

文章编号: 1671-6612 (2020) 04-406-10

气密性对寒冷地区农村住宅采暖能耗影响

季永明 范彧菁 胡松涛

(青岛理工大学环境与市政工程学院 青岛 266033)

【摘要】 对寒冷地区的农村住宅关键参数进行实地调研,以调研结果为基础,采用 DeST 仿真平台对两栋典型农村住宅采暖能耗进行模拟,并重点分析气密性的影响。调研结果显示,寒冷地区农村存在住宅结构缺乏科学设计、围护结构热工性能不满足设计标准、建筑气密性较差的现象。模拟结果显示,相对于传统农村住宅,新型农村住宅节能效果不明显;单因素影响分析结果显示,气密性对住宅采暖能耗影响最显著;多因素影响分析结果显示,在现有的基础上,传统与新型农村住宅设计参数满足《农村居住建筑节能设计标准》GB/T 50824-2013 中相关规定时,采暖季相对节能率分别为 59%、50%,冷风耗热量比例分别为 15%、12%。研究表明,被调研农村存在非常大的节能潜力,且制定节能改造策略时,优化重心应充分考虑提高建筑气密性。

【关键词】 农村住宅;气密性;空气渗透量;负荷模拟

中图分类号 TU834.5+1 文献标识码 A

Numerical Simulation of the Yearly Heating Load of Two Typical Rural Buildings in Cold Area

Ji Yongming Fan Yujing Hu Songtao

(School of environmental and municipal engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao, 266033)

【Abstract】 With the high-speed development of economy, the energy consumption of rural residence in north China has increased rapidly. So, it is of great practical significance to study the energy-saving technology suitable for northern rural residence. The key parameters of rural residence in cold area were investigated firstly. Then, the heating energy consumption of two typical rural residences was simulated using DeST based on the investigation result. Last, the optimization suggestions for rural residential energy saving were given based on the above analysis results. It can provide references for the upgrading and renovation of rural residential buildings in cold areas. Investigation results show that there are some problems for the rural residence in cold area, such as the lack of scientific design of structure, the failure of the envelope thermal performance in meeting the design standards, and the poor air tightness of building. Simulation results of two typical rural residences show that new rural residence (built after 1990) have no obvious energy saving effect on the traditional one (built before 1990). The results of single factor analysis show that air tightness has the most significant effect on residential heating energy consumption. The results of multi-factor impact analysis show that the relative energy saving rates for the new and traditional rural residence in heating season are 59% and 50% respectively, and the cold air heat consumption ratio are 15% and 12% respectively, when the design parameters of them meet the relevant provisions in GB/T 50824-2013. This research shows that there is a great energy conservation potential for the rural residence in cold area. When formulating energy-saving transformation strategies, the optimization focus should be given full consideration to the improving of building air tightness.

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目子课题 (2017YFC0702601)

作者(通讯作者)简介: 季永明 (1986.12-), 男, 博士, 讲师, E-mail: jixia_2008@126.com

收稿日期: 2019-10-15

【Keywords】 rural building; airtightness; air infiltration; load simulation

0 引言

目前,我国现有农户1.9亿,北方地区约有8000万户^[1]。据统计,北方地区农村能源消耗约占全国农村总能源消耗量的56%,其中,有超过80%的农村能源用于满足采暖需求^[2]。由于农村住宅布局混乱,住宅造型随意,房屋保温差,采暖效率低等因素^[3,4],造成了其能源消耗虽高,但内部热舒适性较差的现状。《北方地区清洁取暖规划(2017-2021)》中明确指出:北方广大农村地区,围护结构热工性能较差,导致取暖过程中热量损耗较大,不利于节约能源,降低供能成本是清洁取暖发展面临的一个迫切需要解决的问题^[5]。因而,对农村既有住宅现状进行调研并对其能耗进行分析,提出相应的节能策略及改进措施具有重要意义。

刁乃仁等^[6]以节能性和经济性为目标,对济南某典型农村住宅热负荷影响因素、各围护结构采取保温措施后的初投资和投资回收期进行了分析,基于分析结果提出了适合不同经济条件农户的节能措施。李淑洁等^[7]对京津冀农村地区的住宅节能方案进行了探究,探讨了住宅外围护结构保温与二次能源利用等节能技术的结合运用方式。宋波等^[4]总结了我国村镇能源利用存在的问题,给出了村镇住宅用能技术研究及设备开发参考建议。高贺轩等^[8]对山东省某市既有农房基本情况进行了调研,结合DeST模拟分析了农房改造前后的能耗,并制定了十套改造方案。Younes等^[9]研究显示,因空气渗透导致的热损失占到住宅热负荷的25%-50%。丰晓航等^[10]在研究气密性对城镇住宅能耗的影响时指出:对于寒冷区住宅,提高气密性可有效减少采暖能耗。

