

合肥市环城公园对旧城区风环境影响研究

Study on the Impact of Hefei City Ring Park on the Wind Environment of the Old City

冀凤全^{1*} 魏愿宁¹ 吴凯丽^{1,2}
JI Fengquan^{1*} WEI Yuaning¹ WU Kaili^{1,2}

(1.安徽建筑大学建筑与规划学院, 合肥 230601; 2.中国科学技术大学研究生院科学岛分院, 合肥 230031)
(1. College of Architecture and Urban Planning, Anhui Jianzhu University, Hefei, Anhui, China, 230601; 2. University of Science and Technology of China Graduate School of Science Island Branch, Hefei, Anhui, China, 230031)

文章编号: 1000-0283(2023)08-0065-07

DOI: 10.12193/j.laing.2023.08.0065.008

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2023-05-12

修回日期: 2023-06-19

摘要

旧城区由于普遍存在绿地率低、建筑密度高等问题,对风环境研究极具紧迫性。以合肥市环城公园旧城区为研究对象,选取逍遥津公园、包河公园、杏花公园及其周边环境为例,采用CFD技术模拟场地风环境,探究影响合肥市旧城区风环境的各项空间组合要素。结果表明:(1)旧城区平均风速在0.57 m/s,明显低于合肥市平均风速;(2)杏花公园地块风环境最好,逍遥津地块建筑群组对风环境阻碍明显,包河公园地块静风区面积最大;(3)旧城区风环境主要影响因素为环城公园绿地和水体、建筑群的空间组合方式、建筑与风向之间的夹角、建筑单体形态。最后将城市公园绿地环境效应和建筑布局综合研究,基于原有旧城肌理,提出改善旧城区风环境的建筑布局与绿地布局策略,为旧城区风道规划与更新方式提供了新思路。

关键词

环城公园; 旧城区; 风环境; 计算流体力学; 优化策略

Abstract

Studying the wind environment in old urban areas is extremely urgent due to the common problems of low green area rates and high building density. The article takes the old urban area of Hefei ring park as the research object, selects Prosperity Park, Baohe Park, Xinghua Park, and their surrounding environments as examples, uses CFD technology to simulate the wind environment of the site, and explores each spatial combination of elements affecting the wind environment of the old urban area in Hefei. The study shows that: (1) The average wind speed in the old city is at 0.57 m/s, which is significantly lower than the average wind speed in Hefei; (2) The Xinghua Park plot has the best wind environment; the building group in the Prosperity Park plot hinders the wind environment obviously; the Baohe Park plot has the largest area of static wind area; (3) The main influencing factors of wind environment in the old city: green space and water bodies around the city park, the spatial combination way of the building group, the angle between the building and the wind direction, and the form of the building monolith. Finally, the environmental effect of urban park green space and building layout are studied comprehensively, and based on the original old city texture, the building layout and green space layout strategies are proposed to improve the wind environment in the old city, which provides new ideas for the way of planning and updating the windway in the old city.

Keywords

ring park; old town; wind environment; Computational Fluid Dynamics; optimization strategy

冀凤全

1977年生/男/安徽亳州人/博士/教授、国家注册城乡规划师/研究方向为地域景观与生态环境

魏愿宁

1999年生/女/安徽淮北人/在读硕士研究生/研究方向为地域景观与生态环境

吴凯丽

1998年生/女/安徽铜陵人/在读硕士研究生/研究方向为计算机技术

随着城镇化进程的加快,雾霾、热岛效应等诸多方面,风环境的改善是当今城市规划和建设必须考虑的重点问题^[2]。旧城区由于建筑密度高、街区通风条件差,居民生活质

应等城市病开始产生^[1]。城市风环境直接影响着城市舒适度、温度、湿度以及建筑能耗

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: 1581722133@qq.com

基金项目:



图1 合肥环城公园旧城区区位图
Fig. 1 Location map of the old part of the ring park in Hefei

量受到了严重影响。因此在城市更新的过程中,如何优化空气健康、改善旧城区风环境成为关注的热点。合肥市属亚热带季风性湿润气候,近10年主要处于低风速区,旧城区城市热岛效应和冬季雾霾更为严重。合肥市旧城区位于庐阳区,与环城公园紧密羁绊,因此探究环城公园对旧城区风环境的影响就显得十分必要。

