

近 20 年地质灾害气象风险预警研究文献图谱可视化分析

王惠卿, 肖锐铨, 刘艳辉, 陈春利, 方志伟, 苏永超

Visualization analysis of research literature on early warning of geo-hazards based on meteorological factors in the past 20 years

WANG Huiqing, XIAO Ruihua, LIU Yanhui, CHEN Chunli, FANG Zhiwei, and SU Yongchao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202401016>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于CiteSpace的浅层滑坡文献计量分析

Metrological analyses on literatures of shallow landslides using CiteSpace software

吕佼佼, 范文, 高徐军, 张友科 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(1): 43–49

基于机器学习的滑坡崩塌地质灾害气象风险预警研究

Exploring early warning and forecasting of meteorological risk of landslide and rockfall induced by meteorological factors by the approach of machine learning

李阳春, 刘黔云, 李潇, 顾天红, 张楠 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(3): 118–123

基于“3S”技术的地质灾害监测预警系统在我国应用现状

Review on geological disaster monitoring and early warning system based on “3S” technology in China

张凯翔 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 1–11

基于普适型仪器的滑坡监测预警初探——以甘肃兰州岷县三处滑坡为例

Application of universal geo-hazard monitoring instruments in landslides and early warning of three landslides in Gansu Province: a case study in Minxian County and Lanzhou City of Gansu Province

侯圣山, 李昂, 陈亮, 冯振, 王立朝, 曹鹏, 刘军友, 郑浩, 李阳光, 黄鑫, 郭伟, 魏新平 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 47–53

2004—2018年北京市突发地质灾害时空分布特点和监测预警状况

Temporal-spatial distribution and monitoring and early warning of sudden geological disasters in Beijing during the period of 2004 to 2018

程素珍, 路璐, 翟淑花, 张长敏, 郝春燕, 任凯珍 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 38–46

无人机载LiDAR和倾斜摄影技术在地质灾害隐患早期识别中的应用

The application of UAV LiDAR and tilt photography in the early identification of geo-hazards

贾虎军, 王立娟, 范冬丽 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 60–65



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202401016

王惠卿, 肖锐铎, 刘艳辉, 等. 近 20 年地质灾害气象风险预警研究文献图谱可视化分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2024, 35(2): 10-20.

WANG Huiqing, XIAO Ruihua, LIU Yanhui, et al. Visualization analysis of research literature on early warning of geo-hazards based on meteorological factors in the past 20 years[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024, 35(2): 10-20.

近 20 年地质灾害气象风险预警研究文献图谱 可视化分析

王惠卿^{1,2}, 肖锐铎^{1,2}, 刘艳辉^{1,2}, 陈春利^{1,2}, 方志伟^{1,2}, 苏永超^{1,2}

(1. 中国地质环境监测院(自然资源部地质灾害技术指导中心), 北京 100081;

2. 自然资源部云南哀牢山地质灾害野外科学观测研究站, 云南 新平 653400)

摘要: 中国地质灾害气象预警始于 2003 年, 每年汛期向公众发布预警信息, 警示群众注意防范降雨引发的崩塌滑坡泥石流等地质灾害。为了更深入了解地质灾害气象风险预警研究的现状和未来趋势, 以中国知网及 SCI-Expanded 国内外数据库作为数据来源, 采用可视化工具 CiteSpace, 梳理了 2003—2023 年发表的国内外地质灾害气象风险预警文献, 绘制科学知识图谱, 分别从研究主题、演进趋势和研究热点进行多维度分析。结果表明: (1) 基于历史降雨及灾害关系的临界降雨阈值研究在地质灾害气象风险预警研究中处于主导地位, 与降雨相关阈值研究在未来仍将是研究热点; (2) 关键词聚类分析显示不同地质灾害形成条件、气象条件下, 不同类型、成因模式的地质灾害发生的预警预报模型、临界阈值研究文献占比较高, 表明精细化是地质灾害气象风险预警发展的重要方向; (3) 在国际上, 中国学者发文量占总发文量的 39%, 我国在地质灾害气象风险预警研究中有绝对优势。研究结果较客观地展示了中国地质灾害气象风险预警研究的发展脉络和国内外研究热点及趋势, 以期有助于我国地质灾害研究与预警预报业务进步。

关键词: 地质灾害; 预警; 文献计量; 可视化; CiteSpace

中图分类号: P694

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2024)02-0010-11

Visualization analysis of research literature on early warning of geo-hazards based on meteorological factors in the past 20 years

WANG Huiqing^{1,2}, XIAO Ruihua^{1,2}, LIU Yanhui^{1,2}, CHEN Chunli^{1,2}, FANG Zhiwei^{1,2}, SU Yongchao^{1,2}

(1. China Institute of Geo-Environment Monitoring (Guide Center of Prevention Technology for Geo-Hazards, MNR), Beijing

100081, China; 2. Observation and Research Station of Geological Hazard in Yunan Ailao-Mountain, Ministry of Natural Resources, Xinping, Yunnan 653400, China)

Abstract: Early warning of geo-hazards based on meteorological factors in China began in 2003, and early warning informations are issued to the public every year during the flood season to alert the public to guard against geo-hazards such as landslides, debris flows, and mudslides caused by rainfall. To better understand the current situation and future trends of

收稿日期: 2024-01-09; 修订日期: 2024-02-21

投稿网址: <https://www.zgdzhyfzxb.com/>

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFC3007201-3); 国家级地质灾害应急防治项目(102202220180000009059-1); 国家级地质环境监测与预报项目(102202220180000009060-1)

