

# 绿色生态墙建筑室内热环境分析

狄育慧<sup>1</sup>, 林 鹏<sup>2</sup>, 王智鹏<sup>1</sup>

(1.西安工程大学环境与化学工程学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:**以西安地区为例,应用 Fluent 软件分别对有无墙体绿化建筑室内的热环境进行了模拟研究,并且通过实地测试得出在下午持续高温阶段,绿化墙体建筑室内温度较普通建筑降低了 1.5~2℃,绿化墙西外墙壁面温度降低了 15℃,论证了建筑外墙绿化能够改善室内热环境,是一种有效的、主动的隔热节能方式。

**关键词:**绿色生态墙;室内热环境;节能;

**中图分类号:** TU831

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2014)04-0553-04

随着人民生活水平的不断提高,居民对室内环境的舒适性要求也越来越高,但室内热环境的改善通常是以大幅度增加建筑能耗和对环境的污染为代价的.20 世纪 70 年代以来,能源危机和环境污染日益严重,节能和环保已成为世界两大生存主题,因此,如何在满足人们对热舒适要求的基础上,消耗最少能源和保护环境成为当前最主要解决的问题。

绿色生态墙正好将建筑节能和环境绿化结合在了一起,利用大自然中的绿色植物覆盖在建筑垂直面或各种围墙上,形成遮阳、隔热的“生态绿墙”,不仅可以减少建筑围护结构得热量,降低室内空调冷负荷,而且在植物蒸腾过程中,还要吸收周围环境中的热量,降低了环境温度,改善了城市热岛效应,由此可见,绿色生态墙具有广阔的应用前景。

随着计算机的发展,计算流体力学(computational fluid dynamics, CFD)得到了广泛应用.本文主要研究内容是基于 CFD 模拟技术的 Fluent 软件,对绿化建筑室内流场和温度场进行模拟研究,并通过实地测试对比可见绿化建筑的室内热环境明显得到改善<sup>[1]</sup>。

## 1 室内热环境模拟

建筑工程中建筑物外围护结构是处于室外气温周期变化及太阳辐射周期变化的影响下,以致围护结构内的导热过程也呈现周期性非稳态状况,而温度波的衰减和温度波的延迟是周期性非稳态导热的两个显著特征<sup>[2]</sup>.实测过程中发现房间内表面温度由于温度波的延迟在 16 点左右达到最高,所以笔者选择 16 点时刻,也就是壁内表面温度最高时刻来模拟分析室内热环境。

### 1.1 几何建模及网格划分

选择夏季高温工况下,以两个房间为研究对象,房间规格、朝向一致,其中一个房间西外墙和北外墙种植植物爬山虎(如图 1),而另一个为裸露墙面.模型尺寸与实测房间一致,由于室内布置情况较为复杂,笔者并没有按照其实际布置情况进行建模,而是简化为一般自然通风房间,通过有无墙面绿化内壁面温度的改变来模拟分析室内热环境。

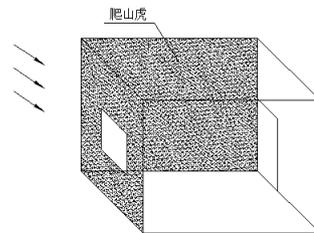


图 1 外墙有绿化层的房间简化模型  
Fig.1 Simplified model of the room with vertical green

利用 Fluent 前处理软件 Gambit 对几何模型进行网格划分,本次模拟主要针对室内的热环境变化,鉴于室内空间较为宽敞,故采用六面体网格划分,尺寸为 0.2<sup>[3]</sup>。

### 1.2 边界条件

#### 1.2.1 物性相关参数

所选的实测建筑的结构为普通砖混结构,建筑外墙采用的是普通粘土空心砖,厚 240 mm,外表面水泥砂浆粉刷,内表面白灰粉刷,查相关资料可以得到墙体的传热系数为 1.97(W/m<sup>2</sup>·K)密度 1 800(kg/m<sup>3</sup>),

收稿日期: 2013-12-10

修改稿日期: 2014-06-03

基金项目: 陕西省科技攻关项目(2013K11-31); 西安市城乡建设资助项目(SJW2014002)

作者简介: 狄育慧(1964-),女,博士,教授,主要从事建筑热环境与节能方面研究. E-mail: yuhui\_di@163.com

比热容 920(J/kg · K)砖砌体的导热系数为 0.7(W/m · K).

### 1.2.2 房间内壁温度和进风温度

在模拟分析自然通风状况条件下夏季室内热环境时,分别对有无绿化的内墙壁面温度以及窗口进风温度和风速进行实地测试,得到温度和风速边界条件取值(表 1).

