

ICS 07.040

CCS A 75

TB  
准

团 体 标 准

T/CSGPC XXX-20XX

# 数字孪生中小流域数据底板与可视仿真 规范

Norms for Data Foundation and Visual Simulation of middle and small river basin  
Digital Twins

(征求意见稿)

(本稿完成时间: 2026 年 2 月 27 日)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国测绘学会 发布



## 目 次

|                     |    |
|---------------------|----|
| 目 次.....            | I  |
| 前 言.....            | IV |
| 引 言.....            | V  |
| 1. 范围.....          | 1  |
| 2. 规范性引用文件.....     | 1  |
| 3. 术语和定义.....       | 2  |
| 4. 缩略语.....         | 3  |
| 5. 基本规定.....        | 4  |
| 5.1. 时空基准.....      | 4  |
| 5.2. 数据底板通用要求.....  | 4  |
| 5.3. 可视仿真通用要求.....  | 5  |
| 5.4. 运行环境.....      | 5  |
| 6. 总体框架.....        | 6  |
| 6.1. 数据底板框架.....    | 6  |
| 6.2. 可视仿真框架.....    | 6  |
| 7. 地理空间数据.....      | 7  |
| 7.1. 数据分类.....      | 7  |
| 7.2. 数据来源.....      | 7  |
| 7.3. 数据规格.....      | 9  |
| 7.4. 数据质量.....      | 18 |
| 8. 水利基础数据.....      | 20 |
| 8.1. 数据分类.....      | 20 |
| 8.2. 数据来源.....      | 20 |
| 8.3. 数据规格.....      | 20 |
| 8.4. 数据质量.....      | 21 |
| 9. 监测数据.....        | 22 |
| 9.1. 一般规定.....      | 22 |
| 9.2. 监测数据类型与精度..... | 22 |
| 9.3. 监测数据采集.....    | 23 |
| 9.4. 监测数据传输.....    | 23 |
| 9.5. 监测数据存储.....    | 24 |
| 10. 业务管理数据.....     | 24 |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| 10.1. 一般规定 .....          | 24        |
| 10.2. 流域防洪 .....          | 24        |
| 10.3. 水资源管理与调配 .....      | 25        |
| 10.4. 水利工程建设和运行管理 .....   | 26        |
| <b>11. 跨行业共享数据 .....</b>  | <b>26</b> |
| 11.1. 一般规定 .....          | 27        |
| 11.2. 建设内容 .....          | 27        |
| 11.3. 共享方式 .....          | 28        |
| <b>12. 数据模型 .....</b>     | <b>29</b> |
| 12.1. 数据模型分类 .....        | 29        |
| 12.2. 水利数据模型 .....        | 29        |
| 12.3. 水利网格模型 .....        | 29        |
| <b>13. 数据引擎 .....</b>     | <b>30</b> |
| 13.1. 一般规定 .....          | 30        |
| 13.2. 数据汇聚 .....          | 30        |
| 13.3. 数据治理 .....          | 31        |
| 13.4. 数据挖掘 .....          | 33        |
| 13.5. 数据存储与管理 .....       | 33        |
| 13.6. 数据服务 .....          | 34        |
| 13.7. 数据交互 .....          | 35        |
| 13.8. 性能要求 .....          | 36        |
| <b>14. 可视仿真对象 .....</b>   | <b>36</b> |
| 14.1. 可视仿真对象分类 .....      | 37        |
| 14.2. 水利管理对象 .....        | 37        |
| 14.3. 水利管理活动 .....        | 37        |
| <b>15. 可视仿真方法 .....</b>   | <b>37</b> |
| 15.1. 一般规定 .....          | 37        |
| 15.2. 针对水利管理对象的仿真方法 ..... | 38        |
| 15.3. 针对水利管理活动的仿真方法 ..... | 40        |
| <b>16. 可视仿真场景 .....</b>   | <b>42</b> |
| 16.1. 一般规定 .....          | 42        |
| 16.2. 物理场景 .....          | 43        |
| 16.3. 业务场景 .....          | 44        |
| <b>17. 仿真引擎 .....</b>     | <b>44</b> |
| 17.1. 功能定位 .....          | 44        |
| 17.2. 仿真引擎框架设计 .....      | 45        |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 17.3. 关键技术组件 ..... | 46 |
| 17.4. 功能规范 .....   | 46 |
| 17.5. 技术指标 .....   | 47 |
| 附录 A .....         | 49 |
| 附录 B .....         | 52 |
| 附录 C .....         | 58 |
| 附录 D .....         | 60 |
| 附录 E .....         | 66 |

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件起草单位：XXXXX、XXXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

## 引 言

随着数字孪生技术在水利领域的深入应用，构建数字孪生中小流域成为提升流域精细化管理水平、增强防洪减灾与水资源调配等能力的重要手段。为指导和规范数字孪生中小流域数据底板建设与可视仿真开发，统一技术标准，保障数据质量与系统功能，确保数字孪生技术在中小流域管理中科学、高效应用，特制定本文件。

数字孪生中小流域平台总体框架包括物理流域、信息化基础设施、数据底板、模型平台、知识平台、应用层、用户层、网络安全体系和保障体系。各层之间应相互协作，实现从数据采集、传输、汇聚、处理、存储到应用的全流程一体化。

本文件旨在为中小流域数字孪生的数据底板和可视仿真提供技术要求与规范指导，为开展数字孪生中小流域建设提供依据。

本文件为首次发布，后续将根据数字孪生技术发展、行业需求变化及实践反馈，适时修订完善。



# 数字孪生中小流域数据底板与可视仿真规范

## 1. 范围

本文件规定了中小流域开展数字孪生数据底板建设与可视仿真技术应用的基本规定和总体框架,提出了地理空间数据、水利基础数据、监测数据、业务管理数据、跨行业共享数据、数据模型、数据引擎、可视仿真对象、可视仿真方法、可视仿真场景、仿真引擎等方面的工作内容和技术要求。

本文件适用于中小流域开展数据底板建设与可视仿真技术应用等数字孪生建设与管理实践活动。

## 2. 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本规范;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

- GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范
- GB/T 13923 基础地理信息要素分类与代码
- GB/T 20257.1 国家基本比例尺地图图式
- GB/T 50138 水位观测标准
- GB/T 50159 河流悬移质泥沙测验规范
- GB/T 50587 水库调度设计规范
- GB/T 51416 混凝土坝安全监测技术标准
- GB/T 13989 国家基本比例尺地形图分幅和编号
- GB/T 39608 基础地理信息数字成果元数据
- GB/T 22239 信息安全技术网络安全等级保护基本要求
- GB/T 22240 信息安全技术网络安全等级保护定级指南
- GB/T 25058 信息安全技术网络安全等级保护实施指南
- GB/T 25070 信息安全技术网络安全等级保护安全设计技术要求
- GB/T 39786 信息安全技术信息系统密码应用基本要求
- GB/T 39624-2020 机载激光雷达水下地形测量技术规范
- GB/T 42640-2023 多波束水下地形测量技术规范
- GB/T 36344-2018 信息技术 数据质量评价指标
- GB/T 30319-2013 基础地理信息数据库基本规定
- GB/T 36625.3-2021 智慧城市 数据融合 第3部分:数据采集规范
- GB/T 36625.4-2021 智慧城市 数据融合 第4部分:开放共享要求
- GB/T 30319-2013 基础地理信息数据库基本规定
- GB/T 34960.5-2018 信息技术服务 治理 第5部分:数据治理规范
- GB/T 37025-2018 信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求
- GB/T 37973-2019 信息安全技术 大数据安全管理指南
- SL 21 降水量观测规范
- SL 106 水库工程管理设计规范
- SL 219 水环境监测规范
- SL 258 水库大坝安全评价导则
- SL 339 水库水文泥沙观测规范

SL 365 水资源水量监测技术导则  
SL 551 土石坝安全监测技术规范  
SL 601 混凝土坝安全监测技术规范  
SL 706 水库调度规程编制导则  
SL 725 水利水电工程安全监测设计规范  
SL 729 水利空间要素数据字典  
SL 766 大坝安全监测系统鉴定技术规范  
SL 768 水闸安全监测技术规范  
SL/T 782 水利水电工程安全监测系统运行管理规范  
SL/T 783 水利数据交换规约  
SL/T 801 水利一张图空间信息服务规范  
SL/T 803 水利网络安全保护技术规范  
SL/T 809 水利对象基础数据库表结构及标识符  
SL/T 812.1 水利监测数据传输规约第 1 部分：总则  
SL/T 213 水利对象分类与编码总则  
T/CWHIDA 0005 水利水电工程信息模型设计应用标准  
T/CWHIDA 0006 水利水电工程设计信息模型交付标准  
T/CWHIDA 0007 水利水电工程信息模型分类和编码标准  
T/CWHIDA 0009 水利水电工程信息模型存储标准  
SL/T 837 数字孪生流域数据底板地理空间数据规范  
CH/T 7003-2021 内陆水域水下地形测量技术规程  
SL/T 213 水利对象分类与编码总则  
SL 475 水利信息公用数据元  
SL 729 水利空间要素数据字典  
SL 730 水利空间要素图式与表达规范  
SL/T 801 水利一张图空间信息服务规范  
SL/T 809 水利对象基础数据库表结构及标识符  
SL/T 783-2019 水利数据交换规约

### 3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1 中小流域 medium and small-sized watersheds

二、三级支流以下，以分水岭和下游河道出口断面为界，集水面积为 200-3000 平方公里的相对独立和封闭的自然汇水区域。

#### 3.2 数字孪生中小流域 digital twin of medium and small-sized watersheds

以物理流域为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、水利知识为驱动，对中小流域(3.1)全要素和水利治理管理活动全过程进行数字映射、智能模拟、前瞻预演与物理流域同步仿真运行、虚实交互、迭代优化，实现对物理流域的实时监控、发现问题、优化调度的新型基础设施。

[来源：SL/T 837-2025, 3.1, 修改]

#### 3.3 数据底板 data baseboard

对物理流域、水网、水利工程全要素和水利治理管理活动全过程实现数据一体化应用服务的数据内

容、数据组织及软件工具的总称，由数据资源、数据模型、数据引擎等构成。

[来源：SL/T 837-2025, 3.1]

### 3.4 可视仿真 visual simulation

借助计算机图形学、虚拟现实、增强现实等技术，通过直观的图形、图像、动画等形式，对地理环境、水文过程、水利工程运行、水生态演变等抽象的数据或复杂的水利过程进行数字化建模和动态模拟展示。

### 3.5 模型驱动 model-driven

利用数学模型、物理模型、人工智能模型等多种类型的模型，基于数据底板和相关知识，通过构建严格的控制方程及其数值算法，驱动数字孪生系统对水文水资源运动、水利工程运行、水生态系统演变等过程开展模拟和预测。

### 3.6 时空数据融合 integration of spatial-temporal data

为了反映动态变化过程、趋势以及实现数据在空间上的一致性和完整性，将不同时间的历史数据、实时数据、预测数据，以及不同空间尺度的地理空间数据、水文数据、水利工程数据等进行整合、关联、匹配和叠加的过程。

### 3.7 水利基础数据 Hydraulic Basic Data

指在水事管理与活动过程中所涉及事权范围内的自然实体、水利设施和管理概念等。

## 4. 缩略语

下列缩略语适用于本规范。

- AR 增强现实 (Augmented Reality)
- BIM 建筑信息模型 (Building Information Modeling)
- BVH 层次包围盒 (Bounding Volume Hierarchies)
- CGCS 2000 国家大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System 2000)
- CIM 城市信息模型 (City Information Modeling)
- CNN 卷积神经网络 (Convolutional Neural Network)
- DEM 数字高程模型 (Digital Elevation Model)
- DOM 数字正射影像图 (Digital Orthophoto Map)
- DSM 数字表面模型 (Digital Surface Model)
- GAN 生成对抗网络 (Generative Adversarial Network)
- GIS 地理信息系统 (Geographic Information System)
- GPU 图形处理器 (Graphics Processing Unit)
- GSD 地面采样距离 (Ground Sampling Distance)
- HDEM 水利数字高程模型 (Hydraulic Digital Elevation Model)
- IDS 入侵检测系统 (Intrusion Detection System)
- IoT 物联网 (Internet of Things)
- IPS 入侵防御系统 (Intrusion Prevention System)
- LiDAR 激光雷达 (Laser Detection and Ranging)
- LOD 细节层次 (Level of Detail)
- OGC 开放地理空间信息联盟 (Open Geospatial Consortium)
- POS 定位定向系统 (Position and Orientation System)

RNN 递归神经网络 (Recurrent Neural Network)  
SQL 结构化查询语言 (Structured Query Language)  
VPN 虚拟专用网络 (Virtual Private Network)  
VR 虚拟现实 (Virtual Reality)

## 5. 基本规定

### 5.1. 时空基准

- a) 坐标系统采用 2000 国家大地坐标系, 当采用其他坐标系时, 应与 2000 国家大地坐标系建立联系。高程基准采用 1985 国家高程基准。
- b) 时间基准应采用公历纪元和北京时间。

### 5.2. 数据底板通用要求

#### 5.2.1. 数据质量

数据质量应符合下列要求:

- a) 数据应满足准确性、一致性、完整性和时效性要求。
- b) 数据应真实、准确地反映中小流域实际情况。
- c) 数据应统一数据存储格式和编码规则, 在不同系统、不同格式、不同时间的表达应保持一致。
- d) 数据应及时更新, 反映中小流域的最新状态。

#### 5.2.2. 数据脱敏

数据脱敏应符合下列要求:

- a) 应根据数据类型、敏感等级及使用场景, 选择合适的脱敏方法, 制定详细的脱敏方案。
- b) 应对数据底板中涉及个人隐私、商业秘密及其他敏感信息的数据进行脱敏处理。
- c) 数据脱敏后, 应确保敏感信息不可还原、数据可用性不受影响。
- d) 应建立完整的脱敏记录档案, 包括但不限于脱敏方案、操作日志、验证报告等资料。

#### 5.2.3. 数据安全

数据脱敏应符合下列要求:

- a) 原始数据、过程数据及成果数据均应纳入数据安全范围。
- b) 涉及国家秘密的数据应严格按照国家有关保密规定执行。
- c) 数据传输存储、处理分析和应用服务系统环境应按开展网络安全等级保护认证。

#### 5.2.4. 数据更新

数据更新应符合下列要求:

- a) 根据数据类型和应用场景, 明确各类数据的更新周期。
- b) 宜根据数据更新需求选择全量更新或增量更新策略。
- c) 数据更新应遵循“申请 - 审核 - 实施 - 验证”流程, 并明确各流程限定时间。
- d) 应制定数据更新质量指标, 包括数据准确率、数据完整性、更新及时率等。
- e) 数据更新记录应包含更新时间、操作人员、更新内容摘要等数据。

#### 5.2.5. 数据资源

数据资源应符合下列要求:

- a) 数据资源的采集、存储、处理和应用应遵循国家相关法律法规要求, 确保数据的合法性、合规性和安全性。
- b) 应建立完善的数据管理制度, 明确数据资源的分类、分级标准, 制定相应的访问控制策略, 保障数据资源的安全可控。

- c) 数据资源管理应建立备份、恢复和容灾机制，确保数据可靠性和可用性。
- d) 数据资源建设应具备扩展性。

### 5.3. 可视仿真通用要求

#### 5.3.1. 技术选型

- a) 技术选型应充分考虑与现有系统的兼容性，便于系统集成和升级改造。
- b) 引擎应具备跨平台兼容性，宜支持 VR/AR 设备接入，满足多样化展示需求。

#### 5.3.2. 界面功能

- a) 支持鼠标滚轮、拖拽及键盘快捷键等多种交互方式，实现场景的平移、缩放、旋转等基本操作。
- b) 提供场景导航功能，可通过地图缩略图、搜索框等方式快速定位至指定区域或水利工程设施，支持多视角切换（鸟瞰、漫游、定点观察）。
- c) 提供数据查询交互，可实时获取相关数据信息。
- d) 宜通过三维模型动态展示闸门启闭、泵站运行等过程，关键数据需在界面显著位置实时标注，数据刷新频率与实际监测频率一致。
- e) 支持用户在界面上进行数据查询、测量、标注等操作。点击场景中任意对象，可弹出详细属性信息面板；
- f) 支持场景中模拟方案推演交互，用户可调整水利工程参数，实时查看仿真结果变化。

#### 5.3.3. 性能要求

- a) 场景加载应采用渐进式异步加载技术，加载时间宜不超过 3 秒。
- b) 场景切换、数据更新引发的加载延迟，刷新时间不超过 3 秒。
- c) 在主流配置计算机上，复杂场景运行帧率不低于 24fps，常规场景帧率不低于 30fps。
- d) 可视仿真宜支持 7×24 小时不间断服务，对网络波动、硬件故障等异常情况具备容错能力。

#### 5.3.4. 数据交互

- a) 可视仿真系统应与数字孪生中小流域平台数据底板实时同步。
- b) 采用优先级传输策略，优先保障关键业务数据的实时性与准确性。
- c) 提供标准化的数据接口，支持与外部系统的数据交互，实现数据的共享与融合。宜采用 RESTful API、WebSocket 等标准接口协议实现与数据底板及其他业务系统的数据交互。
- d) 应设置合理的数据缓存机制，对频繁访问的静态数据进行本地缓存，减少数据请求次数。

### 5.4. 运行环境

#### 5.4.1. 硬件环境

硬件环境应满足数字孪生中小流域平台的计算、存储和数据传输需求，具备可扩展性和兼容性。

- a) 高性能服务器，宜具备64核以上CPU 运算能力、64GB以上内存和高速存储设备，用于运行数据管理系统、模型计算引擎和应用服务程序；图形工作站，需配备专业的图形显卡和高分辨率显示器，支持可视化展示和图形渲染的高效运行。
- b) 宜采用支持IPv6的网络设备，构建稳定可靠的网络连接。

#### 5.4.2. 软件环境

软件环境主要包括操作系统、数据库管理系统、地理信息系统软件、模型开发与运行平台以及应用程序框架等，宜采用国产化相关产品。

- a) 操作系统应选用主流服务器操作系统，提供稳定的系统运行环境和基础服务支持。
- b) 数据库管理系统应选择具有高可靠性、高性能和良好扩展性的产品。
- c) 地理信息系统软件应采用具备地理空间数据的处理、分析和可视化展示能力的成熟产品。
- d) 模型开发与运行平台需支持多种建模语言和算法库，便于开发和运行各类水文、水动力、生态等模型。

### 5.4.3. 网络环境

网络环境应具备高带宽、低延迟和高可靠性的特点。

- a) 对于远程访问和数据共享，应通过防火墙、虚拟专用网络（VPN）等技术保障网络安全，实现与外部网络的安全连接。
- b) 应合理采用云计算和边缘计算技术，优化网络架构。
- c) 应建立网络监控和管理系统，实时监测网络状态，及时发现和解决网络故障，保障网络的稳定运行。

### 5.4.4. 安全环境

在网络安全方面，宜部署防火墙、入侵检测系统（IDS）、入侵防御系统（IPS）等设备，防止外部网络攻击和非法访问，对网络流量进行实时监测和过滤，及时发现并阻断恶意攻击行为。

- a) 可采用加密技术，对数据在网络传输过程中的保密性和完整性进行保护。
- b) 数据安全层面，应实施严格的数据访问控制策略，基于用户角色和权限分配不同的数据访问级别。
- c) 需定期进行数据备份，并将备份数据存储在海外的安全存储设施中，以防止本地数据因自然灾害、硬件故障或人为破坏而丢失。
- d) 系统安全上，应及时安装操作系统、应用软件和数据库管理系统的安全补丁，修复已知漏洞，并建立系统监控和审计机制，对系统的运行状态、用户操作行为、数据访问情况进行实时监控和记录。

## 6. 总体框架

### 6.1. 数据底板框架

数据底板总体框架如图6.1-1所示。中小流域数据底板建设宜包含数据资源的“收集、汇聚、治理、存储、管理、服务”等各个环节的内容。

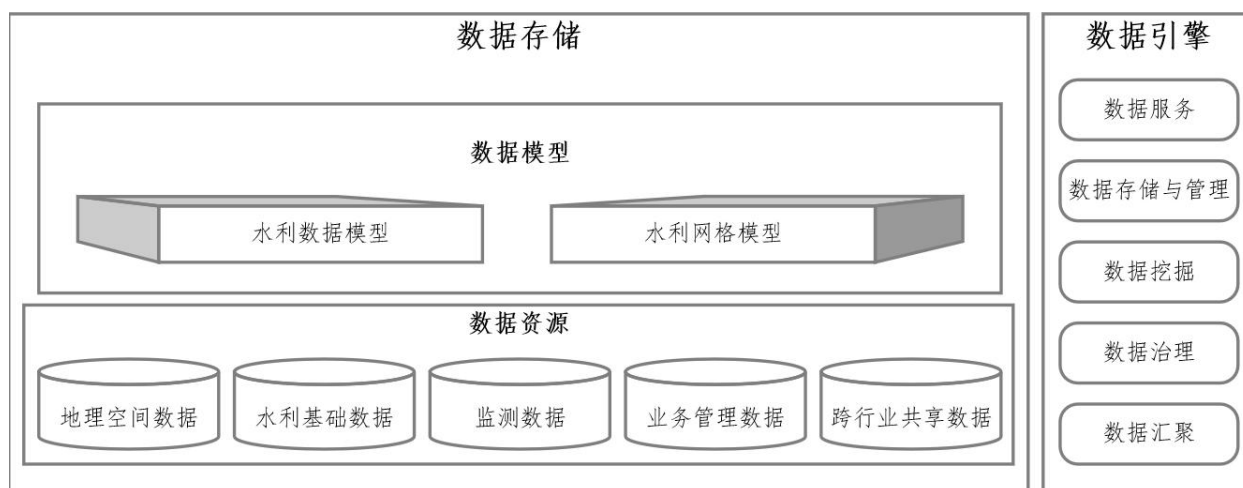


图6.1-1 数据底板总体框架

### 6.2. 可视仿真框架

可视仿真总体框架如图2所示。中小流域可视仿真宜包含“可视仿真场景、仿真对象、仿真引擎”各个方面的内容。

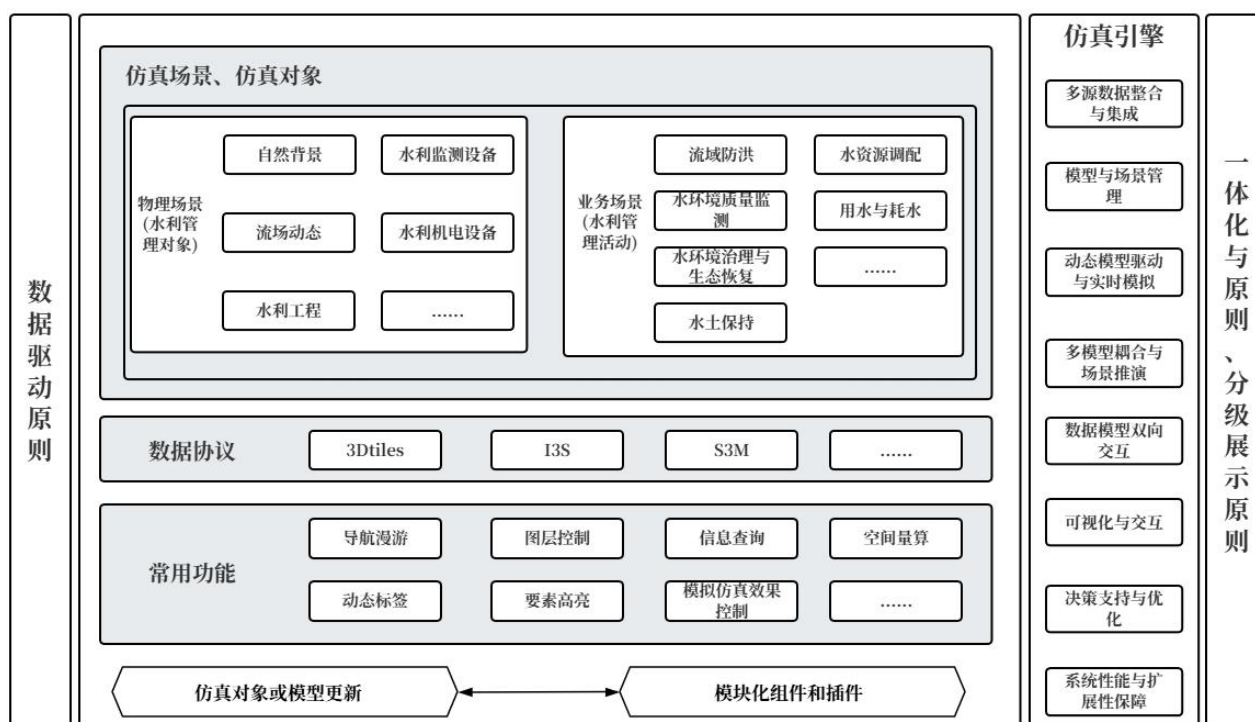


图6.2-1 可视仿真总体框架

## 7. 地理空间数据

### 7.1. 数据分类

7.1.1 地理空间数据包括以下类别：

- DOM；
- DEM/DSM/HDEM；
- 倾斜摄影模型；
- 激光点云数据；
- 水下地形数据（包括面状水下地形和河道断面）；
- 水利工程信息模型（BIM）。

