



智谱·AI



清华大学
Tsinghua University

人工智能研究院知识智能中心
中国工程院知识智能联合研究中心

AI TR
Tsinghua

全球高超音速技术发展报告 (2022)

Global Report of Hypersonic Technology Development In 2022

2022.02

智谱·AI

——让机器像人一样思考

目 录

第 1 章 前言	3
1.1 基本概念.....	3
1.2 研究意义.....	4
第 2 章 全球高超音速技术现状	4
2.1 论文分析.....	5
2.1.1 中美俄高超音速技术论文发表量居于全球前三.....	5
2.1.2 中国高超音速科研论文量近年来持续全球领先.....	6
2.1.3 研究热点聚焦于高超音速飞行器技术.....	7
2.1.4 七所中国研究机构进入全球论文发表量前十名.....	8
2.2 专利分析.....	8
2.2.1 全球专利申请量呈稳步上升态势.....	8
2.2.2 中美两国专利申请量占全球六成以上.....	9
2.2.3 中国机构在专利申请量前十名中明显多于美国.....	10
2.2.4 专利技术创新点聚焦于飞行器发动机和材料等方向.....	10
第 3 章 领域高层次学者分析	11
3.1 高超音速领域中国高层次学者数量优势明显.....	11
3.2 中国高超音速高层次学者分散于不同地区.....	12
3.3 高超音速领域 H 指数领先的高层次学者名单.....	13
第 4 章 高超音速应用现状	15
4.1 军事武器.....	15
4.2 运输与客机.....	16
4.3 太空旅游与科研.....	17
版权说明	18

第 1 章 前言

高超音速（Hypersonic，亦称高超声速、极音速），是一个空气动力学名词。高超音速与人工智能、无人系统技术被称为未来全球竞争的关键新兴技术。随着中俄大力发展高超音速系统，美国已将高超音速技术确定为最优先的现代化领域之一。今年 2 月美国国家科学技术委员会（NSTC）将高超音速技术加入到新一版关键和新兴技术（Critical and Emerging Technologies，CETs）清单，虽然美国声称是为了保障美国在未来的技术领导力和应对技术安全威胁，但是此举还是再次加强了各国对高超音速技术的高度关注。

1.1 基本概念

高超音速是指速度高出音速许多的状态。现有研究中，对高超音速的定义通常源于《高超音速高温气体动力学》^[1]和美国国家研究会议对美国空军高超音速规划的评估报告^[2]，即大于 5 倍音速（5 马赫）的速度。

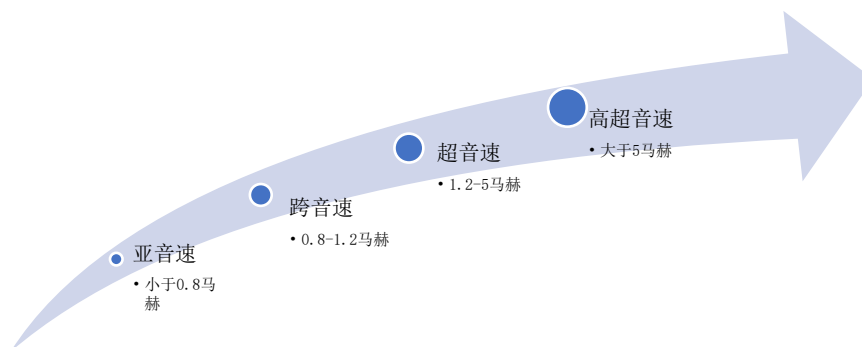


图 1 音速范围示意图

高超音速技术主要体现在军事层面上的高超音速武器。高超音速武器则以高超音速飞行器为主导，原因在于其具有巨大的军事价值和潜在的经济价值。高超音速飞行器主要包括三类：高超音速巡航导弹、高超音速飞机以及空天飞机。高

^[1] ANDERSON J D. Hypersonic and high temperature gas dynamics [M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1989

^[2] Committee on Review and Evaluation of the Air Force Hypersonic Technology Program, National Research Council. Review and evaluation of the air force hypersonic technology program[R]. Washington DC: National Academics Publications, 1998

超音速飞行器的关键技术包括先进的推进技术、先进的导航制导与控制技术、新型材料与热防护技术等^[1]，其中，动力推进技术又是重中之重，例如，超燃冲压发动机技术。

1.2 研究意义

近年来，以中国、美国、俄罗斯等为代表的世界强国不断深入探索高超音速领域。主要原因在于，高超音速领域被很多国家视为未来军事科技的新制高点，高超声速武器被视为未来大国博弈的重要工具，有可能改变战争规则的重大意义；高超音速飞行是未来航空航天领域的制高点，具有非常重要的战略性和前瞻性意义。

《全球高超音速发展报告（2022）》将主要从高超音速领域的技术研究与发展趋势、学者画像，以及主要应用等方面，较为全面地呈现出该领域的技术及应用发展的全球现状，并展望该技术的未来前景。

本报告研究数据范围是科技情报大数据挖掘与服务系统平台 AMiner 数据库相关的论文数据、专利数据、学者数据等，以及公开获取的第三方数据。所有统计数据截止日期为 2022 年 2 月 15 日。

第 2 章 全球高超音速技术现状

高超音速已经进入到不同军事应用场景下的先期技术开发阶段。相关研究工作主要集中在以技术成熟的火箭为动力装置的助推滑翔导弹，以及在超燃冲压发动机两大方向上进行着持续探索^[1]。本部分通过能够反映高超音速技术科研能力和创新能力的论文和专利两项指标来体现该技术的发展现状。

^[1] 穆凌霞, 王新民, 谢蓉, 张友民, 李滨, 王剑. 高超音速飞行器及其制导控制技术综述[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2019, 51(3): 1-14. DOI: 10.11918/j.issn.0367-6234.201810036.

