

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2022.04.005

基于能耗模拟的皖南徽派民居节能改造研究

李雪平, 张 引

(西安科技大学 建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 徽派民居作为皖南地区传统民居, 因建造年代久远, 构造老化严重, 室内热环境差, 且建筑能耗高, 民居建筑节能改造需求迫切。选取歙县一处传统徽派民居, 使用 DeST 对民居进行能耗模拟, 并对围护结构进行节能改造分析, 对不同围护结构节能方案下的节能效果进行定量分析, 结合方案节能率 and 经济效益选取最佳方案。改造后, 建筑全年累计能耗降低 66.4%, 寿命期内净现值为 13 433.97 元, 冬季室内温度有一定提升。节能改造对提高民居舒适度和节约能耗有实际意义。

关键词: 夏热冬冷地区; 节能改造; 能耗; DeST 软件

中图分类号: TU111.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2022)04-0500-07

Comprehensive benefit analysis of energy-saving transformation of Hui-style residential buildings in southern Anhui

LI Xueping, ZHANG Yin

(School of Architectural and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: As traditional dwellings in southern Anhui, Huizhou style dwellings have been built for a long time, which have serious aging structure, poor indoor thermal environment, and high building energy consumption, so there is an urgent need for energy-saving transformation of dwellings. This paper selects a traditional Huizhou style house in Shexian County, uses DeST to simulate the energy consumption, analyzes the energy-saving transformation of the envelope structure, quantitatively analyzes the energy-saving effect in different energy-saving schemes, and selects the best scheme combined with the energy-saving rate and economic benefits. After the renovation, the annual cumulative energy consumption of the building is reduced by 66.4%, with the net present value during the life span 13 433.97 yuan. The indoor temperature of winter has been improved to a certain extent. The energy-saving renovation is of practical significance to the improvement of residential comfort and energy saving.

Key words: hot summer and cold winter zone; energy-saving renovation; energy consumption; DeST

改革开放以来我国经济繁荣发展, 建筑业的兴起使得我国建筑建设量达到世界第一^[1]。据统计, 2017 年我国农村建筑面积占全国建筑面积的 33.99%, 农村住宅能耗(除采暖以外)为 2.23 亿标煤, 占全国建筑能耗的 23.55%^[2], 传统民居的高耗能无疑加剧了不可再生资源的短缺, 也给环境带来了极大负担, 是我国建筑节能发展迫切需要解决的问题, 因此, 大量学者开始关注农村地区传统民居的节能改造。使用新材料和新技术是既有民居改造的

主要方式^[3], 集中体现在对围护结构的加固和保温上。研究发现, 夏热冬冷地区外墙最佳保温厚度范围为 14~50 mm^[4-5], 夏季可以通过增加外窗和遮阳进行改善, 但南向外窗得热能力远大于散热能力, 因此增加外窗通风的同时, 应注意控制建筑体型^[6]; 采用低透光率的玻璃材料对建筑室内环境的改善效果更佳^[7]。清洁能源利用可以带来较大的环境效益, 使用太阳能、风能等自然资源代替一次能源不仅具有良好的经济效益, 同时也能保护生态环境^[8]。

收稿日期: 2021-10-23; 网络出版日期: 2022-03-29

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20220329.1028.002.html>

基金项目: 陕西省教育厅科学研究计划项目(20JK0237)

第一作者: 李雪平, 女, 博士, 副教授, 研究方向为绿色节能建筑。E-mail: 1142550891@qq.com

通信作者: 张引, 女, 硕士生, 研究方向为绿色节能建筑。E-mail: 18815687208@163.com

借助软件计算建筑能耗、分析方案可行性,是建筑节能改造的趋势,例如英国学者采用 EnergyPlus 和 TRNSYS 能耗模拟软件分析影响建筑能耗的因素,并提出了零能耗建筑优化策略^[9];EnergyPlus 还可以分析外墙结构节能效果的影响因素^[10]。芬兰学者通过改变建筑围护结构变量,结合 IDA、ICE 建筑性能模拟软件,对住宅建筑进行系统优化,降低了建筑碳排放^[11]。利用 BIM 可以有效降低改造过程中建筑材料的浪费和避免设计过程中管线碰撞等错误^[12]。以上对建筑节能的探究给徽派民居改造提供了借鉴,但结合黄山地区地理环境特点进行民居改造的研究仍较少。

传统民居作为极具地方特色的建筑,其传承和发展备受关注。研究徽派民居节能策略,不仅有利于响应建筑学科对节能、环保的倡议,更能体现出对传统民居的保护、发展以及对文化的传承。本文从降低徽派传统民居能耗的角度出发,提出民居节能改造方案,并分析方案节能效果。

