

BIM技术在装配式建筑成本控制中的应用

毛 铭, 朱会霞

辽宁工业大学经济管理学院, 辽宁 锦州

收稿日期: 2023年6月9日; 录用日期: 2023年7月10日; 发布日期: 2023年7月19日

摘 要

BIM (Building Information Modeling)技术是现阶段工程领域不容忽视的一类综合性技术手段, 也就是建筑信息模型, 装配式建筑成本控制是提高企业市场竞争力的关键, 是实现行业可持续发展的必要条件。从目前来看, 装配式建筑项目成本仍居高不下, 成为制约装配式建筑快速发展的根本因素。文章重点分析了BIM技术对装配式建筑施工成本进行控制的具体措施, 以实例印证BIM技术与装配式施工过程中成本管控的融合运用, 可有效降低成本, 实现对成本的高效控制与管理。

关键词

BIM技术, 装配式建筑, 成本控制, 建筑施工, 绿色建筑

Application of BIM Technology in Cost Control of Prefabricated Building

Ming Mao, Huixia Zhu

School of Economics and Management, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

Received: Jun. 9th, 2023; accepted: Jul. 10th, 2023; published: Jul. 19th, 2023

Abstract

BIM (Building Information Modeling) technology is a kind of comprehensive technical means that can not be ignored in the engineering field at this stage, that is, building information modeling. Cost control of prefabricated building is the key to improve the market competitiveness of enterprises and the necessary condition to achieve sustainable development of the industry. At present, the project cost of prefabricated building is still high, which has become the fundamental factor restricting the rapid development of prefabricated building. This paper mainly analyzes the specific measures of BIM technology to control the construction cost of prefabricated building, and verifies with examples that the integration of BIM technology and cost control in the process of

prefabricated construction can effectively reduce costs and achieve efficient control and management of costs.

Keywords

BIM Technology, Prefabricated Building, Cost Control, Building Construction, Green Building

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着国家加大住宅产业化的推进力度,装配式建筑的应用越来越多。2022年初住房和城乡建设部发布了《“十四五”建筑业发展规划》,其中针对装配式建筑的大力发展提出了“构建装配式建筑标准化设计生产体系,拓展标准化构件和部品部件应用,增强装配式建筑综合效益”等明确要求。而BIM技术通过构建可视化数字模型,可提取建筑各构件的参数信息,为装配式建筑提供可视化操作平台,因此BIM技术是建筑行业向数字化、信息化改革的主要途径,融合BIM技术的装配式建筑是建筑行业转型的必经之路。

发展装配式建筑,最重要的就是要严格把控装配式建筑成本,对于装配式建筑成本管控,专家学者做了以下的研究。Santos等人提出将BIM技术与装配式建筑结合,初步研发了BIM技术与装配式建筑相结合的成本管理平台[1]。郑卫霞对装配式建筑工程项目的成本管理进行深入分析,得出在管理层面上从各方面进行成本管理的效果[2]。宫培松等从装配式建筑全过程成本管理层面探讨构件拆分及成本的协同优化方案,并在此基础上对构件加工过程中的模具进行重点优化[3],庞允盼等基于SEM对构建装配式建筑成本影响因素体系进行检验,分析出生产阶段影响因素对成本的影响最大[4]。赵峰、刘刚等人研制了采用BIM和物联网技术的预制装配式建筑施工现场数据网络平台,将BIM和物联网技术与装配式建筑建造过程紧密对接[5]。

上述专家学者通过对装配式建筑工程中不同施工生产环节成本控制的研究,确定了影响装配式建筑成本管控的关键要素,但大多数都是概念性质的引入和说明,缺少实际的应用流程和方法,因此,本文对装配式建筑成本管控的实际应用流程和方法展开研究,以期解决装配式建筑工程成本管控中遇到的问题。

