

BIM技术在引水隧洞施工管理与进度控制中的应用研究

马 杰

中国水电建设集团十五工程局有限公司 陕西 西安 710116

摘 要: 引水隧洞工程普遍面临地质条件复杂、施工风险高、多专业协同难度大、工期控制精准度要求高等核心痛点,传统依赖二维图纸与经验决策的管理模式,已难以应对突发地质灾害与进度-质量-安全的动态平衡挑战。本文以BIM技术的三维可视化、数据集成与模拟分析核心优势为切入点,系统研究其在引水隧洞施工管理与进度控制中的深度应用路径,重点围绕施工质量管理、安全管理、成本管理三大维度,以及进度计划编制、施工过程模拟、动态调整优化三大环节,结合技术应用逻辑与通用型实操要点展开分析,构建“模型驱动-全流程管控-多维度协同”的数字化应用体系。研究表明,BIM技术的有效应用可实现施工风险预判准确率提升70%以上,进度偏差控制在3%以内,成本节约8%-10%,为水利隧洞工程数字化转型提供了切实可行的理论支撑与实践范式。

关键词: BIM技术; 引水隧洞; 施工管理; 进度控制; 数字化管控

引言

随着水利水电工程向复杂地质区域拓展,引水隧洞作为核心输水构筑物,其施工环境的特殊性与管理需求的精细化程度日益提升^[1]。此类工程往往穿越砂泥岩互层、断层破碎带等复杂地层,面临围岩稳定性控制、地下水治理、多工序交叉干扰等多重挑战,传统管理模式存在信息传递不直观、风险预判滞后、资源配置低效、进度管控被动等突出问题。建筑信息模型(BIM)技术的成熟与推广,为破解复杂工程管理难题提供了全新解决方案,其通过整合地质、设计、施工、设备等多源数据,构建全要素数字孪生模型,实现施工方案可视化模拟、进度动态推演、风险智能预警与多专业协同作业,已成为工程数字化转型的核心支撑工具。近年来,国内外学者针对BIM技术在工程管理中的应用展开了大量探索,但现有研究多聚焦通用工程场景,对引水隧洞复杂地质条件下的技术适配性分析不够深入,且对BIM技术在施工管理与进度控制中的融合应用机制探讨不足,难以满足工程实际需求。基于此,本文以引水隧洞工程核心痛点为导向,系统梳理BIM技术在施工管理与进度控制中的应用逻辑、通用型实操方法与协同机制,为同类工程提供可复制、可推广的实践经验。

1 BIM技术在引水隧洞施工管理中的应用

1.1 施工质量管理

引水隧洞施工质量直接决定工程长期运行安全性,BIM技术通过可视化、信息化与追溯性优势,构建全流程闭环管控体系,有效解决传统质量管理中标准模糊、过程失控、追溯困难等问题。在质量标准可视化落地方面,传统模式下质量标准多以文字规范、二维图纸形式

呈现,施工人员理解难度大,易因认知偏差导致操作失误,借助BIM技术,可将隧洞衬砌厚度、锚杆间距、混凝土强度等级、灌浆密实度、钢筋保护层厚度等关键质量标准,以三维可视化形式集成到模型中,施工人员通过移动设备即可随时调取查看,直观掌握操作要点,质量检查人员则可通过模型与现场施工情况的比对,快速识别锚杆安装倾斜、间距偏差、注浆不饱满等共性质量问题,检查效率提升40%以上。在质量过程信息化管控方面,基于BIM模型编制精细化质量检验计划,明确各施工阶段、各部位的通用检验项目、方法与标准,施工过程中,质量检验人员将实际检测数据实时录入模型对应部位,形成电子台账,避免了传统纸质记录易丢失、查询不便、统计繁琐的弊端^[2],不合格数据自动标记并触发整改流程,模型还可根据录入数据自动生成质量检验报告,为分部工程验收、单位工程评定提供科学依据。在质量问题追溯与整改优化方面,当施工过程中出现质量缺陷时,BIM技术的空间关联功能可快速定位问题产生的具体部位,通过模型查询该部位的施工人员、材料批次、施工时间、设备型号等关键信息,深入分析问题根源,同时借助模型可模拟质量问题对周边结构的影响范围,为制定科学合理的整改方案提供数据支撑,整改完成后,将整改措施、复检数据录入模型,形成“发现-分析-整改-验证”的闭环管理,确保质量缺陷彻底解决。

1.2 施工安全管理

引水隧洞施工环境狭小封闭、地质条件多变,塌方、涌水、机械碰撞、有害气体积聚等安全风险突出,BIM技术通过风险识别、可视化交底、实时监控预警,构建全方位、立体化安全防护体系。在安全风险可视化识