总体来看国内对于风环境的研究对象多为传统住宅和校园,缺乏对旧城居住区风环境的研究,伴随着未来街区模式变化、更新,更多地开放式、多元化、多功能性的城市街区将成为城市主导,高密度、高人流、室外高舒适的多功能商业街区将成为研究重点。彭翀等^[9]利用Fluent软件对武汉大智门老城区不同改造方式进行风环境分析。杜吴鹏等^[4]基于北京风环境、城市热岛和地表通风潜力分布提出了北京中心城区通风廊道构建的依据、原则和初步方案建议。曹靖等^[6]借

助PHOENICS软件对安庆市中心城区风环境进行分析,对通风环境较差的地区提出拆迁通路、抽疏复绿和屋顶绿化及其近远期不同的改善对策。梁颢严等^[6]利用计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)技术以广州市黄埔区鱼珠旧城更新改造规划为例探究岭南旧城区风环境评估方法、指标及判断标准。刘鹏飞等^[7]基于CFD技术分析长沙太平街旧城区风环境,提出增加开敞空间和疏通街巷格局两种旧城区风环境改善策略。颜文涛等^[8]通过比较多情景方案的风环境模拟结果,以期形成空气环境健康导向下老旧社区的生态化更新策略。对于风环境的技术手段趋于成熟,常见的有现场实测、风洞试验和数值模拟法^[9]。彭明熙等^[10]采取实地测量和数值模拟的方法,探究重庆市传统民居风环境,提出利用石砌民居的热延迟特性,组织夜间通风方式以改善区内风热环境。董晓等^[11]通过定量实测及软件数值模拟对秦岭

山地传统民居群落进行风环境研究,提出传统院落位置、朝向、尺寸与风环境的适应关系,发扬地域生态文化特色。沈炼等^[12]利用10m×3m×21m的大尺寸风洞,对长沙市某社区进行多工况的试验研究。杨易等^[13]基于风洞试验结合数值模拟的方法,进行不同风向来流角与建筑高度的对比研究。李世芬等^[14]利用CFD技术得出三合院为东北冬季乡村围合式院落风环境最优选,并据此提出进一步优化方案。颜文涛等^[15]运用CFD数值模拟技术对多种空间布局方案进行比较分析,并应用到空气环境质量的空间形态优化上。金奇志等^[16]针对桂林地区内廊式和内院式学生宿舍布局的室内风环境进行CFD模拟对比分析。目前风环境尚未形成量化的规范指标,评价风环境、热环境、日照环境的参数指标过多,并且之间差异较大。当下对未来城市或街区构建参数化、标准化、多目标的风环境评价体系是目前风环境研究的重要方向。

文章以合肥市环城公园旧城区为研究对象,试图通过实际测量和CFD技术对逍遥津公园、包河公园、杏花公园三个案例进行风环境模拟,从微观层面,结合城市公园绿地环境效应和建筑空间布局,探究环城公园作用下不同空间要素对旧城区风环境影响。在此基础上,以改善合肥市旧城区风环境为主要目标,对旧城区建筑、绿地空间规划提出优化建议,寻找风环境规划和旧城更新的新方法。

1 研究区域概况

合肥市属于亚热带湿润性季风气候,季节性风向变化较为明显,秋冬季主导风向为东北风,春夏季以东南风为主。本文选取的研究区域是合肥市环城公园内的旧城区,基本保留了以前的街巷肌理和建筑布局,以特色商业和旧城区居住区为主(图1)。旧城

