

# 离子吸附型稀土矿床研究进展文献计量分析

周楚涵, 胡金\*, 杨光美, 赵启帆, 莫美仙

玉溪师范学院地理与国土工程学院, 云南 玉溪

收稿日期: 2025年8月4日; 录用日期: 2025年9月17日; 发布日期: 2025年9月25日

## 摘要

稀土是重要的战略性矿产资源, 在石油、化工等领域具有广泛应用, 本文基于中国知网CNKI (China National Knowledge Infrastructure) 的文献数据, 分析2014~2024年离子吸附型稀土矿床的研究进展, 用CiteSpace软件对相关文献进行可视化计量分析, 对离子吸附型稀土矿床的地质特征、成矿预测等研究的发文量、核心作者群和机构、机构间的关系、主题词分析等方面进行可视化分析, 有助于了解离子吸附型稀土矿床研究的发展歷程和研究进展, 把握该领域的研究动态、热点和趋势。

## 关键词

离子吸附型稀土矿床, 文献计量分析, 发文量, 关键词

# Bibliometric Analysis of Research Progress of Ion-Adsorption Rare Earth Deposits

Chuhan Zhou, Jin Hu\*, Guangmei Yang, Qifan Zhao, Meixian Mo

School of Geography and Land Engineering, Yuxi Normal University, Yuxi Yunnan

Received: Aug. 4<sup>th</sup>, 2025; accepted: Sep. 17<sup>th</sup>, 2025; published: Sep. 25<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

Rare earth is an important strategic mineral resource, widely used in petroleum, chemical industry and other fields, this paper based on the literature data of CNKI (China National Knowledge Infrastructure) analyzes the research progress of ion-adsorption rare earth deposits from 2014 to 2024, uses CiteSpace software to visualize the quantitative analysis of related literature, and analyzes the geological characteristics of ion-adsorption rare earth deposits. Visualized analysis of the number of publications, core author groups and institutions, inter-institutional relationships, and keyword analysis of metallogenic prediction and other studies is helpful to understand the development process and

\*通讯作者。

文章引用: 周楚涵, 胡金, 杨光美, 赵启帆, 莫美仙. 离子吸附型稀土矿床研究进展文献计量分析[J]. 地球科学前沿, 2025, 15(9): 1360-1372. DOI: 10.12677/ag.2025.159126

research progress of ion-adsorption rare earth deposits, and to grasp the research trends, hotspots and trends in this field.

## Keywords

Ion-Adsorption Rare Earth Deposits, Bibliometric Analysis, Number of Papers Published, Keywords

Copyright © 2025 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

稀土指镧、铈、镨、钕等 17 种金属元素，是重要的战略性矿产资源，在石油、化工、冶金、纺织、陶瓷、玻璃、永磁材料等领域广泛应用，被誉为“工业黄金”、“现代科技维生素”，是发展经济和军事的战略性资源，也是现代工业和高新技术产业不可或缺的基础材料，更是国家科技竞争的战略筹码[1]。

传统类型的综述很大程度上依靠定性分析，结论的完整性和可靠性通常受限于参考文献的数量及作者的主观性。而文献计量学作为一门交叉学科，以数据驱动为核心的定量分析方法，能够对海量文献资源进行系统性量化研究，将复杂知识关联转化为多维度可视化图谱。分析结果可信度高，还可以通过形象直观的可视化网络图谱呈现分析结果，实现了研究结论科学性与呈现形式直观性的有机统一[2]。

本文通过对离子吸附型稀土矿床研究现状进行深入分析，采用文献计量法系统梳理离子吸附型稀土矿床的研究进展，分析存在的问题和挑战，有助于了解离子吸附型稀土矿床研究的发展历程，对目前离子吸附型稀土矿床文献研究形式进行创新，提供更加全面可靠的数据信息。研究结果有助于厘清离子吸附型稀土矿床研究的演变规律和发展方向，可为稀土资源的可持续开发和利用提供科学依据，为相关领域的研究者和从业者后续研究提供参考和借鉴。

## 2. 研究方法 with 数据来源

### 2.1. 研究内容和方法

本文研究内容包括发文量趋势、该领域的核心作者群和研究机构、关键词共现分析、合作研究机构网络关系、研究前沿和关键词演进等方面进行数据统计，结合不同时间点因政策、研究热点、资源总量等因素影响，把握该领域的研究动态、热点和趋势。同时，结合内容分析法，对文献的研究内容、方法、结论等进行深入剖析。具体研究方法为：

1) 以 CiteSpace 6.2.R6 为基础的科研文献图谱构建方式：首先对中国知网(CNKI)收录的中文文献实施系统性采集，采用 Refworks 标准格式把数据文件导出，文档命名规则为 download\_x.t 格式。凭借 CiteSpace 内置的数据转换模块对中文文献做编码标准化处理，设置以 date 文件夹为原始数据存储区域、project 文件夹为分析成果输出区域的双路径框架，处于参数配置这一环节，按照研究目标选取主题词、机构或作者等核心节点类型，借助时间切片功能设置 2014~2024 年的动态分析窗口，每个切片时间可根据节点类别、分析目的灵活设置[1]。

2) 内容分析法：通过对 2014~2024 年知网发表的关于离子吸附型稀土矿床文献内容的量和主题内容分析，认识和判断该时期内离子吸附型稀土矿床研究的重点，通过分析其中存在的变化规律，梳理其存在的倾向、问题并对未来研究方向进行预测。

## 2.2. 数据来源

相关文献主要来源于中国知网 CNKI (China National Knowledge Infrastructure)数据库检索和收集,文献类别为学术期刊、学位论文、会议、报纸和成果,现收集到离子吸附型稀土矿[3]-[14]的相关中文文献 769 篇,包括学术期刊 534 篇、学位论文 156 篇、会议 64 篇、报纸 4 篇,成果 11 篇。离子吸附型稀土矿床[15][16]的相关中文文献 336 篇,包括学术期刊 250 篇、学位论文 49 篇、会议 32 篇、报纸 2 篇,成果 3 篇。离子吸附型稀土(地质)特征[17]-[22]的相关中文文献 101 篇,包括学术期刊 80 篇、学位论文 20 篇、会议 1 篇。离子吸附型稀土矿成矿预测[23]-[25]的相关中文文献 17 篇,包括学术期刊 11 篇、学位论文 4 篇、会议 1 篇、成果 1 篇。使用 CiteSpace 软件对以上收集到的文献进行可视化分析。

