

BIM 技术在水库数字孪生数据底板建设中的应用

翟天放 魏初财

吉林省水利科学研究院，吉林长春，130022；

摘要：随着数字化、智能化技术发展，在数字孪生建设中，BIM 技术为数据底板的采集、建模、生成、发布、应用提供巨大支持。BIM 技术与数字孪生技术结合，能够提高项目可视化、可管理性和可操作性。本文旨在探讨 BIM 技术在水库数字孪生数据底板建设中的应用，分析其在水库各个环节中具体应用方式，包括 DEM、DOM 数据采集精度和技术要求，BIM 轻量化要求，全面阐述其如何提升水库建设精度、效率与可持续性。

关键词：BIM 技术；数字孪生；水库建设；数据底板

DOI：10.69979/3060-8767.25.01.031

引言

数字孪生作为一项复杂的系统工程，目标在于构建物理世界与数字世界的实时映射关系。在水库工程领域，数字孪生建设面临多源异构数据融合、跨阶段业务协同的技术挑战。如何实现设计、施工、运营阶段的无缝衔接，并确保各类数据有效整合与高效利用，是数字孪生技术应用关键问题。

BIM 技术应用为水库建设管理带来变革。BIM 能够为水库建设项目提供全生命周期的管理支持。通过构建三维参数化模型，BIM 实现了工程设计、施工模拟、运维管理的全流程数字化，显著提升了水库建设的协同效率和管理精度^[1]。在水库数字孪生建设中，数字孪生技术与 BIM 技术的深度融合能够产生显著协同效应。BIM 技术为数字孪生系统提供了精准的数字化模型底座。通过 BIM 模型的高精度几何信息和丰富的属性数据，数字孪生系统得以实现对水库运行状态的精细化模拟与智能化管控。技术集成不仅提升水库运行管理智能化水平，也为水利工程可持续发展提供创新性解决方案。

1 BIM 技术

BIM（建筑信息模型）是一种基于三维数字技术的创新性建筑设计与管理方法。它通过创建和利用数字化的建筑模型，整合建筑全生命周期中的各项信息，实现设计、施工、运营等阶段的高效协同^[2]。

BIM 技术特点：

三维可视化：BIM 以三维模型为核心，直观展示建筑空间结构和构件关系，便于设计审查和方案优化。

数据集成：整合建筑项目的设计图纸、材料清单、进度计划等多源信息，形成统一的数据模型。

协作性：支持多方参与的协同工作环境，建筑师、工程师、施工人员可在同一平台进行实时沟通与数据共享。

模拟与分析：通过模拟建筑性能（如能耗、光照、结构安全等），辅助优化设计方案并预测潜在风险。

全生命周期支持：贯穿建筑的设计、施工、运维三大阶段，为各阶段提供数据支持和决策依据。

BIM 技术的应用显著提升了建筑行业的生产效率和管理水平，推动了建筑业向数字化、智能化方向发展。

2 数字孪生技术

数字孪生，英文 Digital Twin。结合我国水利发展需求和客观实际，《数字孪生水利工程建设技术导则（试行）》中对水利工程数字孪生体做出如下术语定义：以物理水利工程为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、水利知识为驱动，对物理水利工程全要素和建设运行全过程进行数字映射、智能模拟、前瞻预演，与物理水利工程同步仿真运行、虚实交互、迭代优化，实现对物理水利工程的实时监控、发现问题、优化调度的新型基础设施^[3]。

通过实时监测水库运行状态（如水位、流速、环境条件、设备状态等），并将这些数据反馈到数字孪生模型中，从而实现对水库的动态管理和智能化决策。

数字孪生技术在数据底板建设中的应用，主要体现在实时数据采集与传输，通过传感器、无人机、激光雷达等设备，实时采集水库周围的环境信息，并将数据传输到数字孪生技术。数字孪生技术与 BIM 技术的结合，能够极大提升水库建设与运营的智能化水平，为水库的管理、维护与运营提供更加精准、高效的支持。通过 BIM 建模，将各类

DEM、DOM 信息建模应用，形成数据底板，建模精度按照水利相关规定执行。

3 BIM 技术在水库数字孪生数据底板建设中的应用

3.1 库区与下游河道的地理信息建模

水库建设基础是对库区及下游河道的精准勘测与建模。库区地形地貌信息、河道流域水文数据等，都需要通过高精度的技术手段进行采集并转化为数字模型。BIM 技术通过整合遥感、激光雷达 (LiDAR)、无人机航拍等技术手段，能够高效获得地形数据，并在 BIM 平台上进行处理与建模，形成高精度的三维模型。

