

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2024297

陈雨璇, 黎东洲, 刘国庆, 等. 大尺度水利数据底板可视化探索与实践[J]. 中国防汛抗旱, 2024, 34(9): 7-14. CHEN Yuxuan, LI Dongzhou, LIU Guoqing, et al. Exploration and practice of large-scale water sector data baseplate visualization[J]. China Flood & Drought Management, 2024, 34(9): 7-14. (in Chinese)

# 大尺度水利数据底板可视化探索与实践

陈雨璇<sup>1,2</sup> 黎东洲<sup>1,2</sup> 刘国庆<sup>1,2</sup> 范子武<sup>1,2,3</sup> 杨光<sup>1,2</sup> 贾本有<sup>1,2</sup> 韩颺<sup>4</sup> 马冠杰<sup>4</sup>

(1. 南京水利科学研究所, 南京210029; 2. 水利部太湖流域水治理重点实验室, 南京210029;  
3. 南京瑞迪水利信息科技有限公司, 南京210029; 4. 北京五一视界数字孪生科技股份有限公司, 北京100028)

**摘要:** 数据底板作为数字孪生平台核心组成部分, 在支撑数字孪生水利建设中作为“算据”发挥着关键性的基础作用。在数据底板可视化方面目前还存在数据要素标准不统一、融合渲染方法不明确、业务场景难支撑的问题, 特别是大尺度三维数据底板如何融合构建、共享、更新与应用, 尚未形成高效的解决方案。根据数字孪生水利建设数据底板建设思路, 详细阐述了当前多源多级数据融合方法和业务可视化同步映射技术, 并以淮河流域水利要素可视化模型构建开展实践探索。结果表明: 多源异构数据标准化治理与可视化模型轻量化渲染在数据底板建设中至关重要, 不仅能够支持流域尺度物理实体与数字要素的同步映射, 也能够增强多场景的业务服务能力, 为流域水安全保障提供关键数据支持。

**关键词:** 数字孪生水利; 数据底板; 数据融合; 可视化模型; 同步映射

中图分类号: TP399; TV87

文献标识码: A

文章编号: 1673-9264(2024)09-07-08

## 0 引言

“十三五”以来, 我国大力推进智慧水利建设<sup>[1]</sup>, 特别是以数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生工程为重点的探索和实践, 已在多个省(自治区、直辖市)及流域机构广泛开展。大藤峡工程<sup>[2]</sup>、丹江口水库<sup>[3]</sup>、小浪底工程<sup>[4]</sup>、佛子岭水库群<sup>[5]</sup>等大型水利工程, 太浦河<sup>[6]</sup>、锡澄地区<sup>[7]</sup>、曹娥江<sup>[8]</sup>等流域, 均已开展数字孪生数据底板的建设, 并被选入2022年《数字孪生流域建设先行先试应用案例推荐名录》。进入新发展阶段, 以数字孪生水利为代表的水利新质生产力成为水利高质量发展的显著标志和实施路径<sup>[9-11]</sup>。2024年1月, 水利部部长李国英在全国水利工作会议上强调, 要加快构建数字孪生水利体系, 为水利治理管理提供前瞻性、科学性、精准性、安全性支撑。

数字孪生水利要求构建高度集成的数据底板, 实现虚拟与实体环境之间的同步映射。数据底板不仅是水利数字化映射的成果, 也是数字化场景构建和智慧化模拟迭代的基础<sup>[12]</sup>。具体地, 数据底板融合了地理空间数据、基础数据、监测数据、业务管理数据及共享数据等多源信息, 为模型平台、知识平台及“2+N”业务应用提供了强有力的支持。尽管数据底板的建设为智慧水利提供了坚实的基础, 但是现有数据底板建设范围通常为单个水利工程或流域重点区域, 较少涉及大范围的数据底板构建, 难以支撑跨区域的数字孪生水网建设。此外, 数据底板构建仍面临多源异构数据处理、实时渲染效率等技术挑战, 影响了系统性能和可靠性。本文对数据底板构建思路、多级数据底板构建方法、业务可视化同步映射等方面进行了探讨。同时, 还分析了淮河流域数据底板建设的策略与方法, 为数据底

收稿日期: 2024-08-27

第一作者信息: 陈雨璇, 女, 工程师, E-mail: yxchen@nhri.cn.

