

基于时空维度耦合的地质灾害发育程度评价研究

曲雪妍, 李媛, 房浩, 杨旭东, 谢振桦, 尹春荣, 张艳玲, 佟彬

A study of the evaluation of geo-hazards development degree based on time-space coupling

QU Xueyan, LI Yuan, FANG Hao, YANG Xudong, XIE Zhenhua, YIN Chunrong, ZHANG Yanling, and TONG Bin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.201912061>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

地质灾害隐患和水文地质环境地质调查计划进展

Achievements of the program of geological investigation on geo-hazards and hydrogeology and environmental geology

李文鹏 水文地质工程地质. 2019, 46(2): 1-1

地形因素对白龙江流域甘肃段泥石流灾害的影响及权重分析

Impacts of topographical factors on debris flows and weight analysis at the Gansu segment of the Bailongjiang River Basin

刘德玉, 贾贵义, 李松, 丛凯, 张伟 水文地质工程地质. 2019, 46(3): 33-33

基于LoRa的地质灾害分布式实时监测系统设计

Design of the distributed real-time monitoring system for geological hazards based on LoRa

郭伟, 王晨辉, 李鹏, 孟庆佳 水文地质工程地质. 2020, 47(4): 107-113

崩塌滑坡地质灾害风险排序方法研究

A study of the risk ranking method of landslides and collapses

解明礼, 巨能攀, 刘蕴琨, 刘秀伟, 赵伟华, 张成强 水文地质工程地质. 2021, 48(5): 184-192

白龙江流域中上游第四纪沉积物的发育特征及其灾害效应

Development characteristics and disaster effect of the Quaternary sediments in the middle and upper reaches of the Bailongjiang River Basin

陈宗良, 叶振南, 王志宏, 王高峰, 高幼龙, 田运涛 水文地质工程地质. 2019, 46(2): 29-29

川藏铁路廊道关键水工环地质问题: 现状与发展方向

Key problems on hydro-engineering-environmental geology along the Sichuan-Tibet Railway corridor: Current status and development direction

张永双, 郭长宝, 李向全, 毕俊攀, 马剑飞, 刘峰 水文地质工程地质. 2021, 48(5): 1-12



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.201912061

曲雪妍, 李媛, 房浩, 等. 基于时空维度耦合的地质灾害发育程度评价研究 [J]. 水文地质工程地质, 2022, 49(1): 137-145.

QU Xueyan, LI Yuan, FANG Hao, *et al.* A study of the evaluation of geo-hazards development degree based on time-space coupling[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49(1): 137-145.

基于时空维度耦合的地质灾害发育程度评价研究

曲雪妍¹, 李媛¹, 房浩¹, 杨旭东¹, 谢振桦², 尹春荣¹, 张艳玲¹, 佟彬¹

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2. 中国地质工程集团有限公司, 北京 100086)

摘要: 在现有地质灾害综合评价指标体系中, 地质灾害发育程度评价因子只包括反映空间维度的点数量、点密度、体积数、体积密度等, 不包括反映时间维度的评价因子。文章引入反映时间维度的受灾年份因子充实之。通过对地质灾害体积取中位数对数法、对受灾年份采用概率密度法进行处理和采用熵权法确定评价因子权重来建立时空耦合评价模型; 采用斜率法将评价结果划分为高、较高、中、低四级, 以反映已发生灾害的发育状况。选取 2011—2020 年已发生的地质灾害点, 评价区域为除香港特别行政区、澳门特别行政区、台湾地区以外的全国 31 个省份, 按此方法对以县域为单元的地质灾害发育程度进行评价与区划。结果表明: 地质灾害高发育区共 323 个县, 涉及 19 个省(自治区、直辖市), 主要分布在东南、西南、西北等地。较高发育区共 566 个县, 涉及 25 个省(自治区、直辖市), 主要分布在西南、中南、东南等地。中发育区 623 个县, 涉及 30 个省(自治区、直辖市), 主要包括西北、华北等地。低发育区共 1336 个县, 涉及 30 个省(自治区、直辖市), 主要包括华北、东北、华东等地。本次评价结果与国家防灾减灾、灾害发育分布具有较高的吻合度。野外实地调研证明, 引入受灾年份后的评价结果较引入前更符合实际情况。

关键词: 地质灾害; 发育程度; 受灾年份; 熵权法; 概率密度法; 时空维度

中图分类号: P694

文献标志码: A

文章编号: 1000-3665(2022)01-0137-09

A study of the evaluation of geo-hazards development degree based on time-space coupling

QU Xueyan¹, LI Yuan¹, FANG Hao¹, YANG Xudong¹, XIE Zhenhua², YIN Chunrong¹,
ZHANG Yanling¹, TONG Bin¹

(1. China Institute of Geo-environment Monitoring, Beijing 100081, China;

2. China Geo-engineering Corporation, Beijing 100086, China)

Abstract: The geo-hazards comprehensive evaluation index system was established in the early stage of the team, and the number, the number density, the volume and the volume density, which reflect the spatial dimension, are used to evaluate the development degree of geo-hazards, excluding the evaluation factors reflecting the time dimension. In this paper, disaster years reflecting the time dimension are introduced to enrich the development degree evaluation system of geo-hazards. The median logarithmic method and probability density distribution are respectively used to processing data of disaster years and volume, and the entropy weight is used to determine the weight of evaluation factors. The evaluation models are established and the evaluation results are divided into four levels by the slope method, reflecting the development status of disasters. The geo-hazards occurred in

