

BIM 与智能物联技术在装配式建筑设计优化中的运用

王昊天

永州职业技术学院 湖南 永州 425000

摘要: 该研究旨在探讨 BIM 与智能物联技术 (IoT) 在装配式建筑设计、生产、施工及运维等不同阶段的优化作用。在设计阶段, 基于 BIM 构件库与标准化设计实现参数化设计, 通过动态模拟与 IoT 数据结合进行能耗与结构性能分析, 推动多方协同设计并解决设计冲突。在生产与施工阶段, 研究 IoT 技术驱动的智能构件生产监控, 以及 BIM 与 IoT 结合的施工过程优化。在运维阶段, 通过基于 IoT 的设施健康监测与 BIM 模型动态更新, 实现智能化运维管理, 并利用数据闭环反馈进行设计优化。研究表明, BIM 与 IoT 的结合能够显著提高装配式建筑的设计精度、施工效率及运维管理水平, 推动建筑行业的数字化转型。该研究为装配式建筑领域提供一种全生命周期优化的新模式, 促进建筑设计、生产、施工与运维的深度融合, 提高建筑质量与资源利用率。

关键词: BIM; 智能物联技术; 装配式建筑

引言

装配式建筑作为一种新兴的建筑方式, 通过工厂化生产与现场组装, 能够有效提高施工效率、缩短工期、降低成本。然而, 装配式建筑的设计、生产、施工与运维过程中, 各环节之间的协调与信息共享仍然存在一些问题。BIM 作为一种数字化设计以及管理技术, 能够集成建筑的各类信息, 提高设计的准确性以及施工效率。而智能物联技术 (IoT) 通过实时监测以及数据采集, 为管理者提供精确的建筑现场与设施运行信息。BIM 与 IoT 的深度融合, 不仅能够优化设计阶段的方案生成与验证, 还能够通过智能化手段优化生产、施工、运维阶段的各项任务, 为装配式建筑的全生命周期管理提供有力支持。

一、案例介绍

某项目为一座综合办公楼, 采用装配式建筑方式, 建筑面积约为 50000 平方米, 计划施工周期为 18 个月。项目涉及 16 层建筑, 内含办公区域、会议室、餐厅、停车场等多个功能区域。由于项目对施工质量、工期、资源利用效率要求较高, 且现场管理复杂, 需要通过高效的设计、生产、施工管理方式来提升效率。该项目初期, 设计阶段面临复杂的结构、功能需求、装配式构件的标准化设计以及多方协同的需求等挑战。传统设计方式难以满足高效协同的要求。因此, 项目团队引入 BIM 技术, 使用 3D 建模与参数化设计进行高效构件库管理, 确保每一项设计都符合装配要求。此外, 在施工阶段, BIM 与 IoT 的结合能够实现实时监控与精准管理。通过安装 IoT 传感器监测吊装过程中的实时数据, 结合 BIM 模型进行动态调整, 确保施工过程中每个环节都在预定的范围内进行, 减少误差与重工, 缩短工期。

二、BIM 与 IoT 在装配式建筑设计优化中的具体应用

(一) 设计阶段优化

1. 参数化设计

该项目团队基于 BIM 平台建立了一个功能齐全的构件库, 库中包含各种标准化构件, 这些构件的尺寸、材质、连接方式以及其他性能指标都被预先定义并标准化, 以便快速调用。在此基础上, 设计团队使用 Grasshopper 设计工具进行自动化建模, 快速生成多个设计方案。通过参数化算法的设定, 设计师能够基于空间布局、功能需求、结构要求等特定的参数, 自动生成符合装配式建筑要求的构件, 提高设计效率^[1]。每一个构件在 BIM 模型中的尺寸、形状、连接方式都经过严格的检验, 确保与其他构件精确匹配, 避免现场出现构件配合问题。

2. 动态模拟与验证

为了确保建筑的能效与结构性能达到最佳, 项目团队结合 IoT 技术进行了实时数据反馈。具体实践中, 设计团队采用了 EnergyPlus 模拟工具, 在 BIM 环境中进行建筑能耗分析。在初步设计完成后, 团队利用 IoT 传感器采集建筑能耗、气流、温湿度等数据, 并将实时监测数据输入到模拟模型中, 以便根据实际数据对建筑设计进行动态优化。

3. 协同设计

该项目中, 项目团队基于 BIM 技术建立统一的三维模型, 方便各专业团队实时查看并修改设计方案。利用 Navisworks 冲突检测工具, 在 BIM 模型中自动识别不同专业设计之间的碰撞或不一致之处, 及时进行调整, 避免在后期施工中出现施工重复、返工等问题。

