

基于CiteSpace对裂隙渗流领域研究的知识图谱可视化分析

王 振¹, 梁艳坤^{1*}, 刘紫钰¹, 李明胜², 王志奇³

¹华北水利水电大学地球科学与工程学院, 河南 郑州

²江苏中煤地质工程研究院有限公司, 江苏 常州

³华北有色工程勘察院有限公司, 河北 石家庄

收稿日期: 2025年12月12日; 录用日期: 2026年1月2日; 发布日期: 2026年1月15日

摘 要

裂隙渗流是岩土工程的核心研究方向, 贯穿水利水电、能源开发、地质灾害防治等重大工程。目的: 旨在揭示近20年我国裂隙渗流领域的研究动态、热点迁移以及总结当下所遇到的瓶颈, 对研究脉络进行梳理。方法: 以中国知网(CNKI) 2005年1月~2025年7月所收录的1168篇“裂隙渗流”领域的相关文献为研究对象, 借助CiteSpace软件, 从年度发文量与发文机构、关键词的演化、作者与机构之间的合作等多维度计量分析。结果: 裂隙渗流领域年度发文量呈现三阶段特征, 研究技术手段方面沿“基础理论(2005~2011) - 多场耦合(2011~2019) - 工程应用(2019~至今)”脉络推进, 并涌现出一些核心学者及中国矿业大学等主要机构, 但跨机构、团队实质性协同不足。结论: 明确了近20年我国裂隙渗流领域的研究动态、热点迁移路径与现存瓶颈, 可为该领域后续研究方向探索提供科学参考。

关键词

CiteSpace, 裂隙渗流, 可视化分析, 研究进展

Visualization Analysis of Knowledge Mapping in the Field of Fracture Seepage Based on CiteSpace

Zhen Wang¹, Yankun Liang^{1*}, Ziyu Liu¹, Mingsheng Li², Zhiqi Wang³

¹College of Geosciences and Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou Henan

²Jiangsu Zhongmei Geological Engineering Research Institute Co., Ltd., Changzhou Jiangsu

³North China Nonferrous Engineering Investigation Institute Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei

*通讯作者。

文章引用: 王振, 梁艳坤, 刘紫钰, 李明胜, 王志奇. 基于 CiteSpace 对裂隙渗流领域研究的知识图谱可视化分析[J]. 土木工程, 2026, 15(1): 51-61. DOI: 10.12677/hjce.2026.151007

Abstract

Fracture seepage is a core research direction in geotechnical engineering, integral to major projects such as water resources and hydropower, energy development, and geological disaster prevention. Purpose: The study aims to reveal the research dynamics and hot topic shifts in the field of fractured seepage in China over the past 20 years, as well as to summarize the current bottlenecks encountered and to organize the research context. Method: Taking 1168 papers related to the field of “fractured seepage” recorded by the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) from January 2005 to July 2025 as the research subject, this study utilizes CiteSpace software to conduct a multidimensional quantitative analysis from various perspectives, including annual publication volume and publishing institutions, evolution of keywords, and collaboration between authors and institutions. Result: The results indicate that the annual publication volume in the field of fractured flow exhibits a three-phase characteristic. The research methodologies have progressed along the trajectory of “Fundamental Theory (2005~2011)-Multi-Field Coupling (2011~2019)-Engineering Applications (2019 to present)”, with prominent scholars and major institutions like China University of Mining and Technology emerging. However, there is a notable lack of substantial collaboration across institutions and teams. Conclusion: The research dynamics, hot migration pathways, and existing bottlenecks in the field of fissure seepage in China over the past two decades have been clarified, which can provide scientific references for exploring future research directions in this field.

Keywords

CiteSpace, Fracture Seepage, Visualization Analysis, Research Progress

Copyright © 2026 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

裂隙渗流作为岩土工程领域的核心研究方向，贯穿于水利水电[1]、能源开发[2]、地质灾害防治[3]等重大工程项目实践中，其研究成果对理解岩体介质中流体运移规律[4]、保障工程安全具有重要意义[5]。近二十年来，随着国家基建事业的推进、计算技术的革新以及多学科交叉融合的深化[6]，该领域积累了丰富的研究成果[7]，尤其是近年来计算机技术的高速发展，研究方式的多样性也在不断提高，但关于该领域的发展脉络、研究热点及演化趋势的系统性梳理仍有待完善。

