

Mind3D 三维低空行业方案

随着低空经济逐步进入规模化阶段，三维系统的价值正在被重新定义。

Mind3D 团队基于 CesiumJS 构建的低空体系，在 2026 年已经从“可视化工具”转变为：**融合空间表达、环境计算与智能决策的低空底座能力**

围绕三维航图、网格引擎、低空气象、电磁仿真、智能路径、雷达探测与空域仿真等核心模块，一套以真实空间为基础、以多源环境为约束、以动态计算为驱动的低空空间系统正逐步成型。

各模块不再孤立运行，而是在统一的三维空间中实现深度耦合：航图提供空间底板，网格构建组织结构，气象与电磁形成环境约束，路径负责决策输出，雷达与空域仿真则补充感知与推演能力。通过这种一体化协同，系统能够从“数据展示”进一步走向“过程表达”与“实时决策”，逐步具备支撑低空运行与管理的整体能力。

1. 三维航图 2.0：低空世界的空间底板

在低空应用中，所有飞行行为都依赖于一个统一的空间认知基础。三维航图 2.0 的意义，正是在于将“空间本身”从单纯的地理表达，升级为承载多维信息的运行基础。

在实际应用中，航图不仅包含地形与建筑，还融合了气象、电磁、空域规则等数据，使飞行环境具备更完整的语义表达。例如在城市低空物流场景中，一条航线是否可行，不仅取决于是否存在建筑遮挡，还与风场扰动、信号覆盖以及空域限制密切相关。

进一步来看，航图 2.0 在低空行业中的作用已经从“展示界面”转变为“运行基础设施”它不仅承载静态数据，还可以叠加实时信息，例如无人机位置、航线状态、任务区域以及动态管控信息，使整个低空运行过程在同一空间中被统一表达。

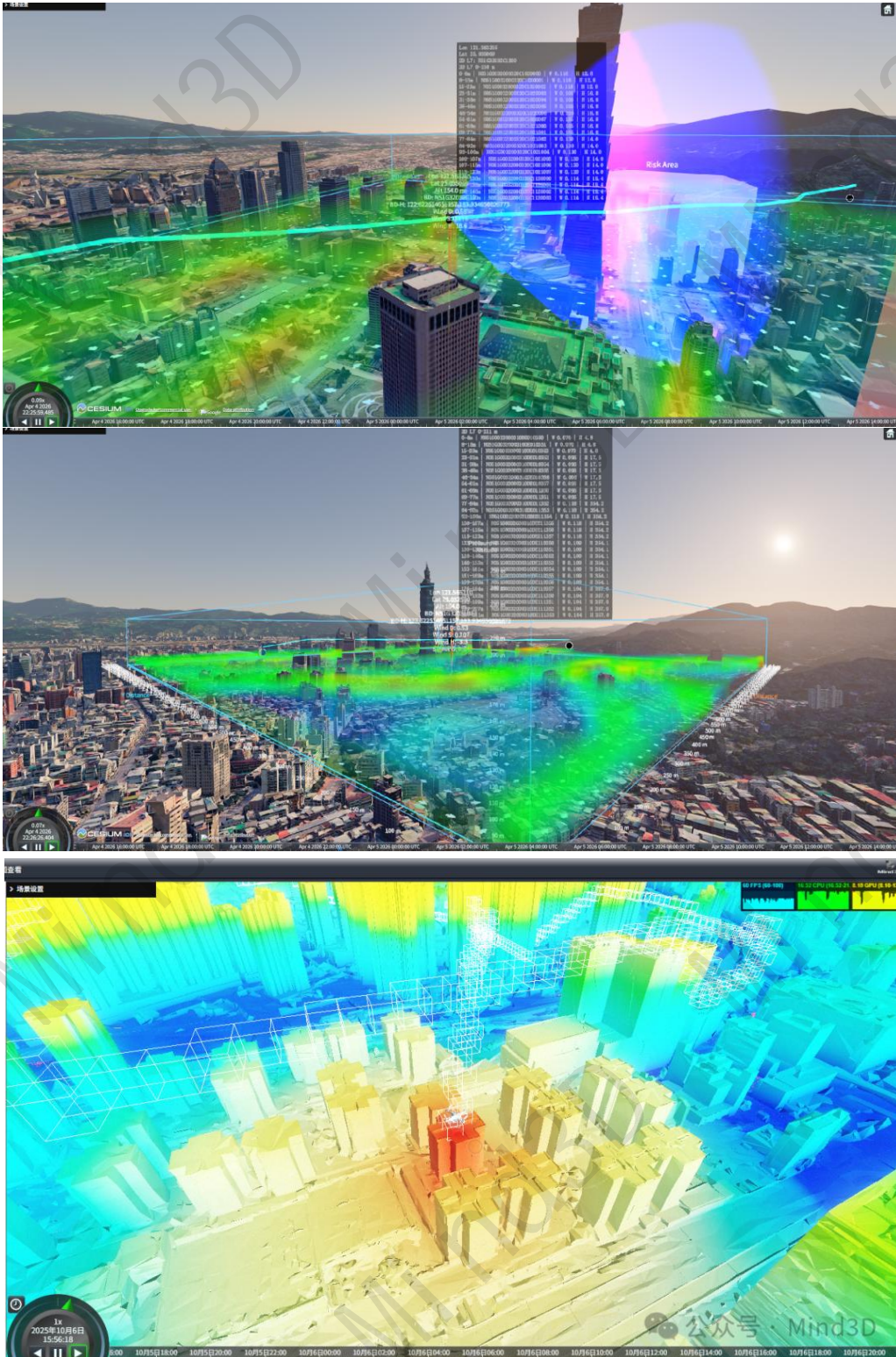
依托 Cesium 的全球地理坐标体系与 3D Tiles 高性能数据调度能力，航图可以同时支撑：

- 城市级建筑空域网格加载
- 区域级环境数据统一叠加
- 动态空域与实时状态更新

同时，在跨区域应用中，Cesium天然的全球尺度能力，使系统可以从城市扩展到区域乃至更大范围，而无需改变整体架构。

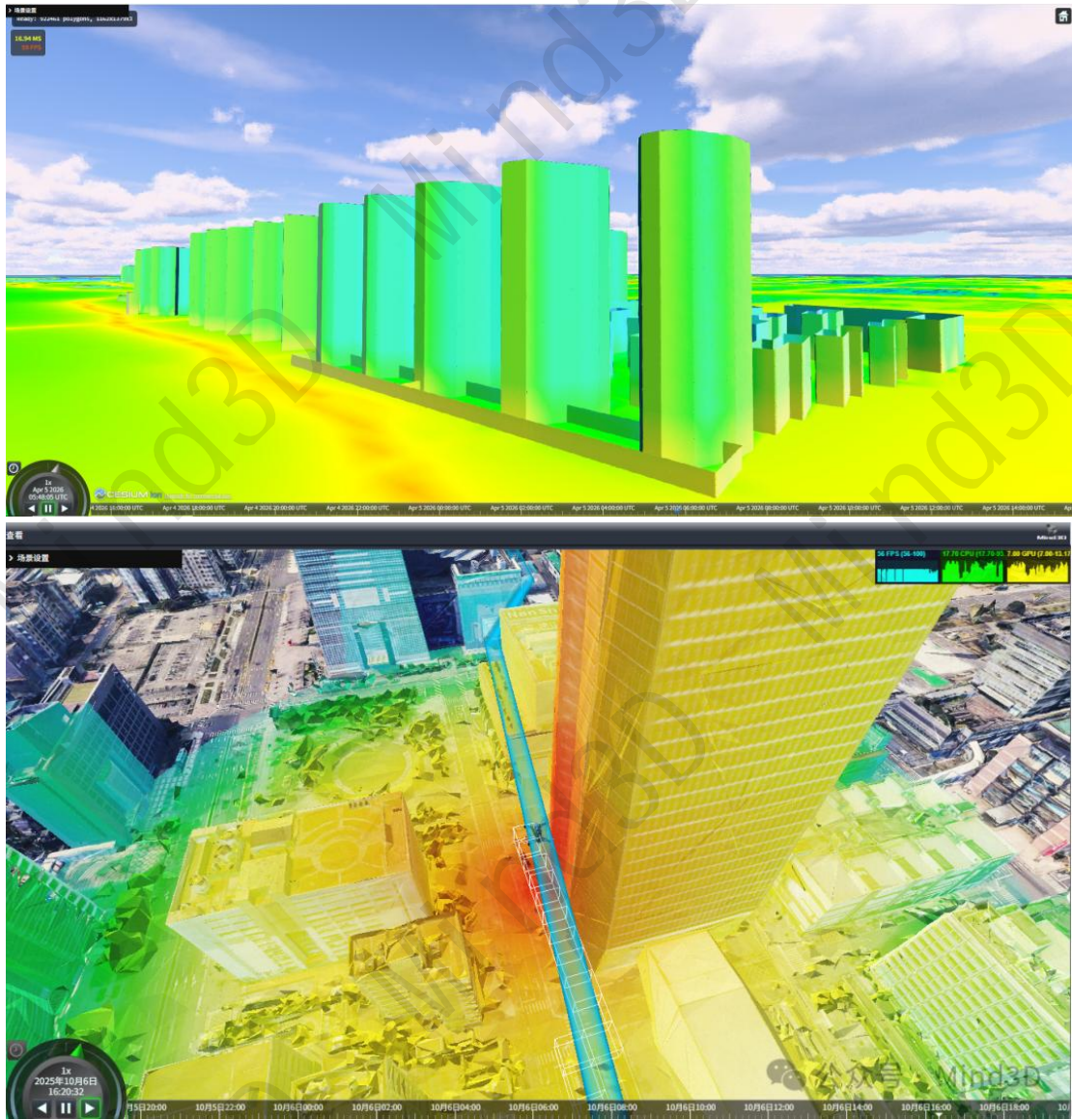
从行业角度来看，三维航图 2.0 解决的是：低空运行中“空间认知统一 + 多源数据融合”的基础问题

应用一：三维智能航线规划与实时碰撞风险感知

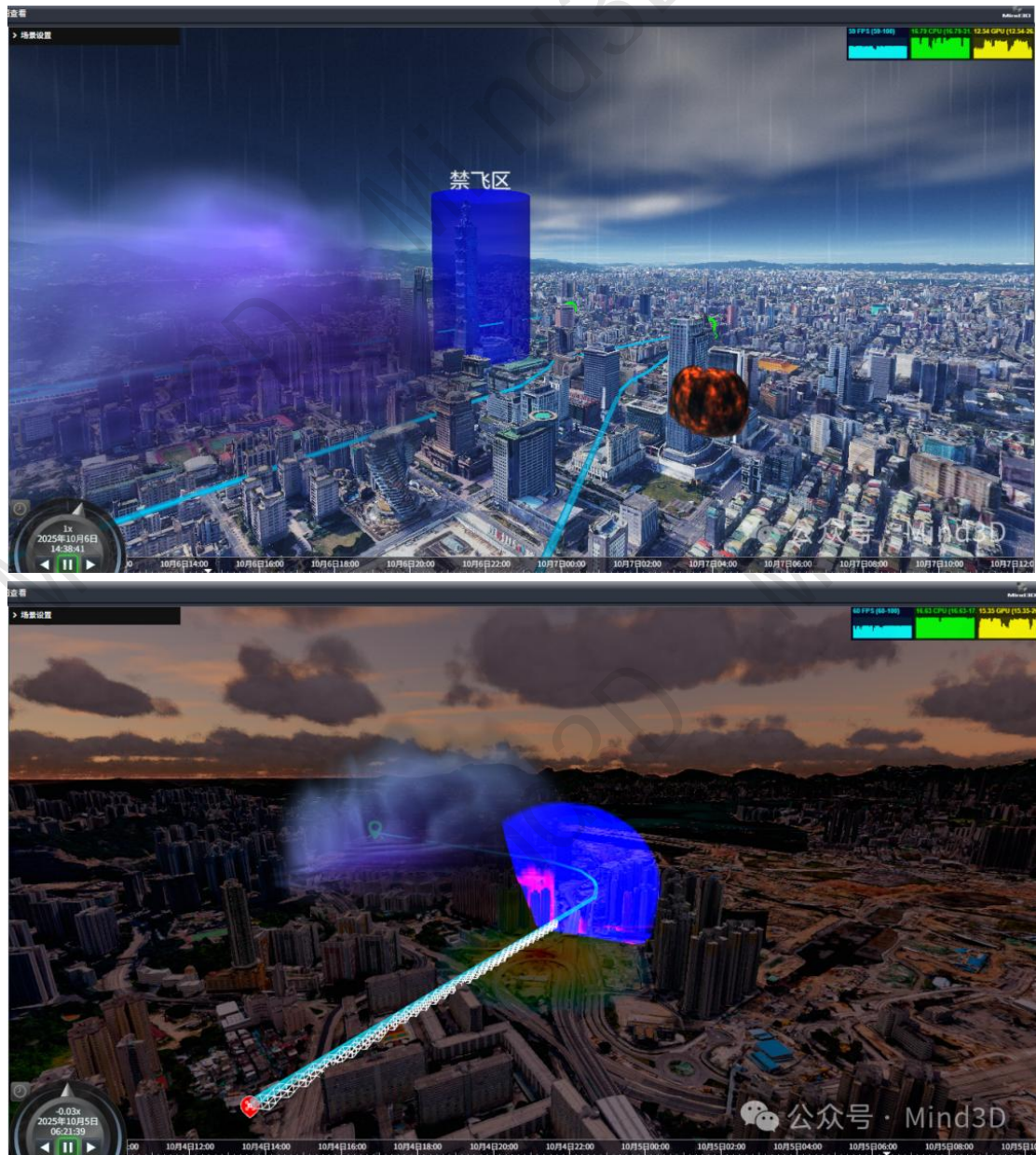


应用

环境噪音



应用三：三维智能航图，实时接入天气仿真，模拟三维场景与实际风险环境



三维航图不再只是地图，而是承载地形、建筑、空域规则以及多源环境数据的统一空间容器。

在低空体系中，它负责建立统一空间认知，为所有飞行行为提供基础参考，并成为环境计算与路径决策的入口。

2. 网格引擎：低空中台的空域基础设施

在低空系统中，空间的管理远比渲染更重要。网格引擎的引入，使原本连续的空间被拆分为可计算、可管理的单元。

在实际业务中，无论是空域划分、航线管理还是环境数据组织，都需要一个统一的空间框架。基于北斗网格与 GeoSOT 体系，可以实现从宏观区域到城市街区的多层次划分，使低空空间具备类似“交通网络”的结构。