通信作者信息: 刘国庆, 男, 正高级工程师, E-mail: gqliu@nhri.cn.

基金项目: 广西科技计划项目(桂科AA23062053); 江苏省水利科技项目(2023002); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y124004、Y124003、Y124007)。

板构建并充分发挥算据支撑作用,提供建设思路和实践方法。

## 1 数据底板建设思路

在数字孪生水利体系建设中,数据底板构建承担着基础而关键的角色。根据水利部的指导方针,数据底板应基于现有的水利“一张图”进行扩展和升级,以完善数据类型、数据范围和数据质量,并优化数据融合及分析计算的功能。数据底板主要由数据资源、数据模型及数据引擎三大部分构成,从而支撑数字孪生流域的整体数据架构。

数据底板建设按照数据精度和建设范围,形成L1级、L2级、L3级融合的多级底板体系。其中,L1级底板覆盖范围最广,用于大尺度的数字孪生流域建模;L2级底板针对重点区域进行精细建模,达到河道级别精度;L3级底板则

专注于重要实体的详细场景建模。这种层次化的数据结构不仅促进了多源异构数据的整合,也保证了数字孪生流域的全面数字化映射能力。同时,数据底板的建设与模型平台、知识平台深度集成,形成一个具备持续更新能力的算据支撑系统。该系统通过标准化业务数据处理流程,结合一体化数据管理机制及多层次数据服务体系,能够有效保障水利“四预”(预报、预警、预演、预案)业务高效运行,显著提升决策的科学性和应急响应的时效性。

数据底板构建总体技术路线如图1所示,在现有的数据共享体系基础上,通过整合基础数据、感知数据、业务数据、跨行业共享数据,以及地理空间数据5类关键数据,采用数据底板构建技术形成全要素场景,融合多层级数据底板,研发可视化同步映射技术,开发面向水利业务的通用接口,从而支撑“2+N”智能业务应用。



图1 数据底板构建总体技术路线

注: DEM为数字高程模型、DOM为数字正射影像、BIM为建筑信息模型。

## 2 多级数据底板融合方法

多级数据底板的构建核心在于有效融合多源异构地理空间数据,融合构建方法如图2所示,包括多源异构数据的获取、数据治理及多级底板融合构建3个方面。首先,通过对多源异构的地理空间数据进行数据治理,将其标准化为统一的数据层和三维模型;其次,利用基于语义的大范围底板快速生成技术,生成大范围的L1级和L2级底

板,同时针对重点工程,进一步采用模型轻量化技术进行处理,优化数据加载速度和视觉展示效果,实现L3级底板精细化管理和高效应用;最后,形成覆盖从流域到河道再至重点工程的3级底板体系。