2. 装配式建筑成本构成及分析

传统建造模式只需要设计和施工两个阶段,而装配式建筑的特点决定了其需要通过设计、生产、物流、装配四个阶段。从建筑工程结构的角度来看,传统现浇混凝土建筑结构和装配式建筑结构,它们的成本费用构成大体上是一样的,主要资源消耗均是混凝土、钢筋等,但是由于两者建造方式的不同导致成本有所改变,各项成本费用所占比例也会有所不同。传统现浇混凝土建筑成本主要由直接费、间接费、利润和税金组成,如图1所示,其中直接工程费在建筑过程中能够直接体现劳动力与物资资源费用,是建筑项目成本支出主要组成部分,对建筑项目的成本有很大的影响。在项目建设过程中质量、工期、成本是相互制衡制约的,在规定建设标准下,想要从人工、材物料、机械上调整价格来降低成本是非常难的。所以要做好各阶段的组织计划,合理有效进行资源分配。

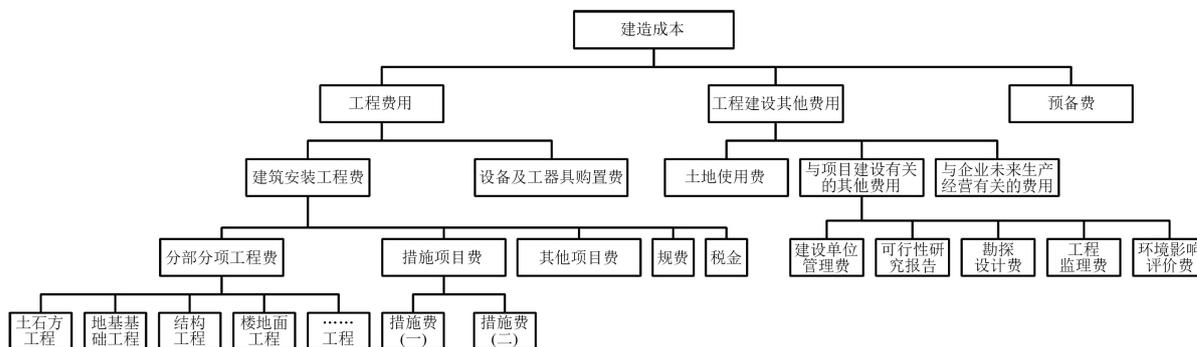


Figure 1. The construction cost composition of traditional cast-in-place construction projects

图 1. 传统现浇建筑项目的建造成本构成

装配式建筑的成本构成中,除了包含传统现浇混凝土建筑中成本构成的费用外还增加了预制构件生产成本、构件运输成本、施工安装成本,如图 2 所示。其中预制构件生产费用包含建筑材料费、人工、水电、机械等成本费用、构件模具费、工厂摊销费、预制构件厂利润、税金组成;构件运输费主要是预制构件从工厂运输至工地的运费、短期仓储费和施工场地内的二次搬运费;构件安装费主要是构件场地内垂直运输、安装等费用,此外还有现场脚手架、模板等措施费用。

