

Study of Interference Effect of Wind Pressure on Roof of Multi-storey Residential Buildings

Xiao Luan, Peng Huang*

State Key Laboratory of Disaster Reduction in Civil Engineering, Tongji University, Shanghai, China

Email address:

18220530350@163.com (Xiao Luan), huangtju@tongji.edu.cn (Peng Huang)

*Corresponding author

To cite this article:

Xiao Luan, Peng Huang. Study of Interference Effect of Wind Pressure on Roof of Multi-storey Residential Buildings. *Science Discovery*. Vol. 9, No. 1, 2021, pp. 13-20. doi: 10.11648/j.sd.20210901.13

Received: January 5, 2021; Accepted: January 29, 2021; Published: January 30, 2021

Abstract: In this paper, a series of wind tunnel experiments were carried out on the rigid model of 5-6 storey residential buildings to study the influence of the location, spacing and wind direction of the buildings on the roof wind pressure of multi-storey residential buildings. The test results show that the maximum average wind pressure and extreme negative wind pressure of a single building occur in the roof ridge area at the corner and both ends of the roof, taking a multi-storey building with length \times width \times height of 60m \times 12m \times 20m as an example. For the buildings with three rows and three columns, when the building is located at the corner, the most unfavorable wind direction is 30°, 210°, and 330°. The most unfavorable extreme value of negative wind pressure is -8.72. The negative wind pressure coefficient of the most unfavorable extreme value of the building roof at the corner position and the middle position of the first row decreased with the length-width ratio and the spacing increased. The negative wind pressure coefficient of the most unfavorable extreme value of the building roof at the edge and middle of the second row did not change significantly with the increase of length-width ratio but increased with the increase of space. In the corner area of the roof, the interference factor of the corner position and the middle position of the first row decreased with the space, while the interference factor of the edge position and the middle position of the second row increased with the space. The variation trend of the middle area of the roof is the same as that of the corner area, but the interference factor is generally small. The interference factor of the wall area is always greater than 1.0.

Keywords: Group Building, Typical Community, Extreme Negative Wind Pressure, Interference Factor

多层小区建筑群屋面风压干扰效应研究

栾晓, 黄鹏*

同济大学土木工程防灾国家重点实验室, 上海, 中国

邮箱

18220530350@163.com (栾晓), huangtju@tongji.edu.cn (黄鹏)

摘要: 本文通过对5-6层居民建筑的刚性模型进行风洞实验, 研究了建筑物的位置、前后间距和风向角对多层小区建筑群屋面风压的干扰影响规律。试验结果表明: 以长 \times 宽 \times 高为60m \times 12m \times 20m的多层小区建筑为例, 单体建筑的平均风压和极值负风压的最大值均出现在屋盖的角部和两端部的屋脊区域。对于三排三列的建筑群, 当建筑位于角部位置时最不利, 30°, 210°, 330°为三个最不利风向角, 最不利极值负风压为-8.72; 角部位置、第一排中间位置建筑屋面的最不利极值负风压系数随长宽比减小而减小, 随间距增大而减小; 第二排边缘位置和中部位置建筑屋面的最不利极值负风压系数随长宽比增大无明显变化, 随间距增大而增大。屋面角部区域, 角部位置、第一排中间位置建筑的干扰因子随间距的增大而减小, 第二排边缘位置和中部位置的干扰因子随间距增大而增大; 屋面中部区域变化趋势同角部区域, 但干扰因子整体偏小; 墙面区域的干扰因子始终大于1.0。

