

文章编号: 1004-4965 (2004) 02-0198-08

城市区域内建筑物墙体内外壁 表面温度特征的比较研究

何云玲, 张一平, 刘玉洪, 马友鑫,
李佑荣, 窦军霞, 郭 萍

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223)

摘 要: 使用 12 月、4 月、8 月昆明城市区域内建筑物墙体内外壁表面温度的观测资料, 分析了不同朝向墙体内外壁表面温度的特征、变化规律及差异。结果表明: 4 月和 8 月墙体内外壁表面温度较高, 12 月较低; 不同朝向墙体之间的差异以天气晴朗的 4 月和 12 月较大, 多云天 8 月最小; 4 月和 8 月 E 向墙体的内外壁表面温度均最大, S 向次之, N 向最小; 而 12 月 S 向墙体的内外壁表面温度在一段时段内甚至超过了 E 向; 内壁表面温度的日较差低于外壁表面, 且其出现最高、最低温度的时间均较外壁表面有所延滞。

关 键 词: 墙体; 内外壁; 表面温度; 热流量

中图分类号: P423.3

文献标识码: B

1 引 言

随着社会的发展, 人们对生活质量的要求不断提高, 对其中重要组成成分的建筑住宅也越来越予以重视。建筑的围护结构将室内空间与外部环境分隔开, 用以缓和或防护诸如室外气温、湿度、风、太阳辐射及雨、雪等气候要素对室内的直接影响^[1]。随着城市发展, 城市化进程日益加快, 加之建筑的高层化和建筑物密度的不断加大, 建筑物表面积已占城市总表面积的很大比例^[2], 由于各壁面的朝向不同, 表面温度有很大差异, 其对城市气候的影响不可忽视。另外对建筑的保暖(隔热)等热工设计、空调设计、房屋合理设计以及室内微气候研究等方面也具有十分重要的意义。

在建筑学领域, 环境对居住条件的影响已有较多研究和探讨^[1, 3, 4], 国外对建筑物表面的热力状况和变化规律已有研究^[5, 6], 但多集中于亚热带到温带的中高纬地区的发达国家; 我国的研究也多限于上海、北京和西安等大中城市的探讨^[4, 7, 8]; 在西部低纬高原地区, 张

收稿日期: 2002-09-23; 修订日期: 2003-01-23

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(59836250)资助

作者简介: 何云玲(1978-), 女, 云南人, 硕士, 主要研究领域: 生态气候。

一平等^[9~13]初步探讨了城市对太阳辐射、室内外气温等的影响。本研究主要利用 3 个代表月份昆明城市区域建筑物不同朝向墙体内外壁的表面温度的观测资料, 综合对比分析了建筑物内外壁表面温度特征和变化规律, 以及壁面热流量的传递特征, 为低纬高原城市气候的深入研究, 建筑的合理设计等提供科学依据。

2 研究方法

位于昆明城区内的中科院西双版纳热带植物园昆明分部的办公楼(坐北朝南, 4 层建筑)中 3 楼东侧的南、北两间办公室(后文分别称为南屋、北屋)为观测地点。两办公室的面积相近(约 40 m²), 室内高度为 3.2 m; 东墙、南墙和北墙均为外墙, 外墙面为桔黄色的马赛克, 墙厚 0.33 m; 窗户为单层玻璃窗, 位于南、北墙面, 约占墙面面积的 40%; 南北两屋相向而对, 中间有走廊相隔。分别在室内的东(E)、西(W)、南(S)、北(N)、顶(Top)和地板(Floor)方位的内壁面中心点上各设置了 6 个观测点(室内各观测点的方位是以屋内中心所在位置为参照点), 南北两屋共计 12 个观测点; 并在建筑物室外的东(E)、南(S)和北(N)向的外壁面中心点(室外各壁面观测点的方位是指外墙体的朝向)与室内测点相对应的高度(距地约 10 m)处设置了 3 个观测点。本研究中主要对其中具有内外壁的 E、S 向(南屋)和 E、N 向(北屋)的同期资料, 通过对建筑物内外壁的对比分析, 探讨建筑物表面温度的分布特征、变化规律及时空差异。

