

北京夏季城市热岛现状及楔形绿地规划 对缓解城市热岛的作用*

佟 华¹⁾ 刘辉志²⁾ 李延明³⁾ 桑建国⁴⁾ 胡 非²⁾

¹⁾(国家气象中心,北京 100081)

²⁾(中国科学院大气物理研究所,北京 100029)

³⁾(北京市园林科学研究所,北京 100102)

⁴⁾(北京大学物理学院大气科学系,北京 100871)

摘 要

通过遥感技术与地面测定相结合的方法,对北京城市热岛现状作观测研究,得到北京城市地面的温度分布特点。使用北京大学城市边界层模式从气象观点就“楔形绿地”规划对北京城市气候的影响进行研究和评价,模式通过对城市地表复杂性和多样性的特征进行细致描述,建立了一个细致模拟城市特点的城市边界层能量平衡模式,并用此能量平衡模式得到的地面温度作为下边界条件,中尺度气象模式 MM5 做初始场和侧边界条件,建立一个最小分辨率为 500 m 的城市边界层模式系统,来研究城市边界层在中尺度背景场作用下的精细结构。通过个例模拟,模式能够较准确地模拟城市边界层的风温场分布情况,可以用来对楔形绿地规划进行模拟试验。通过对规划后的气象场在特定的气象条件下进行模拟,结果显示,建造大型的楔形绿地后,绿地区域及绿地周围约 1 km 以内的地区温度有所降低,降低的程度由规划前后的地表类型改变的剧烈程度、风速大小及与绿地的距离决定,但是这种规划方案却会因城市的下风方向的风速减小而导致通风不畅。

关键词:城市热岛 “楔形绿地”规划 城市边界层模式

引 言

随着我国经济的高速发展和城市化进程的加剧,城市规模迅速膨胀,城市人口急剧增长,城市建筑物越来越密集,以及成倍增长的机动车辆及工业生产,已经给整个城市的生态环境带来严重破坏。以热岛效应为代表的热环境变化,作为影响城市环境质量的重要因素,也越来越引起人们的重视,尤其是夏季,高温酷暑已经开始严重地影响到人们的正常生活和工作。北京作为我国的首都和国际大都市,2008 年夏季奥运会举办城市,对城市环境质量具有更高的要求。然而,就城市的热环境来说,北京的热岛效应也已经发展到了相当严重的程度,如 2000 年夏季,北京市持续高温时间超过了一周,最高气温曾高达 42.6 °C,一度成为了华北乃至全国的高温中心之一。因此,缓解城市热岛效应,对于改

* 国家自然科学基金项目 59895410、中国科学院知识创新工程项目 KZCX2-204H 和 LAPC-KF-2002-08 项目共同资助。

2003-09-03 收到,2004-02-21 收到修改稿。

善整个城市的生态环境,提高人民的生活质量,维持城市可持续发展都具有重要的意义。研究表明,植被可以降低当地和下风方向的空气温度^[1],节约在炎热天气下制冷所需的能源,降低城市热岛强度^[2]。从理论上讲,当空气经过某种地表类型上空时,下垫面的粗糙度、湿度、温度对空气的温度、湿度以及风速有显著的影响。根据 Oke^[3]给出的边界层定义,当空气经过的下垫面发生改变时,可将这时的边界层分为内边界层和外边界层,内边界层为从下垫面发生变化的点开始水平方向每增加 100 ~ 300 个单位垂直方向增加 1 个单位,而外边界层为从下垫面发生变化的点开始水平方向每增加 10 ~ 30 个单位垂直方向增加 1 个单位。这个变化的比率根据下垫面改变前后表面粗糙度的相对变化及空气稳定度的不同而有所变化。可以认为内边界层完全受下垫面的影响,而外边界层则受下垫面和上风向下垫面的共同影响。因此可以说空气经过不同的下垫面时,上风向下垫面性质会对其下风向下垫面的周围环境造成影响。另外绿地因蒸腾作用散失的热量高于所得到的太阳辐射能,温度降低,空气冷却收缩下沉,地面气压升高,气压高的气流从绿地吹向非绿地,形成局部环流,在地面导致绿地的“可透性现象”。这种温度梯度引起的局地环流,客观上起到了降低周围环境气温的作用。对绿化覆盖率和热岛强度进行的抽样统计和分析表明^[4],绿化覆盖率越高,热岛强度越低。当一个区域绿化覆盖率大于 30% 时,绿地对热岛有较明显的削弱作用,覆盖率大于 50%,绿地对热岛的削减作用极其明显。通过典型的抽样分析结果显示,规模大于 3 hm²,覆盖率达到 60% 以上的集中绿地,其内部的热辐射强度明显降低,基本与郊区自然下垫面热辐射强度相当。在城市中形成以绿地为中心的低温区域,成为人们户外休憩活动的最优良环境。

