

QFlux 软件

用户使用说明书

版本标识：V2.7

深圳十沣科技有限公司

2021 年 9 月

目录

1 产品概要.....	1
1.1 软件功能概要.....	1
1.1.1 网格读入.....	1
1.1.2 求解器.....	1
1.1.3 后处理.....	1
1.2 基本使用流程.....	2
1.3 软件产品标识.....	2
1.4 软件登录与注册.....	2
1.4.1 关于软件登录.....	2
1.4.2 关于软件注册.....	3
1.5 技术支持/联系我们.....	3
2 用户界面（UI）	4
3 文件操作.....	6
3.1 文件格式说明.....	6
3.2 新建.....	6
3.3 打开.....	6
3.4 文件管理.....	7
3.5 导入.....	7
3.6 导出.....	9
3.7 保存.....	10
3.8 另存为.....	11
4 网格管理.....	12
4.1 平移.....	12
4.2 拉伸.....	12
4.3 旋转.....	13
4.4 镜像.....	13
4.5 删除.....	14
5 网格操作.....	15
5.1 网格检查.....	15
5.2 网格块信息.....	15
6 计算设置与模拟.....	17
6.1 时间模式.....	17
6.2 计算域.....	17
6.3 对接面匹配.....	18
6.4 求解器.....	19
6.4.1 求解器的类型与基本方程.....	19

6.4.2 物理模型.....	19
6.4.3 数值方法.....	40
6.5 材料.....	43
6.6 附加模型.....	45
6.6.1 能量/动量源项.....	45
6.6.2 多孔介质.....	46
6.6.3 阻塞区模型.....	47
6.6.4 周期边界驱动源项.....	47
6.6.5 组分源项.....	48
6.7 运动属性.....	49
6.8 边界条件.....	59
6.8.1 Wall, 固壁边界.....	59
6.8.2 Velocity Inlet, 速度入口边界.....	62
6.8.3 Mass Flow Inlet, 流量入口边界.....	64
6.8.4 Pressure Inlet, 压力入口边界.....	66
6.8.5 Pressure Outlet, 压力出口边界.....	68
6.8.6 Symmetry, 对称面.....	70
6.8.7 Periodic, 周期面.....	70
6.8.8 Interface, 内部对接面.....	71
6.8.9 Chimera, 嵌套网格内部插值面.....	73
6.8.10 Immersed Boundary, 浸没边界.....	73
6.9 初始化.....	76
6.10 自定义变量.....	78
6.10.1 时均场变量.....	79
6.10.2 面均场变量.....	79
6.10.3 展向平均场变量.....	80
6.10.4 边界 y+变量.....	81
6.11 监控器.....	81
6.12 启动和中止计算.....	86
7 流场可视化与数据后处理.....	91
7.1 可视化导航工具条.....	92
7.2 边界面可视化.....	93
7.3 切平面.....	99
7.3.1 新建切平面.....	100
7.3.2 编辑切平面的可视化属性.....	101
7.3.3 切平面定位器.....	102
7.3.4 快捷浮动工具条.....	102
7.3.5 切平面云图图例设置.....	103

7.3.6 切平面矢量分布.....	103
7.3.7 删除.....	103
7.4 等值面.....	104
7.4.1 新建等值面.....	104
7.4.2 编辑等值面的可视化属性.....	105
7.4.3 面上云图图例设置.....	106
7.4.4 面上矢量分布.....	106
7.4.5 删除.....	106
7.5 矢量线.....	107
7.5.1 新建矢量线.....	107
7.5.2 编辑矢量线的可视化属性.....	110
7.5.3 矢量线轨迹动画.....	111
7.5.4 删除.....	112
7.6 数据统计.....	112
7.6.1 受力分析.....	113
7.6.2 热分析.....	113
7.6.3 面积分.....	114
7.6.4 体积分.....	114
7.6.5 声学信号处理.....	115
7.7 变量管理.....	118
7.8 矢量管理.....	120
7.9 剖面.....	121
7.10 动画.....	122
7.11 标识.....	123
7.11.1 点标识.....	123
7.11.2 体标识.....	125
8 视图.....	126
8.1 多窗口显示.....	126
8.2 图形复制.....	127
8.3 颜色主题.....	128
8.4 信息栏.....	129
9 帮助信息 (Help)	130
10 应用实例：室内建筑物算例.....	131
10.1 简介.....	131
10.2 仿真参数设置.....	131
10.2.1 导入 buildings 网格文件.....	131
10.2.2 设置时间模式.....	132
10.2.3 设置求解器参数.....	132

10.2.4 设置材料属性.....	133
10.2.5 选择边界条件.....	134
10.2.6 初始化流场.....	135
10.2.7 启动计算.....	136
10.3 后处理.....	136
10.3.1 计算残差曲线图.....	136
10.3.2 X-Velocity 云图.....	136
10.3.3 Pressure 云图.....	138
10.3.4 Z Vorticity 云图.....	139
10.3.5 Velocity Magnitude 云图.....	139
10.3.6 流线图.....	140

1 产品概要

QFlux 是一款用于求解连续介质中多物理场问题的 CFD (Computational Fluid Dynamics, 计算流体力学) 软件。软件采用 C++ 语言编写, 其中软件界面 (UI) 采用 QT 语言编写、软件可视化模块采用 VTK 图形库开发, 支持 Windows、Linux 等跨平台操作。

1.1 软件功能概要

1.1.1 网格读入

软件前处理数据接口支持读入 CGNS 格式的任意多面体非结构网格。

1.1.2 求解器

软件求解器采用有限体积法, 数值求解不可压缩的 Navier-Stokes 方程组 (含耦合求解能量方程), 压力-速度耦合算法包括 SIMPLE、PISO、Coupled 等, 同时具备完善的动网格算法, 包括滑移网格法、弹簧网格法、嵌套网格法等, 支持如下问题的求解:

- ❑ 稳态及非稳态问题;
- ❑ 可压缩及不可压缩问题;
- ❑ 层流及湍流问题, 其中, 支持的湍流模型包括: RANS 模型, 如 S-A、 $k-\varepsilon$ 、 $k-\omega$ 等; DES、DDES、IDDES 等脱体涡模型;
- ❑ 多相流、空化问题;
- ❑ 气动噪声问题;
- ❑ 流固耦合传热及辐射传热问题;
- ❑ 考虑重力加速度的流动问题;
- ❑ 多孔介质中的流动问题;
- ❑ 静止、旋转或平移刚体绕流问题、多刚体六自由度 (6DOF) 运动绕流问题。

针对上述问题, 软件提供了丰富的常用介质材料数据库, 以及用户自定义材料属性功能; 提供了各种常用边界类型供用户选择及定义, 针对环境流体动力学问题, 用户也可以自定义风廓线等入流参数。

软件支持基于 Microsoft MPI 协议的并行计算, 具有优异的大规模并行计算能力。

1.1.3 后处理

针对经过求解获得的计算结果, 软件支持丰富的流场可视化功能, 包括:

- ❑ 云图;

- ❑ 矢量及矢量线；
- ❑ 切面；
- ❑ 等值面；
- ❑ 视图半透明化展现物体内部结构；
- ❑ 以图片/动画形式展现运动物体的运动姿态及绕流结构；
- ❑ 图片保存；

数据统计分析功能包括：

- ❑ 统计报表；
- ❑ 曲线图；
- ❑ 跟踪并输出物体阻力、力矩、角速度、加速度变化曲线；
- ❑ 数据自动保存。

1.2 基本使用流程

QFlux 软件的基本使用流程如下：

- (1) 通过用户界面（UI）读入已剖分好的网格数据文件；
- (2) 设置求解器、介质材料物性、计算域运动属性、边界条件类型及数值方法等参数。
- (3) 启动求解器进行计算。
- (4) 计算过程中或计算结束后，对计算结果进行统计分析，或者是以可视化形式呈现流场/流动细节。
- (5) 保存数据并退出软件。

1.3 软件产品标识

软件名称：	QFlux 计算流体动力学仿真软件
版本号：	V2.7
简称：	QFlux

1.4 软件登录与注册

1.4.1 关于软件登录

用户可以通过以下四种方式启动 QFlux 软件界面：

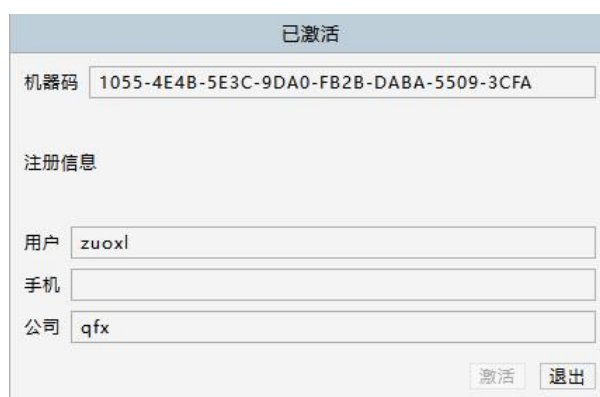
- (1) 点击系统桌面上的 QFlux 软件快捷按钮；
- (2) 点击系统程序菜单栏中的 QFlux 软件链接；

- (3) 在软件安装目录中找到 QFlux.exe 并双击打开;
- (4) 在系统命令窗口 (cmd) 中进入 QFlux 软件安装目录后, 输入 QFlux 并回车。

1.4.2 关于软件注册

QFlux 软件的免费试用期为 180 天。用户打开登录界面后, 软件将在启动过程中自检 License 的有效性。如用户的注册时间超过 180 天, 则需要购买软件使用权 (注册码), 才能激活软件并继续使用。

软件注册 (激活) 界面如图 1 所示。用户需将 “机器码” 返回给其业务代表, 并通过业务代表得到合法授权的 “激活码”, 然后将激活码输入界面中, 点击 “激活” 按钮, 即可完成软件注册操作。用户注册成功后, 可以在软件 “帮助” 菜单栏中查看注册信息详情。



The image shows a software registration window titled "已激活" (Already Activated). It contains a "机器码" (Machine Code) field with the value "1055-4E4B-5E3C-9DA0-FB2B-DABA-5509-3CFA". Below this is a "注册信息" (Registration Information) section with fields for "用户" (User) containing "zuoxl", "手机" (Mobile Phone) which is empty, and "公司" (Company) containing "qfx". At the bottom right are two buttons: "激活" (Activate) and "退出" (Exit).

图 1 软件注册框

1.5 技术支持/联系我们

2 用户界面（UI）

QFlux 软件主界面（User Interface, UI）如下图 2 所示，包括以下几个部分：

- （1）菜单栏：包含“几何”、“计算”、“视图”、“帮助”等菜单项。
- （2）工具栏：提供求解器、可视化相关的操作按钮或图标。用户点击该按钮或图标，可在弹出对话框设置相关参数值，或者是启动求解器进行仿真计算。
- （3）左侧“计算设置”区：该“计算设置”区以“树”结构形式展示了当前工程的所有信息，包含已输入的网格、计算域设置、运动属性、求解器及物理模型、材料、边界条件、初始化、监控器、可视化等相关设置。
- （4）右侧“视图”区：可进行计算域网格及流场数据的可视化交互操作，仿真计算残差、受力等统计数据及可视化（曲线）。“视图”窗口右侧为可视化快捷操作按钮。
- （5）右下方“信息监控”区：仿真过程中输出相关统计数据，或操作日志信息。

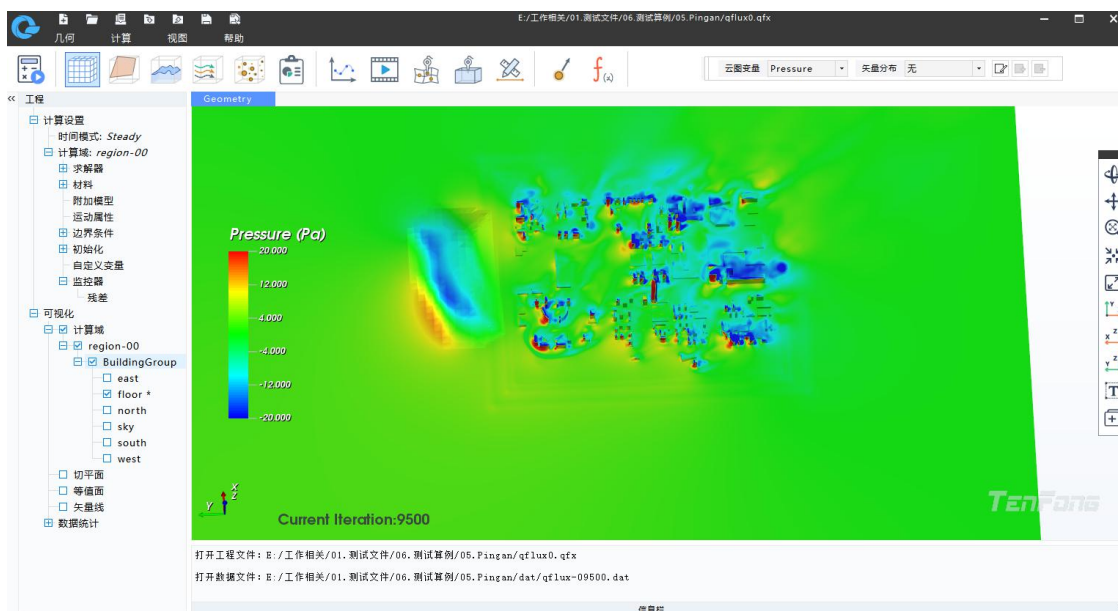


图 2 QFlux V1.0 软件界面图

其中：

- （1）工具栏设置了 7 个与可视化功能相关的快捷按钮（图 3），包括曲线、动画、点标识、体标识、测量两点距离、矢量、变量。
- （2）“视图”区右侧，设置了与视图功能相关的快捷操作按钮栏（图 4），包括：视图旋转、平移、缩放、中心点、适应窗口、XY 视图、XZ 视图、YZ 视图、添加文字标注和图形复制按钮。



图 3 “计算设置”区的快捷工具栏



图 4 视图区右侧的快捷按钮

3 文件操作

3.1 文件格式说明

在 QFlux 软件中，执行一个完整的数值模拟算例可能会涉及如下文件：

- (1) **网格文件：**QFlux 软件支持.cgns 格式的多面体非结构网格。
- (2) **.qfx 算例文件：**QFlux 软件将用户定义的仿真算例，保存为.qfx 后缀的文件，以便用户下次打开、修改设置或提交仿真计算。
- (3) **.dat 数据文件：**QFlux 软件将仿真计算结果保存在.dat 文件中，以便用户在可视化窗口中绘制仿真流场数据，如刚体或流体速度场、压力、温度等，或者是绕流物体的位移、速度加速度、受力曲线等。
- (4) **声源信息文件：**用户使用 QFlux 软件声学模块的 FWH 模型时，QFlux 软件会将所有边界上与 FWH 模型相关的声源信息以文件的形式保存到以计算时间命名的文件夹中。声源信息文件仅限于用户在后处理计算监测点的声压信号时使用。

QFlux 软件的文件操作功能包括：新建、打开、文件管理、导入、导出、保存、另存为。

3.2 新建

➤ 功能描述

“新建”功能为新建一个仿真工程（算例）。如果在已打开工程状态下点击“新建”，原工程自动被覆盖，新建一个新的仿真工程（算例），软件界面的相关参数为初始化参数。

➤ 操作步骤

选择“文件”菜单栏中的“新建”选项或者直接点击文件工具栏“”按钮，新建一个全新的工程。

3.3 打开

➤ 功能描述

打开.qfx 算例，或者同时打开.qfx 文件和.dat 文件。

➤ 操作步骤

选择“文件”菜单栏中的“打开”选项，

或者直接点击文件工具栏“”按钮，弹出图 5 对话框。

在图 5 对话框中，点击“qfx 文件”输入栏右端的图标“”，选择一个.qfx 文件，然后点击“打开”按钮，即可将该.qfx 文件加载到软件中。如需同时打开.dat 文件，则在“dat 文件”输入栏中执

行相同操作即可。注：该.dat 文件的流场数据必须与.qfx 文件的计算域及网格匹配，否则会导致数据加载失败。

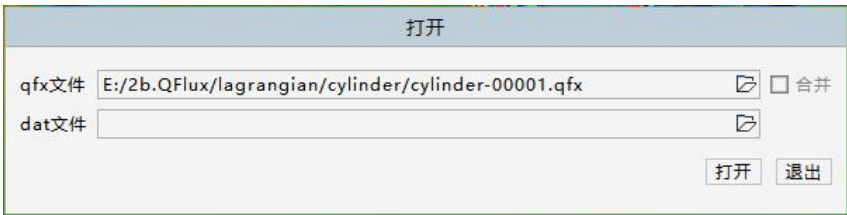


图 5 打开文件对话框

3.4 文件管理

➤ 功能描述

添加、激活工程文件（qfx 文件）和 dat 文件。

➤ 操作步骤

选择“文件”菜单栏的“文件管理”或者直接点击文件工具栏“文件管理”按钮，弹出图 6 对话框。在该对话框的文件列表选择一个文件名（.qfx 或.dat 文件），点击右下角的“激活”按钮，即可激活该算例或数据文件；点击列表下方的添加按钮“”，可以将外部的.qfx 文件或者.dat 文件添加到相应列表中；选择某个已添加的文件，然后点击删除按钮“”，即可将其从当前列表中清除；选择某个文件，然后点击前移按钮“”、或者后移按钮“”，可以改变其在列表中的顺序。

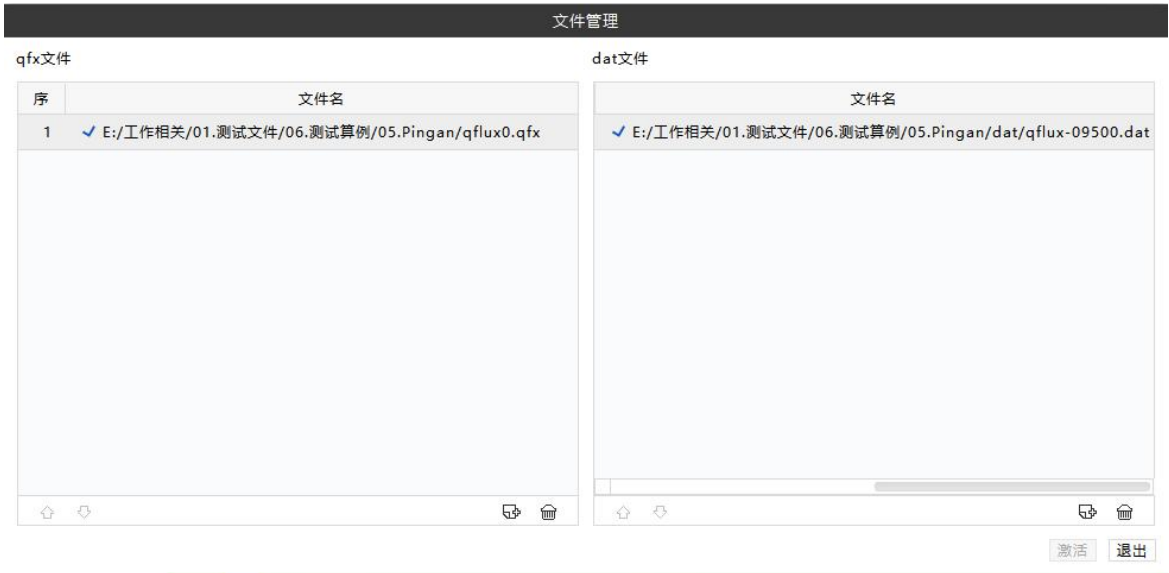


图 6 文件管理对话框

3.5 导入

➤ 功能描述

导入.cgns 格式的网格文件。

➤ 操作步骤

选择“文件”下拉菜单栏中的“导入”功能项，或者点击文件工具栏的导入按钮“”，可以打开如图 7 所示的“导入文件”对话框。在该对话框中，点击添加按钮“”，在弹出的系统对话框中选择一个.cgns 网格文件，然后点击“导入”按钮，即可将该计算域网格导入 QFlux 软件中，如图 8 所示。



图 7 导入文件

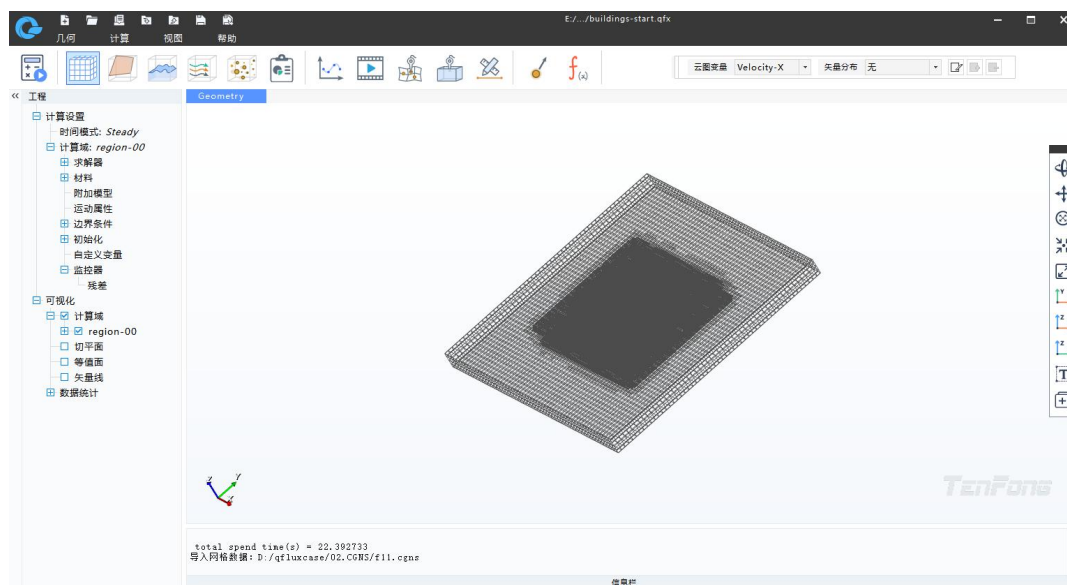


图 8 导入模型

QFlux 支持同时导入多个网格文件。如图 9 所示，用户只需要在“导入文件”对话框中添加需要导入的多个网格文件后，点击左下角的“全选”按钮，将所列的网格全部选中后，点击导入即可。各个网格文件导入后，软件将按照导入顺序自动编号为“Zone-1”、“Zone-2”...，罗列在“计算设置”>“网格”节点下。

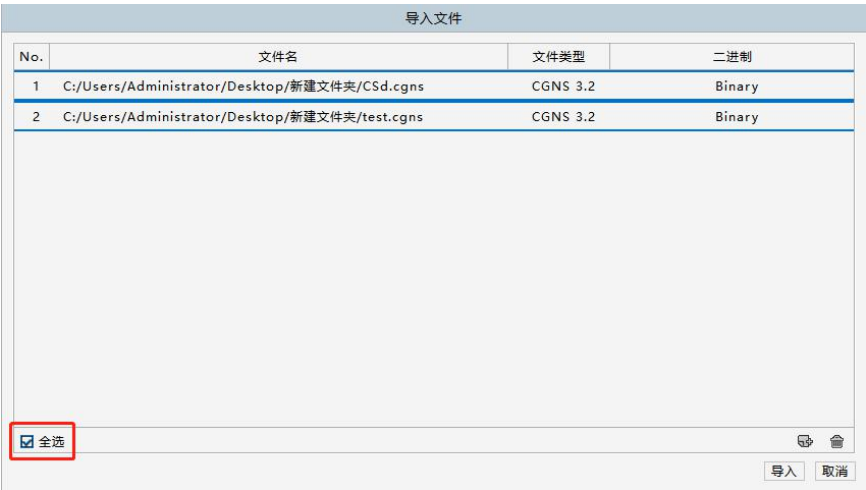


图 9 同时导入多个网格文件

3.6 导出

➤ 功能描述

将当前仿真算例及数据转存为其他格式的数据文件，以供第三方软件使用。QFlux 软件可以导出的数据格式包括.cgns 格式和 Tecplot 软件支持的.plt 格式

➤ 操作步骤

(1) 导出.cgns 格式的数据文件

选择“文件”菜单栏的“导出”选项，或者点击文件工具栏的导出图标“”，打开如图 10 所示的“导出文件”对话框。在该对话框的“导出类型”下拉框中，选择“cgns 格式”，在“导出文件”输入栏中输入拟导出文件名，并在界面左侧选择拟导出的计算域范围、在右侧选择拟导出的流场物理量，然后点击界面右下角的“导出”按钮，即可将指定数据导出为.cgns 格式的数据文件。

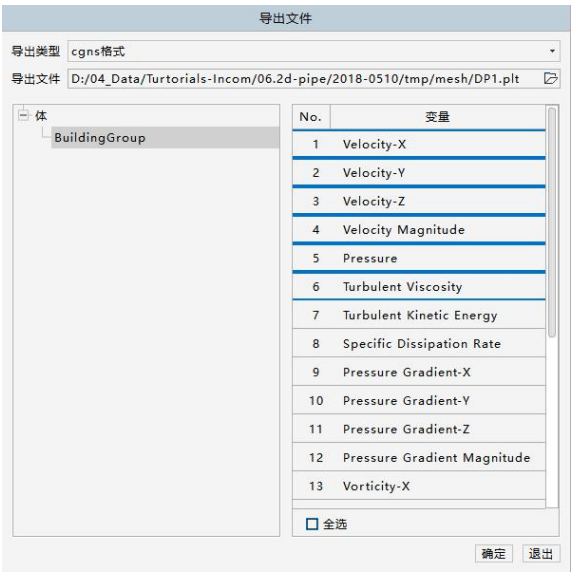


图 10 “导出文件”对话框

(2) 导出 Tecplot 格式 (.plt) 数据文件

在上述对话框的“导出类型”下拉框中，选择“tecplot 格式”，在“导出文件”输入栏中输入拟导出文件名，并在界面左侧选择拟导出的计算域范围、在右侧选择拟导出的流场物理量，然后点击界面右下角的“导出”按钮，即可将该数据导出为.plt 格式的数据文件，如图 11 所示。

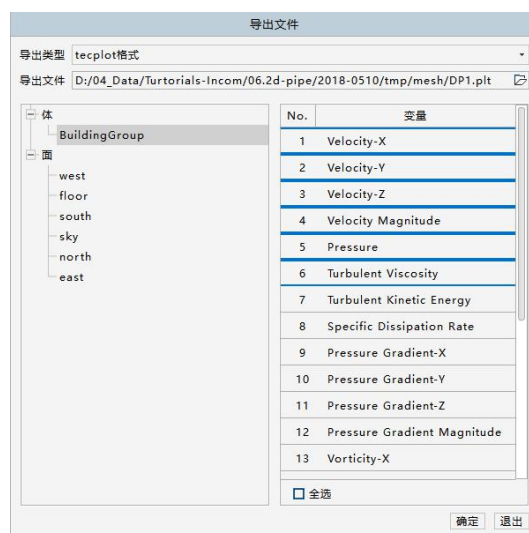


图 11 导出 Tecplot 格式数据文件

3.7 保存

➤ 功能描述

工程/算例中相关问题的定义需要保存在.qfx 文件中，为了以后的使用和分析必须保存该文件(计算结果会保存在另一个.dat 文件中)。

➤ 操作步骤

菜单栏“文件”项中选择“保存”功能项，或者在工具栏中点击保存按钮，软件将对当前打开的.qfx 仿真文件进行保存。若当前操作的仿真工程尚未被保存过，则将弹出如图 12 所示的“另存为”对话框，用户在其中指定拟保存的文件路径及文件名后，点击“保存”按钮，即可输出该.qfx 文件。

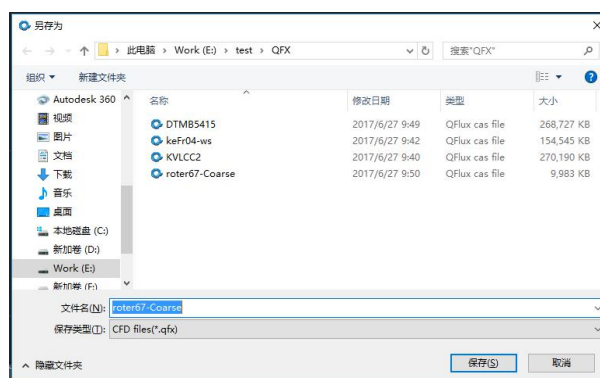


图 12 保存对话框

3.8 另存为

➤ 功能描述

将当前操作的仿真算例，另存为其他名称的.qfx 文件。

➤ 操作步骤

在“文件”菜单栏中选择“另存为”功能项，或者点击工具栏的保存图标“”，在弹出对话框中（图 12）输入拟保存的文件名及路径，点击“保存”按钮即可。

4 网格管理

4.1 平移

➤ 功能描述

将当前仿真算例中选定的网格在给定方向上平移一段距离。

➤ 操作步骤

导入网格或打开已有仿真算例后，点击菜单栏“几何”>“网格管理”，即可打开图 13 所示的“网格”对话框。

在窗口左侧网格列表中选择需要平移的网格块，在窗口右侧“变换类型”下拉框中选择“平移”，输入位移矢量，点击“应用”按钮，即可将选中的网格平移指定的位移。用户可以通过“值域”变化查看平移结果。



图 13 “几何”>“网格管理”对话框：“平移”

4.2 拉伸

➤ 功能描述

将当前仿真算例中选定的网格沿指定方向拉伸（伸长或压缩）。

➤ 操作步骤

如图 14 所示，在窗口左侧网格列表中选择需要拉伸的网格块，在窗口右侧“变换类型”下拉框中选择“拉伸”，并输入沿 X、Y、Z 方向的拉伸系数矢量，点击“应用”按钮即可完成拉伸操作。其中，拉伸系数大于 1，表示拉长；小于 1，表示缩短。



图 14 “几何”>“网格管理”对话框：拉伸

4.3 旋转

➤ 功能描述

将当前仿真算例中选定的网格沿指定方向，旋转某个角度。

➤ 操作步骤

如图 15 所示，在窗口左侧网格列表中选择需要旋转的网格块，在窗口右侧“变换类型”下拉框中选择“旋转”，并依次输入旋转中心、转轴方向和旋转角度，点击“应用”按钮即可完成旋转操作。



图 15 “几何”>“网格管理”对话框：旋转

4.4 镜像

➤ 功能描述

将当前仿真算例中选定的网格沿指定平面做镜像变换。

➤ 操作步骤

如图 16 所示，在窗口左侧网格列表中选择需要镜像的网格块，在窗口右侧“变换类型”下拉框中选择“镜像”，并依次输入镜像平面所在原点和平面法向，点击“应用”按钮即可完成镜像变换。



图 16 “几何” > “网格管理” 对话框：镜像

4.5 删除

➤ 功能描述

将当前仿真算例中选定的网格删除。

➤ 操作步骤

如图 17 所示，在窗口左侧网格列表中选择需要删除的网格块，在窗口右侧“变换类型”下拉框中选择“删除”，点击“应用”按钮即可完成删除。



图 17 “几何” > “网格管理” 对话框：删除

5 网格操作

5.1 网格检查

➤ 功能描述

检查统计当前仿真案例的网格信息：当前案例网格的网格单元个数、单个网格单元的体积最大最小值、单个网格面的面积最大最小值、网格区域的 boundingbox 范围、网格单元的网格质量。

