

文章编号:1674-8190(2022)01-168-07

# 我国高等学校在航空航天领域的研究现状及前沿分析

于辉<sup>1</sup>, 游骏<sup>2</sup>

(1. 西北工业大学 生命学院, 西安 710072)

(2. 西北工业大学 航天学院, 西安 710072)

**摘要:** 高等学校是航空航天原始创新的重要发源地,在航空航天技术发展和进步中发挥了重要作用。为了分析我国高等学校在航空航天领域的发展情况,以JCR收录的航空航天工程类期刊为数据源,选取2011—2020年我国高等学校发表论文,利用CiteSpace软件对航空航天领域的论文发表情况、机构合作关系、关键词共现、关键词聚类等进行可视化分析,总结我国高等学校在航空航天领域的研究现状、合作关系以及未来研究前沿。通过梳理我国高等学校关于航空航天领域的研究情况,本文研究为我国航空航天事业的规划布局、创新发展提供一定参考价值。

**关键词:** 高等学校; 航空航天; 可视化分析; 研究现状; 未来研究主题

**中图分类号:** V11; G644; G353.1

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16615/j.cnki.1674-8190.2022.01.20

**开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



## Research Status and Frontier Analysis of Aerospace Field in Chinese Universities

YU Hui<sup>1</sup>, YOU Jun<sup>2</sup>

(1. School of Life Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

(2. School of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** Universities are the important source of original innovation in aviation and astronautics, and play an important role in the development and progress of aerospace technology. In order to analyze the development of Chinese universities in the field of aerospace, the aerospace engineering journals included in JCR are taken as the data source, the papers published by Chinese universities from 2011 to 2020 are selected, and the CiteSpace software is used to visually analyze the paper publication, institution cooperation, keyword co-occurrence and keyword clustering in the field of aerospace. The research status, cooperation relationship and future research hotspots of Chinese universities in the field of aerospace are summarized. By combining the research situation in the field of aviation and astronautics in universities in China, the study in this paper provides the important reference value for the planning layout and innovation development of Chinese aviation and astronautics.

**Key words:** universities; aerospace; visualized analysis; research status; future research topics

收稿日期: 2021-04-20; 修回日期: 2021-07-02

基金项目: 国家自然科学基金(7204102363)

通信作者: 游骏, junyou@mail.nwpu.edu.cn

引用格式: 于辉, 游骏. 我国高等学校在航空航天领域的研究现状及前沿分析[J]. 航空工程进展, 2022, 13(1): 168-174.

YU Hui, YOU Jun. Research status and frontier analysis of aerospace field in Chinese universities[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(1): 168-174. (in Chinese)

## 0 引言

航空航天技术是20世纪兴起的一门综合性极强的现代科学技术<sup>[1]</sup>,是对人类生活影响最大的科学技术之一,也是人类文明发展的重要标志。航空航天技术作为多种高精尖技术的集合,是衡量一个国家综合国力的重要因素,其涵盖了物理、数学、生命科学等基础研究领域和其他相关的应用研究领域。20世纪初,第一架带动力、可操纵的飞机出现后,航空航天技术飞速发展,到20世纪50年代中期,第一颗人造卫星发射成功,人类的脚步也开始迈向更遥远的太空<sup>[2]</sup>。近年来,我国在航空航天领域取得了一系列举世瞩目的伟大成就,这些成绩的取得与我国高等学校等科研机构 and 广大科研人员潜心学术、矢志原始创新,集中优势力量开展科技攻关息息相关。

开展关于航空航天领域的研究,对系统总结经验、准确发现问题、科学谋划未来起到至关重要的作用。国内部分研究者聚焦这个主题开展了一些研究,马雪梅等<sup>[3]</sup>利用Web of Science的数据,研究了航天强国的发展动态,对比分析了中国与美国、欧盟、俄罗斯等国家和地区在航空航天领域的差距;孟祥昊等<sup>[4]</sup>分析了中美俄三国航空航天技术的研究现状;周立秋等<sup>[5]</sup>分析了我国航空航天技术发展态势和航空航天力量的分布情况。

上述研究分析主要聚焦国家与国家/地区之间等宏观层面的研究,缺少高等学校关于该领域研究的系统梳理与分析。而我国高等学校是航空航天原始创新的重要发源地,在航空航天技术发展和进步中发挥了重要作用;进一步聚焦高等学校关于航空航天领域研究现状和前沿分析等开展研究,对推动我国航空航天技术发展,助力航空强国和航天强国建设具有十分重要的意义。

