

双翼 NACA0012 算例（非结构网格计算）

1 算例概述

双翼型 NACA0012，风雷软件^[1,2]非结构重叠网格。

该算例只验证重叠网格装配，查看挖洞效果，不进行流场计算。

测试环境：4 核并行。

- [1]. 赵钟, 等. 风雷 (PHengLEI) 通用 CFD 软件设计 [J]. 计算机工程与科学, 2020, 42(2): 210-219. (Zhao Zhong, 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, 2019, 42(11): 2368-2383. (Zhao Zhong, et al. PHengLEI: A Large Scale Parallel CFD Framework for Arbitrary Grids [J]. Chinese Journal of Computers, 2019, 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
0.755	6.5e6	0.016	0	288.15
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

重叠装配前的网格主要由背景网格，上、下侧翼型网格，上下侧翼型辅助网格等 5 部分网格组成。

4 参数设置

4.1 网格转换

注：本次网格转换只需执行一次程序便可完成对 aux-lower.cgns、

aux-upper.cgns、background.cgns、lowerwing.cgns、upperwing.cgns 等 5 部分网格的网格转换操作。

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
	nparafile	1	参数文件个数
	nsimutask	1	参数类型
	string parafilename =	"/bin/grid_para.hypara"	相应参数文件路径
grid_para.hypara	int 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
	int from_gtype	2	输入网格类型
	int numberOfGridFile	5	网格文件个数
	string from_gfile	"/grid/aux-lower.cgns"	网格路径 1
	string from_gfile1	"/grid/aux-upper.cgns"	网格路径 2
	string from_gfile2	"/grid/background.cgns"	网格路径 3
	string from_gfile3	"/grid/lowerwing.cgns"	网格路径 4
string from_gfile4	"/grid/upperwing.cgns"	网格路径 5	

按照上面的参数设置，只需执行一次程序即可完成对所有 5 部分的网格转换操作。最终在 grid 文件夹中转换生成 aux-lower_0.fts、aux-upper_0.fts、background_0.fts、lowerwing_0.fts、upperwing_0.fts

等 5 个.fts 格式的网格文件。

aux-lower.cgns	2022/6/14 11:06	CGNS 文件	80 KB
aux-lower_0.bcmesh	2023/6/7 9:21	BCMESH 文件	95 KB
aux-lower_0.bcname	2023/6/7 9:21	BCNAME 文件	1 KB
aux-lower_0.fts	2023/6/7 9:21	FTS 文件	184 KB
aux-upper.cgns	2022/6/14 11:06	CGNS 文件	80 KB
aux-upper_0.bcmesh	2023/6/7 9:21	BCMESH 文件	95 KB
aux-upper_0.bcname	2023/6/7 9:21	BCNAME 文件	1 KB
aux-upper_0.fts	2023/6/7 9:21	FTS 文件	184 KB
background.cgns	2022/6/14 11:06	CGNS 文件	2,468 KB
background_0.bcmesh	2023/6/7 9:21	BCMESH 文件	2,493 KB
background_0.bcname	2023/6/7 9:21	BCNAME 文件	1 KB
background_0.fts	2023/6/7 9:21	FTS 文件	5,182 KB
lowerwing.cgns	2022/6/14 11:06	CGNS 文件	1,496 KB
lowerwing_0.bcmesh	2023/6/7 9:21	BCMESH 文件	1,492 KB
lowerwing_0.bcname	2023/6/7 9:21	BCNAME 文件	1 KB
lowerwing_0.fts	2023/6/7 9:21	FTS 文件	3,127 KB
upperwing.cgns	2022/6/14 11:06	CGNS 文件	1,496 KB
upperwing_0.bcmesh	2023/6/7 9:21	BCMESH 文件	1,492 KB
upperwing_0.bcname	2023/6/7 9:21	BCNAME 文件	1 KB
upperwing_0.fts	2023/6/7 9:21	FTS 文件	3,127 KB

图 1 网格转换结果

在网格转换操作结束后，bin 文件夹中的 boundary_condition.hypara 文件中会自动生成当前所有网格的边界信息（共计 7 条），如图 2 所示。

```
int nBoundaryConditions = 7;
string bcName = "UserDefined";
{
  int bcType = -3;
}
string bcName = "Wall";
{
  string bodyName = "body";
  int bcType = 2;
}
string bcName = "Wall2";
{
  string bodyName = "body";
  int bcType = 2;
}
string bcName = "Farfield";
{
  int bcType = 4;
}
string bcName = "Farfield2";
{
  int bcType = 4;
}
string bcName = "Farfield3";
{
  int bcType = 4;
}
string bcName = "Farfield4";
{
  int bcType = 4;
}
```