关键词: 群体建筑, 典型小区, 极值负风压, 干扰因子

1. 引言

多层小区通常以群体形式分布, 相邻建筑物之间的气流干扰效应明显, 受扰建筑的风压分布明显区别于单体建筑, 忽略这部分干扰效应将会出现围护结构的部分位置存在安全隐患, 部分位置的设计又过于保守, 因此研究多层小区的风荷载干扰效应意义重大。目前国内外学者对高层的干扰效应和低矮建筑的群体干扰效应进行了大量研究, 但针对5-6层, 高度约为20米, 长宽比较大的多层住宅小区建筑群的干扰尚待深入研究。Tsutsumi, T. Katayama[8]针对常规的建筑群的交错排列和正交排列两种布局进行实验, 同时考虑了风向影响。结果表明, 群体干扰下的建筑物风压系数要比单体建筑的风压系数要高。E.C.English [10]基于现有的风洞试验的数据, 使用人工神经网络的方法来研究两栋建筑之间的干扰和遮挡作用, 并且用新定义的“干扰因子”来量化两栋建筑之间的干扰和遮挡作用。Chang C H, Meroney R N[13]通过研究间距对低矮房屋表面风压的影响, 得出遮蔽效应房屋间距与房屋高度的比值和上游干扰建筑数量。Yong Chul Kim[9, 15]通过研究大量周边建筑对典型低矮建筑风压的影响得出, 尽管平均风压系数随着周边建筑面积密度的增加而减小, 但当测点位于来流下游时, 其最大值和最小系数均大于单体建筑, 并引入分区干扰因子, 研究了目标低层建筑风荷载的估算方法。Yong C K, Tamura Y [11]研究了建筑面积密度和建筑物间距的影响, 发现特别是屋盖边缘的风压不会随着建筑物面积密度的增大而减小。Sun Y, Tamura Y, Quan Y[12]进行风洞试验研究了周边建筑对中心矩形建筑的干扰, 结果表明边建筑对中心矩形建筑的干扰非常显著, 与单体建筑相比, 群体建筑的干扰会使风压系数峰值增大一倍。Kim [14]通过研究大量相同周边建筑对目标建筑的干扰效应和遮蔽效应, 发现最大风压系数绝对值比单体低矮建筑大很多, 目标建筑越靠近下游, 其风压越小。黄鹏[4]总结了不同国家规范中对干扰效应的研究成果。全涌[3]通过研究周边建筑对低矮建筑屋面风荷载的干扰因子发现, 最大局部负风压干扰因子随周边建筑密度增大而减小, 随周边建筑相对高度增大而减小。骆盼育[5]通过研究大跨平屋盖群体干扰效应, 发现小间距时呈现遮挡效应, 间距增大时个别位置会出现局部放大效应。乔常贵[1]研究了中高层住宅区建筑群在不同的间距下的风荷载特性。研究发现, 当间距 S_x 小于 $4b$ 时, 干扰总体呈现为遮挡效应, 建筑相邻侧面由于“狭管效应”, 风速有着不同程度加强。成俊凯[2]研究了纵横排列的高层住宅小区的干扰效应, 发现角部建筑遮挡效应小于中部建筑, 但角部建筑的极值负风压呈现绝对值增大现象。程行[6]通过风洞试验研究了不同坡度与长宽比的双坡屋面低矮房屋建筑群的风荷载干扰效应。结果表明, 在 45° 风向下坡度为 35° 建筑物屋面背风区域最不利风压系数增幅达200%。

目前国内有大量的多层小区, 由于此类小区多为有30年以上历史的老旧小区, 屋面和门窗等围护结构老化, 在强风作用下很容易发生破坏, 对居民的生活产生不利影

响。本文通过对5-6层居民建筑的刚性模型风洞实验, 研究了建筑物屋面和墙面风压分布规律以及建筑物位置、前后间距和风向角对多层小区建筑群屋面风压的干扰影响规律, 给出了典型位置的最不利风向角和各个工况的最不利干扰因子。

2. 实验概况

2.1. 风洞概况

本次课题采用刚性模型同步测压试验对建筑之间的干扰效应进行系统研究。刚性模型测压试验是在同济大学风洞实验室TJ-2号大气边界层建筑风洞内完成的。TJ-2号边界层风洞是横向回流式低速风洞, 其截面形式为矩形, 风洞的试验段尺寸为3m宽、2.5m高、15m长。试验风速范围从0.5m/s~68m/s, 在试验段的流畅风速的不均匀性 $<1\%$, 湍流度 $<0.46\%$, 平均气流偏角 $<0.5^\circ$, 整个流场性能良好。

2.2. 风场模拟

本次实验模拟的风场为中国建筑结构荷载规范[7]中的B类地貌。本次实验在风场上游设置两个尖劈, 一根横栅以及粗糙元来模拟风场, 风场模拟结果如图1。

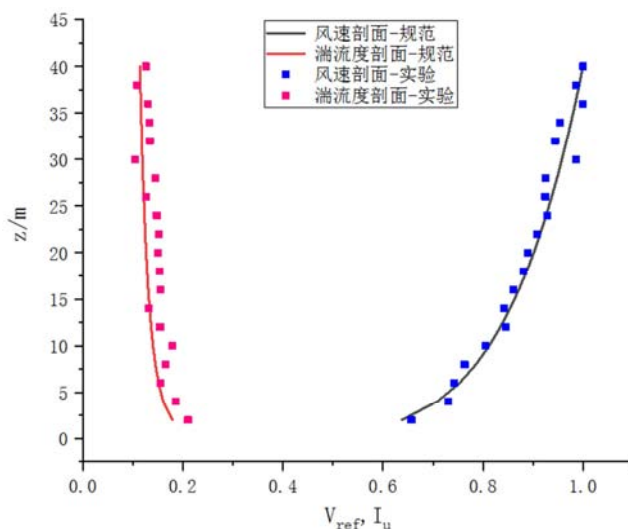


图1 平均风剖面和湍流度剖面。

2.3. 实验模型及工况

根据我国此类高层小区的实际情况, 对南北方的典型城市的高层小区建筑单体的实际尺寸及排布方式进行大量的考察并进行统计分析, 建筑群体选择三排三列行列式布局, 坡度选择典型的 9.4° 和 18.4° 两种, 六层小区建筑的屋檐高度取为20m, 长 \times 宽 \times 高分别定为 $36\text{m}\times 12\text{m}\times 20\text{m}$, $48\text{m}\times 12\text{m}\times 20\text{m}$, $60\text{m}\times 12\text{m}\times 20\text{m}$, 根据南北方纬度的不同, 考虑冬季太阳高度角的差异, 为保证南北不同地区对光照

的要求，建筑的前后间距分别取20m、35m和50m，左右间距根据行车要求等实际情况取10m。

本次实验的缩尺比选为1:100，满足风洞试验最小阻塞比的要求。模型对应的高度为20cm，长×宽×高为36cm×12cm×20cm，48cm×12cm×20cm，60cm×12cm×20cm，模型的前后间距分别为20cm，35cm，50cm，左右间距为10cm，模型示意图如图2所示。

