

遑达XWB发动机的创新性技术

Technology Innovations of Trent XWB Engine

李杰 / 西安航空动力股份有限公司

摘要: 遑达XWB是罗·罗公司遑达家族航空发动机中的最新型号, 是空中客车A350XWB飞机选用的唯一发动机。本文就遑达XWB发动机的研制进展和技术创新作一概括性分析, 供相关人士参考。

关键词: 高温合金; 整体涡轮; 材料; 性能

Keywords: high-temperature alloy; integral turbine; material; performance

0 引言

遑达XWB(Trent XWB)是罗·罗公司遑达家族航空发动机中的最新成员, 融合了遑达家族发动机设计的经验和技木。遑达XWB发动机作为空中客车A350XWB唯一选用的发动机, 成为罗·罗公司在航空动力发展中的一个意义重大的里程碑。

1 遑达家族新成员

遑达XWB发动机专为空客250~300座的中型远程宽体双发客机A350 XWB量身定制, 是三轴遑达发动机系列的第六名成员。遑达XWB发动机采用了先进的生产工艺、材料和热动力学技术, 拥有更低的燃油消耗水平、更低的维修成本, 同时极大地降低了A350 XWB宽体飞机的噪声, 有效地保护了环境。

遑达XWB发动机有1级风扇、8级中压压气机、6级高压压气机、1级高压涡轮、2级中压涡轮和6级低压涡轮, 风扇直径为3m, 推力范围333~420kN(75000~95000lb), 是目前罗·罗公司研发的推力最大的发动机。

2 研制进展

遑达XWB发动机包括风扇直径、

压气机和涡轮级数在内的最终配置和技术选择于2007年年底完成。部件的生产从2009年初开始。首台遑达XWB发动机的地面测试于2009年上半年进行, 首台遑达发动机的台架试车在2010年第二季度开始。2010年6月17日, 罗·罗在位于英国达比的57号室内试车台上成功完成了遑达XWB的首次试车, 实现了2006年制定的项目承诺。2011年初有7台研制中的遑达XWB发动机进行试车。

预计遑达XWB发动机于2011年年底取得适航认证, 2012年初配装基本型A350-900飞机实现首飞, 2013年投入运营。

遑达XWB目前订单已超过1060

台, 有望成为遑达系列产品历史上最畅销的发动机之一。

3 先进技术分析

遑达XWB的先进技术包括: 先进的压气机叶盘技术降低了组件重量, 使气动效率提高15%; 优化的内部系统降低了气量需求和燃油消耗; 新型材料, 在不降低可靠性的前提下达到更高的工作温度和燃烧效率; 可靠性更高的燃烧室燃烧更清洁; 最新的风扇系统技术降低了噪声; 高效的涡轮系统中压涡轮改为2级, 提高了第2级中压涡轮的性能; 新的轴承系统利用更大的轴承来提高载荷能力, 进而节约燃油消耗; 拥有先进的发动机状态监控系统(图1)。

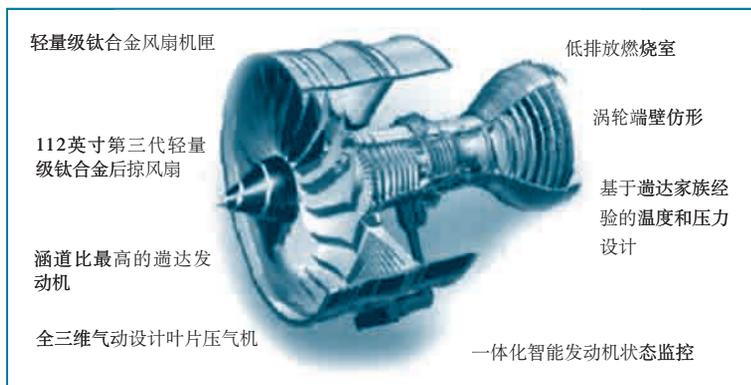


图1 遑达XWB发动机的创新性技术

3.1 三转子结构和新的轴承系统

遄达家族发动机共有技术特点均为三转子结构,遄达XWB也不例外。

三转子结构(图2)可以使风扇、低压压气机和高压压气机都能各自成为一个转子,有各自的工作转速从而使其发挥各自的最佳效率。但和双转子发动机相比,三转子发动机的结构更加复杂。三转子发动机有三个相互套在一起的同轴转子,支撑结构更复杂,轴承的润滑也更困难。

