

基于 BIM 技术的低碳模块化智慧建筑设计与优化策略研究

马皓喆 周 霄 杨 楠 郭芯伊

沈阳城市建设学院 辽宁 沈阳 110000

【摘要】：本文聚焦 BIM、低碳、模块化、智慧化融合领域，剖析其助力低碳目标落地、提升建造效率、赋能智慧功能方面的重要性，指出技术融合壁垒、成本控制难题、人才储备不足等挑战，提出构建技术协同体系、实施全周期成本优化、健全人才培养机制等策略。研究为推动建筑行业绿色转型提供理论和实践参考，凸显 BIM 技术在低碳、模块化、智慧化协同中的核心价值。

【关键词】：BIM 技术；低碳模块化；智慧建筑；设计；优化策略

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.070

在双碳目标与数字化浪潮下，建筑行业面临低碳化、模块化、智慧化转型压力。BIM 技术以其信息集成特性，成为连接三者的关键纽带。当前，该领域存在技术融合不畅、成本失衡、人才短缺等问题，制约行业发展。本文围绕基于 BIM 技术的低碳模块化智慧建筑设计展开研究，探索优化路径，为破解行业转型瓶颈、实现可持续发展提供思路。

1 基于 BIM 技术的低碳模块化智慧建筑设计的重要性

BIM 技术在该领域的重要性，体现在设计、建造、运维全链条的协同赋能中，而设计阶段对低碳目标的精准锚定，是其价值释放的首要环节。

1.1 助力设计阶段的低碳目标实现

BIM 技术构建的参数化、关联化模型，可嵌入材料碳足迹、施工碳排放、运维能耗数据。借助动态模拟引擎，对模块化构件选型、节点连接做全场景碳效推演。通过材料密度×运输距离、安装能耗×工期的复合计算，定位碳排放峰值，方案阶段淘汰高碳设计。可视化校验暴露管线冗余，从源头压缩整改碳增量，形成设计即低碳逻辑^[1]。

1.2 提升模块化建造效率与质量

模块化工厂预制和现场装配，需 BIM 搭建数字孪生生产线。设计通过模块尺寸链、接口公差带参数化定义，将构件信息转化为工厂加工指令，避免图纸、生产误差。碰撞检测算法对机电与结构空间关系毫米级扫描，提前解决孔洞错位问题。物流模拟模块优化运输与吊装顺序，减少现场堆存，实现效率提升、消耗下降。

1.3 赋能智慧建筑的功能实现

智慧建筑感知、分析、决策闭环，需 BIM 作为数据容器。

设计将能耗传感器、摄像头位置与模型构件绑定，形成空间坐标、设备 ID 数据库，为运维提供基准。系统联动模拟预演照明、空调随人流的调节逻辑，优化设备阈值。运维接口对接智慧平台，实时数据反哺模型生成能耗热力图，实现从被动响应到主动优化。

2 基于 BIM 技术的低碳模块化智慧建筑设计面临的挑战

这些挑战是技术融合壁垒、成本控制压力、人才储备短板相互交织的复杂问题，共同构成该领域发展的阻碍，需系统剖析其表现与成因。

2.1 技术体系融合存在壁垒

BIM 技术与低碳算法、模块化参数、智慧协议的跨域融合面临多重阻碍。不同技术的底层逻辑差异显著，例如 BIM 的几何建模语言与低碳分析工具的碳流追踪模型存在数据格式冲突，导致材料碳排放因子难以直接导入模型。模块化设计的构件标准化参数与智慧系统的动态控制指令也常出现对接断层，需人工二次转换^[2]。现有 BIM 平台的插件生态碎片化，低碳模拟、模块拆分、智慧联动等功能无法形成协同闭环，迫使设计团队在多软件间反复切换，既损耗信息精度，又拖慢设计进程。

2.2 全周期成本控制难度突出

BIM 部署、模块预制、智慧配置的组合模式推高初期投入门槛。BIM 的软件授权、模型维护费用需持续投入，模块化工厂的模具定制、生产线调试成本占比显著，智慧设备的传感器布点、算法开发更是隐性支出。更关键的是，三者的成本效益难以同步释放，BIM 的效率增益可能被模块运输损耗抵消，智慧系统的节能收益需长期运维才能显现，导致前期高投入与短期低回报的矛盾尖锐，影响项目经济性判断。

2.3 复合型人才储备严重不足

该领域对 BIM 操作、低碳认知、模块工艺、智慧集成的复合型能力需求迫切。当前从业者多局限于单一领域：设计师熟悉 BIM 建模却缺乏碳核算知识，建造师精通模块施工却不懂智慧系统逻辑。高校专业设置与行业需求脱节，现有课程多侧重 BIM 工具使用，鲜有低碳指标嵌入模块设计、智慧功能与模块集成等交叉内容。企业内部培训也因跨部门协同壁垒效果有限，导致技术落地时出现设计方案与施工能力不匹配、智慧功能与模块承载冲突等问题^[9]。

