

实验十一 流体分析

（一）实验目的

1. 熟悉并掌握 ANSYS 软件的使用方法；
2. 掌握如何利用 ANSYS 进行流体分析；

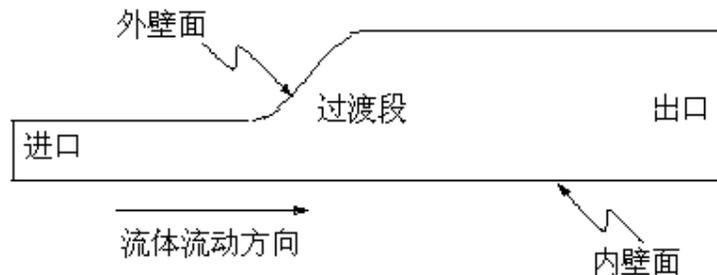
（二）实验设备和工具

安装有 ANSYS 软件的计算机

（三）实验原理

问题描述

该算例是一个二维的导流管分析，先分析一个雷诺数为 400 的层流情况，然后改变流场参数再重新分析，最后再扩大分析区域来计算其湍流情况。该算例所用单位制为国际单位制。分析区域图示如下：



分析方法及假定

用 FLUID141 单元来作二维分析，本算例作了如下三个分析：

- 雷诺数为 400 的假想流的层流分析
- 降低流体粘性后（即增大雷诺数）的假想流的层流分析
- 雷诺数约为 260000 的空气流的湍流分析

分析时假定进口速度均匀，并且垂直于进口流场方向上的流体速度为零。在所有壁上施加无滑移边界条件（即所有速度分量都为零）；假定流体不可压缩，并且其性质为恒值，在这种情况下，压力就可只考虑相对值，因此在出口处施加的压力边界条件是相对压力为零。

第一次分析时，流场为层流，着可以通过雷诺数来判定，其公式如下：

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

第二次分析时，将流体粘性降低到原来的十分之一（雷诺数相应增大）后再次在第一分析的基础上重新启动分析

对于内流来说，当雷诺数达到 2000 至 3000 时，流场即由层流过渡到湍流，故第三次分析（空气流，雷诺数约为 260000）时，流场是湍流。对于湍流分析，上图所示的导流管的后端应加长，以使流场能得到充分发展。此时，应在该次求解之前改变 ANSYS 的工作名以防止程序在上一次分析结果的基础上作重新启动分析。

几何尺寸及流体性质

进口段长度

4 m

进口段高度	1 m
过渡段长度	2 m
出口段高度	2.5 m
层流分析时出口段长度	6 m
湍流分析时出口段长度	12 m
假设流体密度	1 Kg/m ³
假设流体粘性	第一次分析 0.01Kg/m-s; 第二次分析 0.001 Kg/m-s
空气密度	1.205 Kg/m ³
空气粘性	1.8135*10 ⁻⁵ Kg/m-s
进口速度	2.0 m/s
出口压力	0 nt/m ²

(四) 实验步骤

第 1 步：进入 ANSYS

第 2 步：设置分析选择

- 1 进入 **Main Menu>Preference**
- 2 点取 FLOTRAN CFD 项
- 3 点取 OK

第 3 步：定义单元类型

- 1 进入 **Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete**
- 2 点取 Add
- 3 在弹出菜单的左框中点取 FLOTRAN CFD，右框中点取 2D FLOTRAN 141
- 4 点取 OK
- 5 点取 Close

第 4 步：生成分析区域的几何面

该步定义三个面：分别表示进口和出口的两个矩形面，以及一个表示过渡段的面。

- 1 生成进口段，进入 **Main Menu>Preprocessor>-Modeling>Create>-Areas-Rectangle>By Dimensions**
- 2 在弹出菜单中的相应区域输入以下值：
 - X1 处输入 0
 - X2 处输入 2
 - Y1 处输入 0
 - Y2 处输入 1
- 3 点取 Apply
- 4 生成出口段，再在上面弹出菜单中输入以下值：
 - X1 处输入 6
 - X2 处输入 12
 - Y1 处输入 0
 - Y2 处输入 2.5
- 5 点取 OK
- 6 在工具栏 (Toolbar) 窗口中点取 SAVE_DB
- 7 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Modeling>Create>Lines>Tan to 2 Lines**
- 8 点取左侧矩形的上面一条线作为第一条切线，再在点取菜单中点取 OK

