

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.201811093



# BIM 在鲁中地区传统农宅 节能改造中的运用

马乐原, 陈悦华

(武汉大学 土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 在对鲁中地区农宅进行实地调研、了解现存住宅类型及围护结构方案的基础上,选取有代表性的农宅类型,借助建筑信息模型(BIM)建模软件 Revit 建立三维模型.利用 BIM 可持续分析软件 Ecotect,分别模拟不同的农宅布局形式及围护结构优化前、后的室内逐月不舒适度和能耗情况.结果表明:从节能角度分析,合院式布局农宅仍然是最佳布局形式;进一步提高围护结构的热工性能是节能改造的关键,且对屋顶和外窗进行改造的效果明显优于外墙.

**关键词:** 建筑信息模型;合院式农宅;逐月不舒适度;建筑能耗

**中图分类号:** TU 241.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5013(2019)04-0503-07

## BIM Application in Energy-Saving Retrofitting of Traditional Rural Residential Buildings in Central Shandong Province

MA Leyuan, CHEN Yuehua

(School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The representative 3D model was built with the application of building information modeling (BIM) based on the field investigation of the layouts and envelope types of the rural buildings in central Shandong province. The indoor monthly discomfort degree and energy consumption of traditional buildings were simulated by green analysis software Ecotect, to optimize the layouts and envelope types. The results show that the courtyard is still the best layout for energy saving, the further improvement of the thermal performance of envelope structure is the key to energy-saving, the effect of roof and exterior window renovation is obviously better than that of exterior wall renovation.

**Keywords:** building information modeling; courtyard rural residential buildings; monthly discomfort degree; building energy consumption

鲁中地区即山东半岛中部地区,在全国建筑气候区图上属寒冷地区,冬冷夏热、春秋短促,因此,该地区住宅需满足冬季保温、夏季隔热的基本要求<sup>[1]</sup>.然而长期以来,该地区农村住宅以农民自发组织建设为主,缺少专业的设计与施工团队,再加上经济水平有限,住宅建造质量相对较差,对住宅的节能环保性及室内的热舒适性也更加缺少关注.近年来,农宅的节能工作开始受到国家相关部门及相关专家的关注.2009年,《严寒和寒冷地区农村住宅节能技术导则》试运行;2010年,住建部发布文件要求对农村居住建筑进行节能改造.同年,我国建筑科学研究院开始编制农村地区节能改造标准,以改善人居环境为目标,尽量满足住户对舒适度的要求<sup>[2]</sup>.学者们主要从节能改造策略及能耗影响因素两个方面开展研

**收稿日期:** 2018-11-28

**通信作者:** 陈悦华(1968-),男,副教授,博士,主要从事建筑信息化的研究. E-mail: yuhchen@whu.edu.cn.

**基金项目:** 国家自然科学基金面上资助项目(71073117)

究.董馨璐<sup>[2]</sup>以哈尔滨市周边农宅实地调研数据为基础,分析其围护结构存在的问题,提出合适的围护结构节能改造方案,同时辅以 eQUEST 能耗模拟软件动态模拟进行方案优选.高宁宁<sup>[3]</sup>从适宜性角度探索胶东半岛新型农宅的节能设计策略.邹惠芬等<sup>[4]</sup>通过分析东北地区农宅地基传热过程,得到不同厚度的地基保温层对建筑能耗和室内热舒适性的影响.董令初等<sup>[5]</sup>对浙江农宅不同功能、不同朝向的房间窗墙比进行实测,分析各自特点并提出改造建议.袁炯炯<sup>[6]</sup>基于厦门地区不同类型的用能特征及人体热适应性,提出适宜的节能措施,并分析不同围护结构参数对空调能耗的影响.郑少群等<sup>[7]</sup>利用 Energy-Plus,模拟不同变量变化对建筑能耗和室内舒适度的影响,分析它们之间的定量关系,并采用粒子群算法进行多维优化.总的来说,目前,我国既有农宅节能改造的研究成果适用范围相对有限,复用性和共享性偏低.现有研究成果尽管可以在某些典型农宅节能改造设计阶段提供一些指导,但是模拟软件中所建的模型仍然无法用于指导施工及后期运维,也无法在各专业之间实现共享,也就难以实现改造全过程的实时监控和多专业之间高度协调.因此,如何将节能改造所需的全部信息高效准确地集成于统一的平台,实现数据共享,同时简化传统的节能改造流程,提高普适性,是目前既有农宅节能改造研究的重点方向.本文借助建筑信息模型(BIM)平台,运用建模软件 Autodesk Revit 建立鲁中地区典型农宅三维模型,经过简单数据转换,将带有属性信息的模型导入 BIM 系列软件分析建筑性能,进而辅助改造方案的比选和优化.

