

西安电子科技大学

综合训练项目 课程实验报告

实验名称 机翼网格划分与求解实验

空间科学与技术 学院 2016029 班

姓名 学号

同作者

实验日期 2022 年 12 月 10 日

成绩

指导教师评语：

指导教师：王斌
年 月 日

实验报告内容基本要求及参考格式

- 一、实验目的
- 二、实验所用仪器（或实验环境）
- 三、实验基本原理及步骤（或方案设计及理论计算）
- 四、实验数据记录（或仿真及软件设计）
- 五、实验结果分析及回答问题（或测试环境及测试结果）

目录

一、实验目的..... 1

二、实验器材与环境..... 1

三、实验原理..... 1

 3.1 三大流体力学基本方程简介 1

 3.2 N-S 方程 1

 3.3 有限元分析法 2

四、实验内容和步骤..... 3

 4.1 导入模型并建立网格 3

 4.2 导入 fluent 进行运算 6

 4.2.1 参数设置 6

 4.2.2 求解结果..... 6

五、课程学习心得 8

六、参考..... 8

一、实验目的

1. 学习流体力学相关知识，为下学期空气动力学打好基础；
2. 掌握 ICEM CFD 画网格以及 FLUENT 数值计算的基本方法。

二、实验器材与环境

本次实验环境是 ANSYS 19.0，主要用到的工具是 ICEM CFD 19.0 和 Fluent；Ansys, Inc. 是一家美国跨国公司，总部位于宾夕法尼亚州佳能斯堡。它开发和销售用于产品设计、测试和操作的 CAE /多物理场工程仿真软件，并向全球客户提供其产品和服务。Ansys 由约翰·斯旺森 (John Swanson) 于 1970 年创立，他于 1993 年将其在该公司的股份出售给了风险投资家。ICEM 和 Fluent 为其中的子软件。

其中 ICEM CFD 是一种专业的 CAE 前处理软件。作为专业的前处理软件 ICEM CFD 为所有世界流行的 CAE 软件提供高效可靠的分析模型。它拥有强大的 CAD 模型修复能力、自动中面抽取、独特的网格“雕塑”技术、网格编辑技术以及广泛的求解器支持能力。同时作为 ANSYS 家族的一款专业分析环境，还可以集成于 ANSYS Workbench 平台, 获得 Workbench 的所有优势。

FLUENT，是通用 CFD 软件包，用来模拟从不可压缩到高度可压缩范围内的复杂流动。FLUENT 软件包含基于压力的分离求解器、基于密度的隐式求解器、基于密度的显式求解器，多求解器技术使 FLUENT 软件可以用来模拟从不可压缩到高超音速范围内的各种复杂流场。FLUENT 软件包含非常丰富、经过工程确认的物理模型，由于采用了多种求解方法和多重网格加速收敛技术，因而 FLUENT 能达到最佳的收敛速度和求解精度。灵活的非结构化网格和基于解的自适应网格技术及成熟的物理模型，可以模拟高超音速流场、传热与相变、化学反应与燃烧、多相流、旋转机械、动/变形网格、噪声、材料加工等复杂机理的流动问题。

三、实验原理

3.1 三大流体力学基本方程简介

连续性方程是质量守恒定律在流体力学中的具体表述形式。它的前提是对流体采用连续介质模型，速度和密度都是空间坐标及时间的连续、可微函数。

能量方程是分析计算热量传递过程的基本方程之一，通常表述为：流体微元的内能增量等于通过热传导进入微元体的热量、微元体中产生的热量及周围流体对微元体所作功之和。

动量方程是动量定理在流体力学中的具体应用。

3.2 N-S 方程

纳维-斯托克斯方程 (Navier-Stokes equation) 是描述粘性不可压缩流体动量

守恒的运动方程，简称 N-S 方程。此方程是法国科学家 CLMH • 纳维于 1821 年和英国物理学家 GG • 斯托克斯于 1845 年分别建立的，故名。它的矢量形式为：

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho f - \nabla p + \mu \nabla^2 V$$