在低空行业场景中，这种网格化能力尤为关键。例如：

- 在城市管理中，可以按网格划分空域权限与飞行规则
- 在巡检场景中，可以按网格划分任务范围
- 在应急场景中，可以快速定位事件发生的空间单元

结合 Cesium 的空间定位与三维表达能力，网格不仅是后台数据结构，还可以在场景中直接可视化。例如某一网格单元可以对应具体建筑群或街区范围，从而实现“所见即管理”。

此外，网格还可以承载多种数据：

- 气象信息（风速、风向）
- 电磁环境（信号强度）
- 风险等级（安全评估）

并支持实时更新，使低空空间具备动态变化能力，例如临时禁飞区或动态管控区域。

从更高层面来看，网格引擎的价值在于：将低空空间从“连续几何空间”转变为“可调度、可计算的空间单元体系”

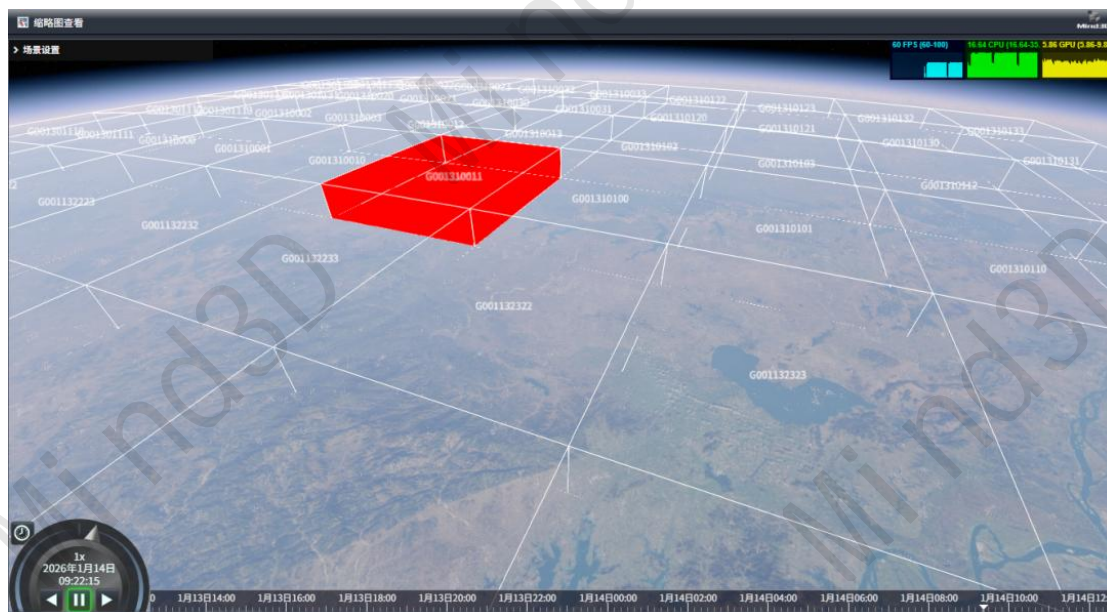
应用一：全球空域网格化与多层次 LOD 加载

通过北斗网格的分级体系，实现全球范围的空域网格化剖分。

在 Cesium 场景中，可根据观察视距和任务需求自动加载不同层级的网格，实现从全球视角到城市局部的连续过渡。

- 全球级：用于低空空域总体展示与区域划分；
- 城市级：用于局部空域精细化建模与可视化；
- 街区级：支持厘米级精度的建筑与航迹空间匹配。

GeoSOT 网格引擎(功能与接口和北斗相同, 网格项目无需任何修改, 拥有 32 级网格)



应用二：空域网格编解码与空间查询

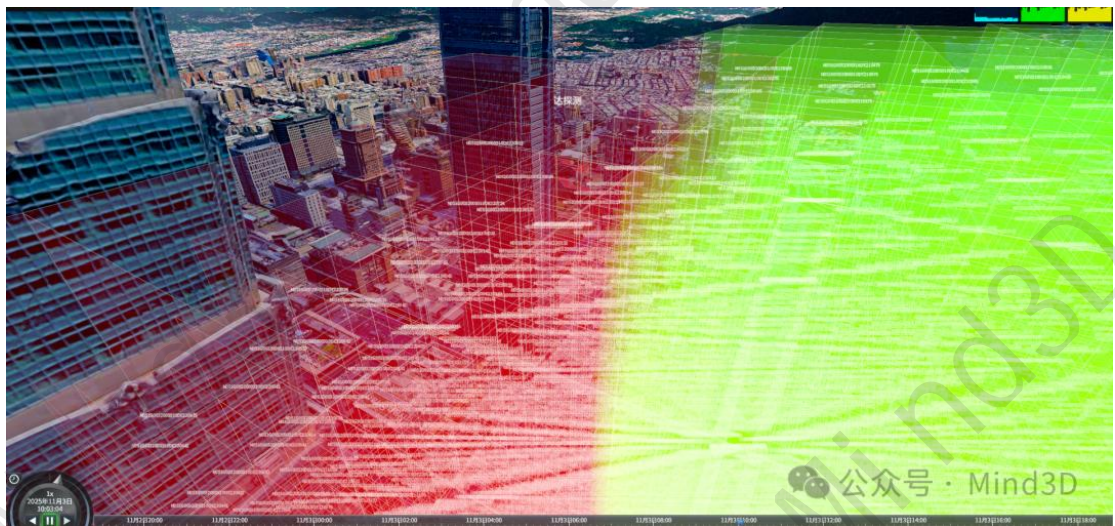
空域网格编码实现了经纬度、地理范围与高度的统一索引。

通过编码规则可完成以下核心操作：

- 经纬度 → 网格码：实现空间定位索引化；

- 网格码 → 地理范围：快速反算地理空间边界；
- 网格层级查询：支持不同精度下的空域聚合与过滤。

这种统一的空间编码体系使得空域查询、统计、检索、碰撞检测等操作不再依赖复杂几何计算，而是通过网格索引直接完成。



应用三：建筑与地形的网格化碰撞检测

低空飞行场景中，建筑与地形是最主要的障碍物。通过对建筑模型和地形数据的空域网格化处理，可以实时计算以下内容：

- 建筑占比：评估指定范围内的建筑密度与遮挡比例；

- 地形分布：计算地形高差对航迹规划的影响；
- 障碍网格划分：生成飞行路径中不可通行的网格集合。

这为低空飞行的可行性评估和安全路径规划提供了精确的空间基础。



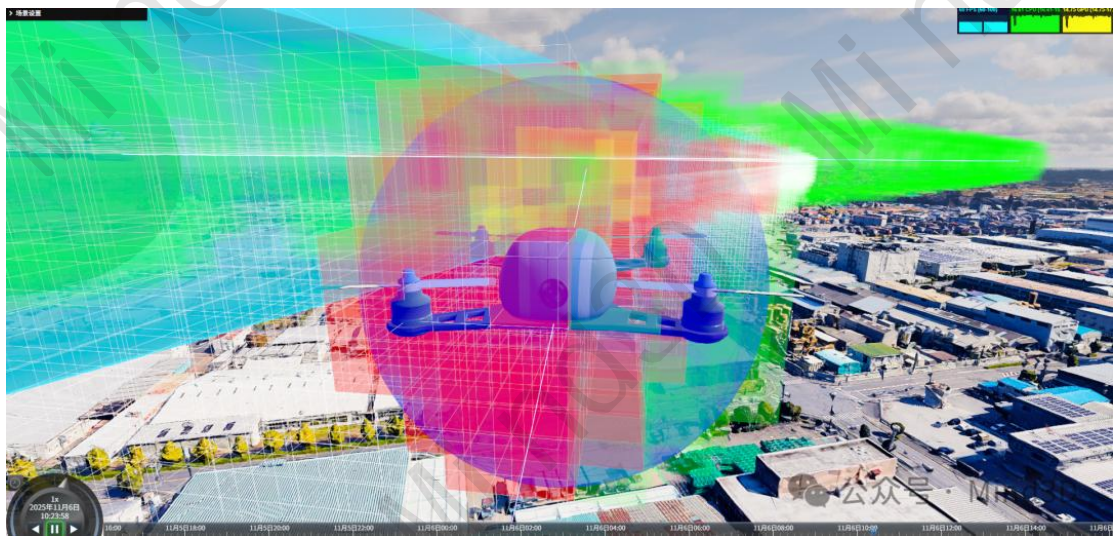
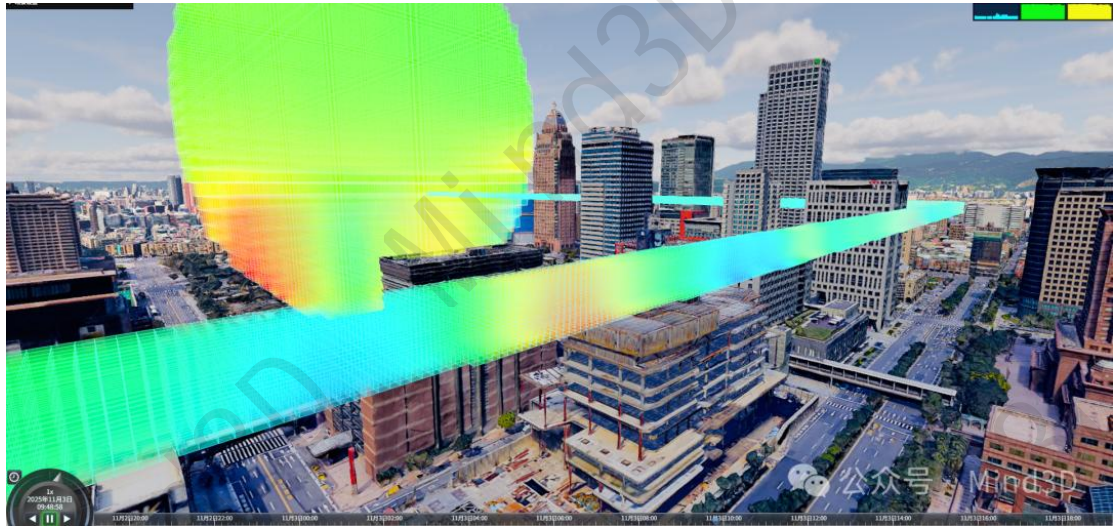
应用四：矢量数据网格化与空间体素化

