

DOI:10.11918/202111096

庭院尺寸与风环境双目标下的展览建筑布局

应小宇^{1,2}, 韩鑫裕¹, 皇甫凡雨¹, 梁孝鑫², 秦小颖¹, 高 婧¹

(1. 浙江大学 建筑工程学院, 杭州 310058; 2. 浙大城市学院 国土空间规划学院, 杭州 310015)

摘 要: 展览建筑的庭院空间承载多样功能, 如室外展览、艺术集市、植物展示以及休憩娱乐等, 这些活动与室外风环境息息相关。然而在现有的设计方案推敲中, 庭院的大小和布局形态主要依赖建筑师的主观经验, 缺少庭院设计与室外风环境的相关性思考。本文对 48 例国内外知名展览建筑的庭院面积进行归纳整理, 通过散点曲线拟合, 得到展览建筑的首层建筑面积与庭院面积的一元二次函数关系, 对展览建筑在设计方案阶段有指导意义。基于此, 本文提出 5 类典型布局模型, 以夏热冬冷地区气候条件(以杭州为例)为依据进行风环境模拟, 通过适宜风环境的面积占比和测点风速的稳定性来评价建筑布局对庭院风环境的影响。总结得出, U 型围合(东向庭院)、分段围合(西向庭院)和分段围合(东向庭院)的适宜风环境区域占比基本稳定在 99% 左右, 可以提供较理想的室外观展空间, 其中 U 型围合(东向庭院)的测点方差值较小, 庭院风速变化更稳定, 符合室外观展的风环境需求。本研究为创作具有良好室内外布局和适宜风环境的展览建筑提供设计参考。

关键词: 夏热冬冷地区; 展览类建筑; 建筑布局; 庭院设计; 风环境

中图分类号: TU242.5

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2022)11-0001-10

Layout of exhibition buildings under courtyard size and wind environment

YING Xiaoyu^{1,2}, HAN Xinyu¹, HUANGFU Fanyu¹, LIANG Xiaoxin², QIN Xiaoying¹, GAO Jing¹

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

2. College of Spatial Planning and Design, Zhejiang University City College, Hangzhou 310015, China)

Abstract: The courtyard space of exhibition buildings carries multiple functions, such as outdoor exhibitions, art fairs, plant displays, and entertainment, which are closely related to the outdoor wind environment. In the deliberation of existing design schemes, the size and layout of the courtyard mainly rely on the subjective experience of the architects, lacking of relevant thinking between courtyard design and outdoor wind environment. This paper collects the courtyard area of 48 well-known exhibition buildings, obtains the quadratic function relationship between the ground floor area of the exhibition building and the courtyard area through scatter curve fitting, and proposes five typical layout models. On the basis of the climatic conditions in the hot summer and cold winter area (taking Hangzhou as an example), the influence of the outdoor wind environment was evaluated by the proportion of the suitable wind environment and the stability of the wind speed. Results show that the proportions of suitable wind environment areas for U-shaped enclosures (east-facing courtyards), segmented enclosures (west-facing courtyards), and segmented enclosures (east-facing courtyards) maintained at 99%, which can provide an ideal outdoor exhibition space. The variance of the measuring points in the U-shaped enclosure (east-facing courtyard) was small and the wind speed of the courtyard was stable, which meets the wind environment requirements of outdoor exhibitions. This research provides design reference for exhibition buildings with suitable wind environment.

Keywords: hot summer and cold winter area; exhibition buildings; architectural layout; courtyard design; wind environment

随着城市化进程加快, 人们在城市中的公共活动趋向于多元化、复杂化。经调研发现, 展览建筑中庭院易产生强风区和静风区, 前者的强气流在冬季或强风季易引发风险, 后者在过渡季不利于污染物扩散, 在夏季不利于散热^[1]。庭院是展览建筑中使

用频率较高、人流量较密的区域, 同时承载着室外展览、艺术集市、植物展示等多样功能。因此, 庭院空间在展览建筑布局中至关重要。此类布局设计往往在符合消防规范前提下依赖建筑师经验, 不论是技术指标还是环境优化都没有相关的指导。

因此, 有必要通过对知名展览建筑的技术经济指标进行收集、归纳。将首层建筑面积和庭院面积的关系参数化, 把“设计经验”转化为“数据经验”, 并对多种展览建筑布局形式的庭院风环境进行分

收稿日期: 2021-11-20

基金项目: 国家自然科学基金(51878608)

作者简介: 应小宇(1980—), 男, 教授, 博士生导师

通信作者: 韩鑫裕, 22012121@zju.edu.cn

析,从建筑设计和风环境的视角出发探讨方案阶段的总图布局问题。

随着计算机模拟技术的快速发展,FLUENT、Phoenics 等流体动力学软件因其较高的可靠性和较为全面的性能被广泛应用于风环境研究^[2]。2002 年文献[3]提到“Phoenics 软件经历过上千个算例的实验验证,能保证计算结果的准确性”。目前,风环境的研究主要表现为两种类型:第一种是基于简单模块(围合式、行列式等)的风环境特征研究^[4-5];第二种是偏向实际案例的风环境分析评价,即结合某一案例,根据模拟结果提出优化方案^[6-7]。从方案设计阶段来看,前者覆盖面广、概括力强,对庭院风环境特点的剖析更到位,但由于其内容定性大于定量,评估缺乏准确性。后者具有较强的针对性,但由于研究评价重于设计指导,缺乏普遍的指导意义。基于此,从实际案例出发,归纳简单模块,利用计算

机技术模拟演绎,能更有效地解决庭院风环境中的突出问题。

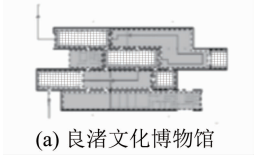
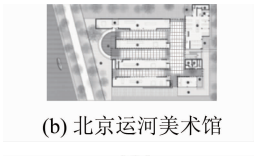
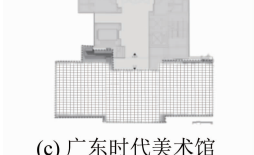
在中国的建筑热工设计分区中,以夏热冬冷地区的气候相对较复杂,因此对环境调控的需求也更加迫切^[8]。本文以夏热冬冷地区为例,探索不同庭院面积和布局下展览建筑首层面积与庭院风环境的关系,通过实践指导实践^[9-10],这是风环境研究的重要方向。

1 研究数据与模拟条件的设定

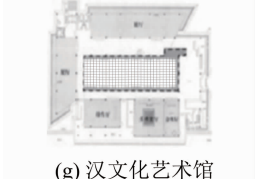
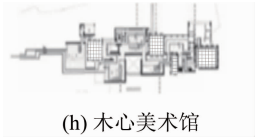
1.1 数据视角下知名展览建筑案例的庭院尺寸

为了进行对比研究,本文在普利克奖得主作品、建筑网站(archdaily、gooood 等)和建筑相关期刊中,选取 48 例国内外知名展览建筑作为研究对象(表 1),其中建筑首层部分为灰白色区域,庭院部分为网格区域。

