

基于BIM+无人机的水利工程施工进度动态监控方法研究

张 婷

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

摘要: 水利工程施工因环境复杂、进度管控难度大,且传统监控方式存在实时性差、精准度不足等局限,难以满足精细化管控需求。本文以BIM与无人机技术融合为核心,阐述相关理论基础,构建涵盖感知、数据、分析、应用层的动态监控体系,提出基准模型构建、数据采集处理、融合分析及偏差预警调整等关键方法。该技术融合模式可实现施工进度实时感知与精准管控,为提升水利工程进度管控智能化水平提供技术支撑。

关键词: BIM技术;无人机;水利工程;施工进度;动态监控方法

引言:水利工程作为基础设施核心组成,具有结构复杂、工期长、作业环境多变等特点,施工进度管控直接影响工程质量与投资效益。传统进度监控依赖人工巡检与二维图纸比对,存在数据滞后、精度不足等弊端,难以适配复杂水利工程的管控需求。随着BIM与无人机技术的快速发展,两者融合为进度动态监控提供新路径。本文基于相关理论基础,构建BIM+无人机进度动态监控体系,提出关键技术方法并开展验证分析,旨在破解传统管控难题,推动水利工程进度管理向智能化、精细化转型。

1 基于BIM+无人机的水利工程施工进度动态监控的相关理论基础

1.1 BIM核心技术与应用特性

BIM核心技术以参数化建模为核心,通过构建包含工程全生命周期数据的三维模型,实现工程信息的集成化管理。其核心在于信息的关联性与可视化,模型中各构件的参数相互关联,某一参数修改可联动更新相关构件信息。应用特性主要体现为可视化、协同化与模拟性,可视化可直观呈现工程结构与空间关系,协同化支持多专业人员同步共享模型数据,模拟性能够提前推演施工流程,为进度管控提供数据支撑,同时具备数据可追溯性,便于精准把控施工各环节进度节点^[1]。

1.2 无人机航拍与数据处理技术

无人机航拍技术以低空飞行平台为载体,结合高清摄像设备实现工程施工现场的大范围、多角度影像采集,具有机动灵活、覆盖范围广、采集效率高的特点。数据处理技术是航拍数据转化为有效信息的关键,核心包括影像校正、拼接融合、三维建模等环节。通过专业算法对航拍影像进行预处理,消除拍摄偏差,再经拼接生成完整的施工现场全景影像,进一步可转化为三维点云数据,为后续进度对比分析提供精准的空间数据

支撑。

1.3 BIM与无人机技术融合基础

BIM与无人机技术融合的核心基础在于数据互通与功能互补。数据层面,无人机航拍获取的实景数据可通过格式转换与BIM模型的参数化数据实现对接,将现场实际进度数据导入BIM模型;功能层面,BIM模型提供的标准进度计划与设计数据,可作为无人机实景数据的对比基准,通过两者的叠加分析,实现实际施工进度与计划进度的动态匹配。融合的关键在于建立统一的数据交互标准,确保无人机采集的空间数据与BIM模型的属性数据高效融合,为施工进度动态监控提供一体化的技术支撑。

2 基于BIM+无人机的水利工程施工进度动态监控系统构建

2.1 监控体系构建目标与原则

监控体系构建核心目标是依托BIM与无人机技术融合优势,实现水利工程施工进度的实时感知、精准研判与动态预警,保障施工过程按计划有序推进,提升进度管控的智能化与精细化水平。通过体系运行,实时捕获施工进度偏差,为进度调整决策提供数据支撑,降低进度延误风险,确保工程建设高效开展。构建原则主要包括系统性原则、实用性原则与协同性原则:系统性原则要求体系涵盖数据采集、传输、分析、应用全流程,形成完整的管控闭环;实用性原则强调体系设计贴合水利工程施工场景特点,技术选型与功能设置具备可操作性,满足实际进度监控需求;协同性原则注重BIM技术、无人机技术与进度管控流程的深度协同,实现数据互通与功能互补,提升体系整体运行效率。

2.2 监控体系总体架构设计

监控体系总体架构采用分层设计模式,自上而下可分为感知层、数据层、分析层与应用层四个核心层级,各层级职责明确、协同联动。感知层作为数据采集终

端,以无人机航拍设备为核心,搭配BIM模型数据接口,实现施工现场实景数据与工程设计及进度计划数据的同步采集;数据层承担数据存储与预处理功能,通过建立统一的数据存储架构,对无人机采集的影像、点云数据与BIM模型参数化数据进行分类存储,同时完成数据格式转换、清洗与整合,为后续分析提供标准化数据;分析层是体系核心处理单元,依托数据融合算法实现BIM计划数据与无人机实景数据的叠加比对,通过进度偏差分析模型计算偏差程度、预判偏差趋势;应用层面向进度管控需求,提供进度可视化展示、偏差预警、进度调整建议等功能,实现监控结果的有效输出与应用,支撑进度管控决策。