针对禁飞区、危险区、航线等特有矢量图形，通过体素化将其转化为空域网格单元，实现统一空间表达。

矢量网格化带来了三大优势：

- 计算统一化：所有空间对象都以网格单元参与分析；
- 查询高效化：可直接基于网格索引进行空间关系判断；
- 显示结构化：可视化时支持动态加载、切片与体积渲染。

这种方法使空域中各类空间数据具备相互关联的计算基础，都是基于坐标编解码实现。



应用五：空域侵入检测与预警分析

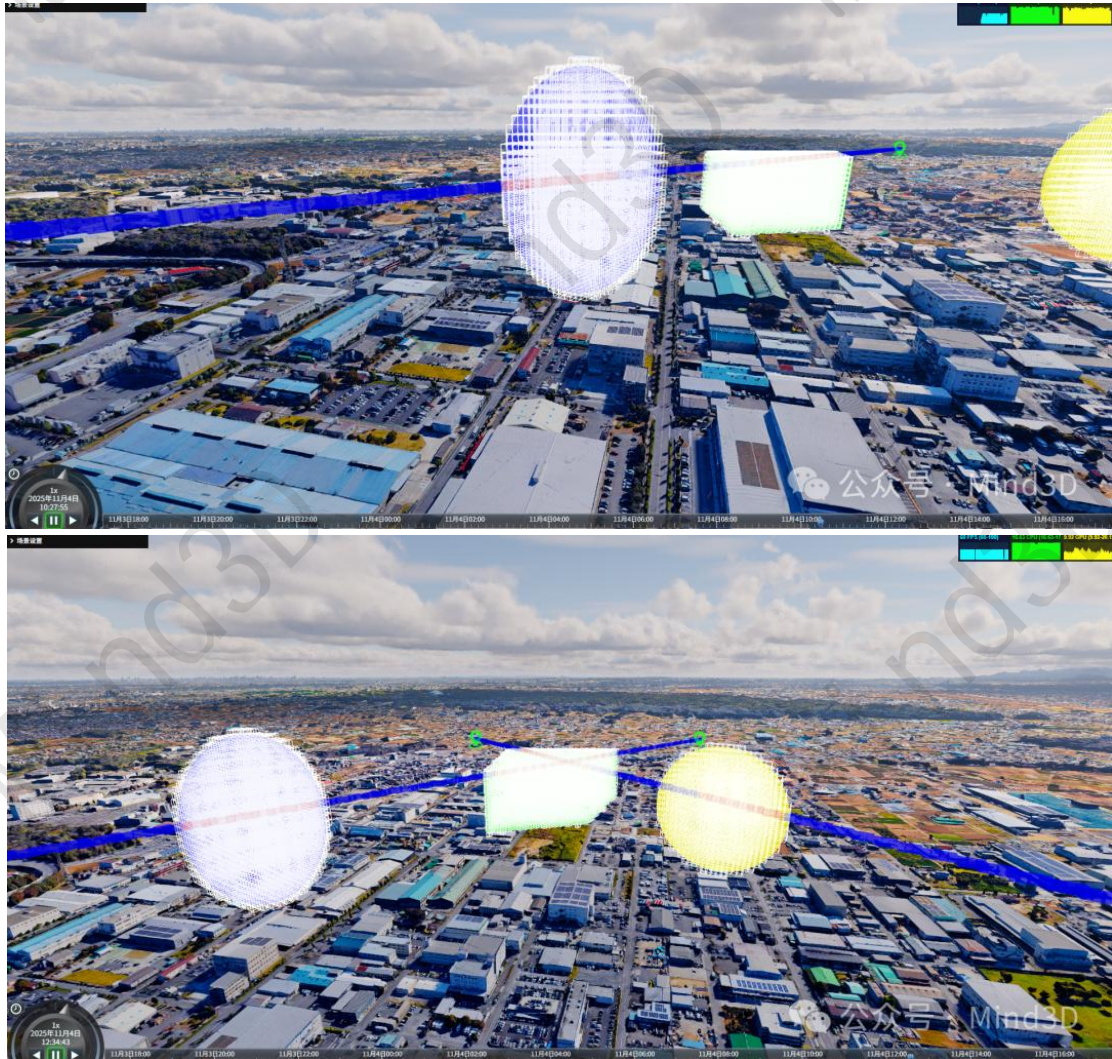
空域侵入检测是基于矢量网格化后的多体积碰撞分析。

系统实时判断多个飞行器、气球、无人机等对象在空域网格中的占比重叠情况，一旦超过设定阈值，即触发预警。

该机制可用于：

- 城市低空航路的实时安全检测；
- 无人机群的防碰撞与协同调度；
- 特殊空域（如演练、禁飞区）的侵入监控。

在可视化层面，侵入区域可实时以颜色或透明度变化进行高亮显示，辅助决策与应急处置。





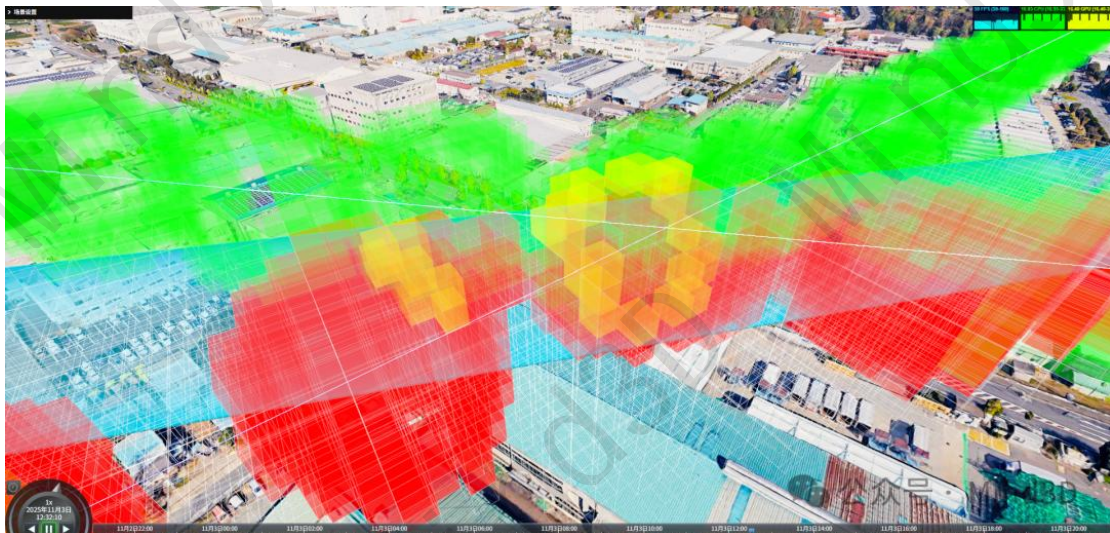
应用六：航道冲突预警与高精度航迹监测

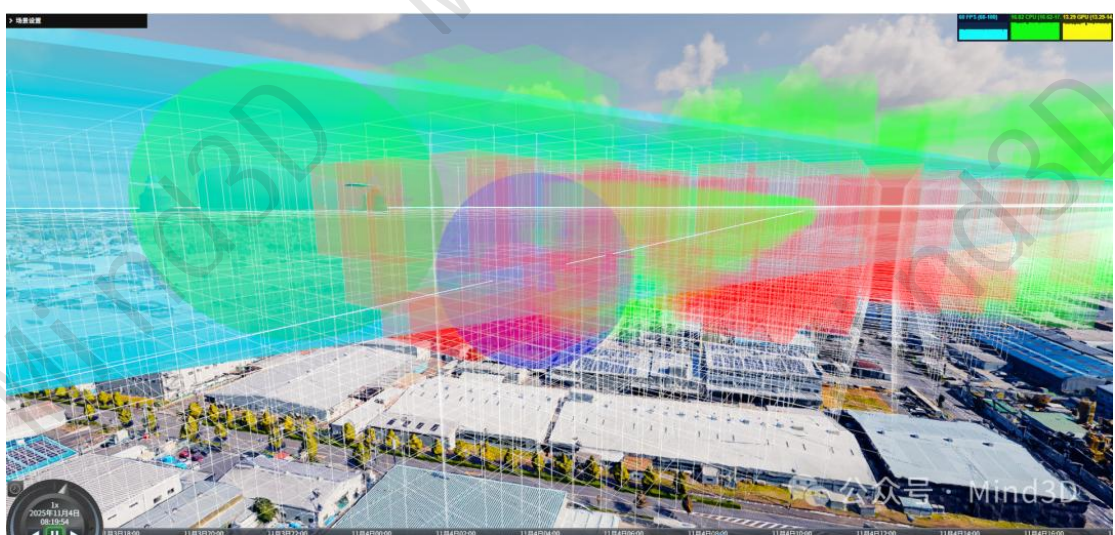
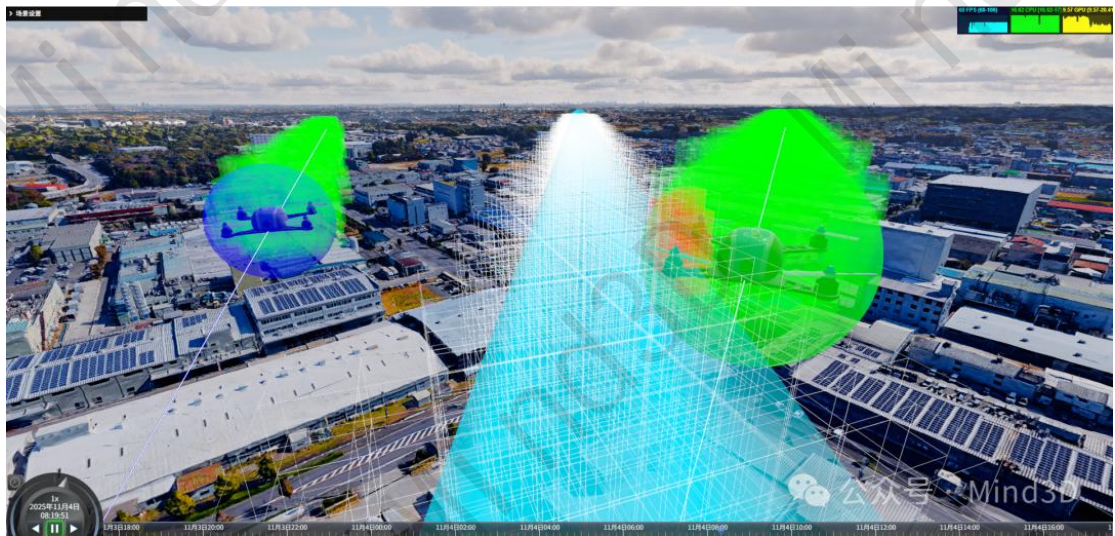
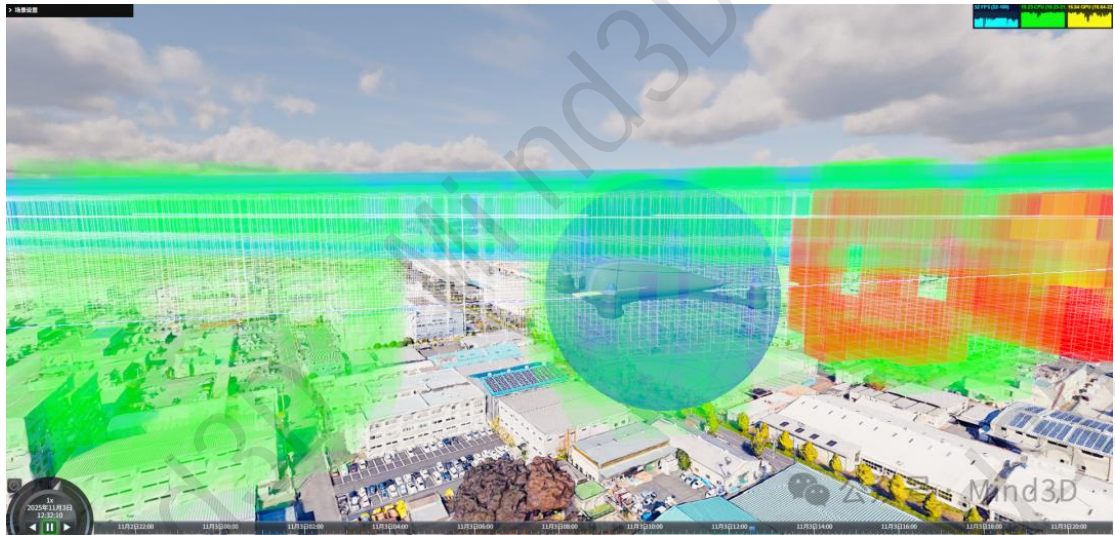
通过厘米级精度的空域网格划分，飞行航道可转化为空域编码路径。

飞行器的实时位置同样以网格码形式记录，系统通过对比当前位置网格码与航道网格序列，实现：

- 航迹偏离检测；
- 航道重叠冲突分析；
- 航迹占比统计与安全评估。

这种基于网格编码的航道预警体系具备高实时性与可扩展性，可支撑未来城市级低空交通系统的动态管理。

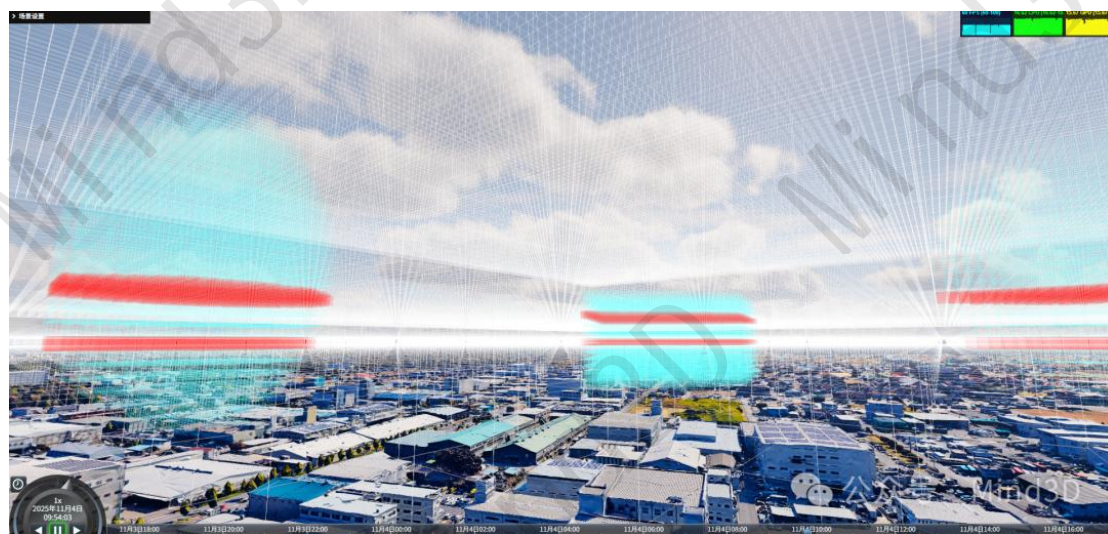
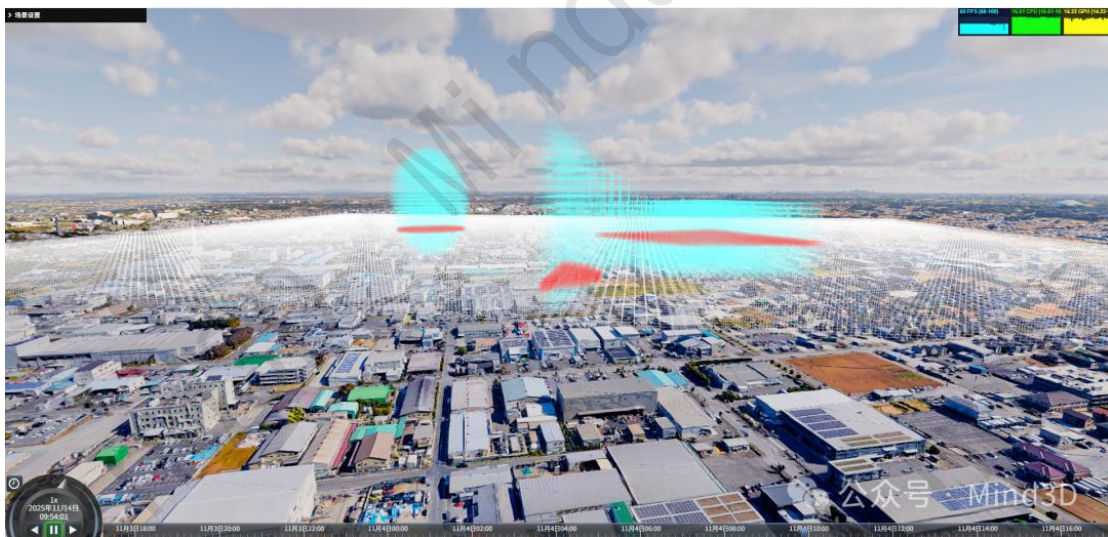