- 9 点取该线的右端点作为第一切点，再在点取菜单中点取 OK
- 10 点取右侧矩形的上面一条线作为第二条切线，再在点取菜单中点取 OK
- 11 点取该线的左端点作为第二切点，再在点取菜单中点取 OK
- 12 在点取菜单中点取 Cancel。所生成的结果线是一条介于两个矩形之间的光滑曲线
- 13 进 入 **Main Menu>Preprocessor>-Modeling-Create>-Areas-Arbitrary>Through KPs**
- 14 分别点取介于两个矩形之间的光滑曲线上的两个端点，再点取左侧矩形的右下角和右侧矩形的左下角
- 15 点取 OK
- 16 在工具栏窗口中点取 SAVE_DB

第 5 步：定义单元形状

- 1 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Meshing->Mesher Opts**
- 2 将 Midside node placement 域改为 No Midside nodes，点取 OK
- 3 在弹出菜单中点取 QuadOnly
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Utility Menu>Plot>Lines**
- 6 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Meshing->Size Cntrls>-Lines->Picked Lines**
- 7 点取进口区（左侧矩形面）的上下两条直线
- 8 在点取菜单中点取 Apply
- 9 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 12
- 10 在弹出菜单的 Spacing ratio 域中输入-2
- 11 点取 Apply
- 12 点取过渡区（中间面）的上下两条线，并点取 Apply
- 13 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 9
- 14 在弹出菜单的 Spacing ratio 域中输入 1
- 15 点取 Apply
- 16 点取出口区（右侧矩形面）的上面一条直线，并点取 Apply
- 17 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 13 并在 Spacing ratio 域中输入 0.4
- 18 点取 Apply
- 19 点取出口区（右侧矩形面）的下面一条直线，并点取 Apply
- 20 在弹出菜单的 Spacing ratio 域中输入 2.5
- 21 点取 Apply
- 22 点取剩下的四条垂线，并点取 OK
- 23 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 10 并在 Spacing ratio 域中输入-2
- 24 点取 OK
- 25 在工具栏窗口中点取 SAVE_DB

第 6 步：划分有限元网格

- 1 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Meshing->Mesh>Areas>Free**
- 2 在点取菜单中点取 Pick All

第 7 步：生成并应用新的工具栏按钮

在做类似于该例的分析时，定义一些诸如能“自动选择出与某条线相关的所有节点”、“关闭坐标系符号的显示”等的工具栏按钮是非常有助于方便地建立模型的。这一步的目的就是建立两个分别实现上述功能的工具栏按钮

- 1 进入 **Utility Menu>Menu Ctrls>Edit Toolbar**
- 2 在弹出菜单中的***ABBR** 后输入 ns1,nsll,1
- 3 点取 Accept
- 4 在弹出菜单中的***ABBR** 后输入 tri,/triad,off
- 5 点取 Accept，然后点取 Close
- 6 在工具栏中点取刚生成好的 TRI 按钮，之后进入 **Utility Menu>Plot>Replot**，此

时，在图形窗口中，原来的坐标系符号就会消失了。

第 8 步：施加边界条件

在模型的进口处加 X 方向速度为 2、其它方向速度为零的进口速度条件；在所有壁面处加两个方向速度都为零的速度条件，在出口处加零压力边界条件

- 1 进入 **Utility Menu>Plot>Nodes**
- 2 进入 **Utility Menu>Select>Entities**
- 3 在弹出菜单中选择“Nodes”和“By Num/Pick”，并点取 OK
- 4 在弹出的选择菜单中选择“Box”
- 5 按住鼠标左键，在模型左侧进口边的所有节点周围拉出一个方框
- 6 点取 OK
- 7 进 入 **Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads->Apply>-Fluid/CFD->Velocity>On Nodes**
- 8 点取 Pick All
- 9 在弹出菜单的 VX 域输入 2，VY 域输入 0
- 10 点取 OK
- 11 进入 **Utility Menu>Plot>Lines**
- 12 进入 **Utility Menu>Select>Entities**
- 13 在弹出菜单中选择“Lines”和“By Num/Pick”，之后点取 OK
- 14 在图形窗口中点取表示上下六个壁面的六条线，之后点取选择菜单中的 OK
- 15 在工具栏菜单中点取 NSL 按钮，以选取上面六条线上的全部节点
- 16 进入 **Utility Menu>Plot>Nodes**
- 17 进 入 **Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads->Apply>-Fluid/CFD->Velocity>On Nodes**
- 18 点取 Pick All
- 19 在弹出菜单的 VX 域和 VY 域都输入 0
- 20 点取 OK
- 21 进入 **Utility Menu>Select>Everything**，然后再进入 **Utility Menu>Plot>Nodes**

