

AEDC 吊舱分离重叠装配算例

(非结构网格)

1 算例概述

AEDC 吊舱分离，风雷软件^[1,2]非结构重叠网格。

WPFS 算例为标准的弹翼分离算例，由美国空军研究实验室 (AFRL) 资助，风洞试验在阿诺德工程发展中心 (AEDC) 4 英尺跨音速空气动力风洞进行。该算例几何外形由机翼/挂架/带翼吊舱组成。AEDC 采用捕获轨迹系统 (CTS) 进行投放试验，该系统连接外挂物，是一个可以进行六自由度运动的尾支杆。试验于 1996 年 6 月 12 日完成，测试数据对外公开，用于多体分离数值软件的验证确认。

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。

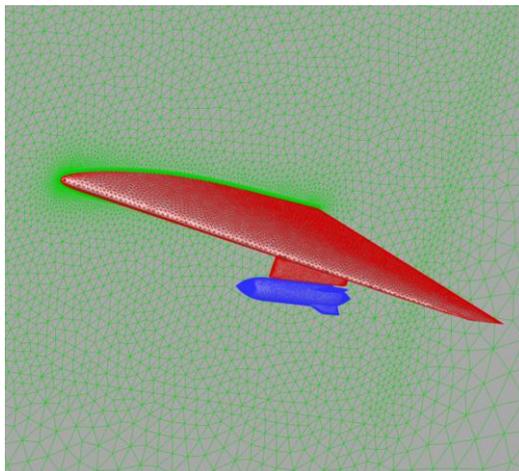
测试环境：8 核并行。

- [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 | 飞行高度 (km) | 攻角 | 侧滑角 | 壁面 |
| 0.95 | 8.0 | 0 | 0 | 绝热壁面 |
| 网格缩放 | 参考展长 | 参考长度 | 参考面积 | 参考点 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | (0,0,0) |

3 计算网格



重叠装配前的多弹结构网格主要由主翼及 3 个弹体等 4 部分网格组成，共计约 2112820 非结构网格单元。

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 Missile.cgns、MissileIn.cgns、Wing.cgns、WingIn.cgns 等 4 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 | 3 | 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 | 4 | 网格文件个数 |
| | string from_gfile | "./grid/Missile.cgns" | 网格路径 1 |
| | string from_gfile1 | "./grid/MissileIn.cgns" | 网格路径 2 |
| | string from_gfile2 | "./grid/Wing.cgns" | 网格路径 3 |
| string from_gfile3 | "./grid/WingIn.cgns" | 网格路径 4 | |

按照上面的参数设置，只需执行一次程序即可完成对所有 4 部分的网格转换操作。最终在 grid 文件夹中转换生成 Missile_0.fts、MissileIn_0.fts、Wing_0.fts、WingIn_0.fts 等 4 个.fts 格式的网格文件。

| | | | |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|
| Missile.cgns | 2022/7/14 10:23 | CGNS 文件 | 45,480 KB |
| Missile_0.bcmesh | 2023/6/7 11:34 | BCMESH 文件 | 417 KB |
| Missile_0.bcname | 2023/6/7 11:34 | BCNAME 文件 | 1 KB |
| Missile_0.fts | 2023/6/7 11:34 | FTS 文件 | 85,332 KB |
| MissileIn.cgns | 2022/7/14 10:23 | CGNS 文件 | 3,124 KB |
| MissileIn_0.bcmesh | 2023/6/7 11:34 | BCMESH 文件 | 417 KB |
| MissileIn_0.bcname | 2023/6/7 11:34 | BCNAME 文件 | 1 KB |
| MissileIn_0.fts | 2023/6/7 11:34 | FTS 文件 | 5,768 KB |
| Wing.cgns | 2022/7/14 10:23 | CGNS 文件 | 49,917 KB |
| Wing_0.bcmesh | 2023/6/7 11:35 | BCMESH 文件 | 1,106 KB |
| Wing_0.bcname | 2023/6/7 11:35 | BCNAME 文件 | 1 KB |
| Wing_0.fts | 2023/6/7 11:35 | FTS 文件 | 92,271 KB |
| WingIn.cgns | 2022/7/14 10:23 | CGNS 文件 | 2,831 KB |
| WingIn_0.bcmesh | 2023/6/7 11:35 | BCMESH 文件 | 501 KB |
| WingIn_0.bcname | 2023/6/7 11:35 | BCNAME 文件 | 1 KB |
| WingIn_0.fts | 2023/6/7 11:35 | FTS 文件 | 5,038 KB |

图 1 转换生成的网格

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 5 条），如图 2 所示。

```
int nBoundaryConditions = 5;
string bcName = "overset";
{
    int bcType = -3;
}
string bcName = "missile";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "wing";
{
    string bodyName = "body";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "symmetry";
{
    int bcType = 3;
}
string bcName = "farfield";
{
    int bcType = 4;
}
```

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

4.2 边界条件

在网格转换操作结束后，需对 bin 文件夹新新生成的 boundary_condition.hypara 文件进行两处修改：1、将 UserDefined 边界的 bcType 值由-3 改为 1000（重叠边界）；2、对两个壁面边界中的 bodyName 进行修改，将 missile 对应 bodyName 修改为 body1，将 wing 对应 bodyName 修改为 body0，如图 3 所示。

```
int nBoundaryConditions = 5;
string bcName = "overset";
{
    int bcType = 1000;
}
string bcName = "missile";
{
    string bodyName = "body1";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "wing";
{
    string bodyName = "body0";
    int bcType = 2;
}
string bcName = "symmetry";
{
    int bcType = 3;
}
string bcName = "farfield";
{
    int bcType = 4;
}
```

