

基于 BIM 的工艺管道预制化施工质量智能管控系统开发

郑镇涛

浙江华建工程管理有限公司 浙江杭州

【摘要】 基于建筑信息模型 (BIM) 的工艺管道预制化施工质量智能管控系统通过数字化技术与智能算法的深度融合, 实现从设计、生产到施工全过程的质量可视化与动态管控。系统以 BIM 模型为核心, 结合物联网传感器与大数据分析, 实时采集管道预制及安装过程中的关键质量参数, 实现智能检测、异常预警与优化决策。该方法有效提高施工精度, 降低返工率, 提升项目整体管理效率, 满足现代工程对高质量、低成本和高效交付的要求。

【关键词】 BIM; 工艺管道; 预制化施工; 质量管控; 智能系统

【收稿日期】 2025 年 7 月 16 日

【出刊日期】 2025 年 8 月 15 日

【DOI】 10.12208/j.jer.20250376

Development of intelligent control system for quality of prefabricated construction of process pipeline based on BIM

Zhentao Zheng

Zhejiang Huajian Engineering Management Co., LTD, Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】 The intelligent quality control system for prefabricated process pipeline construction based on Building Information Modeling (BIM) integrates digital technology with smart algorithms to achieve visualized and dynamic quality management throughout the design, production, and construction phases. Centered on BIM models, the system combines IoT sensors and big data analytics to collect real-time critical quality parameters during pipeline prefabrication and installation, enabling intelligent monitoring, anomaly alerts, and optimized decision-making. This approach significantly improves construction precision, reduces rework rates, enhances overall project management efficiency, and meets modern engineering requirements for high-quality, cost-effective, and efficient project delivery.

【Keywords】 BIM; Process pipelines; Prefabricated construction; Quality control; Intelligent system

引言

随着工程项目规模的不断扩大与施工技术的持续发展, 传统工艺管道施工方式在质量控制与进度管理上暴露出诸多局限。预制化施工的出现为工艺管道工程带来新的解决思路, 但如何在复杂工况下实现高质量、高效率的施工仍是亟待突破的关键问题。通过引入 BIM 技术并融合智能管控系统, 能够在设计、生产与施工各环节实现数据互联、过程可视和质量可控, 从而为工程建设提供更精准的技术支持与管理依据。

1 工艺管道预制化施工质量管理面临的核心问题

工艺管道预制化施工在现代大型工程建设中被广泛应用, 但在质量管理方面仍然面临多重挑战。由于管道系统涉及管径多样、工艺复杂、焊接精度高等特点, 传统施工方式中常见的现场切割、焊接和组装方法易产生尺寸偏差与质量隐患。尤其在大型化工、能源、冶金等项目中, 管道预制件数量庞大, 构件间的接口精度

要求极高, 一旦出现偏差会直接导致后续安装困难和返工率上升^[1]。预制化生产与现场施工环节相互依赖性强, 但两者之间信息传递滞后、设计变更响应不及时等问题频发, 增加了质量控制的难度。

在传统质量管理模式下, 工艺管道预制化施工仍主要依赖人工检验与经验判断, 缺乏高效的数据化支撑, 导致质量管控存在滞后性与局限性。由于 BIM 模型应用尚未全面深入, 设计信息与生产数据、施工参数往往无法实现高效互通, 使得质量问题难以在早期被及时识别。例如, 管段焊口质量、坡口角度、对接精度等关键参数难以在预制阶段实现实时监控, 焊缝无损检测结果与施工进度的同步性不足, 增加了潜在质量风险。复杂工况下的空间碰撞、材料变形、应力集中等隐蔽问题, 若缺乏可视化的分析与预测手段, 极易在安装阶段造成返工和工期延误。

随着工程项目规模的不断扩大和管道系统复杂度

的提升,单纯依靠人工管理已无法满足高精度、高效率的施工要求。预制化施工需要在设计、生产和现场安装等多个环节实现信息集成和动态反馈,而现有的质量管理体系在数据采集、实时监测和问题溯源等方面尚不完善^[2]。缺少基于BIM技术的全生命周期质量管理手段,使得设计与施工脱节,质量问题处理滞后,返工成本和安全风险不断增加。面对多专业协同与多工序并行的施工环境,如何借助数字化、智能化的管控手段实现全过程的高效质量管理,已成为工艺管道预制化施工领域亟待解决的核心问题。

