

基于 MBD 技术的施工过程数字化质量管理研究

文 / 黄建平 江西赣江中医药科创城建设投资集团有限公司

摘要：为了指导现场工作人员有效完成复杂工艺的施工，减少建筑产品的质量问题的，本文提出一种面向施工过程的数字化管理方法。首先，从质量控制与管理的角度对建筑施工过程的工艺信息进行处理。然后，基于 BIM 技术对施工过程中的几何实体进行建模，利用基于模型的定义（MBD）技术将工艺信息集成在 BIM 模型中进行表达，并输出指导产品施工的交互式文件，实现可视化表达。同时与现有的二维施工质量管理方式进行比较，确定其优化效果。本研究充分发挥三维空间和桌面虚拟现实的优势，有助于加深工艺理解程度、提高产品施工质量、减少项目成本，为建筑行业的数字化研究提供新的思路。

关键词：数字化管理；MBD 技术；可视化表达；施工质量；项目成本

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.025

引言

随着 BIM 领域相关建筑设计软件的广泛应用，建筑业的数字化设计技术已经相对成熟。相比之下，建筑施工过程产品的数字化工艺技术仍旧落后，已成为建筑产品设计与施工集成的瓶颈。因此，研究面向数字化和施工过程应用的建筑施工工艺数字化管理方法具有重要意义。

一、研究现状

（一）MBD 技术应用

近年来，MBD 技术在制造业领域的数字化得到了广泛应用。研究人员不断探索基于 MBD 技术能够在产品、工装、工艺设计等方面进行产品制造和检验检测等中的应用，从而实现制造流程的数字化，达到有效控制和管理。例如，波音公司在新型客机研制过程中全面采用了 MBD 技术，将三维产品制造信息与三维设计信息共同定义到产品的三维数模型中，实现了产品设计、工装设计、零件加工、部件装配、零部件检测检验的高度集成、协同和融合。虽然 MBD 技术在航空上取得了较为显著的进展，但在其他领域的使用仍处于探索阶段。例如有关于建筑设计、汽车制造以及相关的管理规范仍然有所不足，集成三维设计制造数字化、一体化集成应用体系没有完全贯通。

（二）BIM 技术研究现状

BIM 技术以三维数字技术为基础，集成了建筑工程的各种信息，包括几何、空间、时间、成本等。其核心价值在于为各参与方提供一个共享的信息平台，实现项目各阶段的协同工作。具有可视化、协调性、模拟性、优化性和可出图性等特点，这些特点为提高建筑工程的设计、施工和管理水平提供了有力支持。同时在建筑设计、施工、运维等阶段的具体应用也得到了深入研究。例如，在建筑设计阶段，BIM 技术能够实现建筑信息的三维可视化，帮助设计师更好地进行方案设计、碰撞检测和优化；在施工阶段实现各专业之间的协同工作，

提高施工效率和质量；在建筑运维阶段，能够实现设备的维护和管理。同时与其他先进技术的结合也成为研究热点，如大数据、云计算、物联网、人工智能等。这些技术的融合进一步拓展了 BIM 技术的应用范围和效率。

BIM 技术作为信息化时代的产物，为建筑行业带来了革命性的变化。通过深入研究和应用该技术，可以提高建筑工程的设计、施工和管理水平，推动建筑行业的可持续发展。未来需要进一步加强 BIM 技术的研究和应用工作，推动技术的深入发展和广泛应用。

（三）施工过程质量控制与管理现状

施工质量管理是确保建筑工程安全、耐久和经济性的关键环节。目前，关于施工质量管理的研究已经取得了显著的进展，正在由传统的人工检查逐渐转向自动化和智能化。例如利用先进的传感器技术、物联网技术和大数据分析技术，实时监测施工过程中的关键参数，及时发现潜在的质量问题；通过数字化和智能化技术使得质量控制更加精准和高效；采用模拟施工的方式，预测施工过程中可能出现的质量问题，并提前制定应对措施。

综上 BIM、AR 等先进技术在质量控制与管理的研究较为深入，但多数集中在施工过程中的事中阶段和事后阶段，针对事前阶段的工艺流程数字化研究暂未涉及。为此本文提出一种施工过程数字化的质量管理方法，综合应用计算机科学、管理学、工程管理、土木工程等多个学科专业知识，集合建筑产品工艺特点和质量控制需求，基于 BIM 技术、MBD 技术和信息技术构建数字化的表达体系，指导现场工作人员高效完成复杂工艺的施工过程，减少质量问题，优化施工效率。

二、施工过程数字化质量管理方法

本研究提出的基于 MBD 技术的施工过程数字化质量管理方法分为三个模块：工艺信息处理、工艺设计模型（BIM 模型）构建、MBD 可视化表达。具体实施路径见图 1。

