

三维圆柱绕流线监控算例（非结构网格）

1 算例概述

圆柱粘性绕流形态与雷诺数密切相关，文献指出：当 $5 < Re < 40$ 时，圆柱底部形成一对稳定的分离旋涡，雷诺数增高就会出现脱落。本算例采用风雷软件^[1,2]非结构解算器对三维非结构圆柱低速绕流进行数值模拟，目的是监测流动演化过程中特定线上物理量的变化情况。

测试环境：单核串行。

- [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)
0.2	40	0	0	288.15
壁温 (K)	参考长度 (m)	参考面积 (m ²)	参考点	
绝热壁	1.0	1.0	(0.0, 0.0, 0.0)	

3 计算网格

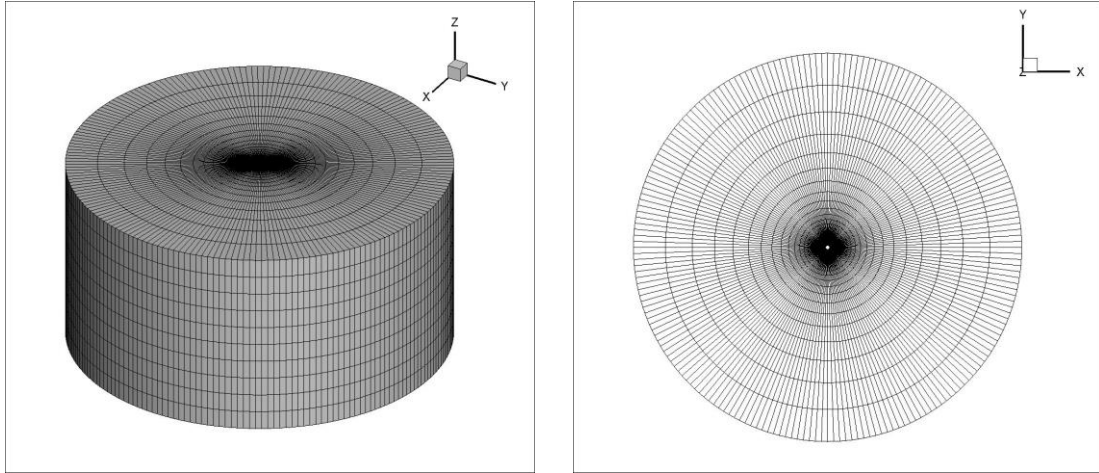


图 1 网格示意图及局部放大图

圆柱绕流网格如图 1 所示，为 $51 \times 201 \times 11$ 的单块网格，单元总数为 100000，壁面附近加密，最小距离为 $2.0e^{-3}$ ，采用非结构网格类型输出。

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	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/cylinder_unstr.cgns"	输入网格路径
	out_gfile	"./grid/cylinder_unstr.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：mpixec -n 1 ./PHengLEIv3d0.exe（可执行程序目录）。

4.2 CFD 计算

CFD 计算：key.hypara + cfd_para_subsonic.hypara
+lines_XYZ.dat（线监控坐标文件）

文件	参 数	值	备注
key.hypara	ndim	1	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	4000	流场输出间隔
	intervalStepPlot	4000	可视化输出间隔
	intervalStepSample	4000	点监控输出间隔
	intervalStepForce	10	气动力输出间隔
	intervalStepRes	10	残差输出间隔
	ifLowSpeedPrecon	0	预处理
	refMachNumber	0.2	来流马赫数
	attackd	0	攻角
	angleSlide	0.0	侧滑角
	refReNumber	40	单位雷诺数
	refDimensional Temperature	288.15	来流温度
	gridScaleFactor	1.0	网格缩放比
forceReferenceLength	1.0	参考长度	

