

陈静怡, 刘寿东, 王咏薇, 等. 建筑物对周边气温影响的初步研究. 气象科学, 2018, 38(3): 361-369.

CHEN Jingyi, LIU Shoudong, WANG Yongwei, et al. A preliminary study of the effect of building on the surrounding air temperature. Journal of the Meteorological Sciences, 2018, 38(3): 361-369.

建筑物对周边气温影响的初步研究

陈静怡^{1,2} 刘寿东¹ 王咏薇^{1,3} 邱阳阳⁴ 李立¹

(1 南京信息工程大学 大气环境中心, 南京 210044; 2 贵州省气象服务中心, 贵阳 550002;

3 南京信息工程大学 大气物理学院, 南京 210044; 4 安徽省防雷中心, 合肥 230061;)

摘要 随着城市化进程的加快, 建筑物成为影响气温观测的最重要因素之一。为了定量研究建筑物对周边气温的影响, 应用城市小区尺度模式, 选取气象站观测的3个重要时刻(14:00、20:00以及02:00, 北京时间), 模拟了草地下垫面上长60 m、宽20 m的孤立建筑物, 在不同高度(6、18、30 m)及不同初始风速(2、4、6、8、10 m·s⁻¹)条件下建筑物下风方的气温变化。研究表明:(1)由于建筑物的存在, 夏季晴天14:00建筑物下风方最大增温可达2.4℃, 夜间20:00和02:00建筑物下风方最大降温分别为1.0℃、2.4℃。(2)以影响幅度大于0.1℃为标准, 建筑物对下风方气温影响的最大距离在14:00为11.7倍建筑物高度; 而在20:00和02:00分别达到36.7倍和21.7倍建筑物高度, 超过气象探测环境保护条例规定标准。(3)建筑物导致下风方风速衰减, 从而增加了湍流动能中机械产生项的作用, 即风速衰减幅度越大, 对气温变化影响作用越强; 而在白天不稳定层结下, 建筑物造成的太阳辐射遮蔽效应对气温变化也有一定影响, 建筑物越高, 反而会在一定程度上减弱增温效应。

关键词 建筑物; 气温观测; 城市小区尺度模式

分类号: P41

doi:10.3969/2017jms.0040

文献标识码: A

A preliminary study of the effect of building on the surrounding air temperature

CHEN Jingyi^{1,2} LIU Shoudong¹ WANG Yongwei^{1,3} QIU Yangyang⁴ LI li¹

(1 Yale-NUIST Center on Atmospheric Environment, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2 Guizhou Province Meteorological Service Center, Guiyang 550002, China; 3 School of Atmospheric Physics, Nanjing University

of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 4 Anhui Lightning Protection Center, Hefei 230061, China)

Abstract With the rapid development of urbanization, the buildings have become one of the most important factors affecting the temperature observation. In order to research the effect of buildings on surrounding air temperature quantitatively, the city sub-domain scale model was used to simulate the influence of a single building (length of 60 m and width of 20 m) on the air temperature change, which is on the grass, under different heights (6, 18, 30 m) and different initial wind speeds (2, 4, 6, 8, 10 m·s⁻¹). The results showed that: (1) Because of the existence of buildings, the air temperature increased by 2.4℃ at 14:00 BST and reduced by 1.0℃, 2.4℃ at 20:00 BST, 02:00 BST, respectively. (2) The maximum influence distance of buildings on the leeward temperature was 11.7 times the height of the building at 14:00 BST, and it was 36.7 and 21.7 times the height of the building at 20:00 BST and

收稿日期 (Received): 2016-11-29; 修改稿日期 (Revised): 2017-04-05; 网络出版日期 (Published on-line): 2018-05-29

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1243.P.20180529.1004.014.html>

基金项目: 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201106049); 国家自然科学基金资助项目 (41675016); 江苏高校优势学科建设工程 (PAPD); 长江学者和创新团队发展计划

通信作者 (Corresponding author): 王咏薇 (WANG Yongwei). wyw@nuist.edu.cn

02:00 BST, which beyond the value of regulation. (3) The wind speed attenuation caused by the buildings increases the mechanical term in the turbulent kinetic energy, namely; the stronger the wind speed attenuation, the greater the effect on the air temperature change. In addition, during the daytime, the solar radiation shielding caused by the buildings also has a certain influence. This means that when the building is higher, it will weaken the effect of temperature increase to some extent.

Key words Building; Air temperature observation; City sub-domain scale model

引言

真实可靠的气象观测数据是气象预报、气象服务和气象研究工作的基础^[1-2]。气温变化与经济社会发展、人类生产生活等息息相关^[3-4],也是研究全球气候变暖的重要依据^[5],而气象台站周边的环境,如建筑物、树木、水体、道路等都会影响气温观测数据的真实性、有效性和代表性。世界气象组织(WMO)认为,观测环境^[6]的变化、破坏所造成的误差比仪器观测误差更大^[7]。因此,观测环境的选择和保护十分重要。

根据《气象设施与气象探测环境保护条例》的规定,国家基准站、基本站和一般气象站对单体障碍物的规避距离分别不得小于障碍物高度的10倍、9倍、8倍。然而,由于城市化的影响,越来越多的气象台站所处位置从郊区变成了城区。观测站周围建筑物增多,气温探测环境正在受到前所未有的破坏。截至2012年,我国2000多个国家级气象台站已有超过半数位于市区,满足气象探测环境要求的台站不足三成,大多数台站气温观测很难达到观测规范^[8]。而由于气象台站搬迁成本高,如何最大限度减小观测数据的误差成为研究的重点。因此,定量评估建筑物对周边气温观测的影响十分重要,它可以将环境影响分离出来,给出气温观测数据的不确定范围并对其进行订正,为气温观测数据的科学应用、气象台站的选址提供依据,对于当前城市发展迅速的中国也有着非常重要的意义。

