

建筑物架空设计对室外风环境的影响研究^{*}

张佳伟¹, 戴叶子¹, 田 真²

(1. 苏州大学 建筑学院, 江苏 苏州 215123; 2. 湖南大学 建筑学院, 长沙 410082)

摘要: 建筑形体设计对建筑室内外风环境有很重要影响,而架空设计是改善室外风环境的手段之一。将计算流体力学(CFD)模拟与建筑设计相结合,能够更好地为建筑设计提供依据,优化建筑设计方案。通过 CFD 模拟,探究西交利物浦大学中心楼在有无架空及不同架空高度对建筑周边人行高度风环境的影响。结果表明,建筑架空设计对建筑周边高度 1.5 m 处的风环境有良好的提升作用。对于案例和类似高度的建筑而言,架空高度在 2.4~3.0 m 时,架空设计能够提升建筑迎风区 1.5 m 人行高度的风速大小,当架空设计高度在 3.0 m 以上时,架空设计对建筑迎风区 1.5 m 高度处风速大小影响较小。

关键词: 建筑架空设计; 架空高度; 室外风环境; CFD 模拟

中图分类号: TU831 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-9422(2021)09-0057-05

Elevated Building Design on Surrounded Outdoor Wind Environment

ZHANG Jia-wei¹, DAI Ye-zi¹, TIAN Zhen²

(1. School of Architecture, Soochow University, Suzhou 215123, Jiangsu, China;

2. School of Architecture, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Architectural form design is crucial to building indoor and outdoor natural ventilation, and elevated building design is one of the methods for improving the outdoor wind environment. Through integrating computational fluid dynamics(CFD) simulation with architectural design, an informed design for architectural design is provided for better architectural design schemes. CFD simulation was used to explore the impacts of elevated heights on the XJTLU Central Building's wind environment at the pedestrian height around the building. Results show that the elevated design of the building has a good effect on improving the wind environment at the pedestrian height of 1.5 m around the building. For this study case and similar height buildings, the elevated design can increase the wind speed of the 1.5 m pedestrian height in the windward area of the building when the elevated height is 2.4~3.0 m. When the elevated design height is above 3.0 m, the elevated design has little impact on the 1.5 m height wind speed at the windward area of the building.

Keywords: elevated building design; elevated heights; outdoor wind environment; CFD simulation

0 引言

苏州位于中国大陆东岸,夏季天气炎热潮湿,冬季天气寒冷潮湿,四季分明。西交利物浦大学选址于江苏省苏州市工业园区,分为南北两个校区,西浦中心楼(见图 1)位于北校区,设计灵感来源于太湖产的“太湖石”。建筑地上 14 层,总高 61 m,其中裙房 2 层,塔楼有一连串的孔洞,这些孔洞可以为建筑室内提供采光和通风。苏州地区冬季盛行西北风,因此建

筑西北立面没有采用孔洞设计,塔楼与 2 层裙房的连接处做架空设计。笔者在对西浦中心楼 2 层平台夏季室外风环境的多次观察与体验,发现夏季和过渡季节该建筑 2 层平台室外风速有明显提升,局部风环境的提升使建筑周边闷热环境得到了有效改善,遂选取该建筑作为研究对象,探讨建筑物采用架空设计时对室外风环境的影响^[1]。

