

# 自然灾害的综合风险评估综述

缪白玉, 温家乐

成都市生态环境工程评估与绩效评价中心, 四川 成都

收稿日期: 2023年7月5日; 录用日期: 2023年8月17日; 发布日期: 2023年8月29日

## 摘要

我国是自然灾害多发的国家, 这给人民群众的生产生活带来了巨大困难, 也给国家的经济建设带来影响。文章通过对有关自然灾害风险评估的大量文献进行整理, 深入了解自然灾害风险评估的定义, 简单梳理了前人对于自然灾害风险评估的常用研究方法和模型, 以及多学科在自然灾害风险评估中的交叉应用, 认为当前常用的自然灾害风险评估方法和模型有层次分析法、模糊数学统计法等, 但尚还没有一个规范的评估标准体系, 仍需朝着深入研究自然灾害风险评估的方向进行研究, 并提出当今自然灾害风险评估的创新与不足之处, 以便更好的为防灾减灾工作服务, 确保人员的最低伤亡, 减少灾害风险, 具有重大的科学和实践意义。

## 关键词

自然灾害, 风险评估, 综述

# A Review of Integrated Risk Assessment for Natural Disasters

Baiyu Miao, Jiale Wen

Chengdu Ecological Environmental Project Evaluation and Performance Evaluation Center, Chengdu Sichuan

Received: Jul. 5<sup>th</sup>, 2023; accepted: Aug. 17<sup>th</sup>, 2023; published: Aug. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

China is a country which has frequent natural disasters, bringing great difficulties to people's production and life. What's more, it also affects the country's economic construction. By sorting out a large number of literatures related to natural disaster risk assessment, this paper has an in-depth understanding of the definition of natural disaster risk assessment, and briefly summarizes the common research methods and models of natural disaster risk assessment by predeces-

sors, as well as the cross-application of multi-disciplines in natural disaster risk assessment. Before sorting out the literature, I hold the view that the current natural disaster risk assessment methods and models such as analytic hierarchy process and fuzzy mathematics statistics method, but it is also not a standard evaluation criteria system. And we still need to go further study of the natural disaster risk assessment research and put forward the innovation and deficiency of natural disaster risk assessment, ensuring better service for disaster prevention and mitigation work. It is of great scientific and practical significance to ensure the lowest casualties and reduce disaster risk.

## Keywords

Natural Disasters, Risk Assessment, Review

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

自然灾害的存在已经成为了全球性问题之一, 自然灾害给人民群众的生产生活带来了巨大困难, 也给国家的经济建设带来影响, 如何针对自然灾害的特征和规律从而有效规避自然灾害的风险成了当今自然灾害防范的亟待解决的难点之一。自然灾害主要包括地震、滑坡、洪涝、泥石流等。时至今日, 自然灾害的实例仍在世界各地不断演变, 层出不穷。2020年, 印尼雅加达发生7年来最惨重洪灾, 已经导致60人死亡。2020年初, 澳大利亚森林火灾已造成25人遇难, 逾800公顷土地被烧毁, 数百万只动物死亡, 还有近2000所房屋被毁。据统计, 2021年上半年我国自然灾害共造成2801.9万人次受灾, 156人因灾害死亡失踪, 29.7万人次紧急转移安置; 1.3万间房屋倒塌, 45.1万间不同程度损坏; 农作物受灾面积2921.7千公顷, 其中绝收237.7千公顷; 直接经济损失408.6亿元。

在国外, 自然灾害风险评估是在20世纪左右灾害研究不断深入以及经济的发展使得保险业迅猛发展的背景下发展起来。而国内的自然灾害风险评估相比国外发展较晚, 学术界对于自然灾害风险评估有着不同的看法和方法, 因此在总体上仍缺乏系统的理论与方法。

