

# 康巴藏区传统民居冬季热环境

刘大龙<sup>1,2</sup>, 张习龙<sup>1</sup>, 杨 柳<sup>1,2</sup>, 何 泉<sup>1,2</sup>

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 71055; 2. 陕西省西部绿色建筑协同创新中心, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 康巴藏区地处我国高原高寒地区, 气候条件严酷, 冬季御寒是当地传统民居面临的主要问题。对该区域内昌都和甘孜两地民居进行了冬季室内外热环境测试, 量化了当地民居冬季热环境状态, 测试表明: 两地民居冬季室内热环境质量差。分析了形成原因主要是外围护结构保温性差。通过模拟分析给出了昌都地区民居外墙传热系数的优化取值。

**关键词:** 康巴藏区; 民居; 室内热环境; 传热系数

中图分类号: TU831.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2016)02-0254-04

## Winter thermal environment of traditional folk house in Kangba Tibetan area

LIU Dalong<sup>1,2</sup>, ZHANG Xilong<sup>1</sup>, YANG Liu<sup>1,2</sup>, HE Quan<sup>1,2</sup>

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

2. Shaanxi provincial collaborative innovation centre of green building in western, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Kangba Tibetan area is located in the cold region in China. There the climate conditions are so harsh that the thermal environment quality of traditional folk house is poor. The thermal environment of local folk houses was quantified by testing both indoor and outdoor thermal environment in Changdu and Ganzi regions. The main causes of poor thermal environment are due to their weak envelope insulation. The optimized heat transfer coefficient value of exterior wall and roof for fold house in Changdu was given.

**Key words:** Kangba Tibetan; fold house; indoor thermal environment; heat transfer coefficient

位于青藏高原腹地和川藏高原西北部的康巴藏区是中国3大藏族聚居区之一, 在中国西南边疆具有重要的战略地位。康巴藏区地处高原高寒地区, 气候严酷, 当地人民在传统的宗教观和审美意识的影响下, 因山就势, 顺应自然建造出了被称为“凝固在川藏大地上的建筑符号”传统民居<sup>[1]</sup>。康巴民居以较为原始的技术、就地取材满足了雪域高原严酷气候条件下人们基本的生存需要。随着我国经济的不断发展和人们对舒适居住环境需求的提高, 我国高原地区民居普遍存在在室内热环境差, 用能缺乏规划、节能发展落后等问题<sup>[2-3]</sup>, 康巴民居也存在上述问题, 急需得到改善, 这也是保护康巴民居现实可持续发展的迫切需要。

## 1 测试对象及设备

藏东、川西同属特提斯地质构造, 都属于康巴藏区<sup>[4]</sup>。在建筑热工分区中, 该地区属于寒冷地区, 建筑以防寒保温设计为主<sup>[5]</sup>。课题组于2013年1月在藏东昌都、2013年12月在川西甘孜分别选择当地典型传统民居开展室外气候条件和建筑热工测试。测试内容包括室外空气温湿度、太阳辐射量、民居内各房间的室内的温湿度以及平均辐射温度。测试项目和仪器见表1。

表1 室内外热环境各分项测试设备

Tab.1 Measuring instrument for indoor/outdoor thermal environment

测试项目	测试仪器	仪器参数
室内外温湿度	175-H2自计式温湿度计	操作温度: -20.0~70.0℃, 精度+/-3.0%rF, 分辨率+/-0.1%rF
太阳辐射	TBD-1/2辐射计	测量范围0~2 000 W/m <sup>2</sup> , 灵敏度系数11.958 μV/(W·m <sup>-2</sup> )
MRT	TR四通温度仪	测温范围-20℃~50℃, 精度0.1℃

