

# 昆明城市建筑物外壁表面热力效应研究 ——不同季节建筑物外墙壁面表温和近旁气温时空分布特征

张一平, 何云玲, 刘玉洪, 马友鑫, 李佑荣, 窦军霞

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223)

**摘要:** 文章利用不同季节城市建筑物不同朝向外墙壁面表温和近旁气温的垂直观测资料, 分析了外墙壁面表温和近旁气温的立体时空分布特征。得出: 城市建筑物外墙壁面表温和近旁气温的立体分布存在显著的季节、朝向、高度和时间差异; 温度极值出现的位置、时刻随季节和朝向不同而各异; 导致温度日较差呈现显著的变化; 而昼、夜平均温度的垂直变化同样呈现较大的季节、朝向和位置的分异性。

**关键词:** 外墙壁面, 表面温度, 近旁气温, 时空分布

中图分类号: P463.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2004)05-0597-08

随着城市现代化进程的加快, 上百米的超高层建筑在城市中越来越多, 城市中建筑物外壁面积占城市总面积比例大幅度增加。在太阳辐射影响下, 不同朝向各外壁面的热力状况有很大差异; 高度的增高使建筑物外表面热力效应的垂直特征加剧, 具有独特的立体热力特性。建筑物外表面如此的热力分布特征, 势必影响到建筑物附近的大气温度, 进而影响到城市气候的立体分布特征。

由于交通限制, 中国城市建筑多是密集型, 建筑物高层化、大型化, 增加了建筑物与气候环境的相互影响程度, 特别是光照环境、热力状况、风速分布等关系到建筑热物理环境的要素与国外分散型住区有不同特征和变化规律。把握城市气候环境与建筑物的相互关系, 特别是把握各种热力间的相互作用以及环境条件对居住环境的影响程度十分必要。

对建筑物外表面的热力特征研究主要集中在建筑学领域, 所关心的重点是外气温如何影响建筑物外墙表温, 进而导致室内温度变化<sup>[1~3]</sup>; 有探讨建筑物和周围环境的热力特性及其相互关系<sup>[4~6]</sup>; 在城市气候领域的研究表明, 城市内不同表面的温度、温度递减率、冷却率、蓄热、放热量均具有不同特征<sup>[7~11]</sup>; 高桥等的研究表明, 屋顶面是有别于地面的城市区域的第二热力作用面<sup>[12~15]</sup>。

在国内, 多位研究学者通过计算, 探讨长春、郑州、上海、广州等地的不同方位墙面的太阳辐射的分布特征<sup>[16~18]</sup>; 张一平等通过对实测数据的分析, 探讨城市不同下垫面的辐射、气温和风速特征<sup>[19~21]</sup>, 指出占城市表面积很大比例的屋顶面上, 温度和风速也存在城内外差异, 影响着城市热力状况与周围建筑物的热力交换。

建筑物表面的热力状况和变化特征对城市热环境, 特别是城市气温的立体空间分布有着不可忽视的影响。建筑物外表面对城市气候的形成起什么作用? 是否构成城市新的热力作用面? 值得深入探讨, 而该方面的研究尚不多见。

为此, 在不同季节对昆明城市内建筑物东西南北外墙壁面表温和近旁气温进行了观测, 本文利用其垂直观测资料, 对建筑物外墙壁面表温和近旁气温的时空分布特征和季节变化进行了初步分析。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地概况

昆明市地处低纬 (25°N, 103°E)、高海拔 (1 892 m) 地区。受地理位置和大气环流影响, 四季不分明, 而干季 (11~4月)、雨季 (5~10月) 区别显著。总辐射最大值出现在干季后期的4月, 辐射量趋近于拉萨; 在雨季受多云量的影响, 总辐射

收稿日期: 2003-10-10; 修订日期: 2004-2-11

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (59836250)、云南省自然科学基金资助项目 (2003D0071M)。

作者简介: 张一平 (1957-), 男 (汉族), 云南人, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为生态气候 (城市气候、森林气象、农业气象)。Tel: 0871-5160904; E-mail: yipingzh@xtbg.ac.cn

减少,但也与广州相近。城建区面积  $148 \text{ km}^2$ ,人口 210.81 万人(2000 年)<sup>[22]</sup>。近年来随着城市化进程加快,城市面积迅速扩大,建筑密度也在增加,建筑物的大型化、高层化加剧,建筑物表面积已占城市总表面积的很大比例,使城市区域下垫面的性质、结构日趋复杂。

### 1.2 观测地点

进行观测的建筑物为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(4 层建筑,高约 15.1 m)。在其东、南、西、北外墙壁面和屋顶以及庭院内的草地、球场设置观测点。建筑物壁面为马赛克贴面,屋顶、球场的下垫面均为混凝土结构;草地的测点在绿化庭院中,周围有稀疏树木,表面为矮草(高 0.05 m)。