应用七：空域分层展示

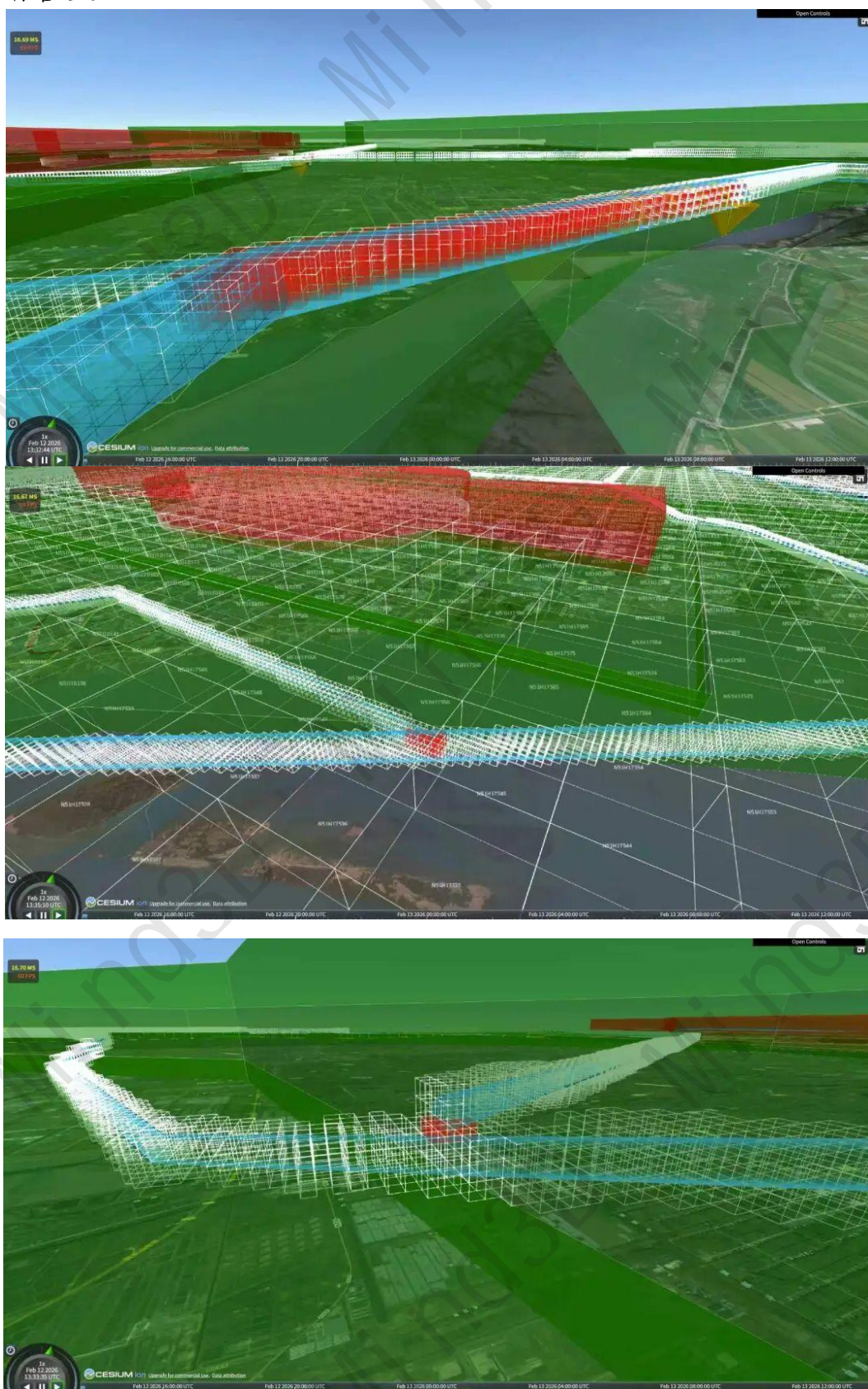
空域分层是基础可视化与路径计算的重要手段。

系统根据高度范围将空域划分为多个层级（如 0 - 150m、150 - 300m、300 - 600m 等），并在 Cesium 中分层展示。



应用八：大范围空域展示

主要展示大场景网格引擎的能力，对城市级空域分层、航线、机场进行网格化目标管理。



网格引擎将连续空间离散为可计算单元，构建低空系统的空间组织方式。

它不仅支撑空域划分与管理，还承载气象、电磁等环境数据，是连接空间表达与空间计算的核心基础。

3. 低空气象：低空环境中的“动态地形”

在城市低空环境中，气象因素的复杂程度往往超过地形本身。风场在建筑之间的变化，会直接影响飞行稳定性与安全性。

低空气象模块的引入，使这些原本不可见的环境因素，在三维空间中具备了直观表达能力。

在实际应用中，可以清晰看到：

- 高层建筑之间形成的风道效应
- 建筑背风侧的涡流区域
- 局部区域的强风与扰动

这些信息对于低空物流、电力巡检以及应急飞行具有重要意义，可以直接影响飞行方案的制定。

基于 Cesium 的三维场景能力，气象数据可以以多种形式叠加在空间中，例如粒子流、颜色分布或体积效果，从而让复杂气流结构被直观理解。

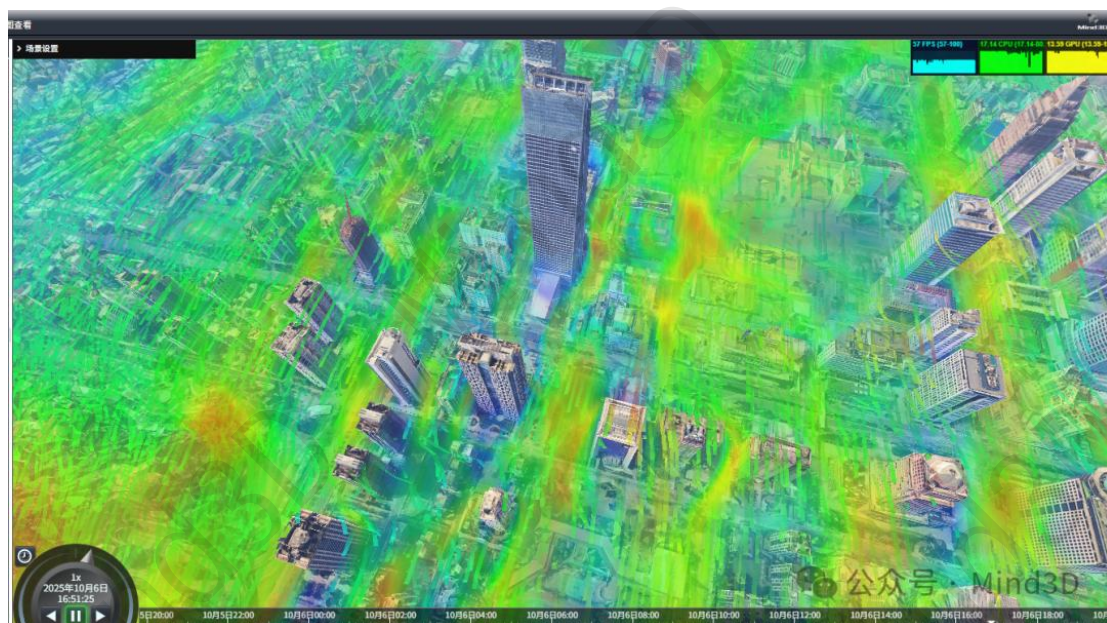
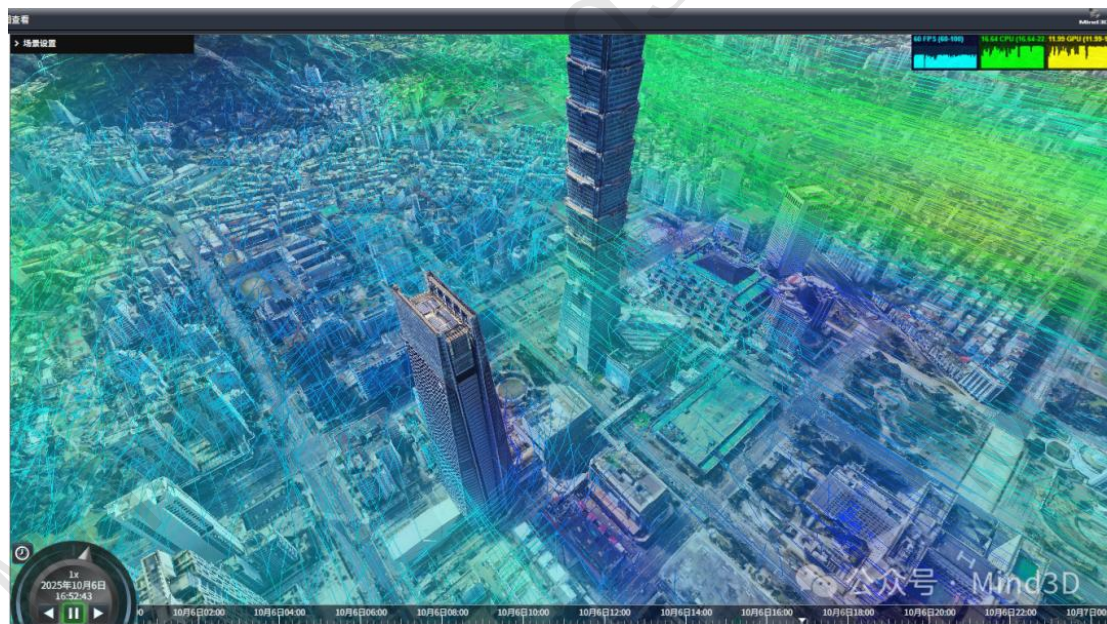
同时，Cesium 支持时间维度表达，使风场可以随时间变化动态演化，支持：

- 飞行前预测分析
- 飞行中实时调整
- 飞行后过程复盘

更进一步，气象可以与建筑模型产生空间耦合，在视觉上呈现“风随城市结构变化”的效果，使场景不仅真实，而且具备物理意义。

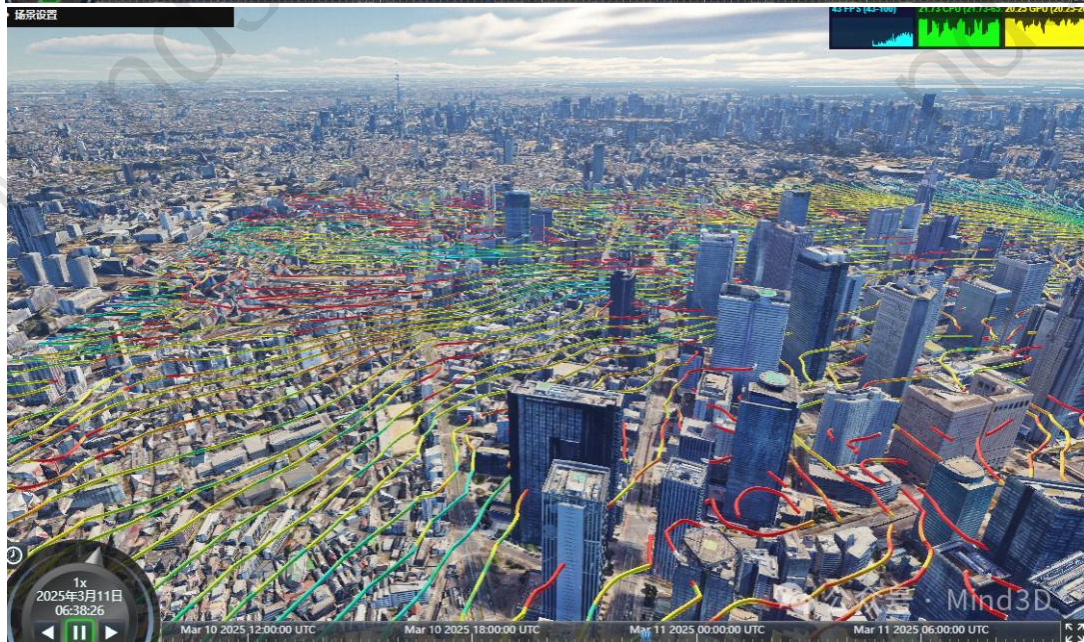
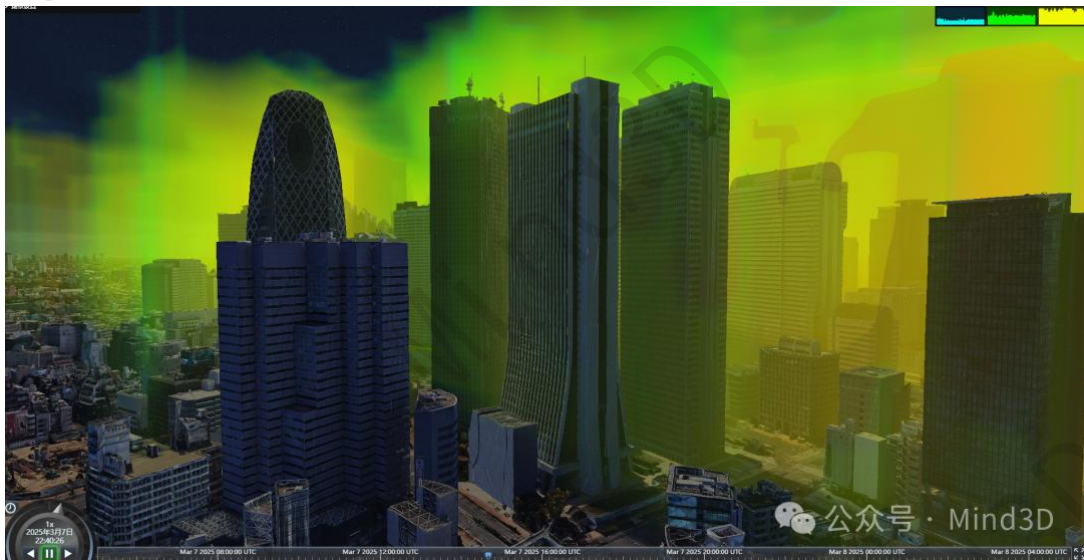
从行业角度来看，低空气象的核心价值在于：让“不可见的气流风险”成为可感知、可参与决策的重要因素

