

# 基于专利分析的美国第四代航空发动机技术创新研究

梁琴琴, 郭 晨

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

**摘 要:** 本文以德温特专利数据库中收录的 1990—2016 年在美国申请的专利数据为基础, 分析了美国第四代航空发动机的技术创新情况, 分别从技术发展态势、参与机构、研究热点和研究重点等方面进行了讨论。结果表明, 美国第四代航空发动机的发展经历了从军用到民用、从提高性能到节约成本的过程, 研究主要围绕航空发动机叶片结构的改进展开, 航空巨头企业是主要的参与主体和技术创新者。

**关键词:** 美国; 航空发动机; 专利分析; 技术创新

**中图分类号:** V23    **文献标识码:** A    **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2017.02.007

在当今航空领域, 第四代战斗机成为空中对决的主力, 典型代表有美国的 F-22、俄罗斯的 MEI, 以及英国、德国、意大利等国联合研制的 EFA。与第三代战斗机相比, 第四代战斗机具有超音速巡航、隐身能力、超常规机动以及短距离起降等技术优势, 这些优势虽然与飞机材料、控制系统等其他方面的改进相关, 但战斗机的核心部分——航空发动机在其中扮演着重要的角色, 尤其是巡航速度的大幅提升 (从第三代的 0.7~0.9 马赫提升至第四代的 1.4~1.6 马赫) 完全依赖于发动机技术的改进<sup>[1]</sup>。

航空发动机作为飞机的心脏, 直接影响飞机的整体性能、可靠性及经济性, 是一个国家科技、工业和国防实力的重要标志。第四代航空发动机在推重比上较上一代有了很大提升, 从 8 级提升至 10 级以上。典型的第四代航空发动机有美国的 F119 (PW5000)、F120, 俄罗斯的 AL-42F, 以及欧洲的 FJ2000 等<sup>[2]</sup>, 其中 F119 作为第四代战斗机 F-22 的动力装备系统, 是当今航空动力技术最具标志性的成就。

美国是世界航空发动机技术的发源地, 在航空发动机领域持续处于领先地位, 尤其是在 20 世纪 70 年代中期至 2000 年左右的这一时期, 美国制定了多项国家计划, 如综合高性能涡轮发动机技术研究 (IHPTET) 计划<sup>[3]</sup> 和通用的经济可承受的先进涡轮发动机研究 (VAATE) 计划<sup>[4]</sup>, 使得美国航空发动机技术发展进入黄金时期。第四代航空发动机——先进技术涡扇发动机——在这一时期研制成功, 进一步奠定了美国在航空发动机领域的霸主地位。

专利信息包含了各领域最新的科技发明和创造成果, 通过对专利文献信息进行加工剖析和可视觉解读, 可以揭示蕴含在专利数据中的丰富多样和错综复杂的信息<sup>[5]</sup>。世界知识产权组织 (WIPO) 的研究表明, 全球 90% 以上的最新研究成果首先通过专利文献公开, 对专利文献所包含信息的运用, 能够节约 40% 的研发经费和 60% 的研发时间<sup>[6]</sup>。本文从专利角度出发, 对美国在第四代航空发动机领域所取得的技术成果进行了分析, 这对我国第四代及更先进发动机领域的技术研发具有重要意义。

第一作者简介: 梁琴琴 (1982—), 女, 工学博士, 博士后, 助理研究员, 主要研究方向为科技政策与领域分析。

项目来源: 国家科技图书文献中心 (NSTL) 重大专项服务资助项目“航空发动机与燃气轮机重大专项服务” (2016XM44)。

收稿日期: 2017-02-01

## 1 数据来源与分析方法

本文以美国科学情报研究所 (ISI) 的德温特创新索引 (DII) 数据库为数据来源, 利用主题词 (TS)、国际专利分类号 (IP)、专利号 (PN) 和专利权人 (AN) 组合检索的方法, 对在美国申请的与第四代航空发动机相关的专利进行了检索。在主题词的选择上, 聚焦于第四代发动机与第三代相比所体现出的技术创新, 如长时间超音速巡航 (Supersonic Cruise), 采用矢量喷管 (Vectored Nozzle)、吸波材料 (Wave Absorbing Material) 和

