

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

程兴宏^{1,2} 徐祥德¹ 张胜军¹ 丁国安¹

1 中国气象科学研究院, 北京 100081

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 针对北京城市热岛的空间变化特征及其发展趋势, 重点探讨了北京城市热岛总体演变趋势及其多尺度非均匀分布特征与城市建筑群面积、中高层建筑群空间布局的相关关系。采用晴空过程北京城郊地面自动气象站 AWS (Automatic weather station) 气温观测真值对卫星遥感云顶黑体温度 TBB (Temperature of black body on the top of cloud) 高分辨率场实施变分订正, 解决城市热岛研究中高分辨率卫星遥感的客观性订正问题。研究结果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、多尺度热岛群非均匀分布特征的显著影响效应。结果表明, 北京晴空过程城区及近郊区多尺度热岛效应可由强、弱程度不同的热岛群“合成”, 北京地区热岛分布呈多尺度非均匀特征, 即城区东西两侧为强热岛区, 城西北园林区与古城中心轴线区域为相对弱热岛区; 在北京城市高速发展背景下, 城郊街区热岛群的非均匀分布特征与城市建筑群布局之间存在着相关关系; 城市建筑群面积及中高层建筑密集程度的差异可产生区域性强弱不同的热岛效应, 这间接反映出北京城郊中高层建筑暖气或空调排放热源的局地影响效应。上述研究结果可为城市发展有关建筑群布局与园林绿地规划设计提供科学依据。

关键词 城市热岛 综合变分分析 城市建筑群 局地影响效应

文章编号 1006-9585 (2007) 05-0683-10 **中图分类号** X16 **文献标识码** A

Integrated Analysis on Unsymmetrical Space Distribution Characteristics of Urban Heat Island Based on Variational Processing Method in Beijing

CHENG Xing-Hong^{1,2}, XU Xiang-De¹, ZHANG Sheng-Jun¹, and DING Guo-An¹

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract To the question which space distribution characteristics and its developed trend of urban heat island in Beijing, a study on general change trend of urban heat island and correlativity between area of urban building clusters, layout of middle or high layer buildings and unsymmetrical spatial distribution of multi-scale urban heat island is discussed. During sunshiny days variation correction is carried out based on air temperature sampled by AWS (Automatic Weather Station) and variational processing method by satellite retrieval high resolution data, TBB (Temperature of Black Body on the top of cloud). The problem is resolved, which how to correct satellite retrieval data with surface observation data impersonally in the research field about urban heat island. The results revealed that area of urban building clusters and layout of middle or high layer buildings can have remarkable effects on general change trend and unsymmetrical spatial distribution of urban heat island. Analysis results showed that urban

收稿日期 2006-10-12 收到, 2007-06-10 收到修定稿

资助项目 科技部国际合作重点项目计划 2004DFA06100

作者简介 程兴宏, 男, 1977 年出生, 博士, 主要从事城市热岛、大气污染方面的研究。E-mail: dahaidahai3008@163.com

multi-scale heat island is composed of polycentric and lots of different intensity urban sub-scale heat island clusters as a whole. Multi-scale and unsymmetrical characteristics of heat island is obvious in Beijing. Namely, heat island which is located in east and west of urban districts is strong, but weak in the northeast of urban area which is gardens, greenbelt and middle-axis area of old city. On a background of fast city development, there is the correlativity between unsymmetrical space distribution characteristics of heat island in the urban districts and layout of middle or high layer buildings. Different intensity of heat island reflect indirectly local effect of anthropologic heat which is let out from middle or high layer buildings. Results in this paper can provide scientific basis about distribution of urban building clusters and layout of gardens and greenbelt in the programming of city development.

Key words urban heat island, variational processing method, urban building clusters, local effect

1 引言

随着城市居民人口和工业能源消耗的剧增,城市大气的动力、热力结构与郊区的差异日益增大,原来人类生活的城市自然环境遭到破坏,形成了人类活动影响下的特殊局地气候特征,尤其造成城市局地“热岛”或“热岛群”的非均匀分布特征^[1-4]。

彭少麟等^[5]分析了城市热岛的主要形成机制,研究指出城市下垫面性质改变与城市人为热源的排放对城市热岛的形成起十分重要的作用。佟华等^[6]采用北京大学三维复杂地形中尺度数值模式,利用 Landsat-TM 卫星影像图和“北京海淀区北部地区总体规划—用地规划图”,分别模拟了北京海淀区北部规划完成后和目前情况下的气温场,试验表明规划区的建成会增加当地和其下风方向的热岛强度。另外,佟华等^[7]利用北京大学城市边界层模式对北京冬季城市边界层结构特征进行模拟,通过考虑和忽略人为热源的排放研究北京地面温度的变化。结果表明人为热源对城市热岛的形成起很大作用:白天使城市中心温度增加 0.5

左右,夜晚增加 1~3 左右。肖荣波等^[8]研究指出,城市热岛效应是一种由于城市建筑及人类活动导致热量在城区空间范围内聚集的现象,是城市气候最显著的特征之一。于淑秋等^[9]讨论了北京的城市化指数与热岛强度及尺度范围变化之间的关系,结果表明随城市建筑群扩大,热岛“尺度”范围显著扩大;城市化指数的年际变化与城市热岛强度的年际变化非常相似,具有良好的线性关系。

城市内建筑群的非均匀分布,城市局地尺度

或微尺度(包括城市小区、街道尺度)与城市区域“大尺度”之间的动力、热力相互作用,构成了城区特殊边界层大气动力和热力结构^[5]。由于北京市环型公路向市郊扩展,城市建筑群布局随之向郊区扩展,而且极不平衡,在上述城市高速发展背景下,城市街区“热岛群”的非均匀分布特征与城市建筑群及园林绿地非均匀布局之间的关系,是城市大气环境研究领域的关键问题之一。