建筑物的架空设计除可缓解周边交通的压力,为人们提供公共活动区域^[2]之外,也能够为建筑物室内外提供良好的自然通风,该形式早就应用在我国热带、

收稿日期: 2020-11-23; 修回日期: 2021-09-19

* 基金项目: 苏州市建设系统科研项目(2020)33



图1 西浦中心楼东南向全景及架空平台

Fig. 1 The southeast view of the XJTU Center Building and the elevated platform

亚热带气候区的部分地区。Niu 等人^[3]在夏季通过调查得出在建筑集中的中心城区,架空设计可以为建筑及其周边提供更好地通风与遮阳,并且可以很好地改善建筑周边人员的热舒适感。Xia 等人^[4]和水滔滔等人^[5]分别选取亚热带地区的架空建筑进行风洞试验,获得了建筑周围的流场分布。近期,黄志祥等人^[6]研究发现,高建筑密度下,架空层设计对自然通风影响变化显著。刘建麟等人^[7]以亚热带城市中的架空建筑单体为研究对象,采用 CFD 数值模拟方法分析 4 种架空高度和 3 种来流风向角对人行高度 1.5 m 处风环境的影响水平,发现不同的来流风向角对建筑四周的风环境影响程度较大。当建筑架空高度与其总高度的比值在 0.06~0.1 之间,建筑物周围主要区域的风速分布与架空高度无关。王彪^[8]用理想体块模型,研究 4 m 高的架空底层设有不同高度的水平隔板时,通过对比底层架空模型的风速增大系数值,结果指出隔板越接近地面越有利于底层架空部分的聚风效果。

计算流体力学(简称 CFD)融合了流体力学和计算机科学^[9]。因 CFD 具有操作方便、结果准确、成本低等优点,最初广泛应用于工程技术行业。在进行建筑设计时,可采用 CFD 模拟分析建筑物室内外风环境状况,并将结果反馈给设计师,对建筑设计进一步优化^[10]。CFD 模拟结果的准确性很大程度上取决于湍流模型的选择、模型的建立、网格划分和边界条件的设置。本文旨在以西浦中心楼为例,运用 CFD 方法探究建筑有无架空及不同架空高度对建筑周围人行高度风环境的影响,进一步探究对建筑周围风环境

有利的建筑架空设计高度的范围^[11],从而改善建筑室外风环境。

1 CFD 模拟设置

1.1 计算软件的选择

目前主流的 CFD 软件众多且各有其特点,当采用 CFD 进行数值模拟计算时,运用较多的离散化方法有三种:有限元法、有限体积法和有限差分法^[12]。三者的物理含义的区别在于:有限元法基于极值原理(变分或加权余量法),有限差分法的中心思想是基于微分的,而有限体积法基于物理守恒的原理^[13]。

北京绿建斯维尔公司开发的 Vent2020 软件(基于 OpenFoam 计算核心)采用有限体积法,处理连续性方程则采用压强校正法(SIMPLE)。Vent 使用二阶迎风格式可以对方程进行数据离散,二阶迎风格式的准确性可满足企业一般流体模拟分析计算的要求^[14],同时能够满足 JGJ/T 309—2013《建筑设计通风效果以及测试与评价工作标准》^[15]中对于模拟控制算法的要求。

1.2 湍流模型和建筑模型

使用 CFD 方法正确模拟建筑室内外风场的分布情况的核心在于选择合适的湍流模型,其中大涡模拟模型(LES)和二方程模型是使用较多的两种数学模型^[16]。由于建筑室内外空气属于低速湍流流场,是不能压缩的,二方程模型中的 $k-\varepsilon$ 模型比其他模型操作简单,网格的稳定性好强,不易产生波动,因此选择 $k-\varepsilon$ 模型作为本次模拟的湍流模型^[1,17]。Standard $k-\varepsilon$ 模型、RNG $k-\varepsilon$ 模型和 Realizable $k-\varepsilon$ 模型是 $k-\varepsilon$ 模型的三种基本形式,其中 Standard $k-\varepsilon$ 模型是最基本的模型,后两者都是改进后的 $k-\varepsilon$ 模型^[18]。本研究采用 Standard $k-\varepsilon$ 模型进行室外流场的计算。

西浦中心楼临近城市次干道,周围多为多层建筑,来风方向无高大建筑物遮挡。为了便于模拟和分析,忽略对室内外风环境影响较小的建筑构件及形体凹凸,也不考虑周围建筑物和近地面环境对研究模型的影响,对模型进行适当地简化,得到该建筑的示意模型,如图 2 所示,其中图 2(a)标示出了 16 个监测点的位置,各点的坐标如表 1 所示。该建筑整体外形尺寸 $W \times D \times H = 147.7 \text{ m} \times 123.84 \text{ m} \times 61 \text{ m}$,架空设计位于裙房 2 层与塔楼连接处,裙房高度 11.1 m,架空高度为 2.7 m,架空地面面积占其上层建筑面积的 30%。表 2 中列出了本文研究的建筑架空设计高度。

