

城市规划对大气环境变化及 空气质量的影响*

佟 华¹⁾ 刘辉志²⁾ 胡 非²⁾ 桑建国¹⁾

1) (北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871)

2) (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)

摘 要 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象场和大气环境, 并分析了规划区的建成对本地和整个海淀区的影响。通过将观测的直径小于 $10\ \mu\text{m}$ 的粒子即 PM_{10} 总量加权分配得到源强分布, 计算海淀区的 PM_{10} 浓度分布, 在目前源强分布调查很困难的情况下不失为一种较为合理可行的方法。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和 PM_{10} 浓度。对规划区进行较为合理的布局, 如相对增加树木减少建筑物的面积将会缓和上述影响。

关键词: 区域环境变化; 空气质量; 热岛效应

P4 A

1 引言

随着经济的发展, 人口不断增加, 城市规模也在不断扩大, 经常会在城市的近郊建立一些开发区或小镇, 这样原来的植被将被道路或建筑物等所代替。在以前的研究中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^[2]。Taha^[3]分析了增加城市植被对气象场和臭氧空气质量的影响, 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^[4]。相反减少植被增加建筑物的面积, 由于建筑物的摩擦和热岛效应以及人流量和车流量的增大, 气象场和空气质量也将会随之改变。根据北京海淀区北部总体规划方案, 这个地区的地表状况在规划完成后将会发生很大变化。为了研究海淀区气象场和空气质量的特征和变化状况, 采用北京大学研制的复杂地形下三维中尺度大气边界层模式对其特征进行模拟, 为区域规划的优化提供一些有益的参考。

PM_{10} (直径小于 $10\ \mu\text{m}$ 的粒子) 是对人体健康危害最大的污染物之一^[5]。而对 PM_{10} 污染源强分布的调查却作的很少。Cantanho^[6]对巴西圣保罗的 PM_{10} 源强分布作了研究, 得到结论为 PM_{10} 的重要来源是汽车尾气和地面尘土。王伟等^[7]根据对交通来源不同粒径颗粒物平均排放因子的测定和计算, 可知机动车排放颗粒物主要存在于粒径较小的颗粒中, 北京市交通来源 PM_{10} 的发生量为 $6.7 \times 10^4\ \text{t a}^{-1}$ 。因此得知城市区

2002-01-07 收到, 2003-03-16 收到再改稿

* 国家自然科学基金资助项目 59895410 及中国科学院知识创新工程项目 KZCX-204 资助

域内 PM_{10} 的分布是十分必要的。

长期以来很多学者通过不同方法对城市边界层的气象和环境特征进行了大量的数值模拟研究, 得出了许多有益的结论。Seaman^[8] 改进了 PSU/NCAR 中尺度气象模式, 利用双向嵌套网格和实测的初边条件, 模拟了美国密苏里圣路易斯城市行星边界层的温度、边界层厚度、比湿和风场等特征, 以及城市的地表面水汽通量、辐射过程和不同的地表粗糙度等对城市化的影响。模拟表明位于城市下风向的热岛中心风速相对较小, 而城市化导致的地表蒸发减少是城市湍流边界层维持和发展的最重要因素。王卫国和蒋维楣^[9] 建立了一个非静力的三维细网格边界层模式, 对青岛地区复杂下垫面条件下的边界层结构和湍流特征作了数值模拟, 模式采用了能量闭合方案以提高空间分辨率和模式精度, 模拟以实测资料为初始输入, 对青岛地区风和湍流场作了较细致的模拟分析。这里我们采用三维中尺度模式, 模拟城市规划对气象场及空气质量的影响。

2 数值模式

复杂地形下的三维中尺度大气边界层模式包括两部分: 流场模式和浓度计算模式。流场模式采用地形追随垂直坐标变换的大气动力热力学方程组, 包括水平动量方程、准静力方程、连续方程和热力学方程, 通过输入初始时刻的气象场资料, 计算输出一段时间以后模拟区域各个格点上的风速和温度等气象要素分布。浓度计算模式是在已知网格点上流场和湍流场状态的基础上采用平流扩散方程, 根据输入的污染源资料计算出污染物浓度的空间分布和时间演变。

2.1 模式方程组

为了反映下边界地表的起伏, 模式采用了地形追随的垂直坐标变换

$$\bar{z} = H \frac{z - z_g}{H - z_g},$$

其中 $z_g = z_g(x, y)$ 为地形高度, z 为笛卡儿坐标系 (x, y, z) 中的垂直坐标, $\bar{z}$ 为变换后的垂直坐标, H 为模式的顶部高度。