观测要素为表面温度(红外辐射温度计, COMPAC3, 日本国 Minolta 株式会社)。观测时段分别为 1999 年 12 月 25~27 日, 2000 年 8 月 3~12 日和 2001 年 4 月 20~22 日。每间隔 1 小时观测一次。观测期间的天气状况: 12 月和 4 月基本上为晴好天气, 8 月基本上为多云天气, 均代表了昆明地区同期的典型天气状况。

在以下分析中, 表面温度的数值为观测期间各日的平均值。

3 结果与分析

3.1 墙体表面温度的日变化

3.1.1 外壁表面温度的日变化

从不同月份墙体外壁表面温度时间变化来看(图 1), 12 月昆明是晴好天气, 由于太阳高度角低、辐射弱, 外壁表面温度日变化较大, 夜间较低, 有时会达到 0 以下。4 月昆

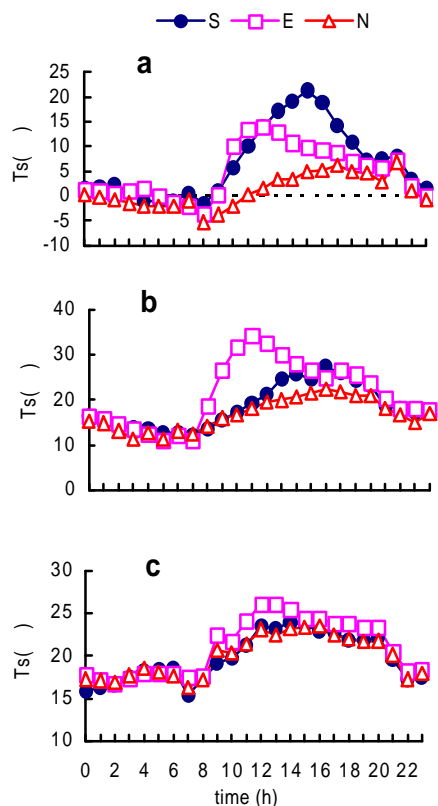


图 1 墙体外壁表面温度日变化
a. 12 月; b. 4 月; c. 8 月。

明处于干季后期,天气晴朗,太阳辐射较强,加上由附近其它表面反射的辐射,使得外壁表面温度较高。8月份昆明处于雨季,云量较多,外壁表面温度稍低于4月。

在3个月份中,夜间不同朝向外壁表面温度的变化基本相似,且差异较小,日落后温度逐渐下降,于日出前的5~7 h达到一天中的最低值。

昼间,墙体外壁各测点的表面温度都高于夜间,但受太阳高度角影响,变化趋势有很大差异。E向、S向外壁在日出后受太阳直射影响,表面温度上升很快,特别是E向外壁由于受日照时间较早,3个月份内都表现为在上午11 h左右表面温度就可以达到一天中的最高值;而N向外壁在3个月份内均表现为表面温度日出后变化比较平缓,缓慢上升于16 h以后才达到一天中的最高值,并且数值昼夜都低于E向和S向外壁。

值得注意的是在12月,由于冬季日出晚和太阳高度角较低,S向外壁表面温度在日出后上升很快,同时受日射时间较E向外壁长,导致表面温度升高并超过E向壁面,于15 h达到最高值(21.3),比E向外壁表面温度最高值(14.0)高出近7.3,其后至夜间凌晨2 h,S向外壁表面温度一直都高于E向。4月和8月,太阳高度角较高,S向外壁所受到的太阳辐射量(垂直于壁面)较E向外壁少,表面温度出现最大值的时间(14~16 h)迟于E向近两个小时,且表面温度昼夜均低于E向。

