

Wind Load Aerodynamic Interference between Two Tall Buildings Based on the Numerical Simulation

Junlong Liu^{1,2}, Jinghui Dai³

¹Heilongjiang Construction Engineering Group Co. Ltd., Harbin Heilongjiang

²Heilongjiang Construction Technique Development Centre, Harbin Heilongjiang

³School of Energy and Civil Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin Heilongjiang

Email: 76269206@qq.com

Received: Jun. 8th, 2016; accepted: Jun. 25th, 2016; published: Jun. 28th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The wind load between two tall tandem buildings was investigated based on CFD numerical simulation in this paper. The pressure distribution and the characteristics of flow field around two high-rise buildings in tandem arrangement were analyzed compared with the calculation results with monomer building, which revealed that the upstream construction had a small disturbance. But, the downstream construction was largely affected by the upstream building, especially for the drag.

Keywords

Tall Buildings, Aerodynamic Disturbance, Numerical Simulation

高层建筑间风荷载气动干扰的数值模拟研究

刘军龙^{1,2}, 代晶辉³

¹黑龙江省建设集团有限公司, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江省建设技术发展中心, 黑龙江 哈尔滨

³哈尔滨商业大学, 能源与建筑工程学院, 黑龙江 哈尔滨

Email: 76269206@qq.com

收稿日期: 2016年6月8日; 录用日期: 2016年6月25日; 发布日期: 2016年6月28日

摘要

本文通过CFD数值模拟两栋前后串联的高层建筑之间的风荷载气动干扰, 并对高层建筑附近压力分布以及流场特性进行分析。通过与单体建筑的计算结果进行对比发现, 串联的两高层建筑, 上游建筑受干扰小, 而下游建筑受上游建筑的影响显著, 尤其是顺风向阻力作用。

关键词

高层建筑, 气动干扰, 数值模拟

1. 引言

随着社会经济的发展, 人口数量的增加, 土地资源的日趋紧张, 高层甚至超高层建筑的发展如雨后春笋, 如火如荼。然而, 随着建筑高度的增加, 结构刚度相对减小, 加之轻质高强, 小阻尼材料的应用, 使得建筑对风荷载的作用效应尤为敏感。20世纪中后期, 研究者们对单个建筑的风荷载响应做了大量的研究, 为了解建筑截面形状对风荷载和响应的影响, Hayashida [1]等人对不同截面形式的高层建筑分别进行了高频测力天平试验和刚性模型测压试验。顾明[2]等人也对方形、矩形、三角形以及 Y 形等 10 多个典型建筑截面模型进行了细致的刚性模型测压试验。Lin [3]等人也对不同尺寸的长方形截面超高层建筑进行了刚性模型测压试验, 并指出在特定的宽厚比下, 建筑所受风荷载达到最大值。

随着人们对单体建筑风荷载特性的深入了解, 越来越多的研究者意识到相近的高层建筑之间风荷载的相互影响同样十分显著。高层建筑间的风致干扰效应包括静力干扰效应和动力干扰响应。研究者们依托风洞试验对邻近高层建筑的风荷载干扰效应进行研究发现: 邻近高层建筑之间流场相互干扰, 受扰高层建筑的风荷载大小与单体建筑相比有很大差别, 在某些情况下可能会远远大于单体时的风荷载, 从而引起抗风设计中的安全问题。楼文娟, 孙炳楠[4]等人进行了高层塔楼间干扰效应的试验, 发现整体试验双塔的表面最大负压系数比单塔试验时增大约 23%。当建筑物并列布置时, 建筑物之间的干扰作用主要是由“狭缝效应”引起的, 对相邻建筑物的侧面风压影响比较大; 而当建筑物串联布置时, 主要表现为“遮挡效应”, 一般对下游建筑物影响较大, 对上游建筑影响较小。周鲁敏[5]通过数值模拟研究了串联双塔超高层建筑之间的气动干扰效应, 并对各风向角下的建筑表面压力系数做了详细分析。吴华英[6]等人采用标准的 $k-\epsilon$ 模型计算了高层建筑表面的风荷载体型系数, 研究了群体建筑的风荷载干扰效应。张琪[7]等人通过 CFD 数值模拟研究了群体烟囱之间的风压分布情况, 探索了烟囱群之间的风荷载干扰效应。

