

轩春怡, 王晓云, 蒋维楣, 等. 城市中水体布局对大气环境的影响[J]. 气象, 2010, 36(12): 94-101.

# 城市中水体布局对大气环境的影响<sup>\* 1</sup>

轩春怡<sup>1,2</sup> 王晓云<sup>3</sup> 蒋维楣<sup>4</sup> 王咏薇<sup>5</sup>

1 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000

2 北京市气候中心, 北京 100089

3 中国气象局, 北京 100081

4 南京大学大气科学系, 南京 210093

5 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044

**提 要:** 城市下垫面状况在很大程度上决定城市大气物理环境的特征。在城市区域增加湿地等自然地表有利于城市的减温增湿, 促使局地流场发生变化, 改善局地微气象条件以及大气物理环境。城市规划大气物理环境多尺度数值模拟系统为城市规划大气物理环境定量评估提供了有效的模拟工具。利用该系统中的城市尺度模式模拟了水体布局为集中型和分散型, 水体面积占有率分别为 4%、8%、12% 和 16% 条件下, 城市大气温度、湿度、风速、城市大气扩散条件的变化及其对城市大气环境的影响, 利用北京市城市水体气象观测数据, 分析了水体周边和商业区、交通区温、湿度的差异, 并对模式模拟结果进行了验证, 揭示了城市水体布局对城市大气物理环境影响的可能机制。模拟和观测结果显示, 城市水体布局会对城市微气象环境产生一定影响。无论分散型或集中型布局, 城市水体面积的增加, 都在一定程度上使城市气温降低、湿度增加、平均风速增大。比较而言, 分散型水体布局对城市区域微气象环境的影响更为显著。

**关键词:** 城市规划, 大气物理环境, 多尺度数值模式, 水体布局, 数值模拟

## Impacts of Water Layout on the Atmospheric Environment in Urban Areas

XUAN Chunyi<sup>1,2</sup> WANG Xiaoyun<sup>3</sup> JIANG Weimei<sup>4</sup> WANG Yongwei<sup>5</sup>

1 College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

2 Beijing Municipal Climate Center, Beijing 100089

3 China Meteorological Administration, Beijing 100081

4 Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093

5 Institute of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

**Abstract:** The characteristics of atmospheric physical environment in urban areas are to a large extent determined by the status of underlying surface. An increase in the urban natural surface such as wetlands may help decrease surface temperature, increase humidity, change local flow field, and improve local micro-meteorological conditions and atmosphere physical environment. The multi-scale numerical modeling system provides an effective method for assessing quantitatively the atmospheric physical environment in urban planning. In this paper an Urban Scale Model in the system is used to simulate the variability of surface air temperature, humidity, wind velocity, atmospheric diffusion conditions and their effect on urban atmospheric environment on condition of the dispersed or converged water layout with the proportion of urban water area in urban area being 4%, 8%, 12% and 16%, respectively. Based on meteorological observation data at urban water body sites in Beijing, the differences of air temperature and humidity among the area surrounding water body, commercial areas and traffic zones are analyzed and the simulated results are

\* 国家自然科学基金项目(编号:40652001,40805004)资助

2009年12月17日收稿; 2010年6月4日收修定稿

第一作者: 轩春怡, 从事应用气象业务及科研工作. Email: chunyxuan@163.com

compared. The results reveal that the layout of urban water body has an obvious effect on urban micrometeorological environment. No matter whether the layout is dispersed or converged, the increase of urban water body area to a certain extent leads to the decrease of surface air temperature, increase of humidity, and enlargement of wind velocity. But water body in the dispersed distribution has a more significant effect on the urban micrometeorological environment than that in the converged distribution.

**Key words:** urban planning, atmospheric physical environment, multi-scale numerical model, water layout, numerical simulation

## 引 言

随着城市化进程的加速,城市的地表特征和城市的微气象环境也发生相应的变化<sup>[1-3]</sup>。例如,在自然植被改变为城市地表的区域,城区湿地覆盖面积减小从而引起地表湿度减小<sup>[4]</sup>;建筑物的增加将导致地表粗糙度的增大,并增加反照率的作用<sup>[5]</sup>;人口密度的增大,城市交通及工业的增长将导致人为热排放的增加<sup>[6-7]</sup>。上述变化都直接影响地表能量平衡<sup>[8-9]</sup>。由于地表能量以感热通量加热大气的比例增加,近地面气温升高,城市热岛效应加强<sup>[9-12]</sup>。与此同时,受城市人工建筑物的影响,气流的拖曳能力被加强,从而导致城区内风速的减小并影响地表的湍流动能<sup>[13]</sup>,最终改变大气污染的输送扩散条件<sup>[14-16]</sup>。但另一方面,如果在城市区域增加水体、绿地等自然地表,则有利于城市的减温增湿<sup>[17]</sup>,促使局地流场发生变化,这有助于改善局地微气象条件和大气物理环境<sup>[18]</sup>。

