

南昌大学图书馆

学科服务专报 2021 第 8 期

基于烧结钕铁硼晶界扩散技术的 专利数据分析及挖掘

□康小丽

摘要：该报告根据委托人的技术需求，先对技术领域进行了全景分析，让委托人对整个技术领域有个整体的了解。而后对该技术领域的专利申请人进行了分析，使委托人能够迅速定位到该技术领域的竞争者及可寻求的合作者。接着，报告从引用次数、专利家族规模、权利要求数量、市场价值四个维度对该技术领域的重点专利进行了挖掘。最后，报告紧贴委托人的需求，通过人工筛选并解读了符合委托人技术指标要求的重点专利，以供参考。

一、技术背景

自 1983 年烧结钕铁硼磁体问世后，由于其具有优异的磁性能被称为“磁王”，因此广泛运用于传感器、音响、节能电梯等领域。尽管如此，烧结钕铁硼磁体相对较低的矫顽力和温度稳定性限制了其在

某些特殊环境下的应用，包括混合动力汽车、伺服电机和风力发电机等方面。因此，寻求高矫顽力、高热稳定性的烧结钕铁硼磁体迫在眉睫。

通过添加稀土元素镨钕，是提高烧结钕铁硼磁体矫顽力最常用的方法。传统的添加方法是在熔炼过程中加入，即把 Dy、Tb 与 Nd、Fe、B 等元素一同熔炼，在制成的磁体中晶界和晶内主相中均有 Dy 分布。但研究表明，处于晶界的 Dy 对提高矫顽力作用最为显著，传统的元素添加方法有点“浪费资源”。

日本研究者最早提出了“晶界扩散”的概念，他们采用特殊的工艺使 Dy 通过扩散只存在于晶界而不进入晶内，这样不仅提高了钕铁硼材料的性能，而且大大减少了 Dy 元素的总量，降低了材料的成本。他们在制粉过程中在颗粒表面沉积 Dy 蒸气，后续烧结过程中发生 Dy 原子沿晶界扩散。位于晶界的 Dy 与 Fe 是反铁磁耦合的，在几乎没有剩磁降低的情况下，材料矫顽力从 800kA/m 增加到 1800kA/m。

机加工后磁体表面的损伤会导致磁性能的弱化，特别是对小尺寸样品而言，矫顽力降低很显著，采用晶界扩散技术可以修复并增加磁体表面磁性能。目前，晶界扩散技术已受到广泛关注，其制备工艺主要有蒸镀扩散、磁控溅射、表面涂覆、电泳沉积法等。

烧结钕铁硼晶界扩散技术，主要目的是降低重稀土消耗，并实现传统工艺无法达到磁性能高度。但该项技术目前还比较受限于产品规格的大小，10mm 以上厚度的产品通过晶界扩散技术，无法保证内部晶界扩散均匀性和扩散深度。需要改良过程辅助工艺，提高晶界扩散深度，从而确保磁体内部晶界扩散是均匀稳定的。

委托方的技术指标要求为：（1）晶界扩散后的产品，内外部磁

性能偏差小于 3%；（2）晶界扩散厚度提升到 10mm 以上，内外部磁性能偏差也能小于 3%。

二、数据来源

专利数据来源于智慧芽（PatSnap）全球专利检索数据库。检索时间：2021 年 6 月 1 日。根据制定的检索策略，共检索到 2330 件专利记录，按照简单同族归并后共计 934 组专利。再经过简单去噪后，剩余 2248 件（899 组专利）专利。

