

# 新一代ICFD技术的应用 现状及发展

Current Status and Development of New Generation of ICFD Technology

NUMECA 中国 何晓辉



何晓辉

现任 NUMECA 中国市场专员,主要负责 NUMECA 在大中华区的区域市场调研与市场分析,制定年度市场计划;负责 NUMECA 公司在大中华区范围内贯彻市场计划;负责组织、指导区域市场人员制定和细化本区域的市场执行计划;负责组织、监督和评估市场计划的实施。

随着计算机技术的迅猛发展,CAD/CAE/CAM 技术逐渐涵盖了产品的设计、优化、生产加工的全过程。其中 CAE 是 CAD 和 CAM 的桥梁。应用 CAE 技术可以有效地对 CAD 设计出来的零件和产品进行仿真检测,确定产品和零件的相关技术参数,发现产品缺陷、优化产品设计、指导 CAD 图纸的修改。同时,CAE 又可以将优化完善的几何造型输出到 CAM 中

传统的 ICFD (工业 CFD) 仿真技术过度关注设计参数,忽视了设计与制造的误差,从而致使产品的诸多设计与加工制造产生偏离,甚至脱节。作为新一代 ICFD 技术领航者,作为当前最具创新性、国内成长最快的航空航天领域专业解决方案提供商,NUMECA 使其用户在产品研发之初,就为制造而设计。

进行加工制造,极大地降低产品开发成本。随着产品性能要求的不断提高,CAE 已经成为产品设计过程中的重要部分,主要应用在航空、航天、船舶、汽车、能源动力等诸多行业。

飞行器作为航空技术的主要应用领域,其早期的制造工艺过程是:初设→试验→优化→再试验→再优化…→制造。最初的设计是以经验、半经验设计方法以及大量的研究试验为基础的,在试验的基础上进行了重复多次的再设计,既拖延了时间,又耗费了大量的经费。飞行器改进所需周期长、试验费用昂贵的缺点,制约了飞行器的研制与发展。随着人们对飞行器性能要求的不断提高,这种方法已不能满足先进飞行器的设计要求,因此迫切需要改进研究方法。CAE 仿真模拟技术在航空领域中的应用,使飞行器制造工艺路线随之发生了重大变化:初设→模拟→

优化→再模拟→再优化…→制造,模拟仿真优化技术替代了以前的反复试验优化手段,大大缩短了飞行器试车时间,降低了试车所需的高额成本,避免了实际试车的危险,更重要的是,还可以获得实际试车时难以测量的参数。

计算机仿真技术正逐渐成为航天工程领域中不可缺少的工具。目前,飞行器研制中的手段有理论分析、风洞试验及数值计算,三者相辅相成。

随着 CFD 模拟(虚拟风洞)技术的快速发展,三者之间的比重关系发生了很大变化。据波音公司预测,在未来的飞行器设计中,从最佳费效比出发,CFD 约占设计工作量的 70%,而风洞实验的工作量将只占 30%。无论从节省研制费用、缩短设计时间出发,还是从提高设计水平出发,CFD 都将给飞行器设计带来一场革



NUMECA软件一览

命。未来飞行器性能的确定,将依赖于在 CFD 数据基础上产生的“虚拟缝隙”,这将是飞行器研制的主要发展方向。传统的 ICFD (工业 CFD) 仿真技术过度关注设计参数,忽视了设计与制造的误差,从而致使产品的诸多设计与加工制造产生偏离,甚至脱节。作为新一代 ICFD 技术领航者,作为当前最具创新性、国内成长最快的航空航天领域专业解决方案提供商, NUMECA 使其用户在产品研发之初,就为制造而设计。

## CAD 与 CAE 的接驳

在飞行器仿真计算中,主要分为几何模型导入、几何模型及周围场进行网格划分、流场求解及后处理 4 部分。在仿真计算中,网格技术是影响求解速度和计算结果精度的重要因素之一。即使对于采用高精度差分格式的计算程序,如果不能保证网格的生成质量,也同样很难得到精度较高的数值解。对此, NUMECA 软件可与多种 CAD 进行嵌接,提供高自动化、高质量的网格生成器,用于任何复杂二维和三维几何体的网格生成。它将复杂模型计算域的网格生成过程简化为仅需使用者选择几个

