



# Study on Energy-saving Design of Immigrant Residential Buildings in Midwestern Ningxia

Li Xueping, Shen Yongcheng\*, Zhang Yin, Liu Jiao

College of Architectural and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, China

## Email address:

1142550891@qq.com (Li Xueping), xian0824syc@163.com (Shen Yongcheng)

\*Corresponding author

## To cite this article:

Li Xueping, Shen Yongcheng, Zhang Yin, Liu Jiao. Study on Energy-saving Design of Immigrant Residential Buildings in Midwestern Ningxia. *Science Discovery*. Vol. 9, No. 6, 2021, pp. 303-307. doi: 10.11648/j.sd.20210906.15

Received: September 27, 2021; Accepted: November 4, 2021; Published: November 12, 2021

**Abstract:** Based on the investigation of the indoor thermal environment of rural immigrant residential buildings in Shapotou District, Zhongwei City, Ningxia Province, the indoor thermal environment is tested and analyzed. Combined with the local geographical conditions and economic development, the external envelope structure is optimized, and the energy-saving transformation scheme of the envelope structure is put forward. The energy consumption analysis model is established by DeST software, The energy consumption of immigrant residential buildings before and after reconstruction is simulated. The results show that the maximum indoor natural temperature of the reconstructed building in the coldest month is increased by 6.45°C, the minimum temperature is increased by 4.51°C, the average temperature is increased by 5.57°C, and the building energy efficiency is increased by 63.4%. The cumulative load reduction of four immigrant villages in one year is converted into standard coal of about 3900t. The results provide a theoretical basis for improving the indoor thermal environment and reducing building energy consumption of immigrant residential buildings, and provide a reference for the development of residential buildings suitable for the local climate.

**Keywords:** Ningxia, Immigrant Residential Building, Energy Saving Design, Energy Consumption Simulation

## 宁夏中西部移民居住建筑的节能设计研究

李雪平, 沈永诚\*, 张引, 刘姣

西安科技大学建筑与土木工程学院, 西安, 中国

## 邮箱

1142550891@qq.com (李雪平), xian0824syc@163.com (沈永诚)

**摘要:** 通过对宁夏中卫市沙坡头区农村移民居住建筑室内热环境调研, 对室内热环境进行测试并分析, 结合当地地理条件及经济发展状况, 对外围护结构构造进行优化设计, 提出围护结构节能改造方案, 并通过DEST软件建立能耗分析模型, 对改造前后的移民居住建筑进行能耗模拟。结果表明, 改造后的建筑在最冷月室内自然最高温度提升了6.45°C, 最低温度提升了4.51°C, 平均温度提升了5.57°C, 建筑节能效率提升63.4%, 四个移民村一年累计降低负荷量折合成标准煤约为3900t。研究结果为提升移民居住建筑室内热环境和降低建筑能耗提供理论依据, 同时为发展与当地气候相适应的居民建筑提供参考依据。

**关键词:** 宁夏, 移民居住建筑, 节能设计, 能耗模拟

1. 引言

随着“十四五”规划和2035年远景目标的设立，绿色节能这个词再一次被赋予新时代更高的要求，提高移民居住建筑的室内舒适度是移民居住者迫切希望的，保证建筑舒适度的同时，降低建筑能耗也是目前移民建筑迫切需要解决的问题。基于我国当前建筑运行能耗高，农村建筑数量庞大，其运行能耗占全国建筑运行能耗的1/3[1]。宁夏中西部属于寒冷地区，冬季采暖时间长，沙坡头区移民居住建筑建造时间久，虽然是国家联合地方政府统一建设，但由于当时地方经济发展速度缓慢、移民数量多、投资建设资金固定、没有明确规范指导建设，导致建筑室内热环境舒适度低，建筑能耗过高，

Xu Juan, Gao weijun[2]等对我国北方农村建筑进行研究，基于大量调查及数据分析，指出北方农村地区能源利用率低下和室内居住环境不高，并对此提出能源消费新见解。Li Lingyuan, Wang Yao[3]等以西北老旧住宅为研究对象，利用SD模型揭示了多因素交互作用是导致建筑能耗高的原因，并以模拟方法提出该类建筑的节能改造方案。刘生雨, 郭鑫[4]等以银川市海陶南村农宅为例对宁夏生态移民村绿色建筑技术集成应用研究，通过围护结构、太阳能一体化、新材料利用等节能设计，使农宅达到更高节能效果。