第一作者: 王惠卿(1992—), 女, 博士, 高级工程师, 主要从事地质灾害等方面研究工作。E-mail: huiqing_wang@foxmail.com

通讯作者: 肖锐铎(1984—), 男, 博士, 正高级工程师, 主要从事地质灾害监测预警与应急防治研究工作。

E-mail: xiaoruihua0316@126.com

research for early warning of geo-hazards based on meteorological factors, the visualization tool CiteSpace was utilized to review the domestic and foreign literature on geo-hazards meteorological risk warning published from 2003 to 2023 and construct the scientific knowledge map. The CNKI database and SCI-Expanded databases were used as data sources. The result show that: (1) The study of critical rainfall thresholds based on the relationship between historical rainfall and disaster is in the leading position in research on early warning of geo-hazards based on meteorological factors, and the study of rainfall-related thresholds will continue to be a research hotspot in the future. (2) Keyword cluster analysis shows that a large number of studies have conducted research on early warning and prediction models and critical thresholds of geo-hazards under different formation conditions, meteorological conditions, different types, and genetic models, indicating that refinement is an important direction for the development of early warning of geo-hazards based on meteorological factors. (3) In the international research, Chinese scholars account for 39% of the total number of publications, showing an absolute advantage in research on geo-hazards meteorological risk early warning. The research results objectively demonstrate the development context, domestic and foreign research hotspots, and trends of research on geo-hazards meteorological risk warning in China, aiming to contribute to the progress of geo-hazards research and early warning forecast business in China.

Keywords: geo-hazards; early warning; bibliometrics; visual analysis; CiteSpace

0 引言

我国地质环境条件复杂,影响地质灾害发生的极端降雨、地震等不利因素长期存在。同时,人类工程活动的规模、范围和强度日益增大,加剧了地质灾害风险^[1-3]。面对异常严峻的防灾减灾形势,2003 年起自然资源部门和气象部门每年汛期联合开展地质灾害气象预警预报工作。20 年来,地质灾害气象预警预报工作逐步发展,防灾减灾成效逐步提高,取得显著成效^[2,4-5]。

随着以文献计量学与知识图谱为基础的 CiteSpace 可视化技术的兴起,国内外的研究人员常用该技术预测有关研究领域的发展趋势,并据此挖掘研究领域的前沿与热点。部分学者针对地球科学领域文献计量学分析开展研究,取得一系列进展^[6-12]。王圣洁等^[7]对过去 40 年海洋地质学开展科学计量,通过关键词词频统计、共词分析、知识图谱等方法分析了其发展过程、研究热点。高云峰等^[8]基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的大数据可视化研究,探究了 2000—2018 年矿山生态环境修复领域的整体演进路径、研究热点与前沿分析,其结果在一定程度上反映了该领域关注的重点问题。近年来,也有学者将这一方法应用到地质灾害等领域^[9-10]。汪美华等^[10]以 CNKI 及 Web of Science 数据库中滑坡文献为研究对象,利用知识图谱可视化技术分析了中国滑坡研究的发展历程,其结果客观反映了中国滑坡研究的发展脉络及国内外滑坡研究的热点和趋势。但随着地质灾害领域研究不断深入,学科交互不断加深,尚无研究人员对地质灾害气象风险领域文献进行系统性梳理与文献计量学分析。通过系统回溯本领域相关文献,有助于

探明地质灾害气象风险领域发展脉络和国内外研究热点及趋势。

为了更深入了解地质灾害气象风险预警研究的现状和未来趋势,有必要对现有研究成果进行系统分析。因此,文中研究了国内 CNKI 数据库及 SCI-Expanded 数据库中关于地质灾害气象风险预警领域文献的研究主题、演进趋势及研究热点,梳理及掌握其国内发展路径及未来方向。旨在为地质灾害领域的相关研究提供参考,以期有助于我国地质灾害研究与预警预报业务进步。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文研究对象是地质灾害气象风险预警领域的相关文章,国内数据来源于中国知网(CNKI)数据库。CNKI 数据库是我国当前最具有代表性的综合性学术数据库,其数据源在文献计量研究中广泛应用。国际数据来自 SCI-Expanded(SCI-E)数据库,SCI-E 数据库主要收录基础研究中重要期刊的研究论文,对从事相关研究的科研人员有着重要的参考价值。

由于地质灾害气象风险预警研究在文献中检索关键词较多,为尽可能全面地覆盖地质灾害气象风险预警领域的研究现状,根据专家提供的检索词构建检索策略,对两个数据库均选取主题检索的方式,时间范围设置为 2003—2023 年在数据库中进行检索。最终获得了 CNKI 数据库的 1 040 篇相关文章和 SCI-E 数据库的 856 篇相关文章。数据来源见表 1。

1.2 研究方法

CiteSpace 是陈超美教授基于 Java 语言开发的文献

表 1 数据来源
Table 1 Data sources

数据库	CNKI	SCI-E
检索词汇	地质灾害、滑坡、泥石流、崩塌、降水阈值、降雨阈值、临界降水、临界雨量、有效雨量、降水、气象、预测、预警、预报	geologic* hazard*、geologic* disast*、geologic* calamit*、landslid*、debrisflow*、collaps*、rockfall*、avalanch*、warning*、threshold*、rainfall、predict*、forecast*、warn*
时间范围	2003—2023	2003—2023
来源类别	EI 来源期刊、核心期刊、CSCD、学位论文	期刊
文献检索数量	1 040	856

计量学分析软件,是目前使用最广泛的知识映射工具之一^[13]。CiteSpace 形成的科学知识图谱显示的网络结构可以有效代表某个研究课题的信息格局,分析相应研究领域的演化机制、研究热点和发展趋势。文中使用 CiteSpace(6.6.R6)对地质灾害气象风险预警研究文献的知识图谱进行可视化分析。