本研究以寒冷地区典型农村住宅为例,基于对其关键参数的实地调研数据,结合DeST仿真平台模拟分析了其采暖能耗,并重点分析了气密性的影响,基于分析结果,提出了农村住宅节能策略及改进措施。

1 寒冷地区农村住宅调研

本研究采用实地考察与问卷调查的方法,分别对潍坊地区两个村落典型传统农村住宅(1990年之前建造)和新型农村住宅(1990年之后建造)关键参数进行了调研,调研内容包括住宅结构、围

护结构构造、建筑气密性、内热源作息、人员习惯等。

1.1 住宅结构

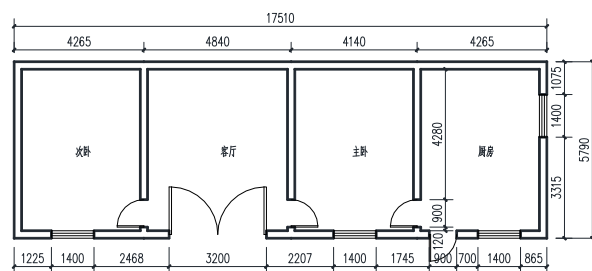
对多个村庄的实地考察发现,农村住宅的建造具有较大的随意性。图1为某调研村落的整体布局图。对于传统农村住宅,由于受技术、经济条件的制约,其面积、层高、朝向、内部隔断、整体布局等均没有统一的规划,住户通常根据自己的主观意愿进行建造,住宅各部分功能区划混乱;对于新型农村住宅,具有较初步的规划,其住宅占地面积、层高、朝向、整体布局均有统一的规划,但宅基地内部构造仍然千差万别。



图1 某村落布局(线左侧为新村,线右侧为旧村)

Fig.1 Layout of a village (new village on the left ,old village on the right)

本研究选取两栋典型的农村住宅(传统与新型)进行详细论述,其平面结构如图2所示。传统农村住宅由厨房、主卧、客厅及次卧组成,南北进深5.79m,东西跨度17.51m,层高3.40m,体形系数0.75;新型农村住宅由厨房、主卧、次卧、客厅卫生间及杂货间组成,南北进深7.88m,东西跨度17.63m,层高3.40m,体形系数0.66,各住宅窗墙比见表1。上述两类典型住宅均坐北朝南,均采用坡屋顶。



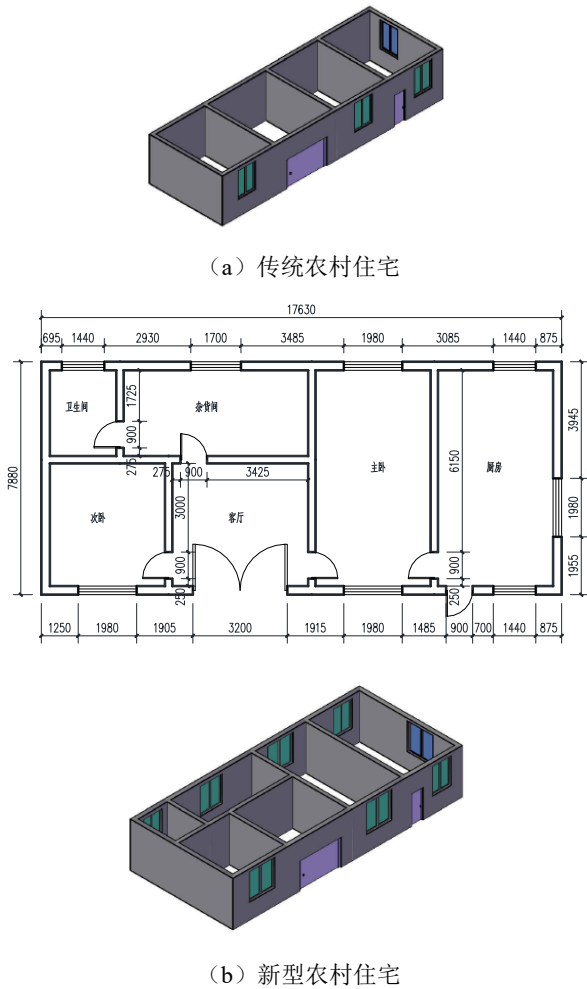


图2 潍坊市典型农村住宅平面图

Fig.2 Typical rural residence plan of Weifang

表1 各住宅窗墙比

Table 1 Window to wall ratio of each residence

朝向		窗墙比	标准限值 ^[11]
南	1	0.159	0.45
	2	0.225	
北	1	0	0.3
	2	0.28	
东	1	0.16	0.35
	2	0.18	
西	1	0	0.35
	2	0	

