

张本志,任国玉,张子曰,等.北京中心商务区夏季近地面气温时空分布特征[J].气象与环境学报,2013,29(5):26-34.  
ZHANG Ben-zhi,REN Guo-yu,ZHANG Zi-yue,et al.Temporal and spatial characteristics of summer near-surface air temperature in Beijing central business district[J].Journal of Meteorology and Environment,2013,29(5):26-34.

# 北京中心商务区夏季近地面气温时空分布特征

张本志<sup>1,3</sup> 任国玉<sup>2</sup> 张子曰<sup>3</sup> 李艳<sup>3</sup>

(1. 南京信息工程大学,江苏 南京 210044; 2. 中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081;  
3. 北京市朝阳区气象局,北京 100016)

**摘要:**利用2012年6—8月31个自动观测站气温资料,分析了北京中心商务区(CBD)夏季近地面气温时空分布特征及影响因子,并将CBD地区夏季气温监测数据与朝阳区气象站同期地面气温进行比较。结果表明:下垫面类型和人为热排放等差异是直接影响城市CBD近地面气温空间分布的主要原因。人口密集区、高层建筑与柏油路面集中区成为夏季月平均气温高值中心,较绿地覆盖区域的低值中心偏高约1.0℃;夜间人类活动及车辆使用造成的人为热排放是导致夜间城市地面气温空间差异的主要原因,而白天气温空间差异相对较小。CBD地区与朝阳站平均温差存在较明显的周内和日内变化规律,且白天和夜间二者温差基本都为正值,但夜间的差值更加明显,即CBD地区平均气温一般高于朝阳站,表现出明显的附加城市热岛效应,而且这种附加城市热岛效应具有同城市热岛强度相近的日内变化规律。进一步分析表明,不同天气条件下CBD区域的附加城市热岛强度表现出显著差异,晴好微风少云天气情况下,附加城市热岛效应更明显,主要表现在夜间;阴天、高温天气条件下,附加城市热岛效应在白天和夜间均较弱;降水天气条件下附加城市热岛效应日夜差异最小,说明日照和太阳辐射在引起附加城市热岛效应方面起着重要作用。不同天气条件下CBD地区内部的附加城市热岛效应空间分布基本一致。

**关键词:**CBD地区;热环境;人为热;附加城市热岛效应

**中图分类号:**P463.3 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-503X.2013.05.005

## 引言

20世纪80年代以来,国内外学者针对不同区域、不同地理环境下城市发展带来的热环境变化特征、时间演化趋势、影响因子、形成原因等问题,利用多种方法从不同角度开展了很多研究,取得了大量成果。近年来,随着中国大城市规模化发展和城市人口增多,城市建成区内高楼大厦、柏油路面、钢筋水泥建筑、玻璃幕墙等日益增多,造成地表长波辐射状况显著变化,加之人口密集、空调等设备运用以及汽车行驶尾气等人为热的大量排放等,导致城市下垫面状况及城市热环境分布发生了巨大改变,城市化加剧对城市气候带来的影响日趋突显,对城市热岛研究工作中的热点问题也有许多研究和讨论<sup>[1]</sup>。白杨等<sup>[2]</sup>研究指出,随着城市规模的高速发展和城市人口的急剧膨胀,因城市下垫面的急剧变化和城市人为热排放的迅速增加所引起的城市热岛效应已逐渐成为严重影响城市居住环境和居民健康的重要因素。研究指出<sup>[3-4]</sup>,北京城市化影响不仅导致北京

气象站近地面平均气温上升趋势比乡村站明显偏高,而且常用极端气温指数的长期趋势变化也明显高于乡村,其城市化影响均通过了0.01显著性水平检验。

国外学者关于城市热环境的研究工作开展的较早<sup>[5-11]</sup>,Myrup<sup>[5]</sup>应用能量平衡模式对城市气温及热岛强度进行了分析,认为城市中心蒸发量的减少、城市建筑物和铺设材料的热属性等是造成热岛效应的主要因素。Mitchell<sup>[6]</sup>指出,美国城市最大热岛强度与城市人口的平方根有较好的正相关。Oke<sup>[7]</sup>认为城市热岛强度与人口对数呈线性关系。Streuter<sup>[8]</sup>根据休斯敦地区1985—1987年和1999—2001年获取的数百幅夜间NOAA影像地表温度图,系统地分析了这两个时期的城市热岛特征;Roth等<sup>[9]</sup>利用AVHRR热红外数据评估了美国西海岸几个城市的热岛强度,并发现白天地表温度与土地利用类型有关,工业区地表温度高于植被覆盖地表,而夜间城市与郊区的地表温度差异较小。

**收稿日期:**2013-04-11; **修订日期:**2013-05-27。

**基金项目:**北京市朝阳区科技计划项目“朝阳区热岛效应监测和商务中心区气象节能措施研究”(KC1103)、北京市科技计划课题“北京地区气候变化对城市热环境影响评估及气象节能关键技术研究”(Z111100074211010)和北京市气象局气象科技研发专项“北京市商务中心区热环境观测及气象节能措施示范研究”(2011BMBKYZX12)共同资助。

