

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.05.005

甘南农区藏式传统民居热环境

孙贺江,冷木吉

(天津大学室内空气环境控制天津市重点实验室,天津 300072)

摘要:对甘肃省甘南藏族自治州迭部县哇曲村典型藏式民居冬、夏季室内外温湿度的测量,分析得出了藏族传统民居建筑热环境状况。结果表明:结合当地的历史、地理、气候等因素,哇曲村形成了独特的村落构成和单体民居建筑构造。藏族传统民居外围护结构具有较好的热工性能,建筑热环境的被动式调节使室内热舒适状况需要通过综合的、节能的手段来进一步改善。

关键词:传统民居;围护结构;室内热环境

中图分类号:TU831.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2014)05-0029-08

Analysis of Thermal Environment in Tibetan Traditional Dwelling Building in Rural Area of Gannan

Sun Hejiang, Leng Muji

(Key Laboratory of Indoor Air Environment Quality Control, Tianjin University, Tianjin 300072, P. R. China)

Abstract: Thermal environment is analyzed based on the field measurements of indoor and outdoor temperature and humidity of a typical Tibetan traditional dwelling in a village of Gannan Tibetan Autonomous Prefecture, Gansu province in winter and summer. Results show that the combination of local factors such as history, geography, climate, unique local-style dwelling houses building structure and monomer structure. The structure (envelope) of traditional Tibetan dwelling has a good thermal performance. Passive methods should be used to build thermal environment constructions. Further improvement for indoor thermal comfort conditions through comprehensive and energy-saving heating are needed.

Key words: traditional dwelling; building envelope; indoor thermal environment

20世纪90年代中国的热环境现场调研研究在“适应性模型”大范围推广的背景下拉开了序幕。王芳^[1]等对怒江中游河谷地区民居冬季室内热环境进行了评价与分析。朱轶韵^[2]等针对银川地区农村建筑研究提出了适合西北农村建筑冬季热舒适温度不应低于15℃的室内热环境指标。目前,藏族传统民居的研究主要集中在文化层面和建筑构造层面上,少数涉及藏族传统民居热环境的研究也主要集中在西藏地区以及云南等^[3-6],安多藏区尤其是安多农区

传统民居的研究少之又少。为了更好地研究安多农区藏族传统民居的热环境现状以及生态适宜性,本文对甘南迭部县哇曲村典型藏族传统民居进行了冬夏季室内外温湿度等测量,对典型日室内热环境进行了分析和对比。

1 迭部农区气候特点

迭部处青藏高原东北边缘,甘肃甘南藏族自治州南部,海拔1 600~4 900 m。北纬33°41'20"~

收稿日期:2014-02-10

作者简介:孙贺江(1976-),男,博士,副教授,主要从事建筑环境控制与建筑节能研究,(E-mail)sunhe@tju.edu.cn.

34°17'30", 东经 103°00'37"~104°04'35", 根据建筑热气候分区, 迭部最冷月平均温度为 $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 日平均温度低于或等于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时间达到 164 d, 属于寒冷地区。建筑应满足冬季保温要求, 部分地区兼顾夏季防热。

1.1 太阳辐射

迭部地区日照时间长, 太阳辐射照度大。年总辐射量 $497.4\text{ kJ}/\text{cm}^2$ 。表 1 是 1991—2010 年该区的日照平均时数和太阳月总辐射。该区全年平均日照时间为 2 267.4 h, 10 月至翌年 3 月日照时数 1 147~1 291 h, 日照率 51%~54%。多数月份日照时间平均每天超过 8 h, 且空气污染较小, 大气透明度较高。按中国太阳能资源分布属于三类地区, 具有利用太阳能的良好自然条件。

表 1 太阳辐射与日照时数

月份	日照时数/h	月总辐射/(MJ·m ⁻²)
1	197.5	273.2
2	177.9	313.0
3	190.6	447.8
4	201.8	558.4
5	200.9	625.7
6	183.7	495.3
7	198.5	737.4
8	201.8	516.3
9	153.0	365.5
10	164.6	358.7
11	196.4	285.8
12	200.7	237.7

1.2 空气温度

根据建筑热气候分区, 迭部属于“应设置供暖设施”地区, 迭部冬季供暖设计室外气象参数如表 2。

冬无严寒、夏无酷暑是迭部的气候特征, 年平均气温 $7.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。12 月至翌年 2 月的极端最低气温一般在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。年平均风速 2.0 m/s 。根据当地气象资料中提供的迭部月平均气温数据, 如表 3 所示。最冷月和最热月平均气温分别为 $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $17.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。夏季平均日较差在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。冬季平均日较差在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。较大的日较差使建筑供暖负荷日波动幅度较大。

