BIM技术在水电站大坝工程监理质量管控中的应用研究

耿 浪
中国水利水电建设工程咨询西北有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：本文针对水电站大坝工程监理质量管控中信息集成度低、追溯困难、协同效率不高等问题，系统论证了BIM技术的适用性，构建了包含四层架构、三大核心要素的应用框架。围绕质量信息集成管理、施工过程可视化管控、质量验收流程优化、质量问题闭环跟踪及移动终端现场检查五个维度，提出了BIM技术在监理质量管控中的具体实施路径。BIM技术与监理业务的深度融合是提升大坝工程质量管控效能的关键，所提方法框架具有较强的可操作性，可为同类工程监理信息化建设提供借鉴。

关键词：BIM技术；水电站大坝；工程监理；质量管控；可视化

引言：水电站大坝施工具有坝型多样、隐蔽工程密集、质量控制参数庞大、作业面分散及验收程序严格等特点，传统监理方式以纸质资料和人工经验为主要依托，面对海量质量信息的采集、传递、存储和追溯需求时，暴露出效率低、易错漏、响应慢等固有局限，亟需引入信息化手段实现管控模式升级。为此，本文基于大坝监理实际工作场景，研究BIM技术在质量管控中的适用场景与实施方法，构建覆盖信息集成、过程管控、验收管理、问题追溯和现场检查等核心环节的应用体系，以期为推动水电大坝监理工作的数字化转型提供参考。

1 水电站大坝工程监理质量管控的特点与需求

1.1 大坝施工质量管控的特殊性

一是结构复杂度高，涉及混凝土坝、面板堆石坝、碾压混凝土坝等多种坝型，质量标准和验收规范各不相同。二是隐蔽工程密集，基础处理、锚固灌浆、止水系统、冷却水管布设等大量隐蔽工序一旦覆盖便难以追溯，对过程监管实时性要求极高。三是质量控制参数体系庞大，涵盖原材料性能、配合比、温控指标、力学强度等数十项相互关联的参数。四是作业面分散、工序穿插复杂，大坝分层分块施工，监理面临多点同时管控的压力。五是质量验收程序严格，单元工程、隐蔽工程、分部分项、阶段验收层层递进，资料种类多、数量大、流转复杂。上述特殊性要求监理质量管控须向信息化、可视化方向转型升级[1]。

1.2 BIM技术应用于质量管控的适用性分析

BIM技术在水电大坝监理质量管控中具有良好的适用性。一是信息集成优势，可将设计、施工、质量、检测等信息集成于统一平台，消除信息孤岛。二是三维可视化优势，监理可在三维视图中直观查看钢筋布置、预埋件定位、止水走向等关键构造，减少二维图纸识读偏差。三是数据可追溯优势，BIM平台可完整记录各环节历史数据，质量信息可向前追溯至原材料来源、向后跟踪至具体工序责任人。四是流程协同优势，可嵌入验收流程，实现质量问题从发现到整改、复查、销号的全流程线上闭环管理。五是动态监控优势，可与物联网监测数据对接，实时展示温度场、变形数据、应力状态等信息。五项优势协同发挥，使BIM技术有效覆盖大坝监理质量管控各环节。

2 BIM 技术在大坝监理质量管控中的应用框架

2.1 BIM质量管控的应用目标

BIM技术在大坝监理质量管控中的应用应确立清晰的多维目标体系。核心目标是实现质量信息的集成化与可视化，将质量检查数据、验收资料、检测报告与BIM模型构件关联挂接，通过三维模型直观呈现各部位质量状态。过程目标是借助BIM平台规范质量验收流程，实现验收申请线上提报、审批意见即时反馈、整改复查闭环管理，打破传统线下流转的时间损耗。延伸目标是依托BIM模型的空间定位功能，快速锁定质量问题位置，辅助精准判断处理方案。长远目标是建立完整的质量电子档案，为大坝运行维护提供真实、可用的竣工模型与质量溯源信息。

2.2 BIM质量管控的总体架构

BIM质量管控总体架构自下而上分为数据采集层、模型处理层、业务应用层和用户交互层四个层级。数据采集层负责获取各类源数据，包括三维设计模型、施工质量检测数据、原材料检验记录、测量定位数据、温控监测数据及影像资料等。模型处理层将采集数据与BIM模型构件进行绑定，以构件ID为核心标识建立“构件—属性—文档—影像”多维关联的质量信息网络。业务应用层封装各类质量管控功能模块，包括质量验评管理、隐蔽工程验收、质

