

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

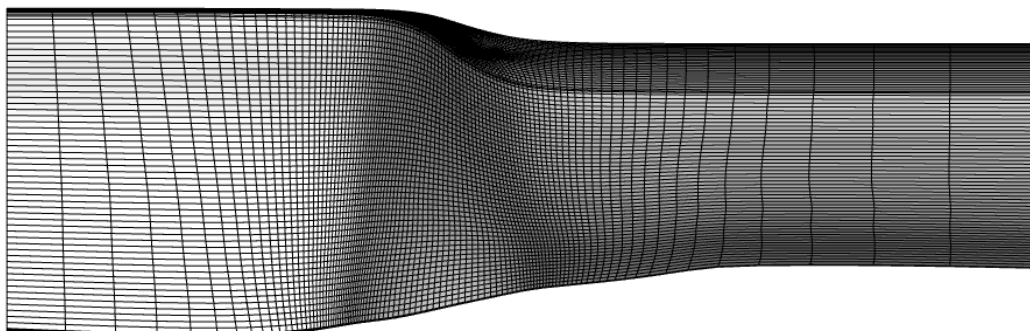


图1 计算网格

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	16.363636	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