影响气温观测的外界因素众多,它们的作用会相互叠加或抵消。已有学者利用实验方法与数值模拟方法研究过道路、水体及树木对气温观测的影响^[9-15],而建筑物存在对气温的影响有多大,目前针对其影响的定量研究较少。实验观测方法在一定程度上可以帮助我们了解观测环境对气温的影响,但很难将其中某一种影响因素分离出来研究;而数值模拟试验具有自由控制实验环境的优势,成为研究观测环境对气象要素观测影响的主要方法。

因此,采用高分辨率的城市小区尺度模

式^[16-18],模拟并定量分析夏季晴天3个时刻,初始风速及建筑物高度不同时,建筑物对周边气温的影响,可以初步明晰《气象设施与气象探测环境保护条例》中各类气象台站对建筑物的规避范围,是否能够保证气温观测数据的有效性和代表性;不同层结条件下建筑物对气温观测数据的影响程度,为气温观测数据的科学应用、气象台站的选址等提供依据。

1 模式、观测实验及算例介绍

1.1 模式介绍

采用城市小区尺度模式(以下简称“模式”),它是由南京大学开发的一个三维非静力 $k-\varepsilon$ 闭合模式^[19-20],适于模拟的区域水平尺度为1~2 km,水平分辨率为10 m。为了精细模拟建筑物周围的气流分布和热环境分布,除了应用高分辨率的地表特征静态数据外,模式还针对城市小区特点作了4点特殊考虑:(1)模式考虑了由建筑物高度、朝向所造成的遮蔽;(2)模式中下垫面分成了5种类型:混凝土(包括沥青道路)、水体、草地、树以及裸土,通过强迫——恢复法计算地面温度^[21];(3)模式对建筑物表面温度作了简化处理,将建筑物垂直投影到地面,将屋顶作为一种特殊的混凝土下垫面来计算其表面温度,其中屋顶材料分成:混凝土、玻璃、瓷砖3种类型,3种材料除反射率有所差别,其余物理参数均相同;(4)模式中将位于建筑物内部的网格点上的物理量,如 u 、 v 、 w 、 k 、 ε 均取为零。已有的研究表明,城市小区尺度模式在模拟实际小区的气象场和污染扩散^[16]、评估城市小区规划方案^[15]、预测规划实现后的城市大气环境^[19,22]等都有较好的应用效果。

1.2 观测试验及验证数据获取

为验证模式的模拟效果,以南京中央商务区为试验区域开展基本气象要素的观测试验以获取验证数据。在试验区域内设置4个固定站点(图1a),高度分别为26、15、95及21 m的建筑物楼顶,将自动气象站架设于楼顶上方2 m高度处,观测包括气

温、空气相对湿度、风速、风向等气象要素。

模式计算还需提供试验区域的准确地表特征静态数据,建筑物高度及屋顶材料分布通过实地测量获取(图 1b),下垫面类型分布由高分辨遥感资料

获取(图 1a)。从图 1 中可以看出,试验区域城市化程度高,建筑物密度大,高度高,下垫面类型主要为混凝土建筑、道路以及行道树木,还有少量的草地,没有水体。

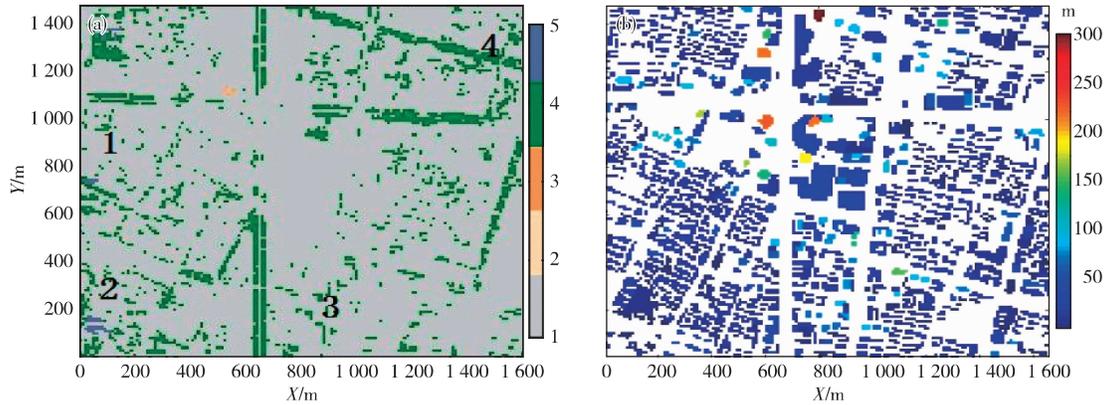


图 1 试验区域地表类型(a;1. 混凝土, 2. 水面, 3. 草地, 4. 树木, 5. 裸土)及建筑物高度分布(b)

Fig.1 (a) Land surface types of test area (1. concrete, 2. water, 3. grass, 4. tree, 5. bare soil) and (b) the building height

1.3 算例介绍

模拟试验包括两个部分。一是为了验证模式模拟效果,利用 WRF 模式为城市小区尺度模式提供初始气象场,模拟了试验区域夏季典型晴天大气边界层内的气温场特征,并用实地观测(2015 年 8 月 3 日)气温资料进行模式验证评估;二是进行敏

感性数值实验,模拟了不同初始风速及建筑物高度下,其对周边气温观测数据的影响。实测结果显示,研究区域平均建筑物高度为 31.4 m,并且通常气象观测站设站周围建筑物高度不宜过高,因此在研究中选择了建筑物高度最高为 30 m 进行模拟。具体算例如表 1 所示。

