

空间分析在铜川市耀州区地质灾害易发性分区中的应用

延延¹, 杜荣军², 严芳³

(1. 煤炭科学研究总院 西安研究院工程所, 陕西 西安 710054;

2. 西安科技大学 地质与环境学院, 陕西 西安 710054; 3. 西北政法大学 行政法学院, 陕西 西安 710122)

摘要: 为了进行铜川市耀州区地质灾害易发区的区划, 选取了铜川市耀州区具有代表性的 4 个乡镇, 确定了影响耀州区地质灾害易发性的主要因子, 即岩土体类型、地形地貌、年降雨量和人类工程活动强度, 并用分形分维理论验证了其可靠性。将灰色关联分析得到的各影响因子与易发性的关联度作为 MAPGIS 空间分析功能的评价权重, 最后通过多图层叠加得到耀州区地质灾害易发性的分区图, 所得结果与实际情况基本吻合。

关键词: 易发性分区; 分形分维; 灰色关联分析; 空间分析

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)02-0140-05

中图分类号: TP391.41

Application of Spatial Analysis in Susceptibility Regionalization of Geological Disaster in Yaozhou District of Tongchuan City

YAN Yan¹, DU Rongjun², YAN Fang³

(1. Engineering Institute, Xi an Branch of China Coal Research Institute, Xi an, Shaanxi

710054, China; 2. Geology and Environment College, Xi an University of Science and Technology, Xi an, Shaanxi 710054, China; 3. Administrative Law School, Northwest University of Politics and Law, Xi an, Shaanxi 710122, China)

Abstract: In order to make the division of geological disaster susceptibility in Yaozhou District of Tongchuan City, 4 most representative townships were chosen and the main influence factors to geological disaster susceptibility were determined. The factors were types of rock and soil mass, physiognomy, annual rainfall, and human engineering activity strength, which were verified using fractal and fractal dimension theory. The relational degrees between each influence factor and susceptibility obtained by the grey relational analysis were taken as the evaluation weights of the MAPGIS spatial analysis. By superposition of different layers, the regionalization map of geological disaster susceptibility was finally completed. Result showed in the map was basically consistent with real situation.

Keywords: division of susceptibility regionalization; fractal and fractal dimension; grey relational analysis; spatial analysis

国内外已经采用多种方法对地质灾害的区划进行了研究。P. Aleotti 采用 GIS 技术对意大利北部阿尔卑斯山前缘 Piedmont 地区地质灾害的危险性及总风险的区划进行了研究^[123]。

陕西省铜川市耀州区具有丰富的矿产资源, 其中以煤炭、石灰石最为丰富, 品质好, 埋藏浅, 易开采。据 2002 年 12 月统计, 区内现有煤矿 31 个, 水泥矿山 19 个^[4]。但同时耀州区也是地质灾害多发区之一^[5], 滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等地质灾害时有发生。据统计, 全区存在的地质灾害隐患点威胁人口 3 663 人, 预测经济损失 3 640. 9 万元^[6]。

目前耀州区由于采矿而引发的地质灾害日趋严重, 不仅威胁了人民群众的生命和财产安全, 更加制约了区域经济发展。因此, 研究耀州区地质灾害系统的特点, 评价各影响因子的影响大小, 做出地质灾害易发区的区划显得尤为重要。本文主要借助于 MAPGIS 的空间分析功能, 划分地质灾害的易发区, 为相应防护、治理措施的制定提供一定的科学依据。

1 研究区概况

研究区属于陕西省铜川市南部, 地处陕北黄土高原东南缘, 鄂尔多斯地台和汾渭地堑的过渡地带, 地

形西北高而东南低,西、北、东三面环山,按地貌形态特征及成因,可划分为北部中低山地区、中部黄土残塬沟壑区、南部川塬区,总体呈北西向带状展布。

区内共有地质灾害隐患点 89 处,类型有崩塌、滑坡、采空区塌陷和地裂缝等,前两者分别为 22 处和 59 处,共占地质灾害总数的 91%(图 1);地面塌陷 7 处,地裂缝 1 处^[2]。