## 1 BIM 理论基础

BIM 技术是一种基于统一的数据标准,贯穿于工程项目的全生命周期,通过整合建筑项目生成的各类信息为项目的所有参与者提供一个共享式信息平台的新技术<sup>[8]</sup>.BIM 的实现离不开 BIM 系列软件,目前 BIM 系列软件可划分为两大类型:BIM 建模软件和利用模型的软件.每一类都包括诸多具体软件,这些软件大大推进了 BIM 的普及和发展,使用者可以根据需要选择和综合运用,进而优化设计、节约成本等.

### 1.1 BIM 建模软件

目前,国内外有很多 BIM 建模软件,比较常用的是 Revit, MagiCAD, XSteel 和 iTWO 等,其中, MagiCAD 专注于机电, XSteel 致力于钢构,两者和 iTWO 都是国外软件,不能适应本土化施工规范、计算规则等. Revit 可以通过创建建筑基础构件,快速完成平、立、剖面等设计,生成三维模型并输出二维图纸,在任何一个视图下修改图元,其他视图下自动发生联动,并且其自带的族可以直接载入模型中,大大提高了绘图效率<sup>[9]</sup>.除此之外, Revit 建模基于统一的 IFC 建模标准,其生成的模型可以在任意支持 IFC 标准的软件之间转换.因此,文中选用 Revit 建立既有农宅模型,进而利用可持续分析软件进行建筑性能分析.

### 1.2 BIM 可持续分析软件

BIM 可持续分析软件可以从 BIM 模型中提取建筑性能,分析所需的相关建筑信息并进行模拟,及时给出评价反馈,便于对设计方案进行优化完善,从而使设计过程更加理性.以往一些专业分析软件,如 DOE-2, EnergyPlus 等,尽管功能强大,但操作难度较大,且需要操作人员具备扎实的专业基础. Ecotect Analysis 基于三维信息化模型,简化了复杂几何体的构建过程,用户界面友好、可视化程度高、操作难度低、应用范围较为广泛.

1.2.1 Ecotect Analysis 与建模软件的数据交换 Ecotect Analysis 功能较为全面,集合了热环境、声环境、光环境、经济性、环境影响和可视度分析等 6 项功能.它最大的优势在于其属于 BIM 系列软件,提供了与 BIM 软件的接口,可以与 Revit 中所建模型进行单向链接<sup>[10]</sup>.模型从 Revit 到 Ecotect Analysis,主要以 Green Building XML(gbXML)或 DXF 的格式进行数据转换,其中, gbXML 是基于 XML 规范的专门用于绿色建筑分析的数据转换语言,以空间为基础,围护结构以面的形式简化表达,主要用来分析建筑的热环境、声环境等;而 DXF 文件储存的是详细的 3D 模型,在各软件之间转换速度相对较慢,适用于光环境、阴影遮挡分析等<sup>[11]</sup>.研究主要利用 Ecotect Analysis 的热环境分析功能分析住宅的逐月不舒适度和能耗,使用从 Revit 导出的 gbXML 文件,在 Ecotect Analysis 中赋予构件相应的材质,并进行区域设置(人员、设备运行时间表等)之后,载入当地气象数据,即可开始分析计算.

