

# 基于 BIM 技术的一次网施工过程优化与质量控制研究

张骞

包头市热力(集团)有限责任公司

DOI:10.12238/etd.v6i10.17154

**[摘要]** 本文以供热一次网工程为研究对象,系统分析了当前施工过程中存在的主要问题,构建了基于BIM技术的施工过程优化与质量控制体系,并通过实际工程案例验证了该体系的有效性。研究表明:BIM技术能够显著提升施工前的碰撞检测精度、施工中的进度与资源协调效率,以及施工后的质量追溯能力;同时,结合物联网(IoT)、地理信息系统(GIS)等技术,可实现对焊接、防腐、回填等关键工序的全过程质量监控。本研究为供热一次网工程的数字化、智能化建造提供了理论支撑与实践参考。

**[关键词]** BIM技术; 供热一次网; 施工优化; 质量控制; 数字孪生; 协同管理

**中图分类号:** TU995.3 **文献标识码:** A

## Research on Optimization and Quality Control of Primary Heating Network Construction Process Based on BIM Technology

Qian Zhang

Baotou Heating (Group) Co., Ltd.

**[Abstract]** This study takes the primary heating network project as the research object, systematically analyzes the main problems existing in the current construction process, constructs a BIM technology-based construction process optimization and quality control system, and verifies the effectiveness of the system through practical engineering cases. Research shows that BIM technology can significantly improve collision detection accuracy before construction, enhance coordination efficiency of progress and resources during construction, and strengthen quality traceability capabilities after construction. Meanwhile, by integrating technologies such as the Internet of Things (IoT) and Geographic Information System (GIS), the entire process quality monitoring of key procedures such as welding, anti-corrosion, and backfilling can be achieved. This study provides theoretical support and practical references for the digital and intelligent construction of primary heating network projects.

**[Key words]** BIM Technology; Primary Heating Network; Construction Optimization; Quality Control; Digital Twin; Collaborative Management

### 引言

集中供热是我国北方冬季主要采暖方式,清洁取暖政策推动下,供热管网建设规模不断扩大。供热一次网连接热源与区域换热站,输送高温高压介质,其安全稳定运行关乎整个供热系统可靠性。但一次网工程有敷设路径长、管径大、压力高、地下环境复杂等特点,施工常要穿越敏感区域,与既有市政管线交叉多。传统二维图纸主导的施工模式,设计意图难直观呈现,各专业协同差,施工阶段“错、漏、碰、缺”问题频发,既造成返工浪费,又埋下安全隐患。而且质量控制多靠人工巡检和纸质记录,难以精细化管理。近年来,相关政策文件推动BIM技术在基础设施领域深度应用成为行业共识。不过,目前BIM在供热工程研究多集中于设计阶段,施工阶段多停留在可视化交底,缺乏对施工流程优化与质量控制机制的系统研究。所以,将BIM技术深度融

入供热一次网施工全过程,构建可操作、量化的优化与质量控制体系,兼具理论价值与实践意义。

### 1 供热一次网施工过程中的主要问题分析

#### 1.1 设计与施工脱节

在传统模式下,供热一次网的设计成果主要以二维CAD图纸形式交付,施工方需根据平面图、剖面图自行推演空间关系并进行现场放样。这种信息传递方式不仅效率低下,而且极易因理解偏差导致定位错误。尤其在管线穿越既有构筑物或与其他市政管线交叉的区域,缺乏三维空间预判能力,往往在开挖后才发现冲突,被迫停工调整方案,造成工期延误和成本增加。此外,设计变更频繁且难以及时同步至施工端,进一步加剧了设计与施工之间的脱节。

#### 1.2 多专业协同困难

供热一次网施工涉及土建开挖、管道安装、焊接作业、防腐处理、无损检测、回填压实等多个专业工种,同时还需与市政、交通、园林、电力等多个外部单位协调。由于缺乏统一的信息共享平台,各方沟通主要依赖纸质文件、电话或临时会议,信息传递滞后且容易失真。例如,土建单位完成管沟开挖后若未及时通知管道安装队伍,可能导致窝工;而防腐施工若在焊接质量未确认前进行,则可能掩盖缺陷,埋下安全隐患。这种碎片化的管理模式严重制约了整体施工效率与质量保障能力。

### 1.3 质量控制手段落后

当前供热一次网的质量控制仍以事后抽检为主,缺乏过程干预能力。关键工序如焊缝质量、防腐层完整性、回填密实度等,多依赖人工目视检查或抽样试验,难以覆盖全部作业点。一旦工程投入运行后发生泄漏,往往需要耗费大量人力物力进行排查,且难以精准定位问题源头<sup>[1]</sup>。同时,质量记录多为纸质档案,分散保存,不利于后期追溯与经验积累。这种被动式、非连续的质量管理模式,已难以满足现代高标准供热工程的要求。