检索过程中,发文章趋势的分析中所使用到的检索词包括离子吸附型稀土矿、离子吸附型稀土(地质)特征、离子吸附型稀土矿成矿预测、离子吸附型稀土矿床四个检索词,聚焦于离子吸附型稀土矿床的研究,从核心作者群和研究机构、合作的网络、关键词(共现、聚类、演进)进行分析。以上使用到的检索词均为 2014~2024 年期间。

## 3. 离子吸附型稀土矿床的基本特征

离子吸附型稀土矿是在特定的地形地貌和气候条件下,花岗岩母岩中的稀土载体矿物解离、淋滤并和黏土矿物相结合的产物[26]。稀土元素由花岗岩或火山岩经长期风化淋滤形成,富集于风化壳中,以离子态吸附于黏土矿物(如高岭石、埃洛石)或铁/铝氢氧化物表面。

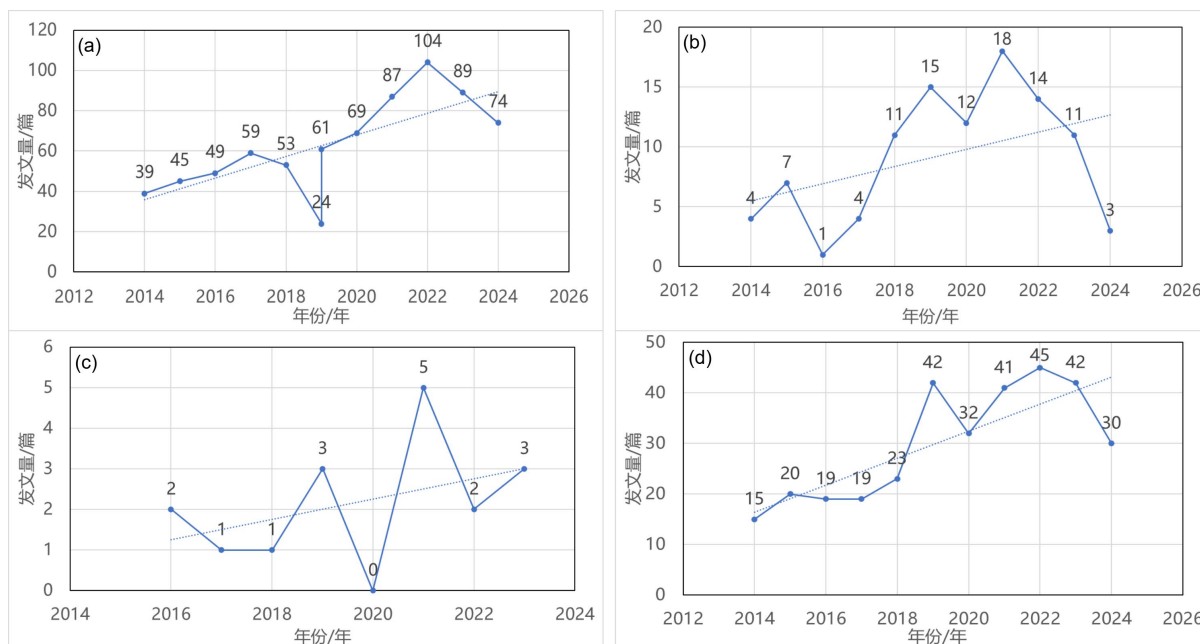
我国作为全球最大的稀土资源国,其探明储量占据全球总量的 23%~25%区间,矿床地理分布横跨多个重要成矿带,矿物种类和稀土元素齐全[27]。全球约 90%的此类特殊赋存态稀土矿集中产自我国华南构造带,主要分布在江西、福建及广东等省份,少量赋存于东南亚(老挝、越南)与非洲(马达加斯加)地区,中重稀土的不可替代特征十分显著,永磁技术(风电/新能源汽车)与尖端电子制造所需的关键原料涉及钕、镨、铽等元素,其工业储量多赋存于此矿种。

离子吸附型稀土矿床是在有利的成矿母岩之上,发育了有利稀土表生富集的风化壳,即有利的内生矿化条件和有利的表生富集条件集于一体的产物[28]。其形成包括内生成矿与外生成矿两个过程。内生成矿为矿床的形成提供物质基础,外生成矿将成矿物质进行改造,并为稀土提供适宜的富集场所,二者缺一不可。

## 4. 数据分析

### 4.1. 发文章趋势

发文章是科学界对某一领域关注程度的总体表征,可在一定程度上可视化该领域的动态发展[29]。通过对文献数量的时间变化研究,可以揭示离子吸附型稀土矿研究所处的阶段、趋势和动态。本文检索得到 2014~2024 年期间主题为离子吸附型稀土矿的中文文献 769 篇,人工去除主题无关文献 16 篇,选取 753 篇相关文献使用 CiteSpace 软件进行发文章汇总,整理数据得到离子吸附型稀土矿发文章总体趋势(图 1(a));通过检索得到 2014~2024 年期间主题为离子吸附型稀土(地质)特征的中文文献 101 篇,人工去除主题无关文献 1 篇,选取 100 篇相关文献使用 CiteSpace 软件进行发文章汇总,整理数据得到离子吸附型稀土(地质)特征发文章趋势(图 1(b));通过检索得到 2014~2024 年期间主题为离子吸附型稀土矿成矿预测的中文文献 17 篇,使用 CiteSpace 软件进行发文章汇总,整理数据得到离子吸附型稀土矿成矿预测趋势(图 1(c));通过检索得到 2014~2024 年期间主题为离子吸附型稀土矿床的中文文献 336 篇,人工去除主题无关文献 8 篇,选取 328 篇相关文献使用 CiteSpace 软件进行发文章汇总,整理数据得到离子吸附型稀土矿床的发文章变化趋势(图 1(d))。



**Figure 1.** Publication trends: (a) Overall publication trend on ion-adsorption REE deposits; (b) Publication trend on (geological) characteristics of ion-adsorption REEs; (c) Publication trend on ore-forming potential prediction of ion-adsorption REE deposits; (d) Publication trend on ion-adsorption REE deposits

**图 1.** 发文量变化趋势图: (a) 离子吸附型稀土矿发文量总体趋势; (b) 离子吸附型稀土(地质)特征发文趋势; (c) 离子吸附型稀土矿成矿预测发文趋势; (d) 离子吸附型稀土矿床发文趋势

离子吸附型稀土矿发文量(图 1(a))总体呈现先波动上升,后逐渐下降的特点。在 2014~2022 年,总体呈上升趋势,峰值出现在 2022 年(104 篇),其中 2019 年呈现断崖式下降,其原因可能是受当时相关政策的影响:2018 年年底到 2019 年,先后下发了稀土矿相关政策文件,自然资源部印发了《自然资源部关于进一步规范稀土矿钨矿矿业权审批管理的通知》;自然资源部、工业和信息化部印发《关于下达 2019 年度稀土矿钨矿开采总量控制指标(第一批)的通知》。2020 年至 2024 年这一阶段,发文量展现出持续下滑的势头,2024 年《稀土管理条例》步入正式实施阶段,政策强化环保要求致使开采成本上升,企业更聚焦于技术升级,而非基础勘探事宜,引发传统领域研究的发文数量出现下降。2025 年云南的超大型稀土矿被发现,标志着勘查技术进入成果转化阶段,后续研究更朝着开发方向,而非勘探理论。