自然灾害风险评估是对特定某种或多种自然灾害的发生所导致的结果经过多种分析方法如层次分析法、反距离权重法和相关系数分析等并结合或构建相应的模型体系进行综合评估灾害风险。本文在结合自然灾害的理论和研究的基础上, 结合国内外对自然灾害风险评估的方法体系和模型, 梳理前人总结的经验和方法, 得出当前的不足和需改进之处, 总结并展望未来的研究创新方向, 更加明确地为各相关部门提供防灾减灾的应急预案, 针对所发生的风险提供相应的救援措施, 进而最大程度上保障人员的人身安全, 提高各级综合减灾能力, 最大限度地减轻自然灾害的损失。

## 2. 自然灾害风险评估的定义和理论

### 2.1. 风险定义

风险的定义是对人类价值的事物产生不确定性后果的状态[1]。即包含三个层面: 1) 风险是一种状态; 2) 风险会产生不确定性后果; 3) 风险影响的是对人类有价值的事物, 且不确定性概念是风险定义的必要条件[2]。

## 2.2. 自然灾害风险评估理论

风险评估是根据对风险发生可能性及其后果影响程度, 判断系统是否安全, 并进一步决定是否采取相应措施的过程。从定义出发, 风险可以用后果的期望值来表征, 即事件概率和事件后果的乘积, 计算如公式(1)所示[3]:

$$R = P \times C \quad (1)$$

式中:  $R$  为风险;

$P$  为发生概率;

$C$  为后果。

自然灾害风险评估是指对生命、财产、生计以及人类依赖的环境等可能带来潜在威胁或伤害的致灾因子和承灾体的脆弱性进行分析和评价, 进而判定出风险性质、范围和损失的一系列过程。周姝天[3]认为自然灾害风险是指在特定时间内、在特定区域内, 有可能发生的特定自然现象所造成的预期损失的程度。灾害风险评估即针对风险区遭受灾害的可能性及后果进行定量的评估分析[4]。将各种可能发生特定自然现象的灾害风险期望值进行求和, 即可获得自然灾害风险的量化数据, 针对特定区域自然灾害风险进行合理评估。自然灾害风险评估是灾害风险研究的核心, 也是风险管理的重要内容。目前, 多种灾种风险综合评估研究正成为热门的研究方向[3]。

## 3. 自然灾害的分类和特点

我国是自然灾害多发的国家, 这给人民群众的生产生活带来了巨大困难, 也给国家的经济建设带来影响。自然灾害的种类有很多。其中, 中国的自然灾害主要有气象灾害、地震灾害、地质灾害、海洋灾害、生物灾害和森林草原火灾[5]。根据《突发事件应对法》应急事件有以下几类: 一类是自然灾害, 另一类是事故灾难, 还有一类是公共卫生事件。其中自然灾害中又分为十类: 地震、干旱、洪涝、病虫害、高温热浪、台风、滑坡泥石流、低温冷冻和雪灾、森林草原火灾、其他自然灾害等。自然灾害的发生不仅会造成直接经济损失, 包括人员伤亡及财产损失、建筑设施(房屋、道路、桥梁)的损毁以及修复等; 还会产生多种破坏效应而造成间接的经济损失, 如工业产值下降、破坏生态环境、影响社会稳定发展[6]。以下是自然灾害的发生所具有以下几个特点: 1) 自然灾害种类多、发生的频率高; 2) 发生具有广泛性和周期性; 3) 发生频率高且不可避免其危害; 4) 人才损失严重且影响范围较广[5] [6]。

## 4. 前人对自然灾害风险评估的研究方法和发现

目前, 国内外对于自然灾害的风险评估的研究已经有了较深入的研究, 其研究方法也有许多种。建立综合评价模型是研究灾害风险评价的主要方法之一, 下面将列举几个前人对于某些自然灾害风险评估所做的研究方法和模型。