三维大气动力热力学方程组为

$$\frac{du}{dt} = -\theta \frac{\partial \pi}{\partial x} + g \frac{\bar{z} - H}{h} \frac{\partial z_g}{\partial x} + F_u, \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\theta \frac{\partial \pi}{\partial y} + g \frac{\bar{z} - H}{H} \frac{\partial z_g}{\partial y} + F_v, \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = F_\theta, \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{z}} - \frac{u}{H - z_g} \frac{\partial z_g}{\partial x} - \frac{v}{H - z_g} \frac{\partial z_g}{\partial y} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \bar{z}} = -\frac{H - z_g}{H} \frac{g}{\theta}, \quad (5)$$

$$\frac{dc}{dt} = F_c + Q, \quad (6)$$

其中, $\pi = c_p (P/P_0)^{R/c_p}$ 为表示气压的 Exner 函数, $P_0 = 1\,000$ hPa, R 是干空气气体常数; $\bar{w}$ 为 $(x, y, \bar{z})$ 坐标系中的垂直速度,

$$\bar{w} = w \frac{H}{H - z_g} + \frac{\bar{z} - H}{H - z_g} u \frac{\partial z_g}{\partial x} + \frac{\bar{z} - H}{H - z_g} v \frac{\partial z_g}{\partial y}.$$

全微分 d/dt 可表示为

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial}{\partial \bar{z}},$$

湍流项可表示为

$$F_\varphi = K_H \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{H}{H - z_g} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left(K_z \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{z}} \right),$$

其中, φ 代表 u 、 v 、 θ 、或 c , K_H 和 K_z 分别为水平和垂直湍流扩散系数, Q 为污染源强度。

垂直湍流扩散系数 K_z 由湍流混合长 l 和湍流混合速度 V_m 决定, $K_z = V_m l$, 其中

$$V_m \propto \sqrt{e},$$

湍流动能为

$$e = \frac{1}{2} \sqrt{u'^2 + v'^2 + w'^2}.$$

垂直扩散系数 K_m 、 K_θ 和 K_E 分别表示为

$$K_m = S_m l \sqrt{2e}, \quad (8)$$

$$K_\theta = \alpha S_m l \sqrt{2e}, \quad (9)$$

$$K_E = S_q l \sqrt{2e}, \quad (10)$$

这里 $S_q = 0.2$, S_m 和 α 是通量 Richardson 数的函数^[10]。

2.2 陆面模式

由于城市下垫面是一个十分复杂的物理界面, 其性质的不均匀性与热力效应可以形成城市边界层特定的风场和温度场, 这里我们采用地表能量平衡模式来模拟地表温度变化的物理过程。影响地表能量平衡的因子包括净辐射通量、感热和潜热通量、土壤热流量和人为排放热通量。模式将模拟区域按不同的土地利用类型分成若干单元, 每个单元按其特征(粗糙度 Z_0 、地表热系数 C_T 、地表反射率 α 等)进行参数化, 而后计算其每个单元的地面能量通量及格点温度。

地表温度 T_s , 土壤平均温度 T_2 的预报方程可表示为

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = C_T (R_n - H - LE) - \frac{2\pi}{\tau} (T_s - T_2), \quad (11)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{1}{\tau} (T_s - T_2), \quad (12)$$

其中, C_T 为地表热系数, 反映了地表的热容量, 是与地表类型有关的参数; H 和 LE 分别表示感热通量和潜热通量; τ 为时间常数。净辐射通量为 $R_n = K^* + L^*$, K^* 和 L^* 分别为净短波和净长波辐射通量, K^* 的表达式为

$$K^* = (1 - \alpha) S_0 \cos Z (C)^{(1/\cos Z)},$$

其中, S_0 为太阳常数, Z 是太阳高度角, α 为地面反照率, C 为削减系数, 取为 0.9。天顶角 Z 定义为

$$\cos Z = \cos \varphi \cos \delta \cos t + \sin \delta \sin \varphi, \quad (13)$$

其中, φ 为地理纬度, δ 为太阳赤纬, t 为时角。

净长波辐射可表示为

$$L^* = -\epsilon\sigma T_s^4 + \epsilon_a\sigma T_a^4,$$

其中, T_s 为地表温度; ϵ 为地表放射率; σ 为 Stefan-Boltzmann 常数; T_a 为空气温度; ϵ_a 为大气放射率, 可用一经验公式表示

$$\epsilon_a = A (P_a/T_a)^{0.14},$$

其中, P_a 是比湿, 取为 11; $A=1.24$ 为一常数。

感热通量的表达式为

$$H = \rho_a c_p C_H |u| (T_s - T_a),$$

其中, ρ_a 为空气密度, C_H 为拖曳系数。

潜热通量的贡献来自于植被和林地的蒸腾 LE_g 和 LE_t 以及土壤和水域表面的蒸发 LE_s 和 LE_w 。其中, L 为汽化热, E_t 、 E_g 、 E_s 和 E_w 表示为

$$E_t = \rho_a T_r \frac{R_a - R^*}{r_a + \frac{r_s}{I_t}}, \quad (14)$$

$$E_g = \rho_a G_r \frac{R_a - R^*}{r_a + \frac{r_s}{I_g}}, \quad (15)$$

$$E_s = \rho_a S_o \frac{R_a - R^*}{r_s}, \quad (16)$$

$$E_w = \rho_a W_a \frac{R_a - R^*}{r_s}, \quad (17)$$

其中, T_r 、 G_r 、 S_o 和 W_a 分别代表林地、植被、土壤和水域的覆盖率, I_t 和 I_g 为林地和植被的叶面指数, R_a 和 R^* 分别为空气比湿和饱和比湿, r_a 和 r_s 分别为气动阻力和地面阻力^[11]。