收稿日期: 2019-12-25; 修订日期: 2020-04-06

投稿网址: www.swdzcgdz.com

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20190638)

第一作者: 曲雪妍(1985-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事地质灾害调查评价和信息系统建设等方面的研究。E-mail: 273339712@qq.com

通讯作者: 李媛(1965-), 女, 博士, 教授级高工, 主要从事地质灾害、环境地质等方面的研究。Email: 1477828765@qq.com

31 provinces in China (excluding Hong Kong, Macao and Taiwan) from 2011 to 2020 are taken as examples, the development degree of geo-hazards (landslide, collapse and debris flow) is evaluated and divided according to this method. The results show that the geo-hazards high development areas cover 323 counties in total, involving 19 provinces, mainly occurring in Southeast China, Southwest China and Northwest China. The sub-high development areas cover 566 counties in total, involving 25 provinces, mainly occurring in Southwest China, South Central China and Southeast China. The moderately development areas cover 623 counties in total, involving 30 provinces, mainly occurring in Northwest China and North China. The low development areas cover 1336 counties in total, involving 30 provinces, mainly occurring in North China, Northeast China and East China. When compared with the national disaster prevention deployment situation or the geo-hazards distribution, the evaluation results are in good agreement with the reality. In addition, through field investigation, the evaluation results are more consistent with the actual situation.

Keywords: geo-hazards; development degree; disaster years; entropy weight; probability density distribution; spatial and time dimension

地质灾害包括自然因素或者人为活动引发的危害人民生命和财产安全的山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地质作用有关的灾害^[1]。本文主要研究滑坡、崩塌、泥石流等突发性地质灾害。

关于地质灾害发育程度,刘传正等^[2]建立了区域地质灾害评价预警的递进分析理论与方法,认为地质灾害发育度是反映一个地区地质灾害的发育程度,是已发生地质灾害的空间数量分布、面积分布和体积分布的综合表现;采用灾害频率、面积、体积三个评价指标表征发育度。李媛等^[3]认为分析一个地区的地质灾害发育程度,需综合考虑地质灾害的发育数量、发育规模和发育面积,利用地质灾害的点密度、体积密度和面密度 3 个指标对全国 290 个县进行评价,将全国划分为高发育县、较高发育县、中等发育县、轻微发育县 4 级。张建江^[4]选取地质灾害总数、地质灾害平均数、地质灾害点密度、山地丘陵面积比例 4 个指标综合分析贵州地质灾害发育程度,将其划分为高发育区、中发育区、低发育区 3 个等级。杨森林等^[5]选用 100 km² 内的灾害数量和规模代表发育情况,将贵州省地质灾害划分为强发育区、中发育区、弱发育区 3 个等级。王涛等^[6]、黄丽等^[7]学者采用点密度表示地质灾害发育程度。

在前期学者研究的基础上,文献[8]建立了地质灾害综合评价指标体系,以灾害数量、点密度、体积、体积密度作为评价因子,对地质灾害发育程度进行评价,将全国地质灾害发育程度划分为高、较高、中、低四个等级,应用于 2013、2014、2015 年的《全国地质灾害现状与形势分析报告》和《地质灾害详细调查信息

系统建设与综合研究报告》,支撑国家地质灾害防治工作。综上,在对地质灾害发育程度进行评价时,基本以反映空间维度的点数量、点密度、体积、面积中的一种或几种作为评价指标。例如,王杰涛等^[9]选取点密度、面密度、体密度 3 个指标使其能够反映地质灾害发育历史与现状,将米易县地质灾害发育程度划分为强发育区、较强发育区、中等发育区、弱发育区 4 个等级。宋彦辉等^[10]认为地质灾害发育程度是指地质历史上已经形成的各种灾害的发育密度及规模大小,是一种现状评价。采用灾害点密度和灾害规模 2 个指标对山区公路地质灾害发育程度进行评价,划分为高发育段、中发育段、低发育段、不发育段 4 个等级。随着国家防灾减灾需求的变化,以及地质灾害发育分布时空结合的要求,地质灾害发育程度不仅仅聚焦于总体数量多、规模大的地区,单次群发或规模大的地质灾害也会引起社会关注度。由此假设面积相同的两个地区,若发生相同的灾害数量和体积,所需的时间长度不同,时间越短即受灾年份越少,该地区地质灾害越发育。因此,发育程度评价中需要考虑时间维度指标,基于地质灾害综合评价指标体系^[8],本文引入反映时间维度的受灾年份因子充实地质灾害发育程度评价体系,弥补了发育程度评价中时间指标的空白。

1 评价体系建立

本文认为地质灾害发育程度是一个地区、一定时间内灾害数量分布、体积分布以及受灾年份分布的量化,反映已发生灾害的空间和时间的发育状况,发育程度指数是代表区域灾害数量、点密度、体积、体积密度、受灾年份等特征的函数。根据地质灾害发育程

度含义建立地质灾害发育程度评价指标体系,指标体系包含 1 个目标、滑坡、崩塌、泥石流 3 个指标、每个指标又包括 5 个评价因子(表 1)。

表 1 地质灾害发育程度评价体系
Table 1 Evaluation system of development degree of
geo-hazards

目标层	指标层	因子层
地质灾害	滑坡发育程度指数	数量、点密度、体积、体积密度、受灾年份
发育程度	崩塌发育程度指数	数量、点密度、体积、体积密度、受灾年份
评价	泥石流发育程度指数	数量、点密度、体积、体积密度、受灾年份