2 国内文献地质灾害气象风险预警研究可视化分析

2.1 研究主题

文献的关键词能够高度反映文献的主题概念及思想。在特定领域上对文献进行关键词词频分析,通过提取文献核心内容的关键词频率分布可以对研究领域的研究热点和发展趋势进行追踪^[14]。统计国内中文地质灾害气象风险预警文献的关键词,共得到 552 个关键词,共现频次大于 10 的有 20 个,具体如表 2 所示。(1)共现频次前 5 位的依次为:地质灾害、泥石流、滑坡、预警预报及临界雨量。表明国内在地质灾害气象风险预警研究中,主要围绕上述 5 方面开展,且其在图 1 中整体结构较为密集,研究的主题较为集中。(2)由于泥石流、滑坡分列高频关键词的 2、3 位,表明地质灾害气象风险预警的对象以泥石流及滑坡为主。且由于泥石流与山洪具有相似的形成条件及触发因素^[15],地质灾害气象风险预警结果对山洪预警具有一定指示作用。(3)“临界雨量”及与其意义相近的“降雨阈值”位列第 5 及第 6 位,表明二者为地质灾害气象风险预警研究热点内容。“临界雨量”“降雨阈值”“有效雨量”“前期降雨”等关键词也表明基于历史降雨及灾害关系的临界降雨阈值研究在预警研究中的主导地位。

2.2 关键词共现

通过构建共词网络,可以清晰地表达数据集中的学

表 2 CNKI 数据库地质灾害气象风险预警研究高频关键词
Table 2 High-frequency keywords in research on early warning of geo-hazards based on meteorological factors in CNKI database

序号	高频关键词	频次
1	地质灾害	200
2	泥石流	168
3	滑坡	154
4	预警预报	118
5	临界雨量	92
6	降雨阈值	71
7	山洪	54
8	降雨	42
9	预警模型	30
10	暴雨	25
11	监测预警	25
12	气象预警	24
13	降水	22
14	机器学习	15
15	有效雨量	14
16	发育特征	12
17	汶川地震	12
18	数值模拟	11
19	前期降雨	10
20	气象条件	10

科结构:每个节点代表若干篇论文,节点越大,关键词的词频就越大,和本文主题的相关性就越强^[16]。利用 CiteSpace 对检索到的中文文献进行关键词共现分析,得到图 1。

地质灾害、泥石流、滑坡、预警预报作为地质灾害气象风险预警的研究对象及内容,在关键词共现分析图中形成的节点最大,和本文主题的相关性最强。此外,临界雨量、降雨阈值节点都比较大,也说明降雨阈值相关研究在地质灾害气象风险预警研究领域中的重要性,与高频关键词分析结果一致。

连接两节点的线是不同关键词之间的共线关系,这些线的颜色显示首次建立连接的时间。如图 1 所示,“预警模型”“预警预报”“有效雨量”等关键词连接线偏冷色,“监测预警”“机器学习”“预警系统”“小流域”和“浅层滑坡”等关键词连接线偏暖色。表明随着技术的成熟,关键词从“预警模型”“预警预报”“有效雨量”逐步向“监测预警”“机器学习”“预警系统”“小流域”和“浅层滑坡”发展,发生这种现象是由于人工智能技术、精细化调查成果以及多种监测手段在地质灾害气象风险预警研究中逐步应用。人工智能技术的发展及地质背景环境的深入调查及监测,为区域预警模型研究提供

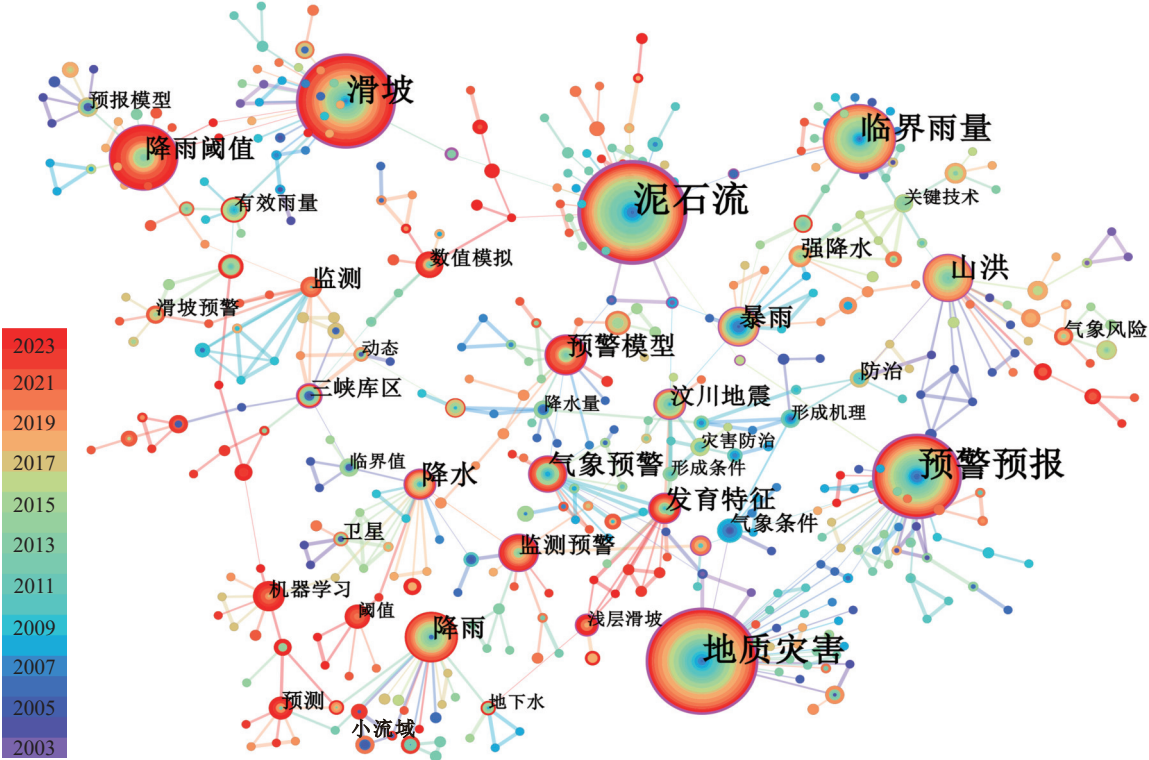


图 1 CNKI 数据库地质灾害气象风险预警研究关键词共现图谱

Fig. 1 Co-occurrence network of keywords on early warning of geo-hazards based on meteorological factors in CNKI database

