

北京“城市热岛”效应现状及特征

王喜全^{1,3} 王自发¹ 郭虎²

1 中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心, 北京 100029

2 北京市气象台, 北京 100089

3 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 利用2002年北京自动气象站资料, 对北京“城市热岛”效应现状进行了分析。为了与20世纪70年代的结果相比较, 选择城区代表站为天安门广场站, 城郊代表站为朝阳气象站站。与20世纪70年代相比, 目前北京的“城市热岛”表现出一些新特点: 1) 利用城区与城郊日均温差表示的“城市热岛”强度的统计结果表明, 现在北京的“城市热岛”效应在夏季最强, 秋、冬季次之, 春季最弱, 2) 除夏季“城市热岛”整天存在(午后的平均强度在2℃左右)以外, 其他季节的午后, 天安门广场地区经常出现“城市冷岛”现象。3) 北京“城市热岛”消失的极限风速没有发生系统性变化, 当风速>3级时, 北京“城市热岛”基本上消失。作者还研究了北京“城市热岛”形成和消失的日变化特征, 以及“城市热岛”强度对风速等气象要素变化的响应特征。值得指出的是, 对强“城市热岛”的个案分析显示, 冬季夜晚“城市热岛”强度经常表现出较大的波动性, 与此相伴随, 城郊地面风出现风向突变和风速的阵性现象。

关键词 城市热岛效应 北京

文章编号 1006-9585 (2006) 05-0627-10 **中图分类号** X16 **文献标识码** A

The Study of the Urban Heat Island in Beijing City

WANG Xi-Quan^{1,3}, WANG Zi-Fa¹, and GUO Hu²

1 Nansen-Zhu International Research Center, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Beijing Meteorological Observatory, Beijing 100089

3 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract The urban heat island in Beijing, China, is investigated using near surface temperature and wind data measured at automatic weather stations for 1-year period of 2002. 1) Urban heat island (UHI) intensity in Beijing is strongest in summer; moderate in autumn and winter, and weakest in spring, by the measure of mean temperature departure between urban and suburban stations. 2) The diurnal change of urban heat island intensity indicates that the installation and disappearance of UHI is very quickly. 3) The response of UHI intensity to the change of wind speed is very quickly, and these two factors change with time in inverse phase way. When wind speed is greater than 3 Grade (Beaufort wind scale), UHI disappears. 4) In winter evening UHI intensity changes in wave ways by accompanying with wind direction sharply change and wind gust at suburban surface wind.

Key words urban heat island, Beijing

收稿日期 2005-07-18 收到, 2006-06-20 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2005CB422205

作者简介 王喜全, 1962年出生, 男, 副研究员, 主要从事城市空气质量数值预报和城市气候研究。E-mail: wxq@mail.iap.ac.cn

1 引言

早在 19 世纪, 人们就注意到城市发展及人类活动引起的“城市热岛”效应现象。城市建筑物引起的动力湍流和城市人工热源, 以及下垫面热力作用引起的热力湍流, 使得城市的流场和大气边界层结构与城郊有明显的差异, 形成所谓的城市边界层, 特别是“城市热岛”可能引起的“城市热岛”环流, 会改变城市尺度甚至中尺度流场结构, 进而影响污染物在城市大气中的转化和输送^[1]。随着城市规模、城市人口的扩大和膨胀, 城市大气污染日益严重, 人类活动对天气、气候的影响日益显著, 人们更加重视对“城市热岛”效应和城市的其他天气、气候效应的研究^[2]。

“城市热岛”效应现象一直是城市气候研究的重点课题。为揭示“城市热岛”效应, 传统上, 一般主要采用如下一些观测方法: 1) 单站气温变化趋势法^[3]; 2) 一个或几个城市站和一个或几个乡村站气温变化趋势比较法^[4]; 3) 一对或一组城市与乡村站温差比较法^[5] (最高、最低或平均气温差); 4) 城市和城郊固定站网的温度分布法^[6]; 5) 横穿城市截面的气温分布法^[7]; 6) 工作日与休息日温差比较法^[8]。以上这些方法虽然各有其缺点, 但对“城市热岛”效应的描述和揭示简单扼要。Oke^[9]对城市边界层 (UBL) 和城市冠层 (UCL) 的“城市热岛”效应作了区分, 指出了它们的尺度差异和不同的物理过程, 但两者还是以城市气温高于乡村气温作为表征“城市热岛”效应的方法和手段。

20 世纪 80 年代以来, 采用地基和空基热成像技术遥感地面温度定义了另外一种“城市热岛”。尽管地表温度的时空分布与气温的时空分布相似, 但并不完全一致。特别是在晴朗、静风的夜晚, 地表温度决定的“城市热岛”更强烈地依赖于地表的特性 (如由街道几何特征决定的空域指数 (sky view factor)), 而不是气温^[10]。这也说明地表温度决定的“城市热岛”的成因更简单一些, 即其主要决定于地表面的温度, 而气温决定的“城市热岛”除上述因素外, 还与平流的影响有关。近年来由于卫星和高空遥感方法的应用, 为研究“城市热岛”提供了新方法新手段, 但也提

出了新问题。虽然遥感得到的“城市热岛”分布与传统上的气温“城市热岛”相似, 但它们之间存在显著差别, 如卫星遥感得到的“城市热岛”在白天最强、空间变化率最大, 这与气温表征的“城市热岛”正相反^[11]。综上所述, 不论采用什么观测方法, 都可以揭示“城市热岛”现象的存在, 也说明了“城市热岛”现象的普遍性。

曲绍厚等^[12]利用月平均温度资料研究了 70 年代 (资料范围 1971 年 1 月到 1972 年 5 月) 北京的“城市热岛”现象。周明煜等^[13]利用上述时间段的资料, 研究了北京“城市热岛”的日变化、热岛强度水平分布规律、热岛消失的极限风速、热岛强度的频数分布以及热岛出现时的天气背景。沈建柱等^[14]利用月平均气温资料研究了 80 年代 (资料范围 1982 年 7 月到 1985 年 6 月) 北京的“城市热岛”现象。上述研究的一个主要结论是, 秋、冬季“城市热岛”最强, 春季次之, 夏季最弱。张光智等^[15]利用北京及市郊 16 个标准国家气候站 1961~2000 年 40 年气温资料, 采用日平均气温、最高气温、多年月平均气温时间序列和场面平均及尺度滤波方法, 对北京“城市热岛”特征及其演变进行了研究, 研究表明: 北京“城市热岛”效应一直稳定存在, 并有不断加剧的趋势, 特别是 20 世纪末的 10 年与 80 年代的 10 年相比, 北京“城市热岛”效应增强的趋势更显著。宋艳玲等^[16]的研究指出, 1995 年以来, 北京城区的夏季高温天气 ($\geq 35^{\circ}\text{C}$) 日数有增加的趋势。林学椿等^[17]的研究指出, 北京城市热岛强度的增温率为 $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (1960~2000 年)。