表 1 48 例国内外知名展览建筑面积数据
Tab.1 Data of 48 well-known exhibition buildings

类型	建筑名称	作者	首层建筑面积 X/m ²	庭院面积 Y/m ²
 (a) 良渚文化博物馆	宁波帮博物馆	何镜堂	12 700	9 600
	良渚文化博物馆	DC 事务所	3 300	1 200
	杭州历史博物馆	浙大建筑设计院	2 700	2 100
	科学发展观展示中心	何镜堂	6 770	4 800
	南京古生物博物馆	齐康	4 250	1 100
	宝华中国画研究院	王登月	3 700	1 100
	南京大屠杀纪念馆	何镜堂	14 000	9 795
	北京运河美术馆	普罗建筑	1 900	600
	和美术馆	安藤忠雄	4 500	1 200
	广东时代美术馆	库哈斯	2 000	1 000
	巴塞罗那 roca 美术馆	OAB	1 800	600
	根津美术馆	隈研吾	1 500	700
	康索现代艺术中心	库哈斯	3 300	1 100
	龙美术馆	大舍建筑	13 000	5 000
	溶岩美术馆	何崑	1 900	1 200
 (b) 北京运河美术馆	银川美术馆	未觉建筑	3 890	1 400
	淞沪抗战纪念馆	庄慎	1 500	700
	南京地质博物馆	童某	3 700	1 400
	地中美术馆	安藤忠雄	1 900	800
	福特沃斯现代美术馆	安藤忠雄	9 240	3 140
	直岛当代美术馆	安藤忠雄	1 200	500
	群马美术馆	矶崎新	2 200	1 200
	巴塞罗那 roca 美术馆	OAB	1 800	600
	根津美术馆	隈研吾	1 500	700
	康索现代艺术中心	库哈斯	3 300	1 100
	龙美术馆	大舍建筑	13 000	5 000
	溶岩美术馆	何崑	1 900	1 200
	银川美术馆	未觉建筑	3 890	1 400
	广东时代美术馆	库哈斯	2 000	1 000
	和美术馆	安藤忠雄	4 500	1 200
	北京运河美术馆	普罗建筑	1 900	600
 (c) 广东时代美术馆	良渚文化博物馆	DC 事务所	3 300	1 200
	宁波帮博物馆	何镜堂	12 700	9 600
	杭州历史博物馆	浙大建筑设计院	2 700	2 100
	科学发展观展示中心	何镜堂	6 770	4 800
	南京古生物博物馆	齐康	4 250	1 100
	宝华中国画研究院	王登月	3 700	1 100
	南京大屠杀纪念馆	何镜堂	14 000	9 795
	北京运河美术馆	普罗建筑	1 900	600
	和美术馆	安藤忠雄	4 500	1 200
	广东时代美术馆	库哈斯	2 000	1 000
	巴塞罗那 roca 美术馆	OAB	1 800	600
	根津美术馆	隈研吾	1 500	700
	康索现代艺术中心	库哈斯	3 300	1 100
	龙美术馆	大舍建筑	13 000	5 000
	溶岩美术馆	何崑	1 900	1 200
 (d) 南京地质博物馆	淞沪抗战纪念馆	庄慎	1 500	700
	南京地质博物馆	童某	3 700	1 400
	地中美术馆	安藤忠雄	1 900	800
	福特沃斯现代美术馆	安藤忠雄	9 240	3 140
	直岛当代美术馆	安藤忠雄	1 200	500
	群马美术馆	矶崎新	2 200	1 200
	良渚文化博物馆	DC 事务所	3 300	1 200
	宁波帮博物馆	何镜堂	12 700	9 600
	杭州历史博物馆	浙大建筑设计院	2 700	2 100
	科学发展观展示中心	何镜堂	6 770	4 800
	南京古生物博物馆	齐康	4 250	1 100
	宝华中国画研究院	王登月	3 700	1 100
	南京大屠杀纪念馆	何镜堂	14 000	9 795
	北京运河美术馆	普罗建筑	1 900	600
	和美术馆	安藤忠雄	4 500	1 200
	广东时代美术馆	库哈斯	2 000	1 000

续表 1

类型	建筑名称	作者	首层建筑面积 X/m^2	庭院面积 Y/m^2
U 型围合  (e) 苏州博物馆	苏州博物馆	贝聿铭	8 800	5 200
	上海自然博物馆新馆	同济院	11 000	5 700
	苏州非物质文化遗产馆	直向建筑	7 600	1 500
	夏侯文艺术馆	王建国	1 600	800
	费孝通江村纪念馆	九城都市	1 200	1 400
	金贝尔美术馆	路易斯康	2 600	1 000
口型围合  (f) 长江美术馆  (g) 汉文化艺术馆	朱家角人文艺术中心	祝晓峰	900	960
	徐州美术馆	清华院	9 300	4 900
	惠山展示中心	同济院	3 200	900
	汉文化艺术馆	齐斌	1 700	1 200
	海宁博物馆	陈泰宁	2 000	600
	缙云博物馆	浙大院	2 100	600
	丰盈·耕石艺术馆	Goa	1 000	510
	成羽町美术馆	安藤忠雄	1 100	800
	古根海姆博物馆	弗兰克盖里	1 600	700
	金泽 21 世纪美术馆	妹岛和世	9 515	500
	龙岩云端美术馆	里未工作室	940	450
	山海美术馆	Gad	1 600	700
	树美术馆	Daipu	1 900	700
	长江美术馆	直向建筑	1 500	500
分段围合  (h) 木心美术馆	绩溪博物馆	李兴刚	7 000	1 500
	宁波博物馆	何镜堂	5 400	1 300
	木心美术馆	OLI 事务所	3 060	1 200
	汉画像石艺术馆	齐斌	4 400	2 700
	兵库县立美术馆	安藤忠雄	12 807	4 200
	托莱多艺术博物馆	妹岛和世	7 000	1 000

根据表 1 所示首层建筑面积 X 和庭院面积 Y , 并利用 Excel 软件回归计算 (图 1), 得出函数关系式为

$$Y=4\times10^{-5}X^2-0.109\,7X+924.98\quad(1)$$

参考《MedCalc 常用统计分析教程》所述: 在回归方程中决定系数 $R^2>0.3$ 才有意义^[11]。本回归方程的 $R^2=0.75$, 说明首层建筑面积和庭院面积存在相关性。此函数在展览建筑方案设计阶段具有较

大的指导意义。

该非线性二次函数适用于首层建筑面积在 0 m^2 到 $14\,000\text{ m}^2$ 之间的展览建筑, 当首层建筑面积在 $7\,000\text{ m}^2$ 以下时, 曲线两侧散点的离散度较低, 该函数能较准确地表达首层建筑面积与庭院面积的相关性。基于该函数关系式, 设定 12 组实验组进行风环境模拟, 以探求不同体量展览建筑对庭院风环境的影响。