三、本领域专利全景分析

（一）专利申请趋势

选取近 20 年专利申请数据进行统计分析，得到申请趋势图 1。

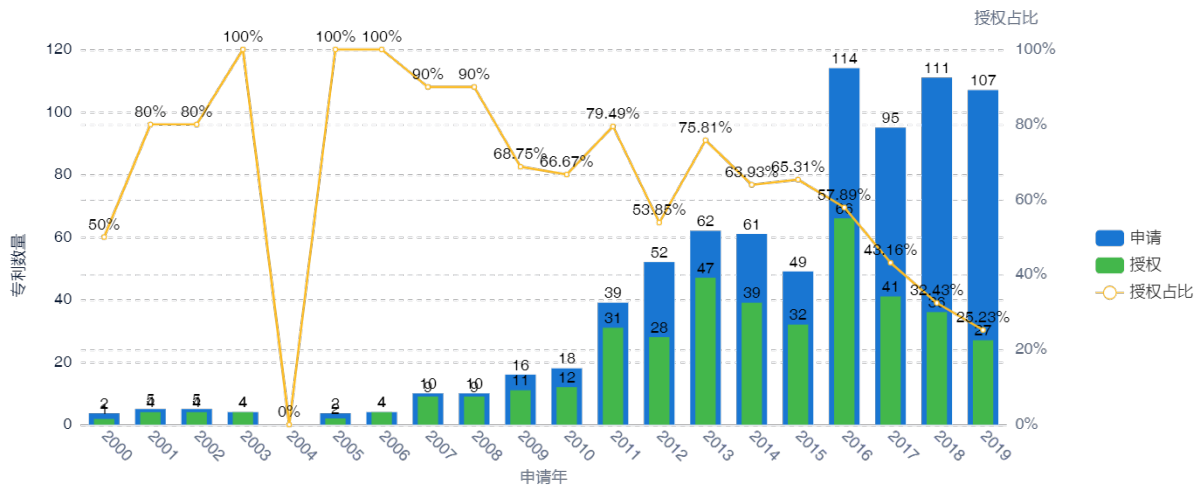


图 1 专利申请趋势（近 20 年）

从图 1 中可以看出：

1、近 20 年以来，该领域专利申请数量总体上是呈上升态势的，但授权比重却是下降态势，这与国际范围内尤其中国采取切实有效措施，狠抓专利申请质量不无关系；

2、该技术领域专利申请量在 2016 年出现较明显的增加，说明在 2016 年，这一技术领域受到更多的关注，有成为大家竞相进入的热门领域的趋势。

(二) 专利法律状态

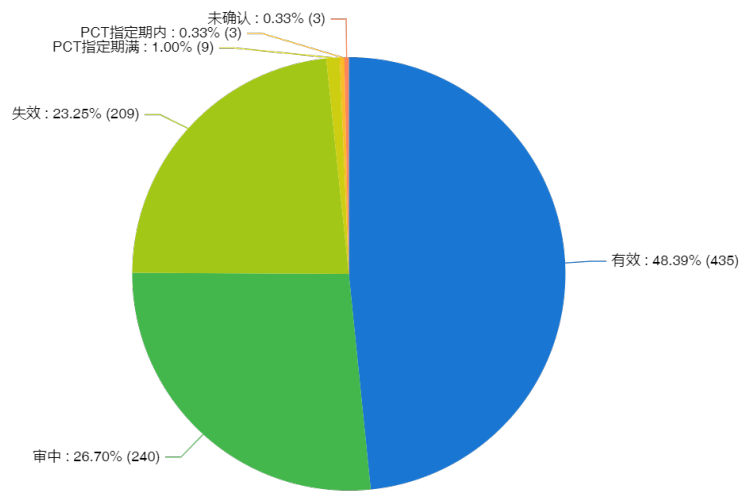


图 2 专利法律状态

通过对该领域专利简单法律状态进行分析，发现该技术领域的专利有效比例为 48.39%，在审中比例为 26.70%，这两项占比约 3/4，说明该技术领域处于技术发展活跃期。

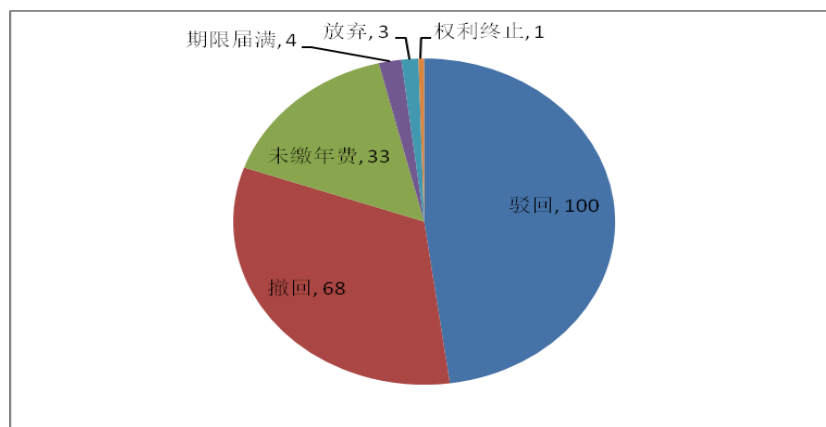


图 3 专利失效原因

在此，进一步对 209 条失效专利的失效原因进行了挖掘，发现主要原因有三个：驳回、撤回以及未缴年费。而该技术领域专利被驳回率比较高，驳回率近 50%，又进一步说明了该技术领域比较热门，大家竞相效仿进入，近似专利较多。

（三）技术生命周期

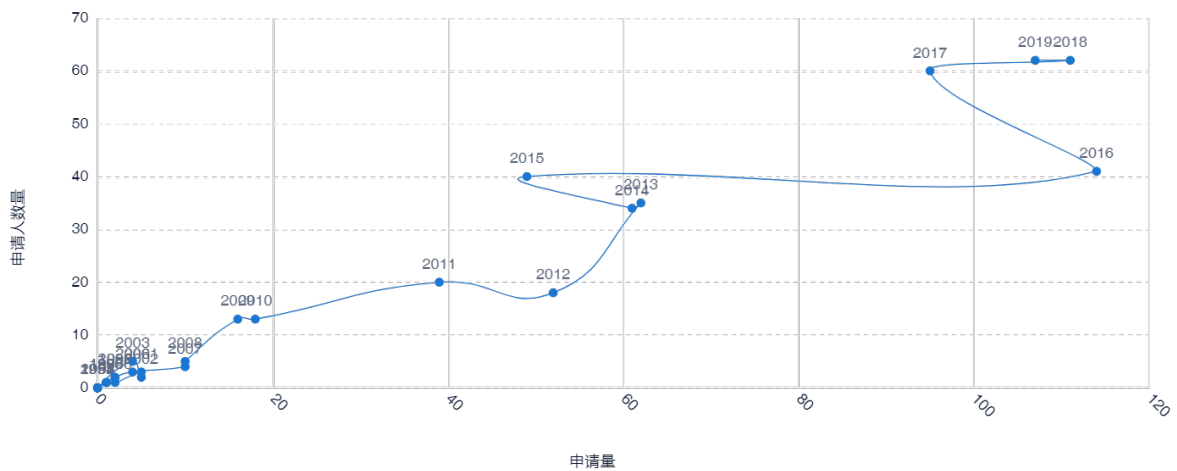


图 4 技术生命周期

为了比较准确的评估该技术的发展阶段，我们利用专利申请量与专利申请人数量随时间的推移变化曲线图（图 4）来帮助分析当前技术领域生命周期所处阶段。从图 4 中可以发现该技术领域目前专利申请量与专利申请人数量都不多，处于萌芽期，适合进入。

（四）技术来源国/地区排名

通过分析技术主要来源于哪些国家/地区，可以帮助了解该国家/地区的技术创新能力和活跃程度，也可以侧面反应出持有该技术的主要公司分布在哪些国家/地区。

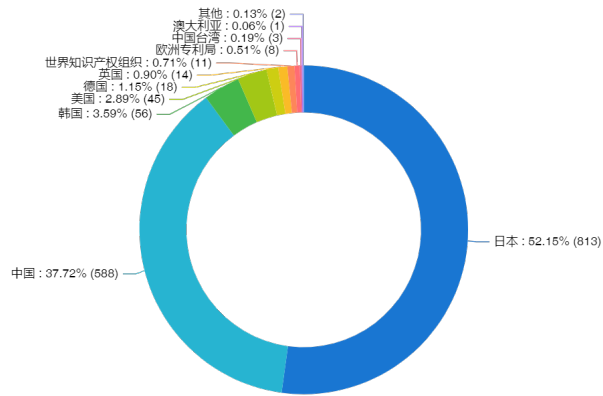


图 5 技术来源国/地区排名

从图 5 可以看出，该项技术主要来源于日本和中国，占据了近 90%，其中日本占比 52.15%，具有绝对的技术优势。如果想要进入该技术领域，可以多与日本和中国相关企业合作。

（五）技术目标国/地区排名

通过分析技术主要布局在哪些国家/地区，专利申请量的多少在一定程度上反映了该目标市场的受关注程度。这可以帮助企业在做技术战略布局时，评估哪些是需要主要关注的国家/地区，以及哪些国家/地区均未被布局，是否可能成为潜在的机会点。