为了方便研究，图3给出了本次实验屋面及墙面的编号。具体模型尺寸见表1。

模型的墙面和坡屋面均匀布满测点，用来测量试验条件下模型表面的风压系数，测点布置遵循对称均匀，边缘和角部加密原则。对于L=36cm，48cm，60cm模型表面分别共布置174，202，230个测点，每个模型的测点布置方式均一致，且所有测点均为单面测点。以长宽比60×12，坡度为18.2°的模型为例，表面测点及编号布置如图4所示（屋盖坡度为9.4°和18.4°的测点布置和编号均一致）。模型试验图见图5。

本次实验共有3（3种长宽比）×2（两种坡度）=6个大工况，除单体情况，每种大工况还分别研究三种间距（20cm,35cm,50cm）以及四个位置的风压干扰效应。建筑位置示意图见图6，角部位置本文定义为位置1，第一排中部位置定义为位置2，第二排边缘位置定义为位置3，中部位置定义为位置4。

为了更好的研究屋面及墙面干扰因子，本文将建筑物屋面分成角部区域4个分区，屋面中间区域2个分区，墙面分成2个分区，六种模型均采用统一分区原则。以模型1为例，分区编号详见图7。

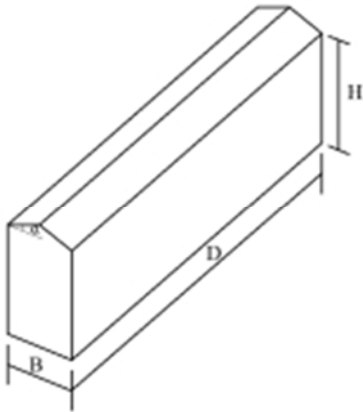


图2 模型示意图。

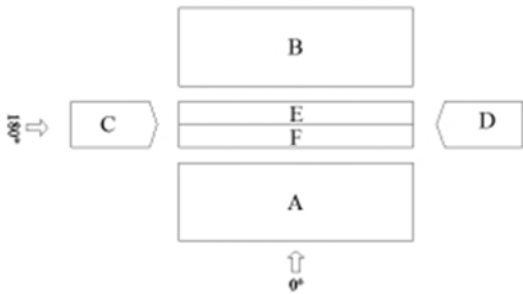


图3 墙面及屋面编号。

模 型 编 号	坡 度 (°)	长×宽×高 (屋檐高 度) (cm)	屋 脊 高 度 (cm)	长 宽 比
1	18.4 (4: 12)	60×12×20	22	5: 1
2	18.4 (4: 12)	48×12×20	22	4: 1
3	18.4 (4: 12)	36×12×20	22	3: 1
4	9.4 (2: 12)	60×12×20	21	5: 1
5	9.4 (2: 12)	48×12×20	21	4: 1
6	9.4 (2: 12)	36×12×20	21	3: 1

表1 模型尺寸。



图4 测点布置示意图。

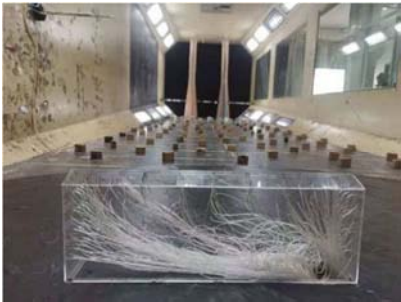


图5 模型试验图。

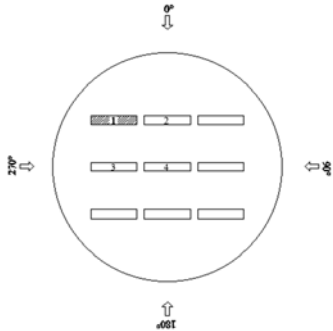


图6 建筑位置及风向角示意图。

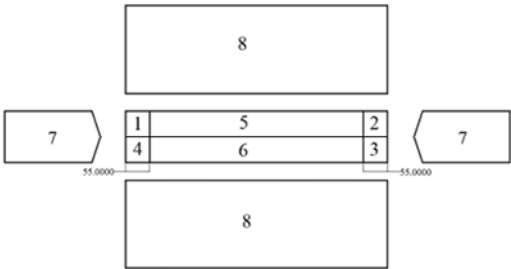


图7 屋面及墙面分区。

2.4. 数据处理

(1) 瞬时风压系数

风压系数是风在建筑表面产生的实际压力与来流风压的比值, 建筑模型表面的压力可用无量纲的瞬时压力系数 $C_{Pi}(t)$ (以梯度风压为参考风压的系数), 表示为:

$$C_{Pi}(t) = \frac{P_i(t) - P_\infty}{P_0 - P_\infty} \quad (1)$$

式中: $P_i(t)$ — t 时刻作用在测点 i 处的风压; P_0 —参考高度处的总压; P_∞ —参考高度处的静压。进行数据处理得到平均风压系数 $\overline{C_{Pi}}$ 和脉动风压系数 σ_{Pi} 。

