

昆明和北京两幢建筑物表面热力效应的观测对比^{* 1}

张会宁¹⁾²⁾ 张一平¹⁾ 蓬云川³⁾ 周跃²⁾ 彭贵芬⁴⁾

¹⁾(中国科学院西双版纳热带植物园,昆明 650223) ²⁾(昆明理工大学环境科学与工程学院,昆明 650093)

³⁾(云南大学资源环境与地球科学学院,昆明 650091) ⁴⁾(云南省专业气象台,昆明 650034)

摘 要

利用昆明、北京两座城市内建筑物为研究对象,对其不同朝向外墙壁面、屋顶面表面温度及壁面近旁气温进行了观测,分析了建筑物外墙壁面表面温度及其近旁气温的垂直分布以及壁面、屋顶对周围大气的热力效应特征,并对两座城市内建筑物的热力状况进行了比较分析。研究表明:建筑物表面温度受太阳辐射的影响要比近旁气温大得多,一般说来,壁面昼间是热源,夜间是热汇;受研究对象所在的大区域气候、人类活动等影响,建筑物外表面的热力效应有许多异同;建筑物屋顶面与近旁空气间的平均热通量基本为正值,呈现较强的热源效应,其热力效应强度与太阳辐射呈现正相关;城市建筑物的外表面(壁面、屋顶面)已成为城市区域内有别于城市地面,且对城市立体气候的形成具有不可忽视影响的热力作用面。

关键词: 城市热岛;建筑物外表面;热源;热汇

引 言

随着社会不断发展和城市化进程的加快,人口急剧向城市集中,导致城市规模不断扩大,城市人口不断增加,城市将成为人类最主要的生活场所。据联合国人口和发展委员会 2005 年报告^[1],1950 年,城市人口所占比例为 30%,2005 年城市人口上升到了 49%,预计到 2007 年,世界将有一半人口居住在城市,而到 2030 年世界城市人口所占比例将高达 61%。统计表明:2005 年中国城市人口已占全国人口的 43.0%^[2]。城市环境越来越多地引起了人们的关注,为使人们能够生活于舒适的城市环境中,城市气候的研究是必不可少的。

城市化使得区域景观格局发生巨大的变化,引发一系列的生态环境问题,其中城市热岛效应的加剧最为突出^[3]。特别是在低纬度地区和中纬度地区的夏季,由于热岛效应加重了城市高温出现的频率和引起高温灾害,带来了巨大的经济损失。

城市的热岛强度与城市中的建筑物关系十分密切。Chandler 曾指出英国城市热岛强度在夜间与距观测点周围半径 500 m 的范围内的建筑物密度相关

系数高达 0.9^[4]。由于吸收太阳辐射的缘故,建筑物外表面的热力特征势必影响到其周围大气的温度,进而影响城市气候。对此,人们进行了大量研究^[5-12]。

昆明、北京由于其地理位置不同,气候环境也各不相同^[13-14],不同的气候环境导致人们有各自不同的生活方式,例如北京的居民在冬、夏需要暖气、空调,而在昆明居民则不需要。居民生活方式的不同,势必影响到建筑物的热环境,从而影响建筑外表面的热力特征。两地的建筑物外表面面对周围大气的热力效应有哪些共同特征?影响热力效应的因子有哪些?由地区差异引起的热力效应有哪些差异?导致热力差异的因子有哪些?

为此,本文根据昆明、北京两个城市的建筑物表面温度及近旁气温的观测资料,对建筑物外墙壁面、屋顶面的表温、近旁气温、壁-气间热通量的时空分布特征和季节变化规律,进行了初步分析。

1 研究方法

1.1 研究地概况

昆明市地处云贵高原中部,位于 25°N,103°E,

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

2007-09-05 收到,2008-06-10 收到再改稿。

海拔 1892 m,属于低纬度高原山地季风气候。由于受印度洋西南暖湿气流的影响,日照长,霜期短,年平均气温 21.9 °C。气候温和,夏无酷暑,冬无严寒,四季如春,气候宜人。四季不分明,而干季(11—次年 4 月)、雨季(5—10 月)区别显著,年降水量 1000~1500 mm,5—10 月降水量占全年的 85%~90%。总辐射最大值(628 MJ/m²)出现在干季后期的 4 月;在雨季受多云量的影响,总辐射减少。城建区面积 185 km²,人口 224.22 万人^[15]。近年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。

北京市市中心位于 39°N,116°E。北京处于亚洲大陆东岸,地处暖温带半湿润地区,气候受蒙古高压的影响,属大陆性季风气候,年降水量 500~700 mm。北京四季分明,冬季干燥,春季多风,夏季多雨,秋季晴朗温和。冬季最长,夏季次之,分别为 5 个多月及 3 个月,春秋短促,分别为 2 个月和 1.5 个月左右。北京平原的海拔高度在 20~60 m,山地一般海拔 1000~1500 m。总辐射以夏季最大,占全年总辐射 32.2%,春季次之,占全年总辐射 31.4%。北京年平均气温为 11.8 °C。1 月最冷,最低平均温度为 -4.8 °C。夏季热且多雨,6 月下旬进入雨季,7 月是北京地区温度最高的月份,平均温度为 25.8 °C,7 月多为阵雨。到 2000 年,城区面积 1370 km²,市区人口为 803.6 万人。北京的高建筑物密度以及建筑物的高层化,对周围大气的影响不可忽视。

