



本源量子计算流体力学软件本源量禹 v2.5 用户手册



目录

介绍	1
第 1 章 安装与试用申请	2
1.1 下载与安装	2
1.2 试用申请	3
第 2 章 功能模块	5
2.1 整体布局	5
2.2 工具栏	5
2.2.1 文件	5
2.2.2 几何	7
2.2.3 网格	11
2.2.4 计算	11
2.2.5 结果	12
2.2.6 帮助	12
2.3 任务栏	13
2.3.1 物理模型	13
2.3.2 边界条件	14
2.3.3 数值方法	15
2.3.4 控制参数	16
2.3.5 监测报告	16
2.3.6 计算结果	18
2.4 日志栏	20
第 3 章 计算示例	21
3.1 不可压缩流动	21
3.1.1 圆柱绕流	21
3.1.2 二维汽车数值风洞	27
3.2 可压缩流动	33
3.2.1 三维汽车数值风洞	33
3.2.2 跨声速机翼	39
3.2.3 高超声速弹头	51
第 4 章 报错说明	61
4.1 计算	61
4.2 网格	62
4.3 几何构建	62

介绍

计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)是随着计算机的发展而产生的介于数学、流体力学和计算机科学之间的交叉学科,主要研究内容是通过计算机和数值计算理论来求解流体力学的控制方程,对流体力学问题进行仿真分析。CFD 不仅作为研究工具,而且还作为设计工具在轨道交通、环境工程、航空航天等领域发挥重要作用。随着研究问题的不断深入,科学技术人员对流动分辨率的要求不断提高,使得计算规模不断增长,这严重挑战了传统计算机的算力,限制了工程设计效率的进一步提高。量子比特的叠加和纠缠特性使量子计算机具有天然的并行属性,因此量子计算通常比经典计算具有**指数优势**。

自 HHL 算法被提出并理论上实现了大型线性系统的快速求解,量子计算在流体计算场景中的实用价值被愈发重视,有望突破目前流体计算面临的计算性能瓶颈、拓宽流体计算可处理问题的规模、提高流体计算时间效率。本源量禹 v2.5 是一款集前处理、求解和后处理为一体的量子计算流体力学软件,其核心在于使用基于 HHL 算法和变分算法的量子线性求解器代替经典求解器,并通过多种预处理器技术和子空间迭代技术,实现了量子-经典混合算法在虚拟机上的加速计算。在前后处理功能方面,支持基本几何模型的构建、布尔运算操作和非结构网格的生成。

此版本相较 v2.0,在以下方面进行了提升与优化:在使用体验方面,优化了部分软件界面和交互操作,降低了用户操作门槛;在计算方式方面,新增集群计算功能,并支持本地和集群断点续算功能;在前后处理功能方面,几何部分新增坐标轴,支持边界选中加粗,支持在图形位置进行缩放;在网格部分,支持外部导入三维网格,并进行三维计算结果渲染,支持流场和面的单独渲染,丰富了后处理的多样性并完善了可视化功能。

第 1 章 安装与试用申请

1.1 下载与安装

在本源量子云官网(<https://qcloud.originqc.com.cn/zh/QCFD>)点击“免费试用”，填写下载表单，即可下载安装包。

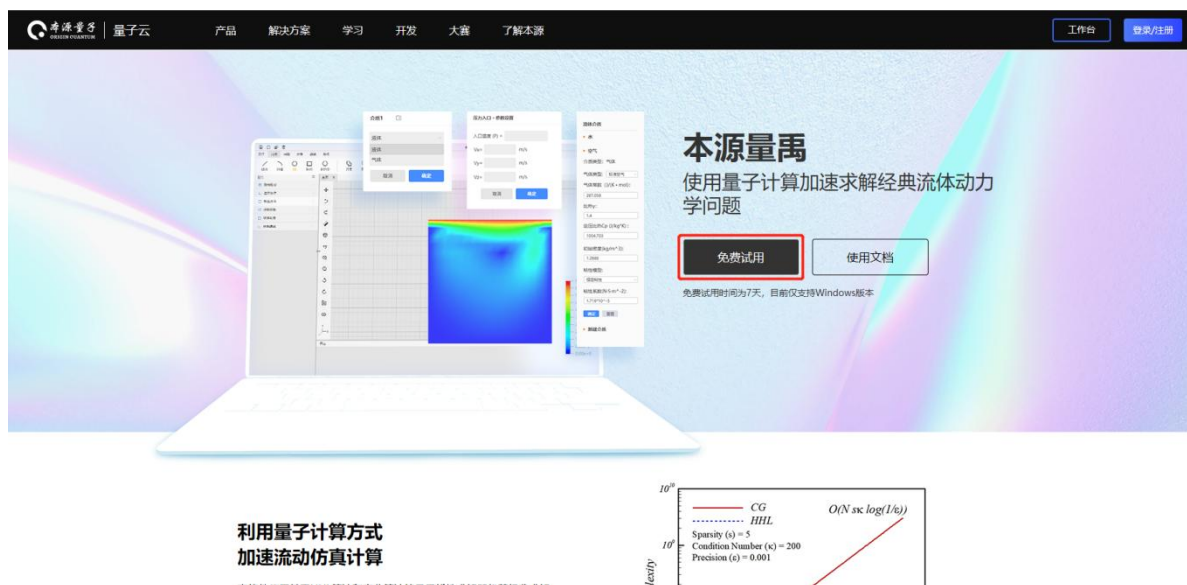


图 1-1 软件下载页面

双击下载好的 OriginQ-QCFD.exe，根据向导安装。

1. 选择软件安装语言，默认为“中文简体”，点击 ok 按钮，安装中文版软件，若需要安装英文版软件，请选择安装语言为 English；
2. 在弹出的安装界面点击“我同意”；



图 1-2 软件安装页面

3. 在“安装选项”界面，指定为哪位用户安装该软件，然后点击下一步，并指定安装路径，等待安装完成。

1.2 试用申请

1. 本软件提供 7 天免费试用期限。
2. 当试用期限结束后，可在软件内进行软件激活序列号的申请。

（1）申请序列号

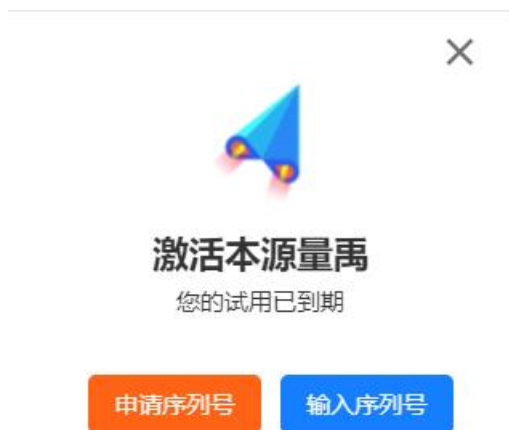


图 1-3 申请序列号

(2) 填写申请信息

图 1-4 申请信息填写

(3) 输入序列号激活

图 1-5 输入序列号

第 2 章 功能模块

2.1 整体布局

软件应用界面包括标题栏、快速访问工具栏、菜单栏、工具栏、任务栏、日志栏和视图窗口区域，具体布局如下：

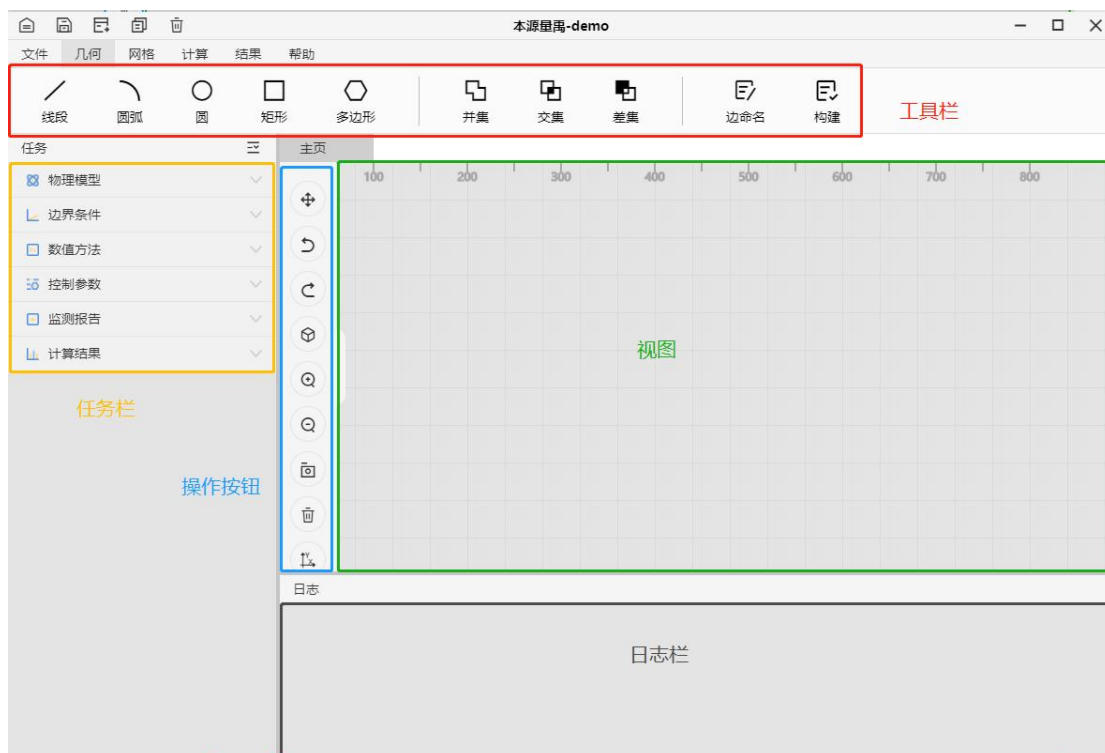


图 2-1 软件整体布局

2.2 工具栏

工具栏由文件、几何、网格、计算、结果和帮助六个子模块组成，分别对应着文件管理、几何模型构建、网格划分、计算结果查看和用户帮助功能，各子模块的具体功能将在各小节中详细阐述。

2.2.1 文件

文件子模块具有新建项目、最近项目、导入项目、导出项目和导出数据五大功能，具体见下图。



图 2-2 文件子模块

1) 新建项目

支持在首选项中选择导入网格和自定义几何两种方式创建新项目，前者从本地选择已构建好的网格文件，后者在软件中自定义几何模型，然后进行网格划分。这两种方式均需要指定项目名称和保存的路径，同时支持用户对项目添加描述。

创建项目

首选项: 导入网格

网格文件: 导入网格

项目名称: 请输入项目名称 (0/30)

保存路径: E:\OriginQ

项目描述 (选填): 请输入描述 (0/300)

取消 确定

图 2-3 创建项目

2) 最近项目

支持加载最近项目，并允许用户根据日期进行筛选和按照项目名称进行查找。

最近项目

最近三天

请输入

项目名称	项目路径	日期	描述
Demo	E:\QTest	2022.07.05.13:39	

图 2-4 最近项目

3) 导入项目

选择项目文件夹，从本地加载已有项目。

4) 导出项目

将当前项目导出到本地。

5) 导出数据

导出监测报告中存储的数据，支持根据数据源的种类进行过滤，选择监测报告数据和导出路径，单击导出按钮即可导出文件后缀为.csv 的数据文件。



图 2-5 导出数据

2.2.2 几何

几何子模块包括基本几何模型、布尔运算和边界命名三个部分，具体见下图。



图 2-6 几何子模块

1) 基本几何模型

当前版本目前仅支持简单的二维几何模型，包括线段、圆弧、圆、矩形、多边形。左键单击几何模型按钮，可创建多个简单几何，右键单击空白区域退出绘图状态，右键单击已绘制的几何模型，可以打开图形属性对话框修改参数。