1.3 计算区域和网格划分

模拟结果的准确与否和计算区域的边界尺寸有重大关系^[19],参考中国行业标准 JGJ/T449—2018《民用建筑绿色性能计算标准》^[20]里对计算区域的规定,

入口边界与建筑或建筑群外缘之间的水平距离不应小于 $5H$ (H 为地面至建筑市场最高点的距离),出口边界与建筑或建筑群外缘之间的水平距离不应小于 $10H$ 建筑或建筑群最高点到边界的垂直高度不应小于 $5H$ 建筑或建筑群外缘与计算区域边界侧边的距离不应小于 $5H$ 。即得到的计算区域的尺寸为 $757.70\text{ m} \times 1\,038.84\text{ m} \times 305\text{ m}$ ($L \times D \times H$) 如图 3 所示。

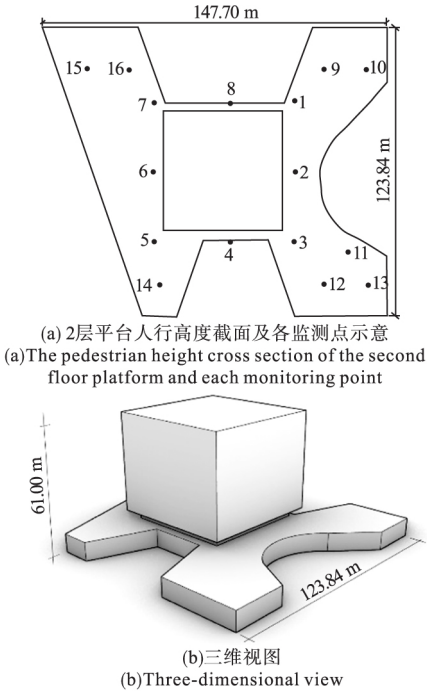


图 2 西浦中心楼简化模型
Fig. 2 Simplified model of XJTLU Center Building

表 1 各监测点坐标

Table 1 Coordinates of each monitoring point

监测点序号	X 轴	Y 轴	Z 轴	监测点序号	X 轴	Y 轴	Z 轴
1	-220	108	12.6	9	-210	118	12.6
2	-220	77.5	12.6	10	-192	118	12.6
3	-220	47	12.6	11	-200	44	12.6
4	-250.5	47	12.6	12	-210	30	12.6
5	-281	47	12.6	13	-192	30	12.6
6	-281	77.5	12.6	14	-273	30	12.6
7	-281	108	12.6	15	313	118	12.6
8	-250.5	108	12.6	16	-293	118	12.6

表 2 CFD 各工况参数描述

Table 2 Description of CFD operating parameters

工况	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
架空高度 h/m	0	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	6.0	6.9	8.1

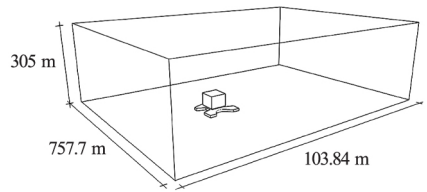


图 3 计算区域尺寸

Fig. 3 Computational domain

网格是 CFD 仿真模拟中的最小单位,是模拟与结果分析的几何载体^[21]。模拟结果的成功与否与网格质量有很大关系,网格划分太密会占用太多计算机资源;网格划分太稀疏使计算结果误差很大^[22]。常用的网格主要有两种:结构网格和非结构网格^[16],在对单体建筑进行数值模拟时,对建筑迎风面的网格划分要求较低,对建筑物的侧边、顶部以及背风面的网格划分要求高一些^[6]。本文所有模拟均采用结构网格,计算网格由长方形单元网格组成,在建筑物周围进行加密。

