

业务简介

产品介绍：

以下是钦澜科技团队今年重点研发的低空经济相关功能模块。近期，我们与来自低空航测、无人机运营、城市空管、航空应急等领域的几十家企业客户进行了多轮线上技术交流，深入了解实际业务场景中的需求痛点与技术瓶颈，围绕北斗空域网格、航线规划、CFD 空域仿真、集群协同飞行、低空气象感知等方向进行了功能设计与方案共建。

本文将系统梳理目前已实现的核心模块与关键能力，并结合交流中反馈的典型场景，总结的一些 Web 三维应用场景概述和说明。

本文详细阐述了基于 Cesium 平台的低空经济三维应用合集的八大核心模块。这些模块共同构建起一个面向未来低空经济的三维应用体系，从基础的北斗网格到高级的 CFD 仿真、协同飞行、气象模拟与飞行训练，全面支持低空飞行全流程任务可视化与管理需求。

1. 北斗网格化

北斗网格化系统是低空经济基础支撑的重要组成部分，本模块基于北斗编码规范，实现二维和三维空间网格管理，并以 Cesium 为核心引擎完成全球与局部网格的可视化展示。

1.1 全球与局部北斗网格展示

- 支持全球尺度下的北斗二维/三维编码可视化，通过编码级别的不同展示不同分辨率的空域网格。
- 城市级别支持建筑物轮廓与网格融合，实现对城市区域的网格细分可视化，辅助低空管理与任务部署。

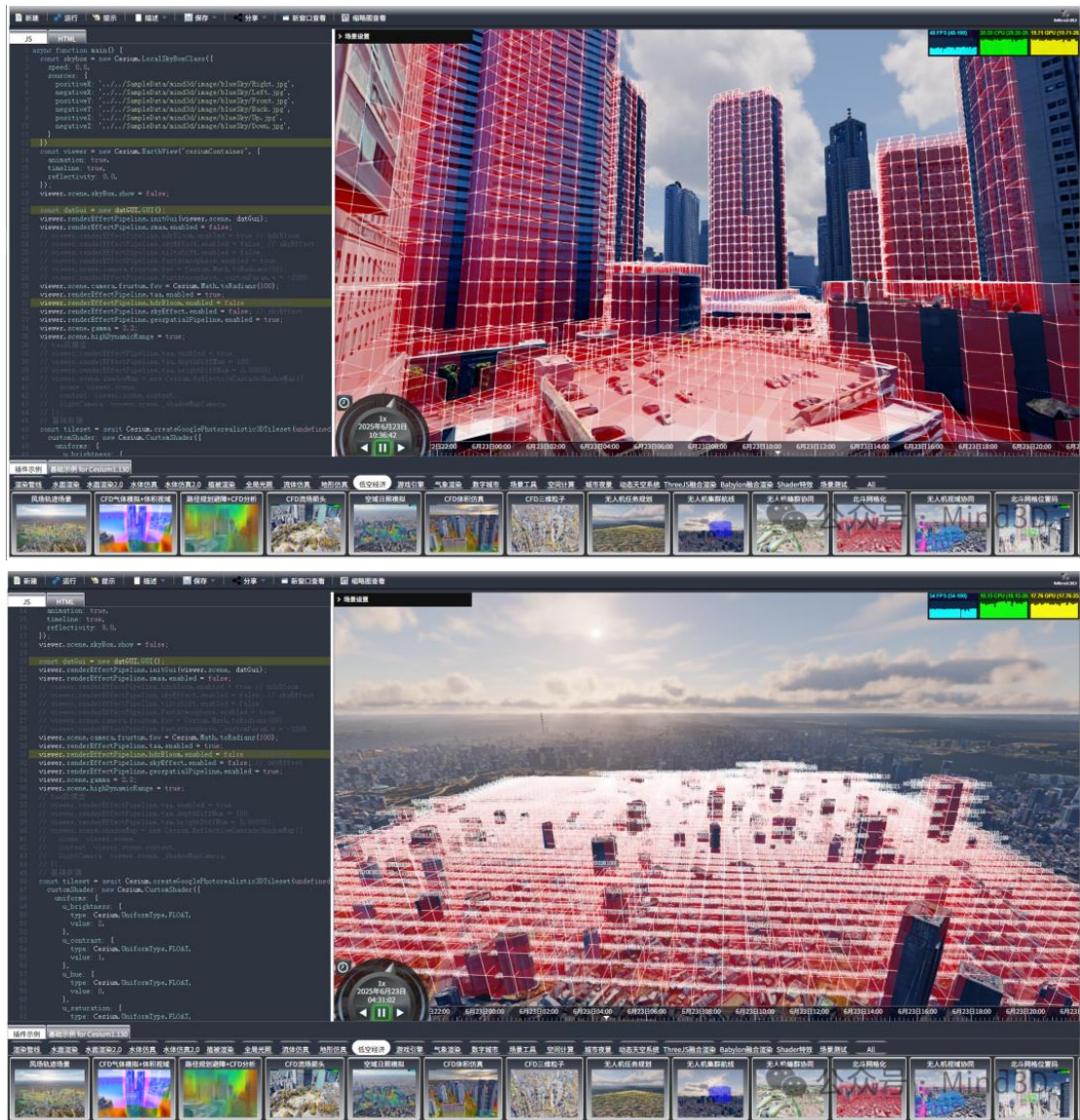
1.2 空域网格化建模

- 实现高度维度的划分，构建低空空域三维立体网格模型。
- 与建筑物实体结合，自动提取建筑物边界生成周边的避障区域网格，支持飞行计划避障分析。

1.3 动态经纬度、路径网格生成

- 通过北斗地理编码（GB/T20254 等）规范，支持实时生成动态路径网格编码。
- 构建 API 接口，可用于接入任意 wgs84 坐标或轨迹数据，实时生成路径对应的不同级别北斗网格区域。
- 支持多种图层（2D 平面、3D 立体、半透明体积等）形式的北斗网格图层可调用。