1.2 观测地点

进行观测的建筑物分别为:北京育新小区一栋高层建筑(该高层建筑共 20 层,高约 57 m,本文中简称北京建筑物),位于北京市区北部,属海淀区管辖;昆明的观测建筑为中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部的办公楼(四层建筑,高约 15.1 m,本文中简称昆明建筑物),位于昆明市区西北部,属五华区管辖。

1.3 观测要素、时间及处理方法

昆明建筑物的观测要素及时间(北京时,下同):2005 年 1 月 26 日 08:00—28 日 11:00,2005 年 7 月 29 日 08:00—31 日 07:00 两个时段,记录四个朝向壁面不同高度(取 1.5,10,17 m)的表面温度及其近旁(距壁面 0.5 m)的空气温度、记录屋顶表面温度及其近旁(距屋顶面 0.5 m)空气温度,间隔 5 min。

北京建筑物的观测要素及时间:1999 年 7 月 23 日 16:00—25 日 24:00 观测南墙不同楼层(其中 23 日只观测了偶数层,24—25 日添加了 3,5,15,19 层)表面温度以及其近旁(距壁面 0.1,0.3,0.5 m)气温;1999 年 7 月 26 日 16:00—29 日 18:00 观测西墙不同楼层(第 3 层以及 3 层以上的偶数层)表面温度以及近旁(距地面 0.12,0.3,0.6,1.0 m)气温,观测间隔为 5 min。和昆明建筑对应,近旁气温 23—25 日取距壁 0.5 m,26—29 日取距壁 1.0 m,北京建筑物由于层数太多,故只取 18 层(51.6 m)、12 层(33.9 m)、4 层(10.8 m)为上、中、下层来分析。

以上测量建筑物表面温度的仪器为 505 型红外辐射温度计,日本 INOLTA 株式会社制造,并已做了统一标订。测量空气温度的仪器为 2 通道自记温湿计,TR-71 型,日本 T&D 株式会社制造。数据处理方法:取整点、整点前后 5 min 3 个值平均作为整点值,再把 3 天的数据进行平均,得出 00:00—24:00 的数据。

1.4 外墙壁近旁热通量的计算方法

研究表明,建筑物表面与空气之间的热量交换往往是包含多种传热方式的复杂形式。对于大空间表面热交换,主要考虑对流和辐射两种形式,计算时统一采用总热通量计算公式进行计算^[16]:

$$\Phi = a_f(T_s - T) \quad (1)$$

式(1)中, Φ 为热通量; a_f 为总热交换系数(对于外墙壁面 $a_f=20.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$); T_s 为表面温度; T 为空气温度。热通量的正负表示了热量的传递方向,正值表示热量从表面传递到空气,负值表示热量从空气传向表面。

2 观测结果与分析

2.1 昆明建筑物表面温度、近旁气温、壁-气热通量分析

2.1.1 昆明建筑物表面温度特征分析

根据昆明建筑物观测所得资料,绘制了 1 月和 7 月不同高度、朝向壁面温度随时间变化图(图 1)。

由图 1 可见,外墙壁面表面温度的时间变化特征为:各向外墙壁面表温均为昼间高,夜间低,不同朝向存在差异;各测点的表面温度夜间变化基本相似,随时间增加,温度逐渐降低,日出前达最低值;昼间各测点差异较大,东向壁面和南向壁面在日出后太阳高度角较低时(11:00 前),受太阳直射的影响,

表面温度上升很快;在太阳升高后,直射量减小,壁表面温度变化缓慢;而此时西向和北向壁面的温度

变化趋势比之前迅速,西向壁面因午前受直接日射较少,午后较大,其温度增加率大于北向壁面。

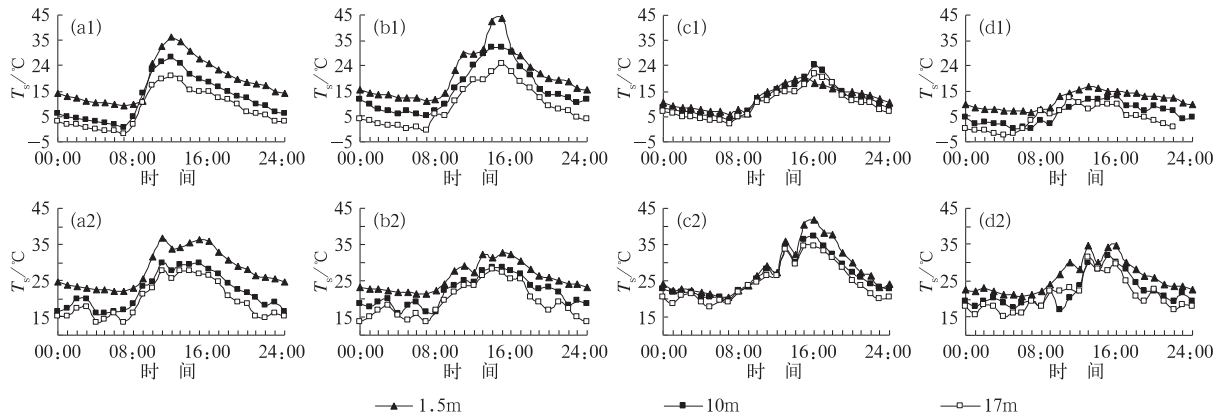


图1 昆明建筑物外墙壁表面温度比较(1为1月,2为7月)