本文通过文献的可视化分析,梳理我国高等学校关于航空航天领域研究进展,对研究现状进行分析并展望未来研究方向,以期为我国航空航天事业发展提供一定的支撑。

## 1 数据源和研究方法

### 1.1 数据来源及筛选

本文基于Web of Science核心合集数据库,以JCR收录的30个航空航天工程领域(Engineering, Aerospace)的科技期刊为数据源,检索条件设置为

期刊名,地址设置为China,搜索时间设置为2011—2020年,在对所检索的论文进行去重处理后,共获取11 488篇论文信息;在此基础上,添加Univ条件,对高等学校参与发表论文进行筛选,获得10 860篇文献(占文献总数的95%),足以看出我国高等学校在航空航天领域研究中的重要地位。因此,本文重点对高等学校参与发表的文献数据进行分析研究,以此来分析我国航空航天领域研究的现状和前沿方向。

### 1.2 研究方法

本文以CiteSpace软件为基础对所建立的数据库进行分析,CiteSpace软件的版本为5.7. R2。CiteSpace是一款基于JAVA平台的信息可视化软件,是文献计量学方面最先进的分析工具之一<sup>[6]</sup>。通过CiteSpace绘制的知识图谱能够显示一个学科或知识领域在一定时期的发展趋势和动向,从而使研究者能够科学地把握研究现状与前沿<sup>[7]</sup>。本文以近十年我国高等学校关于航空航天领域研究文献为数据基础,通过使用CiteSpace软件的关键词共现,关键词突现,机构合作关系等分析方法,分析研究我国高等学校关于航空航天领域的研究现状和前沿方向。

## 2 研究情况分析

### 2.1 文献发布情况分析

论文的产出情况能够说明一个国家在该科学领域中的知识产出能力<sup>[8]</sup>,2011—2020年,我国高等学校在航空航天领域共发表论文10 860篇,其年度分布如图1所示。

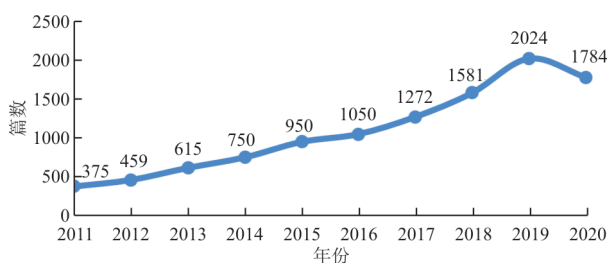


图1 航空航天领域论文的年度发文量

Fig. 1 Annual number of papers published in the field of aerospace

从图1可以看出:2011年发表的论文为375篇,2019年达到最高值2 024篇,而2020年略微降低,但总体呈现上升趋势,这说明我国高等学校越

来越重视关于航空航天领域的研究,这与我国高等学校和广大科研工作者响应党和国家部署安排,主动服务于航空和航天事业发展密不可分。

## 2.2 高等学校发文情况分析

高等学校的发文数量能够在一定程度上展现该校在航空航天领域的研究程度,从而揭示该领域处于最前沿的高等学校<sup>[9]</sup>。通过 CiteSpace 生成研究机构共现图谱,可以展示出各个高等学校之间的合作强度。2011—2020 年发文量排名前 20 的高等学校如表 1 所示,可以看出:排名前五的高等学校分别为北京航空航天大学,西北工业大学,南京航空航天大学,国防科技大学,哈尔滨工业大学;北京航空航天大学发文最多,为 1 919 篇,另外四所高等学校发文量也均在 1 000 篇左右,在航空航天领域有着较高水平。发文量在 500 篇以上的高等学校还有北京理工大学,清华大学。排名前 20 的高等学校中,大部分为国防军工行业特色高等学校,属于航空航天领域研究的中坚力量,可见航空航天领域的研究和进展,与我国的国防事业发展息息相关。从地区分布来看,位于北京的高等学校最多,在航空航天领域实力最强;而位居其后的地区分别为陕西、江苏、黑龙江、湖南,均为国防科技重点省份,具有较强实力,其他省份在航空航天领域的实力则相对弱一些。

表 1 机构发文量统计  
Table 1 Statistics on the number of articles issued by institutions