**作者简介:**张本志,男,1977年生,工程师,主要从事城市热岛研究,E-mail:zhangbz@bjmb.gov.cn。

**通信作者:**任国玉,E-mail:guoyoo@cma.gov.cn。

在国内,针对北京、上海等大城市发展带来的热环境问题,前人进行了深入分析研究<sup>[12-23]</sup>。丁金才等<sup>[16]</sup>对上海盛夏热岛效应的研究指出,城市市区建成面积、土地利用类别、人口密度等城市化因素都影响到城市热岛的范围和强度;初子莹和任国玉<sup>[18]</sup>通过对北京地区 20 个台站 1961—2000 年月平均气温资料的对比分析发现,由于快速的城市化过程,北京站和密云站地面平均气温的上升趋势比远郊乡村站明显偏高,表现出显著的城市热岛强度随时间增强作用的影响。季崇萍等<sup>[19]</sup>研究指出,北京城市建成区范围与城市热岛效应影响范围呈同步变化趋势;程兴宏等<sup>[20]</sup>采用晴空过程北京城郊地面自动气象站气温观测值对卫星遥感云顶黑体气温高分辨率场实施变分订正,揭示了北京城市建筑群面积及中高层建筑群布局对城市热岛群总体演变趋势;杨萍等<sup>[22]</sup>利用北京地区 20 个气象观测站 1978—2007 年逐日平均气温资料,分析了近 30 a 北京地区极端气温事件的变化趋势,得出近 10 a 夏季显著的热岛效应是城区极端高温事件发生频次明显高于其他地区的重要原因;大量研究表明,不同土地利用、土地覆盖类

型与地表城市热环境有着密切关系,地表城市热岛强度增加的区域与城市扩展区域一致,城市化过程是城市热岛面积不断增加的主要原因<sup>[17,21]</sup>。

随着观测手段和方法的不断完善,城市热岛效应的研究进入了一个新的时期。近年,自动观测气象站的布设密度加大,为城市气候研究积累了较多资料。国内学者已经开始利用自动观测站资料进行深入的城市热岛效应研究。但在城市功能区开展微气候观测和研究工作仍然较少,目前缺乏对更小城市区域和范围的精细观测、分析和研究,所选取的自动气象站点分布密度有限,目前的观测还未达到开展北京中心商务区(以下简称 CBD, Central Business District)如此小尺度区域热环境研究所需要的布点密集程度。本文选取以国内最具城市化发展特征的北京 CBD 核心区为研究对象,首次对国内特大城市商务功能区的城市热环境特征开展观测研究。利用在 CBD 区域布设的 31 个温湿观测站点进行加密数据监测,结合附近朝阳气象站观测资料, CBD 区域地理信息以及商务功能区的下垫面特征资料,开展小网格距夏季热环境精细化研究。

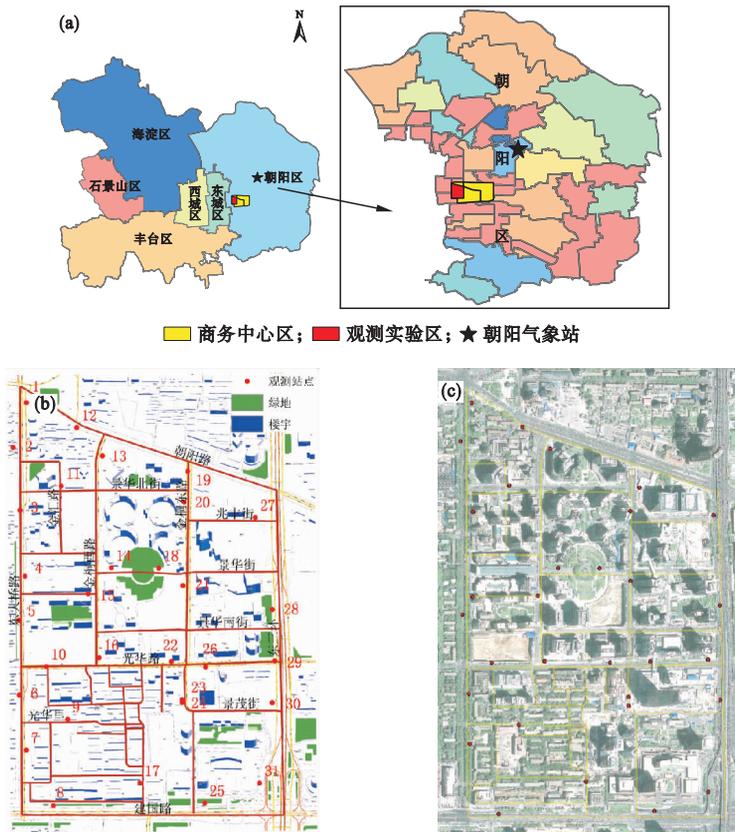


图 1b 与图 1c 红点代表仪器的位置和编号

图 1 北京 CBD 区域和观测试验区位置 (a)、观测试验区下垫面特征及其测点分布 (b) 和观测试验区下垫面特征卫星影像图及其测点分布 (c)

Fig. 1 The Beijing CBD area and the experimental area (a), the land surface types and distribution of the observational stations (b) and its image as well as corresponding distribution of stations (c)

## 1 CBD 区域特征及仪器安装

### 1.1 CBD 区域特征

北京 CBD 位于朝阳区(图 1a 中黄色区域),西起朝阳区东大桥路,东至东四环路,南临通惠河,北接朝阳北路,其核心区约 3.99 km<sup>2</sup>,东扩区约 3.0 km<sup>2</sup>,建筑面积达 1 000 万 m<sup>2</sup>[24]。目前,该区域建有 330 m 高的国贸三期及银泰大厦等标志性建筑群,2012 年又新开建 500 m 高中国尊,是国内金融、保险、地产、网络等高端企业地区总部集中区。

