

李兴荣, 胡非, 舒文军. 北京春季城市热岛特征及强热岛影响因子 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 129-134.

北京春季城市热岛特征及强热岛影响因子

李兴荣^{1,2}, 胡非¹, 舒文军³

(1 中国科学院 大气物理研究所 大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029

2 深圳市气象局, 深圳 518008; 3 北京市气象局 气候中心, 北京 100089

摘要: 应用北京地区地面气象观测台 1990—2004 年 4 月的气温资料, 分析了近 15 a 北京春季城市热岛特征, 结果表明: 春季夜间城市热岛要强于白天。还分析了春季一个强热岛形成和减弱消失过程的气象影响因子, 结果表明: 北京春季夜间特定条件下存在强热岛, 强热岛中心在白家庄、天安门、公主坟连线的主城区; 白天强热岛会减弱消失。强热岛在夜间形成的原因是日落后郊区地面大气降温速率和幅度远大于城区地面大气。白天有日照的晴夜北京城、郊地面风场很弱 (≤ 1.0 m/s), 多个测站甚至出现静风, 同时城区垂直方向上 15 m 高度以下持续存在很弱 (≤ 1.5 m/s) 的风场, 城区 320 m 高度以下大气持续存在强逆温, 这些因素共同促使春季强热岛的形成和维持。强热岛在白天减弱消失的原因是日出后太阳辐射的加热作用引起郊区地面大气升温速率和幅度大于城区地面大气, 同时城区大气稳定度减弱, 城区大气逆温消失, 城郊地面风速增加。

关键词: 春季城市热岛; 强热岛; 晴天; 弱风; 强逆温

中图分类号: P463.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-2022(2008)01-0129-06

Characteristics of Beijing Spring Urban Heat Islands and Influencing Factors of a Strong Urban Heat Island Event

LIX ing-rong^{1,2}, HU Fei¹, SHU Wen-jun³

(1. LAPC, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Shenzhen Meteorological Bureau, Shenzhen 518008, China

3. Climate Center, Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089, China)

Abstract Based on the April temperature data of 20 surface meteorological stations of the Beijing region from 1990 to 2004, the characteristics of Beijing spring urban heat island (UHI) were analyzed. The results show that the UHI in the nighttime was stronger than that in the daytime. Furthermore, with the additional data from three automatic meteorological observing stations and the 325 m meteorological tower of LAPC (State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry), the characteristics and influencing factors of a strong UHI event on 18th–19th April 2003 were analyzed. And the results show that the strong UHI event occurred in the nighttime of 18th and its centre lay over major urban area along the Baijiazhuang-Tian'anmen-Gongzhufen area; it weakened and disappeared in the next daytime, and the diurnal change of the strong UHI was very obvious. In the clear night of sunny day on 18th, the surface wind speed over the urban areas and the suburb was very small (≤ 1.0 m/s), and the wind speed below 15 m in the surface layer remained weak (≤ 1.5 m/s), and the strong inversion in the atmosphere layer below 320 m maintained all the night, and all of these contributed to the formation and maintenance of the strong UHI. And in the next daytime the solar radiation had most important effects on the weakening and disappearance of the strong UHI; it made the suburban surface atmosphere temperature rise faster and more than the urban atmosphere temperature and the urban surface inversion temperature as well as strong UHI disappear in the end.

