

引用格式: 刘志迎, 张一鸣, 王善勇. 稀土“资源强国”向“技术强国”的升级方向研究. 中国科学院院刊, 2026, 41(0): 1-15, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20250123004.
Liu Zhiying, Zhang Yiming, Wang Shanyong. Research on the upgrading direction of rare earth from a “resource power” to a “technological power”. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2026, 41(0): 1-15, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20250123004. (in Chinese)

稀土“资源强国”向“技术强国” 的升级方向研究

刘志迎¹ 张一鸣^{1*} 王善勇²

1 中国科学技术大学管理学院 合肥 230026

2 中国科学技术大学公共事务学院 合肥 230026

摘要 稀土材料作为现代工业的“维生素”，在高科技领域具有不可替代的作用。中国是全球稀土资源大国，在资源开采、生产和出口方面占据主导地位。然而，某些领域的关键核心技术掌握层面，中国并未处于领先地位。文章从市场竞争视角，基于专利数据构建了识别稀土功能材料代表领域的关键核心技术及其国际差距研究框架，识别出几个主要国家在稀土功能材料领域下的技术掌握情况和竞争格局。研究发现，稀土高端功能材料主要集中在稀土永磁材料、催化材料、发光材料和抛光材料等领域，且中国在这些领域的关键核心技术整体落后于日本和美国。因此，中国应聚焦技术短板领域，设立专项攻关计划，加强产学研协同，推动技术转化落地，优化产业链分工，并同时从多方面加强专利保护意识，完善专利保护体系，实现中国从稀土资源强国向技术强国的升级。

关键词 稀土材料，关键核心技术，社会网络，结构洞

DOI 10.3724/j.issn.1000-3045.20250123004

CSTR 32128.14.CASbulletin.20250123004

稀土元素具有优良的光电磁等物理特性，能够大幅度提升材料性能，被誉为“工业维生素”和“新材料之母”^[1]，是诸多高端制造业的核心支撑，在高科技领域和现代工业中都具有不可替代的重要地位。美

国能源部制定的《关键材料战略》(Critical Materials Strategy)、日本文部科学省制定的《元素战略计划》(元素戦略プロジェクト)均将稀土元素列为重点研究领域^[2]。以稀土功能材料为代表的稀土新材料已成

*通信作者

资助项目：国家社会科学基金重大项目 (22&ZD094)

修改稿收到日期：2026年1月27日；预出版日期：XXXX年XX月XX日

为全球竞争的焦点。

中国是世界稀土资源储量大国，占全球储量约37.8%^[3]，是全球最大的稀土矿生产国，也是具备完整独立工业体系的稀土产业化国家。尽管中国的稀土资源和冶炼工艺处于国际领先水平，但在稀土产业链下游的高端功能材料领域仍处于技术劣势。例如，中国稀土永磁材料在产量上具有显著优势，但在光刻机等新兴领域对高性能永磁材料高端钕铁硼永磁体的需求则严重依赖进口^[4]。因此，中国仅在稀土产业链的上游和中游具有一定的竞争优势，在下游高端功能材料领域的技术依然存在薄弱部分。

稀土功能材料的关键核心技术是什么？与国际水平差距如何？文章从国际市场竞争视角，选取稀土高端功能材料领域中专利数最多、最具代表性的4个类别——稀土永磁材料、稀土催化材料、稀土发光材料和稀土抛光材料，识别出各领域下的关键核心技术；使用K-means算法对稀土领域核心期刊中相关论文的关键词进行聚类，对识别出的关键核心技术进行对比；建立指标，分析中国在各关键核心技术中的国际竞争地位。研究识别出稀土功能材料主要领域的关键核心技术，同时也为关键核心技术攻关方向和政策制定提供参考。

1 关键核心技术的概念、识别方法以及技术竞争分析方法

1.1 关键核心技术的概念

2018年中国政府及相关部门开始统一使用“关键核心技术”这一概念，然而学术界至今未对这一概念做出统一界定。胡博旭等人^[5]结合技术差距等相关理论，把关键核心技术定义为能够持续维护军事、经济和社会等方面的安全并在技术链和产业链中起决定作用的技术、方法和知识。陈劲等人^[6]认为关键核心技术具备关键性与独特性的技能体系；王可达^[7]提出关键核心技术是由关键技术和核心技术构成的复合型概

念；但由于“关键技术”与“核心技术”的概念难以界定，文章从技术网络的角度出发，认为关键核心技术是在技术网络中处于核心节点的位置，具有关键性连接和高中心性的技术。关键核心技术是技术网络中的核心节点，连接着多个技术分支和领域。同时，关键核心技术也具有高连接性，其不仅是技术网络中的桥梁和纽带，也是技术创新和扩散的重要源头。

1.2 关键核心技术的识别方法

识别关键核心技术的方法可以分为2个分支，第1个分支是基于专家知识的定性分析，如德尔菲调查法、情景分析法、层次分析法（AHP）。随着数据量的不断增加，仅基于专家知识的识别具有很强的主观性，准确性可能不高^[8]。第2个分支是基于专利进行分析。专利是技术成果转化和商业化的核心载体，近年来在关键核心技术识别中也得到了广泛的应用^[9]。专利分析又可分为基于网络的专利分析和基于文本的专利分析。基于网络的专利分析从网络角度分析由引文信息构建的引文网络^[10]，后续也逐渐引入了聚类^[11]、引文网络^[12]等指标和方法。付振康等人^[13]利用专利筛选出有机发光二极管技术领域的“卡脖子”关键技术，毛荐其等人^[14]利用专利识别出光刻领域的关键核心技术。基于文本的分析方法是指从专利内容中提取技术信息以识别专利中的核心技术。杨恒等人^[15]利用LDA主题模型、Word2vec词向量模型识别出人工智能领域核心专利技术主题。Lin等人^[16]从专利文本中提取三元组结构，识别出技术领域的关键核心技术。

在当今激烈的市场竞争中，专利是保护技术不受侵犯的最有力手段之一。对于稀土材料等应用导向型技术领域，专利最能反映技术的竞争格局和说明一个国家在该领域的技术掌控情况，并可用于判断其是否存在被“卡脖子”的风险。因此，专利数据虽存在局限性，但仍是识别关键核心技术和国际竞争格局的最佳公开数据源。基于文本的方法虽然可以对专利内容进行详细分析，但在数据量大且专利质量差异较大的

情况下,容易被文本噪声以及低质量专利带来的偏置干扰,从而影响主题聚类、技术识别等相关结论。因此,文章使用第2种方法,在使用专利数据的基础上,用两步法进行识别。同时对稀土领域专业期刊中相关论文的关键词进行提取,使用 Word2vec 模型和 K-means 算法对关键词进行文本聚类,最大程度减少噪声的同时保留文章的关键信息,提高聚类结果的精度,以验证识别结果的准确性。

1.3 基于专利的技术竞争态势分析方法

技术竞争态势分析旨在刻画不同国家、企业或研究主体在特定技术上的相对位置以及技术演进规律。现有研究普遍将专利作为核心样本数据来源之一:一方面,专利具有标准化的申请信息、分类体系与引用关系,便于展开大样本、可复现的比较;另一方面,其权利要求能够较集中地反映技术方法与保护边界,使专利在表征产业化导向的技术竞争分析中具有独特优势。基于专利的研究通常从产出规模、增长速度、申请人结构与专利族等指标入手,刻画竞争格局与布局强度,进一步结合 IPC、CPC 分类与技术组合指标识别主体优势赛道。例如,袁野等人^[17]基于专利,结合技术生命周期理论,分析了数字物流技术领域的技术生命周期和竞争态势;王强等^[18]利用专利信息中的分层人工标引体系对电动汽车电池的竞争态势进行了实证研究;郑思佳等人^[19]利用专利数据构建技术差距指标,评估了集成电路领域的技术竞争态势等。总体而言,以专利为主的数据框架能够同时支撑“布局—影响—演化”的多维刻画,使专利开展技术竞争态势分析具有方法与数据层面的合理性。

