

知识介绍

全球茂金属聚 α -烯烃技术进展的计量分析

孙玉琦^{1,2,3}, 魏 凤^{1,2,3*}, 周超峰^{1,2,3}, 丰米宁^{1,2,3}

(1. 中国科学院武汉文献情报中心, 武汉 430071; 2. 中国科学院大学经济与管理学院图书情报与档案管理学系, 北京 100190; 3. 科技大数据湖北省重点实验室, 武汉 430071)

摘要: 为了解全球茂金属聚 α -烯烃(mPAO)基础油关键制备技术发展现状和研究趋势, 采用文献计量法和专利分析相结合, 借助可视化软件 VOSviewer, 利用 Web of Science 核心数据库和 Incopat 专利数据库, 对截止到 2020 年底与 mPAO 技术相关的论文和专利进行分析, 绘制关键词共现图谱, 梳理国内外相关领域的规划和布局, 以分析当前研究热点及发展趋势。结果表明: mPAO 技术研究领域较新, 属于领域前沿性技术, 目前依然正处在快速发展时期; 从研究机构分布来看, 国内外有较大差异, 国外研究机构主要集中在美国、日本, 而国内研究相对分散, 尚未形成核心机构群。基于此, 预测出高黏度指数和低倾点的 mPAO 的全球需求将继续增加, mPAO 合成润滑油及其工艺将成为高级润滑油基础油的未来发展趋势。

关键词: 茂金属聚 α -烯烃; mPAO; 文献计量; 专利分析; 研究趋势

引言

上世纪七十年代, 聚 α -烯烃油合成技术在全球得到快速发展, 聚 α -烯烃开始逐步被作为润滑油投入商业化应用^[1~3]。聚 α -烯烃合成油受催化剂影响较大, 目前主要使用的催化剂有路易斯酸型催化剂^[4,5], 铬金属催化剂^[6,7]、离子液体催化剂^[8,9]、茂金属催化剂^[10,11]等。2010 年 5 月, 全球主要生产聚 α -烯烃的公司埃克森美孚, 使用茂金属催化剂工艺合成了新的高黏度聚 α -烯烃(SpectraSyn Elite), 被称为茂金属聚 α -烯烃(mPAO)。随后 Mazzoskalski、Sheehan 等学者开始对 SpectraSyn Elite(TM)展开相关研究^[12,13]。与传统 PAO 相比, mPAO 在剪切稳定性、低倾点和高黏度指数方面均表现出较好的效果, 且具有更好的氧化安定性和热稳定性^[14,15]。当前 mPAO 生产商均来自美国, 分别为埃克森美孚、雪佛龙菲利普斯化学公司和英力士公司。此外, 据统计, 2019 年全球茂金属聚烯烃的产量已超过 1000 万吨^[16]。与国外相比, 我国在 mPAO 领域研究起步较晚, 且以传统 PAO 产品为主, 而在高档 PAO 基础油的研发和生产方面, 仍处于跟跑状态。其中, 许健、马跃峰等^[17,18]学者以煤制 α -烯烃作为原料, 使用茂金属催化剂, 成功研制出了中黏度 PAO 基础油, 并对以煤烯烃为原料的 mPAO₈ 的制备和性能进行评价, 研究结果在一定程度上填补了我国中高端合成润滑油市场的空白。

为更全面地了解全球高端合成润滑油领域研究进展, 尤其是茂金属聚 α -烯烃基础油制备技术。本文将综合运用文献计量法、专利分析法、网络调研等情报学方法^[19,20], 借助 VOSviewer^[21]可视化软件, 聚焦全球高端合成润滑油领域中的茂金属聚 α -烯烃基础油制备技术, 重点分析 mPAO 制备相关技术, 从论文、专利及国内外相关发展规划和项目部署等方面展开研究, 结合关键词共现图谱, 分析其研究热点及发展趋势, 以期为我国茂金属聚 α -烯烃基础油关键制备技术提供参考和借鉴。

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.08.010

收稿: 2021-05-13; 修回: 2021-09-03;

基金项目: 国家电网公司总部管理科技项目“基于专利标准化的电力行业变革性技术应用发展策略研究”(1600-201940299A-0-0-00);

作者简介: 孙玉琦(1990-), 女, 博士研究生, 研究方向为情报学理论方法与应用。E-mail: sunyq@mail.whlib.ac.cn;

* 通讯联系人: 魏凤(1977-), 女, 博士, 研究员, 研究方向为情报学理论方法与应用。E-mail: weif@mail.whlib.ac.cn.

