

四川红原牧民新居室内热环境测试研究

席欢 万婷 涂卫国

(四川省自然资源科学研究院, 四川成都 610015)

【摘要】 以四川省阿坝州红原县典型新建定居房为研究对象, 在冬夏两季典型气候条件下, 对太阳辐射强度、温度、湿度等室内热环境参数进行测试, 并分析了各参数的变化特点。基于测试数据, 总结出红原县民居建筑的优点和不足, 提出改善策略。

【关键词】 高原民居; 室内热环境; 环境测试

【中图分类号】 TU111. 19+1; TK018

【文献标志码】 A

【文章编号】 1005—8141(2016)12—1477—05

近年来随着我国新农村建设的深入推进, 牧民定居点建设和帐篷新生活的开展, 川I西北高原地区群众的生产生活条件得到了明显改善, 基本实现了定居条件下的现代牧区产业发展。但实践中, 仍存在盲目照搬内地建筑模式、无适应性的技术手段、节能环保概念不深入等问题。川西北地区地处青藏高原东麓, 生态环境极为脆弱, 提高人居环境质量迫在眉睫。本项目针对特定地理环境与气候条件下, 对高原民居及外围环境进行可持续节能研究, 以川西北高原典型聚落与民居建筑为研究对象, 采用冬夏两季气候调研和环境测试分析, 分别从村镇空间结构形态、建筑群体组合、基础设施建设等方面作为不同空间层级上的建筑设计和村镇设计工作提出适宜高原气候的技术性建议, 进一步补充和完善特殊地域建筑节能模式, 推动川I西北地区的可再生能源利用和环境保护工作。

1、研究对象

实地考察地区为四川省阿坝州红原县。红原县是川西北地区藏族聚居地之一, 县域总人口4. 72万人(2014年), 其中, 藏族人口3. 99万人, 占总人口的84. 6%, 人口自然增长率为7. 2%。红原县是阿坝州唯一一个以藏族聚居为主的纯牧业县, 城镇化率为30. 73%。测试对象选择位于红原县瓦切镇的牧民新村, 为典型的民居建筑。

1. 1研究区域气候特征

红原县地处青藏高原东部, 位于四川省西北部、阿坝藏族羌族自治州中部, 地理坐标 $31^{\circ} 50' - 33^{\circ} 22' N$ 、 $101^{\circ} 51' - 103^{\circ} 23' E$, 海拔3507m, 呈大陆性高原寒温带季风气候。气候的主要特征为: 寒冷, 四季难以明显划分, 春秋短促, 长冬无夏, 热量低; 干旱雨季节分明, 雨热同季; 日照长, 太阳辐射强烈; 灾害性天气多。该区域年平均气温 $1. 4^{\circ}C$, 极端最低气温 $-36^{\circ}C$, 极端最高气温 $26. 0^{\circ}C$, 气温日较差平均 $16. 3^{\circ}C$; 年平均降水量749. 1mm, 80%集中在5—8月; 年均降雪13数76天, 长达3个月; 无明显四季界线, 气候偏冷, 春秋短促, 长冬无夏, 热量低; 年均13照时数2158. 7h, 日照时间1970年最长(2644h), 1961年最短(2095h), 光热条件好, 光照充足。该区域在热工分区上属于严寒地区^[1]。红原地区能代表我国川I西北地区典型的气候特征, 该地区民居建筑分为旧有建筑和新建民居, 本项目以新农村建设以来的新建民居建筑作为研究对象。

收稿日期: 2016—10—27; **修订日期:** 2016—11—15

基金项目: 2013年四川省基本科研业务费项目“川西北高原新村建设中民居建筑节能技术与方法研究”。

第一作者及通讯作者简介: 席欢(1983—), 女, 四川省阿坝人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为人居与生态环境保护。