### 1.2 气象仪器安装

气象观测仪器采用美国 ONSET 公司生产的 HOBO Pro v2 气温、湿度采集器,采集 1 组气温、相对湿度观测数据的最短时间间隔可为 1 s,该传感器气温在 0—50 ℃ 范围内测量精确度为 ±0.21 ℃,湿度在 0—90% 范围内测量精确度为 ±2.5%。安装之前将仪器与朝阳气象站(国家一般气象站,站号为 54433,以下简称“朝阳站”)的温湿度观测数据进行了比对,对仪器存在的系统误差进行了校准。

选取 CBD 核心发展区域作为观测试验区,将 CBD 近地面气温精细化监测区域设在南北约 1.5 km、东西约 1.0 km 的梯形区域内。观测试验区域所在位置见图 1a 中红色区域。根据前期流动观测分析结果及实际安装条件,制定出观测仪器安装布点方案,共安装 31 个 HOBO 温湿记录仪对区内近地面气温进行观测,测点具体分布见图 1。仪器全部安装在路灯灯杆上,统一高度为 3 m,与中国气象站观测场地面气温观测标准高度基本一致,测点水平间隔距离大约在 200—400 m 之间,大致均匀分布,主要代表了交通干线附近、写字楼附近、居民小区及公园等下垫面环境条件。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料选取和处理

从选取的 31 个观测点 2012 年 5—9 月 HOBO 数据集中截取 6—8 月(代表夏季)的完整数据进行分析,观测数据采样间隔设定为 5 min,检验比对所获得的数据资料未发现极端异常值。对采集的 3 个月数据进行处理,小时平均气温采用整点前后

30 min 内气温平均值,处理方法为:

$$\bar{T}_i = \frac{1}{12} \sum_{j=i+1}^{i+12} T_j \quad (i = 0, 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式(1)中, $\bar{T}_i$ 为整点平均气温; $T_j$ 为气温 5 min 观测序列。采用式(1)处理可滤去正点前后随分钟脉动变化的波。本文研究内容主要以处理后获得的小时平均气温作为基础数据开展相关分析。

### 2.2 分析方法

人工数据分类法是根据数据本身的分布情况将数据分段,使数据在演示图中表示时,断点出现在极小值,而断点排列顺序依据极小值的大小排列,最大的极小值作为第一个断点。此方法可将演示图中气温色标进行分割,使组内气温色标差距最小,组间气温色标差距最大,从而清晰演示出气温的空间分布特征。本文通过人工数据分类法分析 CBD 地区小时平均气温和附加城市热岛效应分布特征。

### 2.3 附加城市热岛效应定义

本文将 CBD 观测试验区各测点和区域平均气温与同一时间朝阳气象站地面气温的差值定义为附加城市热岛效应(EUHI)。之所以选取朝阳站作为参考,是因为安装的仪器与朝阳站气温观测数据进行了比对,并对仪器存在的系统误差进行了校准;但由于朝阳站位于北京城区,观测试验区与朝阳站之间距离仅约为 6 km,朝阳站本身又受到了城市热岛效应(UHI)影响,因此这里称为附加城市热岛效应。CBD 区域平均的 EUHI 强度用式(2)计算:

$$\Delta T_k = T_k - t_k \quad (k = 1, 2, 3, \dots, 24) \quad (2)$$

式(2)中, $\Delta T_k$ 代表  $k$  时刻的附加城市热岛效应强度; $T_k$ 代表  $k$  时刻 CBD 区域 31 个观测站小时平均气温; $t_k$ 代表  $k$  时刻朝阳气象站小时平均气温。

### 2.4 不同天气条件的选取

为了解不同天气条件下 CBD 区域 EUHI 强度的差异及其原因,选取晴好微风少云、中等能见度(少云微风)、多云阴天、高湿、降水天气 5 种不同类型的典型代表性天气条件,比较分析各类天气条件下的 EUHI 强度及其时间变化情况。考虑到代表性天气状况在一日内出现的时长以及强度对附加城市热岛效应的影响,因此,限定了代表性天气的选取条

件并对6—8月满足限定条件的不同类型的典型代表性天气进行筛选(表1),在此基础上计算并得

表1 2012年6—8月北京CBD区域代表性天气的选取条件及典型代表性天气出现日数

Table 1 The threshold of representative weather and the number of corresponding weather from June to August of 2012 in the CBD of Beijing

天气情况	选取条件	6月/d	7月/d	8月/d
晴好微风少云	能见度为20 km以上,总云量小于3成,最大风速小于3级	1	2	1
中等能见度(少云微风)	能见度为5—20 km,总云量小于3成,最大风速小于3级	2	0	1
多云、阴天	总云量、低云量在9成以上	2	2	1
高湿天气	日最小相对湿度 > 75%	4	6	0
降水天气	日内降水时间在12 h以上	1	2	0

