基于CFD的高层建筑群对临近多层建筑群城市 风环境影响研究

李学臻¹,曹开法²,姜 晨¹

¹上海理工大学机械工程学院,上海 ²安徽科创中光科技股份有限公司,安徽 合肥

收稿日期: 2025年6月17日; 录用日期: 2025年7月9日; 发布日期: 2025年7月18日

摘要

现今城市地区高层建筑密集,其不同位置会对临近的多层建筑城群市风环境造成不同的影响。本文利用 CFD数值模拟技术,通过选取了建筑1.5 m处、多层建筑2/3高程处、高层建筑2/3高程处三种典型截面, 研究了高层建筑群在多层建筑群上游、中游、下游三种不同的位置下,对临近的多层建筑群城市风环境 的影响,结果表明:不同位置的高层建筑群对临近多层建筑群的流场和压力场分布均起到了显著影响。

关键词

高层建筑,多层建筑,城市风环境,CFD技术

Research on the Impact of High-Rise Building Complexes on the Urban Wind Environment Adjacent to Multi-Storey Building Complexes Based on CFD

Xuezhen Li¹, Kaifa Cao², Chen Jiang³

¹School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai ²Anhui Kechuang Zhongguang Technology Co. Ltd., Hefei Anhui

Received: Jun. 17th, 2025; accepted: Jul. 9th, 2025; published: Jul. 18th, 2025

Abstract

Nowadays, high-rise buildings are densely populated in urban areas , and the different locations of

high-rise buildings will have different impacts on the wind environment of the neighboring multistory buildings. This paper utilizes CFD numerical simulation technology, by selecting three typical cross sections at 1.5m of the building, 2/3 of the elevation of the multi-storey building and 2/3 of the elevation of the high-rise building, and investigates the influence of the high-rise building group on the urban wind environment of the adjacent multi-storey building group in the upstream, midstream and downstream of the multi-storey building group in three different positions, and the results show that: the high-rise building group in different positions has a significant influence on the flow and pressure fields distribution of the adjacent multi-storey building group. The results show that the different locations of the high-rise building clusters have significant effects on the flow and pressure field distribution of the adjacent multi-story building clusters.

Keywords

High-Rise Buildings, Multi-Story Buildings, Wind Environment, CFD Technology

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

1. 引言

随着科技发展以及人口数量提升,现今城市地区有较多建筑群为高层建筑和多层建筑混合排列构成。 密集的高层建筑往往会造成城市风环境流动紊乱,同时也会影响临近的多层建筑风环境,在较低处还会 降低建筑附近过往人员的舒适性[1],在较高处因高层建筑产生的风压则容易对多层建筑表面造成较大压 力负载,使得多层建筑墙皮等表面物体脱落,造成安全隐患[2]。

对此,国内外已有不少学者对高层建筑和多层建筑周围风环境影响进行了数值模拟和实验验证研究。 尹子晗[3]研究了多层建筑布局策略,从室外风环境优化的角度,探讨长三角地区多层住宅建筑的布局策 略,从原理层面为住区建筑布局设计提供指导性意见。刘海鸿[4]分析了城市行人风环境的影响因素,并 提出风环境的优化策略,结果表明,经过优化,研究区域内的行人舒适区占比提高了 6.21%,低层、高层 和超高层建筑群内的舒适区占比分别增加了 18.42%、9.79%和 11.02%。郑颖生[5]研究了高层建筑布局对 城市总体通风效率的影响,进而分析高层建筑单体如何影响城市的总体通风状况。秦彤[6]等人研究了单 个高层建筑对临近低层建筑群的影响,结果表明,单个高层建筑对临近低层建筑群影响显著。杨丽[7]等 人研究了围合式、行列式、前后错列式、左右错列式、点式五种常见的居住区平面排列方式,通过数值 模拟方法分析了城市风环境分析,结果表明,建筑平面排列方式和风向入射角都会影响建筑群体间的外 部风场。刘政轩[8]等人研究了不同布局形式对改善风环境居住区的影响,利用 Fluent 软件对长沙市典型 住区形式进行室外风环境模拟,结果表明,对于长沙地区来说,行列式排列方式较为合理的布局方式。 曾穗平[9]等人研究了建筑布局形态与通风效率之间的耦合规律,通过罗列天津市 20 种常见的城市布局 方式,采用 Phoenics 风环境模拟软件分析了人行道高度单位建筑体积的风阻指数,得出利于天津市地区 气候的建筑排列方式。Azli Abd Razak [10]等人设计了五种不同长宽比相互交错均匀的阵列模型,同时设 计了一种高度不均匀的阵列模型,通过 CFD 数值模拟方法,研究了建筑结构外形与城市风环境的影响规 律,结果表明,建筑物迎风面积比(建筑面积比与建筑纵横比的乘积)是评价人行区域风环境的重要参数, 并推导了建筑物迎风面积比 - 人行区域风环境之间的指数方程。H Bo 和 B Lin [11]建立了 6 种典型的建 筑布局模型并进行数值模拟,研究了建筑布局和树木分布对建筑外部风热环境的影响,结果表明,当建 筑物的长立面平行于来流风向时可获得较为舒适的风环境。Jonas [12]等人研究了两栋建筑的角形布局对 局部风环境的影响,结果表明,通道中的风速随着建筑物之间角度的增加而增加。