表 1 算例设计

Table 1 Introduction of the cases

算例	层结条件	模拟时间	初始风向风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	建筑物高度/m
验证算例	WRF 模拟结果	2015 年 8 月 3 日 00:00—23:00 (北京时间,下同)	WRF 模拟结果	中央商务区建筑物高度
case1—case15	理想不稳定层结	2015 年 8 月 3 日 14:00	西风 $u_{10}=2,4,6,8,10$	$H=6,18,30$
case16—case30	理想中性层结	2015 年 8 月 3 日 20:00	西风 $u_{10}=2,4,6,8,10$	$H=6,18,30$
case31—case45	理想稳定层结	2015 年 8 月 3 日 02:00	西风 $u_{10}=2,4,6,8,10$	$H=6,18,30$

为了研究建筑物对周边气温观测环境的影响,设计一块矩形区域(图 2)用于模拟试验,其长、宽分别为 800、400 m。模式在垂直方向分成 35 层,网格距由下至上为 5~100 m 不等。模拟区域地表类型主要为混凝土和草地(图 2),区域内有一栋孤立建筑物,其长、宽分别为 60、20 m,屋顶材料为混凝土,其余均为草地下垫面。模拟时间为 2015 年 8 月 3 日,用理想气象场作为风速及初始位温场,初始地表温度设定为 31.6 $^{\circ}\text{C}$ 。图 3 为给定的 3 个时刻(14:00、20:00 以及 02:00)的理想位温廓线(分别为不稳定层结、中性层结以及稳定层结),即近地层

温度在稳定层结下的 14:00 随高度的增加而降低;中性层结下的 20:00 不随高度变化;稳定层结下 02:00 随高度增加而增加。

2 模式性能检验

2015 年 8 月 3 日各站楼顶上方 2 m 高度处气温实测值与城市小区尺度模式、WRF 模式的模拟值对比见图 4。可以看出 4 个站点气温实测值在一天当中都有一个最高值和一个最低值,日出后随着太阳辐射的增强,被加热的楼顶向大气传输热量,使得楼顶上方 2 m 处气温逐渐升高,至下午 17:00 左

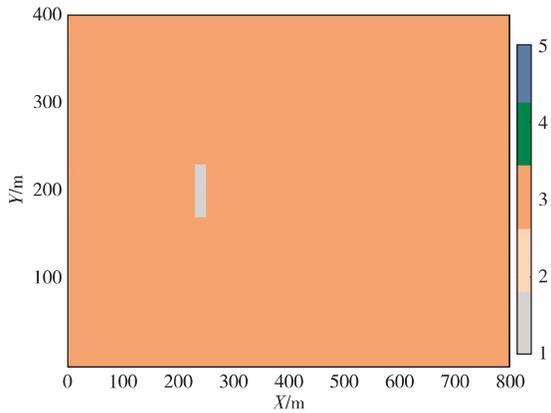


图2 模拟区域地表类型
 (1. 混凝土, 2. 水面, 3. 草地, 4. 树木, 5. 裸土)
 Fig.2 Land use of the simulated area
 (1. concrete, 2. grass, 3. water, 4. tree, 5. bare soil)

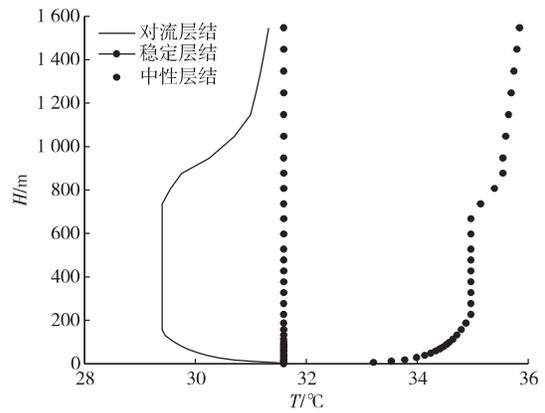


图3 3个时刻的初始位温廓线
 Fig.3 Initial potential temperature profile under three time

右达到最高值约 36~38 °C,在日出前后 07:00 达到最低值约 31 °C。

4 个站点中两个模式对于气温值的模拟与气温实测值都较为接近,变化趋势也基本一致。而城市小区模式对于站点 1 白天最高气温的模拟有约 2 °C 的高估,这可能是由于站点 1 的建筑物周围其它建

筑物较高且多,太阳辐射受建筑物遮蔽多,而模式对于站点所在位置的遮蔽效应有所低估导致的。相较于 WRF 模式,城市小区尺度模式对夜间气温最低值的模拟低约 1 °C,这是因为 WRF 模式考虑了建筑物对夜间长波辐射的多层反射作用,使得热量损失的较慢,近地层气温降温幅度较小。

