

广州不同地表覆盖物热反应变化规律研究

杨晚生, 郭 晶, 阮彩琴, 罗鹏飞

(广东工业大学 建设学院, 广东 广州 510500)

摘要: 利用红外温度测试仪等设备对水泥地面和草坪地表在不同室外环境条件下的温度进行了测试实验研究, 通过测试结果分析了不同地表覆盖物温度变化的规律, 分析了其热反应变化规律, 并对不同地面温度在热舒适性区域的温度频率分布进行了详细的研究, 对热反应规律的差异进行了原因分析, 指出了改善热环境舒适性的措施和方法.

关键词: 地表覆盖物; 热反应; 规律; 热环境

中图分类号: TU834. 4

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2006)02-0127-05

炎热的建筑室外热环境, 不仅使建筑的能耗加剧, 还会严重影响到居民的室内、外生活环境质量, 影响人们居住的热舒适性要求. 改善城市居民的生活环境, 节约建筑能耗, 满足居民的居住舒适性要求是一项综合性系统工程, 需要多学科多工种的协调配合, 从科学发展的角度来实施规划. 城市化进程的加快和工业化迅猛的发展, 城市区热岛效应现象^[1]日益严重, 从客观上恶化了居民的生活环境质量, 影响了城市居民的居住舒适性要求. 不同地表覆盖物对居住区热环境的影响已经成为城市居民选择居住、生活和工作的重要考虑因素^[2-3]. 本文通过实验测量定量地研究比较了不同地表覆盖物对室外热环境的反应变化规律, 以期改善城市居住环境、提高居民的居住质量、节约建筑能耗提出相应的定量措施和改善方向.

1 实验测试情况简介

本实验测试地点在广州市广东工业大学五山校区综合楼和图书馆区域. 实验测试内容包括太阳照射下草坪地面和树荫草坪地面不同高度的温度、湿度和风速, 太阳照射下水泥地面和树荫水泥地面不同高度的温度和相对湿度, 建筑物不同朝向的墙面温度、建筑物南向普通白玻璃窗户和棕色玻璃窗户表面温度等. 限于篇幅, 本文仅对冬季和夏季的典型地表温度进行比较分析, 其它参数将另文加以介绍.

测量温度仪器选用 Raytek Corporation 公司生产的非接触式红外线测温仪, 型号: Y2k, 测温范围: $-18 \sim 260$ °C, 测量精度: 0.1 °C; 用于测量水泥地面、墙面和玻璃的表面温度; 硅半导体便携式数字温度计用于测量草坪地面和不同高度水泥、草坪的地表空气温度, 其型号为: JM222; 测量范围: $-100 \sim 199.9$ °C; 准确度: $\pm 0.2\%$, 分辨率: 0.1; 相对湿度采用型号为: CHIP 907 数字相对湿度计进行测量, 测量范围: 10% ~ 95%; 准确度: $\pm 5\%$; 风速测量采用转轮风速仪进行测量, 工作温度范围为 0~ 50 °C, 测量范围: 0.1~ 30 m/s; 分辨率: 0.1 m/s.

实验测试分别在 2004 年 12 月 11 日和 12 日进行了连续两天的冬季测试和 2005 年 6 月 11

收稿日期: 2005-04-01

作者简介: 杨晚生(1979), 男, 讲师, 主要研究方向为暖通空调、建筑节能和低品位能源利用.

和 12 日两天的夏季测试研究, 测量时段: 8: 00~ 18: 00, 测量时间间隔为 20 min. 为减少误差, 测试过程中用不同的测量仪器进行详细的比较校对, 并对同一地点的测量参数进行连续 3 次测量, 取其平均值作为测量结果. 在两天的测试过程中天气晴朗, 天空基本无云.

