

探究民用航空发动机创新与开放发展之道

Exploring the Way of Innovation and Opening Development of Civil Aero Engine

■ 金伟 / 工业和信息化部装备工业发展中心

民用航空发动机的创新与开放发展，是适应形势的未来趋势。当前，我国航空产业已具备了创新发展的基础和条件，形成了开放合作的模式和经验，应紧紧抓住有利机会，从创新、开放两方面入手，加快提升民用航空发动机技术创新能力，深化民用航空发动机开放合作，推进产业高质量发展。

民用航空发动机创新与开放发展的形势及趋势

航空发动机产业对国民经济发展和科技进步有着巨大的带动作用，是一个国家综合国力、工业基础和科技水平的集中体现。当前，世界民用航空发动机稳步发展，创新、开放成为产业发展的重要趋势，主要体现在以下几个方面。

发达国家垄断民用航空发动机市场且持续推进创新

世界知名的航空发动机制造商主要集中在美国、英国、法国、德国、日本、俄罗斯等几个国家，包括GE公司、普惠公司、罗罗公司、赛峰集团，以及这些企业相互合资或与其他企业合资成立的公司，例如，CFM国际公司、国际航空发动机（IAE）公司等，几乎控制了全球大型民用航空发动机的核心技术研发、整机设计、总装集成、销售及客户服务等全产业链，并且这些企业还在不断提高技术水平，增强竞争力，巩固其市场地位。在发动机研发的高额投入方面，GE航空每年都拿出数十亿美元经费，用于航空发动机先进技术研发，约占其营业额的10%~15%；罗罗公司每

年的研发经费也高达10亿英镑。目前，GE公司、罗罗公司、普惠公司都在探索发动机3D打印技术，并推进发动机研制过程智能化，LEAP发动机中就有3D打印的燃油喷嘴，而GE智慧工厂可实现发动机生产周期缩短1/4~1/2。

由于掌握着核心技术，这些企业得以基于航空发动机产品进行模式创新，创造价值增值。例如，GE公司此前推出的工业互联网，以机器为中心，机器联网智能化，拓展出数字孪生和工业软件业务，GE航空的技术服务已占到总产值约2/3；罗罗公司基于对发动机的维修需求，设计开发出基于按飞行小时付费的发动机维修保障服务产品——TotalCare，改卖产品为卖服务，服务增值成为公司利润重要来源；普惠公司通过FAST系统掌握发动机的实时健康数据，拓展售后服务市场，其服务业务占比也达到了40%以上。

创新发展、开放合作成为当前民用航空发动机发展主流趋势

尽管航空发动机属于高精尖技术，欧美国家普遍实施限制措施，但在民用航空发动机领域，创新发

展趋势持续存在，开放合作也逐渐成为共同发展的主要途径。由于产品技术水平高，研制难度大，开发投入多，研制周期长，单凭一个企业难以承担其中的风险和压力，一些企业通过寻求对外合作机会，力求突破发展桎梏。当前，全球民用航空发动机市场也进入了新一轮产品更换周期，企业在加大研发创新的同时，也开始寻求与飞机制造、发动机零部件制造等上下游企业的合作创新，以抢占市场先机。在民用航空发动机领域的主制造商-供应商模式，成为当下主流模式之一；利益共享、风险共担、技术互补的联合研制开发模式，也是全球主要航空发动机企业普遍采取的竞争策略，典型的如CFM国际公司的成立及其产品对民用发动机市场的占据。

