



化工新型材料
New Chemical Materials
ISSN 1006-3536, CN 11-2357/TQ

《化工新型材料》网络首发论文

题目：基于高被引论文的稀土功能材料研究主题演化与热点分析
作者：郭文娟，陈格非
DOI：10.19817/j.cnki.issn1006-3536.2027.05.038
收稿日期：2026-05-07
网络首发日期：2026-07-10
引用格式：郭文娟，陈格非. 基于高被引论文的稀土功能材料研究主题演化与热点分析 [J/OL]. 化工新型材料. <https://doi.org/10.19817/j.cnki.issn1006-3536.2027.05.038>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

收稿日期：2026-05-07；修回日期：2026-07-02

基金项目：中国科学院文献情报能力建设专项（E4KZ391）

作者简介：郭文娟（1984-），女，硕士，副研究馆员，主要研究方向为新材料产业情报分析，E-mail: guowj@mail.whlib.ac.cn。

通讯作者：陈格非（1995-），男，博士后，从事图论、图神经网络和科学计量研究工作，E-mail: chengf@mail.whlib.ac.cn。

基于高被引论文的稀土功能材料研究主题演化与热点分析

郭文娟^{1,2} 陈格非^{1,2*}

（1.中国科学院武汉文献情报中心，武汉 430071；2.科技大数据湖北省重点实验室，武汉 430071）

摘 要 稀土功能材料作为国家战略资源的重要组成部分，在新能源、信息技术、生物医学和国防军工等关键领域发挥着不可替代的作用。为系统把握该领域的全球研究态势、前沿热点与发展方向，基于 Web of Science 核心数据库，对 2015—2025 年间发表的 619 篇稀土功能材料领域高被引论文进行了文献计量与可视化分析。综合运用 ITGinsight 与 VOSviewer 工具，从发文趋势、国家/地区、研究机构及合作网络等多个维度进行系统剖析，并重点开展了关键词演化、突现与共现聚类分析。结果表明：中国高被引论文数量位居全球首位，但篇均被引次数低于美国、日本和德国，提示在学术影响力方面仍有提升空间。中国科学院、中国科学院大学和中国科学技术大学是发文量最高的机构，国内机构间的合作网络较为紧密。关键词演化分析表明，该领域的基础机制研究与应用拓展呈现并行推进、协同发展的态势。研究热点集中在稀土基 MOF 环境检测、资源回收与分离提纯、氧化铈纳米酶 biomedical 应用、稀土电催化与能源转化、氧空位工程与多相催化治理、发光/储能材料微观结构调控，以及上转换发光与先进影像技术等七大方向。上述发现对我国稀土功能材料领域的研发布局与战略定位具有一定的启示意义。

关键词 稀土功能材料，高被引论文，突现分析，关键词演化，研究热点

中图分类号 G306；TB34 **文献标识码**: A

DOI: 10.19817/j.cnki.issn1006-3536.2027.05.038

Research theme evolution and hotspot analysis of rare earth functional materials based on highly cited papers

Guo Wenjuan^{1,2} Chen Gefei^{1,2}

（1.National Science Library(Wuhan), Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071;

2. Hubei Key Laboratory of Science and Technology Big Data, Wuhan 430071)

Abstract As a key component of national strategic resources, rare earth functional materials play an irreplaceable role in critical fields such as new energy, information technology, biomedicine and national defense. To systematically capture the global research landscape, emerging frontiers, and development directions in this field, this study conducted a bibliometric and visualization analysis of 619 highly cited papers on rare earth functional materials published between 2015 and 2025, retrieved from the Web of Science Core Collection. Using ITGinsight and VOSviewer tools, this study systematically examined publication trends, countries/regions, research institutions, and collaboration networks, with a particular focus on keyword evolution, burst detection, and co-occurrence clustering. The results indicate that China ranks first globally in the number of highly cited papers, yet its average citations per paper lag behind those of the United States, Japan, and Germany, suggesting room for improvement in academic influence. The Chinese Academy of Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, and University of Science and Technology of China are the top three most productive institutions, with relatively close collaboration networks

among domestic institutions. Keyword evolution analysis reveals that fundamental mechanism research and application-oriented development in this field are advancing in parallel with synergistic progress. Seven major research hotspots were identified: rare-earth-based MOF for environmental detection, resource recovery and purification, ceria nanozymes for biomedical applications, rare earth electrocatalysis for energy conversion, oxygen vacancy engineering for heterogeneous catalysis, microstructure regulation of luminescent/energy storage materials, and upconversion luminescence for advanced imaging technologies. These findings offer certain insights for the research layout and strategic positioning of China's rare earth functional materials field.

Key words rare earth functional materials, highly cited papers, burst detection, keyword evolution, research hotspots

在人类文明向智能化、绿色化、高效化转型的关键历史阶段，以战略性关键材料为核心的材料日益成为驱动科技革命和产业变革的底层核心力量。其中，稀土功能材料作为我国最具有资源特色的关键战略材料之一，凭借其独特且优异的磁、光、电、催化等性能，成为许多尖端技术中不可替代的功能材料，深度支撑着新一代信息技术、航空航天与现代武器装备、先进轨道交通、节能与新能源汽车、高性能医疗器械等高新技术领域的创新突破与产业升级。按照应用领域，稀土功能材料主要包括永磁材料、催化材料、发光材料、储氢材料和抛光材料^[1]。此外，高纯稀土金属及合金靶材、电极材料、陶瓷材料、屏蔽材料和抗菌材料等也开始受到广泛关注。

