

张澜,王明明,周文英. 工业活动诱发地震的研究热点与趋势——基于Citespace的可视化分析[J]. 华南地震, 2023, 43(4): 57–63. [ZHANG Lan, WANG Mingming, ZHOU Wenying. Research Hotspots and Trends of Industrial Activity Induced Earthquakes—Visual Analysis Based on Citespace [J]. South China journal of seismology, 2023, 43(4): 57–63]

工业活动诱发地震的研究热点与趋势 ——基于Citespace的可视化分析

张 澜, 王明明, 周文英

(四川省地震局, 成都 61004)

摘要: 跟踪和总结工业活动诱发地震在国际上的研究进展, 为我国工业活动诱发地震研究提供参考。以 Web of Science 核心合集数据库为数据源, 使用科学计量学方法对 2000—2022 年期间的 293 篇研究文献进行分析, 利用 Citespace 软件, 从发文量、国家、研究机构、文献关键词 4 个方面进行统计分析。结果表明: 关于工业活动诱发地震的研究发文量从 2014—2015 年开始增长, 之后保持平稳, 2020 年显著增加; 美国论文产出数量最多、影响力最大, 在该领域处于引领地位; 中国论文数量排名第二, 但国际合作中心性弱, 其发文最多的机构为中国科学院; 近年来研究热点区域都有页岩气开采活动, 包括四川盆地和加拿大福克斯克里克。

关键词: 诱发地震; Citespace; 页岩气; 四川盆地

中图分类号: G353.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2023)04-0057-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2023.04.08

Research Hotspots and Trends of Industrial Activity Induced Earthquakes—Visual Analysis Based on Citespace

ZHANG Lan, WANG Mingming, ZHOU Wenying

(Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 61004, China)

Abstract: This paper tracks and summarizes the research progress on industrial activity induced earthquakes in the world, and provides reference for relevant research in China. Using the Web of Science core collection database as the data source, scientometric methods were used to analyze 293 research papers from 2000 to 2022, and Citespace software was used to conduct the statistical analysis from the four aspects of publication volume, countries, research institutions, and literature keywords. The results show that the number of research papers on industrial activity induced earthquakes began to increase from 2014 to 2015, then remained stable, and increased significantly in 2020. The United States has the largest number of papers and the greatest influence, and is in a leading position in this field. China ranks second in the number of papers in, but the centrality of international

收稿日期: 2023-05-10

基金项目: 四川省地震局地震科技专项项目(LY2221)

作者简介: 张澜(1989-), 男, 工程师, 主要从事地壳形变观测研究。

E-mail: 645506855@qq.com

cooperation is weak, and the institution with the largest number of papers is the Chinese Academy of Sciences. In recent years, there have been shale gas exploitation activities in the research hotspots, including the Sichuan Basin and Fox Creek, Canada

Keywords: Induced earthquake; Citespace; Shale gas; Sichuan Basin

0 引言

近年来,工业活动引起的地震活动已成为公众感兴趣的一个重要话题。工业活动诱发地震是指人类活动中的某些行为,例如采矿、油气开采、地下废液处理、页岩气生产等,可能会对地下构造和地质断层施加应力,从而导致地震的产生。在许多情况下,地震发生在进行地下作业的工业设施附近,人们能感觉到对建筑造成的破坏,增加了公众对这些工业活动发展的关注^[1]。在增强性地热系统(EGS)、非常规油气开发、二氧化碳和其他废液的地质封存、深井盐矿开采等工业活动中,高压流体被压入地下,势必引起深部流体压力增加,岩石温度变化和地层变形,并有可能导致已存断层活化。一些研究表明,长期和集中的工业活动可能会使地震风险增加^[2]。近些年来,与此有关的诱发地震活动在全球多个地区出现持续增长的趋势,引起了越来越多的关注。