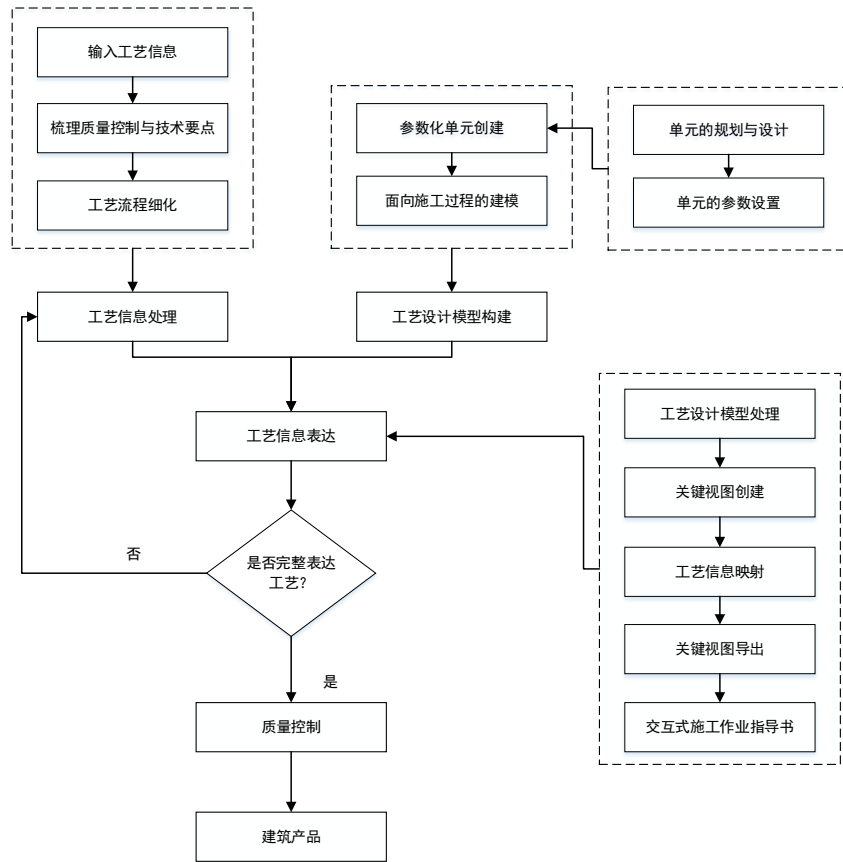


图 1. 施工过程数字化质量管理方法

（一）工艺信息模块

以施工过程中的工步作为最小单元对所涉及的建筑信息进行处理。施工步骤依据其操作内容被细分为基本工步与辅助工步两大类。基本工步是指那些能够直接作用于目标对象并促使其状态发生改变的活动内容；而辅助工步，则是旨在为本道工序或后续工序创造良好作业环境或条件的必要活动。

首先明确相关施工工艺的具体流程信息，梳理其施工质量控制与其技术要点，其中包括影响建筑产品的可靠性和安全性的重点环节，对于施工过程中需要的操作方法和以及工程需要满足的构造要求以及一些辅助要求。以此为细化施工工艺流程奠定基础。

工艺流程细化是将建筑产品的从无到有的施工过程按照最小单元工步进行划分。以重要施工工序的工艺信息和质量控制与技术要点为准则，对施工工序进行施工工步划分，并采用流程图的形式进行细化。

（二）工艺设计模型构建模块

基于 BIM 技术进行相关施工设计模型的创建。第一步创建参数化族，根据图纸、规范等相关设计要求，整体规划建模顺序以及构建整体模型时最小参数化模型的种类和数量。确定其最小参数化模型后，进行命名。同时确定其组成单元的几何和非几何参数设置，包括材质属性、几何属性、工程量计算参数、定位基准、生产加工检验相关参数。

第二步面向施工过程进行建模。建筑产品从无到有的过程中，需要根据其最终状态和中间过程的工艺内容进行建模。在施工过程中，对建筑产品前置模型、辅助工艺环节、关键工艺节点、工艺细部模型进行建模，表现建筑产品模型随时间而演化的过程。

其中，前置模型代表了前一施工流程成功验收后的最终状态，作为本流程的输入，标志着整个工序的起始点。辅助工艺环节涉及在施工过程中对原材料及半成品进行的必要处理，旨在将其转化为预期产品，但这些处理在产品的最终形态中并不直接显现，是确保施工顺利进行的不可或缺步骤。关键工艺节点则体现了施工过程中的核心构造要求与质量监控要点，这些要求严格遵循设计与质量验收规范的强制性条款。工艺细部模型，则是确保最终工艺产品品质达标的一系列具体操作流程。

（三）MBD 可视化表达模块

首先对工艺设计模型进行处理，工艺设计模型创建完成后，运用 CATIA Composer 软件对 BIM 模型进行轻量化处理，对其建筑零件赋予属性信息。然后进行关键视图的创建，根据工艺信息找到其对应的关键视图，控制构件的显隐性，呈现当前工序步骤的模型状态。并在其关键视图中添加施工过程所涉及的建筑信息，使信息附着在模型上，增加可视化表达的内容。工艺信息附着完成后，将关键视图导出为多种数据格式进行可视化表达，

