风化壳淋积型稀土尾矿中氨氮的处理：基于 CiteSpace 的图谱分析①

李小菊[1]，余军霞[2]，马强强[1]，李惠成[1]，张兵[1]，周芳[3]，张臻悦[3]，池汝安[3]
（1.陇东学院 石油化工学院，甘肃 庆阳 745000；2.武汉工程大学 化学与环境工程学院，湖北 武汉 430000；3.武汉工程大学 兴发矿业学院，湖北 武汉 430000）

摘　要：以中国知网（CNKI）和 Web of Science 数据库为数据源，对 2009 年 11 月至 2024 年 11 月期间发表的关于风化壳淋积型稀土尾矿中氨氮处理研究的期刊论文进行统计，利用 CiteSpace 软件对其时间分布状况、发文作者、合作网络、研究重点以及研究前沿进行可视化分析，以图谱化形式系统概括该领域研究情况，为风化壳淋积型稀土矿闭矿区土壤生态修复与残留氨氮污染治理提供研究方向和理论支撑。结果表明，15 年间相关文献数量呈上升趋势；高产作者多来自高校，以团队合作为主；大多数作者和机构均来自中国；不同研究虽侧重点各异，但均围绕风化壳淋积型稀土尾矿中氨氮处理以及生态治理展开。土壤污染防护和生态修复已成为研究前沿，未来研究需在处理效率、治理成本与绿色可持续发展之间寻求平衡。

关键词：风化壳淋积型稀土尾矿；CiteSpace；可视化分析；氨氮处理；稀土；尾矿；知识图谱；土壤修复
中图分类号：TQ09　　**文献标志码**：A　　doi：10.3969/j.issn.0253-6099.2026.02.025
文章编号：0253-6099（2026）02-0156-07

Treatment of Ammonia Nitrogen in Weathered Crust Elution-Deposited Rare Earth Tailings：Citespace Atlas Analysis

LI Xiaoju[1]，YU Junxia[2]，MA Qiangqiang[1]，LI Huicheng[1]，ZHANG Bing[1]，
ZHOU Fang[3]，ZHANG Zhenyue[3]，CHI Ru'an[3]
（1.*School of Petrochemical Technology*，*Longdong University*，*Qingyang*，745000，*Gansu*，*China*；2.*School of Chemical and Environmental Engineering*，*Wuhan Institute of Technology*，*Wuhan* 430000，*Hubei*，*China*；3.*Xingfa School of Mining Engineering*，*Wuhan Institute of Technology*，*Wuhan* 430000，*Hubei*，*China*）

Abstract：Based on the databases of China National Knowledge Infrastructure（CNKI）and Web of Science，statistical analysis was conducted on journal papers regarding ammonia nitrogen treatment in weathered crust elution-deposited rare earth tailings from November 2009 to November 2024. CiteSpace was employed to perform visual analysis of the temporal distribution，authors，collaboration networks，research hotspots and research frontiers in this field. The research progress was systematically summarized in the form of knowledge maps，so as to provide research directions and theoretical support for soil ecological restoration and residual ammonia nitrogen pollution control in closed mining areas of weathered crust elution-deposited rare earth ores. The results show that the number of relevant publications exhibited an overall upward trend during the 15-year period. Most high-yield authors were from universities，with research dominated by team collaboration，and the vast majority of authors and institutions were from China. Although different studies had varied focuses，they all centered on ammonia nitrogen treatment and ecological governance of weathered crust elution-deposited rare earth tailings. Soil pollution prevention and ecological restoration have become research frontiers. Future research should strike a balance among treatment efficiency，remediation cost and green sustainable development.

Key words：weathered crust elution-deposited rare earth tailings；CiteSpace；visual analysis；ammonia nitrogen treatment；rare earth；tailings；knowledge map；soil remediation

① **收稿日期**：2025-11-01
基金项目：国家自然科学基金面上项目（52274267）；甘肃省科技厅自然科学项目（25JRRM013）；甘肃省高等学校科研项目（2026QB-098）；陇东学院教改项目（LYJG2025B50）；陇东学院博士基金项目（XYBYZK2505）；国家重点研发计划（2018YFC1801801）；湖北省科技厅项目（2021CFA032）；湖北省教育厅项目（T201506）
作者简介：李小菊（1988—），女，甘肃天水人，博士，副教授，主要研究方向为矿山环境修复。Email：mmlixiaoju@163.com

风化壳淋积型稀土尾矿是我国重要的战略性矿产资源,其中富含中、重稀土,具有重要的开发与利用价值。目前主要利用硫酸铵对风化壳淋积型稀土尾矿进行原位浸出,原位浸出过程中硫酸铵用量巨大,每生产 1 t 稀土矿需投加 7~12 t 硫酸铵,造成矿体中铵盐大量累积[1-3]。伴随雨水冲刷,残留的铵盐流入江河中,引起水体富营养化等问题[4-5]。因此,研究风化壳淋积型稀土尾矿中的氨氮处理技术,对减少环境污染至关重要。