成陆[7]以自然灾害风险评估相关理论为基础, 针对武安市的实际情况, 采用专家评判法, 结合研究对象的地形条件及气候水文特征, 参考系统整体性的原则和暴雨洪涝灾害风险技术规范, 从致灾危险性、灾害敏感性和防减灾能力 3 个方面筛选出 9 个指标, 分别是多年汛期平均降水量、强降水频次、地形坡度、高程、植被指数、地表行洪能力、河道缓冲区等级、人口密度、经济投入水平。评价过程结合专家意见对多个影响因子进行分级、赋值并归一, 得到一致性检验结果, 各指标权重值见表 1。进而建立了洪涝灾害风险评价指标体系和相关风险评价指数模型(FDRI), 评价指标体系如图 1 所示, 评价指数的计算如公式(2)所示:

$$FDRI = (H \times W_H + S \times W_S) - C \times W_C \quad (2)$$

式中:  $FDRI$  为洪涝灾害风险评价综合指数;

$H$  为致灾危险性;

$S$  为灾害敏感性;

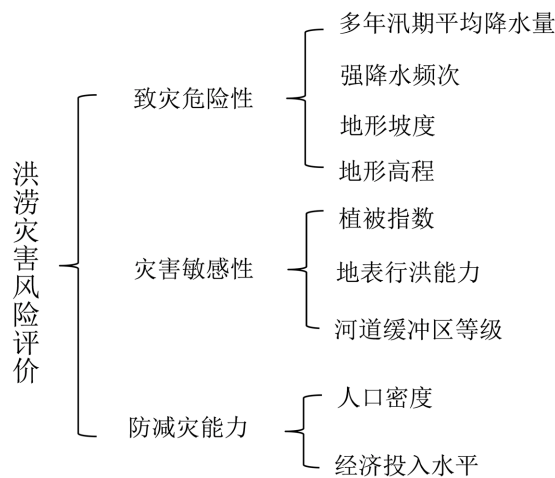
$C$  为防减灾能力;

$W_H$ 、 $W_S$  和  $W_C$  分别是三种影响因子的权重。

**Table 1.** Flood disaster evaluation indicators with weight values

**表 1.** 洪涝灾害风险评价指标因子权重值[7]

洪涝灾害风险评价指标体系	影响因子	权重	评价指标	权重	组合权重
	致灾危险性	0.537	多年汛期年均降水量	0.307	0.165
强降水频次			0.258	0.139	
地形坡度			0.206	0.111	
地形高程			0.229	0.123	
灾害敏感性	0.348	植被指数	0.412	0.143	
		地表行洪能力	0.277	0.311	
		河道缓冲区等级	0.096	0.108	
防减灾能力	0.115	人口密度	0.542	0.062	
		固定资产投资额	0.458	0.053	



**Figure 1.** Flood risk assessment index system

**图 1.** 洪涝灾害风险评价指标体系[7]

曹罗丹[8]基于历史洪涝资料及地形、气候等地面数据及社会经济统计数据,运用遥感和GIS技术,从洪涝灾害的危险性、暴露性、脆弱性及防灾减灾能力等四个方面,构建洪涝灾害风险评估模型-模糊综合评价方法(FCA),利用隶属函数最大法和加权平均法对综合评价结果向量进行分析,对浙江省洪涝灾害进行了风险评估。其中,危险性是指某种特定强度的自然灾害在未来某段时间内发生的概率。暴露性是指洪涝灾害发生时,暴露于洪灾影响之中的人群或其他人工产物。脆弱性则指的是暴露于某一强度的

洪涝灾害之中的灾害风险要素面对某一强度的危险性所遭受的损失程度[9]。防灾减灾能力是指某一区域在应对某一强度洪涝灾害的能力及降低风险的作用[10]。在进行推广使用历史资料进行洪水风险管理时, 可以建立区域洪水数据库或推广长期历史气候系列网络。