2.1 论文分析

基于科技情报大数据平台 AMiner，通过关键词检索式^[2]在标题和摘要中进行检索，发现自 2000 年以来关于高超音速的科研论文发表量呈现稳步上升态势，共计 9995 篇（截至 2022 年 2 月 15 日）。

2.1.1 中美俄高超音速技术论文发表量居于全球前三

在近 20 多年的高超音速相关论文之中，论文发表量前十国家依次是中国、美国、俄罗斯、英国、印度、澳大利亚、日本、德国、意大利和法国，如图 2 所示。其中，中国的相关论文发表量居于全球领先地位，美国、俄罗斯分别居于第二、三位。

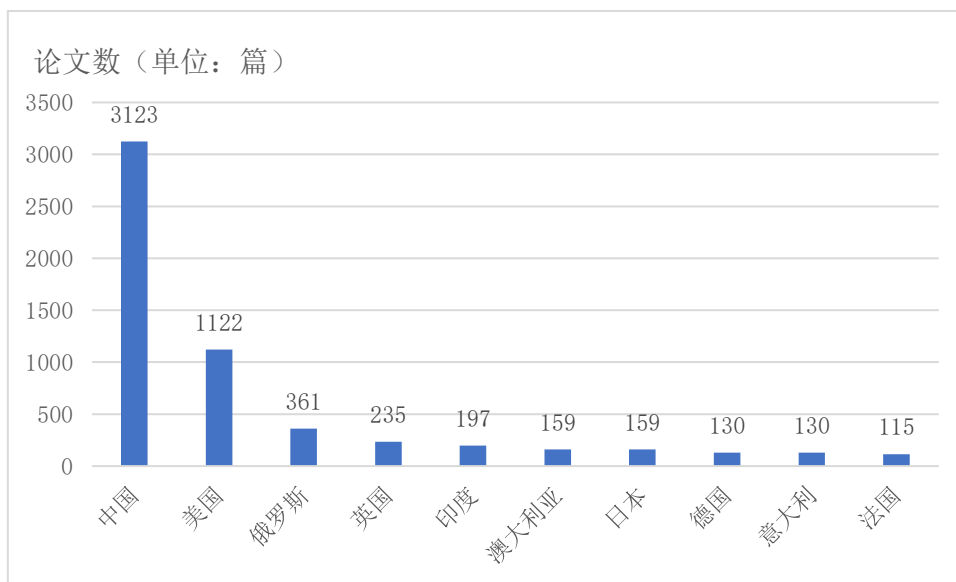


图 2 2000-2022 年高超音速学术论文发布量 TOP10 国家

数据来源：AMiner 系统。

截至目前，引用量最高的论文是美国密苏里大学罗拉分校的 William G. Fahrenholtz 与 Gregory E. Hilmas，以及海军水面战中心的 Inna G. Talmy 与 James A. Zaykoski 于 2007 年在《美国陶瓷学会杂志》(Journal of the American Ceramic

[2]关键词检索式: Hypersonic OR Air-breathing combined power technology OR Turbine Based Stamping Combination Technology OR ramjet OR synergistic air-breathing rocket engine OR SABRE OR scramjet OR Dual-mode scramjet OR DMSJ OR Superconducting Hybrid TBCC Engine

Society) 合作发表的论文 *Refractory diborides of zirconium and hafnium* [3]。该论文综述了二硼化锆 (ZrB₂) 和二硼化铪 (HfB₂) 陶瓷的晶体化学、合成、致密化、微观结构、力学性能和氧化行为, 并指出基于其独特的性能组合, ZrB₂ 和 HfB₂ 陶瓷可用于与高超音速飞行、大气再入、和火箭推进。该论文目前的被引用量是 1336 次。

2.1.2 中国高超音速科研论文量近年来持续全球领先

在全球范围内, 美国和中国在高超音速领域的相关论文发表量最令人瞩目, 近 20 年来基本都是该领域研究成果数量领先的国家。总体上, 美国的相关科研产出量曾在 2000-2007 年期间居于全球首位, 之后被中国超越, 中国的相关科研产出量自 2007 年以来持续居于全球之首, 如图 3 所示。在此期间, 可能一方面是由于美国自 2004 年 11 月 X-43A Hyper-X 演示验证机成功后暂时停止高超音速民用项目而转向发展技术风险更低、可用于空间探索、战略隐身多用途无人侦察机的“运载火箭-载人舱”, 另一方面可能与中国在这段时间内加大航空科研投入有关, 中国自从在 2007 年批准大飞机研制立项之后, 在高超音速武器领域发展十分迅速, 产生了较多相关技术论文。

