

农田水利BIM与施工工序优化关联

依木然江·穆太力普

新疆峻特设计工程有限公司 新疆 喀什 844000

摘要：针对农田水利工程施工工序衔接混乱、资源配置失衡、管控可视化不足等痛点，本文依托BIM技术理论，探究其与施工工序优化的关联机理。通过搭建3D、4D、5D多维关联模型，从工序流程、资源配置、质量进度多维度提出优化策略。结合中型灌区改造工程实证分析，结果表明该方法可有效缩短工期、节约成本、提升施工质量与资源利用率，可为同类农田水利工程施工管控提供参考。

关键词：农田水利；BIM；施工工序；优化关联

引言：农田水利工程地形工况复杂、施工季节性强、交叉工序繁多，传统施工模式存在工序冲突、资源浪费、质量隐患等诸多问题，制约工程建设提质增效。为破解传统施工管控短板，本文引入BIM数字化技术，阐述相关理论基础，构建BIM与施工工序关联模型，针对性优化施工工序体系。通过工程案例验证优化方案的实用性，旨在推动农田水利施工向精细化、数字化、高效化转型。

1 相关理论与技术基础

1.1 农田水利工程施工工序核心理论

（1）农田水利工程施工特点：工程呈显著分散性，灌区渠系跨越不同地形单元；施工受农作物生长周期制约，具有严格季节性；工况复杂，涉及高填方、深基坑、水下作业等多变环境；配套构筑物繁多，涵洞、渡槽、倒虹吸等异形结构并存。（2）核心施工工序流程：土方开挖及管沟成型→垫层铺设与基础处理→沟渠现浇或衬砌施工→管道运输及热熔/承插连接→闸阀井及控制设备安装→生态护坡砌筑→现场清理及养护收尾。（3）施工工序优化核心准则：确保工序衔接零间隙，避免窝工与二次倒运；资源配置动态平衡，机械、材料、人力投入强度匹配；工期进度可控，设置里程碑节点纠偏机制；质量达标，关键工序一次成优；综合成本最优，实现全要素生产效率最大化。

1.2 BIM技术核心理论与应用特性

（1）BIM技术基本内涵为基于三维数字模型的全生命周期工程信息集成方法，其应用逻辑贯穿设计、施工、运维各阶段，实现“一模到底”的数据流转。（2）BIM核心技术特性：三维可视化，直观呈现复杂渠系空间关系；参数化建模，构件尺寸、材质信息联动修改；碰撞检测，自动识别管线交叉、结构冲突；4D进度模拟，将时间维度融入模型动态演示施工顺序；数据协同共

享，多方在线协同提升管理透明度。（3）农田水利工程BIM应用适配性：适配小型泵站、水闸等构筑物的精细化建模；适应复杂地形条件下的渠线优化设计；满足多专业交叉施工的管控需求，有效协调土建、机电安装、金属结构安装等作业面冲突^[1]。

1.3 BIM与施工工序优化的关联机理

（1）模型关联：将BIM参数化模型中的每一个构件（如管段、镇墩、闸门）与对应的施工工序编码、工艺标准、计划进度数据精准绑定，形成“构件—工序—信息”的一体化数据链条。（2）流程关联：利用BIM动态施工模拟在开工前进行虚拟建造，实现工序衔接的前置预判；自动识别并预警工序逻辑冲突（如管道铺设与护坡施工空间干涉），辅助流程重构与优化。（3）管控关联：基于BIM数据协同平台，实现工序施工质量验评、进度跟踪、资源调配的全方位协同管控，做到“以模管工、以模控料”，提升现场精细化管理水平。

2 基于BIM的农田水利施工工序问题识别与关联模型构建

2.1 传统农田水利施工工序现存问题分析

（1）工序衔接问题：前后工序衔接脱节，例如沟槽开挖完成后未能及时组织垫层铺设与管道安装，导致槽底暴露时间过长，受地下水位影响引发塌方或基底扰动；土建与安装交叉工序冲突频发，如沟渠浇筑与预埋件安装顺序倒置，造成返工凿除；施工顺序不合理，先难后易或先主后次的逻辑颠倒，增加了施工组织难度与临时措施投入。（2）资源配置问题：人力、机械、物料与施工工序匹配度低，例如土方开挖高峰期挖掘机闲置率偏高，而管道安装阶段起重设备又严重不足；材料进场计划与工序进度脱节，管材过早进场占用场地、过晚进场影响连续作业；资源配置失调直接导致局部资源浪费与整体工期延误并存。（3）管控可视化问题：工序施

工依赖二维图纸,现场作业人员对复杂节点空间关系理解困难,施工偏差频发;隐蔽工序(如管道基础处理、止水带安装、回填压实度)缺乏过程可视化记录,验收时问题已封闭覆盖,整改难度大、成本高;问题滞后暴露现象突出,往往在后续工序施工或试通水阶段才发现前期缺陷,造成大面积返工。

