

综述论文

DOI: 10.63221/eesp.v1i01-04.46-52

亮点:

- 系统梳理物联网与 BIM 技术在水利工程智慧工地的应用进展及融合研究现状。
- 剖析二者融合在典型场景的应用价值, 实现从被动响应到主动防控的转变。
- 结合多项工程案例, 为技术规模化落地提供实践参考与可行路径。

*通讯作者邮箱:

ncwunihao@163.com

英文引用: Liu Shuai, Hu Jun, Chang Guxu, et al., 2025. A Literature Review on the Integration and Application of IoT and BIM Data in Smart Construction Sites. Evidence in Engineering Science and Practice, 1(01-04), 46-52.

中文引用: 刘帅, 胡俊, 常固旭等., 2025. 面向智慧工地的物联网与 BIM 数据融合及集成应用综述. 工程科学与实践, 1 (01-04), 46-52.

稿件处理节点:

接收	2025 年 12 月 17 日
修订	2025 年 12 月 27 日
接受	2025 年 12 月 27 日
发表	2025 年 12 月 30 日

基金资助:

本研究未受到基金资助。

版权:

本作品原创内容可依据《知识共享署名 4.0 国际许可协议》条款使用。任何对本作品的后续分发须标明原作者及作品标题、期刊引用及 DOI 信息。

面向智慧工地的物联网与 BIM 数据融合及集成应用综述

刘帅^{1*}, 胡俊¹, 常固旭¹, 陈喆¹, 李建伟², 董小飞²

¹ 河南省水利第二工程局集团有限公司, 郑州 450047

² 河南迅景科技有限公司, 郑州 450000

摘要 本文围绕水利工程智慧工地建设, 系统梳理了物联网与 BIM 技术的应用进展及其融合集成的研究现状。物联网技术依托泛在感知、实时传输与智能分析能力, 在工程安全监测、运行维护及智慧平台构建中展现出显著优势, 有效提升了监测效率、降低了运维成本, 并增强了安全风险防控能力。BIM 技术则凭借三维建模、信息集成与协同管理功能, 在设计阶段实现方案优化与冲突检测, 在施工阶段支撑质量控制、进度管理和安全预警, 显著减少返工并提升工程精细化管理水平。近年来, 物联网与 BIM 的深度融合已成为推动水利工程智能化转型的关键路径, 二者通过数据互补与功能协同, 在危险源动态识别、防汛监测、施工过程可视化等典型场景中实现从被动响应到主动防控的转变。然而, 当前融合应用仍面临数据标准不统一、跨系统协同机制缺失、网络安全保障薄弱以及中小型工程适用性不足等瓶颈。未来研究应着力构建统一的融合标准体系, 研发覆盖全生命周期的协同管理平台, 强化轻量化、低成本解决方案, 并完善安全防护机制, 以促进技术成果在水利行业的规模化落地与高质量发展。

关键词: 智慧工地; 物联网; BIM 数据; 水利工程

A Literature Review on the Integration and Application of IoT and BIM Data in Smart Construction Sites

Liu Shuai¹, Hu Jun¹, Chang Guxu¹, Chen Zhe¹, Li Jianwei², Dong Xiaofei²

¹ Henan Provincial Water Conservancy Second Engineering Bureau Group Co., Ltd.

² Henan Xunjing Technology Co., Ltd.

Abstract This article focuses on the construction of smart construction sites in water conservancy projects and systematically reviews the application progress of Internet of Things and BIM technologies as well as the current research status of their integration. Relying on its ubiquitous perception, real-time transmission and intelligent analysis capabilities, Internet of Things (IoT) technology has demonstrated significant advantages in engineering safety monitoring, operation and maintenance, and the construction of smart platforms. It has effectively enhanced monitoring efficiency, reduced operation and maintenance costs, and strengthened the ability to prevent and control safety risks. BIM technology, with its 3D modeling, information integration and collaborative management functions, enables scheme optimization and conflict detection in the design stage, and supports quality control, progress management and safety early warning in the construction stage, significantly reducing rework and enhancing the refined management level of the project. In recent years, the deep integration of the Internet of Things (IoT) and BIM has become a key path for promoting the intelligent transformation of water conservancy projects. Through data complementarity and functional coordination, the two have achieved a shift from passive response to active prevention and control in typical scenarios such as dynamic identification of hazard sources, flood control monitoring, and visualization of the construction process. However, the current integrated application still faces