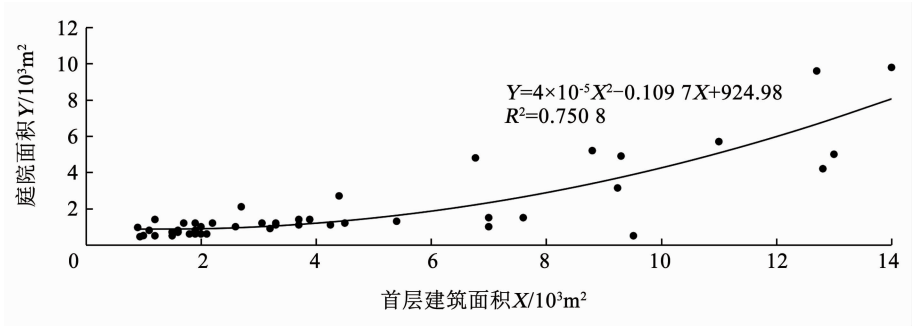


图 1 首层建筑面积 X 和庭院面积 Y 的函数关系

Fig. 1 Functional relationship between ground floor area X and courtyard area Y

1.2 实验模型及尺寸设定

为满足夏季散热和冬季防风的要求,杭州地区公共建筑的庭院布局宜以南、西和东向为主^[12]。上述建筑案例可归纳为并列式、L 型围合、U 型围合、口型围合以及分段围合等 5 类典型布局,根据庭院位置不同,可衍生出 14 种平面形式(图 2),其中白色部分为建筑,网格部分为庭院。

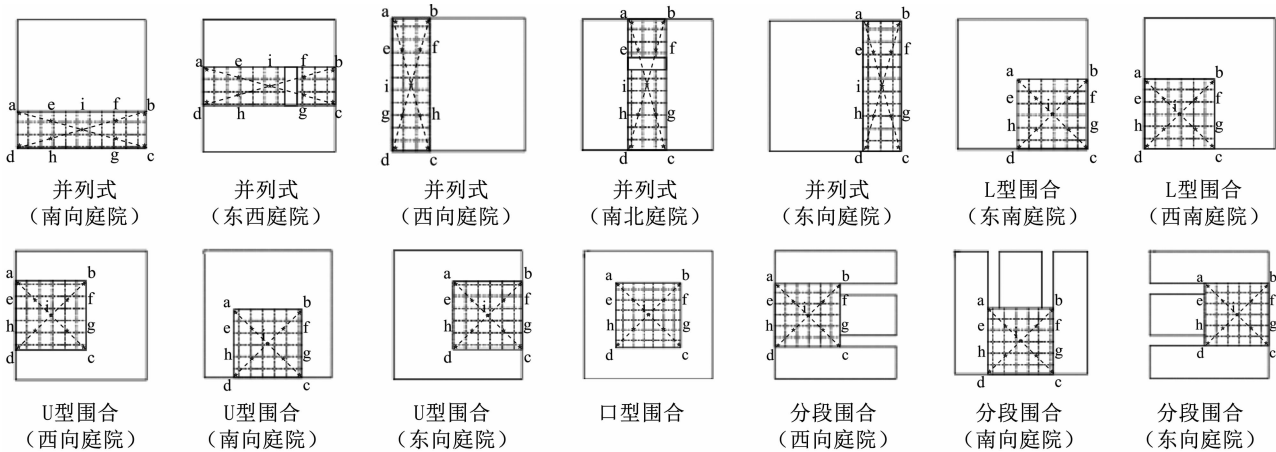


图 2 14 种展览建筑平面形式

Fig. 2 Plane layout of 14 exhibition buildings

从上述案例中发现,展览建筑的首层面积集中在 2 000 m² 至 13 000 m² 区间。因此,为进一步探讨首层面积和庭院面积与庭院风环境的相关性,将首层面积从 2 000 m² 至 13 000 m² 分为 12 组实验组,利用式(1),输入首层建筑面积 X_n ,计算得出庭院面积 Y_n (表 2)。

表 2 12 组实验组的面积
Tab. 2 Area of 12 experimental groups

组别	首层建筑面积 X_n/m^2	庭院面积 Y_n/m^2
1	2 000	865.6
2	3 000	955.9
3	4 000	1 126.2
4	5 000	1 376.5
5	6 000	1 706.8
6	7 000	2 117.1
7	8 000	2 607.4
8	9 000	3 177.7
9	10 000	3 828.0
10	11 000	4 558.3
11	12 000	5 368.6
12	13 000	6 258.9

1.3 计算域与边界条件设定

据 2020 年杭州地区各展览馆官网数据统计显示(图 3),受冬夏两季天气影响,杭州地区近年来室

模拟中测点选择分为 3 类,第一类位于庭院角落,距离边界 1 m 位置的测点 a、b、c、d,此类测点位于庭院空间的边界,风速易受布局形态影响;第二类测点 i 则位于庭院空间的几何中心,人流量较大;考虑第一类测点存在壁面边界层的影响,第三类测点选择中心 i 与庭院四角连线的中点 e、f、g、h。对 3 类共 9 个测点综合分析,能客观反应庭院风环境状况。

外展览活动集中在 5、6 月和 10、11 月,因此本文重点关注春秋两季的庭院风环境。据《中国建筑热环境分析专用气象数据集》^[13],将风速、风向等设置如下:以杭州的春季平均风速(风向:SSW;风速:2.7 m/s)、秋季平均风速(风向:NNW;风速:2.65 m/s)作为气象条件。

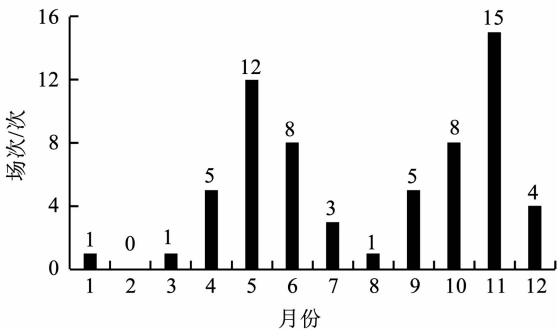


图 3 2020 年度杭州全城每月室外展览场次

Fig. 3 Monthly outdoor exhibitions in Hangzhou in 2020

在模拟条件下,建筑模型设定为 4 层,高度 20 m,建筑间距满足消防规范。模拟区域的边缘距离建筑模型 100 m^[14];最小网格尺寸为 1 m,背景网格尺寸为 4 m^[15];模拟采用 $k-\varepsilon$ 湍流模型,收敛精度为 0.000 1,迭代次数为 6 000 次,计算达到收敛即停止,此精度下,同一项目在进行多次实验以及缩小网格重复实验中,误差近 0。

1.4 风环境评价标准的建立

现有的风环境评估方法中,风速比评估的评价指标较客观,是以某测点实际风速与无干扰状态下理想风速的比值大小来反映建筑物对风环境的影响程度,其计算公式为

$$R_0 = \frac{V_0}{V} \tag{2}$$

式中: R_0 为风速比, V_0 为实际风速, V 为理想风速。
文献[16]的研究和 GB/T 50378—2019《绿色建筑评价标准》中提出:风速比介于 0.5~2.0 之间比较舒适。