同时, IoT 技术的应用, 使得该项目设计过程中, 施工人员可以实时监测建筑现场的环境条件, 并将这些数据与 BIM 模型中的设计方案相结合, 确保现场实际施工情况符合设计方案。

(二) 生产与施工阶段优化

1. IoT 驱动的工厂生产监控

为了确保构件的高质量与生产效率, 项目团队在构件生产阶段引入了 IoT 驱动的工厂生产监控系统。具体实践中, 安装 RFID 以及温湿度传感器用来监测构件生产的全过程, 为工人提供精准的生产数据, 确保构件的每一个环节都符合质量标准。同时, 依托 IoT 技术搭建的质量追溯系统, 对每一个构件的生产数据进行实时记录。利用云数据库存储每一项构件的生产日志、质量控制数据, 项目团队能够对生产中的任何异常情况进行溯源, 快速定位问题并采取相应措施。此外, 基于 IoT 技术的集成生产调度算法, 项目管理团队可以基于实时数据调整生产计划, 确保每个构件按时交付到施工现场。这种智能化的生产监控系统, 确保了构件生产的时效性, 从而为施工阶段的顺利进行打下坚实基础。

2. BIM+IoT 的现场实时监测

进入施工阶段后, 通过将 IoT 设备与 BIM 模型深度融合, 项目团队能够实现对施工现场的精确管理与实时调控。在施工现场, 吊装定位系统采用了集成 BIM 与 IoT 技术的定位监控方案。通过在吊装机械上安装 GPS 定位系统以及激光测距传感器, 结合 BIM 模型中精确的构件位置数据, 施工人员可以实时监测每一件构件的吊装位置及方向。通过与 BIM 模型的动态对接, 系统能够自动检测吊装过程中的任何偏差, 并提前发出预警。这种预警机制基于实时误差修正算法, 能够有效减小构件安装过程中的位置误差, 确保每一个构件都能精准地安装到预定位置, 从而大幅度降低人工调整的工作量。通过数据融合算法, 实时监测数据被输入到 BIM 模型中, 以进行动态校验, 如果传感器检测到环境温度的波动, 导致构件尺寸发生微小变化, 系统会自动根据 BIM 模型调整施工方案, 以确保工人能够正确安装构件。

(三) 运维阶段优化

1. 基于 IoT 的设施健康监测与 BIM 模型动态更新

在运维阶段, 该项目引入了基于 IoT 技术的设施健康监测系统, 结合 BIM 模型实现对建筑的实时监控与动态调整。通过在楼板、墙体、空调系统、电力系统等各关键部位安装 IoT 传感器, 实时采集环境、结构、设备等方面的数据, 以此来全面监控建筑的运行状况。

具体实践中, 一方面通过 LoRa 无线通信技术将采集到的建筑的能耗情况、设备的运行状态、环境参数等数据传输至云平台或本地数据中心^[2]。通过实时数据传输, 管理者可以在监控平台上进行实时查看, 及时发现建筑设施可能存在的健康问题。另一方面, 在运维阶段, BIM 技术通过与 IoT 设备的结合, 实现 BIM 模型的动态更新。具体实践中, 当某一设备发生故障时, 运维团队能够通过 BIM 模型快速定位到故障位置, 且模型能够同步显示该设备的实时状态, 帮助运维人员做出及时决策。在这个过程中, BIM 不仅是静态的设计工具, 更成为动态运维管理的核心, 能够与实时数据相结合, 为运维提供精准的数字化支撑。

2. 运维数据反哺设计优化

通过 IoT 设备采集的建筑能耗数据, 能够实时监控各区域以及各种设备的能耗情况, 结合 BIM 模型, 进行能效分析与优化。运维团队识别出高能耗区域或者运行状态异常的设备, 并对其进行定期维护或调整。基于这些数据, 运维团队对建筑的暖通空调系统、照明系统、电力系统等针对性的优化调整。具体实践中, 通过分析实时能耗数据以及历史趋势, 使用基于机器学习的预测算法, 预测设备未来的能耗模式并进行预测性维护, 提前发现设备故障, 避免设备运行时出现高能耗情况。除了能耗数据, 通过智能化的传感器, 该项目的管理者能够获取各区域的使用频率、用户活动模式、办公设备的使用情况等信息。这些数据可以帮助设计团队了解空间利用的实际需求与用户行为的变化, 从而在后续的建筑改造或二次设计中进行针对性的优化。通过分析不同办公区域的人员流动、会议室使用频率, 能够调整室内空间布局, 提高空间利用率, 优化空调、照明等系统的工作模式。结合 BIM 模型, 将用户行为数据与建筑结构、设备状态等数据融合, 形成一个完整的数字化反馈系统。这不仅有助于优化现有建筑的运行效率, 也能够为类似项目的设计提供经验, 进一步提高设计阶段的决策质量。