#### 7.1.2 分级参考规范

中小流域地理空间数据使用 L2 级及 L3 级数据，并应符合《数字孪生流域数据底板地理空间数据规范（试行）》规范要求。

- 水下地形点通过相关手段能达到数据获取的精度要求的按 CH/T7003、SL 197 规定执行。
- 水下地形获取当采用多波束测深系统时还应执行 GB/T 42640-2023 中相关规定。
- 水下地形获取当采用机载激光雷达获取的精度要求按 GB/T 39624-2020 中相关规定。

### 7.2. 数据来源

#### 7.2.1. DOM 数据

DOM 数据应来源于水利一张图、跨行业共享以及新建。其中，新建 L2 级 DOM 数据宜采用卫星遥感

影像等技术生产主要支流重要河段、重要湖泊、国家蓄滞洪区、水土保持重点区分辨率优于 1m 正射影像图；宜采用卫星遥感影像等技术生产流域防洪等重要业务重点关注区分辨率优于 20cm 正射影像图。新建 L3 级 DOM 数据宜采用无人机摄影等方式生产水工建（构）筑物等分辨率优于 10cm 正射影像图。

#### 7.2.2. DEM/DSM/HDEM 数据

数据应来源于水利部、流域管理机构、行业主管部门、工程设计单位、建设单位以及自然资源部门等机构发布或共享的正式成果。针对已有资料不满足建设要求的，可根据需要进行数据采集与新建。

#### 7.2.3. 倾斜摄影模型数据

中小流域倾斜摄影测量数据的获取方式与来源需符合《低空数字航空摄影规范》（CH/Z 3005-2010）等标准，主要包括以下几种：

- a) 无人机航空摄影：采用搭载倾斜相机的无人机进行低空航拍，获取高分辨率影像。
- b) 地面移动测量：地面利用车载或背包式移动测量系统补充采集近地影像。可弥补航空摄影盲区，提升地物侧面纹理细节。同时地面利用实时差分定位系统获取地面控制点影像、精确坐标等数据。
- c) 开源/商业卫星影像：下载高分七号等国产卫星等商业卫星的多视角影像。
- d) 政府共享数据：水利/自然资源部门发布的流域实景三维模型或基础地理信息数据。
- e) 众源数据：整合社交媒体或地图平台中的用户上传影像。

#### 7.2.4. 激光点云模型数据

##### a) 机载激光雷达扫描

适用场景：大范围流域、山区、林区、河道等复杂地形的大面积测绘；

##### b) 地面静态激光扫描

适用场景：关键水利工程施工、重点岸坡、水文站点等场景

##### c) 移动激光扫描（车船载、手持式、背包式等）

适用场景：适用于线性、带状的河道以及重点建（构）筑物的补充采集

#### 7.2.5. 水下地形数据

进行水下地形数据和断面获取，考虑到采集的效率和数据精度上限能力方面这些情况，使用多波束探测系统、机载激光雷达探测和测距系统获取面域水下地形。包括其他方式获取的水下地形点能达到数据获取的精度要求的按 CH/T7003、SL 197 规定执行，当采用多波束测深系统时还应执行 GB/T 42640 中相关规定。测量时应考虑水深、流速、流态、河宽、河床等因素影响，宜安排在水位比较平稳、河床相对稳定的季节进行。水下地形测量宜在丰水期进行，以水涯线构成封闭区域。

##### a) 采用多波束测深系统水域扫测时，应符合下列要求：

- (1) 多波束主测线宜平行于等深线走向布设；
- (2) 多波束测深系统扫测面宽宜为水深的 3~8 倍；
- (3) 扫测测线之间的重叠应不小于 10%；若采用分区扫测，相邻区域应有 5% 以上的重叠。

##### b) 采用机载激光雷达采集的点云数据需要满足下面的要求：

表 7.2-1 点云数据采集要求

| 分级 | 适用范围     | 成果比例尺    | 数字高程模型成果格网间距/m<br>(空间分辨率) | 点云密度/(点/m <sup>2</sup> ) |
|----|----------|----------|---------------------------|--------------------------|
| L2 | 水库、湖泊、河段 | 1: 2000  | 2.0                       | ≤1.00                    |
|    |          | 1: 5000  | 2.5                       | ≤1.00                    |
|    |          | 1: 10000 | 5.0                       | ≤0.25                    |
|    |          | 1: 25000 | 10.0                      | ≤0.05                    |

|   |                    |         |     |        |
|---|--------------------|---------|-----|--------|
| L3  | 主要水库、河段及水工设施周边水域   | 1: 1000 | 1.0 | 4.00≤  |
|   | 淤积严重、冲淤变化明显的重点水下区域 | 1: 500  | 0.5 | ≤16.00 |
| 注 1: 按不大于 1/2 数字高程模型成果格网间距计算点云密度。         |                    |         |     |        |
| 注 2: 对由特殊要求的水下地形测量, 可使工程的技术要求在技术设计书中明确密度。 |                    |         |     |        |
| 注 3: 点云密度是指水下地形测量点云密度。                    |                    |         |     |        |

#### 7.2.6. 水利工程信息模型 (BIM) 数据

a) 可直接复用水利行业已建成的标准化 BIM 模型资源。需符合《T/CWHIDA 0007-2020》编码体系要求。

b) 通过工程原始设计图纸与施工图纸进行数字化重建。特别适用于以下对象: 水工建(构)筑物(如水坝、溢洪道)和机电设备系统(如输水管道、控制系统)。

c) 通过实地采集构建高精度模型

三维激光扫描技术: 用于获取建筑结构精细几何数据。

倾斜摄影技术: 生成建筑外观纹理与空间位置信息。

多源数据融合: 结合人工测绘点云、探深仪等补充细节。

### 7.3. 数据规格

#### 7.3.1. DOM 数据

a) 空间分辨率与更新频率

不同适用范围的分级 DOM 数据空间分辨率要求见表 7.3-1。

表 7.3-1 DOM 数据空间分辨率与更新频次

| 分级 | 适用范围                         | 空间分辨率    | 更新频次         |
|----|------------------------------|----------|--------------|
| L1 | 中小流域边界范围及流域外可能影响水文过程的区域      | 优于 2 米   | 不少于 1 次/1 年  |
| L2 | 主要支流重要河段、重要湖泊、国家蓄滞洪区、水土保持重点区 | 优于 1 米   | 不少于 1 次/3 年  |
|    | 流域防洪等重要业务重点关注区               | 优于 0.2 米 | 不少于 1 次/3 年  |
| L3 | 工程管理和保护范围                    | 优于 1 米   | 每年更新 1—2 次。  |
|    | 工程水工建(构)筑物                   | 优于 0.1 米 | 根据工程运行管理需要确定 |

b) 数据接边

DOM 应与相邻影像图接边, 使相邻正射影像重叠区域内的纹理、色调基本一致, 接边误差不应大于 2 个像素。

c) 分幅要求

应按需选择标准分幅、行政区划分幅、自然流域分幅, 数据范围小于最小分幅单元或无分幅索引需求的可单独存储。

标准分幅应符合 GB/T 13989 的规定, 不同级别的 DOM 数据采用的分幅方式, 参照 SL/T 837—2025 中的 DOM 数据分幅, 裁切范围应根据内廓线向外扩展不少于 50 个像素。

行政区划分幅应以行政区划边界分幅, 裁切范围应根据行政区划范围向外扩展不少于 50 个像素。

自然流域分幅应以自然流域单元分幅, 裁切范围应根据自然流域范围向外扩展不少于 50 个像素。

d) 文件命名

DOM 文件名由产品标识符、下划线、分幅编号、生产时间、精度、分隔符、扩展名组成, 其他 L3 级 DOM 文件名由产品标识符、下划线、水利工程名称、时间、精度、分隔符、扩展名组成。具体命名参照 SL/T 837—2025。

## e) 数据组织

DOM 成果采用非压缩 GEOTIFF 格式,影像定位信息文件采用 ASCII 的 TIFF World File(简称为 TFW)文档格式。以影像左上角像元中心点为起算坐标,数据的栅格坐标位于像元中心点,影像值是每一个栅格中心代表的值。

DOM 的色彩模式及像素位参照 SL/T 837—2025,无影像的空白区域以黑色填充(各波段像素值均为 0)。

## f) 元数据

DOM 元数据参考 GB/T 39608 的规定,包含数据的标识信息、空间参考信息、生产信息、质量信息和分发信息等。元数据文件格式宜采用 SHP、XML、XLS 等格式,并以标准分幅、行政区划、自然流域单元制作索引图。

## 7.3.2. DEM/DSM/HDEM 数据

## a) 空间分辨率与更新频率

表 7.3-2 DEM/DSM/HDEM 数据空间分辨率与更新频率要求

| 分级 | 适用范围                        | 空间分辨率   | 更新频次                                       |
|----|-----------------------------|---------|--|
| L1 | 流域范围外的其他区域                  | 优于 30 米 | 3 年内应更新一次;下垫面地形发生明显变化的应每年更新一次;有特殊需要的可按需更新。 |
|    | 流域范围                        | 优于 15 米 |  |
| L2 | 流域内主要干支流河道、重要湖泊、蓄滞洪区、上下游影响区 | 优于 5 米  |  |
|    | 水利工程管理/保护范围                 | 优于 2 米  |  |
| L3 | 工程水工建(构)筑物区域                | 优于 1 米  |  |
|    | 需与水下地形融合的工程水工建(构)筑物区域       | 优于 1 米  |  |

b) 数据接边: 应按照 CH/T 9008.2、CH/T 9020.2 与 CH/T 9022 有关规定执行。针对需要水陆拼接的数据,其接边区域应不少于 2 排重合格网点,并进行加权平均值平滑过渡,以控制接边处高程较差不超限,确保水陆地形无缝拼接。

c) 分幅要求: 应按照 GB/T 13989 有关规定执行。

d) 文件命名: 应按照 GB/T 13989 和 CH/T 9012 有关规定执行。

e) 数据组织: 相同精度和生产时间的数据应进行拼接,不同精度、不同时相的数据应分别存储。宜采用 GEOTIFF 格式存储,坐标定位信息文件采用 ASCII 的 TFW 文档格式,以左上角像元中心点为起算坐标,数据的栅格坐标位于像元中心点,高程值为每一个栅格中心代表的数值。

f) 元数据: 应按照 GB/T 39608 有关规定执行,宜采用 XLS、XML 文件形式进行组织。

## 7.3.3. 倾斜摄影模型数据

## a) 空间分辨率与更新频率

不同适用范围的倾斜摄影模型数据空间分辨率要求见表 7.3-3。

表 7.3-3 倾斜摄影模型空间分辨率要求

| 适用范围                     | 空间分辨率     |
|--------------------------|-----------|
| 重要湖泊、水土保持、流域防洪等重要业务重点关注区 | 优于 0.08 米 |
| 水利工程管理和保护范围              | 优于 0.03 米 |
| 坝址及重点水工建(构)筑物区域          |           |

不同应用场景下,倾斜摄影测量模型的更新频率不同,要求见表 7.3-4

表 7.3-4 不同应用场景下的倾斜摄影测量模型更新频次

| 应用类型        | 更新频率       | 适用场景             | 主要数据源             |
|-------------|------------|------------------|-------------------|
| 实时更新（小时级）   | 0.5~6 小时/次 | 洪水仿真、极端天气预测、灾害应急 | 无人机、流域传感器、雷达测绘    |
| 高频更新（天/周级）  | 1~7 天/次    | 短期水文变化、施工监测      | 卫星遥感、无人机航测        |
| 中频更新（月/季度级） | 1~6 个月/次   | 流域环境监测、植被变化、水土流失 | 高分辨率卫星、机载 LiDAR   |
| 低频更新（年级）    | 1 年/次      | 长期流域演变、城市更新、地貌变化 | 航空摄影测量、DEM/DSM 数据 |

## b) 数据接边

倾斜摄影模型接边处要素平面、高程较差限差应不大于中误差的 2 倍。

分块之间模型贴图应保持色调均匀，反差适中，不能有明显的模糊和重影、错位、缝隙等情况。

## c) 分幅要求

在航摄中，模型瓦片 (Tile) 分幅大小取决于 GSD (地面采样距离)、计算机硬件配置、数据存储能力以及三维渲染性能，其要求见表 7.3-5。

表 7.3-5 瓦片分幅要求

| GSD                    | 瓦片大小                      |
|------------------------|---------------------------|
| $GSD \leq 0.03$        | 低配设备 50*50, 高性能设备 100*100 |
| $0.03 < GSD \leq 0.08$ | 200×200                   |
| $GSD > 0.08$           | 400×400                   |

## d) 文件命名

倾斜摄影测量文件的命名需要遵循标准化、唯一性、可读性原则，采集处理过程中通常包括影像文件、控制点数据、POS 数据、航测报告等。

倾斜摄影模型命名应简明且易于辨识，以文件夹方式存储，文件夹名称以水利工程或河段的倾斜航摄/空三分区命名，主要包括 4 位摄影摄像模型标识 QXSY、3 位下划线、水利工程或河段名、2 位分区代码、6 位数据采集时间 (年月份) 和 2 位模型空间分辨率 (厘米)。

其中，影像文件是航空摄影测量的核心数据，可采用 [水利工程或河段名]\_[项目编号]\_[航摄日期]\_[航带编号]\_[影像编号]\_[GSD].[扩展名] 的方式命名。

POS 数据包含影像位置信息 (经纬度)、航向角、姿态角、相对高程。可采用 [水利工程或河段名]\_[项目编号]\_[航摄日期]\_[POS]\_[航点编号].[扩展名] 的方式命名。

控制点文件存储 GNSS 控制点 (GCPs)、检查点 (Check Points)，可采用 [水利工程或河段名]\_[项目编号]\_[GCP]\_[编号]\_[坐标系].[扩展名] 的方式命名。

空三解算数据包括相机参数 (CAM)、像控点调整 (BBA)、匹配点 (Tie Points)，可采用 [水利工程或河段名]\_[项目编号]\_[AT]\_[类型].[扩展名] 的方式命名。

航测完成后，需存储质量检查报告、误差分析、精度评估，可采用 [水利工程或河段名]\_[项目编号]\_[Report]\_[类别].[扩展名] 的方式命名。

## e) 数据组织

倾斜摄影模型包括几何数据、纹理数据、属性数据和元数据等数据类型，具体数据格式见表 7.3-6。

表 7.3-6 倾斜摄影模型数据格式要求

| 数据类型    | 数据格式                        |
|---------|-----------------------------|
| Mesh 模型 | OSGB、3D Tiles、OBJ、3SM、S3M 等 |
| 单体模型    | MAX、OBJ、3D Tiles 等          |
| 纹理数据    | JPG、TIFF、PNG 等              |

|      |                   |
|------|-------------------|
| 属性数据 | MDB、SHP 等         |
| 元数据  | SHP、XML、XLS、TXT 等 |

## f) 元数据

元数据参考 GB/T 39608-2020 基础地理信息数字成果元数据的规定，主要内容标识信息、空间参考信息、生产信息、质量信息和分发信息 5 部分组成。元数据文件格式宜采用 SHP、XML、XLS、TXT 等。元数据文件以标准分幅、行政区划分单元制作索引图。

## 7.3.4. 激光点云模型数据

## a) 空间分辨率与更新频率

表 7.3-7 空间分辨率与更新频率

| 分级 | 适用范围            | 空间分辨率           | 更新频次                                |
|----|-----------------|-----------------|-------------------------------------|
| L2 | 流域防洪等重要业务重点关注区  | 点云密度优于 4 点/平方米  | 周期更新：年 1-2 次；<br>动态更新：汛期前后或灾后可加密更新。 |
| L3 | 水利工程管理和保护范围     | 点云密度优于 4 点/平方米  | 周期更新：年 1-3 次；<br>动态更新：汛期前后或灾后可加密更新。 |
| L3 | 坝址及重点水工建（构）筑物区域 | 点云密度优于 16 点/平方米 | 周期更新：年 1-3 次；<br>动态更新：汛期前后或灾后可加密更新。 |

## b) 数据接边

数据接边误差应不大于 2 倍的平面和高程中误差，保证数据接边平滑，无错位、突变等情况。

## c) 分幅要求

激光点云数据的分幅编号方式与 DOM 数据相同，具体参照 7.4.1 章节。

## d) 文件命名

沿用 SL/T 837—2025 的命名标准，保障数据存储管理的兼容性。

## (1) 激光点云分幅文件命名

文件命名遵循文件名由 35 位字符组成：10 位产品标识符、3 位下划线、10 位标准图幅号、6 位生产时间(年月份)、2 位点云密度大小(点/平方米)、1 位分隔符、3 位扩展名。产品标识符为“PointCloud”，标准图幅号依据 GB/T13989 要求，分隔符采用“.”符号，扩展名表示数据文件和元数据文件格式。示例：PointCloud\_J50G090004\_202208\_04.Las。

## (2) 激光点云不分幅文件命名

文件名由 10 位产品标识符、3 位下划线、区域名称/河道名称、6 位生产时间（年月份）、2 位点云密度大小（点/平方米）、1 位分隔符、3 位扩展名组成。产品标识符为“PointCloud”，分隔符采用“.”符号，模型数据扩展名为“Las”。示例：PointCloud\_XX 水库\_202208\_04.Las。

## e) 数据组织

格式要求：原始点云采用 las1.2 及以上标准格式，分类后数据按 LAS 分类标准编码；

成果坐标：系统所涉及各类矢量图层、高精度点云、目标航点的空间基准应采用 2000 国家大地坐标系（CGCS2000），高程基准应采用 1985 国家高程基准，所有数据坐标系和高程基准需保证一致。

## f) 元数据

元数据内容、源文件格式按照《数字孪生水利数据底板地理空间数据规范》（SL/T 837—2025）中的附录 D 执行

## 7.3.5. 水下地形数据

## a) 空间分辨率与更新频率

说明不同适用范围的分级水下地形数据精度要求与更新频次，可使用表格来表述，表格内容可根据实际情况进行修改

## (1) 面域水下地形

不同类别面域水下地形空间分辨率、高程中误差精度要求与更新频次，具体按表 7.3-8、表 7.3-9 执行。

表 7.3-8 水下地形点平面位置中误差

| 分级 | 适用范围               | 空间分辨率    | 成果比例尺    | 水下地形点平面中误差/m |
|----|--------------------|----------|----------|--------------|
| L2 | 水库、湖泊、河段           | 优于 5 m   | 1: 2000  | 1.80         |
|    |                    |          | 1: 5000  | 3.75         |
|    |                    |          | 1: 10000 | 7.5          |
|    |                    |          | 1: 25000 | 7.5          |
| L3 | 主要水库、河段及水工设施周边水域   | 优于 1 m   | 1: 1000  | 0.9          |
|    | 淤积严重、冲淤变化明显的重点水下区域 | 优于 0.5 m | 1: 500   | 0.45         |

注 1: 水下地形点的平面位置精度不应超过上述内容, 对困难地区的可放宽 0.5 倍。(如: 比例尺 1: 1000 的困难地区最大的可放宽到  $0.9+0.9\times 0.5=1.35$ 。)

表 7.3-9 水下地形点高程位置中误差

| 分级   | 适用范围               | 空间分辨率    | 高程中误差      |            |            |            | 更新频次       |
|------|--------------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|
|      |                    |          | 平地         | 丘陵         | 山地         | 高山地        |            |
| L2 级 | 主要湖泊、河段            | 优于 5 m   | $\pm 0.4$  | $\pm 1.0$  | $\pm 6.7$  | $\pm 10.0$ | 按需更新       |
| L3 级 | 主要水库、河段及水工设施周边水域   | 优于 1m    | $\pm 0.4$  | $\pm 1.0$  | $\pm 3.4$  | $\pm 6.7$  | 每年更新 1—2 次 |
|      | 淤积严重、冲淤变化明显的重点水下区域 | 优于 0.5 m | $\pm 0.33$ | $\pm 0.50$ | $\pm 1.33$ | $\pm 2.00$ | 每年更新 1—2 次 |

注: 深水区域面域水下地形高程精度主要受测深精度影响, 若按  $\pm 0.015H$  ( $H$  为平均水深) 计算的测深精度大于上表中的高程允许中误差值, 则面域水下地形高程允许中误差可放宽至  $\pm 0.015H$ 。

表 7.3-10 深度测量中误差

| 成果比例尺                            | 测深点深度中误差           |
|----------------------------------|--------------------|
| $0 < H \leq 10\text{m}$          | $\pm 0.15\text{m}$ |
| $10\text{m} < H \leq 20\text{m}$ | $\pm 0.20\text{m}$ |
| $H > 20\text{m}$                 | $\pm H \times 1\%$ |

## (2) 河道断面

适用范围和级别的断面间隔要求见下表。

表 7.3-11 河道断面间隔要求

| 级别   | 适用范围                   | 断面间隔  | 更新频次     |
|------|------------------------|---|----------|
| L2 级 | 流域及其主要支流重要防洪河段大断面或重要水域 | 1. 一般区域断面间隔为 1000 米<br>2. 形态复杂或弯道较多河道断面间隔为 500 米<br>3. 城镇区域断面间隔为 200 米<br>4. 水事敏感区断面间隔可加密至 50 米 | 每年更新 1 次 |

|      |                         |  |          |
|------|-------------------------|--|----------|
|      |                         | 5.河道上游的无人区断面间隔最大可放宽至 5000 米                                |          |
| L3 级 | 工程库区和坝区,冲淤变化明显或其它重点水下区域 | 1.库区断面间隔为 1000 米,面积较小的水库断面间隔应适当缩小,<br>2.坝区等重要区域断面间隔为 100 米 | 每年更新 1 次 |

## ①精度要求

测点偏移横断面点偏离断面线的距离应不大于下表的规定。

表 7.3-12 横断面点偏离横断面线要求 (单位为米)

| 区域   |        | 水下 | 陆地 |
|------|--------|----|----|
| L2 级 | 一般河道   | ±6 | ±4 |
|      | 形态复杂河道 | ±5 | ±2 |
| L3 级 |        | ±5 | ±2 |

测点间距横断面测点间距应按表 12 规定执行,河道较窄时,适当减小测点间距,保证所测横断面测点不少于 3 点。

表 7.3-13 横断面点测点间距要求 (单位为米)

| 区域   |        | 测点间距 |     |
|------|--------|------|-----|
|      |        | 陆地   | 水下  |
| L2 级 | 一般河道   | 1.5  | 1.5 |
|      | 形态复杂河道 | 1    | 1   |
| L3 级 |        | 1    | 1   |

浅滩等不适合自动化采集的区域,采用人工方式测量时横断面点间距按表 7/3-13 的规定执行。

表 7.3-14 人工测量横断面测点间距要求 (单位为米)

| 区域   |        | 最大测点间距 |    |
|------|--------|--------|----|
|      |        | 陆地     | 水下 |
| L2 级 | 一般河道   | 40     | 20 |
|      | 形态复杂河道 | 20     | 10 |
| L3 级 |        | 20     | 10 |

为节省数据存储空间、提高模型运算速度,在满足横断面高程精度的前提下,自动化采集的断面点数据可适当抽稀,抽稀后的保留点间距应不大于表 7.3-13 中的规定。

## b) 数据接边

面域水下地形应以湖泊、水利工程、河道等为单元结合陆上地形进行拼接融合,水陆拼接应不少于 2 排重合合格网点,结合处高程差最大允许值为  $\sqrt{m_1^2 + m_2^2}$  ( $m_1$  是面域水下地形高程中误差,  $m_2$  为陆地地形高程中误差)。

## c) 分幅要求

面域水下地形宜与同级别陆上地形融合为陆地水下一体地形成果后,统一进行分幅裁切,分幅编号和裁切范围可按标准分幅、行政区划、自然流域范围进行分幅存储,数据范围小于最小分幅单元或无分幅索引需求的数据可单独存储。

