

三维弹体喷流算例（结构网格计算）

1 算例概述

该算例主要用于验证风雷软件^[1,2]自定义边界，同时考察结构解算器对三维导弹喷流的计算能力。

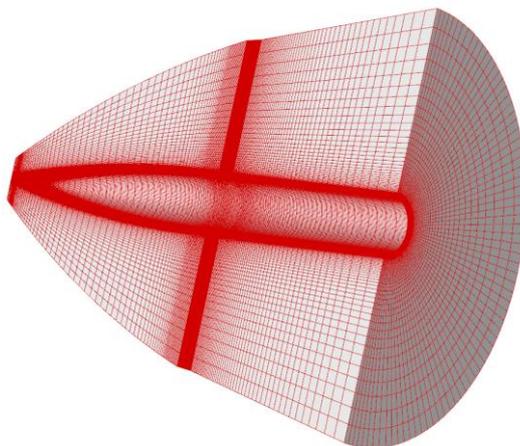
测试环境：8核并行。

- [1]. 赵钟, 等. 通用 CFD 软件 PHengLEI 设计 [J]. 计算机工程与科学, 2020, 42(2): 210-219. (Zhao Z, et al. Design of general CFD software PHengLEI [J]. Computer Engineering & Science, 2020, 42(2): 210-219. (in Chinese))
- [2]. 赵钟, 等. 适用于任意网格的大规模并行 CFD 计算框架 PHengLEI [J]. 计算机学报, 2018, 42(11): 2368-2383. (Zhao Z, et al. PHengLEI: A Large Scale Parallel CFD Framework for Arbitrary Grids [J]. Chinese Journal of Computers, 2018, 42(11): 2368-2383. (in Chinese))

2 计算条件

| | | | | |
|---------|-----------|-------|-------|---------|
| 马赫数 | 单位长度雷诺数 | 攻角 | 侧滑角 | 来流温度 |
| 3.33 | 8.22818E7 | 0 | 0 | 84.22 |
| 壁面 | 网格缩放比 | 参考展长 | 参考长度 | 参考面积 |
| 绝热壁面 | 0.001 | 0.415 | 0.415 | 0.00196 |
| 参考坐标 | | | | |
| (0,0,0) | | | | |

3 计算网格



约 111 万结构网格单元，包括自定义喷流边界，壁面边界，对称边界，极性轴，远场边界等主要边界条件。

4 参数设置

4.1 网格转换

网格转换：key.hypara + grid_para.hypara

命令：在可执行程序位置 shift+鼠标右键点击“在此处打开命令窗口”

输入 `mpirun -n 1 ./PHengLEIv3d0.exe` 进行网格转换

| 文件 | 参 数 | 值 | 备注 |
|------------------|-----------------------|-------------------------|----------|
| key.hypara | ndim | 3 | 空间维数 |
| | nparafile | 1 | 参数文件个数 |
| | nsimutask | 1 | 参数类型 |
| | string parafilename = | "/bin/grid_para.hypara" | 相应参数文件路径 |
| grid_para.hypara | int gridtype | 1 | 网格类型 |
| | axisup | 1 | 坐标方向 |
| | int from_gtype | 2 | 输入网格类型 |
| | string from_gfile | "/grid/ 3D_jet.cgns" | 指定输入网格路径 |

| | | | |
|--|------------------|---------------------|---------|
| | string out_gfile | "/grid/ 3D_jet.fts" | 指定输出格路径 |
|--|------------------|---------------------|---------|

网格转换完成后，grid 文件夹中会生成名为 3D_jet_0.fts 的.fts 格式网格文件。

4.2 边界条件

在网格转换操作结束需要对 bin 文件夹中新生成的 boundary_condition.hypara 文件进行边界参数修改，添加自定义边界类型及参数；图 1 和图 2 分别为 boundary_condition.hypara 文件喷流边界修改参数前后的效果。

```
int nBoundaryConditions = 6;
string bcName = "Solid";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "jet";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "Symmetry";
{
    int bcType = 3;
}
string bcName = "Farfield";
{
    int bcType = 4;
}
string bcName = "Outflow";
{
    int bcType = 6;
}
string bcName = "Pole";
{
    int bcType = 73;
}
```