1. 2测试对象

测试民居为单层砖混结构，2009年建成，2010年入住。该建筑属于川西北高原红原县“牧民定居”工程第一批项目，建筑构造与内地普通民居无异，外部形态有体现民族文化的符号，设计和施工均参照西南地区的建筑规范和标准^[6]。该建筑外墙厚约240mm，内墙厚约240mm，内墙采用混合砂浆喷涂料墙面，外墙涂料为普通乳胶漆刷涂，内外墙均有防潮层，但南向、北向、东向、西向墙面均未做保温层。民居为院落式单层建筑，主要由经堂、卧室、客厅、厨房、盥洗室组成。入户地面一级台阶，室内外高差150mm，室内地面采用地板铺设，平开门均选用木制门，窗选用单层玻塑钢窗，屋面采用坡屋顶瓦屋面，设有挤塑聚苯乙烯泡沫塑料板保温层。

民居院落位于红原县瓦切镇，介于 $33^{\circ} 09' 2603''$ N、 $102^{\circ} 42' 8708''$ E之间，海拔高度3491m，总用地面积约880m²，建筑面积220m²。冬季供暖主要采取铁皮火炉间歇式采暖方式^[9]，燃料有煤炭、牛羊干粪、木柴等，主要设在厨房（冬季兼做客厅），其他房间均无采暖设施。夏季光照充足，日间气温高，属于被动式太阳能利用的适宜气候区^[2]，利用被动式方法即可满足日常生活所需温度要求，不需设置辅助降温设备^[5]。

2、测试方案

为了更好地了解所测住宅建筑在夏季的隔热性能和冬季的保温性能，测试选择在当地较典型的气候条件下进行^[14]，即2013年12月、2014年7月最具有代表性的月份进行测试。

2. 1测试时间

测试选择当地较典型的气候条件下进行：冬季测试时间为2013年12月25日12时至12月26日12时，测试日天气为晴，有积雪；夏季测试时间为2014年7月12日12时至7月13日12时，测试日天气为晴。

2. 2测试内容

测试内容包括太阳辐射量、室外空气温度和湿度、室内主要使用房间空气温度和湿度，我们将相关仪器水平放置于测试平面上，周围无遮挡物，室内外参数采集间隔为30min。

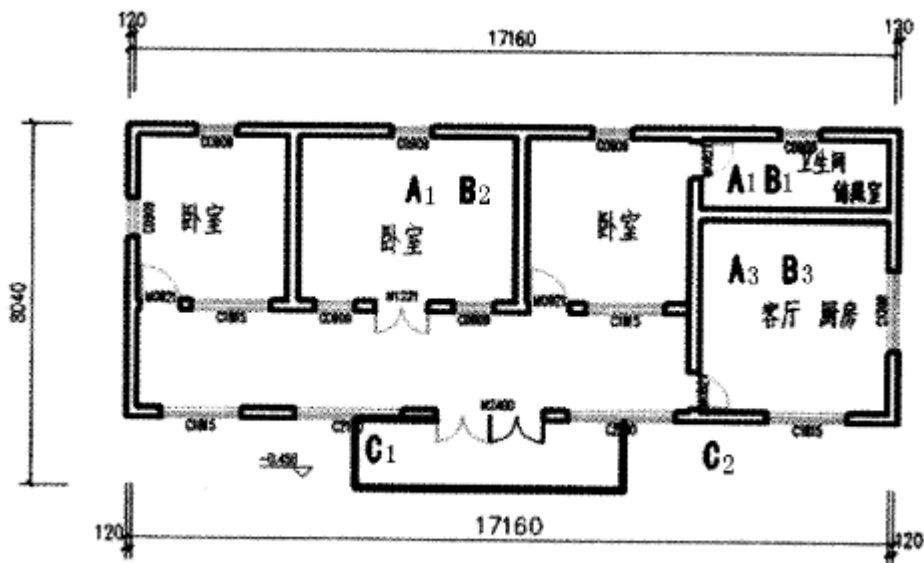


图 1 测试点位分布

2. 3现场测试点位

冬季测试点位包括：卧室(南向) A_2 、卧室(北向) A_1 、厨房(客厅) A_3 (图1)；夏季测试点位包括：卧室(南向) B_2 、卧室(北向) B_1 、厨房(客厅) B_3 (图1)。室外温度测试点选择太阳直射处 C_1 、南墙屋檐下 C_2 (图1)。

