

垂直绿化对室内热环境影响测试研究

刘艳峰, 陈迎亚, 王登甲, 李 涛

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安, 710055)

摘要: 为研究夏季垂直绿化对室内热环境影响效果, 对中原某市西墙有无垂直绿化房间进行连续测试. 分析测试结果发现, 当采用垂直绿化后, 墙体外表面平均温度昼夜分别低 4.9 °C、0.2 °C; 墙体内表面平均温度昼夜分别低 0.9 °C、1.7 °C; 室内空气平均温度昼夜分别低 1.3 °C、1.7 °C. 墙体内外表面及室内空气最高温度昼夜也明显偏低, 其中墙体外表面最高温度昼间降低高达 11.2 °C. 垂直绿化能有效缓解“西晒”过热现象, 对室内热环境改善效果显著, 且有较好的建筑节能效果.

关键词: 垂直绿化; 室内热环境; 建筑节能

中图分类号: TU111.4+2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2015)03-0423-04

Research of vertical green impact on the indoor thermal environment

LIU Yanfeng, CHEN Yingya, WANG Dengjia, LI Tao

(School of Environ. and Muni. Engi., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an, 710055, China)

Abstract: In summer we have a vertical green room on the west wall and no vertical green room for a continuous testing of the thermal environment inside and outside in a city in central China. Analysis results of the test, with the Western Wall vertical greening adopted, the average temperature of the outer surface of the wall dropped by 4.9 degrees, 0.2 degrees during day and night; and the average temperature of the inner surface of the wall dropped by 0.9 degrees, 1.7 degrees during the day and the night; the average temperature of the indoor air dropped by 1.3 degrees, 1.7 degrees during the day and the night. Their maximum temperature are also significantly lower during day and night, the maximum temperature of the outer surface of the wall dropped by 11.2 degrees. Vertical greening effectively alleviate the west wall temperature, and the indoor thermal environment are significantly improved, and have a better building energy efficiency.

Key words: vertical green plants; indoor thermal environment; building energy efficiency

夏季太阳辐射强度高, 影响建筑表面温度与室内外空气温度, 下午太阳高度角小, 建筑西墙受到强烈太阳辐射存在“西晒”过热现象^[1], 西墙表面温度和房间空气温度剧增, 导致空调负荷能耗大^[2]. 垂直绿化是在建筑墙体外侧种植绿色植物, 利用植物的遮阳和蒸腾作用, 其效果相当于在墙体附加热阻, 可以有效改善室内热环境^[3-7], 并起到较好的建筑节能效果^[8-10]. 目前国内对垂直绿化的研究主要有赵学义等测试了夏热冬暖地区建筑外墙绿化对室内热环境影响效果^[11]; 刘凌通过 CFD 模拟对寒冷地区城镇建筑垂直绿化生态效应进行研究^[12]; 宫伟等测试了严寒地区哈尔滨市垂直绿化植物降温增湿效果^[13]. 以上主要研究昼间垂直绿化对墙体或室内温度影响, 对夏热冬冷地区垂直绿化全天的影响效果研究较少. 研究选取墙体有无垂直绿化的房间为测试对象, 在控制单一变量的基础上连续测试室内外空气温度及墙体内外表面温度, 结合西向总太阳辐射强度分析垂直绿化对室内热环境及建筑表面

温度的改善效果, 为垂直绿化技术提供科学的测试依据.

1 测试方案

1.1 测试对象

为研究垂直绿化对室内热环境影响效果, 选择夏热冬冷地区具有代表性的驻马店市作为测试地点. 我国建筑节能设计标准按地域划分, 驻马店市属夏热冬冷地区, 夏季闷热, 室外空气平均温度 26.3 °C, 室外空调计算日平均温度 30.7 °C, 夏季温度高, 空调负荷能耗大.