需要说明的是上式中的导数 DV/Dt 是指物质导数。对任意物理量 A (表量或张量)的物质导数，其定义为：

$$\frac{DA}{Dt} = \frac{\partial A}{\partial t} + (V \cdot \nabla)A$$

因此 N-S 方程展开来写为

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V = f - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 V$$

在直角坐标中，N-S 方程的分量形式由下式给出：

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= \rho f_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= \rho f_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= \rho f_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

其中， ρ 是流体密度； (x, y, z) 是流体在时刻， (u, v, w) 在点处的速度分量；

p 是压力； f 是单位体积流体受的外力，若只考虑重力，则 $f = \rho g$ ；常数 μ 是动力粘度。

N-S 方程概括了粘性不可压缩流体流动的普遍规律，因而在流体力学中具有重要意义。

粘性可压缩流体运动方程的普遍形式为：

$$\begin{aligned} \rho \frac{dv}{dt} &= \rho F + \nabla \cdot p \\ p &= -pl + 2\mu(s + \frac{1}{3}l\nabla \cdot u) + \mu'l\nabla \cdot u \end{aligned}$$

其中 p 为流体应力张量； l 为单位张量； s 为变形速率张量，其在直角坐标中的分量为：

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) (i, j = 1, 2, 3)$$

$\mu'u$ 为膨胀粘性系数，一般情况下 $\mu' = 0$ 。若游动流体是均质和不可压缩的，这时为常数。

3.3 有限元分析法

有限元分析法 (Finite Element Analysis, FEA) 是一种用于解决复杂工程问

题的数学模型。它通过将一个大型问题划分成许多小的部分来求解，然后将所得的答案综合在一起，以获得整体问题的解决方案。有限元分析法常用于结构力学、流体力学和电磁学领域，可用于分析各种工程结构、系统和装置的性能、稳定性和可靠性。它可以模拟复杂的物理场和材料响应，并能够提供许多有用的信息，如应力、应变、位移、温度分布等。

有限元分析法的基本步骤

Step1: 建立数学模型：确定输入参数、材料参数和边界条件；

Step2: 建立有限元模型：将整个问题划分成许多小的有限元（通常是三角形或四边形），并在每个有限元内建立坐标系；

Step3: 建立有限元方程：对每个有限元求解基本方程，以获得应力、应变和位移在每个有限元内的分布情况；

Step4: 求解方程组：将所有有限元的方程组合在一起，求解方程组。

Step5: 合并结果：根据有限元的数学模型，将所有有限元的结果综合起来，得到整体结构的应力、应变、位移分布情况；

Step6: 根据所得的应力、应变和位移分布情况，分析结构的性能、稳定性和可靠性，并根据设计要求进行改进。

四、实验内容和步骤

4.1 导入模型并建立网格

修改工作路径，导入翼型数据文件 NACA0012.txt，将机翼封口后建立 C 型的远场边界，分为 INFLOW,OUTFLOW,UP 和 DOWN（之后为了便于运算合并为 OUTLINE）