3、研究内容与结果

3. 1冬季测试结果及分析

室外气象情况：从图2可见，现场试验记录的有效日照时间为9:00—14:30，日照时间内太阳总辐射的平均强度约为 $296.16\text{ W}/\text{m}^2$ ，太阳辐射强度的最高值为 $553.02\text{ W}/\text{m}^2$ ，出现在中午12:00前后。太阳直射辐射强度占总辐射量的70.3%。温度记录采取24h不间断，每隔0.5h采集一次数据。从图3可见，冬季室外空气温度总体较低，范围为一 $25.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $3.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最高温度在14:00前后，最低温度出现在7:00左右，平均气温为一 $10.44\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，昼夜温差可达 $29.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

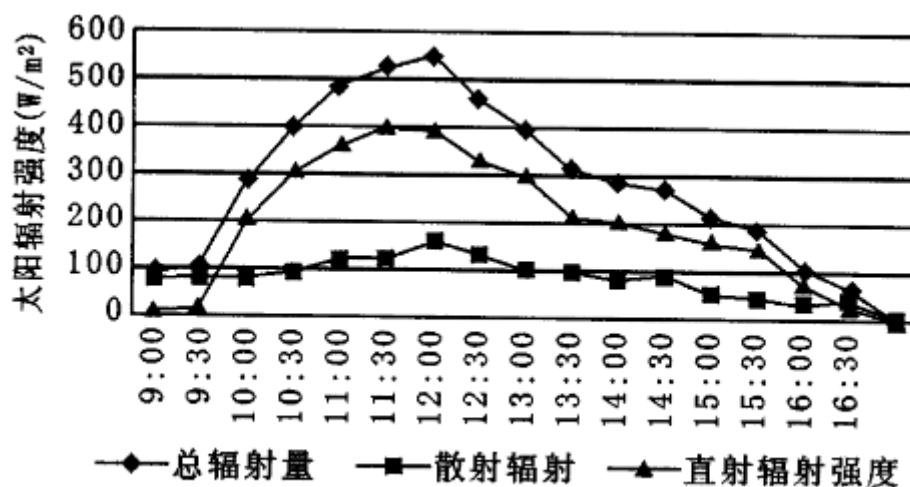


图 2 冬季室外太阳辐射强度

空气湿度记录采取24h不间断，每隔1h收集记录一次数据，冬季室外空气相对湿度在9.7%—58.6%之间浮动，平均湿度为40.57%。根据冬季室外气象数据可见，实验地区冬季气温低、空气干燥、太阳光照充足。冬季室内空气温度的测试结果见图3，较之室外空气温度，各测试房间的室内温差相对稳定。由图3可知，南向房间A₂温度为2.8—16.6℃，平均温度为9.11℃；北向房间A₁温度为-11.9—-6.9℃，平均温度为-9.56℃；阳光房A₃的空气温度为9.8—25.6℃，平均温度为18.7℃。

根据分析可见，冬季测试区域的整体气温较低，虽然相对于室外，各室内使用房间的温度波动不大，但建筑整体的蓄热效果差、昼夜温差大。尤其是北向房间A₁平均温度接近-10℃，不能满足人体舒适度的要求。主要原因有：①在规划建设初期，当地可利用的地形选择余地小，施工按照四川内地“坐南朝北”修建经验进行修建。到了冬季，日照时间短，造成北向房间受光照明明显不足，受热差、储热低。②照搬四川内地修建经验，所有房间开窗几乎一样，北向房间窗墙面积比过大，增加了夜间的热量损失，房间蓄热保温功能基本丧失。③外墙达不到保温要求。由于该区域行政区域划分属于西南地区，按照西南地区建筑设计的相关规范，所有外墙均采用240mm的空心砖砌筑，围护结构达不到寒冷地区的保温要求。④北向房间为非采暖房，当地人一般将该房间用作储藏室，建筑空间未得到有效利用。

