

声纳导流罩振动分析

INSEAN (The Italian Ship Model Basin) 的科学家借助易用的仿真模型，开发了一种方法来计算湍流边界层流动对球鼻艏容纳声纳系统的影响，以减小自噪声。

作者：JENNIFER HAND

球鼻艏是位于船头吃水线下方的球鼻型突出体，已成为大型船舶中的标准设计特征。以接近最大航速进行远洋航行时，它可以显著减小兴波阻力，实现更高的稳定性和燃油效率。

近年来，出现了利用球鼻艏来容纳不同类型声纳系统的设计，但对于结构振动对此类声纳导流罩内换能器阵列的运转的干扰程度，还存在疑问。特别是，湍流边界层（TBL，一层薄薄的流体，其中的速度梯度和产生的剪切应力大小比在层流情况下要高得多）所产生的压力波动被认为是机载传感器自噪声的主要原因之一。因此，来自于 INSEAN 的团队正着手对此进行研究。

测试比例模型

INSEAN 的研究人员 Francesca Magionesi 解释道：“有关壁面压力波动的现有大多数研究都是在简单几何和理想流动条件的情况下完成的，未考虑到水在复杂曲率上的自由流动。所以，我们的第一个目标是了解作用于球鼻艏的湍流边界层产生的壁面压力波动的频谱。”

对于 INSEAN，实现方法是构造一个刚性的大比例球鼻艏模型，并通过实验来描绘两个拖曳水槽之一的壁面压力波动。“这很棘手，不只是因为结构曲率和流体载荷的影响，而且因为我们不得不使用微型压力传感器来捕捉压

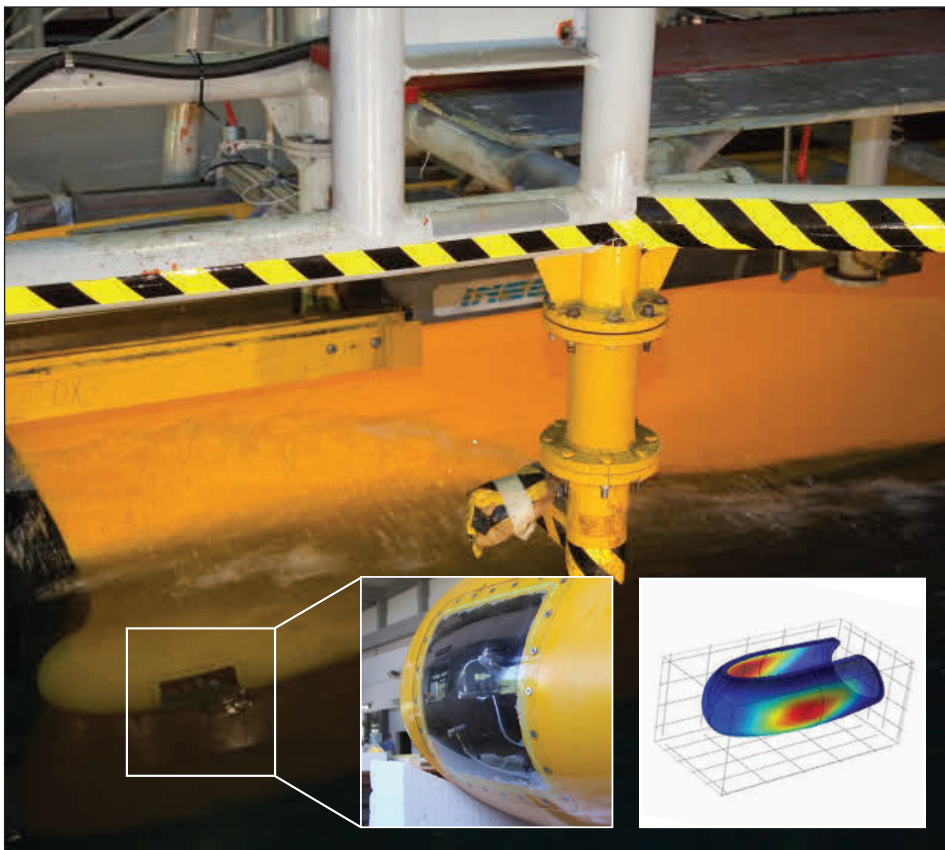


图 1：对球鼻艏的 1:8 比例模型进行实验活动。球鼻艏的某个部分被替换为透明材料，透明材料上放置了一个加速计（中下方）。仿真图显示了系统的结构响应（右下）。

力波动的高频分量”，Magionesi 说道。尽管如此，团队仍然设法测量了沿球鼻艏不同位置的壁面压力波动，并以自动和交叉频谱密度的形式对这些载荷建模。

在第二个实验中，研究人员将球鼻艏的某个部分替换为线弹性材料（透明聚甲基丙烯酸甲酯，PMMA，热塑性塑料），并获取其结构响应（见图 1）。

然后，团队转为通过仿真来重复物理测试的结果。

“为了评价弹性结构对于湍流边界层载荷的动力响应，通常需要进行流体流动与结构强耦合的数值仿真”，Magionesi 解释道，“但真正航海应用时面临的高雷诺数，使得该方法变得不可行。因为这需要巨大的计算时间和内存。因此，我们基于流体和结构之间的弱耦