cfld_para_ subsonic.hypara	forceReferenceArea	1.0	参考面积
	TorqueRefX	0.0	参考点
	TorqueRefY	0.0	
	TorqueRefZ	0.0	
	viscousType	1	粘性模型
	viscousName	"laminar"	(层流)
	roeEntropyFixMethod	3	空间离散
	roeEntropyScale	1.0	默认 Roe 格式
	uns_limiter_name	"vencat"	(相关参数)
	venkatCoeff	50.0	
	iunsteady	0	定常
	CFLend	100.0	库朗数
	nLUSGSSweeps	5	LUSGS 扫描步数
	nMGLevel	1	多重网格
	flowInitStep	100	流场初始化
	gridfile	"./grid/cylinder_unstr.fts"	网格文件路径
	plotFieldType	1	全流场输出
	nVisualVariables	8	可视化流场
	visualVariables[]	[0, 1, 2, 3,4, 5, 6, 15]	变量输出
	ifSetDataMonitor	1	数据监控
	dataMonitorType	1	数据监控类型
	nLines	4	线的数量
	linesDefineFile	"bin/lines_XYZ.dat"	监控点坐标文件
	searchCellsMethod	1	查找单元方法
	nProbeVariables	6	监控流场
	probeVariables[]	[0, 1, 2, 3, 4, 5]	变量输出
	probeVariables	1	监控变量
	InterpolationMethod		插值方法

	reconmeth	1	通量计算限制器 (相关参数)
	limitVariables	0	
	limitVector	0	
	——	31	监控线上点数量 监控线上点坐标 (共四条监控线) 注：在画网格时候 构建监控线(面)， 然后将计算网格 和监控线(面)单 独输出，具体过程 参见开发手册第 14 章节相关说明
	——	1.00 1.00 0.00 -1.00 1.00 0.00	
	——	31	
	——	-1.00 -1.00 0.00 1.00 -1.00 0.00	
	——	31	
	——	-1.00 1.00 0.00 -1.00 -1.00 0.00	
	——	31	
	——	1.00 -1.00 0.00 1.00 -1.00 0.00	

