



成绩

中国农业大学

课程论文

(2022-2023 学年春季学期)

论文题目: 计算流体力学课程报告

课程名称: 计算流体力学

任课教师: 陈雪冬

班 级: 工力 201

学 号: 2020310020119

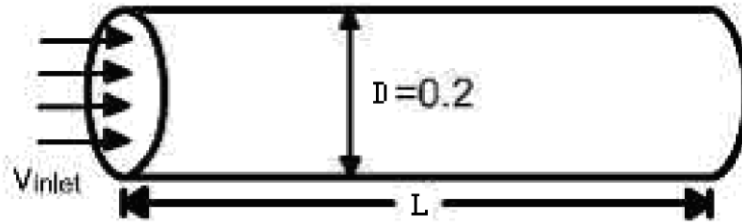
姓 名: 张家瑞

目录

第一章 管道流动	2
1.1 模型建立与网格划分.....	2
1.2 第一种网格数计算.....	3
1.3 第二种网格数计算.....	6
1.4 结果对比与分析.....	8
第二章 顶盖驱动方腔流动	9
2.1 模型建立与网格划分.....	9
2.2 第一种网格数计算.....	10
2.3 第二种网格数计算.....	12
2.4 第三种网格数计算.....	14
2.5 结果对比与分析.....	16
第三章 机翼绕流问题	17
3.1 模型建立与网格划分.....	17
3.2 第一种机翼模型计算.....	18
3.3 第二种机翼模型计算.....	22
3.4 两种机翼模型结果对比.....	25
第四章 圆柱绕流问题	26
4.1 模型建立与网格划分.....	26
4.2 圆柱绕流结果.....	26

第一章 管道流动

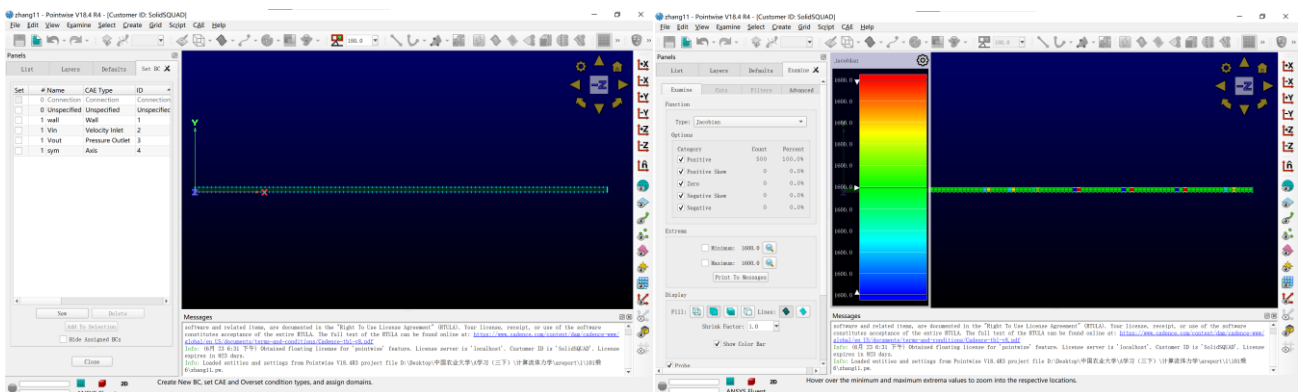
流体流过等截面圆管，圆管直径 $D=0.2m$ ，长 $L=8m$ 。入口速度： $v_{in}=1m/s$ ，入口截面上速度均匀分布，出入口暴露在大气中，大气压位 1 标准大气压，流体密度 $\rho=1kg/m^3$ ，粘性系数 $\mu=2\times 10^{-3}kg/(m\cdot s)$ 。

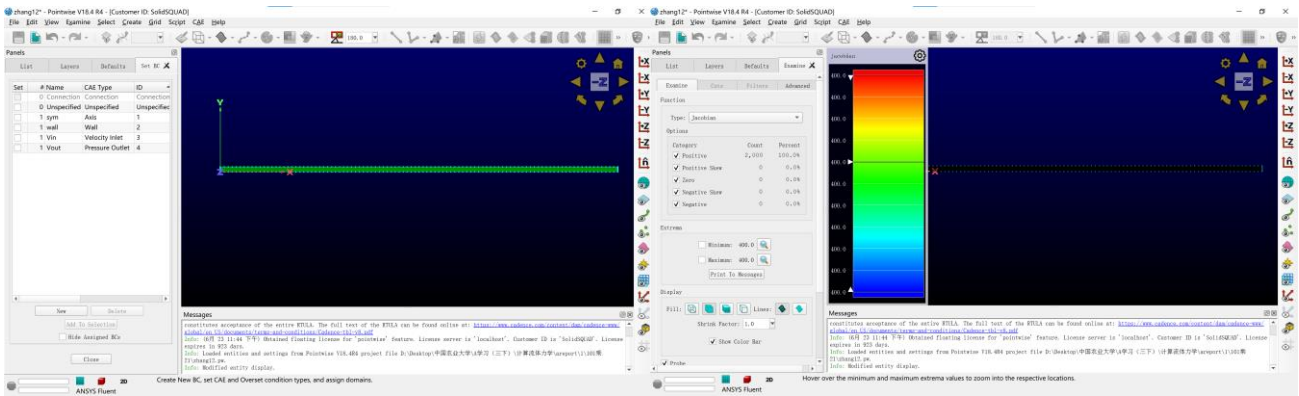


1.1 模型建立与网格划分

计算流体力学是将一个连续的计算区域通过离散化的方法进行求解，离散化就首先要对模型进行网格剖分与划分。对于该问题是一个轴对称问题，我们在选取计算域时即可选取其一半作为计算域。我们考虑两种网格划分情况：轴向 $101\times$ 径向 6 和轴向 $101\times$ 径向 21。

网格划分的基本思路为点一线一面一体，针对该问题首先建立计算域。在建立计算域的过程，我们可以有很多技巧可以使用，比如可将线段进行复制粘贴再移动的方法。在画好计算域后，我们要针对线段进行划分，选取线段划分的节点数量，之后生成面，这样就完成了计算域网格的划分。之后设置处理器，采用 ANSYS Fluent，同时需要设置为 2D 问题。再接着进行边界条件设置，左边为入口边界条件，上边为壁面，下边为轴边界条件，右边为出口边界条件。接着设置区域内为流体。这样整个边界条件就设置完成了。最后要对网格进行检查，选中网格部分检查 Jacobian，需要其全部为正的，如果是负的，说明方向设置错误，不满足右手系，这时候需要进行一个坐标系转换，在 Orient 中进行 I-J 转换即可。这样整个网格部分完成了，接下来选取网格部分利用 Export 导出 CAE 文件即可。





前两个图片即为轴向 $101 \times$ 径向 6 的网格划分、边界条件设置以及 Jacobian 检查；后两个图片即为轴向 $101 \times$ 径向 21 的网格划分、边界条件设置以及 Jacobian 检查。

接下来进行 Fluent 求解部分。

1.2 第一种网格数计算

我们在打开 Fluent 后，选取利用 Pointwise 输出的 case 文件，启用双精度运行。在导入文件后，点击 Display 即可在 Fluent 中画出我们先前划分的网格。首先进行尺寸检验，确保尺寸大小是对的，确定没有负体积，在完成检验后，就可从头开始进行设置：

Models: 针对该问题，该问题不是多相流，针对该不可压缩问题也不需要考虑能量方程，对于粘性，我们考虑 Laminar 的情况，不考虑辐射、热传导、多组分、离散问题、颗粒流动问题、声学、结构等问题。

Materials: 我们使用流体，新建一个该问题的流体。

Cell Zone Conditions: 双击该流体，选取刚设置好的流体，即设置完计算域的条件。

Boundary Conditions: 轴、网格内部的边界条件无需设置；入口边界条件，需要设置入口速度，压力设为 0 即可，因为 Fluent 默认操作环境为 1 个标准大气压；出口边界条件，压力设为 0 即可，与前者同理；壁面边界条件设为无滑移即可。

Reference Values: 按照该问题的流体进行设置。

在进行设置完成后，我们进行求解部分：

Methods: 采用 SIMPLE 算法，利用二阶迎风插值。

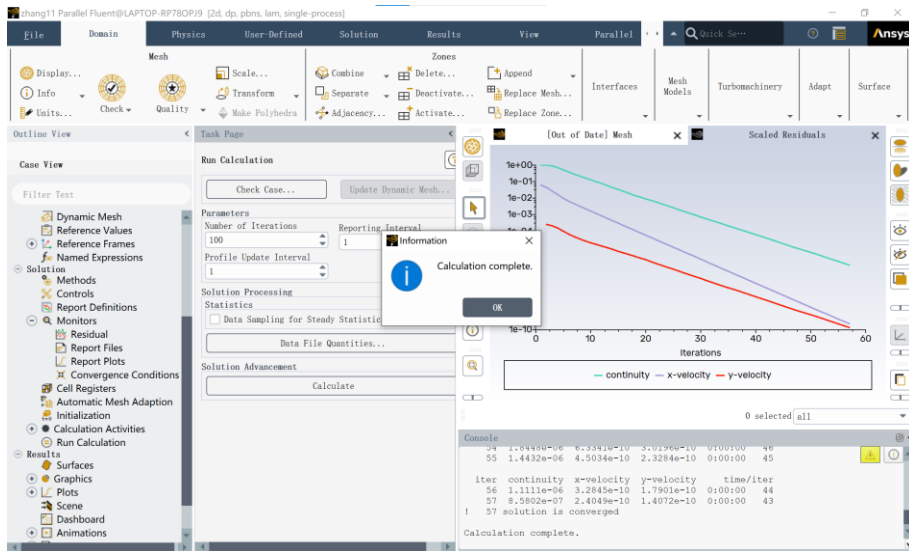
Monitors: 由于采用迭代算法，因此需要设置残差，在此设置为 $10e-6$ 。

Initialization: 设置初始条件，选取标准初始条件，选取入口条件作为初值条件，点击 Initialize 进行初始条件设置。

在完成这些后，整个设置部分就完成了，将文件输出为 Case 与 Data 文件之后进行计算：

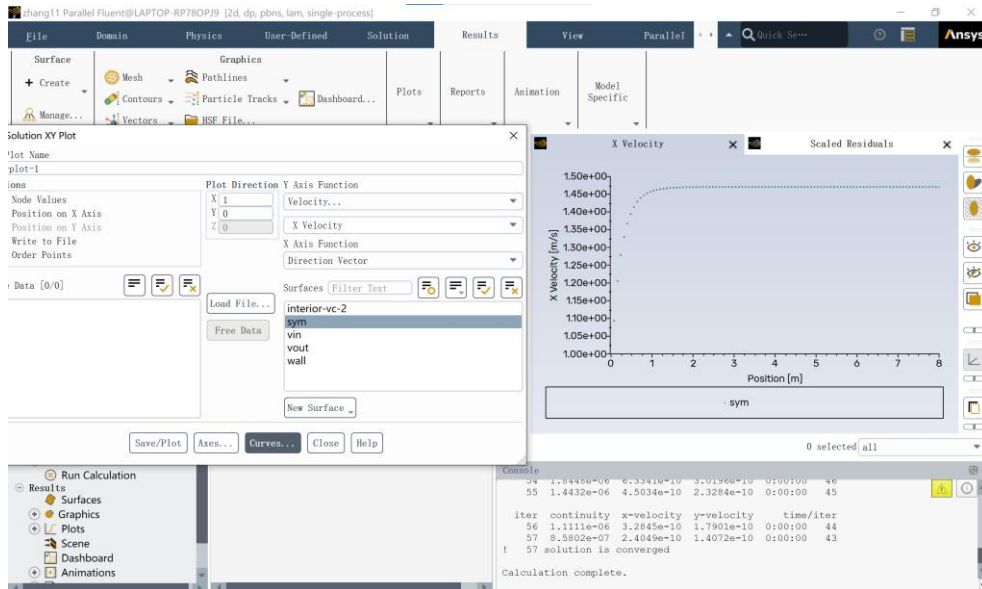
Calculation Activities: 我们设置计算步数为 100，进行计算。在达到设定的截断条件后，程序会自动停止，否则的话达到设定的计算步骤时停止。