由于中尺度气象模式 WRF 模式的分辨率较低

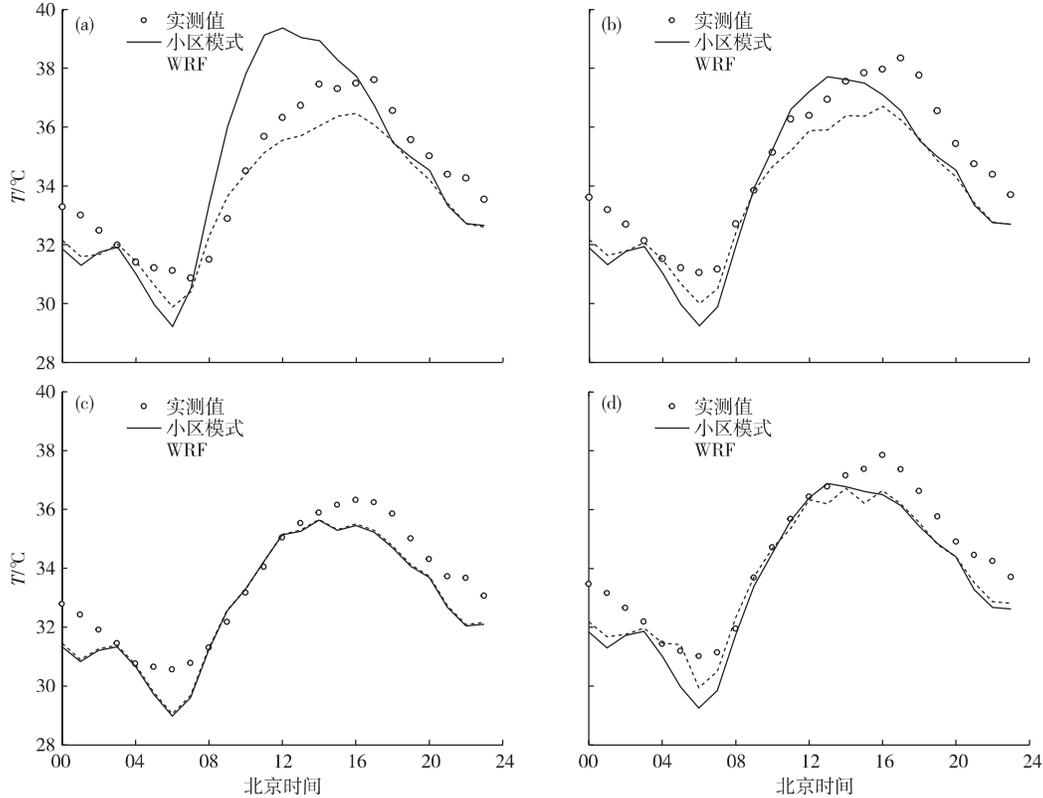


图4 2015年8月3日各站楼顶2 m 高度处气温模拟值与实测对比(图1中4个站点):(a)站点1;(b)站点2;(c)站点3;(d)站点4
 Fig.4 The comparison of simulated and observed air temperature at the height of 2 m in four fixed stations

而不能满足对模拟城市微尺度气象场的要求,而城市小区尺度模式分辨率为 10 m,对建筑物的热力及动力作用显示可辨,其主要作用是量化建筑物的影响,能够满足本文的研究要求,所以选择城市小区尺度模式进行模拟研究。

统计结果表明,城市小区尺度模式对于 4 个站点气温值的模拟与气温实测值之间的相关系数分别达到 0.86、0.95、0.96 和 0.97(表 2),相关性较高,均方根误差平均为 1.2 °C。总体看来,模拟结果与观测数据较为吻合,利用城市小区尺度模式模拟建筑物对气温观测的影响是可行的。

表 2 固定站点气温模拟值误差统计

Table 2 Model performance statistics for the cases

站点	相关系数	均方根误差(°C)
1	0.86	1.73
2	0.95	1.18
3	0.96	0.91
4	0.97	1.03
平均值	0.94	1.21

3 建筑物对周边气温的影响

定义 $T = T_{\text{building}} - T_{\text{ref}}$ 为有、无建筑物时 2 m 高度气温之差,表示建筑物存在对气温影响的大小。影响距离则以 T 的绝对值大于 0.1 °C 为判别标准。由于建筑物对上风方气温的影响远小于下风方,可忽

略不计,故研究中只量化建筑物对下风方气温观测的影响。

3.1 14:00 建筑物对周边气温的影响

夏季白天,由于建筑物的反射率及热容量小于草地下垫面,而热量传输系数大于草地,使得相同太阳辐射条件下建筑物白天吸收的太阳辐射更多、升温快,夜间降温也快。白天地表温度高,热量由地表向大气传输,热量通量为负;夜间反之,热量通量为负。

2015 年 8 月 3 日 14:00,不同高度建筑物、不同初始风速时的 T 分布(case1—case15 算例模拟结果)见图 5、表 3,图中叠加风场为有建筑时的 10 m 风速(下同)。

从图 5 及表 3 可以看到,在 2015 年 8 月 3 日 14:00,6 m 高的建筑物对周边气温无明显影响,但随着建筑物高度的增加,建筑物的存在对周边大气有明显的增温效应。随着风速的增加,增温效应增强,且平流作用使得建筑物的增温效应延伸至更远的距离。建筑物高度为 18 m,初始风速为 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,建筑物对下风方增温达 $1.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$,影响距离为 60 m;初始风速增加为 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,增温幅度达 $2.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$,最远可至下风方 210 m。当建筑物高度增加至 30 m,风速 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,建筑物对周边大气增温最高达 $2.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$,影响距离最远为 220 m,其增温幅度和影响距离均大于 18 m 高建筑物。

