

基于BIM的长距离输水管道全生命周期设计与管

孟超杰

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 基于BIM的长距离输水管道全生命周期设计与管, 通过三维协同设计、参数化建模及冲突检测等技术, 实现规划、设计、施工与运维各阶段信息集成与实时共享。结合GIS+BIM耦合模型优化线路比选, 利用4D施工进度模拟动态管控施工过程, 集成物联网设备实现运维智能预警。该模式有效降低设计变更率与施工成本, 提升全周期管理效率与工程可靠性。

关键词: BIM技术; 长距离输水管道; 全生命周期设计; 管

引言: 长距离输水管道工程面临地形复杂、施工难度大及运维周期长等挑战, 传统管理模式易出现信息断层与决策滞后问题。BIM技术以三维可视化、多专业协同及全生命周期数据集成为核心优势, 能够有效打通工程各阶段信息壁垒, 实现从规划选址到运维管理的精准化与智能化。本文旨在探讨BIM技术在长距离输水管道中的全周期应用路径。

1 BIM 技术理论基础与长距离输水工程特性

1.1 BIM技术核心特征

(1) BIM技术核心特征体现在三维协同设计、参数化建模、冲突检测等关键功能。三维协同设计打破传统二维设计信息孤岛, 实现多专业在同一模型平台实时交互; 参数化建模通过构件参数关联, 可快速响应设计变更; 冲突检测能提前识别各专业间空间碰撞问题, 减少后期返工。(2) 以大河水库工程为例, 其BIM模型有效实现水工、机电、施工专业实时碰撞检测, 数据显示, 该模型使专业间碰撞点识别效率提升60%以上, 提前规避了85%以上可能在施工阶段出现的管线冲突问题。

1.2 长距离输水工程特点

(1) 长距离输水工程具有显著特性, 地形复杂方面, 如哈密某供水配套项目, 95.44km主线需穿越多处冲沟、公路、铁路、丘陵、不同地层, 施工环境复杂; 压力调控要求精密, 需确保输水过程中压力稳定; 且工程运维周期长, 通常达数十年甚至更久。(2) 结合《长距离输水系统生命周期安全评价》研究成果, 此类工程面临水锤效应、地质灾害等风险, 水锤效应可能导致管道破裂, 地质灾害会影响工程结构稳定性。

1.3 BIM技术应用适配性

(1) BIM技术在长距离输水工程中具有适配性, 其可视化决策支持功能可直观呈现工程方案, 辅助决策; 多专业协同能力能整合各专业资源, 提升工作效率; 运

维可追溯性便于工程后期运维管理, 追踪设备状态。

(2) 贵州某调水工程应用BIM技术的数据显示, 设计变更率降低42%, 减少了设计反复带来的成本浪费; 施工进度偏差控制在3%以内, 保障了工程按计划推进, 充分体现了BIM技术的应用价值。

2 基于 BIM 的长距离输水管道全生命周期设计与管

2.1 规划阶段数字化决策

(1) 在规划阶段, 数字化决策的核心是建立GIS+BIM耦合模型, 通过深度整合1:2000带状地形图与水文年鉴数据, 实现工程区域地理信息与管道模型的精准关联。1:2000带状地形图能清晰呈现工程沿线地形起伏、植被分布及周边基础设施布局, 水文年鉴数据则提供多年降水、径流、水位变化等关键水文信息, 二者与BIM模型结合后, 可直观反映管道线路与自然环境的相互作用, 为线路规划提供精准的数据支撑, 避免因地形勘察不细致或水文数据缺失导致的规划偏差^[1]。(2) 基于GIS+BIM耦合模型, 进一步开发多方案比选模块, 该模块具备经济指标对比、环境影响评估等核心功能。以哈密某供水配套项目95.44km输水管线工程为例, 在模块中导入不同线路方案的BIM模型后, 可自动计算各方案的管材用量、施工成本、征地费用等经济指标, 生成成本对比报表; 同时, 结合GIS地理信息分析各方案对沿线生态敏感区、耕地、居民点的影响程度, 通过量化评分评估环境风险, 最终辅助决策人员筛选出经济合理且环境影响最小的最优线路方案, 大幅提升规划决策的科学性与效率。

2.2 设计阶段协同优化

(1) 设计阶段重点构建ProjectWise协同平台, 打破土建、机电、管道专业间的设计壁垒, 实现实时设计联动。平台为各专业设计人员提供统一的模型存储与交互空间, 土建专业在模型中完成管廊结构、基础承台设

