

BIM 技术在被动式建筑设计优化中的应用研究

李凌 耿莎

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 高能效、低能耗是被动式建筑的目标, 设计阶段的技术集成要求极高。BIM (建筑信息模型) 技术具有可视化、协同化和参数化的优势, 因而在被动式建筑设计里非常重要。BIM 平台能精确模拟建筑性能, 进而优化围护结构热工性能、日照分析与自然通风策略, 从而实现设计阶段高效决策和全生命周期能效控制。它贯穿应用于建筑节能设计、施工协调和后期运行维护中, 为被动式建筑提供了系统性优化路径和可靠技术支撑。

[关键词] BIM 技术; 被动式建筑; 设计优化; 建筑节能; 协同设计

DOI: 10.33142/ucp.v2i4.17313

中图分类号: TU201.5

文献标识码: A

Research on the Application of BIM Technology in Passive Building Design Optimization

LI Ling, GENG Sha

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: High energy efficiency and low energy consumption are the goals of passive buildings, and the technical integration requirements during the design phase are extremely high. BIM (Building Information Modeling) technology has the advantages of visualization, collaboration, and parameterization, making it very important in passive building design. The BIM platform can accurately simulate building performance, optimize the thermal performance of the enclosure structure, analyze sunlight and natural ventilation strategies, thereby achieving efficient decision-making in the design phase and full lifecycle energy efficiency control. It runs through the application of building energy-saving design, construction coordination, and later operation and maintenance, providing a systematic optimization path and reliable technical support for passive buildings.

Keywords: BIM technology; passive buildings; design optimization; building energy efficiency; collaborative design

引言

“双碳”目标背景下, 建筑行业对节能减排技术需求迫切, 被动式建筑作为绿色建筑的重要形式, 节能性能超棒而被广泛关注, 但传统设计手段要全面兼顾热工性能、采光、通风等因素并不容易, BIM 技术被引入后, 被动式建筑设计有了新活力, 因其信息整合高效、可视化能力强, 设计质量得以提升, 建筑节能水平也得到跃升, 从而给未来可持续建筑发展有力支撑。

1 被动式建筑设计的关键特征与挑战

被动式建筑有高标准高要求, 它强调靠优化设计把建筑能耗降下来, 设计时得统筹热工性能、自然采光、通风路径等好多要素, 其中有技术挑战和创新。

1.1 高性能围护结构设计要求

常规建筑的围护结构设计标准远低于被动式建筑, 被动式建筑设计核心是要最大限度减少冷热负荷传递, 降低建筑对主动能源系统的依赖, 外墙、屋面、地面、门窗等构造需有极低的热传导率和高气密性, 在具体实践时, 常通过采用高保温性能材料、断热隔热构造、热桥消除技术、多腔体低辐射中空玻璃等措施来保障建筑的热稳定性和舒适性, 并且构造的施工可行性和维护便利性也得考虑, 要让热工性能和经济性达到双重平衡, 传统设计手段下往往缺乏对这类高标准构造设计进行系统性分析和模拟验

证的手段, 这使得设计不确定性增加, 而引入 BIM 技术能对热工路径进行可视化分析, 发现设计缺陷并快速调整, 给围护结构优化提供技术基础。

1.2 日照通风与建筑形态协调

被动式建筑能效优化还有日照与自然通风设计这两项核心内容, 若建筑朝向与布局合理, 冬季就能最大程度获取太阳辐射且夏季可避免过热, 建筑形体、开窗比例、遮阳构件要综合区域气候特点确定才能平衡热得与热损, 自然通风路径的组织要结合建筑内部功能分区才有望实现高效换气和热排散, 传统设计时主要依靠经验判断和静态图纸, 不容易做到精确控制, 而 BIM 技术有三维建模和环境模拟功能, 在早期阶段就能模拟全年日照情况、气流路径、室内光照分布等参数, 据此可动态优化建筑朝向、开口布置和遮阳设计, 使建筑形态和环境适应性深度融合。

