

城市化发展对气象要素的影响

刘宁微 马雁军

(中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016)

提 要: 为了探讨城市化对城市区域气象环境的影响程度, 以辽宁中部城市群为试验区域, 选取一个冬季的重污染过程, 利用中尺度数值模式 MM5 进行了数值模拟研究。研究发现, MM5 能够比较细致地反映出城市化对区域气象环境的影响。结果表明: 城市化发展对于地表状况的影响使得近地面风速、比湿减小, 温度升高, 同时会导致逆温现象加剧, 恶化局地气象条件。

关键词: 城市群 数值模拟 城市气象环境 下垫面类型

Impact of Urbanization on Meteorological Conditions of City Group Area

Liu Ningwei Ma Yanjun

(Shenyang Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang 110016)

Abstract: To investigate the impact of the urbanization on the city meteorological conditions, the city group of the middle Liaoning was regarded as test area, a case of heavy pollution in winter was chosen and analyzed by means of the mesoscale numerical model (MM5). The results show that MM5 has a good performance to study the impact of the urbanization on the regional meteorological conditions. Furthermore, the impact of the urbanization development on the surface physical parameter makes the wind speed and specific humidity of surface layer decrease while makes the air temperature rise, meanwhile it makes the inversion intensify and deteriorate the local meteorology condition.

Key Words: city group numerical simulation city meteorological condition the types of underlying surface

资助项目: 国家自然科学基金 (40575067), 科技部公益性研究专项 (2003DIB3J121)

收稿日期: 2006年3月31日; 修定稿日期: 2006年5月18日

引言

城市建筑群布局及其周边山体、水体或其它大地形对大气环境动力扩散的影响效应是形成某些城市环境气候特征的重要背景^[1]。城市化的发展使密集建筑群、街区道路、高架桥等取代了自然地表,改变了这些地方的地表状况,从而会改变局地大气的动力、热力结构及其特定的污染动力扩散条件。

到目前为止,对于下垫面植被类型改变引起局地气象环境变化的研究已经不在少数,从不同角度开展了深入的探索^[2-9]。但是,目前国内对城市群内气象环境的研究进行较少。本文以辽宁中部城市群为实验区域,利用数值模拟手段研究该区域在城市化发展前后,不同下垫面情况对局地气象环境的影响,希望能为城市群的规划布局提供决策参考。

1 模式简介及资料说明

本文利用中尺度数值模式 MM5V3.7 版本。MM5V3.7 是 2004 年 12 月公布的 MM5 的最新版本,相对于过去版本,它的优势在于考虑了城市过程,这一点主要体现在增加了城市的影响以及计算地面温度时考虑了发射率。

本文利用美国国家环境预报中心的 AVN 模式 (Aviation spectral model) 输出的全球分析资料作为模式的初始场,其水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,时间间隔为 6h。

2 试验方案设计

从实际观测资料中选取 2002 年 1 月 17 日 08 时至 18 日 08 时作为重污染个例。由

分析资料的海平面温压场 (图 1) 可以看出,17 日 08 时辽宁地区受冷高压控制,气温较低,风速很小 ($2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,图略),符合典型的重污染气象条件特征^[10]。

使用 2 重套网格方案,中心点取 41°N 、 122.3°E ,选择 24 类下垫面类型,水平分辨率由外到内分别为 9 和 3 km,外网格为辽宁地区,内网格为中部城市群。图 2 为模式运行区域。内外网格区域选取一致的参数化方案: Grell 积云参数化方案、Mixed-Phase 显式降水方案、高分辨率的行星边界层方案。