1 数据来源与研究方法

文献数据以 Web of Science 核心合集中的 SCI、ESCI 和 CPCI 数据库为来源,检索条件:TS=("Metallocene * poly- α -olefin * " or "Metallocene coal-based α -olefin * " or "Metallocene α -olefin * " or "Metallocene coal-based olefin * " or "synthetic base oil * " or "high-end Lubricant * " or "mPAO * " or "low viscosity PAO * "),文献类型为 Article,语种限定为英语,检索时间 2020 年 11 月 20 日,共计 115 篇论文。专利数据以 Incopat 数据库为来源,检索条件:(TS=(茂金属聚 α -烯烃) or (茂金属煤基 α -烯烃) or (茂金属煤制 α 烯烃) or (茂金属 α 烯烃) or (茂金属煤制烯烃) or 低黏度 PAO or 合成基础油 or 高端润滑油 or (mPAO) or (Metallocene poly- α -olefin)),检索时间 2020 年 11 月 20 日,经数据预处理后,共计 514 件专利。

2 研究结果

2.1 全球总体态势分析

全球茂金属聚- α 烯烃(mPAO)基础油关键制备技术总体发展呈现“W”增长态势,见图 1 所示,图中 2020 年数据不全,仅供参考。其中,在该技术发展初期,发文较早的 Lee^[22]使用微氧化试验对矿物和合成基础油的沉积物进行评估;Lauer^[23]详细对比了合成基础油和矿物油两者之间的稳定性。由于 mPAO 属于新兴领域,具有较高的技术壁垒,对该技术相关研究尚不成熟,文献总量相对较少,年度发文量变化幅度略小,峰值仅为 10 篇,反映出该领域在理论创新和技术突破方面仍需不断丰富和深化。

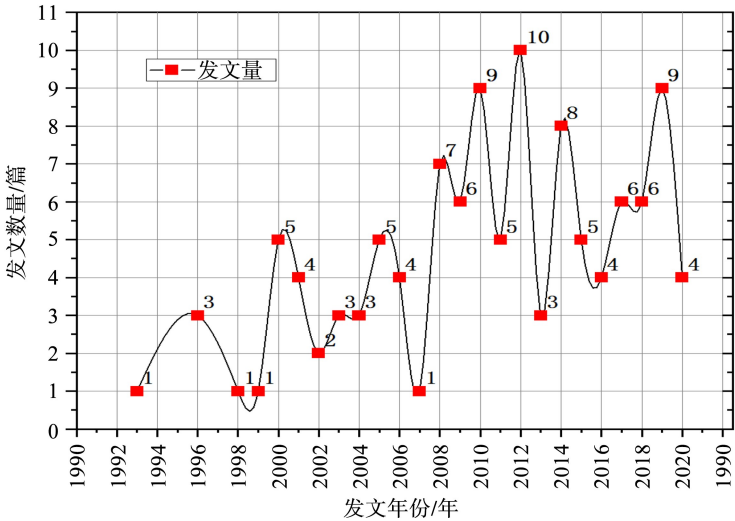


图 1 全球茂金属聚- α 烯烃(mPAO)研究发文趋势

Figure 1 Global metallocene poly- α -olefin (mPAO) research publication trends

2.2 全球发文机构分析

可通过作者发文量了解所在机构的学术影响力和科研实力,同时在一定程度上反映出该机构国际影响力和话语权,对研究机构(高校、科研院所)发文量和论文占比进行统计分析,见图 2。茂金属聚- α 烯烃(mPAO)基础油关键制备技术领域中文发文量前 10 位研究机构在全球分布较为广泛。其中,美国(15 篇)、意大利(10 篇)、中国(9 篇)位居发文量国别前三位,罗马第三大学(10 篇)、中国科学院(6 篇)、美国能源部(4 篇)、马来亚大学(4 篇)、加州大学系统(4 篇)以及芝加哥大学(4 篇)位居发文量研究机构前六位。由此可见,以美国为代表的欧美国家在该领域目前是主导研究力量。

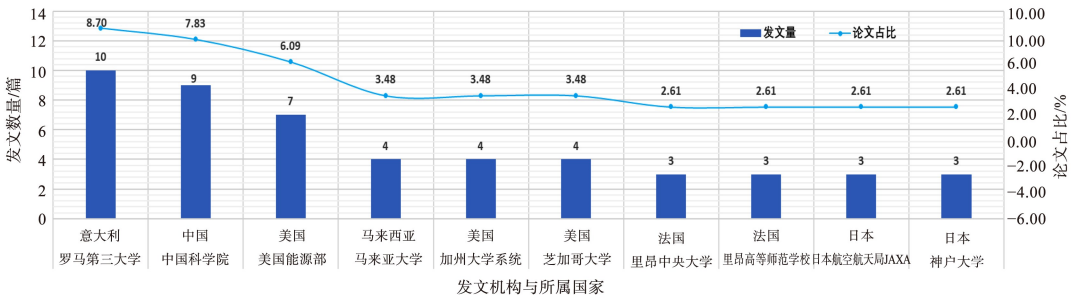


图 2 茂金属聚-α 烯烃(mPAO)基础油关键制备技术 Top10 机构发文量

Figure 2 The number of papers issued by Top 10 institutions for the key preparation technology of Metallocene poly-α-olefin (mPAO) base oil