### 2.1 多源异构数据获取

#### 2.1.1 地理信息数据

地理空间数据是多级数据底板建设的主要数据基础,主要包括DOM、DEM、水系、道路、建筑等矢量数据,水

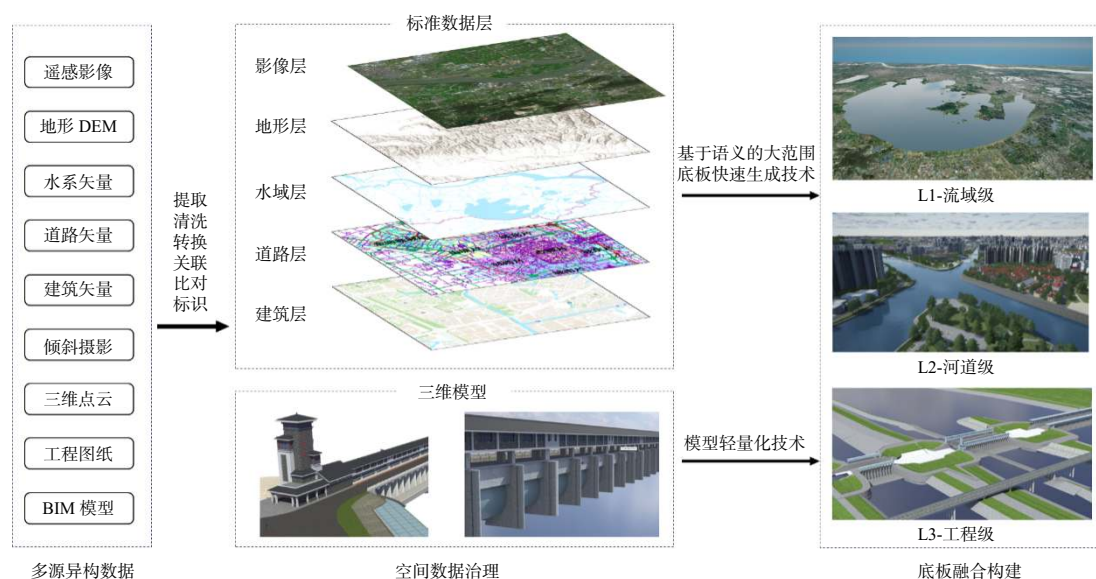


图2 多级数据底板融合构建方法

下地形、倾斜摄影及三维点云数据等。

(1)DOM 是数据底板的主要数据源之一,通过光学遥感卫星影像和航空摄影测量技术获取,提供了关于植被、土地利用、水体,以及其他自然及人工特征的连续视觉数据,可为精细化的地理分析和建模提供重要支持。

(2)DEM 通过地面测量或遥感测量技术获取,如激光雷达(LiDAR),并转换为高程、坡度、坡向等数据,提供流域地形的三维视图,对理解和模拟流域内的水文和水动力具有重要意义。

(3)水系矢量数据主要来源于“水利一张图”,是构建真实水域场景的核心数据。道路矢量数据则为理解和模拟交通网络提供了必要的网络布局。

(4)建筑矢量数据提供了流域内建筑物的精确位置、结构和功能信息,主要用于模拟城市化的影响和水利设施规划。

(5)倾斜摄影和三维点云数据通常通过无人机等航空测量工具获得,提供了流域特定区域的高分辨率三维图像,能够精细展示地形、建筑物及其他关键结构的空关系,为逼真的重点水利工程三维场景构建提供数据支撑。

### 2.1.2 人工建模数据

人工建模数据是构建数字孪生水利中大坝、水库和闸泵站等重点水利工程的基础,主要数据来源包括倾斜摄影技术、工程图纸和建筑信息模型。通过对倾斜摄影模型进

行单体化建模,实现了重点工程的室内外一体化精细建模,有效提升了模型的细节表现和应用准确性。在模型优化方面,为了提高加载性能,采用了减面轻量化技术。该技术在保留 BIM 基础信息的同时,通过优化模型面数,实现复杂模型的轻量化处理,支持数据底板中三维模型的高效融合和渲染。

## 2.2 空间数据标准化

### 2.2.1 数据治理

在多级数据底板的构建过程中,数据治理是确保数据质量和一致性的关键步骤。根据水利部制定的数据治理规范,建立统一的数据管理框架,涵盖数据加工与清洗等多个阶段。此过程通过标准化的数据处理模式来保障数据的准确性和可用性,具体包括数据探查、抽取、转换、清洗、去重、补全、关联、融合及比对等关键环节,为构建多级数据底板夯实基础。

### 2.2.2 标准化数据层

通过上述数据治理过程,形成用于构建多级数据底板的关键数据层级,包括影像层、地形层、水域层、道路层、建筑层及三维模型层。

(1)影像层:作为底板的基础,包括 DOM 等视觉数据,提供地表覆盖和其他环境特征的详细视图。

(2)地形层:通过数据清洗和特征提取形成,完整呈现区域内的地形起伏和高度差异,为地形分析提供精确

基础。

(3)水域层:在地形层的基础上添加,结合水系矢量数据和倾斜摄影结果,展现水域的动态视觉效果。

(4)道路层:结合GIS道路数据和倾斜摄影技术,叠加在地形层上,详细显示道路宽度、车道线及相关图像信息。

(5)建筑层:基于建筑矢量面数据,并考虑楼层高度属性,快速生成L2级底板中的建筑层,为城市规划和灾害评估提供支持。

(6)三维模型层:用三维点云或BIM数据,针对重点水利工程如大坝、水库、泵站等构建精细化的三维模型,模型精度达到LOD2.0(Level of Development)至LOD3.0,为工程设计和安全评估提供高精度的视觉和数据支持。