2 稀土功能材料关键核心技术识别及其国际差距研究框架

中国在稀土功能材料的专利布局上起步较晚,核心专利主要由日本和美国掌握。日本、美国和欧盟等发达国家和地区通过在专利联营、差别审查等多种手

段,在稀土相关领域对中国构筑了较高的专利壁垒^[20]。识别关键核心技术是突破技术问题的先决条件。因此,文章基于专利筛选构建了关键核心技术的识别框架,并选取指标计算各关键核心技术的竞争力得分,综合研判各项技术的国际竞争态势,为中国稀土高端材料领域技术升级提供方向上的建议。

2.1 关键核心技术识别框架

基于专利建立了关键核心技术识别和国际差距研判的框架。第1阶段使用“中心度—频数”2个指标筛选出技术网络中具有核心地位且具有代表性的技术,并将这些技术识别为热点技术。第2阶段利用结构洞理论,进一步筛选出结构洞排名前10的技术并将其识别为关键核心技术。在国际竞争态势分析方面,从“专利质量—专利市场”2个维度分析各国在各技术领域下的竞争态势,分析框架如图1所示。

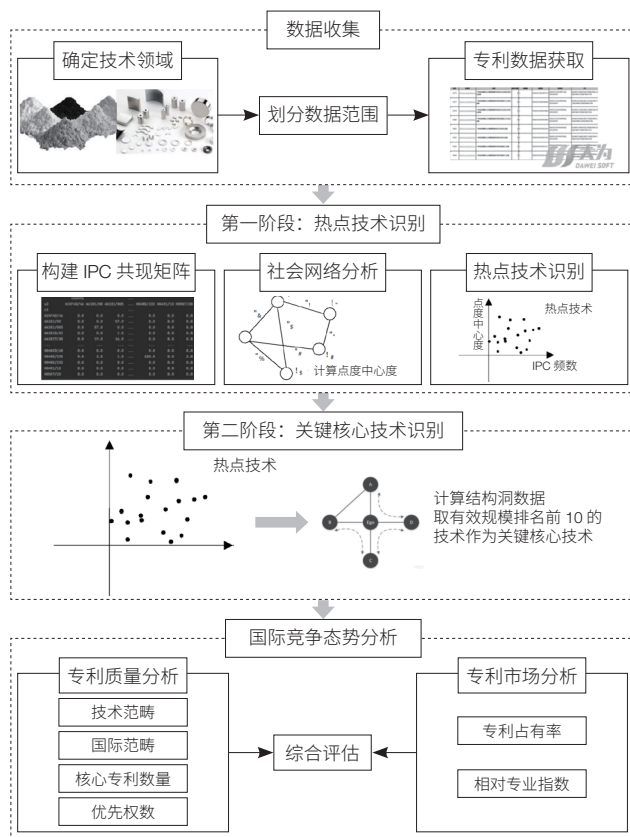


图1 关键核心技术及国际竞争态势研究框架

Figure 1 Research framework for key core technologies and international competitive situation

2.2 热点技术识别

点度中心度^[21]是评估网络中节点中心度最直观的度量指标,可以用来度量技术在技术网络中的重要程度^[22]和对资源获取的控制程度^[23]。在技术网络中,一个专利就是一个节点,专利之间的引用关系或技术关联则被视为节点的边,中心度就是其被其他专利引用或产生技术关联的次数。在发明专利的网络中,一项技术的边越多,点度中心度越高,影响越大或者基础性地位越高。使用Ucinet软件对专利的IPC分类号共现矩阵进行中心度分析,利用点度中心度和专利分类号频数2个指标构建出二维“中心度—频数”四象限图。位于第一象限的技术同时具有高中心度和高频数2个特点,可以代表一个行业技术的研究热点和发展方向。因此,将第一象限的技术识别为热点技术(图1)。

2.3 关键核心技术识别方法

结构洞概念最早由罗纳德·波特(Ronald Burt)提出,强调技术在网络中的位置比彼此间的强弱更为重要^[24]。位置决定了行动者在网络中获取的信息、资源和权力^[25]。在专利网络中,若某项技术节点连接了多个互不关联的技术,则该节点就控制了关键核心技术的扩散路径,并且具备成为关键核心技术的潜力。在结构洞指数中,用有效规模来衡量节点的非冗余技术领域数量,有效规模越大,说明网络重复程度越

小,存在结构洞的可能性越大。结构洞的“信息枢纽”属性与关键核心技术具备的中心性、扩散性等特征相匹配。有效规模越靠前,意味着其在多个技术集群中承担“桥梁”的作用,具备不可替代性和广泛辐射性,这正是关键核心技术的核心判定标准。将热点技术进行结构洞排序,选取有效规模前10位^[26]的技术作为关键核心技术。

2.4 国际竞争态势分析方法

在以往研究的基础上,参考黄海峰等人^[27]的做法,最终从“专利质量—专利市场”2个维度对稀土功能材料4个代表性领域下的国际竞争态势进行分析,衡量指标及方法如表1所示。

本文在评价某国在某领域的专利质量时,主要从技术范畴、国际范畴、核心专利数量和优先权数4个指标进行综合研判。① 技术范畴。某技术领域下专利所属的IPC分类号平均数量。不同的分类号代表不同的技术领域,若一项专利包含的分类号越多,说明该技术的覆盖范围越广,质量越高^[28]。② 国际范畴。用某领域下同族专利的平均数量衡量。同族专利数不仅能够反映专利的技术认可度和国际化水平,还能够体现专利审查严格性和法律稳定性,以及专利的商业价值和市场竞争力,从而反映专利质量的高低。③ 核心专利数量。用被引超过5次的专利数衡量。专利被后续专利引用的次数越多,说明该专利质量越高,在技

表1 国际竞争态势测度指标

Table 1 International competitive situation measurement indicators

评价维度	指标名称	测量方法
专利质量分析	技术范畴/ I_1	某国某技术所属的IPC分类号数量
	国际范畴/ I_2	某国在某领域下同族专利的平均数量
	核心专利数/ I_3	某国某领域下被引次数不少于5的专利数量
	优先权数/ I_4	某领域下所有专利的平均优先权数
专利市场分析	专利占有率/ I_5	某领域下某国的专利数量/该领域的专利总数量
	相对专业指数 (RSI)/ I_6	$RSI = \log_{10}[(n/n_{total})/(N/N_{total})]$, 其中, n_i :国家 <i>i</i> 在此领域的专利数量; n_{total} :数据库中此领域的专利数量; N :国家 <i>i</i> 所有专利数量; N_{total} :数据库中所有专利数量

术领域内的基础性地位越稳固。④ 优先权数。专利优先权是指申请人在首次提出正式专利申请后的一定期限内，就相同技术主题的发明创造又提出专利申请的，可以将其首次申请日作为后续申请的申请日的权利。一般来说，专利优先权数越多，专利的创新水平和经济价值越高^[29]。