量问题追踪、资料自动归档等。用户交互层根据监理、施工、建设、设计等不同角色权限，通过桌面端、网页端和移动端提供差异化功能界面。四层架构确保BIM质量管控平台具备良好的可扩展性和可维护性[2]。

2.3 软硬件环境与数据基础

BIM质量管控系统运行需要配套软硬件环境支撑。软件方面，需选用成熟稳定的BIM建模平台，配套BIM协同管理平台作为质量信息集成与业务流转的核心系统，辅以轻量化模型浏览工具满足移动端和网页端查看需求。硬件方面，监理机构需配置高性能图形工作站处理大体量模型，配置移动终端设备供现场检查使用，并在现场部署无线网络或4G/5G通信保障数据传输。数据基础方面，须在项目启动阶段制定统一的BIM建模标准、构件编码规则、数据存储格式及信息交换协议，确保设计阶段与施工阶段模型数据可延续使用，各参建单位在统一编码体系下录入和共享数据，避免因标准不统一导致的数据壁垒。

2.4 应用框架的核心要素

BIM质量管控应用框架有效运转需要三大核心要素协同支撑。一是模型深度要素，大坝监理质量控制要求BIM模型达到LOD 350至LOD 400精度级别，模型不仅应表现构件几何尺寸和空间位置，还应包含钢筋布置、预埋件定位、止水构造、分层分块信息等施工阶段必要的非几何信息。二是数据标准要素，须建立涵盖模型命名规则、构件分类编码、颜色标识体系、属性字段定义、文档命名规范等完整数据标准体系，确保信息可读性和可交换性。三是流程融合要素，BIM平台中的质量管控流程须与实际监理工作流程保持一致，将线上流程与线下制度深度融合，避免形成“两套体系、两张皮”的脱节现象。

3 BIM 技术在监理质量管控中的核心应用场景

3.1 质量信息集成化管理

质量信息集成化管理是BIM技术在监理质量管控中的基础性应用。基于BIM平台，监理可按照坝段、仓号、构件类别等维度建立质量信息数据库，将各类质量文档与对应的BIM模型构件进行关联挂接。某坝段某仓号的所有信息——包括砂石骨料检验报告、水泥出厂合格证、配合比通知单、浇筑记录、坍落度检测记录、试块强度报告——均可通过点击该仓号构件直接调取，实现“一处录入、多方共享、全程可溯”。在信息检索方面，监理可通过时间、部位、材料批次、检测类型等多维度组合查询，快速定位特定质量信息。在数据呈现方面，可采用红黄绿三色对模型构件进行着色标识，红色表示质量不合格、黄色表示待检、绿色表示合格，使各部位质量状态一目了然[3]。

3.2 施工过程可视化质量管控

可视化质量管控是BIM技术区别于传统管理方式的核心应用。基于BIM三维模型，监理可在施工前通过虚拟浏览直观查看各部位构造细节，预先核对钢筋排列是否与设计一致、预埋件定位是否准确、止水带安装路线是否连续无冲突、冷却水管布设是否满足温控方案要求。在隐蔽工程验收环节，监理可在模型上逐项标注已验收构件，形成可视化验收记录。在施工偏差控制方面，监理可将现场实测数据与模型设计数据进行叠加比对，系统自动计算偏差值并生成偏差分析报告，以数据可视化方式直观呈现施工质量满足设计要求的程度，帮助监理快速、准确地判断验收结论。

3.3 质量验收流程优化与资料管理

基于BIM平台的质量验收管理模块可实现验收流程的线上化运行。施工单位完成自检后，通过移动端或网页端创建单元工程验收申请，系统自动关联该部位的BIM模型构件信息，监理人员收到推送通知后在平台中调阅施工记录和检测数据，在线审核后电子签章确认，验收结论同步更新至构件属性信息中，验收记录自动归档。验收资料不再需要人工装订、分类、编目，系统按预设规则自动生成单元工程质量评定表、隐蔽工程验收记录等资料清单，按坝段、仓号、时间自动排序归档。当某一部位所有验收程序全部完成且合格时，系统自动标记该构件为“验收合格”状态，监理可随时导出完整的质量验收电子档案。

3.4 质量问题闭环跟踪

质量问题闭环跟踪是BIM平台中实现质量管控闭环的核心功能模块。监理在检查中发现的质量问题，均可通过平台发起质量整改流程：在BIM模型中精准定位问题所在构件，创建质量问题记录单，填写问题描述、严重程度分级、整改要求和完成时限，系统自动生成唯一整改编号，并将任务推送给施工方整改责任人。施工方完成整改后上传整改报告和影像资料，监理现场复查确认合格后签署复查意见并关闭问题单，系统同步更新模型构件状态标识。全过程线上可追溯，包括每一步的操作时间、操作人员和操作内容。监理可通过质量问题看板按类型、按部位、按时间区间进行统计分析，快速定位质量薄弱环节，实现从被动处置向主动预防的转变。

