课程编号 1800450068

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **得分** | **教师签名** | **批改日期** |
|  |  |  |

**深 圳 大 学 实 验 报 告**

**课程名称：­ 大学物理实验（二）**

**实验名称： 基于Comsol的卡门涡街实验**

**学 院： 计算机与软件学院**

**指导教师： 杨巍**

**报告人： 黄亮铭 组号： 19**

**学号 2022155028 实验地点 309**

**实验时间： 2023 年 10 月 18 日**

**提交时间：**

|  |
| --- |
| **一、实验目的**  1.使用Comsol软件模拟卡门涡街（圆柱绕流）；  2.学习Comsol模拟仿真软件；  3.了解卡门涡街的基础知识；  4.模拟流体经过圆柱后的卡门涡街尾迹；  5.绘制不同时刻的升力系数和曳力系数；  6.分析卡门涡街频率和圆柱体受力。 |
| 二、实验原理  卡门涡街：定常来流绕过某些物体时，在特定条件下会出现不稳定的边界层分离，阻流体下游的两侧会周期性地脱落出旋转方向相反、排列规则的双列线涡，这两排旋涡相互交错排列，就像街道两边的街灯一样。  雷诺数：运动物体上的惯性力与黏性力之比。雷诺数是用来表征流体流动情况的无量纲数。利用雷诺数可区分流体的流动是层流或湍流，也可以用来确定物体在流体中流动所受到的阻力。  卡门涡街形成条件：  涡振原理：。尾涡脱落的一侧速度增大，压强就减小，尾涡交替脱落，导致圆柱背流面压力交替减小，形成涡振。  有限元方法：空间和时间相关问题的物理定律通常用偏微分方程（PDE）描述。对大多数实际问题，这些偏微分方程没有解析解。不过，通常可以把实际模型离散化，用数值的方法进行求解。有限元法（FEM）是工程和数学建模中常用的数值求解偏微分方程的方法，被广泛应用于结构力学、流体力学、热传导和电磁学等领域。有限元法最早是在20世纪40年代被德裔美国数学家Richard Courant首次提出，它的基本思想是把一个大系统细分为更小、更简单的部分，称为有限元。在每个有限元上都可以得到一个简单方程。这样，就把原来的偏微分方程变成一个更大的方程组，这个方程组可以模拟整个问题。最后，FEM通过变分法最小化误差函数得到方程的解。  Comsol：COMSOL是一个集成了有限元法、求解器和建模工具的仿真软件，可以仿真多物理场耦合，为处理各类工程或物理提供了统一的操作界面和工作流程。COMSOL的模块包括：1、基本模块（包括3个组件）① 模型开发器：用于创建、求解仿真模型，分析结果；② App 开发器：用于制作特定功能的App；③ 模型管理器：用于管理仿真模型和辅助数据；2、附加模块电磁学、结构力学、声学、流体流动、传热和化工模块。COMSOL的工作流程：1. 几何建模；2. 物理场设置；3. 网格划分；4. 研究和优化；5. 求解；6. 可视化和结果分析。注意：建模时根据具体问题选择合适的建模方法和求解器。比如本实验研究“流过圆柱体后的卡门涡街”，因为不考虑垂直方向的流动，可以选“流体流动”模块的二维层流，求解器可选通用求解器。 |
| 三、实验仪器：  1.Comsol仿真软件；  2.计算机。 |
| 四、实验内容：  1. 模型向导：1.1 打开COMSOL软件，在新建窗口中单击模型向导；1.2 在模型向导窗口中，单击二维；1.3 在选择物理场树中双击流体流动◊单向流◊层流；1.4 单击添加，然后单击下方的研究；1.5 在选择研究中选择一般研究◊瞬态；1.6 单击底部的完成；  2. 参数定义2.1 在左侧模型开发器窗口的全局定义节点下，单击参数1；2.2 在参数的设置窗口中，定位到参数栏；2.3 在表中输入以下设置（如图所示）：2.4 在左侧主屏幕工具栏中单击𝒇(𝒙)函数，选择全局◊阶跃；2.5 在阶跃的设置窗口中，定位到参数栏；2.6 在位置文本框中输入0.1；    3. 几何建模：3.1 在上方的几何工具栏中单击矩形；3.2 在矩形的设置窗口中，定位到大小和性质栏；3.3 在宽度文本框输入W，在高度文本框输入H；3.4 单击构建选定对象；3.5 在上方的几何工具栏中单击圆；3.6 在圆的设置窗口中，定位到大小和性质栏；3.7 在位置栏的x文本框输入0.2，在y文本框输入0.2；3.8 定位到大小和形状栏，在半径文本框中输入R；3.9 单击构建选定对象。