(a) 东向壁面,(b) 南向壁面,(c) 西向壁面,(d) 北向壁面

Fig. 1 The comparison of buildings' external surface temperature in Kunming (1: January, 2: July)

(a) east wall, (b) south wall, (c) west wall, (d) north wall

图1可见,外墙壁面表面温度呈现出垂直变化:高度为1.5m的墙壁表面温度比10m,17m壁面温度高得多,10m比17m壁面温度略高,总趋势是随高度增加壁面温度降低,下部的温度递减率大于上部,另外,由图1还可看出,北向和西向壁面表温的垂直变化率较东向和南向小。

外墙壁面各表面温度的季节变化特征:峰值和低谷出现的时刻基本相同,大小不同,日较差因朝向

不同而异;平均壁面表温7月比1月大得多。

对昆明建筑物屋顶面的表面温度进行分析(如图2中a1,a2),同样其日变化为昼间高,夜间低,昼间表温最高值出现在14:00,1月为37.2℃,7月为42.5℃,远大于建筑物外墙壁面的最高值;夜间表温最低值出现在07:00,1月为5.4℃,7月为20.4℃。无论1月和7月,屋顶平均表温和日较差都比4个壁面大得多。

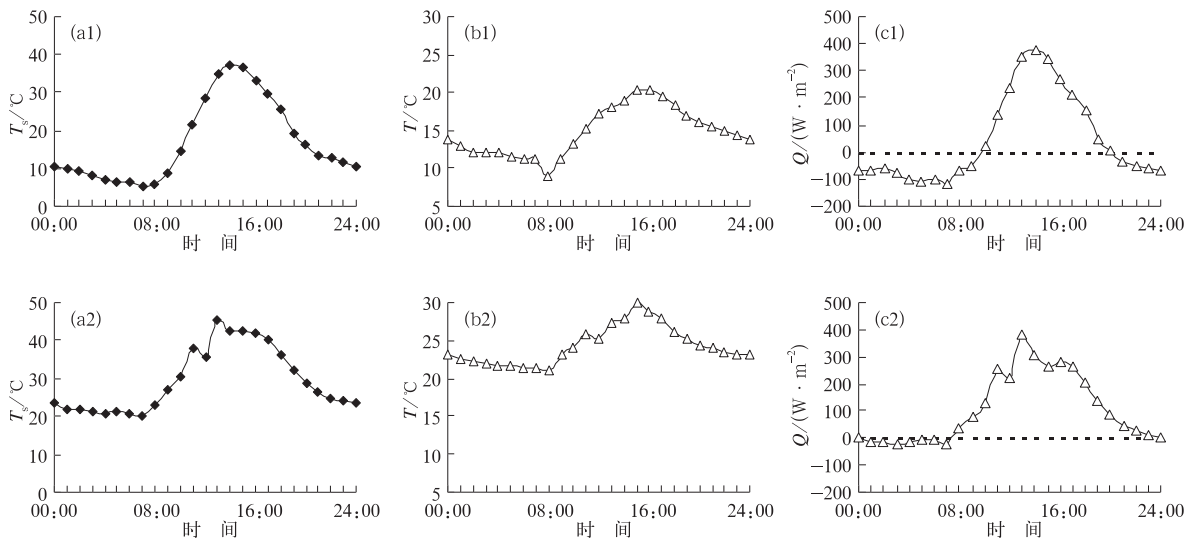


图2 昆明建筑物屋顶面表面温度、近旁气温及热通量日变化(1为1月,2为7月)

(a) 屋顶表面温度,(b) 屋顶近旁气温,(c) 屋顶表面热通量

Fig. 2 The buildings' rooftop surface temperature, the air temperature nearby the building's rooftop surface and the heat flux between the buildings' rooftop and the nearby air in Kunming (1: January, 2: July)

(a) rooftop surface temperature, (b) the air temperature nearby the rooftop surface,

(c) heat flux between the rooftop and the nearby air

为了更直观地分析不同朝向壁面和屋顶的表面温度差异,根据资料分析了特征值(表1)。

由表1可见,各壁面表温的最高值都出现在壁面太阳直射最强之时,东向壁面,正午过后直射量减小,所以最高值出现在12:00—13:00;西向壁面则在正午过后才接受到太阳直射,所以最高值出现在16:00;南向壁面则是基本上从日出到日落都接受到

太阳的照射,峰值出现在15:00;北向壁面处于背阴面,主要受近旁气温影响,表面温度最高值出现在午后的13:00;屋顶则是从日出到日落一直被照射,在午后14:00表面温度出现最高值;但是,不同壁面的最低值出现时刻基本相同,均出现在日出前的07:00。无论1月和7月,屋顶平均表温和日较差都比4个壁面大得多。

表1 1月、7月昆明建筑物外表面温度极值及日较差(单位:℃)

Table 1 The diurnal temperature range and diurnal maximum, minimum temperature of the buildings external surface of Kunming in January and July(unit: °C)

