

山西农村住宅建筑能耗分析及节能改造策略

张兴惠, 马质聪, 高晨晖, 李 璽

(太原理工大学 土木工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 山西属于寒冷地区, 农村面积较大, 冬季采暖耗能严重。目前, 关于山西省在农村建筑节能领域的研究工作较少, 对于未来农村建筑节能工作缺乏相应的科学指导。因此, 本文将以外围护结构为主要研究内容, 有针对地开展围护结构热工性能改进工作。现有建筑节能分析手段中, 存在研究方法单一、典型建筑选取缺乏科学依据、问题分析不够全面等不足。本文将以问卷调查为基础, 以数理统计中的聚类分析为典型建筑选取依据, 通过 DeET 能耗模拟软件、ADIAN 有限元分析软件相结合的方法, 进而分析建筑能耗及围护结构传热等相关问题。分析表明, 山西省农村建筑平均能耗为 105 W/m^2 , 其中墙体耗能占比最高。从舒适性、节能性及经济性等更加全面的角度出发, 得出结构为 20 mm 保温浆沙+5 mm 网格布+50 mm 聚苯板+240 mm 实心砖墙的墙体在各方面有较突出的优势, 在山西农村地区有一定的推广意义。

关键词: 农村建筑; 问卷调查; 聚类分析; 能耗模拟; 经济性比较

中图分类号: TU241.4; TU834.8+51

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2020)05-0667-07

Analysis on energy consumption of rural residential buildings in Shanxi

ZHANG Xinghui, MA Zhicong, GAO Chenhui, LI Zhao

(School of Civil Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Shanxi is a cold region, where have a large rural area and severe heating energy consumption in winter. At present, there is less research work on the energy efficiency for rural buildings in Shanxi Province, and there is a lack of corresponding scientific guidance for future energy efficiency in rural buildings. This article takes the envelope structure as the main research content, and carries out targeted improvement work on the thermal performance of the envelope structure. Among existing building energy analysis methods, there are shortcomings such as a single research method, lack of scientific basis for typical building selection, and insufficient comprehensive problem analysis. This paper uses questionnaires as the basis, and a cluster analysis in mathematical statistics as the basis for selecting typical buildings. Through combination of DeET energy simulation software with ADIAN finite element analysis software, the building energy consumption and the heat transfer of the envelope structure are analyzed. Analysis and show that the average rural buildings in Shanxi Province can reach 105 W/m^2 , of which the wall energy consumption is the highest. From a more comprehensive perspective of comfort, energy saving, and economics, it is concluded that the wall structure of 20 mm thermal insulation mortar+5 mm grid cloth+50mm polystyrene board+240 mm solid brick wall has outstanding advantages in all aspects, and certain promotion significance in Shanxi.

Key words: rural architecture; questionnaire survey; cluster analysis; energy simulation; economic comparison

随着全球能耗的增加, 我国建设部对建筑能耗更是提出节能 65% 的要求^[1]。农村住宅建筑作为建筑领域的一部分, 其相关建设标准较少, 燃料使用原始, 环境污染及耗能严重。尤其在北方, 采暖期时间较长, 农村建筑能耗占整个建筑能耗的 60% 以上^[2-3]。但与城市相比, 农村建筑节能并未列入国家节能标准的强制管理范围^[4], 在农村推广建筑节能仍是一项艰巨的任务。

全国各地学者针对不同的地区农村建筑, 都

进行了相关调研活动, 并提出了各种节能措施。其中, 夏晓东等人^[5]针对辽宁省的农村住宅进行了调研, 并进行能耗结构的研究, 提出了适合当地的节能措施。张威等人^[6]对严寒地区 21 个村镇农村住宅情况进行调研, 总结未来农宅的发展趋势及室内设计温度推荐值等。张晓丹^[7]对陕西地区农村住宅进行实际调研, 结合外围护结构的保温措施, 对墙体保温结构进行传热计算, 从而提出适合山西地区农村住宅的墙体保温结构。

收稿日期: 2020-02-25

修改稿日期: 2020-09-15

基金项目: 山西省重点研发计划基金资助项目(201803D31035)