蜂窝结构 (Honeycomb) 提升隐身能力, 采用更先进的矢量推进系统 (Vectoring Propulsion) 提高超常规驱动和短距离起降能力。检索日期是 2016 年 7 月 14 日, 检索时间段为 1990—2016 年, 检索策略见表 1, 对检索式 1 ~ 4 得出的结果进行“或”组配, 最终得到 173 项相关专利 (以专利家族为单位)。

由于专利从申请到公开一般需要 18 个月的时间, 因此 2015—2016 年的数据仅供参考。对所下载的专利数据进行了人工清洗。利用汤姆森数据分析器 (TDA) 分析软件对数据进行了清洗、数据挖掘和可视化分析。

表 1 美国第四代航空发动机技术专利检索策略

序号	检索式
1	TS=((turbofan-engine or turbofan engine) and (Supersonic or cruise or Vector* or AVEN or wave absorbing or honeycomb)) and PN=US*
2	TS=(turbofan and (Supersonic or cruise or Vector* or AVEN or wave absorbing or honeycomb)) and IP=(F02K* or B64D* or F02C*) and PN=US*
3	TS=(F119 or F120 or F135 or F136) and PN=US*
4	TS=(turbofan and (Supersonic or cruise or Vector* or AVEN or wave absorbing or honeycomb)) and AN=(Pratt Whitney or GEN ELECTRIC or UNITED TECHNOLOGIES CORP) and PN=US*

## 2 结果与讨论

本文将针对美国第四代航空发动机技术的发展趋势、研究机构、技术分布以及技术关联性展开分析。

### 2.1 发展趋势分析

美国在第四代航空发动机领域的研究始于 20 世纪 80 年代末期, 后续的技术发展情况见图 1。可以看出, 美国这一领域的研究呈现跳跃式发展态势。1989—2005 年的专利申请数量较少且差距较小, 每年基本保持在个位数, 这一时期美国为发展航空发动机技术制定了 IHPTET 计划<sup>[7]</sup>, 开始了第四代航空发动机的密集研发阶段。这一时期专利较少的原因有两个: 一是航空发动机研发周期长, 成果产出较慢; 二是航空发动机的研发关系到一个国家的国防实力, 最初成果往往会进行国防保密处理, 而不会以专利的形式公开。

2006—2011 年间, 每年的专利数量差距也较

小, 均保持在两位数, 但这一阶段的专利数量整体较上一阶段有了较大发展。2012 年是美国在航空发动机领域申请专利最多的时间点, 达到了 27 件, 2013 和 2014 年的专利申请数量有所减少。在 IHPTET 计划取得部分重要成果和成功经验的基础上, 美国 2003 年开始部分实施 (2005 年全面实施) 其后续计划——VAATE<sup>[8]</sup>, 该计划兼顾了航空发动机研究成果在军、民领域的应用和推广。2006 年至今的专利申请更多体现了 VAATE 计划的研究成果, 由于该计划兼顾民用领域, 因此专利数量整体较上一阶段出现跳跃式增加。VAATE 计划的实施时间为 2003—2017 年, 分三个阶段进行, 各阶段的结束时间点为 2009、2013 和 2017 年, 因此, 目前的专利申请主要为前两个阶段的研究成果, 即使发动机的可承受性降低到 F119 发动机的 1/6 ~ 1/10。2012 年作为第二阶段即将结束的一年, 相关的专利数量出现了爆发式增加。