Key words spring urban heat island; strong UHI; sunny day; weak wind; strong inversion temperature

收稿日期: 2006-11-22 改回日期: 2007-05-10

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (40233030); 北京市气象局城市气象科学基金资助项目 (UMRF200509)

作者简介: 李兴荣 (1973—), 男, 江西宁都人, 博士, 工程师, 研究方向为大气边界层和中小尺度气象, xinrong@mail.lapc.ac.cn

0 引言

城市热岛一直是城市气候问题的研究热点。19 世纪初, Howard^[1]对伦敦城区及其郊区的气温进行了观测研究,发现城区气温比郊区高。Manley^[2]于 1958 年首次提出城市热岛的概念。近几十年,各国学者对不同区域城市热岛的存在性、长期变化、垂直结构、影响因子、及数值模拟等开展了大量的研究工作,取得了许多研究成果。比如, Morris 等^[3]发现墨尔本热岛强度随风速的增加而减弱。Magee 等^[4]发现热岛强度随云量的增加而减弱。Tumanov 等^[5]发现费尔班克斯热岛强度在反气旋控制下最大。Steincke 等^[6]发现冰岛雷克雅未克城市热岛在白天可能消失,城区甚至比郊区更冷。Kim 等^[7]发现首尔城市热岛在夜间比白天强且随风速增大和云量增加而减弱。Kusaka 等^[8]发现城市街谷的结构对夜间热岛有重要影响。Jerome 等^[9]发现菲尼克斯城市热岛在午夜最强。Edmiston 等^[10]发现圣保罗城市热岛环流和海风之间有重要作用。Bak 等^[11]发现大气边界层的稳定性对城市热岛引起的大气环流有重要作用。

我国周明煜等^[12]指出春季热岛强度日变化有明显的双峰现象。王郁等^[13]指出北京夏季热岛强度和水平分布有明显的日变化。佟华等^[14]指出冬季城市人为热对北京城市热岛的产生有重要作用。郑祚芳等^[15]指出无论冬夏季北京城市热岛在空间分布上均表现出多中心结构。Zhou^[16]指出在稳定天气条件下,上海经常出现城市热岛。石春娥等^[17]指出合肥夏季热岛一天中只有一个峰值。吴息等^[18]指出合肥东南引风口的通风作用对夏季热岛强度起到一定的调节作用。周志恩等^[19]指出气象卫星资料可以应用于揭示城市热岛的变化规律。20 世纪 80 年代以来,北京市建成区面积加速增长,1981 年全市建成区面积为 349 km²,2000 年达到 500 km²。北京市人口也迅速增长,1982 年为 923 万,2004 年增加到 1 500 万。

此外,城市能源消耗也大幅度增长,据统计^[20],1980 年北京市以标准煤折算的能源消耗为 1.685 × 10¹⁰ kg,2000 年增加到 4.211 × 10¹⁰ kg。随着城市的发展、人口的增加和大量能源的消耗,城市人为热和下垫面的热储存也大量增加,城市的热岛效应必将相应发生变化。

本文应用北京地区常规地面气象观测台 1990—2004 年 4 月的观测资料分析了北京春季近

15 a 城市热岛特征;此外,在常规气象观测资料的基础上,加上了城区的天安门、白家庄、公主坟 3 个自动观测站的资料以及中国科学院大气物理研究所 LAPC(State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry 大气边界层物理和大气化学国家重点实验室,简称 LAPC) 325 m 气象铁塔的资料,分析了 2003 年 4 月一个强热岛的日变化特征及其形成、减弱和消失过程相关气象要素特征,以综合研究北京城市化发展至今春季强热岛特征及影响强热岛形成、减弱和消失的气象因子。

1 观测资料和观测平台

资料是北京地区 20 个常规地面观测站资料和天安门、白家庄、公主坟 3 个自动站资料以及中国科学院大气物理研究所 LAPC 325 m 气象铁塔资料。常规地面观测站资料为 1990—2004 年 4 月的资料。自动站和气象铁塔资料为 2003 年 4 月 18 日 14 时—19 日 14 时。中国科学院大气物理研究所 LAPC 325 m 气象铁塔的经纬度分别是 116°36′E、39°96′N,座落于北三环路至北四环路之间。气象铁塔分为 15 层,离地面的高度分别是 8、15、32、47、63、80、102、120、140、160、180、200、240、280、320 m。