极值风压系数

本文的极值风压计算方法采用Davenport的峰值因子法, 表达式如下:

$$C_{Pi \min} = \overline{C_{Pi}} - g\sigma_{Pi} \quad (2)$$

$$C_{Pi \max} = \overline{C_{Pi}} + g\sigma_{Pi} \quad (3)$$

g 为峰值因子, $g = \sqrt{2 \ln(\nu T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ln(\nu T)}}$, ν 为均值

穿越率, 是随机数据穿越平均值的速率, T 是观察时间。

极值风压干扰因子

$$IF_{\min} = \frac{C_{Pi \min, interference}}{C_{Pi \min, isolation}} \quad (4)$$

$$IF_{\max} = \frac{C_{Pi \max, interference}}{C_{Pi \max, isolation}} \quad (5)$$

$C_{Pi \max, isolation}$ 、 $C_{Pi \min, isolation}$ 为孤立建筑上分区 i 的所有测点全风向角下的极大值和极小值风压系数, $C_{Pi \max, interference}$ 、 $C_{Pi \min, interference}$ 为有干扰时, 目标建筑上分区 i 的所有测点全风向角下的极大值和极小值风压系数。

3. 结果分析

双坡屋面建筑, 当坡度较小时往往是负压对屋面的破坏起控制性作用。由于本实验的屋面坡度为 9.4° 和 18.4° , 均为小坡度屋面, 因此本文重点研究建筑物屋面在干扰下的负风压变化规律, 主要针对 18.4° 这一典型坡度的模型进行研究。

3.1. 单体风压特性分析

图8给出模型1的单体建筑在全风向角下的平均风压等值线图。平均风压系数最大值出现在屋盖E的角部, 大小为-3.34, 风向角为 210° ; 墙面的平均风压系数最大值出现在山墙D的角部, 大小为-1.96, 风向角为 190° 。从图8可以看出, 屋盖平均风压在四个角部和两个端部的屋脊区域最为不利; 墙面平均负风压最大值出现在两个山墙同屋

盖相接的角部。屋面和墙面均呈现出较好的对称性, 表明实验重复性好。

单体建筑全风向角下的极值负风压系数等值线图如图9所示, 可以看出, 屋盖整体受到的吸力明显要比墙面受到的吸力要大, 尤其是屋盖的四个角部, 此时屋盖角部的极值负风压系数最大达到了-8.19, 风向角为 210° ; 两端的屋脊区域也达到-6.00左右, 同样需要重点关注; 山墙的极值负风压系数最大达到了-5.20, 出现的风向角为 150° 。

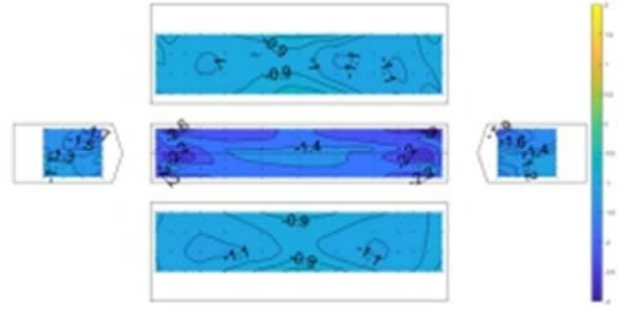


图8 全风向角下平均风压系数等值线图。

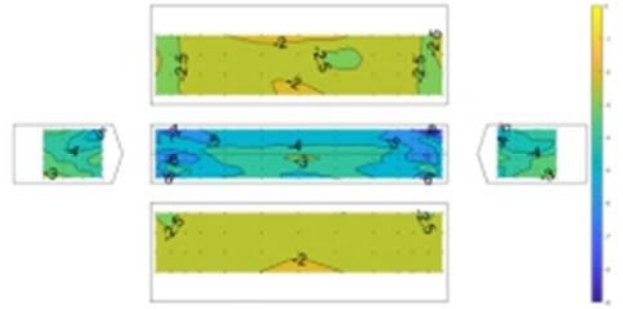


图9 全风向角下极值负风压系数等值线图。

3.2. 最不利位置风压特性分析

利用公式(3)求出屋面和墙面的极值负风压系数后, 分析发现建筑物位于位置1, 间距20m时, 屋面和墙面受到的极值负风压最大, 因此选取该工况 0° , 30° , 210° 和 330° 四个最不利风向角进行单独分析, 如图10所示。

0° 风向角时, 整个屋盖受负压控制, 屋面F前缘极值负压系数最大为-5.74, 出现在靠近山墙C的角部, 山墙C受到的负压要比山墙D偏大, 原因是由于周边建筑的存在, 山墙C和位置2处干扰建筑的山墙间隔较小, 形成狭道, 使山墙C负压整体偏大。 30° 风向角时, 来流在屋面F左下角区域发生分离, 产生的漩涡直接作用在屋面的角部区域, 同时由于周边建筑的遮挡时的部分气流无法顺利通过, 导致角部极值负压系数最大为-8.72, 大于单体建筑的最不利极值负风压(-8.19)。

210° 时, 气流在屋盖E的右上角部分离, 产生的漩涡作用在屋盖F的端部, 使得屋盖E的角部和屋盖F的端部均产生了较大负压, 最大负压达到了-6.52; 当风向角为 330° 时, 此时周边建筑均位于目标建筑下游, 来流在屋盖的角部分离, 产生负压最大为-6.27, 屋盖风压分布同 210° 时有较好的对称性, 但和 30° 风向角对比分析, 由于 330° 时山墙