第一作者: 张兴惠(1972—), 女, 博士, 副教授, 主要从事节能供热及气流组织方面的研究。E-mail: zxhtut@163.com

通信作者: 马质聪(1995—), 女, 硕士生, 主要从事节能供热及气流组织等研究。E-mail: 645444709@qq.com

通过对农村住宅建筑的调研活动,也衍生出许多研究方法.符佩佩^[8]采用逐步法,对长江流域农村地区建立起人均建筑能耗的回归模型.周春艳等人^[9]以全生命周期为研究范围,利用层次分析法与模糊评价法相结合,通过线性加权法对农村围护结构进行综合评价.张素娟等人^[10]通过 SPSS 软件中的方差分析,将调查问卷的汇总数据进行量化处理,分析其节能潜力.张兵兵^[11]以节能性和经济性为双重目标,分析比较对各围护结构采取保温措施后的初投资和投资回收期,提出综合的节能策略.结合以上,目前建筑能耗的研究多数基于数据挖掘,研究方法单一,不具有实际的物理含义.关于能耗模拟,也存在缺乏代表性与针对性的问题.

清华大学曾组织了全国性的农村用能调研活动,在总能耗采暖方面,山西省占比较高^[12].且山西属于寒冷地区,农村面积较大,在农村建筑节能方面具有很大的发展空间.目前,山西省在农村建筑节能领域的研究工作较少,并且对于未来农村建筑节能工作也缺乏相应的科学系统指导^[13].因此,全面开展关于山西地区农村住宅建筑的调研工作势在必行.

基于山西农村住宅建筑气密性的影响因素较多,本文将以外围护结构为主要研究内容,对山西农村地区农户自行建设的住宅建筑展开调研.以问卷调查为基础,以数理统计中的聚类分析为典型建筑选取依据,通过 DeET 能耗模拟软件、ADIAN 有限元分析软件相结合的方法,进而分析建筑能耗及围护结构传热等相关问题.农村建筑的节能措施,综合舒适性、节能性及经济性来分析,使建筑节能策略更易推广.

1 调查统计

1.1 调查方法及内容

本次调查,采用非概率抽样中的配额抽样方式^[14],对山西省 11 个城市的 30 多个村庄进行了问卷调查和实地走访.调查采用非概率抽样中的配额抽样方式,样本数量根据山西省各市区 2014 年国民经济和社会发展统计公报以及各地市乡村人口的比重,进行样本分配,确定在山西各地区分发问卷调查约 2 000 份,最终收回有效问卷 1 640 份.其中,山西中北部忻州原平以及大同地区有较多数村民居住窑洞,传热系数低,气温恒定,保温性能好,数据分析中将剔除窑洞相关数据,最终有效数据为 1 520 份.

为掌握农村房屋建筑外围护结构的基础数据,问卷以农村建筑的居住情况及建筑布局、农村建筑围护结构材料等为主.具体包括农村建筑形式、建筑面积、建筑层数、建筑朝向、室内温度,以及农村建筑的外门、外窗、屋顶、外墙等围护结构的类型材料等进行详细调查.

1.2 统计结果分析

调查显示,有近一半农村居民的居住面积在 50~100 m² 范围内,27% 农村居民的居住面积在 100~150 m² 范围内,人均面积为 20~40 m²,农村居住供暖面积较大.在山西省农村地区众多房屋建筑形式中,其体形系数均值约为 0.8.

(1)建筑外门主要采用木门,铁门占到了 26%,烤漆门和铝合金门均为 8%.西农村房屋建筑外窗使用中,木窗的比例占到 63%,使用铝合金窗比例占到 28%,且多为单层窗.木床木门易出现变形开裂现象,冷风渗透较为严重,保温效果差.

(2)山西地区大部分还是使用木屋架瓦屋顶,如图 1 所示.屋顶保温材料的选取往往受山西地域特点的影响,多为秸秆、粘土等较为廉价且易得的材料.受地区气候影响,屋顶常采用架空通风进行隔热保温处理,如图 2.