全球北斗网格



2.低空航线规划

航线规划是保障低空飞行安全、高效的核心技术模块，系统集成智能路径规划、航道避障检测与网格路径渲染能力。

2.1 集群智能航线规划

- 支持多无人机目标路径的自动规划，根据目标点、禁飞区、障碍物等因素动态避障。
- 提供两类主流航线生成算法：

2.1.1 基于 A* + 贝塞尔曲线的柔性路径规划算法：结合传统寻路与曲线插值，使路径更自然平滑，适用于城市穿行、路径连续性强的场景；

2.1.2 基于北斗网格编码的路径规划方案：通过高效的网格邻接查找算法，根据精度快速构建规则化路径，适用于大规模区域网格内调度任务。

- 实现三维航道交叉碰撞检测机制，判断多条航线是否存在空间和时间上的冲突，可视化交叉点风险热区。
- 路径规划模块支持实时更新，结合飞行状态变化自动调整路径，保障飞行任务动态最优。

2.2 航线北斗网格化

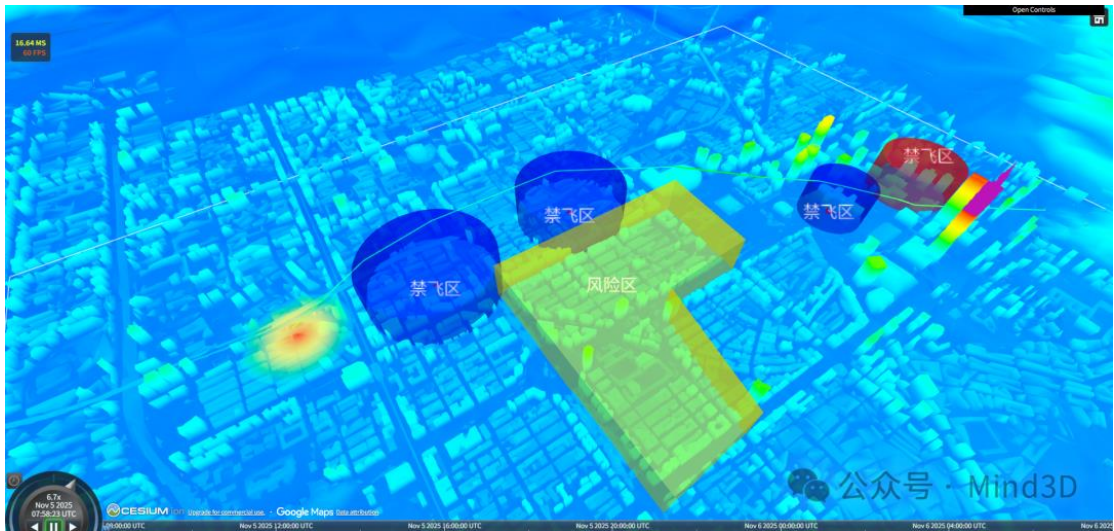
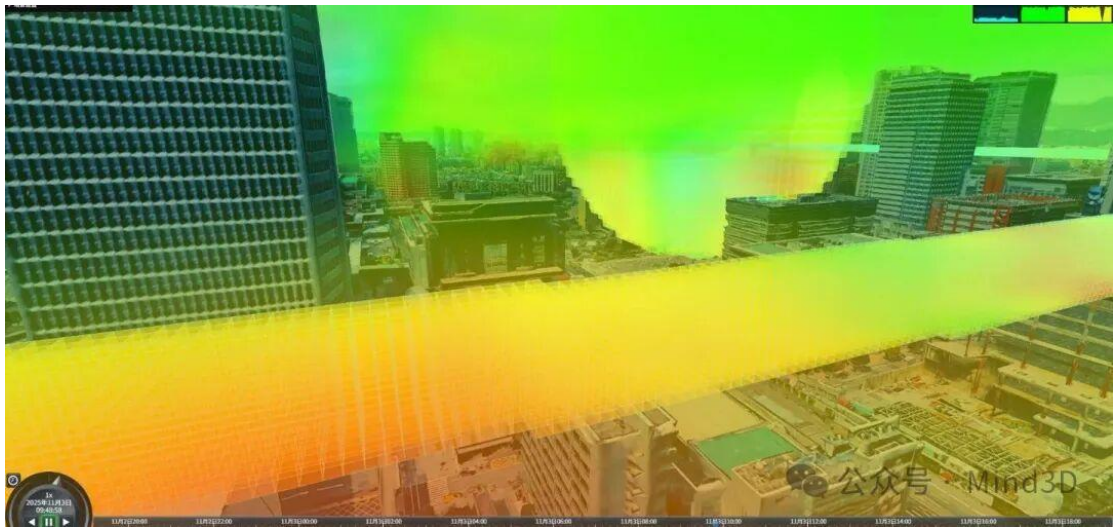
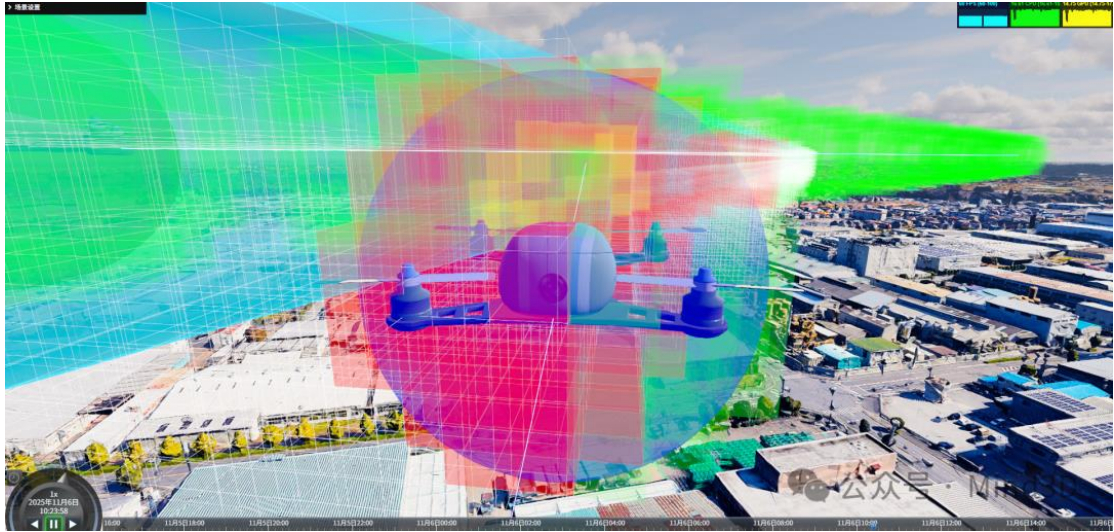
- 所有航线规划均可投影至北斗三维网格中，自动转换为对应网格编码路径。
- 北斗路径支持实时渲染，路径段采用颜色区分风险等级或飞行状态（如上升、巡航、下降等）。
- 网格路径格式标准化，便于管控平台统一调度管理。