近十年来,川东南小震活动呈爆发式增长,5级地震活动频发,长宁6.0级地震和泸县6.0级地震突破了川东南地区历史震级水平,此类现象极为罕见^[3]。川南地区工业开采活动包含:页岩气压裂、天然气田的废水回注、深水井盐开采等。工业开采活动在川南地区广泛开展,地震的发生好像与工业开采活动有着某种时空的相关性。

随着一系列科学研究的开展,针对川南地区中强地震活动的发震机理有两种观点。一种是该地区具有发生6.5级地震的发震构造能力,川南地区近年来的地震活动并没有超出背景地震范畴,应该为天然地震^[3]。另外一种观点认为川南地区近年来中强地震的发生与该地区工业活动尤其是页岩气开采有关^[2]。针对这种研究上的学术争议,开展工业开采活动诱发地震文献分析为我们认识川南地区地震发生的机理、相关部门做好科普宣传工作提供参考。

1 分析工具与数据来源

本文使用的分析工具为Citespace软件,该软

件是一款着眼于分析科学文献中蕴含的潜在知识,并在科学计量学、数据和信息可视化背景下逐渐发展起来的一款多元、分时、动态的引文可视化分析软件。该软件可以将行业文献进行定量化、可视化分析,既可以分析行业最新研究动态、研究趋势变化,也可以获得研究对象和研究学者分布等信息。

本文使用Web of Science核心合集中Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)和Conference Proceedings Citation Index-Science (CPCI-S)数据库,文献类型选择Article进行高级检索(访问时间:2023-04-10),设置检索式:

TI= ((earthquake OR induced seismicity OR triggered earthquake) AND (hydraulic fracturing OR wastewater injection OR oil OR natural gas OR shale gas OR salt mine)) OR AK=((earthquake OR induced seismicity OR triggered earthquake) AND (hydraulic fracturing OR wastewater injection OR oil OR natural gas OR shale gas OR salt mine)),出版日期设置为:2000-01-01至2022-12-31,共检索到论文294篇。

2 研究基本情况

2.1 发文量分析

发表论文数量的变化趋势,反映了发表论文数量与时间变化的关系,它是衡量学者对某一研究领域关注程度的重要指标,这也反映了该领域研究的总体进展^[4]。如图1显示2000—2022年工业活动诱发地震相关论文的年度发文量变化,共发表论文294篇,年均发表13.36篇。2001年发文量5篇,2022年发文量36篇,2021年发文量达到最高峰达44篇,2014年开始发文量超过10篇。总体来看,发文量呈缓慢波动上升趋势。

2.2 国家分布

本文用Citespace软件绘制出工业活动诱发地震论文的国家共现知识图谱如图2,并提取发文量前十的国家如表1。在图2中,节点的大小表示一个国家或地区发表论文的数量,线的数量表示国家

或地区之间合作互动的数量,节点和线的颜色表示时间的长度,从浅黄色到深红色的颜色过渡表示2000年到2022年的时间跨度^[4]。Citespace软件中,中介中心性是测度节点在网络中位置重要性

的一个指标,并用紫色圈对该类文献(中介中心性不小于0.1)进行重点标注。具有高度中介中心性的文献可能是连接两个不同领域的关键枢纽,中介中心性越高,节点的重要性也越大^[5]。