然而在现有的评价标准仍存在风速标准无差异化等局限性^[17]。因此,在综合考虑室外观展空间特殊需求的基础上,参考人行高度的 Beaufort 指数^[18-19]中“风速>2.68 m/s 时会产生锦旗飞舞、纸尘飞扬等现象”和“风速<0.3 m/s 为静风区”^[15],采用 0.3 m/s~2.68 m/s 作为适宜风速标准;庭院中风速变化的幅度过大会影响观展体验,甚至产生安全隐患。为满足展览建筑室外观展的需求,提出以下标准:

评价标准一:风速比。杭州市年平均风速为 2.7 m/s,因此风速比介于 0.11~0.99 之间较适宜。

评价标准二:风速稳定性。测算庭院各测点风速的方差能够直观地得到风速的变化情况,从而反映该庭院各区域之间的风速变化是否稳定,其计算公式为

$$M = \frac{(V_a - \bar{V})^2 + (V_b - \bar{V})^2 + \cdots + (V_i - \bar{V})^2}{n} \tag{3}$$

式中: M 为方差值, $V_a, V_b, \cdots, V_i$ 为测点风速, $\bar{V}$ 为测点风速的平均值, n 为测点数量。当各测点方差值越小,则风速稳定性越好;反之,则风速的稳定性越差^[20]。

2 研究结果与分析

2.1 春季风影响下模拟结果分析

图 4 为不同面积条件下,14 种平面形式在春季风影响下室外人行高度(1.5 m)处风环境模拟结果,图 5 为组 1 的可视化结果。统计分析每种方案的 9 个测点数据,以及适宜风环境区域的面积占比。

据图 4 曲线可得,14 种平面形式中大部分区域的风速比均在阈值以内,首层建筑面积的变化会对部分布局的风环境产生巨大影响。随着首层建筑面积的增大,并列式(南北庭院)、并列式(东西庭院)和 L 形围合(东南庭院)的适宜区域占比迅速下降,因此以上 3 种平面形式比较适合小体量的展览建筑。与之相反的是,口型围合随着首层建筑面积的增加,适宜风环境区域占比有明显的提升。

U 型围合(东向庭院)、分段围合(西向庭院)、分段围合(东向庭院)的适宜风环境区域占比在 99% 左右,可提供理想的室外观展空间。对比其他 U 型围合布局可得:在春季风条件下,西向和南向庭院均存在静风区,不利于空气流通;而分段围合通过设置通风廊道在一定程度上解决了这个问题,但是要避免将开口置于主导风的来向一侧,否则仍会产生“狭管效应”,造成不利影响和安全隐患。

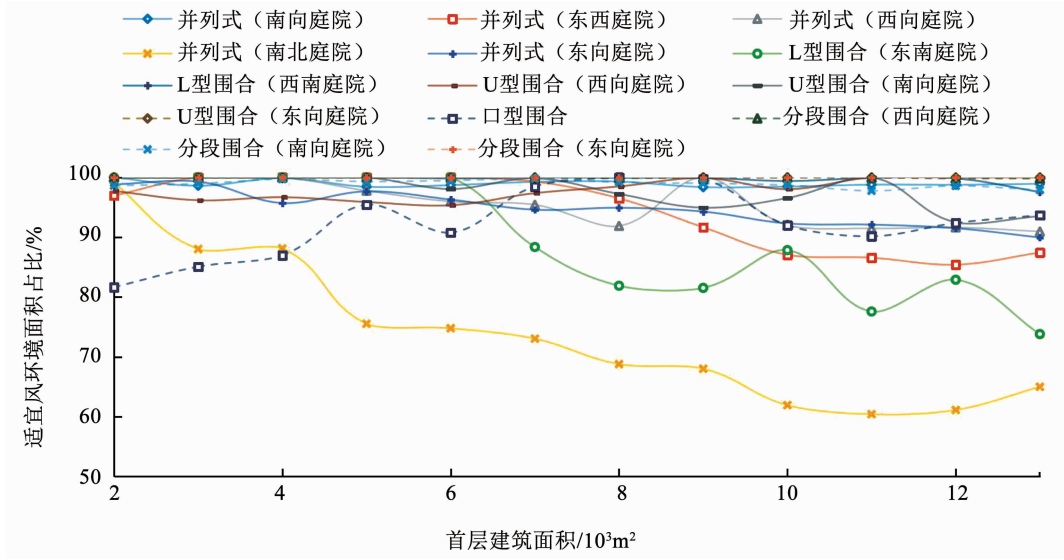


图 4 春季适宜风环境的庭院面积占比

Fig. 4 Proportion of suitable courtyard area for wind environment in spring

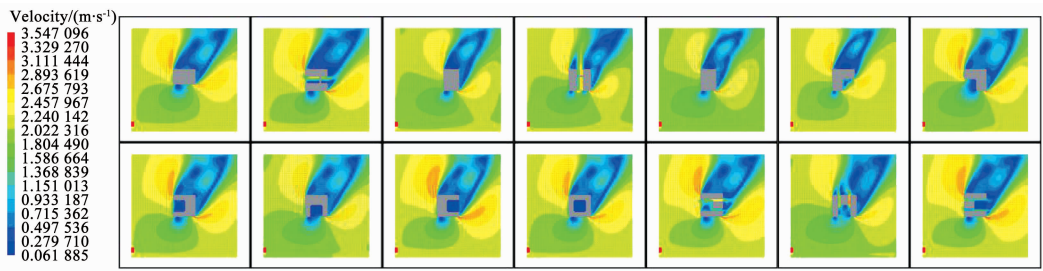


图 5 首层建筑面积 2 000 m² 布局方案的春季风模拟结果
Fig. 5 Spring wind simulation results of 2 000 m² layout plan

由于存在适宜风环境区域占比差异较小的情况,庭院风环境优劣还需对 3 类测点作进一步分析。
第一类是角落测点 a、b、c、d,见图 6,两条红色虚直线分别表示风速比 0.99 和 0.11 的上下限阈值,4 个测点的风速比均在阈值以内的是 U 型围合(西向庭院)和分段围合(东向庭院),其边界风环境较适宜。