1.2.2 Ecotect Analysis 热环境分析计算方法

Ecotect Analysis 热环境分析采用英国工程师协会 (CIBSE)核定的准入系数法,是一种动态负荷计算方法,包括平均和波动两种计算状态,其计算流程,如图 1 所示.该运算比较灵活,对建筑物的体形及模拟仿真的区域数量没有限制.同时,准入法的计算也比较高效,在完成遮挡和区域计算后,无论是继续修改材料,还是重新进行区域内人员活动情况的设置,系统都会迅速完成计算<sup>[12]</sup>.

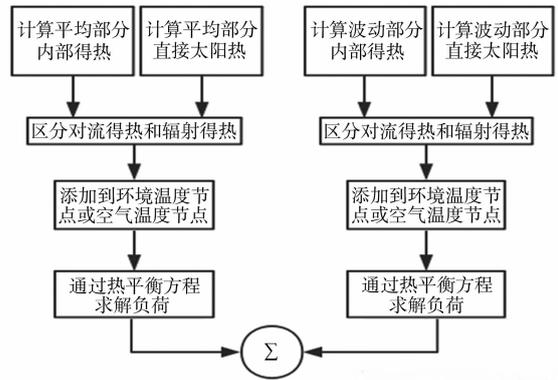


图 1 准入法计算流程图

Fig.1 Calculation flow chart of admission method

2 典型农宅概况及 BIM 建模

为了更真实地了解鲁中农村现有住宅形式及居住环境状况,选取山东省潍坊市临朐县五井东村 70 余户农宅进行深入走访调研.由于建造时间不同,农村住宅的空间布局、结构形式等也发生着变化.结合调研结果,将住宅建造时间划分 1990—2000 年、2000—2010 年及 2010 年以后 3 个时间段,并分别利用 Revit 建立三维模型,如图 2,3 所示.宅基地面积统一为 15 m×15 m.

建筑形式上,该地区住宅一直以单层坡屋面为主;结构形式上,2010 年以前,以砖混结构为主,2010

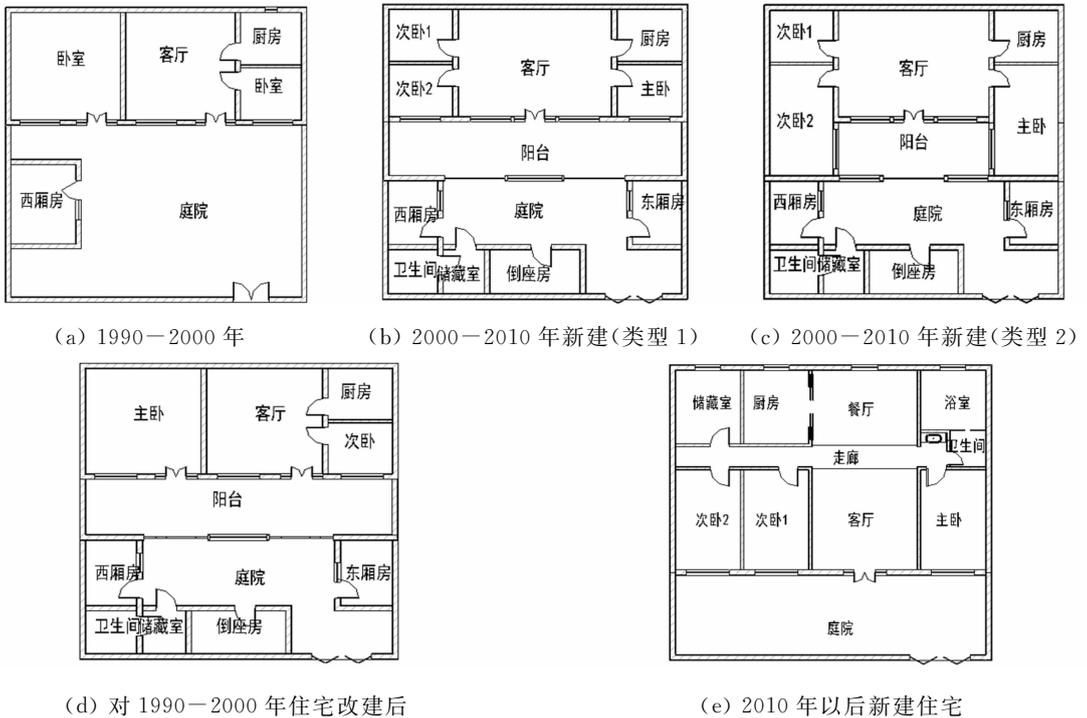
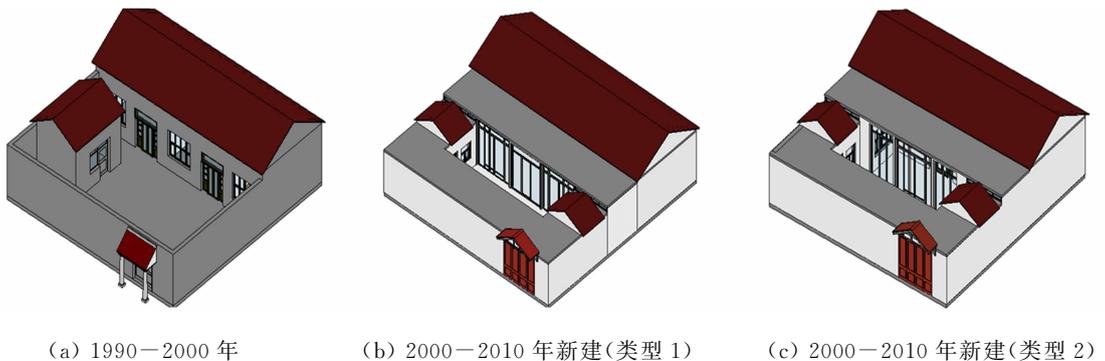


