

# 抓住大型飞机的历史机遇 实现航空动力的创新发展

中国航空工业第一集团公司科技委 刘大响  
北京航空航天大学 金捷  
中国航空工业发展研究中心 胡晓煜



刘大响

中国工程院院士,航空动力专家。长期致力于航空发动机设计和试验研究工作,曾任1项国家重点工程和3项大型国防科技关键预研项目总工程师和技术负责人。现任中国航空工业第一集团公司科技委副主任,北京航空航天大学教授、博士生导师,航空发动机数值仿真研究中心主任;兼任总装备部科技委委员、总装备部航空动力技术专业组组长、国防科工委专家咨询委员、国家863航天航空领域专家委员会顾问、中国空军顾问。

## 国外大型飞机发动机 发展现状和趋势

### 1 干线客机发动机“三巨头”的发展战略

26 航空制造技术·2008年第2期

**发动机是飞机的心脏,大涵道比涡扇发动机是自主研制大型飞机的关键,发动机技术不突破,就无法掌握大型飞机研制的主动权。**

(1) CFM公司志在必得。

CFM公司占据150座级飞机发动机市场的最大份额,CFM56是B737的唯一动力和A320一半以上的动力,已交付使用的数量超过15600台,目前月交付量为50台左右。

为继续保持其技术领先地位,CFM公司在1998-2004年实施了TECH56计划,主要研究金属材料空心风扇叶片、压比15的6级高压压气机、双环腔预旋流燃烧室(TAPS)、锯齿型喷管、低成本控制系统等,并从2007年开始将这些技术逐步用于生产型的CFM56-5B/7B发动机,大大提高了发动机的性能。

此外,公司还于2004年底开始实施LEAP56计划,针对A320/B737换代机,主要研究轻质复合材料风扇叶片、压比更高的6级高压压气机、第2代TAPS、发动机诊断技术、轻重量齿轮箱和下一代控制技术。LEAP56计划主要节点包括:

2007年进行部件试验,2009-2010年进行全尺寸发动机试验,2012-2013年投入使用。

(2) 普惠公司誓夺失地。

20世纪七八十年代,普惠公司的JT8D发动机曾创下了产量近12000台的世界纪录,一度占有75%的市场份额,但由于战略决策失误,如今几乎被CFM56挤出民航发动机市场。

针对A320/B737的后继机的动力,公司目前与MTU(德)、Avio(意)和Volvo(瑞典)合作,重点发展齿轮传动涡扇发动机(GTF),推力量级为105~180kN,计划占据A320/B737后继机的所有动力市场。具体分工为MTU公司负责高压压气机(8级压气机、压比17),Avio负责风扇齿轮传动系统,Volvo负责复合材料风扇框架,并与NASA合作发展先进的Talon X低污染燃烧室。

普惠公司的GTF发动机发展计划是:2007年第3季度进行地面试验

验证,2008年与波音合作进行飞行验证,2008年底将正式启动该发动机的研制,2012年投入使用。

种民机用涡扇发动机,包括大涵道比涡扇发动机,如PS-90A(伊尔96/图204)、NK-93(伊尔96/图

技术因素的影响,在与西方同类产品的市场竞争中处于下风。

对于未来民机动力市场,俄罗斯联邦政府制定了《2002-2010年间和2015年前俄罗斯民用航空技术发展》规划,俄罗斯航空航天局实施了《研制新一代民用干线客机涡扇发动机所需的技术储备建立计划》。计划实现的目标包括:针对130~170座新一代中短程干线客机用推力68~117kN级的大涵道比涡扇发动机,并可发展到68~196kN级,2010年前,研制出性能指标高于PW6000、PW8000和SaM146,并不落后于GE公司TECH56计划的新一代民机动力核心机和验证机,瞄准2030-2040年前的新一代民机发动机国际市场;由CIAM组织,联合国立民用航空发动机研究所、彼尔姆和全俄航空材料研究院等单位。

普惠齿轮传动涡轮风扇发动机技术参数

应用机型	三菱支线机 (2013年交付)	100座级飞机	150座级飞机
推力/磅	15000~17000	17000~23000	23000~30000
油耗(与现有同推力级别发动机相比)	-12%	-12%	-12%
噪声(与FAA第4阶段规定比较)	-15dB	-20dB	-20~-25dB
每年每架飞机少排放的CO <sub>2</sub> /t	2700	3000	3000
与航空环境保护委员会第6次会议决议要求相比每年每架飞机少排放的氮氧化物	50%	55%	50%
风扇直径/英寸	56	74	78
涵道比	8	10	10
重量(与现有同推力级别发动机相比)	轻	轻	轻
级数	1-齿轮箱-2-8-2-3	1-齿轮箱-3-8-2-3	1-齿轮箱-3-8-2-3

注:1磅=4.45N,1英寸=2.54cm

### (3) 罗·罗公司异军突起。

与普惠的迫不及待相比,罗·罗公司在A320/B737后继机项目上的反应似乎平缓许多,但它绝不是一支可以低估的力量。在技术发展上,公司分别制定了5年、10年和20年的发展规划,目前每年在技术研究上的投资都超过6亿英镑。在业务发展上,该公司通过收购美国艾利逊公司和宝马·罗罗等公司,强化了公司的核心竞争力。公司的Trent和RB211系列发动机已在176kN以上推力的大型宽体飞机发动机市场上占据领先地位。

