

# 陕南山地民居夏季室内热环境与能耗特性

王 雪<sup>1,2</sup>, 杨 柳<sup>1,2</sup>, 刘加平<sup>1,2</sup>, 成 辉<sup>1,2</sup>, 陈 媛<sup>1</sup>

(1. 省部共建西部绿色建筑国家重点实验室(西安建筑科技大学), 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 陕南山地民居环境存在节能发展落后, 夏季室内热环境差等问题. 为了研究当地室内热环境状态, 提高民居使用舒适和降低能耗, 对该地区典型民居进行夏季室内外热环境测试. 通过测试量化了当地民居夏季热环境状态, 测试表明: 太阳辐射以直射为主, 室外温度昼夜温差大; 民居一层基本可以满足舒适要求, 中间层大部分时间满足舒适要求, 顶层偏离舒适要求. 根据能耗计算结果, 提出陕南山地民居一层和中间层可不设置空调, 顶层受太阳辐射影响空调能耗较高, 应设置隔热构造降低空调能耗.

**关键词:** 陕南地区; 民居; 室内热环境; 平均辐射温度; 能耗

中图分类号: TU831.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2018)04-0563-06

## Indoor thermal environment and energy consumption characteristics of folk houses in mountainous region in Southern Shaanxi in summer

WANG Xue<sup>1,2</sup>, YANG Liu<sup>1,2</sup>, LIU Jiaping<sup>1,2</sup>, CHENG Hui<sup>1,2</sup>, CHEN Yuan<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Green Building in Western China (Xi'an Univ. of Arch. & Tech.), Xi'an, 710055, China;

2. School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an, 710055, China)

**Abstract:** The resident environment in the southern Shaanxi has the problem of energy conservation and development, and the indoor thermal environment is not comfortable in the summer. The thermal environment of local folk houses was quantified by testing both indoor thermal environment and outdoor thermal environment showing that the most part of solar radiation is from direct radiation and the outdoor temperature is shown as two extreme distribution states. The first floor of the house can meet the comfort requirements, the middle part is pleasing to live in most time of a day and top floor is away from the thermal comfort range. According to the calculation result of energy consumption, it is suggested that in the south of Shaanxi, air-conditioner is not needed to set in the first floor and middle floor. As for the top of the building, it is influenced by solar radiation and the energy consumption is high. Thus the insulation structure should be set up to reduce the energy consumption of air conditioner in the top area.

**Key words:** Southern Shaanxi; folk house; indoor thermal environment; mean radiation temperature; energy consumption

民居是我国传统建筑的重要形式, 其适应气候与自然条件, 有许多自然空调通风措施<sup>[1]</sup>, 对现代建筑热环境研究有着重要的意义. 陕南山地民居是我国传统民居中的典型代表之一, 它既有适应山地自然条件, 也有吸纳了北方冬季防寒和南方夏季防热的优点<sup>[2]</sup>. 对当下陕南山地民居的热环境研究, 可以发现传统民居的热环境设计优缺点, 为新民居建筑设计提供建议与方向.

陕南地区地形以山地丘陵为主, 占 90% 以上, 城镇建设选址多为两水交汇交通便利之处, 可用于建筑选址的用地较紧张, 建筑布局多与道路和等高线平行方式布置. 对该地区的建筑环境研究

多为古镇保护<sup>[3-4]</sup>、建筑形态和类型<sup>[5-7]</sup>, 建筑文化特征<sup>[8]</sup>, 被动式建筑设计策略与设计实践<sup>[9-10]</sup>, 对民居热环境品质和建筑能耗方面鲜有研究. 自 20 世纪 90 年代开始, 传统建筑空间营造和建造技术逐渐没落, 而新建造技术营建的建筑运行需要大量能耗<sup>[11]</sup>. 随着我国村镇经济的不断发展和人们对舒适居住环境需求的提高, 当地新建建筑存在节能发展落后问题, 和建筑可持续发展需求.

