

北京城市热岛效应的昼夜变化特征分析

谢 庄 崔继良 陈大刚 胡保昆

北京市气象局, 北京 100089

摘 要 利用最新获取的1998年3月~2001年12月北京地区自动站资料, 对北京城市热岛效应进行了细致、完整的研究。选取城区的官园站和郊区密云站的气温差作为城市热岛效应强度指标。在验证了资料可靠性的基础上, 研究了热岛强度昼夜变化的年、季、月及日变化特征, 以及几种极端天气事件的逐时及平均热岛强度的变化, 最后制作了连续3年的月平均逐时热岛强度变化的三维立体图。

关键词 城市热岛效应 极端天气事件 昼夜变化

文章编号 1006-9585 (2006) 01-0069-07 **中图分类号** X16 **文献标识码** A

The Annual, Seasonal and Monthly Characteristics of Diurnal Variation of Urban Heat Island Intensity in Beijing

XIE Zhuang, CUI Ji-Liang, CHEN Da-Gang, HU Bao-Kun

Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089

Abstract At first the reliability of data coming from automatic meteorological observing station was verified. Then the annual, seasonal and monthly characteristics of urban heat island intensity (UHI) were studied. The 3-dimension diagram was made. Finally, the hourly UHI of 4 kinds of extreme weather events were also specially investigated.

Key words urban heat island effect, extreme weather event, diurnal variation

1 引言

人类活动影响着气候, 尤其是由于工农业排放的二氧化碳、甲烷等温室气体, 可能导致全球性气候变暖。另一些人类活动, 如城市化则改变了局地气候。因此全球增暖和城市气候两者都已成为当今大气科学的热点课题。城市气候研究中, 城市热岛效应(简称 UHI, 下同)是中心研究论题之一, 它直接影响城市的建筑、交通、住房乃至人们的日常生活。UHI 是否也是全球增暖的重要因子? 这是学术界一直关注和寻求解答的问题,

在5次IPCC(联合国政府间气候变化委员会)关于气候变化的科学评估报告中对UHI都有专门叙述。由于有着长记录的测站都在城市, 因此人们怀疑全球增暖可能并非来自温室气体效应, 而是来自UHI, 这就促使了对UHI的研究。深入研究表明, 因为UHI局限在不大的局部地区, 它对全球和半球的气温增加的贡献是十分有限的, 估计在1900~1999期间对全球和半球陆地气温序列的影响不超过 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}^{[1]}$ 。

20世纪90年代对全球增暖的研究, 阐明了夜间增温大, 白天增温小, 导致日较差减小的特征^[2,3], 即发现了最高最低气温的非对称变化的事

收稿日期 2004-09-01 收到, 2005-03-10 收到修定稿

资助项目 北京市自然科学基金 8042012

作者简介 谢庄, 女, 1938年12月出生, 学士学位, 正研级高工, 主要从事气候变化和短期气候预测研究。

E-mail: xiezhuang108@163.com

实。但是目前对 UHI 与这种非对称变化之间关系的了解还是很少,说明仍需要进一步深入研究诸如此类的城市气象问题。

在全球重视环境问题的今天,UHI 受到格外重视,各国纷纷设立研究项目,进行深入诊断研究分析和数值模式的模拟研究,寻求缓解和控制 UHI 的方法,以改善城市环境^[4,5]。90 年代以来空间观测技术为研究大范围乃至全球的 UHI 提供了基础,美国 NASA 卫星就确认了全球性的热岛效应与时剧增的现象。UHI 使得夏季城市上空以及下风方向的降水增加,这是因为地表温度增加使上升运动增强,影响了城市周围的天气状况。自动观测站的广泛建立,也为深入研究 UHI 提供了细致的资料。

我国对 UHI 的研究早已开始,并取得了许多成果^[6,7]。但不能不看到我们对 UHI 的研究尚缺乏系统性,大部分工作限于主要城市。不同城市,不同地区关于热岛效应的对比研究也很少。更重要的是研究热岛效应多半运用一天 4 次的观测资料,难以刻画出 UHI 的昼夜变化。为此本文运用近年来北京最新获取的自动气象站每小时气温资料,对北京的 UHI 作深入细致的分析;此外,对不同气象条件下,如寒冷日、高温日、风沙日、雨日和雪日天气的 UHI 强度也作了初步探讨。