➤ 操作步骤

网格被导入 QFlux 软件时，软件会自动进行网格检查，如果网格质量不满足软件要求，会输出相应的提示信息，并且导致网格导入失败。网格导入软件后，用户点击菜单栏“几何”-“网格检查”功能项，软件将会再次对当前案例的网格进行检查，并将检查结果输出到信息监控区中以供查看。如图 18 所示。

```
Mesh Check
-----
--- Computing statistics in Region: BuildingGroup
-----
-> ENTITY COUNT:
# Cells: 3305544
# Faces: 10119963
# Verts: 3508309
-> EXTENTS:
# x: [ -5000, 5000 ] m
# y: [ -5000, 7000 ] m
# z: [ -1.42109e-14, 2000 ] m
-> STATISTICS:
# volume: [ 0.0523934, 8e+06 ] m3
# face area: [ 0.117188, 40000 ] m2
-> MESH QUALITY:
# max non-orthogonal: 69.3329 degree
# max skewness: 5.15574
# max aspect ratio: 33.3953
```

图 18 网格检查结果

5.2 网格块信息

➤ 功能描述

可查看指定网格块（Zone）的几何信息，或将网格块重新命名，以提高其辨识度。

➤ 操作步骤

在工程面板中右击“可视化”-网格块节点，选择“网格信息”，即可打开“网格信息”对话框，如图 19 所示。在对话框的“名称”输入框中输入新名称即可对该网格块重命名；“几何信息”区域展示了网格节点数（Node）、网格单元数（Element）以及网格 boundingbox 范围。



图 19 网格信息

6 计算设置与模拟

将前处理生成的计算域网格导入 QFlux 软件后，用户即可设置该仿真工程的各项参数，并启动计算流体力学（CFD）求解器进行仿真计算。这其中，需要设置的仿真参数项包括：仿真计算的时间模式；运动部件及其动网格算法；求解器类型、物理模型及其数值方法；仿真案例的边界条件；计算域初始化；监控器等。各项设置及启动求解器进行仿真计算的具体说明如下。

6.1 时间模式

➤ 功能描述

指定当前仿真案例的时间模式为定常（Steady，稳态）或非定常（Unsteady，动态/瞬态）。

➤ 操作步骤

在工程面板中双击“时间模式”节点，或者右击该节点并选择“编辑”项，即可打开“时间模式”对话框，如图 20 所示。在该对话框的“时间模式”下拉框中选择“Steady”（定常/稳态）或“Unsteady”（非定常/动态）模式。

若选择“Steady”，则可在“迭代步数”输入栏中设置稳态仿真计算的迭代步数。

若选择“Unsteady”，则可在“时间步长”、“时间步数”、“内迭代次数”等输入栏中，依次设置动态仿真的迭代参数。各个参数具体含义参见 6.12 节。



图 20 “时间模式”对话框

6.2 计算域

➤ 功能描述

根据拟仿真问题的特点，设置计算域的区域组成，以及各个计算域的仿真计算类型。比如流固耦合传热问题，需要定义流体介质区域和固体介质区域。在多计算域问题中，各个计算域之间的计算设置等相互独立，仅通过交接面（Interface 边界，详见 6.8.8 节）进行信息交换。

QFlux 软件默认将已导入的所有网格块设置为一个计算域（Region-00）。用户可以根据仿真需要新建多个计算域。

➤ 操作步骤

在工程面板中，右击“计算设置”节点并选择“计算域管理”项，即可打开“计算域管理”对话框，如图 21 所示。在该对话框中，用户可新建、删除计算域，在计算域列表中选择创建计算域为“流体区”或“固体导热区”，点击“”按钮新建一个计算域，并设置创建的计算域“名称”（如 region-01），在“网格列表”中勾选拟置入该计算域的网格块，然后点击“应用”，即可创建一个计算域，点击“退出”可关闭该对话框。

新计算域被创建后，“计算设置”节点下将新增一个名为“计算域：region-01”的子节点，用户可在该节点下设置其动网格、求解器、材料、附加模型、边界条件、初始化、监控器等参数。



图 21 “计算域设置”对话框

6.3 对接面匹配

➤ 功能描述

当前工程中导入多于一个网格块时，会存在成对出现的边界面，它们在几何上是重合的，称为对接面。网格块之间的所有对接面均需要设置为 Interface 边界条件（详见 6.8.8 节），由于该操作确定且重复，可通过该功能自动匹配对接面。

➤ 操作步骤

点击菜单栏“几何”-“匹配对接面”功能项，所有网格块之间的对接面的边界类型均自动设置为 Interface。如图 22 所示。



图 22 对接面匹配

6.4 求解器

➤ 功能描述

求解器模块，旨在设置仿真计算的求解器的类型与基本方程、物理模型和数值方法。

➤ 操作步骤

6.4.1 求解器的类型与基本方程

目前 QFlux 软件支持对可压缩流动和不可压缩流动进行仿真模拟。

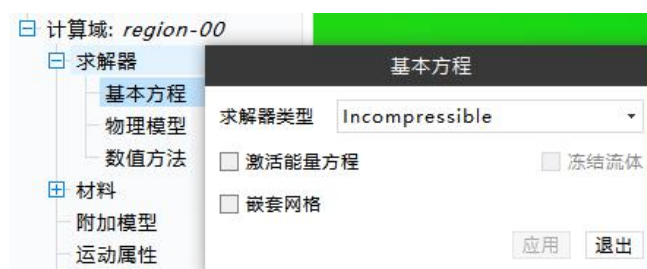


图 23 “求解器”对话框

在“计算设置”>指定“计算域”>“求解器”节点下，双击“基本方程”节点，弹出“求解器”对话框，如图 23 所示，求解器类型默认选择为“Incompressible”（即不可压缩流动求解器）。如果仿真过程中需要耦合求解能量方程，则勾选“激活能量方程”，否则不勾选；仅当能量方程激活时，“冻结流体”为可勾选状态，勾选后仿真过程仅计算能量方程。

对可压缩流动进行模拟时，需要将求解器修改为可压缩流动求解器，操作方法：点击“求解器类型”下拉框选择“Compressible”即可；选择可压缩流动求解器时，默认打开能量方程（暂时关闭）。

然后点击“退出”返回主界面。

6.4.2 物理模型

双击“求解器”>“物理模型”子节点，弹出“物理模型”对话框，如图 24 所示。



图 24 “物理模型”对话框

下面分别介绍各类物理模型。

6.4.2.1 湍流模型

➤ 功能描述

“湍流模型”页签，旨在为模拟粘性项设置模型及相关参数。

如果用户进行的仿真问题是层流问题或者湍流效应的影响较小可以不予考虑，则可以选择层流（Laminar）。选择层流可以降低计算量。

虽然，原则上 Navier-Stokes 方程可以描述湍流现象，但是鉴于湍流现象的高度复杂无规则性，用直接数值模拟方法（DNS）在空间和时间上全尺度离散求解湍流问题对于计算资源需求是非常巨大的，所以人们提出了很多经验、半经验的湍流模型来模拟计算湍流问题。

（1） Spalart-Allmaras（S-A）模型

S-A 湍流模型是一方程模型，相对于二方程模型计算量小，稳定性好。S-A 模型主要应用于航空领域，在墙壁束缚流动方面已经表现出来了比较好的效果。QFlux 提供三种形式的 S-A 模型：Standard Spalart-Allmaras 模型、Edwards Spalart-Allmaras 模型、Ashford Spalart-Allmaras 模型。

（2） k- ϵ 模型

k- ϵ 湍流模型是二方程模型，其适用范围广、经济、精度也比较合理，在工程流场和热传导模拟计算中的被广泛应用。但是其不太适用于外流问题的模拟。除了标准 k- ϵ 模型外，人们对其进行改造，出现了新的湍流模型：Renormalization-group（RNG）k- ϵ 模型和 Realizable k- ϵ 模型。这三种模型在 QFlux 软件中都有提供。

（3） k- ω 模型

k- ω 模型适用于墙壁束缚流和自由剪切流动。像尾流、混合流动、平板绕流、圆柱绕流和放射状喷流等都可以用 k- ω 模型进行模拟。标准 k- ω 模型的一个改进形式就是 SST k- ω 模型，改进后的模型在广泛的流动领域中有更高的精度和可信度。这两种模型在 QFlux 软件中都有提供。

(4) k-kl- ω 模型

k-kl- ω 模型为三方程模型，主要用于 Bypass 转捩现象模拟。该模型重点关注 Bypass 转捩之前的脉动脉动变化，对于其他流动性能如分离流动等计算效果略差。

(5) γ - Re_{θ} Transition 模型

γ - Re_{θ} Transition 模型也通常叫做“ γ - Re_{θ} ”模型，为四方程模型，主要用于转捩现象模拟。该模型通过动量厚度雷诺数来判断转捩的开始，采用间歇因子模型来描述转捩过程，能够有效的模拟自然转捩、Bypass 转捩等。

基于“当地化”的思想， γ - Re_{θ} Transition 模型中采用当地的速度和湍流动能来计算湍流度，临界动量厚度的计算结果会随参考系选取不同而变化。通常所有壁面与参考系固连时不会有影响，但是存在移动壁面的情况 γ - Re_{θ} Transition 模型计算结果会出现问题。

(6) LVEL (Length-VELOCITY) 模型

LVEL 模型适用于因工程计算限制不宜在流动区域内划分过密网格的情况，如电子元器件散热问题的模拟，QFlux 软件中还提供了该模型的修正模型，使得流动中的湍流粘度不至于被过分高估。需要注意的是，不推荐将该类模型应用在由速度剪切引起的湍流之中。

(7) Detached Eddy Simulation (DES) 模型

创建 DES 类模型的目的是为了解决一类关注点在大尺度分流动上的问题。在 QFlux 软件中，其可以应用的 RANS 模型有：Standard Spalart-Allmaras RANS 模型、AshFord Spalart-Allmaras RANS 模型、SST k- ω RANS 模型、Realizable k- ϵ RANS 模型。

(8) Delayed Detached Eddy Simulation (DDES) 模型

DDES 类模型是为了解决 DES 类模型由于对网格敏感性的问题而出现的网格诱导的非物理分离的问题的。该类模型在湍流尺度中考虑了粘性的影响，从而延迟了 RANS 模型过早的转换为 LES 模型。QFlux 软件中，DDES 类模型可以应用的 RANS 模型有：Standard Spalart-Allmaras RANS 模型、AshFord Spalart-Allmaras RANS 模型、SST k- ω RANS 模型、Realizable k- ϵ RANS 模型。

(9) Improved Delayed Detached Eddy Simulation (IDDES) 模型

IDDES 类模型可以解决 DDES 类模型因为网格问题，会出现 LES 求解区域压缩至边界层对数区内的情况，从而导致 RANS 模型和 LES 模型所解得的对数区斜率不同的问题。该方法结合了 WMLES 模型，对那些在对数区同时出现 RANS/LES 模型求解的网格进行了有效处理，降低了网格相关性，从而优化了那些受边界层影响大的分离流的模拟结果。QFlux 软件中，IDDES 类模型可以应用的 RANS 模型有：Standard Spalart-Allmaras RANS 模型、AshFord Spalart-Allmaras RANS 模型、SST k- ω RANS 模型、Realizable k- ϵ RANS 模型。

(10) Large Eddy Simulation (LES) 模型

虽然大涡模拟需要的计算量相对于直接数值模拟方法要小很多，但是计算耗费依然很大，目前 LES 模拟还无法在工程问题上广泛应用，但是 LES 模拟技术对于研究许多流动机理问题提供了更为

可靠的手段,可以为流动控制提供理论基础。QFlux 软件提供如下四种模型: Dynamic Smagorinsky 模型、Smagorinsky-Lilly 模型、WALE 模型、Dynamic k-equation 模型。

(11) Constrained Large Eddy Simulation (CLEs) 模型

采用 LES (Dynamic Smagorinsky、Smagorinsky-Lilly) 模型模拟高雷诺数壁湍流时,若壁面处网格不够密,平均速度剖面将会上移,而 CLES 模型能够解决此类问题。CLEs 模型中需要分别选择 RANS 模型和 CLES 模型; QFlux 软件中在 CLES 模型中可以应用的 RANS 模型有: Standard Spalart-Allmaras 模型、Edwards Spalart-Allmaras 模型、Standard k- ω 模型、SST k- ω 模型、Standard k- ϵ 模型、RNG k- ϵ 模型、Realizable k- ϵ 模型、k-k ω 模型、 γ - Re_{θ} Transition 模型,可以应用的 LES 模型有: Dynamic Smagorinsky 模型、Smagorinsky-Lilly 模型、WALE 模型、Dynamic k-equation 模型。

同样地,在湍流问题中,壁面的存在会显著影响湍流的流动,因此近壁面模型对数值求解的精确性至关重要。众多实验和数值模拟结果表明,近壁面区域可大致分为:粘性底层、缓冲层和完全湍流层。由于不同粗细的网格会使得壁面首层单元落在不同的区域,那么,作为沟通完全湍流区域与近壁面粘性区域之间的桥梁,壁面函数给出了不同区域的合理描述。QFlux 支持常见的壁面函数,如下:

(1) Standard Wall Functions

标准壁面函数广泛适用于工程领域的流动问题,其可根据网格粗细,选择采用线性律或对数律来描述邻近壁面流动特性,对大多数壁面约束流动都能给出较好描述。然而,当流动与理想情况差别较大时,比如近壁面受到强烈的压力梯度,且当流动有很强的非平衡特性时,标准壁面函数的预测效果较差。标准壁面函数是 k-epsilon 和 k-omega 湍流模型的默认选项。

(2) Scalable Wall Functions

为了避免标准壁面函数在网格细化到满足线性律的粘性层时所出现的结果恶化现象,Scalable Wall Functions 引入了一个限制器,强迫对数律的满足,从而对于任意加密的网格可产生较为一致的结果。Scalable Wall Functions 提供给 k-epsilon 湍流模型。

(3) Non-Equilibrium Wall Functions

非平衡壁面函数考虑了压力梯度的影响,且采用双层概念来计算邻近壁面的湍流动能,从而部分考虑了标准壁面函数中所忽略掉的非平衡效应。推荐将其应用于复杂流动,比如,包含分离、再附、冲击等平均速度和湍流受到压力梯度和急剧变化的情形。非平衡壁面函数提供给 k-epsilon 湍流模型。

(4) Modified Enhanced Wall Treatment

修正增强壁面函数结合了双层模型和近壁面模型,由于考虑了众多影响因素,其应用范围较为宽广,可给出完全湍流层、缓冲层、粘性底层的合理描述。即,对于能分辨到粘性底层的精细网格,其可给出精确解答,对于粗糙网格,其也可给出合理解答,而对于中等网格,其也不会产生过多误差。修正增强壁面函数提供给 k-omega 湍流模型。

➤ 操作步骤

(1) 层流 (laminar)

如果用户要使用层流，则需要在如图 24 所示“湍流模型”页签中，在“湍流模型”列表中选择“Laminar”即可，不需要设置额外的参数。点击“退出”按钮返回软件主界面。

(2) Spalart-Allmaras 模型

如果用户要使用 Spalart-Allmaras 模型，则需要在图 24 所示“湍流模型”页签中，在“湍流模型”列表中选择模型选择“RANS”，右侧“RANS 模型”选择“S-A”。在类型中选择 Standard 或者 Edwards 或者 AshFord，分别对应于 Standard Spalart-Allmaras 模型、Edwards Spalart-Allmaras 模型、Ashford Spalart-Allmaras 模型（当前置灰不可用）。如有需要，用户可以选定湍流模型后，点击“模型参数”按钮，打开如图 25 或如图 25 所示的湍流模型参数对话框修改相应的模型参数，修改完成后点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮返回上一级窗口。



图 25 “湍流模型” > “RANS” > “S-A” > “standard” 设置对话框



图 26 “湍流模型” > “RANS” > “S-A” > “Edwards” 设置对话框

(3) k- ω 模型

同上，如果用户要使用 k- ω 模型，则需要在“湍流模型-RANS 模型”中选择“k- ω ”。在类型中选择 Standard 或者 SST，分别对应于 Standard k- ω 模型、Shear-stress transport (SST) k- ω 模型。用户

同样可以点击“模型参数”按钮，打开如图 27 或图 28 所示的模型参数对话框修改相应的模型参数，如果要应用 Kato-Launder 修正，则勾选窗口右下角的“Kato-Launder 修正”。模型参数修改完成后点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮返回上一级窗口。



图 27 “湍流模型” > “RANS” > “k-ω” > “standard” 设置对话框



图 28 “湍流模型” > “RANS” > “k-ω” > “SST” 设置对话框

(4) k-ε模型

同上，如果用户要使用 k-ε模型，则需要在“湍流模型-RANS 模型”中选择“k-ε”。在类型中选择 Standard 或者 RNG 或者 Realizable，分别对应于 Standard k-ε 模型、Renormalization-group (RNG) k-ε模型、Realizable k-ε模型。用户同样可以点击“模型参数”按钮，打开如图 29 或图 30 或图 31 所示的模型参数对话框修改相应的模型参数，如果要应用 Kato-Launder 修正，则勾选窗口右下角的“Kato-Launder 修正”。模型参数修改完成后点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮返回上一级窗口。



图 29 “湍流模型” > “RANS” > “k-ε” > “standard” 设置对话框



图 30 “湍流模型” > “RANS” > “k-ε” > “RNG” 设置对话框



图 31 “湍流模型” > “RANS” > “k-ε” > “Realizable” 设置对话框

(5) k-kl-ω模型

如果用户要使用 k-kl-ω模型，如图 32 所示，在“湍流模型-RANS 模型”列表中选择“k-kl-ω”即可。“k-kl-ω”模型中参数暂时不支持用户修改。



图 32 “湍流模型” > “RANS” > “k-kl- ω ” 模型设置对话框

(6) γ - Re_θ Transition 模型

如果用户要使用 γ - Re_θ Transition 模型，如图 55 所示，在“湍流模型-RANS 模型”列表中选择“ γ - Re_θ ”即可。“ γ - Re_θ ”模型中参数暂时不支持用户修改。



图 33 “湍流模型” > “RANS” > “ γ - Re_θ ” 模型设置对话框

(7) LVEL 模型

如果用户要使用 LVEL 模型，则需要在“湍流模型-RANS 模型”列表中选择“LVEL”，用户可以点击“模型参数”按钮，打开如图 56 所示的模型参数对话框修改相应的模型参数；勾选“Rivised”

复选框以启用修正模型，如图 56 或图 57 所示，需依据实际问题设置参考尺寸和参考速度。模型参数修改完成后点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮返回上一级窗口。



图 34 “湍流模型” > “RANS” > “LVEL” 设置对话框



图 35 湍流模型” > “RANS” > “LVEL” 修正模型设置对话框

(8) DES 模型

同上，如果用户要使用 Detached Eddy Simulation 模型，则需要在“湍流模型”模型列表中选择“DES”，“DES 模型”选择“DES”。在“RANS 模型”可以选择“Standard S-A”或“SST k- ω ”或“Realizable k- ϵ ”。用户同样可以点击“模型参数”按钮，打开如图 36 或图 37 或图 38 所示的模型参数对话框修改相应的模型参数。模型参数修改完成后点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮返回上一级窗口。



图 36 “湍流模型” > “DES” > “Standard S-A” 设置对话框



图 37 “湍流模型” > “DES” > “SST k-omega” 设置对话框



图 38 “湍流模型” > “DES” > “Realizable k-epsilon” 设置对话框

(9) DDES 模型

同上，如果用户要使用 Delayed Detached Eddy Simulation 模型，则需要在“湍流模型”模型列

表中选择“DES”，“DES 模型”选择“DDES”。在“RANS 模型”可以选择“Standard S-A”或“SST k- ω ”或“Realizable k- ϵ ”。用户同样可以点击“模型参数”按钮，打开如图 39 或图 40 或图 41 所示的模型参数对话框修改相应的模型参数。模型参数修改完成后点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮返回上一级窗口。



图 39 “湍流模型” > “DDES” > “Standard S-A” 设置对话框



图 40 “湍流模型” > “DDES” > “SST k- ω ” 设置对话框



图 41 “湍流模型” > “DDES” > “Realizable k-ε” 设置对话框

(10) IDDES 模型

同上，如果用户要使用 Improved Delayed Detached Eddy Simulation 模型，则需要在“湍流模型”模型列表中选择“DES”，“DES 模型”选择“IDDES”。在“RANS 模型”可以选择“Standard S-A”或“Ashford S-A”或者“SST k-ω”或“Realizable k-ε”。用户同样可以点击“模型参数”按钮，打开如图 42 或图 43 或图 44 所示的模型参数对话框修改相应的模型参数。模型参数修改完成后点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮返回上一级窗口。



图 42 “湍流模型” > “IDDES” > “Standard S-A” 设置对话框



图 43 “湍流模型” > “IDDES” > “SST k- ω ” 设置对话框



图 44 “湍流模型” > “IDDES” > “Realizable k- ϵ ” 设置对话框

(11) LES 模型

如果用户想使用“Large Eddy Simulation”模型，则需要在“湍流模型”模型列表中选择“LES”，“LES”模型可以选择 Dynamic Smagorinsky 模型、Smagorinsky-Lilly 模型、WALE 模型、Dynamic k-equation 模型，如图 45。同样，用户可以点击“模型参数”对相应的“LES”模型参数进行修改。



图 45 “湍流模型” > “LES” 设置对话框

(12) CLES 模型

如果用户想使用“Constrained Large Eddy Simulation”模型，则需要在“湍流模型”模型列表中选择“CLES”，如图 46 所示，“LES 模型”可以选择“Smagorinsky-Lilly”、“Dynamic Smagorinsky”、“WALE”、“Dynamic k-equation”中的一个，“RANS 模型”可以选择“S-A”、“k- ω ”、“k- ϵ ”、“k-kl- ω ”、“Transition”中的一个。同样，用户可以点击“模型参数”按钮进行“CLES”模型中的参数修改。



图 46 “湍流模型” > “CLES” 设置对话框

同时，QFlux 支持局部区域内的层流计算，即在给定区域内采用层流模型，其余区域仍然采用设定的湍流模型。当激活任意湍流模型时，窗口底部会新增“层流区域”按钮，如图 47 所示，点击该按钮，可进入“区域列表”对话框，点击“”按钮即可添加相应的层流区域，设置的区域支

持“网格块”和“自定义”几何体，点击“应用”即完成设置。



图 47 “湍流模型”>层流区域



图 48 层流区域定义对话框

6.4.2.2 多相流

➤ 功能描述

“多相流”页签，旨在为多相流问题仿真设置多相流模型及相关参数。QFlux 软件目前提供 VOF（Volume Of Fluid）模型供使用。VOF 模型可以用来模拟包括但不限于自由面流动、灌注、液体中的大气泡流动、溃坝、喷射衰竭（表面张力）的预测等。其中，考虑重力作用、且需保持液位高度的自由面流动需要勾选“明渠流”选项，并且提供造波边界供用户使用；QFlux 提供了两种相变模型，包含空化模型与蒸发冷凝模型，两者不可同时使用，空化模型为恒定温度下的低压空化，包含 Full Cavitation Model、Kunz Model、Yuan-Sauer-Schnerr Model 和 Zwart Model 四种空化模型。蒸发冷凝模型仅考虑相界面附近、因温度引起的相变，包含常用的常系数 Lee 模型与变系数的 Tanasawa 模型。

➤ 操作步骤

在图 24 所示“物理模型”对话框中点击“多相流”打开多相流对话框，如图 49 所示。QFlux 软件默认多相流模型是关闭的（勾选“OFF”）。勾选“VOF”即可激活多相流 VOF 模型，如图 50 所示。如果用户模拟的是明渠流问题，则可以勾选“明渠流”，同时可以在速度入口边界对话框中设置造波边界的相关信息，如 6.8.2 节所述。如果需要设置气液表面张力系数，则需要勾选“表面张力

系数”后，输入相应的数值。



图 49 “多相流”对话框



图 50 “多相流”对话框：VOF

QFlux 软件默认相变模型是关闭的（OFF），用户可以点击“空化模型”、“蒸发冷凝模型”，并在中间一列选择具体的模型，在最右侧进行参数设置。对于不同的空化模型，用户需要设置不同的参数，如图 51、图 52、图 53、图 54 所示。



图 51 “多相流” > “空化模型”：Full Cavitation Model



图 52 “多相流” > “空化模型”：Kunz Model



图 53 “多相流” > “空化模型”：Yuan-Sauer-Schnerr Model



图 54 “多相流” > “空化模型”：Zwart Model

“蒸发冷凝模型”与温度相关，需开启“能量方程”后才能使用（参见 6.4.1 节），QFlux 中提供了两种蒸发冷凝模型：常系数的 Lee 模型与变系数的 Tanasawa 模型，具体设置见图 55、图 56。与模型相关的相变潜热及导热系数等材料相关的属性可以到材料界面进行设置（参见 6.5 节）。



图 55 “多相流” > “蒸发冷凝模型”：常系数模型



图 56 “多相流” > “蒸发冷凝模型”：Tanasawa

6.4.2.3 声学模型

➤ 功能描述

“声学模型”页签，旨在为噪声问题仿真设置声学模型及相关参数。目前 QFlux 软件噪声模块在求解器计算过程中仅支持 FWH 模型的声源信息文件输出。基于 FWH 模型的时域内声压信号计算与曲线绘制功能见 7.6.5 节。

该模型仅在非稳态问题的单个流体区域内可用。

➤ 操作步骤

在图 24 所示“物理模型”对话框中点击“声学模型”打开声学模型设置对话框，如图 57 所示，默认声学模型是关闭的（勾选“OFF”）。用户勾选“FWH”，点击“声源信息文件”后的“”选择一个文件夹名，如图 58 所示，即可激活声学模型。求解器计算过程中会在该文件夹下输出“声学信号处理”功能需要的声源信息文件。建议用户选择把声源信息文件保存在空文件夹中，否则会导致使用“声学信号处理”功能时计算出错。



图 57 “声学模型”设置对话框



图 58 FWH 模型开启

6.4.2.4 辐射模型

➤ 功能描述

“辐射模型”页签，旨在为模拟辐射传热过程设置辐射模型及相关参数。
该模型仅在激活能量方程后才可用。

➤ 操作步骤

当图 23 中的“激活能量方程”被选中后，双击“物理模型”，选择“辐射模型”页签打开辐射模型对话框，如图 59 所示。QFlux 软件默认辐射模型是关闭的（勾选“OFF”）。勾选“角系数模型”即会激活辐射模型，用户便可根据当前计算域类型选择辐射模型的类型。

- ❑ 对流体区，目前支持的类型有：
 - “角系数模型”，选择该模型需设置的参数为：
 - ✧ “更新频率”，表示每次辐射模型更新计算间隔内的迭代步数；
 - ✧ “最大射线数”，表示角系数求解时所能处理的聚合面对的最大值；
 - ✧ 点击“太阳负载”按钮，即可进入太阳负载设置对话框，如图 60 所示，用户可根

据需求设置不同类型的太阳负载，其中，“无”表示没有太阳负载，“手动设置”表示直接指定太阳负载参数，“自动计算”表示根据设置的时间、位置等信息计算出相应的太阳负载参数。需要注意的是，仅当计算域边界面透射率不为 0 时，太阳负载才可穿过该边界，作用到计算域的其他边界上。这类边界包括 Velocity Inlet 边界、Pressure Inlet 边界、Pressure Outlet 边界以及透射率不为 0 的 Wall 边界。

- ✧ 点击“模型参数”按钮，即可进入聚合参数对话框，如图 61 所示，用户可设置模型需要的“最大聚合网格角度”和“最大聚合网格数”，其中“最大聚合网格数”默认采用软件内嵌方法定义，用户也可通过点击相应边界中“最大聚合网格自定义值”一栏的复选框，自定义该参数。

- 对固体导热区，目前支持的类型有：

“非透明固体模型”，选择该模型不需要额外设置其他参数。



流体区辐射模型设置

固体导热区辐射模型设置

图 59 “辐射模型”对话框



图 60 太阳负载设置对话框



图 61 辐射模型参数对话框

6.4.2.5 组分模型

➤ 功能描述

“组分模型”页签，旨在为模拟组分输运及相关化学反应问题设置模型和参数。

➤ 操作步骤

双击“物理模型”，选择“组分模型”页签，如图 62 所示。QFlux 软件默认组分模型是关闭的（勾选“OFF”），勾选“组分运输”即会激活组分模型。



图 62 “组分模型”对话框

用户可选择组分模型的类型，目前支持的类型有：

- ❑ “组分运输”；

在左侧组分列表中，用户可点击按钮“”添加组分成员，其中成员的命名需满足：

- 成员只能由'a-z'、'A-Z'、'0-9'组成；
- 成员只能以字母开头，结尾可以是字母或者数字；

- 成员开头必须是大写字母, 数字之后的首个字母也必须是大写, 字母后首个数字不能为“0”;
- 字母之间的数字不能仅有一个数字“1”, 最后一个字母之后的数字不能仅有一个数字“1”;
- 成员名称之间不能有重复;

在右侧化学反应中, 默认是关闭的, 如果需要计算化学反应, 则打开“化学反应”前的勾选框, 点击按钮“”添加化学反应, 并点击“设定”按钮, 弹出“化学反应方程式”对话框, 如图 63 所示。



反应物列表				生成物列表			
序	反应物	化学计量系数	速率指数	序	生成物	化学计量系数	速率指数
1	H2	2	1	1	H2O2	2	0
2	O2	2	1				

化学反应速率系数: 1 常数

应用 退出

图 63 “化学反应”设置对话框

其中, 反应物必须为组分列表的成员, 生成物无此要求。化学反应需要配平, 否则会出现如图 64 所示的错误提示。点击“应用”后即完成设置。

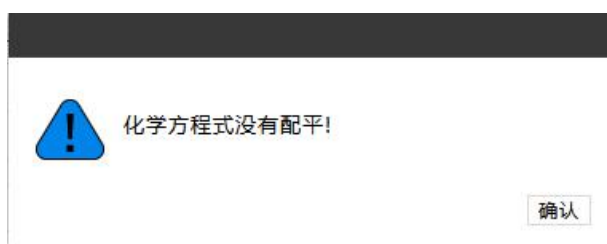


图 64 “化学反应”设置对话框。

6.4.3 数值方法

双击“求解器”>“数值方法”节点, 弹出“数值方法”对话框, 如图 65 所示。

P-U 耦合: 该参数是用来设置压力方程和动量方程的耦合求解方法的。如果用户在“时间模式”中设置的是 Steady (稳态), 则“P-U 耦合”, 可设置为“PISO”或“Coupled”, 如果用户在“时间模式”中设置的是 Unsteady (瞬态), 则“P-U 耦合”可设置为“SIMPLE”或“PISO”或“Coupled”。

