

# 数字地球气象可视化平台（Web + Unreal）

## PRD 产品需求文档

版本：v1.0（可落地草案）  
日期：2026-01-14

本文件面向产品、研发、测试与项目管理团队，用于对齐范围、交互、验收标准与版本计划。

### 文档控制

字段	内容
文档名称	数字地球气象可视化平台（Web + Unreal） PRD
版本	v1.0
状态	Draft（可用于立项/排期/招标）
适用范围	Web 端（CesiumJS） + Unreal 端（Cesium for Unreal） + 后端数据与业务服务
核心场景	点位仰视天气视野；区域事件（降雪）融合与风险；飞机穿层飞行与特效演示
数据源	ECMWF（预报） + CLDAS（监测/同化，开发期由用户提供）
部署形态	公网，无登录

### 变更记录

版本	日期	变更内容	作者
v1.0	2026-01-14	首次成稿：补齐底图/地形方案、三场景闭环、双端一致性、可交付 Backlog 粒度与验收口径。	ChatGPT

# 1. 背景与问题

气象业务对“时空四维数据（经纬度×高度×时间）”的解释与传播存在天然难点：传统二维图件难以表达垂直结构、演变过程与体感视角。本项目拟构建“数字地球+气象四维可视化+风险/灾害特效”的平台，支持用户在任意地点仰视观察天气现象，并能依据预报产品与监测同化数据，直观呈现风险区域及灾害效果。

项目有三个核心使用场景：

- 场景 1：用户点击地球任意点进入局地视角（2D/3D），仰视观察云与相关飞行器；锁定某高度层后切换为该高度层的全局视野。
- 场景 2：用户进入某区域（示例：降雪），叠加预报产品与监测/历史数据渲染正在发生的天气；根据预设风险点提示等级，并对某点灾害进行三维特效呈现（泥石流/山体滑坡等）。
- 场景 3：从高空向下的飞机飞行穿梭不同高度层，展示穿云/降水/风温变化等视觉呈现（沉浸式演示为主）。

# 2. 项目目标与非目标

## 2.1 目标（Goals）

- 在 Web 与 Unreal 双端提供一致的数据语义（同一套 run/valid\_time/level/variable/产品/风险），并分别满足“业务分析”和“沉浸演示”的体验。
- 以 ECMWF 预报为核心数据源，提供云、降水、风、温度四类要素的分层（地面+850/700/500/300hPa）可视化与时间轴播放。
- 实现三大场景的闭环：点位仰视-锁层-全局；区域事件融合-风险-灾害特效；飞行穿层演示。
- 公网可用：在无登录前提下，具备缓存/CDN/限流/归因展示等上线条件，保证可用性与成本可控。

## 2.2 非目标（Non-goals）

- 不做高精度物理仿真（真实泥石流/滑坡动力学、云微物理仿真）。灾害与天气现象以“可解释的可视化特效”呈现。
- 不追求 v0 即实现“全球体渲染云”。全局云按 P0 方案（云幕/云量贴图），仅在视野内或局地范围实现 P2 体积增强。
- 不在 v0 实现复杂权限体系与用户体系（公网无登录）。

# 3. 关键约束与已确认输入

类别	约束/输入
终端形态	Web + Unreal 双端
要素范围	云、降水、风、温度

高度层	地面 + 850/700/500/300 hPa
预报数据	ECMWF（开放数据/接口抓取后本地缓存与分发）
时效采样	0-72h 每 3 小时；72-240h 每 6 小时
监测/同化	CLDAS（开发期由用户提供；通常为小时 NetCDF 文件）
预报产品	文本为主，暂不提供真实数据；平台先内置示例产品数据结构与样例数据
部署	公网，无登录
云呈现策略	全局采用 P0（云幕/云量贴图）；视野内/局地采用 P2（体积云/体数据增强）
底图与地形	用户不提供；平台需提供可用获取方案（推荐 Cesium ion，预留自建替代方案）

