

BIM的水利建筑工程防渗技术研究

刘 乐 陆雪菲

湖北省水利水电规划勘测设计院有限公司 湖北 武汉 430070

摘 要：渗漏问题是威胁水利建筑工程结构稳定与运行安全的主要隐患，传统防渗技术存在设计精度不足、施工管控粗放、隐患排查滞后等缺陷。本文以水利工程渗流机理与防渗技术理论为基础，探究BIM技术在防渗工程设计、施工、运维全流程的应用方式，梳理当前技术应用中的模型适配性差、多技术融合不足、落地体系不完善等问题，并提出针对性优化策略，为水利防渗工程数字化提质与安全运维提供参考依据。

关键词：BIM技术；水利建筑工程；防渗技术

引言：防渗施工与管控是水利建筑工程建设的核心内容，直接关系工程使用寿命与防洪挡水效能。水利工程地质环境复杂，传统防渗模式依赖人工经验，易出现设计漏洞、施工偏差、渗漏隐患难以预判等问题，无法适配现代化水利工程建设标准。BIM技术具备可视化、参数化与数据化管理优势，可有效弥补传统防渗技术短板。基于此，本文开展BIM水利防渗技术研究，助力提升工程防渗质量与智能化管控水平。

1 水利建筑工程防渗核心技术与理论基础

1.1 水利工程渗流机理与渗漏危害分析

(1) 水工建筑物渗流遵循达西渗流基本定律，是水体在水头差作用下，通过岩土孔隙、结构缝隙发生的渗透流动现象。不同水文地质条件下渗流规律差异显著，松散砂层、裂隙岩体等复杂地质环境中，渗流路径杂乱、流速不均，而完整岩层渗流稳定性更强。渗漏主要成因分为自然因素与人为因素，自然地质裂隙、土层渗透系数不均，加之施工浇筑缝隙、结构拼接缺陷等人为问题，共同引发工程渗漏问题。(2) 工程渗漏会诱发多种结构性病害，长期渗流冲刷会带走坝体、基础岩土颗粒，引发不均匀沉降，破坏结构整体稳定性；渗透压力持续作用会促使墙体、坝体产生拉伸裂缝并不断扩张；同时渗流水流会持续冲刷结构缝隙与岩土基层，造成表层剥落、内部空洞。此类病害会降低工程防渗、挡水性能，缩短水利工程使用寿命，严重时引发溃坝、坍塌等安全事故，威胁工程安全稳定运行^[1]。

1.2 水利工程主流防渗技术类型

(1) 灌浆防渗技术是核心刚性防渗技术，帷幕灌浆通过高压浆液填充深部岩体裂隙，形成连续防渗帷幕，适用于大坝、基坑等深层防渗工程；固结灌浆以浅层加压注浆为主，加固松散岩土体、提升基层密实度，多用于基础加固防渗，具备适应性强、防渗稳定性高的特

点。(2) 土工防渗技术属于柔性防渗技术，以土工膜、土工布复合结构为核心，通过铺设一体式防渗层阻断渗流路径，施工便捷、适配性强，可适配不规则工程基面，具备耐腐蚀、抗变形、造价低廉的优势，广泛应用于渠道、蓄水池等水利工程。(3) 混凝土防渗技术依托防渗混凝土配比优化、整体浇筑及防渗墙施工工艺，形成高强度刚性防渗结构，通过提升混凝土密实度、抗渗等级阻断水体渗透，结构稳定性强、使用寿命长，适用于大坝防渗墙体、闸室基础等重点防渗部位。

1.3 BIM技术核心理论与应用优势

(1) BIM技术具备参数化建模、可视化模拟、协同化管理、数据化分析四大核心功能，可构建高精度工程三维模型，动态模拟施工全过程，实现多专业协同作业，同时依托数据采集分析，为工程施工、运维提供精准数据支撑。(2) 将BIM技术应用于水利防渗工程，可精准优化防渗结构设计方案，规避设计漏洞；模拟施工流程，有效减少施工偏差与工艺缺陷；实现渗漏点位、渗流路径可视化监测，及时排查隐患；同时可建立全生命周期数据库，实现工程施工、运维、检修数据全程追溯，大幅提升防渗工程质量与运维效率。

2 基于BIM的水利建筑工程防渗技术应用

2.1 防渗工程BIM参数化模型构建

(1) 水利防渗工程BIM三维建模以现场勘查数据为核心基础，整合工程地质勘探报告、水文监测数据、地形地貌参数等核心资料，搭建贴合工程实际的水工建筑物整体模型与防渗结构专项模型。建模过程中严格遵循水利工程建设标准，精准还原坝体、闸室、渠道等主体结构形态，同时细化帷幕灌浆层、土工防渗层、防渗混凝土墙等隐蔽防渗结构的空间形态，解决传统二维图纸无法直观呈现立体结构的问题，为后续设计、施工、运维工作提供精准的模型载体。(2) 防渗构件参数化设置