D同侧缺少建筑干扰, 屋盖极值负风压系数最大值比30°的要小。

经过分析可以得出, 三行三列排布时, 位于位置一(角部)的建筑物在斜风向(30°, 210°, 330°)时的屋盖角部

负压比其他角度要更大, 特别是在30°风向角时, 气流分离引起的涡旋脱落加上建筑干扰引起的涡旋, 两部分共同作用会使迎风的角部负压最大, 此时为最不利情况, 在进行围护结构的设计时可以考虑重点加强该部位。

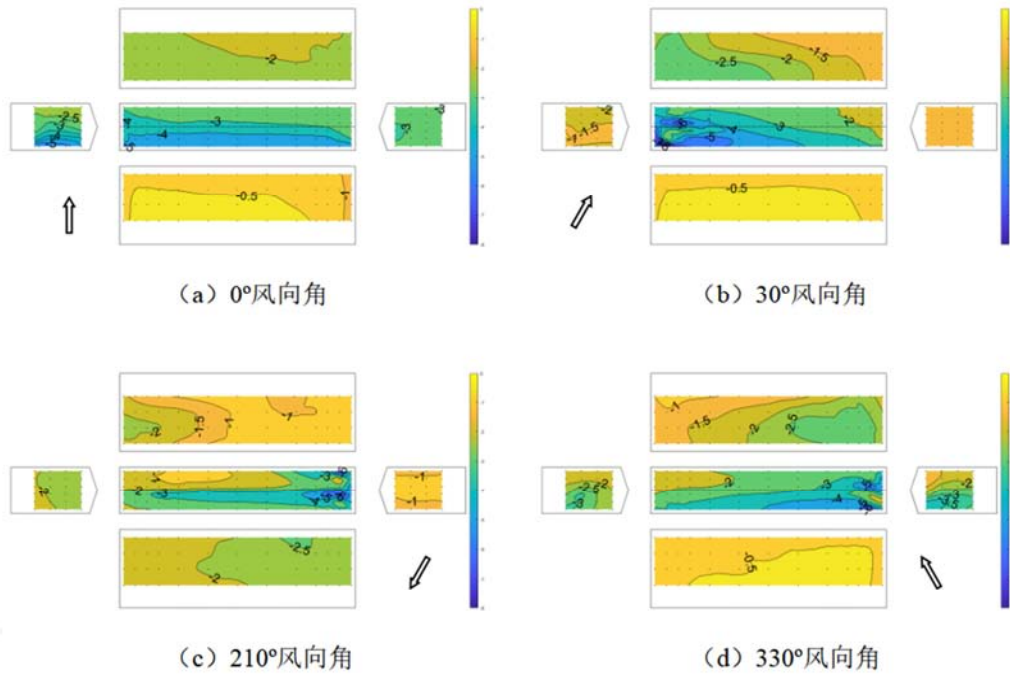


图10 位置1极值负风压系数等值线图。

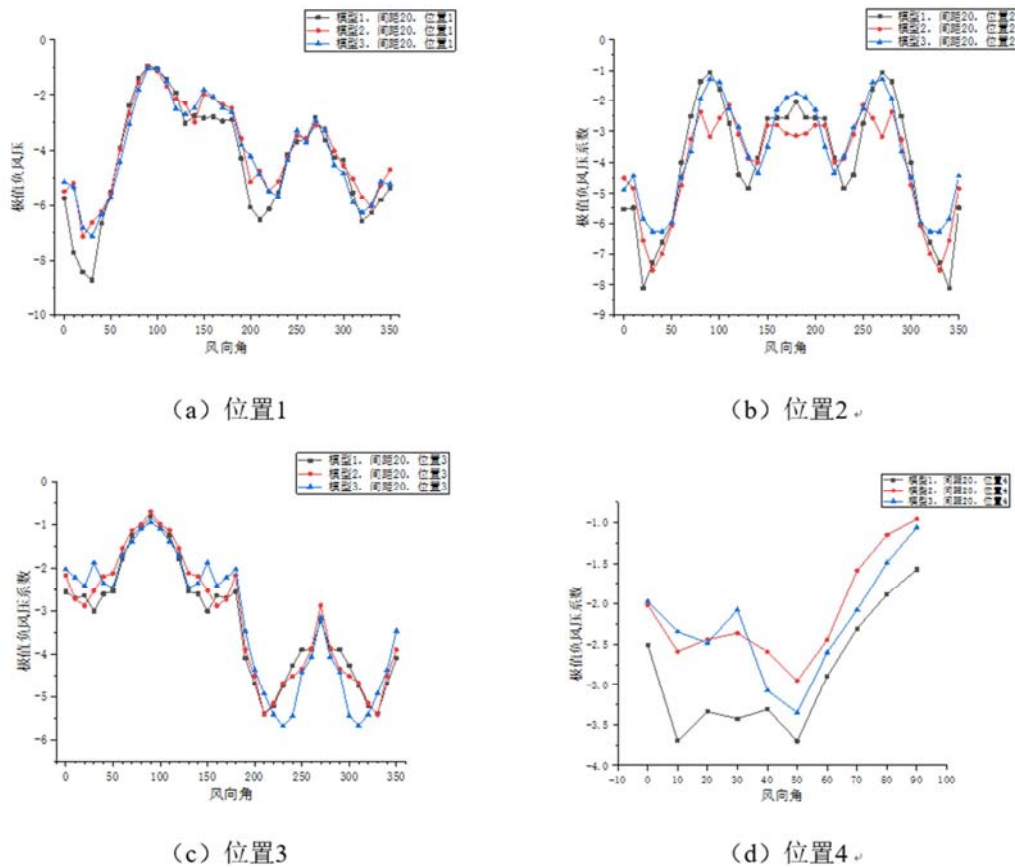


图11 极值负风压系数随间距和位置变化曲线。

3.3. 全工况风压特性分析

3.3.1. 极值负风压随风向角变化规律

图11给出三种长宽比, 坡度为18.4°的建筑物在间距20m时, 不同位置下屋面极值负风压系数随风向角变化曲线, 表2统计出间距为20m时三种长宽比建筑物屋面最不利极值负风压系数在不同位置的数值、出现的位置及风向角。

从图11可以看出, 不同位置的建筑物屋面极值负风压系数随风向角变化规律明显不同。位置1出现三个最不利风向角, 分别是30°, 210°, 330°, 位置2由于对称性出现两个最不利风向角, 分别是20°和340°, 位置3同样有两个最不利风向角, 分别是230°和310°, 位置4在所有风向角下的极值负风压系数均小于-4.0, 明显小于单体屋面极值负风压, 因此可不考虑最不利风向角。