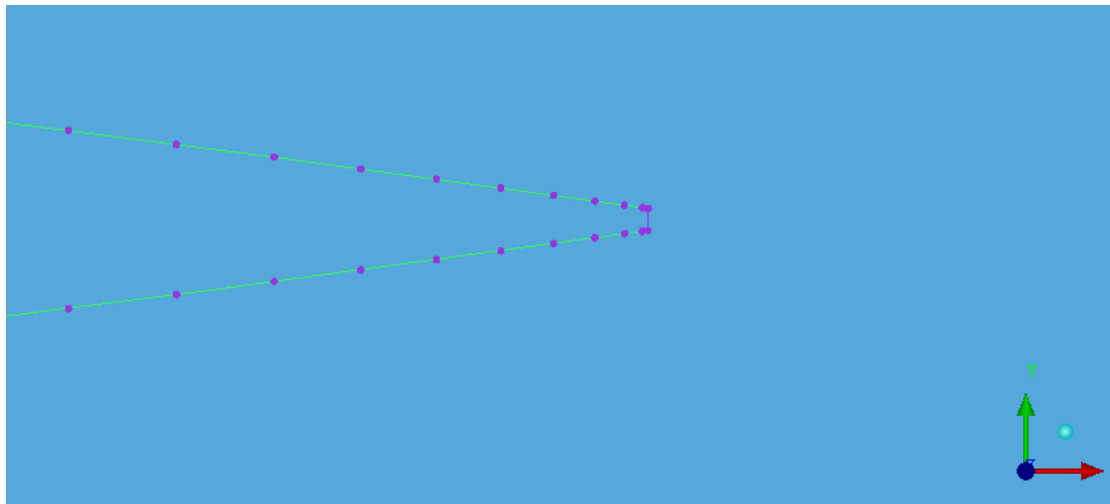


图 1 机翼封口

添加边界后，为后续画网格建立一个整体的 Block，由于是二维平面，选择 2D-Planar，随后分块并完成对应。

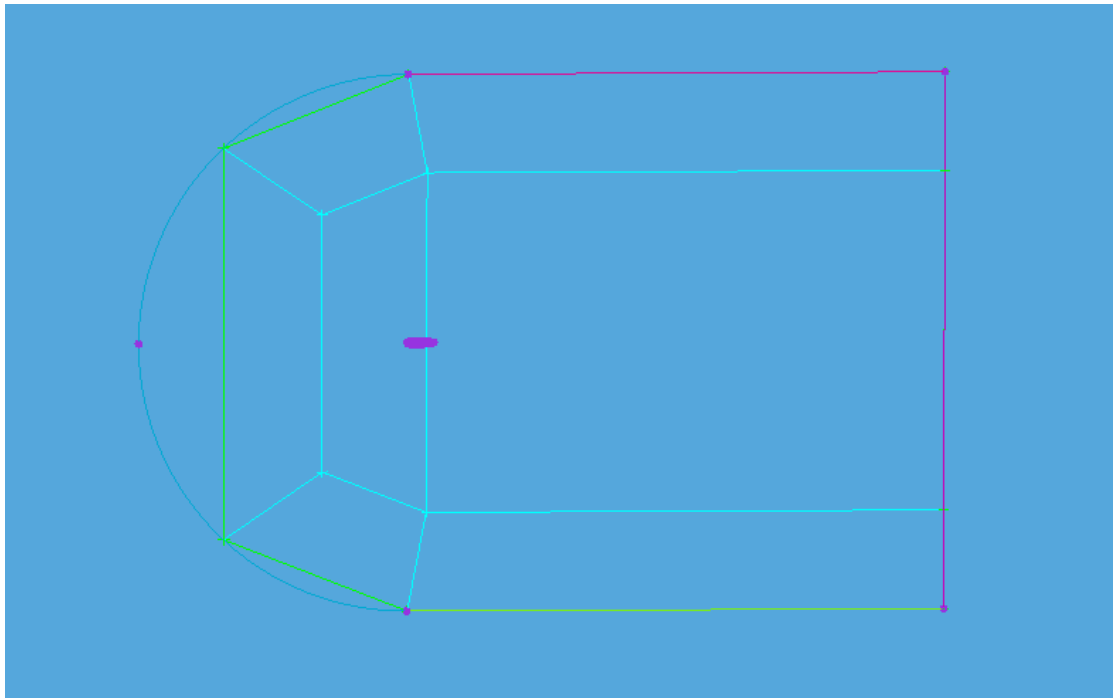


图 2 建好 block 并初步完成对应