应用一：CFD 实时风场解算，基于天气数据的 GPU 气象模拟



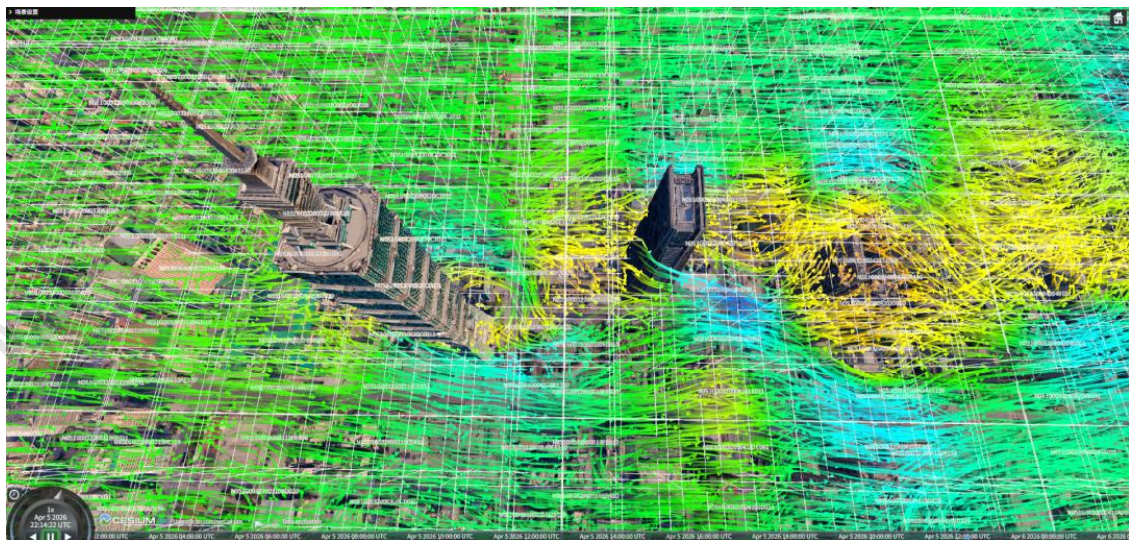
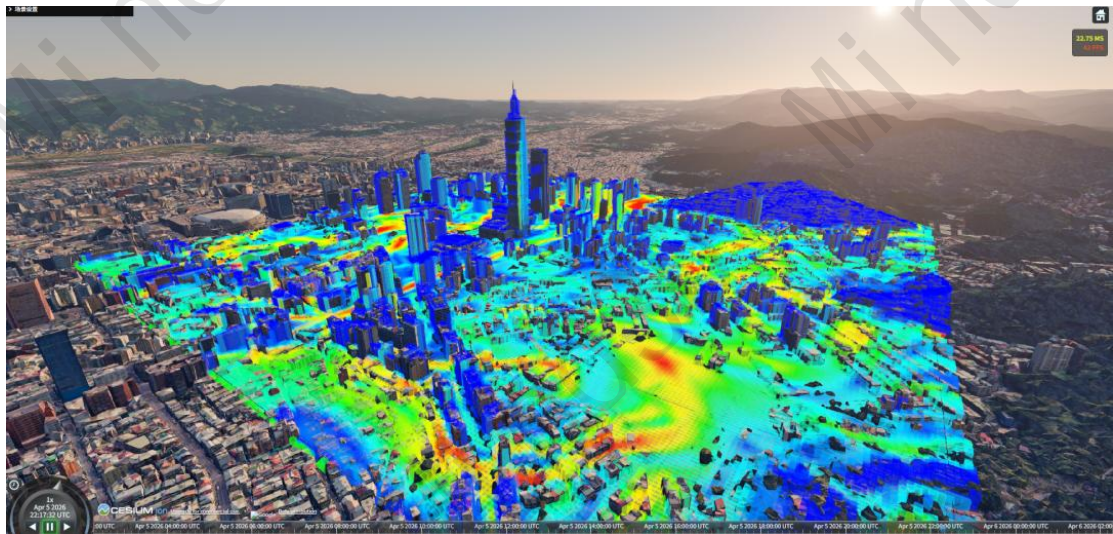
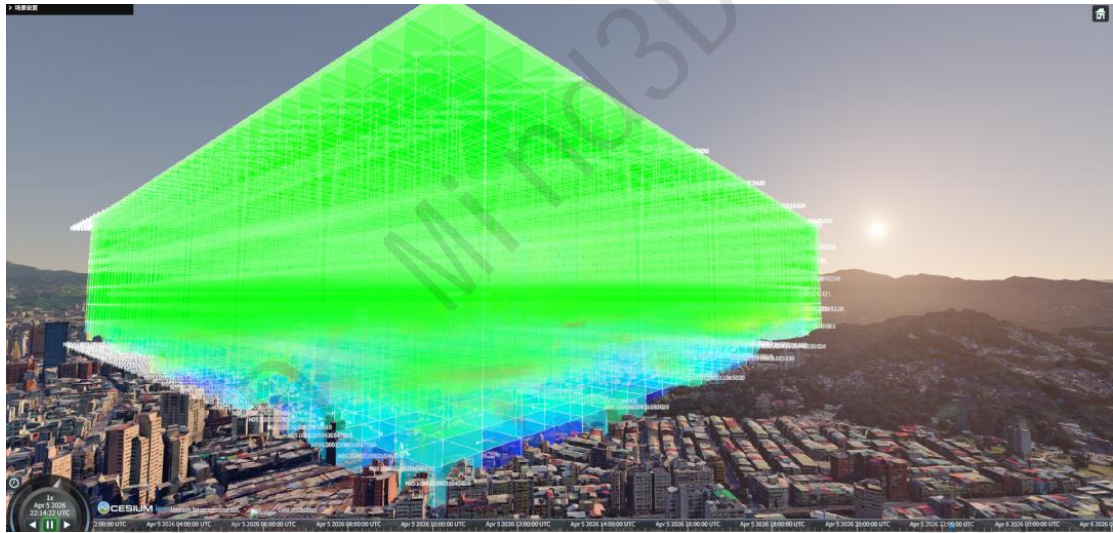


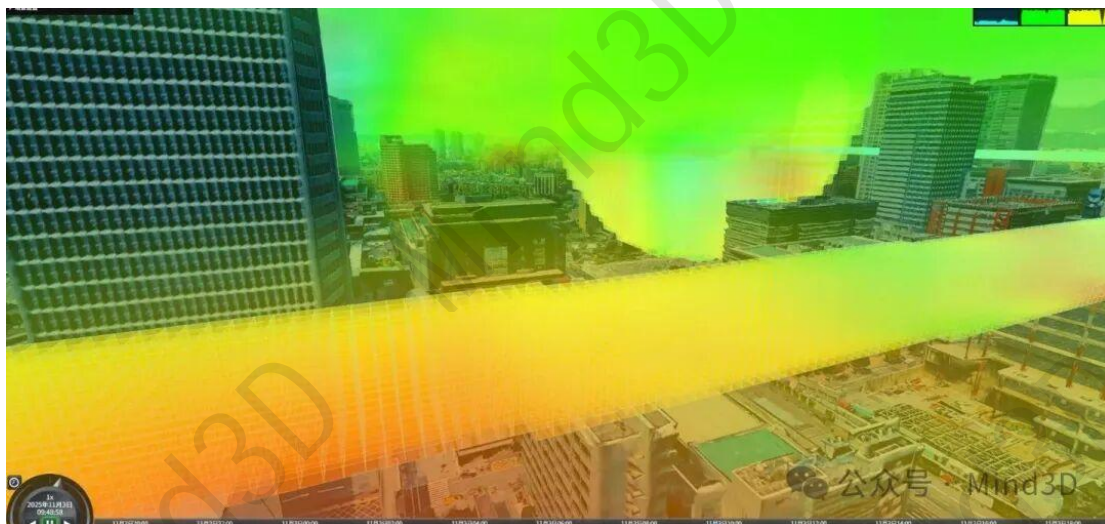
应用二：气象数据渲染，接入离线解算的标量，矢量数据服务





应用三：低空气象空域网格





低空气象将风场与气流等复杂环境引入三维空间，使飞行不再只基于几何条件，而是受真实环境约束。

在低空体系中，它是影响飞行安全与路径选择的关键因素之一。

4. 电磁仿真：低空空间中的“隐形环境”

在低空飞行中，通信与信号稳定性是不可忽视的关键因素。

尤其是在城市环境中，建筑物会对电磁传播产生显著影响，形成信号盲区、反射干扰等复杂现象。如果缺乏对这些环境的认知，将直接影响飞行任务的可靠性。

电磁仿真模块通过三维空间表达信号强度与干扰情况，使这些“隐形环境”变得直观可见。

在 Cesium 场景中，可以将电磁信息映射到真实空间中，例如：

- 不同区域呈现不同信号强度等级
- 建筑遮挡形成明显的信号衰减区域
- 干扰源区域呈现动态变化

在行业应用中，这些能力可以用于：

- 低空物流航线通信评估

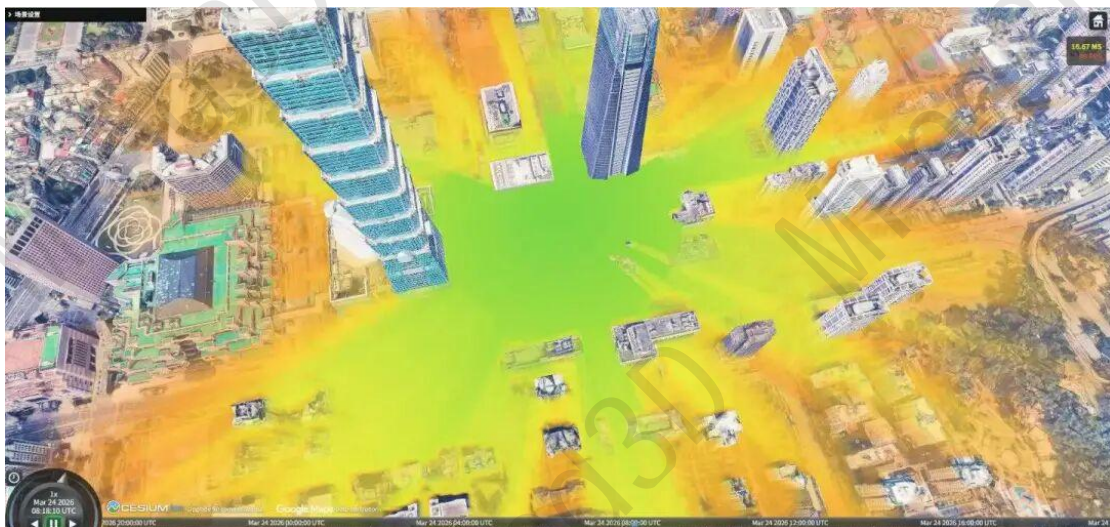
- 城市无人机网络覆盖分析
- 应急通信保障与调度

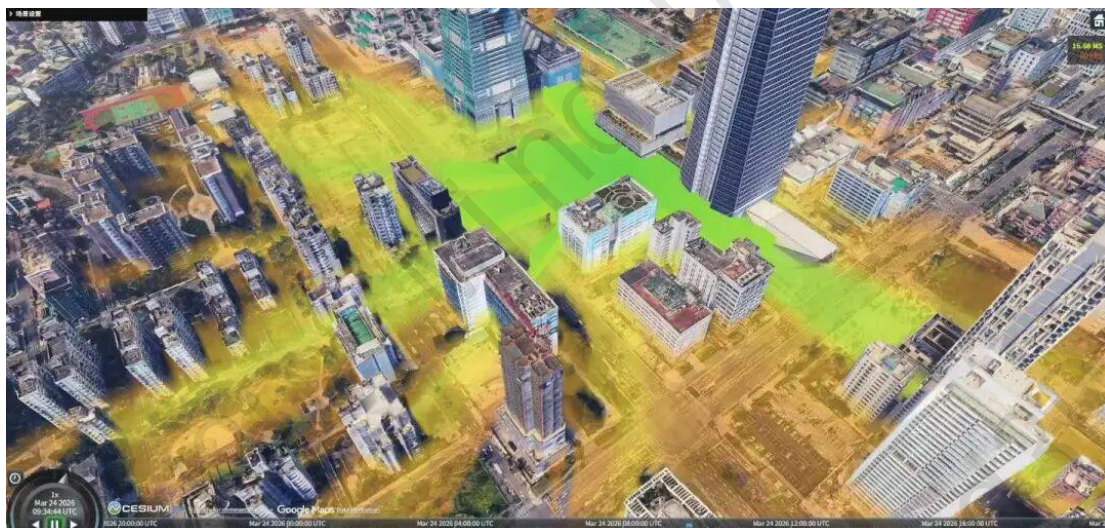
同时，电磁数据可以与网格系统结合，实现按区域统计与分析，使通信环境具备“可量化”的特征。