目前,罗·罗公司还在对A320/B737后继机发动机的几种方案进行讨论,并计划发展热效率较高的三转子发动机。由此可见,罗·罗公司的异军突起终会给150座级的高性能大涵道比涡扇发动机的市场竞争增添色彩。

## 2 俄罗斯干线客机发动机的发展情况

俄罗斯(前苏联)已发展了多

204)、D-436(图334)等,装备于图154/204/334、雅克40/42、伊尔62/76/86/96等旅客机。1962年前苏联的索洛维也夫设计局(现俄罗斯彼尔姆)研制出俄罗斯第一种用于旅客机(图124)的D-20P涡扇发动机,比英国罗·罗“康维”发动机(快帆)只晚了2年。但由于受到西方适航条例的限制,以及政治经济等非

## 我国大型飞机对发动机的需求分析

在我国,大型飞机项目是建设创新型国家的标志性工程,是党中央、国务院在新世纪作出的具有重大战略意义的决策。大型飞机发动机要立足于自主创新,拥有自主知识产权,要在对外开放的条件下进行,积极开展国际合作。大型飞机发动机



的研制需要勇气、决心、信心、力量。温家宝总理指出：“研制大型飞机是党中央、国务院在新世纪作出的具有重大战略意义的决策。我们要以百折不挠的决心和钢铁般的意志，为实现我们国家的宏伟目标而努力。”在《国家中长期科学和技术发展规划纲要》和《“十一五”规划纲要》中，国家已经把大型飞机列为重大专项工程，而且要求配装拥有自主知识产权的大涵道比涡扇发动机，这是必须实现的国家战略目标。



发动机是飞机的心脏，大涵道比涡扇发动机是自主研制大型飞机的关键，发动机技术不突破，就无法掌握大型飞机研制的主动权。据有关部门预测，未来20年，中国仅150座级干线客机就需要800架左右，加上其他用途的大型飞机，共需要大涵道比涡扇发动机约2750台，总价值达412亿美元。大涵道比涡扇发动机用途广泛，市场巨大，经济、军事、社会效益显著，对国民经济发展、国防建设和科技进步具有重大推动作用和战略意义。

### 1 干客用大涵道比涡扇发动机的主要要求

首先，以民用中近程干线客机为应用对象，大涵道比涡扇发动机要达

到同类发动机的先进水平，具有市场竞争力，并形成产业。

其次，突破关键技术，提高自主研发能力。通过预先研究和国际合作，完成部件、系统、核心机和验证机的设计、加工和试验，突破民用大涵道比涡扇发动机关键技术，基本具备自主研发能力。在验证机的基础上，根据市场和飞机需求，研制出拥有自主知识产权和竞争力的大涵道比民用涡扇发动机，满足我国干线客机发展对动力的需求。

研制发动机的指导思想：强化基础、提高能力；当代水平，形成产业；自主研发，国际合作；军民结合，协调发展。

主要技术指标：起飞推力满足双发150座级干线客机要求；巡航耗油率比现役同类发动机下降6%~8%；寿命、可靠性、可维护性等综合性能水平优于现役CFM56发动机，比现役同类发动机性能提高10%以上；噪声、有害物质排放水平满足当时的适航条例和环保要求。

### 2 干客用大涵道比涡扇发动机的发展计划

(1) 发展目标。

• 突破大涵道比涡扇发动机关键技术。

• 完成部件、系统、核心机和验证机的设计、加工和试验，基本具备自主研发能力。

• 完成型号研制和适航取证。

• 在验证机试验的基础上，根据市场和飞机需求，研制出具有自主知识产权和竞争力的大涵道比民用涡扇发动机，满足我国干线客机发展对动力的需求。

• 培养一支高水平的航空动力科技和管理队伍。

(2) 发展步骤。

• 第一阶段：关键技术攻关和验证机研制。包括：发动机总体方案和部件设计、加工和试验；总体方案设计；部件和系统设计；部件和系统加工制造；部件和系统试验；核心机和验证机的工程设计、加工和试验验证；核心机和整机工程图设计；核心机和整机加工制造；整机试验验证。

• 第二阶段：原型机研制和适航取证。完成我国干线客机发动机原型机的研制，取得适航证。

(3) 发展途径。

• 自主创新，提升能力，“技术研究”和“产品开发”并重。

• 走核心机系列派生发展的道路，首先针对目前干客动力的需求，发展相应推力等级的发动机；考虑将来干客发动机的推力需求，总体方案应留有发展的潜力。

• 充分利用现有的设计体系和验证平台，充分利用多年积累的研制经验，军民结合，协调发展。

• 开展国际合作，走“自主研发”与“国际合作”相结合的发展道路。

## 我国大型飞机发动机的主要关键技术分析

### 1 设计关键技术

(1) 大涵道比发动机总体方案设计技术(含飞发一体化和经济性分析)；

(2) 民用发动机适航技术；

(3) 大涵道比风扇/增压级设

计技术;