技术的专利市场分析由2个指标组成。① 专利占有率。用某国在某领域下的专利数量比该领域专利的总数量，得到的比例为专利占有率^[30]。一般来说，比例越高，说明该国在该领域内的专利数量相对较多，意味着该国在该领域内具有较强的技术实力、市场竞争地位与话语权。② 相对专业指数 (RSI)。RSI^[31]代表某个国家/地区对于某项技术领域的重视程度与投入力度，RSI越大对该项技术领域的重视度越高，同时RSI也说明了未来该国在该技术领域的潜在专利活动态势。最终，使用熵权法对上述6个指标进行赋权，并计算各项技术的竞争力得分，得分越高，则技术的竞争力越强。

3 稀土材料代表领域的关键核心技术识别

大为专利数据库是一款集成了全球广泛专利信息的强大工具，涵盖了全球106个国家超过1.6亿条高质量专利。截至2024年8月20日，共检索到稀土永磁专利34 131条、稀土催化专利27 931条、稀土发光专利20 777条、稀土抛光专利6 920条，以上总数在稀土相关专利数量中占比超过80%，因此选取以上4个领域作为功能材料的代表，识别关键核心技术，并计算竞争力得分。

根据文章构建的框架，利用IPC频数和中心度分别作为横纵坐标，IPC频数的平均值和点度中心度的平均值作为坐标轴原点，构建出“IPC-中心度”四象限图（图2），选取第一象限的技术作为热点技术。对筛选出的热点技术进行结构洞排序，取有效规模前10的技术为关键核心技术，结果如表2至表5所示。

(1) 稀土永磁材料的关键核心技术。稀土永磁材料是指含有稀土元素（如钕、铁、硼等）的永磁材料，具有高剩磁、高矫顽力和高磁能积等优异的磁性性能，能够在较小的体积内产生强大的磁场，其应用范围涵盖冶金、军事、石油化工、农业和新材料等多个领域。例如，在新能源汽车领域，稀土永磁同步电机具有高效、节能、功率密度大等优点，能够提高汽车的续航里程和动力性能。根据本文框架，该领域的关键核心技术专利号集中在B22F（金属粉末的加工；由金属粉末制造制品；金属粉末的制造）、C22C（合金）、H01F（磁体；电感；变压器；磁性材料的选择）、H02K（电机）等国际专利分类号中。

(2) 稀土催化材料的关键核心技术。稀土催化材料具有独特的电子结构和特殊的化学性质，可以有效调控催化剂的活性中心，减少副产物的生成，因此被广泛用于汽车尾气净化、工业废气处理和石油化工等领域。该领域的关键核心技术专利号集中在C10G（烃油裂化；液态烃混合物的制备；回收烃油；含烃类为主的混合物的精制；石脑油的重整；地蜡）和B01J（化学或物理方法，例如，催化作用、胶体化学；其有关设备）技术。

(3) 稀土发光领域的关键核心技术。稀土发光材料是一种以稀土元素为激活剂或基质的先进发光材料，物理化学稳定性优异，且耐高温、耐强辐射，被广泛用于家庭或商业照明、显示影像、生物医学成像领域。例如，铕、钇等稀土元素标记的荧光探针，能够在生物体内发出特定波长的荧光，用于检测生物分子、细胞和组织，帮助医生进行疾病的诊断和治疗。该领域的关键核心技术集中在C09K（不包含在其他类目中的各种应用材料；不包含在其他类目中的材料的各种应用）、H05B（电热）、H01L（半导体器件）等国际专利分类号中。

(4) 稀土抛光材料的关键核心技术。稀土抛光材料是以稀土氧化物（如氧化铈等）为主要成分的抛光

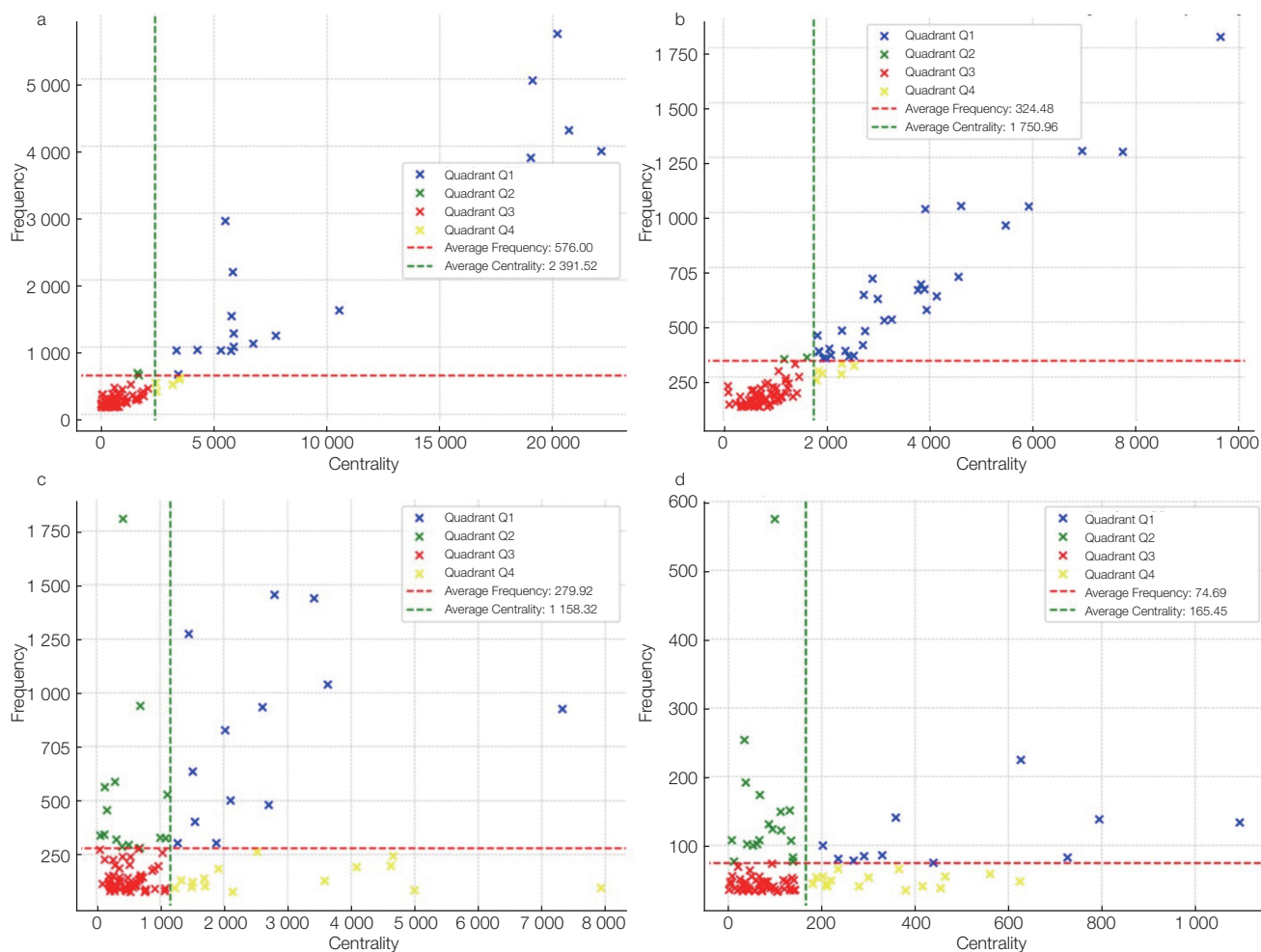


图2 “中心度—频数”四象限图

Figure 2 Four-quadrant chart based on centrality and frequency

(a) 稀土永磁材料；(b) 稀土催化材料；(c) 稀土发光材料；(d) 稀土抛光材料

(a) Rare earth permanent magnet materials; (b) Rare earth catalytic materials; (c) Rare earth luminescent materials; (d) Rare earth polishing materials