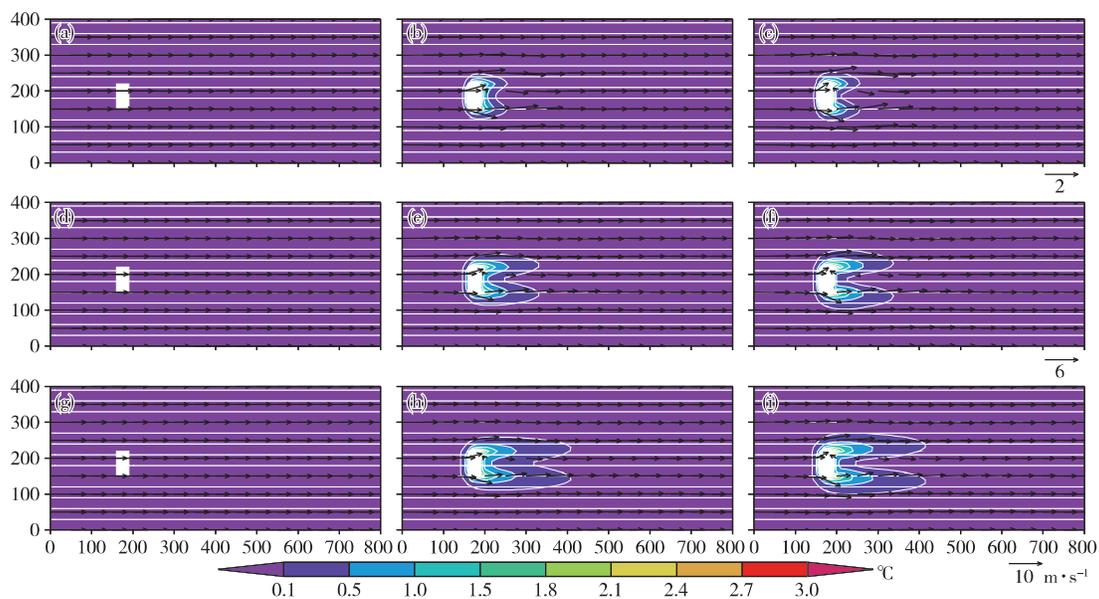


图 5 14:00 不同初始风速(a—c: $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; d—f: $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; g—i: $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、不同建筑物高度下(a,d,g:6 m; b,e,h:18 m; c,f,i:30 m)建筑物对周边气温的影响(白色为建筑物部分,下同)

Fig.5 Effect of building on air temperature under different initial wind speeds and heights at 14:00 BST

这是由于建筑物对气流的阻尼作用使得风速衰减,且随着建筑物高度、初始风速的增加,流经建筑的气流减速现象越明显,建筑物对低层风场的扰动增加了湍流动能中机械产生项作用,机械产生项与白天的热通量的方向一致,使得增温幅度增大;随着初始风速增加,较大的平流作用使建筑物的增

温效应延伸至更远的距离。

30 m 高建筑物对风速的衰减作用 >18 m 高建筑物,使得增温效应更强,然而建筑物越高,白天对太阳辐射的遮蔽作用导致的降温影响也大(图 6),两种作用有一定抵消,导致 30 m 高建筑物周边的增温作用稍 >18 m 高建筑。

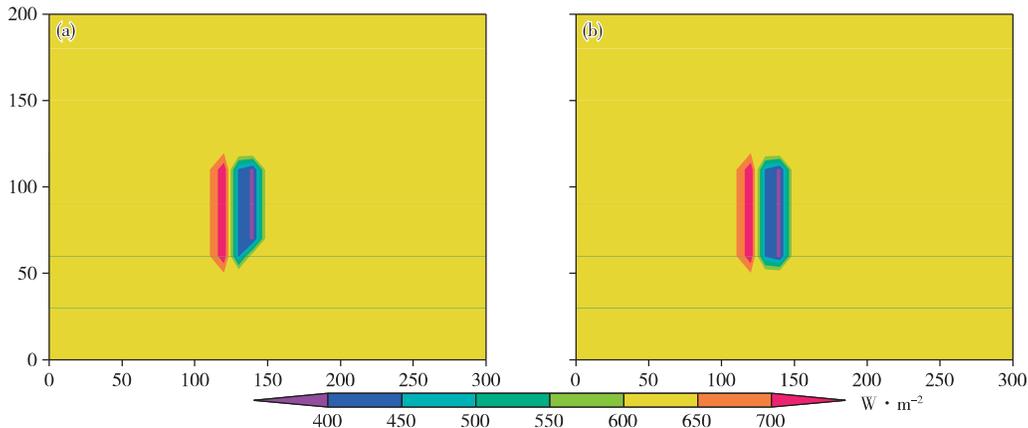


图 6 不同高度建筑物下垫面短波辐射分布(单位: $W \cdot m^{-2}$)

Fig.6 The surface shortwave radiation distribution of different heights of building(unit: $W \cdot m^{-2}$)

3.2 20:00 建筑物对周边气温的影响

20:00 建筑物对周边气温的影响(case16—case30 算例模拟结果)见图 7、表 3。由图 7 可见,当建筑物高度为 6 m 时,随着初始风速的增加,建筑物对气流的阻碍及拖曳作用不明显,风速并无减小,

反而略微增加,导致了建筑物周边大气温度有所增加,最大变化幅度为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,影响距离约 10 m。建筑物高度为 18 m、30 m,初始风速 $2\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,建筑物导致的风速衰减也不明显,对下风方大气有 $0.5\sim 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度变化影响。

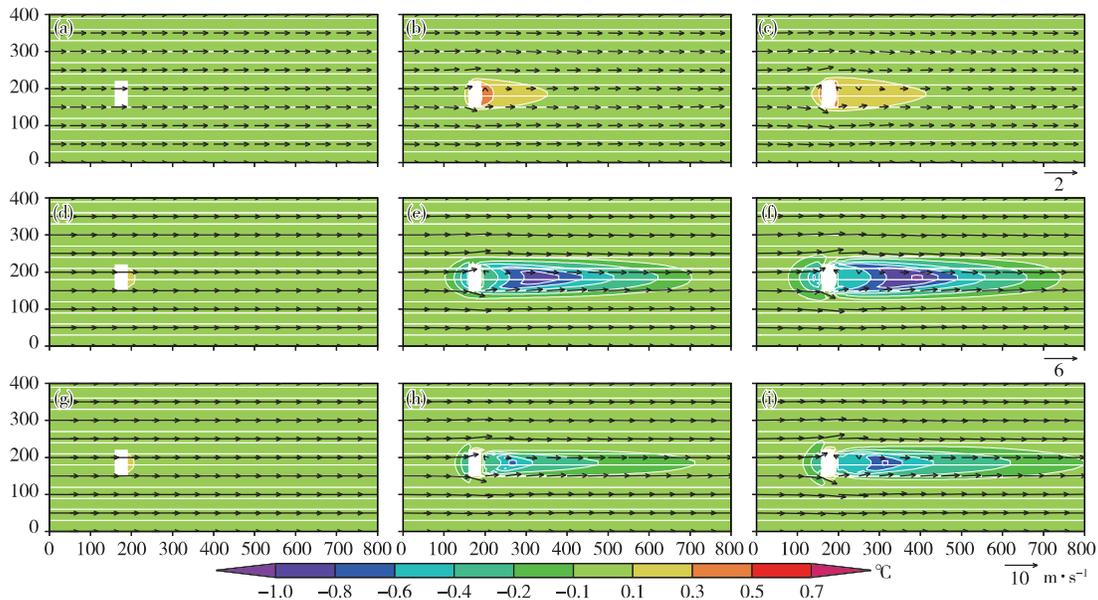


图 7 20:00 不同初始风速(a—c: $2\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; d—f: $6\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; g—i: $10\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、

