

文章编号: 1000-0534(2004)05-0697-07

# 城市区域南北朝向室内表面温度特征

何云玲<sup>1, 2</sup>, 张一平<sup>1 \*</sup>, 刘玉洪<sup>1</sup>, 马友鑫<sup>1</sup>,  
李佑荣<sup>1</sup>, 窦军霞<sup>1, 2</sup>, 郭 萍<sup>1, 2</sup>

(1. 中国科学院 西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 使用 12 月、4 月、8 月昆明城市区建筑物室内小气候的观测资料, 分析了室内不同方位的墙体表面温度的特征、变化规律及差异。结果表明: 南北朝向房屋不同内壁表面温度存在显著的时间和季节变化, 4 月和 8 月内壁表面温度较高, 12 月较低; 12 月室内表面温度变化受房屋朝向影响十分显著, 4 月和 8 月影响较小; 南屋 12 月夜间 S 壁表面温度最大, 昼间 E 壁最小; 4 月和 8 月则反之, 夜间 E 壁表面温度最大, 昼间 S 壁最小; 北屋 3 个月份内夜间 E 壁表面温度均最大, 昼间 N 壁最小。以上所得结果可为探讨房屋微气候特征和形成机制、原因, 建筑物的合理设计和规划, 以及改善人们居住环境的深入研究提供依据, 并且为其它地区的相关研究提供参考。

**关键词:** 昆明市区; 房屋朝向; 内壁; 表面温度

**中图分类号:** P463.4 **文献标识码:** A

## 1 引言

生活在城市中的人们, 大部分时间都是在室内度过的, 一方面室内环境的好坏及舒适与否已引起人们的极大关注, 如何改善建筑物内部人工气候环境, 显得特别重要<sup>[1~3]</sup>。另一方面, 随着城市发展, 建筑物密度的加大, 建筑物表面积已占城市总表面积的巨大比例<sup>[2]</sup>, 建筑的墙体作为室内空间与外部环境分隔开的特殊界面。室内各壁面由于房屋朝向不同, 加之方位差异, 在不同季节所受太阳辐射和外墙热力状况差异的影响, 使得室内表面温度产生差异, 而表面温度的差异将对室内热环境状况产生直接影响<sup>[3, 4]</sup>; 因此对其进行研究对探讨室内微气候形成机制以及建筑的采暖(隔热)等热工设计, 空调设计、房屋合理设计等方面都具有十分重要的意义。

本研究利用 3 个代表月份昆明城市区域建筑物室内不同方位的表面温度的观测资料, 综合分析了建筑物内表面温度特征和变化规律, 为低纬高原城市气候的深入研究, 建筑的合理设计提供科学依据。

## 2 研究概况

位于昆明城区内的中国科学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 m<sup>2</sup>), 室内高度为 3.2 m; 东墙、南墙和北墙均为外墙; 外墙为桔黄色的马赛克; 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。其中南屋的 E 壁和 S 壁; 北屋 E 壁和 N 壁其外为建筑物外壁, 其余壁面之外为其他房屋或走廊壁面。

观测要素为表面温度(红外辐射温度计, COM-PAC3, 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。每隔 1 h 观测一次。12 月和 4 月基本上为晴好天气, 8 月基本上为多云天气, 该时间段均代表了昆明地区同期的典型天气状

收稿日期: 2002-12-10; 改回日期: 2003-03-07

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(59836250); 云南省自然科学基金项目(2003D0071M)共同资助

作者简介: 何云玲(1978—), 女, 云南人, 在读博士, 主要从事生态气候的研究。E-mail: elin1061@sina.com

\*通信联系人: 张一平, E-mail: yiping@public.km.yn.cn

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 室内表面温度的日变化

##### 3.1.1 南屋室内表面温度的日变化

南屋室内 E、S、W、N 4 个不同方位的表面温度日变化如图 1 所示。

12 月(图 1a),昆明多为晴好天气,由于日出晚和太阳高度低,室内外气温不高,内表面温度在 3 个月份中最低。昼间,南屋内日照时间长,太阳光可通过窗玻璃射入室内,午后直接照射 E 壁<sup>[1]</sup>,所以 E 壁的表面温度上升较大,于 17 时达到一天中的最高值(15.6 $^{\circ}\text{C}$ );S 壁温度 19 时后超过 E 壁,并于 21 时达到最高值(15.4 $^{\circ}\text{C}$ );N 壁的温度增加率午后减小,于 17 时(北京时,下同)达最高值(12.9 $^{\circ}\text{C}$ );冬季午前太阳光可通过窗玻璃入射至 W 壁,导致 W 壁昼间 07~14 时表面温度高于其他 3