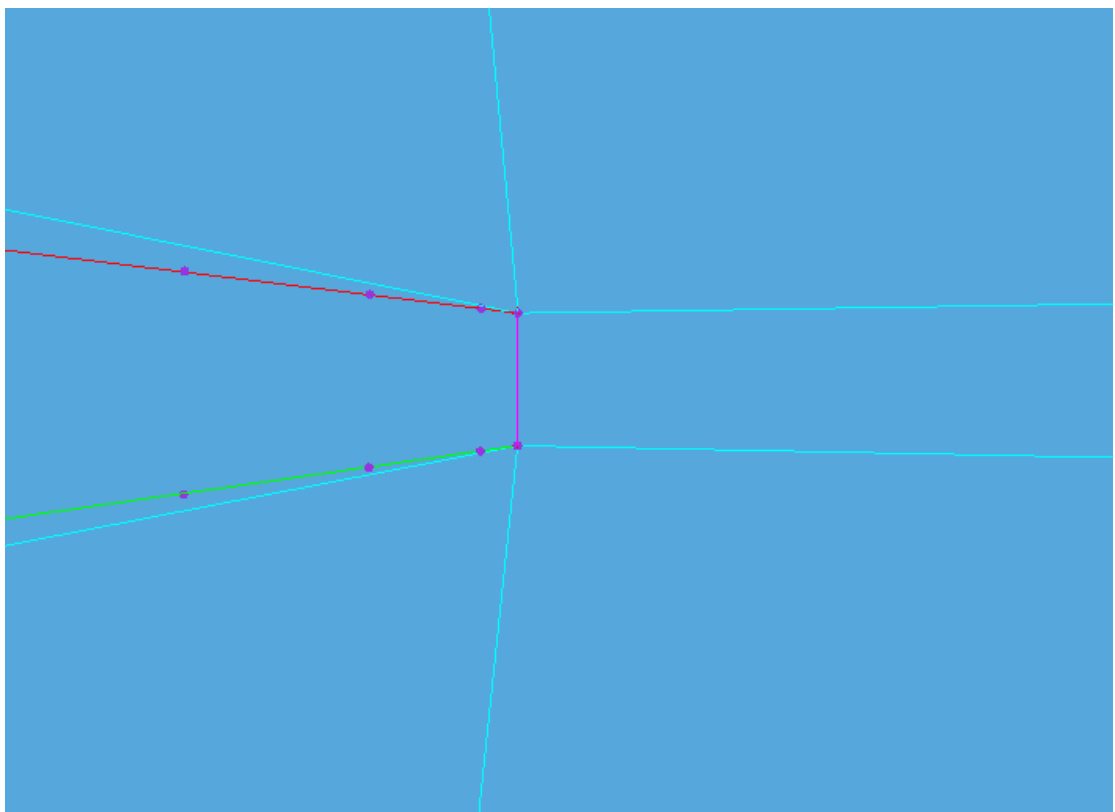


图 3 块与机翼进行关联

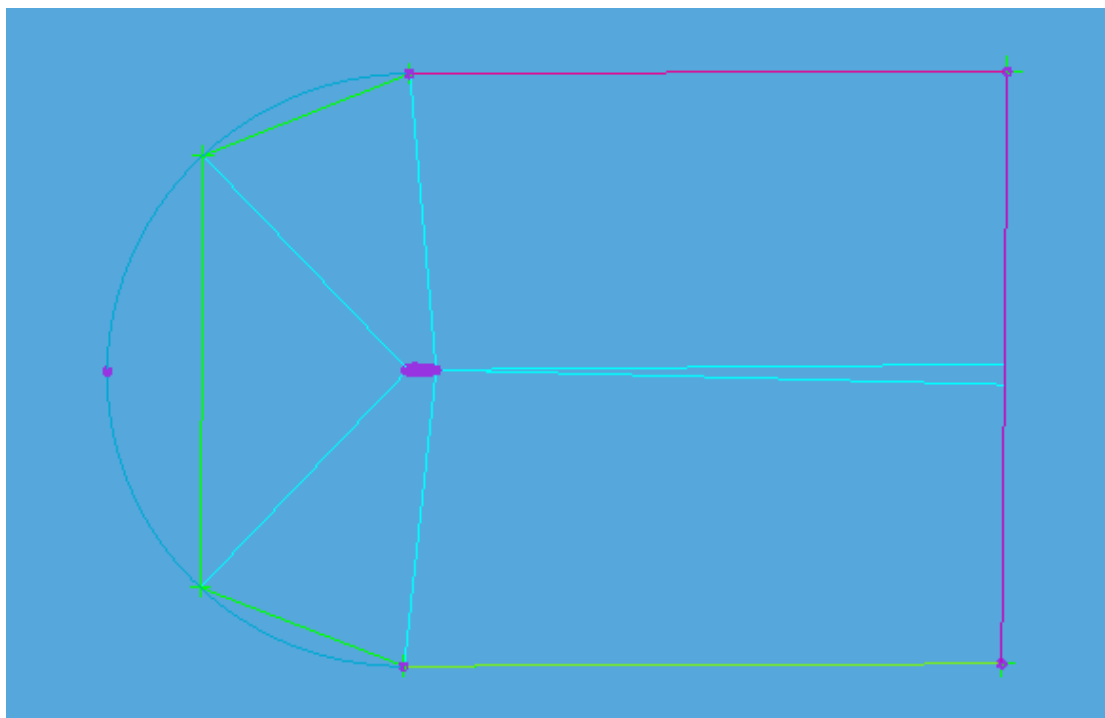


图 4 对应结束效果图

随后调整网格，反复调试 Nodes, Mesh law, Spacing, Ratio 