城市下垫面是最富有活跃特性的下垫面。人工形成的建筑物、树林、草地、水体等各种类型下垫面的空间形态构成了具有强烈非均匀性的城市特有的格局,同时各种不同下垫面的热容量、含水率、反射率、粗糙度等物理特性不同,对能量平衡、水分交换和局地环流等大气过程影响也不相同,从而形成了特殊的城市大气环境<sup>[2]</sup>。城市下垫面状况在某种程度上决定了城市大气物理环境的特征。在大的气候背景下,城市规划中的典型要素布局对大气物理环境的变化起主导作用。这种特征使得用数学模式模拟分析城市区域的气象条件和大气输送与扩散遇到了极大挑战,技术上有相当多的特殊性<sup>[8,19]</sup>。另外,单一城市尺度下的气象和大气污染问题的研究已不能满足城市发展规划的需要<sup>[19]</sup>。因此,除了对城市地域范围特征描述外,还需考虑越来越多、越来越复杂的城市小区的影响<sup>[20]</sup>。

城市规划大气物理环境多尺度数值模拟系统为城市规划大气物理环境定量评估提供了高效的模式工具<sup>[18-19]</sup>。运用该模拟系统能够对不同尺度规划设计方案进行定量模拟分析,细致计算城市规划区域的气象条件及其空气污染分布状况,这为在城市规划实施之前对不同方案进行模拟分析、预测建成后大气环境状况、优化城市布局提供科学依据<sup>[19-20]</sup>。

建立城市规划与大气物理环境关系的多尺度模拟系统是以城市环境为基本出发点,充分体现城市特征,如显示城市复杂特殊下垫面的影响,即城市特有的冠层效应<sup>[18]</sup>。

本研究利用城市规划大气环境多尺度数值模式中的城市尺度数值模式模拟在不同水体布局条件下,城市大气温度、湿度、风速、城市大气扩散条件的变化及其对城市大气环境的影响,并以北京市城市水体周边观测资料检验了数值模拟结果和模拟效果。

## 1 城市规划大气物理环境城市尺度数值模式简介

城市尺度数值模式是一个三维非静力区域气象数值预报模式。基本物理模型与动力学方程组由 7 个基本方程构成。它们是连续方程、动量方程、大气运动方程、状态方程、热量方程、水汽方程和污染扩散方程。模式中还包含对大气中次网格过程的参数化处理。这些参数化方案包括云物理参数化、湍能闭合参数化、地表通量参数化、陆面过程参数化、建筑物拖曳参数化和人为热源参数化<sup>[19-20]</sup>。

由于该模式主要被用于模拟计算城市中大气热量、动量、水汽以及污染物的输送扩散过程,因此模式增加了以下的特殊考虑,并实施相应的参数化处理:(1)为精确考虑城市建筑物对风场的拖曳作用,用城市建筑物对风场的拖曳力(拖曳满足因子)替代常用的粗糙度处理方案。即在水平风速分量和湍流

动能的方程中分别加入由建筑物引起的拖曳力项,以考虑次网格建筑物对风速和湍流动能的面积平均影响。(2)为考虑城市的特殊热力影响,引入城市人为热源。(3)为提高模拟所需的精细高效能的基础资料,应用地理信息系统(GIS)取得城市高分辨率下垫面参数。

城市尺度模式分为 6 个模块,它们是前处理模块、客观分析模块、大气数值预报模块、后处理模块、画图分析模块和模式性能效果分析模块。

城市尺度模式在输入规划方案的地形资料、土壤植被类型资料、气象初始资料以及污染分布数据之后,进行动量、热量、水汽以及污染物浓度的积分计算,积分结束后可得到城市规划方案建成后区域的大气流场、温度、水汽和污染物的分布状况。

有关模式的详细介绍请参阅文献[20]。

## 2 城市水体规划布局的设置和模拟分析

### 2.1 水体布局设置

本研究设计的城市水体布局分为集中型和分散型两组。每组布局的水体面积占有率分别为 4%、8%、12% 和 16%。设计的城市水体布局如图 1 所示。

### 2.2 模拟试验结果分析

城市尺度数值模拟采用城市规划大气环境多尺度数值模式系统中的城市尺度数值模式。市域模拟水平范围为 90 km×90 km,模拟网格距为 1 km×1 km。

气象条件选取 1 月和 7 月两个季节不同稳定度条件的 4 个时次。其中 14:00 为对流性层结,08:00 和 20:00 为中性层结,02:00 为稳定性层结。冬季主导风向为北风,夏季主导风向为南风。