离子吸附型稀土(地质)特征发文量(图 1(b))呈现出波动上升态势,随后展现出断崖式急降的情形。2015 年往后,“中国制造 2025”、“碳达峰碳中和”等战略稳步推进,相关产业链对稀土资源的需求明显加大,稀土在新材料、电子、军工等领域的应用逐步拓展,倒逼地质研究更加注重分析矿床特性,以支撑高效开发。自 2018 年起,国家对稀土开采环境影响的监管进一步加强,研究焦点转向绿色开采技术(如原地浸矿工艺)和环境影响评定,研究经费更多被分配到污染治理技术上,而不是针对基础地质特征,基础地质特征研究的优先顺序出现下降。

离子吸附型稀土矿成矿预测发文量(图 1(c))总体变化较为曲折。2014 年、2015 年、2020 年及 2024 年,数值为 0,峰值出现在 2021 年(5 篇),总体数量较少,仅有 17 篇。2014 年前后,离子吸附型稀土矿的地球化学勘查技术依然处在探索阶段,大规模应用和优化是在 2018 年后集中展开的,早期数据的积累比较有限,致使成矿预测模型构建面临难题。自 2016 年起,我国稀土行业步入整合阶段,研究资源向生产应用倾斜,政策明确强调“总量控制”与绿色开采,导致学术研究更看重环境治理与开采技术,离子吸附型稀土矿的形成过程复杂,需开展长期野外调查以及多学科交叉研究,所需时间较长,成果产出的

周期往后推，故此阶段中，文献发表的总体数量偏少。

离子吸附型稀土矿床发文量(图 1(d))总体呈现先波动上升，后逐渐下降的特点。2019 年稀土开采总量控制指标反映出，轻稀土开采量出现大幅增长，而离子吸附型中重稀土指标维持在原有数值，凸显现阶段针对中重稀土资源开展的战略管控。这驱使科研机构和企业针对离子吸附型稀土矿床高效开采、环保工艺加大研究投入，新能源车、风电等领域的快速成长，极大提升了中重稀土的需求量，研究方向由矿产的理论基础研究及勘查手段，转向矿床的开采与提取，以增进资源利用效率。自 2022 年起，离子吸附型稀土矿床的发文数量渐趋下降，或许是由于这一时间段基础理论研究渐入成熟，针对离子吸附型稀土矿床的成矿机制、稀土赋存状态等核心科学问题已取得显著突破，微生物开采技术等绿色工艺大约在 2023 年进入应用验证阶段，但真正实现工业化推广的周期偏长，于是短期内没法催生大量新论文。2025 年云南红河发现了超大型稀土矿(潜在资源 115 万吨)，属重大突破，然而该成果于 2025 年进行了发布，也许因为勘探周期长，让 2022 到 2024 年新矿床发现数量不多，研究热点缺乏新的刺激动力。

结合离子吸附型稀土矿、离子吸附型稀土(地质)特征、离子吸附型稀土矿成矿预测三个研究方向的发文量变化趋势，进一步得出，离子吸附型稀土矿床的研究热点和方向，受国家政策战略、市场发展需求、企业和机构研究方向、资源总量及研究技术水平的影响。

4.2. 离子吸附型稀土矿床研究的核心作者群和研究机构

2014 年至 2024 年时段，离子吸附型稀土矿床研究中，核心作者群以及研究机构的网络关系呈现出多学科交叉、产学研结合的特质，基于知识图谱可视化的解析(图 2)呈现，离子吸附型稀土矿床研究领域的科研合作网络表现出多个高密度模块化集群，各研究团队内部构建起紧密合作的知识生产单元，显示为节点间高频次的合作关系以及知识传递效率的局部增进；而跨团队彼此间的学术交流呈现弱连接态势，反映为模块间桥接节点的匮乏以及知识流动路径的受限，这种网络拓扑结构呈现出该领域已形成若干带有学科障碍的“学术共同体”，跨机构协同创新的机制以及交叉学科知识流动的路径有待建立[30]。

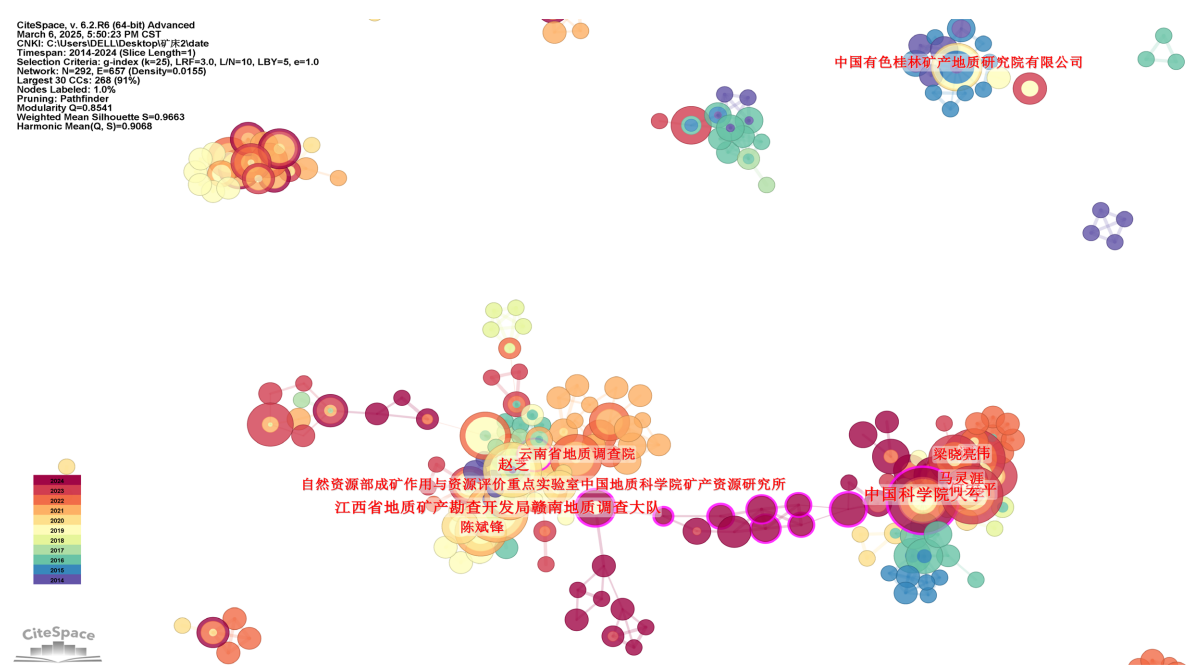


Figure 2. Network map of core author groups and research institutions in the study of ion-adsorption REE deposits  
图 2. 离子吸附型稀土矿床研究的核心作者群和研究机构网络关系图