由于地面气温观测点有限,近年来将卫星遥感温度资料用于城市区域环境和城市热岛的研究成为热点。周志恩等^[10]利用 NOAA-AVHRR 气象卫星遥感资料反演得到北京城市区域地表温度场分布特征,与区域边界层模式 NJU-RBLM 模拟得到的地面热力场分布基本一致,并且卫星反演的地表热力场分布和强度比模式模拟的结果更为细致。但是由于城市下垫面地表特征复杂,大气对地表辐射的削弱等因素的复合影响,使得根据卫星资料估算地表温度成为一个非常复杂的问题。柏晶瑜等^[11]采用晴空 TBB (Temperature of Black Body on the top of cloud) 资料对青藏高原地温场进行了变分分析,研究了高原地表温度场的特征。结果表明,采用晴空 TBB 资料,通过变分处理技术得到的订正结果能够在某种程度上订正复杂下垫面地表特征及大气衰减等因子对地表温度的影响,提高青藏高原下垫面热力状况的描述能力。徐祥德等^[12]采用 TBB 资料和北京地区自动气象站地面温度实测资料,运用变分订正方法求取了地面气温“热岛”分布特征,并与 MM5 模式计算的城区水泥地表特征分布图比较,结果表明城市“热岛”区域与模式区域水泥地表特征分布十分类似。但上述结果多为针对大尺度或较大尺度地区热岛分析,而对更小尺度热岛的分析,尤其是对

城市地区多尺度热岛群的非均匀分布特征及城市建筑群的局地影响效应的研究工作相对较少。本文考虑到城市下垫面复杂的地表特征及云、大气衰减等因素对 TBB 资料的影响，采用晴空过程北京城区及近郊区 AWS (Automatic Weather Station) 气温观测真值对卫星遥感 NOAA-17 TBB 1 km 高分辨率反演数据实施变分订正，揭示城市多尺度热岛的非均匀分布特征及建筑群布局的局地影响效应，以期解决卫星遥感高分辨率 TBB 资料的客观性订正问题。

2 资料介绍与变分订正原理简介

本文统计了北京市城郊温差 39 年平均月际变化特征 (如图 1)。由图 1 可发现，除了冬季及秋末 11 月以外，城市热岛效应在 3 月或 10 月相对显著。考虑到城市热岛效应季节特征受到夏季降水或冬季城市采暖期等复杂因素的影响，本文选择了 10 月作为热岛试验期，该月少雨且未进入采暖期，尤其此阶段城市热岛效应比其他季节更能显著地描述建筑群布局的局地效应。

表 1 给出了 2003 年 10 月 13~16 日北京市观象台上空 9~12 时 (北京时间，下同) 各时次云量。从表中可以看出，除 13 日有少量密卷云外，其他 3 天分析时段天空均无云，因此本文采用连续 4 天 11 时北京地区自动站气温观测值与 TBB 高分辨率资料作为试验样本，该时段为北京地区 NOAA-17 卫星的星下点 (中午 11 时左右过境)。

本文采用上述 4 天 11 时北京城区及近郊区 32 个自动气象站小时平均气温资料与卫星遥感资料进行综合变分订正分析，32 个自动气象站点分布如图 2 所示。使用前对所有自动站气温观测数据进行了质量控制。本文对比分析了 2003 年 10 月 1~31 日北京南郊观象台每天 4 个时次人工观测气温与对应时次的自动站观测气温 (如图 3 所示)，建立了如下线性回归模型来订正自动站观测气温：

$$y = 0.996x - 0.068, \quad (1)$$

其中， x 代表自动站观测的气温， y 代表自动站观测气温订正到人工站后的气温，共 124 个样本，相关系数为 0.99，符合 99.9% 信度水平。

基于地面 AWS 自动气象站气温场与晴空 TBB 遥感亮温场的相关性，本文采用卫星遥感 —

表 1 2003 年 10 月 13~16 日 9~12 时北京南郊观象台各时次云量

Table 1 Hourly cloud amount observed in the Beijing South Observatory during 0900—1200 LST, on 13—16 Oct 2003

日期	各时次云量				云状
	0900 LST	1000 LST	1100 LST	1200 LST	
10月13日	3/0	4/0	5/0	7/0	Ci
10月14日	0/0	0/0	0/0	0/0	-
10月15日	0/0	0/0	0/0	0/0	-
10月16日	0/0	0/0	0/0	0/0	-

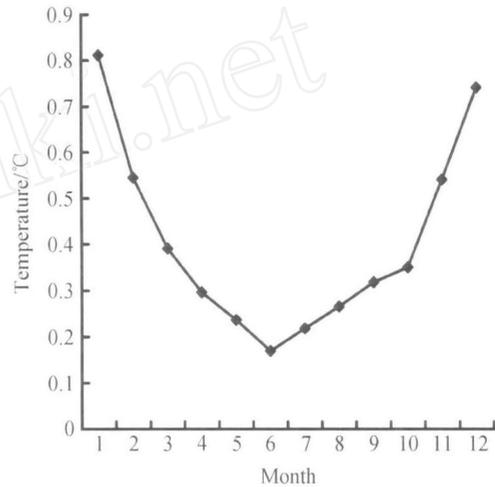


图 1 1962~2000 年北京市城郊月平均温差 (39 年平均) 的月际变化

Fig. 1 Inter-monthly variation of monthly average difference (39 years average) of temperature between urban districts and suburb during 1962—2000

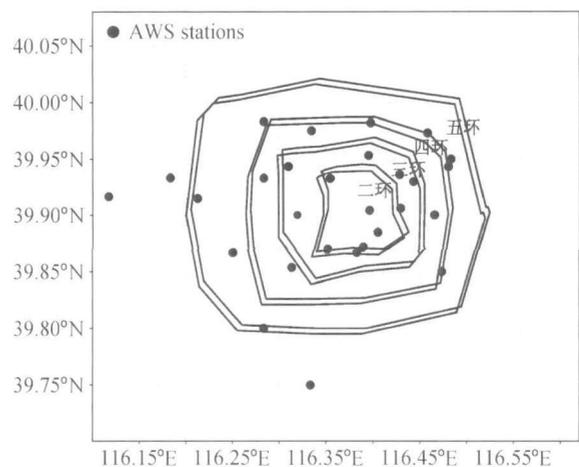


图 2 北京城区及近郊区自动气象站点分布

Fig. 2 Location of the AWS sampling sites in urban and suburb area of Beijing

地面观测综合变分订正处理技术。该研究方案已在城市热岛卫星遥感反演和沙尘暴过程大气要素场等诸多方面取得了卫星遥感再分析客观订正的显著效果^[11-14]。该变分订正技术原理与方法参考文献 [12]。