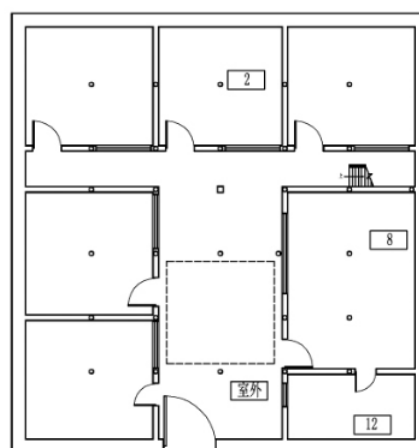


图1 藏东昌都民居一层平面图

Fig.1 Location of first floor of folk house in Changdu of east Tibet

藏东昌都被测民居位于西藏昌都县齐齿街社

区 184-1#. 一层平面如图 1 所示, 主要包括客厅兼厨房、出租房间和储藏; 二层为卧室、经堂和储藏, 局部用木板加盖了出租房。一层外墙为石块砌筑, 厚度 550 mm, 内墙为土坯, 二层为混凝土空心砌块, 厚度 200 mm. 屋顶为覆土构造, 厚度约 500 mm. 一层房间 8 设有简易采暖设施, 此外其他房间均无采暖设施。

川西甘孜被测民居位于四川省甘孜州康定县雅拉乡中谷村, 该建筑南偏西 $40^{\circ}$ , 共两层, 一层为牲畜圈, 二层为住宅, 西南部设置透明的阳光棚, 墙体为片石泥浆砌筑而成, 墙体厚 $400\sim 500$  mm. 屋顶为覆土构造, 厚度约 500 mm. 窗户为塑钢单层玻璃窗, 二层平面图见图 2. 各房间均无采暖设施。

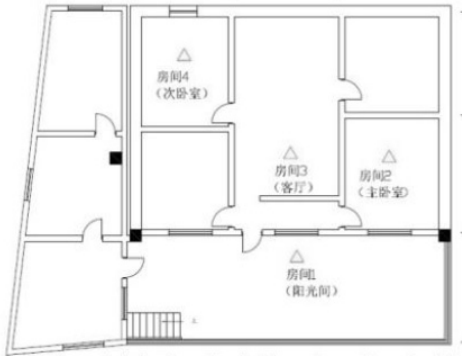


图2 川西甘孜民居二层平面图  
Fig.2 Location of first floor of folk house in Ganzi of west Sichuan

## 2 康巴藏区民居热环境现状分析

### 2.1 室外辐射条件

图3~4分别为昌都和甘孜的室外辐射强度分布图。两地冬季辐射以直射辐射为主, 水平面总辐射最高值均出现在北京时间中午13点, 昌都辐射最大值为 $735\text{ W/m}^2$ , 甘孜为 $687\text{ W/m}^2$ 。昌都日总辐射强度为 $3\,366.2\text{ W/m}^2$ , 甘孜为 $3\,296.0\text{ W/m}^2$ , 昌都地区辐射强度略高于康定地区。有效辐射时间为 $9:30\sim 17:00$ 时之间。辐射数据分析表明: 两地冬季辐射中直射比例高、辐射强度高、辐射资源丰富, 适于开展被动式太阳能采暖设计。

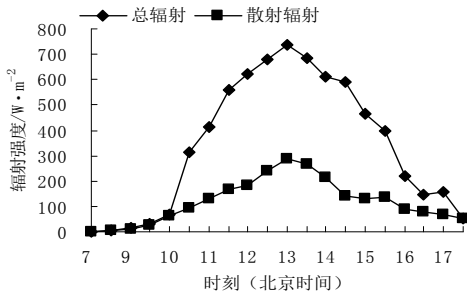


图3 昌都太阳辐射强度  
Fig.3 Solar radiation in Changdu

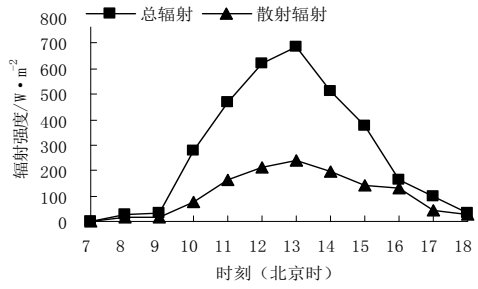


图4 甘孜太阳辐射强度  
Fig.4 Solar radiation in Ganzi

图3~4分别为昌都和甘孜的室外辐射强度分布图。两地冬季辐射以直射辐射为主, 水平面总辐射最高值均出现在北京时间中午13点, 昌都辐射最大值为 $735\text{ W/m}^2$ , 甘孜为 $687\text{ W/m}^2$ 。昌都日总辐射强度为 $3\,366.2\text{ W/m}^2$ , 甘孜为 $3\,296.0\text{ W/m}^2$ , 昌都地区辐射强度略高于康定地区。有效辐射时间为 $9:30\sim 17:00$ 时之间。辐射数据分析表明: 两地冬季辐射中直射比例高、辐射强度高、辐射资源丰富, 适于开展被动式太阳能采暖设计。