1.4 边界条件和风环境参数

在 CFD 模拟中,为了更清晰地显示架空设计对建筑周边风环境的影响,本文仅考虑风压作用对通风的影响,忽略热压对通风的影响。在 CFD 模拟边界条件的设定中,将出口边界为压力边界,入口边界设置为理想大气边界层^[1],顶部及侧边为零梯度条件。在大气边界层中,地面粗糙度(terrain roughness)会影响其形成梯度风。

GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》^[23]中划分了 4 类地面粗糙度:海上、乡村、城市和大城市中心。气流流经地表的过程会受到地面摩擦力的影响,当距离地面约 300~500 m 以上时,地面粗糙度对风速的影响可以忽略不计,达到自由流动的状态。

西浦中心楼位于苏州工业园区,周围高校建筑较多,建筑密度相对较低,来风方向无高大建筑物遮挡,按照地面粗糙度类别的划分属于 C 类,地面粗糙度指数为 0.22。所有算例的收敛准则是每个参数的残差小于 10^{-4} 。

根据苏州气象数据,其冬季与夏季的风环境数据如表 3 所示,结合 Rhino + Ladybug 对苏州地区气象数据进行分析,探讨苏州地区自然通风的潜能。在风速大于 1 m/s ,室外温度处于 $15\sim 33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度(RH%)处于 30%~80%时,苏州全年 21.77%的时间段具有良好的通风潜能,即在全年 8 760 h 中约有 1 907 h 可以通过自然通风调节室内温度。

表 3 苏州冬、夏季风环境数据^[24]

Table 3 Typical wind environment of winter and summer in Suzhou

季节	室外平均风速/(m/s)	最多风向	最多风向的平 均风速/(m/s)	最多风向 的频率	大气压力/ Pa
冬季	3.5	N	4.8	16%	102 410
夏季	3.5	SE	3.9	15%	100 370

2 结果及分析

2.1 建筑物有无架空对室外风环境的影响

图 4 给出了本文研究对象现有架空设计(2.7 m, 工况 3)和无架空设计时 2 层平台人行高度风速和压

强分布结果。从图4可以看出,各工况均能使自然风流经建筑(包含有、无架空层)时的流场可视化,包括建筑迎风面和背风面的低风速区、建筑两侧和架空下方局部的高风速区^[7]。

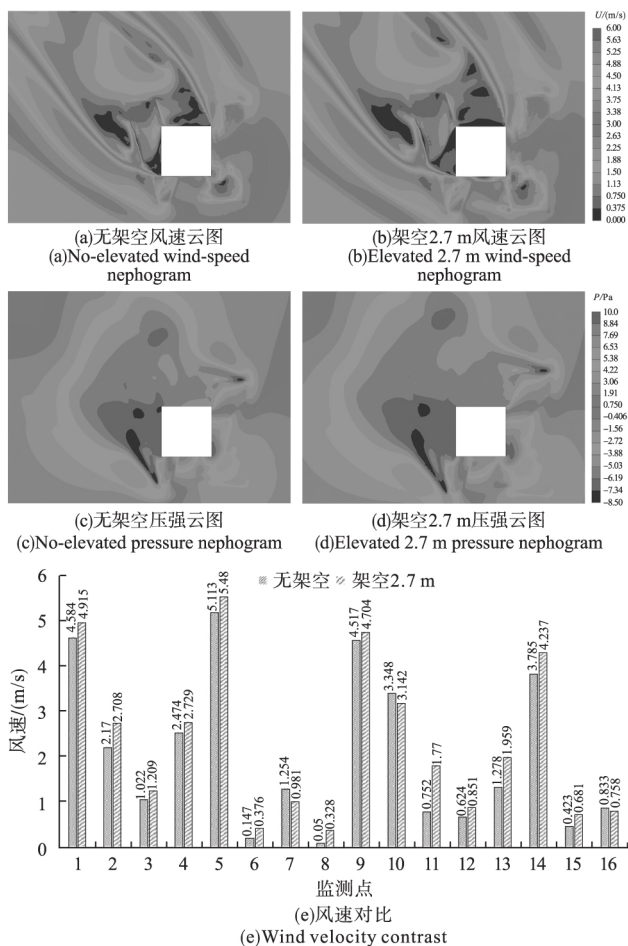


图4 无架空和现有架空高度(2.7 m)结果对比

Fig. 4 Comparison of wind environment surrounding the building without elevated design and with elevated height (2.7 m)