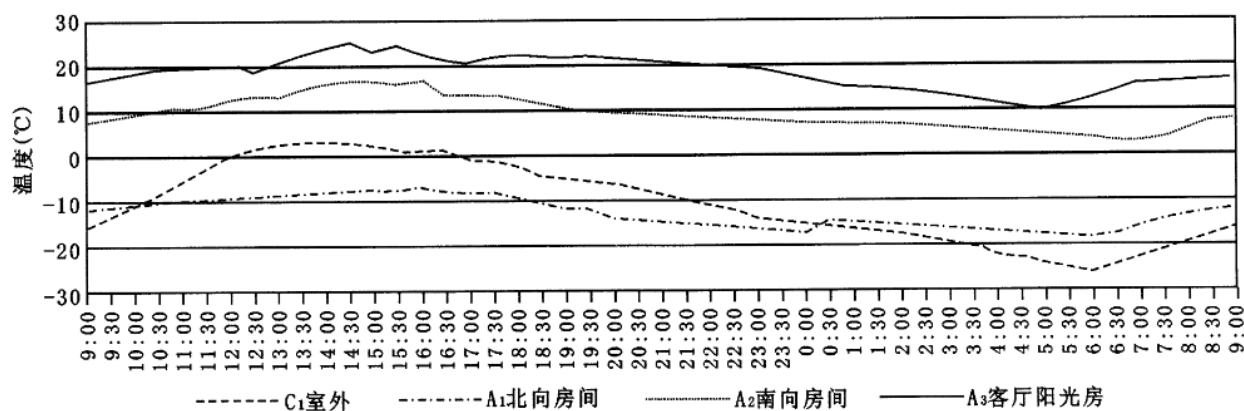


图3 冬季室内外空气温度

南向房间A₂与A₁一样均为非采暖房间，A₂窗墙面积比达0.6，但A₂与室外之间相隔一个走廊空间，所以保温效果相对较好。从图3可见，南向房间A₂的最高温度出现在16:00前后，比室外最高温出现时延迟了2h，最低温度出现在晨间6:30—7:00时间段，比室外最低温出现延迟了0.5—1h。从图3还可看出，A₂在所有显示中最平稳，说明空气变化最平稳。上述走廊空间起到了隔绝室外空气，帮助A₂起到稳定气温的作用，但A₂除了10:30—19:30的日照时间内空气温度在10℃以上，其余均在10℃以下，总体仍偏寒冷，尤其在夜间达到4.5℃以下，不能满足人体舒适度的要求。

阳光房A₃在冬季是兼做厨房、客厅的采暖式使用房间，是冬季人们的主要活动空间。由于是阳光房，所以窗墙面积比较大，达到0.6，白天接受的太阳辐射多，平均温度比其他房间高10℃以上，最高温度比南向房间A₂高9℃。A₃的总体温度基本上能满足人体舒适度的需求，但窗墙面积比大，容易造成夜间散热快，蓄热能力不足。好在该房间兼做厨房用途，加之当地冬季有长时间采暖的习惯，弥补了温度不足的情况。

室内湿度：从图4可见，南向房间A₁的相对湿度在15.5%—50.6%，平均湿度为37.8%；北向房间A₂的相对湿度在40.7%—38.9%，平均湿度为40.1%；阳光房A₃的相对湿度在29.3%—16.9%，平均湿度为23.5%。各房间的数据显示，南向房间A₁的相对湿度波动最大，北向房间A₂的相对湿度平均值最大，说明最潮湿；A₂和A₃空气湿度波动相对较小，一方面是由于A₂的使用频率较低，人们进出影响较小；另一方面是由于A₃采暖影响了空气湿度，使A₃整体空气极为干燥。图3、图4可见，空气湿度与温度有一定关系，北向房间A₂的平均温度最低，空气相对湿度最高，阳光房A₃平均温度最高，空气相对湿度最低。通过分析可见，冬季测试地区各使用房间空气都较干燥，需要采用增湿措施来提高人体的舒适度。