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

5 计算结果

5.1 残差气动力收敛过程

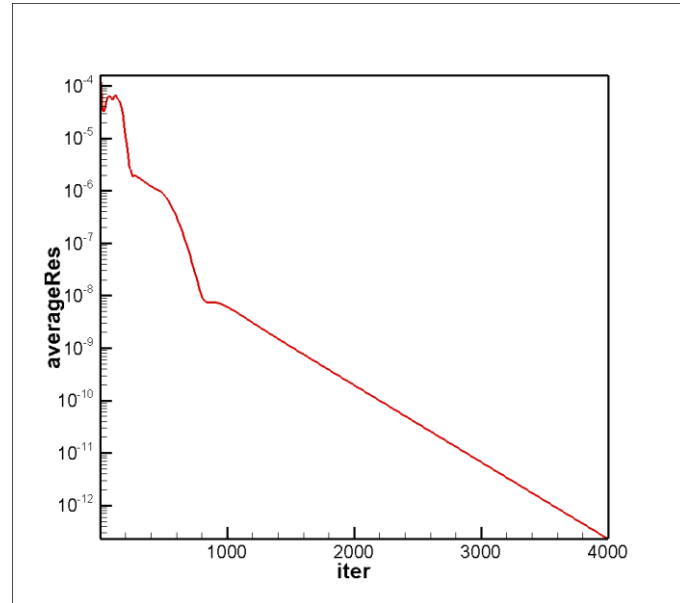


图 2 残差计算历程

5.2 流场结果

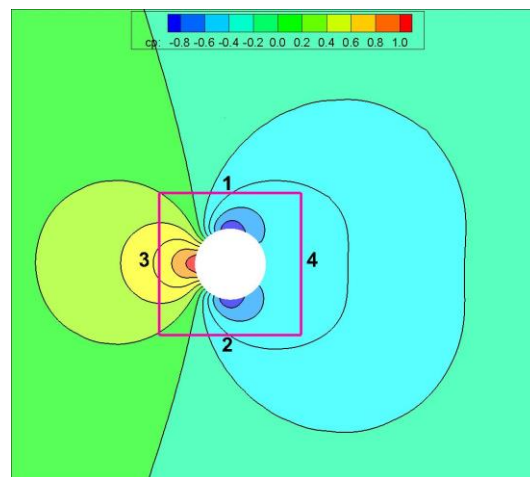
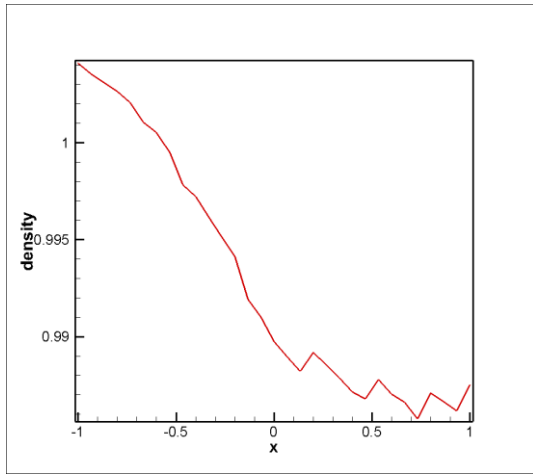
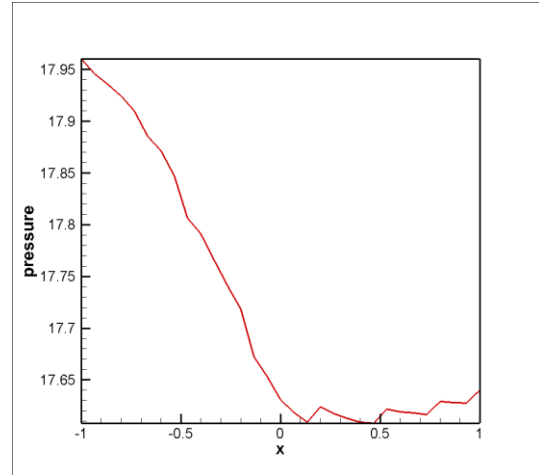


图 3 圆柱绕流压力系数等值云图 (SliceZ=0: 包含监控线)