由表 1 的相关数据可看出, 在发表文献数量排前 11 的作者/机构里面, 中心性最高的两位作者是谭伟和赵芝, 谭伟与香港大学、中国科学院等机构携手合作, 把光谱学与地质学深度融合在一起, 带动了多学科交叉的研究, 其研究成果不只是停留在理论层次, 还直接为绿色勘查技术的研发出力。赵芝作为隶属于国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室的核心成员, 长期开展离子吸附型稀土矿床成矿机制的研究探索, 她与王登红等人开展合作, 整体总结了稀土元素的迁移-富集规律, 进而提出了多期次岩体成矿潜力模型, 这些成果给资源评价以及勘查规范的修订提供了理论基础, 赵芝在《赣南离子吸附型稀土矿床研究进展》中清晰表明, 现行勘查规范与资源开发需求不匹配了, 且提出构建单元素稀土矿种的考评管理体系, 她的研究直接左右了稀土行业管理政策的制定, 谭伟和赵芝的研究皆强调技术往产业方向的转化。

中国有色桂林矿产地质研究院有限公司的研究主要集中在该时间段的早期; 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队、自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室中国地质科学院矿产资源研究所、云南省地质调查院等机构的科研成果主要集中在该研究区间的中部时间段; 中国科学院大学整个时间段内均有较多科研成果。

**Table 1.** Top eleven author groups and research institutions by publication count  
**表 1.** 文献发表数量排名前十一的核心作者群和研究机构

| 文献数量 | 中心性  | 作者/机构                             |
|------|------|-----------------------------------|
| 18   | 0.23 | 中国科学院大学                           |
| 15   | 0.04 | 谭伟                                |
| 15   | 0.01 | 何宏平                               |
| 14   | 0.03 | 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队              |
| 13   | 0.04 | 赵芝                                |
| 11   | 0    | 马灵涯                               |
| 10   | 0.02 | 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室中国地质科学院矿产资源研究所 |
| 10   | 0    | 中国有色桂林矿产地质研究院有限公司                 |
| 10   | 0.01 | 陈斌锋                               |
| 10   | 0.01 | 梁晓亮                               |
| 10   | 0.04 | 云南省地质调查院                          |

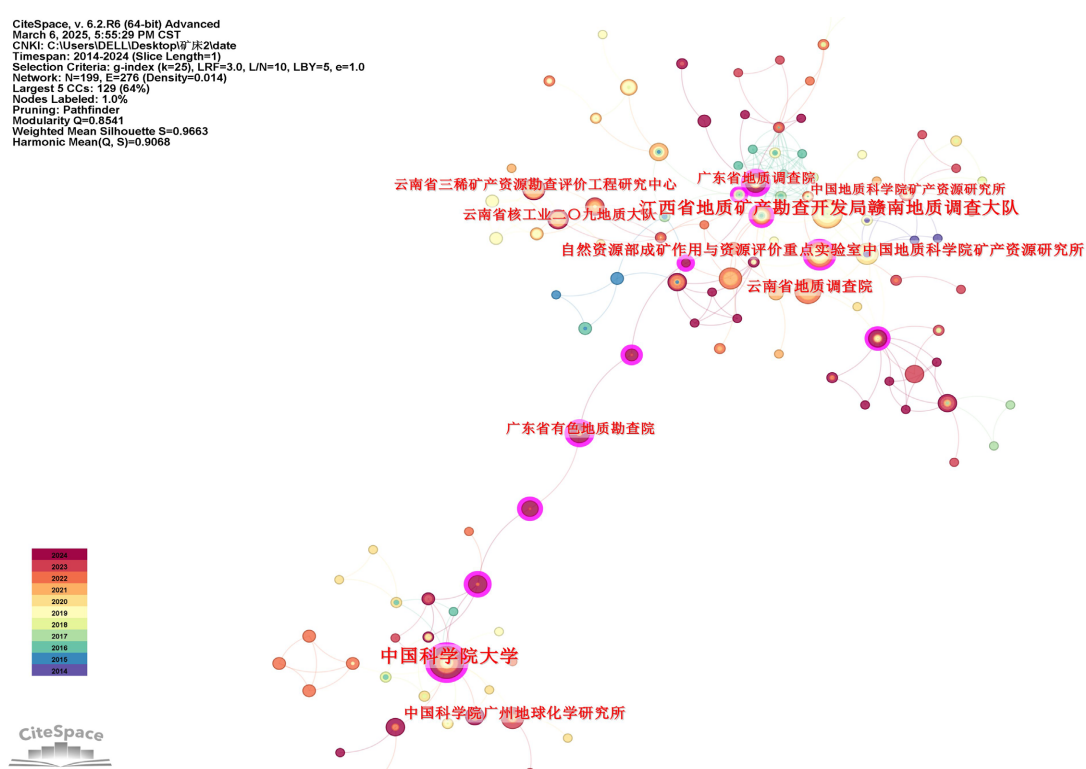
4.3. 离子吸附型稀土矿床研究机构进行合作的网络

机构发表的论文数量表明其对离子吸附型稀土矿科学研究的重视, 而各机构之间的合作则表明科研单位之间的整合和聚集(见表 2)。从表 2 可见, 发文量前五的五个机构中, 除中国科学院大学外, 其余四个机构很自然地形成了紧密且稳定的合作关系, 成果众多, 形成了我国离子吸附型稀土矿床研究的支柱, 在离子吸附型稀土矿床研究领域内影响重大深远。离子吸附型稀土矿床在我国呈现典型地域性分布格局, 赣南-滇东构造带作为重要的成矿区域, 其富集机制与区域花岗岩风化壳演化序列密切相关。以江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队、云南省地质调查院为代表的专业地质调查单位, 依托于矿集区区位优势, 长期开展原位地球化学过程监测, 这种得天独厚的地质样本可及性优势, 使其在成矿动力学模型构建与找矿预测方法创新方面积累了不可替代的实证研究基础。自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室在离子吸附型稀土矿床研究上有清晰的战略定位与导向, 可得到国家给予的大量科研资金与资