Taha 等人^[5-6]应用一个城市气候模式分析了增加城市植被对气象场和臭氧空气质量的影响,他指出增加城市植被对气象场最显著的影响是降低空气温度,而空气温度的降低又从很多方面影响空气质量。Hutchison 等人的^[7]研究也指出开阔的绿地对其毗邻的城区有降温作用。相反,减少植被增加建筑物的面积,由于建筑物的热容量较原来的大以及人为热的增加,而植被蒸发蒸腾消耗的潜热较原来减小,气象场和空气质量也将会随之改变。Urano 等人^[8]通过一个中尺度气候模式研究如何通过改变建筑物高度和密度的分布及人为热释放来改善城市热岛强度。Yokohari 等人^[9]运用一个简单的内边界层模式模拟东京城郊夏季空气从稻田流入开放于稻田的街道时温度的变化,结果表明,开放于稻田的街道温度受到稻田的影响而降低,与观测值相符。上述研究都说明可以通过边界层模式来预测城市规划对城市温度分布的影响。

1 北京城市热岛现状观测研究

对于北京城市热岛的现状,北京园林科研所与中国科学院遥感卫星地面站合作,采用遥感技术与地面测定相结合的方法,利用 2000 年和 2001 年的 TM 卫星热红外影像数据,实现了热岛影像图的建立并以此为基础进行相关分析。具体方法为:采用 TM 卫星的热红外影像数据,经过对卫星遥感影像的信息提取和图像处理,形成城市热场特征的亮度影像。并在了解和预测了北京城市地面温度分布特点的基础上,分别布设了 16 个测定点。市区测点包括大栅栏(炭儿胡同)、海淀区政府、亚运村(五洲大酒店)、三里屯、车道沟;道

路和铺装广场测定点以天安门(广场)、北京站(广场及西街)、王府井(南口)、阜城门立交桥为代表;工业区测点的代表为首钢(厂东门),集中绿地测点为北海公园、天坛公园、景山公园等。郊区测点:朝阳区洼里片林、上庄镇。各测点依据环境的特点,分别以铺装地面、绿地表面和建筑物墙面为对象,进行温度测定。在卫星过境的时刻(10:00(北京时,下同)),各测定点同时读取温度数值,获得典型绝对数值。以地面温度校正亮度影像,进行地面热辐射状况的分级,建立城市热岛遥感影像图。在热岛图上,依据地面热辐射强度的不同,将北京城市的地面热辐射分为5个等级:一级热辐射区即强热岛,二级热辐射区为次强热岛,三级为过渡区,四级为比较凉爽的区域,五级为最凉爽的区域。结果显示,北京二环路以内热岛的总面积达到了52.61%,四环路内热岛面积占总面积的41.84%,大栅栏、东铁匠营、西直门、旧城区东北部和西北部等区域是京城的6大“热岛”。但即使在最热的日子里,北京城区内还是保留着6个难得的“凉吧”,即天坛、北海、玉渊潭、紫竹院、动物园和龙潭公园,它们都是绿地集中的园林。

2 “楔形绿地”规划介绍

2008年北京奥运会是在北京每年最热的8月份举行,针对热岛现象及2008年北京奥运会,园林专家提出必须用多种树、种草,提高城市绿化的总体水平来缓解占北京一半以上面积的热岛效应。在城市中形成以绿地为中心的低温区域,提供人们户外休憩活动的优良环境。最有力的证明是,在测定的6个热岛区域,由于五棵松地区有了大片的绿化区,2002年观测到的热岛影像图中,五棵松上空的热岛效应基本消失。同时专家又提出了最新观点和大胆设想,建设城市绿色通风道,把郊区的清洁凉爽空气引入城区。根据最新的北京绿地系统规划,专家建议,沿城市主导风向,在城区的5个不同方向,建立7条“楔形绿带”,在城市与郊区之间建立绿色生态廊道,将郊区凉爽、洁净的空气引入市内,恢