2 耀州区地质灾害主要特征及形成机理

2.1 地质灾害主要特征

从地质灾害分布图(图 1)可以看出,区内的地质灾害分布具有以下特征^[7]。

黄土崩塌主要发育在具有单层结构的上更新统马兰黄土,沿黄土中的垂直节理发育。

(3) 在西北黄土塬区与基岩山区,主要发育沿上覆土层与下伏基岩古剥蚀面间软弱带滑动的土质滑坡。而沿着基岩层面或基岩的构造面而发生滑动破坏的岩质滑坡,多为在古滑坡的基础上重新发育或部分复发性滑坡。

(4) 崩塌、滑坡等地质灾害多发生在 7) 9 月的降水集中区,具有一定的周期性,且多与人类不规范工程活动- 开挖坡脚有关,发生的频率与年降雨量的多少呈正相关关系。

2.2 耀州区地质灾害的形成机理

耀州区主要受东西向渭河地堑的切割,其主体为北西向缓倾斜的单斜构造,断层少且规模小,对区内地质灾害的影响小。而新构造活动使得该区地壳上升,河谷的切割侵蚀加剧,形成了该区独特的地形地貌。在第四纪中更新世,整个渭北黄土高原大面积上升,在地质外营力作用下,黄土叶脉状沟谷发育,将黄土塬切割成支离破碎的块体,使黄土塬向梁、峁转化,在地表水的作用下,使得地表切割愈发剧烈,斜坡重力应力愈强,卸荷裂隙愈加发育,加之人类工程等经济活动的频繁扰动,加速了地质灾害的发生、发展。

此外该区地层结构在北部山区多为巨厚的黄土和下伏基岩组成的双层结构,基岩层具有碎屑岩建造的特征,发育泥岩、砂页岩等黏土含量高、层理和节理较发育的软弱岩层;黄土中垂直节理裂隙发育、孔隙裂缝多有发育,在降水和人类工程经济活动的共同诱导下,使得耀州区滑坡、崩塌等地质灾害频繁发生。

3 耀州区地质灾害影响因子的关联分析和分形分维特性

耀州区北部山区的崩塌、滑坡等灾害主要受重力作用影响,中部黄土残塬沟壑区的滑坡、崩塌等灾害则主要是河流强烈切割造成的,而南部川原区的黄土崩塌等灾害则是重力侵蚀的结果。

结合该区灾害发生机理,分析认为该区地质灾害产生的内因主要是地形地貌和岩土体类型,而外因则主要是降雨量及人类工程活动强度,且这些因素的量化数据具有一定的客观性,因此选取此 4 种因素作为地质灾害影响的主因子。