粉或抛光液，具有颗粒细小、硬度适中、化学稳定性好等特点，在抛光过程中能够通过机械摩擦和化学作用，快速去除被加工材料表面的微小凸起，使表面达到高平整度和光洁度。例如，对于半导体芯片、液晶面板等电子元件的制造，稀土抛光材料能够实现超精细的表面加工，提高元件的性能和可靠性。该技术集中在C01F（稀土金属化合物）、C09G（虫胶清漆除外的抛光组合物；滑雪履蜡）、C09K（不包含在其他类目中的各种应用材料）、C21D（改变黑色金属的物理结构）、C22B（金属的生产或精炼；原材料的预处理）

和C22C（合金）等国际专利分类号中。

为了验证上述识别结果，本文收集了过去20年发表在《中国稀土学报》上的2 439篇论文。该期刊由中国稀土学会主办，致力于推动稀土领域的研究和发展，是国内外公认的稀土领域重要学术期刊。期刊被美国《科学引文索引（SCI）》、美国《工程索引》（核心库）（EI）、美国《化学文摘》、EBSCO数据库、俄罗斯《文摘杂志》以及《中国学术期刊文摘》、《中国学术期刊(光盘版)》等国内外重要数据库收录。根据中国知网（CNKI）的最新数据，其中文版复合影响

表 2 稀土永磁材料关键核心技术

Table 2 Key core technologies of rare earth permanent magnet materials

	IPC 分类号	描述
关键核心技术	H02K15/03	具有永久磁体的
	B22F1/00	金属粉末的专门处理;使之易于加工,改善其性质;金属粉末本身,如不同成分颗粒的混合物
	C22C33/02	铁基合金的制造
	C22C19/07	钴基合金
	C22C1/04	用粉末冶金法
	H01F1/08	压制的、烧结的或黏结在一起的方法
	H01F1/057	和 IIIa 族元素
	B22F3/24	工件或制品的后处理
	B22F3/00	由金属粉末制造工件或制品,其特点为用压实或烧结的方法;所用的专用设备
	H02K1/27	有永久磁体的转子铁芯的

表 3 稀土催化材料关键核心技术

Table 3 Key core technologies of rare earth catalytic materials

	IPC 分类号	描述
关键核心技术	C10G11/05	晶状硅铝酸盐,如分子筛
	B01J29/70	不包括在 B01J29/80 至 B01J29/65 组中,由其特殊结构为特征类型
	B01J29/80	不同沸石的混合物
	B01J29/08	八面沸石型,例如,X 型或 Y 型
	B01J37/02	浸渍、涂层或沉淀
	B01J37/00	制备催化剂之一般方法;催化剂活化的一般方法
	B01J23/34	锰
	B01J35/02	固体
	B01J23/10	稀土族
	B01J35/04	小孔结构、筛、栅、蜂窝状物

因子为 2.6，英文版为 7.2。提取其中稀土永磁材料、稀土催化材料、稀土发光材料和稀土抛光材料领域相关论文中的关键词，并利用 Word2vec 词向量模型和 K-means 聚类方法对处理后的关键词进行聚类分析（图 3）。聚类结果显示：① 稀土永磁材料 5 个技术主题：磁熵变、永磁体、磁性合金、矫顽力、磁热效应；② 稀土催化材料 5 个技术主题：溶胶-凝胶法、催化性能、氧化物、光催化、催化剂；③ 稀土发光材料 7 个技术主题：发光特性、纳米晶体、荧光特性、电

致发光、水热法、铽络合物、磷光体；④ 稀土抛光材料 4 个技术主题：抛光粉、摩擦学性能、退火工艺、掺杂。对比发现，近一半的技术主题包含在本文框架识别出的关键核心技术中。然而，同样有超过一半的技术主题并未形成明显的专利布局，除了因术语表达等统计与检索口径偏差之外，通常可以从三方面解释：（1）专利质量不足以申请，部分成果停留在机理阐释、参数优化或可重复性证据不足阶段，难以同时满足新颖性、创造性与可实施性要求。（2）科研机构

表 4 稀土发光材料关键核心技术

Table 4 Key core technologies of rare earth luminescent materials

	IPC 分类号	描述
关键核心技术	C09K11/08	含无机发光材料
	C09K11/06	含有机发光材料
	C09K11/02	以特殊材料作为黏合剂,用于粒子涂层或悬浮介质
	H01L33/50	具有至少一个电位跃变势垒或表面势垒的专门适用于光发射;制造或处理这些半导体器件或其部件所特有的方法或设备
	C09K11/59	含硅
	C09K11/85	含卤素
	C09K11/67	含难溶金属
	C09K11/62	含镓、铟或铊
	C09K11/80	含铝或镓
	H05B33/14	以电致发光材料的化学成分或物理组成或其配置为特征

表 5 稀土抛光材料关键核心技术

Table 5 Key core technologies of rare earth polishing materials

	IPC 分类号	描述
关键核心技术	C01F17/00	稀土金属,即钪、钇、镧或镧系的化合物
	C09G1/02	含有磨料或研磨剂
	C09K3/14	防滑材料;研磨材料退火方法
	C21D1/26	退火方法
	C21D6/00	铁基合金的热处理
	C22B7/00	处理非矿石原材料(如废料)以生产有色金属或其化合物
	C22C38/04	含锰
	C22C38/06	含铝
	C22C38/44	含铈或钨
	H01F1/057	和 IIIa 族元素,如 Nd2Fe14B

或企业重视程度不够,高校端往往以论文与项目为主导,专利挖掘与撰写能力不足、成果公开节奏快;企业端则可能因研发与知识产权部门协同弱、短期业务压力或对该方向产业化路径不清而延后布局。(3) 保护与激励机制不足,专利申请与维持成本高、周期长、收益不确定,且对高价值专利(许可、转化、同族覆盖)的激励不足,导致“能发论文但不愿投专利”;同时对不宜公开的关键工艺缺少商业秘密分级与合规管理,主体在“公开换保护”和“保密保优

势”之间缺乏制度化选择。

4 稀土材料领域关键核心技术国际差距分析

(1) 技术差距分析。利用本文建立的国际竞争态势的分析指标,得到 5 个主要国家在各关键核心技术领域的竞争力得分如图 4 所示。① 在稀土永磁材料领域,日本在各项关键核心技术的掌握上整体处于领先地位。中国除在 C22C33/02(铁基合金)、C22C1/04(粉末法制金)和 H01F1/057(和 IIIa 族元素)技术上