表 2 迭部农区冬季供暖设计室外气象参数

年平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	冬季通风室外计算温度/ $^{\circ}\text{C}$	供暖室外计算温度/ $^{\circ}\text{C}$	冬季室外计算相对湿度/%	极端最低气温/ $^{\circ}\text{C}$
7.4	-8.9	-9.9	65	-24.3

1.3 相对湿度

迭部农区由于森林覆盖面积广、依山傍水的地理因素, 使得该地环境相对湿度较大。夏季月平均相对湿度较大, 总维持在 70% 以上。冬季采暖季平均相对湿度为 50% 左右。

2 迭部藏式传统民居概况

迭部境内村落传统民居充分结合了当地的资源, 形成了独特的民居构造。民居多为 2 层, 坐北朝南。东、西、北 3 面围护结构是纵向由厚渐薄收分的版筑夯土墙。在 3 面围护结构围合的内部由木质柱梁搭接房屋框架, 然后进行南向围护结构的修筑。夯土墙内表面和内部生活空间由木板材隔断。迭部境内的藏族传统民居屋面以及 2 层地面的做法相同。在搭建的梁骨架上依次附以厚木板、木屑、生土夯实。民居正南向多附加具有明显高差的小起居室, 考虑其遮挡民居即采用高窗采光。民居 2 层多用作储藏空间, 南向 2 层采用的外墙材料各异, 较多采用砖墙部分围合或编制竹条、内外糊泥的方式, 部分也采用不加南向外围护的做法。

表 3 月平均干球温度和月平均相对湿度

月份	月平均最高温度/ $^{\circ}\text{C}$	月平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	月平均最低温度/ $^{\circ}\text{C}$	月相对湿度/%
1	3.8	-3.5	-13.1	53
2	7.5	0.2	-9.2	52
3	8.6	4.4	-4.2	57
4	15.3	9.0	0.8	59
5	17.8	12.2	5.4	66
6	21.5	14.9	6.8	73
7	21.0	17.3	10.3	74
8	21.6	16.7	11.3	74
9	17.0	13.3	6.9	76
10	14.6	7.7	1.1	73
11	7.6	2.1	-6.8	62
12	5.3	-2.5	-10.0	56

3 传统民居室内热环境测试

研究对象选取迭部县哇曲村典型住户, 如图 1。两层民居坐北朝南, 1 层为大的生活起居空间, 2 层主要用于储存秸秆、牛羊草料以及堆放农具等, 夯土平屋顶。版筑生土外墙厚度为 300 mm。单层的建筑面积为 80 m^2 , 层高 3.8 m 。主房的东侧为 1 层小

起居室,房屋构造及建造方法和主房的方法一致。面积约为 48 m^2 ,层高 3 m ,南向外侧带有太阳房。



图1 藏式传统民居

冬季测试主要是对室内外温湿度的测量。夏季测试在此基础上测试了室内黑球温度、围护结构内表面温度以及围护结构的传热系数。此外,对夏季主房室内热舒适情况进行了问卷调查。藏居冬季测试时间为2013年2月,夏季为2013年7月。由于数据繁多,选取冬季测试晴天2月10日以及夏季测试典型天7月23日进行分析。采用的仪器包括黑球温度计、自记式温湿度仪、红外测温枪和热流计。

3.1 测试结果

3.1.1 环境参数 经过对现场测试数据的分析整理,获取了迭部地区冬、夏季热环境参数的基本特征。

冬季典型天气2月10日环境平均温度为 $-1.3 \text{ }^\circ\text{C}$,室外温度最高值为 $11.1 \text{ }^\circ\text{C}$,最低值为 $-10.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 。夏季7月23日环境温度介于 $9.6 \sim 26.6 \text{ }^\circ\text{C}$,平均温度为 $17.7 \text{ }^\circ\text{C}$ 。冬季测试天室外相对湿度在 $15\% \sim 75.4\%$ 之间变化,平均相对湿度为 48.7% ;夏季相对湿度均值为 64.1% ,波动区间为 $28.5\% \sim 88.3\%$ 。

3.1.2 室内温湿度 迭部地区冬、夏季藏式民居住宅的热环境参数基本特征如图2~5,其中 T_{out} 表示测试天环境温度, $T_{\text{in,small}}$ 和 $T_{\text{in,big}}$ 分别表示小起居室和大起居室内温度,相对湿度与温度下标对应。

冬季室内热环境参数测量分为传统薪柴采暖与未采暖两种工况。在全天不间断采暖的小起居室内室内平均温度在测试天内可以达到 $17.5 \text{ }^\circ\text{C}$,室内温度总体维持在 $12.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 之上,最高温度值可达 $21.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。室内相对湿度受室温影响,分布在 $29.5\% \sim 69.9\%$ 。未采暖的情况下,室内温度介于 $-2 \sim 4.5 \text{ }^\circ\text{C}$,全天室温平均值为 $2.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 。室内相对湿度维持在 44.6% 左右,波动范围为 $40.3\% \sim 48.4\%$ 。