用于数值模拟的大气物理环境背景分析取自北京市 1 月和 7 月平均要素场。具体数据如表 1 所示。

#### 2.2.1 城市水体布局对城市气象要素的影响

理论分析和实际观测均表明,城市水体具有降温、增湿、缓解城市热岛效应的功能,并能使其周边地区的气温和地表温度降低<sup>[9,17,21]</sup>。图 2 为模拟的分散型水体布局方案 2(水体占有率为 8%)夏季 14:00 近地面温度和湿度的空间分布。受水体的影

表 1 作为计算条件的北京市 1 月和 7 月各时刻的平均要素  
Table 1 Mean element values as calculated initial conditions at 02, 08, 14 and 20 BT in January and July in Beijing

月份	时刻	平均气温/℃	平均相对湿度/%	平均风速/m·s <sup>-1</sup>
1 月	02:00	-3.85	36.80	1.61
	08:00	-4.83	30.55	1.93
	14:00	1.33	24.58	2.64
	20:00	-2.20	32.25	1.62
7 月	02:00	25.04	79.46	1.43
	08:00	25.94	75.32	1.76
	14:00	31.46	54.28	2.74
	20:00	28.65	65.69	1.93

响,水体及水体周围的气温均明显降低,而湿度明显增大。其中,水体上空近地面的气温比周围城市区域的气温低约 1.2℃,湿度约高 0.2 g·kg<sup>-1</sup>。水体的这种影响作用可延伸至周围 2~3 km。随着距离的增大,水体的降温增湿作用逐渐降低。

对于不同的城市水体布局方案,表 2 提供的模拟数据表明,随着城市水体面积的增加,城市平均温度降低,平均湿度增加,平均风速增大。其中,分散型水体布局对城市区域气象环境的影响更为显著。当水体占有率从 4%变化到 12%,水体面积每增加 1 倍,平均温度约下降 0.2℃,平均相对湿度约增加 3%。但当水体占有率从 12%变化到 16%时,平均温度、平均湿度的变化不再显著。将方案 1 与方案 4 比较,当水体占有率从 4%变化到 16%,分散型布局方案下夏季日平均温度降低 0.37℃,而集中型布局方案下温度降低 0.19℃;分散型布局方案下日平均相对湿度增加 7.26%,而集中型布局方案下相对湿度增加 6.37%;分散型布局方案下日平均风速增大 0.16 m·s<sup>-1</sup>,而集中型布局方案下日平均风速增大 0.1 m·s<sup>-1</sup>。

表 2 夏季城市水体布局各方案日平均温度、日平均相对湿度和日平均风速的比较

Table 2 The comparison between daily mean temperature (℃), daily mean relative humidity (%) and daily mean wind speed (m·s<sup>-1</sup>) in summer under the urban dispersed and the converged water layouts

		方案 1 (4%)	方案 2 (8%)	方案 3 (12%)	方案 4 (16%)
平均温度/℃	分散型	29.96	29.79	29.64	29.59
	集中型	29.97	29.90	29.83	29.78
平均相对湿度/%	分散型	67.17	69.91	72.67	74.43
	集中型	66.87	68.69	71.80	73.24
平均风速/m·s <sup>-1</sup>	分散型	1.01	1.10	1.12	1.17
	集中型	0.99	1.04	1.07	1.09

