

宁夏地区乡村民居节能设计研究

张 群^{1,2}, 梁 锐^{1,3}, 刘加平^{1,2}

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 西部建筑科技国家重点实验室(筹), 陕西 西安 710055; 3. 西安美术学院建筑环境艺术系, 陕西 西安 710065)

摘 要:为改善宁夏乡村地区居住建筑室内冬季热环境, 达到建筑节能 65% 的目标, 对典型传统民居进行了调研和围护结构能耗分析, 发现了民居建筑耗能的主要薄弱部位. 结合当地自然气候与经济条件, 从建筑功能布置与空间组合、太阳能资源利用和围护结构构造等方面出发, 提出整体式的建筑设计改进方案, 并通过能耗分析计算新方案的热工性能与室内热环境质量, 证明了在宁夏地区通过合理的设计农村住宅也可以达到提高室内热舒适和节能的目标.

关键词:宁夏; 乡村民居; 建筑节能; 热环境

中图分类号: TU241.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)04-0570-05

随着我国建筑行业节能减排战略目标的实施, 各地对城市居住建筑采暖能耗标准和围护结构传热系数等均做了详细的规定, 简单按照规定的设计程序与计算就能够达到节能 65% 的目标. 然而对于西北宁夏地区大量的农村建筑, 由于其层数较低(多为 1~2 层), 体形系数很大, 围护结构绝热性能差, 此外住户自建的形式、松散的行政管理, 要达到既定的节能目标具有相当的难度.

为了使宁夏农村居住建筑达到节能 65% 的要求, 一方面通过建筑形体组合、空间布局、构造设计等建筑手段提高建筑围护结构性能、改善居住空间环境质量; 另一方面, 挖掘地方资源特点, 充分利用太阳能作为辅助热源, 增加南向墙体得热, 减少常规能源消耗的方式实现节能的目标.

研究对象位于中国宁夏回族自治区银川市, 建筑热工分区属于寒冷地区. 典型气候特征为: 阳光充沛强烈; 干旱少雨, 蒸发强烈; 温度日较差和年较差大; 冬季寒冷漫长, 夏季凉爽短暂. 年平均气温约为 8.9 °C, 12 月平均温度 -6.7 °C. 太阳能资源方面, 年日照时间 3 000 h, 12 月平均每天日照时数 6.8 h, 水平面 12 月平均日辐射量 2.525 kWh/(m² · d).

1 典型宁夏乡村民居建筑概况

1.1 典型民居建筑构造做法

当地传统民居以农户自发建设为主, 平面布局简单, 多为单层独院式住宅. 主体为东西轴长的条形布局, 房间均为南北朝向, 单进深, 开间一字排开, 多为 3~5 间, 体形系数多在 0.7~0.8 之间. 南向窗墙面积比约为 25%, 山墙与北墙往往均不开窗.

常见围护结构做法如下:

(1) 墙体——外墙为 350 mm 厚土坯墙, 勒脚部位砌 5 皮实心粘土砖, 下为卵石基础.

(2) 屋顶——多为平屋面, 屋面不铺瓦. 木椽直接搭在承重外墙上, 上铺芦苇席, 铺草泥, 最薄处厚度不小于 200 mm.

(3) 地面——卵石地面, 中粗砂找平, 上铺实心粘土砖一皮.

(4) 门窗——外门为单扇内开木门, 冬季外挂棉门帘增加保暖效果; 窗户多为单层木框玻璃窗. 南向窗洞面积较大, 北向房间仅开小面积高窗或者不开窗.

*收稿日期: 2010-12-14 修改稿日期: 2011-06-16

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAJ04A18); 国家自然科学基金委员会创新研究群体基金项目(50921005/E0803)

作者简介: 张 群(1973-), 男, 河北涉县人, 副教授, 主要研究方向为绿色建筑与乡村民居发展问题.