### 2.3 多级底板融合构建

多级底板采用GIS可视化渲染技术,结合BIM或计算机辅助设计(CAD)建筑信息、DEM等数据,通过数据汇聚、清洗、结构化存储、模型特征提取、模型单体化处理,打造具有语义信息的三维底板。其功能主要由模型数据源汇聚、数字化模型平台构建、数据呈现与模型渲染3部分组成。实现基础地理空间、河湖水系、水利工程、模型演算结果等二三维多源异构数据在同一个场景中融合和流畅展示。

水利工程要素上,基于L1级和L2级数据底板,叠加河湖水系和水库、水闸、泵站等水利工程对象的空间分布数据,实现水利矢量数据与基础地理空间的融合可视化展示。模型演算结果上,基于L1级和L2级数据底板,叠加洪水淹没、内涝积退水、污染物运移等水利专业模型的演算结果,实现水利模型演算结果与基础地理空间的融合可视化展示。

#### 2.3.1 L1级数据底板

L1级数据底板,即流域级底板,涵盖广泛的地理空间数据。在这一级别中,基于二维卫星地图及真实环境数据,快速构建三维仿真场景。L1级的数据集成主要侧重于提供宏观的地理和环境特征,实现数据的视觉融合,主要表现为纯色素模式。通过GIS技术的应用,不仅可以实现数据集成,还增强了数据的可视化表现力。

#### 2.3.2 L2级数据底板

L2级数据底板主要对重点区域进行精细建模,包括河道及其周边地理空间。采用基于语义的大范围底板快速生

成技术,通过对影像层、地形层、水域层、道路层、建筑层等标准化数据层的集成,展现河道岸线轮廓和河床地形,为水体情况的数字可视化提供了基础。

#### 2.3.3 L3级数据底板

L3级数据底板关注重点工程和相关设施的精细化表示。运用BIM技术和模型轻量化技术,实现水利工程设备及其结构的高精度模型表示。借助倾斜摄影技术采集的数据,结合数字孪生引擎的模型融合、光照和贴图技术进行场景构建,重点展现重点水利工程的室内外精细化场景和运行状态。

通过多级底板融合构建,不仅能实现多源异构数据的有效整合,升级传统的“水利一张图”,也实现了复杂数据的流畅展示和高效应用,极大地增强了水利管理和决策的技术支持能力。

## 3 业务可视化同步映射技术

### 3.1 可视化渲染技术

在数字孪生水利中,可视化渲染技术对于精确模拟水利基础设施、监测数据、水动力学和环境因素至关重要。

#### 3.1.1 基于向量场的流场动态渲染

流场数据具备复杂的拓扑结构和高维性质,在时间和空间维度上展现出显著的内在连续性及复杂的特征结构。基于这种特性,向量场动态渲染技术采用先进的数学模型和图形算法来实现流场的实时可视化。这项技术根据流体力学原理,利用流线聚类方法来描述向量场的主要特征<sup>[13]</sup>,进而精确模拟和展示水流的速度与方向。

基于L2级数据底板的流场动态渲染主要用于河道洪水演进、河道漫溢、蓄滞洪区行洪、堤坝溃口淹没及城市内涝积退水等场景,如图3所示。该技术不仅提供了水流变化的动态可视化,而且增强了对洪水演进过程的预测能力和对潜在风险的评估效果,优化了应急响应策略和防洪措施。

