



基于实测和数值模拟的建筑布局对居住区风环境的影响

梁 涛,李 静

(信阳农林学院 规划与设计学院,河南 信阳 464100)

摘要:为优化居住区的风环境,选取郑州市区不同方位上距离市中心不同远近、不同布局的4个住宅小区,对其风速进行测量记录,结合数值模拟软件 ENVI-met 研究小区的建筑布局对风环境的影响。结果表明:春季静风状态下,距离市中心由远到近,实测风速有减小趋势;不同布局特点的建筑风速大小明显不同,点状式>行列式>围合式;ENVI-met 数值模拟与现场实测结果有较好的吻合度,绿化的改变对风环境有一定的优化作用。

关键词:建筑布局;风环境优化;ENVI-met 数值模拟

快速的城市化改变了气候的下垫面,高层的出现增加了城市的粗糙度,使得市区的平均风速有减小的趋势,同时也造成局部地区风速过大,形成灾害。如何通过规划控制城市的规模和城市冠层高度成为亟需研究的问题。

气象学中通常会根据空间尺度的不同将气候分为大气候、中气候、局地气候和微气候^[1]。居住区的微气候是指在居住区范围尺度内的气候状况,包括风环境、温度、相对湿度和太阳辐射等气候因子,这些气候因子通常会受到大气与下垫面之间的热过程变化的影响^[2-5]。居住区的建筑会因布局形式的不同而引起下垫面粗糙度的改变进而影响居住区内风环境的改变^[6]。关于城市风环境的研究方法,主要包括:现场实测^[7]、风洞模拟、数值模拟等,采用现场实测调查的方法来分析居住区风环境往往需要耗费巨大的时间和精力,因此在研究居住区的风环境过程中,数值模拟的方法受到许多学者的青睐,被广泛应用于单体建筑^[8-9]、群体建筑^[10]、建筑布局^[11]的风环境研究中。

史源等^[12]用 ENVI-met 数值模拟的方法分析了行人高度的风速,评价了北京西单商业街的街区风环境。柯咏东等^[13]用数值模拟的方法研究了不同设置的绿化带对城市建筑物周围风场的影响。秦文翠等^[14]认为建筑高度为 40 m 的住宅小区无论是实测还是数值模拟都发现平行于来风

方向的“峡谷效应”,建筑间的峡谷出风口风速都有增大。此外,数值模拟的方法也被用于风环境与热舒适度的相关研究中^[15]。

本文在进行居住区风环境现场实测的基础上,结合 ENVI-met 数值模拟软件,对居住区的风环境进行调查研究;对比分析实测数据和模拟数据之间的吻合度,以期通过数值模拟的方法对居住区的风环境状况提供预测参考,在数值模拟过程中通过改变空间布局的相关参数对试验小区的风环境进行优化。

1 研究方法

1.1 试验测试

本研究旨在分析郑州市区内的典型居住小区的建筑布局对室外风环境的影响,研究小区的选取主要考虑以下几点:居住区都只具有单一的住宅功能;建筑布局形式具有一定的代表性;小区的周围没有其它明显影响风环境的其它建筑,保证了变量单一性。郑州市位于(N34°16′~34°58′, E112°42′~114°13′),气候类型为北温带大陆性季风气候,春季盛行风向是东南风,年平均气温 14.0~14.3℃;年平均降雨量约为 640.9 mm,主要的气候特点为春季干旱少雨,夏季炎热多雨,秋季晴朗日照长,冬季寒冷少雪。东部的测量区域包括宝景花园和香域巴黎 2 个小区,在宝景花园设立 5 个样点,在香域巴黎设立 3 个样点;帝湖花园测量区规划建筑位于郑州市中原区,在帝湖多层共设立了 9 个样点,在帝湖高层共设立了 3 个样点;非常国际位于郑州市金水区,小区共设立了 6 个样点(图 1)。

