

山地条件多层建筑布局对风环境的影响效应

袁敬诚,袁菁,苗漪

(沈阳建筑大学建筑与规划学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 研究不同地形条件下多层建筑高宽比、布局方式等设计参数对风环境的影响效应。方法 以计算机流体模拟软件 Phoenix 为工具,基于冬奥延庆赛区气候条件,调查与分析风环境的基本状况,并对多层行列建筑在地形条件为平地与坡地,高宽比为 0.5、1、2,以及同一地形条件行列式、错列式、周边式的 3 种布局方式,共 9 种工况进行室外风环境模拟分析。结果 建筑群处于坡地条件的风环境变化比平地条件更为多样;行列式布局的多层建筑高宽比与风环境效应的优劣存在空间差异性;坡地条件下围合式布局有效阻挡了冬季冷风的侵入,降低了围合空间内的风速与强度。结论 不同地形条件的高宽比和布局方式对风环境影响效应显著,合理控制高宽比的取值范围,依据地形条件择优选择布局方式,促进自然通风、引导污染物扩散,创造舒适的建筑群空间环境,科学地开展山地条件的城市设计。

关键词 风环境;山地条件;高宽比;布局方式;数值模拟

中图分类号 TU391

文献标志码 A

Influence of Multi-storey Building Layout on Wind Environment in Mountainous Region

YUAN Jingcheng, YUAN Jing, MIAO Yi

(School of Architecture and Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: Influence of design parameters such as aspect ratio and layout of multi-storey buildings on wind environment under different terrain conditions was investigated by CFD simulation software PHOENICS. Using the basic situation of wind environment in Yanqing area of Winter Olympic Games as the simulation boundary condition, wind flow field of multi-storey buildings was analyzed by numerical simulation, which terrain conditions are flat and sloping ground, aspect ratios are 0.5, 1, 2 and buildings' different layout under the same terrain condition are determinant, staggered, enclosed. Results show that the wind environment of the buildings on the slope is more

收稿日期:2020-10-31

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2018YFF0300300, 2018YFF0300303);国家自然科学基金项目(51678372);辽宁省自然科学基金指导计划项目(2019-ZD-0680);辽宁省教育厅青年科技人才项目(Lnqn201911)

作者简介:袁敬诚(1973—),男,教授,博士研究生导师,主要从事城市空间发展、绿色规划以及健康城市设计等方面研究。

diverse than that on the flat ground, and the effect of aspect ratio on wind environment of multi-storey buildings with determinant layout has spatial differences. The buildings on the slope with enclosed layout effectively prevent the invasion of cold wind in winter, and reduce the wind speed and intensity in the enclosed space. The aspect ratio and layout under different terrain conditions have significant effects on wind environment. So it is necessary to reasonably control a value range of the aspect ratio, and select the optimal layout according to the terrain conditions, which can improve natural ventilation, guide the diffusion of pollutants, and create a comfortable space environment of building groups, and provide a scientific basis for the urban design in mountainous region.

Key words: wind environment; mountainous region; aspect ratio; layout; numerical simulation

近年来,我国北方地区冬季普遍存在较为严重的雾霾,其原因之一是局部热岛效应影响下空气污染物难以对外扩散^[1]。自然通风技术是改善热岛效应的有效途径之一,通过合理的建筑布局,减少室外静风区,可以有效改善污染物与废气的扩散。风环境包含大量复杂多变的元素,特别是山地城市的特殊地形条件,空气热力与动力形成局地流场和区域耦合环流,成为山地条件复杂地形风环境的显著特征^[2]。伴随数字技术平台在建筑设计中的普及,对建筑群空间与风环境耦合关系的定量模拟与定性分析变得简单易行,多种数据支持进一步增强了风环境研究的科学性与实践性。现阶段风环境的分析方法多以现场实测、数值模拟、风洞实验等技术为主,在设计初期通过数值模拟方法对建筑周边风环境进行仿真模拟,为规划设计提供有力参考。实际上,风环境的风速、风向以及建筑的布局、朝向、高宽比等设计参数对风环境的形成有直接影响。Lin Ye 等^[3]采用风洞实验的方法分析了建筑行列高宽比的风流场情况以及建筑外立面不同温度对风环境的影响。应小宇等^[4]采用 PHOENICS 探讨了围合院楼空间开口大小对风环境的影响关系。李静^[5]采用 FLUENT 分析了多种平面布局下的建筑风环境变化。张雅妮等^[6]以白云新城为例论证了风热与视觉耦合的校验模式提出优化设计方法。国内外的相关研究一方面是针对不同城市空间的风环境研究,形成了包括不