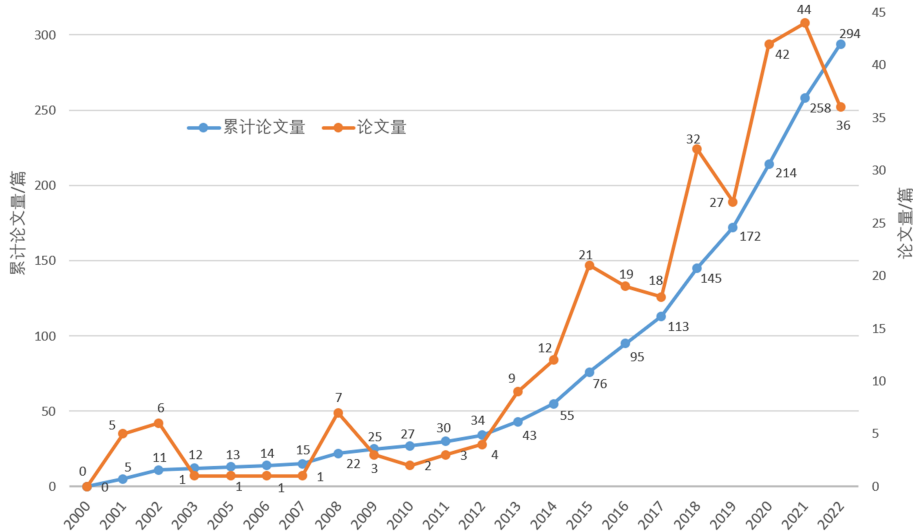


图1 2000—2022年度发文量
Fig.1 Annual publication volume from 2000 to 2022

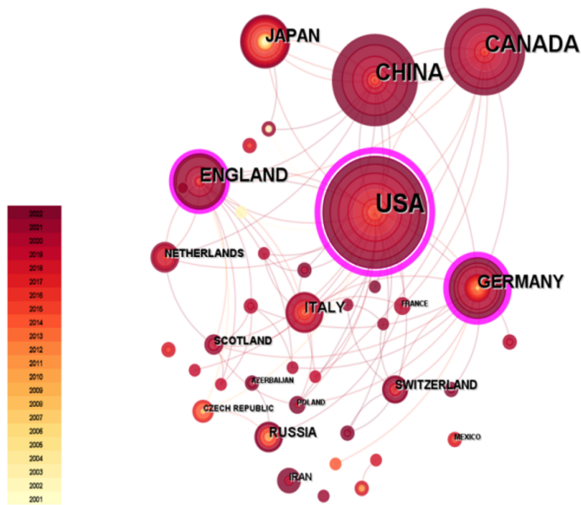


图2 发表论文所属国家共现知识图谱
Fig.2 Co-occurrence knowledge map of countries with published papers

如图2所示,工业活动诱发地震论文主要来自美国、中国、加拿大、英国、德国、日本等国家,并且国家之间也有相互合作。其中美国以绝对优势处于该领域研究的第一集团,共发表论文110篇,占国际论文总量的26.7%;中国和加拿大则组成第二集团,分别发表论文66篇、60篇;英国、德国、日本、意大利等国组成第三集团。如表1所示,中介中心性排名前五的国家分别是美国

(0.66)、德国(0.3)、英国(0.15)、俄罗斯(0.08)、意大利(0.05)。在发表数量和中心性方面,美国在工业活动诱发地震方面的研究成果突出,且与其他国家或地区积极参与合作,远超其他国家。虽然德国的发文量排名第五,但其论文具有很高的研究影响力。中国在WOS数据库中的论文数量排名第二,但中心性较低(0.04),研究伙伴较少,中国的国际学术影响力有待提高,相关领域的国际合作有待进一步加强。

表1 发文量排名前10的国家

Table 1 Top 10 countries in the number of publications			
序号	国家	发文量/篇	中心性
1	美国	110	0.66
2	中国	66	0.04
3	加拿大	60	0.04
4	英国	31	0.15
5	德国	24	0.3
6	日本	21	0
7	意大利	15	0.05
8	俄罗斯	11	0.08
9	瑞士	9	0.02
10	苏格兰	7	0.04

2.3 研究机构分布

研究机构作为研究人员进行科研工作的平台，用 CiteSpace 软件对其进行分析可以量化分析其影响力，也可以可视化地展示机构间的合作程度^[6]。通过对发文机构的分析，得出了排名前 15 的主要科研机构的表格(表 2)和机构合作时区图(图 3)。对比各机构发表的论文数量，我们发现来自美国

内政部的论文数量最多，共发表论文 20 篇。前 15 所科研机构美国独占 6 所，加拿大 5 所，德国 2 所，中国、英国各 1 所。但其中介中心性只有美国内政部大于 0.1，说明机构间缺乏合作，大多为独立研究。从图 3 可以看出，在发文量 8 篇以上的机构中：斯坦福大学于 2002 年最早开始发表相关研究论文，中国地震局于 2012 年开始发表相关研究论文，但我国国内的期刊上早就有相关论文的发表^[7]。