2.3 参数选取

规划前的海淀区及其周边地区的地表参数是根据 Landsat-TM 卫星影像图将下垫面分为裸土、植被、林地、水域、和建筑物 5 类, 通过这 5 种类型的下垫面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 和地表粗糙度 Z_o 等参数。各地表类型特征参数的取法见表 1。

规划建成以后的地表特征是根据“北京海淀区北部地区总体规划——用地规划图”描述, 其中 18 种土地利用情况如表 2。规划后各种土地利用类型的特征参数与规划前相同 (见表 1)。

表 1 各种地表类型的特征参数

	裸土	植被	林地	水域	建筑物
$C_T/10^{-6} \text{ m}^2 \text{ K J}^{-1}$	2.5	2	1.5	1	$2+0.1(h-2.7)$
α	0.25	0.2	0.15	0.1	0.1
Z_o/cm	5.0	15.0	100.0	0.01	$10.0+20.0h$

注: h 为建筑物平均高度。

表 2 规划后土地利用状况 %

	树木	草地或农作物	裸土	建筑物	水域
城镇居住	20	10	0	70	0
高级住宅	20	20	0	60	0
行政办公	20	10	0	70	0
公共设施	20	10	0	70	0
教育科研	20	10	0	70	0
科研备用	20	10	0	70	0
工业用地	20	0	0	80	0
仓储用地	20	0	0	80	0
村庄居住	20	0	10	70	0
乡镇企业	20	0	0	80	0
市政设施	0	0	0	100	0
对外交通	0	0	0	100	0
隔离绿地	100	0	0	0	0
公共绿地	80	20	0	0	0
农业用地	0	80	20	0	0
林地	100	0	0	0	0
绿化带	100	0	0	0	0
河湖水面	0	0	0	0	100

3 模拟结果及分析

根据北京海淀地区长期统计的气候特征，海淀地区的主导风向分别为偏南风 and 偏北风，所以依上两种情况为初始条件，分析模拟海淀地区大气边界层的结构特征。

3.1 数值试验 1

首先选取规划前初始风场为偏北风的情况进行模拟，模拟计算时段为 6 月底 6：00 到 15：00，初始风速随高度呈指数率： $u(z)=0.5\times(z/10)^{0.14}$ ， $v(z)=-3\times(z/10)^{0.12}$ ，初始位温分布取为水平均匀的稳定层结，土壤初始温度取为 290 K。

3.1.1 风场分析

图 1 给出了规划前初始风场为偏北风，15 时 10 m 高度处水平风场。由图 1 可以发现，模拟区域北部大部分为北风控制；而在模拟区域西部山地的附近，由于山的阻挡，出现了绕流。在模拟区域的东南部，即城区部分，风向转为西北风，有向热岛中心辐合的趋势。

3.1.2 温度场分析

规划前 15 时 10 m 高度处水平温度场见图 2。此时海淀区北部平均温度为 23℃左右，而城区的下风方向即模拟区域的东南部温度最高为 29℃，存在较强的热岛效应。

3.1.3 空气质量变化

为了研究规划完成后对海淀区大气环境质量的影响，我们模拟污染物 PM_{10} 的分布特征。根据文献 [7]，北京市区 PM_{10} 的总排放量为 $6.7\times10^4\text{ t a}^{-1}$ 。将 PM_{10} 加权分配，因为建筑物高度和密集程度与城市污染物的排放有很好的对应关系，假定污染源的面源强与这一网格建筑物的平均高度和建筑物所占面积的乘积成正比，得到 PM_{10} 的面源源强分布为 $q_{i,j}=(S_{i,j}h_{i,j})\cdot E/\sum_{i,j}(S_{i,j}h_{i,j})$ ，其中， $q_{i,j}$ 为某一网格的面源强度（单