2. 数值模型

本文通过 CFD 数值模拟研究前后串联的两栋高层之间的风荷载气动干扰。两栋矩形高层建筑大小、型体完全一致, 长 $L = 50 \text{ m}$, 宽 $B = 20 \text{ m}$, 高 $H = 100 \text{ m}$ 。前后净距为 100 米。计算域宽 1000 m, 长 4000 m (上游 1000 m, 下游 3000 m), 高为 500 m, 计算域横向阻塞比为 2%, 满足阻塞度的要求 ($< 5\%$), 因此, 边界壁面对建筑物附近流场的干扰可忽略不计, 如图 1 所示。入口边界条件为速度入口 (Velocity Inlet), 采用均匀流, 来流风速为 10 m/s, 出口采用“压力出口”, 两侧与上部边界定义为“对称边界”, 下部边界与建筑物表面应“无滑移壁面”。计算域网格在建筑物附近进行加密处理, 尤其是建筑物表面第一层

网格高度严格控制为 $y^+ < 2$, 网格由内到外逐渐增大, 计算域网格总数约 500 万。网格质量 Determinant $3 \times 3 \times 3$ 检测最小为 0.937, 网格最大长宽比(Aspect ratio)小于 12.4。

数值模拟的湍流计算模型采用 SST $k-\omega$ 模型, 它综合了 $k-\omega$ 模型在近壁区计算的优点和 $k-e$ 模型在远场计算的优点, 将 $k-\omega$ 模型和标准 $k-e$ 模型都乘以一个混合函数后再相加就得到这个模型。在近壁区, 混合函数的值等于 1, 因此在近壁区等价于 $k-\omega$ 模型, 在远离壁面的区域混合函数的值则等于零因此自动转换为标准 $k-e$ 模型。与标准 $k-\omega$ 模型相比, SST $k-\omega$ 模型中增加了横向耗散导数项, 同时在湍流粘度定义中考虑了湍流剪切应力的输运过程, 模型中使用的湍流常数也有所不同, 这些特点使得 SST $k-\omega$ 模型的适用范围更广, 比如可以用于带逆压梯度的流动计算和翼型计算等等。

3. 计算结果分析

图 2 为两串联高层建筑附近某一水平面的平均压力系数分布情况, 与图 3 单一方形高层建筑相比, 上游建筑表面地压力变化不大, 迎风面大面积正压分布, 侧面与背风面三面均为负压。下游建筑表面的压力发生了显著变化, 由于下游建筑处于上游建筑的背风面负压区, 以致下游建筑的迎风面正压区消失,

