

三维 NASA Rotor67 算例（非结构网格）

1 算例概述

NASA Rotor 67 是一个跨声速压气机转子叶片,其在 33.25 kg/s 的流量下设计压比为 1.63, 一圈共有 22 个叶片, 设计转速为 16 043 r/min, 叶尖转速达到 429 m/s, 叶尖的相对马赫数为 1.38。由于其存在相对较为详实的实验数据, 此算例被广泛用于检验 CFD 软件的准确性。这里主要用于验证风雷软件的多参考系模型功能。

测试环境: 6 核并行。

- [1]. 赵钟, 等. 风雷 (PHengLEI) 通用 CFD 软件设计[J]. 计算机工程与科学, 2020, 42(2): 210-219. (Zhao Zhong, 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, 2019, 42(11): 2368-2383. (Zhao Zhong, et al. PHengLEI: A Large Scale Parallel CFD Framework for Arbitrary Grids [J]. Chinese Journal of Computers, 2019, 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 |
| 0.2 | 6e6 | 0 | 0 | 288 |
| 壁面 | 参考展长 | 参考长度 | 参考面积 | 参考点 |
| 绝热壁面 | 1 | 1 | 1 | (0,0,0) |

3 计算网格

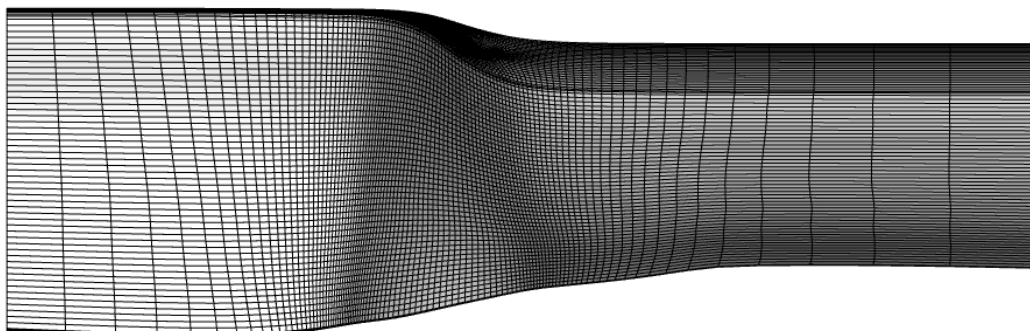


图1 计算网格

计算网格如图 1 所示，总网格量约 20 万。在计算时采用压力进出口边界，其中进口边界为标准大气条件，通过改变出口压力来获得不同工况下压气机的性能。

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 `mpiexec -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 |
| | nsimutask | 1 | 任务类型 |
| | parafilename | "/bin/grid_para.hypara" | 参数文件路径 |
| grid_para.hypara | gridtype | 0 | 网格类型 |
| | nAxisRotateTimes | 0 | 坐标轴旋转次数 |
| | axisRotateOrder[] | [1, 2, 3] | 坐标轴旋转顺序 |
| | axisRotateAngles[] | [0.0, 0.0, 0.0] | 坐标轴旋转角度 |

| | | | |
|--|---------------------|------------------|----------|
| | from_gtype | 2 | 输入网格数据类型 |
| | from_gfile | "/grid/R67.cgns" | 输入网格路径 |
| | out_gfile | "/grid/R67.fts" | 输出网格路径 |
| | periodicType | 2 | 周期边界类型 |
| | translationLength[] | [0.0,0.0,0.0] | 平移长度 |
| | rotationAngle | 16.363636 | 旋转角度 |

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，添加相应边界类型及参数；图 1 和图 2 分别为 boundary_condition.hypara 文件自定义入口边界（inlet1）和出口边界（outlet）修改参数前后的效果。

```

int nBoundaryConditions = 5;
string bcName = "blade";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "hub";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "shroud";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "inlet";
{
    int bcType = 5;
}
string bcName = "outlet";
{
    int bcType = 6;
}

```

图 1 修改前的 boundary_condition.hypara 文件

```

int nBoundaryConditions = 5;
string bcName = "blade";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "hub";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "shroud";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "inlet";
{
    int bcType = 52;
    double totalPressure = 101325;
    double totalTemperature = 288;
    double direction_inlet[] = 1,0,0;
    int directionMethod = 0;
}
string bcName = "outlet";
{
    int bcType = 62;
    double staticPressure = 100000 ;
}