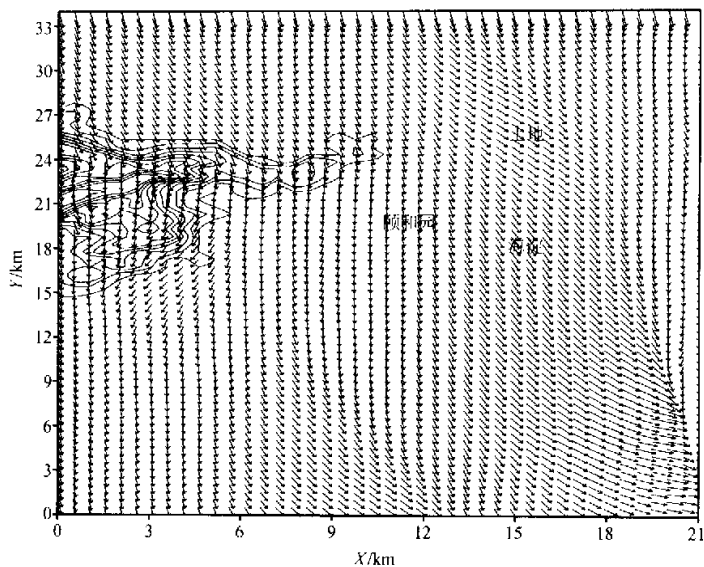


图1 模拟的规划前初始风场为偏北风 15 时 10 m 高水平风场 (实线为地形高度等值线)

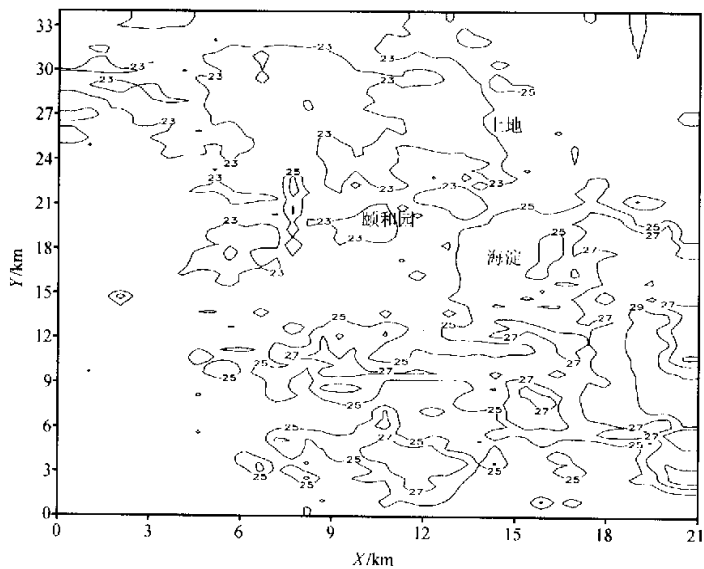


图2 规划前初始风场为北风的 15 时 10 m 高水平温度场 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

位: $\mu\text{g m}^{-2}\text{s}^{-1}$), E 为北京市区 PM_{10} 总排放量, S 、 h 分别为某一网格上建筑物所占的面积和平均高度, I 、 J 为北京市市区的某一网格时, i 、 j 为海淀区模拟区域的网格点。

图3为规划前海淀区的 PM_{10} 日平均浓度。高值区位于模拟区域东南部城区, 最大

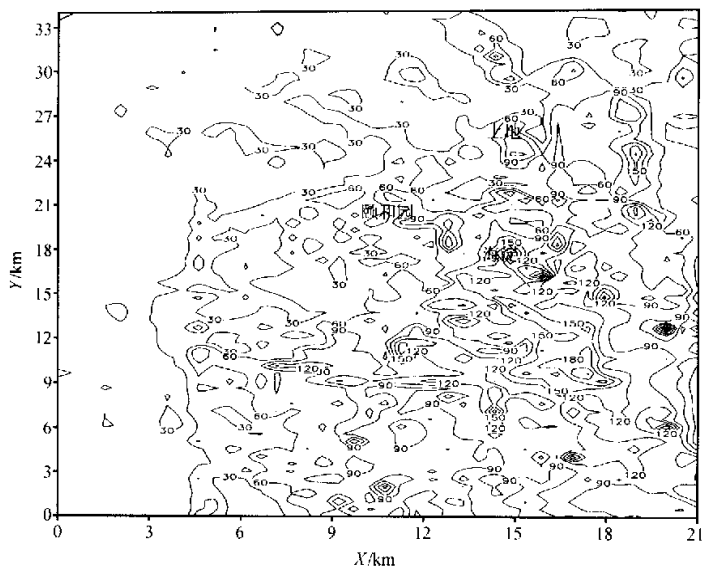


图3 海淀区北部规划前初始风场为北风时的 PM_{10} 日平均浓度 (单位: $\mu\text{g m}^{-3}$)

值为 $180 \mu\text{g m}^{-3}$ 。规划区内 PM_{10} 浓度为 $30 \mu\text{g m}^{-3}$ 。

3.2 数值试验 2

本节模拟规划前初始风场为偏南风的情况, 初始风速 $u(z) = -0.5 \times (z/10)^{0.14}$, $v(z) = 3 \times (z/10)^{0.12}$, 其他条件与数值试验 1 相同。

3.2.1 水平风场分析

图 4 为规划前初始风场偏南风时 15 时 10 m 高度处水平风场。在模拟区域的南部风速较大, 西南部为东南风控制, 东南部为南风控制, 在海淀附近有气流的辐合, 说明热岛出现在市区的下风方向。在模拟区域的北部, 即规划区部分受山体的阻挡和城市热岛的影响, 风速很小。