3 基于 BIM 技术的低碳模块化智慧建筑设计与优化策略

这一领域的设计与优化需从技术融合、成本管控、人才支撑多维度发力，通过系统性策略破解 BIM、低碳、模块化、智慧化协同中的核心难题，构建全链条优化路径。

3.1 构建技术协同体系

技术协同是破解 BIM、低碳、模块化、智慧化融合难题的核心，需从标准统一、平台整合、功能迭代三维推进，形成标准为基、平台为枢、迭代为脉的生态。标准统一需推动跨领域数据字典共建，由行业协会牵头，联合多方组建标准编制联盟，将 BIM 几何信息、低碳碳足迹参数、模块化属性、智慧指令转化为通用语言。例如，针对数据冲突，制定映射规则，为建材分配含碳数据的数字身份证，实现 BIM 直接读取。同时明确模块化接口尺寸公差、功能协议双重标准，如±1mm 机械公差、5G 通信协议，确保模块既满足拼接精度，又兼容智慧接口，实现物理、数据双连接。

平台整合需打造一站式协同中枢，破解软件碎片化难题，实现数据一次录入、多场景复用。可依托主流 BIM 平台开发低碳、模块、智慧集成插件，采用主程序和功能模块架构，将碳流模拟、模块拆分、设备联动等功能嵌入统一界面。插件开发需紧扣用户痛点，通过调研设计、施工、运维人员需求确定功能优先级。比如，模块设计阶段，插件可根据建筑功能分区，如办公区、商业区，自动生成标准模块库，同步调用低碳数据库计算不同方案的碳排放总量，结合智慧系统部署难度，如管线集成复杂度，通过“碳效评分×0.6+施工可行性评分×0.4 加权算法”推荐最优方案^[4]。针对智慧系统动态控制需求，平台需具备实时数据接口，采用 MQTT 协议和边缘计算节点架构，接收传感器传回的能耗、人流数据，反哺 BIM 模型生成动态模拟场景，如用颜色渐变展示各区域能耗强度，为设备调节提供可视化依据。此外，建立版本协同机制，采用区块链、云存储技术记录模型修改，确保设计、工厂、施工方使用版本一致，避免信息滞后引发的协同矛盾。

功能迭代要聚焦多目标优化算法研发，提升技术适配性，实现动态响应、智能适配。针对模块化参数与智慧指令的对接

断层，可开发参数化控制引擎，采用规则推理、机器学习混合算法，将智慧系统的启停阈值、运行模式转化为模块设计约束。例如，智慧照明需根据光照自动调节时，引擎可在 BIM 模型中标注传感器安装位，如距地 1.8m 墙面中心点，向工厂发送预留 Φ20mm 线缆通道、≥5kg 承重的指令，确保设备安装与模块预制无缝衔接。对于低碳模拟的动态性需求，算法应实时响应设计变更，构建材料替换、能耗计算、控制策略调整联动模型，如替换墙体材料为加气混凝土时，系统立即更新碳足迹数据，联动调整保温构造与温控策略，实现材料、能耗、控制连锁优化。同时，建立用户反馈、算法迭代闭环，通过插件问题入口收集适配问题，每季度更新算法，持续提升协同精度，让技术要素从简单叠加迈向深度耦合。

3.2 实施全周期成本优化

全周期成本优化需突破重初期投入、轻长期收益的局限，构建覆盖设计、施工、运维的成本管控闭环，实现短期投入可控、长期收益递增。设计阶段成本控制的核心是源头优化，通过 BIM 实现功能、成本精准匹配，避免过度设计或功能缺失。模块拆分环节，利用 BIM 的构件复用分析功能，构建模块类型、复用次数、模具成本关联模型，优先选择高复用率、低定制化方案，降低工厂模具成本。例如，住宅的卫生间、厨房模块可采用标准尺寸、可变内装模式，主体尺寸统一为 2.4m×1.8m×2.8m，通过内部布局微调适应不同户型，减少模具种类，提高生产效率。对于低碳材料选择，需结合全生命周期碳成本理念，通过 BIM 模拟计算材料在生产、运输、使用、拆除阶段的综合碳排放与费用，构建采购价、碳税、节能收益净成本模型，避免为追求低碳过度增加初期投入^[5]。同时，利用 BIM 的价值工程分析，削减冗余功能，如办公楼冗余会议室，将节省成本投入核心功能。

施工阶段需通过协同管理压缩隐性成本，降低时间成本、资源浪费。借助 BIM 的 4D 进度模拟，构建模块生产、运输、吊装的三维进度网络，将各环节与施工计划精准对接，减少工序脱节导致的场地闲置与机械窝工。例如，通过模型预演确定模块到场顺序，实现零库存周转，节省堆存成本。针对运输损耗，在 BIM 中添加运输工况模拟，输入距离、路况、天气等参数，优化包装与固定方式，降低破损率。利用 BIM 的碰撞检测提前解决管线与模块的冲突，减少现场切割、返工带来的人工与材料浪费，将成本偏差控制在合理范围。