2 实验测试结果及分析

2.1 太阳照射下水泥地面和草坪地表温度比较(12月)

在连续两天的测试中, 对同一地点的太阳照射下的水泥地面温度和草坪地表温度进行了详细的测量, 测量结果见图 1. 从测量结果可以得出: 1) 太阳照射下草坪地表在测量时间段的平均温度为 24.3℃, 水泥地面平均温度为 30.0℃, 测量时间段平均温度的平均差值为 5.7℃; 2) 水泥地面的最大温度值出现在 14:11 左右, $t_{\max, s}=37.3^{\circ}\text{C}$, 草坪地表温度最大值 $t_{\max, c}=29.0^{\circ}\text{C}$ 左右, 出现时间为 11:50, 草坪地表温度最大值出现时间较水泥地面提前约 160 min; 3) 水泥地面和草坪地表温度分布趋势不同, 水泥地面温度变化幅度较草坪地表大, 最大值与平均值的差为: $t_{\max, s}-t_{\text{mean}, s}=37.5-30.0=7.5(^{\circ}\text{C})$; 草坪地表最大值与其平均值的差为: $t_{\max, c}-t_{\text{mean}, c}=29-24.3=4.7(^{\circ}\text{C})$, 水泥地面温度变化曲线的斜率比草坪地表的大; 4) 不同温度分布的频率有很大差别, 各范围温度占所测点总数的百分数见表 1. 水泥地面 30℃ 以上的温度占测量总数的 58.6%, 而草坪地表 30℃ 以上的温度测点数为 0; 水泥地面 27℃ 以上的温度分布百分数为 75.0%, 草坪地表温度 27℃ 以上的占 37.9%, 比水泥地表小 37.1% 左右; 水泥地表 20~27℃ 之间的温度所占比率为 13.8%, 草坪地表温度在 20~27℃ 的范围之间的比率为 51.8%; 小于 20℃ 的比例两者都为 10.3% 左右.

2.2 夏季和冬季太阳照射下水泥地面温度比较分析

对同一区冬季和夏季太阳照射下水泥地表的测试结果见图 2. 对测试结果分析得出:

1) 夏季太阳照射下水泥地表温度远高

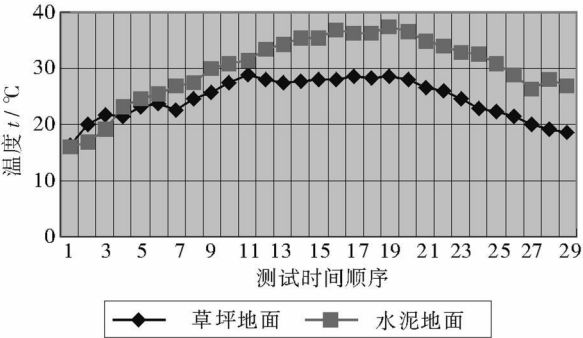


图 1 太阳照射下水泥地面和草坪地表温度比较(12月)

表 1 太阳辐射下水泥和草坪地面温度频段分布

温度 $t/^{\circ}\text{C}$	测 点		比 率/%	
	水泥	草坪	水泥	草坪
> 37	1	0	3.4	0
36~ 37	4	0	13.8	0
35~ 36	2	0	6.9	0
34~ 35	3	0	10.3	0
33~ 34	2	0	6.9	0
30~ 33	5	0	17.3	0
27~ 30	5	11	17.3	37.9
24~ 27	3	5	10.3	17.3
20~ 24	1	10	3.4	34.5
< 20	3	3	10.3	10.3

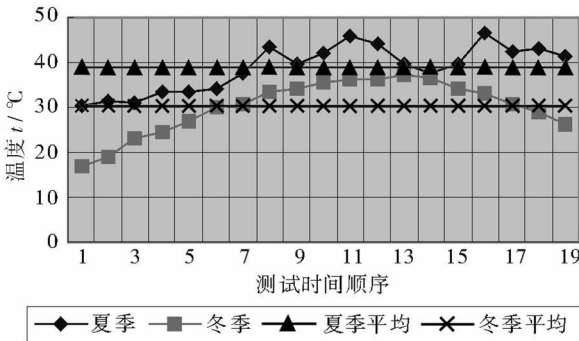


图 2 夏季和冬季太阳照射下水泥地表温度比较

于冬季地表温度, 夏季水泥地表平均温度为 $t_{\text{mean}, S, X} = 38.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 冬季水泥地表平均温度为 $t_{\text{mean}, S, D} = 30.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均温度的差值为: $t_{\text{mean}, S, X} - t_{\text{mean}, S, D} = 38.8 - 30.2 = 8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. 2) 夏季水泥路面的最大温度值为 $t_{\text{max}, S, X} = 46\text{ }^{\circ}\text{C}$, 出现在 15: 20 时刻; 表 2 夏季和冬季太阳照射下水泥地表温度频段分布