CiteSpace 作为常见的论文文献可视化分析软件，目前已经被广泛应用于各研究领域[8]。郭典[9]运用 CiteSpace 与 VOSviewer 软件，系统揭示了“页岩有机质”领域的研究现状、演化路径与发展趋势。杨科[10]利用 CiteSpace 软件对文献进行梳理，通过关键词共现和突现知识图谱分析，阐述了煤矿典型动力灾害领域发展历程中每个阶段的研究热点以及未来发展态势。朱彪彪[11]运用 CiteSpace 对地质学领域国际顶级期刊的文献进行前沿分析。杨平恒[12]基于 CiteSpace 对岩溶地下水中的硝酸盐示踪研究进展进行了分析。陈宝辉[13]利用 CiteSpace 对 1997 年以来的煤矿“地质保障”、“透明地质”等主题的 416 篇文献进行了科学知识图谱构建与分析。万兆凯[14]使用 CiteSpace 软件绘制东北黑土区沟蚀研究知识图谱。

贺炬翔[15]依靠 CiteSpace 对钦杭成矿带研究进展展开了热点分析。赵瑞[16]通过对煤矿充填开采领域的知识图谱分析,全面梳理了该领域的研究进展和发展趋势。

基于此,本文以中国知网(CNKI) 2005 年 1 月至 2025 年 7 月收录的 1168 篇“裂隙渗流”相关文献为研究对象,借助 CiteSpace 软件,从年度发文量、关键词演化、作者与机构合作等维度展开计量分析,旨在揭示近二十年我国裂隙渗流领域研究发展的动态、热点迁移的过程及当下的瓶颈,为后续该研究方向的选择与探索提供参考。

2. 文献收集与分析

2.1. 文献收集

文章针对岩土工程热门领域在裂隙渗流方面的研究成果,对近 20 年的论文进行可视化展示,选择 CNKI 的数据库作为初始的数据来源,在高级检索中选定关键词(“裂隙渗流”)和时间区间(2005 年 1 月~2025 年 7 月),在剔除完不相关论文后得到 1168 篇论文,将文章以 Refwork 的格式导出并对格式进行处理,后导入 CiteSpace 进行进一步分析。

2.2. 文献研究方法

本章采用 CiteSpace 软件进行文献计算,该软件是基于 Java 语言开发的数据可视化分析工具,在文献关键词分析、数据的共引分析中被广泛使用。作为科学计量学的热门软件,其帮助众多学者对各领域的研究热点进行整理和识别,并对知识结构框架进行构建。CiteSpace 的主要功能包括发文量分析、机构国家分析、关键词分析等[17]。本文结合筛选的经典文献对我国裂隙渗流领域研究的发展变化进行分析,进一步了解该领域的发展趋势与动态演变。

3. 结果分析

3.1. 年度发文量以及期刊收录可视化分析

年度发文量通常用来衡量学者、研究团队以及机构在特定时间内的科研成果情况,作为论文统计的重要指标,也能用来统计某个领域及方向在学术界的研究兴趣与热点,可用于评估其发展趋势。

在裂隙渗流方面,2005 年 1 月~2025 年 7 月近二十年中共发表 1168 篇相关论文,年均发文量 58 篇左右。

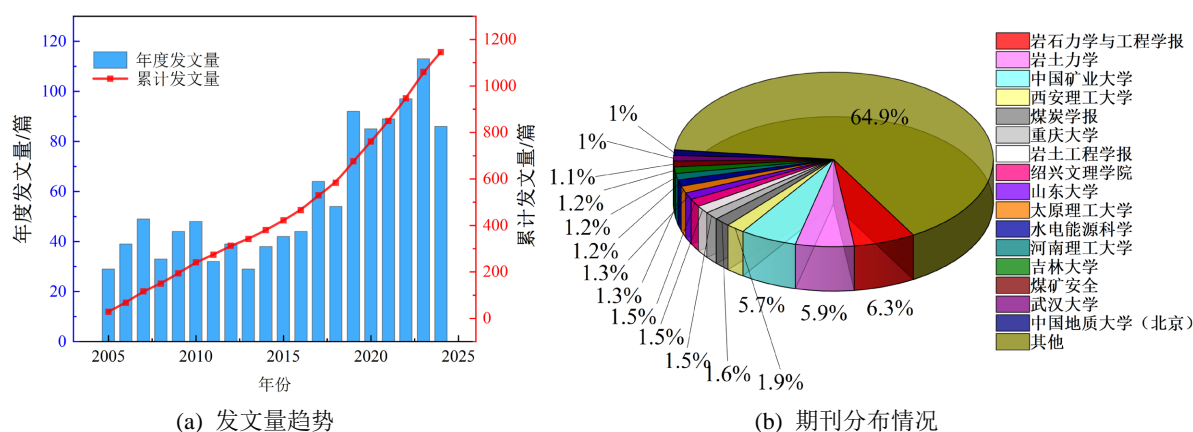


Figure 1. Fracture-seepage field
图 1. 裂隙渗流领域

分析图 1 可以看出:

1) 在 2005~2010 年左右,年度发文量有波动,但整体处于相对较低水平,说明该领域研究受到关注,但投入有限且研究规模小。在 2010~2020 年左右,尤其是进入 2015 年,年度发文量呈现明显增长趋势,反映了裂隙渗流的研究热度在持续上升,可能是由于大基建时代实际工程的行业需求,如水利、地质工程等对裂隙渗流研究的深入。同时,CT、数值模拟等对裂隙的可视化和模拟使得研究更为方便,加之科研资源投入增加等因素,推动研究进入发展快车道。

2) 2020~至今, 年度发文量虽有小幅波动, 但维持在较高量级, 年均在 90 篇左右, 说明该领域已形成一定研究规模, 成为科研中被持续关注方向, 但同时增长趋缓, 可能由于工程行业的饱和和使得研究面临瓶颈或进入稳定发展阶段。

3) 2006 年 2 月 9 日《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020 年)》正式发布, 其中针对能源资源、水资源等领域提出了科技发展目标[18], 如地下水资源利用、水利水电工程安全等涉及裂隙渗流的内容, 也使得该领域历年研究数量持续增长, 同时累计发文量呈现持续上升的线性增长态势[19]。随着时间推移, 裂隙渗流方面的研究成果将不断积淀, 领域内的知识体系也将逐步得到丰富和完善, 吸引更多科研人员持续投入, 推动累计发文量稳步攀升。

分析近二十年来裂隙渗流研究的发文期刊分布饼图,发现其中《岩石力学与工程学报》占比最多,达到了 6.3%;其余众多刊物占比较为分散,前 15 占比不到四成;相比于其他领域的研究,该研究没有较为明显集中刊载的核心刊物,呈现出百家争鸣的状态,暂无显著优势的阵地,也说明该领域发文期刊分布较为多元。

3.2. 关键词可视化分析

3.2.1. 关键词共现可视化分析

通过对关键词的出现频次进行动态分析,可以清晰地表达该领域的研究热点发展史,选择“关键词”为节点类型,按照关键词实现研究热点可视化,如图2所示。运行数据有556个节点与1552个连接线,可见该研究领域的各关键词之间连接性较强,网络密度为0.0097。图中年轮图的大小反应发文频次,颜色反映热点年份。

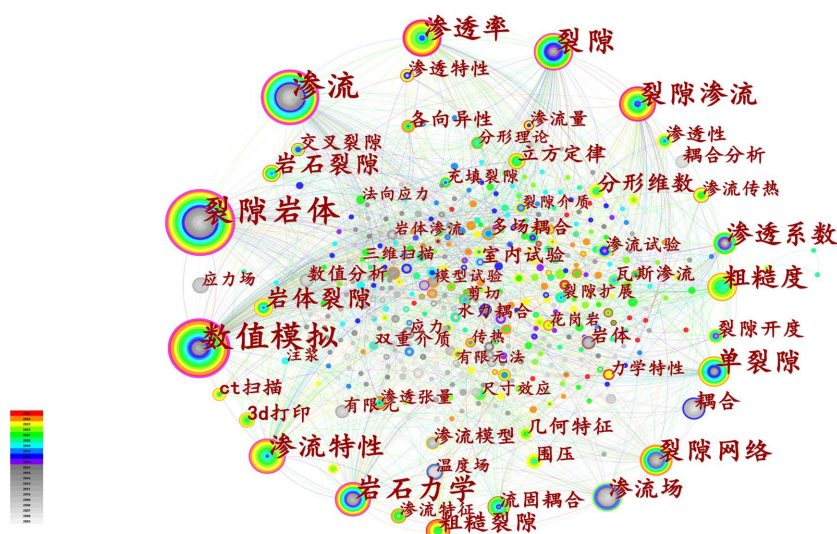


Figure 2. Knowledge graph of keywords in fracture-seepage field
图 2. 裂隙渗流领域关键词知识图谱

从关键词的研究状态可以观察到“裂隙岩体”、“数值模拟”、“渗流”、“岩石力学”、“渗透率”等作为近二十年的研究热点,同样也是该方面研究的核心话题,中心介质性分别为0.28、0.34、0.28、0.12、0.10,其中“裂隙岩体”与“渗流”近二十年共出现207次和149次。在“数值模拟”方面,黑色圆心更小,红色外环较大,说明这类研究在近十年逐渐成为热门的研究手段,类似的研究方法如“CT扫描”与“3D打印”均呈现出绿色到红色的年轮,说明其在2020年后逐渐成为研究热门。

在研究主题上“渗透率”作为研究的核心共出现56次。近些年的研究热点有出现45次的“粗糙度”、32次的“粗糙裂隙”。相反,“渗流场”、“应力场”、“有限元”、“渗透系数”等研究呈现出10年前热、近10年遇冷的情况。

