

基于专利分析非晶合金技术发展趋势

黄道清

(上海应用技术大学经济与管理学院, 上海 200235)

摘要: 为揭示全球行业内主要创新主体和技术引领者,并对中国产业政策制定和企业技术创新战略提供指导,基于对专利数据的研究,提出一个七维专利分析框架,对全球非晶合金产业技术发展趋势进行深入分析。通过专利检索和统计数据,识别出非晶合金专利申请发展趋势、创新区域、流向分布、创新主体、创新类别、创新热点和新兴产业分析等主题。研究发现,近年来非晶合金专利申请量呈现下降趋势,尤其在亚洲地区表现明显。

关键词: 非晶合金; 专利分析; 技术发展趋势; 七维专利分析框架

中图分类号: F41; F49 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)05-0143-08

非晶合金,亦称金属玻璃,是一种具有独特短程有序而长程无序原子排列的新型金属材料,这类材料因其独特的微观结构,展现出卓越的力学性能,如高强度、高硬度以及优异的耐磨和耐腐蚀特性,在多个领域得到应用^[1]。①高性能结构材料。用于制造要求高强度和高弹性的材料,如防弹材料、航空航天装备等^[2]。②软磁材料。因其低矫顽力、高磁导率等特性,在变压器、电机等领域有广泛应用^[3]。③催化材料。非晶合金的高活性位点使其在石油工业、环保等领域得到应用^[4]。④制造业基础材料。用于制造柔性齿轮等,具有结构简单、传动比大、体积小、寿命长等优点^[5]。

非晶合金产业的技术发展可概括为以下几个阶段:①起源期(1960年)。Kiemert等^[6]在《Nature》发表文章,首次报道通过快速凝固技术偶然获得 Au-Si 非晶合金,开启金属玻璃研究。②起始发展期(1970—1980年代初)。Chen等^[7]用水淬法制备出 Pd-Cu-Si 块体非晶合金。Kui等^[8]发明助溶剂包裹方法,制备出更大尺寸的 PdNiP 和 Pt 基非晶合金。③突破与创新期(1980年代末)。Inoue等^[9]通过合金成分设计和金属铜模浇铸方法,开发出多组元块体非晶合金,如 La-Al-Ni-Cu、Mg-Y-Ni-Cu、Zr-Al-Ni-Cu 等,推动非晶合金研究进入新阶段。④产业化探索期(1990年代)。Peker和Johnson^[10]创立液态金属技术公司,生产 Vitreloy 牌锆基非晶合金,应用于高尔夫球杆头等产品,并于 2002 年在纳斯达克上市。⑤稳步发展期(21 世纪以来)。国内外研究者在非晶合金

微观结构、剪切带形成机制、断裂行为等方面进行系统研究,推动合金材料性能优化^[11]。全球非晶合金发展概况如图 1 所示。

非晶合金的制备技术经历了从传统的快速凝固工艺到现代的声、热、光及多能量场耦合技术的演变,这些技术的运用有助于克服传统快速凝固过程中的局限性,从而实现非晶合金的高效制造与成

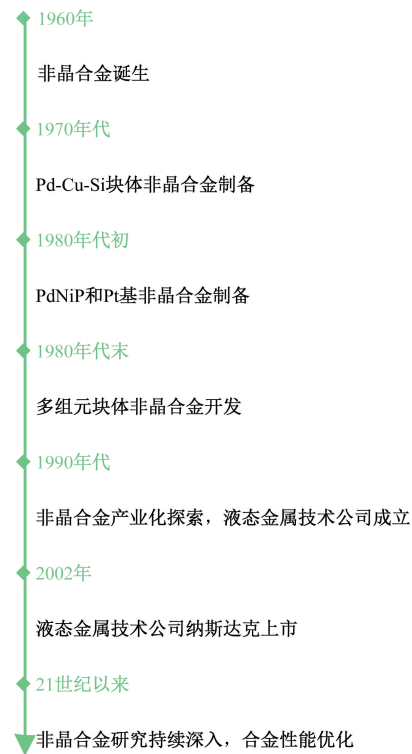


图 1 全球非晶合金发展概况

收稿日期: 2024-09-18

作者简介: 黄道清(1995—),女,安徽六安人,硕士研究生,研究方向为知识产权。

型。在军事、航天、机器人技术、精密模具制造以及 5G 通信等高新技术领域,非晶合金的应用前景广阔。全球范围内,非晶合金的研究与开发经历了数个高潮期,技术进步呈现出明显的国际合作与竞争特征。美国、日本和韩国等国家早期在非晶合金领域投入了大量资源,推动了相关产业的发展。进入 21 世纪后,中国的非晶合金研究领域迅速崛起,通过持续的科研投入和创新能力的提升,不仅在技术上追赶了日本、美国等国家,而且在专利申请量上已经位居全球首位。