近年来,针对风化壳淋积型稀土尾矿中氨氮处理技术的研究较多,对推动尾矿氨氮污染修复发挥了重要作用,主要处理方法[6]有生物技术法、吹气分离法、折点氯化法、化学沉淀法以及离子交换法等。其中,离子交换法因具备高效性而被广泛应用,如文献[7]采用不同淋洗剂利用离子交换对风化壳淋积型稀土尾矿的氨氮进行现场洗脱;文献[8]对风化壳淋积型稀土尾矿的残余浸矿剂及其主要共存离子分布规律进行了研究。然而,已有研究大多集中在单一方向,难以全面反映该领域的发展趋势和研究热点。CiteSpace 文献计量学是基于统计分析原理对文献进行定量分析研究,目前已经在环境学、生态学和土壤学等方面广泛应用[9]。如文献[10]利用 CiteSpace 软件,分析了 1993—2019 年我国稀土出口研究进展。文献[11]基于文献计量学方法,结合 CiteSpace 软件分析了土壤污染治理研究相关文献的发文量,其结果在一定程度上反映了土壤污染治理关注的重点问题。因此,CiteSpace 文献计量学不仅适用于文献的整合分析,而且对揭示研究趋势具有重要价值。然而,现有文献鲜有从宏观角度对稀土尾矿氨氮治理开展的全面计量分析。鉴于此,本文运用 CiteSpace 软件,对风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理领域的研究文献进行了深入可视化分析,从作者、机构以及关键词等多个维度探讨了该领域的研究历程和现状,旨在为风化壳淋积型稀土尾矿氨氮治理提供清晰的研究方向和理论支撑。

1　数据来源与研究方法

1.1　数据来源

中文文献的数据来源为中国知网(CNKI)数据库,搜索“风化壳淋积型稀土尾矿”“氨氮去除”等关键词,以 2009 年 11 月至 2024 年 11 月(约 15 年)为时间段进行高级检索,得到 CNKI 数据库中收录的中文文献 150 篇。英文文献的数据来源为 Web of Science(WOS)数据库,选择其中的“WOS 核心集合”,检索主题为“Weathered crust elution-deposited rare earth ore”,检索日期与中文文献检索日期相同,得到英文文献 71 篇。

1.2　研究方法

依据《信息与文献参考文献著录规则》(GB/T 7714—2015),将在 CNKI 中筛选得到的文献以 Excel 格式导出。对 WOS 获取的纯文本文献进行 Excel 格式转化,借助 Excel 对文献的发表年份、来源期刊、作者机构、关键词及摘要等信息进行统计与分析。另外,将 CNKI 与 WOS 检索得到的文献分别导出为 Refworks 格式和纯文本格式,并依据 CiteSpace 数据处理要求建立对应文件夹。将文献按规定格式整理并归类至相应文件夹后,采用 CiteSpace 软件完成数据去重与格式转换,进而对关键词、研究机构、作者等核心信息进行计量分析,最终绘制可视化知识图谱[12-13]。

2　结果与分析

2.1　发文量分析

风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理发文量随时间变化统计图见图 1。由图 1 可知,2009 年到 2024 年间,CNKI 和 WOS 两大数据库中关于风化壳淋积型稀土尾矿中氨氮处理的文献数量总体上均呈现增长趋势,中文文献的数量多于英文文献。风化壳淋积型稀土尾矿中氨氮处理的研究进展可划分为 3 个阶段:起始阶段(2009—2014 年),此阶段发文较少,WOS 和 CNKI 年均发文量为 4.8 篇,这可能跟当时技术水平、环境意识和资金投入等因素有关[14];稳步发展阶段(2015—2018 年),此阶段 CNKI 年均发文量为 7.2 篇,WOS 年均发文量为 4.2 篇,研究焦点主要集中在尾矿资源的回收利用、矿区生态的恢复、环境污染防治、原地浸矿技术的创新以及氨氮污染的有效治理等方面[15];持续

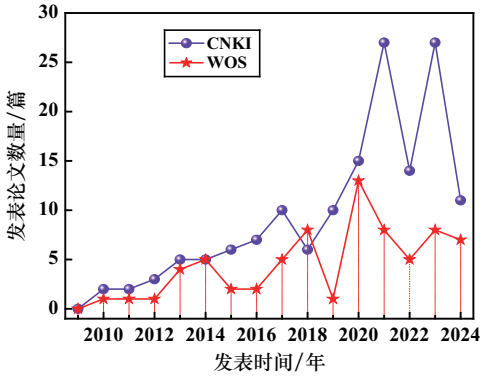


图 1　风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理发文量随时间变化统计图

Fig. 1　Variation of published paper numbers over time about ammonia nitrogen treatment in weathered crust elution-deposited rare earth tailings

增长阶段(2019—2024 年),此阶段 CNKI 年均发文量为 17.3 篇,WOS 年均发文量为 7.0 篇,研究主要集中在生态环境影响、原地浸矿技术、浸出剂的选择与应用和残留铵盐的处理等方面。这种趋势表明,随着环保意识的提升和政策法规的实施,更多处理技术和更有效的治理策略被提出[16]。

2.2 发文机构及其合作网络分析

2.2.1 发文机构分析

风化壳淋积型稀土尾矿中氨氮处理相关文献的发表呈现出明显的地域分布特征。图 2 是风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理发文机构占比图。由图 2 可知,江西省发文占比超过 70%。风化壳淋积型稀土尾矿主要分布在中国的南方 7 省,这些地区的研究机构和高校更有可能开展与当地稀土资源相关的研究工作,其中江西省因其丰富的中、重稀土元素而著名[17]。另外,稀土矿开采和提取过程中会产生大量的氨氮废水,这些地区的环境治理需求迫切,促使当地研究机构更加关注风化壳淋积型稀土尾矿中氨氮处理的技术研究[18]。中国机构在 WOS 数据库中的发文量占据主导地位,占比超过 80%,这一现象主要源于中国独特的研究背景与资源条件。