夏季藏居住户炊事、生活热水制备使用薪柴燃烧热,其余时间室内无此热源。因此小起居室内空气温度值均在 $17.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 之上,最高值为 $23.4 \text{ }^\circ\text{C}$,平均温度达到 $20.6 \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度值在 $37.8\% \sim 72.7\%$ 之间变化,均值为 55.3% 。大起居室温度值

波动范围是在 $14.5 \sim 16.7 \text{ }^\circ\text{C}$,室温均值为 $15.9 \text{ }^\circ\text{C}$,室内温度体现了稳定性变化趋势平缓。相对湿度介于 $71.3\% \sim 79.5\%$,平均相对湿度为 75.5% ,处于高湿的状态。

4 藏式民居热环境影响因素分析

通过对测试结果的分析,藏式民居在冬夏季的热湿环境具有以下明显的特征:在未采暖的情况下,民居室内的热湿环境总体可以呈现一个稳定的状态,测试全天的温度波动值仅在 $2 \sim 3 \text{ }^\circ\text{C}$,湿度值也基本稳定。在冬季热环境条件下,室内温度均值仅为 $2.5 \text{ }^\circ\text{C}$,冬季由于室外温度较低且能源结构单一,藏居超过 $1/2$ 的时间都使用薪柴作为唯一的热量来源。夏季藏居呈现了相对低温、高湿的室内环境。在冬夏季测试中,采暖、人员活动、炊事和生活热水的制备作为除外界环境及围护结构热工性能之外的影响因素制约着室内的热湿环境。

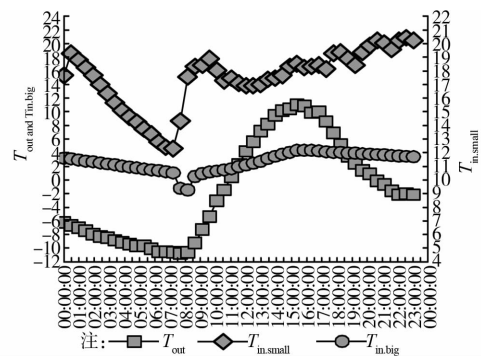


图2 冬季2月10日室内外温度

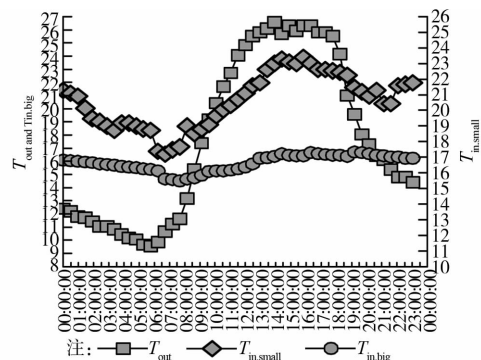


图3 夏季7月23日室内外温度

4.1 农区藏族建筑文化

甘南农区较牧区呈现温润的气候,森林覆盖面积较广。民居建筑依赖天然资源,在夯土墙围合区域采用木材搭接主体框架,以当地珍贵的实木加以纯手工内饰装潢。农区藏居主房一般为贯通的三开间,不做内部分区,起居室内部呈现一个大的整体空

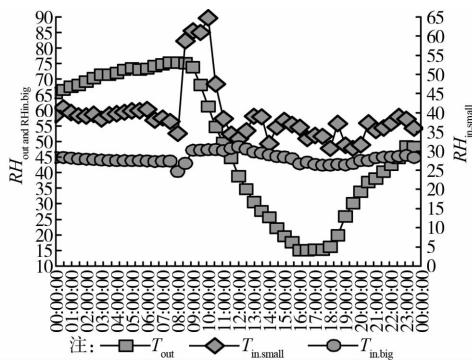


图 4 冬季 2 月 10 日室内外相对湿度

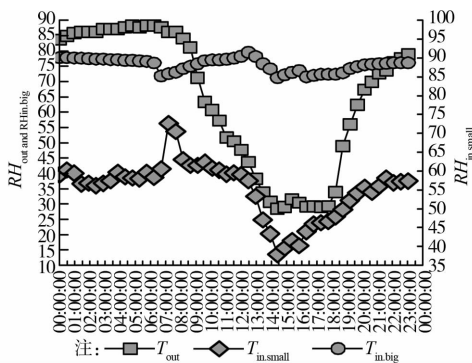


图 5 夏季 7 月 23 日室内外相对湿度

间且层高较高。藏居住户冬季通过烧水及炊事余热加热火炕取暖,但对于三开间的整体藏居空间,住户通常在房间中部设置火炉来作为另一热源来进一步提高内部温度。由于力求夯土墙和内饰装潢板材的完整性,农区民居采用室内烟气等由房间顶部排除的策略,在房间顶棚中部预留尺寸为 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 的出口直通屋面。藏式民居的构建历代传承,大空间、全实木装饰的民居在农区藏族文化中是财富和家庭尊严的象征。因此,以高大空间、中部预留的排烟烟道口与外界直接接触的藏居建筑影响着室内环境的营造。