本文通过建立城市风场物理模型,划分网格,利用 CFD 数值模拟技术研究了高层建筑群在多层建筑 群中上游、中游、下游三种不同的位置工况下,对临近多层建筑群城市风环境的影响,研究工作也为城 市高层建筑群在多层建筑群中位置的选择设计给出了一定的指导建议。

2. 模型建立

2.1. 物理模型

本文利用 SpaceClaim 建立了符合国家标准[13]的高层建筑、多层建筑以及城市风场的几何模型,通 过改变高层建筑群在多层建筑群中的位置,来模拟不同的城市风场环境工况,如图 1 所示。高层建筑高 度 H 为 90 m,长度 L 为 30 m,宽度 W 为 50 m。多层建筑高度 H 为 24 m,长度 L 为 30 m,宽度 W 为 50 m。相邻高层建筑和多层建筑左右和前后间距 D 为 25 m。城市风场高度取 3 H,风场入口与第一个建 筑迎风面距离取 3 H,出口与最后一个建筑背风面距离取 6 H。



Figure 1. Physical model of urban wind farm environment: (a) Overall model; (b) The high-rise building complex is located upstream; (c) The high-rise building complex is located in the middle reaches; (d) The high-rise building complex is located downstream

图 1. 城市风场环境物理模型: (a) 整体模型; (b) 高层建筑群位于上游; (c) 高层建筑群位于中游; (d) 高层建筑群位于下游

2.2. 数学模型

本文采用 k-ε 双方程模型(Jones & Launder, 1972)来对城市建筑风场内的气流组织进行仿真模拟,其 中包含连续性方程,能量守恒方程以及 k-ε 方程[14]。为简化仿真问题,做出如下假设:城市风场环境和 建筑物地面都是固定的,不会产生相对运动,故底面采用无滑移边界条件;流场两侧距高层建筑群较远, 两侧流场边界对建筑物影响可忽略,故两侧边界采用对称边界条件;城市风场环境内流动形式为湍流流 动。由于本文研究不考虑温度,故不启用能量方程。

依据上述假设条件,城市建筑风场内环境气流流通方程可写成如下所示:

(1) 连续性方程

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

其中u_i为速度矢量,单位为m/s。

(2) 湍流动能 K 方程

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \varepsilon$$
(2)

(3) 湍流动能耗散率方程

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_{\varepsilon}u_{i})}{\partial x_{i}} = \frac{\partial}{\partial x_{j}} \left[\left(\mu + \frac{\mu_{t}}{\sigma_{e}} \right) \frac{\partial\varepsilon}{\partial x_{j}} \right] + \frac{C_{1\varepsilon}}{k} \frac{\partial u_{i}}{\partial x_{j}} \left(\frac{\partial u_{i}}{\partial x_{j}} + \frac{\partial u_{j}}{\partial x_{i}} \right) - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^{2}}{k}$$
(3)

其中, ρ 为密度, kg/m³; u_i 为速度, m/s; μ 为动力黏度, N.s/; k为湍流动能; ε 为耗散率; 对于标 $k-\varepsilon$ 准模型来说, 有 C_{1e} = 1.44, C_{2e} = 0.09, σ_{κ} = 1.0, σ_{ε} = 1.3。

3. 网格划分及边界条件

本文采用 SpaceClaim 建立模型,提取流体域并对边界命名,共享拓扑后利用 FluentMeshing 进行网格划分,由于城市风场和其中建筑群为规则六面体模型,故采用六面体和四面体混合网格。不考虑高层建筑和多层建筑内部对城市风场的影响,为减小网格计算量,故不划分高层建筑和多层建筑内部网格,将高层建筑和多层建筑内部网格设置为 dead。为确保仿真的准确性,对风场的进出口和建筑群表面生成了 15 层边界层网格,划分后的网格如图 2 所示。



