

高校宿舍楼夜间蓄热通风性能实验研究

张磊¹, 杨柳¹, 张璞²

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055;

2. 陕西同济土木建筑设计有限公司绿色建筑咨询中心, 陕西 西安 710000)

摘要: 对某高校宿舍楼的室内热环境进行实验研究, 根据相变材料的最佳温度区间选择质量比为 65:35 的混合石蜡作为本实验的相变材料. 通过对室内外温度及壁面温度进行分析, 得出以下结论: 采用蓄热通风技术的房间室内最高温度比无任何措施的房间低 0.65 °C, 平均温度低 0.6 °C, 室内温度低于 26 °C 的时间比例明显大于未采用任何技术的房间; 随着室内相变材料的增加, 室内最高温度逐渐下降, 温度变化幅度逐渐缩小; 采用蓄热通风技术的房间, 相变材料表面温度大大低于室内壁面温度, 相变材料对周围环境进行冷辐射; 夜间通风及蓄热技术的应用可以有效降低室内温度, 减少室内温度波动, 改善夏季室内热环境.

关键词: 夜间通风; 蓄热技术; 相变材料; 热环境

中图分类号: TU119

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)05-0749-05

高校宿舍楼是高等院校必备的基础设施, 此类型建筑具有人均建筑面积小、夏季闷热、舒适度低等特点, 如何改善宿舍楼内热舒适性是我们应该关注的问题. 寒冷地区昼夜温差大, 具有采用夜间通风降温技术的条件. 其中, 夜间通风降温技术就是将夜间大量的冷空气引入室内, 与室内空气、围护结构、设备进行热交换, 在降低室内空气温度的同时, 将多余的冷量储存在建筑围护结构以及室内陈设中, 在白天室内温度升高时释放出来, 以调节室内温度^[1]. 虽然理论上夜间通风可以有效降低夏季室内温度, 但其实际效果往往并不明显, 其主要原因主要有^[2]:

- (1) 普通建筑的蓄冷能力较弱;
- (2) 普通建筑的围护结构是显热蓄热, 其温度波动较大, 温差利用效率较低;
- (3) 通风量较小, 对流换热效果差.

将夜间通风技术与蓄热技术相结合, 利用相变材料提高夜间通风系统的蓄冷能力. 这样可以在很大程度上改善室内热环境, 减少夏季空调冷负荷, 实现能源的节约, 是一种成本低廉、实现简单、操作容易的被动式节能技术^[3]. 因此, 针对寒冷地区的既有宿舍楼, 采用实验方法对适合寒冷地区的相变材料选择以及蓄热通风性能进行分析研究具有一定的意义.

1 材料选择及实验介绍

1.1 最佳相变温度区间分析

通过查阅诸多文献资料可以知道, 一个城市适宜的相变温度应大于所在城市的夏季室外平均最低温度 2 °C 左右; 此外如果要获得充分的传热量, 空气温度和相变温度之差宜为 3~5 °C. 西安处于建筑热工气候分区的寒冷气候区, 夏季室外温度低, 昼夜温差大, 适合夜间蓄热通风的使用. 西安地区夏季最热月室外日平均最高温度为 31.3 °C, 室外日平均最低温度为 20.9 °C, 西安建筑科技大学的杨茜^[4]给出了西安地区夏季热舒适温度为 27 °C. 综合来说西安地区夏季夜间通风相变材料的最佳相变温度应在 22~24 °C 左右.

1.2 适宜相变材料的选择

选择适用于建筑夜间通风的相变材料, 首先应满足一下原则^[5-8]: ①较高的储能密度; ②适宜的相变温度; ③相变过程应完全可逆并只与温度相关; ④相变过程中, 材料体积变化小; ⑤要有较大的导热系数, 有利于储热和放热; ⑥反复相变后, 储热性能衰减减小, 具有较好的稳定性; ⑦无毒、无腐蚀性、耐火性能佳; ⑧制备工艺简单, 原料廉价易得, 可操作性强.

