

二维低速湍流平板(Matrix LU-SGS) (结构网格)

1 算例概述

基于结构网格的二维低速湍流平板数值模拟，考核 Matrix LU-SGS 结构解算器的基本性能。

测试环境：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 |
| 0.2 | 5.0e6 | 0 | 0 | 288.15 |
| 网格缩放 | 参考展长 | 参考长度 | 参考面积 | 参考点 |
| 0.001 | 1 | 1 | 1 | (0,0,0) |
| 壁面 | | | | |
| 绝热壁面 | | | | |

3 计算网格

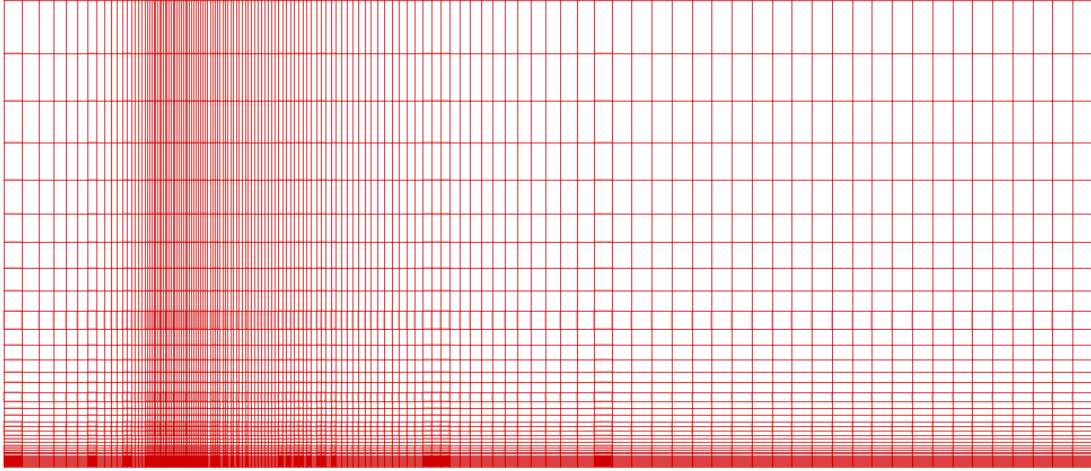


图 1 计算网格

平板结构网格如图 1 所示。网格单元总数为 13056。

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 | 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/Mesh4_137_97.grd" | 输入网格路径 |

| | | | |
|--|-----------|--------------------------|--------|
| | out_gfile | "/grid/Mesh4_137_97.fts" | 输出网格路径 |
|--|-----------|--------------------------|--------|

4.2 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”

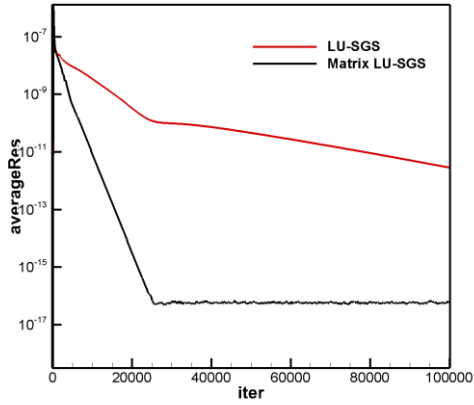
输入 `mpiexec -n 1 ./PHengLEIv3d0.exe` 进行计算

| 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 |
| | maxSimuStep | 100000 | 迭代计算步数 |
| | intervalStepFlow | 5000 | 流场输出间隔 |
| | intervalStepPlot | 5000 | 可视化输出间隔 |
| | intervalStepForce | 100 | 气动力输出间隔 |
| | intervalStepRes | 100 | 残差输出间隔 |
| | 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 | 5.0e6 | 来流单位雷诺数 |
| | refDimensional Temperature | 288.15 | 来流温度 |
| | gridScaleFactor | 0.001 | 网格缩放比 |
| | forceReferenceLengthSpan Wise | 1.0 | 参考展长 |
| | forceReferenceLength | 1.0 | 参考长度 |

