

# 梦想驱动，绿色共享，推动人类负责任地发展 ——第二届国际航空发动机论坛召开

## 2nd International Aero Engine Conference Review

■ 宋宏海 李敏 王治国 / 中国航发 成磊



由 中国工程院机械与运载工程学部、中国科协航空发动机产学联合体、中国航发科技委联合主办，中国航空发动机研究院、北京华进公司承办的第二届国际航空发动机论坛，于9月19日在第18届北京国际航空展期间召开。

本届论坛由大会主席、中国航发科技委主任、“两机”重大专项发动机工程总设计师尹泽勇院士，中国航发总经理助理、科技委副主任、“两机”重大专项发动机工程副总师向巧院士共同主持。中国航发副总经理、党组成员陈少洋致辞。中国商飞副总经理、C919大型客机总设计师吴光辉院士，以及中国航发商发、北京航空航天大学及GE、罗罗、



向巧主持上午的论坛

普惠、霍尼韦尔等公司及院校的代表做大会报告。中国工程院机械运载工程学部副主任刘永才院士、乐嘉陵院士、陈懋章院士，中国科学

院曹春晓院士，以及近400名航空发动机领域的专业人士参加了本届论坛，围绕“梦想驱动，绿色共享，推动人类负责任地发展”的论坛主题开展了深入的交流和探讨。

与会代表共同认为，航空发动机是促进科技发展与工业水平提升的高端制造业代表，人类航空史上的每一次重要变革都与航空发动机的技术进步密不可分。以数字化和电气化为典型特征的航空“第三时代”已拉开帷幕，未来应大力促进新兴技术与航空发动机的深度融合发展，不断提升航空发动机核心能力，在低噪声、低排放、新燃料、新技术等方面加强研究，提供绿色、安全、高效的航空动力，推动人类负责任地发展。

## 携手前行 科技引领 共筑世界蓝天梦

### Join Hands to Realize the Blue-Sky Dream with Science and Technology

■ 陈少洋/中国航发副总经理、党组成员

正如习近平总书记在2018年5月出席中国两院院士大会发言指出的，“中国要深度参与全球科技治理，贡献中国智慧，着力推动构建人类命运共同体。自主创新是开放环境下的创新，决不能关起门来搞，而是要聚四海之气、借八方之力。要深化国际科技交流合作，主动布局和积极利用国际创新资源，努力构建合作共赢的伙伴关系，共同应对未来发展、粮食安全、能源安全、人类健康、气候变化等人类共同挑战。”

航空发动机是促进科技发展与工业水平提升的高端制造业的代表，被誉为“现代工业皇冠上的明珠”，人类航空史上的每一次变革，都与航空发动机的技术进步密不可分。20世纪早期，莱特兄弟的首架采用活塞式发动机为动力的飞机成功上天，标志着航空“第一时代”的到来，开创了人类有动力飞行的新纪元。20世纪50年代，喷气式飞机的出现则开启了航空“第二时代”，飞机的载荷、速度大幅提高，现代航空业迈入了高速发展时期。如今，以数字化和电气化为典型特征的航空“第三时代”已经拉开了帷幕，绿色高效、清洁安静、智能便捷的空中旅行作为未来航空业可持续发展的必然选择，将深刻改变人们的工作和生活方式。

为此，中国航发将持续坚持“科技引领，绿色驱动”的发展理念，推动人类负责任地发展。航空运输业的主要污染源来自于航空发动机，



陈少洋致辞

中国航发以CJ1000、AEF3500为代表的航空发动机在设计之初就对国际先进水平，坚持低油耗、低排放、低噪声、高可靠性、长寿命、低维护成本的目标。与此同时，中国航发联合国内高校、科研院所通过产学研合作项目、自主专项资金等项目持续支持涡轮基高超声速组合发动机技术、混合电推进等前沿性、颠覆性新构型发动机基础技术研究，努力推动航空发动机的跨越式发展。

中国航发将大力促进新兴技术与航空发动机的深度融合发展，不断提升航空发动机核心能力，始终坚持创新驱动，不断加强拓扑优化设计、增材制造、高效冷却、陶瓷基复合材料、石墨烯、超高温非接触测量等新兴技术，以及人工智能、大数据、量子计算等交叉学科的深入研究和应用。