图 1 修改前的 boundary_condition.hypara 文件

```

int nBoundaryConditions = 6;
string bcName = "Solid";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "jet";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 5;
    int inflowParaType = 9;
    double primDensity = 41.45637;
    double primU = 0.0;
    double primV = 0.543918;
    double primW = 0.0;
    double primPressure = 8.76743560;
}
string bcName = "Symmetry";
{
    int bcType = 3;
}
string bcName = "Farfield";
{
    int bcType = 4;
}
string bcName = "Outflow";
{
    int bcType = 6;
}
string bcName = "Pole";
{
    int bcType = 73;
}

```

图 2 修改后的 boundary_condition.hypara 文件

注:关于更多其它自定义边界相关参数设置可参照 examples/bin 这个路径下的 boundary_condition.hypara 文件。

4.3 网格分区

网格分区: key.hypara + partition.hypara

命令: 在可执行程序位置 shift+鼠标右键点击“在此处打开命令窗口”

输入 `mpirun -n 1 ./PHengLEIv3d0.exe` 进行网格分区

| 文件 | 参数 | 值 | 备注 |
|------------------|---------------------------|--------------------------|-----------|
| key.hypara | ndim | 3 | 空间维数 |
| | nparafile | 1 | 参数文件个数 |
| | nsimutask | 3 | 参数类型 |
| | string parafilename = | "/.bin/partition.hypara" | 相应参数文件路径 |
| partition.hypara | int pgridtype | 1 | 网格类型 |
| | int macproc | 8 | 分区数 |
| | string original_grid_file | "/.grid/ 3D_jet.fts " | 分区前网格文件路径 |

| | | |
|----------------------------|-------------------------|---------------|
| string partition_grid_file | "/grid/ 3D_jet__8.fts " | 分区前网格文件 路径 |
| int numberOfMultigrid | 1 | 多重计算分区 |

网格分区完成后，grid 文件夹中会新生成名为 3D_jet__8__0.fts 分区后的.fts 格式网格文件。

4.4 CFD 计算

CFD 计算：

key.hypara + cfd_para_supersonic.hypara+boundary_condition.hypara

命令：在可执行程序位置 shift+鼠标右键点击“在此处打开命令窗口”

输入 mpiexec -n 8 ./PHengLEIv3d0.exe 进行计算

| 文件 | 参 数 | 值 | 备注 |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| key.hypara | ndim | 3 | 空间维数 |
| | nparafilename | 1 | 参数文件个数 |
| | nsimutask | 0 | 参数类型 |
| | string parafilename = | "/bin/cfd_para_supersonic.hypara" | 计算参数文件路径 |
| boundary_condition.hypara | - | - | 采用网格转换后修改好的文件 |
| cfd_para_supersonic.hypara | maxSimuStep | 50000 | 迭代计算步数 |
| | intervalStepFlow | 2000 | 流场文件步数 |
| | intervalStepPlot | 500 | 可视化输出步数 |
| | intervalStepForce | 100 | 气动力输出步数 |
| | intervalStepRes | 10 | 残差输出步数 |
| | refMachNumber | 3.33 | 来流马赫数 |
| | attackd | 0.00 | 来流攻角 |
| | angleSlide | 0.00 | 侧滑角 |
| | refReNumber | 8.22818E7 | 来流单位雷诺数 |
| | refDimensionalTemperature | 84.22 | 来流温度 |
| | gridScaleFactor | 0.001 | 网格缩放比 |
| | forceReferenceLengthSpanWise | 0.415 | 参考展长 |
| | forceReferenceLength | 0.415 | 参考长度 |
| | forceReferenceArea | 0.00196 | 参考面积 |
| TorqueRefX | 0.0 | 参考坐标 | |

| | | |
|-------------------------|-------------------|-----------------|
| TorqueRefY | 0.0 | |
| TorqueRefZ | 0.0 | |
| viscousType | 4 | NS 方程类型 |
| viscousName | 2eq-kw-menter-sst | 粘性类型 |
| string str_scheme_name | steger | 结构网格: |
| string str_limiter_name | minvan | 空间离散格式 限制器类型 |
| string uns_limiter_name | - | 非结构网格: |
| double venkatCoeff | | 限制器类型 限制器系数 |
| iunsteady | 0 | 定常/非定常计算 |
| CFLend | 5.0 | CFL 终止步 |
| nMGLevel | 1 | 多重网格数 |

5 结论