循环次数: 用来 PISO 算法的循环求解次数, 只在“P-U 耦合”设定为“PISO”时才可用。

空间离散: 该模块设置各个控制方程的空间离散方法, “梯度项”可以设置为“Green-Gauss”或“Least Square”、“压力方程”可以设置为“Linear”、“动量方程”可以设置为“1st Upwind”或“2nd Upwind”、“湍流方程”可以设置为“1st Upwind”或“2nd Upwind”; 如果用户在“求解器”>“基本方程”中没有激活能量方程, 则“能量方程”不可设置, 如果激活了能量方程, 则“能量方程”可以设置为“1st Upwind”或“2nd Upwind”; 如果用户在“时间模式”中设置为 Steady (稳态), 则

“时间离散”不可设置，如果用户在“时间模式”中设置为 Unsteady（瞬态），则“时间离散”可以设置为“Euler”；如果用户在“求解器”>“物理模型”>“多相流”中没有激活 VOF 模型，则“相分数方程”不可设置，如果用户激活了 VOF 模型，则“相分数方程”可以设置为“Compressive”或者“Iso-advectord”。

松弛因子：该模块设置各控制方程的松弛因子，QFlux 软件默认将“压力方程”、“动量方程”、“能量方程”、“湍流方程”、“相分数方程”、“组分方程”的松弛因子依次设为 0.3、0.7、0.7、0.7、0.7、0.7，用户可以按需修改。如果能量方程没有被激活，则“能量方程”不可设置，如果湍流模型为“Laminar 模型”，则“湍流方程”不可设置，如果 VOF 没有被激活，则“相分数方程”不可设置，如果组分模型没有被激活，则“组分方程”不可设置。上述参数或数值方法设置完成，并确认无误后，点击“退出”按钮返回主界面。

数值方法

离散算法

P-U耦合

SIMPLE

循环次数

2

空间离散

梯度项

Green-Gauss

压力方程

Linear

动量方程

2nd Upwind

能量方程

1st Upwind

湍流方程

1st Upwind

组分方程

2nd upwind

时间离散

Euler

相分数方程

Compressive

松弛因子

压力方程

0.3

动量方程

0.7

湍流方程

0.7

组分方程

0.7

能量方程

0.7

相分数方程

0.7

辐射方程

0.5

高级功能

应用

退出

图 65 “数值方法”对话框

用户如需查看或设置求解器的其他参数，可点击界面中的“高级功能”按钮，将弹出如图 94 所示的“高级功能”对话框，包括“线性方程组”、“限制器”和“嵌套网格”三个页签。

“线性方程组”页签：如图 66 所示，用户可以在该页签中查看或者设置压力方程、动量方程、湍流方程、能量方程和相分数方程的求解算法、迭代次数、残差阈值等相关参数。

“限制器”页签：如图 67 所示，用户在该页签中可以查看或修改求解器采用的限制器，QFlux 软件提供“梯度”、“Laplace”两种限制器供选择。

“嵌套网格”页签：如图 67 所示，如果用户激活了嵌套网格，可在该页签中查看或修改嵌套网格求解中的耦合方式——紧耦合或松耦合；“最大允许速度”可限制计算域内速度不超过设定值，以保证计算稳定。



图 66 数值方法“高级功能”：“线性方程组”页签



图 67 数值方法“高级功能”：“限制器”页签



图 68 数值方法“高级功能”：“嵌套网格”页签

6.5 材料

➤ 功能描述

本模块旨在设置当前计算域的介质材料。其中，可选材料类型与计算域的类型相关。如果计算域是“固体导热区”，则可选的材料类型为“Solid（固体）”，如果计算域的类型为“流体区”，则可选的材料类型为“Fluid（流体）”。计算域的类型可以双击计算域名称节点查看，如图 21 所示。

➤ 操作步骤

双击“计算设置”>指定“计算域”>“材料”节点，弹出“材料”对话框，如图 69 所示。在“材料名称”下拉框中选择“Water-liquid”（即液态水），则该介质材料的物性参数，如密度、比热、热传导率、粘性系数等，都会显示在相应的输入栏中。如需修改相关参数，则在相应输入栏中设置该参数值。各个材料物性参数值支持常数、线性分布或者自定义函数三种类型，其中线性分布和自定义函数的设置方法与 6.7 节刚体运动规律设置方法类似，用户可以参照设置，这里不再赘述。除此之外，流体密度还可设置为“Boussinesq 假设”，当选定该类型后，还需要额外设置参数热膨胀率，如图 97。参数设置确认无误后，点击“应用”按钮予以保存，然后点击“退出”按钮返回主界面。



图 69 “材料”对话框



图 70 “材料”>“Boussinesq 假设密度”对话框



图 71 “工程材料库”对话框



图 72 “系统材料库”对话框

若用户所需材料不在“材料名称”下拉框中，则可点击图 69 所示对话框的“材料库管理”按钮，将弹出如图 71 所示的“工程材料库”对话框。在该对话框中显示当前所列的所有材料，在左侧材料列表中可点击新建按钮，添加一种新材料，在右侧面板中编辑材料的材料名、材料类型、密度、比热、热传导率、粘性系数等。同样材料属性可以设置为常数或线性分布或者自定义函数或 Boussinesq 假设。编辑好后，点击“应用”按钮予以确认，新材料会添加到“工程材料库”列表下。此外，还可以点击删除按钮，将已添加的材料从“工程材料库”中删除。如果用户想使用系统自带的材料，则可以直接点击复制按钮，将弹出如图 71 所示的“系统材料库”对话框。在该对话框的“系统材料库”中 QFlux 软件预先提供了 105 种材料供选择。用户选中其中某种材料后，“材料属性”中就会显示该材料的预设参数值，用户只需要点击“应用”，即可将系统材料库中的材料添加到“工程材料库”列表下。用户需要的材料被添加到“工程材料库”下后，可以点击“退出”返回上一级窗口。此时，在如图 69 所示的“材料”对话框中用户即可在“材料名称”下拉框中找到与“材料类型”一致的新添加的材料名称，并点击“应用”按钮使用。

如果用户激活 VOF 模型，则需要在材料模块分别设置两种材料“Primary Phase”和“Secondary Phase”，如图 71 所示，具体设置与前述方式一致，这里便不再赘述。

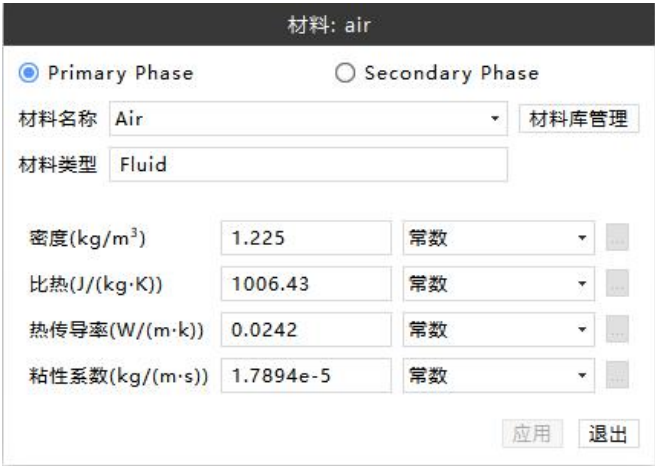


图 73 “材料”设置对话框（多相流）

6.6 附加模型

➤ 功能描述

附加模型模块，可以在当前计算域中添加如下源项：

- ❑ “能量源项”，旨在为模拟体积热源设置几何及物理参数，固体导热区中仅有此附加模型选项；
- ❑ “动量源项”，旨在为模拟体积力设置几何及物理参数；
- ❑ “多孔介质”，旨在为模拟多孔介质设置几何及物理参数；
- ❑ “阻塞区模型”，旨在将流体区中的指定区域设置为特定的固体属性；
- ❑ “周期边界驱动源项”，旨在设定周期性边界条件的流动条件，仅当计算域内有周期性边界条件时可用；
- ❑ “组分”源项：旨在在流体区的指定边界上设置组分源；

➤ 操作步骤

6.6.1 能量/动量源项

对于添加能量/动量方程源项，右键点击“计算设置”>指定“计算域”>“附加模型”，依需求选择“添加能量源项”或者“添加动量源项”，将弹出对应的对话框，如图 74 所示。“区域”下拉框中可以选择源项添加的几何范围（网格块/自定义）。用户如选择“网格块”，则 QFlux 软件会罗列出当前计算域对应的网格列表，用户需要选择其中一个作为源项的添加范围，如图 74 所示。用户如选择“自定义”，则需要用户设定区域的范围。“自定义区域”下拉框中可以选择自定义区域的类型（长方体/球体/圆柱体），然后用户可以根据界面提供的参数设置区域的范围，如图 75 所示。

添加能量源项

类型

能量源项

区域类型

网格块

网格列表

air

属性

应用

退出

图 74 添加源项对话框：选择网格块

添加能量源项

类型

能量源项

区域类型

自定义

自定义区域

长方体

X_{min}(m)

长方体

Y_{min}(m)

球

Z_{min}(m)

圆柱

Z_{max}(m)

组合体

属性

应用

退出

图 75 添加源项对话框：“自定义”

点击对话框左下角的“属性”，将会弹出对应的属性设置对话框，在该对话框中用户可以设置源项的属性参数，如图 76 所示。对于能量源项，QFlux 提供了给定热生成率、给定温度、给定功率三种体热源定义方式；同时，QFlux 支持“常数”、“表格”和“自定义函数”三种参数定义方式，使用方法与 6.7 节刚体运动规律设定方法类似，不再赘述。

能量源项

类型

能量源项

定义方式

给定热生成率

能量源项(W/m³)

给定热生成率

应用

退出

能量源项

类型

能量源项

定义方式

给定温度

温度(K)

300

常数

应用

退出

能量源项

类型

能量源项

定义方式

给定功率

能量源项(W)

0

常数

应用

退出

图 76 能量属性设置对话框

6.6.2 多孔介质

对于添加多孔介质，区域设置方法与上述过程类似，这里不再赘述。属性设置对话框如图 77 所示，需要设置“原点坐标”、“方向 1”、“方向 2”、“粘性阻力系数”、“惯性阻力系数”等参数。

图 77 多孔介质属性设置对话框

6.6.3 阻塞区模型

对于添加阻塞区模型，区域设置方法与上述过程类似，这里不再赘述。属性设置对话框如图 78 所示，当选中“是否随刚体运动”，需要在“Wall 边界面列表”中选择相应的刚体边界面，如果未选中“是否随刚体运动”，则不需要额外操作。

图 78 阻塞区模型属性设置对话框

属性设置无误后点击“应用”按钮将设置予以保存，点击“退出”按钮返回上一级窗口。在“新增源项”对话框中点击“应用”按钮返回主界面。

6.6.4 周期边界驱动源项

对于周期边界驱动源项，仅当计算域内存在周期性边界时才能添加，并且需要指定与之相关的

周期性边界，如图 79 所示，可在周期性边界下拉菜单中进行选择。

周期边界驱动源项有：指定质量流量、指定体积流量、指定压力梯度、指定平均速度四种类型，用户可通过类型下拉菜单选择。

周期边界驱动源项

类型

周期边界驱动源项

周期性边界

xmin

类型

指定质量流量

质量流量(kg/s)

0

流动方向X

1

流动方向Y

0

流动方向Z

0

松弛因子

0.5

应用

退出

周期边界驱动源项

类型

周期边界驱动源项

周期性边界

xmin

类型

指定体积流量

体积流量(m³/s)

0

流动方向X

1

流动方向Y

0

流动方向Z

0

松弛因子

0.5

应用

退出

周期边界驱动源项

类型

周期边界驱动源项

周期性边界

xmin

类型

指定压力梯度

压力梯度(Pa/m)

0

流动方向X

1

流动方向Y

0

流动方向Z

0

松弛因子

0.5

应用

退出

周期边界驱动源项

类型

周期边界驱动源项

周期性边界

xmin

类型

指定平均速度

速度(m/s)

1

流动方向X

1

流动方向Y

0

流动方向Z

0

松弛因子

0.5

应用

退出

图 79 周期边界驱动源项属性设置对话框

如图 79 所示，对于指定质量/体积流量类型的驱动源项，需要给定流体流动方向及通过该周期性边界面的流量值，为保证计算稳定，软件采用了松弛计算，松弛因子取值范围为(0,1]；对于指定压力梯度类型的驱动源项，需要给定压力梯度的方向及大小；对于指定平均速度类型的驱动源项，需要给定速度的方向及大小。

6.6.5 组分源项

对于组分源项，仅当组分模型打开时才能添加，设置窗口如图 80 所示。该源项可加载在整个边界上或局部边界上，其中，局部边界是指选择的边界与自定义区域的交集区域，自定义区域可以是长方体、圆柱体或者球体。

点击对话框左下角的“属性”，将会弹出对应的属性设置对话框，在该对话框中用户可以设置源项的属性参数。QFlux 提供“常数”、“线性分布”和“自定义函数”三种定义方式，使用方法与 6.7 节刚体运动规律设定方法类似，不再赘述。



图 80 添加组分源项对话框



图 81 组分源项属性设置对话框

6.7 运动属性

➤ 功能描述

该模块旨在定义当前计算域中的运动刚体组成（刚体表面）、设置刚体运动方式及参数、刚体所在网格块的动网格算法等。在固体计算域中，刚体仅能以指定的运动规律进行定轴转动，其设置在流体计算域内均有体现，因此下文仅以流体计算域中的动网格设置作为范例。

➤ 操作步骤

（1） 新增运动刚体，并设置其运动参数

在“计算设置”>“计算域”>“运动属性”节点上，选择右键菜单项“新增运动”，弹出如图 82 所示的“新增运动”对话框。在“名称”输入栏中设置拟新增的动网格区域名称（如“运动-1”），在“网格列表”中勾选拟设置网格运动的网格区域，在“网格运动”下拉框中选择动网格算法，包括“刚性网格运动”和“弹簧网格运动”，在“运动类型”下拉框中选择“运动坐标系”或“动网格”。设置完成后点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮关闭该对话框。

新增上述动网格区域后，“计算设置”>“计算域”>“运动属性”节点下面将新增一个名为“运动-1”的子节点，如图 83 所示。



图 82 “新增运动”对话框



图 83 “运动属性”节点下新增“运动-1”子节点

如果图 82 中“网格运动”选择的是“弹簧网格运动”，则可以双击“运动-1”节点，或者在图 82 所示对话框中点击右下角的“...”按钮打开“网格运动”对话框，如图 84 所示。在该对话框中可以设置弹簧网格运动的控制参数：“网格运动方向限定”、“影响范围”、“保护距离”等。其中，“网格运动方向限定”可以用来模拟网格仅在特定方向上进行变形；“影响范围”用来设定网格变形区域，可选择“Define Distance”（定义影响距离）或“Define BoundingBox”（定义边界限定框）两种方式；“保护距离”用来设定紧邻刚体表面的网格保形区域大小。

如图 84，勾选并设置“网格运动方向限定沿”X，表示刚体运动过程中，网格变形区域内的网格节点只在 X 方向上发生相对位移，在 Y、Z 方向上相对位置保持不变。勾选“网格运动方向限定”后，“影响范围”下拉框自动设置为“Define BoundingBox”，且不可改变。如图 85 左图中，由于上面“网格运动方向限定沿 X”，则仅有 X_{min} 和 X_{max} 是活动输入栏，表示“Zone-1”对应的网格区域的在 $X_{min} < x < X_{max}$ 范围内的网格节点可以随刚体运动在 X 方向上发生相对位移。如果网格运动方向限定为 Y（或 Z），相应地只有 Y_{min} （或 Z_{min} ）和 Y_{max} （或 Z_{max} ）是活动输入栏。

如果不勾选“网格运动方向限定”，如图 85 所示，表示网格节点在网格变形区域范围内可以随刚体运动在 X、Y、Z 方向上都发生相对位移。同时，“影响范围”下拉框可以设定为“Define Distance”

或者“Define Boundingbox”。其中“Define Distance”表示网格变形区域范围为沿刚体表面外法向量膨胀“保护距离”的距离至膨胀“影响距离”之间的范围。例如，刚体表面为半径为 1m 的球体、“影响距离”设置为 0.1m、“保护距离”设置为 0.01m，则网格变形区域为以刚体表面球心为球心、半径为 1.01m 的球体之外，半径为 1.1m 的球体之内的区域，如图 86 左图所示。“Define Boundingbox”表示网格变形区域范围为由（X_{min} Y_{min} Z_{min}）（X_{max} Y_{max} Z_{max}）确定的立方体之内，刚体表面沿外法向量膨胀“保护距离”的距离之外的区域，如图 86 右图所示。



图 84 “网格运动”对话框



图 85 “网格运动”对话框

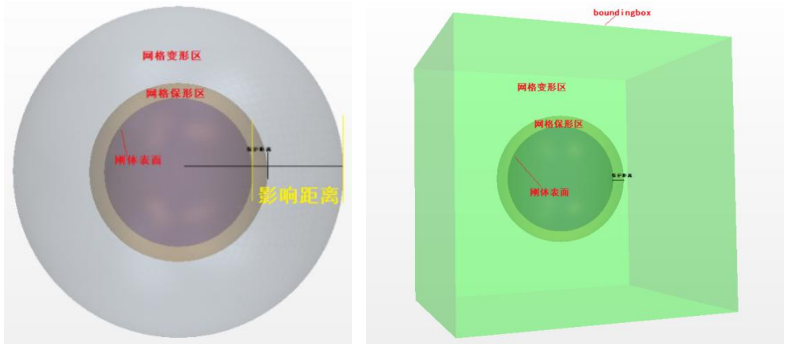


图 86 网格变形区示意图

如果图 82 中“网格运动”选择的是“刚性网格运动”，表示刚体运动过程中不发生网格变形，则没有更多的控制参数需要设置。

(2) 新增运动刚体，并设置其运动参数

如图 83 所示，“运动-1”包含两个子节点“刚体系统”和“网格运动”。

双击“刚体系统”节点或者右键点击“刚体系统”节点，选择“编辑”节点，将弹出“刚体系统”对话框，如图 87 所示。在该对话框中，用户可以设置当前刚体系统的重力加速度。设置完成后点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮关闭当前对话框。需要注意的是，重力加速度仅在刚体运动方式设置为“定义动力学参数”（即多自由度）时，才起作用。



图 87 “刚体系统”对话框

右键点击“刚体系统”节点，选择“新增刚体”选项，将弹出“新增刚体”对话框，如图 88 所示。刚体的定义支持“虚拟刚体”和“边界面刚体”两种方式，“虚拟刚体”特指网格整体做刚性运动，“边界面刚体”由壁面边界组成，一个动网格区域可包含多个刚体。在“名称”输入栏中输入拟创建的刚体名称，如“RigidBody-1”，当选择“虚拟刚体”类型时，不需要额外设置刚体，当选择“边界面刚体”时，还需在“刚体边界列表”中选择组成该刚体的固壁边界面。点击界面左下角的“属性”按钮，将弹出“刚体运动属性”对话框，如图 89 所示，在此对话框中可以设定该刚体的“参考刚体”及运动的“定义方法”。

如果当前动网格区域包含不少于两个刚体，且它们之间的运动存在互相关联，则需要设置“参考刚体”，设置过程中，需保证相关联的刚体中至少有一个是相对于“大地”运动的。如果刚体之间的运动不存在关联，则维持默认设置，即所有刚体均相对于大地运动。

如果要指定刚体的运动规律，则需要在图 89 所示对话框中设定“定义方法”为“指定运动学参数”。“平移”和“旋转”分别用来设定刚体的平移运动规律和旋转运动规律。

在“平移”页签中，“类型”下拉框中可以选择刚体的运动类型为“位移”或“速度”或“加速度”，分别表示指定刚体的位移/速度/加速度随时间的变化规律。如果运动类型为“位移”，只需要设定刚体运动位移随时间的变化规律即可，如图 89 左图所示；如果运动类型为“速度”，除了设定刚体运动速度随时间的变化规律，还需要设定初始位移大小，如图 89 中图所示；如果运动类型为“加速度”，除了设定刚体加速度随时间的变化规律，还需要设定初始位移和初始速度，如图 89 右图所示。

刚体位移、速度、加速随时间的变化规律可以设定为“常数”或“表格”或“自定义函数”。如果选择“常数”，则在对应输入框中设定相应的数值，然后点击右下角的“应用”按钮予以确认即可，

如图 89 所示。



图 88 “新增刚体”对话框



图 89 “刚体运动属性”对话框：指定运动学参数

如果选择“表格”，如图 90 所示，则需要点击右侧的“...”按钮，在弹出的“表格”对话框中设置运动规律，如图 91 所示。在该对话框中选择自变量为“t”（时间），然后点击表单右下角的添加按钮“”，新增一行线性插值点，如 t=1s、U=1.0m/s，依此类推，直至输入全部数据点。其中，“序”表示数据点编号，是软件自动添加的，不能更改；“t”默认从 1.0000 逐次加 1，点击对应输入框即可更改；“U”、“V”、“W”默认与“t”相同，点击对应输入框即可更改。如果要调整某个数据点的次序，可以选中该数据点后，点击左下角的上移按钮“”或下移按钮“”进行调整。点击删除按钮“”，可以删除当前选中的数据点。

如果要输入的数据点较多，用户也可以将数据点写入.txt 文件中，如图 92 所示，然后从文本文件中将数据点读入 QFlux 软件。文本文件中每行数据表示一个数据点的信息，每列数据表示一个变量的数据。数据文件编写完成后，点击图 91 中“表格”对话框左下角的“导入”按钮，选择编辑好的文本文件，例如“test.txt”，确认后弹出“变量关联”对话框，如图 93 所示，在“变量关联”对话框中做好变量的关联，点击“应用”按钮，即可将文本文件中的数据导入 QFlux 软件，如图 94 所示。QFlux 软件导入文本文件时，只读取仅含有数字的行，带有非数字字符的行将被忽略。



图 90 “刚体运动属性”对话框：表格

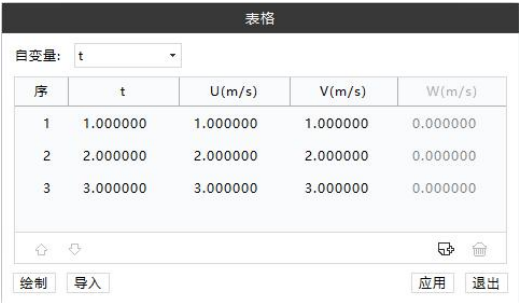


图 91 “表格”对话框

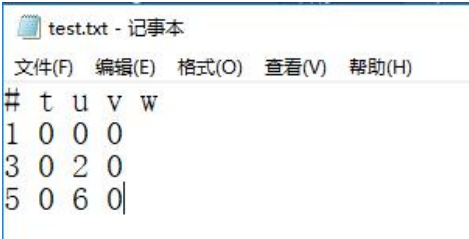


图 92 表格数据点文本文件示例

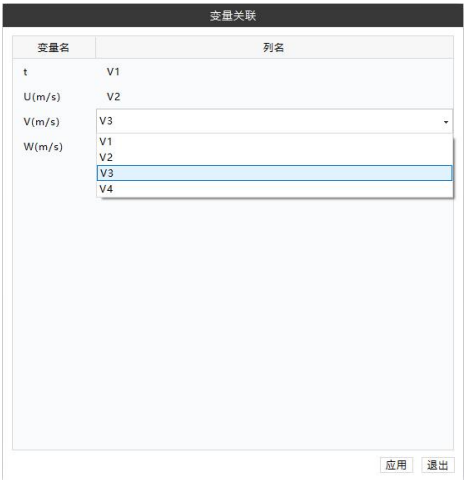


图 93 “变量关联”对话框

表格				
自变量: t				
序	t	U(m/s)	V(m/s)	W(m/s)
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	3.000000	0.000000	2.000000	0.000000
3	5.000000	0.000000	6.000000	0.000000
绘制		导入		应用退出

图 94 通过文本导入的表格数据

用户如需绘制当前输入的数据点集组成的分段线性曲线，可点击窗口左下角的“绘制”按钮，软件将弹出“线性分布曲线”绘制窗口，如所示。在该对话框中，可以对以下参数进行设置。

X/Y 轴：可以修改 X/Y 轴表示的参数为时间 t、U、V 或者 W 值。

坐标系：点击“坐标系”按钮，打开坐标系设置对话框如图 96 所示，在该对话框中，可以对该坐标系中 X/Y 轴的显示内容和显示方式进行修改。其中勾选“自定义值域”后，可以修改坐标轴的值域范围；“数字”一栏用来修改坐标轴刻度的格式和精度，刻度格式有：General、Float 或 Exponential，设定格式为“Float”后可以修改“精度”；勾选右上角的“Log”后，当前坐标轴变为对数坐标轴；“主刻度数”和“次刻度数”用来设定图表中坐标轴的刻度密度；“绘制主刻度线”一行设置用来控制主刻度线的显示/隐藏、颜色，线型、线宽；“绘制次刻度线”一行设置用来控制次刻度线的显示/隐藏、颜色、线型、线宽。QFlux 软件支持的线型有 Solid、Dash、Dot、DashDot 或 DashDotDot。设置修改后，点击“应用”按钮可以查看修改效果，如果设置无误，点击“退出”按钮返回上一级窗口。

数据：曲线图中数据的显示方式有 Line、Symbol 或 Bar，详细的设置可以点击图 95 中“数据”按钮，在打开的数据对话框，如图 97 所示，进行相关设置。在下拉框“名称”中，用户可以选择要显示的曲线，也可以对曲线名称进行修改。“Line”、“Symbol”、“Bar”前的方框用来控制显示（勾选）或隐藏（不勾选）对应的显示方式。QFlux 支持用户修改“Line”的颜色、线型和线宽；“Symbol”的颜色、形状、大小和填充情况；“bar”的颜色、形状和宽度。调整相应设置后，点击“确定”按钮可以查看修改效果，如果参数设置无误，点击“退出”按钮返回上一级窗口。

导出：点击图 95 中的“导出”按钮可以将当前显示的数据点的信息以图片或者文本的形式导出保存。

确认输入的线性分布数据点无误后，点击“表格”对话框右下角的“应用”按钮，再点击“退出”按钮返回上一级窗口。

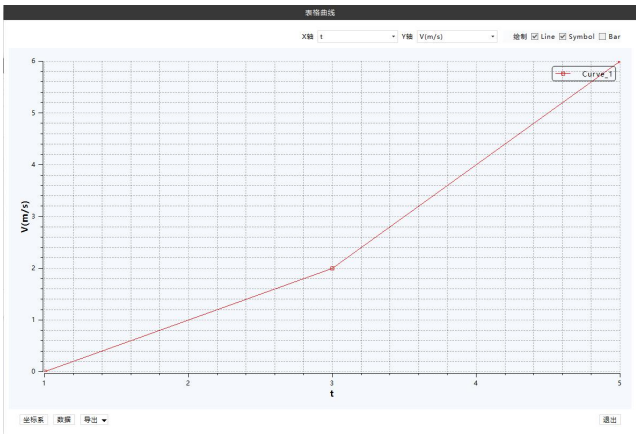


图 95 曲线绘制

图 96 曲线对话框中坐标系对话框

图 97 曲线对话框中数据对话框

如果变化规律形式选择“自定义函数”，点击右侧的“...”按钮，在弹出的“自定义函数”对话框中输入表示刚体运动规律的函数表达式，如图 98 所示。选中要编辑的变量后，双击“函数表达式”下方的输入框，或者点击右下角的“编辑”按钮，可以打开“自定义函数”的输入对话框，如图 99 所示。在对话框中输入合适的函数后，点击右下角的“应用”按钮将输入的函数予以保存，点击“退出”按钮返回上一级窗口。QFlux 软件建议用户按照 C++语法规则输入自定义函数，如果用户在函

数编写时对软件的内置函数有疑问，可以点击图 98 或图 99 左下角的帮助按钮“?”查看软件内置函数说明列表。



图 98 “自定义函数”设置对话框



图 99 “自定义函数”输入对话框

在图 89 “旋转”页签中，刚体运动类型可以设置为“角度”或“角速度”或“角加速度”或“定轴转动”，分别表示指定刚体运动的角度/角速度/角加速度/定轴转动随时间的变化规律。同样的，运动规律的形式可以是“常数”或“线性分布”或“自定义函数”。设置方式与“平移”页签的类似，这里便不再赘述。

如果刚体在流体作用力下运动，则需要在“刚体”窗口的“定义方法”下拉框中选择“指定动力学参数”，如图 100、图 101、图 102 所示：

- ❑ “运动坐标系”中设置刚体当地的运动坐标系的坐标原点和坐标轴方向。
- ❑ “刚体属性”中设置刚体的质心坐标、质量、转动惯量等物理属性。
- ❑ “初始状态”中设置刚体运动开始时的平动速度和角速度。
- ❑ “约束条件”中设置刚体的运动约束情况：
 - 对于平动，用户可以设定的约束条件有：

- ◇ 无约束；
 - ◇ 沿指定方向运动，这里需要设定刚体运动的方向；
 - ◇ 指定平面内运动，这里需要设定运动平面的法向量；
 - ◇ 无平动。
- 对于转动，用户可以设定的约束条件有：
- ◇ 无约束；
 - ◇ 定轴转动，这里需要设定转动轴的方向；
 - ◇ 无转动。
- “力和力矩”中设置附加在刚体上的外力和外力矩，及其作用点，其中“附加力”和“附加力矩”的形式可以是常数或线性分布或自定义函数，线性分布和自定义函数的具体设方式与上述类似，不再赘述。用户将相应参数输入并确认无误后，点击对话框右下角的“应用”按钮保存设置，点击“退出”按钮返回上一级窗口。

刚体

定义方法: 指定动力学参数

参考刚体: 大地

运动坐标系

刚体属性

初始状态

约束条件

力和力矩

原点

欧拉角

X(m)

0

俯仰 $\gamma(^{\circ})$

Y(m)

0

偏航 $\varphi(^{\circ})$

Z(m)

滚转 $\theta(^{\circ})$

0

应用

退出

刚体

定义方法: 指定动力学参数

参考刚体: 大地

运动坐标系

刚体属性

初始状态

约束条件

力和力矩

质心坐标(运动坐标系下)

转动惯量

X(m)

0

$I_{xx}(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$

Y(m)

0

$I_{yy}(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$

Z(m)

$I_{zz}(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$

1

质量 m(kg)

1

$I_{xy}(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$

$I_{yz}(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$

$I_{zx}(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$

应用

退出

图 100 “刚体运动属性”对话框：运动坐标系和刚体属性

刚体

定义方法: 指定动力学参数

参考刚体: 大地

运动坐标系

刚体属性

初始状态

约束条件

力和力矩

初始速度

初始角速度

U(m/s)

0

$\omega_x(\text{rad/s})$

V(m/s)

0

$\omega_y(\text{rad/s})$

W(m/s)