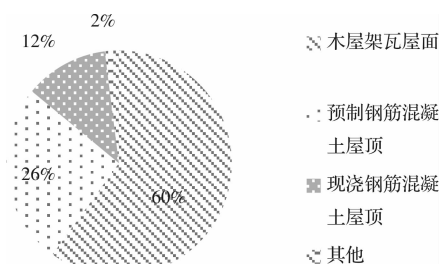


图1 屋顶类型

Fig.1 The roof types

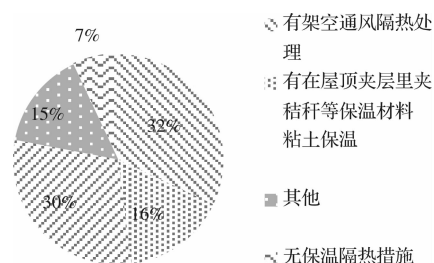


图2 屋顶保温隔热措施

Fig.2 The insulation measures of roof insulation

(3)墙体作为建筑物隔热保温的主体,是节约能源、改善居住环境的重要部分.如图 3 所示,墙体材料中,普通烧结实心砖占总体的 70%,为绝大多数居民所采用.受经济及保温意识不强的制约,68%的村民保留了清水墙而没有做任何隔热措施.采取保温措施的住宅中,87.5%的住宅仅

在外墙刷涂水泥砂浆。

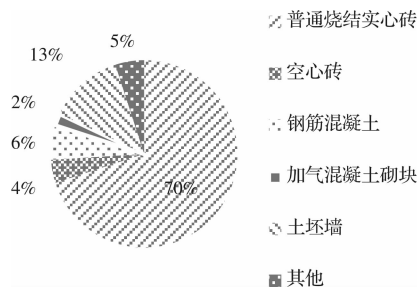


图 3 墙体材料
Fig. 3 The wall material

2 基于 SPSS 软件的聚类分析

调查问卷数据的频数分析, 只能反映较为直观的问题, 而对于农村建筑的改造, 更需要结合科学的理论分析及当地村民的经济状况。首先, 需要对山西农村地区的住宅建筑进行能耗分析, 而面对建筑形式多样, 问卷调查数量大, 难以对每个调查建筑进行建模并进行能耗分析, 因此利用数学统计学中的聚类分析对问卷调查中的农村住宅建筑进行归类。聚类分析^[15] (Cluster Analysis) 是一种建立分类的多元统计方法^[16], 使类内对象的同质性最大化, 类与类间对象的异质性最大化。

问卷中统计的数据, 属于多元统计分析中的定类变量。在聚类分析中需将有关选项进行量化转变为体形系数、传热系数、比值等数值。根据调查结果及围护结构材料的传热系数^[17], 建立起山西农村各类建筑主要围护结构的传热系数, 见表 1。

将建筑外围护结构的影响因素分为五类, 为墙体、屋顶、窗户、门、及体型系数。本次使用 K-均值聚类分析法, 将聚类数量为 10~15 类的样本利用 SPSS 软件进行方差分析, 最终得出将样本分成 13 类, 最为合理, 且 F (方差值) 对应的 sig 值小于 0.05, 说明有显著影响, 见表 2。因此, 这 13 类将作为山西农村典型建筑来分析, 各典型建筑具体情况如表 3。

表 1 各类建筑围护结构的传热系数

Tab. 1 Heat transfer coefficients of building envelopes			
围护结构	材料	类型	传热系数 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
窗户	木	单层玻璃窗	4.7
		双层玻璃窗	2.3
		单层窗	6.4
	铝合金	中空玻璃(6 mm)	3.7
		中空玻璃(12 mm)	3.4
		单层窗	4.7
	塑钢	中空玻璃(6 mm)	2.6
		中空玻璃(12 mm)	2.4
外门		木门	3.5
		铁门	6.4
		铝合金门	3.7
外墙	普通烧结实心砖(240 mm)		2.15
	土坯墙(多在 400 mm)		1.29~1.60
	加气混凝土砌块、空心砖、370 砖		
	钢筋混凝土		2.9
屋顶	坡屋顶	平瓦(有架空的通风隔热)+草泥浆沙+木板	1.57
	平屋顶	水泥浆沙+楼板/钢筋混凝土+水泥浆沙	2.27/2.83