之后进行结果查看。

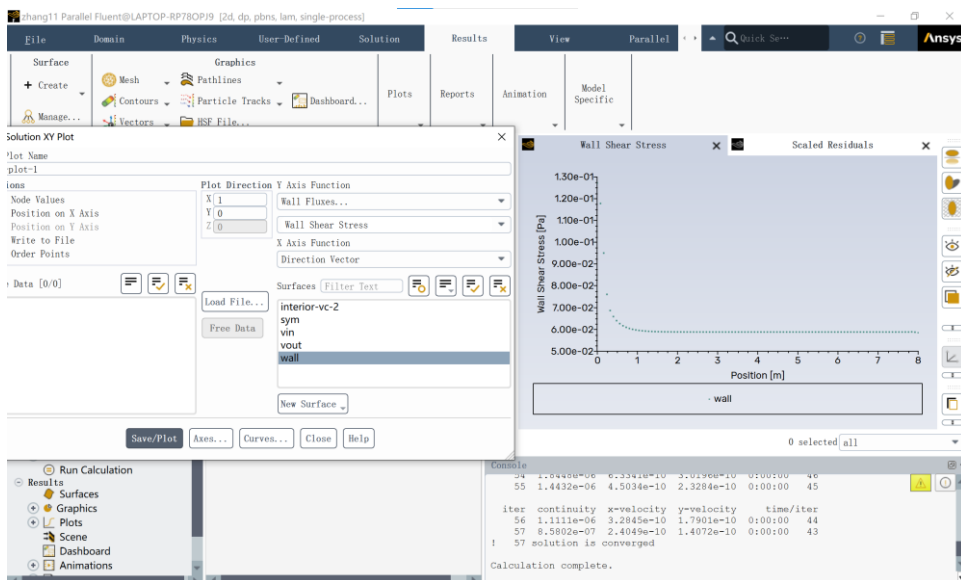


图中所示这样就代表着结果运算完毕。我们发现在运算到 57 步时候就已经结束了，代表在 57 步就已经达到了我们设定的截断条件。

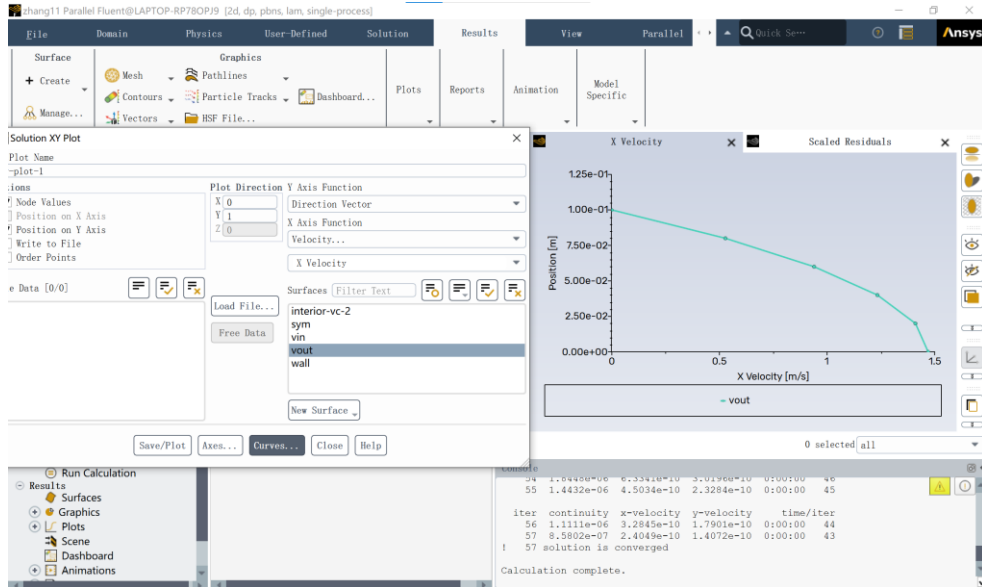
圆管中心线上速度分布：



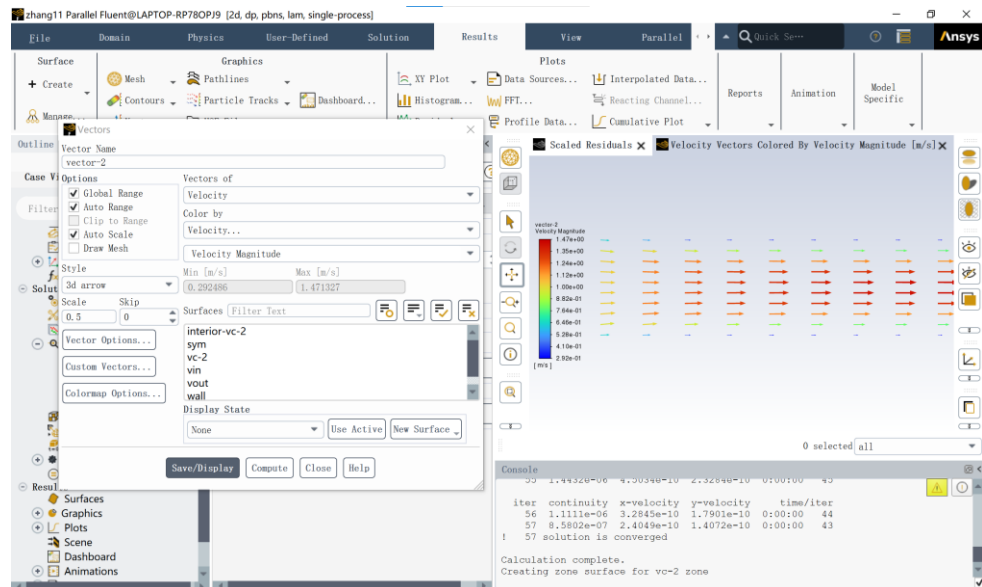
管壁摩擦系数：



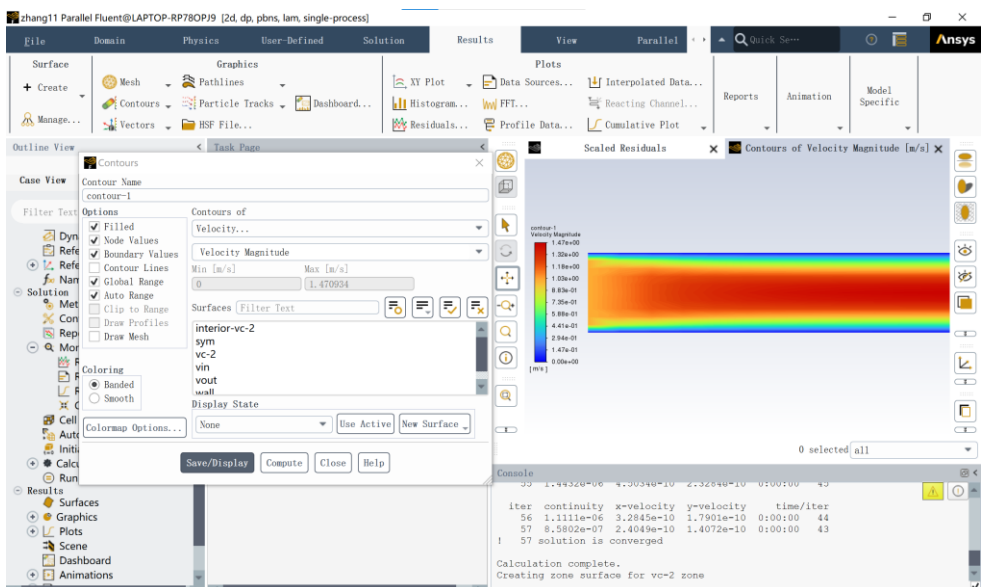
圆管出口截面上的速度分布：



圆管内流场的速度矢量图：我们可以通过 View 设置出对称面。

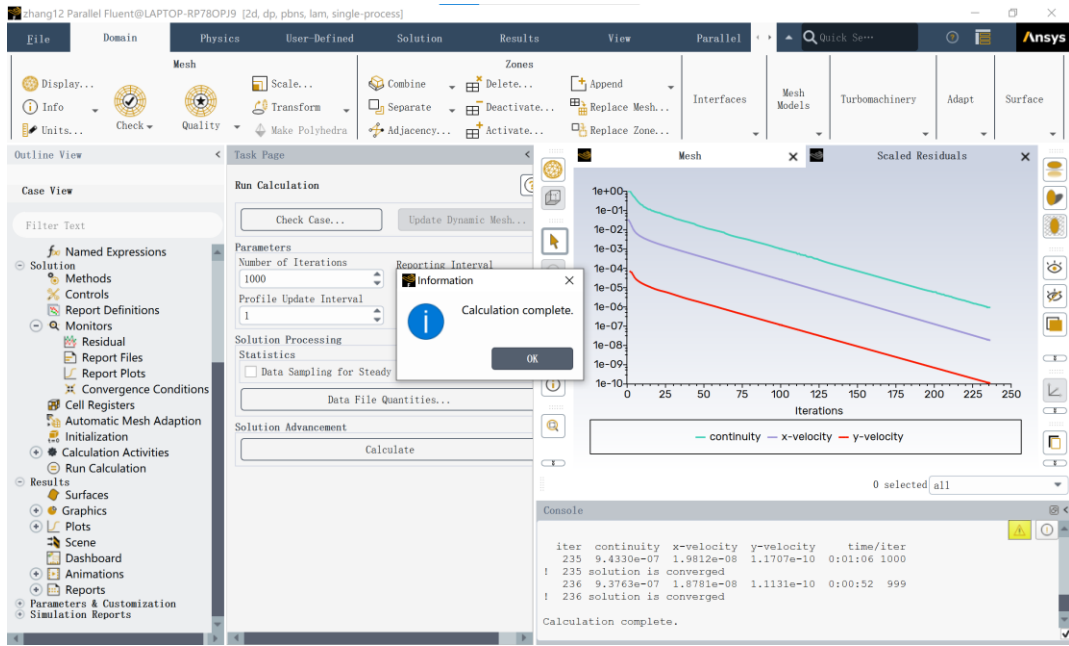


圆管内流场的速度等值线图：



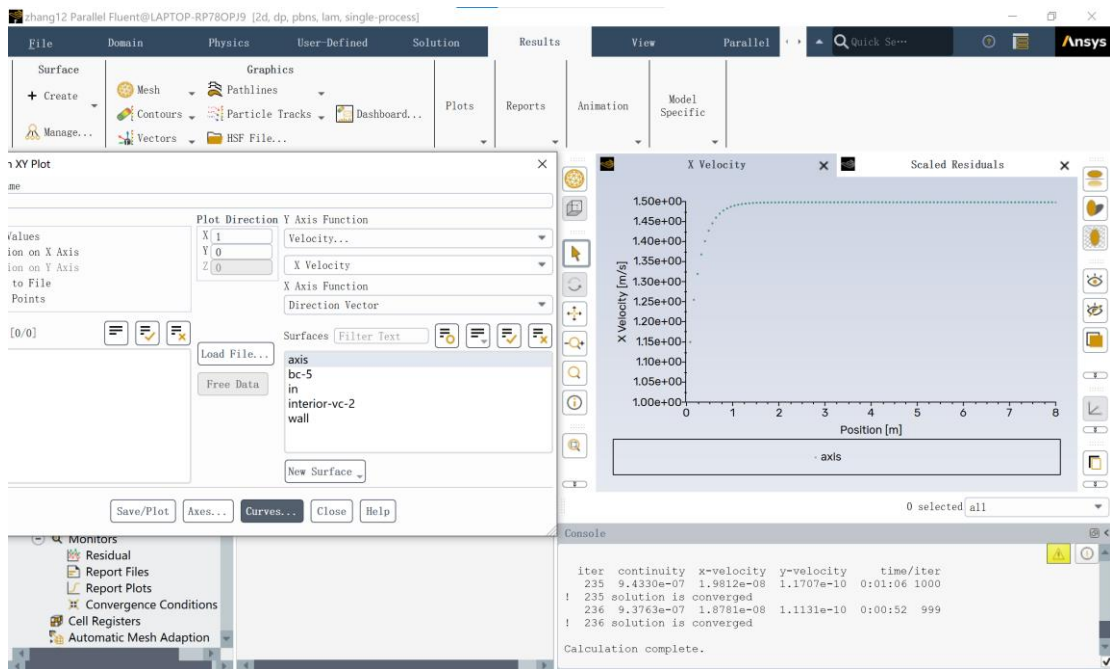
1.3 第二种网格数计算

同理，我们考虑轴向 101×径向 21 的网格划分，具体在 Fluent 中的操作方法与上一节相同，在此不做重复说明。

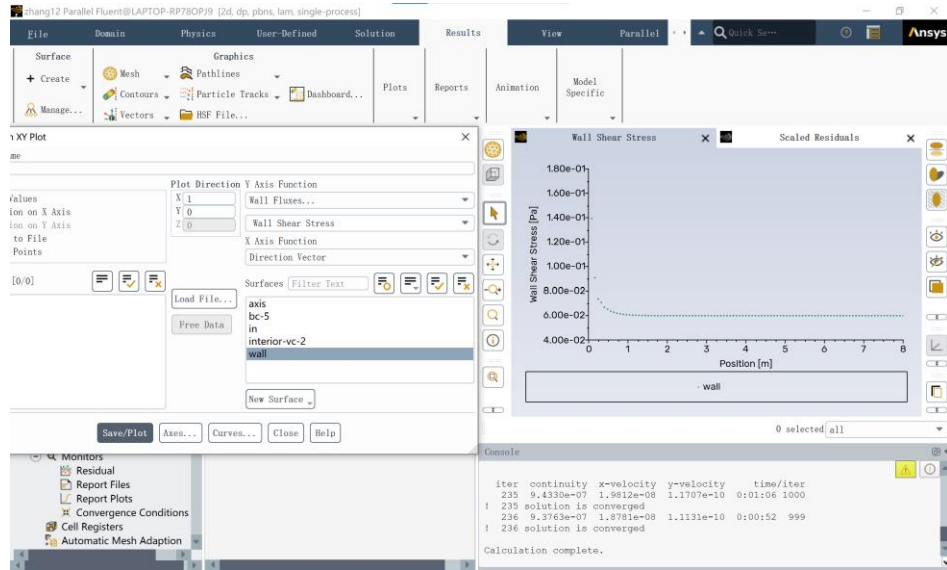


图中所示这样就代表着结果运算完毕。我们发现此时需要运算到 235 步时候结束，代表在 235 步就已经达到了我们设定的截断条件，相较于前者，需要更多的迭代步数。

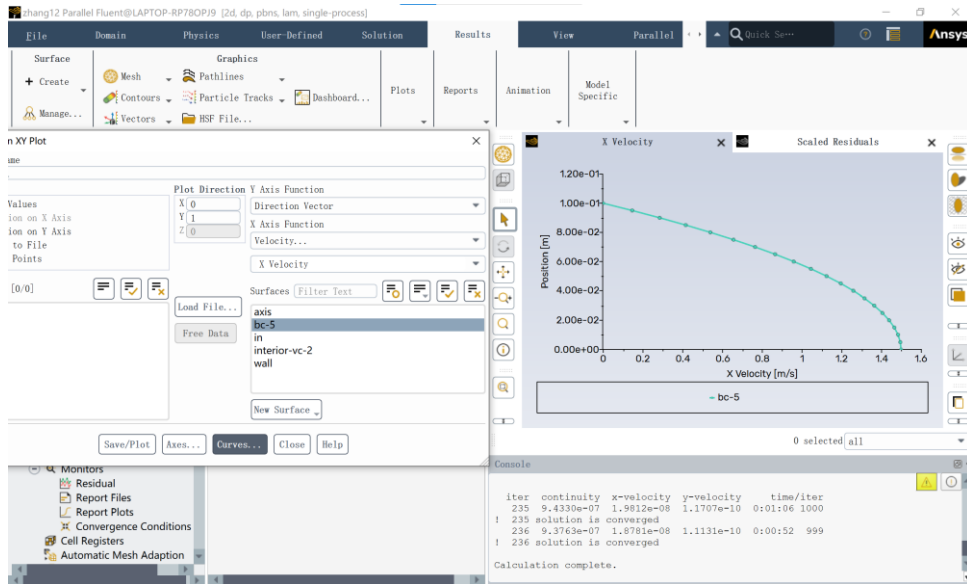
圆管中心线上速度分布：



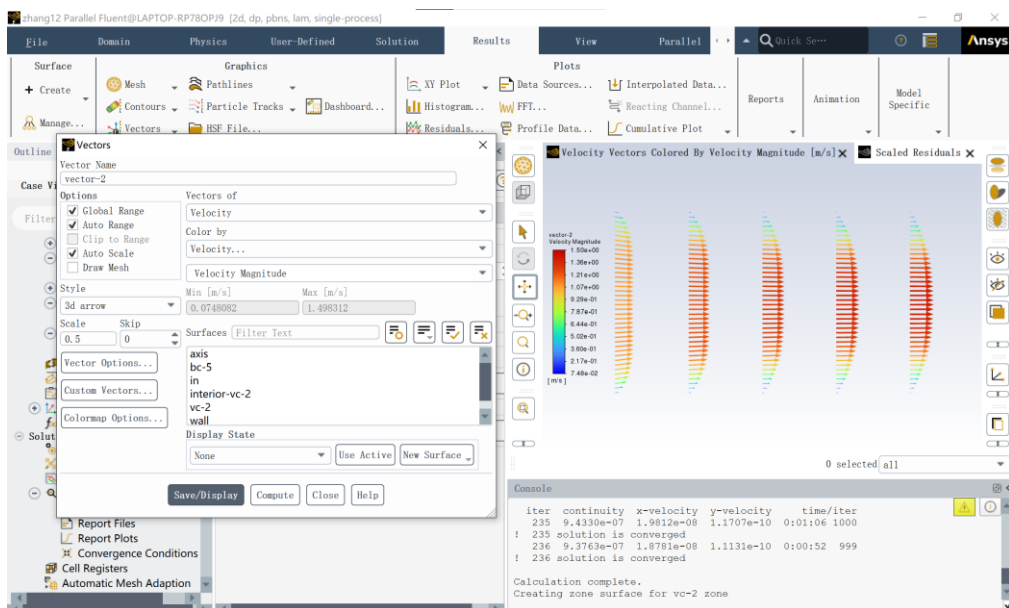
管壁摩擦系数:



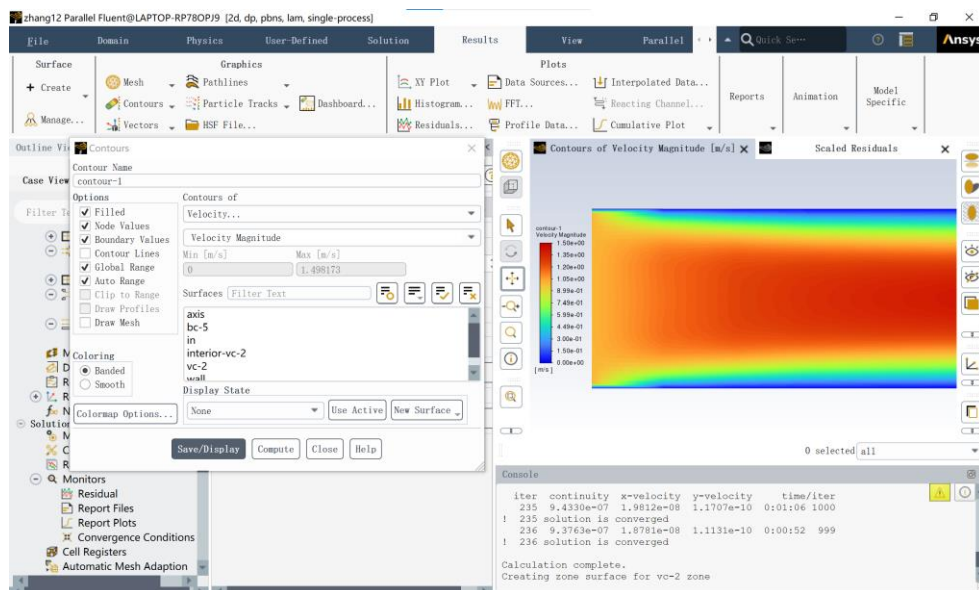
圆管出口截面上的速度分布:



圆管内流场的速度矢量图: 我们可以通过 View 设置出对称面。



圆管内流场的速度等值线图：



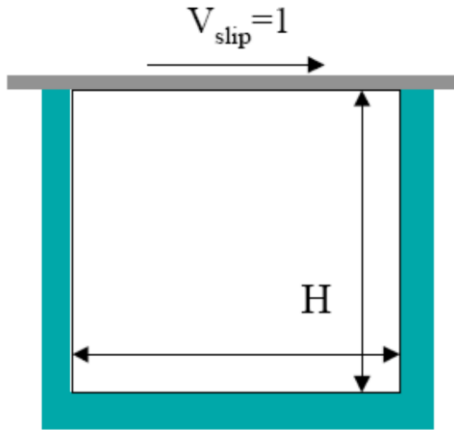
1.4 结果对比与分析

对于两种不同的网格划分，我们可以发现，显然对于更细的网格，我们得到的结果曲线更加光滑，更符合真实情况，但是所需要迭代的步数需要更多，为了达到预设的精度，我们在运算部分也需要增加运算的最大步数。

并且，由于两种网格划分，在 x 方向的划分网格数是相同的，而 y 方向是不同的，对比两组结果，我们可以发现，两种划分在 x 方向的结果是很相近的，而 y 方向的相差较大，而对于该问题，由于 x 方向的长度相较于 y 方向本身就很长，因此有必要重点研究流场速度、压强沿 y 方向的分布，我们可以考虑将 y 方向的网格划分的更密。

第二章 顶盖驱动方腔流动

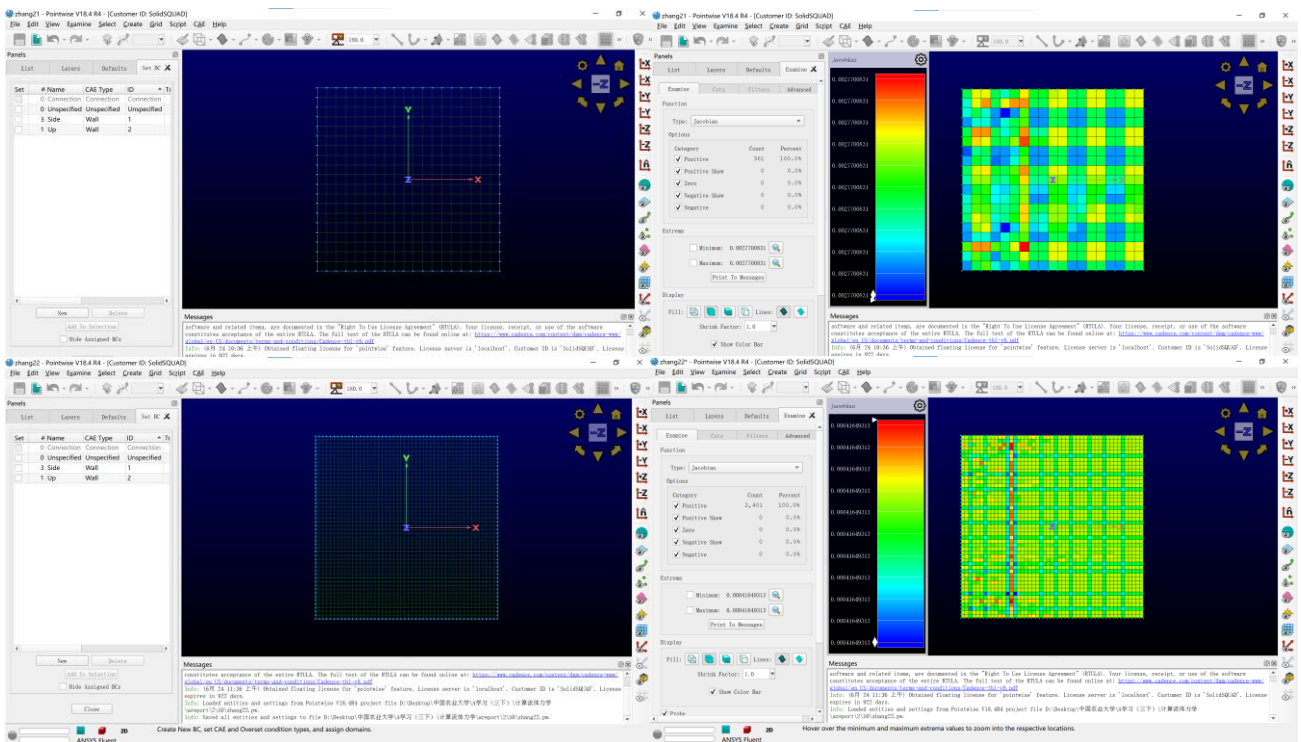
方腔高度 $H=1m$ ， $v_{slip}=1m/s$ 。材料属性： $\rho=1kg/m^3$ ， $\mu=0.001kg/(m\cdot s)$ ，雷诺数： $Re=\rho v_{slip} H/\mu=1000$ 。边界条件：方腔上边界 $u=v_{slip}$ 向右运动，其余边界为无滑移边界。初始条件： $u=v=p=0$ 。

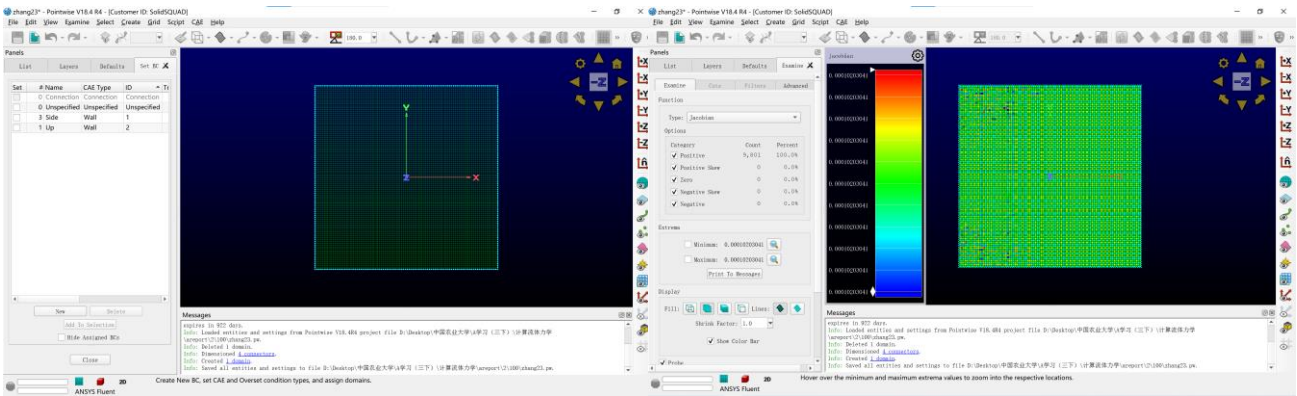


2.1 模型建立与网格划分

在这里，我们考虑三种网格划分情况：网格数量选取为 20、50、100。

对于该模型，最上面为滑移边界条件，滑移速度为给定的滑移速度，其余边界均为无滑移边界条件。建模的过程和第一个问题相同，在此不做重复。





前两个图片即为 20 的网格划分、边界条件设置以及 Jacobian 检查；后两个图片即为 50 的网格划分、边界条件设置以及 Jacobian 检查；最后两个图片即为 100 的网格划分、边界条件设置以及 Jacobian 检查。

接下来进行 Fluent 求解部分。

2.2 第一种网格数计算

我们在打开 Fluent 后，选取利用 Pointwise 输出的 case 文件，启用双精度运行。在导入文件后，点击 Display 即可在 Fluent 中画出我们先前划分的网格。首先进行尺寸检验，确保尺寸大小是对的，确定没有负体积，在完成检验后，就可从头开始进行设置：

Models: 针对该问题，该问题不是多相流，针对该不可压缩问题也不需要考虑能量方程，对于粘性，我们考虑 Laminar 的情况，不考虑辐射、热传导、多组分、离散问题、颗粒流动问题、声学、结构等问题。

Materials: 我们使用流体，新建一个该问题的流体。

Cell Zone Conditions: 双击该流体，选取刚设置好的流体，即设置完计算域的条件。

Boundary Conditions: 对于侧边与底边的，为无滑移边界条件；对于上边，其 Wall Motion 不再是一个固定的了，需要为移动的，根据题设设置其移动速度。

在进行设置完成后，我们进行求解部分：

Methods: 采用 SIMPLE 算法，利用二阶迎风插值。

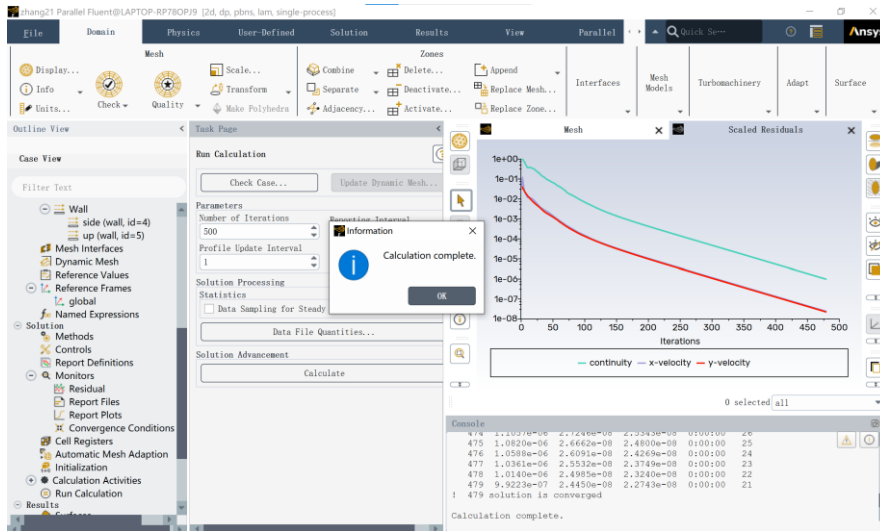
Monitors: 由于采用迭代算法，因此需要设置残差，在此设置为 $10e-6$ 。

Initialization: 设置初始条件，选取初试条件为 0，点击 Initialize 进行初始条件设置。

在完成这些后，整个设置部分就完成了，将文件输出为 Case 与 Data 文件之后进行计算：

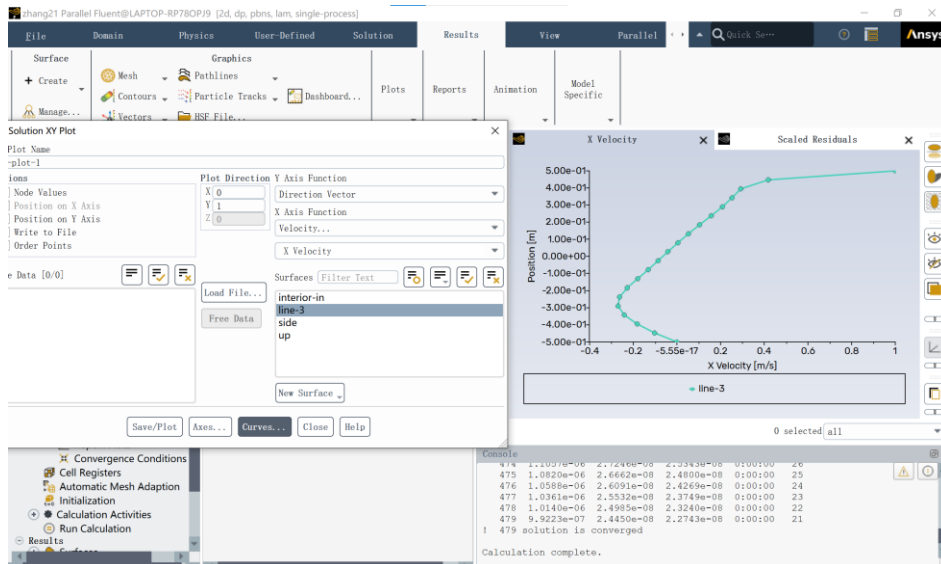
Calculation Activities: 我们设置计算步数为 500，进行计算。在达到设定的截断条件后，程序会自动停止，否则的话达到设定的计算步骤时停止。