冬季水泥地表最高温度值 $t_{\text{max}, G, Y} = 37.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 出现在 14: 11 时刻附近, 二者之间相差 $8.7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3) 夏季和冬季温度变化最大幅度(指最大值与平均值的差值) 分别为夏季: $\Delta t_{\text{max}, S, X} = 46 - 38.8 = 7.2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$; 冬季: $\Delta t_{\text{max}, S, D} = 37.3 - 30.2 = 7.1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$. 4) 各温度段分布范围见表 2. 从测试结果来看, 冬季和夏季温度分布频段和范围的差别很大, 夏季主要集中在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的范围内, 冬季主要集中在 $30 \sim 36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围之内.

2.3 太阳照射下水泥地面和常年树荫下水泥地面温度比较

水泥地面在不同的太阳辐射条件下温度变化规律有很大的差别, 这主要是由水泥地面的蓄热性能和其吸收、反射太阳辐射的性质以及它与周围环境的换热特点所决定的.

本实验已于 2004 年 12 月对太阳照射下的水泥地表和常年处于树荫下水泥地面温度进行了测试, 测试结果见图 3. 从测试结果可以分析得出:

1) 太阳照射下水泥地面温度远高于树荫下水泥地面温度, 其中太阳照射下水泥地面最高温度值为 $37.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 出现时刻为 14: 11, 而树荫下水泥路面的最高温度值为 $t_{\text{max}, S, Y} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 主要在 15: 51 以后时段大量出现, 最高温度值相差 $17.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右. 反映出树荫降温作用的显著效果, 而且最大温度值出现的时间延迟了 100 min 左右.

2) 太阳辐射下水泥地面平均温度值为 $30.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 温度变化最大幅度为 $7.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而树荫水泥地面的平均温度只有 $18.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最大温度变化幅度仅为 $2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. 3) 二者温度分布频率相差比较大, 从表 3 温度分布比较可以看出: 太阳照射下水泥地面以高于 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的表面温度为主要频段, 占到

温度 / $^{\circ}\text{C}$	测 点		比 率 %	
	夏季	冬季	夏季	冬季
> 40	5	0	26.3	0
$37 \sim 39$	5	1	26.3	5.3
$33 \sim 36$	3	8	15.8	42.1
$30 \sim 32$	3	3	15.8	15.8
$27 \sim 30$	0	3	0	15.8
$22 \sim 26$	0	3	0	15.8
$19 \sim 21$	0	1	0	5.3
$18 \sim 17$	0	1	0	5.3
< 17	0	0	0	0

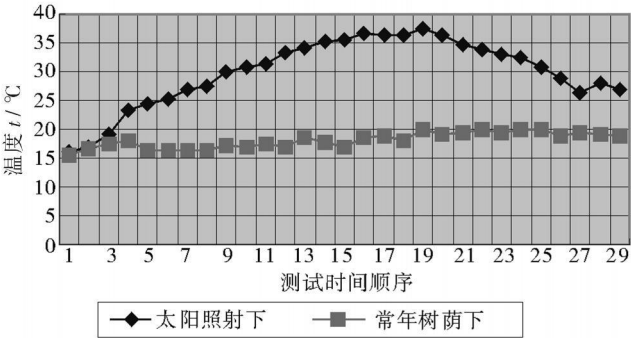


图 3 太阳照射下水泥地面和常年树荫水泥地面温度比较

表 3 常年树荫下水泥和太阳照射下水泥地面温度频段分布

温度 / $^{\circ}\text{C}$	测 点		比 率 %	
	树荫水泥	照射水泥	树荫水泥	照射水泥
> 37	0	1	0	3.4
$35 \sim 37$	0	6	0	20.7
$30 \sim 35$	0	10	0	34.5
$27 \sim 30$	0	5	0	17.3
$25 \sim 27$	0	2	0	6.9
$23 \sim 25$	0	2	0	6.9
$20 \sim 23$	4	0	13.8	0
$18 \sim 20$	11	1	37.93	3.4
$16 \sim 18$	12	2	41.5	6.9
< 16	2	0	6.9	0

总测点数的 75.9%, 20~ 27 ℃ 的温度范围占 13.8%, 而树荫下水泥地面温度以 16~ 20 ℃ 为主, 占整个测点数的 79.4%, 这一结果说明太阳照射下的水泥地面以高温频段温度为主, 其热环境会造成居住环境的热不舒适感.

