

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.04.001



木板壁民居对湿热气候的适应性

杨真静, 徐亚男, 彭明熙

(重庆大学建筑城规学院; 山地城镇建设新技术教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要:为调查山地木板壁民居对重庆夏季湿热气候的适应性,选取当地典型木板壁民居作为研究对象,在夏季对其室内热环境进行实测。结合当地建筑特点及居民生活习惯,对实测数据进行分析,并利用 APMV 对室内热环境进行评价。结果表明,木板壁民居夏季依靠自然通风显著改善了室内热舒适度,夏季典型日 APMV 达 II 级以上的约占 65%。传统木夹壁民居在热环境营造上响应了当地气候特点,具有较好的气候适应性。

关键词:木板壁民居; 实测; 温湿度; 自然通风; 热舒适

中图分类号: TU111.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2016)04-0001-06

Climate adaption of wooden-plank wall dwellings in hot humid climate region

Yang Zhenjing, Xu Yanan, Peng Mingxi

(College of Architecture and Urban Planning; Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: A typical house in Chongqing was measured during summer to investigate the condition of indoor thermal comfort and climate adaption of wooden-plank wall dwellings in Chongqing. According to the characteristics of the local buildings and the particularity of local residents' living habit, the data of the field measurement was analyzed and the thermal environment was evaluated with APMV. The results showed that the indoor thermal comfort of wooden-plank wall dwellings in summer was improved mainly by natural ventilation and 65 percent of the typical day belong to category II. In terms of the creation of thermal environment, traditional wooden-plank wall dwellings worked in concert with the local regional climate, and had a good adaption.

Keywords: wooden-plank wall dwellings; field measurement; temperature and relative humidity; natural ventilation; thermal comfort

传统民居作为前人长期实践的结果,具有较好的环境适应能力,其生态经验越来越受到关注。Evola 等^[1]在研究卡塔尼亚地区的厚重型传统民居

时,发现该类民居提高夏季室内热环境的重要途径是夜间通风。Khalili 等^[2]通过对伊朗地区 20 户传统民居的研究发现,传统建筑的地下室、捕风塔等建

收稿日期: 2016-03-09

基金项目: 重庆市建设科技计划(2007075)

作者简介: 杨真静(1975-),女,博士,副教授,主要从事建筑热工与节能研究,(E-mail)young30331@163.com.

Received: 2016-03-09

Foundation item: Chongqing Construction Science & Technology Program(No. 2007075)

Author brief: Yang Zhenjing (1975-), PhD, associate professor, main research interests: building thermal environment and energy efficiency, (E-mail)young30331@163.com.

筑形式及当地人们的行为模式是应对干热气候的有效方式,并努力将这些方式用到现代建筑设计中。Lechner^[3]研究了一些地区传统民居适应自然条件的措施。陆元鼎等^[4]论述了广东及海南地区的民居在特殊湿热环境下采取的通风与防潮、遮阳与隔热、环境降温等方面的策略,将建筑与气候、地形、自然环境结合起来研究,开始了中国传统民居气候适应性的研究。Zhu 等^[5]对以西北黄土高原窑洞为代表的传统民居的生态经验进行了分析,从建筑技术的角度对陕西窑洞进行实测和模拟,分析了窑洞室内及庭院的热物理环境,提出意见并实施改进,效果显著。中国川渝地区因其地形复杂、气候特殊,传统民居多种多样。其中木板壁民居用木板做围护结构,属于小木作,很少有人研究,但在川渝地区特殊气候下却广泛存在^[6]。因此,研究其室内热环境的生态经验,对提高该类民居室内环境质量及对现代建筑设计均具有重要的意义。

笔者以重庆山地木板壁民居为研究对象,对夏季室内热环境参数进行测量、分析,并进行热湿环境评价。

1 研究对象和研究方法

1.1 研究区域概况

研究对象位于重庆市江津区白沙古镇,古镇背靠大旗山,沿江而建,镇域狭长,为国家级历史文化名镇。由于古镇用地紧张,建筑群体布局紧凑,主要街道为东西走向,青石路面狭窄悠长(图 1)。镇内传统木板壁民居多建于清末民初,朝向大体为东南向,平面多为小开间大进深,小青瓦坡屋顶高低错落,屋檐深远,外观朴素无华,具有浓厚的乡土气息^[7]。当地年平均气温 17.9℃,无霜期 340 d,年平均降雨量 1 030 mm,年均日照为 1 273 h,属于典型湿热气候区,主要表现为高温、高湿、多雨、多雾、静风^[8-9],冬季相对温和,热环境温度相对不突出。因此,对当地居民日常生活来说,亟待解决的是通风、散热、除湿。

