

浅析仿真软件在水声工程的应用

中船第七一五研究所 闫志杰

有限元分析（FEA）是用较简单的问题代替复杂问题后再求解。该方法将解域看成是由许多称为有限元的小的互连子域组成，对每一单元假定一个合适的近似解，然后推导求解这个域总的满足条件，从而得到问题的解。由于大多数实际问题难以得到准确解，而有限元不仅计算精度高，而且能适应各种复杂形状，因而是一个很有效的工程分析手段。总体来说，该计算方法利用数学近似的方法对真实物理系统进行模拟，是迅速发展起来的一种针对结构力学分析的现代计算方法。它利用简单而又相互作用的元素（即单元），用有限数量的未知量去逼近无限未知量的真实系统。该方法首先在连续体力学领域应用的一种有效的数值分析方法，随后很快广泛地扩展应用到几乎所有的科学技术领域，成为一种丰富多彩、应用广泛并且实用高效的数值分析方法。当然在水声行业内也扮演着很重要的角色。

基于FEA算法编制的软件，即所谓的有限元分析软件。通常，更具软件的适用范围，可以将之区分为专业有限元软件和大型通用有限元软件。经过几十年的发展和完善，各种专用的和通用的有限元软件已经使有限元方法转换为生产力。

本文将重点通过ACTRAN这一在水声行业应用比较广泛的软件的使用来举例说明仿真软件在水声行业中的应用。ACTRAN软件现在已经覆盖了振动声学和流动声学的各个方面，具备了与当今最先进技术相结合的广泛特征，是当今市场上最完善的声学模拟软件。基于有限元和无限元方法的通用技术，ACTRAN提供了丰富的单元库、材料库、边界条件、求解配置和求解器，被最挑剔的工程师、研究人员和教师用来求解具有挑战性的振动声学和流动声学问题。该软件可以处理的问题包括：声波的辐射、散射、封闭和开放声场、管道中的传播、对流效应、声振耦合、精确模拟阻尼等。

1 基于计算流体力学（CFD）及ACTRAN软件的仿真技术流程

在水声工程汇总比较常见的仿真技术流程应该是：①利用有限元边界软件ANSYS建立水下结构模型、流体计算模型、声场计算模型。②利用Fluent对流体计算模型进行网格划分、使用ANSYS