尽管非晶合金技术取得了显著进展,但在产业化过程中仍面临诸多挑战:①技术创新与研发瓶颈。非晶合金的基础科学问题,如玻璃转变机制^[12]、形变机制^[13]、非晶结构模型^[14]以及结构与性能关系^[15]等,仍然是制约其发展的最大瓶颈。这些问题的复杂性要求新的科学理论、模型和研究方法。②产业转化难题。科研成果在转化为实际产业应用时存在“死亡谷”,即许多科研成果由于各种原因难以实现产业化。这需要人才、技术、资本和管理的有机结合。③国际竞争力不足。尽管中国非晶合金专利申请量上位居全球首位,但缺乏具有国际竞争力的领军企业,这限制了非晶合金在全球市场的竞争力。④市场应用范围有限。目前非晶合金的应用市场虽然庞大,但许多应用仍基于国外早期开发的体系,国内研发的新体系尚未得到广泛规模应用。⑤产业化进程中的低端竞争。在非晶合金粉末产品领域,由于部分企业在人才、设备、工艺及应用研究方面的不足,可能会导致低端市场的恶性竞争。⑥高技术含量高附加值产品的研发与应用。虽然非晶合金在医疗器械、航天核电、国防军工等领域有巨大潜力,但这些领域的高技术含量产品的研发和应用仍需进一步推动。⑦新工艺技术的推广与应用。例如非晶带材的新工艺技术,虽然能够提高产品性能和附加值,但这些新技术的推广和应用仍面临挑战。⑧国际合作与竞争。非晶合金技术发展呈现国际合作与竞争并存的局面,如何在国际舞台上保持竞争力,同时促进技术交流与合作,是非晶合金产业需要考虑的问题。

为了促进非晶合金产业的可持续发展,中国政府在 2020 年 12 月通过《变压器能效提升计划(2021—2023)》^[16]等政策,推动高效节能变压器及相关新材料的创新与应用,为非晶合金产业的发展提供了有力的政策支持,但如何将这些政策更好地与市场结合,推动非晶合金产业的可持续发展,仍

然是一个长期的过程。

基于此,通过收集和分析全球范围内非晶合金专利数据,揭示该领域技术发展趋势和创新特点,比较不同国家及地区在非晶合金技术研发方面的差异和优势,并探讨中国在该领域的发展策略,具有重要现实意义。通过对专利数据的深入挖掘,期望能够为中国非晶合金产业技术创新和市场布局提供支持和指导。

1 数据来源与研究设计

1.1 数据来源

为了深入分析全球非晶合金产业技术创新情况,基于 incoPat 专利数据库,对 2004 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日,全球非晶合金领域专利申请进行系统性分析。检索日期设定在 2024 年 5 月 25 日,共检索到 18 657 项相关专利,申请号合并后得到 15 672 项专利,简单同族合并后得到 11 060 个专利族。数据收集方面,检索关键词包括“非晶合金”“金属玻璃”“Metallic Glasses”等,结合 IPC 分类号进行精细化筛选,确保数据准确完整。数据处理方面,首先对收集到的专利数据进行清洗整理,去除重复无关数据,以揭示非晶合金技术创新热点和趋势。同时通过统计分析方法对专利申请量、申请趋势、地域分布、申请人排名等进行分析,以了解全球非晶合金产业技术创新竞争格局。

1.2 研究设计

国内外学者广泛研究证实,专利数据作为关键且有效的信息资源,对于剖析产业技术创新格局具有显著价值。在深入研读并反思相关学术成果基础上,提出一个七维度分析框架,用以探讨产业技术创新研究,见表 1。

表 1 基于专利维度的产业技术创新研究

维度	含义
技术发展趋势	专利申请年度分布揭示了技术领域演进的历史轨迹和未来趋势
技术创新区域	专利申请区域分布揭示了地理及类型分布,为全球技术布局分析、市场策略制定及发展方向规划提供依据
技术流向分布	专利申请流向分布分析有助于洞察知识产权流动,优化资源配置,指导战略决策
技术创新主体	专利申请主体分布揭示了各自技术领域内参与者的研发实力和最新动态
技术创新类别	专利申请分类反映了技术领域系统化结构,为知识产权管理、趋势分析和政策制定提供框架
技术创新热点	专利申请 IPC 热点分布为技术趋势预测与研发方向定位提供科学依据
技术产业分析	专利分析帮助揭示产业链中的关键环节和价值链,指导企业进行产业链的优化和升级

2 技术创新研究

2.1 技术发展趋势

全球非晶合金领域近 20 年专利申请趋势显示, 2017 年之前呈现稳步增长; 2017 年达到申请高峰, 被学界普遍认为是非晶合金技术发展元年。随后专利申请数量呈现逐年下降的趋势, 如图 2 所示。2023 年数据显示, 全球专利总申请量仅 373 项, 与 2005—2008 年申请数量相当。中国非晶合金专利申请数量在 2007 年呈现明显增长趋势, 同样在 2017 年跃居全球首位。虽然当前中国申请数量仍稳居世界第一, 但是同样免不了近几年申请态势出现回落。包括美日韩在内的非晶合金研究领域主要国家, 多年来专利申请数量并未出现改善现象,