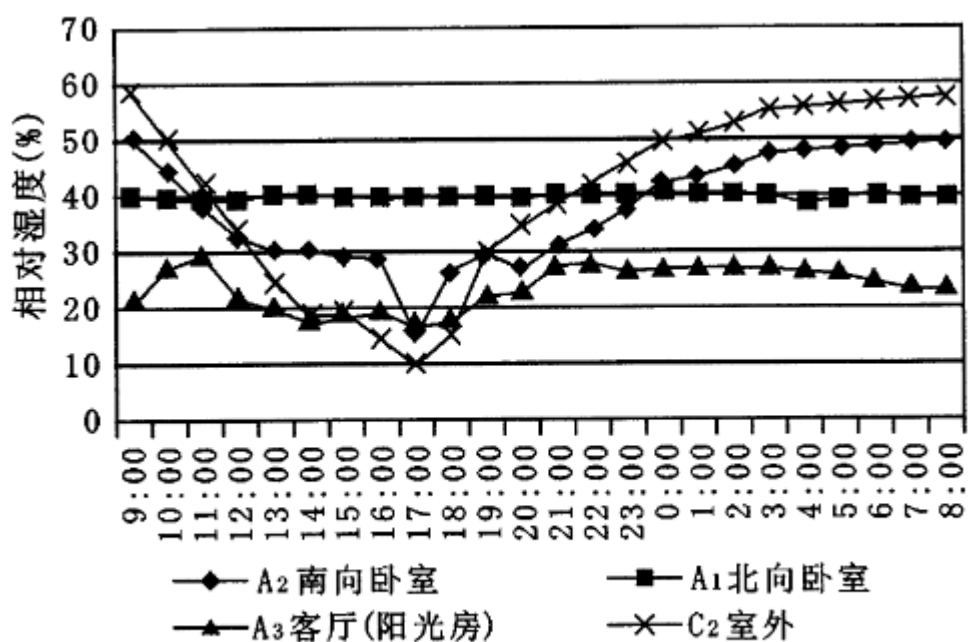


图 4 冬季室内外湿度

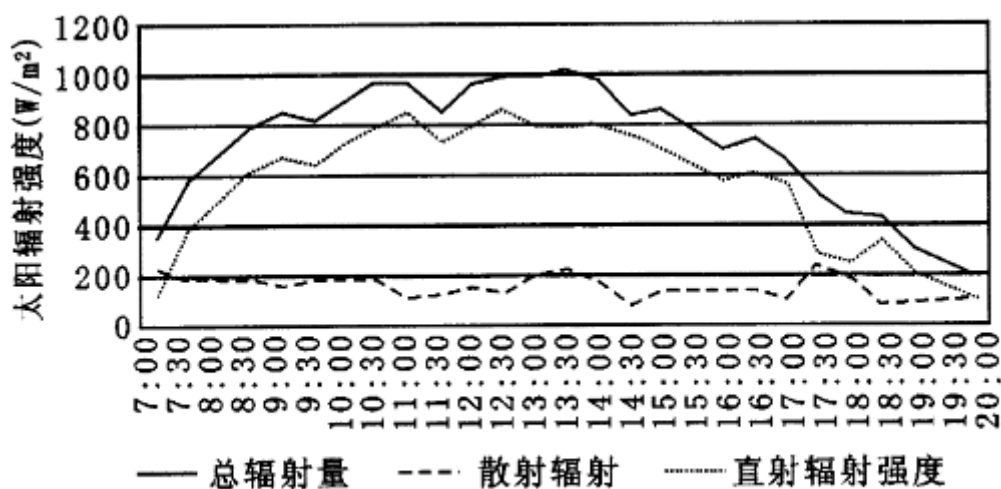
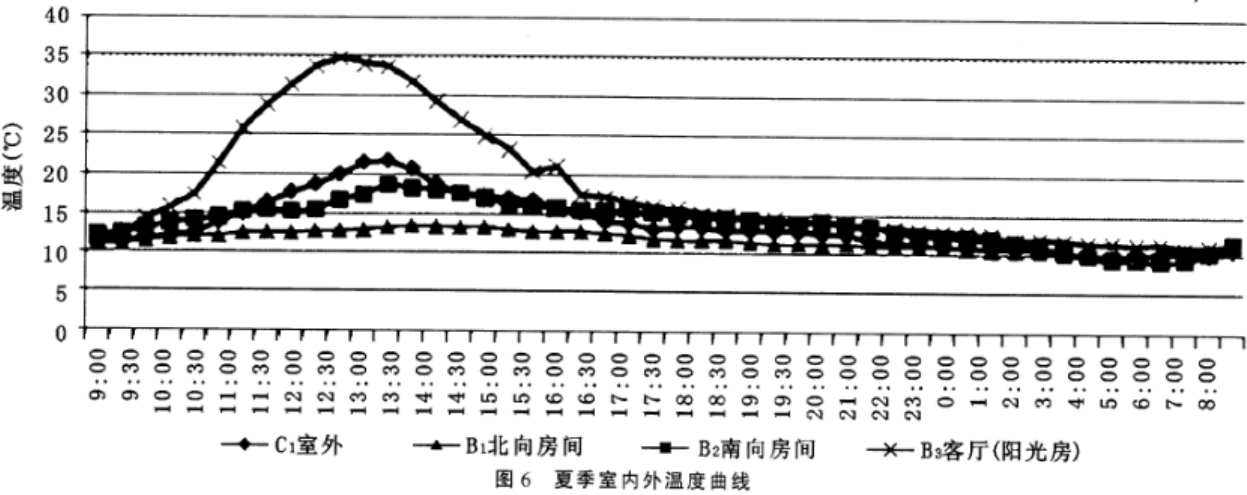


