

下一代窄体客机发动机最新进展

胡晓煜

(中国航空工业发展中心, 北京 100029)



胡晓煜(1965),女,硕士,中国航空工业发展研究中心副总师,自然科学研究员,从事航空发动机情报研究。

收稿日期: 2009-06-25

1 引言

在当今世界民用飞机市场上,下一代中短程窄体干线客机无疑是最受关注的焦点,并且最受期待。空客 A320 和波音 737 窄体客机的换代,俄罗斯 MS-21 飞机项目的实施,中国大飞机 C919 项目的启动,如同为发动机制造商们注入了强兴奋剂。尽管所有的预测都表明 A320/737 客机在 2020 年前不会换代,但发动机制造商的热情却日益高涨,为争夺这一 400 亿美元的巨大市场,都在加紧提高发展效率来大力改善

摘要:围绕下一代窄体客机发动机,介绍了目前国外飞机和发动机生产商方案选择的一些思路,叙述了传统涡扇发动机、齿轮传动涡扇发动机和开式转子发动机的最新进展,预测了发展趋势。

关键词:开式转子发动机;齿轮传动涡扇发动机;窄体客机

Latest Development of Next Generation Narrow Aircraft Engine

HU Xiao-yu

(Aviation Industries Development Research Center of China, Beijing100029, China)

Abstract: Some considerations of foreign aircraft and engine manufactures on next generation narrow aircraft engine were presented. The latest developments of traditional turbofan engine, geared turbofan engine and open rotor engine are described. The development trend of next generation narrow aircraft engine was forecasted.

Key words: open rotor engine; geared turbofan engine; narrow aircraft

其新产品。

在 2009 年巴黎航展上,发动机公司纷纷为自己的下一代窄体客机发动机方案做宣传。PW 公司坚持认为齿轮传动发动机是下一代窄体客机的最好选择;MTU 公司展出了自己的齿轮传动涡扇发动机模型,与 PW 公司站在了一起;开式转子发动机呼声更高,RR 公司挑明态度,称开式转子发动机燃油效率可改进 25%~30%,是“真正的游戏规则改变者”;CFM 国际公司显然也把最终目标锁定为开式转子发动机;空客和波音公司与发动机公司合作研究开式转子的可行性,为开式转子发动

机的实际应用增加了机会。SABC (英国宇航公司协会)也表示,开式转子发动机可能大大改善新型窄体飞机的环境特性,增大桨叶直径,取消笨重、带来阻力的短舱,意味着开式转子发动机的单位燃油消耗率可比目前窄体客机用涡扇发动机的降低 25%~30%。

本文综述了下一代窄体客机发动机的发展情况。

2 飞机公司需求

在 2009 年法国巴黎航展上,空客公司明确表示,推出 A320 后继机的时间最早是 2020 年。波音公司和空客公司负责人都表示,

希望下一代窄体客机的燃油效率提高 20%,甚至更高;在新窄体客机项目启动以前,发动机制造商必须证明已经突破所有关键技术。

目前,波音公司仍在创造良好的窄体客机市场收益。2009 年 4 月,付了第 6000 架 737 飞机;还有超过 2200 架新一代 737 飞机订单尚未交付。同时,启动了 737 飞机的改进计划,新改进的 CFM56-7BE 发动机将于 2011 年中投入使用,届时,飞机/发动机的燃油效率将提高 2%,CO₂ 排放减少 2%,发动机维护成本最多降低 4%。种种现象表明,该公司没有短期内推出新一代窄体客机的理由。

2009 年 5 月,波音公司开始与 RR 公司、瑞士 RUAG 宇航公司和德国 Deharde Maschinenbau 公司合作,研究未来民用飞机用燃油高效的开式转子推进技术的潜力。计划 2010 年初,在 RUAG 公司的低速风洞进行采用开式转子发动机的模型飞机的试验。该公司还没有决定未来中等尺寸的飞机将采用哪种类型的推进系统,但表示开式转子技术有大大减少发动机油耗的潜力,是有发展前景的推进系统之一。这项研究将帮助该公司更好地理解开式风扇推进装置与飞机机体的相互影响,以及到底能节省多少燃油。空客公司指出,下一代窄体客机“需要技术上的大幅跨越,而目前我们还做不到”。此前,该公司还称,下一代窄体客机需要 1 种“改变游戏规则”的技术。这显然是指开式转子技术。目前,正在与发动机公司一起研究采用开式转子发动机的飞机的适航取证要求。

