

拉萨新民居建筑冬季室内热环境影响因素分析

刘艳峰, 胡筱雪, 周 勇, 王登甲, 胡 威

(西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 现今拉萨地区大量出现集中搬迁村庄, 被动太阳能技术得到广泛应用, 此类新建筑形式已为多数居民所接受, 但其室内热环境仍有待调研。因此, 本文对拉萨地区搬迁新建筑室内热环境现状进行测试调研, 通过与旧建筑对比, 全面分析了影响其室内热环境的因素, 发现新建筑室内温度偏低, 且较旧建筑仅高 0.8°C , 室内热环境仍有待改善。同时, 对调研结果中存在较大问题的空间结构和直接受益窗设计进行了深入模拟研究。结果表明: 南向采用深色玻璃+白天窗帘全开的模式较现阶段常用的透明玻璃+白天窗帘闭合模式的室内平均温度高 1.2°C , 且可改善室内采光; 提高客厅围合性可以使室内平均温度增加 1.3°C , 负荷降低 17.3% 。

关键词: 住宅建筑; 被动太阳能; 数值模拟; 室内热环境

中图分类号: TU832.5

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2019)01-0109-07

Analysis on influence factors of indoor thermal environment of new residential buildings in winter in Lhasa

LIU Yanfeng, HU Xiaoxue, ZHOU Yong, WANG Dengjia, HU Wei

(School of Environment and Municipal Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: Nowadays, the number of many centrally relocated villages in Lhasa where passive solar energy-saving technologies in Tibet are with increasing frequency. The new style building has been accepted by most residents, but its indoor thermal environment remains to be investigated. Therefore, the article makes measurements and investigations in centrally relocated villages and contrast it with old building, and analyzes fully the impact of correlated building characters. It is found that the room temperatures of the new building is low, only 0.8°C higher than that of the old building. Its indoor thermal environment remains to be improved. The results inspire us to focus on a deep modeling simulation study of sick designs of structure and direct benefit windows. Results show that the model of colored glass in south and fully opened windows can increase the indoor average temperature by 1.2°C as compared with model of transparent glass and fully open window and can improve indoor lighting. In enhancing enclosed standard of room, the average room temperature can increase 1.3°C and decrease the load by 17.3% .

Key words: residential building; passive solar energy; numerical simulation; indoor thermal environment

拉萨是世界上海拔最高的城市之一, 年日照时数达 3 000 h 以上, 年总太阳辐射高达 $7.2 \text{ GJ}/\text{m}^2$ ^[1-3], 其太阳能资源相当丰富, 是主被动太阳房热利用的良好热源^[4-5]。在社会经济和被动节能技术迅猛发展的背景下, 拉萨地区出现了大量集中搬迁村庄, 其新式建筑运用被动太阳能设计的比例也逐年增加^[6-7]。前期调研表明, 此类搬迁建筑房屋形态符合西藏文化特征, 当地居民接受度较高, 但其室内热环境现状仍有待进一步调研。

影响被动式建筑室内热环境的因素主要包括室外气候(太阳辐射、温湿度等)、建筑特征参数(建筑外形、朝向、体形系数、室内空间结构等)

和围护结构(材料、遮阳、窗墙比等)三大部分。文献^[8]通过提出非平衡保温概念, 阐述了在太阳辐射作用下, 不同朝向围护结构的不同传热现象。文献^[9]研究了拉萨地区现有单体建筑中不同朝向、不同围护结构保温组合条件对室内热环境的影响。文献^[10]对拉萨典型传统民居的被动太阳能利用进行实测, 发现冬季室内温度整体偏低, 南向直接受益式房间温度波动较大, 并给出了加强保温和蓄热能力的建议; 文献^[11]比较了居民自建新建筑与旧建筑室内热环境和围护结构热工性能, 分析了新式民居室内热环境的变化与特点。文献^[12-13]主要对单元式住宅建筑, 从建筑空间设计与围护

收稿日期: 2018-01-23

修改稿日期: 2019-01-15

基金项目: 国家重点研发计划项目课题(2016YFC0700400); 国家自然科学基金(51678468)

第一作者: 刘艳峰(1971—), 男, 博士, 教授, 主要从事可再生能源利用与建筑节能等方向研究。E-mail: liuyanfeng@xauat.edu.cn.