3.2.2 温度场分析

图 5 给出了偏南风时温度场的分布特征。刮南风时温度场的高值区位于海淀附近, 最高温度 29°C , 规划区大部分温度在 25°C , 高于刮北风的情形。

3.2.3 PM_{10} 日平均浓度分析

图 6 为规划前初始风场为南风时, 海淀区的 PM_{10} 日平均浓度。高值区位于模拟区域东南部城区偏下风方向, 即海淀地区附近, 最大值为 $200 \mu\text{g m}^{-3}$ 。规划区内 PM_{10} 浓度为 $50 \mu\text{g m}^{-3}$, 略高于北风时的浓度。这是由于市区污染物向下游平流的结果。

3.3 数值试验 3

根据规划后的土地利用情况, 模拟规划区建成后对该区域大气环境造成的影响。

3.3.1 温度场分析

通过模拟得知, 初始风场为北风时规划完成后规划区温度为 $23 \sim 25^\circ\text{C}$ 之间, 城区温度高值区为 29°C , 位于城区偏下风方向。图 7 为初始风场为北风时的规划完成后 10

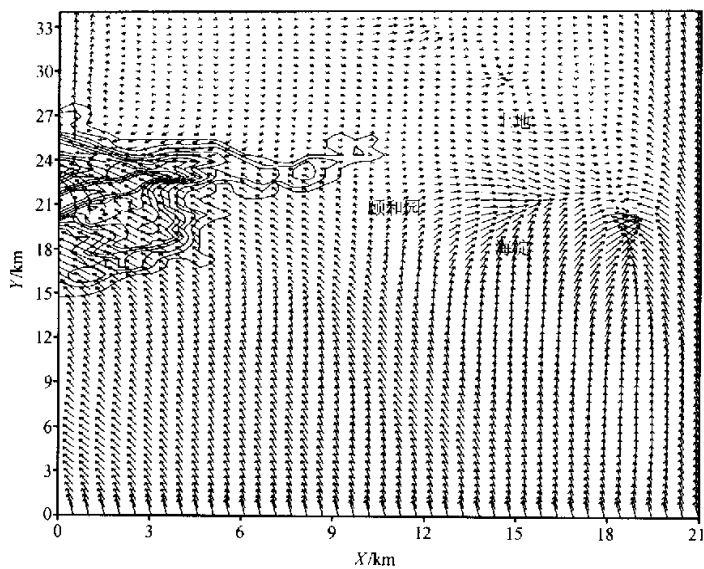


图4 规划前初始风场偏南风时15时10 m高水平风场

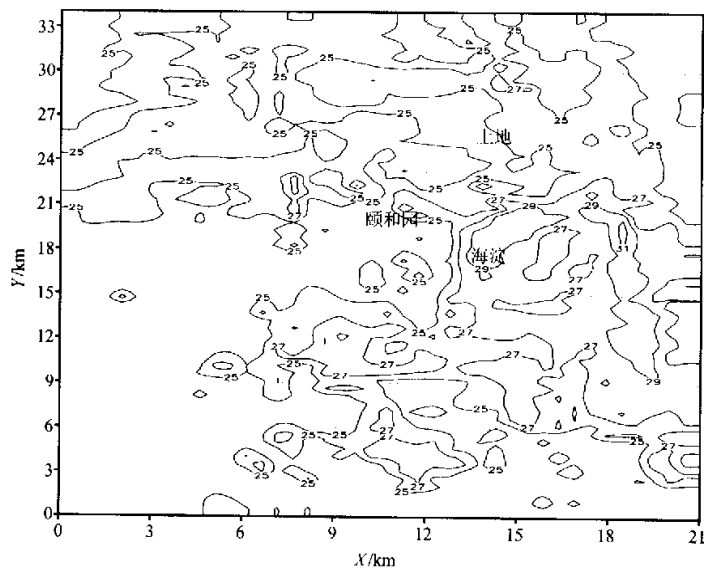


图5 规划前初始风场为南风的15时10 m高水平温度场(单位:℃)

