



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

基于 SCI 论文的无人机领域技术发展态势分析

钱虹 党晖 杨阳 周立秋 任佳妮

陕西省科学技术情报研究院 西安 710054

摘要: 本文基于 SCI 数据库,以科技论文为数据基础,从研究态势、研究热点和研究主力 3 个维度对全球无人机的基础研究现状进行了分析,掌握全球无人机的技术发展态势,为我国无人机的研究部署提供参考。研究表明:人工智能在无人机的应用,无人机系统应用的关键技术,提升无人机的载荷、续航能力等是无人机技术发展的发展方向,我国需要加强市场培育与转化,开拓无人机应用的新领域。

关键词: 无人机; SCI; 论文; 可视化分析

分类号: V19; G35

Analysis of Development of Technological Situation of UAV Based on SCI Database

QIAN Hong DANG Hui YANG Yang ZHOU Liqiu REN Jiani

Shaanxi Institute of Scientific and Technical Information, Xi'an 710054, China

Abstract: Based on the scientific papers of SCIE database, this paper analyzes the basic research status of global UAV from three dimensions: research situation, research hotspot and research main force. Master the technological innovation of the world's UAV and provide reference for the research and development of UAV in China. The results show that artificial intelligence, key technologies for UAV system applications and improving loading capacity and endurance of UAV are technology development directions of UAV. China needs to strengthen market cultivation and transformation, opening up new areas for UAV applications.

Key words: UAV; drone; SCI; scientific papers; visual analysis

作者简介: 钱虹 (1985-), 副研究员, 研究方向: 科技情报研究、科研鉴定; 党晖 (1972-), 助理工程师, 研究方向: 数据分析, E-mail: 59104760@qq.com; 杨阳 (1981-), 馆员, 研究方向: 情报研究、文献服务; 周立秋 (1969-), 馆员, 研究方向: 情报研究、科技咨询; 任佳妮 (1985-), 副研究员, 研究方向: 情报研究、科技咨询。

引言

无人驾驶的飞机我们通常简称为无人机, 可完成复杂空中飞行任务和各种负载任务, 鉴于无人机的零伤亡、控制灵活、低成本等优势, 世界各国均在大力开展无人机的相关研究。Teal 集团对全球无人机市场规模预测, 到 2024 年无人机市场销售额将达到 115 亿美元^[1]。国务院在 2015 年公布的《中国制造 2025》中提及需要推进无人机产业化。可见无论是从经济前景还是国家的需求, 无人机的研究都是大势所需。

我国无人机的发展起步早, 近年发展速度飞快。已有多位学者对无人机的发展情况进行了分析, 李国红等^[2]对无人机中动力系统、飞控导航、机体平台和云台等关键技术的专利布局进行了研究。郭晨等^[3]基于专利分析了美国无人机发展态势, 介绍美国无人机从军用到民用发展的技术变化情况。褚鹏蛟等^[4]基于全球无人机专利分析了各国无人机的专利发展情况, 包括专利的布局、技术发展的重点及竞争态势。上述研究均是从专利角度对无人机的技术发展现状及未来趋势进行分析, 并未基于科技论文分析无人机的发展态势。

科技论文是反映基础研究结果的主要体现, 能够反映出国家或地区的研究水平和科研创新能力。利用文献计量学方法预测学科发展态势是各位学者分析学科领域发展态势的常用方法。颜志辉等^[5]对 SCI 中 1988-2007 年发表的转基因作物的论文进行了文献计量分析, 揭示了国际转基因作物研究的特征和发展趋势。郭静芸等^[6]基于 SCI 对地质工程研究文献进行计量分析, 分析了地质工程研究领域地区、人员分布

及研究热点。

本文基于 SCI 数据库对无人机相关技术研究论文进行分析, 了解无人机方面的研究热点、技术发展脉络及研究力量, 进一步分析了无人机的技术发展态势, 为我国无人机研究发展部署提供参考。

1 数据来源和分析方法

本文数据来源于美国科学信息研究所 (ISI) 的 Web of Science 数据库。该数据库收录了世界范围内各学科领域内最优秀的科技期刊 12 000 余种, 收录的论文能够反映科学前沿的发展动态。在数据库中, 对 2009-2018 年无人机相关研究论文进行检索, 通过篇名 / 主题词检索无人机、无线遥控飞机、不载人飞机、空中机器人、无人直升机等, 共获得无人机领域相关文献 7109 条 (检索日期为 2019 年 1 月 29 日), 采用 DDA 和人工对数据进行清洗, 得到研究论文、学术会议论文、研究综述等文献共计 7003 篇。