3.1.2 内壁表面温度的日变化

先从南屋墙体内壁表面温度在不同月份的变化来看(图2),与外壁面一致,内壁表面温度也是12月最低,8月次之,4月最高。

从不同方位来看,夜间,南屋内E和S壁表面温度变化在3个月份基本相似,随时间增加,温度逐渐降低,直至上午10~11 h左右达到一天中的最低值。

昼间,E和S壁的表面温度都低于夜间,但随时间的变化则有差异:12月,由于日出晚和太阳高度角低,南屋日照时间长,中午前后太阳光可通过窗玻璃射入南屋室内,以及被地板反射至E壁的缘故^[1],所以E壁在正午前表面温度很快上升,并在12 h后温度迅速超过S壁,于17 h达到一天中的最高值(15.6);S壁温度变化也为上升趋势,但19 h后温度才超过E壁,并于21 h达到最高值(15.4)。4月和8月,昼间E壁和S壁表面温度变化虽然也呈现上升趋势,S壁出现最高值的时间(22~24 h)同样也迟于E壁(21 h左右),但与12月不同的是S壁表面温度昼夜均低于E壁,8月二者差异小于4月。

北屋的情况(图略)与南屋相似,同样是12月的内壁表面温度最低,8月次之,4月最高。表面温度昼间(9~16 h)较低,夜间较高。不同的是在所观测的三个月份内,北屋内E壁和N壁表面温度变化都基本相似,夜间随时间增加,温度逐渐降低,上午7~11 h左右达到一天中的最低值;昼间温度逐渐上升至21~22 h达最高值。另外,在三个月份,E壁表面温度的数值和变化程度基本上昼夜均大于N壁,且二者差异在12月和4月较大,8月较小。