$\omega_z(\text{rad/s})$

0

应用

退出

刚体

定义方法: 指定动力学参数

参考刚体: 大地

运动坐标系

刚体属性

初始状态

约束条件

力和力矩

平动

转动

类型

指定平面内运动

类型

定轴转动

指定平面内运动

转轴方向

X

0

X

0

Y

0

Y

0

Z

1

Z

1

应用

退出

图 101 “刚体运动属性”对话框：初始状态和约束条件



图 102 “刚体运动属性”对话框：力和力矩

➤ 注意事项

对固体计算域，动网格设置流程与流体计算域相同，但“网格运动类型”仅能选择“刚性网格运动”，且仅能设置为“指定运动学参数”，绕某一固定轴进行转动。另外，固体动网格相邻的流体域内，其动网格的运动规律需与固体域保持一致，否则会出现流体域与固体域分离的情况。

6.8 边界条件

➤ 功能描述

边界条件模块，旨在定义当前计算域的所有边界面的边界类型及边界参数值。QFlux 软件为用户提供丰富的边界条件类型，包括：

- (1) Wall，固壁边界；
- (2) Velocity Inlet，速度入口边界；
- (3) Pressure Far Field，压力远场边界；
- (4) Pressure Inlet，压力入口边界；
- (5) Pressure Outlet，压力出口边界；
- (6) Symmetry，对称面；
- (7) Periodic，周期面；
- (8) Interface，内部对接面；
- (9) Chimera，嵌套网格内部插值面；
- (10) Immersed Boundary，浸没边界。

➤ 操作步骤

6.8.1 Wall，固壁边界

在“计算设置”>指定“计算域”>“边界条件”节点下面，找到拟设置为固壁边界类型的边界面，如图 103 中的“floor”，双击该子节点，将弹出“边界条件”对话框，同时可视化窗口将把该边

界面高亮（红色）。

在“边界条件”对话框中，用户可在“边界类型”下拉框中选择“Wall”，然后依次设置其“动量”参数、“热量”参数和“组分”参数。

动量：在“动量”页签中，设置当前边界面坐标系为“Absolute（绝对）”或“Relative to Adjacent Cell to Zone（相对于相邻网格单元）”，设置壁面滑移类型为“**No Slip**”（无滑移壁面）或“Slip”（滑移壁面）。

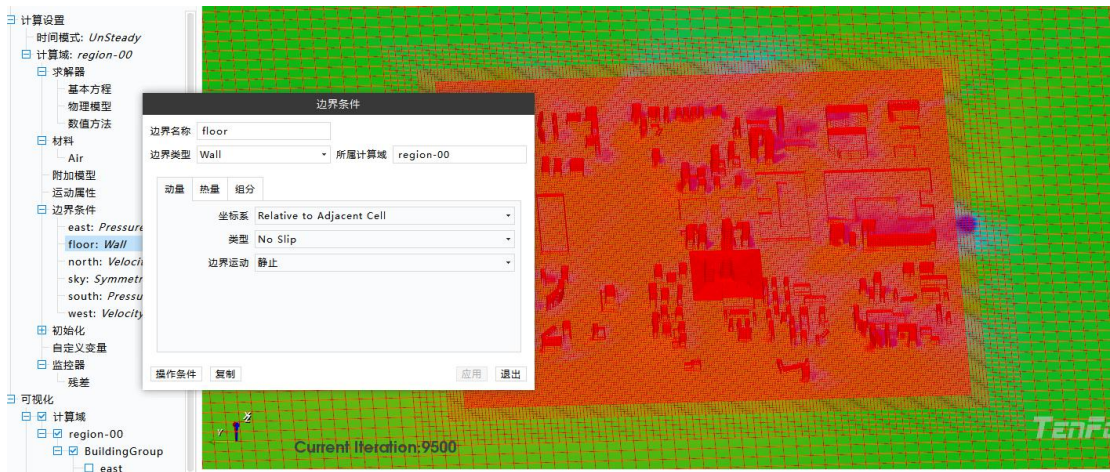


图 103 “边界条件”对话框：wall

热量：如果在“求解器”>“基本方程”的设置中已经激活了能量方程，则还可以在“热量”页签中设置相关参数。可以设置当前壁面的热边界条件为指定热流（Heat Flux，具体值）或指定温度（Temperature，如 300K）或对流值（Convection），相关参数内容如图 104 所示，目前 QFlux 软件只支持将这些参数设定为常数。如果在“物理模型”中激活了辐射模型，则可以点击“辐射参数”按钮打开“辐射参数”对话框，设置相关参数，如图 105 所示。如果用户要设定“定向辐射”、“漫辐射”、“镜面反射率”，只需要勾选相应参数前面的勾选框即可。其中“定向辐射”和“漫辐射”可以设定为常数或线性分布或自定义函数形式，线性分布和自定义函数设定方法请参考 6.7 节。





图 104 “边界条件” > “wall”：热量



图 105 “辐射参数”对话框

组分：在“组分”页签中，可设置所有已定义的组分成员的边界条件，如图 106 所示。Wall 边界中，其浓度可以为“零梯度”和“指定浓度”两种类型，如果选中“指定浓度”类型，用户可以采用“常数”、“线性分布”和“自定义函数”三种定义方式，使用方法与 6.7 节刚体运动规律设定方法类似，不再赘述。



图 106 “边界条件” > “wall”：组分

6.8.2 Velocity Inlet, 速度入口边界

在“边界条件”节点中找到拟设置为速度入口边界类型的边界面，如图 107 中的“north”，双击该子节点，在弹出对话框中将当前边界的边界类型更改为“Velocity Inlet”，并设置速度入口参数。

动量：在“动量”页签中，设置该边界面坐标系为“Absolute（绝对）”或“Relative to Adjacent Cell to Zone（相对于相邻网格单元）”；设置动量参数定义方法/类型为“Magnitude&Direction（速度大小和方向）”，并输入相应的速度值（如 1m/s）及其方向向量（X, Y, Z）。此外，如果用户在“物理模型”>“湍流模型”中采用的不是层流，则用户还可以设置该入口的湍流参数，如湍流粘性比和湍流强度。如果用户在“求解器”>“物理模型”中激活了 VOF 中的“明渠流”且激活了“操作条件”中的“重力”，则用户可以勾选“波浪模型”，并且点击“波浪模型”按钮，打开“波浪模型”设置对话框，如图 108 所示。在该对话框中，用户可以设置明渠流来流波浪模型的相关参数，目前 QFlux 软件只支持添加一阶斯托克斯波形，在“启动”中可以设置来流波形开始的“时间步”或“时间”。

在如图 109 的“动量”页签中，用户可以将入流速度大小定义为常数，也可以在下拉框中选择“线性分布”或“自定义函数”（如图 109 所示），然后点击下拉框右端的“...”按钮进一步设置，具体设置方法与 6.7 节刚体运动规律设置类似，不再赘述。



图 107 “边界条件”对话框：Velocity Inlet



图 108 “波浪模型”对话框



图 109 “边界条件”>Velocity Inlet：动量

热量：与固壁边界类似，如果在求解器的设置中已经激活了能量方程、辐射模型，则可以在“热量”页签中设置入流温度、辐射参数，如图 110 所示。



图 110 “边界条件”>Velocity Inlet：热量

组分：在“组分”页签中，可设置所有已定义的组分成员的边界条件，如图 111 所示。Velocity Inlet 边界中，用户可以采用“常数”、“线性分布”和“自定义函数”三种定义方式指定边界浓度，使用方法与 6.7 节刚体运动规律设定方法类似，不再赘述。

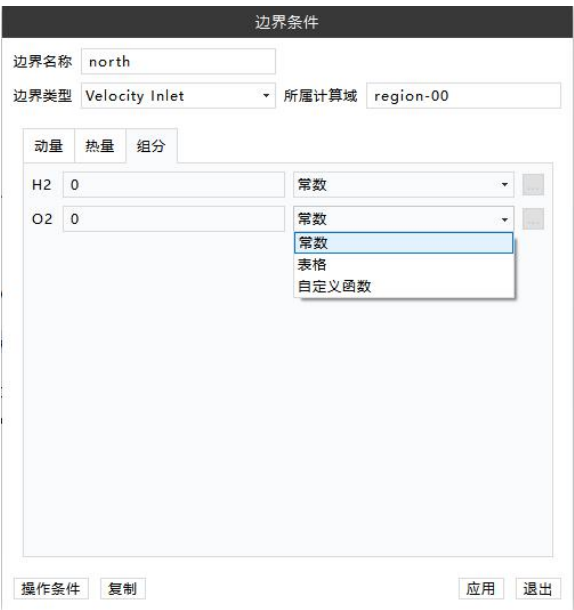


图 111 “边界条件”>Velocity Inlet: 组分。

6.8.3 Mass Flow Inlet，流量入口边界

在“边界条件”节点中找到拟设置为流量入口边界类型的边界面，双击该子节点，在弹出对话框中将当前边界的边界类型更改为“Mass Flow Inlet”，并设置流量入口参数，如图 112 所示。



图 112 “边界条件”对话框：Mass Flow Inlet

动量：在“动量”页签中，设置该边界面坐标系为“Absolute（绝对）”或“Relative to Adjacent Cell to Zone（相对于相邻网格单元）”；设置入口方向定义为“Magnitude&Direction（流量大小和方向）”或“Magnitude&Normal to Boundary（流量大小，方向垂直于边界）”，并输入相应的质量流量值（如 1kg/s）及其方向（如 1,0,0）。此外，如果用户在“物理模型”>“湍流模型”中采用的不是层流，则用户还可以设置该入口的湍流参数，如湍流粘性比和湍流强度。

当时间模式定义为非定常（Unsteady）时，用户可以将质量流量定义成自变量为时间的“自定义函数”，如图 113 所示，然后点击下拉框右端的“...”按钮进一步设置，具体设置方法与 6.7 节刚体运动规律设置类似，不再赘述。



图 113 “边界条件”>Mass Flow Inlet：动量

热量：与速度入口边界类似，如果在求解器的设置中已经激活了能量方程、辐射模型，则可以在“热量”页签中设置入流温度、辐射参数，如图 114 所示。



图 114 “边界条件”>Mass Flow Inlet：热量

组分：在“组分”页签中，可设置所有已定义的组分成员的边界条件，如图 115 所示。Mass Flow Inlet 边界中，用户可以采用“常数”、“表格”和“自定义函数”三种定义方式指定边界浓度，使用方法与 6.7 节刚体运动规律设定方法类似，不再赘述。



图 115 “边界条件”>Mass Flow Inlet: 组分

6.8.4 Pressure Inlet，压力入口边界

在“边界条件”节点中找到拟设置为压力入口边界类型的边界面并双击该子节点，在弹出对话框中将当前边界的边界类型更改为“Pressure Inlet”，并设置入口压力参数，如图 116、图 117、图 118 所示。

动量：在“动量”页签中，设置该边界面坐标系为“Absolute（绝对）”或“Relative to Adjacent Cell to Zone（相对于相邻网格单元）”；设置该入口总压值，如 101325Pa（常数）；设置入流方向（X, Y, Z）；如果“物理模型”>“湍流模型”设置的不是层流，则需要设置其湍流参数，如湍流粘性比和湍流强度。如需设置入口压力剖面（非常数值），则在“总压”或者“超音速/初始化静压”输入栏右侧的下拉框中选择“线性分布”或“自定义函数”，然后点击“…”，在弹出的对话框进一步设置，该设置方法与 6.7 节的刚体运动规律设置方法一致，不再赘述。



图 116 “边界条件”>Pressure Inlet: 动量

热量：如果用户在“求解器”中激活了能量方程，则可以在热量页签中输入入流总温，如图 117 所示。如需设置入口总温剖面（非常数值），则在“总温”输入栏右侧的下拉框中选择“线性分布”

或“自定义函数”，然后点击“…”，在弹出的对话框中进一步设置，该设置方法与 6.7 节的刚体运动规律设置方法一致，不再赘述。用户如需设置辐射模型相关参数，则可以点击“辐射参数”按钮，在弹出的“辐射参数”对话框中这是相关参数，如图 117 所示。



图 117 “边界条件”>Pressure Inlet：热量

多相：如果用户在“求解器”中激活了 VOF 模型，则用户可以在“多相”页签中设置来流第二相组分的体积分数，如图 118 所示。



图 118 “边界条件”>Pressure Inlet：多相

组分：在“组分”页签中，可设置所有已定义的组分成员的边界条件，如图 119 所示。Pressure Inlet 边界中，用户可以采用“常数”、“线性分布”和“自定义函数”三种定义方式指定边界浓度，使用方法与 6.7 节刚体运动规律设定方法类似，不再赘述。



图 119 “边界条件”>Pressure Inlet：组分

6.8.5 Pressure Outlet，压力出口边界

在“边界条件”节点中找到拟设置为压力出口类型的边界面。双击该子节点，在弹出对话框中将其边界类型修改为“Pressure Outlet”，并设置该出口压力参数，如图 120、图 121、图 122 所示。

动量：在“动量”页签中，设置该边界面坐标系为“Absolute”或“Relative to Adjacent Cell to Zone”；设置该出口静压值，如 0 Pa（常数）；设置回流方向（X, Y, Z）；如果“物理模型”>“湍流模型”设置的不是层流，则需要设置其湍流参数，如湍流粘性比和湍流强度。如需设置出口压力剖面（非常数值），则在“静压”输入栏右侧的下拉框中选择“线性分布”或“自定义函数”，然后点击“...”，在弹出的对话框进一步设置，该设置方法与 6.7 节的刚体运动规律设置方法一致，故不再赘述。



图 120 “边界条件”>Pressure Outlet：动量

热量：如果用户在“求解器”中激活了能量方程，则可以在热量页签中输入回流总温，如图 121 所示。如需设置入口总温剖面（非常数值），则在“回流总温”输入栏右侧的下拉框中选择“线性分

布”或“自定义函数”，然后点击“…”，在弹出的对话框中进一步设置，该设置方法与 6.7 节的刚体运动规律设置方法一致，故不再赘述。用户如需设置辐射模型相关参数，则可以点击“辐射参数”按钮，在弹出的“辐射参数”对话框中这是相关参数，如图 121 所示。



图 121 “边界条件”>Pressure Outlet：热量

多相：如果用户在“求解器”中激活了 VOF 模型，在“组分”页签中会显示回流组分与边界相邻单元一致，并不需要设置其他参数，如图 122 所示。



图 122 “边界条件”>Pressure Outlet：多相

组分：在“组分”页签中，可设置所有已定义的组分成员的边界条件，如图 123 所示。Pressure Outlet 边界中，其浓度可以为“零梯度”和“回流浓度”两种类型，如果选中“回流浓度”类型，用户可以采用“常数”、“线性分布”和“自定义函数”三种定义方式，使用方法与 6.7 节刚体运动规律设定方法类似，不再赘述。



图 123 “边界条件”>Pressure Outlet: 组分

6.8.6 Symmetry，对称面

在“边界条件”节点中找到拟设置为对称面的边界面并双击该子节点，在弹出对话框中将其边界类型修改为“Symmetry”，如图 124 所示，然后点击“应用”即可。对称面类型无需输入其他参数，点击“退出”按钮，即可返回主界面。



图 124 “边界条件”对话框:Symmetry

6.8.7 Periodic，周期面

在“边界条件”节点中找到拟设置为对称面的边界面并双击该子节点，在弹出对话框中将其边界类型修改为“Periodic”，并设置该边界相关参数。

如图 125 所示，用户可以在“周期边界类型”下拉框中选择“Rotational”或“Translational”，在“周期边界”下拉框中选择与当前边界构成周期边界的一组边界（当前边界除外）。



图 125 “边界条件”对话框：Periodic

对于平移周期面（“Translational”），用户可以查看两组面之间的位移值，如图 126 所示；对于旋转周期面（“Rotational”），用户可以查看旋转中心、转轴方向及旋转角度的值，如图 126 所示。QFlux 软件会根据用户选定的两组面的几何位置和周期类型，自动计算旋转周期面间的旋转角度值和平移周期面间的位移值，用户可与设计值进行比较。此外，用户还可以通过取消勾选自动计算前的复选框，来手动设置这些参数值。

在设置周期性边界条件时，为保证通过边界面的流量或者驱动压差，通常还需要再添加相应的驱动源项与该边界条件配合，详见图 786.6.4。



图 126 “边界条件”对话框：Periodic

6.8.8 Interface，内部对接面

如图 216.3 节所述，对接面可自动匹配，在具体的边界面上，也可手动设置，在“边界条件”节点中找到拟设置为内部对接面的边界面，双击该子节点，在弹出对话框中将其边界类型修改为“Interface”，如图 127 所示。

在图 127 所示的对话框中，左侧的“交接面 1”列表已经自动选择了“air_heatU”，且不可更改，用户须在右侧列表选择一个与之对接的边界面即“交接面 2”，用户可通过搜索框搜索边界名称，或者通过点击“查找对接面”自动选择相应的对接面。

当激活辐射模型时，通过点击“辐射参数”按钮可设置对应界面的辐射参数。当前支持的辐射模型中，仅支持对流体一侧界面的辐射参数设置，固体一侧辐射参数不需要额外设置。

对于多计算域算例，通过点击“交接面 1”下的“Interface 附加项”按钮，可设置界面“热源”或“热阻”，如图 128 所示，其中，热源支持“给定热流密度”和“给定功率”两种设置方式，热阻支持“热阻”和“材料导热系数和材料厚度”两种方式设置。

对于单计算域算例，通过点击“交接面 1”下的“Interface 附加项”按钮，可设置“风扇”，如图 129 所示，其中，风扇指向可通过“指向矢量方向”或“垂直界面方向”两种方式设置。

然后点击“应用”完成设置，点击“退出”返回主界面。



图 127 “边界条件”对话框：Interface



图 128 Interface 附加项：热源、热阻设置界面



图 129 Interface 附加项：风扇设置界面

6.8.9 Chimera，嵌套网格内部插值面

在“边界条件”节点中找到拟设置为内部插值面的边界面。双击该子节点，在弹出对话框中将其边界类型修改为“Chimera”，如图 130 所示。需要注意的是，该边界条件仅在采用嵌套网格时可用，如果“求解器”>“基本方程”中没有勾选“嵌套网格”，则“Chimera”边界类型将是不可用的。Chimera 边界类型无需输入额外的参数，然后点击“应用”按钮予以保存即可。点击“退出”按钮，即可返回主界面。



图 130 “边界条件”对话框：Chimera

6.8.10 Immersed Boundary，浸没边界

用户可以通过在已有工程文件中导入封闭表面，额外定义流体计算域中的浸没固体区域，屏蔽了区域内的无效单元后，便可在原本的背景网格上直接开展计算，避免了用户繁琐耗时的网格剖分工作。需要注意的是，当前浸没边界暂时仅支持层流（Laminar）、k-ε 和 k-ω 湍流模型，壁面函数暂时仅支持标准壁面函数，并且多计算域问题暂不支持浸没边界。

用户可通过右键选择“边界条件”节点，选择“添加浸没边界”，在弹出的“添加浸没边界”对话框中可设置新增其名称，默认为“IB-1”，以及添加几何文件，如图 131 所示，点击“应用”后“边界条件”节点下会新增相应的子节点，如图 132 中的 IB-1: Immersed Boundary。

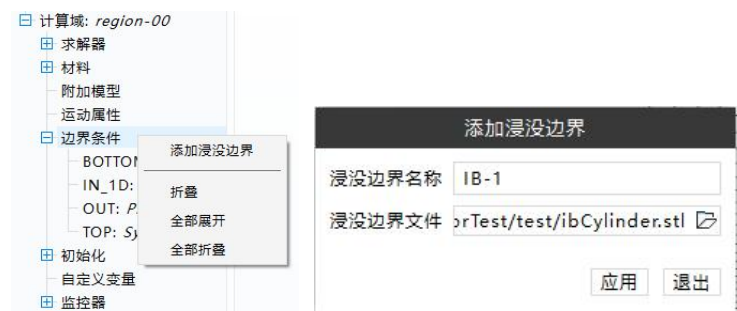


图 131 “添加浸没边界”对话框



图 132 “边界条件”下新增子节点

双击新增的边界节点，在弹出“边界条件”对话框中，“边界名称”为前面添加浸没边界区域时所给定的“浸没边界名称”，默认为“IB-1”，用户也可以在此处修改其名称。边界类型为“Immersed Boundary”，不可更改，所属区域为“region-00”，不可更改。有“动量”参数和“热量”参数页签。

动量：在“动量”页签中，当前边界面坐标系为“Relative to Adjacent Cell to Zone（相对于相邻网格单元）”，壁面滑移类型为“**No Slip**”（无滑移壁面），暂不支持更改。

热量：暂不支持。

注意，浸没边界条件不支持复制操作。

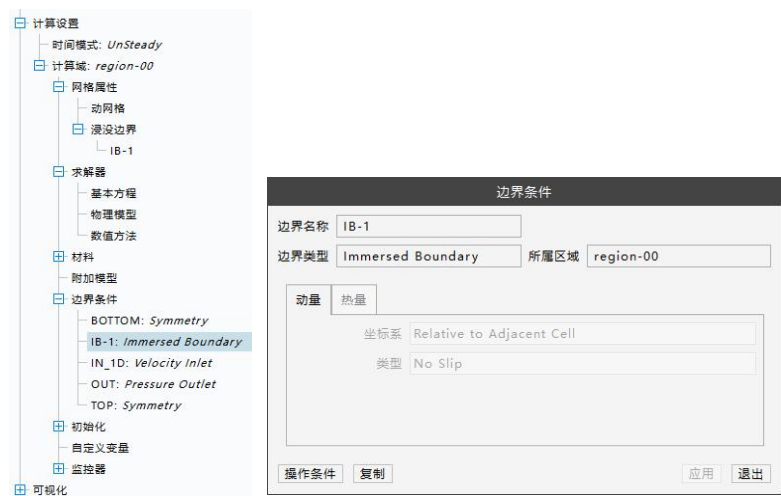


图 133 “边界条件”对话框：Immersed Boundary

另外，在所有边界类型对话框左下角都有一个“操作条件”按钮，点击该按钮可以打开操作条

件对话框，如图 134 所示。在该对话框中可以设置参考压力的大小和参考压力点所在位置、重力的大小和方向、参考高度、Boussinesq 参数和参考密度。参数修改完成后点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮返回上一级。

注：在任意一个边界条件对话框中修改“操作条件”的参数值，将会引起所有边界条件的“操作条件”发生相同的改变。

操作条件

参考压力(Pa)1.0133e5

☒ 重力 X(m/s²)1

参考点 X(m)0

Y(m/s²)0

Y(m)0

Z(m/s²)0

Z(m)0

☐ 参考高度(m)0

☐ Boussinesq参考温度(K)288.15

☐ 参考密度(kg/m³)1.225

应用

退出

图 134 “边界条件”对话框：操作条件

如果某仿真工程有多个边界面的边界类型、边界参数完全一致，QFlux 软件支持用户在设置完其中某一个边界面的类型、参数并点击“应用”后，将该边界面的边界类型以及参数复制给其他边界面。用户需要点击设置完成的边界面的边界类型对话框左下角的“复制”按钮，QFlux 软件将打开“复制边界”对话框，如图 135 所示。在“目标边界”列表选中与当前边界类型、参数一致边界面，点击右下角“复制”按钮即会将当前边界面的类型、参数复制给目标边界。设置完成后，点击“退出”按钮返回上一级窗口。可以在软件主界面左侧的工程树中查看复制效果。

复制边界

边界名称floor

边界类型Wall

所属区域BuildingGroup

目标边界

名称	类型	所属Zone
east	Pressure ...	BuildingGroup
north	Velocity In...	BuildingGroup
sky	Symmetry	BuildingGroup
south	Pressure ...	BuildingGroup
west	Velocity In...	BuildingGroup

复制

退出

图 135 “复制边界”对话框

6.9 初始化

➤ 功能描述

初始化模块,旨在向用户提供自定义当前计算域初始值的功能。若不设置自定义参数值,则 QFlux 软件将从当前计算域的入口提取相关特征量为初始值, 对计算域进行初始化处理。

➤ 操作步骤

双击“计算设置”>指定“计算域”>“初始化”节点,将弹出如图 136 所示的“设置流场初值”对话框。

用户如需指定流场初值,则勾选“自定义流场初值”,此时界面中的各输入栏变成可输入状态。在图示对话框中,用户可自定义设置流场密度、静压、速度 (U/V/W)、湍流基本变量 (k/w) 等物理量的初始值。对于不同的物理模型,初始化参数会略有不同。点击右上角的“默认”按钮,则各个参数值会重新变为 QFlux 软件的默认值。窗口左下角的“操作条件”按钮与各个边界条件设置对话框的“操作条件”是一样的,这里被修改后,各个边界条件的“操作条件”也会发生同样的变化。确认输入无误后,点击“退出”按钮,即可保存设置并返回主界面。

设置流场初值

☒ 自定义流场初值 默认

$\rho(\text{kg/m}^3)$

1.225

$P(\text{Pa})$

0

$U(\text{m/s})$

8.487

$V(\text{m/s})$

-8.487

$W(\text{m/s})$

0

phase-2, α

0

$T(\text{K})$

300

$\nu_{tild}(\text{m}^2/\text{s})$

0.000146

组分列表

H2

0

O2

0

操作条件

应用

退出

图 136 “流场初始化”对话框

参考量：双击“初始化”>“参考量”节点,可以打开“参考量”对话框,如图 137 所示。该对话框显示的是流场变量进行无量化的参考值,用户可以按需修改。如果“参考边界”为“无”,则各个参考量的值是 QFlux 软件默认的,如果在“参考边界”下拉框中选择某个边界面,如“floor”,则对话框中各个参考量的值会根据该边界的相应物理量的值发生变化。如图 138 所示。设置完成后点击“应用”按钮予以保存,点击“退出”按钮返回主界面。

参考量

参考边界 无

面积(m²)

1

长度(m)

1

速度(m/s)

1

温度(K)

288.16

压强(Pa)

0

密度(kg/m³)

1.225

粘性(kg/(m·s))

1.7894e-5

比热比

1.4

应用

退出

图 137 “参考量”对话框：无

参考量

参考边界 floor

面积(m²)

1

长度(m)

1

速度(m/s)

1

温度(K)

300

压强(Pa)

0

密度(kg/m³)

1.225

粘性(kg/(m·s))

1.7894e-5

比热比

1.4

应用

退出

图 138 “参考量”对话框：floor

补丁区域：对于多相流问题，图 136 所示对话框中设置的是整个流场区域的初始化参数。如有需要，用户可以右击“初始化”>“补丁区域”节点，选择“新增补丁区域”打开“新增补丁区域”对话框，如图 139 所示，在该对话框中，设置特定区域内流体初始化参数。同样对于不同物理模型，该窗口显示的物理量会略有差别。用户可以设置若干个不同的补丁区域。

用户可以在“名称”输入框中输入合适名称（如“PatchRegion-1”）；QFlux 软件提供“长方体”、“球体”、“圆柱体”三种类型的补丁区域形状，可以在“类型”下拉框中选择；“选项”中可以选择“Inside”或“Outside”，分别表示当前给定的参数适用于指定区域内部或外部；对话框中间模块的参数用来设置当前补丁区域的位置和范围大小，对于“长方体”区域需要设置左下角和右上角节点坐标（ X_{min} Y_{min} Z_{min} ）、（ X_{max} Y_{max} Z_{max} ），对于“球体”区域需要设置球体的球心坐标（ X Y Z ）和球

体半径 R ，对于“圆柱体”需要设定上下两个端面圆心坐标圆心 1 (X Y Z)、圆心 2 (X Y Z) 和端面圆的半径 R ；对话框下面模块的参数用来设置当前补丁区域内侧或外侧流场的初始化参数。

如果确定参数输入无误，点击“应用”按钮，将返回软件主界面，同时在“初始化”>“补丁区域”下方会出现一个与用户输入名称一致的子节点（如“PatchRegion-1”），如图 140 所示。如果后期需要修改相关参数，只需要在工程树中双击相应节点即可打开相应的设置对话框。

新增补丁区域

名称PatchRegion-1

类型长方体

选项内侧

X_{min}(m)-5000

X_{max}(m)5000

Y_{min}(m)-5000

Y_{max}(m)7000

Z_{min}(m)-1.4211e-14

Z_{max}(m)2000

控制区域大小

ρ(kg/m³)1.225

P(Pa)0

U(m/s)8.48698

V(m/s)-8.48698

W(m/s)0

phase-2,α0

T(K)300

ν_{tild}(m²/s)0.000146073

流场初始值

应用

退出

图 139 “新增补丁区域”对话框



图 140 “补丁区域”子节点

6.10自定义变量

➤ 功能描述

自定义仿真计算过程中的变量场，如时均场、面平均场、展向平均、边界 y+值等类型。

➤ 操作步骤

如图 141 所示，右键点击“计算设置”>指定“计算域”>“自变量”节点，弹出自定义变量菜单，用户可以选择添加的变量场；目前 Qflux 支持时均场、面平均场、展向平均场、边界 y+变量。

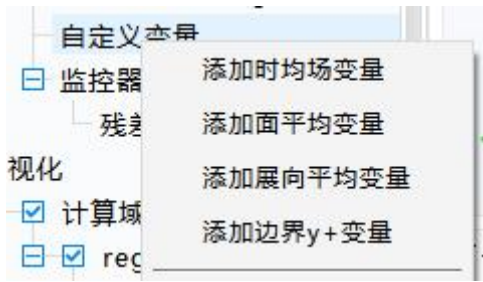


图 141 “自定义变量”菜单栏

6.10.1 时均场变量

时均场变量对话框如图 142 中所示，其中变量列表中为可支持在仿真过程中进行时间平均的变量，用户可对其进行勾选，如勾选变量后的“方差”，仿真过程会同步计算出该变量的方差并输出 dat 文件中；“开始时间”与“结束时间”分别指对变量进行时间平均的开始时间和结束时间；“重置时间”指对变量重新进行时间平均的时间间隔。



图 142 “时间平均场变量”对话框

6.10.2 面均场变量

面平均变量场对话框如图 143 所示，变量列表中为可支持进行面平均的变量；“面法向”为进行面平均操作的面的法向矢量；“开始时间”与“结束时间”分别指对变量进行面平均的开始时间和结束时间。注意，使用面平均功能时 Qflux 软件对计算网格有要求：计算域沿面法向的截面网格分布必须一致（即三维网格由某一个面网格拉伸而成）！

添加自定义变量

类型

面平均

变量列表

序	名称	选择
1	Velocity	☒
2	Vorticity	☒
3	Temperature	☐
4	Pressure	☐
5	Turbulent Viscosity	☐
6	p-rgh	☐
7	rho.Water-liquid	☐

☐ 全选

面法向

Y方向

开始时间(s)

0

结束时间(s)

1e+06

应用

退出

图 143 “面平均场变量”对话框

6.10.3 展向平均场变量

展向平均变量场对话框如图 144 中所示，变量列表中为可支持进行展平均的变量；“展向方向”为进行展向平均操作的矢量方向；“开始时间”与“结束时间”分别指对变量进行展向平均的开始时间和结束时间。注意，使用展向平均功能时 Qflux 软件对计算网格有要求：计算域沿展向的截面网格分布必须一致（即三维网格由某一个面网格拉伸而成）！