采用 Derwent Data Analyzer (DDA) 知识产权情报信息分析工具和社会网络分析集成软件 Ucinet 对检索结果进行数据分析及可视化展示, 分析无人机的主要研究国家、研究热点及热点的迁移, 发现无人机技术的发展态势。

2 数据分析

2.1 总体趋势

随着无人机的快速发展, 各国研究人员积极开展无人机的相关技术研究, 2009-2018 年

SCI 共计收录的无人机相关研究论文 7003 篇。根据无人机论文每年的发表量，可以将无人机的技术研究可分为两个阶段。初始研究阶段（2009-2015 年）：这个阶段的发文数量增长比较平缓，每年平均增长率近 20%。热门研究阶段（2016-2018 年）：2015 年，各大运营产商

融资成功，为无人机的发展创造了十分有利的条件，无人机的市场不断壮大，无人机受到大家的重视，相关的技术研究也进入了快速发展时期。从 2016 年开始，无人机相关的技术研究成果进入快速增长期，平均每年论文发表量增长率达到了 46%。

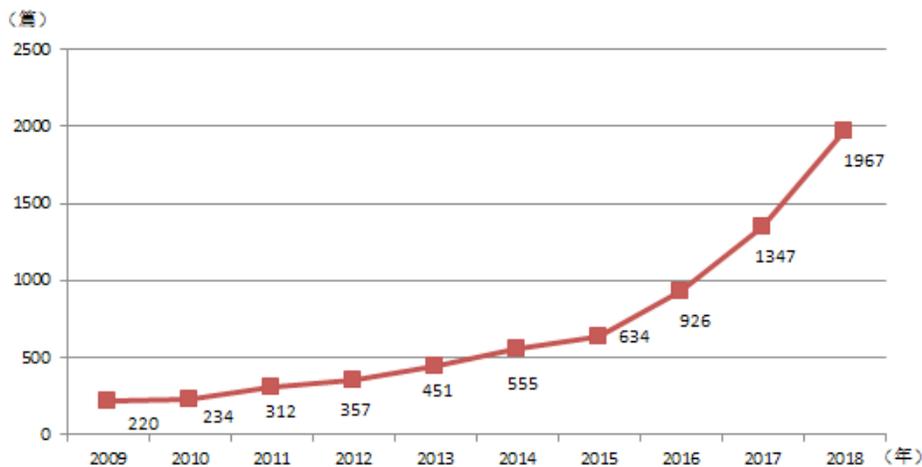


图 1 2009-2018 年无人机领域论文年度发文量

2.2 主要研究力量

(1) 主要研究国家

随着无人机的市场价值的挖掘，引来了世界范围内无人机关键技术研究的热潮，2009-2018 年，共计 111 个国家已开展无人机关键技术的研究。美国、中国、英国等国家的无人机

关键技术研究的发文量在全球排在前 10 位（表 1），其中美国和中国以绝对优势遥遥领先，这两个国家的论文数占全球无人机关键技术研究论文总数的比重超过了 1/3。美国以论文总被引次数 23169 次，位于全球第一位；中国的论文总被引次数为 10658 次，排名第二。

表 1 2009-2018 年无人机领域论文数前 10 的国家

排名	国家	发文量 (篇)	总被引次数 (次)	篇均被引次数 (次/篇)	排名	国家	发文量 (篇)	总被引次数 (次)	篇均被引次数 (次/篇)
1	美国	1758	23169	13.4	6	意大利	360	3977	11.1
2	中国	1702	10658	6.3	7	澳大利亚	357	6477	18.1
3	英国	490	5469	11.1	8	德国	340	5120	15.0
4	韩国	474	3308	7.0	9	加拿大	321	3908	12.2
5	西班牙	433	7539	17.4	10	法国	305	4401	14.4

在无人机关键技术研究的主要国家中,澳大利亚、西班牙和德国的学术影响力较强,平均每篇论文被引次数超过了15次,其中澳大利亚的学术影响力最高,篇均被引次数达到18次/篇,近十年发表的357篇论文中12篇论文被引次数超过了100次。2013年开始,中国无人机关键技术研究成果迅速增加,特别是2018年,论文发表数与2017年相比翻了一番。虽然中国的发文量位居全球第二位,占全球论文总数的18.6%,但篇均被引次数在发文量前10的国家中排于最后一位。由此可见,中国虽然在无人机领域的研究发展迅速,但学术影响力需进一步提高。