80 年代以来, 北京的城市化进程加快。1978 年二环路建成, 1984 年三环路通车, 1990 年四环路建设, 2003 年五环路全线通车, 到现在的六环路建设, 北京市中心城区从约 60 km^2 发展到目前的约 300 km^2 。最近 5 年, 东起定福庄, 西到石景山, 北起清河, 南到南苑, 方圆 $1\ 040\text{ km}^2$ 内的城市化进程发展迅速^[18]。可以预见, 随着 2008 年奥运会的临近, 北京城市建设规模将发展到一个新阶段。因此开展对北京“城市热岛”现状的研究具有重要的现实意义。

2 观测站点及资料处理

本文分析的资料, 来自北京市的自动气象站。

在城乡对比中，天安门站为城市代表站，朝阳气象站为乡村代表站。选择天安门站为城市代表站是比较好理解的，但选择朝阳气象站作为乡村代表站则需要给出说明。虽然朝阳区自 20 世纪 90 年代以来是北京发展最快的区之一，但朝阳气象站周围并未发生剧烈的城市化过程，加上其西部的水碓湖和朝阳森林公园，占地面积约 144 hm²，乡村特征明显。因此朝阳气象站资料不具有城市站的代表性，而更具乡村站的代表性。

对以上自动气象站气温资料的校正，主要采用的办法如下：1) 人工去除明显错误记录；2) 对单调上升或单调下降处的缺测资料采用线性插值，对拐点处的缺测资料采用抛物线插值；3) 对每天长时间（4 h 以上）缺测且含拐点的资料不参加统计。事实上，这样的校正并不多见，天安门站和朝阳气象站资料的质量是非常高的。

3 北京“城市热岛”效应的气候统计特征

3.1 北京“城市热岛”强度的季节特征

表 1 是北京“城市热岛”强度的季节变化。这里的季节是自然季节，即 12~2 月为冬季、3~5 月为春季、6~8 月为夏季、9~11 月为秋季，并给出 3 种热岛强度的统计结果，即城区、城郊平均气温差，城区、城郊最高气温差，城区、城郊最低气温差。统计结果表明，目前北京的“城市热岛”具有如下特征：1) 从用城区、城郊平均气温差表征的“热岛强度”来看，夏季北京“城市热岛”最强，秋冬次之，春季最弱；2) 从用城区、城郊最低气温差表征的“热岛”强度来看，冬、春季节北京的“热岛”最强，夏季最弱；3)

从用城区、城郊最高气温差的比较来看，除夏季以外，天安门广场的最高气温一般低于城郊，说明在午后，该区域经常表现出“冷岛”现象。这种“冷岛”特征在下面“城市热岛”强度的日变化中表现得更加明显。

3.2 北京“城市热岛”强度日变化特征

图 1 是北京四季“城市热岛”强度日变化特征曲线，其主要特征包括：1) “城市热岛”强度表现为夜间强、白天弱，甚至在冬季和春季的午后，经常出现“城市冷岛”现象，即天安门广场地区的气温低于郊区的气温；2) 夏季“城市热岛”现象整天存在，即使在白天，“城市热岛”的强度也维持在约 2℃左右；3) 除夏季以外，“城市热岛”表现为快速形成、快速消失的现象。“城市热岛”在太阳落山后快速形成，3~4 h 内即可达到最强，随后维持少变；太阳出山后“城市热岛”强度迅速减弱，2~3 h 内即可完全消失。城郊夜晚经常有逆温存在，早晨太阳辐射使郊区逆温层下的地面气温迅速增加，而城区由于地表热容量大，太阳辐射使地面升温迟缓，这可能是“城市热岛”的消失速度比形成的速度更快的原因。

从以上 2 节的分析可以看出，目前北京“城市热岛”现象，在夏季表现最显著，这与 20 世纪 70、80 年代的情形有所不同。周明煜等^[13]、曲绍厚等^[12]对 1971~1972 年北京“城市热岛”效应的研究指出，夏季是“热岛”强度最弱的季节。沈建柱^[14]等对 1982~1985 年北京“城市热岛”效应的研究也间接表明夏季是“热岛”强度最弱的季节。我们认为，可能是 70、80 年代与现在的人为热排放的差异，如采暖季节的分散供热与集中供热的差异，特别是 90 年代中期以来室内空调器的

表 1 北京“城市热岛”效应强度季节平均值 (2002 年)
Table 1 The seasonal UHI intensities in Beijing (2002) ℃

		热岛强度 (城、乡平均气温差) UHI Intensity (Mean air temperature difference between urban and suburban)	热岛强度 (城、乡最高气温差) UHI Intensity (Maximum air temperature difference between urban and suburban)	热岛强度 (城、乡最低气温差) UHI Intensity (Minimum air temperature difference between urban and suburban)
春季	Spring	1.2	-0.5	3.7
夏季	Summer	2.5	1.5	3.2
秋季	Autumn	2.0	-0.2	3.4
冬季	Winter	1.9	-0.2	3.8