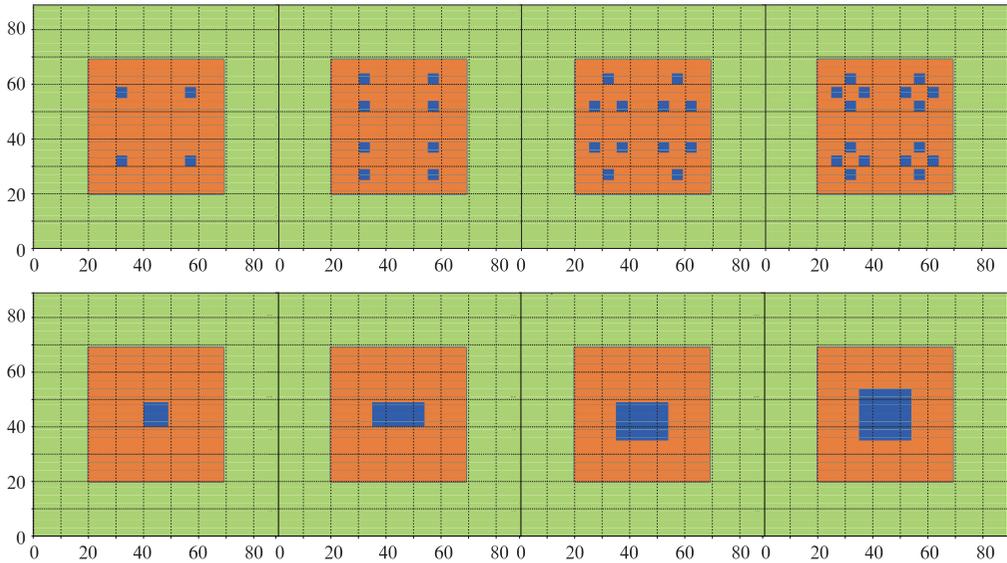


图 1 设置的城市水体布局和水体面积占有率的变化

上排为分散型布局,下排为集中型布局,水体占有率从左至右分别为 4%、8%、12%和 16%;城市范围为 90 km×90 km,横坐标 X 为东西方向,纵坐标 Y 为南北方向,橘红色为城市地面,浅绿色为农田,蓝色为设置的城市中的水域

Fig. 1 Setting urban water layouts and proportion of the urban water area to the urban area The upper row shows the dispersed water layouts and the lower row the converged ones with the proportion of the urban water area to the urban area being 4%, 8%, 12% and 16% from left to right side; the urban range is 90 km×90 km; the X-axis denotes the west-east direction and Y-axis the south-north direction; the jacinth stands for the urban region, the reseda for the farmland and the blueness for the setting urban water

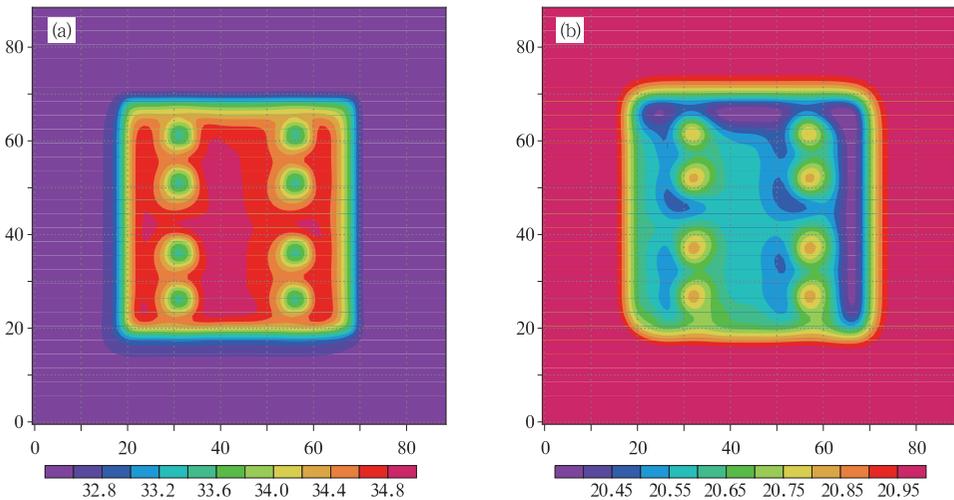


图 2 分散型布局方案 2 (8%)夏季 14:00 近地面温度(a, °C)和比湿(b, g · kg<sup>-1</sup>)的分布(坐标含义同图 1)

Fig. 2 The distribution of the surface air temperature (a, °C) and specific humidity (b, g · kg<sup>-1</sup>) at 14:00 BT in summer under the dispersed water layout scheme 2 (8%) (The significance of coordinates is same as Fig. 1)

