

三维 Aachen 涡轮算例（非结构网格）

1 算例概述

Aachen 涡轮为轴流式亚音速实验涡轮，由两排相同的静叶和一排动叶构成，动叶与静叶之间的轴向间隙为 0.4 毫米，其中第一排静叶的叶片数目为 36。采用第一排静叶对周期边界进行验证。

测试环境：4 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	1.5e7	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

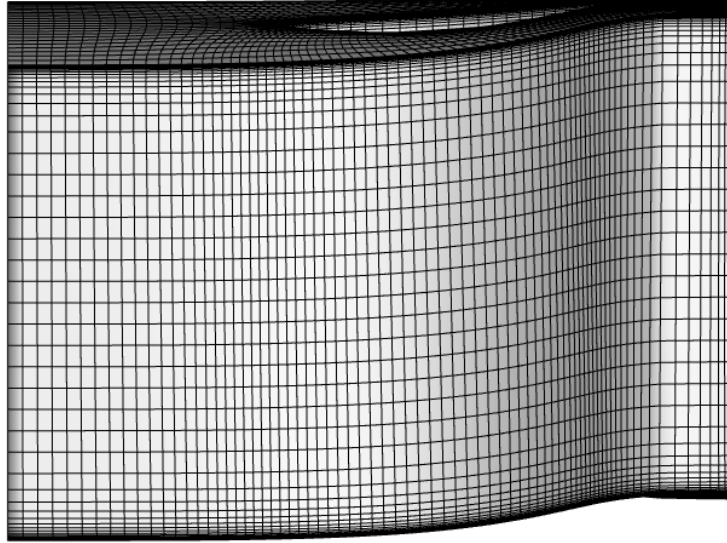


图 1 计算网格

计算网格如图 1 所示，总网格量约 18 万。在计算时采用压力进出口边界。

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/ Aachen_1.cgns"	输入网格路径
out_gfile	"./grid/ Aachen_1.fts"	输出网格路径
periodicType	2	周期边界类型
translationLength[]	[0.0,0.1,0.0]	平移长度
rotationAngle	10.0	旋转角度
referenceFrame	2	相对参考系类型
nTurboZone	1	叶轮机械排数
Periodic_Name[]	"per11, per12, per21, per22"	周期边界名列表
PeriodicRotationAngle	[10, 7.826086957]	周期边界旋转角度
MixingPlane[]	"outlet1, inlet2"	掺混面名称
Omega[]	[-1800.0,0.0]	旋转角速度
shroud[]	"shroud1,shroud2"	机匣名称

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 = 169000;
    double totalTemperature = 305;
    double direction_inlet[] = 1,0,0;
    int directionMethod = 0;
}
string bcName = "outlet";
{
    int bcType = 62;
    double staticPressure = 100000.0;
}

```

图 2 修改后的 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 `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	4	分区数
	string original_grid_file	"/grid/Aachen_1.fts"	分区前网格文件路径
	string partition_grid_file	"/grid/Aachen_1__4.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 4 ./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	5000	迭代计算步数
	intervalStepFlow	100	流场输出间隔
	intervalStepPlot	100	可视化输出间隔
	intervalStepForce	20	气动力输出间隔
	intervalStepRes	10	残差输出间隔

cfld_para_ subsonic.hypara	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	1.5e7	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
	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	0.05	限制器系数
iunsteady	0	定常计算	
CFLEnd	10	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	17	可视化流场	

	visualVariables[]	[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6,15, 38,39,40,41,42,43,44]	变量输出
	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	叶轮机排数
	Periodic_Name[]	"Periodic_up, Periodic_down"	周期边界名列表
	PeriodicRotationAngle[]	[10]	周期边界旋转角 度
	Omega[]	[0.0]	旋转角速度
	shroud[]	"shroud"	机匣名称
	nSpanSection	20	径向网格点数

5 结论