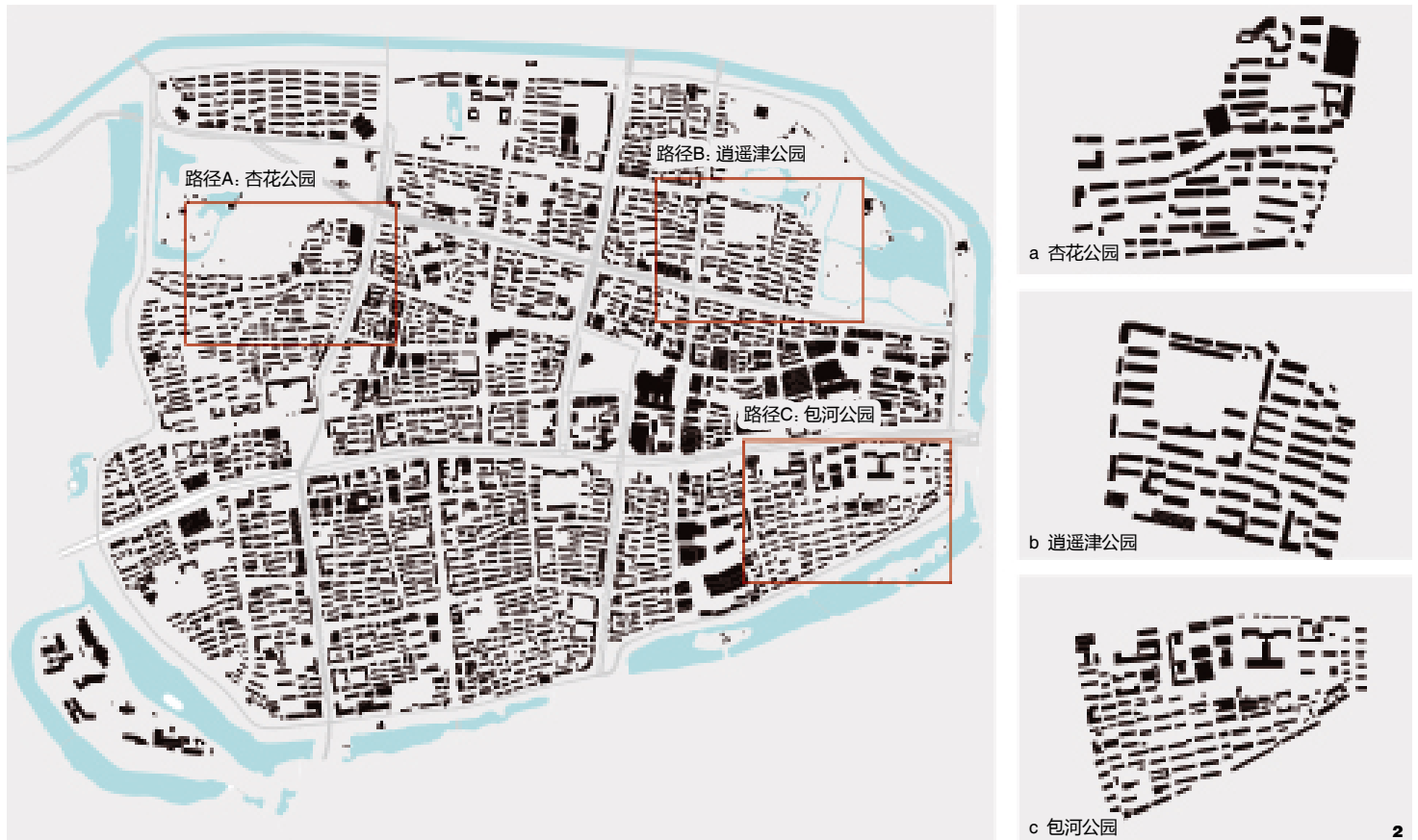


图2 建筑布局图
Fig. 2 Architectural layout

区域内建筑密集, 绿化率较低, 街巷狭窄弯曲, 通风条件差, 具有严重的城市热岛效应^[17]。环城公园是合肥城市公园的重要组成部分, 位于中心城区, 共1376 hm², 绿地、水系相融合。研究选取的逍遥津公园、包河公园和杏花公园分布在旧城区周边, 绿地类型和周边建筑布局具有一定典型性(图2)。杏花公园选取其东南角建筑组团作为研究对象, 此组团由中国电科67所小区、淮河西路以北部分组成, 冬季盛行西北风经东部区域吹向此地块(图2-a)。逍遥津公园内部建筑组团多为行列式布局, 建筑和夏季盛行风向平行, 包括公园新村与义仓小区(图2-b)。包河公园内部建筑布局为行列式与围合式布局,

建筑与盛行风向接近于垂直角度, 建筑组团主要由县委大院构成(图2-c)。

2 研究方法思路

2.1 数据获取

根据中国气象数据网、《中国建筑热环境分析专用气象数据集》^[18]和合肥地区常规台站气象资料, 确定合肥市近年来风速范围。选取合肥市3、4月无特殊天气影响白天为样本, 利用风速仪对环城公园外、环城公园和旧城区风速进行实地收集, 风速仪测量高度设定为行人高度处1.5 m, 同一个路径点多次测量取平均值。参考《绿色建筑评价技术细则》^[19]、《绿色建筑评价标准》(GB/