图 2 1990 年至今典型农宅模型平面视图

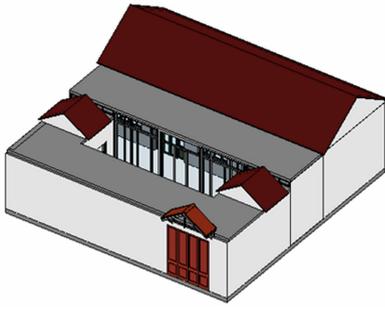
Fig.2 Plan view of typical rural residential building models since 1990



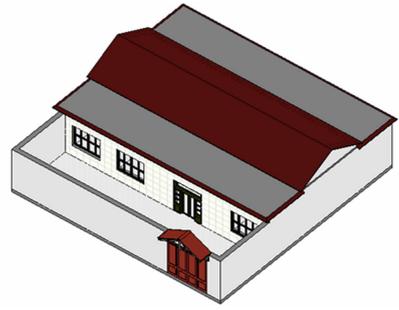
(a) 1990—2000 年

(b) 2000—2010 年新建(类型 1)

(c) 2000—2010 年新建(类型 2)



(d) 对 1990—2000 年住宅改建后



(e) 2010 年以后新建住宅

图 3 1990 年至今典型农宅模型三维视图

Fig. 3 3D view of typical rural residential building models since 1990

年之后,开始出现框架结构。围护结构上,越来越关注材料的保温隔热性能,外墙、屋面、门窗、地面等部位的构造形式,如表 1 所示。空间布局上,1990—2000 年的住宅建设受经济条件限制,多数家庭只建正房和一间厢房(东厢房或西厢房)以满足基本居住需求;21 世纪之后,随着经济的发展,越来越多的家庭开始在自家宅基地上加建厢房及倒座房,形成四合院式布局,同时,考虑采光及保暖需求,在正房与厢房之间加建阳台连接(图 2(d));2010 年之后,除了继续沿用传统的四合院式布局建造房屋,一些条件比较好的农户开始结合楼房布局形式设计自家住宅,取消厢房的建造,所有居住活动全部改为在室内进行。