3.2.2. 关键词聚类可视化分析

使用CiteSpace可视化界面中的“聚类”功能,通过标签来对关键词进行提取,分别为“裂隙岩体”、“数值模拟”、“粗糙度”、“岩石力学”、“粗糙裂隙”、“裂隙”、“渗流特性”、“裂隙渗流”、“瓦斯渗流”、“单裂隙”十项聚类单元。所得到的节点数为566个,参数网络模块值 Q 为0.4666、同性质平均轮廓值 $S = 0.7784 > 0.75$,可认为文献聚类良好。

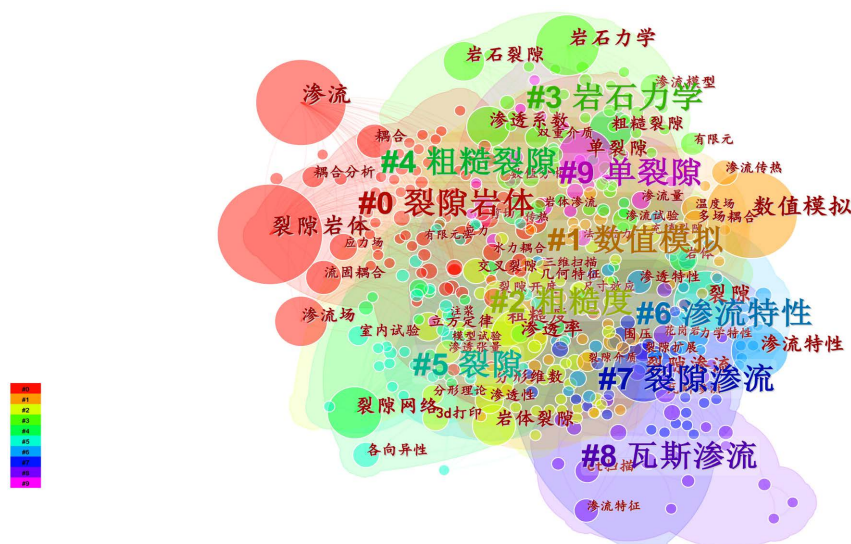


Figure 3. Keyword clustering map of fracture-seepage field
图3. 裂隙渗流领域关键词聚类图谱

图3为裂隙渗流领域关键词聚类图谱,整体上看,裂隙渗流的研究中各个聚类均有较多的重合,尤其如“#0 裂隙岩体”作为各研究方向绕不开的点,几乎包含其他各聚类。“#1 数值模拟”靠近中心与“#2 粗糙度”、“#5 裂隙”在节点上有较多重合,如“渗透率”、“交叉裂隙”等节点,近些年随着计算机技术的高速发展,推动了裂隙可视化以及裂隙渗流的深入研究,如粗糙度以及分形维数对渗透率、渗流特性的影响。

“#8 瓦斯渗流”、“#7 裂隙渗流”、“#6 渗流特性”共同的研究点如“围压”、“花岗岩”、“CT扫描等”,三者的交叉较多,本质是“研究对象(瓦斯)-载体环境(裂隙)-核心规律(渗流特性)”的强相关性而致,同时也与“数值模拟”有较多相关,数值模拟方便了渗流方面的各方面研究。

“#9 单裂隙”、“#3 岩石力学”、“#4 粗糙裂隙”之间也有较强关联,可以认为是“特定研究对象(单裂隙)-核心理论工具(岩石力学)-关键特征参数(粗糙裂隙)”的研究较多,作为20年前都较为活跃的

研究领域, 关联性也反映了地质工程方面“裂隙微观特征-宏观力学行为-流体流动基础”的研究逻辑, 三者密不可分。

3.2.3. 关键词时间分析

在分析了裂隙渗流近二十年的总和数据后, 可以通过时区图谱(Timezone View)来对关键词在时间尺度上进行统计和分析, 如图 4 所示。可以发现近二十年来关于裂隙渗流的研究从基础理论的奠基, 经多物理场耦合与数值模拟模拟的拓展, 发展到了当下深度服务工程实践, 是一个从理论到方法再到应用的逐步完善、交叉融合不断加深的过程, 反映了理论联系实际、理论应用实际、学科发展回应工程实际需求的内在逻辑。对图谱分析发现大致可以分成三个时期:

1) 基础理论时期

在 2005~2011 年左右, “岩石力学”、“单裂隙”、“渗流特性”等关键词频繁出现。裂隙渗流的研究以岩石力学作为基础支撑, 为其研究搭建了基础框架, 学者们较多对于单裂隙等简单裂隙的形态进行研究, 对基本规律进行实验与理论推导, 明确开度、粗糙度等几何特征以及力学特性对渗流参数造成的影响。作为整个领域的起步阶段, 从“概念认知”到“规律探索”, 对前人关于裂隙渗流的基本原理进行承接与延伸, 为后续的研究提供基底支撑。

