

北京城区热岛环流对山地—平原风的调节作用

王喜全¹ 王自发¹ 龚晏邦¹ 郭 虎²

1 中国科学院大气物理研究所李可桢—南森国际研究中心, 北京 100029

2 北京市气象台, 北京 100089

摘 要 利用2002年北京市自动气象站网的逐时资料, 采用统计方法对北京城市水平风场的散度、“城市热岛”强度和风向频率的日变化特征进行了分析, 并总结归纳出在弱天气系统形势下(地面风速<3级)北京地区风场的基本形态。结果表明: 1) 北京“城市热岛”环流是存在的, 但只是对区域性的山地—平原风起调节作用。2) 在作用相当的因素(如山地—平原风、热岛强度和大气稳定度)控制下, 夏季的“城市热岛”环流造成城区风场的辐合特征。3) 其他季节的“城市热岛”环流, 主要由山地—平原风控制, 即刮山地风时, 北京城郊的风场表现为向城区的辐合; 刮平原风时, 北京城区风场表现为辐散特征。

关键词 城市热岛 城市热岛环流 山地—平原风 北京

文章编号 1006-9585 (2008) 05-0639-06 **中图分类号** P425 **文献标识码** A

Modulation of Urban Heat Island Circulation on Mountain—Plain Wind in the Beijing Area

WANG Xi-Quan¹, WANG Zi-Fa¹, GONG Yan-Bang¹, and GUO Hu²

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

2 *Beijing Meteorological Observatories, Beijing 100089*

Abstract By statistically analyzing hour-to-hour data of Urban Automatic Weather Station Network recorded in Beijing City during 2002, diurnal characteristics of urban heat island intensity, wind convergence/divergence, and wind direction frequency are presented, and then wind field patterns are induced under weak weather conditions in the Beijing area. The analysis demonstrates that urban heat island circulation (UHIC) possibly exists under weak weather conditions, but it only modulates the regional mountain-plain wind system. In summer and under the control of factors such as mountain-plain wind, urban heat island and atmospheric stability, which are almost equal in action, UHIC results in convergence of wind field in urban area; in other seasons, UHIC mainly is controlled by mountain-plain wind, namely, when mountain wind blows, wind convergences from suburban to urban center; when plain wind blows, wind divergences from urban center to suburban.

Key words urban heat island, urban heat island circulation, mountain-plain wind, Beijing

收稿日期 2007-05-08 收到, 2008-08-06 收到修定稿

资助项目 中国科学院创新项目 KZCX2-YW-219 和中国科学院大气物理研究所领域前沿项目 IAP07204

作者简介 王喜全, 男, 1962 年出生, 博士, 副研究员, 主要从事城市气候与城市大气环境研究。E-mail: wxq@mail.iap.ac.cn

1 引言

生活在北京及其周边地区的人们会经常听到：今天夜间，风力 1~2 级，风向南转北；明天白天，风力 2~3 级，风向北转南。这样的预报反映了在无云或少云的弱天气系统控制下（地面风速 < 3 级）北京地区特有的、规律性的山地—平原风现象^[1]。关于北京地区的山地—平原风现象，古文献中早有记载^[2]，可以说山地—平原风是北京地区的气候特征之一，百年未变。对北京“城市热岛”现象的研究表明^[3]，这样的天气形势也是“城市热岛”发生的温床。

理论上讲，“城市热岛”诱发“城市热岛”环流是显而易见的。但在实际的天气条件下，要想直接探测到“城市热岛”环流却是一件不容易的事情。Pooler^[4]利用美国肯塔基州路易斯威利（Louisville, Kentucky）中尺度自动气象站网的数据，分析了城区风场的特征。Shreffler^[5]利用美国圣路易城（San Louis City）自动气象站加强观测资料，研究了“城市热岛”作用下“城市热岛”环流存在的可能性。以上两位研究者，都是在分析大量常规资料的基础上，揭示城郊的风向是否有指向城区中心的趋势。虽然并不是完全意义上的“环流”，但反映了所谓“热岛环流”最重要的方面，即气流向城区汇合的现象。另外，由于上面提到的两个城市周边地形比较平坦，区域或局