表 7.3-15 数据分幅对照表

| 级别   | 适用范围                          | 分幅方式       |
|------|-------------------------------|------------|
| L2 级 | 河流及主要支流重要河段、重要湖泊、蓄滞洪区、水土保持重点区 | 1:10000 分幅 |

|      |                |            |
|------|----------------|------------|
|      | 流域防洪等重要业务重点关注区 | 1:2000 分幅  |
| L3 级 | 水利工程保护范围       | 1:10000 分幅 |
|      | 水利工程管理范围       | 水利工程管理范围   |
|      | 工程水工建（构）筑物区域   |            |

## d) 文件命名

规定产品标识符为“UT”，命名示例：

标准分幅成果：UT\_J48G086002\_202208\_020.TIFF。文件名由 29 位字符组成：2 位产品标识符、3 位下划线、10 位标准图幅号、6 位生产时间（年月份）、3 位格网尺寸（厘米）、1 位分隔符、4 位扩展名。产品标识符为“UT”，标准图幅号符合 GB/T13989 要求，分隔符采用“.”。

行政区划分幅成果：UT\_130427\_202208\_020.TIFF。文件名由 24 位字符组成：2 位产品标识符、3 位下划线、6 位行政区划代码、6 位生产时间（年月份）、3 位格网尺寸（厘米）、1 位分隔符、4 位扩展名。产品标识符为“UT”，行政区划代码符合 GB/T2260 要求，分隔符采用“.”。

流域分幅成果：UT\_CH\_202208\_020.TIFF。文件名字符数不限：2 位产品标识符、3 位下划线、自然流域名称或代码（一级流域和二级水系应使用代码，且符合 SL/T213 的规定）、6 位生产时间（年月份）、3 位格网尺寸（厘米）、1 位分隔符、4 位扩展名。产品标识符为“UT”，分隔符采用“.”。

其他分幅成果：UT\_XX 水库\_202208\_020.TIFF。文件名字符数不限，由 2 位产品标识符、3 位下划线、水利工程名称、6 位生产时间（年月份）、3 位格网尺寸（厘米）、1 位分隔符、4 位扩展名组成，产品标识符为“UT”，分隔符采用“.”。

河道断面名称由 4 位标识符、河流代码、4 位下划线、6 位数据时相（年月）、4 位断面间隔（m）、3 位测点间距（dm）组成、4 位断面顺序号、1 位分隔符、3 位扩展名组成。产品标识符为 HDDM”，分隔符采为“.”，三维坐标格式文件扩展名为 DAT”，起点距格式文件扩展名为 TXT”。

## e) 数据组织

面域水下地形数据成果，以 GEOTIFF 格式提交，坐标定位信息文件采用 ASCII 的 TFW 文档格式，以左上角像元中心点为起算坐标，数据的栅格坐标位于像元中心点，高程值为每一个栅格中心代表的数值，支持 SHP、LAS、TIFF 等格式或数据服务，需满足空间基准的约束要求。

河道断面为三维坐标和起点距数据成果，以 ASCII 文本格式存储，后缀扩展名为“dat”，数据格式及示例参照《数字孪生水利数据底板地理空间数据规范》（SL/T 837—2025）中的附录 G 执行。

## f) 元数据

(1) 水下地形的元数据参考 GB/T 39608 的规定，包含数据的标识信息、空间参考信息、生产信息、质量信息和分发信息，参照《数字孪生水利数据底板地理空间数据规范》（SL/T 837—2025）附录 B。元数据文件格式宜采用 SHP、XML、XLS 等格式，并以标准分幅、行政区划、自然流域单元制作索引图。

(2) 河道断面元数据主要包含断面数据的标识信息、空间参考信息、生产信息、质量信息和分发信息，参照《数字孪生水利数据底板地理空间数据规范》（SL/T 837—2025）附录 G。元数据文件格式宜采用 SHP、XML、XLS 等格式，并以标准分幅、行政区划、自然流域单元制作索引图。

## 7.3.6. 水利工程信息模型（BIM）数据

## a) 空间分辨率与更新频率

BIM 数据应面向数字孪生工程应用需求按专业创建，待建、在建工程 BIM 数据内容应与设计文件保持一致，并根据竣工后情况更新，已建工程应与现状保持一致。

## (1) 内容要求

BIM 数据成果应包含模型，宜包含工程图纸、工程特性表和工程量清单、模型变更表、交付数据包。

①模型应满足经过格式转换后的模型文件，应保证几何信息精度满足应用要求以及颜色、材质贴图等信息完整；模型文件应可索引其他类别的数据，交付时，应一同交付，并确保索引路径有效。

②模型单元的属性信息按 T/CWHIDA0006 第 4.3.4 条的规定执行，可视化平台中需要根据仪器设备实测数据等动态更新的属性，宜提前在模型中设置。

③模型单元的材质属性应满足材质名称宜由材质的“类别”和“名称”的组成；材质贴图应符合材质特点，宜纹理清晰，像素不宜低于 256×256，缩放比例与模型尺寸协调。

④模型单元的颜色设置宜按 JGJ/T448 第 3.3 节“颜色设置规则”中相关规定执行。

(2) 数据格式

①BIM 数据应保留建模软件专有数据文件格式，宜采用 DWG、DGN、PLN、RVT、CATPART、CATPRODUCT 等主流 BIM 数据文件格式，以便于后期更新。

②当前 BIM 数据文件格式不能满足不同软件、系统之间 BIM 数据交换需求的情况下，BIM 数据宜保存为 DXF、3DXML、IFC、STEP 等可保存属性信息的数据交换格式，并保证所要交换的数据完整、准确。

③模型文件需要转换为 FBX、OBJ 等无属性信息的三维模型交换格式，进行可视化开发等应用，应将模型完整属性信息单独在数据库等文件中存储，并应在目标平台中将三维模型与属性信息进行关联。

④宜提供应用平台支持的 3D Tiles 等轻量化格式文件，并包含完整属性信息，以便于在应用平台中进行浏览、查询及综合应用。

(3) 精度要求

①模型精细度等级划分按 T/CWHIDA 0006 第 4.2.2 条的规定执行。

②模型单元几何表达精度等级划分按 T/CWHIDA 0006 第 4.3.3 条的规定执行，满足应选取适宜的几何表达精度呈现模型单元几何信息和不同的模型单元可选取不同的几何表达精度。

③模型单元信息深度等级划分按 T/CWHIDA 0006 第 4.3.5 条的规定执行。

④模型精度应满足数字孪生水利应用需求，不同对象的精度应达到下表中的要求。

表 7.3-16 模型精度表

| 对象类型                              | 模型精细度等级 | 几何表达精度等级 | 信息深度等级 |
|-----------------------------------|---------|----------|--------|
| 枢纽工程、引调水工程、渠系工程等土建工程，综合管网、一般机电设备等 | LOD2.0  | G2       | N2     |
| 闸门、发电机、水轮机等关键机电设备                 | LOD3.0  | G3       | N3     |

注：有条件或应用需求的单位，可适当提高精度。

b) 数据接边

(1) 陆地 DEM/DSM 数据接边要求

重叠要求：相邻 DEM/DSM 数据接边必须保证不少于两排（列）重合格网点。

高程限差：同名格网点的高程较差限差不得超过中误差的 2 倍（即  $|\Delta h| \leq 2m$ ，其中 m 为高程中误差）。

平滑过渡要求：接边后数据必须平滑自然，不得出现高程突变、裂缝、漏洞等现象，重叠区域的高程值必须完全一致。

(2) 水下 DEM 数据接边要求

分块接边限差：当水下 DEM 数据分区（分块）时，接边处高程较差限差需满足公式：

$$\Delta h_{max} = 2\sqrt{m_A^2 + m_B^2}$$

单元划分原则：水下 DEM 以湖泊、水利主干、河渠等为单元进行拼接。

(3) 陆地与水下 DEM 交叉接边要求

时效性：陆地和 水下 DEM 数据采集时间应相同或相近——水下 DEM 宜用丰水期数据，陆地 DEM 宜用枯水期数据。

重叠要求：需保证不少于两排（列）重合格网点。

限差公式：高程较差限差满足：

$$\Delta h_{max} = 2\sqrt{m_1^2 + m_2^2}$$

其中 $m_1^2$ 为水下 DEM 中误差， $m_2^2$ 为陆地 DEM 中误差。

超限处理：若高程较差超出允许值，需重新检查拼接处陆地与水下 DEM 高程值，符合要求后重新接边。

效果要求：接边后必须实现平滑过渡，无失真现象。

#### c) 文件命名

(1) BIM 数据的命名应简明且易于辨识。

(2) 电子文件夹或数据库的名称宜由顺序码、工程简称、分区或系统和描述依次组成，以半角下划线“\_”隔开，字段内部的词组宜以半角连字符“-”隔开，并应符合下列规定：

① 顺序码宜采用文件夹管理的编码，可自定义工程简称宜采用识别项目的简要称号，宜采用拼音字母缩写，工程简称不宜空缺。

② 分区或系统应简述项目子项、局部或系统，应使用汉字、英文字符、数字的组合。

③ 用于进一步说明文件夹特征的描述信息可自定义。

(3) 模型电子文件的名称宜由工程简称、分区或系统、专业简称、文件简述、描述依次组成，以半角下划线“\_”隔开，字段内部的词组宜以半角连字符“-”隔开，并应符合下列规定：

① 工程简称、分区或系统和描述应与模型电子文件所在的电子文件夹一致。

② 专业简称按 T/CWHIDA0006 第 3.2.4 节第 4 条的规定执行。

③ 文件简述宜采用模型电子文件主要特征的简要描述。

④ 用于进一步说明文件特征的描述信息可自定义。

(4) 模型单元及其属性命名应符合下列规定：

① 宜使用汉字、英文字符、数字、半角下划线“\_”和半角连字符“-”的组合。

② 字段内部组合宜使用半角连字符“-”，字段之间宜使用半角下划线“\_”分隔。

③ 各字符之间、符号之间、字符与符号之间均不宜留空格。

#### d) 数据组织

(1) 数据组织：BIM 数据应以模型单元作为承载工程信息的实体及其相关属性的集合，模型单元的分级与组织应满足下列规定：

① 模型单元分级按 T/CWHIDA0006 第 4.2.1 条的规定执行。

② 模型数据宜按工程分区或系统、专业、构件、零件的结构进行组织，其中，分区或系统设置宜对应的电子文件夹，专业宜设置对应的模型电子文件，该模型电子文件中宜包含功能级及以下级别的模型单元。

③ 单一模型文件应避免存储过多模型单元，以便于管理，需要整合不同模型文件中的模型单元时，应设置单独的模型文件，以链接、组装等方式进行整合。

(2) 工程区域、专业、系统及设备等等的划分，按 GB/T51269 第 3.1 节“分类对象和分类方法”及 T/CWHIDA0007 第 3.1 节“分类对象和分类方法”中的相关规定执行。上述标准中未规定的内容，宜按 T/CWHIDA0007 中 3.2 节“编码及扩展原则”的相关规定进行扩展。

(3) 模型单元的编码应以属性信息的形式储存，编码规则按 T/CWHIDA0007 第 4 节“应用方法”中的相关规定执行，并应根据应用需求及项目特点编制。

#### e) 元数据

元数据主要内容有几何信息、构造信息、属性信息、行为信息和数量信息 5 部分组成。元数据文件宜采用 IFC、XML 等符合开放标准的格式。元数据文件以层次结构、分类结构、关联结构制作索引图

## 7.4. 数据质量

### 7.4.1. DOM 数据

整个图幅内影像整体精度一致、色调均匀、纹理清晰、反差适中、层次丰富、无明显失真，累计云雪量 $\leq 3\%$ （常年积雪除外），直方图呈正态分布，无明显拼接痕迹，且相邻图幅间不应存在色调差异。避免因出现影像模糊、扭曲、错开、裂缝、漏洞、污点、划痕、噪声等问题造成影像信息无法判读和精度损失。

### 7.4.2. DEM/DSM/HDEM 数据

a) 数据完整性要求：应完整反映区域内地形起伏、地表地物和水利工程关键要素的高程和属性信息，不得出现数据缺失、数据漏洞或边界裁剪不完整的情况；相邻图幅重叠区域需满足接边要求，重叠宽度应符合对应比例尺数据的技术规范。

b) 数据准确性要求：高程中误差应按照 CH/T 9008.2 与 CH/T 9022 有关规定执行。DEM 数据应利用立体测图采集的等高线数据分别与数字高程模型内插的等高线、数字高程模型分层染色后的数据进行套合检查；DSM 数据应准确表达河流、湖泊、水库、蓄滞洪区、水利工程管理范围线以内等区域的阻水建筑物、穿堤建筑物、堤防、圩垸、水库大坝、围村堤、避水台、撤退道路等要素的顶部高程信息。HDEM 应保留堤防、大坝、圩垸、渡槽、埝等水工建（构）筑物顶部高程信息，应除去涵洞、水闸、倒虹吸等跨水系构筑物的高度，使其顶部与地面一致，保持水系连通，有特殊业务需求的可另行调整。

c) 数据一致性要求：宜采用统一的平面坐标系统和高程基准，针对不同数据换带、投影转换后的坐标偏差需符合规范要求；同一区域内不同来源的 DEM/DSM/HDEM 数据，其高程变化趋势应符合地形自然规律，避免出现无成因的突变或异常波动；不同时相数据应进行对比分析，排除地形自然演化与人工干预以外的系统性误差，确保数据差异反映真实地表变化；HDEM 数据在处理跨水系构筑物时，应结合水利工程设计资料与实地勘察数据，确保构筑物去除后的高程值与周边地形平滑过渡，特别是在堤防与滩地交界处，需通过坡度分析验证其逻辑一致性。

d) 数据现势性要求：DEM/DSM 数据生产时间与数据源（如航空影像、卫星影像）获取时间间隔应不超过 1 年，数据更新不宜超过 3 年；灾害易发区以及防洪重点区域可按照季度更新，应不超过 1 年；重大工程（如新建大坝、河道整治区域）需在工程竣工后 3 个月内完成数据更新；HDEM 可结合水利工程建设、水文变化情况及时更新。

f) 数据可用性要求：数据文件应包含完整的坐标系统、高程基准和投影参数信息，支持主流地理信息软件读取、编辑与分析；数据压缩应采用无损压缩算法，防止因压缩导致高程精度下降；对于大范围数据，建议采用分块存储与索引机制，提高数据加载与空间分析效率。

### 7.4.3. 倾斜摄影模型数据

#### a) 精度要求

不同空间分辨率倾斜摄影模型的平面几何精度和高程精度见下表。

表 7.4-1 倾斜摄影模型精度要求

| 空间分辨率   | 平面位置中误差    |           | 高程中误差      |           |           |
|---------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
|         | 平地、丘陵      | 山地        | 平地         | 丘陵        | 山地        |
| 优于 0.08 | $\pm 0.6$  | $\pm 0.8$ | $\pm 0.25$ | $\pm 0.7$ | $\pm 1.0$ |
| 优于 0.03 | $\pm 0.03$ | $\pm 0.4$ | $\pm 0.25$ | $\pm 0.5$ | $\pm 0.7$ |

注：高山地一般不进行倾斜摄影模型生产，确因需要时可适当降低精度，高程中误差可参照山地的 1.5 倍执行。

#### b) Mesh 模型要求

在中小流域的数字孪生与可视化仿真中，Mesh（网格）模型不仅要满足精度要求，还需要在几何完

完整性、拓扑结构、纹理映射、数据兼容性等方面符合仿真需求，以保证仿真效果的真实性、渲染的高效性和计算的稳定性。

**几何完整性：**Mesh 模型应具备完整的地形、河道、水利设施等细节，无破洞、无裂缝、无分层、无漂浮物、曲面流畅、边界衔接平滑。水系模型无破损、水面下沉等情况，确保水系与周边高程保持一致且水面区域处理光照反射（防止误差）。水面下沉结构置平，应与周边高程保持一致，修补面不得扭曲翻转。

**拓扑结构合理性：**Mesh 模型应遵循良好的拓扑结构，确保河道、坡面、建筑之间无悬浮点或离散面，使用等距三角形或四边形网格，水流相关区域可进行拓扑优化，特别是河道、排水口等区域应加强网格密度，无遮蔽的水工建筑模型应保证主体结构完整，轮廓清晰，空洞面积大于建筑物面积 20% 以上需要修整，以支持高效的流体仿真和可视化渲染。

Mesh 模型需要具备清晰的纹理映射，外立面采用能基本反映地物色调、细节特征结构的影像进行建模，以保证仿真效果的可视化真实性。

Mesh 模型应兼容多种数据格式，便于仿真系统（如 Unity、Unreal、HEC-RAS）调用和渲染。

#### c) 单体精细化模型要求

单体精细化模型 主要指 水利设施（如堤坝、桥梁、水闸、泵站）、自然地形（河道、山体）及重要人工建筑（道路、房屋）的三维重建。该模型不仅需要满足《数字孪生流域数据底板地理空间数据规范》中提到的精度、拓扑结构、纹理质量等要求，还需要具备数据兼容性、动态交互性等方面的特定要求，具体要求如下：

**数据兼容性：**支持 3D 可视化格式（如 OSGB、3D Tiles、OBJ），方便数据交换与整合。坐标系统一，兼容主流地理信息系统（CGCS2000/WGS84），需匹配 DEM/GIS 数据，确保数据一致性。可与水动力学模型（如 HEC-RAS、SWMM、MIKE）对接，支持水文仿真计算。最好兼容 Unreal、Unity 等仿真软件，可适用于 VR、BIM、CIM 仿真。

**动态交互性：**支持动态渲染，实现水流、植被变化、污染扩散等仿真。支持 VR/AR 交互体验，增强可视化仿真效果。

**计算与存储优化：**适应实时渲染需求，优化 LOD（Level of Detail）分层模型，确保远近视角均能高效显示。合理划分瓦片，控制单体模型的面数，避免数据过大导致仿真卡顿。

**适用性：**可结合多源数据（Mesh 模型、LiDAR 点云、BIM 等）进行优化建模，满足不同精度需求。

### 7.4.4. 激光点云模型数据

#### a) 精度

点云精度分为平面精度和高程精度，平面位置精度采用明显地物点平面位置中误差表示，高程精度采用点云构建的不规则三角网的高程中误差表示，具体指标见表 7.4-2。

表 7.4-2 激光点云数据精度要求（单位为米）

| 点云密度        | 平面中误差 |           | 高程中误差 |       |       |       |
|-------------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
|             | 平地丘陵  | 山地<br>高山地 | 平地    | 丘陵    | 山地    | 高山地   |
| 优于 4 点/平方米  | ±0.6  | ±0.8      | ±0.15 | ±0.35 | ±0.50 | ±1.00 |
| 优于 16 点/平方米 | ±0.3  | ±0.4      | ±0.15 | ±0.25 | ±0.35 | ±0.50 |

注：

1) 在植被覆盖密集区域、反射率较低区域（如水域、光滑表面等易形成镜面反射的区域）等特殊困难地区，点云数据高程中误差在上表基础上放宽 0.5 倍。

2) 参考 CH/T 1057 -2023，在应急场景下，允许点云数据的高程中误差在上表基础上临时放宽 0.5 倍，但在灾后 70 日内需补充高精度数据替换。

b) 质量

完整性：点云完全覆盖采集区域，无空洞情况；

点云分类：地物（植被、建筑、地面）分类正确；

噪声控制：成果数据无噪点，水面区域无点云；

数据信息：具有丰富的色彩信息和反射强度信息。

7.4.5. 水下地形数据

a) 数据成果不能存在噪声点，地形突变处数据应补测加密，正确反映水下地形起伏变化情况。大面积区域应保证高程精度，不应存在数据缺失。

b) 断面应能准确反映地形变化，除荒地等普遍属性外，断面点一般需标注属性信息。拦河坝断面测点应以坝顶高程为准；桥梁、水闸断面应将阻水部位测量完整，一般水闸应测至闸门顶部，桥梁应测至底梁位置。如因断面点数量限制需对断面数据进行抽稀处理时，必须保留断面特征点和地形变化点。

7.4.6. 水利工程信息模型（BIM）数据

水利工程信息模型（BIM）数据质量要求需要满足以下几点：

a) 数据完整性：BIM 数据内容齐全，模型单元类型完整。

b) 信息一致性：BIM 数据的不同表现形式，其数据、信息一致。

c) 数据合规性：各专业建模方式、模型单元组合方式、模型表达方式、模型精度满足相关要求，模型使用正确对象创建，无遗漏、无多余构件。

d) 链接有效性：BIM 数据的所有文件链接、信息链接有效。

## 8. 水利基础数据

### 8.1. 数据分类

主要包括流域、河流、湖泊、水利工程、监测站（点）、其他水利管理对象的空间数据和属性数据。水利基础数据的分类与编码，应符合 SL/T 213 的要求，其分类体系宜应随水事管理与活动的不断深化与发展，具备按需扩展的能力。

### 8.2. 数据来源

水利基础数据应来源于经检查验收合格的全国水利普查成果、山洪灾害调查评价成果、洪水风险图成果、水旱灾害风险普查成果、防汛抗旱指挥系统建设成果、水利一张图、跨行业共享成果以及各级水行政主管部门或工程管理单位自建成果，同时还应包括以上各有关成果的动态更新成果。

### 8.3. 数据规格

#### 8.3.1. 属性数据结构

水利基础数据的属性数据内容应包括水利对象的标识信息、主要特征信息、对象之间的关系以及时间戳等，属性结构应符合 SL/T 809 的要求。若上述标准不满足实际需要时，可进行扩充，应遵循如下扩充原则：

a) 扩充应在已定义的 SL/T 809 核心属性结构之上进行，不得修改或删除标准中已明确的强制性属性。

b) 新增属性的语义不应与标准中已有属性的语义冲突或重叠。

c) 所有扩充应源于明确、具体的业务需求，应能为业务应用提供直接或间接的数据价值，支持数据分析、决策支持、业务流程优化等目标。

d) 新增属性的名称应遵循 SL/T 809 已有的命名规则，应采用清晰、简洁、无二义性的名称。

e) 当扩充的属性用于描述对象间关系时, 应明确关联对象的类型和标识方法, 确保关系链路的完整性和可追溯性。

f) 若业务应用需要更精细的时间需求, 可在标准时间戳的基础上进行扩充, 并明确其与标准中“时间戳”的逻辑关系。

### 8.3.2. 空间数据结构

a) 扩充的几何类型应与 SL 729 定义的基础几何类型相兼容, 或在其基础上进行细化。不应引入与现有 GIS 通用标准和底层框架冲突的几何模型。

b) 新增空间要素的定义、分层与命名, 应与标准中已有的逻辑框架保持一致。新增要素不应与现有要素产生语义冲突或混淆。

c) 空间数据的扩充应由明确的业务应用需求驱动, 应能解决特定业务问题, 提升空间分析、可视化表达或空间关系计算的深度与准确性。

d) 当标准定义的几何表达精度无法满足要求时, 可扩充更高精度的几何数据, 应明确其适用场景和比例尺范围。

### 8.3.3. 数据格式

a) 空间数据: 水利基础数据的空间数据应优先采用通用 GIS 格式进行组织, 图式符号与地图表达应符合 SL 730 的要求。空间数据要素组织应按照金字塔分级组织, 各层级之间保持适宜的负载, 层次分明且过度平缓, 并保持对象分布的地理特征。

b) 属性数据: 应采用结构化数据库表进行组织。

c) 元数据: 水利基础数据宜包含完整、规范的元数据, 应符合 SL 475 的要求, 准确描述数据标识、内容、质量、空间参考、时效性、分发、联系信息等。

### 8.3.4. 数据服务

a) 空间信息服务: 水利基础数据的空间数据应按照基本比例尺进行组织与表征, 按照统一规则构建水利基础数据地图服务, 为业务应用系统提供统一的空间数据组织框架和相应的地图服务集合, 并明确空间信息服务组成、数据组织、服务组织与管理等内容, 具体应符合 SL/T 801 的要求。

b) 数据接口服务: 水利基础数据应根据其应用场景, 遵循安全性、开放性、灵活性以及松耦合性等原则提供数据服务接口。同时应具有身份验证和数据加密机制, 支持授权用户按需查询、获取和订阅数据。