(2) 主要国家的研究热点

表2列示了近10年无人机关键技术研究发文量前10位国家的研究热点。结果显示,发文量前10的国家中,飞控导航系统、摄像测量技术、通信系统、四旋翼无人机和无人机群控制的相关技术研究均是各国的研究热点,其中无人机的核心技术—飞控导航技术更是热点主题词集中区,包括路径规划、避障、非线性控制

和自适应控制。多旋翼无人机的研究中四旋翼无人机研究较多,并且随着无人机应用领域的发展需求,微型无人机和无人机群控制的关键技术研究也是各国的研究热点,遥感监测和运动重构是无人机系统应用研究的热点主题词。除了共同的研究热点,各国还有自己的侧重点,分布在3个方面:

一是基础技术研究。无人机的自主控制已经成为各国研究的热点,中国侧重研究了容错控制技术,英国侧重研究BP神经网络,韩国侧重研究了自主登陆系统。在无人机的能源系统研究中,韩国侧重研究硼氢化钠的应用。

二是无人机行业应用研究。美国侧重于林业方面的应用,西班牙侧重在精准农业方面的应用,意大利侧重在考古方面的应用。

三是无人机系统应用的关键技术研究。在地面测绘应用中美国、英国和加拿大侧重研究激光雷达,德国侧重研究点激光扫描,西班牙和意大利侧重研究建立数字表面模型;在无人机定位应用中,美国和西班牙侧重研究计算机视觉,中国侧重研究无线传感器网络。

表2 2009-2018年无人机领域发文量前10位国家的研究热点

国家	特色研究热点	共性研究热点
美国	森林、计算机视觉、点云	
中国	容错控制、作战无人机、编队控制、无线传感器网络	遥感监测、摄影、路径规划、运动重构、四旋翼无人机、卡尔曼滤波器、避障、非线性控制、自适应控制、微型无人机、导航、无人机群
英国	传感器融合、神经网络、激光雷达	
韩国	神经网络、计算流体力学、硼氢化钠、自主登陆	
西班牙	精准农业、计算机视觉、数字表面模型	

与其他各国相比,中国在无人机关键技术研究中的主要创新包括:主动干扰抑制技术、风扰动状态的飞行控制技术、控制系统中的扩

展状态观测器、多无人机控制中的鸽子优化算法和时变编队控制技术。

表 3 近十年人机领域各国的创新技术

中国		其他国家	
Active disturbance rejection control (ADRC)	主动干扰抑制	Thermal imagery	热成像
pigeon-inspired optimization (PIO)	鸽子优化算法	cyber-physical systems (CPSs)	网络物理系统
Time-varying formation (时变编队控制)		Aerial manipulation	空中操纵
wind disturbance (风扰动)		Archaeology	考古
Extended state observer (ESO) (扩展状态观测器)		Precision viticulture	精准葡萄种植
		Sodium borohydride	硼氢化钠
		Radiometry	辐射线

2.3 学科分布

将 2009-2018 年无人机领域发表的论文按 SCI 数据库的学科分类，工程领域和计算机科学领域，论文发表数量最多，这两个领域的论文发表数量超过了 4000 篇，占近十年无人机领域研究论文的 63%。其中在基础技术研究中，无人机的飞控导航系统、动力系统（电池等）、载荷（相机、仪器仪表等）等是研究热点。在系统应用研究中，无人机在影视拍摄、测量及地质勘探方面应用的关键技术是研究热点。

随着无人机硬件产业链的成熟，近年来民用无人机市场进入快速发展期，无人机系统应用研究的发文量增长速度加快。对发文量排名前 30 的研究领域的年均增长率进行对比，排在前 10 的学科中 7 个是无人机系统应用研究，涉及在植物学、地质勘测、森林防火及预警、自然地理勘测及地图绘制、水资源巡检保护、环境科学与生态学、农业等行业应用的关键技术。其他 3 个属于基础技术研究，均与无人机动力系统相关，涉及无人机的电池、充电系统的关键技术，反映了提高无人机续航能力的需求。

