基于趋势面分析法的地质灾害危险性评价系统

吕义清[1]，刘鸿福[1]，李晓聪[2]

(1. 太原理工大学 矿业工程学院，山西 太原 030024；2. 中国铁通集团有限公司 北京分公司，北京 100860)

摘　要：针对地质灾害危险性定量评价存在的问题，以山西省绛县地质灾害危险性评价为例，依据研究区地质灾害特点，在地理信息系统基础上尝试运用趋势面分析法对地质灾害危险性评价进行了研究。结果表明，用该方法得出的结果与研究区地质灾害实际情况相符合。说明运用趋势面分析法对地质灾害危险性评价是可行的，可为解决地质灾害危险性区划提供新的理论方法。

关键词：趋势面分析法；地质灾害；指标体系

文献标识码：B　　**文章编号**：1000-288X(2011)02-0155-04　　**中图分类号**：P5，P694

Risk Assessment System for Geologic Disasters Based on Tendency Analysis Method

LÜ Yi-qing[1], LIU Hong-fu[1], LI Xiao-cong[2]

(1. *College of Mining Technology of Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi* 030024, *China*; 2. *China Tietong Beijing Branch, Beijing* 100860, *China*)

Abstract: Focusing on the problems in quantitative evaluation of geological disasters, we investigated and discussed the risk assessment system of geologic disasters by using the tendency analysis method in GIS program. The risk assessment of Jiangxian County in Shanxi Province was taken as the study case. The results of this method agreed well with the actual geological survey information, which implies that the tendency analysis is applicable for risk assessment. This paper provides a new theoretical method for geological disaster zoning.

Keywords: tendency analysis; geologic disaster; index system

随着社会经济的迅速发展，人类对资源的开发利用越来越深入。然而，由此加剧或引发的地质灾害严重制约了社会经济的可持续发展，如何根据地质灾害现状定量地进行地质灾害危险性评价已成为工作中的难题，以绛县为例，在地理信息系统(GIS)基础上[1-4]，运用趋势面分析法[5-6]对地质灾害危险性评价进行研究和探讨，以期为解决地质灾害危险性评价提供新的理论方法。

本研究首先根据地质环境的特点，总结前人的经验，建立了地质灾害危险性区划的指标体系，确定分级标准，系统地分析了评价因子的量化特征；其次，采用层次分析法[7]确定评价因子的权重，并运用趋势面分析程序处理数据，进而实现地质灾害危险性评价。

1　评价系统设计

1.1　基础资料的收集与整理

对研究区已有的数据资料进行收集整理，进行必要的野外调查，并对获取的区域内气象、水文、地质、水文地质、工程地质、环境地质、地质灾害现状等资料进行分析，为研究提供必要背景资料。

据调查，山西省绛县地处运城市东北缘，境内山多川少，沟谷发育，自然地质环境脆弱，加之矿山开发、公路建设及水利设施等人类工程活动，诱发了不同种类的地质灾害，主要灾种有崩塌(潜在崩塌)、地裂缝、滑坡及潜在泥石流 4 种类型。人为地质灾害中崩塌(潜在崩塌)及滑坡最为严重，自然灾害中地裂缝和潜在泥石流为主。调查结果表明，绛县境内共形成各类地质灾害 59 处，其中崩塌(潜在崩塌)45 处，地裂缝 8 处，滑坡 3 处，潜在泥石流 3 处。

1.2　评价指标体系的建立

根据获得的资料及前人工作经验和成果，确定并量化评价因子，确定各评价因子的权重，建立地质灾害危险性评价指标体系。

收稿日期：2010-07-13　　修回日期：2010-09-27

作者简介：吕义清(1970—)，男(汉族)，山西省河曲县人，博士研究生，讲师，主要从事水文地质、工程地质及环境与灾害地质的教学和研究工作。E-mail：lvyiqing@tyut.edu.cn。

通信作者：刘鸿福(1957—)，男(汉族)，天津市人，博士，教授，主要从事地球控测与信息技术工作。E-mail：liuhongfu@tyut.edu.cn。

1.2.1 滑坡及崩塌的形成条件与影响因素

(1) 地形地貌。发生滑坡及崩塌的地段,地形相对高差可达200 m左右,坡度较陡,使山体临空面增大,下移体势能较大,使下移体产生下滑趋势而脱离母体,为滑坡及崩塌的形成提供了有利的地形条件。