通信作者: 胡筱雪(1993—), 女, 硕士生, 主要从事建筑热环境与太阳能采暖研究。E-mail: 447996861@qq.com.

结构热工性能设计讨论了直接受益式和附加阳光间式太阳房的被动设计要素对冬季采暖能耗的影响。文献^[14]基于大连某农村住宅热环境现状,利用正交数值试验与综合平衡法对建筑布局、围护结构等方面进行了优化设计。

这些研究对各类住宅建筑及其影响室内热环境的主要因素都做了较好的分析,但关于新式集中搬迁建筑室内热环境的调研仍较少。为此本文对拉萨市集中搬迁村庄建筑室内热环境展开全面调研测试,通过与旧建筑对比,全面分析建筑热工特性、围护结构等方面对建筑的影响、探究影响室内热环境的因素。同时,针对调研结果中存在较大问题的空间结构和直接受益窗设计,结合测试结果和数值模拟结果,进行了详细探讨,以期提出更加全面的室内热环境优化措施,完善影响室内热环境的因素,达到优化室内热环境和减少能耗的目的。本文对当地新建建筑室内热环境设计提供一定参考。

1 测试调研概况

为了解集中搬迁村庄新建建筑室内热环境现状,课题组于2017年2月对比各搬迁项目选择较为典型的林周县卡孜乡白朗新村进行测试调研(图1为搬迁示范建筑),且选择白觉林乡色康村旧建筑进行对比。测试内容包括太阳辐射强度、室外空气温度、室内主要房间空气温度及壁面温度等,测量参数及仪器如表1所示。调研以发放问卷及走访观察为主,主要内容包括建筑结构、常住人口、室内热感觉、作息时间、穿着以及对现有住宅的评价。



图1 白朗村集中搬迁示范项目

Fig. 1 Bailang village centralized relocation demonstration project

测试调研内容及目的:(1)测试室内空气温度及壁面温度,调研建筑结构,了解被动节能技术运用现状,分析造成室内热环境差的原因;(2)调查冬季室内人员的作息规律、热感觉和热需求,确定居民主要生活空间,作为模拟分析的依据。

2 测试调研对象

选择林周县卡孜乡白朗新村和白觉林乡色康村具有代表性的新建建筑和既有旧建筑进行测试。

新建建筑为双拼排屋,砼石砌体结构,测试房间为一层客厅和二层南北向房间,建筑平面布局及测点布置如图2所示;旧建筑形式为二层独栋,传统土木结构,无保温层,一层为储物间,二层为客厅、卧室等主要人员活动区,测试房间为二层客厅,建筑平面布局及测点布置如图3所示。两户均未采暖。

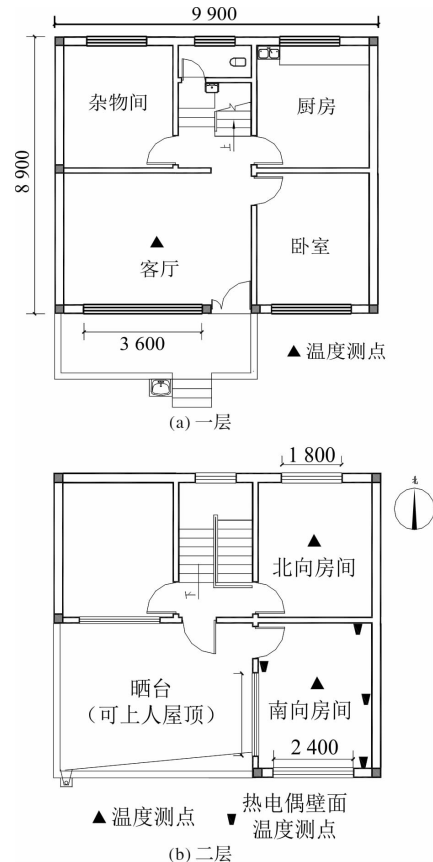


图2 新建建筑平面及测点布置图(单位: mm)