之后进行结果查看。

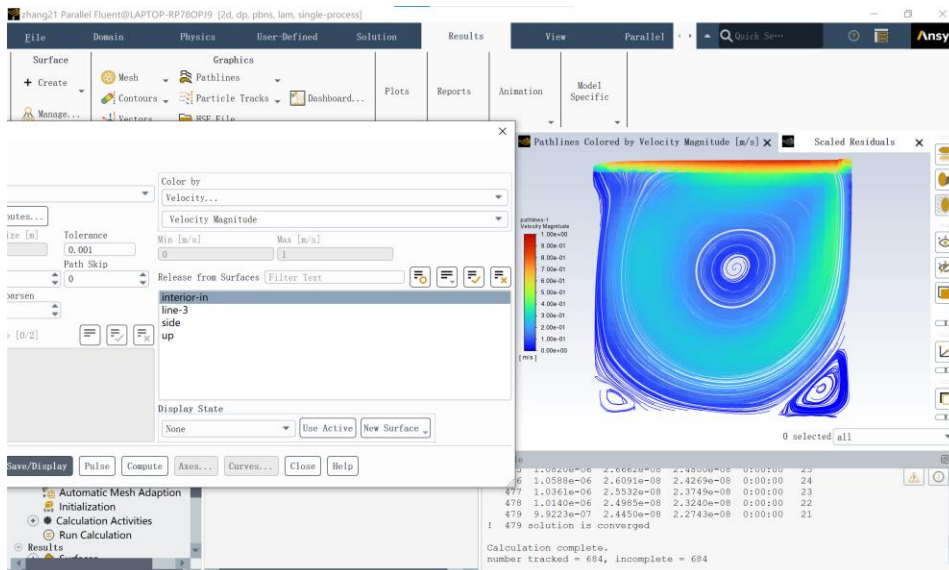


图中所示这样就代表着结果运算完毕。我们发现在运算到 479 步时候就已经结束了，代表在 479 步就已经达到了我们设定的截断条件。之后进行结果查看。

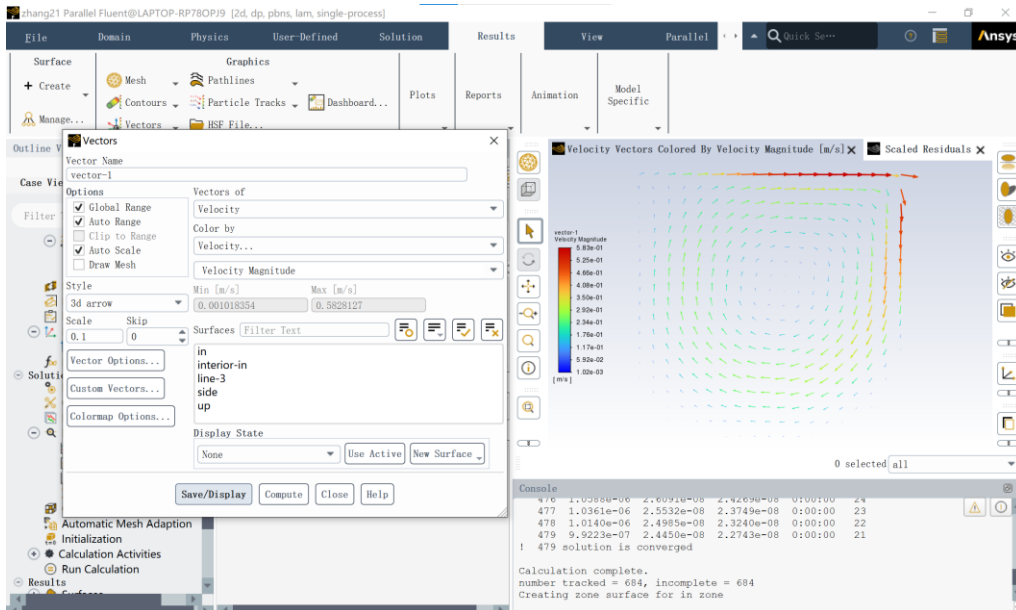
方腔中心线上的 x 方向的速度图：由于需要画出中心线上的速度图，而我们并没有预先设出这条线，因此需要在 Create 中的 Line 先定义出这样一条线。



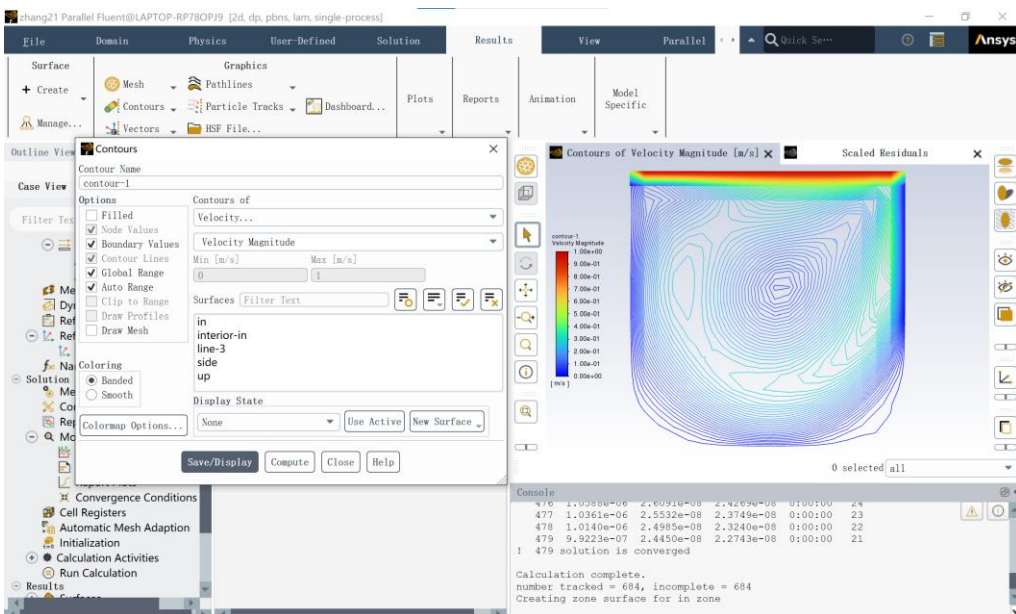
方腔内流场的流线图：



方腔内流场的速度矢量图：



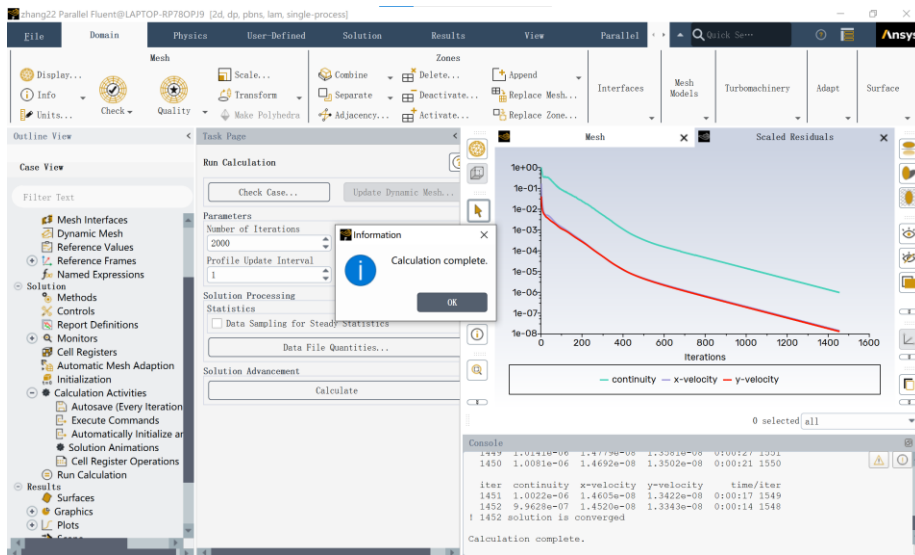
方腔内流场的速度等值线图：



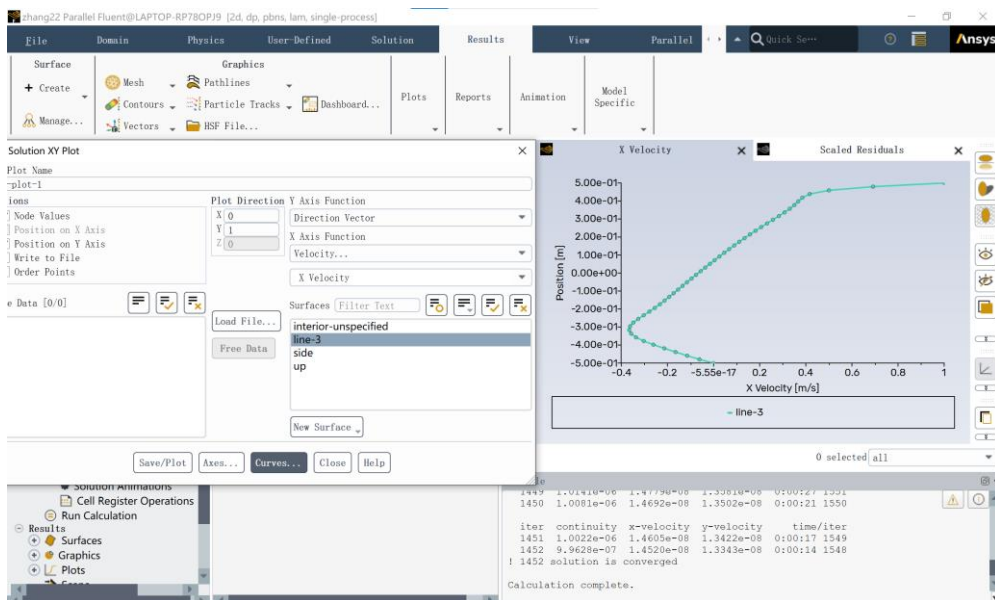
2.3 第二种网格数计算

同理，我们考虑 50 的网格划分，具体在 Fluent 中的操作方法与上一节相同，在此不做重复说明。图中所示就代表着结果运算完毕。我们发现运算到 1452 步时候就已经结束了，代表在 1452 步就已经达到了我们设定的截断条件。之后进行结果查看。

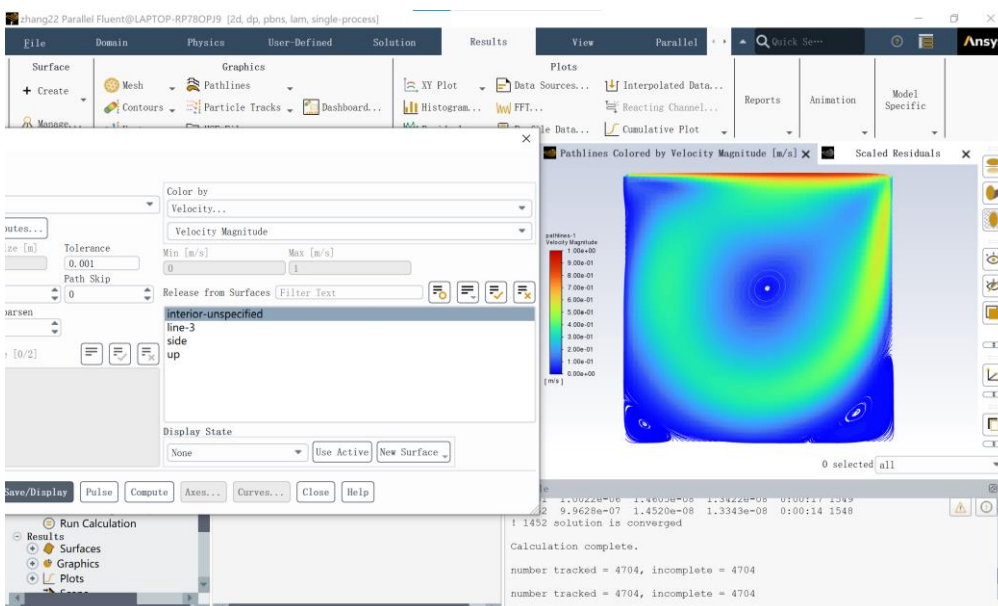
由于网格划分相较于前者划分的更细，因此运算所需要的时间与收敛步数更多。



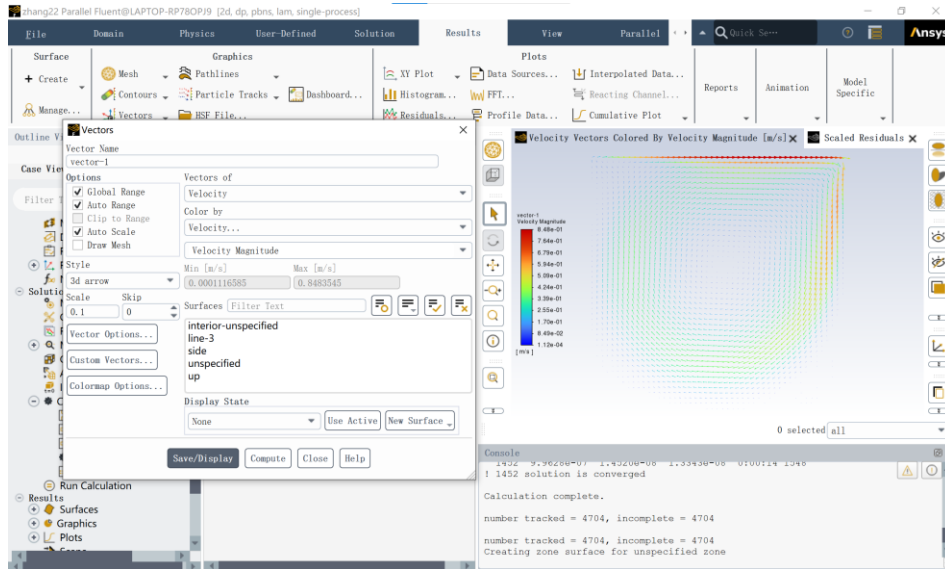
方腔中心线上的 x 方向的速度图：由于需要画出中心线上的速度图，而我们并没有预先设出这条线，因此需要在 Create 中的 Line 先定义出这样一条线。



