

基于建筑信息模型和激光扫描的装配式 建造管理与质量控制

刘金典¹, 张其林¹, 张金辉²

(1. 同济大学土木工程学院, 上海 200092; 2. 上海同磊土木工程技术有限公司, 上海 200092)

摘要: 提出了一种新的基于建筑信息模型(BIM)和激光扫描的装配式体系建造管理与质量控制方法。首先, 分析了目前装配式建造管理模式和信息化应用存在的不足, 在此基础上提出了装配式体系BIM建造管理系统, 梳理了其模块, 同时提出了基于激光扫描的质量控制方法。通过BIM信息化管理和激光扫描质量控制相结合, 形成了一套新的数字化装配式体系建造方法。最终研究成果在实际工程案例中成功应用, 证明了所提出方法的实用性和可行性。

关键词: 建筑信息模型; 3D激光扫描; 装配式; 建造管理; 质量控制

中图分类号: TU17

文献标志码: A

Construction Management and Quality Control of Prefabricated Building Based on BIM and 3D Laser Scanning

LIU Jindian¹, ZHANG Qilin¹, ZHANG Jinhui²

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Tonglei Civil Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: This paper presents a novel approach for construction management and quality control of prefabricated buildings based on building information modeling (BIM) and 3D laser scanning. First, the current prefabricated construction management mode and deficiencies in information applications are analyzed. Next, a prefabricated building BIM platform for construction process management is described by combing its main module framework. After that, a construction quality control method based on laser scanning is also proposed. By combining the BIM management and the quality control using laser scanning, a new digital construction method for prefabricated

buildings is presented. Finally, the research results are successfully applied in a practical project, which proves the practicability and feasibility of the proposed method.

Key words: building information modeling (BIM); 3D laser scanning; prefabricated building; construction management; quality control

近年来, BIM (building information modeling) 作为一种新的建筑信息化思想逐渐成为行业应用和研究热点, 随着行业对建筑精细化程度要求的提高, BIM的实际应用价值也逐渐被业界认可^[1]。BIM的发展使得基于互联网思维的协同化、信息化和数字化的生产模式逐渐在建筑行业推广。目前, 国内对BIM思想的利用主要集中在三维信息模型的生成、展示和碰撞检查等, 而基于信息协同的思路开展建造阶段管理的探索依然处在起步阶段。其中主要有两方面原因, 一方面传统现浇体系的建造管理环节复杂, 难以确立统一规则的建造范式; 另一方面, 国内尚未出现配套的BIM管理方法和软件, 使得设计阶段的三维信息模型无法有效地为建造管理所服务。

装配式体系采用统一装配的建造方式, 这种工业化的建造体系为信息化管理提供了良好的基础, 也提高了BIM管理推广和应用的可行性。不过装配建造的方式同时也会带来对结构构件和装配过程精度要求较高的问题, 使得信息化建造管理模式的可靠性受到影响。目前施工中用于检测装配构件和安装效果的质量评估方法大多依赖人工粗略测量, 结果往往耗时且精度不高^[2]。三维激光扫描技术近年来快速发展并扩展到很多领域, 逐渐成为一种高效

收稿日期: 2019-04-02

基金项目: 国家自然科学基金(51578404)

第一作者: 刘金典(1993—), 男, 博士生, 主要研究方向为智能制造。E-mail: ljdcldclassictongji.edu.cn

通信作者: 张其林(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为土木工程信息技术、空间结构与健康监测等。E-mail: zhangqilin@tongji.edu.cn



率的质量检测方式。在建造过程中,国外已有相关研究利用激光扫描对建造活动进行跟踪以及进行建筑尺寸质量控制,一般方法是获取设计模型和现场扫描的3D点云模型,对两者进行对比分析,以精细匹配并计算出建造过程产生的误差。针对装配式建筑,研究包括预制混凝土板件的加工尺寸控制和钢筋位置估算、预制构件平整度或缺陷评估以及预制构件中连接件安装定位检查^[3-6]。然而,这些研究均聚焦在质量控制方法的细节部分,其结果并未融入整个信息化建造管理中,使得数字化质量检测的优势未能完全发挥。

利用激光扫描对装配式建造过程进行质量控制,并将检测结果与整个BIM管理相融合,可以极大地提高信息化建造模式的实用性。本文将聚焦建筑生命周期中的建造过程,结合我国实际施工特点和需求,提出一套完整的基于BIM和激光扫描的装配式体系建造管理与质量控制方法。

1 装配式体系建造过程管控模式

1.1 装配式建造管理与质量控制概述

工程建设的整个生命周期一般包含多个阶段,即从规划、设计到施工建造,再到运营维护,直至拆除为止。目前我国主要的项目管理模式依然为“设计—招标—建造”模式,包括施工方在内的各方分别与业主签约并履行相关内容,项目各阶段并无有效联系和约束^[7]。此外,装配式建筑的规划和指导意见近年来密集出台,由于其建造生产方式具备短周期、高效率的优点,逐渐成为目前研究和应用推广的热点^[8]。针对装配式建筑,产品体系、模块化和可持续设计等方面的研究较为丰富,但在应用新型信息技术进行管理和精细化质量管控方面,还缺乏系统的解决方案。本文将聚焦装配式体系建造过程这一阶段,其中管理主要针对建造流程和进度,并将其细分为生产、仓储、运输和安装四个子阶段,如图1所示,提出了基于BIM和激光扫描的建造管理与质量控制方法。

