

二维圆柱高超声速两气体组分预混算例

(非结构网格)

1 算例概述

德国 Klaus 等人在 HEG 激波风洞中开展了圆柱模型高焓流动测量和数值模拟。本算例采用风雷软件^[1,2]非结构解算器对二维圆柱高超声速流动进行数值模拟,目的是验证非结构多组分气体扩散数值模拟框架的计算精度。

测试环境: 串行计算。

- [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(K)
8.7569	4.7001e5	0	0	694
壁温 (K)	参考长度 (m)	参考面积 (m ²)	参考点	
1000	1.0	1.0	(0.0, 0.0, 0.0)	

3 计算网格

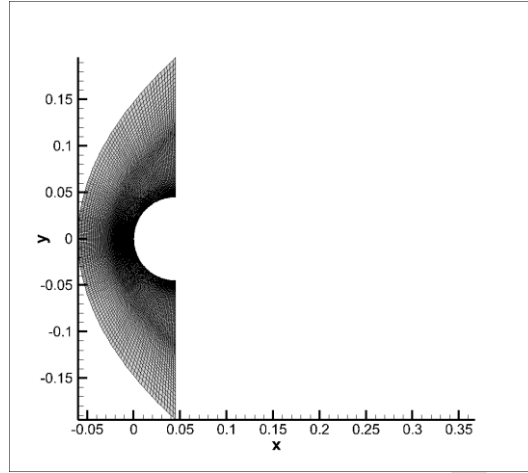


图 1 网格空间示意图

二维圆柱非结构网格见图 1 所示。网格单元总数为 160×131 ，壁面第一层网格约为 $1.0E-05m$ 。

4 参数设置

4.1 网格转换

网格转换: key.hypara + grid_para.hypara

文件	参数	值	备注
key.hypara	ndim	2	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/ 2D_Cylinder_Rn0d045 _160X131_dy1d-5 .cgns"	输入网格路径
	out_gfile	"/grid/2D_Cylinder_Rn0d0 45 _160X131_dy1d-5.fts"	输出网格路径

在算例目录位置 shift+鼠标右键点击“在此处打开命令窗口”，串行计算。

执行命令：mpirun -n 1 ./PHengLEIv3d0.exe（可执行程序目录）。

4.2 CFD 计算

CFD 计算：key.hypara + cfd_para_hypersonic.hypara

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_ hypersonic.hypara"	参数文件路径
	maxSimuStep	20000	迭代计算步数
	intervalStepFlow	1000	流场输出间隔
	intervalStepPlot	1000	可视化输出间隔
	intervalStepForce	100	气动力输出间隔
	intervalStepRes	10	残差输出间隔
	refMachNumber	8.7569	来流马赫数
	attackd	0.0	攻角
	angleSlide	0.0	侧滑角
	wallTemperature	1000	壁面温度
	inflowParaType	0	来流条件
	refReNumber	4.7001e5	单位雷诺数
	refDimensional Temperature	694	来流温度

cfld_para_ subsonic.hypara	gridScaleFactor	1.0	网格缩放比
	forceReferenceLengthSpanWise	1.0	参考展长
	forceReferenceLength	1.0	参考长度
	forceReferenceLength	1.0	参考面积
	TorqueRefX	0.0	参考点
	TorqueRefY	0.0	
	TorqueRefZ	0.0	
	viscousType	1	粘性模型 (层流)
	viscousName	"laminar"	
	roeEntropyFixMethod	3	熵修正 (相关参数)
	roeEntropyScale	1.0	
	uns_scheme_name	"steger"	空间离散格式
	uns_limiter_name	"venkat"	限制器 (系数)
	venkatCoeff	0.5	
	iunsteady	0	定常
	CFLStart	0.1	起始库朗数
	CFLEnd	1.0	终止库朗数
	CFLVaryStep	1000	变库朗数步数
	gridfile	"/grid/2D_Cylinder _Rn0d045_160X131 _dy1d-5.fts "	网格文件路径
	plotFieldType	0	全场输出
	nVisualVariables	8	可视化流场 变量输出
	visualVariables[]	[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 15]	
	nVisualWallVariables	6	可视化壁面流场 变量输出
	visualWallVariables[]	[0, 1, 2, 3, 4, 5]	
reconmeth	0		

	limitVariables	0	通量计算限制器
	limitVector	1	(相关参数)
	nchem	1	非平衡流
	nIdealState	1	理想气体
	ntmodel	1	单温度模型
	gasfile	"Gas-Mixture"	气体混合模型
	speciesName	"O2, N2"	组分名称
	initMassFraction	"0.23, 0.77"	组分质量分数