数量、点密度、体积、体密度根据实际情况统计,受灾年份计数方法为有地质灾害发生的年份记为 1,无地质灾害发生的年份记为 0。

2 权重方法确定

权重确定方法包括主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法有专家调查法(Delphi)、层次分析法(AHP)、二项系数法等,客观赋权法有主成分分析法、灰色关联度法、熵权法、基于粗糙集的方法等。主观赋权法的优点是专家可以根据实际的决策问题和专家自身的知识经验合理地确定各属性权重的排序,不至于出现属性权重与属性实际重要程度相悖的情况;但决策或评价结果具有较强的主观随意性,客观性较差,同时增加了对决策分析者的负担,应用中有很大的局限性。客观赋权法具有较强的数学理论依据,没有考虑决策人的主观意向,计算方法比较繁琐^[1]。由于本文要客观反映一个地区地质灾害发育程度,因此选择客观赋权法确定评价因子的权重。

主成分分析法通过变量变换的方法把相关的变量变为若干不相关的综合指标变量,从而实现对数据集的降维,使得问题得以简化。现行的关于主成分分析的应用研究大多集中于数据的简化处理或综合评价上;其局限性在于:这种方法仅能得到有限的主成分或因子的权重,而无法获得各个独立指标的客观权重,而且当构成因子的指标之间相关度很低时,此方法将不适用^[11]。

灰色关联度法在很大程度上可减少由于信息不对称带来的损失,并且对数据要求较低,工作量较少;其主要缺点在于需要对各项指标的最优值进行现行确定,主观性过强,同时部分指标最优值难以确定^[11]。

熵权法最早是 1948 年由申农将熵的概念引入到信息论中,是一种在综合考虑各因素提供信息量的基

础上计算一个综合指标的数学方法。作为客观综合定权法,其主要根据各指标传递给决策者的信息量大小来确定权重。熵权法能准确反映评价指标所含的信息量,可解决各评价指标信息量大、难以准确进行量化的问题^[12];缺点是缺乏各指标之间的横向比较,权数依赖于样本。

粗糙集理论 1982 年由波兰学家 Z.Pawlak 创立,这种方法可以让系统自己从数据中心学习知识,通过不断地计算、分析和推理揭示出潜在的规律,得出更符合逻辑、更符合实际情况的结果。但该方法提出时间较短,对这种方法的应用仍在持续研究中^[13]。

鉴于熵权法客观、计算简便、使用率高等特点,本文选择该方法对地质灾害发育程度进行评价。评价时先对单灾种发育程度进行评价,再综合评价地质灾害发育程度。

利用熵权法对地质灾害发育程度进行评价,某个评价指标的信息熵越小,表明指标值的变异程度越大,提供的信息量越大,在综合评价中所起的作用也越大,即指标的权重越大。因此,可以根据各指标的变异程度,利用信息熵计算各指标的权重。

设有 m 个评价指标、 n 个评价对象,则形成原始数据矩阵 $R=(r_{ij})_{m \times n}$, ($i=1, 2, 3, \dots, m; j=1, 2, 3, \dots, n$), 由于各指标在量纲、内容及取值优劣标准等方面存在不同,因此有必要对各指标值作标准化处理。标准化处理方法有两种:

当指标数据为正指标时,其标准化公式为:

$$r'_{ij} = \frac{r_{ij} - \min(r_{ij})}{\max(r_{ij}) - \min(r_{ij})} \quad (1)$$

当指标数据为逆指标时,其标准化公式为:

$$r'_{ij} = \frac{\max(r_{ij}) - r_{ij}}{\max(r_{ij}) - \min(r_{ij})} \quad (2)$$

得到归一化后的数据矩阵 $R'=(r'_{ij})_{m \times n}$, 第 i 个指标的熵 H_i 可定义为:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (3)$$

$$P_{ij} = \frac{r'_{ij}}{\sum_{j=1}^n r'_{ij}}, k = \frac{1}{\ln n}, (\text{假定: 当 } P_{ij} = 0 \text{ 时, } P_{ij} \ln P_{ij} = 0)$$

式中: P_{ij} ——第 i 个指标下第 j 个评价对象占该指标的比重;

n ——评价对象的个数;

H_i ——第 i 个指标的熵。

定义第 i 个指标的熵之后,第 i 个指标的熵权 (W_i) 定义为^[14-15]:

$$W_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (4)$$

W_i 即为此指标的权重。

3 耦合评价模型构建

3.1 单灾种发育程度评价模型

按上述权重确定方法,对统计年度内灾害点数量、受灾年份、灾害点密度、灾害体积、灾害体密度的合计数进行归一化处理,建立时空耦合评价模型:

$$F_n = \sum_{i=1}^4 W_i \times D_i = W_1 \times \left(\frac{D_n}{D_y}\right)' + W_2 \times \left(\frac{D_n}{S}\right)' + W_3 \times \left(\frac{D_v}{D_y}\right)' + W_4 \times \left(\frac{D_v}{S}\right)' \quad (5)$$

式中: F_n ——单灾种发育程度指数;

D_n ——灾害点总数;