当地盛产木材,民居大多就地取材,墙体为木板壁。具体做法是用木板横着或竖着安装在枋框上(图 2),板厚约 2.5 cm,宽约 25 cm,墙体中部及上半段常常安窗,有条件的会在木板表面涂桐油以防墙体受潮或虫蛀^[6]。在现代,部分建筑为了美观,会在墙表面涂抹白灰。

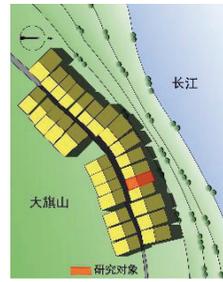


图 1 白沙古镇的布局

Fig. 1 Layout of Baisha town

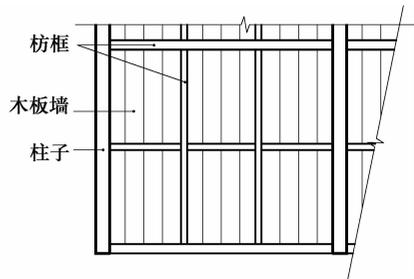


图 2 木板壁构造示意图

Fig. 2 Construction of wooden-plank wall

1.2 研究对象简介

在古镇内选取一典型户进行研究,具体位置见图 1。该户为一中间户,具有典型代表性,围护结构保存比较完整,且长期有人居住。其朝向为南偏东 19°,南面是宽约 3.5 m 的街道,北面为下沉院坝,院坝临江,东西邻户均为木板壁住宅。建筑平面为纵向“一”字型,面宽 4.5 m,进深 14.4 m。平面布置简单,南侧临街为堂屋,临街面为门和窗,中部和北侧为两间卧室(简称中卧、北卧),下方下吊一层为储物间(图 3)。

该建筑为吊脚楼形式,具备典型山地木板壁民居特点:建筑依山就势,南高北低,南侧临街,北侧下吊。屋面为小青瓦坡屋顶,墙体和门均为厚 2.5 cm 左右的木板,窗为木格镂空窗。堂屋层高较高且没有吊顶,地面为水泥地面。中卧和北卧有普通塑料布作简易吊顶,主要作用为防灰,地面为木楼板。下吊层储物间墙体为青砖,地面为三合土。

1.3 测试方案

夏季有效测量时间为 2015-07-31 日 15:00—2015-08-14 日 12:00。主要测量内容:室外及室内各房间温度、相对湿度、堂屋地面温度、北卧风速(距地面约 1.1 m)^[10]。仪器参数及数据采集情况见表 1,具体仪器布点见图 3。