了新的契机。这种新兴技术、新成果与预警模型的结合是地质灾害气象风险预警领域的新趋势。

2.3 关键词聚类

聚类分析可以将大量关键词基于术语的相对相关程度分为若干个研究主题,并将关键词放入相关主题中,利于在研究领域内确定研究主题、趋势及其相互联系^[16]。根据每个群集中引用文档的关键词,算法在综合考虑唯一性以及覆盖范围的基础上为每个群集选择一个标签,每个群集生成的标签表示群集的焦点。

如图 2 所示,为地质灾害气象风险预警关键词共现网络的聚类图,共提取 13 个聚类团。聚类团编号越小,包含的关键词数量越多。由图 2 可知,降雨强度列第一聚类团,说明与之相关的关键词数量最多,包括泥石流、降雨强度、当日雨量、临界阈值、斜坡单元等。聚类团包括 168 篇文献,其中大量文献分析了不同地质灾害形成条件、气象条件下,不同类型、成因模式的地质灾害发生的预警预报模型、临界阈值,表明不同地质灾害在不同形成条件、诱发条件下,临界阈值存在差异性^[17-22],也表明地质灾害气象风险预警逐步向精细化发展的重要性,精细化是地质灾害气象风险预警发展的重要方向。

地质灾害为第二聚类团,与之相关的关键词预报、

区域、临近预报。近 20 年,地质灾害预警预报由常规 24 h 预警预报,逐步形成服务短临应对、中期防范和长期部署的预警、预报、预测产品体系。第二聚类团相关关键词可体现该发展进程。如赵放等^[23]利用浙江省雷达、自动站等现代探测资料,结合数值预报等,形成连续滚动的高分辨 0~3 h 网格化定量降水预报,基于 Logistic 回归模型,再采用逐时滚动递进方式引入“前期有效累计降雨量”算法,优化预报预警模型,提高预报的精细化程度。

2.4 演进趋势

图 3 为 CNKI 数据库共引网络聚类时间图,考虑了时间对聚类分析结果的影响。这是基于关键词聚类分析的另一形式,可以显示每个聚类的发展。从图 3 中可以看出,国内文献首先集中在#0、#1、#2、#3、#4 五个主要类别中,然后发展到#5、#6、#7。此外,图 3 可表明每个集群中出现重要结果的时间节点,如集群 7 代表的域,范围从 2004—2023 年,其中 2017—2020 年有一系列重要成果,人工智能技术在地质灾害气象风险预警领域快速发展。

(1)在地质灾害气象风险预警研究的第一阶段(2003—2009 年)主要发表了 5 种主题的文獻,即泥石流、滑坡、发育特征、地质灾害、预报。2003 年,为科学

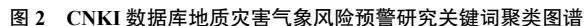


Fig. 2 Cluster network of keywords on on early warning of geo-hazards based on meteorological factors in CNKI database

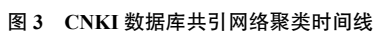


Fig. 3 Clustered timeline of co-citation networks in CNKI database

支撑防灾部署、精准指导临灾避险, 自然资源部、中国气象局联合开展地质灾害气象风险预警工作。此后, 各地地质灾害气象预警预报工作陆续开展。因此, 针对地质灾害及预警预报业务文献出现增长, 地质灾害、滑坡及泥石流作为预警预报的业务主体在时间线上出现较大节点。此外, 此阶段聚类所得研究主题也表明了地质条件及气象因素对地质灾害预警的重要性。

(2)在地质灾害气象风险预警研究的第二阶段(2010—2023 年)主要发表 3 种主题的文​​献, 即气象风险、前期降雨、阈值。此阶段气象预测预报精度显著提高, 地质灾害预警模型不断改进, 预警时间、空间精度大幅度提升。此时已基本实现各级地质灾害气象预警预报业务运行, 预警业务开始朝着智能化、高效化、精准化发展。各项代表性技术开始应用于地质灾害气象

预警业务, 国内学者对这些技术的研究工作逐渐凸显, 但研究主题尚未形成显著聚类团。在图 3 的第二阶段中, 可以直观地看到各项技术的名称或其代表性词汇, 包括 InSAR、北斗卫星、机器学习、信息监测、四库一体等。

2.5 研究热点

地质灾害气象风险预警关键词的突显反映了 2003—2023 年关键词的频次变化(图 4), 可以检测和呈现引起学术界普遍关注的关键词及其在一定时期内被引用的频率, 其在某种程度上代表了主题领域的研究前沿和热点。