D_y ——受灾年份数;

D_v ——体积数;

S ——评价单元面积;

$\left(\frac{D_n}{D_y}\right)'$ ——灾害数量指数;

$\left(\frac{D_n}{S}\right)'$ ——灾害点密度指数;

$\left(\frac{D_v}{D_y}\right)'$ ——灾害规模指数;

$\left(\frac{D_v}{S}\right)'$ ——灾害规模密度指数;

W_i ——各项评价因子的权重,由熵权法确定。

3.2 地质灾害发育程度评价模型

对单灾种发育程度指数 F_i 进行归一化处理后,按下式进行加权计算:

$$F = \sum_{i=1}^3 U_i \times F_i = U_1 \times F_1' + U_2 \times F_2' + U_3 \times F_3' \quad (6)$$

式中: F ——地质灾害发育程度指数;

F_1' ——由 F_1 归一化后的滑坡发育程度指数;

F_2' ——由 F_2 归一化后的崩塌发育程度指数;

F_3' ——由 F_3 归一化后的泥石流发育程度指数;

U_i ——各项评价因子的权重,由熵权法确定。

3.3 划分评价区

根据评价模型得到评价结果,按照行业规范和技术标准^[21-22],划分为高、较高、中、低四级发育区,各

区界限根据曲线斜率法划分,即在曲线斜率突变处进行分级。

4 实例应用

4.1 数据来源与评价单元

本文基于全国地质灾害数据库,采用 2011—2020 年地质灾害灾情数据,评价区域为除香港特别行政区、澳门特别行政区、台湾地区以外的全国 31 个省份。结合目前地质灾害防治工作以行政单元开展的需求,评价单元为全国县级行政单元。

4.2 数据处理

在运用国家地质灾害数据库进行发育程度评价时,需要对数据进行处理。数据处理是进行模型计算的重要部分,恰当的处理数据可以更好地优化评价结果。

4.2.1 灾害规模数的处理方法

根据国家突发地质灾害应急预案^[16],地质灾害规模等级划分为巨型、大型、中型、小型四级(表 2)。由于不同的规模等级,灾害体积从几百立方米到几千万立方米不等,数量级相差较大,直接使用灾害体积数会突出巨型灾害的影响,无法体现大型、中型、小型灾害的特点。因此,在使用灾害体积时,一般会对其进行处理,处理方法有赋值法^[10]、取对数法^[17]等。本文基于全国地质灾害数据库,考虑数据情况,对于相同的规模等级,取体积中位数作为代表进行量化,避免同一规模等级数量级差大的问题;对于不同的规模等级,采用取对数法解决体积数量级差大的问题。

表 2 地质灾害规模等级划分标准

灾害类型	巨型	大型	中型	小型
滑坡/ 10^4 m^3	>1 000	100 ~ 1 000	10 ~ 100	<10
崩塌/ 10^3 m^3	>100	10 ~ 100	1 ~ 10	<1
泥石流/ 10^4 m^3	>50	20 ~ 50	2 ~ 20	<2

$$D_v = \lg V \quad (7)$$

式中: V ——滑坡、崩塌、泥石流不同规模等级灾害体积中位数;

D_v ——处理后的规模级数。

4.2.2 受灾年份的处理方法

基于既要反映评价单元内的灾害数量和规模的绝对数,又要反映受灾年份的影响,对受灾年份进行简单的合计不能客观反映发育程度,因此将受灾年份以时间系数的形式进行表达。由于地质灾害发生具有随机性^[18-19],这种随机属性决定了受灾年份以概率

性描述的形式出现, 其统计结果应符合数学正态分布: 若随机变量 X 服从一个位置参数为 μ 、尺度参数为 σ 的概率分布, 且其概率密度函数^[20] 为:

$$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}\right)$$

(8)

正态曲线下, 置信区间 $(\mu-\sigma, \mu+\sigma)$ 内的面积为 68.26%。

$$P = \{|X-u| < \sigma\} = 2\varphi(1) - 1 = 0.682\ 6$$

(9)

置信区间 $(\mu-1.96\sigma, \mu+1.96\sigma)$ 内的面积为 95.44%。

$$P = \{|X-u| < 2\sigma\} = 2\varphi(2) - 1 = 0.954\ 4$$

(10)

置信区间 $(\mu-2.58\sigma, \mu+2.58\sigma)$ 内的面积为 99.74%。

$$P = \{|X-u| < 3\sigma\} = 2\varphi(3) - 1 = 0.997\ 4$$

(11)

据此, 可将受灾年份划分为三个区间, 受灾年份概率密度累计 68.26% 的为第一区间, 受灾年份概率密度累计 95.44% 的为第二区间, 受灾年份概率密度累计 99.74% 的为第三区间。以概率密度区间比值作为时间系数, 假设第一区间为 1, 则第二区间为 1.40, 第三区间为 1.46。

4.3 评价因子计算

根据规模数处理方法, 滑坡、崩塌、泥石流处理后的规模级数值见表 3。

表 3 地质灾害规模级数计算

Table 3 Volume assignment of geo-hazards

规模等级	滑坡规模级数	崩塌规模级数	泥石流规模级数
巨型	7.30	6.08	5.95
大型	6.20	5.35	5.34
中型	5.30	4.30	4.60
小型	2.48	2.00	3.00