2.4 树荫下草坪与太阳照射下草坪温度比较

2004 年 12 月太阳辐射下草坪与树荫下草坪地表温度分布见图 4. 太阳辐射下草坪地表平均温度为 24.5 ℃, 树荫下草坪地表平均温度为 20.1 ℃, 二者相差 4.4 ℃; 树荫下草坪地表温度最大值为 24 ℃, 出现在 15:40 这一时刻左右, 而太阳辐射下草坪温度最大值为 29 ℃, 最早出现在 11:48 时刻左右, 说明树荫下草坪的最大温度值比太阳辐射下草坪最大温度值延迟 235 min 左右, 最大值延迟时间较长, 说明树荫对延缓地表温度高峰有显著的延迟作用;

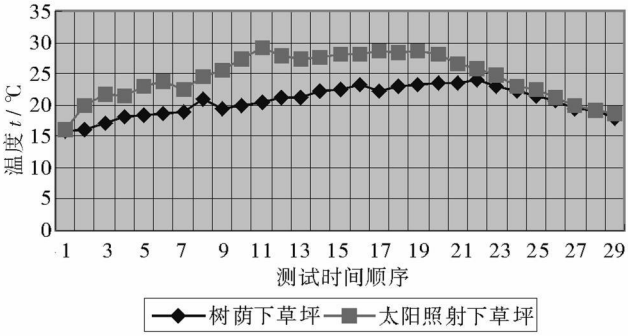


图 4 太阳照射下草坪和树荫下草坪地表温度比较

树荫下草坪与太阳辐射下草坪的最大变化幅度分别为 3.9 ℃ 和 4.5 ℃, 二者的最大温度变化幅度相差为 0.6 ℃, 相差不大. 对应的温度分布频段范围也有所不同, 太阳辐射下草坪地表温度 27 ℃ 以上的占 37.9%, 温度在 20~ 27 ℃ 的范围之间的比率为 51.8%; 而树荫下草坪地表温度在 20~ 24 ℃ 范围占 62.1%, 树荫草坪在 17~ 20 ℃ 这段温度范围的比率为 27.5%, 说明树荫下草坪地表温度以 17~ 24 ℃ 温度分布为主; 而太阳辐射下草坪以 20~ 27 ℃ 为主.

2.5 不同地表热环境舒适性分析

根据丹麦 P. O. Fanger 教授提出的热舒适方程和 ASHRAE 的舒适标准及所得出表征人体热感觉的评价指标——PMV/PPD 指标. 计算出在不同的温湿度条件下人体的热感觉指标, 得出人体的热环境舒适度区域范围为当室内温度在 20~ 26 ℃ 时, $PPD \leq 20\%$, 当室内温度在 22~ 24 ℃ 时, $PPD \leq 10\%$, 此时相对湿度 $\varphi = 40\% \sim 60\%$, 最佳舒适度参数为: 室内温度为 23 ℃, 相对湿度为 60%. 假设地表温度比所在区域空气温度高(夏季常常如此), 因此地表温度就成为影响所在区域热环境的主要控制因素, 如果地表温度控制在舒适性较好的温度湿度范围之内, 则该环境的热舒适性就得到了比较可靠的保证, 因此地表温度的高低在夏季是保证热舒适性的主要因素. 从以上测试数据可以得出: 树荫下草坪和水泥地面温度范围基本处于热舒适性较高的区域, 可以保证热环境的舒适性要求; 而太阳辐射下水泥地面温度则大部分均不能满足人体热舒适性要求, 太阳辐射下的草坪有一半左右的时段处于热舒适性较高的区域, 因此增加绿化面积, 首先要增加高大植被的种植, 以形成良好的树荫舒适环境; 其次种植草坪也能有效减缓地表辐射热量, 降低环境地表温度, 改善居住区域的热环境质量; 而水泥等硬化裸露地面则是热环境影响的主要不利因素.