### 1.3 观测要素及时间

观测要素为 4 方位(12 月西向壁面缺测)不同高度(0, 0.5, 1.5, 6, 10, 14 m)的外壁表面温度(505 型红外辐射温度计,日本 MINOLTA 株式会社);不同高度(0.5, 1.5, 6, 10, 14, 17 m)的外墙近旁(0.5 m)的干、湿球温度(TR-72 型自记温度计,日本 T and D 株式会社);在屋顶、庭院内的球场和草地分别观测了下垫面表面温度(505 型红外辐射温度计,日本 MINOLTA 株式会社),0.5 m 和 1.5 m 高度的的干、湿球温度(TR-72 型自记温度计,日本 T and D 株式会社)、风速(FV-1 型微风仪,长春气象仪器研究所),风向和云量(目测)等。除干、湿球温度(5 分钟观测 1 次)外,其余要素的观测间隔为 1 小时。

观测时间为 1999 年 12 月 25~27 日,2000 年 8 月 3~12 日,2001 年 4 月 20~24 日;天气状况:12 月份和 4 月份基本为晴好天气,8 月份基本为多云天气(图 1),均代表昆明地区同季节基本天气状况。

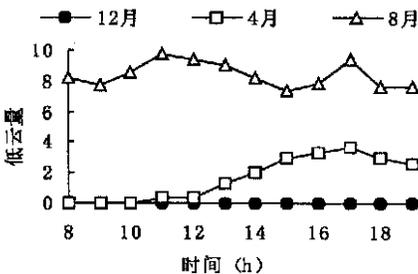


图 1 低云量时间变化

Fig. 1 Temporal variation of low clouds

## 2 观测结果与分析

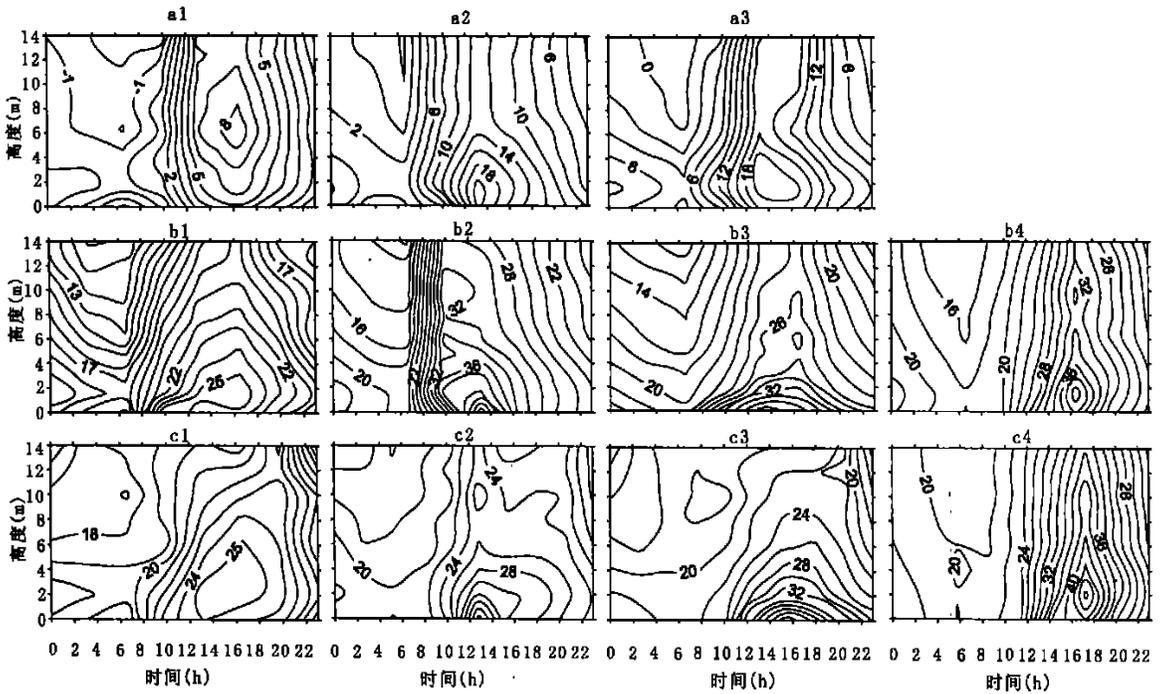
### 2.1 不同季节外墙温度的时空分布特征

利用观测所得资料,绘制了不同季节建筑物各方位的外墙壁面表温和近旁气温的时空分布图,对其进行了初步分析。

1) 外墙壁面表面温度的时空分布特征:图 2 可见,各外墙壁面表温均为昼间高,夜间低;但在不同季节、不同朝向、不同高度上存在明显差异。总的来看,4 月由于昆明地区处于干季后期,晴天较多,加之太阳高度较高,外墙壁面表温较高;而 12 月外墙壁面表温较低。不同壁面间,以北墙壁面表温最低,最高壁面表温随季节和高度不同而有所差异。各壁面表温基本呈现近地附近高,屋顶处较低的趋势。