```

图 2 修改后的 boundary_condition.hypara 文件

4.3 网格分区

网格转换: 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 `mpiexec -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 |
| | nsimutask | 3 | 参数类型 |
| | string parafilename = | "/bin/partition.hypara" | 相应参数文件路径 |
| partition.hypara | int pgridtype | 0 | 网格类型 |
| | int macproc | 6 | 分区数 |
| | string original_grid_file | "/grid/ R67.fts" | 分区前网格文件路径 |
| | string partition_grid_file | "/grid/ R67__6.fts" | 分区前网格文件路径 |
| | int numberOfMultigrid | 1 | 多重计算分区 |
| | periodicType | 2 | 周期边界类型 |
| | translationLength[] | [0.0,0.0,0.0] | 平移长度 |
| rotationAngle | 10 | 旋转角度 | |

4.4 CFD 计算

CFD 计算: key.hypara + cfd_para_subsonic.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 6 ./PHengLEIv3d0.exe` 进行计算

| 文件 | 参 数 | 值 | 备注 |
|----------------------|------------------------------|---------------------------------|---------|
| key.hypara | ndim | 3 | 空间维数 |
| | nsimutask | 0 | 任务类型 |
| | parafilename | "/bin/cfd_para_subsonic.hypara" | 参数文件路径 |
| | maxSimuStep | 4000 | 迭代计算步数 |
| | intervalStepFlow | 200 | 流场输出间隔 |
| | intervalStepPlot | 200 | 可视化输出间隔 |
| | intervalStepForce | 20 | 气动力输出间隔 |
| | intervalStepRes | 10 | 残差输出间隔 |
| | refMachNumber | 0.2 | 来流马赫数 |
| | attackd | 0.0 | 攻角 |
| | angleSlide | 0.0 | 侧滑角 |
| | inflowParaType | 0 | 来流条件 |
| | refReNumber | 6e6 | 来流单位雷诺数 |
| | refDimensionalTemperature | 288 | 来流温度 |
| | gridScaleFactor | 1 | 网格缩放比 |
| | forceReferenceLengthSpanWise | 1.0 | 参考展长 |
| forceReferenceLength | 1.0 | 参考长度 | |

| | | | |
|---------------------------------------|------------------------|---|-------------------|
| cfid_para_ subsonic.hypara | forceReferenceArea | 1.0 | 参考面积 |
| | TorqueRefX | 0.0 | 参考坐标 |
| | TorqueRefY | 0.0 | |
| | TorqueRefZ | 0.0 | |
| | viscousType | 3 | NS 方程类型 |
| | viscousName | SA | 粘性类型 |
| | roeEntropyFixMethod | 3 | 熵修正 |
| | roeEntropyScale | 1.0 | (相关参数) |
| | string uns_scheme_name | roe | 离散格式 |
| | uns_limiter_name | vencat | 限制器 |
| | venkatCoeff | 0.5 | 限制器系数 |
| | iunsteady | 0 | 定常计算 |
| | CFLEnd | 5 | 终止库朗数 |
| | nLUSGSSweeps | 1 | LUSGS 扫描步数 |
| | flowInitStep | 100 | 流场初始化步数 |
| | plotFieldType | 1 | 流场仅输出边界 |
| | nVisualVariables | 15 | 可视化流场 变量输出 |
| | visualVariables[] | [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 15, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44] | |
| | reconmeth | 1 | 通量计算限制器 (相关参数) |
| | limitVariables | 0 | |
| limitVector | 0 | | |
| periodicType | 2 | 周期边界类型 | |
| translationLength[] | [0.0, 0.0, 0.0] | 平移长度 | |
| rotationAngle | 16.363636 | 旋转角度 | |
| referenceFrame | 2 | 相对参考系类型 | |
| nTurboZone | 1 | 叶轮机械排数 | |

| | | | |
|--|-------------------------|---------------------------------|--------------|
| | Periodic_Name[] | "Periodic_up, Periodic_down" | 周期边界名列表 |
| | PeriodicRotationAngle[] | [16.363636] | 周期边界旋转角 度 |
| | Omega[] | [-1680.0] | 旋转角速度 |
| | shroud[] | "shroud" | 机匣名称 |
| | nSpanSection | 10 | 径向网格点数 |

5 结论

PHENGGLEI