李鹏[11]通过采用在定性分析的基础上结合定量分析的方法评估研究区的自然灾害风险, 主要运用 AHP 主层次分析法等, 结合 GIS 空间分析评估风险。

黄诗曼[12]基于区域生态风险评价[13]的方法对峨眉山风景区生态风险进行综合评价, 从自然灾害和人类干扰两方面角度分析该区域的生态风险, 依据生态风险度量原理, 通过计算风险发生概率和生态易损性求得生态风险值, 利用克里金插值法求得峨眉山风景区生态风险空间分布, 结果详见表 2。

**Table 2.** Results of the ecological risk assessment in Mount Emei

**表 2.** 峨眉山风景区生态风险综合评价结果[12]

项目	自然灾害	人类干扰	
风险概率	干旱	0.1688 (40.9%)	
	土壤侵蚀	0.0401 (9.8%)	0.0393
	地质灾害	0.2034 (49.3%)	
	总计	0.4123	
生态易损性	0.0505	0.0505	
风险值	0.0258	0.0028	
贡献率	89.9	10.1	

注: 括号内数值表示 3 种不同自然灾害对自然灾害风险概率的贡献率。

李益敏[14]基于多种致灾因子并通过确定性系数型( $C_F$ )的概率函数法, 在 GIS 技术支持下, 以滑坡灾害频发的泸水市为例, 以收集到的 235 起滑坡灾害点资料为基础, 结合确定性系数模型和财产、人口易损性评价模型以及风险性评价模型, 对泸水市通过公式(3)进行滑坡灾害风险性评价, 根据确定性系数  $C_F$  的数值大小评估灾害发生的可能性, 详见表 3。

$$C_F = \frac{P_a - P_s}{P_s(1 - P_a)}, P_a < P_s \tag{3}$$

$$C_F = \frac{P_a - P_s}{P_a(1 - P_s)}, P_a \geq P_s$$

式中:  $C_F$  为确定性系数;

$P_a$  为滑坡灾害事件在指标因子  $a$  类别(级别)中发生的条件概率;

$P_s$  为滑坡灾害事件在研究区  $S$  中发生的先验概率。

李大驰[15]采用 Mann-Kendall 突变检验法、滑动平均值法、层次分析法、反距离权重法、小波周期分析等方法, 分析了西北地区降水、气温的时间序列趋势、突变特性及空间分布特征, 并对农业干旱灾害致灾因子的时空分布及周期变化特征进行分析; 采用 Pearson 相关系数和小波交叉分析法分析了国家气象干旱综合指数(MCI)对 ENSO 事件、北极涛动等大尺度气候因子的响应; 基于灾害风险理论, 采用层析分析法确定西北地区农业干旱灾害风险指标及各因子的权重, 在 GIS 平台对研究区域内的农业干旱灾害风险指标进行空间分布分析, 对西北干旱灾害风险评估具有重要参考价值。



**Table 3.** Meaning of different certainty coefficients  
**表 3.** 不同确定性系数数值含义

确定性系数数值	灾害发生可能性
$C_F > 0$	发生可能性较高
$C_F \leq 0$	发生可能性较低

注： $C_F$  的正常范围是[-1, 1]。

武辰爽[16]基于 GIS 的川藏铁路林芝段地质灾害危险性评价以川藏铁路林芝段为重点研究对象, 基于野外勘察的实际情况, 结合林芝地区的自然地理和地质环境条件, 对研究区内滑坡、泥石流和崩塌的发育特征和灾害控制因素进行了详细分析, 并将模糊数学方法与层次分析模型在 ArcGIS 中结合使用, 开展了林芝市地质灾害的危险性评价工作。

## 5. 多学科在自然灾害风险评估中的应用

自然灾害风险评估在当今高度呼吁保护生态环境的环境下显得尤为重要。如何通过最有效、最直观的方法做到防灾减灾, 在以预防为主的同时降低灾害发生时的损失, 造福人类, 保护环境是当今研究的主要内容。如今对于学科的深入研究, 我们越来越倡导学科交叉融合与应用, 因此, 越来越多的学科运用到自然灾害风险评估当中。除此之外, 通过多种学科对与多灾种进行综合风险评估的模式研究正成为如今发展的方向。

