

专利视角下航空航天领域稀土应用技术分布研究

魏 凤^{1,2*}, 邓阿妹^{1,2}, 谷山强^{3,4}, 李 涛^{3,4}

- (1. 中国科学院 武汉文献情报中心, 湖北 武汉 430071;
2. 科技大数据湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430071;
3. 南瑞集团公司, 江苏 南京 211106;
4. 国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司, 湖北 武汉 430074)

摘要:稀土元素在航空航天领域的应用是国内外关注重要领域。针对稀土在航空航天领域应用的技术创新状况,主要运用科学计量学和数学统计等方法,从申请国家和主要专利权人角度,开展稀土元素应用技术专利分析,发现航空领域稀土元素全球专利自申请以来整体呈现增长趋势,尤其在2000年以后专利申请非常活跃,数量较大。稀土专利主要分布在合金、非金属产品及应用技术方面,2017—2019年尤其以陶瓷镀膜和飞机动力技术的专利申请较多,是这三年的热点领域。中美两国专利申请均超过其他国家,我国主要专利集中在钕、镧、铈、钇、铈等元素的应用上,美国则较多集中在钕、钇、铈、钆、铽等元素的应用上,该领域全球主要专利权人是欧美公司。建议我国加强稀土在航空航天领域的系统研究布局,通过国际合作和自主创新等多种方式,提升我国稀土材料高端技术研发创新水平。

关键词:稀土元素;航空航天;专利;科学计量法;技术创新

中图分类号:G353.1

文献标识码:A

文章编号:1004-0277(2024)01-0149-10

稀土元素因其原子结构的特殊性而具有优异的光、电、磁等特性,可用于制备许多高性能的材料,被称为“工业维生素”^[1,2],是许多高精尖产业所必不可少的原料。在新能源材料、节能环保、高端装备、高端电子信息产品等战略性新兴产业中发挥了重要作用^[3~7]。

航空航天技术发展的水平历来是国际竞争力的重要体现,受到世界各国的普遍关注。稀土元素

作为增强航空航天技术及产品性能的重要组成部分^[8,9],欧美等发达国家非常重视各类稀土元素在航空航天领域的应用及技术创新和知识产权保护情况。目前,尽管我国已成为全球最大的稀土永磁材料的生产国,在高性能稀土永磁材料、重稀土减量化技术、高丰度稀土永磁材料利用和回收技术等领域都接近世界先进水平,但是相关技术还无法满足高档机器人、5G、光刻机等新兴产业对高端稀土

收稿日期:2021-04-22

基金项目:国家电网公司总部科技项目(1400-202340338A-1-1-ZN)

作者简介:魏 凤(1977-),女,湖北武汉人,博士生导师,研究员,从事专利与标准、政策集成化信息研究,E-mail:weif@mail.whlib.ac.cn

DOI:10.16533/J.CNKI.15-1099/TF.202401013

材料的需求,同时在稀土核心技术知识产权、晶粒细化等先进制备技术及连续智能化等领域,与美国、日本等发达国家存在不小差距^[10~14]。

本文将针对稀土元素在航空航天领域的应用创新技术^[15],通过专家咨询、科学计量及文献调研等方法,开展航空航天领域稀土元素应用技术专利的发展态势、国别、技术分布、专利权人及其技术重点分析,期望掌握稀土元素应用于航空航天领域的技术发展与分布情况,为我国研发相关技术提供对策建议。

1 研究对象与数据来源

为了掌握稀土元素应用在航空航天领域的技术创新发展状况,本文以该领域的专利为研究对象,开展国内外的分析。针对各种稀土元素与航空航天领域的情况,所构建的研究对象检索式为:TS=(rare earth) AND IP=(B64*) or TS=("lanthanum" OR "cerium" OR "praseodymium" OR "neodymium" OR "promethium" OR "samarium" OR "europium" OR "gadolinium" OR "terbium" OR "dysprosium" OR "holmium" OR "erbium" OR "Thulium" OR "Ytterbium" OR "Lutetium" OR "yttrium" OR "scandium") AND IP=(B64*)