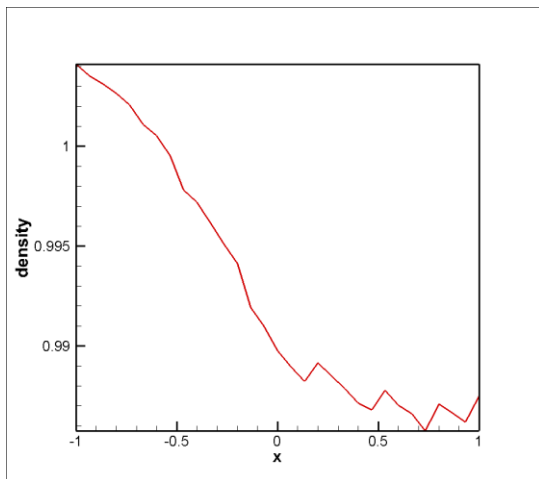


(a) 沿 x 方向上密度的变化曲线

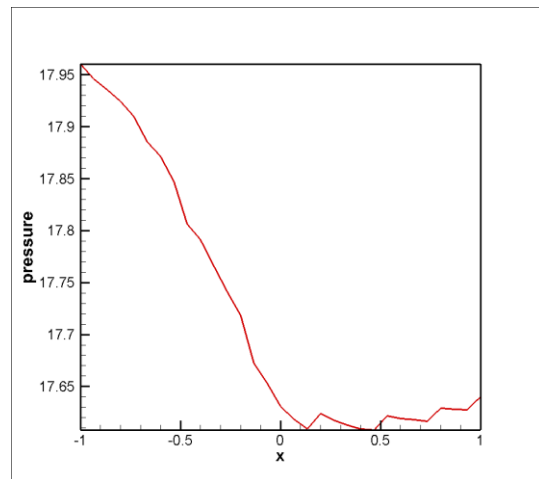


(b) 沿 x 方向上压强的变化曲线

图 4 圆柱绕流 line1 流场变量监控结果

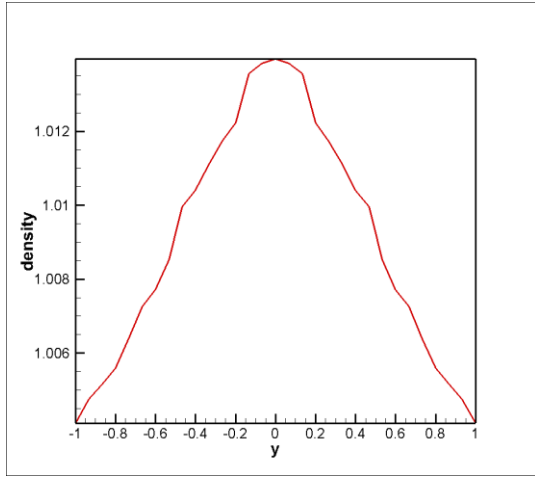


(a) 沿 x 方向上密度的变化曲线

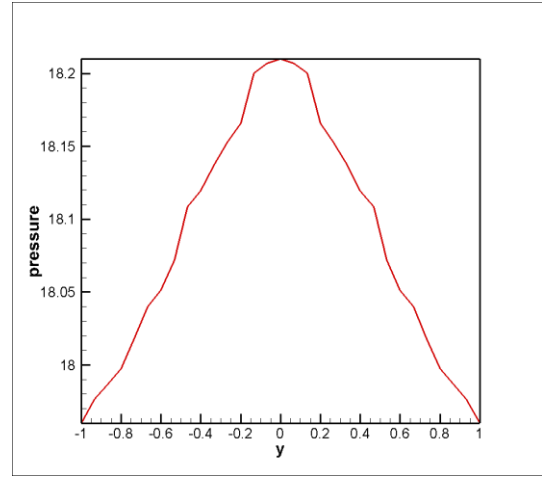


(b) 沿 x 方向上压强的变化曲线

图 5 圆柱绕流 line2 流场变量监控结果

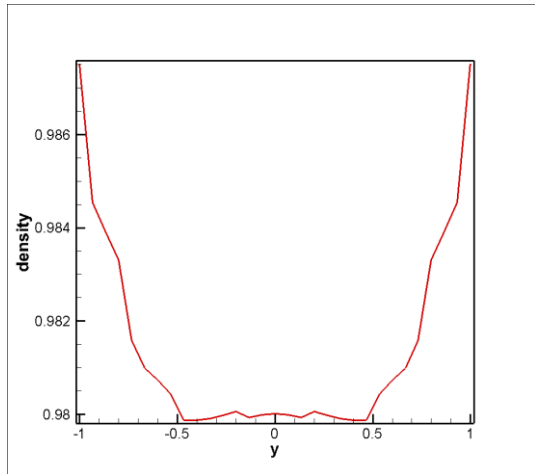


(a) 沿 y 方向上密度的变化曲线

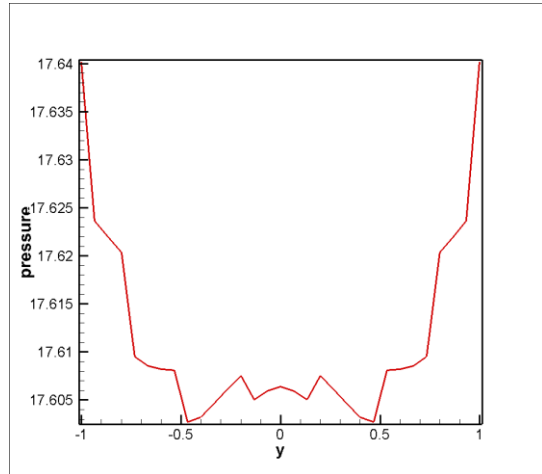


(b) 沿 y 方向上压强的变化曲线

图 6 圆柱绕流 line3 流场变量监控结果



(a) 沿 y 方向上密度的变化曲线



(b) 沿 y 方向上压强的变化曲线

图 7 圆柱绕流 line4 流场变量监控结果

6 计算结果

三维非结构圆柱低速绕流的数值模拟计算结果表明 PHengLEI 非结构解算器能够实现线的数据监控功能。