表 5 2009-2018 年论文学科领域前 10 名

发文量排序	学科	发文量	年均增长率排序	学科	发文量
1	工程	3104	1	植物学	60
2	计算机科学	1297	2	地质学	380
3	遥感	820	3	森林	56
4	机器人	809	4	电化学	323
5	自动化控制	726	5	自然地理	260
6	仪器仪表	657	6	水源	129
7	通信	653	7	环境科学与生态学	344
8	图像科学与摄影技术	451	8	农业	202
9	化学	380	9	能源与燃料	92
10	地质学	380	10	化学	380

2.4 研究热点分析

2.4.1 热点的迁移

通过基于时间维度对热点关键词进行聚类,研究无人机领域研究热点的迁移,分析无

人机关键技术研发重点的变化轨迹。根据无人机领域论文发展阶段,本文将按初始研究阶段(2009-2015年)和热门研究阶段(2016-2018年)研究无人机领域的研究热点的变迁。

表 6 2009-2018 年无人机领域研究主题词的阶段变化情况

时间段	高频词	频次	时间段	高频词	频次
2009-2015年	四旋翼无人机	104	2016-2018年	远程遥感	167
	路径规划	90		四旋翼无人机	124
	无人机群	85		摄像	105
	远程遥感	79		路径规划	102
	避障	73		结构重构	75
	卡尔曼滤波器	53		避障	69
	摄像	48		无人机群	47
	微型无人机	42		点云	44
	非线性控制	38	图像处理	43	
	协同控制	38	精准农业	43	

第一,2009-2015年的研究热点

对比两个阶段的高频关键词可以发现,2009-2015年,论文的高频关键词前10个中,8个关键词属于无人机的基础技术研究,2个属于无人机系统应用的关键技术。非线性控制、协同控制属于无人机飞控系统的关键技术,路径规划、避障和卡尔曼滤波器属于导航系统的关键技术,远程遥感和摄像属于无人机系统应用的关键技术。可见在第一阶段中,飞控导航系统是各国学者的研究重点。

第二,2016-2018年的研究热点

与第一阶段相比,2016-2018年的论文频次排名前10个的主题词中6个与上一阶段相同(远程遥感、四旋翼无人机、摄像、路径规划、无人机群和避障),新增的主题词如结构重构、点云、图像处理和精准农业等均属于无人机系统应用研究,第二阶段中无人机基础技术研究和系统应用研究的热点词分别为4个和6个。可见,无人机的研究热点已从基础技术研究向系统应

用研究迁移。

2.4.2 技术集群分析

通过构建关键词矩阵并应用可视化软件绘制关键词共现网络图,分析在不同技术方向之间关键词的关联程度,可更清晰的分析不同发展阶段无人机领域的技术集群分布及随时间的变迁情况。图2和图3分别展示了2009-2015年和2016-2018年无人机关键技术的研究论文中出现频次大于15次,并且彼此之间共现次数大于2次的主题词的网络关联图。

第一,无人机的稳步发展阶段

去除“无人机”和“无人机系统”后,2009-2015年,四旋翼无人机和多个无人机控制的基础技术成为研究热点,微型无人机和垂直起降固定翼无人机的研究也逐渐增多。无人机的关键技术研究可以分为以飞行控制、导航为聚集区的无人机基础技术研究和以远程监测为聚集区的无人机系统应用研究。可通过两方面分析无人机初始发展阶段的研究。