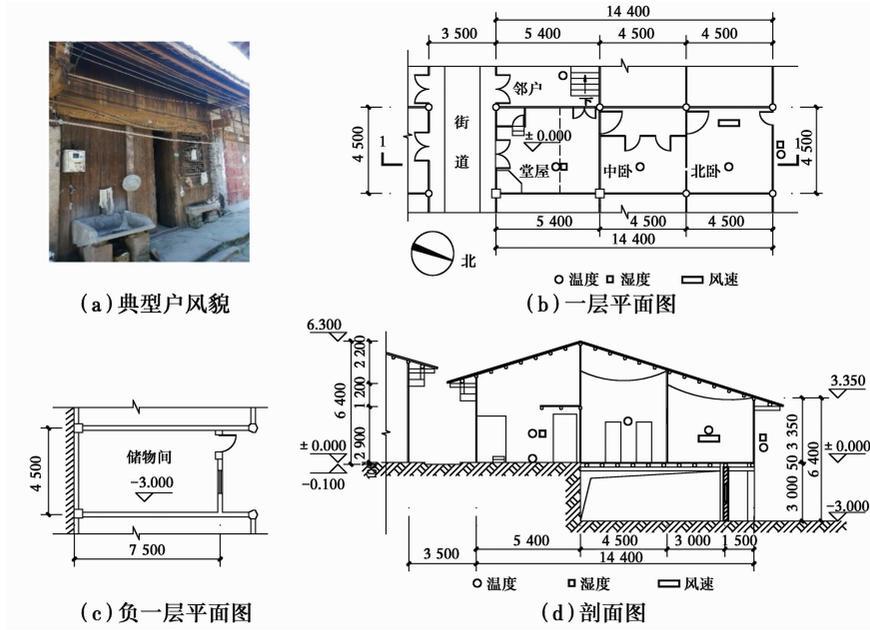


图 3 典型户平剖面及仪器布点图

Fig 3 Plan, cross-section and Sensors of the typical dwelling

表 1 测量内容及仪器参数
Table 1 Testing items & apparatus

测量内容	测试工具	数据采集时段和 时间间隔
各房间空气温度、地面温度	HOBO 温度计, UX100-014M, 量程 -20~70 °C, 精度 ±0.7 °C	2015-07-31 日 15:00—
室内外空气相对湿度	HOBO 温湿度计, UX100-003, 量程 -20~70 °C, 15%~95% rH, 精度 ±0.7 °C、±7.5%	2015-08-14 日 12:00
北卧风速	DELTA 风速仪, AP471SI, 量程 0.1~40 m/s, 精度 ±0.2 m/s	每 10 min 自动记录一次

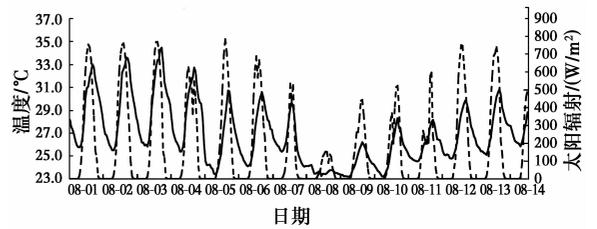
2 测量结果

2.1 室外气象参数

夏季测量期间室外天气变化明显,7月31日到8月4日连晴,4日晚上开始降温,此后连续阴天或小雨,直至12日开始转晴,温度逐渐上升。测试期间室外温度、太阳辐射见图4,平均温度为27.0 °C,最高温度34.4 °C,最低为23.1 °C,一日内最大温度波幅为8.7 °C。测试期间平均太阳辐射量为172 W/m²,晴天最高达750 W/m²,阴天时约100 W/m²。因夏季主要研究室外高温情况下木板壁民居室内热环境,故选取连晴高温且温度稳定时段的中间一天即8月2日为典型日进行分析。

2.2 室内热湿环境

典型日室内外温度见图5。室外平均温度

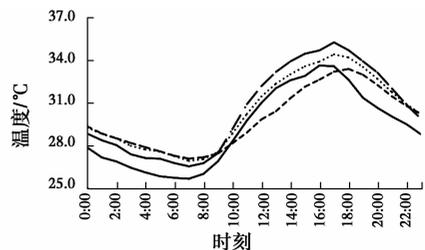


注:— 室外温度 --- 太阳辐射

图 4 测量期间室外气象参数

Fig 4 Outdoor meteorological parameters during testing

29.0 °C,最高温度33.6 °C,最低温度25.5 °C。除09:00—17:00堂屋温度略低于室外,室内各点温度均比室外还略高,从热延迟方面看,各房间热延迟时间只有1~2 h,可见轻薄的木板壁民居整体防热性能不好,热惰性较差。



注:— 室外温度/°C --- 堂屋温度/°C
..... 中卧温度/°C - · - 北卧温度/°C

图 5 典型日室内外温度

Fig 5 Indoor and outdoor temperature in typical day

室内温度的分布昼夜分化明显,白天北卧温度最高,堂屋温度最低,夜间则反之,分析住户一天的

活动轨迹,住户白天在堂屋活动,夜间在北卧休息,显然,室内环境状况与环境需求较为一致。其形成原因在于两房间的朝向和地面情况。堂屋南侧街道屋檐出挑较大,长时间处于阴影之下,使朝向街道的堂屋白天受太阳辐射影响较小。且堂屋地面平均温度为 $27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,全天稳定,波幅仅 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。白天地面温度显著低于室外空气温度,帮助室内降温;夜间地面温度略高于室外空气温度,导致堂屋全天温度波幅较小。而北卧地面为架空楼板,房间暴露在大气中的面积更大,室内温度紧随室外温度而变化,从房间的昼夜温差进一步可以看到,堂屋昼夜温差为 $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,但北卧的昼夜温差达 $9.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,比室外温度的日较差还大 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,这也说明北卧的夜间散热效果最好,轻薄的木板壁在日间隔热不佳,但在夜间发挥了积极的散热作用,导致北卧温度白天最高、夜间最低。此外,该建筑朝向为南偏东 19° ,使北卧受西晒影响较大,这也是北卧白天温度最高的重要原因。