中国航发将深入推动技术、产品和产业持续创新发展体系变革，不断提升航空发动机全生命周期的研发和制造能力，将持续推进运营管理体系变革，建立符合自身发展特点的研发体系，聚焦产品研发、生产制造、供应链管理和服务保障4个子体系，全面构建“数字化、网络化、智能化”运行环境下的新模式及相关流程、标准、方法和工具体系，大幅提高设计效率、缩短研发周期、提高产品质量和降低使用成本，支撑航空发动机的持续、稳定、高质量发展。

中国航发将持续以开放、包容的态度，积极开展国内外合作，着力构建全球供应链体系，不断融入全球航空发动机生态圈。目前，中国航发开展的国际合作项目达百余项，涉及到50多个国家的企业、高校、科研机构，包括以转包生产的方式为CFM56、LEAP、遑达、GENx、PW100、PT6等发动机提供零组件产品，此外，也在不断加强与国内科研院所、高校、民营企业的产学研用合作。

整个世界都在深刻地调整与演变，万物互联、万物遥感、万物可视、万物智能已经快步向我们走来，我们希望通过北京国际航空展的国际航空发动机论坛这个平台，与国内外优势企业、高校、科研院所深度交流，推动开展广泛合作，共同演奏世界航空发动机事业创新发展的新篇章。

## 合作共赢 共享未来

■ 吴光辉/中国商飞副总经理、C919大型客机总设计师、中国工程院院士

中国商飞现有ARJ21, C919和CRJ929等3个产品谱系。C919是中短程干线飞机,注重舒适性、环保性和安全性,计划2021年取得型号合格证;ARJ21支线客机主要面向西部高原市场,已交付15架,目前正在着力开拓国际市场;CRJ929是中俄两国联合研制的双通道远程宽体客机,今年会确定发动机的选型。中国商飞确立了“三个一”的目标,即在建党100周年的2021年,要交付一百架ARJ21、交付第一架C919、开始制造第一架CRJ929。

C919项目的启动,不仅带动了



吴光辉发言

界产业链的发展,包括对整个航空发动机产业链的带动。民用飞机对

动力装置的需求主要应从经济性、适航、耗油率、推力、可靠性、环保、大数据等方面加以考虑。在推力需求方面,ARJ21-700的发动机的安装推力为80kN,预留了7%的裕度;C919的发动机的安装推力为133kN,预留了10%的推力裕度;CRJ929的发动机的安装推力为334kN,预留5%的裕度。

作为飞机主制造商,中国商飞将与发动机方及各界同仁一起,共同建设良好的航空生态圈,合作共赢,为中国和全球的航空业发展做出贡献。

## 中国航发商发开展低噪声和低污染排放关键技术研究

■ 李继保/中国航发专职总师、CJ1000系列发动机总设计师

航空发动机正朝着更高的安全性、更高的可靠性、更低的噪声、更低的污染排放、更低的燃油消耗和更长的使用寿命发展。中国航发商发在CJ1000发动机研制过程中,开展了降低噪声和污染排放的一些基础性的研究工作。

发动机的噪声主要来自于风扇、压气机、燃烧、涡轮和喷流。针对主要噪声源,将发动机声学设计分为试验数据分析、部件声学设计和整机声学评估,其中涉及的关键技术包括适航噪声经验预测技术、风扇激波噪声数值预测及降噪技术、叶轮机转/静干涉噪声数值预测及降噪技术、三平



李继保发言

面管道声模态匹配技术、喷流噪声预测技术、声衬优化设计技术、管道声

模态试验数据处理技术,并将相应的技术应用到CJ1000商用发动机的研制中。

中国航发商发针对富油燃烧-淬熄-贫油燃烧(RQL)、贫油预混蒸发燃烧(LPP)、贫油直接喷射燃烧(LDI)等低排放燃烧技术开展研究,从非定常角度解释燃烧室物理机理,开展燃油雾化、热声不稳定、湍流旋流火焰和复杂流场中的排放等先进燃烧室技术研究,完成技术成熟度3级(TRL 3)的验证。航发商发将上述技术综合起来,制作了1个单头部燃烧室,测试的结果表明,NO<sub>x</sub>排放比CAEP 6的标求低50%。