(2) 岩体结构。分析绛县滑坡及崩塌地段的岩体特征可见,坡体虽是反向坡体,但岩层结构较破碎,风化比较严重,这种情况下斜坡稳定性较差,极易发生滑动。

(3) 大气降水。一方面大气降水渗透至岩层中,对泥质岩产生了浸润、软化及溶解作用,减小了摩擦力和凝聚力,促使沿结构面产生滑动;另一方面大气降水增大了山坡岩土体含水量,使土体达到塑性状态,降低了岩土体的稳定性。强降雨时,雨水大量下渗,导致了山坡岩土体过饱和,从而增加滑体的重量,降低了抗剪强度。晴天岩土体收缩变硬,雨天崩胀崩解,特别是当岩土体上存在较大张开裂缝时,降雨顺着裂缝下渗,使岩土体中的含水量迅速上升,对坡体产生静水压力,使坡体受到向临空面的侧向推力,坡体稳定性降低,对滑坡及崩塌提供了动力条件,据调查绛县滑坡及崩塌的发生大多在雨季,这正是降雨的影响所致。

(4) 公路边坡开挖。由于修建公路而进行坡体开挖,破坏了自然山坡原有的应力平衡以及岩土体的原始结构,改变了坡体的边界条件,加大了坡脚的临空面,使天然山坡处于失稳状态。

1.2.2 地裂缝的形成条件与影响因素 绛县发生地裂缝从成因分析可分为:构造地裂缝,地下开挖地裂缝及挖砂排水地裂缝。

(1) 构造地裂缝。在541电厂一带存在有活动断裂,走向NW,倾向WN。倾角70°~80°,压扭性断裂。地面出现有新构造形迹的地表裂缝,造成地表建筑物的破坏。

(2) 地下开挖地裂缝。地下防空洞开挖之后破坏了上覆土层结构,导致地应力的平衡破坏,从而发生了与地下防空洞走向相一致的地面裂缝,发生地表建筑物破坏。

(3) 河床挖砂排水地裂缝。河床挖砂历经约10 a,开挖深度达50 m左右,河床两岸的水文地质条件被改变,水力梯度的增大导致两岸地下水排向河床,在两岸耕地内出现地裂缝,破坏耕地。

1.2.3 泥石流的形成条件与影响因素

(1) 地形地貌条件。绛县境内山区广布,山高坡陡,沟谷侵蚀强烈,地形陡峻,泥石流沟谷相对高差在200 m左右,主沟坡降在73‰~100‰之间,沟谷断面多呈"拓宽U"型,两岸坡度在20°~30°之间,流域面积在2~8 km^2之间,为泥石流形成提供了有利的地形地貌条件。

(2) 松散物质来源条件。地表岩层易于风化、节理发育,为泥石流提供丰富的碎屑物来源;采矿、采石弃渣等人类工程活动为泥石流提供大量的物质来源,在调查的泥石流沟上游分布有采石场,采石场废弃矿渣没做任何处理堆积于沟谷上游,为泥石流的形成提供了丰富的物资来源。

(3) 水源条件。绛县境内多年平均降水量569.6 mm,年最大降水量912.6 mm(2003年),年最小降水量为353.3 mm(1965年),日最大降水量为100 mm(1996年7月31日)。区内降雨量在时空、强度分布上极不均匀,雨季多集中在6—9月,降水量呈现明显的地域分布特性,山区高于丘陵区,平原区最少,具有年际变化大,年内季节差异大,强度变化大等特点。这种雨季集中,暴雨发生的降水特点,为泥石流的形成提供了有利的水动力条件。

综合绛县的地质灾害情况及影响因素,此次评价因子选取地形地貌、灾害点分布密度、年降雨量、人类工程活动强度、地质构造以及岩性共6个因素。

1.3 评价的理论方法研究

将趋势面分析法引入地质灾害危险性评价中,尝试采用该方法对地质灾害易发程度分区进行评价。采用的地质灾害危险度的计算模型是以地质灾害危险性指数为指标,量化地质灾危险程度第m个评价单元的危险性综合指数:

$$Z_m=\sum_{i=1}^{n}Z_{mi}A_i \tag{1}$$

式中:Z_m——危险性综合指数;Z_{mi}——第i种评价因子的危险性指数,即第i种评价因子量化后得到的数值;A_i——该危险指数在综合性危险性指数中的权重。

取每个评价单元的中心的地理坐标(X,Y)和各评价单元的危险度为自变量,进行趋势面分析。

在Surfer下运用趋势面分析法得到的拟合数据自动成图,分别得到3次拟合的趋势图和残差图。生成等值线,进行分区,得出评价结果。

2 地质灾害危险性评价的指标体系

通过对指标体系进行优化筛选,选择科学、合理、具有代表性的评价指标(表1),然后对指标进行量化,并通过层次分析法确定指标的权重,进而实现从定性到定量评价的转换。

3　分区评价

研究区地质灾害主要以不稳定斜坡、地裂缝、滑坡及潜在泥石流为主[8]。

3.1　评价指标及其权重的确立

对地质灾害点的野外调查所得资料综合分析研究后,经过筛选优化,选取地形坡度、工程地质岩土体分组等作为主要评价指标,将地质灾害易发程度分为高、中、低易发区和不发育区 4 个等级,建立评价体系(表 1)。通过层次分析法计算,得出各指标的权重(表 2)。

3.2　评价工作流程

(1) 数字化处理。采用 Mapgis 6.5 对研究区基础资料(包括底图、野外调查点、中间成果图等)进行数字化处理。进行数字化处理时分离不同信息图层,进行分层式管理。

(2) 网格化处理。采用 2 km × 2 km 的单元网格作为评价分析的计算单元,把研究区分为 286 个单元网格,将矢量格式空间数据转换为栅格格式。

表 1　地质灾害危险性区划分级标准

指标类型			评价标准			
因素	分类指标	基础指标	高易发(4)	中易发(3)	低易发(2)	不发育(1)
基本因素	地形特征	坡　度/(°)	>85	60～85	30～60	<30
		坡　高/m	>30	15～30	5～15	<5
		前缘临空情况	前缘临空	临空高差小	临空间差小	不临空
	地貌特征	微地貌	陡崖	陡坡	缓坡	平台
	地层岩性	岩性特征	松散、岩石破碎,裂隙发育	岩石较破碎,裂隙较发育	岩石较完整,裂隙较发育	岩石完整
		单轴饱和抗压强度/MPa	<5	5～30	30～80	>80
	地质构造	断裂发育情况	断裂发育,裂隙非常发育	断裂较发育,裂隙较发育	断裂不发育,裂隙较发育	断裂不发育
		断裂宽度/m	50～100	20～50	10～20	<10
	新构造运动	断裂活动情况	30 000～5 000 a 内反复活动>3 次	30 000～5 000 a 反复活动>2 次	30 000～5 000 a 内反复活动<2 次	不活动
	水文地质条件	地下水位	滑体 1/2 厚度处	滑面附近	滑面较浅处	滑面以下较深处
		径流条件	径流不畅通	径流较畅通	径流较畅通	径流畅通
	植被条件	植被发育情况/%	<10	10～30	30～50	50～100
	斜坡变形	斜坡后缘情况	多条拉张裂隙	1～2 条拉张裂隙	断续细小拉张裂隙	无变形迹象
		斜坡前缘情况	明显隆起	轻微隆起	无明显隆起	无隆起
	岩土特征	岩土体分组	松散体	软弱岩体	半坚硬岩体	坚硬岩体
影响因素	气候条件	月平均降雨量/mm	>400	300～400	100～300	<100
		日最大降雨量/mm	>100	50～100	20～50	<20
		一次最大降雨量/mm	>200	50～200	20～50	<20
	地震因素	地震裂度	>8	6～8	3～6	<3
	人类工程	活动强度	强烈	中等	较弱	无
		交通线路开挖高度/m	>30	15～30	5～15	<5
		地下采矿采空率/%	>75	50～75	25～50	<25
		边坡开挖、堆积情况	强烈	中等	较弱	无

表 2　评价指标权重

评价因子	地形地貌	灾害点分布密度	年降雨量	人类工程活动强度	地质构造	岩性
权　重	0.231 5	0.099 2	0.132 3	0.172 3	0.164 6	0.200 1

(3) 趋势面评价分析。将量化的评价因子及相应的权重带入式(1)得:

$$Z_m = 0.456P_1 + 0.095P_2 + 0.108P_3 + 0.082P_4 + 0.108P_5 + 0.151P_6 \quad (m=1, 2, \cdots, 286)$$