2.3 全球主要机构引文分析

从他引次数和期刊影响因子两个指标综合分析以上发文机构的影响力和竞争力。由表 1 可知,在他引次数方面,平均他引次数前 5 的机构分别为美国能源部(70.00)、芝加哥大学(47.74)、神户大学(45.67)、里昂中央大学(42.7)和里昂高等师范学校(42.70);在期刊影响因子方面,期刊平均影响因子前 5 位的研究机构分别为美国能源部(7.82)、加州大学系统(5.95)、罗马第三大学(4.53)、芝加哥大学(4.13)和神户大学(3.75)。与国外相比,中国科学院在平均他引频次和期刊平均影响因子两方面排名均靠后,分别为第 10 位和第 9 位,可见国内在该领域的研究有待进一步加强。此外,该领域总发文量总体较少,影响力较大的发文机构主要集中在美国、意大利和日本,且以高校和科研机构为主,其中影响力较高的文章来自于美国能源部的橡树岭国家实验室发表于《ACS Applied Materials & Interfaces》期刊的《Antiwear Performance and Mechanism of an Oil-Miscible Ionic Liquid as a Lubricant Additive》^[24]。国内主要研究机构以中国科学院为代表,但其它研究机构影响力较弱,与国际其它研究机构实力差距较大。

表 1 主要发文机构影响力分析

Table 1 Influence analysis of major issuing agencies										
序号	机构	发文量	他引次数				期刊影响因子			
			最大值	最小值	平均他引次数	排名	最大 IF	最小 IF	平均 IF	排名
1	罗马第三大学	10	77	4	38.70	6	7.52	2.777	4.53	3
2	中国科学院	9	9	1	4.33	10	4.766	0.991	2.84	9
3	美国能源部	7	178	1	70.00	1	8.901	3.226	7.82	1
4	马来亚大学	4	24	1	14.50	8	5.207	1.292	3.42	8
5	加州大学系统	4	94	3	33.75	7	8.901	2.75	5.95	2
6	芝加哥大学	4	83	18	47.74	2	6.479	3.226	4.13	4
7	里昂中央大学	3	78	12	42.70	4	4.283	2.576	3.68	6
8	里昂高等师范学校	3	78	12	42.70	5	4.283	2.576	3.68	7
9	日本航空航天局 JAXA	3	13	3	9.67	9	1.898	1.898	1.90	10
10	神户大学	3	78	24	45.67	3	4.191	3.374	3.75	5

2.4 基于关键词的研究热点与趋势分析

对 115 篇论文中的 776 个关键词进行共现分析,关键词出现频率大于 2 次的共有 137 个,大于 4 次的共有 27 个,分别是多胺氧化物、合成基础油、摩擦力、基础油、油脂、聚酰胺、润滑油、124-三唑醇、抗氧化剂、边界润滑、过氧化氢、离子液体、拉曼光谱、航空润滑油等,可为分析 mPAO 的研究提供参考方向。

关键词共现时间展现出该技术研究热点的历史演化,通过对图 3 和图 4 中的共现关键词出现时间和密度进行分析发现,2006 年之后,过氧化氢、多胺氧化物、聚胺类、单胺氧化酶等关键词出现在化工领域中,如工业生产氧化物、活性剂的原理与技术;2012 年后,基因、细菌生物膜、蛋白质等关键词出现在生物领域中,成为该领域的研究热点之一;2014 年,边界润滑、酚类抗氧化剂、离子液体等关键词出现在高端润滑油制备领域中,反映出在该阶段的研究热点开始逐渐关注 mPAO 产品的各种应用性能和特性,如胶体稳定性、耐磨性、黏度梯度等。