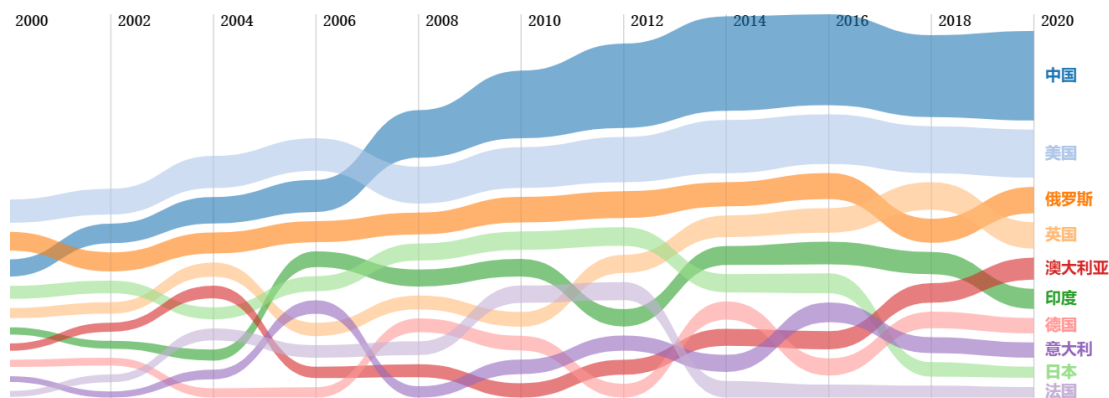


图 3 国家间高超音速科研论文成果发展态势

数据来源: AMiner 系统。(注: 图中的每个色带表示一个国家, 其宽度表示该国家在当年的热度, 与当年的论文数量呈正相关; 各国家在每一年份中按照其热度进行排序, 热度越高的国家, 其位置越排在上方。)

[3] Fahrenholtz, W. G., Hilmas, G. E., Talmy, I. G., & Zaykoski, J. A. (2007). Refractory diborides of zirconium and hafnium. *Journal of the American Ceramic Society*, 90(5), 1347-1364.

2.1.3 研究热点聚焦于高超音速飞行器技术

根据高超音速技术关键词，从 AMiner 数据库中查找出高超音速相关科研论文，生成技术热点词云图（如图 4 所示）以及包含论文所在领域的分支术语、年份和相关论文数量的大数据发展趋势河流图（如图 5 所示）。由图可发现，当前高超音速的学术论文研究热点 TOP 10 按热度递减依次包括：高超音速飞行器、高超音速流动、边界层、超燃冲压发动机、冲击波、空气动力学、传热、计算流体力学、流场、热流密度。

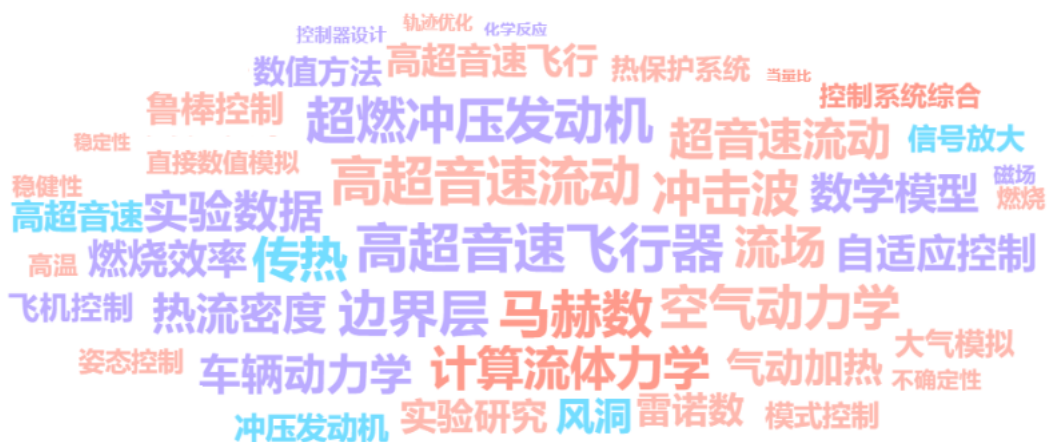


图 4 2000-2022 年高超音速研究论文的技术热点分析

来源：AMiner 系统。

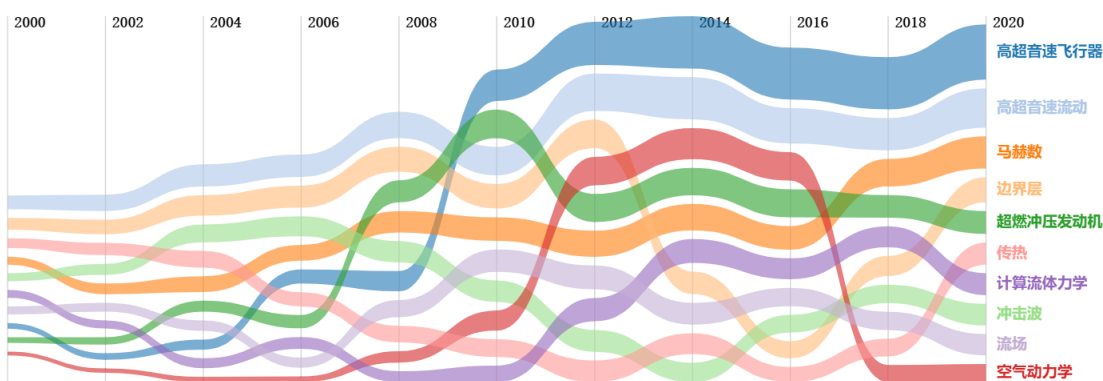


图 5 高超音速技术论文研究态势（2000-2022 年）

来源：AMiner 系统。（注：图中的每个色带表示一个分支术语，其宽度表示该术语在当年的热度，与当年该分支的论文数量呈正相关；各分支在每一年份中按照其热度进行排序，热度越高的技术主题，其位置越排在上方。）

2.1.4 七所中国研究机构进入全球论文发表量前十强

从全球范围看，在高超音速科研论文发表量前十强机构之中，有 7 所来自中国、2 所来自于俄罗斯、1 所来自美国，如图 6 所示。这反映出中国机构在高超音速领域的研究力量较强。高超音速论文量前十强的机构依次是哈尔滨工业大学、西北工业大学、国防科技大学、北京航空航天大学、莫斯科大学、南京航空航天大学、中国科学院、俄罗斯科学院、天津大学、南京航空航天大学。