bottlenecks such as inconsistent data standards, the lack of cross-system collaboration mechanisms, weak network security guarantees, and insufficient applicability to small and medium-sized projects. Future research should focus on building a unified integrated standard system, developing a collaborative management platform covering the entire life cycle, strengthening lightweight and low-cost solutions, and improving safety protection mechanisms, so as to promote the large-scale application and high-quality development of technological achievements in the water conservancy industry.

Keywords: Smart Construction Site; Internet of Things; BIM data; Hydraulic Engineering

1. 引言

水利工程是保障水安全、支撑农业与城市发展的重要基础设施，但传统管理模式依赖人工巡检，存在响应慢、精度低、协同难等问题。近年来，物联网（IoT）与建筑信息模型（BIM）技术的快速发展为水利智慧工地建设提供了新路径。物联网通过传感器与实时数据分析，实现对大坝、水库等设施的动态监测与智能预警；BIM则通过三维建模与信息集成，提升设计优化与施工管控水平。二者的融合进一步推动水利工程从被动响应向主动防控转变，在安全监管、施工可视化等场景中展现出显著价值。然而，技术复杂、成本较高、人才短缺等问题仍制约其在中小型工程中的推广应用。本文综述物联网与BIM在水利工程中的应用现状、融合模式及典型实践，并探讨未来发展方向，以期为行业智能化转型提供参考。

2. 物联网技术在水利工程智慧工地中的应用研究

物联网技术凭借泛在感知、实时传输与智能分析的特性，已成为水利工程智慧工地建设的重要技术底座，其研究主要聚焦于工程安全监测、运行维护和智慧平台建设等具体场景，体现了物联网技术在解决水利工程特定痛点问题上的广泛应用价值。

2.1 工程安全监测

在工程安全监测方面，如孙勇等^[1]针对水利工程日常巡查依赖人工、效率低下的问题，利用物联网、移动计算及人脸识别技术开发基于B/S架构的智能巡检系统，见图1所示，通过自动规划巡查路线、实时记录数据与智能分析，显著提升巡查效率与工程运行安全性，为物联网在水利工程管理中的初步应用提供了成功范例。雷天朝与朱煜^[2]进一步将物联网监测系统拓展至水库、水坝、河流等多元水利设施，通过引入先进传感器、数据采集传输系统与智能分析预警机制，实现对水位、水流、压力等关键参数的实时监控与潜在风险预警，实验验证表明系统在数据采集效率、传输稳定性与预警准确度方面表现优异，显著提升水利工程管理水平与风险防控能力。Li等^[3]针对大型水力钢结构（如溢洪道闸门）长期服役中因环境侵蚀与动态载荷导致的结构退化问题，提出融合有限元法、多传感器信息融合与物联网技术的结构健康监测（SHM）闭环系统。

该系统在卢亨水库溢洪道部署后，可实时监测应力、振动等关键指标，准确识别由水流引起的动态应力变化（约2 MPa）和微幅振动（<0.03 mm），验证了结构安全性，并实现对潜在损伤的早期预警。该研究凸显了物联网驱动的多源感知与智能分析在保障关键水工金属结构安全运行中的重要作用。

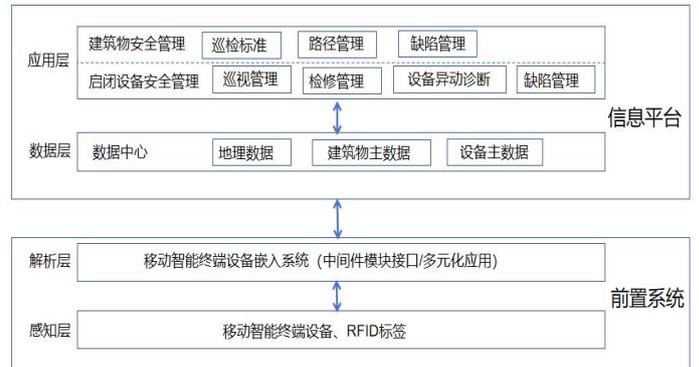


图1 智能巡检系统的体系构架^[1]