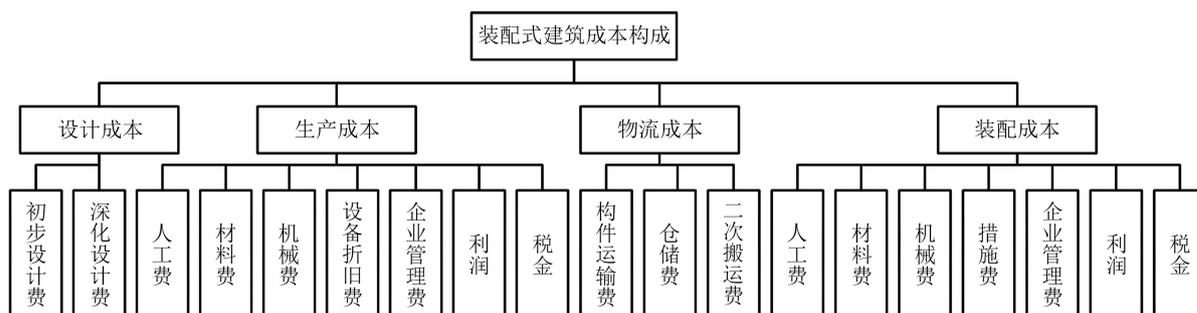


Figure 2. Cost composition of prefabricated building construction

图 2. 装配式建筑建造成本构成

现阶段,绝大多数的装配式工程项目设计都是在设计图纸完成后,再由装配式建筑公司对其再次进行优化,然后对其进行部件拆分、工艺设计,这样的设计方式还不够成熟,势必会造成设计费用的上升。装配式建筑传统的设计方法会导致预制构件的种类繁多,设计人工成本与设计时间成本的增加,极大程度上延缓了我国工业化的进程,与我国推进建筑工业化的总体目标相违背。目前装配式建筑设计普遍采用等同现浇设计的方式,然后按照预制构件的生产和装配要求进行构件分拆,这种方式设计效率低,协同性差。在构件分拆深化设计阶段,每个预制构件都要有与建筑、结构、安装等专业相对应的生产图纸。预制构件的配筋、节点、埋件、留洞等设计内容都需要体现在深化设计图纸中。由于设计内容增多、设计深度增加,因此装配式建筑设计费用同传统现浇结构相比每平方米要高出 20~40 元。

在我国装配式建筑工程的成本管理的难点集中于:装配式深化设计费用高;缺乏统一的规范标准;因长途运输导致的预制构件破损;现场施工经验要求高,施工中极易出现失误;预制构件垂直吊装费用高等。装配式建筑的特点就是部品部件由传统的现场制造转向预制构件工厂化生产,其造价成本较高的主要原因也是因为 PC 构件成本较高,预制构件生产阶段成本除了包括基本的人、材、机费用,还包括生产部品部件的模具费,以及存放管理费等。材料费在 PC 构件成本中占的比重最大,其中主材(如钢筋、

混凝土)的费用主要与项目的工程量和建筑市场行情有关, 工程量由于设计规范标准的限制, 特定的建筑工程基本上是固定的, 钢筋、混凝土市场也比较成熟, 预制构件厂可以通过自制混凝土节省一部分成本。配套材料如制作构件的模具、灌浆套筒, 行业普遍反映单价较高。现阶段预制构件的配套材料价格较高, 很大程度上影响了预制构件的成本, 进而影响装配式混凝土建筑的成本[6]。

3. BIM 技术应用于装配式建筑中的优势

3.1. BIM 技术在装配式建筑设计和生产阶段的优势

对于工程项目来说, 前期的设计会直接影响后续工程的建设质量, 装配式建筑特别强调各个方面的协调性, 所以在装配式建筑设计阶段需要注重提高设计方案的科学合理性; 通过 BIM 设计建模, 能够协调各方标准。客户需求等因素, 实现设计不断迭代优化。同时 BIM 可以根据图纸的设计, 搭建相应的专业管线, 通过该种方式能够找到工程在建设过程中可能出现的碰撞情况, 设计人员可以对碰撞部位进行调整来对设计方案进行优化。这样能够有效降低后续建设过程中可能出现的方案变更, 保证工程的建设进度, 确保工程能够在工期内完成。

相较于传统建筑, 装配式建筑所应用的主要材料均是工厂提前进行生产制造, 随后运输到施工现场进行施工。目前装配式建筑所使用的构件都采用机械化的生产模式, 因此构件生产制作运输在装配式建筑中是重中之重。

在装配式建筑预制构件生产阶段中, 为尽可能控制构件生产成本, 构件的尺寸和质量等要求都极为严格。构件生产厂商从 BIM 平台获取各类构件信息(如规格、材质、数量生产等), 按照设计方案展开生产, 将生产信息及时反馈到 BIM 平台, 避免了生产人员对图纸把握不精准、对构件设计理念不深入等导致构件生产出错的现象发生, 避免了二次加工、冗余生产等生产资源浪费现象的产生。