图 5 夏季室外太阳辐射强度

3. 2夏季测试结果及分析

室外气象情况：从图5可见，现场试验记录的有效日照时间为7:00—20:00，日照时间内太阳总辐射平均强度约为728.58W/m²，太阳辐射强度的最高值为1022.35W/m²，出现在中午13:30前后，太阳直射辐射强度占总辐射量的78.2%。温度记录采取24h不间断，每隔半小时采集一次数据。图5的数据显示，夏季室内外空气温度基本保持在10℃以上，室外温度范围在10—21.8℃，最高温度在13:30前后，最低温度出现在6:00左右，平均气温13.8℃，昼夜温差在10℃左右，比冬季的温度平稳。空气湿度记录也采取24h不间断，每隔1h收集记录一次数据。从图4显示，夏季室外空气相对湿度在45.3%—74.5%之间浮动，平均湿度为63.8%。总结冬季室外气象数据可见，实验地区夏季气温温和，湿度适宜，太阳辐射量大，一般不需要人工制冷即能满足生产生活需求。

室内温度：由图6可知，南向房间B₂的室内温度为9.2—18.7℃，平均温度为13.9℃；北向房间B₁的室内温度为10—13.5℃，平均温度为11.8℃；阳光房B₃的室内温度在11—34.9℃，平均温度为18.1℃。



通过对夏季室温的分析以及与冬季整体温度对比求。可见，夏季测试地区整体气温舒适凉爽、室外温差大，达到11.8℃。各房间室内温度相对平稳，南向房间B₂，整体温度高于北向房间B₁。这是由于无论冬夏，南面始终接受的太阳光照强度和时间充足，而且南向房间B₂有一个内廊起到保温作用。值得一提的是，南向房间24h中的最高温度出现在午后15:00左右，说明内廊对温度保持起到了一定的作用，使最高温延后^[13]根据数据分析得知，即使在盛夏，除了阳光房取以外，其他房间均没有出现过热现象，这是由于整个建筑采用一般维护结构和一般尺寸的门窗，使房间散热性能好，不容易聚集热量，气温平稳。阳光房B₃由于采光充足，在正午太阳辐射最强时，温度升高快，容易达到35℃左右，人体感觉炎热，需要开窗散热；但到日落时，辐射变小，阳光房的围护结构保温性能差，散热快，温度很快降至10℃左右，昼夜温差大。整体来讲，夏季各房间室内温度较为舒适，不需要额外的采暖或降温措施。

室内湿度：从图7可见，南向房间B₂的相对湿度在50.1%—57.5%之间，平均湿度为53.5%；北向房间B₁的相对湿度在51.1%—58.5%之间，平均湿度为54.6%；阳光房B₃的相对湿度在24.6%—69.4%之间，平均湿度为50.9%。