### 8.3.5. 数据更新

a) 数据更新应遵循“需求牵引、应用至上”的原则, 以支撑业务应用的时效性和精准性。

b) 数据更新应坚持“一数一源”的原则, 明确各类数据的责任主体, 确保数据源唯一、权威。

c) 对于外部共享数据, 应由数据使用方与数据提供方共同建立稳定的共享协调机制, 明确数据内容、格式、更新周期与交换方式, 并依托政务信息共享平台或数据接口实施。

d) 对于水行政主管部门自建数据, 由各级水行政主管部门或工程管理机构按照事权职责和业务规范, 分级组织实施更新。

e) 数据更新实施过程应包含组织、执行、确认三个环节, 更新完成后, 应及时在数据底板或相关平台中进行版本管理和发布。

f) 当水利工程完成改扩建或管理权发生重大变更后, 应及时更新。

g) 业务管理数据应随业务活动动态更新或按业务周期定期更新。

## 8.4. 数据质量

8.4.1 数据覆盖范围应满足数字孪生中小流域应用需求, 宜涵盖时间维度、空间维度和属性维度, 且关

键数据项无缺失。

8.4.2 数据空间拓扑关系正确，属性逻辑关系合理。

8.4.3 属性数据应准确无误，必填项无缺失，计量单位统一规范。

8.4.4 位置精度应依据具体水利业务的应用需求确定，对于不参与空间分析及模型计算的数据，其位置精度可适当降低。

## 9. 监测数据

### 9.1. 一般规定

9.1.1 监测数据应覆盖中小流域水文、工程、环境等关键要素，为数字孪生平台提供全要素实时感知数据支撑。

9.1.2 监测数据应满足准确性、完整性、一致性、时效性和可追溯性要求，真实反映中小流域实际情况。

9.1.3 监测数据采集、传输、存储和使用应遵循国家及水利行业现行相关标准规范。

9.1.4 监测数据应采用统一的时空基准，坐标系统采用 2000 国家大地坐标系，高程基准采用 1985 国家高程基准，时间基准采用北京时间。

### 9.2. 监测数据类型与精度

9.2.1 监测数据类型应包括水位、流量、雨量、水质、工情、遥感、视频等类别，覆盖自然背景、流场动态、水利工程、机电设备、监测设备等仿真对象相关监测需求。

9.2.2 各类监测数据的更新频度与精度要求应符合表9.2-1规定。

表 9.2-1 监测数据类型、更新频度及精度要求

| 数据类型 | 数据内容   | 更新频度                               | 精度要求  |
|------|--------|------------------------------------|---|
| 水位监测 | 水库水位   | 小时                                 | ±1cm（接触式）；±2cm（非接触式）                            |
|      | 河道水位   | 小时                                 | ±1cm（接触式）；±2cm（非接触式）                            |
|      | 堰闸水位   | 小时                                 | ±1cm（接触式）；±2cm（非接触式）                            |
|      | 地下水位   | 小时                                 | ±1cm（压力式传感器）                                    |
| 流量监测 | 河道流量   | 小时                                 | ±5%误差   |
|      | 堰闸流量   | 小时                                 | ±5%误差   |
|      | 水库出库流量 | 小时                                 | ±5%误差   |
|      | 水库入库流量 | 小时                                 | ±8% 误差（中小型水库常规蓄水期）；<br>±12% 误差（水库汛限水位附近或极端水文条件） |
| 雨量监测 | 气象站雨量  | 小时                                 | ±0.5mm  |
|      | 自动站雨量  | 小时                                 | ±0.5mm  |
| 水质监测 | pH值    | 小时级（1-4 小时 / 次）或天级（24 小时 / 次，定时更新） | ±0.2（常规水体）；±0.3（复杂水体，如高浊度、高盐度）                  |
|      | 重金属    | 小时级（1-4 小时 / 次）或天级（24 小时 / 次，定时更新） | ±5%   |
|      | 浊度     | 小时级（1-4 小时 / 次）或天级（24 小时 / 次，定时更新） | /   |

|      |              |   |                                  |
|------|--------------|---|----------------------------------|
| 工情监测 | 闸门开度值        | 秒级（1-5 秒 / 次，启闭过程）或分钟级（5 分钟 / 次，停运状态）         | ±1mm                             |
|      | 工程安全监测（沉降）   | 小时级（1-6 小时 / 次，关键时段）或天级（24 小时 / 次，常规时段）       | ±1.00mm（静力水准监测）；±2.00mm（GNSS 监测） |
|      | 工程安全监测（渗压）   | 小时级（1-6 小时 / 次，关键时段）或天级（24 小时 / 次，常规时段）       | ±0.1kPa（坝体内部）；±0.2kPa（坝基部位）      |
|      | 工程安全监测（闸门变形） | 小时级（1-6 小时 / 次，关键时段）或天级（24 小时 / 次，常规时段）       | ±0.5mm（位移传感器）                    |
|      | 工程安全监测（裂缝）   | 天级（24 小时 / 次，常规巡查）或实时（事件触发，如暴雨后）              | 裂缝宽度识别精度≥0.2mm                   |
|      | 设备运行状态       | 秒级（1-10 秒 / 次）或分钟级（1 分钟 / 次）                  | /                                |
| 遥感监测 | 洪水淹没范围       | 小时级（1-6 小时 / 次，灾害应急时段）或天级（24 小时 / 次，常规监测）     | 空间分辨率≤10m（卫星）                    |
| 视频监控 | 视频测流         | 实时（15-30 帧 / 秒，图像采集）；分钟级（1-3 分钟 / 次，流量计算结果输出） | 分辨率≥1080P，帧率≥25 fps              |
|      | 视频监视         | 实时（15-30 帧 / 秒，图像回传）                          | 分辨率≥1080P，帧率≥25 fps              |

### 9.3. 监测数据采集

9.3.1 水位监测宜采用雷达水位计、压力式水位传感器等设备，布设于河道断面、水库出入口、堰闸等关键节点。

9.3.2 流量监测应在河道典型断面、水库进出水口及堰闸建筑物等节点，布设机械式流速仪、声学多普勒流速仪等设备，同步采集断面形态参数。

9.3.3 雨量监测应采用分辨率不低于0.5mm的雨量传感器，库区未控集雨面积按每 50 平方千米配置不少于2处雨量站，坝区至少配置1处雨量站。

9.3.4 工情监测应采用闸门开度传感器监测闸门状态，采用渗压计、应力应变计等设备监测工程结构变形与应力。

9.3.5 遥感监测优先选择空间分辨率优于10米的光学卫星影像，时间分辨率不低于每月一次，特殊需求可选用雷达卫星数据。

9.3.6 视频监控应选择支持H.265编码、防水防尘等级IP67以上的高清网络摄像头，关键区域应具备夜视功能。

### 9.4. 监测数据传输

9.4.1 监测数据传输应采用稳定可靠的方式，优先选择光纤、网线等有线传输方式；站点分散、布线困难场景可采用 4G/5G、NB-IoT、LoRa等无线传输方式；极端环境可采用北斗短报文传输。

9.4.2 传输应遵循TCP/IP、MQTT、HTTP/HTTPS等标准通信协议，确保数据可解析和互操作。

9.4.3 传输内容应包含站点信息、监测数据、设备状态等，数据延迟不应大于5分钟，遥感监测数据延迟一般区域不超过24小时，基础条件好的地区不超过6小时。

9.4.4 应采用加密技术和身份认证措施，保障数据传输过程中的保密性、完整性和安全性。

## 9.5. 监测数据存储

9.5.1 结构化时序数据宜采用国产时序数据库或关系型数据库存储；非结构化数据宜采用分布式文件数据库或对象存储系统存储，保障大文件存储与访问效率。

9.5.2 数据库需满足三类要求：性能上支持高频数据读写与高效压缩，安全上通过等保四级及以上认证、支持国密算法与全库加密，兼容性上适配国产操作系统与 CPU。

9.5.3 监测数据表应包含主键 ID、监测站点 ID、数据类型等基本字段，确保数据完整可追溯。

表9.5-1 监测数据存储表结构

| 属性名称       | PropertyName | PropertyType  | 备注      |
|------------|--------------|---------------|---------|
| 主键标识 ID    | Id           | int           | 主键 (PK) |
| 监测站点 ID    | Id           | int           | 外键 (FK) |
| 数据类型       | DataType     | int           | 整型 (枚举) |
| 时间戳 (采集时间) | ObserveDate  | DateTime      | 不可为空    |
| 数据值        | Value        | Float         | 不可为空    |
| 数据来源       | DataCome     | varchar (200) | 可为空     |
| 数据质量标识     | DataQuality  | int           | 整型 (枚举) |
| 数据入库时间     | DataEnter    | DateTime      | 不可为空    |
| 数据处理时间和采集人 | Datagather   | DateTime      | 可为空     |

9.5.4 设置数据库访问权限控制，仅授权用户可操作数据。

9.5.5 数据文件采用 CSV、JSON 等通用格式存储，大文件采用分块或压缩存储。

9.5.6 文件存储系统需设置访问权限控制，支持数据备份与容灾，防止数据丢失。

## 10. 业务管理数据

### 10.1. 一般规定

10.1.1 业务管理数据主要包括流域防洪、水资源管理与调配、水利工程建设和运行管理等业务应用数据。

10.1.2 数据应按照分级分类原则进行安全管理，支持跨部门、跨层级的数据共享与交换。

### 10.2. 流域防洪

10.2.1. 流域防洪业务管理数据主要包括预报、预警、预演、预案四类业务数据，具体内容见表 10.2-1。

表 10.2-1 流域防洪业务管理数据

| 业务 | 内容     | 字段  |
|----|--------|---|
| 预报 | 洪水预报方案 | 方案编号、方案名称、方案版本、预报断面、流域划分、模型类型、模型参数、创建者、创建时间、更新时间等 |
|    | 降雨预报数据 | 数据标识、数据来源、预报点位、预报时间、预见期、预报值、数据入库时间等               |
|    | 洪水预报数据 | 预报记录编号、洪号、方案编号、预报断面、降雨、预报要素、预报值、预报时间、预报精度等        |

|    |        |   |
|----|--------|---|
| 预警 | 预警指标   | 指标编号、指标类型、指标名称、预警级别、指标阈值、适用区域等                          |
|    | 预警记录   | 预警编号、关联指标编号、预警标题、发布时间、预警内容、预警级别、预警对象、处理状态、发布人、解除人、解除时间等 |
| 预演 | 预演方案   | 方案编号、方案名称、方案描述、模型参数配置、雨情数据、水情数据、调度规程、调度方案等              |
|    | 预演结果   | 预演编号、方案编号、预演开始时间、预演结束时间、淹没范围、淹没时间、淹没水深、工程调度过程、结果文件路径等   |
| 预案 | 调度预案   | 预案编号、预案名称、预案类型、预案级别、预案内容、适用区域、发布时间、发布机构等                |
|    | 应急响应记录 | 响应编号、关联预案编号、响应事件名称、响应级别、响应措施、响应时间、灾情信息、记录人、记录时间等        |

10.2.2. 流域防洪中预报、预警、预演、预案业务管理数据的结构应包含字段、类型与描述，具体要求见附录 A。

### 10.3. 水资源管理与调配

10.3.1. 水资源管理与调配业务管理数据主要包括预报、预警、预演、预案四类业务数据，具体内容见表 10.3-1。

表 10.3-1 水资源管理与调配业务管理数据

| 业务 | 内容     | 字段                        |
|----|--------|---------------------------|
| 预报 | 来水预报方案 | 预报单元、预见期、预报值等             |
|    | 需水预报数据 | 预报需水单元、预见期、预报值等           |
| 预警 | 预警指标   | 指标类型、指标阈值、管控断面等           |
|    | 预警记录   | 预警编号、发布时间、预警内容、预警对象、处理状态等 |
| 预演 | 预演方案   | 方案编号、来水预测、需水预测、调配规程、调配方案等 |
|    | 预演结果   | 预演编号、条件变化、不确定因素、调配变化等     |
| 预案 | 调度预案   | 预案编号、预案内容、适用区域、发布时间等      |
|    | 应急响应记录 | 响应编号、响应措施、响应时间、突发事件情况等    |

10.3.2. 水资源管理与调配中预报、预警、预演、预案业务管理数据的结构包含字段、类型与描述，具体要求见附录 B。

#### 10.4. 水利工程建设 and 运行管理

10.4.1. 水利工程建设 and 运行管理业务管理数据主要包括工程建设数据、运行管理数据、监测数据、维护数据、应急处置数据等五类业务数据，具体内容见表 10.4-1。

表 10.4-1 水利工程建设 and 运行管理业务管理数据

| 业务   | 内容         | 字段   |
|------|------------|--|
| 工程建设 | 工程设计数据     | 项目名称、设计单位、设计阶段、设计参数、设计图纸、项目编码、设计负责人、批复文号等      |
|      | 工程施工数据     | 施工单位、施工进度、施工质量记录、施工日志、施工变更记录、施工标段、项目经理、施工状态等   |
|      | 工程验收数据     | 验收时间、验收单位、验收结果、验收意见、验收类别、验收组成员、备案情况等           |
| 运行管理 | 工程运行调度数据   | 调度时间、调度指令、调度目标、调度结果、调度指令编号、签发人、执行人/单位等         |
|      | 工程设施运行状态数据 | 设施名称、运行时间、运行参数、运行状态、设施编码、运行班次/人员、异常描述等         |
|      | 工程运行维护记录数据 | 维护时间、维护内容、维护人员、维护结果、记录编号、维护类型、耗用物料等            |
| 监测   | 工程安全监测数据   | 监测点位、监测时间、监测项目、监测值、监测设备编号、数据来源、报警状态、工况描述等      |
|      | 水质监测数据     | 监测断面、监测时间、水质指标、采样深度、分析单位、监测值、水质类别等             |
|      | 水量监测数据     | 监测断面、监测时间、流量、水位、流速、过水面积、数据整编标识等字段              |
| 维护   | 维护计划数据     | 计划编号、计划内容、计划时间、责任单位、计划周期、计划状态、审批人等字段           |
|      | 维护实施记录数据   | 实施编号、实施内容、实施时间、实施人员、实施结果、关联计划编号、工时、验收人等字段      |
| 应急处置 | 应急预案数据     | 预案编号、预案名称、适用场景、预案内容、发布单位、发布时间、预案级别、版本号、生效状态等字段 |
|      | 应急事件记录数据   | 事件编号、事件类型、发生时间、发生地点、事件等级、报告单位、事件描述、处理措施、处理结果等  |

10.4.2. 水利工程建设与运行中工程建设、运行管理、监测、维护、应急处置业务管理数据的结构包含字段、类型与描述，具体要求见附录 C。

### 11. 跨行业共享数据

## 11.1. 一般规定

### 11.1.1 需求导向

以流域防洪调度、水资源管理、生态保护等核心业务需求为驱动，明确数据共享范围与优先级。

### 11.1.2 标准统一

跨行业数据需统一空间基准、语义编码及格式规范，数据格式、时空基准、元数据描述需符合《水利信息分类与编码总则》（SL/T 701）及《水利对象基础数据元规范》（SL/T 801），确保跨系统兼容性。

### 11.1.3 安全可控

依据《水利部数据安全管理办法（试行）》（办信息〔2022〕332号），对数据实施分类分级保护，核心数据（5级）禁止直接开放，重要数据（4级）须脱敏后授权使用。

### 11.1.4 动态更新

建立跨部门数据更新联动机制，明确数据提供方的更新责任、频率及质量要求。

## 11.2. 建设内容

### 11.2.1. 跨行业数据基础共享内容

跨行业共享数据建设宜汇集自然资源、气象、农业农村、应急管理、住房和城乡建设、民政等各行业部门数据。

表 11-2 跨行业共享数据建设内容

| 数据类型   | 数据内容   | 来源部门      | 更新频率    | 数据格式              |
|--------|--|-----------|---------|-------------------|
| 自然资源数据 | 基础地理、行政区划、地表覆盖、土地调查、地质灾害、土地利用、土壤质地、地名地址等数据         | 自然资源部     | 年度/实时   | Shapefile、GeoTIFF |
| 气象数据   | 天气预报、降雨实况和预报、风向风力等气象要素的实况和预报等数据                    | 气象局       | 每小时/实时  | NetCDF、JSON       |
| 农业农村数据 | 防洪区内农业生活生产数据、农田分布数据、内河渔场、农作物数据、村集体基础数据、县级农村总体规划等数据 | 农业农村部     | 季度/年度   | CSV、GeoJSON       |
| 应急管理数据 | 重大灾害应急救援预案和抢险方案、地震断裂带数据、地震监测等数据                    | 应急管理部     | 实时/事件驱动 | XML、JSON          |
| 社会经济数据 | 省、市、县最新的统计年鉴数据，主要涉及行政区单元内的人口、耕地、居民区面积等信息           | 统计局、交通运输部 | 年度      | CSV、Shapefile     |
| 生态环境数据 | 水质监测断面数据、生态红线边界、污染源清单、水土流失治理成果                     | 生态环境部     | 月度/季度   | WMS、CSV           |

|          |                               |         |     |             |
|----------|-------------------------------|---------|-----|-------------|
| 住房城乡建设数据 | 城市排水管网BIM模型、防洪排涝设施点位、地下空间利用数据 | 住房城乡建设部 | 半年度 | IFC、CityGML |
|----------|-------------------------------|---------|-----|-------------|

### 11.2.2. 核心业务数据范围

跨行业数据共享宜包括流域防洪、水资源管理、水生态保护三大核心业务需求，构建多源数据融合体系。

#### 11.2.2.1 核心数据共享范围分类

##### 11.2.2.1.1 流域防洪关键数据

###### a) 气象水文数据

- (1) 卫星遥感、测雨雷达实时监测数据
- (2) 雨量站、水文站水位/流量动态数据（构成雨水情监测“三道防线”）
- (3) 历史洪水事件库及洪痕标记数据

###### b) 地理空间数据

- (1) 高精度数字高程模型（DEM）及水下地形数据
- (2) 国土调查成果（淹没区土地利用分类）
- (3) 堤防、闸坝等工程BIM模型及安全监测数据（位移形变、渗流渗压）

###### c) 社会经济数据

- (1) 洪水影响范围内人口、基础设施分布
- (2) 应急物资储备及疏散路线规划数据

##### 11.2.2.1.2 水资源管理核心数据

###### a) 用水计量数据

- (1) 工业/农业/生活用水量实时监测（智能水表、灌区计量）
- (2) 跨流域调水工程运行参数（流量、水质、能耗）

###### b) 生态流量数据

- (1) 河湖生态基流阈值及实时达标情况
- (2) 地下水超采区动态监测数据

###### c) 供需平衡数据

- (1) 水资源配置方案及供需预测模型
- (2) 水库兴利调度规则与优化算法

##### 11.2.2.1.3 水生态保护必要数据

###### a) 水质监测数据

- (1) 常规理化指标（COD、氨氮等）及生物毒性数据
- (2) 污染源溯源数据（工业排污口、农业面源负荷）

###### b) 生态本底数据

- (1) 湿地分布、生物多样性调查成果
- (2) 水土流失动态监测及修复效果评估

###### c) 气候环境数据

- (1) 流域气温、降水长期趋势分析
- (2) 极端气候事件对生态系统的冲击记录

### 11.3. 共享方式

数据资源共享范围主要包括水利系统相关单位以及其他相关的政府部门、企事业单位和社会组织。

#### 11.6.1. 数据共享

数据资源共享方式按照单位职能（是否水利系统相关单位）划分为水利系统外部共享方式和水利系统内部共享方式。

a) 水利系统外部共享方式：通过省市政务信息资源共享平台实现政务信息资源的交换，相关要求应符合 DB37/T 3520 和 DB37/T 3522 的规定。

b) 水利系统内部共享方式：信息资源提供方和信息资源需求方。

#### 11.6.2. 数据交换

通过水利信息资源共享交换平台实现政务信息资源的交换。数据交换方式包括但不限于：

a) 服务接口方式：通过服务接口实现数据交换或功能调用，适用于实时性和灵活性要求较高、数据量较小的数据交换；

b) 库表方式：以数据库表结构形式的交换方式，适用于体量大、数据增量更新频繁的数据交换；

c) 文件方式：通过文件发送的方式将规范化的数据文件传送到指定的交换节点，适用于非结构化数据或更新缓慢的结构化数据的交换。

## 12. 数据模型

### 12.1. 数据模型分类

12.1.1 数据模型应包括水利数据模型和水利网格模型，两者应协同构建，共同支撑中小流域防洪调度与综合管理业务。

12.1.2 水利数据模型应聚焦水利对象的语义统一与信息集成，构建面向业务应用的结构化、时态化数据体系。

12.1.3 水利网格模型应基于空间单元划分，融合行政区划、自然流域与数值计算需求，构建多尺度、可联动的网格化管理框架。

### 12.2. 水利数据模型

12.2.1 水利数据模型应围绕中小流域防洪调度等多目标、多层次业务需求，建立框架稳定、扩展灵活、语义一致的水利对象分类体系。

12.2.2 水利数据模型应完整描述水利对象的空间特征、业务属性、关联关系，构建覆盖全生命周期的水利信息表达体系。

12.2.3 水利数据模型的设计应以本文件第6.2条所列水利对象为基础，明确对象实体、属性、关系三要素，并符合以下要求：

a) 对象实体与数据库中的表宜建立一对多映射关系，包含基本信息、扩展属性以及空间信息，并采用时间戳标识数据时态；

b) 应建立统一实体标识表，支撑各类水利对象在不同系统间的关联；

c) 水利对象分类应符合SL/T 213的规定，基础库表结构设计宜参照SL/T 809执行。

### 12.3. 水利网格模型

12.3.1 水利网格模型应以空间网格为基本单元，统筹行政区划、自然流域与数值计算三类需求，构建多尺度、可耦合、可联动的网格化管理体系，支撑防洪调度、水资源调配与工程运行的协同。

12.3.2 行政区划网格应依据国家现行行政区划体系，按省、市、县、乡四级行政边界进行划分，确保与政务管理单元一致。

12.3.3 自然流域网格应以水利工程、水文断面为关键节点，构建产汇流网格与河湖库连通网络，明确干支流、左右岸、上下游的空间拓扑关系，满足水文模拟、洪水演进与应急响应的业务需求。

12.3.4 数值计算网格应根据模型平台的技术要求，科学划分水文计算网格与水动力学计算网格，其分辨率与拓扑结构应满足模拟精度与计算效率的平衡要求，并支持与自然流域网格、行政区划网格的空间对齐与数据映射。

## 13. 数据引擎

### 13.1. 一般规定

13.1.1 数据引擎应具备对多源、多尺度、多格式的中小流域数据进行汇聚、治理、挖掘、存储、服务等能力，支撑流域数字孪生场景构建。

13.1.2 数据引擎应对构建数据底板所涉及的数据资源统一进行收集、整理、入库，并对汇聚后的数据进行清洗、标识、转换、检查及融合等处理，应按照 GB/T 36344 的规定确保数据的完整性、规范性、一致性、准确性和时效性。

13.1.3 多源异构数据应满足 GB/T 36625.3 的要求进行规范化处理。敏感数据须脱敏后才能使用，敏感数据包括但不限于地形数据、工程经纬度、人员信息等。

13.1.4 宜运用统计学、机器学习、模式识别等方法挖掘中小流域要素间的关联关系，开展描述性、诊断性、预测性和因果性分析等，可结合监督学习、半监督学习或无监督学习等算法激活数据价值，支撑流域业务全过程应用。

13.1.5 数据引擎应集成融合中小流域多源异构数据资源，为数据底板与可视仿真提供算据支撑，并具备对地理空间数据、水利基础数据、监测数据、业务管理数据及跨行业共享数据的管理与存储能力。

13.1.6 数据服务可依托国家和水利行业已有数据共享交换平台，实现各类数据在各级水利部门间的上报、下发和同步，以及跨行业共享。

13.1.7 宜以数据流方式支撑各类业务机理模型、数据驱动模型及子系统。

13.1.8 数据引擎的性能应满足数字孪生中小流域业务应用对数据处理的时效性、响应能力与存储容量的需求：

a) 数据处理应满足高效时效性要求。监测类数据汇聚延迟宜不大于 5 分钟，批量数据同步完成时间宜不大于 30 分钟/GB；常规数据清洗转换应在接收后 1 小时内完成，复杂治理任务处理效率宜不低于数据总量的 0.5%/分钟，且系统需具备每秒处理数千条数据记录的高吞吐能力。

b) 数据查询应满足高效响应要求。对于常见查询请求，系统响应时间应控制在毫秒至秒级；面向时空数据，在中小流域典型范围内的复合查询响应时间宜不大于 3 秒。

c) 数据存储容量规划应紧密结合中小流域（集水面积 200-3000 平方公里）特性，系统初始设计须满足未来 5-10 年数据增长需求，支持结构化与非结构化数据的分布式部署及线性扩展，具备存储和管理亿级时序监测数据、TB 级地理空间与模型数据的能力，并保证存储的稳定可靠。