源支持，在成矿理论、资源评价等范畴拥有深厚的学术沉淀和专业长处，备有先进的实验设备和专业的科研班子，可开展系统性、深入性的研究工作。

中国科学院大学的发文量排名第一位，但它跟其他机构之间的联系呈现松散态势，仅与中国科学院广州地球化学研究所、广东省有色地质勘查院有少量的联系，中国科学院大学涉及地质学、地球化学等多个与离子吸附型稀土矿床研究关联的学科领域，针对离子吸附型稀土矿床的成矿机制、资源评价等，不断提出新理论与新方法，和国内外大量科研机构开展广泛的学术交流与合作，针对重要有色金属矿产稀土的研究，广东省有色地质勘查院有明确的专业方向和技术专长。广东的稀土产业发达，对稀土资源的勘查和研究有强烈的市场需求，市场需求推动稀土研究的发展。

通过图 3 分析可以看出，离子吸附型稀土矿床研究机构科研合作网络呈现高联结度，机构间协同创新成果丰硕，但合作模式存在显著结构化特征。合作主体呈现模块化分布，超 70% 的学术产出源于稳定科研团队的内部协作；跨团队协同创新机制尚未健全，不同研究集群间存在明显的学术壁垒；空间维度上呈现地域性集聚特征，不同地区间的机构合作也较少。这种“强内部联结 - 弱外部互动”的合作格局，导致整体网络密度较低，合作网络不严密，制约了知识要素的跨域流动和集成创新[30]。



**Figure 3.** Collaboration network map among research institutions studying ion-adsorption REE deposits  
**图 3.** 离子吸附型稀土矿床研究机构进行合作的网络关系图

**Table 2.** Top twelve research institutions by publication count  
**表 2.** 文献发表数量排名前十二的研究机构

| 文献数量/篇 | 中心性  | 机构                   |
|--------|------|----------------------|
| 18     | 0.21 | 中国科学院大学              |
| 15     | 0.06 | 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队 |

续表

|    |      |                                   |
|----|------|-----------------------------------|
| 10 | 0.11 | 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室中国地质科学院矿产资源研究所 |
| 10 | 0.02 | 云南省地质调查院                          |
| 10 | 0    | 中国有色桂林矿产地质研究院有限公司                 |
| 9  | 0.02 | 中国科学院广州地球化学研究所                    |
| 9  | 0    | 南昌大学                              |
| 8  | 0.29 | 广东省地质调查院                          |
| 8  | 0.24 | 广东省有色地质勘查院                        |
| 8  | 0.04 | 云南省核工业二〇九地质大队                     |
| 8  | 0    | 云南省三稀矿产资源勘查评价工程研究中心               |
| 8  | 0    | 东华理工大学                            |

4.4. 离子吸附型稀土矿床关键词分析

4.4.1. 关键词共现

关键词作为论文主题的高度概括,它出现的频率和关联程度可揭示某领域研究的热点和发展趋势[8]。热点关键词主要由共现频次和中心性两个指标判定,通过对关键词进行共现分析,“稀土矿”(41次)、“风化壳”(39次)、“地质特征”(28次)、“稀土元素”(27次)、“稀土矿床”(16次)、“矿床成因”(16次)是高频关键词和高中心性关键词[1]。

离子吸附型稀土矿床关键词共现分析(图4)中,可见节点中心度与标签权重呈显著正相关,揭示出该领域研究呈现典型的多核发散型知识架构。节点越大,说明被研究的频次也越多,由此可知离子吸附型稀土矿床研究较为分散,形成了以稀土矿、风化壳、地质特征、稀土元素、稀土矿床、矿床成因等几大研究重点,印证了该领域内尚未形成绝对主导的研究范式,说明离子吸附型稀土矿床的研究较为丰富,并不是围绕一个绝对中心的主题,具有研究重心多元化的特点,这种网络结构特征符合资源型学科交叉深化期的典型演进规律[30]。

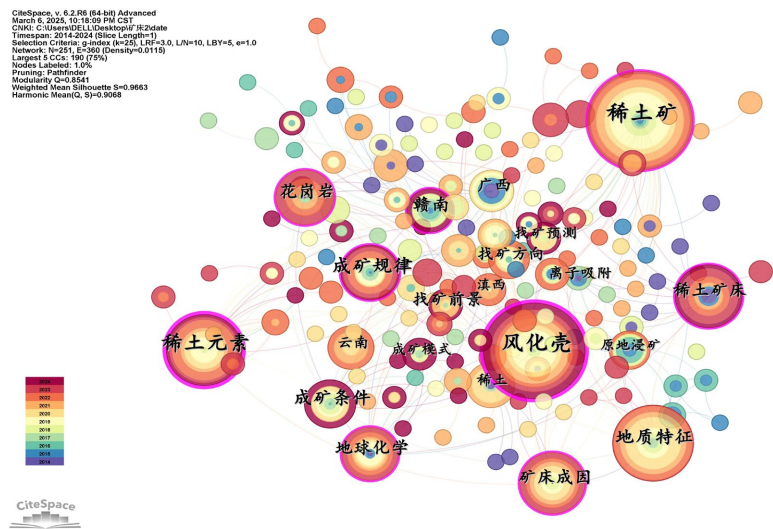


Figure 4. Keyword co-occurrence analysis for research on ion-adsorption REE deposits  
图4. 离子吸附型稀土矿床关键词共现分析

完成筛选工作后,针对中国知网 2014~2024 年收录的 328 篇离子吸附型稀土矿床研究相关中文文献,进行关键词共现网络分析(表 3),发现这个领域呈现出显著的学科交叉特征,研究热点聚焦很清晰,不同阶段关键词共同出现的数量反映了不同年份(阶段)该研究领域的核心问题,作为频次居首的关键词,“稀土矿”(41 次)的突出地位体现出该领域研究的基础定位特色。不可忽视的是,它与“稀土矿床”(16 次)频次上的差异,暗示研究重心出现了分化,高频次的“稀土矿”更多与成矿机理、赋存状态等基础理论相关,而“稀土矿床”主要聚焦于具体矿床的勘查评价实践工作,说明在这一时间段期间,离子吸附型稀土矿床研究更倾向聚焦于成矿机理、赋存状态等基础理论。“风化壳”(39 次)频繁共现,凸显了表生地球化学过程在这类矿床形成中的核心地位,针对“地质特征”(28 次)的聚类分析表明,现今研究重点已从传统的岩相学描述转变到多维度特征体系构建。