表 2-1 基本几何模型参数及对应说明

几何	参数	说明
线段		直线会标注起点和终点，修改属性框中的起点和终点坐标，点击应用可以看到预览效果。

圆弧	属性 × 圆心 269,21 半径 861 夹角 -170 - 179 应用 确定	圆弧的夹角属性分别给定了圆弧起点、终点与圆心的连线和 x 轴所成的角度。
圆	属性 × 圆心 0 , 0 半径 50 应用 确认	圆会标注圆心坐标，改变属性框中半径大小可以定义圆的大小。
矩形	属性 × 宽度 100 高度 50 转角 0 起点 0,0 应用 确认	矩形的起点为画布上用户定义的第一个点，改变转角参数可以使矩形绕通过起点的 Z 轴旋转，转动角度可以为负数，表示逆时针旋转。
多边形	属性 × 中心 0,0 边长 2 边数 6 转角 0 应用 确定	此处的多边形为正多边形，改变转角参数可以使正多边形绕通过中心的 Z 轴旋转，转动角度可以为负数，表示逆时针旋转。

2) 布尔运算

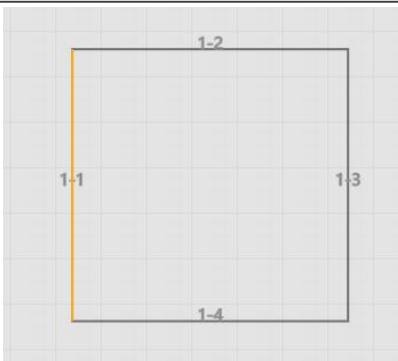
表 2-2 布尔运算操作及对应说明

操作	说明
并集	选中需要执行并集运算的图形，点击并集即可。
交集	选中需要执行交集运算的图形，点击交集即可。
差集	首先选中被减图形，然后选中需要执行差集运算的另一个图形，点击差集即可。

3) 边界命名

在完成几何构建之前需要执行边界命名操作，不执行此操作几何边界名称默认为 **default**。在进行边界命名时用户可以手动输入边序号或使用拾取按钮  进行选择，选中边界会高亮显示，点击应用后，几何图形边界上的名称将变成用户自定义的名称，选中已命名边界，点击取消按钮，边界名称将恢复到默认编号。

表 2-3 边界命名

几何模型	边界命名
	

4) 视图

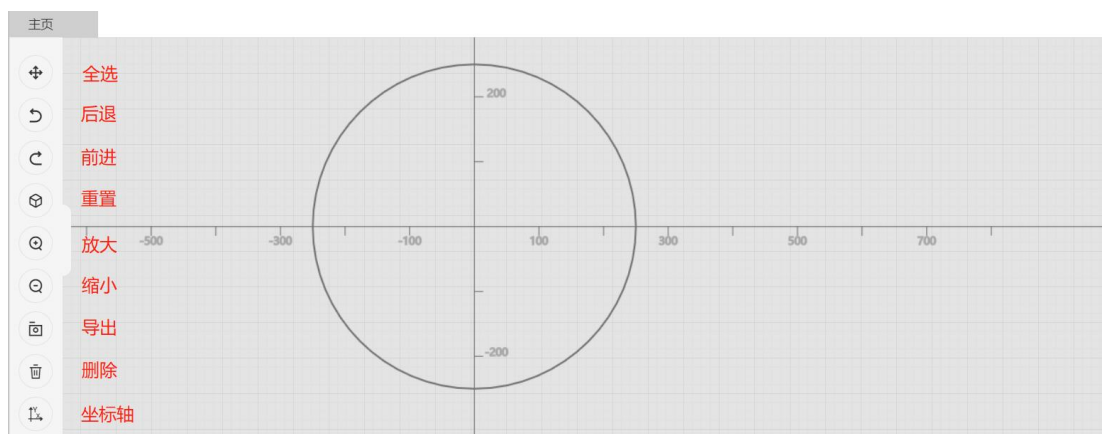


图 2-7 几何模块—视图窗口按钮

表 2-4 几何模块—视图窗口按钮及对应功能说明

按钮	功能
全选	点击此按钮，可以一次性选中所有几何图形
后退	点击此按钮，可以撤销当前一步操作
前进	点击此按钮，可以返回前一步撤销的操作
重置	点击此按钮，重置视角
放大	点击此按钮，放大当前视图
缩小	点击此按钮，缩小当前视图
导出	点击此按钮，导出当前几何图形
删除	选中想要删除的几何后，点击此按钮，可删除选中的几何
坐标轴	点击此按钮，可以显示/隐藏坐标轴

2.2.3 网格

表 2-5 网格操作及对应说明

操作	说明		
构建网格	针对不同的网格密度需求，该选项提供了四种方式，包括标准、密集、稀疏和自定义，不同方式对应的网格尺度有所差异。	标准	以几何最小边长的 5%作为全局网格尺寸。
		密集	以几何最小边长的 4 倍作为全局网格尺寸。
		稀疏	以几何最小边长的 20%作为全局网格尺寸。
		自定义	以用户输入的值作为网格尺寸因子。
清除网格	清除用户自定义的网格文件，对于导入的网格文件，该选项不可用。		
检查网格	采用歪曲率网格检查标准对自定义的网格和导入的网格进行网格质量检查。		
导出网格	导出自定义的网格文件和导入的网格文件，文件格式为.su2。		

2.2.4 计算

表 2-6 计算选项及对应说明

选项	说明	
计算后端	本地	在本地 GPU 或 CPU 虚拟机上运行计算
	集群	在本源量子云集群和本地私有集群上运行计算，目前仅支持本地私有集群
	量子计算机	在量子计算机或量子计算云平台上运行计算，将在后续的版本中提供此选项
开始计算	在完成任务栏参数配置后，点击“开始计算”按钮执行计算任务	
终止计算	在计算进程中，点击“终止计算”按钮终止计算任务	

表 2-7 计算集群说明

选项	说明	
集群设置		私有集群： 点击集群设置按钮，设置私有集群 IP。 私有集群部署请联系：dqa@originqc.com
		本源量子计算集群： 设置由本源量子云提供的 SecretID 及 SecretKey（此功能将在后续的版本中开放）
集群选择		私有集群： 选择“私有集群”选项，调用设置好 IP 的集群进行计算
		本源量子计算集群： 选择“全振幅量子虚拟机”，可以调用本源量子提供的计算集群进行计算（此功能将在后续的版本中开放）

2.2.5 结果

为方便用户可以更直观地分析计算数据和流场分布，此软件提供了一系列可视化功能，包括残差图、标量图、流线图、等值线图、曲线图和矢量图，具体创建操作可以参考 0 小节。

2.2.6 帮助

表 2-8 帮助操作及对应说明

操作	说明
帮助	查看使用手册，用以解决使用中出现的疑问
序列号	可以更改序列号

2.3 任务栏

2.3.1 物理模型

表 2-9 物理模型参数及对应说明

选项	参数	说明
时间		稳态表示流场中的物理参数不随时间发生变化，流动达到稳定状态。该参数用于控制物理方程中的时间项，“稳态”表示控制方程中不包含时间项。
粘性		不同的粘性模型表示求解的流动控制方程不同，无粘对应的控制方程为欧拉方程，层流表示控制方程为纳维-斯托克斯方程，Splart-Allmaras 和 SST K-W 为湍流模型，求解的控制方程为雷诺平均方程和相应的湍流模型。
重力		开启重力选项表示考虑重力对流动的影响，此时控制方程中包含重力项。
能量		能量选项开启表示求解能量方程，对于无粘流动，能量方程默认关闭，而对于理想气体模型，能量方程默认开启。

介质

液体

气体

类型	不可压缩理想气
密度模型	恒定密度
初始密度	1.2886
摩尔质量	28.96
定压比热 (J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	1004.703
粘性模型	恒定粘性模型
粘性系数 (N·s·m ⁻²)	0.00001716

重置

确认

该选项用于选择流体介质，包括液体、不可压缩理想气体和理想气体模型。其中液体和不可压缩理想气体为不可压缩流体，理想气体为可压缩流体，流体的可压缩性会影响边界条件的选择，具体见 0 小节。

2.3.2 边界条件

根据流体的可压缩性，可以将边界条件分为三类：通用的边界条件、适用于可压缩流动的边界条件和不可压缩流动的边界条件。

表 2-10 边界条件类型及对应说明

边界条件类别	说明	
通用	壁面	壁面边界条件默认为无滑移边界，当求解能量方程时，需要在壁面边界处定义热边界条件，本软件提供了固定热通量和等温两种热边界条件，前者需要给定热通量，后者需要指定固定温度；此外，此软件还提供了移动壁面边界条件，需要给定壁面移动速度。
	滑移壁面	滑移壁面边界处的法向速度和壁面剪切力为零，不需要给定额外的参数。
	对称面	对称边界适用于物理场是对称的情况，通过使用对称边界条件可以减少计算量，该边界无需给定参数。
	压力出口	压力出口边界条件需要在出口边界指定静压，静压的指定仅适用于亚声速流动。
不可压缩流动	速度入口	给定入口处的速度矢量，当求解能量方程时，还需

		要给定入口处的温度。
	压力入口	给定入口处总压和入口流动方向，当求解能量方程时，还需要给定入口处的温度。
可压缩流动	滞流入口	给定入口处的总温、总压和流动方向。
	远场	给定来流马赫数和攻角。

2.3.3 数值方法

数值方法模块用于指定空间梯度项的计算方法、对流项的离散格式、矩阵预处理方法和量子线性求解器的种类，其中对流项的选择与流体的可压缩性有关。

表 2-11 数值方法选项及对应说明

选项	说明	
空间梯度	支持 GREEN_GAUSS 和 WEIGHTED_LEAST_SQUARES 两种梯度计算方式	
对流项	不可压缩流动	支持 JST 和 FDS 两种对流项离散格式。
	可压缩流动	支持 JST、ROE、LAX-FRIEDRICH 和 AUSM 四种对流项离散格式，其中 ROE 格式需要给定熵修正系数。
预处理器	DIAGNOAL_SCALING	对角缩放预处理器不需要给定额外的参数。
	STATIC_SPAI	静态稀疏近似逆预处理器需要给定稀疏度。
	DYNAMIC_SPAI	动态稀疏近似逆预处理器需要给定稀疏度和收敛因子。
	Jacobi	雅可比预处理器，不需要给定额外的参数。
量子线性求解器	子空间 HHL	子空间 HHL 求解器融合了 HHL 算法和重启的子空间方法，需要给定子空间维度、子空间重启次数和子空间求

		解精度参数。
	子空间变分	子空间变分求解器融合了量子变分算法和重启的子空间方法，需要给定子空间维度和重启次数，以及变分算法需要的参数学习率。

2.3.4 控制参数

表 2-12 控制参数及对应说明

参数	说明
CFL 数	支持动态控制非定常计算的时间步长，以满足 CFL 数的要求。
松弛因子	用于控制物理量在每次迭代过程中的变化量。
收敛误差	用于控制求解精度，当残差小于收敛误差时计算终止。
最大计算步数	指定计算步数，对于稳态流动，该参数表示最大迭代步数，而对于瞬态流动，该参数表示物理时间步数。
断点续算	开启后可以指定断点续算输出续算文件频率(断点计算步数=输出频率*最大计算步数)，意外终止可以在输出的续算文件后续算，无需重新计算；关闭后将不支持断点续算功能。