1 研究方法

徽派民居起源于历史悠久的古徽州地区,歙县在宋朝被设立为古徽州地区的府治,是徽州文化的发源地,境内的徽州古城是我国保存最完好的四大古城之一,其中的古民居比其他县镇更为丰富,更有代表性^[13],因此本文对皖南徽派民居的研究就从歙县展开。通过对歙县徽派民居进行实地调研,发现尚在使用的传统民居由于建造年代久远,普遍存在外墙风化严重、建筑密闭性差、运行能耗高等问题。当地民居多为 2~3 层的单体建筑,体形系数远高于城镇建筑,民居构造特征为外墙厚、屋顶薄,单薄的屋顶和隔墙保温隔热性能弱;窗户多为木质窗框和单层玻璃,木料长时间被风雨侵蚀,使得木板密实度降低,板间拼合缝隙的增大使得外窗保温隔热性能大大降低。受徽州地区历史和文化因素的影响,建筑立面极少开窗或开小窗,室内采光效率低,承担主要采光功能的天井因为尺寸较小,只能提供天井周围空间部分采光,由于歙县地区多阴雨天气,紫外线较弱,室内通常十分昏暗^[14],加上当地居民节能意识不强,导致民居远达不到节能标准。

总结调研结果,选取具有代表性的民居作为改造对象,使用由清华大学开发的 DeST 能耗模拟软件,对改造前后建筑的全年冷、热负荷进行计算。具体改造方案为:在民居现有围护结构的基础上,对外墙和屋顶增设保温层,更改外窗材料,通过软件计算不同方案节能率,结合方案经济效益和环境效益确

定最佳方案,并模拟最佳方案下建筑室内外温度,与民居实测温度进行对比,直观反映民居节能效果。

2 民居模型概况

2.1 基本信息

徽派民居布局一般为“凹”形、“回”型和“H”型等形式,本文选取位于歙县古城一栋典型的“回”字型天井传统民居进行建模分析。民居共两层,坐北朝南,总面积 360 m²,平面图如图 1 所示。民居一层层高为 3.6 m,二层层高 2.7 m,一层仅在卫生间开窗,二层南向房间、北向厢房和卫生间均开外窗,东西方向外墙均未开窗,卫生间窗户尺寸 0.9 m×0.9 m,其他窗户尺寸均为 1.5 m×1.5 m,屋顶为坡屋顶,建筑体型系数为 0.432。楼梯间与起居室相连,按起居室处理,天井房间楼地面、内墙和天花板均设置为虚拟围护结构,天井向室内房间均设置通风。DeST 模型如图 2 所示。

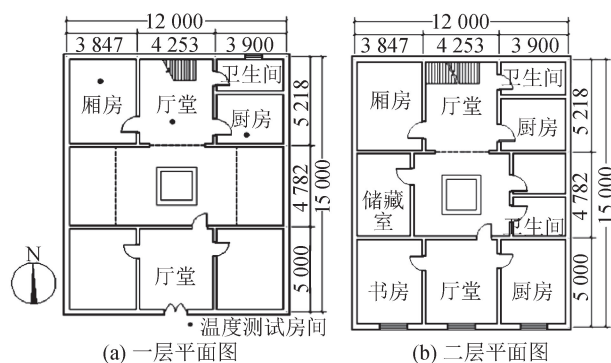


图 1 传统民居层平面图(单位:mm)

Fig. 1 Floor plan of traditional residential buildings (unit:mm)

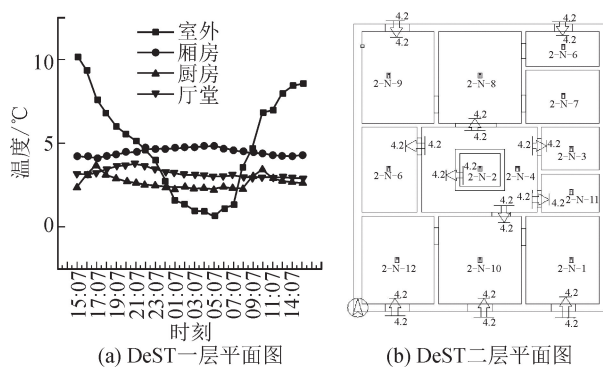


图 2 DeST 模型

Fig. 2 DeST model

2.2 参数选取

2.2.1 围护结构

民居外墙为厚度 350 mm 的空斗墙,空斗墙砌法特殊,青砖中留有空气夹层以降低墙体传热系数,

可有效隔绝夏季室外高温。司鹏飞等^[15]通过数学公式推导计算空斗墙的传热系数,得到空斗墙平均传热系数公式为:

$$K = K_k A + K_s B \quad (1)$$

式中: K 为墙体平均传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; K_k 为空心墙体传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; K_s 为搭接砖墙体传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; A 为空心墙体占整面墙的比例; B 为搭接砖墙体占整面墙的比例。