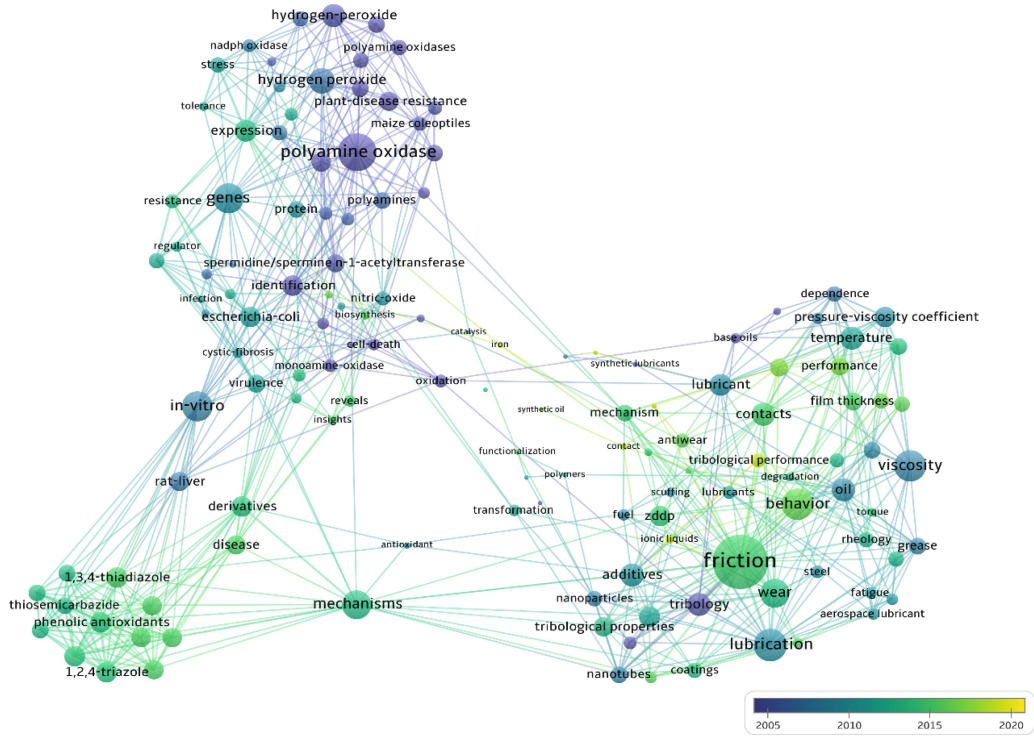


图 3 茂金属聚 α -烯烃(mPAO)研究热点趋势

Figure 3 Trends in research hotspots of metallocene poly- α -olefins (mPAO)

2.5 全球该领域技术专利分析

为明晰茂金属聚 α -烯烃(mPAO)基础油关键制备技术发展态势与分布状况,本节聚焦全球茂金属聚 α -烯烃(mPAO)相关技术专利,围绕专利技术特点、专利权人分布特征等内容开展相关分析。

2.5.1 总体态势分析

通过申请趋势,可以从宏观层面上了解分析对象在各个阶段的专利申请数量和热度变化。茂金属聚 α -烯烃(mPAO)基础油关键技术专利申请量总体呈现上涨趋势,特别是 2005 年之后,专利申请量快速上涨。具体来看,茂金属聚 α -烯烃(mPAO)基础油关键技术相关专利的发展主要分为三个阶段:第一阶段 1977~1994 年,属于技术的起步萌芽期,该阶段专利申请累计量较少,虽然申请量在 1989~1993 年有所增加,但总体较少;第二阶段 1995~2004 年,属于技术的低速增长期,年专利数量处于 10 件以下水平震荡和徘徊;第三阶段是 2005 至今,年申请数量较上一阶段大幅增长,呈现出“驼峰”式快速增长,专利数量从 2005 年 5 件增至 2019 年 46 件(高峰期),增长了 8 倍。见图 5 所示。

2.5.2 主要专利权人分析

(1)申请数量分析

专利数量 TOP10 的专利权人排名的相关情况,见图 6。通过该图能够发现创新成果积累较多的专利权人,进而分析其专利的竞争实力。由图 6 可知,专利数量 Top10 的专利权人中,国外在专利申请数

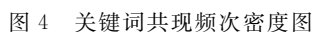


Figure 4 Keywords co-occurrence frequency density map



Figure 5 The trend of patent applications for metallocene poly- α -olefin (mPAO) technology

量方面位列全球三甲的分别是埃克森美孚化学专利公司(50 件)、埃克森美孚研究与工程公司(44 件)和汉高公司(20 件)。中国专利权人排名靠前的研究机构分别为广西大学(29 件)、中国石油化工股份有限公司(19 件)、上海欧勒奋生物科技有限公司(8 件)和中国科学院上海高等研究院(6 件)。由此可以看出,在专利申请数量方面以美国的埃克森美孚公司的专利申请数量最为突出,中国则是以广西大学申请数量最多,但是,明显国内在该领域技术专利的申请数量远远落后于国外。