面对全球能源结构转型与新一轮科技竞争的宏大背景，世界主要发达国家与地区相继将稀土纳入国家战略资源储备^[2]。美国政府于 2022 年开启重构国内稀土供应链的战略布局，拜登政府将稀土永磁材料列为“国防必需材料”^[3]。2025 年 4 月 15 日，特朗普签署了第 14272 号行政令，正式指示对包括稀土永磁体在内的加工关键矿物及其衍生品的进口是否威胁国家安全展开全面调查^[4]。欧盟近年加速推进关键矿产战略布局，在其《关键原材料法案》和“欧洲绿色协议”框架下，致力于构建自主、可持续的产业链。2021 年，欧洲原材料联盟出台 Rare Earth Magnets and Motors 计划，总体目标是确保以具有竞争力的成本从初级和回收资源获得可持续生产的稀土磁体^[5]。2022 年 8 月，欧盟启动 REEsilience (Resilient and more sustainable supply chains for magnetic rare earth materials and products in Europe) 项目，专注于欧洲稀土磁性材料的供应链^[6]。2025 年 12 月，欧洲委员会通过“欧盟资源行动计划”(RESourceEU Action Plan)，拟对可回收稀土永磁废料的出口实施限制，相关措施预计于 2026 年正式落地^[7]。日本则长期实行“技术立国”战略，在稀土减量化、高性能化和回收利用技术上持续投入，构筑专利壁垒与技术优势。这些战略布局的核心，旨在确保其在新兴产业和未来国防领域不因关键材料“卡脖子”而受制于人。

对我国而言，发展稀土功能材料具有更为深刻和紧迫的战略意义。我国稀土资源储量、生产量、应用量和出口量均为世界第一^[8]，但长期以来面临着从“稀土大国”向“稀土强国”发展的严峻挑战。推动稀土功能材料的高值化，不仅关系到能否将资源优势有效转化为经济优势和战略优势，更直接服务于“双碳”目标下的新能源革命、新一代信息技术的升级换代以及国防现代化建设的重大需求。因此，研究稀土功能材料领域的全球科研脉络，精准分析其演进态势，对于我国把握战略机遇、优化研发布局、抢占未来科技与产业发展制高点，具有至关重要的决策参考价值。

高被引论文是由美国科技信息所 (ISI) 于 2001 年推出的基本科学指标数据库 (ESI) 统计的学术论文，是指出版在特定年份，且在数据库统计的 10 年内积累的被引频次排在同一个 ESI (Essential Science Indicators) 学科领域前 1% 的论文^[9]。高被引论文通常代表了其所在学科领域内的研究前沿或学术热点，因此被视为具有较高的学术影响力^[10]。当前学界借助高被引论文，在不同领域开展了相关研究，在学科发展态势分析^[11-12]、研究前沿识别及热点

分析^[13-14]等领域发挥了重要作用。本研究以高被引论文为研究对象，采用 ITGinsight^[15]和 VOSviewer^[16]文本挖掘与可视化工具，对稀土功能材料的领域发展态势、关键词演化与突现规律及研究热点等进行了可视化分析，以期为把握该领域的研究态势与发展方向提供参考。

1.数据来源

基于 Web of Science 核心数据库，考虑稀土功能材料的分类以及新兴，以稀土、17 种稀土元素以及永磁、钕铁硼、催化、发光、荧光、储氢、抛光、磁致伸缩、磁制冷、陶瓷、高温超导、电极、电池、超级电容器、屏蔽、抗菌等为关键词制定检索式，共检索到论文 154456 篇（检索日期 2026 年 1 月 9 日），其中高被引论文 619 篇。

2.总体态势分析

2.1 年度分布

如图 1 所示，从稀土功能材料领域高被引论文的年度分布来看，2015 年至 2025 年间整体呈现波动上升趋势，并在 2024 年达到峰值。整体而言，该领域的高影响力成果数量自 2020 年以来呈现较为明显的增长趋势，尤其在 2024 年形成突出高峰，表明稀土功能材料在前沿基础研究与关键技术应用方面正处于活跃发展期。

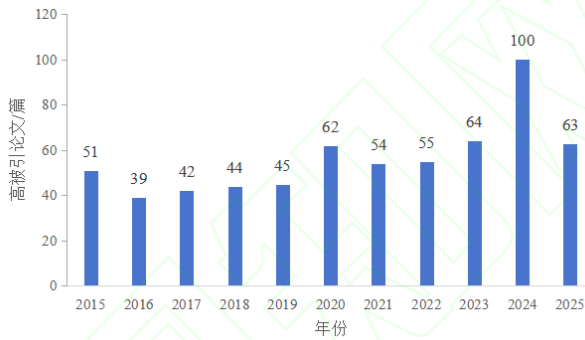


图 1 高被引论文年份变化趋势图

2.2 国家发文

表 1 呈现了高被引论文数量排名 TOP10 的国家/地区。由表 1 可知，中国以 367 篇高被引论文遥遥领先，占总高被引论文数量的 59.3%，约为第二名美国的 3.5 倍，反映出我国在该领域强大的科研产出规模与学术活跃度。尽管美国高被引论文总数远低于中国，但美国的篇均被引次数达 366.7 次，显著高于中国的 262.6 次，显示出其研究成果具有更高的单篇学术影响力。日本（330.6 次）、德国（325.0 次）等传统科技强国在篇均影响力方面也表现强劲。