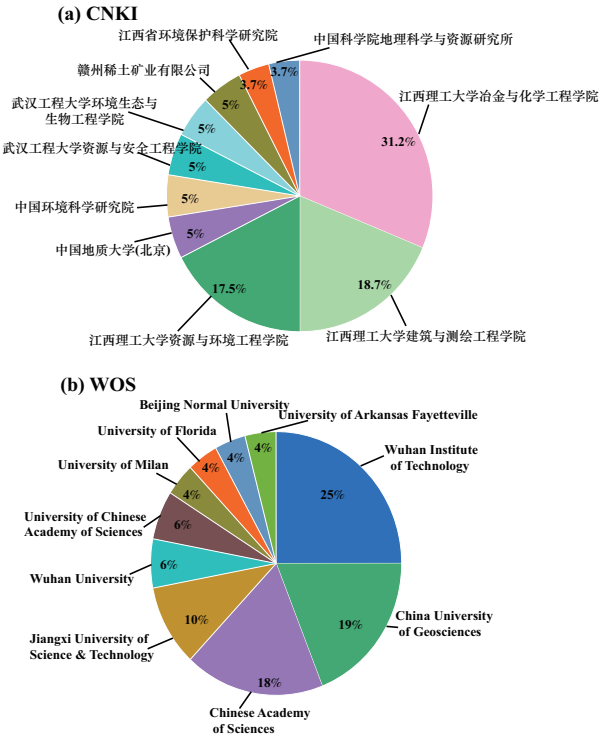


图 2 风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理发文机构占比图

Fig. 2 Proportion of publishing institutions for literature on ammonia nitrogen treatment in weathered crust elution-deposited rare earth tailings

2.2.2 机构合作网络分析

不同机构间的合作频率显示了科研资源的集中与整合。采用 CiteSpace 软件,以 2009—2024 年为时间轴,以“Institution”为节点类型,生成的风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理研究机构合作图见图 3。由图 3(a)可知,在风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理领域,CiteSpace 软件共识别出 145 个机构节点。其中,我国高等教育机构间的合作关系总数 E 为 136,说明我国高等教育机构间虽有一些协作,但是协作程度有限;合作密度 D 为 0.013,说明协作强度还不够高,未建立起有效的协作机制。另外,模块度 Q 为 0.724 6,表明该领域的网络聚类效果显著,呈现出较高的聚类性。发文量位居第一的江西理工大学,其校内建筑与测绘工程学院、资源与环境工程学院、冶金与化学工程学院 3 个学院之间的合作紧密无间,产出了大量研究成果,成为风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理研究领域的主力军。其合作模式及成果也为其他机构在合作协同方面提供了极具价值的参考范例。由图 3(b)可知,网络由 96 个机构节点(N=96)和115条合作链接(E=115)构成。网络密度

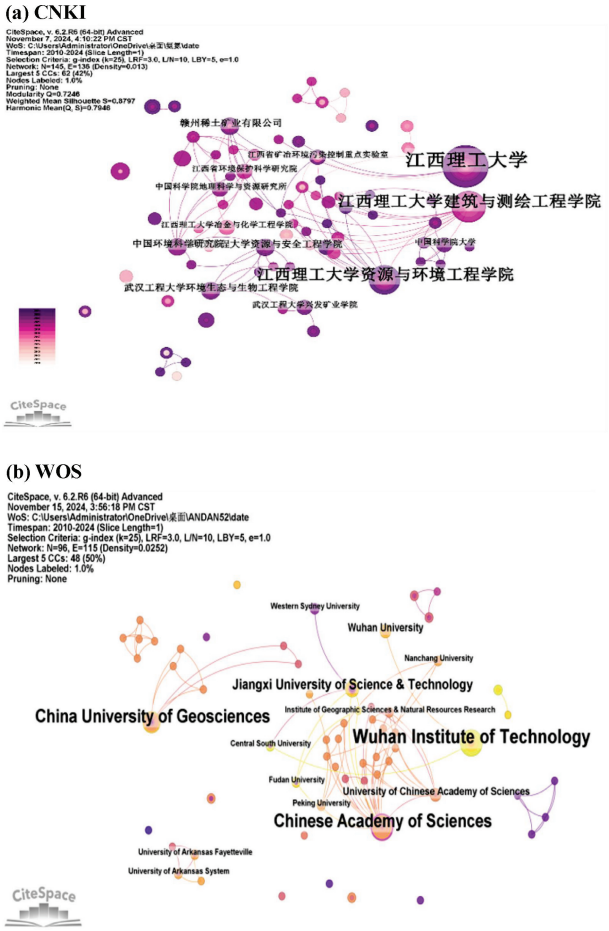


图 3 风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理研究机构合作图

Fig. 3 Map of institution collaboration for ammonia nitrogen treatment in weathered crust elution-deposited rare earth tailings

