

# Mind3D 数字水利行业方案

随着“数字孪生流域”和“智慧水利”建设不断推进，水利信息系统正从传统二维 GIS 与数据平台，逐步升级为集三维场景、数据融合、仿真分析与实时监测于一体的数字化平台。在这一过程中，三维地球技术逐渐成为水利行业的重要技术底座。

基于 CesiumJS 的三维地球框架具有全球尺度场景管理、高性能 WebGL 渲染以及开放式架构等优势，已经在自然资源、城市数字孪生、应急管理等领域得到广泛应用。在水利行业中，CesiumJS 同样具备构建数字流域三维平台的良好基础。

在过去多个项目实践基础上，水利行业应用插件 3.0 进行了系统性的整合与升级。该版本不再是单一技术模块的扩展，而是一个面向水利行业三维场景应用的综合高渲染解决方案。插件体系围绕真实水环境表达、水文数据可视化、水动力仿真以及灾害模拟等需求，构建了一套完整的三维水利应用能力体系。通过 GPU 渲染与流体模拟技术的深度融合，该系统能够在浏览器环境中实现高真实度水环境表达与水动力可视化，为水利行业提供从三维场景到仿真分析的一体化技术支持。

下面对插件 3.0 的核心能力进行介绍。

## 一、高真实感水体渲染系统

在水利三维场景中，水体是最核心的环境要素之一。从河道、湖泊到水库与流域水系，水面往往覆盖了场景中大量空间区域，因此水体渲染质量直接影响整体三维场景的真实程度。

插件 3.0 构建了一套高真实感水面渲染系统，通过 GPU Shader 实时计算水面波动与光照变化，使水体在视觉上更加接近真实环境。系统通过多层波纹叠加、动态法线计算以及环境反射等技术，使水面在不同视角下产生真实的光照变化。支持 supermap, mars3d 项目快速集成。

在实际水利应用中，该系统能够根据不同水域环境动态调整水面表现。例如在河道或水库场景中，水面波动通常较为平缓，而在大面积水域中则可以表现更加丰富的波纹结构。系统还可以根据水体深度自动调整颜色，使浅水区与深水区形成自然过渡。

在数字流域平台中，该模块可以与 DEM 地形、河网数据以及三维工程模型进行融合，从而形成完整的三维水环境表达。

## 1. 河道流向模拟

游戏水面在河流，航运，水利基础场景应用，根据客户需求拓展的自定义流速流向，水深白浪特效





## 2. 城市河道湖泊渲染

游戏水面在城市范围的水域，湖泊，河流效果美化，提供接近官方水面性能的高质量游戏水面渲染方案：



### 3. 水库湖泊渲染

游戏水面支持 GPU 顶点动画在水域，湖泊，河流效果美化，提供接近官方水面性能的高质量游戏水面渲染方案：







## 6. 水面视频融合渲染

随着数字孪生技术的发展，越来越多的监控数据需要与三维场景进行融合。插件 3.0 支持 **视频数据与三维水环境的融合渲染**。

通过视频投影技术，监控摄像头或无人机视频可以实时叠加到三维场景中的指定区域，例如水库坝体、河道监控点或闸门区域。这样用户在三维场景中不仅可以看到虚拟环境，还可以同步查看真实监控画面。

结合系统的游戏级水面渲染效果，视频画面可以与动态水体环境自然融合，从而构建更加真实的数字孪生水利场景。



## 二、水文水动力渲染

现代水利监测系统往往包含大量实时数据，例如水位站、流量站、雨量站以及水质监测点等。随着监测网络不断扩展，水文数据规模迅速增长，对三维可视化性能提出了更高要求。

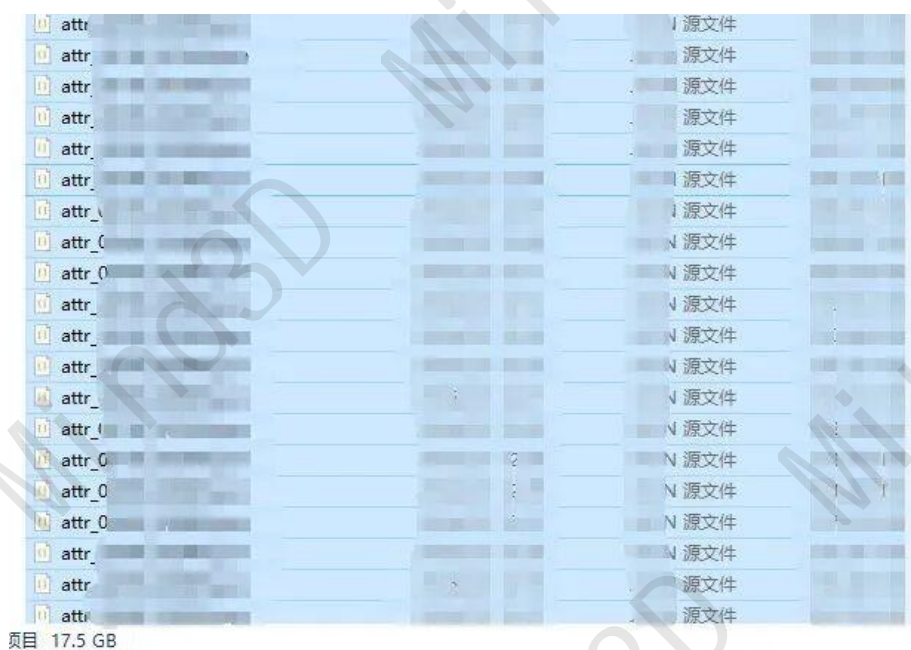
插件 3.0 构建了一套面向大规模水文数据的 GPU 渲染体系。融合高真实感水体渲染系统对水文数据进行并行处理，使大量监测数据能够在三维场景中实时显示。支持 supermap, mars3d 项目快速集成。