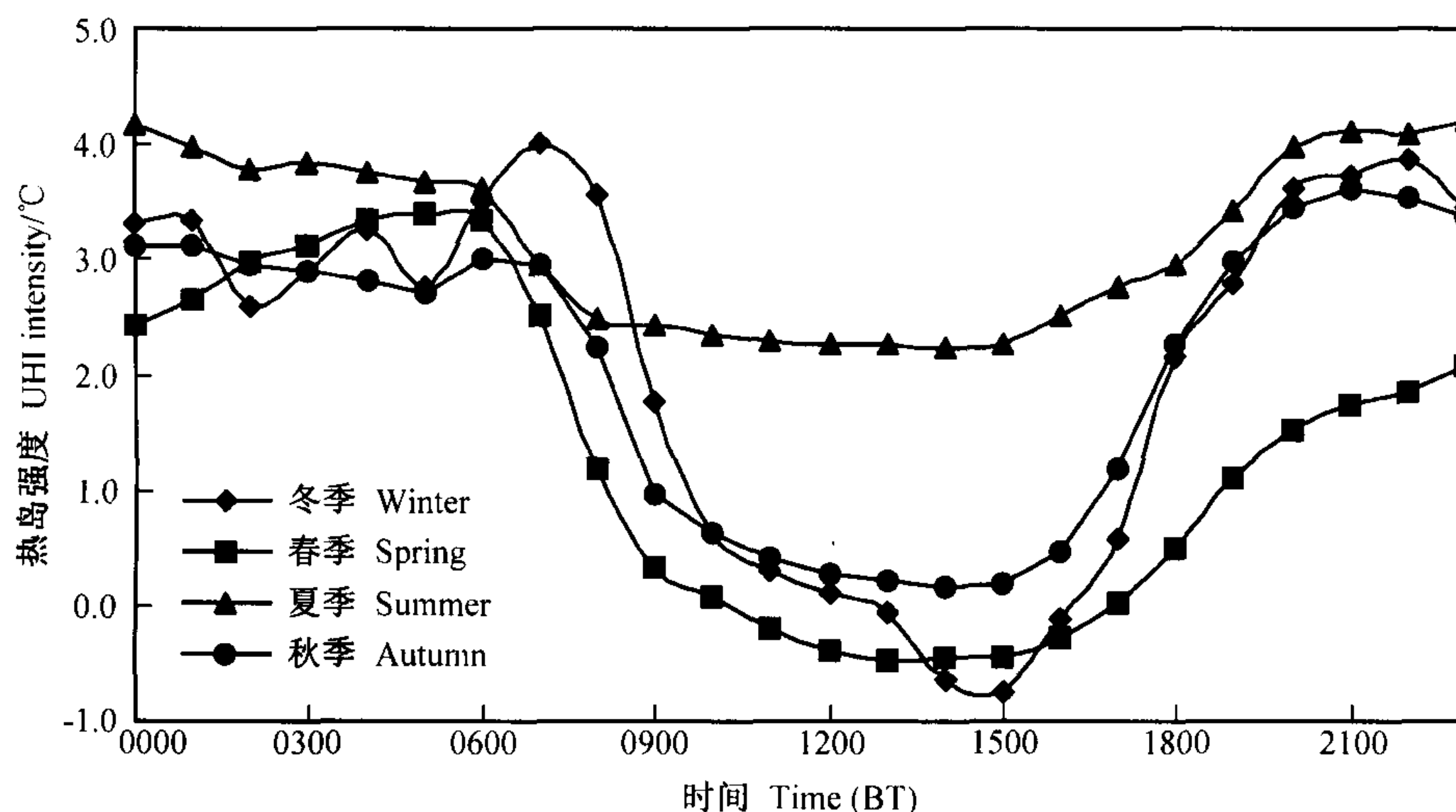


图1 北京“城市热岛”强度日变化季节特征 (2002 年)

Fig. 1 The diurnal change of seasonal UHI intensity in Beijing (2002)

普遍使用,是造成这种不同的主要原因。另外,目前北京夏季白天的“城市热岛”强度也维持在约 2°C 左右,这可能加剧北京夏季遭受热浪袭击的可能性。

3.3 云量对北京“城市热岛”强度的影响

由于自动气象站无云量观测,此处采用的云量数据为北京观象台(54511)每日 02 时(北京时间,下同)的云量记录。采用此时刻云量的一个原因是,一般情况下,北京“城市热岛”强度在午夜前后达当天的最大值。对有限资料的初步分析表明:低云、中云和高云对北京“城市热岛”强度都有影响,但与低云相比,中、高云的影响可忽略。为了突出低云量的作用,此处对参加统计的数据进行了筛选,即低云量为 5 成或大于 5 成计为阴天,天空无低云时计为晴天。统计结果表明(图 2):晴天时“热岛”强度大,80%的被统计天数的“热岛”强度在 2°C 以上;阴天时“热岛”强度小,80%的被统计天数的“热岛”强度在 2°C 以下。此外,湿度对北京“城市热岛”也有一定影响的统计关系,即在低湿度($\text{RH} < 40\%$)和高湿度条件下,“城市热岛”强度比较弱。

3.4 风对北京“城市热岛”强度的影响

参加统计的风速取自每日 00、01、02 时的风速记录,一般情况下,此时间段每日的“热岛”强度也达到当日的最大值。从统计结果来看(表 2),风速增大对“城市热岛”强度的削弱作用非