三、建筑设计优化效果分析

在该项目的设计优化、施工管理、运维阶段, 通过 BIM 与 IoT 技术的应用, 设计效率得到了显著提升。在设计阶段, BIM 技术的应用提供了高效的三维建模以及协同设计平台, 帮助设计团队提前发现潜在的问题, 同时, 智能物联网技术提供了实时的数据支持, 为建筑能效与结构优化提供了技术支持(表 1)。

分析表 1 可以发现, 通过 BIM 模型的可视化及参数化设计, 项目团队能够更高效地进行方案设计与调整, 避免了传统设计中的多次修改。基于 BIM 平台的

标准化构件库，构件的生产、连接方式得到优化，避免设计中出现冗余构件，节约了材料以及建筑空间^[3]。此外，通过 IoT 技术的实时数据反馈，设计团队能够进行更多次的能效分析，以优化建筑的能耗与环境条件。在施工阶段，BIM 与 IoT 技术的结合能够实现现场实时监控与精准管理，确保施工过程中的每个环节都在预定范围内进行（表 2）。

分析表 2 可以发现，通过 BIM 与 IoT 的结合，吊装定位系统能够精确控制每个构件的吊装位置以及吊

装方向，大幅度减少了施工中的误差。在人工成本方面，由于 BIM+IoT 技术的应用，施工过程中的误差与冲突明显减少，缩短了现场人工调整的时间^[4]。此外，BIM 与 IoT 技术的应用提高了施工过程的精准度，使得现场调整次数大幅减少，提升了施工效率。

在运维阶段，BIM 与 IoT 技术的结合使得建筑设施的实时健康监测与动态调整成为可能。通过 IoT 传感器的实时数据采集，可以及时了解建筑的运行状态，进而进行精准的维护与优化（表 3）。

表 1 设计阶段优化前后对比

参数	传统设计方式	BIM+IoT 优化后设计方式	改善幅度
设计周期	120 天	90 天	-25%
构件数量	2500 个	2300 个	-8%
建筑能效分析次数	2 次	5 次	+150%
设计变更次数	8 次	2 次	-75%

表 2 施工阶段优化前后对比

参数	传统施工方式	BIM+IoT 优化后施工方式	改善幅度
施工周期	180 天	160 天	-11%
吊装误差	5%	0.5%	-90%
施工现场人工成本	500 万元	350 万元	-30%
施工现场调整次数	15 次	5 次	-67%

表 3 运维阶段优化前后对比

参数	传统运维方式	BIM+IoT 优化后运维方式	改善幅度
设备故障率	8%	2%	-75%
年度能耗	200 万千瓦时	150 万千瓦时	-25%
运维成本	300 万元	250 万元	-17%
设备维护时间	60 小时	20 小时	-67%

分析表 3 可以发现，基于 IoT 的实时监测系统能够早期发现设备故障或异常，及时进行维护，减少了设备的故障率，延长了设备使用寿命。运维过程中，通过分析实时的能耗数据，项目管理团队能够对建筑的能耗进行优化调整，减少了能源浪费^[5]。此外，通过 BIM 与 IoT 的结合，运维人员能够快速定位故障位置，减少了维护时间，提高了运维效率。

四、结语

在装配式建筑设计优化过程中，BIM 与 IoT 技术的融合，显著提升了设计、施工、运营效率。BIM 技术通过精准的三维建模与数据管理，实现了建筑设计的可视化升级，同时令不同部门之前能够进行协同工作，减少了设计与施工阶段的冲突。而 IoT 技术则通过实时数据的采集与分析，推动了建筑全生命周期的智能化管理，使得建筑能够更好地适应环境变化。通过对该技术的积

极推广，装配式建筑的设计优化将不仅限于工程领域的提升，更将带动建筑行业整体效率的提升。

参考文献：

[1] 陈溢晨, 陈墅香. 基于 BIM 的装配式建筑研究进展 [J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(11): 235-242.
 [2] 周杨, 刘梦梦, 王宝雨, 等. 基于 BIM 技术与风险评估体系的装配式建筑施工安全管理研究 [J]. 建筑结构, 2023, 53(S2): 2089-2093.
 [3] 韩雪莹, 周清华, 吴洋, 等. 基于 BIM 公共数据环境的装配式建筑协同设计 [J]. 铁道标准设计, 2023, 67(10): 155-162.
 [4] 丁东山, 卢皓. BIM 技术在装配式建筑智能建造中的应用研究 [J]. 建筑经济, 2023, 44(S1): 293-296.
 [5] 尚超, 徐霞, 鲍莉荣, 等. 装配式建筑生命周期碳平衡 BIM 模型仿真 [J]. 计算机仿真, 2023, 40(4): 267-271.