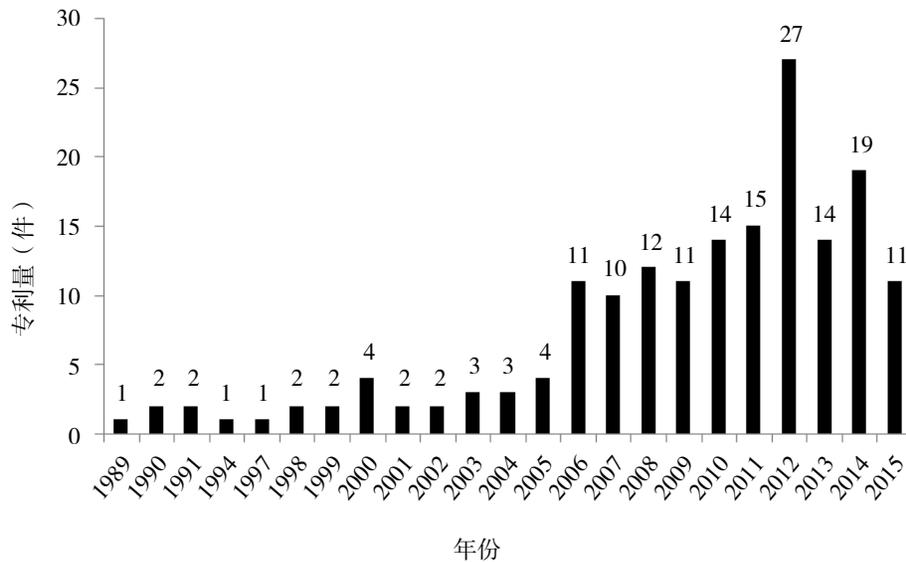


图 1 美国第四代航空发动机历年专利申请数量

## 2.2 研究机构分析

美国发展第四代航空发动机技术的主要研究机构分布见表 2。可以看出, 美国本土企业是研究的主力, 其中联合技术公司、波音公司和通用电气公司均申请了较多专利, 其中, 美国联合技术公司以

73 件专利排在首位, 另外两家公司分列第三、四位。此外, 部分境外企业也在美国申请了第四代航空发动机相关专利, 来自英国的罗尔斯·罗伊斯公司(以下简称罗·罗公司)以 19 件专利位列第二位, 来自法国的斯奈克玛公司以 4 件专利处于第五位。

表 2 主要研究机构分布

专利权人	中文名称	所属国家	专利量 (件)	合作申请专利量 (件)	合作机构
UNITED TECHNOLOGIES CORP	联合技术公司	美国	73	3	ECOSERVICES LLC
ROLLS-ROYCE CORP	罗·罗公司	英国	19	1	I2O WATER LTD
BOEING CO	波音公司	美国	17	0	—
GENERAL ELECTRIC	通用电气公司	美国	16	0	—
SNECMA	斯奈克玛公司	法国	4	0	—
HONEYWELL INT INC	霍尼韦尔公司	美国	2	0	—

联合技术公司是全球多元化的制造企业之一, 其子公司之一——普惠公司——是全球三大航空发动机制造商之一, 因此联合技术公司的航空发动机相关专利主要来自于普惠公司, 第四代航空发动机的标志性产品 F119 就来自于普惠公司。普惠公司和通用电气公司作为工业部门先后参与了 IHPTET 和 VAATE 计划, 无论是 IHPTET 计划自下而上(部

件一整机)还是 VAATE 计划自上而下(航空器—领域—部件)的实施方法, 两家公司均深入参与其中, 并取得了大量的研究成果<sup>[9]</sup>。波音公司未参与 IHPTET 计划, 而在 VAATE 计划实施时作为飞机及系统制造商参与其中, 旨在针对更加宽广的应用领域(如民用航空器领域)开发、验证和转移先进涡轮发动机技术。

美国相继实施 IHPTET 和 VAATE 研究计划, 既推动了美国本土机构在航空发动机研发中不断实现技术创新, 又对全球航空发动机领域产生了巨大影响, 许多其他国家的航空业巨头纷纷在美国进行专利部署。英国罗·罗公司作为全球三大航空发动机制造商之一, 在美国市场部署了第四代航空发动机相关专利 19 件, 此外, 在 VAATE 计划实施期间, 罗·罗公司通过与通用电气、普惠等美国公司合作, 间接参与了该计划。

### 2.3 技术分布分析

第四代航空发动机在推重比、隐身能力、短距起降等方面较第三代发动机有了较大提升, 主要通过改变进气道、叶片、喷管等部件的结构来实现。表 3 和表 4 分别通过研究热点 (专利 IPC) 和研究重点 (专利主 IPC) 考察了美国第四代航空发动机的技术研发分布情况。由表 3 可以看出,