4.2 太阳辐射对室内环境的影响

由于测试地区位于青藏高原边缘,海拔相对较高,日照时间较长,太阳能资源丰富,加上空气污染较小,大气透明度较高,使得太阳辐射是营造民居舒适环境中的有利因素。根据冬季测试数据中,典型阴、晴天室外温度最高值可分别达到 1.8 、 $11.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,太阳辐射对于室外温度日较差影响明显,继而影响室内环境。藏式民居采用高窗采光,南向窗户尺寸为 $1.8\text{ m} \times 0.8\text{ m}$,共 3 扇。估算窗地比远小于住宅室内最低采光标准值 $1/7$ 。较小的开窗面积不仅影响室内采光,也使室内可直接利用的太阳辐射受到限制。

4.3 藏族生活习惯

由于冬季较低的室内外温度,藏居住户采取生

活空间的转移来适应寒冷的冬季。在当地,小起居室是藏族传统民居中重要的活动空间。由于小起居室冬季通过烧水及炊事余热加热火炕取暖,内部温度较高,空间非常暖和,因此小起居室在全天大部分时间取代了传统意义上的客厅而成为家庭活动的空间,它不仅仅承担普通的炊事功能,也成为家庭所有人的公共活动聚会空间^[8]。这成为了适应热环境而形成的独特的文化习惯。

小起居室冬季采暖时间一般从 $8:00$ 至 $22:00$,超过 $1/2$ 的时间室内都采用薪柴采暖,且测试对象小起居室南向带有太阳房,对室内热环境的改善有不可忽略的贡献。本次测试时间是在春节前夕,按照该地藏族过春节的习惯,家庭成员多数在家。在这样的条件下,冬季晴天室内平均温度为 $17.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.4 农区藏式民居围护结构热工性能

大起居室内环境在室外环境参数和民居围护结构热工特性耦合作用下具有一定的稳定性,温湿度值总是维持在很小的范围内变化,室内温湿度峰值明显滞后与室外峰值。

4.4.1 墙体热工性能理论计算 藏式传统民居以厚重原始夯土组合空气间层和手工制纯木内饰板为墙材。采用复合墙体传热系数计算方法进行围护结构的传热系数以及衰减和延迟计算。

1) 围护结构的传热系数 K

$$R_0 = R_i + R + R_e = \frac{1}{a_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_e}$$

$$K = \frac{1}{R_0} \quad (1)$$

式中: R_i 为内表面热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$); a_i 为表面传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]; R_e 为外表面热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$); a_e 为表面传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]; R 为围护结构热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$); δ 为材料层厚度 (m); λ 为材料热导率 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]; R_0 为围护结构总热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)。

2) 围护结构衰减和延迟

围护结构衰减倍数 ν_0 和延迟时间 ξ ^[9]:

$$\xi = \frac{Z}{360} \left(40.5 \sum D + \arctan \frac{Y_e}{Y_e + a_e \sqrt{2}} - \arctan \frac{Y_n}{Y_n + a_i \sqrt{2}} \right) \nu_0 = 0.9e^{\frac{\sum D}{\sqrt{2}}}$$

$$\frac{S_1 + a_i}{S_1 + Y_{1,e}} \frac{S_2 + Y_{1,e}}{S_2 + Y_{2,e}} \frac{S_3 + Y_{2,e}}{S_3 + Y_{3,e}} \dots \frac{S_n + Y_{n-1,e}}{S_n + Y_{n,e}} \frac{a_e + Y_{n,e}}{a_e}$$

式中: $Y_{1,e}, Y_{2,e}, Y_{n,e}$ 为由内向外各层材料外表面蓄热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]; Y_n, Y_e 为围护结构内外表面蓄热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]。

S_1, S_2, S_n 为 1 ~ n 层材料的蓄热系数 $[W/(m^2 \cdot K)]$, 空气间层蓄热系数值通常取 0。

各层材料的表面蓄热系数为逆热流方向由近及远依次计算。当某层材料的 $D \geq 1.0$ 时, 该层 $Y = S$; 反之, 则各层 Y_i 的计算式为: $Y_i = (R_i S_i^2 + Y_{i-1}) / (1 + R_i Y_{i-1})$ 计算结果如表 4 所示。