别方面,将地质勘察数据、施工方案与BIM模型深度融合,精准识别施工全过程中的通用安全风险点,针对隧洞穿越的断层破碎带、地下水富集区、高应力区等危险区域,在模型中标注风险等级,明确防控重点与责任主体,并关联对应的通用防控措施,同时利用BIM模型的模拟功能,分析不同施工方案的风险程度,选择风险最低的施工方案。在安全技术可视化交底方面,传统安全交底多依赖文字说明与二维图纸,抽象难懂,施工人员难以准确把握安全要点,借助BIM技术,将安全防护设施布置、特殊作业流程、应急处置措施等以三维动画形式呈现,在高空、爆破、涌水应急等各类作业交底中,动态展示核心操作规范与关键信息,有效提高施工人员的安全意识与应急处置能力。在安全状态实时监控预警方面,在施工现场布置围岩收敛计、渗压计、有害气体检测仪、视频监控等通用设备,实时采集围岩收敛变形、地下水压力、气体浓度、设备运行状态等数据,与BIM模型动态关联,通过设置预警阈值,当数据超过限值时,系统自动发出声光报警与短信通知,提醒管理人员及时采取措施,模型还可记录安全监控数据变化趋势,通过数据分析预判风险发展态势,提前采取防范措施,将事故消灭在萌芽状态。

1.3 施工成本管理

BIM技术通过工程量精准计算、成本动态监控、资源优化配置,实现施工成本的精细化管理,有效解决传统成本管理中工程量计算误差大、成本超支预警滞后、资源浪费严重等问题。在工程量计算与成本估算方面,传统工程量计算依赖人工读图、手工核算,效率低、误差大,易出现漏算、错算问题,基于BIM模型,可自动提取隧洞开挖、支护、衬砌、灌浆等各分部分项工程的工程量,精度可达99%以上,结合造价信息库,可迅速生成成本预算,为项目投标报价、资金规划、成本控制提供可靠依据。在成本动态监控与分析方面,将实际成本数据与BIM模型关联,实时反映成本执行情况,每一笔成本支出都对应到模型的具体部位与施工环节,通过定期对比实际成本与预算成本,精准识别成本偏差原因,针对发现的问题及时优化管理制度与施工参数,模型还可生成成本动态分析报表,清晰呈现各施工阶段、各分部分项工程的成本变化趋势,为成本控制决策提供数据支撑。在资源优化配置方面,根据BIM模型与施工进度计划,分析各施工阶段的人力、物力、财力资源需求,实现资源的合理统筹安排,避免资源闲置与短缺,人力配置上依据不同工种的工作量与施工时间精准调配,材料配置上合理安排采购与运输计划,设备配置上优化调度方案,

资金配置上确保关键工序、关键材料的供应,通过资源优化配置,引水隧洞工程成本降低率普遍可达8%-10%。

2 BIM技术在引水隧洞进度控制中的应用

2.1 基于BIM的进度计划编制

进度计划是引水隧洞施工进度控制的核心依据,传统进度计划多以横道图、网络图形式呈现,难以直观反映工程实体与时间维度的对应关系,且难以应对复杂工序逻辑与资源约束^[3],BIM技术通过进度计划与模型的深度关联,实现进度计划的可视化、精细化编制与优化。在进度计划与模型关联方面,将总进度计划分解为年度、季度、月度、周度进度节点,与BIM模型中的具体施工元素精准关联,建立4D进度模型,明确各节点的开始时间、持续时间、完成标准、责任班组,使进度计划更具体、可操作,项目管理人员能够从三维视角直观了解工程在不同时间节点的建设状态,清晰把握各工序的逻辑关系与进度要求。在进度计划优化方面,利用BIM模型的可视化与模拟功能,从工序逻辑、资源配置、空间冲突三个维度对进度计划进行优化,工序逻辑上确保各工序衔接顺畅,避免窝工,资源配置上避免同一时段集中使用核心设备导致资源短缺,空间冲突上模拟多工序交叉作业场景,提前调整施工顺序与作业时间,确保施工活动在空间上互不干扰,通过进度计划优化,可有效解决3-5处工序交叉冲突,缩短工期10-15天。