由于已很好地掌握了三转子结构的设计和生产技术,罗·罗公司在遄达家族各系列发动机的设计中全部采用三转子结构,不但保持着发动机结构设计上的先进性,也使发动机的各项设计指标易于安排和实现。三转子结构与双转子结构相比具有许多优点:级数少、叶片少、转子刚性好、性能衰退率低、涡轮冷却空气量少,可使发动机耗油率降低1.5%。三转子结构与双转子结构相比也有缺点,主要是转子的支承较为复杂,滚珠轴承的安排也较复杂。

遄达XWB发动机使用了新的轴承系统,利用更大的轴承来提高载荷能力,进而节约燃油消耗。

3.2 第三代钛合金宽弦后掠风扇叶片

遄达发动机风扇叶片的材料为钛合金宽弦后掠风扇叶片。

从遄达700、遄达800到遄达900、遄达1000和遄达XWB,风扇叶片的气动外形既有继承,更有创新,风扇叶片的数量也逐渐减少。

从遄达800开始,开始采用罗·罗公司的第3代风扇叶片设计。第2代与第3代风扇叶片结构对比如图3所示。

罗·罗公司发展的新的第3代风扇叶片为夹芯结构,即芯部用桁条结构取代了蜂窝芯部,采用扩散连接(DB)、超塑性成形(SPF)等工艺来制造。桁条参

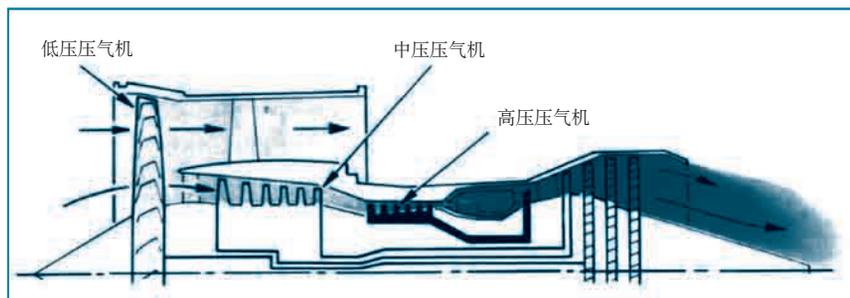


图2 三转子结构发动机示意图

与承力,因而使风扇叶片的重量比应用蜂窝时还轻15%。

低速宽弦风扇叶片可以为发动机带来效率高和噪声低等诸多好处,而新型弯曲前缘后掠式大尺寸宽弦风扇不但提高了发动机的涵道比和降低了噪声,同时弯曲前缘后掠式宽弦风扇叶片结构还可使外来物通过风扇叶片的离心作用甩入风扇涵道,防止其进入低压压气机,增强了发动机的抗外来物损伤能力。

遄达XWB的风扇叶片结合了遄达900的宽弦后掠风扇技术和遄达1000的2.94m直径风扇的低速和低尖轂比的设计。

3.3 钛合金风扇机匣

罗·罗公司为遄达XWB发动机设计的是钛合金风扇机匣,沿用了遄达1000发动机的部分设计:斜置的出口导叶与工作叶片间距大以降低噪声;风扇宽弦叶片及尾缘与分流环有较大的间距,使外来物不易进入核心机。

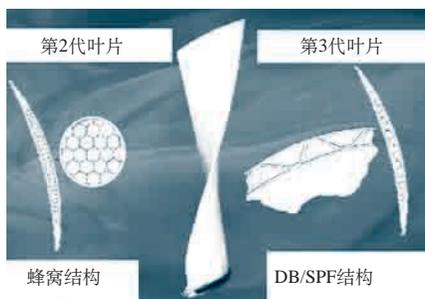


图3 罗·罗第2代与第3代风扇叶片结构对比

3.4 压气机整体叶盘

遄达XWB是遄达家族中第一种在压气机中采用整体叶盘的型号,在发动机压气机中使用整体叶盘,降低了组件重量,使气动效率提高15%。

3.5 三维气动设计压气机叶片

与遄达900和遄达1000一样,遄达XWB发动机压气机的工作叶片和静子叶片均采用了三维气动设计,并对叶片前缘形状作了进一步改进。轮盘与机匣的热匹配较好以便得到较小的叶尖间隙,减少气流损失,提高效率 and 增压比。

3.6 低排放燃烧室

遄达发动机的燃烧均为第五阶段燃烧室,但各系列遄达发动机的第五阶段燃烧室有很大的不同,如燃烧室筒壁的结构不同,气动雾化喷嘴数目不同,燃烧室扩压器和筒体的冷却孔加工方法不同等,但所有遄达发动机燃烧室的组织燃烧原理是相同的,均采用了气动雾化喷嘴和轴向分区燃烧,属于单环贫油直接混合燃烧,显示出了极强的技术延续性和不断改进性。应用于遄达发动机的第五阶段燃烧室的NO_x排放均能很好地满足国际民航组织的CAEP6标准要求。