传统的预制装配式项目建设模式是从设计到工厂制造,再运输至现场安装的流程,但这四个阶段是分离的,这种分离的工作流程缺乏较好的配合,经常出现设计的失误直到真正施工安装后才被发现。此外,数据信息的传递主要针对二维图档进行管理^[9]。但是这些图档并不能传输完整的特别是有关联的建筑信息,从而影响建造过程中信息的一致性。

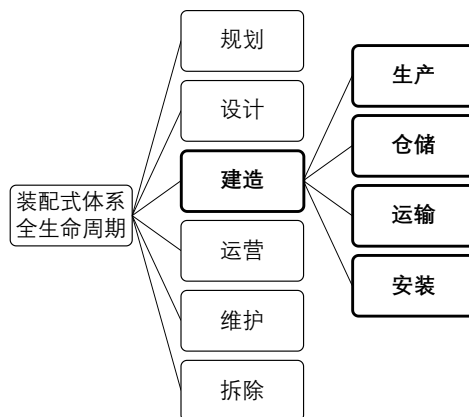


图1 本文建造过程四个阶段

Fig.1 Four stages in the construction process

同时,在建造过程中很多装配构件的质量检查是手动执行的。例如,施工现场通常有两种主要的检测方法:①通过目视观察或使用钢卷尺进行测量,简单地测量元件两端之间的距离;②使用全站仪测量结构的几个特征点坐标。对于一些线性构件,这两种方法都具有能够直观地获得测试结果的优点^[10]。然而,对于很多复杂装配式体系,这些检查方式耗时且费力,更重要的是缺乏足够的精度。

1.2 信息化与精细化的建造管控

BIM最大的特征在于彻底改变了传统基于二维纸质媒介进行的建筑信息传递的方式,其通过将管理软件关联装配构件、管理人员和技术设备,实现信息化的高效管理。张建平^[11]结合我国施工实际需求和特点,提出了实施BIM技术的技术架构、系统流程和应对措施,并自主研发了相关BIM建模系统和4D管理软件。常春光^[12]针对装配式建筑的建造过程特点,研究了利用射频识别技术(RFID)在装配式建筑的建造过程中进行BIM管理。郭红领^[13]分析了传统施工管理流程中存在的问题,构建了利用BIM技术进行施工管理的总体平台架构,设计了相关的系统实施流程。曹新颖^[14]对我国装配式建筑构件的生产过程进行了调研,总结了当前构件的管理现状、控制要点及生产流程,设计了装配式构件信息管理的流程模型。

总体而言,BIM为装配式建造提供了一种各方协同管理的思路,目前利用BIM进行装配式建造管理的研究主要分为两类,一类旨在梳理和描述装配式构件管理要点,进而设计信息化管理流程;另一类则主要利用RFID技术对装配构件进行追踪,并在工程中进行应用。然而对BIM平台开发的研究目前更多集中在对IFC(industry foundation classes)的扩展

和一般施工过程的逻辑整理,缺乏针对装配式体系的优化,这使得研究出将装配式信息化管理和RFID追踪与BIM平台进行整合的系统方法显得尤为重要。

基于BIM的建造管理虽然具备了传统二维图纸所不具备的高效性,但是依然缺乏对建造过程中各节点的建造状态、构件状态以及安装效果的精细化质量控制。三维激光扫描技术由于具备数字化记录物体外表面的能力,可以很好地与BIM流程结合。其中, Lee 等^[15]提出了一种利用激光扫描的检测程序,程序分为三个步骤并最终将程序应用在样本案例,证明了激光扫描质检的适用性。Kim 等^[3]将从点云数据生成的模型和相应的BIM模型相关联,针对预制装配式板材的尺寸控制需求研发了一种非接触尺寸控制技术。Wang 等^[4]开发了一种利用彩色激光扫描数据对钢筋混凝土构件的钢筋位置进行估算的技术,包括钢筋识别和提取算法,并在混凝土板件上进行了试验分析。Bosché 等^[6]将两种不同标准的平整度控制技术应用于与每层相关的点云,从而判断混凝土板是否符合给定平整度公差。钱海等^[16]为检测建筑构件在生产及运输过程中产生的缺陷,基于BIM搭建构件的三维模型,通过stl文件将模型对象转换为期望点云评估构件的误差大小。

BIM技术的高效性和激光扫描的精确性为目前的装配式体系建造提供了一种新的思路,国内在一些工程项目中已有利用BIM和激光扫描相结合的实际应用并取得了良好的工程效益。例如, 阚浩钟等^[17]在大小井特大桥钢管拱肋拼装过程中, 采用BIM与三维激光扫描相结合的方法对钢结构进行虚拟预拼装。然而, 这些探索更多的是进行应用的组合, 包括基坑扫描和地形建模、在桥梁施工中查看BIM并比对扫描模型以及利用点云数据在古建筑等项目中进行逆向模型的生成。其中仅利用了BIM技术中三维模型的优势, 而并未真正将BIM管理思路与激光扫描进行融合。