北京市气象局自 1997 年开始建立自动观测站,目前已建有 26 个站,其中市区 14 个站,郊区 12 个站。本文选取有代表性的城区官园站和郊区密云站的气温差作为 UHI 强度进行探讨。

2 北京城市热岛强度的基本概况

2.1 北京城市热岛强度的年、季概况

因为自动站建立初期资料不稳定,本文选取的资料从 1998 年 3 月开始,截止至 2001 年 12 月。图 1 是 1998 年 3 月~2001 年 12 月平均的年、季 UHI 值,从表中可见年平均 UHI 为 2.0℃,各季中以冬季最强,达 2.9℃,夏季最小,为 1.4℃,春、秋季分别为 1.8℃和 1.9℃,这与以前用常规资料所做的研究结果基本一致^[6],表明北京自动站的资料是可靠的。

2.2 北京城市热岛强度的月变化特征

图 2 为 1998 年 3 月~2001 年 12 月逐月 UHI

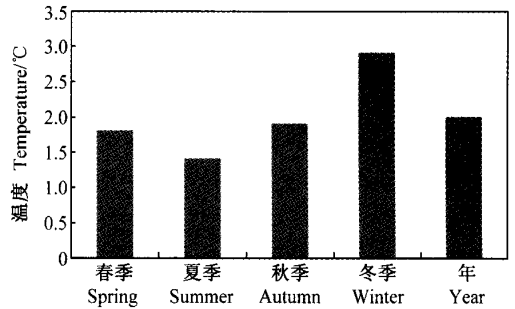


图 1 北京年、季平均 UHI 值 (1998 年 3 月~2001 年 12 月)

Fig. 1 The mean annual, seasonal UHI in Beijing

值,从图中可见 12 月和 1 月 UHI 最大,各年值在 2.6~3.3℃之间,平均值为 3.0℃;6、7 月的 UHI 最小,在 0.9~1.6℃之间,平均值分别为 1.2℃和 1.3℃;其他各月 UHI 在上述值之间。上述结果与周淑贞的工作^[7]相比,5、6、7、8 月 UHI 相差不多,冬季各月的值比其大 0.7~0.8℃,造成上述差值的原因除了两个资料所用的观测站和仪器不同外(本文资料采自自动站),年代际的差异即本文资料比文献^[7]晚 10 多年可能是一个重要原因。近年来北京增暖明显,尤其是冬季,总体上气温的升高趋势也导致了 UHI 的增长。

3 北京城市热岛效应昼夜变化的年、季节特征

3.1 年平均热岛强度的昼夜变化

图 3 为 1998 年 3 月~2001 年 12 月年平均逐时热岛强度,从图 3 可见 0~3 时(北京时,下同)UHI 为 2.6℃,3~5 时日出前,郊区辐射冷却比城区大,UHI 略增至 2.7℃。6 时日出后郊区增温比城区快,加之中午前后风速比夜间大,湍流增强,城郊间的水平和垂直方向的混合增强,城、郊温差迅速下降,12~16 时 UHI 达最低值 0.9℃。其后由于太阳高度角的减小,郊区空旷,有效辐射逐渐增强,大气失热逐渐加快,特别是日落后空气层结稳定,降温率更大。城区因下垫面温度高,白天蓄积的热量多,地面长波辐射和湍流显热提供给大气的热量较多,高温要持续一段时间才能下降,所以直到 17 时城郊温差才开始迅速加大,22 时达到 2.6℃,形成城市热岛的极