现阶段在制作构件时可运用 RFID 技术将每个构件的信息通过 RFID 标签植入构件[7], 每个构件相当于拥有了唯一的身份证明, 可大大提高构件从生产到起运安装的管理效率, 运输车辆也可安装 RFID 芯片, 实现建筑构件动态管理, 在运输开始前根据所有运输路线中的地形地貌数据制作对应三维地理模型, 依据模型模拟预制构件运输全过程, 对相应运输路线上的危险进行预演, 通过 BIM 大数据平台合理规划运输路线。根据产出构件的具体尺寸规格合理安排运输车辆种类, 制定运输需求计划和装车方案, 提高运输车辆装载率, 避免装卸混乱而引起多次搬运的情况。管理人员利用手中 PDA 终端结合 RFID 技术, 读取预制构件出厂信息并与配送单进行核实确认, 避免配送失误。在运输过程中实时获取车辆与构件状态信息, 对车辆与预制构件做好跟踪定位, 做好预制构件保护措施, 确保预制构件无损伤交付, 控制装配式建筑预制构件运输成本。若在运输过程中构件发生损坏, 可以将受损构件信息及时反馈给 BIM 平台, 工厂可快速做出对应补救措施, 保证后续的施工安装过程不受进度影响[8]。

3.2. BIM 技术在装配式建筑施工阶段的优势

BIM 技术中采用的最新型软件可以改变原 2D 出图模式, 直接建立 3D 模型, 并在原有的基础上增加了时间进度、成本等维度, 使其变成了名副其实的 BIM5D 技术, 又称为 GBIM-5D 技术, 达到了对图纸深化加工的目的[9]。将 BIM 技术应用在施工环节的成本控制工作中, 主要是利用 BIM 技术的模拟功能, 能够更加清楚地了解在施工过程中各项资金的实际使用情况。利用 BIM 对施工进行模拟仿真, 模拟构件运输安装, 借此优化现场施工流程; 以施工模型为基础便于管理者提前根据工程的实际建设情况进行设备和材料的布置。利用 BIM 技术优化现场布置和构件运输路径, 减少二次运输; 采用 RFID 技术检索现场构件信息, 提高现场管理水平。应用 BIM 技术可以对在施工过程中可能出现的施工问题进行预见, 施工人员可以提前采取相应的应对措施, 以此来减少在施工过程中出现问题而加大成本投入。

3.3. BIM 技术在装配式建筑竣工结算及运营维护阶段的优势

在开展竣工结算工作时, 需要对工程量进行反复核对, 传统以二维图纸核对的方式具有一定的局限性, 很容易导致图纸数据的丢失, 应用 BIM 技术可以避免此类错误。BIM 技术具备较强的数据处理功能, 能够将复杂的工程信息进行简化, 避免由于结算数据出现偏差而引发纠纷问题, 能够提高竣工结算的工作效率, 减少时间成本的投入。利用 BIM 技术对造价各分部分项费用开展研究, 以市场价格数据体系为基础, 结合云计算、人工智能技术实现协同工作、智能开项和智能算量等, 智能组价、智能选材定价, 实现造价全面智能化。

利用 BIM 和 RFID 技术搭建装配式建筑运维系统, 出现问题, 可实现源头追溯; 利用 BIM 模拟各种突发事件, 制定日后抢修抢救预案; 管理人员可从 BIM 模型提取人流、水电、消费通道等关键节点, 安装各种监测设备, 提高日常管理效率。BIM 技术在运营维护阶段通过平台进行设备监控, 物业管理, 进行数字分析和评估, 提高运营维护效率质量, 节约资源, 实现建筑以人为本功能[10]。

4. BIM 技术在装配式建筑成本控制中的应用

4.1. 工程概况

以重庆市两江新区某多层住宅为研究对象, 其建筑总高度 25.05 m, 建筑总面积 6064.28 m², 地上结构 8 层、地下结构 1 层。其中, 地下一层为车库和设备用房, 地上一层为住宅和大堂, 地上二层及以上各层为住宅, 属于多层住宅。在该建筑工程设计中, 采用剪力墙结构, 建筑抗震等级为四级。在该住宅项目建设造价控制中, 采用 BIM 技术进行综合管理。