### 1.4 进度与资源管理粗放

施工进度计划通常采用甘特图编制,无法与实际空间位置关联,管理人员难以直观掌握各区段施工状态。材料、机械、人力等资源调配缺乏实时数据支撑,常出现某区域材料堆积而另一区域停工待料的情况。此外,进度偏差分析滞后,往往在问题累积到一定程度后才被发现,导致纠偏成本高昂。这种粗放式的管理方式,不仅影响工期履约,也增加了项目整体风险。

## 2 基于BIM的供热一次网施工优化体系构建

### 2.1 总体架构

本文提出“1+3+N”BIM应用架构:

1个核心:以BIM模型为核心载体,集成几何、属性、进度、质量等多维信息;

3个阶段:覆盖施工准备、施工实施、竣工移交三个阶段;

N个应用场景:包括碰撞检查、4D/5D模拟、施工交底、质量巡检、资料归档等。

### 2.2 施工准备阶段优化

#### 2.2.1 三维协同设计与碰撞检测

在施工准备阶段,首先将设计院提供的CAD图纸转换为LOD300精度的BIM模型,并整合周边地形数据、既有地下管线普查成果(可通过GIS系统或探地雷达获取)。在此基础上,利用Navisworks等软件进行全专业碰撞检测,不仅识别实体干涉(硬碰撞),还检查安全间距不足(软碰撞)。例如,在某项目中,模型提前揭示供热管道与地铁隧道净距仅为0.8米,低于规范要求的1.5米,设计团队据此优化路由,避免了后期重大变更和巨额赔偿。这种前置化的冲突预警机制,显著降低了施工风险与成本。

#### 2.2.2 4D施工模拟与进度优化

将BIM模型与Project或P6编制的进度计划进行关联,生成4D施工模拟动画。通过动态推演,项目团队可直观观察各工序的空间布局与时间逻辑,识别潜在的资源冲突或关键线路瓶颈。例如,模拟显示某路段因交通导改限制只能夜间施工,但管道焊接

需连续作业以保证质量,据此调整施工顺序,将该段安排在前期完成,确保焊接工艺不受干扰<sup>[2]</sup>。这种基于模型的进度优化,使计划更具可执行性,有效缩短了总工期。

### 2.2.3 虚拟施工交底

传统的技术交底依赖口头讲解或二维图纸展示,施工人员理解程度参差不齐。借助BIM模型,可开展沉浸式虚拟交底:技术人员在三维环境中演示弯头角度、坡度控制、阀门井构造等细节,工人通过平板或VR设备直观查看。这种交互式交底方式大幅降低了沟通误差,尤其适用于复杂节点或新工艺推广,提升了施工一次合格率。

### 2.3 施工实施阶段优化

#### 2.3.1 基于BIM的现场放样

将BIM模型中的坐标数据导入全站仪或RTK高精度定位设备,实现自动化现场放样。施工人员无需反复计算,只需按设备指引即可准确定位管沟中心线、阀门井位置及转弯点。该方法特别适用于大管径、长距离的一次网工程,有效减少了人为测量误差,提高了管线铺设的平直度与坡度控制精度。

#### 2.3.2 物料与资源动态管理

在BIM模型中为每段预制管道赋予唯一编码(如二维码或RFID标签),并与材料规格、供应商信息、进场时间、检验报告等数据绑定。施工过程中,通过移动端扫描标签即可调取相关信息,并记录安装状态<sup>[3]</sup>。结合5D成本管理模块,系统可实时统计材料消耗量,自动比对预算,对异常损耗发出预警。这种精细化的物料管理,既防止了浪费,又保障了材料可追溯性。

#### 2.3.3 协同管理平台应用

搭建基于云的BIM协同平台(如广联达协筑、Autodesk ConstructionCloud),实现设计、施工、监理、业主等多方在线协作。现场发现的问题可直接在模型对应位置标注,指派责任人并跟踪整改闭环。所有沟通记录、变更文件、验收资料均与模型构件关联,形成完整的数字档案。这种透明化、结构化的协同机制,显著提升了问题响应速度与决策效率。

## 3 基于BIM的供热一次网质量控制机制

### 3.1 质量控制关键点识别

根据《城镇供热管网工程施工及验收规范》(CJJ28),供热一次网的关键质量控制环节包括管沟开挖与基础处理、管道焊接(需100%无损检测)、防腐层施工(须经电火花检漏)、阀门安装与强度试验、回填压实度控制以及整体水压试验等。这些工序直接影响管网的密封性、耐久性与运行安全,必须在施工过程中严格把控。

### 3.2 BIM驱动的质量控制流程

本文构建了以BIM模型为中心的PDCA(计划—执行—检查—改进)质量控制循环。在计划阶段,项目团队在模型中标注所有质量控制点,明确检查标准、频次与责任人;执行阶段,施工人员通过移动端APP扫描构件二维码,上传焊接参数、防腐照片、检测报告等过程数据;检查阶段,监理人员在模型对应位置审核资料,系统自动比对规范阈值,异常项即时触发预警;改进阶段,