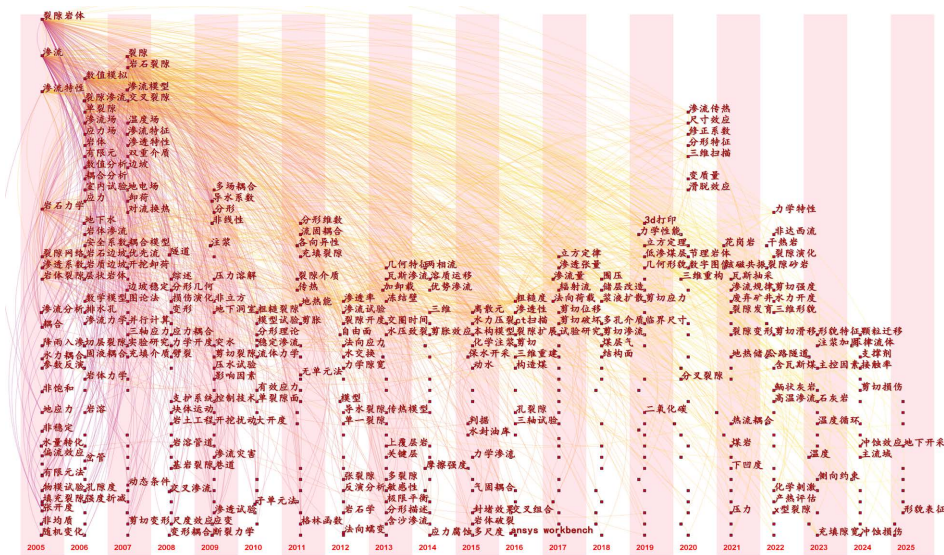


Figure 4. Keyword time-zone analysis in the fracture-seepage field
图 4. 裂隙渗流领域关键词时区分析

2) 多场耦合拓展时期

在 2011 年到 2018 年间, “流固耦合”、“化学注浆”、“地热”等关键词迅速崛起。随着国家政策的支持与大基建时代的发展, 工程实践也逐步深入, 单一力学场的裂隙渗流已无法满足需求, “应力场”、“温度场”、“化学场”等多场耦合相互作用对渗流的影响被更多学者探索, 如高温下裂隙岩体渗流变形损伤演化规律等, 回应了实际工程中面对复杂环境时裂隙渗流变化的实际问题, 使得该领域的研究再次深入。

3) 模拟深入与工程应用时期

到 2019 年以后, “3D 打印”、“三维扫描”、“数字图像”、“三维重构”等与计算机数值模拟相关的关键词逐渐增多。在前期, 对于单裂隙等简单裂隙的研究中较难刻画真实的渗流场景, 但进入 2020

年之后随着计算机技术的高速发展,数值模拟不断推进,使得复杂裂隙网络中的渗流路径以及压力分布等难题可以借助离散元、有限元等数值模拟软件轻松完成,逐渐解决了“真实裂隙系统渗流如何精确还原”的难题,推动研究从“抽象理论”到“贴近工程实际”不断迈进。

3.2.4. 峰峦图分析

峰峦图可直观反映对应领域的发展趋势变化,图5为裂隙渗流领域聚类峰峦图,可以看出:“#0 裂隙岩体”、“#3 岩石力学”在不同年份均有分布的同时在早年间尤为突出,说明裂隙-岩石力学的基础关联始终是岩土工程方面的研究核心与基底,其聚焦基础理论。近年来,“#1 数值模拟”、“#2 粗糙度”、“#6 渗流特性”、“#7 裂隙渗流”等峰形抬升,反映了计算机技术的革新对研究渗流方面有巨大的帮助,逐渐成为研究的核心,另外粗糙度的研究也大大提高了该领域研究的深度。而单裂隙在近年研究中的逐渐减少消失也意味着如今裂隙的研究正在从简单裂隙到复杂裂隙、单维度到多维度、单物理场到多场耦合的升级。