收稿日期:2018-01-27

第一作者简介:梁涛(1988-),男,硕士,助教,从事风景园林规划与设计研究。E-mail:493038613@qq.com。

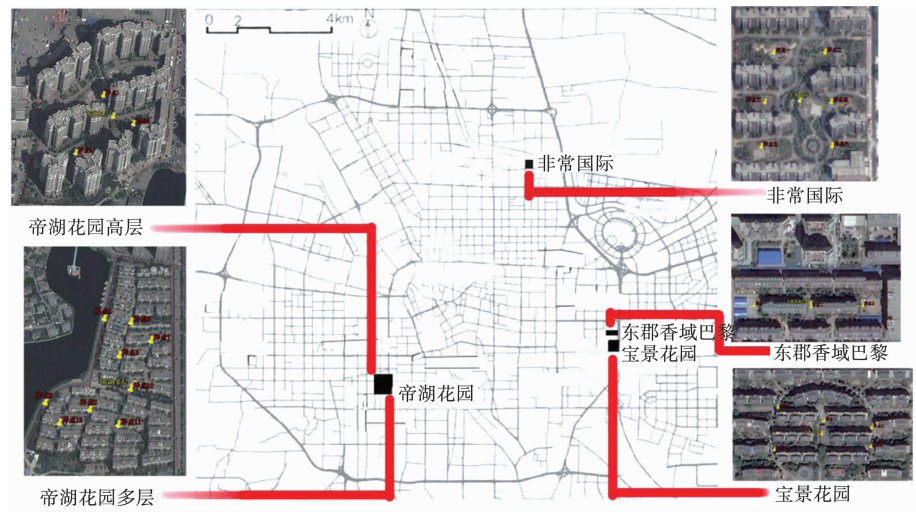


图1 测量小区分布图

Fig.1 Distribution diagram of measured residential districts in Zhengzhou

测量仪器采用路昌 LM—8000 温度相对湿度风速照度四合一环境测量仪,对各测量点1 d中12 h的数据进行测量,研究小区内不同地点如主干道、林荫道以及湖边或人工水池附近设置测量样点,主要测量行人高度(距地1.2 m)处的空气温度、相对湿度及风速风向等数据。具体测量时间为2015年4月22日(气象台天气为晴朗净空,云量<2 oktas,平均风速<2 m·s⁻¹),测量时间段为8:00-19:00,测量间隔时间为1 h,测量持续时间10 min以上,

每组数据内数据点采集时间间隔为10 s。测量样点垂直高度1.2 m处的瞬时风速,每个数值读取2次,取该时间段的平均值作为最终的试验数值。

本研究主要用于说明建筑布局与风环境的关系,所讨论的建筑布局包括试验小区楼层高度、所处位置(距市中心距离)、布局方式、绿化布局共4个方面。由于各试验小区的楼层高度都高于底部的绿化种植高度,因此本文不对绿化布局做重点讨论。各小区建筑布局特点如表1所示。

表1 各测量区建筑布局比较

Table 1 Comparison of building layout in measured districts

地点 Location	帝湖花园高层 Dihu garden high-rise	帝湖花园多层 Dihu garden low-rise	非常国际 Feichang international	东郡香域巴黎 Dongjun Pairs	宝景花园 Baojing garden
建成年代 Built year	2007	2007	2006	2008	2003
建筑距市中心距离	较远	较远	较近	中等	中等
建筑布局方式	点状式布局	行列式布局	点状式布局	围合式布局	围合式布局
建筑宽高比	1:1或1:5	3:1	1:1	3:1	5:1
建筑密度/%	19.89	39.80	19.11	35.63	33.04
建筑平均层数	33	6	33	6	6
容积率	6.56	2.39	6.30	2.14	1.98
绿地率/%	27.20	19.80	48.21	26.90	19.05
各样点的开敞程度平均值(SVF)/%	47.82	62.77	54.75	60.44	43.10

1.2 数值模拟

ENVI-met 软件是由德国波鸿大学的Michael和Heribert于1988年共同研究开发,现已广泛应用于世界不同地区的微气候研究。软件基于计算流体力学和热力学,主要用于模拟城市