同气候区、自然环境、城市功能等宏观影响要素的分析框架^[7-9];另一方面是针对特殊地段的建筑风环境的优化设计,将城市空间设计方法与风环境形成机理相结合,优化具体地段的建筑群体空间环境^[10-12]。

按照国际奥委会《奥林匹克 2020 议程》的精神,“可持续性”的理念正在引入奥运会的各方面^[13],风环境作为气候环境的主要影响因素,对其科学分析、合理利用直接影响到山地场馆的可持续发展和运动员的健康及舒适。因此,科学分析山地条件多层建筑的规划布局对风环境的影响,是进行可持续设计,传承奥林匹克精神,创造舒适居住空间的必行举措,也是类似气候环境地区绿色设计的有力借鉴。因此,笔者通过对冬奥延庆赛区气候环境的统计分析,模拟分析建筑群典型布局在不同地形工况下风环境的效应变化,为科学的规划建筑群体空间,形成良好的建筑风环境提供工作基础。

1 风环境模型的构建

1.1 模拟区域的确定

笔者主要以 2022 年冬奥会延庆赛区非竞赛场馆所处的山地区域作为气候环境研究区域。主要位置位于北京市延庆区燕山山脉的军都山以南的海坨山区域、山谷地带,位于延庆赛区南部区位中间位置的非竞赛场地,地形条件处于平原台地,东西向高差约 30 m,南北向高差约 66 m(见图 1)^[14]。



图 1 延庆赛区非竞赛场馆区位场地情况示意图

Fig. 1 Diagram of the location and site conditions of non-competition venues in Yanqing competition area

1.2 模拟边界条件的设定

笔者采用计算机流体模拟软件 phoenics 为工具,模拟多层板式建筑室外风场的分布情况,其运算方法为计算流体力学。初始风环境数据的设置依据中国气象数据网数据,具有典型性、准确时效性强等特点^[15],参考中国气象数据网延庆历史气象数据确定模拟边界。延庆区 2015 年以前的气象站较少,考虑到气象数据研究的完整性、连续性以及研究区气象数据的代表性,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》和北京市延庆区历史气象数据,选取中国气象数据网 2018 年延庆区冬季气象数据作为模拟数据源。

1.3 模拟区域气候环境的分析

依据中国气象数据网提供的延庆赛区的风环境数据进行四季风环境的影响要素分析,形成了包括春、夏、秋、冬四季的风速、风向、风温的风玫瑰图(见图 2)。该区域春季以西南风为主要风向,平均风速为 2.6 m/s,最高风速为 8 m/s,春季有 10.65% 的时间属于低速静风区段;夏季也以西南风为主,平均风速 1.6 m/s,而且出现相同风向的频率较高;夏季约有 9.69% 的时间,共 214 h 属于静风区段;秋季仍以西南风为主要风向,平均风速 2.2 m/s;冬季风向发生了变化,以西风为主,平均风速约 2 m/s,相同风向的风频出现率居中,整体分布与秋季保持一致。

