

数字孪生技术在建筑装饰工程全生命周期质量追溯中的应用

梁怀喜

441702*****4254

摘要: 建筑装饰工程工序繁杂、材料多样,传统质量追溯模式易流程断裂、责任模糊。数字孪生技术以“物理-虚拟”双向映射打破质量数据孤立,构建连贯可追溯的管控体系。本文以建筑装饰工程全生命周期为线索,从设计、施工、运维三阶段剖析其应用逻辑与路径,探讨技术适配性及解决传统追溯痛点的方法,为行业质量管控革新提供思路。

关键词: 全生命周期;质量追溯;技术适配

DOI: 10.69979/3029-2727.25.09.084

1 研究背景及意义

1.1 研究背景

当下,我国建筑业正逐步向“质量优先”的发展模式转变,建筑装饰工程质量对于建筑整体的使用体验与安全性具有显著影响。然而,由于装饰工程所涉及的材料品类繁多,且施工工序存在交叉情况,传统的质量追溯方式主要依赖纸质记录。这种记录方式存在诸多弊端,如数据易丢失、易被篡改等。数字孪生技术凭借构建虚拟模型,能够实现质量数据在全生命周期内的贯穿,并且相关政策也鼓励该技术在工程质量管控领域的应用。

1.2 研究意义

1.2.1 理论意义

目前,现有关于数字孪生在建筑领域的研究大多聚焦于结构安全等方面,针对装饰工程的针对性研究相对较少。本文通过梳理适配逻辑,构建应用框架,填补了该领域的理论空白。

1.2.2 实践意义

本文研究成果能够为装饰工程质量管控提供新的思路,例如精准绑定材料信息、提前发现设计与施工之间的冲突、清晰界定质量责任等,推动质量管控模式从“经验驱动”向“技术驱动”转变。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 国外研究现状

国外在数字孪生技术应用于建筑装饰工程质量追溯方面起步较早,注重结合实际需求开展研究。通过将数字孪生与BIM技术相结合,实现了材料全流程追溯;与物联网技术结合,能够提前干预质量风险;同时关注模型的动态更新,以确保虚拟模型与实际工程的同步性。

1.3.2 国内研究现状

国内对于数字孪生技术在建筑装饰工程质量追溯的研究主要由政策驱动,正从理论研究逐步走向实践应

用。高校团队主要聚焦于设计阶段的应用研究,企业则致力于开发管控平台,以实现质量数据的管理与追溯。此外,国内研究还注重将数字孪生与区块链技术相结合,以确保数据的真实性与安全性。

2 数字孪生技术在建筑装饰工程质量追溯中的理论框架

2.1 核心概念界定

2.1.1 建筑装饰工程全生命周期

建筑装饰工程全生命周期涵盖从项目启动至拆除的整个过程。结合质量追溯的需求,可将其划分为四个关键阶段:设计阶段主要确定质量标准;施工阶段是质量问题的高发阶段;运维阶段能够暴露并管控质量问题;拆除阶段虽不直接涉及质量追溯,但需依据前期数据判断材料的可回收性。质量追溯需贯穿上述各阶段,形成完整的链条。

2.1.2 数字孪生质量追溯系统

该系统构建了“物理层-数据层-模型层-应用层”的四层架构。物理层包含工程实体、感知设备和移动终端,主要负责数据采集;数据层承担数据传输、存储与处理的任务,为质量追溯提供可靠的数据基础;模型层基于BIM技术构建虚拟模型,为质量追溯提供可视化载体;应用层通过开发功能模块,实现质量管控的便捷化与智能化。

2.2 技术融合原理

2.2.1 数字孪生与BIM的协同

BIM模型是数字孪生与BIM协同的基础,协同的核心在于使BIM模型“动态化”。在设计阶段,通过嵌入信息构建“信息富集型”模型;施工阶段实时更新模型;运维阶段录入维修更换信息,从而为质量追溯提供连续完整的数据。

2.2.2 数字孪生与区块链的融合

为解决质量数据的可信度问题,将关键质量数据上传至区块链网络,并在数字孪生模型中为数据生成唯一标识并进行关联,以确保追溯结果的客观公正。

2.2.3 数字孪生与物联网的交互

物联网技术能够实现数字孪生模型的“实时性”。在施工现场部署感知设备,通过物联网传输数据,并与预设标准进行比对,当数据超出范围时自动预警,从而完善质量追溯链条。

3 数字孪生技术于装饰工程全生命周期质量追溯中的应用场景

3.1 设计阶段: 质量标准的源头追溯

3.1.1 材料选型与信息绑定

设计阶段作为质量标准的源头,数字孪生技术将材料信息与设计方案进行深度绑定,构建“信息档案”,以规避施工过程中出现“材料与设计不符”的问题。若在后续发现材料质量问题,可借助虚拟模型反向追溯设计阶段材料选型的依据,判断是否源于设计疏漏,从而清晰界定设计阶段的质量责任。