1.2 传统民居室内热环境状况

为了解传统民居室内热环境,选择一处典型生土民居进行基础测试.该建筑东西长18 m,进深5 m,体形系数0.83,围护结构构造做法同前文所述(图1).在2008年12月9日~2008年12月13日测试(测试条件略),结果表明,室内平均温度为13.3℃,根据文献[1]可知室温偏低;湿度变化范围为24%~52%,平均湿度为34%,感觉“湿冷”.

问卷调查表明,该户冬季耗煤量约为5 t(包含少量炊事用能),据此测算每采暖季单位面积耗煤量超过50 kg/(m²·a),节能的压力十分巨大.

1.3 传统民居存在的主要缺陷

经过调研分析,造成传统民居冬季室内热环境条件差、能耗大的主要原因如下:

(1)建筑设计不合理.生土建筑受材料力学特性制约,结构布置受限,空间欠灵活;单面的房间布局,体形系数大,采暖能耗大;就地取材的生土材料,耐久性和耐久性较差,使用年限较短;空间不能适应现代生活内容的变化,使用功能不便.

(2)构造措施简陋.夯土虽然具有较好的热工性能,仅仅通过加厚墙体来提高建筑保温性能,效果十分有限,对于屋顶、北墙等热负荷最大的部位往往缺乏有效处理.例如,作为调研对象的传统民居,其墙体的传热系数 $K=1.808\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,屋顶的传热系数 $K=2.040\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,地面传热系数 $K=1.180\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,均远远超出节能设计标准规定的限制.

另外,对外墙的转角、外墙与屋顶交接、外墙与地面交接等处存在“冷桥”缺乏有效处理,热量散失严重;木质门窗,缝隙密闭不严,冬季冷风渗入现象严重[2].

(3)用能方式简单,效率低.在冬季,主要采用炉具烧煤与燃烧植物秸秆烧炕相结合的方式采暖,由于技术限制,能源利用效率依然很低,能耗很大.与此同时,本地区大量存在的、可以简单低成本利用的太阳能资源在建筑采暖中没有得到充分有效的利用,珍贵的可再生资源白白浪费.

2 改进方案

针对问题,新建筑的改进方案从当地的技术经济水平出发,立足生活的实际需求,充分利用当地的自然资源气候和技术条件,采取适宜的构造技术措施,改善建筑围护结构质量,减少能源消耗;合理设计开窗面积与位置,及收集太阳日照又有利于采光通风,改善室内环境质量;重新安排居住功能与空间布局,满足现代乡村生活需要(图2).

根据调研发现的问题,新方案面向现代生活的发展现状,丰富和完善了使用功能,合理分配起居与卧室的面积,并增设厨房、卫生间、储藏室,以满足生活劳作的各种需要[3];

控制建筑体形,结合宅基地情况,采用规整、紧凑的建筑平面,体型系数0.73;布局坐北朝南,东西轴长、南北轴短,利用南墙作为太阳能集热面;合理组织空间,北面布置卫生间、储藏室等次要房间,南向墙面布置卧室、客厅等主要房间,使北面房间形成室内“温度缓冲区”[4],对南向的客厅和卧室起到保护作用;合理控制、加大南向窗墙面积比(本方案为36%~42%),加大通过玻璃窗的太阳能得热;南向太阳能直接受益窗和附加阳光间的设置[5],在有效地利用了太阳能提高室内的同时,极大地改善了室内采光与通风条件,房间内窗明几净,空气清新.

新建民居体形系数虽小于旧民居,但还是超出文献[6]4.1.3条规定范围,以规范规定值为目标,需相应减小围护结构传热系数.通过计算和调整,最终确定以下构造层次组合(图3):