12 月,北墙外壁面表温(图 2a1)的高值区域( $T_s > 8^\circ\text{C}$ )16 时出现于 6~8 m 高度;低值区域( $T_s < -2^\circ\text{C}$ )在 4~10 时出现屋顶面高度(12~14 m)和地面附近(0~1 m);10~14 时壁面表温随时间变化较大(等温线密集)。东墙外壁面表温(图 2a2)的高值区域( $T_s > 20^\circ\text{C}$ )于 13 时左右出现在近地附近(0~2 m);低值区域( $T_s < -2^\circ\text{C}$ )在 7 时左右出现于屋顶面高度(10~14 m);7~13 时壁面表温随时间变化较大。南墙外壁面表温(图 2a3)高值区域( $T_s > 20^\circ\text{C}$ )13~17 时出现在 1~4 m 高度;低值区域( $T_s < 0^\circ\text{C}$ )在早晨出现于屋顶面高度;9~13 时之间表温随时间变化较大。

4 月和 8 月外墙壁面表温的时空分布基本相似。北墙外壁表温(图 2b1, c1)高值区域( $T_s > 25^\circ\text{C}$ )均出现在 14~17 时,0~5 m 高度上;低值区域均在屋顶附近高度,4 月出现在 2~4 时( $T_s < 13^\circ\text{C}$ ),8 月出现在 23 时左右( $T_s < 17^\circ\text{C}$ );4 月的时间变化梯度大于 8 月。东墙外壁表温(图 2b2, c2)高值区域均出现在 12~14 时,0~2 m 高度上,但 4 月的强度( $T_s > 40^\circ\text{C}$ )大于 8 月( $T_s > 30^\circ\text{C}$ );低值区域均出现在屋顶附近高度,4 月出现在 4~7 时( $T_s < 12^\circ\text{C}$ ),8 月出现在 23~3 时( $T_s < 16^\circ\text{C}$ );4 月的时间变化梯度明显大于 8 月。南墙(图 2b3, c3)外壁表温最大值( $T_s > 42^\circ\text{C}$ )均出现在 0~2 m 高度上,4 月出现在 12~16 时,8 月出现在 14~18 时;最低值均出现在屋顶附近高度,4 月出现于 4~7 时( $T_s < 14^\circ\text{C}$ ),8 月出现在 23~2 时( $T_s < 16^\circ\text{C}$ );温度的时间变化梯度均在昼间(8~19 时)



a. 12月; b. 4月; c. 8月; 1. 北向; 2. 东向; 3. 南向; 4. 西向

图2 建筑物外墙壁面表面温度时空分布(°C)

Fig. 2 Spatial-temporal distribution of external surface temperature(°C)

于近地附近最大。西墙外壁表温(图 2b4、c4) 高值区域均出现在 16~17 时, 0~2 m 高度上, 4 月强度 ( $T_s > 38^\circ\text{C}$ ) 低于 8 月 ( $T_s > 42^\circ\text{C}$ ); 低值区域均出现在 3~8 时, 屋顶附近高度, 4 月的温度 ( $T_s < 16^\circ\text{C}$ ) 低于 8 月 ( $T_s < 20^\circ\text{C}$ ); 温度时间变化梯度均在 10~23 时较大。

2) 外墙壁面近旁气温的时空分布特征: 相对外墙壁面表温, 外墙壁面近旁气温的时空变化(图 3) 较小。不同季节各方位外墙壁面近旁气温的时间变化基本相似, 气温在各高度上均是早上(6 时前后) 最低, 午后(16 时左右) 最高; 而且呈现出西墙 > 南墙 > 东墙 > 北墙的趋势; 季节变化为 8 月 > 4 月 > 12 月。