2.2 运行维护

在运行维护方面，王奕伟等^[4]聚焦水工建筑物运行维护，构建基于物联网的监测与数据采集系统，通过数据预处理与分析建立故障诊断与预测模型。利用数据分析的结果来指导维护工作。例如，系统通过分析传感器数据，能够诊断出大坝深层的渗透问题，并预测未来可能出现的裂缝。这种故障诊断和预测能力使得维护团队能够及时响应，从而避免潜在的灾害。此外，系统还能够基于历史维护记录和当前的数据分析结果，提出维护策略和优化建议。例如，通过确定最佳的检查时间间隔和预防性维护措施，从而延长设备的使用寿命并降低维护成本。Wang等^[5]针对水电工程中液压机电设备长期高负载运行导致健康状态难以预测的问题，提出一种融合数字孪生与迁移学习的预测性维护模型。该模型首先在设备关键部件部署多源传感器，采集物理与空间信号；其次，结合设备结构特性构建高保真数字孪生体；最后，利用迁移学习方法实现跨工况下的故障诊断与剩余使用寿命预测，从而支撑科学的维护决策。Pérez-Padillo等^[6]的研究进一步表明，物联网不仅可用于新建系统，也能赋能既有供水网络的智能化运维：其开发的低成本压力监测系统通过实时异常检测与联动报警机制，显著提升了老旧管网的泄漏识别效率与应急响应能力，体现了物联网在基础设施“轻量化改造”与可持续维护中的实用价值。

2.3 智慧平台建设

在智慧平台建设方面,柳孟军等^[7]针对水利工程建设现场环境复杂、设备众多、易发生高空坠落、机械伤害、坍塌、触电等安全事故的问题,设计由现场感知层、通信层与远程应用层组成的物联网架构,通过监测现场水位、温度等环境数据并与阈值对比判断异常,该架构可显著提高现场安全管理水平。邱伟等^[8]以抽蓄电站为背景,研究基于物联网的智慧工地建设,介绍智慧站点基础设施建设、现场项目规划与分级结构调整,预测电厂项目未来建设和发展趋势,为抽蓄工程智慧化管理提供参考。

3. BIM 技术在水利工程智慧工地中的应用研究

BIM 技术以三维建模、信息集成与协同管理为核心,为水利工程智慧工地提供结构化信息载体与可视化决策平台,其应用研究覆盖设计、施工阶段,并在智慧工地场景中展现多要素协同管理优势。

3.1 设计阶段

在设计阶段,吕贺^[9]结合南雄市横江水利大坝工程,研究 BIM 技术在水利工程设计中的优势与应用策略,结果表明 BIM 可显著提升设计有效性,通过可视化、参数化和协同化帮助设计人员及时发现冲突、优化方案,对推动水利事业发展发挥积极作用。在南水北调中线穿黄工程项目中,使用了 BIM 三维地质建模技术,通过整合地质雷达扫描获得的地层数据和地质勘探资料,构建了一个详细的地质模型,包括岩土层分布、地下水位状态及断层结构。在模型构建过程中,发现了三个之前未明确界定的软弱夹层,这些夹层可能会在施工中造成安全隐患。基于此发现,采用更稳固的锚喷支护技术,消除了施工中的安全隐患,并降低了工程调整成本^[10]。

3.2 施工阶段

在施工阶段,宇文韦^[11]指出, BIM 通过三维建模、施工管理可视化、协同管理与模拟优化,显著提升水利工程施工质量,实现多源数据整合共享,促进设计、施工、监理协同,预防潜在风险;与物联网、大数据融合可增强实时监控与智能决策支持,确保隐蔽工程质量。王杰^[12]针对水利水电工程规模大、结构复杂、施工难度高的问题,提出基于 BIM 的智能建造解决方案,建立基础理论,开发施工信息智