2.3.5 监测报告

为方便用户对所关心的参数进行定量分析，此软件支持创建监测报告，容许监测的参数包括力系数、力矩系数、平均温度、平均压强、平均流量和面数据，点击监测报告新建按钮 ，创建监测报告，该监测报告数据可以在计算结果中可视化，具体见 2.3.6 小节。

表 2-13 监测报告类型及对应说明

报告类型	说明	
力系数		选择报告类型为力系数，通过监测对象选项指定需要监测的对象，通过方向选项指定力的方向，方向 x 对应着阻力系数，方向 y 对应着升力系数，参考面积参数用于无量纲计算，参考速度和参考密度默认为 1。
力矩系数		选择报告类型为力矩系数，通过监测对象选项指定需要监测的对象，参考面积和参考长度参数用于无量纲计算，参考速度和参考密度默认为 1。
温度		用于计算监测对象表面的平均温度，选择报告类型为温度并指定给监测对象即可。

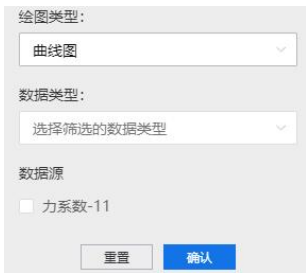
压强		用于计算监测对象表面的平均压强，选择报告类型为压强并指定给监测对象即可。
流量		用于计算监测对象表面的平均流量，选择报告类型为流量并指定给监测对象即可。
面数据		用于收集边界表面计算的结果数据，选择报告类型为面数据并指定给监测对象即可。

2.3.6 计算结果

1) 绘图类型

为方便用户可以更直观地分析计算数据和流场分布，此软件提供了一系列可视化功能，包括残差图、标量图、流线图、等值线图、曲线图和矢量图。通过点击计算结果新建按钮  创建可视化场景，其中，数据源包括场和面，场为整个流场计算结果数据，面为监测报告中监测的面数据的计算结果。

表 2-14 绘图类型及对应说明

绘图类型	说明		
残差图	残差图反映了残差随迭代步的变化，创建图不需要给定额外的参数		
标量图	创建标量图不需要给定额外的参数		
流线图			支持点和线共两种方式创建流线图，两者均需要指定分辨率参数。点方式通过中心和半径确定流体质点的空间位置分布，线方式通过两个端点确定流体质点的空间位置分布。
等值线图		选择待绘制等值线的物理量，指定物理量范围和采样数，线性生成物理量的值序列，其中的每个值对应着一条等值线。	
曲线图		曲线图的数据源为监测报告，通过数据类型参数可以按监测报告种类对数据源进行过滤，并在数据源参数下方选择需要的绘图数据，具体见 0 小节。	
矢量图		矢量图中的物理量参数表示方向矢量，对于可压缩流动该物理量默认为动量，对于不可压缩流动该物理量默认为速度，缩放因子参数用于控制箭头的大小，种子数和采样数参数用于控制箭头的数量。	

2) 视图窗口

视图窗口的左侧有一列功能按钮，各功能按钮执行的操作见下表。

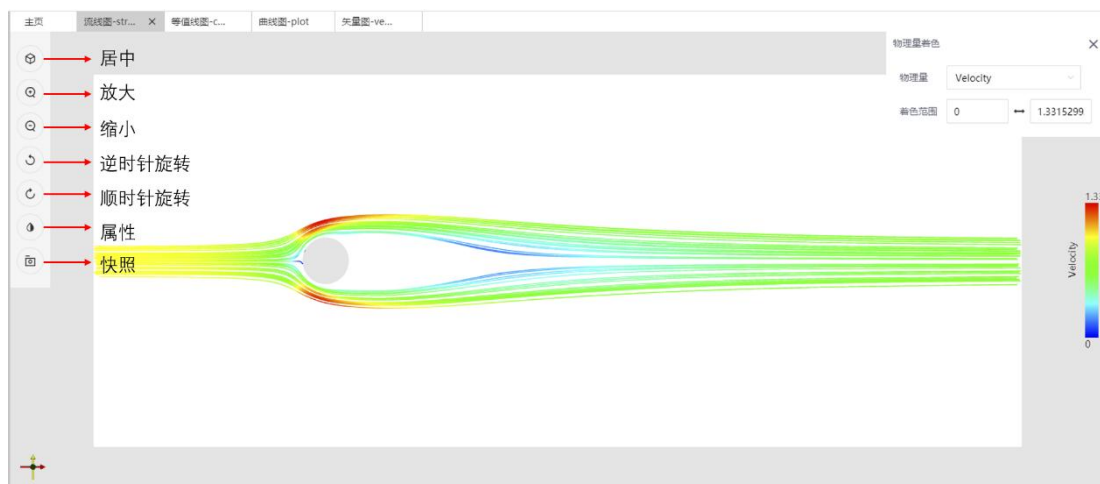


图 2-8 视图窗口

表 2-15 视图窗口按钮及对应功能说明

按钮	功能	
居中	点击此按钮，可以实现模型自动居中。	
放大	点击此按钮，可以放大视图。	
缩小	点击此按钮，可以缩小视图。	
逆时针 旋转	点击此按钮，可以将图形逆时针旋转 90 度。	
顺时针 旋转	点击此按钮，可以将图形顺时针旋转 90 度。	
属性		在标量图、流线图、等值线图 and 矢量图场景中，点击此按钮打开属性对话框，可以选择需要渲染的物理量和设置物理量范围。
快照	点击此按钮，导出视图窗口的场景。	

2.4 日志栏

输出文件创建、网格导入、数值求解过程中的日志信息，并可在该窗口获取上述操作过程中发生的异常信息。

第 3 章 计算示例

3.1 不可压缩流动

3.1.1 圆柱绕流

圆柱绕流作为经典的流体力学问题，具有丰富的实验结果，常用于验证计算方法和模型的有效性，圆柱绕流的研究对航空领域和海洋工程也具有非常重要的实际意义。

1、自定义几何模型

点击菜单栏“文件”中的新建项目按钮，打开创建项目弹窗，选择首选项为自定义几何，设置项目名称和保存路径，点击确认按钮完成项目创建。

图 3-1 新建项目对话框

点击菜单栏“几何”中的“矩形”按钮，在视图窗口单击鼠标左键，选择矩形的起点，松开鼠标左键，拖动鼠标动态显示矩形大小，然后再次单击鼠标左键确定该矩形的对角顶点，完成矩形模型的添加。在视图窗口空白区域单击右键取消当前图形选中状态，然后按照同样的流程添加圆形模型，依次右键单击矩形和圆形，打开图形属性对话框，设置图形参数见下表 3-1。

表 3-1 图形参数设置表

图形	矩形	圆形
参数		

设置好上述图形参数后，依次选择矩形和圆形，点击菜单栏“几何”中的“差集”按钮，完成布尔运算操作。点击“边命名”按钮，在弹出的边界命名对话框中按照 2.2.2 小结的方法设置模型各边界名称，见下表 3-2。

表 3-2 边界名称设置表

边界序号	1-1	1-2/1-4	1-3	1-5
边界名称	inlet	side	outlet	cylinder

设置好边界名称后，点击菜单栏“几何”中的“构建”按钮，完成几何模型的创建。

2、网格划分

点击菜单栏“网格”中的“构建网格”按钮，打开网格属性对话框，选择网格稀疏度为自定义，数值为 0.1。

3、物理模型

表 3-3 物理模型设置表

选项	配置	选项	配置
时间		介质	
粘性			
重力		能量	

4、边界条件

表 3-4 边界条件设置表

边界名称	inlet	side
边界类型		
边界名称	outlet	cylinder

边界类型		
------	---	--

5、数值方法

表 3-5 数值方法设置表

选项	配置	选项	配置
空间梯度		预处理器	
对流项		量子线性求解器	

6、控制参数

表 3-6 控制参数设置表

参数	CFL 数	松弛因子	收敛误差	最大计算步数
配置	10	0.5	0.001	4000

7、监测报告

点击新建监测报告按钮，创建名为 Cylinder_Lift 的监测报告，选择报告类型为力系数，选择 cylinder 为监测对象，方向为 y，参考面积为 1，此监测报告用于定量分析圆柱的升力系数随迭代步的变化关系。

8、执行计算

计算后端默认选择本地虚拟机，点击菜单栏“计算”中的“开始计算”按钮执行计算。

9、计算结果

本示例将在计算结果中创建升力曲线图、涡量图和矢量图，以分析圆柱绕流场特性。将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择绘图类型为曲线图，数据类型为力系数，选中监测报告中创建的名为 Cylinder_Lift 的监测报告为数据源，创建 cylinder 的升力系数随迭代步变化的曲线图。

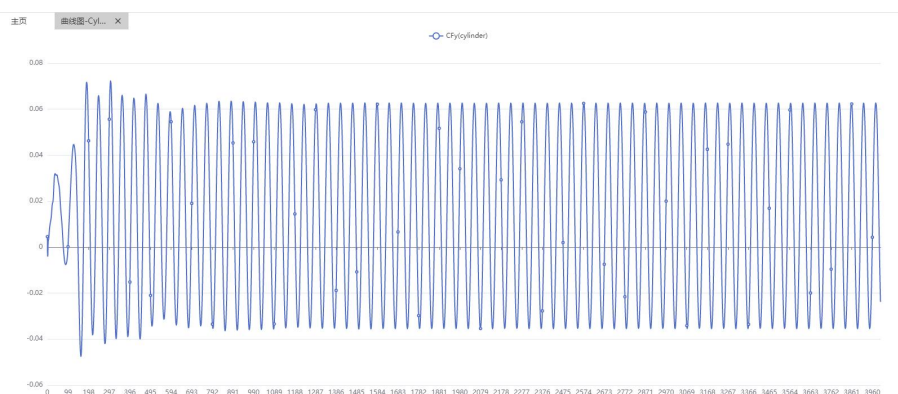


图 3-2 圆柱升力系数曲线

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，输入绘图名称，选择绘图类型为标量图，点击确认按钮，待标量图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的标量图，即可在视图窗口打开标量图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的属性对话框中，选择物理量为 Vorticity，着色范围为(-0.00005,0.00005)。



图 3-3 标量图新建窗口



图 3-4 标量图属性对话框

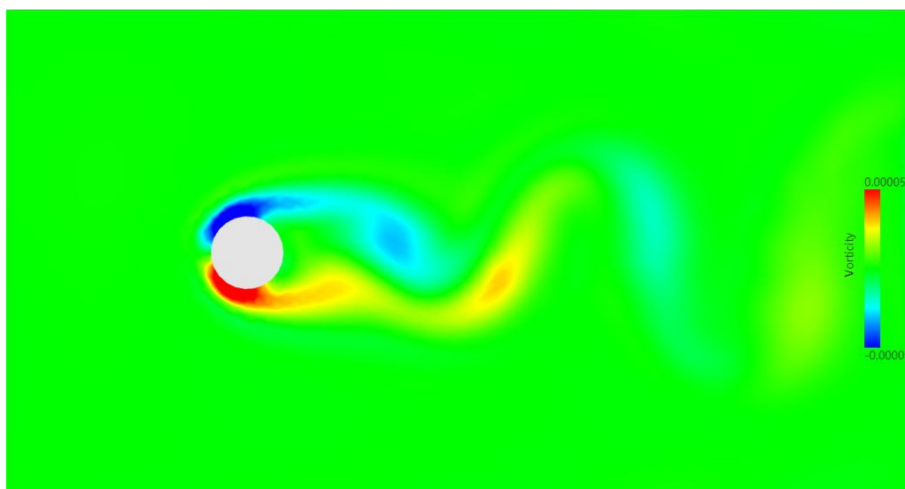


图 3-5 涡量标量云图

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮  计算结果 ，选择绘图类型为矢量图，缩放因子为 0.3，采样数和种子数均为 2000，点击确认按钮，待矢量图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的矢量图，即可在视图窗口打开矢量图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的对话框中，选择物理量为 Vorticity，着色范围为(-0.00005, 0.00005)。