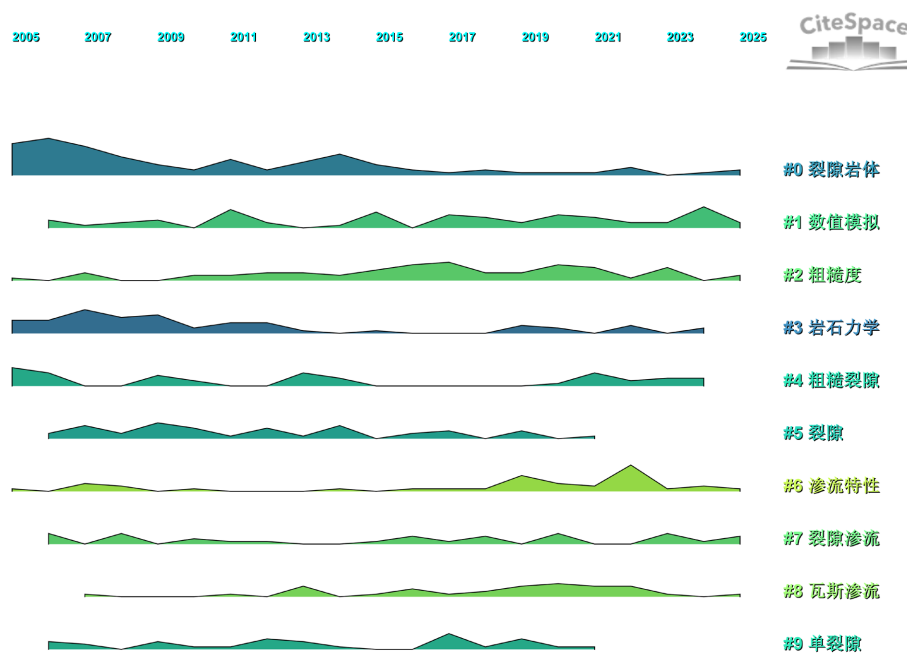


Figure 5. Cluster peak map of the fracture-seepage field
图 5. 裂隙渗流领域聚类峰峦图

3.2.5. 关键词突现分析

突现图对裂隙渗流相关的研究关键词热度的变化以及活跃的年份进行了精准展现,一方面呈现了研究不断推进的脉络、清晰展现了领域发展阶段;另一方面也对关键研究节点进行了精确的识别,方便学者找到研究重点的趋势,并对选题进行追踪。

根据图6中裂隙渗流领域的关键词突现分布可得:早期“渗流”(3.71)、“应力场”(6.07)等基础概念奠定了裂隙渗流的研究理论基石;2006年,“耦合分析”(4.09)、“有限元”(2006)等词汇出现,并持续发展到今天,仍为研究热点,为研究的冲高提供了想象,也为近十年的热点“流固耦合”(3.98)起到了引导作用;在近十年间,“粗糙度”(7.46)、“渗流特性”(7.56)等关键词凸显,前者是当下研究深入的热点,后者为裂隙可视化突破所带来的帮助,使得学者对渗流特性有了更深的了解。



Figure 6. Emergence distribution of keywords in the fracture-seepage field
图 6. 裂隙渗流领域关键词突现分布

3.3. 作者与机构分析

3.3.1. 作者分析

将节点选择为“合作作者”，并用可视化进行标识，图中年轮图的大小表示该作者的发文频次，越多年轮图越大，各个节点的连线代表各作者之间有论文合作关系。选择 $k=25$ ，所得到的节点数量为 $N=574$ ，链接数为 $E=440$ ，网络密度仅为 0.0027。通过过滤器过滤掉一部分得到作者关系网如图 7 所示，可以看出周创兵、柴军瑞、刘杰、叶祖洋等是该领域的核心领导者，相关论文数均超过 10 篇，同时也与多名学者有较多链接。刘日成、姜清辉、姚池、刘先珊、王志良等也在其各自研究领域有举足轻重的地位。

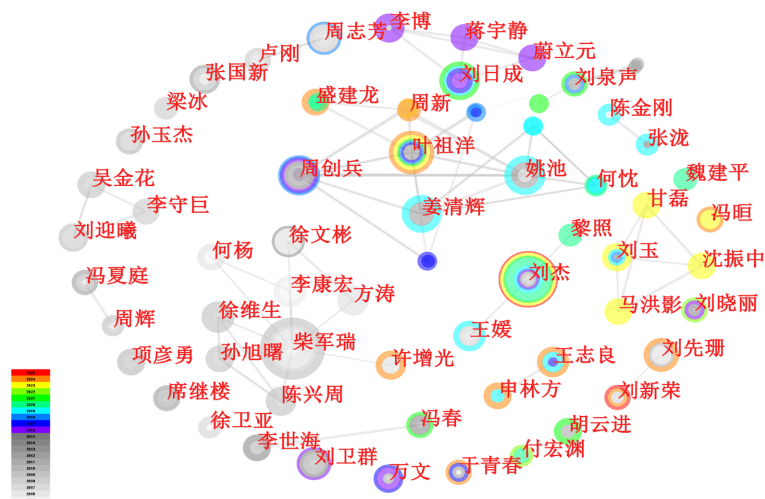


Figure 7. Author collaboration network map of the fracture-seepage field
图 7. 裂隙渗流领域作者合作网络图谱

3.3.2. 机构分析

根据裂隙渗流领域的机构合作图谱可以了解到发文机构情况以及合作关系,如图 8 所示。发文量最多的为高校与一些研究院,包括中国矿业大学(71 篇)、西安理工大学(23 篇)、中国矿业大学深部岩土力学与地下工程国家重点实验室(23 篇)、武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室(17 篇)、绍兴文理学院(16 篇)、三峡大学土木水电学院(15 篇)、中国科学院武汉岩土力学研究所(15 篇)、太原理工大学(14 篇)。节点数量 $N = 421$, 但节点间的链接数 $E = 277$, 网络密度仅为 0.0031, 可以发现我国裂隙渗流研究方面的合作关系较弱, 各机构和科研院校大多独自开展研究。