## 4. 用户画像与典型任务

### 4.1 角色定义

角色	目标	常用动作	关键关心点
预报员/分析人员（Web 为主）	快速解释某地/某层天气结构与演变；对齐预报与监测；出具风险判断依据	点位进入仰视；切换高度层；播放时效；叠加产品/监测；查看风险点解释	数据一致性、响应速度、可解释性、图层可控性
演示/会商人员（UE 为主）	沉浸式展示穿云/降雪/灾害特效；在会商或汇报中“讲清楚”	选择事件与航线；飞行穿层；触发特效；在三维场景中交互标注	画面表现力、交互流畅、可控脚本与预设
公众用户（Web 为主）	直观看天气、风险区域与科普演示	浏览/搜索地点；查看事件摘要；观看演示飞行（若提供）	易理解、不卡顿、信息不过载

### 4.2 典型任务（Top Tasks）

- T1：选择某城市/经纬度进入点位模式，查看未来 24 小时云与降水变化，并切换 850hPa 看风温结构。
- T2：打开一个“降雪事件”产品，查看风险区域与风险点等级；对某风险点播放滑坡/泥石流特效演示。
- T3：在 UE 中选择一条航线，从 300hPa 下穿到地面，沿途观察云、降水、风温随高度变化。

## 5. 产品范围与版本规划

### 5.1 版本包定义

版本	目标	范围（摘要）	退出标准（验收）
v0（MVP）	三场景闭环 + 四要素五层 + 公网上线条件	Cesium ion 底图地形；ECMWF 抓取缓存；云 P0；降水粒子；风温层面；示例产品+风险点+1 种灾害特效；UE 交互飞行	Web/UE 均可：点位仰视-锁层-全局；事件模式；UE 飞行穿层；API 稳定；归因与限流生效
v1（增强）	增强可解释性与业务可用性	CLDAS 真数据接入；风流线/粒子流；产品编辑器（简版）；灾害特效库≥2；性能优化与可观测增强	事件模式可稳定使用真数据；风场表达更直观；编辑器可产出可渲染产品
v2（重点：云 P2）	视野内体积云增强 + 连续穿层体验	视野内云体数据包（Volume API）；UE 体积云贴合气象场；Web 局地体素云；飞行层间插值	Local/飞行视角下云明显三维化；性能可控；同一套数据驱动双端

### 5.2 范围边界

- v0 优先满足“能用能演示”：以稳定、快速、可解释为第一目标，画面拟真为第二目标。
- v2 再追求“视野内体积云”：以局地/视野内体数据实现三维云，避免全球体渲染的性能风险。

## 6. 功能需求（Functional Requirements）

下表为核心功能需求列表（含优先级与验收口径）。更细粒度任务拆分见 Backlog 文档。

需求 ID	模块	描述	优先级	验收标准（摘要）
FR-001	地球底座	Web 端加载全球地球（影像+地形），支持缩放/旋转/倾斜/复位。	P0	首次打开可交互；地形与影像正常显示；提供归因显示入口。
FR-002	地球底座	UE 端加载全球地球（影像+地形），支持自由飞行与定位。	P0	进入程序后可浏览全球；地形与影像正常显示。
FR-003	检索定位	支持按经纬度输入定位；（可选）支持城市/POI 搜索。	P0	输入经纬度可 FlyTo；错误输入有提示。