1.3 多专业协同下的设计整合难题

建筑师进行被动式建筑设计需要有节能设计理念, 并且少不了结构、设备、暖通、幕墙等多专业的紧密协作。传统工作模式下各专业信息传递中断、无法共享设计意图, 很容易出现热桥、通风死角、遮阳冲突等设计失误, 而在高性能建筑里这些小失误一旦放大就会严重影响建筑节能效果。BIM 平台具有参数化建模和信息共享功能, 能打破专业壁垒, 使多专业同步建模、检测冲突、协同调整,

设计团队以此为基础在统一模型里进行能耗分析、构造评估、技术碰撞检测,从而大大提高设计效率和质量,推动被动式建筑理念从理念到落地。

2 BIM 技术在建筑性能分析中的应用优势

实现被动式建筑高效设计的核心环节是建筑性能分析, BIM 技术通过精细建模、数据驱动,给建筑性能模拟与决策提供有力支撑。

2.1 能耗模拟提升设计精度

被动式建筑强调从设计源头降低建筑能耗,这就要求对围护结构、空间布局、热桥构造等多个要素加以系统分析,传统能耗分析手段常依靠独立软件且数据输入复杂、结果反馈滞后,难以满足多轮设计优化需求, BIM 平台集成了能耗模拟模块,像 Revit 与 GreenBuildingStudio、DesignBuilder 等工具联动起来,能耗计算在建模阶段就能同步进行,输入材料热工参数、建筑朝向、气象数据等变量后全年能耗分析结果自动生成,热负荷分布、冷热能需求趋势等信息也能可视化展示,集成式流程提升了分析精度并加快了方案调整与能效优化的速度,确保建筑方案在初期就有良好节能潜力。

2.2 日照采光分析优化空间舒适性

在被动式建筑里,居住舒适度和节能表现的提升自然采光是关键因素,合理采光设计能减少照明能耗并改善室内光环境质量。 BIM 技术可通过三维模型动态分析建筑空间日照和采光状况以快速判断室内各区域不段光照强度与分布,利用 Radiance、Insight 等插件能评估不同立面构造、窗墙比、遮阳构件对光照效果的影响并对接 LEED、WELL 等绿色建筑认证标准给设计合规性参考。采光模拟还能做照度分布图和眩光分析,这有助于提前发现光环境不均或者过曝问题以优化开窗方式、遮阳角度和室内布置,让空间使用更舒适视觉体验更好。

2.3 通风热舒适模拟指导空间优化

被动式建筑里室内空气品质与建筑热舒适水平和自然通风息息相关, BIM 有 CFD (计算流体力学) 模拟功能能全面分析建筑内外气流路径与速度分布从而找出通风盲区和热积聚区域,设计人员可通过参数化调整窗户开口位置、风口尺寸、隔断布置等要素看其对通风效果和温度分布的影响来逐步优化空间布局,传统靠手工推导或者现场试验的方式远不如 BIM 驱动的通风模拟高效精准,这种模拟特别适合复杂空间或者特殊气候条件下的设计场景,该技术还能结合建筑运行阶段的监测数据校正模型为后续智能运维和节能调控提供可靠的数据支撑以达成从设计到运行一体化的热环境优化路径。

3 BIM 在围护结构优化与能耗控制中的实践

围护结构这个关键系统对建筑能耗有着重要影响且建筑的热稳定性和节能水平直接取决于它的设计, BIM 技术有力地支持了围护结构的精细化建模和能耗控制。

3.1 精细建模助力热工性能评估

墙体、屋顶、楼板、门窗等多个构造层次都与围护结构

有关,建筑整体的热负荷水平直接由不同部位的热工性能决定,而传统设计用二维图纸表达结构节点居多,构造层次和材料性能之间的关系难以被全面反映,但是 BIM 技术就不一样了,它通过三维精细建模完整表达每一构造层的热工参数,像传热系数、比热容、密度、热惰性这些物理属性都不在话下,并且还能跟建筑能耗分析平台无缝衔接,在建模的时候,各构造部位弄成参数化构件族,不同材料组合、层厚调整能快速替换,还能做热工对比分析,而且 BIM 模型中的信息数据可追溯、可更新,这对后期施工图深化和构造优化有好处,有了这些特性,设计团队在概念阶段完成多方案热性能评估就可以了,这能为建筑节能目标打下数据基础。