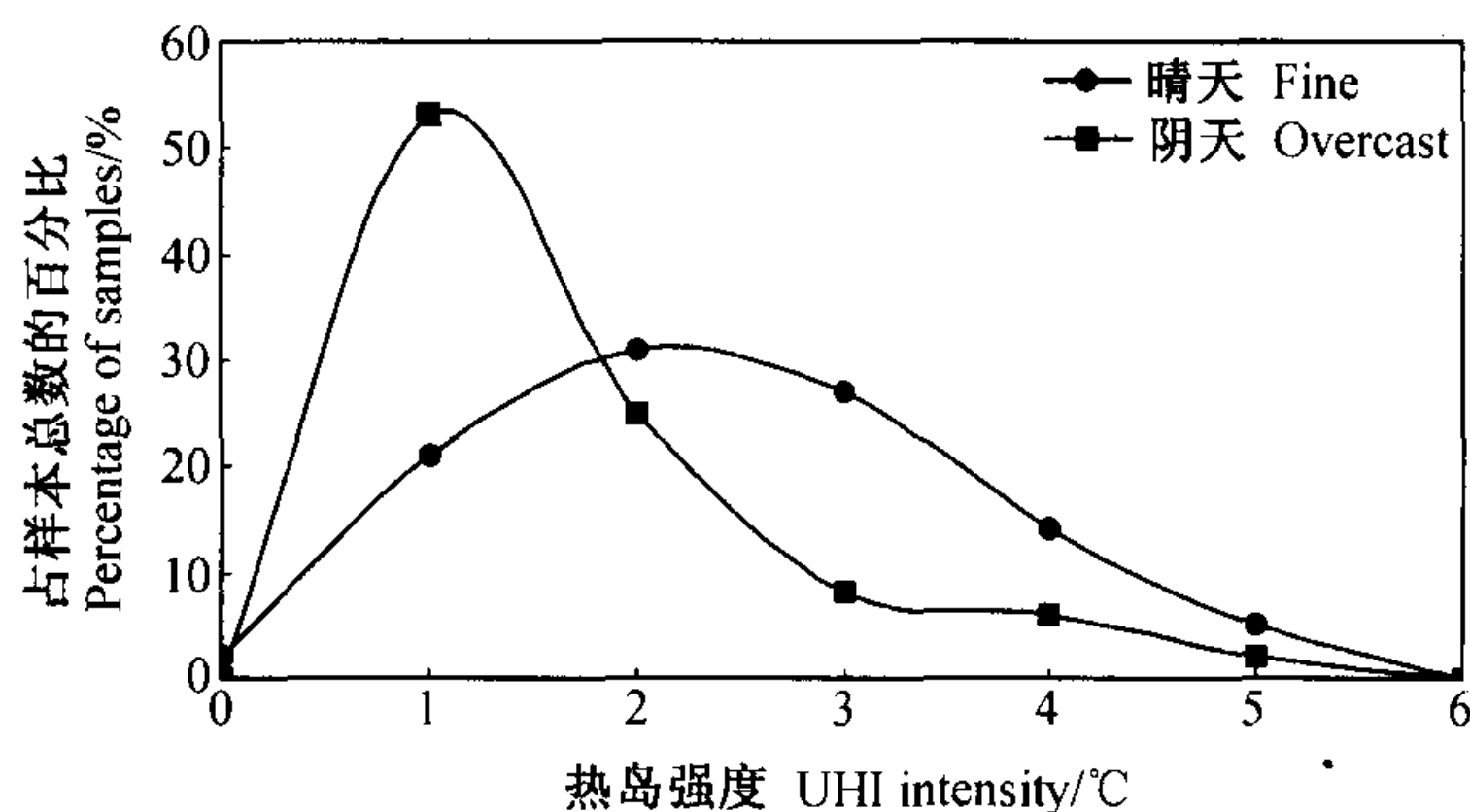


图2 云量对北京“城市热岛”强度的影响

Fig. 2 The influence of cloud cover on UHI intensity

表2 北京“城市热岛”强度与风速之关系

Table 2 The effect of wind speed on UHI intensity

风速 (蒲氏风级) Wind speed (Beaufort scale) / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	热岛强度 UHI intensity/ $^{\circ}\text{C}$
0 (0~0.2)	4.6
1 (0.3~1.5)	3.3
2 (1.6~3.3)	2.5
3 (3.4~5.4)	0.6
4 级及以上 (Over 4) (>5.5)	0.7

常显著。北京强的“城市热岛”现象都是在静风或软风(蒲氏 1 级)条件下出现的,此时热岛强度均值达 4.6°C ;当风速增大到微风(蒲氏 3 级)或以上时,“城市热岛”消失。周明煜等^[13]研究了 20 世纪 70 年代北京“城市热岛”消失的极限风速,从极限风速的年均值来看,当时北京“城市热岛”消失的极限风速也是 3 级左右,与我们

现在的结论相似。考虑到 70 年代的城市状况与现在的巨大差异, 但“城市热岛”消失的极限风速并没有发生显著的变化, 有些出乎意料。

3.5 北京“城市热岛”强度对气象要素变化的响应

以上 2 节分析了北京“城市热岛”强度与天气要素(风速、云量)的关系。地面风速的增加, 一方面增加空气的混合作用, 不利于郊区浅薄逆温的形成; 另一方面增强通风效应和平流作用使城区冷却。云量(特别是低云量)的增加, 将减缓甚至逆转郊区夜晚逆温的形成和发展, 但对城区的气温的影响较小。因此, 可以预见, 就风速和云量来讲, “城市热岛”强度对风速变化的响应会更迅速。

图 3 给出了 2002 年 2 月 7~8 日, 北京一次较强的“城市热岛”过程“热岛”强度随风速的变化曲线, 其中“热岛”强度用天安门站与朝阳站的气温差表示, 风速为天安门站的地面实测风速。7 日午夜 02 时至 05 时风速由 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 迅速减为静风, 热岛强度由 -0.4°C 骤升为 6.4°C ; 7 日傍晚 18 时至 22 时风速由静风骤升为 $8.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 热岛强度由 3.3°C 骤降为 0°C , 并在整个夜晚热岛效应消失。另外还可以明显看出风速与“热岛”强度的反位相关关系, 反映了“热岛”强度对风速变化的快速响应。

北京“城市热岛”强度对云量变化的响应也是比较迅速的。由于自动气象站没有云量记录,

这里采用的云量资料取自北京观象台每日 20 时、02 时的云量记录。由于前述风速对“热岛”强度的重要影响, 为突出“热岛”强度对云量变化的响应, 表 3 给出的数据是 20 时、02 时风速相等情况下的比较结果。

4 北京“城市热岛”四季典型个例及其天气特征

对北京“城市热岛”发生时的天气形势的分析表明, 发生“城市热岛”的天气条件具有相似性, 即绝大多数的“城市热岛”都发生在晴朗、无风(或小风)的夜晚。这样的天气条件, 一般是冷空气过境后, 北京及周边地区在高压控制下形成的^[13]。我们的分析还表明, 东北地形槽、华北地形槽(有时会形成华北中尺度低压)、华北小低压也是形成北京“城市热岛”的重要天气系统。虽然北京“城市热岛”一年四季都可能存在, 但不同的季节、不同的天气背景下, 其表现略有差别。下面的个例分别选自不同季节, 可反映北京“城市热岛”现象季节变化的典型特征。

4.1 冬季地形槽天气形势下北京“城市热岛”过程

2002 年 1 月 10 日至 12 日的“城市热岛”过程, 是一次地形槽造成北京冬季强“城市热岛”的典型个例。高压系统南下后, 10~12 日北京地区持续受华北、东北地形槽控制。在此期间, 地