注：表中1为传统农宅，2为新型农宅。

表1显示，相比之下，新型农村住宅的窗墙比显著提高，但仍明显低于《农村居住建筑节能设计

标准》GB/T 50824-2013中限值，即使是最大的新型农村住宅南向窗墙比，也仅为标准限值的一半。此外，《严寒和寒冷地区居住住宅节能设计标准》JGJ 26-2010中规定，相应建筑体形系数应低于0.52^[12]，以上两类住宅均远高于此限值，不满足标准要求。

1.2 围护结构热工参数

调研结果显示，传统与新型农村住宅均没有保温措施，住宅围护结构热工性能较差。以图2中两栋典型建筑为例，其围护结构的构造及传热系数如表2所示。

表2 围护结构材料及传热系数

Table 2 Envelope materials and heat transfer coefficient

围护结构名称	围护结构材料	传热系数/ W/m ² ·K	标准限值 ^[11] / W/m ² ·K
外墙	1 5mm 水泥砂浆 +240mm 24 红砖	2.05	0.65
	2 25mm 水泥砂浆 +240mm 24 红砖 +25mm 水泥砂浆 10mm 挤塑聚苯板	1.71	
1	+100mm 钢筋混凝土 空心楼板	1.93	
屋面	1 15mm 半硬质矿(岩) 棉板+10mm 挤塑聚苯 板+100mm 钢筋混凝 土空心楼板	1.26	0.5
	2 240mm 24 红砖	1.65	
内墙	1 5mm 水泥砂浆		无
	2 +240mm 24 红砖 +5mm 水泥砂浆	1.62	
外窗	1 单层玻璃木窗	5.03	南向2.8 北 向2.5
	2 普通6mm 单层玻璃铝 合金窗	5.70	
地面	1 40mm 粘土	23.26	无
	2 20mm 水泥砂浆 +40mm 碎石	21.28	

注 ①表中1为传统农宅，2为新型农宅。②传热系数为DeST软件中建筑部件构造计算结果。

表2显示，现有典型传统与新型农村住宅各围护结构传热系数均高于《农村居住建筑节能设计标

准》GB/T 50824-2013 中相关限值, 不满足标准中相关热工要求。相比之下, 新型农村住宅外墙、屋面热工性能提高明显, 内墙、地面提高较小, 在外窗方面有所降低。

基于美观及采光方面的考虑, 新型农村住宅外窗采用了普通 6mm 单层玻璃铝合金窗, 且面积较传统农村住宅有所增大。调研结果显示, 受经济条件限制, 新型农村住宅所采用的铝合金窗并非厂家组装成品, 均为现场制作。受制作水平及施工条件限制, 外门窗结构简单且无热桥隔断措施, 且铝合金的导热系数大于传统木窗, 导致新型农村住宅外窗传热系数有所增加。

1.3 建筑气密性

调研结果显示, 传统与新型农村住宅气密性均非常差, 建筑围护结构中存在大量的空气渗透路径。

1.3.1 围护结构非人为开口

由于技术水平限制, 且使用安装不当, 外门窗中存在大量的非常明显的缝隙, 窗/门框与外墙结合部位不严密, 缺少填充物, 且部分窗框、门框均发生变形, 漏风现象严重。虽然新型农村住宅采用了铝合金窗, 但是其没有经过任何气密性检验, 且安装及制作水平粗糙, 气密性水平依然较低。

本次被调研农村住宅均没有钢筋混凝土框架, 主体为红砖与钢筋混凝土空心楼板, 地基为岩石、碎石土、黏性土等。大量建筑在使用过程中发生不同程度的地基沉降、墙面及地面形变开裂现象, 导致围护结构主体出现大量裂缝。此外, 建筑本体缺少必要的防水及隔气措施, 且外墙内部砂浆填充不充分, 其内部存在大量的空隙, 为空气渗透提供了路径。

1.3.2 围护结构人为开口

调研显示, 农村住宅围护结构中存在大量人为开口, 且没有恰当的封堵措施。部分住宅安装了抽油烟机, 其排风管直接安装于外墙/外窗中的圆形孔洞中, 孔洞与管道尺寸偏差较大, 圆周存在较大的缝隙, 且管道与室内直接相通, 没有任何防倒流措施。此类空气渗透路径还发生在燃煤炉排烟管与外墙结合部位、家用太阳能热水器穿墙孔、有线电视穿墙孔、分体式空调穿墙孔等。室内排水管道与外部环境直接相连, 缺少存水弯等密封措施。在特殊时段内, 如做饭、室内清扫、燃煤炉引燃时, 农户会选择打开门窗进行通风, 造成建筑在短时间内