图 3-6 矢量图新建窗口



图 3-7 矢量图属性对话框

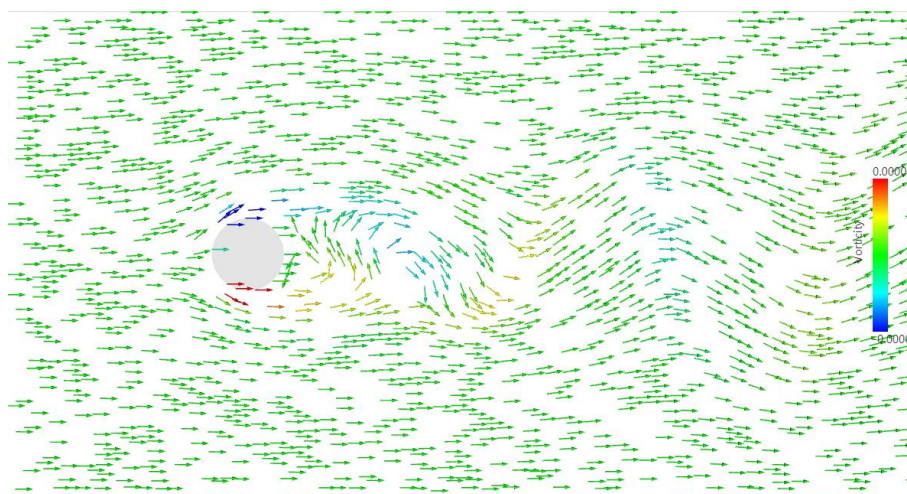


图 3-8 矢量图

3.1.2 二维汽车数值风洞

风洞试验的可靠性一般较高，但其具有成本高、周期长和全流场定量分析困难等局限性，CFD 计算可以有效地克服风洞试验的局限性，降低风洞试验次数，被广泛应用于汽车设计研发过程中。

1. 导入网格

点击菜单栏“文件”中的新建项目按钮，打开创建项目弹窗，选择首选项为

导入网格，从安装路径下的 mesh 文件夹中选择名为 car.su2 的网格文件，设置项目名称和保存路径，点击确认按钮完成项目创建。

图 3-9 新建项目对话框

2. 物理模型

表 3-7 物理模型配置

选项

配置

时间

时间

<< x

瞬态

稳态

重置

确认

粘性

粘性

<< x

无粘

层流

Splart-Allmaras

SST K-W

重置

确认

选项

配置

介质

介质

<< x

液体

气体

类型	不可压缩理想气
密度模型	恒定密度
初始密度 (kg·m³)	1.2886
摩尔质量(g/mol)	28.96
定压比热 (J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	1004.703
粘性模型	恒定粘性模型
粘性系数 (N·s·m ⁻²)	0.00001716

重置

确认

重力	重力 << X ☐ 开启 ☒ 关闭 重置 确认	能量	能量 << X ☐ 开启 ☒ 关闭 重置 确认
----	---	----	---

3. 边界条件

表 3-8 边界条件设置

边界名称	car		up	
边界类型	边界类型 << X ☒ 壁面 ☐ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☐ 速度入口 ☐ 压力入口 ☐ 压力出口 ☐ 对称面 ☐ 远场 无滑移 ☒ 标准壁面函数 重置 确认		边界类型 << X ☐ 壁面 ☒ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☐ 速度入口 ☐ 压力入口 ☐ 压力出口 ☐ 对称面 ☐ 远场 重置 确认	
边界名称	ground	outlet	inlet	
边界类型	边界类型 << X ☒ 壁面 ☐ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☐ 速度入口 ☐ 压力入口 ☐ 压力出口 ☐ 对称面 ☐ 远场 可移动 ☐ 标准壁面函数 Vx (m/s)30 Vy (m/s)0 Vz (m/s)0 重置 确认	边界类型 << X ☐ 壁面 ☐ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☐ 速度入口 ☐ 压力入口 ☒ 压力出口 ☐ 对称面 ☐ 远场 压强 (Pa)0 湍流强度0.05 湍流粘度比10 重置 确认	边界类型 << X ☐ 壁面 ☐ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☒ 速度入口 ☐ 压力入口 ☐ 压力出口 ☐ 对称面 ☐ 远场 Vx (m/s)30 Vy (m/s)0 Vz (m/s)0 温度 (K)273.15 湍流强度0.05 湍流粘度比10 重置 确认	

4. 数值方法

表 3-9 数值方法配置

选项	配置	选项	配置
----	----	----	----

空间梯度		预处理器	
对流项		量子线性求解器	

5. 控制参数

表 3-10 控制参数设置

参数	CFL 数	松弛因子	收敛误差	最大计算步数
配置	10	0.5	0.001	2500

6. 监测报告

点击新建监测报告按钮，创建名为 Car_Drag 的监测报告，选择报告类型为力系数，选择 car 为监测对象，方向为 x，参考面积为 1，此监测报告用于定量分析汽车的阻力系数随迭代步的变化关系。

7. 执行计算

点击菜单栏“计算”中的“开始计算”按钮进行计算，计算后端默认选择本地虚拟机，虚拟机集群需手动更改设置，量子计算机将在后续的版本陆续支持。

8. 计算结果

本示例将在计算结果中创建阻力曲线图、速度标量图和流线图，以分析汽车的空气动力学特性和流场分布。将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮

，选择绘图类型为曲线图，数据类型为力系数，选中监测报告中创建

的名为 Car_Drag 的监测报告为数据源，创建汽车 car 的阻力系数随迭代步变化的曲线图。

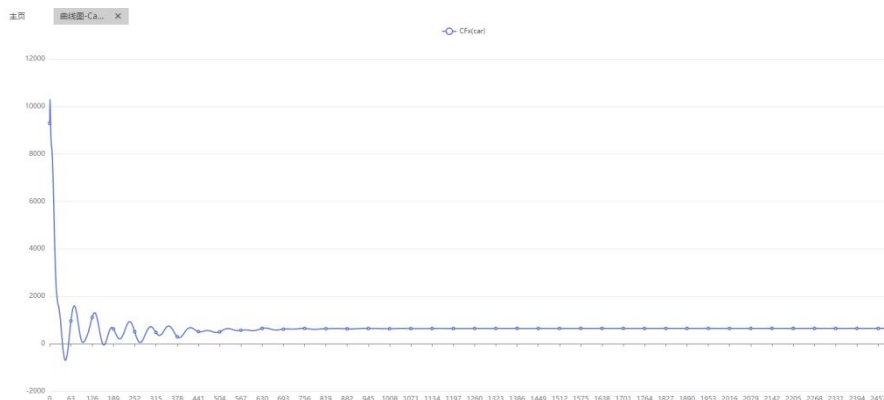


图 3-10 汽车阻力系数曲线

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，输入绘图名称，选择绘图类型为标量图，点击确认按钮，待标量图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的标量图，即可在视图窗口打开标量图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的属性对话框中，选择物理量为 Velocity，着色范围为 0-40。



图 3-11 标量图新建窗口



图 3-12 标量图属性对话框

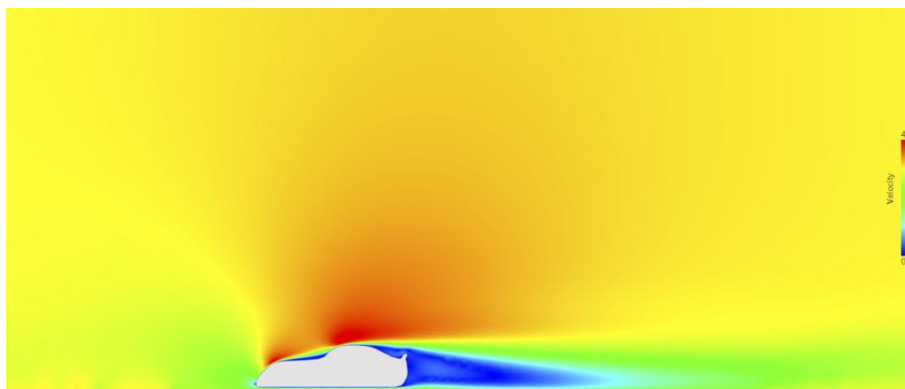


图 3-13 速度标量云图

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮  计算结果 ，选择绘图类型为流线图，选择流体质点布置方式为“线”，分辨率为 100，点 1 坐标(5,1.5)，点 2 坐标为(8,0)，点击确认按钮，待流线图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的流线图，即可在视图窗口打开流线图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的对话框中，选择物理量为 Velocity，着色范围为 0-40。

编辑绘图

绘图名称:

Velocity

绘图类型:

流线图

点

线

分辨率	100
点1	5,1.5
点2	8,0

重置

确认

图 3-14 流线图新建窗口

属性

物理量

Velocity

着色范围

0

↔

40

图 3-15 流线图属性对话框

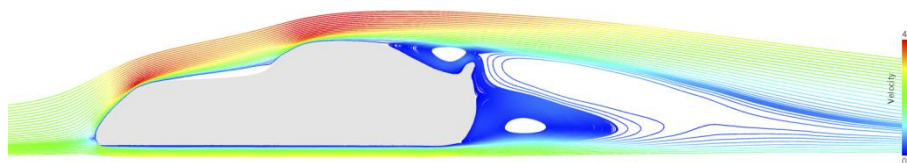


图 3-16 流线图

3.2 可压缩流动

3.2.1 三维汽车数值风洞

1. 导入网格

点击菜单栏“文件”中的新建项目按钮，打开创建项目弹窗，选择首选项为导入网格，从安装路径下的 mesh 文件夹中选择名为 race_car.su2 的网格文件，设置项目名称和保存路径，点击确认按钮完成项目创建。

图 3-17 新建项目对话框

2. 物理模型

表 3-11 物理模型配置

选项	配置	选项	配置																						
时间	时间 瞬态 稳态 重置 确认	介质	介质 液体 气体 <table><tr><td>类型</td><td>理想气体</td></tr><tr><td>自由流压强(Pa)</td><td>101325</td></tr><tr><td>自由流温度(K)</td><td>288.15</td></tr><tr><td>气体常数 (J·K⁻¹·mol⁻¹)</td><td>287.058</td></tr><tr><td>比热比</td><td>1.4</td></tr><tr><td>粘性模型</td><td>萨瑟兰模型</td></tr><tr><td>参考粘性 (N·s·m⁻²)</td><td>0.00001716</td></tr><tr><td>萨瑟兰常数</td><td>110.4</td></tr><tr><td>参考温度(K)</td><td>273.15</td></tr><tr><td>热传导模型</td><td>常普朗特数模型</td></tr><tr><td>湍流普朗特数</td><td>0.9</td></tr></table> 重置 确认	类型	理想气体	自由流压强(Pa)	101325	自由流温度(K)	288.15	气体常数 (J·K ⁻¹ ·mol ⁻¹)	287.058	比热比	1.4	粘性模型	萨瑟兰模型	参考粘性 (N·s·m ⁻²)	0.00001716	萨瑟兰常数	110.4	参考温度(K)	273.15	热传导模型	常普朗特数模型	湍流普朗特数	0.9
类型	理想气体																								
自由流压强(Pa)	101325																								
自由流温度(K)	288.15																								
气体常数 (J·K ⁻¹ ·mol ⁻¹)	287.058																								
比热比	1.4																								
粘性模型	萨瑟兰模型																								
参考粘性 (N·s·m ⁻²)	0.00001716																								
萨瑟兰常数	110.4																								
参考温度(K)	273.15																								
热传导模型	常普朗特数模型																								
湍流普朗特数	0.9																								
粘性	粘性 无粘 层流 Splart-Allmaras SST K-W 重置 确认	能量	能量 开启 关闭 重置 确认																						
重力	重力 开启 关闭 重置 确认																								