多数 IPC 小组处于 F02K (喷气推进装置) 这一小类中, 另外也有少量分布于 F01D (非变容式机器或发动机) 和 F02C (燃气轮机装置; 喷气推进装置的空气进气道; 空气助燃的喷气推进装置燃料供给的控制) 小类中。具体来看, 对发动机涵道风扇结构的改进是研究的重点, 包括 F02K-003/02 (包括燃气轮机驱动压气机或涵道风扇的装置)、F02K-003/06 (带有前部涵道风扇的发动机装置) 和 F02K-003/04 (发动机装置包括涵道风扇); 此外, F02K-003/075 (涵道风扇各流量之间流量比的控制) 的专利数量也较多, 其他发动机部件的研究包括 F01D-005/14 (发动机叶片的型式或结构)、F02K-001/00 (以喷管或喷嘴的结构或配置为特征的装置; 特有的喷管或喷嘴)、F01D-025/24 (发动机外壳) 等。因此, 在第四代航空发动机的研制开发中, 研究热点主要围绕涵道风扇结构改进和流量控制系统展开。

表 3 专利 IPC 分布

IPC	中文释义	专利量 (件)
F02K-003/02	包括燃气轮机驱动压气机或涵道风扇的装置	36
F02K-003/06	带有前部涵道风扇的发动机装置	28
F02K-003/075	涵道风扇各流量之间流量比的控制	24
F01D-005/14	发动机叶片的型式或结构	20
F02K-001/00	以喷管或喷嘴的结构或配置为特征的装置; 特有的喷管或喷嘴	20
F02K-001/06	改变喷气推进装置喷管或喷嘴的有效面积	18
F02K-003/04	发动机装置包括涵道风扇, 即具有大流量、低压力输出的风扇, 用于加大喷气推力, 例如双流式	16
F02C-007/00	喷气推进装置的进气管	15
F01D-025/24	发动机外壳	10
F01D-015/12	发动机与机械传动装置的组合	9

资料来源: 国家知识产权局 IPC 中文释义查询系统。

从表 4 可以看出, 发动机叶片结构的改进 (F01D-005/14) 是美国第四代航空发动机研究的重点, 其次为压气机或涵道风扇结构的改进 (F02K-003/02), 以及喷射系统结构的改进 (F02K-001/00)。具体来看, 罗·罗公司 (EP2995557-A1)、联合技术公司 (US2016047268-A1 和 US2016097304-A1)、

波音公司 (US2015330310-A1) 等均针对叶片结构 (F01D-005/14) 进行了研究, 并申请了相关专利。而主 IPC 为 F02K-003/02 的专利的申请人中有波音公司 (US2014219773-A1 和 US2010126139-A1) 和通用电气公司 (US5694768-A)。涉及喷射系统 (F02K-001/00)

研究的机构有联合技术公司 (EP1956224-A2、WO2008045064-A1 和 WO2008045082-A1) 和罗·罗公司 (US2010107600-A1)。

### 2.4 技术关联性分析

对专利文献的 IPC 小组信息进行共现分析, 得出不同技术方向之间的内在关联性。选择专利数量排名前 50 位的 IPC 小组作为数据基础构建共现矩

阵, 并使用社会网络分析软件 Netdraw 对矩阵进行可视化分析, 得出共现网络图, 选择共现频次大于 2 的节点进行展示, 并计算了不同节点的中心度值, 结果见图 2。

可以看出, 不同技术方向之间的关联主要发生在技术领域内部, 有少数发生在不同的技术领域之间。涉及专利数量最多的 F02K-003/02 与 16 个其他

表 4 专利主 IPC 分布

主 IPC	中文释义	专利量 (件)
F01D-005/14	发动机叶片的型式或结构	10
F02K-003/02	包括燃气轮机驱动压气机或涵道风扇的装置	9
F02K-001/00	以喷管或喷嘴的结构或配置为特征的装置; 特有的喷管或喷嘴	7
F01D-015/12	发动机与机械传动装置的组合	5
F02K-001/06	改变喷气推进装置喷管或喷嘴的有效面积	5
F02K-003/075	涵道风扇各流量之间流量比的控制	4
B64D-033/02	进气口燃烧的动力装置部件或辅助设备在飞机内的布置	3
F01D-005/18	发动机的空心结构叶片以及对叶片加热、隔热或冷却装置	3
F01D-017/00	通过改变流量进行发动机调节或控制	3
F02K-001/09	通过轴向移动一个外部构件 (例如围带) 来改变喷管或喷嘴的有效面积	3