为了准确检索稀土元素在航空航天领域的应用技术专利,选择汤森路透集团的德温特创新索引(Derwent Innovations Index, DII)、Innography、中国科学院专利在线平台专利数据库作为专利检索数据库。其中,DII是检索全球专利的最权威的数据库,收录来自美国、日本、英国、法国、德国、韩国、欧专局、世界知识产权组织等四十多个国家或机构的专利数据,详细记载了超过1100万件基本发明专利的信息,2000多万条专利信息,专利覆盖范围可追溯到1963年,引用信息可追溯到1973年。Innography是基于网络的专利检索与分析平台,数据源包括九十多个国家和地区的专利、8000多万件全球专利数据、邓白氏商业数据、美国专利诉讼等,具有专利强度指标、专利无效检索与侵权检索、诉讼专利检索与分析等功能。中国科学院专利在线分析系统是

在国家知识产权局与中国科学院知识产权合作的框架下,由国家知识产权局提供数据而建立的,授权在中国科学院范围内使用的专利分析系统。检索时间从1963年至2023年10月,共检索得到209项专利家族数据。

2 研究方法

为了解航空航天领域稀土元素应用技术的发展,本文采用科睿唯安DDA专利分析工具,主要分析航空领域稀土元素应用技术全球专利申请进展、创新技术的分布、主要申请国家及其技术特点、主要申请机构及其技术特点、研发热点等情况。

为了反映航空航天领域稀土元素技术专利全球发展态势与技术分布状况,本文主要采用文献调研法、分类法、专家咨询法、科学计量法等方法(如图1)。其中,(1)文献调研法:开展航空航天领域稀土元素的调研,充分了解航空航天领域稀土元素技术应用情况;(2)科学计量法:通过对技术专利关键参数的检索,对航空航天领域稀土元素技术专利申请发展态势、技术分布、核心专利等全球发展的特点、趋势、现状等开展专利计量分析;(3)专家咨询法:在初步建立航空航天领域稀土元素技术专利数据库的基础上,主要通过咨询专家的方式,修改和优化航空航天领域稀土元素技术专利数据库。

3 研究结果及分析

为了详细调查航空航天领域稀土元素技术创新发展情况,下面将从专利视角开展全球分析,研究航空航天领域稀土元素技术专利的国家分布、技术分布和热点等,揭示航空航天领域稀土元素技术创新状况。

3.1 航空航天领域稀土元素应用的技术专利申请态势

专利申请量的变化情况反映出相关技术的创新发展态势。图2表示航空航天领域稀土元素应用的技术创新随着时间发展变化情况,尤其是在2000年之后稀土元素在航空航天领域中的应用技

术创新呈现爆发式增长。图中显示稀土元素应用于航空航天领域的技术专利发展分为两个阶段:第一个阶段是萌芽期,从 1979 年至 1999 年,这一阶段的专利申请基本呈现个位数波动;第二阶段是发展期,从 2000 年至今,专利申请量呈明显增长态势,特

别是 2012 年以后,年均申请量达到 16 项,2018 年达到峰值 24 项,主要原因是随着航空航天业民用化竞争的加剧,日本、欧洲等国家愈加重视航空航天业稀土技术的专利保护。相比其他行业,稀土元素在航空航天业应用的研发创新周期较长。

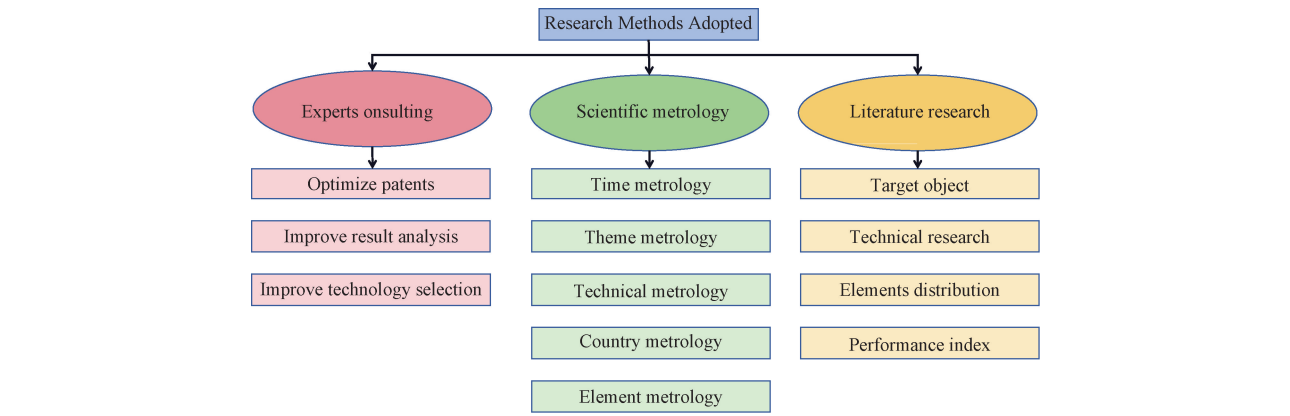


图 1 航空航天领域稀土元素应用专利分析方法框架

Fig. 1 Framework for patent analysis of rare earth element applications in the aviation industry