Fig. 2 Plane and measured spots of new building (unit: mm)

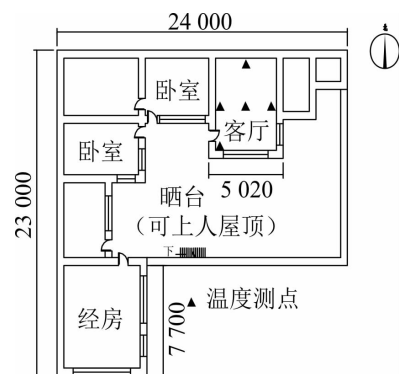


图3 旧建筑二层平面及测点布置图(单位: mm)

Fig. 3 Plane and measured spots of two floors of old building (Unit: mm)

新旧建筑围护结构热工条件见表2、3,客厅南向、南向房间南向、西向、北向房间北向窗墙比分别为0.40、0.44、0.36、0.25。旧建筑客厅

南向、东向窗墙比分别为 0.47、0.37。两栋建筑南向开窗面积大，北向较小，旧建筑外墙较厚，均有利于被动太阳能利用。

3 测试结果及分析

3.1 室外测试结果分析

太阳辐射强度及室外温度如图 4 所示，测试期

间林周县冬季日照持续时间为 10 h，平均太阳总辐射为 492 W/m²，峰值为 776 W/m²，出现在正午；太阳直射辐射占总辐射的 74%~93%，表明拉萨地区冬季太阳辐射强，可为主被动太阳房热利用提供较好的热源条件；室外空气平均温度为-3.7℃，峰值、最低值分别为 3.4℃、-10.9℃。

表 1 测试参数及仪器
Tab. 1 Test parameters and instruments




测试参数	仪器名称	仪器型号	仪器精度	仪器图片
太阳总辐射强度及散射强度	全天候辐射数据记录仪	TBQ-2	<5%	
室内外空气温度	自记式温度计 纽扣温湿度计	TR-72wf; iButton	±0.5℃; ±0.1℃±0.6%	
壁面表面温度	热电偶 纽扣温湿度计	CENTER 309/ HT-1420 K; iButton	±0.3%; ±0.13℃±0.6%	

表 2 新式建筑围护结构热工条件
Tab. 2 Thermal condition of new building envelope

围护结构	构造形式及厚度	围护结构冬季传热系数 /W·m ² ·K ⁻¹
外墙	20 mm 水泥砂浆+30 mm 无机保温砂浆+300 mm 混凝土空心砌块 +30 mm 无机保温砂浆+20 mm 水泥砂浆	0.84
外窗	白色铝合金双层中空平开窗 5 mm+100 mm+5 mm	2.70
屋面	40 mm 碎石、卵石混凝土+20 mm 水泥砂浆+50 mm 膨胀珍珠岩+20 mm 水泥砂浆+4 mm APP 改性沥青防水卷材+20 mm 水泥砂浆+最薄处 50 mm 膨胀珍珠岩混凝土找坡+120 mm 钢筋混凝土+20 mm 水泥砂浆	0.52
内墙	20 mm 水泥砂浆+200 mm 混凝土空心砌块+20 mm 水泥砂浆	1.55

表 3 旧建筑围护结构热工条件
Tab. 3 Thermal condition of old building envelope

围护结构	构造形式及厚度	围护结构冬季传热系数 /W·(m ² ·K) ⁻¹
外墙	550 mm 厚夯土墙	1.3~1.6
外窗	绿色铝合金窗框单层玻璃	6.0
屋面	椽子、木板以及夯实黏土	0.8~1.5