2.3 监控体系核心要素与边界界定

监控体系核心要素主要包括技术要素、数据要素与管理要素。技术要素涵盖BIM参数化建模、无人机航拍、数据融合分析等核心技术,是体系运行的技术支撑;数据要素包含BIM模型中的工程设计数据、进度计划数据与无人机采集的施工现场实景数据,是体系分析决策的核心依据;管理要素涉及进度监控流程规范、数据管理标准、各环节职责划分等内容,保障体系有序运行。边界界定方面,空间边界聚焦水利工程施工区域及周边关联区域,明确无人机航拍的覆盖范围与BIM模型的空间映射范围;时间边界贯穿工程施工全周期,覆盖从施工准备阶段到竣工交付前的各进度管控节点;功能边界限定为施工进度动态监控、偏差分析与预警,不涉及工程质量检测、造价管控等其他非进度管控功能,确保体系聚焦核心管控目标^[2]。

3 基于BIM+无人机的水利工程施工进度动态监控关键方法

3.1 施工进度基准模型构建方法

施工进度基准模型是实现进度动态监控的核心基础,其构建需以工程施工图纸、进度计划为核心依据,结合水利工程结构复杂、施工工序繁琐的特点,采用分层建模与工序关联的构建思路。(1)依托BIM技术搭建工程三维实体模型,明确坝体、渠道、水闸等核心构件的几何参数与装配关系,确保模型精度达到毫米级。(2)将施工进度计划拆解为分部分项工程节点,按照施工逻辑将节点任务与BIM模型构件进行关联,植入工序持续时间、资源配置量等进度信息。在此过程中,需重点把控模型的工序衔接精度,通过导入42个核心施工工序的逻辑关系数据,实现进度计划与实体模型的深度绑定^[3]。(3)通过对模型进行轻量化处理,确保模型文件大小控制在200MB以内,保障后续数据交互与运算

效率,最终形成集几何信息、进度信息、资源信息于一体的施工进度基准模型,为后续进度对比分析提供标准参照。

3.2 无人机航拍数据采集与处理方法

无人机航拍数据是获取施工现场实际进度信息的关键数据源,其采集与处理质量直接影响进度监控的准确性。(1)数据采集阶段,需根据水利工程施工区域范围,规划无人机飞行路径,采用“分区航拍+重叠覆盖”的采集策略,飞行高度控制在150米范围内,确保航拍影像的地面分辨率达到5厘米,满足施工现场细节识别需求。结合施工进度节点要求,设定航拍周期,对于关键施工阶段可缩短至3天一次,实现现场进度信息的实时更新。(2)数据处理阶段,先对航拍影像进行预处理,通过影像校正、畸变修正消除飞行姿态、光照条件带来的误差;再采用运动恢复结构算法生成三维点云模型,经过点云去噪、配准等处理,输出包含施工现场实际工况的三维点云数据。最后通过专业数据处理软件提取施工区域内已完成构件的几何参数与施工范围,形成标准化的进度数据成果,为后续与BIM模型融合奠定基础^[4]。

3.3 BIM与无人机数据融合方法

BIM与无人机数据的有效融合是实现进度动态监控的关键环节,核心在于解决两类数据的时空匹配与格式兼容问题。(1)采用坐标系统与数据格式转换的融合思路,将无人机航拍获取的三维点云数据与BIM基准模型进行坐标对齐,通过导入施工现场3个固定控制点的坐标数据,完成两类数据的空间基准统一,确保融合后数据的空间一致性。(2)针对BIM模型的结构化数据与无人机点云的非结构化数据格式差异,采用中间数据格式转换技术,将无人机点云数据转换为BIM软件可识别的工业基础类(IFC)格式,实现两类数据的格式兼容。在此过程中,借助数据融合算法对重叠数据进行筛选去重,保留有效进度信息,降低数据冗余。通过该融合方法,可将无人机采集的现场实际进度数据精准映射至BIM基准模型中,形成包含实际施工工况的动态融合模型,实现施工进度可视化呈现。

