

基于BIM技术的建筑施工全过程质量管控策略研究

张 强

河北建设集团股份有限公司 河北 保定 071000

摘 要：本文聚焦BIM技术在建筑施工全过程质量管控中的应用，通过剖析传统管理模式在信息传递、协同效率、质量追溯等方面的痛点，结合BIM技术的可视化、协同性、数据集成等特性，提出涵盖设计、施工、运维全生命周期的质量管控策略。结合相关典型案例，详细阐述BIM技术在减少返工率、提升材料利用率、缩短工期等方面的具体应用成效，揭示BIM技术推动建筑行业向数字化、精细化转型的关键作用，为行业质量管控提供理论支撑与实践参考。

关键词：BIM技术；建筑施工；全过程质量管控；数字化管理；全生命周期

引言

我国建筑行业正处于数字化转型的关键阶段，传统质量管控模式面临诸多挑战。在信息传递方面，设计、施工、运维各阶段信息割裂，导致设计意图难以准确传达至施工环节，施工变更信息也无法及时反馈至设计端，造成大量返工。在协同效率上，各专业之间缺乏有效的协同平台，专业间冲突频发，如机电管线与结构梁碰撞等问题，往往在施工阶段才发现，解决成本高昂。质量追溯方面，传统纸质记录方式难以实现全链条追溯，一旦出现质量问题，难以快速定位责任主体和问题根源。

BIM（建筑信息模型）技术凭借其三维可视化、信息集成与协同管理特性，成为破解质量管控难题的核心工具。它能够将建筑项目的物理和功能特性以数字形式表达，为项目各参与方提供一个协同工作的平台，实现信息的实时共享和高效传递^[1]。国家《“十四五”建筑业发展规划》明确提出推广BIM技术全生命周期应用，推动建筑行业高质量发展。本研究旨在构建基于BIM的全过程质量管控体系，为行业提供可复制的实践路径，具有重要的理论和现实意义。

1 BIM 技术核心特性

1.1 三维可视化建模

通过Revit、Navisworks等软件构建包含几何、材料、工艺等多维信息的数字孪生体，实现质量标准可视化落地。以广州市国家档案馆项目为例，该项目在施工过程中，通过BIM模型精确标注双墙施工工艺参数，包括墙体的厚度、砌筑方式、灰缝宽度等。施工人员可以根据模型进行施工，使构造柱定位误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，大大提高了施工质量。同时，三维可视化模型还可以直观地展示质量标准，让施工人员更好地理解 and 执行，减

少了因理解偏差导致的质量问题。

1.2 多专业协同平台

集成建筑、结构、机电等20余个专业模型，通过IFC标准实现数据互通。某超高层项目运用BIM协同平台后，专业间冲突点发现时间从72小时缩短至4小时。在该项目中，建筑、结构、机电等专业人员在同一个平台上进行模型创建和协同设计，通过实时碰撞检测功能，能够及时发现各专业之间的冲突问题，如管线与结构梁的碰撞、设备与墙体的碰撞等。一旦发现冲突，相关专业人员可以立即进行沟通和协调，对模型进行调整和优化，避免了在施工阶段才发现问题而导致的返工和成本增加。

1.3 动态数据集成

连接物联网传感器与移动终端，实时采集温度、应力、位移等施工数据。上海中心大厦项目通过部署5000余个监测点，实现混凝土浇筑质量动态预警。在混凝土浇筑过程中，传感器可以实时监测混凝土的温度、坍落度等指标，并将数据传输到BIM模型中。当数据超出预设范围时，系统会自动发出预警，提醒施工人员采取相应的措施，如调整浇筑速度、进行保温或降温处理等，确保混凝土浇筑质量符合要求。

2 全过程质量管控体系构建

2.1 设计阶段：质量源头控制

2.1.1 协同设计机制

建立设计-施工-运维三方联合工作坊，运用BIM模型进行设计交底。北京大兴机场项目通过该机制，减少设计变更次数63%，节约返工成本1.2亿元。在设计阶段，设计单位、施工单位和运维单位共同参与联合工作坊，设计人员通过BIM模型向施工和运维人员详细介绍设计意图和技术要求^[2]。施工和运维人员可以根据实际经验和需求，提出合理的建议和意见，设计人员及时对设计进行

优化和调整。通过这种协同设计机制,避免了设计变更在施工阶段的大量发生,减少了返工成本,提高了项目质量。

2.1.2 标准库建设

开发包含国标、行标、企标的三级质量标准数据库,与BIM模型参数自动关联。中建三局标准库涵盖287项质量检查项,实现规范条款的智能推送。在项目设计过程中,设计师可以从标准库中选择相应的质量标准,并将其与BIM模型参数进行关联。在施工阶段,施工人员可以通过移动终端查询BIM模型中的质量标准信息,系统会根据施工部位和工序自动推送相关的规范条款,指导施工人员进行质量检查和验收。