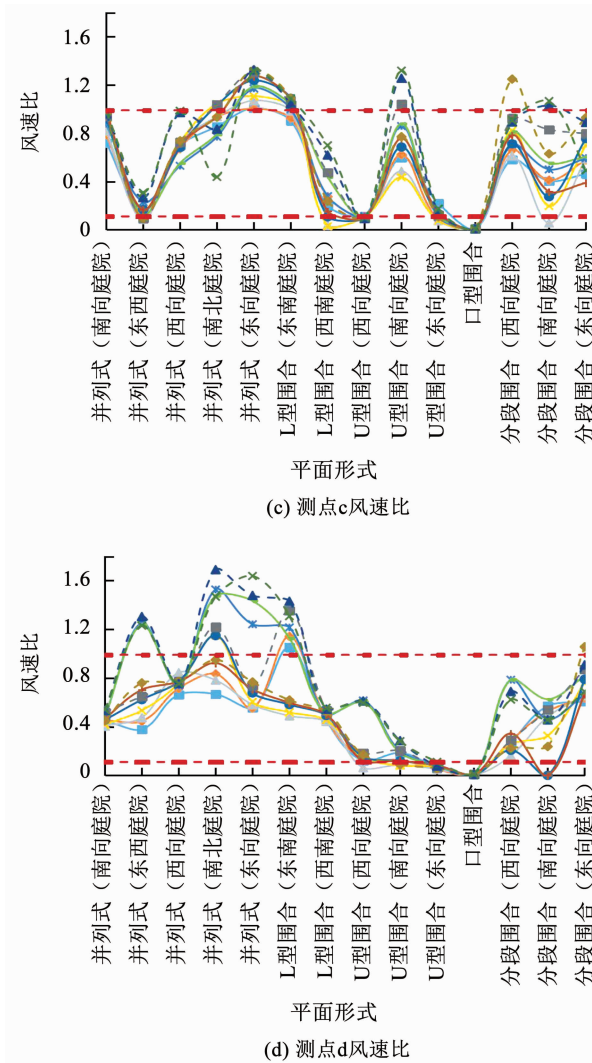
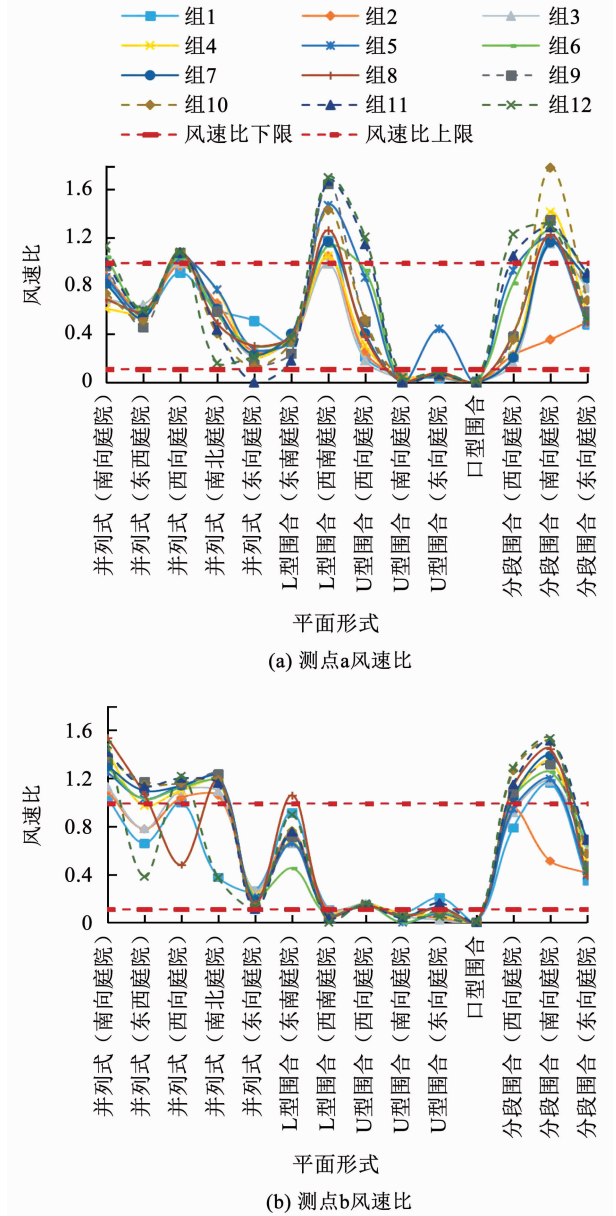


图 6 春季庭院四角测点风速比
Fig. 6 Wind speed ratio of courtyard corners in spring

第二类是中心测点 i,分析图 7 可得,上述 3 类适宜风环境占比达 99% 的布局仅有分段围合(西向庭院)在阈值以内。并列式和 L 型围合的中心位置风环境良好,U 型和口型围合均存在中心风速较低的问题,但分段围合的风速明显改善。
第三类测点是中心与四角连线中点 e、f、g、h,其风速比基本上在阈值以内,风环境较为适宜。
风速比在阈值以内的面积占比能够为庭院风环境评价提供重要参考,而测点风速的方差能够描绘

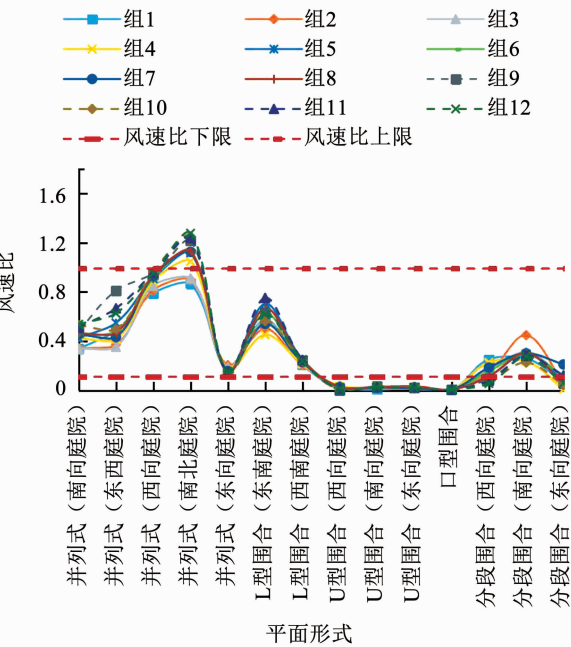


图 7 春季庭院测点 i 风速比

Fig. 7 Wind speed ratio of point i in spring

该区域风速的变化情况,如春季庭院测点风速方差(图 8)所示,U 型围合(东向庭院)和口型围合的测点风速方差值在 0.3 以下,风速变化较稳定;而 L 型围合(西南庭院)和并列式(东向庭院)的方差值较高,风速变化较大。说明在春季风作用下,上风向有遮挡的庭院风速变化更小,更适合进行观展活动。