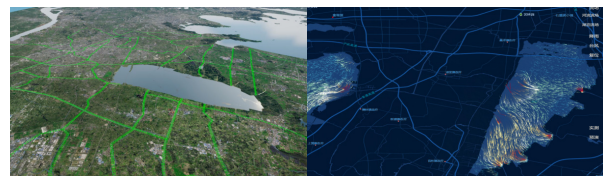


图3 流场动态渲染示意图

### 3.1.2 基于粒子系统的水花动态渲染

粒子系统是一种广泛用于模拟和渲染水花、烟雾等自然现象的技术。该技术通过模拟成千上万个微小粒子的动态行为,并结合物理规律,以生成高度真实的视觉效果。粒子系统的核心在于精确定义每个粒子的位置、速度、生命周期、尺寸、颜色、形状和透明度等属性<sup>[14]</sup>。此外,粒子属性中加入随机扰动值,模拟粒子受到重力和其他外界因素的影响,如速度的变化、颜色的过渡等。特别是在粒子接触水面时,系统会将其生命周期置为结束,即时从系统中移除该粒子,模拟水花的消散过程。粒子的运动和状态变化可通过以下公式描述:

$$S(i) = S(i-1) + S \times RAND() \quad (1)$$

式中:  $S(i)$  为第  $i$  时刻粒子的属性值;  $RAND()$  是在  $[-1.0, 1.0]$  上的随机分布函数,用于模拟自然界中的随机性。

在水利工程模拟中,该技术通常用于展示水流撞击和流动等动态水动力效果,如图4所示。在闸泵操作和涵洞工程仿真中,水花动态渲染能够帮助决策者直观地观察和分析水流对结构的具体影响。



图4 水花动态渲染示意图

### 3.1.3 基于自适应绘制的云图渲染

随着物理建模的细化和计算规模的扩大,数值模拟的复杂度已显著增加,自适应采样技术成为提高云图渲染效率的关键方法。该技术通过使用较少的采样点来精准捕捉数据的内在物理变化,有效减少了计算负担、内存占用及数据传输的开销。自适应采样的常见方法包括空间跳跃技术、分层次自适应采样<sup>[15]</sup>及梯度场量值法<sup>[16]</sup>等。这些方法通过调整采样密度和位置,能够直接且有效地揭示数据场中的关键物理现象,如流速变化、温度梯度等。

在数字孪生水利中,这种云图渲染技术通过结合数据底板上的实际水雨情等业务数据进行可视化处理,能够快速生成雨量等值面、水域等深面、淹没热力图、水质浓度场及地面污染负荷图,如图5所示。



图5 云图动态渲染示意图

### 3.1.4 纹理贴图技术

纹理贴图技术是提高水利模拟和管理精度的重要工具。该技术通过映射高分辨率图像到三维模型上,精细化展现水波纹、泥沙纹理及其他自然现象,极大地提高了模拟环境的逼真度,不仅提升了视觉表现的质量,也增强了模型的实用性和应用价值。河湖水系的动态水面效果通过该技术处理得以生动呈现,使得水面波纹和流动的视觉效果更加真实,为水资源管理和洪水预警提供了有效的视觉辅助。

此外,纹理贴图技术在水下地形展示中也发挥着重要作用。通过精确映射水底地形和植被分布,为生态研究和水下工程规划提供了详尽的视觉信息,帮助研究者深入理解水下生态系统的动态变化和进行环境影响评估。同时,在城市水务规划和管理中,该技术提供了水利设施和建筑物表面的纹理和色彩,显著提高了城市区域模拟的真实度(图6),帮助规划者和决策者更准确地评估水利工程的布局和潜在影响。



图6 纹理贴图示意图

### 3.1.5 基于实体对象的交互场景渲染

为了在三维空间中准确地表示和操作实体物体,采用基于实体对象的交互场景渲染技术,来构建复杂的几何并进行动态交互,精确控制实体对象并实现高度真实的视觉效果,从而在虚拟环境中有效地布置和评估各种防洪措施,在水利工程模拟和危机管理中发挥关键作用。

对实体对象采用交互场景渲染技术,可以构建包括临时子堤、堤坝溃口、沙袋及河道临时围挡等阻水构筑物。如通过模拟沙袋的布置,直观展示其在洪水事件中对水流的影响和防护作用。此外,该技术还能模拟堤坝溃口的紧急情况,生动地展现溃口发生后水流的动态变化和潜在洪水

路径。上述应用不仅提高了防洪模拟的准确性和效率,还极大地增强了模拟场景的交互性和教育意义。通过实时交互和视觉反馈,决策者可以更加准确地理解和评估各种防洪措施的实际效果,从而优化应急响应策略。