图 2 修改前 boundary_condition.hypara 文件的边界信息

此时需要对刚生成的 boundary_condition.hypara 文件进行修改, 将 UserDefined 边界的 bcType 值由-3 改为 1000 (重叠边界)。

```
int nBoundaryConditions = 7;
string bcName = "UserDefined";
{
    int bcType = 1000;
}
string bcName = "Wall";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "Wall2";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "Farfield";
{
    int bcType = 4;
}
string bcName = "Farfield2";
{
    int bcType = 4;
}
string bcName = "Farfield3";
{
    int bcType = 4;
}
string bcName = "Farfield4";
{
    int bcType = 4;
}
```

图3 修改后 boundary_condition.hypara 文件的边界信息

4.2 网格分区

注: 只需执行一次程序就能完成对先前 grid 文件夹中转换生成的 background.fts (4 个分区)、lowerwing.fts (4 个分区)、upperwing.fts (4 个分区) 网格分区操作。

网格分区: 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
	nparafile	1	参数文件个数

	nsimutask	3	参数类型
	string parafilename =	"/bin/partition.hypara"	相应参数文件路径
partition.hypara	int numberOfGridFile	3	网格文件个数
	int pgridtype	0	网格 1 类型
	int pgridtype1	0	网格 2 类型
	int pgridtype2	0	网格 3 类型
	int maxproc	4	网格 1 分区数
	int maxproc1	4	网格 2 分区数
	int maxproc2	4	网格 3 分区数
	string original_grid_file	"/grid/background.fts"	网格 1 路径
	string original_grid_file1	"/grid/lowerwing.fts"	网格 2 路径
	string original_grid_file2	"/grid/upperwing.fts"	网格 3 路径

按照上表中的参数设置，只需执行一次程序就能完成对 background.fts 等 3 部分.fts 网络的分区操作，如图 4 所示。

aux-lower.cgns	2022/6/14 11:06	CGNS 文件	80 KB
aux-lower_0.bcmesh	2023/6/7 9:21	BCMESH 文件	95 KB
aux-lower_0.bcname	2023/6/7 9:21	BCNAME 文件	1 KB
aux-lower_0.fts	2023/6/7 9:21	FTS 文件	184 KB
aux-upper.cgns	2022/6/14 11:06	CGNS 文件	80 KB
aux-upper_0.bcmesh	2023/6/7 9:21	BCMESH 文件	95 KB
aux-upper_0.bcname	2023/6/7 9:21	BCNAME 文件	1 KB
aux-upper_0.fts	2023/6/7 9:21	FTS 文件	184 KB
background.cgns	2022/6/14 11:06	CGNS 文件	2,468 KB
background_4_0.fts	2023/6/7 9:55	FTS 文件	5,324 KB
background_0.bcmesh	2023/6/7 9:21	BCMESH 文件	2,493 KB
background_0.bcname	2023/6/7 9:21	BCNAME 文件	1 KB
background_0.fts	2023/6/7 9:21	FTS 文件	5,182 KB
lowerwing.cgns	2022/6/14 11:06	CGNS 文件	1,496 KB
lowerwing_4_0.fts	2023/6/7 9:55	FTS 文件	3,237 KB
lowerwing_0.bcmesh	2023/6/7 9:21	BCMESH 文件	1,492 KB
lowerwing_0.bcname	2023/6/7 9:21	BCNAME 文件	1 KB
lowerwing_0.fts	2023/6/7 9:21	FTS 文件	3,127 KB
upperwing.cgns	2022/6/14 11:06	CGNS 文件	1,496 KB
upperwing_4_0.fts	2023/6/7 9:55	FTS 文件	3,237 KB
upperwing_0.bcmesh	2023/6/7 9:21	BCMESH 文件	1,492 KB
upperwing_0.bcname	2023/6/7 9:21	BCNAME 文件	1 KB
upperwing_0.fts	2023/6/7 9:21	FTS 文件	3,127 KB