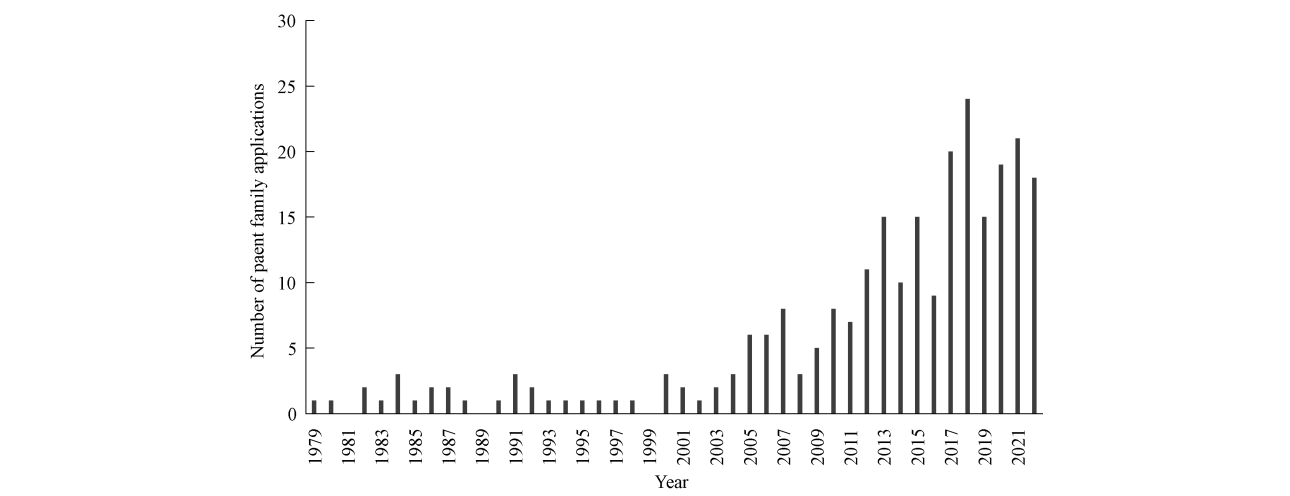


图 2 航空航天领域稀土元素应用专利申请量随时间变化情况

Fig. 2 Changes in patent applications for rare earth elements in the aviation industry over time

3. 2 航空航天领域稀土元素应用专利的国别分布情况

由于不同国家对稀土技术的研发应用能力的不同,航空航天领域稀土元素应用技术专利的数量也呈现出差别。图 3 表示按照专利数量排名 Top10 的国家在稀土航空航天领域技术专利情况。图中表示排

名前十位的国家/地区分别是:中国、美国、德国、法国、欧洲专利局、加拿大、日本、俄罗斯、英国和韩国,其中,中国和美国的专利数量较多,领先于其他国家。

3. 3 航空航天领域稀土元素应用专利的技术分布情况

专利技术的分布可以表示相关领域技术创新

较为活跃的研发方向。表 1 是基于 IPC 分类法,展示出按照专利数量排名的全球稀土在航天领域涉及的主要技术领域分布情况。表中可以看出稀土航空航天领域专利技术主要集中于飞机/直升飞机、用于与飞机配合或装到飞机上的设备、宇宙航行及其所用的飞行器或设备、合金、层状产品、改变有色金属或有色合金的物理结构等技术方向,其中稀土元素用于飞机/直升机的专利数量最多,达到 91 件,占比达到 47.2%,其次为用于与飞机配合或装到飞机上的设备、宇航及其所应用的飞行器或设备、合金等。