## 罗罗助力民用航空可持续发展

### ■ 李安/罗罗公司大中华区总裁

作为陆海空动力先驱，罗罗公司对减少全球工业碳排放承担起重要责任。尽管民航业碳排放仅占全球矿物燃料碳排放的2%左右，但航空运输在国际经贸、医疗救援、人文交流等领域发挥着巨大作用。未来20年，社会对航空旅行的需求预计以每年超过4%的速度增长，将需要37000多架新飞机。推动民航业节能减排，实现可持续发展对产业发展和人类未来都至关重要。

罗罗公司每年投入大量资金用于新技术研发，仅2018年的研发投入就达到14亿英镑，其中的2/3主要用于减少产品对环境的影响。这确保了



李安 (Julian MacCormac) 发言

了遑达系列发动机在降低CO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>排放，降低噪声方面的持续性改进。

罗罗公司除了开展可再生燃料方面的合作，还在持续优化燃气涡轮发动机效率、加强机体与发动机的一体式设计、开发电动和混合动力飞机等可持续发展的理论和技术，以减少碳排放。未来，罗罗公司将继续引领电气化、数字化战略，实现智能化转型。

罗罗公司助力中国民航发展55年，目前为500余架飞机提供动力，并建立了广泛的服务网络，通过培训和交流共同推进产业的进步和升级。罗罗公司期待与中国民航继续深化合作，也期待遑达发动机能助力中俄联合研制的远程宽体机CRJ929。

## 普惠义不容辞承担环境保护责任

### ■ 斯蒂文·约翰逊/普惠公司先进商用项目总工程师

普惠公司一直关注航空业的可持续发展，承担环境保护责任义不容辞。由于旧型号退役，发动机与飞机效率以及航空公司运营工作的提升，商用航空客运量预计每年将以5%的速度增长，CO<sub>2</sub>排放也随之增长，预计每年的排放量将从2%增加至2050年的18%，而减少CO<sub>2</sub>的排放需要通过各方的努力来达成。未来，普惠公司将通过包括飞机发动机技术改进、提升航空公司的运营效率、增加基础设施的建设，使用航空替代燃料—生物燃料等举措实现环保目标。

普惠公司在齿轮传动涡扇（GTF）发动机、电动推进以及混合动力方面



斯蒂文·约翰逊 (Steven B. Johnson) 发言

做出巨大努力，并取得相关进展。普惠公司的GTF发动机技术提升了风扇

效率，优化核心机与风扇的转速。新一代的GTF发动机涵道比将会超过现有的12:1。由GTF发动机提供动力的飞机所产生的噪声足迹相对会更小。

电动和混合动力技术是普惠下一步的研究重点，以不同的解决方案满足不同平台的需求：纯电动适合于城市空中交通；串联涡轮混合动力适于直升机和通用航空飞机；并联燃气-电动混合动力适于支线 and 商用飞机。而目前电动推进面临的挑战之一是电池的能量密度问题，目前还无法用电池完全取代燃气涡轮，但航空业将继续通过创新致力于提高效率与可持续发展水平。

## 霍尼韦尔为城市空中交通提供混合动力推进系统解决方案

■ 罗迪/霍尼韦尔中国航空机械系统及零部件研发总监

尽管电动推进是未来的方向，但在电池技术、基础设施、适航规章及其他障碍被克服之前，混合动力推进是一种较为可行的解决方案。

按照美国国家航空航天局（NASA）的定义，混合动力推进是一种用飞机燃油和电力共同驱动推进系统的方式，目的是减少燃油消耗、降低运营成本，减少CO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>的排放。与全电系统相比，混合动力具有航程长、过站时间短、可利用现有的机场设施、市场通用性好等优点，但在直接运营成本、降低噪声和环保方面的优势并不十分明显。

霍尼韦尔正在为城市空中交通



罗迪 (Rodolphe Bardou) 发言

(UAM) 开发混合动力涡轮发电机，其中包含配备了两台200kW发电机

的HTS900发动机，从而能提供更加安静、安全和清洁的动力解决方案。霍尼韦尔公司研制辅助动力装置（APU）、涡扇发动机、涡桨发动机和涡轴发动机等动力装置，同时还研制发电机、转换器、配电和储能装置等电源产品。此外，霍尼韦尔公司还通过与电装（Denso）公司合作，将先进的航空与汽车技术集成在一起。因为分布式电动推进系统是UAM游戏规则的主要改变者，双方的合作将开发出完整的电动推进装置（减速器/电动机/逆变器和热管理系统）以及外场服务。