4.2. 基于 Revit 软件的装配式建筑施工成本管控应用

4.2.1. 在设计阶段应用

对装配式建筑的成本加以控制, 设计阶段尤为重要, 设计方案上一小部分的变动, 就会对项目的最终成本产生不可忽视的影响。实现装配式建筑构件标准化设计是一个很大的难题。BIM 技术具有可视化、协调性、模拟性与优化性等优势, 在设计阶段可以发挥出巨大的价值。因此, 本设计方案以 Revit 软件为工具, 将设计计划分为两个阶段: 标准化设计, 构建 BIM 模型和碰撞检查, 优化建筑模型。在该项目中, 建造标准化装配式建筑构件族库如图 3, 并通过成本数据库对不同的设计方案完成成本估算, 为不同方案进行比对时提供更精准的分析结果, 有利于设计方案的优化, 更加合理的选择功能分区、结构方案、适宜的装配率、预制部位、节点设计等。最终修改后的设计模型如图 4。



Figure 3. Prefabricated building component family library—board
图 3. 装配式建筑构件族库——板



Figure 4. Revit architectural model
图 4. Revit 建筑模型

4.2.2. 在施工阶段应用

创建 BIM 施工现场模型, 可优化施工道路, 确保施工机械和运输车辆顺利进入施工现场; 合理堆放物料, 以免发生火灾; 合理安排各功能区, 使现场运输经济合理高效, 接近服务目标。根据每个阶段的建筑特点, 合理划分建筑面积, 有效管理各种职业和工作面的协调运作。借助 Revit 的三维可视化技术实现施工现场的安全标准化建设, 在施工前期统一安全标识, 贴附指定位置, 在“五洞口”“四临边”危险地带设置防护围栏。定期开展安全动员培训, 通过三维可视化操作, 让施工人员对工作中碰到的危险做到心中有数[7]。实施过程中对大型机械、车辆进行加载, 利用明细表功能进行数量统计, 更新维修日志, 确保机械设备运转正常。通过 Revit 实现的施工现场安全性管理以及三维科学与计算的可视化安全性培训, 可以提升安全性管理效率, 增强施工人员的安全意识, 从而减少安全事故的发生率, 进而降低建筑施工生产成本。

4.3. 基于 Navisworks 软件装配式建筑施工成本管控应用

本工程项目使用 Navisworks 软件展开了碰撞检查。首先, 在图纸深化设计期间, 经过检查提前发现图纸缺陷, 然后处理构件内部的设计问题, 如构件位置不正确、钢筋无法绑扎等, 最后经过 BIM 模型进行构件施工组装, 即可处理预制构件和现浇结构的碰撞。利用 Navisworks 的碰撞检查, 可保存资料并提供碰撞报表, 在检查报表中指出碰撞构件的项目名称、原因说明、碰撞位置等信息。碰撞检查后反馈到 BIM 模型中, 利用构件 ID 号即可检索到对应的构件并加以调整。经过碰撞检查, 共发现预制混凝土外墙与现浇柱的碰撞 478 处, 预制楼梯叠合板和现浇梁的碰撞 356 处, 钢筋布置与预留预埋的碰撞 765 处, 钢筋直径与连接套筒的碰撞 3124 处, 并经过将碰撞数据返回 BIM 模型检测和修正, 直接降低了成本约 460 万元。

在本工程前期对图纸进行深化拆分, 建立装配式建筑构件标准族库准族库, 并通过二维码生成器, 生成每个构件的二维码, 放置 word 文档中, 与 Navisworks 模型以添加链接的方式相关联, 并将二维码打印贴附在实体构件表面。构件在施工的过程中, 通过扫描二维码快速找到构件并获取位置信息, 以便实施吊装就位。在本次施工过程中, 虽然前期二维码制作相对烦琐, 但后期施工人员在调取信息时却十分方便, 总体上确保施工有效进行, 提升施工效率。