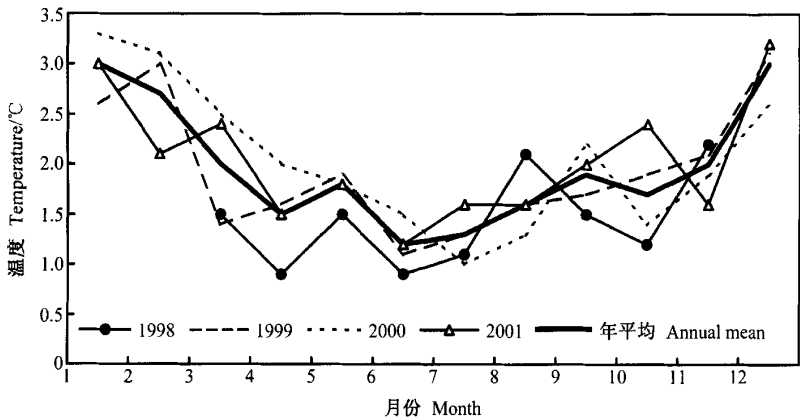


图 2 北京逐月 UHI 值
Fig. 2 The monthly UHI in Beijing

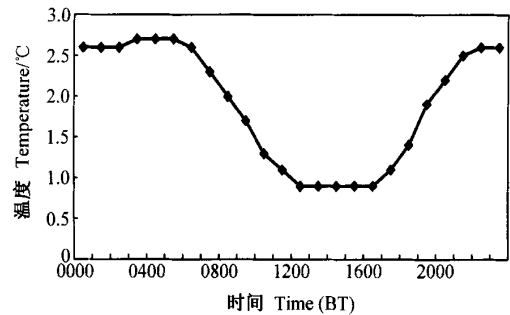


图 3 年平均逐时 UHI 的变化
Fig. 3 The hourly variation of mean annual UHI

大值。子夜前后城郊气温冷却率相近，UHI 的高值持续维持至次日凌晨。

3.2 四季平均热岛强度昼夜变化

图 4 为春、夏、秋、冬四季平均逐时 UHI 强度，从图中可见各季的曲线与年相似，其中冬季的 UHI 最大，0~3 时为 3.8℃，直至早上 8 时一直维持在 3.4℃ 以上。这是因为北京冬季夜间长，日落在 17 时左右，日出晚，约在早 7 时多之故。8 时以后 UHI 迅速下降，14~15 时达最低值 1.1℃，17 时以后迅速增加，21~23 时达到最大值 3.9℃，即冬季 UHI 值除了值大以外，另一特点是大值持续的时间长，因为达到最大值的时间早（21 时），迅速下降时间晚（8 时）。夏季一般时段（12~17 时除外）的 UHI 均小于其他季节。因为夏季日落时间晚，UHI 达到最大值（1.9℃）的时间最晚（22 时），而在凌晨 5 时左右开始日出，郊区迅速增温，UHI 迅速减小，最小值

（0.7℃）出现在 13 时。即夏季 UHI 值既小，大值持续的时间亦短。春、秋季的 UHI 值和达到最大，最小值的时间一般在冬夏之间，但是秋季白天 12~17 时的 UHI 比夏季同一时间 UHI 略小。

综上所述，北京 UHI 昼夜变化的特征（UHI 夜晚强，白昼午间弱），基本符合 Oke^[8]根据中纬度大量实测记录归纳的在“理想状态”下（城郊地形平坦，天气晴朗，风小）城、郊气温日变化和 UHI 强度日变化的模式曲线。

4 几种极端天气气候事件的城市热岛昼夜变化

极端天气气候事件是目前气候研究的一个热点，本文对几种极端天气气候事件的 UHI 昼夜变化进行分析。图 5 为上述事件的 UHI 变化。

4.1 雪后低温日 UHI 的昼夜变化

2001 年 1 月 6~8 日全市连续出现降雪天气，城郊地面都有积雪覆盖。1 月 15 日，南郊观象台的最低气温为 -16.4℃，城区官园站为 -12.3℃，密云站为 -23.1℃。从图 5 可见早晨 6 时 UHI 达到 10.8℃，这是本资料 UHI 出现的最大值。造成如此大 UHI 的原因估计是由于郊区雪面辐射逆温强，降温明显，而城区道路积雪及时清理，人为加热大，使城郊降温率相差较大之故。