到不同天气条件下小时 EUHI 强度。

### 3 结果分析

#### 3.1 CBD区域夏季热环境空间分布特征

##### 3.1.1 夏季平均气温空间分布特征

由图2可见,CBD地区夏季极端最高气温出现在7月(图2c),月平均气温最高值为28.8℃;夏季平均气温的高值中心较低值中心偏高1.0℃左右

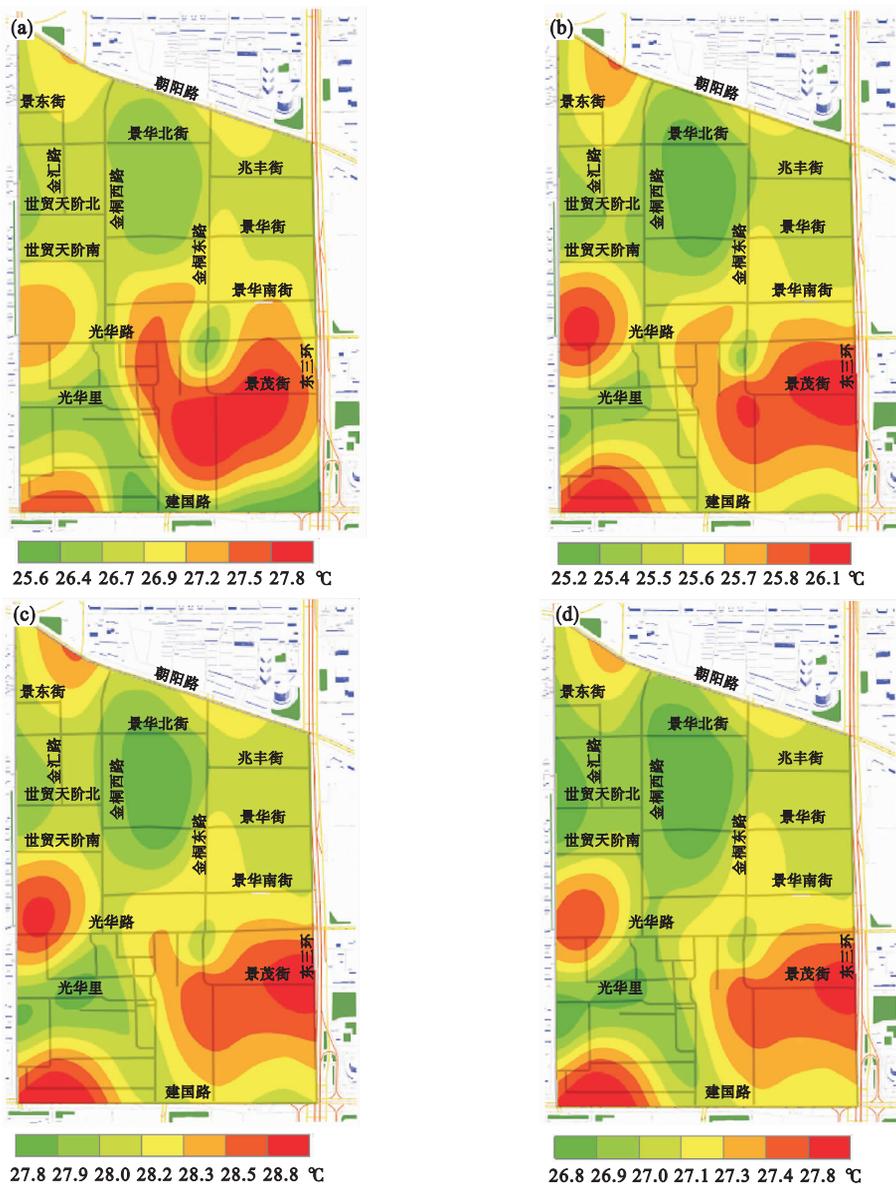


图2 2012年6—8月(a)、6月(b)、7月(c)和8月(d)北京CBD观测试验区平均气温空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of mean air temperature during June to August (a), in June (b), July (c) and August (d) of 2012 at the experimental area in the CBD of Beijing

(图2a)。6—8月各月平均气温的空间分布特征较一致,高值中心、低值中心的空间位置较为稳定,说明高值中心、低值中心的出现与所在区域的下垫面环境存在密切关系。其中,景华北街和景华街之间及光华里两处低值中心的下垫面特征为景华北街和景华街之间为CBD地区的中心公园绿化带,绿地和树木较多;光华里区域内CBD早期的老旧小区比较集中,而且为低层建筑,绿化程度较好;而位于光华路西边东三环路南侧和建国路西侧及朝阳路西侧的两处高值中心,处于主要路段的交叉点,高值中心的出现主要与该区域柏油路面地表和周边建筑热辐射、人为热排放以及植被相对较少等因素有关。金桐东路与景茂街交叉点北侧亦为次低值中心,该中心观测站点受到国贸三期大楼对太阳辐射的遮挡,而且该站点周边植被绿化较好,因此造成气温较周围站点偏低。

### 3.1.2 夏季昼夜气温周变化特征

选取05时和14时两个时次分别代表夜间和白天,利用两个时次的31个观测站的夏季平均气温分别与同时次朝阳气象站的平均气温进行EUHI的周变化对比分析。从05时和14时EUHI强度的周变化曲线(图3)可以看出,CBD地区6—8月05时与14时的平均气温均明显比同时次朝阳站气温偏高,平均EUHI约为 $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。EUHI较强的时段在05时,即夜间CBD区域EUHI最强,其中最高值出现在周三与周六,达到 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最低值出现在周日,但也达到 $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;14时的EUHI强度明显减弱,最高值

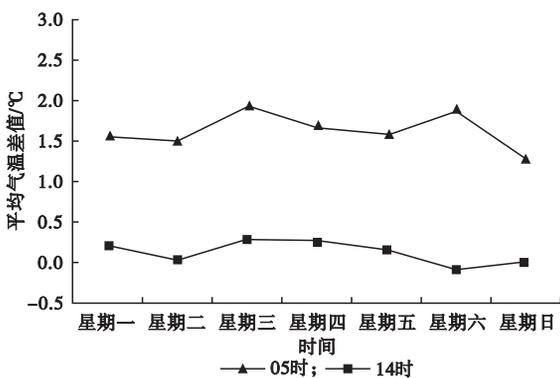


图3 2012年6—8月05时和14时北京CBD区域平均附加城市热岛效应强度周变化曲线

Fig. 3 The weekly variation of EUHI at 05:00 and 14:00 during June to August of 2012 in the CBD of Beijing