结合 Cesium 对动态数据的支持，电磁环境可以实时更新，使系统能够反映真实运行状态。

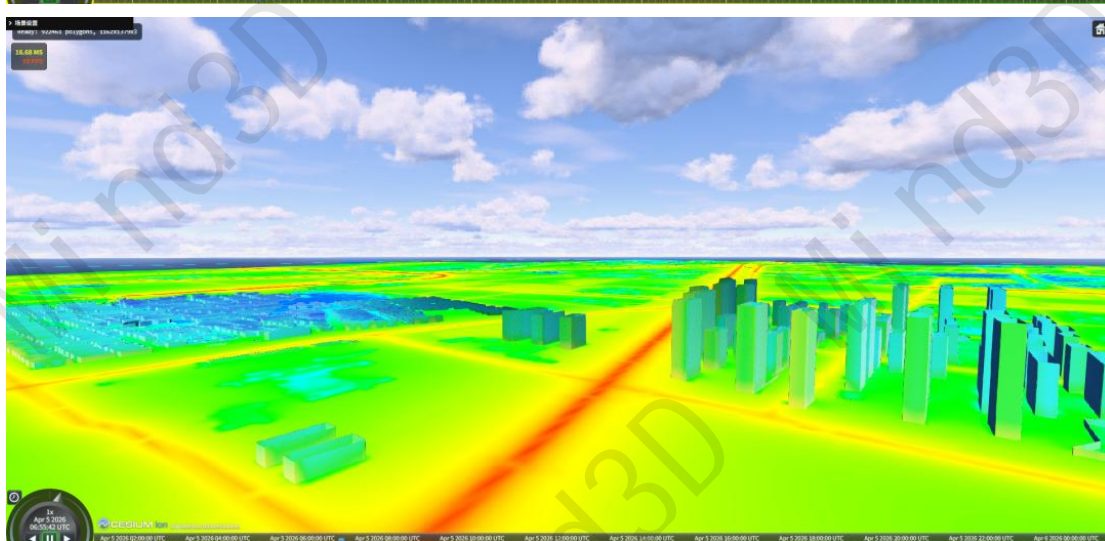
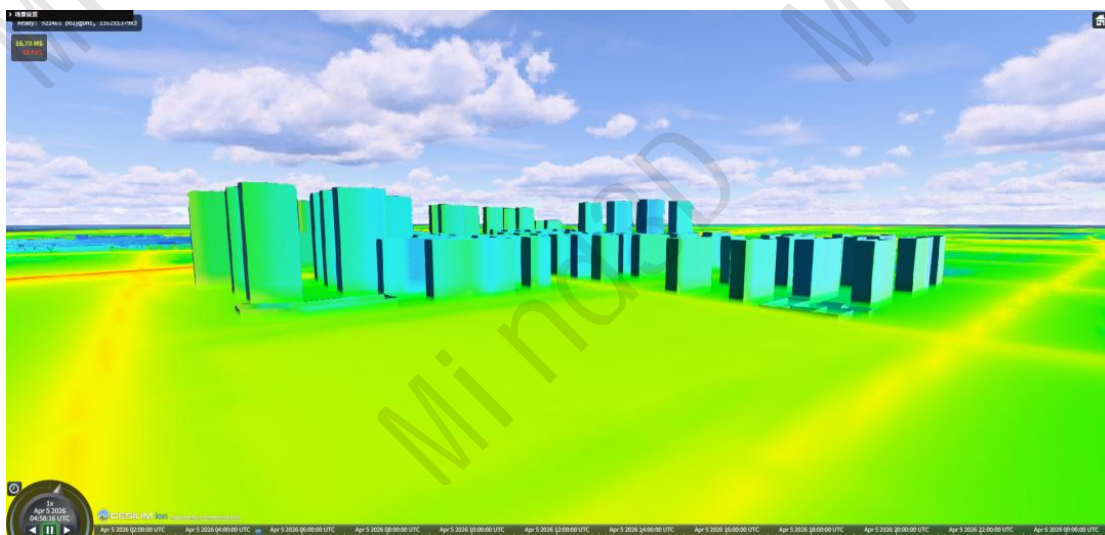
从行业角度来看，电磁仿真的意义在于：将低空通信环境从“不可见风险”转变为“可分析、可优化的空间要素”

应用一：信号场仿真，同时支持实时 GPU 信号模拟和接入真实数据渲染





应用二：环境噪音仿真，同时支持实时 GPU 噪音模拟和接入真实数据渲染



电磁仿真负责构建低空通信与信号环境的空间表达，使原本不可见的信号强度与干扰分布具备可视与可分析能力，为路径规划与通信保障提供基础支撑。

4. 智能路径：复杂环境中的实时决策

低空路径规划已经从简单的几何问题，转变为多因素耦合的综合决策问题。

在实际场景中，一条航线不仅要避开建筑与地形，还需要考虑气象、电磁以及空域规则等多种约束条件。

智能路径模块正是在这一背景下，实现了从“静态规划”到“动态决策”的升级。

在 Cesium 三维场景中，路径可以直接与真实环境叠加显示，例如：

- 航线绕开强风区域
- 避开信号较弱区域
- 在复杂建筑间自动寻找可通行路径

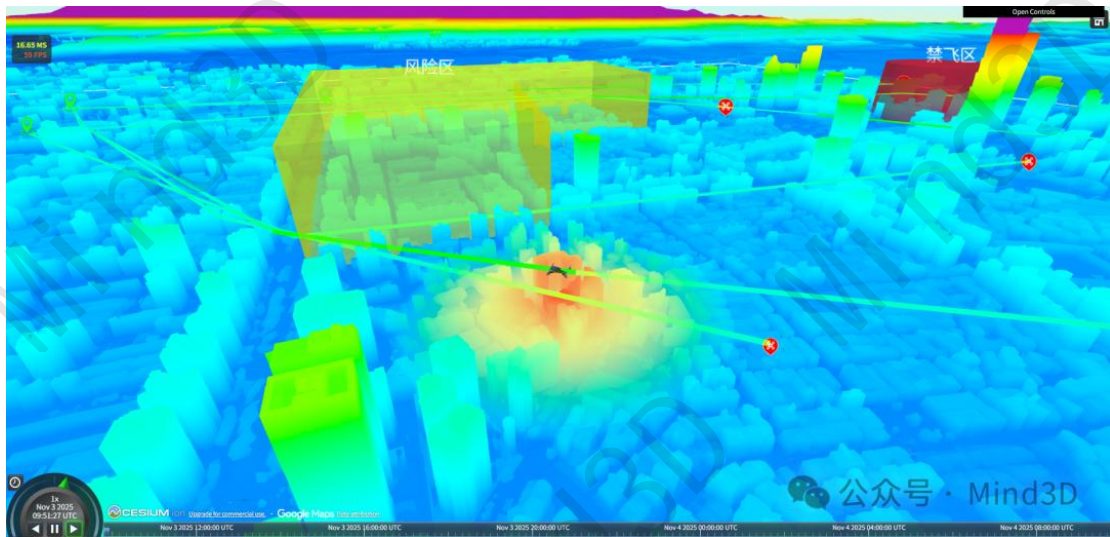
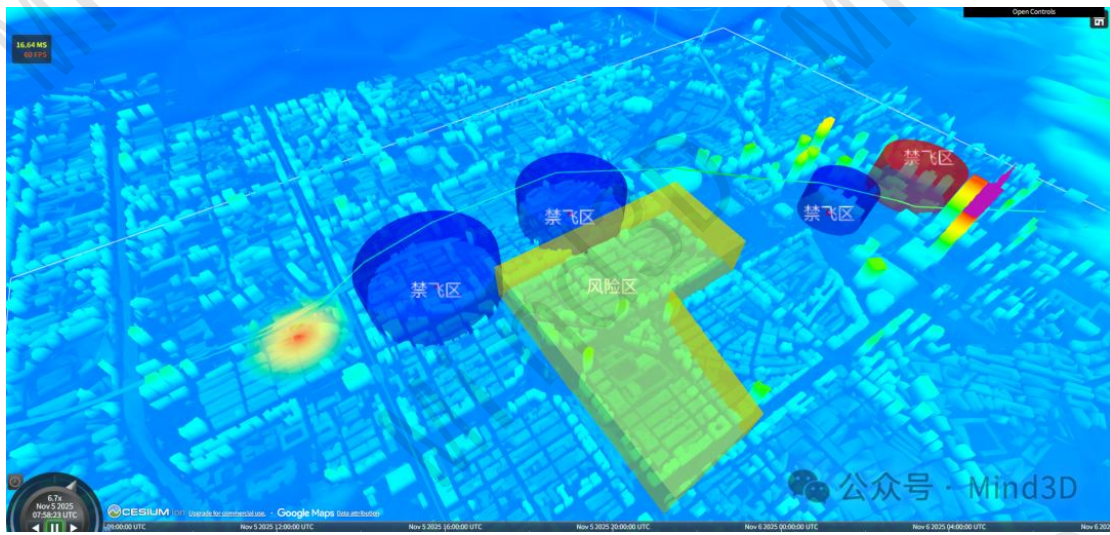
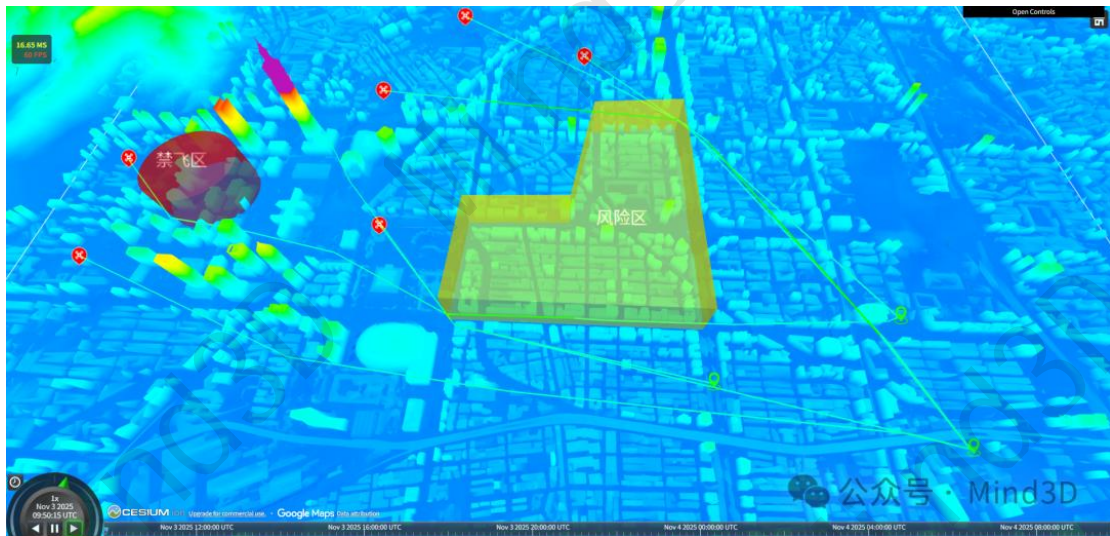
在低空物流与城市配送场景中，这种能力可以显著提升效率与安全性。

同时，路径可以根据实时环境变化进行动态调整，例如气象突变或空域变化时自动重规划，使系统具备更强的适应能力。

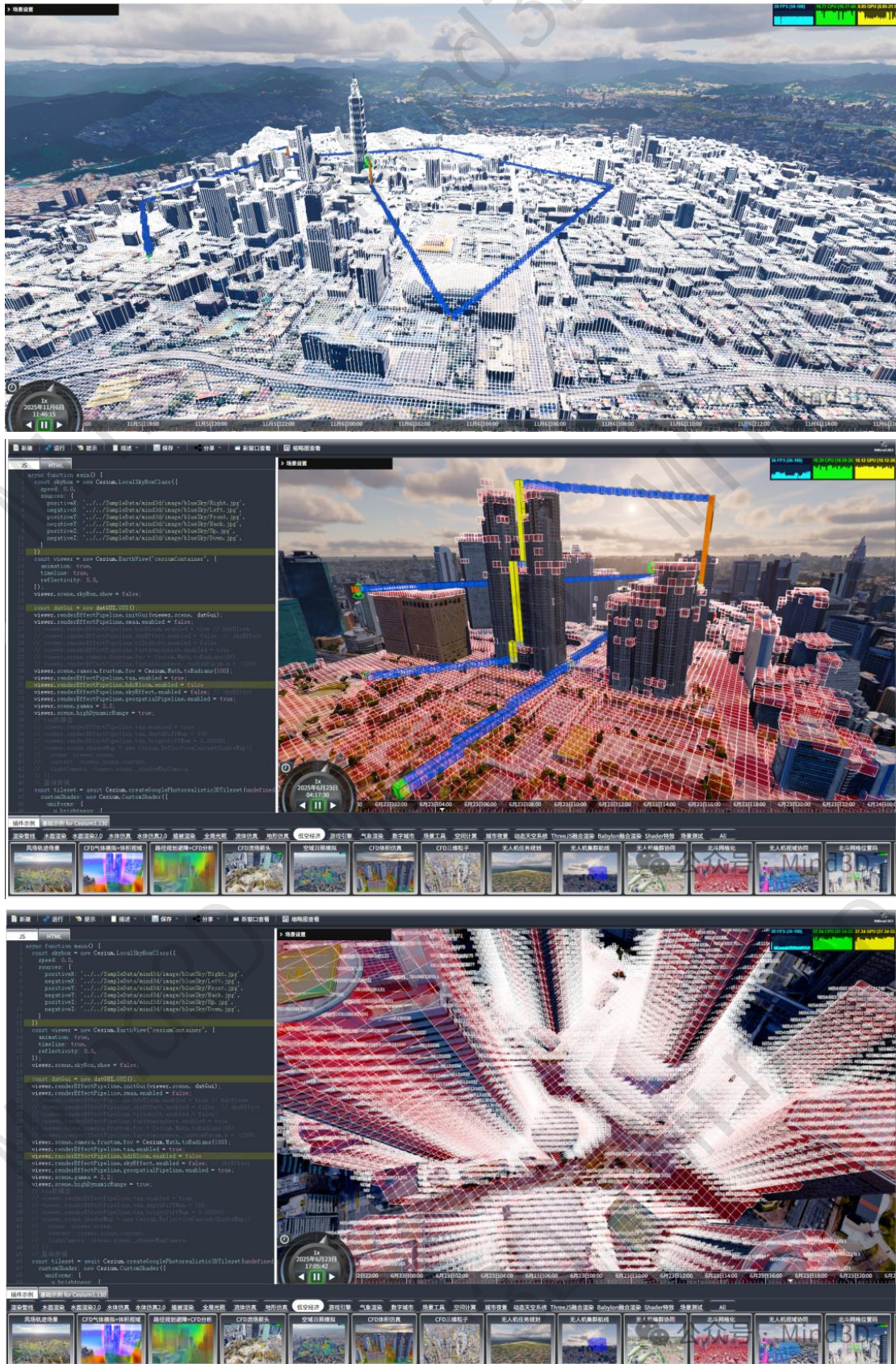
结合 Cesium 对动态对象与时间序列的支持，路径不仅可以实时更新，还可以进行历史回放与过程分析。