测试选取某单层建筑两间结构、功能相同房间, 房间面积 14.36 m², 外墙为普通砖混结构, 如图 1 所示; 房间西墙有尺寸相同的单层玻璃窗, 窗户面积 1.33 m²; 垂直绿化房间西墙攀附着平均厚度约 24 cm 爬山虎; 实验房间南墙相邻为空房间, 排除太阳辐射在南墙产生“南晒”干扰; 对比房间西墙外表面无任何绿化植物, 周围无高大建筑物遮挡,

测试房间结构如图2所示。



图1 测试房间实景图
Fig.1 Test room real picture

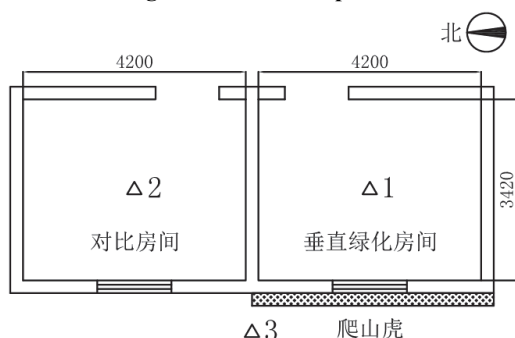


图2 测试房间结构示意图
Fig.2 Test room structure picture

1.2 测试仪器

空气温度采用温湿度自动记录仪(型号: TR-72U)测试,仪器精度为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,每隔10 min自动记录一次;墙体表面温度通过布置热电偶测点记录,热电偶(型号 Center 309)精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,每隔10 min自动记录一次;太阳辐射强度利用太阳辐射测试仪(型号 TBQ-2)记录,仪器精度为 $\pm 0.001\text{ W/m}^2$,每隔60 min自动记录一次;仪器均为全天24 h连续记录。

1.3 测点布置

(1) 温湿度自动记录仪

利用温湿度自动记录仪测量房间空气温度,仪器布置在垂直绿化房间、无垂直绿化房间中心,编号1-2;利用温湿度自动记录仪测量室外空气温度,仪器布置在距地面垂直距离1.5 m、距西墙水平距离1.5 m处,编号3,如图2所示。

(2) 热电偶探头

利用热电偶探头测量西墙表面温度,在西墙内外表面分别布置8个测点,编号1-8和1'-8',如图3所示。分别取测点1-4平均数值为无垂直绿化墙体外表温度、测点1'-4'平均数值为无垂直绿化墙体内表面温度;取测点5-8平均数值为垂直绿化墙体外表温度、测点5'-8'平均数值为垂直绿化墙体内表面温度,热电偶测点试验布置效果如图4所示。

(3) 太阳辐射测试仪

太阳辐射测试仪竖直放置于无垂直绿化西墙

外表面,记录西向垂直面总太阳辐射强度。

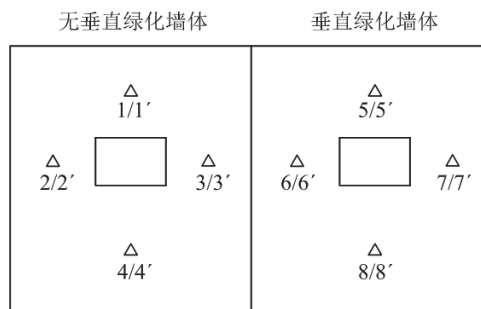


图3 西墙内、外表面热电偶测点布置示意图
Fig.3 The measuring points on western wall schematic

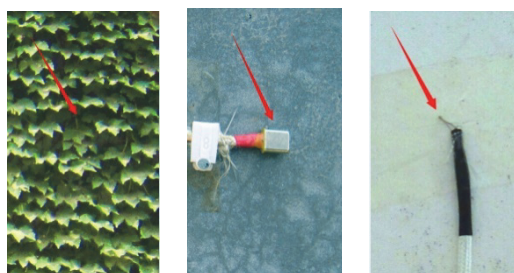


图4 热电偶测点布置测试图
Fig.4 The measuring points on western wall

1.4 测试内容

测试内容包括室内外空气温度、西向垂直面总太阳辐射强度、有无垂直绿化墙体的内外表面温度以及房间的空气温度。

测试时间选择在夏季连晴高温期间,室外空气平均温度 $30.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,属于一年中最热时段,符合测试要求。具体日期为2014年7月28~8月16日,连续测试20天。实验房间在测试期间门窗为关闭状态,无人员居住,无灯光等散热设备运行。