本文针对装配式体系, 聚焦建造过程的流程管理和质量控制, 将BIM信息化思路和激光扫描数字化质量控制进行融合, 提出了详细的基于BIM和激光扫描的建造管理方法, 具体优势如表1所示。利用BIM和激光扫描技术, 可使业主、设计、生产和施工各方同步更新项目进展, 并跟踪精确的项目建造

质量。

表1 传统装配式建造管控方法与本文方法对比
Tab.1 Comparison between traditional prefabricated construction management methods and this study

方法	传统装配式建造	BIM&激光扫描相结合
管理模式	2D	4D
模型数据	图纸	包含建造信息的三维模型
质量控制	点式粗略测量	激光扫描精确分析
协同模式	施工方单独建造	各方协同建造

2 BIM管理与激光扫描质量控制

2.1 BIM装配式建造管理系统

BIM建造管理的核心在于形成一个切实可落地的可视化信息管理平台。本文结合实际企业调研和自行开发的实践, 提出了一套装配式4D建造管理平台框架, 如图2所示。框架具体分为6个模块, 分别是: 项目管理、模型转换、识别(ID)管理, 质量控制、进度追踪和实时状态。其中, ID管理和质量控制是整个建造过程成功管理的关键。

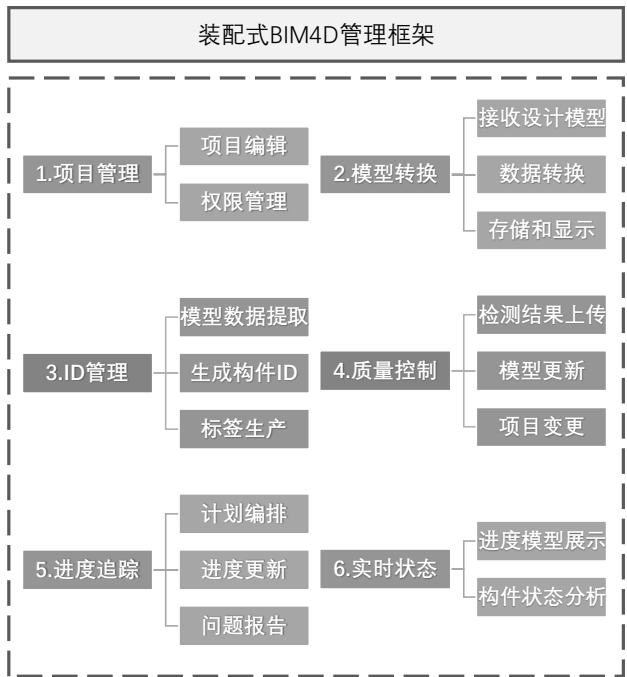


图2 BIM装配式建造管理系统主要模块
Fig.2 Main modules of the BIM construction management platform of a prefabricated building

(1)项目管理。项目管理模块负责对建造过程中人员、构件和设备等基本信息的管理。该模块为业主、设计方、生产方和施工方分配相应权限, 同时提供构件的属性信息和装配修改信息, 这既

能便于建造人员跟踪进度和质量等信息,也可以提高管理人员的管理效率。

(2)模型转换。模型转换模块负责设计阶段模型的对接和平台模型的管理。该模块首先承接设计阶段,接收设计模型等相关数据,然后将其转换为管理平台所需格式的模型数据。接收设计文件可以通过文件方式开发接口系统对接现行不同设计软件,也可通过进程间通信方式,或网络接口通信方式实现。最后该系统将建造过程所需的模型进行三维显示,该过程中进行模型轻量化处理将有利于增加平台的灵活性和适用性。

(3)ID管理。ID管理模块负责构件的属性与ID的管理,包括提取建造过程中的管理模型、自动分配构件ID以及构件标签的生产。该模块通过向数据库提取管理模型,基于设定算法对模型中的构件进行自动ID分配和信息存储。标签即构件ID的物理载体,通常使用二维码/RFID等方式,该模块最终进行ID信息的实体化。

(4)质量控制。质量控制模块负责建造过程中构件质量和装配结果的检测。该部分对接激光扫描结果,基于设定阈值对被检测对象的质量进行分析判断。质量分析结果将被反映到管理平台的模型中,并通过系统内部分发给权限指定的相关建造人员和管理人员。相关人员可以协同生成变更数据,同时管理平台将更新项目建造计划。

(5)进度追踪。进度追踪模块负责收集构件的位置、状态和安装结果等信息。管理人员首先通过该模块对构件建造计划进行维护和管理,常规的建造计划主要是建造进度中的时间节点。该模块分别将计划和实际建造的状态信息添加到管理模型的属性信息中,实现4D管理。如果监测到进度异常,将自动向权限指定的相关建造人员和管理人员发送问题报告。