反而逐年式微。尤其在 2023 年, 3 国专利申请数量总和竟不及 20 项, 全球非晶合金研究领域, 仍存在新一轮明显挑战。

2.2 技术创新区域

图 3 提供了非晶合金产业专利分布全球视图, 揭示了不同国家和地区在该产业的创新活动和市场参与度。全球共有 11 060 项非晶合金相关专利, 在 57 个国家或地区公开, 有 8 个国家或地区专利公开数量占到了总数的 1% 以上。由图 3 可见, 中国以 6 660 项专利遥遥领先, 占据了全球 60.21% 的比例, 展示出中国在非晶合金领域显著的研发实力和市场潜力。美国以 1 117 项专利位居第 2, 占比 10.10%, 而日本以 991 项专利紧随其后, 占 8.96%。

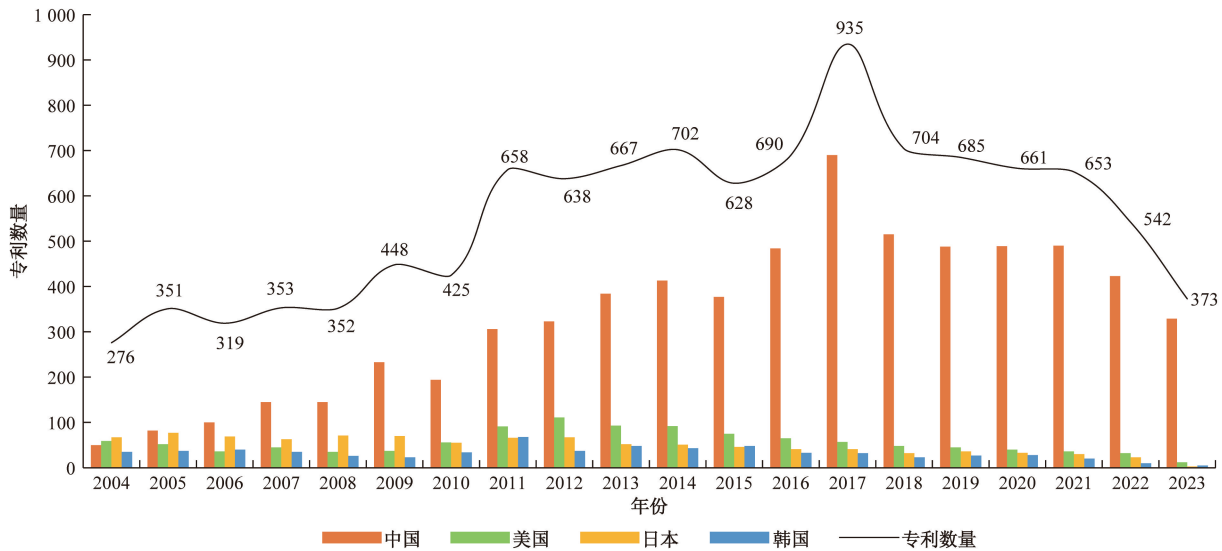


图 2 全球非晶合金 2004—2023 年主要国家专利申请趋势

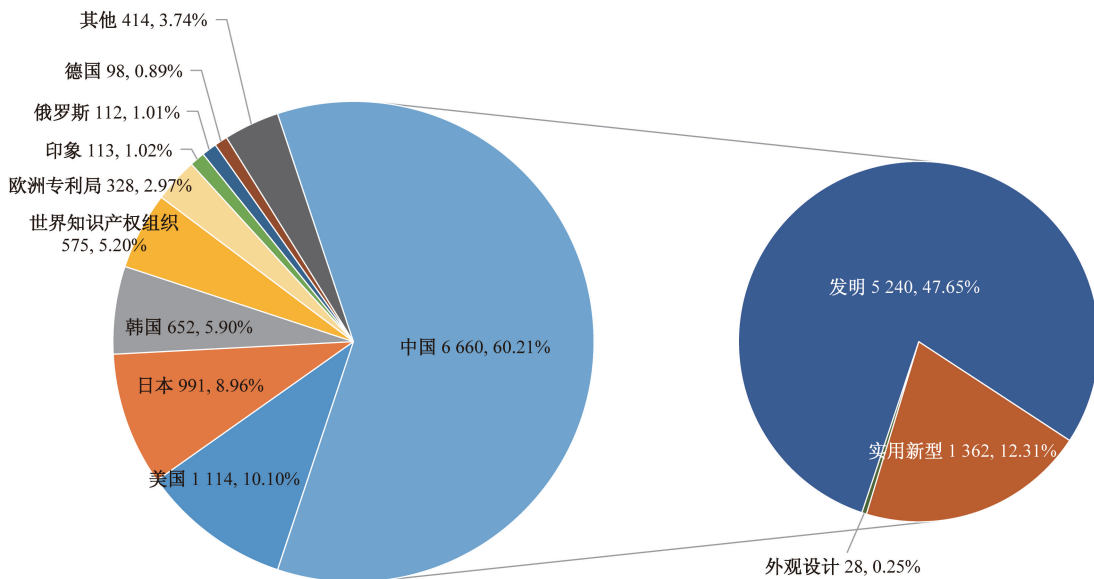


图 3 全球非晶合金专利公开地域、类别分布

韩国和世界知识产权组织 (WIPO) 也值得关注, 分别以 652 项和 575 项专利位列其后。此外, 欧洲专利局、印度、俄罗斯等国申请的专利也显示了一定的研发活动。专利类型包括发明、实用新型和外观设计, 其中中国发明专利以 5 270 项和 47.65% 的比例占据主导地位, 表明了技术创新在非晶合金产业中的重要性。

2.3 技术流向分布

图 4 显示了全球非晶合金领域专利申请的地理分布情况, 其中左侧代表专利申请人国籍, Y 轴代表专利公开国别。图 4 各分支流量变化映射了专利数量动态变化。图表数据显示, 绝大多数 (超过 90%) 的中国申请人偏好在本国提交专利申请, 而在国际层面上的专利申请活动相对较少。韩国的专利申请大约 2/3 在本国进行, 而日本仅有近一半的专利申请是在本国提交, 其余申请活动则更倾向于欧美市场。相比之下, 美国仅有不足 45% 的专利申请是在本国进行, 美国申请人在多个国家和机构的专利布局显示出其在全球范围内的广泛参与。

2.4 技术创新主体

在图 5 中呈现的非晶合金领域全球专利申请人排名显示, 申请人主要分为企业与科研机构两大类创新体。在前 10 位的主要申请人中, 中国企业与科研机构占 7 位, 美国占 2 位, 而日本占 1 位。日本虽只有一家企业上榜, 但是纵观全球非晶合金领域发展历程, 日立金属相关研发追溯到 20 世纪 80 年代,

在全球发展中起到了绝对引领作用。中国同样非常重视非晶合金领域技术布局, 特别是比亚迪、中科院金属所、位列世界前 3, 占据核心地位。美国加州理工学院至少从 20 世纪 60 年代就参与了非晶合金研究, 玻璃金属公司作为美国高科技制造企业, 同样在全球科研中贡献出了巨大力量。

