

# 航空发动机的性能发展趋势

## Powerplant Performance Prefection

Paul Seidenman &amp; David J. Spanovich

当飞机制造商在努力研发下一代民用飞机时，发动机制造商也在不断探索着发动机的改进之路，使新一代发动机产品更为节油、环保、安静，而且维修更为简便。

尽管发动机制造商一直在努力改善产品性能，但人们对于发动机性能的期待，远非渐进式改进所能实现的。例如，按照欧洲航空研究咨询委员会（ACARE）的2008战略研究计划附录的要求，欧洲的航空公司必须在2020年前将CO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>的排放量分别减少50%和80%，外部噪声降低50%，航空制造业必须在2020年之前制定出所谓的“绿色制造、绿色维修和绿色废物处理”规划。

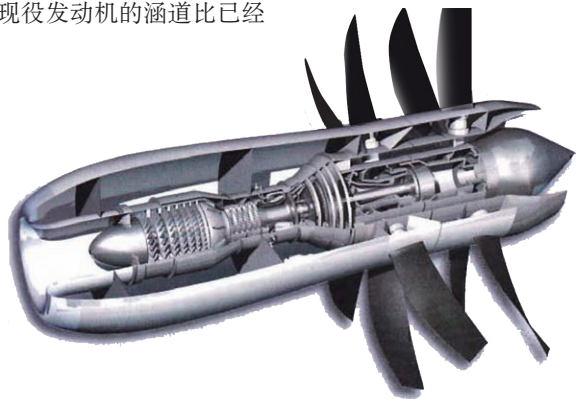
### 罗罗的思路

罗罗公司正在通过提高推进效率和热效率两种并行的方法降低油耗，实现ACARE的目标。

具体思路是通过加大涵道比提高推进效率，因为涵道比越大，燃油效率越高。与早期涵道比为4~5的发动机相比，现役发动机的涵道比已经

有了很大提高，一般为10~11。而罗罗公司目前正在研发的开式转子发动机，其设计涵道比超过50。罗罗公司认为，采用这项技术后发动机的燃油效率将比现在提高30%，CO<sub>2</sub>的排放量减少30%。

而热效率将通过提高涡轮前温度和压气机的增压比实现。为此，罗罗公司正在不断研发先进的材料技术，例如，在涡轮叶片制造中采用金属间化合物和热障涂层，其中陶瓷涂层将可能作为涡轮叶片热障涂层的首选，因为它可以承受1800~1900K的温度。此外，还有多种在研的耐高温材料技术，将应用于遒达XWB以及V2500的替代发动机。耐高温材料技术不仅能够通过减少冷却空气的需求量，改善发动机的性能，而且能够在冷却空气一定的情况下延长发动机的在翼寿命和降低发动机的维修成本。



罗罗公司的开式转子发动机概念图

### 普惠的方案

普惠公司认为，齿轮传动涡扇发动机（GTF）所采用的技术将使未来的发动机性能发生重大变革。经过20年的努力，该项目已于2008年正式立项。推力为93~102千牛（21000~23000磅力）的PW1500G和推力为66~75千牛（15000~17000磅力）的PW1200G齿轮传动涡扇发动机初期将用于短程单通道客机。

普惠公司表示，PW1500G齿轮传动涡扇发动机因其齿轮传动的原因，涵道比将增大到15，所以与现役相同推力级的发动机相比，其耗油量将减少15%。同时，高涵道比还将使发动机的噪声比第IV阶段噪声标准低20分贝。

普惠公司认为，齿轮传动涡扇发动机是自高涵道比直驱涡扇发动机诞生以来，航空发动机结构发生的首次基础性变革。最重要的是，在引入了齿轮传动技术后，无需风扇加速即可使涡轮转速更快，甚至风扇还可为发动机的其他结构提供动力。



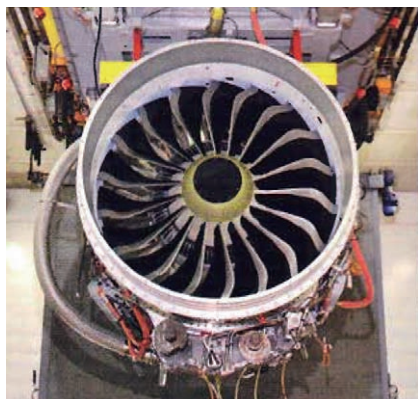
普惠公司的GTF发动机

此外, 齿轮传动设计使发动机的重量有了大幅降低。例如PW1500G发动机的低压压气机和低压涡轮部分都减少了3级, 而齿轮箱本身的重量只相当于一级低压涡轮的重量。涡轮级采用优质的镍合金、压气机级采用钛合金、齿轮箱采用钢材后, 像汽车轮胎直径(约70厘米)大小的齿轮箱的重量将不超过136千克。风扇机匣和连杆采用石墨环氧材料制造, 这将使PW1500G发动机成为首款使用复合材料风扇机匣的民用航空发动机。