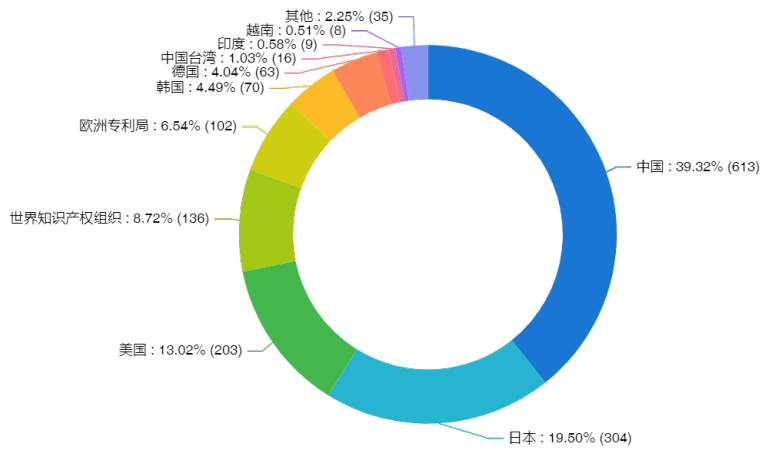


图 6 技术目标国/地区排名

从技术目标国分布来看，该项技术主要布局在中国（39.32%）、日本（19.5%）、美国（13.02%）。因此，在进行有关该项技术的专利布局的时候要重点关注这三个国家，避免侵权。也可以选择避开这三个国家，在韩国、德国、中国台湾、印度、越南等专利分布比较少的国家或者完全未布局的国家进行布局，迅速占据市场。

（六）五局流向图

通过分析中、美、欧、日、韩五大局的专利流向，展现出该技术在五大局的技术发源情况和市场布局情况，可以帮助了解该项技术被哪些国家的申请人所持有，即技术来源国，而这些专利持有者除了将该技术布局在所属国，还布局到了哪些目标市场。

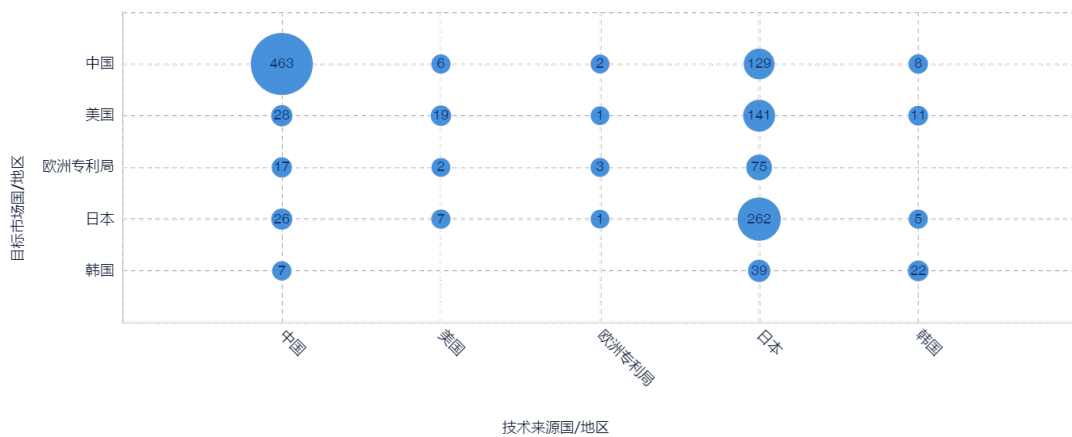


图 7 五局流向图

从图 7 可知，该项技术两大主要技术来源国中国和日本，中国专利大部分布局在中国，日本也主要布局在日本，但兼顾了在中国、美国、欧洲、韩国的合理布局。因此，中国在专利布局方面太过单一，没有充分考虑到国际市场。

（七）国内各省申请排名

通过分析中国各省市专利数量，了解各省市的技术创新能力和

活跃程度。

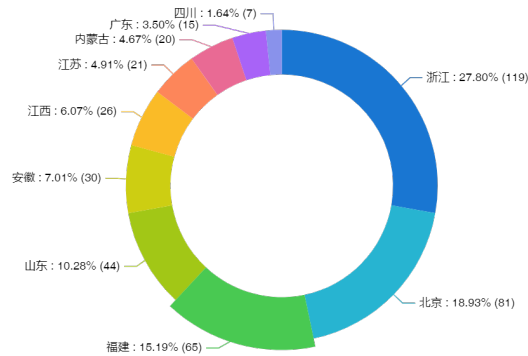


图 8 国内各省申请排名

从中国国内视角看，该项技术专利申请主要来源的省市为：浙江（27.8%）、北京（18.93%）、福建（15.19%）、山东（10.28%），我们同时关注到江西作为中国主要的有色、稀有、稀土矿产基地之一，在该技术领域的专利数量申请量占比为 6.07%，说明江西没有充分利用好本土资源，科技创新力度还不够。

四、本领域专利申请人分析

（一）申请人排名

通过分析该技术领域内哪些公司拥有的专利总量最多，可以帮助了解该技术领域内的主要公司和竞争威胁。

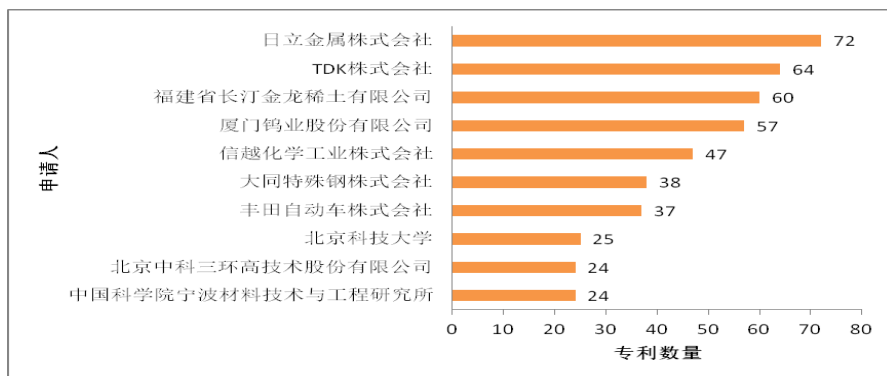


图 9 申请人排名（Top 10）

从图 9 中可知，该技术领域内持有专利总量最多的公司均来源于日本和中国，其中日本的日立金属株式会社和 TDK 株式会社专利持有量最多，在进行专利申请或布局的时候重点关注这两家公司。我们关注到在国内，福建省长汀金龙稀土有限公司、厦门钨业股份有限公司专利持有量最多，可以给在国内寻求合作伙伴的企业以参考。