石蜡具有相变温度范围广、相变焓高、储能密度大、价格便宜、化学性质稳定、无毒无腐蚀性等优点, 是一种较理想的相变材料. 由于单一的有机相变材料相变温度较高, 不适用与夜间通风相变储能系统, 因

此采用二元或多元复合材料来达到使用要求. 本文采用液体石蜡和固体石蜡混合物作为相变材料. 具体制备方法为用电子天平称取不同配比的液体石蜡和固体石蜡, 将其混合放入密封玻璃容器内, 然后将混合物置入 80 ℃的烘箱中保温 2 h, 然后在 60 ℃水浴中搅拌 3 min, 在二者充分混合后自然冷却至室温. 表 1 显示了不同比例石蜡混合物的热性能参数.

表 1 不同比例石蜡混合物的热性能参数
Tab.1 Thermal performance parameters of paraffin mixture of different mass ratios

编号	液体: 固体	相变温度/℃	相变潜热/ J/g	编号	液体: 固体	相变温度/℃	相变潜热/ J/g
1	20:80	33.09	163.1	7	50:50	33.30	127.14
2	25:75	34.09	155.3	8	60:40	27.25	105.88
3	30:70	34.74	150.0	9	65:35	24.85	92.8
4	35:65	35.23	131.9	10	70:30	20.26	57.92
5	40:60	35.33	128.25	11	80:20	10.04	79.35
6	45:55	34.87	117.35				

由表 1 可以看出, 当液体石蜡和 48#石蜡的质量比为 65 : 35 时混合石蜡的相变温度为 24.85 ℃, 在西安地区最佳相变温度区间之内, 适合在西安地区使用.

1.3 实验设计

本次实验选取某大学高层学生公寓为研究对象, 该建筑共 28 层, 高 99 m, 结构类型为框架剪力墙结构. 该实验于 2012 年夏季进行, 实验过程中白天门窗紧闭且关闭风机, 防止自然通风将室外热空气带入室内; 夜间打开门窗并开启风机. 测试房间选取位于三层东侧的 306、307 两个房间, 两个房间大小朝向一致, 布局完全相同, 均只有一侧外墙, 为两个房间的热环境状况的对比分析提供了良好的基础^[9-13]. 如图 1 所示, 每个房间东侧均有一个封闭阳台, 实验期间处于打开状态, 西墙上有一个开向走廊的门. 306 房间采用了蓄热和夜间通风技术, 而 307 房间作为对比未采用任何措施. 这样安排可以对采用了蓄热和夜间通风的 306 房间以及同样工况下未采用蓄热和夜间通风技术的 307 房间进行有针对性的实时对比研究^[14-15]. 306 房间安装有提供夜间通风需要的机械通风装置, 室外空气由阳台窗户经过风机进入室内后, 再经过西向门上方的窗户排出. 将前面选取的相变温度为 24.85 ℃的石蜡混合物装在大小为 96 mm×27 mm 的铁罐中, 均匀交错摆放在架子上, 架子离地面高度为 600 mm, 如图 2 所示. 图 1 显示了 306、307 房间中测点的位置, 沿房间进深方向共布置两个自记录温度块, 在图 1 中用 “×” 表示. 壁面温度同时使用自记式热电偶和人工记录红外线测温枪进行测量, 温度探头分别布置与房间的各壁面和相变材料设备上, 在图中用 “.” 表示.

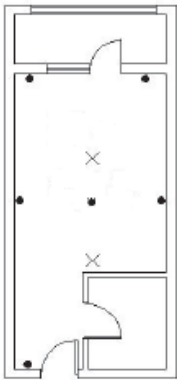


图 1 测点布置示意图

Fig.1 Schematic diagram of measure point



图 2 用于放置相变材料的架子

Fig.2 Shelf on which the phase-change materials are placed

2 实验结果分析

本文主要从三个方面进行对比分析: (1)采用与未采用蓄热及夜间通风技术的对比; (2)放置不同重量相变材料的情况下, 室内热环境的对比; (3)室内外空气温度与内墙壁面温度的对比.