质量问题被关联至具体模型构件,形成闭环整改记录,并纳入企业知识库用于后续项目借鉴。这一流程实现了质量数据的结构化采集与动态监控,变“事后纠偏”为“过程预防”。

### 3.3 关键技术融合

为提升质量控制的智能化水平,BIM技术需与物联网(IoT)、无人机、GIS等前沿技术深度融合。在焊接作业中,可在自动焊机上加装传感器,实时采集电流、电压、送丝速度等参数,通过IoT平台上传至BIM模型,系统自动判断焊接质量是否达标;对于防腐层施工,电火花检漏仪的数据也可实时回传,确保100%覆盖检测。同时,利用无人机定期航拍施工现场,生成实景三维模型,与BIM设计模型进行偏差分析,快速识别回填不到位、堆土侵占作业面等问题<sup>[4]</sup>。此外,竣工阶段形成的高精度BIM模型(LOD500)包含所有设备参数、检测记录与隐蔽工程影像,可无缝移交至智慧供热运维平台,为后期泄漏定位、寿命预测提供坚实数据基础,真正实现“建管一体”。

## 4 工程案例

### 4.1 项目概况

选取某北方城市新建供热一次网工程作为案例,该工程全长12.6公里,管径范围为DN800至DN1200,设计压力1.6MPa,需穿越7处城市主干道及2条河道,施工环境复杂,协调难度大。按传统模式预计工期180天,质量风险较高。

### 4.2 BIM实施过程

项目启动后,首先整合1:500地形图与地下管线普查数据,建立LOD300精度的BIM模型。通过碰撞检查,共发现17处硬碰撞和23处软碰撞,经优化路由后避免了重大设计变更,节约费用约85万元。随后,将施工进度计划与模型关联,开展4D模拟,识别出3个关键拥堵点,通过调整工序顺序,成功缩短工期15天。在质量控制方面,为每道焊缝生成唯一二维码,焊接参数由智能焊机自动上传;防腐层电火花检测结果实时关联至模型构件。同时,项目采用BIM协同平台,累计处理各类协同问题213项,平均响应时间从3天缩短至8小时,极大提升了管理效率。

### 4.3 应用效果评估

对比传统模式与BIM模式的关键指标可见,BIM技术带来了显著效益:设计变更次数由28次降至9次,返工率从6.2%下降至1.8%,工期不仅未延误反而提前5天完成,质量问题追溯时间从

超过3天缩短至1小时内,协同会议次数减少44%。这些数据充分证明,BIM技术在提升供热一次网施工效率与质量管理水平方面具有强大潜力。

## 5 讨论与挑战

尽管BIM技术优势显著,但在供热一次网工程中的规模化推广仍面临多重挑战。首先,行业缺乏统一的BIM建模与交付标准,不同单位模型深度、数据格式不一,影响协同效率;其次,既精通BIM技术又熟悉供热工艺的复合型人才严重短缺,制约了技术落地;再次,中小企业对初期软硬件投入和人员培训成本存在顾虑,接受度不高;最后,BIM模型与政府监管平台、智慧供热运维系统尚未完全打通,存在数据孤岛问题。未来应加快制定供热管网BIM应用标准,加强校企合作培养专业人才,并探索轻量化、模块化的BIM解决方案以降低应用门槛。

## 6 结语

本文系统研究了BIM技术在供热一次网施工过程优化与质量控制中的应用路径与实践效果。研究表明,BIM技术通过三维可视化与信息集成,有效弥合了设计与施工之间的鸿沟,显著减少了设计变更与返工;基于BIM模型构建的PDCA质量控制流程,结合IoT、GIS等技术,实现了对焊接、防腐、回填等关键工序的全过程、可追溯管理;工程案例验证了其在缩短工期、降低成本、提升质量方面的综合效益。未来,随着数字孪生、人工智能等技术的深度融合,BIM将在供热管网全生命周期管理中发挥更大价值,助力城市供热系统向绿色、智能、韧性方向高质量发展。

## [参考文献]

- [1] 延炜. BIM技术在供热工程管理中的应用浅析[J]. 中国设备工程, 2023, (13): 220-222.
- [2] 张旭, 薛紫航, 乔建林. 基于BIM技术的建筑给排水供热管网协同设计与优化[J]. 城市开发, 2025, (03): 153-155.
- [3] 董辉, 章拓. 浅析BIM技术在供热工程施工管理中的应用[C]//中国市政工程华北设计研究总院有限公司,《煤气与热力》杂志社有限公司,中国建设科技集团股份有限公司. 2022供热工程建设与高效运行研讨会论文集. 天津市城安热电有限公司, 2022: 692-697.
- [4] 孙鹏. 计算机BIM技术在供热工程管理中的应用浅析[J]. 信息系统工程, 2018, (08): 134-135.