通过 Navisworks 软件可以对构件进行吊装的模拟。在模拟时选用可同时满足预制构件起吊、卸车与施工安装等条件的塔式起重机。尤其需要重视的是现场设备的使用寿命, 必须充分考虑其疲劳作用, 不

然就会发生吊装故障, 甚至造成建筑构件损伤、提高对施工人员危险程度的情况。而根据施工组织设计的吊装施工动画, 让施工技术工程师可以更明确、更深刻的了解施工的整个过程, 更有效的完成吊装施工规划, 从而提升现场施工效率。塔吊可以按照起吊构件类型的最高载重, 以及建筑模型状况做出选择。随后利用 BIM 模型, 迅速系统的设计并形成了预制构件的摆放平面图、预制构件支撑工具的布置图等, 并按照实际施工过程做出了合理的建筑穿插。复杂构件节点的设计也是装配式项目施工安装中的关键点、难点, 比如复杂构件节点的钢筋捆绑、拼接加工、位置校准等, 都需要通过 BIM 技术对其进行施工模拟, 确定合理的工艺程序和方案, 并实现 3D 技术交底, 以形象直接的方式表现特别复杂构件节点, 从而防止因施工技术人员对工程图纸认识错误而出现返工。经过模拟优化后, 共缩短了施工工期约 25 天, 总成本节省了 480 万元。

5. 结语

建筑业是我国重要的支柱产业, 在建筑工程项目中, 项目的施工阶段是其成本占比的主要部分, 所以合理控制施工阶段的成本能对提高整个项目的成本控制和项目利润起到很大的作用。成本是制约装配式建筑发展的关键因素, 减少装配式建筑的成本增量, 提高装配式建筑品质和综合效益, 从而促进装配式建筑健康发展。在装配式建筑施工中, BIM 技术为实现建筑信息化管理奠定必要基础, 符合未来建筑行业的发展方向。本文通过查阅大量国内外相关文献, 结合应用实例, 将 BIM 技术融入装配式建筑设计、施工等各个阶段, 可切实保障装配式建筑施工有效开展, 降低工程成本, 提升经济效益, 推动装配式建筑技术取得进一步发展。

参考文献

- [1] Santos, R., Costa, A.A., Silvestre, J. D., *et al.* (2020) BIM-Based Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of an Office Building in Western Europe. *Building and Environment*, **169**, Article ID: 106568. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106568>
- [2] 郑卫霞. 论建筑施工企业工程项目成本的核算与控制[J]. 财会学习, 2020, 15(11): 173+175.
- [3] 宫培松, 张济武, 熊峰, 等. 基于构件拆分方案的装配式建筑全流程成本确定[J]. 建筑经济, 2020, 41(1): 76-83.
- [4] 庞允盼, 孟宇. 基于 SEM 的装配式建筑成本影响因素研究[J]. 项目管理技术, 2022, 20(5): 119-123.
- [5] 赵峰, 刘刚. 基于 BIM 和物联网的预制装配式建筑信息管理平台的研究及应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2021, 13(3): 102-106.
- [6] 曹静, 沈志明, 王晓玉, 朱灿银. 装配式建筑经济性分析及成本控制对策[J]. 工程建设与设计, 2020(8): 211-213.
- [7] 郝小杨, 李昊, 张园. 基于 BIM 技术地下车库管线综合应用研究[J]. 呼伦贝尔学院学报, 2021, 29(2): 83-90.
- [8] 崔玉, 彭来, 陈钰婷. BIM 技术在装配式建筑施工成本管控中的应用[J]. 广西城镇建设, 2021(12): 103-107.
- [9] 李玉宏. 装配式建筑应用 BIM 技术对工程造价的影响[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(3): 96-98. <https://doi.org/10.13655/j.cnki.ibci.2023.03.029>
- [10] 沈程, 岳翎, 徐小明. 基于 BIM 技术的装配式建筑成本分析与管控研究[J]. 房地产世界, 2023(2): 77-80.