2 北京春季城市热岛特征

由于缺少完整的自动站资料,在求 15 a 平均的地面气温场时,只能用 20 个常规地面观测站的资料。城市中心区以海淀站地面气温代表城区地面气温,记为 T_u 。另外考虑到顺义和大兴两站分别在海淀站的北面 and 南面,因此以这两站地面气温的算术平均值代表郊区地面气温,记为 T_s 。热岛强度定义为城区地面气温与郊区地面气温之差,即 $T_{u-s} = T_u - T_s$ 。根据这个定义,计算出北京地区 4 月 02、08、14、20 时 4 个时次 15 a(1990—2004 年)平均热岛强度,如表 1 所示。

表 1 北京地区 15 a 平均城、郊地面气温及热岛强度
Table 1 15-yr averaged urban/suburban surface temperatures and urban heat island intensity in Beijing in April °C

时次	T_u	T_s	T_{u-s}
02 时	12.1	11.50	0.6
08 时	12.1	11.75	0.35
14 时	19.1	19.05	0.05
20 时	16.6	16.05	0.55

由表 1 可见,北京春季 4 月 4 个时次多年平均城市热岛 02 时最强, 20 时次强, 14 时最弱, 08 时次弱。夜间城市热岛强于白天。白天向夜间过渡, 城市热岛加强; 夜间向白天过渡, 城市热岛减弱。

3 北京春季强热岛气象影响因子

3.1 强热岛个例的选取

由于有 2003 年 4 月城区天安门、白家庄和公主坟等自动站资料, 因此强热岛个例分析时, 考虑了这些自动站观测资料, 重新定义了热岛强度。以天安门、白家庄和公主坟 3 站的算术平均气温为城区气温, 记为 T_u , 以顺义和大兴的算术平均气温为郊区气温, 记为 T_s 。热岛强度定义为 $T_u - T_s$ 。根据此定义, 求得 2003 年 4 月逐日 02 时的热岛强度, 得到 19 日 02 时的热岛强度最大, 为 $4.7\text{ }^\circ\text{C}$, 属于强热岛 (据文献 [12] 热岛强度的分类)。下文以这个强热岛作为个例, 分析影响其形成、减弱和消失的气象影响因子。特别指出, 下文对夜间 02 时出现强热岛的那一天称为“强热岛日”。

3.2 强热岛日热岛强度的 24 h 变化特征

城区海淀站没有 24 h 观测资料, 天安门站有, 郊区顺义站和大兴站没有 24 h 观测资料, 密云站有, 因此以天安门站和密云站的地面气温分别代表城区和郊区的地面气温, 通过分析这两个站的地面气温之差的 24 h 变化来研究热岛强度的 24 h 变化特征。2003 年 4 月 18 日 08 时—19 日 14 时城、郊气温及热岛强度逐时变化如图 1 所示。

18 日 09—18 时, 城区气温低于郊区气温, 城市

热岛不存在。18 日 22 时—19 日 05 时, 热岛强度维持在 $5\text{ }^\circ\text{C}$ 以上。18 日 19—23 时, 城区气温和郊区气温都呈下降趋势, 但城区气温下降幅度仅为 $1.3\text{ }^\circ\text{C}$, 下降速率仅为 $0.325\text{ }^\circ\text{C/h}$, 而同期郊区地面气温下降幅度为 $7.6\text{ }^\circ\text{C}$, 下降速率为 $1.9\text{ }^\circ\text{C/h}$, 可见日落前后城区气温的下降速率和幅度明显要小于郊区, 这是强热岛得以形成的直接原因。19 日 06—08 时, 城区气温上升幅度仅为 $0.3\text{ }^\circ\text{C}$, 上升速率仅为 $0.15\text{ }^\circ\text{C/h}$, 郊区地面气温上升幅度为 $4.9\text{ }^\circ\text{C}$, 上升速率为 $2.95\text{ }^\circ\text{C/h}$, 日出后郊区地面气温的上升速率和幅度远大于城区, 这是强热岛减弱消失的直接原因。