(D)为 0.025 2。该合作网络整体上非常稀疏,大多数机构只与少数几个伙伴有直接合作,尚未形成一个紧密连接、广泛协作的学术共同体。

2.3　期刊发文量和作者合作网络分析

2.3.1　期刊发文量分析

CNKI 和 WOS 发文量前 8 位的期刊见表 1。由表 1 可知,CNKI 数据库中发文量位于前 4 的期刊为《稀土》(11 篇)、《环境工程学报》(6 篇)、《有色金属(选矿部分)》(6 篇)、《中国稀土学报》(6 篇),发文占比分别为 7.33%、4.00%、4.00%、4.00%;此外发文量进入前 8 位的期刊还有《中国有色金属学报》《有色金属科学与工程》《中国矿业》和《有色金属(矿山部分)》。WOS 数据库中发文量排名前 2 名的期刊为 Journal of Water Process Engineering 与 Environmental Science and Pollution Research,发文占比均为 5.6%,显示出国际上对风化壳淋积型稀土尾矿氨氮治理研究的重视;在 WOS 中发表相关论文的期刊还包括但不限于 Chemosphere, Minerals Engineering, Journal of Environmental Cheemical Engineering 等知名环境科学期刊。综合分析可知,随着该领域研究工作的深入和技术发展,未来可能会有更多的期刊关注风化壳淋积型稀土尾矿氨氮治理,这将为研究人员提供更多的论文发表选择。

表 1　CNKI 和 WOS 发文量前 8 位的期刊

Table 1　Top eight journals in CNKI and WOS in terms of published paper numbers

数据库	期刊	发文量/篇	比例/%	数据库	期刊	发文量/篇	比例/%
CNKI	稀土	11	7.33	WOS	Journal of Water Process Engineering	4	5.6
	环境工程学报	6	4.00		Environmental Science and Pollution Research	4	5.6
	有色金属(选矿部分)	6	4.00		Minerals Engineering	3	4.2
	中国稀土学报	6	4.00		Journal of Environmental Chemical Engineering	3	4.2
	中国有色金属学报	5	3.33		Chemosphere	3	4.2
	有色金属科学与工程	5	3.33		Science of the Total Environment	3	4.2
	中国矿业	5	3.33		Environmental Pollution	3	4.2
	有色金属(矿山部分)	3	2.00		Colloids and Surfacesa A: Physicochemical and Engineering Aspects	2	2.8
	总计	47	31.32		total	25	35.0

2.3.2　作者合作网络分析

图 4 为风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理作者合作图谱。图谱中作者名称的字号大小与其节点大小相对应,节点大小代表作者发文数量,节点越大表明发文量越大,反映出该作者在相关领域的研究成果更为丰富[19-20]。从图 4 分析发现,中文文献作者合作网络图谱涵盖 264 个节点与 511 条连线,英文文献作者合作网络图谱则涵盖 260 个节点与 611 条连线。对中英文文献进行整合分析后发现,发文量居于前列的作者分别为池汝安、肖春桥、余军霞等。这一现象表明,在风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理的研究领域,作者们主要以团队形式进行合作,团队内部成员之间的联系紧密。英文文献作者合作网络图谱中占据多数的是中国作者。池汝安、肖春桥、余军霞、张臻悦这几位作者构成核心的合作关系网络,相较其他合作关系网络而言,有着更大的覆盖面。总体而言,风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理研究的学者普遍存在合作关系,不过各个团队相互之间的交流相对较少,整体的合作密度处于较低水平。

2.4　关键词图谱分析

2.4.1　关键词共线分析

风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理关键词共线图谱见图 5。节点数量代表关键词的数量情况,节点越大,关键词出现的频次也就越高[21]。分析图 5 发现,中文关键词共现图谱共计 210 个节点与 385 条连线,英文关键词共现图谱为 271 个节点与 1 128 条连线。通过对比分析中英文文献共现图谱,可以发现风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理的研究呈现出较分散的状态,其形成了原地浸矿、吸附、稀土、氨氮污染、氨氮废水、动力学、铵态氮等多个研究重点。这种多元化的研究重点体现了南方稀土研究内容并非聚焦于某一绝对核心主题,而是展现出研究重心的多元化特征。

2.4.2　关键词时间线视图

关键词时间线视图体现出聚类的时间跨度以及聚类之间的关联程度。图 6 为风化壳淋积型稀土尾矿处理关键词时间线图谱。由图 6 可知,在 2010 年至 2024 年这一时间段内,氨氮废水成为主要的研究热点[22]。英文文献关键词时间线图谱显示,2010—2024 年间聚类分布呈现阶段性演变。其中,2010—2015年期间,

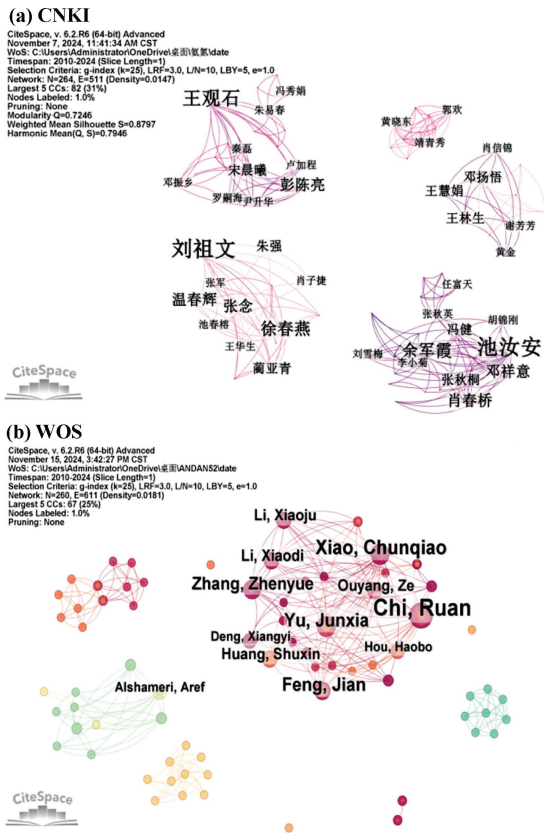


图 4 风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理作者合作图谱

Fig. 4 Author collaboration atlas for ammonia nitrogen treatment in weathered crust elution-deposited rare earth tailings