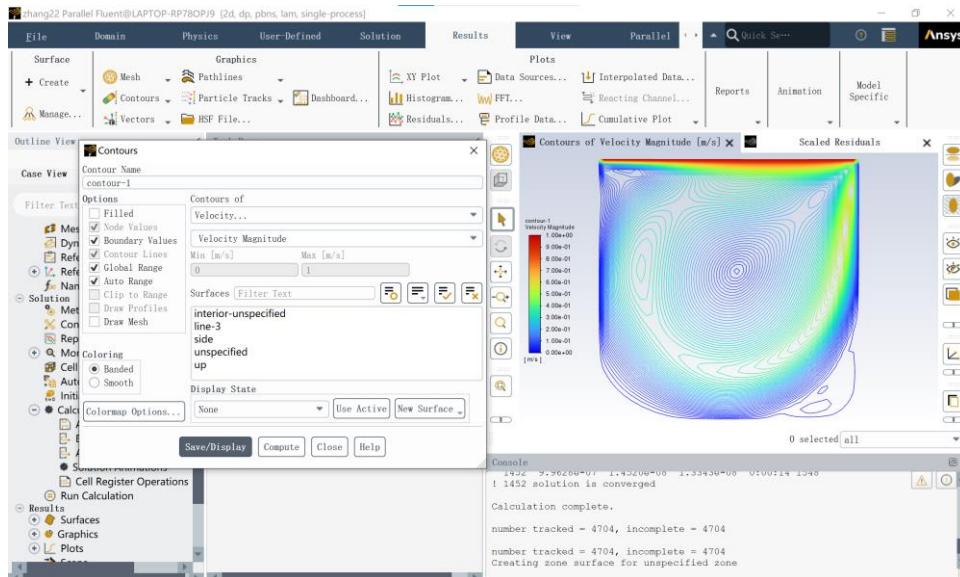
方腔内流场的流线图：



方腔内流场的速度矢量图：



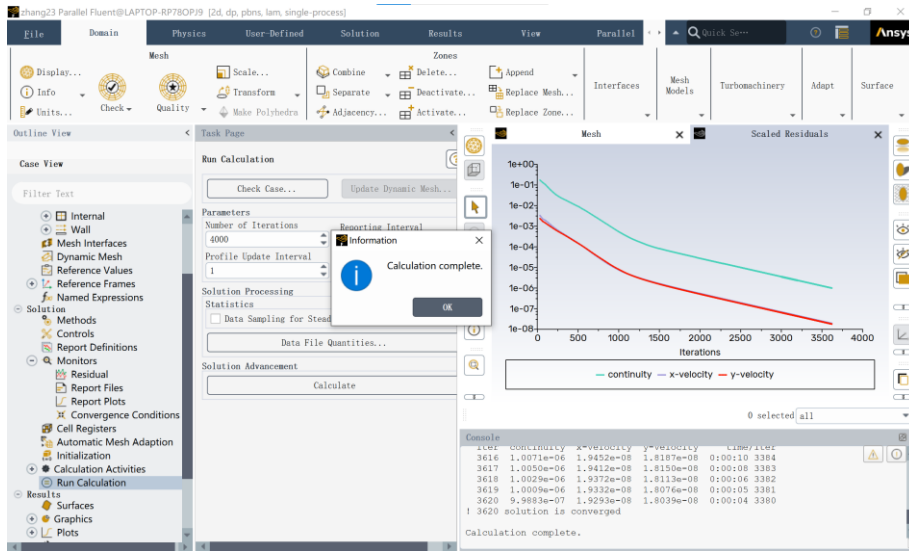
方腔内流场的速度等值线图：



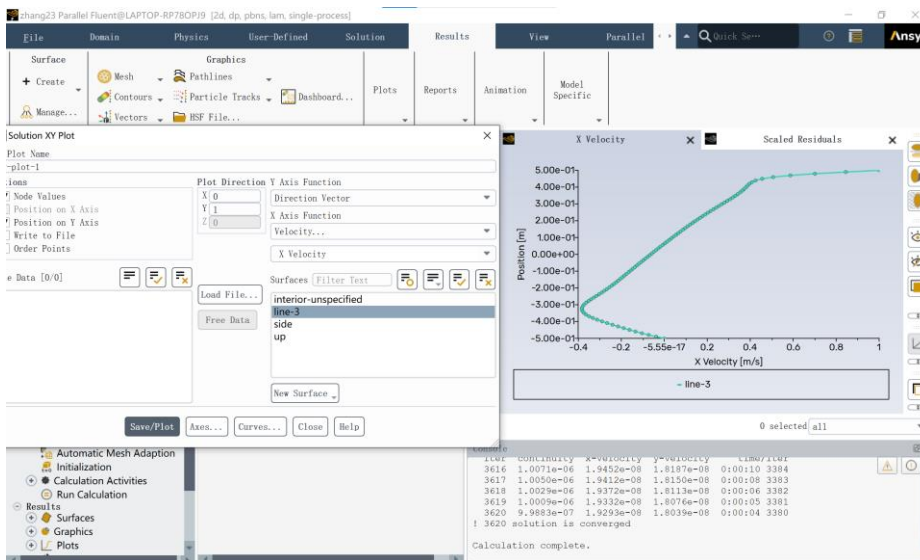
2.4 第三种网格数计算

同理，我们考虑 50 的网格划分，具体在 Fluent 中的操作方法与上一节相同，在此不做重复说明。图中所示就代表着结果运算完毕。我们发现运算到 3620 步时候就已经结束了，代表在 3620 步就已经达到了我们设定的截断条件。之后进行结果查看。

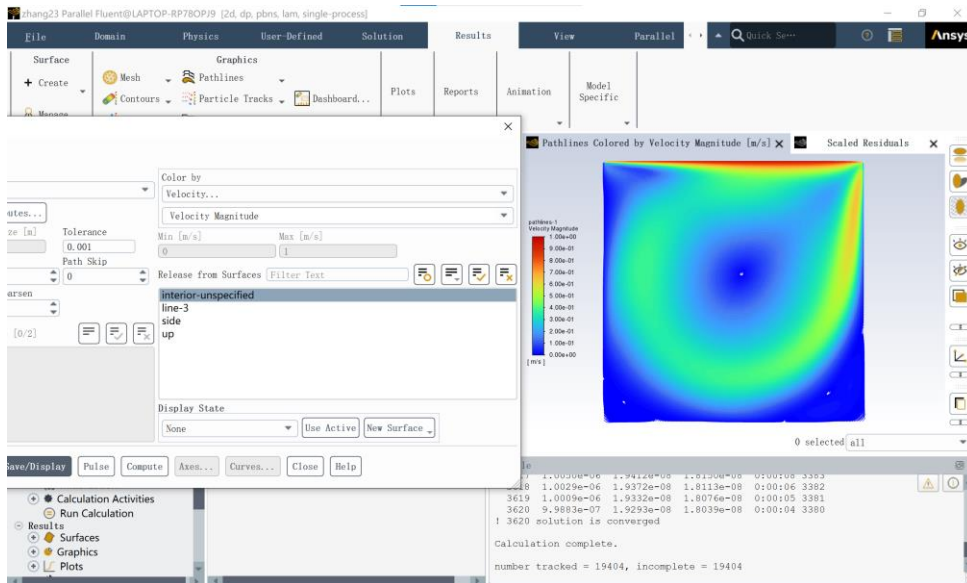
由于网格划分相较于前者划分的更细，因此运算所需要的时间与收敛步数更多。



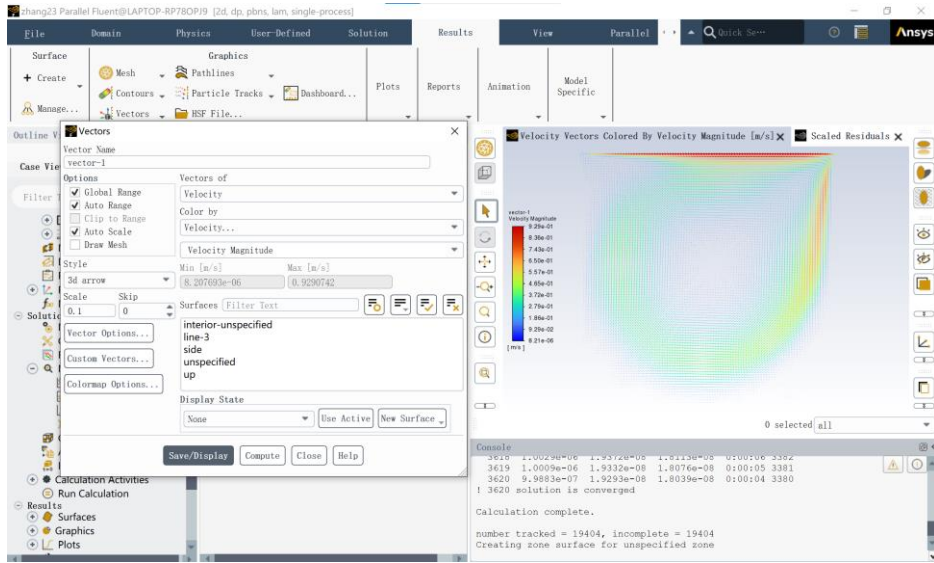
方腔中心线上的 x 方向的速度图：由于需要画出中心线上的速度图，而我们并没有预先设出这条线，因此需要在 Create 中的 Line 先定义出这样一条线。



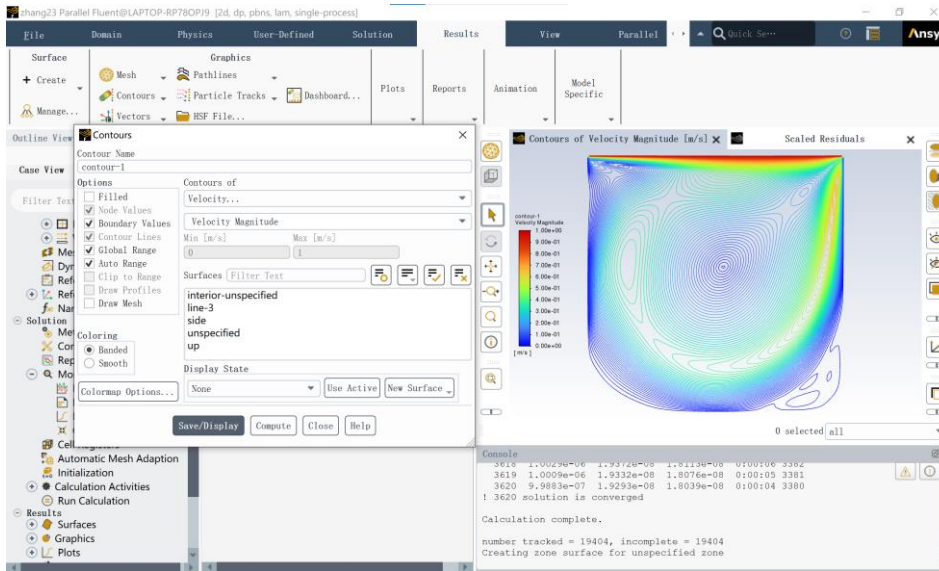
方腔内流场的流线图：



方腔内流场的速度矢量图：



方腔内流场的速度等值线图：

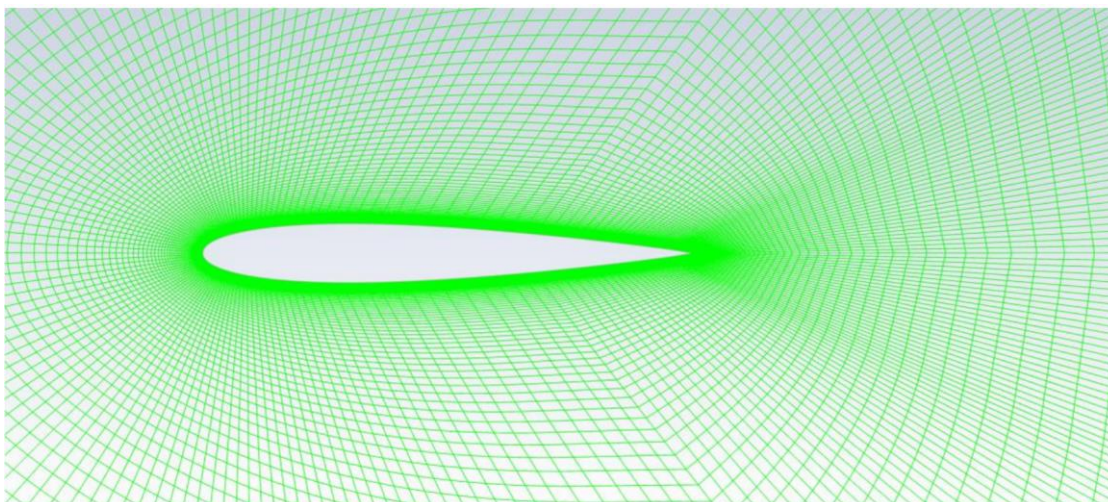


2.5 结果对比与分析

对于三种不同的网格划分，我们可以发现，显然对于更细的网格，我们得到的结果曲线更加光滑，更符合真实情况，但是所需要迭代的步数需要更多，为了达到预设的精度，我们在运算部分也需要增加运算的最大步数。