夏季实测中, 藏式民居外墙内表面温度均值为

17.1 °C, 温度波动为 16.2~17.8 °C。受南向小起居室室内热环境影响, 且南向墙体高出部分受太阳照射, 表面温度略高于其他朝向外墙。室外温度波幅为 17.0 °C, 民居外墙内表面温度实测波幅为 0.7 °C, 建筑外墙对于室内温度的衰减系数约为 24.3, 延迟时间则约为 8 h。测试结果与计算值基本一致。

表 4 围护结构热工特性

围护结构	材料和厚度/ mm	导热系数/ (W·(m·K) ⁻¹)	热阻/ (K·m ² ·W ⁻¹)	蓄热系数/ (W·(m·K) ⁻¹)	D	ν_0	ξ/h
藏式民居 墙体构造	版筑夯土 300	1.16	0.259	12.99	3.359 5		
	空气间层 150	—	0.150	0	0	29.8	8.95
	内饰实木板 15	0.14	0.107	3.85	0.412 5		

4.4.2 围护结构传热系数验证 对于藏式民居外夯土结构围护结构传热系数, 选用热流计法进行现场测定。

$$K = \frac{1}{(R_e + R + R_i)} \quad R = \frac{(t_2 - t_1)}{(E \cdot C)}$$

式中: t_1, t_2 为围护结构内外表面温度(°C); E 为热流计读数, mV; C 为热流计测头系数, $W/(m^2 \cdot mV)$ 。

根据围护结构传热系数计算公式, 围护结构传热系数巡检仪记录了围护结构热电势 E , 同时使用红外测温枪对围护结构内外表面温度 t_1, t_2 进行了记录。根据理论计算版筑生土外墙传热系数值为 1.46, 在实测值中传热系数均值为 1.719。

5 藏式传统民居室内热环境评价

文献[10]中提到, 藏族人室内热舒适感的温度范围为 17.67~20.3 °C, 通过有效温度法评价了西藏地区符合藏族人体特点的热舒适范围, 并与国际标准 ASHRAE 进行了比较, 冬季西藏人体热舒适温度范围为 18.57~21.2 °C, 相对湿度范围为 30%~90%, 最佳为 40%~70%。

由于地域及民居的差异性, 以中国北方严寒气候区和寒冷气候区的城镇地区室内供暖设计温度不低于 18 °C 和西藏地区热舒适温度范围等来作为评价和改善甘南藏族传统民居室内热舒适的指标缺乏实际意义。为此, 依据冬夏季参数测试及夏季民居室内环境调查问卷, 采用主观温度、由 Fanger 提出的 PMV 热舒适评价方法表 5 及夏季主观调查问卷结果的统计分析对藏式传统民居室内热舒适进行评价。

表 5 PMV 热感觉

PMV	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
热感觉	冷	凉	微凉	适中	微暖	暖	热

5.1 主观温度 t_{ob}

主观温度^[2] t_{ob} 是 D. A. McIntyre 提出的评价室内热环境的指标。在允许的误差范围内, 给出了人体新陈代谢 M 、衣服热阻 R_{clo} 与主观温度 t_{ob} 的简单线性关系。

夏季女性着装为传统藏装: 内衣+薄毛衣+棉马甲+保暖裤+无袖薄藏袍。由于长期在家务农, 着装较为保守, 为了方便劳作, 通常将藏袍长袖系于腰间, 身着棉质马甲。男性着装则趋于汉化: 背心+长袖+薄外套+秋裤+外裤。根据服装热阻计算公式, 该地夏季男女平均服装热阻为 0.96 clo。冬季女性藏装较厚, 为了保暖, 男性也多身着藏袍, 使得冬季人员服装热阻均值为 2 clo。藏居室内风速几乎为零。因此, 冬夏季主观温度计算值分别为 14.9, 21.7 °C。主观温度与 PMV 计算值互为参考, 综合评价室内的热舒适状态。

5.2 热舒适 PMV 评价

冬季典型测试天 2 月 10 日小起居室室内 PMV 值与操作温度 t_{op} 通过线性拟合可以得出:

$$PMV = 0.508 9t_{op} - 8.504 1$$

以 PMV 范围在 -1~+1 时的温度值为室内温度的可接受范围。通过计算测试天内的中性温度分别为 16 °C。可接受温度下限值为 14.6 °C。在 2 月 10 日 PMV 计算值统计中, 以 $-1 \leq PMV \leq 1$ 为热舒适范围, 67.3% 的测试时间点 PMV 值在热舒适的范围内。对比测试中的冬季阴天 22.4% 的统计数

据,晴天热舒适在设定的 PMV 值范围内的时段所占的比率超过了全天时段的一半,热舒适状态明显提高。根据实测数据测量和生活习惯的调研记录,藏居住户起居采暖等无明显变化。晴天太阳辐射成了除全天 1/2 时间段采暖之外小起居室内舒适时间所占百分比高的有利因素。不同于小起居室采用传统薪柴采暖、外加太阳房等,冬季大起居室内温度均在 2~3 °C,整体热舒适状态差。