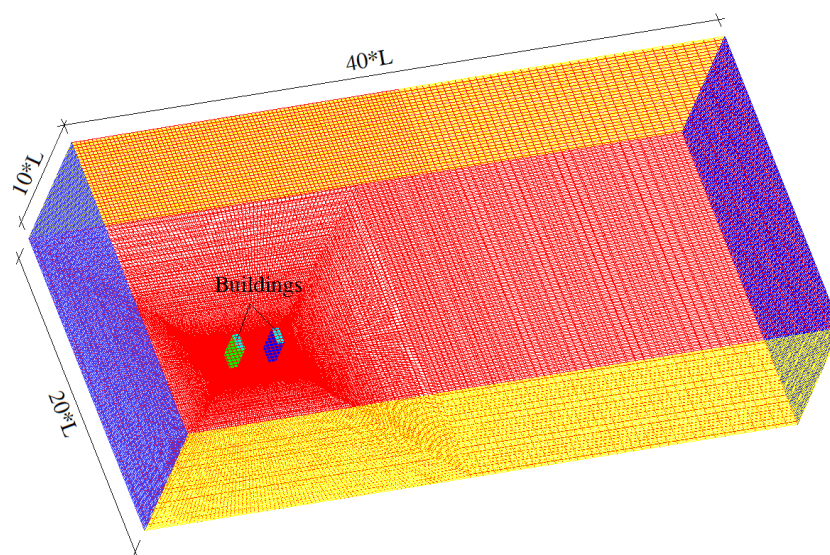


Figure 1. The computational domain of the numerical model

图 1. 数值模型计算域

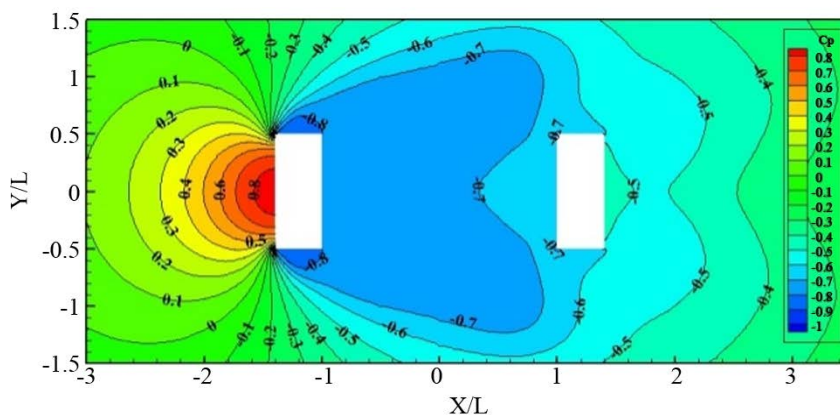


Figure 2. The mean pressure coefficient distribution of the two tandem buildings

图 2. 两串联建筑平均压力系数分布图

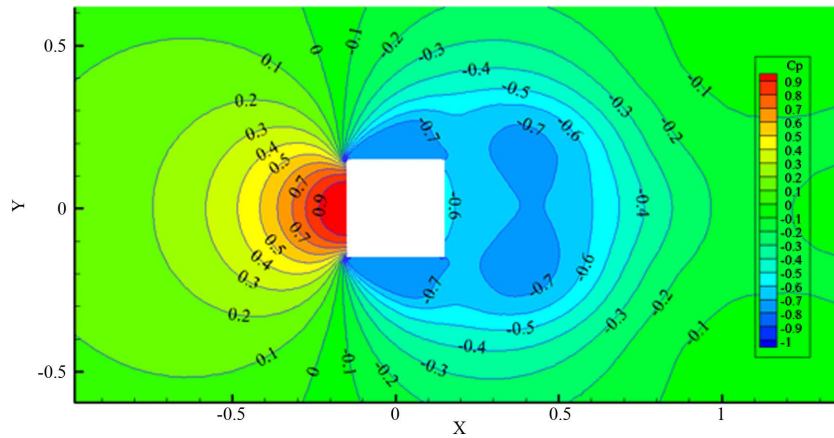


Figure 3. The mean pressure coefficient distribution of the single building
图 3. 单体建筑平均压力系数分布图

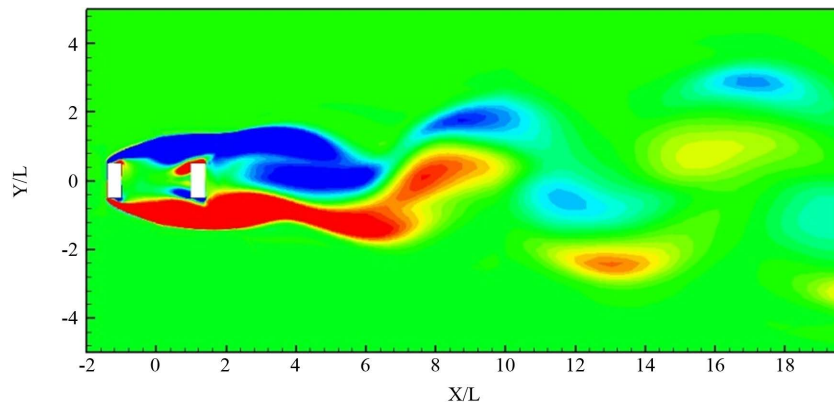


Figure 4. The vorticity distribution on the middle height surface
图 4. 建筑物一半高度处水平面涡量分布图

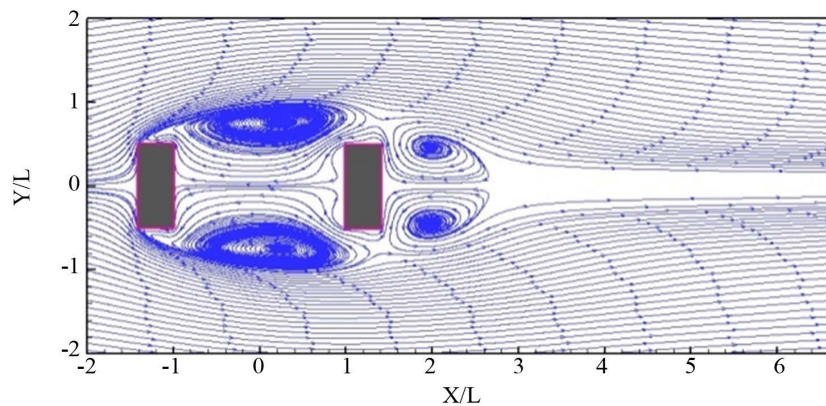


Figure 5. Time-averaged streamlines on the middle height surface
图 5. 建筑物一半高度处水平面时均流线图