图 6 通过韦恩图的形式, 揭示了全球非晶合金领域专利申请中涉及的主要申请人及相互关系。申请人被归类为 4 种主要类型: 企业、学校、个人、科

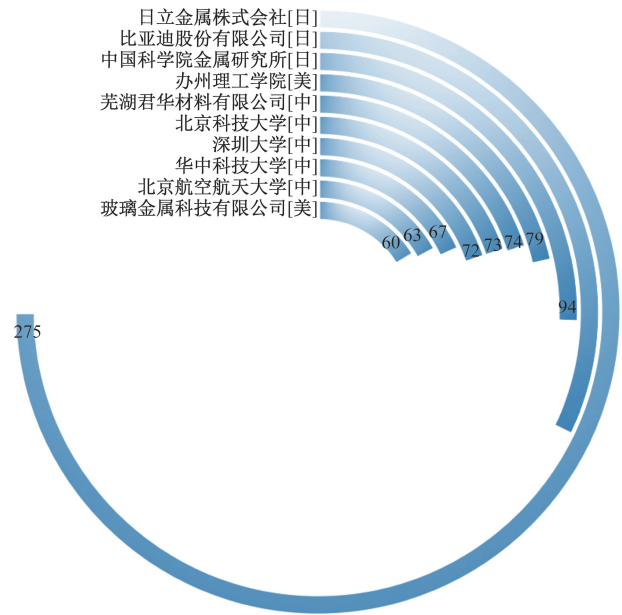


图 5 全球非晶合金专利申请人专利数量前 10 位排名

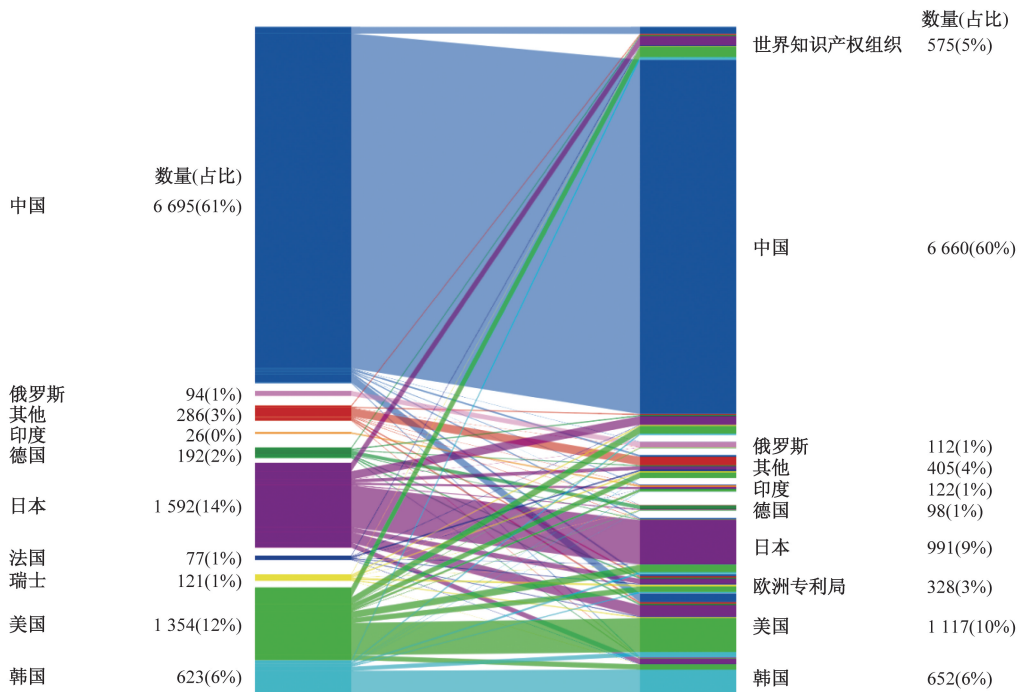


图 4 全球非晶合金产业专利技术流向图

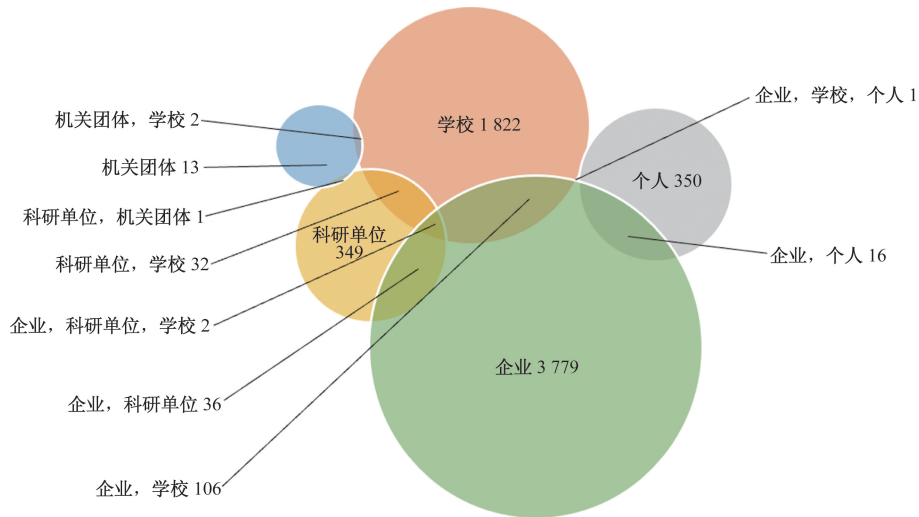


图6 全球非晶合金专利主要申请人类型及其专利数量

研单位及机关团体。各集合的面积直观反映了各申请人类型在非晶合金技术领域的活跃度,集合间的交集部分则表示涉及多重申请人的专利数量。企业申请人在专利申请中占据主导地位,表明企业在非晶合金技术研发和商业化过程中发挥了核心作用。企业与学校的交集显示了产学研合作的紧密性,学校申请人的专利申请活跃,突显了学术界在基础研究和人才培养上的重要贡献。科研单位申请人的专利申请也占据了一定比例,反映了科研机构在推动技术革新和应用研究方面的积极作用。个人申请人在专利申请中所占的比例同样不可忽视,其在创新发明和小型研发项目中起到了显著促进作用。相比之下,机关团体申请人在非晶合金领域专利申请较少,其参与可能与政策支持、行业标准化或监管活动相关。

2.5 技术创新类别

表2展示了非晶合金技术领域在国际专利分类(IPC)主分类下的主要分区,及各技术领域对应的专利数量,涵盖从磁性材料到半导体器件等多个与非晶合金相关的专利分类。H01F类别涵盖了涉及磁体、电感元件、变压器及磁性材料选择等技术领域,以总计2446项专利登记量位居榜首,凸显了该领域在非晶合金技术发展中的领先地位。紧随其后的是C22C类别,该类别专注于合金技术,共记录了2364项专利,进一步证实了非晶合金在合金技术研究与应用中的显著地位。此外,B22D类别,涉及金属铸造及相关工艺,C23C类别,关于金属材料表面处理技术,以及B22F类别,包括金属粉末加工和制品制造,均展现了非晶合金技术的跨学科特性