(6)实时状态。实时监控模块负责整体进度模型的4D展示和建造状态评估。该模块是最主要的BIM4D展示模块,包括整体模型中全部构件的阶段进度、安装结果以及质量监测等信息。同时,该模块还将基于设定算法对目前整体的建造状态给出智能分析结果。

2.2 利用激光扫描进行精细化质量控制

利用激光扫描进行质量控制即对装配式构件或体系进行激光扫描,获取被测对象的点云数据,再进行点云处理以计算不同建造节点的构件误差,最后再将检测数据上传管理平台。总过程可以分为确定

扫描策略、确定扫描系统和点云数据处理三个部分。

扫描策略是指为获取所需全部点云数据所采取的扫描方式。一般而言,对于规则形状梁柱等构件,往往仅需扫描其伸展方向的一个主面即可;而对于复杂节点,则需要进行全部方向的扫描才可获取完整数据。例如,对于厚度较小的板件,其中一个面的点云数据即可代表整个构件,如图3所示。装配式体系构件的生产和安装往往是批量进行,确定和设计合适的扫描策略既可以大大节省整个质量检测过程的时间,同时也为点云处理程序的自动化提供基础。

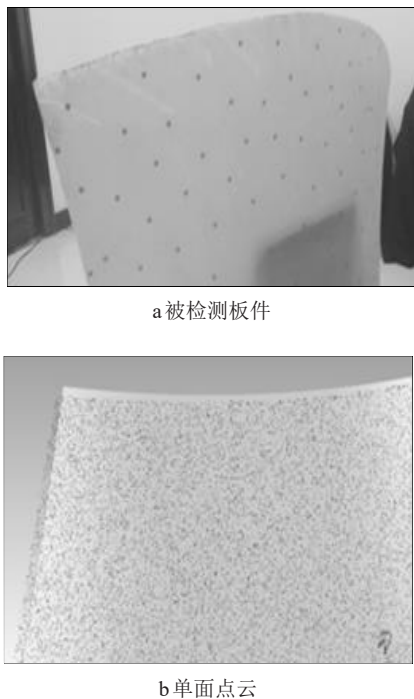


图3 被检测板件与单面点云

Fig.3 Detected board and single-sided point cloud

此外,点云质量和扫描工作复杂性也与激光扫描系统本身有关,例如分辨率,扫描精度和扫描范围等等。一般而言,扫描仪的分辨率和扫描范围不能同时增大。因此,对于既定项目,分析激光扫描的适用范围、可行性和经济性是十分必要的。按照测量原理不同,本文将扫描系统分为两个大类:地面激光扫描仪(terrestrial laser scanners, TLS)和手持移动扫描仪(handheld mobile scanners, HMS)。TLS基于脉冲式或相位差进行激光测距从而创建3D坐标^[18],而HMS则是基于三角测距。①适用范围:TLS通常使用三脚架在现场设置,由于测量距离远,对环境光免疫程度高,故具有较广的适用范围;

HMS可以灵活地手持和移动,但仅适用于近距离扫描。②可行性:两者均可达到毫米级精度。对于整体建筑的扫描只可使用TLS;而对于精密预制构件的扫描使用HMS可以获得更高的精度,且由于不用频繁设置站点,可行性和扫描效率均有提高。③经济性:使用激光扫描系统的经济性应当从装配式项目整体角度考虑。总体而言,对于需要整体性监控和检测的项目,使用激光扫描可以获得良好的经济效益。例如:预制构件的形状误差控制、预制连接点的位置检测和整体装配式建筑的建造记录等。而对于利用关键点进行安装控制的项目,可以使用全站仪等成本较低的工具代替。

点云数据的处理是整个利用激光扫描进行精细化质量管理的核心,即将扫描的点云数据和BIM管理平台中的模型进行对比,计算出具有较高精度的比对误差。对于几何误差计算,点云数据的处理分为两步:点云对齐和误差计算。点云对齐是指将扫描点云和BIM模型进行对齐的过程,比较流行的算法有主成分分析(principal component analysis, PCA)和迭代最近点(iterative closest point algorithm, ICP),除此之外,检测人员可以根据被检测构件的特征设计对齐算法,以满足实际工程的需求。对齐点云后,可以使用邻近算法(k-nearest neighbours search, k-NN)来计算点云和BIM建造过

程模型的误差值,同样,也可以根据构件的特征改变误差计算算法;对于结构性能评估,点云数据则需要逆向处理,检测人员需要根据之前拟定的扫描策略,设计相应的点云逆向模型生成算法。逆向模型生成后,将接入结构计算程序,分别分析逆向点云模型和BIM管理平台中设计模型的力学性能,以自动化地评估实际装配式构件或体系的建造质量。最后,点云处理和分析结果将在BIM管理平台中显示,各方均可实时监控建造质量,实现可靠的4D精细化管理。

3 基于BIM和激光扫描的装配式建造管理与质量控制方法

基于BIM和激光扫描的建造管理模式本质是一种协同的数字化管理与控制方法,该方法将业主、设计、生产和施工各方的信息汇总并整合,使得装配构件和体系的建造信息可以在各方共享和传递,最大化减少由于建筑信息不流畅导致的装配错误或项目延期。根据所提出的BIM装配式建造管理系统和利用激光扫描进行精细化质量控制的方法,结合实际的建造过程,对装配式体系建造管控方法的流程进行了梳理,如图4所示。