地山谷风环流不明显，在弱天气系统控制条件下，突显了“城市热岛”这单一热力效应所诱发的“热岛环流”。

山地—平原风和“城市热岛”环流都是在区域或局地热力差异驱动下形成的风场系统，两者的差别是：前者为自然力所形成，后者为人为—城市化所形成。按照目前人们的观念，前者应是主要矛盾，后者是次要矛盾，也可以推论说“城市热岛”环流只是对强势的山地—平原风起调节作用。

本文利用北京市自动气象站观测网资料，对弱天气形势下北京城区水平风场散度的日变化进行了初步研究，并结合“城市热岛”强度和风向频率的特征，勾画出北京地区风场的基本概况。开展此研究的目的有两个：一是目前北京的大气污染程度是城郊强于城区^[6]，应了解“城市热岛”环流对北京地区大气污染分布的影响；二是北京“城市热岛”的研究多集中于“热岛”强度的观测分析和模拟，本文利用常规观测资料分析“城市热岛”环流的存在方式，也许会对数值模拟研究提供一些帮助。

2 资料来源及处理

2002 年北京运行的自动气象站共有 16 个，包括天安门（54200）、古观象台（54229）、公主坟（54218）、东直门（54206）、西直门（54208）、白



图 1 石景山、朝阳、丰台和海淀自动气象站地理位置（圆圈号）

Fig. 1 Locations of Shijingshan, Chaoyang, Fengtai and Haidian's auto weather stations in Beijing (indicated by white circle number)

家庄 (54220)、青年湖 (54201)、十八里店 (54212)、丽泽桥 (54216)、紫竹院 (54228)、大观园 (54230)、海淀 (54399)、朝阳 (54433)、丰台 (54514)、石景山 (54513) 和亚运村站 (54209)。这些站位于北京五环路以内, 涵盖了北京市的中心城区和近郊区。

在计算北京“城市热岛”强度时, 选择天安门站为城市代表站, 朝阳气象站为乡村代表站, 利用两站的气温差表示“城市热岛”的强度。当该气温差为正时, 城区表现为“城市热岛”; 当该气温差为负值时, 城区表现为“城市冷岛”。值得注意的是: 用上述方法定义“城市热岛”时, 春冬季的中午前后, 北京城区经常出现“城市冷岛”现象^[3]。选择位于西北郊的海淀气象站、西郊的石景山气象站、西南郊的丰台气象站和东北郊朝阳气象站, 计算北京城区风场的水平散度, 表征风场的水平辐散与辐合。当散度为正时, 表示风场由城区向城郊辐散; 当散度为负时, 表示风场由城郊向城区辐合^[7]。该 4 个气象站的位置, 近

似位于东西、南北向的直角坐标轴上, 因此不用水平插值 (插值会带来不可控制的误差) 即可计算风场的散度, 图 1 给出了该 4 个自动气象站的地理位置分布。另外, 为了突出“城市热岛”的作用, 在计算风场的散度时, 只对天安门站风速 < 3 级 (蒲氏) 的情形进行了计算。

3 水平风场散度和风向频率的日变化特征

3.1 水平散度与“城市热岛”强度的关系

这里采用城市水平风场的散度来表征“城市热岛”环流的性质和强弱, 从本质上讲, 这种方法, 仍然是“城市热岛”环流的间接表达。图 2 给出了北京城区水平风场散度的季平均日变化特征。为了探讨风场散度与“热岛强度”的关系, 即“热岛”强度与“热岛”环流的关系, 图 2 还给出“热岛”强度季平均日变化^[3]。除具有明显的季节变化以外, 北京城区水平风场散度的日变化特征, 还有如下一些特点:

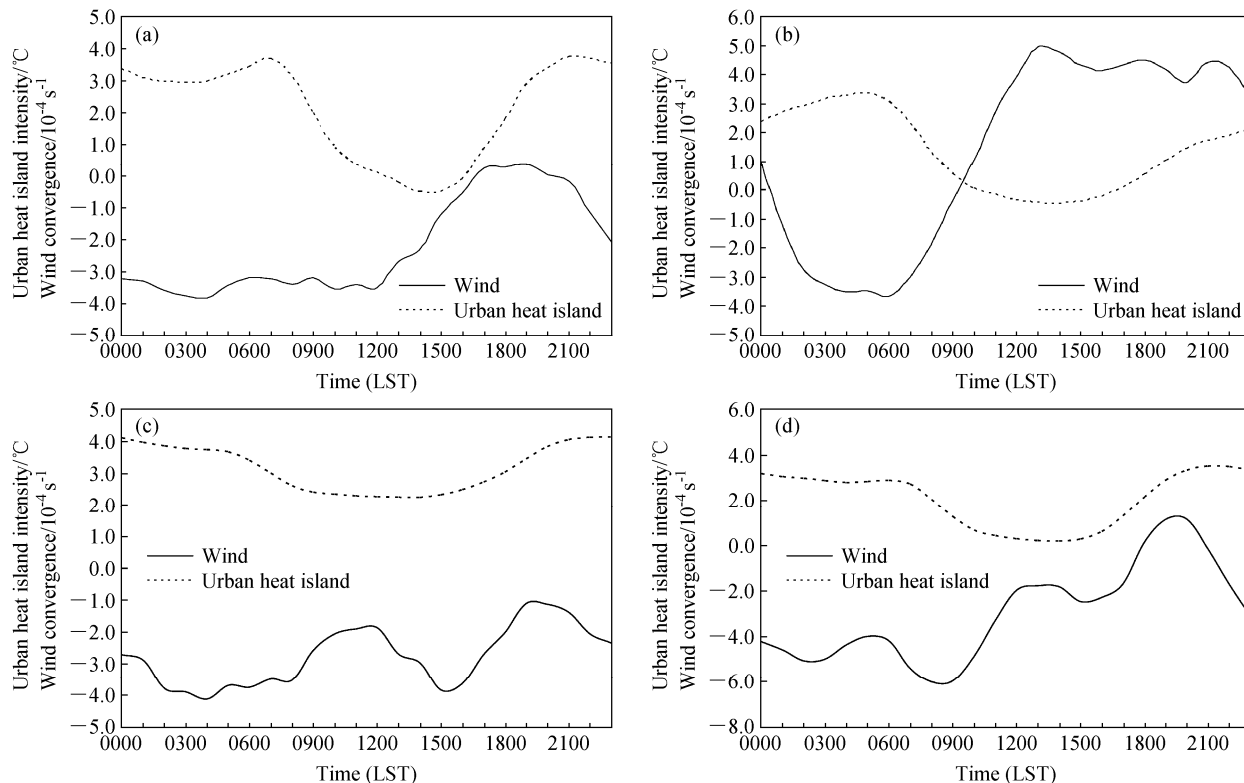


图 2 2002 年北京四季“城市热岛”强度、散度日变化: (a) 冬季; (b) 春季; (c) 夏季; (d) 秋季

Fig. 2 Diurnal variation of UHI intensity and wind convergence in Beijing City in 2002: (a) winter; (b) spring; (c) summer; (d) autumn

(1) 冬季: 从 21 时 (北京时间, 下同) 起至次日下午 15 时左右, 城区处于辐合流场之中; 下午 15 时左右至夜晚 21 时, 城区处于辐散流场之中。城市风场的辐合、辐散与“城市热岛”的强弱不同步, 不存在简单的正相关。

(2) 春季: 从午夜 1 时至次日上午 9 时左右, 城区流场表现为辐合; 上午 10 时至午夜 0 时, 表现为辐散。虽然辐合流场与强“热岛”强度对应, 中午 13 时左右的强辐散与弱“冷岛”重合, 但傍晚至午夜的辐散几乎不受“热岛”强度的影响, 这似乎说明还应有影响北京城市风场辐合与辐散的其他因素。

(3) 夏季: 北京城市风场表现为全天辐合的性质, 特别是上午 10~12 时的弱辐合与弱“热岛”对应, 午后 15~16 时的强辐合与大气不稳定层结相对应, 说明了“热岛”强度和大气层结稳定性对城市风场辐合辐散的影响^[8,9], 但傍晚 19~20 时的弱辐合不受“热岛”强度的影响, 似乎再一次说明还有其他因素影响北京城市风场的辐