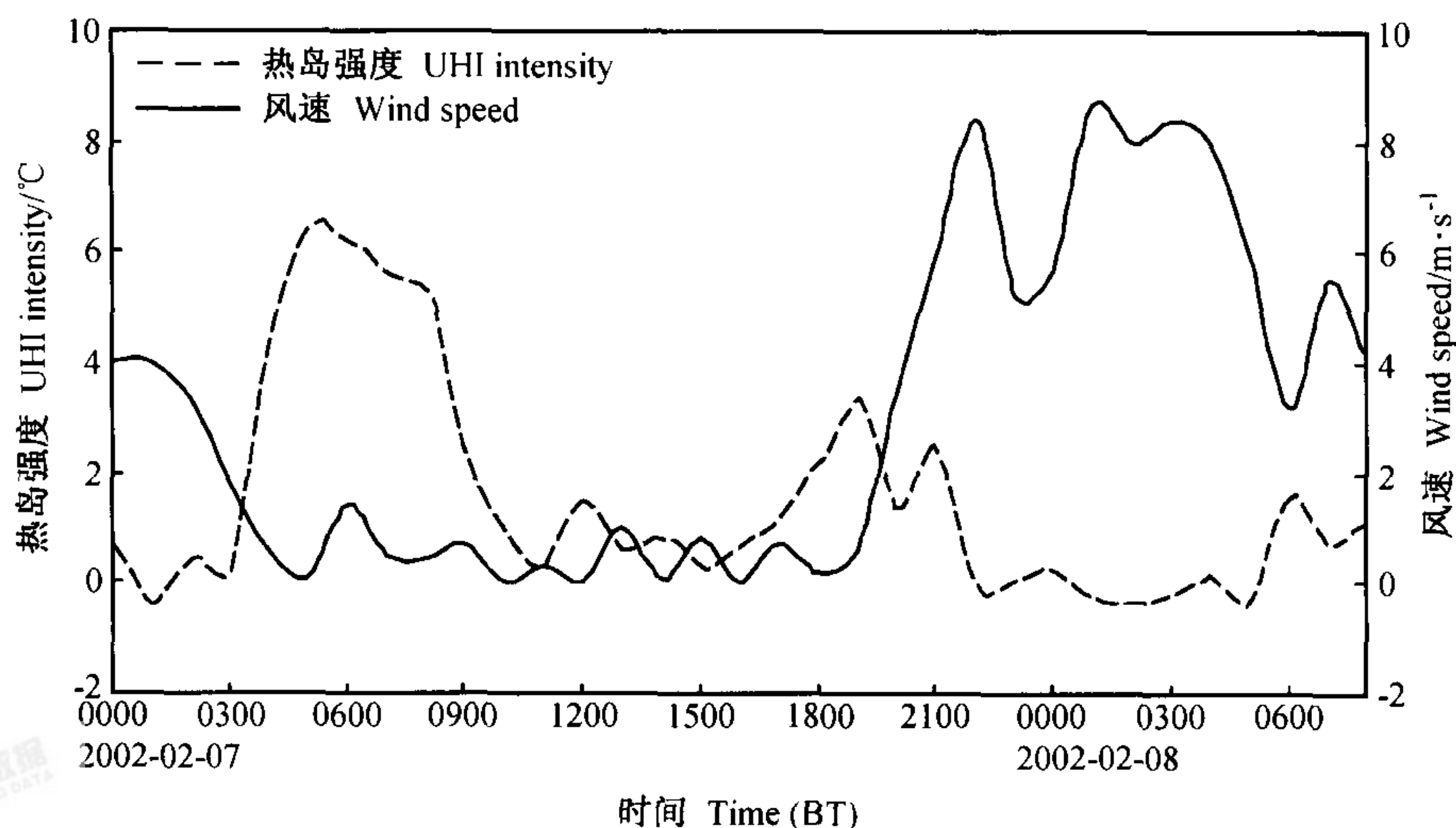


图 3 北京“城市热岛”强度对风速的快速响应

Fig. 3 The quick response of UHI intensity on wind speed change (0000 BT 7 Feb—0800 BT 8 Feb 2002)

表 3 北京“城市热岛”强度对低云量的响应 (2002 年)

Table 3 The response of UHI intensity on cloud cover change (2002)

时间 Time	低云量 Cloud Cover (X/8)	热岛强度 UHI Intensity/°C	风级 (蒲氏) Beaufort wind scale
2000 BT 22 May	5	0.4	2
0200 BT 23 May	0	4.9	
2000 BT 27 May	1	0.6	2
0200 BT 28 May	0	2.2	
2000 BT 7 Jun	9	1.0	3
0200 BT 8 Jun	0	4.1	
2000 BT 4 Aug	0	3.7	2
0200 BT 5 Aug	9	1.4	
2000 BT 8 Aug	0	4.6	2
0200 BT 9 Aug	9	1.8	
2000 BT 25 Aug	0	3.3	2
0200 BT 26 Aug	5	0.7	
2000 BT 23 Oct	5	1.4	0
0200 BT 24 Oct	0	4.1	
2000 BT 23 Nov	0	4.0	2
0200 BT 24 Nov	5	0.5	
2000 BT 15 Dec	5	0.1	2
0200 BT 16 Dec	0	3.9	

面小风 (不超过蒲氏风级 2 级) 或静风, 天空无低云, 偶尔有少量中、高云 (最多不超过 4 成)。图 4a、b 给出城区站 (天安门) 和郊区站 (朝阳气象站) 地面气温日变化及其“热岛”强度日变化。可以看出, 日落 (北京时 17 时左右) 之后, 朝阳站降温快, 天安门站降温慢, 城市热岛开始出现, 在 20 时左右“热岛”强度达到最大值, 随后几乎保持不变直到黎明; 日出 (北京时 08 时左右) 之后, 朝阳站升温快, 天安门升温慢, “热岛”强度开始减弱, 大约在 10 时左右消失。从此次连续 3 天的“城市热岛”的形成和消失的过程来看, “热岛”强度的日变化具有如下特点, 即“热岛”消失过程快, 从强度最大到最小大约需 2 h 左右; 而形成过程较慢, 从强度最小到最大大约需 4 h 左右; 另外, 在白天午后还出现了弱城市“冷岛”现象。这次“热岛”过程是 2002 年北京“热岛”强度最强的一次, 最大“热岛”强度达 8 °C 左右。

值得指出的是: 城区天安门站夜晚地面气温一直呈下降的趋势, 直到太阳升起; 而朝阳站夜晚地面气温在总下降趋势下有短暂增温现象, 由此造成热岛强度的波动现象。对此现象的分析表