3.1 关联分析

地质灾害的易发性与地质灾害点的密度呈正相关关系,本文主要借助灰色关联分析来确定各子因素与地质灾害点密度的关联性,从而得到区域地质灾害的易发性高低。

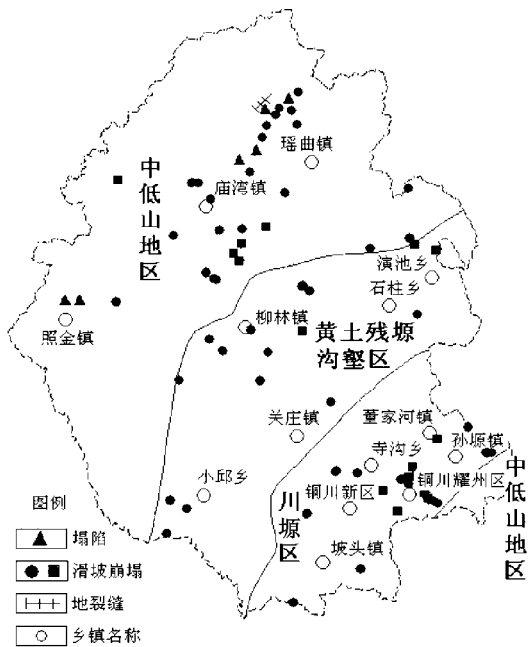


图 1 耀州区地质灾害分布图

(1) 耀州区中部和南部以黄土崩塌和黄土滑坡为主,北部以岩质滑坡和以基岩与坡积物接触面为滑面的土质滑坡为主。

(2) 滑坡、崩塌的滑面与结构面有以下关系:¹ 在北区,最为常见的滑动面为松散盖层与基岩接触面;在耀州区南部和中部,多见黄土土性差异面的控滑面,即由于黄土土性不同以及沿黄土与人工填土接触面引起的滑坡。² 黄土切层滑坡主要分布在耀州区中南部,其基本特征是滑坡前缘都兼有崩塌性质。³ 控滑结构面主要是节理裂隙面,此类滑坡有两种类型,一种为基岩滑坡,滑面顺岩层节理面切岩层层面滑动,如下石节矿选煤楼滑坡,下石节矿矸石山滑坡等;另一种为后缘以黄土垂直节理为滑面,向前切层滑动。⁴ 基岩崩塌主要发育在以中厚层砂岩为主的地层中,如田家咀火车站崩塌、陈家娄子崩塌等。

选取具有代表性的4个乡镇作为取值范围,各影响因子的具体数据如表1所示。此4个乡镇的地质灾害隐患点个数在耀州区14个乡镇中占优,且地理位置上分别位于北部中低山地区、中部黄土残塬沟壑区和南部川塬区,具有一定的代表性。为将与降雨有关的地质灾害尽可能多的考虑,以年降雨量作为基本数据;坡度对滑坡和崩塌危岩的形成起着重要作用,因此将其作为地形地貌的量化参数;根据耀州区的岩土体类型的分布特点,以高程值作为量化参数;当地人类活动强度百分比作为人类工程活动的量化参数。

表1 耀州区4个乡镇地质灾害影响因子数据

因素	瑶区镇	庙湾镇	柳林镇	孙塬镇
灾害点密度/(处# km ⁻²)	0.09	0.05	0.07	0.13
年降雨量/mm	640	660	640	560
坡度/(b)	40	50	45	10
岩土体类型/m	1 500	1 400	1 000	900
人类工程活动/%	85	75	75	85

以灾害点发育密度为母因素,其余为子因素构建原始数据矩阵,通过初值化运算,得到各子因素与母因素的关联度,如下式所示:

$$r(\text{年降雨量}) = 0.6995, r(\text{坡度}) = 0.6068, r(\text{岩土体类型}) = 0.7175, r(\text{人类工程活动}) = 0.7680$$

可见,关联度由大到小的顺序为:人类工程活动 > 岩土体类型 > 年降雨量 > 坡度,该结果符合耀州区地质灾害实情。

3.2 分形分维特性

分形是指具有自相似的几何客体;分维是表述局部与局部、局部与整体之间在形态、功能、信息、时间与空间等方面具有统计意义的相似性特征的定量参数,研究自然客体的分维值可以了解其复杂程度和演化规律^[8]。已有的研究表明,地质灾害系统中局部与局部、局部与整体之间也具有统计意义上的相似性,因此可以用耀州区灾害系统的分维值来反映该区地质灾害的复杂程度。根据耀州区的分形分维特点,本文采用网络覆盖法进行分维测定。

将耀州区所有的地质灾害隐患点以点的形式分布于地形图上,利用MAPGIS的网格剖分功能并将耀州区分成若干个边长为 r 的正方形格子,并数出有灾点进入的格子数 $N(r)$;按 $1/2$ 的倍率缩小 r ,并数出相应的格子数 $N(r)$ 。最后拟合一条直线:

$$\ln N(r) = a + b \ln r \quad (1)$$

式中: $N(r)$))) 灾点进入的格子数; r))) 正方形格子的边长; a))) 常数; b))) 分维值。

r 分别取128, 64, 32, 16和8 km,通过统计后得

到相对应的 $N(r)$ 分别为13, 28, 45, 58, 68个,拟合此数据得到的表达式如下:

$$\ln N(r) = 5.6207 - 0.5841 \ln r \quad (2)$$

因此,耀州区地质灾害具有空间分维的特征,分维值为0.5841。由于耀州区地质灾害系统具有分形分维的特性,那么随机选取耀州区的4个乡镇的地质灾害影响因子进行关联性分析的结果是可靠的,可以用地形地貌、岩土体类型、年降雨量和人类工程活动强度等指标对耀州区的地质灾害进行分区研究。