墙体:防潮层上侧:240 mm 空心粘土砖,外刷沥青隔汽层,砌250 mm 草砖,草砖表面钉铁丝网水泥

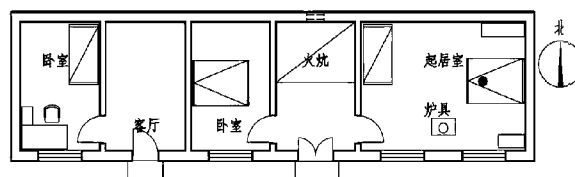


图1 传统民居典型平面图

Fig. 1 Typical traditional vernacular plan

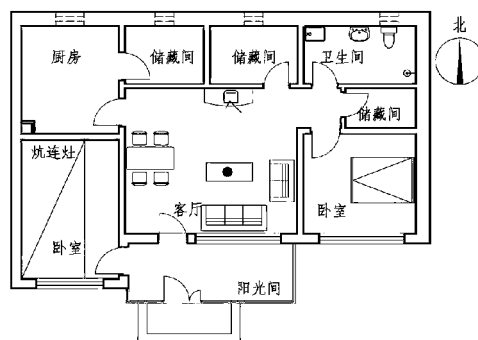


图2 新建乡村住宅平面图

Fig. 2 Newly-built rural house plan

砂浆抹灰. 墙身防潮层下侧: 房屋内侧 240 mm, 外侧 180 mm 实心粘土砖, 中间搁置 80 mm 聚苯板. 墙体总传热系数 $K=0.295 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

屋顶: 100 mm 厚钢筋混凝土屋面板(2 % 坡度), 上铺 100 mm 厚 EPS 保温层, 水泥砂浆找平层, 最薄处不少于 25 mm, 改性沥青卷材防水层, 传热系数 $K=0.278 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

地面: 素土夯实, 传热系数 $K=1.454$; 距离外墙内表面 2 000 mm, 范围, 铺 300 mm 煤渣保温层(隔绝冷桥), 上铺 60 mm 素混凝土地面结构层, 20 mm 水泥砂浆找平, 传热系数 $K=0.790 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

门窗: 单框双玻塑钢窗, 加强密封处理防止门窗缝透风, 传热系数 $K=3.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. 双层窗在室内一侧加强严密, 在室外一侧适当留有小孔或者缝隙, 避免外窗玻璃的内表面出现结露或冰霜.

3 新方案热工性能验证

新住宅方案建筑节能的有效性, 可以通过计算耗热量指标和耗煤量指标, 与旧民居进行比较来验证.

3.1 耗热量指标计算

$$q_H = q_{H,T} + q_{INF} - q_{I,H}$$

其中: $q_{H,T}$ 为单位面积通过维护结构的传热耗热量 (W/m^2); q_{INF} 为单位面积空气渗透量 (W/m^2); $q_{I,H}$ 为单位建筑面积的建筑物内部得热, 包括家电、炊事、照明、人体散热等, 住宅建筑通常取 $3.8 \text{ W}/\text{m}^2$.

$$q_{H,T} = (t_i - t_e) \left(\sum_{i=1}^m \epsilon_i \cdot K_i \cdot F_i \right) / A_0$$

式中: t_i 为房间平均室内计算温度, 根据银川当地建筑节能标准, 应取值 16°C , 但该温度对于乡村建筑来说标准偏高, 参考《严寒和寒冷地区农村住房节能技术导则》, 条文 3.3.1 中提出“舒适的采暖温度为 $14 \sim 15^\circ\text{C}$, 取值为 15°C ”; t_e 为采暖期室外平均温度, 参考银川当地节能标准取值 -3.8°C ; ϵ_i 为维护结构传热系数的修正系数, 根据文献[6], 屋顶、墙面、地面分别取值; K_i 为维护结构的传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]; F_i 为维护结构面积 (m^2); A_0 为建筑面积 (m^2), 按外墙外包线围城面积的总和计算.

需要说明的是, 窗户、阳光间部分的 $q_{H,T}$ 计算, 还要综合考虑门窗透明部分的得热^[7], 与综合遮阳的影响. 其计算为:

$$q_{H,T} = \left[(t_i - t_e) \left(\sum_{i=1}^m \epsilon_i \cdot K_i \cdot F_i \right) - C_i \cdot I_i \cdot F_i \right] / A_0$$

式中: C_i 为太阳辐射修正系数, 根据窗户的遮阳系数取值计算; I_i 为采暖期平均太阳辐射热 (W/m^2), 参考气象参数.

$$q_{INF} = (t_i - t_e) (C_p \cdot N \cdot V) / A_0$$

式中: C_p 为空气比热容, 为 $0.28 \text{ W} \cdot \text{h}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; ρ 为空气密度, 参考银川当地采暖期室外平均温度, 取值 $1.33 \text{ kg}/\text{m}^3$; N 为换气次数, $0.5 \text{ L}/\text{h}$; V 为换气体积, 根据建筑物外表面和底层地面围成的体积计算.