将实测温度数据代入,计算得到民居外墙传热系数在 $0.7 W/(m^2 \cdot K)$ 左右。为了保证 DeST 模型的准确性,在外墙构造中加入空气层,并使得传热系数接近 $0.7 W/(m^2 \cdot K)$;屋顶为建筑热损失第二的部位,该民居屋顶为传统的梁-椽-望板-柴泥-盖瓦结构,保温效果不佳;民居门窗皆为木质,玻璃为普通 $6 mm$ 单层玻璃。围护结构材料及热工参数如表 1 所示。

表 1 围护结构材料及热工参数

Tab.1 Enclosure materials and thermal parameters

围护结构种类	材料	传热系数/ ($W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$)
外墙	水泥砂浆 20 mm + 青砖 290 mm + 空气 20 mm + 水泥砂浆 20 mm	0.684
	外窗	木质窗框 + 6 mm 单层玻璃
坡屋顶	杉木椽 75 mm + 望板 18 mm + 柴泥 20 mm + 青瓦	1.443
内墙	木板 60 mm	0.429

2.2.2 室内热扰

民居主要房间室内热扰情况见表 2。

表 2 室内热扰情况

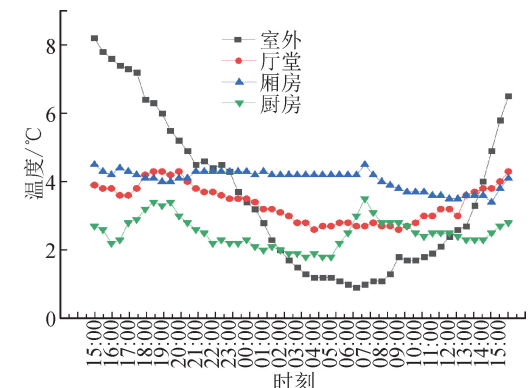
Tab.2 Indoor thermal disturbance

热扰类型	厅堂	厢房	厨房	书房	
灯光	最大灯光热扰/ ($W \cdot m^{-2}$)	9	9	8	8
设备	最大设备热扰/ ($W \cdot m^{-2}$)	9.7	12.7	38	5
人员	人员数量/人	4	2	3	1
	人员产热/($W \cdot m^{-2}$)	53	53	60	60
	人员产湿/ ($g \cdot (h \cdot 人)^{-1}$)	61	61	102	102

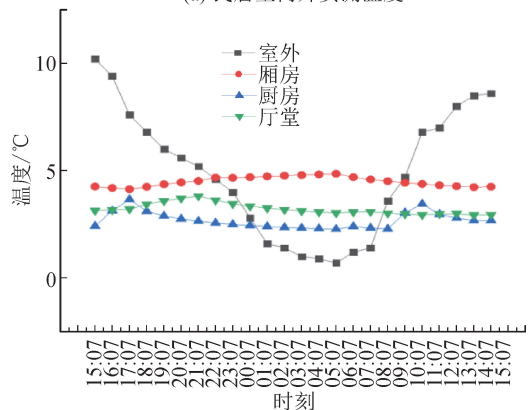
2.3 房间温度

民居冬季室内外实测温度与模拟温度见图 3。分析测试结果发现,民居室外平均温度为 $3.5 ^\circ C$,温度波动较大,室内温度较低,厅堂和厢房是休息和活

动的主要场所,平均温度为 $3.4 ^\circ C$ 、 $4.2 ^\circ C$,最高温度分别为 $3.8 ^\circ C$ 、 $5.5 ^\circ C$,温度波幅分别为 $0.4 ^\circ C$ 、 $1.3 ^\circ C$,远低于人体舒适温度 $16 ^\circ C \sim 25 ^\circ C$ 。民居室外与厅堂和厢房的温差最大值分别为 $4.3 ^\circ C$ 和 $3.5 ^\circ C$,围护结构保温效果不佳。通过 DeST 软件模拟民居房间在无主动采暖且门窗关闭状态下的室内温度,结果发现,软件模拟的室内温度与实测温度基本一致,因此可以使用 DeST 软件对节能改造后的民居室内温度进行模拟预测。