的大量通风。

1.4 内热源作息

调研结果显示, 因外出务工、上学等原因, 农村住宅内不同季节人口流动量较大, 住宅不同房间人员参数变化明显。住宅平常为两人居住, 某些时段居住人数变为三人, 例如在春节前后约两周的时间内外出务工人员回归, 寒暑假在外地上大学的子女回家。因此, 作息设定考虑两种情况: 两人居住和三人居住。人员、设备及灯光作息调研结果如下。

1.4.1 传统农村住宅

(1) 厨房

住宅人员为 2 人时, 内热源作息见表 3; 住宅人员为 3 人时, 内热源作息见表 4。

表 3 居住人数为 2 人时, 厨房人员、设备及灯光作息

Table 3 Kitchen people, equipment and light schedule when the number of residents is 2

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人员	0	0	0	0	0	0.3	0.6	0	0	0	0	0.6
设备	0	0	0	0	0	0.67	0	0	0	0	0	0.67
灯光	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	0.6	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0	0	0	0
设备	0	0	0	0	0	0	0.67	0	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

表 4 居住人数为 3 人时, 厨房人员、设备及灯光作息

Table 4 Kitchen people, equipment and light schedule when the number of residents is 3

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人员	0	0	0	0	0	0.3	1	0	0	0	0	1
设备	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0	0.75
灯光	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	1	0	0	0	0	0	1	0.9	0	0	0	0
设备	0	0	0	0	0	0	0.75	0	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

(2) 主卧

人员恒为 2 人, 人员及灯光作息见表 5。

表 5 主卧人员及灯光作息

Table 5 People and light schedule of master bedroom

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

人员	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	0	1	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0	0

(3) 客厅

人员恒为2人, 人员及灯光作息见表6。

表6 客厅人员及灯光作息

Table 6 Living room people and light schedule

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人员	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0

(4) 次卧

人员为0人时, 人员及灯光作息参数均为0, 人员为1人时, 作息见表7。

表7 次卧人员及灯光作息

Table 7 People and light schedule of bedroom

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人员	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

1.4.2 新型农村住宅

(1) 厨房

住宅人员为2人时, 内热源作息见表8; 住宅人员为3人时, 内热源作息见表9。

表8 居住人数为2人时, 厨房人员、设备、灯光作息

Table 8 Kitchen people, equipment and light schedule when the number of residents is 2

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人员	0	0	0	0	0	0	0.3	0.6	0	0	0	0.6
设备	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0.5
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	0.6	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0	0	0	0

设备	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1	0	0	0	0

表9 居住人数为3人时, 厨房人员、设备、灯光作息

Table 9 Kitchen people, equipment and light schedule when the number of residents is 3

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人员	0	0	0	0	0	0	0.3	1	0	0	0	1

续表9 居住人数为3人时, 厨房人员、设备、灯光作息

设备	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0.5
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	0.6	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0	0	0	0
设备	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0	0.8	1	0	0	0	0

(2) 主卧

人员恒为2人, 人员及灯光作息见表10。

表10 主卧人员及灯光作息

Table 10 People and light schedule of master bedroom

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人员	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	1	1
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0

(3) 客厅

人员恒为2人, 人员及灯光作息见表11。

表11 客厅人员及灯光作息

Table 11 Living room people and light schedule

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人员	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.05	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0

(4) 次卧

人员为0人时, 人员及灯光作息参数均为0; 人员为1人时, 作息见表12。

表12 次卧人员及灯光作息

Table 12 Bedroom people and light schedule

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

人员	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	1	1

(5) 卫生间

人员最高为 2 人, 作息见表 13。

表 13 卫生间人员及灯光作息

Table 13 Toilet people and light schedule

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
人员	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
人员	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17	0.17	0	0
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0

(6) 杂物间

调研发现, 人员在杂货间内逗留时间极短, 故人员作息参数取为 0, 灯光作息见表 14。

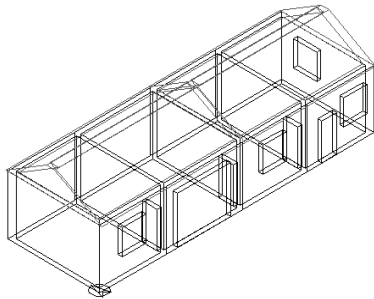
表 14 杂货间灯光作息

Table 14 Hovel light schedule

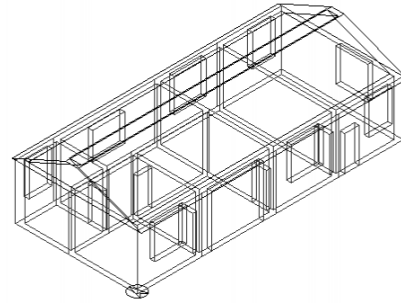
时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
灯光	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
灯光	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0