通过对图4中各工况的风速和压强分布图及数值分析,可以看出西浦中心楼采用架空设计后,80%以上的监测点的风速都比无架空设计时有较大的提升。这是因为建筑物底层采用架空设计形成开放空间,使风能够自由流过^[25],当风流过架空空间时,架空层底部、侧面墙壁和地面之间共同产生“文丘里效应”^[7],使通过该区域的风速被局部放大,可以优化该建筑周边的风环境。

2.2 建筑物不同架空高度设计对室外人行高度风环境的影响

图5分别给出了以西浦中心楼模型为原型,在不同的架空设计高度 h 时,建筑周围水平高度1.5 m的风环境分布情况。图6列出了不同架空高度迎风区各监测点风速变化曲线图。表4中列出了架空高度为2.7 m和3.0 m时迎风区各监测点的风速,及其风速增量与最大值敏感性分析,从中可以看出,因架空高度3.0 m之

后,西浦中心楼迎风区各监测点风速变化趋于平缓,因此图5和图6中仅列出了 $h=2.4\sim 3.9$ m之间的结果。

表4 迎风区各监测点风速增量与敏感性分析

Table 4 Wind speed increment and sensitivity analysis of monitoring points at windward area

	架空2.7 m 风速/ (m/s)	架空3.0 m 风速/ (m/s)	架空3.3 m 风速/ (m/s)	架空3.0 m和 3.3 m 差值绝 对值/(m/s)	比值/%
监测点1	4.915	4.835	4.814	0.021	0.43
监测点2	2.708	2.524	2.618	0.094	3.59
监测点3	1.209	0.928	0.881	0.047	5.06
监测点4	2.729	2.648	2.709	0.061	2.25
监测点5	5.48	5.235	5.36	0.125	2.33
监测点9	4.704	4.413	4.397	0.016	0.36
监测点10	3.33	3.142	3.329	0.187	5.62
监测点11	1.77	0.857	0.887	0.03	3.38
监测点12	0.851	0.726	0.741	0.015	2.02
监测点13	1.959	1.361	1.364	0.003	0.22
监测点14	4.237	3.843	3.814	0.029	0.75