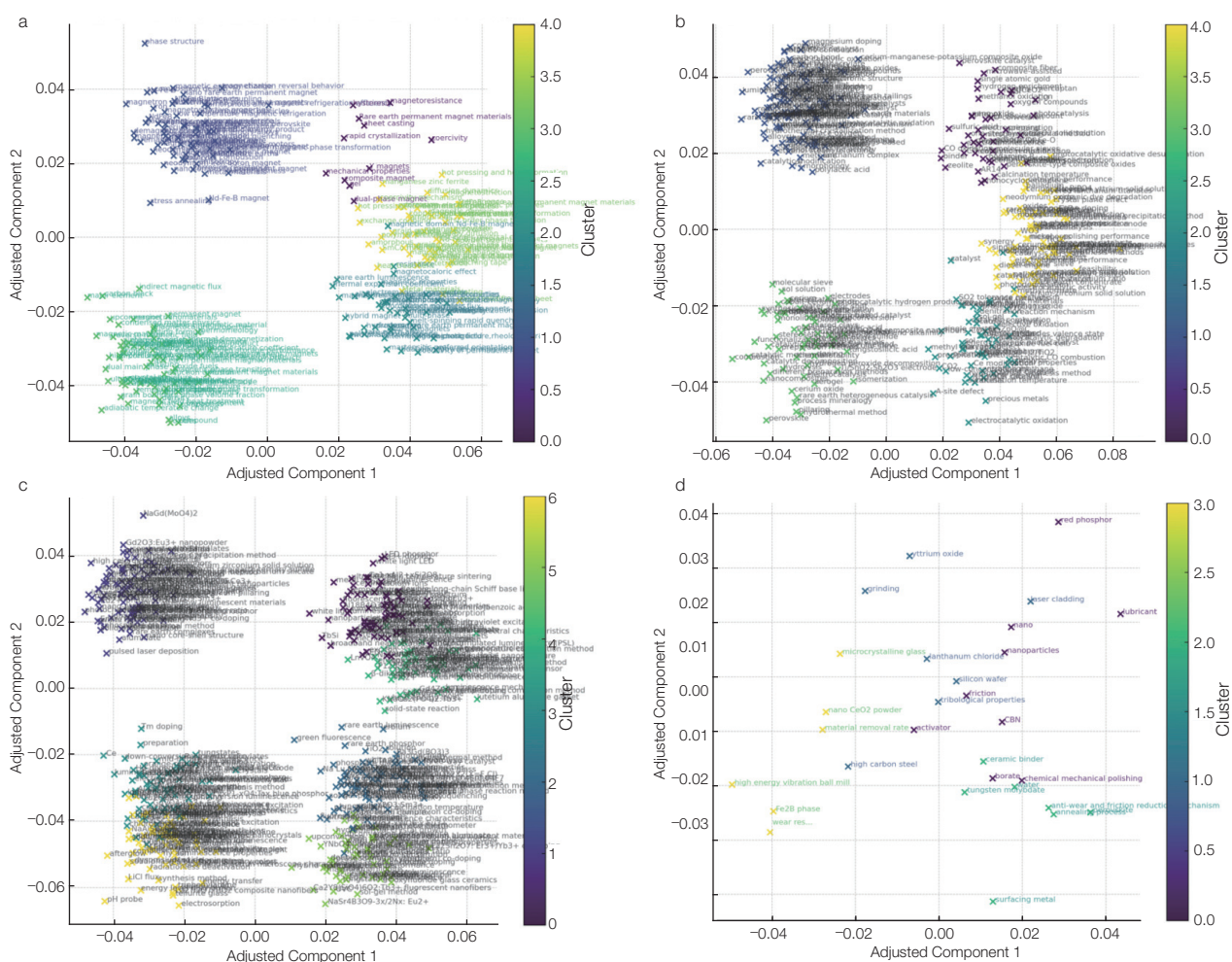


图3 稀土功能材料领域相关文献关键词聚类结果

Figure 3 Keyword clustering results of relevant literature in the field of rare earth functional materials

(a) 稀土永磁材料；(b) 稀土催化材料；(c) 稀土发光材料；(d) 稀土抛光材料

(a) Rare earth permanent magnet materials; (b) Rare earth catalytic materials; (c) Rare earth luminescent materials; (d) Rare earth polishing materials

具有优势外，在永磁体材料、金属粉末处理技术、钴基合金、压制烧结方法和转子铁芯材料技术上相较日本和美国均处于落后位置。②在稀土催化材料领域，美国的各项关键核心技术均处于领先地位，中国与其他国家差距并不明显。③在稀土发光材料领域，美国依然处于领先地位。中国除在C09K11/59（含硅）材料具有优势外，有机发光材料、无机发光材料、处理材料的方法和设备、含难溶金属、镓、铟或铊材料和电致发光技术均处于整体落后位置。④在稀土抛光材料领域，美国仍处于领先地位，中国除了在C21D1/26

（退火方法）和H01F1/057（IIIa族元素材料）与美国差距不大外，其余在稀土金属化合物材料、研磨方法、研磨剂、防滑材料、铁基金属的热处理方法、处理非矿石原材料方法、含锰材料、含铝材料、含钼或钨材料领域的生产工艺和控制技术仍与美国存在较大的技术差距。由此可见，中国虽然提供了全球超过60%的稀土产品供应，也拥有较为完整的产业链，专利总体申请量大，但国际专利布局不足，高价值专利较少。与日本和美国相比，我国在关键核心技术上仍存在较大差距。

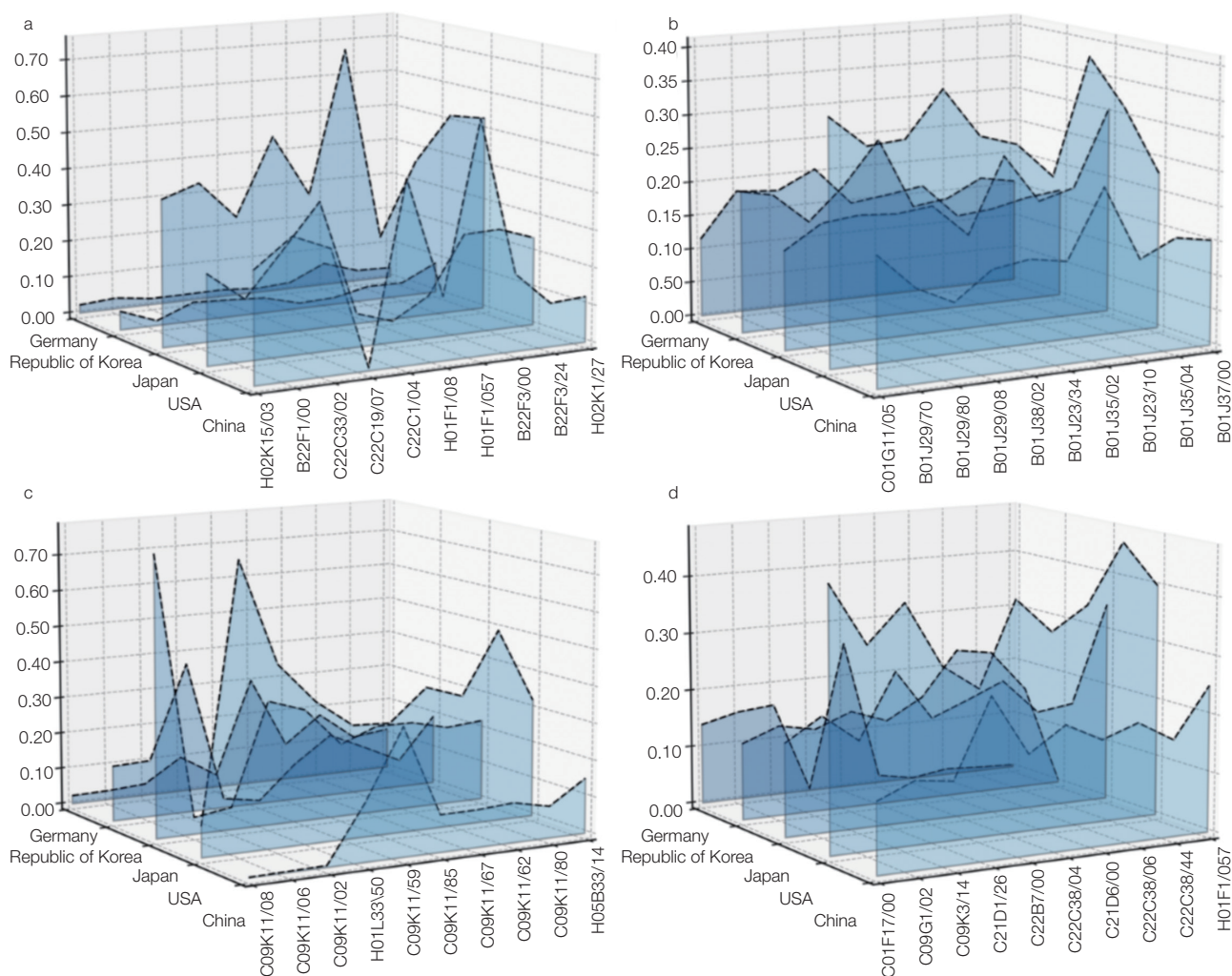


图4 稀土功能材料关键核心技术国际竞争力得分

Figure 4 International competitiveness score of key core technologies for rare earth functional materials