### 3.2 通用接口开发

#### 3.2.1 通用接口开发流程

通用接口开发是实现高效数据集成与应用的关键技术路径,开发流程如图7所示。

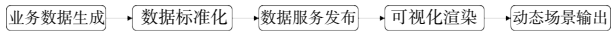


图7 通用接口开发流程图

(1)业务数据生成:从预报调度一体化模型中提取业务数据。由于模型提供的数据格式与系统功能应用需求之间存在差异,这一阶段涉及将模型输出的二进制数据和特定格式的文本数据进行标准化处理。

(2)数据标准化:通过开发独立的数据交互服务引擎,对原始数据进行解析、转译和组装。这包括将数据转换为通用格式如XML、JSON或简化文本格式,以便于数据服务的进一步处理。

(3)数据服务发布:构建模型RESTful服务,自动获取模型参数和动态设置模型运行参数。此步骤也包括接入在线数据来驱动模型计算,并定制关注对象的输出结果,确保数据服务能够响应前端应用和其他系统的需求。

(4)可视化渲染:在数据服务发布后,通过高级渲染技术将结构化数据转换为视觉表现形式。这一过程不仅涉及图形渲染,还包括场景管理和动态数据更新,以实现实时数据可视化。

(5)动态场景输出:系统将渲染的结果输出为动态场景,直接供用户交互和决策支持使用。输出结果广泛应用于数字大厅、孪生展示、四预调度和会商辅助等多种功能。

#### 3.2.2 接口开发与场景应用

根据3.1节中描述的5类渲染技术,针对具体应用场景,开发了相应的通用接口。

(1)基于向量场的流场动态渲染接口。该接口以水流速度、水流方向及相关环境参数等为输入数据,输出河流洪水模拟和城市洪涝分析的动态三维孪生场景,提供了洪水动态的可视化表现,支持洪水风险评估和应急响应策略的制定。

(2)基于粒子的水花动态渲染接口。该接口主要处理来自水库和水电站等水利设施的操作数据,如水流速度和流量。输出结果展示水花和水流撞击的粒子动态效果,用于增强水利设施操作的可视化展示。

(3)基于光线投射的云图渲染接口。该接口处理气象和环境监测系统的的核心数据,如降雨量和水质数据等。输出雨量等值面、水质浓度图等详细的环境分布云图,为环境管理和水资源规划提供精确的数据支持。

(4)纹理贴图技术的交互场景渲染接口。该接口接收地理空间数据、建筑模型数据及环境纹理信息作为输入,输出高度逼真的三维模型,包括河流、湖泊、水下地形和土工建筑等。这些三维模型支持详尽的可视化处理,显著提高场景的真实感和视觉吸引力,从而优化水资源调配、防洪预报调度等决策过程。

(5)基于实体对象的交互场景渲染接口。该接口主要处理与防洪措施相关的数据信息,如临时子堤、堤坝溃口、沙袋及河道临时围挡等。接口接收的数据包括物体的位置、尺寸和材料属性。输出为这些防洪设施在虚拟环境中的三维可交互场景,模拟防洪措施的设计与布置对洪水控制的具体效果,帮助增强应急响应的策略和实操能力。

## 4 淮河流域可视化模型构建探索

在前期研究中,团队从小范围数据底板的建设开始探索,逐步扩展至更大空间尺度的数字孪生数据底板和可视化模型构建。包括明湖(约100 km<sup>2</sup>)、锡澄地区(约1822 km<sup>2</sup>)、太湖流域(约3.6万 km<sup>2</sup>)的多级数据底板建设。这一系列的实践不仅有效支撑了预报调度一体化、“四预”应用、水环境综合治理智慧管控等智慧水利系统的研发和升级,也为大尺度数据底板的构建奠定了坚实基础。在此基础上,团队以淮河流域为例,进一步探索了大尺度数据底板构建的核心技术与实施路径。

淮河流域地处我国东中部,面积约27万 km<sup>2</sup>。流域内以废黄河为界分为淮河和沂沭泗河两大水系,面积分别为19 km<sup>2</sup>和8 km<sup>2</sup>。面对涉及的地理空间广泛、参与实体众多、工程复杂度高,数据融合、管理及可视化处理尤为复杂等问题,利用现代测绘成果、地理信息系统技术和虚拟现实技术,成功构建了淮河流域数字孪生场景(表1)。其中,