随着大数据时代的到来, “大数据”已经在各领域中成为了不可或缺的一部分。大数据有数据量大、数据类型繁多且处理速度快的优势。为了降低自然灾害带来的影响, 需要对其进行有效监测。在自然灾害风险评估中, 大数据技术发挥着巨大的作用。灾害危险性评价是自然灾害研究中的重要一环, 其相关研究整合较多影响因素, 具有明显的大数据的特点。灾害性评价系统的构建离不开大数据技术的支持, 通过人工智能、机器学习等一系列技术研究, 大数据在灾害的易发性评价和灾害预警中取得了很好的效果[17]。张永宏[18]基于神经网络, 结合 BorderlineSMOTE 算法, 遗传算法和平均影响值算法对影响泥石流发生的地质大数据进行分析与挖掘, 并建立泥石流易发性评价模型, 从而为评价研究区域泥石流易发程度提供参考。

无人机遥感在自然灾害风险评估中也发挥了重要的作用。无人机遥感技术具有快速响应、图像分辨率高、操作简单灵活、自主性强的优势, 在各个领域得到了广泛的应用。冯天计[19]基于无人机遥感对研究区的滑坡进行自动化提取, 并建立离散元模型对滑坡运动过程进行模拟, 对研究区进行生态承载力评价和单位面积生态服务价值评估, 对滑坡造成的生态系统损失进行评价。吉林省东南部山区滑坡灾害造成的生态承载力损失评估研究。禹信[20]基于无人机遥感技术, 分析了泥石流灾害监测的必要性, 并研究了基于无人机遥感与 GIS 技术的泥石流灾害监测。

人工智能在山洪灾害、洪水预报等灾害中也有一定的应用。人工智能包含专家系统、神经网络系统、学习系统、群智能系统等多种类别, 不同系统具有各自特点。山洪灾害的预警预报、风险评估等内容多为大数据, 通过使用人工智能中机器学习有关方法可以精确高效的处理指标数据及建立模型, 提高灾害风险因子的利用率。其中, 常用的机器学习方法有: 主成分分析与系统聚类相耦合、卷积神经网络 CNN、神经网络理论以及随机森林、遗传算法、支持向量回归等[21] [22]。通过机器学习建立模型进而进行风险评估, 有利于综合多方面因素, 对灾害的时空特征的预测与分析把握更加全面, 使灾害风险的结果更加优化, 为预警预报系统更加完善。

GIS 技术可以有效监测地质灾害, 降低地质灾害带来的损失, 发挥着重要的作用。用地理信息系统的空间分析功能, 将数据按相关主题进行叠加分析, 指导用户进行有效的决策, 及时发现危险源, 实现灾害过程动态监测、区域灾害风险评估, 达到监测预警的目的。目前我国已建设覆盖全国的数字化测震站网, 实现了对有影响地震和非天然地震事件的快速准确测定和信息发布, 为地震预测和科学研究提供数据平台。各行政区也建立相应网站实时监测自然灾害的发生[23]。莫建飞[24]基于 GIS 的风险指数法, 建立台风灾害承灾体脆弱性评价模型, 实现了像元尺度的广西台风灾害承灾体脆弱性精细化评价。李琦[25]基于研究区地址灾害分布数据, 采用信息量法和加权信息量法分别构建地址灾害危险性评价模型, 进行地质灾害危险性评价, 利用 GIS 技术将研究区危险性等级划分为四个等级, 进行空间分析, 定量分析研究区地质灾害危险性。武辰爽[16]基于模糊数学法构建层次分析模型, 在 Arcgis 中展开林芝市地质灾害的危险性评价。研究通过构建浙江省社会脆弱性评价体系, 利用 Pearson 相关性分析和主成分分析筛选评价指标, 从时间和空间尺度动态分析浙江省社会脆弱性现状, 并利用 Arcgis 将结果可视化, 根据研究结果提出针对性的防灾减灾建议, 并通过构建二元 Logistic 模型, 分析影响杭州市家庭适应性的因素, 有针对性的开展防灾减灾规划。曹琼珊[26]基于 GIS 技术的风暴潮灾害风险评估研究结合研究区内风暴潮灾害的特征, 采用指标体系法, 结合 GIS 技术对研究区域内风暴潮灾害风险进行具体分析, 绘制研究区风暴潮灾害风险区划图, 并提出相应的风险管理方法, 如防灾抗灾的一系列措施等。