Figure 2. Environmental grid of urban building wind fields 图 2. 城市建筑风场环境网格

风场上下边界面设置为无滑移壁面(wall),两侧边界设置为对称边界条件(symmetry)。入口设置为速度入口边界(velocity-inlet),且速度大小与高度的关系如式(4)所示。出口设置为压力出口(pressure-outlet),风场出口与大气环境相连通,故设置表压为0pa。

$$\frac{\upsilon(z)}{\upsilon_{ref}} = \left(\frac{z}{z_{ref}}\right)^{\alpha} \tag{4}$$

式中, α 为地面粗糙度, 取 0.3; z_{ref}为参考高度, 取 15 m; v_{ref}为参考高度处风速, 取 10 m/s。

4. 结果分析

对于高层建筑来说,其周围气流流动十分复杂,容易因为建筑之间的相互影响而产生回流涡旋,并 影响临近多层建筑的气流形式,进而影响在建筑群周围通行人员的舒适度,因此选取高层建筑的1.5 m 高 度处截面进行分析[15][16]。多层建筑较高处也容易受到高层建筑影响,导致风压改变,对多层建筑造成 不利因素,故选取多层建筑 2/3 高程处(Z = 16 m)进行分析。高层建筑随着高度增大,气流速度也随之增 大,在高程建筑之间容易相互影响,产生气漩,可能使建筑间的有害气体难以排出[17],或造成墙皮脱落 等风险,故选择高层建筑 2/3 高程处(Z = 60 m)进行分析[18]。

4.1.1.5 m 高程处高层建筑群位置对相邻多层建筑群城市风环境影响分析

图 3 为三种位置的高层建筑群 1.5 m 高度处压力分布。由图 3 可看出,当高层建筑群位于上游时, 高层建筑迎风面受到的压力最大,此时高层建筑群前端区域为正压区域,后两排多层建筑 1~6 均处于负 压区域。当高层建筑群位于中游时,多层建筑 1、2、3 处于正压区域,多层建筑 4、5、6 处于负压区域。 当高层建筑群位于下游时,高层建筑迎风面受到的压力相比于上游和中游最小,这是因为此时高层建筑 距风场入口较远,来流风经过 1~6 两排多层建筑后才到达高层建筑群,因此压力相对较低,此时多层建 筑 1~6 均处于正压区域。不管处于何种位置,高层建筑群均对临近多层建筑群的压力分布产生显著影响。



Figure 3. Pressure distribution at 1.5 meters in high-rise building complexes at different locations 图 3. 不同位置高层建筑群 1.5 m 处压力分布(a) 高层建筑群位于上游; (b) 高层建筑群位于中游; (c) 高层建筑群位于下游

图 4 为三种位置的高层建筑群 1.5 m 高度处速度分布。由图 4 可看出,当高层建筑群位于上游时,迎风面前端和两侧风速较大,高层建筑群对后两排多层建筑 1~6 能起到遮掩效果,多层建筑群区域流速 较小。当高层建筑群位于中游时,前排多层建筑 1~3 气流流速较小,这也对应了此时前排多层建筑 1~3 处于正压控制区域,高层建筑群对后排多层建筑 4~6 能起到遮掩效果,高层建筑和后排多层建筑间隔区 域风速较小。当高层建筑群位于下游时,前两排多层建筑 1~6 此时气流速度均较低,处于正压控制区域。 不论高层建筑处于何种位置,其迎风面两侧和建筑间狭缝过道处均出现气流速度激增现象,高层建筑群 对临近多层建筑群气流速度分布起到了显著影响。



Figure 4. Velocity distribution at 1.5 meters in high-rise building complexes at different locations **图 4.** 不同位置高层建筑群 1.5 m 处速度分布(a) 高层建筑群位于上游; (b) 高层建筑群位 于中游; (c) 高层建筑群位于下游

4.2. Z = 16 m 高程处高层建筑位置对相邻多层建筑城市风环境影响分析

图 5 为三种位置的高层建筑群在 Z = 16 m 高程处压力分布。由图 5 可看出,此时的压力分布与 1.5 m 处大致类似。高层建筑群前端为正压控制区域,后端为负压控制区域。当高层建筑群位于上游时,迎风面受到压力最大,后两排多层建筑 1~6 均处于负压控制区域,位于中游时迎风面受到压力略低于上游,前排多层建筑 1~3 位于正压控制区域,后排多层建筑 4~6 位于负压控制区域,位于下游时迎风面受到压力最小,前两排多层建筑均处于正压控制区域。在该高度下,三种位置的高程建筑群受到的最大压力均小于 1.5 m 高程处。这是因为随着高度增加,风场内风速增大,相应地压力就减小。