为提高移民居住建筑室内热环境、降低建筑运行能耗，本文对宁夏中西部移民居住建筑室内热环境进行实地调研、测试并分析，建立移民居住建筑模型，结合当地地理条件及经济发展状况，选取外围护结构构造参数，利用DEST模拟软件对移民居住建筑进行节能改造，并对改造前后能耗进行模拟比较，得出适用于改善移民居住建筑室内热环境的改造方案。为改善建筑室内热环境，降低建筑运行能耗，对移民居住建筑的发展提供优化方案，同时对移民居住建筑室内热环境及节能设计研究进行补充完善，也为发展与当地气候相适宜的居民建筑提供参考依据。

2. 建筑及室内热环测试及分析

2.1. 住宅基本情况

川裕村、兴盛村、泰和村和团结村位于宁夏中卫市沙坡头区，2010年国家联合地方政府统一规划建设该地的移民居住建筑，这四个村共有1600户左右居民，大部分住户至今已经居住10年之久，建筑数量多，人口规模大。建筑为砖混结构，两户共用一面山墙，房间坐北朝南呈一字排开，建筑长约20m，进深为5.4m，建筑高度为4.7m，屋面为双坡屋面，坡度约为28°，一户建筑面积约为54m²，建筑平面图如图1所示。

外围护结构是建筑与外界环境进行热交换的主要构件，其热工性能对建筑室内热环境和节能都有直接影响[5]，但该地移民居住建筑外围护结构都没有设置保温层，对室内保温隔热效果会有不利影响。

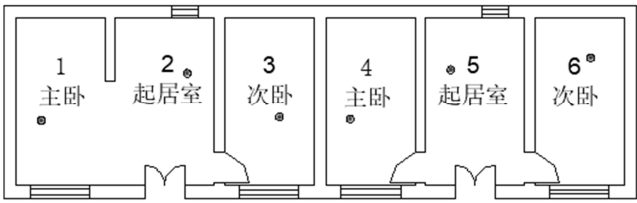


图1 建筑平面图。

2.2. 冬季室内热环境现状

通过调研得知，该地区移民居住建筑均为单层砖混结构，外部形式基本统一，选取川裕村一栋典型建筑进行室内热环境测试，测试时间为2021年1月15日上午8时至2021年1月16日上午7时，24小时不间断测试，由于冬季室外气温低，当地居民通常不会打开门窗通风，白天居民在室内的着装与室外相同。对两户居住建筑的房间从左到右依次进行编号，如图1所示，并根据民用建筑室内热湿环境评价标准选取房间测点位置，测试当天天气晴朗，西北风，是当地冬季常见天气状况，测试结果如图2所示。被测试建筑1、2和4号房间有采暖，其他房间均没有采暖。冬季主要采暖方式有火炉、火炕和电热毯。火炉的燃料大部分是煤炭，燃烧时会污染环境，主要用于白天，夜晚主要用火炕和电热毯。

从测试结果可知，室内外温度变化趋势基本一致，但室内温度在部分时间段受采暖温度的影响较大。采暖房间内温度一般高于非采暖房间，且采暖房间内温差大于非采暖房间内的温差。采暖房间中，1号房间平均

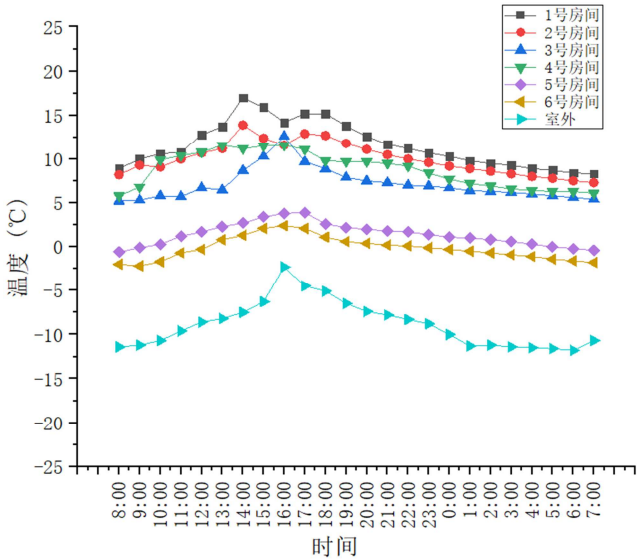


图2 室内外温度。

温度最高，为11.5℃，4号房间平均温度最低，为8.4℃，非采暖房间中，3号房间平均温度最高，为7.1℃，6号房间平均温度最低，为-0.2℃。早上生火或做饭期间，室内温度上升明显，为节省燃料，在室内温度偏高时，居民会采取封堵火炉的措施，此时室内温度下降较明显，夜晚随着火炉逐渐熄灭室内温度下降也较明显，室内整体温度都