- 22 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads->Apply->-Fluid/CFD->Pressure DOF>On Nodes**
- 23 在弹出的选择菜单中选择“Box”，按住鼠标左键，在模型右侧出口边的所有节点周围拉出一个方框
- 24 在弹出菜单中将压力值设为零
- 25 点取 OK
- 26 进入 **Utility Menu>Select>Everything**
- 27 在工具栏中点取 SAVE-DB

第 9 步：求解层流

该步首先建立流体性质，然后设置执行控制，并开始求解

- 1 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Fluid Properties**
- 2 将弹出菜单的“Density”域设为“Constant”，点取 OK
- 3 将恒值密度设为 1.0，恒值粘性设为 0.01
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Execution Control**
- 6 在弹出菜单的“Global iterations”域输入 20
- 7 点取 OK
- 8 进入 **Main Menu>Solution>Run FLOTRAN**，开始进行求解

第 10 步：观察层流分析的结果

- 1 进入 **Main Menu>General Postproc>-Read Results->Last Set**
- 2 进入 **Main Menu>General Postproc>Plot Results>Vector Plot>Predifined**
- 3 在弹出菜单中选择“DOF solution”和“Velocity V”
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Utility Menu>PlotCtrls>Device Options**
- 6 将向量模式(vector mode (wire frame))设为“ON”，之后点取 OK
- 7 进入 **Utility Menu>PlotCtrls>Style>Edge Options**
- 8 在弹出菜单的“Edge tolerance angle”域输入 1
- 9 将“Element Outline for non-contour/contour plots”域设为“Edge Only/All”
- 10 将“Replot upon OK/Apply”域设为“Replot”
- 11 点取 OK

第 11 步：确定流体粘性如何影响流场特性

诸如空气和水等常见流体的粘性都低于上例中的假想流体粘性。将该粘性缩小 10 倍将响应增大雷诺数。在本步中，返回 FLOTRAN 的输入步，改变粘性值，重新求解。分析将从上面结束处重新开始，并执行附加的 20 次总体迭代。

- 1 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Fluid Properties**
- 2 点取 OK
- 3 将粘性值改为 0.001
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Main Menu>Solution>Run FLOTRAN**，开始进行求解
- 6 可进行与上面第 10 步类似的结果观察

第 12 步：进行湍流分析

从低粘性分析的结果可以看出，回流区已延伸到出口边界之后，若希望流体在出口之前得到充分发展，则必须给其更多的空间，对于空气则尤其更应如此，因其粘性比上面的 0.001 还低。下面所进行的本算例的第二部分，就是紧接着上面的层流分析来作一个空气的湍流分析，此时要延长问题的求解区域并对延长部分重新划分网格、重新施加边界条件、并激活湍流模型。在求解之前，还必须改变工作名 (Jobname)。

- 1 删除压力边界条件，进入：**Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads->Delete>Fluid/CFD>Pressure DOF>On Nodes**，并在弹出菜单中选择“Pick All”
- 2 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Modeling->Create>-Areas->Rectangle>By Dimensions**
- 3 输入下面的座标值：
X1 处输入 12
X2 处输入 24
Y1 处输入 0
Y2 处输入 2.5
- 4 点取 OK
- 5 融合关键点，进入 **Main Menu>Preprocessor>NumberingCtrls>Merge Items**
- 6 将弹出菜单的“Type of item to merge”域设为“All”，然后点取 OK，忽略随后弹出的警告信息
- 7 进入 **Utility Menu>Plot>Lines**