3.3 强热岛日天气实况

18 日是多云天气, 北京地区日照时数: 通州 4.6 h , 朝阳 4.4 h , 海淀 3.0 h , 观象台 3.2 h 。城区日照充足, 能储存更多的热量, 这储存的热量在晚上释放出来, 有利于城市强热岛的形成。

19 日是晴天。19 日 05—08 时, 郊区密云站、大兴站日照时数分别为 2.1 h 、 2.0 h 比城区海淀站 1.8 h 和朝阳站 1.4 h 大。密云站和昌平站最早在 06 时以前观测到日照, 比城区海淀站要早大约 1.0 h , 城市热岛也正是在这个时候开始减弱了, 表明太阳辐射与城市热岛减弱消失是密切相关的。太阳辐射城、郊分布不均匀导致白天城区地面气温上升速率和幅度小于郊区, 促使城市强热岛迅速减弱消失。

3.4 强热岛日地面风速 24 h 变化

城区地面风速以天安门、白家庄和公主坟 3 站

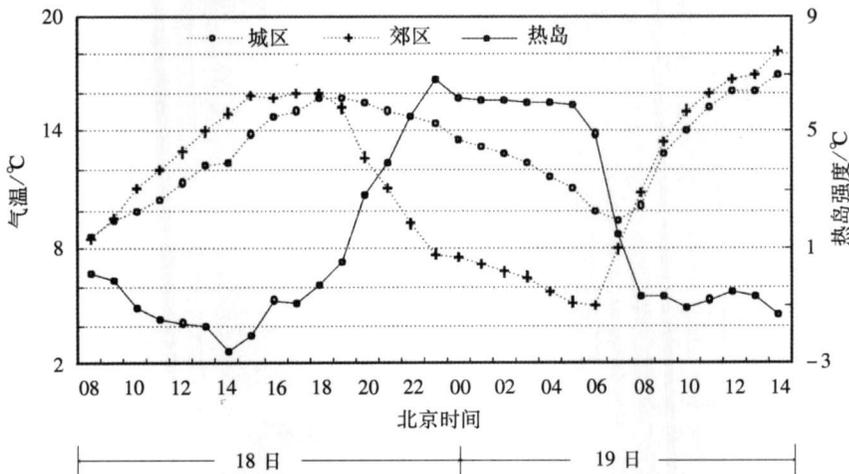


图 1 2003 年 4 月 18 日 08 时至 19 日 14 时城、郊地面气温及城市热岛强度逐时变化

Fig. 1 Hourly changes of urban/suburban surface temperatures and urban heat island intensity from 0800 BST 18h to 1400 BST 19h April 2003

地面风速的算术平均值表示, 郊区地面风速以顺义、大兴、密云 3 站地面风速的算术平均值表示。18 日 14 时—19 日 14 时城、郊地面风速的逐时变化如图 2 所示。

由图 2 可知, 18 日 20 时—19 日 07 时以后, 城区和郊区地面风速都在 1.6 m/s 以下, 有几个时次的地面风速甚至小于 1.0 m/s 。夜间城区和郊区的地面风速是很弱的, 这是城市强热岛在这期间得以形成和维持的重要气象因子。白天 07 时后城、郊地面风速增大, 同时强热岛也减弱, 城、郊地面风速的大小也与强热岛形成、维持和减弱是密切相关。

3.5 强热岛日城区风速垂直分布

18 日 14 时—19 日 14 时, LA PC 325 m 气象铁塔的风速垂直分布变化如图 3 所示。近地层 ($8 \sim 63 \text{ m}$) 风速从 18 日 17 时—19 日 07 时, 一直都维持在 3.0 m/s 以下, 特别是 18 日 23 时—19 日 06 时, 15 m 高度以下风速维持在 1.5 m/s 以下, 风场稳定, 这段时间热岛强度在 $5.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上, 表明大气低层弱的风场条件与强热岛是密切相关的, 它是影响强热岛形成和维持的重要气象因子。19 日 07 时以后风速增大, 08 时 8 m 以上的风速都在 3.0 m/s 以上, 强热岛迅速减弱消失。