### 13.2. 数据汇聚

13.2.1 数据汇聚应具备复杂网络环境下高速、稳定、弹性伸缩的数据移动与同步能力。其范围应涵盖地理空间数据、水利基础数据、监测数据、业务管理数据及跨行业共享数据等。

13.2.2 结构化数据汇聚主要来自数据库、业务系统及标准化接口的数据。对于结构单一、数据量相对较小的数据可通过数据库表、文件、WebService、REST、HTTP/HTTPS、消息订阅/发布等方式进行汇聚。对于物联网监测设备、传感器等产生的海量时序数据，宜采用分布式流数据收集等技术进行汇聚。业务系统的结构化数据应通过标准化接口增量接入，并按需更新。

13.2.3 非结构化数据包括文档、报告、图片、视频等。此类数据宜以文件形式进行归集，并同步录入其元数据信息，建立规范的数据目录与索引，以便于管理和检索。

13.2.4 空间数据主要包括数字正射影像（DOM）、数字高程模型（DEM）、数字表面模型（DSM）、矢量地

图等。宜以文件形式或数据全量抽取方式汇聚，并录入元数据。

13.2.5 空间三维数据是构建高保真数字场景的关键，包括倾斜摄影模型、激光点云、建筑信息模型(BIM)、水下地形及高精度实景三维模型等。此类数据单体体量巨大，宜以数据文件形式进行归集和管理，同时录入其元数据信息。

#### 13.2.6 其他要求

a) 监测数据传输宜采用 Modbus、OPCUA、MQTT 等标准化协议，实现实时同步接入。

b) 气象、社会经济数据等跨行业共享数据宜通过网络下载、数据服务接入。

c) 已建数据库或业务系统的数据，宜采用数据库同步、接口集成、数据级联等方式接入，更新频度与源数据保持一致。

### 13.3. 数据治理

#### 13.3.1. 数据清洗

13.3.1.1 数据清洗应解决中小流域数据可能存在的<sub>不一致、重复、异常、缺失等质量问题。宜采用逻辑清洗、冗余清洗、异常值清洗和缺失值清洗等方法，利用数据校验规则和逻辑关系进行纠错，通过预定义规则或相似度识别消除冗余数据，通过设定合理阈值或统计分析方法检测修正异常值，并根据数据的时间序列特征和相关性，采用线性插值、样条插值、均值填充或基于模型的预测填充等方法填补缺失值，确保数据的准确性和可靠性。</sub>

#### 13.3.2. 数据标识

13.3.2.1 数据标识是指对数字孪生中小流域各要素进行精准标识，实现对流域实体对象的快速索引、定位及关联信息加载，可利用地理空间网格码、行政区域网格码等方式，实现对流域各实体要素进行数字化标识和快速定位，宜满足下述要求：

- a) 对流域实体进行唯一编码，包括但不限于统一身份标识、统一时空标识等；
- b) 流域事件的信息标识，包括但不限于事件类型、事件发生位置定位等信息；
- c) 各类动态的信息标识，包括但不限于各类物联网采集的数据；
- d) 对流域要素的快速检索和定位。

#### 13.3.3. 数据转换

13.3.3.1 通过数据转换，实现对标准代码、格式、类型等信息的标准化转换处理。

13.3.3.2 数据底板的同类型数据应进行统一格式化处理。

13.3.3.3 应通过投影转换、坐标转换、数据重采样等操作，确保不同来源的地理空间数据在同一坐标系下进行分析和应用。

13.3.3.4 宜采用属性构造、数据概化、数据规范化和数据离散化等方法，将数据转换为数字孪生中小流域业务应用能够理解和识别的格式。

#### 13.3.4. 数据检查

13.3.4.1 宜通过自动化校验软件、模型仿真校验与人工核查等方式进行数据检查。

13.3.4.2 地理空间数据应满足 GB/T 30319 等相关规范中关于数据检查的规定。

13.3.4.3 对数据完整性、精度、加密、访问权限等内容进行检查，宜满足下述要求：

##### a) 数据完整性检查

- (1) 通过封装签名、测试字验证、引用约束等机制对数据完整性进行检测，保证数据存储过程的完整性，并提供非完整数据的解决措施；
- (2) 检查数据覆盖范围、图幅总数量是否完整；
- (3) 要素、数据层与内部文件是否完整。

- b) 数据精度检查
  - (1) 检查数据的平面位置精度和高程精度是否符合要求；
  - (2) 数字正射影像的分辨率、数字高程模型格网大小是否符合要求；
  - (3) 检查属性项名称、类型、长度、顺序以及属性值、分类等内容是否正确。
- c) 数据加密检查
  - (1) 支持国家密码管理部门批准使用的密码算法，使用国家密码管理部门认证核准的密码产品，遵循相关国家标准和行业标准；
  - (2) 数据传输过程中的加密过程宜符合 GB/T 37025-2018 中 6.3 和 7.3 的要求。
- d) 数据访问权限检查
  - (1) 制定安全策略，并根据安全策略控制用户对数据的访问；
  - (2) 应设置用户权限分离管理机制，同时分配最小访问权限。
- e) 数据可审计性检查
  - (1) 应覆盖数据的用户行为，针对数据的重要性设定不同级别的行为记录；
  - (2) 审计记录应包括事件的日期、时间、类型、主体标识、客体标识和结果等，并能够根据记录数据进行分析。

### 13.3.5. 数据融合

13.3.5.1 数字孪生中小流域以多源异构数据融合为基础，支撑流域全要素场景表达、计算分析、模型交互、业务交互及不同终端交互，宜满足下述要求：

- a) 以流域多源异构数据为基础，以监测时间为主要索引，构建多层次时序数据融合框架；
- b) 支持多源异构数据融合，包括但不限于三维地形数据、人工建模数据、倾斜摄影模型数据、BIM 数据、物联感知数据等，具体包括：
  - 1) 空间层面数据融合，实现场景无缝拼接、空间位置准确；
  - 2) 语义层面数据融合，实现语义互操作。
- c) 以中小流域数据底板为基础形成全空间、全要素、全过程、一体化的时空数据体系，具体包括：
  - (1) 对土地利用、土壤、人口与社会经济、生态环境、气象、遥感等数据进行整合与规范化处理；
  - (2) 对汇聚的多类型、多尺度地理空间数据，进行数据的分类分级、融合处理、矢量与影像套合处理、数据缺失补充、影像色彩融合等，形成流域 L2 和 L3 级数据底板；
  - (3) 对汇聚的业务管理数据进行整合与规范化处理，包括数据编码、空值填充、字符替换、字符截取、增加时间戳等。对于复杂的业务管理数据整合，可撰写业务处理脚本进行规范化处理；
  - (4) 对水利基础数据进行定源，设计表级、字段级的映射关系，从不同来源的数据中进行抽取，并通过水利对象标识进行关联整合。
- d) 构建物理实体之间关联关系、指标关系与空间关系等，包括物理对象属性数据、物理对象活动运行数据及物理对象之间的关系数据等；
- e) 支持通过地理实体编码、BIM 模型编码、物联网编码等不同形式的标识将实体空间信息和静态属性信息进行关联；
- f) 支持流域实体对象之间关系构建，包括但不限于空间关系、从属关系、业务逻辑关系构建等，将各类水利对象的基础属性、空间图层、业务管理信息、实时监测信息以及多媒体信息等进行关联，实现水利对象的“时间、空间、属性、关系”的一体化；
- g) 支持流域实体对象与 IoT 数据、业务数据和事件关联，实现基于实体或空间位置的传感数据的调取、融合、展示和分析。

### 13.4. 数据挖掘

13.4.1 数据挖掘应紧密结合中小流域汇水范围明确、下垫面条件相对集中但监测站点可能稀疏的特点，从有限的站点数据、遥感数据和多源异构数据中，挖掘流域全要素的关联关系与水利治理管理活动全过程的规律，为业务决策提供信息与知识支撑。

13.4.2 根据中小流域业务特点，宜基于实时或历史数据，系统挖掘气象、水文与下垫面等要素间的复杂关联关系。针对无资料或资料短缺流域，可依据流域地貌特征和下垫面属性等指标，采用聚类分析方法识别水文相似流域，实现已有资料流域水文参数向目标流域的合理迁移，支撑洪水预报等业务应用。结合中小流域空间尺度特点，宜运用地理信息系统与空间分析技术，开展高精度网格化雨量计算、面雨量估算及洪水演进空间模拟等空间特征挖掘，提升流域精细化预报预警能力。

13.4.3 数据挖掘应支持对结构化和非结构化数据的分析。宜具备并行化及兼容能力，包括算法并行化、任务并行化、GPU加速和异构硬件兼容能力，以提升对中小流域海量多源数据处理效率。

13.4.4 数据挖掘应具备丰富的算法能力，宜对算法执行过程的周边功能进行支撑，宜满足下述要求：

- a) 通过空值插补、去重、字段过滤等多种预处理算法对于数据进行预处理的能力；
- b) 通过协方差矩阵、方差、标准差等多种统计分析类算法对数据进行统计分析的能力；
- c) 使用Kmeans、线性回归、决策树等多种机器学习算法，算法类型包括但不限于文本分析、分类、聚类、回归、推荐、关联分析等；
- d) 支持CNN、RNN、GAN等深度学习算法；
- e) 支持通过特征工程类算法对训练数据进行处理的能力，算法类型包括但不限于特征离散、特征向量切割、随机欠抽样等；
- f) 支持多种评价指标评估算法模型结果的能力。

13.4.5 数据挖掘成果宜通过图形、图像、地图、动画等直观方式展现，形成可用于业务应用的知识，支撑数字孪生中小流域的描述性、诊断性、预测性和因果性分析。探索构建水循环动态知识图谱，实现水利对象、数据、模型之间的关联关系挖掘与表达，提升数据分析的智能化水平。

### 13.5. 数据存储与管理

#### 13.5.1. 数据管理

13.5.1.1 数字孪生中小流域数据底板与可视仿真，需要基于流域场景建立场景数据库并协同管理。

13.5.1.2 海量多源异构数据资源宜按需汇聚、统一存储、统一管理与统一维护。

13.5.1.3 宜采用多种维度实现数据管理，建设一套完整的数据分类体系。

#### 13.5.2. 存储环境

13.5.2.1 结合数字孪生中小流域数据底板与可视仿真计算存储需求，采用自建云、物理服务器，共享行业云、政务云等方式，构建数字孪生中小流域计算存储环境。

13.5.2.2 根据数字孪生中小流域数据底板存储、可视仿真模型计算、“四预”等高性能计算存储场景需求，在通用基础存储环境上，加强高并发计算存储能力的建设。

13.5.2.3 宜建设完善本地备份系统，根据业务需要建设异地备份中心，异地备份中心可依托上级单位建设。

13.5.2.4 计算存储资源宜在当前需求基础上预留冗余和扩展空间，满足后续功能扩展升级需要。

13.5.2.5 应充分考虑汛期或出现其他突发情况时，现有计算存储能力不足的情况，可通过协调使用上级单位计算存储资源解决。

#### 13.5.3. 存储体系

13.5.3.1 构建高效的数字孪生中小流域数据存储体系，根据数据类型和特点选择合适的存储技术，存

储体系宜满足下述要求：

- a) 对于水利工程参数、监测站点信息等结构化数据，采用关系型数据库进行存储，利用其强大的事务处理能力和结构化查询语言（SQL）支持，保障数据的一致性和完整性。
- b) 针对数字正射影像（DOM）、数字高程模型（DEM）、数字表面模型（DSM）、倾斜摄影模型、激光点云、水下地形及建筑信息模型（BIM）等数据，选用空间数据库结合文件系统存储方式，由空间数据库负责管理空间索引和元数据，文件系统存储实际的影像、模型文件，以提高空间地理数据的存储和访问效率。
- c) 对于海量的时间序列监测数据，可采用专门的时间序列数据库或在关系型数据库中优化存储结构，实现快速的数据插入、查询和分析，满足实时监测和历史回溯需求。
- d) 同构数据库之间宜采用数据库访问交换方式，异构数据库之间宜采用数据交换服务系统交换方式；
- e) 提供数据目录管理功能，对存储的数据进行分类、索引和元数据描述，方便用户快速查找和访问所需数据。

#### 13.5.4. 存储要求

13.5.4.1 数字孪生中小流域数据存储应采用数据分层分类安全存储策略，一般性要求包括：

- a) 逻辑存储安全性，建立分层的逻辑存储授权管理规则和授权操作规范，通过安全隔离、身份鉴别、访问控制等技术支撑逻辑存储系统的安全管理；
- b) 遵循 GB/T 37973 的要求，实施基于最小权限原则的访问控制，通过访问控制表等技术手段来控制用户对数据、文件、目录资源的访问，确保用户通过身份认证进入系统后，仅能访问其授权范围内的资源；
- c) 数据备份和恢复能力，具备数据存储冗余备份恢复策略、数据备份和恢复管理操作规程，以及统一的数据备份与恢复技术工具，通过证书进行身份认证，非授权用户不能访问备份数据。

### 13.6. 数据服务

#### 13.6.1. 地图服务

13.6.1.1 地图服务应提供对各类空间数据进行访问的能力，包括二维地图服务、矢量瓦片服务、三维数据服务、三维地形服务和通用数据服务等，地图服务应满足：

- a) 二维地图服务宜支持 OGC 标准接口，如 Web 地图服务（WMS）、Web 地图瓦片服务（WMTS）、Web 要素服务（WFS）、Web 覆盖服务（WCS）等；
- b) 矢量瓦片服务宜支持 MVT 等通用格式；
- c) 三维数据服务宜支持 3DTiles 等通用格式；
- d) 三维地形服务宜采用通用的地形数据格式；
- e) 通用数据服务协议宜包括 HTTP、RESTful、WebSocket 等。

#### 13.6.2. 数据资源目录服务

13.6.2.1 数据资源目录服务应提供对数据目录和服务目录进行访问的能力，业务用户可通过目录服务调取数据底板中的数据资源列表和服务资源列表。

#### 13.6.3. 文件共享服务

13.6.3.1 支持以文件形式进行数据共享，主要包括：

- a) 栅格文件，宜支持 TIFF、JPEG 等通用格式；
- b) 矢量文件，宜支持 SHP、KML、GeoJSON 等通用格式；
- c) 模型文件，宜支持 OBJ、GLTF 等格式；

d) 其他文件，宜支持 CSV、JSON、XML 等通用格式。

#### 13.6.4. 数据查询检索服务

13.6.4.1 提供丰富多样的查询接口，支持用户按照不同的条件和需求进行数据查询，包括基于属性的查询、基于空间位置的查询和基于时间范围的查询。

13.6.4.3 采用索引优化技术，对频繁查询的字段和数据类型建立索引，提高查询效率，确保数据能够快速响应查询请求。

#### 13.6.5. 数据分析服务

13.6.5.1 应提供在线数据分析与自助报表服务，支持业务用户进行简单配置即可快速完成多种数据分析与可视化应用，支持多类型统计图表、数据分析报告的输出。

#### 13.6.6. 数据管理服务

13.6.6.1 数据管理服务宜满足下述要求：

- a) 支持数据服务管理，包含数据服务目录、服务查询、服务详情、服务测试、接口协议、接口定义等功能；
- b) 支持数据服务的全生命周期管理，如服务的注册、发布、编辑、注销、删除、取回、运行监控等；
- c) 支持历史数据服务管理功能；
- d) 支持服务使用审批及服务细粒度权限控制管理，包括允许设置访问时间、图层限定、查询字段限定、范围的空间范围等；
- e) 支持服务运行实时状态监控管理，支持对服务实时访问监控；
- f) 支持服务器状态监控管理，支持服务器状态异常告警；
- g) 支持对服务访问日志的管理，支持基于日志管理的服务统计分析、平台运行统计分析的可视化展示，并可生成综合分析报告。

### 13.7. 数据交互

13.7.1 数据引擎与数据资源交互宜满足下述要求：

- a) 支持根据计算和业务应用需要，从数据底板的多源存储结构中按需获取地理空间数据、监测数据、业务管理数据等，并对数据进行格式转换、时空基准统一等；
- b) 支持将数据引擎处理后的优化数据或分析结果动态回存至数据底板，确保数据底板的动态更新；
- c) 采用 RESTful API、数据库同步等标准化接口实现数据双向传输，保障数据的一致性和时效性；
- d) 支持数据范围筛选、字段映射等操作，确保数据输入满足模型和业务需求；
- e) 遵循 SL/T 783 等数据交换规范，支持跨层级、跨部门的数据共享；
- f) 实施基于角色的访问控制策略，支持数据访问权限控制和采用 SSL/TLS 协议的加密传输，确保敏感数据的安全性。

13.7.2 数据引擎与数据模型交互宜满足下述要求：

- a) 支持为水文模型、水动力模型等提供标准化输入数据，包括流域边界条件、实时监测数据、历史统计资料等；
- b) 支持 CSV、NetCDF 等数据格式适配，保障模型可直接调用数据引擎的输出结果；
- c) 能够接收数据模型的输出数据，并进行结果验证与误差分析；
- d) 支持将验证后的模型结果反馈至数据底板，支撑模型参数的迭代优化与精度提升；
- e) 支持分布式计算任务调度，为大规模模型运算提供高效的数据流支持。

13.7.3 数据引擎与仿真引擎交互宜满足下述要求：

- a) 支持将地理空间数据、水利工程模型等转换为仿真引擎支持的格式，提供数据服务或接口，支

撑三维可视化场景的动态渲染；

- b) 提供时序数据接口，支持洪水演进、工程运行等动态过程的实时仿真；
- c) 支持在仿真场景中的查询、缩放等交互操作，能够快速返回工程属性、监测曲线等相关数据；
- d) 支持多终端适配，确保数据服务与可视化展示的无缝衔接；
- e) 支持将流场动态、淹没范围等仿真结果与应急预案、社会经济信息等业务数据融合，生成综合决策视图。

13.7.4 数据引擎与业务系统交互宜满足下述要求：

- a) 提供符合 OGC 标准的 WMS、WFS 等服务接口及自定义 RESTful API，向防洪减灾、水资源管理等业务系统提供数据服务；
- b) 支持按需定制数据服务；
- c) 支持为业务系统提供实时数据流，支撑应急指挥与快速决策；
- d) 支持业务规则与数据引擎的联动，包括但不限于阈值触发数据采集、事件驱动模型运行等；
- e) 遵循微服务架构设计，确保与现有防汛抗旱指挥系统、水利一张图等水利信息系统的高效集成；
- f) 提供模块化扩展接口，支持新增数据类型、算法模型或业务功能的快速接入。

### 13.8. 性能要求

#### 13.8.1. 数据处理速度

13.8.1.1 对于实时采集的监测数据，应能够在短时间内完成数据的接收、解析、清洗和存储操作，确保数据的时效性。

13.8.1.2 在高流量数据采集情况下，每秒钟能够处理数千条监测数据记录，并保证数据处理的准确性和完整性。

13.8.1.3 数据汇聚环节应满足时效性要求，监测类数据延迟宜 $\leq 5$ 分钟，批量数据同步完成时间宜 $\leq 30$ 分钟/GB。

13.8.1.4 数据清洗与转换作业宜在接收后1小时内完成，复杂治理任务处理时效宜 $\leq$ 数据总量的0.5%/分钟。

#### 13.8.2. 数据查询效率

13.8.2.1 对于常见的查询请求，响应时间应控制在毫秒级至秒级范围内，对于大规模数据量和复杂查询请求，可快速返回查询结果。

13.8.2.2 时空数据检索性能宜满足100km<sup>2</sup>范围条件下，复合查询响应时间 $\leq 3$ 秒。

#### 13.8.3. 数据存储容量

13.8.3.1 存储系统应支持海量数据的存储，初始设计存储容量应根据流域面积、监测站点数量、数据采集频率和预计数据保存期限等因素进行合理规划，宜支持在未来5-10年甚至更长时间内无需频繁更换存储设备或进行大规模的数据迁移。

13.8.3.2 存储系统宜支持结构化数据和非结构化数据的分布式存储，支持线性扩展，能够适应中小流域长期数据积累和数据量增长的需求。

13.8.3.3 宜支持亿级监测数据记录、数TB甚至PB级的地理空间数据和模型数据，同时保证数据存储的稳定性和可靠性。

## 14. 可视仿真对象

## 14.1. 可视仿真对象分类

可视仿真对象主要包括水利管理对象和水利管理活动。

### 14.2. 水利管理对象

14.2.1 水利管理对象包含自然背景、流场动态、水利工程、水利监测设备和水利机电设备等。

14.2.2 自然背景应包含自然现象、地理场景和地理实体等，相应的仿真内容应符合附录表 14.2-1 的要求。

a) 自然现象应包括气象、水文和地质等。

b) 地理场景应包括山地、丘陵、平原、盆地、河谷、峡谷、森林等。

c) 地理实体应包括地貌实体、水系实体、土地实体、交通实体和居民区实体等。

14.2.3 流场动态应包括水流、冰凌、泥沙运动、潮汐和台风等，相应的仿真内容应符合附录表 14.2-2 的要求。

14.2.4 水利工程应包括河道、堤防、大坝、隧洞、溢洪道、水电站、船闸、拦河堰、拦河闸、取水闸、鱼道、泵站、桥梁和监测站等，相应的仿真内容应符合附录表 14.2-3 的要求。

14.2.5 水利机电设备应包括水泵、启闭机、闸门、水力发电机组等，相应的仿真内容应符合附录表 14.2-4 的要求。

14.2.6 水利监测设备应包括水位监测设备、流速流量监测设备、水质监测设备、雨量监测设备、视频监控设备、气象监测设备等，相应的仿真内容应符合附录表 14.2-5 的要求。

### 14.3. 水利管理活动

14.3.1 水利管理活动宜包含流域防洪活动、水环境质量监测活动、水环境治理与生态恢复活动、水土保持活动、水资源调配活动和用水与耗水过程等。

14.3.2 流域防洪活动仿真宜包含水文过程、灾害模拟、决策预演、工程调度等，相应的内容应符合附录表 14.3-1 的要求。

14.3.3 水环境质量监测活动仿真宜包括对河流、湖泊和水库等的水环境质量监测，相应的内容应符合附录表 14.3-2 的要求。

14.3.4 水环境治理与生态恢复活动仿真宜包括控源截污、分区治理、生态恢复等，相应的内容应符合附录表 14.3-3 的要求。

14.3.5 水土保持活动仿真宜包括场景模拟、区域划分、保持措施等，相应的内容应符合附录表 14.3-4 的要求。

14.3.6 水资源调配活动仿真宜包括蓄水和取水等，相应的内容应符合附录表 14.3-5 的要求。

14.3.7 用水与耗水过程仿真宜包括供水、用水和耗水等，相应的内容应符合附录表 14.3-6 的要求。

## 15. 可视仿真方法

### 15.1. 一般规定

#### 15.1.1. 遵循标准规范

应严格遵循水利部及相关行业颁布的各类标准、规范和导则，确保可视仿真过程的科学性、合理性和可靠性。在数据处理、模型构建、可视化参数选取以及仿真结果验证等各个环节，均以既定标准为准，保证可视仿真工作与行业要求高度契合。

#### 15.1.2. 数据驱动原则

通过对数据底板的深度挖掘与分析，精准驱动可视仿真模型运行，增强可视仿真结果的真实性和实

用性。

### 15.1.3. 一体化原则

可视化仿真应与数据底板、专业模型紧密耦合，实现数据驱动下的实时/准实时仿真。

### 15.1.4. 分级展示原则

根据水利业务应用特点和需求，结合全要素场景空间尺度，将可视化模型划分为宏观级（S1）、中观级（S2）、微观级（S3）三个展示级别，具体分级情况参见表 15.1。

表 15.1 可视化模型展示分级表

| 序号 | 分级      | 垂直视距 L                              | 垂直视域面积 S                                   |
|----|---------|-------------------------------------|--|
| 1  | 宏观级（S1） | $L > 5000\text{m}$                  | $S > 50\text{km}^2$                        |
| 2  | 中观级（S2） | $100\text{m} < L \leq 5000\text{m}$ | $20000\text{m}^2 < S \leq 50\text{km}^2$   |
| 3  | 微观级（S3） | $3\text{m} \leq L \leq 100\text{m}$ | $10\text{m}^2 \leq S \leq 20000\text{m}^2$ |