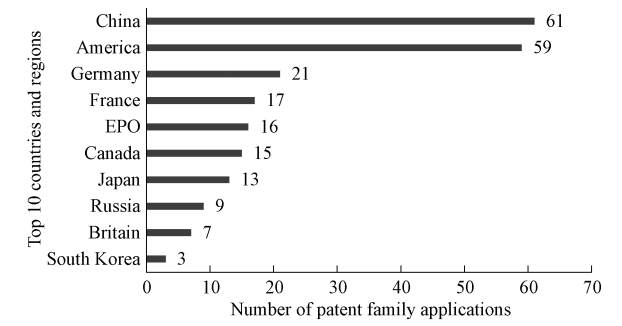


图 3 航空航天领域稀土元素应用专利申请量排名前十位的国家和地区

Fig. 3 Top 10 countries and regions in terms of patent applications for rare earth elements in the aviation industry

表 1 航空航天领域稀土元素应用专利数量较多的前 10 个 IPC 小类

Table 1 Top 10 IPC subcategories with a large number of rare earth element application patents in the aviation industry			
IPC subcategory	Technical content	Number of patent families	Proportion/%
B64C	Aircraft/helicopter	91	47.2
B64D	Equipment used to cooperate with or install on an aircraft	50	25.9
B64G	Space navigation and the aircraft or equipment used	50	25.9
C22C	Alloy	40	20.7
B32B	Layered products	31	16.1
C22F	Change the physical structure of non-ferrous metals or alloys	20	10.4
C04B	Lime/magnesium oxide/slag/cement/its composition	17	8.8
C23C	Metal material coating	15	7.8
B64F	Ground facilities or aircraft carrier deck facilities	14	7.3
F01D	Non-variable capacity machines or engines	13	6.7

3.4 航空航天领域稀土元素应用专利的技术热点分析

为了深入对不同专利技术的热点分析,对专利数量较多的前 20 个完整的 IPC 分类号进行分析,如表 2 所示,全球稀土航空航天技术专利主要涉及由金属组成的层状产品、由陶瓷组成的层状产品、宇宙航行的飞行器、铝基合金、用热处理法或用热加工法或冷加工法改变有色金属或合金的物理结构、非变容式机器或发动机、金属材料镀覆、以动力装置类型或位置为特点的飞机等技术方向。其中,陶瓷成型制品的形成工艺(38%)和以蒸汽、电力或弹簧力为动力的飞机(29%)这两个技术方向在 2017—2019 年

这 3 年的专利申请活动非常活跃,专利申请量占该技术领域专利总量的 30%左右,反映出这些技术领域是近 3 年专利申请的热点。

3.5 不同国家在航空航天领域研发应用的稀土元素

不同国家在航空领域应用稀土元素的重点各不相同。表 3 主要是通过计量学方法对主要国家不同的稀土元素在航空航天领域应用创新的情况进行分析。表中可看出,中国在航天领域开展较多创新应用的前五位稀土元素分别是钕、镧、铈、钇、铪;美国在航空航天领域应用较多的前五位稀土元素分别是铪、钇、铟、铈、钕;德国在航空航天领域应