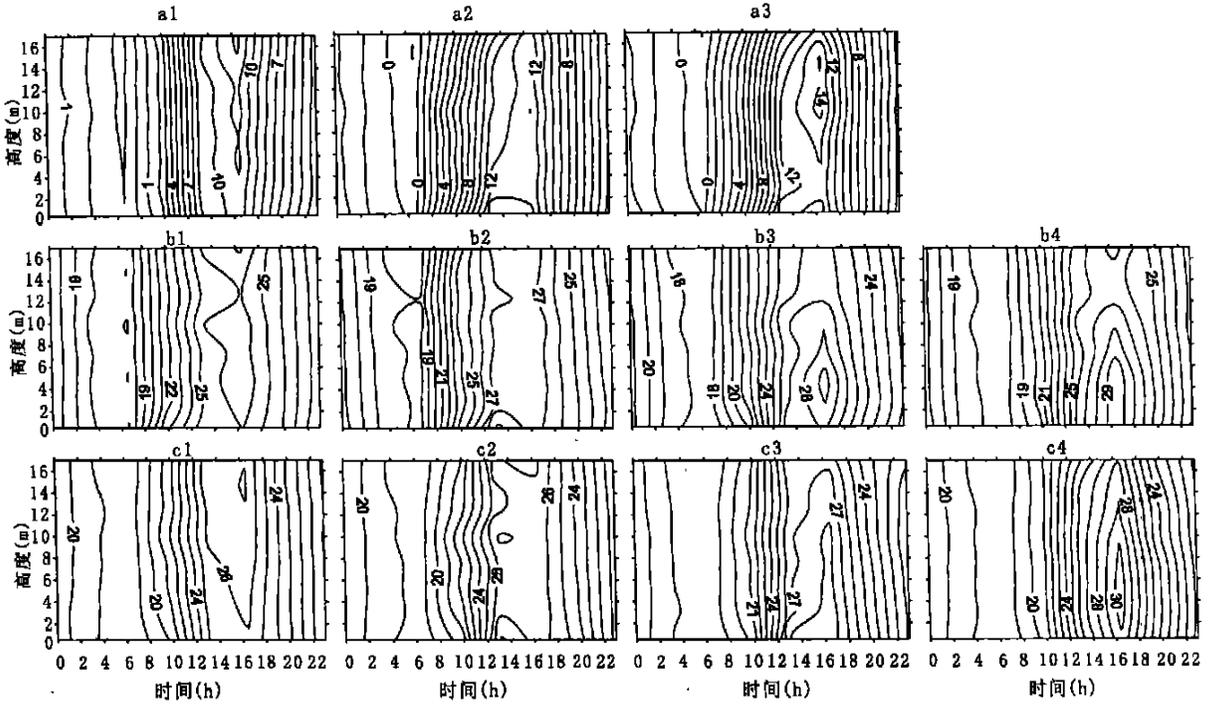
外壁面近旁气温高值区域, 北墙(图 3N12、N04、N08) 均出现在屋顶附近高度(16~17 m); 东墙(图 3E12、E04、E08) 除 8 月出现在屋顶附近外, 均出现近地附近(0~2 m); 南墙 12 月(图 3S12) 出现在 10~12 m 高度上, 4 月(图 3S04) 出现在 3~6 m 高度, 8 月出现在 0~10 m 高度; 西墙 4 月(图 3W04) 出现在 0~6 m 高度, 8 月(图 3W08) 出现在 0.5~10 m 高度。对于外壁面近旁气温高值区域的强度, 12 月北墙 ( $T > 12^\circ\text{C}$ ) 低于东墙 ( $T > 13^\circ\text{C}$ )

低于南墙 ( $T > 14^\circ\text{C}$ ); 4 月北墙 ( $T > 26^\circ\text{C}$ ) 低于东墙 ( $T > 28^\circ\text{C}$ ) 低于南墙和西墙 ( $T > 29^\circ\text{C}$ ); 8 月北墙和东墙 ( $T > 27^\circ\text{C}$ ) 低于南墙 ( $T > 28^\circ\text{C}$ ) 低于西墙 ( $T > 30^\circ\text{C}$ )。各外墙壁面近旁气温低值区域在相同月份差异较小, 季节间的差异较大: 12 月 ( $T < 0^\circ\text{C}$ ) 低于 4 月 ( $T < 18^\circ\text{C}$ ) 低于 8 月 ( $T < 19^\circ\text{C}$ )。

## 2.2 不同季节平均温度垂直分布特征

进一步分析不同季节昼、夜间建筑物表温及近旁气温的分布特征, 以下对不同月份的观测资料, 求算昼间(12 月: 8~18 时; 4 月、8 月: 8~19 时) 和夜间(12 月: 19~7 时; 4 月、8 月: 20~7 时) 平均值, 分析其垂直分布特征。

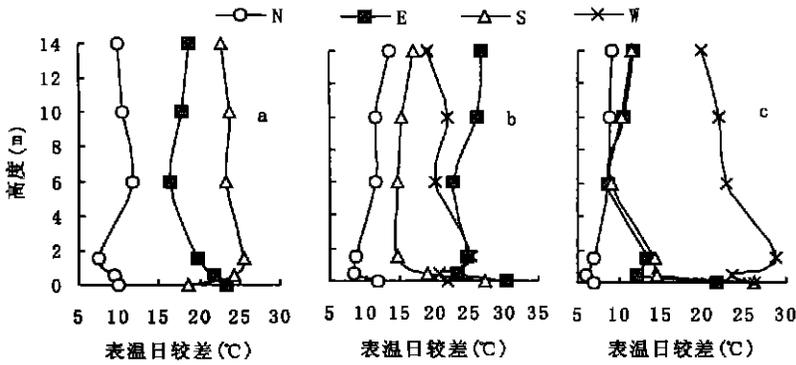
1) 外墙壁面平均表温: 各季节代表月份内建筑物不同朝向外壁面昼间平均表面温度的垂直分布如图 4 所示。总体来看: 各季节建筑物不同朝向外壁表温除近地附近( $< 2.0\text{ m}$ ) 外, 总趋势是随高度增加温度降低, 最高表温多出现在 0.5~2.0 m 高度上; 壁面下部( $< 6\text{ m}$ ) 的温度递减率大于上部; 北向和西向壁面表温的垂直变化较小, 东向和南向壁面表温垂直变化较大; 同季节不同朝向的平均表温值及垂直变化有显著差异, 不同壁面表温差



a. 12月; b. 4月; c. 8月; 1. 北向; 2. 东向; 3. 南向; 4. 西向

图3 建筑物外墙壁面近旁气温时空分布(°C)