## 6. 自然灾害风险评估创新和不足

樊泽豪[27]通过自然灾害自动报警仪运用数据编程在最大程度上预测包括火灾、地震以及洪灾水灾的发生, 当灾害来临时给人们一种警示, 给人们一个缓冲和寻找避难场所的时间, 从而达到预防灾害的作用。洪灾、地震、台风等自然灾害, 事关公共利益, 受众关注度高[28]。许多新闻媒体在对自然灾害进行报道时容易出现同质化现象, 若通过融合传播创新的手段快速传播信息, 及时传达有关部门的部署任务, 遵循传播规律, 创新开展融媒体报道, 无疑能够对于防灾减灾和新闻传播带来一定的进步和参考。

目前我国自然灾害管理仍没有十分系统规范, 仍存在灾种界定不清、统计内容不规范等问题。此外, 对于灾情的风险评估方法仍然没有一个最有效的结论[29], 仍处于各抒己见的情况, 原因是我们尚不能够建立一个有理论支持、可以解释和评估所有自然灾害影响的风险评估模型。如何将理论模型发展和自然灾害管理实践相结合, 可能是本领域现在所面临的最大挑战。

## 7. 小结

综合以上对于自然灾害风险评估的综述可知, 现阶段国内外对于自然灾害的风险评估仍然没有较统一的标准, 且评估所涉及的方法也比较多样。其中得到较高认可且使用的方法有层次分析法以及模糊数学统计法等, 更多的学者在分析的过程中通过从灾害的危险性、暴露性、脆弱性及防灾减灾能力等四个方面, 结合多方面致灾因子的影响, 构建模型体系进行分析。但由于对于不同的灾害所涉及的因素差异较大, 因此选取或使用的模型各有千秋, 由于灾害发生具有许多的不确定因素以及影响灾害发生的因子也有许多不确定性, 因此分析得到的结果只能在一定程度上为灾害风险评估提供一定的借鉴意义, 为灾害的危害起到削弱和预防提供参考价值。此外, 还需要更加深入的研究对灾害风险评估建立一套标准的评估体系或评估方法。因此, 对于灾害风险评估的研究发展道路仍任重道远。

## 8. 展望

地震、洪水及泥石流等自然灾害的危害以及对国家损失和人的生命流逝会对我国经济带来巨大的考验。我国每年在防灾减灾方面都会投入大量的人力、物力。灾害发生后, 所造成的损失也是不可估量的。

因此, 对于自然灾害风险的评估显得尤为重要。自然灾害风险评估不仅可以深入研究灾害成因和发展规律, 了解灾害发生和变化机制, 还为制定灾害防灾减灾政策提供了科学的参考价值。如今, 自然灾害风险评估模型与方法仍较多种, 不断深入在多学科当中的应用研究, 且仍需注入创新活力。自然灾害的频发将直接考验我国自然灾害的预测和处理能力, 有些灾害在发生前可提前预测, 从而做好避灾准备, 但有些灾害从有征兆到发生间隔期很短, 很难进行预测, 只能靠灾害发生之后的及时处置来将灾害带来的损失降到最小。因此, 建立一套应对各类灾种的灾害风险评估体系尤为重要, 这也是接下来我们所需要的方向。