用较多的前五位稀土元素分别是钪、铪、铽、镱、铒；
法国在航空航天领域应用较多的前五位稀土元素

分别是钪、铈、铪、钆、铽；欧专局在航空航天领域应
用较多的前五位稀土元素分别是钪、铈、铈、铒、镱。

表 2 航空航天领域稀土元素应用专利数量较多的前 20 位 IPC 分类号

Table 2 Top 20 IPC classification numbers with a large number of rare earth element application patents in the aviation industry					
Technical field	IPC classification		Number of	Year span	Proportion in the
	Number	Technical content	patent families		past three years/%
Layered products composed of metals	B64C-001/00	Fuselage	32	1985—2018	9
	B64C-001/12	Structure or accessories of the fuselage	8	2002—2017	12
		frame skin plate			
	B32B-015/04	Thin metal layers and layered products	13	2001—2016	/
		composed of a specific substance			
Layered products composed of ceramics	B32B-015/08	Layered products with thin layers of	7	1996—2017	14
		metal and synthetic resin			
	B32B-018/00	Layered products composed of ceramics	7	2003—2016	/
Layered products composed of special substances	B32B-009/00	Layered products composed of special substances	9	2000—2016	/
Spacecraft	B64G-001/58	Thermal Protection Devices for Spacecraft	11	1986—2016	/
	B64G-001/22	Components of spacecraft	9	1994—2016	/
	C22C-021/16	Aluminum based alloys with magnesium copper	10	2000—2018	10
Aluminum based alloy		as the secondary main component			
	C22C-021/12	Aluminum based alloys with copper as the	9	1994—2016	/
		secondary main component			
	C22C-021/00	Aluminum based alloy	8	1994—2018	12
	C22C-021/06	Aluminum based alloys with magnesium as	8	1994—2018	12
		the secondary main component			
	C22C-021/14	Aluminum based alloys with silicon copper	8	2002—2018	12
		as the secondary main component			
Change the physical structure of non-ferrous metals or alloys	C22C-021/18	Aluminum based alloys with zinc and copper	8	2000—2018	12
		as secondary components			
	C22F-001/04	Aluminum or aluminum based alloys	9	2000—2016	/
	C22F-001/057	Aluminum or aluminum based alloys with copper	9	2002—2018	11
		as the secondary main component			
	Changing the physical structure of non-ferrous				
	C22F-001/00	metals or alloys using heat treatment or hot or	7	2000—2018	14
Non variable capacity machines or engines		cold working methods			
	F01D-005/28	Selection of Special Materials for Aircraft Blades/	9	1979—2015	/
Ceramic shaped products		Measures to Prevent Erosion or Corrosion			
	C04B-035/622	Formation process of ceramic shaped products	8	2003—2018	38
Metal material coating	C23C-028/00	Obtaining at least two overlapping layers of	8	2000—2014	/
		plating by special methods			
Aircraft characterized by					
the type or location of power plant	B64D-027/24	Aircraft powered by steam and electricity	7	2012—2017	29

表 3 前五位国家的专利中稀土元素的应用情况

Table 3 Application of rare earth elements in patents of the top 5 countries

Rare-earth elements	China		America		Germany		France		EPO	
	Number	Proportion/%	Number	Proportion/%	Number	Proportion/%	Number	Proportion/%	Number	Proportion/%
Lanthanum	24	39.3	11	18.6	2	9.5	0	0	0	0
Cerium	20	32.8	19	32.2	5	23.8	7	41.2	2	12.5
Praseodymium	1	1.6	3	5.1	1	4.8	0	0	0	0
Neodymium	28	45.9	16	27.1	4	19.0	0	0	4	25.0
Promethium	0	0	2	3.4	0	0	0	0	0	0
Samarium	1	1.6	8	13.6	0	0	0	0	0	0
Europium	1	1.6	7	11.9	3	14.3	0	0	1	6.3
Gadolinium	2	3.3	2	3.4	1	4.8	5	29.4	0	0
Terbium	2	3.3	16	27.1	16	76.2	4	23.5	0	0
Dysprosium	6	9.8	6	10.2	2	9.5	0	0	1	6.3
Hholmium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erbium	3	4.9	22	37.3	18	85.7	6	35.3	0	0
Thulium	1	1.6	4	6.8	2	9.5	0	0	0	0
Ytterbium	1	1.6	10	16.9	15	71.4	4	23.5	0	0
Lutetium	2	3.3	5	8.5	0	0	4	23.5	0	0
Yttrium	11	18.0	24	40.7	8	38.1	1	5.9	2	12.5
Scandium	8	13.1	35	59.3	29	138.0	12	70.6	12	75.0

3.6 主要专利权人在航空航天领域应用稀土元素的技术专利排名

对全球稀土航空领域的主要专利权人进行分析,如图 4 所示。

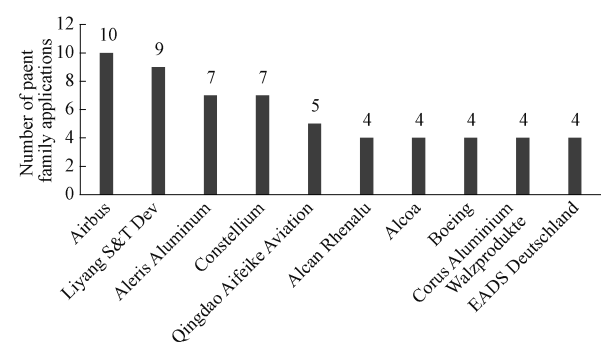


图 4 航空航天领域稀土元素应用专利申请量排名前十位的机构

Fig. 4 Top10 institutions in the aviation industry with patent applications for rare earth elements

空客公司 (Airbus)、溧阳市科技开发中心、德国爱励铝业公司 (Aleris Aluminum)、美国肯联铝业公司 (Constellium)、青岛爱飞客航空科技有限公司、加拿大铝业公司法国雷纳技术中心 (Alcan Rhenalu)、美国铝业公司 (Alcoa)、美国波音公司 (Boeing)、加拿大科鲁斯铝业公司 (Corus Aluminium Walzprodukte) 和欧洲宇航防务集团德国研究中心 (EADS Deutschland)。其中美国机构 3 家,中国机构 2 家,德国机构 2 家,加拿大机构 2 家,法国机构 1 家。

