

基于 CiteSpace 的中外矿山修复评价研究可视化对比分析

梅宇航 高继远 谷亚坤

河北地质大学城市地质与工程学院

DOI:10.12238/pe.v3i5.16603

[摘要] 绿水青山就是金山银山。矿山生态修复成效评价是实现生态平衡与资源开发协调发展的关键环节。为深入了解该领域研究进展,本文基于CiteSpace可视化软件,以CNKI(1992–2024)和WOS(1990–2024)数据库的1299篇文献为样本,从作者合作网络、机构协同模式、国家合作关系及关键词演化路径四个维度进行对比分析。结果表明:国内外矿山生态修复成效评价研究热度持续上升,2020年后“碳中和”成为全球共性前沿;国内研究聚焦于生态补偿机制和修复标准体系,呈政策导向特征;国外则更注重机器学习与循环经济等技术创新,体现技术驱动趋势。本研究揭示了矿山修复评价领域“政策导向”与“技术驱动”的双轨演进逻辑,为优化全球矿山生态治理框架提供了数据支撑与理论借鉴。

[关键词] 矿山生态修复;知识图谱;CiteSpace;双碳目标;政策-技术协同

中图分类号: TD8 **文献标识码:** A

Visualization and Comparative Analysis of Research on Mine Rehabilitation Evaluation Between China and Foreign Countries Based on CiteSpace

Yuhang Mei Jiyuan Gao Yashen Gu

College of Urban Geology and Engineering, Hebei University of Geosciences

[Abstract] “Lucid waters and lush mountains are invaluable assets.” Evaluating the effectiveness of mine ecological restoration is a crucial process to ensure the coordinated development of ecological balance and resource utilization. To gain deeper insight into research progress in this field, this study employs CiteSpace visualization software and analyzes 1,299 papers collected from the CNKI (1992–2024) and WOS (1990–2024) databases. The analysis focuses on four dimensions: author collaboration networks, institutional cooperation models, national cooperation relationships, and keyword evolution paths. The results show that research enthusiasm for mine ecological restoration evaluation continues to rise worldwide, with “carbon neutrality” emerging as a common frontier topic after 2020. Chinese studies emphasize ecological compensation mechanisms and restoration standard systems, reflecting a policy-oriented approach, while international research pays greater attention to technological innovation represented by machine learning and circular economy, highlighting a technology-driven trend. This study reveals a dual-track evolution logic of “policy orientation” and “technological innovation” in mine restoration evaluation, providing both data support and theoretical reference for optimizing the global ecological governance framework.

[Key words] Mine ecological restoration; Knowledge mapping; CiteSpace; Dual-carbon goals; Policy-technology synergy

引言

矿产资源开发作为人类活动的重要形式,在支撑全球经济发展的同时,引发了地表塌陷、水土污染、生物多样性丧失等次生地质灾害问题^[1]。矿山生态修复成效评价通过定量评价生态系统的恢复效能,来作为平衡资源开发利用和生态环境保护的重要工具。然而,矿山修复成效评价涉及地质学、生态学、工程学等多学科交叉,复杂性和动态性使得评价体系的构建和优化

面临严峻挑战^[2]。

早在20世纪70年代,西方学者就已经开始矿山生态修复领域的探索。1975年,Bradshaw等提出通过植被重建的方法恢复矿区生态功能;1990年,Tordoff等系统地总结了重金属污染矿区的修复技术和方法;2000年,Wong基于生态服务价值理论,构建了矿山修复效果的多指标框架;2005年,Mendez等将微生物修复技术引入酸性矿山废水治理,推动了生物修复技术的发展;2012

年,中国学者刘建国等结合《全国矿产资源规划》提出了矿山生态修复的“分区-分级”评价方法;2016年,Kumar等利用遥感与GIS技术实现了矿区植被覆盖率的动态监测;2020年,Chen等基于机器学习模型,开发了矿山土壤污染风险智能预测系统;2023年,Zhang等在“双碳”目标下,提出了矿山修复与碳汇能力协同评价的新框架^[3]。

随着矿山修复成效评价研究的不断深入,相关文献量呈指数级增长。传统文献分析方法难以揭示该领域的知识结构、合作网络和热点演变的规律。CiteSpace软件作为科学知识图谱工具,能够通过作者共现、关键词聚类、突显检测功能,更加高效的在大量文献数据中呈现该领域的发展脉络、研究热点和未来趋势。近年来,CiteSpace软件在国内矿山修复领域已有初步应用:王磊等基于CNKI数据库分析了我国矿山生态修复的政策演进路径;李娜等利用CiteSpace软件对比了中澳矿区土壤修复技术的研究差异;2022年,Smith等通过WOS文献的可视化分析,揭示了矿山修复评价从“单一环境指标”向“社会-生态-经济多维体系”的模式转变^[4]。