2009 年 2 月,开始在欧洲新飞机概念研究(Nacre)计划下,对包括采用开式转子发动机在内的新飞机结构模型 A30X 进行风洞试验。

有工业观察家认为,下一代窄体客机推出的时间可能比预计的 2020 年还会推迟,波音公司目前的精力主要在 787 和 747-800 飞机项目上,空客公司的重点则主要放在 A400M 飞机发展、A380 飞机的稳定生产和完成 A350 飞机最终设计上。因此,可以认为这 2 家公司不会将研究和发展经费放在目前销量仍然很好的窄体客机上。当前便宜的油价和紧张的研制与发展经费也使得新飞机需求减少。

3 发动机公司研制进展

3.1 齿轮传动涡扇发动机

3.1.1 PW 公司

在 2009 年法国巴黎航展上,PW 公司还表示,GTF 技术还有很大的改进余地,每年效率可提高 1%。到 2017 年,1 种 PW1000G 齿轮传动涡扇发动机的改型产品可使 A320/737 后继机的燃油效率提高 22%~23%,最终发动机的油耗将达到与开式转子发动机相当的水平,同时噪声将更小。这是目前发动机商提出的下一代窄体客机最大和最快燃油消耗改进指标。并且,GTF 涡扇发动机将有可能用于其它多种飞机,包括宽体飞机。目前,为了提高效率,该公司正在进一步改进齿轮系统,期望其传动比从 3 增加到 4 以上,同时,GTF 发动机的涵道比超过 12,压比达到 50。

PW 公司对 GTF 技术进行了

20 多年的研究。2008 年,全尺寸的 GTF 验证机在该公司的 747SP 飞机和空客公司的 A340-600 飞机飞行平台上进行了广泛的飞行试验。第 1 个生产型——PW1000G 发动机将在 2013 年用于 MRJ 支线客机和庞巴迪公司的 C 系列飞机。与目前的发动机相比,该发动机可降低燃油消耗 12%~15%,同时噪声比规定的低 20 dB;但是,与对手——先进涡扇和开式转子设计相比,这一优势还不突出。

3.1.2 MTU 公司

在 2009 年法国巴黎航展上,历来以合作伙伴身份参与世界民用发动机发展的 MTU 公司出人意料地展出了 1 个开式转子发动机模型,显示出独立进入下一代窄体客机发动机市场的强烈愿望,这也是该公司“清洁空气发动机(Claire)”技术计划的基本概念所在。

该公司制订了 1 个雄心勃勃的齿轮传动涡扇发动机 3 步走发展计划。第 1 步,目标是使燃油消耗降低 15%;目前,该公司正与意大利 Avio 和瑞典 Volvo Aero 公司一起,在欧盟“清洁天空联合技术倡议”下开展工作,2012 年将运行首台验证机。第 2 步,将 2 级对转风扇与齿轮传动技术结合,使发动机油耗到 2025 年降低 20%。第 3 步,增加 1 个回热器,到 2035 年,使发动机油耗降低 30%。

该公司也是 PW 公司 PW1000G 发动机项目的合作者。目前,该公司正在对 1 个现有的齿轮传动涡扇发动机进行优化,重点研究高压压气机和高速低压涡轮,希望能降低涡轮的长度和

质量,同时通过采用1种新概来提高第1级低压涡轮效率。

3.2 开式转子发动机

3.2.1 RR 公司

在2009年巴黎航展上,RR公司提出在尽可能长的时间内,对双转子涡扇、3转子涡扇或开式转子发动机几种方案的研究将同步进行,以保证在燃油价格浮动的情势下,始终能提供1种寿命期成本最有竞争力的发动机。该公司计划通过实施“Option 15-50”策略,发展可使发动机油耗降低15%~50%的下一代窄体客机发动机技术。目前,正在研制3转子的RB285和双转子的RB282发动机,以抗衡CFM国际公司的LEAP-X和PW公司的PW1000G齿轮传动涡扇发动机。“Option15-20”的基础是双转子的RB282和3转子的RB285发动机,双转子和3转子发动机的核心机也将作为“Option 30”开式转子的核心机(如图1所示)。