比较低,根据规范,寒冷地区冬季室内热工计算中参数中采暖房间温度取 $18^{\circ}\text{C}$ ,非采暖房间取 $12^{\circ}\text{C}$ [6],根据测试结果,该居住建筑室内温度不符合热工规范要求,民居的室内热环境质量差。

### 3. 模型建立及围护结构能耗模拟及分析

#### 3.1. 模型建立

选取当地典型移民建筑利用DEST建立模型,如图3所示,建筑为两户,坐北朝南,共用一面山墙,每户三间,房间从左到右依次为主卧、起居室和次卧,一户建筑面积约为 $54\text{m}^2$ ,外墙厚度为 $370\text{mm}$ ,房间进深 $5.4\text{m}$ 。

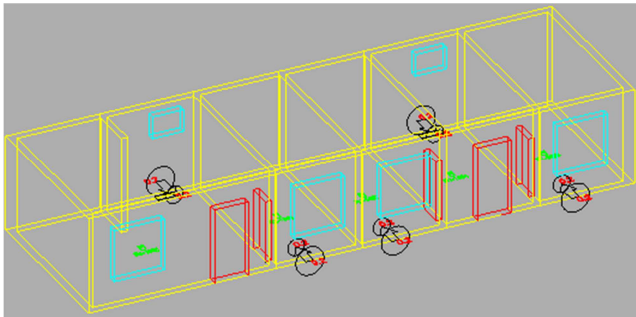


图3 建筑模型示意图。

#### 3.2. 围护结构能耗模拟及参数设置

建筑外墙、屋面未设置保温层、门窗密闭性差、围护结构材料热工参数不符合规范均会造成移民居住建筑室内热环境差、能耗高等问题[7, 8, 9]。因此,基于当前移民居住建筑的现状,提高围护结构保温隔热性能是解决问题的关键。

##### 3.2.1. 建筑外墙

当地移民居住建筑为砖混结构,外墙采用烧结多孔砖砌筑,没有设置保温层,根据软件模拟,墙体传热系数为 $1.35\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,超过规范[10]规定限值,当地常见外墙保温材料有聚苯板(EPS板)、挤塑聚苯板(XPS板)、发泡聚氨酯板等,通过对比它们的保温效果并结合当地材料的价格,选取导热系数为 $0.041\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 的聚苯板作为外墙保温材料。保持其他结构参数不变的情况下,改变外墙保温材料聚苯板的厚度,发现当聚苯板厚度越大,建筑累积热负荷与全年最大负荷都随厚度增加而减小,如图4所示。当聚苯板厚度取 $100\text{mm}$ 时,建筑全年累积热负荷降低百分比最高,且传热系数符合规范规定[10],当聚苯板厚度为 $80\text{mm}$ 时,传热系数不符合规范规定,因此建筑外墙保温层取 $100\text{mm}$ 。外墙保温有三种形式:外墙外保温、外墙内保温和夹芯保温,结合建筑改造情况及外墙三种保温形式各自的特点[8],选择外墙外保温的墙体。最终确定符合规范规定且节能效果最佳的外墙构造形式为:砂浆( $5\text{mm}$ )+EPS板( $100\text{mm}$ )+ $370$ 砖墙+砂浆( $5\text{mm}$ ),传热系数为 $0.348\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,小于规范[10]规定的限值 $0.35\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