Fig.3 Spatial-temporal stribution of air temperature(°C)



a. 12月; b. 4月; c. 8月

图4 昼间外墙平均表温垂直分布

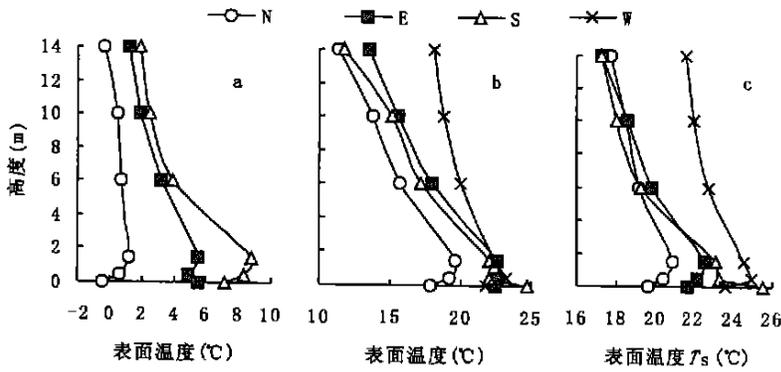
Fig.4 Vertical distribution of external surface temperature in the daytime

异达 10~ 15 °C, 其中以 12 月最明显; 昼间平均外壁表温在 12 月以南向壁面最高, 4 月东向壁面最高, 8 月西向壁面最高; 北向壁面表温均最低。

建筑物不同朝向外壁面夜间平均表面温度的垂直分布(图 5)与昼间有很多相似之处, 不同之处为 4 月的最高表温在西向壁面。

2) 外墙壁面近旁平均气温: 昼间建筑物外墙近旁平均气温的垂直分布(图 6)具有较显著的特征, 不同朝向、季节间差异较大。12 月(图 6a), 北

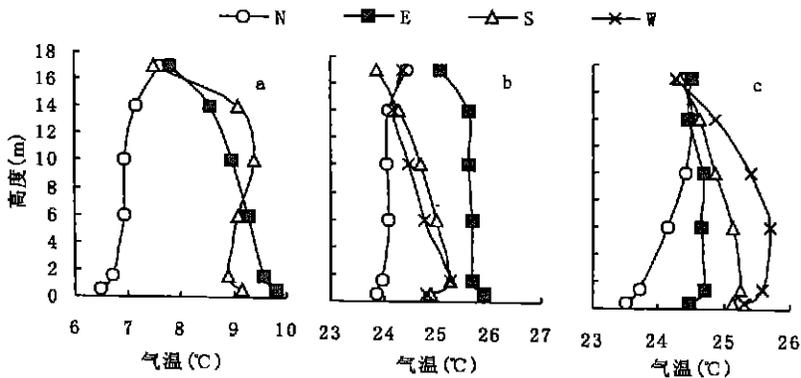
向壁面近旁气温呈现逆温分布, 屋顶附近高度(17 m)的气温最高, 近地附近(0.5 m)最低; 东向壁面近旁气温则在屋顶附近最低, 近地附近最高; 南向壁面近旁气温在 0.5~ 1.5 m 高度内随高度增加气温降低, 1.5~ 10 m 间随高度增加气温升高, 10 m 以上随高度增加气温降低; 总体上除屋顶面高度外, 均是北向壁面近旁气温最低。4 月(图 6b), 北向和东向壁面近旁气温随高度变化较小, 北向壁面近旁气温仍呈现逆温分布, 东向壁面近旁气温则随