(1)由于降雨是地质灾害的主要引发因素, 据统计约 90% 以上的地质灾害由降雨引发。与降雨相关的判据研究一直是地质灾害气象风险预警的热点内容, 包括

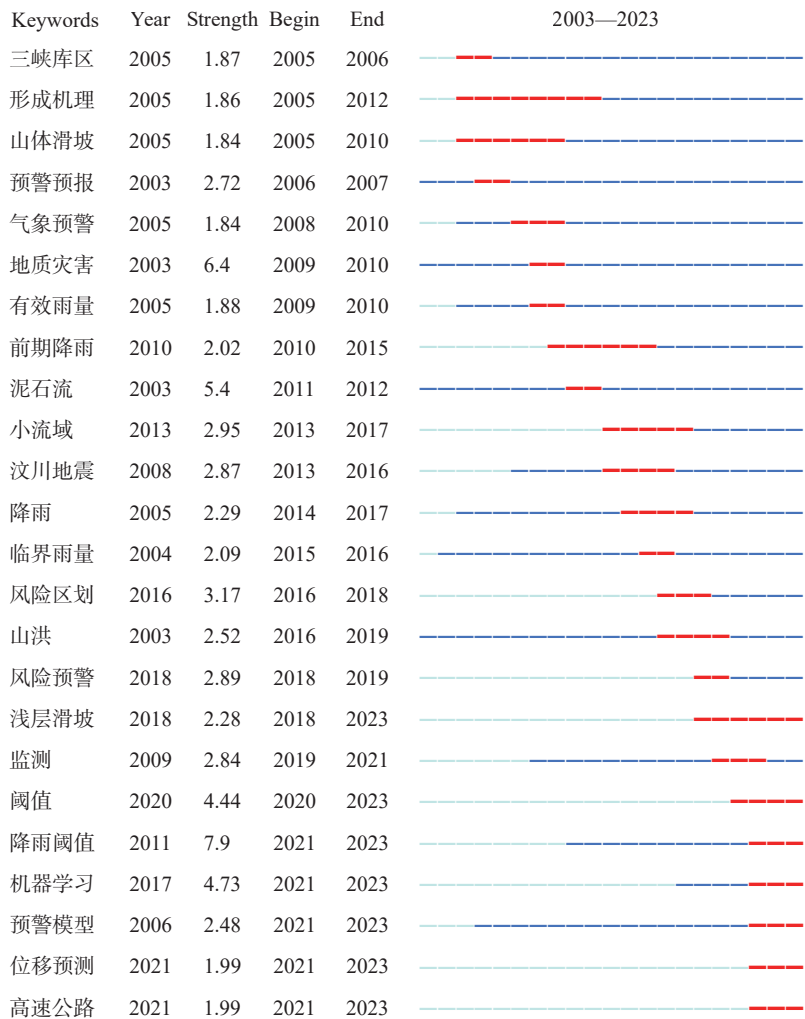


图 4 CNKI 数据库文献关键词突显

Fig. 4 Strength distribution of citation keywords in literature from CNKI database

注:①Keywords 为突显关键词;②Year 为关键词出现的年份;③Strength 为关键词的突显强度,强度越高表示影响力越大;④Begin 与 End 为关键词突显开始与结束的时间。

有效雨量、前期降雨、临界雨量、降雨阈值。可以预测,与降雨相关阈值研究在未来仍将是研究热点。

(2)地质灾害气象风险预警的启动推进阶段(2003—2009 年)。在此阶段,研究前沿集中于地质灾害形成机理分析、有效雨量及前期降雨对地质灾害的影响分析。

(3)地质灾害气象风险预警的深化合作与改革提升阶段(2010—2023 年)。在此阶段,地质灾害预警模型不断改进,预警时间、空间精度大幅度提升,基于精细化调查、监测数据、机器学习和深度学习开展的风险区划、风险预警及模型和判据研究,已经成为新兴的研究热点并将持续。

3 国际文献地质灾害气象风险预警研究可视化分析

3.1 发文量及学科领域

2003—2023 年,SCI-E 数据库中全球发表的地质灾害气象风险预警领域相关文献共有 856 篇,近 10 年来,文献数量增加显著(图 5)。文献涉及学科主要为地球科学、水资源、工程地质、环境科学等,其中地球科学学科相关文献占总发文量的 67%。

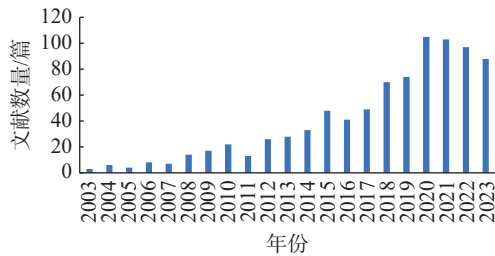


图 5 SCI-E 数据库中地质灾害气象风险预警文献检索结果
Fig. 5 Retrieval results of literatures on early warning of geo-hazards based on meteorological factors in SCI-E database

3.2 国家/地区分布

全球共有 72 个国家(地区)开展了地质灾害气象风险预警相关的研究,其前 20 位的国家(地区)发表文献被 SCI-E 收录量排名见表 3。发文量前 5 位的国家分别是中国、意大利、美国、印度及韩国,其发文量为总发文量的 87.9%。中国学者发文量占总发文量的 39%,说明我国在地质灾害气象风险预警研究中有绝对优势。同时也反映出我国研究论文特别是高水平论文外流形势比较严峻,这也是我国学术研究领域的一个特点^[10]。

3.3 研究主题分布

统计 SCI-E 数据库中地质灾害气象风险预警文献的关键词,得到近 20 年地质灾害气象风险预警领域研究主题(图 6)。关键词共现网络中大量高频词集中于中部,共现网络整体结构紧密,表明该领域研究主题集

表 3 地质灾害气象风险预警领域英文发文量排名前 20 国家(地区)分布

Table 3 Distribution of top 20 countries (regions) in English publications in early warning of geo-hazards based on meteorological factors research