（二）专利集中度分析

集中度的定义：申请总量排名前 10 位的申请人的专利申请量占该领域专利申请总量的比例（其中，有联合申请时，专利数量不会被去重计算）。通过分析该技术领域的主要申请人持有专利的数量，帮助了解历年来，该领域的竞争激烈程度和垄断性。

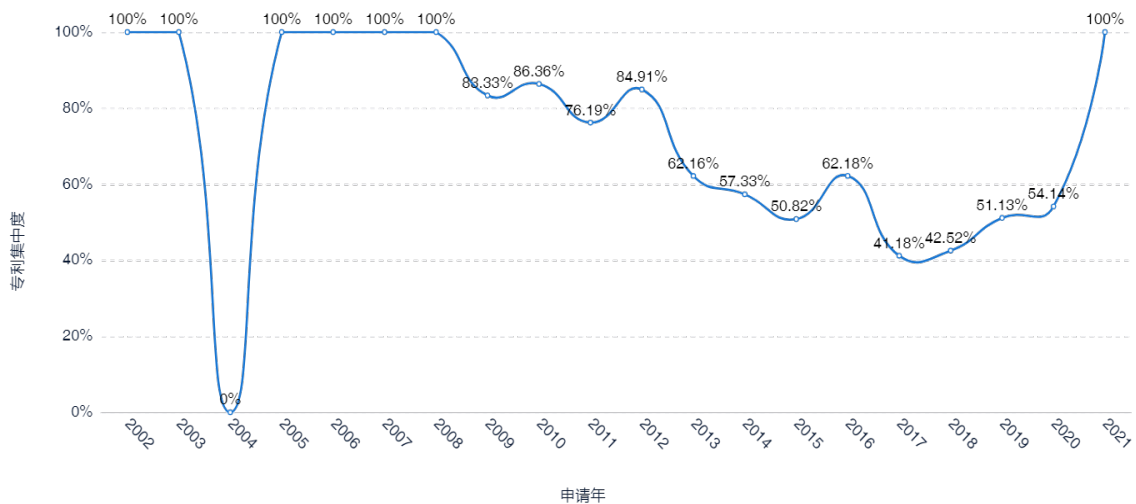


图 10 专利集中度

从图 10 中可以看出 2008 年以前，该技术处于萌芽阶段，申请人不多，专利集中度比较高。2008 年之后，随着该技术的发展，更多的企业或者机构关注到这个领域，竞争愈来愈激烈，专利集中度也就越来越小。

（三）新入者分析

新进入者定义：仅在过去 5 年内才提交专利申请的申请人。帮助了解在该技术领域的新进入者，这些新进入者表明了在该领域的新型竞争。与此同时，这些新兴公司可以被视为潜在的收购或合作机会。

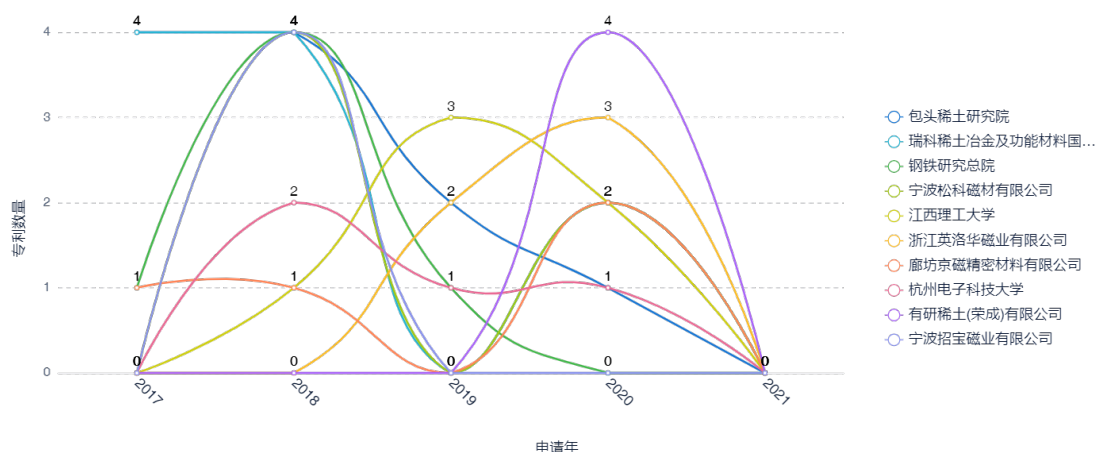


图 11 新入者分析 (Top 10)

从图 11 中可知，新进入该技术领域的机构主要有包头稀土研究院、瑞科稀土冶金及功能材料国家工程研究中心有限公司、钢铁研究总院、宁波松科磁材有限公司、江西理工大学等。具有冶金工程、矿业工程优势学科的江西理工大学可以作为江西在该技术领域进行突破的重点扶持机构。