2.3 建筑网格融合规划

- 航线规划过程中自动提取城市建筑边界与高度信息，结合飞行器参数（高度、转弯半径）进行避障判断。
- 支持低空固定航道规划，输出可复用的标准航线格式。
- 提供飞行仿真实接口，可在航线规划后直接进行路径复现与测试。

集群智能航线规划+禁飞区+航线交叉检测

北斗网格 x 障碍物航线 x 低空气象





3.CFD 空域仿真分析

CFD（计算流体动力学）在低空飞行风险评估、气流预测与航线安全分析中发挥着不可替代作用。

3.1 城市风场流向分析

- 基于建筑物模型与 DEM 数据，在城市区域内构建真实建筑通道模拟。

- 模拟风向穿越街道、建筑间流动过程，显示涡旋、回流区域，为飞行任务制定提供决策依据。

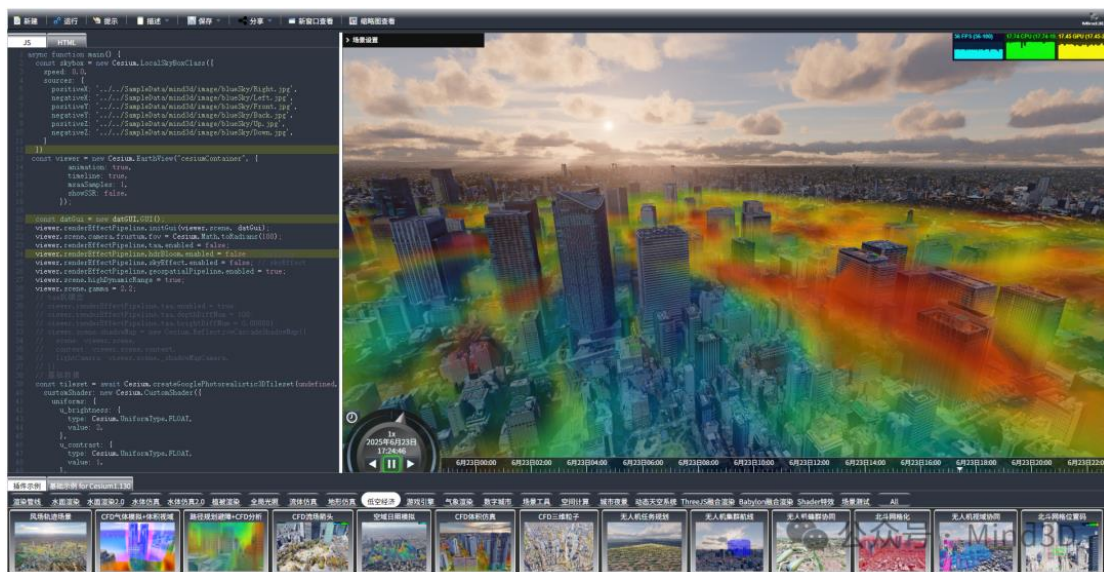
3.2 气流量分析

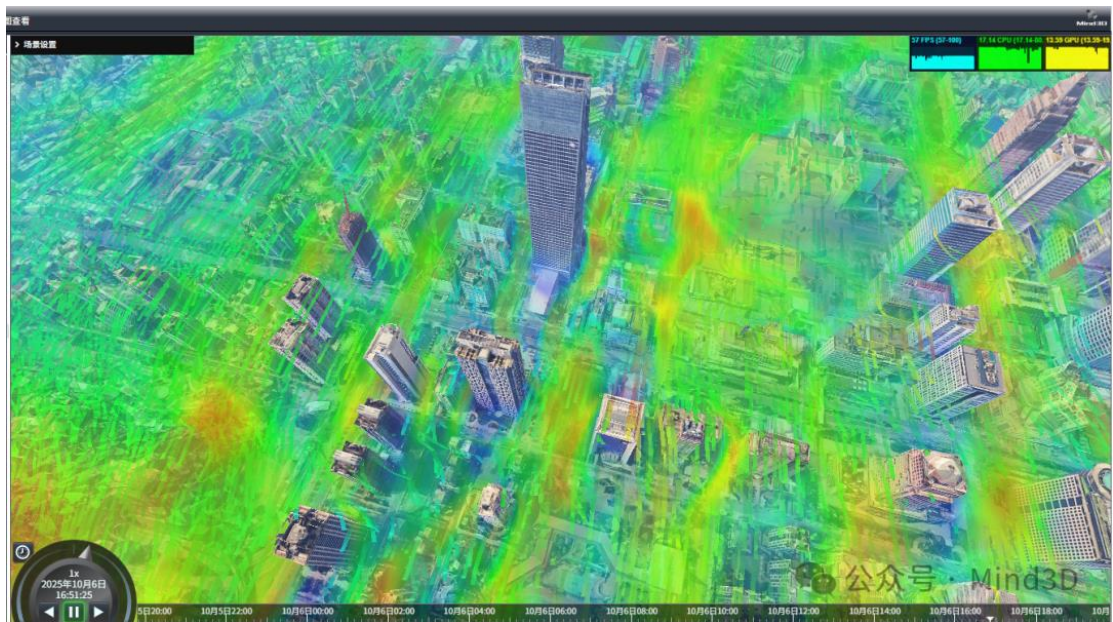
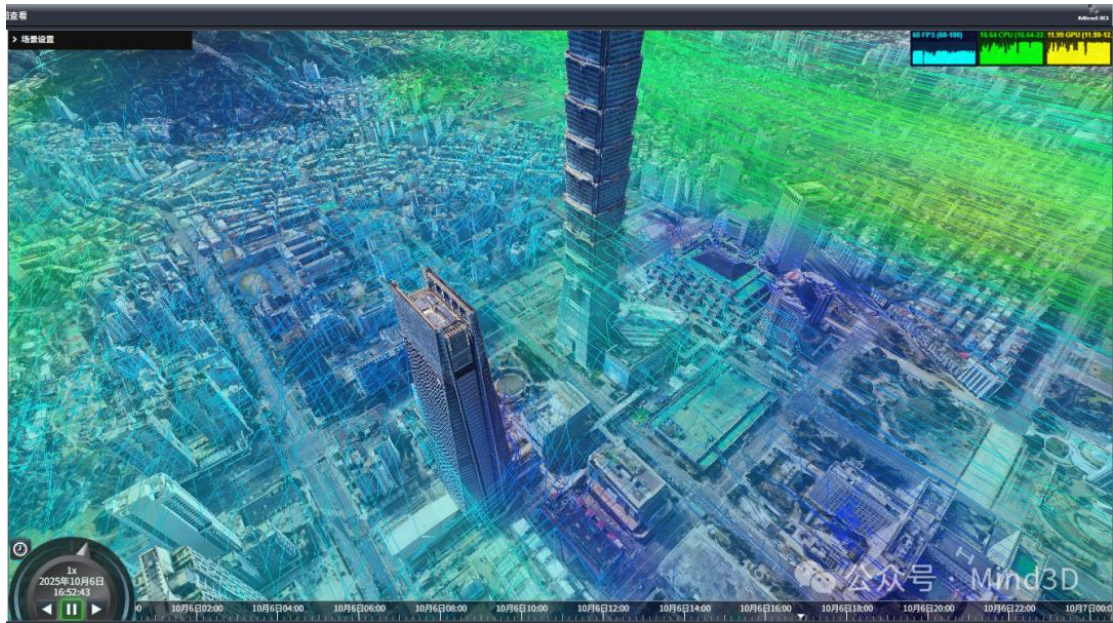
- 基于格子玻尔兹曼方法构建空气体积流动仿真场景。
- 三维风速、密度、流动路径实时可视化，结合 Cesium 渲染系统呈现流向与流速等特征。