3.7 主要专利权人在航空航天领域应用稀土元素的技术专利重点分析

根据各主要专利权人专利的前 5 个 IPC 分类号,对主要专利权人在稀土航空航天领域技术研发的重点方向进行分析。如表 4 所示,法国空客公司技术研发的重点方向是薄层之间使用黏合剂的层状产品、金属薄层与由合成树脂构成的薄层相贴的层状产品、由铜或铝组成的层状产品、机

专利数量排名前十位的专利权人分别是:法国

身/机翼/稳定面或类似部件共同的结构特征等; 溧阳市科技开发中心技术研发的重点方向是机身框架蒙皮板的结构或附件、动力装置短舱/整流装置或整流罩、以氧化锆或氧化钪或锆酸盐或钪酸盐为基料的陶瓷成型制品等; 德国爱励铝业公司技术研发的重点方向是机身/机翼/稳定面或类似部件共同的结构特征、铝或铝基合金、机翼、镁作为次主要成分的铝基合金等; 美国肯联铝业公司

技术研发的重点方向是机身/机翼/稳定面或类似部件共同的结构特征、含镁铜作为次主要成分的铝基合金、以铜作次主要成分的铝或铝基合金、含硅铜作为次主要成分的铝基合金、含锌铜作为次主要成分的铝基合金等; 青岛爱飞客航空科技有限公司技术研发的重点方向是每一种成分按重量计含量低于 50% 的合金、铸铁合金的制造、含镍的铸铁合金等。

表 4 主要专利权人专利技术重点方向

Table 4 Key directions of patent technology for major patent holders

Patentee	IPC classification number	Technology content	Number of patent families	Proportion in domestic patents/%
Airbus	B32B-007/12	Layered products using adhesive between thin layers	2	20. 0
	B32B-015/08	Layered products with thin layers of metal and synthetic resin	2	20. 0
	B32B-015/20	Layered products composed of copper or aluminum	2	20. 0
Liyang S&T Development Center	B64C-001/00	fuselage	2	20. 0
	B64C-001/12	Structure or accessories of the fuselage frame skin plate	3	33. 3
	B64D-029/00	Power unit nacelle, rectification device or fairing	3	33. 3
Aleris Aluminum	C04B-035/48	Ceramic molded products based on zirconia or hafnium oxide or zirconiate or hafnate salts	3	33. 3
	B64C-001/00	fuselage	5	71. 4
	C22F-001/04	Aluminum or aluminum based alloys	4	57. 1
Constellium	B64C-003/00	wing	3	42. 9
	C22C-021/06	Aluminum based alloys with magnesium as the secondary main component	3	42. 9
	B64C-001/00	fuselage	7	100. 0
Qingdao Aifeike Aviation	C22C-021/16	Aluminum based alloys with magnesium copper as the secondary main component	5	71. 4
	C22F-001/057	Aluminum or aluminum based alloys with copper as the secondary main component	5	71. 4
	C22C-021/12	Aluminum based alloys with copper as the secondary main component	4	57. 1
	C22C-021/14	Aluminum based alloys with silicon copper as the secondary main component	4	57. 1
	C22C-021/18	Aluminum based alloys with zinc and copper as secondary components	4	57. 1
	C22C-001/02	Manufacturing Nonferrous Metal Alloys by Melting Method	3	60. 0
	C22C-030/00	Alloys with a content of less than 50% for each component	2	40. 0
	C22C-033/08	Manufacturing of cast iron alloys	2	40. 0
	C22C-037/08	Cast iron alloy containing nickel	2	40. 0

通过以上分析可以看出,主要专利权人技术研发的重点既有相同点,也有不同点。相同点是:各主要专利权人都将机身结构作为技术研发的重点,此外,法国空客公司的技术研发侧重于层状产品,德国爱励铝业公司和美国肯联铝业公司的技术研发侧重于铝基合金。青岛爱飞客航空科技有限公司的技术研发侧重于铸铁合金。

4 主要结论和建议

本文对全球航空领域应用稀土元素的技术专利开展分析,重点是对全球专利的申请态势、专利的技术分布、专利申请的优势国家、专利权人及重点技术等,得出以下主要结论:

1. 航空航天领域稀土技术专利在经过数十年的萌芽期后,在 2000 年以后进入快速增长时期,其可能的主要原因:一是随着全球航空航天业尤其是民用市场的发展,欧美主要国家对航空航天技术知识产权保护愈加重视;其二,包括我国在内的一些国家开始重视并开展民用航空航天技术的研发。

2. 从技术分布来看,该领域主要集中于由金属组成的层状产品、由陶瓷组成的层状产品、宇宙航行的飞行器、铝基合金、用热处理法或用热加工法或冷加工法改变有色金属或合金的物理结构、非变容式机器或发动机、金属材料镀覆、以动力装置类型或位置为特点的飞机等技术领域。陶瓷成型制品的形成工艺和以蒸汽、电力或弹簧力为动力的飞机这两个技术方向是近 3 年专利申请的热点。

3. 从主要申请国家来看,中国和美国的专利数量最多,分别为 61 项和 59 项,另外,德国、法国、加拿大、日本等国也申请了一定数量的技术专利,这些国家在航空航天领域的稀土元素应用情况具有一定的相似性,我国应用较多的稀土元素是钕、镧、铈、钇、铈等,美国应用较多的稀土元素是铈、钇、铈、钕、铈等。

4. 从专利权人来看,专利数量排名前五位专利权人分别是:法国空客公司、漯河市科技开发中心、德国爱励铝业公司(Aleris Aluminum)、美国肯联铝

业公司(Constellium)和青岛爱飞客航空科技有限公司。主要专利权人都将机身结构作为技术研发的重点。此外,法国空客公司的技术研发侧重于层状产品,德国爱励铝业公司和美国肯联铝业公司的技术研发侧重于铝基合金。青岛爱飞客航空科技有限公司的技术研发侧重于铸铁合金。

5. 虽然中国和美国的专利数量相差不大,但美国技术优势明显,美国不仅在主要的技术领域上都有专利布局,同时优势技术较多。

从全球来看,稀土元素用于航空航天领域的技术专利主要集中在欧美国家,不论是专利数量还是技术分布,欧美国家均占有优势,虽然我国也开始注重航空航天领域稀土元素的应用开发技术,从缩小和欧美差距的角度,建议我国加强航空航天领域稀土应用研发的顶层布局,加大对稀土材料高端应用技术的资助力度,鼓励自主创新,重视原创性成果,同时积极开展和国际科技前沿机构的交流与合作,集中力量瞄准重点和关键技术开展科研攻关。

参考文献:

- [1] Chen Z H. Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry[J]. Journal of Rare Earths, 2011, 29(1): 1-6.
- [2] Buynovskiy A S, Zhiganov A N, Sofronov V L, Sachkov V I, Ganeikina N V. Current state of the rare earth industry in Russia and Siberia [J]. Procedia Chemistry, 2014, 11:126-132.
- [3] Joseph G. 2017 US rare earth industry[J]. China Rare Earth Information, 2018, 24(9): 1-4.
- [4] Le B. A neo-Cramscian Perspective on Varieties of Environmental Governance: Hegemonic Struggles in China's Rare Earth Industry [D]. University of Essex, 2016.
- [5] Jost W. Rare earth elements in China: Policies and narratives of reinventing an industry [J]. Resources Policy, 2013, 38(3): 384-394.
- [6] Balaram V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and

