

基于 GIS 的陕西省滑坡灾害空间分异特征探讨^{*}

段 钊¹, 赵法锁¹, 李 芳²

(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)

摘 要: 滑坡是陕西最主要的地质灾害形式。以陕西省县域滑坡密度为测度指标, 运用 ARCGIS9.2、Geoda095i 软件提供的空间分析方法, 对滑坡灾害空间分异特征及其原因进行了探讨分析, 以期对陕西省滑坡灾害防治及经济与社会可持续发展提供决策参考。

关键词: 滑坡灾害; 分异特征; 空间自相关; 陕西省

中图分类号: P642.2; TU432 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2012)01-0034-04

陕西省地质灾害频发, 尤其是滑坡灾害成为众灾之首, 其数量、强度、危害性均位于全国前列, 严重影响着区内经济发展、社会和谐及人民生活的安定^[1-3]。根据陕西省地质环境监测总站提供的近 40 年的滑坡灾害统计资料, 截至 2010 年陕西省共发生滑坡灾害 5 664 起, 涉及全省绝大部分地区, 历年滑坡灾害造成的经济财产损失及人员伤亡难以估计。本文在长期调查, 系统搜集相关资料的基础上, 拟对陕西省滑坡灾害的空间分异特征进行综合研究, 以期揭示滑坡分布规律, 为陕西省滑坡灾害防治及经济与社会可持续发展战略制定提供决策参考。

1 研究方法

以陕西省县域为研究单元, 以县域滑坡灾害密度为程度指标, 利用 ARCGIS9.2 提供的 ESDA (Exploratory Spatial Data Analysis, 探索性空间数据分析) 工具对滑坡灾害的空间分异特征进行分析, 并借助 ARCGIS9.2 及 Geoda095i 提供的空间自相关分析工具揭示陕西省滑坡灾害的空间聚集特征。基于 GIS 的空间分析方法是一种较为新颖的分析方法, 其优势在于用户可借助软件的强大功能完成对空间数据的分析, 识别区域差异, 绘制可视化图像, 为揭示客体空间分异规律提供有利帮助。目前该研究方法主要用于社会经济现象、土地资源利用、农业生产发展等区域差异的揭示与描

述^[4-6], 并取得满意效果, 但将之用于地质灾害空间分布规律的研究, 在国内还十分少见^[7]。

2 空间分异特征

2.1 宏观差异

为了揭示陕西省滑坡灾害空间分布的宏观差异, 本文采用 ARCGIS9.2 中的趋势分析工具 (Trend analysis), 选取陕西省县域滑坡密度为测度指标并建立三维透视图^[8] (图 1)。图中每根黑色竖线代表了各单元的滑坡密度, 两侧网格中的各点分别为各数值点在 xz 平面 (EW 向) 和 yz 平面 (NS 向) 上的投影, 通过投影点可以得到一条最佳拟合线。根据分析结果可以看出, 陕西省滑坡灾害空间分异十分明显, EW 和 NS 方向的投影都呈现出“U”字形, 说明滑坡灾害的发育强度无论是在 EW 方向还是在 NS 方向都呈现出“强-弱-强”的态

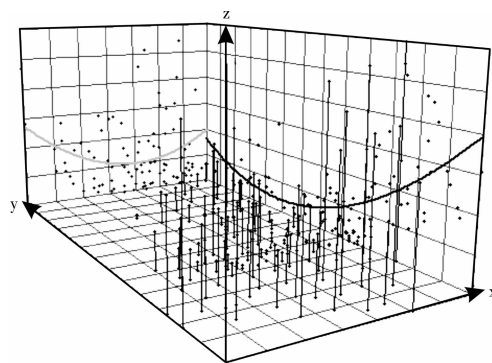


图 1 县域滑坡灾害三维空间分异

^{*} 收稿日期: 2011-07-05

基金项目: 中国地质调查局项目 (1212010814023); 国家自然科学基金面上项目 (40872185)