3.2 室内测试结果分析

各被测房间室内空气温度如图 5 所示，由于南向房间开有南、西两扇外窗，延长了太阳辐射得热时间，导致其房间最高温度相较于新旧客厅延迟 3 h 左右。新建建筑南北两房间室内平均温度分别为 6.7℃和 3.5℃，峰值温差达 7.3℃，主要是由于南向房间窗墙比明显大于北向房间，增大了

接受阳光照射面积，但同时也导致室内温度波动增大。所以应综合考虑选择合适的窗墙比，以提高室内空气温度和稳定性。新建建筑客厅和南向房间南向开窗面积都较大，但客厅平均温度较南向房间低 1.0℃，除南向房间开有两面外窗的原因外，客厅与楼梯间直接相通未围合的空间布局，也会使热量散失，降低室内温度。

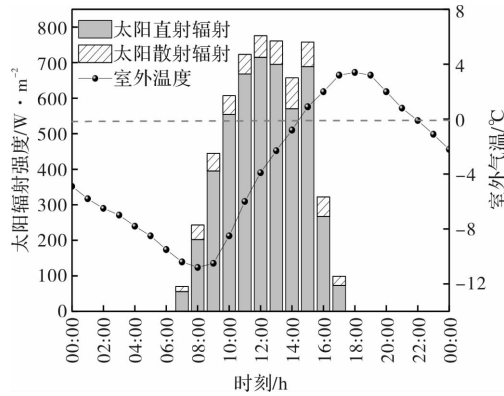


图4 太阳辐射强度及室外温度

Fig. 4 Solar radiation intensity and outdoor air temperatures

调研发现多数居民为防止室内眩光,其房间窗帘为闭合状态,未能更好利用太阳辐射热量使房间升温,也是各房间温度整体偏低的原因之一。

新旧建筑壁面平均温度及波幅如图6所示,壁面温度普遍较低,进而影响室内温度。新旧建筑南外墙内壁面平均波幅分别为4.5℃和1.7℃,表明旧建筑外墙蓄热能力优于新建建筑,其原因是新建建筑墙体材料为混凝土砌块,而旧建筑墙体材料为夯土结构,墙体也较厚重,可以平抑温度波动,提高围护结构热稳定性。屋顶平均温度较高,波幅也较大,所以应加强屋顶的保温设计。由图5可知,新旧建筑客厅室内平均温度分别为5.7℃和4.9℃,峰值相差为1.9℃,表明旧建筑保温性能不佳,这主要是围护结构材质导致^[14],而外窗是围护结构热工性能中最薄弱的部位^[15],新建建筑采用中空玻璃,旧建筑为普通单层玻璃,即采用新型保温节能外窗,也是提高建筑保温性能的重要措施。