最不利极值负风压系数均在位置1处最大, 出现的风向角均为30°, 最大值达到-8.72, 比单体建筑最不利极值负风压系数(-8.19)要大, 此时对应建筑物长宽比为60m×12m。最不利极值负风压系数在位置4处最小, 最小值只有-2.95, 风向角为50°附近, 此时对应建筑物长宽比为48m×12m; 表明位置1通常为最不利位置, 位置4为最安全位置;

3.3.2. 极值负风压随长宽比和间距变化规律

图12给出间距20m时不同位置处的建筑屋面极值负风压系数随长宽比变化情况。整体上, 全风向下最不利极值负风压系数从位置1到位置4逐渐减小。随着长宽比的减小, 位置1、2的最不利极值负风压系数的数值逐渐减小, 但均大于对应单体建筑的屋面最不利极值负风压系数; 位置3、4的最不利极值负风压变化不明显, 且均小于对应单体的屋面最不利极值负风压系数, 表明位置1、2相对位置3、4而言更为不利。结合表2得到, 不同长宽比的建筑在同一位置时, 屋面最不利极值负风压出现在相同风向角, 在屋面出现的部位也基本一致, 均出现在屋面相同的角部区域, 表明长宽比的增大并没有改变流场性质, 只是改变了来流的强度。

图13给出模型一屋面极值负风压系数随间距的变化曲线。位置1、2处的最不利极值负风压系数随间距增大而减小, 位置3、4处则相反。间距20m时, 不同位置屋面的极值负风压系数差距明显, 位置1和位置4相差65.6%; 间

距增大为50m时, 极值负风压系数变化较小, 尤其位置1、2、3处的最不利极值负风压十分接近, 表明间距越小, 屋面极值负风压对位置的变化更敏感, 随着间距的增大, 位置的影响越来越弱。

3.3.3. 不同分区干扰效应研究

限于篇幅, 本文以模型1为例进行屋面和墙面的极值负风压干扰效应研究。表2将模型1所有工况下不同分区最大的极值负风压系数及全风向下最不利干扰因子进行汇总, 图14给出模型1屋面和墙面不同分区最不利极值负风压系数干扰因子随间距和位置的变化情况。