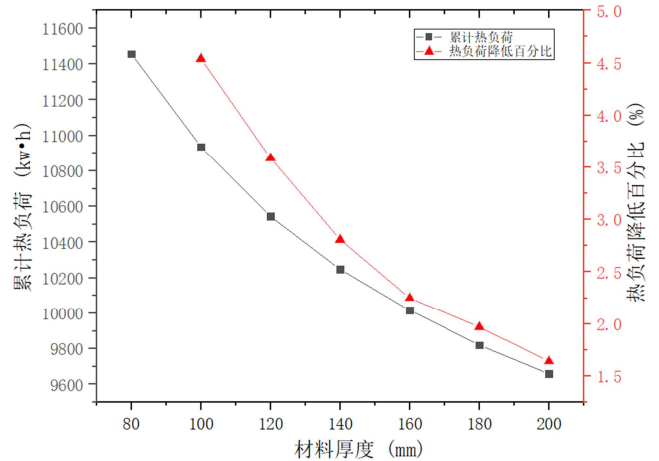


图4 累积热负荷及负荷降低百分比。

##### 3.2.2. 建筑门窗

移民居住建筑的窗户采用塑钢单层玻璃窗,南向墙有两个尺寸为 $1.8\text{m}\times 1.8\text{m}$ 的窗户,分别位于两个卧室,起居室北墙上有一个小窗户。建筑南向窗墙面积比约为 $0.2$ ,小于规范规定的限值 $0.45$ [10],但是窗户的传热系数为 $5.7\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,超过规范中窗户传热系数限制 $1.8\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。窗框与墙体、玻璃连接不紧密,且材料传热系数过大,导致采暖期室内热量从门窗散失较多,据研究,通过窗框散失的热量约占整个窗户的 $20\%\sim 30\%$ [11-12],因此对门窗的优化设计非常有必要。通过比较当地普遍使用的普通单玻窗户( $6\text{mm}$ )、中空玻璃窗户( $6+9\text{A}+6$ )、中空玻璃窗户( $6+12\text{A}+6$ )和low-e中空低透窗户对建筑负荷的影响,最终选取塑钢中空玻璃窗户( $6+9\text{A}+6$ ),虽然中空玻璃窗户( $6+12\text{A}+6$ )在总能耗方面要比中空玻璃窗户( $6+9\text{A}+6$ )的低,但综合经济性,中空玻璃窗户( $6+9\text{A}+6$ )更为合适。

建筑外门为双层铁门,经过风雨侵蚀外表面出现锈蚀、门缝变宽的现象,影响门美观和密闭性。起居室只在北向墙面有一扇窗户,门上的窗亮子装铁护栏,可通过的光线较少,采光能力有限,整个起居室内光线较暗。综合以上问题,建筑选择保温性能和采光效果较好的铝合金双玻外门。

##### 3.2.3. 建筑屋面

建筑屋面与当地传统建筑屋面构造形式类似,均为双坡屋面,在吊顶与檩条之间有空气层,对房间内的保温隔热有一定作用,但建筑屋面没有设置保温层,构造形式简单的屋面难以起到很好的保温隔热效果,调查中发现很多居民房屋屋面都有漏水现象,严重性参差不齐,长时间雨水浸泡会使得草席发霉,降低屋面整体保温效果。根据软件模拟,该屋面传热系数为 $1.094\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ,超过规范规定的限值 $0.25\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ [10],当地常用于屋面的保温材料有炉渣、聚苯板(EPS板)、挤塑聚苯板(XPS板)、和聚氨酯保温板,综合考虑选取EPS板作为屋面保温材料,对屋面节能设计策略的能耗模拟结果如图5所示,建筑年累积热负荷随着EPS板厚度的增加逐渐降低,EPS板厚度为 $80\text{mm}$ 时