3.1.2 深化设计与冲突排查

装饰工程深化设计时常因各专业之间协调不足而出现冲突,例如吊顶与机电管线、墙面装饰与门窗尺寸等问题,若未及时发现,将导致返工并影响工程质量。数字孪生技术通过构建综合虚拟模型,对深化设计方案进行仿真验证,模拟安装过程,检查空间冲突与工艺矛盾,结合材料特性与施工要求判断其可施工性,标记冲突并提出优化建议,以减少质量隐患。

3.2 施工阶段: 质量过程的实时追溯

3.2.1 材料进场验收管控

材料进场验收是保障施工质量的首道防线,传统验收方式易出现“漏检、错检”情况。数字孪生技术对验收流程进行优化,现场人员通过扫描材料标识,调取设计信息核对规格等,查看区块链关联文件验证质量,标记不合格材料并记录相关信息,防止其流入施工环节,为追溯供应商责任提供依据。

3.2.2 施工工艺实时监控

装饰工程施工工艺较为复杂,操作不当极易引发质量问题。数字孪生技术可实现实时监控,通过部署感知设备采集数据并反馈至模型,与预设标准进行比对,当出现偏差时及时预警,记录偏差信息,形成追溯记录,便于分析原因与界定责任。

3.2.3 质量验收流程优化

传统装饰验收主要依赖人工,验收结果易受主观因素影响,且记录难以保存与查询。数字孪生技术构建“虚拟+实体”双轨模式,对实体进行扫描并与模型比对,自动生成验收数据,上传至模型形成报告,标记不合格

项并推送整改,重新验收后更新结果,以减少误差,实现数据可追溯。

3.3 运维阶段: 质量问题的持续追溯

3.3.1 装饰部件维修管理

在运维阶段,装饰部件可能会出现质量问题,需要及时维修。数字孪生技术对维修追溯流程进行优化,通过扫描部件标识调取相关信息,生成维修工单,维修完成后更新记录,确保维修过程规范,追溯损坏原因,为质量改进提供依据。

3.3.2 质量风险预判与干预

装饰工程运维部分质量问题具有渐进性,提前预判可避免问题扩大。数字孪生技术结合历史与实时数据对风险进行预判,分析老化与损坏趋势,标记风险位置并发出预警,记录整个过程,完善追溯链条。

4 关键技术实施路径与应用价值

4.1 关键技术实施路径

4.1.1 数字孪生模型构建

数字孪生模型构建应依据装饰工程特性分阶段推进。在设计阶段,基于建筑信息模型(BIM)软件搭建几何模型,并嵌入非几何数据,以形成初始模型。其次,在施工阶段,借助物联网设备采集施工现场数据,如材料进场情况、工程进度、质量检验结果等,并将这些数据导入模型,实现模型的动态更新,从而确保虚拟模型与物理实体同步。在运维阶段,持续录入装饰部件的维修、更换以及环境影响等数据,进一步丰富模型内容,为装饰工程全生命周期的质量追溯提供载体。

4.1.2 质量数据管理体系搭建

质量数据是装饰工程质量管控的核心要素,因此需构建规范的管理体系。具体而言,一是要明确数据采集范围,涵盖设计、施工、运维等各阶段的数据,实现对装饰工程全生命周期数据的覆盖;二是要统一数据标准,制定统一的数据格式与编码规则;三是要建立数据安全机制,结合区块链技术存储关键数据,并设置访问权限;四是要优化数据查询功能,设计便捷的数据接口,以支持多维度的数据查询。

4.1.3 多技术协同应用

数字孪生技术需要与其他相关技术协同应用。与物联网技术协同,可实现对施工现场数据的实时采集;与区块链技术协同,能够确保数据的真实性和不可篡改性;与人工智能技术结合,可对数据进行深入分析,挖掘潜在规律,为质量风险的预判提供支持。例如,通过分析墙面涂料脱落案例,可提前发出质量风险预警。