序号	国家(地区)	发文量/篇	占比/%
1	中国	274	32.01
2	意大利	194	22.66
3	美国	124	14.49
4	中国台湾省	60	7.01
5	印度	57	6.66
6	韩国	43	5.02
7	日本	40	4.67
8	英国	38	4.44
9	澳大利亚	29	3.39
10	荷兰	29	3.39
11	西班牙	22	2.57
12	瑞士	22	2.57
13	法国	21	2.45
14	德国	17	1.99
15	挪威	17	1.99
16	马来西亚	16	1.87
17	奥地利	15	1.75
18	巴西	13	1.52
19	加拿大	12	1.40
20	尼泊尔	12	1.40

表 4 SCI-Expend 数据库地质灾害气象风险预警研究高频关键词

Table 4 High-frequency keywords in research on early warning of geo-hazards based on meteorological factors in SCI-E database

序号	高频关键词	频次
1	debris flows	324
2	shallow landslides	290
3	rainfall thresholds	284
4	initiation	204
5	intensity	185
6	duration control	172
7	model	171
8	prediction	153
9	thresholds	91
10	hazard	84
11	susceptibility	76
12	logistic regression	66
13	precipitation	65
14	system	64
15	landslides	58
16	rainfall	47
17	area	45
18	climate change	44
19	early warning system	43
20	definition	43

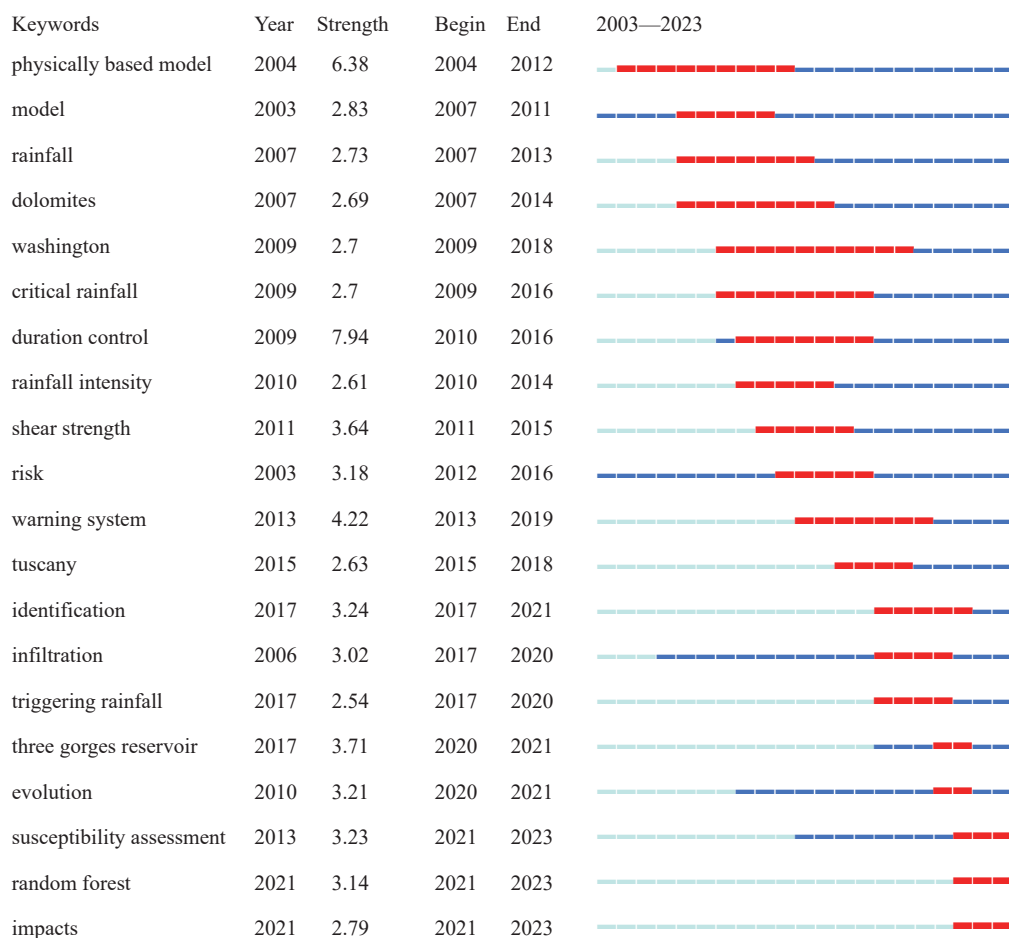


图 7 SCI-E 数据库关键词突显

Fig. 7 Strength distribution of citation keywords in literature from SCI-E database

注:①Keywords 为突显关键词;②Year 为关键词出现的年份;③Strength 为关键词的突显强度,强度越高表示影响力越大;④Begin 与 End 为关键词突显开始与结束的时间。