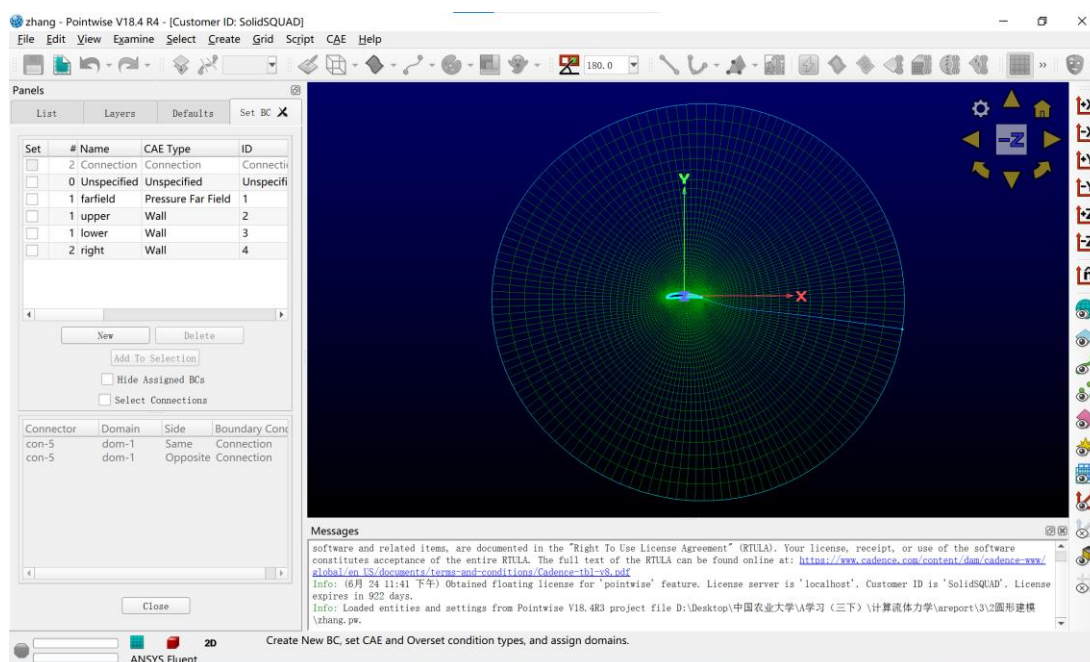
第三章 机翼绕流问题

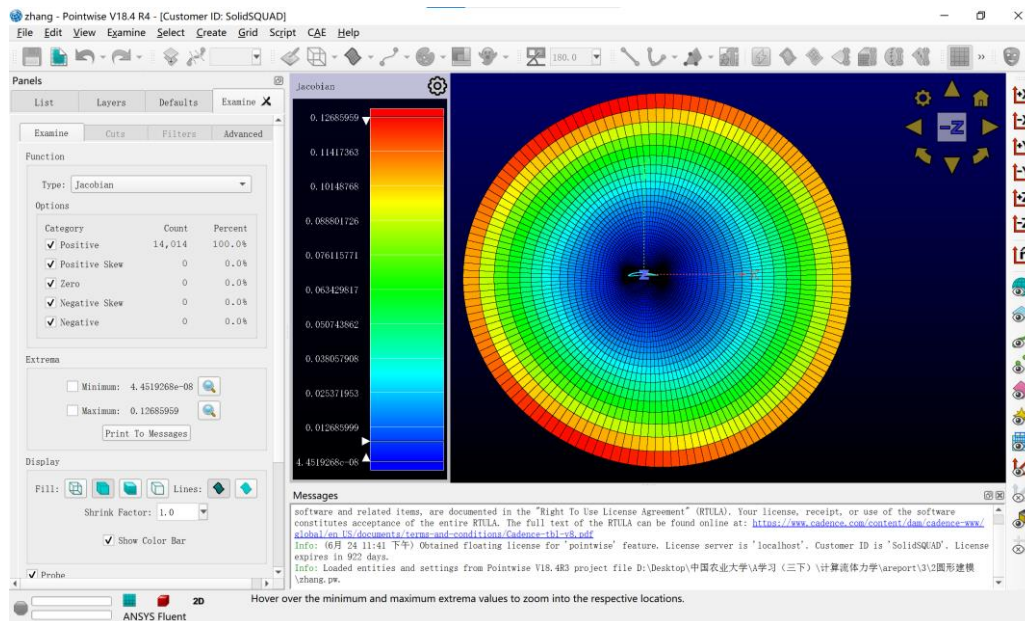
针对给定机翼几何外形，进行气动特性分析，飞行高度 $H = 15\text{Km}$ ，大气环境压力（来流压力） $p = 12111.8\text{Pa}$ ，大气环境温度（来流温度） $T = 216.65\text{K}$ 。飞行攻角（机翼与来流的夹角） $\alpha = 0^\circ$ 。



3.1 模型建立与网格划分

这个问题与前面两个相比，不再是一个封闭式的空间，而是一个敞开式的空间，属于外部流动问题。在这里，我们考虑两种模型，第一个为给定的 NACA0012 模型。第二个为在课堂上建立的 2D NACA 6412 Airfoil 模型。在此展示第二个模型的建立。





图中所示的为 2D NACA 6412 Airfoil 模型的边界条件及的网格划分、边界条件设置以及 Jacobian 检查。

3.2 第一种机翼模型计算

我们在打开 Fluent 后，导入 mesh 文件，启用双精度运行。在导入文件后，点击 Display 即可在 Fluent 中画出我们先前划分的网格。首先进行尺寸检验，确保尺寸大小是对的，确定没有负体积，在完成检验后，就可从头开始进行设置，该网格为远场边界条件，而不是固壁边界条件了：

Models: 针对该问题，该问题不是多相流，打开能量方程，对于粘性，我们考虑 1 eq 的情况，不考虑辐射、热传导、多组分、离散问题、颗粒流动问题、声学、结构等问题。

Materials: 考虑可压缩效应，采用理想空气 ideal-gas，粘度采用 sutherland 公式。

Boundary Conditions: Inlet 中的远场边界条件压力设置为大气环境压力，马赫数和温度按照题设设置。上下两个边界条件均为静止无滑移边界条件。由于前面的压力设置，我们需要对环境压力进行更改，在 Physics 中设置操作环境的压力为 0。

在进行设置完成后，我们进行求解部分：

Methods: 采用 Coupled 求解格式，二阶精度，利用二阶迎风插值。

Monitors: 由于采用迭代算法，因此需要设置残差，在此设置为 $10e-6$ 。

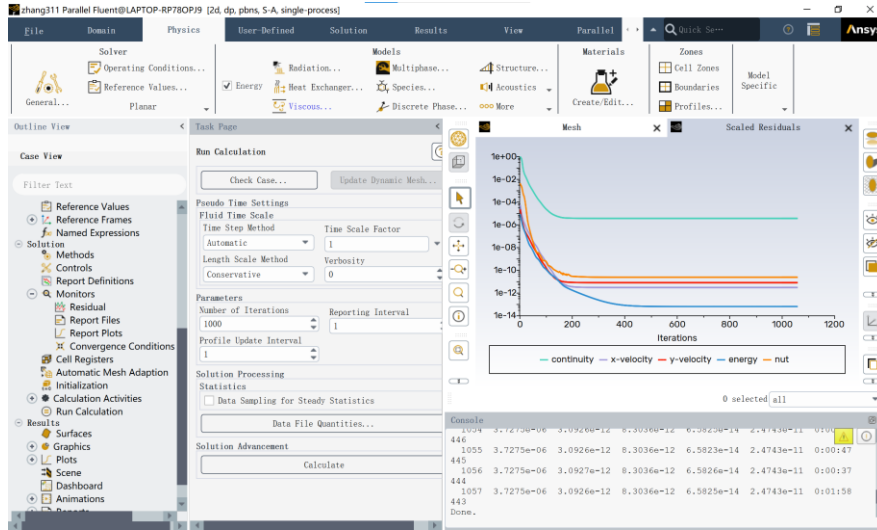
Initialization: 设置初始条件，采用远场条件作为全场初值条件，点击 Initialize 进行初始条件设置。

在完成这些后，整个设置部分就完成了，将文件输出为 Case 与 Data 文件之后进行计算：

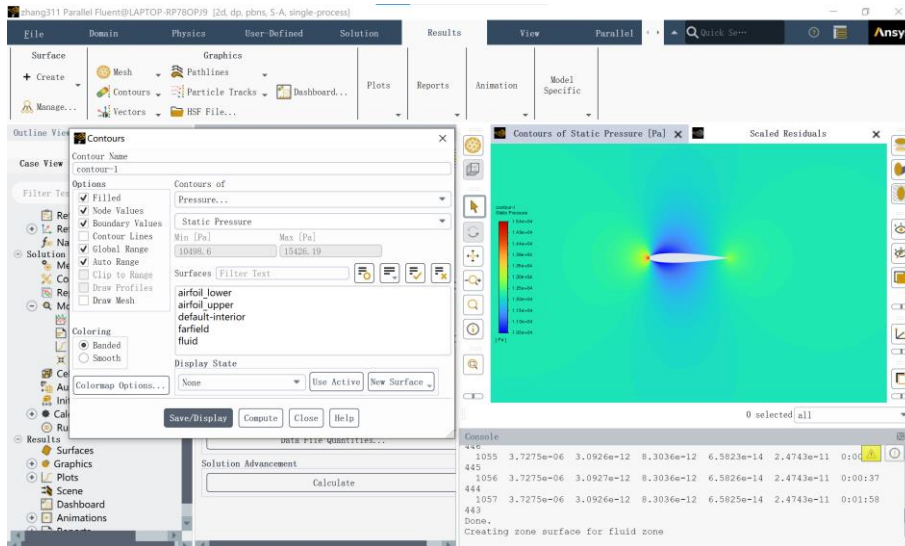
Calculation Activities: 我们设置计算步数为 1000，进行计算。在达到设定的截断条件后，程序会自动停止，否则的话达到设定的计算步骤时停止。

之后进行结果查看。

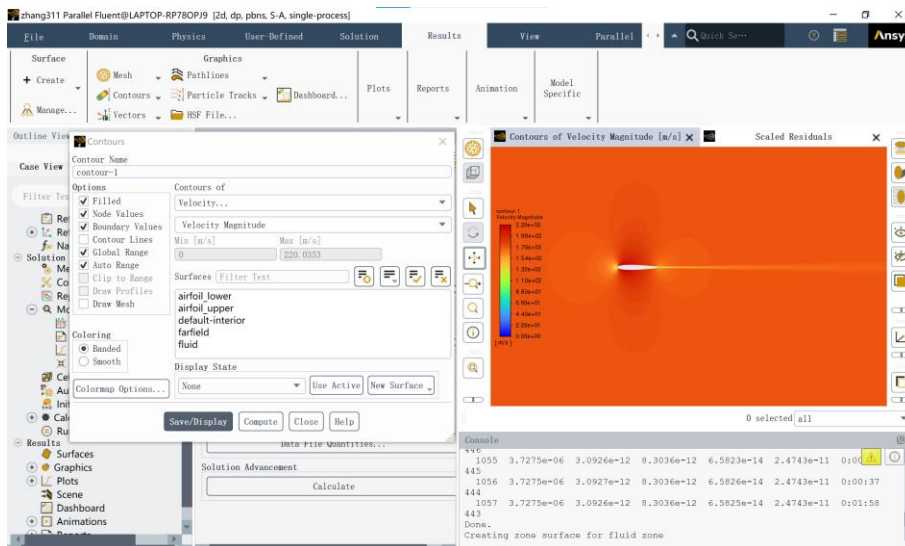
马赫数 0.6



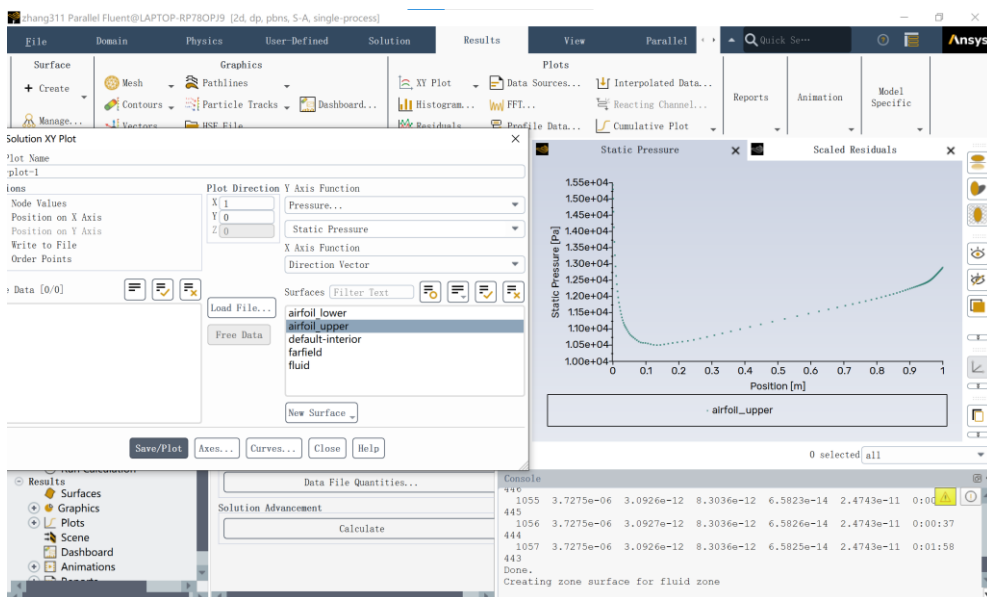
我们发现在大概五百多步时候残差就基本不变了，因此我们认为此时就已经是结果了。扰流流场的压力分布云图：前面压力高，膨胀，速度增大，压强减小，后面慢慢恢复。