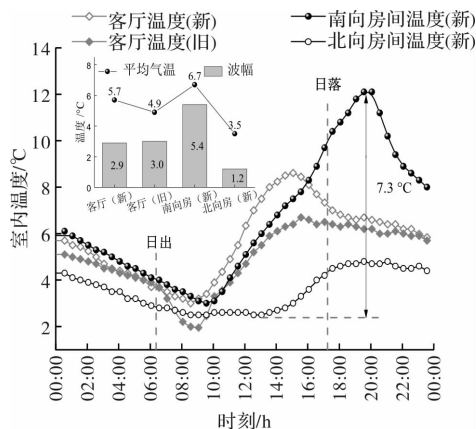


图5 各被测房间室内空气温度

Fig. 5 Indoor air temperature of measured rooms

3.3 热感觉测试结果分析

为了解当地居民对集中搬迁建筑的热感觉,

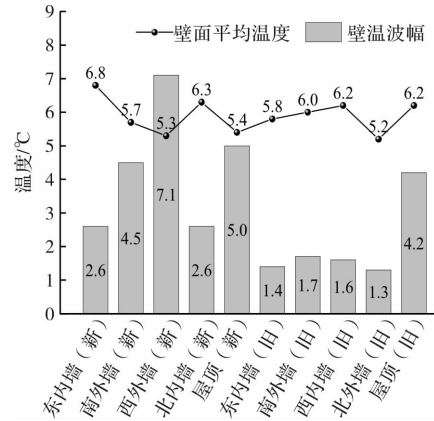


图6 新旧建筑壁面平均温度及波幅

Fig. 6 Mean temperature and amplitude of new, old building walls

对部分住户做了问卷调研,调研对象为常住居民,身体健康,其中男女比例大致相等,最大年龄居民63岁,最小8岁,平均年龄为33.9岁,有效问卷共32份。调研结果显示,冬季室内人员主要以坐、站等轻型活动为主,室内人员着装基本为秋裤+棉裤+秋衣+毛衣+外套+靴子,平均服装热阻为2.4 clo。居民对室内热环境主观感觉与主观期望如图7所示,其中34.3%和43.8%的居民分别认为中性和稍凉,凉的人只占9.4%,其原因是居民对低温环境已产生适应性,且多数居民在室内也穿着较厚的衣服。但调查中,仍有62.5%的人期望室内温度暖一些,且新、旧两栋建筑室内平均温度在3.5~6.7℃之间,均低于了ASHRAE 55-2013中所规定的人体热舒适最低容忍温度14℃^[16],可采用合理的采暖、被动节能措施提高室内温度,改善室内热环境。

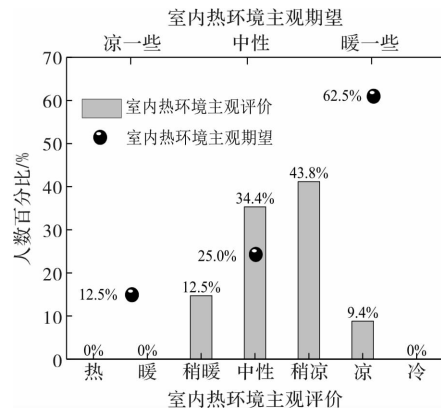


图7 室内热环境主观评价与主观期望

Fig. 7 Subjective evaluation and subjective expectation of indoor thermal environment

4 空间结构和外窗对室内热环境影响

通过调研测试发现在直接受益窗设计方面,

为改善其热工性能, 新建建筑大多使用双层中空透明玻璃, 但因拉萨地区太阳辐射强, 南窗面积较大, 容易引起室内眩光, 当地一些居民习惯在白天拉上窗帘(透明玻璃+白天窗帘闭合模式), 这既减少室内得热亦影响采光, 因此本文提出一种深色玻璃+窗帘全开的新模式, 通过数值计算, 分析该模式对室内热环境的影响。

同时, 基于对当地住宅建筑空间结构的调研, 发现客厅与楼梯间直接相通未围合的问题造成热量散失, 因此, 提出加强房间围合性的优化措施, 并通过数值模拟得到其措施对改善室内热环境及能耗的积极作用。

4.1 模型建立

调研结果显示, 居民在卧室活动时间集中于 21:00~次日 8:00, 其余时间在客厅, 可见客厅和卧室是拉萨居民的主要生活空间, 因此提高客厅和卧室的室内热环境尤为重要, 本节主要以客厅为例, 利用 Energyplus, 分析空间结构和直接受益窗特性对室内热环境影响程度。

对测试建筑进行建模分析, 其平面图和建筑围护结构信息分别见图 2 及表 1; 内外表面换热系数分别为 $8.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 与 $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [17]。

4.2 模型验证

为验证模型的准确性, 将客厅及南向房间室温模拟结果与测试结果进行对比, 其中室外气象参数设置为测试值, 结果如图 8 所示, 模拟能较好的反映实际情况, 客厅、南向房间模拟结果的平均相对误差分别为 13.3%、14.7%, 最大平均误差小于 15%, 可认为模拟值与测试值一致, 即模拟工况可靠。