夏季典型测试天里,小起居室内 PMV 值与操作温度 t_{op} 通过线性拟合可以得出:

$$PMV = 0.524t_{op} - 11.783$$

根据 PMV 计算结果,夏季小起居室内中性温度为 22.5 °C。1%的时间点 PMV 值在 $-1 \leq PMV \leq 1$ 的热舒适范围内。夏季起居室内 PMV 值均小于 1,室内未出现过热的现象。大起居室内温度在测试周期中始终维持在 16 °C 左右,且室内湿度相对较大,室内温度处于偏冷的状态。

5.3 夏季主观问卷

对于夏季藏居住户对室内环境问卷包括两个部分:1)受访者及房屋的基本情况;2)室内温度、湿度、风速和总体热舒适投票评价。问卷采用 ASHRAE 的 7 级热感觉投票,热感觉分为(+3 很热,+2 热,+1 温暖,0 适中,-1 稍冷,-2 很冷,-3 寒冷),湿度感觉分为(+3 十分干燥,+2 一般干燥,+1 稍微干燥,0 适中,-1 稍微潮湿,-2 一般潮湿,-3 十分潮湿),风速感觉分为(+2 有不良吹风感,+1 有适宜吹风感,0 无吹风感,-1 室内较闷,-2 闷);

5.3.1 访谈对象的背景情况 问卷调研访谈的对象为藏式传统民居住户。问卷期间由于藏语沟通、翻译问题,在当地藏文小学教师的协助下完成了问卷访问工作,确保问卷的有效性、可靠性。参与问卷的总人数为 163 人,由于男性多外出打工,男性为 52 人,性别比例为 32%,女性人数为 111 人,占人数比例的 68%。年龄范围从 18~70 岁。受访者主要为青年和中老年。

5.3.2 问卷结果统计 1)对于夏季大起居室内热感觉,全体受访者中 69.0% 认为室内温度稍冷,27.6% 的人认为室内温度适中,3.4% 的人则选择室内温暖。由室内实测温度值可知,夏季晴天室内温度在 1 天的变化幅度在 14.5~16.7 °C 之间,均值为 15.9 °C。藏汉翻译中对于热感觉投票描述介于稍冷和很冷之间,在夏季衣服热阻普遍较高的情况下,夏季室内稍冷的状态是受访者热感觉中不容忽视的。

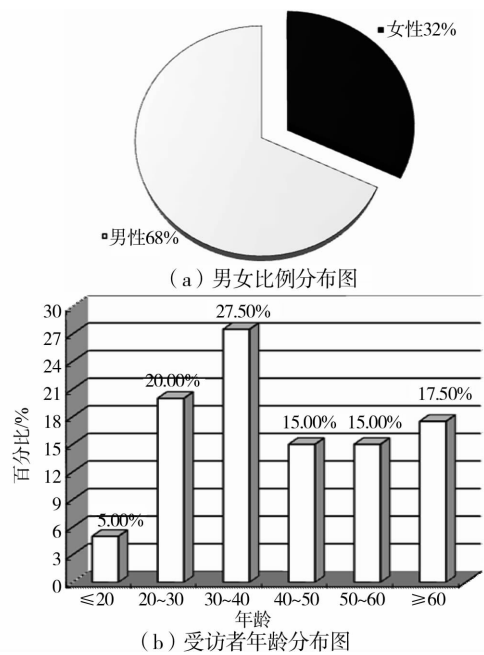


图 6 性别及年龄分布

在夏季实测中,大起居室的室内湿度值日变化在 71%~80% 之间,对于这样的室内湿度值范围,20.7% 的受访者认为室内环境潮湿,48.3% 认为室内湿度稍微潮湿,13.8% 的受访者认为室内湿度适中,17.2% 的人认为室内干燥。由此可知 69% 住户认为室内环境偏潮湿。在调查访问中,受访者向调查人员普遍反映了室内贮存的粮食和肉制品的夏季发霉现象。

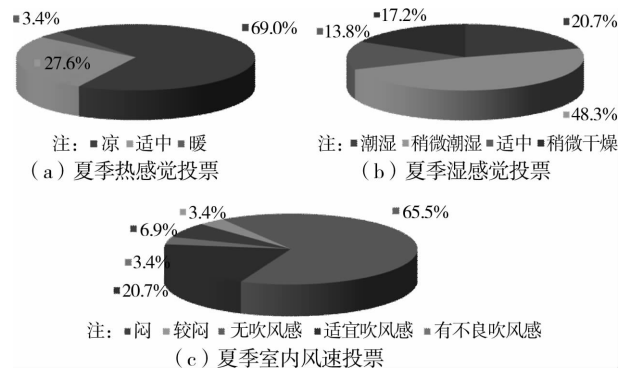


图 7 主观问卷结果

通过对室内风速的调查,65.5% 认为室内无吹风感,3.4% 的受访者感觉室内较闷。由于问卷期间受访者普遍认为室内热感觉偏冷,在相对较冷的环境下,人体对风速变得更敏感,即使在室内在门窗紧闭的条件下,20.7% 的受访者认为室内有适宜吹风感。