(a) 稀土永磁材料; (b) 稀土催化材料; (c) 稀土发光材料; (d) 稀土抛光材料

(a) Rare earth permanent magnet materials; (b) Rare earth catalytic materials; (c) Rare earth luminescent materials; (d) Rare earth polishing materials

(2) 专利权人分析。对稀土专利的权利人进行分析(图5), 全球专利申请数前10的公司分布在中国、日本和美国。日本的稀土资源较为匮乏, 长期依赖进口, 但在专利申请前10的公司中占据7个, 具有明显优势, 说明日本通过技术研发实现了对稀土的高效利用和对资源依赖的弱化。而中国企业仅占据2个, 说明中国虽然是全球最大的稀土资源生产国, 但是在稀土的高端技术研发上, 与日本仍存在较大差距, 且技术能力主要集中在少数龙头企业。因此, 中国稀土产

业的整体创新能力仍需提升。

(3) 布局情况分析。再对中国、美国和日本1985—2023年间稀土专利申请量进行分析(图6)。日本和美国在1985—2005年间对稀土专利进行大量布局, 中国在此时的专利布局较少。自2005年以来, 稀土冶炼分离技术不断提高, 专利数量呈爆发式增长, 在2017年达到顶峰后趋于稳定。说明中国对稀土关键核心技术的突破成效显著, 美国和日本的专利申请在这一阶段则逐渐放缓。对于稀土的开发利用, 中国本身就起步

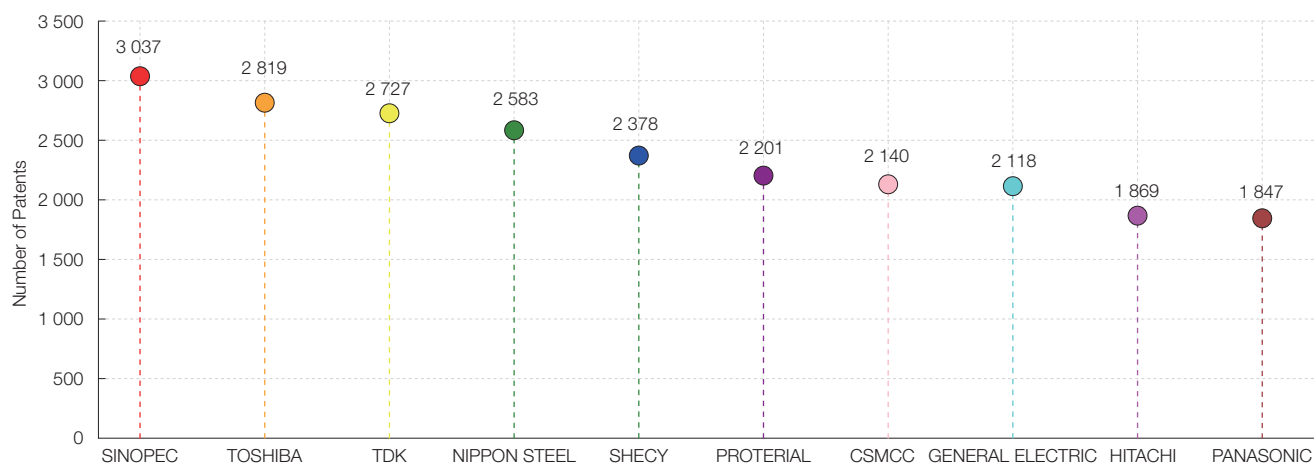


图5 稀土专利申请数量前10公司

Figure 5 Top ten companies in rare earth patent applications

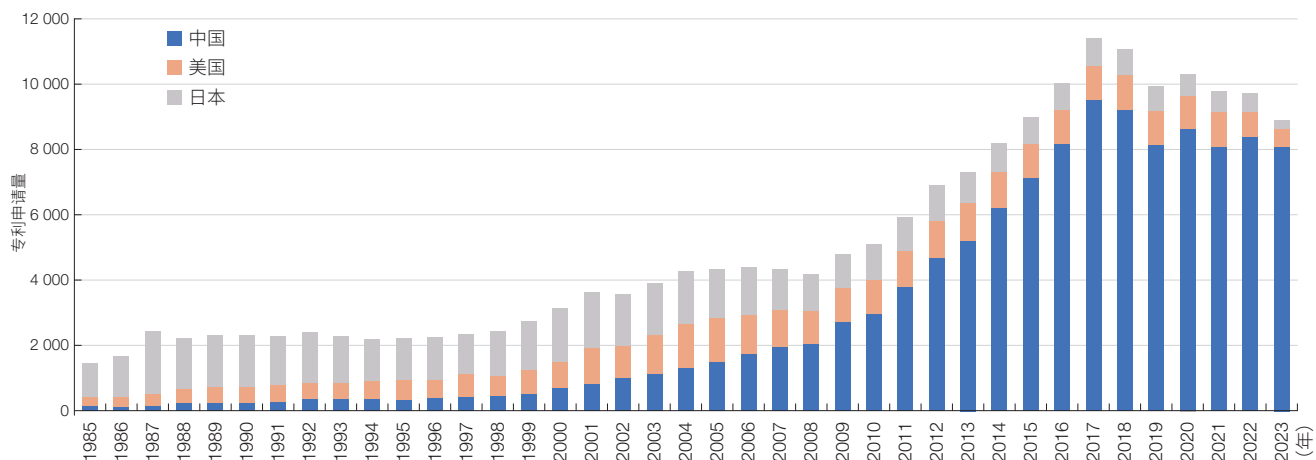


图6 中美日稀土专利申请数量变化趋势

Figure 6 Trend of rare earth patent applications in China, the United States, and Japan

较晚，从20世纪30年代发现稀土材料，到成立实验室研究稀土，直至成为全球稀土供应大国，也不过百年。从早期缺乏核心技术低价出口稀土精矿“稀土不稀”的时代，到现在稀土制造和出口大国的时代，中国的稀土产业链布局已处于世界前列，也展现出中国稀土产业巨大的发展潜力和动能。

5 结论与建议

本文从专利网络视角，将关键核心技术定义为技术网络中处于核心节点位置，具有关键性连接和高中心性的技术。根据结构洞理论，使用“中心度—频

数”二维指标，利用四象限法筛选出4个稀土功能材料领域的关键核心技术，并构建了指标体系，测量了专利数前5个主要国家在各领域关键核心技术的竞争力，研判了稀土功能材料领域的国际竞争态势。