明, 夜晚郊区站的地面气温对阵风特别敏感, 而城区站的地面气温对阵风比较迟钝, 风速的 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的增加足以使朝阳站的夜晚地面气温增加 $1 \sim 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 而这样的风的阵性对天安门站的地面气温几乎没有影响。不论是天安门站还是朝阳站, 夜晚风的弱阵风性是普遍存在的。出现上述现象似乎说明, 在冬季的夜晚, 郊区朝阳站普遍存在近地面逆温现象, 而城区天安门站的近地面逆温不明显。为了进一步说明城区和郊区地面逆温的差别, 我们在这里描述一个极端的夜晚大风增温事件。2002 年 11 月 11 日午夜, 北京城区 (包括一些远郊站) 突遭大风袭击, 在 1 h 内, 城区各站风速从静风突增到 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 朝阳站地面气温从 $5.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 增加到 $13.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 增幅近 $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 而天安门站地面气温从 $8.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 增加到 $13.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 增幅 $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这说明, 在一定条件下夜晚地面增温的风速因素 (下沉绝热增温), 也说明了郊区地面气温对风速变化的敏感性。

刘瑞晨等^[18]的研究指出, 华北地形槽及其中尺度低压是影响和控制华北地区的主要天气系统, 它的出现经常造成华北地区大范围的空气污染。因此, 研究这类天气系统控制下北京“城市热岛”

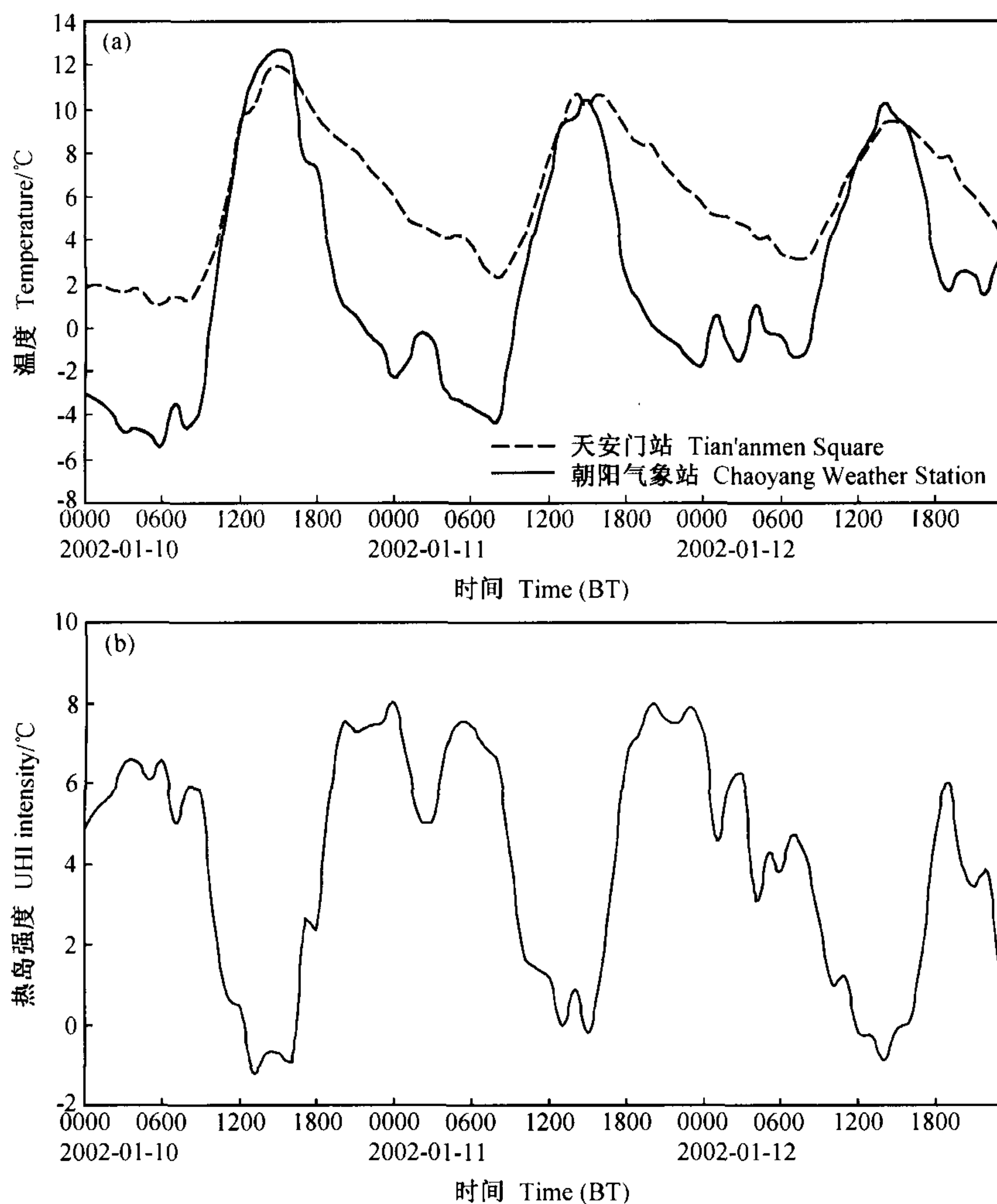


图4 冬季地形槽天气形势下北京“城市热岛”演变过程:(a)城区、城郊地面气温变化;(b)“城市热岛”强度变化。

Fig. 4 The evolution of UHI under topographic trough condition in winter season in Beijing; (a) The change of surface air temperature at urban and suburban with time; (b) The change of UHI intensity with time

的形成和演变规律, 及其对北京城市空气污染的影响, 具有十分重要的意义。

4.2 春季高压过境天气形势下北京“城市热岛”过程

2002年3月23~25日的北京“城市热岛”, 是一次典型的高压过境造成北京春季强“城市热岛”过程。23日北京地区位于高压前部, 24日处于高压中, 25日凌晨以后位于高压后部。在此期间, 午夜至清晨地面小风(不超过蒲氏风级2级)或静风, 中午至午夜地面风速较大(蒲氏风级7级至3级之间); 天空无低、中云, 偶尔有少量高云(不超过2成)。图5a给出此次过程“热岛”强度的日变化(气温变化略)。同样可以看出, 23日夜晩至24日晨之间, 朝阳站的地面气温在总下

降趋势下的短暂增温以及“热岛”强度的波动现象, 但与冬季相比其表现不显著。春季的“热岛”过程与冬季的“热岛”过程有所差别, 即春季的“热岛”形成过程比冬季的慢, 一般在午夜后天亮前“热岛”强度达最大, 而冬季的“热岛”强度一般在午夜前就可发展到最强(夏季、秋季情形相似), 造成春季北京“城市热岛”这一特点的主要原因, 可能是春季午后的大风持续时间较长, 而其他季节午后大风一般在太阳落山后就迅速减弱的缘故。此外, 春季的城市“冷岛”强度一般比冬季的要强一些。