T50378-2014)^[20]对所测风速进行评价。依据卫星图和实地观测获取旧城区的CAD现状, 建筑高度等建筑群相关数据, 为风环境模拟提供数据基础。

2.2 研究思路

2.2.1 软件选取

目前风环境模拟方法多聚焦在现场测量、风洞试验和计算机模拟技术, 由于CFD技术比其他两种技术周期更短, 成本消耗更少, 模拟结果的直观可视化程度更高, 更加能有效分析获取的数据, 得到科学的结果, 因此本文主要运用CFD技术^[21]。计算机数值模拟技术目的是仿真实际的流体运动状况,

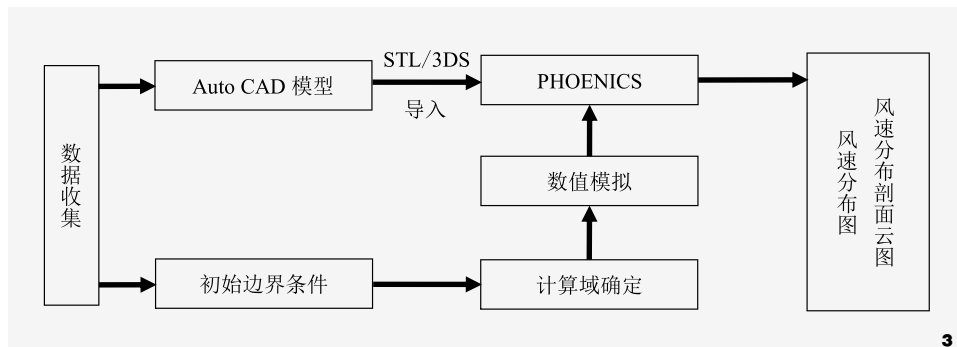


图3 PHOENICS风环境模拟路线图
Fig. 3 PHOENICS wind environment simulation roadmap

图4 环城公园旧城区特征点分布图
Fig. 4 Distribution of feature points in the old part of the ring park

数值求解于计算机对建筑物周边气体流动所遵守的动力学方程，也称之为计算流体力学(CFD)。计算流体力学常用的风环境模拟软件有FLUENT、PHOENICS、AIRPARK、VENT等，本文主要采用PHOENICS软件进行数值模拟(图3)。PHOENICS除了具有计算流体的功能外，还具有可视化、CAD接口、可供选择的大量模型、带有PHOENICS专用模块等特点^[22]。

2.2.2 特征点选取

依据与公园绿地的位置关系，将测量区域分为公园绿地范围外、公园绿地、旧城

区。为更明显地体现公园绿地对旧城区风环境的影响，测量路径方向和旧城区盛行风一致。研究选取环城公园中的逍遥津公园、包河公园、杏花公园这三个典型公园绿地为测量路径，分别在三个公园相对中心位置选取6个基本点，以公园绿地边界为起点，每100m定点，在指定的公园绿地外设一个点，城区内设三个点(图4)。研究选取距离地面15m高度。

2.2.3 模型建立

基于基础条件的分析与设定，在研究地块中选择逍遥津公园、包河公园、杏花公

园三个研究地块运用Auto CAD软件建立3D模型，将三维模型用STL格式导出，再将其导入到PHOENICS软件中。参考《深圳市城市自然通风评估方法研究》^[23]，本文将计算区域确定为：长度设置为地块最大长度的三倍；宽度设置为地块最大宽度的三倍；高度取值为最高建筑物高度的三倍。为使计算结果具有一定的精确性，本文对模拟地块进行网格加密，避免出现计算空白区，不利于结果的分析。本次实验的主要输入参数为风速风向，其中，风速以研究地块的实测数据、合肥市气象数据作为边界条件的主要依据，设定为2.4 m/s；另外，根据合肥气候特点，着重分析了夏季东南风对逍遥津公园和包河公园的影响，冬季西北风对杏花公园的影响。空气入口的风速由于地表的摩擦作用，风速随离地表高度的增加而变大，形成垂直梯度风，其变化规律可以表示为指数函数，见公式(1)。式中， V 为高度为 Z 处的水平方向的风速， V_0 是指 Z_0 高度的平均风速，按照一般标准采用气象高度10 m。 a 值与地面粗糙度和大气的稳定度相关，一般来说，取值范围0.14 ~ 0.40。本文模拟对象位于密集的中心城区，故 a 取值0.22^[24]。

$$V/V_0 = (Z/Z_0)^a \quad (1)$$

3 结果和分析

3.1 现状模拟结果

依据风环境实际测量结果和现状模拟，环城公园旧城区平均风速约为0.57 m/s。旧城区具有风速分布不均、风场不均匀、局部地区形成高风区等特点。依据《绿色建筑评价标准》(GB/T50378-2014)，风速<1 m/s时，行人基本感受不到风，会感到闷热，空气流通不好，街道内的污染物容易堆积(表1)，合肥市旧城区风环境问题急需解决。1.5 m高度