m 高温分布,由于建筑物的增多,规划区内的温度比规划前高1~1.5℃,并且下风区的市区温度也有所增加。

3.3.2 PM₁₀日平均浓度分析

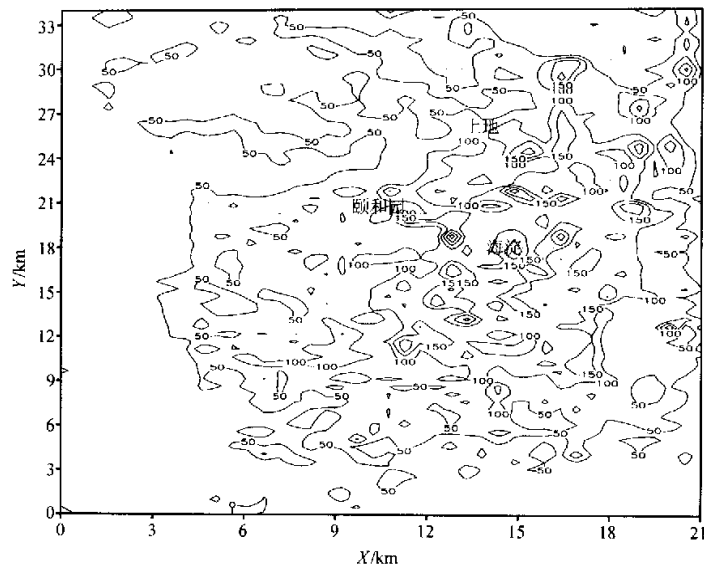


图 6 海淀区北部规划前初始风场为南风时的 PM_{10} 日平均浓度 (单位: $\mu g \cdot m^{-3}$)

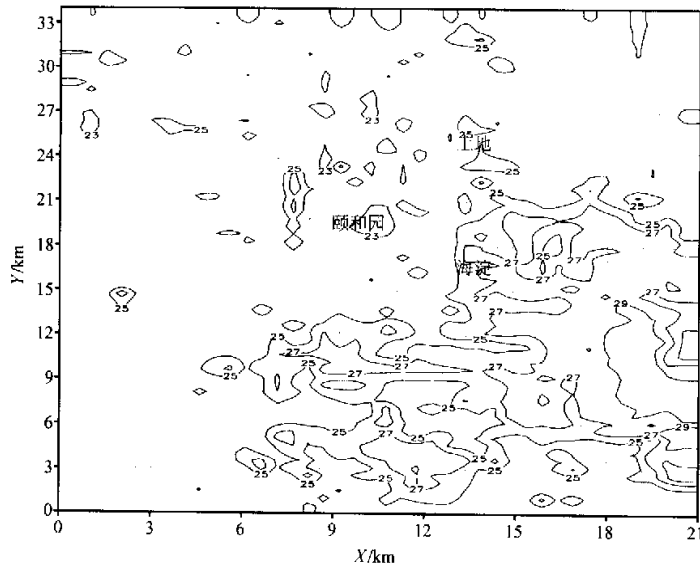


图 7 初始风场为北风时的规划完成后 10 m 高温度分布 (单位: $^{\circ}C$)

经模拟规划完成以后,在规划区内 PM_{10} 的浓度高值区已经增加到 $90 \sim 120 \mu g \cdot m^{-3}$,市区浓度的高值区为 $210 \mu g \cdot m^{-3}$ 。图 8 为规划完成后 PM_{10} 日平均浓度与目前实际情况相比的增加值。从图中可以得出结论,规划完成后海淀区北部由于规划区的

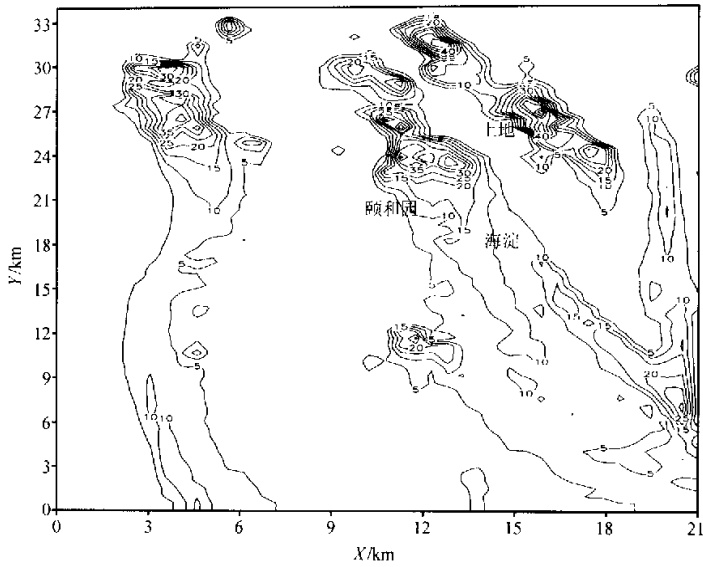


图8 规划完成后 PM_{10} 日平均浓度与日前实际情况相比的增加值 (单位: $\mu g m^{-3}$)

建设 PM_{10} 日平均浓度有明显增加, 最大增幅 $70 \mu g m^{-3}$, 下风方向的大部分地区都由于北部地区排放增加而受到影响, 增加 $10 \sim 25 \mu g m^{-3}$, 其中颐和园地区增加 $15 \mu g m^{-3}$, 海淀地区增加 $10 \mu g m^{-3}$ 。