4 地质灾害易发性分区

地质灾害易发区是指容易发生地质灾害的区域,易发区的划分基于地质灾害的特征和分布现状。运用MAPGIS的空间分析功能,将影响地质灾害的主要控制因素(地形地貌、岩土体类型)和主要诱发性因素(年降雨量、人类工程活动强度)作为子图层,并对各子图层按照其对地质灾害的影响程度赋值,通过叠加分析得出地质灾害易发性分区。

4.1 评价因素集的确定及分析

由于耀州区地质灾害系统具有分形分维的特性,结合灰色关联分析的结果,确定本次评价易发度图层分析因素集的构成为: $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$ (式中: u_1))) 地形地貌; u_2))) 岩土体类型; u_3))) 人类工程活动强度; u_4))) 年降雨量。

(1) 地形地貌。采用以地形坡度量化的方法,根据坡度与地质灾害易发性的规律,将坡度大于50b赋值为4,介于35b与50b间的赋值为3,介于25b与35b间的赋值为2,小于或等于25b赋值为1。根据以上原则,得到耀州区地形地貌子图层划分结果见图2a。

(2) 岩土体类型。根据岩土体工程地质性质,耀州区岩土体类型主要分为以下4种。

1 黏性土单层土体。土体结构不均匀,疏松孔隙大,夹粉砂、细沙薄层、富含水易浸润坡脚,易导致地基不均匀沉降,易诱发滑坡等地质灾害。赋值为4。

° 层状软弱泥岩、砂岩。岩层易风化,强度较低。岩体整体的抗剪强度低,尤其在雨水下渗作用或地下水浸润易诱发滑坡等地质灾害。赋值为3。

» 层状较坚硬砾岩组。层状较坚硬,整体结构较为均一,抗风化,抗侵蚀能力较强。赋值为2。

¼ 厚层状坚硬岩组。坚硬块状,整体结构均一,抗风化,抗侵蚀能力强。赋值为1。

根据以上原则,得到的耀州区岩土体类型子图层划分如图2b所示。

(3) 人类工程活动强度。根据人类工程活动的范围、频率、方式等将其划分为4个强度等级。

1 最强区域。包括矿山、旅游区、铁路、重要城镇及周边, 赋值 4。

◦ 较强区域。包括水库、公路、一般城镇及其周边。赋值 3。

» 中等区域。包括一般的村落及周边地区。赋值 2。

¼ 较弱区域。包括山林、坡地、荒山等人类工程

活动较少或较弱的区域。赋值 1。

根据以上原则, 得到的耀州区人类工程活动强度子图层划分如图 2c 所示。

(4) 年降雨量。年降雨量 > 660 mm, 赋值 4; 年降雨量 660~ 620 mm, 赋值 3; 年降雨量 620~ 580 mm, 赋值 2; 年降雨量 < 580 mm, 赋值 1。根据以上原则, 得到的耀州区年降雨量子图层划分如图 2d 所示。