根据受灾年份处理方法, 县域内 2011—2020 年滑坡、崩塌、泥石流时间系数见表 4—表 6。

4.4 评价结果

对评价因子进行归一化后, 通过熵权法确定滑坡、崩塌、泥石流数量指数权重(W_1)、点密度指数权重(W_2)、规模指数权重(W_3)、规模密度指数权重(W_4) 见表 7; 滑坡、崩塌、泥石流发育程度指数权重 U_1 、 U_2 、 U_3 分别为 0.33, 0.32, 0.35。

根据曲线斜率法将评价结果划分为高、较高、中、低四级发育区。地质灾害发育程度指数等级划分见表 8, 评价结果见图 1。

(1) 地质灾害发育分区特点

此次研究的 2 848 个县中, 地质灾害高发育区共 323 个县, 涉及 19 个省(自治区、直辖市), 主要分布在湖南大部、湖北西部和东部、江西东南部、广东东部、

表 4 滑坡时间系数

Table 4 Landslide time coefficient

置信区间	滑坡受灾 年份/a	滑坡受灾县数量 /个	滑坡受灾年份 概率密度/%	滑坡时间 系数
$(\mu-\sigma, \mu+\sigma)$	1	333	25.00	1
	2	239	17.94	1
	3	176	13.21	1
	4	126	9.46	1
	累计	874	65.61	—
$(\mu-1.96\sigma, \mu+1.96\sigma)$	5	143	10.74	1.40
	6	109	8.18	1.40
	7	88	6.61	1.40
	8	63	4.73	1.40
	累计	1 277	95.87	—
$(\mu-2.58\sigma, \mu+2.58\sigma)$	9	42	3.15	1.46
	10	13	0.98	1.46
	累计	1 332	100	—

表 5 崩塌时间系数

Table 5 Collapse time coefficient

置信区间	崩塌受灾 年数/a	崩塌受灾县数量 /个	崩塌受灾年份 概率密度/%	崩塌时间 系数
$(\mu-\sigma, \mu+\sigma)$	1	242	21.17	1
	2	177	15.45	1
	3	139	12.14	1
	4	108	9.42	1
	5	129	11.30	1
$(\mu-1.96\sigma, \mu+1.96\sigma)$	累计	794	69.48	—
	6	103	9.03	1.40
	7	94	8.25	1.40
	8	76	6.69	1.40
	累计	1 068	93.45	—
$(\mu-2.58\sigma, \mu+2.58\sigma)$	9	52	4.55	1.46
	10	23	2.01	1.46
	累计	1 143	100	—

表 6 泥石流时间系数

Table 6 Debris flow time coefficient

置信区间	泥石流受灾 年数/a	泥石流受灾县 数量/个	泥石流受灾年份 概率密度/%	泥石流时间 系数
$(\mu-\sigma, \mu+\sigma)$	1	371	56.99	1
	2	130	10.97	1
	累计	501	67.96	—
$(\mu-1.96\sigma, \mu+1.96\sigma)$	3	75	20.52	1.40
	4	26	3.99	1.40
	5	20	3.07	1.40
	累计	622	95.54	—
$(\mu-2.58\sigma, \mu+2.58\sigma)$	6	15	2.30	1.46
	7	8	1.23	1.46
	8	6	0.92	1.46
	累计	651	100	—

福建中西部、四川东部、重庆北部、甘肃南部等地; 高发育县数量前 6 名的省份为四川、湖南、湖北、江西、

表 7 各项评价因子权重

Table 7 Weight of evaluation factors of landslide, collapse and debris flow				
权重类别	W_1	W_2	W_3	W_4
滑坡	0.25	0.24	0.26	0.25
崩塌	0.23	0.27	0.26	0.24
泥石流	0.24	0.23	0.28	0.25

表 8 地质灾害发育程度指数等级界限值

Table 8 The bound value of the development degree indexes of Geo-hazards				
等级	高发育区	较高发育区	中发育区	低发育区
$F/10^{-4}$	$F \geq 8.0$	$3.4 \leq F < 8.0$	$0 < F < 3.4$	$F = 0$