L1级底板覆盖整个淮河流域;在L2级底板中,重点关注7条入湖河道和5条出湖河道,以及洪泽湖、高邮湖、邵伯湖及其周边的滞洪区和鲍集圩行洪区;L3级底板主要包括三河闸、二河闸、高良涧、万福闸及入海水道五大枢纽等重点工程的精细化BIM数据。

表1 淮河流域数据底板建设对象

底板层级	建设对象
L1级	江苏省、安徽省等淮河水系主要区域,共27万km <sup>2</sup>
L2级	7条入湖河道(淮河干流、怀洪新河、新汴河、池河、新濉河、老濉河、徐洪河)
	5条出湖河道(淮河入江水道、苏北灌溉总渠、淮沭新河、淮河入海水道、废黄河)
L3级	洪泽湖、高邮湖、邵伯湖、洪泽湖周边滞洪区、鲍集圩行洪区区域
	三河闸
	二河闸
	高良涧
	万福闸
	入海水道五大枢纽(二河进洪闸、淮安枢纽一期工程、淮阜控制一期工程、滨海枢纽一期工程、海口枢纽一期工程)
	入海水道五大枢纽(二期工程)

为实现全流域数据底板与物理流域的同步映射,耦合专业模型,构建了流域级可视化平台,该平台能够处理包括超过10亿个三角形的复杂三维场景,支持数千个兴趣点(POI)及场景覆盖物,有效增强了水利监测和决策的动态展示能力(图8、图9)。此外,平台针对包含时序信息的场景,能实现对洪涝淹没、流程映射、沉降位移等关键数据的快速渲染,响应时间不超过100ms,显著提高了数据处理的效率和应急响应的时效性。在可视化模型渲染服务器软硬件配置方面,选用了两颗海光32核2.7GHz主频的Hygon7390 CPU,安装麒麟银河V10操作系统,完成了大尺度数据底板、高性能渲染可视化模型的国产CPU和操作系统适配,渲染运行效果流畅。



图8 L2级底板可视化示意图(洪泽湖及其周边)

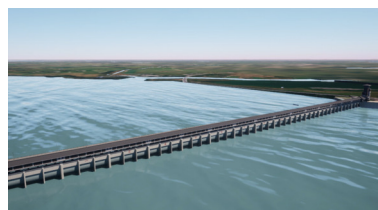


图9 L3级底板可视化示意图(三河闸)

这一实践为大尺度数据底板建设和可视化模型发展提供了重要的技术支持,也为全国其他具有类似复杂水系的数字孪生水利项目提供了经验和参考,同时也探索了国产CPU和操作系统的适配及应用情况。通过这些技术实践,支撑了淮河流域水旱灾害防御能力提升,为推动区域水利管理向智慧化、精细化发展奠定了坚实的基础。

## 5 结语

本文深入探讨了数字孪生水利中大尺度数据底板的建设思路,详细阐述了多级数据底板融合方法和业务可视化同步映射技术,是支持流域尺度物理实体与数字要素同步映射的关键,提高了数据处理效率和精度,强化了数据实用性和决策即时性,增强了多场景业务决策能力。在此基础上,以淮河流域的数据底板建设为例,探索了淮河流域可视化模型构建的必要性与有效性,为全国其他类似复杂数字孪生水利项目建设提供了经验与参考。

尽管现有数据底板可视化技术已在多个方面支持了数据底板的构建,但要构建完善的数字孪生水利体系仍然面临诸多挑战。未来的研究应更深入地探索数据采集技术和人工智能算法的应用,实现可视化技术与水利机理模型深度融合,形成一个集可视化、模型和业务处理于一体的综合软件平台,实现数字场景与物理场景同步,支撑多业务精准化智能仿真模拟,为数字孪生水利建设提供全面及时的算据支撑与服务。

## 参考文献

[1] 蔡阳,成建国,曾焱,等.大力推进智慧水利建设[J].水利发展研究,2021,21(9):32-6.

[2] 温鹏,刘斌,李镇江,等.数字孪生大藤峡探索与实践[J].中国水利,2023(21):80-84.