表 1 农宅围护结构概览

Tab. 1 Overview of envelope of rural residential buildings

围护结构 部位	材料及厚度(由外到内)		
	类型 1(1990—2000 年)	类型 2(2000—2010 年)	类型 3(2010 年以后)
外墙	20 mm 厚水泥砂浆+240 mm 厚黏土砖+20 mm 厚水泥砂浆	20 mm 厚水泥砂浆+240 mm 厚黏土砖+20 mm 厚水泥砂浆+10 mm 厚白灰抹灰	5 mm 厚贴砖饰面+10 mm 厚白灰抹灰+20 mm 厚水泥砂浆+240 mm 厚黏土砖+20 mm 厚水泥砂浆
屋顶	黏土瓦+20 mm 厚麦秸泥+60 mm 厚高粱箔+木檩条+10 mm 厚石膏板	黏土瓦+20 mm 厚麦秸泥+10 mm 厚苇箔+木檩条+10 mm 厚纸面石膏板	黏土瓦+20 mm 厚麦秸泥+120 mm 厚现浇混凝土屋面板+10 mm 厚纸面石膏板
门窗	单框单玻木门窗	单玻铝合金门窗	单玻铝合金门窗为主,少数中空双玻铝合金门窗
地面	—	瓷砖地面为主	—

### 3 基于 BIM 的典型农宅能耗模拟分析

#### 3.1 热环境参数的设置

进行热工模拟前,要先进行区域属性的参数设置:“室内设计条件”使用系统默认值;“人员和运行”的设置按人均占有使用面积  $6 \text{ m}^2$  及不同房间的使用功能对人员进行分配;换气次数的计算根据《农村居住建筑节能设计标准》,冬季取  $0.5 \text{ h}^{-1}$ ,夏季取  $1.0 \text{ h}^{-1}$ ;考虑到农村当地生活习惯,热环境参数“系统类型”选择“Heating Only”,即仅在冬季采取取暖措施,夏季不设置空调制冷;室内舒适温度按标准设定为  $14 \sim 28 \text{ }^\circ\text{C}$ ;“运行时间”假定平时和周末的取暖炉使用时间分别是  $18:00 \sim 24:00$  和  $8:00 \sim 24:00$ 。

#### 3.2 不同平面布局对节能改造的影响

为了分析住宅的不同平面布局对住宅热环境的影响,住宅围护结构统一采用类型 1 的方案。

3.2.1 逐月不舒适度分析 选取的逐月不舒适度数据表示形式为 DH(Degree Hours),单位为  $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ 。即计算每月所有不舒适温度与节 3.1 中设定舒适温度( $14 \sim 28 \text{ }^\circ\text{C}$ )的差值的总和,可以分别得到过热(高于  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ )和过冷(低于  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ )的不舒适度总和。

在自然通风条件下,模拟各类型住宅的逐月不舒适度,汇总得到全年不舒适度,如表 2 所示。由表 2 可知:夏季的过热不舒适度远远低于冬季的过冷不舒适度,即该地区农村住宅通过自然通风基本能够实现夏季降温的需求,但是因处寒冷地区、冬季气温低、外加当前使用的围护结构材料的传热系数过大、气

密性低等原因, 还需要加强采暖措施提高舒适度. 对比 4 种布局类型可以看出, 逐月不舒适度最大的是 1990—2000 年所建住宅, 阳台、厢房、倒座房等加建之后, 逐月不舒适度明显降低, 因为合院式布局中间形成的庭院可对民居室内外的热环境起到过渡作用, 有效缓冲室外温度对室内的直接作用. 2010 年以后的布局虽然居住方便, 但是由于直接受到户外露天环境的影响, 逐月不舒适度略高于合院式布局.

3.2.2 住宅能耗分析 住宅能耗是指维持建筑功能和建筑物在运行过程中所消耗的能量, 包括照明、采暖、空调、家用电器等能耗<sup>[13]</sup>. 对农宅来说, 能耗主要用于采暖. Ecotect 可以模拟建筑整体和各个区域的逐月采暖能耗, 计算单位面积能耗 = 建筑物整体采暖能耗 / 建筑面积, 结果如图 4 所示.

由图 4 可知: 单位面积能耗情况与逐月不舒适度结果相似, 1990—2000 年所建住宅的单位面积能耗最高, 为 184.71 kW · h · m<sup>-2</sup>; 1990—2000 年的住宅改建为合院式住宅后, 过冷不舒适度降低, 所需单位采暖能耗减少为 150.99 kW · h · m<sup>-2</sup>, 比改建前降低了 18%; 而 2010 年以后的非合院式布局过冷不舒适度高于合院式, 导致采暖能耗有所增加.