等参数进行调整，网格质量已有较大提升，最后将该网格转化为非结构网络，导出 msh 文件，准备进行计算。

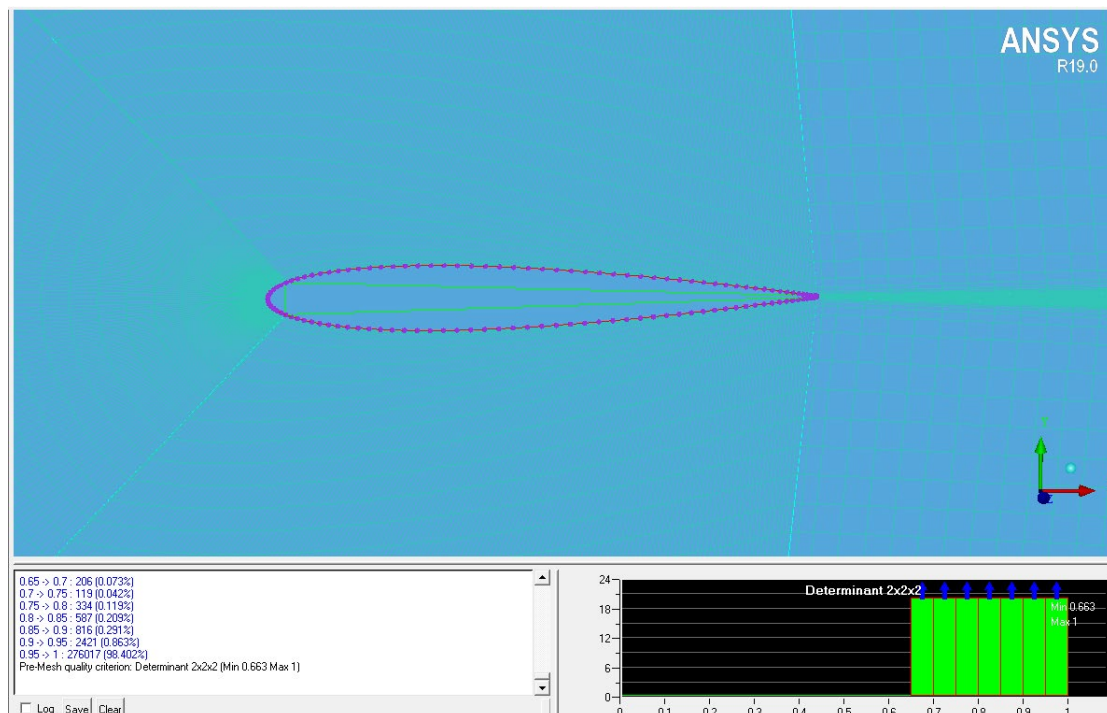


图 5 最后效果图

4.2 导入 fluent 进行运算

4.2.1 参数设置

参数设置均来自【Fluent 案例】03：RAE2822 翼型外流场计算^[2]