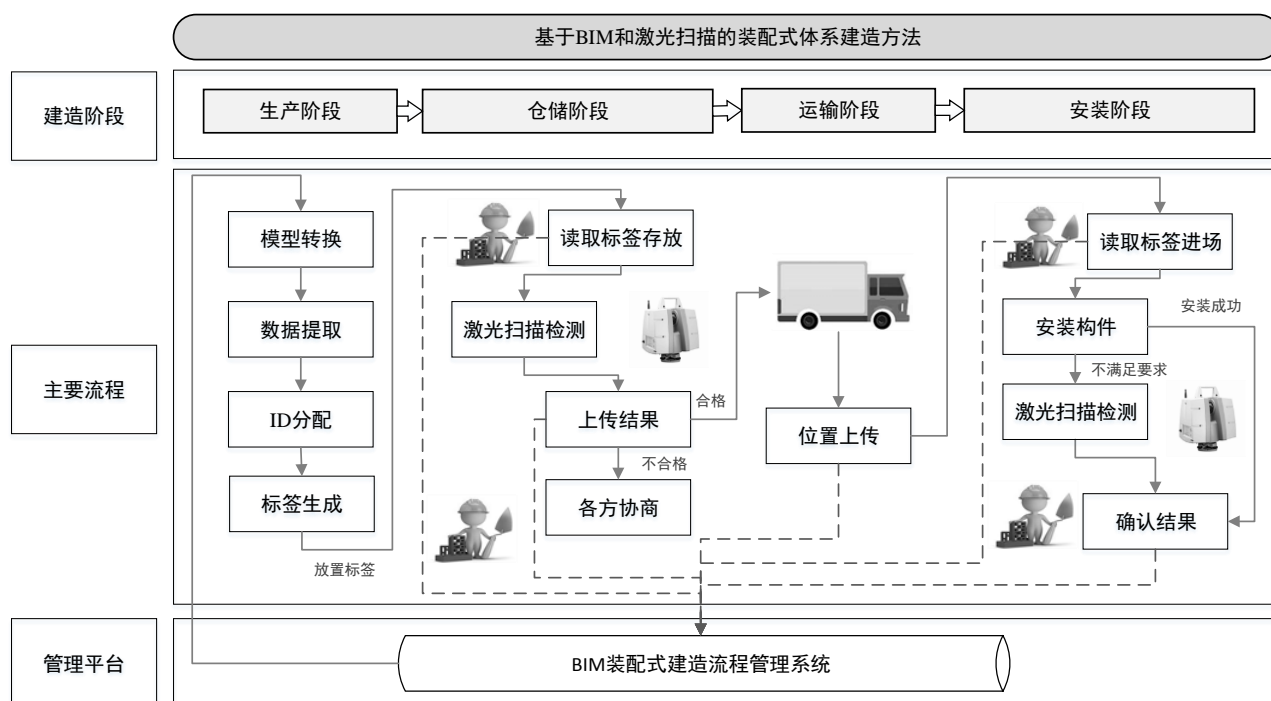


图4 基于BIM和激光扫描的装配式体系建造流程

Fig.4 Construction process of a prefabricated building based on BIM and laser scanning

3.1 生产阶段

该阶段作为建造管理的开始,首先对设计方传来的模型进行版本和信息完整性检查。通过后,则需要进行模型数据转化,将设计阶段模型(BIM_D模型)转换为建造管理模型(BIM_C模型),通常是一种模型轻量化操作。转换工作主要有两项:①结合整体项目模式确定接收BIM_D模型的方法,一般可以通过中间文件传递,例如IFC。如果设计可以纳入建造管理环节,则可以通过设计端直接上传平台数据库的方式完成,这可以极大地提高BIM平台对数据管理的效率。②根据实际建造需求设计BIM_C模型的数据结构,确定模型转换接口的交付精度,管理模型信息过少或过多均会影响BIM管理系统的实际效率。

完成数据转换后,系统将自动提取BIM_C模型数据信息,分析并生成装配构件的唯一识别号(ID)及相关属性信息。利用装配构件的ID信息,系统将根据构件生产进度或生产方提前录入的顺序自动生成构件标签。目前,应用较为普遍的有二维码纸质标签和RFID电子标签两种,其均可以作为构件ID的载体,区别主要在于具体的识别方式不同。这个阶段的工作基本上在系统内自动完成,也是实现后续流程的基础。

3.2 仓储阶段

在构件出厂前的仓储阶段,工作人员需要对装配构件进行标签的放置,同时还需要对构件进行第一次激光扫描质量检测。结合实际的构件形式和工程需要,设计合适的扫描策略并选取相应的扫描设备,获取所需的点云数据。系统将自动对比点云数据和BIM_D模型,记录构件整体的大小和扭转等误差信息,并给出误差较大的位置和数值。如果误差超出最大允许值,系统将在质量控制和实时状态模块发出提示,记录并向建造各方提供错误详情,直至各方协商并解决问题。如果误差未超出最大允许值,则进入下一个流程。