(a) 民居室内外实测温度



(b) 民居室内外模拟温度

图 3 民居室内外温度

Fig.3 Indoor and outdoor temperature of residential buildings

3 节能方案的提出及比选

3.1 围护结构节能方案

3.1.1 外墙

研究发现,严寒、寒冷地区应用外墙外保温形式效果更佳,而夏热冬冷地区使用内外保温皆可。对徽派民居外墙增设保温层进行能耗模拟,分析内、外保温及保温层厚度对建筑能耗的降低效果。在符合《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134—2010)^[16]外墙参数要求的前提下,选择保温材料为聚苯乙烯板(EPS)、挤塑聚苯乙烯板(XPS),厚度范围 $10 \sim 100 mm$;岩棉板厚度范围 $40 \sim 120 mm$,能

耗模拟结果如图4所示。

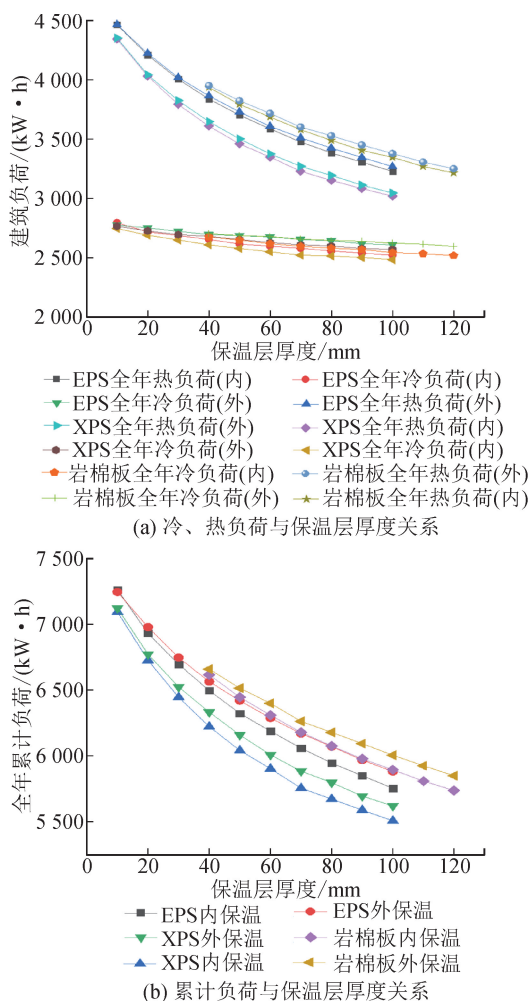


图4 建筑负荷与外墙保温层厚度变化关系
Fig. 4 Relationship between building load and thickness of external wall insulation layer

结果显示,随着保温板材厚度的增加,建筑全年累计负荷有很大程度的降低,外墙改造对建筑的保温作用十分明显。这是由于外墙传热系数降低,蓄热能力提高,可以降低建筑在极端温度时的空调和采暖能耗。建筑热负荷降低较冷负荷更快,这是由于徽派民居的防热设计使得民居夏季对空调依赖较少,反而冬季采暖需求更大,因此节能改造对热负荷影响更明显。三种保温板材均有较好的节能效果,其中EPS、XPS板外保温节能效果最佳,每增加保温厚度10 mm,最大节能效率分别提升4.4%和6.0%,岩棉板节能效果最差。但EPS、XPS板材在外保温厚度达到70 mm后,能耗曲线趋于平缓,节能效果有限。由于两种板材价格都相对较低,因此选取厚度为70 mm的EPS、XPS板为外墙节能较优方案。

3.1.2 屋顶

民居屋顶长期受到风雨侵蚀,使得瓦片、木板风

化严重,单薄的屋顶很难起到建筑保温作用。因此对民居屋顶增设保温层,并进行建筑负荷计算。方案共选取三种保温材料,分别为聚苯乙烯板、挤塑聚苯乙烯板和泡沫玻璃板,厚度范围10~100 mm,模拟结果见图5。

