

论层次分析法在地质灾害风险调查中的应用及实践

林广涛

甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质矿产勘查院 甘肃 兰州 730050

[摘要] 层次分析法是一种定性定量相结合的多准则决策的系统分析方法,其原理是把复杂系统分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上确定评价单元和评价因子权重,对各评价因子指标进行量化和敏感性分析,采用归一化数值变换方法统一量纲,在评价指标权值确定和数据归一化的基础上,利用GIS系统的空间分析功能进行数据的空间叠加与统计,分析确定易发性区划的分界点,将评价结果分成不同等级。其目的是通过对影响地质灾害发育的诸多因素分析,采用半定量方法进行分区计算,作为对定性评价的补充。本文以甘肃省陇南市康县为例,在GIS分析成因的基础上综合考虑各种因素,进行修改完善,最终得出对调查区进行地质灾害风险性评价的综合分区。

[关键词] 层次分析法; GIS空间分析; 地质灾害风险性评价; 陇南市康县

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.12.1385

第一节 研究背景

一、康县地质灾害以往研究程度

1. 水文地质与工程地质工作

主要为20世纪70年代由甘肃地质局第一区域地质测量队完成的《甘肃省武都一天水区域水文地质普查报告(1:50万)》,从区域上对全武都一天水水文地质进行了较为系统的区划,为本次详查工作在水文地质方面有较强的指导意义;1:100万工程地质远景区划和全省岩土体工程地质类型图及说明书,从区域上对全省工程地质进行了区划,其成果具有重要的指导意义。

2. 地质环境与灾害地质工作

灾害地质工作主要为甘肃省地质环境监测院于2003年完成的甘肃省康县地质灾害调查与区划(1:10万),该项工作是通过走访每一个城镇及行政村,重点调查泥石流、崩塌、滑坡、不稳定斜坡等地质灾害及其隐患的分布状况,划出了地质灾害易发区,建立了地质灾害信息系统,初步完成了群专结合的监测网络;2008年5月甘肃地质灾害防治工程勘查设计院完成的甘肃省“5.12”地震灾区陇南市康县地质灾害应急排查总结报告对区内地震引发和加剧的次生地质灾害有着较为详实的调查与评价;2017年由甘肃省地矿局第三地质矿产勘查院完成的甘肃省康县地质灾害详细调查报告是康县最为重要的环境地质资料。

第二节 层次分析法评价因子的选定与确定

一、评价因子选取及敏感性分析

影响地质灾害形成的自然因素众多,历史地震地质灾害发生的数量、分布范围、活动规模都直接反映了地层岩性、地形地貌、现存新老滑坡以及有关地震动力环境对地震诱发地质灾害的控制作用;此外,土地利用、地下水、植物条件等因素也对震后地质灾害形成起到一定程度的影响。本文采用统计学方法,对评价区地质灾害点与各因子的每个属性进行相对频率组合的定量计算方法,综合评价区地质灾害发育情况,本次易发性区划分析中选用了10个影响因子,主要包括:地质构造、地形坡度、海拔高程及水系发育情况等。

(一) 地质构造

地质构造因素对地质灾害点的发育控制作用十分明显,在区域地质构造比较复杂,褶皱比较强烈,新构造运动比较活动的地区,地质灾害比较发育。通过GIS软件缓冲区分析和

数据统计功能,对研究区内灾害点与断裂距离分布关系做了统计,利用GIS统计功能,对每个缓冲区内的灾害数量、缓冲区面积进行统计,计算每个缓冲区内灾害点密度,最后形成灾害点与断裂的分布关系和敏感性关系。

(二) 地质灾害频率

对评价区进行离散,形成541个空间离散网格,依据灾害点在网格上的分布,进行基于GIS的统计,计算包括单元面积上灾害发生的频率及地质灾害面积模数比。经计算可得,单个像元上最大出现地质灾害的频率为8。对空间灾害点的频率分布进行归一。

(三) 坡度及坡度变率

利用评价区1:5万DEM数据提取坡度数据。由于工作区内滑坡、崩塌灾害主要分布于 10° ~ 60° 之间的斜坡, 10° 以下斜坡基本不发生滑坡、崩塌等灾害,因此本次评价将 60° 以上斜坡的易发程度定义为1, 10° 以下易发程度定义为0,将坡度数据进行0~1之间的线性归一化,得到坡度归一化结果。

坡度变化率是对地形基本因子——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联系,因此随着斜坡坡度变化率增大的斜坡坡脚地带形成的最大剪应力也不断增大,斜坡也就容易产生变形破坏。本次通过DEM对全区坡度变化率数据进行提取,然后进行0~1之间归一化处理之后参与评价。

(四) 坡向及坡形变率

坡形可以利用地表的曲率进行描述和量化,直线形和凸型斜坡在曲率上的体现是曲率 ≥ 0 ,凹型坡和阶梯型坡的曲率 < 0 ,因此,可利用ArcGIS平台从DEM数据中提取调查区地表曲率信息,然后进行斜坡坡形的归一化。由于滑坡和崩塌主要发育在直线型斜坡和凸型斜坡上,因此,当曲率 < 0 时,坡面为凹型或阶梯型,易发程度最低;当曲率 > 0 时,坡面为直线型和凸型,易发程度较高,按照曲率的大小进行0~1之间的线性归一化,得到斜坡坡形指标归一化结果。

(五) 海拔高程

海拔高程对地质灾害的控制作用主要表现在,一方面,海拔高程影响了地下水的分布,特别是潜水层的分布,松散岩土体构成的斜坡体内的地下水多为潜水,高程越高,潜水分布越少,对斜坡的影响越小。另一方面,海拔高程对人类