作者简介: 段钊 (1985-), 男, 汉族, 陕西西安人, 博士研究生, 主要从事黄土滑坡机理及防治技术等方面研究工作。

E-mail: xian.landsliders@gmail.com

势, 而西部及南部又较东部及北部发育。这一特征与省内地貌的分布有着密切的关系, 南部秦巴山区与北部黄土高原受新构造运动影响, 处于快速隆起时期, 其内部深切河谷密布, 地势起伏较大^[9], 为滑坡灾害的形成提供了有利条件, 是这两个地区滑坡灾害相对多发的重要原因。

2.2 区域差异

为进一步揭示局部区域的差异性, 本文利用 ARCGIS9.2 提供的自然断点工具(Natural breaks), 按照“相似性最大的数据分在同一级而差异性最大的数据分于不同级”的原则, 将陕西省县域按滑坡灾害密度划分为 4 个等级, 即高密度区(0.068 ~ 0.124 处/km², 共 9 个单元), 较高密度区(0.035 ~ 0.068 处/km², 共 25 个单元), 较低密度区(0.015 ~ 0.035 处/km², 共 28 个单元)和低密度区(<0.015 处/km², 共 35 个单元)。从整体的分布情况来看, 高密度及较高密度区面积约为 71 043 km², 占陕西省总面积的 35%, 滑坡灾害 3 947 处, 占到总数的 70%; 低密度及较低密度区面积约为 134 757 km², 占到陕西省总面积的 65%, 滑坡灾害 1 717 处, 仅占到总数的 30%。由图 2 可以清楚地看出, 滑坡灾害的空间分布极不均衡, 并呈现出区内相似度高、区际差异显著的特点。高密度区及较高密度区多集中于陕南秦巴山区, 而低密度区及较低密度区多集中于关中盆地及陕北黄土高原。

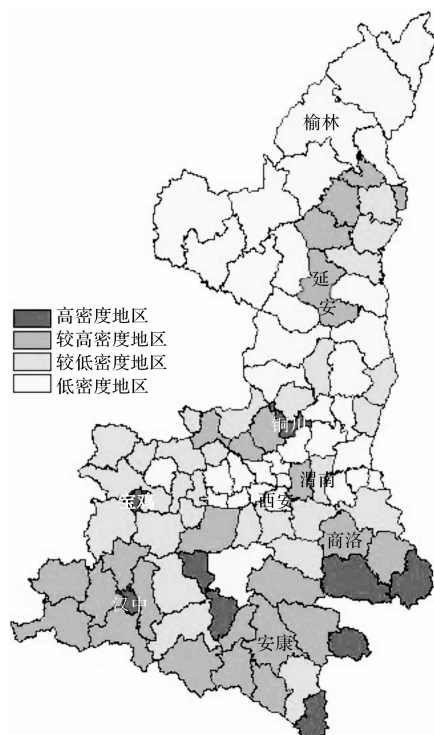


图2 陕西省县域滑坡差异分布

3 空间聚集特征

研究某一属性的空间聚集特征需借助空间自相关指标。空间自相关是指客体某属性在同一个分布区内的潜在关联性。空间自相关的度量方法可以分为全局自相关和局部自相关两种, 全局自相关可描述在整个区域内某种属性整体上的空间关联与差异程度, 而局部自相关则可反映出该属性在局部空间上的聚集程度并可指示集聚的位置^[10-11]。

3.1 全局空间自相关

常用的自相关分析方法有 Moran's I 和 Geary's C 两种指数^[12]。本文采用 Moran's I 指数, 其统计量取值范围介于 -1 ~ 1, 当 $I(d) > 0$ 时, 代表空间正相关, 即邻接单元之间具有相似性; 当 $I(d) < 0$ 时, 代表空间负相关, 即邻接单元之间具有差异性; 当 $I(d)$ 趋于 0 时, 则表示邻接单元不相关或相关性较弱。利用 ARCGIS9.2 中的全局空间自相关分析工具(Spatial autocorrelation), 以滑坡灾害密度为测度指标, 对 2010 年陕西省县域滑坡灾害的全局空间自相关变化趋势进行分析, 其中空间关系设定为多边形一阶邻接关系(Polygon contiguity: First order)。分析结果显示 Moran's I Index = 0.49, Z Score = 8.12, 单元聚集程度为群集(Clustered), 正态分布 99% 的置信区间双侧检验阈值为 2.58, 其正态统计量 8.12 大于该值。结果表明, 陕西省县域滑坡灾害的分布具有明显的空间聚集特征, 滑坡灾害发育水平相似的地区在空间上呈现出聚集分布, 即高发地区与高发地区相邻接, 低发地区与低发地区相邻接的现象显著。