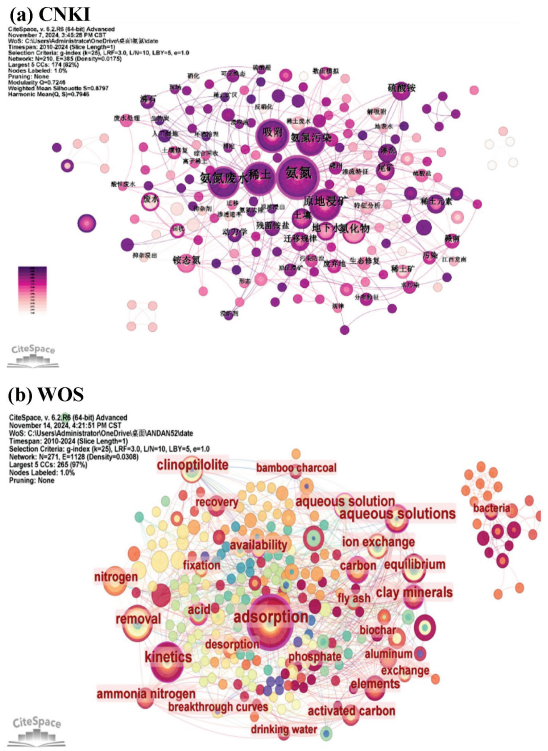


图 5 风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理关键词共线图谱

Fig. 5 Collinear matrix of keyword of ammonia nitrogen treatment in weathered crust elution-deposited rare earth tailings

adsorption、fly ash、mass transfer 等关键词出现较为集中。这表明在此阶段,重点的研究方向聚焦稀土元素的赋存状态、吸附量、提取效率、吸附和脱附特性,以及通过优化吸附条件来提高稀土的提取效率和降低氨氮的环境影响。

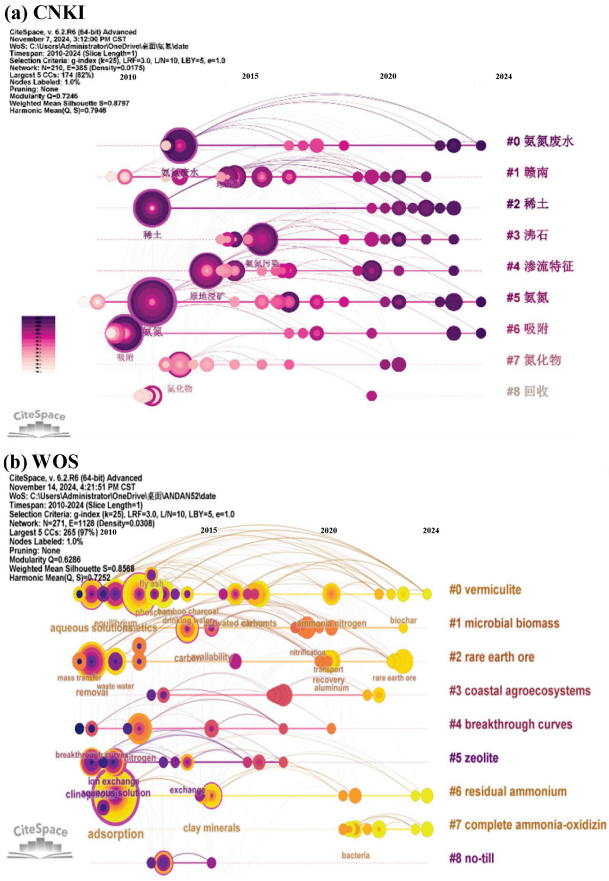


图 6 风化壳淋积型稀土尾矿处理关键词时间线图谱

Fig. 6 Timeline of keywords of weathered crust elution-deposited rare earth tailings treatment

2.4.3 关键词突现分析

关键词突现分析揭示特定时期内的学术焦点和发展趋势,Strength 指的是突现强度,Begin 标志着突现开始的年份,End 表示突现终止年份[23]。图 7 为风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理关键词突现分析图谱。由图 7 可知,2010—2024 年间,中文文献中突现强度排名前两位的分别是氮化物(2.66)和铵态氮(1.59);英文文献中突现强度排名前两位的分别是 nitrification(2.21)和 aqueous solution(2.13),在当下突现时间距离最近且突现强度达最高值的突现词为“铵盐”。稀土矿浸出过程中选用铵盐作浸矿剂引发风化壳淋积型稀土矿闭矿场土壤污染,这一情况促使相关研究以生态恢复与污染防治为重点方向,所以“铵盐”这一突现词在未来仍是研究热点。

2.4.4　关键词共线时间区图

图 8 为风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理关键词时间区图。由图 8 可知，目前国内的研究热点主要集中在氨氮、氨氮污染、氨氮废水、稀土、原地浸矿、吸附方面；国外的研究主要集中在吸附（adsorption）、动力学（kinetics）、平衡（equilibrium）等。可以看出国内外研究侧重点不同，国内由于环境方面的影响，主要侧重于氨氮去除方面；而国外则主要侧重于浸出效率提升、洗脱过程优化、抑杂浸出工艺、稀土元素回收以及尾矿的资源化利用等多个方面。