序号	机构名	篇数	序号	机构名	篇数
1	北京航空航天大学	1 919	11	西安电子科技大学	202
2	西北工业大学	1 157	12	武汉大学	191
3	南京航空航天大学	1 061	13	大连理工大学	162
4	国防科技大学	1 025	14	浙江大学	148
5	哈尔滨工业大学	924	15	南京理工大学	144
6	北京理工大学	616	16	空军工程大学	141
7	清华大学	529	17	香港理工大学	107
8	上海交通大学	321	18	东南大学	106
9	中国科学院大学	263	19	电子科技大学	106
10	西安交通大学	221	20	哈尔滨工程大学	104

高等学校之间合作关系图如图 2 所示,可以看出:北京航空航天大学、西北工业大学、南京航空航天大学、国防科技大学、哈尔滨工业大学在图中占据较大位置。以上述大学为中心各自发展出了若干合作网络,通过对这些合作网络分析可以得

出,连接关系较强的往往处于同一地区或相邻省份,如西北工业大学与西安电子科技大学、空军工程大学有较强合作关系,南京航空航天大学与复旦大学、南京大学有较强合作关系等,当然,跨地区也存在一定的合作关系,例如国防科技大学与清华大学的合作。

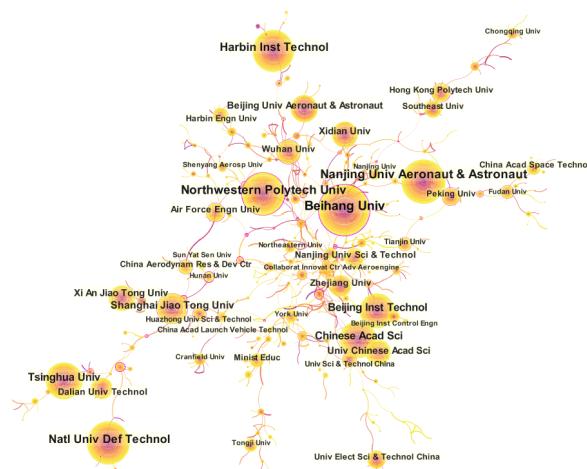


图 2 高等学校合作关系

Fig. 2 Research institution partnerships

## 3 研究现状与前沿分析

关键词是对一篇文献的高度概括,通过对关键词分析,能够反映出目前在该领域的研究现状以及研究的变化趋势<sup>[10]</sup>,而关键词突现,则是通过关键词的突增性,体现该领域的发展趋势,进而分析其研究前沿。

### 3.1 关键词共现分析

在 CiteSpace 中选择 Keyword,对关键词进行共现分析,其仿真结果如图 3 所示,其中,关键词的圆圈大小对应关键词出现的频次,出现次数越多圆圈越大;关键词之间的连线表示两个关键词同时出现在一篇文献<sup>[11]</sup>。通过对关键词共现图谱结果分析,可以得到关键词的出现频次。出现频次排名前 20 的关键词如表 2 所示,其中,中心性表示了该节点的重要程度,中心性大于 0.1 的节点称为关键节点。出现频次高于 500 的关键词分别为 design、system、model、flow、optimization、performance,这类词语的共同特点是对某一领域较为笼统的概括,如设计(design)一词出现次数最多,为 954 次,其所表示内容涉及飞行器结构设计、控制系统设计等方面。基于关键词分析,我国高等学