宏观级（S1）展现数字孪生流域总体空间维度表征，流域、河流、水利工程等水利对象的宏观表征，以及空天域范围的天气（如降雨、降雪、风）等场景。镜头垂直观察距离宜大于 5000m，可根据业务需要进行调整。

中观级（S2）展现数字孪生流域中自然背景、流场动态、水利工程和机电设备等组成要素的中观表征，主要展现水流演进、泥沙运动等流场动态的变化规律与分布特征，以及水利工程外观、内部结构、安全运行等场景和状态信息。

微观级（S3）展现数字孪生流域中重要水利对象的精细化表征，包括流场动态的细节模拟仿真、水利工程和机电设备运行维护等精细场景。

## 15.2. 针对水利管理对象的仿真方法

管理对象的仿真是基础，为管理活动的仿真提供静态场景和动态元素。

### 15.2.1. 自然背景

a) 自然现象：耦合物理模型与实时数据，可运用粒子系统或动态 Shader，驱动模拟降雨、洪水、泥沙等动态过程。

b) 地理场景：以高分辨率 DEM/遥感影像为基底，构建山地、平原、河谷等宏观地貌，并通过地表覆被纹理批量生成技术，塑造出逼真的地形与生态肌理。

c) 地理实体：将河流、桥梁、建筑物等实体通过矢量数据三维化与精准建模进行再现，并与属性数据关联，形成可查询、可量测的独立对象。

具体仿真方法示例详见附录 E。

### 15.2.2. 流场动态

流场动态仿真的核心方法是数据驱动特效，即将水文、海洋、气象模型的数值计算结果，映射为直观的视觉元素。

根据要素的物理特性将流场动态分为标量场、矢量场和组合展示等类别。

标量场：展示降水量、水位、流量、含沙量、水质、土壤墒情等单一标量要素，主要采用等值线、等值面、热力图等方式展现标量要素在空间上的变化规律与分布特征。

矢量场：展示流速（含流向）、风速（含风向）等单一矢量要素，主要采用纹理或粒子流等方式表现矢量要素在空间上的移动路径。

组合展示：对于产汇流、洪水演进、泥沙运动等既有标量又有矢量的应用场景，可叠加运用等值线、等值面、流场纹理、粒子运动等方式进行综合可视化展示。

具体仿真方法示例详见附录 E。

### 15.2.3. 水利工程

水利工程仿真可概括为模型结构仿真与状态仿真。

#### a) 水利工程结构

水利工程模型随观察距离同比例缩放，宏观至微观场景默认三维展示（材质中高精度渲染），二维场景遵循图式符号标准并延伸至三维符号设计。

宏观级（S1）：展示比例缩小的外观模型（LOD1.0~2.0），超小尺度替换为工程图式符号。

中观级（S2）：展示外观材质，按需增补内部结构（LOD1.0~3.0）。

微观级（S3）：完整展示外观/内部/室内场景（LOD2.0~3.0）。

#### b) 水利工程运行：

结合实时水文数据（如水位、流量）、工程安全（如沉降、位移、渗流、压力等）、工程运行状态（如闸门开度、机组启停状态等）等监测数据，重点渲染展示水利工程运行工况和动态效果。

宏观级（S1）：不展示监测信息，根据业务需要可对运行工况进行标识。

中观级（S2）：展示监测信息，主要包括基于数据驱动的水位变化、闸门启闭位置、泄流水花、机组启停状态、工程安全监测数据在三维空间的位置、数值及变化等，可根据需要进行特效处理和标识。

微观级（S3）：根据业务需求的观察距离，参照中观场景内容，展示相应监测信息。

### 15.2.4. 水利监测设备

水利监测设备可视仿真分为外观结构与监测信息仿真。

#### a) 设备外观结构

监测设备模型随观察距离动态缩放，中观（S2）与微观（S3）场景均采用三维表达。

宏观级（S1）：不展示监测设备结构模型；

中观级（S2）：仅展示大型设备外观（LOD2.0~3.0精度），不暴露内部结构；对数量众多、分布广泛的设备采用标准化、可识别的二维/三维图标进行表示，避免模型过多造成渲染压力。

微观级（S3）：按业务需求展示设备外观及内部构件（ $\geq$ LOD3.0精度）。模型渲染需匹配真实材质特性，默认中高精度渲染，高等级应用可提升至超高精度。

#### b) 设备监测信息

基于监测数据对监测设备运行过程进行动态可视模拟，监测数据需具备监测设备种类名称、运行工况、实时状态等要素。根据应用需求，可采用实时监测数据和历史监测数据。

宏观场景（S1）：不显示监测信息；

中观场景（S2）：根据实际业务需求，通过颜色编码展示大型设备运行工况；

微观场景（S3）：完整显示主设备及相关二次设备的运行状态，包括控制、保护、测量等系统的正常工作、停机和故障状态，并提供故障定位功能。

### 15.2.5. 水利机电设备

利用机电设备三维模型从中观、微观尺度展示机电设备的结构与运行状态。

#### a) 设备结构

设备模型随观察距离同比例缩放，中观（S2）、微观（S3）场景均使用三维展示。

宏观级（S1）：不展示机电设备结构模型；

中观级（S2）：仅展示大型设备外观（LOD2.0~3.0精度），不暴露内部结构；

微观级（S3）：按业务需求展示设备外观及内部构件（ $\geq$ LOD3.0精度）。模型渲染需匹配真实材

质特性，默认中高精度渲染，高等级应用可提升至超高精度。

#### b) 设备运行状态

基于监测数据对机电设备运行过程进行动态可视模拟，监测数据需具备机电设备种类名称、运行工况、实时状态等要素。根据应用需求，可采用实时监测数据和历史监测数据。

宏观场景（S1）：不显示监测数据；

中观场景（S2）：原则上不展示监测信息，但可根据业务需求通过颜色编码方式呈现发电机组和大型泵组等关键设备的运行工况；

微观场景（S3）：完整展示水轮机、发电机、水泵等主设备、辅助设备等的运行状态、停机状态和故障信息，并支持通过特效标识和空间定位技术实现异常状态的精准可视化。

所有设备模型尽量真实还原空间位置、表面纹理、材质质感和光影效果。对于高精度应用场景，可进一步展示现场仪表参数和工况转换时的设备动作过程，此时模型的运行方式仿真、运行参数宜与实际基本保持一致。主要设备及构件模型静态状态下，根据业务需要，精细度等级可达到或高于 LOD3.0 级别。

### 15.3. 针对水利管理活动的仿真方法

管理活动的仿真是对象仿真基础上，通过数据驱动和逻辑编排实现的业务流程动态推演。

#### 15.3.1. 流域防洪活动

##### a) 水文过程

降雨驱动：可基于实时或预报降雨数据，在三维地形上动态生成移动的雨云粒子效果，其强度、范围与数据真实对应。

产流与坡面汇流：雨水降落到地面后，可采用 Shader 技术或表面粒子流，动态模拟地表开始形成径流，并沿着地形坡度向低处汇聚（坡面汇流）的过程。

河道汇流与洪水波演进：坡面汇流注入河道，在河道中使用动态抬升的水面结合高速流动的粒子带，清晰地展示洪水波前锋的位置、移动速度和不断变化的河道水位。

水利监测设备监测信息同步变化。

##### b) 灾害模拟

堤防漫溃过程：①渐进式漫顶：水位接近堤顶时，堤防临水侧材质开始出现“湿润线”并不断上升，水流以粒子飞溅的形式开始越顶。②渐进式溃决：从堤防出现“管涌”（局部喷水粒子特效）开始，到背水坡发生滑塌（模型动态变形），最后形成溃口并动态扩大，洪水从中汹涌而出（高密度粒子喷射）。

洪水演进过程：可基于二维水动力模型，仿真淹没范围动态扩张的过程。

山洪触发过程：模拟土壤含水量随降雨动态饱和（通过颜色变化显示），达到临界值后，触发山体滑坡/泥石流动画，并沿着沟谷向下冲击。

##### c) 决策预演与工程调度

工程调度联动：指令下达后，相关机电设备、监测设备的运行状态改变，联动渲染展示水利工程运行工况和动态效果。

方案对比与推演：根据不同方案，宜更改不同设备的运行状态。观察河道不同的水位上涨速度、洪峰流量和淹没过程。

应急响应模拟：当发布转移指令后，风险区内自动生成动态移动的人流/车流粒子群，沿着预设路径向安全区移动。同时，淹没范围在后方动态扩张。

#### 15.3.2. 水环境质量监测活动

##### a) 监测网络与采样过程

**监测点位可视化：**在河流、湖泊水库的三维场景中，精准定位并高亮显示监测断面、垂线及采样点等。可使用不同图标区分常规监测点与自动监测站。动态标注每个点位的核心信息，如水面宽度、断面尺寸等。

**虚拟采样过程：**在仿真环境中触发“采样”指令，可采用简短动画播放取水画面，象征数据采集动作，增强过程真实感。

#### b) 水质数据动态

**数据驱动的颜色映射：**将pH、溶解氧(DO)、浊度等参数的实时数据，映射为水体的视觉属性，赋予颜色或可见性等表达形式。

**综合水质等级：**根据水质评价标准，将监测点或整个河段/湖区的综合评价结果，用颜色进行渲染。宜执行 GB 3838 标准分级，断面间数据渐变过渡，支持水质指标切换。

表 15.3-1 水质等级渲染色标对照表

| 水质等级 | 色标 |
|------|----|
| I类   | 绿色 |
| II类  | 蓝色 |
| III类 | 黄色 |
| IV类  | 橙色 |
| V类   | 红色 |

### 15.3.3. 水环境治理与生态恢复活动

#### a) 控源截污

**污染源与管网可视化：**宜用不同图标精准标注工业、农业、生活等污染源类型和排污口位置。对将地下不可见的雨污分流管网系统进行三维建模，并用不同颜色区分雨水管和污水管。可通过动态流动的粒子模拟管道内水流方向与流速。

**治理设施运行状态仿真：**宜根据水利工程仿真方法对污水处理厂等设施进行精细化建模，其运行状态（正常、降载、故障）通过颜色编码（绿、黄、红）显示。在设施入口和出口处，动态显示关键水质指标（如COD、氨氮）的实时数据及去除效率，直观展示其治污效果。

#### b) 分区治理

**水功能区划可视化：**宜采用半透明彩色面图层覆盖在三维地形上，清晰展示不同的水功能区，并在图例中说明各区的管理要求。

**问题诊断与空间叠加：**可将各分区内存在的核心问题以动态标签或闪烁高亮等形式在对应区域进行标注。可将污染源、水质监测数据等图层与分区图层叠加分析，直观揭示不同功能区面临的主要压力来源。

#### c) 生态恢复

**恢复过程动态模拟：**可使用时间轴动画，模拟规划区域内植被从裸露土地到草地，再到灌木和乔木的渐进式绿化覆盖过程。植被覆盖率、活力指数(NDVI)等数据可同步图表显示。采用粒子系统展示从水源地引出补水路线，沿着修复的河道或新建的生态渠道，流向干涸的湿地或湖泊，并驱动沿线水体颜色由浑浊变为清澈的动态过程。

**生态环境演变综合模拟：**可将人类干扰强度、土壤侵蚀模数、景观破碎度等抽象指标，转化为可交互的图表和仪表盘，与三维场景联动，综合反映生态系统的“健康指数”。

### 15.3.4. 水土保持活动

#### a) 场景模拟

**宜耦合土壤侵蚀模型，**输入实时降雨、土壤类型、地形坡度、植被覆盖度等数据。可采用移动的泥沙粒子和动态颜色变化，模拟土壤侵蚀强度（如微度、轻度、强烈、极强烈）的空间分布与变化。

b) 区域划分

可采用不同颜色的半透明面图层，清晰展示“水土保持区划”和“水土流失重点防治区”（重点预防区、重点治理区）。

c) 保持措施

措施类型可视化：①工程措施：可参考水利工程仿真方法精细化建模展示淤地坝等工程的立体结构；②生物措施：可使用动态植被生成技术，在规划造林区模拟树苗种植、生长并最终成林的时间序列动画；③耕作措施：通过改变地表纹理，可视化展示等高耕作等保土耕作方式。

治理成效动态对比：宜采用“治理前后对比”或“有措施与无措施情景对比”的仿真模式。通过时间轴拖动或分屏对比，实施措施后区域的地表径流、泥沙粒子、植被覆盖度的变化，信息面板动态更新治理面积、土壤侵蚀模数下降率、拦沙量等关键成效数据。

### 15.3.5. 水资源调配活动

a) 蓄水

入库径流驱动：可基于上游来水数据，在入库河道利用增强的粒子流密度和速度，直观显示入库水流的大小。

动态水位与库区淹没：根据实时或模拟的水位数据，宜通过动态三维水面模型，再现水库水位的连续升降过程。水位上涨时，库区淹没范围随之动态扩张；水位下降时，原先淹没的岸坡逐渐露出。

库容变化：可参考水利监测设备仿真方法，构建水位监测模型，动态展示库容变化。

b) 取水

取水口状态：在取水口位置，设立三维标识。该标识的颜色可根据取水状态（绿色为正常取水，红色为超量取水或关闭）动态变化。点击取水口，可弹出信息牌，实时显示取水流量、累计取水量、取水时间等数据。

取水流量：从取水口延伸出的管道或渠道中，宜使用动态流动的粒子模拟水流，粒子的密度和速度与取水流量数据正相关。

### 15.3.6. 用水与耗水过程

a) 供水

需求驱动的压力模拟：宜将城市或灌区用水需求数据映射到供水管网模型上。用水高峰时，管网用红色高亮显示压力不足段落；用水低谷时，用绿色表示压力正常。管径粗细可动态变化以夸张化表现流量大小。

水质变化追踪：可通过沿管网动态改变水体的颜色或透明度来模拟水质变化。

b) 用水

可采用动态热力图的方式覆盖在行政区或灌区上，颜色深浅表示实时用水强度。可清晰展示用水的时空迁移规律。

c) 耗水

农业蒸发蒸腾：基于气象与作物模型数据，可在灌区上方模拟动态上升的水汽粒子流，其密度和高度与蒸发蒸腾量正相关，直观表现“水变为水汽”的过程。

工业与生活耗水：在工厂等模型上空，可采用不同颜色的粒子流象征不同形式的耗水。

## 16. 可视仿真场景

### 16.1. 一般规定

16.1.1 可视仿真场景包括物理场景与业务场景，其中物理场景主要由自然背景、流场动态、水利工程、

水利监测设备和水利机电设备等五种类场景组成，业务场景主要由流域防洪活动、水环境质量监测活动、水环境治理与生态恢复活动、水土保持活动、水资源调配活动和用水与耗水过程等六种类场景组成。

16.1.2 可视仿真场景应支持 3Dtiles、I3S、S3M 等常用的三维数据服务协议，可以直接接入展示与场景中。

16.1.3 可视仿真场景应采用模块化设计思想，确保 3D 场景的可扩展性和可维护性。通过模块化的组件和插件机制，方便地添加新的仿真对象或更新现有模型。

16.1.4 可视仿真场景应提供导航漫游、图层控制、信息查询、空间量算、动态标签、要素定位、要素高亮、模拟仿真效果控制等常用功能。

## 16.2. 物理场景

### 16.1.1. 自然背景

自然背景场景，主要为流域管理提供真实地理环境基底，支撑地形分析、生态保护及灾害评估等工作，场景主要包括自然现象场景，地理场景，地理实体场景等。

#### a) 自然现象场景

自然现象场景应直观展示气象、水文、地质等动态过程，如降雨、径流、滑坡等。可通过粒子系统、流体模拟、地形动态变形等技术实现自然现象的真实还原。场景应支持时间尺度选择（实时、年-月-日等）和多源数据联动，反映自然过程的时空变化。

#### b) 地理场景

地理场景应构建山地、丘陵、平原、盆地、河谷、森林等典型地貌环境，体现流域整体空间格局。应基于高精度 DEM 和卫星遥感影像等形成真实场景，结合纹理渲染与植被实例化渲染，保证地形真实感与生态协调性。场景应具备多层次细节显示与漫游浏览功能。

#### c) 地理实体

地理实体应包括地貌、水系、土地、交通、居民区等要素的三维展示。各类实体应在空间位置、比例和形态上与真实地理信息一致。通过三维模型、纹理贴图 and 符号化表达等手段统一呈现空间要素，模型轻量化处理，体现区域空间结构关系与人地交互特征。

### 16.1.2. 流场动态

流场动态场景应实时反应流域河道内的水流、泥沙、冰凌、潮汐等水动力过程。该场景应辅助洪水预报、水资源调度决策等，主要实现洪水演进，泥沙运动，可视化悬移质、推移质输移、冲淤变化的动态矢量场等。可通过流线可视化、动态贴图、粒子动画等技术展示流速、流向和 水位变化。场景应支持多时间尺度演示与监测数据驱动，实现水动力过程的直观可视分析，确保视觉效果与物理过程一致。

### 16.1.3. 水利工程

水利工程场景应真实还原河道、大坝、泵站、闸门等工程设施的空间布局与结构特征。通过三维模型、材质渲染和交互动画展示工程形态及运行状态。场景应支持结构分层显示与动态演示，用于工程调度与运行可视化分析。

### 16.1.4. 水利机电设备

水利机电设备场景应包含水泵、启闭机、闸门、水轮机等主要设备的精细化建模，展示其外观形态与工作过程。通过动画驱动或状态联动反映启闭、转动、流量变化等运行特征。场景应支持动态演示设备的运行状态，实时显示运行参数。

### 16.1.5. 水利监测设备

水利监测设备场景应展示水位、流量、水质、雨量、视频监控等监测设施的布设位置与运行状态。可通过图标、数据面板或动态图层，悬浮统计图实时获取监测数据。场景应实现监测要素的可视集成与多源数据联动，提升流域监测的直观性与交互性。

### 16.3. 业务场景

#### 16.3.1. 流域防洪活动

流域防洪场景应包含降雨、洪水演进、防洪调度、应急响应的全过程的动态演示，满足防洪“四预”业务需求。通过专业水文、水动力与风险分析模型驱动，实现河道流量与水位变化、淹没范围、重要风险点识别以及人员疏散路线等要素的动态可视化展示。场景应具备多方案防洪调度预演与应急响应推演等能力，并提供时间轴回放、工况切换、方案对比等功能。

#### 16.3.2. 水环境质量监测活动

水环境质量监测场景应实时呈现河流、湖泊、水库等区域的水质状况、污染分布与变化趋势等核心要素。场景可结合监测断面、采样点与指标曲线，形成实时监测与历史回溯一体化展示。场景应支持多源监测数据查询、异常工况智能预警等可视化表达。

#### 16.3.3. 水环境治理与生态恢复活动

水环境治理与生态恢复该场景应展示污染源分布与实时排放状况、治理工程及生态恢复区域的空间布局和演变过程。通过标注治理工程位置和规模，动态模拟控源截污、生态补水、植被恢复等方案实施的治理成效。场景应支持多时间段对比与生态指标的可视化分析。

#### 16.3.4. 水土保持活动

水土保持场景应结合地形、植被与水文要素，展示流域水土流失现状及水保措施。通过三维地貌、坡面径流和防护工程动态演示综合治理效果。场景应支持重点区域放大与措施成效对比。

#### 16.3.5. 水资源调配活动

该场景应包含水源地、调水工程、供水管网、用水单位以及系统拓扑关系的空间展示，动态展示蓄水、引水、输水、供水等过程。通过水流路径、调度节点和水位变化的可视化，实现调配方案直观展示。场景应支持应急调度与供水保障决策，具备实时监测数据联动、多方案调度模拟与对比分析能力等。

#### 16.3.6. 用水与耗水过程

用水与耗水场景应展示城市、农业、工业等不同类型用水过程及耗水分布。通过动态管网流向、用户用水曲线统计图与耗水统计数据可视化，直观的在三维场景中显示水资源利用状况。场景应支持分类筛选与时段对比分析，辅助节水管理与优化调度。

## 17. 仿真引擎

### 17.1. 功能定位

仿真引擎通过高保真模型和实时计算能力，将数据转化为可交互、可预测的决策知识，最终服务于流域的精准治理与灾害防控，其功能定位需全面支撑自然背景、流场动态、水利工程、机电设备、监测设备等场景的仿真需求。

#### 17.1.1. 多源数据整合与集成

遵循“理数-聚数-治数”三步法，梳理多类场景的数据需求，汇聚地理空间数据、动态监测数据、业务管理数据，按统一时空基准（2000 国家大地坐标系、1985 国家高程基准）清洗治理，保障数据一致、完整、权威。支持 SHP、LAS、IFC、3D Tiles 等多格式数据接入，通过 RESTful/WebSocket 接口实现跨部门数据互通，为场景提供“空天地”多维度数据支撑。

#### 17.1.2. 模型与场景管理

集中管理各类场景的模型库，支持版本控制与场景定义配置。适配 3Dtiles、I3S、S3M 等三维数据服务协议，实现场景快速接入与切换；提供可视化工具，支持场景参数调整、模型组合配置，满足不

同场景的个性化仿真需求，确保模型与场景的高效协同。

17.1.3. 动态模型驱动与实时模拟

基于数据底板提供的多源数据（地形、水文、气象、传感器实时数据等），构建并运行物理机理模型（如水文模型、洪水演进模型、泥沙输移模型），动态模拟中小流域的水文循环、灾害演进、生态变化等过程。水文模型（如 SWAT 模型）构建流域的水文水资源模型，模拟降水、径流、蒸发等水文过程。

17.1.4. 多模型耦合与场景推演

集成多学科模型，支持模型间的耦合运算，实现复杂系统的联合仿真，形成覆盖“预报-预警-预演-预案”全链条的模型库。融合机理模型与机器学习模型，通过多模型协同计算提升复杂场景下的仿真精度。

17.1.5. 数据模型双向交互

数据驱动利用数据底板中的实时监测数据校准模型参数，提升模拟精度；模型反馈将仿真结果反向写入数据底板，形成动态更新的孪生数据闭环。

17.1.6. 可视化与交互的底层设计

为可视化模块提供可视化底层支撑，包括地形地貌、水体、工程设施、设备的三维渲染，支持 VR/AR 设备接入与沉浸式体验。提供场景平移、缩放、剖切等交互能力，支持用户调整参数（如闸门开度、设备运行阈值）并实时查看仿真结果变化，满足多视角观察与交互需求。

17.1.7. 决策支持与优化

基于水利业务规则与历史案例构建知识图谱，实现模型智能调度、动态参数优化，结合优化算法（如遗传算法、机器学习），在仿真中自动寻找最优解决方案（如水库调度方案、抢险资源配置）。

17.1.8. 系统性能与扩展性保障

支持高性能计算，应对大规模高精度仿真；提供标准化接口，便于与数据底板、可视化平台及其他系统集成。

17.2. 仿真引擎框架设计

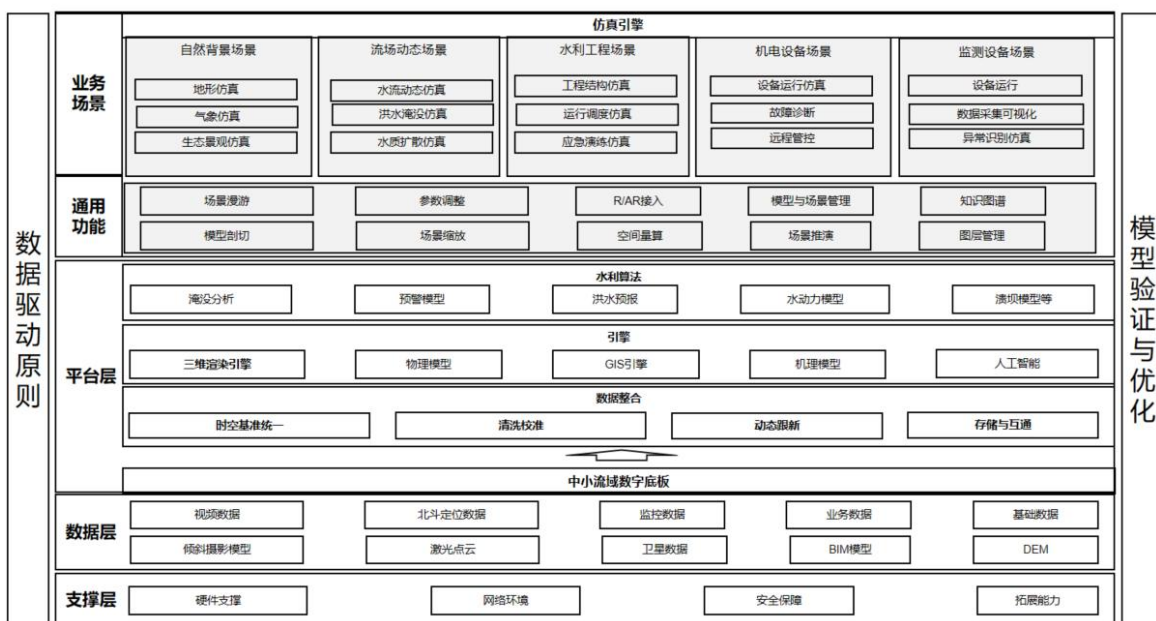


图17.2-1 仿真引擎框架

### 17.3. 关键技术组件

#### 17.3.1. 场景图管理系统

空间索引：采用层次包围盒（BVH）加速碰撞检测，动态四叉树实现地形分块加载；  
实体组件：将流域要素抽象为可扩展组件，支持属性动态绑定。

#### 17.3.2. 分布式计算框架

云边协同：边缘节点部署轻量级计算引擎，云端通过容器编排技术调度大规模任务；  
数据同步：基于差异压缩技术减少网络流量，支持预测回滚机制降低操作延迟；  
高性能计算：CPU-GPU 异构架构支持千万级网格并行求解，渲染采用虚拟几何体技术，三角面片压缩率 $\geq 80\%$ 。

