

ANSYS Fluent航空气动噪声解决方案

ANSYS Fluent for Aerodynamic Noise Solution

安世亚太流体产品业务部

气动噪声是飞机研制阶段必须重视的空气动力学问题之一。噪声的限制将成为未来飞机设计和发展过程中的重要障碍, ANSYS Fluent 软件噪声预估方法可以正确帮助设计师认识噪声机理,为飞机降噪设计提供理论基础和指导原则。

飞机气动噪声的产生

飞机噪声主要分为2类,即推进系统噪声和机体噪声。机体噪声是由于气流流过飞机表面引起的气流压力扰动产生,其本质是空气动力噪声,它起因于气体内部的脉动质量源、作用力的空间梯度和应力张量的变化。

当气流流过飞机表面,气体的粘性在飞机机体表面引起湍流边界层,在湍流边界层内湍流不断形成、衰

变,沿着流动方向摆动,从而沿飞机产生一个起伏压力场,起伏压力场在远场产生宽频带的噪声。宽频带的湍流扰动在远场表现为宽频噪声信号,噪声强度依赖于飞机基本结构尺寸和气流流动速度。

常规飞机在正常飞行状态时机体噪声主要由机翼和尾翼后缘产生,主要形成机理是湍流边界层流过机翼和尾翼后缘引起的声波散射。机翼产生的宽频噪声是机体噪声主要来源之一。

在飞机起飞爬升和进场着陆阶段,因为飞机需使用增升装置且起落架处于放下状态,这时除机翼和尾翼产生的噪声外,由增升装置和着陆装置诱导的湍流产生较强的机体噪声分量。因此,增升装置和起落架也是机体噪声的重要来源。研究表明:这

些噪声源对机体噪声的总体噪声水平相当,从表1可以看出,必须致力于同时降低所有噪声源引起的噪声,才能使总的机体噪声水平降低。

ANSYS Fluent 噪声模型

1 直接模拟模型(CAA 模型)

ANSYS Fluent 中的 CAA 方法可以通过求解流体动力学方程直接得到声波的产生和繁殖现象。声波的预测需要控制方程时间精度的解,而且 CAA 方法需要 ANSYS Fluent 通过求解非稳态 N-S 方程、非稳态雷诺平均 RANS 方程以及在分离涡 DES 和大涡 LES 模拟中用到的滤波方程,精确模拟粘性效应和湍流效应。

CAA 方法需要高精度的数值求解方法、非常精细的网格以及声波非反射边界条件,因此计算代价较高。如果要计算远场噪声,CAA 方法则需要超大规模并行计算支持;但是如果计算近场噪声,CAA 方法是容易可行的。在大多包含近场噪声的计算中,由局部压力波动导致的噪声是可以通过 ANSYS Fluent 准确模拟的。既然 CAA 方法直接求解声波传播,那么需要求解可压缩的控制方程。当流动速度较低或亚音速流动时,而且近

表1 不同噪声源降低程度对总声压级影响

类别	Case1	Case2	Case3	Case4
噪声源	SPL/dB	SPL/dB	SPL/dB	SPL/dB
后缘	80	70	0	76
增升装置	80	80	80	76
起落架	80	80	80	76
总声压级	84.78	84.62	83.0	80.79

场中的噪声源主要由局部压力波动构成,则可以使用不可压缩流动。然而,不可压缩流动处理不能模拟回声和声波反射现象。由空腔可压缩流动噪声验证计算和试验的比较结果可见, Fluent 中的 CAA 模型对机体在高速流动下的空腔噪声及部件扰动噪声预测是可靠的。

2 噪声比拟模型(FW-H 模型)

对于中场和远场噪声模拟, ANSYS Fluent 采用基于 Lighthill 的“噪声比拟”方法,作为 CAA 方法的补充是 ANSYS Fluent 中计算代价较小的方法之一。“噪声比拟”方法不同于 CAA 方法,它把波动方程和流动方程解耦,在近场流动解析采用适当的控制方程比如非定常雷诺平均、DES 分离涡或 LES 大涡模拟等方法,然后再把求解结果作为噪声源,通过求解波动方程得到解析解,这样就把流动求解过程从声学分析中分离出来。

ANSYS Fluent 采用基于 Ffowcs Williams and Hawkings (FW-H 方程)的方程, FW-H 方程采用最通用的 Lighthill 的“噪声比拟”方法,可以求解由单极子、偶极子和四极子产生的噪声传播。ANSYS Fluent 采用时域积分的方法,通过少量的面积分计算指定位置的噪声。