表 2 发文量排名前 15 的研究机构
Table 2 Top 15 research institutions in the number of publications

研究机构	发文量	中介中心性	国家	开始年份
美国内政部	20	0.17	美国	2013
美国地质调查局	19	0.03	美国	2013
卡尔加里大学	17	0.08	加拿大	2018
斯坦福大学	16	0.09	美国	2002
加拿大自然资源署	14	0.07	加拿大	2009
布里斯托大学	13	0.06	英国	2018
加拿大地质调查局	13	0.07	加拿大	2009
加拿大自然资源土地和矿产部	13	0.07	加拿大	2009
麦吉尔大学	11	0.02	加拿大	2016
德克萨斯大学系统	11	0.03	美国	2013
迈阿密大学	10	0	美国	2014
赫姆霍兹协会	10	0.04	德国	2013
俄亥俄州大学系统	9	0	美国	2014
中国科学院	9	0.08	中国	2018
博鲁茨-威特海姆大学	8	0.02	德国	2020



图 3 发表论文所属研究机构合作时区图
Fig.3 Collaboration time zone map of research institutions with published papers

(接表3)

序号	频次	关键词	序号	频次	关键词
8	30	oklahoma(俄克拉何马州)	18	14	permeability(渗透性)
9	29	wastewater injection(废水回注)	19	14	model(模型)
10	26	magnitude(震级)	20	13	shale gas(页岩气)

作为文献内容挖掘的重要工具,“突现词”是指在某一时期使用频次骤增的关键词,表示这个关键词在该时间段受到研究人员的高度重视。突现分析(Citation Burst)用来探测某个领域中突现的动态概念和潜在研究问题,适于检验学科发展的新兴趋势和骤然变化,反映活跃或前沿的研究节点。本研究通过 CiteSpace 软件进行关键词突现分析,绘制 2000~2022 年出现的 23 个突现词(图 5)。其中,Strength 表示突现强度,Begin 表示突现性开

始年份,End 表示突现性终止年份。从图 5 中可知从 2019 年开始的突现关键词:“断层”、“页岩”、“反演”、“福克斯克里克”、“滑动”、“岩石”、“空隙压力”、“四川盆地”。其中四川盆地和福克斯克里克都有大规模的页岩气开采活动并都伴随着地震的发生^[9-10],也反映出“页岩气开采诱发地震相关研究”是当前工业活动诱发地震研究的热点前沿。