图1 北京市楔形绿地分布图

复和完善生态系统(图1)。这7条“楔形绿带”分别是:西北方向—六郎庄至动物园,小月河至马甸桥;正北方向—北苑至青年湖,来广营至和平里;东北方向—机场路至东直门;东南方向—亦庄至左安门;西南方向—大葆台至大观园。园林专家认为,如果这一构想能够实施,并在2007年建成,届时,凉爽的轻风、洁净的空气将会沿着绿色通道源源不断地从郊区流入市区。从气象角度看,这个规划构想的效果如何,对缓解城市热岛所起的作用有多大,对城市的风环境和空气污染扩散的影响如何,拟用城市边界层模式进行模拟。

3 北京大学复杂地形下三维城市边界层模式的个例模拟结果

采用北京大学复杂地形下三维城市边界层模式^[10]对“楔形绿带”规划对城市气象场的影响进行模拟,模式采用中尺度模式MM5作为初始条件和边界条件,使之既考虑中尺度背景场又详细考虑了城市下垫面复杂性与多样性。

图2为北京大学城市边界层模式的模拟区域,是南北和东西向都为30 km的正方形区域,它包括了整个北京城区、城郊接合部及部分郊区。根据北京自身特征,将下垫面分为裸土、草地、林地、水域和建筑物5类,根据这5种类型在同一网格中所占比重来决定某一网格的地表热系数 C_T 、反照率 α 、粗糙度 Z_0 、地表放射率 ε 等参数。

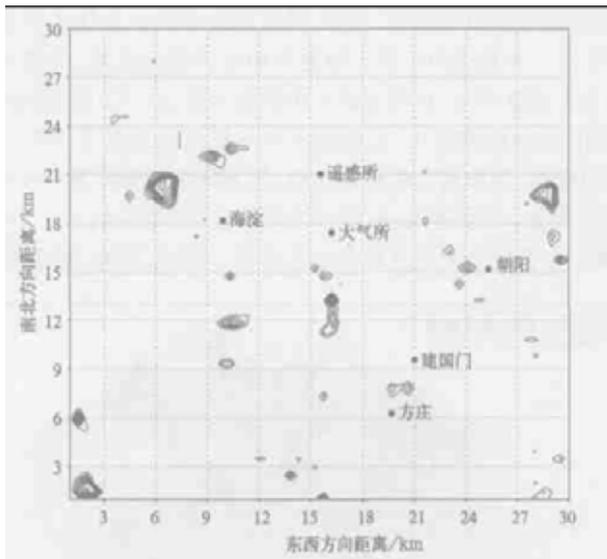


图2 城市边界层模式模拟区域(等值线为水域)

使用中尺度模式MM5做初始场和边界条件,城市地表能量平衡模式计算的地面温度为下边界条件的城市边界层模式对2001年2月20日22:00至21日22:00的北京城市边界层进行个例模拟。图3为20日22:00至21日22:00中国科学院大气物理研究所铁塔所在位置10 m高度处温度观测值与MM5模式及边界层模式模拟值随时间变化的对比图,可见,观测结果显示从20日22:00至21日07:00大气物理研究所铁塔位置10 m高度温度从275 K缓慢降至272.5 K,之后温度开始上升,直到14:00升至288 K,然

后缓慢下降至次日 06:00。MM5 模式和边界层模式模拟的水平温度场随时间的变化同观测值相比符合的都较好,但边界层模式对 21 日的最高温度的模拟较 MM5 模式更加准确,这是对能量平衡考虑得更为详细的结果。

图 4 为 2001 年 2 月 20 日 22:00 至 21 日 22:00 大气物理研究所铁塔位置上 10 m 高度处北京大学城市边界层模式与实测值的风向夹角和 MM5 模式与实测值的风向夹角的对比。边界层模式与实测值的夹角在大多数时刻都小于 MM5 模式,表明边界层模式的模拟风向更接近实测值,这是因为边界层模式更加细致的城市下垫面的特点,风场也更好地反应了山谷风和城市热岛的共同影响。