3. 边界条件

表 3-12 边界条件设置

边界名称	INLET	OUTLET
边界类型	边界类型 << X ☐ 壁面 ☐ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☐ 速度入口 ☐ 压力入口 ☐ 压力出口 ☐ 对称面 ☒ 远场 马赫数 0.1 攻角 0 湍流粘度比 10 重置 确认	边界类型 << X ☐ 壁面 ☐ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☐ 速度入口 ☐ 压力入口 ☐ 压力出口 ☐ 对称面 ☒ 远场 马赫数 0.1 攻角 0 湍流粘度比 10 重置 确认
边界名称	RACE-CAR	WALLS
边界类型	边界类型 << X ☒ 壁面 ☐ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☐ 速度入口 ☐ 压力入口 ☐ 压力出口 ☐ 对称面 ☐ 远场 无滑移 ☒ 标准壁面函数 重置 确认	边界类型 << X ☒ 壁面 ☐ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☐ 速度入口 ☐ 压力入口 ☐ 压力出口 ☐ 对称面 ☐ 远场 无滑移 ☒ 标准壁面函数 重置 确认

4. 数值方法

表 3-13 数值方法配置

选项	配置	选项	配置
空间梯度	空间梯度 << X ☒ GREEN_GAUSS ☐ WEIGHTED_LEAST_SQUARES 重置 确认	预处理器	预处理器 << X ☐ DIAGNOAL_SCALING ☐ STATIC_SPAI ☐ DYNAMIC_SPAI ☒ Jacobi 重置 确认

对流项	对流项 ☐ JST ☒ ROE ☐ LAX-FRIEDRICH ☐ AUSM 熵修正系数: 0.1 重置 确认	量子线性求解器	量子线性求解器 ☐ 子空间HHL ☒ 子空间变分 <table border="1"> <tr> <td>子空间维度</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>子空间重启次数</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>学习率</td> <td>0.5</td> </tr> </table> 重置 确认	子空间维度	4	子空间重启次数	2	学习率	0.5
	子空间维度		4						
子空间重启次数	2								
学习率	0.5								

5. 控制参数

表 3-14 控制参数设置

参数	CFL 数	松弛因子	收敛误差	最大计算步数
配置	25	0.5	0.001	5000

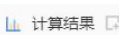
6. 监测报告

点击新建监测报告按钮，创建名为 Car_Drag 的监测报告，选择报告类型为力系数，选择 car 为监测对象，方向为 x，参考面积为 1，此监测报告用于定量分析汽车的阻力系数随迭代步的变化关系；点击新建监测报告按钮，创建名为 surface 的监测报告，选择报告类型为面数据，选择 RACE-CAR 为监测对象，此监测报告用于分析汽车表面压力趋势。

7. 执行计算

点击菜单栏“计算”中的“开始计算”按钮进行计算，计算后端默认选择本地虚拟机，虚拟机集群需手动更改设置，量子计算机将在后续的版本陆续支持。

8. 计算结果

本示例将在计算结果中创建阻力曲线图、压力标量图和速度流线图，以分析汽车的空力学特性和流场分布。将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择绘图类型为曲线图，数据类型为力系数，选中监测报告中创建的名为 Car_Drag 的监测报告为数据源，创建汽车 car 的阻力系数随迭代步变化的曲线图。

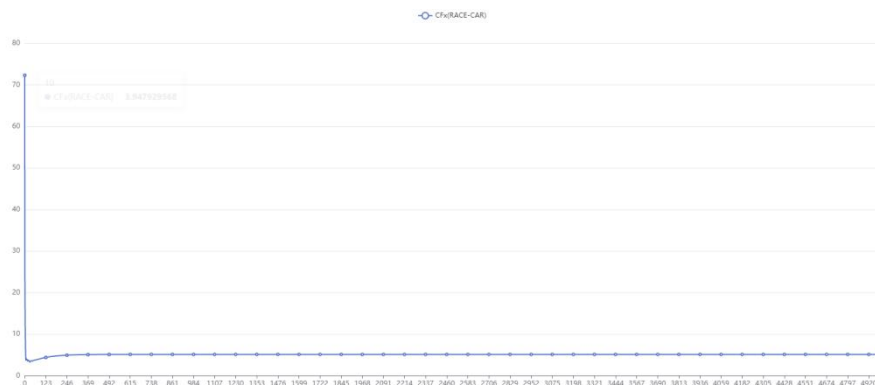


图 3-18 汽车阻力系数曲线

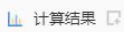
将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，输入绘图名称，选择数据来源为面，选择绘图类型为标量图，点击确认按钮，待标量图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的标量图，即可在视图窗口打开标量图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的属性对话框中，选择物理量为 Pressure，着色范围为 91500-96500。



图 3-19 标量图新建窗口



图 3-20 标量图属性对话框

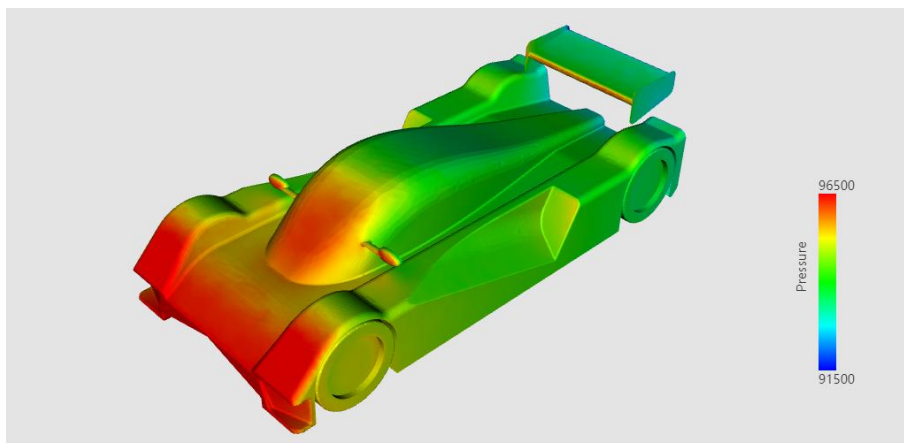


图 3-21 车身表面压力标量云图

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择数据来源为场，选择绘图类型为流线图，选择流体质点布置方式为“点”，分辨率为500，中心坐标(0, 0)，半径1，点击确认按钮，待流线图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的流线图，即可在视图窗口打开流线图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的对话框中，选择物理量为 Mach，着色范围为 0-0.15。

新建绘图

绘图名称:

mach

数据

☒ 场
 ☐ 面

绘图类型:

流线图

☒ 点
 ☐ 线

分辨率	500
中心	0,0
半径	1

重置

确认

图 3-22 流线图新建窗口

属性

物理量

Mach

着色范围

0

↔

0.15

取消

确认

图 3-23 流线图属性对话框

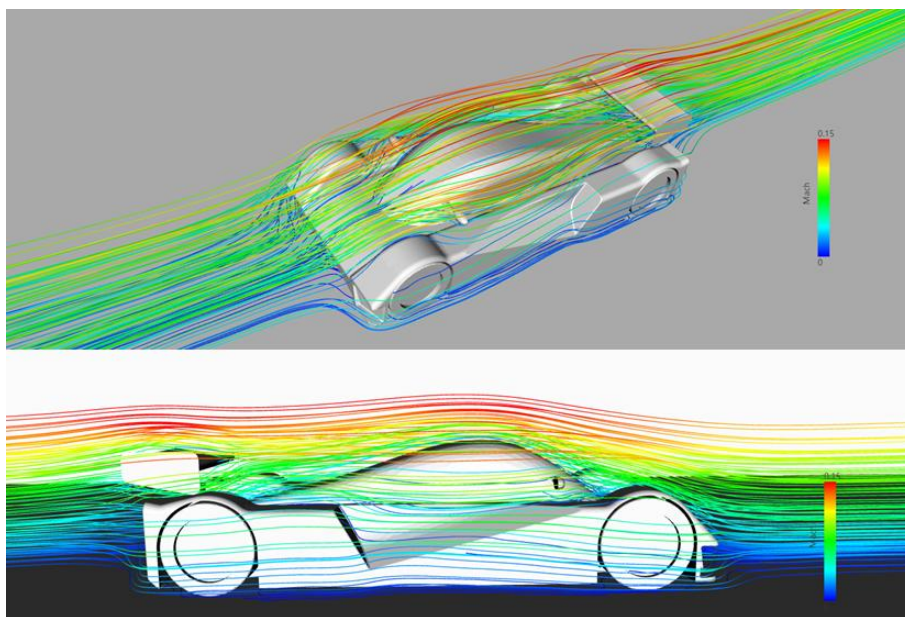


图 3-24 流线图

3.2.2 跨声速机翼

一般将马赫数介于 0.8 到 1.3 之间的流动定义为跨声速流动，广泛存在于民用航空飞行器领域。此示例旨在对跨声速机翼的空气动力学特性进行模拟仿真，通过此示例用户可以对计算流程和跨声速的参数配置有所了解。

二维

1. 导入网格

点击菜单栏“文件”中的新建项目按钮，打开创建项目弹窗，选择首选项为导入网格，从安装路径下的 mesh 文件夹中选择名为 airfoil.su2 的网格文件，设置项目名称和保存路径，点击确认按钮完成项目创建。

创建项目

×

首选项

导入网格

▼

网格文件

网格文件

项目名称

请输入项目名称

0/30

保存路径

D:\Users\OriginQ-QCFD\resources\app

项目描述
(选填)

请输入描述

0/300

取消

确定

图 3-25 新建项目对话框

2. 物理模型

表 3-15 物理模型配置

选项	配置	选项	配置										
时间	时间 << x ☐ 瞬态 ☒ 稳态 重置 确认	介质	介质 << x ☐ 液体 ☒ 气体 <table><tr><td>类型</td><td>理想气体</td></tr><tr><td>自由流压强(Pa)</td><td>101325</td></tr><tr><td>自由流温度(K)</td><td>288.15</td></tr><tr><td>气体常数 (J·K⁻¹·mol⁻¹)</td><td>287.058</td></tr><tr><td>比热比</td><td>1.4</td></tr></table> 重置 确认	类型	理想气体	自由流压强(Pa)	101325	自由流温度(K)	288.15	气体常数 (J·K ⁻¹ ·mol ⁻¹)	287.058	比热比	1.4
类型	理想气体												
自由流压强(Pa)	101325												
自由流温度(K)	288.15												
气体常数 (J·K ⁻¹ ·mol ⁻¹)	287.058												
比热比	1.4												
粘性	粘性 << x ☒ 无粘 ☐ 层流 ☐ Splart-Allmaras ☐ SST K-W 重置 确认	能量	能量 << x ☐ 开启 ☒ 关闭 重置 确认										
重力	重力 << x ☐ 开启 ☒ 关闭 重置 确认												