4.2 降雪日 UHI 的昼夜变化

2001 年 1 月 6 日开始，本市出现降雪天气，

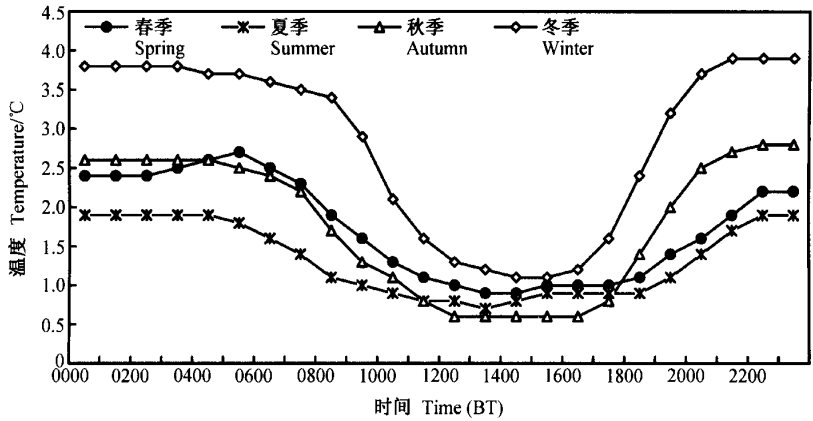


图 4 春、夏、秋、冬四季平均逐时热岛强度
Fig. 4 The mean hourly UHI of spring, summer, autumn and winter

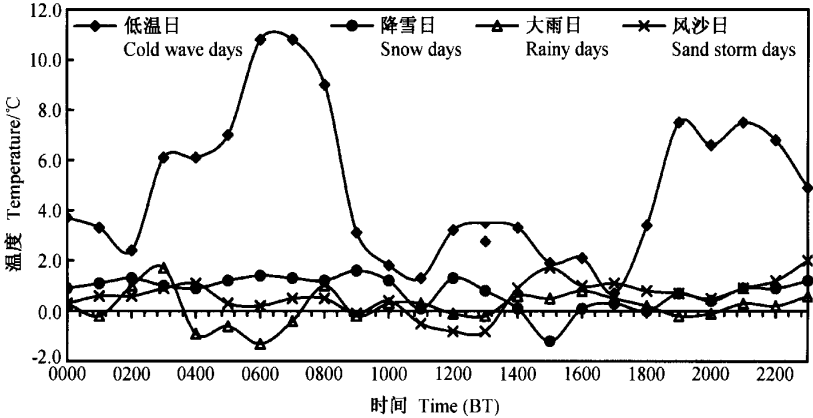


图 5 极端天气事件的城市热岛昼夜变化
Fig. 5 The diurnal variation of UHI of extreme weather events

至 7 日夜间结束，官园和密云均为大雪。从图 5 可见，各时次 UHI 都不大，仅 15 时出现凉岛。估计这是由于降雪与降水一样阻挡了大气逆辐射，城区与郊区的热量收入相差不大，甚至城区低于郊区之故。

4.3 风沙天气 UHI 的昼夜变化

2001 年 3 月 6 日城郊凌晨开始有风并伴有扬沙，城区平均风速 $8\sim10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，郊区平均风速 $7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。图 5 中 9、11~13 时出现城市凉岛，但绝对值均小于 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。出现凉岛原因除了大风减弱城、郊温差外，沙尘也影响了城区能见度和太阳辐射，城区增温比郊区慢。14 时以后，密云北风减弱，沙尘量也下降，下沉增温减弱，郊区气温迅速下降，热岛恢复。

4.4 大一暴雨日 UHI 的昼夜变化

2001 年 7 月 21 日本市普降大到暴雨，全市平均雨量为 29.9 mm，其中官园站雨量为 29.4 mm，密云雨量为 37.6 mm。官园站早晨 4 时开始下雨，密云虽早晨 3 时开始下零星小雨，但直至 7 时才开始出现明显降水，持续到 16 时，后小雨或零星小雨直至夜间。由于城区有量降水比密云早，城区气温下降明显，早晨 4 时开始城区气温低于郊区，出现城市凉岛，6~7 时达最大 ($-1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)，随着密云降水的加大和气温的下降，11 时开始 UHI 值又呈微弱正值。上述分析表明，北京在大到暴雨天气中出现城市凉岛的原因可能是北京的地理位置造成的，即是由于两站降水开始时间不同造成的。密云位于北京的东部，而产生降水的