[3] 张振军,冯传勇,魏猛.水库数字孪生数据引擎及底板构建研究及实践[C]//中国大坝工程学会.中国大坝工程学会2023学术年会论文集

- 集.2023.
- [4] 李永胜,侯红雨,崔培,等.数字孪生小浪底平台建设实践[C]//河海大学.2023(第十一届)中国水利信息化技术论坛论文集.2023.
- [5] 田向忠,吴靖.数字孪生佛子岭水库群工程设计探索[J].中国防汛抗旱,2023,33(9):71-76.
- [6] 黄志兴,冯大蔚,马媛,等.数字孪生太浦河防洪及供水“四预”业务应用设计与实现[J].水利信息化,2023(4):1-6.
- [7] 刘国庆,范子武,杨光,等.江苏省数字孪生水网建设总体构想与先试经验[J].中国防汛抗旱,2023,33(8):7-12.
- [8] 盛志刚,舒全英,徐侃,等.数字孪生曹娥江流域试点建设实践与探索[J].水利信息化,2024(3):18-22,36.
- [9] 钱峰,夏润亮.数字孪生水利赋能水利新质生产力发展框架研究[J].中国水利,2024(8):6-10,5.
- [10] 刘业森,刘昌军,郝苗,等.面向防洪“四预”的数字孪生流域数据底板建设[J].中国防汛抗旱,2022,32(6):6-14.
- [11] 刘昌军,刘业森,武甲庆,等.面向防洪“四预”的数字孪生流域知识平台建设探索[J].中国防汛抗旱,2023,33(3):34-41.
- [12] 侯毅,华陆韬,王文杰,等.数字孪生流域三维数据底板建设研究及应用[J].人民长江,2024,55(5):234-240.
- [13] 王少荣,汪国平.基于聚类的二维向量场可视化[J].计算机辅助设计与图形学学报,2014,26(10):1593-1602.
- [14] 谭强强,杨志强,张华钦.基于Perlin噪声及粒子系统的水面模拟[J].现代计算机(专业版),2012(12):22-24.
- [15] KWAN-LIUM.Parallel rendering of 3D AMR data on the SGI/Cray T3E[C]//Proceedings Frontiers '99 Seventh Symposium on the Frontiers of Massively Parallel Computation,1999.
- [16] 唐炜,姚莉秀,杨杰,等.基于矢量场自适应采样算法的图像体绘制技术[J].上海交通大学学报,2008(10):1650-1654.

## Exploration and practice of large-scale water sector data baseplate visualization

CHEN Yuxuan<sup>1,2</sup>, LI Dongzhou<sup>1,2</sup>, LIU Guoqing<sup>1,2</sup>, FAN Ziwu<sup>1,2,3</sup>, YANG Guang<sup>1,2</sup>, JIA Benyou<sup>1,2</sup>, HAN Su<sup>4</sup>, MA Guanjie<sup>4</sup>

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029;

2. Key Laboratory of Taihu Basin Water Resources Management of Ministry of Water Resources, Nanjing 210029;

3. Nanjing R & D Hydro-information Technology Co., Ltd., Nanjing 210029;

4. Beijing 51WORLD Digital Twin Technology Co., Ltd., Beijing 100028)

**Abstract:** As a core component of the digital twin platform, the data base plate plays a key fundamental role as an "arithmetic data" in supporting the construction of digital twin water sector. In the visualization of the data base plate, there are still data element standards are not consistent, fusion rendering method is not clear, business scenarios are difficult to support, there is no good solution for specially how to integrate, build, share and update the large-scale 3D base plate. This paper focuses on the idea of data base plate construction of digital twin water sector, elaborates the multi-level data fusion method and business visualization synchronous mapping technology, and explores the construction and application of visualization model for the entire Huai River basin. The results show that standardized governance of multi-source heterogeneous data and lightweight rendering of visualization models are crucial, not only to support the synchronous mapping of basinal physical entities and digital elements, but also to enhance multi-scenario business decision-making capabilities and to provide data support for basin water security.

**Keywords:** digital twin water sector; data baseplate; data fusion; visualization model; synchronized visualization mapping

编辑 田亚男