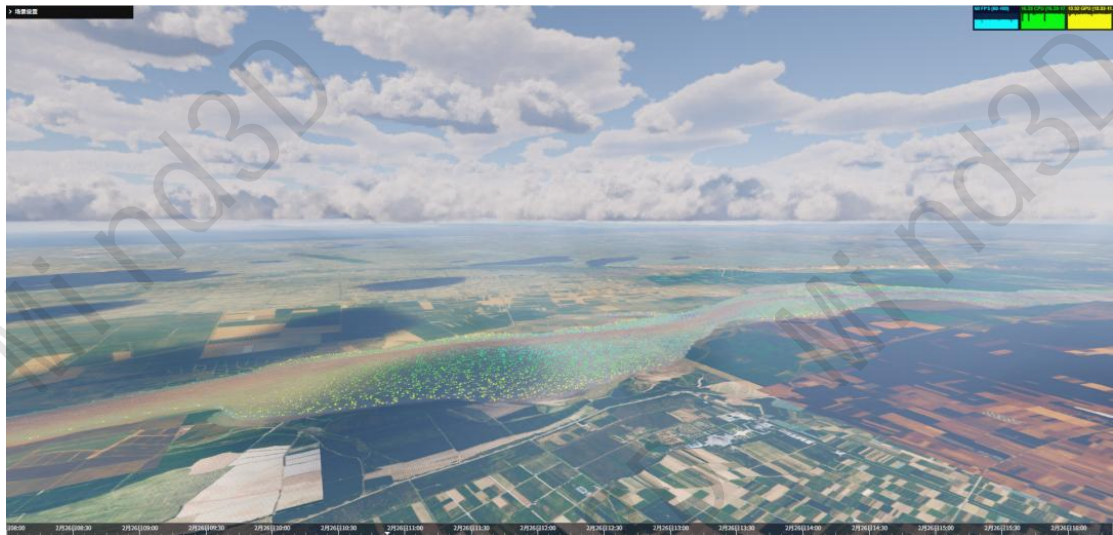
水文数据可以通过多种方式进行表达，例如：

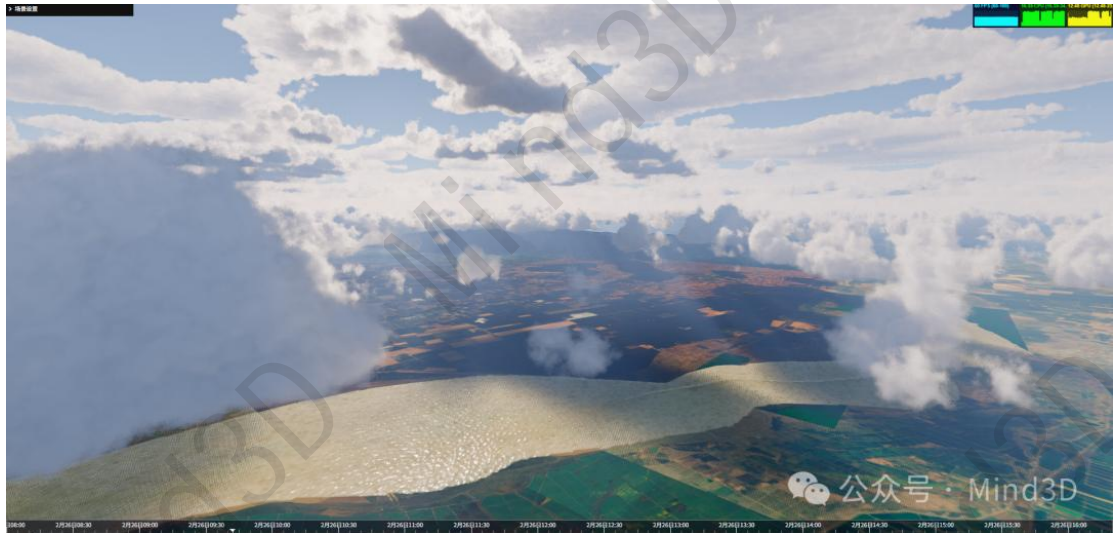
- 流速矢量场
- 流量动态柱状
- 水位高度变化
- 水质颜色分级

通过 GPU 渲染技术，系统可以在浏览器中实现千万级数据节点的实时展示，并支持时间序列数据播放和游戏级水面仿真，从而构建完整的三维水文监测环境。

### 1. 20GB 水文数据渲染







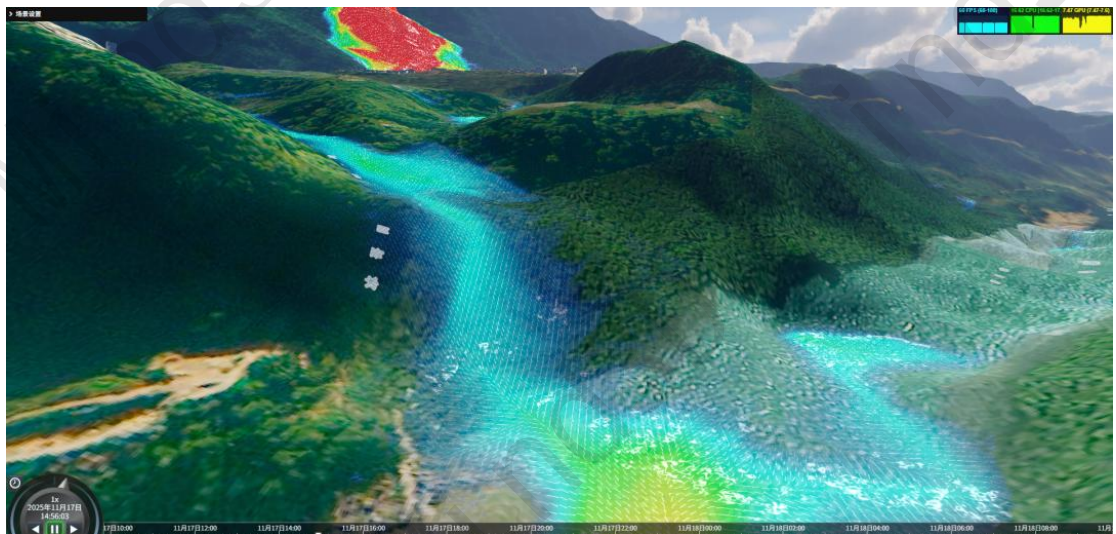
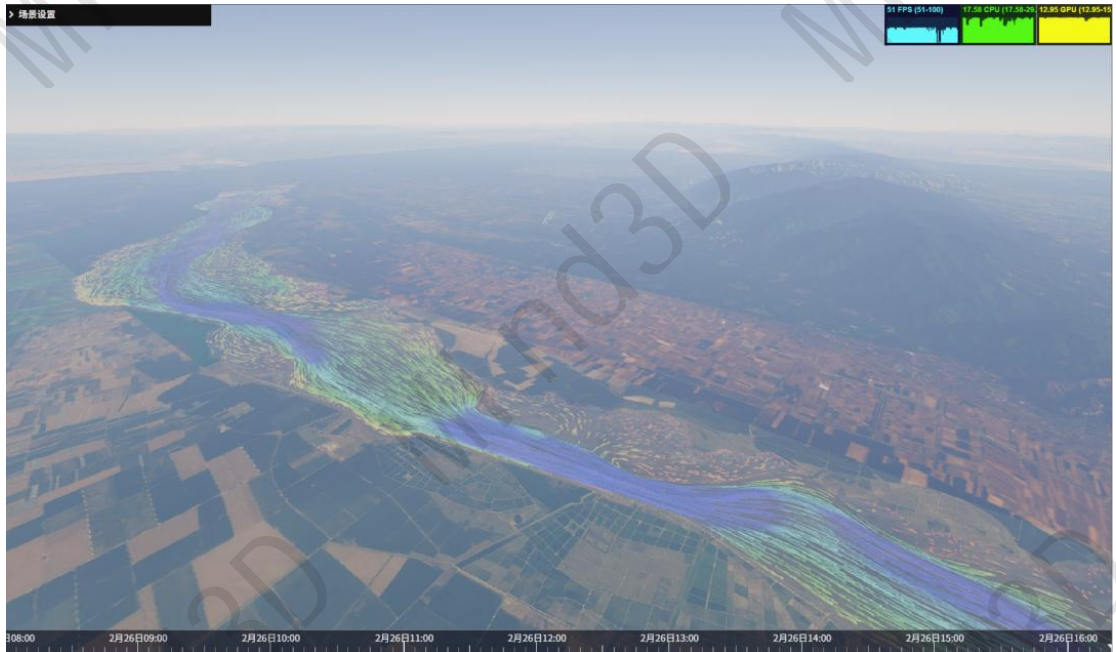
## 2. 水文数据 x GPU 流体渲染

在传统水文系统中，流速和流量数据通常以表格或二维图形形式展示，但这种方式难以直观理解水体在空间中的运动结构。

插件 3.0 将水文数据与 GPU 流体渲染技术结合，利用流速数据驱动粒子运动，从而在三维场景中生成动态水流结构。水体粒子会沿着真实流速方向运动，并形成清晰的流线结构。

通过这种方式，用户可以直观看到水流在河道中的运动路径，以及不同区域之间的流速差异。这对于流域水动力分析、水资源调度以及河道管理具有重要意义。





### 3. 水动力 x 北斗网格渲染

在淹没分析中，仅有水深、水位面或流速场并不足以支持空间管理、事件上报与区域划分。

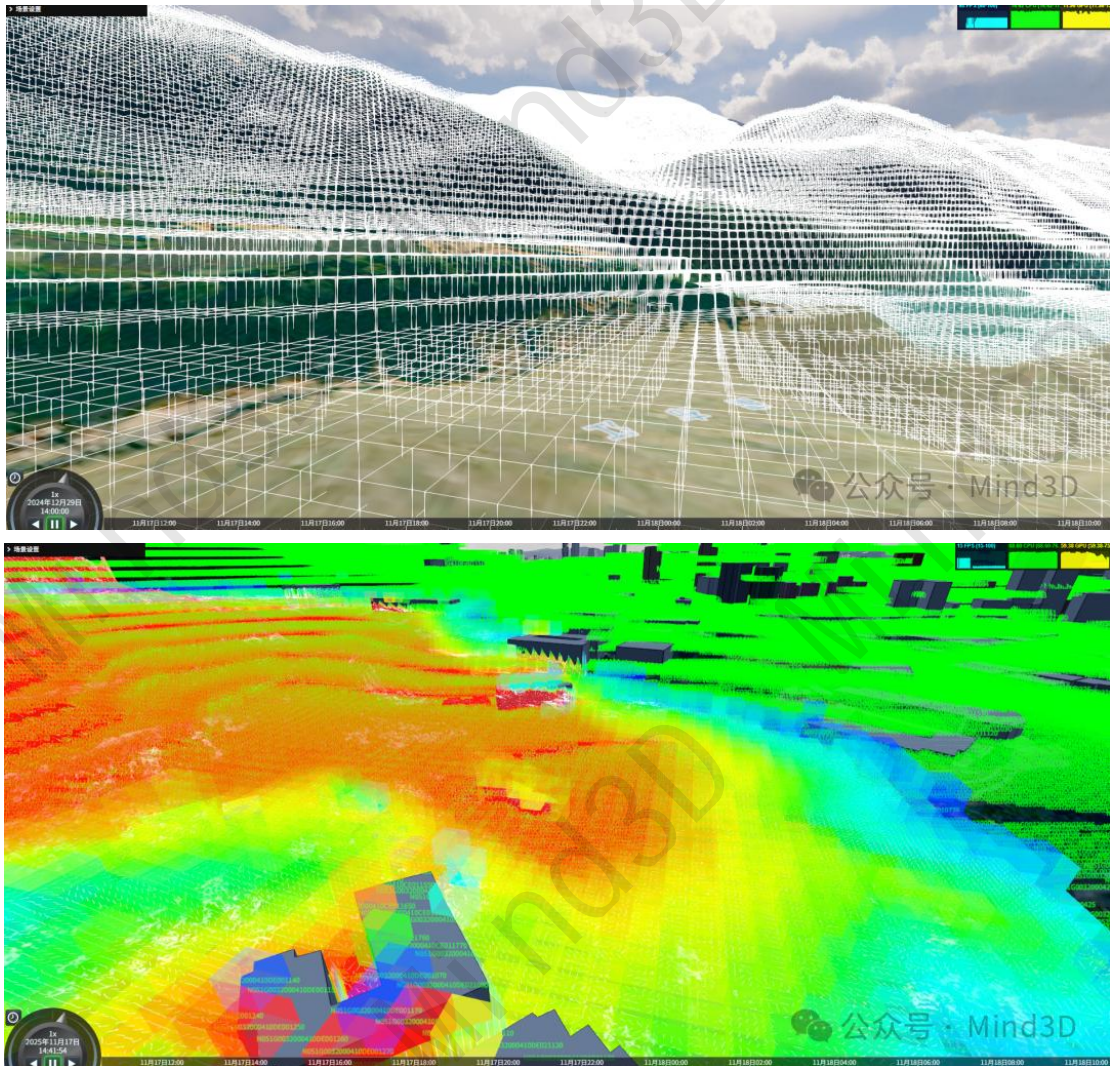
插件 3.0 结合北斗位置网格编码体系，将水文模型输出结果实时映射到空间网格上，实现：