3.2 墙体内外壁表面温度差异

计算得到不同朝向房屋墙体内壁与外壁表面温度差值(内壁-外壁),分析其日变化特征。

3.2.1 内外壁表面温差的日变化

不同月份南屋内外壁表面温差日变化如图3所示,可看出在天气晴朗的12月和4月,内外壁表面温度差值较大,多云天气8月内外壁表面温差值较小。

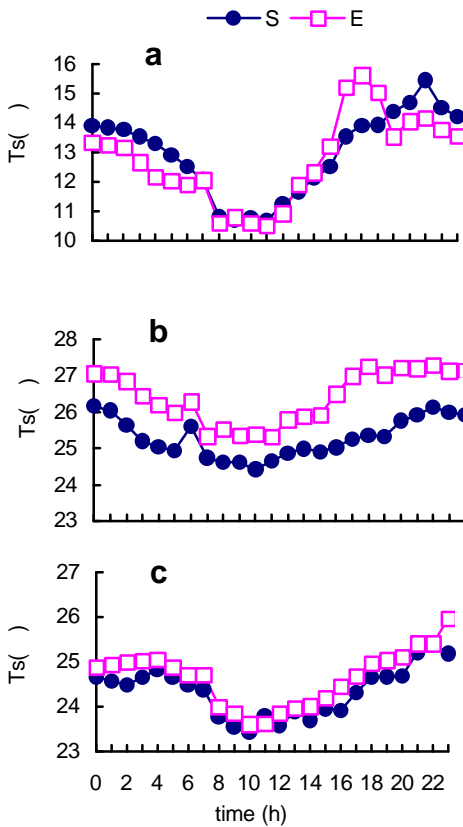


图2 南屋墙体内壁表面温度日变化

a. 12月； b. 4月； c. 8月。

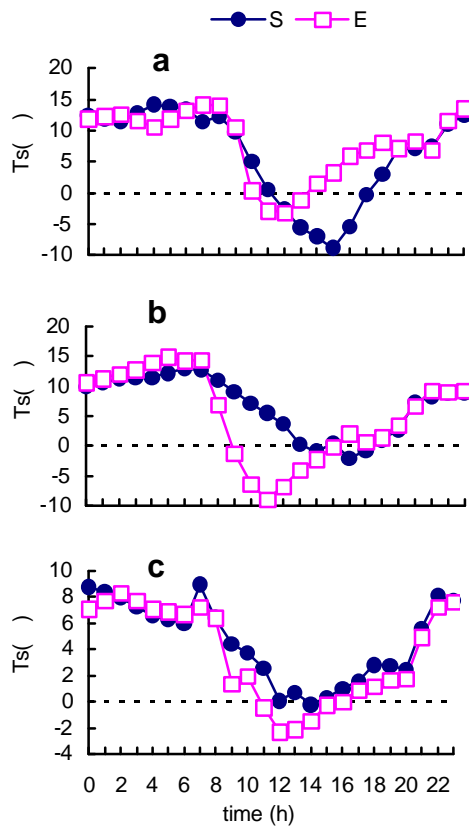


图3 南屋墙体内外壁表面温度差值日变化

a. 12月； b. 4月； c. 8月。

夜间，南屋内不同方位（E和S）的内外壁表面温差在3个月份内变化基本相似，随时间增加，都具有较大的正的温度差值，内壁表面温度高于外壁表面，有热量由墙体内表面传向外表面，正温差于凌晨2~7 h左右达最大值。

昼间，南屋内不同方位内外壁表面温差的变化趋势有相当差异。早晨日出后由于外壁面受太阳直射温度迅速升高的影响，E和S壁的内外壁正的表面温度差迅速减小；特别是E壁由于外壁面受日照时间较早，导致3个月份内都表现为在上午10 h左右（早于S壁）内外壁表面温差就趋近于零，随后出现负温度差，说明热量由表面温度较高的外壁面向内壁面传递，负温差于12 h左右达到极值，以4月最大（-8.8℃），12月次之（-3.1℃），8月最小（-2.3℃）。之后，负温度差减小，14~16 h再次趋于零后，转为正值并逐渐增大维持至夜间，热量再次由E壁内表面向外传递。

所不同的是，在12月，S壁由于外壁面日出后受太阳直接照射量较强且日照时间长，导致内外壁的正的表面温度差值迅速减小，虽然也于11 h趋于零后出现负温度差，在15 h达负极值（-8.8℃），但其出现负温度差的时段多于E壁，极值也明显大于E壁；昼间多数时段热量都是由温度较高的外表面传向内表面。在4月和8月，S壁内外表面正的温度差日出后同样减小，于14 h左右出现温差最小值（在零值附近），之后逐渐增加至凌晨达最大值。4月和8月S壁内外表面温差基本上昼夜都为正值，热量总由内表面向外传。另外，

南屋内 E 壁内外表面温度差值的变化数值和程度在 3 个月份内均大于 S 壁, 显示了壁面方位对表面温度的影响。

北屋的情况 (图略) 与南屋相似, 同样是 12 月和 4 月, 内外壁表面温差较大, 8 月较小。夜间, 不同方位 (E 和 N) 的内外壁表面温差在 3 个月份内变化趋势基本相似, 都有较大的正的温度差, 热量由墙体内表面向外传, 正温差于凌晨 2~8 时左右达最大值。昼间, 北屋内 E 壁和 N 壁内外表面温度差值变化差异较大: E 壁内外表面温度差的变化数值和程度在 3 个月份内均大于 N 壁。日出后, E 壁内外表面正的温度差迅速减小在 10 h 左右趋于零后, 出现负的温度差, 于 11 h 左右达到负极值, 4 月最明显 (-9.2), 12 月次之 (-6.5), 8 月最小 (-1.8), 热量由外表面向内传。之后随着外表面温度迅速下降, 负温度差减小, 日落后到第二天日出以前, E 壁均维持较高的正的内外表面温度差, 热量由内表面向外传。N 壁由于外表面全年受太阳照射时间短, 日出后内外壁正的温度差虽然也呈现缓慢减小趋势, 但始终具有正值, 16 h (落后于 E 壁) 出现最小值, 热量总是由内表面向外传。

由以上分析可以看出, 墙体外壁夜间降温较大, 表面温度远低于内壁面, 热量由内壁面向外传; 日出后随着外壁面受太阳直射温度急剧增加, 表面温度在中午超过了内壁面, 热量由外壁面向内传; 在日落后外壁温度迅速下降, 热量再次由内壁面向外传递。