2)统计分析问卷信息,女性对于室内热湿环境

更敏感。由于农闲期间,女性做家务在室内逗留时间较长,71%的女性选择室内温度偏冷,且多选择添加衣物来适应室内环境。其余女性受访者认为民居夏季室内温度适中。由于青年男性外出打工者居多,男性受访者集中在中老年人中。65%男性选择室内偏冷,25%的受访者认为室内温度适中。10%的受访者认为室内温暖。根据受访者的年龄分布,20~30及以下年龄段的受访者中22%认为室内偏冷,15%选择室内热感觉为暖。问卷中, ≤ 20 和20~30的年龄层受访者中,78%认为室内热环境适中或稍暖。40以上年龄段通过提高衣服热阻或增加室外活动来适应其认为室内偏冷的环境。

同时,在问卷过程中,藏式民居隔声效果一般也成为普遍的观点。受访者对冬季室内热期望值较高,对于夏季则更关注室内偏冷、潮湿的问题。

6 藏居建筑能耗分析

对民居住户生活调研发现,藏居村落使用的能源种类单一,薪柴作为主要能源承担着冬季室内采暖以及全年的炊事和生活用水等。部分居民会使用电热毯、电饭锅等用电设备,少数收入水平较高的住户冬季会使用煤。手动式太阳能灶、沼气作为清洁能源在当地得到了一定的推广,但由于太阳能灶仅能手动调节,对于木质民居来说将成为巨大的火灾隐患,使用率为零。绿色能源知识普及、产气量和操作是否简便制约了民居内沼气的使用。

根据合理的节能热阻定义,考虑到藏式民居住户对于民居室内环境的适应性,藏式民居外墙最小必须热阻为 $0.374 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,由此单位面积墙体的失热量为 $52.1 \text{ W}/\text{m}^2$ 。理论计算藏式民居外墙热阻为 $0.69 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,远满足最小必须热阻,民居外墙每平米冬季热损失则为 $28.3 \text{ W}/\text{m}^2$ 。参考藏式民居夯土版筑墙的制作工艺,墙体最外侧夯土厚度可厚至 0.5 m ,热阻增加,冬季热损失进一步降低。

现阶段,墙体外保温成为建筑节能降耗的普遍做法。夯土墙外保温施工存在一定的难度,且外加保温也是夯土外围护这一民居建筑特色被掩盖。考虑到若将围护结构以自身施工及外保温施工相对简单的砖墙代替夯土,对室内热环境的营造是否有明显的积极作用?根据村镇民居较普遍的砖墙外加膨胀聚苯板保温的^[9]导热系数及厚度,其热阻值为 $0.94 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$,冬季室内热损失根据公式计算为 $20.7 \text{ W}/\text{m}^2$ 。对比两墙体冬季外墙热损失相近。藏

式民居夯土外墙作为当地建筑文化的特色,且就地取材、低造价使其得到了长久的传承。为了降低冬季墙体热损失,可以通过适当增加版筑夯土墙的厚度来增大墙体热阻值。一般村镇外保温墙体热阻与民居外墙差异相对较小,外墙冬季热损失相差不大。综合考虑到保护和继承民族生态建筑外墙特色、夯土墙良好的热工性能、生土材料的可持续利用以及民居住户的经济实力,传统夯土墙在藏式民居的运用体现了自身的优势。

7 结 论

1)甘南农区藏式民居集中体现为冬季室内温度低。冬季室外平均温度在 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下。测试期间室外最低温度值为 $-10.8 \text{ }^\circ\text{C}$,在冬季晴天薪柴采暖下,活动区域面积集中的小起居室室内温度平均温度可达到 $17.5 \text{ }^\circ\text{C}$,阴天室内温度仅为 $14.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 。夏季当地不会有酷热现象,室外最高温度为 $26.6 \text{ }^\circ\text{C}$,民居室内温度平均值为 $15.9 \text{ }^\circ\text{C}$ 。农区藏式民居为多开间且内部无分隔的高大空间,房间中部大面积排烟烟道直通屋面与外界贯通。高窗采光策略使民居内部利用太阳直射辐射受限。