4.3 夏季华北弱低压天气形势下北京“城市热岛”过程

2002年7月6日至8日的热岛过程, 是一次

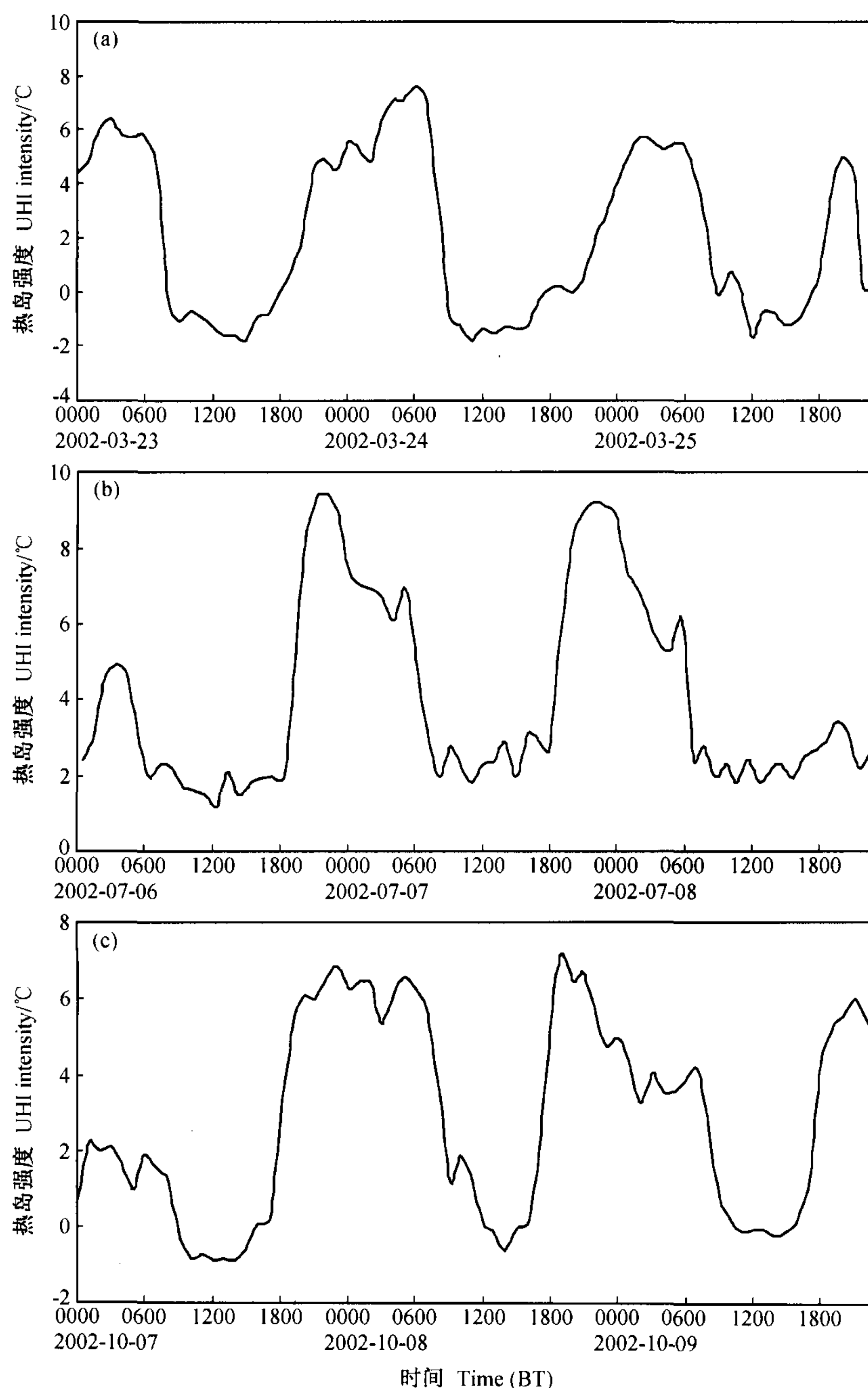


图 5 (a) 春季高压过境、(b) 夏季华北低压和 (c) 秋季高压天气形势下北京“城市热岛”演变过程

Fig. 5 (a) The evolution of UHI under anticyclone transition condition in spring season in Beijing, (b) The evolution of UHI under Hua-bei small depression condition in summer season, (c) The evolution of UHI under anticyclone control condition

华北地区弱低压造成北京夏季强“城市热岛”的典型个例。6 日傍晚前北京地区位于弱高压的南部,之后,随着控制朝鲜半岛的热带气旋低压槽的西伸,7~8 日北京地区处在弱低压的控制之下。在此期间,地面小风(不超过蒲氏风级 3 级),偶尔静风,天空无低、中云,偶尔有少量高云(不超过 2 成)。图 5b 给出“热岛”强度日变

化(气温变化略)。可以看出,6~7 日,太阳落山后“热岛”快速形成,并在午夜前后强度达最大,之后逐渐减弱。与其他季节显著不同的是,北京夏季的“城市热岛”在白天也普遍存在,一般强度维持在 2°C 左右。另外,朝阳站夜晚地面气温在总下降趋势下的短暂增温现象不明显,我们考察夜晚的风速变化,虽然风速阵性不比冬季和秋

季的弱, 但地面气温的短暂增温现象并不发生, 这似乎表明夏季夜晚朝阳站的逆温现象不明显。

4.4 秋季高压天气形势下北京“城市热岛”过程

2002 年 10 月 7 日至 9 日, 北京在高压控制下形成一次秋季强“城市热岛”过程。7、8、9 三日北京地区处在高压中部。在此期间, 除中午前后, 地面小风(不超过蒲氏风级 2 级)或静风, 夜晚天空晴朗无云。图 5c 给出“热岛”强度日变化(气温变化略)。可以看出其变化规律与冬季的相似, 故对其的描述和讨论略。

以上分析了北京四季典型的“城市热岛”演变过程个例。对照北京城市空气污染监测, 在这些典型的“城市热岛”过程中, 北京地区都发生了 3 级空气污染。应该注意到, 在晴朗、弱风的天气条件, 也是北京地区山地平原风经常出现的天气形势。开展这种天气形势下的山地平原风与“热岛”及其环流相互作用的研究, 以及对北京城市空气污染的可能影响的研究, 具有重要的实际和理论意义。