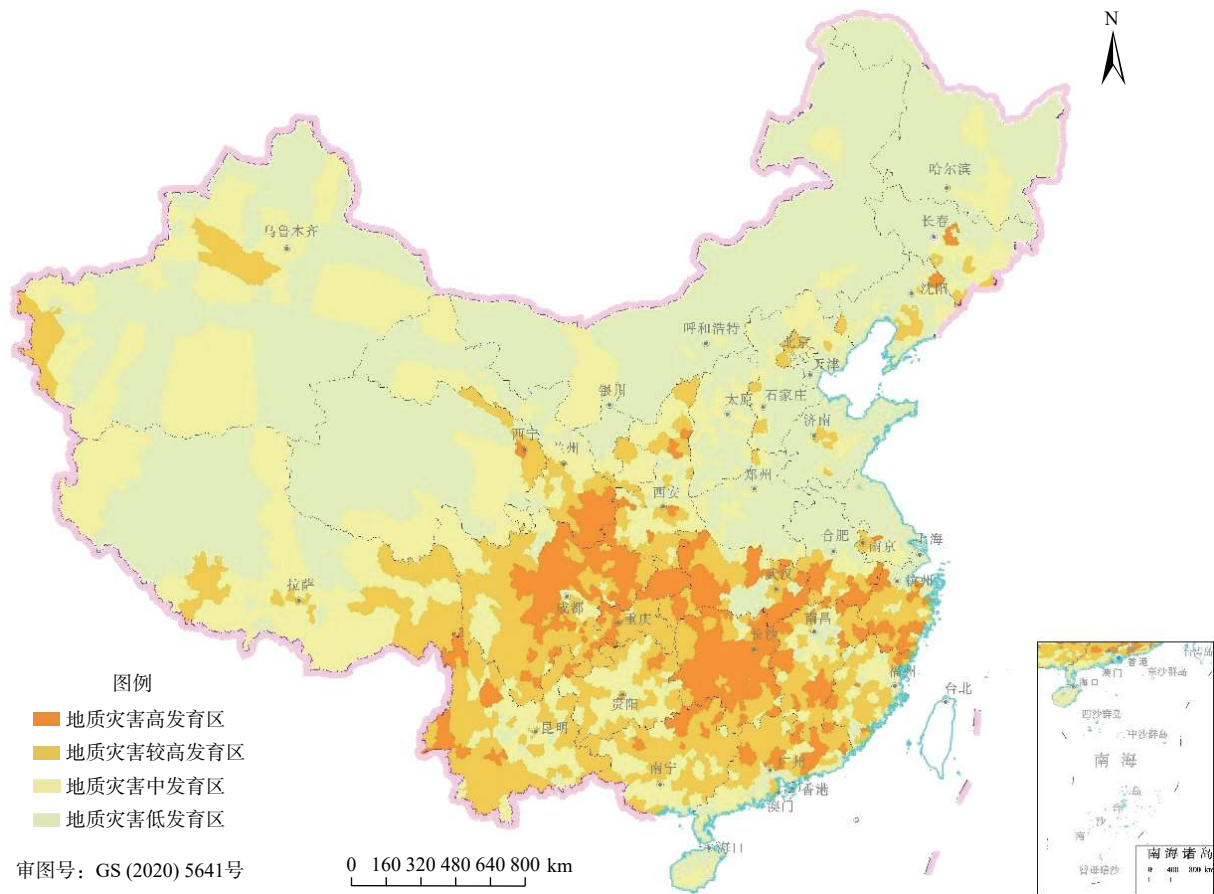


图 1 地质灾害发育程度评价图
Fig. 1 Evaluation map of geo-hazards development degree

甘肃、浙江。较高发育区共 566 个县, 涉及 25 个省(自治区、直辖市), 主要分布在四川大部、云南西部和南部、湖南东南部、湖北北部、江西大部、广东大部、广西大部、福建大部、浙江大部、贵州西南部、陕西南部以及吉林东部; 较高发育县数量前 6 名的省份为四川、云南、广西、江西、湖南、贵州。中发育区 623 个县, 涉及 30 个省(自治区、直辖市), 主要包括新疆大部、西藏大部、甘肃大部、河北大部、山西大部、河南大部。低发育区共 1 336 个县, 涉及 30 个省(自治区、直辖市), 主要包括青海、西藏大部、甘肃北部、内蒙、黑龙江、吉林西部、辽宁西部、河北东部及南部、山东、河南东部、安徽中北部、江苏等地。

(2)评价结果验证

高和较高发育区县数排名前 17 位的省份为四川、湖南、云南、江西、广西、湖北、广东、浙江、贵州、陕西、甘肃、福建、重庆、安徽、西藏、青海、吉林等。

国家部署的 17 个重点防治省(自治区、直辖市)为云南、湖北、重庆、贵州、陕西、山西、浙江、福建、江西、湖南、广东、广西、四川、西藏、甘肃、青海、新疆, 高和较高发育区县数多的省份与之吻合度为 88.2%。

2011—2020 年, 共发生地质灾害 98 739 处, 从数量上看, 主要分布在湖南、四川、江西、湖北、甘肃、广东、云南、广西、重庆、浙江、安徽等 11 个省份, 占灾害发生总数的 89.6%; 从规模上看, 巨型和大型灾害

表 9 地质灾害发育程度评价结果分省数量统计

Table 9 Quantity statistics by provinces of evaluation results of Geo-hazards development degree

/个

省 份	县个数	高发育区县数	较高发育区县数	中发育区县数	低发育区县数	省 份	县个数	高发育区县数	较高发育区县数	中发育区县数	低发育区县数
北京市	16	0	6	2	8	湖北省	103	33	20	15	35
天津市	16	0	0	1	15	湖南省	122	70	38	4	10
河北省	167	0	5	26	136	广东省	122	15	33	40	34
山西省	117	0	0	33	84	广 西	111	10	49	29	23
内蒙古	103	0	0	8	95	海南省	25	0	0	7	18
辽宁省	100	1	7	13	79	重庆市	38	13	20	1	4
吉林省	60	1	5	14	40	四川省	183	73	75	22	13
黑龙江	128	0	0	12	116	贵州省	88	4	37	44	3
上海市	16	0	0	0	16	云南省	129	13	70	39	7
江苏省	94	1	2	12	79	西 藏	74	0	15	43	16
浙江省	89	16	27	28	18	陕西省	107	11	28	47	21
安徽省	104	15	11	14	64	甘肃省	86	17	21	30	18
福建省	85	6	30	22	27	青海省	44	2	10	17	15
江西省	100	21	41	31	7	宁 夏	22	0	2	5	15
山东省	136	0	6	10	120	新 疆	105	0	7	30	68
河南省	158	1	1	24	132	合 计	2 848	323	566	623	1 336