表 1 高被引论文数量排名 TOP10 的国家/地区

国家/地区	数量/篇	WOS 被引次数/次	篇均被引次数/次
中国	367	96375	262.6
美国	105	38501	366.7
印度	46	10841	235.7
日本	36	11900	330.6
德国	34	11050	325.0
沙特阿拉伯	31	5300	171.0
澳大利亚	29	9070	312.8
英格兰	29	8497	293.0
韩国	27	7568	280.3
伊朗	25	3747	149.9

2.3 机构发文

图 2 为稀土功能材料领域高被引论文数量排名 TOP15 的机构示意图。整体来看，中国的高校与研究机构在这一领域的表现较为集中，TOP15 的机构中，中国机构占据了 13 席，显示出中国在稀土功能材料研究方面的活跃态势。中国科学院在稀土功能材料领域的以 86 篇高被引论文遥遥领先，体现出其在该领域显著的研究影响力；中国科学院大学和中国科学技术大学分别以 26 篇和 13 篇高被引论文位列第 2 和第 13 位；美国能源部以 25 篇位列第 3 位；瑞士联邦理工学院作为唯一入榜的欧洲机构，体现了其在材料科学领域的传统优势。此外，杭州电子科技大学、浙江大学、北京大学、华南理工大学、南开大学等国内多所高校也在该领域展现出较强的科研产出能力。

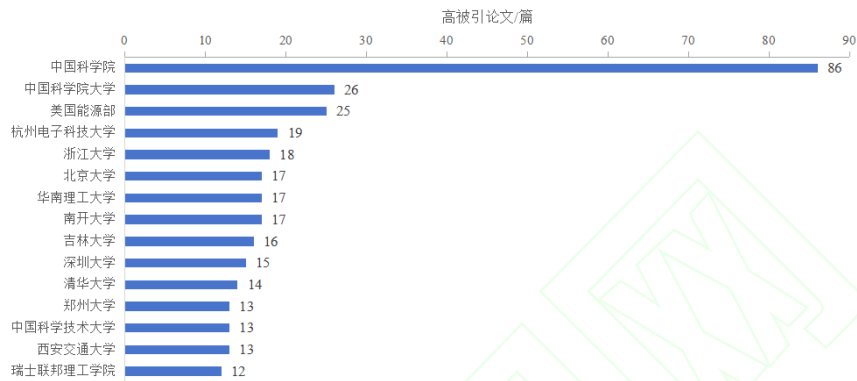


图 2 稀土功能材料领域高被引论文数量排名 TOP15 的机构示意图

2.4 机构合作网络

图 3 为科研机构在稀土功能材料领域的高被引论文合作网络图，图中节点的大小与文献数量的多少成正比，连线的粗细与合著数量成正比。图中的节点颜色有黑色、深灰、浅灰三 3 种，分别表示署名第一、第二、第三及以后的文献数量^[17]。

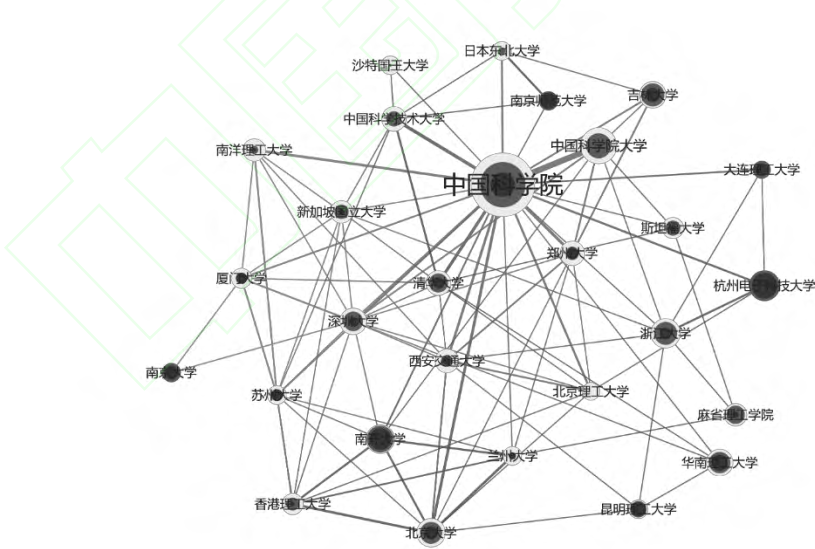


图 3 科研机构在稀土功能材料领域的高被引论文合作网络图

从节点间连线的粗细来看，中国科学院与其直属高校中国科学院大学、中国科学技术大学，以及南洋理工大学、北京大学、清华大学、深圳大学、杭州电子科技大学、郑州大学之间有着非常紧密的合作关系，与新加坡国立大学、斯坦福大学等也在稀土功能材料领域建立了合作关系。此外，深圳大学在国内外的合作网络中也发挥了重要作用，与南洋理工大学、新加坡国立大学、香港理工大学、南京大学、厦门大学、苏州大学等高校都开展了联合研究。

从节点颜色来看，中国科学院、北京大学、清华大学、浙江大学等，作为主要署名方（黑色节点特征突出），展现出牵头研究的主导能力，也在部分跨机构联合项目中承担了次要或

参与性署名角色；而杭州电子科技大学、南开大学、南京大学、南京师范大学及华南理工大学等，其节点黑色占比更为显著，在相关合作成果中更多以第一署名方的身份出现，在对应研究方向上发挥着主导作用。