小尺度空间内地面、植被、建筑和大气之间的相互作用。本次模拟的边界条件如表2所示。

2 结果与分析

本研究主要用于说明建筑布局与风速的关系(图2、表3),研究中所讨论的建筑布局包括试

验小区楼层高度、所处位置(距市中心距离)、布局 方式、绿化布局这 4 个方面。

表 2 数值模拟的边界条件

Table 2 Boundary conditions of numerical simulation

气象参数	郑州气象站离地 2500 m 高度处空气比湿 $7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$
Meteorological parameter	距地面 10 m 处风速为 $3.00\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 风向 0° (北向为 0°)
	气象站地面粗糙度为 0.1 m
植物	树高 15.0 m, 树冠宽 10.0 m, 树干 2.2 m, $\text{LAD}=1.8\text{ m}^2\cdot\text{m}^{-3}$
Vegetation	灌木高 1.2 m, $\text{LAD}=2.8(\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3})$
	草高 0.3 m, $\text{LAD}=0.3(\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3})$
建筑	墙: $K=1.94(\text{W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1})$, $\alpha=0.2$
Building	屋顶: $K=6(\text{W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1})$, $\alpha=0.3$
	墙体: 混凝土 $\alpha=0.3$, $\rho=2\,300(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$, $\lambda=1.51(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$
下垫面	地面: 水泥地面 $K=5.28(\text{W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1})$, $\alpha=0.25$
Underlying surface	道路: 沥青 $K=5.28(\text{W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1})$, $\alpha=0.25$
土壤初始条件	0~0.2 m: 293 K/50%RH
Soil initial condition	0.2~0.5 m: 293 K/60%RH
	0.5 m 以下: 293 K/60%RH
RNG $k-\epsilon$ 模型	差分模式: 迎风差分法
RNG $k-\epsilon$ model	入口设定: $U=U_0(Z/Z_0)^a$, $k=1.5\cdot(I\times U)^2$, $\epsilon=C_\mu\cdot k^{3/2}/l=4\cdot(C_\mu\cdot k)^{1/2}Z_0^{1/4}Z^{3/4}/U_0$
	网格设定: 研究区取 $3\text{ m}\times3\text{ m}\times3\text{ m}$ 的网格

表 3 实测风速与模拟分析

Table 3 Analysis of wind speed

风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) Wind speed															
测定时间 Time	非常国际 Feichang international			帝湖花园高层 Dihu garden high-rise			帝湖花园多层 Dihu garden low-rise			东郡香域巴黎 Dongjun Pairs			宝景花园 Baojing garden		
	$v_{\text{实测}}$	$v_{\text{模拟}}$	$v_{\text{差值}}$	$v_{\text{实测}}$	$v_{\text{模拟}}$	$v_{\text{差值}}$	$v_{\text{实测}}$	$v_{\text{模拟}}$	$v_{\text{差值}}$	$v_{\text{实测}}$	$v_{\text{模拟}}$	$v_{\text{差值}}$	$v_{\text{实测}}$	$v_{\text{模拟}}$	$v_{\text{差值}}$
8:00	2.8	1.4	-1.4	1.2	2.7	1.5	2.2	1	-1.2	0.7	0.6	-0.1	0.7	0.8	0.1
9:00	1.1	1.4	0.3	2.8	2.7	-0.1	1.2	0.9	-0.3	0.7	0.6	-0.1	0.6	0.8	0.2
10:00	1.7	1.5	-0.2	2.0	2.3	0.3	0.9	0.9	0	0.3	0.6	0.3	0.6	0.9	0.3
11:00	1.4	1.5	0.1	2.9	2.8	-0.1	1.2	1.0	-0.2	0.7	0.6	-0.1	0.7	0.9	0.2
12:00	1.9	1.7	-0.2	1.9	2.1	0.2	1.2	0.9	-0.3	0.4	0.6	0.2	0.5	0.9	0.4
13:00	1.7	1.9	0.2	1.5	1.7	0.2	1.0	0.9	-0.1	0.4	0.6	0.2	0.7	0.8	0.1
14:00	1.7	1.9	0.2	2.1	2.3	0.2	1.0	0.9	-0.1	0.8	0.6	-0.2	0.7	0.9	0.2
15:00	2.1	2	-0.1	1.7	1.9	0.2	1.1	0.9	-0.2	0.6	0.6	0	0.7	0.9	0.2
16:00	2.5	2.1	-0.4	2.8	2.4	-0.4	1.0	0.9	-0.1	0.6	0.7	0	0.7	0.9	0.2
17:00	2.3	2.0	-0.3	2.5	2.3	-0.2	1.2	0.9	-0.3	0.4	0.7	0.3	0.6	0.9	0.3
18:00	2.1	2.1	0	1.2	1.6	0.4	0.9	0.9	0	0.6	0.6	0	0.3	0.9	0.6
19:00	1.9	2.0	0.1	1.8	2.1	0.3	0.7	0.9	-0.2	0.5	0.7	0.2	0.4	0.8	0.4
RMSE 均值	0.21			0.25			0.18			0.23			0.25		
MAPE 均 值/%	11.9			12.9			19.6			16.1			14.1		