个壁面,于 16 时达最高值(14.0 $^{\circ}\text{C}$ )。夜间,表面温度 S 壁略高于其他 3 个方位壁面, N 壁最低。

4 月昆明处于干季后期,天气晴朗,加之太阳高度高,太阳辐射为全年最强时期,室内外气温均较高,引起热流传向建筑表面并提高着壁表面的温度<sup>[1]</sup>,导致内壁表面温度在 3 个月中最高(图 1b)。E 壁由于所在墙体的外表面在日出后受太阳直射的影响,获得大量热量向建筑物内壁面传递,使内壁面温度上升很快,14 时后远远高于其他 3 个方位壁面,于 21 时达到一天中的最高值(27.3 $^{\circ}\text{C}$ )。S 壁表面温度 10 时后为上升趋势,一直延续到前半夜,于 00 时达最高值(26.1 $^{\circ}\text{C}$ );但由于其处于建筑物外墙,太阳高度高,其外壁面受太阳垂直照射相对较少,加之有从窗户进入的外部空气的影响,所以昼间大多数时段其表面温度在 4 方位中最低。W 壁和 N 壁温度日变化趋势相似,数值变化小,且二者之间的差异也较小,表面温度均在 17 时出现最高值(分别为 26.2 和 26.0 $^{\circ}\text{C}$ )。夜间, E 壁表面温度最高,其他 3 个壁面的温度都相差不大。

8 月份昆明处于雨季,各内表面温度稍低于 4 月。不同方位间表面温度数值及变化程度的差异减小(图 1c)。W 壁由于所在墙体受室外环境因素变化的影响较小,温度值昼夜变化均不大,昼间大多数时段其表面温度略高于其他 3 个壁面;S 壁表面温度变化与 4 月相似,昼间大多数时段其表面温度较低。10 时后室内 4 个方位表面温度都呈上升趋势,均于 22 时达最高值;E 壁表面温度的最高值(25.4 $^{\circ}\text{C}$ )大于其他 3 个方位壁面,夜间其温度值最高;N 壁表面温度变化与 12 月相似,夜间其表面温度较低。

再从南屋室内上顶面(Top)和地板面(Floor)表面温度的日变化来看(图 2),二者表面温度的日变化没有其他 4 方位壁面明显,基本上在各自平均值附近上下波动,充分体现了建筑物室内表面受外界因素变化影响较小,温度较稳定的特点。12 月(图 2a),Top 表面温度昼夜变化均不大,17 时出现最高值(13.3 $^{\circ}\text{C}$ );太阳高度低,正午前后太阳可透过窗户入射至地面,导致 Floor 表面温度从 14 时急剧上升,于 16 时达最高值(18.5 $^{\circ}\text{C}$ )。夜间,Top 和 Floor 的表面温度变化趋势基本一致,数值差异很小,日出后 09 时达最低值。4 月(图 2b)和 8 月(图 2c),室内气温较高,热量又主要靠对流的方式转移至上层空气,进而传向 Top,导致 Top 表面温度昼夜均高于 Floor,差异 4 月大于 8 月。