#### 17.3.3. 数字孪生专用模块

时空数据库：时序数据库时序数据（如每秒水位变化），空间数据库支持地理空间查询；  
机器学习代理：强化学习训练水库调度策略，生成式模型生成极端天气模拟数据；  
国产化适配：兼容鲲鹏 / 海光 CPU、景嘉微 GPU，支持麒麟 / 统信操作系统。

### 17.4. 功能规范

仿真引擎的功能规范需满足自然背景、流场动态、水利工程、机电设备、监测设备等多种可视仿真场景应用，全面覆盖场景建模、过程模拟、可视化呈现及交互支撑等核心需求，具体要求如下：

#### 17.4.1. 自然背景场景功能

a) 宜支持高分辨率地形数据（DEM/DOM/ 激光点云等）融合处理，实现陆地（宏观 S1 - 微观 S3）与水下（S1-S3）三级地形模型构建，保障地形起伏、地貌特征及水下暗坑、深泓线等细节的高保真还原，支持地形纹理映射与材质优化。

b) 宜具备气象环境动态模拟能力，支持雨、雪、风、雾等天气要素的粒子级参数调节（大小 / 速度 / 密度），实现光照（太阳高度角、辐射强度）、云层（高度 / 密度 / 厚度）及季节（植被色彩、地表特征）的静态展示与动态切换，适配不同场景层级的环境表征需求。

c) 宜实现生态景观多类型建模，支持植被（二维色块标注 / 三维形态还原）、土地利用（符号化标注 / 三维形态展示）、土壤类型（颜色分区 / 层级表达）的分类可视化，遵循 GB/T 20257、GB/T 24354 等标准规范，支持生态要素属性查询与空间分析。

d) 宜具备多源数据整合能力，兼容 SHP/LAS/TIFF 等地形数据格式及气象、生态观测数据，支持数据时空对齐与动态更新，保障自然背景场景与实际环境的一致性。

#### 17.4.2. 流场动态场景功能

a) 宜支持多类型水动力模型适配，可集成二维浅水模型（平缓水流区域）与三维高精度模型（复杂流场区域），支持根据流域水流特性灵活选择模型类型，保障流场模拟的科学性与精准性。

b) 宜具备灵活的边界条件配置功能，支持上游来水流量、下游水位控制、河道糙率及水利工程影响（闸门开度、水库泄洪）等边界参数的自定义设置与动态调整，适配不规则河岸线、入流河口等复杂边界场景。

c) 宜实现流场多维度可视化，支持标量场（雨量、水位、水质等）的等值线 / 热力图展示、矢量场（流速、风速等）的箭头 / 粒子流表达，以及产汇流、洪水演进、污染物扩散等组合场景的时序动态仿真，支持流速、水深等关键参数的实时标注与过程线追溯。

d) 宜具备数据驱动更新能力，支持实时监测数据（水位、流量）与模拟数据的联动，可动态调整流场模拟结果，实现洪水演进、水质扩散等过程的实时仿真与预警触发，满足“预报 - 预警”业务需

求。

#### 17.4.3. 水利工程场景功能

a)宜支持水利工程精细结构建模,兼容 BIM/GIS 融合技术,可精准还原大坝、水闸、泵站等工程的几何形态(坝型、闸孔尺寸、管道布局)、内部结构(廊道、排水系统)及材质属性,模型精度符合 LOD1.0~3.0 分级要求,支持多尺度模型切换(宏观外观 - 微观内部构造)。

b)宜具备工程运行过程动态模拟能力,可仿真闸门启闭、水库蓄泄、泵站提排水等运行过程,支持根据调度规则(如洪水调度方案)自动调整运行参数,模拟工程与水流的相互作用(泄洪消能、水流对坝体的压力),输出运行状态数据(闸门开度、流量、能耗)。

c)宜实现工程多维度可视与交互,支持工程结构的三维渲染、剖切查看,运行状态的颜色编码(正常 / 异常)、特效标注(泄流水花分级),以及安全监测数据(沉降、渗流)的热力图映射,支持用户调整调度参数并实时查看仿真结果变化。

d)宜具备工程应急场景仿真能力,支持堤防漫溃、大坝溃决等险情模拟,可视化险情蔓延路径与影响范围,集成应急处置流程(抢险物资调度、人员转移路径),为“预演 - 预案”业务提供支撑。

#### 17.4.4. 机电设备场景功能

a)宜支持机电设备高精度结构建模,可还原水泵、发电机、启闭机等设备的外观形态、内部构件(叶轮、定子、转子)及零部件空间拓扑关系,模型精度不低于 LOD3.0,支持设备材质质感与光影效果的真实渲染。

b)宜具备设备运行特性参数化模拟能力,可基于设备技术参数(扬程、转速、功率)与运行条件(负载、电压),仿真输出电压、电流、效率等运行指标,模拟启停过程、工况切换等动态行为,支持运行特性曲线(扬程 - 流量、扭矩 - 转速)的可视化展示。

c)宜集成故障模拟与诊断功能,支持短路、磨损、泄漏等典型故障模式的植入,可模拟故障发生时的运行状态异常(振动加剧、温度升高、参数跳变),通过故障特征提取与算法分析实现故障定位,关联维修手册与历史故障库辅助决策。

d)宜支持设备运行状态可视化与远程管控模拟,可绑定实时监测数据动态更新设备状态(运行 / 停机 / 故障),通过特效标识、空间定位实现异常状态可视化,支持用户在虚拟场景中调试控制逻辑、验证设备启停指令的可行性。

#### 17.4.5. 监测设备场景功能

a)宜支持监测设备结构精准还原,可建模水位计、流量计、水质仪等设备的外观形态、传感器位置及内部核心部件,模型精度不低于 LOD3.0,保障设备空间位置与实际安装场景的一致性。

b)宜具备设备运行特性仿真能力,可模拟监测设备的数据采集过程,考虑环境因素(静水压力、温度、泥沙含量)对测量精度的影响,输出采样频率、测量误差、数据量程等关键参数,支持不同水文条件下(急流、结冰)的测量稳定性评估。

c)宜集成故障模拟与数据异常识别功能,支持机械结构故障(卡滞、变形)、电气系统故障(短路、供电异常)、数据传输故障(中断、跳变)的模拟,可通过监测数据特征分析识别故障类型,实现故障状态的可视化标注(颜色预警、特效提示)。

d)宜支持设备运行状态与监测数据联动可视化,可绑定实时 / 历史监测数据,动态展示设备运行状态(采集 / 待机 / 故障),实现监测数据(水位、流量、水质指标)的实时标注与时序曲线展示,支持数据异常时的预警触发与溯源分析。

### 17.5. 技术指标

17.5.1 仿真引擎应具备高效的计算速度,能够在短时间内完成复杂的仿真任务。中小流域的常规仿真场景,如日径流模拟、短期洪水预报等,计算时间应控制在分钟级以内;对于大规模洪水演进模拟、长

周期水资源配置优化等复杂任务，计算时间也应尽可能缩短，满足实时决策和快速分析的需求。

17.5.2 仿真引擎应准确反映中小流域的实际情况。在水文模拟方面，流量、水位等关键水文要素的模拟结果与实测数据的误差应控制在合理范围内，应符合下述要求：

- a) 洪水流量过程的峰值误差不超过 10%，峰现时间误差不超过 1-2 小时。
- b) 在水动力模拟中，水流速度、水位变化等参数的计算精度应符合相关行业标准和实际应用需求。
- c) 在水利工程模拟中，对工程结构的应力、变形等计算结果应与实际监测数据具有较好的一致性，确保工程安全评估的准确性。

17.5.3 应具备良好的稳定性和可靠性，能够在长时间连续运行过程中保持稳定的性能，不出现因内存泄漏、数据溢出、计算错误等原因导致的系统崩溃或异常情况。

17.5.4 在面对复杂的输入数据和边界条件时，仿真引擎能够正确处理并给出合理的仿真结果。

17.5.5 通过采用成熟的编程技术、严格的代码质量控制、完善的错误处理机制以及全面的测试流程，确保仿真引擎的稳定性和可靠性。

17.5.6 仿真引擎需通过压力测试、长稳测试（持续运行 30 天）和边界条件测试。

17.5.7 数据融合供给应能够满足特定应用场景中的性能要求，具体包括如下方面：

- a) 能管理 TB、PB 级的数据量，建立海量、无缝空间数据库；
- b) 各类模型数据预处理不得丢失原始数据信息，各类数据预处理作业流畅，且全过程进度可跟踪。

17.5.8 可视化呈现应能够满足特定应用场景中的性能要求，主要如下方面：

- a) 应对三角面数与流畅度进行考察，保证模型的渲染帧率，复杂场景运行帧率不低于 24fps，常规场景帧率不低于 30fps；
- b) 应支持亿级矢量数据分钟级生成智能稀疏矢量金字塔，并支持秒级快速可视化；
- c) 保证在不同分辨率下的渲染帧率以及交互延迟能满足应用要求；
- d) 系统从启动到进入可交互三维场景的响应时间；
- e) 系统应支持加载不限制规模的三维场景数据；
- f) 系统应支持密集区域内大量可交互操作三维物体同时加载。

17.5.9 物联感知操控应能够满足特定应用场景中的性能要求，具体包括如下方面：

- a) 支持感知数据并发访问，数据并发访问的吞吐率(以毫秒为单位同时到达的请求数)，该并发压力下接口的响应时间；
- b) 物联网感知设备与中小流域数字孪生系统的交互报文的吞吐率。

17.5.10 空间计算分析应能够满足特定应用场景中的性能要求，具体包括如下方面：

- a) 在一定数据量下，基础空间分析的响应时间；
- b) 在一定数据量下，复杂空间分析的响应时间。

17.5.11 虚实融合互动应能够满足特定应用场景中的性能要求，具体包括如下方面：

- a) 在同屏幕下数据的并发量；
- b) 基于人机交互体验，终端设备虚拟对象实时渲染的响应时间；
- c) 在虚实融合场景中实体对象和事件交互的响应时间；
- d) 在同一屏幕视频同时展示的场景下，可同时支持实时视频流的数量；
- e) 融合场景下视频持续播放的稳定性。

17.5.12 模拟仿真推演应能够满足特定应用场景中的性能要求，包括但不限于：

- a) 仿真推演任务执行的稳定性；
- b) 实时数据驱动或仿真节点条件修改情况导致仿真推演任务重新执行的最少响应时间；
- c) 单用户仿真推演任务可同时执行的任务数量；
- d) 仿真推演任务在线协作管理的用户数。

## 附录 A

表 A-1 自然背景的仿真内容要求

| 水利管理对象 |       | 仿真内容  |
|--------|-------|---|
| 自然现象   | 气象    | 雨、雪、雹、霰、云、雾、霾、雷暴、闪电、大风、龙卷风、山谷风、海陆风、霜、露、雾凇、雨凇等。                |
|        | 水文    | 径流、跌水、水跃、洪水、枯水、漩涡、环流、结冰、融冰等。实现流域水文现象要素建模应包含河道主槽、地形断面、汇水边界等特征。 |
|        | 地质    | 地震、火山喷发、滑坡、泥石流、崩塌、岩石风化等。                                      |
| 地理场景   | 山地    | 山势起伏、坡度坡向、等高线、植被覆盖情况等。  |
|        | 丘陵    | 缓坡、谷地、人工地貌与自然植被等。   |
|        | 平原    | 河网水系、网格化农田、交通基础设施以及城市建筑群的宏观布局与空间关系等。                          |
|        | 盆地    | 地形（呈现四周高、中间低的闭合地形）内流河水系汇流、湖泊湿地分布，城镇、农田等。                      |
|        | 河谷    | 河道蜿蜒形态、两岸阶地、沿岸植被缓冲带、农田等。                                      |
|        | 峡谷    | 崖壁形态、岩层构造、峡谷深度等。  |
|        | 森林    | 林冠结构、区分树种、密度、动物栖息地等。  |
| 地理实体   | 地貌实体  | 山峰、山谷、山脊、鞍部、陡崖等。  |
|        | 水系实体  | 河流、湖泊、水库、池塘、溪流、侵蚀沟、地下湖、地下河等。                                  |
|        | 土地实体  | 耕地、林地、草地、水域、沙地等。  |
|        | 交通实体  | 铁路、公路、桥梁、隧道等。   |
|        | 居民区实体 | 城市、城镇、村庄等。  |

表 A-2 流场动态的仿真内容要求

| 水利管理对象 |      | 仿真内容               |
|--------|------|--------------------|
| 流场动态   | 水流   | 流速、流向、水位、流量、水流形态等。 |
|        | 冰凌   | 形成条件、理化性质、演变过程等。   |
|        | 泥沙运动 | 泥沙类型、运动状态等。        |
|        | 潮汐   | 周期、流速、流向、能量等。      |
|        | 台风   | 形成和发展、移动路径、影响因素。   |

表 A-3 水利工程的仿真内容要求

| 水利管理对象 |    | 仿真内容   |
|--------|----|--|
| 水利工程   | 河道 | 河道几何形状，如河宽、水深、边坡坡度、河底地形、蜿蜒度等；水文参数，如流量、流速、水位变化过程等；以及河床演变特性，如泥沙输移量、淤积或冲刷情况等。 |
|        | 堤防 | 地理位置、堤型（土堤、石堤、混凝土堤等）、顶宽、高度、边坡坡度、筑堤材料（粉质土、黏土等）、植被覆盖情况等。                     |
|        | 大坝 | 地理位置、坝型（重力坝、拱坝、土石坝等）、坝高、坝顶宽度、坝体坡度等；材料属性，如混凝土强度等级、土石料的物理力学指标等；以             |

| 水利管理对象 | 仿真内容  |
|--------|---|
|        | 及运行状态，如坝体位移、沉降、渗流压力、裂缝开展情况等。  |
| 隧洞     | 地理位置、洞身轴线坐标、断面尺寸、进出口高程、衬砌类型等。   |
| 溢洪道    | 地理位置、进口控制段堰顶高程、泄槽宽度、泄槽坡度、消能设施（消力池、挑坎等）等。  |
| 水电站    | 地理位置、发电机组参数、装机规模、发电功率、电气设备（输电线路、变压器、母线等）等。  |
| 船闸     | 地理位置、闸室有效尺寸（长、宽、门槛水深等）、闸门类型（人字门、三角门等）及输水系统布置等。  |
| 拦河堰    | 地理位置、堰顶高程、堰型（宽顶堰、实用堰等）、闸孔数量和宽度等。  |
| 拦河闸    | 地理位置、闸墩布置、底槛高程、闸门形式（平板闸门、弧形闸门等）与尺寸、闸底板厚度等、启闭设备，启闭机类型（卷扬式、螺杆式等）等。                                      |
| 取水闸    | 地理位置、闸孔尺寸、底板高程、闸门类型（平板闸门、弧形闸门等）及启闭设备等。  |
| 鱼道     | 地理位置、结构形式（池式、槽式等）、进口、槽身、出口、诱鱼补水系统、坡度、水深梯度等。   |
| 泵站     | 地理位置、泵站类型（灌溉泵站、排水泵站、供水泵站等），泵机组参数（泵型、扬程、流量、转速、功率等），进出水管道系统（管径、管长、管道材质、阀门设置等），泵站运行工况数据（电机电流、电压、温度、振动等）。 |
| 桥梁     | 地理位置、桥梁类型、桥梁尺寸、跨径、桥面标高及支座结构等。   |
| 监测站    | 地理位置、监测站类型（水位站、流量站、雨量站、水质监测站、地下水观测站等）观测要素、观测频率等。  |

表 A-4 水利机电设备的仿真内容要求

| 水利管理对象 | 仿真内容   |   |
|--------|--------|---|
| 水利机电设备 | 水泵     | 外观、流量、扬程、转速、功率、效率、电压、电流、频率、温度、类型（离心泵、轴流泵、混流泵、容积泵、单级泵、多级泵、卧式泵、立式泵等）等。  |
|        | 启闭机    | 外观、扬程、启闭速度、工作级别、类型（人力启闭机、电力启闭机、液力启闭机、机械传动启闭机、固定死启闭机、移动式启闭机、平面启闭机、弧面启闭机等）等。  |
|        | 闸门     | 外观、闸门类型（平面闸门、弧形闸门、人字闸门等）、尺寸、材质、结构信息（门叶结构、支撑结构、止水结构等）、运行信息（开启和关闭状态、开启度、运行轨迹、动作时间等）、水流信息（通过闸门的水流速度、流量、流向，以及水流对闸门的压力和冲击力等）等。 |
|        | 水力发电机组 | 外观（外形轮廓、尺寸、颜色、机座及外壳形状等）、内部结构（定子、转子的构造，绕组布局、铁芯结构等）、运行状态（转速、输出电压、输出电流、输出功率、频率、温度、振动情况等）、水轮机（类型、叶轮尺寸、导叶开度）等。                 |

表 A-5 水利监测设备的仿真内容要求

| 水利管理对象 |          | 仿真内容   |
|--------|----------|--|
| 水利监测设备 | 水位监测设备   | 外观、测量精度、量程、分辨率、采样频率等。  |
|        | 流量监测设备   | 外观、量程、流量计算精度等。   |
|        | 流速监测设备   | 外观、流速测量范围、流速精度等。   |
|        | 压力监测设备   | 外观、压力测量范围、测量精度等。   |
|        | 水质监测设备   | 外观、pH 值测量范围及精度、溶解氧测量范围及精度、浊度测量范围及精度等。                                |
|        | 雨量监测设备   | 外观、测量范围、测量精度、分辨率等。   |
|        | 视频监控系统   | 外观、分辨率、帧率、存储容量等。   |
|        | 气象监测设备   | 外观、测量元素（空气温度、湿度、风向、风速、降雨量、光照度、大气压力等）、温度测量范围及精度、湿度测量范围及精度、风速测量范围及精度等。 |
|        | 土壤墒情监测设备 | 外观、土壤湿度测量范围及湿度、土壤深度测量范围等。  |

表 A-6 流域防洪活动的仿真内容要求

| 水利管理活动 |      | 仿真内容   |
|--------|------|--|
| 流域防洪   | 水文过程 | 降雨、产流、径流过程，雨量站、水位站、流量站等监测点的实时降雨量、水位、流量等数据显示等。                                    |
|        | 灾害模拟 | 堤防漫溃过程，洪水演进（河道洪水传播时间和淹没范围等），山洪形成（短历时暴雨触发泥石流或滑坡机制等）等。                             |
|        | 决策预演 | 预案预演（不同调度方案的淹没经济损失对比等），人员转移模拟（最优撤离路径规划等），物资调度优化（抢险物资多目标配送方案等），包含正常推演、优化推演、应急推演等。 |
|        | 工程调度 | 泵站排水，闸坝协同控制，水库联合调度等。   |

表 A-7 水环境质量检测活动的仿真内容要求

| 水利管理活动    |       | 仿真内容   |
|-----------|-------|--|
| 水环境质量监测活动 | 河流    | 监测断面尺寸和数量、采样点数、采样记录、pH 值、溶解氧、水温、电导率、透明度、浊度等。     |
|           | 湖泊和水库 | 监测垂线、垂线数、水面宽度、采样点数、采样记录、pH 值、溶解氧、水温、电导率、透明度、浊度等。 |

表 A-8 水环境治理与生态恢复活动的仿真内容要求

| 水利管理活动       |      | 仿真内容   |
|--------------|------|--|
| 水环境治理与生态恢复活动 | 控源截污 | 废水处理设施运行状态显示，水质监测数据显示，污染源类型、污染源或排污位置，雨污分流系统图（表示河道周边雨污水起始位置、管道水流流向、管径等信息）等。 |
|              | 分区治理 | 水功能区划分、各个区域的基本概况、水系分布、存在问题及问题诊断等。  |
|              | 生态恢复 | 生态环境演变的动态模拟（流域内的水环境情况、社会和经济、人文状  |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | 况,人类干扰强度、灾害频率、活力、点源与非点源排放强度、土壤侵蚀模数、景观破碎度、综合弹性以及成效指数等)、植被恢复轨迹、生态补水路线、实时动态预测在未来研究区域内的生态环境变化值与变化趋势等。 |
|--|--|---|

表 A-9 水土保持活动的仿真内容要求

| 水利管理活动 |      | 仿真内容  |
|--------|------|---|
| 水土保持活动 | 场景模拟 | 水土保持数据库显示,水土保持数字化场景、水土流失状况预报预警数字化场景、人为水土流失风险预警数字化场景、水土流失综合治理智能管理数字化场景等。 |
|        | 区域划分 | 水土保持区划、水土流失重点防治区、植被、小流域划分等。   |
|        | 保持措施 | 措施类型(工程措施、生物措施、蓄水保土耕作措施等),项目名称、项目位置、治理面积和治理成效等。                         |

表 A-10 水资源调配活动的仿真内容要求

| 水利管理活动  |    | 仿真内容                                 |
|---------|----|--------------------------------------|
| 水资源调配活动 | 蓄水 | 针对水库等蓄水设施,包括入库径流变化、水库水位上升过程、库容变化曲线等。 |
|         | 取水 | 针对河流、湖泊和水库等水源地,包括取水口位置、取水流量、取水时间等。   |

表 A-11 用水与耗水过程的仿真内容要求

| 水利管理活动  |    | 仿真内容                                    |
|---------|----|---|
| 用水与耗水过程 | 供水 | 针对城市供水、农业灌溉供水等,包括用户需求变化、管网压力损失、水质变化等因素。 |
|         | 用水 | 针对不同行业和用户的用水过程,包括用水时间分布、用水量变化规律等。       |
|         | 耗水 | 针对农业蒸发蒸腾、工业生产工艺耗水、生活用水损耗等,包括耗水规律和影响因素等。 |

## 附录 B

附表 B-1 洪水预报方案数据结构

| 字段名  | 类型     | 描述                      |
|------|--------|-------------------------|
| 方案编号 | String | 唯一,符合编码规则(FFP_流域代码、序号等) |
| 方案名称 | String | 预报方案的中文名称               |
| 方案版本 | String | 方案版本号                   |
| 预报断面 | String | 预报断面唯一标识(断面名称)          |
| 流域划分 | Shp    | 子流域划分图(子流域范围、子流域水系)     |

| 字段名  | 类型       | 描述                                       |
|------|----------|--|
| 模型类型 | String   | 模型名称 (XAJ、HEC-HMS、TOPMODEL 等)            |
| 模型参数 | JSON     | 模型参数配置 (XAJ 的流域上层蓄水容量 WUM、流域蒸散发折算系数 K 等) |
| 创建者  | String   | 方案创建者名称或 ID                              |
| 创建时间 | DateTime | 记录创建时间 (年-月-日-小时-分)                      |
| 更新时间 | DateTime | 记录最后更新时间 (年-月-日-小时-分)                    |