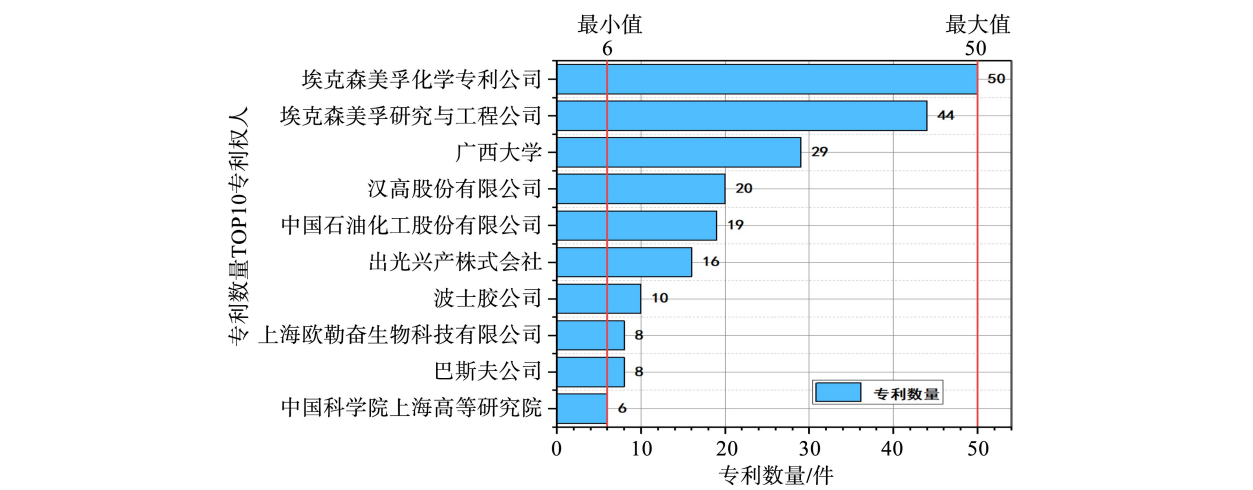


图 6 茂金属聚 α -烯烃(mPAO)TOP10 主要技术专利权人排名

Figure 6 The ranking of the patentees of the TOP20 main technologies of metallocene poly- α -olefin (mPAO)

1995 年以来,主要专利权人的专利申请数量(基于优先权专利)见图 7 所示。从整体来看,以上研究机构的专利申请量总体随时间的变化呈“M”型增长态势,在 2016 年达到了一个峰值。可以发现,自 2010 年以来,以埃克森美孚化学专利公司和埃克森美孚研究与工程公司为代表的国外机构,以广西大学和中国石化为代表的中国机构,相关技术专利申请数量增长较为迅速。

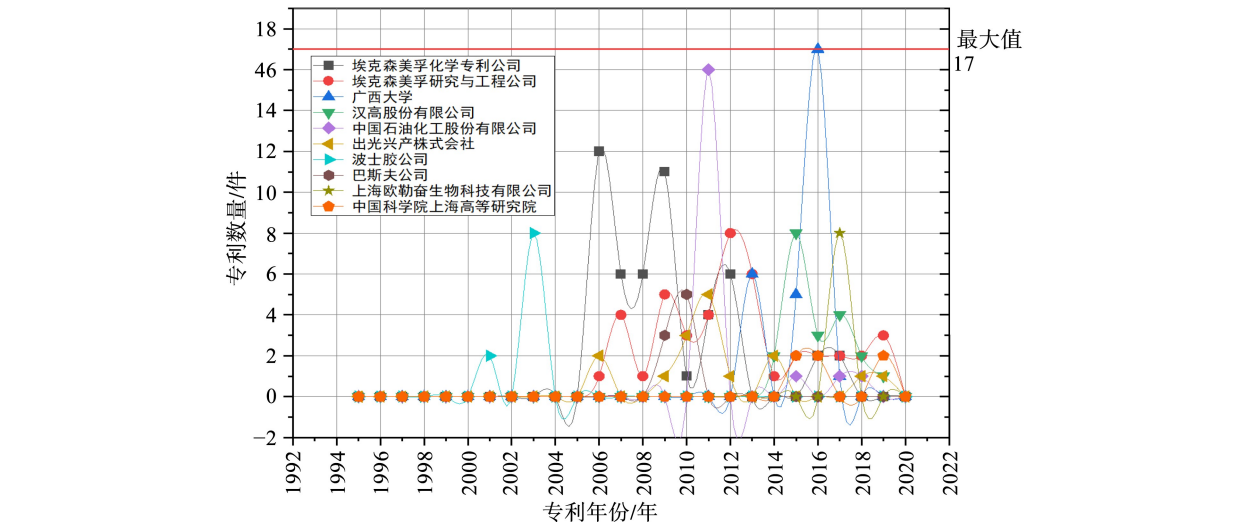


图 7 茂金属聚 α -烯烃(mPAO)TOP10 主要技术专利权人发展趋势

Figure 7 The development trend of the patentees of the TOP20 main technologies of metallocene poly- α -olefin (mPAO)

(2)技术布局分析

主要专利权人的技术布局展示的是申请人在各个技术领域专利技术布局的主要情况。通过该分析，能够反映出申请人擅长技术的领域、方向和实力。其中，技术布局主要体现在专利权人的 IPC 小组分类（排名前 10 的 IPC 小组分类）专利数量。全球茂金属聚 α -烯烃(mPAO)基础油关键制备技术相关专利的主要专利权人的技术布局见图 8 所示。根据 IPC 分类号对 mPAO 专利涉及的技术领域进行分析，可以明晰分析对象所涵盖技术的类别与各技术分支的创新活跃热度。从 IPC 分类号来看，mPAO 专利共涉及 83 个 IPC 分类号，润滑组合物的制备、纺织品润滑剂、纤维制品、黏合剂、液态烃混合物制备、涂料组合物（例如色漆、清漆或天然漆等）、洗涤剂组合物为主要研究热点，集中在润滑油及其催化剂合成领域。其中，埃克森美孚集团以及广西大学专利数量较多，主要集中在对润滑组合物制备及性能提升等技术上布局，而在催化剂方面布局较少，未来应给予更多的关注。