系统一般由西向东移，往往城区先开始降水，降水后气温立即下降，UHI 值出现负值。如果降水过程是回流加西来槽，北京的降水从东部开始，或降水开始时间不是在后半夜而是在其他时间，则有可能不会产生城市凉岛现象，至少出现凉岛现象的时次不会如此多。

4.5 几种特殊天气平均的城市热岛昼夜变化概况

本文还选取了几种特殊天气，每种天气取 4~5 个样本日进行平均，研究其平均 UHI 的逐时变化。本文取 4 个高温日，其标准是南郊观象台的最高温度 $\geq 39\text{ }^{\circ}\text{C}$ （1999 年 7 月 25 日， $42.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；2000 年 7 月 1 日， $39.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；2000 年 7 月 2 日， $39.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；2001 年 7 月 11 日， $39.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）。4 个雪后低温日，最低温度 $\leq -14\text{ }^{\circ}\text{C}$ （2000 年 1 月 8 日， $-14.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；1 月 16 日， $-14.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；2000 年 1

月 25 日， $-14.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；2001 年 1 月 16 日， $-16.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）。5 个沙尘日（1999 年 3 月 6 日，1999 年 4 月 4 日，2000 年 3 月 18 日，2000 年 4 月 9 日，2000 年 4 月 25 日）。4 个大风降温（寒潮）天气日，24 小时降温 $\geq 5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ （1998 年 12 月 8 日，1998 年 12 月 15 日，1999 年 2 月 4 日，1999 年 2 月 15）。4 个大到暴雨日（1998 年 7 月 6 日，全市平均雨量 112.4 mm ；1998 年 7 月 23 日，雨量 75.6 mm ；2000 年 7 月 4 日， 86.3 mm ；2001 年 7 月 21 日， 29.9 mm ）。将上述 5 种天气平均逐时的 UHI 制成表 1，表中显示出雪后低温日和大风降温日夜间 UHI 最强，可达 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上；高温天气时最大 UHI 达 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；沙尘天气时基本在 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下；但是大到暴雨天气的 UHI 曲线却在白天出现了负值，即在这种大雨天气下，北京存在城市凉岛现象。

表 1 不同天气条件下城郊温差平均逐时（12 时~次日 11 时）变化

Table 1 The mean hourly variation (from 1200 BT to 1100 BT of the next day) of UHI under various kinds of weather events $^{\circ}\text{C}$

时间 Time	高温 Hot days	雪后低温 Snow days	沙尘 Sand storm days	大风降温 Cold wave days	降水 Rainy days
1200	0.4	2.2	2.1	2.2	-0.6
1300	0.5	2.1	1.7	1.9	-0.3
1400	0.7	1.2	2	3.9	0.2
1500	1.2	1.7	1.4	1.8	0.7
1600	1	1.4	0.8	1.2	-1.1
1700	0.8	1.4	0.7	2.5	-0.4
1800	1	2.8	0.7	5.2	-0.8
1900	1.2	4.3	1.4	6.9	-0.5
2000	1.6	5.5	2	5.6	-0.2
2100	1.7	5.5	2.2	5.7	0.2
2200	1.8	6.3	2.5	5.7	0
2300	2.8	5.9	2.4	7	0.1
0000	4.3	5.4	2.2	5.8	0.4
0100	4	5	2.4	6.4	0.3
0200	3.4	4.7	2.9	6	0.3
0300	2.7	4.7	2.5	6.5	0.4
0400	2.4	5.1	3	6.1	-0.5
0500	2.5	5.1	2.8	5.8	0
0600	2	4.3	3.7	5.8	0
0700	2.3	3.5	1.4	6.1	-0.2
0800	1.3	5.9	3.1	6.3	-0.3
0900	1.2	3.9	1.7	4.3	-0.4
1000	1.5	2.6	2	3.6	0.1
1100	0.5	1.7	2.2	3.1	0.1