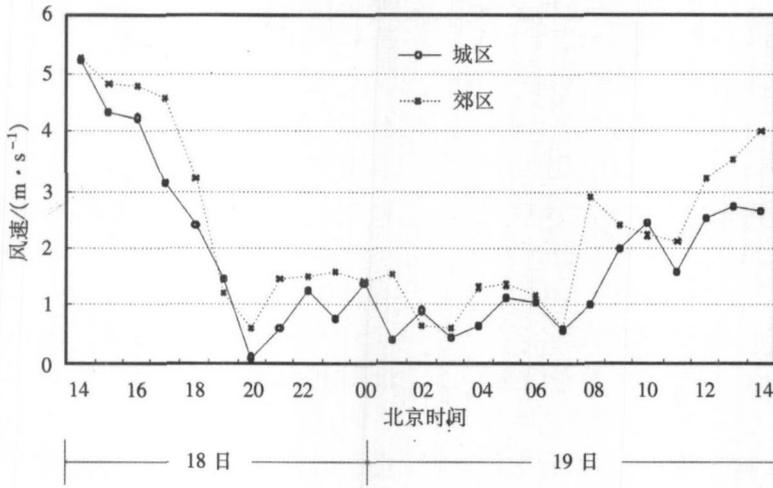


图 2 2003 年 4 月 18 日 14 时至 19 日 14 时城、郊地面风速的逐时变化

Fig. 2 Hourly changes of urban/suburban surface wind speeds from 1400 BST 18th to 1400 BST 19th April 2003

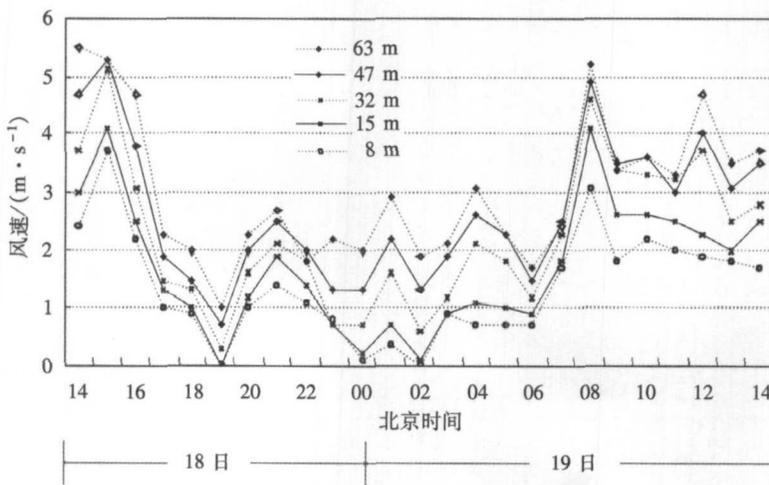


图 3 2003 年 4 月 18 日 14 时至 19 日 14 时 325 m 气象铁塔风速垂直分布的逐时变化

Fig. 3 Hourly changes of wind speeds at 8, 15, 32, 47 and 63 m height of the 325 m meteorological tower from 1400 BST 18th to 1400 BST 19th April 2003

3.6 强热岛日近地大气层气温垂直分布

18日 14时—19日 14时, LAPC 325 m 气象铁塔气温垂直分布变化如图 4 所示。由图 4 可见, 18日 14时和 16时, 320 m 以下不存在逆温。18日 18时到 19日 06时, 320 m 以下一直存在逆温。19日 00时, 8~ 63 m 的逆温强度达到 $0.164\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ m})$,