运维阶段成本优化依托智慧化能效管理，通过数据驱动、精准调控降低能耗与维护成本。基于 BIM 搭建的智慧平台，实时监测能耗数据，通过设备效率、能耗峰值、人流分析模型制定节能策略。如某区域空调负荷过高时，系统自动调节送风温度，联动照明调暗，关闭无人区域设备，实现多系统协同节能。设备维护方面，平台根据运行数据，如时长、振动、温度，建立故障预测模型，提前生成维修计划，避免突发停机损失。

利用 BIM 的空间定位快速找到设备位置，缩短维修时间。长期来看，初期投入的增量成本可在数年内被运维节能收益消化，形成投入、收益良性循环^[6]。如下图 1 为全周期成本优化闭环流程图。

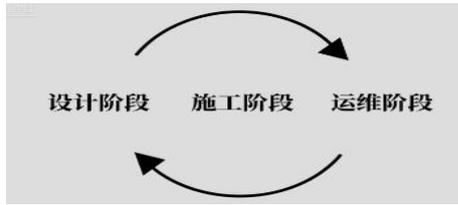


图 1 全周期成本优化闭环流程图

3.3 健全复合型人才培养机制

人才培育需构建高校、企业、行业协同体系，破解知识碎片化、实践脱节问题，打造懂技术、通流程、善协同梯队。高校需重构课程，设置 BIM、低碳模块化智慧建筑交叉专业，打破传统专业壁垒，建立核心理论、实践技能、跨界融合课程群。核心课程涵盖 BIM 操作、碳核算、模块工艺、智慧架构；实践设立虚拟设计工坊，开发仿真平台让学生完成模块拆分、低碳分析、智慧部署全流程设计，熟悉协同逻辑。同时与企业合作推行双导师制，引入行业导师将项目难题转化为案例，组织学生参与真实项目实训，开设跨界讲座拓宽视野。

企业需建立阶梯式培养机制，针对不同岗位定制路径。设计师培训采用理论、案例、实操模式：理论讲解碳足迹计算、模块规范；案例分析设计与低碳冲突解决思路；实操通过方案、碳效评估任务，让其建模时兼顾碳排放与生产可行性。建造师培训侧重智慧运维、BIM 管理，通过现场和模拟结合，掌握模块吊装与设备安装协同要点，用 4D 模型管控进度，看懂能耗报表。还可建立跨部门轮岗，让设计、生产、施工人员交替任

职，如设计师到工厂轮岗 3 个月，熟悉全流程后通过实操、答辩评估，合格者优先晋升。如下表 1 为复合型人才能力矩阵需求表。

表 1 复合型人才能力矩阵需求表

岗位类型	核心能力要求	现有短板	培育路径标识
设计师	BIM 建模、碳核算、模块拆分	碳足迹计算能力缺失	理论授课、案例实操
建造师	模块施工、智慧运维、BIM 管理	系统逻辑认知不足	现场模拟、轮岗实训
运维工程师	智慧系统、BIM 数据分析、低碳管控	跨系统协同能力薄弱	平台操作、算法培训

行业层面需搭建交流共享平台，定期举办技术创新论坛，用演讲、讨论、展示的形式，邀专家分享融合经验，解析模块运输碳减排等难点。论坛线上线下结合，资料上传平台供随时学习。建立人才认证体系，由协会制定能力标准，将 BIM 操作、碳核算、模块设计、智慧集成纳入考核，分初/中/高级，通过理论、实操考核者获得证书，作为招聘晋升依据^[7]。鼓励产学研合作，设立技术攻关专项让人员参与前沿研发，积累跨域经验。通过多层培育，构建充足、合理、过硬的人才队伍，推动技术落地从可能变成现实。

4 结语

基于 BIM 技术的低碳模块化智慧建筑是建筑行业升级的重要方向。虽面临技术、成本、人才等挑战，但通过构建技术协同体系、实施全周期成本优化、健全人才培养机制，可有效破解难题。未来，随着技术深化应用，其将推动建筑行业向高效、低碳、智慧转型，为绿色可持续发展注入持久动力，彰显跨领域融合的巨大潜力。

参考文献：

- [1] 谢志刚,费朝阳,周勃,等.基于 BIM 云架构的建筑能源智慧运维系统研究[J].辽宁科技学院学报,2025,27(2):6-9,31.
- [2] 董德志.BIM 驱动下的建筑全生命周期智慧建造应用[J].智能建筑与智慧城市,2025(7):89-91.
- [3] 王延宁,余健俊,周逸伦.基于 BIM 和 IoT 数据驱动的智慧医院建筑智慧运维管理系统开发研究[J].南京工业大学学报(自然科学版),2024,46(6):686-695.
- [4] 陈爽.以 BIM 和智慧工地平台为支撑打造建筑项目数字化管理体系[J].建筑,2025(6):117-119.
- [5] 王廷先.基于 5G+智慧工地的 BIM 云平台在建筑信息化项目管理中的应用与探索[J].建筑·建材·装饰,2025(6):193-195.
- [6] 金钟鸣,程明,李慧波,等.基于 BIM 的医院公共建筑智慧运维管理平台的建设与应用[J].中国医院建筑与装备,2024,25(6):23-27.
- [7] 李大鹏.基于 BIM 数字孪生的绿色节能装配式建筑智慧管理研究[J].建设科技,2024(16):13-15.