计后,机电专业可实时获取结构尺寸信息,精准布置水泵、阀门等设备的安装位置;管道专业则能结合土建结构与机电设备布局,优化管道走向与接口设计,避免传统设计中各专业图纸脱节导致的衔接问题。此外,平台具备设计版本管理与权限控制功能,可追踪每一处设计变更的发起人与修改内容,确保设计过程可追溯。(2)为提升设计精度,在协同平台中引入水流模拟、结构分析插件。水流模拟插件可模拟不同工况下管道内的水流速度、压力分布,及时发现局部水头损失过大的问题;结构分析插件则能对管道及支撑结构进行力学计算,优化管道纵断面设计,例如通过参数化建模精确控制纵坡坡度,避免因坡度不合理导致的水流淤积;同时,对管道与基础接触的包角垫层进行参数化设计,确保垫层能有效分散管道荷载,提升结构稳定性^[2]。

2.3 施工阶段动态管控

(1)施工阶段通过开发4D施工进度模型,将PrimaveraP6进度计划与BIM构件深度关联,实现施工进度的可视化与动态管控。在模型中,每个BIM构件都对应着具体的施工任务、工期与资源需求,通过时间维度的叠加,可直观展示工程从开工到竣工的全过程进度计划。施工过程中,若某一构件的实际施工进度滞后于计划,模型会自动高亮提示,管理人员可快速定位滞后原因,及时调整施工方案与资源配置,确保工程整体进度不受影响。(2)建立施工现场实时数据接口,实现施工过程关键数据的动态采集与分析。通过在施工现场部署传感器与移动采集设备,实时获取土方开挖量、混凝土浇筑量、管道安装精度等数据,并将数据自动传输至BIM模型中。模型可对土方开挖量进行动态核算,对比实际开挖量与设计量的偏差,避免超挖或欠挖;同时,对管道安装的轴线偏差、高程偏差等质量数据进行实时分析,若偏差超过允许范围,系统会自动发出质量预警,提醒施工人员及时整改,保障施工质量^[3]。

2.4 运维阶段智能管理

(1)运维阶段构建BIM+物联网设备监控系统,将管道沿线的压力传感器、流量计、水质检测仪等物联网设备与BIM模型无缝集成。在BIM模型中,可实时查看各设备的运行数据,例如管道内的实时压力、水流流量、水质指标等,若某一指标出现异常,模型会自动定位异常设备的位置,并发出报警信号,运维人员可快速赶赴现场进行检修,避免故障扩大化。此外,系统还能对设备运行数据进行历史趋势分析,预测设备潜在故障风险,实现预防性维护。(2)开发运维知识库,为长距离输水管道的长期运维提供数据支撑与经验参考。通过收集某调水工程10年的

运维日志,包括设备故障记录、检修方案、维护成本、故障处理效果等信息,对数据进行结构化整理与分析,构建故障预测模型。该模型可根据设备运行时间、运行环境、历史故障数据等因素,预测设备可能出现的故障类型与故障时间,为运维人员制定维护计划提供依据。同时,运维知识库还收录了各类故障的典型处理案例,运维人员在遇到相似问题时,可快速查询案例中的解决方案,提升故障处理效率,降低运维成本。

3 长距离输水管道 BIM 应用关键技术

3.1 参数化管道建模

(1)针对长距离输水管道常用管径范围,制定DN900-DN2000管径标准化构件库,涵盖钢管、PCCP管(预应力钢筒混凝土管)、玻璃钢管、球墨铸铁管、钢筋混凝土管等5类核心管材参数。构件库中不仅包含管材外径、壁厚、公称压力等基础参数,还关联了管材的力学性能、耐腐蚀等级、安装接口形式等关键信息,可直接调用至BIM模型,避免重复建模,提升设计效率。(2)开发自适应地形管道廊道生成算法,该算法能自动读取1:500精度的地面线数据,结合管道设计坡度、埋深要求,智能调整管道廊道走向与高程,实现地面线自动匹配。即使在山地、河谷等地形起伏较大区域,也能快速生成符合工程要求的管道廊道模型,减少人工调整工作量,保障模型与实际地形的贴合度^[4]。

3.2 冲突检测与优化

(1)建立多专业冲突检测规则库,规则库覆盖管道与地质层、既有设施的空间关系判断。例如明确管道与软弱土层的最小距离要求,避免管道因地质沉降受损;规定管道与既有道路、地下管线、建筑物基础的安全间距,防止施工时对周边设施造成破坏,为冲突检测提供明确判定依据。(2)某长距离输水项目应用该规则库,通过BIM模型对设计方案进行全面检测,提前发现并解决37处设计冲突,包括管道与地下电缆的交叉冲突、管道与山体支护结构的空重叠冲突等,避免了施工阶段因设计冲突导致的返工,节省工期约20天。