2 测试结果及分析

2.1 室外气象参数

根据测试结果,选取具有代表性的7月28、29两日数据进行分析,室外气象参数如图5所示。

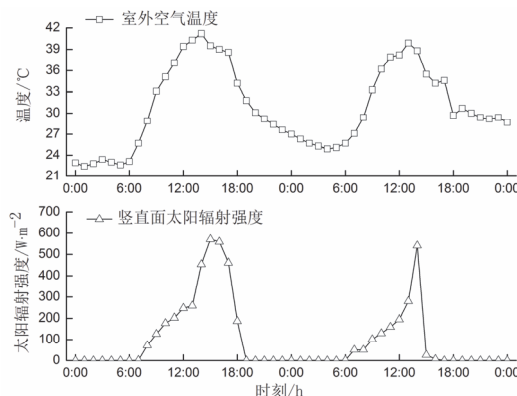


图5 室外气象参数
Fig.5 Outdoor meteorological parameters

7月28-29日昼间(7:00-19:00),室外空气平

均温度 35.5 °C, 最高温度 41.8 °C, 西向垂直面总太阳辐射强度可达 558.75 W/m²; 夜间(19:00-7:00), 室外空气平均温度 26.3 °C, 最高温度 31.3 °C. 昼间室外空气温度高, 西墙受到太阳辐射强.

2.2 墙体外表面温度比较

根据测试数据, 7月28-29日有无垂直绿化墙体外表面温度分析如下:

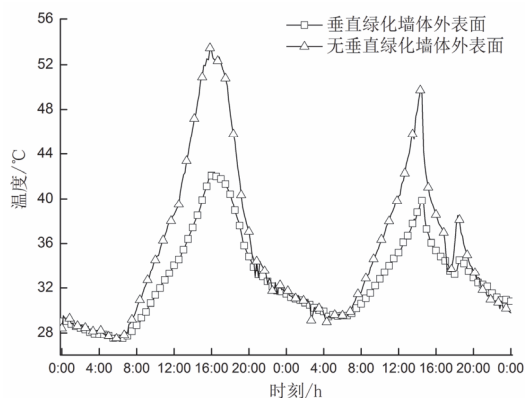


图6 墙体外表面温度

Fig.6 Temperature of the outer surface of the wall

昼间, 无垂直绿化墙体外表面平均温度和最高温度为 39.8 °C、53.5 °C, 垂直绿化墙体外表面平均温度和最高温度为 34.9 °C、42.3 °C, 分别比无垂直绿化墙体低 4.9 °C、11.2 °C, 如图6所示. 垂直绿化植物攀附在墙体上, 太阳辐射被大量叶片吸收或反射而不能直接作用于墙体外表面, 墙体外表面温度因此低于无垂直绿化墙体; 另外绿化植物叶片含有大量水分, 蒸腾作用使水分散失到叶片间隙的空气中而使空气温度降低, 加大墙体外表面与植物叶片间隙空气的换热量, 墙体外表面温度进一步降低.

夜间, 无垂直绿化墙体外表面平均温度和最高温度为 30.8 °C、40.4 °C, 垂直绿化墙体外表面平均温度和最高温度为 30.6 °C、37.0 °C, 分别比无垂直绿化墙体低 0.2 °C、3.4 °C. 夜间不存在太阳辐射, 绿化植物主要通过蒸腾作用减低叶片间隙空气温度, 进而降低绿化墙体外表面温度.

2.3 墙体内表面温度比较

根据测试数据, 7月28-29日有无垂直绿化墙体内表面温度分析如下:

昼间, 无垂直绿化墙体内表面平均温度和最高温度为 33.8 °C、35.7 °C, 垂直绿化墙体内表面平均温度和最高温度为 32.9 °C、34.5 °C, 分别比无垂直绿化墙体低 0.9 °C、1.2 °C, 如图7所示; 夜间, 无垂直绿化墙体内表面平均温度和最高温度为

35.3 °C、36.4 °C, 垂直绿化墙体内表面平均温度和最高温度为 33.6 °C、34.5 °C, 分别比无垂直绿化墙体低 1.7 °C、1.9 °C.