3.3 运输阶段

装配构件的运输往往批量进行,需要结合施工现场的位置情况和装配进度实时调整。BIM管理平台在进度追踪模块将给出构件的位置和状态信息,这可以为各方协调生产加工、运输车次以及实际装配进度提供动态的管理依据。

3.4 安装阶段

构件到达装配现场后,工人通过读取装配构件上的标签在系统内确认构件进场。在现场存储和摆

放管理中,将基于RFID对构件进行区域定位和系统追踪,在场内按照施工计划对构件进行规划并通过RFID快速存取;在安装过程中,工人将通过标签在BIM管理平台上核对安装的位置信息,这可以为很多复杂结构体系的装配过程提供辅助。

如果安装发现问题,例如构件无法按照预期安装或安装后发现有较大偏差,则需再次激光扫描。获取点云数据后,此次系统将分别比对点云数据和BIM_C模型、逆向点云模型和BIM_D模型,以对该装配构件或节点的实际尺寸误差和结构性能偏差进行评估,记录并向建造各方提供问题信息。

如果构件安装顺利,工人将通过构件标签在系统中确认该构件最终安装状态。同时,利用激光扫描定期记录安装后关键构件和结构,在系统内监测其垂直度和缝隙变化,可以在整个建造阶段对装配质量进行控制。整个安装阶段将在进度追踪和实时状态模块中显示,至此,基于BIM和激光扫描的一套协同的数字化建造管理流程完成。

4 工程案例

本工程为一个位于福州市的装配式自由曲面建筑,三座喇叭花状自由曲面壳彼此连接并覆盖直径为25 m的商业广场,其喇叭花状外壳由大量GFRP板^[19]安装在内侧结构檩条上拼接而成。该项目的建造管理有两个难点:①组成外壳的GFRP板(如图3所示)数量较多且无形状相同板件;②该项目外壳形状复杂,故对板件的安装精度要求极高,传统的质量控制方法无法顺利完成该装配项目。因此该项目采用了本文提出的基于BIM和激光扫描的装配式体系建造管控方法,同时由于目前尚未有商品化的建造管理软件,故使用了本课题组基于所提出建造方法研发的BIM4D建造管理软件,如图5所示。

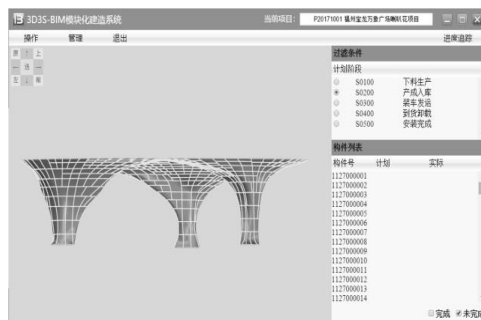


图5 BIM软件界面示意图

Fig.5 Sketch of the BIM software interface

通过 4D 协同管理,项目实现了板材生产方、业主和施工方的统一管理和变更,同时利用激光扫描技术,有效控制了板件的安装精度。

图 6 展示了本工程中板件信息记录和具体操作过程。图 6 中为一块贴有二维码标签的 GFRP 板件,标签上有构件的编号、尺寸以及材性等关键信息。这些信息由管理平台提取设计模型后存入数据

库并自动生成打印。操作人员参考标签上的构件信息通过扫描二维码访问管理平台,对构件的状态进行维护,各方均可实时查看构件进度和质量状态,实现了 4D 管理模式。其中,二维码标签作为本工程中板件的 ID 载体,工厂、业主和现场建造人员均可以使用普通移动便携设备操作,提高了系统的运行效率。