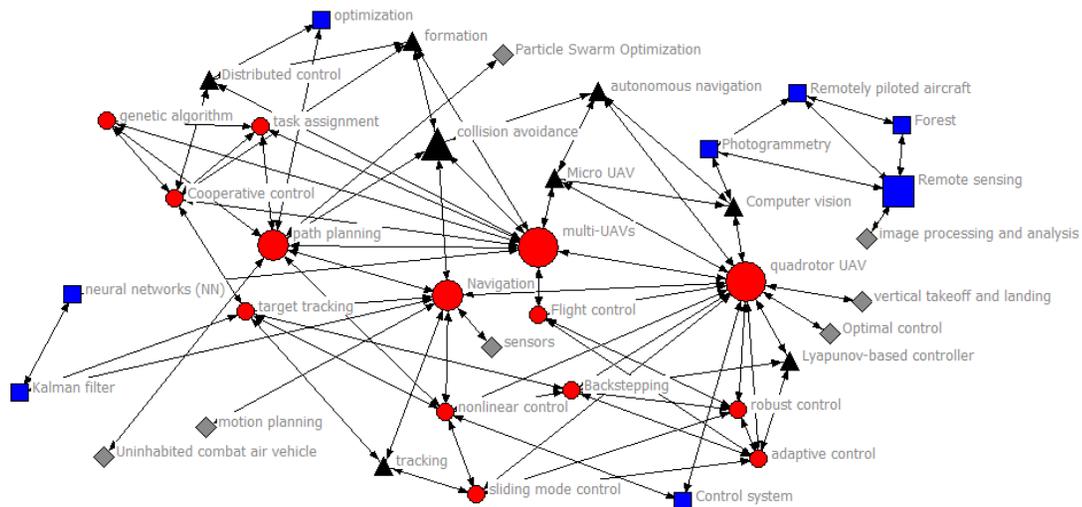


图 2 2009-2015 年无人机相关论文热点主题词的共现网络

(1) 飞控导航系统是无人机基础技术研究的重点

无人机的飞控导航系统可分为飞控系统和导航系统。飞控系统的研究热点包括无人机的自适应控制、非线性控制、鲁棒控制、滑模变结构控制、反步控制等。导航系统的研究中研究热点包括路径规划、目标跟踪、避障和传感器的应用等。此外，在多个无人机之间的飞控导航系统研究中，增加了包括编队飞行、协同控制、分布式控制、任务分配等方面的研究。

(2) 无人机系统应用研究较少

无人机基础技术的研究子集明显大于无人机系统应用研究。无人机系统应用方面主要围绕林业领域的远程遥感技术展开。这个阶段，无人机的控制方法还是以遥控为主^[7]，系统应用的研究热点是图像处理与分析技术。

第二，无人机的快速发展阶段

与第一阶段相同，第二阶段无人机研究的

关键词构成了无人机基础技术研究和无人机系统应用研究两个子集，但是与第一阶段两个网络的规模相差较大不同，第二阶段的研究中无人机系统应用的子集与无人机基础技术研究的子集规模相近。再一次说明，2015 年开始无人机应用市场快速发展，相应的行业应用的关键技术研究也呈现蓬勃发展的形势。可见无人机研究热点的每一次变化都是由当时的需求导向引发的。与第一阶段相比，无人机快速发展的技术集群变化有：

(1) 无人机的自主控制研究快速发展

在无人机的快速发展阶段，飞控导航系统仍然是研究的重点，在上一阶段的关键词基础上新增了自主空中飞行器、控制机器人、移动机器人等，说明无人机向自主控制、人工智能方向发展，这与美国在《无人系统综合路线图》^①中提及利用人工智能和机器学习技术加速无人系统的发展方向相同。新增的控制技术研究包括模糊控制、容错控制和姿态控制研究等。

①美国国防部于 2018 年 8 月 30 日发布了《无人系统综合路线图》(2017-2042 年)^[8]

