延河流域地质灾害易发性分区。即:先采用层次分析法计算出各因素间的权重  $w_i$ ,再用信息量法求出因素内各子类的信息量值,然后加权叠加得到总信息量值<sup>[15-16]</sup>。

## 1 延河流域地质灾害分布规律

### 1.1 研究区基本情况

延河是黄河的一级支流,延安市的第二大河,全长 286.9 km<sup>2</sup>,流域面积 8 656 km<sup>2</sup>,多年平均径流总量  $2.93 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,河流平均比降 3.26‰。

延河流域位于黄土高原中部,发源于榆林市靖边县天赐湾乡的周山,自西北向东南流入黄河。流域覆盖了靖边县和志丹县的一部分,安塞县、宝塔区、延长县的绝大部分,化子坪和甘谷驿将延河划分为上中下游(图 1)。

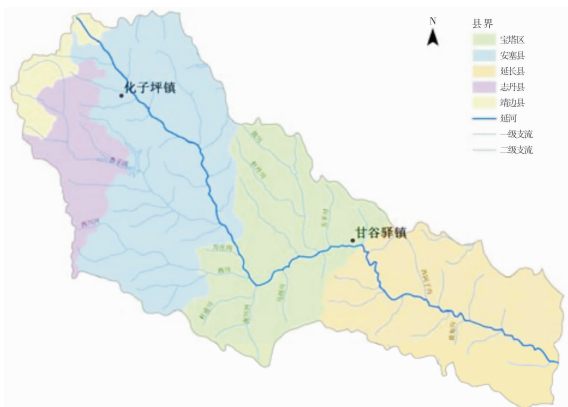


图 1 延河流域行政范围图

延河流域黄土结构疏松,厚度约为几十米至上百米,最厚处达 150 m 左右。地表水系发育,支流支沟密布,地形破碎,岩土侵蚀强烈,是黄土高原滑坡、崩塌、不稳定斜坡等重力地质灾害高度发育的区域。

延河流域地势整体呈现为西北高、东南低,海拔 447 ~ 1 765 m,为黄土丘陵沟壑区,可分为上游黄土梁峁丘陵沟壑区、中游黄土状丘陵沟壑区和下游黄土破碎塬区三种类型。

### 1.2 地质灾害分布规律

依据近年中国地质调查局组织实施的区县地质灾害详细调查资料,整理统计榆林市靖边县、延安市志丹县、安塞县、宝塔区、延长县等区县的地质灾害点,延河流域确认地质灾害点 957 个,其中滑坡 658 处,占灾害总数的 68.8%;崩塌 132

处,占灾害总数的 13.8%;不稳定斜坡 167 处,占灾害总数的 17.5%,未发现泥石流灾害点,延河流域地质灾害主要类型为滑坡、崩塌、不稳定斜坡(图 2)。

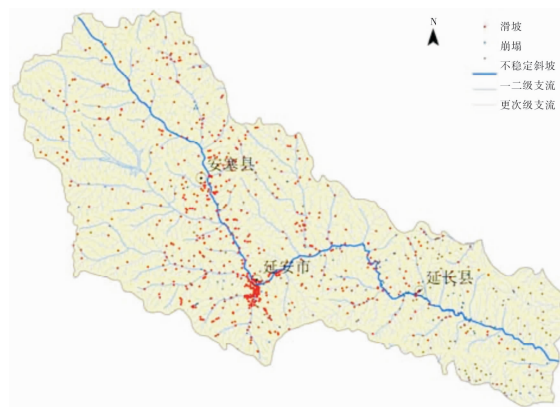


图 2 延河流域地质灾害点与水系分布图

地质灾害在老年期河谷、中游区域、城区等人类活动较多的区域密集分布。滑坡全部为土质滑坡,在整个流域分布广泛,老滑坡居多,自然原因导致的滑坡最多,老年期河谷内古滑坡和现代滑坡相对较多,人工原因导致的滑坡相对较多。崩塌和不稳定斜坡发育在延河中下游区域,且多发育在人工原因形成的土质斜坡上,下游区域的崩塌多发育在岩质斜坡上,以中小型崩塌为主。

## 2 确定评价因子和权重

### 2.1 建立延河流域地质灾害空间数据库

本研究利用 MapGIS 的数据采集功能和 ArcGIS 的数据处理功能,建立延河流域地质灾害空间数据库,包含地理数据(行政界线、水系交通、居民点)、基础地质数据(地层岩性、地质构造)、地质灾害点数据(滑坡、崩塌、不稳定斜坡)和栅格数据(DEM 高程、植被覆盖程度、降雨量分布),作为地质灾害易发性分区评价的基础数据。