- 淹没区域自动网格化
- 每个网格单元具备唯一的空间位置编码
- 支持结果上报、事件落图、空间统计与报警推送

优势包括：

- 支持大范围、多尺度的空间分区
- 模型结果可直接写入网格编码体系
- 方便跨设备、跨平台统一数据标准
- 实现更规范的数据管理与位置追踪

这使得水文模拟结果能够融入更广泛的北斗时空信息体系，为上游应用（调度、监测、应急）提供标准化的空间索引基础。



### 三、水库大坝模拟

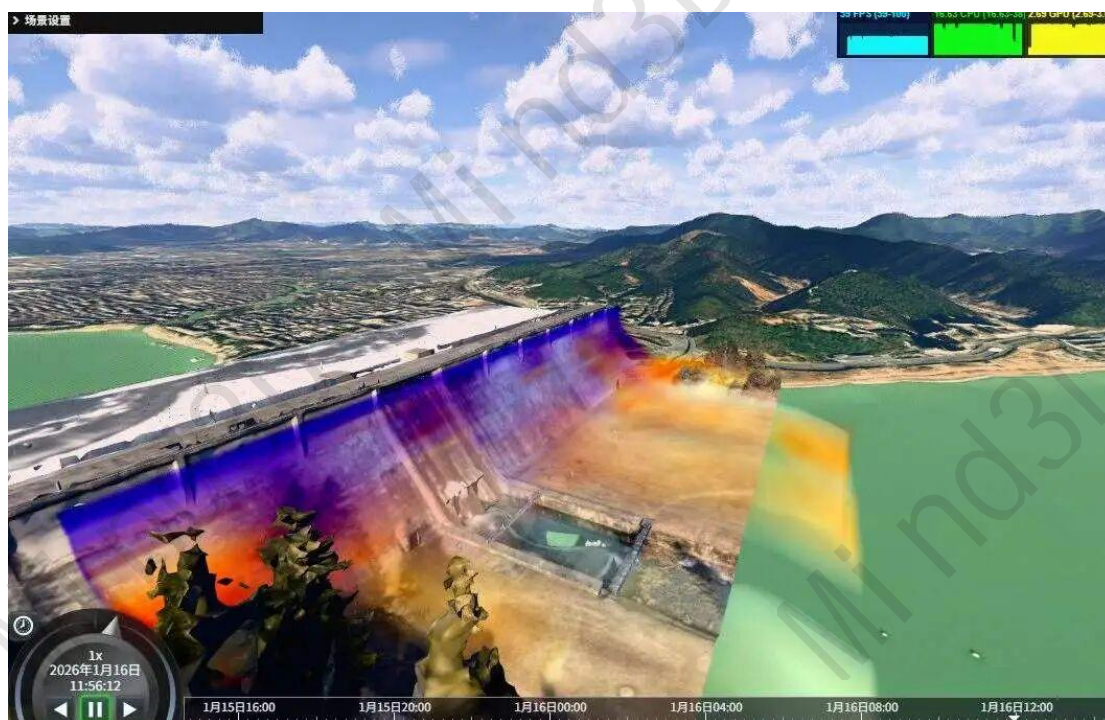
水库调度与防洪运行是智慧水利系统的重要组成部分。在传统管理系统中，泄洪过程通常只能通过二维图表或简单动画展示，难以直观表现真实水流状态。

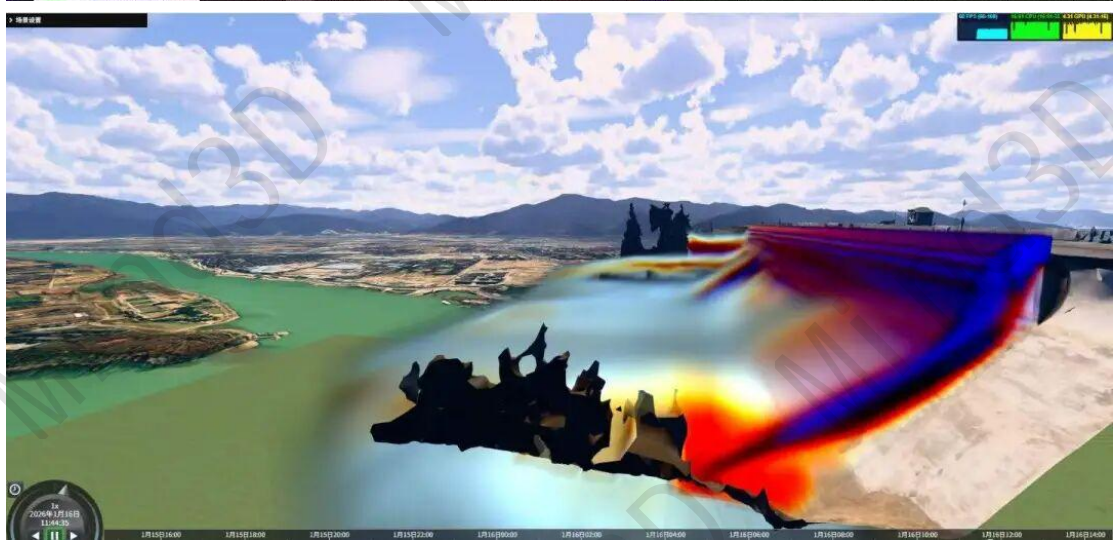
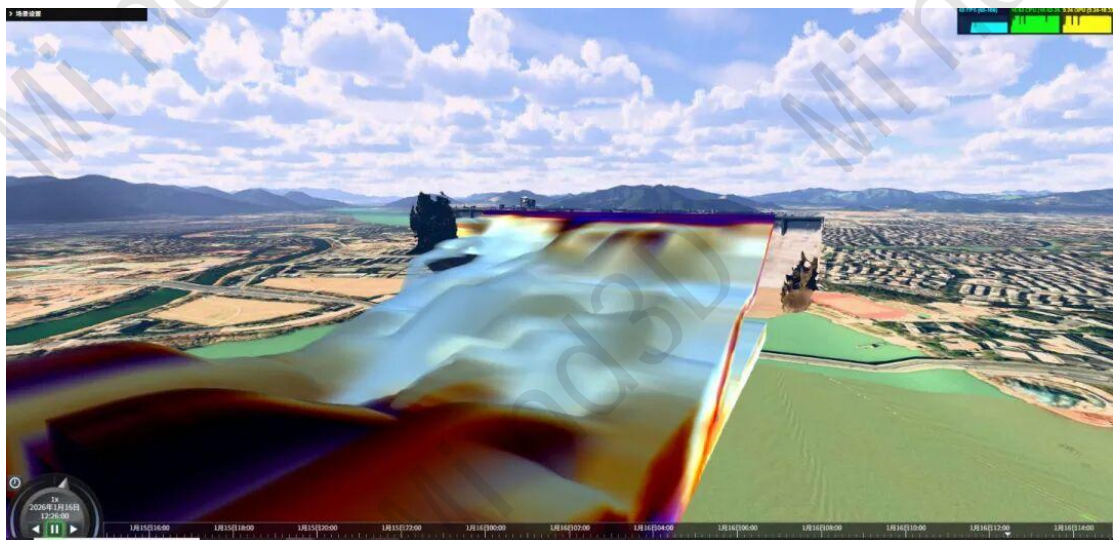
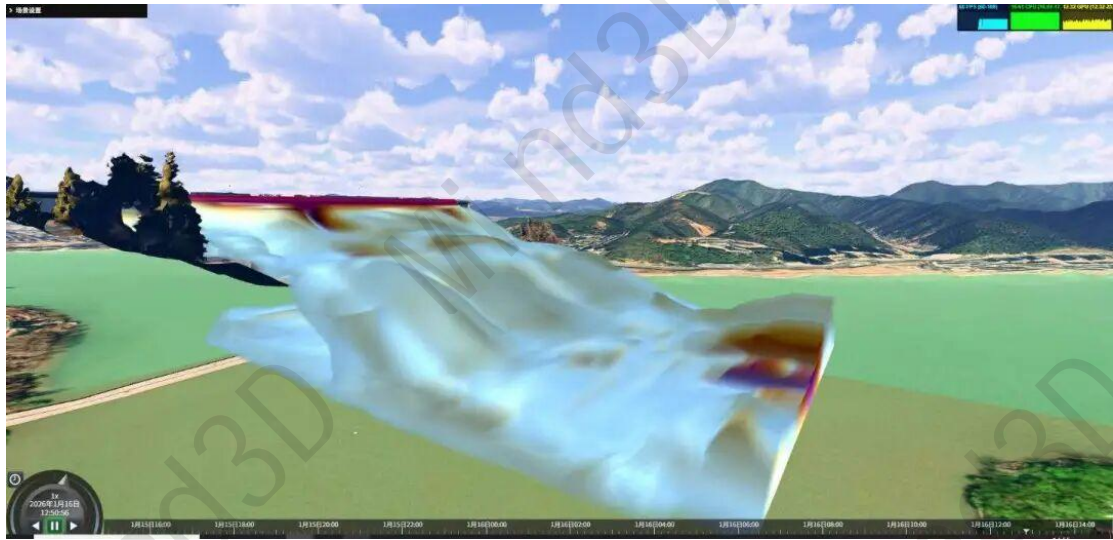
插件 3.0 提供 **水库泄洪三维仿真模块**，通过 GPU 流体渲染与粒子系统技术，对闸门开启后的水流喷射过程进行动态模拟。系统能够表现水流从闸门高速喷出的过程，并在下游形成扩散水流。