添加自定义变量

类型

展向平均

变量列表

序	名称	选择
1	Velocity	☒
2	Vorticity	☐
3	Temperature	☐
4	Pressure	☐
5	Turbulent Viscosity	☐
6	p-rgh	☐
7	rho.Water-liquid	☐

☐ 全选

展向方向

Z方向

开始时间(s)

0

结束时间(s)

1e+06

应用

退出

图 144 “展向平均场变量”对话框

6.10.4 边界 y+变量

边界 y+变量对话框如图 145 中所示，针对三维算例，勾选“计算边界 y+值”即可激活计算过程中对边界 y+值的计算，相应变量也会添加到可视化变量列表中。



图 145 “边界 y+值”对话框

6.11 监控器

➤ 功能描述

监控器模块，可用于对仿真计算过程中的数据进行监控，如数值迭代残差（默认设置）、刚体或边界面受力/力矩、计算域内某点的压力/速度等特征量。

➤ 操作步骤

右键点击“计算设置”>指定“计算域”>“监控器”节点，选择“添加监控器”选项，将弹出如图 146 所示的“添加监控器”对话框。



图 146 “添加监控器”设置对话框

监控名称：用来设置监控器名称。QFlux 软件会提供默认名称，用户可以根据需要修改。

监视器类型：用来选择监控器类型。QFlux 软件提供的监控器类型包括：力、力矩、点、线、面、体、六自由度，如图 146 所示。不同类型的监控器，其监控变量或对象有所不同。

添加监控器:0-monitor-1

监控名称0-monitor-1

类型力

☒窗口2

☐文件

监视源

序	边界名称	所属计算域	选择
1	floor	region-00	☒

☒全选

监视变量

序	变量名	选择
1	force-x	☒
2	force-y	☒
3	force-z	☒
4	pressure-force-x	☒

☒全选

应用

退出

(1)

添加监控器:0-monitor-1

监控名称0-monitor-1

类型力矩

☒窗口2

☐文件

力矩中心

X(m)0

Y(m)0

Z(m)0

监视源

序	边界名称	所属计算域	选择
1	floor	region-00	☒

☒全选

监视变量

序	变量名	选择
1	moment-x	☒
2	moment-y	☒
3	moment-z	☒
4	pressure-moment-x	☒

☒全选

应用

退出

(2)

添加监控器:0-monitor-1

监控名称0-monitor-1

类型点

☒窗口2

☐文件

监视源

X(m)0

Y(m)1000

Z(m)1000

监视变量

序	变量名	选择
1	pressure	☒
2	velocity-x	☒
3	velocity-y	☒
4	velocity-z	☒
5	rho	☒
6	nut	☒
7	nuTilde	☒
8	vof	☒
9	T	☒
10	C_H2	☒

☒全选

☐随网格移动

应用

退出

(3)

添加监控器:0-monitor-1

监控名称0-monitor-1

类型面

☒窗口2

☐文件

监视源

floor

监视变量

序	变量名	选择
1	pressure	☒
2	velocity-x	☒
3	velocity-y	☒
4	velocity-z	☒
5	rho	☒
6	nut	☒
7	nuTilde	☒
8	vof	☒
9	T	☒
10	C_H2	☒
11	C_O2	☒

☒全选

统计方法面积加权平均

应用

退出

(4)



文件。用户可点击输入框右边的图标“”，在弹出的“监控文件”对话框中进一步指定该文件存放路径及文件名。

监视源：用来设定监控对象。对于类型是“力”、“力矩”或“面”的监控器，监视源是一个界面，用户可以在“监视源”下拉框中选择，如图 147（1）、（2）、（4）所示；对于类型是“点”监控器，监控源为一个坐标点（X,Y,Z），用户可以在对应输入框中设定坐标值，如图 147（3）所示；对于类型是“六自由度”的监控器，监控源是“动网格”中的一个刚体系统，用户可以在“监控源”下拉框中选择，如图 147（7）所示；对于类型是“体”的监控器，监控源是一个计算域，用户可以在“监控源”下拉框中选择，如图 147（5）所示。

监视变量：用来设定要监控的变量，在“监控变量”列表中，用户可选择勾选其中一个或多个变量，作为拟监控的物理变量。该变量数据将被记录在当前监控器中。不同类型的监控器，监视变量不同。

另外，对于有网格运动的案例，在类型为“点”的监控器中，可以通过勾选“随网格移动”按钮设定监控点随着网格一起运动，如果不勾选，则将固定监控点坐标，如图 147（3）所示。对于类型为“面”的监控器，用户可以在“统计方法”下拉框中设定监控变量的统计方法为“面积加权平均”或“算术平均”或“面积求和”或“面积最大值”或“面积最小值”或“面通量”或“面质量流量”或“面积分”，如图 147（4）所示。对于类型为“体”的监控器，用户可以在“统计方法”下拉框中设定监控变量的统计方法为“体积加权平均”或“算术平均”或“求和”或“最大值”或“最小值”，如图 147（5）所示。

对于“型线监控”，不同于其他监控器，绘制是监控变量随用户定义的“型线自变量”（见图 147（6）中）变化曲线，而非监控变量随迭代步或非定常时间变化曲线。采样点有“与网格面的交点”和“均匀采样”两种。

完成上述设置后，点击“应用”按钮予以确认，点击“退出”按钮可退出当前对话框。

QFlux 软件默认添加数值迭代残差监控器，在“监控器”>“残差”节点中。用户双击该节点，将打开设置对话框，如图 148 所示。点击对话框左下角的“收敛判据”按钮可以打开“收敛判据”对话框，如图 148 所示。在“收敛判据”对话框中用户可以修改软件进行数值模拟时，用来判断迭代是否收敛的标准。点击“附加判据”按钮可打开相应对话框，如图 149 所示，用户可激活对速度或温度变量的波动监控，当“监控点”上的激活变量在“监控区间”步数内的“波动幅值”小于设定值时，计算自动终止。

修改完成后点击“应用”按钮进行保存，点击“退出”按钮返回上一级窗口。



图 148 修改“监控器”详细设置



图 149 “附加判据”对话框

任意一个类型的监控器添加完成后，会在工程树中添加相应的子节点，如图 150 所示。双击任意一个监控器子节点，例如类型为“体”的监控器“monitor-1”，将重新打开监控器对话框，如图 151 所示。与图 147（5）对比发现，此时“监视源”为图 147（5）中设定的计算域名称，并且无法修改；“窗口”右面多了一个“绘制”按钮，点击该按钮，QFlux 软件将重新在设定的窗口内重新绘制监控变量的变化曲线。如果当前没有进行模拟计算，即没有相应的监控数据，软件会给出“无监控数据”的提示。



图 150 新增监控器子节点

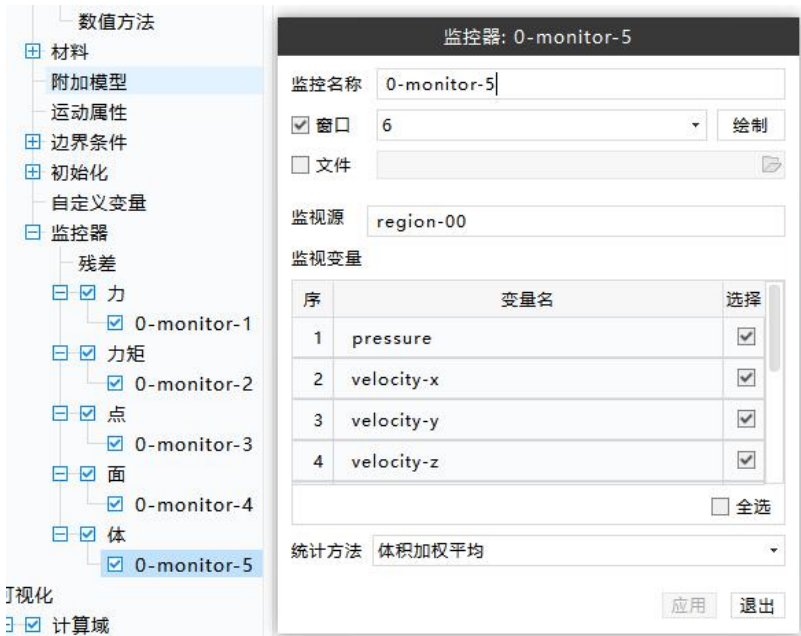


图 151 重新打开监控器窗口

6.12 启动和中止计算

➤ 功能描述

该功能项，旨在将仿真案例设置的参数及计算域网格提交至 QFlux 软件核心求解器，并启动核心求解器进行仿真模拟计算。在计算过程中，用户可根据具体情况，中止正在运行的求解器，或重启求解器进行续算操作。

➤ 操作步骤

点击工具栏中求解器启动按钮“”，或点击菜单栏“计算”>“开始计算”，将弹出如图 152

或图 153 或图 154 所示的“计算控制”对话框。该对话框包括 3 个页签，即“迭代”、“自动保存”、“并行”，具体功能设置及说明如下。

迭代：“时间模式”一栏，显示用户已设置的计算模式为“Unsteady”（非定常/瞬态）或“Steady”（定常/稳态），详见 6.1 节。

□ 如果“时间模式”为“Steady”：

- 用户只需要设定“迭代步数”即可，如图 152 所示。

□ 如果“时间模式”为“Unsteady”：

- 如果“步长方式”选为“Fixed”，如图 153 所示，表示恒定时间步长。用户需要在“时间步长”一栏中设置该步长值（如 0.001s），在“时间步数”一栏中输入总之间步数（如 1000 步），则数值仿真的物理时间为 $1000 \times 0.001\text{s} = 1\text{s}$ ，在“内迭代次数”一栏中输入一个时间步所需的内迭代次数（如 50）；
- 如果“步长方式”选择“Variable”，如图 154 所示，表示变动时间步长。用户需要在“参考时间步长”一栏中设置一个计算时间步长的参考值（如 1s），在“内迭代次数”一栏中输入一个时间步所需的内迭代次数（如 50），然后“物理结束时间”一栏中输入数值仿真结束的物理时间（QFlux 软件默认时间从 0s 开始），“最大流动 CFL 数”和“最大界面 CFL 数”都是用来计算仿真计算时的时间步长的。
- 如果“步长方式”选择“线性分布”，如图 155 所示，表示用户可以以分段线性的形式设定时间步长。用户需要在“内迭代次数”一栏中输入一个时间步所需的内迭代次数（如 50），然后“物理结束时间”一栏中输入数值仿真结束的物理时间（QFlux 软件默认时间从 0s 开始）。
- 如果“步长方式”选择“自定义函数”，如图 156 所示，表示用户可以以自定义函数的形式设定时间步长。用户需要在“内迭代次数”一栏中输入一个时间步所需的内迭代次数（如 50），然后“物理结束时间”一栏中输入数值仿真结束的物理时间（QFlux 软件默认时间从 0s 开始）。



图 152 “计算控制”对话框：“迭代”>“Steady”



图 153 “计算控制”对话框：“迭代”>“Unsteady”>“Fixed”



图 154 “计算控制”对话框：“迭代”>“Unsteady”>“Variable”

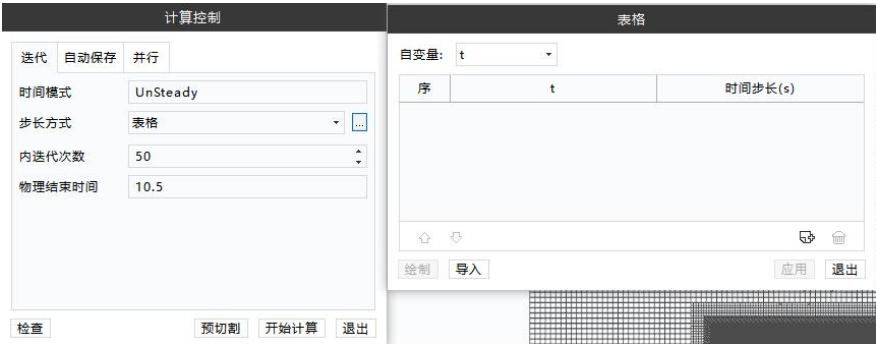


图 155 “计算控制”对话框：“迭代”>“Unsteady”>“线性分布”



图 156 “计算控制”对话框：“迭代”>“Unsteady”>“自定义函数”

自动保存：如图 157 所示，在该页签中可设置“数据自动保存频率”（如每个时间步保存 1 个数据文件）、“qfx 文件保存类型”（如“修改时保存”，即仅当.qfx 被修改时才另存为一个新的.qfx 文件）、“保存文件”名称及路径等。如勾选“计算时导出视频”，则计算结束后，QFlux 软件将把可视化窗口实时更新的仿真结果输出为视频文件。



图 157 “计算控制”对话框：“自动保存”页签

并行：如图 158 所示，在该页签中可设置“并行”选项。若勾选“并行”，则求解器将进行并行计算，否则将执行串行计算。勾选“并行”后，用户可进一步设置 MPI 库（并行库）为“Microsoft MPI”，并设置拟并行的“CPU 核数”（如 4 核）。



图 158 “计算控制”对话框：“并行”页签

上述设置完成后，用户点击界面右下角的“开始计算”按钮，启动求解器进行仿真计算。QFlux 软件在计算过程中绘制的残差曲线如图 159 所示。

在上述仿真计算过程中，工具栏的启动计算图标“”将自动切换至中止计算图标“”，图 158 所示对话框中的“开始计算”按钮将自动切换至“中止计算”状态，以方便用户随时中止计算。用户点击图标“”或者是对话框的“中止计算”按钮，均可中止计算。

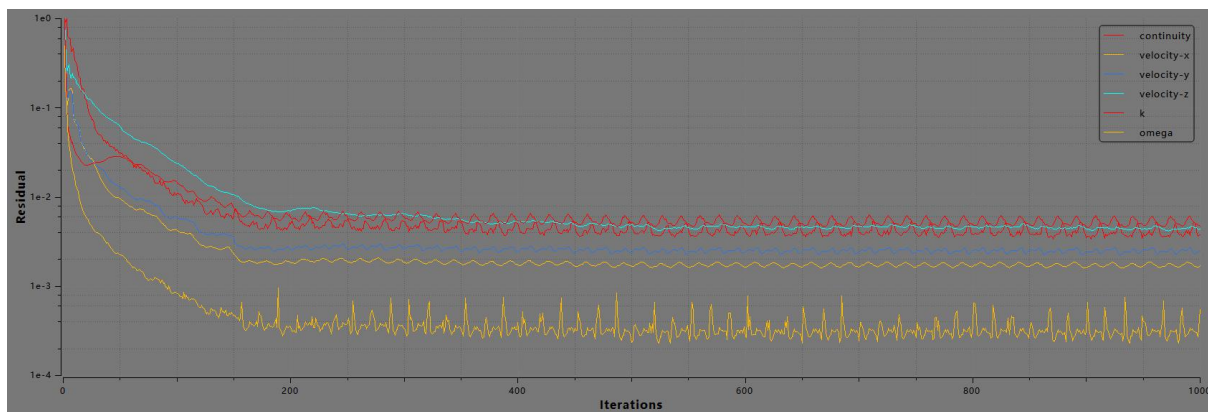


图 159 启动计算后，软件绘制的数值迭代残差曲线（示例）

用户在得到某个计算结果后，如果要进行续算，可以先将得到的.qfx 文件和.dat 文件导入 QFlux 软件中并激活，然后点击启动计算图标“”，在弹出的“计算控制”对话框中点击“开始计算”按钮，软件会弹出提示框，如图 160 所示，选择“续算”，则 QFlux 软件会在已

经激活的.dat 文件基础上进行续算。如果选择“重新计算”，则 QFlux 软件会重新初始化流场，重新计算。

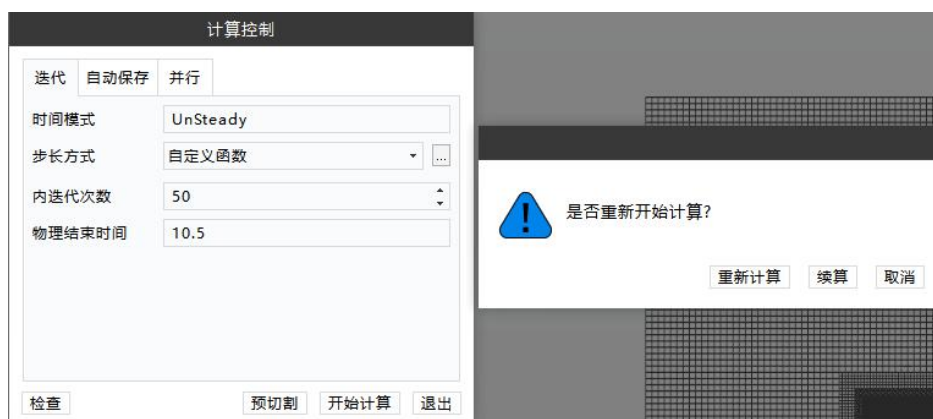


图 160 续算仿真案例

7 流场可视化与数据后处理

Qflux 软件可对被激活的.qfx 文件和.dat 文件进行流场可视化以及数据后处理操作，具体的功能包括：

- (1) 网格可视化：隐藏或显示计算域边界面，包括边界面轮廓线、网格、面上物理量分布云图等。
- (2) 切平面可视化：在计算域内指定切平面，并自定义显示该平面上的物理量分布（包括云图、矢量或矢量线等可视化形式）。
- (3) 等值面可视化：在计算域内指定物理量的等值面，并自定义显示该等值面上的物理量分布（包括云图、矢量或矢量线等可视化形式）。
- (4) 矢量线可视化：在计算域内指定矢量的矢量线，并自定义显示该（簇）矢量线上的物理量分布（如着色、矢量等可视化形式）。
- (5) 数据统计：对指定计算域或几何面上数据进行统计分析，以报表或曲线图等形式进行呈现。

上述可视化功能，既可以通过工具栏的按钮快捷设置（图 161），也可以右键节点进行菜单操作（图 162）。



图 161 可视化工具栏

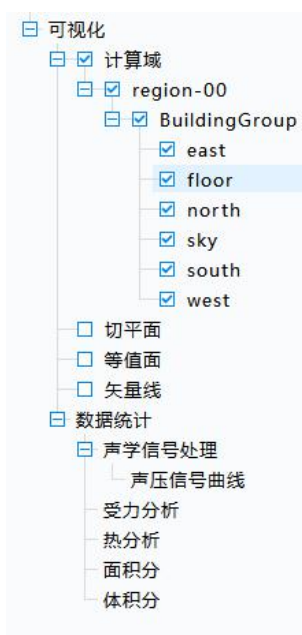


图 162 “工程”>“可视化”树结构

可视化功能的通用操作，包括显示/隐藏、新建、编辑、删除等：

- (1) 显示/隐藏：对节点前面的勾选框进行操作，可以控制该数据是否可见。勾选表示可见，否则表示隐藏。
- (2) 新建：在现有可视化树结构中，新增节点，可新建切平面、等值面、矢量线。
- (3) 编辑：可以编辑元素的部分属性，但名称禁止修改。
- (4) 删除：删除所选节点元素。

7.1 可视化导航工具条

QFlux 软件的可视化窗口中，设置了一组快捷操作工具按钮，如图 163 所示，包括：视图旋转、平移、缩放，重定位视图中心点，适应窗口大小，重定位为 XY、XZ、YZ 视图等。具体如下：

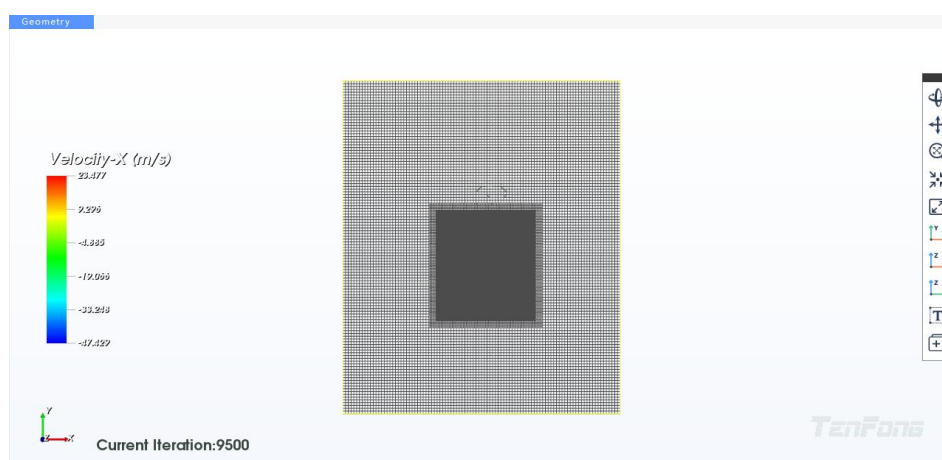


图 163 可视化窗口



：旋转当前视图。



：平移当前视图。



：缩放当前视图。



：重定位当前视图的中心点。



：将当前视图调整为适应整个可视化窗口。



：将当前视图切换为 XY 视图。



：将当前视图切换为 XZ 视图。



：将当前视图切换为 YZ 视图。



：在可视化窗口任意位置添加文本。

点击该图标将弹出“文本”对话框，如图 164 所示。“文本内容”输入框用来输入用户想要在可视化窗口中显示的文本（只支持英文字符）；“属性设置”模块中，用户可以设置文本在可视化窗口中显示的位置（X Y）；调整文本的字体，目前 QFlux 软件只支持“Arial”；调整文本的字号大小、文本的颜色。如果勾选“边框”，则文本将以有边框的形式显示，其中边框的颜色，线宽都可以调整；如果勾选“填充”，则文本将以有底纹颜色的形式显示，底纹颜色和填充边距都可以调整。设置完成后点击“应用”按钮，可在可视化图形窗口中查看设置效果，如果设置无误，点击“退出”按钮，关闭当前对话框。



图 164 “文本”对话框

：图形复制，详细设置见 8.2 节

7.2 边界面可视化

➤ 功能描述

边界面可视化形式包括：绘制计算域边界面的轮廓线或面网格；以云图方式绘制边界面上物理量分布；绘制面上矢量分布等。

➤ 操作说明

（1）边界面轮廓线、面网格

用户可以通过两种方式显示边界面轮廓线、面网格。

- 1) 在“可视化”>“计算域”的树结构中选中要显示的边界面，然后点击工具栏中的网格操作按钮，则工具栏右侧的提示信息框将显示当前已激活边界面的可视化信息，如图 165 所示，包括面上云图变量（如“Velocity-X”）、是否激活面上矢量分布等。点击图 165 左侧的编辑按钮，即可弹出如图 166 所示的属性设置对话框。在该对话框的“网格”下拉框中，可以选择“无”（即不显示轮廓线和面网格）、“轮廓线”或“面网格”，则可视化窗口将自动绘制相应的可视化结果。



图 165 网格快捷菜单栏项



图 166 “边界”属性设置对话框

2) 如图 167 所示，在“可视化”>“计算域”>“region-00”>“BuildingGroup”树结构中，勾选拟绘制的边界面，如“floor”，然后右键点击该边界面节点，在该右键菜单中选择“网格”>“无”或“轮廓线”或“面网格”，即可在可视化绘制该边界面的相关信息。绘制结果如图 168 所示（图中蓝色网格所在面）。对不同的边界面可以设置不同的显示效果，边界面之间相互不影响。



图 167 通过“可视化”树结构选择拟绘制的边界面及其轮廓线或网格

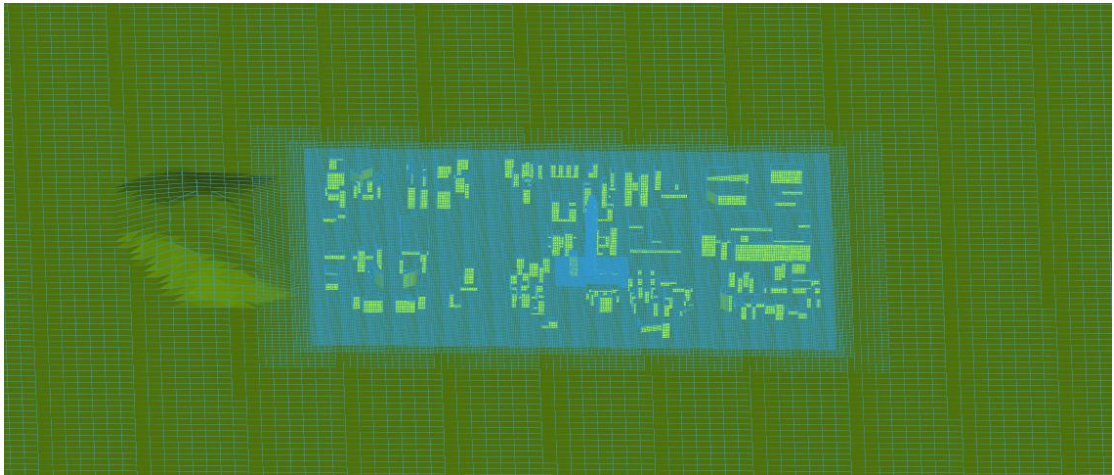


图 168 绘制边界面“floor”的表面网格

(2) 边界面上云图分布

用户可以通过两种方式显示边界面上云图分布。

1) 在图 169 所示的快捷操作栏“云图变量”下拉框中，选择拟绘制的面上云图变量，如“Velocity-X”。可视化窗口将会自动显示相应云图的可视化效果。点击操作栏左侧的编辑按钮“”，在弹出的如图 166 所示的属性设置对话框中，用户也可以修改要显示的云图变量，如图 170 所示。并且在该对话框中，用户可进一步设置云图绘制属性：勾选“等值线”，可视化窗口将同步绘制该变量在边界面上的等值线；勾选“光照”，云图即会被添加光照效果；勾选“着色”，即为云图添加着色，并且可以在“透明度”中设置着色的透明度百分比，其中 0 表示完全不透明；勾选“图例”，即会在图形显示窗口左侧出现图例，点击右侧的“...”按钮，即可打开图例设置对话框，如图 171 所示，可以对图例进行详细设置。在该对话框中，用户可设置以下参数。

- 最小值：**图例显示的最小值。
- 最大值：**图例显示的最大值。
- 等分数：**图例色带划分的等分数。
- 变量阈值：**图例显示的范围。可以点击“默认”按钮，设置值域的默认范围，也可以在输入框中设置任意大小值。
- 类型：**云图色带染色类型，QFlux 软件提供了丰富的类型供选择。
- 着色方法：**Continuous 表示连续显示；Banded 表示带状显示。
- 高度：**图例显示的长度占可视化界面界面宽度的百分比
- 刻度数：**图例显示的分段数目
- 标注：**图例上显示的刻度值的显示方式，可选 Integer、Float 或 Exponent
- 精度：**图例上显示的刻度值的精度
- 边框和填充：**图例是否添加边框或填充颜色

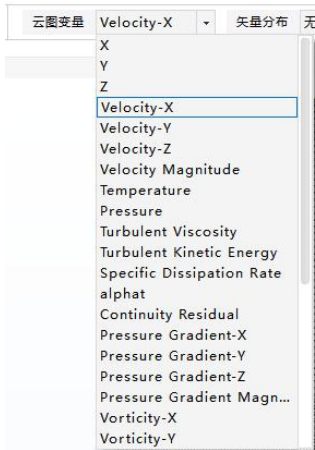


图 169 通过快捷操作栏修改面上云图变量

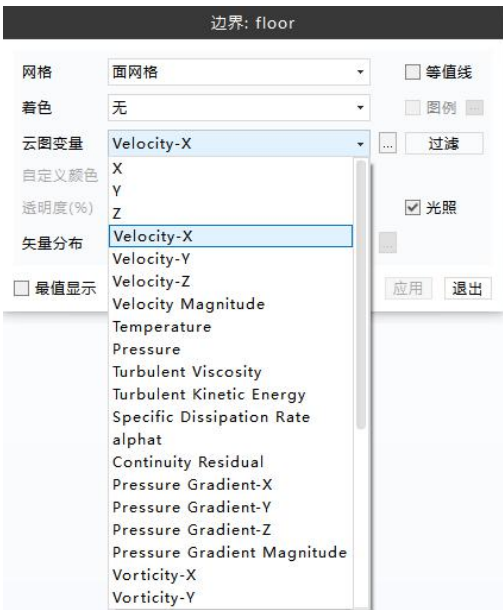


图 170 通过“边界”属性对话框修改面上云图变量及其绘制参数



图 171 云图“图例”设置对话框

2) 通过左侧的树结构进行面上云图的相关操作。如图 172 所示，勾选拟绘制边界面（如“floor”）后，点击右键，在该右键菜单中选择“云图变量”，并在其列表中选择拟绘制的变量，如“Velocity-X”。如需修改云图透明度，则如图 173 所示，在该右键菜单中选择“着色”及对应的透明度值：“无”表示不着色；“透明度 0%”表示不透明即完全着色。在图 172、图 173 所示的右键菜单中选择“编辑”选项，同样可以打开如图 170 所示的属性设置对话框，对云图显示效果进行详细设置。

上述面上云图以 50%透明度绘制的可视化效果如图 174 所示。注：floor 为壁面边界，故颜色色值为绿色。



图 172 通过边界面右键菜单修改面上云图变量

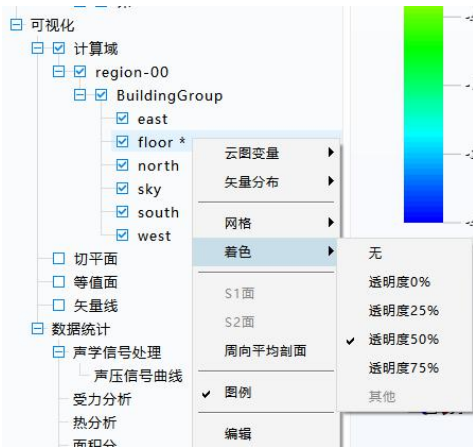


图 173 通过右键菜单修改云图透明度

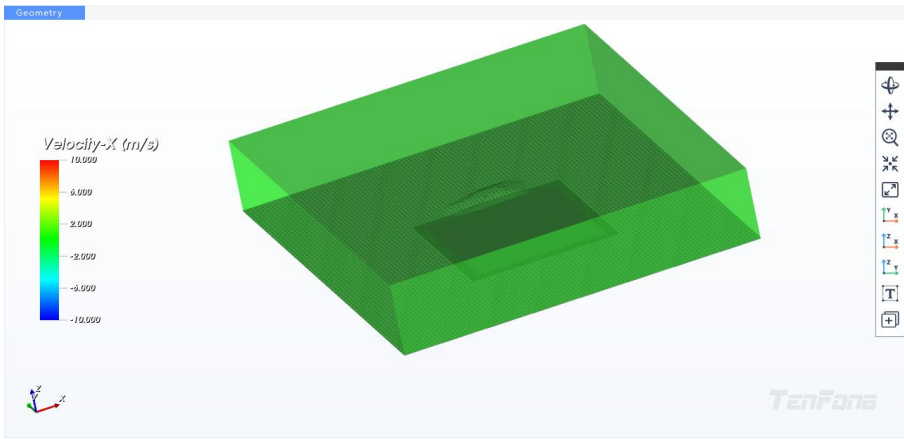


图 174 边界面上的云图绘制效果：透明度为 50%

(3) 边界面上的矢量分布

在图 169 或图 170 所示的对话框“矢量分布”下拉框中选择一个矢量，或者是在图 172 所示的右键菜单中选择“矢量分布”子菜单，都可以激活面上矢量分布选项。