典型日室内外相对湿度见图 6。室外平均相对湿度为 74% ,最高达 94% ,最低也达到 55% 。室内平均相对湿度为 71% ,与室外相差不大。相对湿度在 60% 以上的时间占 80% 。反映了重庆夏季湿热的气候特征。

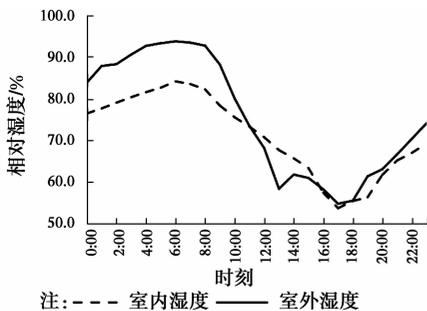


图 6 典型日室内外湿度

Fig 6 Indoor and outdoor relative humidity in typical day

2.3 室内风速

测量期间室内风速见图 7,平均风速为 0.37 m/s ,最高达到 0.85 m/s ,最低也达到 0.18 m/s 。据统计,在有效测量期间风速大于 0.3 m/s 的时间约占总时间的 60% 。其中 8 月 9 日到 13 日期间,室内风速非常规律,夜间约 0.25 m/s ,白天基本在 0.3 m/s 以上,有时甚至达到 0.7 m/s 。8 月 1—8 日期间,虽然风速曲线变化不如后期规律,但依然可以看出室内风速夜间减小、白天增大的规律,主要原因是夜间房屋大门被关闭,阻断了空气流动。

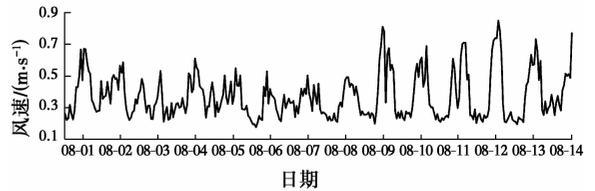


图 7 测试期间室内风速

Fig 7 Wind speed during testing

3 热湿环境评价

选用《民用建筑室内热湿环境标准》中非人工冷热源算法对木板壁民居进行热环境评价,预计适用性平均热感觉指标 APMV 计算公式为

$$\text{APMV} = \text{PMV} / (1 + \lambda \cdot \text{PMV}) \quad (1)$$

式中:PMV 为预计平均热感觉指标。 λ 为自适应系数,根据不同建筑类型和 PMV 的值确定取值,居住建筑夏季取 $0.21^{[11]}$ 。计算 PMV 所需变量取值见表 2。

表 2 PMV 计算参数取值

Table 2 Parameters of PMV

服装热阻/ clo	代谢率	相对湿度	空气温度	平均辐射温度	空气流速
0.3	0.8	典型日实际测量值	典型日实际测量值	由于壁面辐射较小,故用空气温度代替	典型日实际测量值

通过计算得到 APMV 结果见图 8、图 9。

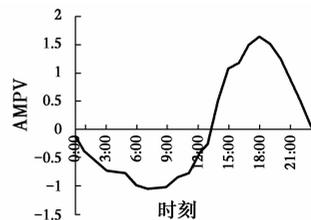


图 8 夏季典型日室内 APMV 值

Fig 8 Indoor APMV in typical day

从图 8 中可以看到夏季典型日 APMV 值在 ± 1 之间即达到 II 级以上的情况约占 65% ,超出 ± 1 即 III 级的情况约占 35% (图 9),因此,夏季大部分时间室内堂屋的舒适度达到 II 级标准。