有无垂直绿化墙体内表面平均温度和最高温度均小于墙体外表面的, 且内表面温度趋势较为平缓. 垂直绿化墙体外表面平均温度比无垂直绿化墙体外表面平均温度低, 表明垂直绿化能有效降低建筑表面温度, 缓解“西晒”过热现象.

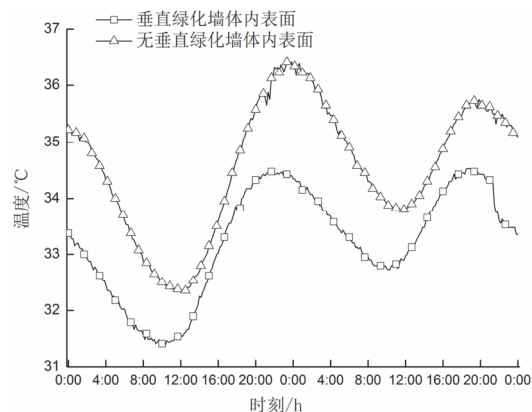


图7 墙体内表面温度比较

Fig.7 Temperature of the inner surface of the wall

2.4 房间空气温度比较

根据测试数据, 7月28-29日有无垂直绿化房间空气温度分析如下:

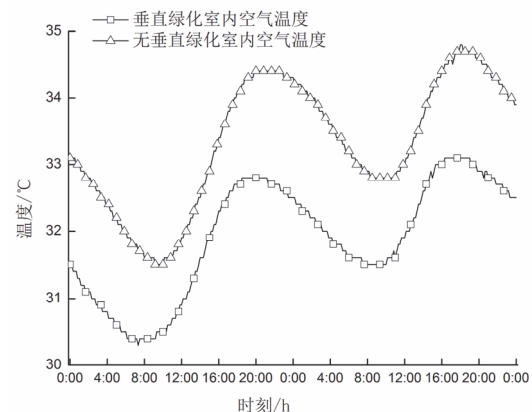


图8 房间空气温度

Fig.8 Room air temperature

昼间, 无垂直绿化房间空气平均温度和最高温度为 33.1 °C、34.8 °C, 垂直绿化房间空气平均温度和最高温度为 31.8 °C、33.1 °C, 分别比无垂直绿化房间低 1.3 °C、1.7 °C, 垂直绿化房间空气温度取得极值时刻比无垂直绿化房间延迟 40 min, 如图8所示. 垂直绿化房间空气温度变化较为平缓, 且峰值较低, 表明垂直绿化不仅增大了西向外围护结构热惰性, 还可起到削峰填谷作用, 避免室内空气温度大幅变化, 垂直绿化在夏季最不利工况期间对室内热环境有较好改善作用. 另外垂直绿化房间

空气温度较低,可一定程度减少空调运行时间,达到建筑节能目的。

夜间,无垂直绿化房间空气平均温度和最高温度为 33.7 °C、34.7 °C,垂直绿化房间空气平均温度和最高温度为 32.0 °C、33.0 °C,分别比无垂直绿化房间低 1.7 °C、1.0 °C。墙体昼间蓄热、夜间放热,与无垂直绿化墙体相比,垂直绿化墙体昼间平均温度较低,墙体蓄热量小,墙体夜间放热量较小,从而夜间垂直绿化房间温度低于无垂直绿化房间空气温度。

3 结论

在夏季连晴高温期间进行连续测试,通过分析得到结论主要有:

(1) 垂直绿化墙体与无垂直绿化墙体的外表面平均温度、最高温度相比,昼间分别低 4.9 °C、11.2 °C;夜间分别低 0.2 °C、3.4 °C,垂直绿化明显降低墙体外表面温度峰值。