QFlux 软件默认设置的矢量分布可选项为无、Velocity（速度矢量）、VelocityinXY(XY 投影：速

度矢量)、VelocityinXZ(XZ 投影：速度矢量)和 VelocityinYZ(YZ 投影：速度矢量)。默认矢量分布设置为无。当矢量分布设定为“Velocity”时，可以点击右侧的“...”按钮，弹出矢量管理对话框，如图 175 所示。也可以点击导航栏中的矢量图标“”打开“矢量管理”对话框。

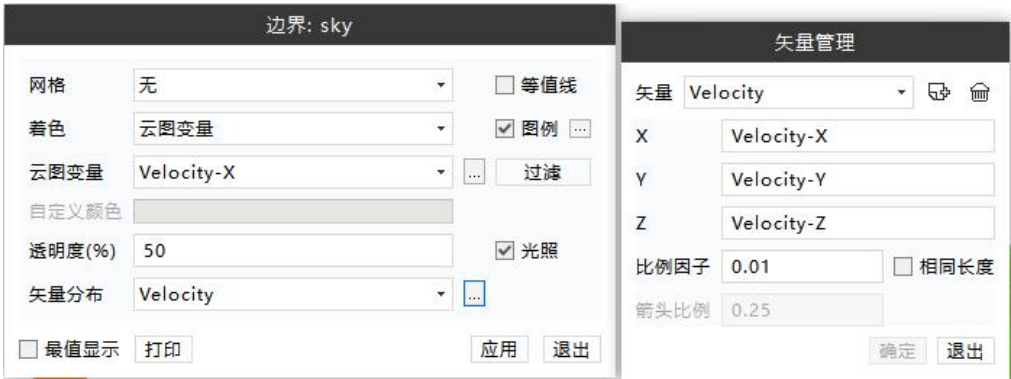


图 175 “矢量管理”对话框

在矢量管理对话框中，可以修改当前矢量的属性值，其中，X、Y、Z 的参考设置值与云图变量的参考值一致；也可以点击“”按钮，添加新的矢量，对相应参数进行编辑后，点击“确定”按钮即添加完成，详细如图 176 所示。



图 176 添加矢量对话框

添加矢量后，在矢量列表中即可看到之前添加的 Vectoe-101，当点击回收站图标“”可以对 Vectoe-101 进行删除，如图 177 所示。

如果边界“outlet”中当前矢量分布为 Vectoe-101，点击该删除图标会弹出删除对话框，如图 178 所示，若点击“确认”按钮，则边界“outlet”中矢量分布变更为“VelocityinYZ”。



图 177 删除矢量对话框



图 178 确认是否删除矢量对话框

对于矢量分布的显示，将速度矢量中的比例因子设置为 0.0001(默认为 0.01)，显示的矢量分布如图 179 所示。

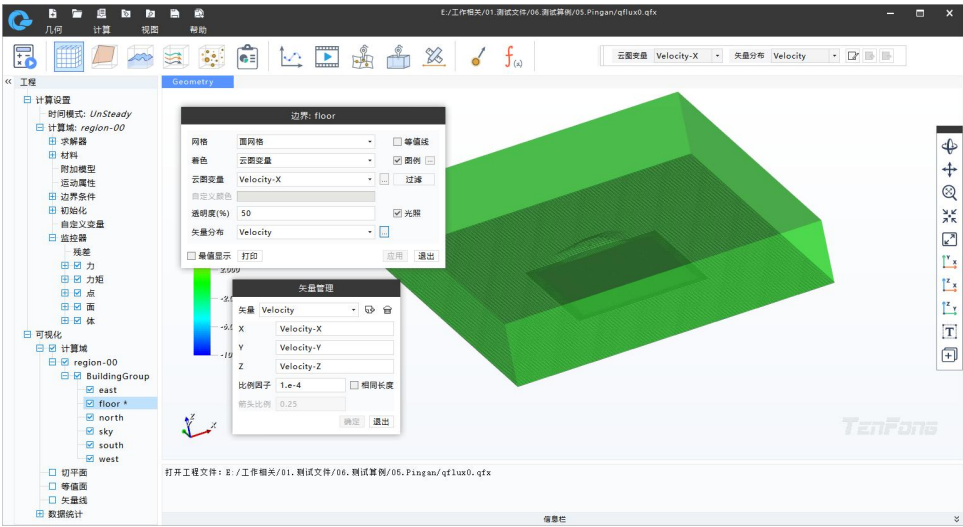


图 179 矢量分布显示图

7.3 切平面

用户可以在计算域中建立切平面，并在 UI 可视化窗口中隐藏或显示该（组）切平面以及该（组）切平面上的物理量分布。

切平面的可视化操作功能包括：

- (1) 新建、编辑、删除切平面；
- (2) 显示切平面上的云图；

- (3) 显示矢量分布及矢量线;
- (4) 显示网格、着色等。

7.3.1 新建切平面

➤ 功能描述

在计算域中建立任意方向的切平面。

➤ 操作说明

在可视化工具栏中点击切平面按钮“”，或者是在左侧工程树中点击“切平面”节点，即可进入切平面操作模式。切平面的快捷设置栏如图 180 所示，工程树右键菜单功能如图 181 所示。

点击工具栏的新建按钮“”创建一个切平面。或右键点击工程树的“切平面”节点在弹出菜单中选择“添加切平面”。新建后，工程树切平面节点下展现新建的切平面，如图 182 所示。



图 180 切平面快捷工具栏



图 181 切平面右键菜单

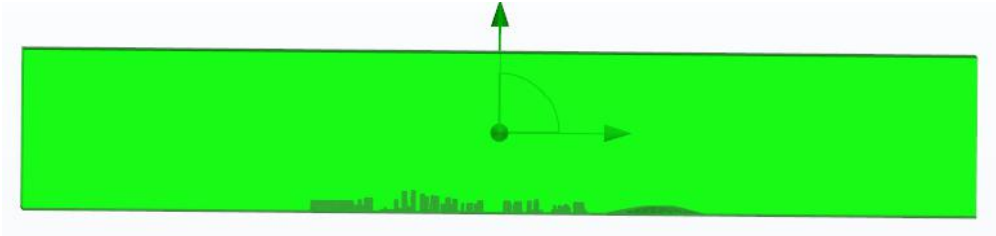


图 182 新建切平面

7.3.2 编辑切平面的可视化属性

➤ 功能描述

编辑指定切平面的可视化属性。

➤ 操作说明

在快捷设置栏中，点击编辑按钮“”；或者是，在左侧工程树>“切平面”下，双击某个切平面节点（如“切平面-1”）；或者是，在左侧工程树>“切平面”>“切平面-1”节点上，点击右键，并在该右键菜单中点击“编辑”菜单项（图 183）。

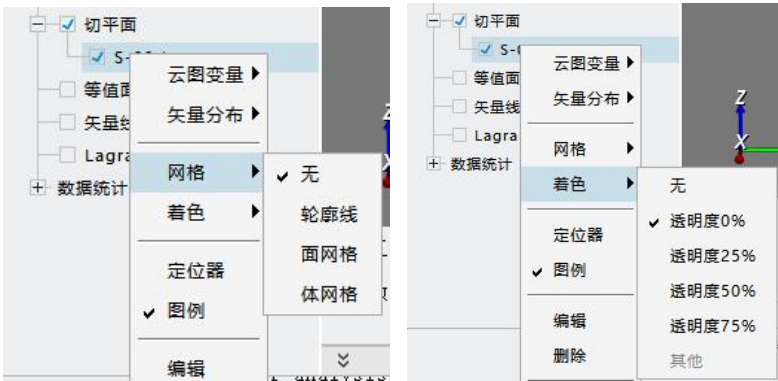


图 183 切平面-1 的右键菜单

以上三种方式，均可打开图 184 所示的“切平面属性”设置对话框。

在该对话框中设置切平面的可视化属性参数，包括：填充变量、切平面法向及切平面位置、面上云图的显示方式（“网格”或“着色”）、是否显示等值线等。

如仅需修改面上云图填充变量及其显示方式，还可以直接在图 183 所示的右键菜单中：在“云图变量”子菜单中选择拟显示的流场物理量（即云图填充变量）；选择“网格”或“着色”，以网格或半透明着色云图方式呈现该物理量。



图 184 “切平面定义、属性”设置对话框

图 184 所示的对话框中，点击“Zone 列表”，可以弹出 Zone 列表对话框，显示所有 Zone 的信息，此时，可以在其右侧的复选框中设置是否隐藏该 Zone 下的切平面，如图 185 所示。



图 185 “切平面属性”对话框中 Zone 列表

7.3.3 切平面定位器

➤ 功能描述

在可视化窗口中，实时调整切平面的位置和法向等属性。

➤ 操作说明

可通过图 183 所示对话框中的滑动条或位置输入框调整切平面的位置，也可以利用可视化窗口中的定位器进行实时调整，如图 186 所示。

在图 186 中，用鼠标左键选中并拖动定位器的任意一个坐标轴（箭头），即可实现切平面平移操作。用鼠标选中并转动定位器的圆弧，即可实现切平面旋转操作。

在图 184 所示的对话框中可以设置该定位器的显示或隐藏。

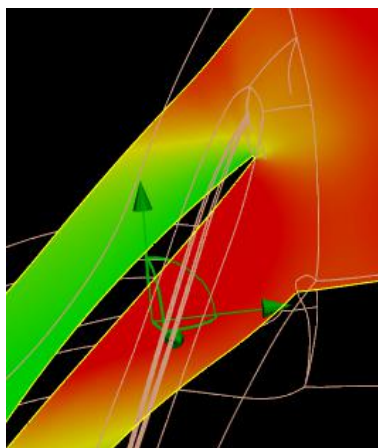


图 186 切平面定位器

7.3.4 快捷浮动工具条

➤ 功能描述

利用可视化窗口中的快捷浮动工具条，可以将当前切平面快速修改为 x 方向切平面（法向为 x

轴向)、y 方向切平面、z 方向切平面，或者是打开编辑按钮。

➤ 操作说明

在可视化窗口中点击切平面，将弹出如图 187 所示的快捷浮动工具条。从左至右点击该浮动工具条中的 4 个按钮，将依次实现以下功能：将当前切平面修改为 x 方向切平面、y 方向切平面、z 方向切平面，打开图 184 所示的“切平面属性”设置对话框。

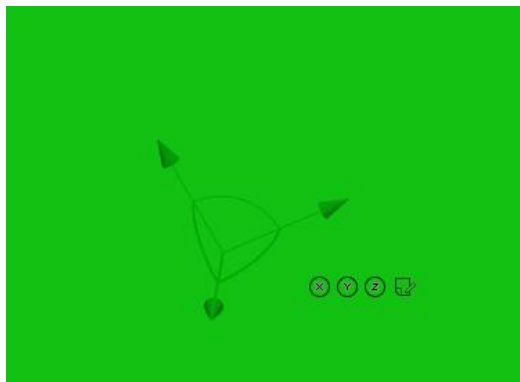


图 187 快捷浮动工具条

7.3.5 切平面云图图例设置

➤ 功能描述

设置当前切平面上填充云图的图例。

➤ 操作说明

操作方法与图 171 所示的边界云图图例设置方法一致。

7.3.6 切平面矢量分布

➤ 功能描述

设置当前切平面上的矢量分布。

➤ 操作说明

操作方法与图 175 所示的边界矢量分布设置方法一致。

7.3.7 删除

➤ 功能描述

删除选中的切平面。

➤ 操作说明

选中需要删除的切平面，点击工具条的删除按钮“”，或者右键选择“删除”选项，即可。

切平面被删除后，其对应的子节点也将从左侧工程树的“切平面”节点下消失。

7.4 等值面

➤ 功能描述

等值面，旨在以某物理量空间等值分布的形式展示三维流动结构或其他物理结构特征。可以显示 CFD 常用的等值面，如 Q-等值面、涡量等值面、总压等值面等。

QFlux 软件关于等值面的可视化操作功能包括：

- (1) 定义等值物理量，新建、编辑、删除等值面；
- (2) 等值面上云图显示，包括定义云图填充物理量、云图显示方式（如网格或着色）等。
- (3) 等值面上矢量分布。
- (4) 显示网格、着色等。

7.4.1 新建等值面

➤ 功能描述

建立某物理量的等值面，并呈现在可视化窗口中。

➤ 操作说明

在可视化工具栏中点击等值面按钮“”，或者是在左侧工程树中点击“等值面”节点，即可进入等值面操作模式。等值面的快捷设置栏如图 188 所示，工程树右键菜单功能如图 189 所示。在图 188 中“等值量”下拉框中选择拟定义的等值物理量，然后新建按钮“”创建一个等值面；或者是在图 189 所示右键菜单“等值量”中选择拟定义的等值物理量，然后点击右键菜单中的“添加等值面”，创建等值面。创建结果如图 190 所示。



图 188 等值面快捷设置栏

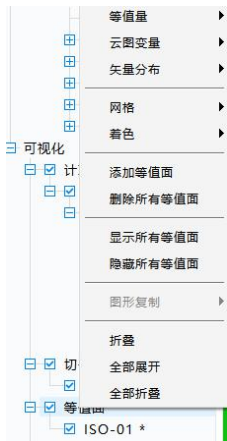


图 189 等值面右键菜单

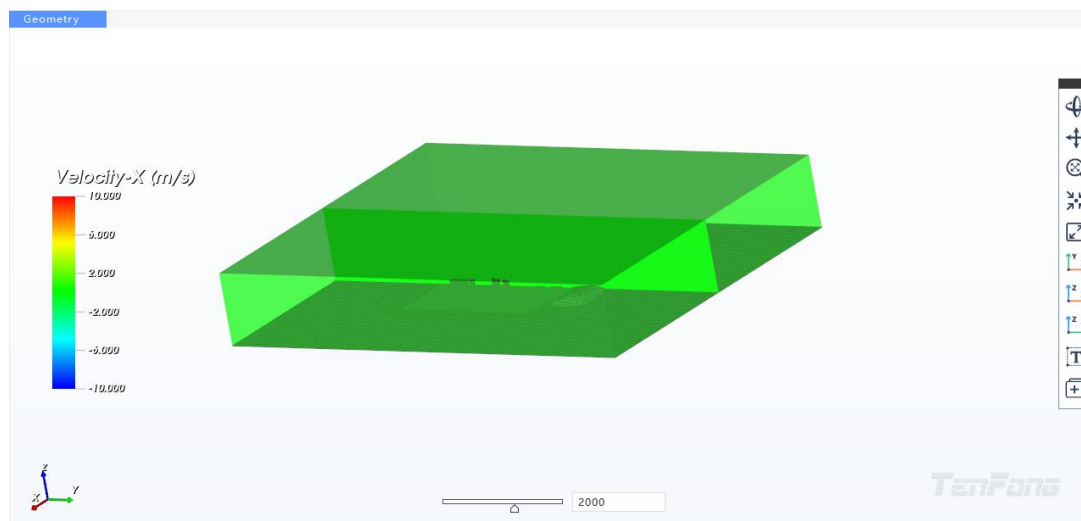


图 190 新建等值面

7.4.2 编辑等值面的可视化属性

➤ 功能描述

编辑当前等值面的可视化属性。

➤ 操作说明

选中某个等值面，在快捷设置栏中点击编辑按钮“”；或在左侧工程树中“等值面”下，双击拟编辑的等值面节点（如“等值面-1”）；或在左侧工程树中“等值面”的“等值面-1”节点的右键菜单中；或在可视化界面中选中该等值面，点击右键，选中“编辑”菜单项。均可打开“等值面属性”设置对话框，如图 191 所示。在该对话框中，可设置等值面的可视化属性参数，包括：“等值量”（定义该等值面的物理量）及其数值、等值面上云图的“填充变量”、面上矢量分布，云图显示方式等属性。

等值量：用户可以在图 191 的“等值量”下拉框中设置定义该等值面的物理量，并通过其中的滑动条修改具体数值，或在滑动条右侧输入框中输入具体数值；此外，也可以通过图 190 所示可视化窗口的滑动条来直接修改数值。

Zone 列表：存在多个 Zone 时，用户可以选择只显示部分 Zone 上的等值面。操作方法是：点击图 191 中的“Zone 列表”按钮，对话框切换至图 192 所示的 Zone 列表对话框，在该列表中勾选需要禁用的 Zone 即可。



图 191 “等值面定义”对话框（含等值量下拉框）



图 192 “等值面属性”设置对话框与“Zone 列表”

7.4.3 面上云图图例设置

- 功能描述
设置当前等值面上填充云图的图例。
- 操作说明
操作方法与图 171 所示的边界云图图例设置方法一致。

7.4.4 面上矢量分布

- 功能描述
设置当前等值面上的矢量分布。
- 操作说明
操作方法与图 175 所示的边界矢量分布设置方法一致。

7.4.5 删除

- 功能描述
删除选中的等值面。

➤ 操作说明

选中需要删除的等值面，点击工具条的删除 “” 按钮，或在右键菜单中选择“删除”选项，即可删除该等值面。等值面被删除后，其对应的子节点也将从左侧工程栏树的“等值面”节点下消失。

7.5 矢量线

➤ 功能描述

矢量线，旨在以曲线形式展示当前时刻某物理矢量的空间分布。QFlux 软件关于矢量线的可视化操作功能包括：

矢量定义及新建、编辑、删除矢量线；

显示或隐藏矢量线、线上填充属性设置等。

7.5.1 新建矢量线

➤ 功能描述

建立某物理矢量的矢量线，并呈现在可视化窗口中。

➤ 操作说明

创建矢量线之前，应确定至少激活了一个几何面（边界面、切平面或等值面）。在可视化窗口中拾取矢量线种子点的空间位置时，以激活的几何面为基准。若激活多个几何面，拾取种子点将按空间最近原则处理。

在可视化工具栏中，点击矢量线按钮 “”，或在左侧工程树中点击“矢量线”节点，或在可视化界面中选中矢量线，右键点击该矢量线，即可进入矢量线操作模块。矢量线的快捷设置栏如图 193 所示，工程树右键菜单功能如图 194 所示。可视化界面中矢量线的右键菜单功能如图 195 所示。



图 193 矢量线快捷设置栏



图 194 “矢量线”右键菜单

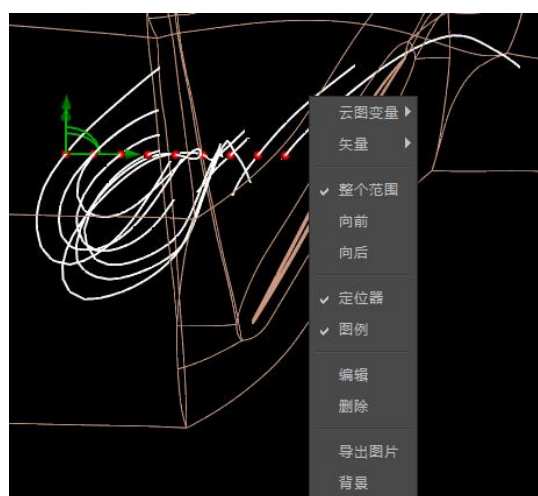


图 195 可视化界面“矢量线”右键菜单

矢量线的显示类型有两种，Volume Line 和 Plane Line。Volume Line 类型表示空间创建的矢量线，如图 196 所示，Plane Line 类型表示在某一平面内的矢量线，如图 197 所示。

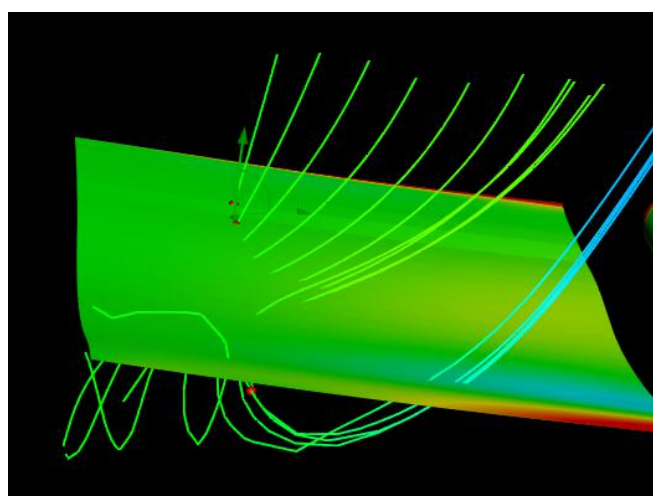


图 196 矢量线显示类型：Volume Line

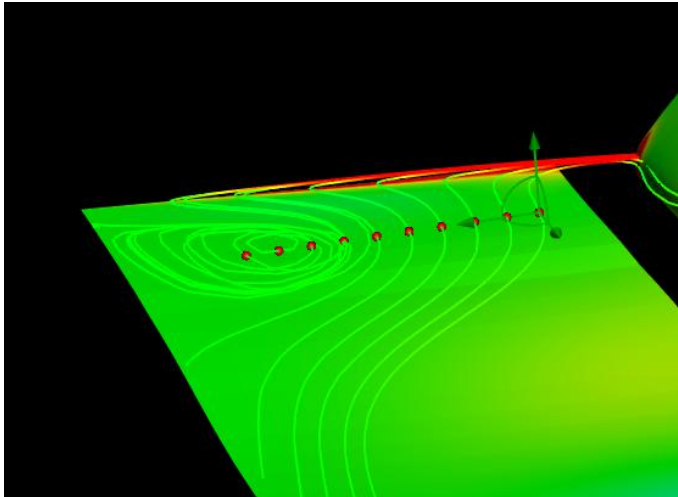


图 197 矢量线显示类型：Plane Line

创建矢量线的方式有三种，点击新建按钮“”，打开图 198 所示的添加矢量线对话框，其中“种子类型”下拉框给出的三种类型：“点”、“线”、“矩形”。用户可选择其中一种方式创建矢量线：

“点”：在“种子类型”下拉框中选择“点”之后，在可视化窗口内（计算域范围内）用鼠标左键点击任意一点，即可创建经过该点的矢量线。如图 199 所示，图中红色小球，为创建的种子点，绿色坐标轴即为种子点定位器。拖动定位器的轴和弧线，即可对该种子点进行平移、旋转操作（与切平面定位器的操作方法一致）。

“线”：在“种子类型”下拉框中选择“线”，设置该线的种子数后，“类型”可以选择“第一点所在面元法向”或“自定义”平面法向，设置完成点击“应用”按钮，在可视化窗口内用鼠标左键点击拟创建矢量线线段位置的任意一个端点，并移动鼠标，直至线段另一端点并点击鼠标左键确认（即生成一系列种子点），即可创建经过这一系列种子点的矢量线簇，如图 200 所示。同上，可利用定位器，修改矢量线簇的位置及分布。

“矩形”：在“种子类型”下拉框中选择“矩形”，设置该矩形长（种子数 1）和宽（种子数 2）的种子数后，“类型”中可以选择“第一点所在面元法向”或“自定义”平面法向，设置完成后点击“应用”按钮，在可视化窗口内拟创建矢量线的矩形范围的任一角点位置点击鼠标左键，并拖动鼠标，至拟创建矢量矩形范围的任一相邻角点位置击鼠标左键确认，然后再拖动鼠标至你创建矢量线矩形范围的第三个角点位置点击鼠标左键确认，即可创建经过三个角点确定的矩形范围内的矢量线簇，如图 201 所示。同上，可利用定位器，修改矢量线簇的位置及分布。



图 198 添加矢量线对话框

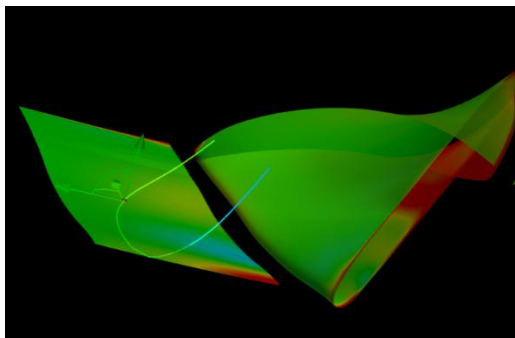


图 199 采用“点”方式创建种子点和矢量线

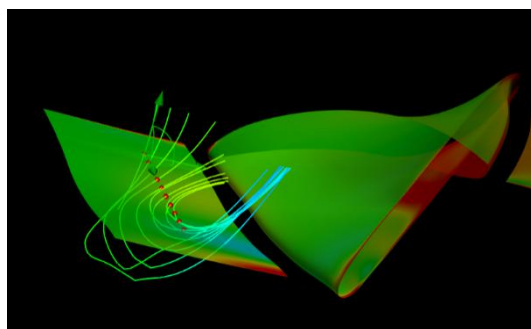


图 200 “线”方式创建种子点

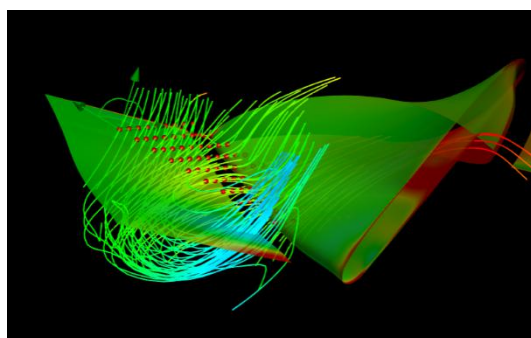


图 201 “矩形”方式创建种子点

7.5.2 编辑矢量线的可视化属性

➤ 功能描述

编辑矢量线的可视化属性。

➤ 操作说明

选中要编辑的矢量线，点击快捷设置栏的编辑按钮“”，或双击工程树中对应的矢量线节点，或右键工程树中的矢量线节点，或在可视化界面中右键点击当前矢量线，在右键菜单中选择“编辑”选项。均可打开“矢量线属性”设置对话框，如图 202 所示。在该对话框中用户可以修改矢量的属性：

轨迹范围：“向前”表示从种子点位置开始仅显示流场前方的矢量线、“向后”表示从种子点位置开始仅显示流场后方的矢量线、“整个范围”表示在整个计算域中显示通过种子点的矢量线。

云图变量：设置矢量线的颜色表示的物理量值。

图例：可视化窗口中是否显示图例，并且设置图例属性。

种子列表：罗列矢量线的种子点坐标，用户可以通过勾选或不勾选“激活”方框来控制对应矢量线的显示与否，如图 203 所示。



图 202 “矢量线属性”设置对话框



图 203 矢量线种子列表

7.5.3 矢量线轨迹动画

➤ 功能描述

以动画方式展示矢量线轨迹。

➤ 操作说明

右键点击左侧工程树的“矢量线”节点，或在可视化窗口空白处，点击鼠标右键，均将弹出右键菜单，如图 204 所示。在右键菜单中选择“矢量线轨迹”选项，将弹出“矢量线轨迹”设置对话框，如图 205。用户可在该窗口中设置当前矢量线（簇）的动画呈现方式。

其中，“动画间隔”用来设置每次动画的显示时长；“周期间隔”用来设置循环播放时两次动画

之间时间间隔，“线长度因子”用来设置流线的长度，“速度因子”用来设置运动的速度。



图 204 可视化界面右键菜单项



图 205 “矢量线动画”设置对话框

7.5.4 删除

➤ 功能描述

删除选中的矢量线。

➤ 操作说明

选中需要删除的矢量线，点击工具条的“”删除按钮，或者是在右键菜单中选择“删除”选项，即可删除该矢量线。矢量线被删除后，其对应的子节点也将从左侧工程栏树的“矢量线”节点下消失。

7.6 数据统计

➤ 功能描述

数据统计功能主要有：统计指定物理量在某（组）几何面上的面积分、某（组）区域（Zone）上的体积分，或是采用声学模块 FWH 模型输出的声源信息计算并绘制监测点处的声压信号曲线。

7.6.1 受力分析

➤ 操作说明

双击工程树中“受力分析”节点，弹出“受力分析”设置对话框，如图 206 所示。在窗口左侧选择需要计算的参量，包括“力”和“力矩”，选择“力”时，如需指定该力的投影方向，则应在对话框中勾选“受力方向”，并输入相应的方向值；选择“力矩”时，如需指定该转轴的方向，则应在对话框中勾选“转轴方向”，并输入相应的方向值。窗口右侧可选择目标边界面。设置完成后，点击“打印数据”按钮，则软件“信息监控区”内将打印该统计数据，如图 206 所示。



图 206 “受力分析”对话框

Force (n):

Surface	Pressure			Viscous			Total		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
wall	0.2815E+00	-0.3874E-07	-0.1307E-19	0.1363E-01	-0.1756E-09	-0.9878E-23	0.2951E+00	-0.3891E-07	-0.1308E-19
Total	0.2815E+00	-0.3874E-07	-0.1307E-19	0.1363E-01	-0.1756E-09	-0.9878E-23	0.2951E+00	-0.3891E-07	-0.1308E-19

图 207 “受力分析”数据打印结果

7.6.2 热分析

➤ 操作说明

双击工程树中“热分析”节点，弹出“热分析”设置对话框，如图 203 所示。在窗口左侧选择需要计算的热参量，包括“对流换热系数”、“总热流”、“辐射热流”。窗口右侧可选择目标边界面。点击“打印数据”按钮，则软件“信息监控区”内将打印该统计数据，如图 209 所示。



图 208 “热分析”对话框

Thermal:		
Surface	Region	Convective Heat Transfer Coefficient
con-13-1	region-00	0.0000
Total		0.0000

图 209 “热分析”数据打印结果

7.6.3 面积分

➤ 操作说明

双击工程树中“面积分”节点，弹出“面积分”设置对话框，如图 210 所示。选择需要统计的变量名和类型，并执行相应操示。其中，统计的变量名可以选择 x-velocity、y-veclocity、z-velocity、pressure、temperature 或 density；统计的类型可以选择面积、最小值、最大值、求和、面积分、面积加权平均、质量积分、质量加权平均、流量或质量流量窗口右侧可选择目标边界面。点击“打印数据”按钮，则软件“信息监控区”内将打印该统计数据，如图 211 所示。

面积分

变量名 Velocity-X

类型 面积分

序	名称
1	bottom1
2	bottom2
3	bottom3
4	bottom4
5	bottom5

☐ 全选

打印数据

退出

图 210 “面积分”对话框

Surface Integral:	
Surface	Facet Integral(Velocity-X)
con-13-1	4.1449
Total	4.1449

图 211 “面积分”数据打印结果

7.6.4 体积分

➤ 操作说明

双击工程树中击“体积分”节点，弹出“体积分”设置对话框，如图 212 所示。选择需要统计变量名与类型，并执行相应操作。其中，统计的变量名可以选择 x-velocity、y-veclocity、z-velocity、pressure、temperature 或 density；统计的类型可以选择体积、最小值、最大值、求和、体积分、体积加权平均、质量积分或质量加权平均。点击“打印数据”按钮，则软件“信息监控区”内将打印该