3.2 耗煤量指标计算

$$q_c = 24 \cdot Z \cdot q_H / H_c \cdot \eta_1 \cdot \eta_2$$

式中: Z 为采暖期天数, 参考当地标准取值 140 d ; H_c 为标准煤热值, 取值 $8.14 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$; η_1 为管网输送效率, 采取节能措施前取值 0.85 , 节能措施后取 0.90 ; η_2 为锅炉运行效率, 采取节能措施前取

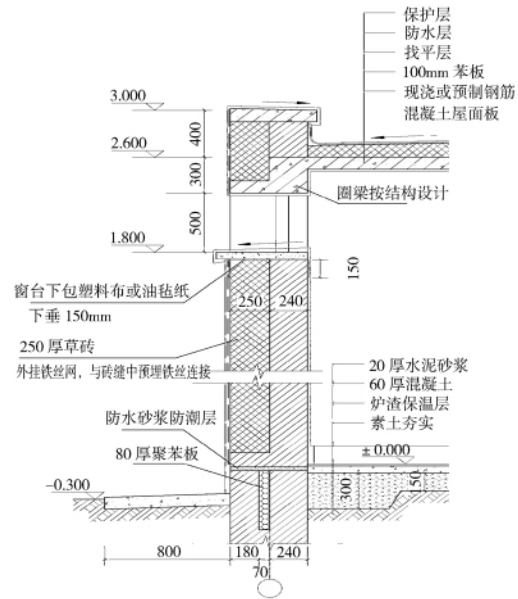


图 3 新建民居维护结构构造

Fig. 3 Structure of the building envelope of newly-built house

0.55,节能措施后取 0.68.

3.3 计算结果

表 1 新旧居住建筑耗热量指标计算
Tab.1 Calculators for heat consumption of both rural houses

			Traditional house	Newly-built house
Heating consumption/W	Area/m ²		107.10	108.60
		roof	3 965.29	544.68
		ground	1 978.59	1 342.03
	exterior wall	south wall	1 566.76	82.32
		north wall	2 149.41	194.56
		east wall	544.87	140.67
		west wall	538.95	116.43
	exterior window	south window	105.96	−72.86
		north window	23.04	55.85
	front door		140.88	—
	attached solar house		—	−715.18
Index of heat loss/(W/ • m ^{−2})			110.59	22.25
Index of coal consumption for heating/(kg • m ^{−2})			74.59	15.01

4 结果分析与讨论

从表 1 中数据能够反映以下问题:

- (1)在优化功能的基础上,适当加大南北进深尺寸,增加空间层次,同时减小建筑平面长度,有利于减少对散热有关键控制意义的北墙、南墙和屋顶的表面积,从而控制体形系数;尽量压缩建筑层高,建议值取小于 3.3 m,且室内做吊顶,形成空气间层.这样,一方面可以控制体形系数,另一方面也压缩需要加热的空气体积,有利于减小热负荷与能耗.例如,改进后住宅的体形系数为 0.73,相较对比旧住宅的 0.83 低 12.0 %.同时,北向与东西向房间尽量布置储藏间、卫生间等作为“气候缓冲层”,在提高主要使用房间内表面温度的同时,减小人体辐射散热量和同时改善人体热舒适性.
- (2)通过整体设计,银川地区农村居住建筑节能 65 %的目标基本是可以实现的.旧建筑主要的失热部位是北墙、南墙和屋顶,应在建筑构造设计方面提高围护结构性能.上述 3 处失热最多,究其原因生土砖和草泥屋面的导热系数大、厚度薄,而又未采取任何保温措施.采取措施后,民居的整体热工性能得到明显改善.新建民居的耗热量指标为 22.25 W/m²,耗煤量指标为 15.01 kg/m²,基本满足文献[1]、[6]中关于银川地区耗热量指标的规定为 21 W/m²,耗煤量指标为 15.28 kg/m² 的规定(由于乡村民居普遍为独栋,体形系数偏大,因此该标准对乡村民居来说略偏高).
- (3)对该地区而言,太阳辐射对南向围护结构尤其是透明体的影响巨大,需要慎重考虑.表中所示新建民居南窗与阳光间耗热量为负值,说明透过南向透明构件进入室内的太阳辐射热大于由室内外温差引起的向外传热量.旧民居受生土材料力学性能限制,开窗面积较小,难以通过加大窗墙比利用太阳能资源;通常采用木框单玻,窗户密闭性差,空气渗透耗热量大;单层玻璃导热系数大,耗热量很大.经合理设计,新建民居一方面将窗墙比从 26 %提高到 42 %,使南墙、南窗和附加阳光间成为建筑得热部件,另一方面采用单框双玻塑钢窗减小了耗热量.
- 新建住宅北墙耗热量指标增大的主要原因是北向窗户数量的增加.旧建筑仅在北墙设一个高窗,室内昏暗、空气浑浊;在新住宅中,每个房间都设置了高窗,虽然增加了一些耗热量,但从建筑的综合性能来看,这一做法是必要的和有价值的,室内采光效果和空气质量由此提升显著,居住条件得到极大改善.
- (4)新建民居初期投资较高,但其采暖运行费用低,增加的投资可通过后期节能减耗实现成本回收.

新建民居建于2008年,使用了当地建材,同时利用太阳能作为冬季采暖辅助热源,土建单方造价780元,总投资约为85 000元。根据耗煤量指标以及2008年当年煤价计算,冬季的采暖费用约为1 300元。假设旧民居也建于当年,使用了生土作为建筑围护材料,造价更低廉,假设总造价为35 000元,但由于其耗煤量指标很大,冬季的采暖费用约为6 500元。由此计算,使用7~8年后新建民居增加的投资就可通过节约的燃煤费用收回,使用成本开始下降。而且这只是静态估算的结果,若考虑能源价格逐年上涨的现实状况,回收期则会更短。由此可见,通过合理的设计,在有限增加建筑造价的条件下,可以显著地降低建筑耗热量指标,减少污染物排放,有利于控制建筑全寿命周期总成本。

5 结 论

(1)西北地区农村居住建筑建筑节能65%的目标是可以实现,取决于平面布局、南北向房间功能设置、空间组合、层高的确定合理、体形系数控制、构造层次与建筑材料选择等方面的合理设计。

(2)传统民居尽管有显著的优点,但由于围护结构性能差、构造设计存在缺陷,导致采暖能耗大,但同时节能潜力巨大。其中,屋顶和北墙性能具有显著提高的潜力,可以通过加大厚度和使用低传热系数建材实现降低能耗的目标。