(2) 垂直绿化墙体与无垂直绿化墙体的内表面平均温度、最高温度相比,昼间分别低 0.9 °C、1.2 °C;夜间分别低 1.7 °C、1.9 °C。垂直绿化能较好的降低建筑维护表面温度,缓解“西晒”过热现象。

(3) 垂直绿化房间与无垂直绿化房间的室内空气平均温度、最高温度相比,昼间分别低 1.3 °C、1.7 °C;夜间分别低 1.7 °C、1.0 °C。垂直绿化可增大西向外围护结构的热惰性,对室内空气温度有削峰填谷作用,避免室内空气温度大幅变化,对夏季室内热环境改善效果良好,达到建筑节能目的。

参考文献 References

- [1] 魏永胜, 芦新建, 赵廷宁, 等. 不同朝向的五叶地锦对墙体的降温效果及生理机制[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(4): 518-523.
WEI Yongsheng, LU Xinjian, ZHAO Youting, et al. Cooling and physiology with Parthenocissus quinquefolia on walls oriented in cardinal directions[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2010, 27(4): 518-523.
- [2] 吕伟娅, 陈吉. 模块式立体绿化对建筑节能的影响研究[J]. 建筑科学, 2012, 28(10): 46-50.
LÜ Weiya, CHEN Ji. Study on Influences of Modular Three-dimensional Greening on Building Energy Conservation[J]. Building Science, 2012, 28(10): 46-50.

- [3] PÉREZ G, COMA J, MARTORELL I, LUISA F, et al. Cabeza. Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 39(11): 139-165.
- [4] PÉREZ G, RINCÓN L, VILA A, et al. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings [J]. Applied Energy, 2011, 88(12): 4854-4859.
- [5] TAN C L, WONG N H, JUSUF S K. Effects of vertical greenery on mean radiant temperature in the tropical urban environment [J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 127(7): 52-64.
- [6] MANSO M, CASTRO-GOMES J. Green wall systems: A review of their characteristics [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 41(2): 863-871.
- [7] 赵菊, 马秀力, 肖勇全. 绿化建筑室内热环境的 CFD 模拟[J]. 流体机械, 2007, 35: 75-79.
ZHAO Ju, MA Xiuli, XIAO Yongquan. CFD Simulation of the Indoor Thermal Environment of Building Surface Planting[J]. Fluid Machinery, 2007, 35: 75-79.
- [8] 张迎辉, 姜成平, 赵文飞, 等. 城市垂直绿化植物爬山虎的生态效应[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(6): 669-672.
ZHANG Yinghui, JIANG Chengping, ZHAO Wenfei, et al. Ecological effects of urban climbing plant Parthenocissus tricuspidata[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2006, 23(6): 669-672.
- [9] 杨士弘. 城市绿化树木的降温增湿效应研究[J]. 地理研究, 1994, 4(12): 74-80.
YANG Shihong. A study on the effect of decreasing temperature and increasing humidity of urban afforestation trees[J]. Geographical Research, 1994, 4(12): 74-80.
- [10] 李娟. 建筑物绿化隔热与节能[J]. 暖通空调, 2002 (3): 22-24.
LI Juan. Heat insulating effects of climbing plant on building energy efficiency[J]. HV&AC, 2002 (3): 22-24.
- [11] 赵学义, 黄海. 建筑外墙绿化对室内热环境的影响测试分析[J]. 建筑节能, 2013, 6: 40-44.
ZHAO Xueyi, HUANG Hai. Impact of External Greening Wall on Internal Thermal Performance[J]. Building Energy Efficiency, 2013, 6: 40-44.
- [12] 刘凌. 寒冷地区城镇建筑垂直绿化生态效应研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.
LIU Ling. Ecological Effect research on Vertical green of Places Around Town in Cold Region[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2007.
- [13] 宫伟, 韩辉, 刘晓东. 哈尔滨市垂直绿化植物降温增湿效应研究[J]. 国土与自然资源研究, 2009 (4): 69-70.
GONG Wei, HAN Hui, LIU Xiaodong. Vertical green plants in Harbin effect of cooling humidification[J]. Territory & Natural Resources Study, 2009 (4): 69-70.

(编辑 吴海西)