合辐散特征。

(4) 秋季: 除傍晚 18~21 时城市流场表现为辐散外, 其他时间城区均受辐合流场控制。从以上的分析可以看出: 不论任何季节, 从夜晚至次日上午, 北京城市风场都表现为向城区辐合的性质, 最大辐合散度的量级为 $3.0 \times 10^{-4} \sim 4.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, 此时也是北京“城市热岛”强度达到最强时候, 最大“热岛”强度 $3.0 \sim 4.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。但其他时间“城市热岛”与“热岛环流”没有简单的对应关系。这似乎说明决定北京城区风场的辐合辐散, 还应有其他重要的因素。

3.2 风向频率的日变化

正如引言中所述, 在弱天气系统控制下, 北京地区风向日变化特别显著, 即白天多偏南风, 夜晚多偏北风。形成这种日变化的主要原因是北京及其周边地区地形造成的山地—平原风现象^[10]。图 3 给出了 2002 年四季天安门站静风、偏北风和偏南风频率日变化, 其中偏南、偏北风向日变化规律具有如下特点:

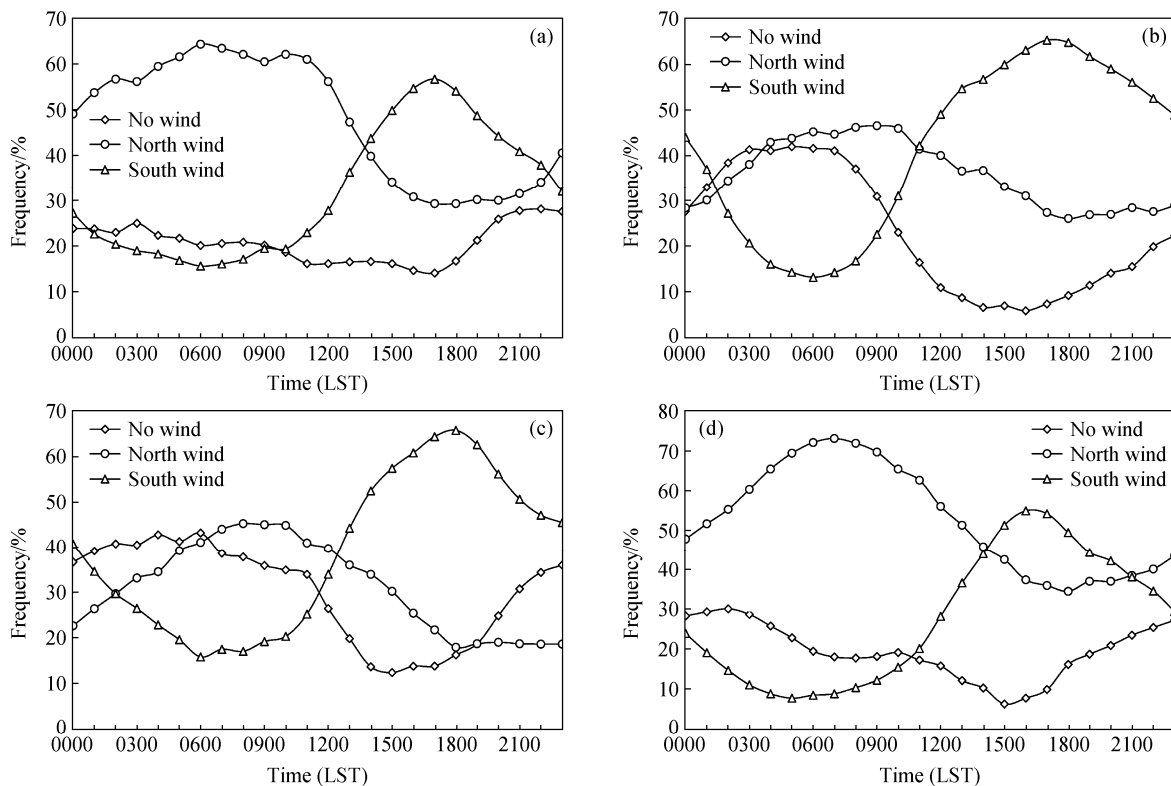


图 3 2002 年四季北京天安门静风和偏北、偏南风频率日变化: (a) 冬季; (b) 春季; (c) 夏季; (d) 秋季

Fig. 3 Diurnal variation of frequencies of calm, north and south wind at Tiananmen Square, Beijing City in 2002: (a) winter; (b) spring; (c) summer; (d) autumn