（四）合作申请分析

通过分析申请人的合作关系，帮助了解哪些申请人更愿意通过合作来进行发明，帮助寻找潜在的技术合作伙伴。

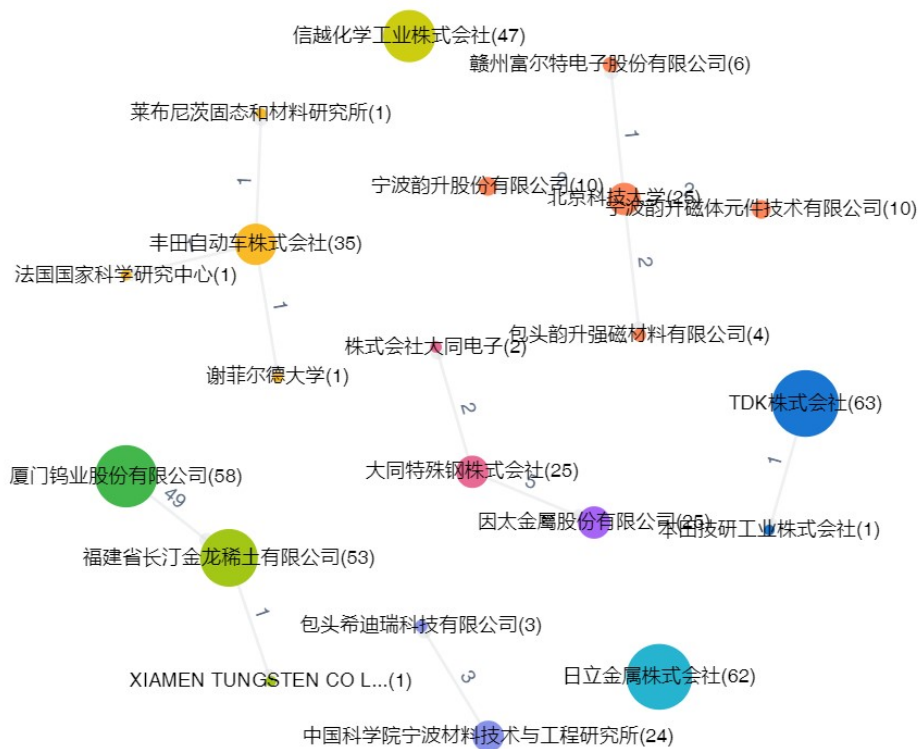


图 12 合作申请分析

注：当前图表根据[标]原始申请（专利权）人计算

通过图 12 合作申请分析可知，该技术领域内，合作意愿比较强烈的企业有 TDK 株式会社、日立金属株式会社、厦门钨业股份有限公司、福建省长汀金龙稀土有限公司、信越化学工业株式会社。想通过合作方式进入该领域的企业可以对以上企业多加考虑。另一方面，我们发现这些合作意愿比较强的企业也即为该技术领域专利持有量比较多的企业，因此，企业间的合作也是提高创新能力的一有效措施。

五、重点专利分析

从被引次数、专利家族数量、权利要求数量、市场价值四个方面对该技术领域的重点专利进行了挖掘，以供参考。

（一）被引用最多的专利

识别哪些专利已广泛应用并且有很多人借鉴这些技术，这些专利更具影响力并代表着该技术领域的核心创新技术。

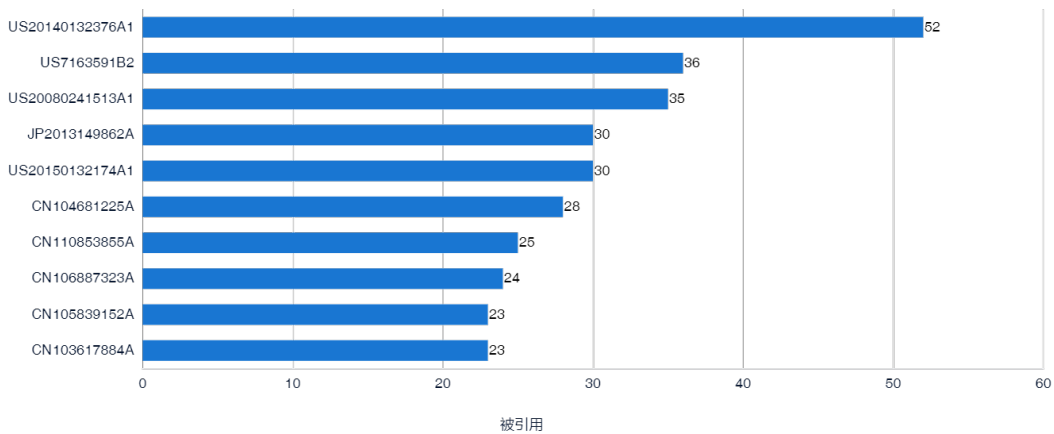


图 13 被引用最多的专利（Top 10）

（二）规模最大的专利家族

识别全球范围内规模最大的专利家族，这些专利被在全球广泛布局保护。

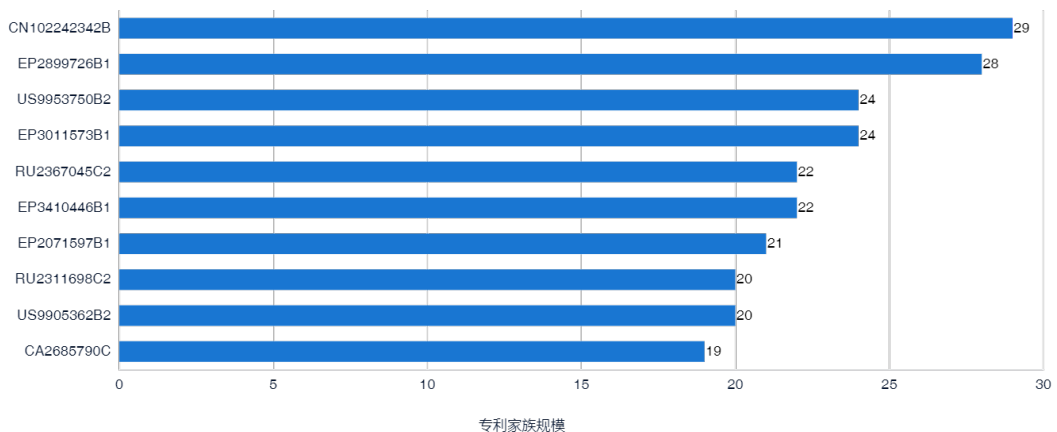


图 14 规模最大的专利家族（Top 10）

（三）权利要求数量最多的专利

识别出权利要求数量最多的专利，其涉及的技术范围更广。

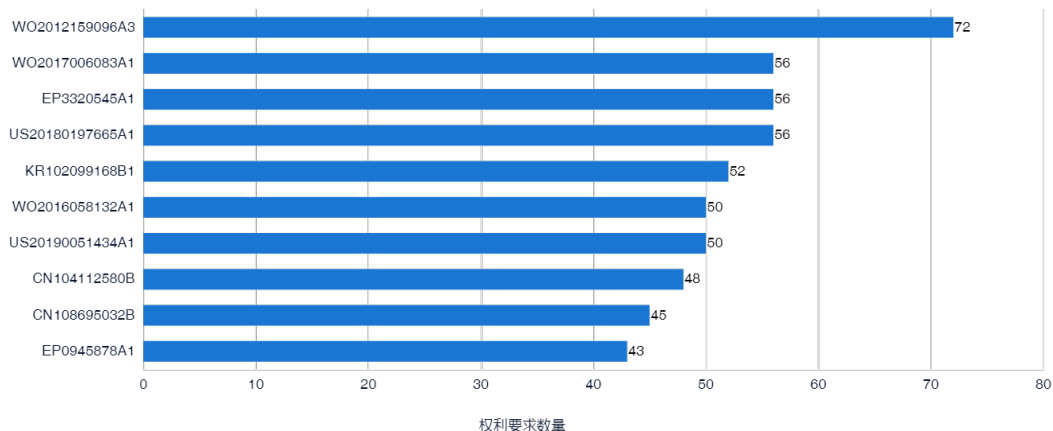


图 15 权利要求数量最多的专利 (Top 10)