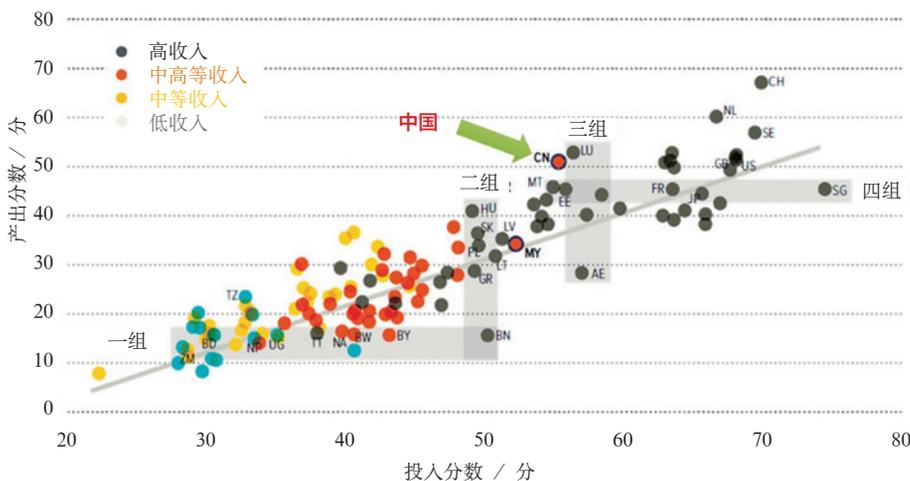
当前，全球航空产业正面临着安全形势日益严峻、环保压力与日俱增、性能要求持续提高、生产方式不断变革等挑战，安全航空、绿色航空、智慧航空已成为全球航空产业发展的三大主题。为应对民用航空产业发展面临的新形势、新挑战，主要企业纷纷加强合作、分散

风险，加快共享全球科技智慧、创新资源和市场需求，推动航空产品更新换代。在航空发动机领域，以提高性能和可靠性水平、降低成本，增加推力/功率、降低噪声，提高燃油效率、降低排放等为主要目标的技术创新能力不断提升，新技术、新产品不断取得突破，分布式推进、组合动力、电动发动机等正不断出现，如罗罗公司正在研制的超扇（UltraFan）发动机，油耗和排放比上一代遄达发动机至少降低25%。

我国产业政策环境为民用航空发动机开放、创新提供有利条件

一方面，我国产业政策有利于航空发动机开放合作、创新发展。中国高度重视航空发动机产业发展，航空发动机行业一直以来没有实施外商准入限制，即使面对欧美出口限制、贸易打压，中国始终坚持自主创新和开放合作相结合的原则：完善法规制度，颁布全面实施准入前国民待遇加负面清单管理制度的《外商投资法》；优化科研创新环境，开展项目经费使用“包干制”试点，赋予创新团队和领军人才更大的人财物支配权和技术路线决策权；加强知识产权保护，鼓励基于自愿原则和商业规则开展技术合作，不得强制转让技术等。

另一方面，中国拥有良好的创新生态、巨大的市场和丰富的资源。据世界知识产权组织（WIPO）牵头发布的全球创新指数（GII）显示，2018年我国创新指数排名已进入全球前20，创新效率位列第三位，大大高于全球多数高收入经济体。我国经济发展、现代化建设正不断加快，尤其是空域逐步开放、新时代新发展理念贯彻和“一带一路”的推进，将为航空产业发展提供广阔的市场空



全球创新指数中按收入区分的创新投入与产出对比情况

间，带来新的重大机遇。据国际航空运输协会（IATA）预计，在2022年前后，中国将取代美国拥有全球最大的航空市场。未来20年，中国将需要15000~18000台航空发动机，价值超过3000亿美元，并且随着新一代信息技术与制造技术的加速融合，中国已在互联网、大数据、人工智能等方面具备了比较优势。这些市场及优势，加上中国较高的创新活力及越来越多的高质量劳动力，将为航空发动机的技术创新、开放合作提供有利的环境和条件。