3.3 空域 GPU 解算读写

- 实时读取 GPU 解算的 CFD 仿真数值结果，流速流向、密度等。
- 解算结果可输出为时间序列动画，支持数据回放、流场特征标记等功能

CFD 低空气流仿真







4. 无人机集群协同

面对多无人机同时执行复杂任务的需求，本模块提供高性能模拟与协同控制可视化支撑。

4.1 蜂群飞行模拟

- 支持上万架无人机协同模拟。
- 飞行路径自适应避障，避开地形、建筑、其他飞行器。
- 自定义行为规则（如聚合、分离、队形控制）可视化实时更新。

4.2 动作协同与标绘

- 每架无人机支持自定义任务（拍摄、观察、搜救等），飞行中动态标绘路径与状态。
- 多机任务同步支持任务状态共享。

4.3 视域共享与联动

- 支持每架无人机的实时视域分析。
- 多无人机间视域共享，同一区域任务由不同视角共同覆盖。
- 任务视图叠加，识别盲区、重叠区，辅助资源优化。

无人机蜂群模拟





视域协同共享

5.低空气象

低空气象变化直接影响飞行安全，模块重点在于多维气象信息体积渲染与动态分析能力。

5.1 三维风场模拟

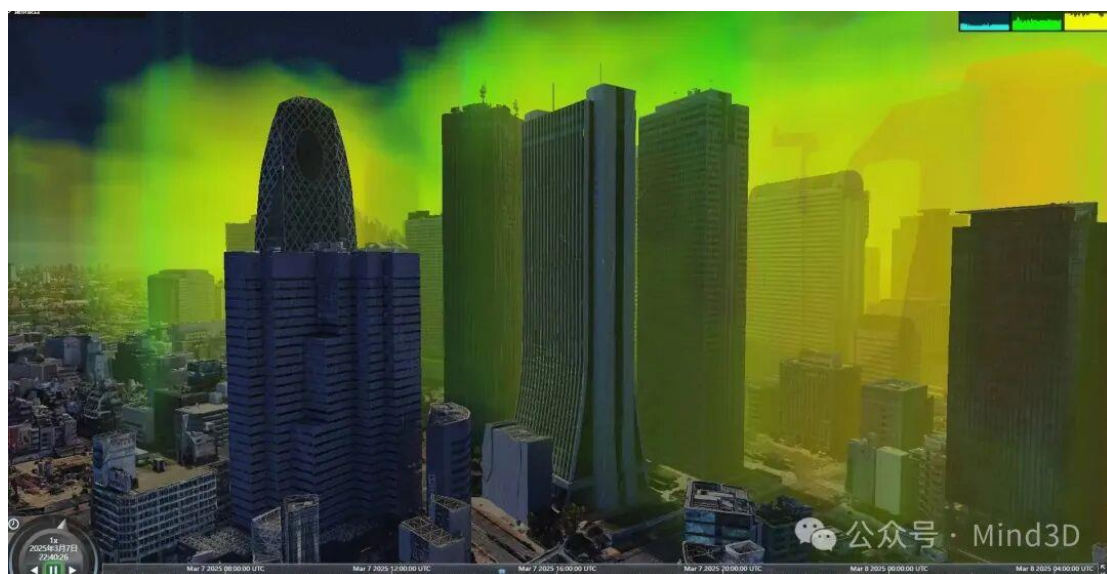
- 结合气象数据接口（如 WRF、ERA5），实时渲染三维风矢量。
- 不同高度风速差异以彩色流线展示。

