

智能建造背景下建筑工程质量管控与技术 创新融合路径研究

李坊寿

身份证号: 362122196611200859

DOI:10.61369/ME.2025030002

摘要: 介绍智能建造核心技术及其在质量管控各阶段的应用, 阐述传统质量管理模式的发展及向智能化转型趋势, 还涉及多源数据融合、质量追溯、人才培养等内容, 强调质量管控体系需重构, 提出涵盖技术集成、标准创新、组织变革的三维融合框架。

关键词: 智能建造; 质量管控; 技术创新

Research on the Integration Path of Quality Control and Technological Innovation in Construction Engineering under the Background of Intelligent Construction

Li Fangshou

ID: 362122196611200859

Abstract: This paper introduces the core technologies of intelligent construction and their applications in various stages of quality control, expounds the development of the traditional quality management model and the trend of transformation towards intelligence. It also covers aspects such as multi-source data integration, quality traceability, and talent cultivation. It emphasizes that the quality control system needs to be reconstructed and proposes a three-dimensional integration framework covering technology integration, standard innovation, and organizational transformation.

Keywords: intelligent construction; quality control; technological innovation

引言

在建筑工程领域, 随着智能建造技术的快速发展, 质量管控面临着新的机遇与挑战。2020年发布的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》强调了智能建造在建筑产业现代化转型中的重要作用。BIM作为智能建造的关键技术, 具有多种优势, 物联网、人工智能等技术也在质量管控中发挥关键作用。传统质量管理模式需向数字化、智能化转型。从设计到运维的各个阶段, 智能建造技术都为质量管控提供了新手段, 同时在多源数据融合、质量追溯、人才培养等方面也有新的要求和方向, 这些都促使质量管控体系进行重构。

一、智能建造与质量管控理论基础

(一) 智能建造技术体系解析

BIM作为智能建造的关键技术, 具有可视化、协调性、模拟性等特点^[1]。它能够将建筑信息整合为三维模型, 方便各参与方协同工作, 提前发现设计和施工中的问题。物联网则通过传感器等设备实现物物相连, 可实时采集建筑工程中的各类数据, 如环境数据、设备运行数据等, 为质量管控提供数据支持。人工智能技术涵盖机器学习、深度学习等领域, 能够对大量工程数据进行分析处理, 辅助决策, 例如预测工程质量风险、优化施工方案等。这些核心技术相互融合, 共同构成了智能建造技术体系, 为建筑工程质量管控和技术创新提供了有力支撑。

(二) 质量管控理论发展脉络

传统质量管理模式经历了多个发展阶段。早期主要依赖人工经验和简单的检测工具, 管理效率较低且主观性强。随着工业化进程的推进, 标准化管理理念逐渐兴起, 质量管控开始有了较为规范的流程和标准, 但仍然存在信息传递不畅、难以全面把控质量等问题。进入信息时代, 数字化技术为质量管控带来了新的机遇, 一些先进的信息技术开始应用于质量数据的采集和分析, 但尚未实现智能化决策。如今, 在智能建造背景下, 传统质量管理模式向数字化、智能化转型已成为必然趋势。智能建造技术的发展为质量管控提供了更高效、精准的手段, 如物联网技术可实现实时质量数据采集与传输, 人工智能技术可辅助质量问题的诊断与决策, 推动质量管控向更高水平发展^[2]。

二、工业与民用建筑工程质量管控要点

（一）设计阶段质量控制创新

在设计阶段，参数化设计与碰撞检测等技术对质量预控至关重要。参数化设计可通过设定规则和参数，快速生成多种设计方案，并对其优化比较^[9]。这不仅提高了设计效率，还能确保设计符合各种规范和要求，避免因人为疏忽导致的质量问题。碰撞检测技术则能在虚拟环境中对建筑结构、设备管线等进行碰撞检查，提前发现设计中的冲突和不合理之处，及时调整。例如，在复杂的工业建筑设计中，可有效避免管道与结构构件的碰撞，保证施工的顺利进行，从而提高工程质量。

（二）施工过程风险智能预警

基于传感器网络的质量偏差实时监控与风险预警体系是工业与民用建筑工程施工过程风险智能预警的关键。传感器网络能够实时获取建筑结构、施工环境等多方面的数据^[1]。通过对这些数据的分析，可以及时发现质量偏差情况。例如，监测结构变形的传感器能在变形超出允许范围时发出预警。同时，对施工环境数据的监测，如温度、湿度等，有助于提前预防因环境因素导致的质量风险。利用智能算法对采集的数据进行处理，建立质量偏差模型，从而更准确地预测潜在风险，为施工过程中的质量管控提供有力支持，确保工程质量符合标准要求。