地理数据、基础地质数据依据本课题组编制的 1:100 万地质图,地质灾害点数据依据近年来中国地质调查局组织实施的区县地质灾害调查成果;DEM 高程数据采用从 ASTER GDEM 免费获取的 GDEM 30 m DEM 数据;植被覆盖度依据 2010 年 8 月 1 日 TERRA 卫星的 MODIS 遥感数据;降雨量依据地球系统科学数据共享平台上提供的全国多年平均降雨量分布图。

### 2.2 评价因素的选取

影响地质灾害发生的因素很多,通过对延河流域地质灾害分布规律的研究,并结合地质灾害空间数据库的数据,选取坡度、坡型、植被、河谷地貌、地层、降雨、居民点、道路距离等 8 个因素进行评价,并进行子类划分(表 1)。

表 1 评价因素子类划分表

编号	评价因素	子类						
		1	2	3	4	5	6	7
C1	坡度/(°)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	>60
C2	坡型	<-0.5	-0.5~0.5	>0.5				
C3	植被	<0	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	>0.3		
C4	河谷地貌	老年期河谷	壮年期河谷	幼年期沟谷				
C5	地层	Q3	K	N	J	T		
C6	降雨/mm	430~463	463~485	485~502	517~531	531~549		
C7	居民点	其他	乡镇级	县级	市级			
C8	道路距离/m	>2 000	<500	500~1 000	1 000~2 000			

### 2.3 层次分析法计算各因素权重( $w_i$ )

层次分析法确定评价因素权重分 4 步<sup>[7-10]</sup>: 建立阶梯层次模型、构建各判断矩阵、权重计算(各判断矩阵一致性演算)、方案因素权重总排序(图 3)。

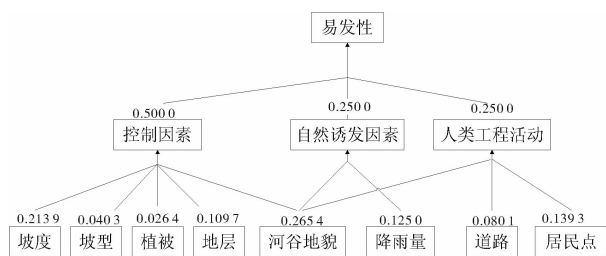


图 3 延河流域地质灾害易发性评价因素权重总排序

由图 3 可见,河谷地貌是地质灾害诱发的最主要的自然因素,坡度与地层结构是地质灾害易发性的控制因素,人类工程活动和降雨的双重作用是诱发区域地质灾害最活跃最积极的因素。

## 3 延河流域易发性分区评价

### 3.1 确定因素各子类的信息量

#### 3.1.1 单元划分

选取的 DEM 图的分辨率为 30 m,将整个研究区进行单元划分,栅格单元大小为 28 m×28 m,共分为 10 930 965 个评价单元。

#### 3.1.2 计算公式

每个单元总信息量的计算公式如下:

$$I = \sum_{i=1}^n w_i I(y, x) \quad (1)$$

式中, $w_i$ 为用层次分析法计算出的因素权重。

#### 3.1.3 计算方法

用信息量法确定因素各子类的信息量分 2 步<sup>[11-14]</sup>。

(1)ArcGIS 快速计算信息量:使用单因素信息量计算的理论公式,在地质灾害中,可用样本频率计算。在 ArcGIS 中,使用点密度工具,可计算出研究区内的地质灾害点密度分布图,使用区域分析下的分区统计功能,按照评价因素各子类的分区,对灾害点密度进行分区统计,即可得到各子类分区的灾害点平均密度,以及平均密度分布图(图 4)。

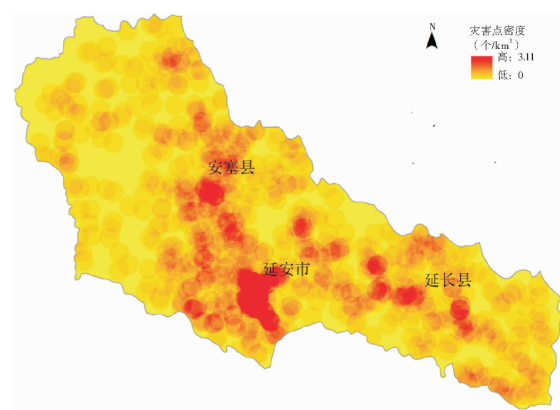


图 4 延河流域灾害点密度分布图

(2)各子类的信息量值:在 ArcGIS 中,对选取的各评价因素图层,按照子类进行重分区,然后采用 ArcGIS 快速计算信息量的方法,求出各评价因素各子类的信息量值,并在 ArcGIS 中使用重分类功能将信息量值赋给每个子类分区,得到 8 个评价因素的信息量分布图(图 5)。