累积热负荷降低效率最高，此时屋面传热系数为0.244W/m<sup>2</sup>·K，满足规范要求。

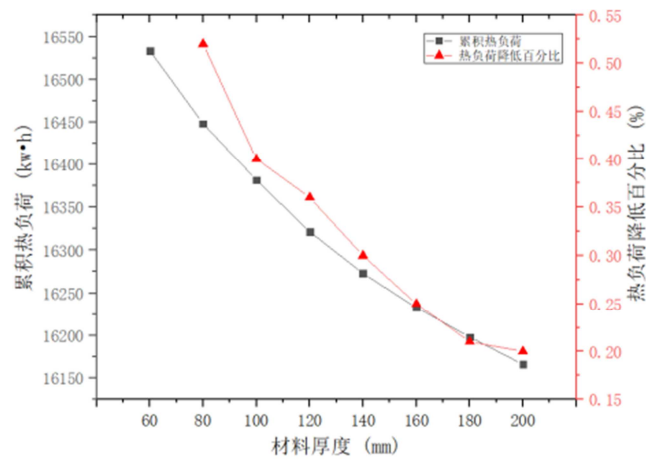


图5 累积热负荷及负荷降低百分比。

4. 移民居住建筑节能设计策略模拟及分析

利用DEST[13-14]能耗模拟分析软件对改造前后移民居住建筑进行能耗分析，对比改造前后室内自然温度变化和建筑能耗变化，以此来说明建筑改造方案的可行性。

如图6所示是移民居住建筑改造前后1号、6号房间室内温度变化图。

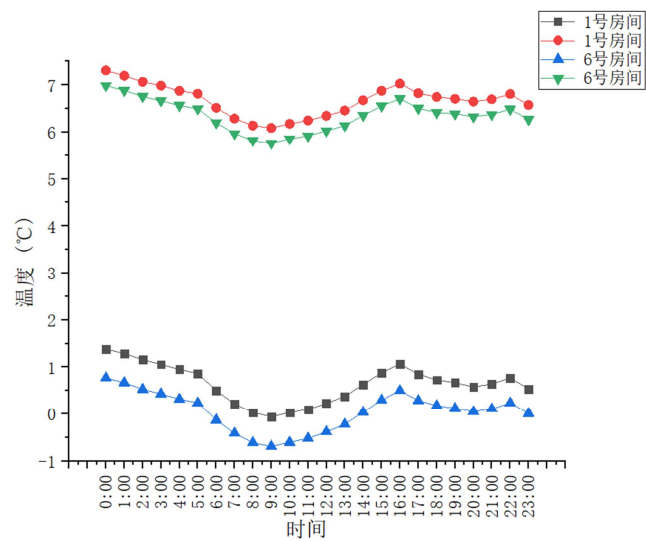


图6 改造前后房间内温度。

建筑改造后房间内自然温度有不同程度的提高。其中1号房间内平均温度提高6.02℃，6号房间平均温度提高6.3℃，该建筑室内平均温度提高5.57℃，室内温差也有一定程度降低。

图7，图8分别为移民居住建筑改造前后全年逐时空调负荷。

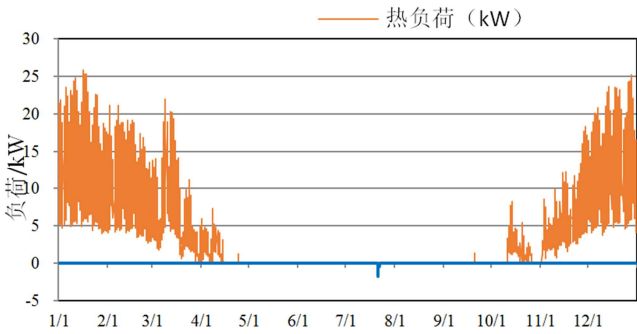


图7 改造前建筑全年逐时空调负荷。

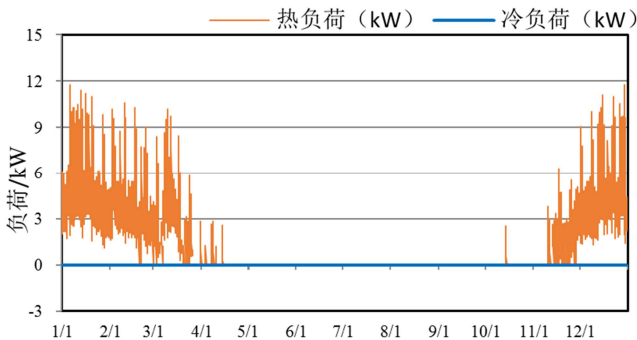


图8 改造后建筑全年逐时空调负荷。

表1为建筑全年最大热负荷、累计负荷及单位面积最大热负荷、累计负荷统计。

居住建筑改造前后全年最大热负荷降低约54.4%，全年累积负荷在改造后降低了63.4%。对于建筑单位面积负荷，全年最大热负荷在改造前为254.96W/m<sup>2</sup>，改造后为116.35W/m<sup>2</sup>，减少54.3%；单位面积累积负荷也从1860.9kW·h/m<sup>2</sup>降低到68.02kW·h/m<sup>2</sup>，减少63.4%，年累计负荷降低量折合标准煤约相当于4800kg[15]。