统计数据，如图 213 所示。



图 212 “体积分”对话框

Volume Integral:

Zone	Volume Integral(Velocity-X)
QuadElements1	72.4374
Total	72.4374

图 213 “体积分”及数据打印结果

7.6.5 声学信号处理

➤ 操作说明：

在进行声学信号处理之前，应确定求解器计算过程已经把需要的声源信息输出。求解器计算过程中 FWH 模型的声源信息输出声源信息输出功能见 6.4.2.3 节。声学信号处理主要包括三个步骤：设置远场来流参数、声源信息文件夹，设置监测点的位置及运动参数、勾选对该监测点辐射声波的边界面，监测点处时域内的声压信号曲线绘制。目前 Qflux 仅支持时域内声压信号计算，频谱分析功能暂时不支持。

（1）设置远场来流参数、声源信息文件夹：双击“数据统计”>“声学信号处理节点”，弹出“声学信号处理”设置对话框（如图 214 所示），设置远场来流参数及声源信息文件所在位置。用户需设置以下信息：

声源信息文件：求解器计算中过程中声源信息文件保存文件夹，应与 6.4.2.3 小节中设置的声源信息文件文件夹一致。

- “来流速度”：远场处流体介质的流动速度。
- “来流密度”：远场处流体介质的密度。
- “远场压强”：远场处流体介质的压强。
- “声速”：声波在流体介质种传播的速度。
- “对流效应”：勾选即代表考虑流体介质的对流效应，不勾选代表不考虑流体介质的对流效应。
- “退出”：退出对话框。



图 214 “声学信号处理”设置对话框

(2) 设置监测点的位置及运动参数、勾选对该监测点辐射声波的边界面：右击“声学信号处理”节，弹出对话框（如图 215 中所示），选择“添加监测点”，弹出“添加监测点”对话框（如图 216 所示），并对监控点的参数进行设置：

- “开关”：勾选即代表对该监测点处的声压信号曲线进行绘制。
- “监测点坐标”：设置监测点的位置，即 X、Y、Z 坐标。
- “是否运动”：勾选即代表监测点运动，不够选代表监测点静止。
- “运动速度”：监测点的运动速度，勾选“是否运动”之后才可以设置。
- “边界面列表”：对监测点辐射声波的声源。

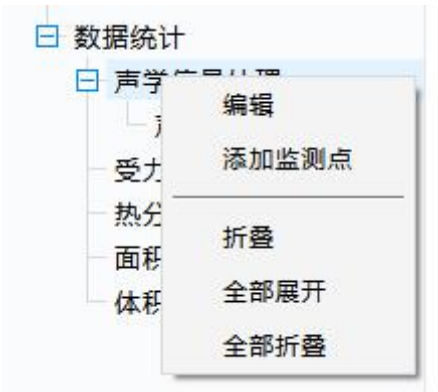


图 215 “声学信号处理”节点右击对话框

新增声源监测点

名称: FWHMonitor-1

☒ 开关

☐ 是否运动

监测点坐标(m)

运动速度(m/s)

0

0

0

0

边界面列表:

☐ 全选

☐ bottom1

☐ bottom2

☐ bottom3

☐ bottom4

☐ bottom5

☐ inlet

应用

退出

图 216 “新增监测点”对话框

用户可以进行多次“新增监测点”操作以添加多个监测点。

（3）监测点时域内的声压信号计算与曲线绘制：右键双击“声学信号处理”>“声压信号曲线”节点，弹出“选择监测点”对话框（如图 217 所示）。用户可以对要绘制声压信号曲线的监测点进行勾选，点击“绘制”按钮，监控点处声压信号计算完成日志示意图如图 218 所示，可视化窗口中会新增一个窗口对监测点时域内的声压信号曲线进行绘制（如图 219）。用户可以对曲线属性、坐标系等进行编辑，见 6.7 节。图 219 中各条声压信号曲线的含义：

- “pprime”：监测点处总的声压信号。
- “pprimet”：监测点处的厚度噪声（Thickness noise）。
- “pprimel”：监测点处的负载噪声（Loading noise）。
- “pprime[*]”：边界*对监测点的辐射噪声，分别对应于在图 216 中勾选的边界面。

选择监测点

监测点列表:

☒ 全选

☒ FWHMonitor-1

绘制

退出

图 217 “选择监测点”对话框

```
Calculate time: 0.910062
Calculate time: 0.925051
Calculate time: 0.940041
Calculate time: 0.955031
Calculate time: 0.970021

Calculate time: 0.98501
Calculate time: 1
Calculate time: 1.01562

Calculate time: 1.03125
Calculate time: 1.04688
Calculate time: 1.0625
Calculate time: 1.07812

Calculate time: 1.09375
Calculate time: 1.10938
Calculate time: 1.125
Calculate time: 1.14062
Done
计算结束
```

图 218 “监测点”声压信号计算完成日志

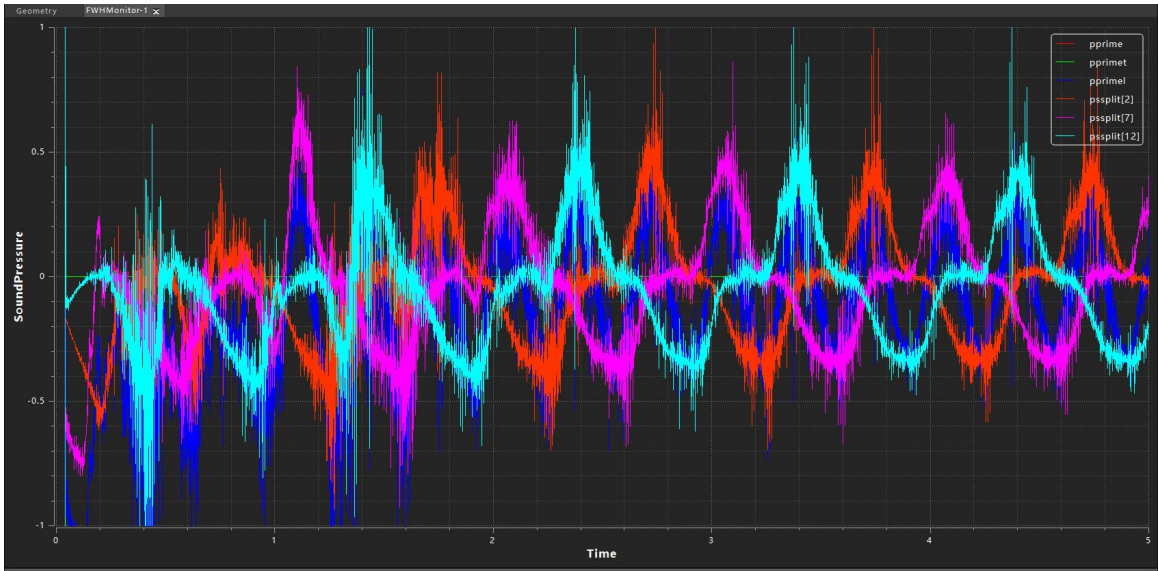


图 219 声压曲线坐标系范围修改后曲线示意图

7.7 变量管理

➤ 功能描述

管理流场变量，包括新建用户自定义变量等。

➤ 操作说明：

在工具栏的快捷工具栏上（如图 3 所示），点击变量图标“ $f^{(u)}$ ”，弹出“变量管理”编辑对话框，如图 220 所示。该对话框中：左侧“基本变量”为已定义的系统变量列表，右侧“自定义变量”为用户新增的变量列表。

添加变量：在对话框中，点击右下方的添加按钮“”，即可在“自定义变量”列表中添加一

个新的变量，如图 220 所示。其中“序”是系统自动添加的，且不可修改。“名称”表示新变量的名称，用户可以双击该区域进行修改，如图 220 所示。双击“表达式”下方对应的位置，可以进入输入状态，用户可以利用“基本变量”来创建新的变量，其中“基本变量”可以用其“序”编号代替，QFlux 软件支持的运算符和函数列表可通过点击帮助按钮“”查阅，如图 221 所示。

删除变量:在对话框右侧的列表中,选中要删除的自定义变量,然后单击右下角的删除按钮“”即可。需要注意的是，仅有自定义变量是可以被删除的，基本变量不能被删除。

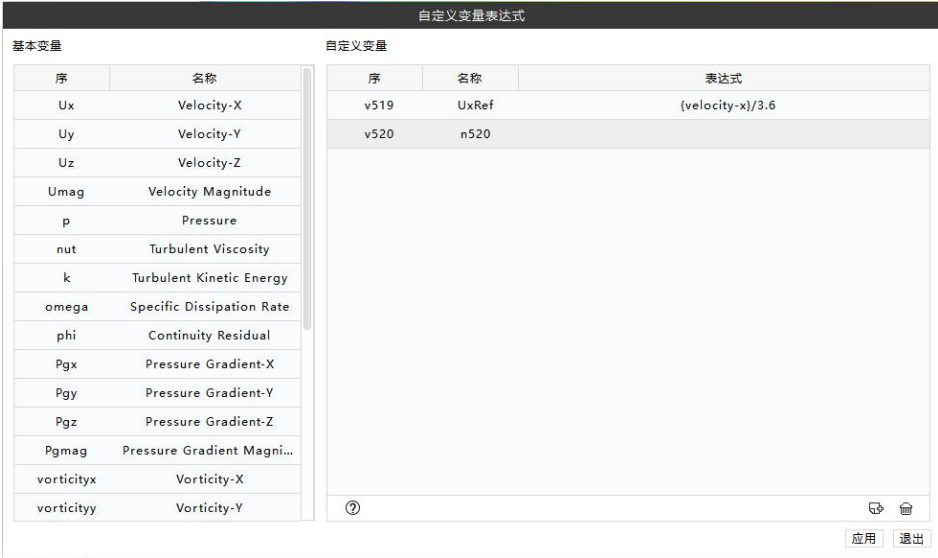


图 220 “变量管理”编辑对话框

函数列表					
运算符/函数	说明	举例	运算符/函数	说明	举例
+ - * /	加,减,乘,除	a+b	sin	正弦函数	sin(a)
^	乘方	a^b	cos	余弦函数	cos(a)
sqrt	开平方	sqrt(a)	tan	正切函数	tan(a)
log2	对数函数	log2(a)	asin	反正弦函数	asin(a)
log10	对数函数	log10(a)	acos	反余弦函数	acos(a)
ln	对数函数	ln(a)	atan	反正切函数	atan(a)
abs	绝对值	abs(a)	sinh	双曲正弦函数	sinh(a)
min	最小值	min(a,b)	cosh	双曲余弦函数	cosh(a)
max	最大值	max(a,b)	tanh	双曲正切函数	tanh(a)
sum	求和	sum(a,b)	asinh	反双曲正弦函数	asinh(a)
avg	求平均	avg(a,b)	acosh	反双曲余弦函数	acosh(a)
ddx	x方向导数	ddx(a)	atanh	反双曲正切函数	atanh(a)
ddy	y方向导数	ddy(a)			
ddz	z方向导数	ddz(a)			
注:表格中a和b为变量			退出		

图 221 函数列表

7.8 矢量管理

➤ 功能描述

管理流场矢量，包括新建用户自定义矢量等。

➤ 操作说明

在工具栏的快捷工具栏上（如图 3 所示），点击变量图标，弹出“矢量管理”编辑对话框，如图 222 所示。该对话框中，“矢量”下拉菜单包含已有的矢量，如速度矢量、热流矢量等，下方则是当前矢量的具体设置情况：X、Y、Z 分别为该矢量在 x、y、z 方向的分量，比例因子为可视窗口中该矢量的相对长度值。

添加变量：在对话框中，点击“矢量”下拉框右侧的，即添加了一个新的矢量，如图 197 中所示的“矢量-102”，可通过 U、V、W 下拉菜单选择已有的变量来定义当前矢量在各个方向的分量，“无”表示该方向分量为 0。

删除矢量：在对话框中，点击“矢量”下拉框右侧的，即可删除当前下拉框中选中的矢量。需要注意的是，仅有新增的自定义矢量是可以被删除的，基本矢量不能被删除。



图 222 “矢量管理”编辑对话框

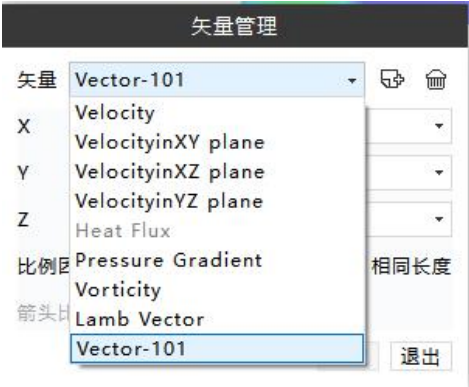


图 223 新增矢量

7.9 剖面

➤ 功能描述

展示几何表面或者等值面或者切平面的某一剖面的形状或流场数据变化。

➤ 操作说明

在“可视化”中选中一个要做剖面的边界面或者切平面或者等值面，如边界面“floor”。则在快捷工具栏上的曲线图标将被点亮，点击该图标，将弹出“XY 曲线: floor”对话框，如图 224 所示。在“类型”中选择“轮廓线”，无须设置参数，点击右下角的“绘制”按钮，将会弹出“XY 曲线图: floor 轮廓线”对话框，如图 225 所示。在该对话框中用户可以看到边界 floor 的轮廓线。

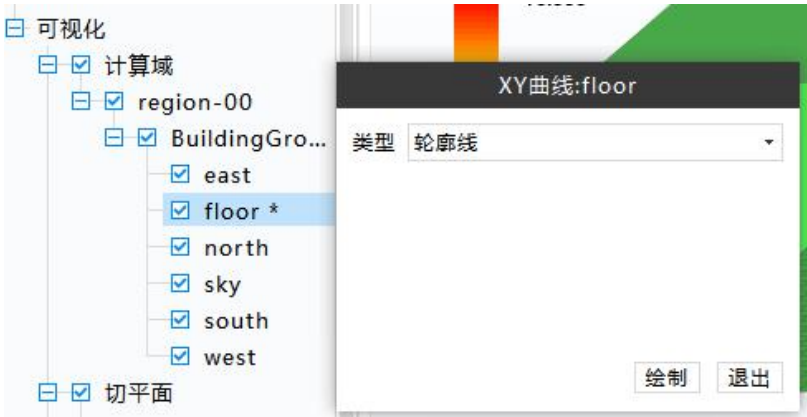


图 224 “XY 曲线”对话框：轮廓线

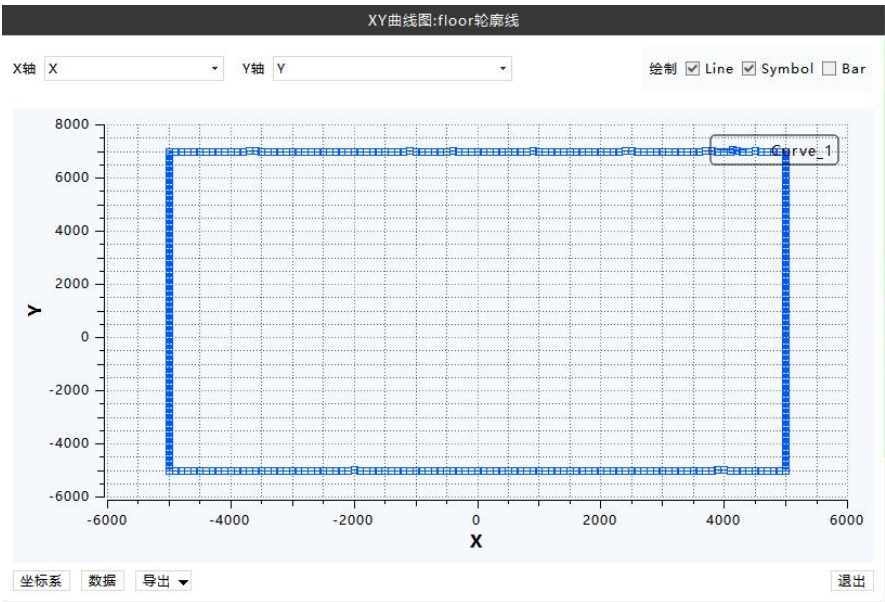


图 225 XY 曲线图：floor 轮廓线

在如图 224 所示的“XY 曲线: floor”对话框中，“类型”选择“截线”，如图 226 所示，则可以查看边界面在截面位置截线曲线。图中剖面截面用半透明平面表示，截线用白色曲线表示。点击对话框右下角的“绘制”按钮将打开“XY 曲线图: 截线”对话框，如图 227 所示，在此对话框中，

用户可以更清晰的看到截线形状。

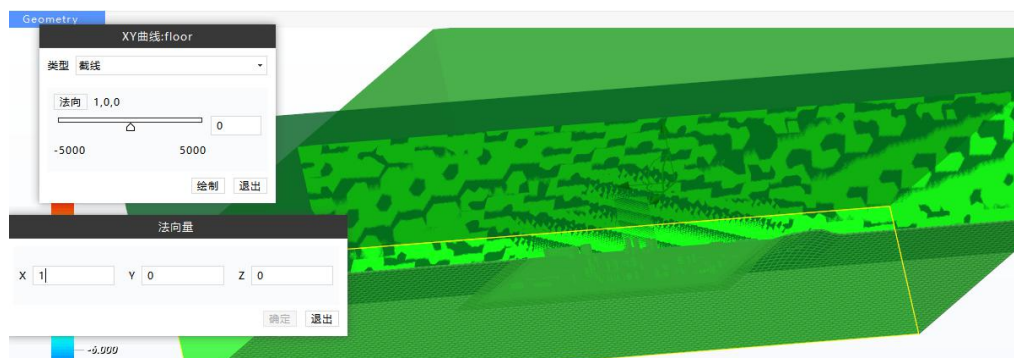


图 226 “XY 曲线”对话框：截线

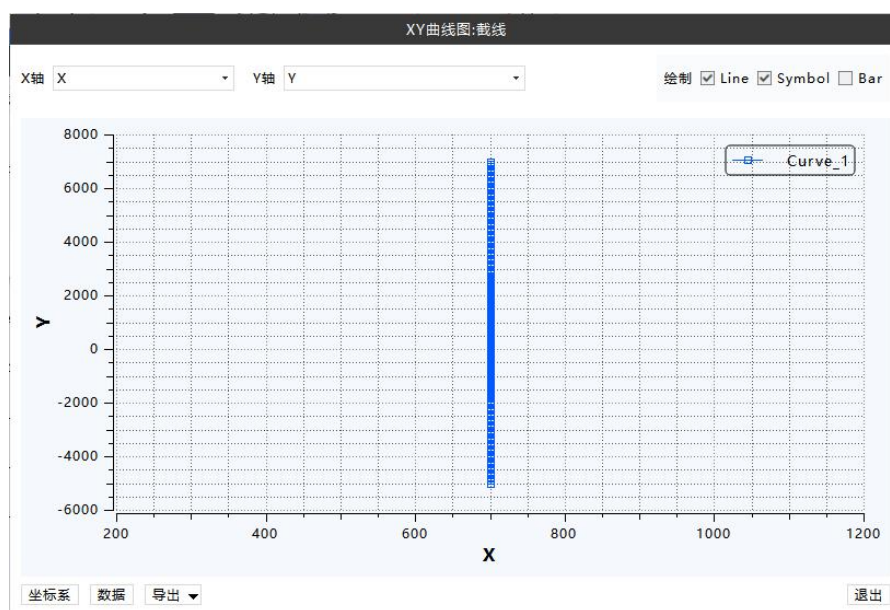


图 227 XY 曲线图：截线

另外，在图 225、图 227 所示的对话框中，用户可以修改坐标系、曲线的属性，具体设置方法用户可以参见 6.7 节。

7.10 动画

➤ 功能描述

加载多个数据文件 (*.dat) 后，以动画方式呈现流场的变化过程，并导出动画文件（视频）。

➤ 操作说明

在包含不少于 2 个 dat 文件的工程文件中（可参考图 53.4 节进行查看、管理），点击左侧工程树

面板下方快捷工具栏上的动画图标“”，如图 3 所示，弹出“动画”编辑对话框，如图 228 所示。在该对话框中可以设置生成动画的控制参数：

对话框上方的工具栏图标含义依次为：“起始时间步”、“上一个时间步”、“开始播放”、“下一个

时间步”、“结束时间步”。用来控制可视化窗口中图形结果在不同时间步之间的跳转。

当前步：设置当前激活的数据文件对应的时间步数。

动画类型：设置动画播放类型，可以设定为“单次”或者“循环”或者“用户指定”。当设定为“用户指定”时，还需指定“开始步”和“结束步”。

开始步：当“动画类型”选择“用户指定”时可用，用于设置动画的开始步数。

结束步：当“动画类型”选择“用户指定”时可用，用于设置动画的结束步数。

导出视频：勾选“导出视频”，可以指定视频的保存路径和文件名称。

视频编码：设置视频编码类型，可以设定为“MPEG-2”或者“MPEG”或者“MSVC”。

视频频率：设定相邻两个数据文件的切换时间间隔。



图 228 “动画”设置对话框

7.11 标识

➤ 功能描述

拾取几何表面上的点，展示拾取点上的物理量值；或者自定义一个区域，展示区域内的物理量值的统计结果。

➤ 操作说明

7.11.1 点标识

点击快捷工具栏上的图标 , 将弹出“点标识管理”对话框，如图 229 所示。点击左下角的“鼠标添加”按钮，即可在可视化窗口中通过鼠标左键拾取目标点，也可通过快捷键组合（Alt 键+鼠标左键）在可视化窗口拾取目标点。

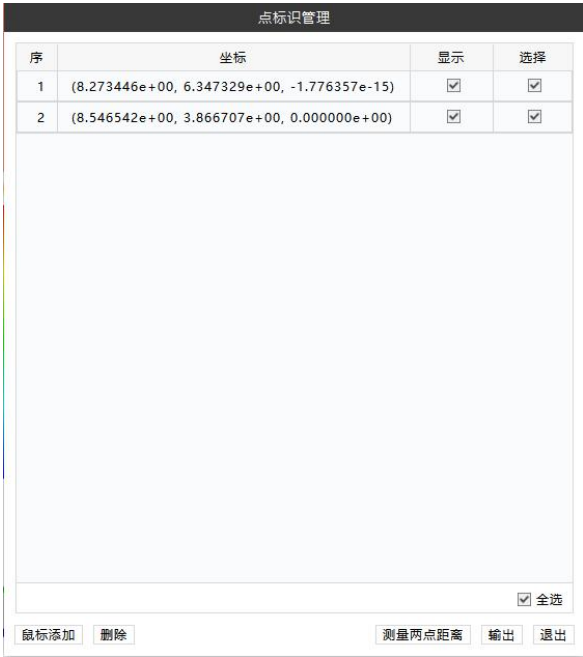


图 229 “点标识管理”对话框及标识点可视化显示

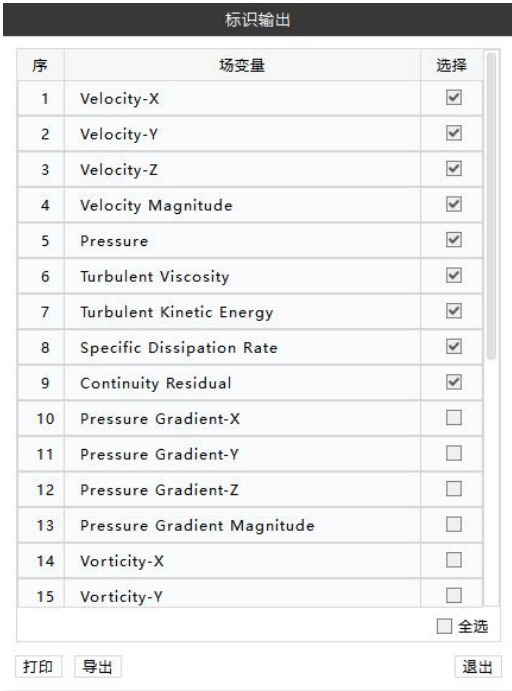


图 230 点标识输出窗口

在“点标识管理”对话框的点列表中，“显示”栏用于管理可视化窗口中可见的拾取点，“选择”栏用于管理结果输出中有效的拾取点。点击“输出”按钮，弹出的“标识输出”窗口如图 230 所示，在此窗口中可选择输出变量，点击“打印”按钮将结果打印在“信息栏”，点击“导出”按钮可将结果输出为文件。

7.11.2 体标识

点击快捷工具栏上的图标“”，将弹出“体标识管理”对话框，如图 231 所示。点击左下角的“添加”按钮，即新增了一个自定义体，双击新增的自定义体，或选中自定义体后点击“编辑”按钮，可在弹窗中修改体类型及参数，如图 232 所示。点击“输出”按钮，弹出的“标识输出”窗口如图 230 所示，在此窗口中可选择输出变量，点击“打印”按钮将结果打印在“信息栏”，点击“导出”按钮可将结果输出为文件。输出的结果包括选择变量在自定义体内的最大值、最小值、平均值。

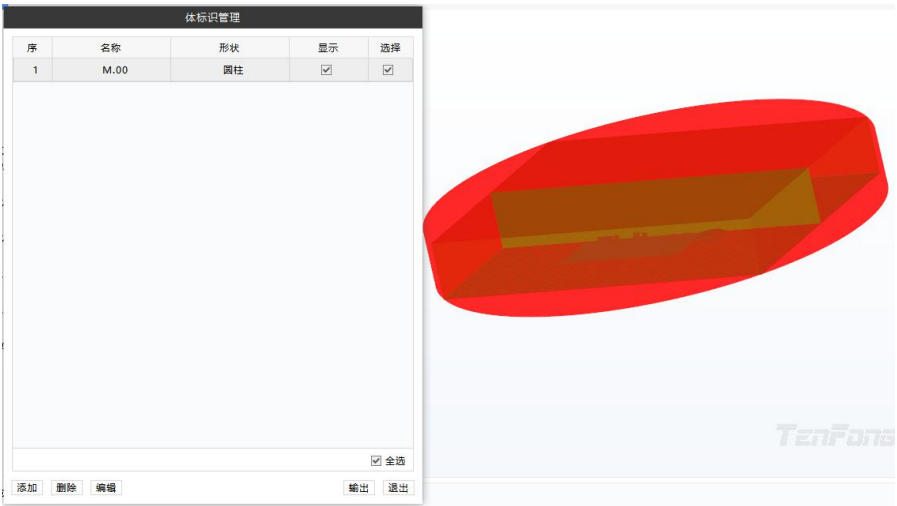


图 231 “体标识管理”对话框及标识体可视化显示



图 232 体定义窗口

8 视图

8.1 多窗口显示

➤ 功能描述

将可视化窗口划分为多个窗口，每个窗口独立显示可视化内容。

➤ 操作说明

点击菜单栏中的“视图”按钮，选择“多窗口”，可以将可视化窗口划分为双窗口（左右）、双窗口（上下）、三窗口（左右）、三窗口（上下）和四窗口，如图 233 所示。

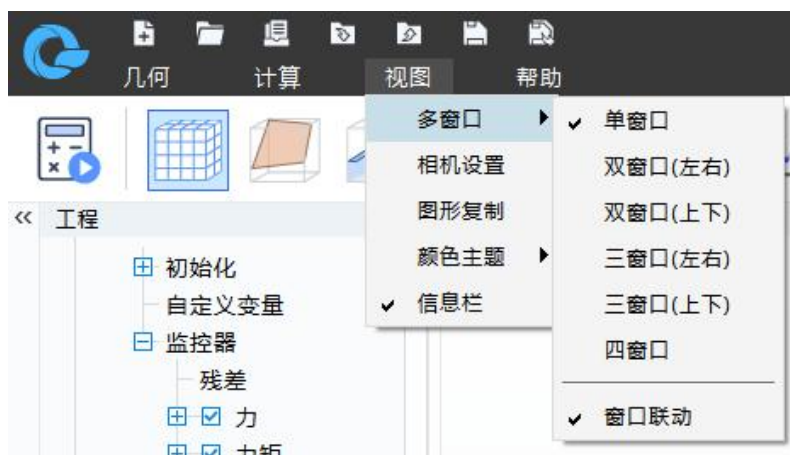


图 233 “多窗口”操作示意图

将可视化窗口划分为多个窗口之后，以三窗口（左右）为例，每个窗口可以独立的进行可视化的相关操作，如切平面、等值面等操作，如图 234 所示。

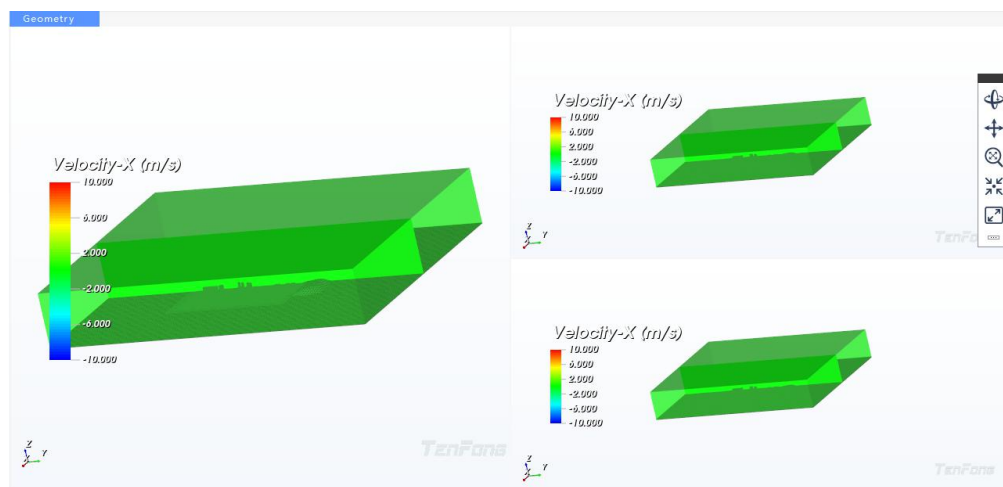


图 234 “多窗口”显示图

8.2 图形复制

➤ 功能描述

将当前仿真算例的所有计算域以平移、旋转或镜像的方式复制。

➤ 操作步骤

点击菜单栏“视图”-“图形复制”选项，或点击可视化界面右侧快捷工具按钮“”，即可打开图形复制对话框。点击添加按钮“”，将打开“添加”对话框，如图 235 所示。在“添加”对话框中，用户需要设置“变换类型”（“平移”或“旋转”或“镜像”）和相关控制参数，如图 237 所示。