扰流流场的速度分布云图：

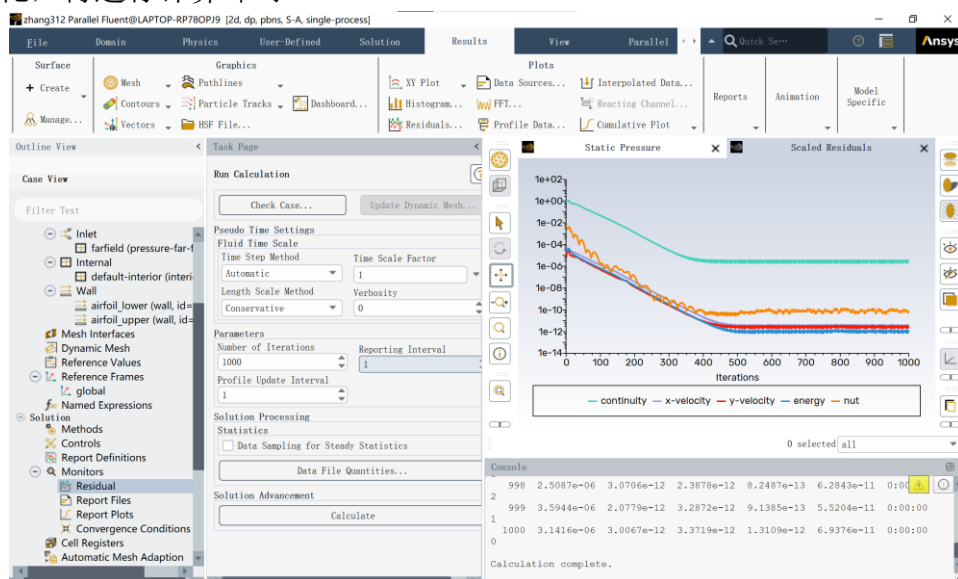


上表面压力分布曲线：



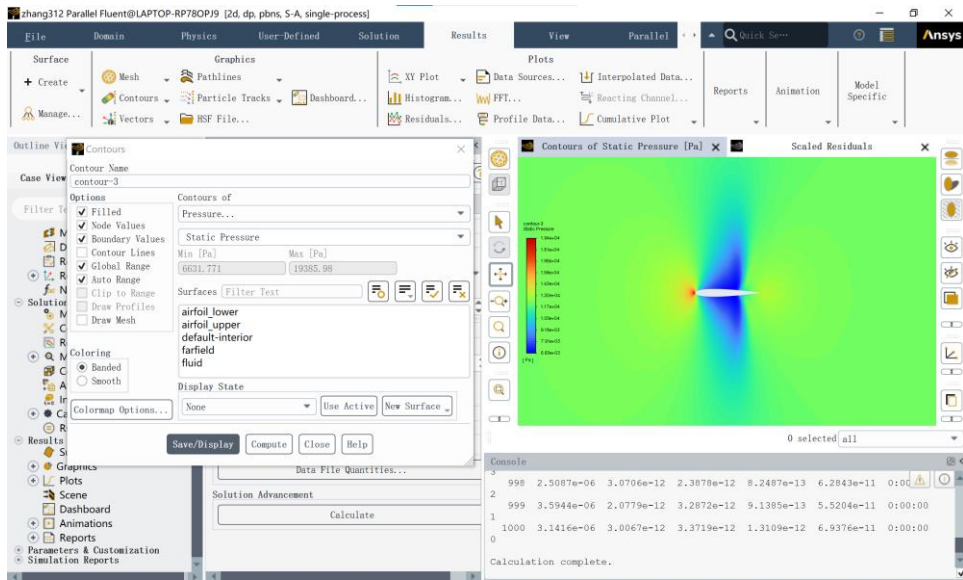
马赫数 0.85

针对于马赫数 0.85，我们只需要改变边界条件中的远场边界条件，把马赫数进行更改。然后进行初始化，再进行计算即可。

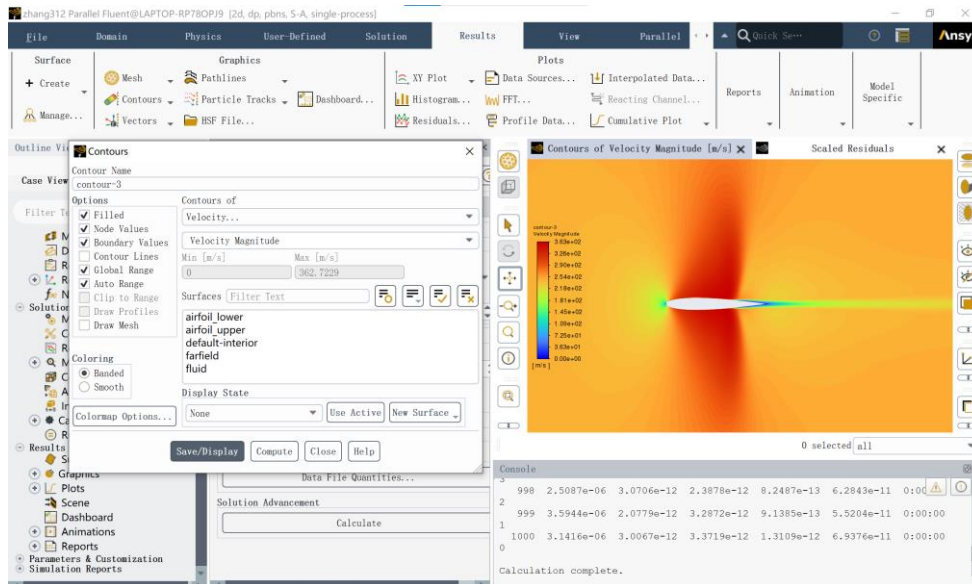


我们发现在大概五百多步时候残差就基本不变了，因此我们认为此时就已经是结果了。

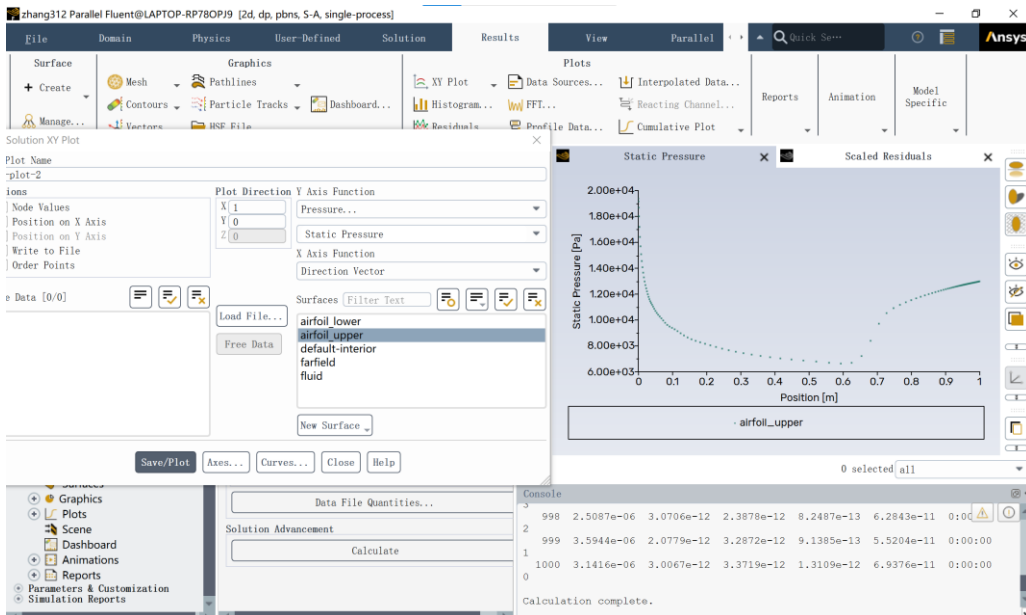
扰流流场的压力分布云图：此时的现象与前一种情况完全不同的，这是在逐渐向右过程中，流体受到机翼的压缩而压力逐渐降低，速度逐渐增加，增加到一定程度时候，速度已经超过了音速，形成了一道驻立的激波。



扰流流场的速度分布云图:



上表面压力分布曲线:

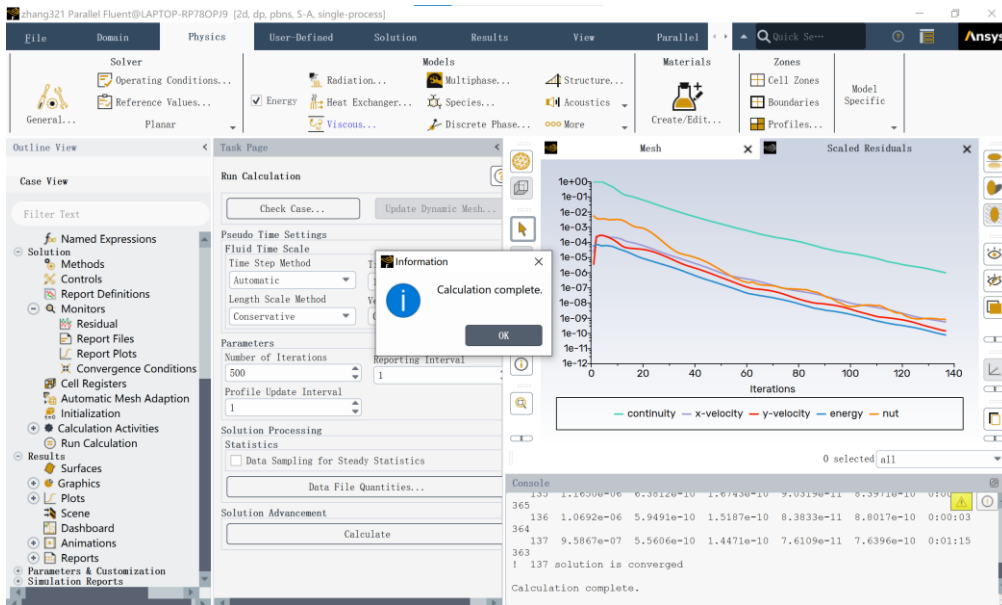


由于激波的存在，压力有一个间断，发生了阶跃的增加。这就是可压缩流体与不可压缩流体的区别。

3.3 第二种机翼模型计算

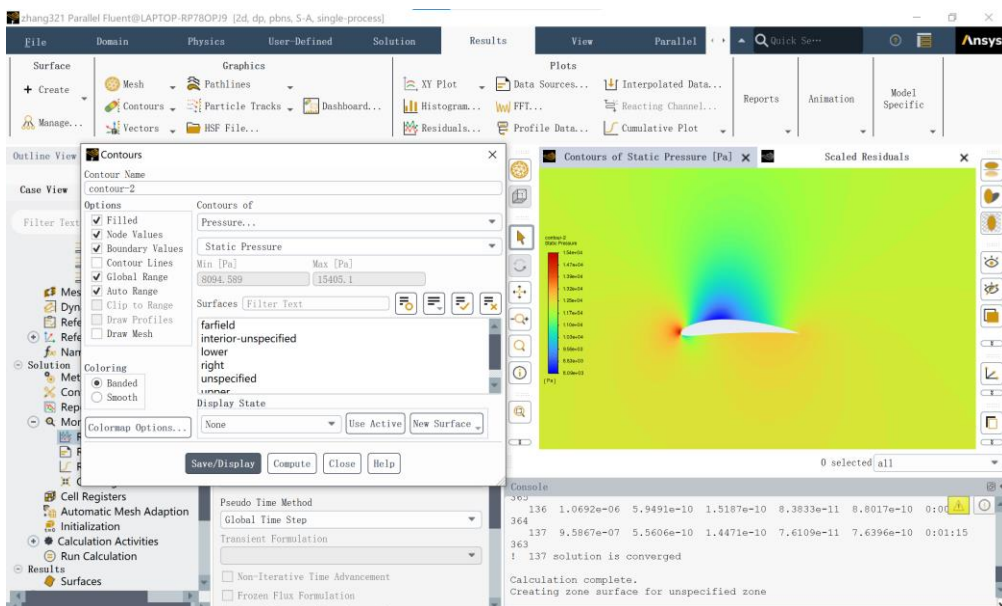
对于第二种网格，我们采用 2D NACA 6412 Airfoil 模型，该计算过程与前面类似，在此不做重复说明。