建筑外表面表温	1月最大值		1月最小值		1月 平均值	1月 日较差	7月最大值		7月最小值		7月 平均值	7月 日较差
	时间	温度	时间	温度			时间	温度	时间	温度		
东向壁面	12:00	28.2	07:00	2.5	12.5	25.7	13:00	32.1	07:00	18.0	23.7	14.1
南向壁面	15:00	26.0	07:00	-0.8	15.9	26.8	15:00	30.1	07:00	17.6	22.7	12.5
西向壁面	16:00	22.4	07:00	4.3	11.5	18.1	16:00	38.7	07:00	20.2	26.5	18.5
北向壁面	13:00	13.3	07:00	2.1	7.4	11.2	13:00	32.0	05:00	18.8	23.1	13.1
屋顶面	14:00	37.2	07:00	5.4	16.9	31.8	15:00	42.8	07:00	20.4	29.3	22.5

2.1.2 昆明建筑物近旁气温特征分析

利用观测所得资料,绘制了昆明建筑物1月和

7月不同高度、不同朝向的外墙近旁气温日变化(图3),对其进行初步分析。

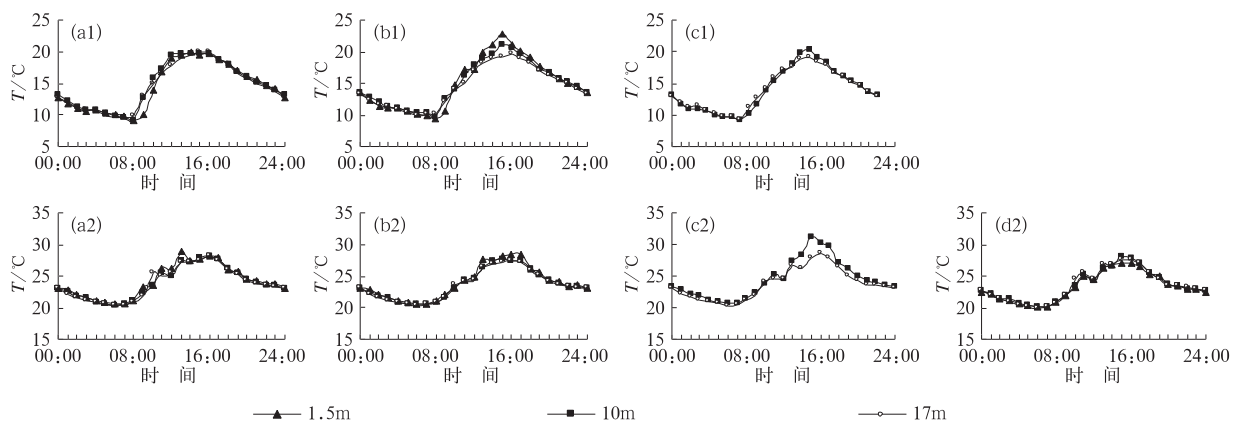


图3 昆明建筑物外墙壁面近旁气温比较(1为1月,2为7月)

(a) 东向壁面,(b) 南向壁面,(c) 西向壁面,(d) 北向壁面

Fig. 3 The comparison of the air temperature nearby the buildings' external surfaces in Kunming (1: January, 2: July)

(a) east wall, (b) south wall, (c) west wall, (d) north wall

昆明建筑物外墙壁近旁气温的时间变化特征:夜间气温变化比较平缓,各壁面和屋顶变化趋势基本相似,随时间增加缓慢降低,屋顶于08:00出现极小值,与壁面温度07:00达最小值比较,说明空气温度受太阳辐射的影响没有壁面来得剧烈;日出后,气温逐渐上升,各朝向壁面近旁气温存在明显差异:东向壁面最先接受到太阳入射,所以在日出后,气温上升比较快,在14:00左右达到极大值;西向壁面则接收太阳直射比东向壁面晚,极大值出现在16:00—

17:00;南向和北向壁面最大值出现在15:00左右;屋顶则出现在15:00;南向壁面和屋顶从日出到太阳高度角较低时(11:00前),温度增加率比较大。但总体上看,各朝向壁面和屋顶近旁的气温在相同时刻差异不大。

外墙壁近旁气温的垂直变化特征:由图3可以看出,近旁气温几乎无垂直方向温度梯度。

对昆明建筑物屋顶面的近旁气温进行分析(如图2中b1,b2),其日变化趋势同昆明建筑物屋顶面

表面温度的变化趋势一致,同样为昼间高,夜间低,昼间气温最高值出现要稍晚,在 15:00,1 月为 20.4 °C,7 月为 30.0 °C;夜间表温最低值出现在 08:00,1 月为 9.1 °C,7 月为 21.0 °C。

为了直观地分析各朝向壁面和屋顶近旁气温随时间的变化特征,根据观测资料,与壁面温度变化对应,得出表 2。由表 2 可以看出:① 不同朝向壁面和屋顶近旁气温随时间的变化各异,如气温最大值,对应于壁温最大值延迟 0~2 h;② 各朝向壁面和屋顶近旁气温的平均值差值不大;③ 壁面表面温度的极大值大于气温极大值,壁面表面温度极小值小于气

温极小值;壁面日较差比气温日较差大得多;昼间壁面表温最大时,壁温与气温差为最大正值;夜间壁温最低时,壁温与气温差为最小负值;④ 除了 1 月南向、7 月西向壁面平均壁面温度大于气温,其他壁面 1 月和 7 月平均壁面温度小于气温;屋顶平均壁面温度始终大于近旁气温。