不同建筑物高度下(a, d, g: 6 m; b, e, h: 18 m; c, f, i: 30 m)建筑物对周边气温的影响

Fig.7 Effect of building on air temperature under different initial wind speeds and heights at 20:00 BST

一般而言,建筑物存在使风速减小,增加了湍流动能中机械产生项作用,白天机械产生项与热通量的方向一致,使得增温幅度更大。而夜间机械产生项与热量通量方向相反,抑制了大气向地表的热量传输,使得降温幅度更大。

当建筑物高度为 18 m、初始风速 $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,建筑物造成的最大降温幅度为 $0.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$,对下风方气温的影响距离达 510 m;初始风速为 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,气温变化 $0.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$,影响的距离约 520 m。由此可见,随着初始风速增加,风速衰减幅度微弱减小,导致降温效应减小,同时其较大的平流作用使得建筑物的影响延伸至较远距离。建筑物高度为 30 m 时,其对周边气温的影响与 18 m 高建筑物的影响趋势基本一致,在 $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 及 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速下,对气温影响的大小和距离分别为 $-1.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、550 m 和 $-0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、610 m。这是因为建筑物越高,阻尼作用使得风速衰减更大,机械产生项作用增加,最终导致降温幅度和影

响距离均 $>18 \text{ m}$ 高建筑。

3.3 02:00 建筑物对周边气温的影响

02:00 建筑物对周边气温的影响(case31—case45 算例模拟结果)见图 8、表 3。由图、表可以看出,建筑物高度为 6 m 时,风速有略微增加或降低,导致最大 $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的气温变化,影响距离约为 10 m。建筑物为 18 m、30 m,初始风速为 $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,建筑物导致的风速衰减不明显,建筑物对下风方大气有 $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度变化影响。

建筑物高度为 18 m 时,随着初始风速的增加,风速衰减幅度增加,使得建筑物导致的降温幅度及影响距离都逐渐增加。初始风速为 $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,最大降温及影响距离分别为 $1.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 280 m, $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时则分别为 $2.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 390 m。建筑物高度为 30 m,初始风速为 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,建筑物导致的最大降温幅度及影响距离分别为 $2.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 410 m。

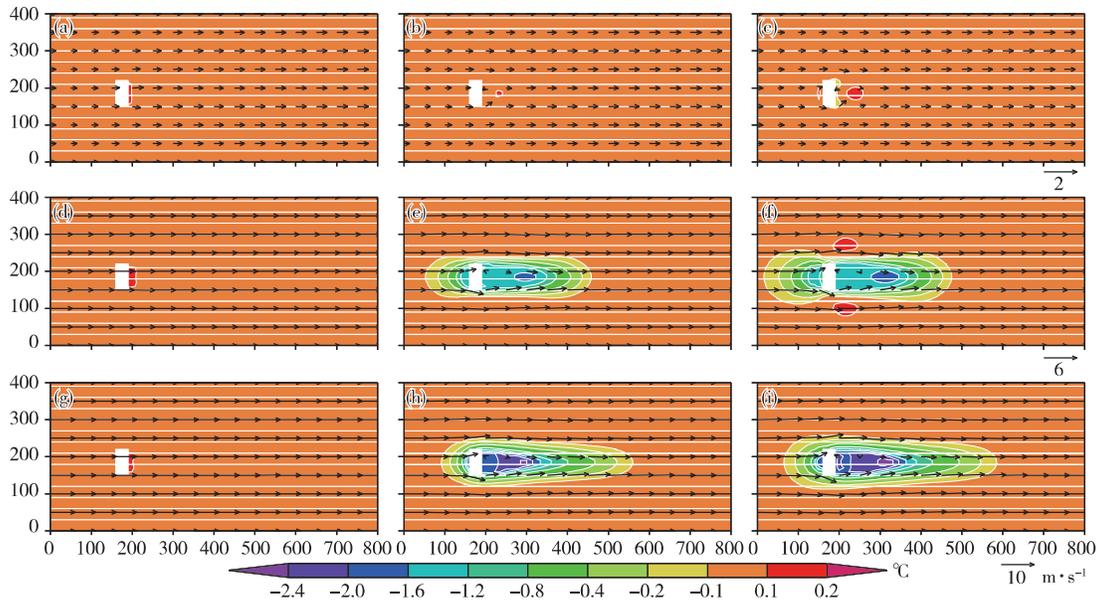


图 8 02:00 不同初始风速(a—c: $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; d—f: $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; g—i: $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)、不同建筑物高度下(a, d, g: 6 m; b, e, h: 18 m; c, f, i: 30 m)建筑物对周边气温的影响
Fig.8 Effect of building on air temperature under different initial wind speeds and heights at 02:00 BST

3.4 气象站单体建筑物规避距离的初步讨论

对比 3 个时刻,不同初始风速、不同高度建筑物对周边气温观测产生的影响(表 3)可知,在 14:00 及 02:00,建筑物对气温影响较大,在 20:00 影响较小。

建筑物对下风方气温观测的影响距离也有明显差异(表 3)。以 $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 为标准判别,在 14:00,不同初始风速、不同高度建筑物的平均影响距离为