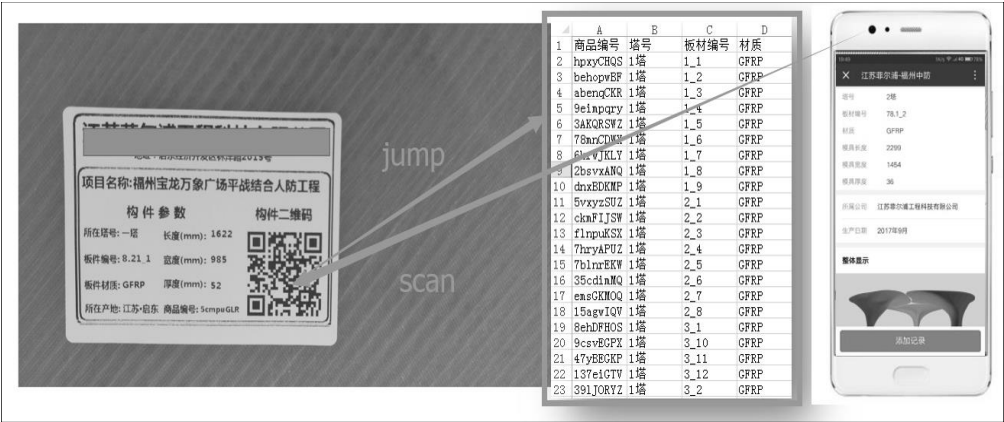


图 6 板件记录信息流

Fig.6 Information flow for board information recording

板件加工完成后在出厂前需要进行激光扫描质量检测,且结果同步在建造管理平台以便各方可以实时掌握板件状态。图 7 为板件在仓储阶段出厂前的质量检测结果。其中,图 7a 展示了板件的边缘误差,边缘误差是指扫描点云边缘和设计模型边缘的误差,可以用来描述板件边缘一周的重合程度;图 7b 展示了板件的厚度误差,厚度误差用来描述单面点云和设计曲面在厚度方向上的误差。本工程给予板件的边缘和厚度最大允许误差分别为 15 mm 和 10 mm,该板件四周最大误差为 14. 31 mm 和 6. 62 mm。扫描完成后,板件质量检测结果被上传至管理平台。

每个板件在加工完成后都会被用二维码标签标记并录入 BIM 管理系统中。板件从工厂出发后,BIM 管理系统将会接入 GPS 系统,在实时监控模块显示每批板件的位置状态,如图 8a 所示,这可以帮助现场管理人员安排板件的进场以及预测建造流程是否有延迟。

此外,由于本工程建筑造型复杂,故板件需要在安装位置进行试装,如图 8b 所示。如果板件可以安装,则建造人员将通过二维码标签在系统中确认,如图 8c 所示。如果试装不成功,则需要进行现场激光扫描检测,包括板件目前的质量是否有变化以及主

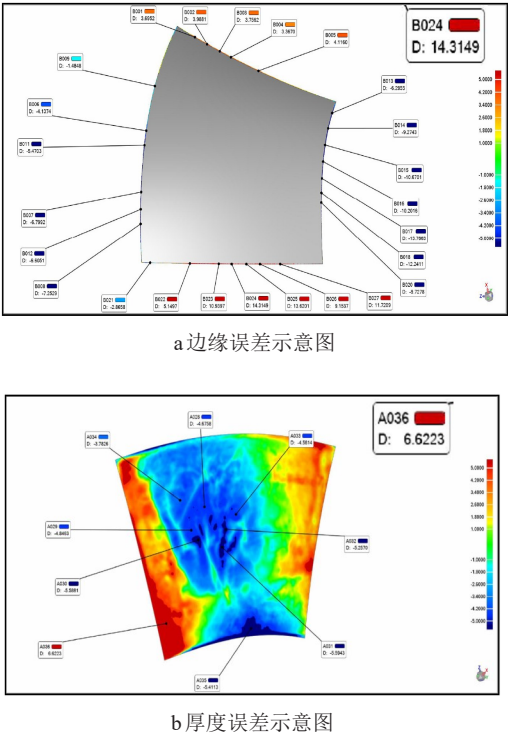


图 7 板件激光扫描检测结果示意图

Fig.7 Sketch of the laser-scan detection result

体结构的建造精度是否符合要求,将各方需要的错误信息及时上传 BIM 管理平台。

本工程中,业主、设计、生产和建造人员可以在BIM管理系统上查看构件的具体问题和位置状态,及时协商修改建造方案。最终,管理系统顺利应用,

工程得以高效准时完工,所提出的基于BIM和激光扫描的装配式建造管理与质量控制方法也得到了各方一致好评。

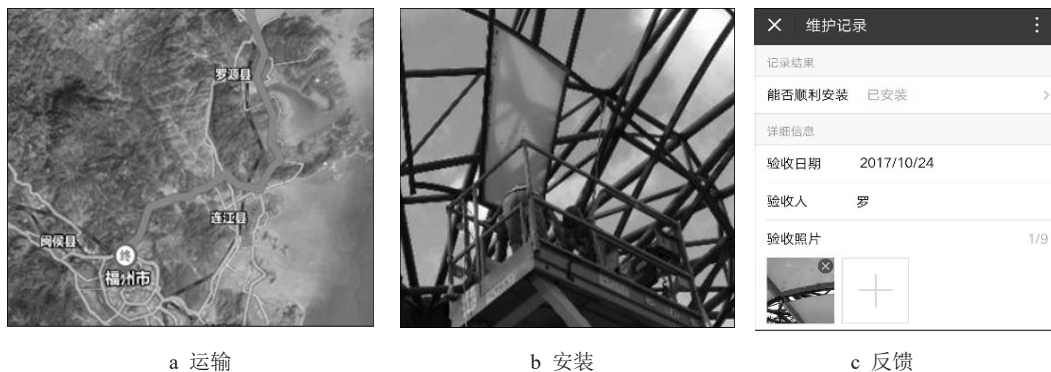


图8. 建造过程管理中的运输、安装和反馈

Fig.8 Transportation, installation, and feedback in construction process management