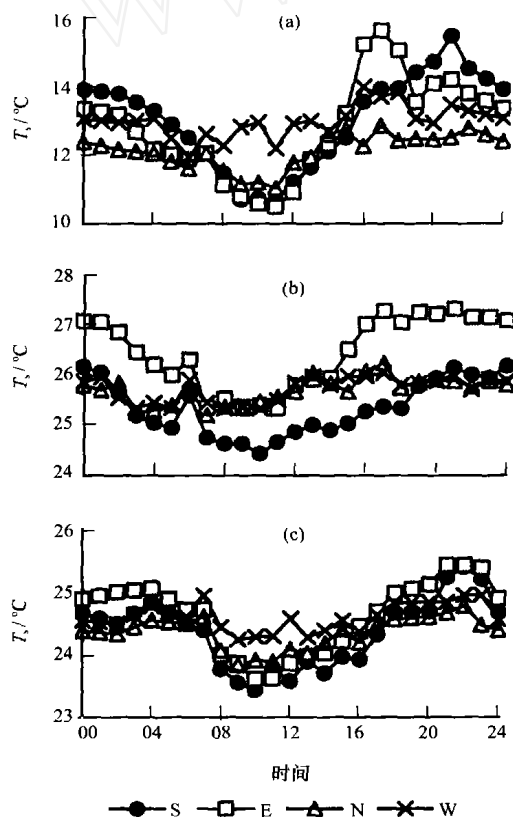


图 1 南屋室内表面温度的日变化

(a) 12 月, (b) 4 月, (c) 8 月

Fig. 1 Diurnal variation of internal wall surface temperature (Tws) in southward house.

(a) December, (b) April, (c) August

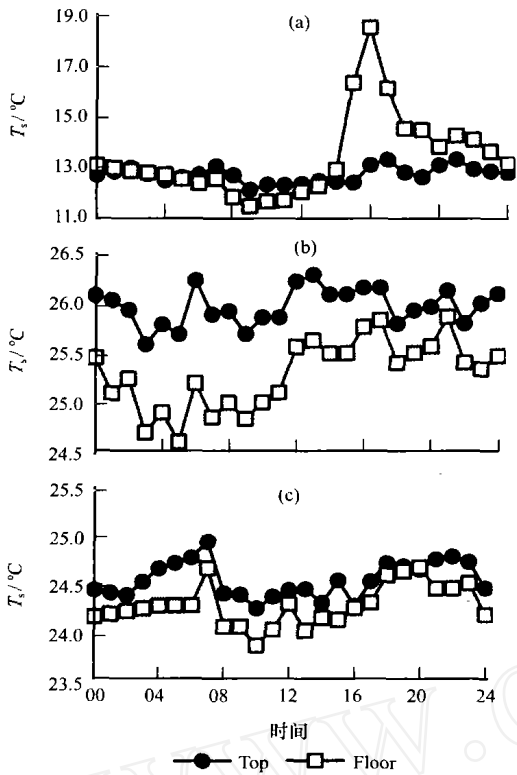


图 2 同图 1，但为南屋室内上顶面和下底面  
Fig. 2 The same as Fig. 1, but for top and floor

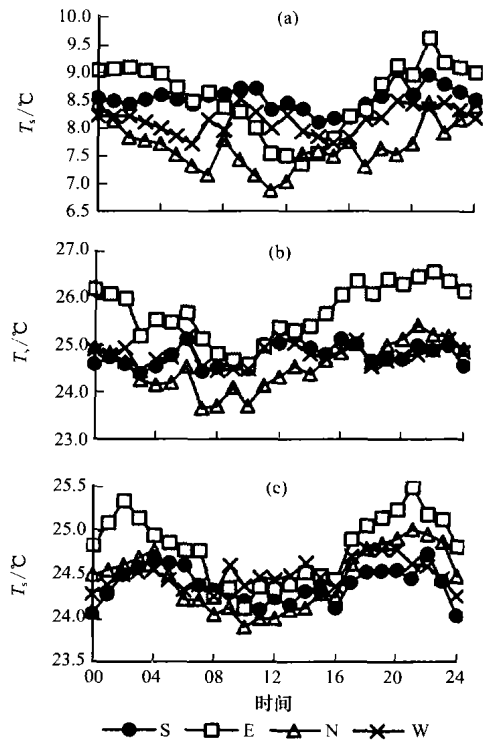


图 3 北屋室内表面温度的日变化  
(a) 12 月, (b) 4 月, (c) 8 月

Fig. 3 Diurnal variation of internal  $T_{ws}$  in northward house. (a) December, (b) April, (c) August

3.1.2 北屋室内表面温度的日变化

北屋内不同方位表面温度日变化(图 3, 4)与南屋相似, 同样是 4 月各内表面温度最高, 8 月次之, 12 月最低。E、S、W、N 4 个方位壁面温度在不同季节的日变化趋势也大体一致, 夜间高, 昼间低(图 3)。但北屋因朝向原因, 受太阳高度角和辐射强度的影响比南屋小得多, 各内壁面温度日变化趋势没有南屋明显。