出现在周三,为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最低值出现在周六,为 $-0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

由于CBD地区城市建筑物密集并以沥青和水泥地面为主,而且CBD地区作为商务区车流量大、人们活动频繁,造成的人为热排放远比朝阳站附近高;而朝阳站观测场为标准的建设绿地,附近高层建

筑较少,对太阳短波辐射吸收和地面长波辐射外逸以及感热和潜热交换均与CBD区域具有明显差异,造成CBD地区白天和夜间的EUHI值多数情况下为正值,即平均气温明显高于朝阳站。由于白天太阳辐射增温使得低层湍流加强,热量的垂直和水平交换比夜间强,CBD区域EUHI强度较弱;而夜间各种人工建筑特别是高层建筑将把白天吸收和存贮的热量释放出来,加上空气静稳,浓度更高的颗粒污染物和温室气体更多地吸收地面长波辐射,致使近地面大气中的热量不易很快散失,EUHI强度一般要比白天明显增大。

### 3.1.3 气温日内变化

由图4可见,2012年夏季北京CBD观测试验区逐

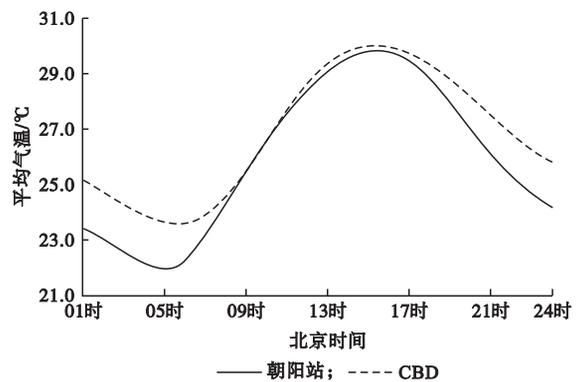


图4 2012年夏季北京CBD观测试验区和朝阳站平均小时气温日变化曲线

Fig. 4 The hourly air temperature in summer of 2012 at the experimental area in the CBD of Beijing and at Chaoyang weather station

小时的平均气温均高于朝阳站,且夜间差别较大,午间气温差别较小。平均气温最高值均出现在15时,CBD观测试验区最高平均气温达 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;平均气温最低值出现在早晨05时,朝阳站最低气温为 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

为进一步量化CBD观测试验区平均气温与朝阳站的差别,图5给出了2012年夏季北京CBD观测试

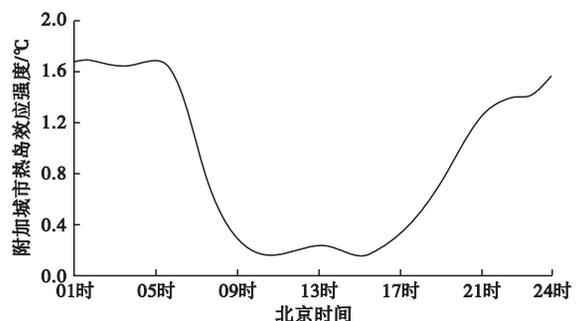


图5 2012年夏季北京CBD观测试验区附加城市热岛效应强度日变化曲线

Fig. 5 The diurnal variation of EUHI intensity in summer of 2012 at the experimental area in the CBD of Beijing

验区平均 EUHI 强度的日变化曲线。从图 5 可以看出,夏季平均 EUHI 强度在夜间变化不大,而在白天变化较为明显。EUHI 强度夜间维持较大值,最大值出现在 01 时到 05 时之间,达到  $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上;05 时到 09 时之间是 EUHI 急剧下降阶段,午间降至最低值,其中 09 时左右 EUHI 强度首先达到最低,并维持低值状态至 16 时左右,最低值出现在 14 时附近,约为  $0.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;16 时以后 EUHI 开始增大,至 24 时左右强度达到峰值。EUHI 强度日变化幅度最大出现在 05—09 时之间,变化幅度达到  $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2012 年夏季北京 CBD 观测实验区 EUHI 强度日变化特征与已有研究中城市热岛强度夜间维持最大值而午间降至最低值的结论基本一致。与北京市四环以内区域平均 UHI 强度日变化特征<sup>[24]</sup>比较,CBD 区域平均 EUHI 强度在清晨和上午的急剧降低趋势要更明显,到 09 时即达到最低值,而前者在 10 时左右接近最低值;午后到傍晚的急剧上升则更和缓,到 21 时仍然没有停止上升,而前者的上升过程则十分剧烈,至 20 时即已接近夜间高峰区域。20 时至 24 时 CBD 观测实验区 EUHI 强度仍然逐渐增强,这可能在一定程度上与 CBD 区域高层建筑更为密集、夏季夜晚人类活动丰富多样、人为热量释放更大等因素有关,也可能和朝阳站本身具有较明显的 UHI 效应有关。