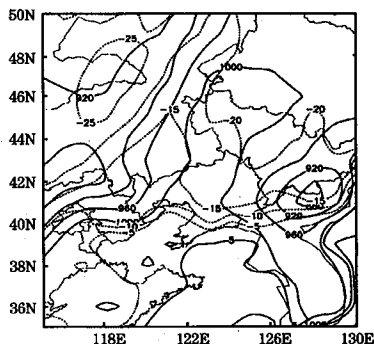


图 1 2002 年 1 月 17 日 08 时海平面温度 (虚线, 单位: $^{\circ}\text{C}$)、气压 (实线, 单位: hPa) 场

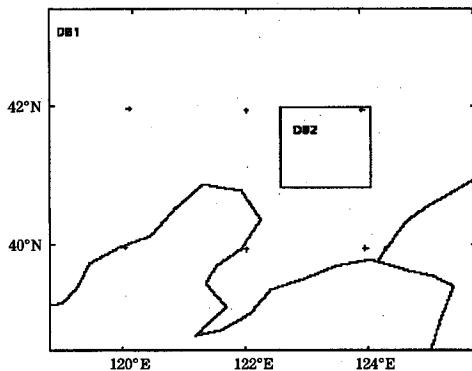


图 2 模式运行区域

以内重网格为研究对象,发现由于植被的分类是 20 世纪 80、90 年代所做的工作,MM5 给出的分别代表 5 个城市 (以下垫面

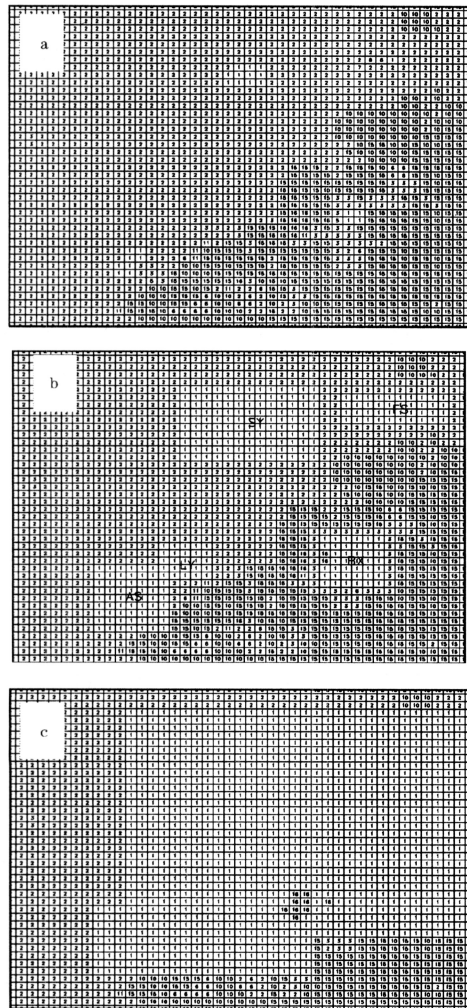


图 3 辽宁中部城市群历史 (a)、城市化 I (b) 和城市化 II (c) 的下垫面植被类型

SY: 沈阳, FS: 抚顺, BX: 本溪,
LY: 辽阳, AS: 鞍山

类型 1 表示) 的格点数均比实际情况小。为了考察辽宁中部城市群的发展对污染情况的影响, 利用 MM5 提供的下垫面植被类型作为历史上的一种下垫面状况 (以下称“历史下垫面”), 结合现状及辽宁省制定的近期发展规划, 以城市化为重点在历史下垫面基础上修改了 5 个城市及其周边的下垫面状况 (以下称“城市化下垫面 I”)。在此基础上,

假设城市化进一步发展, 使得 5 个城市可以连成一个整体 (以下称“城市化下垫面 II”)。对外网格也做出相应的处理。图 3 为内网格历史和城市化的下垫面植被类型。

3 模式检验

将城市化下垫面 I 条件下的模拟结果与分析资料比较, 以沈阳站为例, 气温日变化 (17 日 08 时—19 日 08 时) 的模拟与实况值如图 4 所示。模拟所得的气温与实况值差别不大, 最大误差出现在 18 日 20 时, 为 2.5°C , 其它时刻误差在 1°C 左右, 说明模式的模拟性能较好, 模拟结果是具有说服力的。