表1 建筑全年负荷。

负荷	改造前	改造后
全年最大热负荷 (kW)	25.8	11.77
全年累计负荷 (kW·h)	18831.62	6883.1
单位面积全年最大热负荷 (W/m <sup>2</sup> )	254.96	116.35
单位面积全年累计负荷 (kW·h/m <sup>2</sup> )	186.09	68.02

5. 结论

基于对宁夏中卫市沙坡头区农村移民居住建筑进行调研，对建筑室内热环境进行实测和分析，提出对建筑外围护结构改造策略，利用DEST软件建立模型并分析室内热环境及建筑负荷情况，得出以下结论。

(1) 移民居住建筑建造时间较早，建筑结构简单，围护结构均未设置保温层，通过对围护结构进行优化设计，冬季室内最高温度提升6.45℃，最低温度提升4.51℃，平均温度提高5.57℃，改造后房间内温差减小。

(2) 通过能耗模拟确定最佳保温方案，建筑外墙采用外保温形式，保温选取厚度为100mm的EPS板最佳；屋面保温层选取80mm EPS板最佳；门窗选取铝合金中空玻璃窗(6+9A+6)和铝合金双玻外门。

(3) 改造之后移民居住建筑全年累计负荷较改造前降低约63.4%，两户移民居住建筑全年累计负荷降低约12000kW·h，当地四个移民村一年累计降低负荷折合成标准煤约3900t。

## 基金项目

“基于气候适应性的热气候岛屿乡村民居更新设计研究”（编号：20JK0237）。

## 参考文献

- [1] 江亿.农村新能源系统：分布式革命第一步[J].农村·农业·农民(A版),2020(04):41-43。
- [2] Xu Juan,Gao Weijun,Huoxiaoping. Analysis on energy consumption of rural building based on survey in northern China[J]. Energy for Sustainable Development, 2018, 47.
- [3] Li Lingyan,Wang Yao,Wang Mengmeng,Hu Wei,Sun Yongkai. Impacts of multiple factors on energy consumption of aging residential buildings based on a system dynamics model--Taking Northwest China as an example [J]. Journal of Building Engineering, 2021, 44.
- [4] 刘生雨,郭鑫,燕宁娜.宁夏生态移民新村绿色建筑技术集成应用研究——以银川市海陶南村绿色农宅为例[J].住宅,2017(02):134-139。
- [5] 宋冰,杨柳.寒冷地区农村住宅建筑能耗影响因素及其经济性分析[J].建筑科学,2020,36(04):33-38。
- [6] GB 50176—2016.民用建筑热工设计规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2016。
- [7] 金国辉,魏雪,张伟健.内蒙古西部草原民居建筑节能多目标优化模型构建[J].山东农业大学学报(自然科学版),2020,51(02):347-351。
- [8] 陈思羽,马令勇,刘昌宇,李栋,李清,杜彬.寒区农宅围护结构保温改造节能分析[J].建筑节能(中英文),2021,49(08):123-126+131。
- [9] 王德晔,王世杰.寒冷地区农村住宅建筑节能分析[J].节能,2020,39(01):10-13。
- [10] JGJ 26—2018.严寒寒冷地区居住建筑节能设计标准[S].北京：中国建筑工业出版社，2018。
- [11] 刘加平. 建筑物理（第三版）[M].北京：中国建筑工业出版社，2000。
- [12] 崔希骏. 节能建筑外窗的配置研究[J].门窗, 2007(5): 10-18。
- [13] 孙红三, 燕达, 吴如宏. 基于DeST平台的联合仿真系统开发[J].建筑科学,2018,34(10):2-8+31。
- [14] 黄莺. 基于DeST对寒冷地区农宅能耗与窗墙比关系的分析[J].建筑热能通风空调,2020,39(04):66-68+77。
- [15] 童丽萍,李姣姣.和顺新村生态移民住宅能源自维持性研究[J].建筑科学,2015,31(08):51-57。

## 作者简介

**李雪平**（1972-），第一作者，女，博士，副教授，主要研究绿色建筑设计与技术。

**沈永诚**（1994-），通讯作者，男，硕士，主要研究绿色建筑设计与技术。