3. 边界条件

表 3-16 边界条件设置

边界名称	farfield	airfoil
边界类型	边界类型 << × ☐ 壁面 ☐ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☐ 速度入口 ☐ 压力入口 ☐ 压力出口 ☐ 对称面 ☒ 远场 马赫数0.8 攻角0 重置 确认	边界类型 << × ☐ 壁面 ☒ 滑移壁面 ☐ 滞流入口 ☐ 速度入口 ☐ 压力入口 ☐ 压力出口 ☐ 对称面 ☐ 远场 重置 确认

4. 数值方法

表 3-17 数值方法配置表

选项	配置	选项	配置
空间梯度	空间梯度 << × ☐ GREEN_GAUSS ☒ WEIGHTED_LEAST_SQUARES 重置 确认	预处理器	预处理器 << × ☐ DIAGNOAL_SCALING ☐ STATIC_SPAI ☐ DYNAMIC_SPAI ☒ Jacobi 重置 确认
对流项	对流项 << × ☒ JST ☐ ROE ☐ LAX-FRIEDRICH ☐ AUSM 重置 确认	量子线性求解器	量子线性求解器 << × ☐ 子空间HHL ☒ 子空间变分 子空间维度8 子空间重启次数1 学习率1 重置 确认

5. 控制参数

表 3-18 控制参数设置

参数	CFL 数	松弛因子	收敛误差	最大计算步数
配置	10	0.5	0.001	5000

6. 监测报告

点击新建监测报告按钮，创建名为 Airfoil_Lift 的监测报告，选择报告类型为力系数，选择 airfoil 为监测对象，方向为 y，参考面积为 1，此监测报告用于定量分析机翼的升力系数随迭代步的变化关系。

7. 执行计算

点击菜单栏“计算”中的“开始计算”按钮进行计算，计算后端默认选择本地虚拟机，虚拟机集群需手动更改设置，量子计算机将在后续的版本陆续支持。

8. 计算结果

本示例将在计算结果中创建曲线图、压强标量图和流线图，以分析机翼的空力学特性和流场分布。将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择绘图类型为曲线图，数据类型为力系数，选中监测报告中创建的名为 Airfoil_Lift 的监测报告为数据源，创建机翼 airfoil 的升力系数随迭代步变化的曲线图。



图 3-26 机翼 airfoil 的升力系数随迭代步变化的曲线图

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择绘图类型为标量图，点击确认按钮，待标量图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的标量图，即可在视图窗口打开标量图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的属性对话框中，选择物理量为 Pressure，着色范围为 20000-140000。



图 3-27 标量图新建窗口



图 3-28 标量图属性对话框

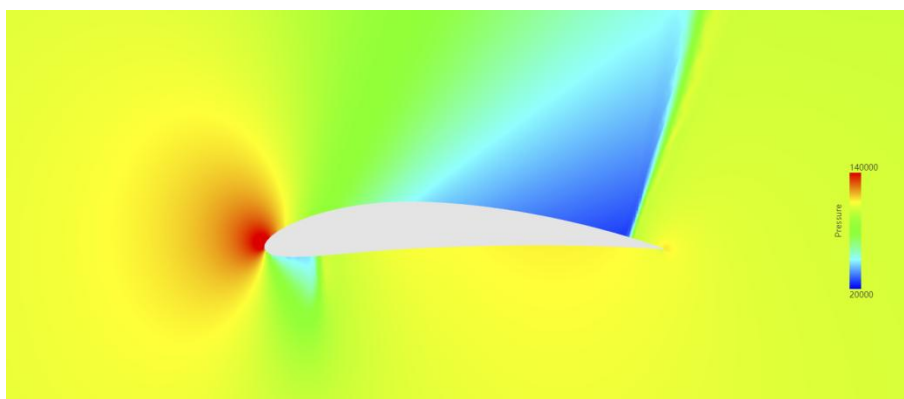


图 3-29 压强标量云图

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮  计算结果 ，选择绘图类型为流线图，选择流体质点布置方式为“点”，分辨率为 300，中心为(-0.2,0)，半径为 0.2，点击确认按钮，待流线图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的流线图，即可在视图窗口打开流线图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的对话框中，选择物理量为 Pressure，着色范围为 20000-140000。



图 3-30 流线图新建窗口



图 3-31 流线图属性对话框

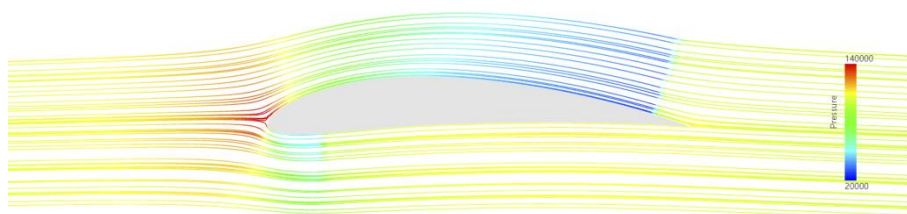


图 3-32 流线图

三维

1. 导入网格

点击菜单栏“文件”中的新建项目按钮，打开创建项目弹窗，选择首选项为导入网格，从安装路径下的 mesh 文件夹中选择名为 inviscid_ONERA.su2 的网格文件，设置项目名称和保存路径，点击确认按钮完成项目创建。

创建项目

×

首选项

导入网格

▼

网格文件

网格文件

项目名称

请输入项目名称

0/30

保存路径

D:\Users\OriginQ-QCFD\resources\app

项目描述
(选填)

请输入描述

0/300

取消

确定

图 3-33 新建项目对话框

2. 物理模型

表 3-19 物理模型配置

选项	配置	选项	配置										
时间	时间 << x ☐ 瞬态 ☒ 稳态 重置 确认	介质	介质 << x ☐ 液体 ☒ 气体 <table><tr><td>类型</td><td>理想气体</td></tr><tr><td>自由流压强(Pa)</td><td>101325</td></tr><tr><td>自由流温度(K)</td><td>288.15</td></tr><tr><td>气体常数 ($J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$)</td><td>287.058</td></tr><tr><td>比热比</td><td>1.4</td></tr></table> 重置 确认	类型	理想气体	自由流压强(Pa)	101325	自由流温度(K)	288.15	气体常数 ($J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$)	287.058	比热比	1.4
类型	理想气体												
自由流压强(Pa)	101325												
自由流温度(K)	288.15												
气体常数 ($J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$)	287.058												
比热比	1.4												
粘性	粘性 << x ☒ 无粘 ☐ 层流 ☐ Splart-Allmaras ☐ SST K-W 重置 确认	能量	能量 << x ☒ 开启 ☐ 关闭 重置 确认										
重力	重力 << x ☐ 开启 ☒ 关闭 重置 确认												

3. 边界条件

表 3-20 边界条件设置

边界名称	LOW_SIDE、TIP、UPPER_SIDE	XNORMAL_FACES、YNORMAL_FACES、ZNORMAL_FACES	SYMMETRY_FACE
边界类型			

4. 数值方法

表 3-21 数值方法配置表

选项	配置	选项	配置
空间梯度		预处理器	
对流项		量子线性求解器	

5. 控制参数

表 3-22 控制参数设置

参数	CFL 数	松弛因子	收敛误差	最大计算步数
配置	25	0.5	0.00001	5000

6. 监测报告

点击新建监测报告按钮，创建名为 Airfoil_Lift 的监测报告，选择报告类型为力系数，选择 UPPER_SIDE 为监测对象，方向为 y，参考面积为 1，此监测报告用于定量分析机翼的升力系数随迭代步的变化关系。点击新建监测报告按钮，创建名为 surface 的监测报告，选择报告类型为面数据，选择 LOW_SIDE、TIP、UPPER_SIDE 为监测对象，此监测报告用于分析机翼表面各物理量变化趋势。

7. 执行计算

点击菜单栏“计算”中的“开始计算”按钮进行计算，计算后端默认选择本地虚拟机，虚拟机集群需手动更改设置，量子计算机将在后续的版本陆续支持。

8. 计算结果

本示例将在计算结果中创建曲线图、马赫数标量图、压强标量图和流线图，以分析机翼的空力学特性和流场分布。将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮  计算结果 ，选择绘图类型为曲线图，数据类型为力系数，选中监测报告中创建的名为 Airfoil_Lift 的监测报告为数据源，创建机翼 UPPER_SIDE 的升力系数随迭代步变化的曲线图。

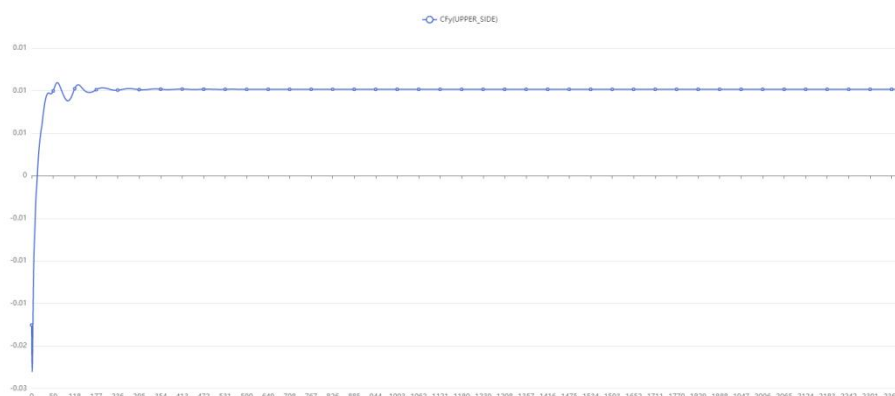


图 3-34 机翼 UPPER_SIDE 的升力系数随迭代步变化的曲线图

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择数据来源为面，选择绘图类型为标量图，点击确认按钮，待标量图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的标量图，即可在视图窗口打开标量图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的属性对话框中，选择物理量为 Pressure_Coefficient，着色范围为-1.2-0.6。



图 3-35 标量图新建窗口



图 3-36 标量图属性对话框

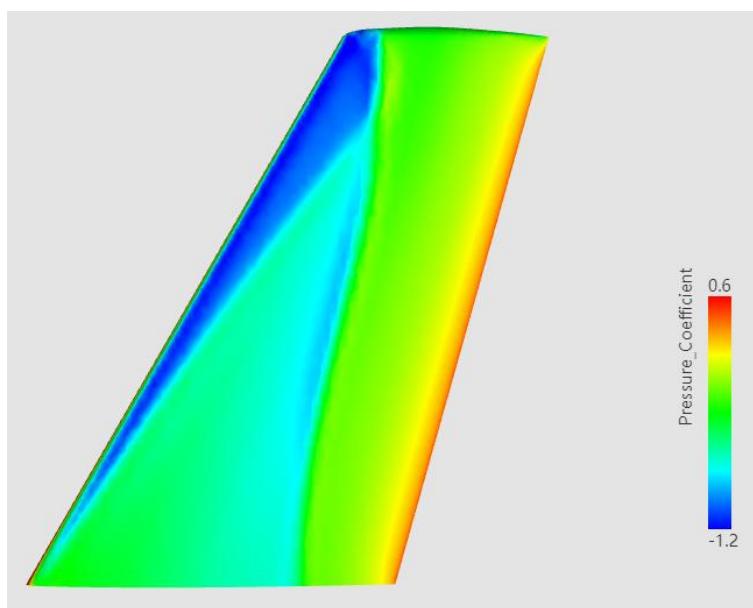


图 3-37 压强系数标量云图

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择数据来源为面，选择绘图类型为标量图，点击确认按钮，待标量图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的标量图，即可在视图窗口打开标量图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的属性对话框中，选择物理量为 Mach，着色范围为 0.5-1.5。