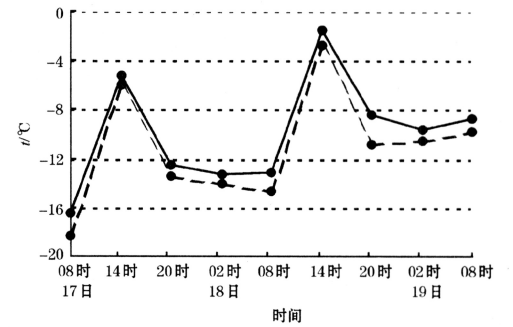


图 4 沈阳站气温的日变化

实线: 城市化下垫面 I 条件下的模拟结果; 虚线: 分析资料结果

4 气象环境特征的变化

4.1 气温和地面风速的变化

图 5 为辽宁中部城市群两种城市化下垫面分别减去历史下垫面条件下的气温差值。图 5a、5b 分别是 18 日 02 时和 20 时城市化下垫面 I 与历史下垫面的气温差。由图可见, 城市化会使局地气温升高, 下垫面类型的改变对当地气温影响十分显著, 对未改变

的区域影响不大。18 日 02 时，5 个城市气温均有升高，幅度为 0.4~1.2℃，辽阳附近有小范围的降温。20 时，城市也基本呈升温状态，沈阳、抚顺、辽阳升温 0.4℃，本溪升温 0.8℃，鞍山升温 1.2℃；沈阳和辽阳附近出现小范围降温区域。图 5c、5d

分别是 18 日 02 时和 20 时城市化下垫面 II 与历史下垫面的气温差。城市化的进一步发展使气温基本呈升高趋势，02 时升温 0.4~1.2℃，局部有小幅度降温；08 时升温 0.5~1.5℃，局部升温可达到 4℃。