专利分析结果显示，中国虽提供了全球超过60%的稀土产品，专利总体申请量大，但国际专利布局不足，高价值专利占比偏低；中国在多项稀土高端材料领域的关键核心技术上，与日本和美国仍存在较大差距。核心期刊关键词的聚类结果显示，超过一半的技术主题并未进行大量的专利布局，存在以下几点可能。第一，相关成果可能更偏机理阐释、性能表征或

参数优化,难以满足专利对新颖性、创造性与可实施性的要求;第二,科研机构或企业重视程度不够。高校端往往以论文与项目为主导,商业化路径不清,同时可能缺乏相应的专利挖掘与撰写能力,从而导致申请专利动机不足。企业端则可能因研发与知识产权部门协同弱、短期业务压力或对该方向产业化路径不清而延后布局。第三,从政策层面分析,专利布局不足往往源于激励与制度供给的不匹配,缺乏公开前评估、转化激励及海外维持/维权支持,产学研协同和组合保护不足,致专利布局动力弱。中国、美国、日本3个国家布局的稀土专利数量对比显示,自2005年之后,中国的稀土专利数呈爆发式增长。中国对稀土关键核心技术突破的显著成效,展现出中国稀土产业的巨大发展潜力和动能。

为突破稀土高端功能材料领域的关键核心技术,由“资源强国”升级到“技术强国”,可以提出以下4点建议。

(1) 聚焦技术差距领域,设立专项攻关计划。针对稀土催化材料(如B01J分类下的分子筛催化技术)、稀土发光材料(如C09K11/80铝/镓基发光材料)和稀土抛光材料(如C09G1/02含磨料的抛光剂)等弱势领域,设立“稀土材料技术重大专项组”,系统对标日本、美国的专利布局与技术路线,分阶段攻关落后技术;同时定向支持稀土发光材料领域C09K11/85含卤素发光材料和H01L33/50发光半导体技术的研发,重点弥补中国在医疗成像、半导体照明等领域的技术短板,减少对进口高端材料的依赖。

(2) 加强产学研协同,推动技术转化落地。依托包头稀土园区等产业集群,联合中石化、北方稀土等企业建立“稀土永磁材料实验基地”,针对性解决高端钕铁硼材料技术落后等问题;推动高校实验室与企业构建“专利共享池”,将实验室研发的磁熵变、磁热效应等前沿技术通过产品迭代快速转化为商业化成果,缩短从技术研发到产业应用的周期,提升稀土材

料技术的实际转化率与市场竞争力。

(3) 优化产业链分工,扶持细分领域“隐形冠军”。针对产业链下游薄弱环节——高端钕铁硼永磁体、光刻机用稀土抛光液等技术,打造“稀土高端材料专精特新企业目录”。在已识别出的关键核心技术领域,对“隐形冠军”企业,如宁波韵升等,提供政府采购优先权。对国产化率超过70%的稀土材料如汽车尾气净化催化剂等,按照销售额的固定比例给予补贴,引导企业聚焦高端技术研发,优化产业链分工,提升下游环节的核心竞争力。

(4) 针对大量技术未进行专利布局的问题,总体需要提升各级组织对专利的保护意识。①政府部门应完善激励机制,提高对国际专利的申请补贴;建立专利大数据中心,监测并打击专利侵权行为;完善专利审核流程,配合相关技术的迭代周期。②高校实验室与企业协同创新,提高专利的商业转化率;配备专利工程师团队及时对实验室成果进行技术可专利性改造;建立多元化的毕业要求,鼓励学生通过申请专利达到毕业条件。③企业要建立专利战略部门,由CTO领导制定3年滚动专利路线图,提前布局专利组合;同时完善专利防御体系,减少企业侵权诉讼应诉成本。

参考文献

- 陈超,朱洁森.稀土功能材料及其应用概述.厦门科技,2022,(1):36-40.
Chen C, Zhu J M. Overview of rare earth functional materials and their applications. Xiamen Science and Technology, 2022, (1): 36-40. (in Chinese)
- 朱明刚,孙旭,刘荣辉,等.稀土功能材料2035发展战略研究.中国工程科学,2020,22(5):37-43.
Zhu M G, Sun X, Liu R, et al. Development strategies for rare earth functional materials by 2035. Strategic Study of CAE, 2020, 22(5): 37-43.
- 中国科学技术协会,中国稀土学会.稀土科学技术学科发展报告(2016—2017)[M].北京:中国科学技术出版社,

- 2018.
- China Association for Science and Technology, The Chinese Society of Rare Earths. Report on advances in rare earth science and technology (2016—2017) [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2018. (in Chinese)
- 4 中国稀土学会. 稀土功能材料关键技术核心专利情况分析 及对中国产业发展的影响. 北京: 工业和信息化部, 2020.
- The Chinese Society of Rare Earths. Analysis of core patent status of key technologies of rare earth functional materials and their impact on my country's industrial development. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology, 2020. (in Chinese)
- 5 胡旭博, 原长弘. 关键核心技术: 概念、特征与突破因素. 科学学研究, 2022, 40(1): 4-11.
- Hu X B, Yuan C H. Key part of core technology: Concept, characters and breakthrough factors. Studies in Science of Science, 2022, 40(1): 4-11. (in Chinese)
- 6 陈劲, 阳镇, 朱子钦. “十四五”时期“卡脖子”技术的破解: 识别框架、战略转向与突破路径. 改革, 2020, (12): 5-15.
- Chen J, Yang Z, Zhu Z Q. The solution of “neck sticking” technology during the 14th Five-Year Plan period: Identification framework, strategic change and breakthrough path. Reform, 2020, (12): 5-15. (in Chinese)
- 7 王可达. 提高我国关键核心技术创新能力的路径研究. 探索, 2019, (2): 38-46.
- Wang K D. Research on the methods of improving the innovation of China's key core technology. Academic Search for Truth and Reality, 2019, (2): 38-46. (in Chinese)
- 8 Yoon B, Magee C L. Exploring technology opportunities by visualizing patent information based on generative topographic mapping and link prediction. Technological Forecasting and Social Change, 2018, 132: 105-117.
- 9 Shibata N, Kajikawa Y, Takeda Y, et al. Detecting emerging research fronts based on topological measures in citation networks of scientific publications. Technovation, 2008, 28 (11): 758-775.
- 10 Lv P H, Wang G F, Wan Y, et al. Bibliometric trend analysis on global graphene research. Scientometrics, 2011, 88(2): 399-419.
- 11 Shibata N, Kajikawa Y, Takeda Y, et al. Detecting emerging research fronts in regenerative medicine by the citation network analysis of scientific publications. Technological Forecasting and Social Change, 2011, 78(2): 274-282.
- 12 Mariani M S, Medo M, Lafond F. Early identification of important patents: Design and validation of citation network metrics. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 146: 644-654.
- 13 付振康, 朱庆华, 柳炳祥, 等. 专利视域下“卡脖子”关键技术识别及突破策略——以 OLED 技术领域为例. 情报杂志, 2024, 43(5): 106-115.
- Fu Z K, Zhu Q H, Liu B X, et al. Identification and breakthrough strategy of stranglehold key technologies from a patent perspective: A case study in the OLED technology field. Journal of Intelligence, 2024, 43(5): 106-115. (in Chinese)
- 14 毛荐其, 杜艳婷, 苗成林, 等. 基于专利共类的关键核心技术识别模型构建及应用——以光刻技术为例. 情报杂志, 2022, 41(11): 48-54.
- Mao J Q, Du Y T, Miao C L, et al. Constructing and applying a key core technology identification model based on patent co-occurrence: Taking lithography technology as an example. Journal of Intelligence, 2022, 41(11): 48-54. (in Chinese)
- 15 杨恒, 王曰芬, 张露. 基于核心专利技术主题识别与演化分析的技术预测. 情报杂志, 2022, 41(7): 49-56.
- Yang H, Wang Y F, Zhang L. Technology prediction based on core patents technology topic recognition and evolution analysis. Journal of Intelligence, 2022, 41(7): 49-56. (in Chinese)
- 16 Lin W G, Liu X D, Xiao R B, et al. Research on product core component acquisition based on patent semantic network. Entropy, 2022, 24(4): 549.
- 17 袁野, 吴超楠, 李秋莹. 人工智能产业核心技术的国际竞争态势分析. 中国电子科学研究院学报, 2020, 15(11): 1128-1138.
- Yuan Y, Wu C N, Li Q Y. Analysis of international competition in the core technology of artificial intelligence industry. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2020, 15(11): 1128-1138. (in Chinese)