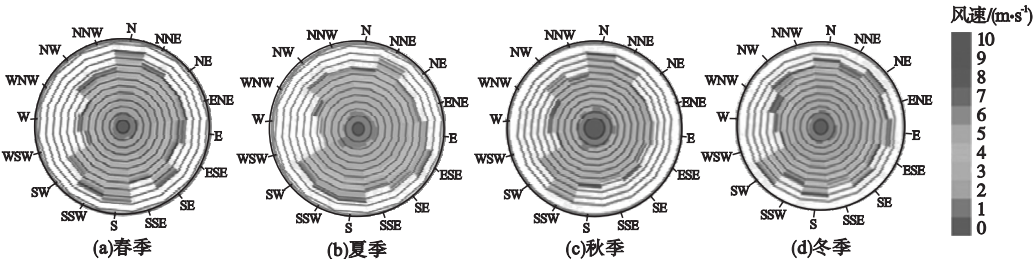


图 2 四季风玫瑰图

Fig. 2 Wind rose diagram of study area in four seasons

干球温度图如图 3 所示,相对湿度图如图 4 所示。由图 3 可知,延庆赛区的春季温度较缓和,2~5 月份平均气温为 15℃;夏季风温度较高,6~8 月份平均气温为 23℃,最高气温 36℃,最低气温 16℃,整体温差较大;然而,秋季是该区域温度变化的转折时间区,平均温度在 16℃左右;冬季风温相比其他 3 个季节相对较低,平均温度在 0~2℃,

总体区域的冬夏风温存在非常明显的对比特征。在 9~26℃为舒适温度区间^[15],延庆赛区全年约 46% 的时间段处于舒适温度区间,冬季寒冷、夏季炎热特点鲜明。由图 4 可知,春季相对湿度较高,平均湿度约 58%;夏季平均湿度 68%,湿度较大;秋季相对湿度较高,平均湿度 68%;冬季湿度与秋季湿度相对存在下降趋势,部分区域湿度较小。该区

域全年辐射均较强,太阳辐射充足,平均在 $360 \sim 1\,080\ (\text{W}\cdot\text{h})/\text{m}^2$,有利于建筑场地的冬季得热补充。总体上看,区域总体气候环境具有较为和缓,四季分明的山地风环境特点。低风速、高辐射的特点符合山谷空间的基本属性;得热充足、风向变化较小的特点易

于建筑群间取得良好的节能效果;辐射量充足有利于冬季得热的补充,迎风面合理的防风措施也能为建筑节能创造有利条件;将夏季风有效运用自然通风手段引入室内,做好夏季防热,可降低建筑能耗。

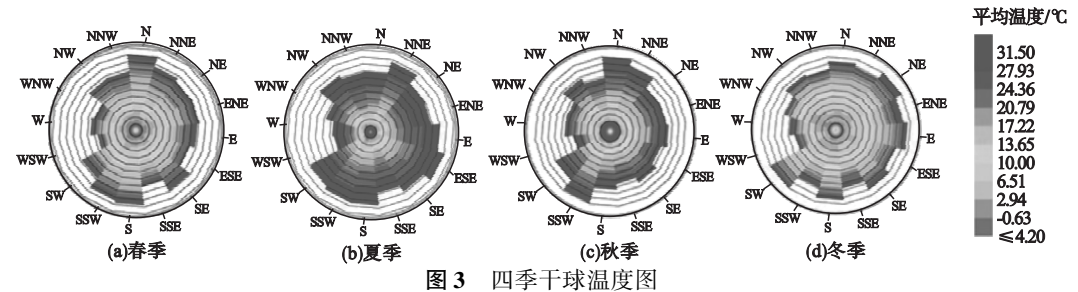


图3 四季干球温度图

Fig. 3 Dry bulb temperature distribution in four seasons

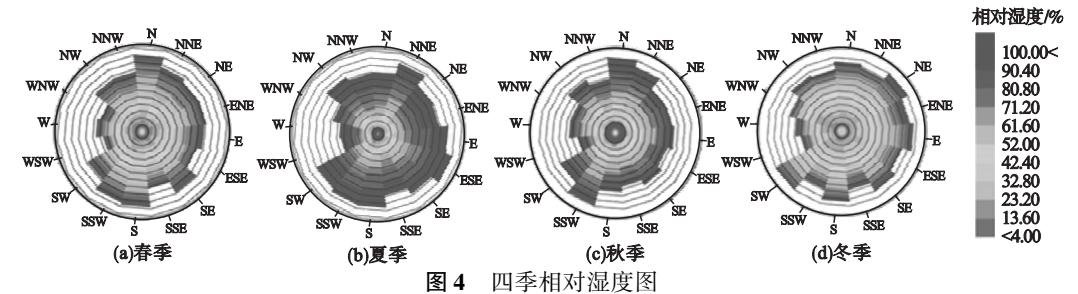


图4 四季相对湿度图

Fig. 4 Relative humidity distribution in four seasons

1.4 模拟模型的设定

依据延庆赛区非竞赛场馆的相关数据资料,建立多层板式建筑模型。多层建筑模型主要以非竞赛场馆区域居住建筑为基准,建筑群模型的单体建筑尺寸均相同,以不影响建筑群周围气流为准,即每个建筑单体的长 $L=60\text{ m}$,宽 $B=10\text{ m}$,高 $H=20\text{ m}$, W 为相邻建筑单体间的水平距离;同时,由于区域地形地势复杂,涵盖平原台地,山谷坡度,因此