3.关键词演化及突现

3.1 关键词演化分析

关键词演化分析作为新兴趋势探测方法之一，有助于了解领域主题产生、消亡、增强、减弱、聚合和裂变的过程^[18]，通过节点之间的关联线条，可以直观呈现不同关键词之间的关联脉络。图 4 为 2021—2025 年稀土功能材料领域高被引论文的关键词演化趋势图。由图可见，节点间的关联线条并不多，说明该领域不同年份的研究主题之间延续性、关联性较弱，间接反映出稀土功能材料领域正处于快速拓展阶段，领域创新活力较强，研究者在不断探索新方向。

从近 5 年的关键词来看，2021—2022 年，析氧反应、能量传递、氧空位、全水分解、磁热效应等关键词占据主导，表明此阶段对材料作用的机制、微观结构调控等基础科学问题的研究较多。2023 年，研究维度向多元化拓展，对储氢、食品包装、伤口愈合、防伪等应用导向型主题的研究开始增多，同时对氧空位、磁热性能等机制研究持续深化，对多色荧光、梯度轨道耦合等新机制探索也在同步推进。2024—2025 年，研究重心进一步聚焦高价值应用场景，伤口愈合、电动汽车、处理/检测四环素等成为重点方向，材料体系向纳米复合材料、金属有机框架等高端品类迭代，稀土基低温磁制冷材料也逐渐进入研究视野。

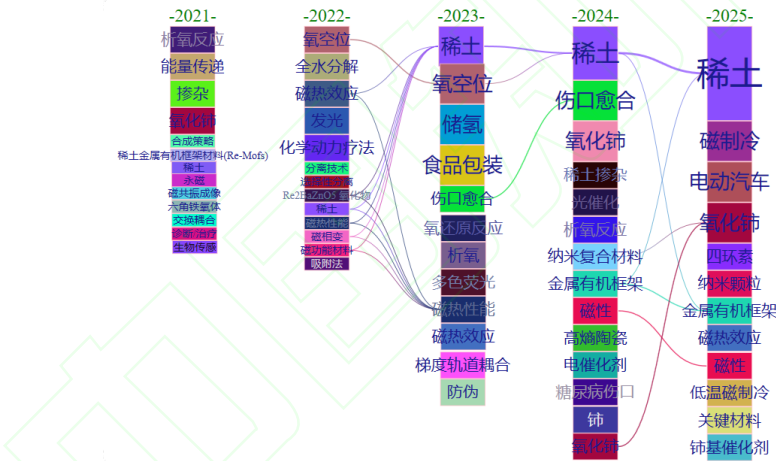


图 4 2021—2025 年稀土功能材料领域高被引论文的关键词演化趋势图

3.2 关键词突现分析

突现词是指特定期限内引用频率或关注度显著跃升的关键词。通过探测此类术语的突变轨迹，能够有效揭示领域内在相应时段的研究热度与前沿观点^[19-20]。稀土功能材料领域高被引论文的关键词突现分析图如图 5 所示，选取当年突现强度排名前 2 的关键词进行展示。图中短线条为关键词当年出现情况，其线条宽窄与关键词出现的频数成正比。

由图可知，近年来，稀土功能材料领域高被引论文中持续出现突现词，反映出该领域研究不断向纵深拓展并呈现出显著的应用导向与交叉融合趋势。2016 年出现的 bioimage（生物成像）、2017 年出现的 Photodynamic Therapy（光动力疗法）以及 2022 年出现的 Chemodynamic Therapy（化学动力疗法），都表明稀土功能材料在生物医学领域的应用持续受到关注；对 Magnetocaloric Effect（磁热效应）研究热度的持续不减，反映出基于稀土材料的固态制冷技术具有巨大的应用潜力；2018 年出现的钙钛矿、纳米晶体以及 2019 年出现的高熵陶瓷和（热导率），共同指向通过材料结构设计来实现性能优化的探索研究；2020 年出现的（单原子催化剂）以及 2022 年出现的（析氧反应）表明稀土功能材料在催化剂获得关

注：2023 年，Food Packaging（食品包装）作为突现词，则表明稀土材料的应用边界进一步得到拓展，其良好的抗菌性、阻隔性及稳定性为食品安全保障提供了新材料解决方案；同年出现的 Multicolor Fluorescence（多色荧光），即以稀土元素为基质原料制成的多色发光材料也受到关注。此外，部分突现词间存在串联现象，如 2021 年受到关注的 Hexaferrites（六角铁氧体）及相关的 Rare Earth Doping（稀土掺杂）研究，其目的是提升 Magnetic Properties（磁性能），进而服务于 2025 年突现的 Electric Vehicles（电动汽车）中电机等核心部件的性能需求。