3.2.2 内外壁表面温度的日较差

从不同月份墙体内壁和外壁表面温度的日较差来看 (表 1), 墙体的内壁或外壁表面温度的日较差, 以及不同方位之间数值的差异在 12 月和 4 月较大, 8 月较小。

对外壁面而言, 不同朝向之间日较差的差异很大: 12 月 S 向外壁面日较差 (22.8 , 是南屋 S 内壁日较差的 5 倍) 最大, E 向次之, N 向最小。4 月和 8 月, 日较差以 E 向外壁面最大, S 向次之, N 向最小。其中, E 向外壁面 4 月日较差最高 (23.3 , 是南北屋 E 内壁日较差的 12 倍)。另外, 在所有月份墙体外壁面的日较差都远大于内壁面。

从内壁面日较差可见: 12 月南屋 S 内壁和 E 内壁日较差可达 5.0 左右, 高于北屋。4 月和 8 月各内壁面日较差都在 2.0 左右, 显示了内壁面的日较差较小, 不同方位之间的差异也较小。

表 1 不同月份墙体内壁和外壁表面温度的日较差 ()

| 时间 | 外壁面 | | | 内壁面 | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | N | E | S | 南屋 S | 南屋 E | 北屋 E | 北屋 N |
| 12 月 | 12.2 | 17.6 | 22.8 | 4.8 | 5.1 | 2.3 | 1.6 |
| 4 月 | 11.1 | 23.3 | 15.3 | 1.7 | 2.0 | 2.0 | 1.8 |
| 8 月 | 7.2 | 9.5 | 8.5 | 1.9 | 2.4 | 1.4 | 1.1 |

4 墙体热流量特征

墙体内外壁表面温度差值的变化特征体现的正是通过墙体的热流量大小和方向等问题 (图 3)。正是热量在一天之中不同时段传输方向不同, 使得墙体内外壁表面温度变化都不会太低或太高, 即热量的传递调节着墙体表面温度。设想把墙分为若干层, 下午时段, 墙体浅表温度提高, 热量向墙体内部深层输送; 夜间和上午, 墙体内部深层内所积蓄热量

先向浅表输送, 然后全部均由内表面向外输送。在热量传出、传入的同时墙体内部温度也完成了调节, 也使墙体内外壁表面温度和环境温度变化具有同步性, 差异不会太大, 充分调节了与人类生存关系最密切的建筑物室内的热环境状况, 这一切都将对房屋建筑的设计, 材料的选取有重要意义。

在建筑学研究领域已得出通过墙体热流量与内外壁表面温度差的关系式^[1]

$$Q_{s-s} = A \frac{1}{d} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

式中: Q_{s-s} 为通过墙体由较热表面传至较冷表面的热流量 (W/m^2); 墙的表面面积为 A (m^2), 厚度为 d (m); 材料的导热系数为 λ ; $t_2 - t_1$ 为温度梯度 ($^\circ\text{C}$)。

分别根据南北屋墙体内外壁表面温度差值, 先计算得出各时刻通过墙体单位面积 ($A=1 \text{ m}^2$) 的热流量, 然后统计了昼间 (8~19 h)、夜间 (20~7 h)、全天 (0~23 h) 几个时段内的通过不同方位单位面积墙体的热流量总值 (图 4)。可见, 通过墙体的热流量夜间大于昼间。夜间, 墙体外表面冷却散热远远快于内表面, 导致表面温度远低于内表面, 热量由内表面向外传, 以 12 月南屋内通过单位面积上 S 壁的热流量最大 ($543.0 \text{ W}/\text{m}^2$), 8 月北屋内通过单位面积上 N 壁的热流量最小 ($307.3 \text{ W}/\text{m}^2$)。昼间, 是墙体内外表面温度都上升的过程, 内外表面温差不会相差太大, 通过墙体的热流量较小, 随着外表面受太阳直射温度急剧增加, 表面温度在中午超过了内表面, 热量才会由外表面向内传, 以 4 月南屋内通过单位面积上 E 壁的热流量最明显 ($-90.0 \text{ W}/\text{m}^2$)。其综合结果, 3 个月份内全天的热流总量都是由较热的内表面向外表面传递, 以 12 月通过单位面积南屋 E 壁的热流量最大 ($740.2 \text{ W}/\text{m}^2$), 8 月通过南屋单位面积上 E 壁的热流量最小 ($339.6 \text{ W}/\text{m}^2$)。