2.1 采用与未采用蓄热及夜间通风技术的对比

图 3 显示的是 306、307 房间以及室外气温的曲线图, 306 房间采用蓄热及夜间通风技术, 307 房间未采用任何措施. 由图 3 可以看出, 室外最高温度达到 29.7 ℃, 最低温度为 18 ℃; 采用蓄热及夜间通风技术的 306 房间室内最高温度为 26.2 ℃, 未采用任何措施的 307 房间最高温度为 26.85 ℃, 306 房间比 307

房间室内最高温度低 0.65 ℃. 此外, 随着室外温度的变化, 307 房间的室内温度始终高于 306 房间, 这是因为 306 房间内设置的相变材料将夜间多余的冷量储存起来, 在白天室内气温升高的时候重新释放出来, 有效的对室内热环境进行调节, 保持室内热舒适度处于一个较好的水平.

DTP 为不舒适过热时间比 (Discomfort over-temperature time percentage), 即全部时段内超过某一临近温度的时间占整个时间的百分比^[3]. 在舒适区间内的时间占全部时段的比例越高, 证明室内热环境状况越好, 如表 2 所示.

由表 2 可以看出, 对于采用夜间通风及蓄热技术的 306 房间来说, 有 53.3 % 的时间其室内温度低于 26 ℃, 也就是说超过一半的时间室内温度都处于舒适区间内, 在此环境中人体感觉非常舒适; 对于未采用任何技术的 307 房间, 室内温度始终保持在 24 ℃ 以上, 其中 24~26℃ 范围内的时间比例仅为 26.7 %, 超过 70 % 的时间室内温度高于 26 ℃, 在这样的环境中人体将会有不舒适感. 所以, 采用夜间通风及蓄热技术能够有效地降低室内空气温度, 对改善室内热环境起到积极的作用.

2.2 放置不同重量相变材料室内热环境的对比

图 4~8 显示了分别设置 20、40、60、80、100 kg 相变材料后, 在夜间通风作用下室内外的温度曲线. 本文以两个参数作为对比依据: (1) 实验房内空气温度振幅衰减 T_{\max} , 为某日室外空气最高温度与室内空气最高温度的差值; (2) 实验房内温度变化幅度与室外昼夜温差的比值.

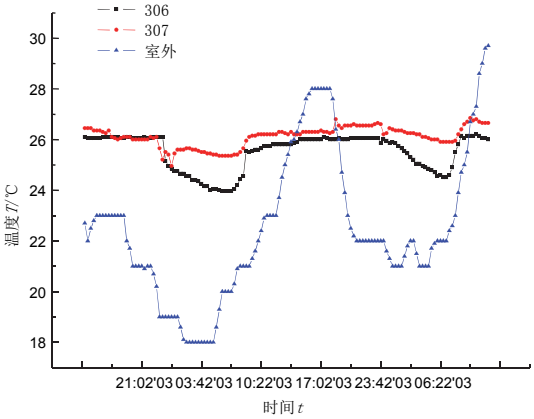


图 3 室内温度曲线

Fig.3 Temperature curve: indoors vs. outdoors

表 2 各温度区间分布时间及百分比

Tab.2 Distribution time and percentage of every temperature region

温度区间 /℃	时间/min		时间百分比/%	
	房间 306	房间 307	房间 306	房间 307
<24	70	0	2.6	0
24~26	1370	720	50.7	26.7
>26	1260	1980	46.7	73.3