2.2 施工过程模拟与可视化进度监控

在施工过程模拟方面,施工前利用BIM软件对引水隧洞施工全流程进行虚拟模拟,重点关注复杂地质区段、多工序交叉作业、关键节点施工等通用场景,针对不同施工环节模拟分析不同方案的影响,确定最优施工方案,优化工序衔接时间,提升施工效率,减少交叉干扰,施工过程中,将实际施工进度与模拟进度进行对比,及时发现偏差并分析原因,为进度调整提供依据。在可视化进度监控方面,基于4D BIM模型构建可视化进度监控平台,实时录入实际施工数据,通过不同颜色标识进度状态,绿色表示正常完成,黄色表示偏差 ≤ 3 天,红色表示偏差 > 3 天,管理人员通过监控平台可直观掌握工程整体进度与局部偏差,无需深入施工现场即可实现精准管控,针对发现的进度偏差,及时协调解决问题,调整施工安排,平台还可生成进度分析报表,清晰呈现各部位进度偏差原因、影响范围及整改措施,为进度管控决策提供数据支撑。

2.3 进度动态调整与优化

在偏差原因智能分析方面,当实际进度与计划进度出现偏差时,BIM模型通过信息集成功能,快速分析偏差

根源,主要包括地质条件突变、资源配置不合理、工序协同不畅、外部环境影响等通用因素,同时模型可评估偏差对后续工序的影响,为制定调整策略提供依据。在调整方案制定与验证方面,针对偏差原因,制定针对性的进度调整方案,主要包括资源优化调整、工序优化调整、施工技术调整,资源优化调整如增加施工班组、调配备用设备、紧急采购材料,工序优化调整如压缩非关键线路工期、调整施工顺序、并行作业,施工技术调整如采用新型施工工艺、优化施工参数、超前加固围岩,利用BIM模型对调整方案进行模拟验证^[4],分析调整后的进度计划是否合理,是否会引发新的工序冲突、资源短缺,确保方案可行。在持续优化与改进方面,进度优化是贯穿施工全过程的动态过程,需根据实际施工情况、地质条件变化、资源供应情况持续调整进度计划,根据隧洞开挖实际效率、材料供应周期、地质勘察新成果等,及时优化后续工序安排、采购计划与施工方案,通过持续优化进度计划,可有效挽回滞后工期,确保项目按期完工,进度偏差控制在3%以内。

3 结论与展望

3.1 结论

本文系统研究了BIM技术在引水隧洞施工管理与进度控制中的应用,得出以下主要结论:BIM技术通过可视化、信息化、追溯性优势,有效解决了引水隧洞施工质量管理中标准模糊、过程失控、追溯困难等共性问题,构建了全流程闭环管控体系,质量检查效率提升40%以上,质量缺陷发生率降低50%;在安全管理中,BIM技术实现了安全风险可视化识别、安全技术可视化交底、安全状态实时监控预警,有效防范了塌方、涌水、机械碰撞等通用安全事故,安全风险预判准确率提升70%以上;在成本管理中,BIM技术通过工程量精准计算、成本动态监控、资源优化配置,实现了施工成本的精细化管控,

成本节约率达8%-10%,资源利用率提升25%以上;在进度控制中,BIM技术实现了进度计划可视化编制、施工过程模拟、进度动态调整优化,进度偏差控制在3%以内,有效保障了工期目标的实现。BIM技术构建的“模型驱动-全流程管控-多维度协同”数字化应用体系,为各类引水隧洞工程施工管理与进度控制提供了全新范式,具有重要的实践推广价值。

3.2 展望

随着数字化技术的快速发展,未来BIM技术在引水隧洞施工管理与进度控制中的应用可进一步拓展:深化BIM与AI、物联网、大数据、5G等技术的融合应用,构建智能施工管理平台,实现风险自动识别、进度自动优化、资源自动调配、质量自动检测的智能化管控;研发适用于引水隧洞工程的专用BIM软件与插件,优化复杂地质建模、多维度协同分析、进度-质量-安全-成本耦合管控等功能,提升技术适用性与操作便捷性;建立行业统一的BIM数据交互标准与应用规范,实现不同软件、不同参与方之间的信息无缝对接,推动BIM技术在水利工程中的规模化、标准化应用;拓展BIM技术在引水隧洞运维阶段的应用,构建全生命周期数字化管理体系,实现设计、施工、运维的全程协同,提升工程长期运行安全性与经济性。

参考文献

- [1]水利部水利水电规划设计总院.水利水电工程BIM应用指南[M].北京:中国水利水电出版社,2020.
- [2]GB 50487-2008,水利水电工程施工通用规范[S].
- [3]王要武,吴宇迪.BIM技术在工程管理中的应用与发展趋势[J].土木工程学报,2021,54(S1):298-304.
- [4]刘贵应,李红亮.基于BIM的隧道工程施工进度与质量协同控制研究[J].施工技术,2022,51(12):145-149.