图 3 给出了分散型水体布局各方案下水体面积对周围城区温度的影响。图中黑线所圈区域为温度

大于 34.8 °C 的城市高温区,黑线以外的部分为受水体影响温度降低的区域。很明显,除方案 4 外,随着

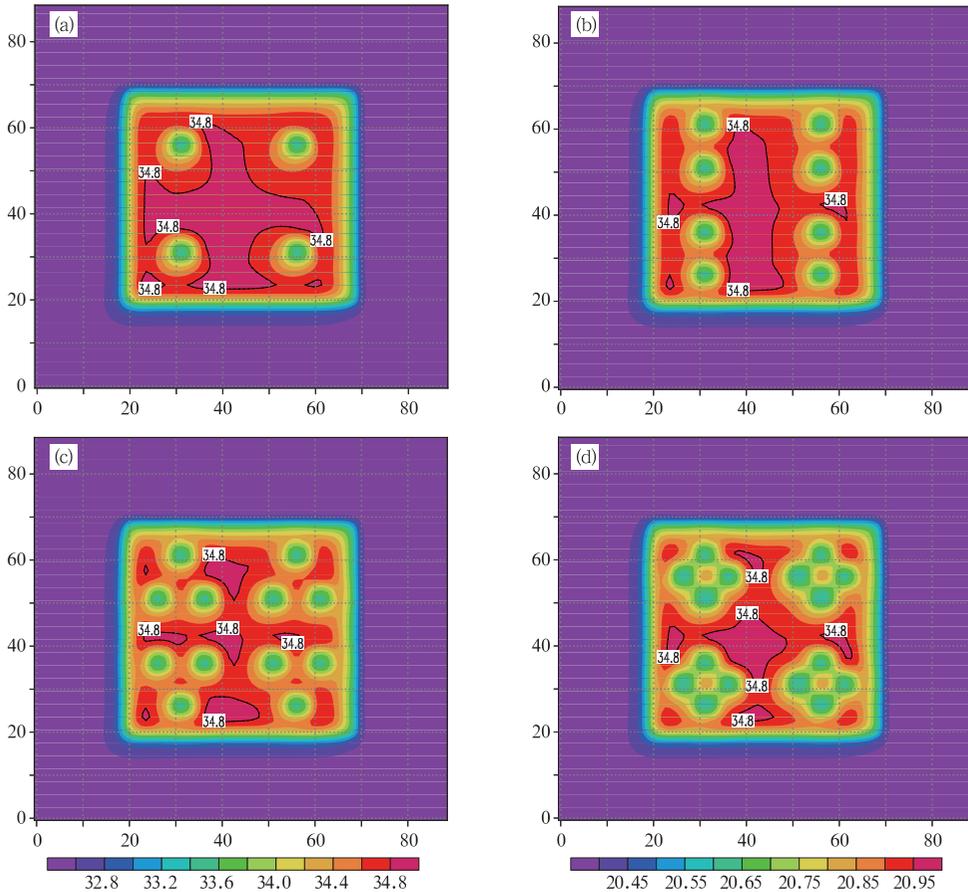


图 3 夏季 14:00 分散型布局下水体占有率分别为 4% (a)、8% (b)、12% (c) 和 16% (d) 时近地面温度的分布 (坐标含义同图 1)

Fig. 3 The distribution of the surface air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) under the dispersed water layouts with the urban water area of 4% (a), 8% (b), 12% (c) and 16% (d) respectively at 14:00 BT in summer (The significance of coordinates is same as Fig. 1)

水体面积的增加,高温区明显缩小,而受水体影响温度降低的区域则逐渐增加。

通过分析夏季分散型水体布局方案对温度、相对湿度、风速的影响(表 3)可知,当水体面积为 4% 时,水体对温度的影响范围达到 48%,并使温度降低  $0.22^{\circ}\text{C}$ ;当水体面积增加到 12% 时,水体对温度

表 3 夏季分散型水体布局方案对温度、相对湿度和风速的影响范围和影响量值

Table 3 Impacts of the dispersed water layouts on air temperature, relative humidity and wind speed in summer

	方案 1 (4%)	方案 2 (8%)	方案 3 (12%)	方案 4 (16%)
温度影响范围/%	48	60	68	72
温度影响量值/ $^{\circ}\text{C}$	-0.22	-0.28	-0.39	-0.42
湿度影响范围/%	45	56	67	62
湿度影响量值/%	3.2	5.6	8.1	9.2
风速影响范围/%	35	62	88	86
风速影响量值 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.06	0.12	0.16	0.21

的影响范围达到 68%,并使温度降低  $0.39^{\circ}\text{C}$ 。方案 4 的水体分布相对其他方案比较集中。与方案 3 相比,水体对温度的影响范围仅仅增加了 4%,使温度降低的幅度也仅增加了  $0.03^{\circ}\text{C}$ 。同样,在方案 4 下,水体的影响使相对湿度和风速分别增大 9.2% 和  $0.21\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。但与方案 3 相比,水体的影响范围却分别减小了 5% 和 2%。

### 2.2.2 城市水体布局对城市热岛效应的影响

城市热岛效应是城市气候最显著的特征<sup>[1,9]</sup>。通常用城区和郊区之间的平均温度之差来表示城市的热岛强度<sup>[7,22]</sup>。通过计算水体布局各方案下城市夏季热岛强度(表 4)发现,无论是分散型布局还是集中型布局,随着城市水体面积的增加,城市热岛强度均相应减小。比较而言,集中型水体布局的热岛强度要大于分散型水体布局。在分散型布局中,将方案 4 与方案 1 相比较,城市热岛强度的降低值为

0.34 °C,而集中型布局的降低值仅为 0.17 °C。在各方案下,集中型布局的热岛强度分别比分散型布局的热岛强度大 0.16 °C、0.24 °C、0.24 °C 和 0.33 °C。说明分散型水体布局能更有效地缓解城市夏季的高温效应。