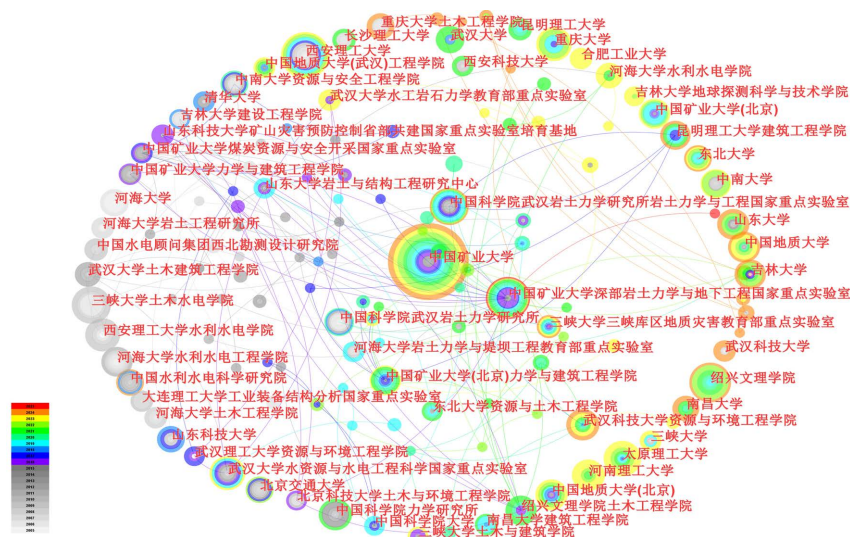


Figure 8. Institutional collaboration network map of the fracture-seepage field
图 8. 裂隙渗流领域机构合作网络图谱

4. 结论

本文借助 CiteSpace 对近二十年来裂隙渗流领域的中文文献进行了系统的计量与可视化分析,综合全

文结果,形成以下结论:

1) 研究演进呈现“阶段性推进、技术驱动明显”的特征。年度发文量经历了“低位探索期(2005~2010) - 快速增长期(2011~2020) - 高位平台期(2020 至今)”三个阶段,反映出该领域在政策与工程需求推动下迅速发展,并逐渐进入以技术深化与应用拓展为主的稳定发展阶段。累计发文量的线性增长体现了知识体系的持续积累,但近期增速放缓也提示可能面临理论突破不足或工程场景饱和的挑战。

2) 研究热点沿“基础理论→多场耦合→工程应用与智能模拟”的路径有序迁移。早期集中于岩石力学基础与单裂隙渗流特性;中期拓展至应力-渗流-化学-温度等多物理场耦合分析;近年来则依托 CT 扫描、三维重构、数值模拟等技术,推动研究向复杂裂隙网络与真实工程场景深入。这一演变路径体现了“理论奠基-方法拓展-应用深化”的学科发展内在逻辑。

3) 研究力量分布分散,协同创新机制尚未形成。尽管涌现出以周创兵、柴军瑞等为代表的核心学者以及中国矿业大学、武汉大学等重点机构,但作者与机构合作网络密度极低(分别为 0.0027 与 0.0031),跨团队、跨机构的实质性合作明显不足,制约了领域整体创新效能与研究资源的整合利用。

4) 学术发表呈现“多元分布、缺乏核心阵地”的格局。研究成果散见于多种期刊,《岩石力学与工程学报》虽占比最高(6.3%),但前 15 种期刊累计占比不足 40%,反映出该领域研究视角、方法与应用背景的多样性,同时也说明尚未形成高度集中的学术交流平台,不利于成果的系统沉淀与对话。

5. 展望

基于上述研究发现及当前存在的“机理认知不足、模型整合欠缺、数据共享匮乏、合作机制松散”等瓶颈,未来裂隙渗流研究可重点关注以下方向:

1) 粗糙裂隙微观几何-渗流机理-宏观行为的跨尺度关联研究。当前对粗糙度、分形维数等微观参数的表征仍多停留在统计描述层面,其与复杂环境下(如应力-化学-流变耦合)非达西流、溶质运移等宏观渗流行为之间的物理机制尚未厘清。建议发展融合高分辨率 CT、微流控实验与机器学习方法的跨尺度建模框架,实现从“几何可视”向“机理可解释、行为可预测”的跃升。

2) 强耦合环境下渗流-损伤-裂隙演化动态全过程模拟。实际工程中渗流往往与岩体损伤、裂隙扩展相互耦合,而现有模型多侧重于静态或准静态分析。需进一步发展渗流-损伤-断裂耦合的动态数值模型,并结合 3D 打印物理模型与实时监测技术,揭示渗流过程中裂隙网络的演化规律及其对渗流路径的反馈机制。