3.2 局部空间自相关

全局空间自相关只能反映研究区整体的空间聚集程度, 不能确定具体聚集区域, 而局部空间自相关 Moran's I 指数则可解决此问题^[13]。本文利用 Geoda095i 提供的局部空间自相关分析工具(Univariate LISA), 以滑坡灾害密度为测度指标, 绘制 Moran 散点图和 LISA 聚集地图, 空间权重设定为一阶邻接^[14-15](Contiguity weight: First order)。

Moran 散点图(Moran scatter plot)用于分析局部空间的异质性, 横坐标为各空间单元标准化后的滑坡灾害密度值, 纵坐标为标准化后的由空间权重确定的邻接单元滑坡灾害密度的平均值。散点图的 4 个象限分别代表了 4 种局部空间关系: ①第一象限(High-High)表示某一单元和邻接单元的滑

坡发育强度都较高,该单元与周围单元构成的子区域即为热点区;②第二象限(Low-High)表示某一单元的滑坡发育强度较低而邻接单元较高;③第三象限(Low-Low)表示某一单元和邻接单元的滑坡发育强度都较低,该单元与邻接单元构成的子区域即为盲点区;④第四象限(High-Low)表示的指征则与第二象限相反。

陕西省滑坡发育强度呈现出显著的空间二元结构,位于第一、三象限的单元数目明显多于二、四象限(图3)。利用 Geoda095i 中提供的刷光技术可以看出,位于第一象限“H-H”聚集的单元主要集中于秦巴山区,共26县(市、区);位于第三象限“L-L”聚集的单元主要集中于关中与黄土高原大部分地区,共48县(市、区);位于第二、四象限的单元则零星分布于黄土高原中部,关中盆地及秦巴山区部分地区,共23县(市、区),详见表1。落入一、三象限的单元存在较强空间正相关,局部空间体现出相似性;而落入二、四象限的单元则存在较强的负相关,局部空间异质性显著。

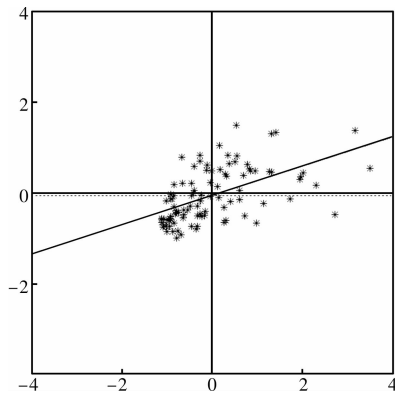


图3 滑坡密度 Moran 散点图

表1 陕西省县域滑坡密度的 Moran's I 聚类

类型	县(市、区)
高高(H-H)	耀县、彬县、商州、太白、丹凤、留坝、商南、佛坪、城固、山阳、镇安、勉县、略阳、汉中、石泉、安康、宁强、汉阴、旬阳、南郑、白河、紫阳、镇巴、平利、岚皋、镇坪
高低(H-L)	米脂、子洲、吴堡、子长、延安、铜川、淳化、临潼、蓝田、宝鸡、周至
低高(L-H)	绥德、清涧、黄陵、旬邑、宜君、长武、富平、凤县、柞水、宁陕、洋县、西乡
低低(L-L)	府谷、神木、榆林、佳县、衡山、靖边、定边、吴起、安塞、志丹、延川、延长、甘泉、宜川、富县、洛川、黄龙、韩城、合阳、澄城、白水、蒲城、陇县、大荔、麟游、千阳、永寿、礼泉、三原、渭南、陈仓、乾县、凤翔、泾阳、岐山、华阴、潼关、扶风、华县、高陵、咸阳、兴平、武功、洛南、西安、眉县、长安、户县