12 月(图 3a), E 壁表面温度 16 时后迅速超过其他 3 个壁面, 于 21 时达到一天中的最高值(9.7), 夜间其表面温度最高。S 壁和 W 壁由于所在墙体受外界环境因子变化影响不大, 表面温度昼夜变化幅度较小, 即使在昼间仍能维持较高温度, 尤其 S 壁温度在昼间 08~15 时高于其他 3 个壁面。N 壁所在墙体外表面几乎受不到太阳直射, 加之冬季室内气温较低, 向内表面传递的热量少, 所以其表面温度昼夜均最低, 于 21 时左右达到最高值(8.5)。

4 月(图 3b), E 壁表面温度昼夜均高于其他 3 个壁面, 22 时达一天中的最高值(26.6), 夜间差异大于昼间。S 壁和 W 壁和 12 月相似, 昼夜温度的变化幅度和差异较小。N 壁表面温度夜间与 S

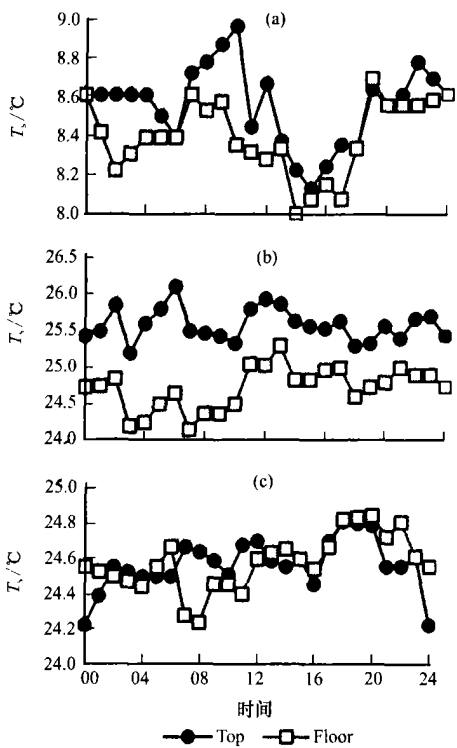


图 4 北屋室内上顶面和下底面温度的日变化  
(a) 12 月, (b) 4 月, (c) 8 月

Fig. 4 Diurnal variation of top and floor  $T_{ws}$  in northward house. (a) December, (b) April, (c) August

壁和 W 壁差异较小;晚上 20 时后温度增加率稍大于 S 壁和 W 壁,于 21 时达最高值(25.2 )。

8 月(图 3c),不同方位之间的差异小于 4 月,各方位表面温度变化的数值和位相差异均不大,且变化规律与南屋相近。除 W 壁在昼间一段时间内温度略高于其他壁面外,一天中的大多数时段仍以 E 壁的表面温度最高。

再从北屋内上顶面(Top)和地板面(Floor)的表面温度日变化来看(图 4),3 个月份内均表现为 Top 表面温度昼夜均大于 Floor,且二者间的温度差异明显小于南屋。12 月(图 4a),与上述 4 个方位的壁面一致,表面温度基本上昼间低于夜间,15 时左右达一天中最低值(约 8.0 )。4 月(图 4b)和 8 月(图 4c),Floor 壁和 Top 壁表面温度日变化的幅度都很小,二者差异 8 月小于 4 月。

### 3.2 南北屋对应内壁表面温度的比较

在南、北屋不同方位的各观测点中,E 壁、W 壁、Top 和 Floor 表面温度受室内外环境因子变化影响基本类似,可以进行不同朝向房屋对应内壁面温度的对比,通过计算得出南北屋对应内壁表面温度差值(南屋 - 北屋),分析其日变化特征。

