

# CFD仿真技术在航空发动机中的应用

## Application of CFD Simulation Technology in Aeroengine

安世亚太科技股份有限公司 王国峰

随着科学技术的发展,航空航天和空间技术也有了飞跃式发展,在这些飞速发展的技术中主要的技术就是CAE技术。航空工业可以说是CAE技术发展的摇篮,各种CAE技术正是在以航空工业为主的实际工业应用的推动下在不到半个世纪时间里迅猛发展起来的。以ANSYS、LS-DYNA、Nastran、CFX、Fluent等为代表的高端CAE软件早已活跃在全球航空工业中。

20世纪90年代以来,在西方航空发达国家引发了一场设计技术的“革命”,初步实现了从“传统设计”向依靠计算机数学模型优化计算和虚拟现实仿真“预测设计”的转变,将“基于物理样机试验的传统设计方法”带入了“基于虚拟样机仿真的现代设计方法”中,从而大大减少了试验工作量,提高了设计的成功率,既节约了经费,又缩短了研制周期,提高了企业竞争力。

目前国际知名企业的航空发动机研制周期从过去的10~15年缩短到6~8年甚至4~5年,试验机也从过去的40~50台减少到10台左右。在发达国家的航空企业里CAE已经作为产品研发设计与制造流程中不可逾越的一种强制性的工艺规范加以实施,在生产实践中作为必备工具普遍应用。

### CFD技术国内外使用状况简介

CFD作为CAE技术的一种,已

经越来越多地被国内外航空企业广泛应用。第一个商用CFD软件包FLUENT,由与美国空军合作的流体技术服务公司Creare公司于1983年推出的。商业CFD软件的开发及应用,加速了航空工业的发展,使得基于虚拟样机仿真的现代设计方法成为了可能。以波音公司航空研发发展历史为例,不难发现,波音公司先后采用了经典的试验测试方法、半经验的方法、空气动力学的计算、政府内部及企业的CFD代码及广泛的采用CFD商业代码。在2005年的波音公司软件应用报告中明确指明,在1998~2005年内,其公司每年数值仿真成果的增加量都接近84%,采用CAE/CFD的速度超过了工业的成长速度,CFD技术已经成为其设计的主要手段之一。另外,从美国软件公司ANSYS公司的销售业绩报告显示,ANSYS公司航空工业上的应用产值是其公司的主要收益来源之一。

CFD软件正以其强大的优势在研发中发挥着巨大的作用,例如在NISA的报告中提到,原本需要7年完成的维吉尼亚级潜艇的设计,通过CFD技术的应用,5年就顺利完成;而预计需要11年完成的

B-2轰炸机的飞行测试,则在短短的4年内就通过了测试。

国内在CFD技术上的应用一般,特别是在航空发动机方面的使用上,起步与国外相比较晚,力度上也相差较多。尤其航空发动机的研发国内发动机已经远远落后于国外的发展。

### CFD技术在航空发动机中的应用

目前在航空发动机实际应用中最为广泛的一款CFD商业软件是ANSYS旗下的商业软件FLUENT,它不仅容易使用,而且其准确性及行业的广泛性都是其他商业软件所不能比拟的。尤其CFD软件的使用已经遍及了航空发动机研究的各个部分,接下来本文通过对其他方面的分析逐一介绍CFD在航空发动机中的使

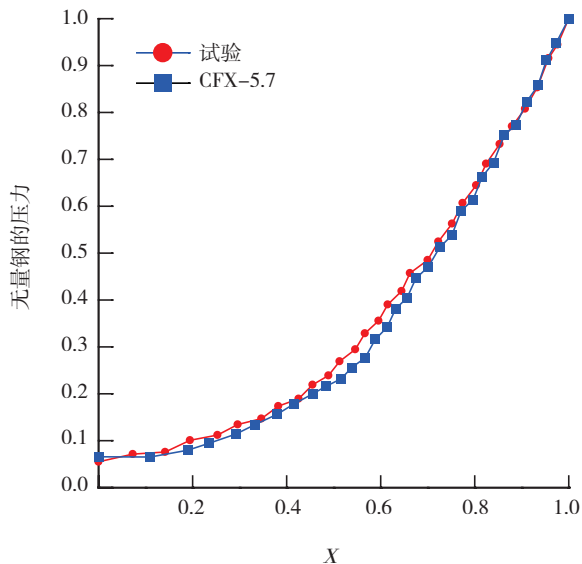


图1 西门子公司试验与仿真的比较

用。

### 1 CFD 技术在压缩机、涡轮方面的应用

气动稳定性的设计是当代航空发动机发展研制过程中的重要技术问题之一。在航空发动机中,对气流最敏感的部件是风扇、压气机和涡轮。在以上 3 个部件中,CFD 的主要应用集中在对压气机和涡轮效率分析上,多级压气机 / 涡轮最主要的气动问题就是各级流动是否匹配,总的效率是否达到设计要求。在涡轮方面,CFD 不仅可以计算涡轮效率,而且对涡轮叶片的冷却效果分析有着重要的应用。