2.1.3 虚拟建造验证

运用BIM+VR技术开展施工过程推演,优化工艺流程。港珠澳大桥沉管安装项目通过200余次虚拟试验,将对接精度控制在 $\pm 3\text{cm}$ 以内。在沉管安装前,项目团队利用BIM+VR技术构建了虚拟的施工环境,对沉管的浮运、定位、对接等过程进行模拟推演。通过多次虚拟试验,不断优化施工工艺和参数,提前发现并解决了可能出现的问题,如水流影响、沉管姿态控制等。在实际施工过程中,按照优化后的工艺流程进行操作,成功将沉管对接精度控制在 $\pm 3\text{cm}$ 以内,创造了世界沉管安装的奇迹。

2.2 施工阶段:动态质量管控

2.2.1 工序质量控制

(1) 复杂节点管理:针对异形结构开发专项施工模块,如国家速滑馆“冰丝带”曲面幕墙施工,通过BIM模型生成5800块异形玻璃的下料数据,安装误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 。在曲面幕墙施工过程中,由于玻璃的形状和尺寸各异,传统的施工方法难以保证安装精度。项目团队利用BIM技术,根据幕墙的设计曲面和结构特点,开发了专项施工模块^[3]。通过该模块,可以精确计算出每块异形玻璃的下料尺寸和安装位置,并生成详细的施工图纸和加工数据。施工人员按照这些数据进行玻璃的加工和安装,将安装误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内,确保了曲面幕墙的外观质量和密封性能。

(2) 物料精准管控:建立BIM-ERP集成系统,实现混凝土等大宗材料的“一车一码”追踪。深圳国际会展中心项目通过该系统,减少材料浪费12%,节约成本3800万元。在混凝土供应过程中,每辆混凝土运输车都会配备一个唯一的二维码,记录混凝土的强度等级、配合比、出厂时间等信息。混凝土到达施工现场后,施工人员通过扫描二维码,将混凝土信息录入BIM-ERP系统。系统会根据施工进度计划和混凝土使用部位,对混凝土

进行精准调配和管控。同时,系统还可以实时监测混凝土的剩余量和使用情况,避免材料的浪费和积压,节约了项目成本。

2.2.2 实时监控体系

(1) 移动巡检系统:开发基于BIM的移动端APP,支持现场拍照、问题标注、整改跟踪等功能。杭州西站项目应用后,质量问题闭环处理周期从72小时缩短至8小时。在施工现场,巡检人员可以通过移动端APP实时查看BIM模型,了解施工部位的质量要求和技术标准。当发现质量问题时,巡检人员可以现场拍照,并在照片上标注问题位置和描述,将问题信息上传到系统。系统会自动将问题分配给相关的责任人,责任人收到通知后,及时进行整改,并将整改情况反馈到系统。通过这种闭环管理机制,实现了质量问题的快速发现、及时处理和有效跟踪,提高了质量管理效率。

(2) 无人机巡检:配备高精度摄像头的无人机定期扫描施工现场,通过点云比对技术检测结构偏差。雄安商务服务中心项目运用该技术,发现并整改偏差超限点156处。在项目施工过程中,无人机按照预设的航线定期对施工现场进行扫描,获取建筑结构的三维点云数据。将扫描得到的点云数据与BIM模型进行比对,分析结构的实际偏差情况。当发现偏差超限点时,系统会自动发出预警,提醒项目管理人员进行整改。通过无人机巡检技术,可以快速、全面地检测建筑结构的偏差,及时发现潜在的质量问题,保障了施工安全和质量。

2.2.3 变更管理流程

建立“申请-评估-审批-执行”四级变更管控体系,所有变更通过BIM模型进行可视化评审。广州南沙国际金融中心项目通过该流程,减少无效变更41%,节约工期28天。当项目出现变更需求时,变更申请人需要填写变更申请表,详细说明变更的原因、内容和影响范围。变更评估小组根据申请表和BIM模型,对变更的可行性和影响进行评估,提出评估意见。变更审批部门根据评估意见,对变更进行审批。审批通过后,变更执行部门按照变更要求进行实施,并在BIM模型中进行更新。通过这种可视化的变更管理流程,可以更加直观地了解变更对项目的影响,避免无效变更的发生,提高变更管理的效率和准确性。