技术要求：在库区建模过程中，需要 L3 级精度，特别是对于水流路径、流速变化等关键数据建模，要求较高分辨率。

地理信息集成：获取地形数据与其他数据（如水文、气象等）进行集成，形成多维度、多层次信息模型，为水库设计和决策提供数据支持。

3.2 水文数据与水流模拟建模

水文数据采集与分析至关重要，尤其是水流、流速、水位等信息的动态变化。在数据底板建设中，BIM 技术可以与水文模拟软件进行集成，对水库的水流进行模拟与预测。

水文数据动态更新：实时采集水位、流速等水文数据，自动更新到三维模型中，确保模型与实际情况的同步。

水流模拟与可视化：结合 BIM 技术与水流模拟软件，能够对水库区域的水流进行仿真，预测水库不同水位下水流动态，从而优化水库的调度方案。

3.3 水库设施建模与管理

水库核心设施包括大坝、泵站、闸门、进水口等，BIM 技术对这些设施进行三维建模。通过 BIM 平台，设计、施工与运营人员能够清晰地查看每个设施的结构、尺寸、材料、机电系统等详细信息。在水库建设完成后，BIM 技术能够为设施的运维管理提供全生命周期的信息支持，包括设施的状态监控、故障诊断、维修记录等。通过数字孪生技术，水库设施运行状态可以实时反馈到 BIM 模型中，运维人员可以基于这些信息对设施进行维护和优化。

3.4 DEM（数字高程模型）数据采集技术要求

在水库建设过程中，精确的地形和地貌信息是非常重要的基础数据，尤其是在库区及下游河道。数字高程模型 (DEM) 是描述地表起伏的数字化表示，广泛用于水库的地形建模、流域划分、洪水模拟等多个环节。因此，DEM 数据的采集技术要求直接影响水库建设过程中的设计与管理精度。

3.4.1 DEM 数据精度要求

水库数据底板建设通常要求 DEM 数据的空间分辨率在 1 米到 5 米之间，特别是在大坝、闸门等关键结构的设计与施工过程中，要求精度达到 1 米以下。在水库建设中，尤其是在水文模拟和风险评估时，DEM 的高程精度非常重要。为了获得高精度的模型，要求 DEM 的高程精度通常为 10 厘米到 30 厘米，确保可以准确模拟水流路径和水位变化。

3.4.2 DEM 数据采集要求

激光雷达 (LiDAR)：LiDAR 技术通过激光扫描获取地表点云数据，再通过数据处理与拟合，生成高精度的数字高程模型。LiDAR 可以有效穿透植被层，获取地表信息，因此在复杂地形的水库建设中具有不可替代的优势。

无人机 (UAV) 遥感：近年来，无人机搭载高精度 GPS 和摄影设备，能够快速获取较大区域的高程数据，并进行高效地形建模。无人机遥感数据采集速度快、成本较低，适用于水库库区和下游河道等广阔区域地形数据采集。

卫星遥感：卫星遥感技术适用于大范围水库建设项目。虽然卫星遥感的分辨率较低，但其适用性广泛，能够为大规模区域提供基础的 DEM 数据。

地面测量：对于水库核心设施和精确设计要求较高的区域，传统的地面测量仍然是不可忽视的技术手段。使用全站仪、RTK GPS 等精密仪器，结合光电测距和摄影技术，可以获取局部区域的高精度 DEM 数据，确保水库设施设计的精度。

3.4.3 DEM 数据处理与集成要求

点云数据处理：点云数据处理是通过去噪、插值、平滑等操作，去除测量过程中的误差和噪声，确保生成高质量的高程数据。处理过程中要确保点云的精度和密度满足模型要求。

坐标系统转换：DEM 数据通常需要与其他地理数据

进行融合，如 DOM（数字正射影像）数据和水文数据。确保不同数据源间坐标系统统一性和准确性是非常重要的，避免因坐标误差导致的模型偏差。

3.5 DOM（数字正射影像）数据采集要求

数字正射影像（DOM）是基于遥感技术获得的，具有地理坐标信息的正射影像图像。DOM 通常与 DEM 一起使用，以便为 BIM 模型提供准确的背景数据。

3.5.1 DOM 数据采集精度要求

空间分辨率：DOM 图像的分辨率应不低于 0.1 米，特别是在精细设计、坝体监测等任务中，较高的分辨率可以帮助设计人员更准确地了解库区和周边环境的细节。

几何精度：DOM 的几何精度要求能够保证影像与地理坐标的匹配，误差应控制在 1 米以内。对于复杂地形或河道变迁较大的区域，DOM 图像需要经过正射校正，消除高程误差。

3.5.2 DOM 数据采集要求

无人机遥感（UAV）：搭载高分辨率相机的无人机可以精确拍摄目标区域，并通过图像处理软件生成正射影像。无人机遥感的灵活性和低成本，使其成为获取高质量 DOM 数据的理想选择，特别适用于水库建设过程中的局部区域拍摄。

航空摄影：航空摄影仍然是常用的 DOM 数据采集方法。通过高空飞行的航拍飞机获取多视角的图像，再通过影像纠正技术生成数字正射影像。该方法适用于较为广阔的区域，数据精度较高。