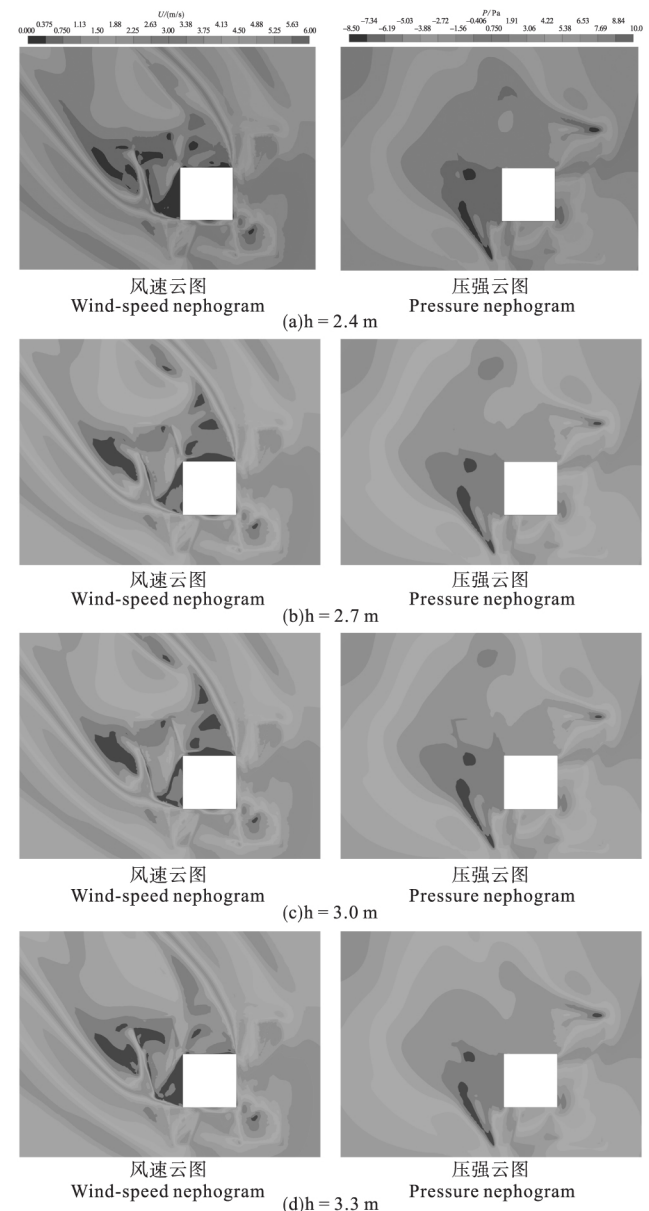


图5 建筑物架空高度 h 对人行高度风环境的影响

Fig. 5 Influence of elevated height h on wind environment at the pedestrian height

从图5的风速和压强分布图以及图6中风速变化曲线图可以看出各监测点的风速变化情况。在迎风区,在架空设计高度 h 为2.4~2.7 m范围内,随着架空高度的增加,建筑周围水平高度1.5 m处的风速也是逐渐增大的。在架空设计高度 h 为2.7~3.0 m范

围内,建筑周围水平高度1.5 m的风速增量随着架空高度的增加而变小的。在架空设计高度 h 大于3.0 m时,建筑周围人行高度的风速相比3 m架空高度时的风速无明显变化。在背风区,不同架空高度都会产生涡流,导致背风区监测点风速无规律变化。

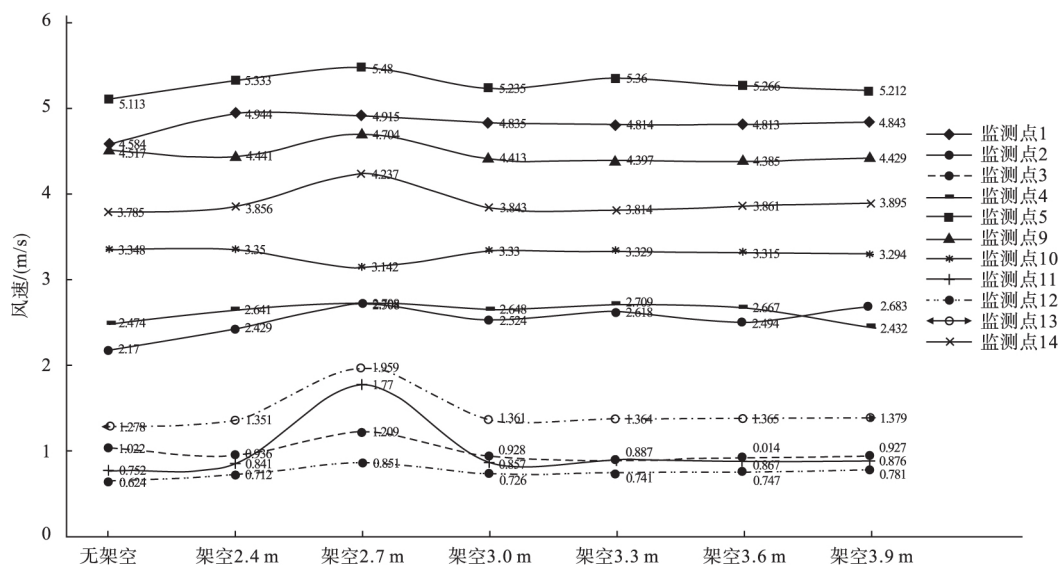


图6 不同架空高度迎风区各监测点风速图

Fig. 6 Wind speeds of monitoring points at windward area at different elevated heights

