

30P30N 高精度 WENN 格式算例(结构网格)

1 算例概述

30P30N 多段翼型因包含着极为复杂的流动现象，如层流分离、湍流接触线和再层流化，湍流边界层的发展、层流发展、掺混边界层及粘性尾流相互作用等，而一直作为 CFD 验证与确认的标准算例。

本算例采用风雷软件^[1,2]结构解算器对 30P30N 翼型进行数值模拟，目的是验证改进的 WENN 格式在亚声速流动中，拥有较好的计算预测精度。

测试环境：6 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(K)
0.2	9.0e6	19	0	288
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

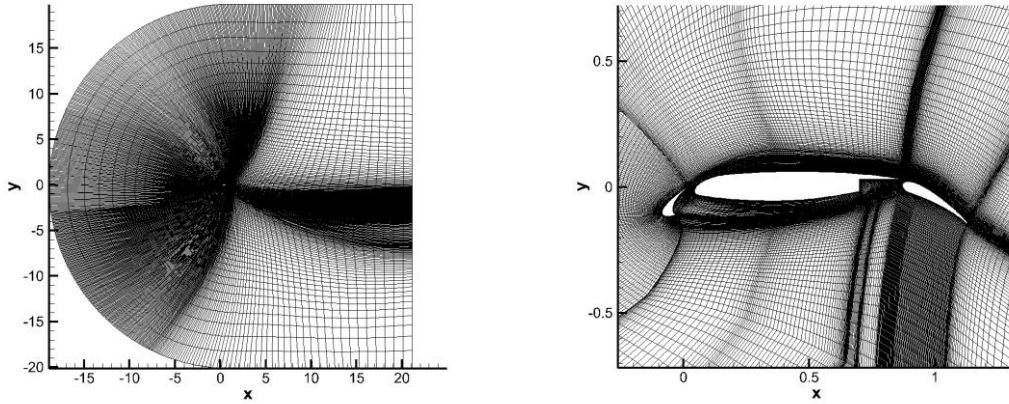


图 1 网格空间拓扑示意图及局部放大图

30P30N 结构网格见图 1 所示，计算域为 x 方向 20 倍弦长、y 方向 20 倍弦长。网格单元总数为 49280，壁面第一层网格约为 $5.0E-06m$ 。

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	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
	from_gtype	3	输入网格数据类型
	from_gfile	"./grid/30p30n_str.grd"	输入网格路径

	out_gfile	"/grid/30p30n_str.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 网格分区

网格转换：key.hypara + partition.hypara

文件	参数	值	备注
key.hypara	ndim	2	空间维数
	nsimutask	3	任务类型
	parafilename	"/bin/partition.hypara"	参数文件路径
partition.hypara	pgridtype	1	网格类型
	macproc	6	分区数
	original_grid_file	"/grid/30p30n_str.fts"	分区前文件路径
	partition_grid_file	"/grid/30p30n_str_6.fts"	分区后文件路径
	numberOfMultigrid	2	多重网格数

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）。

4.3 CFD 计算

CFD 计算：key.hypara + cfd_para_subsonic.hypara

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	50000	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

cf_d_para_ subsonic.hypara	intervalStepRes	10	残差输出间隔
	ifLowSpeedPrecon	0	预处理
	refMachNumber	0.2	来流马赫数
	attackd	19	攻角
	angleSlide	0.0	侧滑角
	inflowParaType	0	来流条件
	refReNumber	9.0e6	单位雷诺数
	refDimensional Temperature	288	来流温度
	gridScaleFactor	1.0	网格缩放比
	forceReferenceLengthS panWise	1.0	参考展长
	forceReferenceLength	1.0	参考长度
	forceReferenceArea	1.0	参考面积
	TorqueRefX	0.0	参考点
	TorqueRefY	0.0	
	TorqueRefZ	0.0	
	viscousType	4	粘性模型
	viscousName	"2eq-kw-menter-sst"	(SST 两方程)
	roeEntropyFixMethod	2	空间离散
	roeEntropyScale	1.0	默认 Roe 格式 (相关参数)
	str_limiter_name	"weno3_js"	分别测试计算 WENN3-PRM_1, 1^2 -ZM、-ZES2 和 -ZES3 格式
		"wenn3_prm211"	
"wenn3_zm"			
"wenn3_zes2"			
"wenn3_zes3"			
iunsteady	0	定常	