3.4 施工进度动态对比与偏差分析方法

施工进度动态对比与偏差分析是进度管控的核心环节,通过融合模型与基准模型的多维度对比,精准识别进度偏差。(1)采用“节点比对+工序追溯”的对比思路,提取融合模型中实际施工节点的完成时间、构件完成数量等数据,与基准模型中的计划数据进行逐一比对,明确各节点的进度完成情况。(2)在对比过程中,引入进度偏差量化指标,通过计算实际完成时间与计划

完成时间的差值、实际完成构件数量与计划数量的差值,实现偏差的量化分析。(3)依托BIM模型的工序关联关系,追溯偏差产生的源头工序,分析偏差对后续施工工序的影响范围,为后续偏差处理提供精准依据。

3.5 施工进度偏差预警与动态调整方法

施工进度偏差预警与动态调整是保障施工进度按计划推进的关键手段,需建立“分级预警+精准调整”的管控机制。(1)根据水利工程施工特点,设定不同等级的进度偏差预警阈值,结合历史施工数据与工序重要程度,将关键工序的偏差预警阈值设定为5天,一般工序设定为10天。当对比分析发现某工序进度偏差达到预警阈值时,系统自动触发预警提示,通过融合模型可视化呈现偏差位置与影响范围,及时提醒管控人员采取处理措施。(2)在进度调整阶段,基于偏差分析结果,结合后续施工工序的逻辑关系,采用工序优化与资源重配的调整思路。通过BIM模型模拟不同调整方案的实施效果,例如调整后3个关联工序的施工顺序、增加施工机械投入量等,选择最优调整方案。同时将调整后的进度计划更新至基准模型中,形成新的进度基准,实现施工进度的动态闭环管控,确保工程整体进度按预期推进。

4 监控方法的验证与性能分析

4.1 验证指标体系构建

为全面评估BIM+无人机水利工程施工进度监控方法的应用效果,需构建涵盖时效性、准确性、可靠性的多元验证指标体系。时效性指标聚焦进度数据从采集到成果输出的全流程耗时,反映监控响应效率;准确性指标以实际施工进度与监控结果的偏差值为核心,衡量数据匹配程度;可靠性指标通过连续监控数据的波动范围评估方法稳定性。并补充数据处理效率、模型融合精度等辅助指标,形成层次清晰、覆盖全面的验证指标体系,为后续验证工作提供科学依据。

4.2 监控方法的准确性验证

准确性验证核心在于对比监控方法输出的进度数据与现场实际进度数据的契合度。通过同步获取BIM+无人机监控系统输出的工序完成节点时间、构件施工进度等

数据,与现场人工实测数据进行比对。重点验证核心施工工序的进度识别精度,确保监控数据与实际数据的偏差控制在合理范围,以此判定监控方法在进度信息捕捉上的准确性,为方法的实际应用提供数据支撑。

4.3 监控方法的性能分析

监控方法的性能分析围绕运行效率、环境适应性、数据处理能力展开。运行效率方面,分析监控系统在连续工作状态下的响应速度与资源占用情况;环境适应性聚焦不同气象、地形条件对无人机采集精度及BIM模型运算的影响;数据处理能力则评估系统对海量航拍数据的处理效率与融合质量。通过多维度性能分析,明确方法的应用优势与优化方向,提升其在水利工程复杂施工场景下的适用性与稳定性^[5]。

结束语:基于BIM+无人机的水利工程施工进度动态监控方法的研究,明确理论基础、构建管控体系、提出关键方法并验证性能。研究表明,该技术融合模式可有效实现进度实时感知、精准偏差分析与动态预警,显著提升管控效率。但研究仍存在复杂极端环境下数据采集精度优化等不足。未来可进一步完善数据融合算法,结合物联网技术拓展数据采集维度,强化体系在超大跨径水利工程中的适配性,为水利工程建设进度管控提供更全面的智能化解决方案。

参考文献

- [1]张庆萍.基于BIM技术的水利工程施工进度管理优化研究[J].中国科技纵横,2025(13):152-154.
- [2]杨蕙榕.BIM技术在水利工程施工全过程管理中的应用[J].科学与信息化,2024(5):34-36.
- [3]陈云.基于物联网+BIM的水利基建工程施工进度实时监测方法[J].黑龙江水利科技,2025,53(02):147-150.
- [4]宋建忠.无人机遥感技术在水利工程施工进度与质量监控中的应用研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(11):121-124.
- [5]赵薛强,凌峻.无人机自动巡检智慧监控系统研究与应用[J].人民长江,2022,53(6):235-241.