### 3.3 围护结构形式对节能改造的影响

3.3.1 围护结构改造方案的确定 由于农村居民专业知识匮乏、节能意识低等原因, 目前农宅建设所采用的外墙、门窗、屋顶等大多没有进行任何

保温处理, 热工性能不良, 造成农村住宅冬季室内热环境情况并不乐观. 外墙是住宅的主要围护结构, 内保温、外保温和夹芯保温是目前流行的墙体保温形式<sup>[14-15]</sup>. 其中, 外墙外保温是在外墙外部加设保温材料, 施工过程不影响室内居住活动的正常进行, 既有利于保护原有围护结构, 又帮助改善室内热环境, 是既有建筑墙体节能改造的首选; 门窗是建筑围护结构各部件中绝热性能最差的部分, 目前农村大量使用的仍然是保温隔热性能比较低的单层玻璃窗, 这是造成室内热环境质量差和冬季能耗高的重要原因. 寒冷地区的住宅, 选择门窗玻璃时, 应选用气体间层厚度不小于 9 mm 的中空玻璃<sup>[14]</sup>, 严格控制其热传导能力; 屋顶所造成的室内外传热耗热量远远大于其他围护结构的耗热量. 常见的保温屋面采用保温隔热材料改善屋面的热工性能, 选择保温隔热材料时, 需考虑其导热能力和蓄热能力, 同时, 也要考虑屋面荷载, 尽量选用密度适中的材料.

综合上述原则, 确定该地区农宅围护结构改造方案, 如表 3 所示. 改造后的外墙、外窗、屋顶的传热系数均小于改造前的, 且均符合《农村居住建筑节能设计标准》的规定. 以图 2(b) 布局形式为例, 分别对外墙、外窗、屋顶进行改造, 并对比改造前、后逐月不舒适度和能耗情况.

表 3 围护结构改造前、后的对比

Tab. 3 Comparison between envelopes before and after renovation

围护结构部位	改造前		改造后	
	构造	传热系数	构造	传热系数
外墙	20 mm 厚水泥砂浆 + 240 mm 厚黏土砖 + 20 mm 厚水泥砂浆 + 10 mm 厚白灰抹灰	1.490	5 mm 厚贴砖饰面 + 5 mm 厚抗裂砂浆 + 50 mm 厚 EPS 保温板 + 胶黏剂 + 20 mm 厚水泥砂浆 + 240 mm 厚黏土砖 + 20 mm 厚水泥砂浆 + 10 mm 厚白灰抹灰	0.469

表 2 同平面布局住宅全年不舒适度对比

Tab. 2 Yearly discomfort degree of buildings for different layouts

时间	不舒适度		
	过热	过冷	总计
1990—2000 年	163.6	15 562.4	15 726.0
新建类型 1	120.1	14 219.3	14 339.4
2000—2010 年	115.3	14 462.6	14 577.8
改建	119.5	14 127.0	14 246.5
2010 年以后	135.5	14 867.2	15 002.7

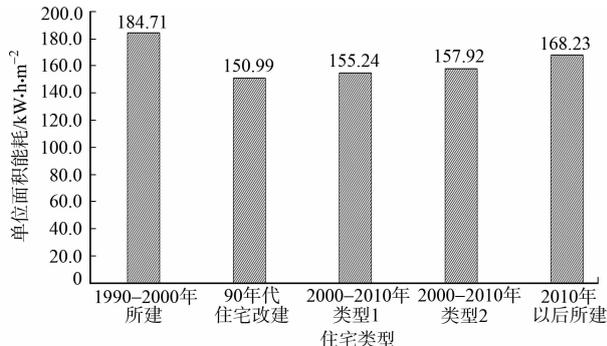


图 4 不同农宅类型单位面积能耗对比

Fig. 4 Comparison of energy consumption per unit area among different types of buildings