例如西门子公司针对其 RS-59 型 15 级轴流压气机的数值仿真模拟,通过 CFD 数值仿真与实验数据的比较,很好地反应了数值仿真的精确性,这对于航空发动机内部流动的分析是非常重要的,图 1 是 RS-59 型压气机试验与计算数据的比较图,在该模拟中还讨论了级间效率,湍流模型等有关压气机模拟的问题。

在针对涡轮的冷却模拟中,CFD 软件的表现力更加出色,由于具有冷却系统的涡轮叶片结构非常复杂,实验无法观察到叶片内部流动状况,而模拟可以很好地刻画叶片内部的流动及换热特点,因此越来越多的航空发动机涡轮冷却分析采用了数值模

拟的方式。图 2 是 2002 年日本三菱公司某航空发动机涡轮叶片冷却分析模拟。

### 2 CFD 技术在燃烧室方面的应用

燃烧室主要作用是组织气体燃烧,形成高温高压的燃气推动涡轮旋转。现代燃烧室的进气温度可达 800K,今后可能达到 900K,进口压力为 3MPa,今后将达到 35~4MPa。燃烧室出口温度现在为 1650K~1700K,有的甚至会达到 1800K 以上。如此恶劣的环境使得试验研究燃烧室的内部流动及化学反应流动变得异常困难,数值仿真则很好地解决了恶劣环境下的流动和化学反应问题。

从气动分析角度来看,燃烧室需要解决的主要问题有燃烧室内流动分布是否均匀,化学反应动力学分析,碳氢燃料燃烧的污染物生成,污染物的排放,燃烧室的冷却分析,燃烧室点火和灭火模拟等。

数值模拟使得复杂的试验研究成为了发动机研究的一种补充手段,更多的研究则可以通过数值模拟完成。

### 3 CFD 技术在发动机其他方面的应用

CFD 不仅在发动机核心机中有

广泛的应用,在其他领域里也有很多的实际应用,例如,针对发动机封严的研究,通过 CFD 技术的使用,可以非常清晰地分析出篦齿封严,刷式封严及石墨封严间的流动差别,可以很好地优化封严系统的设计。

另外,在喷口系统、结冰系统、空气动力系统、辅助动力装置系统、进气道及火灾系统等都有实际的工程应用。如图 3 所示的火灾系统分析,利用 CFD 软件的模拟,可以很好地预测当发动机发生火灾后,在不同时刻火焰的扩散状况。

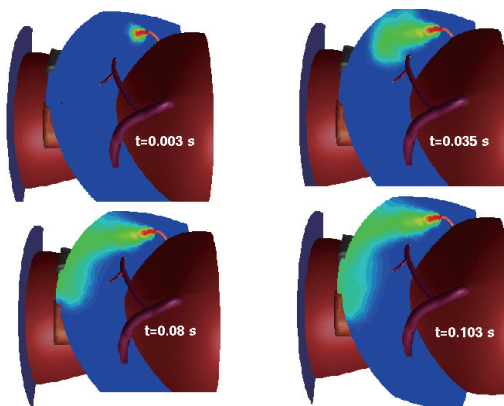


图3 发动机火灾系统瞬态模拟分析

## 结束语

本文通过对 CFD 技术在航空发动机实际应用方面的搜集,展示了目前国外航空发动机的研发现状,为国内的航空发动机研发人员提供了借鉴资料,通过对 CFD 的实际应用介绍,不难发现,CFD 技术不仅针对航空发动机的核心机方面有实际应用。而且在其他的辅助系统内部也有较好地应用。CFD 技术已经成为了航空发动机研发中一种必不可少的工具。

展望未来,可以预见 CFD 技术必将成为航空发动机研发的主要手段之一,而且随着计算机技术与 CFD 技术的发展,航空发动机整机数值模拟最终也将会实现。

(责编 小城)

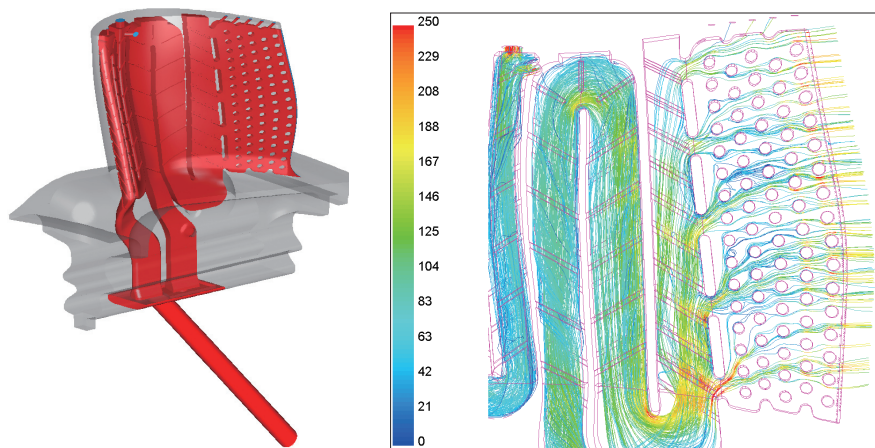


图2 涡轮叶片的冷却分析的内部通道速度分布