## 1 民居建筑现状

课题组选择安康市旬阳县蜀河镇民居作为陕南山地典型建筑进行研究. 蜀河连接我国西南、

收稿日期: 2017-07-02

修改稿日期: 2018-07-05

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFC0702400); 陕西省科技厅项目(2013SZ01-Z03); 西安建筑科技大学青年科技基金项目(QN1610)

第一作者: 王 雪(1986—), 女, 博士生, 主要从事建筑热环境研究. E-mail: wangxue19861213@163.com

西北和华中的纽带,蜀河镇是陕南地区中较典型的村镇,位于安康市旬阳县东,蜀河与汉江交汇处西岸,毗邻湖北,系陕南重镇,其人口多为15~17世纪来自全国南方、北方的移民,进入秦巴山中垦植,因此传统建筑受多地建筑文化影响并因地制宜发展,有独具特色的居住建筑形式,具有包容、开放和多元的建筑文化特征<sup>[12]</sup>,蜀河镇地理位置见图1。该地区位于北纬32.93°,处于亚热带北缘,因秦岭阻住了北来的冷空气和海洋来的东南气流,四季分明,夏季七、八月炎热、降水多且多暴雨,冬季从12月起低于0℃至次年3月。

蜀河镇民居建筑主要沿河流和道路布置。平面形式主要为院落式、一字型和一明两岸自然型建筑<sup>[13]</sup>。建筑外围护墙体的材料一般有石材、实心黏土砖、空心水泥砌块等。传统屋面多为坡屋顶并着青瓦,近年来修建的住宅多为平屋顶。由于当地坡地多,较少有场院晾晒,平屋顶可做晾晒用,较受欢迎。

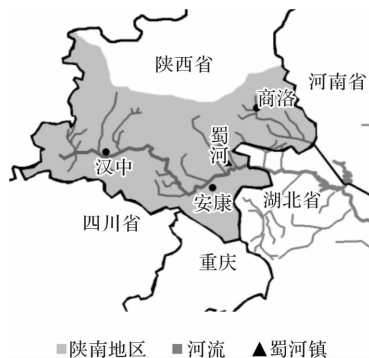


图1 蜀河镇地理位置

Fig. 1 Location of Shuhe Town

大部分蜀河镇青年常年在周边城镇外出务工,一般在本镇会有一套房。调研发现当地人们主流观念为,虽然现阶段在城市工作,但退休后会回到家乡养老。而这部分人群在城市的习惯将在日后体现在村镇生活中。截止2016年7月份蜀河镇家庭拥有降温设备情况为,有98%的家庭有风扇设备,有58%的家庭有空调设备,有19%的家庭中有两套及以上空调设备。

## 2 测试对象及设备

### 2.1 测试对象

该地区在热工分区中属于夏热冬冷地区,建筑设计应满足夏季隔热要求,兼顾冬季保温。测试传统民居位于蜀河镇老街,在原清末民初建筑格局基础上重新翻修。其主体三层,建筑平面形

式是院落式。一层主要有起居室、厨房、餐厅、储藏室,二层以上主要为起居室、卧室和储藏室。一层外墙为实砌180厚砖墙,二层、三层外墙为空心斗砌180厚砖墙。部分屋顶为平屋顶做晾晒用,部分屋顶为抬梁式坡屋顶,坡屋顶下有吊顶。窗户为单框单玻木框窗。一层、三层测试房间相同,位于建筑中部且一测临庭院,二层选择两个房间进行测试,二层房间1位于建筑中部且一侧临庭院,与一、三层位置相同,二层房间2位于建筑角部且两面墙均有开窗,建筑一、二层平面图、剖面和测点位置见图2~4。部分房间有空调设施。