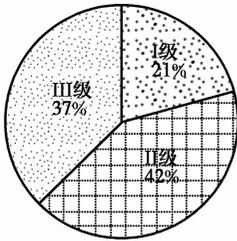


图 9 夏季典型日 APMV 值比例

Fig 9 APMV distribution of in typical day in summer

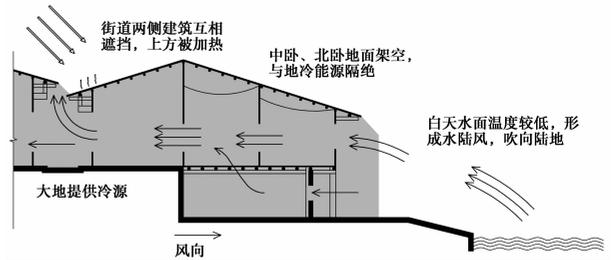


图 10 自然通风分析

Fig 10 Schematic drawing of nature ventilation

4 讨论

4.1 围护结构热工性能

从夏季测量结果可见室内温度较高,分析其围护结构热工性能,木夹壁民居墙体为厚 2.5 cm 松木板,热阻为 $0.18 (m^2 \cdot K)/W$,热惰性为 0.69,与普通 240 mm 的砖墙热阻 $0.44 (m^2 \cdot K)/W$ 、热惰性 1.88 相比很小^[11],热阻不到砖墙的 1/2,小青瓦冷摊屋面仅为一层 10 mm 厚瓦片,瓦重叠间有 2~3 mm 厚空气间层,热阻为 $0.1 (m^2 \cdot K)/W$,热惰性为 0.28^[12],与钢筋混凝土屋面相比,热阻仅为 1/2^[13],热惰性仅达到 1/6,可见,木板壁的隔热性和热稳定性均较差。

4.2 通风状况

但从 APMV 值计算得到的木板壁民居夏季室内舒适性却较好,这与调查的住户实际感受也较一致,主要有 2 方面原因:一是在建筑形式上,沿江的吊脚楼使得建筑-半架空-半落地,利用各自的优势分配功能空间,体现了传统民居热环境营造的生态智慧;另外,古镇北侧临江,南侧靠山,夏季建筑门窗敞开,由水陆温差形成的水陆风由江面吹向住宅,通过门窗,穿堂而过(图 10),热工性能较差、透气性好的木板壁围护结构利用江风能够快速散热,夜间温度下降迅速,为改善夏季室内热环境起到了至关重要的作用,这也是川渝地区古镇大多临水而建的原因。

为进一步验证室内通风状况,利用 PHOENICS 软件对室内风速进行模拟,模型建构按实际设置,入口风速按实测值,外窗一直开启,堂屋大门夜间关闭,计算达到收敛后室内距地面 1.1 m 处风速分布情况见图 11,从模拟结果可见,白天堂屋大门开启,空气流动通畅,风速较大,一天内总通风量为 $18\ 332.4 m^3/h$;堂屋风速在 $0.2 \sim 0.6 m/s$ 之间,且分布较均匀,中卧由于隔墙的阻挡,室内风速较小分

布略不均匀,北卧通风最好,在夜间,堂屋仅有木格镂空窗通风,出风口变小,总通风量为 $6\ 874.8 m^3/h$,各房间出现涡旋区,各房间与白天相比风速减小。

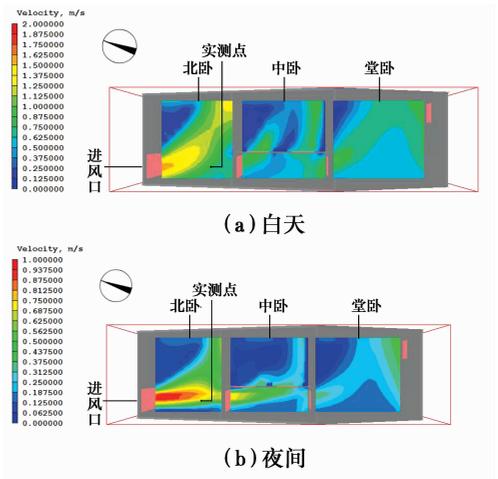


图 11 室内风速模拟结果

Fig 11 Simulation results of wind speed

根据风力资源分布情况可知,重庆市风资源匮乏,全年无风情况占到 21.8%,风速在 $0 \sim 1 m/s$ 的情况占了近 1/4, $1 \sim 3 m/s$ 的情况占了近 1/2^[14],在许多自然通风建筑中风速大于 $0.2 m/s$ 且低于 $0.8 m/s$ 是有利的^[15],该民居室内风速几乎都在该范围内,尤其是北卧,通风良好,把不利的围护结构变为有利的散热构件,显著提高了室内热舒适,体现出传统民居显著的气候适应性。