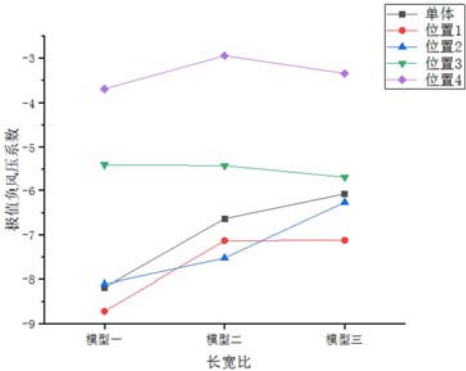


图12 极值负风压随长宽比变化。

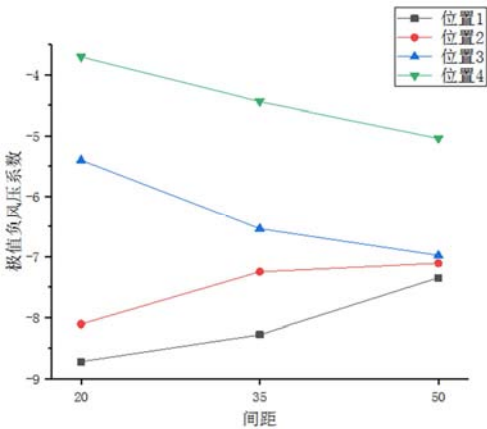


图13 极值负风压随间距变化。

表2 屋面各分区极值负风压系数及干扰因子。

间距 (m)	位置	屋面角部区域			屋面中部区域			墙面区域		
		极值负风压	干扰因子	风向角	极值负风压	干扰因子	风向角	极值负风压	干扰因子	风向角
20	角部位置	-8.72	1.39	30°	-6.69	1.19	30°	-5.51	1.27	350°
	第一排中间	-8.11	1.31	20°	-5.99	1.07	20°	-5.65	1.43	0°
	第二排边缘	-5.40	0.87	330°	-5.16	0.92	320°	-3.47	1.21	320°
	中部位置	-3.70	0.59	50°	-3.45	0.61	10°	-3.72	1.08	30°
35	角部位置	-8.28	1.32	20°	-6.23	1.11	20°	-5.50	1.33	0°
	第一排中间	-7.25	1.17	30°	-5.39	0.96	20°	-4.91	1.33	10°
	第二排边缘	-6.54	1.06	330°	-5.34	0.95	330°	-4.83	1.69	330°
	中部位置	-4.44	0.59	40°	-3.44	0.61	50°	-3.84	1.34	30°
50	角部位置	-7.35	1.18	30°	-5.81	1.04	340°	-5.74	1.40	340°
	第一排中间	-7.11	1.15	30°	-5.27	0.94	30°	-4.82	1.35	0°
	第二排边缘	-6.98	1.13	330°	-5.67	1.01	330°	-4.25	1.49	340°
	中部位置	-5.04	0.73	50°	-3.88	0.69	40°	-4.18	1.46	30°

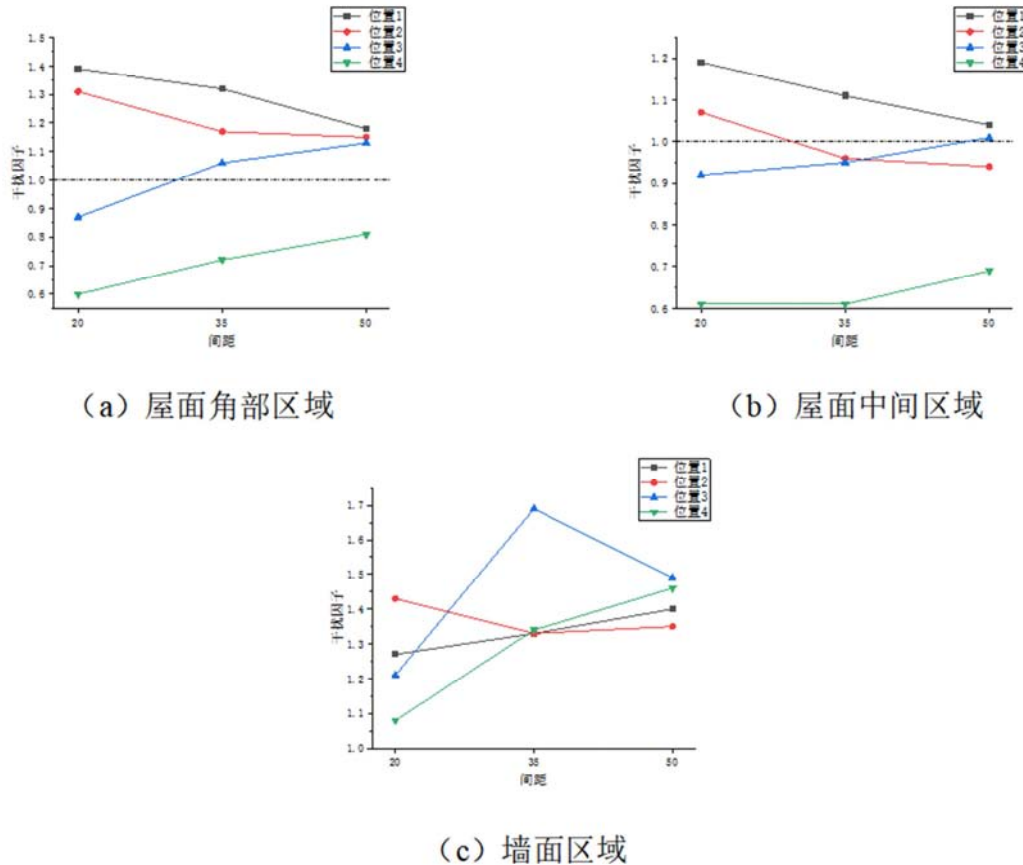


图14 干扰因子随间距变化。

对于屋面角部区域,位置1、2处的干扰因子随间距的增大而减小,且始终大于1.0,表明不论间距如何变化,位置1、2处建筑屋面角部区域受到的干扰始终为放大效应,最大干扰因子为1.39,出现在间距20m。位置3、4处的干扰因子随间距增大而增大,位置3处建筑物当间距为20m时,屋面呈现遮挡效应,当间距大于20m时,屋面呈现放大效应;但对于位置4,干扰因子始终小于1.0,最小为0.59,表明位置4角部区域全程受到遮挡效应,最大遮挡效应使屋面角部极值负风压减小41%。