表 2 样本的方差分析

Tab. 2 Analysis of variance of samples						
	聚类		误差		F	$Sig.$
	均方	df	均方	df		
墙体	0.693	12	0.061	1 520	11.445	0.000
屋顶	120.853	12	0	1 520	6.65E+15	0.000
窗户	227.386	12	0.064	1 520	3 564.502	0.000
门	220.191	12	0.031	1 520	7 019.953	0.000
体型系数	159.543	12	0.045	1 520	974.165	0.000

表 3 各典型农村建筑外围结构参数

Tab. 3 Peripheral structure parameters of typical rural buildings								
案例编号	层数	层高/m	建筑面积/ m^2	体形系数	屋顶 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	墙体 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	窗户 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	门 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
2	2	3.1	84	0.63	1.57	1.6	3.4	3.5
3	1	3.1	102	0.77	1.57	2.9	4.7	3.5
4	1	3.1	64	0.87	1.57	1.53	4.7	3.5
5	1	3.3	92	0.81	2.83	1.29	4.7	3.5

续表 3

案例编号	层数	层高/m	建筑面积/m ²	体形系数	屋顶	墙体	窗户	门
					/W·m ⁻² ·K ⁻¹	/W·m ⁻² ·K ⁻¹	/W·m ⁻² ·K ⁻¹	/W·m ⁻² ·K ⁻¹
6	2	3.2	100	0.59	2.27	1.35	4.7	3.5
7	1	3.3	48	0.81	1.57	2.15	3.7	6.4
8	1	3.3	96	0.76	2.27	1.6	4.7	6.4
9	1	3.4	120	0.72	1.57	2.15	4.7	3.5
10	1	3.4	88	0.88	2.83	2.9	6.4	6.4
11	1	3.1	112	0.71	1.57	2.15	4.7	3.5
12	2	3.0	77	0.63	1.57	1.29	2.6	3.5
13	1	3.1	81	0.59	1.57	1.35	4.7	3.5

3 典型农村建筑能耗模拟

对以上 13 种典型建筑利用 DeST 进行能耗模拟. 对聚类后的不同农村建筑进行建模, 其室外气象参数、房间人员数、人员发热量等根据所对应的调查问卷数据分别进行设置. 按照城市采暖设计标准, 农村建筑室内设计温度设为 18℃. 热负荷模拟结果见表 4. 经计算得山西农村地区建筑耗热量平均值约为 105 W/m².

表 4 典型建筑耗热量计算结果

Tab. 4 Calculation results of typical building heat consumption

案例编号	1	2	3	4	5	6	7
单位时间建筑耗热量/W·m ⁻²	96	90	112	129	118	88	113

案例编号	8	9	10	11	12	13
单位时间建筑耗热量/W·m ⁻²	109	109	137	98	89	77

对农村典型建筑外围护结构能耗进行统计, 各围护结构热损失比如图 4 所示, 其中外墙热损失最大, 应着重对外墙提出更加合理的保温措施.

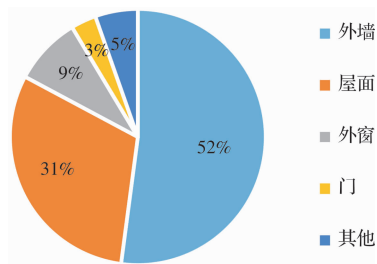


图 4 各外围护结构热损失比
Fig. 4 Heat loss ratio of each envelope

4 墙体保温结构对比分析

聚类后的典型建筑能耗模拟结果显示, 山西

农村建筑能耗普遍偏大, 其中外墙能耗占比最大. 山西农村地区外墙传热系数远远超过了《农村居住建筑节能设计标准》中规定的限值^[18]. 受经济水平制约, 农村当地人们并没有对外墙保温的计划. 因此, 提出一种保温效果明显, 且节约成本、易施工的外墙保温措施至关重要.