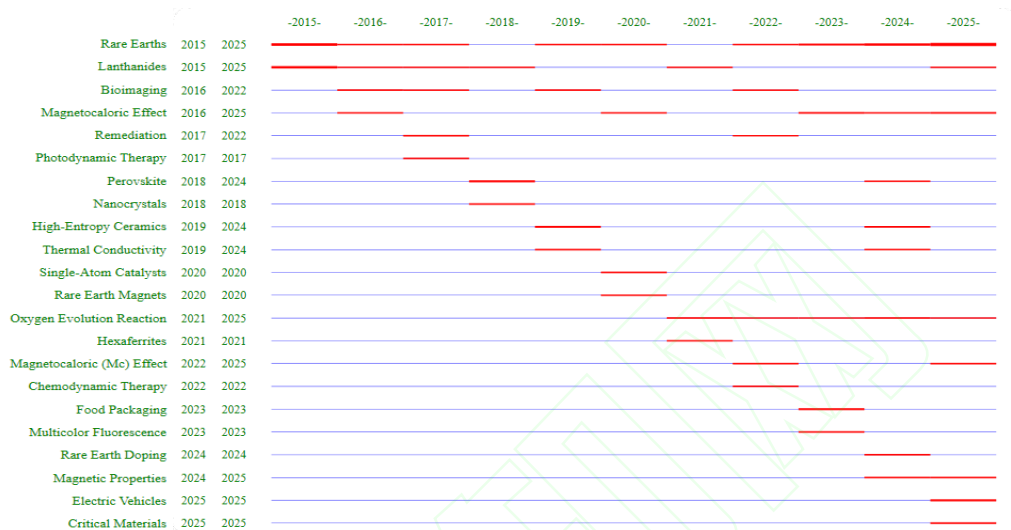


图 5 稀土功能材料领域高被引论文的关键词突现分析图

3.3 研究热点分析

VOSviewer 作为一款经典的文献计量与可视化分析工具，常被用于挖掘学术文献的关键词共现关系，进而识别特定领域的研究热点^[19-20]。使用 VOSviewer 软件，对 619 篇高被引论文的关键词进行可视化分析，具体步骤如下。

首先开展数据提取与预处理，从文献集合中提取全部文献的作者关键词和补充关键词，基于关键词共现关系构建共现网络。为提升网络结构代表性与分析效果，对初始网络进行筛选：设定阈值剔除总出现频次低于阈值的关键词，同时采用 KL 散度（Kullback-Leibler Divergence）量化比较不同阈值下网络节点度分布与广义泊松分布的相似程度。依据网络动力学模型，当节点连接行为与其所属研究主题存在关联时，网络节点度分布具备广义泊松分布特征，因此二者相似程度可作为筛选后网络中研究主题显著程度的观测指标；KL 散度取值越小，代表分布相似性越强、节点连接行为的主题关联性越显著。计算发现，KL 散度在节点阈值 2 取极小，网络规模为 912，以此作为聚类分析的基础。随后，使用 VOSviewer 的聚类算法（louvain 算法针对文献计量的改进版本）聚类，并将规模较小的聚类合并以提高结果的可解释性，聚类结果如图 6 所示。图中节点大小代表关键词出现的频次，节点间连线粗细和距离代表节点关键词共现关系的紧密程度^[19]。

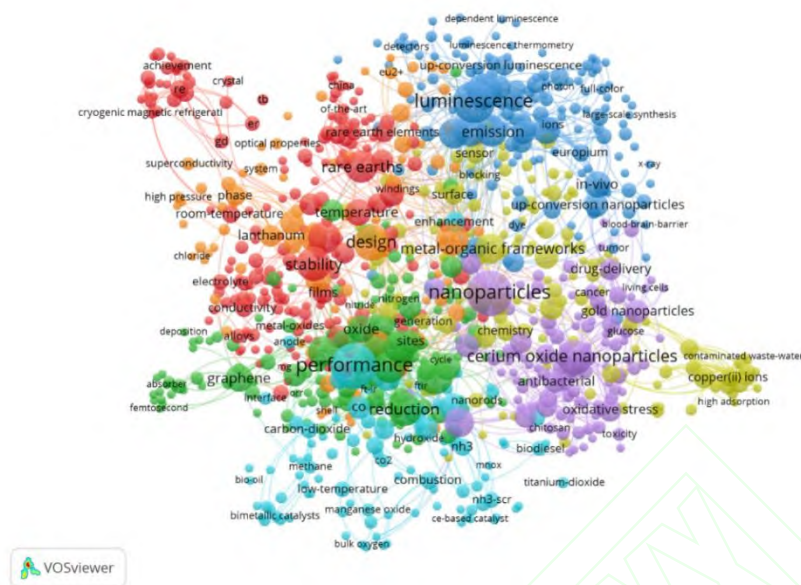


图 6 关键词共现聚类图谱

图中共有 7 个聚类，每个聚类分别代表一个具有内在关联的研究方向。提取每个聚类中的高频关键词，在此基础上，结合大语言模型（LLM）及人工专业领域判读，综合归纳出研究热点，结果如表 2 所示。

表 2 聚类中的高频关键词及所属研究主题

高频关键词	研究热点
metal-organic framework; adsorption; degradation; removal; cerium(iii) detection; surface; acid; chemistry; conversion; sensor; magnetic-properties; lithium ion batteries; copper(ii) ions; waste-water; trace palladium(ii) detection; efficient selenium(iv) detection; tuning mesoporous adsorbent; coordination polymers; selectivity; lanthanide sorption; fluorescent-probe; aqueous-solution; molecules; nano-composite adsorbent; tetracycline; photocatalysis; complex;	基于稀土 MOF 的环境修复与化学传感
stability; rare earth; temperature; recovery; mechanical-properties; solvent-extraction; films; kinetics; electrical-propertie; RE; magnetocaloric effect; doping; conductivity; room-temperature; waste; fuel-cells; fluorescent lamps; composite; electrolyte; phase-stability; ionic liquid; valuable metals; sulfuric-acid; substitution; selective extraction;	稀土资源回收与分离提纯工程
nanoparticles; cerium oxide nanoparticles; cerium oxide; fabrication; gold nanoparticles; oxidative stress; green synthesis; drug-delivery; nanomaterials; antibacterial; hydrothermal synthesis; cerium; catalytic-activity; CeO ₂ nanoparticles; hydrogen-peroxide; antioxidant; in-vitro; peroxidase-like activity; biomedical applications; wound healing; antioxidant activity; cancer	氧化铈纳米酶与生物医学应用