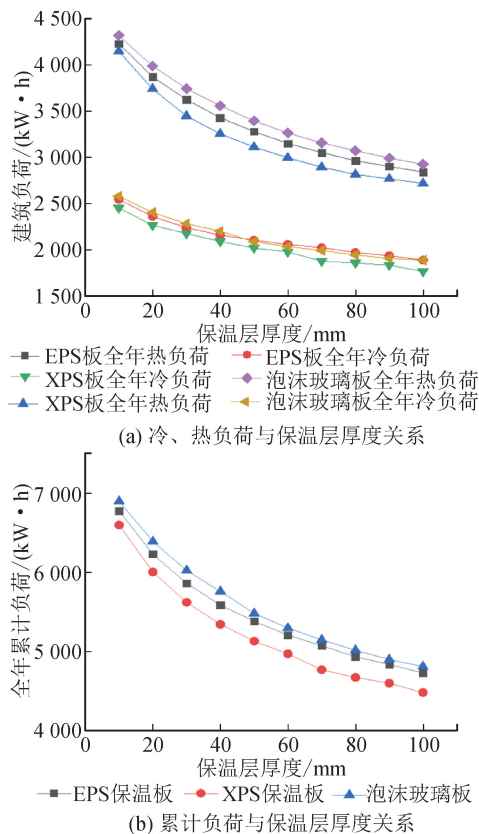


图5 建筑负荷与屋顶保温层厚度变化关系
Fig. 5 Relationship between building load and thickness of roof insulation layer

由图5可见,随着保温板材厚度的增加,全年累计负荷明显降低,说明屋顶是建筑保温中极其重要的构件。XPS保温板节能效果最佳,保温厚度每增加10 mm,最大节能效率提升12.9%,其次为EPS板,保温厚度每增加10 mm,最大节能效率提升10.5%,泡沫玻璃板节能效果最差。XPS板在厚度达到70 mm后,能耗曲线趋于平缓,节能率很低,EPS板在厚度达到80、90 mm后节能效果有限,又因为XPS板硬度大,适宜做屋顶保温材料,且两种板材价格低廉,因此选取厚70 mm的XPS板和厚80 mm、90 mm的EPS板为屋顶节能较优方案。

3.1.3 外窗

民居外窗为木质窗框加单层6 mm玻璃,一层仅在卫生间有一小窗,二层开有大窗,民居一层通风较差,窗框风化严重,与墙体之间空隙较大,单层玻璃难以隔绝室外极端温度。因此,为民居选取不同类型玻璃材料,对每一种窗户类型进行能耗计算,并分析其节

能效率,不同玻璃材料对建筑能耗的影响如表 3 所示。

Low-e 玻璃可以高度过滤中远红外线,并对可见光具有高度透过性,使得建筑在保证采光效果的同时,能减少室内外热交换。由表 3 可知,Low-e 玻璃窗节能效果较好,其中,使用低透型镀 Low-e 膜玻璃窗和加惰性气体的镀 Low-e 膜玻璃外窗建筑

能耗最低,节能率均为 6.5%,其次为高透型镀 Low-e 膜玻璃窗,节能率 6.4%。由于民居开窗较少,外窗材料对能耗影响小,且民居地处农村地区,因此应优先考虑方案的经济性,结合民居采光的高需求,选择高透型镀 Low-e 膜玻璃窗和 6 mm+12 mm 空气+6 mm 玻璃窗为外窗节能最优方案。

表 3 窗户类型对建筑能耗的影响

Tab. 3 Influence of window type on building energy consumption

方案	全年累计热负荷/(kW·h)	全年累计冷负荷/(kW·h)	全年累计总负荷/(kW·h)	原建筑全年累计总负荷/(kW·h)	节能率/%
6 mm+12 mm 空气+6 mm	4 435.23	2 734.76	7 169.99	7 572.16	5.3
6 mm+9 mm 空气+6 mm	4 463.68	2 724.91	7 188.59	7 572.16	5.1
镀 Low-e 膜玻璃中空 6 mm+9 mm+6 mm(高透型)	4 439.17	2 648.58	7 087.75	7 572.16	6.4
镀 Low-e 膜玻璃中空 6 mm+9 mm+6 mm(低透型)	4 580.06	2 496.60	7 076.66	7 572.16	6.5
镀 Low-e 膜玻璃中空 6 mm+9 mm+6 mm(惰性气体)	4 517.22	2 560.77	7 077.99	7 572.16	6.5
真空+镀 Low-e 膜玻璃 3 mm+0.1 mm+3 mm	4 564.75	2 560.13	7 124.88	7 572.16	5.9
真空玻璃 3 mm+0.1 mm+3 mm	4 790.76	2 414.47	7 205.23	7 572.16	4.8

3.2 能耗模拟正交试验

为了验证不同结构节能方案之间的相互影响,对外墙、外窗和屋顶的较优节能方案进行能耗模拟正交试验,围护结构较优方案见表 4,正交试验见表 5。计算表 5 中 12 种方案的建筑能耗,结果见表 6。

由表 6 可知,通过为外墙、屋顶增设保温层、改变窗户材料,提升了建筑整体的保温性能,使得建筑全年累计能耗明显降低;不同组合节能方案的全年累计负荷的节能率在 62.8%~68.8%之间,其中方案 6 节能效果最佳,节能率高达 68.8%。