2 DeST 模型设置

以本研究选取的典型农村住宅为对象, 在 DeST 仿真平台上建立三维模型, 如图 3 所示。



(a) 传统农村住宅



(b) 新型农村住宅

图 3 DeST 三维建筑模型

Fig.3 DeST 3D architectural model

模型围护结构热工参数参考表 2 设定, 房间功能参照实际情况设置, 房间内人员、灯光设备热扰作息参照前文调研结果设置。

2.1 人员及灯光参数

参考相关设计标准及调研情况, 人员及灯光热扰取值如表 15 所示。

表 15 人员及灯光热扰设置

Table 15 Parameter settings of people and light

建筑类型	房间功能	人员热扰		灯光热扰
		人均发热量 (W)	最多人数(人)	最大功率(W)
传统农宅	厨房	60	3	15
	主卧	53	2	20
	客厅	60	2	30
	次卧	53	1	20
新型农宅	厨房	60	3	30
	主卧	53	2	30
	客厅	60	2	30
	次卧	53	1	30
	卫生间	60	2	20
	杂货间	60	1	20

2.2 设备参数

经调研, 除厨房外, 其余屋内无大功率设备, 其设备热扰不予考虑。传统农村住宅中, 厨房设备热扰以炉灶为主。当居住人员为两人时, 每烧制一顿饭, 需燃烧稻草、秸秆等 7-8 斤, 燃烧时间大约为 30-40min。取稻草、秸秆高位热值为 18803kJ/kg, 炉灶热效率为 38.58%^[13], 因炉灶自身向四周散热并有少许烟气进入室内, 故共取 43.58%稻草、秸秆的燃烧热值作为厨房设备的散热量, 设备热扰最大功率为 13.65kW。

新型农村住宅中,炉灶多被淘汰,农户选择电饭锅、燃气炉具等作为烧制饭菜的工具。调研结果显示,一般家用电饭锅运行电流约3-4A(本研究中取3.5A),煮熟一斤米饭约用时30min。根据李秀青对电饭锅产品热效率的测试,取电饭锅热效率取85%^[14]。根据上述参数计算得,做饭共消耗电能1386kJ。本研究中采用台式大气式灶,灶具能效等级为二级,根据《家用燃气灶具能效限定值及能效等级》GB 30720-2014,热效率取62%^[15],参考传统农村住宅烧制饭菜所需热量,灶具最大功率约为17.74kW。综上,新型农村住宅中,厨房设备热扰的最大功率为18.39kW。

2.3 空调系统

调研显示,农村住宅普遍采用依靠自然重力循环的燃煤炉+铸铁散热器系统,系统热效率较低,且冬季人员不在屋内时,农户不会完全关闭采暖系统,会选择减少供热量以节省煤耗。本研究中两类住宅采暖设备均全天运行。

因农村住宅的特殊性,农户需经常进出住宅,冬季一般会穿着较厚衣物,且不会频繁更换衣物,因此,其冬季室内设计温度应低于城镇住宅冬季设计温度。刁乃仁、张兵兵认为,根据农村地区的生活习惯,冬季采暖设计温度可设定为14℃-17℃^[6]。《农村居住建筑节能设计标准》GB/T 50824-2013中调查与测试结果显示,严寒和寒冷地区农村冬季大部分住户的卧室和起居室温度范围为5℃-13℃,超过80%的农户认为冬季较舒适的采暖室内温度为13℃-16℃。但是,本研究实际调研过程中,大

量用户提出了提高室温的需求。

综上,根据调研情况,本研究住宅冬季室内温度设置为16℃,人员不在屋内时,室内温度为4℃。农户在日常生活中对湿度无明显要求,故本研究中不考虑室内空气的湿度控制。

2.4 换气次数

目前,农村住宅在使用状态中的长期换气次数缺少研究。研究^[16,17]中根据城镇居住建筑气密性测试结果对其自然状态下的换气次数进行了推算,但是,农村建筑气密性显著不同于城镇居住建筑,因而,无法参考相关气密性研究结果对其换气次数进行推算。因此,本研究采用人为假设的方法分析换气次数对能耗的影响。

根据调研结果,考虑人员进出造成的冷风侵入及建筑自然状态下的空气渗透与通风,假定传统农村住宅厨房换气次数为6h⁻¹,其余房间换气次数为5h⁻¹;新型农村住宅因厨房采取电饭锅、燃气炉具等设备,烧制饭菜时无需打开门窗通风,故不予以特别考虑,所有房间换气次数均为4h⁻¹。

3 改善措施

依据《农村居住住宅节能设计标准》GB/T 50824-2013中相关规定,对上述两类住宅进行改造,拟使传统与新型农村住宅优化后的热工参数满足标准要求。首先考虑通过增加外墙、屋面、外窗的保温隔热性能,减少建筑围护结构的耗热量,具体改善措施见表16。

表 16 围护结构改善措施及改善后传热系数

Table 16 Improvements of building envelope and heat transfer coefficient after improvement