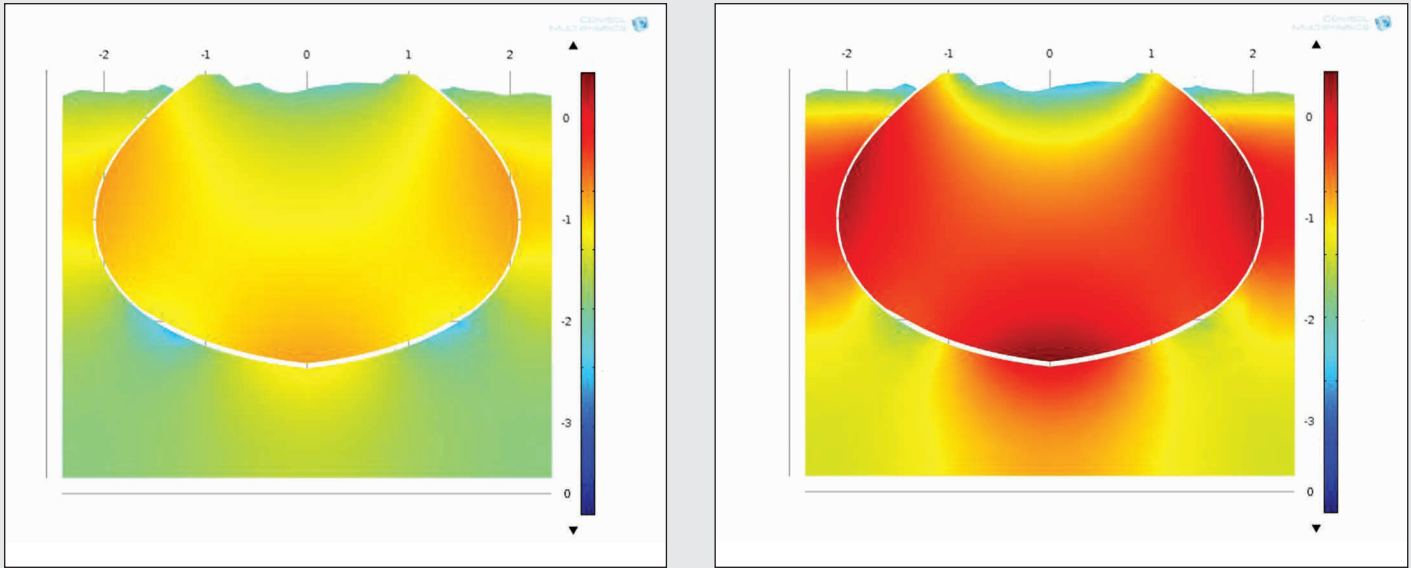


图 2: 航速为 15 海里/小时 (左) 和 30 海里/小时 (右) 时, 三维球鼻艏仿真的截面处的声压级。

合, 即假定结构振动不会影响流体激振, 建立了简化的流体的荷载表达式。通过这种方式, 我们在比例模型级别验证了实验 — 数值过程。”

“为了预测与艏结构相互作用的水流引起的噪声和振动, 我们使用结构、流体和声学域在不同速度下进行了测试。”

全尺寸仿真

下一步是在 COMSOL Multiphysics 中创建一个等比例模型, 并考虑用于球鼻艏的复合材料的复杂性。一段内部程序运行 (一段求解雷诺平均 Navier-Stokes (RANS) 方程的代码) 的结果使团队可以按比例转换在小模型上测量压力波动, 在相对较低的计算成本下获得全比例激振数据。这些数据可以输入到 COMSOL Multiphysics 中, 并作为压力荷载添加到数值

模型中 (见图 2)。

“LiveLink™ for Pro/ENGINEER® 使我们能够将球鼻艏不同部分的 CAD 数据导入 COMSOL Multiphysics”, Magionesi 解释道, “由于该数据不是针对有限元分析开发的, 我们不

得不提高某些位置的质量, 特别是对于艏壁不同厚度的情况。我们真的非常欣赏能够直接在 COMSOL Multiphysics 中进行这些小更改的灵活性。我们喜欢该软件的另一个原因是, 可以在一个统一的软件包中分析任意数量的物理场。为了预测与艏结构相互作用的水流引起的噪声和振动, 我们使用结构、流体和声学域在不同速度下进行了测试。这真的非常重要, 因为它使我们可以直接添加控制方程。”

团队后来使用 COMSOL Multiphysics

LiveLink™ for MATLAB® 将他们的自制代码移植到了 MATLAB®。

针对复杂系统的易用工具

如 Magionesi 所说, 最重要的成果是获得一个易用的工具, 用于计算全比例下游流边界层载荷 (即具有高雷诺数) 引起的噪声和振动水平。“而我们只需要使用一个小比例模型进行实验, 来捕捉湍流边界层激振。”她说道。

“我们还使用 COMSOL Multiphysics 来确定材料的参数化质量。通过改变它们的特性, 我们将该工具的应用范围扩展到了声纳传感器以外, 可以用于球鼻艏本身的设计, 使我们能够确定曳力和振动级别。我们的研究让我们创造了一个多学科工具, 用于在设计阶段实现球鼻艏声纳系统的全局优化。现在我们的目标是, 将该工具与分析的其他方面结合起来, 使它可供其他人使用。”