引文格式：焦学军,王文杰,胡颖雷,等. 利用熵权法开展普通公路地质环境隐患评价[J]. 地理空间信息, 2025, 23(5): 129-131. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2025.05.028

利用熵权法开展普通公路地质环境隐患评价

焦学军[1,2]，王文杰[1,2]，胡颖雷[3]，张瑞香[1,2*]，王瑞瑞[1,2]
（1. 河南省地质局矿产资源勘查中心，河南 郑州 450000；2. 河南省天空地遥感智能监测工程技术研究中心，河南 郑州 450000；
3. 河南省交通事业发展中心，河南 郑州 450000）

摘　要：为厘清普通公路安全隐患等级，基于地形地貌、气候气象等数据，参考地质环境风险灾害调查评价相关规范和地质灾害历史监测数据，选取地层岩性、断层褶皱、DEM、降雨量、NDVI、历史数据6种指标，通过坐标转换、数值转换、空间插值、栅格转换等处理形成坐标系、像元大小统一的指标栅格数据；采用熵权法计算指标权重，对普通公路地质环境隐患进行分区评价；根据评价结果将普通公路安全隐患划分为不易发、低易发、中易发、高易发、极易发5级，并制定了相应级别的安全监测频率和安全防护措施，为普通公路交通地质环境安全保障工作提供助力。

关键词：熵权法；地质环境；指标；隐患评价
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）05-0129-03

Geological Environment Hidden Danger Evaluation of Ordinary Highway Using Entropy Weight Method

JIAO Xuejun[1,2], WANG Wenjie[1,2], HU Yinglei[3], ZHANG Ruixiang[1,2], WANG Ruirui[1,2]
(1. Henan Provincial Geological Bureau Mineral Resources Exploration Center, Zhengzhou 450000, China;
2. Henan Remote Sensing Intelligent Monitoring Engineering Technology Research Center for Satellite, Aircraft and Land Survey, Zhengzhou 450000, China;
3. Transportation Development Center of Henan Province, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to clarify the safety hidden danger level of ordinary highways, based on topography data, climate and meteorology data, referring to the relevant norms of geological environment risk disaster investigation and evaluation and the historical monitoring data of geological disasters, we selected six indexes of formation lithology, fault fold, DEM, rainfall, NDVI and historical data, and formed an index raster data with unified coordinate system and pixel size through the data processing of coordinate transformation, numerical transformation, spatial interpolation and grid transformation. We used the entropy weight method to evaluate the geological environment hidden dangers of ordinary highways. According to the evaluation results, we divided the safety hidden dangers of ordinary highways into five levels, such as not easy to occur, low easy to occur, medium easy to occur, high easy to occur and very easy to occur, and formulated different levels of safety monitoring frequency and safety protection measures, which was helpful for the safety and security of ordinary highway traffic.

Key words: entropy weight method, geological environment, index, hidden danger evaluation

国民经济的高速发展带动道路及其附属设施建设日趋完善。根据行车速度可将道路划分为高速公路、快速公路和普通公路。受地形地貌、水文气象、建设时间、人类活动等因素影响，普通公路的施工建设标准存在区域性差异，更易受地质环境安全隐患影响，其中滑坡、泥石流、水毁和崩塌4类灾害较常见[1]。随着信息技术的发展，建模、数值分析等方法已广泛应用于道路安全评估[2-5]中，目前国内公路地质环境研究多基于单一地质灾害对道路进行风险评估[6-7]，但对大范围内普通公路地质环境安全隐患分区评价的研究成果较少。

1　交通地质环境安全隐患因素分析

崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝等地质灾害对道路路面和路基的破坏、浸泡将导致交通中断或半幅通行[8]；2022年河南省已查明的上述隐患点依次为1 257、1 201、138、338、9处。随着全球气候的变化，百年一遇的极端天气事件频发，省内地质灾害突

项目来源：国家自然科学基金资助项目（42277478）；河南省地质局科研资助项目（202301）。
第一作者简介：焦学军（1972—），硕士，高级工程师，从事地质大数据、地质灾害防治、地理信息系统工作，E-mail：576723484@qq.com。
通信作者：张瑞香（1988—），本科，工程师，从事遥感识别、地质灾害防治、三维建模等工作，E-mail：3486466474@qq.com。

发，道路安全隐患评估迫在眉睫。将地质环境数据结合已知灾害点，基于熵权法开展普通公路地质环境隐患评价，为群众出行提供安全、畅通、有序的道路通行环境，是防范化解风险隐患、降低损失的神来之笔。

本文参考《1∶50 000地质灾害风险调查评价技术要求（试行）》、DZ/T 0221–2006《崩塌、滑坡、泥石流监测规范》、DD 0220–2011《滑坡崩塌泥石流灾害调查规范（1∶5万）》、JT/T 1395–2021《交通地质灾害评估高分遥感专题图技术规范》[9]、DB41/T 2431–2023《重点区域地质灾害风险调查评价规范（1∶10 000）》[10]，结合地形地貌、气候气象等特点，基于历史灾害点易发程度分析，选取地层岩性、断层褶皱、DEM、降雨量、NDVI、历史数据6种评价指标。