图 4 网格分区结果

4.3 CFD 计算

CFD 计算：

key.hypara + boundary_condition.hypara+overset_config.hypara

注意：此文档为重叠装配算例说明文档

针对重叠装配：需在 key.hypara 中设置 nparafile=1 和打开 nsimutask=6

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
	nparafilename	1	参数文件个数
	nsimutask	6	参数类型
	string parafilename1 =	"/bin/overset_config.hypara"	重叠参数文件路径
boundary_condition.hypara	-	-	-
cfd_para_transonic.hypara	numberOfGridGroups	3	网格组个数
	string gridfile	"/grid/background_4.fts"	第一部分网格文件路径
	string gridfile1	"/grid/upperwing_4.fts"	第二部分网格文件路径
	string gridfile2	"/grid/lowerwing_4.fts"	第三部分网格文件路径
	codeOfOversetGrid	1	有无重叠网格
	readOversetFileOrNot	0	是否读取 ovs 文件
	symetryOrNot	1	是否只进行半场计算
	readInAuxiliaryInnerGrid	1	是否需要辅助网格 (inner)
	auxiliaryInnerGrid0	"/grid/aux-upper.fts";	第一部分网格辅助网格文件路径
	auxiliaryInnerGrid1	"/grid/aux-lower.fts"	第二部分网格辅助网格文件路径
	oversetGridFileName	"/grid/overlap.ovs"	重叠网格.ovs 文件路径
	walldistMainZone	1.0	无壁面边界背景网格壁面距离初值
	toleranceForOversetSearch	1e-3	重叠区搜索容差
	toleranceForOversetBox	1e-3	计算单元最小盒子容差
	twoOrderInterpolationOrNot	1	插值单元层数
	keyEnlargeOfActiveNodes	1	活跃区域扩展次数
outTecplotOverset	1	完成重叠装配后是否输出网格流场数据	
cfd_para_transonic.hypara	maxSimuStep	300	迭代计算步数
	intervalStepFlow	100	流场文件步数
	intervalStepPlot	100	可视化输出步数

intervalStepForce	100	气动力输出步数
intervalStepRes	10	残差输出步数
refMachNumber	0.755	来流马赫数
attackd	0.016	来流攻角
angleSlide	0.00	侧滑角
refReNumber	6.5e6	来流单位雷诺数
refDimensionalTemperature	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
forceReferenceArea	1.0	参考面积
TorqueRefX TorqueRefY TorqueRefZ	0.0 0.0 0.0	参考坐标
viscousType viscousName	0 "Euler"	NS 方程类型 粘性类型
string str_scheme_name string str_limiter_name	-	结构网格: 空间离散格式 限制器类型
string uns_limiter_name double venkatCoeff	"roe" 5.0	非结构网格: 限制器类型 限制器系数
iunsteady CFLEnd nLUSGSSweeps	0 30.0 1	定常/非定常计算 CFL 终止步 LUSGS 扫描步
nMGLevel	1	多重网格数
flowInitStep	100	初始化流场步数

5 装配结果

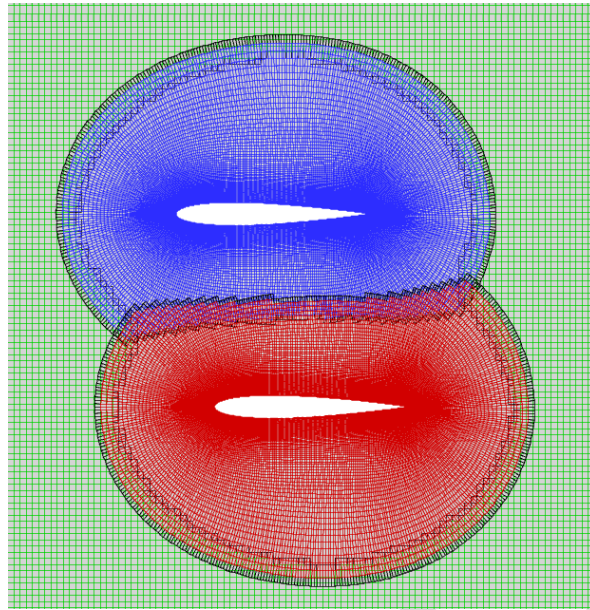


图5 装配后效果

如图为重叠装配后的效果，其中彩色区域为装配后的活跃网格单元区域，黑色区域为插值网格单元区域。