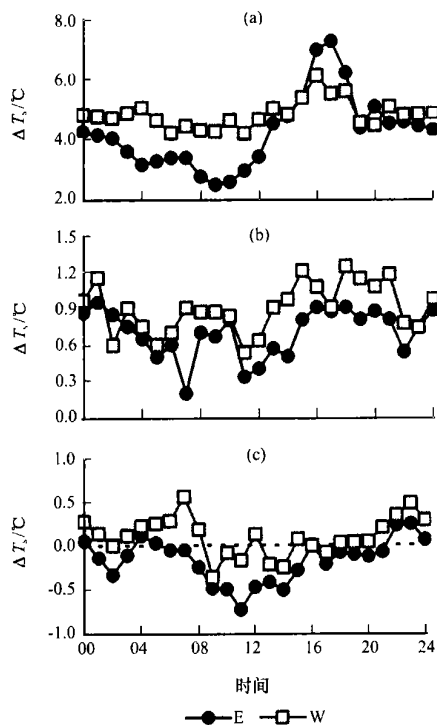


图 5 南北屋对应壁的表面温度差值的日变化

(a) 12 月, (b) 1 月, (c) 8 月

Fig. 5 Diurnal variation of internal Tw between the south and northward houses. (a) December, (b) April, (c) August

南北屋对应 E、W 壁表面温度差值日变化如图 5 所示。12 月(图 5a)南屋内 E、W 壁表面温度昼夜均高于北屋,温差值均为正(2.0 以上),且温差日变化程度 E 壁大于 W 壁;夜间,E 壁温差随时间增加有减小趋势,09 时达最小值(2.5 ),W 壁温差的变幅较小;昼间由于冬季太阳高度低,太阳可透过窗户射入南屋室内或被反射至内壁面上,加之室内气温升高有热流传向内壁面,导致内壁表面温度较高,而北屋则不会出现这种情况,所以南北屋对应壁面温差增加,特别是 E 壁温差增加率大于 W 壁,于 17 时达温差最大值(7.3 ),W 壁在 16 时达温差最大值(6.1 )。4 月(图 5b)和 12 月相似,南屋内 E、W 壁表面温度昼夜均高于北屋,温差均为正;但温度差值都较小(1.3 以下),明显低于 12 月,所以温差日变化程度均没有 12 月明显。8 月(图 5c),南北屋对应 E、W 壁表面温度差值都较小(温差绝对值均在 0.7 以下),变化幅度明显小于 4 月和 12 月,显示了在雨季的 8 月,南、北屋对应壁面的温度趋向相近数值,房屋朝向的影响减弱。

再比较 Top 和 Floor 表面温度的南、北屋差

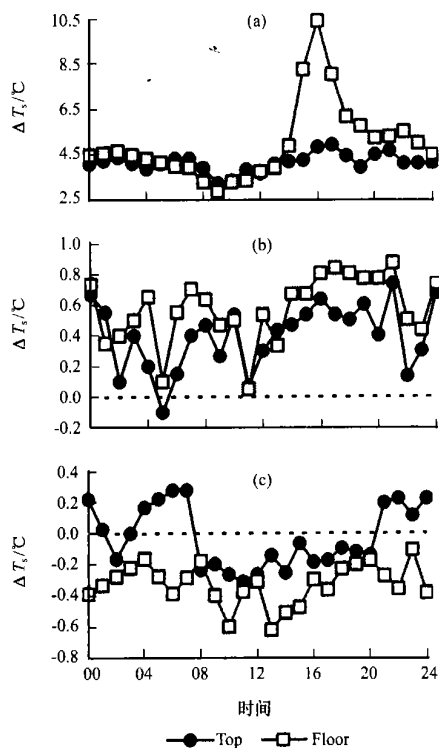


图 6 同图 5,但为上顶面和下底面温度差值的日变化

Fig. 6 The same as Fig. 5, but for diurnal variation of top and floor

异(图 6)。12 月南屋内 Top 和 Floor 表面温度昼夜均高于北屋, 差值均为正(2.5 以上)(图 6a)。夜间, Top 和 Floor 表面温度的南北屋差值都较小, 温差均维持在 4 左右。昼间, 因冬季太阳高度低, 午后太阳可透过窗户入射至南屋内地面使 Floor 温度迅速上升, 导致南北屋温差从 14 时起急剧上升, 16 时达最大值(10.4 ), 之后随着时间增加, 温差又减小; 而南北屋 Top 表面温度差值日变化较小, 17 时达温差最大值(4.9 )。4 月(图 6b), 南屋 Top 和 Floor 表面温度基本上还是昼夜均大于北屋, 差值为正, 但数值较小(0.9 以下)。8 月(图 6c), 南北屋对应的 Top 和 Floor 表面温差都较小(温差绝对值均在 0.6 以下)且变化幅度最小, 和 E、W 壁分析一致, 南、北屋对应壁面温度在 8 月趋向近似。