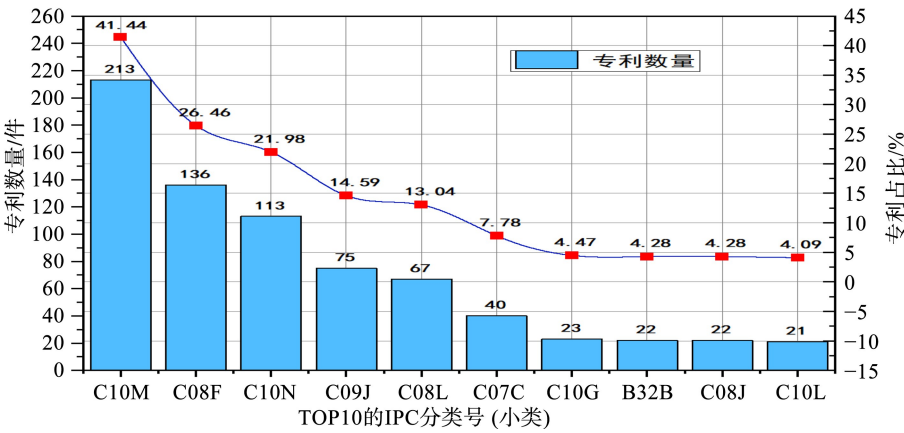


图 8 茂金属聚 α -烯烃(mPAO)TOP10 专利技术布局
Figure 8 Metallocene poly- α -olefin (mPAO) TOP10 patented technology layout

目前，在技术专利总量上，美国依然是该领域的佼佼者，其中以埃克森美孚公司为代表的企业的专利申请数量较多，并具有较为成熟的技术体系，处于国际领先地位，其次是德国、法国等欧洲国家，而我国在技术专利申请上较多的机构分别有广西大学、中国石油化工股份有限公司和中国科学院上海高等研究院。

3 全球该技术领域规划与布局分析

目前，茂金属聚 α -烯烃(mPAO)的发展还尚未得到全球关注，但已出台少量的具体发展规划，如美国在合成基础油的项目布局上较为清晰明确，起步较早，而且至今仍在跟进相关技术，且从 2008 年至 2019 年，以企业牵头不断增加在该领域部署相关项目。国外项目部署则主要集中在美国、南非，项目规模和资金投入较大，其技术成熟度也已达到了世界先进水平，处于领域研究前沿。主要进行该领域研究与市场推广的企业有雪铁龙、南非沙索公司以及埃克森美孚公司，埃克森美孚处于寡头地位，无论是在技术研发、产品成熟度均处于世界领先地位。

我国在技术项目部署方面也逐步关注到以茂金属作为催化剂制备合成润滑油的关键技术，并展开了相关研究，从科技部、发改委等国家战略部署计划了解到的情况来看，在国内与茂金属聚 α -烯烃(mPAO)基础油关键制备技术领域相关的发展规划相对较少，大多主要集中在油气和能源领域，涉及催化剂研究较多。国内对于茂金属 α 烯烃的部署应用多集中于润滑油领域，但以茂金属 α 烯烃为关键词的部署与规划并未具体到细节。从年代上看，多集中于 2017 年，做出了一定数量的项目部署及科研计划来支持研究。在自然科学基金委的规划中较多涉及催化剂，能源局在“十三五”规划中涉及到高级润滑油基础油、

聚 α 烯烃等特种油品、开展煤液化与煤油共处理过程中污染物控制和处理技术,研制清洁油品超深度脱硫催化剂、润滑油基础油,提出 PAO 等特种油品的研发^[25]。在项目部署层面,科技部在“十三五”规划中部署了由中石化牵头的高端催化剂润滑油、PAO 应用项目,其中以科技部牵头“十三五”国家重点研发计划,各大高校、企业和科研机构承担的《重点基础材料技术提升与产业化子项目之一高性能润滑油生产关键技术攻关及应用》已于 2019 年通过中期检验在润滑油基础油生产成套技术工艺上实现了新突破^[26];埃克森美孚也在广东惠州由政府、国家发改委、工信部的支持下预计投资 100 亿美元开展乙烯研究以及产业化的项目^[27,28],同时,国内对于含催化剂的基础油研发相继取得了一定进展,发展前景较好。

此外,在 2001~2014 年,共有 26 项与茂金属聚 α -烯烃(mPAO)相关的国家自然科学基金项目立项,其中青年科学基金项目 11 项,面上项目 9 项,联合基金项目 4 项,应急管理项目 1 项,中央财政经费合计 754 万元,投资金额 TOP10 的基金项目具体如表 2 所示。其中,经费最多项目为“烯烃共聚异相茂金属催化剂一体化合成方法的构建”,该项目由北京化工大学承担。在该研究领域项目基金申请方面,以吉林大学申请的项目数量(4 项)最多,合计金额 143 万元,其次是浙江大学(3 项),陕西师范大学(2 项),中国科学院长春应用化学研究所(2 项)和北京化工大学(2 项)。研究方向主要是以茂金属催化剂合成、烯烃聚合物的制备和性能提升等的基础研究为主,今后可在一定程度上更加关注茂金属聚 α -烯烃(mPAO)基础油关键制备技术相关方面的应用研究,同时进一步开发新型茂金属催化剂,降低生产制备成本也是今后的重点研究方向。资助金额 TOP10 的该领域国家自然科学基金项目申请情况具体见表 2。