模拟情景采用所处的两种地形平地条件、坡地条件。延庆赛区的冬季主导风向西南风、平均风速 2.2 m/s ,根据《居住区规划设计标准》(GB50180—2018)定义街区尺度的常见高宽比(H/W)为 $2、1、0.5$ 的多层建筑行列式布局的 6 种模拟方案(见图 5);模拟工况同时增加了山坡地形条件下 3 种建筑群平面布局类型(见图 6),并列式布局、错列式布局、周边式布局的 3 种模拟工况。

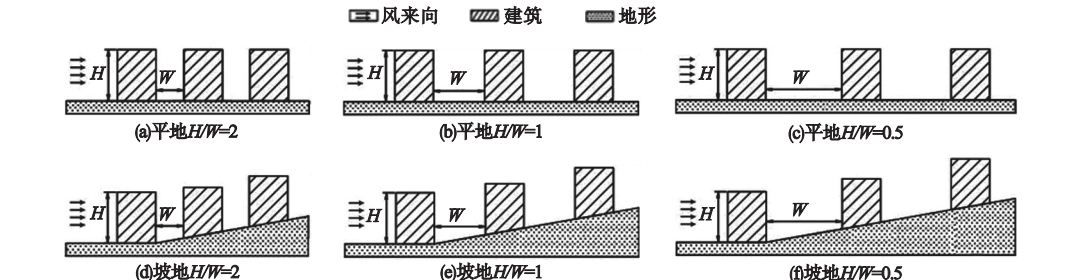


图5 不同地形与不同高宽比的6种模拟方案

Fig. 5 Six simulation schemes under different terrain conditions and aspect ratio

Fig. 5 Six simulation schemes under different terrain conditions and aspect ratio

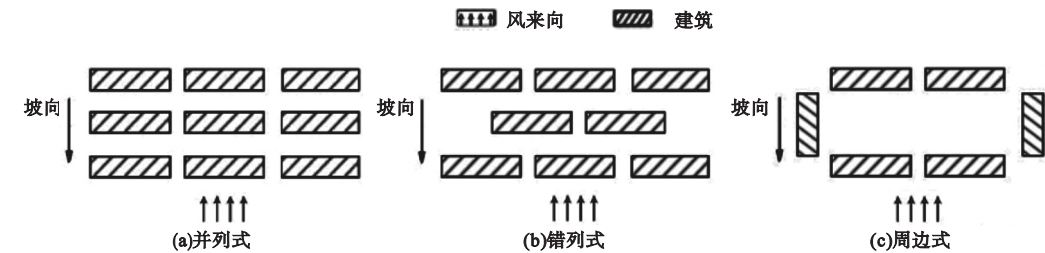


图 6 同一坡地条件的不同布局 3 种模拟方案

Fig. 6 Three simulation schemes for different layout under the same slope condition

2 不同地形条件的风环境模拟结果及分析

2.1 同一高宽比,不同坡度条件的模拟结果分析

2.1.1 高宽比为 2

通过改变建筑群所处地形条件,即平地条件和坡地条件,高宽比为 2 风环境模拟对比分析如图 7 所示。

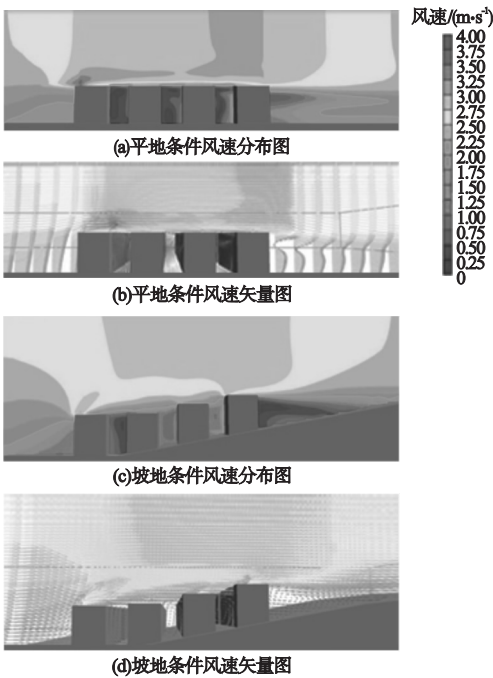


图 7 高宽比为 2 的风环境模拟图

Fig. 7 Simulated diagram of wind environment
($H/W=2$)