表2 全球非晶合金技术领域分区

IPC 主分类	技术领域	专利数量
H01F	磁体;电感;变压器;磁性材料的选择	2 446
C22C	合金	2 364
B22D	金属铸造;用相同工艺或设备或其他物质的铸造	687
C23C	对金属材料的镀覆;用金属材料对材料的镀覆;表面扩散法,化学转化或置换法的金属材料表面处理;真空蒸发法、溅射法、离子注入法或化学气相沉积法的一般镀覆	386
B22F	金属粉末的加工;由金属粉末制造制品;金属粉末的制造;金属粉末的专用装置或设备	356
B23K	钎焊或脱焊;焊接;用钎焊或焊接方法包覆或镀敷;局部加热切割,如火焰切割;用激光束加工	247
C21D	改变黑色金属的物理结构;黑色或有色金属或合金热处理用的一般设备;使金属具有韧性,例如通过脱碳或回火	205
B01J	化学或物理方法,例如,催化作用或胶体化学;其有关设备	191
H01L	半导体器件;其他类目中不包括的电固体器件	172
H02K	电机	171
...

和广泛应用范围。特别是H01F和C22C两个类别的高专利登记量,呈现出明显时间依赖性趋势,突显了非晶合金在磁性材料和合金技术方面的研究活跃度,表明了这两个领域是非晶合金技术开发热点,可能也是未来技术突破和产业应用的重要方向。

2.6 技术创新热点

图7以热力图可视化形式,展示了全球非晶合金专利申请IPC热点分布情况。采用5年为一个周期,将2004—2023年公布的专利申请IPC热点

前 10 名分为 4 个连续阶段进行分析。图中的数据点通过不同颜色深浅表示专利申请密集程度,颜色越深表示该 IPC 分类下专利申请数量越多,反映出该领域研究活跃度和技术发展水平。从图 7 中可以看出,2004—2018 年,C22C45/00(非晶态合金)和 C22C45/02(铁作主要成分的非晶态合金)专利申请量持续高位。2019—2023 年,两者均伴有小幅下降趋势。2004—2008 年,C22C45/10(铜、钨、铌、钽、钛或钴作主要成分的;含纤维或细丝的合金)专利申请量不足 C22C45/02 半数,2014—2018 年却跃居榜首,反映出该技术领域研究和开发活跃度正在迅猛增加。2004—2008 年,H01F27/24(磁芯)和 H01F27/26(把磁芯部件紧固在一起;磁芯在外壳或支架上的固定或安装)专利申请量表现平庸,2009—2018 年急剧攀升,并在 2019—2023 年出现明显回落,说明非晶合金在磁芯应用领域技术创新还未稳固,有待进一步深入探索。H01F1/153(非晶态合金,如金属玻璃)、B22D11/06(注入带移动壁的铸型,如用辊子,板,皮带,履带)、H01F41/02(用于制造磁芯、线圈或磁体的设备或方法)、H01F27/30

IPC 热点	C22C45/02	122	140	190	138
	C22C45/00	137	137	138	98
	C22C45/10	59	113	193	145
	H01F27/26	14	125	107	52
	H01F27/24	38	93	118	33
	H01F1/153	29	42	90	77
	B22D11/06	27	46	100	52
	H01F41/02	12	30	84	79
	H01F27/30	12	47	78	19
	C22C45/04	21	34	51	23
	2004—2008年	2009—2013年	2014—2018年	2019—2023年	
	专利数量				

图 7 全球非晶合金专利申请 IPC 热点

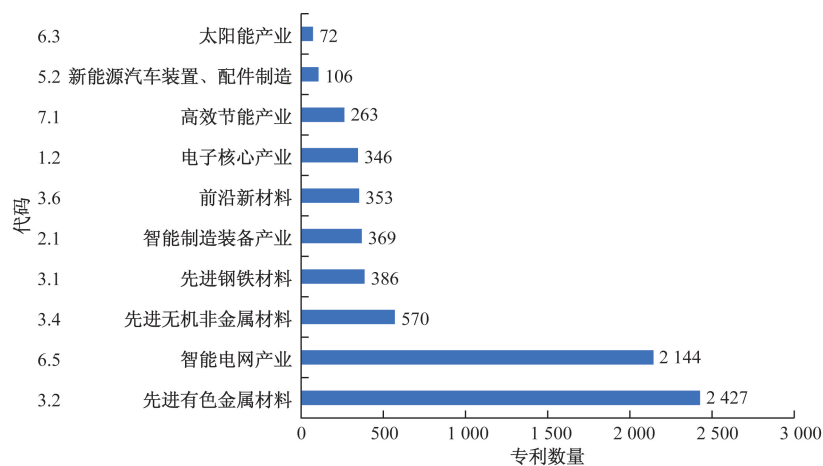


图 8 全球非晶合金新兴产业分类

(把线圈、绕组或其部件固定或夹紧在一起;线圈或绕组在磁芯、外壳或其他支架上的固定或安装)、C22C45/04(镍或钴作主要成分的合金)等类别,相对其他分类而言专利申请较少,研究活跃度较低,或者尚未成为研究主流方向。