3.2 热桥检测与构造节点优化

在被动式建筑能耗控制里,热桥效应是个难点问题,结构与围护构件交接的地方特别容易形成热损通道,热桥会增加能耗且可能带来结露、霉变等建筑物理问题,进而影响室内环境质量和构件耐久性。 BIM 技术有可视化、构造穿插分析功能,能剖析节点位置的三维构造以识别热桥风险区域,再结合能耗分析插件就可以模拟局部热流密度,直观地展现热量渗透路径,模拟结果能让设计人员通过增加绝热层厚度、调整连接方式、使用隔热型连接件等措施优化节点构造,从而消除或者减缓热桥效应,在建筑全生命周期里,基于 BIM 的热桥管理手段提升了设计阶段的准确性,为施工质量控制和运行性能预测提供重要依据。

3.3 数据集成推动能耗全流程控制

建筑、结构、暖通、材料等多专业协作是围护结构设计所涉及的内容,仅靠传统手段难以达成能耗目标的系统化控制。 BIM 技术有数据集成与协同设计能力的优势,能让围护结构设计和能耗模拟、材料选型、施工工艺等流程深度融合。设计阶段将材料热性能数据嵌入 BIM 模型,便可动态反馈构造调整对能耗的影响,施工阶段模型信息可用于构件预制、工序排布以及现场质量管控,运营阶段由传感器采集热环境数据,结合这些数据模型可成为建筑运行性能分析的基础平台,实现节能控制的实时响应。以 BIM 为核心构建数据链条后,围护结构不再被孤立设计,而是变成涵盖设计、施工、运维全过程的动态管理单元,在被动式建筑项目中这种集成式能耗管理模式尤其显著提高了节能设计的落地性与执行力。

4 基于 BIM 的协同设计对被动式建筑的推动作用

各专业之间的信息集成与协同效率被被动式建筑设计提出了更高要求,而 BIM 技术有统一平台和多专业协同建模能力,能给设计过程提供系统支持与组织保障。

4.1 多专业信息共享平台构建

建筑、结构、暖通、电气等多个专业高度配合对被动式建筑来说是必需的,建筑节能性能可能会因任何一个细节失误遭受不可逆影响;传统设计流程里不同专业往往各建各的模、各自绘图,信息更新不及时且传递效率低,这使得设计冲突和错漏问题经常发生; BIM 技术建立起统

一的多专业模型平台将建筑全系统的数据集成起来且实现信息共享,从而打破专业壁垒,各专业设计人员能在同一个模型里协同作业并实时掌握构造信息和设计变更,不会出现重复建模和信息丢失的情况,靠权限控制与版本管理来保障模型的安全性和一致性,有这个平台设计团队沟通高效、能快速响应变更且同步推进进度,为被动式建筑复杂的设计需求提供强有力的组织支撑。

4.2 冲突检测与协同优化机制

构造严密性和热桥控制是被动式建筑强调的,其对细部设计要求非常高,而传统图纸阶段那种“后期发现问题、被动调整”的模式效率低且容易错失最佳优化时机。BIM平台集成了碰撞检测功能,在设计早期能自动识别出各专业间的构件冲突,如管线和梁柱交叉、绝热层与结构节点冲突等,及时反馈问题的位置与参数以提高设计前期的纠错效率,模型可供设计人员协同调整管线走向、构造布局等细节从而兼顾热桥避免、气密性达标和结构完整性,BIM平台支持参数驱动与规则设定,可提前设定被动式建筑的能效标准、构造约束与节点构造模板,系统自动筛查设计是否符合要求,大幅提升设计准确率与协同效率,这种主动优化机制避免了大量返工且提高了设计与建造之间的衔接度。

4.3 全流程协同保障设计落地

被动式建筑设计从初步方案到施工图再到现场实施的每个环节都需要高度一致、精准执行,传统设计和施工脱节、信息断层常使设计意图难以在现场还原并影响节能效果和性能目标的实现,而BIM技术靠模型驱动全流程协同机制打通了设计、审图、施工、运维各阶段的信息通道,在设计阶段模型能为能耗模拟、构造优化、构件预制等提供数据支持,在施工阶段BIM模型可输出构造节点详图、安装顺序、材料清单等施工指导信息从而提高施工效率和精度,在验收和运营阶段模型继续发挥运维的基础作用并结合传感器数据实现能效监测和维护策略优化,尤其在被动式建筑里气密性处理、构造节点还原等施工难点较为复杂,BIM通过施工模拟和虚拟建造提供可视化指导使设计意图精准落地以达成从“图纸性能”到“建成性能”的有效转化。