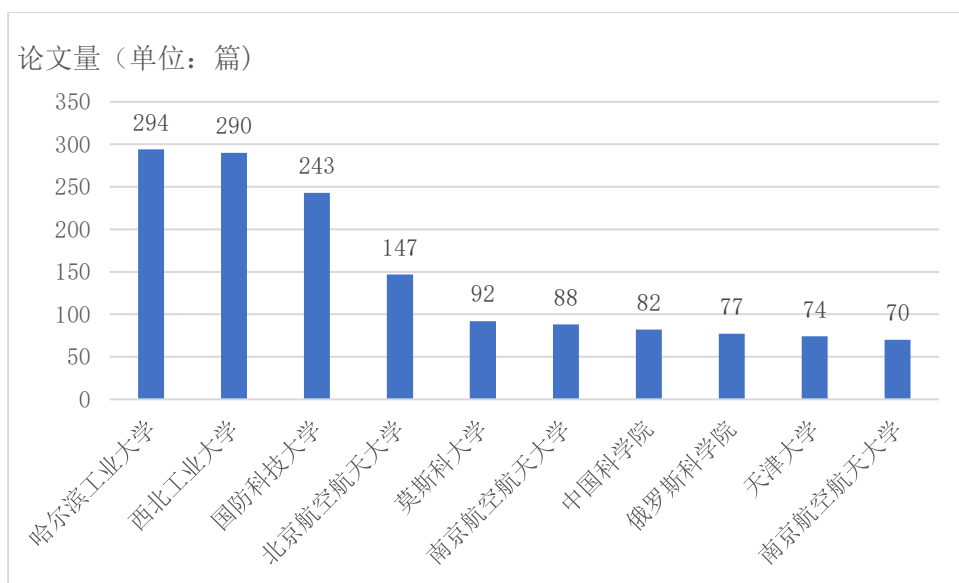


图 6 高超音速论文发表量全球前十机构 (2000-2022 年)

数据来源: AMiner 系统。

2.2 专利分析

2.2.1 全球专利申请量呈稳步上升态势

自 2000 年以来，高超音速全球专利申请量呈现出平稳增长态势，由最初的 473 件到 2020 年的 2117 件，增长了近 5 倍，如图 7 所示。可以预见，未来几年高超音速相关专利申请仍将不断增长。

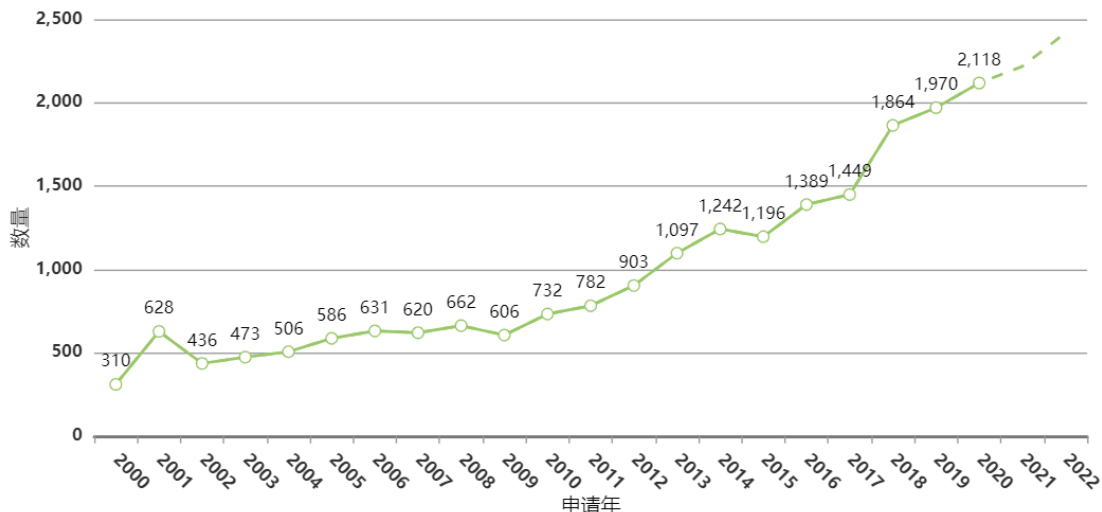


图 7 近 20 年高超音速技术专利申请趋势（单位：件）

数据来源：AMiner 系统、智慧芽。

2.2.2 中美两国专利申请量占全球六成以上

从专利申请情况来看，近 20 多年来，全球高超音速专利申请集中在中国、美国两个国家，二者专利申请量合计占全球的六成以上。其中，中国相关专利申请量居世界第一，占全球总量的 46.5%；美国排名第二，占全球总量的 17.3%；其他的前十国家依次是日本、俄罗斯、韩国、德国、英国、法国、乌克兰、荷兰，如图 8 所示。