2 基于BIM的工艺管道预制化施工智能管控体系构建

基于BIM的工艺管道预制化施工智能管控体系以建筑信息模型为核心,通过数字化技术与智能化手段实现多环节协同与全过程质量管理。该体系在设计阶段依托BIM模型对管道预制件进行三维建模和参数化定义,确保每一段管道、每一个接口和焊口的几何尺寸精确无误^[3]。利用碰撞检测、空间优化和工艺仿真等技术,提前识别安装冲突、焊缝干涉及材料变形风险,从源头上避免设计缺陷导致的质量隐患。通过与材料数据库和工艺标准的集成,系统能够自动生成预制加工参数、焊接工艺卡和安装方案,大幅提升设计与生产的一致性,保证预制化施工环节的可控性与可追溯性。

在生产制造阶段,智能管控体系通过与物联网设备深度结合,实现对预制加工全过程的动态监测。系统将BIM模型中的设计数据与数控切割、坡口加工、自动焊接等设备参数直接对接,确保管段生产精度满足设计要求。通过RFID标签、二维码等技术,实现对每根管段的身份识别与生产状态跟踪,实时采集尺寸偏差、焊缝质量、材料性能等关键数据,并与BIM模型建立一一对应的数字映射关系。通过云端数据中心整合检测结果与施工计划,实现预制工厂与现场安装的同步管理。若在加工过程中发现焊接缺陷或材料问题,系统能够自动预警并调整生产计划,避免问题管段流入施工环节,从而有效提升质量管控的及时性和准确性。

在施工安装阶段,智能管控体系依托BIM可视化技术和大数据分析实现全过程精细化管理。安装人员可通过移动终端实时查看三维模型、安装顺序及工艺参数,确保施工方案与设计模型高度一致。利用激光扫描与全站仪测量技术,将现场安装数据与BIM模型进行比对,快速定位偏差并自动生成调整建议,避免因误差累积导致的结构干涉和返工^[4]。系统与无损检测设备

集成,实时上传焊缝检测结果、压力测试数据和密封性验证信息,通过数据分析和趋势预测实现质量问题的早期预警。借助BIM与智能管控的融合,设计、生产、施工三者形成高度闭环,信息共享与数据交互贯穿全生命周期,为工艺管道预制化施工提供高精度、高效率和高可靠性的技术支撑。

3 工艺管道预制化施工全过程质量智能管控方法研究

工艺管道预制化施工全过程质量智能管控方法依托BIM技术、物联网、大数据分析等多种数字化手段,将设计、生产、运输、安装和检测等多个环节紧密结合,实现全过程、全要素、全周期的质量控制^[5]。通过在BIM模型中集成设计参数、施工工艺和材料信息,形成高度信息化的数字化基础,实现从预制设计到现场安装的精准对接。设计阶段可利用三维仿真技术对管道系统进行碰撞检测与空间优化,提前识别施工干扰、接口冲突、焊口密度不合理等潜在风险,并将优化后的工艺参数直接推送至生产环节,确保每一个预制件在出厂前即符合设计精度和施工要求。

在生产与运输环节,质量智能管控方法通过数控设备、传感器与BIM模型的联动,实现对加工精度、焊缝质量和构件状态的实时监控。结合自动化坡口加工、智能焊接和非接触式尺寸检测技术,系统能够快速识别焊缝缺陷、管段变形和材料性能偏差,并在数据异常时自动触发报警和工艺优化机制。预制完成后,管段会被赋予RFID或二维码标识,生产数据、检测结果和安装位置信息与BIM模型一一对应,保证了管道全生命周期可追溯。运输阶段通过GPS与物联网平台实时跟踪管段位置与运输状态,在出现震动超标、温湿度异常或损伤风险时自动预警,确保预制件以最优状态交付施工现场,为后续安装质量提供基础保障。

在安装与检测阶段,质量智能管控方法依托移动终端和可视化技术,使施工人员能够实时调用三维模型、工艺参数及检测要求,实现与BIM模型一致的高精度安装。激光扫描、全站仪测量和点云对比等技术将安装状态与BIM模型进行实时比对,快速发现偏差并自动生成调整方案,避免因误差累积导致的结构冲突或返工^[6]。焊缝无损检测、压力试验和密封性验证等检测数据实时上传至云端,系统通过大数据分析评估焊接质量和运行可靠性,并结合机器学习算法实现对潜在缺陷的预测预警。这一方法不仅实现了设计、生产、施工和检测的多方协同,还通过数据闭环与动态反馈提升了预制化施工的整体质量控制能力,为工艺管道