在算例目录位置 shift+鼠标右键点击“在此处打开命令窗口”，串行计算。

执行命令：mpirun -n 1./PHengLEIv3d0.exe（可执行程序目录）。

5 计算结果

5.1 残差气动力收敛曲线

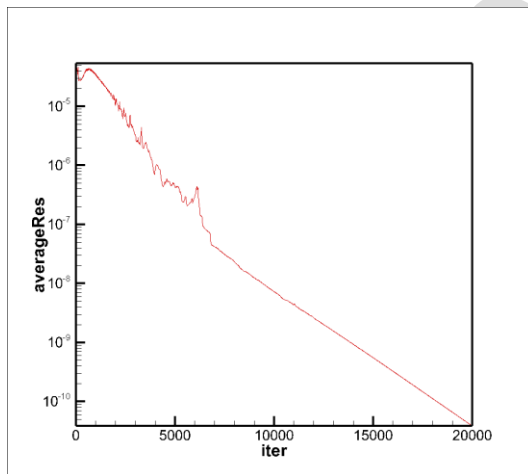


图2 残差计算历程

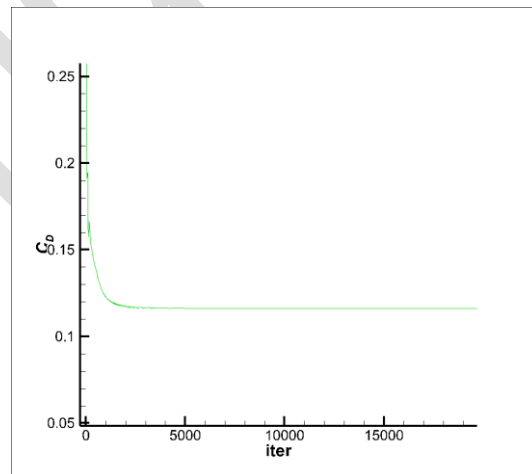


图3 阻力系数计算历程

5.2 流场结果

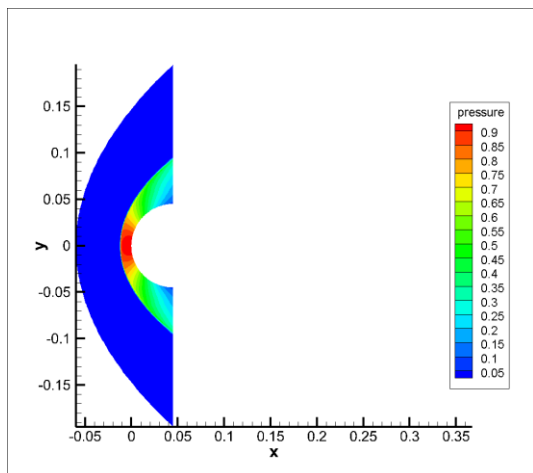


图 4 流场压力分布

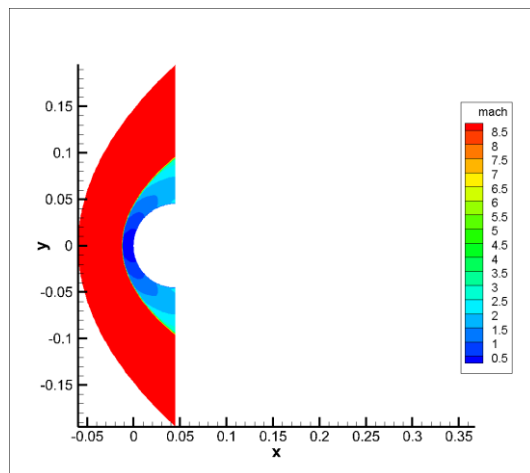
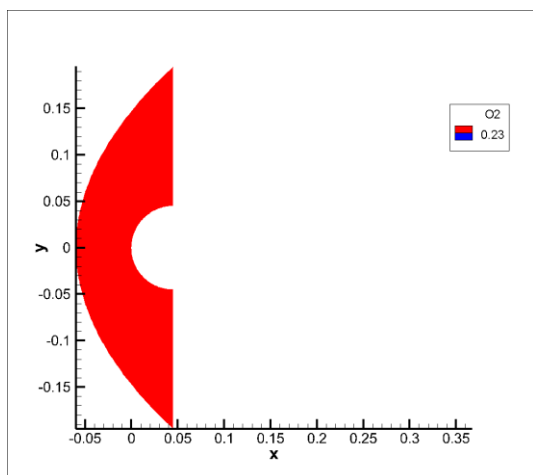
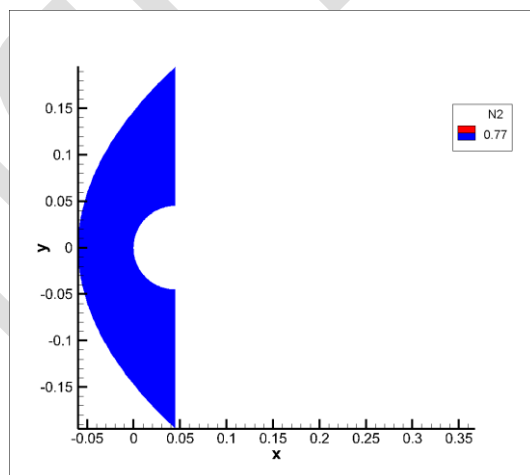


图 5 流场马赫数分布



(a) O2



(b) N2

图 6 流场组分分布

6 结论

二维非结构圆柱超声速流动的数值模拟计算结果表明非结构多组分气体扩散数值模拟框架的计算精度符合预期。