围护结构名称	围护结构改善措施	改善后传热系数 (W/m ² ·K)	标准限值 ^[11] (W/m ² ·K)
外墙	1 增设 40mm 聚氨酯硬泡沫塑料	0.64	0.65
	2 增设 40mm 聚氨酯硬泡沫塑料	0.60	
屋面	1 挤塑聚苯板增厚至 50mm, 增加 20mm 半硬质矿(岩)棉板	0.48	0.5
	2 挤塑聚苯板增厚至 55mm	0.46	
外窗	1 更换“标准”玻璃外窗	南向 2.8 北向 2.5	南向 2.8 北向 2.5
	2 更换“标准”玻璃外窗	南向 2.8 北向 2.5	

注: 1.表中 1 为传统农宅, 2 为新型农宅。2.传热系数为 DeST 软件中建筑部件构造直接计算结果。

为提高住宅气密性,可对各农村住宅进行如下改造:窗框替换为厂家组装成品,在窗框与墙体接

触部分增设密封条,窗户外侧增设窗帘;对墙体部分出现的裂缝进行修补并重新粉刷;人为开口部分,

如家用太阳能热水器穿墙孔、有线电视穿墙孔等, 采取封堵措施。《农村居住建筑节能设计标准》GB/T 50824-2013 中规定, 严寒和寒冷地区农村居住建筑的卧室、起居室等主要功能房间, 冬季计算换气次数应取 $0.5h^{-1}$ 。本研究假设优化后, 房间换气次数为 $0.5h^{-1}$, 传统农宅中, 在烧制饭菜时, 厨房内会有烟气逗留, 需开窗通风, 假定此时换气次数为 $1.5h^{-1}$ 。

4 结果分析

4.1 单因素影响分析

采用控制变量法, 参照表 16 分别对墙体、外窗、屋顶、气密性等方面进行改良, 不同工况下住宅采暖能耗模拟结果见表 17。

表 17 不同优化措施下住宅能耗统计

Table 17 Energy consumption under different optimization measures

围护结构优化方面	无优化	外墙	外窗	屋顶	气密性
传统农村住宅耗热量指标 W/m^2	63.24	55.13	62.23	59.67	37.97
相对节能率%	—	13	2	6	40
新型农村住宅耗热量指标 W/m^2	61.28	56.75	58.46	59.25	39.48
相对节能率%	—	7	5	3	36

注: 表中相对节能率计算基准为无优化是住宅耗热量指标。

由表 17 可知, 对于两栋典型农村住宅, 所有因素中气密性优化节能效果最明显。对于传统农村住宅, 气密性优化后相对节能率高达 40%; 对于新型农村住宅, 该数值为 36%。外墙优化效果次之, 对于传统与新型农村住宅, 优化后相对节能率分别为 13%与 7%。屋顶优化后的节能效果不及外墙, 对于传统与新型农村住宅, 优化后相对节能率分别为 6%与 3%。对于传统农村住宅, 优化外窗效果最差, 优化后相对节能率仅为 2%; 对于新型农村住宅, 优化后相对节能率仅为 5%。

新型农村住宅在外墙及屋顶的建造时, 选择添加部分装饰材料, 如瓷砖、水泥砂浆等, 以达到美观及保暖的目的, 因此, 在对外墙进行优化后, 其耗热量指标下降较传统农村住宅小; 屋顶面积和外墙相比较小, 优化后节能效果差于外墙。农村住宅在选取窗户时以美观及采光为目标, 极少考虑窗户

的隔热效果, 理论上对外窗进行优化后, 建筑节能效果明显。但是, 上述两栋典型农村住宅窗墙比较小, 且朝向单一, 导致优化外窗节能效果较差。

综上所述, 以本研究所述两栋典型农村住宅为例, 传统住宅优化先后顺序为气密性>外墙>屋面>外窗; 新型住宅优化先后顺序为: 气密性>外墙>外窗>屋面。

表 17 中数据显示, 提高气密性所带来的节能效果远超其它优化措施。本研究进一步分析了住宅在现有热工条件下, 不同气密性水平下(换气次数)的建筑采暖能耗、冷风(空气渗透+冷风侵入+通风)耗热量占采暖能耗的比例, 如图 4、图 5 所示。