(a) CNKI

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2010 - 2024
稀土废水	2010	1.47	**2010**	2015	
氮化物	2013	2.66	**2013**	2017	
地下水	2015	1.28	**2015**	2017	
铵态氮	2011	1.59	**2017**	2018	
稀土元素	2017	1.46	**2017**	2018	
氨氮污染	2016	1.54	**2019**	2022	
稀土	2012	2.2	**2022**	2024	
残留铵盐	2022	1.35	**2022**	2024	

(b) WOS

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2010 - 2024
clinoptilolite	2010	1.73	**2010**	2014	
aqueous solution	2011	2.13	**2011**	2014	
removal	2010	1.52	**2016**	2017	
nitrogen	2012	1.99	**2018**	2021	
nitrification	2019	2.21	**2019**	2020	
denitrification	2019	1.65	**2019**	2020	
nitrate	2019	1.65	**2019**	2020	
aluminum	2020	1.6	**2020**	2024	
kinetics	2012	1.48	**2021**	2024	
elements	2017	1.42	**2021**	2024	

图 7　风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理关键词突现分析图谱

Fig. 7　Keyword burst detection for ammonia nitrogen treatment in weathered crust elution-deposited rare earth tailings

3　展望

随着稀土矿开采的进行，有价资源的浪费和尾矿堆积的问题愈发严重，这不仅对环境造成了显著压力，也关系到中国稀土矿山企业的可持续发展。为应对这些挑战，未来风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理技术的发展将聚焦于以下几个关键领域。① 提高处理效率。研发更高效的处理技术和工艺，以加速尾矿中氨氮的去除。② 降低成本。探索经济可行的技术解决方案，通过技术创新和规模化效应来降低处理成本。③ 减少环境污染。采取严格的环境保护措施，防止在处理过程中产生二次污染，确保处理后的废水、废气和废渣达到排放标准，保护周边生态环境。④ 绿色可持续发展。构建完整的绿色矿山管理体系，推广清洁生产技术，加强矿区生态修复，提升企业的社会责任感，最终实现经济效益与社会效益的双赢。

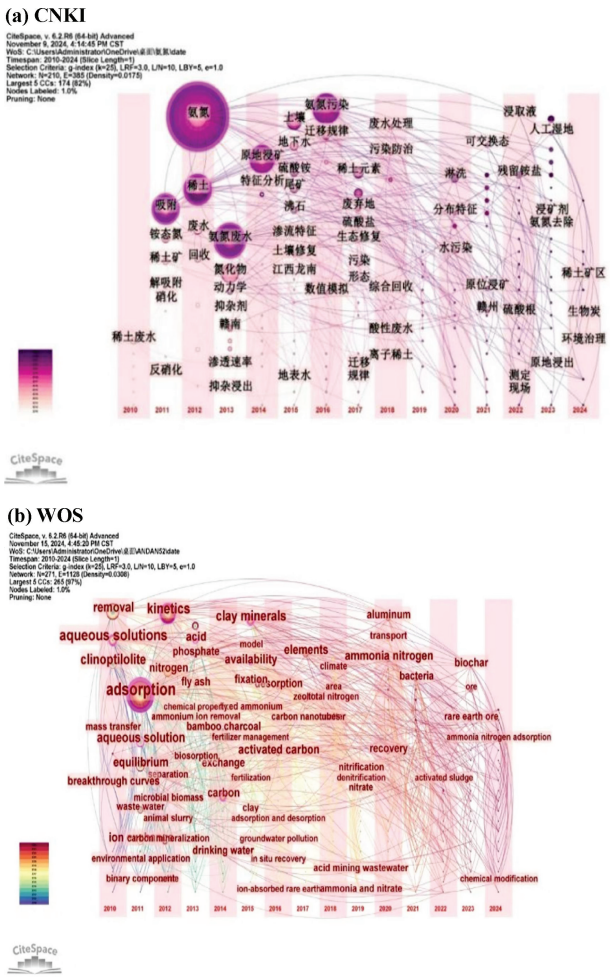


图 8　风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理关键词时间区图

Fig. 8　Time zone map of keywords of ammonium nitrogen treatment in weathered crust elution-deposited rare earth tailings

4　结论

1）2009 年 11 月至 2024 年 11 月（约 15 年）期间，关于风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理的研究文献数量随着时间推移总体呈现上升趋势。

2）在风化壳淋积型稀土尾矿氨氮处理的研究领域中，高产作者大多出自高校。这些研究作者普遍展现出团队合作的特性，各个团队在研究方向上各有侧重，不同学者所带领的团队相互之间开展合作的情况较为少见。《稀土》、《环境工程学报》、Journal of Water Process Engineering 和 Environmental Science and Pollution Research 等期刊刊登了一系列重要研究成果。

3）中英文文献作者和机构大多数来自中国，虽然侧重点不同，但都围绕风化壳淋积型稀土尾矿中氨氮处理以及生态治理进行研究，其中土壤污染防护以及

生态治理成为研究的前沿方向。

参考文献(References):

[1] 池汝安,刘雪梅. 风化壳淋积型稀土矿开发的现状及展望[J]. 中国稀土学报, 2019,37(2):129-140.
CHI Ru'an, LIU Xuemei. Prospect and development of weathered crust elution-deposited rare earth ore [J]. Journal of the Chinese Society of Rare Earths, 2019,37(2):129-140.

[2] 张培,谢海云,曹广祝,等. 硫酸铵浸出离子型稀土矿对土壤和地下水污染的研究现状[J]. 矿冶工程, 2021,30(4):95-101.
ZHANG Pei, XIE Haiyun, CAO Guangzhu, et al. Current status of research on soil and groundwater contamination by ammonium sulfate leaching of ionic rare earth ores[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2021,30(4):95-101.