$v_{\text{实测}}$ 表示实测的风速值; $v_{\text{模拟}}$ 表示数值模拟得出的风速值; $v_{\text{差值}}$ 表示模拟风速减去实测风速之差。
 $v_{\text{实测}}$ indicates the measured wind speed; $v_{\text{模拟}}$ indicates the value of wind speed obtained by numerical simulation; $v_{\text{差值}}$ shows the difference between the simulated wind speed and the measured wind speed.

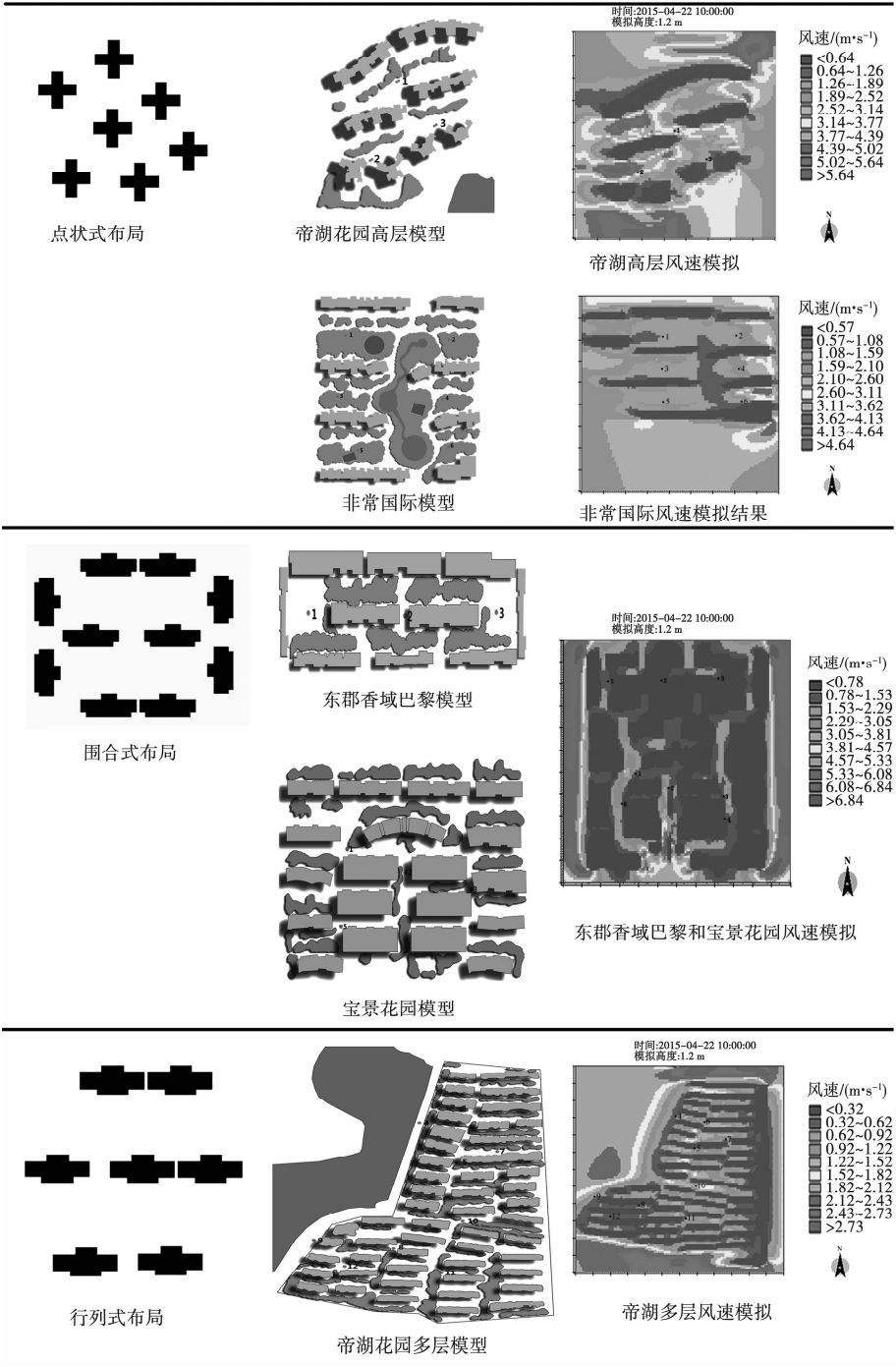


图2 建筑布局和风速模拟结果

Fig. 2 Building layout and wind speed simulation results

实测过程中通过每个小区各个样点的同时观测记录,得到结果取平均值作为该小区的平均风速;数值模拟过程按照表2设置边界参数,得到每个小区各个样点的模拟风速数值,取平均值作为该小区的模拟风速值。本文采用(Root Mean Square Error, RMSE)误差平方根和平均绝对百分比误差(Mean Absolute Percentage Error,

MAPE)指标模型进行精度评价:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_{\text{模拟}} - v_{\text{实测}})^2} \tag{1}$$

$$\text{MAPE}(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|v_{\text{模拟}} - v_{\text{实测}}|}{v_{\text{模拟}}} \times 100 \tag{2}$$