表 2 资助金额 TOP10 国家自然科学基金项目申请情况
Table 2 TOP 10 projects supported by NSFC

项目名称	机构	项目	领域	资助金额 (万元)	年份
烯烃共聚异相茂金属催化剂一体化合成方法的构建	北京化工大学	联合基金项目	催化剂工程	70	2013
基于串联茂金属催化剂的连续溶液共聚技术的新型梳状聚烯烃热塑性弹性体的可控制备	浙江大学	联合基金项目	环境化学	68	2014
新型非茂金属催化剂与功能化共聚烯烃的分子结构设计及合成研究	北京化工大学	联合基金项目	环境化学	65	2014
生产聚烯烃弹性体用新茂金属催化剂合成与性质研究	吉林大学	联合基金项目	环境化学	64	2014
结合 Ziegler-Natta/茂金属复合催化剂和“可逆失活”聚合控制方法制备多相共聚聚丙烯釜内合金的研究	中国科学院化学研究所	面上项目	样品处理	35	2008
以茂金属为骨架的新型 C2-对称面手性双膦配体的合成及应用研究	上海交通大学	面上项目	均相催化	33	2008
手性双核茂金属催化剂的合成及光学活性烯烃共聚物的制备研究	吉林大学	面上项目	分离分析	32	2006
烷基铝活化茂金属烯烃聚合催化剂的合成、性质及应用研究	吉林大学	面上项目	表面组装过程与功能	28	2007
新型茂金属长支链聚乙烯及其可控无规聚丙烯嵌段共聚物	中山大学	面上项目	分离分析	28	2001
新型固载化 AlCl ₃ 催化剂上合成聚 α -烯烃油(PAO)的研究	大连海事大学	青年科学基金项目	宏观动力学	25	2005

4 结论

通过上述各个章节聚焦茂金属聚 α -烯烃(mPAO)相关技术,从国内外研究背景、相关文献与专利产出以及发展规划和项目部署的不同角度开展研究与分析,得出了如下结论:

(1)目前,mPAO少量用作独立的基础油产品来使用,大部分作为添加剂主要用来降低传统PAO产品的倾点和提升其黏度指数,小部分则用于化妆品行业、健康与护理等非润滑领域;

(2)近年来全球针对高级合成润滑油的需求越来越大,从而促使茂金属聚 α -烯烃(mPAO)基础油关键制备技术的快速发展。在论文产出方面,欧美国家在该领域的研究相对较为成熟,我国在该领域的研究较少,研究机构较为分散,尚未出现在该技术领域影响力大的研究机构,与国际知名科研机构存在一定差距。在研发专利上,国外以美国埃克森美孚公司为代表的企业在该领域占据领导地位,其专利发明涉及数量更多,内容更为丰富,在国内的高校中以广西大学申请的数量最多,其主要侧重在润滑剂组合物的研发;在企业中,中国石油化工股份有限公司在该领域取得了较好的研究成果,主要侧重于颗粒状聚 α -烯烃的制备技术;在科研机构里以中国科学院上海高等研究院成果相对较为突出,在该领域发明了数项较为成熟的技术专利;

(3)在发展规划和项目部署方面,由于该技术研究领域较新,属于领域前沿性技术,因此,全球开展相关研究的发展规划和项目部署较少,国外规划主要集中在能源化工领域,其中以美国较为重视该领域,开展了大规模项目部署,走在该领域技术发展前沿。我国各研究单位对茂金属聚 α -烯烃(mPAO)基础油关键制备技术研发则紧跟技术发展趋势,契合了国家在该领域发展规划和技术研发方向,但在规划部署上与国际相比尚存在较大差距。

总之,目前我国在对茂金属聚 α -烯烃(mPAO)基础油关键制备技术的研发基础上略显薄弱。与国际同类技术相比,国内在该领域的起步较晚,在技术投入、产品研发、科研成果、技术成熟度、生产及产品应用推广上均存在一定不足,同时缺乏完备的整套技术制备工艺,建议优化制备技术工艺流程,进一步加大创新和研发力度以及增加科研成果产出,争取在该领域达到世界领先水平。此外,随着工业经济的高速发展与能源危机的出现,以及全球对于环保的重视,使用碳基原料来制备合成油将成为技术研发的热点与趋势之一。同时,对于新型催化剂的研发,尽可能降低生产成本也将成为茂金属聚 α -烯烃合成润滑油关键制备技术的发展与应用方向之一。

参考文献:

- [1] Bartz W J. Tribology Int, 1998, 31(1):35~47.
- [2] Moore L D, Fels D R, Seay A B, Lopez C, Peck D A. Lubr Eng, 2003, 59(1):23~30.
- [3] Tweedale P. Tribology International, 1994, 27(3):209~210.
- [4] Surana P, Yang N, Nandapurkar P J. US, 7550640. 2009-03-23.
- [5] 刘俊义,葛振宇,张力,裴慧霞,黄开华,韩世良. 中国, CN105368489A. 2015-12-07.
- [6] 沈虹滨, 刘婕, 王猛, 赵升红, 关群, 薛艳, 张跃毅, 朱春婷, 顾鹏翔. 中国, 100455554C. 2009-01-28.
- [7] Wasserscheid P, Grimm S, Haufe M. Adv Synth Catal, 2010, 343(8):814~818.
- [8] 吕春胜, 颜子龙, 许云飞, 陈怡, 翁汉波. 石油学报, 2012, 28(6):1025~1030.
- [9] Seymour B T, Fu W, Wright R A E, Luo H, Qu J, Dai S, Zhao B. ACS Appl Mater Interfaces, 2018, 10(17):15129~15139.
- [10] Fujita H. US, 20100062954. 2010-05-11.
- [11] Knowles D C, Fabian J R, Kosover V, Ferrarotti S, Fox E B, Deblase F. US, 20090281360. 2009-11-12.
- [12] Mazzoskalski S. Tribology Lubrication Technol, 2010, 66(11):40~42.
- [13] Sheehan M P. Tribology Lubrication Technol, 2013, 69(11):58~60.
- [14] 马跃锋, 许健, 蒋海珍, 李久盛. 石油炼制与化工, 2016, 47(6):32~36.
- [15] Wang Z A, Zhou Z R. Wear, 2009, 267(9-10):1399~1404.
- [16] Cui J, Li Y. Lubricating Oil, 2004, 19(1):7~12.

[17] 许健,李久盛,葛振宇,刘俊义. 中国,105062555A. 2015-11-18.

[18] Ma Y, Xu J, Zeng X, Jiang H, Li J. Ind Lubr Tribol, 2017, 69(5):678~682.

[19] 李博闻,章成志. 情报理论与实践,2019,42(2):1~6,37.

[20] 郭强,刘俊友. 合肥:合肥工业大学出版社,2007:33~94.

[21] Ding X,Yang Z. Electron Commerce Res, 2020(4):1735~1736.

[22] Lee C J, Klaus E E. Lubrication Eng, 1993, 49(6):441~445.

[23] Lauer D A. Lubr Eng,1996,52(3):215~219.

[24] Qu J, Bansal D G, Yu B, Howe J Y, Luo H, Dai S, Li H, Blau P J, Bunting B G, Mordukhovich G, Smolenski D J. ACS Appl Mater Interfaces, 2012, 4(2):997~998.

[25] 国家自然科学基金委员会. “碳基能源转化利用的催化科学”重大研究计划 2020 年项目指南[EB/OL]. 2021-2-20. <http://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab568/info78572.htm>.

[26] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 能源技术创新“十三五”规划[EB/OL]. 2021-2-20. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/201708/t20170809_1196881.html.

[27] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 100 亿美元埃克森美孚惠州乙烯项目开工 [EB/OL]. 2021-2-20. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/cyfz/zcyfz/202004/t20200424_1226595.html.

[28] ExxonMobil. ExxonMobil announces \$ 2 billion Baytown chemical expansion project; releases study showing value of investments to U. S. economy [EB/OL]. 2021-2-20. https://corporate.exxonmobil.com/News/Newsroom/News-releases/2019/0502_ExxonMobil-Announces-2-Billion-Baytown-Chemical-expansion-project.

Metrology Analysis of Global Metallocene Poly- α -olefin Technical Progress

SUN Yu-qi^{1,2,3}, WEI Feng^{1,2,3*}, ZHOU Chao-feng^{1,2,3}, FENG Mi-ning^{1,2,3}

(1. *Wuhan Library, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China*;
2. *Department of Library, Information and Archives Management, School of Economic and Management, UCAS, Beijing 100190, China*;
3. *Hubei Key Laboratory of Big Data in Science and Technology, Wuhan 430071, China*)

Abstract: In order to understand the development status and research trend of key preparation technologies of metallocene poly- α -olefin (mPAO) base oil in the world, combined bibliometric method and patent analysis, with the help of visualization software VOSviewer, using web of science core database and incopat Patent database, papers and patents related to mPAO technical process by the end of 2020 were searched for analysis, a keyword co-occurrence map was drawn, and the planning and layout of related fields at home and abroad were sorted out to analyze current research hotspots and development trends. The results show that mPAO technical research field is relatively new, belonging to the frontier technology in the a draw keyword field, and is still in a period of rapid development; from the distribution of research institutions, there are great differences at home and abroad, foreign research is relatively mature, mainly concentrated in the United States and Japan; domestic research is scattered, and has not yet formed a core research institution. On this basis, it is predicted that the global demand for mPAO with high viscosity index and low pour point will further increase. The research and development of mPAO synthetic lubricating oil and its process will become one of the development directions of advanced lubricating base oil in the future.

Key words: Metallocene poly- α -olefin; mPAO; Bibliometric; Patent analysis; Research trend