表 1. 温度和风速边界条件  
Tab.1 The temperature and velocity boundary conditions

	东(内)墙	西(外墙)	南(内)墙	北(外墙)	屋顶	地面	进风温度/°C	进风风速/m · s <sup>-1</sup>
无绿化	27.7	30.3	28.3	29.3	29.5	26.9	30.7	0.5
有绿化	27.1	29.2	27.8	28.8	28.4	26.7	29.6	0.3

### 1.3 模拟结果对比分析

分别模拟有无墙体绿化的两种情况,从图 2[(a)-(b)]和图 3[(a)-(b)]可以明显看出有墙体绿化的房间室内红色区域要比无绿化房间小,通过软件计算可得无绿化房间的平均温度为 31.1°C,而绿化房间室内平均温度为 29.4°C,比普通房间室内平均温度低 1.7°C,模拟结果和测试结果的误差不超过 10%,可以说明模拟结果是正确的,可靠的.

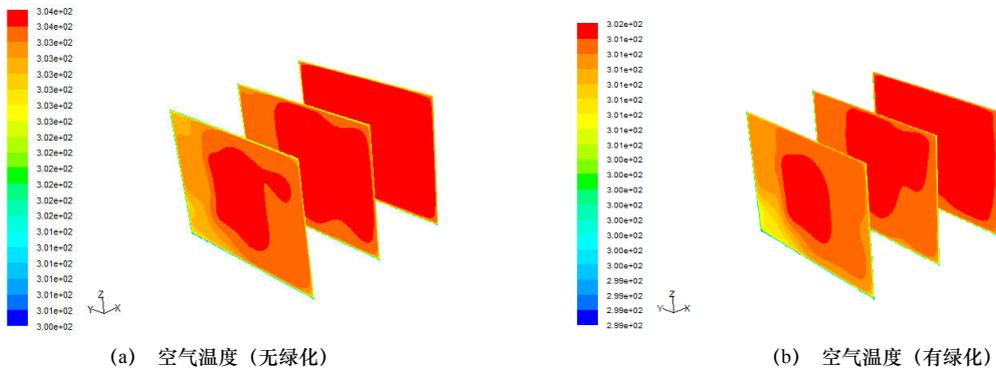


图 2 离开西墙 1m、3m、5m 处 Y-Z 平面温度分布对比

Fig.2 Temperature distribution comparison of the Y-Z plane 1m、3m、5m away from the west wall