5 结语

本文利用BIM思想和三维激光扫描技术为装配式体系提出了一种新的建造管控方法,改善了传统装配式体系建造管理中信息传递不流畅、管理模式效率不高以及装配质量难以把控的问题,并通过实际工程案例的应用,证明了所提出的建造管控方法的实用性和可靠性。与传统模式相比,本文所提出的方法主要有两点优势:①实现了整个建造过程的4D协同管理,对于建造过程的问题处理不再是单方解决而是各方协商。通过统一的BIM管理平台,降低了整个工程项目的总体成本。②在建造质量控制方面,融合了更加精准且高效率的激光扫描检测方法,降低了整个建造过程的质量检测时间,避免了现场返工,同时也可以为建造问题的产生和问责提供更加可靠的数据支撑。随着行业信息化水平的不断提高以及项目管理模式的不断革新,本方法将通过增加控制元素和扩展管理阶段,在项目的全生命周期中发挥出更大价值。

参考文献:

- [1] VOLK R, STENGEL J, SCHULTMANN F. Building information modeling (BIM) for existing buildings - literature review and future needs [J]. *Automation in Construction*, 2014, 38(109):27.
- [2] PARK H S, LEE H M, ADELI H, *et al.* A new approach for health monitoring of structures: terrestrial laser scanning [J]. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2007, 22(1):19.
- [3] KIM M K, WANG Q, PARK J W, *et al.* Automated dimensional quality assurance of full-scale precast concrete elements using laser scanning and BIM [J]. *Automation in Construction*, 2016, 72(102):14.
- [4] WANG Q, CHENG J C P, SOHN H. Automated estimation of reinforced precast concrete rebar positions using colored laser scan data [J]. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2017, 32(9): 787.
- [5] YOON S, WANG Q, SOHN H. Optimal placement of precast bridge deck slabs with respect to precast girders using 3D laser scanning [J]. *Automation in Construction*, 2018, 86:81.
- [6] BOSCHÉ F, GUENET E. Automating surface flatness control using terrestrial laser scanning and building information models [J]. *Automation in Construction*, 2014, 44:212.
- [7] 马智亮, 李松阳. “互联网+”环境下项目管理新模式 [J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2018, 46(7): 991.
- [8] 刘康宁, 张守健, 苏义坤. 装配式建筑管理领域研究综述 [J]. *土木工程与管理学报*, 2018, 35(6): 163.
- [9] 王勇, 张建平. 基于建筑信息模型的建筑结构施工图设计 [J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2013, 41(3): 76.
- [10] LIU J D, ZHANG Q L, WU J, *et al.* Dimensional accuracy

- and structural performance assessment of spatial structure components using 3D laser scanning [J]. *Automation in Construction*, 2018, 96:324.
- [11] 张建平, 李丁, 林佳瑞, *et al.* BIM在工程施工中的应用 [J]. *施工技术*, 2012, 41(16): 10.
ZHANG Jianping, LI Ding, LIN Jiarui, *et al.* Application of BIM in engineering construction [J]. *Construction Technology*, 2012, 41(16): 10.
- [12] 常春光, 吴飞飞. 基于BIM和RFID技术的装配式建筑施工过程管理 [J]. *沈阳建筑大学学报(社会科学版)*, 2015, 17(2): 170.
CHANG Chunguang, WU Feifei. Prefabricated construction process management based on BIM and RFID technology [J]. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Social Science)*, 2015, 17(2): 170.
- [13] 郭红领, 潘在怡. BIM辅助施工管理的模式及流程 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2017, 57(10): 1076.
GUO Hongling, PAN Zaiyi. The mode and process of BIM-aided construction management [J]. *Journal of Tsinghua University(Science and Technology)*, 2017, 57(10): 1076.
- [14] 曹新颖, 鲁晓书, 王钰. 基于BIM-RFID的装配式建筑构件生产质量管理 [J]. *土木工程与管理学报*, 2018, 35(4): 102.
CAO Xinying, LU Xiaoshu, WANG Yu. Quality management of component production of prefabricated building based on BIM-RFID technology [J]. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2018, 35(4): 102.
- [15] LEE K H, PARK H P. Automated inspection planning of free-form shape parts by laser scanning [J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2000, 16(4): 201.
- [16] 钱海, 马小军, 包仁标, 等. 基于三维激光扫描和BIM的构件缺陷检测技术 [J]. *计算机测量与控制*, 2016, 24(2): 14.
QIAN Hai, MA Xiaojun, BAO Renbiao, *et al.* Technology based on 3D laser scanner and BIM for detecting defects of component [J]. *Computer Measurement & Control*, 2016, 24(2): 14.
- [17] 阚浩钟, 闫振海, 李湛, 等. 基于BIM和三维激光扫描的钢管拱肋拼装检测技术 [J]. *施工技术*, 2019, 48(6): 20.
KAN Haozhong, YAN Zhenhai, LI Zhan, *et al.* Detection technology of assembly of steel tube arch rib based on 3D laser scanning and BIM [J]. *Construction Technology*, 2019, 48(6): 20.
- [18] SEPASGOZAR S M E, FORSYTHE P, SHIROWZHAN S. Evaluation of terrestrial and mobile scanner technologies for part-built information modeling [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2018, 144(12): 04018110.
- [19] GOJNY F H, WICHMANN M H G, FIEDLER B, *et al.* Influence of nano-modification on the mechanical and electrical properties of conventional fibre-reinforced composites [J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2005, 36(11): 1525.