a. 12月; b. 4月; c. 8月

图5 夜间外墙平均表温垂直分布

Fig. 5 Vertical distribution of external surface temperature in the nighttime



a. 12月; b. 4月; c. 8月

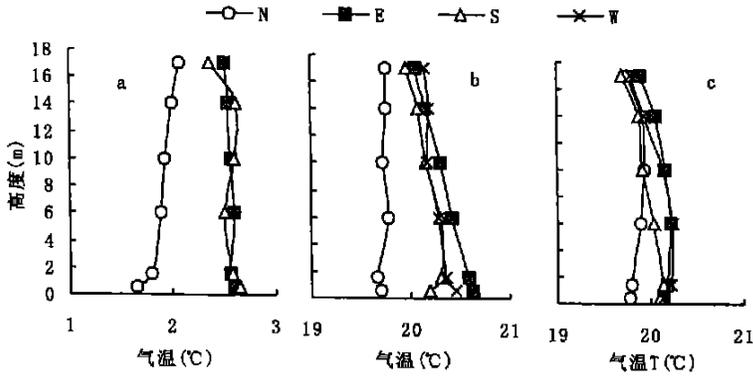
图6 昼间外墙近旁平均气温垂直分布

Fig. 6 Vertical distribution of air temperature in the daytime

高度增加呈现降低的趋势;南向和西向壁面近旁气温在近地附近高度内为逆温分布,1.5 m 以上气温随高度增加而降低;总体上外墙壁面近旁气温以东向壁面最高,最低值多数分布在北向壁面。8月(图 6c),北向壁面近旁气温仍呈现逆温分布,其最高值出现在 14 m 高度上;西向壁面近旁气温最高值出现在 6 m 高度上,> 6 m 随高度增加气温下降,< 6 m 内随高度增加气温升高;东向和南向壁面近旁气温在近地附近为逆温分布,1.5 m 以上气温随高度增加而降低;总体上西向壁面近旁气温最高,北向壁面近旁气温仍最低,屋顶面附近高度各朝向间的气温差异较小。夜间建筑物外墙近旁不同朝向平均气温的垂直分布(图 7)与昼间有较大区别,气温的垂直递减率小于昼间,温度随高度的变化较小,多在 1℃ 范围内;各朝向间虽然存在差异,但主要体现在 12 月和 4 月北向壁面与其它壁面的气温差异较大。

### 2.3 温度日较差的垂直分布特征

1) 外墙壁面表面温度日较差:图 8 是各季节不同朝向壁面表温的日较差垂直分布。可见,日较差的显著不同显示了不同朝向壁面表温的日变化有较大差异。12月(图 8a),北向壁面表温日变化较小,各高度间日较差变化也不大(7.5~ 11℃);南向壁面除近地附近外,表温日变化均为最大,日较差在 22~ 26℃ 间,但其垂直差异较小;东向壁面表温日变化介于北向和南向壁面间,但随高度的变化较大,< 6 m 内较显著。4月(图 8b),北向壁面表温日变化最小,随高度增加壁面表温日较差略有增加(8.5~ 13.5℃);与 12 月不同的是各向壁面中表温日变化最大出现在东向壁面,近地附近表温日较差达 30.5℃,其余高度上都在 22.7~ 26.7℃ 范围内;南向壁面 0 m 处表温日较差为 27.3℃,随高度增加壁面表温日较差迅速减小,在 1.5 m 处仅为 14.8℃,> 1.5 m 以上基本不随高度变化;西向



a. 12月; b. 4月; c. 8月

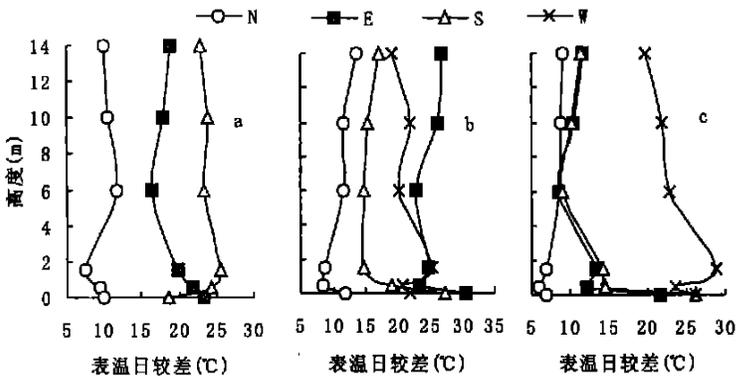
图7 夜间外墙近旁平均气温垂直分布

Fig. 7 Vertical distribution of air temperature in the nighttime

壁面表温日较差在壁面下部较大, 上部较小。8月(图8c), 北向壁面表温日变化仍为最小(5.9~9.1°C); 但壁面表温日较差最大出现在西向壁面(1.5m处达28.7°C), 其他高度上壁面表温日较差也在19.7~23.6°C, 除近地附近外, 壁面表温日较差随高度增加而减小; 东向和南向壁面表温日变化垂直分布趋势相似、数值也相近, 日较差最大值出现在0m处(东向26.3°C, 南向26.1°C), 最小值出现在6m处; <6m特别是1.5m以下随高度增加壁面表温日较差迅速减小, >6m以上随高度增加壁面表温日较差略有增加。