5 BIM技术在被动式建筑全生命周期中的拓展路径

建筑全生命周期的性能管控被被动式建筑提到了更高标准,而BIM技术有信息整合和动态管理的优势,正一步步从设计建造全面拓展到运维管理。

5.1 设计阶段的数据驱动建模

被动式建筑早期设计阶段,参数化建模与多维信息嵌入的BIM技术能有效支撑建筑性能预评估和设计决策,传统二维图纸靠人工汇总材料与结构信息,而BIM模型不一样,创建时就能嵌入构造层次、材料热工参数、气密性指标、能耗指标等信息,让设计过程由数据驱动,设计人员可借助模型快速比对围护结构方案、遮阳构件、窗墙比等要素不对能耗与热舒适度的影响,给方案优选量化支持,BIM模型还能与气候数据库、节能标准等平台互通,

实时校验设计是否符合要求,提升设计初期技术可行性和节能精准度,设计方案确定后,BIM模型可无缝对接施工阶段,成为全生命周期的信息基础载体,避免数据重复录入和断裂,给后续各阶段应用打基础。

5.2 施工阶段的精细化执行控制

构造节点还原度、气密性能及热桥控制在被动式建筑施工过程中要求极高,施工误差会直接影响建筑能效目标的实现。BIM模型于施工阶段的应用价值主要体现在施工模拟、构件预制、进度控制与质量管理等方面,施工团队能凭借BIM模型进行虚拟施工演练,识别施工流程里潜在的冲突与风险并预先调整排布和资源配置以提高施工效率,在构造复杂、节点众多的被动式建筑里更是如此,BIM能生成详细的构造分解图和安装引导视图来提升施工精度、降低返工率,BIM还可与进度计划(4D)和成本信息(5D)集成,实现工序管理与成本控制的动态更新,靠扫码追踪构件状态和施工节点以确保每个环节按设计标准执行,从而全面提升被动式建筑的建造质量和节能效果。

5.3 运维阶段的信息集成与能效监控

在运维阶段要持续保障被动式建筑的节能效果,BIM技术在运维中的拓展应用让建筑管理迈入全生命周期新阶段,融合建筑自动化系统(BAS)、物联网传感器和能耗监测平台能实时采集室内温湿度、空气质量与能耗数据从而提升信息透明度和响应速度,运维人员可借助三维模型快速定位设备、查看运行状态与维护记录进而提高管理效率,BIM与实时数据联动分析能够预测能效趋势并优化调控策略,像热回收装置这种复杂构件BIM提供操作指引与维护预警以实现智能化、可视化运维,通过数据闭环管理BIM把设计、施工与运维阶段有效衔接起来提升被动式建筑的运行性能与管理水平助力建筑全生命周期的价值实现。

6 结语

被动式建筑在设计、施工与运维各阶段得到BIM技术全方位的支持,BIM技术有着高度集成的信息管理优势,精细化建模、协同优化与性能模拟提升了围护结构设计质量和能效控制水平,在施工与运维环节,BIM实现了可视化管理和数据驱动的精细运维以促进建筑性能持续优化。随着技术不断发展,BIM不只是被动式建筑设计工具,还是推动建筑行业朝着高效、绿色、智能化发展的关键引擎,在被动式建筑全生命周期里,其应用前景广阔且价值深远。

[参考文献]

- [1]史培沛.BIM技术下高校食堂建筑被动式节能设计研究[D].重庆:重庆大学,2016.
- [2]丁华龙.基于BIM的乡村建筑节能设计优化研究[D].武汉:华中科技大学,2018.

作者简介:李凌,(1988.4—),男,汉族,毕业学校:清华大学,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司;耿莎(1987.3—),女,汉族,毕业学校:河北建筑工程学院,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司。