三、技术创新驱动下的工程管理变革

（一）数字化协同管理平台构建

1. 多源数据融合机制

在技术创新驱动的工程管理变革中，数字化协同管理平台构建的多源数据融合机制至关重要。BIM、GIS和IoT等技术产生的多源数据需有效融合，这就需要建立统一的数据交互标准。首先，应明确不同数据源的数据结构和格式特点，如BIM的三维模型数据结构、GIS的地理空间数据格式以及IoT的实时传感器数据格式^[6]。然后，基于这些特点，制定通用的数据交互协议，确保数据在不同系统间能够准确、高效地传输和共享。通过这种融合机制，可打破数据孤岛，实现工程管理中多源数据的协同应用，为工程管理决策提供更全面、准确的依据。

2. 质量追溯系统开发

随着技术创新在工程管理领域的不断推进，质量追溯系统的开发成为关键环节。基于区块链技术的质量信息存证与追溯方案具有显著优势^[6]。区块链的分布式账本特性确保了质量信息的不可篡改和可追溯性，每一个质量相关的数据块都被安全地记录和链接。在建筑工程中，从原材料的采购信息，如供应商、规格、检验报告等，到施工过程中的每一道工序细节，包括施工人员、时间、工艺参数等，都能被准确地记录在区块链上。这不仅为工程质量的监管提供了可靠的依据，也便于在出现质量问题时迅速

定位问题源头，实现精准的责任追溯，从而有效提升建筑工程质量管控水平。

（二）智能化检测技术应用

1. 机器视觉质量检测

机器视觉质量检测在工程管理变革中具有重要作用。通过开发针对混凝土裂缝、钢筋间距等质量缺陷的自动识别算法，利用机器视觉技术可高效、准确地检测工程质量问题。机器视觉系统能够快速获取大量图像数据，并运用先进的图像处理算法进行分析。对于混凝土裂缝，可通过边缘检测、纹理分析等算法识别其位置、长度和宽度等关键信息^[7]。在钢筋间距检测方面，能够精确测量钢筋之间的距离，判断是否符合设计标准。这种智能化检测技术不仅提高了检测效率，减少了人工误差，还能及时反馈质量问题，为工程管理决策提供有力支持，推动工程管理向智能化、高效化方向发展。

2. 无人机巡检系统

在智能建造背景下，无人机巡检系统在建筑工程质量管控中具有重要应用。构建高空作业面质量监控的无人机自主巡检路径规划模型是关键。该模型需综合考虑作业面的复杂环境，如建筑物的结构、周边障碍物等因素^[8]。通过先进的算法和技术，实现无人机能够高效、准确地对高空作业面进行巡检。利用无人机的机动性和灵活性，可以获取作业面各个部位的图像和数据信息，为质量管控提供全面、实时的依据。同时，该系统可与其他智能检测技术相结合，进一步提升工程质量管控的效率和准确性，促进技术创新与工程管理变革的深度融合。

四、质量管控与技术创新的融合路径

（一）组织管理机制创新

1. 全过程协同机制

在智能建造背景下，建立设计 - 施工 - 运维全生命周期的质量责任矩阵至关重要。通过明确各阶段主体的质量责任，能避免责任推诿，提高质量管控效率。从设计阶段开始，利用先进的数字化技术，如BIM技术，进行精确设计和模拟分析，为施工提供可靠的指导^[9]。施工过程中，各方依据责任矩阵协同作业，实时监控施工质量，利用物联网、传感器等技术采集数据，及时反馈和处理质量问题。运维阶段则基于前期的数据积累，运用大数据分析和人工智能算法，对建筑设施进行智能维护和管理，确保建筑长期稳定运行，实现质量管控与技术创新在全过程的深度融合。

2. 人才培养体系

智能建造背景下，制定智能建造复合型人才的岗位能力标准与培养路径至关重要。需明确涵盖智能设计、智能施工、智能运维等多方面的能力要求^[10]。培养路径可包括高校相关专业课程优化，融入智能建造前沿知识与实践案例。同时，加强企业与高校、科研机构合作，建立实践教学基地，为学生提供真实项目实践机会，培养其解决实际问题的能力。还应鼓励企业内部开展针对性培训课程和进修项目，提升在职人员的智能建造技能水平，