## 创新航空替代燃料的认证方法

■ 丁水汀/北京航空航天大学能动学院院长、教授

中国的可持续发展面临着液体燃料短缺、环境问题、排放问题等，发展航空替代燃料是业界解决传统燃料危机的首选方案。自2011年起，中国国际航空公司、中国南方航空公司、中国东方航空公司、海南航空公司等国内大型航空公司均开展过生物燃料的验证飞行。

但是，航空替代燃料的进展却远不及预期，主要原因：一是替代燃料安全性缺乏数据支持；二是制备成本高，精炼过程要消耗大量的人工和能源；三是认证成本非常高，时间周期很长。因此，需要形成一套新的思路来解决问题，应对的举措包括：以



丁水汀发言

安全性为目标，借鉴航空煤油方面的经验，提升替代燃料的安全水平；发

展航空发动机整机环境安全性模型，利用已有经验，通过控制敏感的燃料理化特性提高安全性，通过控制不敏感的燃料理化特性降低成本；将燃料作为发动机的特殊部件，通过技术标准规范（TSO）取证解决共性问题，降低取证成本。

针对替代燃料认证流程与制备的中欧航空替代燃料合作项目已经获得欧盟的立项批准，由北京航空航天大学、中国航发研研所、中国航发商发等中国机构与赛峰集团、工程数值计算方法国际中心（CIMNE）、法国航空航天研究院（ONERA）等欧洲机构共同合作完成。

## 共同努力，提供绿色、高效、安全的动力

Work Together, To Provide Green, Efficient, Safety Power

■ 尹泽勇/中国航发科技委主任、中国工程院院士

本次论坛以“梦想驱动，绿色共享，推动人类负责任地发展”为主题，旨在通过对航空发动机新技术的探讨，为人类的可持续发展提供更加高效、绿色的技术途径。来自国内外航空领域，尤其是航空发动机领域的专家学者，就技术、市场以及未来发展等进行了深入的交流，涉及到商用飞机以及从可持续发展、环境保护、混合推进等不同视角来观察的商用航空发动机。

我个人非常主张先在通用航空市场大力发展电推进系统。虽然电动汽车的快速发展推动了高功率密度电机和电池技术的研发，但目前还不能完全满足在航空领域应用的需求。因此可先采用各种方式的油电混合推进系统，当电能储存技术发展相当程度，最终采用全电推进系统。

我还相信，高速飞行将是未来国际旅行尤其是跨洋旅行的主要选择，高超声速推进系统是未来商用航空发展的另一个重要方向。50年前，法国“协和”号和苏联的图-144两款客机就实现了Ma2的超声速飞行，终因技术和市场原因未能取得商业成功。然而，几十年来航空发动机技术的飞速发展，以及冲压发动机技术的进步，配装涡轮基组合循环动力的可重复使用高超声速商用飞机，有望于不久的将来在二三小时内飞抵全球任一国际机场。希望业界同行合作，携手为未来高超声速商用



尹泽勇主持下午的论坛并做总结发言

飞机动力贡献力量。

中国作为一个近14亿人口的大国，幅员辽阔，商用航空市场需求巨大。到2035年，中国占全球客机机队的比例将从现在的14%增长到18%，机队年均增长率为5.5%。未来20年，中国市场预计交付客机6865架，价值9293亿美元，对应航空发动机市场约为2788亿美元。今后几年内，中国将建成500个以上通用机场，通用航空器达到5000架以上，年飞行量200万小时，通用航空发动机总需求量相应地将达

14000余台。

面对广阔的市场和巨大的商业机会，作为中国主要航空发动机制造商的中国航发，愿积极与各位商业伙伴精诚合作，共同为中国及世界提供绿色、安全、高效的动力。“小核心、大协作、专业化、开放型”始终是中国航发坚持的发展道路，我们希望借助于北京国际航空展的国际航空发动机论坛这一平台，与各位商业伙伴就未来航空发动机的技术发展持续交流，共同为人类的可持续发展贡献力量。

航空动力