4.2 数字孪生技术在质量追溯中的应用价值

4.2.1 提升质量追溯效率

传统的质量追溯方式繁琐且耗时,而数字孪生技术通过构建统一的模型与平台,将分散的数据进行集中整合,实现“一站式”质量追溯,从而有效提升了质量追溯的效率和完整性。

4.2.2 强化质量责任界定

装饰工程涉及多个参与方,在传统模式下容易出现责任推诿的情况。数字孪生技术通过记录各参与方的操作信息,形成清晰的质量追溯链条,能够精准界定质量责任,规范各方行为。

4.2.3 降低质量管控成本

一方面,通过虚拟仿真技术可提前发现质量问题,减少工程返工成本;另一方面,借助数字孪生技术对质量风险进行预判并提前干预,可减少运维阶段的维修成本,同时降低纸质文档的管理成本。

5 数字孪生技术应用面临的挑战与对策

5.1 面临的挑战

5.1.1 技术融合难度较高

数字孪生需与多种技术协同应用,然而不同技术在标准和格式方面存在差异,易引发“数据孤岛”“接口不兼容”等问题,进而增加了应用的复杂程度。

5.1.2 行业应用壁垒较高

其一,模型构建与平台开发需要复合型专业人才,而当前行业内此类人才较为匮乏;其二,应用过程需要投入大量资金,涵盖硬件采购、软件开发以及技术培训等方面。对于中小型装饰企业而言,过高的投入成本形成了应用壁垒,限制了该技术的规模化推广。

5.1.3 数据安全风险显著

数字孪生质量追溯系统整合了装饰工程全生命周期的敏感数据,如设计方案、供应商信息等。数据泄露或篡改会给企业带来损失与风险。尽管区块链技术可防止数据篡改,但网络安全防护和权限管理存在漏洞,如黑客攻击、内部越权访问等,对数据安全构成威胁。

5.2 应对对策

5.2.1 建立统一的技术标准体系

由行业协会、科研机构和龙头企业牵头,制定数字孪生技术在装饰工程质量追溯领域的应用标准,明确接口规范、数据格式以及协同流程。例如,统一物联网与数字孪生模型的数据标准,制定建筑信息模型(BIM)与数字孪生模型的协同规则,推动标准的普及与执行,降低技术融合难度。

5.2.2 完善人才培养与资金支持机制

一方面,高校应调整专业设置,开设交叉学科以培养复合型人才,企业可与高校、培训机构合作开展在职培训。另一方面,政府应出台相关政策,为应用企业提供补贴和税收优惠,金融机构应推出专项贷款,为中小企业提供资金支持,推动该技术的广泛应用。

5.2.3 构建全方位的数据安全防护体系

从技术和管理两个层面加强防护。在技术方面,采用加密传输等技术,引入身份认证和权限分级管理。在管理方面,制定严格的制度,规范数据流程,明确责任主体,定期进行评估与演练,引入第三方审计机构进行监督。

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文研究数字孪生技术在建筑装饰工程质量追溯的应用,结论为:该技术通过双向映射打破传统问题,构建全阶段追溯体系,为质量管控提供新路径。各阶段应用逻辑有侧重:设计聚焦源头追溯,施工强调实时追溯,运维注重持续追溯。应用需多技术协同,结合其他技术发挥价值,实现提升效率等目标。当前面临技术融合难等挑战,需建立标准、完善支持和构建防护体系推动推广。

6.2 未来展望

未来,数字孪生技术在质量追溯应用有以下趋势:技术更智能,与人工智能融合;行业应用更规模化,拓展至中小企业;应用场景更多元,拓展至成本管控;跨领域协同更紧密,实现数据共享。总之,虽面临挑战,但该技术将成推动行业高质量发展的核心技术。

参考文献

- [1] 李娟. BIM技术和数字孪生技术在建筑工程中的应用特征及问题分析[J]. 四川水泥, 2024(9):55-57.
- [2] 周晋 刘杨 陈熙. 数字孪生技术在房地产市场中的应用[J]. 2023.
- [3] 刘刚, 马智亮, 曾勃, 等. 数字孪生技术在建筑工程中的应用研究综述[J]. 土木建筑工程信息技术, 2023, 15(6):1-8.
- [4] 王晓颖, 顾钦子. 建筑全生命周期中的数字孪生技术应用研究[J]. 建筑科技, 2024, 8(7):140-143.
- [5] 沈娟斐, 李超, 陈岳飞. 数字孪生在建筑工程领域的应用[J]. 中国检验检测, 2022, 30(3):5.