通过以上分析可知，夏季当地居民有良好的室内湿度环境，除阳光房B₃随着温度变化空气相对湿度波动明显外，其他房间相对湿度均在50%左右波动。根据《室内空气质量标准》(GB / T18883—2002)，夏季室内不制冷空气相对湿度标准值为30%—60%^[12]，此时最为舒适。即南向房间和北向房间均能基本满足人体舒适度的要求，人体感觉舒适。总体而言，夏季测试地区的室内相对湿度是适宜的，可以满足人体舒适度的需求。

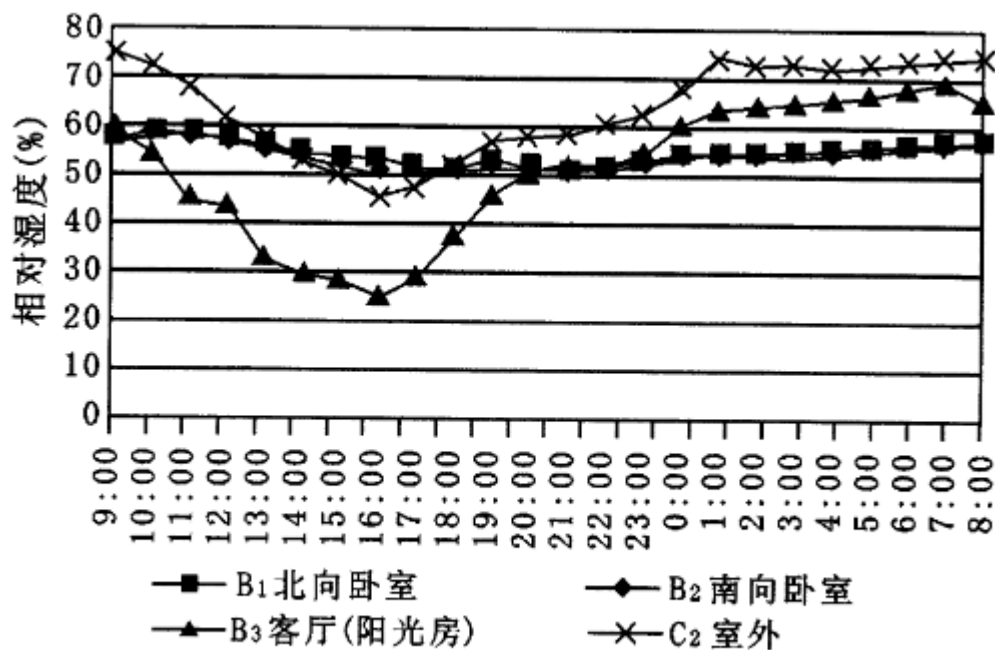


图 7 夏季空气相对湿度

4、结论

通过对红原县瓦切乡牧民新村定居点新建民居建筑的冬夏两季室内外环境测试研究，得出以下结论：①测试地区长冬夏短，冬季气候严寒，夏季凉爽舒适，光照充足，太阳辐射资源丰富。特别是在夏季，该地区不需采用额外的空调降温措施，利用被动式太阳能储能，完全能够满足日常生活的需求^[7]。在冬季寒冷的气候条件下，可采用被动式和主动式相结合的方式，补充被动式太阳能能源的不足，满足日常采暖的需求^[11]。②测试建筑的围护结构是按照内地标准修建的，外围护结构不能满足冬季保暖需求，夏季散热较快^[10]。单层玻璃窗保温密闭性能差，夜间散热和冷风渗透是造成热量损失的主要途径。为了增强围护结构的保暖功能，建议引入高能有效的保温材料，如加设聚苯板等材料作为保温层。③门窗比例不合理。该区域的门窗是按照规范尺寸进行组装装配，北向房间窗墙面积比过大，房屋蓄热不足。实验数据分析显示，大面积的南向开窗可增加房间内的热能接受能力，提高温度；而北向房开窗会降低室内温度，使房间散热快而寒冷；阳光房在夏季尤其是在正午太阳直射时，温度过高，与开窗面积不适有关。④冬季空气相对湿度属于干燥，各房间都应采取增加湿度的措施；夏季空气湿度适宜，不需要额外增加湿度。