参数和轻点几次鼠标的过程,其高效的优化算法更可保证获得高质量的网格,并可以自动完成 CAD 模型的清理、补洞等修复工作。

## CAE 仿真优化

众所周知,飞行器发动机是飞行器的“心脏”,发动机的设计制造过程,相对于机身有更多的尺寸和空间限制,工程师通常只能对结构进行小的改进以获得更好的动力性能。而发动机内部部件繁多,且相互关联,改动其中一项,就需要对其性能进行重新评估,其制造工艺的变动、再试验等都带来了无法预测的高成本。

航空发动机具有多状态性、结构形式复杂及工作过程参数值高等特点,因此,需要扩大压气机的使用工作范围。压气机分为单级压气机和多级压气机,对于多级压气机而言,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。在非设计状态下,压气机级组中极易发生严重的级间不匹配,导致效率降低、增压比与空气流量下降。针对此问题,采用 NUMECA 的旋转机械专业软件 FINE/Turbo,对发动机核心部件的模拟验证和优化,验证各级的匹配情况,找到影响压气机效率的症结所在。

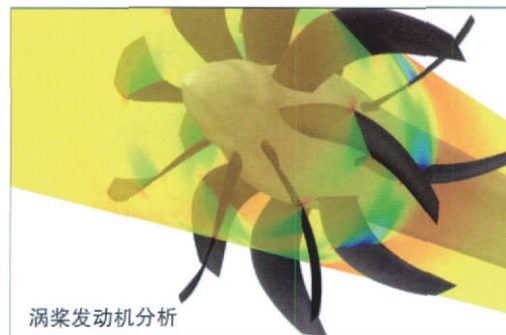
此外,在航空发动机中,由于转静子的相对运动使其内部流动必然存在着固有的非定常特性(地面效应、尾迹、激波、堵塞、失速、喘振和畸变等),定常假设已经不能真实地反应其内部流动。了解这种复杂现象的内部机理对于优化设计并提高发动机

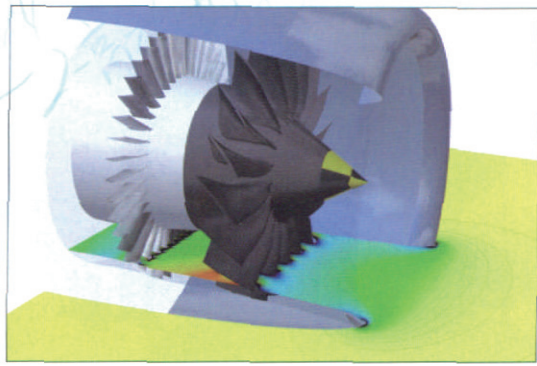
的总体性能都有重要的指导意义,而采用传统的非定常方法在时间和机器硬件上都受到了极大限制。为此, FINE/Turbo 提供了非线性谐函数 (Harmonic) 非定常方法,在保证计算精度的基础上,速度是传统非定常的 7~10 倍,使非定常模拟真正地从事科学研究转换到了工程应用。

NUMECA 软件凭借其先进的网格处理技术和快速、高精度的求解技术,大幅度减少了设计错误,最大限度地降低了不确定因素带来的风险,从根本上减少了产品设计以后的改动,使航空发动机的研制时间大大缩短,研制成本大大降低。

在航空制造领域中,飞行器发动机技术占据了至关重要的位置,其中发动机叶片的加工与优化设计尤为关键。发动机叶片的形状有 2 个显著特点:(1)叶片的型面是空间自由曲面,每个截面高度的型线轮廓形状不尽相同,并且同时呈扭转上升状;(2)叶片的后缘部分相对厚度较薄,尤其是出气边半径非常微小。这对叶片优化设计造成了一定的困难。

针对以上问题,西安航空发动机(集团)有限公司采用 NUMECA 旋转机械优化设计平台 FINE/Design3D,快速、系统地分析几何形状变化对于设计与非设计点气动性能的影响。此外, FINE/Design3D 软件还可以实现对航空飞行器发动机风扇、涡轮等部件的设计和 optimization 改进。它以创新性、高效性、高可靠性受到用户的一致青睐。被认为是针对任意旋转机械的最先进的三维叶片设计及优化