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

4.3 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 Missile.fts（8 个分区）、Wing.fts（8 个分区）的网格分区操作。

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 | 3 | 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 | 0 | 网格文件个数 |
| | int pgridtype | 0 | 网格 1 类型 |
| | int pgridtype1 | 0 | 网格 2 类型 |
| | int maxproc | 8 | 网格 1 分区数 |
| | int maxproc1 | 8 | 网格 2 分区数 |
| | string original_grid_file | "/.grid/Missile.fts" | 网格 1 路径 |
| | string original_grid_file1 | "/.grid/Wing.fts" | 网格 2 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 Missile.fts 等 2 部分.fts 网络的分区操作，如图 1 所示。

| | | | |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|
| Missile.cgns | 2022/7/14 10:23 | CGNS 文件 | 45,480 KB |
| Missile_8_0.fts | 2023/6/7 14:13 | FTS 文件 | 88,700 KB |
| Missile_0.bcmesh | 2023/6/7 11:34 | BCMESH 文件 | 417 KB |
| Missile_0.bcname | 2023/6/7 11:34 | BCNAME 文件 | 1 KB |
| Missile_0.fts | 2023/6/7 11:34 | FTS 文件 | 85,332 KB |
| MissileIn.cgns | 2022/7/14 10:23 | CGNS 文件 | 3,124 KB |
| MissileIn_0.bcmesh | 2023/6/7 11:34 | BCMESH 文件 | 417 KB |
| MissileIn_0.bcname | 2023/6/7 11:34 | BCNAME 文件 | 1 KB |
| MissileIn_0.fts | 2023/6/7 11:34 | FTS 文件 | 5,768 KB |
| Wing.cgns | 2022/7/14 10:23 | CGNS 文件 | 49,917 KB |
| Wing_8_0.fts | 2023/6/7 14:13 | FTS 文件 | 95,327 KB |
| Wing_0.bcmesh | 2023/6/7 11:35 | BCMESH 文件 | 1,106 KB |
| Wing_0.bcname | 2023/6/7 11:35 | BCNAME 文件 | 1 KB |
| Wing_0.fts | 2023/6/7 11:35 | FTS 文件 | 92,271 KB |
| WingIn.cgns | 2022/7/14 10:23 | CGNS 文件 | 2,831 KB |
| WingIn_0.bcmesh | 2023/6/7 11:35 | BCMESH 文件 | 501 KB |
| WingIn_0.bcname | 2023/6/7 11:35 | BCNAME 文件 | 1 KB |
| WingIn_0.fts | 2023/6/7 11:35 | FTS 文件 | 5,038 KB |

图 4 分区生成的网格

4.4 CFD 计算

CFD 计算：

key.hypara + +boundary_condition.hypara+overset_config.hypara

注意：此文档为弹体分离_重叠装配_算例说明文档

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 8 ./PHengLEIv3d0.exe 进行计算

| 文件 | 参 数 | 值 | 备注 |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------|
| key.hypara | ndim | 3 | 空间维数 |
| | nparafilename | 1 | 参数文件个数 |
| | nsimutask | 6 | 参数类型 |
| | string parafilename = | "/bin/overset_config.hypara" | 重叠参数文件路径 |
| boundary_condition.hypara | - | - | 采用网格转换后修改好的文件 |
| overset_config.hypara | numberOfGridGroups | 2 | 网格组个数 |
| | string gridfile | "/grid/Wing_8.fts" | 第一部分网格文件路径 |
| | string gridfile1 | "/grid/Missile_8.fts" | 第二部分网格文件路径 |
| | codeOfOversetGrid | 1 | 有无重叠网格 |
| | symetryOrNot | 1 | 是否只进行半场计算 |
| | readInAuxiliaryInnerGrid | 1 | 是否需要辅助网格(inner) |
| | auxiliaryInnerGrid0 | "/grid/WingIn.fts"; | 第一部分网格辅助网格文件路径 |
| | auxiliaryInnerGrid1 | "/grid/MissileIn.fts" | 第二部分网格辅助网格文件路径 |
| | twoOrderInterpolationOrNot | 1 | 插值单元层数 |
| | keyEnlargeOfActiveNodes | 3 | 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 | |

5 装配结果

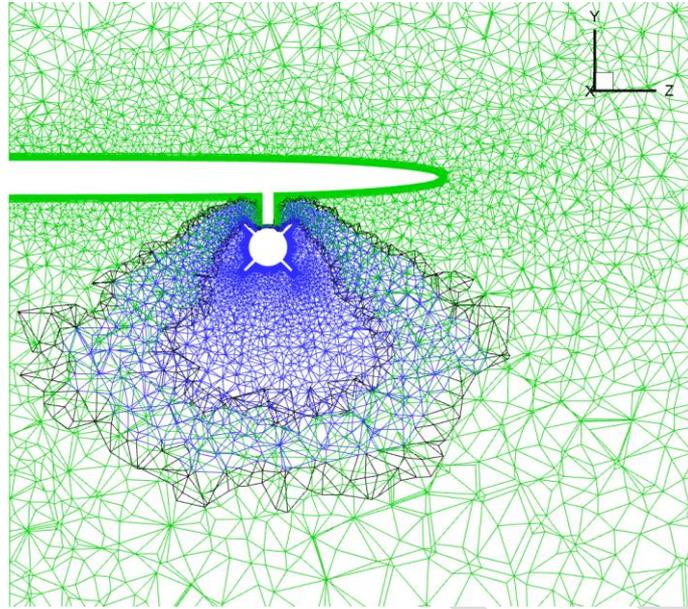


图5 装配后效果

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。