进一步分析比较南屋窗户侧外墙的内表面 S 壁 ( $R_s - S$ )和北屋窗户侧外墙的内表面 N 壁 ( $R_n - N$ ) 的表面温度(图 7)。12 月(图 7a), 南屋 S 壁与北屋 N 壁的表面温度均在 21 时出现最高值(分别为 15.4 和 8.5 )和 11 时出现最小值(分别为 10.7

和 6.9 ), 可见南屋 S 壁温度昼夜均高于北屋 N 壁, 并且其温度日较差明显大于北屋 N 壁, 充分显示了南、北屋与外墙相邻的内壁面表面温度的显著差异。4 月(图 7b), 北屋 N 壁于 21 时出现最高值(25.5 )和 07 时出现最低值(23.7 ), 南屋 S 壁分别落后北屋 N 壁约 3 h, 于 00 时出现最高值(26.2 )和 10 时出现最低值(24.4 ), 两壁面温度日变化的数值差异虽比 12 月明显减小, 但仍存在明显的位相差, 南屋 S 壁温度昼夜均大于北屋 N 壁。8 月(图 7c)南北屋对应壁面温度的数值和日变化均相近, 夜间差异稍小于昼间, 且昼间一段时间内北屋 N 壁温度略大于南屋 S 壁; 显示了 8 月南北屋朝向对内壁表面温度的影响明显降低。

南屋走廊侧的内表面 N 壁 ( $R_s - N$ )和北屋走廊侧的内表面 S 壁 ( $R_n - S$ )的表面温度日变化如图 8 所示。12 月表面温度变化的数值差异较为明显(图 8a), 南屋 N 壁表面温度明显高于北屋 S 壁, 且北屋 S 壁出现最大值和最小值的时刻均比南屋 N 壁有所延滞。4 月南屋 N 壁温度仍然昼夜均大于北屋 S 壁(图 8b), 但差异比 12 月明显减小。8 月(图

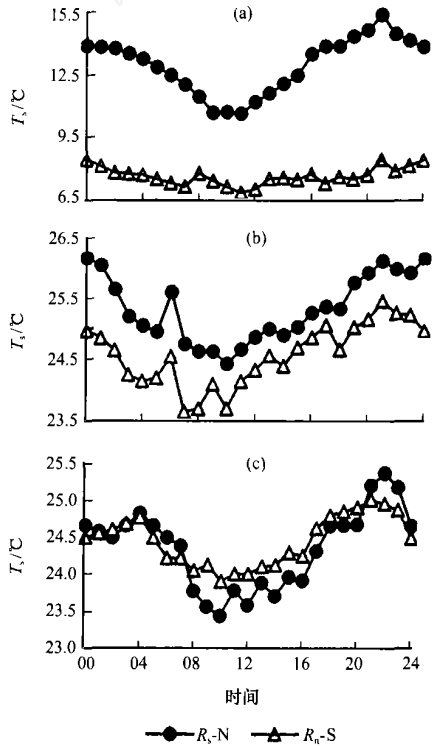


图 7 南北屋窗户侧内表面温度的日变化  
(a) 12 月, (b) 4 月, (c) 8 月  
Fig. 7 Diurnal variations of internal TwS of the south-and north-ward house. (a) December, (b) April, (c) August