资料来源: 国家知识产权局 IPC 中文释义查询系统。

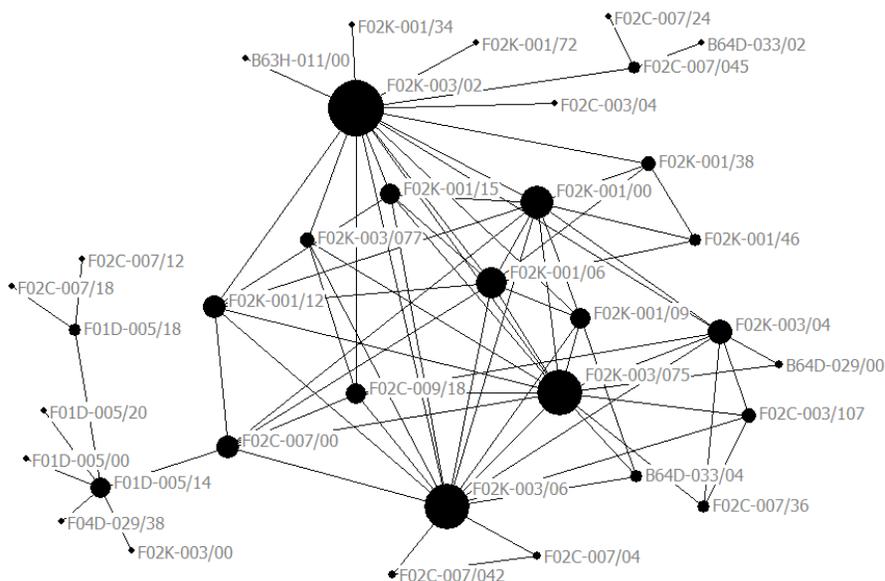


图 2 IPC 共现网络图谱

技术方向之间发生技术关联,其中有12个技术方向与其本身同属于F02K(喷气推进装置)这一技术领域,而与其进行跨领域关联的IPC为B63H-011/00(用喷射即反作用原理达到推进的装置)、F02C-007/045(具有噪声抑制装置的燃气轮机进气管)、F02C-003/04(涡轮机驱动压气机)和F02C-009/18(通过抽出、旁通或作用于涡轮机间、压气机间,或它们级间相互连通的可变工作流体),表明涵道风扇结构的改进与发动机进气管、压气机以及燃料供给控制系统的改进存在一定的技术关联性。

### 3 结论

美国第四代航空发动机的发展是在政府相关计划和航空巨头企业共同参与下得以推动实施的。本文以专利数据为基础,从发展态势、参与机构、技术重点和关联性等方面进行了系统研究,得出以下结论,为我国航空发动机领域的发展提供参考。

(1) 美国从20世纪80年代开始制定发展航空发动机相关计划,形成了从提高性能到节约成本、从军用到民用的阶梯式发展规划,相应的专利数量亦以2005年为节点呈现平台式跳跃发展。2005年以前,IHPTET计划作为主要的政府手段,致力于航空发动机性能的提升,以满足军方战斗机的需求;2005年后,技术发展基本成熟,除了满足战斗机的需求外,民用客机作为更大的市场得到政府重视,VAATE计划被推出,侧重于在保证高性能的基础上节约成本,促进第四代航空发动机技术的市场化应用。

(2) 航空巨头企业是美国第四代航空发动机发展的主要参与主体和技术创新者。美国本土航空企业都在不同时期参与了国家计划。普惠公司和通用电气公司作为工业部门先后参与了IHPTET和VAATE计划,波音公司在VAATE计划实施时作为飞机及系统制造商参与其中,旨在开拓民用航空器领域。其他国家的航空发动机制造商在VAATE计划阶段也积极与美国本土制造商进行技术合作,如英国罗·罗公司与通用电气、普惠等公司进行合作,并申请了相关专利。