3.10 在上方的几何工具栏中单击布尔操作和分割，然后选择差集；3.11 在差集的要添加的对象框里添加r1（点击右侧矩形即可添加）；3.12 在差集的要减去的对象下方激活选择（点击激活选择按钮即可）3.13 在差集的要减去的对象框里添加c1（点击右侧的圆即可添加）；3.14 在几何工具栏中单击全部构建；此时在右侧的图形界面形成了我们需要的流体流动区域，建模完成。  4. 材料设置：4.1 在模型开发器窗口的组件(comp1)节点下，右键单击材料并选择空材料；4.2 在材料的设置窗口中，定位到材料属性明细栏；4.3 在表中输入一下设置（如图所示）：    5. 层流设置：5.1 在模型开发器窗口的组件1(comp1)节点下，右键单击层流(spf)并选择入口；5.2 在入口的设置窗口中，边界选择栏里选择边界1（单击右侧图形窗口里矩形的左边界即可）；5.3 在入口的设置窗口中，定位到速度栏，在𝑼𝟎文本框中输入6\*U\_mean\*y\*(H-y)/H^2\*step1(t[1/s])，这相当于对入射气流定义一个抛物线分布，并用前面的step函数提升速度；5.4 再次右键单击层流选择出口；5.5 在出口的设置窗口中，边界选择栏里选择边界4（单击右侧图形窗口里矩形的右边界即可）；  6. 划分网格：6.1 在模型开发器窗口的组件1(comp1)节点下，单击网格1；6.2 在网格的设置窗口中，定位到物理场控制网格栏；6.3 从单元大小列表中选择较细化；6.4 单击全部构建；  7. 研究求解：7.1 在模型开发器窗口的研究节点下，单击步骤1: 瞬态；7.2 在瞬态的设置窗口中，定位到研究设置栏；7.3 在输出时间文本框中输入range(0,0.2,3.4) range(3.5,0.02,7)；前3.4秒内时间步长为0.2秒，第3.5秒至第7秒的步长0.02秒；7.4 在上面的研究工具栏中单击显示默认求解器；7.5 在模型开发器窗口中展开解1(sol1)节点，然后单击瞬态求解器1；7.6 在瞬态求解器的设置窗口中，展开时间步进栏；7.7 从求解器采用的步长列表中选择中级；7.8 在研究工具栏中单击计算。计算时间在5分钟左右。 |
| 五、数据记录：  组号： 19 ；姓名 黄亮铭   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | t/s | 3.88 | 4.22 | 4.58 | 4.92 | 5.26 | 5.96 | |  | 0.84 | 0,85 | 0.88 | 0.89 | 0.90 | 0.88 | |  | 42.0 | 42.5 | 44.0 | 44.5 | 45.0 | 44.0 |   用逐差法计算振动周期：  振动频率为：  升力峰值： |
| **六、数据处理**  1）保存动画计算完成后，图形停留在最后时刻的速度界面。可以采用动画功能查看卡门涡街图像。动画查看：点击模型开发器的结果节点中的速度(spf)，然后点击工具栏里的速度◊动画◊播放器，几秒钟后即自动播放。动画导出：点击模型开发器的结果节点中的导出，在导出节点的的展开栏下可以看到刚才新建的动画。选中要导出的动画，在的设置窗口中修改导出参数，建议导出为gif格式。把设置里目标栏改为文件，输出栏中的格式改为gif，帧栏中的高度改为140px，也就是原来的1/3。最后在导出栏下的动画上方点右键，选择导出至，选择导出路径。      2）计算升力系数要计算升力系数和曳力系数，需要添加一个积分数据集，计算圆柱体  受到力的总和。  计算升力系数步骤：1.在上面的结果工具栏单击更多数据集，然后选择计算◊积分；2.在结果工具栏中，单击属性◊选择；3.在选择的设置窗口中，定位到几何实体选择 栏；4.从几何实体层列表中选择边界；5.边界选为5-8（即圆柱的边缘，用鼠标依次点击）；6.在结果工具栏中，点击一维绘图组；7.在一维绘图组的设置窗口中，定位到数据栏；8.从数据集列表中选择积分1；9.右键单击一维绘图组3，并选择点结果图；10.