综上所述,学者们对矿山修复成效评价方面进行了深入研究,梳理并总结了该领域的研究现状和发展前沿,对读者有较大的借鉴意义^[5]。但部分学者利用CiteSpace软件分析时,只对国内或国外矿山修复成效评价的发展进行了分析,同时由于学术文献的更新迭代较快,对年限较早的文献进行分析,无法很好地挖掘研究领域的研究热点和发展前沿。因此,对最新文献进行系统分析至关重要。鉴于此,本文使用CiteSpace软件对1990—2024年国内外以矿山修复成效评价为主的文献进行计量分析,旨在了解国内外矿山修复成效评价研究现状和发展趋势,为我国深入研究地质灾害分享评价提供借鉴^[6]。

1 数据来源与研究方法

1.1数据来源。本文采集的文献数据主要来自于两个权威数据库,分别是中国知网(CNKI)和Web of Science的核心合集数据库(WOS)。检索方式如下:

1.1.1中国知网(CNKI)。选择中国知网高级检索功能,选择主题词检索,检索式为:主题=(“矿山修复”OR“生态恢复”)AND(“评价”OR“评估”)。检索时间为1990年1月至2024年12月,时间跨度为34年,共检索出807条文献数据,删除不相关条目、报纸、科技成果并且去重后,共得到651条文献数据^[7]。

1.1.2 Web of Science的核心合集数据库(WOS)。使用高级检索功能,输入检索式((TS=(“mining rehabilitation”)OR TS=(“mine repair”)OR TS=(“mine restoration”))AND TS=(“evaluation”)OR TS=(“assessment”)OR TS=(“assess”)))检索时间为1990年1月至2024年12月,时间跨度为34年,共检索出文献920条。经过人工删除不相关条目、去重,共得到648条文献数据^[8]。

1.2分析方法。CiteSpace是由陈超美教授团队研发的一款基于文献计量学理论的可视化分析软件,运用数学和统计学的方法对文献数据进行定量分析,并将数据以可视化图形的形式展现出来,有效揭示所研究领域在一定时期内的发展规律和趋

势。近年来,随着可视化分析的兴起和分析软件的成熟,越来越多的学者利用该技术来分析特定研究领域演化的发展脉络、研究热点和未来趋势。因此,运用CiteSpace软件对矿山修复进行可视化分析是必要且可行的。

将处理好的文献数据导入软件后,需要进行参数设置。Time Slicing设置为1年;Selection Criteria选择Top N选项并默认设置为50;Pruning中同时勾选Pathfinder、Pruning sliced networks和Pruning the merged networks。然后运行软件,进行合作作者、机构、关键词等可视化分析。在可视化结果中,图谱节点越大,说明出现次数越多,颜色越暖,则代表热度越高、出现的年份越晚。此外,通过关键词集群产生的聚类图谱中,Modularity Q是网络模块化的评价指标,Silhouette值是用来衡量网络同质性的指标,两者的值越接近于1就可以说明聚类结构越显著,结果越可信。本文分别绘制作者、机构合作网络以及关键词共现网络、聚类网络、时线图,将其作为国内外矿山修复研究领域的热点前沿、脉络演进以及趋势分析的重要参考依据,研究进展流程图如图1所示^[9]。

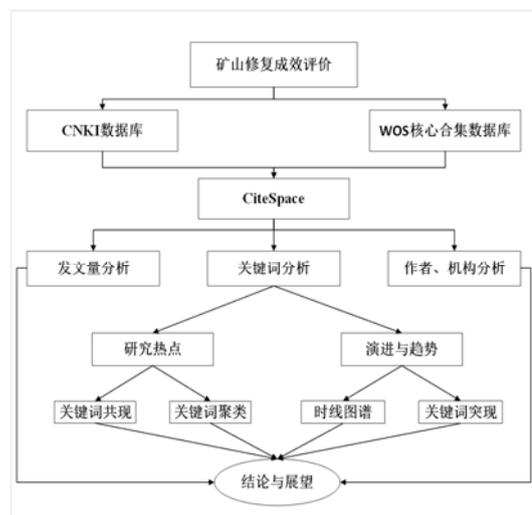


图1 研究进展流程图

2 研究状况分析

2.1年发文量趋势分析。基于CNKI数据库和WOS核心合集数据库去总结^[9],见图2。从1990年至2024年,矿山修复成效评价领域年发文量均有显著增长趋势,CNKI数据库中年发文量从0增长至102篇,而WOS核心合集数据库年发文量从1篇增长至85篇,其中2024年两数据库发文量达到最高。在研究初期阶段,由于矿山修复成效评价领域尚未形成完整体系,相关理论和技术仍处于不断探索与发展阶段,故而研究论文发表数量较少;但2020年后,受全球“碳中和”目标驱动,促使矿山修复成效评价研究急剧增多。