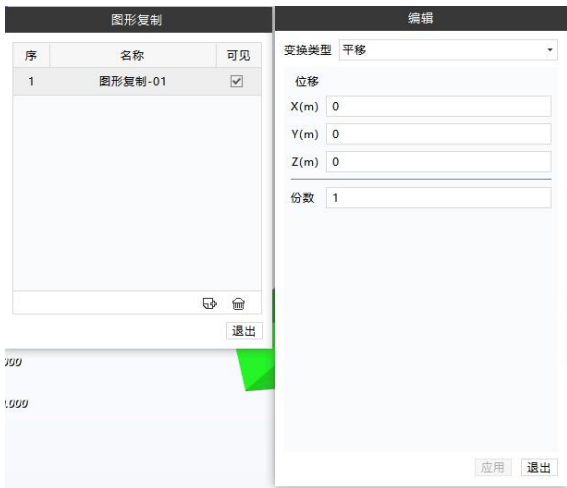


图 235 “图形复制” > “平移” 对话框



图 236 “图形复制” > “添加” 对话框

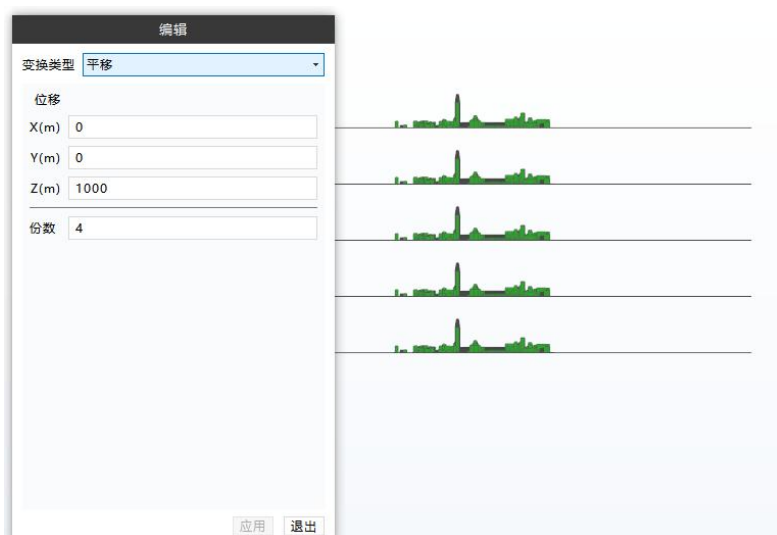


图 237 “图形复制”>“平移”效果图

如图 237 所示，“位移（X Y Z）”表示每个复制计算域平移的位移，如（0 0 1000）表示沿 z 方向平移 1000m；“份数”表示计算域复制的份数，如复制 3 份。当“变换类型”为“旋转”时，用户需要设定“旋转中心”（旋转中心坐标）、“旋转方向”（旋转轴方向）、“旋转角度”（旋转角度）和“份数”（复制份数）；当“变换类型”为“镜像”时，用户需要设定“法向”（镜像平面的法向量）和“点”（镜像平面上任意一点坐标）。

此外，在图 235 所示“图形复制”对话框中。如果不勾选“图形复制-01”，可以将当前复制的计算域隐藏，点击删除按钮“”可以删除当前选中的图形复制操作生成的计算域。

8.3 颜色主题

➤ 功能描述

修改软件界面配色（当前仅支持浅白色主题）。

➤ 操作步骤

点击菜单栏中“视图”-“颜色主题”选项，如图 238 所示，可以修改当前软件界面的配色，QFlux 软件目前提供浅白色和深黑色两款主题。软件默认的是“浅白色”主题，如图 239 所示。



图 238 “颜色主题”操作示意图

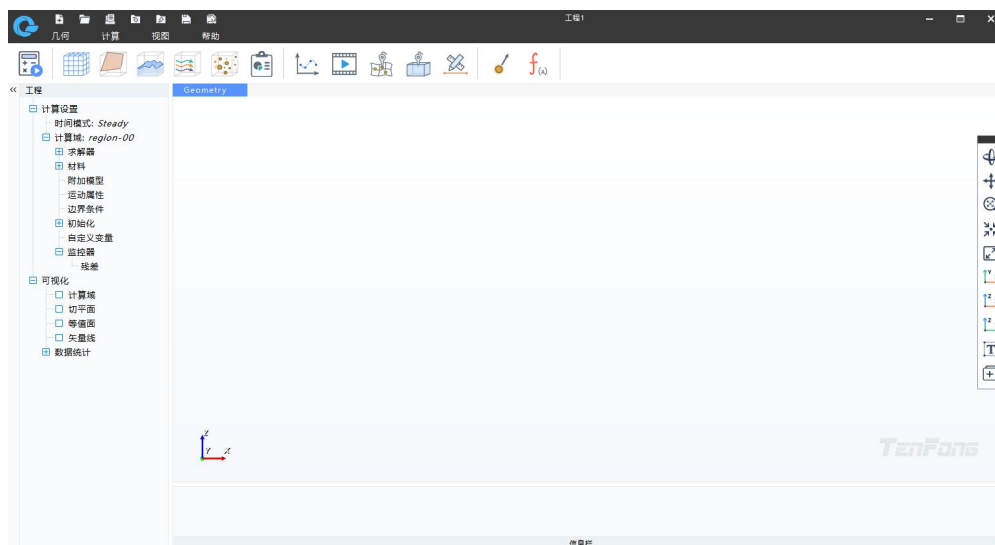


图 239 浅白色主题示意图

8.4 信息栏

➤ 功能描述

控制“信息监控”区是否在界面上显示。

➤ 操作步骤

如图 240 所示，菜单栏中“视图”-“信息栏”选项前面有对号符号“✓”，表示“信息监控”区在软件界面右下角显示。如果用户点击“信息栏”选项，则其前面的对号符号消失，表示在软件界面上隐藏“信息监控”区。



图 240 “信息栏”操作示意图

9 帮助信息（Help）

该模块为用户提供了关于 QFlux 软件的各种帮助信息链接，包括：用户手册“查看帮助”、软件“注册”、“关于 QFlux”等功能项。

10 应用实例：室内建筑物算例

10.1 简介

本章节将演示如何设置和解决 buildings 算例问题。

本章节演示执行的操作主要有以下几个方面：

- 导入计算网格
- 选择物理模型
- 设置数值方法
- 设置边界条件
- 初始化流场
- 启动求解器进行计算
- 对计算结果进行可视化分析

10.2 仿真参数设置

10.2.1 导入 buildings 网格文件

选择“文件”菜单栏中的“导入”选项，或者直接点击文件工具栏导入按钮，弹出对话框。点击对话框中的添加图标，选择要打开的网格文件，点击“打开”按钮将该文件添加到导入文件列表中，之后点击“导入”按钮，导入该文件。

在 QFlux 软件左侧工程树中，选中可视化->计算域>region-00，右键点击“fluid”，在打开的选择项中点击“着色”项，在打开的着色选择项中点击“透明度为 0”项，并且仅显示边界“down”和“wall”，如图 241 所示。buildings 工程文件的着色显示如下图 242：

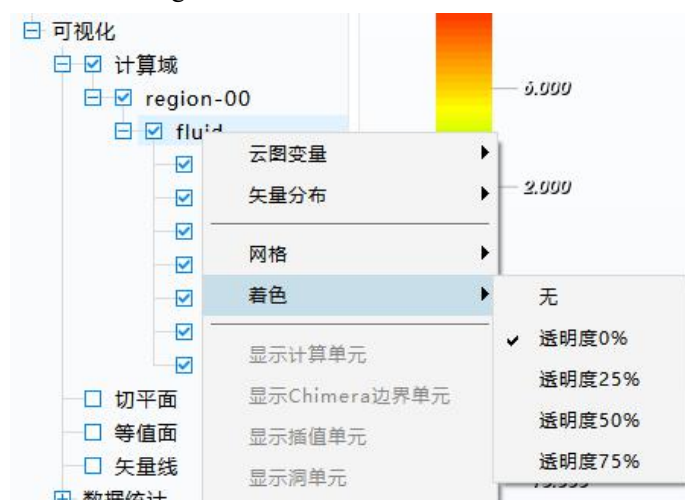


图 241 buildings 面网格设置图

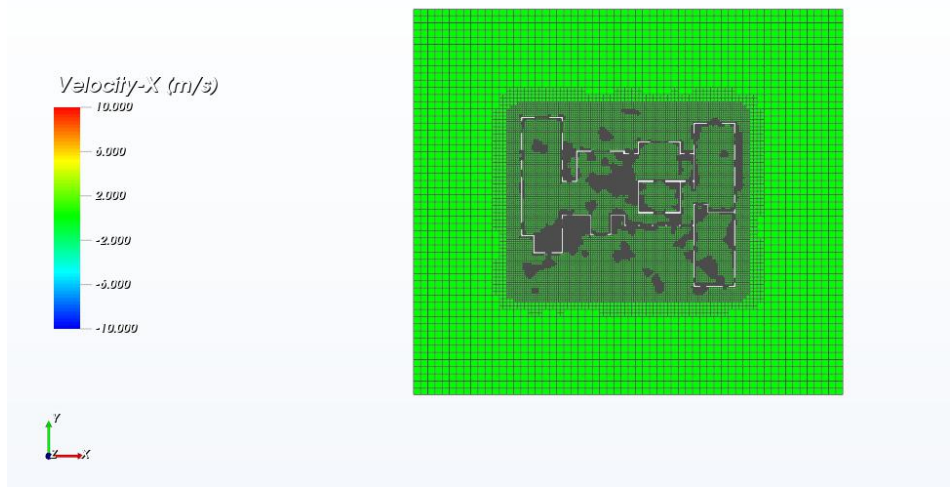


图 242 buildings 工程文件着色显示图

10.2.2 设置时间模式

选择 QFlux 软件左侧工程树中“时间模式”并双击该项，打开时间模式设置对话框如图 243，时间模式下拉框中可以选择为“Steady”，迭代次数设置为“1000”。设置无误后，点击“退出”，返回主界面。



图 243 buildings 求解器设置图

10.2.3 设置求解器参数

双击 QFlux 软件左侧工程树的“求解器”>“基本方程”节点，打开“基本方程”设置对话框，如图 244 所示，不勾选“激活能量方程”前面勾选框，点击“退出”，返回主界面。



图 244 Buildings 基本方程设置图

双击 QFlux 软件左侧工程树的“求解器”>“物理模型”节点，打开“物理模型”设置对话框如

图 245，湍流模型选择为“k-ω-Standard”，设置完成后，点击“退出”，返回主界面。



图 245 buildings 物理模型设置图

双击 QFlux 软件左侧工程树的“求解器”>“物理模型”节点，打开“数值方法”设置对话框，如图 246 所示，将“空间离散”>“湍流方程”设置为为 2nd Upwind，其他参数保持默认值不变。点击“退出”，返回主界面。



图 246 buildings 数值方法设置图

10.2.4 设置材料属性

双击“材料”>“Air”节点，打开材料设置对话框如图 247，保存默认设置，点击“退出”，返回主界面。



图 247 buildings 材料设置图

10.2.5 选择边界条件

buildings 算例有六个边界：back、down、front、left、right、up 和 wall。其中 back 和 left 需要设置为压力出口边界，up、down 和 wall 需要设置为壁面边界，front 和 right 需要设置为速度入口边界。下面分别说明设置方法。

双击“边界条件”>back 节点，打开边界条件对话框，设置其边界条件为 Pressure Outlet，并设置静压为 0，湍流粘性比为 5，湍流强度为 5，如图 248 所示。设置完成后点击“应用”按钮，保存对边界条件的修改。点击“复制”按钮，将弹出复制边界对话框，在“目标边界”中选中“left”，并点击“复制”按钮，将边界 east 的边界条件参数复制给边界 south。点击“退出”，返回上一级窗口。



图 248 buildings 边界条件设置图：Pressure Outlet

up、down 和 wall 边界的参数不需要修改，在此不做任何操作。

双击“边界条件”>front 节点，打开边界条件对话框，设置其边界条件为 Velocity Inlet，并设置速度为 1.2m/s，方向为 (-0.7071,0.7071)，这里的方向向量不必要是归一化的，湍流粘性比为 5，湍

流强度为 5，如图 249 所示。设置完成后点击“应用”按钮，保存修改。同样点击“复制”按钮，将边界条件参数信息复制给边界“right”。然后点击“退出”按钮，返回主界面。

边界条件

边界名称front

边界类型Velocity Inlet

所属计算域region-00

动量

热量

组分

坐标系Absolute

入口定义方向Magnitude & Direction

方向-0.7071,0.7071,0

速度(m/s)1.2

常数

☐波浪模型

湍流定义方法Intensity(I) and v_i/v

湍流粘性比 v_i/v 5

常数

湍流强度 I(%)5

常数

操作条件

复制

应用

退出

图 249 buildings 边界条件设置图：Velocity Inlet

10.2.6 初始化流场

双击“初始化”节点，打开“设置流场初值”对话框，如图 250 所示，勾选“自定义流场初值”勾选框，窗口中将会显示各个变量的初始值。点击“退出”返回主界面。

设置流场初值

☒自定义流场初值

默认

$\rho(\text{kg/m}^3)$ 1.225

$P(\text{Pa})$ 0

$U(\text{m/s})$ -0.8485

$V(\text{m/s})$ 0.8485

$W(\text{m/s})$ 0

phase-2, α 0

$T(\text{K})$ 300

$k(\text{m}^2/\text{s}^2)$ 0.0054

$\omega(1/\text{s})$ 36.9677

操作条件

应用

退出

图 250 Buildings 初始化设置图

10.2.7 启动计算

点击菜单栏中“计算”按钮，在下拉菜单项中选择“开始计算”，打开计算控制对话框，如图 251 所示。在计算控制对话框中，在迭代页签中，设置迭代次数为 1000；在自动保存页签中设置 Data 文件的保存频率为 100、Case 文件的保存类型为“修改时保存”以及保存文件的路径；在并行页签中选择并行的 MPI 库为 Microsoft MPI、CPU 核数为 6。设置完成后，点击“开始计算”按钮，软件将开始计算。



图 251 buildings 计算控制设计图

10.3 后处理

10.3.1 计算残差曲线图

经过计算后，得出的残差曲线图如图 252 所示。

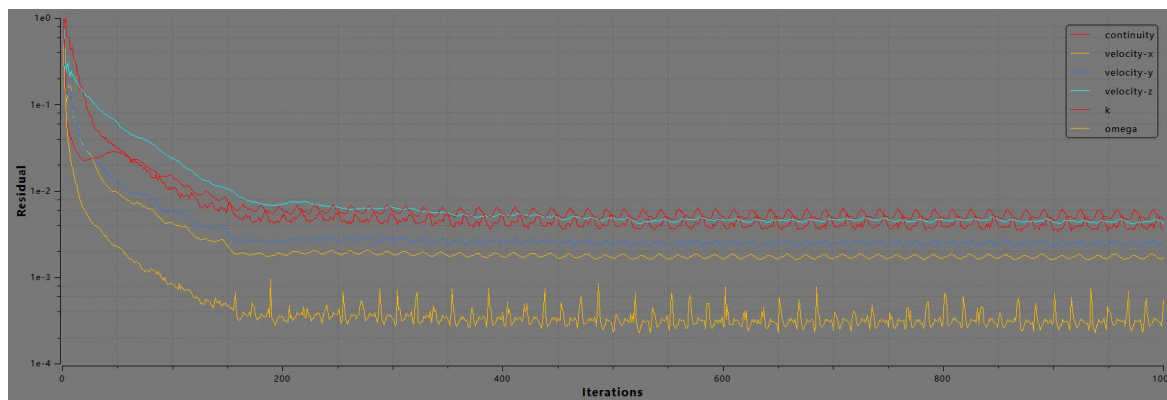


图 252 buildings 计算残差曲线图

10.3.2 X-Velocity 云图

在工程文件管理对话框中，选中迭代次数为 1000 次的 dat 文件，点击“激活”按钮激活该数据文件。在 QFlux 软件左侧工程树中，选中可视化->切平面并右键点击，在弹出的右键菜单中选择添加切平面，或者点击快捷工具栏上的“添加”按钮，添加切平面 S-01，如图 253 所示。

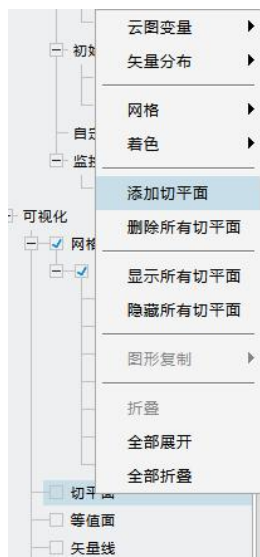


图 253 QFlux 切平面右键菜单栏显示图

双击 S-01 切平面，打开切平面编辑对话框，设置法向量为 (0,0,1)，切平面位置为 0.9，如图 254 所示。

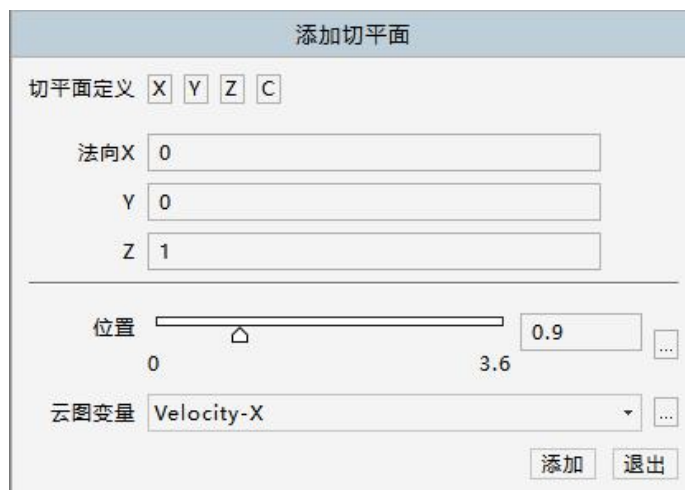


图 254 QFlux 切平面编辑对话框

点击对话框中的“图例”按钮，或者是在可视化界面中，选择“Geometry”可视化窗口，在可视化窗口中左侧的图例上双击，打开云图变量对话框，修改值域为[-2.7,1.098]。此时，在可视化窗口中可以看到 buildings 算例在迭代 1000 次时的 Velocity-X 图，如图 255 所示。

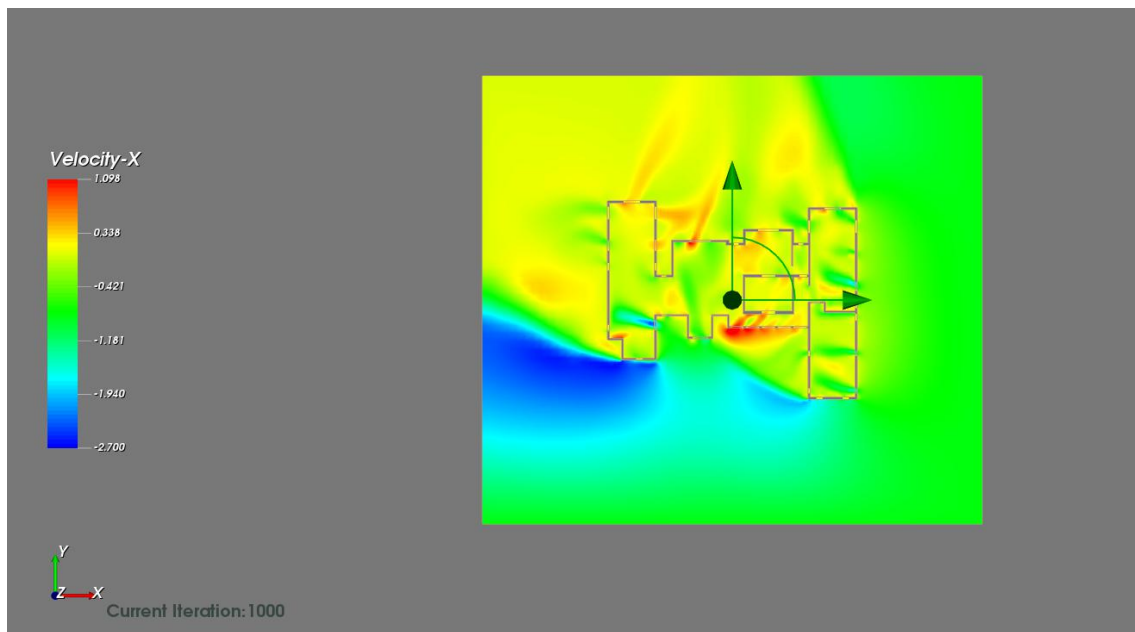


图 255 buildings Velocity-X 显示图

10.3.3 Pressure 云图

双击 S-01 切平面，打开切平面编辑对话框，设置云图变量为 Pressure。

打开云图变量对话框，设置默认值域值域。此时，在可视化窗口中可以看到 buildings 算例在迭代 1000 次时的 Pressure 图，如图 256 所示。

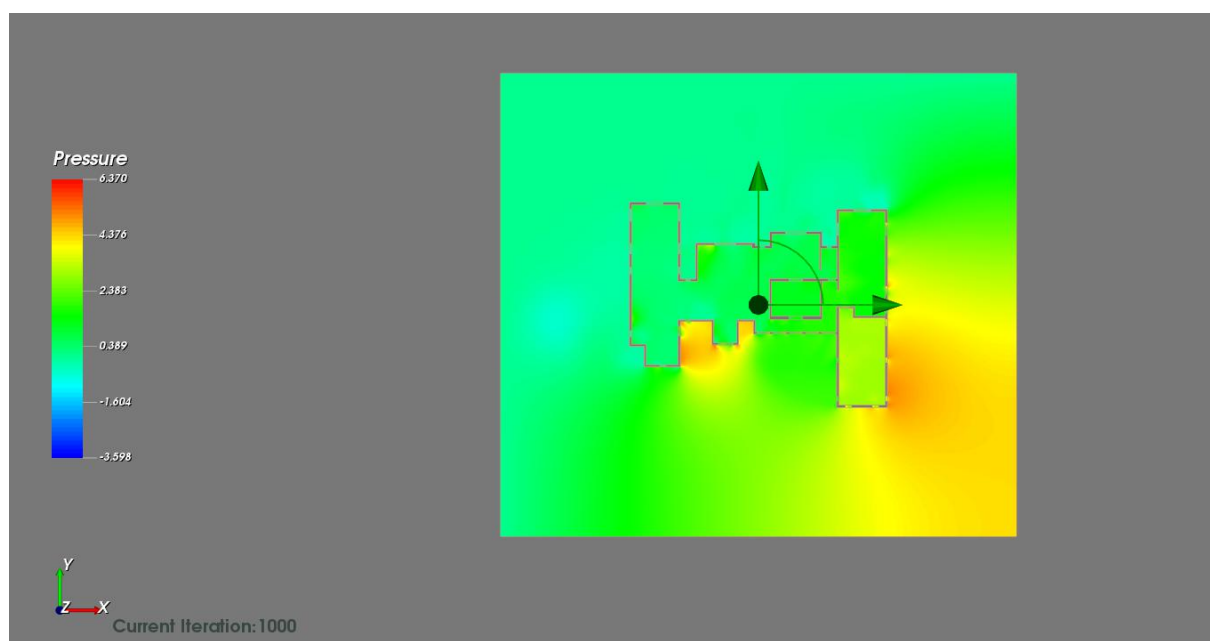


图 256 buildings Pressure 显示图

10.3.4 Z Vorticity 云图

双击 S-01 切平面，打开切平面编辑对话框，设置云图变量为 Vorticity-Z。打开云图变量对话框，修改值域为 $(-1,1)$ 。此时，在可视化窗口中可以看到 buildings 算例在迭代 1000 次时的 Vorticity-Z 图，如图 257 所示。

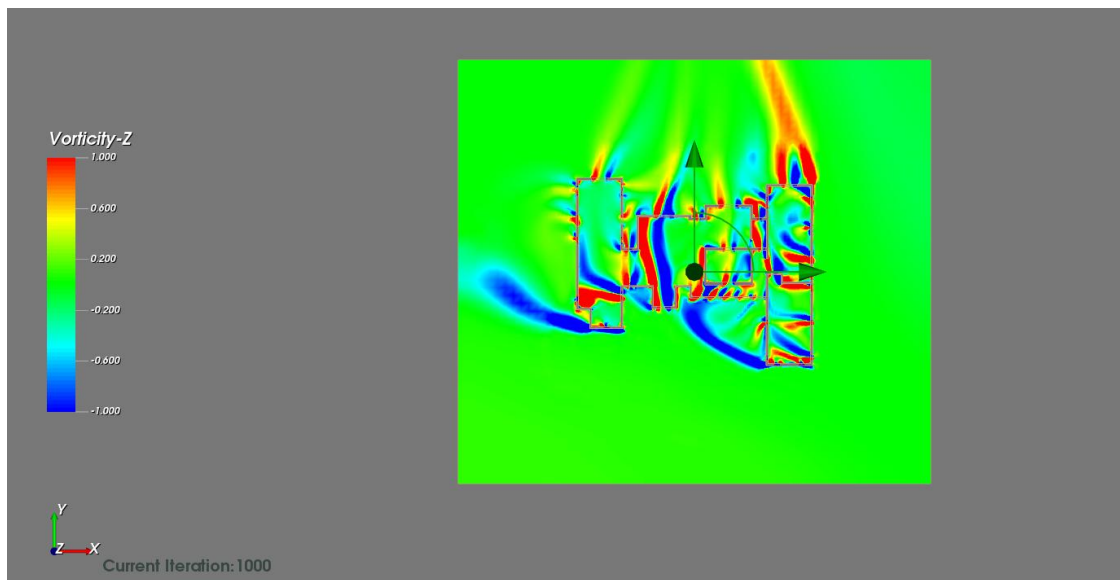


图 257 buildings Vorticity-Z 显示图

10.3.5 Velocity Magnitude 云图

双击 S-01 切平面，打开切平面编辑对话框，设置云图变量为 Velocity Magnitude。打开云图对话框，设置默认值域。此时，在可视化窗口中可以看到 buildings 算例在迭代 1000 次时的 Velocity Magnitude 图，如图 258 所示。

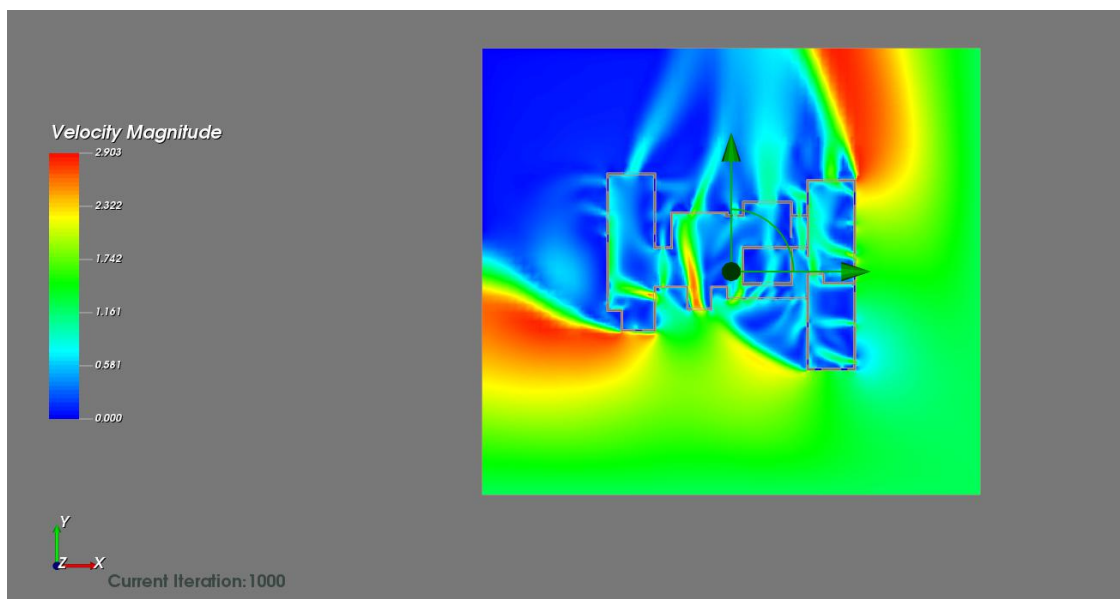


图 258 buildings Velocity Magnitude 显示图

10.3.6 流线图

在 QFlux 软件左侧工程树中，选中可视化->矢量线，右键点击“矢量线”，选择“添加矢量线”，如图 259 所示，在打开的添加矢量线对话框中，设置矢量线类型为“Plane Line”，“种子类型”为“矩形”，种子数设置为 30，点击“应用”按钮后在可视化界面中绘制的流线图如图 260 所示。

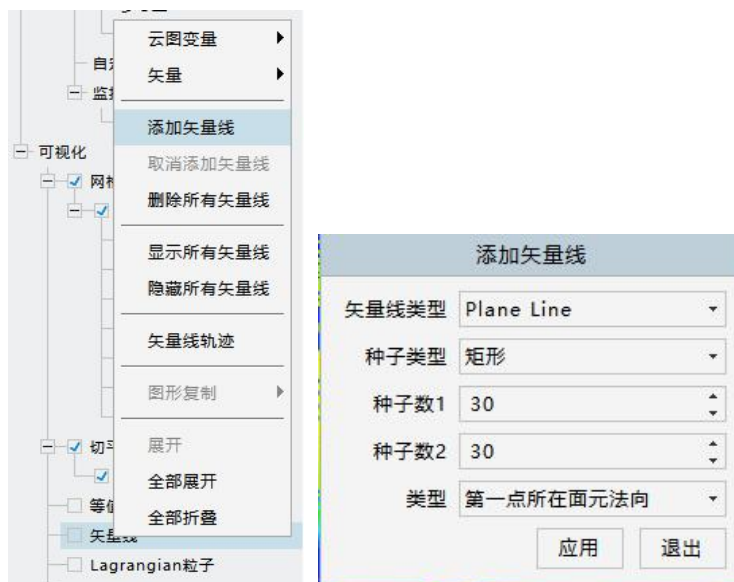


图 259 QFlux 软件添加矢量线显示图

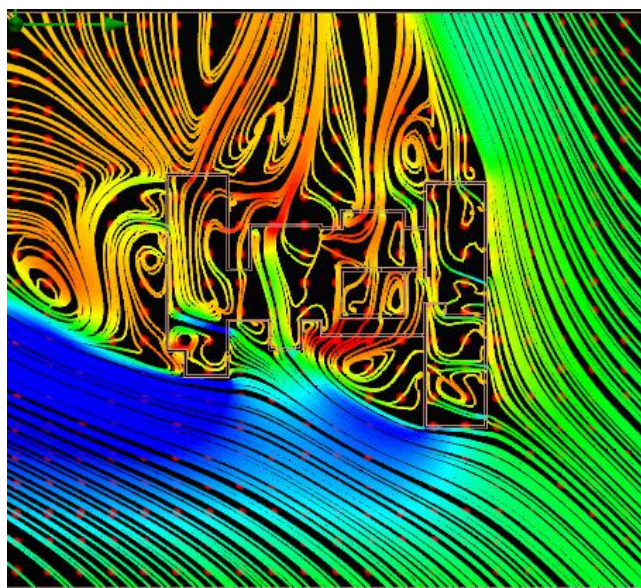


图 260 buildings 流线显示图