(四) 市场价值最高专利

最有价值的专利是指该技术领域内具有最高专利价值的简单同族。当前图表按每组简单同族一个专利代表的去重规则进行统计，并选择同族中有专利价值的任意一件专利进行显示。找出该技术领域内最有价值的专利，帮助了解哪些专利发明具有较高的市场价值和利润潜力。

表 3 市场价值最高专利 (Top 10)

专利	[标]当前申请(专利权)人	简单同族	技术宽度	价值 (美元)	过期年
EP2899726B1	日立金属株式会社	28	1	\$5,450,000	2027
CN102242342B	日本真空技术株式会社	29	3	\$4,770,000	2026
US9953750B2	信越化学工业株式会社	24	3	\$4,430,000	2029
EP3410446B1	信越化学工业株式会社	22	2	\$3,970,000	2033
RU2367045C2	信越化学工业株式会社	22	3	\$3,890,000	2025
US9905362B2	丰田自动车株式会社	20	4	\$3,650,000	2034
JP5493663B2	信越化学工业株式会社	13	3	\$3,550,000	2029

CN103295713B	日立金属株式会社	17	3	\$3,540,000	2027
US8945318B2	日立金属株式会社	16	6	\$3,430,000	2028
EP2650887B1	信越化学工业株式会社	18	2	\$3,430,000	2033

六、符合技术要求的重点专利解读

根据委托方的技术指标要求：（1）晶界扩散后的产品，内外部磁性能偏差小于 3%；（2）晶界扩散厚度提升到 10mm 以上，内外部磁性能偏差也能小于 3%。我们进行二次检索及人工辨别，筛选出所需重点专利进行解读。

（一） 重点专利 1

表 4 重点专利 1

标题	一种大深度晶界扩散的钕铁硼磁体的制备方法
公开号	CN113394015A
申请人	江苏科技大学
申请日	2021-05-17
被引用	0
权利要求数	8
法律状态	公开
同族专利	无
独权 1	1.一种大深度晶界扩散的钕铁硼磁体的制备方法，其特征在于包括以下步骤： 步骤一，将钕铁硼磁体按照尺寸要求切割成块体，用砂纸打磨掉表面的氧化皮，在丙酮溶液中将打磨后的磁体用超声清洗干净； 步骤二，将钕铁硼磁体块体浸入-196℃的液氮中进行深度冷却处理，深冷处理时间为(1~10)×d 分钟，其中 d 为磁体的厚度，单位为：毫米； 步骤三，将步骤一深冷处理的磁体从液氮中取出让磁体温度升高到室温； 步骤四，重复步骤二和步骤三 3~5 次； 步骤五，利用富含重稀土元素的扩散源对经过深冷处理后的磁体在 700~1000℃进行晶界扩散处理； 步骤六，将步骤五扩散处理后的磁体再进行 400~600℃低温退火处理，制得大深度晶界扩散的钕铁硼磁体。
技术创新点	本发明对具有较大厚度的钕铁硼磁体在实施晶界扩散工艺前进行循环深冷处理，由于钕铁硼磁体基体 Nd ₂ Fe ₁₄ B 相和晶界富 Nd 相具有不同的热膨胀系数，通过循环深冷处理，在基体相和富稀土相之间产

	生微观裂纹，这些微观裂纹可以作为晶界扩散的有效通道，大大提高重稀土元素晶界扩散的深度，可以有效晶界扩散处理厚度为 15mm 的磁体。该方法突破了传统晶界扩散工艺只能扩散处理厚度较小(< 5mm)磁体的限制，提高晶界扩散技术在制备低重稀土含量、高性能钕铁硼磁体领域的应用范围。
--	---

(二) 重点专利 2

表 5 重点专利 2

标题	一种晶界扩散制备钕铁硼磁体的方法
公开号	CN111710519A
申请人	宁德市星宇科技有限公司
申请日	2017-11-29
被引用	1
权利要求数	5
法律状态	实质审查的生效
同族专利	CN108010705A; CN108010705B
独权 1	1.一种晶界扩散制备钕铁硼磁体的方法，其特征在于，包括以下步骤： 步骤 1：将商业钕铁硼磁体沿取向力方向加工成 8~12mm 厚，得基础钕铁硼磁体，然后将基础钕铁硼磁体浸泡在体积浓度为 3~5% 的盐酸溶液或体积浓度为 3~5% 的硝酸溶液中，然后在真空条件下对浸泡在盐酸溶液或硝酸溶液中的钕铁硼薄片进行超声波处理 5~10min，再于 120~140℃环境中干燥 20~120min； 步骤 2：将扩散合金片 Pr50Tb20Cu30 附着在步骤 1 处理后的基础钕铁硼磁体的上下表面，然后放在热压炉中，对热压炉抽真空，待真空度达到 1×10 ⁻² Pa 以下，对热压炉升温，当温度达到 700~800℃时，开始施加压力 20~30MPa，并保压 7~10h，然后泄压至常压，接着又重新热压炉抽真空，待真空度达到 1×10 ⁻² Pa 以下，继续升温至 850~950℃，保温 1~2h； 步骤 3：将步骤 2 扩散后的试样在真空炉中于 500~600℃条件下进行退火处理，再于 400~450℃条件下进行退火处理，得目标产物。
技术创新点	1)本发明方法通过对基础磁体进行无机酸溶液浸泡处理后，将扩散合金与基础磁体在低温(700~800℃)加压(20~30MPa)的状态下进行扩散，压力的存在增加了熔融扩散合金的扩散动能使熔融扩散合金中重稀土元素沿晶界扩散分布于晶界相并分布于晶界相，再通过高温(850~950)下进行扩散以使存在晶界相的重稀土元素在主相晶粒表层形成富重稀土金属壳层结构，实现重稀土元素作为替代元素进入主相内，并在主相的边界处，形成一个连续的、高稀土含量的区域，从而使钕铁硼产品的矫顽力大幅度提升，而剩磁几乎没有影响；同时，晶界被重稀土渗透后，晶界富稀土相更加连续，更加清晰，对隔离交换耦合作用更加有效；(2)本发明方法相对传统晶界扩散方法而言，扩散深度更深，对扩散磁体的尺寸要求没有那么苛刻，适用性更广，即通过该方法能制备出磁体矫顽力、剩磁且样品厚度均令人满意的钕铁硼磁体。(实施案例样品厚度分别为 8mm、12mm、10mm)