针对方差曲线中某些曲线较复杂的问题,可以从各测点平均风速比及其方差中找到定性的规律。

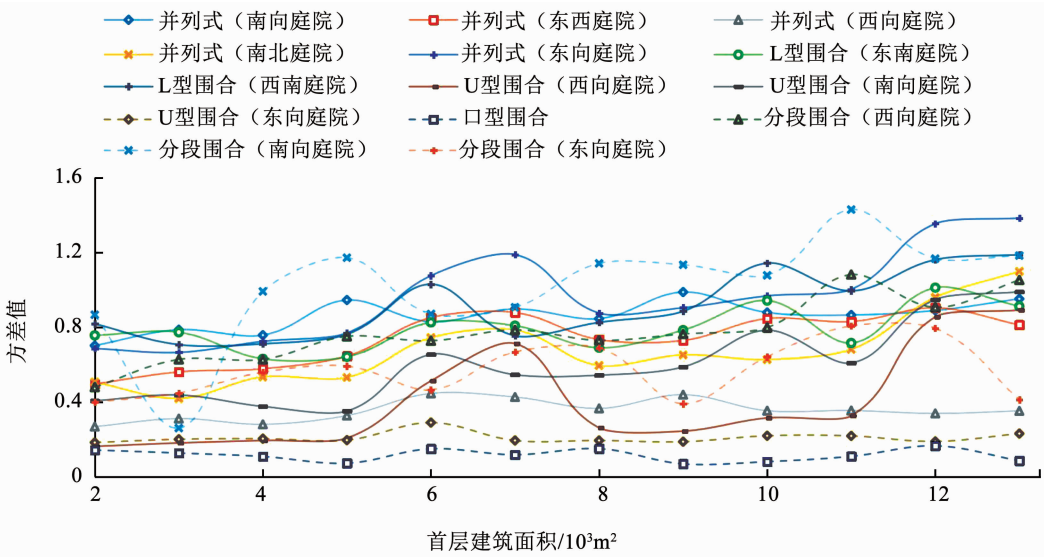


图 8 春季庭院测点风速方差曲线

Fig. 8 Variance of wind speed in spring

如表 3 所示,U 型围合(东向庭院)和口型围合的方差最小,风速变化最稳定;L 型围合(西南庭院)、并列式(东向庭院)、分段围合(南向庭院)的方差较大,风速变化最大;其余布局的方差差距较小,且存在实际方差值因首层面积变化而改变的情况。

从模拟结果分析可以得出,在夏热冬冷地区春季风影响下,庭院布局中所产生的“狭管效应”会带来高速区域,其中以南北庭院所产生的效果较显著,而东西庭院则能够起到改善作用;L 型围合(东南庭院)在首层建筑面积 $>6\,000\text{ m}^2$ 时,适宜区域面积占比减小,因此该种形式比较适合小体量的展览建筑。U 型围合(东向庭院)、分段围合(西向庭院)、分段围合(东向庭院)的适宜风环境区域占比均达到 99%。在进一步的测点分析中发现,分段围合(东向庭院)的四角测点在阈值以内,边界风环境较适宜,分段围合(西向庭院)其中心测点在阈值以内,人流最密集区域的风环境较适宜,而 U 型围合(东向庭院)的测点方差值均较小,能够提供较平稳的庭院风环境,有利于开展室外展陈活动。

2.2 秋季风影响下模拟结果分析

图 9 为不同面积条件下,14 种平面形式在秋季风影响下室外人行高度(1.5 m)处风环境模拟的结果,图 10 为组 1 的可视化结果。统计分析每种方案的 9 个测点数据,以及适宜风环境区域的面积占比。(秋季的数据图表仅展示最重要的部分,结论以文字为主。)

表 3 春季各测点平均风速比和方差

Tab.3 Average wind speed ratio and variance of each measuring point in spring

平面形式	平均风速比									方差
	测点 a	测点 b	测点 c	测点 d	测点 e	测点 f	测点 g	测点 h	测点 i	
并列式(南向庭院)	0.86	1.31	0.90	0.47	0.20	0.62	0.66	0.38	0.54	0.31
并列式(东西庭院)	0.57	0.94	0.17	0.80	0.84	0.85	0.48	0.33	0.63	0.25
并列式(西向庭院)	1.04	1.07	0.73	0.75	0.94	0.91	0.79	0.86	0.96	0.11
并列式(南北庭院)	0.55	1.04	0.88	1.15	0.77	1.07	1.05	0.53	1.28	0.25
并列式(东向庭院)	0.23	0.19	1.19	0.91	0.26	0.30	0.52	0.24	0.15	0.35
L型围合(东南庭院)	0.34	0.75	1.02	0.95	0.27	0.50	0.98	0.46	0.61	0.27
L型围合(西南庭院)	1.31	0.06	0.30	0.50	0.38	0.24	0.36	0.52	0.24	0.34
U型围合(西向庭院)	0.58	0.15	0.10	0.29	0.28	0.30	0.20	0.14	0.01	0.15
U型围合(南向庭院)	0.02	0.05	0.81	0.16	0.17	0.23	0.42	0.28	0.03	0.24
U型围合(东向庭院)	0.09	0.09	0.12	0.07	0.22	0.24	0.25	0.21	0.02	0.08
口型围合	0.00	0.00	0.01	0.01	0.17	0.18	0.18	0.15	0.01	0.07
分段围合(西向庭院)	0.52	1.05	0.80	0.41	0.48	0.49	0.33	0.19	0.06	0.28
分段围合(南向庭院)	1.22	1.28	0.52	0.39	0.29	0.41	0.51	0.38	0.27	0.33
分段围合(东向庭院)	0.65	0.51	0.65	0.76	0.24	0.27	0.26	0.21	0.06	0.23