General 中 Check 看到 Minimum Volume 大于 0，符合要求；Models 中的 Viscous 选择 Spalart-Allmaras；Materials 中 air 的 Density 改为 ideal-gas；Cell Zone Conditions 中设置 Type 为 Fluid；Solution 中 Monitors 里的 absolute criteria 为 $1e-3$ ；Initialize 中设置 Number of Iterations 为 1000。

4.2.2 求解结果

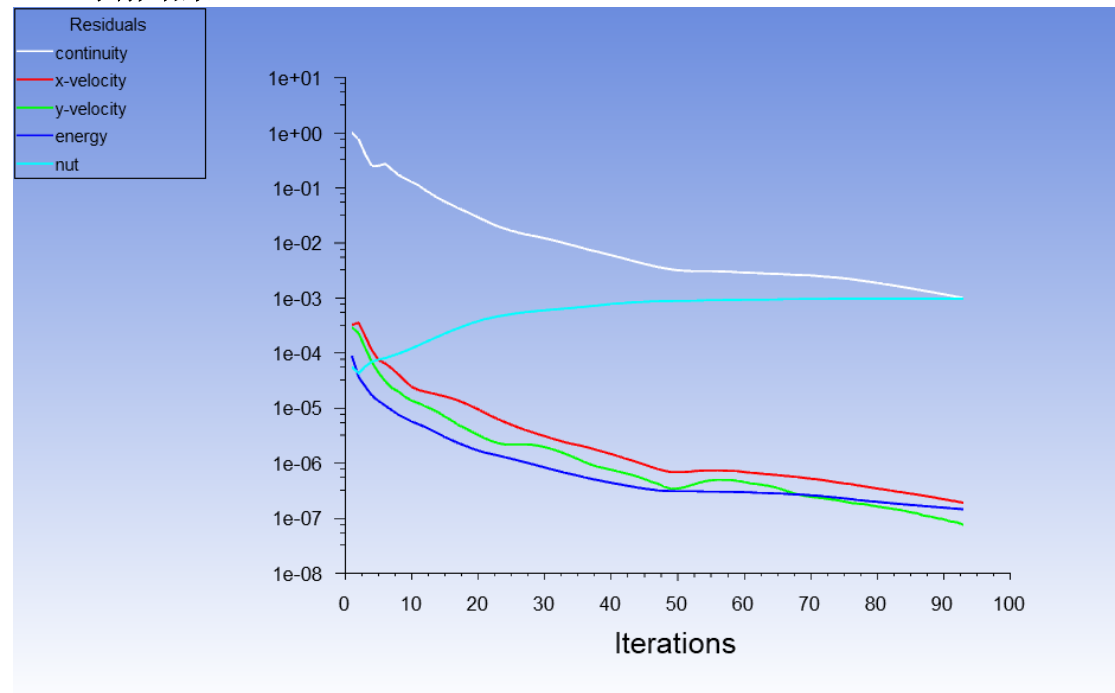


图 6 求解收敛结果

从图 6 中可以看到，随着计算次数增加，变量的残差值都降低到低于 $1e-02$ ，可以认为计算收敛。

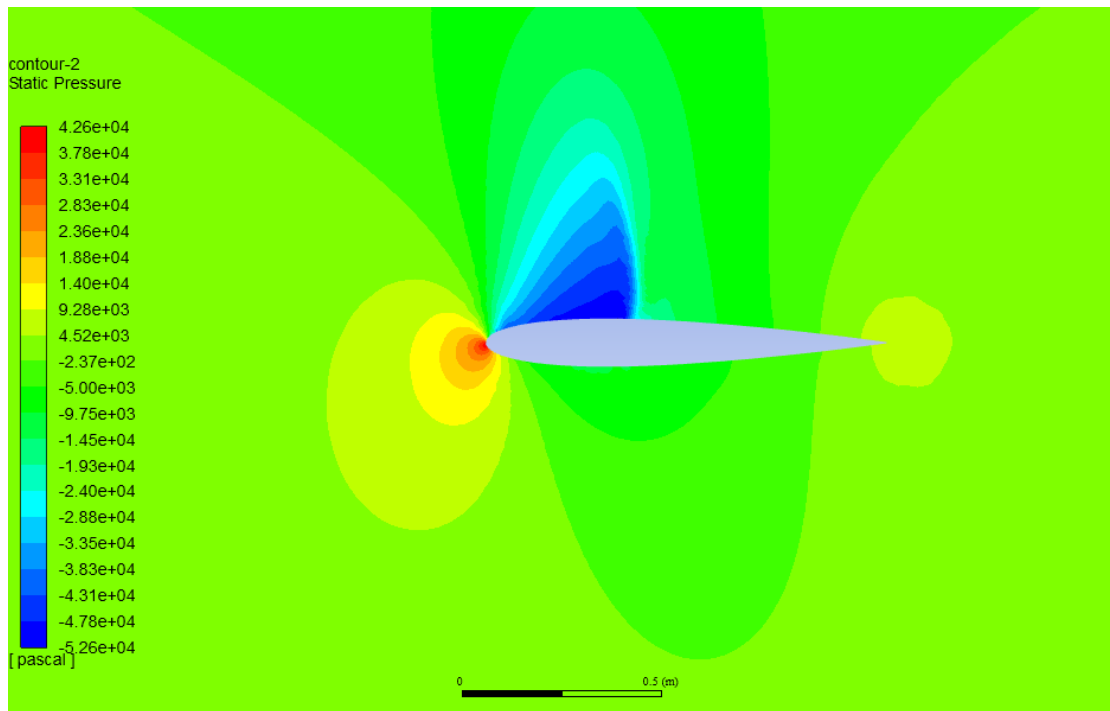