图1 开式转子发动机

Option 15的发动机可达到Trent XWB和Trent 1000的水平,比20世纪90年代中期的V2500发动机的油耗降低15%;Option 20是1种先进的3转子涡扇发动机RB285X,油耗降低20%,噪声比第4阶段标准降低20 dB,2018

年投入使用;Option 30是开式转子发动机,油耗降低30%,噪声比第4阶段标准低10 dB,有可能在2018年投入使用;Option 50可使油耗降低50%(如图2所示)。

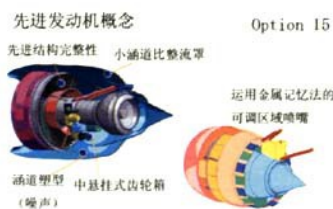


图2 Option 15 发动机

该公司称,3转子结构具有低的SFC,但结构复杂,成本更高;双转子方案效率高,成本更低,并且推力有提高的潜力,但噪声较大;开式转子的应用可使SFC获得巨大改进,但需要采用高速齿轮箱和革新的低噪声叶片设计。目前,该公司正在“展望20”计划下研究这一技术。最近,在华盛顿举办的Eco-航空会议上表示,开式转子发动机是“真正的游戏改变者”,与今天的窄体客机用涡扇发动机相比,燃油效率可提高25%~30%,比未来10年可能投入使用的先进涡扇发动机燃油效率高10%~15%。称已开始进行120~220座级飞机用开式转子发动机的工程研究,这是真实而且是可实现的,但是距离实际应用还有很长的路要走,因为该项目风险很大,特别是噪声问题比较突出。开式转子发动机也是欧洲投资16亿欧元的“清洁天空联合技术计划”中的优先研究内容。

该公司的计划是在4年的验证机阶段内,研制出1种具有飞行能力的开式转子发动机验证机,于2013年开始研制,

2018~2020年投入使用。目前正在进行1/6缩尺的RB3011开式转子设计模型试验,已经满足了第4阶段噪声标准。

将首先研究拉进式的开式转子发动机。

3.2.2 CFM 国际公司

下一代窄体客机发动机研究方面,CFM国际公司提出2套方案。第1套为发展油耗降低16%的先进LEAP-X传统涡扇发动。2012年,对首台验证机发动机进行整机试验,如果2012年飞机制造商决定推出A320/737后继机,则该发动机将继续研制;计划于2016年取证,于2018年投入使用。否则,将转入第2套方案:LEAP-X发动机项目暂缓,将在LEAP-X核心机的基础上,发展开式转子发动机;计划于2025年投入应用。CFM公司认为,如果空客和波音公司窄体客机换代推迟到2030年,这个时机正合适。

在2008年范堡罗航展上,CFMI的合作伙伴GE和SNECMA公司宣布开始为下一代窄体客机研制新型LEAP-X发动机(如图3所示),该发动机研制目标是噪声比第4阶段标准低10~15 dB,油耗比737NG飞机用CFM56-7B发动机的降低16%,NO_x排放比CAEP 6的标准低60%,并满足目前的维护要求。



图3 LEAP-X 发动机

LEAP-X 发动机所采用的主要先进技术如下。

(1) 三维缠绕树脂传递模型(RTM) 复合材料风扇叶片和机匣。这项称为“MASCOT”的 SNECMA 公司专利技术已经经过多年研究, 将大大减轻发动机的质量, 提高叶片的耐久性。2009 年 1 月, CFMI 开始在 1 台 CFM56-5C 发动机上进行全尺寸的 RTM 风扇地面试验。之前, 采用 MASCOT 技术的发动机在 SNECMA 公司完成了气动和性能试验, 并进行了广泛的侧风试验, 目前正在声学试验。发动机将在其后返回法国, 进行耐久性试验。CFMI 公司将继续改进, 以确定 2012 年试验的首台 LEAP-X 验证机发动机的最佳结构。预计 LEAP-X 发动机涵道比为 10; 风扇叶片数量为 18 片, 比 CFM56-5C 发动机的减少 50%, 比 CFM56-7B 发动机的减少 25%。