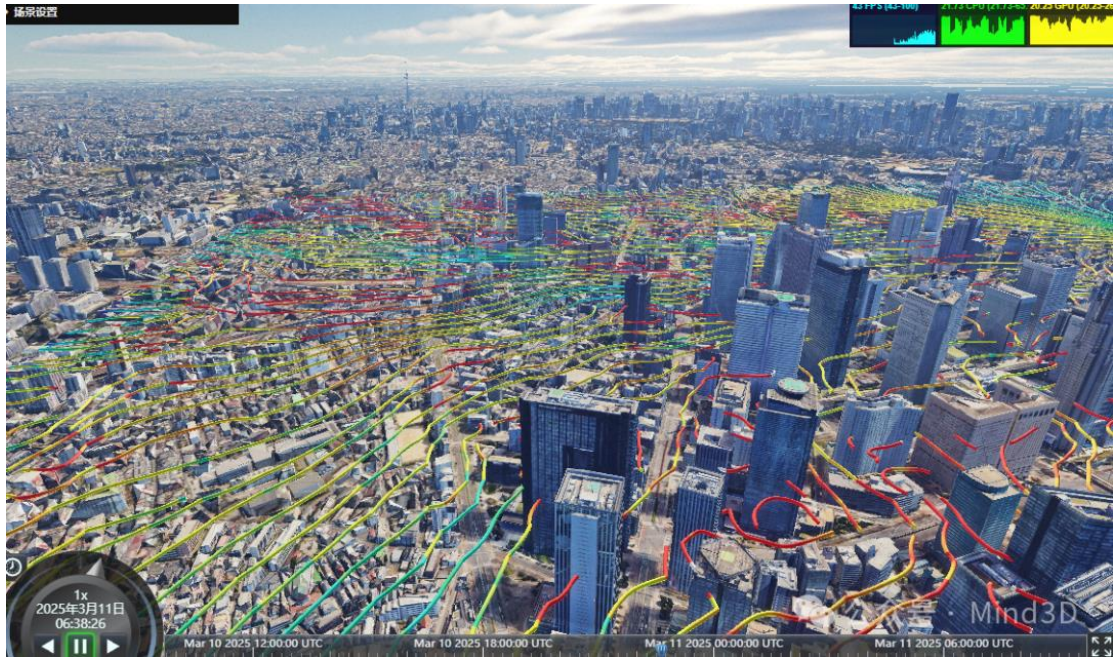
5.2 温度/湿度/气压体积渲染

- 使用体积纹理与 Marching Cubes 渲染大气环境。
- 模拟热对流、冷暖气团边界、湿度变换层。

5.3 天气演变回放与预测

- 时间轴支持任意时间段天气数据回放。
- 数据预测结果以等值面、热力图等多种形式呈现。







6. 体积视域分析

针对无人机飞行环境中的可见性问题，提供精细的体积视域评估方案。