由总热通量公式知:壁面温度和近旁气温的差值决定了它们之间的热通量大小和方向。由表 2 与以上关于壁面温度和气温的分析,知道了壁面温度和气温的变化特征,就很容易找出它们之间热通量的变化特征。

表 2 1 月、7 月昆明建筑物外表面近旁气温(单位:°C)

Table 2 The diurnal air temperature range and diurnal maximum, minimum air temperature nearby the buildings' external surface of Kunming in January and July (unit: °C)

建筑外表面 近旁气温	1 月最大值		1 月最小值		1 月 平均值	1 月 日较差	7 月最大值		7 月最小值		7 月 平均值	7 月 日较差
	时间	温度	时间	温度			时间	温度	时间	温度		
东向壁面	14:00	20.0	08:00	9.3	14.6	10.7	16:00	20.9	06:00	20.5	24.0	7.4
南向壁面	15:00	21.4	08:00	9.7	14.9	11.7	15:00	27.2	08:00	18.1	23.8	9.1
西向壁面	16:00	21.4	08:00	9.2	14.0	10.4	16:00	27.8	06:00	20.5	24.2	9.2
北向壁面							16:00	27.5	06:00	20.1	23.4	7.4
屋顶面	14:00	20.4	08:00	9.1	14.8	11.2	15:00	30.0	08:00	21.0	24.3	9.0

2.1.3 昆明建筑物热通量分析

根据观测所得资料,绘制了昆明建筑物 1 月和 7 月不同朝向不同高度壁面和屋顶对近旁空气的热通量随时间变化图(图 4,图 2 中 c1,c2),对结果初步分析。

外墙表面热通量的时间变化特征:各测点的热通量均为昼间高,夜间低;夜间各壁面热通量变化基本相似,都随时间增加缓慢降低,到日出前达到最低

值;昼间各朝向壁面和屋顶的热通量变化有较大的差异,东向壁面和南向壁面在日出后到太阳高度角较低时(11:00 前)上升较迅速,在太阳升高后,其值变化较平缓;西向和北向壁面在午后热通量上升较之前迅速,16:00 左右达最大值。屋顶热通量(图 2 中 c1,c2)从日出后到午后 13:00—14:00,都迅速、稳定上升到极大值(热通量变化与壁面温度变化基本同步)。

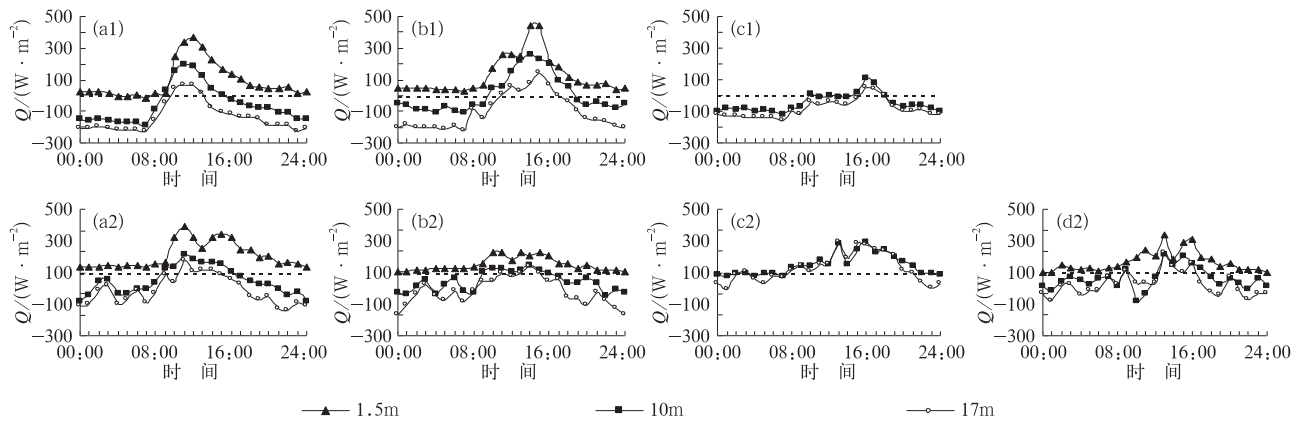


图 4 昆明建筑物外墙壁面各高度热量日变化(1 为 1 月,2 为 7 月)

(a) 东向壁面,(b) 南向壁面,(c) 西向壁面,(d) 北向壁面

Fig. 4 The heat flux of the building's external walls in different hight in Kunming (1: January, 2: July)

(a) east wall, (b) south wall, (c) west wall, (d) north wall

外墙表面热通量的垂直变化特征:从图4看出,热通量下层最高,随高度的增加有降低的趋势,且随着高度增加,热通量的递减趋势越来越弱,但各朝向壁面也不同,东向、北向壁面热通量的垂直变化较西向、南向壁面大。

外墙表面热通量随季节的变化特征:1月和7月比较,7月热通量小范围的波动较大,1月热通量基本呈单峰型变化,7月热通量则在峰值出现时间12:00—14:00有一较小值,随朝向各异;夜间变化1

月和7月基本一致,都是随时间增加热通量缓慢降低,于07:00达最小值。

通过分析昆明建筑物屋顶面向周围空气间传递的热通量与其4个壁面向周围空气间传递各高度平均热通量(图5),可看出,在昼间无论1月或7月,建筑物屋顶面的热通量总是大于建筑物各向壁面,夜间建筑物屋顶面的热通量与各朝向壁面的热通量相差不显著,稍大于各朝向壁面。