3.7 对转高压系统

罗·罗公司从遄达900开始在遄达系列发动机中采用对转高压系统,是遄达系列前几款发动机所没有的,但在“飞马”、RB211和EJ200等发动机上已

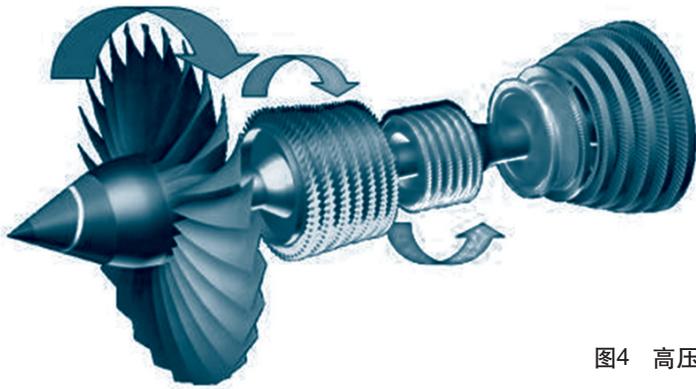


图4 高压转子对转示意图

积累了超过600万小时的经验。

对转高压系统有利于提高效率减轻重量;高压压气机级数少,减少了启动功率,启动后加速性好;在总增压比和涡轮进口温度一定的情况下,高压涡轮工作转速较高,使进入叶片的空气相对温度较低,一般比双转子结构低 $27\sim 55^{\circ}\text{C}$,此外,还可降低进场着陆的噪声。

罗·罗公司在遛达900、遛达1000和遛达XWB系列发动机的设计中采用三转子结构,并使位于发动机核心部位的高压转子与中压和低压转子反向旋转(图4),可以使得气流更“直”地穿过发动机,从而为发动机带来更大的气动优势,提高了效率。

3.8 涡轮叶片全三维气动设计

与其他型号的遛达系列发动机一样,遛达XWB发动机的所有涡轮叶片全部采用了三维气动设计,提高了涡轮的整体效率。

遛达系列发动机的高压涡轮叶片都采用了罗·罗公司传统的带冠叶片设计。叶冠上不仅有叶尖封严用的萼齿,还沿轴向有回收冷却空气能量的肋条。肋条做成涡轮叶形,2个叶冠的肋条组成一个收敛通道,冷却叶片后的冷却空气由叶冠上的小孔流到该通道,经转变、膨胀加速向尾缘流出,同时产生一

个推动叶片转动的力可回收冷却空气的一部分能量。

引入叶片的冷却空气有高、低压两股,高压空气与其他发动机类似,即通过预旋导流叶片将燃烧室内的二股空气引入。而低压空气则是前股气流经转子、静子间封严萼齿环由内向外的漏出气体。这两项均是为了充分利用冷却空气能量的措施。另外,在叶冠上还钻有许多排角度不同的孔道,用于通过的冷却空气对叶冠进行冷却。这种结构在以往的发动机中还未见过,虽能充分利用冷却空气的能量和提高冷却效果,但使叶片的整体结构变得非常复杂,加工难度大增。

随着航空技术的高速发展,工作叶片的冷却技术也得到高速发展,冷却

效果愈来愈高,因而可使涡轮前的燃气温度大幅度提高,促进了发动机性能的提高。

遛达系列发动机的高压涡轮导向叶片、工作叶片、中压涡轮导向叶片均用罗·罗公司的第三代单晶材料制造,遛达XWB发动机也不应例外。

涡轮叶片的加工采用罗·罗公司专利发明的端壁靠模技术,该技术使流过发动机的气流变得更平滑。

改良的涡轮叶片设计、冷却、涂层和可循环材料的利用均可以提高涡轮前温度和热力效率,给遛达XWB发动机带来直接的经济效益。

3.9 两级中压涡轮

与遛达系列中的其他型号仅有单级中压涡轮不同,遛达XWB发动机采用了2级中压涡轮,并提高了第二级中压涡轮的性能,使其拥有了遛达系列发动机中效率最高的涡轮系统。

3.10 中压转子传动附件技术

目前“全电飞机”已成为新一代商用飞机的一个发展方向,为了满足“全电飞机”用电量大的要求,罗·罗公司在遛达1000发动机上第一次采用了中压转子传动附件(图5、图6)。起动机仍需一套传动转换的离合器与高压转子连接,启动时起动机带动高压转子,但在