中文文献的发文量变化可分为三个阶段:1992—2005年为萌芽期,年发文量不足5篇,研究以矿区土地复垦技术为主。《矿区废弃土地复垦技术规范》(1995)推动了早期土壤重构与植被恢复,但受技术与政策限制,成果较少;2006—2019年为波动增长期,《全国矿产资源规划(2008—2015)》将生态修复纳入矿业权

审批条件,年均发文量增至15篇,但因跨学科整合不足与标准缺失,增长仍不稳定;2020-2024年为爆发期,“双碳”目标与《绿色矿山建设规范》实施推动发文量由55篇增至102篇,研究重心转向“生态补偿机制”“修复标准体系”,并借助GIS、遥感与机器学习技术实现修复效果的动态监测与智能评价。

外文文献同样经历三个阶段:1990-2005年为起步期,年均不足5篇,集中于生态修复理论研究,如Tordoff的重金属污染修复框架;2006-2019年为技术突破期,Mendez(2005)提出微生物修复、Kumar(2019)提出植物-微生物联合修复技术后,年均发文量超20篇,研究范式由单一环境指标转向“社会-生态-经济”多维体系;2020-2024年为全球化加速期,“碳中和”与欧盟《关键原材料法》推动发文量从57篇增至85篇。

总体而言,国内外研究均快速增长,但路径分化明显:中文文献以政策驱动为主,聚焦修复标准与生态补偿;外文文献依托技术创新,率先建立多维评价体系。近年来国内学者国际投稿增多,学术国际化趋势显著。未来应强化政策落地与技术原创结合,推动领域纵深发展,为后续合作网络与热点分析奠定基础。

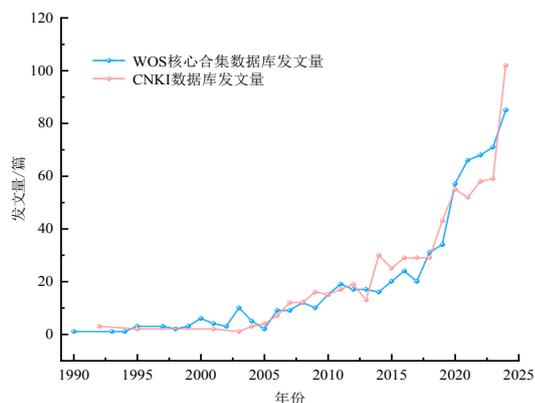


图2 年发文量

2.2 发文作者分析。利用CiteSpace软件绘制了矿上修复成效评价领域的作者合作关系网络图谱,每个节点代表一位作者,节点之间的连线表示两位作者曾合作发表过文献。

在CNKI数据库中,李军教授发文最多,共3篇,研究跨度较长,其高被引文献显示出较高的学术影响力。国内形成了两个主要学术群体:一是以李军、张成业为核心,成员多来自中国地质大学(北京)和中国地质科学院,研究方向集中在矿山修复、生态评价与植被恢复;二是以涂美义、余洋为核心,成员多来自中国矿业大学及自然资源部实验室,关注修复技术与环境影响评价。部分学者合作较少,需加强学术交流,形成新生科研力量。

在WOS数据库中,Gastauer, Markus发文最多(11篇),其次为Caldeira、Cecilio Frois和Erskine, Peter D(各7篇)。与国内相比,国外研究团队更倾向独立研究,或聚焦不同评价方法和模型,因此未形成以某位学者为核心的大型群体,而呈现多个分散小团体。

总体来看,国内作者合作网络以群体协作为主,国外以独立研究为主。国内外学者应积极参与学术会议与国际合作,促进信

息共享与联合研究,共同推动矿山修复评价领域的发展。

2.3 发文机构分析。对纳入的中、外文文献进行机构可视化分析,并对同一机构进行合并,如中国地质大学(北京)和中国地质大学(北京)土地科学技术学院合并为中国地质大学(北京)、中国矿业大学与中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室合并为中国矿业大学、北京科技大学和北京科技大学土木与资源工程学院合并为北京科技大学等。通过发文量可以了解国内外机构对该领域的科研工作的重视,但除此之外中介中心性也是一个重要指标,其值越大表明该机构与其他机构的联系越多,影响力就越大。