6.3 倍建筑物高度,最大为初始风速 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、高度 18 m 时的 11.7 倍建筑物高度;夜间 20:00 和 02:00,平均影响距离分别为 16.6 倍及 8.1 倍建筑物高度;最大影响距离均在 18 m 高度建筑物,分别为 $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 下的 36.7 倍和 21.7 倍建筑物高度。由此可见,除 14:00 外,在夜间 20:00 及 02:00 下,建筑物对下风方气温的影响距离基本都超过《气象设施与气象探测环境保护条例》所规定的

规避距离为 8~10 倍建筑物高度,因此在实际工作中应适当增大规避的距离。

表 3 不同初始风速、不同高度建筑物对周边气温的影响

Table 3 Effect of building on air temperature under different initial wind speeds and heights

$u_{10}/$ ($m \cdot s^{-1}$)	最大增温/ $^{\circ}C$ /最大影响距离/ m [建筑物高度倍数]								
	不稳定层结(14:00)			中性层结(20:00)			稳定层结(02:00)		
	$H=6\text{ m}$	$H=18\text{ m}$	$H=30\text{ m}$	$H=6\text{ m}$	$H=18\text{ m}$	$H=30\text{ m}$	$H=6\text{ m}$	$H=18\text{ m}$	$H=30\text{ m}$
2	0	+1.9	+1.9	0	+0.5	+0.7	+0.18	+0.1	+0.1
	0	60[3.3H]	60[2H]	0	160[8.9H]	220[7.3H]	5[0.8H]	70[3.9H]	80[2.7H]
4	0	+2.1	+2.1	+0.14	-0.3	-0.3	+0.18	-0.21	-0.15
	0	100[5.6H]	110[3.7H]	20[3.3H]	660[36.7H]	700[23.3H]	10[1.7H]	160[8.9H]	170[5.7H]
6	0	+2.1	+2.2	+0.11	-0.9	-0.7	+0.16	-1.6	-1.6
	0	140[7.8H]	150[5H]	10[1.7H]	510[28.3H]	550[18.3H]	10[1.7H]	280[15.6H]	300[10H]
8	0	+2.1	+2.3	+0.11	-0.8	-0.9	+0.12	-2.0	-2.2
	0	180[10H]	200[6.3H]	10[1.7H]	560[31.1H]	610[20.3H]	10[1.7H]	340[18.9H]	370[12.3H]
10	0	+2.1	+2.4	+0.11	-0.6	-0.8	+0.12	-2.4	-2.4
	0	210[11.7H]	250[7.3H]	10[1.7H]	520[28.9H]	610[20.3H]	10[1.7H]	390[21.7H]	410[13.7H]

4 结论

采用高分辨率的城市小区尺度模式,分别模拟了 2015 年 8 月 3 日 14:00、20:00 以及 02:00,初始风速以及建筑物高度变化对建筑物周边气温观测的影响。

(1)在 2015 年 8 月 3 日 14:00,6 m 高建筑物对周边气温无明显影响;当建筑物高度 $>6\text{ m}$ 时,建筑物对周边大气环境有明显的增温作用。建筑物越高,初始风速越大,对风速的衰减作用越大,使得增温作用变大;30 m 高建筑物对周边大气的增温作用及影响范围都稍 $>18\text{ m}$ 高建筑物,这是因为建筑物越高,其对太阳辐射的遮蔽作用也更强,使得降温作用变大,两种作用相抵消导致 30 m 高建筑物的增温效应稍 $>18\text{ m}$ 高建筑物。

(2)在夜间 20:00,建筑物高度为 18 m、30 m 时,建筑物对风场的阻尼作用使得风速减小,且建筑物高度越高,流经建筑的气流减速现象越明显,增加湍流中机械产生项作用,与夜间热通量方向相反,导致降温幅度增大。初始风速越大,平流作用越强,则影响距离越远。

(3)在夜间 02:00,建筑物导致的降温幅度大于 20:00。随着初始风速增加,降温幅度增加,对下风方气温的影响距离也更远;而建筑物高度增加对风速衰减幅度的影响并不明显,因此 18 m 及 30 m 高建筑物的降温效应相当。

(4)以影响幅度 $>0.1\text{ }^{\circ}C$ 为标准,在 2015 年 8 月 3

日 14:00、20:00 以及 02:00,不同初始风速、不同高度建筑物的平均影响距离分别为 6.3、16.6、8.1 倍建筑物高度;3 个时刻下最大影响距离均在 18 m 高度建筑物,分别为 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时的 11.7 倍、36.7 倍和 21.7 倍建筑物高度。由此可见,除 14:00 外,在夜间 20:00 及 02:00,建筑物对下风方气温的影响距离基本都超过《气象设施与气象探测环境保护条例》所规定的规避距离:8~10 倍建筑物高度,因此在实际工作中应适当增大规避的距离。

本文采用高分辨率城市小区尺度模式,定量研究了建筑物对周边气温观测的影响大小及距离。研究结果可为气象台站气温观测数据的订正和科学应用、气象台站的选址提供一定的理论依据。但本文仅针对夏季晴天 3 个时刻建筑物对周边气温观测的影响进行了模拟研究,应该进一步开展不同季节、逐时、不同类型建筑物对周边气温观测影响的模拟分析。此外,本文就 6 m、18 m、30 m 3 个高度的建筑物对周边气温的影响展开讨论,得出了初步的结论,当建筑物更高时,其对气温的影响是否会发生不同的变化,将在后期研究中给出结果。

参 考 文 献

- [1] Mahmood R, Foster S A, Logan D. The GeoProfile metadata, exposure of instruments, and measurement bias in climatic record revisited. *Int. J. Climatol.*, 2006, 26(8): 1091-1124.
- [2] 李欣,金莲姬,郭建侠.浅谈探测环境对气象要素测量值的影响. *安徽农业科学*, 2011, 39(27): 17105-17108, 17113.