(1) 偏南、偏北风频率优势分布：各季节正午前均以偏北风占绝对优势，午后至傍晚均以偏南风占绝对优势。

(2) 偏北、偏南风频率季节差异：秋冬季节从夜间至次日上午，北京地区地面风以偏北风为主，频率达 60% 以上；午后以偏南风为主，频率达 50% 以上。春夏季节，从夜间至次日上午，北京地区地面风虽以偏北风为主，但其频率小于秋冬季的频率，而午后偏南风频率高于秋冬季的频率。

(3) 风向转换时间的季节差异：春季 12 时、夏季 13 时、秋冬季 14 时左右，风向开始由偏北转为偏南；春夏季 2 时、秋季 21 时、冬季 23 时左右，风向开始由偏南转为偏北。

通过图 2 和图 3 的对比，可以发现如下的对应关系：

(1) 当偏北风频率占优势时，除夏季以外，其他三季，北京城区的风场主要是以辐合为主；当偏南风频率占优势时，北京城区的风场主要是以辐散为主。在风向转换前后，风场的辐散辐合有一平稳过渡期。可以说，在春秋冬季节，北京地区的山地-平原风是形成北京城区风场辐散辐合的决定性因素，其他如“热岛”强度、“冷岛”强度以及大气层结等因素是次要因素。

(2) 对于夏季来说，山地风仍然是形成北京

城市夜间和上午风场辐合的主要因素。午后和傍晚，在大气不稳定层结和“城市热岛”强度（平均为 2℃ 左右）的共同作用，抵消了平原风的辐散特性，使城区的风场表现出弱辐合特征。文献 [11, 12] 的数值模拟也证明了这一事实。因此可以说，夏季午后和傍晚城市风场的辐散辐合特征，由作用相当的因素，如平原风、“热岛”强度和大气稳定度共同决定。

4 弱天气形势下北京地区风场的基本形态

综合上面的分析，可给出在弱天气系统控制下北京城郊风场的典型流场形态。图 4a 给出四季刮山地风时北京城区和郊区流场示意，在“城市热岛”的调节下，城市东郊和西郊的风场向城区辐合，造成山地风在城区的辐合。图 4b 给出春秋冬季节刮平原风时北京城区和郊区的流场示意，可见在城市和周围地形的调节下，造成平原风在城区的辐散。图 4c 给出夏季刮平原风时北京城区和郊区的流场示意，可见在“城市热岛”的调节下，造成平原风在城区的辐合。