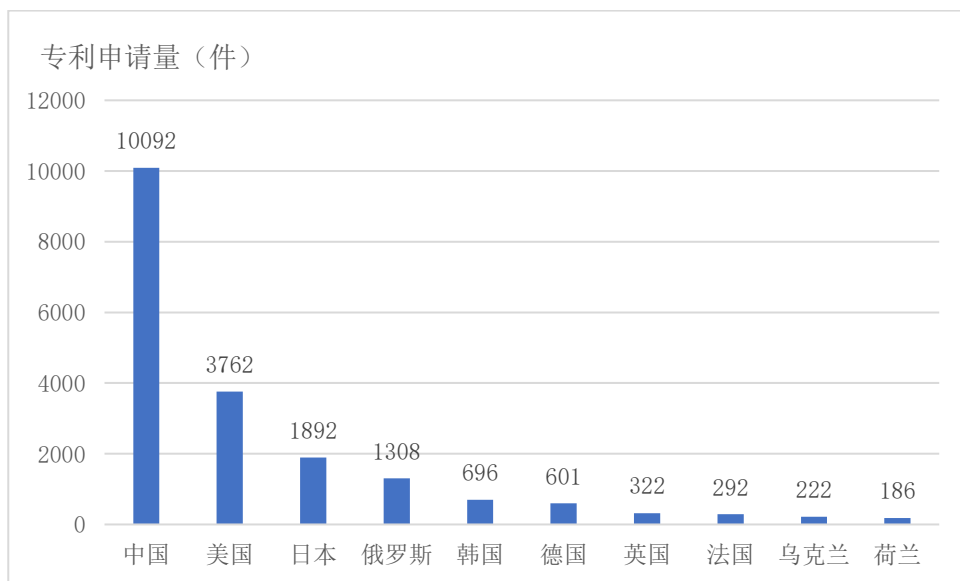


图 8 近 20 年全球高超音速专利申请人所在国家前十

数据来源：AMiner 系统、智慧芽。

2.2.3 中国机构在专利申请量前十名中明显多于美国

高超音速专利申请量前十强的机构之中，中国机构占据 8 席，分别是中国人民解放军国防科学技术大学、中国航天空气动力技术研究院、南京航空航天大学、中国空气动力研究与发展中心超高速空气动力研究所、西北工业大学、北京航空航天大学、哈尔滨工业大学、中国运载火箭技术研究院。其余 2 所机构均来自美国，分别为通用电气公司、波音公司，如图 9 所示。这再次显示出中国机构在高超音速领域强大的技术创新实力。

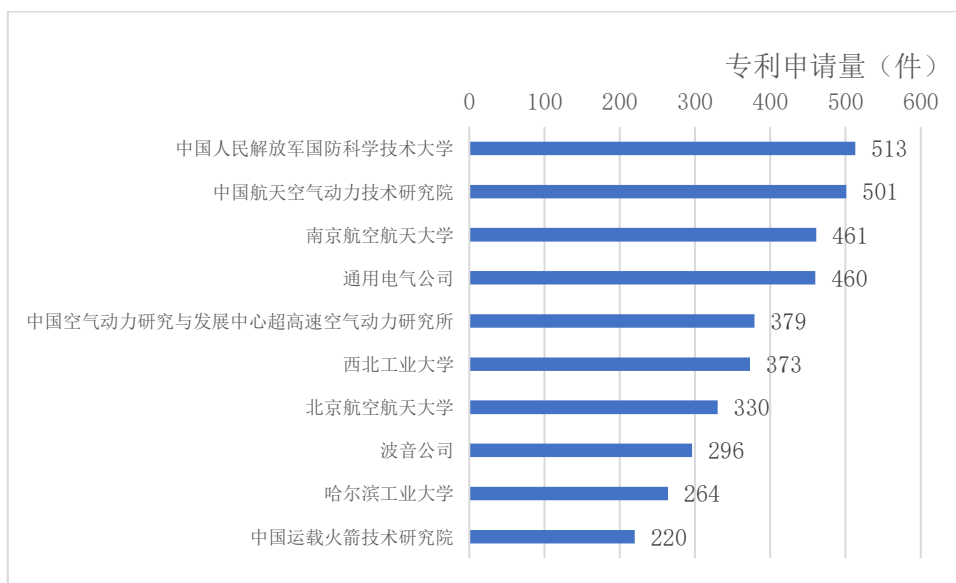


图 9 高超音速专利申请量全球前十机构（2000-2022 年）

数据来源：AMiner 系统、智慧芽。

2.2.4 专利技术创新点聚焦于飞行器发动机和材料等方向

高超音速相关专利申请主要集中在 G01M9/04（零部件）、G01M9/06（专用于空气动力学试验的测量装置）以及 F02K7/10（以具有冲压为特点的，即空气热动力冲压发动机或冲压式喷气发动机）三个 IPC 分类中。

就创新技术点而言，高超音速相关专利创新较多是关于飞行器、发动机、燃烧室、进气道等部件装置以及复合材料方面，具体信息如图 10 所示。



图 10 高超音速专利技术热点词云

数据来源：AMiner 系统、智慧芽。

第 3 章 领域高层次学者分析

基于 AMiner 系统学者库大数据，通过智能算法遴选出高超音速领域学者 5,163 位作为高层次学者进行人才特征分析。

3.1 高超音速领域中国高层次学者数量优势明显

从全球范围看，中国从事高超音速研究的高层次学者数量具有较大优势，人数近 2000 人，占全球总量的 37%，处于明显领先地位；其次是美国与俄罗斯，分别居于第二、三位。具体信息如图 11 所示。