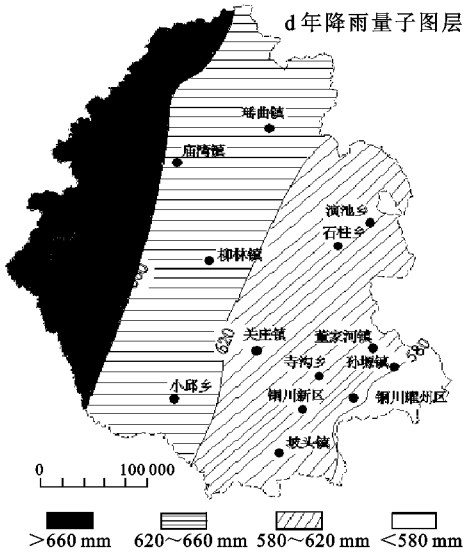
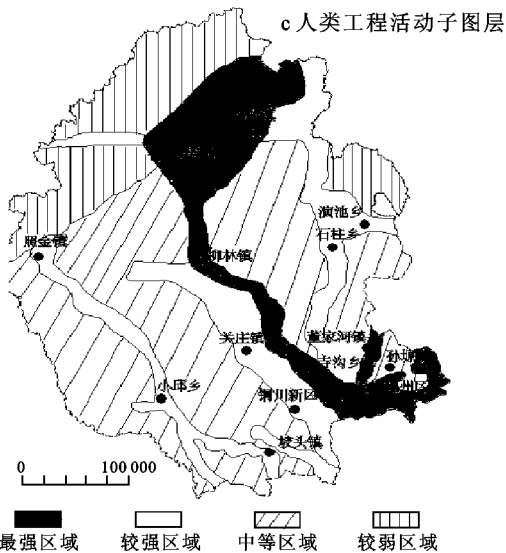
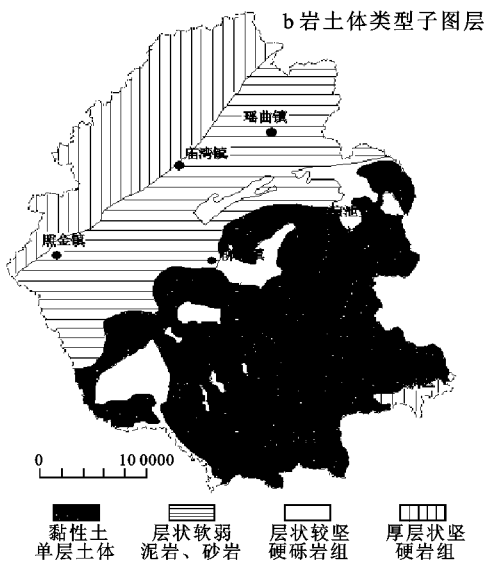
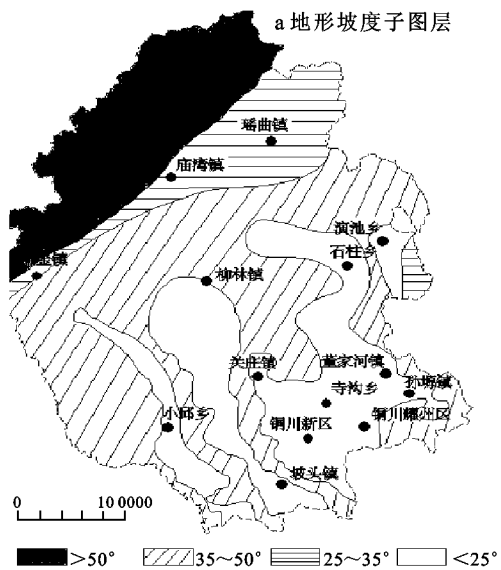


图 2 耀州区年易发度评价因子子图层

4.2 子图层权重系数的确定

权重系数是衡量某一子因素对地质灾害易发育影响程度相对大小的量。确定权重常用的方法有回归分析法、专家打分法、主成分分析法和灰色关联分析法等。

本文将灰色关联分析得到的关联度, 进行归一化处理后的数值作为各评价指标的权重系数, 结果如表 2 所示。

表 2 图形叠加上子图层权重系数

评价指标	地形地貌	岩土体类型	年降雨量	人类工程活动
权重系数	0.22	0.25	0.25	0.28

4.3 图层叠加分析

运用 MAPGIS 空间分析功能的区与区的相交分析进行多图层叠加分析, 划分地质灾害易发度等级。

将耀州区地质灾害易发区划分为高、中、低、不发

育 4 个等级,从图中可以看出,高易发区的范围与人类工程活动强度单因素对地质灾害易发度评价中划分的范围相似,说明该因素是控制地质灾害易发性的主要人为敏感因子,其影响范围约占耀州区全区的 15%~20%。中易发区的分布范围约占全区的 50% 以上,它主要受年降雨量(620 mm 左右)的影响,主要分布在人类工程活动强度中等,岩性为黏性土、软弱泥岩、砂岩、层状较坚硬砾岩,坡度为 35° 左右的耀州区中部地区,年降雨量成为地质灾害的主要自然诱发因子。

4.4 分区评价

(1) 地质灾害高易发区。主要分布在耀州区的主要公路、铁路沿线,南部川塬区的药王山旅游区、耀州城区,北部低山地区的庙湾镇和瑶曲镇,面积约 289 km²,占全区总面积的 18%。

主要的地质灾害类型为滑坡、崩塌、地面塌陷、地裂缝等。滑坡主要分布在药王山旅游区、耀州城区、柳林镇、庙湾镇、瑶曲镇;崩塌主要分布在药王山旅游区、耀州城区;地面塌陷和地裂缝主要分布在瑶曲镇周围。