校在航空航天领域的研究,主要聚焦优化、稳定性、动力学、数值仿真、卫星、跟踪、导航、姿态控制、滑模控制等应用研究领域。

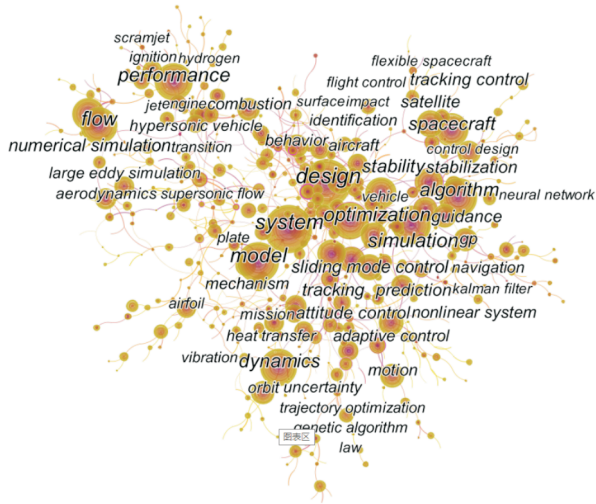


图 3 关键词共现网络

Fig. 3 Keywords co-occurrence network

表 2 高频关键词统计表

Table 2 High frequency keywords statistical table

序号	关键词	中心性	频次
1	design	0.02	954
2	system	0.04	854
3	model	0.02	711
4	flow	0.04	543
5	optimization	0.02	531
6	performance	0.06	511
7	simulation	0.04	497
8	dynamics	0.04	436
9	algorithm	0.02	428
10	stability	0.03	314
11	spacecraft	0.03	291
12	numerical simulation	0.02	287
13	sliding mode control	0.11	256
14	tracking	0.03	226
15	satellite	0.04	219
16	attitude control	0.12	208
17	prediction	0.02	205
18	stabilization	0.04	201
19	guidance	0.02	197
20	tracking control	0.02	192

### 3.2 关键词聚类分析

在关键词共现分析的基础上,CiteSpace可以根据关键词之间的关系进行聚类分析,由此可以更加准确地把握我国高等学校在航空航天领域的研究动态和发展趋势。关键词聚类分析结果如图 4 所示,其中,每个#表示一个聚类,共生成 22 个聚类,聚类的编号由小到大表示聚类中所包含的关键词数量逐渐减小。

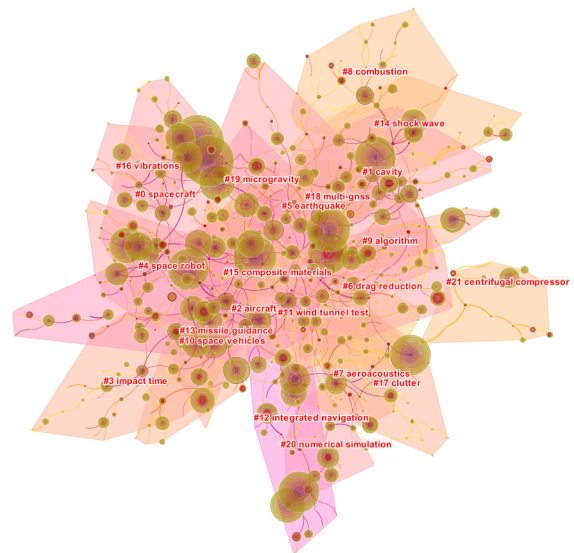


图 4 关键词聚类图谱

Fig. 4 The clustering graph of keywords

这在这些聚类中,又可以根据其意义以及包含的内容分为六大类。

第一大类是与飞行器总体设计相关领域的研究,包括航天器(spacecraft)、航空器(aircraft)、空间机器人(space robot)、算法(algorithm)、空间飞行器(space vehicle)、微重力(microgravity)。以上聚类主要围绕飞行器总体进行研究,或者是对涉及飞行器的某一领域进行研究,具有较强的归纳概括性。

第二大类是与高超声速环境下飞行器相关领域的研究,包括空腔结构(cavity)、减阻(drag reduction)、激波(shock wave),其中,空腔结构是针对高超声速飞行器的结构设计方式;减阻主要是指飞行器在高超声速环境下的减阻问题;激波则是在超声速下的一种气动现象,激波是飞行器阻力增大的重要原因之一,消除激波影响对减阻有着重要意义。

第三大类是与飞行器制导系统相关领域的研

究,包括冲击时间(impact time)、组合导航(integrated navigation)、导弹制导(missile guidance)、杂波(clutter)以及多系统(multi-GNSS)。其中,冲击时间表示在导弹制导过程中对导弹击中目标时间的控制,组合导航和导弹制导以及多系统均是对导弹制导系统的设计,而杂波是指对导弹控制系统工作环境的研究。现代战争中,已经不是仅仅满足于导弹击中目标,而是要进一步控制导弹击中目标的时间、角度,甚至同时控制多枚导弹,进行协同制导<sup>[12]</sup>。