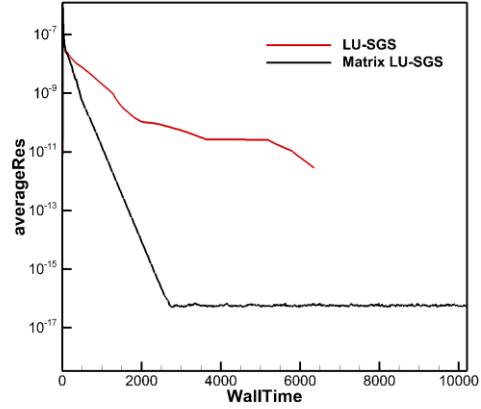
| | | | |
|---|---------------------------|-------------------|---------------|
| cfid_para_ subsonic.hypara | forceReferenceArea | 2.0 | 参考面积 |
| | TorqueRefX | 0.0 | 参考坐标 |
| | TorqueRefY | 0.0 | |
| | TorqueRefZ | 0.0 | |
| | viscousType | 4 | NS 方程类型 |
| | viscousName | SST | 粘性类型 |
| | roeEntropyFixMethod | 2 | 熵修正 |
| | roeEntropyScale | 1.0 | (相关参数) |
| | string str_limiter_name | nolim | 结构网格: 限制器 |
| | double MUSCLCoefXk | 0.333333 | MUSCL 插值 |
| | uns_limiter_name | vencat | 非结构网格: 限制器 |
| | venkatCoeff | 50 | 限制器系数 |
| | iunsteady | 0 | 定常计算 |
| | CFLend | 500.0 | 终止库朗数 |
| | tscheme | 8 (Matrix LU-SGS) | 时间离散方法 |
| | 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 | 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 | |
| reconmeth | 1 | 通量计算限制器 (相关参数) | |
| limitVariables | 0 | | |
| limitVector | 0 | | |

5 计算结果

5.1 残差气动力收敛曲线

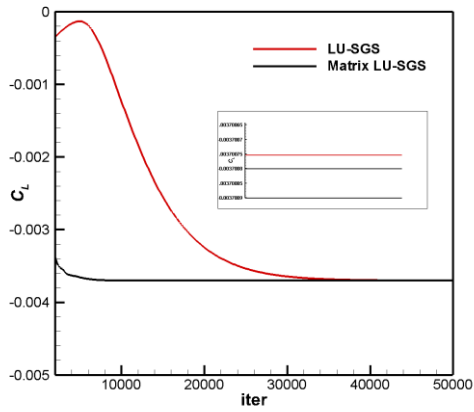


(a) 残差随迭代步变化

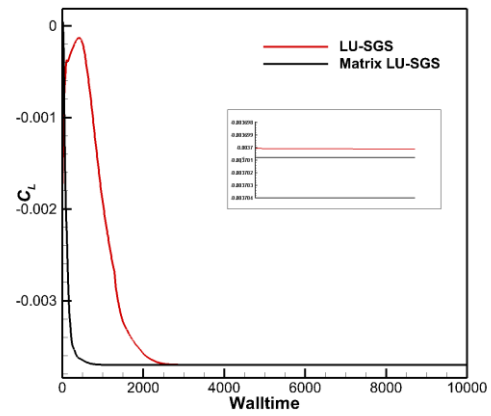


(b) 残差随计算时间变化

图 1 LUSGS 与 Matrix LUSGS 残差计算历程对比

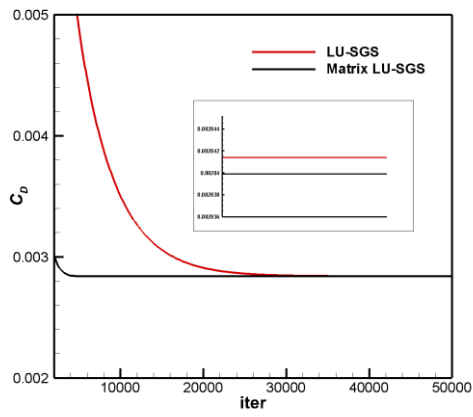


(a) 升力随迭代步变化

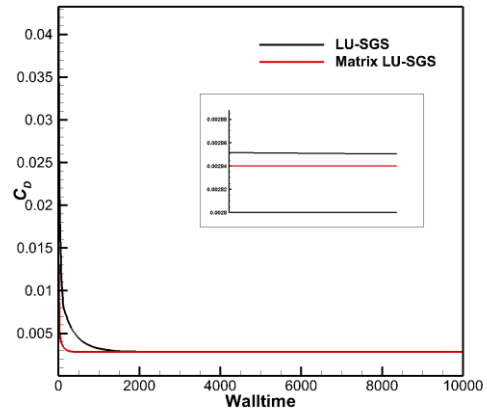


(b) 升力随计算时间变化

图 2 LUSGS 与 Matrix LUSGS 升力计算历程对比



(a) 阻力随迭代步变化



(b) 阻力随计算时间变化

图 2 LUSGS 与 Matrix LUSGS 阻力计算历程对比

6 结论

二维低速湍流平板数值模拟计算结果表明 Matrix LU-SGS 结构解算器在收敛迭代步数和计算时间方面均有显著加速效果。