3.3 施工模拟与优化

(1)开发关键工序4D模拟系统,重点针对碾压混凝土坝浇筑、大口径管道焊接等复杂工序,将施工进度计划与BIM模型关联,通过时间维度动态展示施工过程。系统可模拟碾压混凝土坝的分层浇筑顺序、振捣位置与时间,以及大口径管道的焊接流程、焊接参数控制,直观呈现施工细节。(2)某项目借助该系统对施工方案进行模拟优化,提前识别交叉作业风险点,调整施工工序衔接顺序,最终将交叉作业冲突减少63%,降低了施工安全

隐患，同时提升了关键工序的施工效率，确保工程按期推进。

3.4 运维预警系统

(1) 构建设备健康度评估模型，集成管道沿线泵站、阀门等设备的振动监测、温度传感、压力监测等实时数据。模型通过分析数据变化趋势，评估设备运行状态，划分健康等级，为运维人员提供设备健康状况直观参考。(2) 基于该模型，在某项目中实现泵站轴承温度超限与主泵停运的联锁控制功能。当传感器检测到轴承温度超过设定阈值时，系统自动触发预警，若温度持续升高，将直接控制主泵停运，避免设备因过热损坏，保障输水系统稳定运行。

4 长距离输水管道 BIM 应用的挑战与对策

4.1 技术挑战

(1) 在数据兼容性方面，长距离输水管道BIM应用面临多软件模型整合难度大的问题。工程中常涉及设计、分析、施工等多类软件，如设计阶段用Revit建模、分析阶段用ANSYS进行结构计算、施工阶段用Navisworks模拟，不同软件数据格式差异显著，模型导入导出时易出现信息丢失或格式错乱，导致各环节数据无法顺畅流转，需开发适配多软件的中间数据转换接口，实现数据跨平台高效传输。(2) 模型精度控制存在难点，长距离管线往往穿越山地、河谷等复杂地形，地形条件随施工推进可能发生变化，而初始建模采用的TIN文件（不规则三角网）若未及时更新，会导致模型与实际地面线偏差增大，影响管道廊道设计、土方量核算等工作精度，需建立动态更新机制，根据现场勘察数据实时调整TIN文件，确保模型与实际地形精准匹配。

4.2 管理挑战

(1) 协同机制不完善成为突出问题，长距离输水工程参与方多，设计、施工、运维单位分属不同阶段，各单位数据需求与更新频率不同，却缺乏明确的权限划分与数据共享规则，易出现数据更新不同步、关键信息遗漏等情况，例如施工单位发现设计问题后，无法及时将修改建议反馈至设计端，导致施工与设计脱节。(2) 标准缺失制约BIM应用深化，目前行业内针对长距离输水管道BIM全生命周期的交付标准、验收规范尚未统一，各项

目对模型深度、数据交付内容的要求存在差异，导致模型在设计向施工、施工向运维传递时，难以满足后续阶段需求，降低了BIM技术的应用价值。

4.3 对策建议

(1) 推广IFC开放标准，构建统一的数据交换框架，IFC标准可实现不同软件间的数据互认，减少数据转换过程中的信息损耗，同时明确各阶段数据交付格式与内容，确保设计、施工、运维阶段的模型数据无缝衔接，提升数据共享效率。(2) 制定针对性的BIM应用指南，结合长距离输水管道工程特点，明确规划、设计、施工、运维各阶段的模型深度要求、交付节点与验收指标，例如规定设计阶段模型需包含管道材质、接口参数等详细信息，施工阶段模型需关联进度计划与成本数据，为项目全周期BIM应用提供依据。(3) 加强复合型人才培养，通过校企合作、职业培训等方式，培养既掌握BIM建模、数据分析技术，又熟悉水利工程设计、施工、运维专业知识的人才，解决当前行业内BIM技术人员与水利专业人员知识割裂的问题，为长距离输水管道BIM应用提供人才支撑。

结束语

BIM技术为长距离输水管道全生命周期管理提供了数字化革新路径，通过信息集成与协同优化，显著提升了工程规划的科学性、设计的精准性、施工的高效性及运维的智能性。未来，随着BIM与物联网、大数据等技术的深度融合，其应用潜力将进一步释放，助力行业实现降本增效与可持续发展。持续完善标准体系、强化人才培养，是推动BIM技术全面落地的关键方向。

参考文献

- [1] 蒋晓艳.山区长距离输水管道设计施工技术探讨[J].珠江水运,2020,(05):54-55.
- [2] 姬宏奎,田蒙.长距离输水管道智能建模系统研究与应用[J].水利技术监督,2025,(04):54-56.
- [3] 李燕波,廖柯.长距离输水管道系统自动化控制运行管理模式[J].西北水电,2019,(10):98-100.
- [4] 苏俊杰.长距离输水管道工程设计分析[J].林业科技情报,2024,(13):184-186.