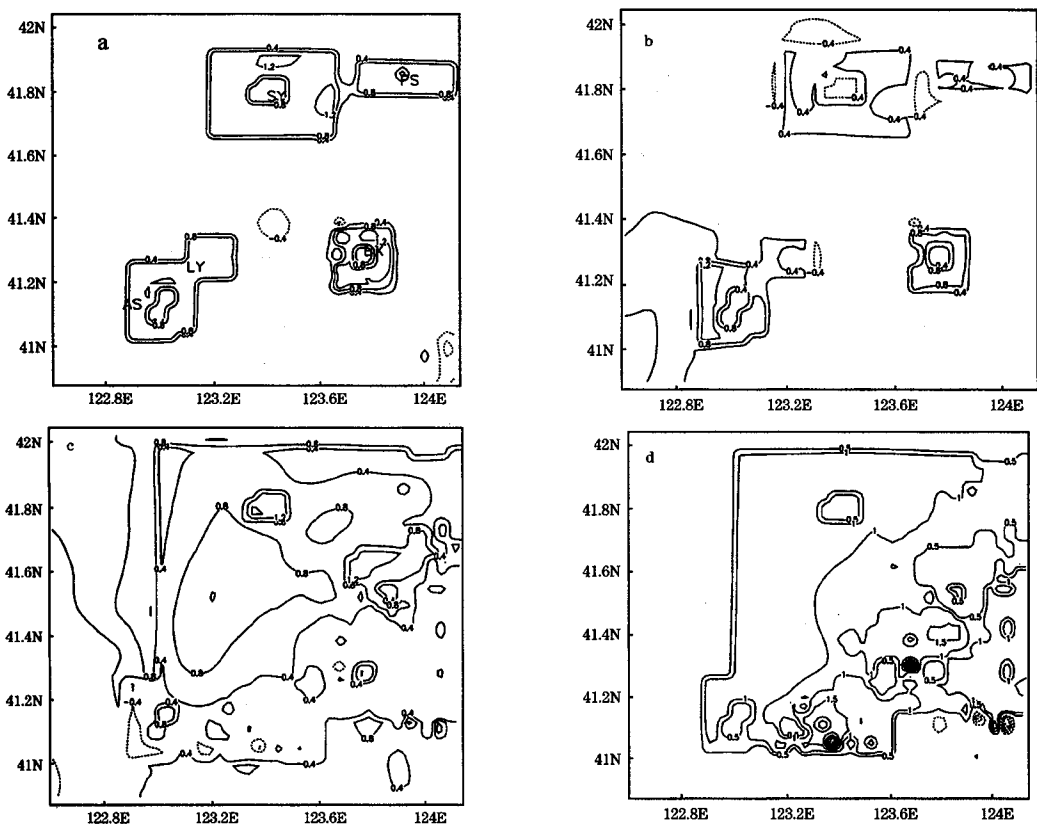


图 5 辽宁中部城市群城市化下垫面 I、II 与历史下垫面条件下的气温差值场

a、b 分别为 18 日 02 时和 20 时城市化下垫面 I 与历史下垫面的气温差；
c、d 分别为 18 日 02 时和 20 时城市化下垫面 II 与历史下垫面的气温差；
SY：沈阳，FS：抚顺，LY：辽阳，AS：鞍山，BX：本溪

以 10m 高的风场代表地面风场，分别输出 18 日 02、20 时的风向（图略）及风速差，图 6 为城市化下垫面 I 与历史下垫面条件下的风速差。通过比较发现城市群内的主导风向基本都没有变化；18 日 02 时，风速没有明显的变化，本溪城区有小幅度减小，

其周围略有增大。20 时整个城市群范围风速都有所减小，沈阳减小得最多，为 0.25~0.4m·s⁻¹，鞍山、辽阳减小 0.35m·s⁻¹，抚顺、本溪减小 0.2m·s⁻¹左右。与之类似，城市化下垫面 II 条件下的风速（图略）也有所减小，18 日 20 时风速差略有增

大。

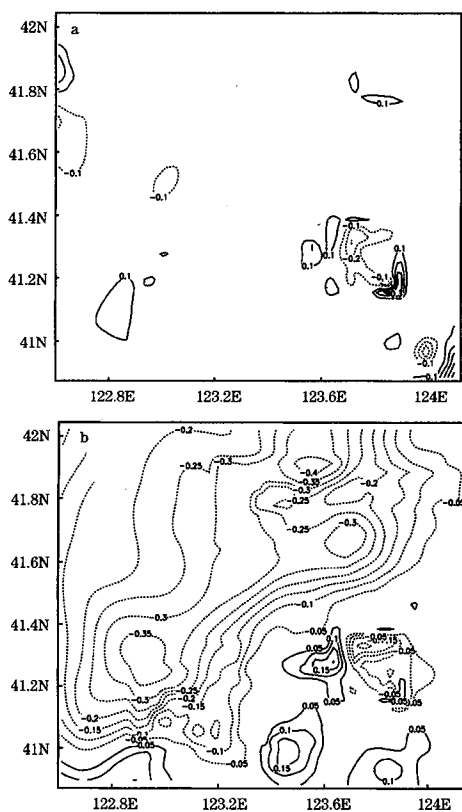


图6 辽宁中部城市群城市化下垫面Ⅰ与历史下垫面条件下的地面风速差值场

a. 18日02时; b. 18日20时

温度与风速的变化说明下垫面植被类型改变后, 局地温度的响应是很快的, 从模拟试验的第一个时次就有相应的变化; 而风速在前面的时次中响应非常小, 直到18日20时才开始变化。随着城市的发展, 建筑物大量增加并向高空伸展, 地面粗糙度增大了许多, 产生一系列阻碍作用, 从而减小了风速; 土壤饱和率的减小使局地净通量(感热通量与潜热通量之差)有所增大, 造成气温的升高。城市化的进一步发展会使温度升高以及风速减小幅度有所加强, 这一点在20时体现得比较明显。

4.2 比湿的变化

图7为城市化下垫面Ⅰ减去历史下垫面条件下的比湿差值。图7a、7b分别是18日02、20时2m高度的比湿差。可以看到, 18日02时城市群各市比湿之差都是负值, 减小程度本溪最大可达 $0.6 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其它城市都为 $0.3 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。18日20时, 各市比湿之差辽阳为正值, 其他城市均为负值; 沈阳比湿变化最大, 为 $-0.3 \times 10^{-4} \sim -0.9 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 本溪、抚顺、鞍山比湿变化值为 $-0.3 \times 10^{-4} \sim -0.6 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 辽阳比湿变化值为 $0.3 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。城市化下垫面Ⅱ与历史下

