

NACA0012 翼型 LES 算例（结构网格）

1 算例概述

临界攻角下的翼型绕流伴随着流动分离、剪切层失稳、转捩、流动再附等复杂的非定常流动现象，是体现高精度 LES 方法优势的一类流动问题。本算例结合风雷软件^[1,2]结构高阶有限差分方法和新型亚格子模型，模拟了高空长航时飞行器可能面临的亚临界翼型前缘层流泡发展演化破裂引起的低频振荡问题。

测试环境：400 核并行。

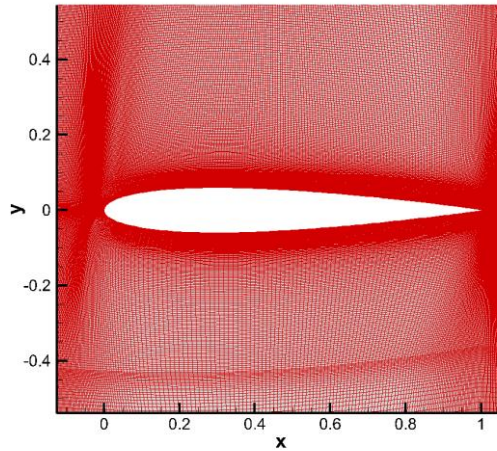
- [1]. 赵钟, 等. 风雷 (PHengLEI) 通用 CFD 软件设计[J]. 计算机工程与科学, 2020, 42(2): 210-219. (Zhao Zhong, et al. Design of general CFD software PHengLEI [J]. Computer Engineering & Science, 2020, 42(2): 210-219. (in Chinese))
- [2]. 赵钟, 等. 适用于任意网格的大规模并行 CFD 计算框架 PHengLEI[J]. 计算机学报, 2019, 42(11): 2368-2383. (Zhao Zhong, 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

注意：根据算例情况填写计算条件

马赫数	单位长度雷诺数	攻角	侧滑角	来流温度
0.4	50000	9.29	0	288.15
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



总计约 2600 万结构网格单元。

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
	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
	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

	int from_gtype	2	输入网格类型
	string from_gfile	"/.grid/ naca0012_str_26m_yup.cgns"	指定输入网格路径
	string out_gfile	"/.grid/ naca0012_str_26m_yup.fts"	指定输出格路径
	periodicType	1	周期边界
	translationLength[]	[0,0,0.5]	平移长度
	rotationAngle	0	旋转角度

4.2 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	1	网格类型
	int macproc	400	分区数
	string original_grid_file	"/.grid/ naca0012_str_26m_yup .fts"	分区前网格文件 路径
	string partition_grid_file	"/.grid/ naca0012_str_26m_yup __400.fts"	分区前网格文件 路径
	int numberOfMultigrid	1	多重计算分区

4.3 CFD 计算

CFD 计算：key.hypara + cfd_para_subsonic.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 400 ./PHengLEIv3d0.exe` 进行计算

文件	参 数	值	备注
key.hypara	ndim	3	空间维数
	nsimutask	0	参数类型
	string parafilename =	"./bin/cfd_para_subsonic.hypara"	相应参数文件路径
cfd_para_subsonic.hypara	maxSimuStep	400	迭代计算步数
	intervalStepFlow	100	流场文件步数
	intervalStepPlot	100	可视化输出步数
	intervalStepForce	10	气动力输出步数
	intervalStepRes	10	残差输出步数
	periodicType	1	周期边界
	translationLength[]	[0.0,0.0,0.5]	平移长度
	rotationAngle	0	旋转角度
	refMachNumber	0.4	来流马赫数
	attackd	9.29	来流攻角
	angleSlide	0.00	侧滑角
	refReNumber	50000.0	来流单位雷诺数
	refDimensionalTemperature	288.15	来流温度
	gridScaleFactor	1.0	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	1	NS 方程类型
	viscousName	"laminar"	粘性类型
	string inviscidSchemeName	"roe"	结构网格: 空间离散格式
string str_limiter_name	"3rdsmooth"	限制器类型	
ivencat	-	非结构网格: vencat 限制器类型	
string uns_limiter_name			限制器类型
double venkatCoeff			限制器系数
iunsteady	1	定常/非定常计算	
physicalTimeStep	0.002	物理时间步	
ifStaticsFlowField	1	非定常静态变量	
ifStaticsReynoldsStress	1	非定常静态雷诺应力	
startStatisticStep	30010	起始静态步长	

statisticalTimePeriod	-1.0	静态时间周期
statisticMethod	0	静态雷诺应力方法
min_sub_iter	20	非定常最小子迭代步
max_sub_iter	20	非定常最大子迭代步
CFLStart	10.0	CFL 起始步
CFLend	10.0	CFL 终止步
CFLVaryStep	1.0	变 CFL 数步数
nLUSGSSweeps	4	LUSGS 扫描步
LUSGSTolerance	1.0e-20	LUSGS 中的前后扫描 ϵ 量
nMGLevel	1	多重网格数
eddyViscosityLimit	1.0e5	限制粘性系数
iLES	1	是否创建 LES 求解器
sgsmodel	"sigma"	亚格子尺度模型
deltaFunctionType	2	网格尺度计算模型
wallDampingFunctionType	0	壁面函数模型
turbViscousCutType	2	湍流粘性系数限制器
smagConstant	0.11	Smagorinsky 模型的常系数
isotropicConstant	0.0	亚格子应力各向同性部分的系数
waleConstant	0.6	WALE 模型常系数
sigmaConstant	1.35	SIGMA 模型常系数
filterDirection[]	[1, 1, 0]	动态模型的二次滤波方向
averageDirection[]	[1, 1, 0]	动态模型系数的平均方向
testFilterScale	2.0	动态模型的二次滤波尺度
averageWidth	1	动态模型系数作平均时的带宽
monitorNegativeConstant	0	动态模型监测负系数的开关
MUSCLCoefXk	0.8	MUSCL 插值[-1,1]
ifvfd	1	结构求解器空间离散方式选择
str_highorder_solver	"WCNS"	结构高阶求解器类型
SolverStructOrder	0	结构 NS 空间离散精度
str_highorder_interpolation_epsilon	1.0e-4	结构高阶插值过程 ϵ 小量
str_highorder_interpolation_type	"test"	结构高阶插值类型
str_highorder_flux_name	"roe"	结构高阶通量格式

	structhighordergradient	"conservation"	结构高阶梯度重构方式
--	-------------------------	----------------	------------

5 结论

PHengLE