- environmental impact[J]. *Geoscience Frontiers*, 2019, 10(4): 1285-1303.
- [7] 刘荣辉,徐会兵,赵娜,田济阳,高慰,冯宗玉,黄小卫. 中国稀土新材料重大发展需求和发展战略研究[J]. *中国稀土学报*, 2023, 6, 41(3): 571-579.
- Liu R H, Xu H B, Zhao N, Tian J Y, Gao W, Feng Z Y, Huang X W. Research on major development demand and strategy of China's rare earth new materials[J]. *Journal of The Chinese Society of Rare Earths*, 2023, 6, 41(3): 571-579.
- [8] 吴国华,童鑫,胥怀明,魏广玲,肖旅. 铸造镁稀土合金研究现状及其在航空发动机领域应用展望[J]. *航空制造技术*, 2022, 65(3): 14-29.
- Wu G H, Tong X, Sui H M, Wei G L, Xiao L. Research status of cast Mg-RE alloy and its application prospect in aero-engine[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2022, 65(3): 14-29.
- [9] 唐政刚,张达,解志鹏,苏咸凯,戴永年,梁凤. 稀土材料的制备与高端应用[J]. *有色金属科学与工程*, 2021, 8, 12(4): 112-125.
- Tang Z G, Zhang D, Xie Z P, Su X K, Dai Y N, Liang F. Preparation and high-end application of rare earth materials[J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*, 2021, 8, 12(4): 112-125.
- [10] 朱明刚,孙旭,刘荣辉,徐会兵. 稀土功能材料2035年发展战略研究[J]. *中国工程科学*, 2020, 22(5): 4-10.
- Zhu M G, Sun X, Liu R H, Xu H B. Research on the development strategy of rare earth functional materials in 2035[J]. *Strategic Study of CAE*, 2020, 22(5): 4-10.
- [11] 闫阿儒. 2:17型钕钴永磁材料的研究进展[J]. *金属功能材料*, 2021, 28(1): 1-11.
- Yan A R. Research development of 2:17 type samarium-cobalt magnet[J]. *Metallic Functional Materials*. 2021, 28(1): 1-11.
- [12] 姬梅梅,朱时珍,马壮. 航空航天用金属表面热防护涂层的研究进展[J]. *表面技术*, 2021, 50(1): 253-266.
- Ji M M, Zhu S Z, Ma Z. Advances in the research of thermal protective coatings on aerospace metal surface[J]. *Surface Technology*, 2021, 50(1): 253-266.
- [13] 邓文字,王朋阳,齐丽君,段永利,孙宝玉,万亿,张昕洁,谢元华,杜广煜,刘坤. 钕铁硼永磁材料腐蚀机理及防护研究进展[J]. *真空*, 2020, 57(5): 45-51.
- Deng W Y, Wang P Y, Qi L J, Duan Y L, Sun B Y, WAN Y, Zhang X J, Xie Y H, Du G Y, Liu K. Research progress on corrosion mechanism and protection of NDF permanent magnet materials[J]. *VACUUM*, 2020, 57(5): 45-51.
- [14] 杨永晟,王克志,赵震,闫东鹏. 稀土钨、铽配合物在温度发光传感领域的研究进展[J]. *中国稀土学报*, 2021, 39(1): 88-109.
- Yang Y S, Wang K Z, Zhao Z, Yan D P. Research progress of europium or terbium complexes in field of thermo-sensitive luminescence[J]. *Journal of the Chinese Society of Rare Earths*, 2021, 39(1): 88-109.
- [15] 李文龙,章羊. 技术创新驱动稀土产业转型升级的实证研究[J]. *稀土*, 2018, 39(4): 132-138.
- Li W L, Zhang Y. Empirical analysis of technological innovation driving transformation and upgrading of rare earth industry[J]. *Chinese Rare Earths*, 2018, 39(4): 132-138.

Research on the Distribution of Rare Earth Application Technologies in the Aerospace Field from a Patent Perspective

WEI Feng^{1,2*}, DENG A-mei^{1,2}, GU Shan-qiang^{3,4}, LI Tao^{3,4}

(1. Wuhan Documentation and Information Center, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;

2. Hubei Key Laboratory of Science and Technology Big Data, Wuhan 430071, China;

3. NARI Group Corporation, Nanjing 211106, China;

4. Wuhan NARI Limited Company, State Grid Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: The application of rare earth elements in aerospace field is an important field at home and abroad. In view of the application of rare earth elements in aerospace field, the paper mainly uses scientometrics, mathematical statistics, and other methods to analyze the application technology innovation patents of rare earth elements from the perspective of application countries and main patentees. It is found that the global rare earth element technology patents in aerospace have shown an overall growth trend since the application, especially after 2000 the patent application was very active and the number was relatively large. The global main technologies are distributed in alloy and non-metallic products and application technologies, especially in ceramic coating and aircraft power technology from 2017 to 2019, which are the hot areas in three years. The patents from the United States and China are more than those of other countries, and the main patents in China focus on neodymium, lanthanum, cerium, yttrium, scandium, and the United States focus on scandium, yttrium, erbium, cerium, terbium, etc. The world's main patentees in this field are European and American companies. It is suggested that China should strengthen the systematic research layout of rare earth in the field of aerospace and enhance the technology research and development through international and domestic cooperation.

Key words: rare earth elements; aerospace; patent; scientific metrology; technological innovation