对于屋面中间区域,各个位置的干扰因子随间距变化规律和角部区域一致。间距最小时,位置1处中间区域最大干扰因子为1.19,间距50m时干扰因子最小为1.04,干扰呈现放大效应。对于位置2,当间距大于20m时,干扰因子开始小于1.0,屋面中间区域此时受到遮挡效应。位置3的干扰因子随间距增大略有增加,但十分接近1.0,表明位置3屋面中部区域收到的干扰效应很小。位置4的干扰因子始终小于1.0,受到最大的遮挡效应为39%。整体来说,四个位置的建筑物屋面中间区域较角部位置干扰因子要小,更为安全。

对于墙面区域,不同位置建筑物墙面干扰因子随间距没有明显的规律,但是四种位置的最大干扰因子均大于1.0,可能是由于干扰建筑的存在,各个位置均会在某个风向角下形成狭道效应,使墙面的负风压受到不同程度的放大效应,最大可使墙面的极值负风压放大69%。

4.结论

通过对不同位置,不同前后间距的多层小区建筑群屋面风压和干扰因子进行试验并分析,得出以下结论:

1. 单体建筑屋面的平均风压和极值风压最不利情况均出现在屋盖的四个角部和两个端部的屋脊区域。角部位置为最不利位置,30°,210°,330°为三个最不利风向角,最不利极值负风压出现在30°,最大为-8.72,原因是30°屋盖角部受到气流分离引起的涡旋脱落加上建筑干扰引起的涡旋两部分共同作用。

2. 由于对称性,第一排中部位置最不利风向角为20°和340°,第二排边缘位置最不利风向角为230°和310°,中间位置在所有风向角下的极值负风压系数均小于-4.0,明显小于单体屋面极值负风压,因此可不考虑最不利风向角。

3. 随着长宽比的减小,角部和第一排中部位置的最不利极值负风压系数的数值逐渐减小,但均大于对应单体建筑的屋面最不利极值负风压系数;第二排边缘和中间位置的最不利极值负风压变化不明显,且均小于对应单体的屋面最不利极值负风压系数。角部和第一排中部位置的最不利极值负风压系数随间距增大而减小,第二排边缘和中间位置则相反。

4. 对于屋面角部区域,角部位置和第一排中部位置的干扰因子随间距的增大而减小,且始终大于1.0,最大

干扰因子为1.39, 出现在间距20m。第二排边缘和中部位置的干扰因子随间距增大而增大, 中部位置的干扰因子始终小于1.0。对于屋面中间区域, 各个位置的干扰因子随间距变化规律和角部区域一致, 但干扰因子整体较角部区域偏小。墙面区域的干扰因子随间距没有明显的规律, 但干扰因子均大于1.0。

致谢

本研究得到了国家自然科学基金(51678452)的资助, 对此表示感谢。

参考文献

- [1] 乔常贵. 中高层住宅区建筑群风干扰效应研究[D], 华侨大学, 2009。
- [2] 成俊凯. 成纵横排列的群体高层建筑风荷载干扰研究[D], 浙江大学, 2013。
- [3] 全涌, 顾明, 田村幸雄, 黄鹏. 周边建筑对低矮建筑平屋面风荷载的干扰因子[J]. 土木工程学报, 2010, (2): 20-25。
- [4] 黄鹏. 群体高层建筑风荷载干扰的研究现状及展望. 同济大学学报, 2003, 07, 762-766。
- [5] 骆盼育. 正交放置平屋盖的风致干扰效应研究[D]. 北京交通大学, 2014。
- [6] 程行. 不同坡度与长宽比双坡屋面低矮建筑群的风荷载干扰效应研究[D]. 北京交通大学, 2018。
- [7] 中华人民共和国国家标准, 建筑结构荷载规范 GB50009-2012[S]. 中国建筑出版社. 2012。
- [8] Tsutsumi J, Katayama T, Nishida M. Wind tunnel tests of wind pressure on regularly aligned buildings [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1992, 43 (1): 1799-1810.
- [9] Yong C K, Yoshida A, Tamura Y. Characteristics of surface wind pressures on low-rise building located among large group of surrounding buildings [J]. Engineering Structures, 2012, 35: 18-28.
- [10] E. C. English, F. R. Fricke, The interference index and its prediction using a neural network analysis of wind-tunnel data [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1999, 83, 567-575.
- [11] Yong C K, Tamura Y, Yoon S W. Proximity effect on low-rise building surrounded by similar-sized buildings [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2015, 146: 150-162.
- [12] Sun Y, Tamura Y, Quan Y, et al. The interference effect of surrounding roughness on wind pressures of rectangular prism [J]. Journal of Bluff Bodies Aerodynamics and Applications, 2008, 6: 1-10.
- [13] Chang C H, Meroney R N. The effect of surroundings with different separation distances on surface pressures on low-rise buildings [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2003, 91(8): 1039-1050.
- [14] Kim Y C, Yoshida A, Tamura Y. Characteristics of surface wind pressures on low-rise building located among large group of surrounding buildings [J]. Engineering Structures, 2012a, 35: 18-28.
- [15] Yong Chul Kim, Akihito Yoshida, Yukio Tamura. Influence of Surrounding Buildings on Wind Loads Acting on Low-Rise Building. 2013, 139 (2): 275-283.