续表  
Continue table

围护结构部位	改造前		改造后	
	构造	传热系数	构造	传热系数
屋顶	黏土瓦+20 mm厚麦秸泥+10 mm厚苇箔+木檩条+10 mm厚纸面石膏板	2.130	黏土瓦+40 mm厚麦秸泥+120 mm厚现浇混凝土屋面板+50 mm厚玻璃棉保温层+薄膜隔汽层+纸面石膏板吊顶	0.225
门窗	单玻铝合金门窗	5.440	中空双玻铝合金门窗	2.710

3.3.2 逐月不舒适度分析 在自然通风条件下,模拟该类型住宅逐月不舒适度.围护结构改造前、后的全年不舒适度对比,如图5所示.由图5可知:每种围护结构的改造都会使房间过热及过冷的不舒适度降低,即围护结构热工性能的提高(主要是传热系数的减小)可以大大增强住宅的保温隔热性能,降低逐月不舒适度;屋顶改造后,全年不舒适度降低幅度最为明显,外窗次之;相比改造前,外墙改造后的全年不舒适度有一定降低,但幅度不大.

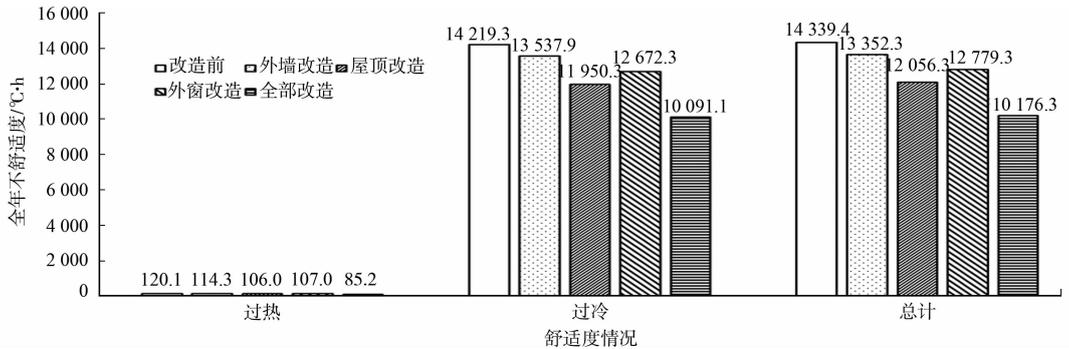


图5 围护结构改造前、后全年不舒适度的对比

Fig. 5 Comparison of yearly discomfort degree before and after envelope renovation

3.3.3 住宅能耗分析 同样地,采用控制变量的方法,在其他围护结构材质不变的情况下,分别更改外墙、屋顶和外窗的材质,模拟得到逐月采暖能耗,结果如图6所示.由图6可知:传热系数小、传热能力低、保温性能好的围护结构有利于冬季采暖能耗的降低,单一围护结构的改造节能效果远不如同时对所有围护结构进行优化,且屋顶和外窗的节能改造效果明显优于外墙.

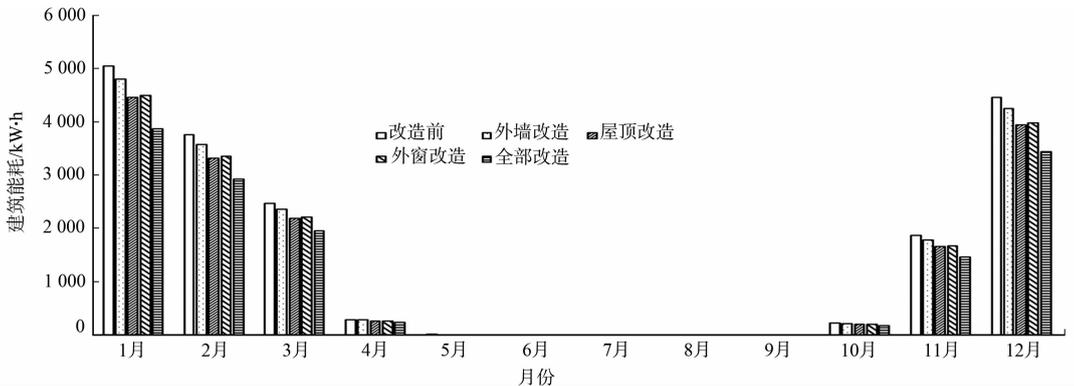


图6 围护结构改造前、后逐月能耗的对比

Fig. 6 Comparison of monthly energy consumption before and after envelope renovation

## 4 结论与展望

借助 BIM 平台的数据协同能力,通过可视化数据模型在建模软件与可持续分析软件之间的自由转换,对农宅热环境进行模拟,得出以下 3 点结论.