注: 县个数为中华人民共和国民政部截至2020年12月的统计数据。

主要分布在四川、重庆、甘肃、贵州、湖北、云南、湖南、西藏、青海、陕西等 10 个省份, 占灾害总数的 96.4%。高和较高发育区县数多的省份基本为地质灾害数量多、规模大的省份, 与之吻合度为 88.2%。

因此, 不论是从国家防灾减灾部署情况还是从地质灾害发育分布, 本次评价结果都与实际有较高的吻合度。

(3)评价结果对比

引入受灾年份因子后的评价结果与未引入前的评价结果进行对比, 发现评价等级略有差异, 共 48 个

县评价等级不同。通过野外实地调研, 加年份因子后 80% 的县评价等级划分更加合理。例如, 从实际发生数据来看(表 10), 不计受灾年份因子前, 四川省营山县发育程度高于泸定县, 计入受灾年份因子后, 营山县发育程度低于泸定县。泸定县地处龙门山断裂带, 多发生泥石流灾害, 规模以中小型为主, 灾害发育严重; 营山县位于南充丘陵区, 多发育滑坡、崩塌灾害, 规模以小型为主, 灾害发育较泸定县要轻。因此, 评价体系中加入时间指标进行评价更符合实际情况。

表 10 营山县、泸定县、自贡市贡井区引入受灾年份因子前后评价等级差异

Table 10 Different evaluation grades before and after introducing disaster year factor in Yingshan County, Luding County and Gongjing district of Zigong

县名	引入受灾年份因子后等级	未引入受灾年份因子等级	灾害类型	发生数量/起	规模数	点密度/(起·m ⁻²)	规模密度	受灾年数/a
营山县	3	4	滑坡	39	109	0.024	0.067	5
			崩塌	2	4	0.001	0.002	1
			滑坡	14	38	0.006	0.005	3
泸定县	4	3	崩塌	3	6	0.001	0.003	2
			泥石流	41	146	0.019	0.068	8

5 结论

(1)引入受灾年份因子弥补地质灾害发育程度评价中时间指标的空白, 基于此构建的发育程度指数, 是代表区域灾害数量、点密度、体积、体积密度、受灾年份等特征的函数。

(2)采用熵权法确定评价因子的权重, 建立评价模型, 根据评价结果划分为高、较高、中、低四级发育区。熵权法作为客观综合定权法, 能准确反映评价指

标所含的信息量, 可解决评价各指标信息量大、准确进行量化难的问题。采用取体积中位数对数方法处理规模数据, 解决规模数量级差大的问题。基于对受灾年份进行简单的合计不能客观反映发育程度, 采用概率密度法处理受灾年份数据, 将受灾年份以时间系数的形式进行表达。

(3)选取 2011—2020 年已发生的地质灾害点, 评价区域为除香港特别行政区、澳门特别行政区、台湾

地区以外的全国 31 个省(自治区、直辖市)。按文中方法进行评价,评价方法划分为四个等级:地质灾害高发育区共 323 个县,涉及 19 个省(自治区、直辖市),主要分布在湖南大部、湖北西部和东部、江西东南部、广东东部、福建中西部、四川东部、重庆北部、甘肃南部等地。较高发育区共 566 个县,涉及 25 个省(自治区、直辖市),主要分布在四川大部、云南西部和南部、湖南东南部、湖北北部、江西大部、广东大部、广西大部、福建大部、浙江大部、贵州西南部、陕西南部以及吉林东部。中发育区 623 个县,涉及 30 个省(自治区、直辖市),主要包括新疆大部、西藏大部、甘肃大部、河北大部、山西大部、河南大部。低发育区共 1 336 个县,涉及 30 个省(自治区、直辖市),主要包括青海、西藏大部、甘肃北部、内蒙、黑龙江、吉林西部、辽宁西部、河北东部及南部、山东、河南东部、安徽中北部、江苏等地。

(4)不论是从国家防灾部署情况还是从地质灾害发育分布,本次评价结果都与之有较高的吻合度。野外实地调研证明,引入反映时间分布的受灾年份因子后的评价结果较引入前更符合实际情况。

参考文献 (References) :