3 城市尺度热岛总体发展趋势与建筑群落影响

随着城市的发展,水泥道路和建筑材料取代了天然的土壤与植被,改变了地表反照率分布,并使热容量减小,造成人为热源加剧。形成了城市特殊的大气—地表辐射平衡。在调节热量的绿地减少的同时,高速公路和高大建筑群增加,土地或植被混凝土被沥青所覆盖,白天地面日射增温,夜里释放热量,而且日趋增多的汽车尾气排热,使城市高层建筑群密集处总体热量平衡状态发生显著变化,导致城市热岛效应日益明显^[15,16]。由于海淀、朝阳和石景山地区发展较快,每年新增建筑群面积占全市比重较大,因此本文用全市每年新增建筑面积近似代表3个区的新增建筑群面积。以北京城市建筑群密度相对较大的观测站(海淀、朝阳和石景山)与城郊观测站(昌平、延庆、密云、怀柔、平谷和大兴等县)的年平均地面气温偏差作为衡量城市热岛效应的“标尺”,统计分析了1962~2000年北京城郊温差年平均值与

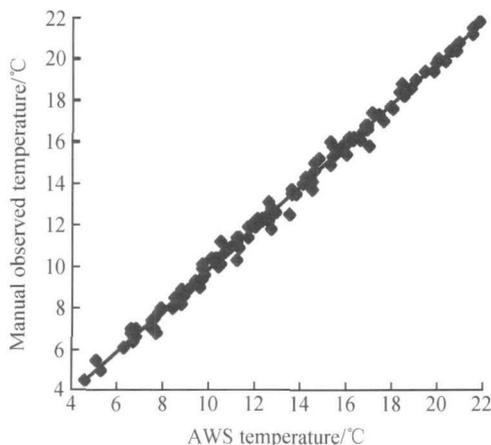


图3 2003年10月南郊气象台每天4个时段人工站和自动站观测气温对比

Fig. 3 Comparison of temperature observed between manual observatory and AWS in the Beijing South Observatory four times per day in Oct 2003

每年城市新增建筑面积的相关关系(图4所示),两者相关显著,相关系数达0.60,符合99%信度水平。由图2可知,随着北京城市建筑群面积的不断增大,北京市城郊温差日益增大。进而说明北京城市化迅速发展,已导致城市热岛效应日趋显著。张光智等^[17]研究了北京及周边地区的城市尺度热岛特征及其演变。结果表明20世纪末的10年与80年代的10年相比,北京城区与郊区的热岛效应增强趋势显著。本文的分析结果与前人研究结果^[5-9]相似。上述研究结果可描述出北京城市尺度热岛总体发展特征及建筑群的影响效应。

4 城市次尺度“热岛群”变分订正综合分析

4.1 变分订正前北京城市热岛群的空间分布特征

分析时将32个自动气象站气温实测值插值到500 m × 500 m的网格上,格点数为120 × 120,覆盖整个北京地区(39.6°~40.2°N, 116.1°~116.7°E)。由图5可看出,4天北京地区城市热岛群的多尺度非均匀分布特征基本类似。即海淀区中东部、石景山地区、朝阳区东北部以及崇文区为强热岛区,相对弱热岛区为南北向古建筑中轴区和海淀区北部园林绿化区,且上述4天城区“强热岛”与“弱热岛”位置相对较稳定。13日热岛群的空间

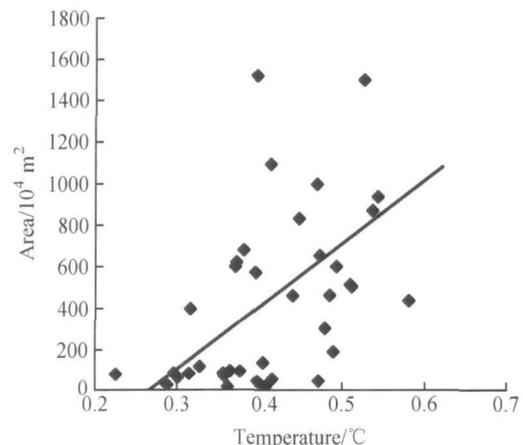


图4 北京市1962~2000年城郊温差年平均值与每年城市新增建筑面积的相关关系

Fig. 4 Scattered plot between yearly average of temperature difference and yearly increasing building area in Beijing during 1962—2000

分布特征与其他 3 天略有不同，东北部地区出现两个强热岛中心，西北部弱热岛区不明显，这可能与当天的天气状况（多云）有关。但 3 个强热岛区即海淀区中东部与石景山地区、朝阳区东北部以及崇文区亦较明显。

4.2 变分订正后北京城市热岛群的非均匀分布特征

选取 2003 年 10 月晴空状态下 11 时左右过境的 NOAA-17 卫星遥感 TBB 资料作为描述城市及城郊周边热岛分布的高分辨“背景”场，由图 6 可发现，除 10 月 15 日外北京城区热岛特征均呈相似的东、西两侧相对暖区，城区中部呈南—北向带状相对“弱热岛”区，尤其城区西侧海淀、西城区和石景山为大范围热岛显著区。上述晴空

状态下卫星遥感亮温分布可揭示出北京城市热岛群的非均匀分布特征，但是由于 TBB 受到城市下垫面及大气对地表辐射削弱等因素的复合影响，TBB 的空间分布并未真实反映出北京地区城市热岛群的多尺度非均匀分布特征，存在虚假热岛区。比较图 5 与图 6 可发现，4 天 TBB 的空间分布特征仅反映出北京城市热岛的东西向非均匀分布特征，无法描述出次尺度或更小尺度热岛群的非均匀分布特征。尤其是 10 月 15 日北京地区 TBB 空间分布（图 6）存在虚假热岛区，大部分城区及近郊区都处于强热岛区，这与地面实测气温（图 5c）的多尺度非均匀分布特征差异较大，因此卫星遥感 TBB 资料需使用地面实测气温进行客观性订正。