(2) 先进的核心机。8 级高压压气机、先进的第 2 代双环型预旋混合器(TAPS II) 燃烧室和涡轮工作叶片将采用某种先进材料, 导向器和叶冠将采用陶瓷基复合材料(CMC)。GE 公司 eCore 核心机首次采用上述材料。第 1 台核心机压比为 16, 第 2 台的为 22~23, 而目前 CFM56 发动机核心机的压比仅为 11 左右。2009 年 6 月 12 日, 采用单级高压涡轮的首台 LEAP-X 核心机开始进行 100 h 地面试验。2011 年, 采用 2 级高压涡轮的第 2 台核心机将开始进行试验。在 3 年的试验计划中将运行 6 台核心机。

NASA 和 GE 公司从 20 世纪 70 年代开始研究开式转子技术, 一直持续了 20 年, 耗资 12 亿美元。20 世纪 80 年代, 成功进行了开式转子发动机的地面试验和飞行试验, 证明开式转子发动机的燃油消耗可比相同尺寸的有涵道涡扇发动机的降低 30%。但是 90 年代中期, 开式转子技术研究中断。2009 年 4 月, NASA 和 GE 公司重新开始了为期 6~9 个月的新一代开式转子技术试验验证工作; 试验采用 1/6 缩尺模型, 在 NASA 的 2 个风洞内进行, 将对 7 种风扇叶片设计进行研究, 评估气动力学和声学性能。CFMI 公司说, 开式转子还要做一些“专门的技术发展和成熟”研究, 这些技术将在 LEAP-X 发动机于 2016 年投入使用后的几年内发展成熟。

3.3 俄罗斯公司

由俄罗斯联合飞机制造公司(OAK)研制的新型中短程干线飞机 MS-21(150~220 座级)将用来替代现有的图-154、图-204 以及 A320 和波音 737 客机。预计, MS-21 飞机比 A320 飞机的主要技术性能优 12%~15%, 经济性提高 25%。

目前, 俄罗斯正在为 MS-21 飞机的发动机招标。彼尔姆“航空发动机”股份公司推出油耗可比 CFM56-5B2 和 V2524/2533 发动机的降低 10%~11% 的 PS-14 发动机。俄罗斯“礼炮”机械制造企业、乌克兰扎波罗日“进步”发动机机械制造设计局和“西奇”发动机公司联合推出 SPM-21 发动机, 该发动机是由用于安-70 飞

机的 D-27 桨扇发动机发展而来的。参加招标的还有 PW、RR 公司和 CFMI 国际公司。招标的 1 个基本条件是必须有俄罗斯公司参与发动机研制。2009 年 12 月, 俄罗斯伊尔库特公司选择了 PW 公司的 PW1000G 齿轮传动涡扇发动机, 作为其 150~210 座级 MS-21 客机的动力装置。该客机将于 2014 年首飞, 2016 年投入使用。

PS-14 发动机推力为 122~153 kN, 采用 PS-12 发动机的燃气发生器; 8 级高压压气机, 2 级高压涡轮; 低压部分从 2 级变为 4 级; 风扇直径从 1.78 m 增大到 1.97 m。与当代最好的同类发动机(CFM56-5B2 和 V2524/2533) 的相比, PS-14 发动机的燃油消耗预计降低 10%~11%。该发动机不仅可用于 MS-21 飞机, 也可用于 Tu-204-300 飞机降低起飞质量的改进型和 IL-76 运输机的改进型, 以及俄罗斯计划与印度合作研制的 MTA 多用途军用运输机。

SPM-21 发动机由俄罗斯“礼炮”机械制造企业、乌克兰扎波罗日“进步”发动机机械制造设计局和“西奇”发动机公司联合研制, 是在用于安-70 飞机的 D-27 桨扇发动机基础上发展而来的。