中文文献的机构合作网络以政策导向型高校与属地科研机构为核心。CNKI数据库中,中国矿业大学(33篇,中心性0.08)、中国地质大学(北京)(25篇,中心性0.03)及中国地质调查局(11篇,中心性0.02)占主导地位,合作多集中于同一行政体系,如中国矿业大学与自然资源航空物探遥感中心在2022年合作研究“矿区生态修复遥感监测”。但跨省合作不足30%,网络模块化值较高,显示机构间壁垒明显,政策驱动特征突出,技术创新联动有限。

外文文献的机构合作呈全球化与技术开放特征。WOS数据库中,中国矿业大学(50篇,中心性0.10)发文量最高,与中国科学院(29篇,中心性0.12)和澳大利亚科廷大学(22篇,中心性0.06)构成跨国合作枢纽。中国地质大学(武汉)与地质调查局等通过国际合作融入全球网络,但中心性普遍较低,显示技术主导权仍由欧美机构掌握。

总体来看,中外机构合作呈现“内外双轨”与“边缘突破”并存。国内网络以政策和属地化合作为主,而在国际网络中,中国机构中心性更高,逐步由边缘向次级枢纽过渡,但原创性仍不足。未来应依托“碳中和”国际合作机制,推动从“数据输出”向“技术共研”转型,加强中外学术互认,提升我国政策经验的国际影响力。

2.4 发文国家分析。WOS核心合集数据库中,矿山修复成效评价领域的国家合作网络呈现“多级主导、区域聚集”特征。利用CiteSpace软件(将台湾合并至中国)绘制的合作网络图。中国发文量216篇,占全球31.2%,中心性0.41,居世界首位,是主要研究产出国和国际合作枢纽。美国虽仅47篇,但中心性0.35,紧随中国,在技术转移与标准制定中发挥桥梁作用。澳大利亚发文116篇,中心性0.28,与南非、印度形成“环印度洋修复技术圈”,在酸性矿山废水治理领域占主导地位。

从区域合作看,欧美国家构成高中心性集群,法国、德国依托欧盟科研项目推动“生态服务价值评估”“循环经济模型”等研究。“南南合作”以中国为核心,辐射巴西、南非等资源型国家,聚焦“一带一路”沿线矿山生态治理,但高被引论文占比不足10%,技术原创性较弱。巴西虽发文量居第四,但中心性仅0.11,主要承担数据供给角色。

新兴国家参与度提升但仍边缘化。印度、哥伦比亚等发文量上升但中心性普遍低于0.05,合作多依附发达国家团队。印度与澳大利亚合作占比超60%,研究路径受其影响显著。非洲国家

虽在“尾矿库风险评价”领域有突破,但中心性小于0.03,合作网络仍稀疏。未来应通过“碳中和”技术援助机制提升新兴国家话语权,推动南北合作向“技术共研”模式转型。

3 研究热点、演进与趋势分析

3.1 关键词共现分析。关键词是能够反映矿山修复成效评价领域核心议题的一组主题词,出现频率高的主题词一般代表了该领域的研究热点。本文使用Citespace软件对CNKI和WOS核心合计数据库中的关键词进行分析,鉴于部分关键词存在语义重叠,为保证关键词数据的有效性,对相似关键词进行合并处理。中文文献关键词将矿山、废弃矿山、绿色矿山、石膏矿等合并为矿山,将地质环境、矿山地质、环境地质合并为地质环境,将地质灾害、崩塌灾害、塌陷、岩溶崩塌合并为地质灾害等。外文文献将mine rehabilitation、rehabilitation、ecological restoration合并为mine rehabilitation,将land reclamation、area、land合并为land reclamation等。最终绘制了关键词共现图谱。

在CNKI数据库中,高频关键词前三位为矿山修复(156次)、矿山(155次)和地质环境(61次),其余包括生态环境、综合评价、评价体系等,反映出研究主要聚焦于矿山生态修复与综合评价体系的构建。中心性大于0.1的关键词包括矿山修复、矿山、地质环境、生态环境、综合评价和评价体系。