图 3-38 标量图新建窗口



图 3-39 标量图属性对话框

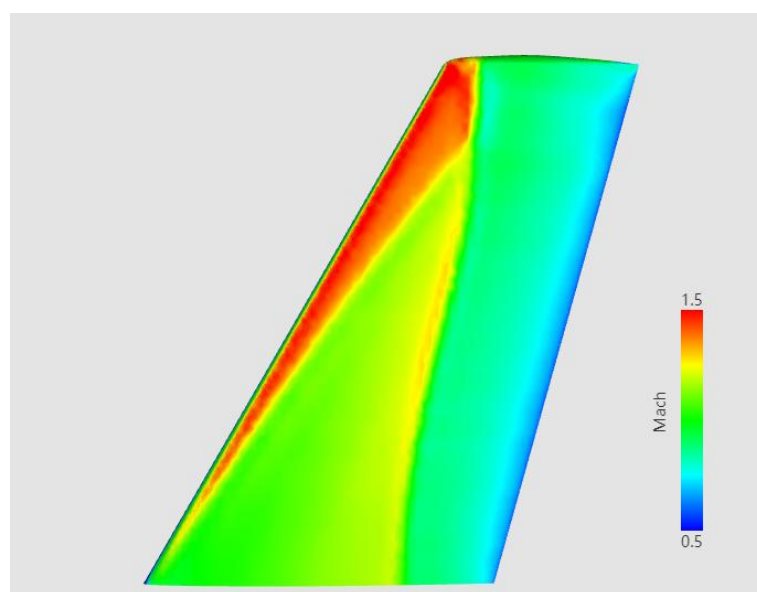
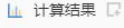


图 3-40 马赫数标量云图

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择数据来源为场，选择绘图类型为流线图，选择流体质点布置方式为“点”，分辨率为500，中心为(0,0)，半径为1，点击确认按钮，待流线图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的流线图，即可在视图窗口打开流线图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的对话框中，选择物理量为 Pressure，着色范围为 20000-130000。



绘图名称：
pressure

数据
☒ 场 ☐ 面

绘图类型：
流线图

☒ 点 ☐ 线

分辨率	500
中心	0,0
半径	1

图 3-41 流线图新建窗口



属性 ×

物理量 Pressure

着色范围 20000 ↔ 130000

图 3-42 流线图属性对话框

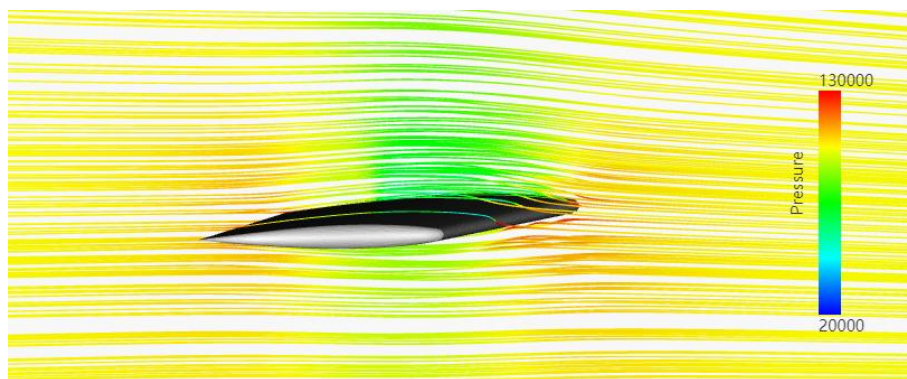


图 3-43 流线图

3.2.3 高超声速弹头

一般将马赫数大于 5 的流动定义为高超音速流动，广泛存在于中远程弹道导弹等航天领域。此示例旨在对高超音速弹头的气动热特性进行模拟仿真，通过此示例用户可以对计算流程和高超声速的参数配置有所了解。

二维

1. 导入网格

点击菜单栏“文件”中的新建项目按钮，打开创建项目弹窗，选择首选项为导入网格，从安装路径下的 mesh 文件夹中选择名为 hypersonic.su2 的网格文件，设置项目名称和保存路径，点击确认按钮完成项目创建。

The image shows a 'Create Project' dialog box with the following fields and options:

- 创建项目** (Create Project) - Title bar with a close button (X).
- 首选项** (Preference): A dropdown menu currently set to '导入网格' (Import Mesh).
- 网格文件** (Mesh File): A text field containing '网格文件' (Mesh File) and a browse button (***).
- 项目名称** (Project Name): A text field with the placeholder '请输入项目名称' (Please enter project name) and a character count '0/30'.
- 保存路径** (Save Path): A text field containing 'D:\Users\OriginQ-QCFD\resources\app' and a browse button (***).
- 项目描述 (选填)** (Project Description (Optional)): A large text area with the placeholder '请输入描述' (Please enter description) and a character count '0/300'.
- 取消** (Cancel) and **确定** (OK) buttons at the bottom right.

图 3-44 新建项目对话框

2. 物理模型

表 3-23 物理模型配置

选项	配置	选项	配置																						
时间	时间 瞬态 稳态 重置 确认	介质	介质 液体 气体 <table><tr><th>类型</th><th>理想气体</th></tr><tr><td>自由流压强(Pa)</td><td>840</td></tr><tr><td>自由流温度(K)</td><td>125</td></tr><tr><td>气体常数 ($J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$)</td><td>287.058</td></tr><tr><td>比热比</td><td>1.4</td></tr><tr><td>粘性模型</td><td>萨瑟兰模型</td></tr><tr><td>参考粘性 ($N \cdot s \cdot m^{-2}$)</td><td>0.00001716</td></tr><tr><td>萨瑟兰常数</td><td>114</td></tr><tr><td>参考温度(K)</td><td>273.15</td></tr><tr><td>热传导模型</td><td>常普朗特数模型</td></tr><tr><td>层流普朗特数</td><td>0.72</td></tr></table> 重置 确认	类型	理想气体	自由流压强(Pa)	840	自由流温度(K)	125	气体常数 ($J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$)	287.058	比热比	1.4	粘性模型	萨瑟兰模型	参考粘性 ($N \cdot s \cdot m^{-2}$)	0.00001716	萨瑟兰常数	114	参考温度(K)	273.15	热传导模型	常普朗特数模型	层流普朗特数	0.72
类型	理想气体																								
自由流压强(Pa)	840																								
自由流温度(K)	125																								
气体常数 ($J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$)	287.058																								
比热比	1.4																								
粘性模型	萨瑟兰模型																								
参考粘性 ($N \cdot s \cdot m^{-2}$)	0.00001716																								
萨瑟兰常数	114																								
参考温度(K)	273.15																								
热传导模型	常普朗特数模型																								
层流普朗特数	0.72																								
粘性	粘性 无粘 层流 Splart-Allmaras SST K-W 重置 确认																								
重力	重力 开启 关闭 重置 确认	能量	能量 开启 关闭 重置 确认																						

3. 边界条件

表 3-24 边界条件设置

边界名称	farfield	wall
边界类型		

4. 数值方法

表 3-25 数值方法配置

选项	配置	选项	配置
空间 梯度		预处理器	
对流 项		量子线性 求解器	

5. 控制参数

表 3-26 控制参数设置

参数	CFL 数	松弛因子	收敛误差	最大计算步数
配置	10	0.5	0.001	2000

6. 监测报告

点击新建监测报告按钮，创建名为 Avg_Temp_Wall 的监测报告，选择报告类型为温度，选择 wall 为监测对象，此监测报告可以用于定量分析壁面的平均温度随迭代步的变化关系。

7. 执行计算

点击菜单栏“计算”中的“开始计算”按钮进行计算，计算后端默认选择本地虚拟机，虚拟机集群需手动更改设置，量子计算机将在后续的版本陆续支持。

8. 计算结果

本示例将在计算结果中创建曲线图、温度标量图和温度等值线图，以分析弹体表面和附近温度的变化。将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择绘图类型为曲线图，数据类型为温度，选中监测报告中创建的名为 Avg_Temp_Wall 的监测报告为数据源，创建表示边界 wall 的平均温度随迭代步变化的曲线图。

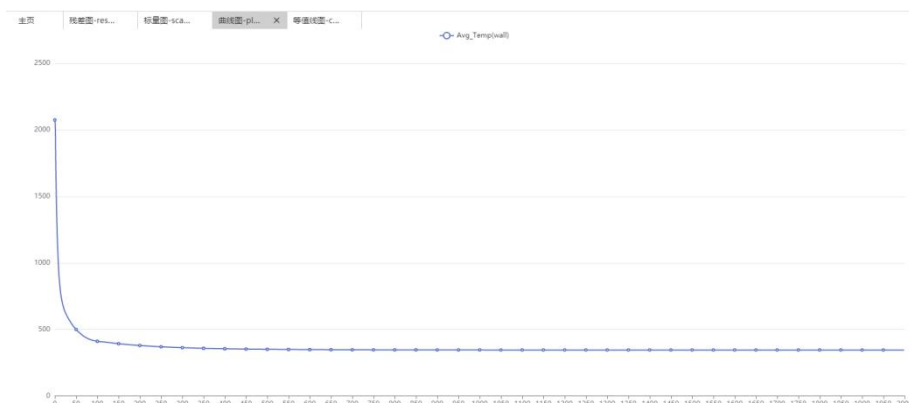


图 3-45 missile 表面平均温度曲线图

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择绘图类型为标量图，点击确认按钮，待标量图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的标量图，即可在视图窗口打开标量图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的对话框中，选择物理量为 Temperature，着色范围为 200-1700。



图 3-46 标量图新建窗口

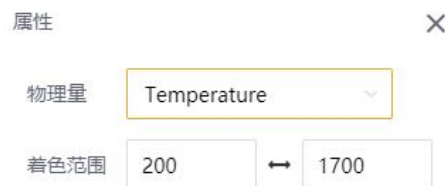


图 3-47 标量图属性对话框

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择绘图类型为等值线图，物理量选择 Temperature，范围为 200-1700，采样数为 50，点击确认按钮，待等值线图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的等值线图，即可在视图窗口打开等值线图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的对话框中，选择物理量为 Temperature，着色范围为 200-1700。