5 月平均热岛强度的昼夜变化

5.1 月平均逐时城市热岛强度的昼夜变化

图 6 为 1998 年 4 月~2001 年 3 月逐月月平均逐时城市热岛强度的三维立体图,从图中首先可以看出高值区与冬季对应,低值区与夏季对应;其次可见 UHI 具有夜间与高峰区对应,白天与低谷区对应。即月平均逐时 UHI 具有冬季月份夜间最大、夏季月份白天最小的特征。图中 UHI 的最大值为 5.1℃。一般冬季夜间月平均逐时 UHI 在 2.2~4.9℃之间,多数为 3~4℃;冬季白天月平均逐时 UHI<2℃,多数<1.5℃。夏季夜间月平均逐时 UHI 在 1.0~2.7℃,多数>1℃,白天月平均逐时 UHI<1.9℃,多数<1℃。

本文所用资料中月平均逐时 UHI 有负值,但图 6 中 UHI 没有显示负值,因为其值均大于-0.4℃,故图中做了零处理。有趣的是本资料中负值(城市凉岛)出现在 1998 年 10 月的 12~14 时和 17 时,估计与该月降水特多有关,该月降水日数为 9 天,降水量 54.8 mm,是常年值(20.1 mm)的 2 倍多。

5.2 逐月平均 07 时和 13 时城市热岛强度的变化

图 7 为 1998 年 4 月~2001 年 3 月平均 07 时和 15 时的 UHI 强度逐月变化,亦是图 6 中 07 时(UHI 强)和 15 时(UHI 弱)的 2 个剖面。早晨 07 时的平均 UHI,以 1 月为最大,12 月次之,5~7 月最小,冬夏月份差异最大可达 3℃左右。午后 13 时为 UHI 的弱时段,各月差异不大,在 0~1.5℃之间。这与广州^[7]和具有热带高原气候的墨西哥城的热岛特征不同,广州在湿季有的月份没有热岛现象,而墨西哥城在湿季和午间出现凉

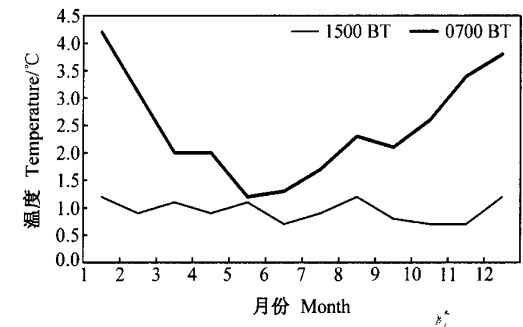


图 7 平均 07 时和 15 时的城市热岛强度逐月变化
Fig. 7 The monthly variation of UHI for 0700 BT and 1500 BT in Beijing