表 4 围护结构较优节能方案

Tab. 4 Superior energy-saving scheme of enclosure structure

外墙	屋顶	窗户
70 mm XPS 外保温	80 mm EPS 保温板	镀 Low-e 膜玻璃中空 6 mm+9 mm+6 mm(高透型)
70 mm EPS 外保温	90 mm EPS 保温板	6 mm+12 mm 空气+6 mm
	70 mm XPS 保温板	

表 5 正交实验表

Tab. 5 Orthogonal test table

方案	外墙	屋面	外窗
1	70 mm XPS 外保温	80 mm EPS 保温板	镀 Low-e 膜玻璃中空(高透型)
2	70 mm XPS 外保温	80 mm EPS 保温板	6 mm+12 mm 空气+6 mm
3	70 mm XPS 外保温	90 mm EPS 保温板	镀 Low-e 膜玻璃中空(高透型)
4	70 mm XPS 外保温	90 mm EPS 保温板	6 mm+12 mm 空气+6 mm
5	70 mm XPS 外保温	70 mm XPS 保温板	镀 Low-e 膜玻璃中空(高透型)
6	70 mm XPS 外保温	70 mm XPS 保温板	6 mm+12 mm 空气+6 mm

表 5(续)

方案	外墙	屋面	外窗
7	70 mm EPS 外保温	80 mm EPS 保温板	镀 Low-e 膜玻璃中空(高透型)
8	70 mm EPS 外保温	80 mm EPS 保温板	6 mm+12 mm 空气+6 mm
9	70 mm EPS 外保温	90 mm EPS 保温板	镀 Low-e 膜玻璃中空(高透型)
10	70 mm EPS 外保温	90 mm EPS 保温板	6 mm+12 mm 空气+6 mm
11	70 mm EPS 外保温	70 mm XPS 保温板	镀 Low-e 膜玻璃中空(高透型)
12	70 mm EPS 外保温	70 mm XPS 保温板	6 mm+12 mm 空气+6 mm

表 6 正交模拟结果

Tab. 6 Orthogonal simulation results

方案	全年累计 热负荷/ (kW·h)	全年累计 冷负荷/ (kW·h)	全年累计 总负荷/ (kW·h)	节能率/ %
1	1 451.30	1 090.03	2 541.33	66.5
2	1 393.49	1 081.39	2 474.88	67.4
3	1 381.10	1 044.16	2 425.26	68.1
4	1 463.50	1 050.72	2 514.22	65.6
5	1 325.34	1 053.09	2 378.43	68.7
6	1 327.28	1 045.14	2 372.42	68.8
7	1 671.13	1 150.95	2 822.08	62.8
8	1 623.39	1 150.41	2 773.80	63.5
9	1 618.69	1 118.80	2 737.49	63.9
10	1 561.02	1 108.45	2 669.47	64.8
11	1 551.79	1 066.26	2 618.05	65.5
12	1 497.27	1 057.28	2 554.55	66.4

3.3 经济性分析

根据《民用建筑设计通则》(GB 50352—2005)^[17],古徽州地区属于夏热冬冷地区,是国家非采暖地区,因此民居冷热源均为空调,运行费用主要为电费,使用净现值法比较节能方案的经济性。经市场调研,设折现率为 4.35%,歙县当地电费标准 0.5 元/(kW·h),EPS、XPS 保温板价格分别为 410 元/m³、460 元/m³,高透型 Low-e 玻璃、普通中空玻璃(12 mm)价格分别为 120 元/m²、80 元/m²,使用年限为 20 年,根据净现值公式:

$$NPV = \sum_{t=1}^n (CI - CO) \cdot (1 + i)^{-t} \quad (2)$$

式中:NPV 为净现值,元;CI 为年节约费用,元;CO 为初始投资费用,元; i 为折现率,%; t 为使用年限,年。

计算得到各方案净现值,如图 6 所示。由图 6 可见,12 种节能方案的净现值均大于零,方案均可行。其中,方案 3、6、12 净现值较大,运用动态及静

态回收期计算公式,对方案 3、6、12 的改造费用和每年收益情况进行分析,结果见表 7。静态投资不考虑时间对资金的影响,动态回收期考虑时间、折现率的影响,动态回收期从改造第 2 年开始产生折现率, $R = 1 / (1 + i)^n$ 。

由表 7 可知,净现值较高的三种方案中,方案 12 经济效益最高,虽然净现值略低于方案 6,但该方案投资回收期最短,初期投资最低,当地居民更容易接受,综合考虑节能和经济性,选择方案 12 作为民居最优围护结构节能方案,方案节能率为 66.4%,静、动态投资回收期分别为 8.15 年、10.32 年,节能率满足要求,经济效益高,因此认为该方案在节能改造中可行。