5 结论

通过对重庆山地木板壁民居实测结果分析,得到以下结论:

- 1)木板壁民居夏季白天堂屋温度较低,而夜间卧室温度较低,这与居民的生活习惯及不同时段住户对环境的需求较一致,体现出传统民居热环境营造的生态智慧。
- 2)木板壁民居围护结构热阻小、热惰性差,夏季

室内温度高于室外,但借助环境冷量,加强自然通风,显著改善室内热舒适,使夏季典型日达到Ⅱ级标准的时段为 65%。

3)木板壁民居营造技术是对重庆地区气候特点的积极响应,重点解决了夏季的通风、散热,反映出传统民居具有显著的气候适应性。

参考文献:

- [1] EVOLA G, MARLETTA L, COSTANZO V, et al. Different strategies for improving summer thermal comfort in heavyweight traditional buildings [J]. Energy Procedia, 2015, 78: 3228-3233.
- [2] KHALILI M, AMINDELDAR S. Traditional solutions in low energy buildings of hot-air region of Iran [J]. Sustainable Cities and Society, 2014, 13: 171-181.
- [3] LECHNER N. Heating, cooling, lighting: Design methods for architects [M]. John Wiley & Sons Inc, 2008.
- [4] 陆元鼎,马秀之,邓其生. 广东民居[J]. 传统建筑研究, 1981(9): 29-36.
LU Y D, MA X Z, DENG Q S. Guangdong residence [J]. Research on Traditional Architecture, 1981(9): 29-36. (in Chinese)
- [5] ZHU X R, LIU J P, YANG L, et al. Energy performance of a new yaodong dwelling, in the Loess Plateau of China [J]. Energy and Buildings, 2014, 70: 159-166.
- [6] 刘致平. 四川住宅建筑[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.
LIU Z P. Dwellings in Sichuan [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2000. (in Chinese)
- [7] 廖佳伟. 重庆地区传统民居通风优化策略研究[D]. 重庆:重庆大学, 2014.
LIAO J W. Study of optimization strategy of traditional residential ventilation in Chongqing area [D]. Chongqing: Chongqing University, 2014. (in Chinese)
- [8] 杨真静,田瀚元. 巴渝地区夯土民居室内热环境[J]. 土木建筑与环境工程, 2015, 37(6): 141-146.
YANG Z J, TIAN H Y. Analysis of indoor thermal environment of traditional earth dwellings in Bayu region [J]. Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering, 2015, 37(6): 141-146. (in Chinese)
- [9] 民用建筑热工设计规范: GB 50176(2015 年报批稿) [S]. 2015.
- [10] 建筑热环境测试方法标准: JGJ/T 347—2014 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2015.
Standard of test methods for thermal environment of building: JGJ/T 347-2014 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015. (in Chinese)
- [11] 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. (in Chinese)
- [12] 张涛. 国内典型传统民居外围护结构的气候适应性研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2013.
ZHANG T. Study on climate adaptability of typical traditional dwellings envelope [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture & Technology, 2013. (in Chinese)
- [13] 杨真静,熊珂,唐鸣放. 室内气温对绿化屋顶当量热阻的影响[J]. 土木建筑与环境工程, 2015, 37(4): 109-114.
YANG Z J, XIONG K, TANG M F. Influence of indoor temperature on equivalent thermal resistance of green roof [J]. Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering, 2015, 37(4): 109-114. (in Chinese)
- [14] 李楠,李百战,沈艳,等. 住宅建筑室内通风对室内热环境的影响[J]. 重庆大学学报, 2009, 32(7): 736-742
LI N, LI B Z, SHEN Y, et al. Impacts of natural ventilation on indoor thermal environment for residential housing [J]. Journal of Chongqing University, 2009, 32(7): 736-742. (in Chinese)
- [15] 郭春梅,张于峰,李胜英. 自然通风环境热舒适性评价与分析[J]. 暖通空调, 2010, 40(10): 76-80.
GUO C M, ZHANG Y F, LI S Y. Thermal comfort evaluation and analysis of natural ventilation environment [J]. Heating, Ventilation and Air Conditioning, 2010, 40(10): 76-80. (in Chinese)

(编辑 胡英奎)