附表 B-2 降雨预报数据结构

| 字段名    | 类型       | 描述                            |
|--------|----------|-------------------------------|
| 数据标识   | String   | 单条预报数据的全局唯一标识, 可用于去重          |
| 数据来源   | String   | 预报数据来源                        |
| 预报点位   | String   | 经纬度, 单位: 度                    |
| 预报要素   | String   | 补充说明预报雨量的类型 (面雨量、点雨量、定量降水预报等) |
| 预报时间   | DateTime | 时间, 单位: 小时、分钟                 |
| 预见期    | Int      | 数据时间与预报时次的时间差, 单位: 小时         |
| 预报值    | Float    | 降雨量, 单位: 毫米                   |
| 数据入库时间 | DateTime | 该条数据进入数字孪生平台数据库的时间            |

附表 B-3 洪水预报数据结构

| 字段名    | 类型     | 描述                      |
|--------|--------|-------------------------|
| 预报记录编号 | String | 单次预报记录的唯一标识             |
| 洪号     | String | 洪水事件唯一标识 (年-月-日)        |
| 方案编号   | String | 关联的洪水预报方案编号             |
| 预报断面   | String | 预报断面唯一标识 (断面名称)         |
| 降雨数据   | JSON   | 降雨量, 单位: 毫米             |
| 预报要素   | String | 流量、水位、水深                |
| 预报值    | Float  | 流量、水位、水深, 单位: 立方米/秒、米、米 |

| 字段名  | 类型       | 描述                                |
|------|----------|-----------------------------------|
| 预报时间 | DateTime | 预报发布的时间                           |
| 预报精度 | Float    | 预报结果精度评估（绝对误差、相对误差、峰现时间误差和确定性系数等） |

附表 B-4 预警指标数据结构

| 字段名  | 类型     | 描述   |
|------|--------|--|
| 指标编号 | String | 预警指标唯一标识符  |
| 指标类型 | String | 水情、雨情、工情等  |
| 指标名称 | String | 指标的唯一名称  |
| 预警级别 | String | 此指标触发的预警级别，如“蓝色”、“黄色”、“橙色”、“红色”  |
| 指标阈值 | Float  | <p>预警触发阈值</p> <p>暴雨预警信号标准为：</p> <p>(1) 暴雨蓝色预警信号：12小时内降雨量将达50毫米以上，或者已达50毫米以上且降雨可能持续。</p> <p>(2) 暴雨黄色预警信号：6小时内降雨量将达50毫米以上，或者已达50毫米以上且降雨可能持续。</p> <p>(3) 暴雨橙色预警信号：3小时内降雨量将达50毫米以上，或者已达50毫米以上且降雨可能持续。</p> <p>(4) 暴雨红色预警信号：3小时内降雨量将达100毫米以上，或者已达100毫米以上且降雨可能持续。</p> <p>水位预警信号标准为：</p> <p>(1) 水位蓝色预警信号：预计水位将接近警戒水位，或在警戒水位以下但上涨态势明显。</p> <p>(2) 水位黄色预警信号：预计水位将达到或超过警戒水位，且持续上涨。</p> <p>(3) 水位橙色预警信号：预计水位将达到或超过保证水位。</p> <p>(4) 水位红色预警信号：预计水位将大幅超过保证水位，或出现历史极值水位。</p> |
| 适用区域 | String | 指标适用的区域范围  |

附表 B-5 预警记录数据结构

| 字段名  | 类型     | 描述     |
|------|--------|--------|
| 预警编号 | String | 预警唯一标识 |

| 字段名    | 类型       | 描述                      |
|--------|----------|-------------------------|
| 关联指标编号 | String   | 触发此次预警的指标编号             |
| 预警标题   | String   | 触发此次预警的指标编号             |
| 发布时间   | DateTime | 预警发布时间（年-月-日-小时）        |
| 预警内容   | String   | 预警具体信息（江河洪水、山洪灾害、洪涝灾害等） |
| 预警级别   | String   | 实际发布的预警级别               |
| 预警对象   | String   | 预警接收对象（水行政主管部门、应急管理部门等） |
| 处理状态   | String   | 处理情况（已处理、未处理）           |
| 发布人    | String   | 发布预警的操作人员               |
| 解除人    | String   | 解除预警的操作人员               |
| 解除时间   | DateTime | 预警解除的时间                 |

附表 B-6 预演方案数据结构

| 字段名    | 类型     | 描述                        |
|--------|--------|---------------------------|
| 方案编号   | String | 预演方案唯一标识                  |
| 方案名称   | String | 预演方案的描述性名称                |
| 方案描述   | String | 预演的目标、情景设定等详细说明           |
| 模型参数配置 | JSON   | 仿真计算所使用的模型参数              |
| 雨情数据   | JSON   | 预演使用的降雨数据（降雨量、雨型、降雨中心等）   |
| 水情数据   | JSON   | 预演使用的水文数据（水位、流量等）         |
| 调度规程   | JSON   | 调度规则和流程（水位、来水等判断条件、控泄流量等） |
| 调度方案   | JSON   | 调度具体计划（下泄流量、下泄时段等）        |

附表 B-7 预演结果数据结构

| 字段名    | 类型       | 描述                  |
|--------|----------|---------------------|
| 预演编号   | String   | 预演唯一标识              |
| 方案编号   | String   | 关联的预演方案编号           |
| 预演开始时间 | DateTime | 预演计算开始的时间（年-月-日-小时） |

| 字段名    | 类型       | 描述                    |
|--------|----------|-----------------------|
| 预演结束时间 | DateTime | 预演计算结束的时间（年-月-日-小时）   |
| 淹没范围   | JSON     | 空间范围（GeoJSON 格式）      |
| 淹没时间   | Float    | 时间，单位：小时              |
| 淹没水深   | Float    | 最大淹没水深，单位：米           |
| 工程调度过程 | JSON     | 预演中各类工程的调度操作记录        |
| 结果文件路径 | String   | 大型结果文件（如视频、详细报表）的存储路径 |

附表 B-8 应急预案数据结构

| 字段名  | 类型       | 描述                                      |
|------|----------|---|
| 预案编号 | String   | 预案唯一标识                                  |
| 预案名称 | String   | 预案的正式名称                                 |
| 预案类型 | String   | -                                       |
| 预案级别 | String   | 预案适用的应急响应级别                             |
| 预案内容 | JSON     | 预案具体描述（人员避险方案、工程抢险方案、资源调配方案、后勤保障和信息发布等） |
| 适用区域 | String   | 预案适用的地理范围（行政区域、流域单元等）                   |
| 发布时间 | DateTime | 预案发布时间（年-月-日-小时）                        |
| 发布机构 | String   | 发布此预案的单位或部门                             |

附表 B-9 应急响应数据结构

| 字段名    | 类型       | 描述                 |
|--------|----------|--------------------|
| 响应编号   | String   | 响应记录唯一标识           |
| 关联预案编号 | String   | 触发响应对应的预案编号        |
| 响应事件名称 | String   | 本次响应针对的事件名称        |
| 响应级别   | String   | 实际启动的响应级别          |
| 响应措施   | JSON     | 具体应急措施（工程调度、人员转移等） |
| 响应时间   | DateTime | 响应措施实施时间（年-月-日-小时） |

| 字段名  | 类型       | 描述                 |
|------|----------|--------------------|
| 灾情信息 | JSON     | 灾情统计信息（受灾范围、受灾程度等） |
| 记录人  | String   | 记录创建人              |
| 记录时间 | DateTime | 记录创建时间（年-月-日-小时）   |

## 附录 C

附表 C-1 来水预报数据结构

| 字段名  | 类型       | 描述          |
|------|----------|-------------|
| 预报单元 | String   | 预报断面唯一标识    |
| 预见期  | DateTime | 时间，单位：年、月、旬 |
| 预报值  | Float    | 来水量，单位：万立方米 |

附表 C-2 需水预报数据结构

| 字段名  | 类型       | 描述          |
|------|----------|-------------|
| 需水单元 | String   | 名称、经纬度      |
| 预见期  | DateTime | 时间，单位：年、月、旬 |
| 预报值  | Float    | 需水量，单位：万立方米 |

附表 C-3 预警指标数据结构

| 字段名  | 类型     | 描述             |
|------|--------|----------------|
| 指标类型 | String | 下泄水量、流量、水位等    |
| 指标阈值 | Float  | 预警触发阈值（水位、流量等） |
| 管控断面 | String | 指标适用的地区        |

附表 C-4 预警记录数据结构

| 字段名  | 类型       | 描述                |
|------|----------|-------------------|
| 预警编号 | String   | 预警唯一标识            |
| 发布时间 | DateTime | 预警发布时间（年-月-日-小时）  |
| 预警内容 | String   | 预警具体信息（预警等级、预警位置） |
| 预警对象 | String   | 预警接收对象（管理部门）      |
| 处理状态 | String   | 处理情况（已处理、未处理）     |

附表 C-5 预演方案数据结构

| 字段名  | 类型     | 描述       |
|------|--------|----------|
| 方案编号 | String | 预演方案唯一标识 |

| 字段名  | 类型   | 描述                     |
|------|------|------------------------|
| 来水数据 | JSON | 预演使用的来水数据（来水量、来水过程）    |
| 需水数据 | JSON | 预演使用的需水数据（需水量、需水过程）    |
| 调配规程 | JSON | 调配规则和流程（水位、供水量等）       |
| 调配方案 | JSON | 调配具体计划（供水对象、供水时机、供水量等） |

附表 C-6 预演结果数据结构

| 字段名   | 类型     | 描述       |
|-------|--------|----------|
| 预演编号  | String | 预演唯一标识   |
| 条件变化  | JSON   | 相关条件的变化  |
| 不确定因素 | JSON   | 影响的不确定因素 |
| 调配变化  | JSON   | 调配方案的变化  |

附表 C-7 应急预案数据结构

| 字段名  | 类型       | 描述                       |
|------|----------|--------------------------|
| 预案编号 | String   | 预案唯一标识                   |
| 预案内容 | JSON     | 预案具体描述（组织架构、应急流程、应急保障措施） |
| 适用区域 | String   | 预案适用的地理范围（区域名称）          |
| 发布时间 | DateTime | 预案发布时间（年-月-日-小时）         |

附表 C-8 应急响应记录数据结构

| 字段名    | 类型       | 描述                      |
|--------|----------|-------------------------|
| 响应编号   | String   | 响应记录唯一标识                |
| 响应措施   | JSON     | 具体应急措施（人员调配、终止信号等）      |
| 响应时间   | DateTime | 响应措施实施时间（年-月-日-小时）      |
| 突发事件情况 | JSON     | 灾情统计信息（受灾人口、受灾面积、经济损失等） |

## 附录 D

附表 D-1 工程设计数据结构

| 字段名   | 类型     | 描述                                |
|-------|--------|-----------------------------------|
| 项目名称  | String | 工程项目名称                            |
| 设计单位  | String | 设计单位名称                            |
| 设计阶段  | String | 设计阶段（初步设计、施工图设计等）                 |
| 设计参数  | JSON   | 设计相关参数，如坝高、库容、特征水位等（坝高、库容、渠道尺寸等）  |
| 设计图纸  | File   | 设计图纸文件，同时录入其元数据（以文件形式存储，同时录入其元数据） |
| 项目编码  | String | 工程项目的唯一标识码                        |
| 设计负责人 | String | 设计项目负责人姓名                         |
| 批复文号  | String | 设计方案的批复文件编号                       |

附表 D-2 工程施工数据结构

| 字段名    | 类型     | 描述                                |
|--------|--------|-----------------------------------|
| 施工单位   | String | 施工单位名称                            |
| 施工进度   | JSON   | 施工进度信息                            |
| 施工质量记录 | JSON   | 施工质量检查记录                          |
| 施工日志   | File   | 施工日志文件，同时录入其元数据（以文件形式存储，同时录入其元数据） |
| 施工变更记录 | JSON   | 施工变更信息                            |
| 施工标段   | String | 工程施工的标段标识                         |
| 项目经理   | String | 施工项目经理姓名                          |
| 施工状态   | String | 当前施工状态（准备、进行中、已完工等）               |

附表 D-3 工程验收数据结构

| 字段名   | 类型       | 描述                        |
|-------|----------|---------------------------|
| 验收时间  | DateTime | 验收时间（年-月-日）               |
| 验收单位  | String   | 验收单位名称                    |
| 验收结果  | String   | 验收结果（合格、不合格等）             |
| 验收意见  | String   | 验收意见和建议                   |
| 验收类别  | String   | 验收类型（分部工程验收、单位工程验收、竣工验收等） |
| 验收组成员 | JSON     | 参与验收的专家和代表名单              |
| 备案情况  | String   | 验收资料的备案状态                 |

附表 D-4 工程运行调度数据结构

| 字段名    | 类型       | 描述                 |
|--------|----------|--------------------|
| 调度时间   | DateTime | 调度时间               |
| 调度指令   | String   | 调度指令内容（调度时间、下泄流量等） |
| 调度目标   | String   | 调度目标（发电、灌溉、防洪、供水等） |
| 调度结果   | String   | 调度执行结果（执行、未执行）     |
| 调度指令编号 | String   | 调度指令的唯一编号          |
| 签发人    | String   | 调度指令的签发人           |
| 执行人/单位 | String   | 调度指令的执行单位或人员       |

附表 D-5 工程设施运行状态数据结构

| 字段名  | 类型       | 描述               |
|------|----------|------------------|
| 设施名称 | String   | 设施名称             |
| 运行时间 | DateTime | 设施运行时间           |
| 运行参数 | JSON     | 运行参数（水头、流量、水位等）  |
| 运行状态 | String   | 运行状态（正常、异常）      |
| 设施编码 | String   | 设施唯一编码，与资产管理系统对应 |

| 字段名     | 类型     | 描述             |
|---------|--------|----------------|
| 运行班次/人员 | String | 当班运行人员或班次      |
| 异常描述    | String | 若状态异常，记录异常具体情况 |

附表 D-6 工程运行维护记录数据结构

| 字段名  | 类型       | 描述                    |
|------|----------|-----------------------|
| 维护时间 | DateTime | 维护时间（年-月-日）           |
| 维护内容 | String   | 维护内容描述                |
| 维护人员 | String   | 维护人员姓名                |
| 维护结果 | String   | 维护结果（已维护、未维护）         |
| 记录编号 | String   | 维护记录的唯一编号             |
| 维护类型 | String   | 维护种类（日常保养、定期检修、故障维修等） |
| 耗用物料 | JSON     | 维护过程中耗用的材料清单          |

附表 D-7 工程安全监测数据结构

| 字段名    | 类型       | 描述                    |
|--------|----------|-----------------------|
| 监测点位   | String   | 监测点位唯一标识（点位名称）        |
| 监测时间   | DateTime | 监测时间                  |
| 监测项目   | String   | 监测项目（位移、沉降、渗流等）       |
| 监测值    | Float    | 监测数值                  |
| 监测设备编号 | String   | 监测设备唯一编号              |
| 数据来源   | String   | 数据获取方式（自动采集、人工测量等）    |
| 报警状态   | String   | 该测值是否触发报警（正常、预警、报警等）  |
| 工况描述   | String   | 监测时的工程工况（正常蓄水位、泄洪工况等） |

附表 D-8 水质监测数据结构

| 字段名 | 类型 | 描述 |
|-----|----|----|
|-----|----|----|

| 字段名  | 类型       | 描述                  |
|------|----------|---------------------|
| 监测断面 | String   | 水质监测断面唯一标识（断面名称）    |
| 监测时间 | DateTime | 监测时间（年-月-日-小时）      |
| 水质指标 | String   | 水质指标名称（pH值、溶解氧、氨氮等） |
| 采样深度 | Float    | 水样采集的深度，单位：米        |
| 分析单位 | String   | 承担水质分析任务的单位名称       |
| 监测值  | Float    | 水质指标监测数值            |
| 水质类别 | String   | 根据标准判定的水质类别         |

附表 D-9 水量监测数据结构

| 字段名    | 类型       | 描述                 |
|--------|----------|--------------------|
| 监测断面   | String   | 水量监测断面唯一标识（断面名称）   |
| 监测时间   | DateTime | 监测时间（年-月-日-小时）     |
| 流量     | Float    | 流量数值，单位：立方米/秒      |
| 水位     | Float    | 水位数值，单位：米          |
| 流速     | Float    | 断面平均流速或测点流速，单位：米/秒 |
| 过水面积   | Float    | 断面过水面积，单位：平方米      |
| 数据整编标识 | String   | 标识数据为原始值或整编值       |

附表 D-10 维护计划数据结构

| 字段名  | 类型       | 描述               |
|------|----------|------------------|
| 计划编号 | String   | 维护计划唯一标识         |
| 计划内容 | String   | 维护计划内容描述         |
| 计划时间 | DateTime | 计划实施时间           |
| 责任单位 | String   | 责任单位名称           |
| 计划周期 | String   | 计划的周期（每日、每月、年度等） |

| 字段名  | 类型     | 描述                   |
|------|--------|----------------------|
| 计划状态 | String | 计划当前状态（待执行、执行中、已完成等） |
| 审批人  | String | 维护计划的审批人             |

附表 D-11 维护实施记录数据结构

| 字段名    | 类型       | 描述         |
|--------|----------|------------|
| 实施编号   | String   | 维护实施记录唯一标识 |
| 实施内容   | String   | 实施的具体维护内容  |
| 实施时间   | DateTime | 实施时间       |
| 实施人员   | String   | 实施人员姓名     |
| 实施结果   | String   | 实施结果描述     |
| 关联计划编号 | String   | 所依据的维护计划编号 |
| 工时     | Float    | 本次维护消耗的工时  |
| 验收人    | String   | 维护工作的验收人   |

附表 D-12 应急预案数据结构

| 字段名  | 类型       | 描述                               |
|------|----------|----------------------------------|
| 预案编号 | String   | 应急预案唯一标识                         |
| 预案名称 | String   | 预案名称                             |
| 适用场景 | String   | 预案适用的场景描述                        |
| 预案内容 | JSON     | 预案具体内容（预案总则、组织架构、应急处置流程、应急保障措施等） |
| 发布单位 | String   | 发布单位名称                           |
| 发布时间 | DateTime | 发布时间（年-月-日）                      |
| 预案级别 | String   | 预案的等级（I级、II级、III级等）              |
| 版本号  | String   | 预案的版本号，用于管理更新                    |
| 生效状态 | String   | 预案是否现行有效                         |

附表 D-13 应急事件记录数据结构

| 字段名  | 类型       | 描述                 |
|------|----------|--------------------|
| 事件编号 | String   | 应急事件唯一标识           |
| 事件类型 | String   | 事件类型（如洪水、地震、工程事故等） |
| 发生时间 | DateTime | 事件发生时间（年-月-日）      |
| 发生地点 | String   | 事件发生地点（区域名称、经纬度等）  |
| 事件等级 | String   | 事件的严重程度等级          |
| 报告单位 | String   | 事件的上报单位            |
| 事件描述 | String   | 事件详细描述（发生地点、持续时间等） |
| 处理措施 | JSON     | 采取的应急处理措施          |
| 处理结果 | String   | 事件处理结果（已处理、未处理）    |

## 附录 E

表 E-1 自然背景的仿真方法（示例）

| 水利管理对象 |                              | 仿真方法  |
|--------|------------------------------|---|
| 自然现象   | 气象                           | <p>天气作为 S1/S2 级场景的自然因子，通过雨、雪、风、雾的等级参数实现天气动态调控。其中雨雪要素支持粒子级参数化调节（大小/速度/密度），满足高精度仿真需求。</p> <p>宏观级（S1）：基于二维影像背景，采用等值面、热力图、粒子图等形式展现天气要素的静态分布特征；</p> <p>中观级（S2）：通过三维拟真形式模拟雨、雪、雾的可视化特征（如雨滴大小/速度表征降雨强度），风要素可通过地物动态（树木晃动）间接表达。</p>   |
| 地理场景   | 宏观地貌<br>（山地、丘陵、平原、盆地、河谷、峡谷等） | <p>基于 DOM/TDOM、DEM/DSM、倾斜摄影及激光点云数据，构建三级地形模型：</p> <p>宏观级（S1）：二维等高线精准表达大区域高程分布；</p> <p>中观级（S2）：三维模型展现中观场景及相应尺度的陆地地形地，真实还原地形立体地貌特征；</p> <p>微观级（S3）：融合倾斜摄影与激光点云等数据实现重点区域实景级重构。</p> <p>所有层级模型需确保色调均匀、无视觉失真，满足地形可视化精度与真实性要求。</p>  |
|        | 植被覆盖<br>（森林）                 | <p>宏观级（S1）：采用二维形式展现场景中植被的样貌特征，通过不同的色块级符号进行总体标注，可视化符号应符合国家标准 GB/T 24354 要求。</p> <p>中观级（S2）：采用三维形式展现场景中植被的样貌特征，能够直观地查看植被的类型、林草分布等。</p>  |
|        | 水系实体                         | <p>（1）河流</p> <p>宏观级（S1）：宜采用二维形式宏观展现河道的分布情况，支持单一河流对象拾取和高亮形式展示，可查询河流的名称、长度、流量、等级、类别（常年、时令、干涸）等属性信息。</p> <p>中观级（S2）：宜采用二维形式展示，利用 DLG 或遥感影像图作为背景，能够综合展现河流的水质、水流等特征。</p> <p>微观级（S3）：宜采用三维形式展示，利用高精度的地形地貌数据为背景，综合展现河流重点区段的样貌特征，能与物理环境中的河流样貌特征关联映射，包括河流周边的植被覆盖、土地利用情况等。</p> <p>（2）湖泊</p> <p>宏观级（S1）：宜采用二维形式展示，利用 DLG 或遥感影像图作为背景，综合展现湖泊的区域分布特征，支持单一湖泊对象的基础信息查看，如湖泊名称、面积、类别等。</p> <p>中观级（S2）：宜采用二维形式展示，利用 DLG 或遥感影像图作为背景，能够综合展现湖泊内湖水的水质、水流等特征。</p> |

| 水利管理对象 |       | 仿真方法  |
|--------|-------|---|
|        |       | 微观级（S3）：宜采用三维形式展示，利用高精度地形地貌数据作为背景，综合展现湖泊的区域样貌特征，能与物理环境中的湖泊样貌特征关联映射，包括湖泊周边的植被覆盖、土地利用情况等。   |
|        | 土地实体  | 宏观级（S1）：采用二维形式展现不同区块的土地类型，进行不同土地类型的符号化标注，支持土地实体的基本属性查看。<br>中观级（S2）：采用三维形式展示土地实体形态及所含植被的总体特征。  |
|        | 交通实体  | （1）道路<br>宏观级（S1）：展示道路空间位置及分布特征。<br>中观级（S2）：展示道路的几何特征，支持查看道路名称、编号、长度、宽度、路面材质、道路等级等属性。<br>微观级（S3）：根据需要，可展现道路的材质体貌和重要标示指示牌等。<br>（2）桥梁<br>宏观级（S1）：展示桥梁空间位置和形态分布特征。<br>中观级（S2）：展现桥梁的外观几何形态，支持查看桥梁长度、宽度、样式、用途（人行、公路、铁路）等属性。<br>微观级（S3）：根据需要，可展现桥梁的外观贴图材质。宜按照地图显示级别显示不同详细程度的要素内容，其规格要求应按照 GB/T 20257 规定执行。 |
|        | 居民区实体 | 宏观级（S1）：宜采用二维形式展示建筑物空间位置和分布特征。<br>中微级（S2）：宜采用三维形式展示建筑物的几何形态、外观效果及注释信息，支持查看建筑物的高度、面积、材质等属性。<br>微观级（S3）：宜采用三维形式展示建筑物模型，应结构完整、边缘整齐、纹理清晰，场景在移动变化的过程中能够流畅地加载显示三维模型。  |

表 E-2 流场动态的仿真方法（示例）

| 水利管理对象 |    | 仿真方法   |
|--------|----|--|
| 流场动态   | 水流 | 宏观、中观级（S1、S2）：基于计算网格时序数据，仿真展示河道滩区、低洼区、蓄滞洪区及溃坝区的水流演进过程，支持网格水深过程线分析。<br>微观级（S3）：通过流速-流量双驱动特效（流速映射水流动态，流量映射洪峰演进），实现演进过程精细化表达，同步支持网格过程线追溯。 |
|        | 泥沙 | 宜使用三维方式展现。宏观级场景下，可展示泥沙运动整体情况，中观级和微观级场景下宜展示泥沙淤积形态，有条件或者应用要求高的单位，可展示异重流过程和排沙过程效果，宜采用时间序列连续表达效果展示。  |
|        | 台风 | 利用粒子流形式表示台风路径和方向，叠加运用底图颜色进行风速、洋流、温度、盐度、潮位等渲染，宜采用时间序列连续表达效果展示。  |

T/CSGPC XXX-20XX