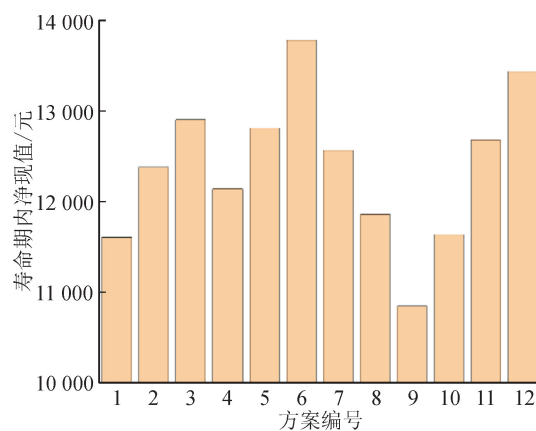


图 6 围护结构改造方案净现值

Fig. 6 Net present value of enclosure reconstruction scheme

表 7 不同节能方案经济性对比

Tab. 7 Economic comparison of different energy-saving schemes

项目	方案 3	方案 6	方案 12
初始投资/元	21 976.27	22 041.32	20 533.73
年节约费用/元	2 583.37	2 654.84	2 518.72
寿命期内净现值/元	12 899.93	13 778.03	13 433.97
静态投资回收期/年	8.5	8.3	8.15
动态投资回收期/年	10.88	10.56	10.32

3.4 节能效果分析

通过分析民居室内热环境来验证节能改造方案的实际效果。由图3可知,DeST软件对建筑室内温度的模拟接近实测值,因此,可按照方案12模拟改造后民居的室内温度,并与实测温度进行对比,以验证节能改造对室内温度的提升效果,如图7所示。结果显示,改造后民居冬季室内温度有明显提升,厢房平均温度由 $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 提升至 $8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,厅堂平均温度由 $3.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 提升至 $9.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,且室内温度更稳定,温差很小,节能改造大大提升了民居室内热舒适性。

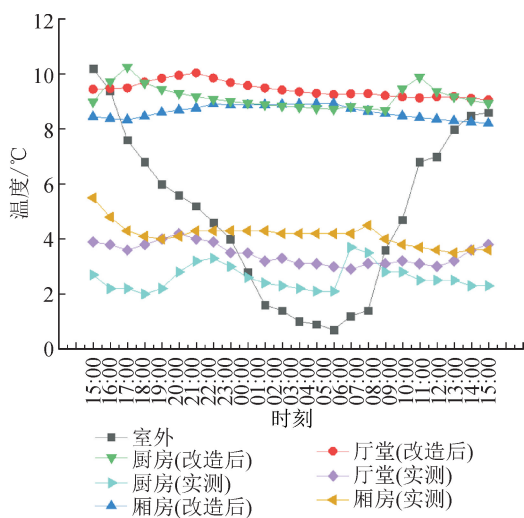


图7 节能改造前后民居室内温度

Fig. 7 Indoor temperature of residential buildings before and after energy-saving transformation

4 结论

1) 经调研发现,传统徽派民居建造时间久远,构件老旧,围护结构风化严重,建筑能耗偏高,有较大节能改造空间,根据规范对民居围护结构加以改造,会带来可观的经济和环境效益。

2) 分析民居室内外实测温度:厅堂和厢房平均温度分别为 $3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $4.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高温度分别为 $3.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,远低于人体舒适温度 $16\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$,室内物理环境差,舒适度低。模拟民居模型的室内温度与实测温度相似度较高,可以使用模拟温度预测节能后民居的室内温度。

3) 使用DeST软件计算不同节能方案下民居的冷、热负荷,对比各方案节能效率和经济收益,最终选择节能方案为:外墙采用 70 mm EPS外保温;屋顶采用 70 mm XPS保温板;外窗玻璃采用 $6\text{ mm}+12\text{ mm}$ 空气+ 6 mm 。该方案节能率为 66.4% ,寿命期内净现值为 $13\ 433.97$ 元。

4) 模拟最佳方案下民居室内温度:厢房平均温度由 $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 提升至 $8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,厅堂平均温度由 $3.2\text{ }^{\circ}\text{C}$

提升至 $9.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,且室内温度更稳定,节能方案对民居室内舒适度有很大提升。

本文的节能设计可有效提升皖南传统民居的室内舒适度,并降低建筑能耗,为民居的节能改造提供了理论依据。但由于受到能耗模拟中气象参数及建筑模型的限制,本研究结果仅适用于歙县周边地区及相似气候条件下的双层天井民居,对于气候差异和平面布局差距较大的民居节能设计,仍需要进行针对性的研究。