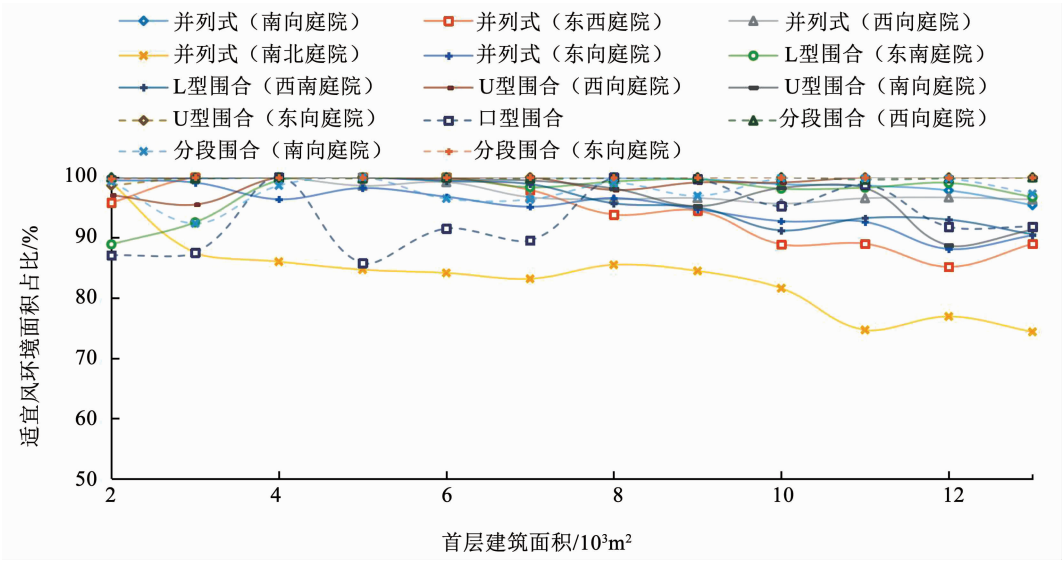


图 9 秋季适宜风环境的庭院面积占比

Fig.9 Proportion of suitable courtyard area for wind environment in autumn

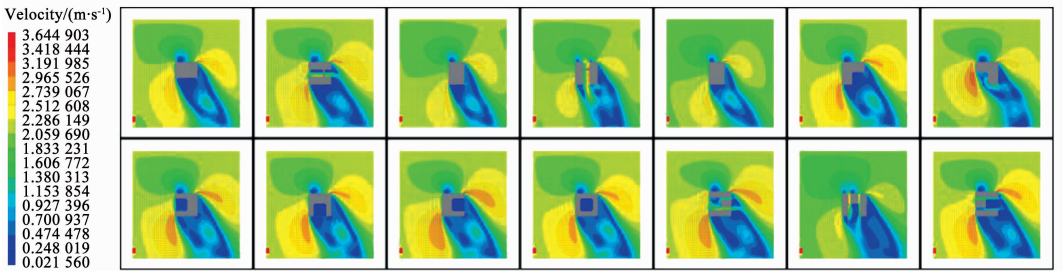


图 10 首层建筑面积 2 000 m² 布局方案的秋季风模拟结果

Fig.10 Autumn wind simulation results of 2 000 m² layout plan

在秋季风影响下,并列式(南北庭院)仍表现出较不利的庭院风环境。当首层建筑面积小于 7 000 m² 时,并列式(东西庭院)的风环境较为舒适,随着面

积增加,风环境质量逐渐下降。U 型围合(东向庭院)、分段围合(西向庭院)、分段围合(东向庭院)适宜风环境区域占比基本稳定在 99% 左右,可以提供

较理想的室外观展空间,该结论与春季的模拟结果相同。

对 3 类测点风速比图分析后发现,四角测点 a、b、c、d 的风环境在 U 型围合(西向庭院)和分段围合(东向庭院)中均为良好;中心测点 i 的风环境在并列式和 L 形围合的庭院中较为良好,在 U 型和口型围合的庭院中最差,在分段围合的庭院中有所改善;中心与四角连线的中点 e、f、g、h 均在阈值以内,

风环境良好。

测点风速方差曲线呈现出更复杂的趋势(图 11)。秋季的方差值相较于春季更低,14 种平面形式的庭院风速更加稳定。口型围合的测点风速方差值最低,风速变化最稳定;U 型围合的东向庭院比南向庭院的方差值更小,风速变化更稳定。而并列式(东向庭院)和分段围合(南向庭院)的方差值较高,测点风速变化较大。

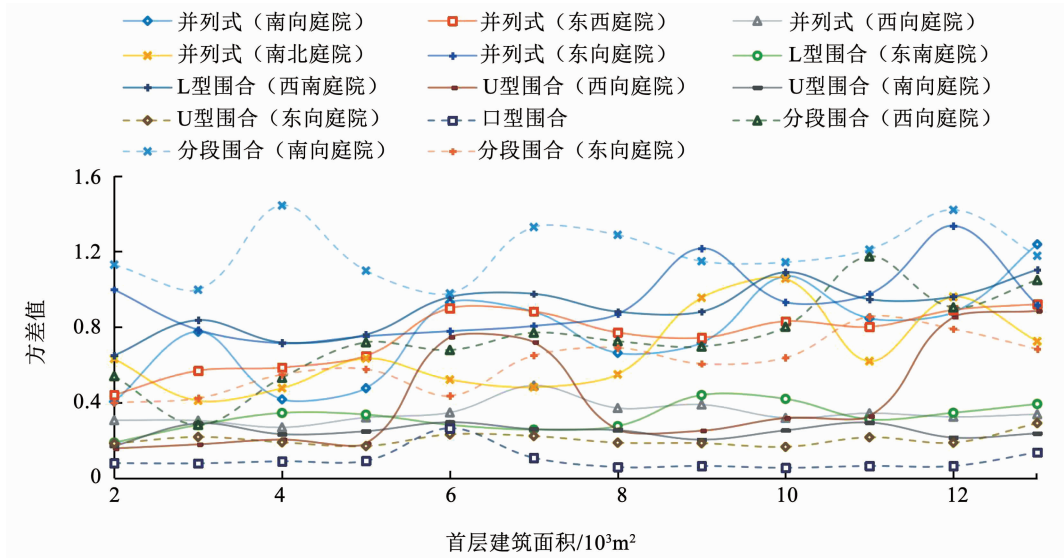


图 11 秋季庭院测点风速方差曲线
Fig. 11 Variance of wind speed in autumn

从模拟结果中可以得出,在夏热冬冷地区秋季风影响下,适宜风环境区域占比的分析结果与春季相同。在进一步的测点分析中发现,分段围合(东向庭院)的边界风环境较适宜,分段围合(西向庭院)中心区域的风环境较适宜,而 U 型围合(东向庭院)的测点方差值均较小,能够提供较平稳的庭院风环境,有利于开展室外展陈活动。

3 结 论

本文通过适宜风环境的面积占比和测点风速的稳定性来评价建筑布局对庭院室外风环境的影响,为创作具备良好风环境的展览建筑提供设计参考。以夏热冬冷气候条件(以杭州为例)为依据进行风环境模拟,得出以下结论:

1) 国内外知名展览建筑共同反映出首层建筑面积与庭院面积存在非线性的一元二次函数关系,表达式为: $Y = 4 \times 10^{-5} X^2 - 0.1097X + 924.98$, ($R^2 = 0.75$)。该函数的适用于首层建筑面积在 $2\,000\text{ m}^2 \sim 13\,000\text{ m}^2$ 之间的展览建筑,当首层建筑面积在 $7\,000\text{ m}^2$ 以下时,该二次函数最能准确地表达首层建筑面积与庭院面积的相关性。

2) 在夏热冬冷地区春秋季节的风速条件下,U 型

围合(东向庭院)、分段围合(西向庭院)、分段围合(东向庭院)的适宜风环境区域占比基本稳定在 99% 左右,可以提供较理想的室外观展空间。

3) 上述 3 种平面形式中,分段围合(东向庭院)的边界风环境较适宜;分段围合(西向庭院)中心区域的风环境较适宜;而 U 型围合(东向庭院)的测点方差值均较小,庭院整体风环境较平稳,最适宜开展观演、文娱等室外展陈活动。

4) 口型庭院的布局在展览建筑中较为常见,经模拟计算发现,其庭院整体风环境最平稳,但是边界容易产生静风区,不利于空气流通,因此可以通过体块打断、设置架空层等方式引入气流,营造更适宜的庭院风环境。

本文以首层建筑面积与庭院面积为切入点,主要研究对象为用地规模在 $10\,000 \sim 20\,000\text{ m}^2$ 之间的规则建筑形体,因为室外风环境较容易受到此类建筑群体的影响。目前尚未对复杂建筑形体、异形庭院空间、庭院数量和建筑架空层等其他影响因素进行具体的研究和探讨,这将是下一步研究的方向。