是BIM建模的核心优势,通过对各类防渗构件进行参数化定义,将防渗结构的几何尺寸、原材料性能、施工工艺等数据录入模型系统。针对灌浆防渗、土工膜防渗、混凝土防渗等不同结构,分别设定对应的厚度、强度、渗透系数、施工间距等核心参数,实现结构尺寸、材料属性与施工工艺的精准匹配。参数化模型可支持数据实时修改联动,单参数调整可自动更新整体模型数据,大幅提升模型适配性与精准度^[2]。(3)完成模型搭建后,依托BIM系统自带的碰撞检测功能,对防渗结构、建筑主体结构及各类管线布局进行全方位校验。重点检测防渗墙体与主体梁柱、输水管道、排水设施的空间冲突问题,排查防渗层搭接、节点衔接等部位的布局缺陷。通过碰撞检测提前优化结构布局,规避施工中出现的管线冲突、防渗结构错位、搭接不严密等问题,从设计源头减少渗漏隐患,保障防渗结构施工的可行性与完整性。

2.2 BIM技术在防渗设计阶段的应用

(1)在防渗设计阶段,可将精细化BIM模型与渗流仿真软件结合,开展多工况渗流数值模拟分析。依托模型真实的结构尺寸、地质参数与边界条件,模拟不同水位、不同降水工况下的水体渗流路径、渗透压力分布情况,精准定位坝基、结构接缝、岩土裂隙等潜在渗漏风险点。相较于传统经验计算方式,BIM仿真模拟数据更全面、结果更精准,能够精准预判工程渗漏薄弱区域,为针对性防渗设计提供数据支撑^[3]。(2)基于渗流模拟结果,可开展多方案防渗设计优化与对比分析。通过在BIM模型中替换不同的防渗结构形式、防渗材料及施工工艺,模拟各方案的防渗效果、结构稳定性与工程造价。对比帷幕灌浆、土工膜防渗、刚性混凝土防渗等不同方案的优缺点,结合工程地质条件、运行需求与成本预算,筛选出防渗效果最优、经济性与实用性兼备的设计方案,有效规避传统单一设计方案存在的局限性。(3)利用BIM三维可视化模型开展设计交底工作,打破传统纸质图纸交底抽象、难懂的弊端。通过三维立体模型直观展示防渗结构的铺设范围、搭接工艺、灌浆深度、节点加固等核心施工要点,让施工人员清晰掌握设计意图与施工标准,有效消除设计理解偏差、施工操作失误等问题,从源头保障防渗工程设计落地的准确性。

2.3 BIM技术在防渗施工阶段的应用

(1)借助BIM施工进度模拟功能,结合防渗工程施工流程,对灌浆施工、土工膜铺设、混凝土防渗墙浇筑等关键工序进行动态模拟与合理排布。梳理各工序的先后逻辑与衔接关系,优化施工进度计划,解决传统施工中工序混乱、交叉施工冲突、工期延误等问题,保障防

渗工程各施工环节有序推进,提升整体施工效率。(2)构建BIM施工动态质量管控体系,以设计模型为标准,实时比对施工现场的施工数据。针对防渗层厚度、灌浆压力、混凝土配比、结构搭接精度等关键质量指标,开展全过程动态监测,及时发现并纠正施工偏差、工艺不规范等问题,杜绝防渗结构施工缺陷,确保施工质量完全符合设计与规范要求^[4]。(3)基于BIM数据化管理优势,实现施工资源精细化调配。结合施工进度模型,精准统计各施工阶段所需的防渗材料、施工设备、人力资源用量,合理规划资源进场时间与使用配比,避免材料浪费、设备闲置、人力冗余等问题,大幅提升防渗工程各类施工资源的利用效率,有效控制工程施工成本。

2.4 BIM技术在防渗运维阶段的应用

(1)在工程运维阶段,将BIM模型与物联网传感设备深度结合,实现渗漏风险实时监测与定位。通过在防渗薄弱区域布设渗压、湿度、位移传感器,实时采集运行数据,并同步传输至BIM模型,实现渗漏点位、渗流范围、渗漏程度的可视化展示,帮助运维人员快速排查病害、精准定位隐患,提升渗漏故障处置效率。(2)建立防渗工程全生命周期BIM数据库,动态更新运维监测数据、病害整改记录、检修加固数据等核心信息。整合设计、施工、运维全流程数据,形成完整的工程档案,为后续工程检修、加固改造、病害分析提供全面、精准的数据支撑,实现水利防渗工程智能化、精细化长效运维管理。