参考文献:

- [1] 邢剑龙. 湖南传统民居生态节能设计研究[D]. 广州:华南理工大学,2015.
XING Jianlong. Study on the ecological energy-saving design of traditional dwellings in Hunan [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [2] 中国建筑节能协会能耗专委会. 中国建筑能耗研究报告(2019)[R]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [3] 朱永忠,陈强. 基于新材料、新技术的生态节能发展的湖南省新农村民居设计[J]. 四川建材,2014,40(3):17-18.
ZHU Yongzhong, CHEN Qiang. Design of new rural houses in Hunan Province based on new materials and new technology[J]. Sichuan Building Materials, 2014, 40(3): 17-18.
- [4] 杨少玮,张伟捷. 夏热冬冷地区墙体外保温对建筑节能影响的研究[J]. 建筑节能,2020,48(11):102-105.
YANG Shaowei, ZHANG Weijie. Effect of external thermal insulation of wall on building energy efficiency in hot summer and cold winter area[J]. Journal of Building Energy Efficiency, 2020, 48(11):102-105.
- [5] 王进,胡艳丽,黄康民,等. 导光管照明系统在江苏沿海地区民居节能改造中的应用前景研究[J]. 建筑节能,2015,43(6):115-117.
WANG Jin, HU Yanli, HUANG Kangmin, et al. Prospect of light guide pipe system for residential energy efficiency retrofitting in the coastal region of Jiangsu [J]. Journal of Building Energy Efficiency, 2015, 43(6):115-117.
- [6] 房涛,李洁,王崇杰,等. 太阳辐射得热影响下的近零能耗住宅体形设计研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2020,52(2):287-295.
FANG Tao, LI Jie, WANG Chongjie, et al. Form design of nearly zero energy residence due to solar heat gains[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2020, 52(2): 287-295.

(下转第569页)

1-8.
SUN Junyan, NIU Yaru, SU Bao, et al. Research on dynamic picking strategy design and path optimization

of double zone warehouse[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(23): 1-8.

(责任编辑 周 蓓)

(上接第 506 页)

- [7] MOUNIRA B, YASMINA B. Design optimizatic ocriteria for windows providing low energy demand in office buildings in Algeria [J]. Environmental and Sustainability Indicators, 2020, 6(1): 33-35.
- [8] 李莉萍. 云南传统民居综合节能的考察及研究[J]. 建筑科学, 1998(6): 3-5.
LI Liping. Preliminary investigation and research on energy saving for traditional dwellings in Yunnan Province [J]. Building Science, 1998(6): 3-5.
- [9] WANG L, GWILLIAM J, JONES P. Case study of zero energy house design in UK [J]. Energy & Buildings, 2009, 41(11): 1215-1222.
- [10] GELESZ A, CATTO L E, GOIA F, et al. Characteristics that matter in acclimate facade: a sensitivity analysis with building energy simulation tools [J]. Energy & Buildings, 2020, 229(1): 5-8.
- [11] HAMDY M, HASAN A, KAI S. Applying a multi-objective optimization approach for design of low-emission cost-effective dwellings [J]. Building & Environment, 2011, 46(1): 109-123.
- [12] 康熙, 赵士永, 白佳慧, 等. 既有居住建筑被动式超低能耗绿色化改造实践研究 [J]. 建筑节能, 2020, 48(8): 18-23.
KANG Xi, ZHAO Shiyong, BAI Jiahui, et al. Practical research on passive ultra-low energy green renovation of existing residential buildings [J]. Journal of Building Energy Efficiency, 2020, 48(8): 18-23.
- [13] 杨剑雄. 歙县历史文化名城保护利用研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
YANG Jianxiong. Research on the protection and utilization of Shexian historical and cultural city [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [14] 左传雨. 皖南传统民居的改造与再利用设计研究 [D]. 苏州: 苏州大学, 2018.
ZUO Chuanyu. Study on the protection and reuse design of traditional dwellings in southern Anhui [D]. Suzhou: Soochow University, 2018.
- [15] 司鹏飞, 南艳丽, 李博文, 等. 南方地区传统民居外墙构造及热工性能计算分析 [J]. 科学技术与工程, 2014, 14(22): 264-269.
SI Pengfei, NAN Yanli, LI Bowen, et al. The analysis of exterior wall structure and thermal performance of traditional dwelling in southern region [J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(22): 264-269.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准: JGJ 134—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [17] 中华人民共和国建设部. 民用建筑设计通则: GB 50352—2005 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

(责任编辑 周 蓓)