Table 3. Top twelve high-frequency keywords  
表 3. 排名前十二的高频关键词

| 文献数量/篇 | 中心性  | 关键词  |
|--------|------|------|
| 41     | 0.19 | 稀土矿  |
| 39     | 0.29 | 风化壳  |
| 28     | 0.08 | 地质特征 |
| 27     | 0.22 | 稀土元素 |
| 16     | 0.11 | 稀土矿床 |
| 16     | 0.1  | 矿床成因 |
| 14     | 0.2  | 成矿规律 |
| 13     | 0.1  | 花岗岩  |
| 12     | 0.09 | 成矿条件 |
| 11     | 0.11 | 地球化学 |
| 9      | 0.12 | 赣南   |
| 9      | 0.04 | 稀土   |

4.4.2. 关键词聚类分析

从离子吸附型稀土矿床关键词聚类(表 4)和时间聚类分析(图 5、图 6)可知,2014~2024 年间,离子吸附型稀土矿床关键词聚类分为地质特征、风化壳、成矿规律、原地浸矿、花岗岩、成矿条件、赣南、稀土 8 个聚类。矿床研究需融合地质学、地球化学、采矿工程等多学科,导致关键词覆盖基础理论(地质特征)与应用技术(原地浸矿)。离子吸附型稀土矿高度依赖特定母岩(花岗岩)和风化环境,使“花岗岩”、“风化壳”成为独立聚类。赣南作为资源富集区,成为研究的重点地理标签。绿色开采需求推动“原地浸矿”从传统地质研究中分离为独立技术聚类,原地浸矿是华南稀土如今普遍使用的浸出工艺,相比先前的池浸和堆浸更加环保,同时在实行原地浸矿下的浸取剂、浸取效率和抑杂研究仍不断开展中[30]。这些聚类共同构建了离子吸附型稀土矿床研究的核心框架,既反映了学科的内在逻辑,也反映出其受外部资源战略和技术需求的驱动。

CiteSpace, v. 6.2.R6 (64-bit) Advanced  
 March 6, 2025, 5:13:51 PM CST  
 CNKI: C:\Users\DELL\Desktop\矿床2\data  
 Timespan: 2014-2024 (Slice Length=1)  
 Selection Criteria: g-index (k=25), LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, e=1.0  
 Network: N=251, E=360 (Density=0.0115)  
 Largest 5 CCs: 190 (75%)  
 Nodes Labeled: 1.0%  
 Pruning: Pathfinder  
 Modularity Q=0.6899  
 Weighted Mean Silhouette S=0.8814  
 Harmonic Mean(Q, S)=0.774

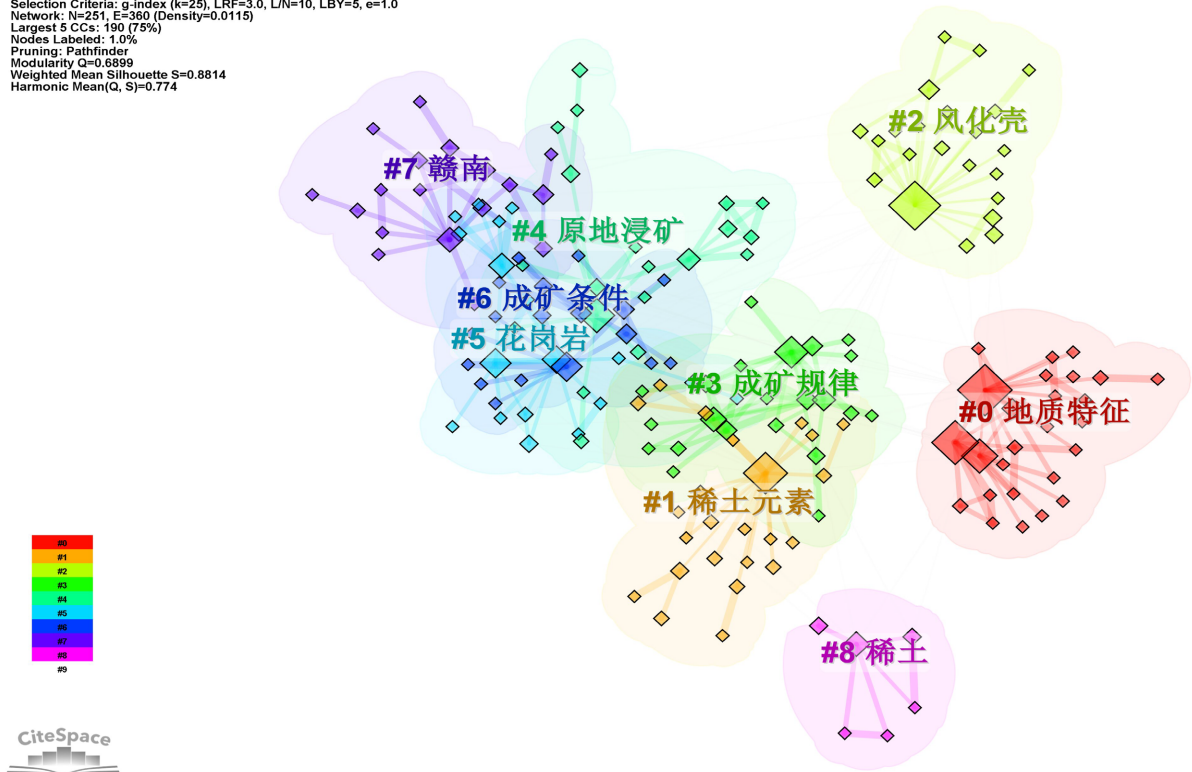


Figure 5. Keyword cluster analysis map for research on ion-adsorption REE deposits  
 图 5. 离子吸附型稀土矿床关键词聚类分析图

CiteSpace, v. 6.2.R6 (64-bit) Advanced  
 March 6, 2025, 10:10:09 PM CST  
 CNKI: C:\Users\DELL\Desktop\矿床2\data  
 Timespan: 2014-2024 (Slice Length=1)  
 Selection Criteria: g-index (k=25), LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, e=1.0  
 Network: N=251, E=360 (Density=0.0115)  
 Largest 5 CCs: 190 (75%)  
 Nodes Labeled: 1.0%  
 Pruning: Pathfinder  
 Modularity Q=0.6899  
 Weighted Mean Silhouette S=0.8814  
 Harmonic Mean(Q, S)=0.774