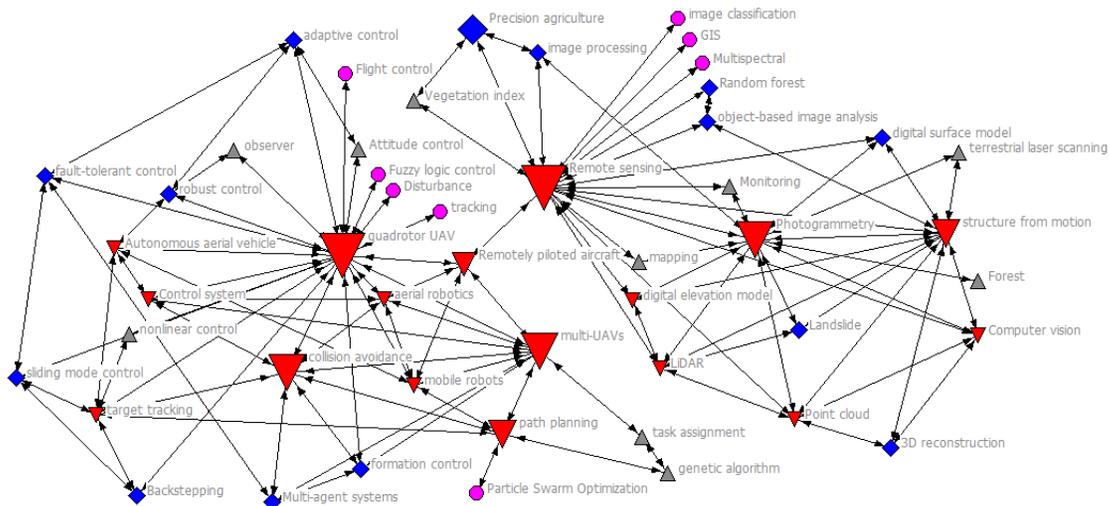


图3 2016-2018年无人机相关论文热点主题词的共现网络

(2) 无人机系统应用的关键技术研究呈现爆发性增长

无人机的行业应用增加了精准农业、植被监测、绘制地图及地质灾害监测等，远程遥感和摄像技术仍是行业应用的热点技术。其他针对特定行业应用的热点技术包括图像处理与分析技术、地面测绘技术和计算机视觉等。地面测绘技术研究热点包括激光雷达、地面激光扫描、数字表面模型、点云等。地面测绘传统采用的是摄影测量的方法，激光雷达是较新的测绘技术，使用了高精度激光扫描仪、全球定位系统及惯性导航系统，可以对物体更准确的建模，实现更精确的3D绘图。计算机视觉是无人机应用研究的新竞争点^[9]，可以实现无人机更精准的定位，涉及的技术包括运动恢复结构、三维影像重建等。

3 结论

通过对 SCIE 中有关无人机领域论文的统一

和分析，得到如下结论：

(1) 2009—2018年，无人机领域的研究处于持续上升阶段，特别是2015年各大运营产商融资成功，无人机领域的研究从2016年开始进入蓬勃发展阶段。美国、中国和英国在无人机领域的论文发表量最多，其中美国在无人机领域的综合研究实力最强，在无人机的基础技术研究中处于核心地位。各国对无人机领域的共性的研究热点在无人机的飞控导航系统，但是又有各自的侧重点。我国在无人机的控制技术方面表现优异，但是在无人机系统应用涉及的领域较少。

(2) 近十年间，我国在无人机关键技术的研究中势头迅猛，发文量位于全球第二位，但是论文的影响力普遍不高。我国研究无人机关键技术的学者在注重论文产出量的同时，需要注重论文影响力的提升。

(3) 无人机研究涉及的学科主要有工程、计算机科学，此外，还涉及遥感、机器人、自动化控制等学科，说明在无人机基础技术的研

究仍是无人机研究的重点。但随着无人机民用市场的快速发展,无人机系统应用的关键技术研究在这十年飞速增长。

(4)无人机的飞控导航系统一直是无人机关键技术研究的重点及热点,自主控制、人工智能成为新的热点研究方向。随着应用市场的扩大,无人机系统应用涵盖了精准农业、森林防火、巡检、地质灾害防治等多个领域,无人机系统应用的关键技术新增的热点有激光雷达、计算机视觉等,能够实现更精准的测绘及定位,满足市场应用的需求。

无人机关键技术的发展最终目的在于应用,无人机系统需要平台、飞控导航、通信、载荷、续航等各方面协调发展,才能将无人机延伸到未来的多元化应用领域中。我国在未来无人机的关键技术研究中除了开展人工智能在无人机上的应用,提高载荷、续航能力等基础技术的研究,还需要加强市场培育与转化,与用户积极沟通、交流了解需求,有目标的开展无人机系统应用的关键技术研究,开拓无人机应用的

新领域。

参考文献

- [1] 无人机全球市场规模分析 [EB/OL]. [2017-05-10]. www.xianjichina.com
- [2] 李国红,李文宇,张俊霞. 无人机系统关键技术专利态势研究 [J]. 电信网技术, 2017(3):30-36.
- [3] 郭晨,周杰,梁琴琴. 基于专利视角的美国无人机技术创新态势研究 [J]. 全球科技经济瞭望, 2017, 32(4):69-76.
- [4] 褚鹏蛟,臧春喜,王强,向耿. 无人机全球专利态势分析 [J]. 国防科技, 2015, 36(5):46-51+58.
- [5] 颜志辉,郑怀国,赵静娟,等. 基于 SCI 论文的作物转基因育种领域发展态势分析 [J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(2):208-215.
- [6] 郭静芸,关静. 基于 Web of Science 数据库的地质工程研究文献计量分析 [J]. 工程地质学报, 2018, 26(5):1397-1407.
- [7] 陶于金,李沛峰. 无人机系统发展与关键技术综述 [J]. 航空制造技术, 2014(20):34-39.
- [8] 郁一帆,王磊. 无人机技术发展新动态 [J]. 飞航导弹, 2019(2):34-42.
- [9] 祁圣君,井立,王亚龙. 无人机系统及发展趋势综述 [J]. 飞航导弹, 2018(4):17-21.