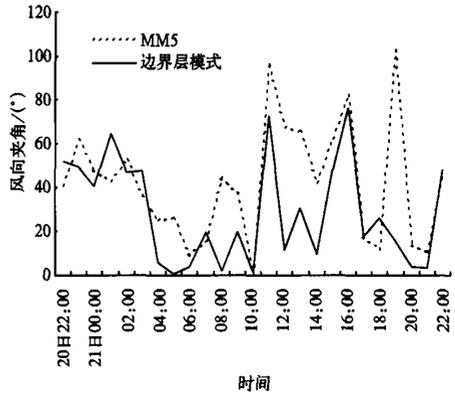
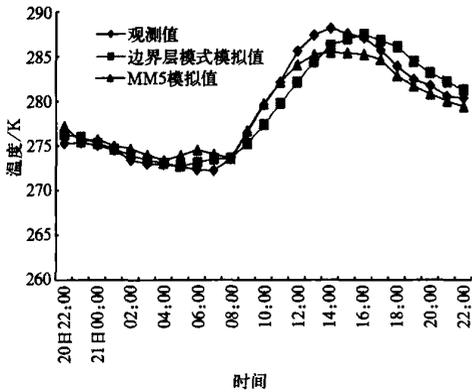


图 3 2001 年 2 月 20 日 22:00 至 21 日 22:00 大气物理研究所位置 10 m 高度的温度观测值与 MM5 模式及边界层模式模拟值随时间变化的对比图

图 4 2001 年 2 月 20 日 22:00 至 21 日 22:00 大气物理研究所铁塔位置上 10 m 高度处边界层模式与实测值的风向夹角和 MM5 模式与实测值的风向夹角的对比图

图 5a 为模拟时段南郊观测点有观测记录的 2001 年 2 月 21 日 10:20 至 22:00 能量平衡各项的太阳短波辐射、太阳辐射反辐射、向下长波辐射和向上长波辐射的观测值随时间变化。图 5b 为利用北京大学边界层模式模拟 21 日 10:00 至 22:00 相同物理量值随时间变化图。对比各物理量的模拟值和观测结果,地表能量平衡方程各分量的模拟值与观

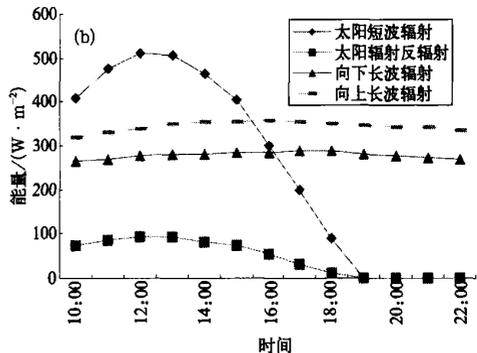
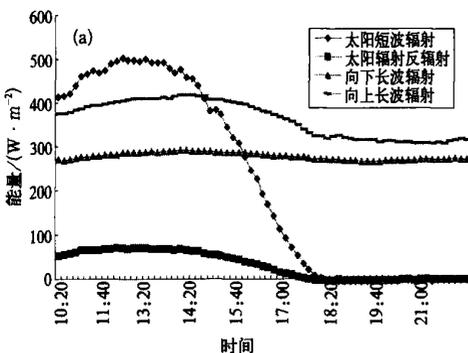


图 5 2001 年 2 月 21 日太阳短波辐射,太阳辐射反辐射,向下长波辐射和向上长波辐射随时间变化(a) 南郊观测值,(b) 北京大学边界层模式模拟值

测值相比,太阳短波辐射、太阳辐射反辐射及向下长波辐射较准确,而向上长波辐射较观测值偏小一些。说明地表能量平衡方案以及地表参数较准确。

总之,通过对模拟个例近地面风向和温度的模拟结果与观测资料的对比表明,加入了中尺度模式做背景场的城市边界层模式由于充分考虑了城市边界层对气象要素的影响,其结果较中尺度模式更加符合观测结果,说明模式是可以用来进行数值模拟试验的。

4 “楔形绿地”模拟结果和分析

依据个例模拟,采用此方法对“楔形绿地”规划对城市气象场影响进行分析。根据气候统计资料,北京全年盛行风为北风,频率占26%;南风为次多风,频率占22%;静风频率为24%。而“楔形绿地”规划也是依据了主导风向而作出的。所以数值试验就依据北京的主导风向,来模拟北京盛夏的城市气象场特征。此试验模拟了北京8月初,06:00~14:00,风向分别为北北西风和西南风时北京的城市气象特征。