- 18 王强, 刘志芳, 靳晓宏. 基于DMC的技术竞争态势分析方法研究. 图书情报工作, 2014, 58(14): 28-33.
Wang Q, Liu Z F, Jin X H. Research on analysis method of technology competition situation based on DMC. Library and Information Service, 2014, 58(14): 28-33. (in Chinese)
- 19 郑思佳, 汪雪锋, 刘玉琴, 等. 关键核心技术竞争态势评估研究. 科研管理, 2021, 42(10): 1-10.
Zheng S J, Wang X F, Liu Y Q, et al. A research on evaluation of the competitive situation of key core technologies. Science Research Management, 2021, 42(10): 1-10. (in Chinese)
- 20 刘玉玲, 冯雪娇, 魏昌婷. 基于专利信息的稀土永磁材料技术研发分析. 江西科学, 2022, 40(3): 611-618.
Liu Y L, Feng X J, Wei C T. Technology research analysis of rare earth permanent magnet material based on patent information. Jiangxi Science, 2022, 40(3): 611-618. (in Chinese)
- 21 Freeman L C. Centrality in social networks conceptual clarification. Social Networks, 1979, 1(3): 215-239.
- 22 Burt R S. Structural Holes: The Social Structure of Competition. Cambridge: Harvard University Press, 1992.
- 23 Wasserman S, Faust K. Social Network Analysis: Methods and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- 24 钱锡红, 杨永福, 徐万里. 企业网络位置、吸收能力与创新绩效——一个交互效应模型. 管理世界, 2010, 26(5): 118-129.
Qian X H, Yang Y F, Xu W L. Enterprise network position, absorptive capacity and innovation performance—An interactive effect model. Management World, 2010, 26(5): 118-129. (in Chinese)
- 25 刘伟, 彭琪. 结构洞理论视角下的乡村精英与乡村振兴. 江汉论坛, 2020, (11): 133-138.
Liu W, Peng Q. Rural elites and rural revitalization from the perspective of structural hole theory. Jiangnan Tribune, 2020, (11): 133-138. (in Chinese)
- 26 滕飞, 张奇, 曲建升, 等. 基于专利竞争力指数和Doc-LDA主题模型的关键核心技术识别研究——以新能源汽车为例. 数据分析与知识发现, 2024, 8(11): 33-46.
Teng F, Zhang Q, Qu J S, et al. Identifying key and core technologies based on patent competitiveness index and doc-LDA topic model: Case study of E-vehicles. Data Analysis and Knowledge Discovery, 2024, 8(11): 33-46. (in Chinese)
- 27 黄海峰, 刘辉. 基于专利的区块链技术发展现状与竞争态势分析. 世界科技研究与发展, 2019, 41(6): 676-688.
Huang H F, Liu H. Analysis of the development status and competition situation of patent-based blockchain technology. World Sci-Tech R & D, 2019, 41(6): 676-688. (in Chinese)
- 28 王子焉, 倪渊, 张健. 基于灰色关联分析—随机森林回归的网络平台专利价值评估方法研究. 情报理论与实践, 2019, 42(10): 109-116.
Wang Z Y, Ni Y, Zhang J. Research on patent value assessment method of network platform based on grey relational analysis and random forest regression. Information Studies (Theory & Application), 2019, 42(10): 109-116. (in Chinese)
- 29 乔永忠, 孙燕. 外国优先权对专利维持时间影响实证研究——基于美国、德国、日本、韩国和中国授权专利数据的比较. 情报杂志, 2017, (11): 161-167.
Qiao Y Z, Sun Y. Empirical analysis on the effect of foreign priority on the patents maintenance time—Comparison based on the data of patents granted by the U.S., Germany, Japan, Korea and China, Journal of Intelligence, 2017, (11): 161-167. (in Chinese)
- 30 黄鲁成, 张静, 武丹, 等. 基于专利的部分国家智能材料领域竞争分析. 科学管理研究, 2014, 32(1): 59-62.
Huang L C, Zhang J, Wu D, et al. Research of the countries' competition in the field of intelligent materials based on patent information. Scientific Management Research, 2014, 32(1): 59-62. (in Chinese)
- 31 黄鲁成, 常兰兰, 苗红, 等. 基于ESTP-Chain四维分析法的老年福祉技术竞争态势分析. 科技管理研究, 2016, 36(12): 213-219.
Huang L C, Chang L L, Miao H, et al. The competitive situation analysis of elderly gerontechnology based on ESTP-chain four-dimensional analysis method. Science and Technology Management Research, 2016, 36(12): 213-219. (in Chinese)

Research on the upgrading direction of rare earth from a “resource power” to a “technological power”

Liu Zhiying¹ Zhang Yiming^{1*} Wang Shanyong²

(1 School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

2 School of Public Affairs, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract Rare earth materials, as the “vitamins” of modern industry, play an irreplaceable role in the high-tech field. China is a major country in rare earth resources worldwide, occupying a dominant position in resource extraction, production, and export. However, China is not in a leading position in mastering key core technologies in certain fields. This study constructs a key core technology and international gap research framework for identifying representative fields of rare earth functional materials based on patent data from the perspective of market competition, and identifies the technological mastery and competitive landscape of each country in specific fields. Research has found that high-end rare earth functional materials are mainly concentrated in the fields of rare earth permanent magnet materials, catalytic materials, luminescent materials, and polishing materials, and the key core technologies in these fields are overall lagging behind Japan and the United States. Therefore, China should focus on areas with technological gaps, establish special research and development plans, strengthen collaboration between industry, academia, and research, promote the implementation of technology transformation, optimize the division of labor in the industrial chain, and at the same time strengthen patent protection awareness from multiple aspects, improve the patent protection system, and achieve China’s upgrading from a rare earth resource powerhouse to a technology powerhouse.

Keywords rare earth materials, key core technologies, social network, structural holes

刘志迎 中国科学技术大学管理学院教授、博士生导师。主要研究领域:创新管理。E-mail: liuzhiy@ustc.edu.cn

LIU Zhiying Professor and doctoral supervisor at the School of Management, University of Science and Technology of China. His research focuses on innovation management. E-mail: liuzhiy@ustc.edu.cn

张一鸣 中国科学技术大学管理学院研究生。主要研究领域:创新管理。E-mail: yming1286@163.com

ZHANG Yiming Postgraduate student at the School of Management, University of Science and Technology of China. Her research focuses on innovation management. E-mail: yming1286@163.com

■责任编辑:文彦杰

*Corresponding author