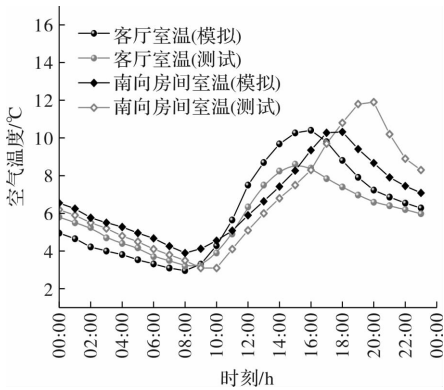


图 8 客厅及南向房间模拟测试温度对比

Fig. 8 Comparison of temperature of simulation with test of living room and north room

4.3 模拟结果与分析

4.3.1 南外窗设计及窗帘运行模式分析

传统建筑中常常使用深色玻璃, 其多为绿色、

蓝色和茶色, 透光率小于透明玻璃, 为增强室内太阳辐射得热, 现今新建建筑很少使用, 但拉萨地区因太阳辐射强, 南窗面积较大, 容易引起室内眩光, 当地一些居民习惯在白天拉上窗帘, 这既减少室内得热亦影响采光, 为改善此现状, 拟通过将南向窗双层中空透明玻璃改为双层中空深色玻璃, 使当太阳辐射强时可以拉开窗帘增加室内得热且避免眩光影响。

将深色玻璃+白天窗帘全开的模式与透明玻璃的两种窗帘运行模式的模拟结果进行对比, 具体工况见表 4, 其中室外气象参数选择典型气象年数据, 冬季典型设计日选择 1 月 21 日; 模拟设置参数见表 5。

表 4 模拟工况

Tab. 4 Simulation conditions

	玻璃颜色	窗帘运行模式
工况 1	透明	白天窗帘全开
工况 2	深色	白天窗帘全开
工况 3	透明	白天窗帘闭合

表 5 模拟参数

Tab. 5 Simulation parameters

	透明玻璃	深色玻璃
太阳透过率	0.79	0.60
可见光透过率	0.88	0.70
红外线透过率	0	0
正(反)面红外半球发射率	0.84	0.84
导热系数/ $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$	0.90	0.74

模拟结果如图 9 所示, 工况 1、2、3 室内平均温度分别为 11.3°C 、 10.3°C 、 9.1°C 。可见透明玻璃加白天窗帘全开的模式(工况 1)室内平均温度最高, 但由于当地太阳辐射强, 室内眩光严重, 当地居民较少采用此模式, 而更倾向于白天拉上窗帘(即工况 3), 其与工况 1 相比室内平均温度降低 2.2°C , 且采光较差。因此本文推荐深色玻璃加白天窗帘全开的模式(工况 2), 其室内平均温度较工况 3 高 1.2°C , 采光性提高, 较工况 1 可减少室内眩光影响。即, 此模式亦可作为当地直接受益窗设计的一种选择。

4.3.2 客厅围合性分析

针对调研中发现的集中搬迁建筑客厅与楼梯间直接相通未围合的空间布局, 为得到其围合性对室内热环境及能耗的影响, 模拟围合、非围合两种工况下的室内温度和采暖热负荷。采暖负荷

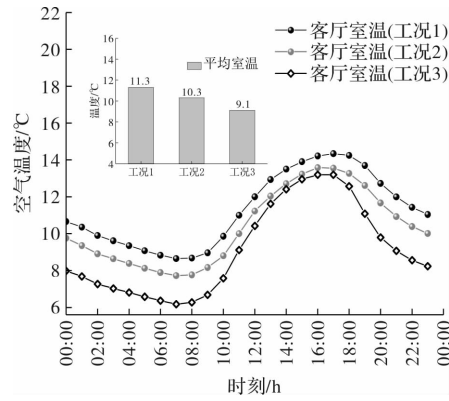


图9 玻璃颜色及窗帘运行模式对室内温度及负荷的模拟结果

Fig. 9 Simulation result of indoor temperature and heating load in different glass colors and curtain operation modes

计算中,室内计算温度均设为 18°C ,采暖房间为客厅和卧室.具体结果如下:

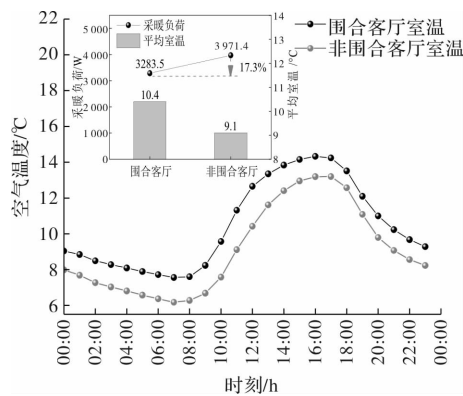


图10 不同围合性客厅室温、采暖负荷模拟结果

Fig. 10 Simulation result of indoor temperature and heating load in different enclosing living room models

由图10所示,围合、非围合客厅平均温度分别为 10.4°C 和 9.1°C ;围合较非围合客厅温度升高 1.3°C ,且冬季采暖热负荷降低 17.3% ,因此,提高房间围合性有利于改善室内热环境,降低采暖负荷。

5 结论

为了解现今集中搬迁建筑室内热环境现状,更全面分析影响室内热环境的因素,本文通过对典型新建建筑进行冬季热环境测试,与旧建筑对比,并结合模拟分析,得到主要结论如下:

(1)集中搬迁建筑客厅与传统建筑室温分别为 5.7°C 和 4.9°C ,新建建筑室温仅提高 0.8°C ,室内热环境仍有待改善,因此除更全面、规范的使用被动太阳能设计外,冬季还应采暖,即选择主被动结合的采暖方式。

(2)南向采用深色玻璃+白天窗帘全开的模式与现在常用的透明玻璃+白天窗帘闭合模式相比,室内平均温度升高 1.2°C ,采光性提高,其亦为当地直接受益窗设计提供了一种选择依据。

(3)提高客厅围合性可以使室内平均温度升高 1.3°C ,负荷降低 17.3% 。因此,提高客厅围合性也是改善室内热环境的策略之一。

参考文献 References

- [1] PENG Simao, DU Qingyun, LIN Aiwen, et al. Observation and estimation of photosynthetically active radiation in Lhasa (Tibetan Plateau)[J]. Advances in Space Research, 2015, 55(6):1604-1612.
- [2] WU Mingyang, LIU Xiaohua, TANG Haida. Simulation analysis on the solar heating system combined with tabs in lhasa, China of Annex 59 [J]. Energy Procedia, 2015, 78:2439-2444.
- [3] WANG Yong, YANG Xun, XIONG Teng, et al. Performance evaluation approach for solar heat storage systems using phase change material [J]. Energy & Buildings, 2017, 155:115-127.
- [4] 王登甲,刘艳峰,刘加平. 青藏高原被动太阳能建筑供暖性能实验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2015, 41(2):269-274.
WANG Dengjia, LIU Yanfeng, LIU Jiaping, Experiments analysis on the heating performance of the passive solar house in the Qinghai-Tibet plateau[J], Sichuan Building Science, 2015, 41(2):269-274.
- [5] SI Pengfei, FENG Ya, LV Yuexia, et al. An optimization method applied to active solar energy systems for buildings in cold plateau areas-The case of Lhasa [J]. Applied Energy, 2016.
- [6] 西藏自治区统计局. 西藏统计年鉴 2013[M]. 北京:中国统计出版社,2013.
Tibet Autonomous Bureau of Statistics. Tibet Statistical Yearbook 2013 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.
- [7] LI En. Passive design strategy on residential buildings for sustainable development of Lhasa [S]. Fukuoka: Kyushu University, 2013.
- [8] 桑国臣. 西藏高原低能耗居住建筑构造体系研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2009.
SANG Guochen. Study on construction system of low-energy consumption residential buildings in Tibet Plateau [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2009.
- [9] 刘艳峰,王登甲,刘加平,等. 拉萨市建筑冬季热环境影响因素测试分析[J]. 建筑科学, 2010(8):23-26.