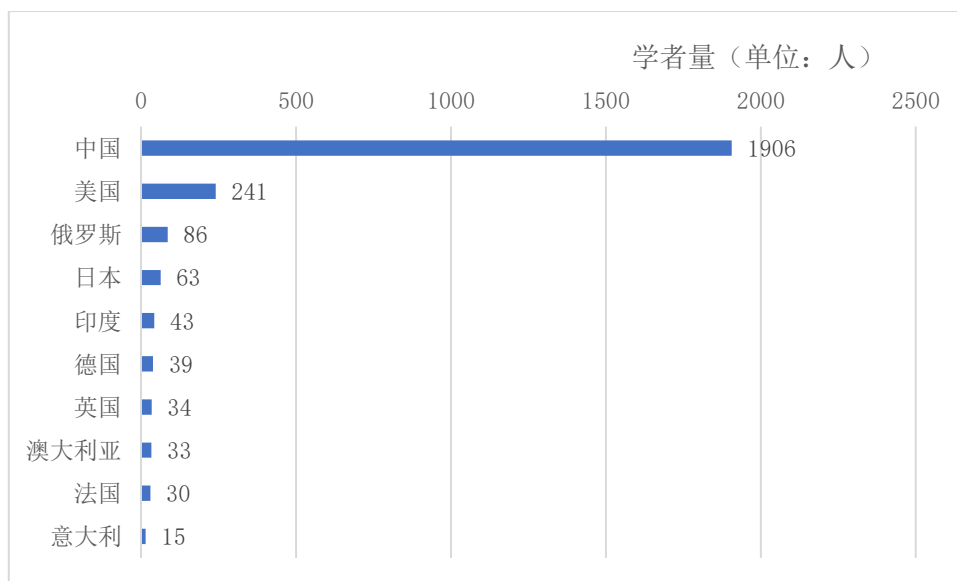


图 11 全球高超音速高层次学者国别分布 (TOP 10)

数据来源: AMiner 系统。

3.2 中国高超音速高层次学者分散于不同地区

从学者所在机构分布看,高层次学者数量前十的全球机构主要为中国机构所占据,仅含 1 所俄罗斯机构,如图 12 所示。这反映出中国机构在高超音速领域拥有较多的高层次学者资源优势。其中,中国的国防科技大学、西北工业大学、中国空气动力研究与发展中心分别以 230 人、221 人和 134 人的高层次学者量位居全球前三甲。从国内人才所在地域来看,进入全球高层次学者数量前十的中国机构则分布在湖南、陕西、四川、北京、黑龙江、江苏等不同省份地区。

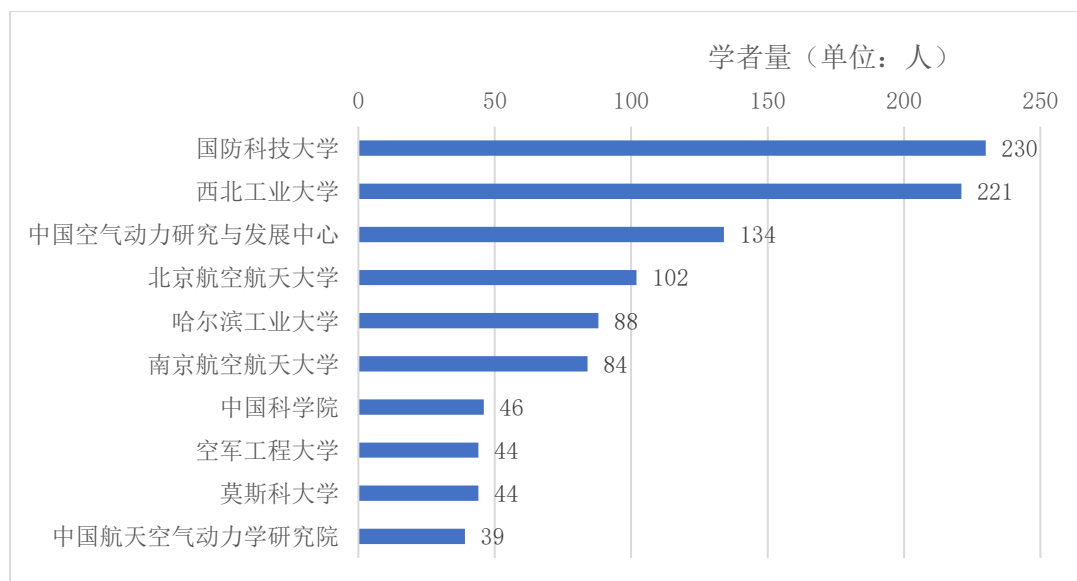





图 12 全球高超音速领域顶尖人才机构分布 (TOP 10)

数据来源: AMiner 系统。

3.3 高超音速领域 H 指数领先的高层次学者名单

在 AMiner 学者系统中, 全球高超音速领域 H 指数领先的高层次学者相关信息如表 1 所示。可见, 这些 H 指数领先的高层次学者主要来源于中国、美国以及荷兰, 他们的研究方向较多关于高超音速的推进力、动力和控制、材料等领域。

表 1 全球高超音速领域最顶尖学者 (H 指数 TOP10)

序号	姓名	研究方向	所在国家	任职机构	H 指数
1	 Petros Ioannou	高超音速飞行器、自适应控制、神经网络、非线性系统、车辆动力学与控制、智能交通系统和海洋交通	美国	南加州大学	51
2	 Peter A. Gnoffo	计算流体、动力学算法、热量传播、空气动力加热、高超音速流、高超音速冲击波	美国	美国宇航局兰利研究中心	35
3	 Bas W. Van Oudheusden	高低速状态下的粘性流动效应、冲击波-边界层相互作用 (SWBLI)、非定常流动 (包括扑翼空气动力学) 和 “PIV 压力”。	荷兰	代尔夫特理工大学	32