oxidation; reduction; efficient; catalysts; electrocatalysts; graphene; oxide; water; carbon; total-energy calculations; oxygen evolution reaction; nanosheets; electronic-structure; energy; thin-films; catalyst; perovskite; hydrogen evolution; activation; water oxidation; catalysis; oxygen; Fe; nanocomposites; absorption; highly efficient	稀土电催化与能源转化材料
performance; mechanism; oxygen vacancies; CeO ₂ ; Ceria; enhancement; CO oxidation; electrocatalyst; carbon-dioxide; combustion; NH ₃ ; oxygen vacancy; NH ₃ -SCR; nitric-oxide; Mn; low-temperature; biodiesel; SO ₂ resistance; in-situ; active-sites; NO; resistance; mixed oxides; methane; SCR; interface; manganese oxide	氧空位工程与多相催化治理
design; optical-properties; crystal-structure; hydrogen; transition; nanostructures; lanthanum; composites; phase; luminescence properties; growth; hydrogen storage; nanocomposite; Ce ³⁺ ; facile synthesis; dynamics; phosphor; light-emitting diodes; hydride; construction; superconductivity; lithium; eu ²⁺ ; thermal-stability; yttrium; high-performance; reduced graphene oxide; electric vehicles; nanophosphors	发光/储能材料的微观结构调控与性能研究
luminescence; energy-transfer; emission; photoluminescence; nanocrystals; quantum dots; in-vivo; fluorescence; up-conversion nanoparticles; rare-earth ions; up-conversion; spectroscopy; carbon nanotubes; up-conversion luminescence; lanthanides; persistent luminescence; light; complexes; europium; resonance energy-transfer; phosphors; luminescent properties; lanthanide; photodynamic therapy; near-infrared emission; bioimaging; photoluminescence properties; Ag ₂ S quantum dots	稀土上转换发光与先进影像技术

针对以上凝练出的研究热点，通过相关研究原文展开综述。

(1) 基于稀土基金属有机框架 (MOF) 的环境检测与化学传感。广州大学联合华南师范大学^[21]通过以铽离子为交联剂，将发光的三维铽金属有机框架与海藻酸钠凝胶进行杂化，制备了 Tb-MOF/Tb-AG 复合材料，该材料集成了现场检测铀污染与高效回收铀资源的双重功能。苏州科技大学王雪东团队等^[22]通过反相微乳液法合成了具有双发射特性的 Eu-MOF@Tb³⁺比例荧光探针，利用光诱导电子转移和内滤效应的协同作用，实现了对水产品中盐酸四环素的高灵敏检测。

(2) 稀土资源回收与分离提纯工程。中国科学院广州地球化学研究所王高锋团队等^[23]将动电采矿技术发展至工业规模，在 5000 吨稀土矿体上实现了 95% 的稀土回收效率，同时氨排放量减少 95%，验证了稀土绿色开采的新路径。贵州大学郭好团队等^[24]采用硫酸焙烧-水浸出工艺提取稀土元素，可使低品位沉积型稀土矿中稀土元素的总回收率高达 81.37%，是直接酸浸出的 3.1 倍。

(3) 氧化铈纳米酶与生物医学应用。中国人民解放军总医院第四医学中心申传安团队等^[25]研发出负载氧化铈纳米酶的复合水凝胶，通过调控巨噬细胞重编程与血管生成的交互作用，缓解炎症并促进糖尿病创面修复。吉林大学联合韩国高丽大学和中国科学院长春应用化学研究所^[26]利用二氧化铈纳米酶特性构筑金核@二氧化铈半壳纳米复合材料，借助光热与酶催化协同作用，有效清除牙周致病菌，为牙周炎治疗提供了新型氧化铈纳米酶应用方案。

(4) 稀土电催化与能源转化材料。美国阿贡国家实验室 Chong 等^[27]报道了一种由沸石

甲基咪唑酯骨架 (Co-ZIF) 衍生并通过静电纺丝处理的铜和锰共掺杂的纳米纤维钴尖晶石催化剂, 通过开发储量丰富的电催化剂以替代铈基催化剂, 用于质子交换膜电解水装置 (PEMWE) 的析氧反应 (OER), 以降低绿氢生产成本; 复旦大学石文娟团队等^[28]面向未来大规模兆瓦级 PEMWE 技术, 提出了一种熟化诱导嵌入策略, 将铈催化剂牢固地嵌入到氧化铈载体中, 与其它最先进的铈基 PEMWE-OER 催化剂相比, RIE-Ir/CeO_x 在平衡活性、稳定性和成本方面具有显著优势。

(5) 氧空位工程与多相催化治理。浙江师范大学陈建荣团队等^[29]通过构建富含氧空位的 MXene@Ce-MOF 复合材料, 利用表面缺陷协同增强机制, 提升了材料的储能容量与电催化析氢/析氧性能。南开大学于凯团队等^[30]通过在 Pt/Ce_{0.95}M_{0.05}O_{2-δ} 材料中引入不同稀土离子 (M=Y、La、Pr、Nd), 在金属-氧化物界面处构建了具有不同局域配位环境的氧空位 (Pt/Ce-Ov-M), 揭示了金属-氧化物催化剂上氧气的活化高度依赖于界面电子转移和 d/f 轨道价电子调控, 为理解氧空位局域电子扰动对氧活化性能的影响提供了更深入的见解。