由此可见, 北向壁面表温不仅日变化最小, 并且其垂直变化和季节变化也最小; 其他壁面表温日较差随高度和季节不同而有明显变化。

2) 外墙壁面近旁气温日较差: 分析各季节不同朝向外墙近旁气温日较差垂直变化(图9), 发现近旁气温日较差随着季节、高度变化在各朝向间差异显著。12月(图9a), 北向壁面近旁气温日较差除屋顶面附近高度外, 均为最小, 随高度的增加气温日较差呈现增大趋势; 东向壁面近旁气温日较差随高度变化较小(13.9~14.4°C); 南向壁面近旁气温日较差变化较显著, 最小值出现在1.5m处



a. 12月; b. 4月; c. 8月

图8 外墙表温日较差垂直分布

Fig. 8 Vertical distribution of diurnal range of external surface temperature

(13.7°C), 最大值出现在14.0m处(15.3°C)。4月(图9b), 北向壁面近旁气温日较差大多为最小, 垂直变化也不大; 东向壁面近旁气温日较差除近地附近外, 随高度变化不大; 南向和西向壁面近旁气温日较差随高度的增加变化较显著, 总体呈现下部

大、上部小趋势, 最大值出现在1.5m处, 最小值出现在屋顶附近(南向17.0m, 西向14.0m)。雨季的8月(图9c), 北向壁面近旁气温日较差仍较小, 垂直变化不大; 东向壁面近旁气温日较差在建筑物下部略高于北向壁面, 上部与北向壁面相近, 其随

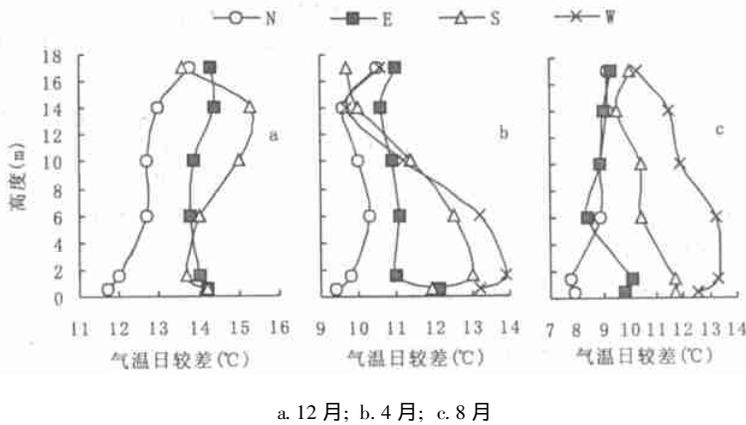


图9 外墙近旁气温日较差垂直分布

Fig. 9 Vertical distribution of diurnal range of air temperature

高度变化较小;南向壁面近旁气温日较差在地面附近较大,屋顶附近较小;西向壁面近旁气温的日较差为最大,总体呈现下大上小的分布趋势。

### 3 讨论和小结

通过以上分析可以看出,由于不同季节各朝向外墙壁面表温的极值温度出现位置、时刻不同,强度各异,导致外墙壁面表温的时间变化梯度存在着显著差异;特别是4月,北向壁面表温以近地附近随时间的变化较大,随高度增加表温的时间变化梯度减小;东向壁面表温最大时间变化梯度基本不随高度变化;南墙表温最大时间变化梯度仅在近地附近(0~3m)出现;西墙表温时间变化梯度在0~10时较小,10~23时较大,但均随高度的变化较小。这些差异反映了太阳辐射对外壁面表温的影响十分显著,也导致了外墙壁面近旁气温出现相似规律。

各朝向外墙壁面表温和近旁气温的日较差有较大差异,且日较差在近地附近较大,屋顶处较小。北向和东向壁面近旁气温日较差随高度变化较小,南向和西向壁面近旁气温日较差随高度变化较大。不同季节壁面表温和近旁气温的日较差有较大变化,但同一壁面的季节差异相对较小。反应出不同朝向壁面表温和近旁气温均存在较大的日变化,不同季节和不同高度,其变化幅度还存在差异。

所以,建筑物不同朝向的外墙表温和近旁气温及它们的日较差的垂直分布随季节、昼间、夜间以及离地高度的不同都有较大差异。如此分布,必将导致在不同季节、不同朝向、不同高度,建筑物外墙壁面与近旁气温间热力传输各异,这将对住区的热

物理环境形成产生影响,对其深入探讨将是下一步的研究内容。

由以上分析、讨论,可以得出以下初步结果:

- 1) 城市建筑物不同朝向壁面表温和近旁气温呈现昼间高、夜间低的时间变化趋势;但壁面表温在不同季节、不同朝向、不同高度随时间变化梯度存在显著差异,其最大值和最小值出现的时间、位置也随季节的不同而各异。
- 2) 城市建筑物外墙壁面表温和近旁气温都存在明显的垂直变化,但分布特征随不同朝向、不同季节、不同时段(昼夜)而各异;一般来说,北向壁面表温和近旁气温均较低;朝向间的温度差异在建筑物下部近地附近较大,屋顶附近较小,昼间较大,夜间较小。
- 3) 壁面表温和近旁气温的日较差同样较大差异:除北向壁面表温日变化、且随季节和高度变化较小之外,其余壁面表温的日较差均有较大的季节、高度和朝向差异;壁面近旁气温的日较差同样在季节、高度、朝向上均有较大差异,不同朝向间的差异一般在近地附近较大,屋顶处较小。