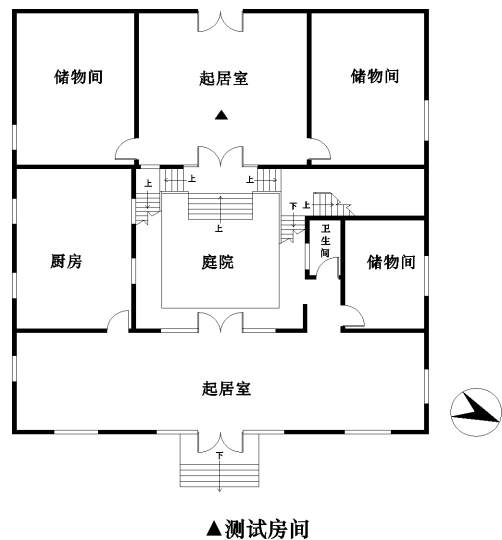
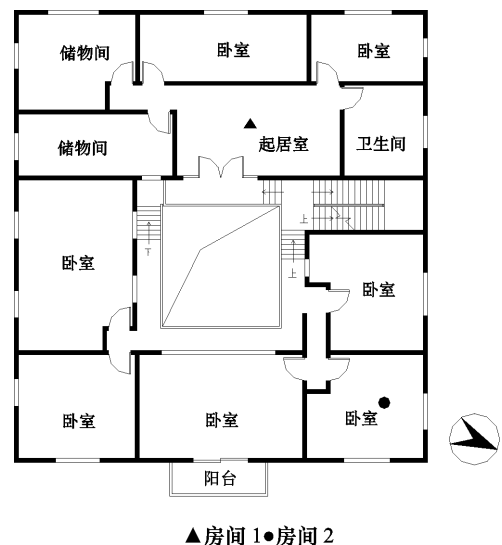


图2 测试民居一层平面图

Fig. 2 Test location of first floor of folk house



▲房间1●房间2

图3 测试民居二层平面图

Fig. 3 Test location of second floor of folk house

### 2.2 测试方案及设备

课题组于2016年8月1日~2日在典型民居进行室外气候条件和建筑热环境24h测试。测试内容包括室外空气温湿度、太阳辐射强度、民居



图 4 测试民居剖面图

Fig. 4 Section of test folk house

内各房间温湿度、风速和平均辐射温度。测试项目和仪器见表 1。在临近的一字型房屋居中房间内测试温湿度做为对比。测试时间段房间均处于自然开门窗状态(早 7 点开门, 晚 9 点关门, 窗户持续开启), 没有开启空调, 人员房间内活动与日常相同, 共有 9 人在此宅中居住。夏季陕南地区受山地影响气象情况多变, 测试日天空晴朗时间占 72%, 晚间 21 点至 22 点有阵雨。

表 1 室内外热环境测试设备

Tab. 1 Measuring instrument for indoor and outdoor thermal environment

测试项目	测试仪器	仪器参数
室内外温湿度	德图 175 温湿度计	量程: $-20\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $0\sim 100\%\text{ RH}$ 分辨率: $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $0.1\%\text{ RH}$
太阳辐射强度	锦州阳光 TBD 辐射计	量程: $0\sim 2\,000\text{ W/m}^2$ , 灵敏度系数: $11.2\text{ }\mu\text{V(W/m}^2)$
MRT	红外测温仪	精度: $\pm 0.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 分辨率: $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$
室内风速	德图 425 微风仪	精度: $\pm 0.05\text{ m/s}$ , 分辨率: $0.01\text{ m/s}$

在测试中还对较近的一栋民宅进行温湿度测试作为对照。

### 3 陕南民居热环境测试分析

#### 3.1 太阳辐射

图 5 显示蜀河镇室外太阳辐射强度分布, 夏季辐射以直射辐射为主, 水平面总辐射最高值出现在北京时间中午 12 点。太阳辐射测试分析表明: 陕南地区夏季太阳辐射直射比例较高, 辐射强度高; 受周边山体遮挡和所在地理环境影响, 早晨直射辐射受山体遮挡出现晚, 而傍晚消退早, 东晒和西晒强度和时间应比同纬度平原地区稍弱和稍短。

#### 3.2 空气温度

图 6~7 为测试日民居居室、卧室、和室外气

温曲线和频率分布百分比图。测试日室外平均温度为  $29.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 最高温度达  $36.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 最低温度为  $24.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 测试日室内各房间平均温度分别为, 一层房间为  $27.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、二层房间 1 为  $29.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 二层房间 2 为  $29.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 三层房间  $30.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 对照房的平均温度为  $31.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。室外气温分布呈两级化, 低于  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  和高于  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  各占 40% 和 29%, 这种室外温度分布情况与关中区域夏季乡村室外温度情况比较相似<sup>[14]</sup>, 是夏季村镇室外温度变化的一个特征; 一层房间最舒适, 房间气温低于  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  占 37%, 二层房间与一层房间相比整体偏热, 高  $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。二层房间 1 与房间 2 相比, 平均温度高  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 中段温度  $28\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  占 43%, 空间气温表现更稳定。二层房间 2 相比温度比较两级化, 日间升温较高夜间降温较好, 夜间比房间 1 平均低  $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。三层房间比二层房间略热, 夜间降温的效果也稍差。对照房是独栋一字型四层建筑, 测试房间位于三层, 外墙为 180 厚空心水泥砌块墙, 无保温层, 外侧贴有白色瓷砖, 屋顶为平屋顶, 无保温层。与测试建筑相比, 白天升温多, 夜间降温幅度基本与三层房间相同, 整体表现为比典型院落式建筑气温稍高。

