

二维后台阶低速湍流计算（结构网格）

1 算例概述

基于结构网格的二维后台阶低速湍流数值模拟，考核结构解算器对二维低速湍流问题的模拟能力。

测试环境：4 核并行。

- [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
0.128	2834645.7	0	0	298.33
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

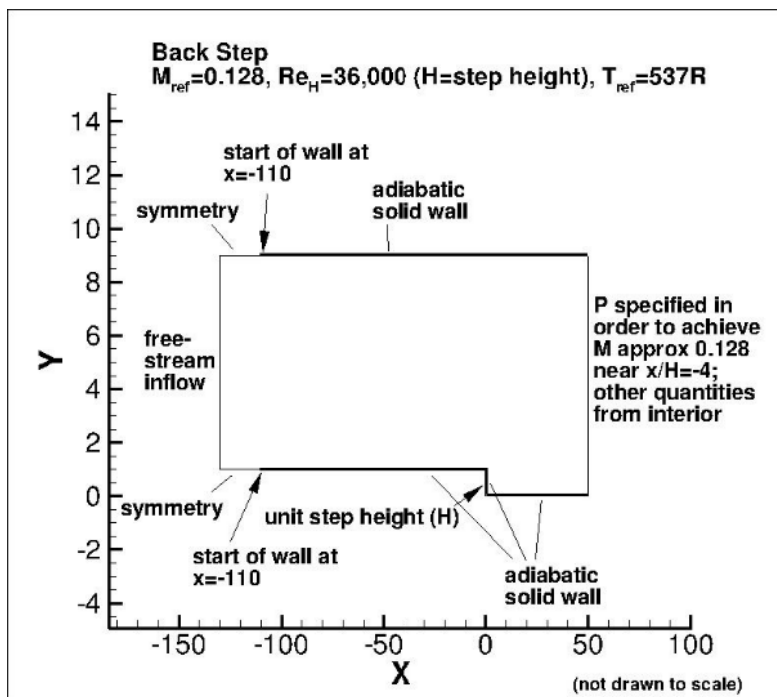


图 1 计算网格

后台阶结构网格如图 1 所示。网格单元总数为 321764。

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	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	1	网格类型

	axisup	1	坐标方向
	from_gtype	3	输入网格数据类型
	from_gfile	"./grid/2D_BackwardStep.grd"	输入网格路径
	out_gfile	"./grid/2D_BackwardStep.fts"	输出网格路径

4.2 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	2	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 macroc	4	分区数
	string original_grid_file	"./grid/2D_BackwardStep.fts"	分区前网格文件路径
	string partition_grid_file	"./grid/2D_BackwardStep__4.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 4 ./PHengLEIv3d0.exe` 进行计算

文件	参数	值	备注
key.hypara	ndim	2	空间维数
	nsimutask	0	任务类型

	parafilename	"/bin/cfd_para_subsonic.hypara"	参数文件路径
cf_d_para_transonic.hypara	maxSimuStep	200000	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	50	残差输出间隔
	refMachNumber	0.128	来流马赫数
	attackd	0.0	攻角
	angleSlide	0.0	侧滑角
	inflowParaType	0	来流条件
	refReNumber	2834645.7	来流单位雷诺数
	refDimensional Temperature	298.33	来流温度
	gridScaleFactor	0.0127	网格缩放比
	forceReferenceLengthSpan Wise	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	2	熵修正	
roeEntropyScale	1.0	(相关参数)	
string str_limiter_name	nolim	限制器	
double MUSCLCoefXk	0.333333	MUSCL 插值	

	iunsteady	0	定常计算
	CFLend	20.0	终止库朗数
	nLUSGSSweeps	1	LUSGS 扫描步数
	nMGLevel	1	多重网格数
	flowInitStep	100	流场初始化步数
	plotFieldType	0	流场仅输出边界
	nVisualVariables	9	可视化流场
	visualVariables[]	[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 15]	变量输出
	reconmeth	1	
	limitVariables	0	通量计算限制器
	limitVector	0	(相关参数)