3.4 数值试验4

3.4.1 温度场分析

规划后, 初始风场为南风时规划区内温度为 $25 \sim 27^\circ C$, 略高于北风情况。市区为 $29 \sim 31^\circ C$, 高值区位于海淀地区中关村附近。图9为规划完成前后初始风场为南风时温度差。可见规划完成后, 规划区内在刮南风时温度增加 $1^\circ C$, 较刮北风时增加的略少, 范围也较小。

3.4.2 PM_{10} 日平均浓度分析

规划完成后初始风场为南风时, 由于规划区位于市区的下风向, 所以市区的污染物会随着风的平流对规划区产生影响, 使北部地区规划区污染加重。这一模拟中北部地区内 PM_{10} 的浓度最高达到了 $150 \mu g m^{-3}$, 与市区浓度相差不大 (图略)。

3.5 绿化对环境温度的影响

3.5.1 绿化对蒸发、潜热的作用

城市绿化对改善城市局地气候条件起着十分重要的作用, 它能够调节空气的温度。这是因为植被从根部吸收的水分通过叶片大量蒸腾, 植物在蒸腾过程中要耗去大量潜热, 这部分热量取自太阳辐射或周围的暖空气。因此为了尽量减少对环境的影响对规划区进行合理开发, 对各种地表类型的合理安排就显得十分重要。

3.5.2 树木和草地对环境温度的作用

与表2相比, 将各个功能区内树木面积和草地面积增加 10% , 建筑物面积减少

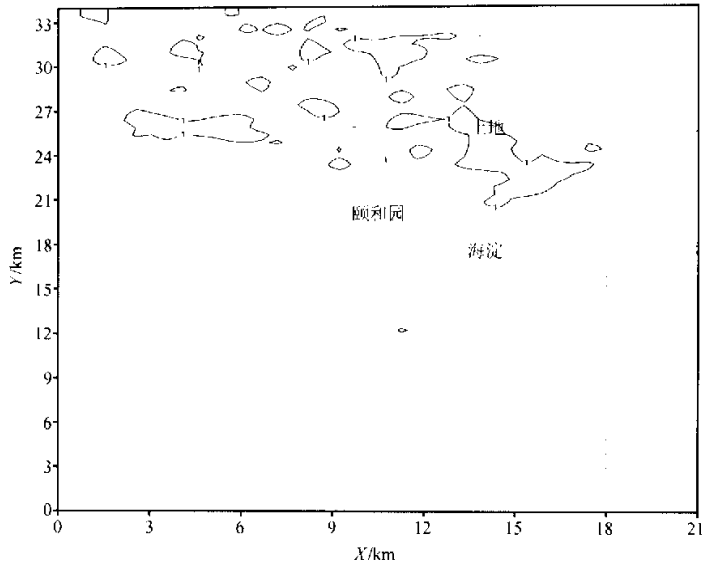


图 9 规划完成后较完成前初始风场为南风时 10 m 高水平温度增加值 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

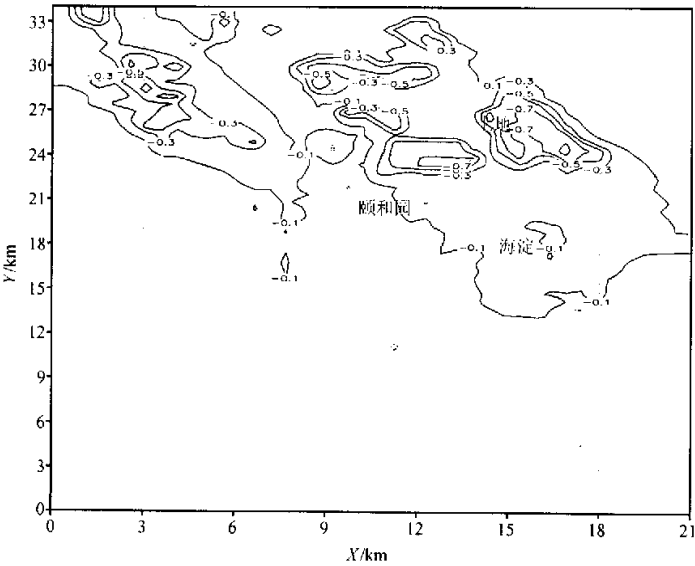


图 10 与表 2 相比刮北风时将各个功能区内树木面积增加 10%，
建筑物面积减少 10% 后温度场的变化 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

10%来考察温度场的变化。图 10 为树木面积增加后较增加前温度场的变化，可以看到在规划区内温度减小最大为 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。图 11 为草地面积增加后较增加前温度场的变化，