(6) 发光/储能材料的微观结构调控与性能研究。广东工业大学牟中飞团队等^[31]制备了 Eu³⁺、Mn⁴⁺共掺杂 Sr₂InTaO₆ 双钙钛矿荧光粉, 探究其宽温域发光与光学测温传感特性, 并给出了双发光中心测温材料的通用设计方法。波兰奥波莱工业大学 Nivedhitha 等^[32]综述了金属氢化物储氢材料的研究现状与作用机理, 重点分析过渡金属、稀土金属及碳纳米管等改性手段对吸放氢性能的调控效果, 并展望了金属氢化物在氢能储能领域的应用挑战与发展前景。

(7) 稀土上转换发光与先进影像技术。哈尔滨工业大学陈冠英团队等^[33]构建了六方相铈掺杂、三明治夹心结构 (核-壳-壳结构) 的氟化物上转换纳米晶, 首次揭示了稀土离子在纳米晶中存在尺寸依赖的离子间长程能量传递的物理机制。英国伯明翰大学联合牛津大学等^[34]聚焦于镧系元素发光在核酸和酶检测、阴离子识别、细胞成像、组织成像以及光诱导治疗应用中的不同利用方式, 从分子配合物、多金属体系到纳米颗粒层级, 阐述了下转换和上转换两大技术策略, 揭示了该领域的发展机遇与技术挑战。

4. 结论与展望

基于 Web of Science 核心数据库中的 619 篇稀土功能材料领域高被引论文, 运用 ITGinsight 与 VOSviewer 工具, 分析了该领域的研究态势、合作网络、关键词演化与突现, 以及研究热点识别, 得到以下主要结论。

(1) 研究产出与影响力分布: 中国以 367 篇高被引论文居全球首位, 占总量的 59.3%, 体现出显著的科研产出规模与活跃度。然而, 中国的篇均被引次数低于美国、日本和德国, 表明在研究的深度与单篇学术影响力方面仍有进一步提升的空间。

(2) 机构布局与合作特征: 中国科学院 (含中国科学院大学和中国科学技术大学) 在稀土功能材料领域的核心引领地位。国内机构间形成了以中国科学院、北京大学、清华大学、浙江大学、深圳大学等为核心的合作网络, 具有较强的协同创新能力。

(3) 研究主题演化趋势: 整体而言, 该领域研究正在从基础科学问题 (如析氧反应、能量传递、氧空位机制等) 向高价值应用场景 (如电动汽车、伤口愈合、食品包装、四环素检测等) 拓展, 研究维度日趋多元化。关键词突现分析进一步揭示了生物医学应用、磁热效应、钙钛矿/高熵陶瓷、单原子催化、多色荧光等方向在特定时期内的研究热度, 突显了稀土功能材料在可持续发展与高端制造中的关键支撑作用。

(4) 研究热点识别: 通过关键词共现聚类分析, 识别出稀土功能材料领域的七大研究热点, 这些热点集中于环境治理、资源回收、生物医学、能源催化和光学成像等交叉前沿领域, 体现出稀土功能材料正在深度融入国家重大战略需求与新兴产业发展。

综上所述, 中国在稀土功能材料研究领域具有显著的规模优势与活跃度, 未来应在保持发文量的同时, 进一步提升研究的原创性与学术影响力, 强化对高价值应用方向的布局, 推

动稀土功能材料从资源主导向技术主导转型。同时,应持续深化国内外机构间的协同合作,聚焦生物医学、清洁能源、环境修复等重大需求,促进稀土功能材料在多学科交叉中的创新突破,为科技强国建设提供坚实的材料支撑。