实测和模拟结果如表 3 所示,各小区 RMSE 的均值均不超过 $0.25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,MAPE 的均值均小于 20%,说明了实测的风速与模拟风速的误差较小,ENVI-met 模型在大多数情况下能够较好地预测不同建筑布局形式下的小区风环境。通过图 2 中实测风速与模拟风速得到对比,实测风速具有很大的偶然性,与计算机数值模拟相比湍流效应要更加明显,显示出受外界因素扰动较大,容易出现风速的瞬时急剧增减。

在对高层点状式布局的小区进行数值模拟时,从模拟结果中可以得出楼层高度过高造成的“峡谷效应”明显,局部形成了较大的风速,易造成风害,针对此结果建议在高层点状式布局的小区上风向增加绿色植物的种植(图 3),以增大地面的粗糙度减小风速;在对多层围合式布局的小区进行数字模拟时,从模拟结果可以得出接近围合中心的地带易出现静风现象,不利于小区的空气流通和污染物扩散,在当前城市中雾霾较为严重的情形下不利于小区居民的身体健 康,针对此结果建议在沿城市盛行风向上减少布置绿色植物(图 4),以利于小区内的空气交换。

通过对小区风速过大的帝湖花园高层和风速过小的东郡香域巴黎、宝景花园小区原有空间布局进行分析,拟提出绿色植物种植优化调整策略,进而利用数值模拟验证调整后的植被对小区风环境的影响。定义 $\delta=\text{ratio } v$,即植被优化前后的风

速模拟工况($\text{ratio } v=V[\text{优化后}]/V[\text{优化前}]$),分析行人高度的风速。当 δ 值小于 1 时有减小过大风速的优化效果;当 δ 值等于 1 是说明无明显优化效果;当 δ 值大于 1 时说明对增大风速减轻静风现象有优化效果(图 5 及表 4)。