在三维场景中，水体会随着流量变化产生明显的喷射、冲击以及扩散效果，形成接近真实的泄洪过程表达。结合水库三维模型和地形环境，可以直观展示泄洪水流对下游区域的影响。

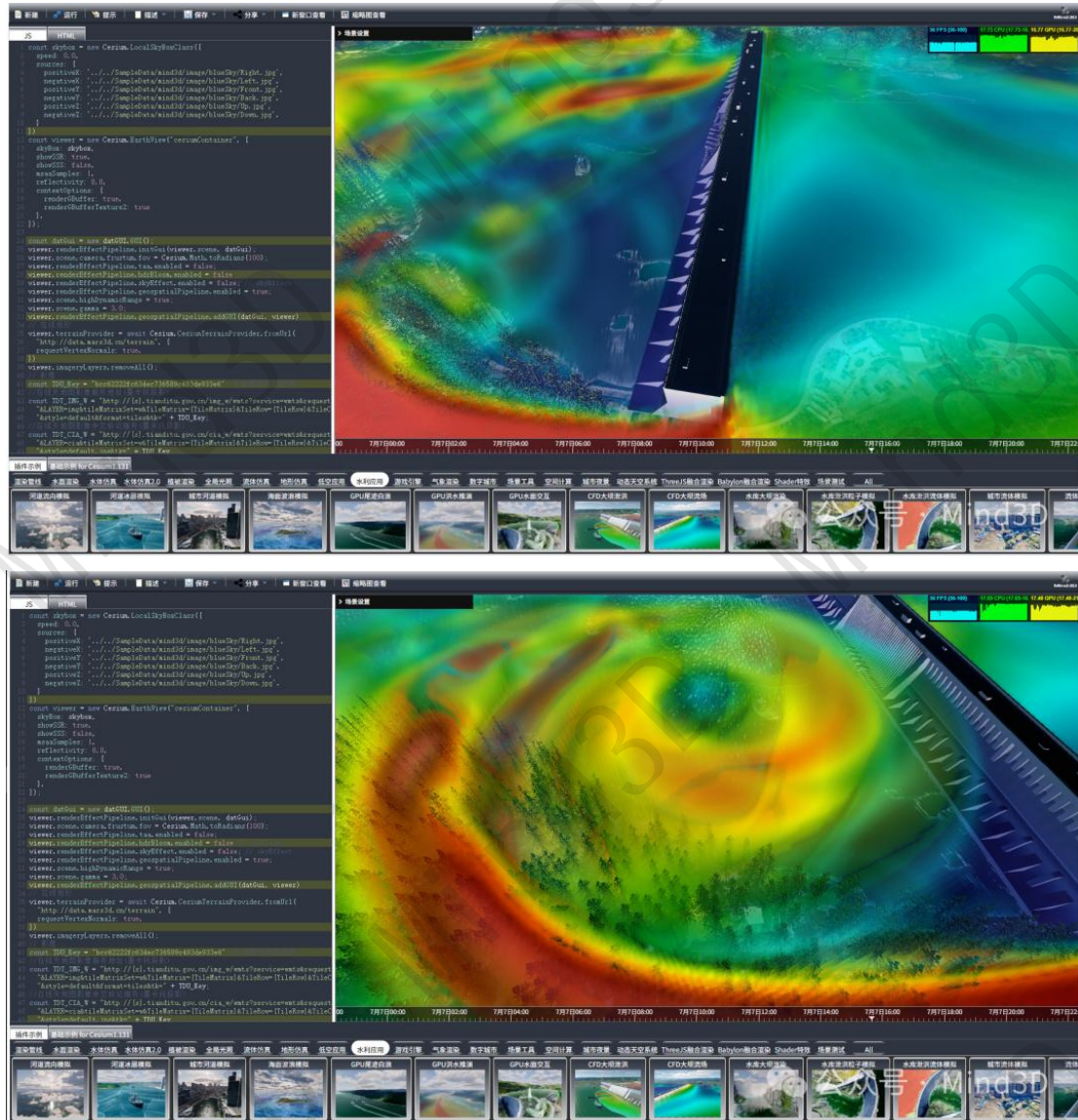
在数字孪生水库系统中，该模块可用于 **泄洪调度演示**、**工程运行监测** 以及 **防洪应急演练**

#### 1. 泄洪模拟





## 2. 大坝 CFD 风洞模拟



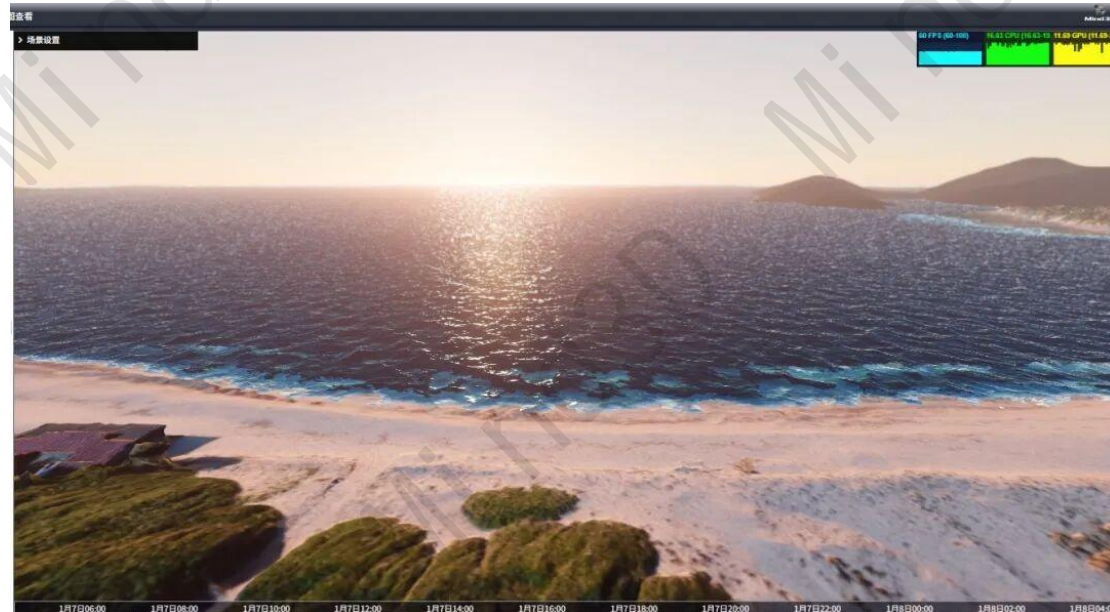
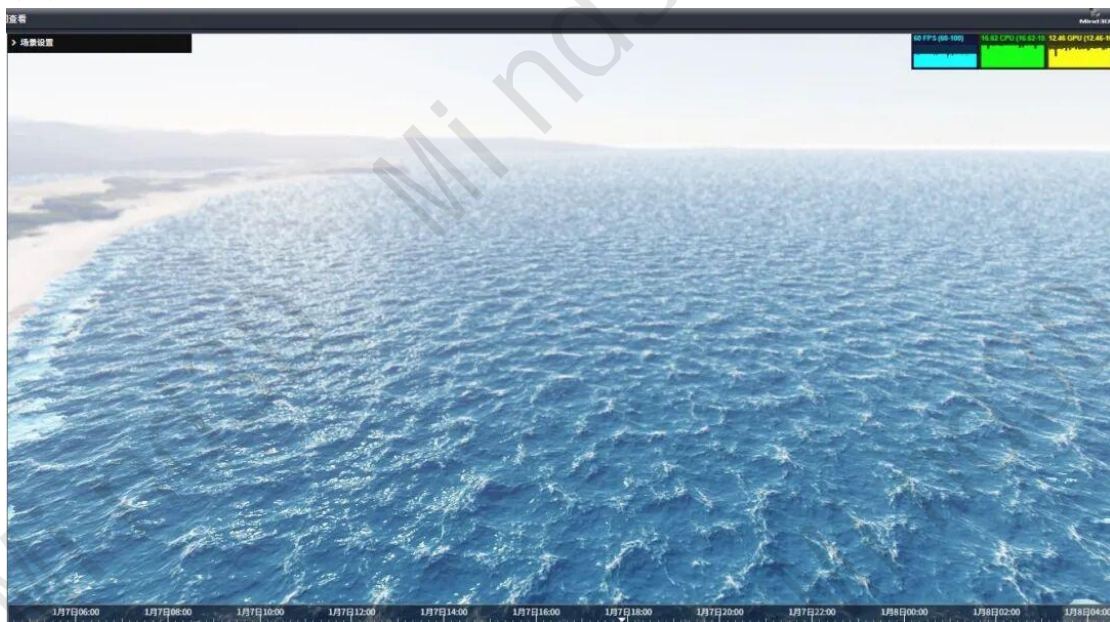
## 四、海洋水动力 x 全球海洋渲染

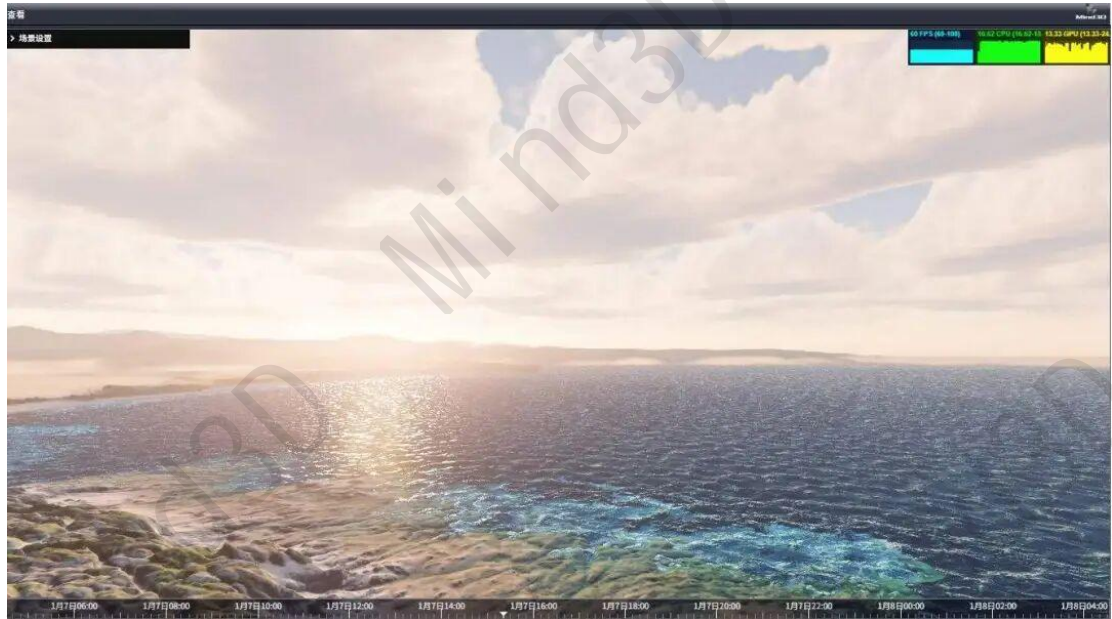
对于海岸带管理、海洋工程以及海洋灾害研究而言，普通水面渲染已经无法满足需求。真实海洋表面由不同频率的波浪叠加形成，其运动具有明显的频谱特征。