卫星遥感：卫星遥感可以提供基础的 DOM 数据，尤其适用于大范围的土地使用调查、环境评估等任务。虽然卫星图像分辨率相对较低，但随着遥感技术的发展，分辨率已经逐步提高，可满足部分中等规模水库建设项目的需求。

3.5.3 DOM 数据处理与融合要求

影像正射校正：DOM 数据通常需要经过正射校正，以消除因地形起伏或拍摄角度产生的几何畸变。正射影像校正过程要求精确的地形高程数据支持，这与 DEM 数据的精度密切相关。

图像拼接与无缝融合：在获取多个航拍图像或无人机图像后，需要进行拼接与融合，确保图像无缝衔接，消除拼接缝隙、色差等问题。拼接后图像要保持较高的几何精度与色彩一致性，才能为后续的水库设计和风险

评估提供可靠数据。

3.6 BIM 轻量化要求

BIM 模型通常包括大量的几何数据、材料信息、设备参数等，传统的 BIM 模型在数据量上非常庞大，这对实时数据处理、协同工作和系统集成提出了更高的要求。BIM 轻量化技术成为了 BIM 应用中的关键环节。

模型简化与降维。BIM 模型往往包含大量细节信息，但在某些应用场景下并不需要全部细节。为了提高加载速度与处理效率，需要对模型进行适当简化。

几何简化。通过减少模型中的细节面数、降低复杂度等方式，实现几何简化。常用的简化技术包括多边形合并、面片剖分等。

细节剔除。在模型中去除不影响分析和决策的数据，如临时构筑物、装饰性细节等。

BIM 数据格式优化。BIM 数据通常采用如 Revit、Navisworks 等专用格式，这些格式通常体积较大，不便于数据共享与传输。为了提升流畅性和共享能力，BIM 轻量化技术要求优化数据格式，转化为轻量化文件格式，如 IFC（Industry Foundation Classes）格式、FBX 格式等。

文件压缩与格式转换。对 BIM 文件进行压缩处理，以减少文件的大小，提高加载速度。文件格式转换可以将原始的高精度 BIM 文件转化为较为轻量的模型，以便于跨平台共享与展示。

Web 模型展示。为了提高模型在不同终端设备上的访问和展示效率，BIM 模型需要进行 Web 端展示优化。通过 BIM 服务器或云平台，将 BIM 模型转化为 Web 格式，使得非专业人员也能通过浏览器查看和使用这些模型。

3.7 数据缓存与智能加载

BIM 模型的动态展示需求越来越高。BIM 模型需要支持智能加载功能，即根据用户需求自动加载不同层级的模型数据。

按需加载。对于庞大的 BIM 模型，可以根据用户的视角和需求，按需加载模型的不同部分，避免加载过多不必要的数据库。

数据缓存。通过数据缓存技术，频繁访问的模型数据会被存储在本地缓存中，减少每次加载的时间，提高系统响应速度。

DEM 与 DOM 数据的高效采集和处理，以及 BIM 轻量

化技术的应用,为项目提供了精准、高效的数据支持。DEM与DOM数据不仅是水库建设的基础数据,还在水流模拟、设施规划、环境监测等方面发挥着至关重要的作用。而BIM轻量化技术则通过简化和优化模型,提高了数据传输效率和系统性能,确保了BIM技术在水库建设中的高效应用。随着数字化、智能化技术的不断发展,BIM与数字孪生技术将在水库建设及运营管理中发挥越来越重要的作用。

4 总结

BIM技术和数字孪生技术结合,极大提升了水库建设与管理的智能化水平。通过对水库建设过程中各类数据的全面集成与实时监控,水库项目能够实现更加精细化、智能化的管理^[4]。在水库的建设过程中,BIM技术为数字孪生数据底板提供了准确的三维模型与信息集成平台,而数字孪生技术则通过实时数据反馈与预测分析,进一步提升了水库管理的效率与安全性。

随着技术的不断发展,BIM和数字孪生技术将在水

库建设中发挥越来越重要的作用,推动水库建设向着更加数字化、智能化、可持续发展的方向迈进。

参考文献

- [1]陈明文,肖晶.基于BIM技术的水利工程项目风险管理[J].水上安全,2024,(24):112-114.
- [2]郭晶晶.浅析BIM技术在绿色智能建筑全生命周期中的应用[J].科技与创新,2025,(01):222-225. DOI:10.15913/j.cnki.kjycx.2025.01.063.
- [3]翟天放,张天翼.浅谈数字孪生水利工程建设框架构建[J].吉林水利,2023,(07):75-78. DOI:10.15920/j.cnki.22-1179/tv.2023.07.009.
- [4]郑洪伟,何堃豪.基于BIM的智能建造全周期数字孪生研究与应用[J].中国勘察设计,2024,(12):94-98.

作者简介:翟天放(1980-),男,吉林省长春市,吉林省水利科学研究院,高级工程师,工程硕士。主要从事水利信息化及智慧水利建设研究。