表1 风速相对舒适度评估表

Tab. 1 Wind speed relative comfort assessment table

1.5 m高度风速/ (m/s) 1.5 m height wind speed	相对舒适度 Relative comfort
<1	感受不到风
[1, 5)	舒适
[5, 10)	不舒适
[10, 15]	很不舒适

2.40 m/s风速云图模拟结果如图5: (1) 杏花公园地块风环境最好, 平均风速位于1.68 m/s (图5-a)。西北风自杏花公园穿过街道后, 在建筑空间的引导下, 风向转到了西北偏西, A5风速明显低于A1。总体来看, 风速较大的区域位于平行于风向的迎风区A3和围合成的开敞空间A4, 可达2.25 m/s; 风速较小区域为建筑背风面, 形成区域静风区。(2) 逍遥津公园地块平均风速在0.5 m/s, 垂直东南风向布局的建筑组群对通风造成了显著的影响 (图5-b)。平行风向的建筑布局形成通风廊道, 形成较好的局部环境效应, 风速升高到0.75 m/s。L型建筑形成较多静风区。(3) 包河公园地块总体风速最小, 风环境最差, 平均风速在0.25 m/s (图5-c)。风速最大区是建筑连接到环城南路的南北向道路, 迎风口为开敞空间, 风速可达2.25 m/s; 包河公园地块受建筑排布方式的影响, 平行河道的建筑布局严重阻挡了南风流入街区内部, 迎风面较大, 形成大面积静风区。

3.2 影响风环境的空间组合要素分析

3.2.1 环城公园绿地和水体

选取合肥市典型东南风天气, 对特征点风速进行实际测量。数据显示风流经逍遥津公园、包河公园之后风速显著增加, 随后流经旧城区, 风速开始降低, 但始终高于初始风速。盛行风经杏花公园旧城区流经公园绿地过程中, 风速开始下降, 经杏花公园绿地, 风速增加 (图6)。实验证明环城公园大面积的绿地和水体能在其内部形成良好的风环境, 同时对局部地区发挥通风效应。为能更有效改善旧城区风环境, 还需在内部增加绿地和水体空间。

3.2.2 建筑群空间组合

针对逍遥津公园、包河公园和杏花公园风速分布云图差异进行进一步分析, 得出围合式建筑布局内部空间风速最小, 行列式布局风速和风向存在关系, 点状式建筑布局受风向的影响最小。对于杏花公园

