

基于 BIM 和 BEM 的建筑能耗模拟分析与优化

Simulation Analysis and Optimization of Building Energy Consumption Based on BIM and BEM

袁博涵 邢天奇 李天巍

Bohan Yuan Tianqi Xing Tianwei Li

中国建筑设计研究院有限公司北京分公司 中国·北京 100000

China Architecture Design Research Co., Ltd. Beijing Branch, Beijing, 100000, China

摘要: 建筑能源消耗一直都是全球能源的巨大的负担。而建筑信息模型 (BIM) 和建筑能量模型 (BEM) 的应用为如何优化建筑能耗提供了有效的帮助。论文通过研究 BIM 与 BEM 技术辅助建筑能耗分析的工作流程, 并通过分析建筑设计参数和建筑能耗的线性回归模型, 最终协助设计师在项目设计前期阶段, 完成边设计, 边模拟, 边优化的设计过程。

Abstract: Building energy consumption has always been a huge burden on global energy. The application of building information model (BIM) and building energy model (BEM) provides effective help on how to optimize building energy consumption. In this paper, by studying the workflow of building energy consumption analysis assisted by BIM and BEM technology, and by analyzing the linear regression model of building design parameters and building energy consumption, finally assist designers to complete the process of design, simulation, and optimization.

关键词: 建筑信息模型; 建筑能量模型; 绿色建筑; 线性回归

Keywords: BIM; BEM; green building; linear regression

DOI: 10.12346/etr.v5i1.7663

1 引言

BIM 技术作为绿色建筑的强力推动因素, 已经受到了建筑行业从业者的广泛关注。鉴于 BIM 和绿色建筑应用的发展势头, 许多建筑公司和研究人员都在寻求通过 BIM 技术来支撑绿色建筑项目, 以实现它们之间的协同发展, 和建筑行业的可持续性发展^[1,2]。这意味着建筑设计不仅代表着建筑美学, 更要充分考虑能源消耗。现今, 如何使用 BIM 技术模拟建筑能耗正处于一个加速探索的阶段。市场上已经有很多种 BIM 工具可用于建筑的能耗分析, 通过搭载建筑信息模型数据, BIM 模型可以传递带有通用格式的模型数据与各种绿色建筑性能分析软件进行数据交互, 甚至一些建模工具已经开发出了能量分析的功能^[3]。尽管在过去的十几年里, BIM 展现出了能够促进绿色建筑发展的潜力, 但在实际项目之中一直很难得到充分应用。因此, 为了让建筑设计师更好地参与建筑能耗优化, 论文将 BIM 能耗分析与统计知识相结合, 进一步阐述建筑设计参数与建筑能耗的相关性。

2 项目简介

本研究以昆山西部医疗中心 - 感染楼为案例, 总建筑面积为 4625m², 建筑一层为问诊室层, 二、三层为住院病房层, 四层为生物实验室层。项目整体采用二星级以上绿色建筑标准进行设计。设计初期, 外围护构件保温材料及做法, 外门窗节能设计等设计参数以《公共建筑节能标准》为参照^[4]。空调风系统依据建筑功能分区分别对应设置空调系统, 包括全空气空调系统和风机盘管加新风系统。项目构件模型如图 1 所示。

2.1 Revit 中的构件与能量建模

Revit 软件是一个 BIM 工具, 它可以自动从构件模型中生成能量模型, 尽可能地减少系统运行时间。构件模型中任何的设计更新都可以在能源模型中自动更新, 使建筑信息变得更加协调和可靠。

在 Revit 的能量模型中, 包括了能量模型空间和能量模型表面。在能量模型空间中, 空间是指不断增热或减热的空

【作者简介】袁博涵 (1993-), 男, 中国河北唐山人, 硕士, 工程师, 从事 BIM 应用研究。

气的独立体积；在能量模型表面中，表面是指每个空间之间的热传导路径，包括内部空间和外部环境之间的表面^[5]。如图 1 所示。



图 1 昆山西部医疗中心感染楼 BIM 模型

2.2 设计流程

该项目在设计阶段采用 BIM 和 BEP 技术辅助建筑设计。工作流程如下：

①在设计的早期阶段，使用简单的体量来创建模型，并初步定义空间类型，运行时间及空调系统等。同时创建能量模型。

②从设计的方案阶段到初步设计再到设计深化阶段，逐步补充模型构件并决定窗、幕墙、着色和空间等的设计和布置，同时由机电工程师添加空调系统、水系统、电气及照明系统，并定义系统分区。同时逐步更新能量模型。