第四大类是与飞行器自身结构设计相关领域的研究,包括震荡(earthquake)、气动声学(aero-acoustics)、复合材料(composite materials)、振动(vibrations)。复合材料能够有效减轻飞机本身的重量,同时,相对于传统材料,复合材料具有更优越的综合性能,因此在航空航天领域被广泛运用<sup>[13]</sup>。震荡、气动声学、振动则是指飞行器自身的结构特性,涉及飞行器结构材料、振动频率和模态等。

第五大类是与流体力学相关领域的研究,包括风洞实验(wind tunnel test)、数值分析(numerical simulation)。其中,风洞实验是通过实验方法研究气体流动及其空气特性,数值分析则是使用计算机程序来求解数学模型的近似解,如计算流体力学等。

第六大类是与类发动机相关领域的研究,包括燃烧(combustion)和离心式压缩机(centrifugal compressor)。离心式压缩机因其结构简单可靠且稳定工作范围宽,被广泛应用于航空发动机<sup>[14]</sup>。燃烧主要指的是对超燃冲压发动机的研究,与传统火箭发动机相比,超燃冲压发动机无需携带氧化剂、节省燃料,在消耗同等燃料的情况下,推力能达到传统火箭发动机的4倍<sup>[15]</sup>。

### 3.3 研究前沿分析

对于学科前沿,一般情况下以3~5年内研究数据作为基本前沿集合<sup>[16]</sup>,因此,本文选取2017—2020年我国高等学校关于航空航天领域发表的论文,通过CiteSpace的关键词突现功能,得到排名前20的关键词突现结果,如表3所示,其中,强度表示关键词在该时间段内引用量变化情况,强度大说明这段时间该关键词被大量引用,体现出某类研

究的兴起。

表3 关键词突现结果  
Table 3 The result of keywords bursts

关键词	强度	起始年份	终止年份
不起动	4.55	2017	2018
隔离段	4.27	2017	2018
控制力矩陀螺	3.98	2017	2018
滑动模态	3.70	2017	2018
环境	3.70	2017	2018
执行器饱和	3.70	2017	2018
有限时间控制	3.70	2017	2018
轴流式发动机	3.70	2017	2018
推力	3.41	2017	2018
捕获	3.41	2017	2018
飞行器	3.13	2017	2018
伪谱法	3.13	2017	2018
气缸	3.13	2017	2018
强度	3.13	2017	2018
数值仿真	2.84	2017	2018
代码	2.56	2017	2018
校验	1.45	2018	2020
航空发动机	1.45	2018	2020
控制系统	1.45	2018	2020
防热系统	1.36	2018	2020

从表3可以看出:我国高等学校关于航空航天领域研究的前沿方向主要包括以下四类。

第一类是关于发动机相关领域的研究,特别是对高超声速发动机的研究。其中,隔离段(isolator)是超燃冲压发动机的重要气动部件,不起动(unstart)则是超燃冲压发动机的一种现象;隔离段的作用就是为防止超燃冲压发动机进气道的不起动。在高超声速的情况下,气动加热十分严重,因此飞行器的防热系统(thermal protection system)显得尤为必要;此外,推力(thrust),气缸(cylinder)是发动机中常见的名词,航空发动机(aircraft engine)以及轴流式发动机(axial flow compressor)指的是不同发动机,这些都是关于发动机研究的重要内容。

第二类是关于控制理论相关领域的研究,包括滑动模态(sliding mode),执行器饱和(actuator saturation),有限时间控制(finite time control),控制系统(control system)。其中,滑动模态主要指滑模控制方法,滑模控制能够克服系统的不确定性,

具有很强的鲁棒性,但是存在抖振问题<sup>[17]</sup>。执行器饱和是指在实际问题中,对于所设计的控制方法,还存在机械上的限制<sup>[18]</sup>,因此需要对执行器饱和和问题进行研究。而有限时间控制也是控制理论中一个重点研究的问题。

第三类是关于卫星相关领域的研究,包括对航天器姿态控制的研究。控制力矩陀螺(control moment gyro)就是实现姿态控制的一个装置,而伪谱法(pseudo-spectral method)是在求解卫星轨道问题的常用数值模拟方法。

第四类是其他相关领域的研究。由于研究方向涉及到多个方面,无法统一归纳总结为某一类,如数值模拟(numerical simulation),在气动方面,有计算流体力学;在结构方面,有静力学分析等。环境(environment),采样(capture),飞行器(flight vehicle),强度(strength),代码(code),校验(validation)均是一些较为笼统的关键词,并不是对某一研究方向的概括。