同时基于 VB 进行二次开发，将三维交互视图和工艺信息融入到以二维传递方式为主的施工作业指导书中，实现多模态表达。

最后基于 MBD 技术对施工过程中涉及的工艺信息和工艺设计模型进行集成，实现可视化表达；并对集成的工艺文件进行判别，确认集成的工艺文件是否完整表达

质量与技术要点，满足则输出工艺文件指导施工，否则，返回工艺信息处理和 BIM 模型部分进行修改。

三、优化效果分析

将本方法应用实践，其质量管理效果和 Related 工艺表达效果同现有的二维施工质量方式进行比较，比较结果如表 1 所示。

表 1：应用实例的结果

内容	2D 工艺信息表达	3D 工艺信息表达	评价
工艺信息与三维模型的协同方式	分离	集成	
工艺文件大小	25.6M	14.6M/11.1M/5.1M	减少 42.9%/56.6%/80.1%
工艺文件格式	DOCX+XLS+BIM 模型	单一 XLS/EXE/SMG	
工艺信息表达形式	文本、图片、视频	有注释的三维模型	
可以作为质量控制的依据	否	是	
能否准确表达工艺	否	是	
能否交互	否	是	
理解工艺信息的时间	1h	0.4h	减少 60%
工艺信息讲解次数	3	1	减少 66.7%

从结果可以看出，本文研究的方法不仅克服了传统工艺信息表达缺乏系统性和完整性的问题，而且还避免了二维工艺信息表达方式的诸多缺陷，为施工现场的工艺培训、质量控制、质量管理等方面带来了一些提升。其优势如下所示：

(1) 能充分利用三维空间的优点，以 BIM 模型为核心，通过动态变化来表达施工过程的演化。此外，本文创新性地将施工过程中的工艺信息附着在 BIM 模型中进行表达，打破了图纸、文字、图片等二维表达方式的诸多限制，有效提升施工人员和管理人员对工艺细节的理解程度。例如，施工人员和管理人员可在施工作业指导书和关键视图中以交互式、可视化的方式查看三维模型和各类信息，增加对工艺的认识。

(2) 充分发挥桌面虚拟现实的优势，可在固定设备如 PC 和移动设备显示并使用 BIM 模型，且无需其他设备支持，相比于昂贵的虚拟现实设备和增强现实系统，更具有经济性。

(3) 以工步为施工过程中建筑产品表达的基本单位，并采用流程化的方式进行动态表达，相比于传统的施工技术交底和质量控制方案更加精细化、结构化、标准化，能够提升施工人员和管理人员对产品建造细节方面的把控。

(4) 通过 BIM 技术创建模型，将施工过程中的步骤在数字环境中精确复现，可依据三维数字模型和附着在其上的工艺信息，对施工过程进行质量控制与质量管理，相较于传统工艺管理方法具有显著优势。例如，根据不同工艺节点的三维模型与建筑产品建造过程中的形状、位置、尺寸等进行对比，及时发现建造过程中的诸多问题。

(5) 可通过参数调整和参数调用实现建筑产品建造工艺的快速创建，相比复杂的传统工艺文件创建过程更高效。此外，MBD 技术的多维集成性具有显著优势，

可将尺寸、公差、材料、技术要求、规范标准等不同维度的信息集成在三维模型中，并作为信息传递的唯一数据源，相比其他技术更具优势。

结语

综上，针对传统二维工艺信息表达方式的不足以及建筑产品质量控制和质量管理的不足，本文提出了一种基于 MBD 技术的施工过程数字化质量管理方法。在该方法中，以工艺设计模型的实体几何为核心，将工艺信息附着在变化的实体几何中，充分表现建筑产品施工过程中的变化，实现了建筑产品在施工过程中的质量控制与管理。该方法也使施工流程的动态表达成为可能，为建筑施工产品数字化管理和工艺表达提供了极大的便利。同时面向施工过程的数字化质量管理方法充分发挥三维空间和桌面虚拟现实的优势，有助于加深工艺理解程度、提高产品施工质量、减少项目成本，为建筑行业的数字研究提供新的思路。

参考文献

[1] 秦红强, 裴曦, 范文婷, 等. 采用 MBD 技术的液体火箭发动机三维模型设计 [J]. 火箭推进, 2017, 43(03): 42-6.

[2] 于勇, 顾黎, 印璞, 等. MBD 模型本体建模及检索技术研究与应用 [J]. 北京航空航天大学学报, 2017, 43(02): 260-9.

[3] 孙浩. 基于 BIM 技术的工程施工质量管理体系及其应用研究 [D]. 长沙理工大学, 2021.

[4] 傅强. TQ 公司 TY 住宅项目结构主体施工质量提升研究 [D]. 山东大学, 2018.

[5] 王剑阁, 王焕帅, 齐堃. 基于 BIM 技术的项目数据在质量控制方面的应用 [J]. 施工技术, 2017, 46(09): 98-102.

[6] 董昆. BIM 技术在建设工程项目施工质量控制的应用研究 [D]. 北京邮电大学, 2018.