Figure 5. Pressure distribution of high-rise building complexes at different locations at an elevation of Z = 16 m

图 5. 不同位置高层建筑群在 Z = 16 m 高程处压力分布(a) 高层建筑群位于上游; (b) 高层建筑群位于中游; (c) 高层建筑群位于下游

图 6 为三种位置的高层建筑群在 Z = 16 m 高程处速度分布。由图 6 可看出,在高层建筑群前侧区域气流速度较低,当高层建筑群位于下游时,多层建筑1~6 的区域的气流速度都较低。高层建筑狭缝过道处气流激增,当高层建筑群位于上游时,其狭缝速度对后方多层建筑群1~6 产生显著影响,气流速度较大。高层建筑群和多层建筑群前后相邻区域速度均较小,高层建筑群可以为后方的多层建筑群起到一定的遮掩作用。



Figure 6. Velocity distribution of high-rise building complexes at different locations at an elevation of Z = 16 m

图 6. 不同位置高层建筑群在 Z = 16 m 高程处速度分布(a) 高层建筑群位于上游; (b) 高层建筑群位于中游; (c) 高层建筑群位于下游

4.3. Z = 60 m 高程建筑位置对相邻多层建筑城市风环境影响分析

图 7 为三种位置的高层建筑群在 Z = 60 m 高程处压力分布。由图 7 可看出,无论高层建筑群处于上游、中游或者下游,其压力最大处均出现在高层建筑迎风面。当高层建筑群位于中游时,其迎风面收到的压力载荷最大,当高层建筑群位于上游时,其受到的压力载荷最小。高层建筑群迎风面均前方区域均为正压区域,临近背风面后方区域为负压区域。高层建筑群受到的压力几乎不受多层建筑群的影响,只和高层建筑群本身位置有关。



Figure 7. Pressure distribution of high-rise building complexes at different locations at an elevation of Z = 60 m

图 7. 不同位置高层建筑群在 Z = 60 m 高程处压力分布(a) 高层建筑群位于上游; (b) 高层建筑群位于中游; (c) 高层建筑群位于下游 图 8 为三种位置的高层建筑群在 Z = 60 m 高程处速度分布。由图 8 可看出,随着高度的增加,城市 风场内速度随之增加,高层建筑群两侧和狭缝过道处气流激增。高层建筑群在上游时流场内气流速度最 大,因为此时高层建筑群距离流场入口较近,较大的气流速度撞击到高层建筑群两侧导致气流速度激增。 高层建筑群位于中游和下游时,气流速度大小基本一致,高层建筑群能为后方区域起到遮掩效果。多层 建筑群几乎不影响高层建筑群流速分布。



Figure 8. Velocity distribution of high-rise building complexes at different locations at an elevation of Z = 60 m 图 8. 不同位置高层建筑群在 Z = 60 m 高程处速度分布(a) 高层建筑群位于上游; (b) 高层建筑群位于中游; (c) 高层建筑群位于下游

图 9 为三种高程下不同高层建筑群位置受到最大压力及速度。由图 9 可知,在 1.5 m 高程处,高层 建筑位于上游、中游、下游,流场内最大压力和最大速度分别为 170 pa、145 pa、140 pa 和 15.8 m/s、14.4 m/s、12.9 m/s;在 16 m 高程处,流场内最大压力和最大速度分别为 148 pa、131 pa、125 pa 和 19.6 m/s、 16.5 m/s、16.2 m/s;在 60 m 高程处,流场内最大压力和最大速度分别为 216 pa、233 pa、226 pa 和 20.9 m/s、19.6 m/s、19.3 m/s。三种高程下,最大气流速度均随着高层建筑群位置向后移动而减小。在 1.5 m 和 16 m 高程下,最大压力随着高层建筑群位置向后移动而减小,在 60 m 高程下,当高层建筑群位于中 游时压力最大,位于上游时压力最小。



Figure 9. The maximum pressure and velocity at different locations of high-rise building complexes under three elevations 图 9. 三种高程下不同高层建筑群位置受到最大压力及速度

5. 结论

本文通过建立风场物理模型,利用 CFD 数值模拟技术,通过选取 1.5 m 处、多层建筑 2/3 高程处(Z = 16 m)和高层建筑 2/3 高程处(Z = 60 m)三种典型截面,研究了高层建筑群位于多层建筑群上游、中游、 下游三种不同的工况下,对临近多层建筑群城市风环境压力载荷分布和气流速度分布的影响,得到了以 下结论:

 流场内气流速度会在高层建筑群狭缝过道和两侧激增,这是因为当流量相同的气流从横截面较大 区域转向较小区域时,为保证流量不变,速度则会增大。高层建筑群能对后方多层建筑群起到一定的遮 掩作用。

2) 流场内最大气流速度随着高层建筑群位置向后移动而减小,这是因为随着距离增大,气流流场得 到充分发展,后方气流速度低于前方。在1.5m和16m高程下,最大压力随着高层建筑群位置向后移动 而减小。

3) 高层建筑群对前后方多层建筑群气流速度和压力分布均产生显著影响。高层建筑群迎风面前方为 正压控制区域,这是因为在高层建筑群前方建筑物会阻挡气流流动,形成"气流堆积",高层建筑近壁 面此时气流流速很小,导致该区域空气压力增高,形成正压控制区。高层建筑群背风面后方为负压控制 区域,这是因为高层建筑群背风面通常会有气流分离现象产生,气流流过高层建筑,会在其后方区域产 生涡旋以及气流稀薄区,导致压力降低。

高层建筑群在下游时,多层建筑群此时均处于正压控制区,能稳定气流流动并减少冷空气渗透,可 对前方多层建筑群起到保温作用;在上游时,多层建筑群此时均处于负压控制区,此时压力低于周围环 境,能促进空气的流动交换,一定程度上可以加强空气间的对流传热,可对后方多层建筑群起到散热作 用;在中游时两者兼顾。在设计高层建筑群在多层建筑群中位置时,应结合当地实际天气气候考虑。

参考文献

- [1] 邹琼,张嘉龙,王雅平.多层建筑屋顶风场的数值模拟[J].应用力学学报,2021,38(1):208-215.
- [2] 刘新辉, 闫铂, 张宇佳. 高层建筑形状对城市风环境影响的模拟研究[J]. 建筑安全, 2023, 38(2): 29-32.
- [3] 尹子晗. 基于室外风环境模拟的长三角地区多层住宅布局策略研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京大学, 2021.
- [4] 刘海鸿. 基于 CFD 的城市中尺度区域风环境模拟分析及优化策略研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2021.
- [5] 郑颖生. 基于改善高层高密度城市区域风环境的高层建筑布局研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [6] 秦彤, 艾晓秋, 翟永梅. 基于数值风场的高层建筑对临近低层建筑群影响分析[J]. 灾害学, 2010, 25(S1): 212-215.
- [7] 杨丽, 宋德萱. 居住区规划中建筑平面空间组合与风环境的关系研究[J]. 住宅科技, 2013, 33(2): 1-6.
- [8] 刘政轩,韩杰,周晋,张聪,张国强. 基于风速比和空气龄的小区风环境评价研究[J]. 建筑技 术, 2015, 46(11): 996-1001.
- [9] 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): 24-30
- [10] Abd Razak, A., Hagishima, A., Ikegaya, N. and Tanimoto, J. (2013) Analysis of Airflow over Building Arrays for Assessment of Urban Wind Environment. *Building and Environment*, 59, 56-65. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.007
- [11] Hong, B. and Lin, B. (2015) Numerical Studies of the Outdoor Wind Environment and Thermal Comfort at Pedestrian Level in Housing Blocks with Different Building Layout Patterns and Trees Arrangement. *Renewable Energy*, 73, 18-27. <u>https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.060</u>
- [12] Allegrini, J. and Lopez, B. (2016) The Influence of Angular Configuration of Two Buildings on the Local Wind Climate. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 156, 50-61. <u>https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.07.008</u>
- [13] 关于发布行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》的公告[J]. 中国市政工程, 2010(6): 26.
- [14] Jones, P.J. and Whittle, G.E. (1992) Computational Fluid Dynamics for Building Air Flow Prediction—Current Status

and Capabilities. Building and Environment, 27, 321-338. https://doi.org/10.1016/0360-1323(92)90033-1

- [15] 徐晓达. 超高层建筑周边行人高度处平均风速分布特性及风环境评估[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [16] 王同军. 高层建筑群行人高度风环境数值模拟分析[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2012.
- [17] 王泰. 城市居住区高层建筑对周边邻近建筑的风环境影响研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2018.
- [18] 周费宏. 基于 CFD 技术的大风条件下建筑群风环境与风荷载数值模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2021.