

双椭球高精度 WENN 格式算例（结构网格）

1 算例概述

双椭球模型作为典型的高超声速飞行器外形，具有飞机机身与座舱组合的特征，其超声速绕流流场附近往往存在着三维弓形头激波、座舱前的二次激波、边界层分离与再附这样复杂的流场特征。因而经常被作为高精度方法计算精度考核的验证算例。

本算例采用风雷软件^[1,2]结构解算器对双椭球外形进行数值模拟，目的是验证改进的 WENN 格式在高超声速流动中，拥有较好的计算预测精度。

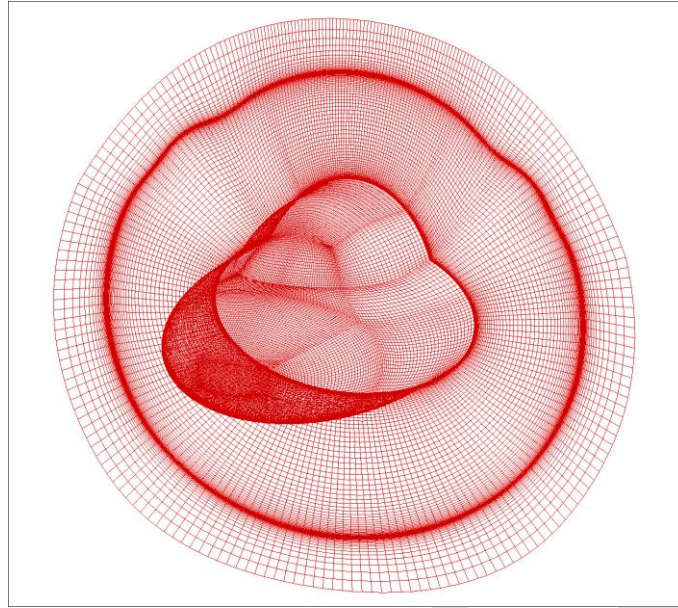
测试环境：48 核并行。

- [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)
8.15	1.67e7	0	0	56
壁温 (K)	参考长度 (m)	参考面积 (m ²)	参考点	网格缩放比
288	1.0	1.0	(0.0, 0.0, 0.0)	0.01

3 计算网格



双椭球外形网格

双椭球结构网格如图所示，网格单元总数为 1737000，壁面第一层网格约为 $6E-04$ 。

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	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	2	输入网格数据类型

	from_gfile	"/grid/dbl_yzg.cgns";	输入网格路径
	out_gfile	"/grid/dbl_yzg.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	3	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
	macroproc	48	分区数
	original_grid_file	"/grid/dbl_yzg.fts"	分区前文件路径
	partition_grid_file	"/grid/dbl_yzg_48.fts"	分区后文件路径
	numberOfMultigrid	1	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_hypersonic.hypara

文件	参数	值	备注
key.hypara	ndim	3	空间维数
	nsimutask	0	任务类型
	parafilename	cfd_para_hypersonic.hypara"	参数文件路径
	maxSimuStep	50000	迭代计算步数
	intervalStepFlow	2000	流场输出间隔

cf_d_para_ subsonic.hypara	intervalStepPlot	2000	可视化输出间隔
	intervalStepForce	2000	气动力输出间隔
	intervalStepRes	10	残差输出间隔
	ifLowSpeedPrecon	0	预处理
	refMachNumber	8.15	来流马赫数
	attackd	0.0	攻角
	angleSlide	0.0	侧滑角
	wallTemperature	288	壁面温度
	dump_Q	1	输出壁面热流
	inflowParaType	0	来流条件
	refReNumber	1.67e7	单位雷诺数
	refDimensional Temperature	56	来流温度
	gridScaleFactor	0.01	网格缩放比
	forceReferenceLengthSpanWise	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	1	粘性模型
	viscousName	" laminar "	(层流)
	roeEntropyFixMethod	3	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
		wenn3_prm2	

	11"	、-ZM、-ZES2 和 -ZES3 格式
	" wenn3_zm"	
	wenn3_zes2"	
	wenn3_zes3"	
iunsteady	0	定常
CFLend	2.0	CFL 终止数
CFLVaryStep	100	变 CFL 数步数
nLUSGSSweeps	4	LUSGS 扫描步数
nMGLevel	1	多重网格
flowInitStep	100	流场初始化
gridfile	./grid/dbl_yzg _48.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	0	通量计算限制器 (相关参数)
limitVariables	0	
limitVector	1	

在算例目录位置 shift+鼠标右键点击“在此处打开命令窗口”，48核并行计算。

执行命令：mpirun -n 48 ./PHengLEIv3d0.exe (可执行程序目录)。

5 计算结果

5.1 流场结果

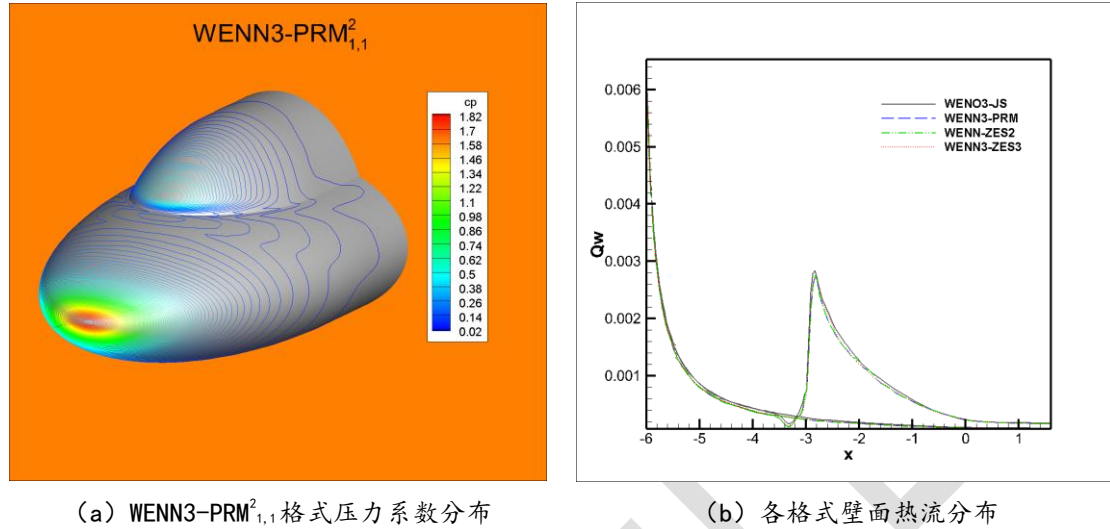


图1 双椭球 WENN3-PRM²_{1,1}格式流场各格式壁面热流分布

6 结论

三维结构双椭球的数值模拟计算结果表明改进的四种 WENN 格式在高超声速计算中具有良好的预测精度,各格式计算所得壁面热流结果基本一致。