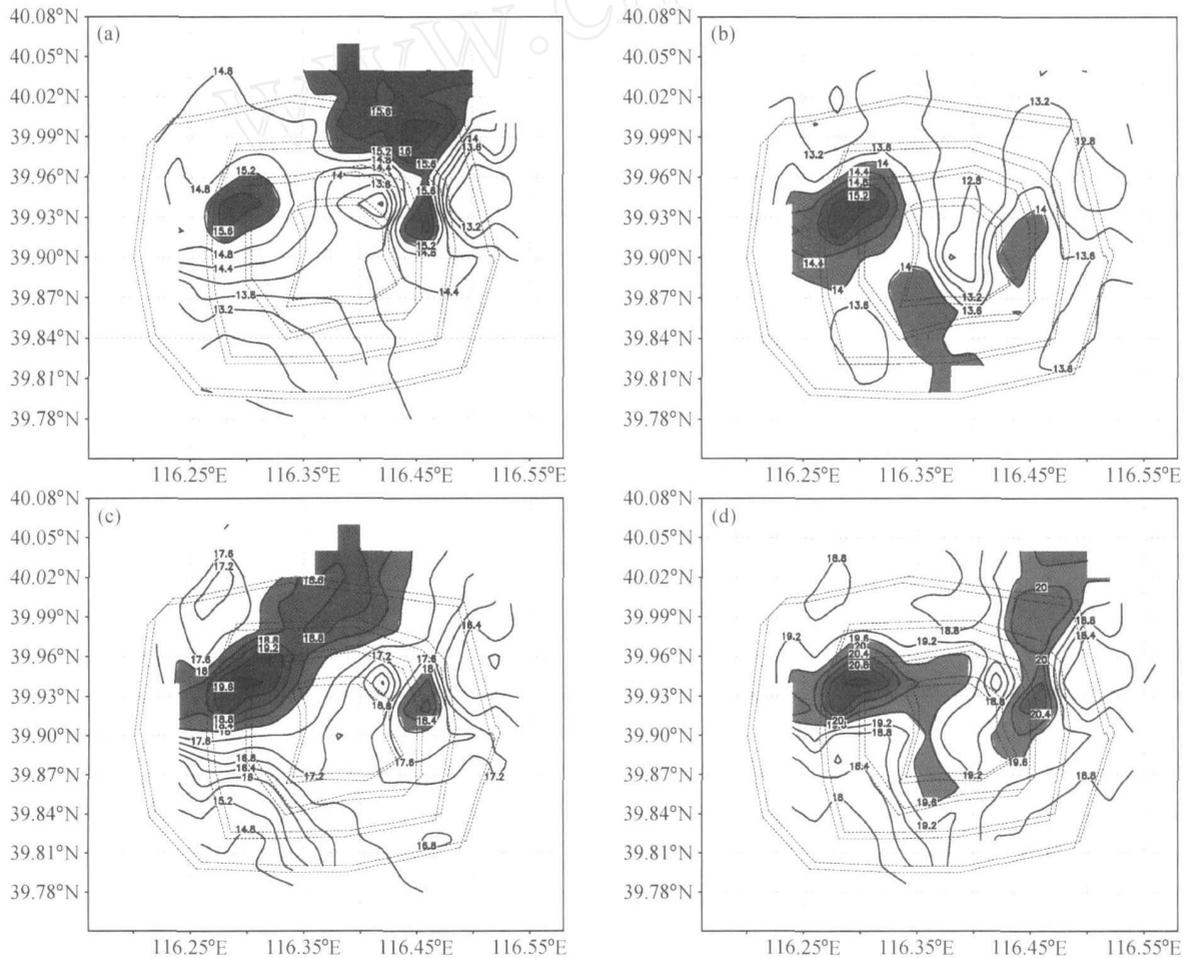


图 5 2003 年 10 月 13 ~ 16 日 11 时北京城区及近郊区自动气象站气温（单位： $^{\circ}\text{C}$ ）实测值的空间分布特征：(a) 13 日；(b) 14 日；(c) 15 日；(d) 16 日。阴影为温度高值区

Fig. 5 Space distribution characteristics of observation temperature ($^{\circ}\text{C}$) sampled by AWS in the urban districts and suburb in Beijing at 1100 LST on 13 - 16 Oct 2003: (a) 13 Oct; (b) 14 Oct; (c) 15 Oct; (d) 16 Oct. Shading represents area of high temperature