流场变量时间精度的解的获得需要求解面积分。时间精度的解可以从非稳态雷诺平均方程(URANS)、大涡模拟(LES)、或分离涡(DES)模型求解得到,可以捕捉精确的流动特征如涡脱落等现象。

ANSYS Fluent 中的噪声积分源面不仅可以放在不可穿透壁面上,也能放在内部(可穿透)面上,这样就可以考虑源面包围的四极子噪声贡献。特别是针对飞行器高、亚音速流动,四极子噪声影响不可忽略, ANSYS Fluent 中先进的基于“可穿透面积分”的 FW-H 模型可以很好解决高、亚速气动噪声问题。

宽频噪声和音频噪声都可以通

过精确求解流动中的噪声源特征体现,但这对各种流动的湍流模型要求较高, ANSYS Fluent 中丰富的湍流模型可以满足流动求解的精度。

ANSYS Fluent 中的 FW-H 噪声模型可以选择多个源面和接收位置,也可以保存噪声源数据,或在瞬态流动求解过程中同时执行噪声计算。声压信号可以通过快速傅立叶(FFT)变换得到,结合 ANSYS Fluent 后处理获得全部声压标准(SPL)和能量谱范围下的噪声数据图。

ANSYS Fluent 的 FW-H 噪声模型能够预测声波向自由空间的传播,因此对于航空领域,如飞行器绕流引起的远场气动噪声可以得到比较准确的分析结果。

3 宽频噪声模型

在 ANSYS Fluent 的宽频噪声模型中,湍流参数通过 RANS 方程求出,再用一定的半经验修正模型(如 Proudman 方程模型、边界层噪声源模型、线性 Euler 方程源项模型、Lilley 方程源项模型)计算表面单元或体积单元的噪声功率。下面简要说明在 ANSYS Fluent 的宽频噪声模型中的修正模型。

最初由 Proudman 于 1952 年导出,求解各项同性湍流噪声(四极子噪声源), Proudman 方程适用的假设是高雷诺数、低马赫数及各向同性湍流流动。

Turbulent Boundary Layer Noise 源项模型对于评估局部偶极子噪声源对总噪声能量的贡献非常有用。对于三维增压装置降低噪声设计快速评估, Turbulent Boundary Layer Noise 源项不失为一种快速有效的方法。线化欧拉方程从 N-S 方程导出,通过把流动分解为时均流、湍流和噪声分量,同时假设噪声分量远远小于时均流和湍流分量。Shear noise 是由于时均流和湍流的交互作用产生, Self noise 是湍流场自发产生的。Lilley 方程是三阶波动方程,由可压缩流体的质量守恒和动量守恒方程联合导

出。

Broadband 模型是 CAA 和“声比拟”方法的很好补充,特别是对飞机部件的降噪设计过程中,可以采用宽频噪声模型提取有用的诊断信息来快速确定流动中的哪一部分对噪声影响最大。然而,这些源项模型不能预测接收位置的噪声量级。

Broadband 模型不需要瞬态流动解,所有的源项模型只需要典型的 RANS 方程解,比如实际速度场、湍动能和湍流耗散率。因此宽频噪声模型需要最小的计算代价。对于飞机发动机喷管噪声分析可以采用宽频噪声模型快速评估,计算仅需要二维轴对称模型、稳态流动计算。

ANSYS Fluent 和其他专业噪声软件的耦合应用

对于气动降噪设计, Fluent 中的三种噪声模型完全可以满足设计分析需求。但是对于一些复杂的噪声模拟,比如带有声反射、噪声在固体结构中的传播、声振耦合计算等问题中,单纯的流体动力学分析和波动方程是无法满足需要的,必须要采用一些专用的噪声分析软件,如 ACTRAN 等。耦合分析首先要在 Fluent 中用瞬态计算获得噪声源数据,如单极子、偶极子、四极子噪声源,为了获得准确的噪声源数据,对于低雷诺数流动通常要采用大涡,而高雷诺数通常采用分离涡杂交湍流模型。

结束语

针对飞机气动降噪设计关键技术遇到的各种问题, ANSYS Fluent 新技术随着国内用户理解和理解的不断深入,必将推动飞机气动降噪设计精细化的进程,安世亚太作为 ANSYS Fluent 中国唯一总代理,其雄厚的技术积淀和研发实力也将不断促进 ANSYS 流体力学新技术在飞机气动降噪设计中的深入应用。

(责编 良辰)