3.4 小结

发动机制造商已为下一代窄体客机做好准备。目前, 面对近期(5 年内)推出的下一代窄体客机, 每个发动机制造商都准备了先进的涡扇发动机, RR 公司有 3 转子的 RB285, GE 公司有 LEAP-X, PW 公司有 GTF。几家公司都称其发动机燃油效率可降低 15%。

面对远期(10年后)推出的下一代窄体客机,PW公司决定不断改进GTF技术,RR公司和CFM国际公司将发展开式转子技术;前者油耗可降低23%,后者可降低26%。

4 结束语

开式转子发动机有发展前景,但尚有争议。业界普遍认为,开式转子技术是能给飞机经济性和环境带来巨大改变的,1架采用开式转子发动机的飞机在其寿命期内排放的碳氧化物相当于种植25万棵树,但是这种发动机的噪声大。PW公司认为自己的GTF途径是满足要求的简单而低风险的途径。开式转子的单位燃油消耗可能少,但将额外增加飞机的质量;而采用GTF发动机,速度更快,也更安静。CFMI公司则提出,看不到GTF结构的真正优势,却看到了它在操纵可靠性上的一些真正不足。CFMI公司认为,GTF是冒险的,如果齿轮箱出现问题,就要拆卸发动机。

但PW公司坚持认为自己的齿轮传动已不存在问题。

5 预测

(1)下一代窄体客机构型因发动机而可能完全不同。

种种迹象表明,空客和波音公司的下一代中短程飞机即使都采用开式转子发动机设计,但其构型可能完全不同。空客公司打算将发动机安装于机身后部,可能认为机身有助于屏蔽发动机的噪声,将采用1种推进式的开式

转子发动机;而波音公司打算在机翼上安装发动机,将采用1种拉进式的开式转子发动机,可能是考虑便于维护,以获得良好的操纵性。这2种发动机的结构存在差异,拉进式可能需要齿轮驱动,推进式可能是齿轮传动或直接驱动。

(2)开式转子发动机可能适用于更短的航程。

未来飞机面临的一个关键问题可能是空客和波音公司对于航程的要求。目前,只有不到0.5%的窄体客机航程超过2500海里,而航程从3500海里缩短到2500海里可使飞机油耗降低6%。对于开式转子发动机来说,理想的航程甚至更短,1500海里的航程可能是最理想的;在爬升阶段,耗油率低的优势最突出。

下一代窄体客机到底采用哪种发动机?飞机制造商是尽早选择下一代涡扇发动机,如LEAP-X,或是等待开式转子发动机?还是利用新涡扇发动机为现有的A320/737换发?目前还很难给出答案。一些航空公司提出,需要更快而不是更迟地获得1种经济性可大大改善的新窄体客机。但开式转子发动机显然更加诱人,如果空客和波音公司的A320/737飞机后继机的推出时间推迟到2025年左右,开式转子发动机就极有可能成为新一代窄体客机的发动机。因为这至少可促进发动机制造商继续研究这一技术,使之成为可行。预计到2011年底,答案将揭晓;届时,发动机公司将有足够的实验数据证明开

式转子发动机是否可行。

参考文献

- [1]Analysis of Turbofan Design Options for an Advanced Single-Aisle Transport Aircraft[R]. AIAA-2009-6942.
- [2]Next Generation Propulsion & Air Vehicle Considerations [R]. AIAA-2009-4803.
- [3]Priorities Scientific Research in Ciam for Modern Aircraft Engine Development [R]. Vladimir A. Skibin, ISABE-2007-1008.
- [4]Eury S. Research and technology at SNECMA to ensure sustained development of air transport[R]. AIAA 2005-4202.
- [5]Wilfert G, et al. CLEAN-Validation of a high efficient low NO_x core ,a GTF high speed turbine and an integration of a recuperator in an environmental friendly engine concept[R]. AIAA-2005-4195/ISABE 2005-1156.
- [6]Schweitzer J K, et al. Validation of propulsion technologies and new engine concepts in a joint technology demonstrator program [R]. ISABE 2005-1002.
- [7]CLEAN-Validation of a high efficient low NO_x core ,a GTF high speed turbine and an integration of a recuperator in an environmental friendly engine concept [R]. AIAA-2005-4195/ISABE 2005-1156.