目前主要保温措施有建筑内墙保温、外墙保温及墙体夹心保温. 各项研究表明内墙保温的舒适性及节能性都是最差的, 因此, 此次墙体保温结构主要为外墙保温及墙体夹心保温. 受施工及农户经济状况的制约, 此次保温措施在原有墙体的基础上进行改造. 对于保温材料的选取, 一方面, 采用由当地农作物制成的草板, 其价格低, 对环境污染较小; 另一方面, 选取流行的聚苯板, 其保温效果明显, 且耐腐蚀、防潮、高抗压. 通过组合, 以山西农村建筑常用的 240 墙体为例, 主要形式有以下几种结构, 见表 5 所示.

表 5 墙体保温构造

Tab. 5 Wall insulation structure

编号	墙体构造
A	20 mm 水泥浆沙+240 mm 实心砖墙(未采取保温措施)
B	20 mm 保温浆沙+240 mm 实心砖墙
C	20 mm 保温浆沙+5 mm 网格布+50 mm 秸秆板+240 mm 实心砖墙
D	20 mm 保温浆沙+5 mm 网格布+50 mm 聚苯板+240 mm 实心砖墙
E	20 mm 保温浆沙+120 mm 空心砖+50 mm 聚苯板+240 mm 实心砖墙
G	20 mm 保温浆沙+120 mm 空心砖+50 mm 秸秆板+240 mm 实心砖墙

利用 ADIAN 有限元分析软件, 对不同构造的墙体进行传热模块的分析. 室外计算温度设为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 室内温度设为 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. 以编号 A 的墙体为原始墙体, 其余类型的墙体均与 A 做对比, 结果如表 6 所示.

表 6 不同墙体结构不同参数分析表
Tab. 6 Analysis table of different parameters for different wall structures

墙体结构编号	外墙温度/ $^{\circ}\text{C}$	内墙温度/ $^{\circ}\text{C}$	内表面温度提高率/%	传热系数/ $\text{W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$	单位面积负荷/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	保温前后负荷差/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	墙体节能率/%	保温材料价格/ $\text{元}\cdot\text{m}^{-2}$	热负荷减少 1W 所需费用/ $\text{元}\cdot\text{W}^{-1}$
A	-3.91	13.14	0.0	1.97	40.3	0	0	18	0
B	-4.29	13.45	2.4	1.81	37.8	2.5	6.2	22	8.8
C	-5.59	13.87	5.6	0.8	34.3	6	14.8	60	10
D	-7.23	15.21	15.8	0.52	23.2	17.1	42.4	80	4.6
E	-7.9	16.36	24.5	0.48	13.6	26.7	66.2	130	4.8
F	-6.17	14.98	14.0	0.73	25.1	15.2	37.7	110	7.2

经对比, F 墙保温材料价格高于 D 墙, 保温效果却不及 D 墙, 因此不考 F 墙的改造方案. E 类墙体内墙温度最高, 室内热舒适性较好, 保温效果最为显著, 墙体节能率可达到 66.2%, 受经济水平制约, 村民们更愿意选取性价比比较高的改造措施. 为此将以热负荷每降低 1 w 所需的费用来衡量, 经计算得 D 类墙体性价比最高, 可作为农村节能改造的首选.

经济性分析时, 初投资回收期也极为重要. 此次, 在建筑面积为 90 m^2 、层高为 3 m、体型系数为 0.8, 窗墙比为 0.11 的典型建筑下, 进行投资回收期计算. 其中, 山西省供暖季为 120 d, 每天的运行时间为 12 h. 山西农村地区多用烟煤, 其热值为 $25\,080\text{ kJ/kg}$, 价格 695 元/t, 据实际调查研究散煤炉具的热效率平均不到 40%^[20], 这里采暖热效率选取 0.4, 投资回收期如表 7 所示, 可以得出, D 类墙体的投资回收期是最短的. 综上所述经济水平一般的农户应该选取 20 mm 保温浆沙+5 mm 网格布+50 mm 聚苯板+240 mm 实心砖墙的 D 类墙体. 对与经济水平较高的农户, 基于节能性角度分析, 应该选取保温性能最好的墙体, 即 20 mm 保温浆沙+120 mm 空心砖+50 mm 聚苯板+240 mm 实心砖墙的 E 类墙体. 且在 E 类墙体下, 内表面温度也能达到最高, 具有较好的热舒适效果.