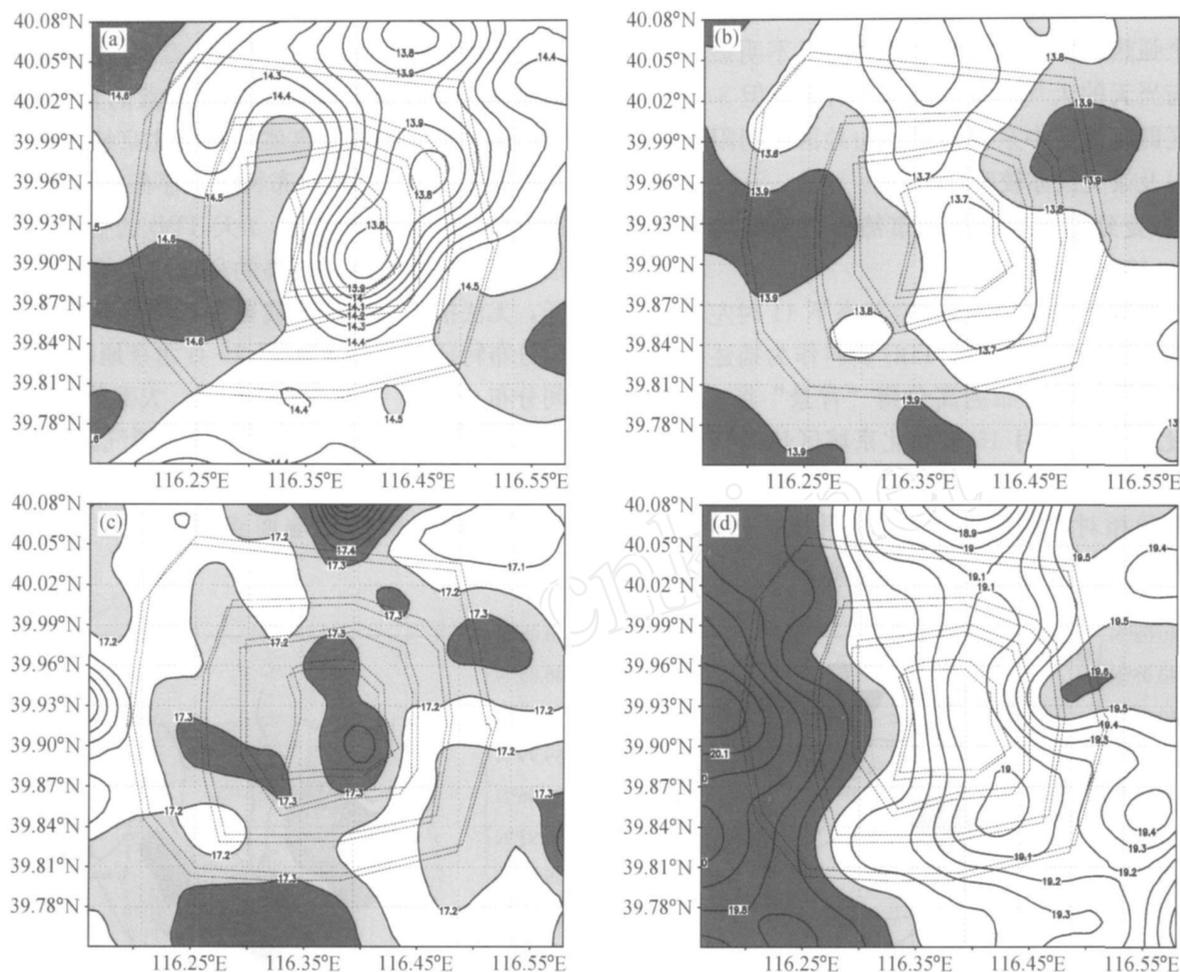


图6 2003年10月13~16日11时北京市城郊区卫星遥感 TBB (单位: $^{\circ}\text{C}$) 的空间分布特征: (a) 13日; (b) 14日; (c) 15日; (d) 16日。阴影为 TBB 高值区

Fig 6 Space distribution characteristics of satellite retrieval data, TBB ($^{\circ}\text{C}$) in Beijing at 1100 LST on 13 - 16 Oct 2003: (a) 13 Oct; (b) 14 Oct; (c) 15 Oct; (d) 16 Oct. Shading represents area of high TBB

使用卫星遥感 - 地面观测变分场订正处理技术, 将2003年10月13~16日32个AWS气温实测场与NOAA-17卫星遥感TBB (1 km \times 1 km) 分布场进行变分订正。处理过程中, 将TBB插值到500 m \times 500 m的网格上, 格点数为160 \times 160, 覆盖整个北京地区 (39.6 \sim 40.2 $^{\circ}\text{N}$, 116.1 \sim 116.7 $^{\circ}\text{E}$)。图7为经地面AWS气温实测值变分订正的TBB变分场。由该图可以看出变分订正后的TBB变分场在一定程度上反映了北京城郊区气温的多尺度非均匀分布特征, 弥补了地面气温观测站点稀少的局限性。变分订正前TBB分布场中的虚假高值区 (10月15日的虚假热岛区) 被消除。订正后海淀区中东部、石景山地区、崇文区的强热岛群区及城区古建筑群区、绿化园区的弱热岛

区较突出, 热岛群的多尺度非均匀分布特征更为显著, 强弱热岛区位置相对稳定, 变分订正后TBB分布场与地面气温实测值的非均匀分布特征较一致。

比较同一天TBB变分场与地面气温实测场可以看出, 两者分布特征相似, 北京城区和近郊区强弱热岛区位置和范围较一致。即东西两侧为热岛显著区, 城西北园林区与古城中轴线区域为“弱热岛”带, 即园林区以及沿南北向古城中轴线以东狭长型绿地为城区相对“弱热岛”区, 而且上述强弱热岛区位置相对稳定。

4.3 变分订正场的客观性效果检验

考虑对上述TBB变分订正效果的客观性检验问题。在计算变分订正函数过程中已逐日“剔除”