参考文献

[1] 叶锺楠. 我国城市风环境研究现状评述及展望[J]. 规划师,

- 2015, 31(1): 236
YE Zhongnan. A study on the situation and prospect of China's urban wind environment research[J]. Planners, 2015, 31(1): 236
- [2] 应小宇, 秦小颖, 陈佳卉, 等. 风环境视野下基于 AI 的高层住宅总图生成方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2021, 55(11): 2186
YING Xiaoyu, QIN Xiaoying, CHEN Jiahui, et al. Layout generation method of high-rise residential buildings based on AI in view of wind environment[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Edition), 2021, 55(11): 2186. DOI: 10.3785/j.issn.1008-973X.2021.11.020
- [3] 林波荣, 王鹏, 赵彬, 等. 传统四合院民居风环境的数值模拟研究[J]. 建筑学报, 2002(5): 47
LIN Borong, WANG Peng, ZHAO Bin, et al. Numerical simulation study on wind environment of traditional courtyard houses[J]. Architecture Journal, 2002(5): 47
- [4] 王珍吾, 高云飞, 孟庆林, 等. 建筑群布局与自然通风关系的研究[J]. 建筑科学, 2007, 23(6): 24
WANG Zhenwu, GAO Yunfei, MENG Qinglin, et al. Study on relationship between building group distribution and natural ventilation[J]. Building Science, 2007, 23(6): 24. DOI: 10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2007.06.007
- [5] 甘露, 刘晓平. 来流风向及间距对行列式建筑群周边环境影响的模拟研究[J]. 建筑结构, 2021, 51(增刊1): 1783
GAN Lu, LIU Xiaoping. Simulation study on the influence of incoming wind direction and space on the surrounding environment of the building arrays[J]. Building Structure, 2021, 51(S1): 1783
- [6] 郭佩艳, 吕太锋, 王宇, 等. 村庄建筑院落冬季风环境模拟及舒适度研究——以胶东地区左家夼村为例[J]. 建筑节能, 2018, 46(9): 7
GUO Peiyan, LÜ Taifeng, WANG Yu, et al. Simulation of wind environment and comfort in winter in village building: on Zuojiaokuang village in Jiaodong area[J]. Energy Conservation of Buildings, 2018, 46(9): 7. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7237.2018.09.002
- [7] 方小山, 王平清, 乔德宝. 基于 ENVI-met 模拟的顺德清晖园布局通风设计要素研究[J]. 城市建筑, 2018(33): 69
FANG Xiaoshan, WANG Pingqing, QIAO Debao. Study on the layout ventilation design elements of Shunde Qinghui Garden based on ENVI-met simulation[J]. Urban Architecture, 2018(33): 69. DOI: 10.19892/j.cnki.csjz.2018.33.016
- [8] 何俊霖. 夏热冬冷地区建筑室内外热环境现状分析[J]. 科技信息, 2014(8): 113
HE Junlin. Analysis of the current situation of indoor and outdoor thermal environment of buildings in hot summer and cold winter area[J]. Science and Technology Information, 2014(8): 113
- [9] 姜帆. 基于被动式策略引入方案设计及策略体系建构的建筑物理特性分析——以岭南地区博览建筑为例[J]. 华中建筑, 2015, 33(12): 157
JIANG Fan. Architectural physics characteristic analysis basing on passive strategy of the project design and strategy system construction: taking museum building in Lingnan Area for example[J]. Huazhong Architecture, 2015, 33(12): 157. DOI: 10.13942/j.cnki.hzjz.2015.12.034
- [10] 万婷, 侯牧青. 哈尔滨中华巴洛克建筑院落空间风环境分析[J]. 山西建筑, 2016, 42(2): 7
WAN Ting, HOU Muqing. Analysis of space wind environment of Chinese Baroque architecture courtyard in Harbin[J]. Shanxi Architecture, 2016, 42(2): 7. DOI: 10.13719/j.cnki.cn14-1279/tu.2016.02.004
- [11] 曾穗平, 田健, 曾坚. 基于 CFD 模拟的典型住区模块通风效率与优化布局研究[J]. 建筑学报, 2019(2): 24
ZENG Suiping, TIAN Jian, ZENG Jian. A study on ventilation efficiency and optimal layout of typical residential modules based on CFD simulation[J]. Architecture Journal, 2019(2): 24
- [12] 何成. 庭院式建筑设计参数的能耗敏感性研究[D]. 天津: 天津大学, 2017
HE Cheng. Sensitivity analysis of courtyard building design parameters on energy consumption—a case study for office buildings in hot-summer and cold-winter zone[D]. Tianjin: Tianjin University, 2017
- [13] 宋芳婷, 诸群飞, 吴如宏, 等. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[C]//全国暖通空调制冷 2006 学术年会资料集. 北京: 中国制冷学会, 2006: 264
SONG Fangting, ZHU Qunfei, WU Ruhong, et al. Special meteorological data set for thermal environment analysis of buildings in China[C]//National HVAC & Refrigeration 2006 Academic Annual Conference Data Collection. Beijing: China Refrigeration Society, 2006: 264
- [14] 民用建筑绿色性能计算标准: JGJ/T 449—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 7
Green performance of civil building calculation standard: JGJ/T 449—2018[S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2018: 7
- [15] 宋修教, 张悦, 程晓喜, 等. 地域风环境适应视角下建筑群布局比较分析与策略研究[J]. 建筑学报, 2020(9): 73
SONG Xiujiao, ZHANG Yue, CHENG Xiaoxi, et al. A correlational study on site layout and ventilation performance and related strategies under different wind environments[J]. Architecture Journal, 2020(9): 73. DOI: 10.19819/j.cnki.ISSN0529-1399.202009013
- [16] KUBOTA T, MIURA M, TOMINAGA Y, et al. Wind tunnel tests on the relationship between building density and pedestrian-level wind velocity: development of guidelines for realizing acceptable wind environment in residential neighborhoods[J]. Building and Environment, 2007, 43(10): 1699. DOI: 10.1016/j.buildenv.2007.10.015
- [17] 许伟, 李庆祥, 杨仕超. 建筑风环境测试与评价研究进展与综述[J]. 建设科技, 2013(9): 62
XU Wei, LI Qingxiang, YANG Shichao. Research progress and review of building wind environment testing and evaluation[J]. Construction Science and Technology, 2013(9): 62. DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2013.09.001
- [18] 孙睿珩. 建筑室外风环境评估方法研究[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2015, 16(2): 74
SUN Ruiheng. The research on evaluation method of outdoor wind environment[J]. Journal of Changchun Institute of Technology (Natural Science Edition), 2015, 16(2): 74. DOI: 10.3969/j.issn.1009-8984.2015.02.020
- [19] 蔡君馥. 住宅节能设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991: 123
CAI Junfu. Residential energy-saving design[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1991: 123
- [20] 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
XIE Zhenyu, YANG Ne. Optimization design tactics for high-rise building shape on improvement of outdoor wind environment[J]. Architectural Journal, 2013(2): 76