能管理、过程智能控制和质量智能监测 3 项关键技术,在混凝土温控、地下开挖支护和进度优化中成效显著,提升质量、效率与经济效益。龙潜^[13]针对水利施工安全管理中监控效率低、响应时间长、准确率不高的问题,开发基于机器学习的异常检测算法和数据融合算法,构建包含数据层、服务层与应用层的自动化管理平台,实现与物联网传感器结合的全面监控,覆盖率达 90%,数据处理准确率提升至 95%。

3.3 典型工程案例

在智慧工地场景中, BIM 与智慧工地技术融合应用聚焦多类型工程管理优化。蒋一波等^[14]在涟水县朱码节制闸拆除重建工程中引入 BIM+智慧工地技术,阐述 BIM 在全过程中的应用与平台功能,通过建筑模型与场地的位置关系,方便确定塔吊等大型机械的布置方案,检查群塔高度关系与碰撞情况,能更全面及时管理工程现场,决策高效,推进水利工程数字化管理,提高工作效率。赵建豪等^[15]托京杭运河长江口门段航道整治项目,基于 BIM 技术和智慧工地管理平台,应用施工智能化设备,解决大体量混凝土浇筑、长线型施工过程管控、复杂隐蔽工程工序报验、施工及监测数据管理等难题,同时还基于施工 BIM 模型,实现了施工图纸的三维化表达,见图 2 所示,通过提前优化施工方案和结构布置,降低施工返工风险,提升施工质量和技术管理水平。李达兵与李俊林^[16]以环北部湾广西水资源配置工程为例,探讨智慧工地在大型引调水工程中的应用,概述工程概况,分析监管难点,提出智慧工地支撑监管措施,详细阐述建设目标、思路及任务,为类似大型水利工程监管提供借鉴。Pereira 等^[17]以水电站与大坝工程为背景,分析结果表明 BIM 技术已渗透至水利工程全生命周期:在新建项目中,其应用于设计与施工阶段,通过三维协同与碰撞检测优化方案;在既有结构运维中,则支持安全监测与维护决策。尤为重要的是, BIM 作为集成平台,有效融合了无人机系统与数字孪生等新兴技术,显著提升了数据采集效率与结构管理精细化程度。

图2 施工图纸三维表达^[15]

4. 物联网与 BIM 数据融合及应用

物联网与 BIM 的融合是水利工程智慧工地智能化的核心方向，二者通过数据互补与功能耦合，实现从“感知”到“认知”的升级，现有研究主要围绕融合路径及应用展开。

4.1 融合路径:构建集成化智慧管理平台

智慧工地管理平台作为二者融合的核心载体，通过整合多源数据与智能算法，实现对“人、机、料、法、环”等关键生产要素的全面感知、动态监控与智能决策。王颖与邓祥文^[18]以白龙湾引黄涵闸项目为实践案例，搭建了基于 BIM 与物联网技术的智慧工地管理平台。该平台以智慧监管为核心目标，依托物联网设备采集现场实时数据，结合 BIM 模型实现构件级进度精细化管理，打通设计、施工与运维阶段的信息壁垒，显著提升了工程质量管理与安全监管水平。闫大杰^[19]则针对传统水利工程中危险源识别依赖经验、易遗漏的问题，提出一种基于物联网与 BIM 协同的动态辨识方法：首先利用传感器网络完成施工区域环境、人员行为、设备状态等多维度数据采集；随后构建集成构件、设备、人员和场地信息的三维 BIM 模型，实现施工场景可视化；最终基于模型与实时数据联动，实现危险源的自动识别与预警。实验验证表明，该方法相较传统手段能更全面、准确地发现潜在风险，提升安全管理效能。

上述研究共同指向一个技术发展趋势——构建集 BIM 模型、物联网感知、AI 分析于一体的统一管理平台，实现从静态建模到动态管控的跨越。然而，这一融合路径在实际推广中仍面临多重制约，尤其在中小型工程项目中表现突出。首先，建设成本高是主要障碍之一。智慧工地平台需部署大量传感器、摄像头、边缘计算节点及后台系统，初期投入较大。