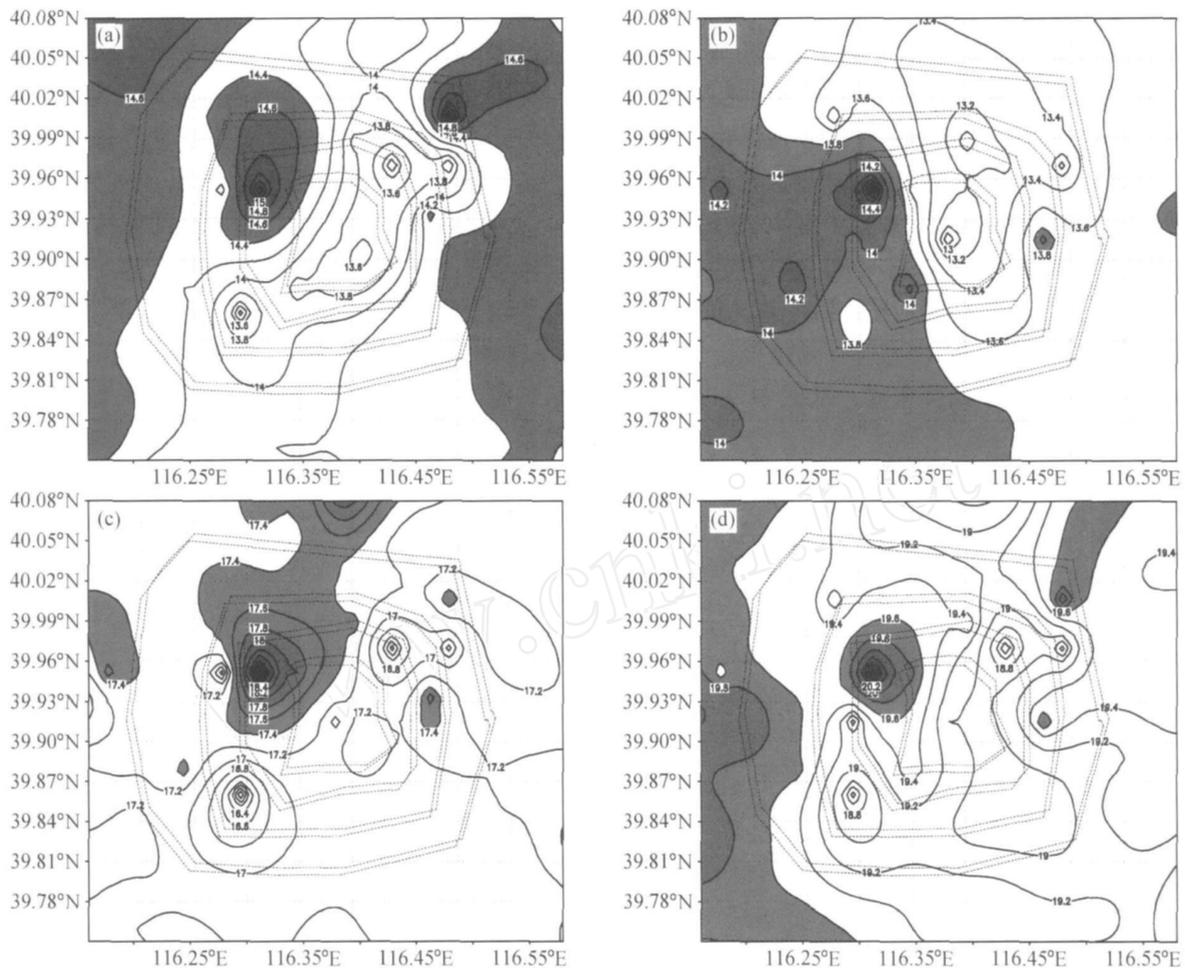


图7 2003年10月13~16日11时经自动气象站气温实测资料变分订正后的北京城区 TBB (单位:) 变分场: (a) 13日; (b) 14日; (c) 15日; (d) 16日。阴影为 TBB 变分值高值区

Fig 7 Space distribution characteristics of TBB () variational field in Beijing at 1100 LST on 13 - 16 Oct 2003: (a) 13 Oct; (b) 14 Oct; (c) 15 Oct; (d) 16 Oct. Shading represents area of high variational TBB

了所选定的每日4个固定检验点(东西南北方位各1个点, 4×4个样本)自动气象站气温记录, 完成上述变分分析场计算后, 将相应于剔除点, 经变分订正的卫星遥感 TBB 值与 AWS 地面气温实况真值进行误差检验, 计算分析结果发现两者相关显著(图8所示), 样本数为16, 相关系数为0.92, 符合99.9%信度水平, 且平均偏差仅为0.457。根据魏凤英^[18]关于两个物理变量间线性相关显著性的统计检验方法——*t*检验法, 计算了4天16个“剔除点”观测的气温与相应的变分订正 TBB 值之间的线性相关统计量 *t* 值, 即 *t* = 8.82。给定显著性水平 = 0.001, 查自由度 *v* = 16 - 2 = 14 时的 *t* 分布表, *t* = 4.14, 由于 *t* > *t*, 因此在 = 0.1% 的显著性水平上, 16个“剔除

点”观测的气温与相应的变分订正 TBB 值间的线性相关较显著。上述检验结果表明采用变分订正方案, 既发挥了卫星遥感信息高分辨率的优点, 又构成了与地面气温实测“真值”最佳“逼近”的订正函数, 此类订正函数使未参加统计的16个“剔除点”亦具有较佳的分析效果。上述逐点剔除法结果表明, 采取点-面结合的综合观测研究思路, 运用卫星遥感-地面观测变分订正处理技术, 可以取得客观订正的显著效果。

5 城市热岛群非均匀分布特征与建筑群落影响效应

图9为4天11时北京城区及近郊区 TBB 合

成变分场，由该图可以看出晴空条件下北京城区及近郊区热岛群的多尺度非均匀分布特征。即海淀区中东部、石景山地区和崇文区为强热岛群区，而城区古建筑群区、园林绿化区以及沿南北向古城中轴线以东狭长型绿地为弱热岛区，上述强弱热岛区位置相对稳定。根据北京规划设计院绘制的北京城区分辨率为 200 m ×200 m 的建筑群布局 (图 10) 可发现，北京城区及近郊区建筑群布局亦呈非均匀分布特征。图 10 描述了城区及近郊区 30 ~ 50 m 的中高层建筑群布局，从图中可以看出，

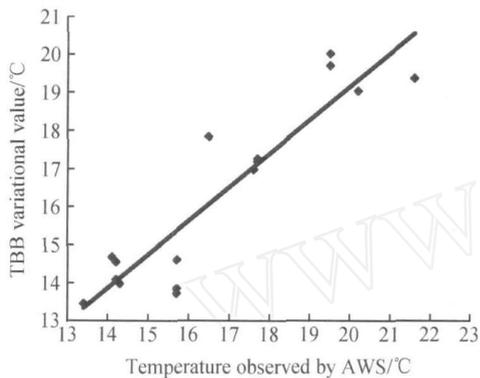


图 8 2003 年 10 月 13 ~ 16 日 AWS 气温与扣除 16 个点后的变分 TBB (16 个点) 的相关关系

Fig. 8 Scattered plot between temperature observed by AWS and sixteen TBB variational value which are deducted in the variational processing on 13 - 16 Oct 2003

城西 (石景山部分地区、海淀区和西城区)、城东北 (朝阳区东北部) 以及城南 (崇文区南部和丰台区东北部) 为 30 ~ 50 m 高层建筑群密集区，城区南北向古建筑群中轴区及海淀区北部园林绿化为建筑群低密度区。

北京城郊多尺度强弱热岛群的非均匀分布特征类似于上述城区及近郊区中高层建筑群布局的非均匀分布特征。本文分析了 2003 年 10 月 13 ~ 16 日北京城区及近郊区 TBB 变分合成场中强热岛区气温与对应的建筑物高度的相关性 (如图 11)，结果显示两者相关显著，总样本数为 211，相关系数为 0.30，符合 99 % 信度水平。根据上述 *t* 检验法^[17]，计算 4 天 211 个变分订正 TBB 值与相应的建筑物高度之间的线性相关统计量 *t* 值，即 *t* = 4.54。给定显著性水平 $\alpha = 0.01$ ，查自由度 $\nu = 211 - 2 = 209$ (在此查 $\nu =$) 时的 *t* 分布表，得 *t* = 2.58，由于 *t* > *t*，因此在 $\alpha = 1\%$ 的显著性水平上，变分订正 TBB 值与相应的建筑物高度之间的线性相关显著。两者显著的相关性揭示了城市中高层建筑群对城市强热岛区气温的显著影响效应，进而表明北京城郊多尺度强弱热岛群的非均匀分布特征明显受到城市中高层建筑群非均匀布局的影响。这间接反映出北京城郊中高层建筑群暖气或空调排放热源的局地影响效应。