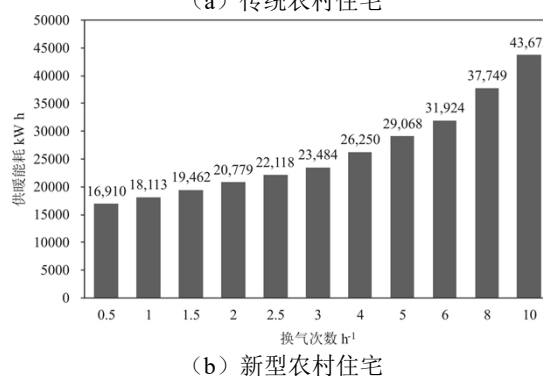
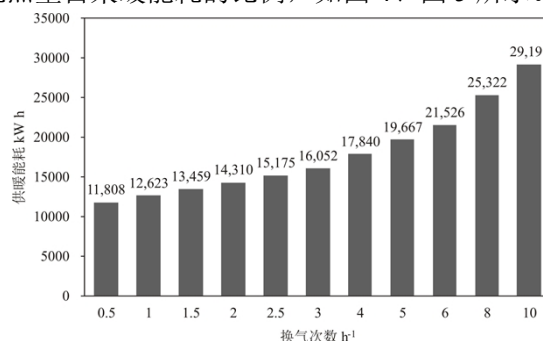
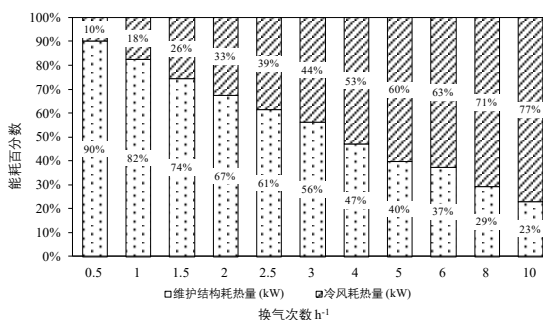
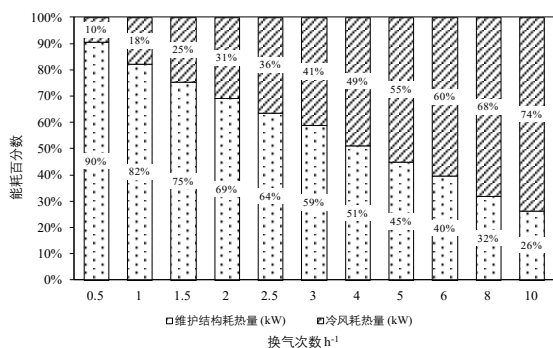


图 4 不同气密性下住宅采暖能耗

Fig.4 Residential heating energy consumption under different building airtightness



(a) 传统农村住宅



(b) 新型农村住宅

图5 不同气密性下冷风耗热量比例

Fig.5 Heat consumption ratio of cold air under different building airtightness

由图4可知,提高住宅气密性对降低住宅采暖能耗效果非常显著,换气次数从 $10h^{-1}$ 减小到 $0.5h^{-1}$,对于传统农村住宅,节能率高达60%;对于新型农村住宅,节能率高达61%。

此外,图5显示,即使提高建筑气密性使其换气次数降低到 $0.5h^{-1}$,冷风耗热量比例仍然较高,对于传统与新型农村住宅,该比例均为10%。随着气密性的降低,冷风耗热量比例急剧增加,当增加至 $4h^{-1}$ 时,该比例在传统农村住宅中已高达53%,在新型农村住宅中已高达49%。

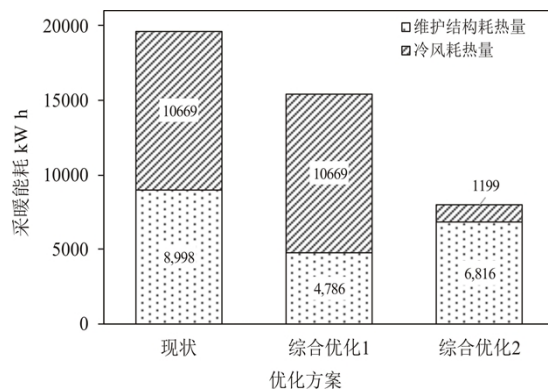
上述分析表明,对上述两栋典型住宅进行节能优化时,与提高围护结构热工性能相比,改善住宅气密性可带来更大的节能效益,尤其是在传统农村住宅中。

4.2 多因素对住宅能耗影响

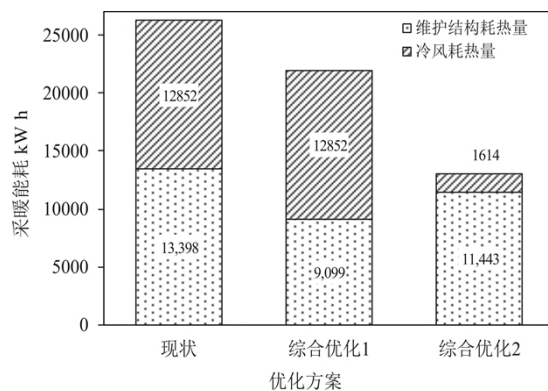
考虑同时对外墙、外窗和屋顶进行优化,使其满足《农村居住建筑节能设计标准》GB/T 50824-2013中相关要求。不同优化方案对应住宅采暖能耗如图5所示。其中,综合优化1为仅考虑外墙、外窗、屋顶优化的相应结果,综合优化2为在1的基础上进一步考虑气密性优化的结果。