2)藏族服饰热阻值高,通过室内热舒适评价,农区藏式民居冬、夏季室内热中性温度分别为 $16 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $22.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。冬季晴天,外带太阳房的小起居室在采暖炊事余热下室内平均温度基本满足中性温度值。同时,在夏季问卷中,受访者普遍认为温度偏低且潮湿,与夏季测试中室内平均温度远小于中性温度值的结果吻合。

3)藏式民居墙体由版筑夯土、空气间层以及实木内饰板材组合而成,在制作工艺可实现范围内增加墙体厚度,其热阻值增大,外墙热损失减小。综合考虑到藏式建筑特色、较好的热工性能、生土材料的可持续利用民族习俗和传统,藏式夯土墙在藏式民居的运用具有自身的优势。传统民居热环境的实测与分析以及为其舒适度的实现途径提供科学依据,是对安多农区藏族传统民居研究的初探。

参考文献:

- [1]王芳,陈敬,刘加平.怒江中游河谷地区民居冬季室内热环境评价与分析[J].建筑科学,2011,27(10):40-46.
Wang F, Chen J, Liu J P. Evaluation and analysis on winter indoor thermal environment of dwellings in river valley in the middle part of Nujiang [J]. Building Science, 2011, 27(10): 40-46.

- [2] 朱铁韵,刘加平.西北农村建筑冬季室内热环境研究[J].土木工程学报,2010,43(Sup2):400-404.
Zhu Y Y, Liu J P. Research on the indoor thermal environment of rural architecture in winter in northwestern areas [J]. China Civil Engineering Journal, 2010, 43(Sup2): 40-46.
- [3] 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):391-394.
Liu Y F, Liu J P, Yang L, et al. Measureing study of passive solar house for traditional dwelling building in Lhasa area[J]. Energiae Solaris Sinica, 2008, 29(4): 391-394.
- [4] 王登甲,刘艳峰,王怡,等.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.
Wang D J, Liu Y F, Wang Y, et al. Measurement and evaluation of indoor thermal environment of residential buildings in Lhasa in winter [J]. Building Science, 2011, 27(12): 20-24.
- [5] 黄凌江,冷御寒.林芝地区传统民居冬季室内热环境评价与分析[J].南方建筑,2012,(1):92-96.
Huang L J, Leng Y H. Field study of winter indoor thermal environment of traditional dwelling in Nyingchi, Tibet [J]. South Architecture, 2012(1):92-96.
- [6] 李莉萍.藏族闪片木楞房热环境测试与分析[J].华中建筑,2009,27(11):156-159.
Li L P. Analysis and test of indoor thermal environment of tibetan traditional timber-house in Shangri-la[J]. Huazhong Architecture, 2009, 27(11): 156-159.
- [7] 朱文睿,杨柳,谢栋.陕西汉中乡村建筑热环境与建筑能耗研究[J].建筑技术,2012,43(7):615-618.
Zhu W R, Yang L, Xie D. Hermal environment and building energy consumption study of rural architecture in Shanxi Hanzhong [J]. Architecture Technology, 2012, 43(7): 615-618.
- [8] 达娃扎西,黄凌江.西藏传统平顶民居建筑气候适应策略及其文化转意[J].华中建筑,2012,30(4):171-174.
Dawa Z X, Huang L J. Climatic-responsive design strategies and cultural expression of Tibetan traditional folk building [J]. Huazhong Architecture, 2012, 30(4): 171-174.
- [9] 王登甲,王莹莹,刘艳峰,等.重质围护结构衰减延迟特性研究[C]//2010 BEST-CN 建筑热工和建筑节能,江苏,2010:452-456.
- [10] Atsushi D. 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,南京,2010.
- [11] Liu Y, Yan H Y, Ying X, et al. Residential thermal environment in cold climates at high altitudes and building energy use implications [J]. Energy and Buildings, 2013(62):139-145.
- [12] Han J, Zhang G Q, Zhang Q, et al. Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China [J]. Building and Environment, 2007, 42(12): 4043-4050.
- [13] Yang X, Jiang Y, Yang M. Energy and environment in Chinese rural housing: Current status and future perspective [J]. Frontiers of Energy and Power Engineering in China, 2010, 4(1): 35-46.
- [14] Li Q D, You R Y, Chen C, et al. A field investigation and comparative study of indoor environmental quality in heritage Chinese rural buildings with thick rammed earth [J]. Energy and Buildings, 2013(62):286-293.
- [15] Zhang H B, Yoshino H. Analysis of indoor humidity environment in Chinese residential buildings [J]. Building and Environment, 2010, 45(10): 2132-2140.
- [16] Wei S X, Li M, Lin W X, et al. Parametric studies and evaluations of indoor thermal environment in wet season using a field survey and PMV-PPD method [J]. Energy and Buildings, 2010, 42(6): 799-806.

(编辑 郭飞)