我国民用航空发动机创新与开放发展的现状分析

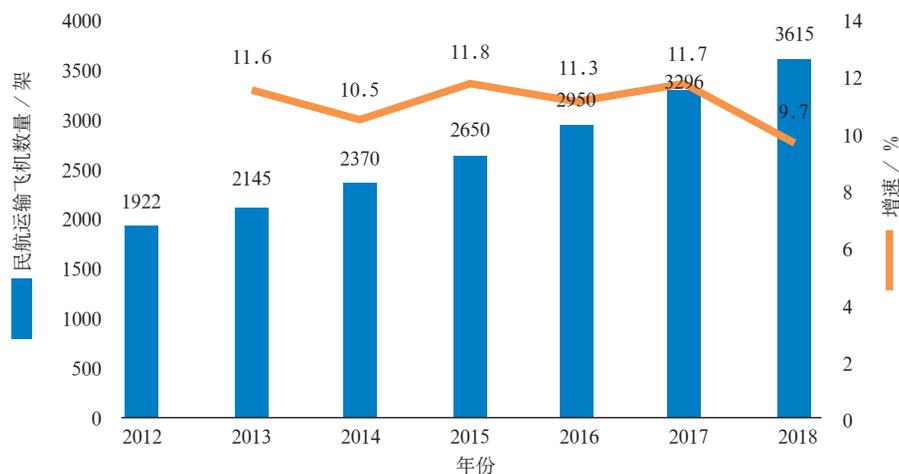
中国具有较好的航空产业基础，已建立起包括研发、设计、制造、装配、试验、试飞和维修的比较完整的航空制造业体系，基本具备航空器多谱系及部分发动机、机载系统设备等研制生产能力，航空发动机的产品、技术、企业正在起步突破，开放合作保持良好的发展态势。

具备了创新发展的基础和条件

从市场规模看，我国民用航空

运输市场逐年扩大。据中国民航局统计数据显示，我国航空公司2018年全年共完成运输总周转量1206.4亿吨千米，同比增长11.4%，连续14年位居世界第二。快速发展的民航市场，使得航空公司对飞机、发动机及其维修等服务需求也大幅增长。2018年，我国共引进运输飞机426架，机队规模达到3615架，同比增长9.7%。不断增长的航空运输市场也为航空制造业提供了支撑。据《2018中国民用航空工业年鉴》显示，我国民用航空发动机在2017年实现修理产值约67亿元，同比增长33.8%；实现零部件产品产值40.8亿元，同比增长约30%。

从企业看，以中国航发等整机企业及众多配套企业组成的开放融合科研生产模式已经形成，中小型航空发动机制造企业不断增多。2016年组建的中国航发，成为航空发动机研制主制造商，形成了“小核心、大协作、专业化、开放型”的发展模式，传统的以产品为中心的组织模式开始向网络、开放、协作的以客户为中心的组织模式变迁。在小型航空发动机研制



2012—2018年我国民航运输飞机数量及增速

生产方面，更是迅速地出现了一批以应流、宗申、钻石、航瑞、弥勒浩翔等为代表的民营企业。

从产品及技术看，部分产品正在开展研制，一些关键技术已经取得突破。中国航发正在推进CJ1000发动机研制，通过整机系统集成带动了国内外一批企业、科研机构的积极参与，技术研究取得进展。以成都航空、无锡透平、万泽中南等为代表的民营

企业在发动机材料、叶片等方面取得突破，部分企业成功进入民用大型涡扇发动机配套体系。

从产业布局看，形成了以传统研制基地为主的航空发动机研发生产集聚区。通过中国航发研制基地的带动，形成了以株洲、哈尔滨、上海等为代表的一批民用航空发动机集聚区。其中，上海以大型航空发动机为主，株洲、哈尔滨以中小

型及通用航空发动机为主，这些产业基地为航空发动机及相关零部件的研制提供了丰富的行业资源及要素条件。

总体上看，随着中国航空制造业的发展，我国航空发动机产业研制能力正不断提升，已具备了创新发展的基础条件和设施设备，而且拥有了一批国际化航空专业人才、先进航空科研机构 and 高校。

形成了多层次多渠道开放合作模式

一方面，建立了航空产业开放合作机制，与国内外先进企业形成了合作关系。国家推动航空产业的开放合作，中国政府部门已先后与英国、俄罗斯、法国、荷兰等国家和欧盟建立了政府间合作机制，开展了富有成效的合作。以航空企业、高校、学会、科研机构为主体的多层次交流合作也全面开展，合作形式涵盖联合研制、技术研究、产品采购、转包生产、投资并购、引进生产和交流培训等多个方面，其中