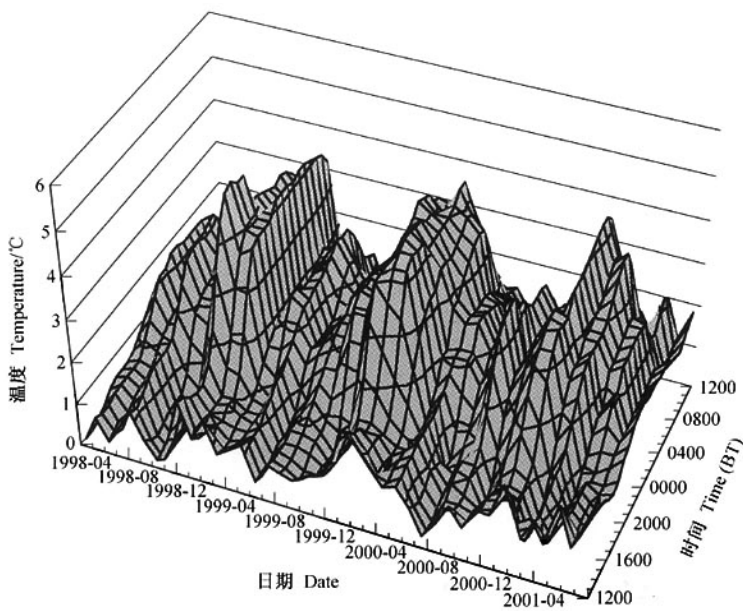


图 6 逐年月平均逐时 UHI 变化
Fig. 6 The mean monthly and hourly variation of UHI

岛现象^[9], 但是北京湿季的白昼热岛现象仍然明显。

6 结语

本文利用北京市最新的地面自动气象站的资料, 较为系统和全面地讨论了北京市 UHI 的特征。给出了 1998 年 4 月至 2001 年 3 月, 北京市 UHI 各月逐时变化的三维图像。

本文分析表明, 北京的 UHI 就年平均而言, 大体上为 22 点之翌日 5 点 UHI 处在高值期, 其中日出前约 5 点左右达到极值, 为 2.7°C 。白天由于城区与郊区间的混合加强, 为 UHI 的低值期, 12~16 点为最低期, 仅为 0.9°C 。UHI 的昼夜变化在四季有着几乎相同的型式, 但其振幅有着明显的季节变化, 其中振幅以冬季为最大, 夏季为最小。月平均逐时 UHI 冬季月份时夜间最大, 在 $2.2\sim 4.9^{\circ}\text{C}$ 之间, 本资料中月平均逐时 UHI 的最大值为 5.1°C 。夏季月份时白天最小, 白天月平均逐时 $\text{UHI} < 1.9^{\circ}\text{C}$, 多数 $< 1^{\circ}\text{C}$, 偶然也有负值 (资料中大于 -0.4°C)。另外, 在不同的天气条件下, UHI 的昼夜变化也不同, 其中以雪后低温日和大风后降温日的昼夜变化最为剧烈; 而降雪日、风沙日、大雨日昼夜变化的振幅大小基本类似, 均有凉岛现象出现, 但强度不强, 出现高低的时段和原因也各不相同。

研究所用的资料似乎还不够多, 所得结果还须更多的个例来补充和验证。同时需要研究 UHI 昼夜变化的空间特征 (如在城市南北、东西、东北—西南等不同方向上的特征), 以及在不同地形背景下的昼夜变化的特征, 这些都有待于今后的

工作。

致 谢 本文得到曾庆存院士、赵思雄教授的指导和帮助, 在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] Jones P D, Groisman P Y, Coughlan M, et al. Assessment of urbanization effect in time series of surface air temperature over land. *Nature*, 1990, **347**: 169~172
- [2] Xie Zhuang, Cao Hongxing. Asymmetric change in maximum and minimum temperature in Beijing. *Theor. Appl. Climatol.*, 1996, **55**: 151~156
- [3] Brunetti M, Buffoni L, Mangeri M, Nanni T. Trends of minimum and maximum daily temperatures in Italy from 1865 to 1996. *Theor. Appl. Climatol.*, 2000, **66**: 49~60
- [4] Mikami T, A. Kannan. Investigation of urban heat islands in Tokyo metropolis based on the ground monitoring system. International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology Sydney. 1999, 491~495
- [5] Taha H, Akbari H. Albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat energy and buildings special issue on urban heat islands and cool communities. *Urban Climates and Heat Islands*, 1997, **25** (2): 99~103
- [6] 北京市气象局气候资料室. 北京城市气候. 北京: 气象出版社, 1992. 2~7
Climate Data Branch Beijing Meteorological Bureau. *Beijing Urban Climate*. Beijing: China Meteorological Press, 1992. 2~7
- [7] 周淑贞. 城市气候学. 北京: 气象出版社, 1994. 244~344
Zhou Shuzhen. *Urban Climatology*. Beijing: China Meteorological Press, 1994. 244~344
- [8] Oke T R. The energetic basis of the urban heat island. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1982, **108**: 1~24
- [9] Jaurgui E. The urban climate of Mexico city. Proceedings of the Tech. Conf on Urban Climatology and Its Applications with Special Regard to Tropical Areas. WMO-No. 652, 1986. 63~86