FR-004	时间轴	提供时间轴：按 ECMWF 时效采样（0-72h/3h；72-240h/6h）展示并可播放。	P0	时间轴列表与采样规则一致；播放/暂停/步进可用。
FR-005	层选择	提供高度层选择：地面 +850/700/500/300 hPa。	P0	层切换后，图层更新且 UI 显示当前层。
FR-006	图层系统	图层管理：云、降水、风、温度四类要素可独立开关；支持透明度调节。	P0	开关/透明度影响即时生效；图例随图层变化。
FR-007	点位模式	点击地球任意点进入 Local（点位）模式，显示点位信息（经纬度、海拔、当前时次/层）。	P0	进入后相机聚焦该点；信息面板显示正确。
FR-008	点位模式	在点位模式可切换仰视视角，看到云/降水粒子（若开启）。	P0	仰视可见天气效果；不显著卡顿。
FR-009	锁层全局	在点位模式选择某层并锁定后，切换到该层的全局视角（Layer Global）。	P0	相机切换到层壳；显示该层全球要素。
FR-010	云（P0）	全局云采用 P0 方案：以 ECMWF 云量（或派生）贴图形成云幕，可随时间更新。	P0	开启云层后全局可见；随时间轴变化更新。
FR-011	云（P2）	视野内/局地云采用 P2 方案：UE 体积云增强；Web 局地体素/云团增强。	P2	进入点位/飞行近景时云明显立体；远处仍为云幕；性能可控。
FR-012	降水	降水强度以时段量（tp 差分）驱动；近景以雨/雪粒子表现，远景以贴图表现。	P0	粒子密度随强度变化；雨雪类型合理；贴图与粒子一致。
FR-013	风	风场在层面以风矢（箭头）表示；可	P0	箭头方向与风向一致；密度可调；不

		选显示风速背景。		遮挡过多。
FR-014	风（增强）	提供风流线/粒子流模式，增强对流场的直观感知。	P1	可切换显示模式；性能满足目标帧率。
FR-015	温度	温度在层面以色带/等值线表示，带单位与图例。	P0	温度色带范围合理；图例显示单位与范围。
FR-016	数值取样	支持在地图上点选读取当前时次/层的要素值（温度、风速/风向、降水、云量）。	P0	点击任意点弹出数值卡片；数值与图层一致。
FR-017	区域事件	支持加载“事件产品”（示例：降雪区域 polygon + 文本）并在地图上标绘。	P0	可在列表/地图选择事件；区域边界与样式正确。
FR-018	事件模式	进入事件模式后自动打开相关图层（降水/温度/云等），并显示事件摘要与有效期。	P0	进入事件后 UI 自动切换；摘要信息正确。
FR-019	监测叠加	支持叠加 CLDAS 监测/同化栅格（如雪深/降水等）；若无数据使用示例栅格。	P0	监测层可开关；与预报层可对比显示。
FR-020	历史统计	支持历史降雪/积雪统计图层（时间范围可选）。	P1	可选择历史窗口；地图渲染正确。
FR-021	风险点	支持加载风险点（POI）并在事件模式中按等级显示（1-5）。	P0	风险点聚合/展开；颜色/标识与等级一致。
FR-022	风险解释	点击风险点展示解释：命中的阈值/因子、当前值、风险等级。	P0	解释内容可读；包含关键因子与数值。
FR-023	风险引擎 v0	风险引擎按规则计算（降雪量/雪深/风/温度等），可配置权重与阈值。	P0	配置变更后计算结果变化可验证；输出 reasons。
FR-024	灾害特效（UE）	UE 支持至少 1 种	P0	点击风险点触发特