中国航发商发的合作伙伴分布

在航空发动机领域也有体现，例如，我国企业收购大陆发动机、钻石发动机项目落户国内等。同时，我国航空发动机企业通过转包生产，与GE、普惠、罗罗、赛峰等公司建立了合作关系。中国航发与国外高校和科研院所建立了8个联合技术中心，同清华大学等9所国内高校开展了战略合作，并与40余家民营企业开展了百余项合作。合作机制与关系的建立，为民用航空发动机开放创新奠定了坚实的基础。

另一方面，技术和产业的开放合作不断推进。自20世纪80年代起，开放合作已成为中国航空制造业发展的重要途径。我国的大飞机、发动机研制，都是在全球化采购选择产业链上与国内外优秀供应商进行协作配套，目前已有来自16个国家的69家供应商有意承担中国航发商用发动机的系统及单元体、关键零部件设计、制造和试验工作。同时，中国企业也广泛参与国外企业的航空制造项目，通过航空交流合作平台，发展出惠及双方的航空科研成果。例如，大型钛合金航空发动机机匣精密铸造技术（COLTS）已被应用到LEAP发动机的机匣研制中。

发展仍存在亟待解决的问题

我国民用航空发动机发展最为突出的问题是技术基础薄弱、竞争力不足，民用飞机所采用的发动机主要是国外品牌，在发动机共性基

我国飞机型号所采用的发动机情况

飞机型号	发动机型号	发动机生产商
“新舟” 60/600	PW127J	普惠
“新舟” 700	PW150C	普惠
ARJ21	CF34-10A	GE
C919	LEAP-1C	CFM
AC313	PT6B-67B	普惠
AC352	WZ16	中法合作
AG600	WJ6C	中国航发
运 12	PT6A-10/11/27/65B	普惠
运 5B	ASz-62IR	波兰 PZL Mielec
“小鹰” 500	IO-540-V4A5	莱康明

础、预先研究及高可靠性长寿命设计技术、适航技术、工程化应用等方面仍需突破，关键零部件、高温材料、精密电子元器件等研制能力还不足，在面对国外技术封锁、贸易摩擦及激烈竞争的形势下，亟须加强技术创新，加快产品研制和产业化。在开放合作方面，新的研发模式仍有待市场验证，同时也面临合作技术成熟度低、转包生产所占比重高、短期内难以有效改善等困境。此外，缺乏专业人才是我国航空发动机面临的一个重要短板。

推动民用航空发动机创新与开放发展的思考体会

加快民用航空发动机产业高质量发展，需要从创新、开放两方面入手，

加快提升航空发动机技术创新能力，进一步推进国际交流合作。

聚焦关键领域，加快提升技术创新能力

一是以企业为主体，加大对技术研发投入支持力度。产业的创新能力、核心竞争力，最直接的体现是企业，企业创新能力主要体现在技术水平、知识产权创造应用与扩散能力等，只有掌握了关键核心技术才有利于创造价值增值。因此，推动航空发动机产业创新发展，关键是要突出企业创新的主体地位，加大研发投入，加强技术研究并加强信息化建设，充分利用5G、人工智能、大数据等新技术，提高企业技术创新效率和效益。

二是以市场需求为牵引，加快关键核心技术创新。现代企业的创新模式、创新路径多种多样，有以商业创新为主的互联网企业，有以技术开发、产品创新为主的高技术制造企业，也有创新供应链、进行集成创新的企业。对于当前航空发动机来说，重要的是围绕安全性、

MD-82 制造 “新舟” 60 内饰改进 ARJ21 研制 WZ16 研制 CRJ929 研制
 “新舟” 60 研制 MD-92 制造 EC175 研制 C919 研制 波音 737 完工中心
 EC120 研制 A320 研制 A320 亚洲总装线中心



中国航空产业国际合作历程

民用航空发动机各层级合作特点及风险

层级		特点	风险
整机制造商		<ul style="list-style-type: none"> 产品成熟度高 市场稳定 管理经验丰富 	<ul style="list-style-type: none"> 技术壁垒高 技术限制多
单元体制造商		<ul style="list-style-type: none"> 研发能力强 可以提供整体解决方案 国际合作经验丰富 	<ul style="list-style-type: none"> 企业数量少 技术封锁
二三级资源	零部件制造商	<ul style="list-style-type: none"> 灵活独立 投入相对较小 分布较为广泛 	<ul style="list-style-type: none"> 数量巨大，难以评估水平 各国法律规定不同 研发能力相对较弱
	原材料供应商		