从风向入口处的单体建筑的屋顶角进风朝向均出现风速急剧加速情况,且处于平地

多层建筑的风速加速情况更快。不论是平地条件还是坡地条件,其中相邻两栋单体建筑间均会出现较为突出的风涡旋特征,但两种地形条件的建筑间涡旋特征却恰恰相反。主要表现在:风涡旋的数量和大小。处于平地条件的多层建筑组合,相邻建筑间的涡旋数量均是 2 个,但两个涡旋方向截然相反,尤其是处于入风口处建筑间的涡旋顶部大于底部,中间位置的相邻建筑间的涡旋大小趋于一致,出风口处建筑间的涡旋却呈现出底部涡旋较大于顶部涡旋特征。处于坡地条件的多层建筑组合,建筑群间的涡旋数量均是 1 个,涡旋的风速风向。

处于山坡地的多层建筑又独具特点,山坡地的建筑群间的涡旋呈现统一的风向,且涡旋的风速随上坡高度的增加涡旋风速呈上升趋势,在出风口建筑迎风面处于风速最大值,出风口建筑背风面风涡旋的状态。平地条件出风口建筑背风面涡旋逐渐减少,且风速逐渐增大,与入风口风速趋于一致,而山坡建筑群的出风口建筑背风面的涡旋特点相反。一方面,涡旋形成的区域面积大于其他建筑群间的涡旋;另一方面,涡旋的风速随着高度的上升呈逐渐减弱趋势,多层建筑间的迎风面与背风面的风速。两种地形建筑群间呈现不同的状态,平地建筑群间迎风面风速较大,背风面风速较小,山坡建筑群间的迎风面风速却较小,背风面风速较大,且入风口建筑与出风口建筑也其相反,呈现不规则状态,尤其是山坡条件建筑群,出风口会出现大面

积风速较低的涡旋状态,多层建筑的屋顶空间状态。实证研究区两种地形条件下多层建筑的屋顶空间均出现风速急剧增加的情况,且风速值均较大,尤其是平地条件下,处于出风口的单体建筑顶端风速值更高,且高于其他建筑顶端的风速。

2.1.2 高宽比为1

不同地形条件的多层建筑高宽比为1风环境模拟对比分析如图8所示。

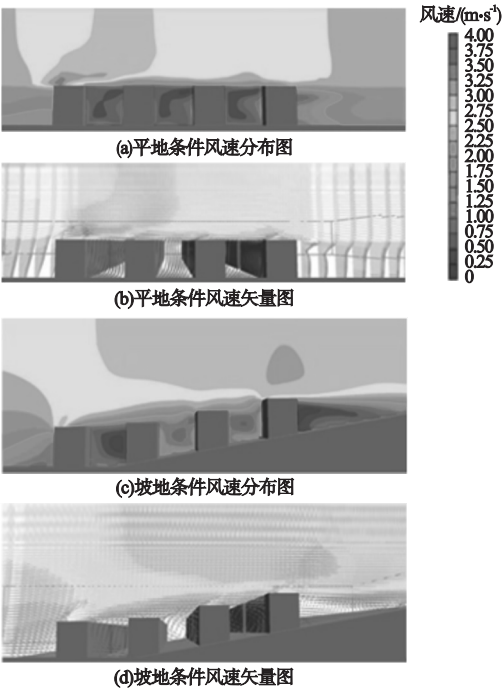


图8 高宽比为1的风环境模拟图

Fig. 8 Simulated diagram of wind environment
($H/W = 1$)