活动范围起控制作用，人类大多居住在海拔较低的河流沿岸，也多在海拔较低的地方进行生产活动，如开垦耕地。这些因素影响着地质灾害的发育。因此，海拔高程也是地质灾害危险性评价考虑的因素之一。利用DEM的高程信息进行求解，最后进行栅格化和归一化处理。

(六) 沟壑密度

沟壑密度是地形发育阶段和地表抗蚀能力的重要特征值，对地质灾害的发育有重要的影响作用。本次工作主要利用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。

(七) 植被指数

通过康县ETM+遥感数据，选择近红外波段4和可见光红波段3，进行计算求取植被指数NDVI，之后将计算结果进行归一化处理参与评价。

(八) 降雨量

降雨是诱发因子中对地质灾害影响最大的一个因素，由于区内缺少较为详实的降雨量资料，因此只能选取全区的多年平均降雨量参与易发性评价。

(九) 地震

工作区内新构造运动活跃，地震较为频繁，区内地震引发的滑坡等灾害也不在少数，因此将地震活动也作为一项评价因子进行考虑。本次评价主要通过地震烈度区划成果对栅格进行赋值计算。

(十) 人类工程活动

人类工程活动对地质环境的影响是极为复杂的，区内对地质环境改造较为强烈的人类活动即为公路、铁路等线状工程的修建，本次评价将工作区内的公路（包括国道、省道及县主要干道）、铁路做为基准线，间隔250m做缓冲区分析，分别向两边做三个缓冲区，再经栅格化和归一化处理后参与评价。

二、因子权重确定

地质灾害易发区系指容易产生地质灾害的区域，因此在选取评判因子时要依据工作区内地质灾害发育的特点来选取，所选取的评判因子，应能全面反映区内地质灾害的发育特点和孕灾条件。本次评价以地质灾害易发性作为目标层，选择了发育因子、基础因子和诱发因子构成准则层即二级评判因子，并选取了对地质灾害易发性影响较为明显的13个因子构成。对地质灾害易发性评价指标体系进行分析，确定评价体系的层次结构。

第三节 地质灾害分区评价

一、评价模型建立

基于上述指标因子的分析、评价及其进行敏感性分析的基础上，采用层次分析法确定各因子对地质灾害易发性评价贡献的大小，并充分考虑到GIS空间分析功能在处理多因子、多图层叠加处理评价方面的优势，最终建立康县地质灾害危险性评价模型：

$$S = \sum W_i \times B_{ij} = 0.1167 \times B_{1j} + 0.1236 \times B_{2j} + 0.0511 \times B_{3j} + 0.0471 \times B_{4j} + 0.0964 \times B_{5j} + 0.1396 \times B_{6j} + 0.0544 \times B_{7j} + 0.0611 \times B_{8j} + 0.09 \times B_{9j} + 0.219 \times B_{10j}$$

式中：S为评价单元的综合易发性评价价值；

W_i 为第*i*个指标的敏感度权重；

B_{ij} 为第*i*个指标属性*j*的赋值大小，其中， $i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ ； $j=1, 2, 3, 4$ 。

二、分区评价

按照评价模型，应用空间分析模块下的叠加分析进行计算，并对计算结果做分级处理，这里将评价结果分四级，分别为高易发区、中易发区、低易发区和不易发区。

在定量计算分级分区的基础上，综合考虑各种因素，以“区内相似、区间相异”为原则，同时尽量考虑小流域的完整性，修改完善后最终形成康县地质灾害危险性评价图成果。

三、评价结果及讨论

由于地质灾害易发性的评价结果受到多种因素的影响，而这些因素本身存在着不确定性、模糊性以及各因素之间相互作用的复杂性，层次分析法最终形成的易发性评价成果图只能反映本区的地质灾害发育现状及易发性分区评价的雏形轮廓，不同层次的易发区色界较明显，基本可以看出区内地质灾害的易发程度，但存在轮廓模糊、界线不清，不能直观的反映客观事实等缺点。依赖遥感解译和野外实际调查一手资料，同时考虑到地质环境条件的复杂性，通过对影响地质灾害发育的诸多因素分析，作为对Arcgis空间分析评价的补充，修正后的最终易发性评价结果图，分区界线明显，与区内实际地质灾害易发性规律一致。

四、结语

层次分析法是一种定性与定量相结合的多准则决策的系统分析方法，其基本原理是把复杂系统分解成目标、准则、方案等层次，在此基础上进行定性和定量分析的决策。它把人的决策思维过程层次化、数量化、模型化，并用数学手段为分析、决策提供定量的依据，是一种对非定量事件进行定量分析的有效方法，特别是在目标因素结构复杂且缺少必要的数据库情况下，需要将决策者的经验判断量化时该法非常实用。该方法适用于多准则、多目标或无结构特征的复杂问题的决策分析，它按照各因子相互之间的内在支配关系，建立层次结构模型，通过因子的两两比较，建立判断矩阵，进行层析排序，确定各因子的相对重要性。

参考文献

[1] 《甘肃省泥石流》，中国科学兰州冰川冻土研究所甘肃省交通科学研究所，1981

[2] 《甘肃省岩土体工程地质类型图及说明书》，甘肃省地矿局环境水文地质工程地质总站，1986

[3] 《甘肃省东部地质灾害研究报告》，甘肃省地矿局第一水文地质工程地质队，1989

[4] 《甘肃省东部滑坡、泥石流分布图及说明书》，甘肃省地矿局环境地质研究所，1993

[5] 《甘肃省康县地质灾害调查与区划报告》，甘肃省地质环境监测总站，2003

[6] 《甘肃省陇南市康县地质灾害详细调查报告》，甘肃省地矿局第三地质矿产勘查院，2017