致谢:本单位硕士研究生王进欣、何永涛、周虹霞、郭萍、尹利伟、刘文俊;云南大学地球科学系于春、赵荻、陈宇、段玮;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. 189~ 220.
- [2] L. 巴赫基(著). 傅忠诚(译). 房间的热微气候[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985. 218~ 280.
- [3] 陈启高(编著). 建筑热物理基础[M]. 西安: 西安交通大学出

- 版社, 1991. 1~ 40.
- [4] 吉田笃正ほか. ファールド測定による都市キャノピーにおける熱輸送の研究[J]. 日本機械論文集(B編), 1990, **56** (524): 296~ 274.
- [5] 成田健一. 都市内和川の微気候の影響範囲に及ぼす周囲建築物配列の影響に関する風洞実験[J]. 日本建築学会計画系論文報告集, 1992, **442**: 27~ 35.
- [6] 朴惠淑. ヒートアイランドの形成原因としての都市キャニオンの天空比夜間の長波放射収支[J]. 天気, 1987, **34**: 579~ 587.
- [7] Nunez M, Oke T R. Long-wave radiation flux divergence and nocturnal cooling of the urban atmosphere. (II) Within an urban canyon[J]. *Boundary layer Meteorology*, 1976, **10**: 121~ 135.
- [8] Nunez M, Oke T R. The energy balance of an urban canyon[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1977, **16**: 11~ 19.
- [9] Nunez M, Oke T R. Modeling the daytime urban surface energy balance[J]. *Geographical Analysis*, 1980, **12**: 373~ 386.
- [10] 小林守. 都市の地表面と屋上面における長波放射収支の比較観測[J]. 地理学评论, 1979, **52**: 251~ 260.
- [11] 小林守. 夜間長波放射に及ぼす都市大気の影響[J]. 地理学评论, 1982, **55**: 421~ 444.
- [12] 高橋日出男, 福岡义隆. 都市域における风速の鉛直分布とヒートアイランドの立体構造[J]. 地理学评论, 1994, **67**: 530~ 550.
- [13] 张一平, 福岡义隆, 高橋日出男. 都市域の屋上面における放射収支について[J]. 中国・四国农业气象(第6号), 1993a, 68~ 71.
- [14] 张一平, 福岡义隆, 高橋日出男. 都市域の屋上面と近郊草地面における熱収支の比較[J]. 広島大学综合科学部纪要IV(第19号), 1993b, 55~ 69.
- [15] 张一平, 福岡义隆, 高橋日出男. 都市域の屋上面と近郊草地面における放射収支について[J]. 中国・四国农业气象(第8号), 1995, 7~ 15.
- [16] 朱志辉. 墙面太阳辐射的理论计算与模式估计——以上海为例[J]. 地理学报, 1987, **42**(1): 28~ 41.
- [17] 左大康(编著). 地球表层辐射研究[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 300~ 313.
- [18] 孙汉群, 傅抱璞. 对等辐照方位与建筑朝向的选择[J]. 地理学报, 1999, **54**(1): 83~ 89.
- [19] 张一平, 李玉麟, 张庆平. 低纬高原城市区域冬季的大气环境与不同波长辐射特征[J]. 城市环境与城市生态, 1997, **10**(3): 23~ 26.
- [20] 张一平, 李佑荣. 城市区域建筑物表面温度特征[J]. 城市环境与城市生态, 1997, **10**(1): 39~ 42.
- [21] 张一平, 彭贵芬, 张庆平. 城市区域屋顶上与地上的风速和温度特征分析[J]. 地理科学, 1998, **18**(1): 45~ 52.
- [22] 云南省统计局(编). 云南统计年鉴(2001)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001. 391~ 393.

## Thermal Effects of Building's External Surfaces in Kunming City

### — Characteristics of external surface temperature and nearby air temperature

ZHANG Yi Ping, HE Yur Ling, LIU Yur Hong, MA You Xin, LI You Rong, DOU Jur Xia

(*Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming, Yunnan 650223*)

**Abstract:** Using observation data of building's external surface temperature and nearby air temperature, spatial-temporal distributions of surface temperature and air temperature were studied. Results indicate that external surface temperature and nearby air temperature show the differences that exist in the various orientations, heights and the notable seasonal variations. For these four orientations (north, east, west and south), external surface temperatures and nearby air temperatures both are higher in the daytime than in the nighttime, and smallest at north surface. These four external surfaces differences in surface temperature and air temperature are larger in the daytime, at lower heights, than in the nighttime, at roof height.

**Key words:** external surface, surface temperature, air temperature, spatial-temporal distribution