从行业角度来看：**路径不再是一次计算结果，而是低空运行中的持续决策过程**

应用二：智能实时路径规划，实时识别避障，禁飞区，危险区域规划最优路线



应用三：北斗网格路径化，支持规划的路径网格化以及网格碰撞分析



智能路径将空间、气象、电磁与空域规则统一纳入计算，实现多约束条件下的动态路径规划。路径不再是结果，而是随环境变化持续更新的决策过程。

6. 雷达探测仿真：空间可见性的直观表达

在低空场景中，空间的“可见性”直接关系到感知与安全。

雷达探测与视域分析模块，可以在三维场景中直观判断：

- 哪些区域可以被观测
- 哪些区域被建筑遮挡
- 无人机视角下的覆盖范围

基于 Cesium 的深度计算与三维几何能力，这些分析可以直接依托真实建筑与地形完成，而非简化模型，从而提升结果的准确性。

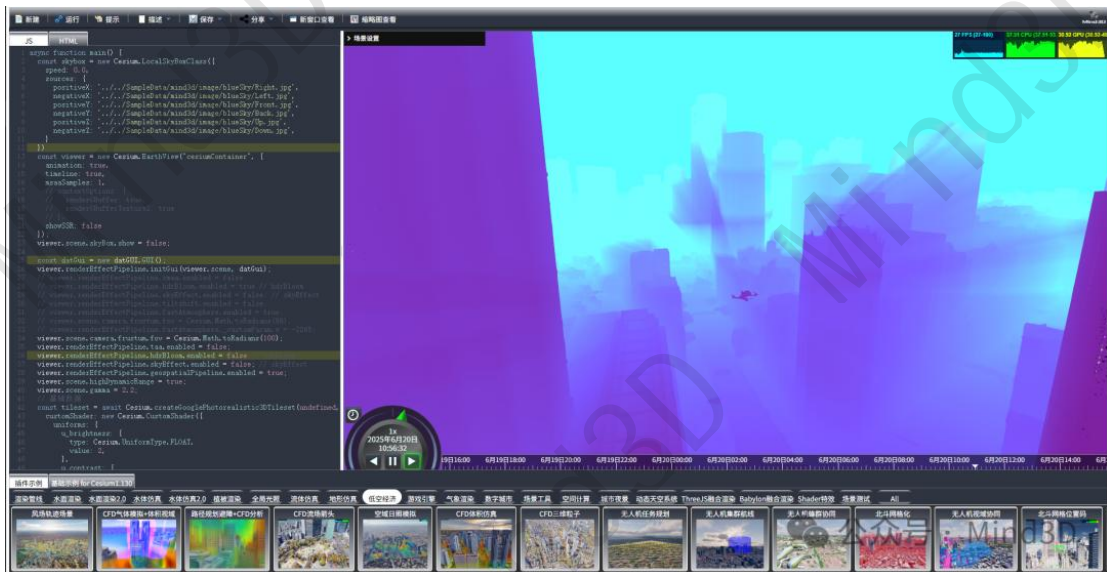
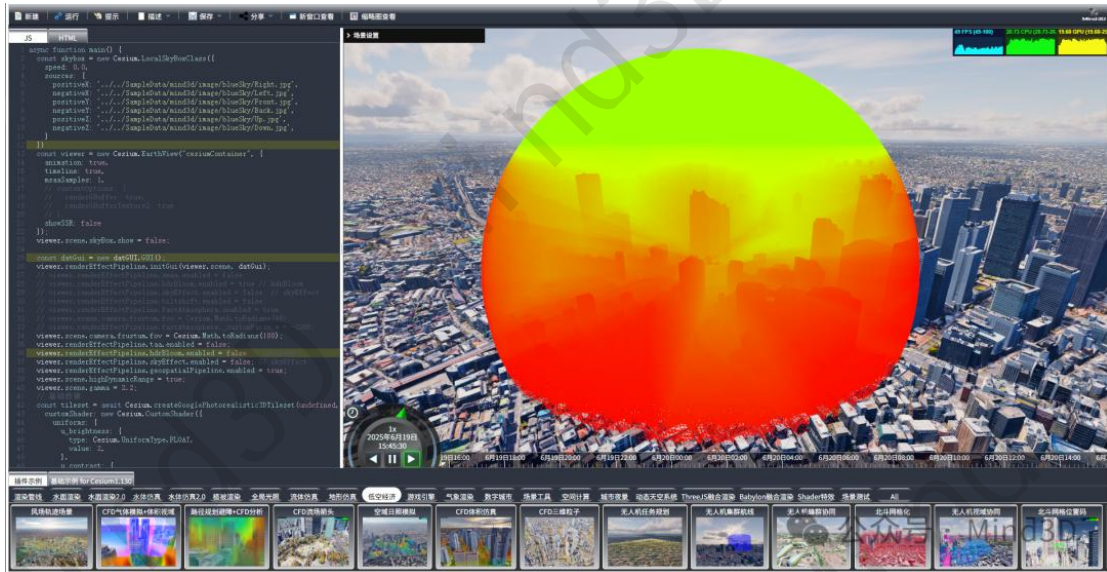
在行业应用中，这一能力可以用于：

- 安防监控覆盖分析
- 巡检路径可见性评估
- 应急救援视域判断

同时，通过视频融合能力，可以将无人机实时画面叠加到三维场景中，实现虚实结合，使指挥调度更加直观。

从行业角度来看：雷达与视域能力让低空系统具备“空间感知能力”