表 7 不同结构经济性分析表
Tab. 7 Economic analysis of different structures

墙体结构编号	保温前后负荷差/W	保温所需费用/元	折合煤烟/kg	投资回收期/a
A	0.00	2 018.52	0.00	0
B	280.35	2 467.08	145.26	24
C	672.84	6 728.40	348.62	27
D	1 917.59	8 971.20	993.57	12
E	2 994.14	1 4578.20	1 551.37	13
F	1 704.53	1 2335.40	883.18	20

5 结论

- (1)由问卷调查数据的频数分析可知, 农村地区建筑面积普遍较大, 体形系数高, 围护结构保温性能差, 冬季能耗严重, 除此之外室内温度也达不到舒适性的要求, 因此必须加强山西农村地区建筑节能改造.
- (2)结合统计分析及能耗模拟, 首先, 将 1 000 多份调查问卷进行聚类, 使类别之间变量差异性明显, 最终将问卷聚成 13 类; 其次, 对 13 类建筑进行能耗模拟分析. 分析后, 山西农村建筑采暖能耗平均值约为 105 W/m^2 , 远超过农村建筑采暖能耗的设计规范要求, 其中墙体耗能占比最高.
- (3)基于以上, 着重对墙体进行节能性改造,

并提出6种改造方案.综合舒适性、节能性及经济性考虑,经济水平一般的农户宜选取20 mm保温浆沙+5 mm网格布+50 mm聚苯板+240 mm实心砖墙的D类墙体,作为墙体的节能改造方案.经济水平较好的农户,应该选取保温性能最好的墙体,即20 mm保温浆沙+120 mm空心砖+50 mm聚苯板+240 mm实心砖墙的E类墙体,且在E类墙体下,内表面温度也能达到最高,具有较好的热舒适性.

(4)受农村经济水平的制约,为加快农村建筑节能改造工作的进程,山西政府应出台相应的扶持政策,对于围护结构的保温材料采取优惠政策.增加农户对住宅建筑的保温意识,从而使农村住宅建筑耗能得到改善.

参考文献 References

- [1] 冯伟刚.严寒和寒冷地区居住建筑节能新旧标准之比较:学习《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ26-2010[J].门窗,2013(2):53-57.
FENG Weigang. Comparison of old and new standards for residential building energy efficiency in severe cold and cold areas; studying "Design standards for energy efficiency of residential buildings in cold and cold areas" JGJ26-2010[J]. Doors and Windows, 2013(02): 53-57.
- [2] 张素娟.东北三省农宅供暖能耗统计与实测分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
ZHANG Sujuan. Statistics and measurement analysis of farm house heating energy consumption in the three northeastern provinces [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.
- [3] 陈永.我国农村建筑能耗现状与节能任务分析[J].现代农业科技,2011(22):275-275.
CHEN Yong. Analysis of energy consumption status and energy-saving tasks of rural buildings in my country[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(22): 275-275.
- [4] 孙晓冰.新农村建筑节能法律政策研究[J].中国人口资源与环境,2013,23(S2):444-447.
SUN Xiaobing. Study on laws and policies of building energy efficiency in new rural areas[J]. China Population Resources and Environment, 2013, 23 (S2): 444-447.
- [5] 夏晓东,刘满.辽宁省农村住宅的采暖方式与能耗研究[J].建筑节能,2007(7):56-59.
XIA Xiaodong, LIU Man. Study on heating methods and energy consumption of rural houses in Liaoning Province[J]. Energy Conservation in Buildings, 2007 (7):59-59.
- [6] 张威.寒冷地区农村住宅采暖能耗研究[D].天津:天津大学,2011.
ZHANG Wei. Research on energy consumption of rural residential heating in cold areas[D]. Tianjin: Tianjin University, 2011.
- [7] 张晓丹.陕西农村住宅墙体保温效果与节能技术研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2011.
ZHANG Xiaodan. Research on the insulation effect and energy-saving technology of rural residential walls in Shaanxi [D]. Yangling: Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, 2011.
- [8] 符佩佩.长江流域农村建筑能耗调查及节能对策研究[D].重庆:重庆大学,2008.
FU Peipei. Investigation on energy consumption of rural buildings in the Yangtze river basin and research on energy conservation countermeasures[D]. Chongqing: Chongqing University, 2008.
- [9] 周春艳,金虹.北方村镇住宅围护结构节能构造优选研究[J].建筑科学,2011,27(8):12-16.
ZHOU Chunyan, JIN Hong. Study on optimization of energy-saving structure of residential enclosure in northern villages and towns [J]. Building Science, 2011,27(8):12-16.
- [10] 张素娟,王砚玲,王芳,等.方差分析用于农宅供热能耗影响因素研究[J].节能技术,2013,31(6):526-530.
ZHANG Sujuan, WANG Yanling, WANG Fang, et al. Study on the influencing factors of heating energy consumption in farm house using analysis of variance [J]. Energy Conservation Technology, 2013, 31(6): 526-530.
- [11] 张兵兵,刁乃仁.北方寒冷地区农村住宅建筑热负荷影响因素分析[J].区域供热,2018(3):120-126,130.
ZHANG Bingbing, DIAO Nairen. Analysis of influencing factors on heat load of rural residential buildings in cold northern regions [J]. District Heating, 2018 (3):120-126,130.
- [12] 清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告[M].北京:中国建筑工业出版社,2016.
Research Center for Building Energy Efficiency, Tsinghua University. China Building Energy Efficiency Annual Development Research Report [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2016.