		灾害特效（滑坡或泥石流），可由风险点触发播放/停止/重播。		效；可控制播放；不崩溃。
FR-025	灾害特效（Web）	Web 提供灾害特效简化版（粒子/贴花/模型动画），保证可解释与性能。	P0	能看到灾害演示；帧率可接受。
FR-026	飞行系统（UE）	UE 支持交互式飞行：选择起终点/航线，自动生成轨迹并飞行。	P0	可编辑航点；启动飞行；沿轨迹移动。
FR-027	穿层联动（UE）	飞行过程中根据高度自动切换层与图层数据 (300→500→700→850→地面)。	P0	高度变化触发层切换；HUD 正确；图层更新。
FR-028	多端一致性	Web/UE 对同一 run/valid_time/level/var 的渲染结果保持语义一致（颜色表/单位/阈值）。	P0	对齐抽样点数值与图例；误差在可接受范围。
FR-029	产品编辑（增强）	提供简版产品编辑器：画区域、多边形属性、文本、有效期、阈值。	P1	编辑后可发布；客户端可加载并渲染。
FR-030	分享与书签	支持生成可分享链接/书签（包含位置、时间、层、图层开关）。	P1	打开链接可复原状态。
FR-031	系统设置	支持单位/色标风格/图层透明度默认值等配置。	P1	配置可持久化（本地存储）。
FR-032	帮助与归因	提供“数据来源与归因”页面/面板，展示 ECMWF、底图/地形等归因与免责声明。	P0	归因在 UI 可见且可访问；内容可维护。
FR-033	性能保护	客户端具备性能保护开关：粒子密度上限、风矢密度、体积云开关、LOD 控制。	P0	低性能设备可关闭重效果；不影响核心图层。

FR-034	离线演示（可选）	UE 支持离线演示包（预先缓存某事件所需数据）。	P2	无网情况下可演示预设场景。
FR-035	国际化（可选）	支持中英双语 UI。	P2	可切换语言；关键文本覆盖。

## 7. 非功能需求（NFR）

NFR ID	类别	内容	优先级
NFR-001	性能	Web 主流程（无体数据）在主流浏览器下维持 30 FPS 以上；UE 演示机 30-60 FPS（视画质配置）。	P0
NFR-002	响应	切换 time/level 后，首帧（低清 LOD）在 1 秒内出现；清晰图层在 3 秒内完成加载（缓存命中时更快）。	P0
NFR-003	稳定性	前端与后端异常可降级：无体云时回退云幕；无监测时回退示例层；无某时次数据时 UI 灰显。	P0
NFR-004	公网安全	具备基础防刷：CDN 缓存、API 限流、WAF/防火墙策略、日志审计。	P0
NFR-005	成本控制	瓦片与静态资源尽量通过 CDN 缓存；热点事件支持预热；限制体数据请求频率与范围。	P0
NFR-006	一致性	双端统一色标、单位与阈值；同一抽样点数值差异有界。	P0
NFR-007	可观测性	后端提供 metrics（QPS、命中率、延迟、错误率）与日志；前端提供 FPS/内存/请求数面板。	P0
NFR-008	可维护性	数据处理、渲染与业务逻辑解耦；关键参数（权重、阈值、色标）	P0



		可配置化。	
NFR-009	合规与归因	ECMWF/底图/地形/其他数据源归因与免责声明必须在 UI 中可访问且可追踪版本。	P0

## 8. 交互界面 ( UX )

### 8.1 Web 端信息架构

Web 端目标：信息密度高、切换快、可解释。建议采用“顶部时间轴 + 左侧图层树 + 右侧信息面板 + 底部图例”的布局。

- 顶部：数据源/跑次 (run) 选择、时间轴 (valid\_time) 播放控制、当前时间显示。
- 左侧：图层树 (云/降水/风/温度/监测/产品)，每个图层含：开关、透明度、阈值/样式设置、图例入口。
- 右侧：信息面板 (按模式切换)：点位信息、垂直剖面 (v1+)、事件摘要、风险点解释、特效控制 (简化)。
- 底部：图例 (色标、单位、范围)、状态提示 (加载中/数据缺失/降级)。

### 8.2 Web 端主要页面/模式

模式/页面	入口	主要内容	关键交互
Global (全局)	默认进入/返回	全球地球；可浏览；可打开全局图层	点选进入 Local；选择事件进入 Event；时间轴播放
Local (点位)	点击任意点	局地视角；仰视天气；点位数值卡片	仰视/平视切换；层选择；锁层进入 Layer Global
Layer Global (层全局)	Local 中锁层	某高度层的全球视野 (壳层)	切换层/时间；返回 Local 或 Global
Event (事件)	选择产品/点击事件区	事件区域渲染；监测叠加；风险点；简化灾害演示	风险点点击解释；触发特效；返回 Global