插件 3.0 引入 **FFT 海洋模拟技术**，通过海浪频谱模型计算海面高度变化，并利用 **GPU 实时生成海浪动态**。该算法能够模拟风场驱动下的海浪传播过程，使海面呈现出真实的波浪结构。

在三维地球环境中，海面可以随着风向和时间发生动态变化，从近海区域到远洋区域都能够保持连续的波浪效果。同时，海面还能够与天空环境、太阳光照以及地形岸线进行实时交互，从而形成完整的海洋环境表现。

该能力在海洋工程规划、海岸环境监测以及海啸模拟场景中具有重要应用价值。

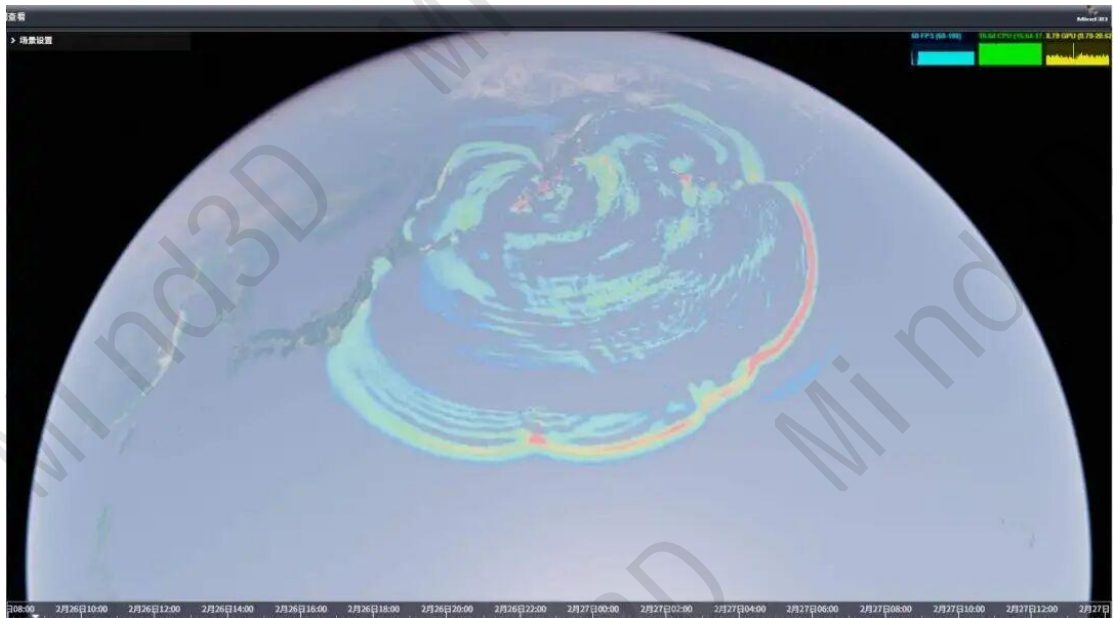


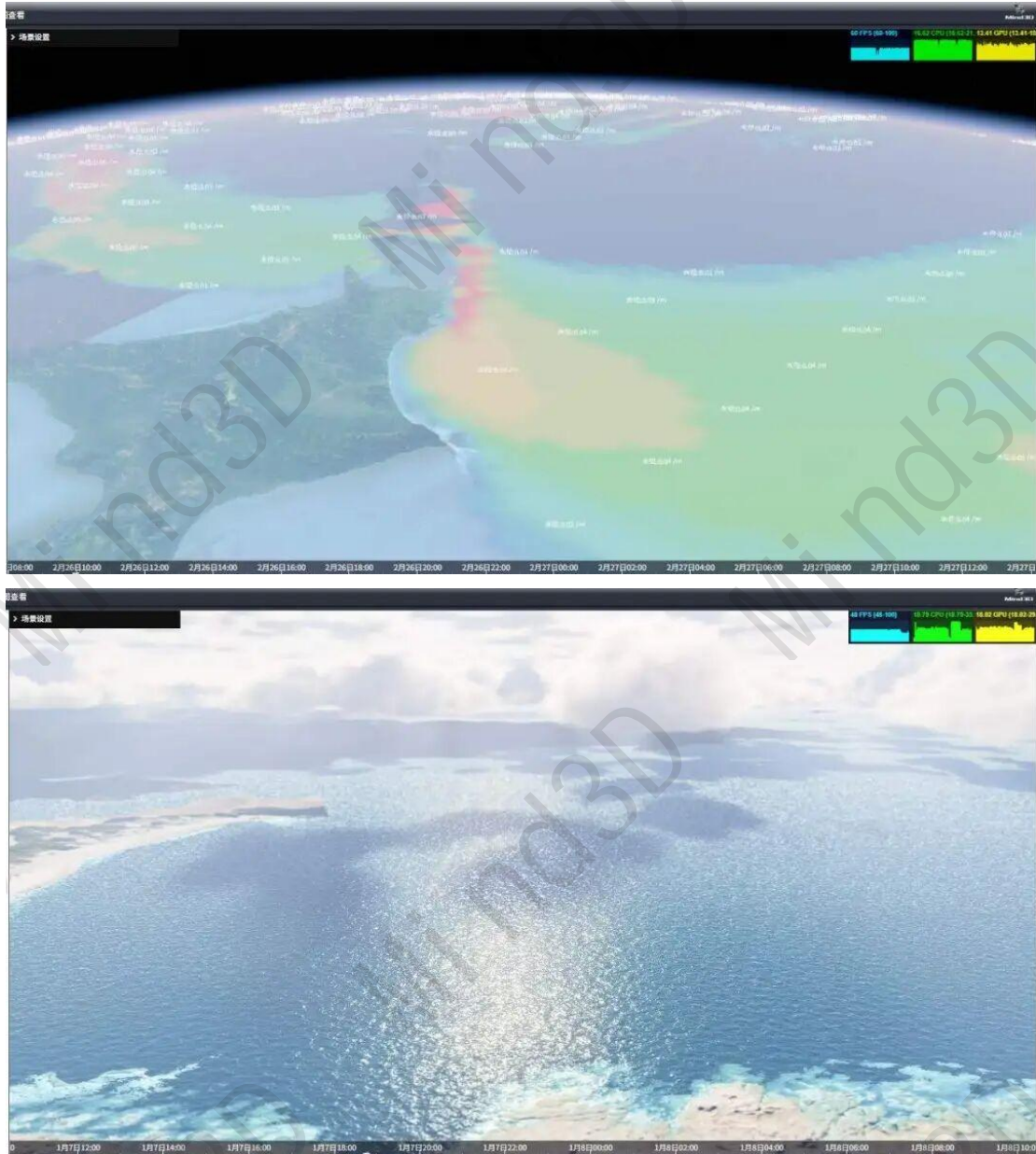


插件 3.0 提供 **海啸传播三维可视化能力**，通过接入海洋水动力模型数据，在三维海洋表面动态展示海啸波传播过程。海面高度会随着波浪传播发生变化，从而形成清晰的波峰与波谷结构。