在WOS数据库中,高频关键词依次为mine rehabilitation(194次)、vegetation(138次)、coal mine(104次)、land reclamation(83次)和restoration(66次)。中心性较高的关键词为mine rehabilitation、vegetation、coal mine,表明国际研究以植被重建与矿区生态功能恢复为核心,注重技术方法与生态机理结合。

中外研究既有共性也有差异。共性在于均以“矿山修复/mine rehabilitation”为核心主题,技术方法互补:中文研究突出“遥感监测”,英文文献强调“machine learning”。差异方面,国内更注重政策响应,高频词如“生态补偿机制”“修复标准”等与政策文件紧密相关;国外则聚焦技术创新,如“microbial remediation”“circular economy”等。国内多关注地质环境、土壤修复等单一指标,社会经济效益研究相对薄弱;国际研究强调“ecosystem service”等多维价值,但社会接受度仍待加强。

综上,关键词分析揭示出矿山修复领域“国内政策驱动、国际技术引领”的双轨特征。未来应推动政策与技术协同,纳入社会经济效益指标,构建“生态—技术—社会”多维评价体系,促进全球矿山修复从“单一治理”向“系统协同”转型。

3.2 关键词时序图谱分析。本文利用CiteSpace绘制关键词聚类时间线图,以展示聚类关系与不同时期的研究热点。中文文献中,聚类#0“废弃矿山”关键词最多且频率最高,处于研究核心地位。聚类#2“重金属”“评价”“地质灾害”等关键词最早出现于1992年并持续至今;聚类#5“安全评价”、#6“矿山环

境”虽出现较晚,但延续至2024年,显示相关研究热度持续。

英文文献中,聚类#4“mining area”关键词数量多、时间跨度长(1995年至今),为主要热点方向。值得注意的是,2000—2005年间,国外已出现生物多样性、重金属污染与环境影响等研究,比国内早数年,提示国内学者应关注国际研究动态,及时掌握前沿趋势,加强国际合作与学术交流。

4 结论

本文基于CiteSpace,对1990—2024年CNKI与WOS数据库的1299篇文献进行了可视化分析,从作者、机构、国家及关键词四个维度比较了中外矿山修复成效评价研究现状与趋势。主要结论如下:

(1) 中外研究路径分化明显,形成“政策驱动—技术引领”格局。国内以政策导向为核心,聚焦生态补偿、修复标准及动态监测;国外以技术创新为主,围绕机器学习、循环经济与多维评价体系展开。(2) 中国已成为全球研究枢纽,但技术原创性与国际话语权仍待提升。国内机构合作多属地化,跨国联动不足;欧美机构在关键技术与标准制定中仍占主导。未来应依托“碳中和”合作机制,加强技术共研与国际协同。(3) 研究热点由早期的矿山治理与地质灾害评价转向智能监测、安全评价与社会效益研究,呈现“生态—技术—社会”融合趋势。未来应构建多维协同的综合评价体系,促进矿山修复从“单一治理”向“系统协同”转型。

【参考文献】

- [1]王泽惠.基于知识图谱的矿山开采沉陷研究发展分析[J].矿业科学学报,2025,10(03):399-407.
- [2]张超,顾清华,江松.基于Citespace可视化的国内外矿山环境治理与生态修复研究进展[J].采矿技术,2024,24(3):260-268.
- [3]袁浩,许尔文,赵维俊,等.基于Citespace对矿山修复研究领域的可视化分析[J].农业与技术,2024,44(04):78-81.
- [4]张志刚.中国矿山植被重建研究热点与趋势——基于CiteSpace的文献计量分析[J].能源与环保,2024,46(01):1-9.
- [5]邵泽强,刘书奇,陆文龙,等.基于Citespace的矿山生态修复的文献计量分析[J].环境工程,2023,41(S2):707-711.
- [6]张洪波,廖启鹏.我国资源型城市废弃矿区土地再利用研究进展与趋势分析:基于CiteSpace的知识图谱分析[J].中国矿业,2023,32(08):9-18.
- [7]胡龙兵,李小华.基于CiteSpace的国内矿山生态修复高引文献计量分析[J].矿产勘查,2023,14(07):1215-1222.
- [8]陈文颖,冯苹.烧伤患者认知加工研究热点与前沿的可视化分析[J].军事护理,2025,42(10):83-86.
- [9]姜乐平,张鑫,徐嘉浚,等.基于CiteSpace的绿色矿山建设分析[J].河北环境工程学院学报,2022,32(04):62-68.

作者简介:

梅宇航(1999--),男,汉族,辽宁省葫芦岛市人,硕士、学生、研究方向:地质工程。