1) 通过分析不同平面布局的逐月不舒适度及能耗情况,得出在合院式布局中,其庭院具有很好的热缓冲作用,可以避免室内环境直接受到户外露天环境的影响,从而降低住宅的逐月不舒适度,减少建

筑能耗。

2) 通过分析不同围护结构改造方案对逐月不舒适度和能耗的影响,得出外墙、屋顶和外窗的优化能减小围护结构的传热系数、降低其传热能力、增加围护结构的保温性能,降低全年室内不舒适度,从而有效地降低建筑采暖能耗。

3) 通过对比单一围护结构和所有围护结构同时改造前、后的逐月不舒适度和能耗变化情况,得出单一围护结构的改造后的逐月不舒适度和能耗降低幅度远不如同时对所有围护结构进行优化,且改造屋顶和外窗的节能效果明显优于外墙的改造。

信息化、可视化的改造流程提高了传统农宅的节能改造的合理性和可操作性,但是值得注意的是,既有农宅的改造不同于新建住宅,其改造过程受到多因素的影响,未来的研究还需进一步通过实地调研对模拟分析的结果进行验证,如有差异分析其出现的原因,不断改善信息化工作流程,帮助居民更好地作出决策。

#### 参考文献:

- [1] 程坦,刘丛红,寇兴亭.基于节能视角的鲁中地区农村住宅现状分析[J].建筑节能,2018,46(5):35-41. DOI:10.3969/j.issn.1673-7237.2018.05.007.
- [2] 董馨潞.东北严寒地区农村住宅外围护结构节能改造策略研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015.
- [3] 高宁宁.胶东半岛地区农村住宅适宜性节能策略研究[D].青岛:青岛理工大学,2012.
- [4] 邹惠芬,胡海浪,孔媛,等.寒冷地区农宅地基节能改造[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2015,31(2):320-327. DOI:10.11717/j.issn:2095-1922.2015.02.16.
- [5] 董令初,黄梦丹,齐锋.浙江省农宅窗墙比域特征调查与评价[J].山西建筑,2017,43(26):169-171. DOI:CNKI:SUN:JZSX.0.2017-26-094.
- [6] 袁炯炯.厦门地区新建农村住宅节能策略研究[D].广州:华南理工大学,2017.
- [7] 郑少群.福建泉州地区农村住宅节能模型研究[D].天津:天津大学,2017.
- [8] EASTMAN C M, TEICHOLZ P, SACKS R, *et al.* BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors[M]. 2nd ed. New York: Wiley, 2011.
- [9] 彭笑川,刘丽. REVIT 三维建筑模型较二维设计的优势[J].科技资讯,2016,14(2):1,3. DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2016.02.001.
- [10] 李农,刘玄焯. BIM 技术在建筑照明设计中的应用展望[J].照明工程学报,2013,24(5):12-15,63. DOI:10.3969/j.issn.1004-440X.2013.05.003.
- [11] Autodesk Inc. Autodesk Ecotect Analysis 绿色建筑分析应用[M].北京:电子工业出版社,2011.
- [12] 云朋. ECOTECT 建筑环境设计教程[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [13] 秦旋,刘倩昆.厦门市公共建筑能耗影响因素与节能潜力分析[J].华侨大学学报(自然科学版),2015,36(5):575-580. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.2015.05.0575.
- [14] 陈易,高乃云,张永明,等.村镇住宅可持续设计技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [15] 王丽颖,郝秋实.严寒地区农宅热环境状况及节能技术研究[J].建设科技,2012(17):80-82. DOI:10.3969/j.issn.1671-3915.2012.17.045.

(责任编辑:黄晓楠 英文审校:方德平)