使用单元总信息量计算公式,用层次分析法和信息量法求出各评价因素的权重排序(图 3、图 5)和评价因素各子类的信息量值,代入式中,即可计算出各单元的总信息量值。在 ArcGIS 中,只需使用栅格代数计算器,对各评价因素信息量分布图层,按总排序权重叠加即可得到总信息量分布图<sup>[15-16]</sup>(图 6)。

### 3.2 易发性分区评价

单元的总信息量值越大代表更易发生地质灾害,故本文按总信息量值进行易发性分区评价。研究区的总信息量值分布在 -0.8219~1.143 区间内(图 6)。按照自然间断点分级法,找出 2 个突变点(0.16, -0.16)作为分区界线,将信息量分布进行分区,按照高易发区(>0.16)、中易发区(-0.16~0.16)、低易发区(<-0.16),在此基础上,综合考虑其他因素,进行人工修正,得到最终的延河流域地质灾害易发性分区图(图 7),将研究区划分为高易发区、中易发区、低易发区。

#### (1)高易发区

区域总面积为 1 664.96 km<sup>2</sup>,占延河流域面积的 19.2%,主要分布在延河中游区域的老年期河谷和杏子河、西川河、南川河、蟠龙川等延河较大的一级支流河谷周围,以及延长县、安塞县城

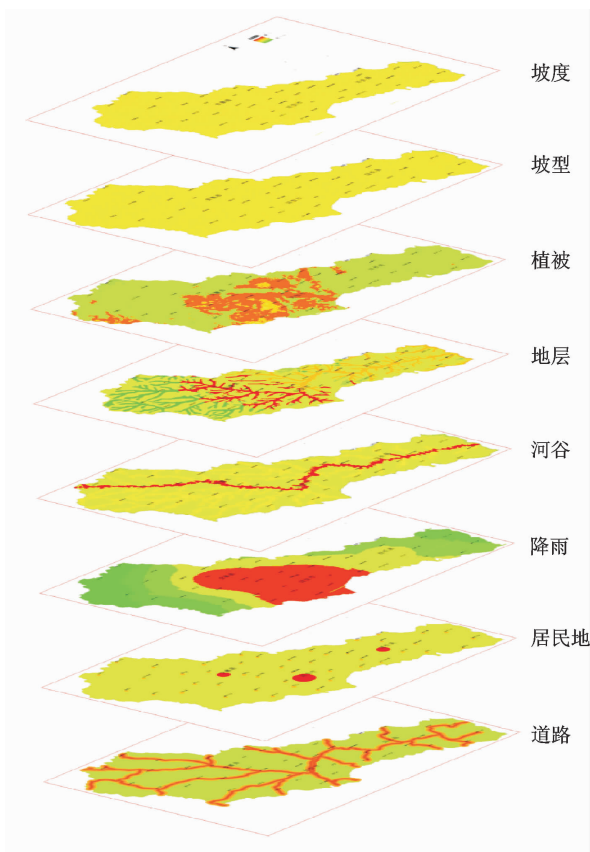


图5 延河流域各因素信息分布图

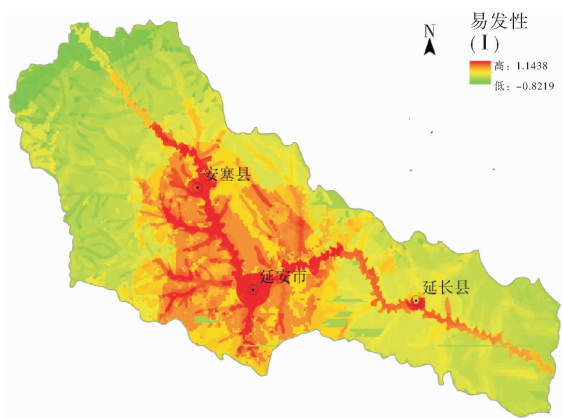


图6 延河流域地质灾害信息量分布图

区, 灾害点密度为  $0.29 \text{ 处}/\text{km}^2$ , 灾害点有 486 处, 占总量 50.8%, 其中滑坡 322 处, 占 66.3%, 崩塌 53 处, 占 10.9%, 不稳定斜坡 111 处, 占 22.8%。区域内岩层出露较高, 与上覆黄土形成黄土-泥岩(基岩)易滑结构面, 道路沿线开挖量大, 人口密集, 城市化建设速度较快, 人类工程活动强烈, 同时现有的滑坡等地质灾害点数量大密度高, 很容易复发。