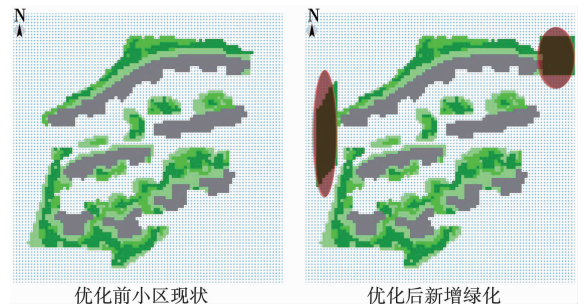


图 3 帝湖高层植物优化

Fig. 3 Vegetation optimization of Dihu garden high-rise

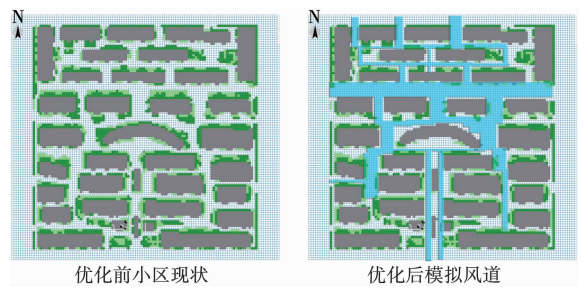


图 4 东郡香域巴黎和宝景花园的植物优化

Fig. 4 Vegetation optimization of Dongjun Pairs and Baojing garden

表 4 风环境优化前后对比

Table 4 Comparison table before and after the optimization of wind environment

时间 Time	风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) Wind speed								
	帝湖高层 Dihu garden high-rise			东郡香域巴黎 Dongjun Pairs			宝景花园 Baojing garden		
	优化前 Before	优化后 After	实测 Measured	优化前 Before	优化后 After	实测 Measured	优化前 Before	优化后 After	实测 Measured
	optimization	optimization	value	optimization	optimization	value	optimization	optimization	value
8:00	2.7	1.8	1.2	0.6	1.0	0.7	0.8	1.4	0.7
9:00	2.7	1.7	2.8	0.6	1.0	0.7	0.8	1.4	0.6
10:00	2.3	1.7	2.0	0.6	1.2	0.3	0.9	1.5	0.6
11:00	2.8	1.7	2.9	0.6	1.2	0.7	0.9	1.8	0.7
12:00	2.1	1.9	1.9	0.6	1.3	0.4	0.9	1.7	0.5
13:00	1.7	1.9	1.5	0.6	1.4	0.4	0.8	1.8	0.7
14:00	2.3	1.9	2.1	0.6	1.4	0.8	0.9	1.9	0.7
15:00	1.9	2.0	1.7	0.6	1.4	0.6	0.9	1.9	0.7
16:00	2.4	2.1	2.8	0.7	1.8	0.6	0.9	2.0	0.7
17:00	2.3	2	2.5	0.7	1.5	0.4	0.9	2.0	0.6
18:00	1.6	2.1	1.2	0.6	1.6	0.6	0.9	2.1	0.3
19:00	2.1	2.1	1.8	0.7	1.7	0.5	0.8	2.2	0.4
δ	$\delta_{\text{帝湖高层}}=0.85$			$\delta_{\text{东郡}}=2.00$			$\delta_{\text{宝景}}=2.09$		