当海啸波接近海岸线时，系统可以结合地形数据表现海浪冲击岸线的过程，并展示可能受影响的区域范围。

该模块可用于 **海洋灾害模拟、应急演练以及风险评估平台**。





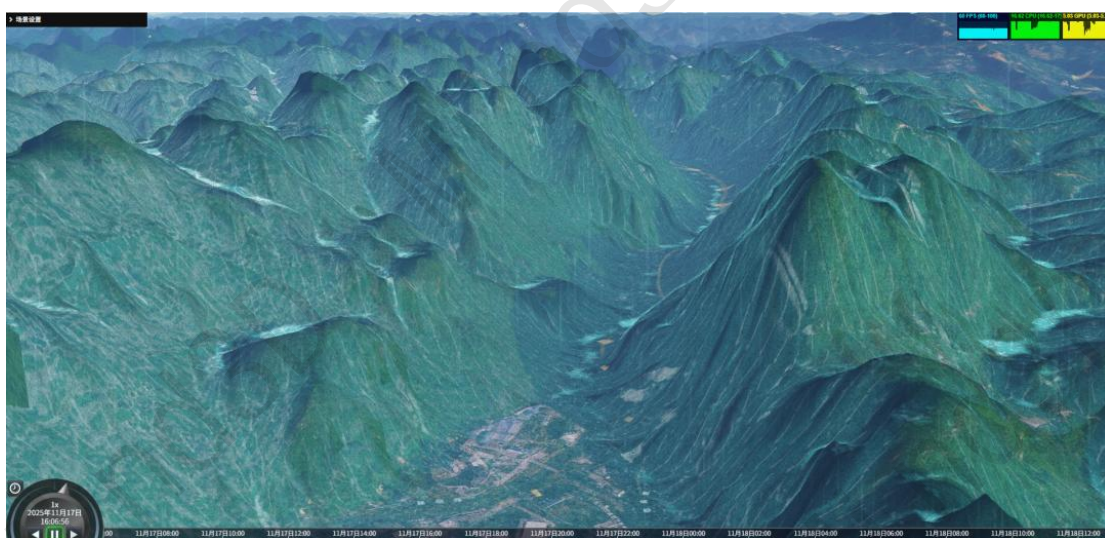
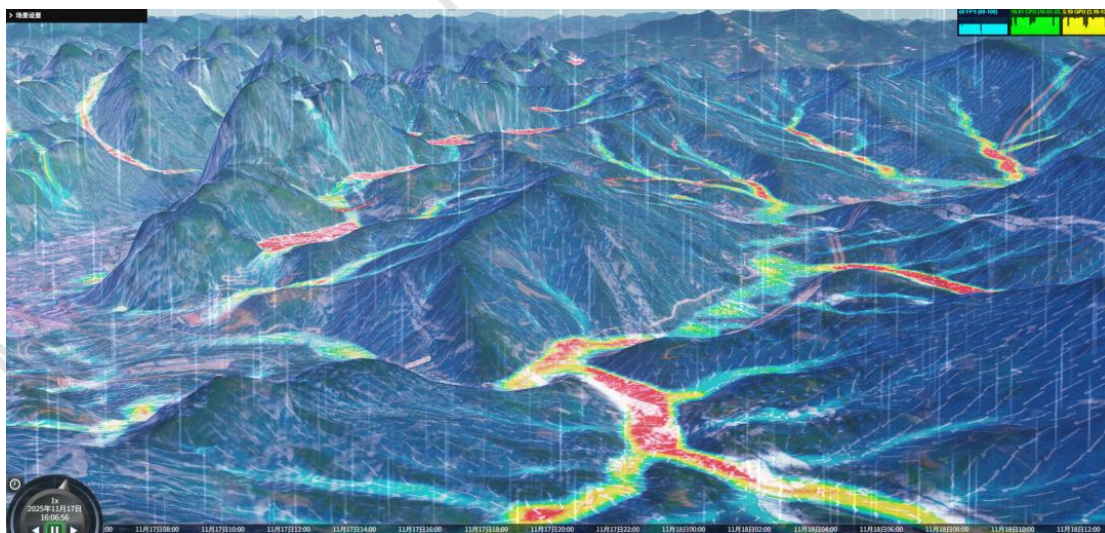
## 五、雨水汇流模拟

在流域水文分析与城市防洪研究中，降雨后的地表汇流过程是一个非常关键的水动力过程。降雨落到地表后，会受到地形坡度、地表粗糙度以及排水结构等因素影响，逐渐形成地表径流，并沿着地形低洼方向汇集到河道、沟谷或城市排水系统中。这一过程不仅决定了流域径流结构，也直接影响洪水形成与城市内涝发展。

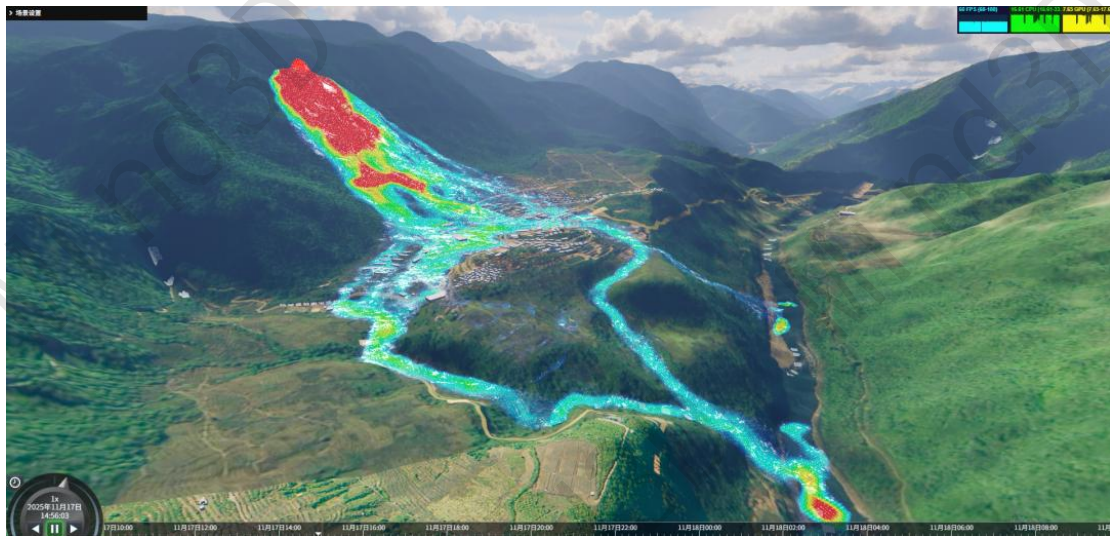
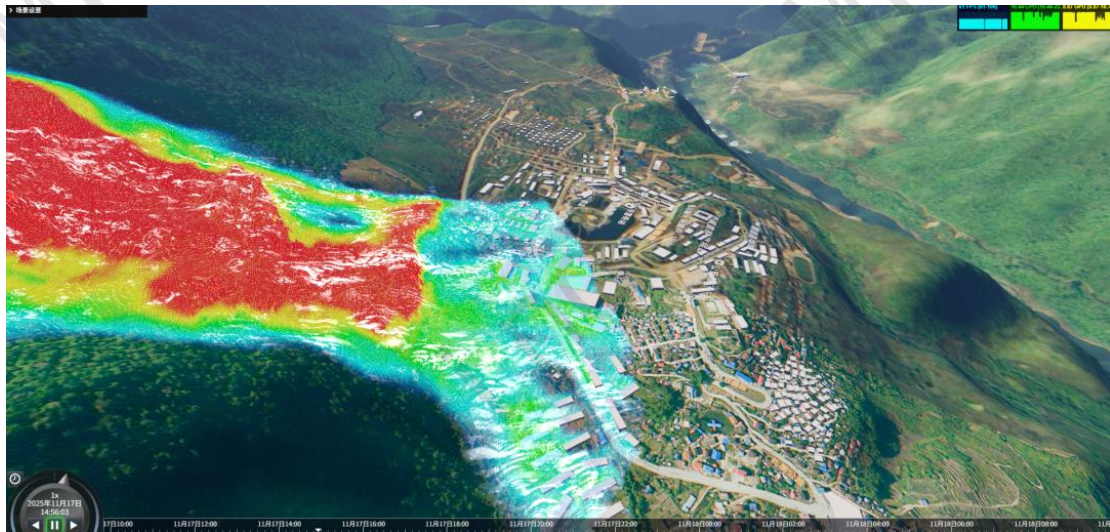
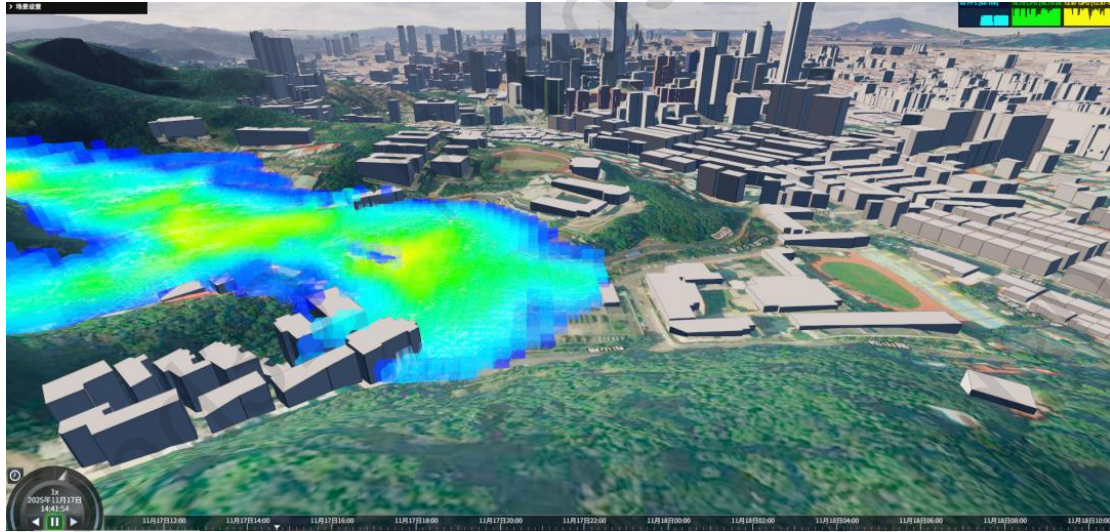
插件 3.0 在 GPU 流体仿真体系中构建了地形雨水汇流模拟模块，用于在三维场景中动态模拟降雨后的地表径流过程。系统以高精度 DEM 地形为基础，通过地形坡度分析与流向计算，实时模拟雨水在地表的汇流路径和径流扩散过程。

在模拟过程中，系统首先根据降雨强度在地形表面生成降雨水量输入，然后利用地形高程信息计算水体在地表的流动方向。雨水会沿着地形坡度向低处流动，在局部低洼区域形成积水，并逐渐汇集成地表径流。当汇流规模不断扩大时，水体会进入河道或沟谷，从而形成完整的流域径流结构。

### 1. 地形雨水汇流



## 2. 地形雨水汇流 x 北斗网格化



## 六、河道侵蚀模拟

插件 3.0 中引入了 **GPU 河道侵蚀模拟模块**，用于在三维场景中动态模拟水流对河床地形的侵蚀与演化过程。系统通过流体动力计算与地形变化模型的结合，实现水流冲刷与泥沙搬运过程的实时可视化表达。