4	 Weixing Zhou(周伟星)	发动机主动热防护、传热过程与化学反应动力学耦合、燃油裂解与结焦抑制、喷射与燃烧	中国	哈尔滨工业大学	24
5	 Shuo Tang(唐硕)	高超音速飞行器、多光子显微镜、可重复使用运载火箭、遗传算法、高超音速巡航飞行器	中国	西北工业大学	23
6	 Ronald F Probst	高温气体物理学、高超音速流动、物理化学流体动力学、合成燃料	美国	麻省理工学院	21
7	 黄攀峰	空间机器人技术、空间遥操作技术、智能控制技术、机器视觉、网络辨识与网络控制、飞行器导航、制导与控制	中国	西北工业大学航天学院	20
8	 鲍文	航空发动机总体和新型热力循环、智能发动机、超声速燃烧理论、有化学反应的发动机主动热防护研究	中国	哈尔滨工业大学	20
9	 Brian R. Hollis	实验和计算空气热力学、辐射物理学和边界层转变	美国	美国宇航局兰利研究中心	19
10	 王振国	航空宇航推进理论及技术、液体火箭发动机、超燃冲压发动机理论及应用、临近空间飞行器设计等	中国	国防科学技术大学	16

第 4 章 高超音速应用现状

高超音速技术应用主要分为军用和民用。目前，高超音速军用更为世界各国政府所重视，并投入了数十亿的科研经费预算用于高超音速武器的研发与测试。高超音速技术目前已经进入到以高超音速飞机、高超音速巡航导弹、可重复使用空天运载器等为应用背景的先期技术开发阶段。在民用领域，高超音速最具吸引力的用途则在于民航客机，其交通速度将会为人类开启一个出门旅游、商务办公的新时代。

4.1 军事武器

世界已有多个国家积极大力研发探索高超音速技术及其应用，包括法国、印度、日本、韩国和澳大利亚，但中国、美国和俄罗斯处于领先地位。目前各个国家还没有形成统一的全球研发战略。其原因主要在于各国之间的军备竞赛。拥有高超音速武器意味着在未来的高科技战争中可以大大提高对抗风险、保持必要的战场优势，甚至改变战略平衡。

高超音速武器主要分为两类^[4]，一是先由火箭发射之后无动力滑翔飞向目标的高超音速滑翔飞行器，二是在整个飞行过程中由高速发动机提供动力的高超音速巡航导弹。高超音速滑翔器呈曲线下降，在飞行初段和中段的飞行轨迹类似弹道导弹的抛物线，容易被敌方探测到飞行轨迹，在飞行末段像滑翔机一样水平滑行。而高超音速巡航导弹在飞行初段即可实现低空高速飞行，不遵循传统弹道导弹的抛物线轨迹，机动性高，不易被敌方雷达发现，可对敌方核心目标进行突袭精确打击，也可以携带核弹头，保证了在军事上的快响应、强突防、难防御、高毁伤能力。

为了进行高超音速对抗防御，美国导弹防御局 MDA 已委托雷神公司、洛克

⁴ 美国智库“国会研究服务部”报告《新兴军事技术：国会的背景和问题》

希德·马丁公司和诺斯罗普·格鲁曼公司竞争开发高超音速导弹太空滑翔拦截器 GPI，以及开发能够监测全球高超音速武器运行情况的高超音速和弹道跟踪空间传感器 HBTSS 卫星^[5]。其中，这种 GPI 防御性高超音速武器，可以在敌方高超音速导弹无动力飞行的中途将其拦截击退。

4.2 运输与客机

高超音速飞机技术还可以进行两用。在民用领域，高超音速飞行器可以用于洲际飞行的货运与客运，大大缩短飞行时间，提高全球交通运行效率。尤其，**高超音速民航客机对很多国家具有强大吸引力**，3 小时内全球达到的交通速度会将人类推入一个出门旅游、商务办公的新时代。多家大型航空公司表示，高超音速飞机将成为航空运输业发展的必然趋势。

目前来看，尽管高超音速客机在全球范围内技术尚不成熟，也尚未商业化普及，但是**针对高超音速飞机关键技术，目前多个国家已有研究成果**。美国航空航天学会 2018 航空论坛（AIAA aviation 2018）会议上，波音公司公开了其正在研制的高超音速民用客机概念方案以及相关技术细节：美国航空航天初创企业赫尔墨斯（Hermes）公司在 2019 年 5 月公开了其最大巡航速度可达 5 马赫、载客 20 人左右、航程 4000 海里的高超音速民用飞机研制计划，于 2020 年 3 月表示完成了高超音速飞机涡轮基冲压组合发动机的相关实验，准备转化为实用。此外，欧洲通过 LAPCAT（远期先进推进概念与技术）、ATLLAS（气动与热载荷相互作用计划）、Hexafly（高超音速飞行试验）等一系列科研项目，开展了 5 马赫和 8 马赫高超音速民用飞机的概念方案研究。中国 2021 年曾宣布正在开发一种高超音速客机，计划至 2025 年将完成高超音速飞行的所有关键部件的验证测试，至 2035 年将可以运营高超音速飞机机队，可以搭载 10 名乘客在 1 小时内飞抵全球任何地方，至 2045 年飞机载客量提升至超过 100 人^[6]。

⁵ [美国正在制造高超音速导弹拦截器，很可能在太空中拦截](#)，2022-01-29，乐点科学视角，搜狐

⁶ [民航联盟：中国研发高超音速飞机 波音 Q2 交付 79 架飞机飞行](#)，2021-07-15，网易

4.3 太空旅游与科研

高超音速的载人太空飞机将能够在数分钟内将人类送入太空，该技术未来将为人类开启太空旅行以及探测外太空的大门。

随着太空旅游的技术逐渐成熟、安全性被认可，也随着高净值人群增加以及人们对于精神生活更高追求，太空旅游有着广阔的市场前景。维珍银河、SpaceX、太空探索技术公司等欧美公司致力于发展太空旅行；我国国家航天局在第五部航天白皮书《2021 中国的航天》中，指出未来五年将培育发展太空旅游、空间试验等太空经济新业态。