第 13 步：对新的出口区划分网格

- 1 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Meshing->SizeCtrls>-Lines->Picked Lines**
- 2 点取新的出口区的最右侧的一条垂线，并点取 OK
- 3 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 10
- 4 在弹出菜单的 Spacing ratio 域中输入 -2
- 5 点取 Apply
- 6 点取新出口区的上下两条线
- 7 点取 OK
- 8 在弹出菜单的 No. of element divisions 域中输入 20 并在 Spacing ratio 域中输入 1
- 9 点取 OK，并在工具栏中点取 SAVE-DB
- 10 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Meshing->Mesh>Areas>Free**
- 11 点取新的出口区，并点取 OK
- 12 进入 **Utility Menu>Plot>Nodes**，图形显示节点

第 14 步：施加湍流分析的载荷

- 1 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads->Apply>-Fluid/CFD->Velocity>On Nodes**

- 2 在弹出的选择菜单中选择“Box”
- 3 按住鼠标左键，在还未施加边界条件的上壁面节点周围拉出一个矩形框，然后在还未施加边界条件的下壁面节点周围拉出一个矩形框
- 4 点取 OK
- 5 在弹出菜单的 VX 域和 VY 域都输入 0
- 6 点取 OK
- 7 进入 **Main Menu>Preprocessor>-Loads->-Loads->Apply->-Fluid/CFD->Pressure DOF>On Nodes**
- 8 在弹出的选择菜单中选择“Box”
- 9 在新的模型右侧出口边的所有节点周围拉出一个方框
- 10 点取 OK
- 11 在弹出菜单中将压力值设为零
- 12 点取 OK

第 15 步：改变 FLOTRAN 分析选项和流体性质

- 1 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Solution Options**
- 2 将弹出菜单的“Laminar or turbulent”域设为“Turbulent”
- 3 点取 OK
- 4 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Execution Control**
- 5 在弹出菜单的“Global iterations”域输入 60
- 6 点取 OK
- 7 进入 **Main Menu>Solution>FLOTRAN SetUp>Fluid Properties**
- 8 将弹出菜单的“Density”域设为“AIR”
- 9 点取 OK
- 10 确认所用的流体性质是 AIR，并点取 OK

第 16 步：进行求解

- 1 进入 **Utility Menu>File>Change Jobname**
- 2 在弹出的警告信息菜单中点取 Close
- 3 在弹出的修改工作名的菜单中输入“turb”作为新的工作名
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Main Menu>Solution>Run FLOTRAN**，开始进行求解

第 17 步：将流体速度结果以向量图和路径图的方式进行显示

- 1 进入 **Main Menu>General Postproc>-Read Results->Last Set**
- 2 进入 **Main Menu>General Postproc>Plot Results>Vector Plot>Predifined**
- 3 在弹出菜单中选择“DOF solution”和“Velocity V”
- 4 点取 OK
- 5 进入 **Utility Menu>Plot>Nodes**，图形显示节点
- 6 进入 **Main Menu>General Postproc>Path Operations>Define Path>By Nodes**
- 7 在图形窗口中，分别点取出口边的下面和上面两个节点
- 8 点取 OK，在弹出菜单的“Define Path Name”域中输入“path1”作为该路径

的名字，点取 OK，并关闭随后弹出的信息菜单

- 9 进入 **Main Menu>General Postproc>Path Operations>Map Onto Path**
- 10 在弹出菜单的“Label”域输入“Velocity”
- 11 在“Item to be mapped”域选择“DOF solution”和“Velocity VX”
- 12 点取 OK
- 13 进入 **Main Menu>General Postproc>Path Operations>-Plot Path Item->On Graph**
- 14 选择“Velocity”标号
- 15 点取 OK，该路径图显示出流场还是没有得到充分发展

第 18 步 绘制压力等值线图

- 1 进入 **Utility Menu>PlotCtrls>Style>Contours>Uniform Contours**
- 2 将“Number of contours”域设为 25
- 3 点取 OK
- 4 进入 **Main Menu>General Postproc>Plot Results>-Contour Plot->Nodal Solu**
- 5 在弹出菜单中，选择“DOF solution”和“Pressure PRES”
- 6 点取 OK，ANSYS 将显示出压力等值线图

第 19 步 退出 ANSYS

- 1 点取工具栏中的“QUIT”按钮，在弹出菜单中随意点取一项
- 2 点取 OK

(五) 实验结果及分析

完成模型建立及流体分析，完成实验报告。