(3) 美国在第四代航空发动机领域研究的热点为发动机涵道风扇结构、涵道风扇流量控制系统、

叶片等,研究的重点为发动机叶片结构和涵道风扇结构的改进。围绕叶片结构的改进这一重点展开研究的企业有联合技术公司、波音公司、罗·罗公司等。围绕涵道风扇结构展开研究的企业有通用电气公司和波音公司。

(4) 我国从20世纪50年代开始发展航空发动机,在时间上与美国并无太大差距,但后来由于诸多原因导致如今我国在航空发动机领域的研究落后于美国。当前,我国政府依然高度重视航空发动机领域的发展,“十二五”期间设立航空发动机重大科技专项,“中国制造2025”将航空装备列为未来10年的重要突破目标。然而,如何高效落实顶层设计、实现技术的突破,是我国航空发动机发展能否追赶上发达国家的關鍵。美国在不同时期国家计划的关注重点,以及企业作为创新主体全面深入的参与,是我国未来发展航空发动机领域需要借鉴的地方。■

#### 参考文献:

- [1] 胡英俊,梁宏涛,张晓哲.先进航空发动机与第四代战斗机[J].航空科学技术,2001(5):39-40.
- [2] 金捷,钟燕.先进航空发动机设计与制造技术综述[J].航空制造技术,2012(5):34-37.
- [3] Viars P R. The Impact of IHPTET on the Engine/Aircraft System Integrated High Performance Turbine Engine Technology[R]. Washington DC, 1989.
- [4] AIAA Air Breathing Propulsion Technical Committee. The Versatile Affordable Advanced Turbine Engines (VAATE) Initiative[EB/OL].(2006-01) [2017-01-20]. [http://www.aiaa.org/uploadedfiles/issues\\_and\\_advocacy/policy\\_papers/position\\_papers/vaate.pdf](http://www.aiaa.org/uploadedfiles/issues_and_advocacy/policy_papers/position_papers/vaate.pdf).
- [5] 韩彩云,龚勋.专利情报分析技术及其分析指标体系建构[J].情报杂志,2007,26(10):78-80.
- [6] 魏金钟.企业知识产权工作实务[M].北京:航空工业出版社,2002:7-8.
- [7] Hill R J. The challenge of IHPTET[R]. Washington DC, 1993.
- [8] 梁春华.通用的经济可承受的先进涡轮发动机计划的主要特点[J].航空发动机,2011,37(5):58-62.
- [9] 梁琴琴.美国典型航空发动机发展计划及对技术创新的影响.全球科技经济瞭望,2015,30(7):68-76.

(下转第57页)

---

## Analysis on Development Trend of Shale Gas Technologies Based on Patent Bibliometrics

LI Wei-bo, ZHAO Yun-hua, MENG Hao

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

**Abstract:** Exploration and utilization of shale gas will assist to reduce dependence on foreign energy and ensure energy security. It's suitable to the trend of adjustment and optimization of energy structure and reduce greenhouse gas emissions, promoting the carbon reduction commitment. The exploration and utilization of shale gas in China is still in its infancy. This paper firstly implements statistics on the patent data associated with shale gas technology in the Innography patent database, and then data sorting, data mining and analysis. Based on the patent output results, it makes a deep analysis on the overall global patent output, major research institutions, key technology and strategic layout in shale gas technology from the perspective of the patent application trends, technology source and the target market, the patent holder and patent technology types, which provides a reference for development of the shale gas industry.

**Key words:** low carbon development; shale gas technology; patents analysis; strategic layout

---

(上接第41页)

## Research on Technology Innovation of American Fourth Generation Aeroengine Based on Patent Analysis

LIANG Qin-qin, GUO Chen

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

**Abstract:** This paper analyzes the technology innovation of the American fourth-generation aeroengine, on the basis of patent data which are applied in America and collected by Derwent Innovation Index (DII) between 1990 and 2016, and the technology development trend, participating enterprises and research focus are also discussed. Results shows that the American fourth generation aeroengine has evolved from military to civil, the technology has developed from performance improving to cost saving. The research mainly focuses on the improvement of aeroengine blade structure, and large aviation enterprises are major technology innovators.

**Key words:** America; aeroengine; patent analysis; technology innovation