3 BIM水利建筑工程防渗技术应用现存问题与优化策略

3.1 技术应用现存主要问题

(1)模型适配性不足。当前通用BIM建模标准多适配房建工程,针对性较弱,难以适配水利工程复杂多变的地质环境。面对坝体异形防渗结构、不规则渠道防渗层及裂隙岩体防渗区域,常规模型参数固化、曲面拟合精度不足,无法精准还原现场实际工况,导致模型与工程实体存在偏差。(2)技术融合度不足。现阶段BIM技术多独立应用于建模与设计环节,与渗流仿真模拟、现场智能监测设备的数据接口不统一,数据传输存在断层、滞后、失真等问题。多技术一体化协同应用体系不完善,难以实现建模、模拟、监测、分析的闭环作业,大幅降低数字化防渗管控效果。(3)施工落地性薄弱。水利工程基层施工与管理人员普遍缺乏系统的BIM实操能力,多停留在传统施工经验层面,对数字化防渗施工工艺、模型指导施工的流程掌握不足。同时现场缺乏标准化落地规范,导致BIM防渗技术难以落地,数字化管控优

势无法充分发挥。

3.2 防渗设计与建模技术优化

(1) 优化水利防渗专用BIM建模标准。结合大坝、输水渠道、拦河水闸等不同水利构筑物的结构特征,制定针对性、专业化的防渗结构建模规范。统一水利防渗工程建模参数、构件标准、尺寸精度要求,搭建专属的水利防渗构件参数库,补充异形曲面防渗结构、复杂地质防渗层的建模模块。通过标准化建模体系,解决传统模型适配性差的问题,保障各类水利工程防渗模型精准贴合现场实际工况,为后续施工、模拟、运维提供精准模型基础。(2) 完善BIM+渗流仿真耦合模型。针对数据融合不足、模拟精度低的问题,打通BIM建模软件与渗流仿真分析软件的数据传输通道,统一数据格式与计算边界条件。依托精细化BIM模型导入真实地质、水文、结构参数,实现模型数据与仿真计算深度耦合,精准模拟不同水位、不同运行工况下的渗流路径、渗透压力变化及渗漏薄弱区域,大幅提升渗漏风险预判精度,为防渗方案优化、隐患治理提供科学的数据支撑。

3.3 施工与运维管控体系优化

(1) 搭建BIM协同管理平台。构建集设计、施工、运维于一体的水利防渗工程数字化协同平台,打破各阶段、各施工主体的数据孤岛。平台统一整合防渗结构设计模型、施工工艺参数、现场监测数据、运维检修数据,实现建设单位、施工单位、设计单位、运维单位的数据实时共享与线上协同作业,及时同步防渗工程设计变更、施工进度、隐患整改信息,提升整体工程管控效率^[5]。(2) 建立防渗工程BIM质量验收标准。结合水利防渗工程施工规范,制定数字化质量验收体系,明确灌浆施工、防渗膜铺设、防渗墙浇筑等关键工序的BIM验收指标。依托BIM模型开展可视化验收,对比现场施工实景与标准模型的偏差数据,规范数字化验收流程,实现防渗工程施工质量的量化管控、精准验收,杜绝施工不规范、质量不达标等问题,保障防渗工程施工质量。

3.4 人才与技术保障优化

(1) 强化基层复合型技术人才培养。针对性开展BIM技术与水利防渗专业融合培训,聚焦防渗建模、渗流模拟、数字化施工管控等实操内容,面向施工人员、技术员、运维人员开展系统化培训与实操考核。重点提升基层人员依托BIM模型指导防渗施工、排查渗漏隐患、处理施工偏差的实操能力,夯实技术落地的人才基础。

(2) 推动多技术深度融合,构建智能防渗管控体系。以BIM技术为核心,深度融合物联网、大数据、智能传感技术,搭建全生命周期智能管控系统。通过传感设备实时采集渗流、结构沉降、裂缝变形数据,结合BIM模型实现数据动态分析、渗漏可视化监测、病害智能预警,形成从设计优化、智能施工到长效运维的一体化智能化防渗管控体系。

结束语

本文系统分析了水利工程渗流危害与主流防渗技术,探究了BIM技术在防渗工程全生命周期的具体应用,总结了现阶段技术应用的各类短板,并从建模优化、技术融合、管控体系、人才培养方面提出完善对策。BIM技术能够有效提升水利防渗工程的精准度与管控效率,解决传统施工的诸多弊端。未来需持续深化多技术融合应用,完善标准化体系,推动水利防渗工程向精细化、智能化方向发展。

参考文献

- [1] 王佳伟.基于BIM技术的水利工程防渗施工全过程优化研究[J].水利技术监督,2025,21(4):156-159.
- [2] 刘阳,赵文昊.BIM+GIS融合技术在水利大坝防渗工程中的应用[J].水电能源科学,2024,42(8):189-192.
- [3] 俞扬峰.基于BIM的水利水闸防渗监测与预警系统研究[J].水利水运工程学报,2024,10(6):98-104.
- [4] 郑川华.BIM技术在水利水电工程防渗施工质量管控中的应用[J].福建建设科技,2024,15(2):127-129.
- [5] 张浩,王浩宇.复杂工况下水利渠道工程BIM防渗设计与施工优化[J].人民珠江,2023,44(9):112-116.