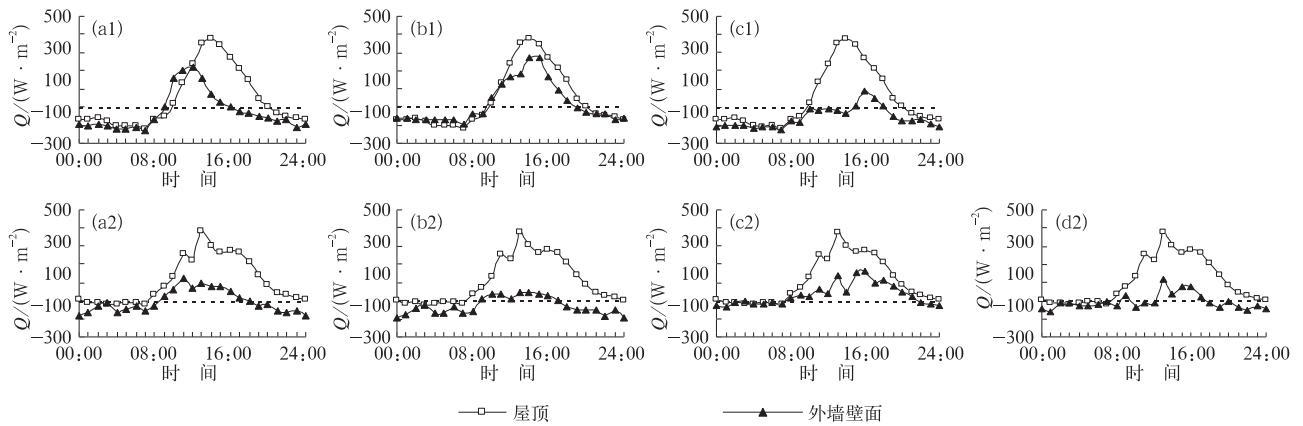


图5 昆明建筑物外墙壁面平均热通量与屋顶面热通量比较(1为1月,2为7月)

(a) 东向壁面,(b) 南向壁面,(c) 西向壁面,(d) 北向壁面

Fig. 5 The comprison between the average heat flux of the building's external walls and the heat flux of the buildings's rooftop in Kunming (1: January, 2: July)

(a) east wall, (b) south wall, (c) west wall, (d) north wall

2.2 北京建筑物外墙壁面热力效应与昆明建筑物外墙壁面热力效应比较

根据对北京建筑物观测所得数据,绘制了北京

建筑物外墙壁表面温度、气温、热通量随时间变化图(图6),与昆明建筑物壁面热力效应进行对比,对结果进行初步分析。

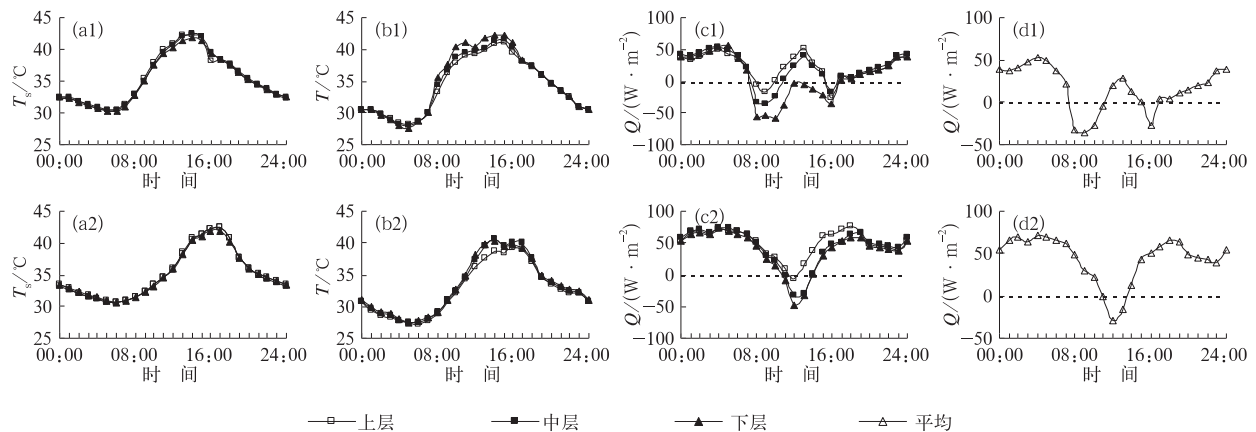


图6 7月北京建筑物外墙壁面热力状况(1为南向壁面,2为西向壁面)

(a) 各高度表面温度,(b) 各高度近旁气温,(c) 各高度热通量,(d) 平均热通量

Fig. 6 The buildings' external surface temperature, the air temperature nearby the building's external surface and the heat flux between the buildings'external surface and the nearby air of Beijing in July (1 is south wall, 2 is west wall)

(a) buildings' external surface temperature, (b) the air temperature nearby the buildings' external surface,

(c) heat flux buetween the buildings' external surface and the nearby air, (d) the average of heat flux