5、建议

根据上述结论，今后在改善红原或者类似地区的新建民居建筑室内热环境方面可采取以下措施：①规划选址。考察当地的地理环境和气候特征，充分考虑未来城乡发展和农牧民生产生活发展的需求，对聚落或民居的选址要有前瞻性，科学规划布局，选择向阳高地，避开山坡背阴面和冬季风通过地带。②空间布局。可对原有建筑空间进行改造，户型以南北朝向为主，客厅和主卧室应有良好朝向，以利于寒冷地区建筑保暖。室内平面布局干湿分离、动静分开，根据牧民生活习惯设置经堂和藏式客厅。采用房前布置庭院的方式，尽量保证每个房间都能自然采光和通风。③围护结构处理。如果将实心砖统一更换为空心砖，这样既能提高保温性能，又能减轻30%的质量。可在原有基础上增加外墙厚度，由240mm增加到360—480mm，并在外立面增设保温层，以增强外围护结构的保温蓄热性能，降低热损耗。④门窗屋面处理。首先是减小内向房间的开窗面积，甚至不开窗，以减小冬季散热，增加北向房屋的蓄热能力。适当在阳光房增开窗户，可将窗户换成双层塑钢窗，这样既不影响阳光房接收太阳热量，又可解决散热过快的问题。此外，屋面可增加聚苯板保温层。⑤建筑能源与生产生活方式。牧民新村定居点的投入使用，本身

就是牧区生活的一次质变，对牧民生产生活产生了巨大改变^[15]，但如何更好地适应现代环境，创造更为舒适的适应当地环境的人居生存环境，如大力普及被动式太阳能利用、被动式太阳房知识^[3]、太阳能热水器使用及日常保养维护，解决现代能源与传统能源的冲突，还需要做很多工作。

参考文献:

- [1]刘加平. 建筑物理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000: 11—13.
- [2]杨柳. 建筑气候学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 17.
- [3]JGJ / T267—2012被动式太阳能建筑技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 4.
- [4]杨柳, 朱新荣, 刘艳峰, 等. 西藏自治区《居住建筑节能设计标准》编制说明[J]. 暖通空调, 2010, 40(9): 51—54.
- [5]王登甲, 刘艳峰, 王怡. 拉萨市住宅建筑冬季室内热环境测试评价[J]. 建筑科学, 2011, 27(12): 20—24.
- [6]中国建筑科学院. GB50176—93民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国标准出版社. 1993.
- [7]王玉群, 王俊乐. 西藏太阳能开发存在的问题及几点建议[J]. 西藏科技, 2007, (2): 26—28.
- [8]Zhang Yinzi, Atsushi Deguehi, Liu Jiaping. Thermal Comfort of Tibetan People in Indoor Space[C]. // 2010年建筑环境科学与技术国际学术会议论文集[c]. 南京: 东南大学出版社, 2010: 101—110.
- [9]达瓦扎西, 黄凌江. 西藏传统平顶民居建筑气候适应性策略及其文化转意[J]. 华中建筑, 2012, (4): 171—174.
- [10]刘晶. 夏热冬冷地区自然通风建筑室内热环境与人体热舒适的研究[D]. 重庆: 重庆大学硕士学位论文, 2007.
- [11]刘红, 郑文茜, 李百战, 等. 夏热冬冷地区非采暖空调建筑室内热环境行为适应性[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2011, 42(6): 1805—1812.
- [12]李百战, 景胜蓝, 王清勤, 等. 国家标准《民用建筑室内热湿环境评价标准》介绍[J]. 暖通空调, 2013, 43(3): 1—6.
- [13]王丽娟, 王芳, 刘加平, 等. 和顺某家庭旅馆室内热环境研究[J]. 土木工程学报, 2010, (S2): 426—429.
- [14]王昭俊. 王刚, 廉乐明. 室内热环境研究历史与现状[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 33(6): 97—101.
- [15]李丽萍. 藏族民居中采暖与不采暖房间热环境研究[J]. 建筑科学, 2009. 25(4): 44—49.