参考文献

- [1]许亚茹,智国磊,张吉东.稀土功能材料标准体系现状与需求分析[J].稀土信息,2025(6):19-24.
- [2]高平风,李倩,刘业娇,等.国际稀土产业链安全研究:来自境外亚太地区的潜在挑战[J].中国矿业,2025,34(6):57-69.
- [3]国家稀土功能材料创新中心.美国稀土供应链重构路径探究[EB/OL].(2025-07-01)[2026-01-03].https://www.jxxtgncl.com/page153?article_id=1059
- [4]The White House. Fact Sheet: President Donald J. Trump Ensures National Security and Economic Resilience Through Section 232 Actions on Processed Critical Minerals and Derivative Product[EB/OL].(2025-04-15)[2026-01-03]. <https://www.whitehouse.gov/fact-sheets/2025/04/fact-sheet-president-donald-j-trump-ensures-national-security-and-economic-resilience-through-section-232-actions-on-processed-critical-minerals-and-derivative-products/>
- [5]European Raw Materials Alliance.Rare Earth Magnets and Motors:A European Call for Action[R].Berlin, 2021.
- [6]REEsilience.What is REEsilience about?[EB/OL].(2026-01-03). <https://reesilience.eu/>
- [7]European Commission.Commission adopts RESourceEU to secure raw materials, reduce dependencies and boost competitiveness[EB/OL]. (2025-12-03)[2026-01-03].
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_2891
- [8]中国科协之声.服务国家稀土战略的智囊团:从“稀土大国”到“稀土强国”[N].广东科技报, 2025-03-21(14).
- [9]张敏,张洋.中国大陆 SCI 期刊发表的高被引论文情况分析[J].科技与出版,2025(2):88-98.
- [10]罗璇,林正雨,陈章,等.2020—2024 年 F5000 农业科学类论文基金资助及高被引、高产作者论文研究[J].科技传播,2025,17(21):75-80.
- [11]刘语涵,施叶叶,尚丽丽.基于 ESI 高被引论文的中医药学科发展态势分析——以 23 所中医药大学为例[J].科技传播,2022,14(24):20-23.
- [12]王娜娜,于卫永,张媛,等.脑卒中 MRI 研究领域前 100 篇高被引论文的文献计量学分析[J].中国中西医结合影像学杂志,2025,23(4):436-443.
- [13]刘德娟,沈力,薛慧彬.光成像在生物医药领域的研究前沿及热点分析[J].应用激光,2022,42(2):127-138.
- [14]齐世杰,赵静娟,郑怀国.基于 ESI 的全球作物生物育种领域研究前沿分析[J].江苏农业科学,2021,49(19):9-19.
- [15]刘玉琴,汪雪锋,雷孝平.科研关系构建与可视化系统设计与实现[J].图书情报工作,2015,59(8):103-110,125.
- [16]Van Ech N J, Waltman L. VOSVIEWER: a computer program for bibliometric mapping[J].Scientometrics,2010,84(2):523-538.
- [17]王友国,刘玉琴,汪雪锋.面向科研评价的学术关系可视化方法研究[J].科学学与科学技术管理,2014,35(5):13-18.
- [18]王晓光,程齐凯.基于 NEViewer 的学科主题演化可视化分析[J].情报学报,2013,32(9):900-911.
- [19]李开源.人工智能驱动下我国情报研究热点与趋势——基于 CiteSpace 与 VOSviewer 的可视化分析[J].现代信息科技,2025,9(24):138-144.

- [20]李宁,李佳玉.新质生产力研究的热点议题与发展态势——基于 CiteSpace 和 VOSviewer 的可视化分析[J].中南民族大学学报(人文社会科学版),2025,45(2):10-19,181.
- [21]Cui An Qi, Wu Xiao Y, Ye Jun Bin, et al. “Two-in-one” dual-function luminescent MOF hydrogel for onsite ultra-sensitive detection and efficient enrichment of radioactive uranium in water[J]. Journal of Hazardous Materials,2023,448:130864.
- [22]Chen L, Li Z, Dou Y, et al. Ratiometric fluoroprobe based on Eu-MOF@Tb³⁺ for detecting tetracycline hydrochloride in freshwater fish and its application in rapid visual detection[J]. Journal of Hazardous Materials, 2024, 469: 134045.
- [23]Wang G, Zhu J, Liang X, et al. Industrial-scale sustainable rare earth mining enabled by electrokinetics[J]. Nature Sustainability, 2025, 8(2): 182-189.
- [24]Yu S, Ao X, Liang L, et al. Recovery of rare earth elements from sedimentary rare earth ore via sulfuric acid roasting and water leaching[J]. Journal of Rare Earths, 2025, 43(4): 805-814.
- [25]He S, Li Z, Wang L, et al. A nanoenzyme-modified hydrogel targets macrophage reprogramming-angiogenesis crosstalk to boost diabetic wound repair[J]. Bioactive Materials, 2024, 35: 17-30.
- [26]Li S, Ding Q, Zhang L, et al. Gold core@CeO₂ halfshell Janus nanocomposites catalyze targeted sulfate radical for periodontitis therapy[J]. Journal of Controlled Release, 2024, 370: 600-613.
- [27]Chong Lina, Gao Guoping, Wen Jianguo, et al. La- and Mn-doped cobalt spinel oxygen evolutioncatalyst for proton exchange membrane electrolysis[J].Science, 2023,380(6645):609-616.
- [28]Shi W, Shen T, Xing C, et al.Ultrastable supported oxygen evolution electrocatalyst formed by ripening-induced embedding[J]. Science,2025,387(6735):791-796.
- [29]Li Shuke, Chai Hanrui, Zhang Ling, et al. Constructing oxygen vacancy-rich MXene @Ce-MOF composites for enhanced energy storage and conversion[J]. Journal of Colloid and Interface Science,2023,642:235-245.
- [30]Yang W, Qi F, An W, et al. Local electronic structure modulation of interfacial oxygen vacancies promotes the oxygen activation capacity of Pt/Ce_{1-x} M_xO_{2-δ}[J]. ACS Catalysis, 2024, 14(8): 5936-5948.
- [31]Niu Y, Wu F, Teng Y, et al. Luminescence and thermometry sensing of Sr₂InTaO₆ : Eu³⁺, Mn⁴⁺ phosphors in a wide temperature range[J]. Journal of Luminescence, 2024, 275: 120748.
- [32]Nivedhitha K S, Beena T, Banapurmath N R, et al. Advances in hydrogen storage with metal hydrides: mechanisms, materials, and challenges[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2024, 61: 1259-1273.
- [33]Li F, Tu L, Zhang Y, et al.Size-dependent lanthanide energy transfer amplifies upconversion luminescence quantum yields[J]. Nature photonics, 2024(5): 440-449.
- [34]Alexander C, Guo Z, Glover P B, et al. Luminescent lanthanides in biorelated applications: from molecules to nanoparticles and diagnostic probes to therapeutics[J]. Chemical Reviews, 2025, 125(4): 2269-2370.