应用一：雷达探测仿真



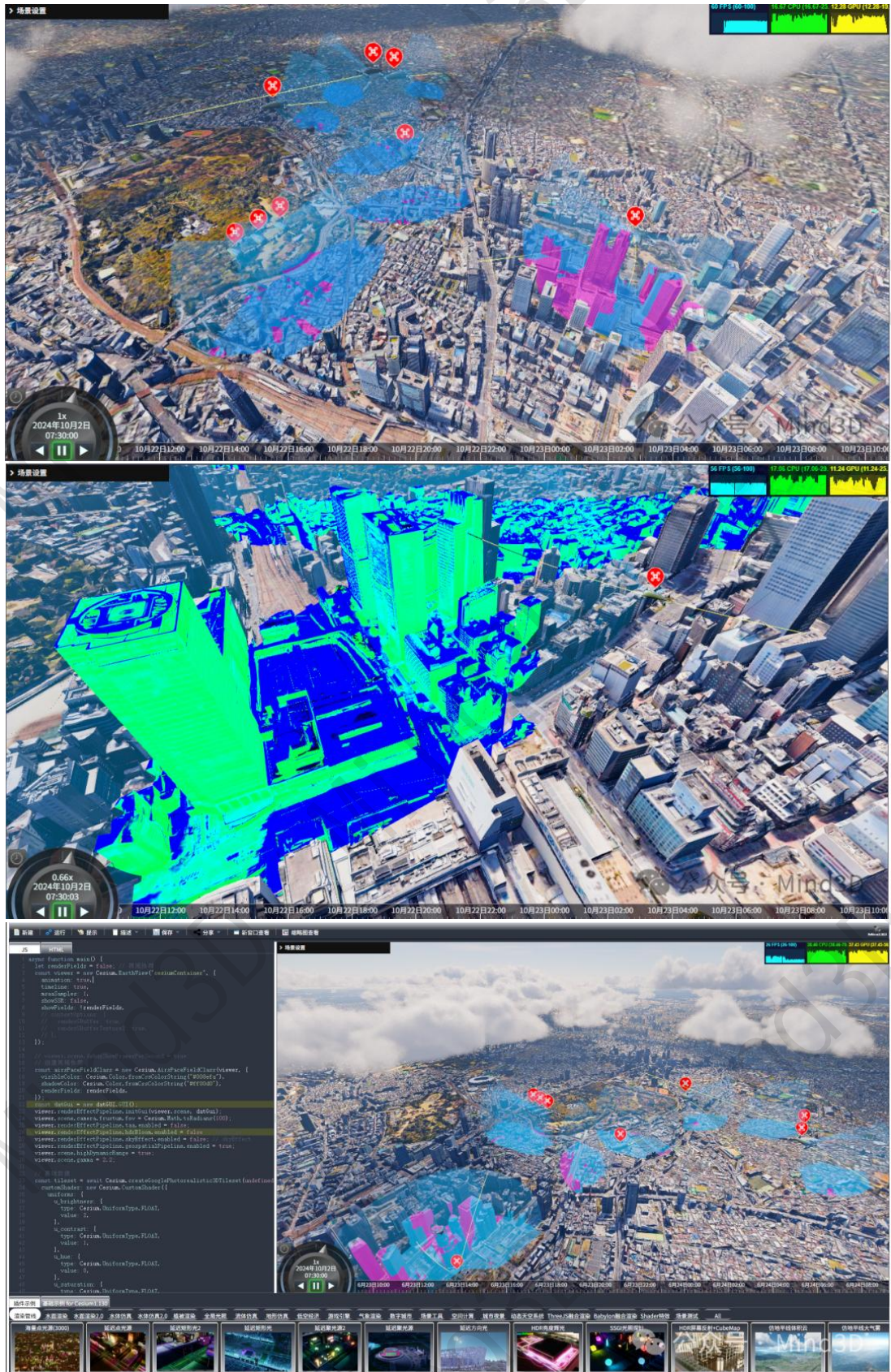


应用二：雷达探测融合北斗网格





应用三：雷达探测视域协同



雷达与视域分析模块用于判断空间可见性与覆盖范围，使系统具备对“可见 / 不可见空间”的认知能力。在监控、巡检与应急场景中尤为关键。

7. 空域仿真：低空运行过程的动态表达

低空系统不仅需要表达空间与环境，还需要表达“运行过程”。

空域仿真模块通过引入物理与行为模拟能力，使三维场景具备动态推演能力。

在实际应用中，可以模拟：

- 无人机飞行与避障过程
- 碰撞与事故演化过程
- 多无人机协同飞行行为

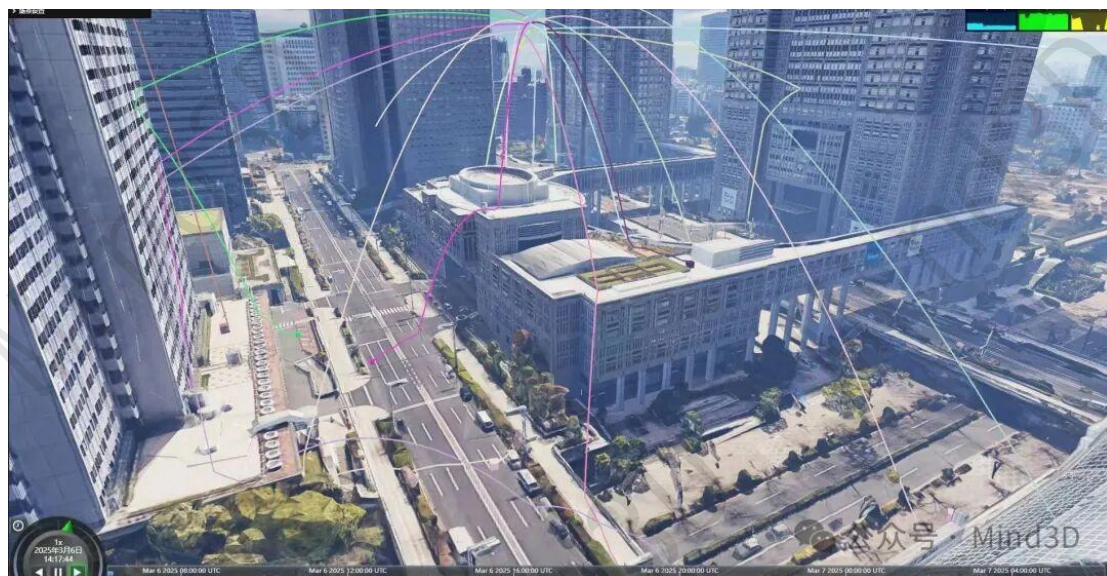
在应急与安全评估场景中，这种能力尤为重要，可以用于提前验证方案或推演风险。

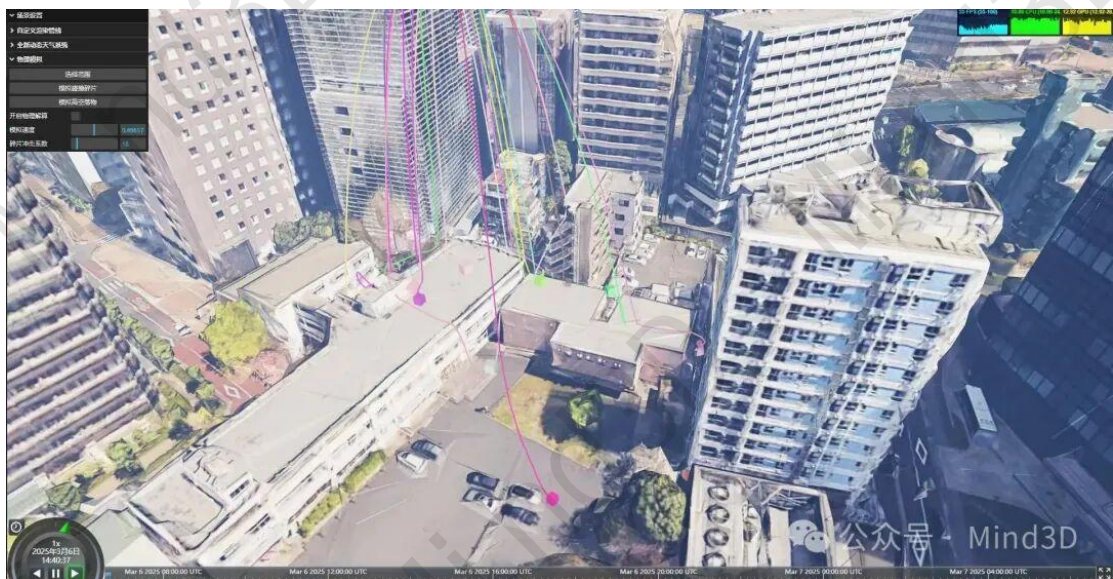
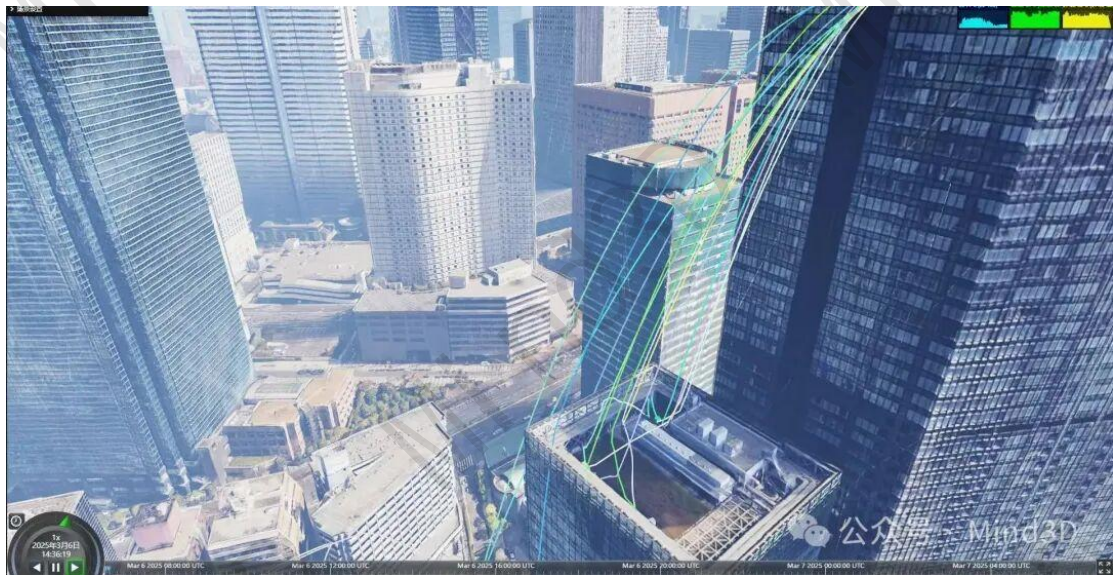
结合 Cesium 对大规模对象渲染的支持，可以在同一场景中实现多无人机集群模拟，同时保持良好的性能表现。

此外，仿真结果可以与航图、网格及环境数据叠加，使分析结果更加直观。

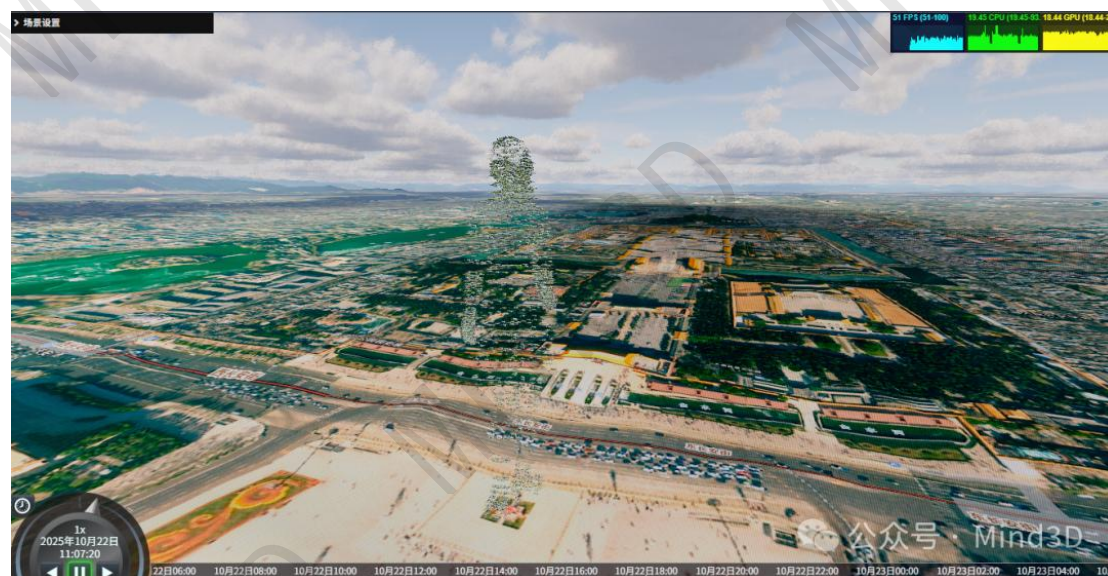
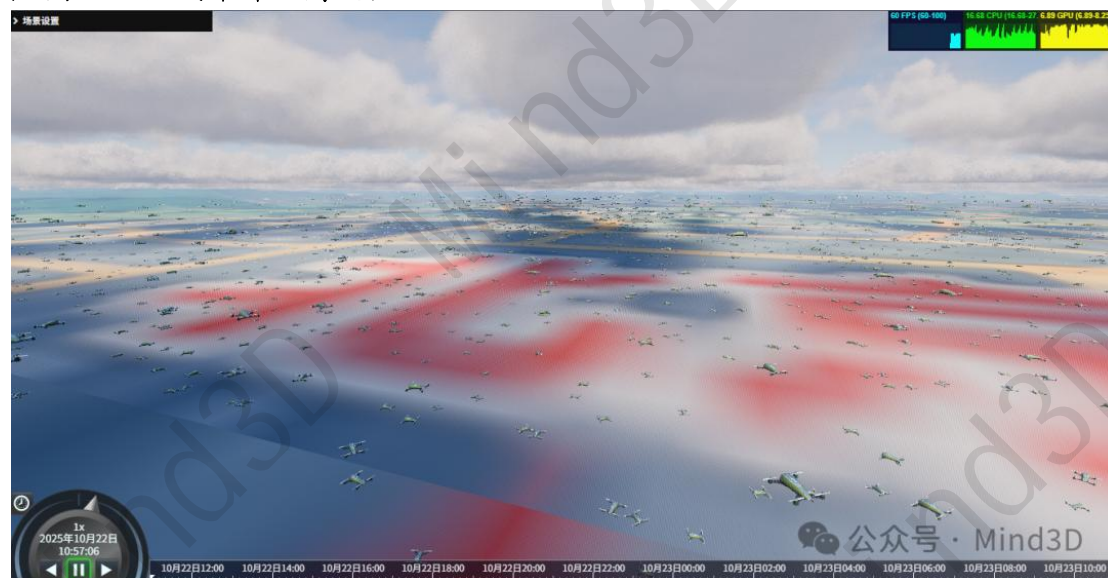
从行业角度来看：空域仿真让低空系统具备“预测与推演能力”，从而支持更高层级的决策

应用一：空域碰撞物理仿真

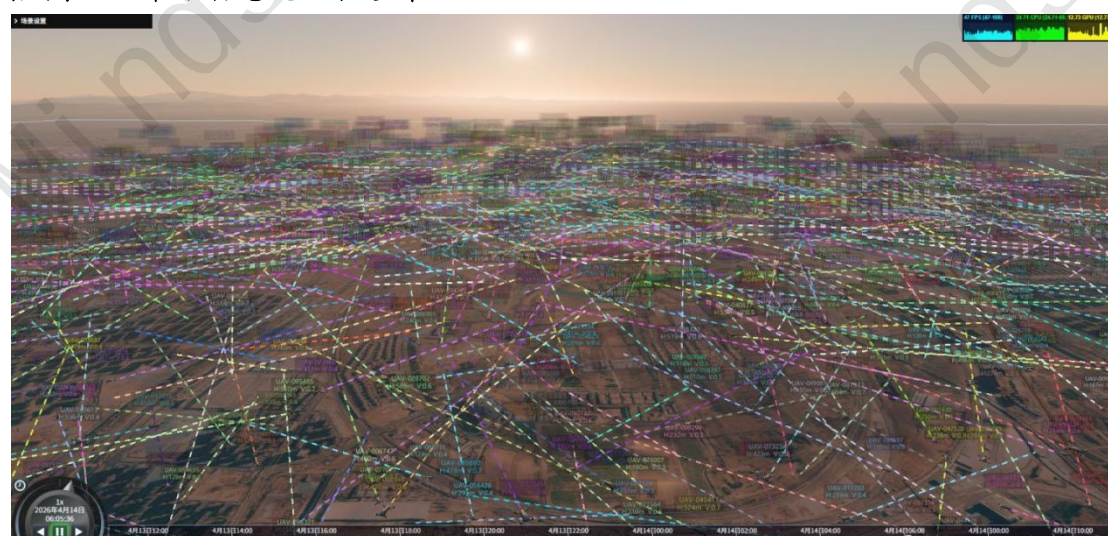


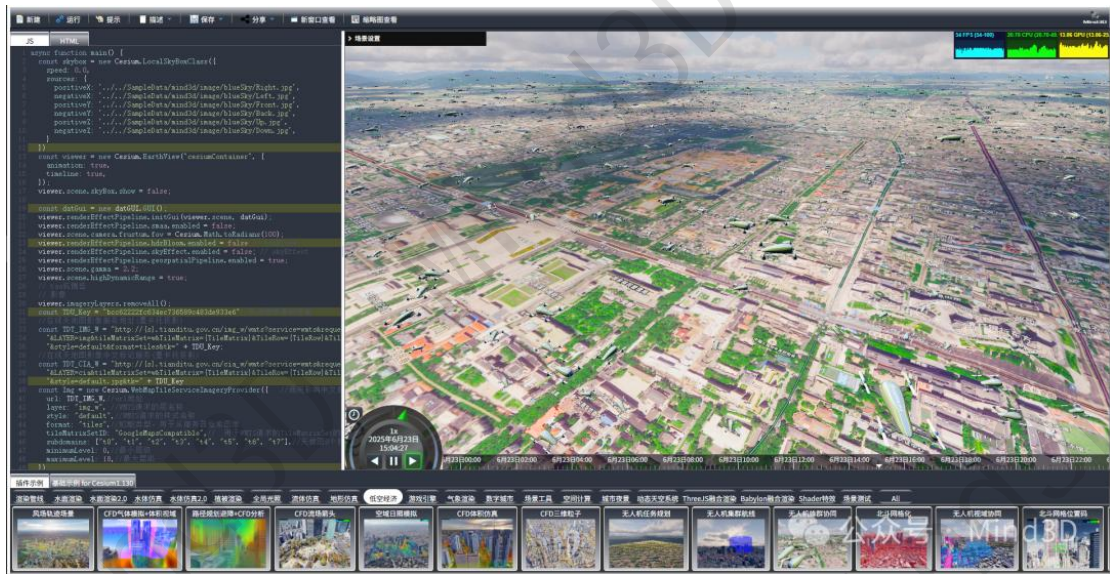


应用二：空域蜂群协同模拟



应用三：十万动态无人机渲染





8. 真实感飞行：辅助飞行与测试

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。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。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。





空域仿真通过物理与行为模拟能力，重建低空运行过程，包括飞行、避障、碰撞及集群行为等。使系统具备从“分析当前”到“推演未来”的能力。

从整体来看，2026年的低空三维系统已经完成了一次具有阶段意义的跃迁：

从“空间展示”走向“空间认知”，三维场景不再只是呈现结果，而是能够表达空间语义与运行状态；

从“数据叠加”走向“数据融合”，气象、电磁、空域、路径等多类环境不再孤立存在，而是共同参与网格计算与展示；

从“路径规划”走向“实时决策”，飞行过程不再依赖静态结果，而是在动态环境中持续调整与优化。

在这一过程中，CesiumJS作为底层三维引擎，将全球空间坐标体系、多源数据组织能力与高性能渲染能力统一在同一框架之下，使低空系统能够在真实地理空间中完成表达、计算与推演，最终构建出一套完整的低空空域引擎运行体系。