工程在复杂工况下的高效建造提供了有力技术支撑。

4 基于BIM的工艺管道预制化施工质量提升效果分析

基于BIM的工艺管道预制化施工质量提升效果主要体现在设计精度、生产效率和安装质量等多方面。通过在设计阶段引入BIM三维建模和参数化设计技术,将工艺管道的结构特征、安装空间及焊接工艺参数精确映射到数字模型中,实现预制件尺寸、接口位置和焊缝分布的高精度控制^[7]。利用BIM模型进行工艺仿真和碰撞检测,有效减少空间干涉和设计冲突,确保预制方案与施工现场的高度一致性。在大型化工装置、能源管网等复杂工程中,应用BIM技术可显著降低因设计偏差导致的返工率,提高安装适配度,为后续质量管理奠定坚实基础。

在预制加工与运输阶段,基于BIM的智能管控体系通过与数控设备、物联网传感器和生产管理平台的集成,实现对管道生产全过程的动态跟踪。将BIM模型中的设计数据与坡口加工、焊接参数、焊缝检测等信息实时关联,确保加工精度满足设计要求。通过RFID标签和二维码技术,预制件在生产、检测、入库、运输等环节实现全程可追溯,关键质量参数与BIM模型一一对应。当生产过程中出现焊接缺陷、材料偏差或尺寸异常时,系统可自动预警并优化工艺路径,避免不合格构件流入施工现场。运输环节通过GPS监测与环境传感器,实现管段状态的实时追踪,保障预制件在到达安装现场时保持最佳质量状态,显著降低损耗与返工风险。

在施工安装与质量检测阶段,BIM技术与激光扫描、全站仪测量、点云对比等数字化手段深度结合,实现安装精度与施工进度的实时管控。施工人员通过移动终端调用三维模型和工艺参数,实现安装方案与设计模型的高度一致。通过无损检测技术、压力测试和密封性验证等手段,检测数据实时上传至云端并与BIM模型同步更新,形成动态的质量管理数据库^[8]。大数据分析和趋势预测模型能够在施工过程中识别潜在质量风险,提前提出调整策略,显著提升施工可靠性与安全性。基于BIM的质量智能管控实现了从设计到施工的全过程优化,在保证工艺管道预制化施工高精度、高效

率的同时,大幅度降低返工率和资源浪费,为复杂工程项目提供了稳定、可靠的技术支撑。

5 结语

基于BIM的工艺管道预制化施工质量智能管控体系在设计、生产、运输与安装等全过程中实现了高效协同与动态管理。借助三维建模、物联网监测、大数据分析等技术,施工质量得到显著提升,返工率和资源浪费明显降低。智能化的质量管控手段不仅优化了施工流程,也增强了复杂工程项目的安全性与可控性。该体系为工艺管道预制化施工提供了高精度、高效率和高可靠性的技术支撑。

参考文献

- [1] 黄羚,郭顺康,郭峰. 基于BIM的高铁桥墩顶帽钢筋大样精准解析技术研究[J].粘接,2025,52(09):157-160.
- [2] 张驰,罗凌. 基于BIM技术的建筑工程施工进度优化研究[J].产业创新研究,2025,(16):125-127.
- [3] 王硕. BIM技术在绿色建筑设计施工中的运用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(24):94-96.
- [4] 孙勇,朱弘毅,宋静晗,等. 油气管道智能工艺危害分析软件开发及应用[J].仪器仪表标准化与计量,2025,(04):25-27.
- [5] 贾彦男,王义缘,赵晨序. 基于BIM技术的绿色智能建筑结构设计方法[J].智能建筑与智慧城市,2025,(08):80-82.
- [6] 康林. BIM技术在光伏发电及太阳能热发电工程施工管理中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2025,(08):90-92.
- [7] 马铁钊,李振超,张振东,等. 浅析海底管道几种常见故障维修工艺与过程管理[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(14):7-9.
- [8] 刘慧,杜世成. 油气储运中二氧化碳工艺气管道冷却套管改造技术研究[J].流程工业,2025,(07):33-35.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