初始风场分别设为

$$\text{北北西风:} \begin{cases} u(z) = 0.5 \times (z/10)^{0.14} \\ v(z) = -1.0 \times (z/10)^{0.12} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{西南风:} \begin{cases} u(z) = 1.0 \times (z/10)^{0.14} \\ v(z) = 1.0 \times (z/10)^{0.12} \end{cases} \quad (2)$$

温度初始场设为水平均匀:

$$\theta = \begin{cases} 298 + 0.01 \times z & z \leq 300 \text{ m} \\ 298 + 0.01 \times 300 + 0.005 \times z & z > 300 \text{ m} \end{cases} \quad (3)$$

根据规划,“楔形绿带”规划区的地表类型初定为50%草地,20%林地,30%建筑物,网格中建筑物高度设为与规划前相同。模式中各种地表类型的参数值同参考文献[10],模式分辨率仍为500 m。

图6为规划后模拟区域草地在网格中比重的分布情况。模拟范围为东西向和南北向各30 km的北京城区及近郊。与规划图相比,模拟区域中,菜户营楔形绿地的南面一部分没有包括在模拟区域范围内。小月河楔形绿地由于宽度太小,很多地方不到1个网格,且其对整体情况影响很小,故没有考虑。模拟区域西北角超出规划市区的边界,令其地表类型与六郎庄楔形绿地相同。上述这些差异都不会对模拟的总体特征造成影响。

首先模拟了初始风场为北北西风的情况下,从10:00目前状况的水平温度场分布(图略)可以看出,整个城区大部分的温度明显高于近郊约2~4℃,最高温度位于二环附近,而热岛分布范围与城区形状存在很好的对应关系。同时,可清楚地看到遥感卫星观测到的几个“凉岛”,如北海、玉渊坛、天坛、龙潭湖等,说明温度场水平分布的模拟结果与卫星遥感结果是相符的。

图7为初始风场为北北西风时,“楔形绿地”规划建成后与目前状况的地表水平温度(模式底层气温)的偏差。由图可见,楔形绿地内温度较周围温度偏低,平均偏低1~2℃。而从规划前后的温度对比图看,地面温度较楔形绿地建成前明显降低,降低幅度为1~5℃,而且越靠近市中心温度变化越大,这说明规划对现有土地利用类型的改变越大,热岛

效应的改善越明显。如西直门和东直门附近温度将降低 $4 \sim 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,大大缓解目前西直门、旧城东北和旧城西北强热岛的状况。另外还可以看出楔形绿地对其周围尤其是下风方向的温度也存在影响。在北风情况下,城区北部大部分地区温度都可以受到楔形绿地的影响,北部几条楔形绿地周围 $0.5 \sim 1 \text{ km}$ 范围温度可降低 $0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,尤其在楔形绿地的下风方向如在六郎庄楔形绿地的南面降温范围可达 3 km ,说明绿地面积越大对周围热环境的改善效果越明显。同样在南风情况下城区南部的大部分地区温度状况有改善(图略)。