## 参考文献

- [1] 于汐. 重大岩土工程风险评估基础理论研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地震局工程力学研究所, 2018.
- [2] 李潇昂. 甘肃省地震灾害风险评估研究[D]: [硕士学位论文]. 廊坊: 防灾科技学院, 2021.
- [3] 周姝天, 翟国方, 施益军, 等. 城市自然灾害风险评估研究综述[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 180-186.
- [4] 黄崇福. 自然灾害风险评估: 理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [5] 田泽宇, 樊婧, 刘庆. 关于 BIM+GIS 可视化研究在减轻自然灾害影响的应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2019(17): 6042.
- [6] 霍艺彤. 河北省自然灾害应急物流系统脆弱性评估[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2021.
- [7] 成陆, 付梅臣, 王力. 基于 RS 和 GIS 的县域洪涝灾害风险评估[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(6): 37-44+68.
- [8] 曹罗丹, 李加林. 基于遥感与 GIS 的浙江省洪涝灾害综合风险评估研究[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(4): 111-119.
- [9] Cutter, S.L., Boruff, B.J. and Shirley, W.L. (2003) Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84, 242-261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- [10] Coeur, D. and Lang, D. (2009) Use of Documentary Sources on Past Flood Events for Flood Risk Management and Land Planning. *Comptes Rendus Geoscience*, 340, 644-650. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2008.03.001>
- [11] 李鹏. 广西北部湾经济区自然灾害时空分异与风险性评估[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西师范学院, 2014.
- [12] 黄诗曼, 胡庆武, 李海东, 王少华. 基于 RS 和 GIS 的峨眉山风景区生态风险评估[J]. 环境科学研究, 2020, 33(12): 2745-2751.
- [13] 付在毅, 许学工. 区域生态风险评估[J]. 地球科学进展, 2001, 16(2): 267-271.
- [14] 李益敏, 袁静, 蒋德明等. 基于 GIS 的西南高山峡谷区滑坡风险性评价——以怒江州泸水市为例[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2021, 57(6): 94-102.
- [15] 李大驰. 西北地区农业干旱灾害风险评估[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [16] 武辰爽. 基于 GIS 的川藏铁路林芝段地质灾害危险性评价[D]: [硕士学位论文]. 拉萨: 西藏大学, 2021.
- [17] 章浩天. 基于大数据的地质灾害多发区风险性评价[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2021.
- [18] 张永宏, 葛涛涛, 田伟, 夏广浩, 何静. 基于地质大数据的泥石流灾害易发性评价[J]. 计算机应用, 2018, 38(11): 3319-3325.
- [19] 冯天计. 吉林省东南部山区滑坡灾害造成的生态承载力损失评估研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2019.
- [20] 禹信. 基于无人机遥感与 GIS 技术的泥石流灾害监测[J]. 河南建材, 2019(6): 307-308.
- [21] 张帆. 基于人工智能的山洪灾害风险早期识别研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 华北水利水电大学, 2020.
- [22] 惠强. 基于人工智能的洪水预报算法的研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2020.
- [23] 张莹莹. 地理信息技术辅助高中地理自然灾害教学研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北师范大学, 2021.
- [24] 莫建飞, 黄思琦, 钟仕全, 陈燕丽. 基于 GIS 的精细化广西台风灾害承灾体脆弱性评价[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(2): 177-181.
- [25] 李琦. 基于 GIS 的庄河市地质灾害危险性评价[D]: [硕士学位论文]. 大连: 辽宁师范大学, 2021.
- [26] 曹琼珊. 基于 GIS 技术的风暴潮灾害风险评估研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2015.



- [27] 樊泽豪, 沈悦, 张佳康, 单宇熙, 赵炳林. 自然灾害自动预警仪的创新设计[J]. 电子技术与软件工程, 2020(17): 81-82.
- [28] 王弘毅. 论自然灾害事件下党报的融媒体报道创新——以安徽日报 2020 年抗洪抢险新媒体报道为例[J]. 新闻世界, 2021(5): 33-36.
- [29] 袁艺, 张磊. 中国自然灾害灾情统计现状及展望[J]. 灾害学, 2006(4): 89-93.