图6(a)显示,传统农村住宅中,综合优化方案1的相对节能率仅为21%;当考虑对气密性进行优化后,综合优化方案2的相对节能率可提高至59%,此时,住宅耗热量指标仅为 $25.77W/m^2$ 。同理,图6(b)显示,新型农村住宅中,综合优化方案1的相对节能率仅为16%,低于传统农村住宅;当考虑对气密性进行优化后,综合优化方案2的相对节能率可提高至50%,此时,住宅耗热量指标仅

为 $30.48W/m^2$ 。



(a) 传统农村住宅



(b) 新型农村住宅

图6 不同优化措施后的采暖能耗

Fig.6 Heating energy consumption after optimization measures

此外,对于传统农村住宅,综合优化方案1中冷风耗热量比例为69%,当考虑对气密性进行优化后,综合优化方案2中该比例降低为15%;对于新型农村住宅,综合优化方案1中冷风耗热量比例为59%,当考虑对气密性进行优化后,综合优化方案2中该比例降低为12%。

5 结论

本研究对潍坊地区两个村落典型农村住宅关键参数进行了调研,并以调研数据为基础,对两栋典型农村住宅的采暖能耗进行了模拟分析,结论如下:

(1) 实地调研结果显示,寒冷地区农村存在住宅结构缺乏科学设计、围护结构热工性能不满足设计标准、建筑气密性较差的现象。

(2) 典型住宅采暖季能耗模拟结果显示,相

对于传统农村住宅(1990年之前建造),新型农村住宅(1990年之后建造)节能效果不明显;单因素影响分析结果显示,气密性对住宅采暖能耗影响显著,传统住宅优化先后顺序为:气密性>外墙>屋面>外窗;新型住宅优化先后顺序为:气密性>外墙>外窗>屋面。多因素影响分析结果显示,在现有的基础上,传统与新型农村住宅设计参数满足《农村居住建筑节能设计标准》GB/T 50824-2013中相关规定时,采暖季相对节能率分别为59%、50%,此时冷风耗热量比例分别为15%、12%。

上述结论充分表明了被调研农村存在非常大的节能潜力,且制定节能改造策略时,优化重心应充分考虑提高建筑气密性,以减少住宅冷风耗热量。

农村住宅分布广泛且类型各异,本研究仅在有限的调研基础上对其能耗进行了分析,且空气渗透量基于假设而定,应在更大范围进行调研,并对农村建筑气密性进行实测。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2017[M]. 北京:中国统计出版社,2017
- [2] 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].住宅节能,2016,44(11):102-103.
- [3] 张思楠. 内蒙古自治区农房住宅能源消费现状调查及研究[J].住宅节能,2008,(12):60-63.
- [4] 宋波,邓琴琴.农村建筑用能技术研究现状及展望[J].区域供热,2018,(5):111-115,145.
- [5] 国家发展改革委,能源局等.北方地区冬季清洁取暖规划(2017-2021)[Z].2017.
- [6] 张兵兵,刁乃仁.北方寒冷地区农村住宅住宅热负荷影响因素分析[J].区域供热,2018,(3):120-126,130.
- [7] 李淑洁,郝学军,李宇航,等.京津冀地区农村建筑节能方案探究[J].区域供热,2018,(4):73-78.
- [8] 高贺轩,邓琴琴,宋波.山东省某市既有农村住宅节能改造方案研究[J].区域供热,2018,(5):103-110.
- [9] Younes C, Shdid C A, Bitsuamlak G. Air infiltration through building envelopes: A review[J]. Journal of Building Physics, 2012,35(3):267-302.
- [10] 丰晓航,燕达,彭琛,等.建筑气密性对住宅能耗影响的分析[J].暖通空调,2014,44(2):5-14.
- [11] GB/T 50824-2013,农村居住建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [12] JGJ 26-2010,严寒和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,2010.
- [13] 郝芳洲.实用节能炉灶[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [14] 李秀青.电饭锅产品热效率测试不确定度分析[J].家用电器,2015,(6):37-39.
- [15] GB 30720-2014,家用燃气灶具能效限定值及能效等级[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [16] Shuqin Chen, Mark D Levine, Haiying Li, et al. Measured air tightness performance of residential buildings in North China and its influence on district space heating energy use[J]. Energy & Buildings, 2012,51:157-164.
- [17] 季永明,端木琳,王宏彬,等.大连地区新建居住建筑气密性实测[J].暖通空调,2015,45(1):13-18.