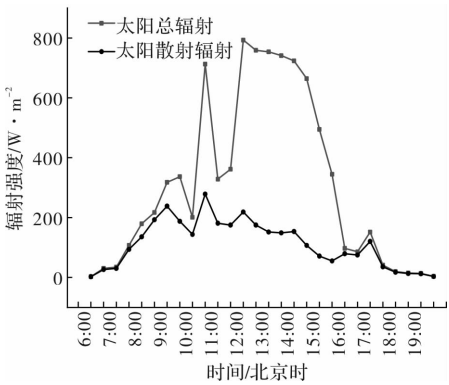


图 5 蜀河太阳辐射强度

Fig. 5 Solar radiation of Shuhe Town

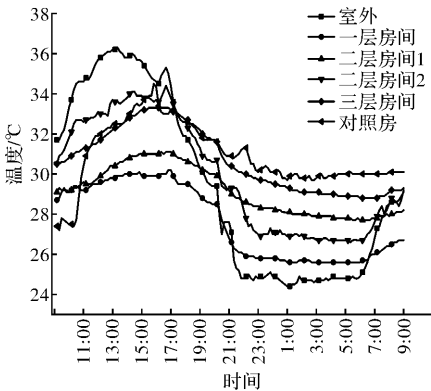


图 6 室内外温度分布图

Fig. 6 Air temperature of indoor and outdoor

### 3.3 空气湿度

图8为测试日房间与室外相对湿度曲线。由于测试日当晚21~22点有小阵雨,该地区又是山地地形,在夜间温度变化较小条件下,室外空气湿度在雨停以后一直接近饱和状态,直至第二天天明后随气温升高而降低。虽然室内始终是开窗状态,但室内空气温度高于室外,一层房间和二层房间2在夜间雨后的空气湿度为80%~90%,其他房间空气相对湿度基本在70%~80%,相对湿度较高。

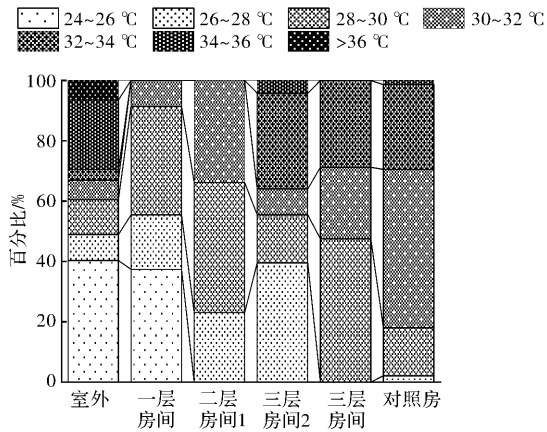


图7 室内外温度频率分布百分比图

Fig. 7 Temperature frequency distribution indoors and outdoors

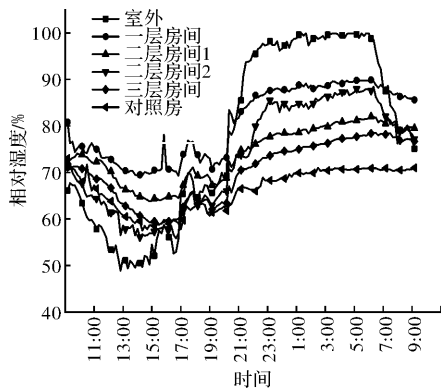


图8 室内外空气相对湿度

Fig. 8 Air relative humidity indoors and outdoors

### 3.4 室内风速

图9为测试房间风速频率分布情况,一层房间因南北两方向都有门,同时开启,且通风口大,且与山谷风方向一致,风速较大且频率高,在48%时间段风速为0.2~0.4 m/s,调研期间中午时间段居民也更乐于在此处活动与休息。二层房间2因处在建筑角部,两个方向墙面均有开窗,通风效果也较好,在64%时间段风速为0.05~0.1 m/s,在24%时间段风速在0.1 m/s以上。二