该区域南面缓,北面陡,地质灾害的发生主要受人类经济工程活动影响,主要表现在不合理的乱砍滥伐和任意开挖边坡,切坡建房、修路,修建水库,过度开采矿产资源等方面。

(2) 地质灾害中易发区。主要分布在耀州区中部黄土残塬沟壑区的小邱乡、石柱乡、中南部的黄土川塬董家河镇、演池乡和北部中低山地区的照金镇,面积约 746 km²,占全区总面积的 46%。地质灾害主要为滑坡和地面塌陷,土质滑坡为主,岩质滑坡较少。总体特征是黄土陡崖较多,地表水冲刷山坡坡脚而引起滑坡,滑坡带有崩塌的特点。

(3) 地质灾害低易发区。主要分布在孙塬镇以南的山区、北部和西部的林区、演池乡以北的地区,面积 451 km²,占全耀州区总面积的 28%。地质灾害类型为零星分布的小型滑坡和崩塌,地势起伏较为平坦,地质环境较好,地质灾害点较少,密度很小。

(4) 地质灾害不发育区。地质灾害不发育区主要分布在南部川塬区的铜川新区、坡头镇和中原村,面积 129 km²,占耀州区总面积的 8%。总体特征为地势平坦,地质条件好。

5 结论

(1) 耀州区地质灾害类型以崩塌和滑坡为主,分布具有明显的地域特点。中部和南部以黄土崩塌和黄土滑坡为主,北部以岩质滑坡和土质滑坡为主。

(2) 北部的滑动面主要以松散盖层与基岩接触面为主,中部和南部的控滑面则多为不同黄土土性接触面以及沿黄土与人工填土接触面等。控滑和控制崩塌的结构面主要是基岩中顺岩层的节理面以及黄土垂直节理。

(3) 地质灾害易发性与地质灾害点密度呈正相关关系。人类工程活动强度是控制该地区地质灾害易发性的最主要的人为敏感因子,全区面积 18% 为高易发区;岩土体类型则是控制该地区地质灾害易发性的最主要的自然敏感因子,以黏性土、泥岩为主的中部地区为中易发区占全区面积 46% 以上。

年降雨量为 620 mm 左右的地区,地质灾害易发程度中等,分布范围广,年降雨量是诱发该地区地质灾害最主要的自然诱发因子。全区地质灾害多发生在 7) 9 月的降水集中区,具有一定周期性,降雨量控制了耀州区地质灾害发生的频率。

(4) 耀州区地质灾害系统具有分形分维特性,用地形地貌、岩土体类型、年降雨量和人类工程活动强度 4 个子因素对耀州区地质灾害进行分区研究是可行的。

(5) 运用 MAPGIS 空间分析功能得出耀州区地质灾害易发性分区:高易发区主要分布在主要公路铁路沿线、旅游区、耀州城区等人类经济活动频繁的区域,而其它等级的易发区则主要受耀州区固有地质条件的制约。黄土残塬沟壑的广泛分布使得耀州区的地质灾害中易发区分布范围较广,而北部山区以及南部地势平坦的地区则主要为低易发区和不发育区。

[参 考 文 献]

- [1] Aleotti P, Chowdhury R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives[J]. Bull Eng Geol Env., 1999, 58: 21244.
- [2] 陈练武, 冯伟. 模糊综合评判在地质灾害评价中的应用[J]. 西安科技学院学报, 2003, 23(S): 9293.
- [3] 王轶, 王慧玲. 地质灾害危险性评价与区划及 GIS 应用研究[J]. 勘察科学技术, 2004(6): 3240.
- [4] 陈练武, 杨梅忠. 耀州区煤矿开采引发的地质灾害特征及防治对策研究[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(4): 1216.
- [5] 陈练武. 耀州区地质灾害分区特征及防治对策[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 74277.
- [6] 闫小灵, 李成. 铜川市地质灾害特征与防治对策[J]. 陕西地质, 2005, 23(2): 90293.
- [7] 陈练武. 陕西省耀州区滑坡崩塌发育规律研究[J]. 西安科技大学学报, 2005, 25(2): 162167.
- [8] Burrough P A. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data[J]. Nature, 1981, 294: 240242.