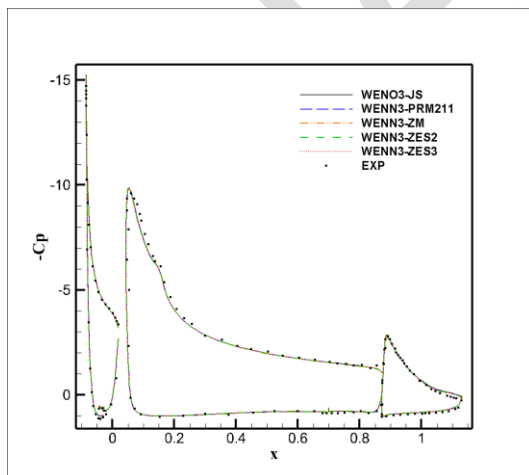
	CFLend	10.0	库朗数
	nLUSGSSweeps	1	LUSGS 扫描步数
	nMGLevel	1	多重网格
	flowInitStep	100	流场初始化
	gridfile	"./grid/30p30n_str_6.fts"	网格文件路径
	plotFieldType	0	全流场输出
	nVisualVariables	8	可视化流场
	visualVariables[]	[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 15]	变量输出
	reconmeth	1	通量计算限制器 (相关参数)
	limitVariables	0	
	limitVector	0	

在算例目录位置 shift+鼠标右键点击“在此处打开命令窗口”，六核并行计算。

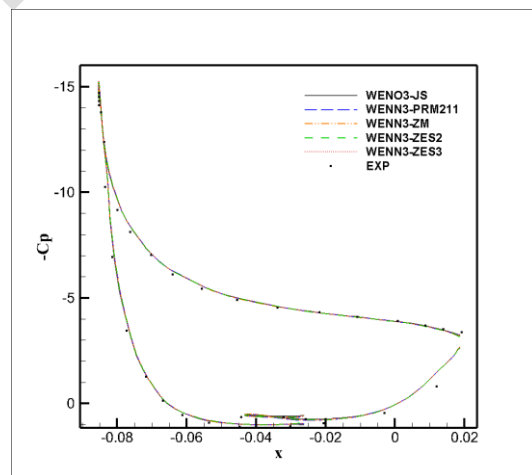
执行命令：mpirun -n 6 ./PHengLEIv3d0.exe (可执行程序目录)。

5 计算结果

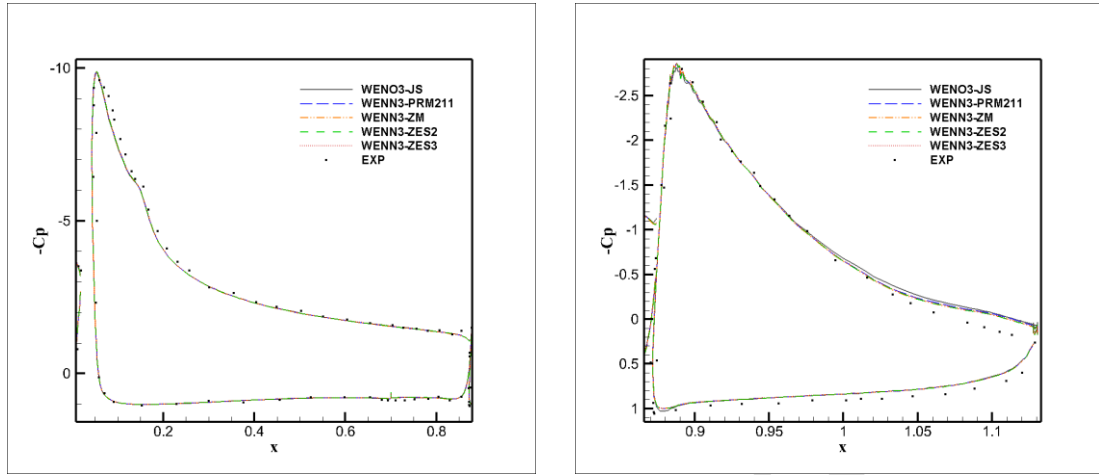
5.1 流场结果



(a) all



(b) slat



(a) main

(b) flap

图 2 30P30N 多段翼型各格式壁面压力系数分布

6 结论

二维结构 30P30N 多段翼型流动的数值模拟计算结果表明改进的四种 WENN 格式在亚声速计算中具有良好的气动力预测精度，各格式计算所得壁面压力系数与实验值吻合较好。