### 3.2 不同天气条件下 CBD 观测试验区附加城市热岛效应特征

#### 3.2.1 附加城市热岛效应的日变化特征

图 6 给出了不同天气条件下 2012 年夏季 CBD 观测试验区平均每日逐小时 EUHI 强度变化情况。

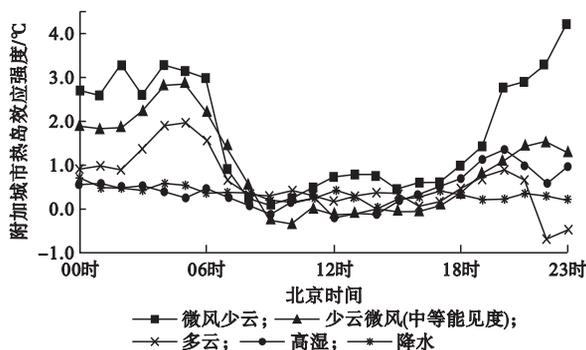


图 6 不同天气条件下北京 CBD 观测试验区附加城市热岛效应强度日变化

Fig. 6 The diurnal variation of EUHI intensity at the experimental area in the CBD of Beijing under different weather conditions

在晴好微风少云天气情况下,EUHI 效应更加明显,特别是在夜间,最高可达到  $4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,白天较弱,其中 09 时最小,仅有  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;在阴天、高湿天气条件下,

EUHI 效应在白天和夜间均较弱,09 时和 12—14 时甚至出现负值,即研究区域平均气温比朝阳站附近还略低;降水天气条件下 EUHI 效应日夜差异最小,说明日照和太阳辐射在引起 EUHI 效应方面起着重要作用。

CBD 地区由于下垫面多人为建筑,加上风对气温差异的混合作用不明显,不同类型天气条件下夜间平均 EUHI 强度最大差值达  $4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,白天 EUHI 强度差异不大;在能见度转差的时候,EUHI 效应也被减弱。阴天由于太阳辐射少,人为热释放的影响相对更明显,EUHI 强度一般在  $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右。在高湿和有降水的时候,EUHI 效应表现最弱,与太阳辐射弱和潜热交换强等因素有关。从不同天气条件下 CBD 观测试验区 EUHI 效应差异分析看,下垫面条件、日照和太阳辐射、风力、能见度、空气湿度、人类热释放等对 EUHI 效应均有影响,但不同天气条件下,各个因子的影响程度具有明显差异。

#### 3.2.2 附加城市热岛效应空间分布特征

采用人工数据分类法进行附加城市热岛效应分析。图 7 分别代表晴好微风少云、少云微风(中等能见度)、多云阴天、高湿、降水 5 种天气条件下 EUHI 效应空间分布。通过对比发现,5 种天气条件下 EUHI 效应空间分布基本一致,高值中心主要出现在光华路北与世贸天阶南之间、景茂街与东三环路交界、建国路西侧,最高值出现在晴好微风少云天气条件下,达  $2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 7a);而低值中心主要位于景华北街和景华街之间及光华里,最低值出现在降水天气条件下,仅有  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 7e)。

EUHI 强度高值中心均处于主要路段的交叉点,多为硬化路面,车流量大,而且周边写字楼等高层建筑较多,绿化较少,人为活动频繁;而景华北街和景华街之间的 EUHI 强度低值中心为 CBD 地区的公园绿化带,绿地和树木较多;光华里区域的 EUHI 强度低值中心位于老旧居民小区,低层建筑较多,树木繁茂,与朝阳站周边环境类似。因此,下垫面类型差异是影响 CBD 区域 EUHI 强度空间分布的主要原因之一。

## 4 结论与讨论

(1) CBD 观测试验区 2012 年夏季各月平均气温分布特征比较稳定,绿地覆盖的小区、公园夏季平均气温较低,而主要交通路段交叉点和高层建筑密集区为气温高值中心。夏季平均气温的高值中心较低值中心偏高  $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右。下垫面类型和人为热排