由 LISA 聚集地图(LISA Cluster map)可以更清楚地看出陕西省滑坡灾害在局部区域的空间聚集(图4),图中单元的不同颜色代表了不同的显著聚集类型(Z 检测显著性概率 $p < 0.05$),具体表现为:①显著的高高“H-H”地区,主要位于商洛地区的商南-丹凤-山阳一带,安康地区的旬阳-白河-平利-镇平一带以及汉中地区的勉县。作为滑坡灾害高强度地区,这些单元内滑坡灾害的形成都具有相同的影响因素,即深切的河谷及密集的断层带。深切的河谷不仅改变了坡体原始的应力状态,而且造成了坡体局部应力的增大,为滑坡灾害的形成提供了有利的边界条件^[16]。密集的断层带则使坡体更加破碎,降低了斜坡的整体强度且有利于形成残坡积层,形成滑坡发育的物质基础。此外,由于近年来该地区大量金属矿藏的发现,采矿及其相关工程活动频繁,也从一定程度上加剧了滑坡灾害;②显著的高低“H-L”地区,仅有延安市一个单元,说明延安市与周边地区相比滑坡灾害发育强度较高。延安市作为延安地区的经济中心,其人类工程活动也较周边地区频繁,受区内地形限制,各类工程活动如城市及基础设施建设都会对原有边坡开挖,破坏了坡体结构,在连阴雨条件下极易发生滑坡灾害^[17],因此频繁人类工程活动是造成延安市滑坡发育强度明显高于周边地区的重要因素;③显著的低高“L-H”地区

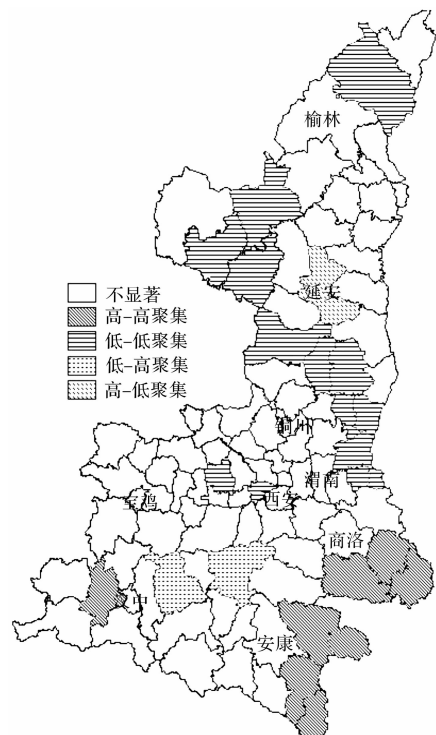


图4 LISA 聚集地图

有宁陕、洋县 2 个单元, 这些单元与周边邻接单元相比, 滑坡灾害发育程度显著偏低。宁陕断层发育程度远低于邻区, 岩体整体性好且多为印支期侵入岩, 强度较大, 而洋县地势平缓, 近年来该地区兴修水利, 多数山区居民已搬迁至平缓地区, 是这两个县滑坡灾害明显低于周边地区的重要原因; ④显著的低低“L-L”地区, 主要位于陕北西部靖边-志丹一带、南部富县-洛川-黄龙一带以及关中东部的澄城-合阳-大荔-华阴一带。说明这地区与周边地区滑坡灾害发育强度差异较小, 且都处于低发育水平, 与这些县人类工程活动水平较低有着密切联系。