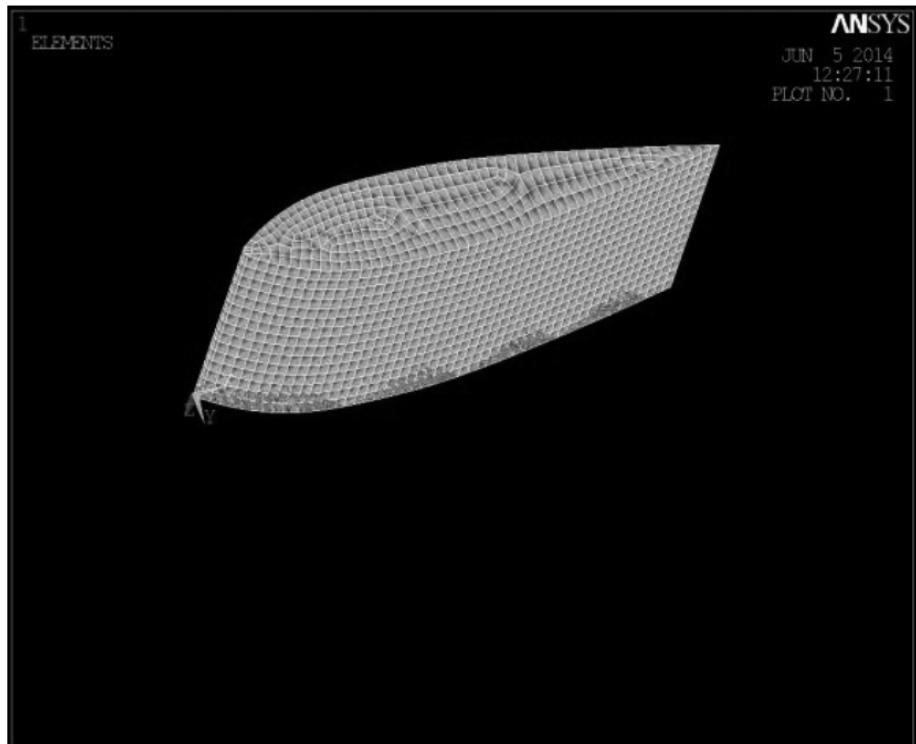


图1 围壳模型网格划分图示

对声场计算模型和结构模型进行网格划分。③将流体计算模型导入CFD的Fluent中进行流体仿真计算。④将流体的仿真结果导入声学有限元软件ACTRAN中进行声场仿真计算。⑤仿真计算结果分析。

模型的建立和网格的划分：

假设模型为翼型结构，利用有限元边界软件建立的围壳结构模型后，图1为围壳网格划分的图示。围壳模型的尺度为：长为0.4m，宽为0.07372m，高为0.1677m。

2 应用CFD技术对流场进行仿真计算

首先把流场计算模型导入workbench的fluent求解软件中进行网格的划分和边界条件的设定。在网格的划分过程中本人主要运用的是三面体网格的划分方法，在翼型结构模型与水接触的边界面采用的是膨胀面的细化分方法，让网格的精度变得更大，这样在仿真时更能准确的体现出模型周围流场的变化。在求解时选取的是 $k-\varepsilon$ 湍流耗散模型。

此次仿真进行了下面的设定，有以下几点：

- a: 进水速度的设置5.7m/s；
- b: 流体介质为液态水，声速为1500m/s，粘性系数为0.001，

密度为 1000kg/m^3 ；

c: 流体水域为: $0.4\text{m} \times 0.4\text{m} \times 3\text{m}$;

最后在仿真计算时, 设置的时间步长为 $5\text{e-}05\text{s}$, 取瞬态结果数量N为400, 迭代次数30, 分别在不同的进水流速下进行流场的仿真计算。

3 应用声学计算软件ACTRAN计算流噪声

将在有限元边界软件ANSYS建立好的声场计算模型导入声学有限元软件ACTRAN中, 并在ACTRAN中对模型结构进行边界及翼型结构模型的材料属性设置, 主要有:

a: 材料为铜;

b: 杨氏模量为 $9 \times 10^9\text{N/M}^2$;

c: 泊松比为0.324;

d: 密度为 8500kg/m^3 。

本次声场的仿真计算流程框图如图2所示。

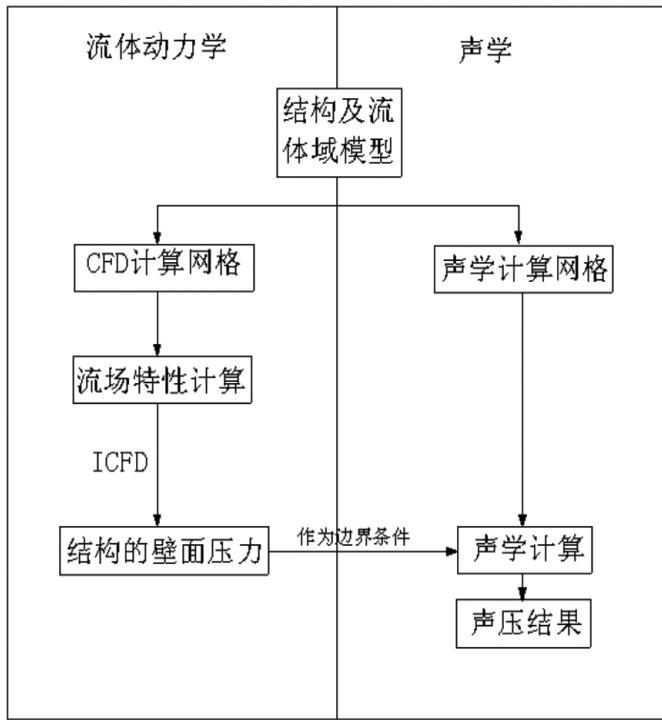


图2 ACTRAN仿真计算流程图

由于在本次流场的计算时, 设置的时间步长为 0.00005s , 瞬态所保存的结果数量为400, 故在本次声场计算的频率范围为 $50\text{Hz} \sim 10\text{KHz}$, 频率间隔为 50Hz 。