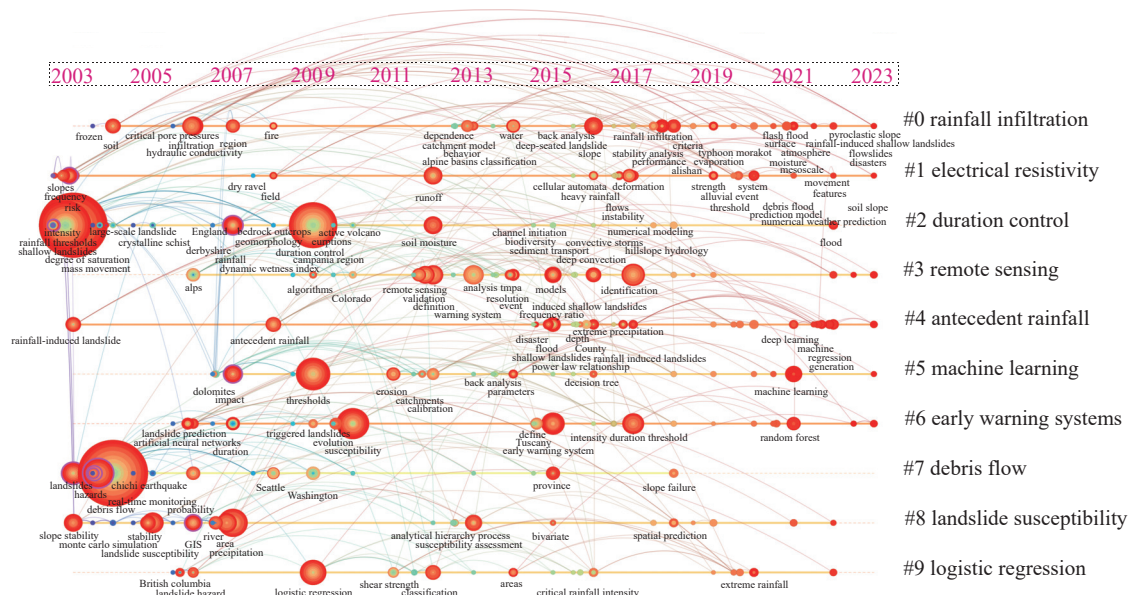


图 8 SCI-E 数据库共引网络聚类时间线

Fig. 8 Clustered timeline of co-citation networks in SCI-E database

中 856 篇地质灾害气象风险预警领域文献为研究对象,基于文献计量学及图谱可视化技术,系统回顾并分析了近 20 年地质灾害气象风险预警领域的研究主题、演进趋势和研究热点,得到以下结论:

(1)我国地质灾害气象风险预警研究主要围绕着地质灾害、泥石流、滑坡、预警预报及临界雨量 5 个方面开展,国内外地质灾害气象风险预警领域的研究主题较为一致,基于历史降雨及灾害关系的临界降雨阈值研究在预警研究中处于主导地位。

(2)关键词聚类分析显示不同地质灾害形成条件、气象条件下,不同类型、成因模式的地质灾害发生的预警预报模型、临界阈值研究文献占比较高,表明精细化是地质灾害气象风险预警发展的重要方向。

(3)与降雨相关的判据研究一直是国内外地质灾害气象风险预警的热点内容,包括有效雨量、前期降雨、临界雨量、降雨阈值。可以预测,与降雨相关阈值研究在未来仍将是研究热点。

(4)在国际地质灾害气象风险预警领域研究中,中国学者发文量占总发文量的 39%,我国在地质灾害气象风险预警研究中有绝对优势。

根据以上分析,为促进我国地质灾害气象风险预警领域进一步发展,一方面,及时掌握国际研究最新动态,持续开展地质灾害气象风险预警精细化研究。另一方面,人工智能在地质灾害气象风险预警领域的应用效果显著,加强先进技术在地质灾害气象风险预警领域应用,可为地质灾害预警业务发展提供新的契机,有助于我国地质灾害研究与预警预报业务进步。

参考文献(References):

- [1] LIU Chuanzheng, LIU Yanhui, WEN Mingsheng, et al. Early warning for geo-hazards based on the weather condition in China [J]. *Global Geology*, 2006, 9(2): 131–137.
- [2] 刘传正. 地质灾害防治研究的认识论与方法论 [J]. *工程地质学报*, 2015, 23(5): 809–820. [LIU Chuanzheng. Epistemology and methodology on geo-hazard research [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2015, 23(5): 809–820. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 许强. 对滑坡监测预警相关问题的认识与思考 [J]. *工程地质学报*, 2020, 28(2): 360–374. [XU Qiang. Understanding the landslide monitoring and early warning: Consideration to practical issues [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2020, 28(2): 360–374. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 自然资源部地质灾害应急技术指导中心, 中国气象局公共气象服务中心. 中国地质灾害气象预警预报十年工作总结(2003—2012) [R]. 2013. [Technical Center for Geo-Hazards Emergency of MLR, Public Weather Service Center, CMA. A decade summary to early warning for regional geo-hazards, China(2003-2012) [R]. 2013. (in Chinese)]
- [5] 自然资源部地质灾害应急技术指导中心, 中国气象局公共气象服务中心. 中国地质灾害气象预警预报十五工作总结(2003—2017) [R]. 2017. [Technical Center for Geo-Hazards Emergency of MLR, Public Weather Service Center, CMA. A fifteen years summary to early warning for regional geo-hazards, China(2003-2017) [R]. 2013. (in Chinese)]
- [6] 王圣洁, 周永青, 张兆代, 等. 我国海洋地质论文的科学计量分析 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2012, 32(6): 94. [WANG Shengjie, ZHOU Yongqing, ZHANG Zhaodai, et al. A quantitative analysis of Chinese papers on marine geology [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2012, 32(6): 94. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 王圣洁, 周立君, 孙萍. 科学计量: 中国海洋地质 40 年发展历程与研究热点分析 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2021, 41(6): 1–14. [WANG Shengjie, ZHOU Lijun, SUN Ping. Forty years development of marine geology in China: Evidence from scientometrics [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2021, 41(6): 1–14. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 高云峰, 徐友宁, 祝雅轩, 等. 矿山生态环境修复研究热点与前沿分析——基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的大数据可视化研究 [J]. *地质通报*, 2018, 37(12): 2144–2153. [GAO Yunfeng, XU Youning, ZHU Yaxuan, et al. An analysis of the hotspot and frontier of mine eco-environment restoration based on big data visualization of VOSviewer and CiteSpace [J]. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(12): 2144–2153. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 李伟, 石超. 水文地质的研究进展与研究趋势——基于 CiteSpace 的可视化分析 [J]. *甘肃地质*, 2022, 31(3): 39–45. [LI Wei, SHI Chao. Analysis of hydrogeology research progress and trend based on Citespace software [J]. *Gansu Geology*, 2022, 31(3): 39–45. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 汪美华, 赵慧, 倪天翔, 等. 近 30 年滑坡研究文献图谱可视化分析 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2023, 34(4): 75–85. [WANG Meihua, ZHAO Hui, NI Tianxiang, et al. Visualization analysis of research literature map on landslides in the past 30 years [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2023, 34(4): 75–85. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 李彬彬, 许明祥, 巩晨, 等. 国际土壤质量研究热点与趋势——基于大数据的 Citespace 可视化分析 [J]. *自然资源学报*, 2017, 32(11): 1983–1998. [LI Binbin, XU Mingxiang, GONG Chen, et al. Hotspots and trends in international soil