2.6 不同地表热反应的原因分析

从以上分析测试可以看出: 不同地表覆盖物其热反应规律有很大差别, 对室外热环境也有不同的变化规律, 这主要是由以下几个方面决定的: 1) 不同下垫面对太阳辐射的物理性差异使然^[4]. 对于水泥地面, 其对太阳辐射的吸收率 $\alpha = 0.73$, 发射率 $\varepsilon = 0.92$, 吸收率与发射率的比 $\alpha/\varepsilon = 0.79$; 草坪地面吸收率 $\alpha = 0.69$, 发射率 $\varepsilon = 0.94$, 吸收率与发射率的比 $\alpha/\varepsilon = 0.75$; 水泥的吸收率与发射率之比大于草坪地面, 使得在太阳辐射下水泥地面的温度值高于草坪地面, 2) 植

物的蒸腾作用使植被的表面温度降低. 植物接受的太阳辐射一部分由叶面吸收 2% 左右进行光合作用, 其余的热量使植物本身温度升高和植物本身蒸腾, 其中植物的蒸腾作用可以散失大部分热量^[4]; 而水泥地面由于其相对密实, 水分的蒸发降温作用不大, 吸收的太阳辐射能几乎全部使其温度升高, 同时与周围物体进行辐射换热, 因此植被地面温度要远小于水泥地面温度. 3) 水泥地面和草坪地面与周围物体的换热不同. 由于水泥地面温度较高, 它与周围物体的辐射换热成分占有比较大的比率, 而草坪等植被地面由于主要以蒸腾作用散失热量, 本身表面温度较低, 蒸腾散发的热量主要以对流方式与周围环境换热, 因此辐射传热比率较小, 在炎热夏季可以增加热环境的舒适性. 4) 常年树荫下地面由于接受不到太阳辐射, 主要以换热方式与周围地面空气进行热量交换, 因此地面温度最低, 热舒适性最好.

3 结论

1) 根据以上实验测试结果分析可知, 4 种不同状况下地表对热环境的影响有显著差别, 其中树荫对改善夏季炎热环境的效果最优, 其次为不常年树荫下草坪, 最不利的是太阳辐射下的水泥地面. 2) 草坪绿化植被对建筑外环境有明显改善作用, 其温度分布在同等气候状况下基本处于人的舒适性热感觉区域之内. 3) 尽量避免在居住区采用过多的水泥等硬化路面, 以降低环境地表温度, 减少地面与人和建筑之间的热辐射, 改善环境热微气候. 4) 实验结果表明: 树荫和草坪对热量有延迟和减缓作用, 其中树荫的延迟热量作用高于草坪的延迟作用, 有利于建筑能耗的调峰, 减缓电能的紧张. 5) 树荫对热量的衰减作用高于草坪对热量的衰减作用.

参考文献:

- [1] 张科平. 改善上海城市热岛效应的对策研究[J]. 上海铁道大学学报, 1998, 19(8): 49-53.
- [2] Siew-ann Tan. Influence of pave material and the thermal environment of outdoor [J]. Building and environment. 1992, 27(3): 289-295.
- [3] Bansal N K. Effect of exterior surface color on the thermal performance of building[J]. Building and environment. 1992, 27(1): 31-27.
- [4] 刑永杰, 沈天行, 刘芳. 太阳辐射下不同地表覆盖物的热反应及对城市热环境的影响[J]. 太阳能学报, 2002, 23(6): 717-719.

Study on Thermal Performance Laws of Different Pave Material Surface for the Outdoor Environment

YANG Wan-sheng, GUO Jing, RUAN Cai-qin, LUO Peng-fei

(Faculty of Construction, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510500, China)

Abstract: In the paper the different pave material surface's temperatures are measured by using the thermometer at different climate. With measurements and calculation, the temperature performance laws of different covering surfaces and the thermal performance laws derived, and the satisfactory temperature zone of outdoor thermal environment are analyzed. It's various temperature frequencies are derived on the basis of experiment. The reasons of influencing difference are analyzed and some improving measures and ways are pointed out.

Key words: earth covering materials; thermal performance; laws; thermal environment