6.1 Raymarching 可见性计算

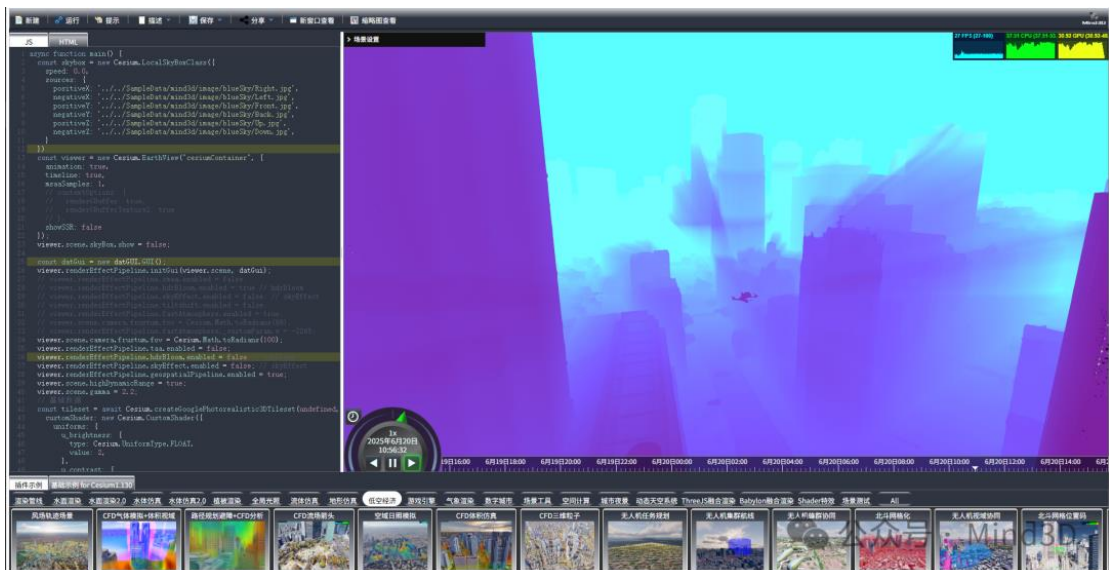
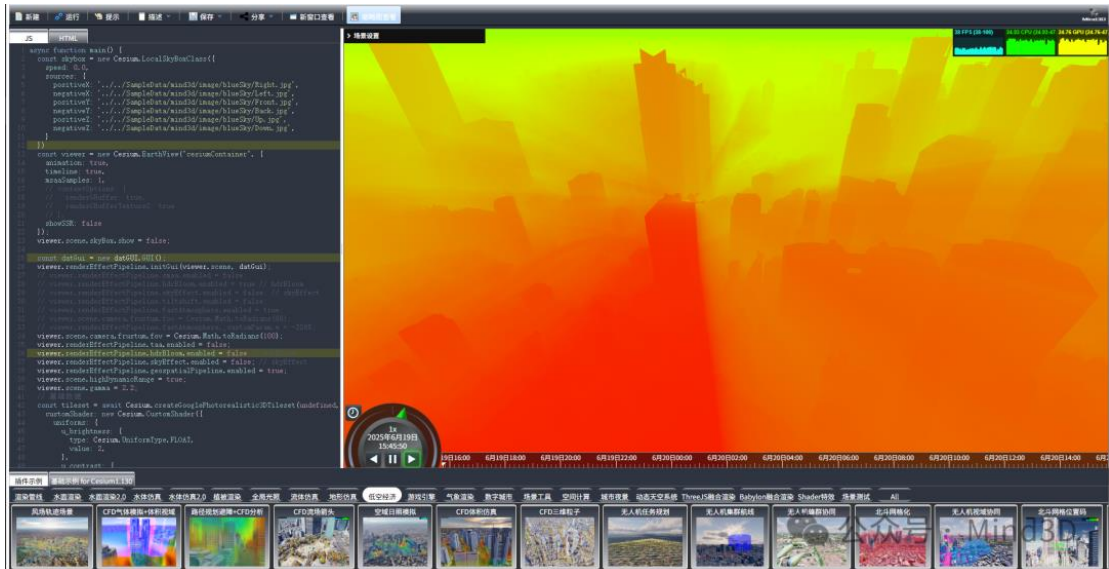
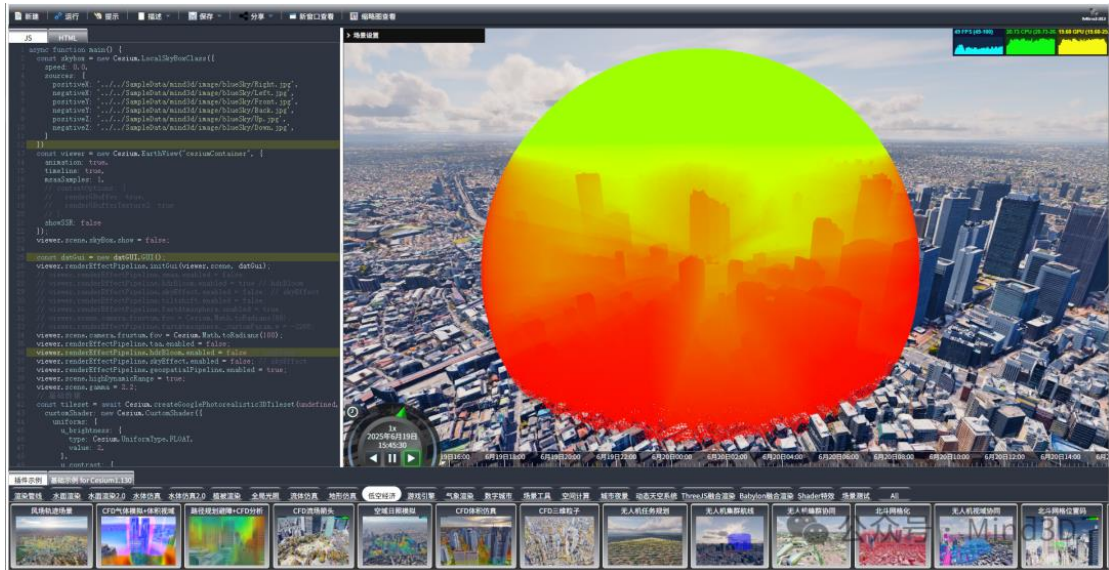
- 基于 Raymarch 算法快速分析无人机视域范围。
- 支持光照遮挡、建筑物、地形遮挡等因素联合分析。