随着高宽比的降低,相邻多层建筑间的风流场及涡旋数量发生了变化。处于平地条件的建筑组合,入风口处建筑的风涡旋数量为1,二、三栋建筑间的风涡旋数量是2,三、四栋建筑间风涡旋数量为1,且建筑底部的风涡旋均大于顶部涡旋;但是,山坡条件的多层建筑组合的风涡旋数量没有变化,与平地条件高宽比为1的为同一状态。

涡旋的风速与风向进行对比分析,随着行间距的增大,即高宽比的降低,建筑群间的风速逐渐增大。平地条件相邻建筑间的涡旋

风向也随着涡旋数量的减少而出现了变化。山坡条件出风口建筑背风面的涡旋变化不大,与平地条件建筑高宽比为1的状态一致。对于建筑群间的迎风面与背风面的风速表现上,高宽比为2的布局状态时,平地条件与山坡条件的建筑群间风速变化趋势相同,但随着高宽比的减小,风速呈现增大状态。两种地形条件下建筑群的迎风口和出风口的建筑顶角的风速呈现不同的状态,平地条件迎风口建筑顶部风速逐渐增加,随之行间距的变大又随之减小。坡地条件下迎风口建筑顶部风速变化不大,但出风口建筑顶部会出现风速急剧增加的大面积区域。

2.1.3 高宽比为0.5

不同地形条件的多层建筑高宽比为0.5风环境模拟对比分析如图9所示。

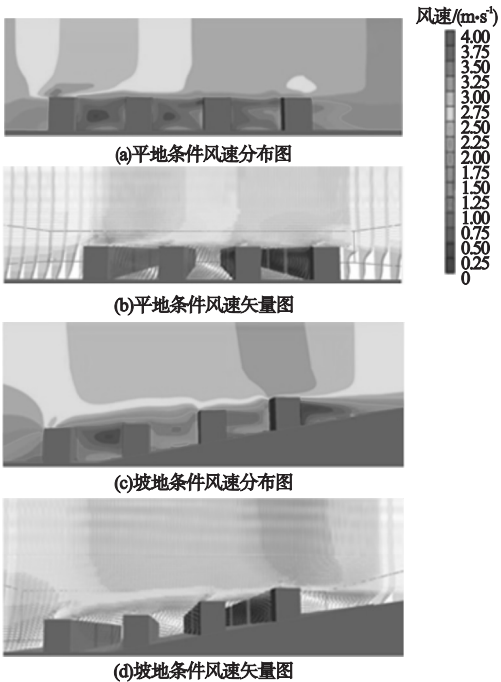


图9 高宽比为0.5的风环境模拟图

Fig. 9 Simulated diagram of wind environment
($H/W = 0.5$)

此时的多层建筑间的风涡旋数量、涡旋的风速及风向的变化情况与高宽比为1时的建筑群间呈现的状态趋于一致。随着高宽比的降低,行间距逐渐增大,使建筑群间的风速

也随之逐渐增大。平地条件下建筑群间的涡旋风向也随着涡旋数量的减少出现了多向的变化。此时的山地条件出风口建筑的背风面涡旋变化却不大,与高宽比为 1 的状态趋近一致,但却呈现出涡旋的区域面积减小的趋势。

对于建筑间的迎风面与背风面的风速变化,平地条件与山坡条件的建筑群间风速变化趋势相同,随着高宽比的降低,建筑群间风速有明显增大趋势。山地条件下建筑群间风速明显大于平地条件的建筑群间风速。两种地形条件下的建筑迎风口和出风口的建筑顶角的风速变化较大,平地条件下迎风口建筑顶部风速比山地条件迎风口建筑风速大,出风口建筑顶角风速相比山地条件的迎风口建筑顶部风速较小。