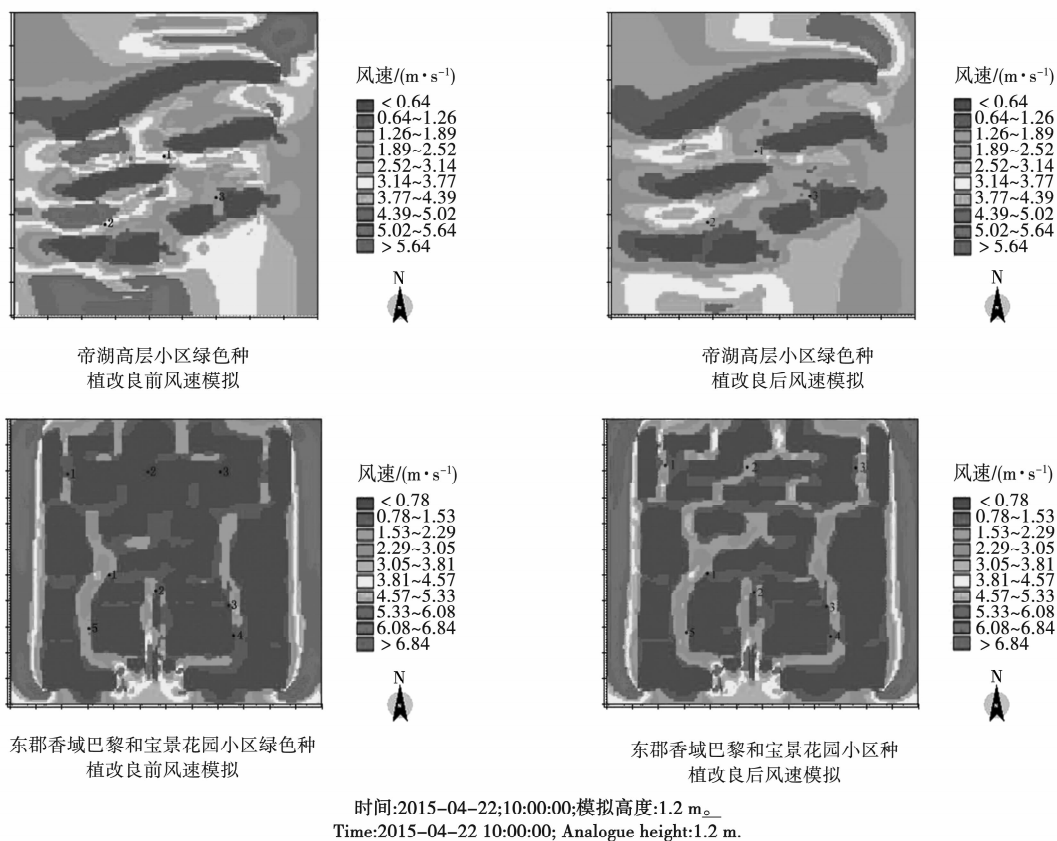


图5 植物种植优化前后风环境模拟对比图

Fig. 5 Comparison chart of wind environment simulation before and after plant optimization

通过风环境优化的数值模拟结果可看出:帝湖高层小区在进行增加绿色植物种植优化其建筑空间布局后,原先在小区中出现的局地大风的现象得到了一定程度的改善,产生局地大风的区域面积大幅缩小了;东郡香域巴黎和宝景花园小区在进行风道上的减少绿色植物种植优化其建筑空间布局后,通风区域面积明显增加,原先在小区中出现的静风现象得到一定程度的缓解。由此可知,通过 ENVI-met 数值模拟针对不同小区的具体情形合理进行建筑空间布局的优化安排,对于风环境的优化有直观的预测作用。在进行小区规划设计之前可以进行风环境优化工作,能在一定程度上可有效改善小区的人居环境。

3 结论

城市中居住小区的风环境与小区的建筑布局密切相关,合理的优化小区的建筑布局可以有效地改善小区风环境。本文对郑州市不同建筑布局的典型住宅小区进行了风环境的实测与数值模拟,数值模拟结果和实测结果反映出的问题基本一致,表明了模拟结果能在一定程度上有效地预测小区的风环境状况,在模拟中通过改变植物种

植的情况可以优化小区风环境。

通过分析对比实测数据和模拟结果,在春季静风状态下,距离市中心由远到近,实测风速呈减小趋势;不同布局特点的建筑风速大小明显不同,点状式>行列式>围合式。

实测风速与数值模拟风速对比之下,实测风速的湍流效应要比模拟风速的大,实测风速易受到外界因素的扰动产生急剧的风速增减;其中高层建筑相较于多层建筑对这种扰动表现出敏感性大、稳定性差的特点。

风环境作为城市微气候的一个评价因子,在描述城市微气候优劣时是远远不够的。本文选取 ENVI-met 软件只对风环境进行了数值模拟研究并通过跟实测数据的比对,反映数值模拟的准确性。但是对于影响城市微气候的其它因子,如温度、相对湿度、太阳辐射等未做分析,在今后的研究中,通过完整的微气候因子的数值模拟来分析不同场景的城市微气候效应,以更好地指导城市化进程中的规划建设及管理等问题。

参考文献:

[1] 吉野正敏著,郭可展,李师融,等.局地气候原理[M].南宁:

- 广西科学技术出版社,1989.
- [2] Shashua-Bar L, Hoffman M E. The green CTTC model for predicting the air temperature in small urban wooded sites[J]. Building & Environment, 2002, 37(12): 1279-1288.
- [3] Bouden C, Ghrab N. WITHDRAWN: An adaptive thermal comfort model for the Tunisian context: Field study results[J]. Energy & Buildings, 2005, 37(9): 952-963.
- [4] 李英汉, 王俊坚, 陈雪, 等. 深圳市居住区绿地植物冠层格局对微气候的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 343-349.
- [5] 谢振宇, 杨纳. 改善室外风环境的高层建筑形态优化设计策略[J]. 建筑学报, 2013(2): 76-81.
- [6] Yang F, Qian F, Lau S S Y. Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai[J]. Building & Environment, 2013, 70(12): 122-137.
- [7] 梁涛, 何瑞珍, 陈珂珂, 等. 校园绿色空间布局对微气候的效应研究[J]. 河南农业大学学报, 2017, 51(3): 414-420.
- [8] 金海, 杨立国, 何连华. 某大型建筑行人风环境数值模拟研究[J]. 建筑科学, 2014, 30(7): 1-5.
- [9] 薛笋笋, 郭建侠, 汤志亚, 等. 基于 CFD 的单个建筑物风场模拟参数选择[J]. 气象科技, 2014, 42(4): 712-718.
- [10] 马剑. 群体建筑风环境的数值研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [11] 孟晗, 李安桂. 基于风环境的布局模式及绿化形式研究综述[J]. 建筑科学, 2015, 31(2): 54-59.
- [12] 史源, 任超, 吴恩融. 基于室外风环境与热舒适度的城市设计改进策略——以北京西单商业街为例[J]. 城市规划学刊, 2012(5): 92-98.
- [13] 柯咏东, 桑建国. 小型绿化带对城市建筑物周围风场影响的数值模拟[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2008, 44(4): 585-591.
- [14] 秦文翠, 胡聃, 李元征, 等. 基于 ENVI-met 的北京典型住宅区微气候数值模拟分析[J]. 气象与环境学报, 2015(3): 56-62.
- [15] Krüger E L, Mintlla F O, Rasia F. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and quality from field measurements in Curitiba, Brazil[J]. Building and Environment, 2011, 46(3): 621-634.

Influence of Building Layout on Wind Environment in Residential Area Based on Measured and Numerical Simulation

LIANG Tao, LI Jing

(School of Planning and Design, Xinyang Academy of Agroforestry, Xinyang 464100, China)

Abstract: In order to optimize the wind environment of residential area, four residential districts, different distances and layout in different azimuth of downtown area were selected, and the wind speed was measured and recorded with the numerical simulation software ENVI-met to study the influence of the building layout on the wind environment. The results showed that the spring wind condition, distance from the city center far to near, the measured wind speed decreased; the wind speed of building with different layout characteristics was obviously different, and the dot pattern > determinant > enclosure type; there was a good agreement between the ENVI-met numerical simulation and the field measured results, and the change of greening had a certain optimization effect on the wind environment.

Keywords: building layout; wind environment optimization; ENVI-met numerical simulation

《黑龙江农业科学》理事会

理事长单位	代表	理事单位	代表
黑龙江省农业科学院	院长 李文华	黑龙江生物科技职业学院	院长 李承林
副理事长单位	代表	宁安县农业委员会	主任 曾令鑫
黑龙江省农业科学院佳木斯水稻研究所	所长 潘国君	农垦科研育种中心哈尔滨科研所	所长 姚希勤
黑龙江省农业科学院五常水稻研究所	所长 张广柱	黑龙江农业职业技术学院	院长 李东阳
黑龙江省农业科学院克山分院	院长 邵立刚	黑龙江职业学院	院长 赵继会
黑龙江省农业科学院黑河分院	院长 张立军	鹤岗市农业科学研究所	所长 姜洪伟
黑龙江省农业科学院绥化分院	院长 陈维元	伊春市农业技术推广推广中心	主任 张含生
黑龙江省农业科学院牡丹江分院	院长 张太忠	甘南县向日葵研究所	所长 孙为民
黑龙江农业经济职业学院	院长 张季中	萝北县农业科学研究所	所长 张海军
常务理事单位	代表	齐齐哈尔市自新种业有限责任公司	总经理 陈自新
勃利县广视种业有限责任公司	总经理 邓宗环	黑龙江省农垦科学院水稻研究所	所长 解保胜
内蒙古丰垦种业有限责任公司	董事长 徐万陶	黑龙江八一农垦大学农学院	院长 杨克军
		绥化市北林区农业技术推广中心	主任 张树春
		黑龙江省齐齐哈尔农业机械化学学校	校长助理 张北成