2.7 技术产业分析

图 8 基于新兴产业分类维度,列举了全球非晶合金专利申请数量排名前 10 所属的产业类别。从专利申请数量来看,非晶合金在先进有色金属材料这一领域的专利申请数量最高,达到 2 427 项。这可能与非晶合金的高强度、高硬度、耐腐蚀等特性有关,这些特性使其在有色金属材料的改进和创新中具有重要价值。智能电网产业以 2 144 项专利申请位居第 2,非晶合金在智能电网中的应用主要体现在变压器和电机的高效能、低损耗特性上。非晶合金变压器因其高效率和环保特性,在智能电网建设中的重要地位。先进无机非金属材料专利申请数量陡降至 570 项,非晶合金在无机非金属材料中的应用可能涉及材料的改性,如提高耐磨性、耐腐蚀性等,但相对于有色金属和智能电网,其应用范围和深度可能较为有限。太阳能产业专利申请数量最少,仅为 72 项。非晶合金在太阳能产业中的应用可能相对较新,或者技术门槛较高,导致专利申请数量较少。但随着太阳能技术的不断进步,非晶合金在提高太阳能电池效率、降低成本等方面可能有新的突破。

3 结论与展望

3.1 研究结论

系统梳理了 2004—2023 年全球非晶合金技术创新专利数据。并在申请趋势、区域及流向分布、创新主体、热点专利识别等维度揭示全球非晶合金

产业发展态势和专利布局,得出以下结论。

(1)中国、日本、美国和韩国是非晶合金技术主要技术来源国。尽管中国在专利申请量上占据显著地位,成为该领域主要技术贡献者,但日本和美国等发达国家通过其全球专利布局,展现了对市场的影响力和控制力,实际在全球非晶合金技术领域占据领先地位。但从整体来看,2017年至今,全球非晶合金技术创新仍处于相对停滞阶段,专利申请有明显下滑趋势。目前 H01F 和 C22C 两个类别的专利仍保持相对较高的申请态势,有望在未来实现新的技术突破。

(2)进一步分析全球非晶合金专利申请情况,申请人类型主要集中在企业,表明企业在该技术领域创新活动中扮演着核心角色。然而,这种以企业为主导的申请人结构可能导致创新主体多样性不足,限制跨领域合作创新的可能性。企业间合作、学术界与产业界协同以及国际合作缺乏,可能阻碍非晶合金技术多元化创新路径探索。

(3)中国非晶合金技术专利申请主要流向国内,反映出中国在该领域技术交流与合作的局限性。大量国内技术流向意味着中国申请人在国际舞台上活跃度不足,缺乏跨国界技术交流与合作。不仅限制中国非晶合金技术的全球影响力,也可能错失通过国际合作加速技术成熟和市场拓展的机会。

3.2 研究展望

中国非晶合金产业在未来的研究与发展中,应着重关注以下几个关键领域。

(1)加大基础研究投入,鼓励企业和研究机构进行长期合作,共同开展非晶合金的基础科学研究。建立国家级非晶合金研发中心,集中资源进行技术攻关。引入和培养高水平的科研人才,加强国际交流与合作,引进国外先进技术和管理经验。

(2)建立完善的科技成果转化机制,提供政策和资金支持,鼓励科研成果的产业化。搭建产学研用平台,促进科研成果与市场需求的对接。为初创企业和中小企业提供孵化器和加速器服务,帮助他们快速成长。

(3)培育具有国际视野的企业和品牌,支持他们参与国际市场竞争,提高产品质量和技术水平,满足国际标准的需求,加强国际合作,通过技术交流合作提高国际竞争力。

(4)开拓新的应用领域,如新能源汽车、可再生能源、航空航天等。加强市场调研,了解不同行业

的需求,开发适应市场的新产品。通过政策引导和市场推广,提高非晶合金在各行业的知名度和接受度。

(5)提高行业准入门槛,避免低水平重复建设,鼓励企业进行技术创新和产品升级,提升产品附加值,加强行业自律,规范市场秩序,避免恶性竞争。

(6)聚焦高端市场,开发具有自主知识产权的高技术含量产品,加大研发投入,特别是在新材料、新工艺、新设备等方面,与下游应用行业紧密合作,开发满足特定需求的定制化产品。

(7)通过示范项目和试点工程,展示新工艺技术的优势,提供技术培训和咨询服务,帮助企业掌握新工艺技术,通过政策激励,鼓励企业采用新工艺技术。

(8)积极参与国际标准制定,提升中国在非晶合金领域的国际话语权,通过国际展会、技术交流会等方式,展示中国非晶合金的技术和产品,建立国际合作平台,与国外企业和研究机构开展合作项目。