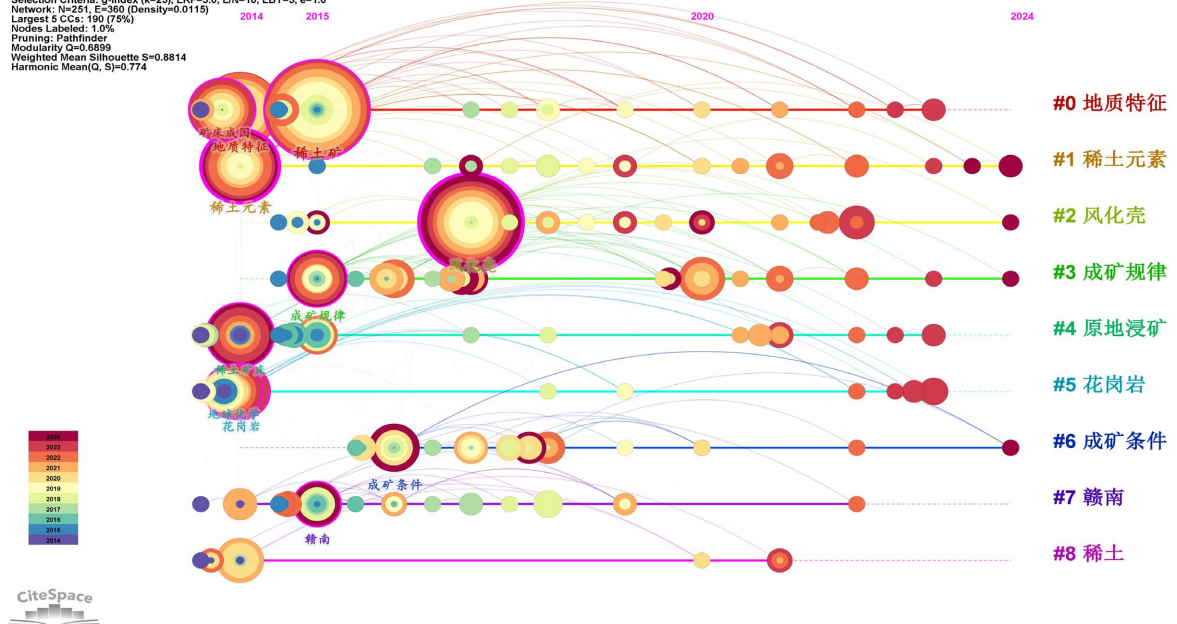


Figure 6. Keyword time cluster analysis for research on ion-adsorption REE deposits  
 图 6. 离子吸附型稀土矿床关键词时间聚类分析

Table 4. Keyword cluster analysis  
表 4. 关键词聚类分析

| 关键词  | 学科维度   | 研究方向   | 典型关联方向           |
|------|--------|--------|------------------|
| 地质特征 | 基础地质   | 矿床属性描述 | 风化壳结构、稀土配分模式     |
| 风化壳  | 表生地球化学 | 成矿环境   | 母岩风化过程、黏土矿物吸附    |
| 成矿规律 | 区域地质   | 宏观控制   | 构造 - 气候 - 母岩协同作用 |
| 原地浸矿 | 应用技术   | 开采工艺   | 渗透性优化、环保技术       |
| 花岗岩  | 岩石学    | 物质来源   | 母岩地球化学特征、时代      |
| 成矿条件 | 实验地球化学 | 微观机制   | pH/Eh 控制、元素迁移实验  |
| 赣南   | 区域案例   | 资源地理   | 典型矿床解剖、政策影响      |
| 稀土   | 资源科学   | 综合研究   | 元素分异、资源评价        |

4.4.3. 离子吸附型稀土矿床研究前沿和关键词演进

在文献计量学的研究工作里，突现性主题词(Burst Term)指的是利用时序共现强度分析识别出来的关键性语义单元，于特定时间窗期间，其词频增长率呈现明显跃升，此类词汇作为监测学科动态的参数，能有效找出知识领域进化中的创新生长点，其突现的强度和持续的时间组合成测度研究前沿热度的二元参数体系，按照图谱分析所呈现的，突现词集群时空分布特征可精准勾勒学科范式转移轨迹，为辨别突破性的研究方向给出量化依据[2]。

根据关键词突现分析(图 7)，中文文献当中有两个突现关键词：“云南”和“花岗岩”(表 5)。离子吸附型稀土矿床多赋存于花岗岩形成的风化壳中，花岗岩的稀土含量(尤其是中重稀土的含量)直接影响着矿床经济价值。近年对花岗岩风化过程中稀土元素的释放 - 迁移 - 富集机制的实验模拟取得突破，推动“花岗岩”成为高频关键词。赣南等老矿区资源量下降，迫使学术界和产业界关注云南等新的花岗岩发育区，推动“花岗岩”研究跨区域延伸。2024 年云南红河州发现潜在资源量超 100 万吨的离子吸附型稀土矿(以中重稀土为主)，这是中国南方首次在非传统区域(非赣粤闽)实现重大突破，引发研究热潮。

Top 2 Keywords with the Strongest Citation Bursts

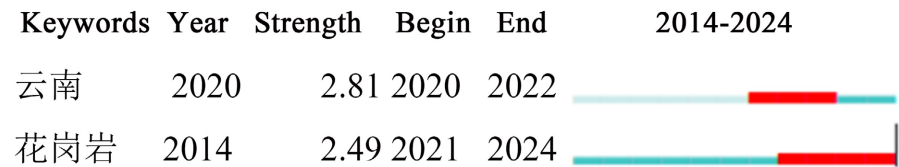


Figure 7. Keyword burst map for research on ion-adsorption REE deposits  
图 7. 离子吸附型稀土矿床关键词突现图谱

Table 5. Thematic associations of burst keywords  
表 5. 突显关键词的逻辑关联

| 关键词 | 突现驱动力         | 学术意义                 |
|-----|---------------|----------------------|
| 花岗岩 | 母岩物质基础 + 技术革新 | 揭示稀土富集的主控因素，支撑靶区预测   |
| 云南  | 资源发现 + 区域战略   | 拓展成矿理论边界，服务国家资源多元化布局 |

## 5. 结论与建议

1) 离子吸附型稀土矿床的研究热点和方向,受国家政策战略、市场发展需求、企业和机构研究方向、资源总量及研究技术水平等多种因素的影响。

2) 离子吸附型稀土矿床研究作者之间主要以团体形式合作为主,团体内部联系较为紧密,团体之间联系较少,形成以重点高校研究团队为核心的知识生产单元。团队研究内容各有侧重,其研究内容逐步由矿产勘测理论研究转向矿产开发、资源利用和环境保护。

3) 离子吸附型稀土矿床研究机构合作关系总数不低,研究机构主要有高校、科研中心和地质调查队,除中国科学院大学外,其余发文量较多的机构形成了紧密且稳定的合作关系,其成果众多,但不同研究集群间、不同地区间的机构存在明显的学术壁垒,所以造成合作密度较小,合作网络并不严密。