层房间1与三层房间仅有一个朝向墙面能开门窗,相对于其他房间通风略差,在45%的时间段风速为0.05 m/s以下。

### 3.5 平均辐射温度

在室内热环境中,平均辐射温度对人体的冷热感有重要影响。一层房间MRT比室温在日间低而夜间高,日间10时至17时MRT比空气温度平均低1.2 °C,夜间22时至7时MRT比空气温度平均高1.1 °C,表明一层的整体围护结构温度更趋于稳定,且白天有冷辐射更有利于舒适,见图10。一层室温和MRT温度约为27~30 °C,为II级热湿环境<sup>[15]</sup>,满足舒适要求。二层房间1的MRT比空气温度平均值高0.8 °C,夜间22时至7时平均高1.2 °C,而在白天与室温相差不显著,大部分时间满足热舒适要求,见图11。二层房间2夜间22时至7时MRT比空气温度平均高2.3 °C,是在测试中夜间与室温相差最大的房间,因该房间比其他房间获得更多太阳辐射,围护结构升温较多,而在夜间条件下降温幅度小,对夜间体感舒适有

0~0.05 0.05~0.1 0.1~0.2 0.2~0.4 >0.4

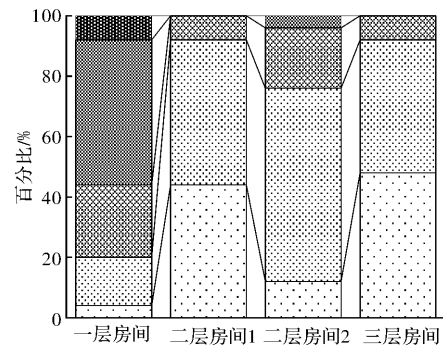


图9 室内风速频率分布图

Fig. 9 Wind speed frequency distribution indoors

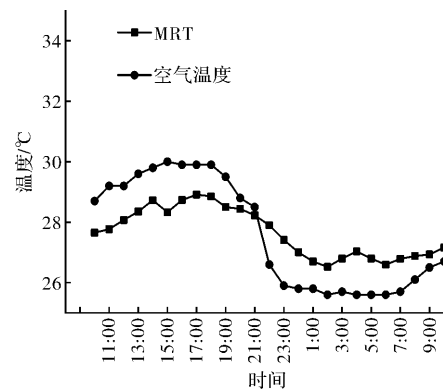


图10 一层房间MRT与空气温度

Fig. 10 MRT and air temperature of the room on the first floor

一定影响,见图12。三层房间MRT始终大于室温,其平均大于 $1.0^{\circ}\text{C}$ ,表明顶层房间MRT对舒适是不利影响,且偏离热舒适范围,见图13。

## 4 陕南地区热环境与建筑能耗分析

### 4.1 当地气候环境分析

通过测试发现陕南地区夏季太阳总辐射值较高,辐射以直射辐射为主,运用隔热原理可以减少大部分太阳辐射得热,因地理气候原因早晨和傍晚受到太阳辐射比平原地区时间少,夏季建筑东晒和西晒问题比平原地区稍弱。室外温度在日间受太阳辐射升温快,因受山地气候影响在夜间也降温快,有利用夜间自然通风的有利条件。陕南地区夏季多阵雨,晴天时空气相对湿度约为 $50\%\sim 70\%$ ,可以利用该自然条件如自然降水等,进行外围护结构被动蒸发降温。因地形条件的限制,建筑在选址往往沿巷道、道路或等高线排布,未必有机会争取最佳的朝向,也是在建筑设计中一个棘手问题。