在模拟过程中，系统首先根据河道地形与流速条件构建水动力场。当水流在河道中运动时，会对河床产生冲刷作用，在高流速区域逐渐形成侵蚀，而在流速减缓的区域则可能形成泥沙沉积。随着时间推进，河床地形会发生动态变化，从而逐渐形成新的河道形态。

在三维场景中，用户可以直观看到河道在水流冲刷作用下的变化过程，例如河床下切、河岸侵蚀以及泥沙堆积等地貌演化现象。通过连续模拟，还可以观察河道在长时间尺度上的形态演变趋势。

这一模块在实际应用中具有较高的研究与工程价值。例如在 **河道整治工程** 中，可以通过模拟不同流量条件下的侵蚀情况，分析河道稳定性；在 **水库下游冲刷研究** 中，可以评估泄洪对河床形态的影响；在 **流域生态修复与泥沙管理** 中，也可以通过侵蚀模拟分析泥沙输运路径。

通过 **GPU 并行计算** 与三维可视化技术的结合，河道侵蚀模拟不仅能够提高计算效率，还能够三维地球环境中直观展示水流与地形之间的相互作用过程，为数字孪生流域和智慧水利平台提供更加完整的水动力分析能力。





## 七、Web3D 灾害仿真框架

插件 3.0 还构建了一套完整的 **GPU 流体灾害仿真体系**，用于在三维地球环境中模拟多种与水相关的自然灾害过程。该体系基于 GPU 并行计算与实时流体渲染技术，将传统水动力计算结果与三维可视化深度结合，使灾害过程能够在三维场景中进行动态表达。相比传统二维模型展示方式，这种三维仿真方式能够更加直观地展示水体运动过程与灾害演化路径，在防灾减灾、应急演练以及风险评估等领域具有重要应用价值。

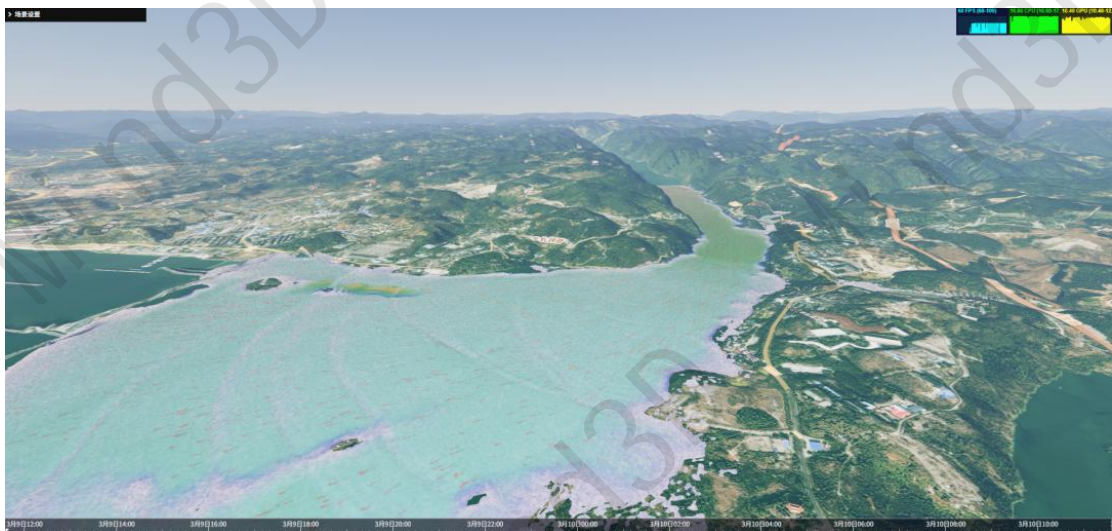
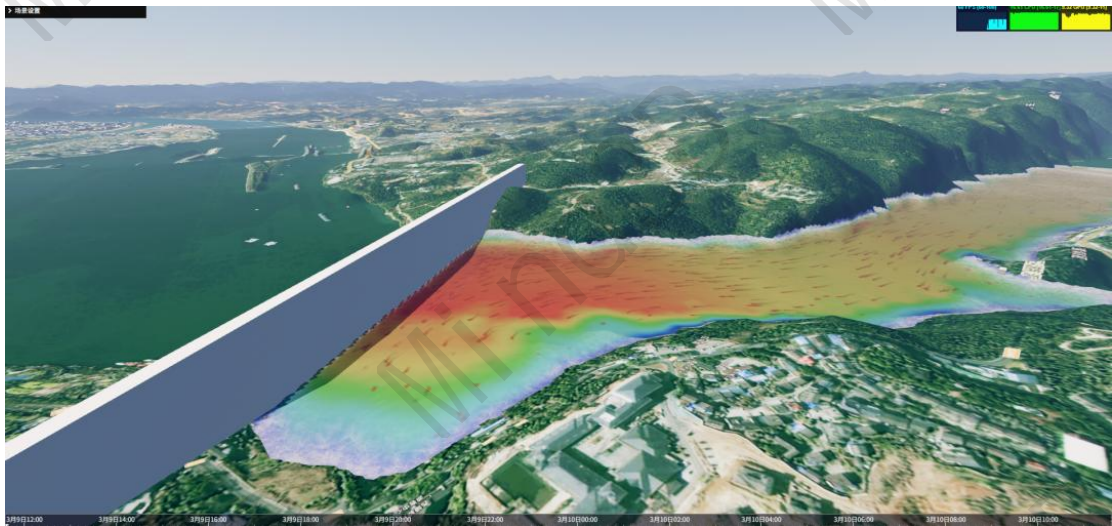
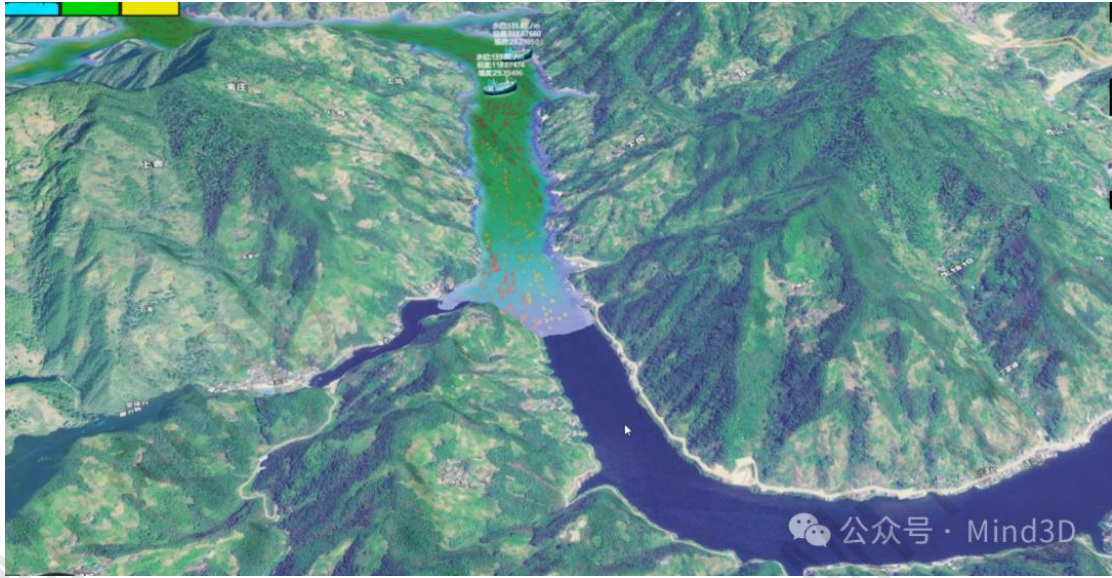
在洪水淹没模拟场景中，系统可以结合高精度 DEM 地形数据，对洪水在地表的扩散过程进行动态模拟。随着上游来水或降雨量的增加，水体会沿着地形低洼方向逐渐扩散，并不断覆盖周边区域。在三维场景中，可以清晰地看到洪水从河道溢出、逐渐漫延到周边低洼区域的全过程。系统能够实时展示淹没范围变化、水位上升过程以及洪水扩散路径，从而形成完整的洪水演化过程。这种模拟方式可以直观分析不同区域的洪水影响范围，在流域防洪规划、应急预案演练以及风险评估中具有重要意义。

在水体污染扩散模拟中，系统可以模拟污染源进入河道或水体后的传播过程。当污染物释放到水体环境中时，会受到流速、水流方向以及水体结构的影响逐渐向下游扩散。通过 GPU 流体模拟与粒子扩散模型，可以在三维场景中动态展示污染物在水体中的传播路径和扩散范围。污染物浓度可以通过颜色变化进行可视化表达，从而形成清晰的污染扩散过程。这一能力对于流域生态环境监测、水污染事故应急分析以及水质安全评估具有重要价值。