4) 离子吸附型稀土矿床关键词的共现、聚类、演进分析可以反映该时期内研究前沿的重点及变化,在本期间内,该研究领域研究重点由矿体成矿机理、赋存状态等基础理论为主,转向具体矿床的勘查评价实践,但研究重点仍为离子吸附型稀土矿床的成矿机理、赋存状态等基础理论的研究。

建议:1) 后续相关研究人员进行该领域的文献计量分析时,应及时关注了解国内政策战略、市场需求变化、研究方向和资源开发等方面的最新动态情况,分析其影响的时间范围,合理选取研究期间。

2) 文献收集过程中,明确分析的重点领域,运用自动化收集工具多关键词、多维度收集文献,后对收集文献进行去重整理和质量评估,结合自动化工具与人工筛查,平衡效率与全面性,确保文献收集全面有效。

## 基金项目

本文为省级大学生创新创业训练项目(编号:S202411390022);云南省教育厅科学研究基金项目(2025J0845);玉溪市科技计划自筹研发类项目(YF2024091);玉溪师范学院《遥感原理与应用》课程教学研究与改革实践项目(202406)联合资助。

## 参考文献

- [1] 陈福林,汪传松,巨星,等.四川稀土矿开发利用现状[J].现代矿业,2017,33(2):102-105.
- [2] 王涛,刘以珍,孔召玉,等.稀土矿山生态修复研究现状与热点——基于CiteSpace的可视化分析[J].稀土,2021,42(6):134-145.
- [3] 胡朋,刘国平,江思宏,等.全球稀土矿床的主要类型和成因研究进展[J].矿产勘查,2023,14(5):691-700.
- [4] 刘琦,周芳,冯健,等.我国稀土资源现状及选矿技术进展[J].矿产保护与利用,2019,39(5):76-83.
- [5] 黄小卫,张永奇,李红卫.我国稀土资源的开发利用现状与发展趋势[J].中国科学基金,2011,25(3):134-137.
- [6] 滇南发现超大规模离子吸附型稀土矿[J].稀土信息,2024(7):5.
- [7] 雒恺,马金龙.花岗岩风化过程中稀土元素迁移富集机制研究进展[J].地球科学进展,2022,37(7):692-708.
- [8] 王学求,周建,张必敏,等.云南红河州超大规模离子吸附型稀土矿的发现及其意义[J].地球学报,2022,43(4):509-519.
- [9] 曾载淋,陈斌锋,杨斌,等.南岭东段离子吸附型稀土矿成矿母岩类型及研究进展[C]//中国稀土学会2021学术年会论文摘要集.2021:508.
- [10] 谢明君,周建,王学求,等.赣南清溪离子吸附型稀土矿元素迁移富集特征研究[J].中国稀土学报,2022,40(4):697-710.
- [11] 明添学,唐忠,包从法,等.云南省稀土矿分布特征、研究进展与展望[J].中国稀土学报,2022,40(4):577-590.
- [12] 赵芝,王登红,王成辉,等.离子吸附型稀土找矿及研究新进展[J].地质学报,2019,93(6):1454-1465.
- [13] 季根源,张洪平,李秋玲,等.中国稀土矿产资源现状及其可持续发展对策[J].中国矿业,2018,27(8):9-16.
- [14] 陆蕾,王登红,王成辉,等.云南离子吸附型稀土矿成矿规律[J].地质学报,2020,94(1):179-191.

- 
- [15] 余金杰, 陈绍聪, 陈小丹. 中国稀土矿床的矿床类型、时空分布和主要控制因素[C]//第十四届中国包头·稀土产业论坛摘要集. 2022: 32.
- [16] 夏小洪, 刘图强, 尹川, 等. 四川攀枝花-西昌地区离子吸附型(中-重)稀土矿床的首次发现及其重要意义[J]. 地质论评, 2022, 68(4): 1540-1543.
- [17] 张民, 谭伟, 何显川, 等. 云南省澜沧县离子吸附型稀土矿床特征与成矿控制因素[J]. 大地构造与成矿学, 2025, 49(4): 951-968.
- [18] 施宗省, 苏俊, 杨钦瑜. 云南腾冲勐蚌稀土矿矿体特征及分布规律[J]. 云南地质, 2024, 43(1): 59-64.
- [19] 林剑飞, 李尚军, 朱肖敏. 广西平南县马安肚稀土矿床地质特征及成矿规律[J]. 矿产与地质, 2024, 38(3): 396-401+407.
- [20] 夏小洪, 刘图强, 尹川, 等. 四川攀西宽裕离子吸附型稀土矿床地质特征、控矿因素及找矿潜力[J/OL]. 中国地质: 1-18. <https://link.cnki.net/urlid/11.1167.P.20231123.1703.004>, 2025-08-18.
- [21] 赵永山. 桂东南燕山期花岗岩地球化学特征及其对稀土成矿的指示[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2023.
- [22] 王运, 赵碧波, 杨兰, 等. 赣南足洞特大离子吸附型重稀土矿床地球化学特征及成矿意义[J]. 稀土, 2023, 44(6): 51-63.
- [23] 林相荣, 张秀雯, 刘瑜婧, 等. 云南省陇川县浪达山-敢共山离子吸附型稀土矿床成矿条件及找矿前景探讨[J]. 云南地质, 2024, 43(S1): 82-87.
- [24] 王军, 汪礼明, 刘建军, 等. 广东离子吸附型稀土矿床特征及找矿预测[J]. 大地构造与成矿学, 2024, 48(2): 191-199.
- [25] 卢克轩. 花岗岩类离子吸附型稀土矿成矿规律研究及潜力评价[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北地质大学, 2022.
- [26] 时晗, 何晓娟, 胡真, 等. 我国稀土矿选矿近十年研究现状及发展前景[J]. 有色金属(选矿部分), 2021(4): 18-25.
- [27] 张子军, 伍荣林, 张兴桐, 等. 滇西岔河稀土矿床地质特征及成矿条件解析[J]. 云南地质, 2024, 43(S1): 161-167.
- [28] 王登红, 赵芝, 于扬, 等. 我国离子吸附型稀土矿产科学研究和调查评价新进展[J]. 地球学报, 2017, 38(3): 317-325.
- [29] 付洁婷, 梁美霞, 卢彬彬. 基于 CiteSpace 的南方稀土研究进展与热点分析[J]. 农业研究与应用, 2022, 35(6): 1-9.
- [30] 闫凯, 陈慧敏, 付东杰, 等. 遥感云计算平台相关文献计量可视化分析[J]. 遥感学报, 2022, 26(2): 310-323.