[3] TANG J, QIAO J Y, XUE Q, et al. Leach of the weathering crust elution-deposited rare earth ore for low environmental pollution with a combination of $(NH_4)_2SO_4$ and EDTA[J]. Chemosphere, 2018, 199:160-167.

[4] 刘芳. 龙南离子型稀土矿生态环境及综合整治对策[J]. 金属矿山, 2013(5):135-138.
LIU Fang. Eco-environment status and its comprehensive countermeasures of Longnan ionic rare-earth mine[J]. Metal Mine, 2013(5): 135-138.

[5] GUO L Y, CHEN Q K, FANG F, et al. Application potential of a newly isolated indigenous aerobic denitrifier for nitrate and ammonium removal of eutrophic lake water[J]. Bioresource Technology, 2013, 142:45-51.

[6] 韩晓宇,黄伟,陈默,等. 污水中的氨氮去除研究进展[J]. 材料导报, 2023,37(增刊1):91-94.
HAN Xiaoyu, HUANG Wei, CHEN Mo, et al. Research progress on ammonia nitrogen removal[J]. Materials Reports, 2023,37(S1):91-94.

[7] 冯健. 风化壳淋积型稀土矿浸矿场地残留铵盐洗脱机理及过程强化[D]. 武汉:武汉工程大学, 2022.
FENG Jian. The elution mechanism and process intensification of residual ammonium from the leaching sites of the weathered crust elution-deposited rare earth ore[D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2022.

[8] 李小菊,余军霞,汪荣,等. 风化壳淋积型稀土尾矿中残留浸矿剂及主要共存离子分布规律研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(4):103-109.
LI Xiaoju, YU Junxia, WANG Rong, et al. Distribution of residual leaching agent and main co-existing ions in weathered crust elution deposited rare earth tailings[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(4):103-109.

[9] 胡远妹,周俊,刘海龙,等. 基于Web of Science对土壤重金属污染修复研究的计量分析[J]. 土壤学报, 2018,55(3):707-720.
HU Yuanmei, ZHOU Jun, LIU Hailong, et al. Bibliometric analysis of studies on remediation of heavy metals contaminated soils based on web of science[J]. Acta Pedologica Sinica, 2018,55(3):707-720.

[10] 刘亦晴,梁雁茹. 基于CiteSpace软件的我国稀土出口研究进展与热点分析[J]. 中国矿业, 2020,29(7):44-51.
LIU Yiqing, LIANG Yanru. Research progress and hot spot analysis of China's rare earth export based on CiteSpace software[J]. China Mining Magazine, 2020,29(7):44-51.

[11] 司佳雪,董鑫,张晓晴,等. 基于CiteSpace的国内外土壤污染治理研究进展和发展动态分析[J]. 现代化工, 2024,44(9):17-23.
SI Jiaxue, DONG Xin, ZHANG Xiaoqing, et al. CiteSpace based analysis on research progress and development trend of global soil contamination control[J]. Modern Chemical Industry, 2024,44(9):17-23.

[12] 马智琴,孟阳,顾博文,等. 基于CiteSpace的茯茶研究热点与发展趋势[J]. 中国茶叶, 2024,46(10):49-58.
MA Zhiqin, MENG Yang, GU Bowen, et al. Research hotspots and development trend of the fu tea based on CiteSpace[J]. China Tea, 2024,46(10):49-58.

[13] 邝岩,许晓东. 算法治理研究述评:演进脉络分析与理论体系构建[J]. 情报杂志, 2023,42(3):158-166.
KUANG Yan, XU Xiaodong. Review of algorithmic governance research: historical evolution and construction of theoretical system[J]. Journal of Intelligence, 2023,42(3):158-166.

[14] 李振嵩,陈启军,丁秀平,等. 离子型稀土矿原地浸采对地下水影响研究[J]. 人民珠江, 2014,35(6):122-127.
LI Zhensong, CHEN Qijun, DING Xiuping, et al. Study on the influence of in-situ leaching of ionic rare earth minerals on groundwater[J]. Pearl River, 2014,35(6):122-127.

[15] 齐晋. 风化壳淋积型稀土矿浸矿剂注液优化及铵残留分布研究[D]. 赣州:江西理工大学, 2018.
QI Jin. Study on the optimization of liquid injection and the distribution of ammonium residue in weathering crust[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2018.

[16] 赵倩倩,赖小彬,洪本根,等. 南方离子型稀土矿区地下水氨氮污染现状及其治理技术[J]. 福建冶金, 2024,53(1):35-38.
ZHAO Qianqian, LAI Xiaobin, HONG Bengen, et al. Status of ammonia nitrogen pollution in groundwater of southern ionic rare earth mining area and its treatment technology[J]. Fujian Metallurgy, 2024,53(1):35-38.

[17] 周晓文,温德新,罗仙平. 南方离子型稀土矿提取技术研究现状及展望[J]. 有色金属科学与工程, 2012,3(6):81-85.
ZHOU Xiaowen, WEN Dexin, LUO Xianping. The status quo and development trend of the extraction technology of ion-absorbed rare earth in southern China[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2012,3(6):81-85.

[18] 袁磊. 原地浸矿后稀土矿区土工程性质的试验研究[D]. 赣州:江西理工大学, 2013.
YUAN Lei. Experimental study on engineering properties of soil in rare earth mining areas after in-situ leaching [D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2013.