- quality research [J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(11): 1983 – 1998. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 程刚, 王振雪, 李刚强, 等. 我国滑坡监测文献计量研究的可视化分析 [J]. *中国安全科学学报*, 2022, 32(7): 172 – 179. [CHENG Gang, WANG Zhenxue, LI Gangqiang, et al. Visual analysis of bibliometric research on landslide monitoring in China [J]. *China Safety Science Journal*, 2022, 32(7): 172 – 179. (in Chinese with English abstract)]
- [13] CHEN Chaomei. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature [J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2006, 57(3): 359 – 377.
- [14] 王若佳, 李颖. 基于知识图谱的国际和国内竞争情报对比研究 [J]. *情报杂志*, 2016, 35(1): 74 – 80. [WANG Ruojia, LI Ying. Comparative study on competitive intelligence based on mapping knowledge domains at home and abroad [J]. *Journal of Intelligence*, 2016, 35(1): 74 – 80. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 崔鹏, 邹强. 山洪泥石流风险评估与风险管理理论与方法 [J]. *地理科学进展*, 2016, 35(2): 137 – 147. [CUI Peng, ZOU Qiang. Theory and method of risk assessment and risk management of debris flows and flash floods [J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(2): 137 – 147. (in Chinese with English abstract)]
- [16] OLAWUMI T O, CHAN D W M. A scientometric review of global research on sustainability and sustainable development [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 183: 231 – 250.
- [17] 韦方强, 胡凯衡, 陈杰. 泥石流预报中前期有效降水量的确定 [J]. *山地学报*, 2005, 23(4): 4453 – 4457. [WEI Fangqiang, HU Kaiheng, CHEN Jie. Determination of effective antecedent rainfall for debris flow forecast [J]. *Journal of Mountain Research*, 2005, 23(4): 4453 – 4457. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 张桂荣, 殷坤龙, 刘礼领, 等. 基于 WEBGIS 和实时降雨信息的区域地质灾害预警预报系统 [J]. *岩土力学*, 2005, 26(8): 1312 – 1317. [ZHANG Guirong, YIN Kunlong, LIU Liling, et al. A real-time regional geological hazard warning system in terms of WEBGIS and rainfall [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, 26(8): 1312 – 1317. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 张永双, 姚鑫, 郭长宝, 等. 龙门山地区震后泥石流灾害区域预警研究 [J]. *西南交通大学学报*, 2016, 51(5): 1014 – 1023. [ZHANG Yongshuang, YAO Xin, GUO Changbao, et al. Regional warning of debris flow hazards after Wenchuan earthquake in Longmenshan Region [J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2016, 51(5): 1014 – 1023. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 刘艳辉, 温铭生, 苏永超, 等. 台风暴雨型地质灾害时空特征及预警效果分析 [J]. *水文地质工程地质*, 2016, 43(5): 119 – 126. [LIU Yanhui, WEN Mingsheng, SU Yongchao, et al. Characteristics of geo-hazards induced by typhoon rainstorm and evaluation of geo-hazards early warning [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2016, 43(5): 119 – 126. (in Chinese with English abstract)]
- [21] 孟凡奇, 李广杰, 王庆兵, 等. 基于功效系数法的泥石流灾害预警研究 [J]. *岩土力学*, 2012, 33(3): 835 – 840. [MENG Fanqi, LI Guangjie, WANG Qingbing, et al. Research on early warning of debris flow based on efficacy coefficient method [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2012, 33(3): 835 – 840. (in Chinese with English abstract)]
- [22] 刘佳意, 陈春利, 付昱凯等. 降雨诱发的浅表堆积层滑坡成因机理与稳定性预测模型 [J/OL]. *水文地质工程地质*, (2023-10-24) [2024-01-21]. [LIU Jiayi, CHEN Chunli, FU Yukai et al. Mechanism of rainfall-induced shallow landslide and stability prediction model [J/OL]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, (2023-10-24) [2024-01-21]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=smPsKIJgVaCeB4_GWsYbHgP39-xbu8sxy0R-whhyrBTPDjnnzyLxi8t4RmLS9DO4r1GAfUIE2Tv2YV4ORBwXTebQcJeLOj4opoRl49oUpi1VLIYJ8Wtf3w=&uniplatform=NZKPT&language=gb. (in Chinese with English abstract)]
- [23] 赵放, 王东法, 杨军, 等. 突发暴雨型滑坡泥石流地质灾害格点化预警方法 [J]. *浙江气象*, 2011, 32(3): 8 – 12. [ZHAO Fang, WANG Dongfa, YANG Jun, et al. Lattice early warning method for geological disasters of landslide and debris flow caused by sudden rainstorm [J]. *Journal of Zhejiang Meteorology*, 2011, 32(3): 8 – 12. (in Chinese)]