## 4 分析与展望

通过上述分析,可以得出以下结论:

(1) 2011—2020年,我国高等学校在航空航天工程类期刊上发表的论文数量稳步增加,这说明我国高等学校关于航空航天领域的研究越来越重视和持续深入。

(2) 国防军工行业特色高等学校是航空航天领域研究的中坚力量,同一区域的高等学校间开展了实质性合作、产出了研究成果,不在同一区域的高等学校开展合作较少。

(3) 我国高等学校关于航空航天领域研究主要偏向于应用问题的研究,对基础理论研究较少,主要集中在关于飞行器总体设计、高超声速飞行器、制导控制、飞行器结构设计、流体力学以及发动机设计等方面研究。

(4) 我国高等学校的研究前沿主要集中在高超声速发动机、控制理论、航天器姿态控制、数值模拟、复合材料等领域的研究。

通过对我国高等学校在航空航天领域的研究成果分析,一定程度上反映了我国在航空航天领域的实力,要建成世界航天强国,首先需要提高国家航空航天科技创新能力,特别是原始创新能力,在这一方面,可以借鉴国外航空航天强国的经验,

逐步提高研发能力、创新能力。其次,我国在航空航天领域,偏向于应用问题,而对于航空航天前沿基础的探索存在不足,需要加强对世界研发前沿技术的研究,解决“卡脖子”问题。最后,各个高等学校作为航空航天领域研究的主力,也需要积极发挥带头作用,加强各个机构之间的合作交流,支撑中国航天事业的发展。

## 5 结束语

本文利用可视化工具,从多个角度对我国高等学校在航空航天领域发表的论文进行了分析,总结了我国高等学校在航空航天领域的研究现状和发展前沿。回顾过去,我国航空航天实力快速提升,我国高等学校特别是国防军工行业特色高等学校作为航空航天领域研究的中坚力量,起到了十分重要的作用。展望未来,以北京航空航天大学 and 西北工业大学等“国防七子”为代表的高等学校,还将聚焦制约航空航天事业发展的关键领域持续开展深入研究,为国防科技进步和现代化建设提供强有力的智力支撑。

### 参考文献

- [1] 江洋洋. 国际航空航天领域的学术发展格局分析——基于ESI和SCIE数据分析的视角[J]. 科技情报开发与经济, 2015, 25(13): 111-114.  
JIANG Yangyang. Analysis on the academic development pattern of aeronautic and astronautic fields—based on the perspective of ESI (essential science indicators) and SCIE (science citation index expanded) data analysis[J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2015, 25(13): 111-114. (in Chinese)
- [2] 贾锐超. 航空航天领域的发展趋势和制造技术需求分析[J]. 中国战略新兴产业, 2018(36): 60.  
JIA Ruichao. Development trends of aviation industry and its demands for manufacturing technology[J]. China Strategic Emerging Industry, 2018(36): 60. (in Chinese)
- [3] 马雪梅, 薛慧锋, 袁建华, 等. 主要航天国家航空航天技术研究发展态势——基于Web of Science数据库的科学计量分析[J]. 情报工程, 2017, 3(4): 87-98.  
MA Xuemei, XUE Huifeng, YUAN Jianhua, et al. Study on development status of aerospace technology research field in major aerospace countries—based on scientometrics analysis of Web of Science database[J]. Technology Intelligence Engineering, 2017, 3(4): 87-98. (in Chinese)
- [4] 孟祥昊, 潘云涛. 中美俄航空航天工程领域科学论文产出对比研究[J]. 科技管理研究, 2014(23): 8-13.