[19] 胡锦刚,肖春桥,邓祥意,等. 稀土矿山氨氮废水生物脱氮方法研究进展[J]. 武汉工程大学学报, 2022,44(1):1-8.
HU Jingang, XIAO Chunqiao, DENG Xiangyi, et al. Research progress in biological denitrification methods of ammonia nitrogen wastewater from rare earth mines[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2022,44(1):1-8.

(下转第170页)

[16] NASSAR N N, HUSEIN M M. Effect of microemulsion variables on copper oxide nanoparticle uptake by AOT microemulsions[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2007,316(2):442-450.

[17] MICHAELS M A, SHERWOOD S, KIDWELL M, et al. Quantitative model for prediction of hydrodynamic size of nonionic reverse micelles[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2007,311(1):70-76.

[18] HUAN Y, ZHANG S, VARDHANABHUTI B. Influence of the molecular weight of carboxymethylcellulose on properties and stability of whey protein-stabilized oil-in-water emulsions[J]. Journal of Dairy Science, 2016,99(5):3305-3315.

[19] 袁海宽,马晓华,许振良. 氮气吸附等温线分析 PFSA/SiO_2复合催化剂孔结构[J]. 中国科学:化学, 2011,41(6):1094.
YUAN Haikuan, MA Xiaohua, XU Zhenliang. Analysis of pore structure of PFSA/SiO_2 composite catalyst by nitrogen adsorption isotherm[J]. Scientia Sinica Chimica, 2011,41(6):1094.

[20] YUAN X, XING W, ZHUO S P, et al. Preparation and application of mesoporous Fe/carbon composites as a drug carrier[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2009,117(3):678-684.

[21] ZHANG H H, GU J N, JIANG Y Y, et al. Calcination removing soft template cetyl trimethyl ammonium bromide and its effects on capacitance performance of supercapacitor electrode MnO_2[J]. Energy Conversion and Management, 2014,86:605-613.

[22] DONG X Y, WANG H F, WANG J W, et al. The effects of calcination on the electrochemical properties of manganese oxides[J]. Nanoscale Advances, 2023,5(19):5309-5321.

[23] MADONA J, SRIDEVI C, VELRAJ G, et al. Surfactant assisted morphology controlled CuO nanostructures for enhanced photocatalytic performance and bacterial growth inhibition[J]. Materials Science and Engineering: B, 2023,294:116562.

引用本文:龙腾发,杜佳颖,张凯妮,等. 电解锰阳极泥制备四氧化三锰及其形貌控制[J]. 矿冶工程, 2026,46(2):163-170.
LONG Tengfa, DU Jiaying, ZHANG Kaini, et al. Preparation of Mn_3O_4 from electrolytic manganese anode slime and its morphology control[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2026,46(2):163-170.

(上接第162页)

[20] 李秋月,许红,李欣欣,等. 基于 CiteSpace 的2011—2021年国内外网络药理学研究在中医药领域的文献计量学分析[J]. 安徽医药, 2024,28(11):2316-2324.
LI Qiuyue, XU Hong, LI Xinxin, et al. Bibliometric analysis of literatures on network pharmacology in the field of traditional Chinese medicine at domestic and abroad from 2011 to 2021 based on CiteSpace[J]. Anhui Medical and Pharmaceutical Journal, 2024,28(11):2316-2324.

[21] 朱素梅,覃仕娜,覃淼,等. 基于 CiteSpace 的2016—2021年国内外中药质量标志物研究文献的计量学分析[J]. 中草药, 2021,52(9):2575-2588.
ZHU Sumei, QIN Shina, QIN Miao, et al. Bibliometric analysis of literatures on quality marker of Chinese medicine at domestic and abroad from 2016 to 2021 based on CiteSpace[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2021,52(9):2575-2588.

[22] 毕奕侃,韩毅. 关键词时间分布特征视角下的研究前沿探测研究[J]. 西华大学学报(哲学社会科学版), 2020,39(2):105-114.
BI Yikan, HAN Yi. Studies on research front detection under the context of time distribution characteristics of key words[J]. Journal of Xihua University (Philosophy & Social Sciences), 2020,39(2):105-114.

[23] 赵蕾. 我国网络舆情研究的知识图谱-基于 CiteSpace 软件的可视化分析[J]. 秘书, 2020(4):40-56.
ZHAO Lei. Knowledge map of network public opinion research in China-visual analysis based on CiteSpace software[J]. Secretary, 2020(4):40-56.

引用本文:李小菊,余军霞,马强强,等. 风化壳淋积型稀土尾矿中氨氮的处理:基于 CiteSpace 的图谱分析[J]. 矿冶工程, 2026,46(2):156-162.
LI Xiaoju, YU Junxia, MA Qiangqiang, et al. Treatment of ammonia nitrogen in weathered crust elution-deposited rare earth tailings: citespace atlas analysis[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2026,46(2):156-162.

关于检测学术不端的公告

为弘扬良好学术风气,保护知识产权,防止抄袭、伪造、篡改、不当署名、一稿多投、一个学术成果多篇发表等学术不端行为,本刊与中国学术期刊(光盘版)电子杂志社合作,由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社学术不端文献检测中心对本刊网络版刊登的文章进行系统检测,并按照“《中国学术期刊网络出版总库》删除学术不端文献暂行办法”,对出现以上学术不端行为的文章作出严肃处理。

特此公告!

矿冶工程杂志编辑部

2026年4月