例如，吴成浪^[21]所述的智慧防汛监测平台虽功能强大，但涉及无人机巡检、北斗定位、AI 视频分析等多项高成本技术，难以被资金有限的中小项目承受。其次，技术复杂度高导致实施难度加大。平台需实现 BIM 模型轻量化、多源数据融合、跨系统接口对接等关键技术，对企业的信息化基础和集成能力提出较高要求。杨锦^[20]在青岛港自动化码头三期工程中成功应用 BIM+GIS+智慧工地系统，其背后依托的是大型国企强大的技术支持团队和成熟的数字建造体系，而大多数中小型施工企业尚不具备此类条件。此外，专业人才短缺也制约着技术落地。既懂工程建设又掌握 BIM 建模、数据分析与物联网运维的复合型人才稀缺，使得许多项目即使引进系统也难以有效运行与维护。

因此，尽管 BIM 与物联网融合的技术路径已趋于成熟，但在推广应用过程中必须充分考虑项目规模、经济可行性与组织能力，探索模块化、低成本、易部署的轻量化解决方案，方能实现从“示范引领”向“普及推广”的转变。

4.2 典型应用场景

在融合路径逐步明晰的基础上，BIM 与物联网的集成已在多个重大工程中展现出显著的应用价值，覆盖质量控制、进度管理、安全预警、绿色施工等多个维度。

在港口工程领域，杨锦^[20]将 BIM 技术与智慧工地系统深度融合于青岛港自动化码头三期工程。通过布设 21 台不同类型监控设备，实现了施工现场全过程、全天候的远程可视化监管，管理人员可通过手机 APP、指挥大屏或 PC 端平台实时掌握现场动态。同时，借助谷歌地图坐标系，将 BIM 模型与 GIS 地理信息系统对齐融合，支持在三维空间中进行标记、测量、坐标查询等操作，为施工方案比选、进度跟踪与突发事件响应提供了强有力的技术支撑。该项目体现了 BIM+智慧工地在大型复杂基础设施中的创新应用潜力。

在水利防洪领域，吴成浪^[21]构建了基于 AIoT 的智慧防汛监测管理平台，集成北斗高精度定位、无人机巡查、智能摄像头与 AI 图像识别技术，结合 BIM+GIS 三维可视化引擎，实现了对堤防、水库、泄洪通道等关键设施的“可知、可视、可控、可预测”管理。平台可自动识别水位异常、边坡裂缝、违规

占压等隐患，并生成预警信息推送至责任人，大幅提高了应急响应效率与防灾减灾能力。

这些典型案例表明，BIM 与物联网的融合不仅限于单一功能提升，而是正在重塑工程建设的管理模式。无论是海港码头还是水利工程，只要具备清晰的数据架构与合理的技术选型，均可实现从“被动响应”到“主动防控”的跃迁。

5. 总结

本文系统梳理了物联网与 BIM 技术在水利工程智慧工地中的应用现状及其融合集成的发展趋势。研究表明，物联网技术凭借其泛在感知、实时传输与智能分析能力，在工程安全监测、运行维护和智慧平台建设中显著提升了管理效率、降低了运维成本，并强化了安全风险防控水平；BIM 技术则依托三维建模、信息集成与协同管理优势，在设计阶段有效支持方案优化与冲突检测，在施工阶段助力质量控制、进度管理和安全预警，大幅减少返工并提升工程精细化管理水平。二者的深度融合正成为推动水利工程建设智能化转型的核心路径。通过数据互补与功能协同，已在危险源动态识别、防汛监测、施工可视化等典型场景中实现从“被动响应”向“主动防控”的转变，为水利工程全生命周期的数字化管理提供了有力支撑。然而，当前融合实践仍面临多重挑战：一是缺乏统一的数据标准，导致多源异构数据难以高效互通；二是跨系统协同机制尚未健全，制约了平台集成效能；三是网络安全防护体系薄弱，存在数据泄露与系统被攻击风险；四是现有解决方案成本高、复杂度大，难以适配中小型水利工程的实际需求。