1）地层岩性。岩层力学强度和层间胶结力差异将导致发生灾害的可能性不同，岩层力学强度越小、层间胶结力越差，发生灾害的可能性较高。研究区地表岩层多为第四系冲积层、三叠系砂岩层和二叠系砂岩层，第四系冲积层形成过程中缺乏高温高压等条件，稳定性较弱；三叠系的层间胶结力较好，稳定性较强；二叠系的稳定性因岩性不同综合为中等。

2）断层褶皱。断层是指岩层或岩体顺着破裂面发生明显位移的地质构造，岩体整体性较差。褶皱因地壳运动挤压而成，岩体稳定性较弱，易受风化和破坏。断层比褶皱更易受风化和侵蚀，灾害发育程度更高。

3）DEM。基于DEM进行坡度分析，斜坡体的坡度在灾害易发区内时，易形成滑坡、崩塌、落石等灾害。

4）降雨量。水不仅是导致普通公路水毁灾害的主要因素，而且是滑坡、泥石流等灾害的诱发因素。雨水是地表水的主要补给来源，超过承载量的雨水会对公路造成浸泡、冲蚀等影响，对路面和路基产生破坏力。

5）NDVI。植被的作用主要表现在截流、缓流、固土，有助于增加滑坡等灾害隐患的稳定性。

6）历史数据是指监测周期内已发生灾害的次数、规模、危害等级，本文选取近10年的沉降、滑坡、泥石流等灾害监测数据。

指标基础数据均从河南省地质大数据云平台获取，采用ArcGIS软件进行坐标转换、数值转换、空间插值、栅格转换等预处理，形成坐标系为CGCS2000_3_Degree_GK_CM_114E、像元大小为30×30的栅格数据。

2 熵权法多指标权重计算

多指标权重计算通常采用层次分析法（AHP）、熵权法、主成分分析法[11–14]等。按照信息论的解释，熵是系统无序程度的一个度量，熵权法适用于各评估指标间独立性较强且数据较多的情景[15–16]。根据信息熵的定义，对于某项指标，可用熵值来判断其离散程度，值越小，表示指标的离散程度越大，该指标对于综合评价的权重就越大。本文利用信息熵工具计算多指标综合评价中各指标权重。

1）数据标准化。

$$\text{正向指标：}\quad X^{*}=\frac{x_{ij}-\min(x_{ij})}{\max(x_{ij})-\min(x_{ij})} \tag{1}$$

$$\text{负向指标：}\quad X^{*}=\frac{\max(x_{ij})-x_{ij}}{\max(x_{ij})-\min(x_{ij})} \tag{2}$$

2）指标比重。

$$p\left(x^{*}\right)=\frac{N(x^{*})}{m\times n} \tag{3}$$

式中，m、n为某项指标矩阵的行列数；$N(x^{*})$为x^{*}值在该项指标矩阵中出现的次数。

3）熵值与冗余。

$$H_k=-\sum_{i=0,j=0}^{i=m,n}p\left(x^{*}\right)\log P\left(x^{*}\right) \tag{4}$$

式中，H_k为熵值，$K=1,2,\cdots,6$。

4）指标权重。

$$W_k=\frac{1-H_k}{K-\sum_{1}^{k}H_k} \tag{5}$$

3 隐患评估

通过指标数值转换将多源异构指标数据统一转化为便于计算的数值矩阵，矩阵中不同数值表示该指标的区域分布特征。评价区域面积较大将导致熵权法指标权重计算形成亿次级的矩阵运算，因此本文采用Python编程软件引入Numpy数学计算库，设计自动化权重计算程序可大幅提高计算效率。

为探索基础数据选择、指标数值转换标准，以试点市作为普通公路地质环境安全隐患评估实验区，将多种精度、季节、监测周期的基础数据组合模式下绘制的隐患分区成果图叠加地质灾害分区图、地质灾害隐患点分布数据进行对比验证，择优选取前3种成果邀请相关专家进行二次评定，最终确定以地质断层成果图、12.5 m DEM、2022年度平均降雨量、夏季NDVI、近10年地质灾害监测数据为指标数据来源，通过数据处理和权重计算，进而绘制隐患分区图的方法真实可信。

根据普通公路地质环境安全隐患评价路线图的数据处理步骤，计算得到6种指标的权重为地层岩性0.07、断层褶皱0.06、DEM0.28、降雨量0.14、

NDVI0.08、历史数据0.37；再据此评估普通公路地质环境安全隐患，采用自然断点法以绿、青、黄、橙、红5色进行渲染，将普通公路地质环境安全隐患划分为不易发、低易发、中易发、高易发、极易发5级；最后叠加研究区内干线公路网布局图提取的普通公路矢量图，形成普通公路地质环境安全隐患分区图（图1），为普通公路安全隐患实地排查提供数据支撑。