③发送能量模型到 Insight 分析云服务。在 Insight Web 门户中，通过调整设计系数并比较不同方案来优化设计的性能。通过在设计过程中尽早并频繁地运行 Insight 分析，即可确保模型始终满足项目能耗目标。

其辅助设计流程可以概括为首先利用体量模型进行初步分析，并在设计深化的过程中不断补充和修改建筑图元和信息。而 Revit 在提供建筑建模操作的基础上，同时支持设计师对建筑分区和空间信息进行定义，包括分区类型，热围护结构及空调选型等建筑设计参数，并生成能量模型。最后将能量模型导入 Insight 进行能耗分析。论文所研究的分析结果，对应着设计深化初期阶段。图 2 展示了此项目的建筑能量模型。

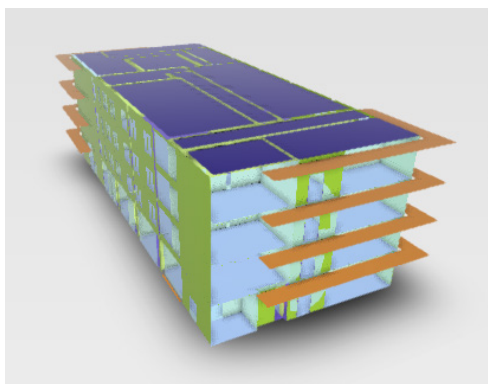


图 2 建筑能量模型

3 建筑设计参数

建筑设计参数对于优化设计研究和指定模型属性至关重要。论文研究的建筑设计参数参考了 Autodesk Insight 的建筑性能仿真系统。该系统为每个模型提供了 11 个参数，包括建筑朝向、窗墙比、窗户类型、窗户遮挡高度、外围护结构、屋顶结构、渗透风量、照明效率、用电效率、HVAC 类型、运行时间。所有这些作为基本的建筑设计因素而被研究的参数，在建筑设计的所有阶段都需要充分考虑，为合理严格地筛选建筑材料和建筑做法提供数据基础。

在统计学研究中，这些参数可被归类为自变量，主要由设计师控制。Revit 内置的 DOE-2 引擎特别考虑了建筑信息模型中每个自变量对能耗分析的影响。通过改变自变量，将能量使用强度（EUI）（kWh/m²/Year）定义为回归方程中的因变量。为构建准确的线性回归模型，将仔细检查和过滤每一组数据，并解释建筑设计参数与建筑能耗之间存在的潜在关系^[6]。

对于每个设计参数，表 1 解释了其统计分析的原则和系统设置。受分析环境限制，如果该参数不适合用于线性回归分析，则对其剔除，且不考虑各个自变量之间的相关性分析。

表 1 设计参数设置与分析原则

建筑朝向	定量 非线性回归 排除
窗墙比	定量 线性回归 指定要安装玻璃的洞口（窗户）占外墙的百分比。对于幕墙，由于考虑到框架面积，这一设置的最大值为 95%
窗户遮挡高度	定量 线性回归
窗户传热系数	定量 线性回归 分析系统内仅预设了玻璃的类型，为方便数据统计，将定性变量转换为定量变量
外围护结构热阻	定量 热阻 线性回归 分析系统内仅预设了外围护墙的类型，为方便数据统计，将定性变量转换为定量变量
屋顶结构热阻	定量 热阻 线性回归 分析系统内仅预设了屋顶结构的类型，为方便数据统计，将定性变量转换为定量变量
渗透风量	定量 线性回归 渗透风量在 0.17~2 L/s/m ³ 范围内波动
照明效率	定量 线性回归
用电器效率	定量 线性回归
HVAC 类型	定性 非线性回归 剔除
运行时间	定性 非线性回归 剔除

4 结果

以未优化前的建筑设计参数为例，EUI=144kWh/m²/Year，建筑全年能耗见表 2。

表 2 建筑全年能量消耗结果

供热 (GJ)	供冷 (GJ)	内部照明 (GJ)	外部照明 (GJ)	内部用电设施 (GJ)	外部用电设施 (GJ)	风机 (GJ)	水泵 (GJ)	散热 (GJ)	全年能耗 (GJ)
350.97	180.67	611.09	0	814.79	0	218.38	39.71	21.08	2236.69

设计师则需要根据实际项目情况,相关专业规范以及建筑美学等等因素做出平衡,进一步修改项目设计参数,最终得出优化后的建筑能耗分析结果,进而判断是否满足绿色建筑设计要求。