#### (2) 中易发区

区域总面积为  $3\,102.02 \text{ km}^2$ , 占延河流域面积的 35.8%, 分布高易发区的周缘, 包括除去高易发区的延河中游区域和延河上游下游老年期河谷

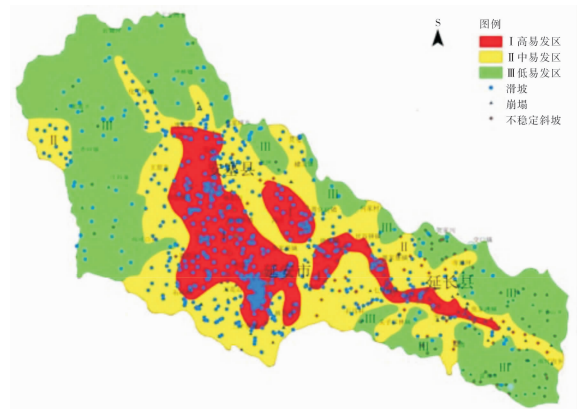


图7 延河流域地质灾害易发性分区图

以及下游的西河子沟、烟雾沟、安沟、南河沟等壮年期河谷周围, 灾害点密度为  $0.10 \text{ 处}/\text{km}^2$ , 灾害点有 300 处, 占总量 31.3%, 其中滑坡 217 处, 占 72.3%, 崩塌 48 处, 占 16.0%, 不稳定斜坡 35 处, 占 11.7%。延河中游区域为黄土梁峁丘陵沟壑区, 沟壑纵横, 冲沟下切作用强烈, 地形坡度较大, 谷坡稳定性较差, 同时又为整个研究区降雨最多的区域, 人口相对密集, 人类工程活动较强, 易发生地质灾害。

#### (3) 低易发区

区域总面积为  $3\,888.99 \text{ km}^2$ , 占延河流域面积的 44.9%, 分布在延河上游和下游区域的大部分区域和中游区域的部分幼年期河谷内, 灾害点密度为  $0.04 \text{ 处}/\text{km}^2$ , 灾害点有 171 处, 占总量 17.9%, 其中滑坡 119 处, 占 69.6%, 崩塌 31 处, 占 18.1%, 不稳定斜坡 21 处, 占 12.3%。人类工程活动较弱, 降雨较少, 沟谷狭小, 滑坡少发育, 小型崩塌频发, 地质灾害弱发育。

## 4 结论

本文以延河流域为单位进行研究, 基于区县地质灾害详细调查资料, 利用 MapGIS 的数据采集功能和 ArcGIS 的数据处理功能, 建立一个包含地理数据(行政界线、水系交通、居民点)、基础地质数据(地层岩性、地质构造)、地质灾害点数据(滑坡、崩塌、不稳定斜坡)和栅格数据(DEM 高程数据、植被覆盖程度数据、降雨量分布数据)的延河流域地质灾害空间数据库, 作为地质灾害易发性分区评价的基础数据。

在 GIS 平台上, 对地质灾害的类型、分布规律以及影响因素进行了统计分析。该区域共有地质灾害点 957 处, 灾害类型有滑坡、崩塌和不稳定斜坡。地质灾害在老年期河谷、中游区域、城区等人类活动较多的区域密集分布。

选取坡度、坡型、植被、河谷地貌、地层、降雨量、道路距离、居民点 8 因素为研究对象, 河

谷地貌是地质灾害诱发的最主要的自然因素, 坡度与地层结构是地质灾害易发性的控制因素, 人类工程活动和降雨的双重作用是诱发区域地质灾害最活跃和最积极的因素。

采用加权信息量法进行地质灾害易发性分区, 其中高易发区面积为  $1\,664.96\text{ km}^2$ , 占延河流域面积的  $19.2\%$ , 灾害点密度为  $0.29\text{ 处}/\text{km}^2$ , 灾害点有 486 处; 中易发区面积  $3\,102.02\text{ km}^2$ , 占延河流域面积的  $35.8\%$ , 灾害点密度为  $0.10\text{ 处}/\text{km}^2$ , 灾害点有 300 处; 低易发区面积  $3\,888.99\text{ km}^2$ , 占延河流域面积的  $44.9\%$ , 灾害点密度为  $0.04\text{ 处}/\text{km}^2$ , 灾害点有 171 处。本文为延河流域防灾减灾科学决策提供理论依据。