4 结语

本文基于 GIS 平台, 利用 ESDA 及空间自相关分析方法, 以县域滑坡发育密度为测度指标, 系统分析了陕西省县域滑坡灾害的空间分异特征, 具体有如下几点: ①从宏观来看, 陕西滑坡灾害发育强度在东西和南北方向都呈现出“强-弱-强”的态势, 而西部、南部强于东部、北部。②陕西滑坡灾害的空间分布极不均衡, 区内相似度高, 区际差异显著, 高密度区及较高密度区多集中于秦巴山区, 低密度区及较低密度区多集中于关中盆地及陕北黄土高原; ③陕西省滑坡灾害的全局自相关性较强, 滑坡灾害发育水平相似的地区在空间上呈现聚集; ④陕西县域滑坡灾害发育强度呈现出二元结构, 多数县域表现为相似的发育水平(H-H, L-L), 而在局部地区的少数县域则表现出差异性(H-L, L-H)。显著的“H-H”及“L-H”地区主要集中于秦巴山区, 而显著的“L-L”及“H-L”地区主要集中于关中本盆地和黄土高原。通过分析陕西省滑坡灾害分异特征发现, 滑坡灾害的分异特征与地形地貌、地层岩性、人类工程活动等地质环境条件关系密切, 而地质环境条件的区域

差异也是该省地质灾害空间分异的主要原因。

参考文献:

- [1] 雷祥义. 黄土高原地质灾害与人类活动[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 30-37.
- [2] 彭建兵, 张俊, 苏生瑞, 等. 渭河盆地活动断裂与地质灾害[M]. 西安: 西北大学出版社, 1992: 159-175.
- [3] 孙果梅, 况明生, 曲华. 陕西秦巴山区地质灾害研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 241-243.
- [4] 蒋国富. 基于 GIS 的河南省农民收入空间分异特征探讨[J]. 安徽农业科技, 2008, 36(18): 7816-7817, 7892.
- [5] 郭斌, 任志远, 高孟绪. 基于 ESDA-GIS 的土地集约利用空间分异研究-以陕西省为例[J]. 测绘科学, 2010, 35(4): 61-64.
- [6] 潘学标, 李克让. 基于 GIS 的新疆棉花生产发展时空变异分析[J]. 干旱区地理, 2000, 23(3): 200-206.
- [7] 刘文玉, 吴湘滨, 安静, 等. 滑坡灾害危险性评价信息图谱研究[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 21-25.
- [8] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [9] 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 546-556.
- [10] Moran. Notes on continuous stochastic phenomena [J]. Biometrika, 1950 (37): 17-23.
- [11] 曾永明, 张果. 基于 GeoDA-GIS 的四川省县域经济空间分异研究[J]. 云南地理环境研究, 2010, 22(4): 52-58.
- [12] 张松林, 张昆. 全局空间自相关 Moran 指数和 G 系数对比研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, 46(4): 93-97.
- [13] 张松林, 张昆. 空间自相关局部指标 Moran 指数和 G 系数研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(3): 31-34.
- [14] Anselin L. Exploring spatial data with GeoDa: A workbook [M]. California: Center for Spatially Integrated Social Science, 2005: 106-147.
- [15] Anselin L. Local indicators of spatial association-LISA[J]. Geographical Analysis, 1995, 27(2): 93-115.
- [16] 张仲元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 308-315.
- [17] 靳泽先, 韩庆宪. 黄土高原滑坡分布特征及宏观机理[J]. 中国水土保持, 1988(6): 21-25.

Discussion on the Spatial Differential Features of Landslides in Shaanxi Province on the Basis of GIS

Duan Zhao¹, Zhao Fasuo¹ and Li Fang²

- (1. College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China;
2. Geo-environmental Monitoring Central Station of Shaanxi Province, Xi'an 710054, China)

Abstract: Using the density of landslide in each county of Shaanxi Province as measure index, the authors discussed and analyzed the spatial differential features of landslides and its factors by applying the spatial analysis method that supported by ARCGIS9.2 and Geoda095i software. Based on efforts, the authors expect to provide references for decision-making of landslide hazard treatment and economic and social sustainable development of Shaanxi Province.

Key words: landslide hazards; spatial differential features; spatial autocorrelation; Shaanxi Province