(4) 高效高级压比压气机设计技术;

(5) 低排放、长寿命燃烧室设计技术;

(6) 高性能长寿命高、低压涡轮设计技术;

(7) 发动机短舱及反推力装置设计技术;

(8) 核心机设计技术;

(9) 验证机设计技术;

(10) 整机/部件综合数值仿真技术;

(11) 大涵道比涡扇发动机数控系统设计技术;

(12) 低噪声设计技术;

(13) 长寿命、高可靠性和可维护性设计技术;

(14) 轴承和传动润滑系统设计技术;

(15) 故障诊断和监控技术;

(16) 涡轮间隙主动控制技术;

(17) 辅助动力装置(APU)设计技术。

## 2 材料工艺技术

(1) 大型风扇宽弦空心叶片(钛合金或复合材料)制造技术;

(2) 大型钛合金中介机匣铸造、焊接和制造技术;

(3) 钛合金整体叶盘/叶环制造及修复技术;

(4) 复合材料包容环制造技术;

(5) 风扇盘圆弧型榫槽加工技术;

(6) 三维弯扭多联组合涡轮导向叶片精铸技术;

(7) 定向凝固带冠大展弦比低压涡轮叶片精铸技术;

(8) 风扇转子和发动机本机平衡技术;

(9) 风扇机匣涂层本机加工技术;

(10) 耐 600℃ 高温钛合金材料工程化与制造工艺;

(11) 镍基高温合金整体叶盘低

成本制造技术;

(12) 低成本燃烧室机匣整体铸造技术;

(13) 火焰筒浮动壁材料与制造技术;

(14) 高压涡轮动叶及导叶用涂层及其涂覆工艺;

(15) 耐 1100℃ 单晶涡轮叶片低成本材料、铸造以及打孔工艺;

(16) 耐 1100℃ 涡轮导叶低成本材料、铸造以及打孔工艺;

(17) 轮盘粉末冶金的制粉、锻造工艺以及缺陷检测。

## 3 试验测试技术

(1) 整机试验与调试技术;

(2) 发动机反推力试车技术;

(3) 发动机吞鸟试验技术;

(4) 发动机吞水、吞冰、吞砂试验技术;

(5) 发动机侧风、逆风试验技术;

(6) 发动机噪声场测量技术;

(7) 风扇叶片包容试验技术;

(8) 部件、整机寿命和可靠性试验技术。

## 对我国研制大型飞机发动机的几点看法和建议

### 1 贯彻中央领导指示精神,抓住机遇,迎接挑战

(1) 大飞机及其发动机项目是建设创新型国家的标志性工程,是关系国家安全和国民经济命脉的重要行业和关键领域,动力装置必须在突破关键技术的基础上自主研发,拥有自主知识产权,不能长期外购、受制于人。

(2) 大型飞机及其发动机项目是我国航空动力行业难得的发展机遇,是摆脱纯粹依靠军机的单一发展模式,实现航空动力军、民、燃协调发展的重大举措,也是促进企业核心竞争力的形成和巩固,大幅提升企业的经济实力和在国民经济中的地位,促进行业发展的历史契机。

(3) 我们必须下定决心,不辱使

命,抓住机遇,迎难而上,加快发展。

### 2 自主创新,全力搞好关键技术研究

(1) 我国民用大涵道比涡扇发动机的技术储备严重不足,但面对世界市场的激烈竞争,又必须推出具有当代国际先进水平的产品。这是一个很大的矛盾,也是严峻的挑战。

(2) 将研制工作分为验证机和原型机两个阶段,首先通过部件、系统、核心机、验证机研制,突破、掌握关键技术,提高自主创新能力。然后,在验证机的基础上进一步研发出拥有自主知识产权、具有当代先进水平、并能够取得适航证进入市场的民用大涵道比涡扇发动机。先突破关键技术,再开发产品取证,这是实事求是、合理可行的选择。

### 3 抓紧国际合作,尽快组织实施

在国际合作中,应尽快组织好队伍,统一领导,加强协调,统一对外,抓紧谈判,抓紧审批,签约实施。

### 4 深化机制体制改革,加快研发队伍培养

(1) 在干客发动机的研制中,应整合行业内部的技术力量,统一研究和组织有关事项,勇于承担主力军的作用。

(2) 航空集团公司应联合有关科研院所、工厂和高校,发挥各自的优势,形成产学研相结合的技术创新体系,加快人才培养,组成大型飞机发动机产学研联合研发团队。

### 5 协调安排好基础条件建设

(1) 协调安排好有关材料和工艺技术的攻关。

(2) 材料、工艺和加工制造是军民用大涵道比涡扇发动机的关键技术之一,必须尽早安排计划,攻关研究,加以突破。

(3) 抓紧有关基础设施和研发保障条件建设。

(4) 大涵道比涡扇发动机的研制需要特殊的设计、加工和试验手段,必须抓紧投资建设。

(责编 魏凉 侧卫)