### 8.3 Unreal 端信息架构

Unreal 端目标：沉浸、演示、可控。UI 以 HUD + 可收起面板为主，支持手柄/鼠标操作。

- HUD：当前高度层、风速风向、温度、降水类型与强度、时间、FPS/质量档位。
- 侧边面板 (可收起)：图层开关、层选择、时间轴播放、事件列表、风险点列表。

- 飞行面板：航线编辑（添加航点/删除/拖拽）、速度/高度策略、开始/暂停/重播。
- 特效面板：滑坡/泥石流等特效选择、强度、播放控制。

## 8.4 交互流程（收用）

### 流程 A：点位仰视 -> 锁层 -> 层全局

- A1：在 Global 模式点击地球某点；进入 Local，镜头落到点位附近。
- A2：开启云/降水，切换仰视；可见云幕与降水粒子（强度随当前 valid\_time 变化）。
- A3：选择 850hPa，点击“锁定高度层”；进入 Layer Global，显示 850hPa 全球风温场。
- A4：返回 Local 或切换到 700hPa，图层与图例同步更新。

### 流程 B：事件模式 -> 风险点 -> 灾害特效

- B1：从事件列表选择“降雪事件”，进入 Event 模式并定位到区域。
- B2：自动打开相关图层（降水/温度/云/监测雪深），展示产品文本与有效期。
- B3：显示风险点等级（1-5），点击某风险点展示解释（命中阈值/当前值/等级）。
- B4：点击“播放灾害演示”，触发滑坡/泥石流特效（UE 为主，Web 简化）。

### 流程 C：UE 飞行穿层

- C1：用户在地图上选起点/终点或选择预设航线，生成轨迹。
- C2：点击开始飞行，镜头/飞机沿轨迹运动，从 300hPa 逐层下降到地面（或相反）。
- C3：飞行过程中自动切换当前层数据与特效参数；HUD 持续展示当前层与要素。
- C4：可暂停、改变速度、跳转到某航点、重播。

## 9. 据容需求

### 9.1 ECMWF（外）

平台对外暴露统一的数据语义：

- run：跑次时间（例如 00/12 UTC 等，以后端 Catalog 为准）
- valid\_time：预报有效时间（按采样规则输出：0-72h/3h；72-240h/6h）
- level：sfc、850、700、500、300
- variable：cloud、precip、wind(u/v)、temp

要素与派生策略（v0）：

- 降水：tp（累积）做相邻时次差分得到时段量；结合 ptype 或温度阈值判别雨/雪。
- 风：u/v 派生风速风向；用于箭头/粒子/流线。
- 云：全局 P0 使用云量（如 tcc）作为云幕透明度；局地 P2 在 v2 使用 RH 等派生云密度并驱动体积云。
- 温度：sfc 用 2m 温度；高空用 pressure-level 温度。

### 9.2 CLDAS 监测/同化

CLDAS 作为监测/同化格点产品接入。开发期间由用户提供数据与字段说明。平台需具备通用 NetCDF 解析适配器，并支持按小时更新、按变量切片与瓦片化。

- 最小接入（v0）：至少 1 个与事件相关的监测栅格图层（例如雪深/降水/温度之一）。
- 增强（v1）：增加历史统计图层与“监测-预报差值”对比层。

### 9.3 预报产品（示例数据）

预报产品暂以文本为主，平台 v0 内置示例产品数据（文本+区域+等级+有效期）。后续可替换为真实产品或接入产品编辑器。

#### 示例产品字段（建议）

字段	类型	说明
product_id	string	产品唯一标识
title	string	产品标题
issued_at	datetime	发布时间
valid_from / valid_to	datetime	有效期
text	string	文本正文
hazards[]	array	风险对象列表（降雪等）
hazards[].type	enum	snow/wind/rain/...
hazards[].severity	int	等级 1-5
hazards[].geometry	GeoJSON	区域多边形
hazards[].attributes	object	阈值与业务字段（可选）