此外，高超音速还能被做成一种平台。这个平台可用于科研，为高超音速研究人员提供经济和灵活地获得高超音速环境的途径；或者飞到太空之后，作为一种航天发射的载具。例如，波音公司探索发展可重复使用的高超音速平台，让其作为传统太空发射火箭的替代品，将有效载荷送入太空。

版权说明

AMiner 研究报告版权为 AMiner 团队独家所有，拥有唯一著作权。AMiner 咨询产品是 AMiner 团队的研究与统计成果，其性质是供用户内部参考的资料。

AMiner 研究报告提供给订阅用户使用，仅限于用户内部使用。未获得 AMiner 团队授权，任何人和单位不得以任何方式在任何媒体上(包括互联网)公开发布、复制，且不得以任何方式将研究报告的内容提供给其他单位或个人使用。如引用、刊发，需注明出处为“报告名称 (AMiner.org)”，且不得对本报告进行有悖原意的删节与修改。

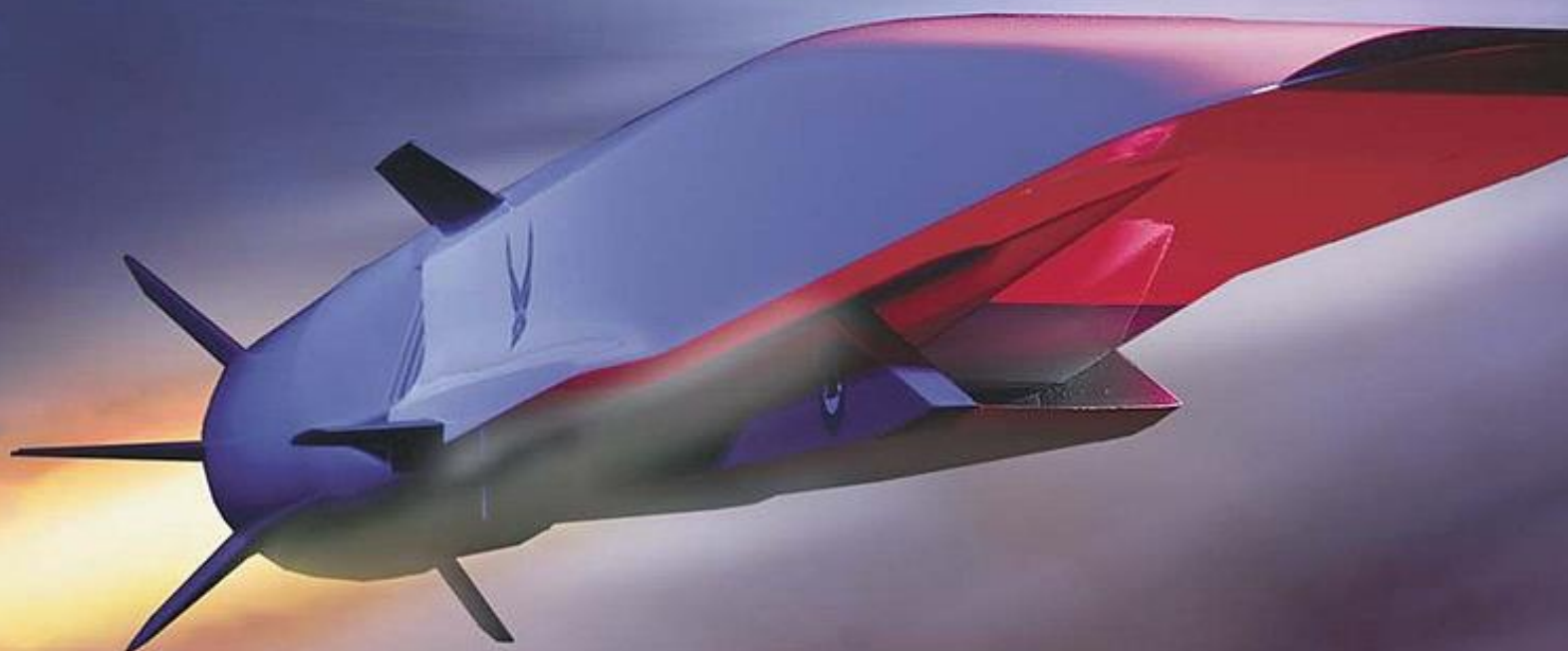
AMiner 研究报告是基于 AMiner 团队及其研究员认可的研究资料，所有资料源自 AMiner 后台程序对大数据的自动分析得到，本研究报告仅作为参考，AMiner 团队不保证所分析得到的准确性和完整性，也不承担任何投资者因使用本产品与服务而产生的任何责任。



智谱·AI



人工智能研究院知识智能中心
中国工程院知识智能联合研究中心



北京智谱华章科技有限公司（简称智谱·AI）致力于打造数据与知识双轮驱动的认知智能，让机器像人一样思考。智谱·AI 拥有下一代认知智能创新平台悟道++，并在此基础上打造了综合科研信息平台 AMiner 2.0 以及数字人业务。智谱·AI 研究咨询部是专业从事科研信息情报研究咨询的机构，致力于为科技创新型客户提供重点领域科技及其人才情报、科研趋势研判、人才和机构技术尽调等专业服务。

智谱·AI 研究咨询 ——

邮箱: miao.zhang@aminer.cn