5 结论

通过对北京城市风场散度、“城市热岛”强度

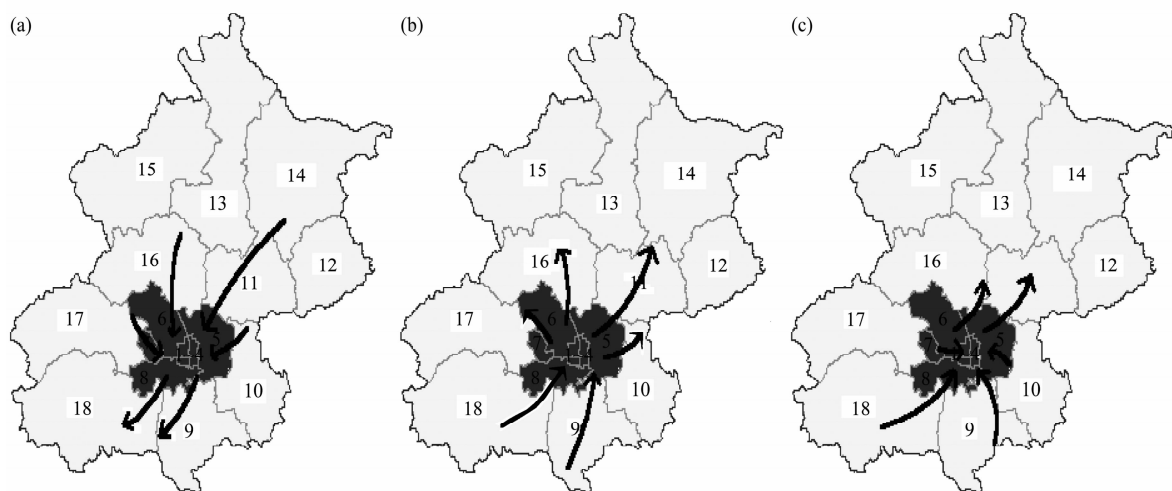


图 4 (a) 春夏秋冬季山地风、(b) 春秋冬季节平原风和 (c) 夏季平原风背景下北京城郊风场（阴影部分为城区）

Fig. 4 (a) The schematic wind field at prevailing north wind, (b) the schematic wind field at prevailing south wind, (c) the schematic wind field at prevailing south wind (the mountain wind) conditions at four seasons in the Beijing area (shadow indicates the main urban area)

和风向频率的统计分析,可以初步得出如下结论:

(1) 北京城市热岛及其环流是存在的,但主要是对北京地区山地—平原风起调节作用。

(2) 夏季午后和傍晚的“城市热岛环流”,由平原风、热岛强度和大气稳定度 3 个相当的因素共同控制,其他季节和时段的“城市热岛”环流主要由山地—平原风控制。

参考文献 (References)

- [1] 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
- [2] 王鹏飞. 对康熙帝风的性能认识的分析. 南京气象学院学报, 1999, **22** (3): 439~444
Wang Pengfei. An analysis of Emperor Kangxi's knowledge of wind function. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1999, **22** (3): 439~444
- [3] 王喜全, 王自发, 郭虎. 北京“城市热岛”效应现状及特征. 气候与环境研究, 2006, **11** (5): 627~636
Wang Xiquan, Wang Zifa, Guo Hu. The study of the urban heat island in Beijing City. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (5): 627~636
- [4] Pooler F Jr. Airflow over a city in terrain of moderate relief. *J. Appl. Meteor.*, 1963, **2**: 446~456
- [5] Shreffler J H. Heat island convergence in St. Louis during calm periods. *J. Appl. Meteor.*, 1979, **18** (12): 1512~1520
- [6] 王喜全. 北京城市气候与大气环境几个问题的研究. 中国科学院大气物理研究所博士论文, 2007
Wang Xiquan. Preliminary Study on Several Problems About Urban Climate and Atmospheric Environment in Beijing City. Ph. D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2007
- [7] 《大气科学辞典》编委会. 大气科学辞典. 北京: 气象出版社, 1994
Editorial Committee of The Glossary of Atmospheric Science. *The Glossary of Atmospheric Science* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1994
- [8] Gallo K P, McNab A L, Karl T R, et al. The use of vegetation index for assessment of the urban heat island effect. *Int. J. Remote Sens.*, 1993, **14** (11): 2223~2230
- [9] 王郁, 胡非. 京地区夏季城市热岛的气候趋势和环境效应的分析研究. 地球物理学报, 2006, **49** (1): 61~68
Wang Yu, Hu Fei. A study of the climatic trend and environment effect of urban heat island over Beijing in summer. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2006, **49** (1): 61~68
- [10] 北京市气象局气候资料室. 北京气候志. 北京: 气象出版社, 1987
The Climate Data Division of Beijing Meteorological Bureau. *Climatology of Beijing* (in Chinese). Beijing: Chinese Meteorological Press, 1987
- [11] 李磊. 城市边界层的多尺度数值模拟研究. 中国科学院大气物理研究所博士论文, 2005
LI Lei. A Study of Multiscale Numerical Simulation on Urban Boundary Layer. Ph. D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2005
- [12] 徐敏, 蒋维楣, 季崇萍, 等. 北京地区气象环境数值模拟试验. 应用气象学报, 2002, **13** (特刊): 61~68
Xu Min, Jiang Weimei, Ji Chongping, et al. Numerical modeling and verification of structures of the boundary layer over Beijing area. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2002, **13** (Suppl.): 61~68