表 4 夏季城市水体布局各方案日平均热岛强度(°C)

Table 4 The daily mean heat island intensity (°C) in daytime of summer under the urban water layouts

	方案 1 (4%)	方案 2 (8%)	方案 3 (12%)	方案 4 (16%)
分散型	1.09	0.94	0.88	0.75
集中型	1.25	1.18	1.12	1.08

进一步分析分散型水体布局对城市夏季白天平均热岛强度和强热岛范围的影响(表 5),可以发现,随着城市水体面积的增加,平均热岛强度减弱,强热岛范围缩小。当水体占有率从 4%变化到 16%,平均热岛强度降低 25%,强热岛范围减小 24%。这相当于水体面积每增加 1 倍,平均热岛强度以 0.2 °C 的速率降低。强热岛范围在水体占有率从 4%变化到 8%时减少最明显,达 12%。之后,随着水体面积的增加,强热岛范围分别减少 8%和 4%。

表 5 夏季白天分散型水体布局下平均热岛强度和强热岛范围

Table 5 The mean heat island intensity (°C) and the strong heat island range (%) in daytime of summer under the dispersed water layouts

	方案 1 (4%)	方案 2 (8%)	方案 3 (12%)	方案 4 (16%)
平均热岛强度/°C	2.01	1.82	1.64	1.48
强热岛范围/%	52	40	32	28

注:强热岛范围为热岛强度≥2.0 °C 的面积占城市面积的百分比

Note: The strong heat island range is the proportion of the area with the temperature difference between town and suburb greater than and equal to 2.0 °C accounting for the urban area

### 2.2.3 城市水体布局对城市大气扩散能力的影响

表 6 显示分散型城市水体布局各方案对城市大气扩散能力的影响。随着城市水体面积的增加,城市区域的平均风速呈增大之势,小风区(平均风速≤1.0 m·s<sup>-1</sup>的区域)范围减少。例如,当水体面积从 4%增加到 8%,城市小风区范围减少近一半。但当水体面积增加到 12%和 16%时,城市小风区范围的减小并不明显。从城市大气的扩散能力(时间越短,扩散能力越强)来看,随着水体面积的增加,城市大气混合扩散的能力在增强。例如,当水体面积从 4%增加到 16%,城市区域的大气扩散能力增强了 11%。

表 6 夏季分散型水体布局各方案下城市的小风区范围和扩散能力

Table 6 Weak wind range (%) and diffusivity (min) in urban area under the dispersed water layouts in summer

	方案 1 (4%)	方案 2 (8%)	方案 3 (12%)	方案 4 (16%)
小风区范围/%	73.72	38.04	31.08	29.00
扩散能力/min	32.81	31.27	30.27	29.23

注:小风区范围为风速≤1 m·s<sup>-1</sup>的区域占城市区域百分比

Note: The weak wind range is the proportion of the area with the wind speed less than and equal to 1.0 m·s<sup>-1</sup> accounting for the urban area

## 3 北京市城市水体大气物理环境效应

### 3.1 北京市城市水体气象要素观测布局

为了分析北京市水体对城市大气环境的影响和检验模式结果,在北京市城区现有自动气象站点分布的基础上,选取靠近水体的站点和远离水体的站点。站点的分布见图 4。其中,玉渊潭、紫竹院、海淀是靠近水体的站点,其余 5 个站是远离水体的站点。远离水体的站点中车道沟、天安门、西直门是位于交通区,公主坟位于商业区。

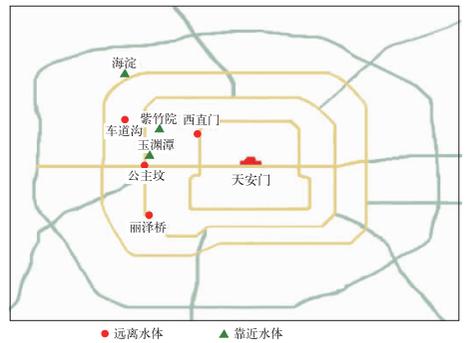


图 4 选取的作为对比站的北京市城区 8 个自动气象站的分布  
图中三角为靠近水体的站点,  
圆点为远离水体的站点

Fig. 4 The distribution of the selected 8 automatic meteorological stations for the comparison of wetland effect in Beijing city

The triangle stands for the station close to waters and circle dot the station away from waters