- LIU Yanfeng, WANG Dengjia, LIU Jiaping, et al. Measurement study on influence factors of building indoor thermal environment in winter in lhasa[J], Building Science, 2010(8):23-26.
- [10] 刘艳峰,刘加平,杨柳,等. 拉萨地区被动太阳能传统民居测试研究[J]. 太阳能学报, 2008, 29(4).
LIU Yanfeng, LIU Jiaping, YANG Liu, et al. Measuring study of passive solar house for traditional dwelling building in Lhasa area[J], Acta Energiae Solaris Sinica, 2008, 29(4).
- [11] 黄凌江,邓传力,兰兵. 拉萨乡村传统民居与新式民居冬季室内热环境对比分析[J]. 建筑科学, 2012, 28(12):61-66.
HUANG Lingjiang, DENG Chuanli, LAN Bing, Comparative study on indoor thermal environment in winter of modern and traditional rural dwellings in lhasa[J], Building Science, 2012, 28(12):61-66.
- [12] 李恩,刘加平,杨柳. 拉萨市直接受益式太阳房居住建筑被动式设计优化研究[J]. 工业建筑, 2012, 42(2):27-32.
LI En, LIU Jiaping, YANG Liu, Research on the passive design optimization of direct solar fain house for residential buildings in Lhasa[J], Industrial Construction, 2012, 42(2):27-32.
- [13] 李恩,杨柳,刘加平. 拉萨市附加阳光间式住宅建筑被动式优化设计研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2016, 48(2):258-264.
LI En, YANG Liu, LIU Jiaping Analysis on the passive design optimization for residential buildings in Lhasa based on the case study of attached sunroom system for apartment buildings[J], Journal of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2016, 48(2):258-264.
- [14] SHAO Nina, ZHANG Jili, MA Liangdong. Analysis on indoor thermal environment and optimization on design parameters of rural residence [J]. Journal of Building Engineering, 2017, 12:229-238.
- [15] 陈洪根. 建筑外窗保温节能改善探讨[J]. 城乡建设, 2010(35):247-249.
CHEN Honggen, Discussion on energy saving improvement of building exterior window insulation[J], Urban and Rural Development, 2010(35):247-249.
- [16] ASHRAE. Thermal Environmental Condition for Human Occupancy: ASHRAE Standard 55-2013 [S]. ASHRAE Standards Committee, 2013.
- [17] 中华人民共和国建设部. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范:GB50736-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of P. R. China. Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings: GB50736-2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.

(编辑 桂智刚)

(上接第103页)

- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南(试行)(下):低影响开发雨水系统构建[J]. 建筑砌块与砌块建筑, 2015(2):42-52.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Technical guide for sponge city construction(Trial Implementation) (II): Construction of rainwater system with low impact development [J]. Building Block & Block Construction, 2015(2):42-52.
- [9] 朱强,俞孔坚,李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度[J]. 生态学报, 2005, 25(9):2406-2412.
ZHU Qiang, YU Kongjian, LI Dihua. The width of ecological corridor in landscape planning[J]. Journal of ecology, 2005, 25(9):2406-2412.
- [10] 中国建筑标准设计研究院. 城市道路与开放空间低影响开发雨水设施:15MR105[S]. 北京:中国计划出版社, 2016:4-18.
China Academy of Architectural Standard Design. Low impact development stormwater facilities of urban roads and open space: 15MR105 [S]. Beijing: China Planning Press, 2016:4-18.
- [11] 陈宏亮. 基于低影响开发的道路雨水系统衔接关系研究[D]. 北京:北京建筑大学, 2013:19-24.
CHEN Hongliang. Study on the connection relationship of urban road rainwater system based on low impact development[D]. Beijing: Beijing Architecture University, 2013:19-24.
- [12] 郭文韬,曹隆恭. 中国传统农业与现代农业[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1986:131-132.
GUO Wentao, CAO Longgong. Chinese traditional agriculture and modern agriculture[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1986:131-132.

(编辑 桂智刚)