3 结论

本文采用 Vent 2020 软件,基于标准 $k-\varepsilon$ 模型研究建筑物有无架空及不同架空高度时对建筑周围人行高度风环境的影响。结果表明:当建筑架空设计高度 h 大于2.4 m时,架空设计能够提升建筑迎风区人行高度的风速。架空高度在2.4~3.0 m之间时,建筑周围水平高度1.5 m处的风速比无架空时大,其中在架空高度为2.7 m(现有架空高度)时,对建筑物迎风区人行高度风速的提升效果最佳。当架空高度大于3.0 m时,架空设计对建筑迎风区水平高度1.5 m处的风速影响趋势逐渐趋于平缓。在建筑背风区产生涡流,使背风区人行高度的风速无规律变化。

本文是在理想条件下,考虑单一变量对架空建筑周围水平高度1.5 m处风环境的影响,没有考虑其他影响因素。其次,由于篇幅限制,本文仅研究了不同架空设计高度对建筑周围人行高度风环境的影响,没有研究架空设计高度与建筑高度、架空宽度的比值(架空高宽比)对建筑周围人行高度风环境的影响,以及架空面积与其上层建筑平面面积的比值也是一项重要参数,这些将在后续研究中继续讨论。

参考文献:

- [1]董彬彬. 青岛地区底层架空建筑室外人行高度处风环境研究[D]. 山东: 青岛理工大学, 2016.
- [2]李俊果, 李朝阳, 王新军. 香港大型公共建筑底层架空及启示[J].

华中建筑, 2009, 27(12): 25-29.

- [3]Niu J, Liu J, Lee T, et al. A New Method to Assess Spatial Variations of Outdoor Thermal Comfort: Onsite Monitoring Results and Implications for Precinct Planning[J]. Building and Environment, 2015, 91: 263-270.
- [4]Xia Q, Liu X, Niu J, et al. Effects of Building Lift-up Design on the Wind Environment for Pedestrians[J]. Indoor and Built Environment, 2017, 26(9): 1214-1231.
- [5]水滔滔, 刘京, 肖荣波, 等. 底部架空住区风环境风洞试验研究[J]. 建筑科学, 2017, 33(2): 20-26.
- [6]黄志祥, 李丽, 赵立华, 周孝清. 不同建筑密度及容积率下架空层的设置对自然通风影响的量化分析[J]. 暖通空调, 2016, 46(9): 124-127.
- [7]刘建麟, 牛建磊, 张宇峰. 建筑架空高度及风向对行人区微气候的影响评估[J]. 建筑科学, 2017, 33(12): 117-124.
- [8]王彪. 城市风能城市形态学视角下的城市风能开发[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [9]郭卫宏, 刘骁, 袁旭. 基于CFD模拟的绿色建筑自然通风优化设计研究[J]. 建筑节能, 2015, 43(9): 45-52.
- [10]侯建林. 浅谈建筑的供热通风与空调安装技术[J]. 建筑知识: 学术刊, 2013, 3(3): 398.
- [11]倪颖鑫. 街区尺度高层建筑群风环境模拟分析及优化策略研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
- [12]丁源, 王清. ANSYS ICEM CFD 从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [13]杨娟, 王之昊, 田真. 基于CFD模拟的高层住宅通风效果比较研究——以香港穗不苑为例[J]. 苏州科技大学学报: 工程技术版, 2018, 31(3): 57-62.

(下转第94页)



图14 下沉庭院景观

2.6.2 亲自然设计

本项目通过侧窗的设计,提升室内的视野率,增强人与室外自然景观的接触。通过模拟计算分析,本项目室内主要功能房间视野率大于零的面积比例达到70%。对于条件有限无法设计外窗的空间,通过摆放盆栽植物来达到室内亲自然的设计。在建筑内部1层入口大堂中设有植物墙以及休息座椅,方便交流,充分展示亲自然的设计理念。

对于室外场地,本项目通过水景的营造,如图15所示,形成自然景观与人造景观的融合,不仅能够满足人们亲水的需求,还能带来愉悦的心情,帮助缓解疲劳,促进交往。



图15 室外叠水景观

(上接第61页)