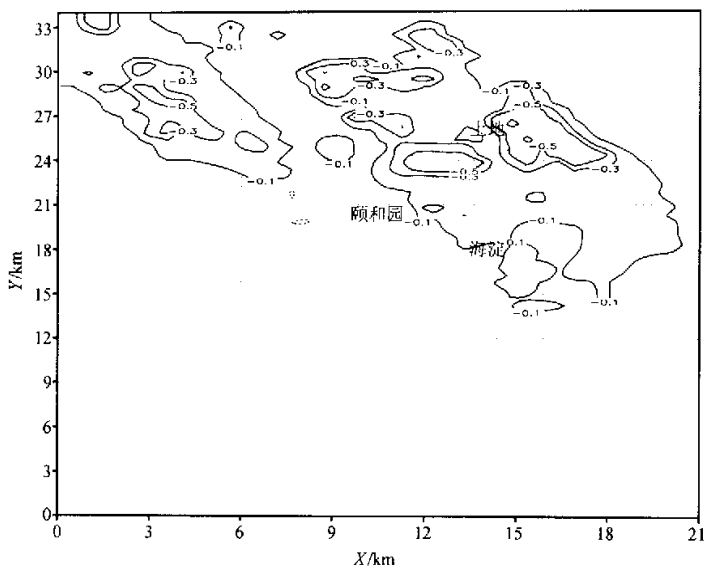


图 11 与表 2 相比刮北风时将各个功能区内地面积增加 10%，
建筑物面积减少 10% 后温度场的变化 (单位: °C)

规划区内温度减小最大为 0.5 °C，表明增加植被的面积可以使热岛强度减小，但草地比树木对热岛强度的减小作用稍小。这是因为树木的叶面指数大于草地，蒸腾需要的潜热更多，降温的效果也更强。

4 小 结

利用北京大学三维复杂地形中尺度数值模式，对海淀区北部地区总体规划完成后海淀区的气象场和大气环境进行模拟。模拟表明，海淀区北部规划完成后的大气环境会有很大改变，由于土地利用类型的改变，规划完成后北部地区的温度会比规划前增高 1~1.5 °C。由于人、车的增多，PM₁₀ 的浓度将有大幅增加。在刮北风时规划区内 PM₁₀ 浓度高值区达到 120 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，污染指数属于 2 级标准，并且随着风的平流作用污染物将对下游地区即市区造成很大影响，使市区 PM₁₀ 浓度由于规划区的建设约有 10~20 $\mu\text{g m}^{-3}$ 增加值。当刮南风时，市区的污染物又会平流到规划区，使北部地区污染很严重，浓度高值区达到 150 $\mu\text{g m}^{-3}$ 以上，污染指数达 3 级标准。由于绿化对调节气温，降低热岛强度起很大作用，所以规划时各种土地利用类型的合理分布对保护规划区的环境很重要，比如能在规划区内增加绿化的面积而减少建筑物面积可降低这一地区的热岛强度，并且树木比草地的这一作用更加明显。

参 考 文 献

- 1 Taha, H., H. Akbari, and A. Rosenfeld, Heat island and oasis effects of vegetative canopies; micrometeoro-

- logical field measurements, *Theor. Appl. Climatol.*, 1991, **44**, 123~138.
- 2 Akbari, H., D. M. Kurn, S. E. Bretz et al., Peak power and cooling energy savings of shade trees, *Energy Buildings*, 1997, **25** (2), 139~148.
 - 3 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.
 - 4 Taha, H., S. Konopacki, and H. Akbari, 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.
 - 5 Fujii, T., S. Hayashi, J. C. Hogg et al., Particulate matter induces cytokine expression in human bronchial epithelial cells, *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, 2001, **25** (3), 265~271.
 - 6 Cantanho, A. D. A., Wintertime and summertime Sao Paulo aerosol source apportionment study, *Atmos. Environ.*, 2001, **35** (29), 4889~4902.
 - 7 王玮、岳欣、刘红杰等, 交通来源颗粒物排放因子的研究, *环境科学研究*, 2001, **14** (4), 36~40.
 - 8 Seaman, N. L., Numerical studies of urban planetary boundary-layer structure under realistic synoptic conditions, *J. Appl. Meteor.*, 1989, **28** (8), 760~781.
 - 9 王卫国、蒋维楣, 复杂下垫面地域边界层结构的三维细网格数值模拟, *热带气象学报*, 1996, **12** (3), 212~217.
 - 10 桑建国、温市耕, 大气扩散的数值计算, 北京: 气象出版社, 1992.
 - 11 Noilhan, J., and S. Planton, A simple parameterization of land surface process for meteorology models, *Mon. Wea. Rev.*, 1989, **117** (4), 536~549.

The Impact of City Programming on the Atmospheric Environment and Air Quality in Urban Area

Tong Hua¹⁾, Liu Huizhi²⁾, Hu Fei²⁾, and Sang Jianguo¹⁾

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

2) (State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Based on the three-dimensional mesoscale numerical model of Peking University over complex terrain, Landsat-TM image and "the overall programming of the north district of Haidian—land use design" are used together to simulate meteorological field and atmospheric environment of present and planning finished situation in the north of Haidian district, Beijing. It has been analyzed the impact of programming project on the area to local area and the whole district. Numerical simulations show that the finishing of planning district will increase heat island intensity and concentration of PM₁₀ in local area and downwind.

Key words: regional environmental change; air quality; heat island effect