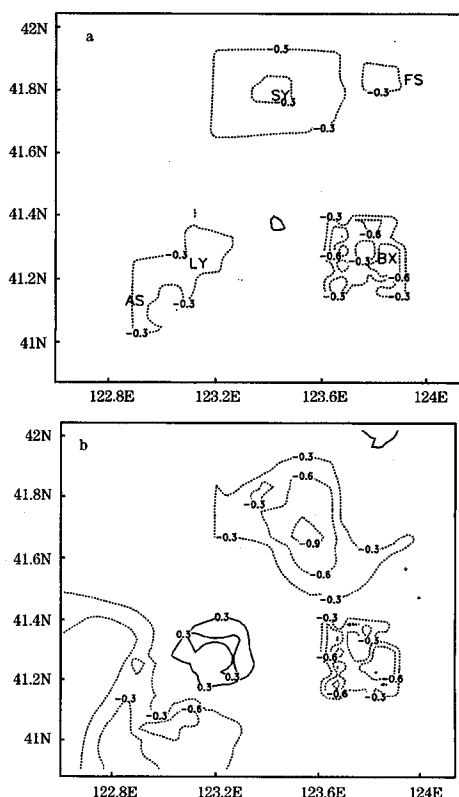


图7 辽宁中部城市群城市化下垫面Ⅰ与历史下垫面条件下的比湿差值场

a. 18日02时; b. 18日20时

垫面条件下的比湿差也有相似的结果(图略)。综合上述现象,城市化后各市比湿值基本都减小,说明城市化后土壤饱和率减小,引起近地空气中水汽含量的降低,造成空气干燥。

4.3 温度廓线的变化

图8给出3种下垫面条件模拟的2002年1月18日02时站点的温度廓线,分别以沈阳和本溪代表平原及山区城市。其中历史下垫面与城市化下垫面Ⅰ条件下温度廓线十

分相似,城市化下垫面Ⅱ条件下温度廓线与前两者有所不同。3种下垫面条件下02时,两个城市都出现了较强的逆温现象,历史下垫面与城市化下垫面Ⅰ的稳定边界层厚度为1300m左右。400m高度以下是强逆温层;400~1300m沈阳出现等温层,本溪出现弱逆温层;到1300m进入对流边界层,逆温逐渐消失,垂直方向混合得十分强烈。城市化下垫面Ⅱ条件下400m高度以下是强逆温层,400m以上逆温现象消失。

下面对近地面稳定边界层做重点讨论。历史下垫面条件下沈阳的逆温强度400m以下为 $1.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{hm}^{-1}$,200m以下为 $2.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{hm}^{-1}$;城市化下垫面Ⅰ条件下沈阳逆温更为显著,400m和200m以下分别达到1.4和 $2.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{hm}^{-1}$;城市化下垫面Ⅱ条件下各层温度均高于前两种情况,400m和200m以下沈阳逆温分别为1.4和 $2.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{hm}^{-1}$ 。本溪逆温情况的变化趋势与沈阳类似,强度小于沈阳,在发生强逆温的100m以下,城市化条件Ⅰ、Ⅱ分别与历史下垫面条件下的强度之差均为 $0.07^{\circ}\text{C}\cdot\text{hm}^{-1}$ 。

可以看出,城市化后逆温强度有所增大,但并不是无限制地增大下去,当城市群区域下垫面状况全部设为城市的时候逆温强度与适当程度的城市化条件下相当。另外在设计修改方案城市化下垫面Ⅰ时由于沈阳的城市化面积比本溪大得多,因此模拟出的结果与历史条件下近地层逆温强度之差本溪远小于沈阳。城市群内其它城市逆温时的情况与以上现象相似。这表明城市化会导致逆温现象的加剧,其程度随着离地高度的降低而增大,随城市化面积的增大而增大,对气象条件造成较大的危害。