### 3. 2室内热环境要素

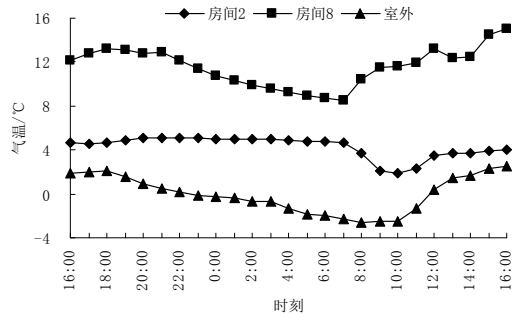


图5 昌都民居室内外温度  
Fig.5 Air temperature of indoor/outdoor folk house in Changdu

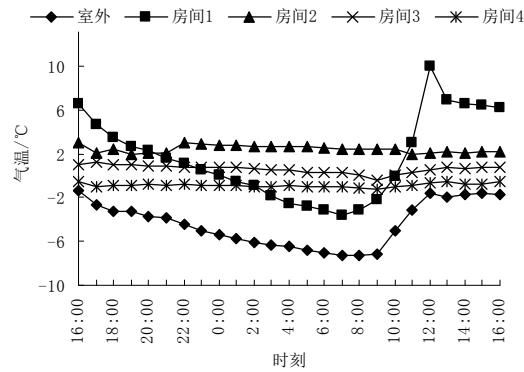


图6 甘孜民居室内外温度  
Fig.6 Air temperature in indoor/outdoor folk house in Ganzi

图5-6分别为昌都和康定民居室内外气温曲线。测试当日, 昌都室外平均温度为 $0^{\circ}\text{C}$ ; 房间8为主要使用房间, 室内有热源, 平均温度为 $11.6^{\circ}\text{C}$ ; 房间2无热源, 平均温度为 $4.3^{\circ}\text{C}$ 。甘孜室外平均温

度为 $-4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 房间1为附加阳光间, 平均温度为 $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 房间2紧邻阳光间偏南, 平均温度为 $2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 房间3与阳光间相隔一走廊, 平均温度为 $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 房间4偏北, 平均温度为 $-0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 室内均无热源。

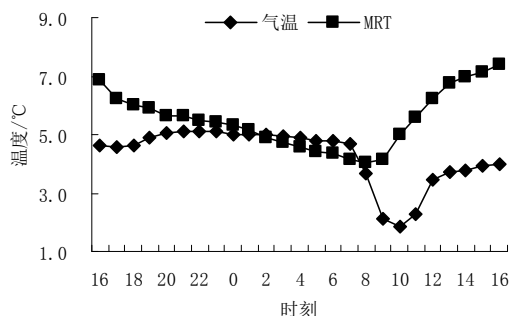


图7 昌都民居MRT与室温

Fig.7 MRT vs air temperature of Changdu

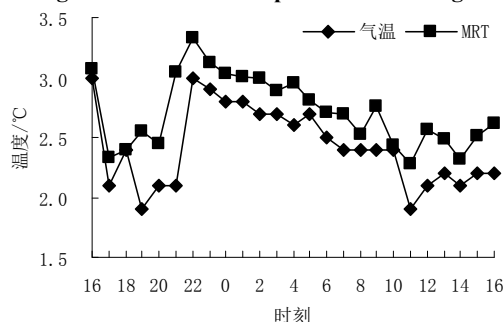


图8 甘孜民居MRT与室温

Fig.8 MRT vs air temperature of Ganzi

围护结构内壁面与人体间产生的辐射热交换对人体冷热感具有重要影响, MRT是室内辐射换热量的标志, 是影响室内热舒适性的的重要因素<sup>[6-7]</sup>。在室内微气候中, 气温与MRT温差很大时, 热辐射的影响就非常大, 产生平均辐射温度问题<sup>[8]</sup>。因此在分析MRT对室内热环境影响时必须与室内空气温度综合考虑。图7为昌都民居房间的MRT与室内气温曲线, 图8为康定民居房间的MRT与室内气温曲线。昌都民居平均MRT为 $5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 比平均室温高 $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 甘孜民居平均MRT为 $2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 比平均室温高 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

