

龙卷风风场中输电塔结构的单向流固耦合分析

王勇

摘要

本文基于 ANSYS Workben 平台进行二层钢管塔在龙卷风风场中的单向流固耦合分析。首先利用 SolidWorks 三维建模软件以面实体建立主要迎风构件（截面尺寸较大的梁柱中面）、以线实体建立支撑等构件（截面尺寸较小，可忽略其迎风效应）。进而以面实体为流场刚性壁面生成龙卷风数值风洞，进行 CFD 计算。同时由钢管塔实体模型生成壳单元、梁单元组成的多尺度有限元模型，并将流场计算得到的风压通过流固耦合面导入到结构壳单元网格节点上，分析其静力响应。

1 单向流固耦合分析基本框架

单向流固耦合分析以解耦的方式进行 [1, 2]：首先，将结构表面视为刚性的流场壁计算流场的分布；然后将流场计算得到的刚性壁压力施加到结构上以计算其响应。单向流固耦合方法适用于结构在流场作用下变形较小（相比于流场的计算区域），即流场的边界改变较小，几乎不影响流场的分布情况。

本文基于 ANSYS Workbench 平台进行输电塔底部二层结构在龙卷风风场中的单向流固耦合分析 [3, 4]，基本流程见图1所示。

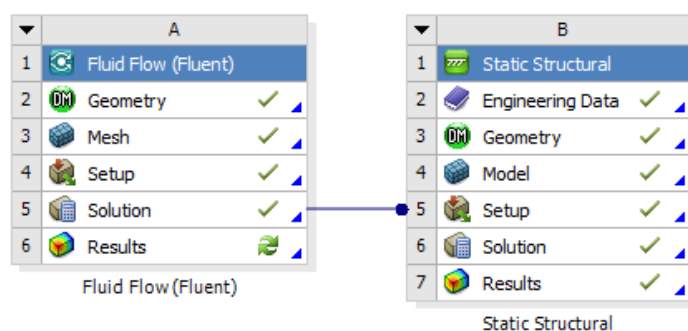


图 1: 单向流固耦合分析流程图

2 二层框架在龙卷风风场中单向流固耦合分析算例

2.1 建立结构实体模型

流固耦合分析需要建立结构的实体模型才能实现流场计算结果向有限元网格的映射，考虑到背景工程为钢管塔，利用 SolidWorks 三维建模软件以面实体建立输电塔主要迎风构件（截面尺寸较大）、以线实体建立支撑等构件（截面尺寸较小，可忽略其迎风效应），如图2所示。

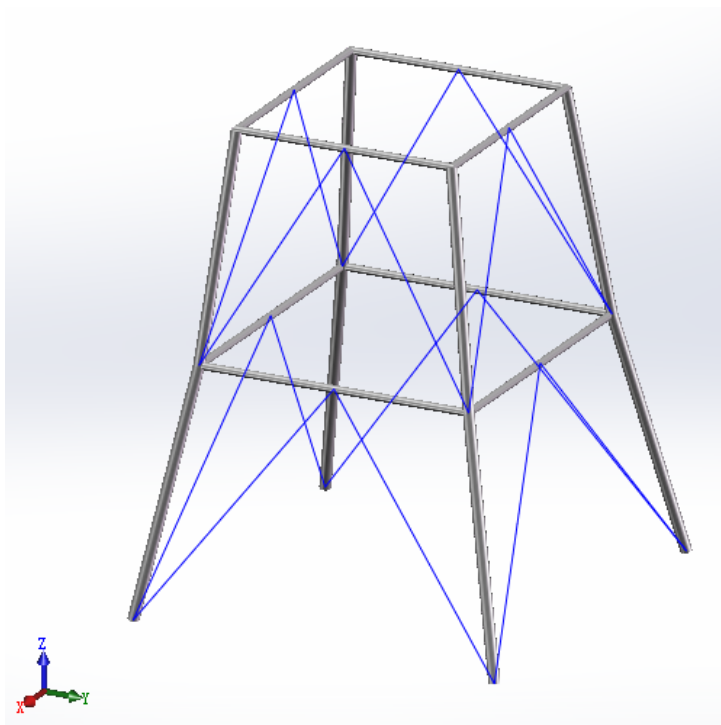


图 2: 二层带支撑框架实体模型

2.2 龙卷风数值风洞

在 ANSYS Workbench 中 DesignModeler 中建立考虑流固耦合的龙卷风数值风洞计算域。基本流程为：导入结构面实体模型；由面实体生成其包围的实体；利用布尔运算从圆柱体减去该实体生成数值风洞计算域，如图3所示。