从维修角度看, 齿轮传动涡扇发动机大约每20000循环进行一次大修, 即平均使用7~10年进行一次大修。因此, 普惠公司坚信齿轮传动涡扇发动机是未来宽体飞机最合适的动力装置。

作为该项目的合作伙伴, MTU航空发动机公司主要负责GTF发动机的压气机和低压涡轮部分。MTU航空发动机公司称, 与V2500发动机和CFM56发动机相比, 普惠公司的GTF发动机可降低20%的油耗, 减少20%的CO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>的排放量, 节约30%的维修成本, 而且在翼寿命更长。通过采用先进的金属间化合物, MTU设计的发动机部分与V2500和CFM56的同部件相比, 重量减轻了20%。

据估计, 普惠公司的GTF发动机将于2018年投入运营, 并将成为波音737和空客A320飞机的替代机型的动力装置。



CFM国际公司的LEAP发动机正在进行试验。

## CFM国际公司的“飞跃”

作为通用电气(GE)公司和斯奈克玛公司的平股合资公司, CFM国际公司也已迈入下一代单通道飞机的发动机研发阶段, 其主要项目是目前在研的推力为110~155千牛(25000~35000磅力)的LEAP-X发动机。该型发动机的技术验证机预计于2012年下线。

CFM国际公司表示, LEAP-X发动机将结合多种先进的新材料技术、空气动力学设计和冷却技术, 在CFM56-5B和-7B的基础上, 降低16%的油耗, 使其噪声比现行的第IV阶段噪声标准低15分贝, 相当于在现有飞机的基础上噪声降低50%, 此外, CO<sub>2</sub>的排放将降低16%, NO<sub>x</sub>的排放也将比国际民航组织(ICAO)航空环境保护委员会(CAEP)的现行标准降低50%~60%。

以风扇为例, 在传统的CFM56发动机中, 风扇采用的是实心的钛合金叶片, 而LEAP-X发动机将采用三维编织的树脂转移成形技术(3-DW RTM)制造石墨环氧树脂复合材料叶片, 这是复合材料在直径为177~190厘米的的发动机风扇叶片制造中的首次应用, 同时也是该型发动机的关键技术之一。如果风扇机匣采用碳纤维复合材料制造, 该型风扇与其他实心金属制造的同尺寸发动机风扇相比, 重量更轻、抗冲击性和耐用性更强, 而且不存在腐蚀问题。

LEAP-X发动机的其他构件部分也将结合一些新材料技术, 如低压涡轮采用铝化钛, 高压涡轮采用新一代高温合金。CFM国际公司同时也在研究适用于高、低压涡轮的陶瓷基复合材料(CMC), 因为CMC的密度仅为现有金属材料的三分之一, 而且具有很好的耐用性和耐热性, 所以其冷却空气的用量也将有所减少。但如果压气机和高压涡轮都采用新型镍合金粉末技术, 发动机可以更高的热循环运行, 进而产生更快的旋转速度, 有助于新型发动机实现节油

目标, 延长在翼寿命。

在燃烧室方面, 为了实现燃烧室从富油燃烧到贫油燃烧的过渡, LEAP-X发动机采用了GE公司为GENx发动机开发的双环腔预混旋流燃烧(TAPS)技术。TAPS技术不仅能够降低油耗, 减少NO<sub>x</sub>的排放, 而且取消了燃烧室火焰筒的渗混孔, 延长了燃烧室和高压涡轮周转件的寿命。

目前, GE公司正在对这些先进的技术进行评估, 除了强调节省燃料和减少排放外, 降低噪声和降低维修成本也是其考虑的重点。

## 霍尼韦尔的措施

作为小型发动机制造商, 霍尼韦尔宇航公司的目标是采用先进的航材和更多的绿色技术, 降低5%~10%的油耗, 减少50%的NO<sub>x</sub>排放量, 噪声比现行第IV阶段噪声标准低20分贝, 延长在翼时间和寿命, 并逐渐以视情维修取代定期维修。例如, 运用镍基粉末金属高温合金和下一代陶瓷热障涂层以及更好的扩散冷却技术, 优化燃烧系统和叶片的冷却系统。

霍尼韦尔宇航公司的另一个目标是使发动机的推重比增加40%。霍尼韦尔公司称, 近期即将下线的HTF7250G和HTF7500E就是这一目标的典范。目前, 湾流公司的G250飞机已经选定了HTF7250G发动机, 该型发动机的推力为33千牛(7400磅力), 预计于2010年年底获得认证, 2011年正式下线。HTF7500E发动机的设计推力是29千牛(6500磅力), 预计于2011年年底获得认证, 未来将用作巴西航的Embraer 400和500型公务机的动力装置。

此外, 霍尼韦尔的新型发动机还将具备生成大量重要的故障诊断预测数据的能力, 以便于运营商更好地了解发动机的运行状况, 制定出恰当的维修计划。(孙立, 编译自O&M, Nov. 2009)

AME