马赫数 0.6

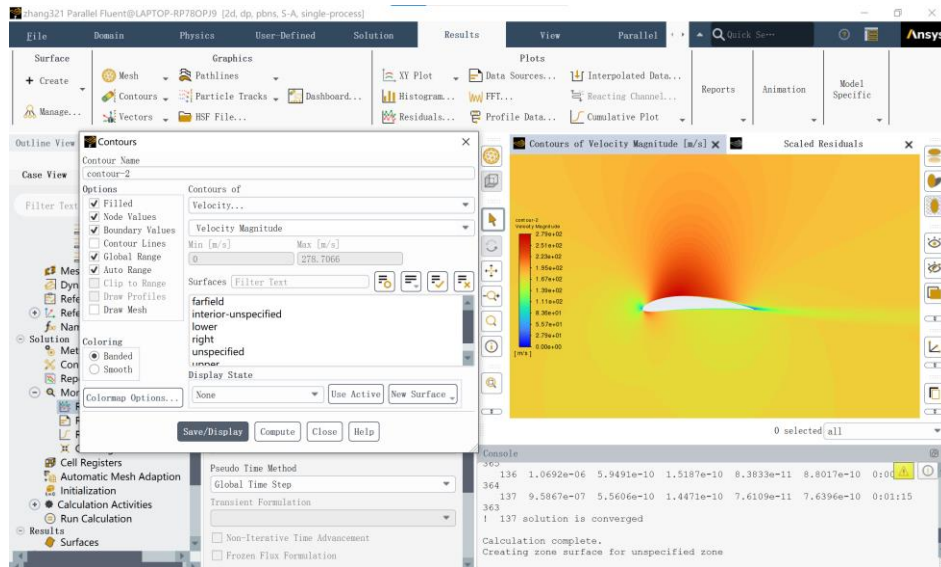


我们发现在 137 步时就已经达到了预设精度。

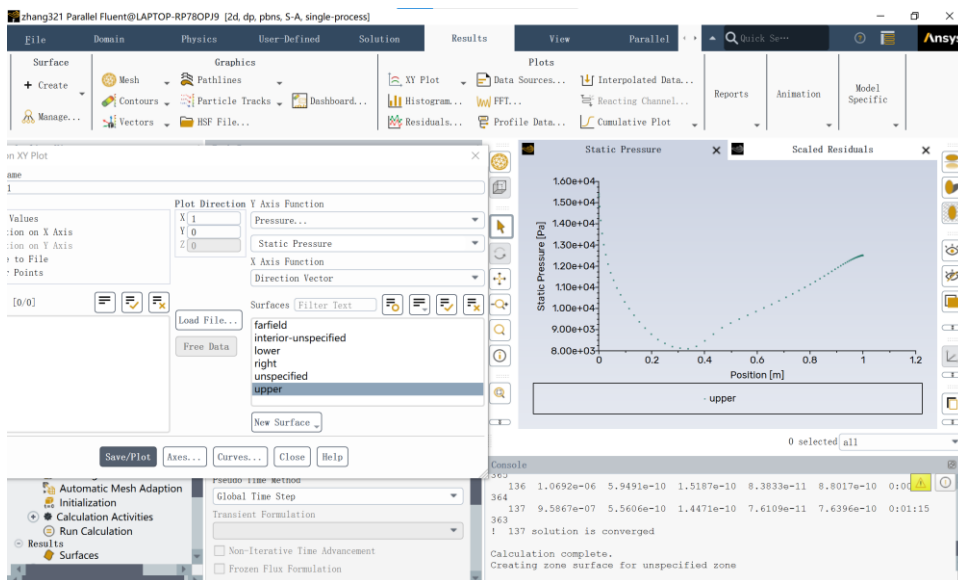
扰流流场的压力分布云图：



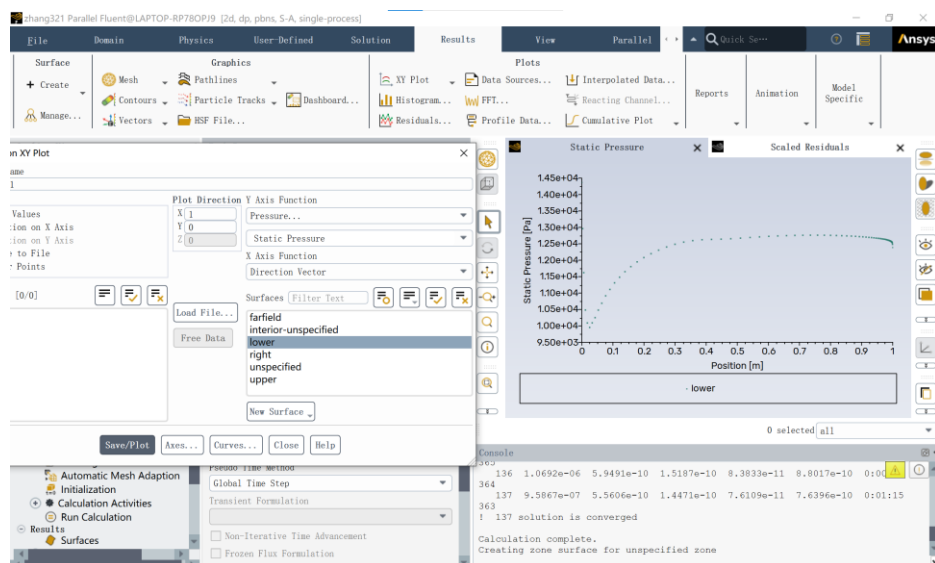
扰流场的速度分布云图：



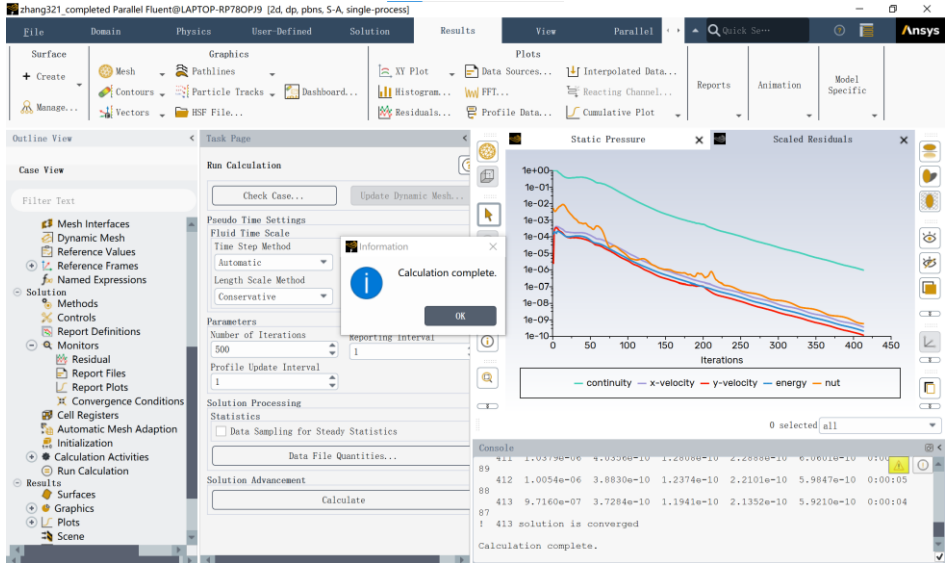
上表面压力分布曲线：



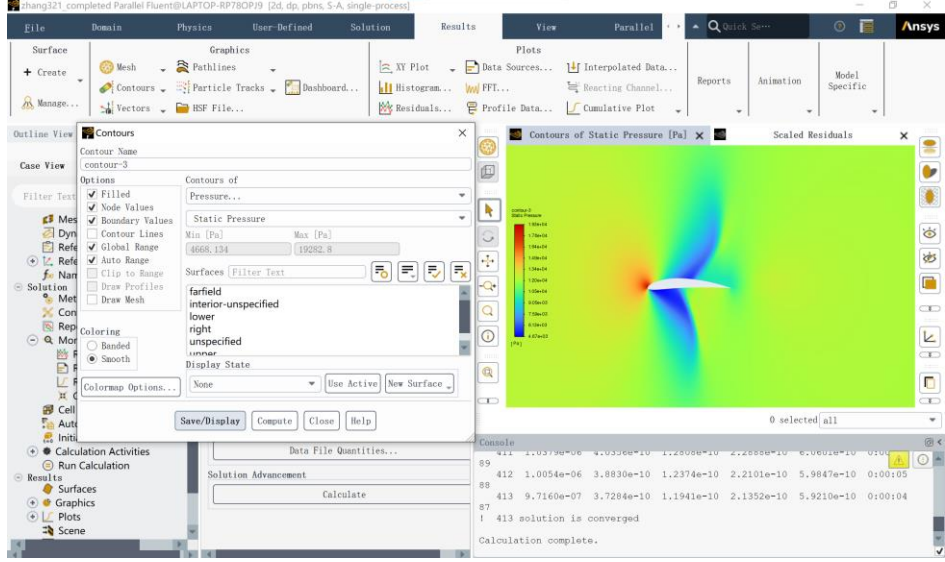
下表面压力分布曲线：



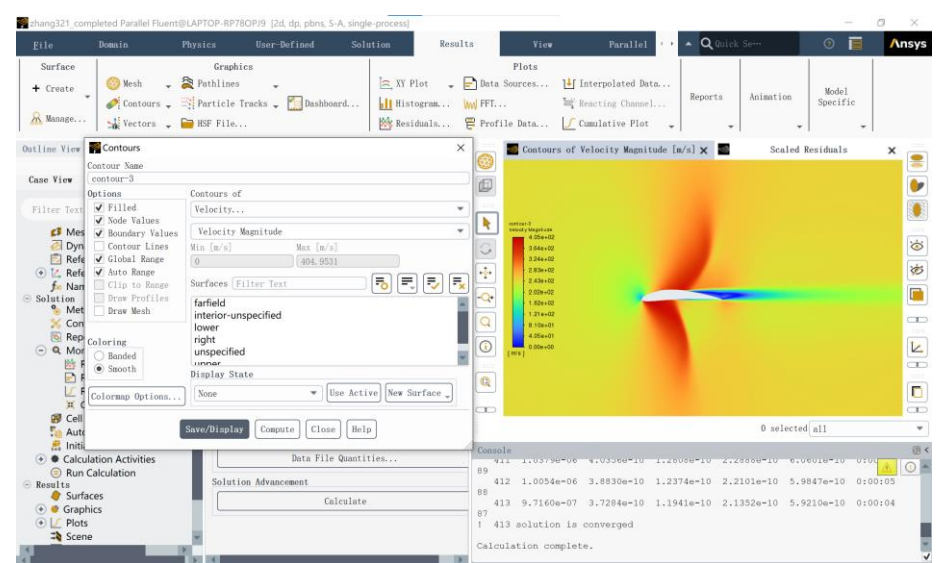
马赫数 0.85



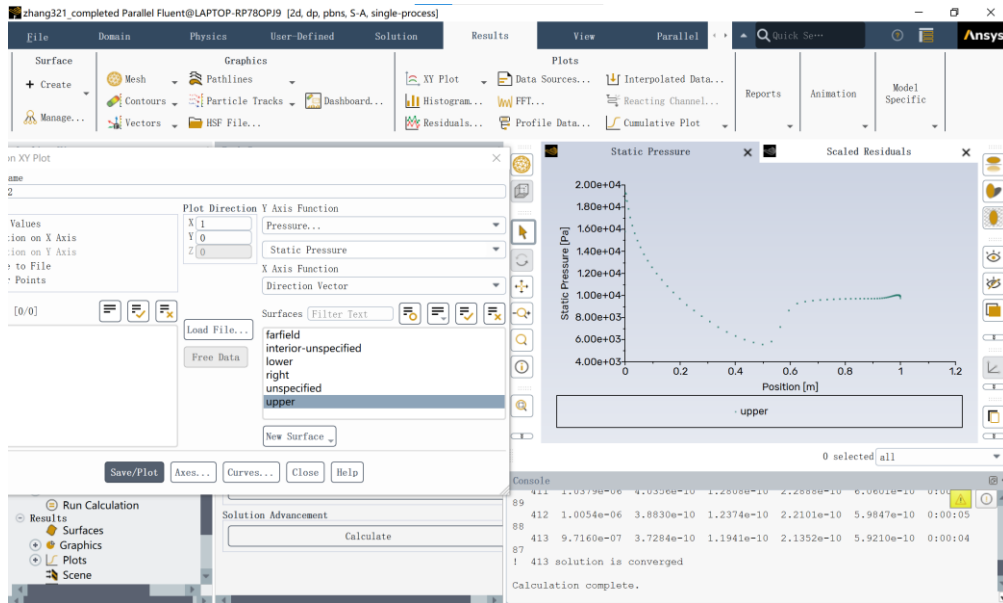
我们发现在 413 步时就已经达到了预设精度。
扰流流场的压力分布云图：



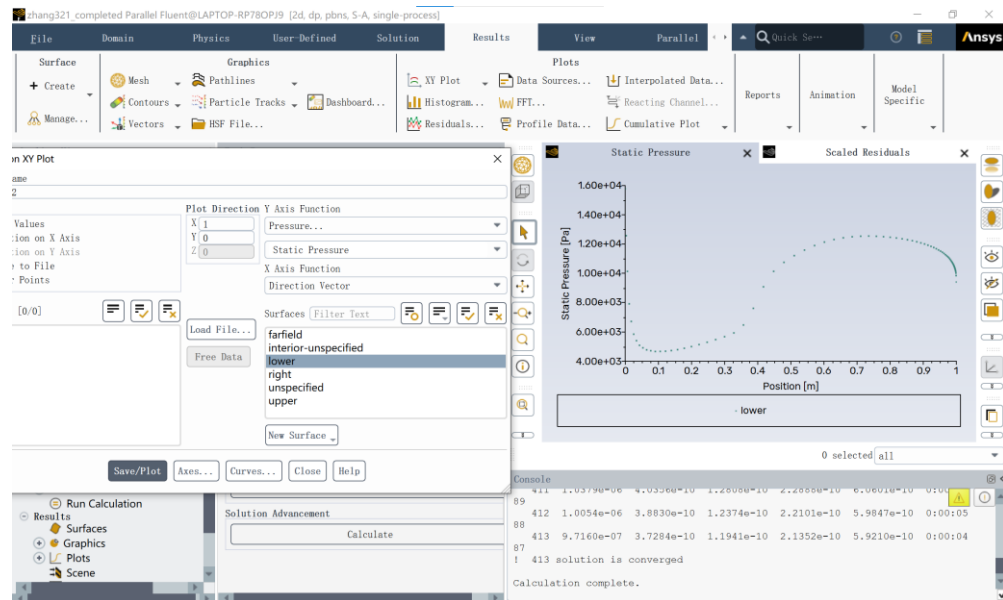
扰流流场的速度分布云图：



上表面压力分布曲线：



下表面压力分布曲线：



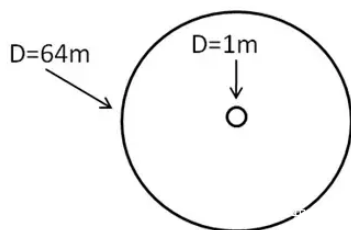
3.4 两种机翼模型结果对比

我们观察两种机翼模型，当马赫数较低时，前面压力高，膨胀，速度增大，压强减小，后面慢慢恢复；而对于马赫数较高时，在逐渐向右过程中，流体受到机翼的压缩而压力逐渐降低，速度逐渐增加，增加到一定程度时候，速度已经超过了音速，形成了一道驻立的激波，压力在那里会发生突变。

而对于第二种模型，结果收敛更快。由于第二种模型的上下并非对称的，因此体现出来的压力与速度图也不是对称的，这是与其结构有着很大的关系。

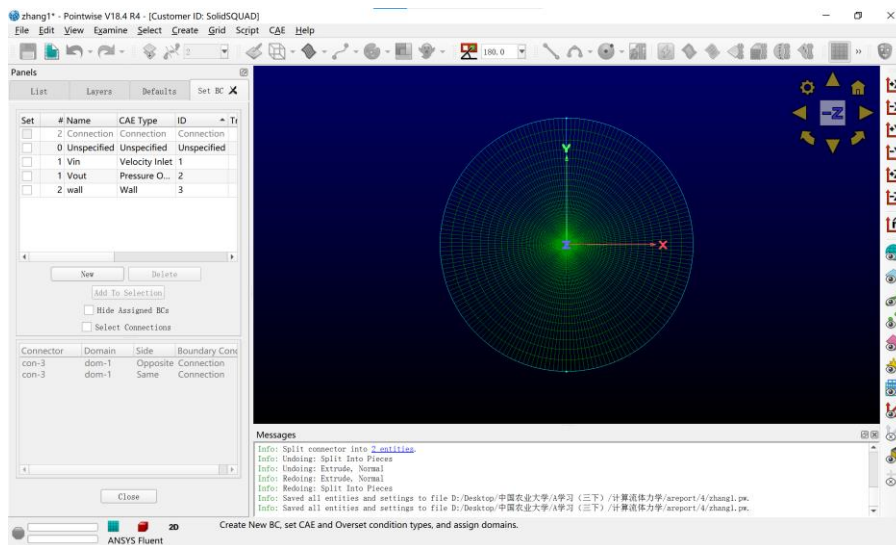
第四章 圆柱绕流问题

我们针对圆柱绕流问题，假设流体入口速度 $v = 1\text{m/s}$ ，粘度 $\mu = 0.002$ ，圆柱直径为 1m ，建立如图所示的流场。



4.1 模型建立与网格划分

我们利用 Pointwise 进行网格划分，采用结构化网格。左端半圆为入口边界条件，右边半圆为出口边界条件，中间圆柱为固壁边界条件。先做出中间的圆柱，再使用拓展进行法向拓展，做出整个计算域。



4.2 圆柱绕流结果

我们在打开 Fluent 后，选取利用 Pointwise 输出的 case 文件，启用双精度运行。在导入文件后，点击 Display 即可在 Fluent 中画出我们先前划分的网格。首先进行尺寸检验，确保尺寸大小是对的，确定没有负体积，在完成检验后，就可从头开始进行设置：

Models: 针对该问题，该问题不是多相流，针对该不可压缩问题也不需要考虑能量方程，

对于粘性，我们考虑 Laminar 的情况，不考虑辐射、热传导、多组分、离散问题、颗粒流动问题、声学、结构等问题。

Materials: 我们使用流体，新建一个该问题的流体。

Cell Zone Conditions: 双击该流体，选取设置好的流体，即设置完计算域的条件。

Boundary Conditions: 对于左边界为入口，入口水平速度即为来流速度，右边界为出口，中间圆柱为固壁。

在进行设置完成后，我们进行求解部分：

Methods: 采用 SIMPLE 算法，利用二阶迎风插值。

Monitors: 由于采用迭代算法，因此需要设置残差，在此设置为 $10e-6$ 。

Initialization: 设置初始条件，选取初试条件为 0，点击 Initialize 进行初始条件设置。

在完成这些后，整个设置部分就完成了，将文件输出为 Case 与 Data 文件之后进行计算：

Calculation Activities: 我们设置计算时间为 400，进行计算。在达到设定的截断条件后，程序会自动停止，否则的话达到设定的计算步骤时停止。

之后进行结果查看。