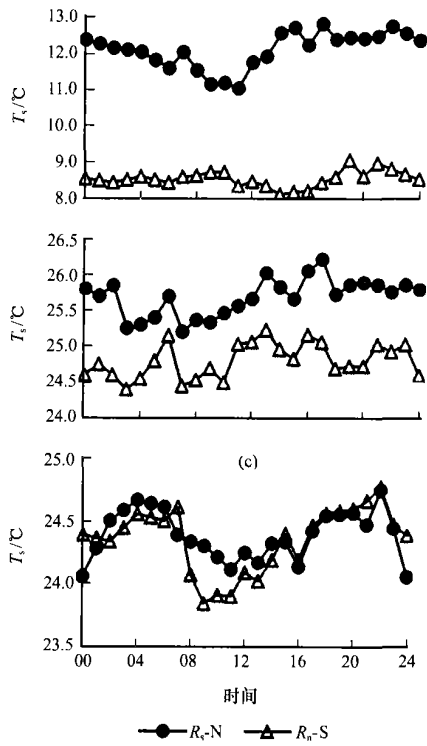


图 8 南北屋走廊侧内表面温度的日变化  
(a) 12 月, (b) 4 月, (c) 8 月  
Fig. 8 Diurnal variations of internal TwS of the south-and north-ward houses. (a) December, (b) April, (c) August

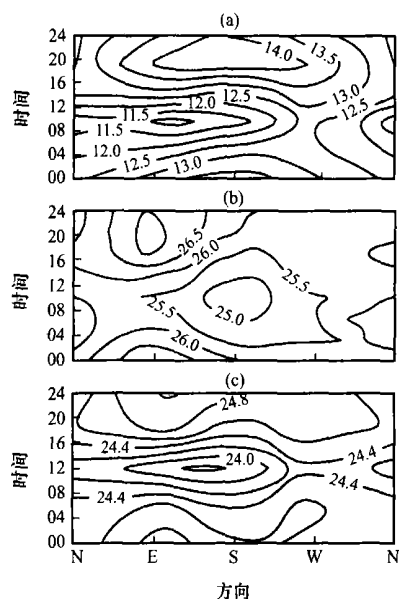


图 9 南屋室内表面温度的日变化

(a) 12 月, (b) 4 月, (c) 8 月

Fig. 9 Temporal-spatial variations of internal Tw in north-ward house. (a) December, (b) April, (c) August

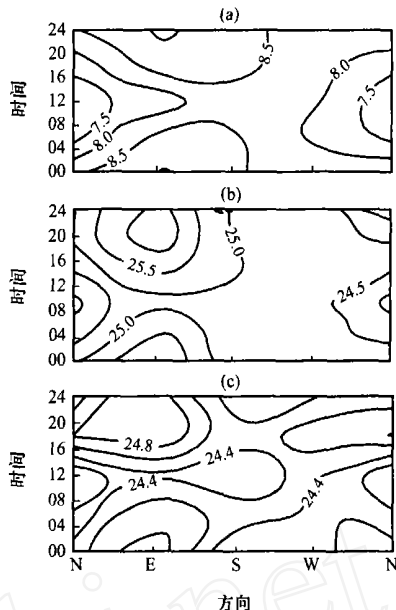


图 10 北屋室内上顶面和下底面温度的日变化

(a) 12 月, (b) 4 月, (c) 8 月

Fig. 10 Temporal-spatial variations of top and floor Tw in north-ward house. (a) December, (b) April, (c) August

8 c) 南北屋与走廊相邻的两内壁面温度变化趋势基本相似, 且数值差异也最小。

所以, 由以上分析可以看出, 无论窗户侧或走廊侧, 南屋内表面温度变化的数值和程度均大于北屋。

## 4 讨论

以上分别对昆明城市区域建筑物南北朝向室内不同方位壁面温度的特征和变化规律进行了分析, 发现 4 月和 8 月南北屋的内壁表面温度都较高, 12 月较小; 但 12 月屋内不同方位内壁表面温度差异最大, 4 月次之, 8 月最小。

总的来说, 南北屋室内各内壁表面温度日变化出现峰值的时间在各个季节不一致, 墙体的不同朝向决定了壁面出现最高和最低温度有时间差异; 并且所在墙体能受到太阳直接辐射时, 壁面表面温度比其他壁面要高。无论是南屋还是北屋, 内壁表面温度的变化幅度从 12 月到 4 月再到 8 月逐渐减小, 显示了 12 月房屋的不同朝向对室内表面温度变化的影响十分显著, 4 月和 8 月影响较小。