- [14]绿建斯维尔. Vent 用户使用手册[M]. 北京:北京绿建斯维尔公司 2016.
- [15]中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T 309—2013,建筑通风效果测试与评价标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社 2013.
- [16]王巧雯,汪磊磊. 基于室外风环境 CFD 模拟的住宅小区设计策略[J]. 新建筑 2018 (5): 69—71.
- [17]苏铭德,黄素逸. 计算流体力学基础[M]. 北京:清华大学出版社 1992.
- [18]杨丽. 建筑风环境空间特征研究[J]. 建筑学报 2012 (S1): 20—24.
- [19]刘建红. 气膜冷却流动与传热特性的数值模拟[D]. 吉林:东北电力大学 2007.
- [20]中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T449—2018,民用建筑绿色性能计算标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社 2018.
- [21]吴鑫. 基于 CFD 技术的居住区室外风环境设计研究[D]. 重庆:重庆大学 2015.
- [22]张阳. 绿色建筑室外风环境模拟分析[J]. 天津建设科技 2013 23 (2): 1—5.

3 结语

随着国家健康建筑标准的推出,健康建筑的相关研究逐步开展,本研究基于南京一中江北校区的工程项目,基于绿色建筑的建设,从校园师生对空气、水、舒适、健身、人文等几方面的健康需求角度出发,以实现营造健康的生活环境,推行健康的生活方式为目标,充分统筹建筑、暖通、给排水、景观等各专业之间的一体化协同设计,采用模拟分析的方法加以验证,提出“绿色+健康”建筑在校园图书馆建造全过程中的设计思路以及解决方法,为健康建筑的实践提供了有力的样本和支撑。

参考文献:

- [1]王清勤,孟冲,李国柱. 健康建筑的发展需求与展望[J]. 暖通空调, 2017 7(47): 38—41.
- [2]毛志兵. 发展新型建造方式推进建筑业供给侧改革——2019 年新年寄语[J]. 施工技术 2019 48(1): 1—3.
- [3]T/ASC02—2016,健康建筑评价标准[S]. 2016.
- [4]叶晓旭. 基于健康理念的中小学校设计研究——以扶沟行政新区中小学校设计为例[D]. 郑州:郑州大学 2017.
- [5]江苏省人民政府办公厅. 省政府关于促进建筑业改革发展的意见[EB/OL]. (2017—12—25) [2020—09—16]. http://www.jiangsu.gov.cn/art/2017/12/25/art_59141_7125875.html.
- [6]袁晨曦,丁哥,李涛,等. 南京某高校室内外空气 PM_{2.5} 浓度监测分析[J]. 环境与职业医学 2016 33(7): 670—674.
- [7]曾捷,吕石磊. 《健康建筑评价标准》水章节解读[J]. 建筑技术, 2018 49(5): 486—489.
- [8]赵建平,闫国军,高雅春,等. 《健康建筑评价标准》解读——舒适[J]. 建设科技 2017 4(4): 22—24.
- [9]QX/T89—2008,太阳能资源评估方法[S]. 2008.
- [10]曾宇,孔庚. 《健康建筑评价标准》解读——人文[J]. 建设科技, 2017 4(6): 28—30.

作者简介: 刘阳(1987),男,辽宁凌海人,工程力学专业,工程师,主要从事工程管理研究(ly694113232@126.com)。

- [23]中国工程建设标准化协会. GB 50009—2012,建筑结构荷载规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社 2012.
- [24]中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50736—2012,民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社 2012.
- [25]Liu J, Niu J, Xia Q. Combining Measured Thermal Parameters and Simulated Wind Velocity to Predict Outdoor Thermal Comfort[J]. Building and Environment 2016 105: 185—197.

作者简介: 张佳伟(1995),男,建筑技术科学专业,硕士研究生(657740391@qq.com)。

通讯作者: 田真(1975),男,毕业于加拿大卡尔加里大学,可持续建筑专业,博士,教授,研究方向为高性能绿色建筑(tz12008@126.com)。