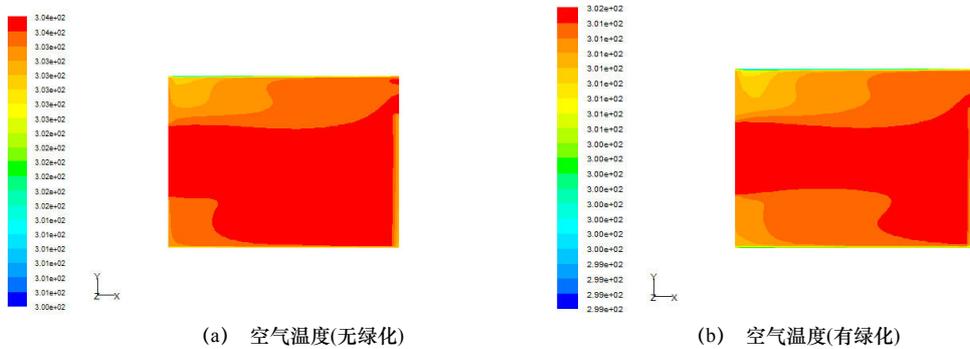


图 3 有无绿化室内 Z=1.1m 处 X-Y 平面温度分布对比

Fig.3 Temperature distribution comparison of the X-Y plane at Z=1.1m

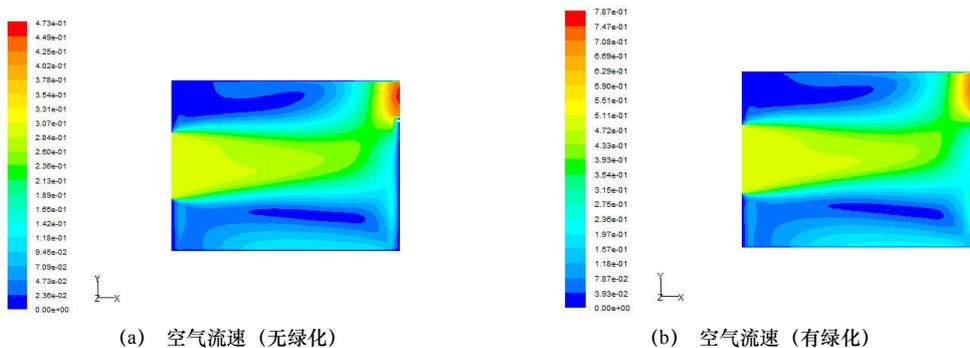


图 4 有无绿化室内 Z=1.1m 处 X-Y 平面流速分布对比

Fig.4 Velocity distribution comparison of the X-Y plane at Z=1.1m

图4[(a)-(b)]是在自然通风条件下,有无绿化房间室内 $Z=1.1\text{ m}$ 处(人员工作区域)平面的空气流速分布对比.从图中可以看出有无绿化房间的室内平均风速在 $0.4\text{ m/s}$ 左右,而绿化房间在 $0.3\text{ m/s}$ 左右,这是因为当建筑外墙有绿化植物,对于周围风的流动有一定的减缓作用,使得在入口处的风速减小,从而降低了室内空气的平均流速.

## 2 实测结果及热流分析

### 2.1 测试项目和方案

实测选择在夏季连续高温期间、无降雨时段进行,利用瑞典 Swema3000 多功能测量仪和 Smart sensor AR350 红外线测温仪采集数据.实测地点选择西安某高校教学楼,北外墙和西外墙都被爬山虎覆盖.分别对有无种植爬山虎的西墙外表面以及室内温湿度进行测试,测定时间为2013年8月.

### 2.2 测试结果和分析

图5为有爬山虎覆盖和裸露的西墙外表面温度变化曲线.从图中可以看出,有爬山虎覆盖的绿化墙面温度变化明显要比裸露墙面的温度变化幅度小,这说明爬山虎的覆盖效果好、蒸腾作用强烈,有效地减少了墙体对太阳辐射的吸收,进而减少了白天由墙体向室内传递的热量;两条曲线的最大值均出现在下午16:00左右,这是因为测量墙面为西墙,在16:00左右受到太阳辐射最大,此时绿化墙面比裸露墙面外壁面温度高出 $15^{\circ}\text{C}$ .

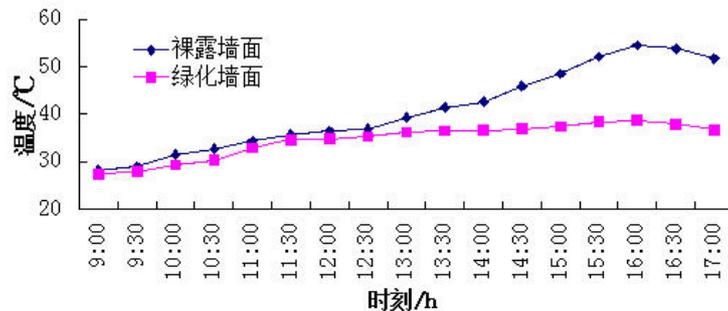


图5 有无绿化植物覆盖西外墙外表面温度变化

Fig.5 The outer surface temperature of west wall with and without the vertical green

图6为外墙种植爬山虎的房间和普通房间的室内温度变化曲线.从图中可以看出,两条曲线的变化趋势一致,曲线波动不明显,说明房间温度起伏不大,普通房间室内平均温度在 $29^{\circ}\text{C}$ 左右,而绿化房间在 $27^{\circ}\text{C}$ 左右,各个时间点普通房间室内温度整体比绿化墙面室内温度高,在下午太阳照射最强烈的时间段,能高出 $2^{\circ}\text{C}$ ,这说明如果墙面的绿化隔热状态良好,将会大大减小西晒问题对室内热环境的影响.

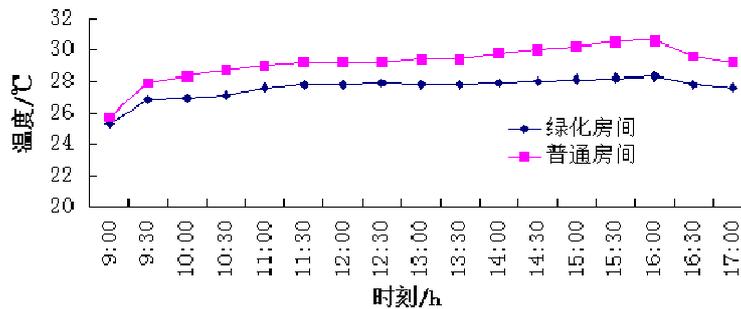


图6 绿化房间和普通房间的室内温度变化

Fig.6 The indoor temperature change green room and ordinary room

### 2.3 理论依据分析

当白天太阳光照射到建筑墙体时,由于绿色植被覆盖在其表面的缘故,一部分太阳光被叶片反射,一部分被叶片吸收,还有一部分透过叶片之间的空隙照射到墙面上.如果绿色植物覆盖效果良好,透过叶片的太阳光只占很少一部分,其中大部分被叶片吸收,则通过单位面积建筑物围护结构的热流量 $q$ 为<sup>[4]</sup>:

$$\text{绿色植被覆盖墙体得热: } q_1 = h_{out}(t_f - t_w) + (1-x)\alpha I - Q_L$$

$$\text{裸露墙体得热: } q_2 = h_{out}(t_f - t_w) + \alpha I - Q_L$$

其中:  $h_{out}$  为围护结构外表面对流换热系数,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;  $t_f$  为室外空气温度,  $^\circ C$ ;  $t_w$  为外墙壁面温度,  $^\circ C$ ;  $x$  为植被在屋顶的覆盖率;  $\alpha$  为墙面对太阳辐射的吸收率;  $I$  为太阳辐射的强度,  $W/m^2$ ;  $Q_L$  为墙面与环境的长波辐射换热量,  $W/m^2$ ; 在强太阳辐射条件下, 若假设墙面被绿色植物完全覆盖, 即  $x=1$ , 那么  $q_1 < q_2$ , 通过这样比较可以看出有植物覆盖下建筑房间得热明显低于普通房间, 从而降低了房间空调冷负荷, 实现了建筑节能。

### 3 结论

本文通过实测和 CFD 计算流体力学软件对建筑物外墙有无绿化植物覆盖两种情况进行了定性和定量分析。得到绿化植物可以降低建筑西外墙表面温度  $15^\circ C$ , 而且绿化建筑房间比普通房间室内温度低  $1.5\sim 2^\circ C$ , 室内平均风速要比普通房间低  $0.1m/s$ , 从结果来看, 墙体绿化对于建筑物室内热环境的影响主要在于通过降低建筑物外壁表面温度、植物周围空气温度产生降低内表面温度的积极影响, 从而降低室内空调负荷实现建筑节能。

### 参考文献 References

- [1] 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(6): 75-79.  
ZHAO Ju, MA Xuli, XIAO Yongquan. CFD simulation of the building's indoor thermal environment[J]. Fluid Mechanics, 2007, 35(6): 75-79.
- [2] 章熙民, 任泽霏, 梅飞鸣. 传热学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.  
ZHANG Ximing, REN Zepei, MEI Feiming. Heat Transmission Science[M]. BEIJING: China Building Industry Press, 2007.
- [3] 周俊波, 刘洋. FLUENT6.3 流场分析从入门到精通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.  
ZHOU J B, LIU Y. FLUENT6.3 Analysis of flow field from entry to the master[M]. BEIJING: Machinery Industry Press, 2011.
- [4] 朱颖心. 建筑环境学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
ZHU Yingxin. Building Environment Science[M]. BEIJING: China Building Industry Press, 2007.
- [5] CHENG C Y, KEN K S, CHU L M. Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls[J]. 2010, 45(8): 1779-1787.
- [6] NAHAR N M, SHARMA P, PUROHIT M M. Performance of different passive techniques for cooling of buildings in arid regions[J]. Building and Environment, 2003, 38(1): 109-116.
- [7] 李娟. 建筑物绿化隔热与节能[J]. 暖通空调 HV&AC, 2002, 32(3): 22-24.  
LI Juan. Greening in building insulation and energy saving[J]. HVAC, 2002, 32(3): 22-24.
- [8] 吕伟娅, 陈吉. 模块化立体绿化对建筑节能的影响研究[J]. 建筑科学, 2012, 28(10): 47-50.  
LÜ Weiya, CHEN Ji. Study of modular the-dimensional green effect on building energy saving[J]. Building Science, 2012, 28(10): 47-50.

## Analysis of eco-green wall building's indoor thermal environment

DI Yu hui, LIN Peng, WANG Zhi peng

( School of Environmental and Chemical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China )

**Abstract:** Taking Xi'an as an example, the indoor thermal environment was simulated by software fluent for the envelope with and without the vertical green. In afternoon hours with continuous high temperature, the test results indicated that the green wall building indoor temperature was lower than ordinary construction by  $1.5\sim 2^\circ C$ , and green wall western facade temperature was reduced by  $15^\circ C$ , which demonstrates that the planting wall can help improve the indoor thermal environment, so it is an effective and active means for building insulation.

**Key words:** Eco-green wall; Indoor thermal environment; Energy conservation

(本文编辑 沈波)