以下分析从北京市水体与大气物理环境的关系出发,针对北京城市水体展开观测试验及分析。

### 3.2 北京市城市水体大气物理环境效应分析

表 7 为选取的作为对比站的 8 个站点观测到的 1—9 月月平均气温的变化。其中,前 3 个站靠近水

体,因此受水体的影响显著。后 5 个站远离水体,受水体的影响不显著。平均而言,靠近水体站点的月平均气温均较远离水体站点的平均气温偏低。除了 5 月前 3 个站的月平均温度与后 5 个站的月平均温度大致相当外,其他各月的前 3 个站的月平均温度均低于后 5 个站的月平均温度,偏低的幅度在  $0.3 \sim 0.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这与前文所述的模式模拟结果相吻合,尤其是从玉渊潭站和公主坟站的平均温度可看出,虽然两站相距不远,但由于公主坟站位于公主坟商业圈中心,其各月平均气温较水体周边(玉渊潭站)高近  $0.1 \sim 0.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,可见水体的降温效果是明显的。

表 7 选取的作为对比站的各站月平均气温的变化( $^{\circ}\text{C}$ )

Table 7 Variations of monthly mean temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) in the selected 8 stations

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
玉渊潭					20.5	25.9	28.3	26.0	22.1
紫竹院	-2.2	-2.4	6.5	15.7	20.5	25.8	28.4	26.3	22.2
海淀	-2.8	-2.9	6.2	16.1	19.9	25.5	27.9	25.8	21.5
车道沟	-1.6	-2.3	7.0	16.9	20.4	26.1	28.4	26.4	22.5
西直门	-1.8	-2.2	6.8	16.6	20.3	26.0	28.5	26.4	22.6
公主坟	-1.4	-2.0	7.1	16.9	20.4	26.1	28.6	26.5	22.8
丽泽桥	-2.5	-2.5	6.6	16.7	20.4	26.1	28.5	26.2	22.1
天安门	-1.7	-2.4	6.9	16.8	20.2	25.9	28.4	26.4	22.6

由于水体的蒸发较城市其他下垫面高,因此水体附近的大气较其他地区湿润。表 8 为选取的作为对比站的 3 个站点观测到的月平均相对湿度的变化。平均而言,靠近水体的前两个站点玉渊潭站和海淀站的相对湿度明显高于远离水体的公主坟站的

从玉渊潭、紫竹院、海淀这 3 个站靠近的水域面积大小来看,是玉渊潭站靠近的水域面积最大,海淀站靠近的水域面积最小。而由靠近水体的 3 个站的平均气温来看,是靠近海淀公园水体的海淀站平均气温最低。根据分析,这主要是因为海淀站不仅靠近海淀公园内的一片水体,在其上风方还有昆明湖和六郎庄垂钓园的几块水体,在它们的共同作用下,造成海淀站平均气温相对其他两个靠近较大面积水体的站点还要低。这也很好地验证了模式模拟所得的结论——分散布局的水体对城市区域气象环境的影响更为显著。

表 8 选取的作为对比站的各站月平均相对湿度的变化(%)

Table 8 Variations of monthly mean relative humidity (%) in the selected 8 stations

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
玉渊潭					45.3	57.5	60.9	70.9	58.1
海淀	34.2	39.2	26.9	30.7	43.0	55.3	59.9	68.6	59.8
公主坟						49.4	53.4	60.9	47.8

相对湿度。在具有同期观测资料的 6—9 月,玉渊潭站和海淀站的月平均相对湿度比公主坟高约  $6\% \sim 10\%$ 。此观测结果也很好验证了模式模拟结果——受水体的影响,水体及水体周围空气湿度明显增大。

## 4 结论和问题

本文利用城市尺度数值模式模拟分析了城市水体布局对城市微气象环境产生的影响,并利用北京城市水体观测资料对模拟结果和效果进行了验证,得出以下结论:

(1) 城市水体布局对城市微气象环境产生影响。随着城市水体面积增加,无论分散型或集中型布局,都在一定程度上使城市气温降低、湿度增加、平均风速增大。比较而言,分散型水体布局对城市

区域微气象环境的影响更为显著。当水体占有从  $4\%$  变化到  $16\%$ ,分散型布局将使夏季日平均气温降低  $0.37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度增加  $7.26\%$ ,风速增加  $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。当水体面积为  $4\%$  时,分散型水体布局对夏季温度、湿度和风速的影响范围分别达到  $48\%$ 、 $45\%$  和  $35\%$ ,并使该区域的温度平均降低  $0.22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,湿度增加  $3.2\%$ ,风速增大  $0.06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。当水体面积增加到  $12\%$  时,分散型水体布局对夏季温度、湿度和风速的影响范围分别达到  $68\%$ 、 $67\%$  和  $88\%$ ,并使该区域的温度平均降低  $0.39 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,湿度增加  $8.1\%$ ,风速增大  $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。当水体面积增加到