(三) 重点专利 3

表 6 重点专利 3

标题	一种晶界扩散提高烧结钕铁硼磁性能的方法
----	---------------------

公开号	CN105489335B
申请人	北京科技大学
申请日	2016-01-14
被引用	1
权利要求数	5
法律状态	授权
同族专利	CN105489335A
独权 1	<p>1.一种晶界扩散提高烧结钕铁硼磁性能的方法，其特征在于，包括以下步骤：</p> <p>(1)将烧结钕铁硼粉在 1.2-2.0T 的磁场下进行取向压型；</p> <p>(2)将步骤(1)中压型完成的磁块进行 150-220Mpa 冷等静压，保压 20s，使其压型成为生坯；</p> <p>(3)将步骤(2)中生坯放入真空烧结炉中进行真空半致密烧结，致密度为 90%-95%，烧结温度为 900-950°C，保温时间为 1-3h；</p> <p>(4)配制含重稀土化合物的悬浊液，粘度为 100~500mpa.s，将悬浊液涂覆在半致密的烧结钕铁硼材料表面，然后真空干燥，获得含重稀土化合物涂层的半致密烧结钕铁硼；</p> <p>(5)将步骤(4)中含涂层的半致密烧结钕铁硼，在真空烧结炉中进行真空烧结、回火，制得最终磁体；</p> <p>其中：步骤(4)中所述重稀土化合物的悬浊液的溶剂为乙醇、乙二醇、丙二醇、松香和聚乙烯醇中的一种或者多种的混合液。</p>
技术创新点	<p>1、采用对烧结钕铁硼磁性能无影响的溶剂，获得的涂层与钕铁硼磁体之间存在较好的附着力，可减少后续操作对涂层的破坏。</p> <p>2、直接在半致密化钕铁硼致密化烧结过程中进行晶界扩散，重稀土元素更易扩散到钕铁硼磁体内，提高扩散层的深度，样品厚度可达到 1.0cm。</p> <p>3、在几近不损失剩磁的前提下提高磁体矫顽力，重稀土元素在钕铁硼磁体中分布均匀性及厚度一致性较高。</p> <p>4、在半致密化钕铁硼致密化烧结过程中直接进行晶界扩散，不需要再单独进行晶界扩散热处理。</p>

(三) 重点专利 4

表 7 重点专利 4

标题	CN111430142A
公开号	晶界扩散制备钕铁硼磁体的方法
申请人	中国科学院宁波材料技术与工程研究所；包头希迪瑞科技有限公司
申请日	2019-01-10
被引用	0
权利要求数	8
法律状态	实质审查的生效
同族专利	无
独权 1	<p>1.一种晶界扩散制备钕铁硼磁体的方法，其特征在于，所述方法包括：提供钕铁硼预制磁体；</p> <p>在所述钕铁硼预制磁体表面形成重稀土薄膜；</p>

	将形成有所述重稀土薄膜的钕铁硼预制磁体进行热处理和回火处理，获得预制体，其中，所述预制体中包括正常壳层以及依次包覆于所述正常壳层的过渡层和反常壳层，所述正常壳层中主相晶粒中的重稀土含量由主相晶粒的边缘处至主相晶粒的中心部位逐渐降低，所述反常壳层中主相晶粒中的重稀土含量由主相晶粒的边缘处至主相晶粒的中心部位逐渐升高； 去除所述反常壳层，得到钕铁硼磁体。
技术创新点	本发明的方法能够使较厚的钕铁硼磁体（厚度不限，厚度大于等于5mm）也可以采用晶界扩散的方法来提高矫顽力，提高了晶界扩散对钕铁硼磁体厚度的适应性，解决了晶界扩散受磁体厚度的限制问题。

（五）重点专利 5

表 8 重点专利 5

标题	一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法
公开号	WO2021136366A1
申请人	浙江大学；浙江英洛华磁业有限公司
申请日	2020-12-30
被引用	0
权利要求数	4
法律状态	PCT 国际公布
同族专利	CN111063536A
独权 1	1.一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法，所述的大块稀土永磁材料的厚度为 10~60mm，其特征在于，所述的晶界扩散方法包括以下步骤： (1)通过烧结或热压或热变形工艺制备得到初始磁体，所述的初始磁体富含丰度稀土 La/Ce/Y，以质量百分数计，其成分为： $(RaA1-a)bQbMcBd$ ，R 为高丰度稀土 La、Ce、Y 元素中的一种或几种，A 为除 La、Ce、Y 外的其他镧系轻稀土元素中的一种或几种，Q 为 Fe、Co、Ni 元素中的一种或几种，M 为 Al、Cr、Cu、Zn、Ga、Ge、Mn、Mo、Nb、P、Pb、Si、Ta、Ti、V、Zr、O、F、N、C、S、H 元素中的一种或几种，B 为硼元素；a、b、c、d 满足以下关系： $0.3 < a < 0.8$ ， $26 < b < 36$ ， $0 < c < 3$ ， $0.8 < d < 1.3$ ； (2)在初始磁体表面负载晶界扩散合金源，所述的扩散合金源富含 Nd/Pr，以质量百分数计，其成分为： $(RuA'l-u)vM'l-v$ ，R 为高丰度稀土 La、Ce、Y 元素中的一种或几种，A'为 Nd、Pr 元素中的一种或两种，M'为 Fe、Co、Ni、Al、Cr、Cu、Zn、Ga、Ge、Mn、Mo、Si、Ti、O、F、H 元素中的一种或几种；u、v 满足以下关系： $0 < u < 0.2$ ， $0.5 < v < 1$ ； (3)将负载后的初始磁体放入放电等离子装置中，使用放电等离子加热升温进行晶界扩散，升温速度为 20~400°C/min，扩散温度 400~900°C，施加压力 2~50MPa，保温时间 20~180min，真空度小于 10-3Pa，得到最终磁体。
技术创新点	1)本发明适用于烧结或热压或热变形法制备得到的富含丰度稀土永磁，以轻稀土钕镨为主体组成晶界扩散合金源。在富含丰度稀土永磁中，因其更复杂多样化的晶界相成分及分布(不同 La、Ce、Y 及其复合磁体间的差异)，富 Nd/Pr 的扩散源及其合金元素会在 SPS 扩散过程中，与原有晶界相间发生相变及元素互扩散，导致扩散系数大幅提高；高丰度稀土元素扩散形成连续的薄层晶界相，富铁的新晶界相降低了薄层连续晶界相中的铁含量，Nd/Pr 扩散在主相晶粒外延层形成富钕镨的硬磁壳层，显著提高磁体的矫顽力和剩磁。本发明构筑了一种“理想磁体”的元素分布：晶粒核心富 La、Ce、Y，晶粒壳层富 Nd、Pr，非铁磁性的连续薄层晶界相隔绝相邻晶粒间的铁磁耦合。这种理想磁体 La、Ce、Y 取代量最高达 80wt%，兼具高矫顽力和高剩磁，充分