面向未来，应重点推进以下方向：构建统一的物联网与 BIM 融合标准框架，规范数据交互与接口协议；研发覆盖设计、施工到运维全周期的协同管理平台，深化人工智能、数字孪生等技术融合；强化网络安全防护体系建设，保障系统稳定可靠；同时，着力开发模块化、轻量化、低成本的集成方案，提升技术在中小型项目中的适用性与可推广性，从而加速水利行业向全面数字化、智能化高质量发展迈进。

参考文献

- [1] 孙勇,毛思,蒋涛,等.基于物联网技术的水利工程智能巡检系统[J].江苏水利,2019,(08):51-56.
- [2] 雷天朝,朱煜.基于物联网技术的水利工程智能监测系

统研究[J].中国宽带,2025,21(10):157-159.

- [3] Li, H., Zhao, H., Shen, Y., Zheng, S., & Zhang, R. (2024). Structural Health Monitoring and Failure Analysis of Large-Scale Hydro-Steel Structures, Based on Multi-Sensor Information Fusion. *Water*, 16(22), 3167.
- [4] 王奕伟,张杰,李秋生,等.水利工程物联网技术在水工建筑物运行维护中的应用研究[J].水上安全,2024,(13):56-58.
- [5] Zhoukai Wang, Weina Jia, Kening Wang, Yichuan Wang, Qiaozhi Hua. Digital twins supported equipment maintenance model in intelligent water conservancy. *Computers and Electrical Engineering*, Volume 101, 2022, 108033.
- [6] Pérez-Padillo J, García Morillo J, Ramirez-Faz J, Torres Roldán M, Montesinos P. Design and Implementation of a Pressure Monitoring System Based on IoT for Water Supply Networks. *Sensors*. 2020; 20(15):4247.
- [7] 柳孟军.物联网技术在水利工程建设现场安全管理中的应用研究[J].中国新技术新产品,2025,(16):139-141.
- [8] 邱伟,郭坤阳,黄文龙,等.基于物联网技术的抽蓄工程智慧工地研究与实践[J].软件,2021,42(12):98-100.
- [9] 吕贺.BIM 技术在水利工程设计中的应用[J].陕西水利,2021,(07):40-42.
- [10] 常婕.基于 BIM 技术的水利工程设计与施工协同优化研究[J].河南水利与南水北调,2025,54(08):39-40.
- [11] 宇文韦.BIM 技术集成在水利工程施工质量管理中的应用实践与优化路径[J].河北水利,2025,(07):34-35.
- [12] 王杰.基于 BIM 技术的水利水电工程智能建造研究[J].科技与创新,2025,(20):97-99+103.
- [13] 龙潜.BIM 技术在水利施工安全管理中的应用研究[J].自动化应用,2025,66(22):248-250+254.
- [14] 蒋一波,高艳,孙君,等.BIM+智慧工地在水利工程建设中的应用——以涟水县朱码节制闸拆除重建工程为例[J].江苏水利,2022,(11):4-8.
- [15] 赵建豪,秦斌,邬德宇.BIM 技术与智慧工地在内河航道整治工程中的综合应用[J].水运工程,2022,(03):139-145.
- [16] 李达兵,李俊林.智慧工地在环北部湾广西水资源配置工程中的应用[J].广西水利水电,2025,(04):105-107+114.
- [17] Pereira C C R ,Resende D N P ,Pires C R J , et al.BIM-enabled strategies for dams and hydroelectric structures: a comprehensive analysis of applications from design to operation[J].*Architectural Engineering and Design Management*,2025,21(3):491-512.
- [18] 王颖,邓祥文.智慧工地管理平台研究与应用——以白龙湾引黄涵闸项目为例[J].建筑经济,2022,43(12):48-

55.

- [19] 闫大杰.基于物联网和 BIM 技术的水利工程建筑施工危险源辨识方法[J].物联网技术,2025,15(04):46-47+51.
- [20] 杨锦.BIM+智慧工地在青岛港自动化码头三期工程中的创新应用[J].智能建筑与智慧城市,2024,(03):91-93.
- [21] 吴成浪.基于物联网技术的智慧水利防汛监测管理平台建设[J].江西通信科技,2024,(03):43-45.