放等差异是影响北京 CBD 观测试验区近地面气温 空间分布的主要原因。

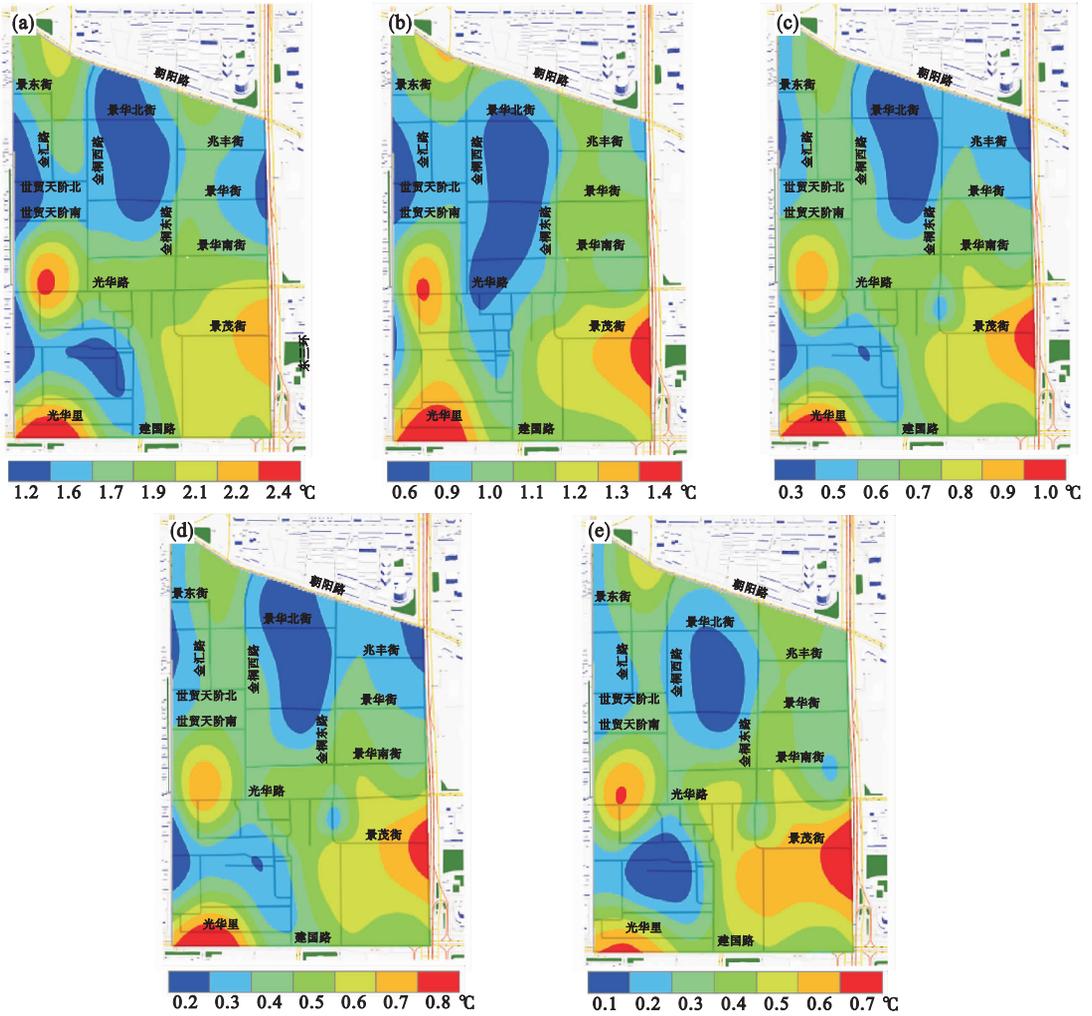


图 7 晴好微风少云天气(a)、少云微风天气(b)、多云阴天天气(c)、高湿天气(d)和降水天气(e)条件下 CBD 区域附加城市热岛效应空间分布

Fig. 7 The spatial distribution of EUHI in a sunny day with breeze and partly cloud (a), a partly cloud and breeze day (b), a cloud day (c), a high humidity day (d) and a rainy day (e) at the experimental area in the CBD of Beijing

(2) CBD 观测试验区与朝阳站之间的地面气温差值即附加城市热岛效应周内变化具有明显的时间特征,清晨 05 时 CBD 观测试验区附加城市热岛效应较明显,周三和周六更为明显,可达  $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,周日较弱,但也达到  $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;午后 14 时附加城市热岛效应明显减弱,周三最明显,但仅有  $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,周六表现为负值( $-0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。

(3) CBD 观测试验区 2012 年夏季平均附加城市热岛效应在 24 h 内存在明显的时间变化特征。CBD 观测试验区夏季逐小时的平均气温均高于朝阳站,且夜间差别较大,午间差别较小。附加城市热岛强度在夜间维持较大值,最大值出现在 01—05 时之间,达到  $1.60\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上;05—09 时之间强度急剧下降,09 时左右首先达到最低,并维持低值状态至 16 时左右,最低值出现在 14 时附近,约为  $0.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;16 时以后附加城市热岛强度开始增大,至 24 时左右达到峰

值。

(4) 不同天气条件下 CBD 核心地区附加城市热岛效应表现明显不同。晴好微风少云天气情况下夜间附加城市热岛效应最为明显,最大强度可达  $4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;阴天、高湿和降水天气条件下附加城市热岛效应较弱;降水天气条件下附加城市热岛效应的日夜差异最小。日照和太阳辐射在引起附加城市热岛强度差异中起着重要作用。不同天气条件下附加城市热岛效应空间分布基本一致。

(5) 由于北京 CBD 地区的常年观测资料有限,本文利用 2012 年夏季加密观测资料的分析结论还有待今后深入研究验证。但本文分析结果与前人针对北京和其他大城市的研究结论具有较好可比性,其中附加城市热岛效应的时间变化规律与前人研究基本一致。但是,北京 CBD 观测试验区平均附加城市热岛强度在清晨和上午的急剧降低趋势比北京四

环内平均城市热岛强度降低更明显,达到最低值的时间也提前1 h多,午后到傍晚的急剧上升趋势则更和缓,到21时仍未停止上升,比四环内平均城市热岛强度上升过程延长,达到最高值时间延后数小时。造成这一差异的原因可能与CBD区域高层建筑更为密集、夏季夜晚人类活动强烈、人为热量释放较大等因素有关,也可能与参考站附近具有较明显的城市热岛效应有关。

(6)此外,CBD观测试验区内下垫面包含了绿地、硬化路面、高大植被等,这些不同下垫面特性具有不同的附加城市热岛效应特征,人为热源(空调使用、中心区的污染和汽车尾气排放等)在附加城市热岛效应强度变化中可能也起到了重要作用。北京CBD地区下垫面条件、日照和太阳辐射、风力、能见度、空气湿度和人类活动等因素均对城市热环境和附加城市热岛效应时空分布具有影响,但各种因素作用所占比例仍需结合更完善观测资料和数值模拟研究进一步探讨。