另外, 就南北屋对应壁面温度比较而言, 南屋内壁表面温度比北屋高, 并且差异在太阳高度和室内外气温低的 12 月最为明显。所以就整栋楼来说,

南墙的热环境好于北墙, 与周淑贞等<sup>[5]</sup>、Swaid<sup>[6]</sup>的研究结果一致。

由此可知, 在城市区域, 建筑物室内的各内壁面虽然受到直接外界环境因子变化的影响小, 但不同月份、不同方位, 内壁面温度数值和时间分布特征也呈现较大差异, 具有各异的热力特征, 这必然导致室内热环境状况产生差异<sup>[7]</sup>; 而且不同朝向的房屋内也存在较大差异, 对各自的室内小气候环境产生影响。

图 9 给出了南屋室内表面温度的日变化。从南屋室内 E、S、W 和 N 4 方位壁面温度的时空分布来看, 室内表面温度总是夜间高, 昼间低。12 月 (图 9a) 南屋昼间 10 时左右低值中心出现在 E 壁, 晚上 20 时左右高值中心在 S 壁。4 月和 8 月 (图 9b, c), 昼间的低值中心都出现在 S 壁; 夜间的高值中心均出现在 E 壁; 其温度值明显高于 12 月, 但各壁面温度变化的时空梯度均小于 12 月。北屋 3 个月份 4 方位壁面温度的时空变化趋势基本相同 (图 10), 昼间低值中心均在 N 壁, 夜间高值中心都在 E 壁; 表面温度变化的数值和时空变化梯度均小于南屋。

进一步讨论南北屋各壁面 (4 方位、Top 和 Floor) 的平均表温 (图略), 12 月南屋的平均表温远

高于北屋，其日变幅也大于北屋，显示了南屋由于朝向的影响，获得较多的辐射和外壁传导的热量，比北屋有较好的增温、保暖特性。4 月，虽然南屋的平均表温仍高于北屋，但数值差异减小，日变化呈现相似趋势。8 月南北屋的平均表温的数值和日变幅差异进一步减小，在中午甚至出现北屋的平均表温稍高于南屋的现象，显示了在昆明的雨季，朝向对南北屋室内平均表温的影响已不显著。

综上所述，在低纬高原城市昆明，其房屋朝向对室内各壁面表温影响较大的情况主要发生在太阳高度较低、晴天较多、室内外热力差异较大的冬季，而在太阳高度较高、云量较多、室内外热力差异较小的雨季，房屋朝向的影响已不显著。由此建议，在昆明城市建筑物设计时，应主要考虑冬季的指标。

致谢：中国科学院西双版纳热带植物园硕士研究生王进欣、何永涛、周虹霞；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 吉沃尼著. 陈士麟译. 人·气候·建筑[M]. 北京：中国建筑工业出版社，1982. 107 - 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 巴赫基著. 傅忠诚等译. 房间的热微气候[M]. 北京：中国建筑工业出版社，1987. 208 - 281
- [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] 周淑贞，束炯编著. 城市气候学[M]. 北京：气象出版社，1994. 138 - 193
- [6] Hanna Swaid. Urban climate effects of artificial heat sources and ground shadowing by buildings[J]. Inter J Clim, 1993, 13: 797 - 812
- [7] 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(3)：265 - 272

## Characteristics of Internal Wall Surface Temperature with South-North Orientations in Urban Area

HE Yun-ling<sup>1,2</sup>, ZHANG Yi-ping<sup>1</sup>, LIU Yu-hong<sup>1</sup>, MA You-xin<sup>1</sup>  
LI You-rong<sup>1</sup>, DOU Jun-xia<sup>1,2</sup>, GUO Ping<sup>1,2</sup>

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract :** The internal wall surface temperatures (Tws) in April, August and December in Kunming, a city located in low latitude plateau, were investigated. Results showed that internal Tws have different temporal and seasonal variations for different orientations houses. Internal Tws in April were of the highest, then August and December. Internal Tws differences among walls with different orientations were higher in December, and lower in April and August. For the south house, internal Tws is the highest on S-wall at night and is the lowest on E-wall in the daytime in December, but it is the highest on E-wall at night and is the lowest on S-wall in the daytime in April and August. For the north house, internal Tws is the highest on E-wall at night and is the lowest on N-wall in the daytime in December, April and August. The results can serve as a basis for further research on building microclimate and urban architecture designs. It gives also suggestions for similar studies in other area.

**Key words :** Kunming city; Orientation of room; Internal wall surface; Surface temperature