图 7 压力分布图

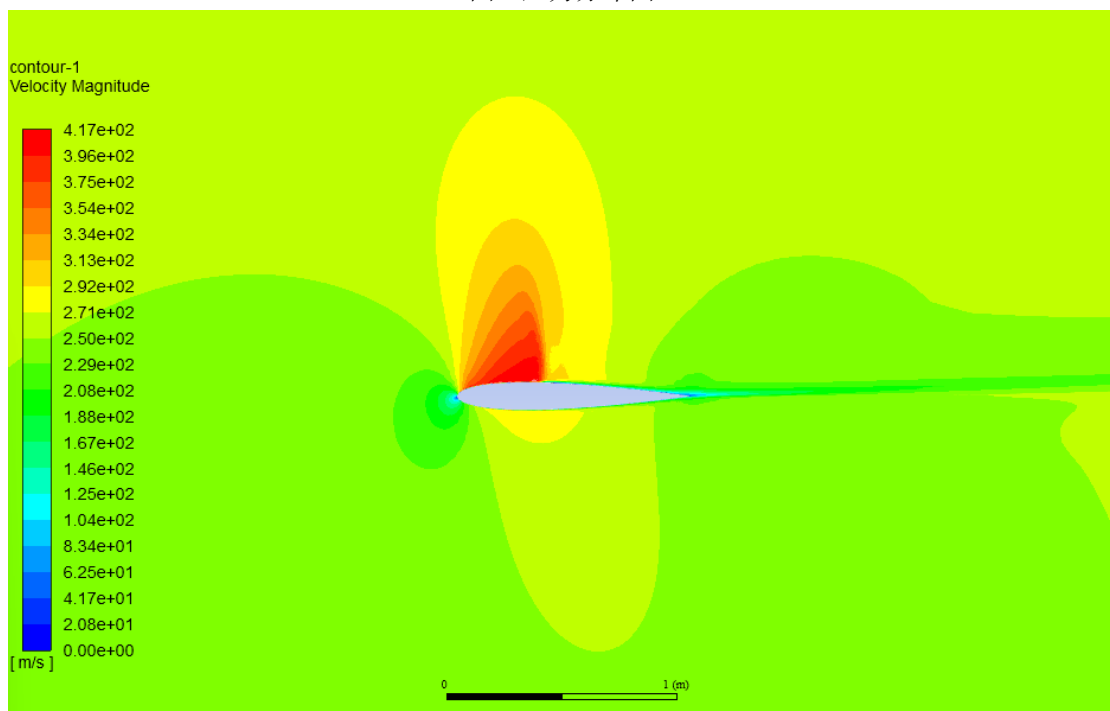


图 8 马赫数分布

从上图可以看到，机翼尖端速度最小，翼身前端上表面处速度最大，结合以上两图我们可以看出，马赫数分布图与压力分布图大小关系正好相反，符合伯努利原理。

下图为压力分布的另一种展示，与图 7 结果一致。

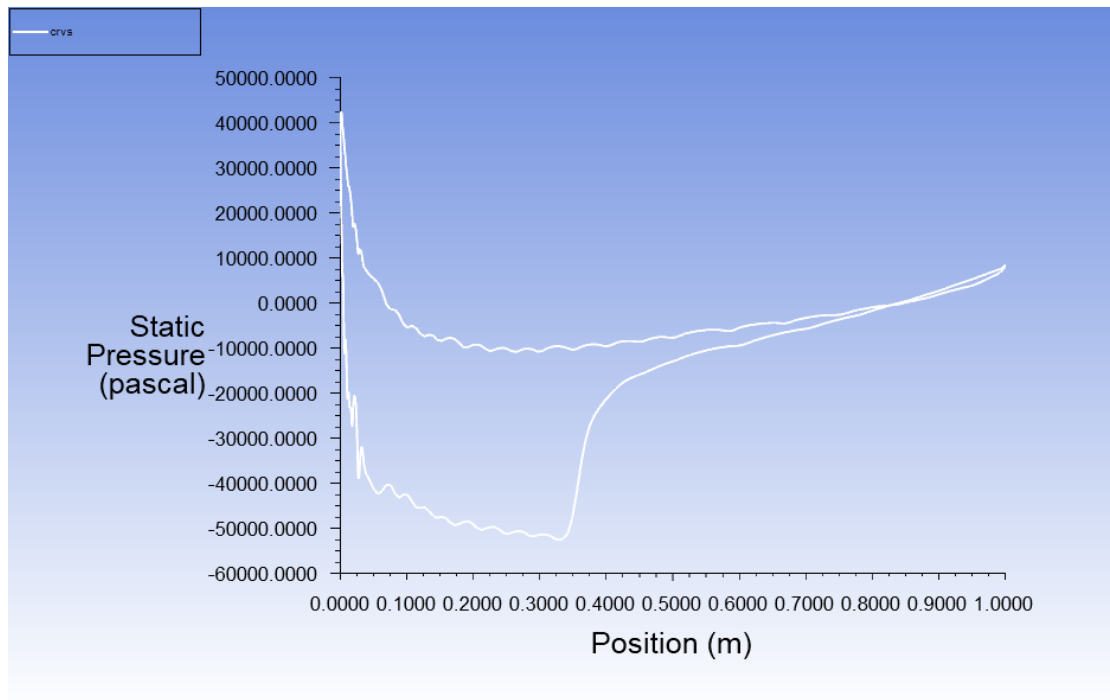


图 9 压力分布的另一种展示

五、课程学习心得

1. 本次实验最大收获是掌握了 ICEM 网格的绘制方法，并导出符合条件的 msh 文件，并在 fluent 软件中进行运算，为今后学习空气动力学等打好基础。
2. 和上次实验一样，能切实学习到空气动力学领域的一些基本操作方法，同时对该领域的一些工作有了基本的了解，收获颇丰。

六、参考

- [1] 用 ICEM 画 naca0012 的 C 型网格.https://www.bilibili.com/video/BV17y4y1j72V/?share_source=copy_web&vd_source=859cb5682d8f7dad73bf16d74caf40d1
- [2] 【Fluent 案例】03: RAE2822 翼型外流场计算. <https://www.topcfd.cn/221/>
- [3] Cook, P.H., M.A. McDonald, M.C.P. Firmin “Aerofoil RAE 2822 - Pressure Distributions, and Boundary Layer and Wake Measurements Experimental Data Base for Computer Program Assessment”, AGARD Report AR138, 1979