6.2 实时阴影图分析

- 可视区域生成阴影图，表示辐射或观察能力覆盖区域。
- 多架无人机组合分析视域盲区。

6.3 风险辅助评估

- 可见性结果叠加障碍物热力图。
- 风险等级划分用于任务调度优化。





7.空域物理仿真

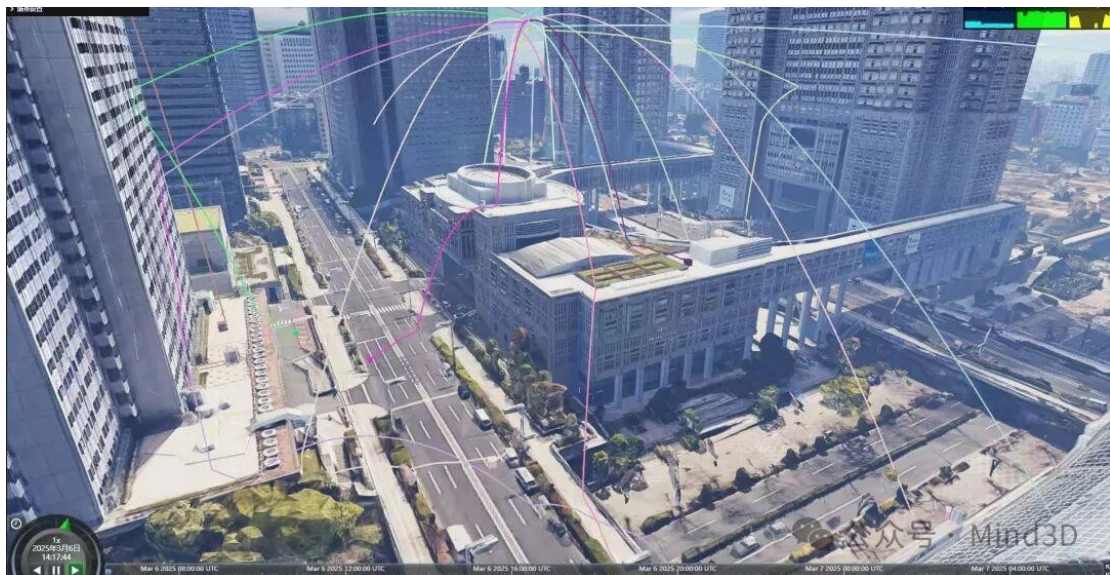
空域物理仿真提供了对复杂飞行场景中物理事件的建模能力，如碰撞、坠物等。

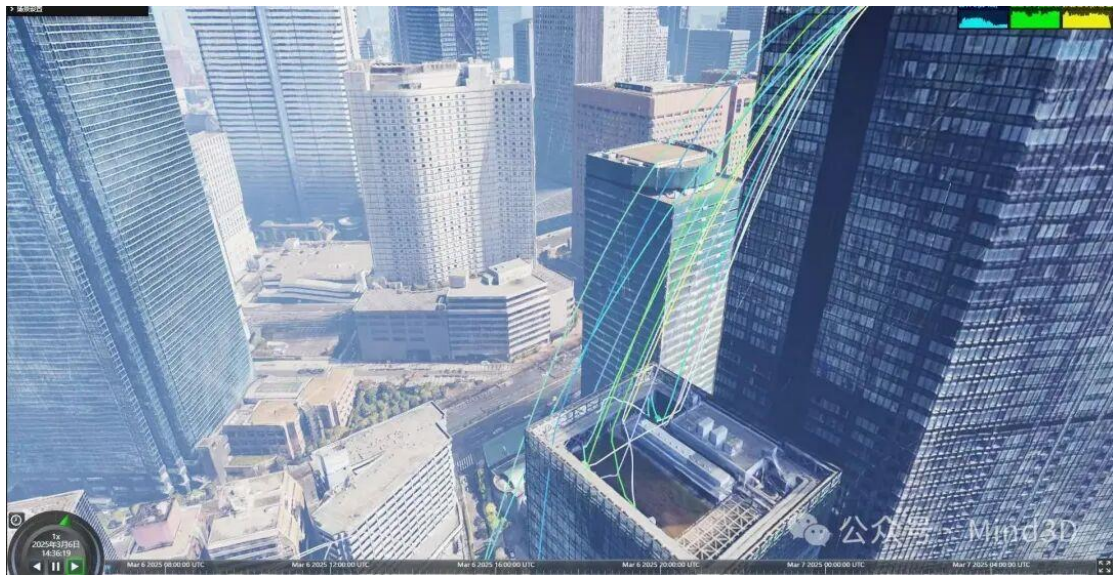
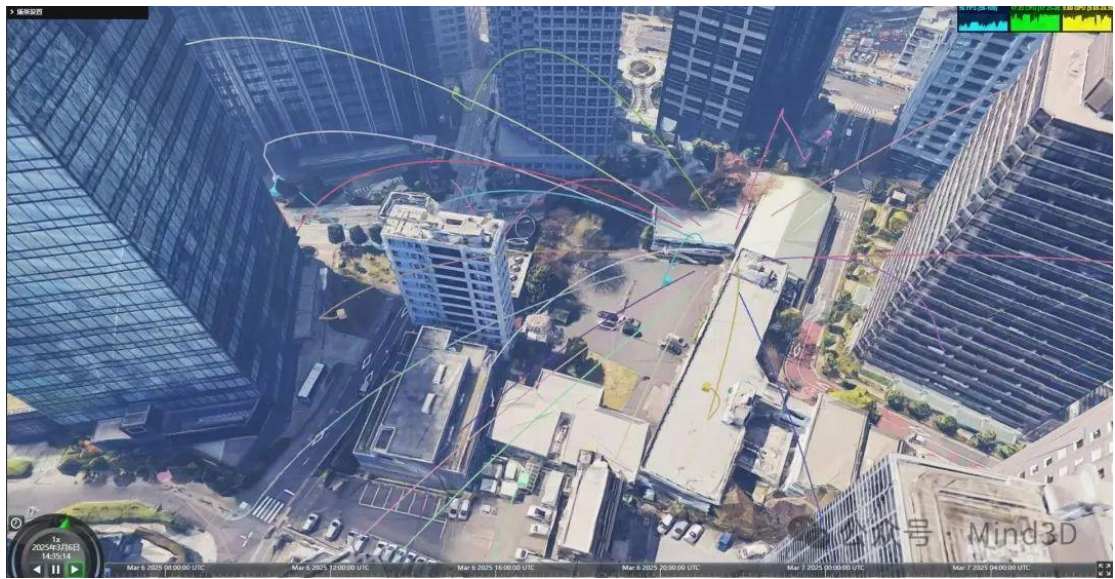
7.1 无人机碰撞与碎片轨迹

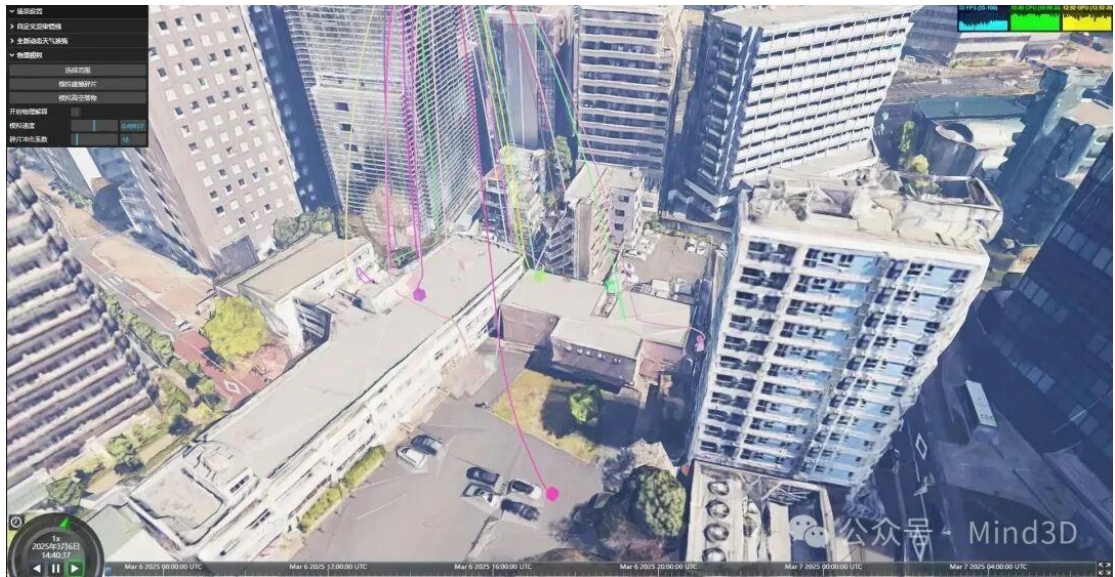
- 模拟碰撞发生后，残骸在空中轨迹分布。
- 与周围环境（如建筑、人群）交互判断受影响区域。

7.2 高空坠物轨迹预测

- 模拟外部高空抛物轨迹（如雷暴、意外等）。
- 基于风速、空气密度和物体形状实时计算落点区域。







8.真实感飞行仿真

用于辅助飞手训练与任务测试，通过气动模型驱动真实物理飞行仿真。

8.1 空气动力学建模

- 支持固定翼、多旋翼、垂直起降等飞行器类型。
- 模拟升力、阻力、俯仰、偏航等物理特性。

8.2 三维座舱多视角模拟

- 提供虚拟驾驶舱界面，与无人机姿态联动。
- 可实时调整飞行参数，观察模型响应。

8.3 跨平台训练支持

- 模拟训练可部署于网页、移动端，支持 WebXR。
- 支持训练任务录制与回放。