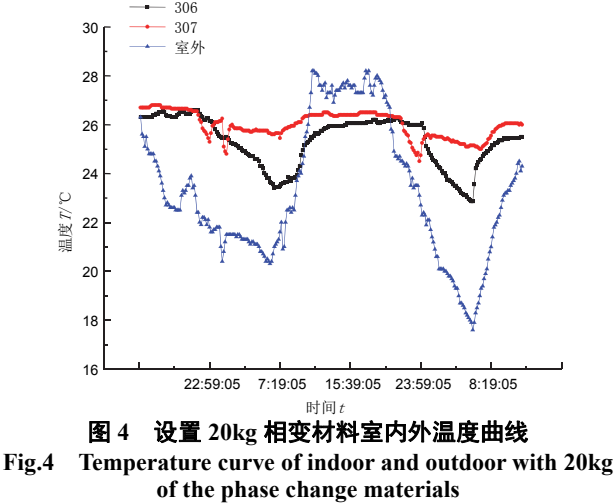


图 4 设置 20kg 相变材料室内温度曲线

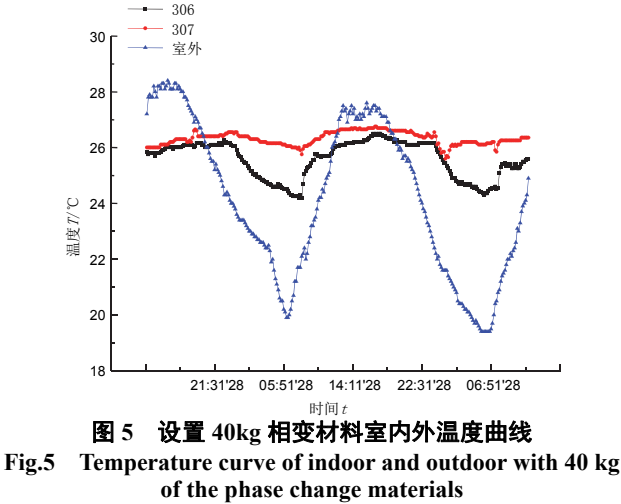


图 5 设置 40kg 相变材料室内温度曲线

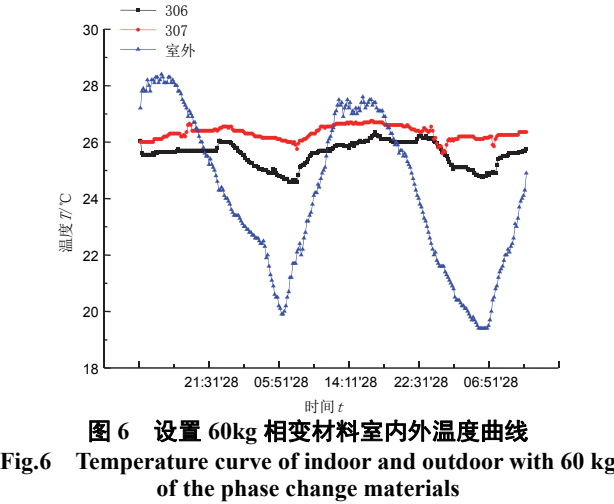


图 6 设置 60kg 相变材料室内温度曲线

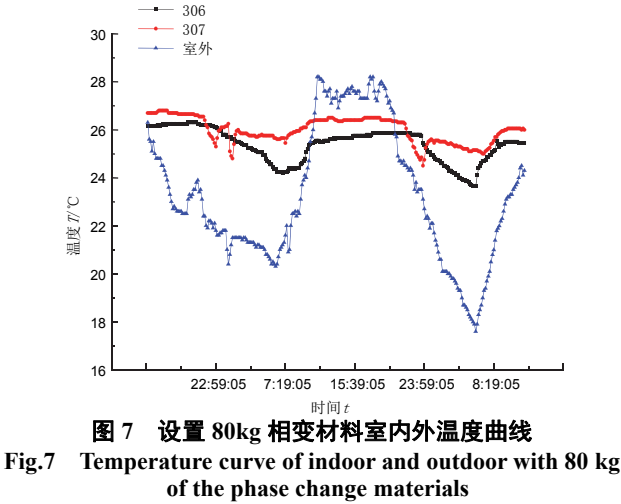


图 7 设置 80kg 相变材料室内温度曲线

在实验房设置 20 kg 相变材料时, 室外温差为 10.6 ℃, 306 房间室内温差为 3.75 ℃, 蓄热及夜间通风技术使室内最高温度比室外温度下降了 1.6 ℃, 室内温差是室外昼夜温差的 35.38%; 设置 40 kg 相变材料时, 室外温差为 9.0 ℃, 室内温差为 2.3 ℃, 蓄热及夜间通风技术使室内最高温度比室外温度下降了 1.9 ℃, 室内温差是室外昼夜温差的 25.56%; 设置 60 kg 相变材料时, 室外温差为 9.0 ℃, 室内温差为 1.75 ℃, 蓄热及夜间通风技术使室内最高温度比室外温度下降了 2.05 ℃, 室内温差是室外昼夜温差的 19.44%; 设置 80 kg 相变材料时, 室外温差为 10.6 ℃, 室内温差为 2.65 ℃, 蓄热及夜间通风技术使室内最高温度比室外温度下降了 1.9 ℃, 室内温差是室外昼夜温差的 25%; 设置 100 kg 相变材料时, 室外温差为 11.7 ℃, 室内温差为 2.25 ℃, 蓄热及夜间通风技术使室内最高温度比室外温度下降了 3.5 ℃, 室内温差是室外昼夜温差的 19.23%, 具体参数见表 3.

表 3 不同重量相变材料对宿舍楼室内热环境影响