计算上式即可得出研究区各评价单元的危险度,在此基础上进行趋势面分析,对于趋势面分析的结果

使用拟合度 C 或 F 值来检验。

在置信度 $\alpha=0.05$ 下，查 F 分布表得到：

$$F_{0.05}(9,276)=1.913\ 9。$$

根据运算结果得出 3 次拟合的拟合度 $C=49.03\%$，拟合指数 $F=29.503\ 3$。从而 $F>F_{0.05}(9,276)$，趋势面拟合显著，拟合曲面可以反映这个地质特征的趋势面。

3.3 评价结果及分析

3.3.1 评价结果 评价结果如图 1，从图中可以看出，绛县地质灾害危险性区划分为 4 个区：地质灾害高易发区(A)、地质灾害中易发区(B)、地质灾害低易发区(C)和地质灾害不发育区(D)。

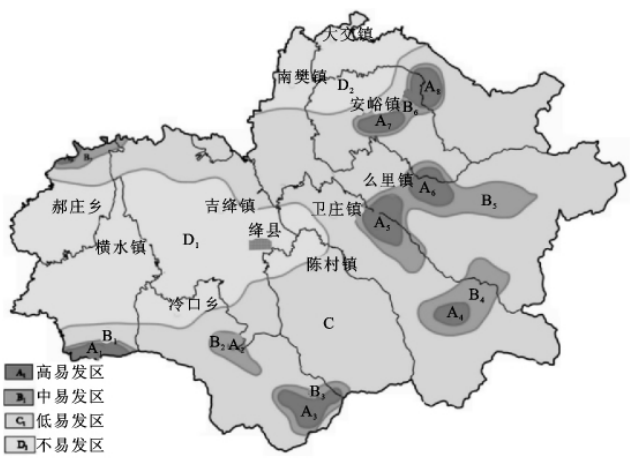


图 1 趋势面分析法分区结果示意图

3.3.2 评价结果分析 将绛县地质灾害易发程度分区评价结果与野外调查的地质灾害点比较，发现地质灾害易发程度分区和野外调查地质灾害点数量有着对应关系，说明了趋势面分析法进行地质灾害危险性区划的可行性。

相对于以往的地质灾害危险性分区方法，趋势面分析法更侧重于定量分析，综合考虑了产生地质灾害的各种主导因素，建立了地质灾害危险性评价指标体系，并确定了分级标准，系统地分析了评价因子的量化方法以及采用层次分析法确定评价因子的权重，从而，极大地减少了人为因素的影响，保证了其科学性。

4 结 论

(1) 结合山西省绛县地质灾害调查与区划项目，选取了影响地质灾害的主要因素作为评价的指标体系进行地质灾害危险性评价。

(2) 运用趋势面分析法对绛县地质灾害危险性区划进行评价，把绛县地质灾害易发程度划分为地质灾害高易发区、中易发区、低易发区和不易发区共 4 个级别，其中：高易发区面积 18.90 km^2，中易发区面积 25.95 km^2，低易发区面积 676.98 km^2，不易发区面积 274.48 km^2。

(3) 评价的结果表明，趋势面分析法在地质灾害危险性评价中结果与实际相符，方法可行，评价体系合理，具有较强的实用性。

[参 考 文 献]

[1] 聂忠权，盛丽君，范文. 基于 GIS 技术的地质灾害易发程度分区评价系统[J]. 公路交通科技，2005，22(6)：156-158.

[2] 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)：38-40.

[3] 石菊松，张永双，董诚，等. 基于 GIS 技术的巴东新城区滑坡灾害危险性区划[J]. 地球学报，2005，26(3)：275-282.

[4] 刘行架，杨卫中. GIS 在地质灾害防治规划中的应用[J]. 湖北地矿，2002，16(4)：92-96.

[5] 胡光海，周兴华. 趋势面分析在水深测量数据处理中的应用[J]. 测绘工程，2004，13(3)：23-25.

[6] 陈淑媛. 趋势面方法在大气污染物观测与分析中的应用[J]. 环境科学研究，1995，8(4)：55-58.

[7] 褚洪斌，母海东. 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.

[8] 刘艳春，刘鸿福，吕义清，等. 山西省绛县地质灾害分析[J]. 科技情报开发与经济，2007，17(1)：178-179.