4.4 边界条件

计算时需要对 bin 文件夹中的 boundary_condition.hypara 文件进行边界参数修改，如图 2 所示：

```
int nBoundaryConditions = 4;
string bcName = "SOLID_SURFACE";
{
  int bcType = 2;
}
string bcName = "SYMMETRY";
{
  int bcType = 3;
}
string bcName = "FARFIELD";
{
  int bcType = 4;
}
string bcName = "OUTFLOW";
{
  int bcType = 62;
  double staticPressure = 101783.4;
}
```

图 2 boundary_condition.hypara 文件修改

5 计算结果

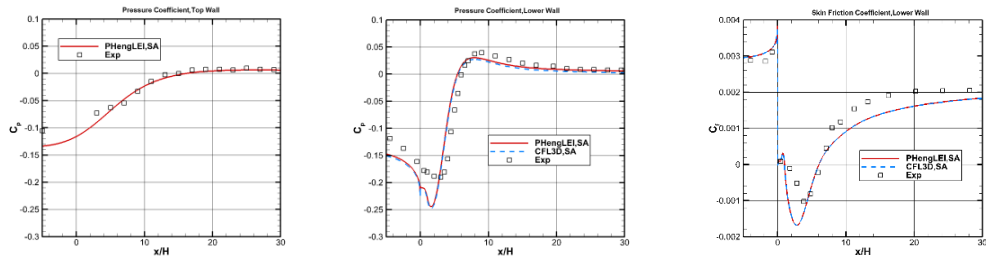


图3 壁面压力系数及摩阻系数分布（上、下壁面压力系数，下壁面摩阻系数）

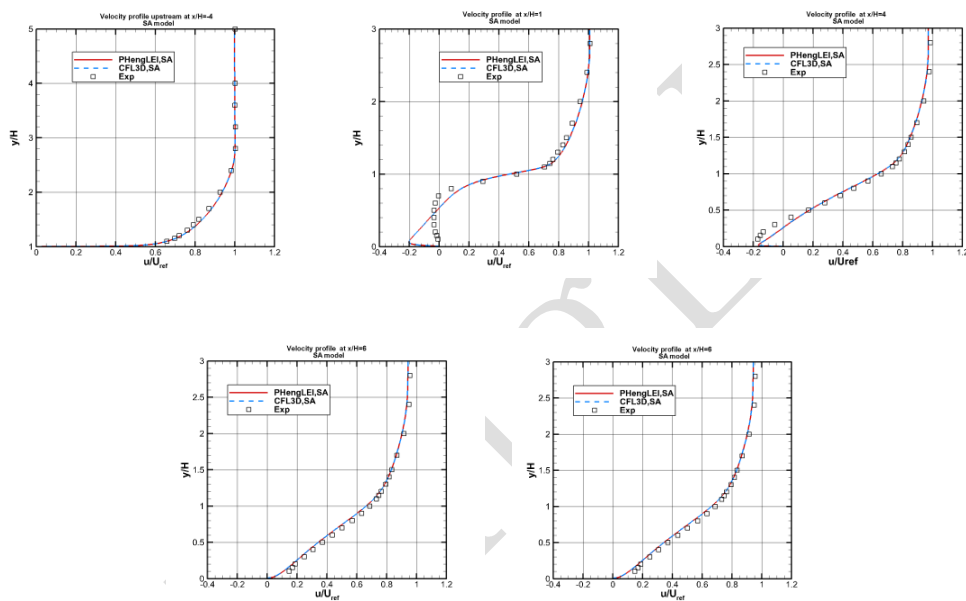


图4 5个流向站点的速度型（ $x/H=-4、1、4、6、10$ ）

6 结论

由图3及图4可知，SA湍流模型下，PHengLEI与CFL3D在压力分布、摩阻分布、速度型等方面吻合程度均很好。