Tab.3 Influence of the indoor thermal environment from different weight phase-change materials								
项目	室外最高 温度/℃	室外最低 温度/℃	室外温差 /℃	306 房间室内 最高温度/℃	306 房间室内 最低温度/℃	室内温差/℃	T_{max} /℃	室内外温差 比值/%
布置 20 kg	28.2	17.6	10.6	26.6	22.85	3.75	1.6	35.38
布置 40 kg	28.4	19.4	9.0	26.5	24.2	2.3	1.9	25.56
布置 60 kg	28.4	19.4	9.0	26.35	24.6	1.75	2.05	19.44
布置 80 kg	28.2	17.6	10.6	26.3	23.65	2.65	1.9	25
布置 100 kg	29.7	18	11.7	26.2	23.95	2.25	3.5	19.23

由表 3 可以看出, 随着布置相变材料重量的增加, 实验房内空气温度振幅衰减越来越大, 这说明相变材料的增加对室内温度的降低有积极作用; 室内外温差比值逐渐变小, 说明室内温度波动随着相变材料的增加愈加平稳, 室内的热舒适度愈加理想.

2.3 室内外空气温度与内墙壁面温度的对比

利用蓄热及夜间通风可以有效降低室内温度. 白天利用蓄热材料的蓄热特性将热量储存起来, 夜间通过夜间通风措施将热量带至室外; 夜间将多余的冷量储存起来, 白天释放用来降低室内温度. 所以热量传递方向很大程度上取决于相变材料和内墙表面温差, 将相变材料表面温度和 306 房间内墙壁面温度进行对比分析可知, 相变材料表面温度大大低于内墙壁面温度, 如图 9 所示, 使得相变材料对周围环境及内墙进行冷辐射, 改善夏季室内热环境, 创造舒适的居住环境.