3) 重大工程渗流安全智能预警与数字孪生系统构建。面向深地能源开发、二氧化碳地质封存、高放废物处置等国家重大战略需求,可探索构建裂隙岩体渗流数字孪生系统,融合物联网传感、实时数据同化与人工智能预测模型,实现渗流过程的在线监测、动态模拟与风险预警,推动研究成果向工程智能运维与决策支持转化。

4) 标准化数据平台与开放协同研究生态构建。为破解当前数据分散、合作薄弱的瓶颈,应推动建立裂隙渗流领域标准化数据库与模型共享平台,制定数据格式、试验协议与模拟准则,鼓励跨学科、跨机构的数据共享与联合攻关,强化学术共同体的协作机制,提升研究透明度与成果可重复性。

基金项目

河南省高等学校重点科研项目计划(25A410003)、河南省自然科学基金面上项目(242300420225)。

参考文献

[1] 满轲,刘晓丽,苏锐,等. 大尺度单裂隙介质应力——渗流耦合试验台架及其渗透系数测试研究[J]. 岩石力学与

- 工程学报, 2015, 34(10): 2064-2072.
- [2] 李世海, 周东, 王杰, 等. 水电能源开发中的关键工程地质体力学问题[J]. 中国科学: 物理学力学天文学, 2013, 43(12): 1602-1616.
- [3] 陈顺航, 曹成, 许增光, 等. 考虑充填度和粗糙度影响的充填裂隙非线性渗流特性试验研究[J/OL]. 应用力学学报, 1-11. <https://link.cnki.net/urlid/61.1112.O3.20250521.1332.002>, 2025-07-13.
- [4] 吴志军, 卢槐, 翁磊, 等. 基于核磁共振实时成像技术的裂隙砂岩渗流特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2021, 40(2): 263-275.
- [5] 王环玲, 徐卫亚, 童富国. 泄洪雾雨区裂隙岩质边坡饱和-非饱和渗流场与应力场耦合分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(9): 2397-2403.
- [6] 李露露, 李牧阳, 周志超, 等. 基于统计均质区方法的裂隙几何及渗流特性评价[J]. 地质科技通报, 2023, 42(4): 288-298.
- [7] 张英, 李鹏, 郭奇峰, 等. 水力耦合裂隙岩体变形破坏机制研究进展[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2020, 52(6): 21-41.
- [8] 刘战豫, 刘梦玲. 基于 CiteSpace 的煤矿智慧物流技术应用趋势研究[J]. 中国矿业, 2025, 34(10): 144-153.
- [9] 郭典, 宋宇, 黄传炎, 等. 页岩有机质的研究历程及发展趋势[J/OL]. 成都理工大学学报(自然科学版), 1-13. <https://link.cnki.net/urlid/51.1634.n.20250707.0910.002>, 2025-07-13.
- [10] 杨科, 郭鹏慧, 袁亮, 等. 深部开采煤矿典型动力灾害孕灾主控因素与机制研究进展[J]. 煤炭学报, 2025, 50(7): 3466-3487.
- [11] 朱彪彪, 曹伟, 虞鹏鹏, 等. 基于 CiteSpace 的地质大数据与人工智能研究热点及前沿分析[J]. 地学前缘, 2024, 31(4): 73-86.
- [12] 杨平恒, 华茂松, 罗为群, 等. 基于 CiteSpace 的岩溶地下水硝酸盐示踪研究进展[J]. 中国岩溶, 2024, 43(3): 563-574.
- [13] 陈宝辉, 李旭, 王甜甜, 等. 基于 CiteSpace 的中国煤矿地质保障知识图谱可视化分析[J]. 煤矿安全, 2023, 54(11): 164-172.
- [14] 万兆凯, 宋庆臣, 万普强, 等. 东北黑土区沟蚀研究进展与热点——基于 CiteSpace 计量分析[J]. 水土保持研究, 2024, 31(2): 454-463.
- [15] 贺炬翔, 张前龙, 许娅婷, 等. 钦杭成矿带研究进展——基于 CiteSpace 社区发现结果分析[J]. 地质论评, 2023, 69(5): 1919-1927.
- [16] 赵瑞, 孙强, 袁辉, 等. 基于 CiteSpace 的煤矿充填开采领域知识图谱可视化分析[J]. 中国矿业, 2025, 34(6): 204-214.
- [17] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [18] 郝亮, 张志华. 我国水资源优化配置能力和综合开发水平逐步提升——兼论《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020)》的实施效果[J]. 科技促进发展, 2013(5): 24-29.
- [19] 西藏自治区中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020 年) [J]. 西藏科技, 2006(12): 23-33.