航空发动机地面效应的非正常分析

软件,也是目前唯一专门用于三维旋转机械优化设计的商用软件。

飞行器内部构件设计,对飞行器的安全运转起着十分关键的作用,但飞行器的外部流动状况,对飞行器性能及安全飞行的影响也是不可忽视的。随着现代战争的演变,战略飞行器的安全性能、打击精度等问题变得十分重要。导弹级间分离、飞行员逃逸、战斗机投弹等问题都很难通过试验进行研究。NUMECA 公司提供的空气动力学软件 FINE/Hexa 凭借其专业的技术,为飞行器气动性能问题提供了一个完美的解决方案。

导弹在高马赫数飞行时,翼片经常会出现颤振、抖动等现象,对结构会产生不同程度的破坏。对于此种流体与固体耦合分析的交叉学科,NUMECA 公司采用流固耦合分析平台 MpCCI 和先进的空气动力学分析软件 FINE/Hexa,配合主流的结构分析软件来实现对瞬态和流固耦合等多物理场问题的分析,为设计人员提供了更为先进和可靠的分析手段。此外, FINE/Hexa 软件还可以针对不同强度的需求,对导弹材料进行选择,这就从设计上避免了制造过程中材料选用不当,对导弹性能的影响。

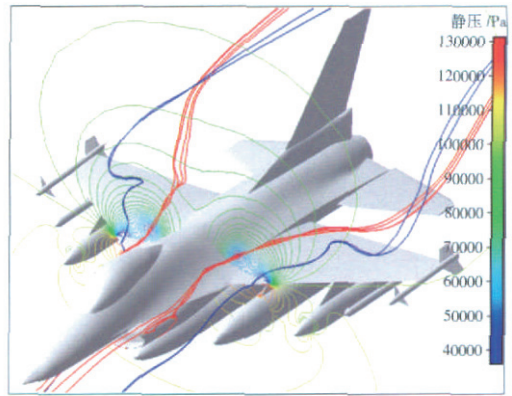
目前,针对异常复杂飞行器模型(如轰炸机、战斗机等),因其所需网格数量巨大,计算时间冗长,严重制约了新型号的研发进展。大多数 CFD 软件由于计算规模和算法的限制,对模型进行了简化,导致模拟分

析出来的结果存在先天的不确定性,失去了仿真的意义。针对此问题, NUMECA 公司开发出针对任意复杂模型的网格生成工具 HEXPRESS/Hybrid 和加速求解收敛技术 CPU Booster,在保证模型外形零失真和精算精度零损失的前提下,将计算 CFL 数推至 1000,使得整个 CFD 分析周期缩短一个量级。CPUBooster 技术的引入使得大规模复杂物理场的计算成为可能,是一种完全意义上的技术革命。

### CAE 与 CAM 的连接

缩短飞行器的研发周期是目前飞行器性能发展的需要,但是飞行器设计的稳健性是影响飞行器设计成败的重要因素。飞行器在 CAD 设计过程中用到的参数、变量与实际值存在着差异,这些变差将传递给设计函数和约束函数,引起设计函数和约束函数的变化。传统的公差设计模型中较少考虑此变差的影响,使得设计解的稳健性较差,同时优化设计方法常常把优化解推向约束的边界,会使设计解不能满足变动后的约束函数,从而造成设计的失败。NUMECA 软件在模拟优化设计过程中充分考虑了飞行器制造过程中存在的误差,保证了设计的稳健性。

除稳健性外,用户还关心飞行器几何模型仿真优化后的等值面、速度



高超音速下F-16气动特性分析

和压力等矢量分布图、标量云图、矢量体/面流线等, NUMECA 强大的后处理软件 CFView 在几何处理、图像渲染和宏技术等方面尤为领先,通过后处理软件 CFView,我们可以将优化后最佳的几何模型,输入到数控机床中进行加工制造,从而完成了飞行器设计优化制造的全过程。

### 结束语

NUMECA 软件不仅为飞行器的设计与生产搭起了桥梁,更重要的是为飞行器的优化设计提供了一系列的解决方案——旋转机械专业软件 FINE/Turbo、旋转机械优化设计平台 FINE/Design3D、空气动力学软件 FINE/Hexa 以及加速收敛技术 CPU Booster。为设计者的设计工作提供了有效的工具,缩短了研制周期,提高了设计的可靠性,同时很大程度上降低了费用,在飞行器设计过程中的重要性已经不言而喻。(责编 小城)