16%时,水体对环境的改善程度降低。

(2) 分散型水体布局能更有效地缓解城市夏季的高温、改善城市热岛状况。当水体面积从4%增加到16%,夏季平均热岛强度降低25%,强热岛范围减小24%。相当于水体面积每增加1倍,平均热岛强度以0.2℃的速率降低;强热岛范围在水体面积从4%变化到8%时减少最明显,达12%。之后,随着水体面积的增加,强热岛范围分别减少8%和4%。

(3) 随着城市水体面积的增加,无论是分散型水体布局还是集中型水体布局,都会加强城市空气污染输送扩散的能力,但以分散型水体布局的能力更佳。当分散型水体面积从4%增加到8%,城市小风区范围减少近一半,但当水体面积增加到12%和16%时,城市小风区范围的减小并不明显。当分散型水体面积从4%增加到16%,城市的大气扩散能力将增强11%。

由于受到观测站点和观测要素的限制,对于模式模拟结果的验证还比较浅显,随着自动气象站站点的加密及观测要素的增加,可更进一步地开展检验工作。

## 参考文献

- [1] Arnfield A J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island[J]. *International Journal of Climatology*, 2003,23(1):1-26.
- [2] 胡非,洪钟祥,雷孝恩. 大气边界层和大气环境研究进展[J]. *大气科学*, 2003,27(4): 712-728.
- [3] Eliasson I. The use of climate knowledge in urban planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2000,48(1-2): 31-44.
- [4] 徐敏,蒋维楣,季崇萍,等. 北京地区气象环境数值模拟试验[J]. *应用气象学报*, 2002,13(特刊): 61-68.
- [5] 高志球,卞林根,程彦杰,等. 城市下垫面空气动力学参数的估算[J]. *应用气象学报*, 2002,12(1): 26-33.
- [6] Svensson M K and Eliasson I. Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2002,61(1): 37-54.
- [7] 张光智. 北京及周边地区城市尺度热岛特征及其演变[J]. *应用气象学报*. 2002,13(增): 43-49.
- [8] Allwine K J, Shinn J H, Streit G E, et al. Overview of UR-

BAN 2000: a multiscale field study of dispersion through an urban environment[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2002,83:521-536.

- [9] Thomas C, Peterson W, Timothy W, et al. Urban heat island assessment: metadata are important[J]. *Journal of Climate*, 2005,18: 3637-3646.
- [10] Toshio O. Changing Tokyo Metropolitan area and its heat island model[J]. *Urban Climate, Planning and Building*, 1991,1: 191-203.
- [11] 邓玉娇,匡耀求,黄锋,等. 基于 Landsat/TM 资料研究广州城市热岛现象[J]. *气象*, 2010,36(1): 26-30.
- [12] 胡文志,梁延刚,雷慧雯,等. 香港城市与郊区气候差异分析[J]. *气象*, 2009,35(2): 71-79.
- [13] Flowe A C, Kumar A. Analysis of velocity fields and dispersive cavity parameters as a function of building width to building height ratio using 3-D computer model for squat buildings[J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2000,86: 87-122.
- [14] 徐祥德,丁国安,周丽,等. 北京城市冬季大气污染动力-化学过程区域性三维结构特征[J]. *科学通报*, 2003,48(5): 496-501.
- [15] 徐祥德. 城市化环境大气污染模型动力学问题[J]. *应用气象学报*, 2002,13(特刊): 1-12.
- [16] 韩志伟. 城市空气污染数值预报模式系统及其应用空气污染数值预报模式系统[J]. *中国环境科学*, 2002,22(3): 202-206.
- [17] Saaroni H and Ziv B. The impact of a small lake on heat stress in a Mediterranean urban park; the case of Tel Aviv, Israel[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2003,47(3): 156-165.
- [18] 汪光焘,王晓云,苗世光,等. 城市规划大气环境影响多尺度评估技术体系的研究与应用[J]. *中国科学(D辑)*, 2005,35(增刊): 145-155.
- [19] Fang Xiaoyi, Jiang weimei et. al. The multi-scale numerical modeling system for research on the relationship between urban planning and meteorological environment[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004,21(1): 103-112.
- [20] 王晓云. 城市规划大气物理环境效应定量分析技术与评估指标研究[D]. 清华大学博士学位论文,北京:清华大学建筑学院,2006,1-233.
- [21] 孙砾石,王昊. 扎龙湿地周边区域极端气温不对称变化分析[J]. *气象*, 2006,32(5): 22-32.
- [22] 李兴荣,胡非,舒文军. 北京夏季强热岛分析及数值模拟研究[J]. *气象*, 2007,33(6): 26-31.