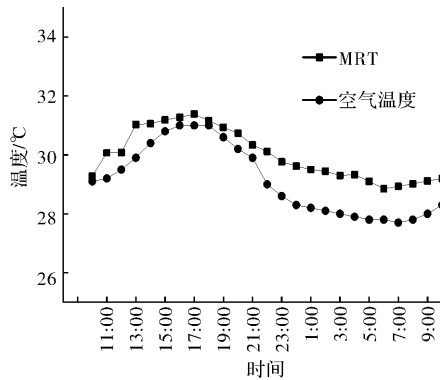


图11 二层房间1 MRT与空气温度

Fig. 11 MRT and air temperature of Room 1 on the second floor

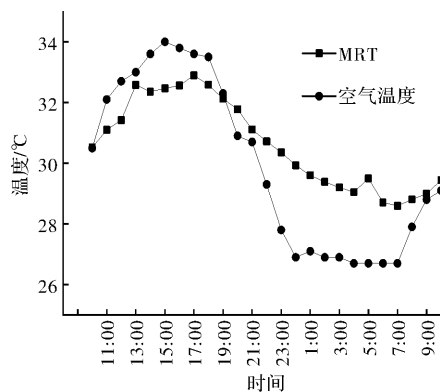


图12 二层房间2 MRT与空气温度

Fig. 12 MRT and air temperature of the room on the second floor

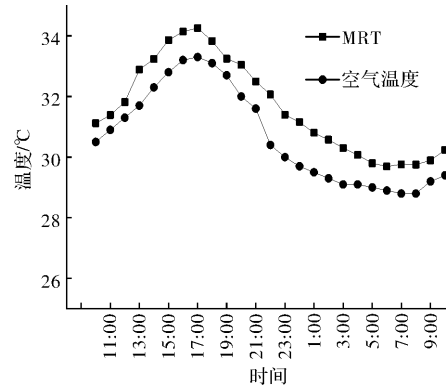


图13 三层房间 MRT与空气温度

Fig. 13 MRT and air temperature of the room on the third floor

### 4.2 建筑能耗分析

分别计算室内空调设定温度为 $26^{\circ}\text{C}$ 和 $30^{\circ}\text{C}$ 住宅一楼房间、二楼房间1和三楼房间的单位建筑面积冷负荷,计算结果见图14。在室内空调温度为 $30^{\circ}\text{C}$ 时,一楼房间单位面积冷负荷为 $0\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,二楼房间1的情况与一楼相似,三楼最大冷负荷为 $14.7\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。室内空调温度为 $26^{\circ}\text{C}$ 时一楼房间冷负荷最大值为 $2.2\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,二楼最大值为 $2.8\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,三楼冷负荷最大值为 $20.3\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

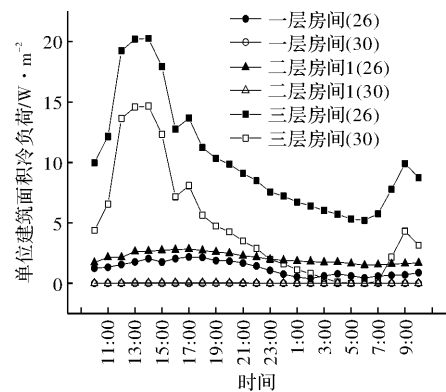


图14 冷负荷变化曲线

Fig. 14 The change curves of cooling load

陕南山地地区气候特性为太阳辐射强度高,日温差大。民居一楼和中间层室内热环境设计为 $26^{\circ}\text{C}$ 较舒适的温度时,需要一定的空调能耗;如果室内热环境设计达到II级热湿环境上限( $30^{\circ}\text{C}$ )时<sup>[15]</sup>,可以不设置空调。顶楼受太阳辐射影响,空调能耗较高,应增加隔热构造,降低空调能耗。