图 3-48 等值线图创建窗口

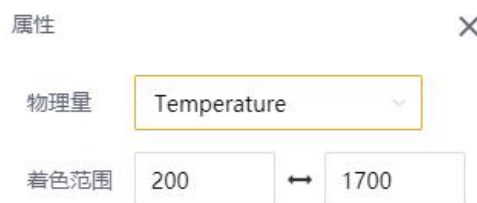


图 3-49 等值线图属性对话框

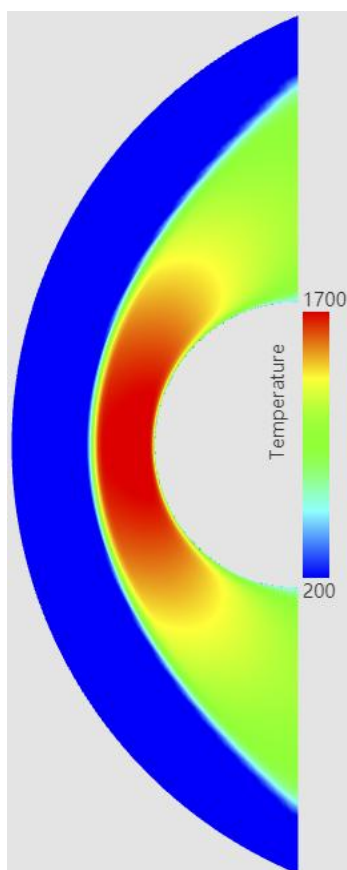


图 3-50 温度标量云图

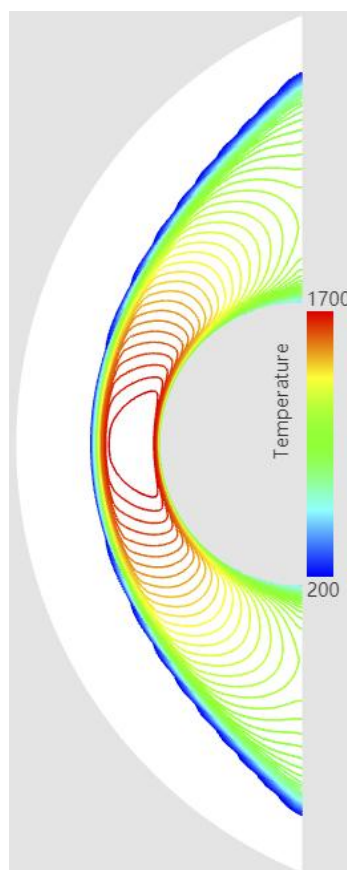


图 3-51 温度等值线图

三维

1. 导入网格

点击菜单栏“文件”中的新建项目按钮，打开创建项目弹窗，选择首选项为导入网格，从安装路径下的 mesh 文件夹中选择名为 hypersonic_3D.su2 的网格文件，设置项目名称和保存路径，点击确认按钮完成项目创建。

创建项目

×

首选项

导入网格

▼

网格文件

网格文件

项目名称

请输入项目名称

0/30

保存路径

D:\Users\OriginQ-QCFD\resources\app

项目描述
(选填)

请输入描述

0/300

取消

确定

图 3-52 新建项目对话框

2. 物理模型

表 3-27 物理模型配置

选项	配置	选项	配置																						
时间	时间 瞬态 稳态 重置 确认	介质	介质 液体 气体 <table><tr><th>类型</th><th>理想气体</th></tr><tr><td>自由流压强(Pa)</td><td>840</td></tr><tr><td>自由流温度(K)</td><td>125</td></tr><tr><td>气体常数 (J·K⁻¹·mol⁻¹)</td><td>287.058</td></tr><tr><td>比热比</td><td>1.4</td></tr><tr><td>粘性模型</td><td>萨瑟兰模型</td></tr><tr><td>参考粘性 (N·s·m⁻²)</td><td>0.00001716</td></tr><tr><td>萨瑟兰常数</td><td>114</td></tr><tr><td>参考温度(K)</td><td>273.15</td></tr><tr><td>热传导模型</td><td>常普朗特数模型</td></tr><tr><td>层流普朗特数</td><td>0.72</td></tr></table> 重置 确认	类型	理想气体	自由流压强(Pa)	840	自由流温度(K)	125	气体常数 (J·K ⁻¹ ·mol ⁻¹)	287.058	比热比	1.4	粘性模型	萨瑟兰模型	参考粘性 (N·s·m ⁻²)	0.00001716	萨瑟兰常数	114	参考温度(K)	273.15	热传导模型	常普朗特数模型	层流普朗特数	0.72
类型	理想气体																								
自由流压强(Pa)	840																								
自由流温度(K)	125																								
气体常数 (J·K ⁻¹ ·mol ⁻¹)	287.058																								
比热比	1.4																								
粘性模型	萨瑟兰模型																								
参考粘性 (N·s·m ⁻²)	0.00001716																								
萨瑟兰常数	114																								
参考温度(K)	273.15																								
热传导模型	常普朗特数模型																								
层流普朗特数	0.72																								
粘性	粘性 无粘 层流 Splart-Allmaras SST K-W 重置 确认																								
重力	重力 开启 关闭 重置 确认	能量	能量 开启 关闭 重置 确认																						

3. 边界条件

表 3-28 边界条件设置

边界名称	farfield	wall	symmetry
边界类型			

4. 数值方法

表 3-29 数值方法配置

选项	配置	选项	配置
空间 梯度		预处理器	
对流 项		量子线性 求解器	

5. 控制参数

表 3-30 控制参数设置

参数	CFL 数	松弛因子	收敛误差	最大计算步数
配置	10	0.5	0.001	2000

6. 监测报告

点击新建监测报告按钮，创建名为 Avg_Temp_Wall 的监测报告，选择报告

类型为温度，选择 wall 为监测对象，此监测报告可以用于定量分析壁面的平均温度随迭代步的变化关系；点击新建监测报告按钮，创建名为 surface 的监测报告，选择报告类型为面数据，选择 symmetry 为监测对象，此监测报告可以用于分析对称面的温度变化趋势。

7. 执行计算

点击菜单栏“计算”中的“开始计算”按钮进行计算，计算后端默认选择本地虚拟机，虚拟机集群需手动更改设置，量子计算机将在后续的版本陆续支持。

8. 计算结果

本示例将在计算结果中创建曲线图、温度标量图和温度等值线图，以分析弹体表面和附近温度的变化。将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择绘图类型为曲线图，数据类型为温度，选中监测报告中创建的名 Avg_Temp_Wall 的监测报告为数据源，创建表示边界 wall 的平均温度随迭代步变化的曲线图。

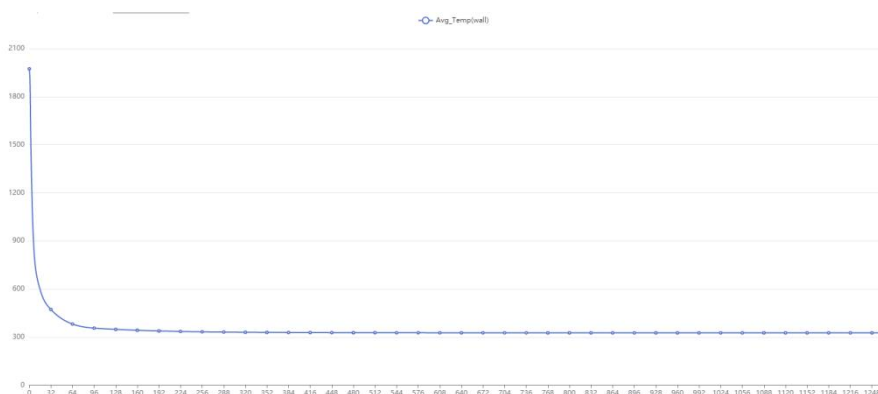


图 3-53 missile 表面平均温度曲线图

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择数据来源为场，选择绘图类型为标量图，点击确认按钮，待标量图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的标量图，即可在视图窗口打开标量图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的对话框中，选择物理量为 Temperature，着色范围为 200-1700。



图 3-54 标量图新建窗口

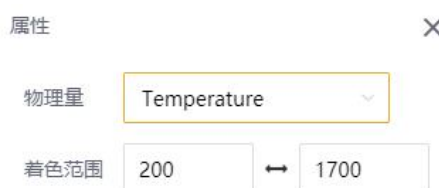


图 3-55 标量图属性对话框

将鼠标悬浮于计算结果选项，点击计算结果新建按钮 ，选择数据来源为面，选择绘图类型为等值线图，物理量选择 Temperature，范围为 200-1700，采样数为 50，点击确认按钮，待等值线图渲染完成后，在“计算结果”下方单击创建的等值线图，即可在视图窗口打开等值线图场景。在视图窗口左侧的功能按钮区域，单击属性按钮 ，在视图窗口右上角弹出的对话框中，选择物理量为 Temperature，着色范围为 200-1700。



图 3-56 等值线图创建窗口

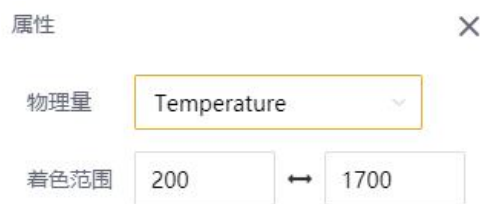


图 3-57 等值线图属性对话框

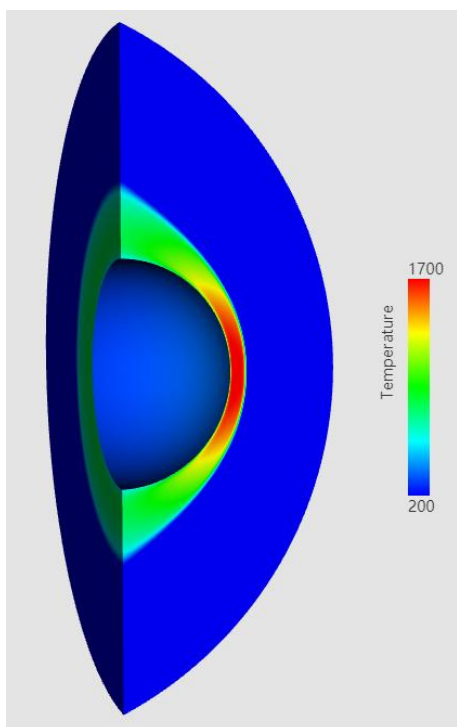


图 3-58 温度标量云图

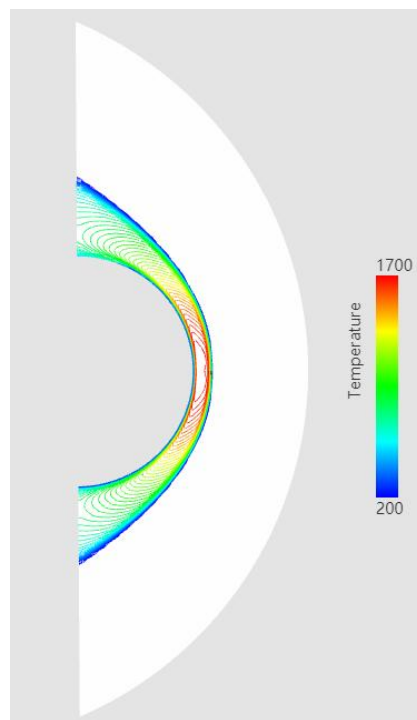


图 3-59 温度等值线图

第 4 章 报错说明

4.1 计算

在日志窗口出现图 4-1 所示的报错信息，表明计算发散。出现此问题的原因可能是网格质量较低、边界条件配置错误、物理模型配置错误、空间梯度和对流项的配置错误，CFL 数和松弛因子较大，建议从上述角度解决查找问题出现的原因。

```
Error in "void __cdecl CSolver::SetResidual_RMS(class CGeometry *,class CConfig *)":
-----
QCFD has diverged. (Residual > 10^20 detected)
----- Error Exit -----
```

图 4-1 计算发散信息

4.2 网格

在日志窗口出现图 4-2 所示的报错信息，表明网格构建失败。出现此问题的原因是几何模型中的圆弧之间进行了布尔运算，此软件将在后续版本中支持上述操作以解决此问题。

```
Error : OpenCASCADE exception BRep_API: command not done
Error : 'D:\Users\OriginQ-QCFD\resources\app\1231\grid.geo', line 7: Could not add curve loop
Error : Unknown OpenCASCADE curve loop with tag 1
Error : 'D:\Users\OriginQ-QCFD\resources\app\1231\grid.geo', line 8: Could not add plane surface
Error : SU2 mesh output valid only for 2D or 3D models (not 1D)
```

图 4-2 构建网格报错信息

4.3 几何构建

点击菜单栏“几何”中的“构建”按钮，此软件会自动进行模型检查，包括自由边、穿透边、非流型节点和临近边的检查，若出现上述错误，将禁止使用网格构建功能。