3.5 移动终端现场质量检查

移动终端现场质量检查是实现BIM技术从办公室延伸到施工现场的关键应用场景。监理人员携带平板电脑或工业级手持终端到达现场后，可通过轻量化BIM查看工

具加载当前检查部位的模型，现场核对该部位的钢筋布置、预埋件位置、止水走向是否与模型一致，将发现的问题在模型上直接标注并拍照上传，所有标注和照片自动关联至该构件的质量信息库。在验收环节，监理可现场调取该部位的历史检查记录和检测数据，当场完成验收确认。移动终端支持离线操作模式，在信号不佳的仓面或隧洞内，监理可预先下载模型数据，离线完成检查和记录，返回网络覆盖区域后一键同步。

4 BIM 应用的关键保障措施

4.1 组织与人员保障

BIM技术的成功应用首先依赖于组织与人员的有效保障。监理机构应设立专门的BIM应用管理岗位，明确BIM平台管理员、BIM质量专员等职责。总监理工程师须将BIM应用纳入监理工作总体部署，在监理规划和实施细则中明确BIM质量管控的工作内容、操作流程和岗位分工。监理单位应组织全体监理人员进行BIM基础理论和平台操作培训，确保能够完成模型查看、信息查询、验收流程操作和移动端检查等基本工作。建议大型水电工程监理部至少配备1至2名专职BIM管理员，负责平台日常维护、数据质量核查和问题协调处理。培训应覆盖各参建单位相关人员，确保各方具备协同操作能力，并将BIM应用熟练度和使用频次纳入监理人员绩效考核[4]。

4.2 标准与制度保障

建立统一的BIM应用标准和配套管理制度，是保障平台规范运行的基础条件。标准方面，应在项目启动阶段编制《BIM质量管控应用标准》，统一模型精度要求、构件分类编码规则、颜色标识体系、信息录入格式、文档命名规范和数据交换格式，所有参建单位须在同一标准框架下开展BIM应用。制度方面，应制定《BIM质量管控平台运行管理办法》，明确各方操作权限和数据维护责任，规定质量检查数据录入时限、验收流程各环节办理时限、数据备份周期和归档要求等。应建立定期例会制度，每月召开BIM应用推进会，通报平台使用情况、数据录入完整率和问题闭合率，协调解决技术问题和管理矛盾。

4.3 软硬件与数据安全保障

BIM平台的持续稳定运行，需要可靠的软硬件环境和数据安全措施。软硬件方面，应根据大坝工程模型体量配置性能匹配的图形工作站和服务器，确保大体量模型操作流畅；配备足够数量的移动终端供现场使用，确保网络覆盖满足数据传输需求。软件选型应考虑国产化要求，优先选用具有自主知识产权的BIM协同管理平台。数据安全方面，应建立分级数据备份机制，每日增量备份、每周全量备份，分别存储于本地服务器和异地云端。对关键质量数据应采用区块链存证或数字摘要等技术防止篡改，并建立严格的用户权限管理制度，对关键操作实施双人复核和操作日志完整审计。

结束语

BIM技术在水电站大坝工程监理质量管控中的应用，是监理工作信息化转型的重要方向。本文基于大坝监理实际特点，构建了涵盖应用目标、总体架构、软硬件环境与核心要素的BIM应用框架，围绕质量信息集成管理、可视化管控、验收流程优化、问题闭环跟踪及移动终端检查五大场景，阐述了具体落地路径，并从组织人员、标准制度、软硬件与数据安全三方面提出保障措施。未来应推动BIM与物联网、智能传感器、AI图像识别等技术融合，使BIM从静态信息载体向动态智能监控平台升级，为水电大坝工程质量管控提供更全面精准的技术支撑。

参考文献

[1]隗收,郭廷凯,李宗伟.大坝工程投标阶段BIM技术策划与实施要点研究[J]. 云南水力发电,2022,38(6):239-242.

[2]宿玉扬,曹鑫. BIM 技术在水利工程大坝安全监测中的可视化应用[J].信息技术时代,2026(9):136-138.

[3]刘宝永,宁亮亮.基于VBA程序的3D建模与BIM集成在大坝变形监测中的应用研究[J].模型世界,2025(34):19-21.

[4]伍从静,王茂洋,吴恒友,等.基于BIM+GIS的善泥坡水电站拱坝安全监测可视化展示技术研究[J].中国水运,2023,23(20):42-43,145.