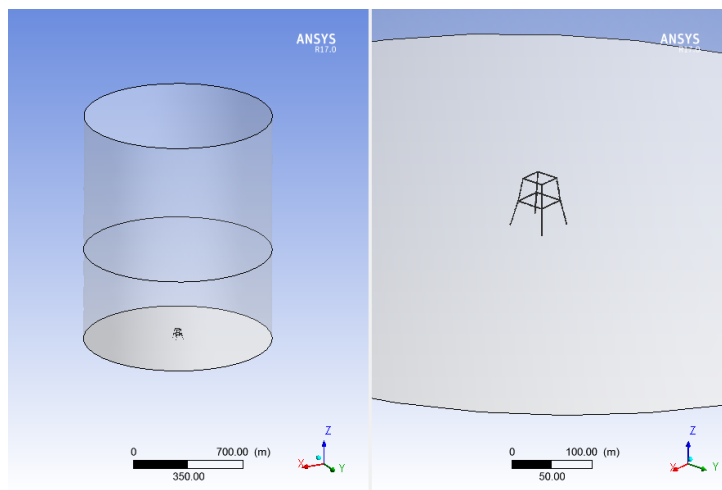


图 3: 考虑流固耦合效应的龙卷风数值风洞计算域

风洞计算域的基本尺寸为：圆柱底面半径为600 m，速度入口高度为600 m，侧壁高度为900 m。速度入口径向速度为14 m/s，切向速度为8 m/s。

采用适应性较好的四面体进行网格划分，相应于结构表面的计算域边界面进行网格加密，并设置过渡层（inflation layer）。计算流域网格在一层柱所在高度处的切面见图4（黑色部分为相应于结构柱的空洞）。

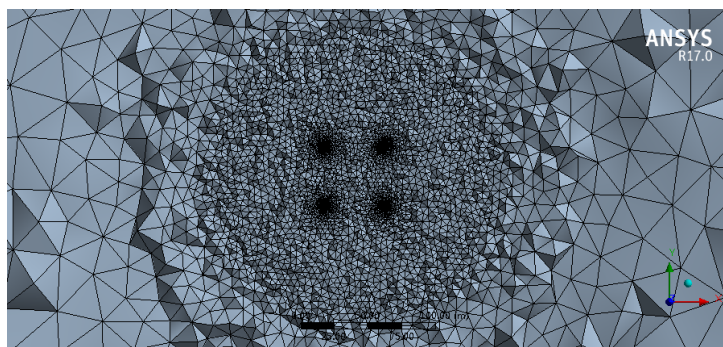


图 4: 计算流域网格切面图

2.3 结构多尺度有限元模型

在 ANSYS Workben DesignModeler 模块中为结构线实体赋予截面属性、在 Mechanical 模块中为面实体赋予厚度属性。面实体以壳单元、线实体以梁单元进行有限元网格划分。线实体端点（支撑的端点）与面实体端线（梁面或柱面的端线）的连接以多点约束单元 MPC 进行模拟 [5]，如图5所示。