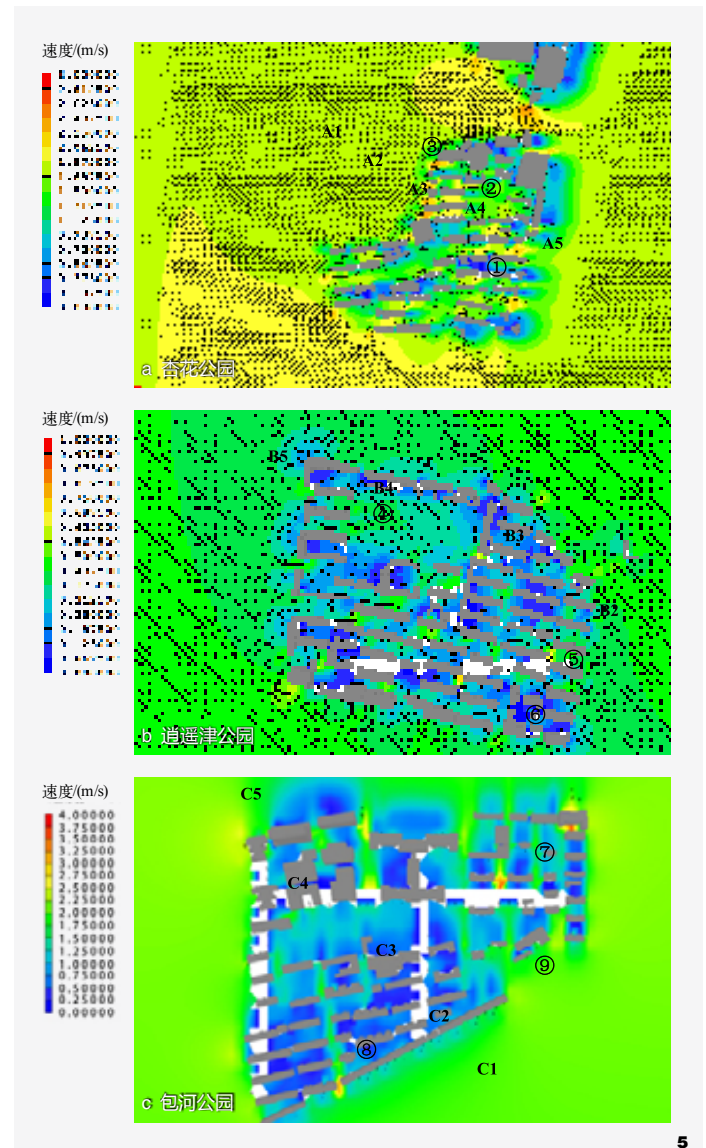


图5 风速分布图
Fig. 5 Wind speed distribution map

研究区域, 点①处的中国电科十六所小区建筑为行列式布局, 而点②处的淮河路小区为围合式布局, 结果表明: 点②的风速明显低于点①。逍遥津公园建筑大多沿夏季盛行东南风布局, 平行风向的建筑布局有利于形成通风廊道, 形成良好的局部环境效应, 西北侧点④围合式建筑布局形成静风区, 造成街区内部部分区域通风条件较差。包河公园街区中通风效果较好的部分为北侧区域点⑦, 通风口空旷, 建筑点状布置, 对来流风的风速阻碍作用最小, 且对来流风的风向改变不大, 因此点状布局的小区内部气流较为通畅。

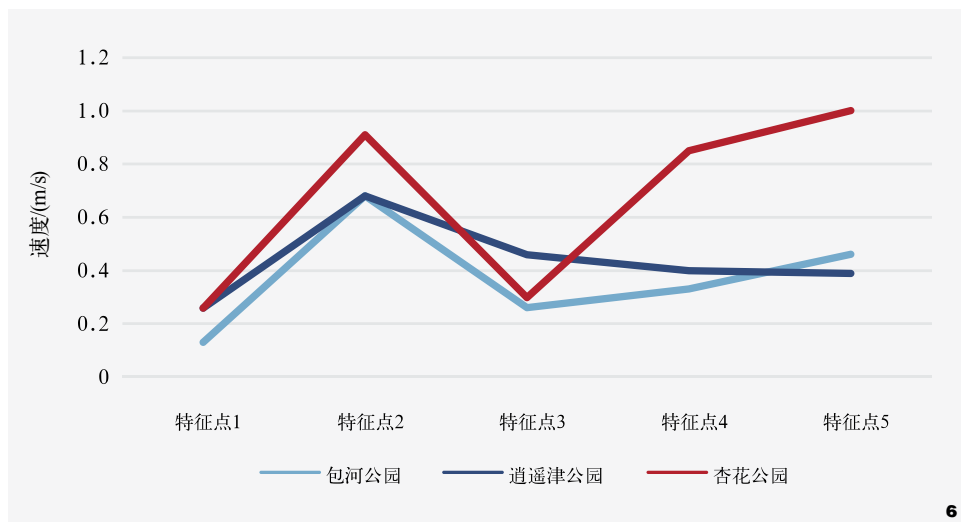


图6 特征点风速变化图
Fig. 6 Variation of wind speed at characteristic-points

3.2.3 建筑与风向之间的夹角

三种建筑布局方式中,在与风向方向平行的情况下,建筑物的阻风能力最弱,且通风性能最佳;其次是建筑与风向呈一定角度,当和风向垂直时,建筑静风区面积较大。包河公园风速最低处为南侧迎风建筑区点⑧,和盛行风垂直,建筑迎风错列排布对于空气流通有一定的阻碍效果,降低了环境风速。杏花公园东北角建筑点③和风向平行,风速达2.25 m/s,此时对风速阻碍最小。由逍遥津公园东侧建筑点⑤实测数据和模拟效果可明显看出,建筑与风向呈一定角度时,建筑的阻风效应较低,空气流通效果较佳。模拟结果表明,在街区尺度内,街区建筑与风向之间的角度关系会对街区的导风效应产生一定的影响。