5 结 语

本研究通过对不同季节昆明城市区域内建筑物不同朝向的墙体内外壁表面温度的资料综合对比分析研究后, 发现: 4 月和 8 月, 墙体内外壁表面温度较高, 12 月较低; 不同朝向的内外壁表面温度差异以天气晴朗的 4 月和 12 月较大, 多云天 8 月最小。

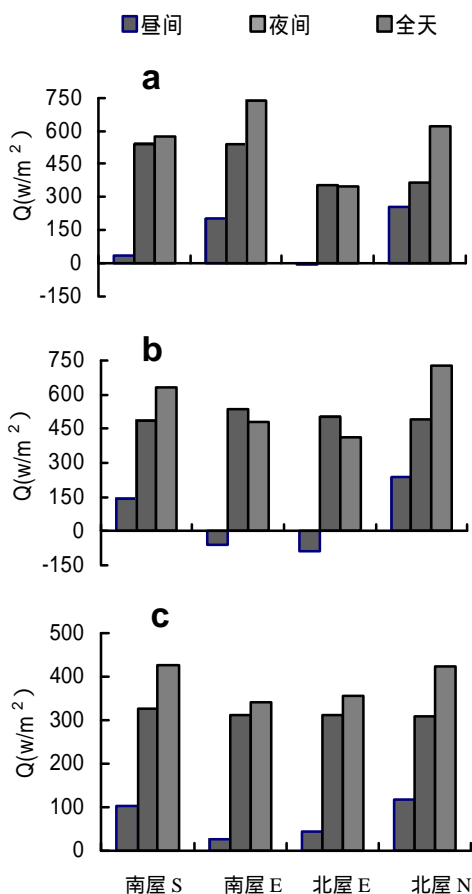


图 4 通过墙体的平均热流量值
a. 12 月; b. 4 月; c. 8 月。

总的说来, E 向外壁由于受到太阳直接照射量较大, 且可照时数最长, 在日出早和太阳高度角大的 4 月和 8 月, 表面温度昼夜均最大, S 向次之, N 向最小(基本上接受不到太阳直接照射); 差异在天气晴朗的 4 月大于多云天 8 月。S 向外壁由于阳光直射, 表面温度高于内 N 向外壁; 在日出晚和太阳高度角低的 12 月, 其表面温度在一个时段内甚至超过了 E 向外壁。表面温度出现一天中最大值的时间 E 向外壁最早, S 向次之, N 向最晚。所以就整栋楼来说, 南墙的热环境好于北墙, 这与周淑贞, 以及邵海荣等的研究结果一致^[6~8]。

研究还表明, E 内壁在 4 月和 8 月, 无论南北屋内其表面温度昼夜均高于 S 和 N 内壁, 差异 4 月大于 8 月。南屋内壁表面温度比北屋高, 差别在太阳高度角较低的 12 月冬季最为明显(可达 4℃ 以上)。另外, 表面温度出现最大值时间, 南屋内 E 壁早于 S 壁, 北屋内 E 壁和 N 壁相近。

综合以上内、外壁表面温度日变化分析也可看出, 内壁面出现最高温度、最低温度的时间均比外壁面向后延滞。内壁表面温度的日较差低于外壁表面的日较差, 与 B.吉沃尼研究的结果一致^[1]。