(3)在宁夏地区,可以通过加大窗墙比和推广被动式阳光间的方式提高南向围护结构日照得热,同时须注意改善门窗气密性,从而显著减少辅助常规能源的消耗,节能效果显著。

(4)在有限增加建造成本的前提下,经过合理设计、控制建筑耗热量指标,可以减少冬季采暖能耗和燃料费用支出,使建筑全寿命周期使用成本显著下降。

参考文献 References

- [1] 宁夏建设厅科学技术处. DB/047-1999 民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)宁夏地区实施细则[S]. 宁夏: 宁夏建设厅, 1999.
Department of Science & Technology in the Construction Bureau of NingXia Province. DB/047-1999 Energy conservation design standard for new heating residential buildings—Detail rules for application in NingXia area[S]. NingXia: The Construction Bureau of NingXia Province, 1999.
- [2] 谭良斌, 周伟, 刘加平. 中国西北农村生土居室内环境实测与技术改造研究[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(21): 6566-6570.
TAN Liang-bin, ZHOU Wei, LIU Jia-ping. Research on environmental test and technical reform of earth buildings in north-west part of china[J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(21): 6566-6570.
- [3] ZHANG Q, LIANG R, LIU J P. Rural houses with appropriate strategies in northwest China: a practice of ecological houses in Ningxia Province[J]. Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China, 2010, 4(4): 483-489.
- [4] 梁锐, 张群, 刘加平. 西北乡村民居适宜性生态建筑技术实践研究[J]. 西安科技大学学报, 2010, 30(3): 345-351.
LIANG Rui, ZHANG Qun, LIU Jia-ping. Practice of appropriate technologies of ecological buildings in rural areas of northwest china[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2010, 30(3): 345-351.
- [5] 李元哲. 被动式太阳房热工设计手册[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
LI Yuan-zhe. Passive solar house thermal design handbook[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993.
- [6] 中华人民共和国建设部. JGJ26-2010 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.
Ministry of Construction P. R. China. JGJ26-2010 Design standard for energy efficiency of residential building in severe cold and cold zones[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2010.
- [7] 杨柳, 刘加平. 利用被动式太阳能改善窑居建筑室内热环境[J]. 太阳能学报, 2003, 24(5): 605-610.
YANG Liu, LIU Jia-ping. Improvements of thermal environment of traditional yaodong dwellings with solar energy[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2003, 24(5): 605-610.

Energy efficiency of rural dwellings in Ningxia Hui Autonomous Region

ZHANG Qun^{1,2}, LIANG Rui^{1,3}, LIU Jia-ping^{1,2}

(1. School of Architecture, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China;

2. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West China(XAUAT), Xian 710055, China;

3. Department of Environment Design, Xi'an Academy of Fine Art, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to improve the thermal environment and reach the energy efficiency goal of rural house in Ningxia Hui Autonomous Region, the paper investigates a typical traditional vernacular, analyzes the index of heat loss of building envelop and discovers the main weak part in the building affecting on the energy consumption. Combining with the local conditions of climate and economy, this paper put forward the integrating designing project, including the function layout, room combination, solar energy utilization and construction of building envelop. A new project for improving the indoor thermal comfort and saving energy was given in this paper. The index of heating loss of two rural buildings are calculated in order to verify the effectiveness of the new project. At the same time, it is bproved that the improvement of the thermal environment and 65% energy efficiency goal can meet with by appropriate architectural designs.

Key words: *Ningxia Hui autonomous region; rural vernacular; energy efficiency in building; indoor thermal environment*

Biography: ZHANG Qun, Associate Professor, Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-29-82202943, E-mail: zhangqun029@126.com

(上接第 512 页)

Study on the limit shaft friction resistance of long piles in the middle and lower reaches of the Huanghe River alluvial plain

DONG San-sheng, ZHAO Jun-hai, LEI Zi-xue

(School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China)

Abstract: In order to investigate the limit shaft friction resistance of long piles in the middle and lower reaches of the Huanghe River alluvial plain of sandy soil, finite element software ABAQUS was adopted to simulate long piles with different parameters according to the geological characteristics in the region. The simulated results indicate that the load at the top of a pile is approximately in direct proportion to the shaft friction resistance of the pile; the length and diameter of the pile, the interface condition between pile shaft and surrounding soil, and the mechanical properties of surrounding soil may affect the shaft resistance of the pile to different extents. On the basis of simulation results, formulas for the calculation of limit shaft friction resistances of piles in sandy soil strata were derived and verified with a real project. Comparison of the computed results with those from static loading test showed good agreement between the two, indicating the validity of the finite element simulation method, selection of parameters and conclusions. The study is of reference value in the optimum design of long piles in the region.

Key words: *long pile; limit shaft friction resistance; sandy soil; finite element*

Biography: DONG San-sheng, Lecturer, Ph. D., Xi'an 710064, P. R. China, Tel: 0086-13720776575, E-mail: dongsansheng9225@163.com