以适应质量管控与技术创新融合的发展需求。

（二）技术标准体系构建

1. 数据交互标准

建筑信息模型（BIM）与质量检测数据的接口规范研制是数据交互标准的关键。此规范应确保 BIM 模型中的数据与质量检测数据能够准确、高效地交互。一方面，要明确数据的格式与结构，使双方数据具有兼容性。例如，规定质量检测数据中的各项指标如何在 BIM 模型中对应呈现。另一方面，需建立数据传输的安全机制，保障数据在交互过程中的完整性和保密性。同时，要制定数据更新的规则，当 BIM 模型或质量检测数据发生变化时，能及时同步更新，确保双方数据的一致性，从而为建筑工程质量管控与技术创新的融合提供有力支撑。

2. 智能验收标准

基于机器学习算法构建质量验收评价指标体系，需综合考虑多方面因素。从数据收集角度，要涵盖建筑工程各阶段、各环节的关键数据，包括材料性能、施工工艺参数等。利用机器学习算法对大量数据进行分析挖掘，提取与质量相关的关键特征。例如，通过对混凝土浇筑数据的分析，确定其强度、密实度等指标与质量的关联模式。在此基础上，建立质量验收评价指标体系，明确各项指标的权重和阈值。对于不同类型的建筑工程，可根据其特点和要求进行针对性调整。同时，要不断更新和优化指标体系，以适应新技术、新材料的应用和工程实践的发展，确保质量验收的科学性和准确性。

（三）风险管理体系优化

1. 风险智能评估模型

开发融合模糊层次分析法与神经网络的工程质量风险预测模型，可先利用模糊层次分析法确定各风险因素的权重。该方法能处理复杂的多准则决策问题，通过建立层次结构模型，将风险因素分层，再通过模糊判断矩阵计算权重。接着结合神经网络的学习能力，将大量工程实例数据输入神经网络进行训练。神经网络

可自动学习风险因素与质量风险结果之间的复杂非线性关系。二者融合后，模型既能考虑风险因素权重的合理性，又能精准拟合数据中的复杂模式，从而提高工程质量风险预测的准确性和可靠性。

2. 应急响应机制

构建基于数字孪生的工程质量事故模拟与处置预案库是应急响应机制的关键。利用数字孪生技术，精确模拟工程质量事故场景，涵盖各类可能出现的问题及潜在风险。通过对模拟数据的分析，制定详细且针对性强的处置预案。这些预案应包括事故发生后的即时响应措施，如人员疏散、危险区域隔离等。同时，明确各部门和人员在应急处理中的职责与任务，确保响应的高效性和协调性。还需考虑资源的合理调配，如应急设备、材料的供应等。此外，要定期对应急预案进行演练和评估，根据实际情况不断优化和完善，以提高在质量事故发生时的应急处理能力，保障工程安全。

五、总结

智能建造背景下，建筑工程质量管控面临新的机遇与挑战。为适应这一变革，质量管控体系需进行重构。关键路径包括多个方面，从技术集成角度，要整合各类先进技术，如物联网、大数据、人工智能等，实现对工程质量的实时监测与精准控制。在标准创新上，需突破传统标准的局限，制定符合智能建造特点的质量标准，确保新技术在工程中的合理应用。组织变革方面，要调整传统的组织架构，建立更加灵活、高效的协同机制，以适应智能建造过程中多主体、多环节的协作需求。综合这些路径，提出涵盖技术集成、标准创新、组织变革的三维融合框架，这一框架将为建筑产业现代化转型在质量管控与技术创新融合方面提供重要的理论支撑与实践指导。

参考文献

- [1] 梅中亚. 智能建造背景下混凝土模板周转使用系统优化研究 [D]. 重庆交通大学, 2022.
- [2] 李婕. 提质增效背景下兵团棉花质量管控体系优化研究 [D]. 石河子大学, 2019.
- [3] 吴德建. 智能建造水平与建筑业企业绩效关系研究 [D]. 哈尔滨商业大学, 2023.
- [4] 辛宗泉. 光伏电站建设工程质量管控研究 [D]. 华北电力大学 (保定), 2018.
- [5] 臧格格. 装配式建筑智能建造全过程管理研究 [D]. 湖南大学, 2020.
- [6] 张鹏. 技术创新视域下建筑工程管理的质量管控分析 [J]. 房地产导刊, 2020.
- [7] 范云翠, 李昕浩. 智能建造背景下建筑施工企业转型发展研究 [J]. 建筑经济, 2022(S2): 368-371.
- [8] 胡勇军, 刘灵芝, 朱冬飞, 等. 智能建造装配式建筑背景下建筑 CAD 项目化教学实施路径研究 [J]. 科学咨询, 2024(14): 217-220.
- [9] 赵波. 技术创新视角下我国建筑工程管理的质量管控研究 [J]. 丝路视野, 2018(28): 1.
- [10] 张永新. 技术创新视角下我国建筑工程管理的质量管控研究 [J]. 企业导报, 2012(24): 2.