可靠性、油耗、减排、经济性等指标，以市场需求为牵引、以客户为中心进行实质性的技术创新，充分聚焦关键领域，注重预先研发，掌握核心技术，提高竞争能力。

三是以政策为推动，加快产学研用协同创新。创新的成功离不开良性运转的创新生态系统，其中政府扮演着生态建设的关键角色。航空发动机的创新发展，政府应有明确的支持及持续的投入，还应有对待高技术创新宽容失败的态度，应提供透明的商业规则、公平竞争的市场秩序，完善的科技成果转化机制，严格的知识产权和专利保护制度，充足的人力资本投资和人才供给，健全的金融、管理、技术等中介服务体系，以及崇尚实体经济创新的文化氛围。通过政府的环境、平台搭建，形成以发动机制造企业为主的产学研用的协同创新体系，与科研单位协同，破解创新与转化“死亡之谷”；与配套企业协同，解决发动机零部件多、协同开发难的问题；与政府和用户协同，满足市场、产业发展需要。

深化开放合作，拓展合作渠道及广度

一是发挥“小核心、大协作”

模式优势，加快开放合作向纵深发展。根据我国民用航空发动机现有的研制能力和技术水平，主动融入全球创新合作网络，依托产品研发需求，选准合作对象，拓宽合作渠道。从企业层面看，依托所建立的合作关系，寻求维持并提升现有合作水平，同时注重加强质量控制和供应链管理，提高合作水平和发展质量；从高校及科研机构层面，加强与航空发动机先进国家科研机构的学术交流，推动联合人才培养，共同探索航空发动机前沿技术，突破共性技术瓶颈。

二是发挥政策环境及市场优势，推动航空发动机开放融合发展。充分发挥我国持续扩大开放的政策优势以及我国巨大的航空市场优势，依托我国大飞机的发展，与全球主要航空发动机企业建立深层次的供应合作关系。充分了解航空发动机产业链各层级的特点及合作风险，根据不同合作对象有的放矢采取相适应的策略，加强风险评估，通过与先进国家、企业共享资源、技术、市场和设备设施等，共同应对挑战。根据航空发动机产业特点，加快融合，基于融合来深化国际合作，拓展航空渠道、深度和广度，推动形成开放融合发展的新格局。

突出人才根本，培养专业队伍和企业家

无论是航空发动机的技术创新还是开放合作，人才的发展都是根本。先进的航空发动机设计，离不开一支全球化的、有技术实力的项目管理和工程技术人员队伍。世界级企业的突出特点也是拥有一批战略性科学家和拔尖创新的工程科技人才、研发与创新管理队伍。因此，航空发动机产业的开放、创新，重要的是以企业为主体，培育一支优秀的人才队伍，应当创新人才培养模式，加快适应新技术新趋势新形势的人才培训，系统化培养专业人才。积极引入一批具有技术实力和市场化能力的人才团队，学习现代先进航空发动机研制管理模式，了解掌握不同类型技术和伙伴的合作方式、管理模式、风险控制策略、成本收益分享模式等。同时，企业家是技术创新、开放合作的主力，应大力倡导“科学家+冒险家”的企业家文化，鼓励企业家遵循科学规律下的大胆冒险、专业探索，营造宽松、宽容的创新合作氛围。

结束语

民用航空发动机的创新与开放发展，意义重大，前景可期，但任重而道远，已超出航空发动机及其产业本身范畴，需要全社会形成崇尚实体经济创新的文化氛围，形成合作共赢的共识生态，才能从根本上解决航空发动机发展所面临的技术、产品、人才等方面的问题，推动航空发动机产业可持续发展。

航空动力

(金伟，工业和信息化部装备工业发展中心，副研究员，主要从事航空产业政策研究工作)