5 总结

考察国内外关于城市气候学方面的研究, 至少对于中、高纬度的城市的夜晚来说, “城市热岛”效应是一种普遍的天气气候现象。单纯对“城市热岛”的研究, 现已比较充分。未来应着重开展“城市热岛”对城市生态与城市环境影响的研究, 对于北京来说, 应开展“城市热岛”及其环流对城市空气污染影响的研究。尽管如此, 以下的一些分析结果, 仍然具有值得进一步讨论的意义。

(1) 从利用平均气温定义的“热岛”强度来看, 目前北京的“城市热岛”现象表现的是夏季最强, 与 20 世纪 70 年代的“城市热岛”强度在夏季最弱, 形成鲜明的对比。从现象上来看, 目前北京夏季的“城市热岛”整天存在(即使在“热岛”效应较弱的午后, 其平均强度也维持在 2℃左右), 是造成两个时期差别的主要因素。考察这两个时期夏季的人为热排放, 一个最显著的差异是目前夏季空调的普遍使用。因此, 似有必要进一步研究空调的使用对夏季北京“城市热岛”的贡献。另外, 目前每日夜间最大“热岛”强度

仍然是冬季最大、夏季最小, 与 20 世纪 70 年代的统计结果类似, 也在一定程度上暗示了空调使用的作用, 因为夜晚特别是后半夜空调的使用率比白天要低。

(2) 除春季北京“城市热岛”形成过程较慢以外, 其他季节“热岛”的形成和消失都表现为快速过程。另外, “城市热岛”强度对风速变化的响应极其迅速, 并具有明显的反位相变化的特点。对北京冬季夜晚“城市热岛”演变过程的个例分析表明, 城郊的地面气温在总的下降趋势下, 经常出现短暂增温现象, 进而使“热岛”强度出现波动。分析显示, 在“热岛”强度出现波动的同时, 经常伴随出现风向的突变和短暂阵风现象。这是否就是“热岛”环流的表现? 值得进一步分析研究。

(3) 风速对“城市热岛”的形成具有决定性的影响, 当风速为 3 级以上时, 北京的“城市热岛”基本上消失。周明煜等对 20 世纪 70 年代北京“城市热岛”消失的“极限风速”进行了研究, 虽然他们的研究指出了“极限风速”存在季节性的变化, 但从全年平均看约为 3 级左右。考虑到目前北京城市规模与 20 世纪 70 年代的巨大差异, 而“极限风速”并未发生显著的变化, 这一现象似有进一步研究之必要。另外, 目前北京春、秋、冬季白天的“城市冷岛”现象, 不论是强度和发生频率, 都要高于 20 世纪 70 年代。这可能是城市结构、城市功能区、城市人为热排放的变化造成的。

致谢 感谢曲绍厚教授、胡非教授的指教, 感谢刘熙明博士的建议。

参考文献 (References)

- [1] Fernando H J S, Lee S M, Anderson J, et al. Urban Fluid Mechanics: Air Circulation and Contaminant Dispersion in Cities. *Environmental Fluid Mechanics*, 2001, 1: 107~164
- [2] Changnon S A. Inadvertent weather modification in urban areas: Lessons for global climate change. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1992, 73 (5): 619~627
- [3] Tarleton L F, Katz R W. Statistical explanation for trends in extreme summer temperature at Phoenix, Arizona. *J.*

- Climate*, 1995, **1**: 1704~1708
- [4] Magee N, Curts J, Wendler G. The urban heat island effects at Fairbanks, Alaska. *Theor. Appl. Climatol.*, 1999, **64**: 39~47
- [5] Ackerman B. Temporal march of the Chicago heat island. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1995, **24**: 547~554
- [6] Morris C J G, Simmonds I, Plummer N. Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. *J. Appl. Meteor.*, 2001, **40**: 169~182
- [7] Edward M, Mike P. Observing an urban heat island by bicycle. *Weather*, 2003, **58** (5): 121~128
- [8] Figuerola P I, Mazzeo N A. Urban-rural temperature differences in Buenos Aires. *Inter. J. Climatol.*, 1998, **18**: 1709~1723
- [9] Oke T R. The distinction between canopy and boundary layer heat islands. *Atmosphere*, 1976, **14**: 268~277
- [10] Eliasson I. Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmos. Environ.*, 1996, **30**: 379~392
- [11] Nicol J E. High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: a satellite-based study. *J. Appl. Meteor.*, 1996, **35**: 135~136
- [12] 曲绍厚, 宋锡铭, 李玉英, 等. 北京地区的气象效应. 地球物理学报, 1981, **24** (2): 229~237
Qu Shaohou, Song Ximing, Li Yuying, et al. The meteorological effect in Beijing city. *Acta Geophysica Sinica*, (in Chinese) 1981, **24** (2): 229~237
- [13] 周明煜, 曲绍厚, 李玉英, 等. 北京地区热岛和热岛环流特征. 环境科学, 1980, **1** (5): 12~18
Zhou Mingyu, Qu Shaohou, Li Yuying, et al. Urban heat island and its circulation in Beijing city. *Environmental Science* (in Chinese), 1980, **1** (5): 12~18
- [14] 沈建柱, 王德辉, 徐兆生. 京津区域和城市生态气候因子图集. 北京: 科学出版社, 1986
Shen Jianzhu, Wang Dehui, Xu Zhaosheng. *Maps of Urban and Ecosystem Climate in Beijing and Tianjin Area* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1986
- [15] 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. 应用气象学报, 2002, **13** (特刊): 43~50
Zhang Guangzhi, Xu Xiangde, Wang Jizhi, et al. A study of characteristics and evolution of urban heat island over Beijing and its surrounding area. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2002, **13** (Suppl.): 43~50.
- [16] 宋艳玲, 张尚印. 北京市近 40 年城市热岛效应研究. 中国生态农业学报, 2003, **11** (4): 126~129
Song Yanling, Zhang Shangyin, The study on UHI of Beijing city in recent years. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (in Chinese), 2003, **11** (4): 126~129
- [17] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应. 地球物理学报, 2005, **48** (1): 39~45
Lin Xuechun, Yu Shuqiu. Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2005, **48** (1): 39~45
- [18] 刘瑞晨, 扈忠慈, 李人和. 华北平原中尺度低气压的若干事实. 大气科学, 1983, **7** (1): 78~87
Liu Ruichen, Hu Zhongci, Li Renhe. Certain facts about the meso-scale low over the North China plains. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1983, **7** (1): 78~87