甚至出现迎风面压强小于背风面压强，从而导致下游建筑的名义平均阻力系数小于零。图 4 为高层建筑附近尾流的涡量等值线图，从图中可以看出：由于下游建筑的阻碍作用，打破了原本应出现的“2S”尾流涡模式。图 5 为建筑物一半高度处时均流线图，由于下游建筑物的阻挡，两建筑之间的尾流宽大，两侧涡中心区相隔一定的距离。图 6 为建筑中心立面时均流线图，结合图 5 可以发现建筑附近三维流动明显，

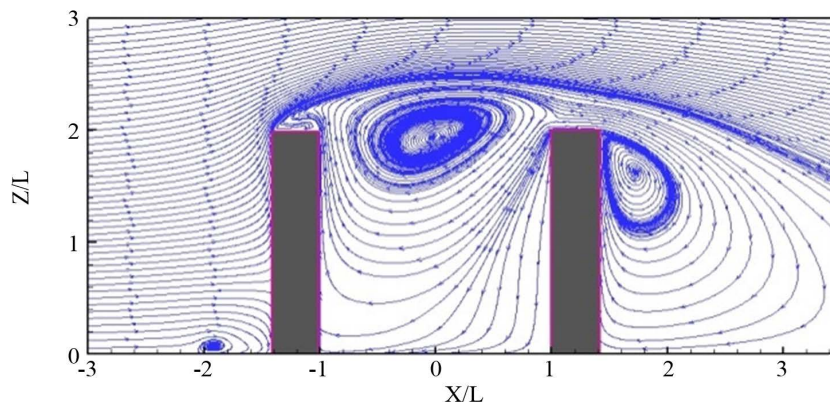


Figure 6. The time-averaged streamlines on the center vertical surface
图 6. 建筑物中心立面时均流线图

排列规则的涡管难以形成。由于上游建筑尾流漩涡的影响, 两栋建筑之间靠近下游建筑一端很大范围内受下冲气流影响明显。另外, 由于上游建筑尾流漩涡对能量的耗散, 下游建筑的尾流中漩涡尺度与漩涡强度明显减小。而由于下游建筑的阻挡, 上游建筑尾流漩涡的发展也受到一定程度的限制。

4. 结论

通过数值模拟计算, 我们发现两栋前后串联的高层建筑之间存在显著的风荷载气动干扰。与单体建筑相比, 串联高层建筑附近压力分布以及流场特性发生力很大变化。上游建筑所受气动干扰较小, 而下游建筑受上游建筑的影响显著, 尤其是迎风面的压力甚至出现了小于背风面压力的情况, 从而致使顺风向平均阻力作用为负。

参考文献 (References)

- [1] Hayashida, H. and Iwasa, Y. (1990) Aerodynamic Shape Effects of Tall Building for Vortex Induced Vibration. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **33**, 237-242. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-6105\(90\)90039-F](http://dx.doi.org/10.1016/0167-6105(90)90039-F)
- [2] 顾明, 叶丰, 张建国. 典型超高层建筑风荷载幅值特性研究[J]. 建筑结构学报, 2006(27): 143-149.
- [3] Lin, N., Letchford, C., Tamura, Y., et al. (2005) Characteristics of Wind Forces Acting on Tall Buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **93**, 217-242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2004.12.001>
- [4] 楼文娟, 孙炳楠, 傅国宏, 洪滔, 唐景春. 复杂体型高层建筑表面风压分布的特征[J]. 建筑结构学报, 1995(16): 38-44.
- [5] 周鲁敏. 某双塔楼超高层建筑平均风荷载及干扰效应数值模拟研究[J]. 建筑技术, 2015(46): 467-470.
- [6] 吴英华, 李婷, 江涛, 黄宏. 某高层建筑风荷载体型系数数值模拟分析[J]. 华东交通大学学报, 2015(32): 103-108.
- [7] 张琪, 张玉峰. 群体烟囱风压分布规律的数值模拟[J]. 武汉大学学报, 2015(48): 69-73.