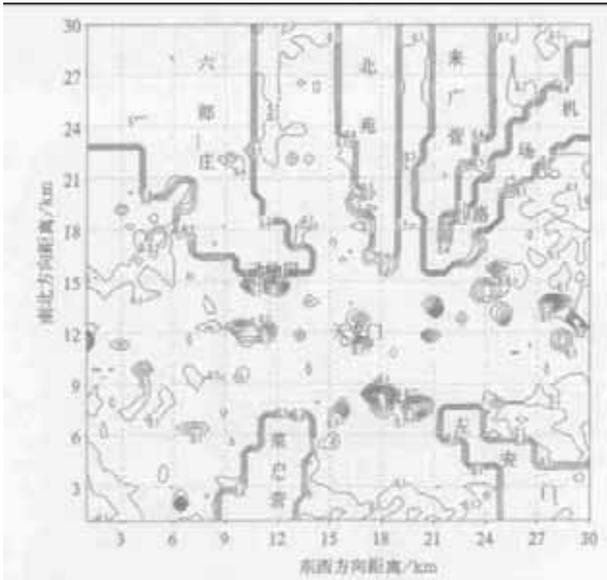


图 6 模拟区域规划后草地在网格中的比重分布

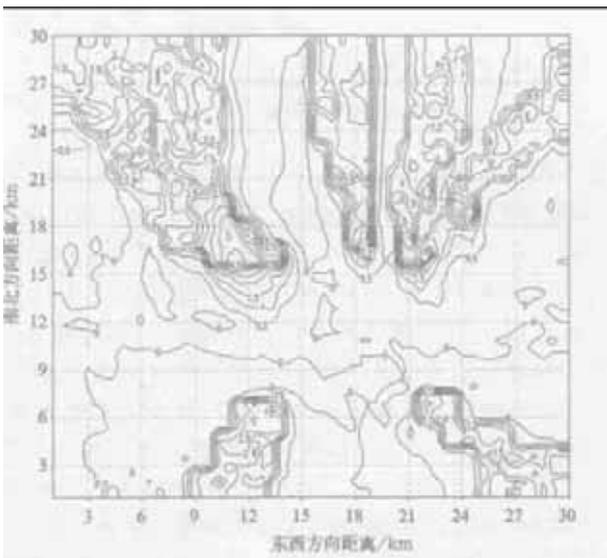


图 7 初始风场为北北西北风时有、无“楔形绿地”地表水平温度差值(单位： $^{\circ}\text{C}$)

初始风场为北北西风时,“楔形绿地”规划建成后与目前状况的地表水平风场的差值(图8)可以看到,楔形绿地建成后,风速在模拟区域的北部和西部的上风方向风速较大,东南部的下风方向风速较小,风场在城市中部温度高值区产生较强的辐合。通过与建成前的对比,表明由于绿地与周围温度梯度的增加,使得从绿地吹向四周的风速增加,即北部的绿地使偏北风增加,南部的绿地使偏北风减弱。区域北部风速增加的地区延伸到了楔形绿地以南近5 km的地区,清凉的空气可以进入市区。但下风方向即城市的东南部的风速却较原来的情况有所减小,使下风方向的通风能力下降,同时,在城市中心高温区的风场水平辐合加强。在南风情况下,南部的偏南风较原来增加,北部的风速较原来降低,使北部的通风能力下降(图略)。

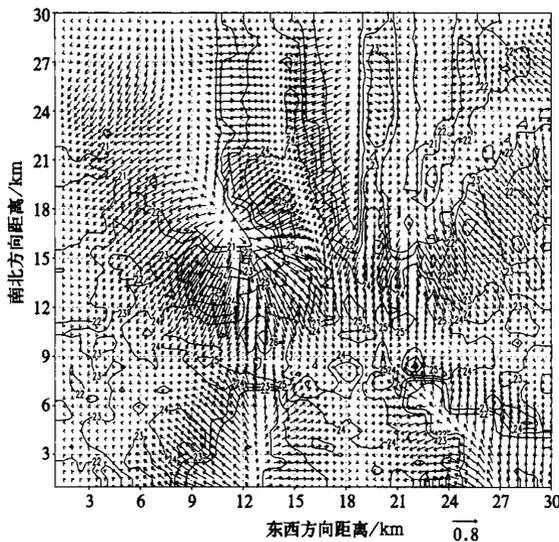


图8 初始风场为北北西风时有、无“楔形绿地”
地表水平风场差值(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

由上分析得出不论偏南风还是偏北风,初始场为北北西风的条件下,由于城市和郊区的温度梯度增加,使城市中心的风场辐合增强,加剧污染物在城市中心区的堆积,且使温度平流受到阻碍。所以在模拟个例这个特定的风温场条件下,大型“楔形绿地”对绿地内部及绿地周围部分区域的温度降低有很大作用,但将清凉的空气引入市区的想法只对上风方向的部分地区起作用,而不能解决所有地区的问题。同时,增加的城市中心的风场辐合会对温度平流和污染输送造成阻碍,给城市环境和气候造成负面影响。基于这一结论,可以考虑将绿带分块均匀地散布于城市的多个位置,使城市的绝大多数地方能够得到从温度较低的绿地吹来的清凉空气,又可以避免城郊温度梯度增加所带来的一系列问题。而目前的绿地规划中还有三环环绕—五、六环路之间的绿色生态环、隔离地区的公园环、二环绿色景观环带绿色城墙;十字绿轴—长安街和南北中轴及其延长线几个绿地规划,共同组成点、线、面相结合的绿地系统,可以在一定程度上缓解城市热岛效应。