测试当日, 昌都室外平均相对湿度为40%, 室内平均相对湿度为16%; 康定室外平均相对湿度为64%, 室内平均相对湿度为58%, 其中阳光间平均湿度相对较低为43%, 主要是受太阳辐射影响, 湿度降低。

### 3 康巴藏区民居热环境及改善分析

#### 3.1 两地民居室内热环境对比分析

通过测试发现: 昌都、甘孜两地民居地处高原地区, 冬季室外寒冷而辐射资源富足。在无热源情况下, 两地民居室内平均气温与MRT均低于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

明显偏低; 在有间歇性简易采暖设施条件下, 室内气温也偏低, 远离舒适温度<sup>[9]</sup>。从建筑围护结构传热性能分析, 两地民居外墙都为石材砌筑, 昌都民居为石块, 平均传热系数为 $1.27\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , 甘孜民居外墙为片石泥浆砌筑, 平均传热系数为 $1.39\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。两地民居建筑围护结构传热系数远低于寒冷地区节能标准要求, 墙体保温性差, 室内热舒适度严重不足。因此两地民居热工性能偏低, 且对太阳辐射利用不足。

分析图3-8综合对比昌都、甘孜两民居热工性能。从测试日室外气候条件看, 昌都地区的辐射略微强于甘孜地区, 平均气温比甘孜高 $4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 因此昌都地区室外热环境略优于甘孜地区。以北向无热源房间对比(昌都房间2与甘孜房间4), 昌都民居室内气温明显高于甘孜民居, 这是室外气候条件造成的差异。甘孜民居引入了“阳光间”的设计, 在房间外侧搭建了“附加阳光间”, 使得相邻“阳光间”房间室温显著高于北向, 发挥了太阳辐射的热作用。但是, 该民居处于山谷中受制于地形限制, 建筑朝向不利于充分利用太阳辐射热。从围护结构来看, 甘孜民居传热系数略微优于昌都民居, 但是甘孜民居围护结构气密性较差, 室内外相对湿度很接近, 且室内湿度显著高于昌都民居, 使得室内升温比昌都民居更困难。

#### 3.2 康巴藏区民居热环境改善分析

两地民居热工性能差是造成室内热环境差的主要原因。昌都现有民居其传热系数与该地节能标准限值相差甚远, 建筑保温性差。本文以昌都民居为例, 对其进行围护结构热工性能改善研究。

在寒冷地区提高建筑保温性是改善室内热环境、提高节能性的有效措施。将昌都民居围护结构传热系数直接提高到节能标准要求较为困难, 民居所用建材与城市建筑建材热工特性相差甚远, 同时也不建议完全将城市建材用于民居。因此可将昌都民居现有围护结构传热系数进行适当优化, 从而探寻适宜的改造方案。

图9为采用EnergyPlus模拟的外墙传热系数变化与室内气温的关系曲线, 建筑模型为调研的昌都民居建筑, 外墙传热系数以 $1.27\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 为原始K值, 依次降低10%。从图中可见, 在不改变室外气温及不增加室内热源情况下, 降低传热系数室内气温显著增加。在K值减少30%以内, 室内气温随K值减小线性增加。当传热系数降低30%, 即约为 $0.9\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 时, 再降低传热系数, 室内气温升高减

缓.考虑成本及改造难度,建议昌都地区现有民居将其外墙传热系数降低30%.图10为墙体传热系数降低30%情况下,降低屋顶传热系数对应的室内气温曲线.该曲线表明,减小屋顶传热系数可以有效减少室内热损失.当屋顶传热系数减小30%以上时,室温升温增强.但改变屋顶传热系数对室温影响小于墙体传热系数减小的影响.综合分析,通过提高墙体保温性能可有效改善室内热环境质量.