2.2 同一坡度条件,不同高宽比的模拟结果分析

由图 7、图 8、图 9 同类地形条件的建筑群组合风环境变化分析可知,平地条件下随着建筑群高宽比的降低,建筑群间的风涡旋的风速随之增大,且入风口出建筑背立面的涡旋数量逐渐减少。入风口出单体建筑顶部风速变化较小,但出风口建筑顶部,风速随着行间距的增大逐渐变小,且出风口建筑顶角部分风速仍大于周边顶部风速。出风口处的风涡旋逐渐变小,且风速逐渐急剧增加,与入口处风速区域一致,整体上看,贴近建筑群顶部的风速逐渐趋近于入口风速。坡地条件下,随着建筑群高宽比的降低建筑群间的风涡旋的风速却逐渐增大,且涡旋数量出现了不同的变化,入风口出建筑背立面涡旋均是 1 个。且三、四栋建筑涡旋数量又呈现 1 个。入风口出单体建筑顶角风速逐渐变小,但出风口建筑顶角部逐渐变大,风速随着行间距的增大逐渐增大,且建筑出风顶角部分风速增大区域面积也逐渐扩大。出风口处的风涡旋面积逐渐变小,风速逐渐也随之减小,到达一定距离后与入口处风速趋近一致。

3 不同布局方式的风环境模拟结果及分析

同一坡度条件,不同布局方式的风环境模拟如图 10 所示。

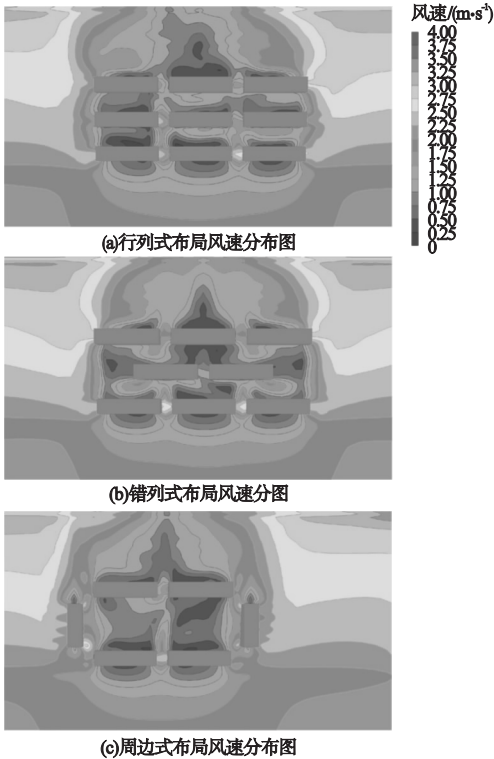


图 10 同一坡地条件不同布局模式的风环境模拟图
Fig. 10 Simulated diagram of wind environment of building with different layout on sloping ground

多层建筑的不同布局方式对风环境的影响具有以下特点:建筑群的不同布局方式对风环境的影响很大,模拟方案中行列式、错列式、周边式布局的建筑群风环境效应各有不同,从形成良好的自然风流通能力方向对比分析,错列式优于行列式与周边式。从阻挡冷风,保暖节能角度对比分析,周边式布局优于行列式、错列式布局,而且更容易形成舒适静风区,且随着坡度的增加,风速也稍有变大的趋势。错列式布局的情况下,坡度较高的背风面建筑拐角端风速较大,末端建筑大面积处于其整面建筑的风影静风区,整体上建筑群间的风速均不大,并且呈现均匀分布状

态,风环境变化对建筑间距较为敏感。

4 结 论

(1)行列式多层建筑的高宽比数值和风环境的优劣不逞同向变化关系,风环境的构成要素风速、风向随着高宽比的变化呈现特殊变化规律,高宽比数值极大与极小对风环境都不利。

(2)不同地形条件下的风环境呈现不同的变化情况;坡地条件下的风环境相比平地条件变化较多,尤其是风环境的主要构成要素风速、建筑间的涡旋数量及风向,较比平地条件的变化更为多样。