102~ 180 m 的逆温强度达到 $0.097\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ m})$, 逆温很强。07 时后, 320 m 高度以下逆温迅速消失, 强热岛也迅速减弱并消失。夜间城区 320 m 以下大气逆温的形成、维持、减弱、消失与强热岛的形成、维持、减弱、消失几乎同步, 是影响强热岛形成、维持和减弱、消失的重要气象因子。

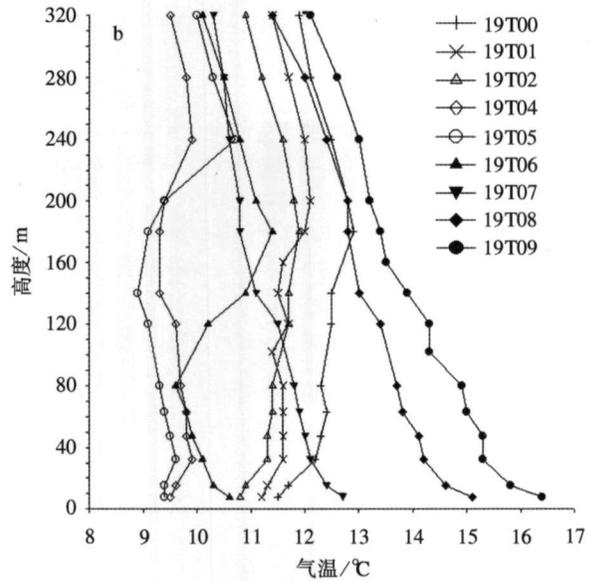
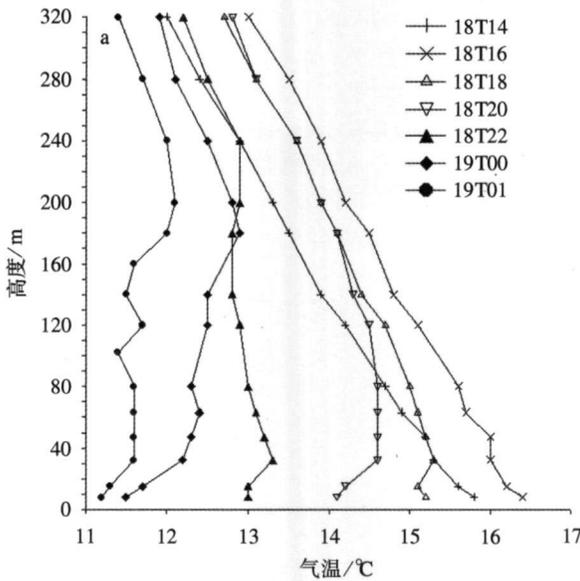


图 4 2003年 4月 18日 14时—19日 01时 (a)和 19日 00时—09时 (b) 325 m 气象铁塔气温廓线的变化

Fig. 4 Changes of the vertical air temperature profiles observed on the 325 m meteorological tower (a) from 1400 BST 18th to 0100 BST 19th and (b) from 0000 BST to 0900 BST 19th April 2003

4 结论

(1)北京春季夜间特定条件下存在强热岛, 强度夜间强于白天, 强热岛中心在白家庄、天安门、公主坟连线的主城区; 强度的日变化明显; 白天强热岛会减弱消失。

(2)北京地区春季城市强热岛存在于夜间, 强热岛是多个因子共同作用形成的。夜间强热岛形成的直接原因是日落后郊区地面气温下降速率和幅度远大于城区。有日照的晴夜北京城、郊均出现并维持弱的地面风场(风速在 1.0 m/s 以下), 多个测站甚至出现静风, 且夜间城区低层大气出现并维持弱的风场(风速在 1.5 m/s 以下)并有强逆温的形成和维持, 它们是影响夜间强热岛形成和维持的重要气象因子。

(3)北京地区春季强热岛在白天会迅速减弱消失。强热岛减弱消失与太阳辐射的关系密切。白天强热岛减弱消失的直接原因是日出后郊区地面气温上升速率和幅度大于城区。白天太阳辐射的加热作用引起大气稳定度减弱、逆温消失以及白天风速增

大均是城市热岛迅速减弱并最终消失的重要原因。

致谢: 衷心感谢中国科学院大气物理研究所 LAPC 李爱国同志提供了 325 m 气象铁塔资料!