- MENG Xianghao, PAN Yuntao. Contrast research on scientific paper in the field of aerospace engineering of China, America and Russia[J]. Science and Technology Management Research, 2014(23): 8-13. (in Chinese)
- [5] 周立秋, 任佳妮, 钱虹, 等. 基于 Web of Science 的中国航空航天技术发展态势研究[J]. 情报工程, 2020, 6(2): 104-113.
- ZHOU Liqiu, REN Jiani, QIAN Hong, et al. Research of development trend analysis of China aerospace technology based on Web of Science[J]. Technology Intelligence Engineering, 2020, 6(2): 104-113. (in Chinese)
- [6] CHEN C. CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3): 359-377. (in Chinese)
- [7] 李杰. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化[M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2016.
- LI Jie. CiteSpace: text mining and visualization in scientific literature [M]. Beijing: Capital University of Economics Business Press, 2016. (in Chinese)
- [8] 李作学, 张传旺, 荆浩, 等. 知识图谱视角下低空空域研究的前沿热点与演进的计量分析[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2021, 38(1): 78-85.
- LI Zuoxue, ZHANG Chuanwang, JING Hao, et al. Quantitative analysis of the frontier hotspot and evolution of low-altitude airspace research from the perspective of knowledge map[J]. Journal of Shenyang Aerospace University, 2021, 38(1): 78-85. (in Chinese)
- [9] 杨凤田, 李作学, 马婧婧, 等. 通用航空发展研究的热点与演进——基于知识图谱的可视化研究[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版), 2020, 33(3): 92-100.
- YANG Fengtian, LI Zuoxue, MA Jingjing, et al. Research hotspots and evolution of general aviation development: a visualization study based on knowledge mapping[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics (Social Sciences Edition), 2020, 33(3): 92-100. (in Chinese)
- [10] 刘忠. 航空工业智能制造研究状况和热点分析——基于 Web of Science 的文献计量分析[J]. 竞争情报, 2017, 13(2): 30-38.
- LIU Zhong. Research on the status quo and hot topics of intelligent manufacturing technology in the field of aviation industry: bibliometric analysis based on Web of Science[J]. Competitive Intelligence, 2017, 13(2): 30-38. (in Chinese)
- [11] 梁永霞, 杨中楷, 刘则渊. 基于 CiteSpace II 的航空航天工程前沿研究[J]. 科学学研究, 2008, 26(s2): 303-312.
- LIANG Yongxia, YANG Zhongkai, LIU Zeyuan. Fronts of aerospace engineering domains based on CiteSpace II [J]. Studies in Science of Science, 2008, 26(s2): 303-312. (in Chinese)
- [12] 赵恩娇, 孙明玮. 多飞行器协同作战关键技术研究综述[J]. 战术导弹技术, 2020(4): 175-182.
- ZHAO Enjiao, SUN Mingwei. Review on the key technology of cooperative engagement for multiple flight vehicles[J]. Tactical Missile Technology, 2020(4): 175-182. (in Chinese)
- [13] 李喜志, 柳辉. 浅谈复合材料在航空航天领域中的应用[J]. 设备管理与维修, 2020(2): 131-132.
- LI Xizhi, LIU Hui. Talking about the application of composite materials in the field of aerospace[J]. Plant Maintenance Engineering, 2020(2): 131-132. (in Chinese)
- [14] 黄勇, 李维, 贺宜红. 小型航空发动机特点及换热问题综述[J]. 南京航空航天大学学报, 2016, 48(3): 310-316.
- HUANG Yong, LI Wei, HE Yihong. Characteristic and heat transfer problem of small aeroengine [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2016, 48(3): 310-316. (in Chinese)
- [15] 刘薇, 龚海华. 国外高超声速飞行器发展历程综述[J]. 飞航导弹, 2020(3): 20-27, 59.
- LIU Wei, GONG Haihua. Overview of the development history of foreign hypersonic aircraft [J]. Aerodynamic Missile Journal, 2020(3): 20-27, 59. (in Chinese)
- [16] CHEN C, LIN X, ZHU W. Trailblazing through a knowledge space of science: forward citation expansion in CiteSeer [J]. Proceedings of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 43(1): 1-17.
- [17] 徐峰, 杨舒博, 毛剑琳. 板球系统控制研究综述[J]. 自动化与仪器仪表, 2020(7): 1-4, 11.
- XU Feng, YANG Shubo, MAO Jianlin. A survey of research on the control of cricket system [J]. Automation & Instrumentation, 2020(7): 1-4, 11. (in Chinese)
- [18] 邵晨, 何潇. 执行器饱和的多智能体一致性控制[J]. 航空学报, 2020, 41(s1): 110-118.
- GAO Chen, HE Xiao. Consensus control for multi-agent systems subject to actuator saturations [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2020, 41(s1): 110-118. (in Chinese)

#### 作者简介:

于 辉(1985—),男,硕士,副研究员。主要研究方向:高等学校治理与管理、行业特色高等学校创新发展。

游 骏(1998—),男,硕士研究生。主要研究方向:导航制导与控制。

(编辑:丛艳娟)