2.2.1 北京建筑物壁面温度、近旁气温与昆明建筑物壁面温度、近旁气温比较

由(图6中 a1, b1, a2, b2)分析可知,壁面温度及其近旁气温的垂直变化特征:壁面温度和气温几乎无垂直方向上的梯度变化,与昆明建筑物的结果比较一致。

壁面温度和气温随时间变化特征:变化趋势同昆明建筑物一致,都是在正午过后南向壁面和西向壁面受辐射最强的 16:00—17:00 出现极大值,在日出前达到极小值;壁面温度极大和极小值,北京建筑物比昆明建筑物提前 1 小时多,是由于两者的经度所造成的(昆明地方时比北京时晚 1 h 13 min);但壁面温度和气温之间的变化与昆明建筑物比较,差异很大。

2.2.2 北京建筑物热通量与昆明建筑物的热通量比较

北京建筑物热通量的垂直变化特征:从图6中 c1, c2 可看出,在夜间 19:00—次日 07:00 热通量在垂直方向几乎无变化,从下往上热通量略有降低;但在 08:00—15:00 这段期间,垂直变化很明显,上层 > 中层 > 低层。与昆明建筑物观测的结果不同。

北京建筑物热通量的时间变化特征:在夜间西向壁面和南向壁面热通量随时间增加热通量增加,到 05:00 左右达到一个极大值,05:00 到日出前 07:00 都随时间增加热通量迅速降低;昼间西向壁面和南向壁面热通量变化各异:西向壁面 05:00 到 12:00 热通量一直呈下降趋势,到 12:00 达到极小值,之后又随时间热通量迅速上升,至 17:00 达到极大值;西向壁面热通量全天的变化呈两高一低型;而南向壁面从日出到正午,热通量变化一直呈上升趋势,到 13:00 达一极大值,之后热通量又下降,到 16:00 达极小值,16:00 过后,热通量又上升,南向壁面热通量全天变化呈二高二低型。与昆明建筑物观测结果比较,反差很大。

北京建筑物平均热通量与昆明建筑物相比:通过计算,北京建筑物(西向壁面为 44.4 W/m^2 ,南向壁面为 16.6 W/m^2)比昆明建筑物(西向壁面为 33.1 W/m^2 ,南向壁面为 -27.9 W/m^2)大。

3 讨论和小结

由以上分析可知,墙壁表面温度和近旁气温以

各自的特征变化,导致壁-气间温差随地理位置、季节、时间、壁面朝向、高度等不断变化,引起建筑物对周围大气的热力效应,从而影响城市气候。

由于建筑物壁面和屋顶比热容小于大气比热容(壁面为 $0.88 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$,空气为 $1.4 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$),且壁面粗糙,颜色较深,受太阳辐射的影响很强烈,特别是屋顶,一般都铺有黑色的沥青,对太阳辐射的吸收更强,温度上升更迅速,各表面朝向不同,接收的太阳辐射量、辐射时间不同,所以各墙壁和屋顶表面温度差异很大,即使同一面墙壁,在垂直方向上也有温度变化;而近旁大气对太阳短波辐射吸收很弱,太阳光基本是穿透大气而过,气温主要受地面长波辐射的影响,气压梯度很容易让空气流动,所以近旁气温受朝向、高度等的影响较壁面弱得多。

季节变化使壁面温度和近旁气温产生很大变化。据统计,昆明的太阳总辐射量,1 月为 418.30 W/m^2 ,5 月为 566.35 W/m^2 ,7 月为 445.52 W/m^2 ,日照时数 1 月为 235.9 h ,5 月为 235.2 h ,7 月为 116.8 h ^[13]。1 月太阳直射南半球,7 月直射北半球,比较可知,太阳辐射强度:7 月 > 5 月 > 1 月。根据以上的分析,可知壁面的热力效应受太阳辐射的影响很大。另外,与 1 月相比,7 月地球处于远日点,太阳入射角比 1 月大,在正午时,屋顶对四壁的遮蔽 7 月大于 1 月,所以 7 月各壁面在正午附近都不同程度地出现了一个低值。

地理位置不同,地理气候不同,其建筑壁面温度、气温的变化特征也不同,北京和昆明比较,7 月北京建筑物外壁近旁平均气温(南向壁面: $35.3 \text{ }^\circ\text{C}$,西向壁面: $33.0 \text{ }^\circ\text{C}$)比昆明建筑物(南向壁面: $23.8 \text{ }^\circ\text{C}$,西向壁面: $24.3 \text{ }^\circ\text{C}$)高很多,大部分建筑,特别是住宅小区,都装有散热装置,导致大部分时候建筑物都向外散热,所以北京的建筑物壁面在夜间热通量为很高的正值,和昆明建筑物相比有很大的反差(图 3),由于室内空调的原因,使得昼间大气向住宅楼内传热。

通过以上分析,得出以下初步结论:

1) 同一地区建筑物外墙壁面表面温度和近旁气温随朝向、季节、高度的不同而各异,表面温度受太阳辐射的影响很大,近旁气温比墙壁表面温度变化平缓得多,导致了不同朝向、季节、高度的表面温度

与气温差值的时空变化,从而有了它们间的热通量时空变化;一般说来,壁面昼间是热源,夜间是热汇。

2) 不同地区建筑物外墙壁面,其热力效应有许多异同,昆明建筑物的昼间热通量基本为正值,夜间为负值,在日出前有一极小值;而北京建筑物昼间其热通量整体为负值,夜间其热通量为正值。说明不同城市建筑物外表面的热力效应受气候、人类活动等影响很大。