- ghua University. Annual development research report on building energy efficiency in China[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2016.
- [13] 杨凡. 山西省农村建筑用能情况调研[J]. 山西建筑, 2016, 42(19): 173-174.
- YANG Fan. Survey on energy consumption of rural buildings in shanxi province[J]. Shanxi Architecture, 2016, 42(19): 173-174.
- [14] 金勇进,杜子芳,蒋妍. 抽样技术 [M]. 3版. 北京: 中国人民大学出版社 2012.
- JIN Yongjin, DU Zifang, JIANG Yan. Sampling technology [M]. 3rd ed. Beijing: Renmin University of China Press, 2012.
- [15] 田盛丰. 聚类分析方法[J]. 计算机研究与发展, 1992 (3): 16-20.
- TIAN Shengfeng. Cluster analysis method [J]. Computer Research and Development, 1992(3): 16-20.
- [16] 杨善朝. SPSS 统计软件应用基础[M]. 桂林: 广西师范大学出版社 2001.
- YANG Shanchao. The application basis of SPSS statistical software [M]. Guilin: Guangxi Normal University Press 2001.
- [17] 金虹,赵华,盛晔. 严寒地区乡村住宅热工质量分析与对策[J]. 低温建筑技术, 2000(2):61-62.
- JIN Hong, ZHAO Hua, SHENG Ye. Analysis and countermeasures of thermal quality of rural houses in severe cold area [J]. Low Temperature Architecture Technology, 2000(2):61-62.
- [18] 住房和城乡建设部. 农村居住建筑节能设计标准[J]. 砖瓦世界, 2014(1): 45-56.
- MOHURD. Design standard for energy efficiency of rural residential buildings[J]. Brick World, 2014(1): 45-56.
- [19] 马超. 西北农村住宅建筑热工性能及节能策略分析 [J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2015. 47 (3): 427-432.
- MA Chao. Analysis of thermal performance and energy-saving strategies of residential buildings in Northwest rural areas [J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2015. 47 (3): 427-432.
- [20] 叶建东,章永洁,蒋建云,等. 农村型煤替代散煤采暖对比分析[J]. 建筑节能, 2016, 44(10):102-103.
- YE Jiandong, ZHANG Yongjie, JIANG Jianyun, et al. Comparative analysis of rural briquette instead of bulk coal for heating [J]. Building Energy Conservation, 2016, 44(10):102-103.

(编辑 桂智刚)