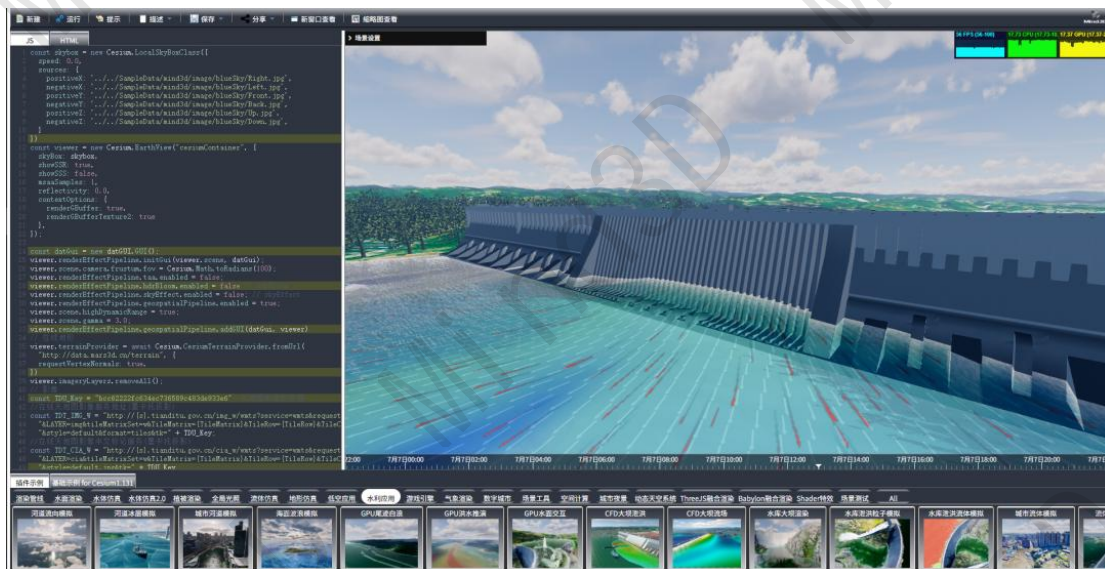
对于山区流域灾害场景，系统还可以模拟滑坡与泥石流等典型地质灾害过程。在强降雨或地质不稳定条件下，大量土石混合物会沿着山坡快速下滑，并在沟谷区域形成高速流动的泥石流。插件 3.0 通过 GPU 流体模型对这种土石混合流体进行模拟，使其能够沿地形坡度快速运动，并在谷地或河道区域逐渐形成堆积。通过三维可视化，可以清晰地展示泥石流的运动路径、冲刷范围以及堆积区域，从而帮助分析灾害影响范围和潜在风险区域。

通过这一 **GPU 流体灾害仿真体系**，插件 3.0 不仅能够实现对洪水、污染扩散以及泥石流等多种水相关灾害的动态模拟，还可以在三维流域环境中直观展示灾害演化过程。这种将流体计算与三维可视化深度融合的技术，为智慧水利平台、数字孪生流域以及灾害应急系统提供了更加直观、高效的技术支撑。

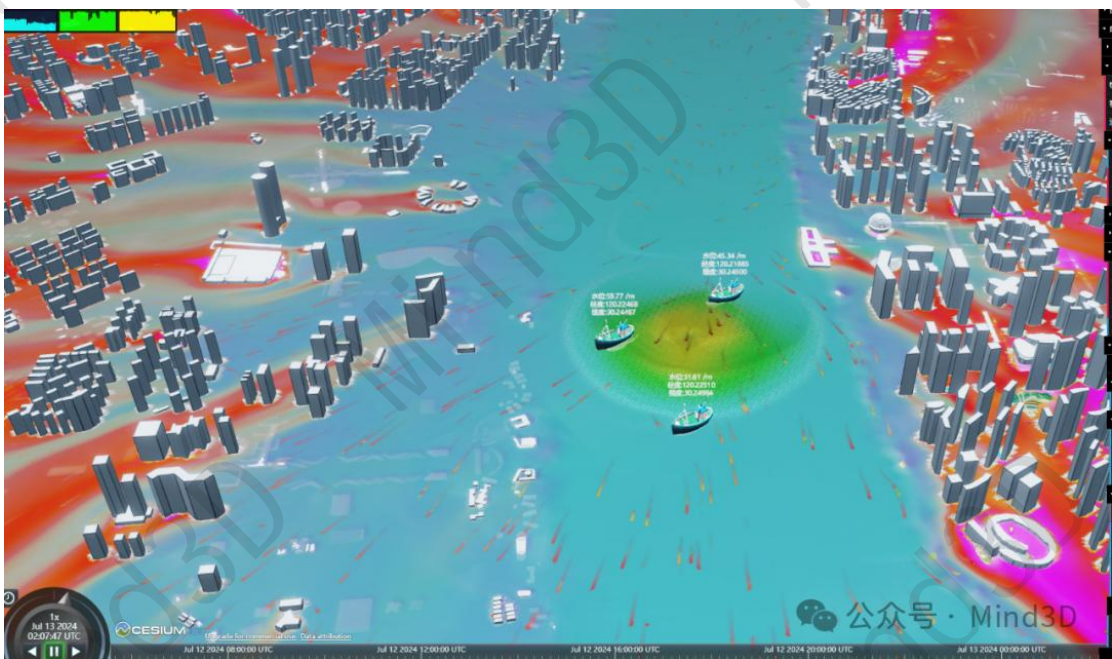
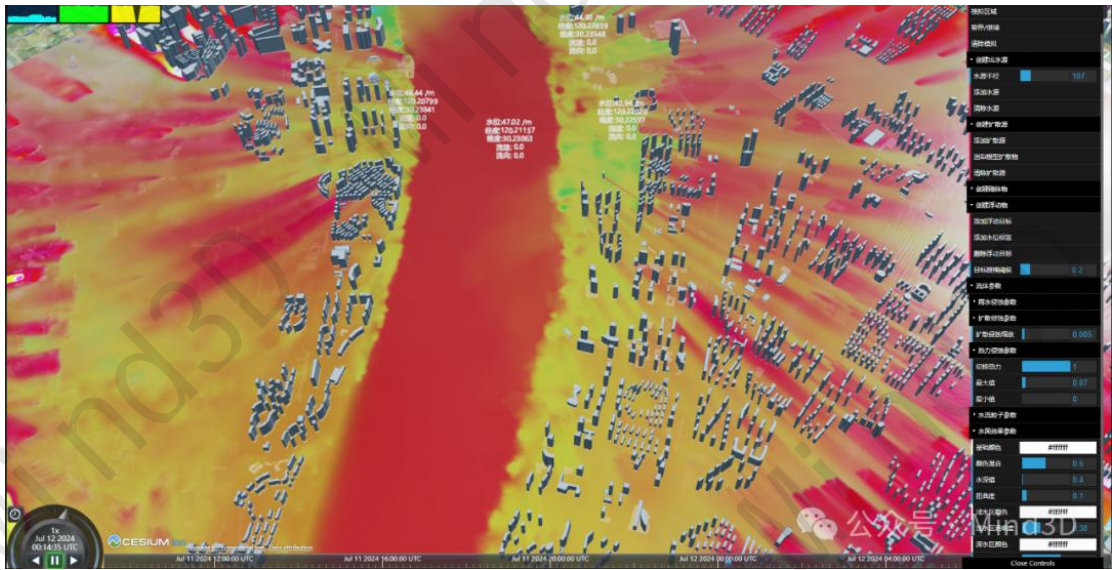
# 1. 洪水行洪模拟



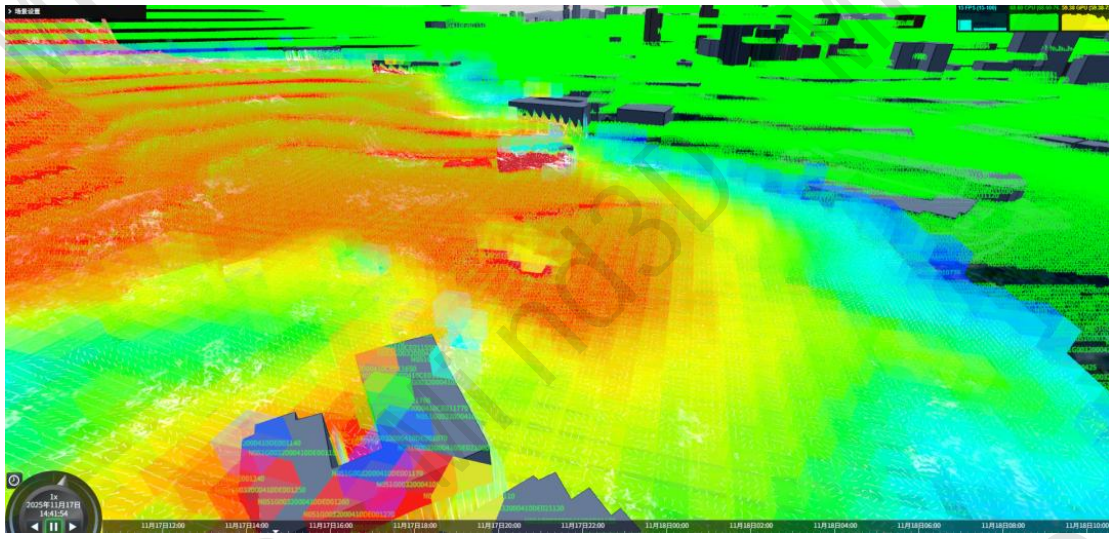
### 3. 城市水淹模拟



### 3. 水体污染扩散



## 4. 泥石流模拟



A screenshot of a 3D simulation software interface. The interface is divided into several sections:

- Code Editor:** Contains JavaScript code for a 3D scene, including functions for terrain generation and camera control.
- 3D Viewport:** Displays a 3D simulation of a landslide. A large, white, turbulent mass is shown moving down a slope. The text "GPU受灾面积估算: 566363.33平方米 0.5664平方公里" is overlaid on the scene.
- UI Elements:** Includes a menu bar at the top, a toolbar on the left, and a status bar at the bottom.

水利行业正在进入**数字孪生与智能化管理时代**。水利信息平台不仅需要展示数据，还需要能够**理解水体运动、模拟灾害过程并支持决策分析**。

基于 CesiumJS 构建的水利行业应用插件 3.0，通过整合三维渲染、GPU 流体模拟、水文模型以及北斗空间网格等技术，形成了一套完整的**数字流域三维应用能力体系解决方案**。

该体系不仅能够支持智慧水利平台建设，还能够**在洪水防控、海洋灾害、流域管理以及应急仿真等领域**提供强大的技术支撑。未来随着更多模型与数据的接入，这一三维水利技术框架也将持续扩展，为水利行业的数字化升级提供更加丰富的技术能力。