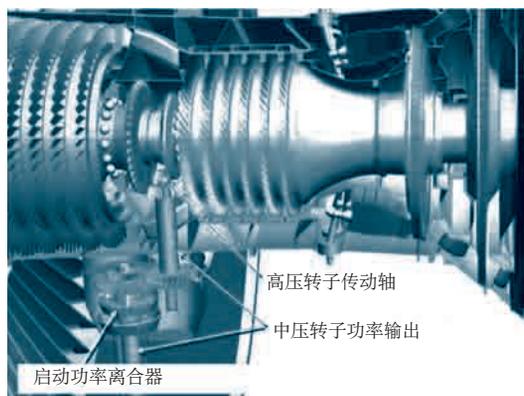


图5 遛达1000中压转子传动附件

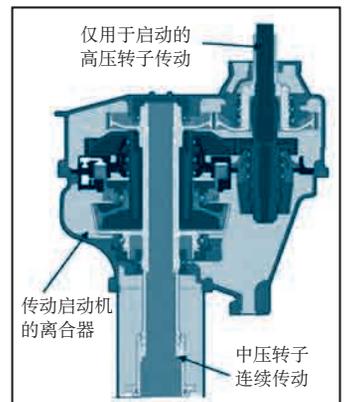


图6 中压转子传动附件结构

MDOE风洞试验方法研究

Review of Modern Design of Experiment Methods in Wind Tunnel Test

战培国 / 中国空气动力研究与发展中心

摘要: 在介绍OFAT风洞试验方法和MDOE风洞试验方法概念的基础上, 探讨研究了两种试验方法理念的本质区别; 简述了MDOE风洞试验方法具体实施的三个过程; 归纳分析了MDOE风洞试验方法的应用实例、效能评估和发展前景; 意在为国内风洞试验领域科研人员拓展思路、创新方法提供参考。

关键词: 风洞试验方法; 现代实验设计; 风洞试验

Keywords: wind tunnel test methods; modern design of experiment; wind tunnel test

0 引言

风洞试验是航空航天飞行器空气动力学研究中普遍采用的主要手段之一。自上个世纪前半叶风洞大规模建设、风洞试验方法逐步成熟以来, 在风洞试验领域至今仍普遍采用传统的风洞试验方法, 该方法为人们了解空气动力

学知识和飞行器的发展作出了贡献。随着时代和科学技术的发展, 以美国为代表的航空航天发达国家已经感觉到, 目前普遍采用的传统风洞试验方法的潜能已基本得到充分挖掘。为了满足21世纪和未来航空航天飞行器发展的需要, 提高风洞试验效率和试验数据的精

准度, 降低风洞试验成本和飞行器研制周期, 需要另辟新径, 寻求新的、更为科学的风洞试验研究方法。

1 MDOE风洞试验方法

1.1 OFAT方法和MDOE方法

风洞试验同其他领域科学试验一

正常运转过程中从中压转子取功。该结构不但使发动机易于起功, 而且在慢车及大于慢车时能提高压气机(高压和中压)的喘振裕度, 航程大于9200 km可至少节省燃油6%。

遛达XWB是否采用了中压转子传动附件还没明确的相关报道, 但遛达XWB具有遛达系列中效率最高的涡轮系统, 增加了1级中压涡轮, 使得中压涡轮成为2级并提高了中压涡轮的性能, 为中压转子取功创造了更加有力的条件, 由此推测遛达XWB应与遛达1000均采用了中压转子传动附件结构。

3.11 其他创新性技术

遛达XWB发动机拥有先进的发动机状态监控系统。为提高推力, 应用了

罗·罗公司双轴发动机E3E的部分技术。其他创新性技术还包括: 中压涡轮和高压涡轮上使用升级材料, 对高压涡轮进行改进设计, 并且升级中压涡轮的热障涂层等。

4 结束语

整个遛达系列发动机技术传承性强, 推力范围宽, 市场涵盖面广, 几乎可以满足现有各类大型商用飞机的动力需求, 技术与市场都相当成功。 **AST**

参考文献

[1] 李杰. 创新, 让遛达之河不息: 解析罗·罗商用发动机发展之路[J]. 航空世界, 2009(1).

[2] 李杰. LEAP-X发动机的创新性技术[J]. 航空科学技术, 2011(4).

[3] 李杰. 后掠大流量宽弦复合材料风扇叶片综述[J]. 航空制造技术, 2009(17).

[4] 李杰. 遛达发动机及其第五阶段燃烧室[J]. 航空科学技术, 2011(1).

[5] 李杰. 现代航空发动机分区燃烧策略分析[J]. 航空科学技术, 2011(3).

[6] 陈光. 航空发动机结构设计分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.

[7] 索德军. Trent XWB发动机研制特点[J]. 航空发动机, 2010(5).