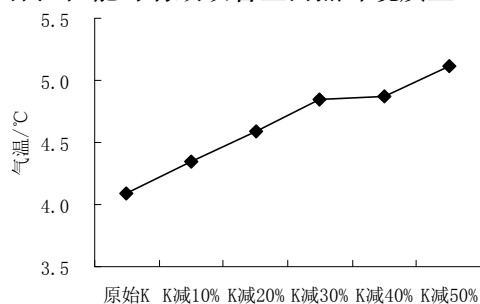


图9 昌都民居外墙传热系数与室内气温

Fig.9 K-value of exterior wall vs air temperature of folk house in Changdu

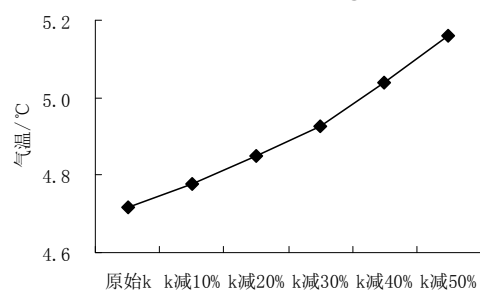


图10 昌都民居屋顶传热系数与室内气温

Fig.10 K-value of roof vs air temperature of folk house in Changdu

## 4 结论

(1) 对康巴藏区的昌都和甘孜传统民居进行冬季室内外热环境测试发现,两地室外气候寒冷,民居室内热环境远离舒适要求;

(2) 昌都、甘孜两地民居外围护结构保温性差,这是导致室内热环境质量差的主要原因;

(3) 模拟分析表明,考虑室内气温兼顾实践性,建议将现有昌都地区民居外墙传热系数减小30%,屋顶传热系数减小50%以上,通过提高外墙保温性能来改善室内热环境质量.

## 参考文献 References

- [1] 杨嘉铭. 康巴文化综述[J]. 西华大学学报(哲学社会科学版),2008,27(4):9-17.  
YANG Jiamin..Brief introduction of Kang-Pa culture[J].Journal of Xihua University (Philosophy & Social Sciences), 2008,27(4):9-17.
- [2] 刘加平,杨柳,刘艳峰,等.西藏高原低能耗建筑设计关键技术研究与应用[J].中国工程科学,2011(10):40-46.  
LIU Jiaping,YANG Liu,LIU Yanfeng,et al. Key technological research and application of low energy consumption building design in Tibet[J]. Engineering Sciences, 2011(10): 40-46.
- [3] 谢浩.高海拔地区生态建筑热环境及设计策略研究[D].成都:西南交通大学,2014.  
XIE Hao. Research on interior thermal environment of Architectural design based on high altitudes[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.
- [4] 胡世华,罗代锡,李开元.藏东川西三叠系沉积相及其构造意义[J].青藏高原地质文集,1983(2): 107-128.  
HU Shihua,LUO Daixi, LI Kaiyuan.Triassic sedimentary facies in east Xizang-west sishuan and their tectonic significance[J].The Geology of the Qinghai-Xizang Plateau, 1983(2):107-128.
- [5] 刘加平. 建筑物理[M]. 4版.北京: 中国建筑工业出版社,2010.  
LIU Jiaping. Architectural Physics[M]. 4th ed. Beijing: China Architecture & Building Press. 2010.
- [6] 葛凤华,刘巽俊,王春清.平均辐射温度与辐射供暖、辐射供冷[J].吉林建筑工程学院学报,2006,23(2):45-48.  
GE Fenghua,LIU Xunjun,WANG Chunqing. Mean radiation temperature and radiant heating or cooling[J].Journal of Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, 2006,23(2):45-48.
- [7] Al-HOMOUD Mohammad S, ABDOU Adel A, BUDAIWI Ismail M. Assessment of monitored energy use and thermal comfort conditions in mosques in hot-humid climates[J]. Energy and Buildings, 2009, 41(6): 607-614.
- [8] 刘加平,杨柳. 室内热环境设计[M].北京:建筑工业出版社,2005.  
LIU Jiaping, YANG Liu. Design of indoor thermal environment[M].Beijing: China Architecture & Building Press. 2005.
- [9] 民用建筑室内热湿环境评价标准:GB/T 50785-2012 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.  
Evaluation standard for indoor thermal environment in civil buildings:GB/T 50785-2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2012.

(编辑 桂智刚)