5 结 语

文中所得出的结论仅是在特定的气象条件下用一个个例得到的模拟结果,尚需进一步的观测资料加以验证。由于对城市表面的状况调查仍不够精确,且城市的地表及建筑物的状况变化很快,没有及时进行地表类型资料调查修正,无法对所有热岛的精确分布作出模拟,还需对城市的地理信息更加准确地调查。我们认为可以通过不同的气象条件如风速及稳定度的变化进行试验,将全部绿地规划的影响综合考虑作出评价。这一切都需要在今后的工作中研究解决。

参 考 文 献

- 1 Taha H, Akbari H, Rosenfeld A. Heat island and oasis effects of vegetative canopies: micrometeorological field measurements. *Theor appl Climatol*, 1991, **44**: 123 ~ 138.
- 2 Akbari H, Kurn D M, Bretz S E, et al. Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energie Buildings*, 1997, **25** (2): 139 ~ 148.
- 3 Oke T R. *Boundary Layer Climates*. Methuen, London, 1987.
- 4 周红妹,丁金才,徐一鸣,等. 城市热岛效应与绿地分布的关系监测和评估. *上海农业学报*, 2002, **18**: 83 ~ 88.
- 5 Taha H. Modeling impacts of increased urban vegetation on ozone air quality in the south coast air basin. *Atmos Environ*, 1996, **30**(20): 3423 ~ 3430.
- 6 Taha H, Konopacki S, Akbari H. Impacts of lowered urban air temperatures on precursor emission and ozone air quality. *Journal of The Air & Waste Management Association*, 1998, **48** (9): 860 ~ 865.
- 7 Hutchison B A, Taylor F G. Energy conservation mechanisms and potentials of landscape design to ameliorate building microclimates. *Landscape J*, 1983, **2**(1): 19 ~ 39.
- 8 Urano A, Ichinose T, Hanadi K. Thermal environment simulation for three dimensional replacement of urban activity. *J Wind Eng Ind Aero*, 1999, **81**: 197 ~ 210.
- 9 Yokohari M, Brown R D, Kato Y, et al. The cooling effect of paddy fields in summertime air temperature in residential Tokyo, Japan. *Landscape and Urban Planning*, 2001, **53**: 17 ~ 27.
- 10 佟华,桑建国. 北京海淀地区大气边界层的数值模拟研究. *应用气象学报*, 2002, **13**(特刊): 51 ~ 60.

ACTUALITY OF SUMMER URBAN HEAT ISLAND AND THE IMPACT OF URBAN PLANNING “ WEDGE-SHAPED GREENLAND” TO REDUCING THE INTENSITY OF URBAN HEAT ISLAND IN BEIJING

Tong Hua¹⁾ Liu Huizhi²⁾ Li Yanming³⁾ Sang Jianguo⁴⁾ Hu Fei²⁾

¹⁾ (*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

²⁾ (*Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029*)

³⁾ (*Beijing Institute of Landscape Gardening, Beijing 100102*)

⁴⁾ (*Department of Atmospheric Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871*)

Abstract

Based on the remote sensing and surface observations, the actuality of urban heat island and the temperature distribution characteristics of urban land surface in Beijing are obtained. Using urban boundary layer model of Peking University, the study focuses on the impact of “Wedge-shaped greenland” plan on Beijing urban climate in the view of meteorology. This three-dimension urban boundary layer model is developed by using surface temperature calculated by energy balance model as lower boundary condition, and using mesoscale model MM5 as initial condition and lateral boundary conditions. This modeling system is used to investigate detailed structure of urban boundary layer under mesoscale background. Through case simulation, model system can simulate the characteristics of wind and temperature field correctly, and it can be used to do some test for the planning “Wedge-shaped greenland”. And the simulation result shows that this plan can reduce the temperature in and around the greenland, but it can result in the wind velocity reduction and bad ventilation in the downwind of the urban area.

Key words: Urban heat island Wedge-shaped greenland Urban boundary layer model