彭少麟等^[5]分析了城市热岛强度空间变化特

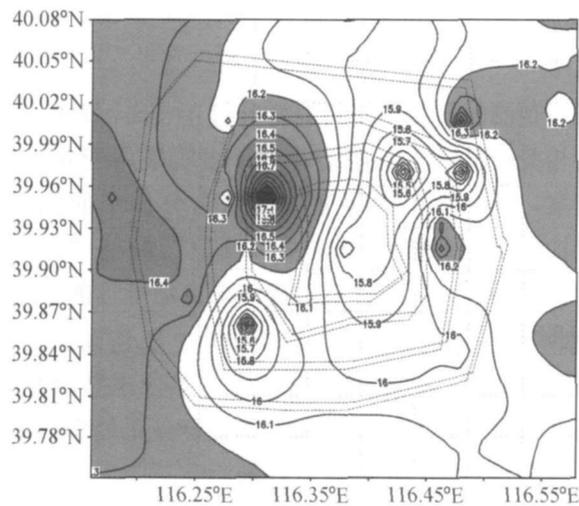


图 9 2003 年 10 月 13 ~ 16 日北京城区及近郊区 TBB (单位: °C) 变分合成场。阴影为 TBB 变分值高值区

Fig. 9 Compositive field of TBB (°C) variational value in urban and suburb area of Beijing on 13 - 16 Oct 2003. Shading represents area of high variational TBB

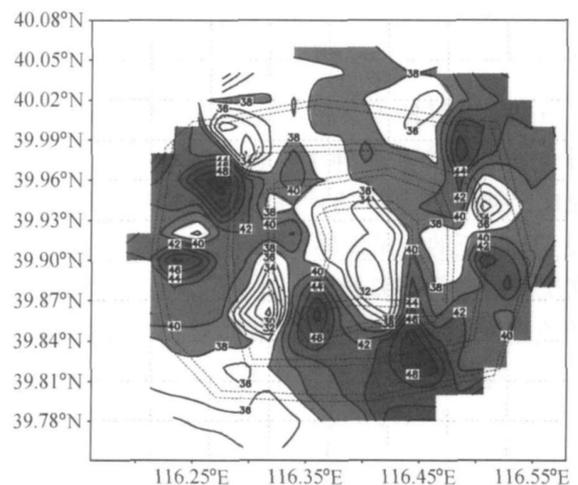


图 10 北京地区分辨率为 200 m ×200 m 的楼层高度 (单位: m) 的分布特征。阴影为高层建筑群密集区

Fig. 10 Space distribution characteristics of buildings which height are 30 - 50 m and space resolution are 200 m in Beijing. Shading represents high building concentrated area

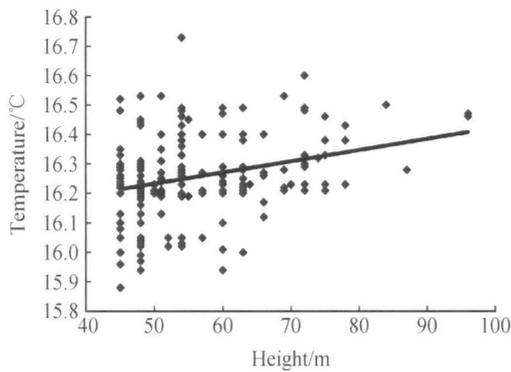


图 11 2003 年 10 月 13 ~ 16 日北京城区及近郊区 TBB (单位:) 变分合成场中强热岛区气温与对应建筑物高度的相关关系

Fig. 11 Scattered plot of correlativity between temperature in the TBB () variational field which is located in strong heat island area and corresponding buildings height in Beijing on 13 - 16 Oct 2003

征, 指出城市热岛的水平分布表现为热岛出现在人口密集、建筑物密度大、工商业最集中的地区, 而郊区则有较好的植被覆盖, 或者农田密布, 热岛强度小。张光智等^[17]研究指出, 北京城市热岛效应 10 年变化的增强区域与城市位置十分吻合。本文的分析结果与上述结果基本一致。

6 总结与讨论

本文利用卫星遥感和地面观测相结合的技术途径综合分析了北京城市热岛群的空间分布特征及与中高层建筑群的关系。

(1) 使用北京地区晴空条件下地面自动气象站气温观测真值对高分辨率卫星遥感 TBB 场实施变分订正, 解决城市热岛研究中高分辨率卫星遥感资料的客观性订正问题, 探讨了卫星遥感—地面观测相结合研究城市热岛多尺度非均匀分布特征的综合变分分析途径。

(2) 北京晴空过程城区及近郊区多尺度热岛效应可由强、弱程度不同的热岛群“合成”, 北京地区热岛分布呈多尺度非均匀特征, 即城区东西两侧为强热岛区, 城西北园林区与古城中轴线区域为相对弱热岛区。

(3) 本文研究结果揭示了北京城市热岛总体发展趋势及其多尺度非均匀空间分布特征与城市建筑群面积、中高层建筑群空间布局存在显著的

相关性。北京建筑群面积与城市热岛效应相关显著, 随着北京城市建筑群面积的不断增大, 北京市城郊温差日益增大, 导致城市热岛效应日趋显著。

(4) 在北京城市高速发展背景下, 城郊街区“热岛群”的非均匀分布特征与城市建筑群的非均匀布局之间存在着相关关系, 即城西(石景山部分地区、海淀区和西城区)、城东北(朝阳区东北部)以及城南(崇文区南部和丰台区东北部)等中高层建筑群密集区为强热岛区, 而城区南北向古建筑群中轴区和海淀区北部园林绿地等地区为相对弱热岛区。由于城市建筑群面积及中高层建筑密集程度的差异可产生区域性强弱不同程度的热岛效应, 这间接反映出北京城郊中高层建筑群暖气或空调排放热源的局地影响效应。上述研究结果可为城市发展有关建筑群布局与园林绿地规划设计提供科学依据。