## 10. 因说明（公必）

公网部署必须在 UI 中展示数据来源归因与免责声明，至少包含：ECMWF 预报数据来源、底图/地形/建筑数据来源（如 Cesium ion / Bing / OSM 等）以及项目自身免责声明。

### 10.1 归因展示位置建议

- Web：右下角常驻 Attribution 区域 + “关于/数据来源”页面。
- UE：主菜单/帮助面板 + 演示 HUD 中的 “Data: ECMWF + ...” 简版字幕。

### 10.2 归因文本模板（示例）

以下为可配置模板（最终以各数据源最新要求为准）：

- Weather forecast data © ECMWF (CC BY 4.0).
- Basemap/Terrain/3D Tiles powered by Cesium ion; imagery/terrain/buildings attributions shown in-app.
- Monitoring/analysis data: CLDAS (provided by project owner).

## 11. 风险与对策

风险 ID	风险描述	等级	对策
R-01	公网流量不可控导致底图/瓦片费用与带宽压力	高	CDN 缓存；热点预热；限制最大 zoom；前端 LOD；监控+告警；必要时切换自建底图/地形方案。
R-02	ECMWF 拉取稳定性/频控导致数据延迟	中	中心化抓取与本地镜像；多源镜像；失败重试与降级；Catalog 明确可用 run/time。
R-03	Web 端体渲染云性能不足	中	严格遵循“全局 P0、视野内 P2”；P2 仅在局地/视野内启用并有上限；提供关闭开关。
R-04	UE 端交互复杂导致开发周期拉长	中	先实现最小交互闭环（时间/层/图层/事件/飞行/特效）；其它高级编辑能力进入 v1/v2。
R-05	CLDAS 字段与预期不一	中	Adapter 可配置映射；

	致		先用示例数据联调；收到真实数据后补齐字段映射与验证脚本。
R-06	数据许可/归因不符合要求	中	归因集中配置；上线前清单审计；UI 强制展示；版本化记录。

## 12. 里程碑交付物（建）

里程碑以“可演示/可验收”的系统能力为准，而非单纯时间。

- M0：技术路线与底图方案确认（Cesium ion）；代码仓库、CI、环境基线完成。
- M1：ECMWF P0 数据链路打通（抓取-解码-瓦片-时间轴）；Web/UE 能加载风温云降水基础图层。
- M2：场景 1 闭环（点位仰视-锁层-层全局）双端完成；数值取样完成。
- M3：场景 2 闭环（示例产品-监测叠加-风险点-灾害特效）双端完成（UE 特效为主）。
- M4：场景 3 闭环（UE 交互飞行穿层）完成；性能保护、归因、限流就绪。
- M5：v0 上线发布（公网域名、CDN、监控告警、回滚方案）。

## 附录 A：示例产品 JSON（v0 内置）

```
{
  "product_id": "demo_snow_001",
  "title": "示例：XX 山区强降雪预报",
  "issued_at": "2026-01-14T00:00:00Z",
  "valid_from": "2026-01-14T06:00:00Z",
  "valid_to": "2026-01-15T06:00:00Z",
  "text": "预计 XX 山区将出现大到暴雪，局地伴有大风，交通出行风险较高.....",
  "hazards": [{
    "type": "snow",
    "severity": 4,
    "geometry": { "type": "Polygon", "coordinates": [[[103.1, 30.1], [103.8, 30.1], [103.8, 30.6],
[103.1, 30.6], [103.1, 30.1]]]]},
    "attributes": { "snowfall_24h_mm": 20, "temp_2m_c": -3}
  }]
}
```