在点结果图的设置窗口中，定位到y轴数据栏；11.在表达式文本框输入升力系数的表达式:(- reacf(v)[N]\*2/(spf.rho\*U\_mean^2\*(2\*R)[m^2]))[1/m]；12. 选中描述复选框，在关联文本框里输入升力系数；13. 在一维绘图组3工具栏中单击绘制，几秒 钟后即可看到升力系数曲线。  3）导出升力系数数据步骤：1. 在模型开发器中升力系数对应的点图结果上点右键，选择将绘图数据复制到表格，此时在表格节点下会多出一个表格1；2. 在上一步表格节点下产生的表格1上点右键，选择添加要导出的表，此时在导出节点下会多出一个表格1；3. 在上一步导出节点下产生的表格1上点右键，选择导出（第二次要选导出至，否则默认覆盖第一次导出的文件），选择导出路径，为文件命名，保存类型选为csv格式；4. 导出csv文件后，把Excel打开，删除前面几行表头文字，用升力系数对应的两列数据画散点图。    4）根据升力系数峰值估算振动频率和升力大小：1. 选取升力系数6个峰值或谷值（选3.5s之后的点）；2. 每两个相邻峰（或谷）之间的时间差近似为一个周期，用逐差法计算振动的周期；3. 根据周期计算卡门涡街的振动频率；4. 假设圆柱长度为𝟏𝒎，根据升力系数定义，计算升力的峰值。  升力系数定义：  用逐差法计算振动周期： 振动频率为：  升力峰值：  5)计算曳力系数步骤：1. 在上面的主屏幕工具栏中单击添加绘图组，然后选择一维绘图组；2. 在上一步产生的一维绘图组4的设置窗口中，定位到数据栏，从数据集列表中选择积分1；3. 右键单击一维绘图组4，并点击点结果图，；4. 在点结果图的设置窗口中，定位到y数据栏；5.在表达式文本框中输入曳力系数的表达式：(-reacf(u)[N]\*2/(spf.rho\*U\_mean^2\*(2\*R)[m^2]))[1/m]；6. 选中描述复选框，在关联文本框里输入曳力系数；7. 在一维绘图组4工具栏中单击绘制，几秒钟后可看到曳力系数曲线。用同样的方法导出数据画图。    6)根据曳力系数的稳定值估算曳力大小：由于曳力逐渐趋于一个稳定值，在稳定值区域选一个值用来估算曳力大小。 曳力系数定义：  由图可知：  **计算曳力：** |
| **七、结果陈述：**  1.导出地升力系数为：0.87  2.圆柱体在竖直方向受卡门涡街影响的升力峰值约为𝒎𝑵，振动频率约为2.63𝑯𝒛。  3.经计算得，曳力系数为：，曳力为： |
| **八、实验总结与思考题**  **实验总结：**  本次实验较为圆满地完成，但是在最后导出曳力系数图的时候电脑死机，导致实验需重新进行，浪费了一些时间。  **思考题：**  1）为什么升力系数随时间振荡？这在实际中带来哪些影响？ 请举例说明。  答：升力系数随时间振荡的原因是由于流体动力学的复杂性和不稳定性导致的。导致的影响：1.涡脱落；2.不稳定气流；3. 阵风效应；4. 振荡对结构的影响。  例子：飞机的升力系数的振荡对飞行安全和舒适性有重要影响。在飞行中，飞机可能会遇到气流湍流、阵风和其他不稳定气象条件，这些条件会导致升力系数的振荡。这种振荡可以传递到飞机的结构中，引发颤振，甚至对飞行员和乘客造成不适。因此，飞机的设计和控制系统需要考虑如何减轻升力系数振荡对飞行性能和安全的影响。  2）简述卡门涡街流量计的工作原理  答：卡门涡街流量计是一种用于测量流体流速的常见仪器，其工作原理基于卡门涡街现象，即流体在绕过一个障碍物时会形成规则的涡脱落。具体步骤：1.设计；2.流体通过管道；3.涡的脱落；4.涡的探测；5.流速计算。  3）流速和升力系数振荡频率的关系  答：流速和升力系数振荡频率之间存在复杂的关系，通常取决于具体的流体动力学条件和物体的几何形状。流速的增加通常会导致振荡频率的增加，但确切的关系取决于具体的情况。 |
| 指导教师批阅意见： |
| 成绩评定：     |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **预习**  （20分） | **操作及记录**  （40分） | 数据处理与结果陈述30分 | 思考题  10分 | **报告整体**  **印 象** | **总分** | |  |  |  |  |  |  | |