合理地利用各类稀土元素的交互效应，包括 La、Ce、Y 及其复合磁体的元素偏析/晶界相成相/价态调控等交互作用，包括 Nd、Pr 基扩散与富高丰度稀土永磁间的元素传质/相变/磁耦合等交互作用，还包括扩散表层到内部不同深度组织结构间的磁耦合/磁隔离效应。

2) 本发明基于放电等离子烧结技术进行晶界扩散。SPS 晶界扩散是构建上述“理想磁体”元素分布的有效手段，加热过程中叠加磁体本身的相变，额外施加了电流、等离子及压力的影响，能够提高元素的扩散系数，磁体内部形成高速扩散通道，加速稀土及合金元素进入磁体深处，内禀磁性更优异的 Nd、Pr 进入晶粒壳层，且趋于以晶界扩散为主，加速相变，从而提高元素的扩散深度，磁性能及其温度稳定性均显著提高，因而成为一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法。

3) 本发明利用放电等离子烧结技术升温速度快，加热时间短的特点，大幅抑制扩散过程中的晶粒长大。不同于一般金属材料的 SPS 烧结，通过 SPS 扩散实现均匀细晶组织对于富高丰度稀土永磁具有特殊意义。富高丰度稀土永磁中复杂新晶界相的引入，加剧液相烧结，晶粒异常长大问题尤其突出。本发明通过 SPS 扩散参数与初始磁体成分、晶界相组织结构、主相晶粒成分分布等相匹配，与晶界扩散源成分、元素迁移传质、合金化元素参与复杂相变等相匹配，可避免扩散后磁体表层-内部区域间形成粗晶-细晶过渡区，实现均匀细晶组织。并且在 SPS 真空环境下进行晶界扩散，及时排出合金扩散源(尤其是氟化物、氮化物、氢化物)由于高温放电产生的气体杂质，促进元素扩散迁移，也更适用于易氧化的富高丰度稀土永磁，提高磁体的矫顽力。

4) 本发明提出的扩散方法，消耗较少的轻稀土元素，不用昂贵的重稀土元素，制备得到的磁体磁性能达到或超过传统钕铁硼，其成本却降至钕铁硼的三分之一甚至更低，从而充分发挥富高丰度稀土永磁集高磁性能、低价格、不依赖于紧缺稀土元素于一体的优势，促进绿色清洁能源的开发(风力发电)和利用(电动汽车)等。

通过人工筛选及结果，我们未找到完全符合委托人技术指标要求的专利，这可能与申请人在撰写专利申请文件时兼顾了技术保密性有关，但是我们还是挖掘出了以上可通过晶界扩散的方法使较厚的烧结钕铁硼磁体(大于等于 10mm)或大块稀土永磁材料(10~60mm)提高矫顽力的重点专利。我们对这些重点专利进行了解读，以供委托人参考。

七、专利现状总结及专利战略建议

通过专利技术领域全景分析，得知该技术领域申请量一直处以上升趋势，受到的关注度也较高，但从专利申请总量及申请人数量来看，仍处于发展阶段中的萌芽期，适合进入。目前，该项技术主要来源于日本和中国，且日本占绝对的优势，但中国在专利布局方面太过单一，大部分布局在中国，建议中国企业加强海外专利布局，提升国际市场竞争力。

通过专利技术领域申请人分析，发现：（1）国外，日本的日立金属株式会社和 TDK 株式会社持有专利总量最多；国内，福建省长汀金龙稀土有限公司和厦门钨业股份有限公司专利持有量最多。企业在进行专利申请或布局的时候应该重点关注这四家公司；（2）越来越多的企业或者机构已关注到这个领域，竞争愈来愈激烈，同时我们注意到新进入该技术领域的机构有江西理工大学。江西地方政府等相关部门可以将具有冶金工程、矿业工程优势学科的江西理工大学作为江西在该技术领域进行突破的重点扶持机构；（3）该技术领域内，合作意愿比较强烈的企业有 TDK 株式会社、日立金属株式会社、厦门钨业股份有限公司、福建省长汀金龙稀土有限公司、信越化学工业株式会社。我们发现这些合作意愿比较强的企业也即为该技术领域专利持有量比较多的企业，因此，企业间的合作也是提高创新能力的一有效措施。

我们从引用次数、专利家族规模、权利要求数量、市场价值四个维度挖掘出了该技术领域的一些重点专利以供企业参考，同时，还根据委托方的具体技术指标要求进行了人工筛选及重点专利解读，希望能给予委托方技术启示，加快突破关键核心技术，解决“卡脖子”问题。

主编：梅小峰 胡华爱； **副主编：**黄赞梅 袁芳； **责任编辑：**刘雪兰 康小丽

呈报：校领导班子成员

主送：校内各部门、各学院、各科研机构

2021年9月26日编印