3.2.4 建筑单体形态

从研究区域的模拟风速云图可看出,街区内部相异的建筑平面形态会形成不同的风影区。当建筑平面为点式建筑时,建筑风影

区最小,对风的阻碍作用最小,如包河公园东北侧点⑦区域。对于迎风面形状,有凹凸时建筑的自然通风性能要优于平直迎风面建筑,相较于凸字形的迎风面,凹字形的迎风面为自然通风较有利的选择,如点⑧和点⑨。由逍遥津公园模拟结果显示,点⑥L型平面建筑背风区风速明显小于板式建筑背风区风速。

4 旧城区风环境改善建议

4.1 充分发挥公园绿地和水体的环境效应

通过调研结果对比分析,合肥市旧城区现有的“大绿环”以环城公园为主体,具有明显的通风效应。绿地的环状布局有利于空气的循环,为改善合肥市旧城区风环境、构建良好的人居环境提供视角。因此可以考虑在老城区内部构建淮河西路、市府广场、徽州大道、庐江路、金寨—蒙城路的线性公园及广场串联线性的绿化空间构建“小绿环”,改善局部风环境。

在旧城区的绿地系统中,水体廊道如环

城河道主要充当通风廊道的角色,而片状的水体则起到了扩散湿热效应的作用,形成小气候效应,使得整个街区均受到水体和绿化的热湿效应影响,进而改善整个街区的风环境,提升人居环境的舒适度。因此可以在旧城区内建筑肌理破坏比较严重的区域规划适量的片状水体和绿化植被,并使其与环城公园相衔接,形成更为完整的绿地系统网络。

4.2 适当增加开敞空间

旧城区的道路与外界联系为方格网与放射状路结合的路网结构,内部形成“井字形”结构,但由于道路宽度过于狭窄,道路密度网太大,容易造成中心城区交通密度过高,不利于城区的通风散热。将迎风处旧城区一些基底面积较小的老旧建筑拆除,建立公共绿地,减弱建筑的阻风作用,促进空气的流通。建议拆除长江中路围墙、沿街门面房和现有省直机关党校用房,形成城市开放空间,避免围墙的阻风效应,与环城公园有机融为一体,彰显合肥城园交融的空间特色。

植被覆盖率能够增强环境降温增湿的效应^[25]。同时对于环城公园这种大面积的城市绿地,尤其考虑近地面层的空间通透性,基于乔灌木植物高度的不同会形成不同的风场,故建议采用高低错落、疏密有致的绿化布局来促进气流的流通。此外,在开放空间中进行绿地布置或在楼顶上布置绿色植物,可以产生较低的气温,形成微气候效应,加快室外的空气更新速度。

4.3 改变通风道的入口数量和形状

鉴于环城公园环绕旧城区的这种特殊性,从公园绿地入手,改善滨河建筑界面的开口,增强公园绿地湿热效应随着风向的扩散效果。旧城区界面以商业为主,建筑整体

开口不多,建筑容积率高,过于规整,致使空气流入街巷内部的几率减少。在建筑界面增加开口,以增强水平方向的进风量和风速为目的,对临近环城公园的建筑群边界打开,适当拆除通风道处的建筑,创建迎风导向,可以让风吹进更多的区域,达到改善街区微气候环境的目的。

通过确定旧城区的夏季盛行风向,顺应其盛行风向延展开敞空间,营造区域风道,能够有效提升其通风效果。若拆除位于夏季主导风向上的建筑,会将东北风或者东南风引入区域内部,构建空气引导通道,对街区内部的风环境改善相对显著。同时在主要的街巷口设置开放空间作为风道缓存区,形成“T”字型区域,能有效提高街巷内的风速。

4.4 优化建筑布局

通过前文的模拟分析及实际测量结果表可得出,行列式、错列式等布局可以促进街巷内局部的空气流通,改善街区的通风条件。进行旧城更新时,应尽可能用较为合理的建筑布局形式,营造建筑组群内良好的室外风环境。旧城区通风廊道入风口处的建筑布局至关重要,街巷的入风口处应保持通透,建筑布局建议为点式布局,减少对风的阻碍作用。也可以采用混合式布局,利用不同布局方式的优点,围合式、错列式布局远离迎风处,行列式布局在中部,点式布局的建筑在迎风处,这样的排布方式有利于冬季防风,而且不妨碍夏季的建筑通风。