## 参考文献

- [1] 黄良美,邓超冰,黎宁.城市热岛效应热点问题研究进展[J].气象与环境学报,2011,27(4):54-58.
- [2] 白杨,王晓云,姜海梅,等.城市热岛效应研究进展[J].气象与环境学报,2013,29(2):101-106.
- [3] 张雷,任国玉,刘江,等.城市化对北京气象站极端气温指数趋势变化的影响[J].地球物理学报,2011,54(5):1150-1159.
- [4] 李书严,陈洪滨,李伟.城市化对北京地区气候的影响[J].高原气象,2008,27(5):1102-1110.
- [5] Myrup L O. A numerical model of the urban heat island[J]. Journal of Applied Meteorology, 1969(8):908-918.
- [6] Mitchell J M J. The thermal climate of cities[R]. Symposium on Air Over Cities, SEC Technical Report A62-5, U. S. Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, 1962.
- [7] Oke T R. City size and the urban heat island[J]. Atmospheric Environment, 1973,7(8):769-779.
- [8] Streutker D R. A remotesensing study of the urban heat island of Houston, Texas[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002,23(13):2595-2608.
- [9] Roth M, Oke T R, Emery W J. A satellite-derived urban heat island from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology[J]. International Journal of Remote Sensing, 1989,10(11):1699-1720.
- [10] Taha H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat[J]. Energy and Buildings, 1997,25(2):99-103.
- [11] Brown M J, Leach M, Reisner J, et al. Numerical modeling from mesoscale urban scale to building scale[R]. The 3rd Symposium on the Urban Environment, 2000.
- [12] Zhou S Z. Five island effects of Shanghai urban climate[J]. Science in China (series B), 1990,33(1):67-78.
- [13] 张光智,徐祥德,王继志,等.北京及周边地区城市尺度热岛特征及其演变[J].应用气象学报,2002,1(13):43-50.
- [14] Zhou L M, Dickinson R E, Tian Y H, et al. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004,101(26):9540-9544.
- [15] 林学椿.北京城市热岛强度的变化[J].气候变化通讯,2004,3(2):12-13.
- [16] 丁金才,张志凯,奚红,等.上海地区盛夏高温分布和热岛效应的初步研究[J].大气科学,2002,26(3):412-420.
- [17] 佟华,刘辉志,李延明,等.北京夏季城市热岛现状及楔形绿地规划对缓解城市热岛的作用[J].应用气象学报,2005,16(3):358-366.
- [18] 初子莹,任国玉.北京地区城市热岛强度变化对区域气温序列的影响[J].气象学报,2005,63(4):534-540.
- [19] 季崇平,刘伟东,轩春怡.北京城市化进程对城市热岛的影响研究[J].地球物理学报,2006,49(1):69-77.
- [20] 程兴宏,徐祥德,张胜军,等.北京地区热岛非均匀分布特征的卫星遥感-地面观测综合变分分析[J].气候与环境研究,2007,12(5):683-692.
- [21] 彭静,刘伟东,龙步菊,等.北京城市热岛的时空变化分析[J].地球物理学进展,2007,22(6):1942-1997.
- [22] 杨萍,刘伟东,侯威.北京地区极端气温事件的变化趋势和年代际演变特征[J].灾害学,2011,26(1):61-64.
- [23] 王清川,郭立平,张绍恢.不同天气条件下廊坊城市热岛效应变化特征[J].气象与环境学报,2009,25(6):44-48.
- [24] Yang P, Ren G Y, Hou W, et al. Spatial and diurnal characteristics of summer rainfall over Beijing municipality based on a high-density AWS dataset[J]. International Journal of Climatology, 2012, DOI:10.1002/joc.3622.

## Temporal and spatial characteristics of summer near-surface air temperature in Beijing central business district

ZHANG Ben-zhi<sup>1,3</sup> REN Guo-yu<sup>2</sup> ZHANG Zi-yue<sup>3</sup> LI Yan<sup>3</sup>

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, 210044, China; 2. Climate Research laboratory of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3. Meteorological Service in Chaoyang District of Beijing, Beijing 100016, China)

**Abstract:** Based on the air temperature data from 31 automatic weather stations (AWS) during June to August of 2012, the temporal and spatial characteristics of summer near-surface air temperature and the possibly controlling factors in the Beijing central business district (CBD) were analyzed. Air temperature from the AWS of CBD and from the national meteorological station at Chaoyang district of Beijing was compared. The results show that the spatial distribution of the near-surface air temperature in the CBD is directly affected by the difference of underlying surface types and anthropogenic heating. The mean monthly air temperature in summer of 2012 in the densely populated, high-rising buildings and asphalt surface areas is about 1.0 °C higher than that in the green coverage area in the CBD. Anthropogenic heat emission due to human activity and use of vehicles at night is the main reasons for large spatial differences of the urban heating environment, while its difference in the daytime is relatively small. The daily and weekly variations of air temperature are significant in the CBD and in Chaoyang weather station. The air temperature difference between them is a positive value regardless in the daytime or at night. Surface air temperature is higher in the CBD than in Chaoyang weather station in the daytime and at night, which suggests an extra urban heat island (EUHI) effect in the Beijing CBD. The daily variations of urban heat island and EUHI are similar. Under different weather conditions, intensity of EUHI effect is different. The EUHI effect is strong in a sunny day with breeze and partly cloud, especially at night, while is weak in a cloudy day with high humidity; it is the weakest in a rainy day. Sunshine and solar radiation is important to the EUHI. The spatial distribution of EUHI in the CBD is similar under the different weather conditions.

**Key words:** Central business district (CBD); Thermal environment; Anthropogenic heat; Extra urban heat island (EUHI) effect