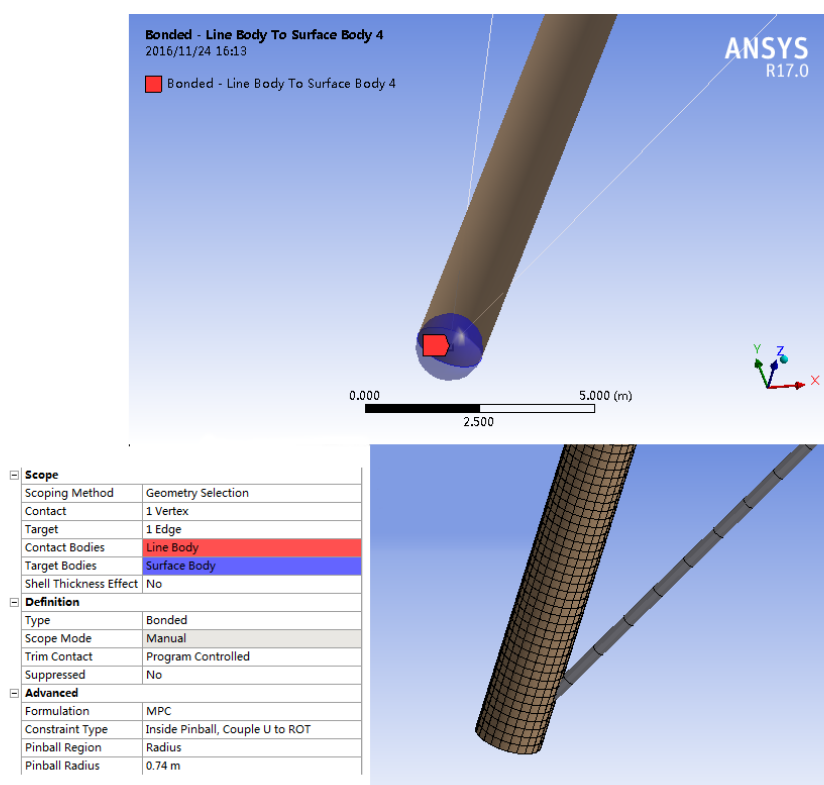


图 5: 结构多尺度模型

2.4 数值模拟结果

CFD Load Transfer Summary

All values correspond to the CFD results before the application of any Scale or Offset operations set in Mechanical.

CFD Computed Forces from CFD Results File E:\wy\two-floor-frame-with-brace\tower-test_files\dp0\SYS\MECH\Solution 1\FFF-1-01000.dat.gz

X-component = 1.2786e+005 N

Y-component = 1.5171e+005 N

Z-component = 1.4819e+005 N

Mechanical Mapped Forces for Mechanical Surface File E:\wy\two-floor-frame-with-brace\tower-test_files\dp0

\SYS\MECH\Import_ANSYS_398.cdb

X-component = 1.1933e+005 N

Y-component = 1.4335e+005 N

Z-component = 1.4298e+005 N

100% of Mechanical nodes were mapped to the CFD surface.