4 水下翼型结构流噪声仿真结果与分析

在此次流体仿真计算所设定的流体流速 5.7m/s 。图3和图4为仿真所得的流场分布图。

图3与图4为设定流速为 5.7m/s 的条件下, 不同时刻的模型结构纵向剖面的流速云图。图示中较长的剖面图是模型的x-y面中心剖

面图, 较小的剖面是沿着y-z面靠近围壳头部的剖面图。从图3和图4两张相同流速下的等势云图可知, 随着时间的不断增加, 时均流速也在不断的在增长, 但是到达一定时间后时均流速不再增长, 而是趋向于稳定。从剖面图可以看出头部和尾部的都承梯度变化, 且分布在头部的时均流速相比在尾部的时均流速要大。

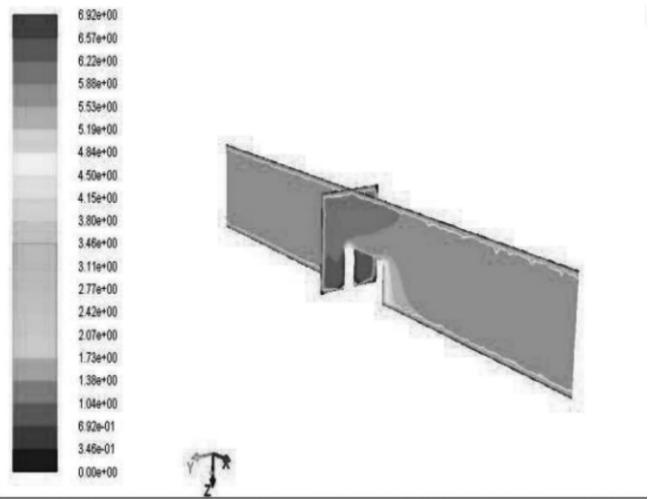


图3 5.7m/s第3秒时刻流速分布

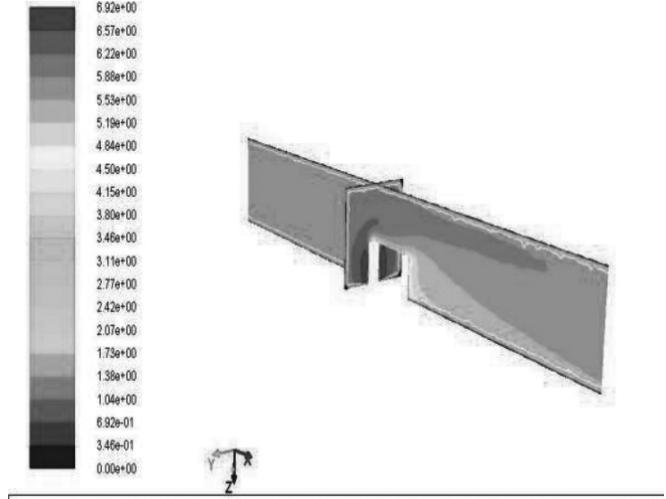


图4 5.7m/s第12秒时刻流速分布

结语: 计算机仿真技术室利用计算机科学与技术的成果建立被仿真的系统的模型, 并在某些实验条件下对模型进行动态实验的一门综合性技术。它具有高效、安全、受环境条件的约束较少、可改变时间比例尺等优点。本次仿真就是在仿真条件下验证了同一来流流速的条件下, 不同时刻流场流速分布有明显的变化, 但到达一定时间后, 流场流速分布变化趋于平稳这一水声工程中的结论。运用仿真我们可以设置多种不同流速、不同模型, 在多时间点的仿真结果来逼近实际情况, 从而模拟出不同的水声声学特性等。