- [1] 中华人民共和国国务院. 地质灾害防治条例(国务院令 394 号)[Z]. 2003.
- [2] 刘传正, 李铁锋, 程凌鹏, 等. 区域地质灾害评价预警的递进分析理论与方法[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(4): 1 - 8. [LIU Chuazheng, LI Tiefeng, CHENG Lingpeng, et al. A method to analyze four parameters for assessment and early warning on the regional geo-hazards[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2004, 31(4): 1 - 8. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 李媛, 孟晖, 董颖, 等. 中国地质灾害类型及其特征——基于全国县市地质灾害调查成果分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(2): 29 - 34. [LI Yuan, MENG Hui, DONG Ying, et al. Main types and characteristics of geo-hazard in China: Based on the results of geo-hazard survey in 290 counties[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2004, 15(2): 29 - 34. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 张建江. 贵州区域地质灾害发育程度初探[J]. 贵州地质, 2009, 26(4): 317 - 320. [ZHANG Jianjiang. Discussion of regional geologic disaster developing degree in Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 2009, 26(4): 317 - 320. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 杨森林, 陈革平, 裴永伟. 贵州地质灾害发育分区[J]. 贵州地质, 2011, 28(2): 131 - 134. [YANG Senlin, CHEN Geping, PEI Yongwei. Zoning of developing condition of geologic disaster in Guizhou Province[J]. *Guizhou Geology*, 2011, 28(2): 131 - 134. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 王涛, 吴树仁, 石菊松, 等. 秦岭中部太白县地质灾害发育特征及危险性评估[J]. 地质通报, 2013, 32(12): 1976 - 1983. [WANG Tao, WU Shuren, SHI Jusong, et al. Case study of landslide characteristics and hazard assessment in Taibai County, central Qinling Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(12): 1976 - 1983. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 黄丽, 李奇, 袁华东. 降水对湖北省地质灾害发育程度的影响[J]. 资源环境与工程, 2012, 26(4): 369 - 375. [HUANG Li, LI Qi, YUAN Huadong. Impact of precipitation on the degree of development of geological disasters in Hubei Province[J]. *Resources Environment & Engineering*, 2012, 26(4): 369 - 375. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 李媛, 曲雪妍, 房浩, 等. 地质灾害综合评价指标体系和评价方法研究[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(5): 129 - 132. [LI Yuan, QU Xueyan, FANG Hao, et al. A study of comprehensive evaluation index system and methods for geo-hazard[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2013, 40(5): 129 - 132. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 王杰涛, 於李军, 刘亚洲. 地质灾害发育强度等级图绘制方法研究[J]. 科技经济导刊, 2017(6): 27 - 28. [WANG Jietao, YU Lijun, LIU Yazhou. Study on mapping method of development intensity grade of geological hazard[J]. *Technology and Economic Guide*, 2017(6): 27 - 28. (in Chinese)]
- [10] 宋彦辉, 彭建兵. 山区公路地质灾害评价模型探讨[J]. 公路交通科技, 2005, 22(6): 34 - 36. [SONG Yanhui, PENG Jianbing. Discussion on the evaluation model of highway geological disasters in mountainous area[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2005, 22(6): 34 - 36. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 郭昱. 权重确定方法综述[J]. 农村经济与科技, 2018, 29(8): 252 - 253. [GUO Yu. A review of weight methods[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2018, 29(8): 252 - 253. (in Chinese)]
- [12] 贾艳红, 赵军, 南忠仁, 等. 基于熵权法的草原生态安

- 全评价——以甘肃牧区为例[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(8): 1003 – 1008. [JIA Yanhong, ZHAO Jun, NAN Zhongren, et al. Ecological safety assessment of grassland based on entropy-right method: A case study of Gansu pastoral area[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(8): 1003 – 1008. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 丁笑舒. 相似度计算中的权重确定方法文献综述[J]. 计算机光盘软件与应用, 2015, 18(2): 106. [DING Xiaoshu. A review of the methods of weight determination in similarity calculation[J]. *Computer CD Software and Applications*, 2015, 18(2): 106. (in Chinese)]
- [14] 冯运卿, 李雪梅, 李学伟. 基于熵权法与灰色关联分析的铁路安全综合评价[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(2) [FENG Yunqing, LI Xuemei, LI Xuewei. Comprehensive evaluation method for the railway safety based on the entropy method and the grey relation analysis[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2014, 14(2):73-79. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 朱吉祥, 张礼中, 周小元, 等. 基于信息熵的灰色模型在地质灾害评价中的应用——以四川青川县为例[J]. *灾害学*, 2012, 27(1): 78 – 82. [ZHU Jixiang, ZHANG Lizhong, ZHOU Xiaoyuan, et al. Application of entropy-based grey model in geological hazard assessment—A case study of Qingchuan County, Sichuan Province[J]. *Journal of Catastrophology*, 2012, 27(1): 78 – 82. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 中华人民共和国国务院. 国家突发地质灾害应急预案[Z]. 2006.
- [17] 强菲, 赵法锁, 段钊. 陕南秦巴山区地质灾害发育及空间分布规律[J]. *灾害学*, 2015, 30(2): 193 – 198. [QIANG Fei, ZHAO Fasuo, DUAN Zhao. Development and spatial distribution of geological disasters in Qinling-Daba mountains of south Shaanxi[J]. *Journal of Catastrophology*, 2015, 30(2): 193 – 198. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 郭跃, 林孝松. 地质灾害系统的复杂性分析[J]. 重庆师范学院学报(自然科学版), 2001, 18(4): 1 – 7. [GUO Yue, LIN Xiaosong. An analysis of the complexity of geological hazard system[J]. *Journal of Chongqing Teachers College (Natural Science Edition)*, 2001, 18(4): 1 – 7. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 徐海云, 涂雄苓, 罗付岩. 中国突发性地质灾害分布的统计规律[J]. 数理统计与管理, 2010, 29(6): 951 – 960. [XU Haiyun, TU Xiongleng, LUO Fuyan. An empirical law of distribution of abrupt geological hazards in China[J]. *Journal of Applied Statistics and Management*, 2010, 29(6): 951 – 960. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 陈希孺. 数理统计学简史[M]. 长沙:湖南教育出版社, 2002: 112 – 114. [CHEN Xiru. Concise history of statistics[M]. Changsha:Hunan Education Publishing House, 2002: 112 – 114. (in Chinese)]

编辑: 汪美华