图 6: 流场压力导入说明

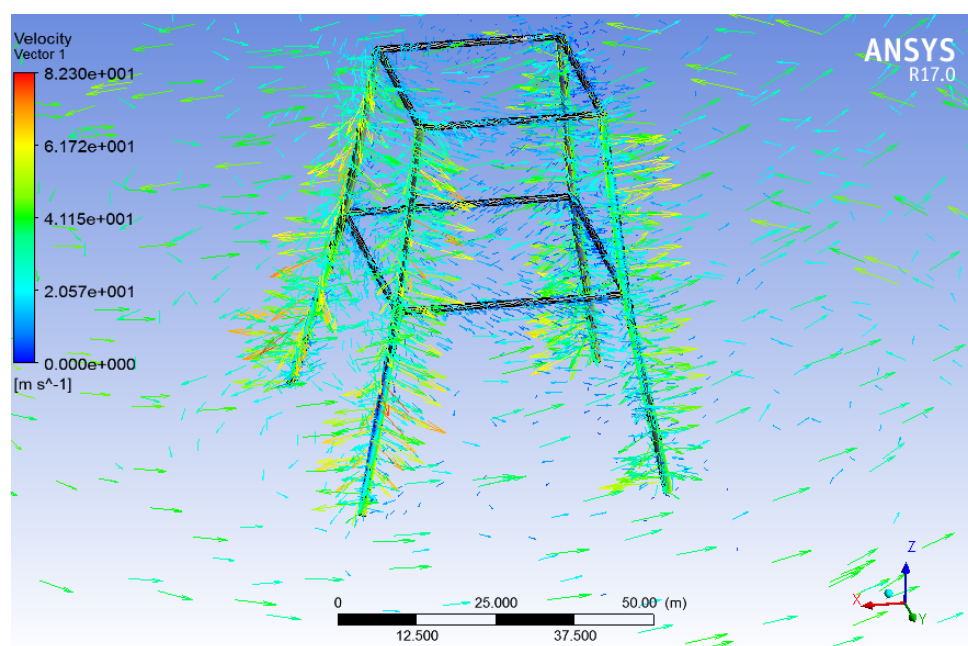


图 7: 结构周围流场速度矢量图

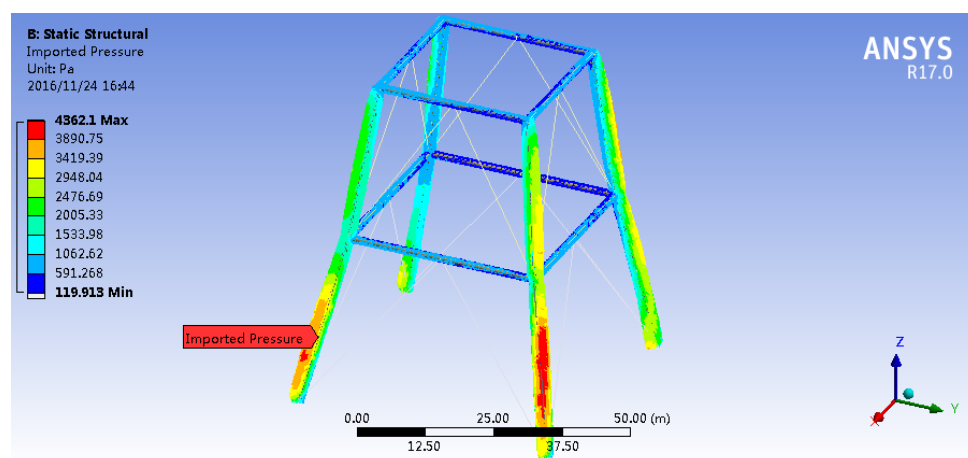


图 8: 结构表面所受风压

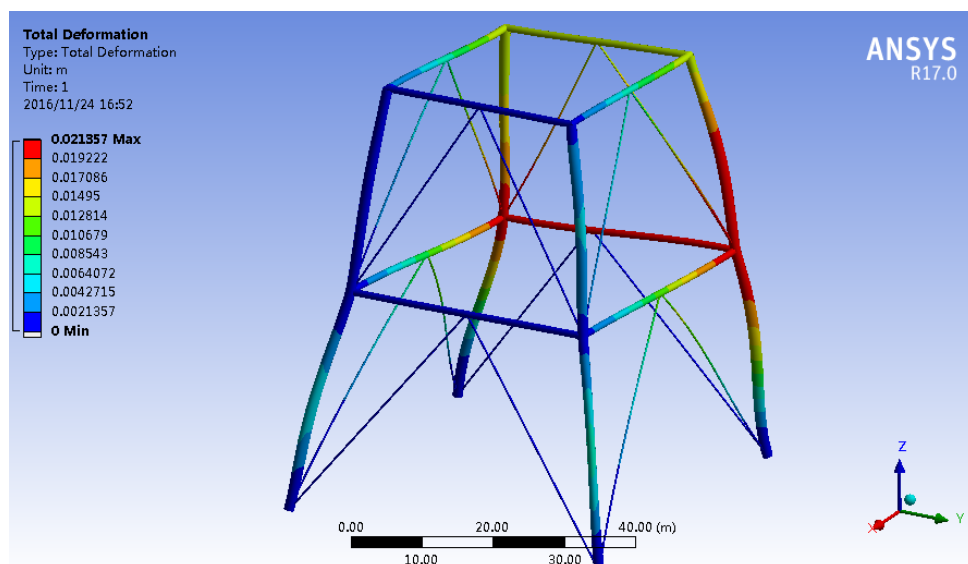


图 9: 结构在龙卷风作用下变形云图

参考文献

- [1] Benra Friedrich-Karl, Dohmen Hans Josef, Pei Ji, et al. A Comparison of One-Way and Two-Way Coupling Methods for Numerical Analysis of Fluid-Structure Interactions[J]. Journal of Applied Mathematics, 2011, 2011:16.
- [2] 钱若军; 董石麟. 流固耦合理论研究进展 [J]. 空间结构, 2008, (1):3-15.
- [3] Lachance-Barrett Sebastien and Corona Edwin. FLUENT - Wind Turbine Blade FSI (Part 1)[EB/OL]. <https://confluence.cornell.edu/pages/viewpage.action?pageId=262012971>. 2016-Jul-11.
- [4] Lachance-Barrett Sebastien and Corona Edwin. ANSYS - Wind Turbine Blade FSI (Part 2)[EB/OL]. <https://confluence.cornell.edu/pages/viewpage.action?pageId=262013005>. 2014-Oct-29.
- [5] 汪楚清; 王虎长; 李亮; 赵雪灵; 孙清. 大跨越输电钢管塔结构多尺度有限元分析 [J]. 工程力学, 2013, 30(7):147-152.