参考文献:

- [1] How ard L. The climate of London[M]. London: W. Phillips, 1818.
- [2] Manley G. On the frequency of snow fall in metropolitan England [J]. Quant J Roy Meteor Soc, 1958, 84(359): 70-72.
- [3] 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]. J Appl Meteor, 2001, 40(2): 169-182.
- [4] Magee N., Curtis J., Wendler G. The urban heat island effect at Fairbanks Alaska [J]. Theor Appl Climatol, 1999, 64(1/2): 39-47.
- [5] Timonov S., Stan-Sion A., Lupu A., et al. Influences of the city of Bucharest on weather and climate parameters [J]. Atmos Environ, 1999, 33(24/25): 4173-4183.
- [6] Steinecke K. Urban climatological studies in the Reykjavik sub-arctic environment, Iceland [J]. Atmos Environ, 1999, 33(24/25): 4157-4162.

- [7] Kim Y H, Bak J J Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul [J]. *J Appl Meteor*, 2005, 44(5): 591-605
- [8] Kusaka H, Kimura F. Thermal effects of urban canyon structure on the nocturnal heat island: Numerical experiment using a mesoscale model coupled with an urban canopy model [J]. *J Appl Meteor*, 2004, 43(12): 1899-1910
- [9] Jerome D F, Joel C T, Randy R. Pseudovertical temperature profiles and the urban heat island measured by a temperature datalogger network in Phoenix, Arizona [J]. *J Appl Meteor*, 2005, 44(1): 3-13
- [10] Edmilson D F, Christopher M R, William R C, et al. Interactions of an urban heat island and sea breeze circulations during winter over the metropolitan area of Sao Paulo, Brazil [J]. *Bound-Layer Meteor*, 2007, 122(1): 43-65.
- [11] Bak J J, Kim Y H, Kim J J et al. Effects of boundary layer stability on urban heat island-induced circulation [J]. *Theor Appl Climatol*, 2007, 89(1/2): 73-81
- [12] 周明煜, 曲绍厚, 李玉英, 等. 北京城区热岛和热岛环流特征 [J]. *环境科学*, 1980, 1(5): 12-18
- [13] 王郁, 胡非. 北京地区夏季城市热岛的气候趋势和环境效应的分析研究 [J]. *地球物理学报*, 2006, 49(1): 62-68.
- [14] 佟华, 刘辉志, 桑建国, 等. 城市人为热对北京热环境的影响 [J]. *气候与环境研究*, 2004, 9(3): 409-421
- [15] 郑祚芳, 刘伟东, 王迎春. 北京地区城市热岛的时空分布特征 [J]. *南京气象学院学报*, 2006, 29(5): 694-699.
- [16] Zhou S Z. Five island effects of Shanghai urban climate [J]. *Sci Chin Ser B: Chem*, 1990, 33(1): 67-78.
- [17] 石春娥, 王兴荣, 吴必文, 等. 合肥市夏季热岛特征研究 [J]. *南京气象学院学报*, 2005, 28(5): 672-678
- [18] 吴息, 陈万隆, 刘春岩, 等. 合肥东南引风口对城区热岛调节作用的评估 [J]. *南京气象学院学报*, 2003, 26(6): 768-772
- [19] 周志恩, 蒋维楣, 胡非, 等. 气象卫星观测资料的分析在城市区域气象环境研究中的应用 [J]. *气象科学*, 2003, 23(3): 292-299
- [20] 北京市统计局. 北京市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000.