2.2 农田水利工程BIM精细化模型构建

(1)建模基础数据采集:利用无人机航测、RTK(实时动态定位)测量获取地形地貌点云数据,整合工程设计图纸、地勘报告中的地质分层与水文参数、施工组织设计中的导流与降排水方案,形成统一的建模基础数据库,确保模型信息源头准确可靠。(2)分专业BIM模型搭建:基于Revit、Civil3D等平台,分别建立沟渠工程(U型槽、现浇矩形渠)、管网系统(PVC/钢管、管件、镇墩)、闸站构筑物(泵房、进出水池、闸门启闭机)、生态护坡等核心构筑物的参数化族库模型;各专业模型按设计坐标及高程整合至统一坐标系下,形成完整的工程BIM基础模型^[2]。(3)模型校验与优化:对整合后的全专业BIM模型进行硬碰撞检测(如管道与地下障碍物、闸门与土建结构)及软碰撞检测(如施工操作空间不足);依据碰撞报告逐一调整模型设计参数;结合现场踏勘核验模型与实际工况一致性,完成精度校核与细节深化,确保模型真实可指导施工。

2.3 BIM与施工工序多维关联模型搭建

(1)3D实体模型与施工工艺工序关联:将各BIM构件按施工段、施工层进行拆分编码,为每一组构件绑定对应的施工工艺标准(如混凝土浇筑温度控制、管道连接压力等级)、工序验收表单及质量检验批划分,明确各工序施工范围边界与工艺执行依据。(2)4D进度维度与工序关联:在BIM模型中引入时间轴参数,将施工进度计划中的各工序开始时间、结束时间、持续时长与对应构件组绑定,生成4D施工进度模拟动画;通过模拟预演验证工序衔接逻辑,设置关键里程碑节点(如通水节点)进行进度预警管控。(3)5D成本资源维度与工序关联:在4D模型基础上叠加工程量清单与资源消耗定额,将各工序所需的人工工日、机械台班、材料用量与BIM构件一一对应;实现依据工序进度自动生成材料采购计划、机械调配方案及资金使用计划,做到资源动态调配与成本精细化管控。

2.4 关联模型运行机制与管控流程

(1)模型动态更新机制:施工全过程中,现场管理人员通过移动端将每日实际施工进度、隐蔽工程影像资料、质量验评结果实时录入BIM协同平台,关联模型根

据反馈数据自动迭代更新剩余工序计划,保持模型与实际施工状态同步。(2)工序问题预警机制:关联模型内置冲突检测算法与进度偏差分析模块,在虚拟建造阶段主动预判工序交叉碰撞、空间干涉等设计缺陷;施工过程中实时比对计划与实际进度,提前3~5天发出工期滞后预警信号,并同步提示资源需求缺口,为纠偏决策提供依据。(3)多方协同管控机制:基于BIM协同管理平台(如广联达BIM5D、品茗CCBIM),为施工单位、设计单位、监理单位及业主方分配分级权限,各方在线查看工序模型、审阅变更签证、签署验收文件;实现工序质量联合验收、设计变更在线流转、进度偏差协同处理的闭环管控,大幅提升沟通效率与决策响应速度^[3]。

3 基于BIM的农田水利施工工序优化策略与案例验证

3.1 基于BIM的施工工序流程优化

(1)前置工序模拟推演:施工准备阶段,将4D进度模型导入虚拟建造平台,逐段推演土方开挖→垫层铺设→管道安装→回填压实→护坡砌筑的全链条工序衔接逻辑;通过模拟提前识别并规避开挖与降水、安装与焊接、回填与检测等工序间的空间交叉与时间冲突,输出最优施工顺序方案。(2)关键工序重点优化:针对土方开挖工序,基于BIM地质模型优化分层分块开挖方案及支撑支护时机;针对管网安装工序,利用模型提取管件转角、三通、变径等节点坐标,预拼装复杂管段并优化焊接或连接顺序;针对闸站机电安装工序,通过模型模拟设备吊装路径及预埋件定位,减少高空作业与结构碰撞风险。(3)冗余工序精简整合:基于BIM施工模拟的时间轴分析,识别并删减因施工组织不当造成的二次倒运、重复搭设、等待验收等非增值环节;将具备并行条件的工序(如沟渠底板浇筑与管沟同步开挖)调整为流水交叉作业,合理压缩工序间隔时间,缩短关键线路总时长达10%~15%^[4]。