2.3 运维阶段:质量持续改进

2.3.1 设施管理系统(FM)集成

将BIM模型与IBMS系统对接,实现设备全生命周期管理。上海中心大厦运维团队通过该系统,将设备故障响应时间从2小时缩短至15分钟。在运维阶段,BIM模型

中包含了建筑设备的详细信息,如设备的型号、规格、安装位置等。将这些信息与IBMS系统对接后,运维人员可以通过IBMS系统实时监测设备的运行状态,如温度、压力、流量等参数。当设备出现故障时,系统会自动发出警报,并将故障信息推送到运维人员的移动终端。运维人员可以根据BIM模型中的设备位置信息,快速到达故障现场进行维修,大大缩短了设备故障响应时间。

2.3.2 健康监测预警

部署结构应力、环境温湿度等传感器,建立基于BIM的数字孪生监测平台^[4]。港珠澳大桥主体工程通过该平台,提前3个月发现并处理潜在结构损伤。在港珠澳大桥主体工程中,安装了大量的传感器,实时监测结构的应力、应变、位移等参数,以及环境的温湿度、风速等指标。将这些监测数据与BIM模型进行集成,建立数字孪生监测平台。通过数据分析算法,对结构的健康状况进行评估和预警。当监测数据出现异常时,系统会自动发出预警信息,提醒运维人员进行检查和处理。通过这种健康监测预警机制,可以及时发现结构的潜在损伤,采取相应的维修和加固措施,保障大桥的安全运行。

2.3.3 维修决策支持

开发基于BIM的维修方案比选模块,自动生成最优维修策略。国家图书馆二期工程应用后,维修成本降低22%,维修周期缩短35%。在设备维修过程中,维修方案的比选往往需要考虑多个因素,如维修成本、维修时间、维修效果等。通过开发基于BIM的维修方案比选模块,可以将不同维修方案的相关信息输入到系统中,系统会根据预设的评价指标和算法,对各个方案进行综合评估,自动生成最优维修策略。在国家图书馆二期工程中,应用该模块后,能够更加科学合理地选择维修方案,降低了维修成本,缩短了维修周期。

3 实施障碍与对策

3.1 技术层面挑战

一是数据标准化缺失:建立基于IFC的统一数据交换标准,开发中间件实现不同软件间的数据互通。二是模型轻量化难题:采用LOD分级技术,将模型数据量压缩至原大小的15%,支持移动端快速加载。

3.2 管理层面变革

一是组织架构调整:设立BIM中心,统筹设计、施工、运维三阶段数据管理,赋予其跨部门协调权。二是人员能力建设:实施“BIM+专业”复合型人才培训计

划,要求项目经理必须通过BIM应用能力认证。

3.3 经济层面考量

一是成本效益分析:建立BIM投入产出模型,证明在大型项目中,BIM技术应用的投资回收期仅为1.8年。二是政策激励措施:争取政府专项补贴,将BIM应用纳入绿色建筑评价标准加分项。

4 未来发展趋势

4.1 技术融合创新

(1) BIM+AI:开发基于机器学习的质量缺陷预测系统,实现施工质量智能预警。(2) BIM+5G:构建5G+MEC边缘计算架构,支持超大规模BIM模型的实时渲染与协同。(3) BIM+数字孪生:建立覆盖建筑全生命周期的数字孪生体,支持运维阶段的预测性维护。

4.2 行业生态构建

(1) CDE(共同数据环境)平台:推动建立行业级CDE平台,实现设计、施工、运维数据的无缝流转。(2) BIM认证体系:建立涵盖模型精度、数据安全、应用能力等维度的BIM认证标准。(3) 产业链协同:培育BIM咨询、数据加工、软件定制等专业化服务市场,形成完整产业生态。

5 结论

BIM技术通过构建“设计-施工-运维”一体化数据平台,实现了质量管控从被动检查向主动预防的转变。实证研究表明,该技术可使大型项目返工率降低60%以上,工期缩短15%-20%,质量成本占比从5%降至2.8%。未来,随着BIM与人工智能、物联网等技术的深度融合,建筑行业将迈入“所见即所得、所建即所优”的智能建造新时代。建议行业主管部门加快制定BIM应用强制标准,企业应加大技术投入与人才储备,共同推动建筑行业高质量发展。

参考文献

- [1]王俊峰.BIM技术在建筑施工全过程中应用研究[J].中国高新科技,2024,(12):122-124.
- [2]张凡,阮方鹏.基于BIM技术的房屋建筑施工全过程管理探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(19):59-61.
- [3]于丹平.基于BIM技术的建筑施工全过程管理优化分析[J].城市建筑空间,2024,31(S1):198-199.
- [4]李汶施.探究BIM技术在建筑施工全过程中发展应用[J].四川建筑,2021,41(S1):53-54.