3 结论

本文研究了寒冷地区高校宿舍楼采用蓄热及夜间通风技术对室内热环境的影响. 结论如下:

- (1) 当液体石蜡和 48#石蜡的质量比为 65:35 时混合石蜡的相变温度为 24.85 ℃, 符合西安最佳相变温度在 22~24 ℃左右的要求, 适合在部分寒冷地区使用.
- (2) 采用蓄热及夜间通风技术的房间比未采用任何措施的房间最高温度低 0.65 ℃, 室内平均温度低 0.6 ℃. 可见采用蓄热及夜间通风技术可以降低室内温度, 改善室内热环境.
- (3) 采用夜间通风及蓄热技术的房间有 53.3 %的时间其室内温度低于 26 ℃, 在此环境中人体感觉非常舒适; 未采用任何技术的房间, 室内温度始终保持在 24 ℃以上, 甚至超过 70 %的时间内室内温度高于 26 ℃, 在这样的环境中人体将会有不舒适感. 所以, 采用夜间通风及蓄热技术能够有效地降低室内空气温度, 对改善室内热环境起到积极的作用.

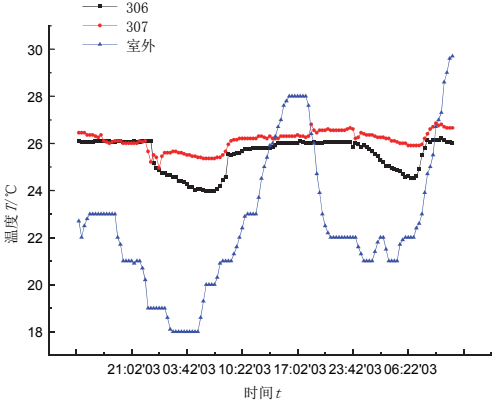


图 8 设置 100kg 相变材料室内外温度曲线
Fig.8 Temperature curve of indoor and outdoor with 100 kg of the phase change materials

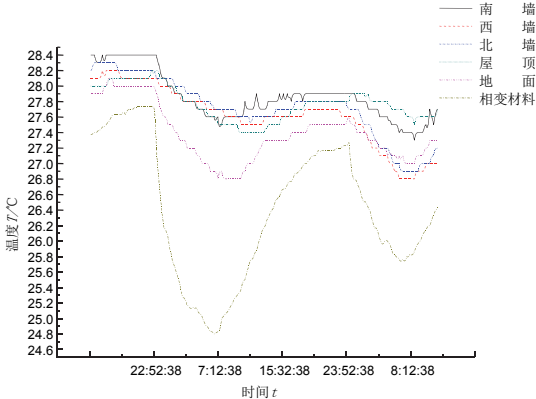


图 9 306 房间内墙及相变材料壁面温度曲线
Fig.9 Temperature curve of interior wall and surface of the phase-change materials in Room 306

(4) 随着室内相变材料的增加,实验房内空气温度振幅衰减逐渐增大,室内温度变化区间愈加缩小,室内热环境保持在一个舒适的水平,室内热舒适度得到改善。

(5) 采用蓄热及夜间通风技术的房间,相变材料表面温度大大低于室内内墙壁面温度,与南墙壁面温度最大差值达到 3.6 °C,使得相变材料对周围环境及内墙进行冷辐射,改善夏季室内热环境,创造舒适的居住环境。