5 结论

本研究以改善环城公园内旧城区风环境为出发点,实地测量数据提供支撑,同时采用CFD技术分析研究地块的风环境,探究影响合肥市旧城区风环境的各项空间组合要

素,研究发现环城公园内旧城区风环境存在不同方面的问题。位于旧城区外圈的环城公园一定程度上加大了风速,促进了旧城区空气流通。通过数据对比分析与可视化模拟分析,得出影响环城公园内旧城区风环境的空间组合要素包括建筑群空间组合、建筑与风向之间的夹角、建筑单体形态。同时针对综合空间要素影响机制提出多尺度、多层次、多角度的优化策略:(1)充分发挥公园绿地和水体的环境效应;(2)适当增加开敞空间;(3)改变通风道的入口数量和形状;(4)优化建筑布局形式。

合肥旧城区是一个历史悠久的传统街区,空间复杂度高,且布局具有特色。基于原有的旧城肌理与格局,环城公园小气候环境效应与建筑布局特点,提出针对旧城区的风环境具体优化策略,为今后区域的风道规划与旧城更新提供参考。

注:文中图表均由作者自绘。

参考文献

- [1] 肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等.城市热岛的生态环境效应[J].生态学报,2005(08):2055-2060.
- [2] 吴隽宇,梁策.风景园林视野下我国微气候研究概述与进展[J].南方建筑,2019(06):116-123.
- [3] 彭翀,李楚,李保峰.基于“风道”理论的大城市旧城风热环境优化研究[J].南方建筑,2016(03):11-15.
- [4] 杜吴鹏,房小怡,刘勇洪,等.基于气象和GIS技术的北京中心城区通风廊道构建初探[J].城市规划学刊,2016(05):79-85.
- [5] 曹靖,黄闯,魏宗财,等.城市通风廊道规划建设对策研究——以安庆市中心城区为例[J].城市规划,2016,40(08):53-58.
- [6] 梁颖严,孟庆林,李晓晖,等.岭南旧城更新改造规划中风环境评估方法研究——以广州市黄埔区鱼珠旧城更新改造规划为例[J].南方建筑,2018(04):34-39.
- [7] 刘鹏飞,邹芳,欧阳慧婷,等.基于风环境模拟的旧城区局部更新方式研究——以长沙市太平老街为例[J].南方建筑,2020,195(01):47-52.

- [8] 颜文涛,李子豪,管天语,等.空气环境健康导向下的老旧小区生态化更新:理论框架与案例实践[J].城市发展研究,2022,29(01):121-132.
- [9] 朱林军.沈阳市滨河街区风环境优化研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2022.
- [10] 彭明熙,杨真静,唐鸣放.巴渝地区石砌民居夏季室内热环境分析[J].建筑科学,2019,35(06):41-46.
- [11] 董晓,刘加平.秦岭山地传统民居院落地域适应性及传承研究[J].建筑科学,2022,38(06):79-87.
- [12] 沈炼,韩艳,唐春朝,等.多因素作用下小区风环境风洞试验研究[J].工程力学,2021,38(05):88-97.
- [13] 杨易,张之远,余先锋.基于一种标准城市建筑模型的行人高度风环境比较研究[J].同济大学学报(自然科学版),2022,50(06):784-792.
- [14] 李世芬,董惟澈,刘代云,等.基于冬季室外风环境模拟的东北乡村住居优化设计研究[J].西部人居环境学刊,2022,37(01):139-146.
- [15] 颜文涛,李子豪,管天语,等.空气环境健康导向下的老旧小区生态化更新:理论框架与案例实践[J].城市发展研究,2022,29(01):121-132.
- [16] 金奇志,郭丹琳,刘宏伟,等.两种平面形态宿舍自然通风的CFD模拟分析[J].桂林理工大学学报,2022,42(02):417-424.
- [17] 王堃.合肥市老城区街巷空间研究[D].合肥:合肥工业大学,2019.
- [18] 国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学建筑技术科学系.中国建筑热环境分析专用气象数据集[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [19] 建筑科学研究院.绿色建筑评价技术细则[Z].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [20] 住房和城乡建设部.绿色建筑评价标准:GB/T50378-2014[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [21] 庄智,余元波,叶海,等.建筑室外风环境CFD模拟技术研究现状[J].建筑科学,2014,30(02):108-114.
- [22] 姚征,陈康民.CFD通用软件综述[J].上海理工大学学报,2002(02):137-144.
- [23] 深圳市规划和国土资源委员会,深圳大学城市规划设计研究院,深圳市国家气候观察台.深圳市城市自然通风评估方法研究[R].深圳:深圳市规划和国土资源委员会,2011.
- [24] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50009-2012建筑结构荷载规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [25] 刘恺希,刘晖.基于风环境优化的西安城市开放空间设计策略研究[J].中国园林,2018,34(S1):50-52.