本文初步探讨了卫星遥感 - 地面观测结合的综合研究方法和变分订正处理技术在城市热岛研究中的应用以及建筑群布局对城市多尺度热岛非均匀分布特征的局地影响效应, 得出的初步结论有待以后进一步验证。

参考文献 (References)

- [1] Oke T R. The surface energy budgets of urban area. *Modeling the Urban Boundary Layer*. Boston: Amer. Meteor. Soc., 1987. 1 ~ 52
- [2] Katsoulis B D, Theoharatos G A. Indications of the urban heat island in Athens, Greece. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1985, **24**: 1296 ~ 1302
- [3] 周淑贞, 束炯. 城市气候学. 北京: 气象出版社, 1994. 244 ~ 404
Zhou Shuzhen, Shu Jiong. *Urban Climatology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1994. 244 ~ 404
- [4] 周明煜. 北京地区热岛和热岛环流特征. *环境科学*, 1980, **5** (16): 33 ~ 35
Zhou Mingyu. Characteristics of heat island and its circulation over Beijing. *Chinese Journal of Environmental Sciences* (in Chinese), 1980, **5** (16): 33 ~ 35
- [5] 彭少麟, 周凯, 叶有华. 城市热岛效应研究进展. *生态环境*, 2005, **14** (4): 574 ~ 579
Peng Shaolin, Zhou Kai, Ye Youhua. Research advances about effect of urban heat island. *Chinese Journal of Eco-*

- logical Environment* (in Chinese), 2005, **14** (4): 574 ~ 579
- [6] 佟华, 刘辉志, 胡非, 等. 城市规划对大气环境变化及空气质量的影响. *气候与环境研究*, 2003, **8** (2): 860 ~ 872
Tong Hua, Liu Huizhi, Hu Fei, et al. The impact of urban layout on changes of atmospheric environment and air quality. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (2): 860 ~ 872
- [7] 佟华, 刘辉志, 桑建国, 等. 城市人为热对北京热环境的影响. *气候与环境研究*, 2004, **9** (3): 409 ~ 421
Tong Hua, Liu Huizhi, San Jianguo, et al. The impact of urban Anthropogenic Heat on Beijing Heat Environment. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (3): 409 ~ 421
- [8] 肖荣波, 欧阳志云, 李伟峰, 等. 城市热岛的生态环境效应. *生态学报*, 2005, **25** (8): 2055 ~ 2060
Xiao Rongbo, Ou Yang Zhiyun, Li Weifeng, et al. A review of the eco-environmental consequences of urban heat islands. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese), 2005, **25** (8): 2055 ~ 2060
- [9] 于淑秋, 卞林根, 林学椿. 北京城市热岛“尺度”变化与城市发展. *中国科学 (D 辑)*, 2005, **35** (增刊 1): 97 ~ 106
Yu Shuqiu, Bian Linggen, Lin Xuechun. Scale change of urban heat island and city development in Beijing. *Sciences in China* (Ser. D) (in Chinese), 2005, **35** (Suppl.): 97 ~ 106
- [10] 周志恩, 蒋维楣, 苗世光, 等. 气象卫星与城市气象环境模拟研究. *气候与环境研究*, 2004, **9** (3): 465 ~ 474
Zhou Zhien, Jiang Weimei, Miao Shiguang, et al. The meteorological satellite and numerical simulation research on the urban meteorological environment. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (3): 465 ~ 474
- [11] 柏晶瑜, 徐祥德, 刘瑞云. 对晴空 TBB 资料的变分订正在青藏高原地温研究中的应用. *计算物理*, 2001, **4**: 298 ~ 302
Bai Jingyu, Xu Xiangde, Liu Duanyun. Application of TBB data processed by variational method to study on ground temperature in Tibetan Plateau. *Chinese Journal of Computational Physics* (in Chinese), 2001, **4**: 298 ~ 302
- [12] 徐祥德, 许健民, 王继志, 等. 大气遥感再分析场构造技术与原理. 北京: 气象出版社, 2003. 58 ~ 91
Xu Xiangde, Xu Jianmin, Wang Jizhi, et al. *Technology and Theory about Construct of Reanalysis Field of Atmospheric Remote Sensing* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 58 ~ 91
- [13] 周秀骥, 徐祥德. 2000 年春季沙尘暴动力学特征. *中国科学 (D 辑)*, 2002, **32** (4): 327 ~ 334
Zhou Xiujie, Xu Xiangde. Dynamic characteristics of dust storm in Spring, 2000. *Sciences in China* (Ser. D) (in Chinese), 2002, **32** (4): 327 ~ 334
- [14] 徐祥德, 周秀骥, 翁永辉, 等. 星载 MODIS 资料与地面光度计探测气溶胶变分场. *科学通报*, 2003, **15**: 1680 ~ 1685
Xu Xiangde, Zhou Xiujie, Wen Yonghui, et al. A study on spatial distribution of aerosol optical depth with MODIS data and AOD observed by photometer on the surface using variational method. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2003, **15**: 1680 ~ 1685
- [15] 徐祥德. 城市化环境大气污染模型动力学问题. *应用气象学报*, 2002, **13** (增刊): 1 ~ 12
Xu Xiangde. Dynamic issues of urban atmospheric pollution models. *Chinese Journal of Applied Meteorological Sciences* (in Chinese), 2002, **13** (Suppl.): 1 ~ 12
- [16] 徐祥德, 汤绪. 城市化环境气象学引论. 北京: 气象出版社, 2002. 145 ~ 153
Xu Xiangde, Tang Xu. *Introduction to Environmental Meteorology Caused by Urbanization* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2002. 145 ~ 153
- [17] 张光智, 徐祥德. 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** (增刊): 43 ~ 50
Zhang Guangzhi, Xu Xiangde. A study of characteristics and evolution of urban heat island over Beijing and its surround area. *Chinese Journal of Applied Meteorological Sciences* (in Chinese), 2002, **13** (Suppl.): 43 ~ 50
- [18] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999. 35 ~ 37
Wei Fengyin. *Statistic Diagnosis and Forecast Technology in Modern Climatology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999. 35 ~ 37