- LI Xin, JIN Lianji, GUO Jianxia. Discussion about the effects of probe environment on determined value of meteorological factors. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (in Chinese), 2011, 39 (27): 17105-17108, 17113.
- [3] Calzadilla A, Rehdanz K, Betts R, et al. Climate change impacts on global agriculture. *Climatic Change*, 2013, 120 (1/2): 357-374.
- [4] Hajat S, Vardoulakis S, Heaviside C, et al. Climate change effects on human health: Projections of temperature-related mortality for the UK during the 2020s, 2050s and 2080s. *J. Epidemiol. Commun. Health*, 2014, 68(7): 641-648.
- [5] Vincent L A, Gullett D W. Canadian Historical and Homogeneous temperature datasets for climate change analyses. *Int. J. Climatol.*, 1999, 19(12): 1375-1388.
- [6] 周建平, 孙照渤, 倪东鸿, 等. 中国气象台站迁移对年平均气温均一性的影响. *大气科学学报*, 2013, 36(2): 139-146. ZHOU Jianping, SUN Zhaobo, NI Donghong, et al. Impact of meteorological station relocation on homogeneity of annual mean temperature in China. *Transactions of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2013, 36(2): 139-146.
- [7] World Meteorological Organization. Commission for instruments and methods of observation. 15th session. WMO-No.1064, Helsinki: World Meteorological Organization, 2010.
- [8] 刘勇, 王东勇, 田红, 等. 气象观测环境的变化对气温序列的影响分析. *气象科学*, 2006, 26(4): 436-441. LIU Yong, WANG Dongyong, TIAN Hong, et al. Temperature series affected by the change of environment around meteorological observing stations. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2006, 26(4): 436-441.
- [9] Hughes W S, Balling Jr R C. Urban influences on South African temperature trends. *Int. J. Climatol.*, 1996, 16(8): 935-940.
- [10] 邱阳阳, 刘寿东, 王咏薇, 等. 湖体对风、湿环境影响的数值模拟. *科学技术与工程*, 2013, 13(14): 3839-3845. QIU Yangyang, LIU Shoudong, WANG Yongwei, et al. Numerical simulation of lake body effect on wind speed and humidity environment. *Science Technology and Engineering* (in Chinese), 2013, 13(14): 3839-3845.
- [11] Avissar R, PAN Hai. Simulations of the summer hydrometeorological processes of Lake Kinneret. *J. Hydrometeorol.*, 2000, 1(1): 95-109.
- [12] Kumamoto M, Otsuka M, Sakai T, et al. Field experiment on the effects of a nearby asphalt road on temperature measurement. *SO-LA*, 2013, 9: 56-59.
- [13] Kinoshita N. An evaluation method of the effect of observation environment on air temperature measurement. *Bound.-Layer Meteorol.*, 2014, 152(1): 91-105.
- [14] 王咏薇, 齐德利, 邱阳阳, 等. 小型水体对气温观测环境影响的初步模拟分析. *气象科学*, 2017, 37(3): 304-316. WANG Yongwei, QI Deli, QIU Yangyang, et al. The effect of water body on air temperature observation environment and mechanism analysis. *Journal of the Meteorological Sciences* (in Chinese), 2017, 37(3): 304-316.
- [15] 王浩, 傅抱璞. 水体的温度效应. *气象科学*, 1991, 11(3): 233-243. WANG Hao, FU Baopu. The effects of water body on temperature. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1991, 11(3): 233-243.
- [16] 苗世光, 蒋维楣, 王晓云, 等. 城市小区气象与污染扩散数值模式建立的研究. *环境科学学报*, 2002, 22(4): 478-483. MIAO Shiguang, JIANG Weimei, WANG Xiaoyun, et al. Numerical simulation of meteorology and pollutant diffusion in urban sub-domain. *Acta Scientiae Circumstantiae* (in Chinese), 2002, 22(4): 478-483.
- [17] 蒋维楣, 王咏薇, 刘罡, 等. 多尺度城市边界层数值模式系统. *南京大学学报(自然科学)*, 2007, 43(3): 221-237. JIANG Weimei, WANG Yongwei, LIU Gang, et al. Multi-scale urban boundary layer modelling system. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)* (in Chinese), 2007, 43(3): 221-237.
- [18] 汪光焘, 王晓云, 苗世光, 等. 大气环境数值模拟在城市小区规划中的应用. *清华大学学报(自然科学版)*, 2006, 46(9): 1489-1494. WANG Guangtao, WANG Xiaoyun, MIAO Shiguang, et al. Numerical simulations of atmospheric environments for urban sub-domain planning. *Journal of Tsinghua University(Science & Technology)* (in Chinese), 2006, 46(9): 1489-1494.
- [19] 苗世光, 王晓云, 蒋维楣, 等. 城市小区规划对大气环境影响的评估研究. *高原气象*, 2007, 26(1): 92-97. MIAO Shiguang, WANG Xiaoyun, JIANG Weimei, et al. Impact assessment of urban sub-domain planning on the atmospheric environment. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2007, 26(1): 92-97.
- [20] 蒋维楣, 苗世光, 刘红年, 等. 城市街区污染散布的数值模拟与风洞实验的比较分析. *环境科学学报*, 2003, 23(5): 652-656. JIANG Weimei, MIAO Shiguang, LIU Hongnian, et al. Comparison and analysis of pollution modeling of a city sub-domain scale model with wind tunnel experiment. *Acta Scientiae Circumstantiae* (in Chinese), 2003, 23(5): 652-656.
- [21] 钱永甫. 地表热平衡温度的一种计算方法. *气象科学*, 1988, 8(4): 14-27. QIAN Yongfu. A scheme of calculation of heat balance temperature at ground surface. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1988, 8(4): 14-27.
- [22] 王宝民, 刘辉志, 桑建国. 北京商务中心区大气环境的数值模拟. *气候与环境研究*, 2007, 12(5): 604-617. WANG Baomin, LIU Huizhi, SANG Jianguo. Numerical simulation of atmospheric environment of the central business district in Beijing. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2007, 12(5): 604-617.