针对建筑设计参数分别进行单一变量能耗分析,将单一变量作为横坐标,ΔEUI 作为纵坐标。图 3 代表建筑西向窗户的窗墙比与 EUI 变化值的变化关系。通过观察可得,图 3 中自变量与因变量有明显的线性回归关系。

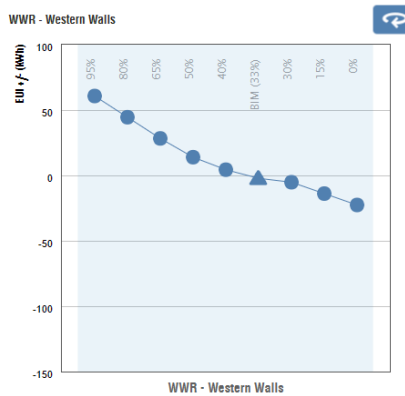


图 3 建筑西向窗墙比与 ΔEUI 变化曲线

之后利用 Excel 对各个建筑设计参数和的能量模拟结果进行线性回归建模及回归相关性检验,得到的 8 组设计参数的回归系数和 R^2 为数据分析提供了有力的数据支持。

作为一元线性回归分析的最重要指标, R^2 越接近 1,代

表拟合度越高。由表 3 可得,各设计参数的回归效果均非常好。本研究对结果进行数据标准化,是为了帮助设计师更清晰地比较各个设计参数对 EUI 的影响程度。回归系数的绝对值越大,代表相关参数对建筑能耗变化的影响越明显。在后续设计深化的过程中,为设计师提供了变更依据。例如通过对比回归系数的绝对值的大小可以观察到,为减少建筑能耗,应首先考虑减少用电器效率和降低建筑窗墙比。若用电需求和建筑效果不允许设计师在这两方面做出妥协,可以改变策略,对窗户或幕墙玻璃的选型进行重新考虑。

5 讨论

论文利用 BIM 和 BEM 技术,为项目设计的前期阶段提供了建筑能耗的优化流程。此外,还总结了所模拟分析结果的局限性。虽然该研究的验证结果在可接受范围内,但在建模和数据处理方法方面仍然存在缺点。首先论文没有对各建筑技术参数之间的相关性进行统计学分析,在统计分析的初始阶段,由于设计参数的变量类型的数量较多,加剧了回归模型的误差。其次,欧特克套件提供的能量设置和建筑配置是有限的,导致设计变量的参数的变化范围受到了阻碍。最后,在 11 个设计参数中,HVAC 类型、运行时间都是定性的。因为使用 Excel 进行数据分析时,必须将定性变量转换为定量进行数值分析,所以在能耗分析中剔除了许多变量。因此,对被排除变量的分析仍有待改进。

表 3 各设计参数线性回归模型

	数据标准化前的线性回归模型	数据标准化后的线性回归模型	线性回归相关拟合度
窗墙比	$y=0.8987x - 28.735$	$y=27.458x + 12.006$	$R^2 = 0.9845$
窗户遮挡高度	$y=-22.81x + 19.054$	$y=-4.5779x + 10.31$	$R^2 = 0.9969$
窗户传热系数	$y=5.9248x - 4.5286$	$y=12.423x + 13.913$	$R^2 = 0.6739$
外围护结构热阻	$y=-0.3084x + 6.7465$	$y=-4.3495x + 0.5129$	$R^2 = 0.7898$
屋顶结构热阻	$y=-0.136x + 5.4059$	$y=-6.1705x + 1.3133$	$R^2 = 0.9183$
渗透风量	$y=10.676x - 3.7853$	$y=7.5251x + 7.1933$	$R^2 = 0.9998$
照明效率	$y=3.8734x - 48.703$	$y= 26.372x - 2.842$	$R^2 = 0.9991$
用电器效率	$y=4.1572x - 69.738$	$y=32.078x - 1.8717$	$R^2 = 0.9981$

参考文献

- [1] 陈国松.浅析BIM技术在绿色建筑中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2022,310(9):127-129.
- [2] 李万宁,庄典,徐质文,等.基于BIM的建筑运行阶段性性能监测数据与建筑本体模型的集成方法研究[J].建筑技艺,2022,28(1):102-105.
- [3] 徐质文.建筑性能模拟数据与BIM的集成及其在绿色建筑评价中的应用研究[D].上海:东南大学,2021.
- [4] GB50189—2015 公共建筑节能设计标准[S].
- [5] [https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/CHS/\[EB/OL\]](https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/CHS/[EB/OL]).
- [6] Oduyemi, Olufolahan, Michael Iheoma Okoroh. Building performance modelling for sustainable building design[J]. International journal of sustainable built environment,2016(5):461-469.