(9)加强数字化转型,通过收集和分析非晶合金产业的大数据,企业可以更好地理解市场需求,预测市场趋势,为决策提供支持。利用数字技术,如人工智能、物联网等,推动非晶合金产业的数字化转型,提高生产效率和产品质量。

(10)注重环保和可持续性,开发环境友好型的非晶合金材料和产品,非晶合金因其高强度、高硬度、高弹性等特性,在制造业中可替代部分传统材料,实现产品的轻量化和性能提升,有助于推动制造业的绿色转型。

总之,解决非晶合金产业化过程中的挑战需要政府、企业、研究机构和市场的共同努力,通过政策支持、技术创新、市场开拓、国际合作等多方面的措施,推动中国非晶合金产业的健康发展。

参考文献

- [1] 汪卫华. 金属玻璃的过去、现在和未来 [J]. 自然杂志, 2022, 44(3): 173-181.
- [2] 高书刊, 王国迪, 李江华, 等. 非晶复合材料制备工艺及应用研究 [J]. 热加工工艺, 2022, 51(6): 6-10.
- [3] 计植耀, 马跃, 王清, 等. 高性能软磁合金的研究进展 [J]. 材料工程, 2022, 50(3): 69-80.
- [4] 田霖, 李春燕, 翟建树, 等. 非晶合金的功能性研究进展 [J]. 稀有金属, 2021, 45(8): 998-1009.
- [5] 韩磊, 明平美, 孔泽宇, 等. 金属玻璃微制造技术现状与研究进展 [J]. 精密成形工程, 2022, 14(3): 40-49.
- [6] KLEMENT W, WILLENS R H, DUWEZ P. Non-crys-

- talline structure in solidified gold-silicon alloys [J]. *Nature*, 1960, 187: 869-870.
- [7] CHEN H S, KRAUSE J T, COLEMAN E. Elastic constants, hardness and their implications to flow properties of metallic glasses [J]. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1975, 18(2): 157-171.
- [8] KUI H W, GREER A L, TURNBULL D. Formation of bulk metallic glass by fluxing [J]. *Applied Physics Letters*, 1984, 45(6): 615-616.
- [9] INOUE A, TAKAHASHI Y, OKAMOTO S, et al. Superconducting properties of metastable bcc solid solution in melt-quenched Zr-Ge binary alloys [J]. *Science Reports of the Research Institutes*, 1983, 31: 148-162.
- [10] PEKER A, JOHNSON W L. Method of forming beryllium bearing metallic glass: US 5368659 [P]. 1994-02-18.
- [11] 柯海波, 周靖, 童星, 等. 非晶物质的前沿发展现状与未来展望[J/OL]. *科技导报*, 1-18[2024-08-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1421.N.20240710.1118.006.html>.
- [12] SUN X, LIU Y, ZHENG D, et al. Unveil the brittle-flexible transition mechanism of partially dealloyed Ni-Zr-Ti metallic glasses [J]. *Corrosion Science*, 2024, 235: 112225.
- [13] HAN R C, SONG H Y, HAN L, et al. Atomistic insights on the deformation mechanisms of amorphous/crystalline dual-phase high entropy alloys under nanoindentation [J]. *Journal of Materials Research and Technology*, 2023, 25: 6027-6038.
- [14] 葛嘉城, 刘思楠, 兰司, 等. 破解非晶结构之谜: 连接非晶态和晶态的中程序结构单元 [J]. *自然杂志*, 2022, 44(1): 57-71.
- [15] 李龙丰, 郭威, 吕书林, 等. 脱合金工艺对混杂增强非晶复合材料组织与性能的影响 [J]. *中国有色金属学报*, 2024, 34(7): 2283-2292.
- [16] 工业和信息化部办公厅 市场监管总局办公厅 国家能源局综合司关于印发《变压器能效提升计划(2021—2023年)》的通知 [EB/OL]. (2020-12-22) [2024-09-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-01/17/content_5580512.htm.

Development Trend of Amorphous Alloy Technology Based on Patent Analysis

HUANG Daoqing

(School of Economics & Management, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China)

Abstract: In order to reveal the main innovation subjects and technology leaders in the global industry, and provide guidance for China's industrial policy formulation and enterprise technological innovation strategy, a seven-dimensional patent analysis framework was proposed to analyze the technological development trend of amorphous alloy industry based on the study of patent data. Through patent search and statistical data, the development trend of amorphous alloy patent applications, innovation regions, flow distribution, innovation subjects, innovation categories and innovation hotspots were identified. It is found that the number of patent applications for amorphous alloys has shown a downward trend in recent years, especially in Asia.

Keywords: amorphous alloys; patent analysis; technology development trends; seven-dimensional patent analysis framework