## 5 结论

(1)对陕南地区蜀河传统民居进行夏季室内外热环境测试发现,室外温度程两极分布,可充分利用夜间通风提高室内舒适。

(2)民居一层和中间层基本可以满足舒适要

求, 顶层偏离舒适要求。

(3)民居一层和中间层大部分时间为 II 级热湿环境, 可不设置空调, 顶层受太阳辐射影响, 空调负荷较大, 应设置隔构造以提高舒适和降低能耗。

## 参考文献 References

- [1] 孙杰. 传统民居与现代绿色建筑体系[J]. 建筑学报, 2001(3): 61-62.  
SUN Jie. Traditional folk house and modern green building system [J]. Architectural Journal, 2001(3): 61-62.
- [2] 胡冗冗, 石峰, 何文芳, 等. 陕南山地民居的演变与发展[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2009, 41(6): 841-844.  
HU Rongrong, SHI Feng, He Wenfang, Li Wanyong. The changing course and development of the rural houses in mountain area in southern Shaanxi[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition). 2009, 41(6): 841-844.
- [3] 刘美江. 地域文化视野下安康民居的建筑特征[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.  
LIU Meijiang. The vernacular dwelling of Ankang prefecture under the Regional Culture Field[D]. Xi'an; Xi'an Univ. of Arch. & Tech. 2010.
- [4] 张霄. 陕南商洛地区传统民居的保护与改造探究: 以洛南鞑子梁石板房民居为例[D]. 西安: 西安美术学院, 2015.  
ZHANG Xiao. The protection and retrofit of the traditional dwellings in Shangluo South Shaanxi Province: In the case of the Daziliang dwellings in South Shangluo[D]. Xi'an; Xi'an Academy of Fine Arts, 2015.
- [5] 胡斌. 陕南汉水走廊商贸线路上的集镇聚落形态研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.  
HU Bin. Trade routes under the settlement of towns in the hanjiang corridor in the south of shaanxi[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2012.
- [6] 闫杰. 秦巴山地乡土聚落及当代发展研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.  
YAN Jie. Research on rural settlements and the contemporary development in Qinba Mountain[D]. Xi'an; Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2015.
- [7] 贾鹏. 陕南山地聚落环境空间形态的气候适应性特点初探[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.  
JIA Peng. Southern Shaanxi Mountain settlement climate adaptation of the traditional settlements environment space characteristics[D]. Xi'an; Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2015.
- [8] 闫杰. 陕南民居建筑及其文化特征[J]. 四川建筑科学研究, 2009, 35(4): 221-225.  
YAN Jie. The architectural and cultural characteristics of the residential buildings in southern Shaanxi[J]. Sichuan Building Science. 2009, 35(4): 221-225.
- [9] 赵钦, 刘蓬晨, 朱轶韵, 等. 基于热舒适改善的乡村民居被动式设计策略[J]. 西安理工大学学报, 2014, 30(3): 315-317.  
ZHAO Qin, LIU Pengchen, ZHU Yiyun, et al. Rural residence passive design strategies in Southern Shannxi baesd on improving thermal comfort[J]. Journal of Xi'an University of Tecnology, 2014, 30(3): 315-317.
- [10] 韦娜, 刘加平, 高源. 陕南山地乡村生态民居设计实践[J]. 四川建筑科学研究, 2012, 38(3): 255-260.  
WEI Na, LIU Jiaping, GAO Yuan. The design practice of rural ecological residence in the mountainous region of Southern Shaanxi[J]. Sichuan Building Science. 2012, 38(3): 255-260.
- [11] 安康市人民政府. 安康年鉴 2002[M]. 安康: 安康市年鉴编辑部, 2002: 322-325.  
The people's Government of Ankang. Ankang annals 2002[M]. Ankang: Ankang annals editorial department, 2002: 322-325.
- [12] 旬阳县地方志编纂委员. 旬阳县志[M]. 北京: 中国和平出版社, 1996: 47-48.  
Xunyang County Local History Compilation Committee. Xunyang County [M]. Beijing: China Peace Press, 1996: 47-48.
- [13] 钟运峰. 蜀河聚落形态及传统建筑研究[J]. 四川建筑科学研究, 2014, 40(4): 267-270.  
ZHONG Yunfeng. Study on the settlement pattern and traditional architecture of Shuhe [J]. Sichuan Building Science, 2014, 40(4): 267-270.
- [14] 王雪, 成辉, 杨柳. 陕西关中农村住区热环境测试与研究[J]. 住区, 2016(4): 129-131.  
WANG Xue, CHENG Hui, YANG Liu. The Thermal Environment Test and Research on the Rural Settlements in the Guanzhong Region, Shaanxi Province [J]. Design Community, 2016(4), 129-131.
- [15] 中国建筑科学研究院. 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: 5-15.  
China academy of Builing research. Evaluation standard for indoor thermal environment in civil buildings: GB/T 50785-2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012: 5-15.

(编辑 桂智刚)