(3)坡地条件下的围合式布局有效阻挡了冬季冷风的侵入,降低了围合空间内的风速与强度,使建筑群空间环境呈现较为舒适的状态。

参考文献

- [1] 邬尚霖,孙一民. 城市设计要素对热岛效应的影响分析[J]. 建筑学报,2015(10):79-82.
(WU Shanglin, SUN Yimin. An analysis of the impact of Guangzhou's urban form on heat island effect [J]. Architectural journal, 2015(10):79-82.)
- [2] 徐坚. 山地城镇生态适应性城市设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
(XU Jian. Ecologically adaptive urban design of mountainous cities and towns[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2008.)
- [3] LIN Y, ICHINOSE T, YAMAO Y, et al. Wind velocity and temperature fields under different surface heating conditions in a street canyon in wind tunnel experiments [J]. Building and environment, 2020, 168:106500.
- [4] 应小宇,王艳玲. 围合式多层建筑开口与院落空间风环境[J]. 华中建筑,2019,37(11):49-52.
(YING Xiaoyu, WANG Yanling, et al. Enclosed multi-storey buildings' opening and wind environment of courtyard space[J]. Huazhong architecture, 2019, 37(11):49-52.)
- [5] 李静. 平面布局对建筑群体风环境的影响模拟研究[J]. 建筑节能,2020(5):19-26.
(LI Jing. Influence of plane layout on the wind environment of building group through simulation [J]. Building energy efficiency, 2020(5):19-26.)
- [6] 张雅妮,曾小洲,肖毅强. 基于风热环境优化的“山城共构”城市设计初探:以广州白云新城为例[J]. 城市规划学刊,2018,42(12):116-124.
(ZHANG Yani, ZENG Xiaozhou, XIAO Yiqiang. A preliminary research on the urban design of "mountain-city" based on optimization of wind and thermal environment: with Baiyun new town, Guangzhou as an example [J]. City planning review, 2018, 42(12):116-124.)
- [7] 肖毅强,殷实. 基于城市气候学的地域性城市设计研究导引[J]. 城市建筑,2017(1):24-28.
(XIAO Yiqiang, YIN Shi. A guidance of the research on regional urban design based on urban climatology [J]. Urbanism and architecture, 2017(1):24-28.)
- [8] 曹靖,黄闯. 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(8):53-58.
(CAO Jing, HUANG Chuang. Urban ventilation corridor planning strategies: a case study on central urban area of anqing [J]. City planning review, 2016, 40(8):53-58.)
- [9] 袁超. 缓解高密度城市热岛效应规划方法的探讨:以香港城市为例[J]. 建筑学报,2010(增刊1):120-123.
(YUAN Chao. Mitigating urban heat island effects of high density cities: a study at Hong Kong [J]. Architectural journal, 2010 (S1):120-123.)
- [10] 李麟学. 热力学建筑原型环境调控的形式法则[J]. 时代建筑,2018(3):36-41.
(LI Linxue. Thermo dynamic architectural prototype formal principles of environmental mediation [J]. Time architecture, 2018(3):36-41.)
- [11] 张帆,张伶俐,张蕾蕾. 微型城市设计——建筑形态的区域压力应变研究[J]. 新建筑,2018(2):100-105.
(ZHANG Fan, ZHANG Lingling, ZHANG Qiangqiang. Micro urban design: a study on regional pressure-strain of architectural form [J]. New architecture, 2018(2):100-105.)
- [12] 袁敬诚,张伶俐,赵伟峰. 循流·循序·循境:辽东湾新区城市设计[J]. 规划师,2018,34(9):61-67.
(YUAN Jingcheng, ZHANG Lingling, ZHAO Weifeng. Growing city: urban design of Liaodong bay new district [J]. 2018, 34(9):61-67.)
- [13] 张利,张铭琦,邓慧妹,等. 北京2022冬奥会规划设计的可持续性态度[J]. 建筑学报,2019(1):29-34.
(ZHANG Li, ZHANG Mingqi, DENG Huishu, et al. The sustainable approach of Beijing 2022 venue plans [J]. Architectural journal, 2019(1):29-34.)
- [14] 李兴刚. 文化维度下的冬奥会场馆设计:以北京2022冬奥会延庆赛区为例[J]. 建筑学报,2019(1):35-42.
(LI Xinggang. The design of stadiums for Winter Olympics in a cultural dimension: taking the Yanqing competition zone of Beijing 2022 as an example [J]. Architectural journal, 2019(1):35-42.)
- [15] 贾春晖,窦晶晶,苗世光,等. 延庆-张家口地区复杂地形冬季山谷风特征分析[J]. 气象学报,2019,77(3):475-488.
(JIA Chunhui, DOU Jingjing, MIAO Shiguang, et al. Analysis of characteristics of mountain-valley winds in the complex terrain over Yanqing-Zhangjiakou area in the winter [J]. Acta meteorologica sinica, 2019, 77(3):475-488.)

(责任编辑:徐玉梅 英文审校:唐玉兰)