Top 17 Keywords with the Strongest Citation Bursts

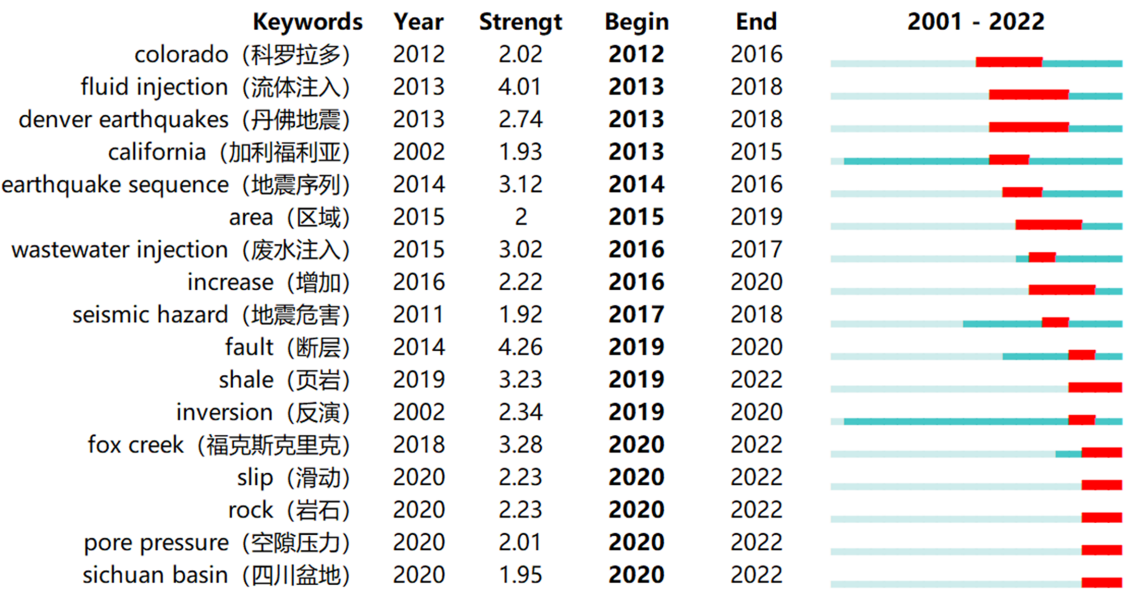


图5 排名前17位的关键词突变图
Fig.5 Top 17 keywords with the strongest citation bursts

4 结论

- (1)2000年至今,工业活动诱发地震相关的论文共计 293 篇。2014 年开始发文量超过 10 篇,其中 2021 年发表论文 44 篇。
- (2)美国在工业活动诱发地震研究中处于核心

地位,论文总产出量位于世界第一,相关研究机构众多,中国发文量位居世界第二,但起步较晚,相关研究机构较少。论文研究国家、研究机构的分布与页岩气开采地区有着直接的关系。

(3)当前工业活动诱发地震研究的热点与页岩气开采相关,研究热点地区分别是中国四川盆地和加拿大福克斯克里克,这些也与中国、加拿大

页岩气大规模开采活动有关。

参考文献

- [1] Grigoli F, Cesca S, Priolo E, et al. Current challenges in monitoring, discrimination, and management of induced seismicity related to underground industrial activities: A European perspective[J]. *Reviews of Geophysics*, 2017, 55 (2):310–340.
- [2] 雷兴林, 苏金蓉, 王志伟. 四川盆地南部持续增长的地震活动及其与工业注水活动的关联[J]. *中国科学:地球科学*, 2020, 50(11):1505–1532.
- [3] 易桂喜, 龙锋, 梁明剑, 等. 2019年6月17日四川长宁 $M_s 6.0$ 地震序列震源机制解与发震构造分析[J]. *地球物理学报*, 2019, 62(09):3432–3447.
- [4] Li X, Hu S, Jiang L, et al. Bibliometric analysis of the research (2000–2020) on land-use Carbon emissions based on CiteSpace[J/OL]. *Land Use Sustainability from the Viewpoint of Carbon Emission*, 2023, 12 (1) : 165[2023–8–10]. <https://doi.org/10.3390/land12010165>.
- [5] 李杰, 陈超美. Citespace 科技文本挖掘及可视化[M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2016.
- [6] Nan M, Chen J. Research progress, hotspots and trends of land use under the background of ecological civilization in China: visual analysis based on the CNKI database[J/OL]. *Sustainability*, 2023, 15 (1) : 249[2023–8–10]. <https://doi.org/10.3390/su15010249>.
- [7] 陈献程, 杨清源. 重庆巴山水电站水库诱发地震的初步评价[J]. *华南地震*, 2004, 24(1):44–50.
- [8] Gao J. Scientometric analysis of disaster risk perception: 2000–2020[J/OL]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18 (24) : 13003[2023–8–10]. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413003>.
- [9] 邹长桥. 加拿大艾伯塔省福克斯克里克附近潜在水压致裂诱发地震的震源分析[J]. *世界地震译丛*, 2017, 48(3): 191–203.
- [10] Sheng M, Chu R, Peng Z, et al. Earthquakes triggered by fluid diffusion and boosted by fault reactivation in Weiyuan, China Due to hydraulic fracturing[J/OL]. *Journal of geophysical research: Solid earth*, 2022, 127 (5) [2023–8–10]. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:245005076>