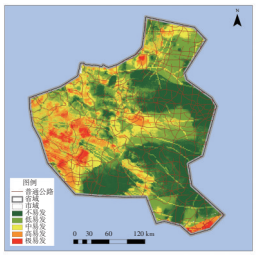


图1　普通公路地质环境安全隐患评价成果图

4　研究结果与分析

4.1　指标处理标准与权重计算

获取的原始指标数据为地质成果图件、表格数据、栅格图片等格式，不同的数据处理、数值转换方法对指标离散程度影响不大，因此根据指标结构点线面特性进行不同的处理，赋值时遵循正负相关性，形成指标数据处理标准。例如，地层岩性成果图件经矢量化后为面状数据，通过形成时间、岩层类型、稳定性分析，将赋值由小到大排序为三叠系砂岩层、二叠系砂岩层、第四系冲积层；线状断层褶皱按影响范围作缓冲区分析再赋值；历史数据将坐标作为点状数据，赋值为1~4，通过IDW空间插值为空白区域赋值。6种指标赋值后转换为栅格数据，数据存放在程序指定位置，熵权法程序自动计算权重。该程序可多次计算权重，为地质环境数据在道路地质环境安全监测方向的应用提供了示范，探索了大范围内地质环境多因素隐患评估的可行性。

4.2　隐患分区成果分析

研究区域地质构造复杂，普通公路地质环境灾害比较发育。从发育强度来看，北部为道路灾害高易发区，断层伴生裂隙发育，应在施工中注重地质灾害防范和加强日常监测频次；西部、南部为极易发区，应加强道路高边坡的治理和位移监测；中部为中易发区，易受水患影响，道路排水应为该区域施工建设的工作重点；东部为不易发区。

本文采用熵权法对普通公路地质环境隐患进行评价，将河南省地质大数据云平台的地质环境数据与历史灾害监测点数据相结合，综合选取6种指标，通过矢量化、空间缓冲、空间插值等数据处理，对实验区多种数据组合隐患评估成果进行双重验证，形成指标数据选取和数值处理规范；基于熵权法模型和权重计算程序，获取指标权重，形成普通公路地质环境安全隐患分区图。研究成果可为交通道路安全隐患普查、详查、预防、施工、遥感监测等工程提供数据支撑，为深入探究地质环境安全隐患产生的机理、科学划分安全隐患等级、精准定位灾害的影响区域、合理制定安全隐患防控措施提供技术支撑。

参考文献

[1] 杨银涛. 青藏走廊带道路工程地质灾害孕育环境分析和危险性评价[D]. 西安:长安大学,2012

[2] Kazaras K, Kirytopoulos K, Rentizelas A. Introducing the STAMP Method in Road Tunnel Safety Assessment[J]. Safety Science,2012,50(9):1 806-1 817

[3] Caliendo C,Ciambelli P,Guglielmo M D E,et al. Numerical Simulation of Different HGV Fire Scenarios in Curved Bi-directional Road Tunnels and Safety Evaluation[J]. Tunnelling and Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research,2012,31:33-50

[4] 王念秦,李仁伟,蒲凯超,等. 中国地质环境承载力评价研究进展[J]. 环境科学与技术,2019,42(1):150-155

[5] 骆建雄,杜政. 大丰区生态承载力评价[J]. 地理空间信息,2017,15(3):44-47

[6] 张茜. 基于洪涝次生地质灾害风险评价的公路安全等级划分[D]. 长沙:中南大学,2012

[7] 史志军. 铜黄一级公路滑坡分析与防治技术研究[D]. 西安:长安大学,2006

[8] 郑满城. 荣乌高速保定段地质灾害危险性评价[D]. 北京:中国地质大学(北京),2019

[9] 交通地质灾害评估高分遥感专题图技术规范:JT/T 1395-2021[S].

[10] 重点区域地质灾害风险调查评价规范(1∶10 000):DB41/T 2431-2023[S].

[11] 王晓艳,章四龙,刘磊. 基于AHP—熵权法的水环境承载力模糊综合评价[J]. 环境科学与技术,2021,44(9):206-212

[12] 陈希,陈正. 基于AHP—熵权法的上海市道路地下空洞风险预评估研究[J]. 中国市政工程,2023(3):102-105

[13] 张佰林,周高云. 基于熵权法融合多源数据的桥梁安全评估[J]. 科技通报,2023,39(1):91-95

[14] 刘彦君. 基于云模型的干线公路安全风险评价[D]. 西安:长安大学,2020

[15] 李冠廷,王启文,高继军,等. 流域生态恢复潜力评估不同赋权方法适用情景分析[J]. 环境工程学报,2023,17(10):3 159-3 168

[16] 唐爽,莫宏伟,袁志芬,等. 湘江流域主要城市土地利用效率差异性评价[J]. 地理空间信息,2015,13(1):134-136