参考文献 References

- [1] 康艳兵,江亿,张寅平. 夜间通风相变储能吊顶系统实验分析[J]. 建筑学报, 2002(7): 32-34.
KANG Yanbing, JIANG Yi, ZHANG Yinping. Experimental analysis of phase change and stored energy ceiling system for night ventilation[J]. Architectural Journal, 2002(7): 32-34.
- [2] 张璞. 夜间通风相变储能材料的适宜性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
ZHANG Pu. Suitability of phase change materials for night ventilation cooling technique[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2013.
- [3] 朱新荣. 北方办公建筑夜间通风降温研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.
ZHU Xinrong. Night ventilation cooling technique research of office building in northern China[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2010.
- [4] 杨茜,杨柳,刘加平. 西安市夏季住宅室内热舒适调查研究[J]. 制冷与空调, 2011(1): 49-59.
YANG Qian, YANG Liu, LIU Jiaping. Field study on thermal comfort in summer of Xi'an urban residence buildings[J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2011(1): 49-59.
- [5] 冯国会,韩淑伊,刘馨,等. 相变墙房间夏季夜间通风效果实验[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2013, 29(4): 693-697.
FENG Guohui, HAN Shuyi, LIU Xin, et al. Experimental study on night ventilation effect in a phase change wall room in summer[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2013, 29(4): 693-697.
- [6] LE D J, HEISELBERG P, JENSEN R L. Experimental investigation of convective heat transfer during night cooling with different ventilation systems and surface emissivities[J]. Energy and Buildings, 2013, 61: 308-317.
- [7] FENG Guohui, CHEN Qizhen, HUANG Kailiang, et al. Cool storage time of phase change wallboard room in summer[J]. Journal of Central South University, 2010(S1): 75-79.
- [8] HUANG Kailiang, FENG Guohui, CHEN Qizhen, et al. Storage and exchange thermal characteristic analysis of phase change wallboard[J]. Journal of Central South University, 2010(S1): 154-158.
- [9] RUUD M, MITCHELL J, KLEIN S. The role of thermal mass on the cooling load of buildings[J]. ASHRAE Trans, 1990, 96(2): 820-835.
- [10] GEROS V, SANTAMOURIS M, TSANGRASOULIS A, et al. Experimental evaluation of night ventilation phenomena[J]. Energy and Buildings, 1999, 29(2): 141-154.
- [11] GEROS V, SANTAMOURIS M, KARATASOU S, et al. On the cooling potential of night ventilation techniques in the urban environment[J]. Energy and Buildings, 2005, 37(3): 243-257.
- [12] KUBOTA T, HOOICHYEE D T, AHMAD S. The effects of night ventilation technique on indoor thermal environment for residential buildings in hot-humid climate of Malaysia[J]. Energy and Buildings, 2009, 41(8): 829-839.
- [13] SANTAMOURIS M, SFAKIANAKI A, PAVLOU K. On the efficiency of night ventilation techniques applied to residential buildings[J]. Energy and Buildings, 2010, 42(8): 1309-1313.
- [14] WANG Zhaojun, YI Lingli, GAO Fusheng. Night ventilation control strategies in office buildings[J]. Solar Energy, 2009, 83(10): 1902-1913.
- [15] ZHOU Guobing, YANG Yongping, XU Hong. Energy performance of a hybrid space-cooling system in an office building using SSPCM thermal storage and night ventilation[J]. Solar Energy, 2011, 85(3): 477-485.

Experimental research on the regenerative night ventilation performance of university dormitory

ZHANG Lei¹, YANG Liu¹, ZHANG Pu²

(1. School of Architecture, Xi'an univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. Green Building Consulting Center, Shaanxi Tongji Architectural Design Civil Engineering Co. Ltd, Xi'an 710000, China)

Abstract: Research on the thermal environment of a university dormitory through was carried out. According to the best temperature extent of the phase change materials, the text selected mixture of paraffin that its mass ratio was 65:35 for the phase change materials. Through analysis of indoor or outdoor temperature and wall temperature, it concluded that the highest temperature in the room with regenerative and ventilation technology is 0.65 °C lower than that without. The average value of temperature was 0.6 °C, the ratio of time that indoor temperature was lower than 26 °C which was obviously greater than without. With the increase of the indoor phase change materials, the indoor highest temperature decreased gradually. In the room where used regenerative and ventilation technology is used, the surface temperature of the phase change materials was obviously lower than the indoor wall temperature, and the phase change materials made cold-radiation around environment. Applicability of regenerative and night ventilation technology helps bring down the indoor temperature effectively, reduce the wave of the indoor temperature, and improve the indoor thermal environment in summer. It has positive effect on the indoor thermal environment in dormitory.

Key words: night ventilation; regenerative technology; the phase change materials; thermal environment

(本文编辑 桂智刚)