## 参考文献:

- [1] 张茂省, 李同录. 黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 530-540.
- [2] 李同录, 龙建辉, 李新生, 等. 黄土滑坡发育类型及其空间预测方法[J]. 工程地质学报, 2007, 15(4): 500-506.
- [3] 黄玉华, 冯卫, 李政国. 陕北延安地区 2013 年“7.3”暴雨特征及地质灾害成灾模式浅析[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 54-59.
- [4] 国土资源部地质环境司. 地质灾害灾情月报统计网络直报系统[DB/OL]. (2014-08-15) [2015-04-20]. <http://hjzb.cigem.gov.cn/>.
- [5] 李一博. 强降雨致延安宝塔山发生大面积山体滑坡[EB/OL]. (2013-7-30) [2015-04-20], <http://www.chinanews.com/tp/hd2011/2013/07-30/229743.shtml>.
- [6] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation[M]. New York: Mc Graw Hill, 1980.
- [7] 许树柏. 实用决策方法—层次分析原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988: 160-165.
- [8] 褚洪斌, 母海东, 王金哲. 层次分析法在太行山区地质灾害危险性分区中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(3): 125-129.
- [9] Liao Fangwei, Liu Xiao, Liu Ping. Comprehensive mathematical evaluation on risk of debris flow[J]. Advanced Materials Research, 2012, 829(33): 368-373.
- [10] 王小江, 孙书勤, 卢鹏飞. 层次分析法在重庆某县地质灾害危险性评价中的应用[J]. 地球与环境, 2014, 42(3): 419-425.
- [11] 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 矿床统计预测[M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [12] 阮沈勇, 黄润秋. 基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(1): 89-93.
- [13] 郑书彦. 滑坡侵蚀及其动力学机制与定量评价研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2002.
- [14] 邓辉, 何政伟, 陈晔, 等. 信息量模型在山地环境地质灾害危险性评价中的应用[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(2): 67-77.
- [15] 李萍, 相建华, 李同录, 等. 基于 GIS 的中国区域地壳稳定性评价[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2004, 34(10): 113-117.
- [16] 王小江, 孙书勤, 卢鹏飞. 层次分析法在重庆某县地质灾害危险性评价中的应用[J]. 地球与环境, 2014, 42(3): 419-425.
- [17] 张茂省, 校培喜, 魏兴丽. 延安市宝塔区崩滑地质灾害发育特征与分布规律初探[J]. 水文地质工程地质, 2006(6): 72-74, 79.
- [18] 史伟宏, 王建彬, 曾宪中, 等. 延安市富县崩滑地质灾害发育特征与分布规律浅析[J]. 地下水, 2012, 34(7): 145-146, 172.
- [19] 段钊, 赵法锁, 陈建新. 陕北黄土高原区滑坡发育类型与时空分布特征—以吴起县为例[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 52-56.

## The Geological Hazards with Zoning Research Based on Weighted Information Method of Yanhe River Basin

Zheng Miaomiao<sup>1, 2</sup>, Niu Shuxuan<sup>3</sup> and Zheng Hong<sup>1</sup>

(1. School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Shannxi Institute of Geo-Environment Monitoring, Xi'an 710054, China;

3. CCCC Road and Bridge Consultants CO. LTD, Beijing 100011, China)

**Abstract:** Focused on Yanhe River Basin, and on the basis of detailed geological disaster investigation, we create a GIS geological hazards database, including geographic data, basic geological data, geological disaster point data and raster data. By selecting slope ratio, slope type, vegetation, river valley landforms, stratigraphy, rainfall, residential position, road distance, we make geology division according to disaster liability. Results show that the acreage of high-prone area is  $1\,664.96\text{ km}^2$ , according for  $19.2\%$  of the study area, 486 disaster points, the density of disaster points is  $0.29\text{ point}/\text{km}^2$ . The middle prone area is  $3\,102.02\text{ km}^2$ , according for  $35.8\%$ , 300 disaster points,  $0.10\text{ point}/\text{km}^2$ . And the low-prone area is  $3\,888.99\text{ km}^2$ , according for  $44.9\%$ , 171 disaster points,  $0.04\text{ point}/\text{km}^2$ .

**Key words:** Yanhe River basin; geological hazard; weighted information method; geological hazards susceptibility; zoning assessment