3.2 基于BIM的工序资源配置优化

(1)人力资源优化:将BIM模型按施工流水段分解为每日工序作业面,依据各工序劳动定额自动计算各工种每日需求人数,生成劳动力动态调配曲线;施工过程中依据实际进度偏差实时调整人员进场退场计划,避免高峰期用工短缺与低谷期人力闲置。(2)机械设备优化:在BIM协同平台中集成机械台班数据库,依据工序施工节奏与作业面空间条件,统筹安排挖掘机、装载机、起重机、振动碾等设备的进出场时间及每日工作班;通过模型可视化合理规划机械行走路线与停放位置,减少设备转场距离与空驶等待,提升综合设备利用率20%以上。(3)物料供应优化:以BIM模型的构件工程量清

单为基准,结合各工序施工节点精确计算每日物料消耗量,制定“按时、按量、按规格”的物料分批进场计划;设置库存预警阈值,在BIM平台中实时监控管材、钢筋、混凝土等主材的库存水位与进场动态,杜绝物料积压占用场地与短缺导致的停工待料。

3.3 基于BIM的工序施工质量与进度管控优化

(1) 可视化技术交底:在每道工序开工前,利用BIM模型生成三维工艺动画及AR增强现实交底卡片,直观展示管道连接操作要领、模板支设顺序、止水带安装位置等复杂工艺细节,使一线班组快速掌握施工质量标准与操作要点,从源头降低因图纸误读导致的施工偏差。(2) 工序质量动态管控:在BIM模型中预设各工序质量验评点位与验收标准,现场质检人员通过移动端拍照、扫码、填报实测数据完成质量巡检记录,数据自动关联至对应构件形成质量追溯档案;一旦发现质量问题,模型高亮标记缺陷位置并触发整改流程,实现从问题发现到整改复查的闭环追踪^[5]。(3) 进度动态纠偏:每周将实际施工进度录入BIM协同平台,系统自动对比4D模拟计划进度与实际完成进度,在模型中以红黄绿灯色标直观显示提前、滞后、正常区域;对于滞后工序,平台自动分析其对关键线路的影响程度并推荐赶工策略(如增加作业班次、调整施工顺序、增配资源),辅助决策者及时调整周计划。

3.4 工程案例实证分析

(1) 案例工程概况:某中型灌区续建配套与节水改造工程,灌溉面积5.2万亩,新建及改造渠道18.6km,配套建筑物87座(渡槽3座、倒虹吸2座、水闸12座、涵洞70座)。施工重难点:渠道穿越多处冲沟及道路,管线与光缆交叉密集,灌溉期内无法断水,有效工期仅4个月。原方案采用传统分段流水作业,各标段独立施工,存在交叉干扰大、材料堆放混乱、进度管控粗放等问题。(2) BIM工序优化方案落地:施工前搭建全专业BIM模型,完成4D进度模拟和5D资源关联。基于模拟结

果,将原16个施工段重新划为9个均衡流水段,调整管道安装与护坡施工顺序,交叉冲突点由23处减至5处;依据模型输出的人力需求曲线,用工峰值由147人降至112人,设备配置由11台优化至8台;建立BIM协同平台实施周进度动态纠偏,累计预警滞后工序7次,均通过模型分析及及时调整。(3) 优化效果对比分析:工期方面,原计划120天,实际106天,缩短14天(约11.7%);成本方面,节约人工及机械费用约62万元;质量方面,隐蔽工程验收一次合格率由89%提升至96.5%;资源利用率方面,设备闲置率由27%降至9%,材料损耗率由5.5%降至3.2%。综合验证了BIM施工工序优化策略在农田水利工程中的显著成效与推广价值。

结束语

本文完成了BIM技术与农田水利施工工序优化的关联研究,构建了多维协同管控模型,形成了全流程工序优化体系。工程实践证实,BIM技术可有效规避工序冲突、优化资源配置、精准管控施工质量与进度。后续可进一步深化BIM与智能化技术融合,完善动态优化算法,适配更多复杂农田水利工程场景,持续提升农田水利工程数字化施工管控水平。

参考文献

- [1]钟登华,李寅飞,吴斌平.农田水利工程BIM全生命周期施工工序优化机制研究[J].水力发电学报,2023,42(07):112-121.
- [2]刘军,张铭鑫.基于BIM4D仿真的农田水利工程施工工序协同优化研究[J].中国农村水利水电,2024,31(05):189-194.
- [3]王浩,陈曦.小型农田水利工程BIM施工工序缺陷识别与流程重构[J].水利水电科技进展,2022,42(06):76-82.
- [4]梁建波,吴鼎,董平.BIM技术在农田水利工程施工组织与工序设计中的应用[J].水利技术监督,2024,6(08):30-37.
- [5]陈高林.BIM+GIS融合驱动的农田水利施工三维协同管控与工序优化[J].农村科学实验,2025,12(18):55-58.