3) 不同地区、各季节,屋顶面对近旁的平均热通量基本为正值,呈现较强的热源效应;其热力效应与接收的太阳辐射强度正相关。

综上所述,城市建筑物外表面(壁面、屋顶面)已成为城市区域内有别于城市地表面的对城市立体气候有着不可忽视影响的热力作用面。

致谢:中国科学院西双版纳热带植物园的刘玉洪老师和研究生窦军霞、宋富强、赵双菊、王馨、刘洋、宋清海、杨振、高进波、林华、李成春、吴毅以及昆明理工大学的杨顺才、徐梦春等同学参加了中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部的观测;北京的数据由国家自然科学基金重点项目组(59836250)提供,在此表示感谢。

参考文献

- [1] Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Population Challenges and Development Goals. New York: United Nations, 2005.
- [2] 国家统计局. 中华人民共和国 2005 年国民经济和社会发展统计公报. 2006.
- [3] 彭希琮, 邹寒山, 何宗健. 城市热岛效应对城市生态系统的影响及其对策研究. 江西科学, 2003, 21(3): 257-259.
- [4] Chandler T. J. Urban Climate Inventory and Prospect. Paper Presented at WMO Symposium on Urban Climate and Building Climatology. Brussels, 1969.
- [5] 张一平, 李佑荣. 城市区域内建筑物表面温度特征. 城市环境与城市生态, 1997, 10(1): 39-42.
- [6] 张一平. 城内外屋顶面附近风·温特征的初步分析. 气象科学, 1998, 18(1): 56-62.
- [7] 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. 地理科学, 1998, 18(1): 45-52.
- [8] 张一平, 何云玲, 刘玉洪, 等. 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. 地理科学, 2004, 24(5): 597-604.
- [9] Zhang Yiping, Liu Yuhong, Ma Youxin, et al. Thermal effects of building's external surfaces in city—characteristics of heat flux into and out of external wall surfaces. *Chinese Geographical Science*, 2004, 14(4): 343-349.
- [10] He Yunling, Zhang Yiping, Liu Yuhong, et al. A study on the characteristics of internal and external wall surface temperature in the urban area. *Journal of Tropical Meteorology*, 2004, 10(2): 216-224.
- [11] 何云玲, 张一平, 刘玉洪, 等. 城市区域内建筑物墙体内外壁表面温度特征的比较研究. 热带气象学报, 2004, 20(2): 198-205.
- [12] 张会宁, 张一平, 何云玲, 等. 昆明城市庭院气温垂直分布特征及不同下垫面对其影响的研究. 热带气象学报, 2007, 23(3): 293-299.
- [13] 陈宗瑜. 云南气候总论. 北京: 气象出版社, 2001.
- [14] 北京市气象局气候资料室. 北京气候志. 北京: 气象出版社, 1987.
- [15] 云南省统计局. 云南统计年鉴(2004). 北京: 中国统计出版社, 2005: 706.
- [16] 陈启高. 建筑热物理基础. 西安: 西安交通大学出版社, 1991: 163-166.

Thermal Effects of Architecture Surface in Kunming and Beijing

Zhang Huining¹⁾²⁾ Zhang Yiping¹⁾ Peng Yunchuan³⁾ Zhou Yue²⁾ Pen Guifeng⁴⁾

¹⁾ (*Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223*)

²⁾ (*Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093*)

³⁾ (*School of Resources, Environments and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091*)

⁴⁾ (*Yunnan Professional Meteorological Observatory, Kunming 650034*)

Abstract

Urban architecture and the urban heat island intensity is extremely closely related. The buildings' outside surface exhibits unique thermal energy characteristic because it absorbs the solar radiation and thermal energy from people's daily life influences buildings. The atmospheric thermal energy condition around buildings is affected inevitably, then the urban climate is affected. The observational data of buildings' external walls' surface temperature, rooftop surface temperature and the air temperature near the buildings' external surfaces in three different cities of Kunming, Beijing utilized. The vertical distribution rule of buildings' external surface temperature and air temperature near the buildings' external surfaces, the thermal effect features of the wall, and the rooftop between the nearby atmosphere are analyzed. The comparative analysis on two cities buildings thermal conditions is conducted. The following preliminary conclusions are drawn. In the same area, buildings' external walls' surface temperature and the air temperature near the buildings' external surfaces are different respectively from different directions, seasons, and heights. The influence of solar radiation on buildings' external walls surface temperature is greater than on the air temperature near the buildings' external surfaces. Generally speaking, the wall's surface is a heat source in daytime, and a heat sink at night. In different areas, there are many similarities and many differences in the thermal energy affect on buildings' external walls. The heat flux of the buildings' external walls basically is positive in daytime, is negative at night, and there is an extreme small value just before sunrise in Kunming. While in summer of Beijing, the heat flux of the buildings' external walls is basically negative in daytime and positive at night. This indicates that the influence of climate and people's activity is great to the thermal energy effect on the urban buildings' external walls in different cities. The average heat fluxes between the buildings' rooftop and its nearby air are basically positive in different areas and seasons. Buildings' rooftop displays the strong heat source effect. The thermal energy effect intensity and the solar radiation show a positive correlation. In summary, the urban building external surfaces (external wall surfaces, the surface of rooftop) are different from the ground in the urban region, and is noticeably influential thermal active surface in the formation of urban climate.

Key words: urban heat island; buildings' external surfaces; heat source; heat sink