5 结 语

(1) 随着城市的发展,建筑物大量增加

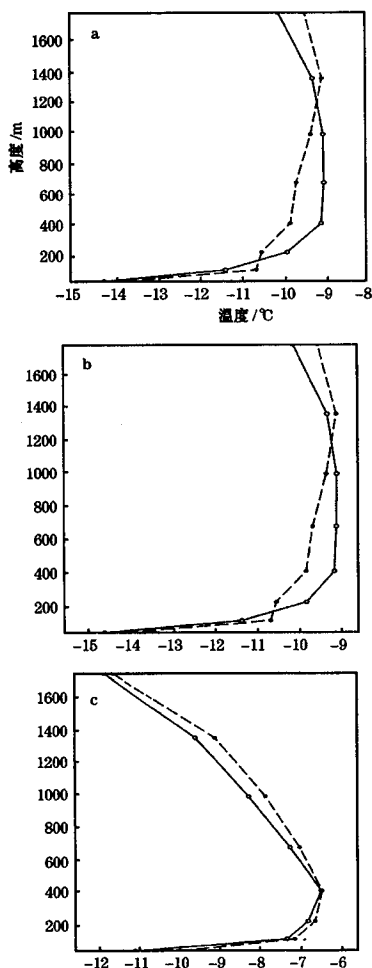


图8 2002年1月18日02时温度廓线

a. 历史下垫面; b. 城市化下垫面Ⅰ; c. 城市化下垫面Ⅱ; 实线: 沈阳; 虚线: 本溪

并向高空伸展,地面粗糙度增大了许多,产生一系列阻碍作用,从而减小了风速;而土壤饱和率的减小使局地净通量(感热通量与潜热通量之差)有所增大,造成气温的升高。

(2) 城市化后各市比湿值基本都减小,说明城市化导致土壤饱和率的减小,引起近地空气中水汽含量的降低,造成空气干燥。城市化会导致逆温现象的加剧,其程度随着离地高度的降低而增大,随城市化面积的增大而增大。但城市化后逆温强度的增大并不是无限制的,当城市群区域下垫面状况全部设为城市的时候逆温强度与适当程度的城市化条件下相当。

(3) 城市化后某些地点某个时次的物理量变化会与总的趋势相反,地面风场对下垫面类型变化的响应较慢,其原因有待进一步的探究。另外,本文的试验只选取了一个冬季个例,可能不具有完全的代表性,将在今后工作中做进一步的试验。

参考文献

- 1 徐祥德, 汤绪, 徐大海等. 城市化环境气象学引论 [M]. 北京: 气象出版社, 2002: 2-3.
- 2 Lutfi sen Omer, Wang Yu-qing, Wang Bin. Impact of Indochina Deforestation on the East Asian Summer Monsoon [J]. *Journal of Climate*, 2004, 17 (6): 1366-1380.
- 3 Narisma G. T., Pitman A. J. The Impact of 200 Years of Land Cover Change on the Australian Near-Surface Climate [J]. *Journal of Hydro meteorology*, 2003, 4 (2): 424-436.
- 4 张井勇, 董文杰, 叶笃正等. 中国植被覆盖对夏季气候影响的新证据 [J]. *科学通报*, 2003, 48 (1): 91-95.
- 5 程胜龙. 城市化对兰州气温变化影响的定量分析 [J]. *气象*, 2005, 31 (6): 29-34.
- 6 陈燕, 蒋维楣, 郭文利等. 珠江三角洲地区城市群发展对局地大气污染物扩散的影响 [J]. *环境科学学报*, 2005, 25 (5): 700-710.
- 7 刘宁微, 周小珊. 植被变化对辽西夏季气候影响的数值试验 [J]. *南京气象学院学报*, 2004, 27 (5): 632-640.
- 8 郭家林, 王永波. 近40年哈尔滨的气温变化与城市化影响 [J]. *气象*, 2005, 31 (8): 74-76.
- 9 郭建侠, 丁一汇, 杜继稳等. 陕北地区植被治理与退化对一次区域降水过程影响的数值模拟 [J]. *气候与环境研究*, 2004, 9 (3): 527-538.
- 10 李琼, 李福娇, 叶燕翔等. 珠江三角洲地区天气类型与污染潜势及污染浓度的关系 [J]. *热带气象学报*, 1999, 15 (4): 363-369.