由以上的结果可以看出, 在城市区域, 不同月份、不同朝向决定着入射的太阳辐射强度, 造成各个外表面温度数值和时间分布特征均呈现较大差异, 形成各个墙面各不相同的温度型, 导致室内表面温度以及室内热环境状况产生差异^[9]。墙体表面温度与人们生活的室内气温状况是息息相关的, 在昆明地区基本上没有使用取暖设施, 即使在冬季, 室内表面温度最低值也达 7.4℃, 最高可达 15.6℃, 这从一个侧面反映了昆明春城的特征。建筑物的墙体作为分开室内与室外的界面, 同时能储热和放热, 有着其特殊的热力效应, 不同城市区域内, 不同建筑材料的墙体, 表面温度会有差异, 势必影响城市内建筑物微气候特征, 对其进行深入研究将是今后的课题。

致 谢: 在观测中得到了本单位硕士研究生王进欣、何永涛、周虹霞等同学的协助; 云南大学地球科学系尹利伟、于春、赵荻、陈宇、段玮、刘文俊; 昆明师专的刘茗等同学参加了观测及数据录入和统计工作, 在此表示感谢。

参 考 文 献:

- [1] B 吉沃尼. 人·气候·建筑 [M]. 陈士麟译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982. 92-128.
- [2] 张一平, 李佑荣. 城市区域内建筑物表面温度特征[J]. 城市环境与城市生态, 1997, 10(1): 39-42.
- [3] L 巴赫基. 房间的热微气候[M]. 傅忠诚等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987. 208-279.
- [4] 陈启高. 建筑热物理基础[M]. 西安: 西安交通大学出版社. 1982. 189-220.
- [5] NAKAMURA Y, OKE T R. Wind, temperature and stability condition in an east-west oriented urban canyon[J]. *Atmos Environ*, 1988, 22: 2691-2700.
- [6] HANNA Swaid. Urban climate effects of artificial heat sources and ground shadowing by buildings[J]. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, 1993, 13: 797-812.
- [7] 周淑贞, 束 炯. 城市气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1994. 138-193.
- [8] 邵海荣, 周道英. 建筑物的遮荫效应及对绿化的影响[J]. 北京林业大学学报, 1996, 18: 37-44.
- [9] 张一平, 李佑荣, 王进欣. 等. 低纬高原城市冬季南北朝向室内温湿特征的初步分析[J]. 热带气象学报, 2001, 17: 265-272.

- [10] 张一平, 李佑荣, 张庆平. 低纬高原城市区域冬季晴天不同波长辐射的特征[J]. 热带气象学报, 1998, **14**: 329-336.
- [11] ZHANG Yi-ping, LI You-rong, ZHANG Qing-ping. Radiation of all wavelengths on fine winter days inside and outside low-latitude cities over plateau[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 1999, **5**: 98-105.
- [12] 张一平, 彭贵芬, 李佑荣, 等. 低纬高原地区城市化对室内外气温的影响研究[J]. 高原气象, 2001, **20**: 311-317.
- [13] ZHANG Yi-ping, LI You-rong, WANG Jin-xin, et al. Preliminary study of indoor features of temperature and humidity for rooms facing north-south in winter in a low-latitude plateau city[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2002, **8**: 85- 92.

A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF INTERNAL AND EXTERNAL WALL SURFACE TEMPERATURE IN THE URBAN AREA

HE Yun-ling, ZHANG Yi-ping, LIU Yu-hong, MA You-xin
LI You-rong, DOU Jun-xia, GUO Ping

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Kunming 650223, China)

Abstract: Internal and external wall surface temperatures (Tws) in April, August and December in Kunming, a city in low latitude plateau, were investigated. Results showed that the Tws in April were of the highest among the three, followed by August and December. The Tws differences among walls with different orientation were higher in April and December when the weather tends to be sunny, and lower in August with more cloudy days in the time. In April and August, Tws of E-wall was the highest, followed by S- and N-wall. But in December Tws of S-wall might be sometimes higher than E one. Diurnal range of internal Tws was usually smaller than that of the external, with also a time lag for the occurrence of its maximum and minimum. The results can serve as a basis for further research on building microclimate and urban architecture designs. It also gives suggestions for similar studies in other areas.

Key words: wall; internal and external surface; surface temperature; heat flux