

Study on Non-Gaussian Features of Fluctuating Wind Pressure on L-Shaped Tall Building with Monosymmetric Section

Yi Li^{1*}, Diling Wang¹, Qiusheng Li², Yonggui Li¹

¹School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan

²Department of Architecture and Civil Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong

Email: *engineerliyi@163.com

Received: Oct. 29th, 2017; accepted: Nov. 12th, 2017; published: Nov. 15th, 2017

Abstract

In order to conduct reasonable wind-resistant design on the curtain walls of L-shaped tall building with monosymmetric section, synchronous pressure wind tunnel test was carried out for a rigid model. Based on the test results, skewness and kurtosis distributions of fluctuating wind pressure coefficients on each elevation under typical wind directions were plotted, and the Non-Gaussian features of the fluctuating wind pressure coefficients were discussed. The normality test was conducted for the random variables of the fluctuating wind pressure coefficients by the Skewness-Kurtosis test method. Combined with the correlation analysis between skewness and kurtosis, the criterion for Non-Gaussian area of the fluctuating wind pressure coefficients on the surface of this kind building was proposed. Finally, the effective fitting was made for the probability distribution of the extreme wind pressure coefficients in terms of an extreme-value estimation method.

Keywords

High-Rise Building, Wind Tunnel Test, Wind Pressure Distribution, Non-Gaussian Characteristic

单轴对称L型截面高层建筑脉动风压非高斯特性研究

李毅^{1*}, 王地灵¹, 李秋胜², 李永贵¹

¹湖南科技大学土木工程学院, 湖南 湘潭

²香港城市大学建筑与土木工程系, 香港

*通讯作者。

Email: *engineerliyi@163.com

收稿日期: 2017年10月29日; 录用日期: 2017年11月12日; 发布日期: 2017年11月15日

摘要

为了对单轴对称L型截面高层建筑表面幕墙开展合理的抗风安全设计, 对缩尺刚性模型开展了同步动态测压风洞试验研究。基于试验结果, 绘制了典型风向角下模型各立面脉动风压系数的偏度和峰度分布云图, 讨论了脉动风压的非高斯特性; 用偏度 - 峰度检验法对脉动风压系数随机变量进行了正态性检验分析, 结合偏度和峰度的相关性分析, 给出了此类建筑表面脉动风压的非高斯性区域的判别标准; 同时, 基于广义极值理论对极值风压系数的概率分布进行了有效拟合。

关键词

高层建筑, 风洞试验, 脉动风压, 非高斯性

Copyright © 2017 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

1. 引言

随着建筑材料的轻质高强度及施工工艺的先进化, 现代高层建筑逐渐向“长细柔”的趋势发展, 从而对环境风激励越来越敏感[1]。强风作用下高层建筑主体结构的破坏或倾覆少有报到, 但建筑玻璃幕墙的风毁事件时有发生。图1为台风“天鸽”途经香港时造成的中环恒生银行总行大楼表面玻璃幕墙破坏。



Figure 1. Curtain wall destroyed under strong wind

图1. 强风作用下玻璃幕墙破坏实例

玻璃幕墙的结构安全设计主要取决于建筑表面的脉动风压分布[2]。早期的结构风工程研究中,通常认为钝体结构表面脉动风压的概率密度分布服从高斯分布。Davenport [3]在此基础上,提出了估算峰值因子的方法。Perterka & Cermak [4]认为高层建筑的负压区服从高斯分布,负压区则发生偏移,若仍按高斯分布的假设进行估算,会造成峰值风压的估算不足。随后,不同的研究人员[5] [6] [7] [8]对方形截面高层建筑表面风压的非高斯特性进行了研究,指出脉动风压在气流的分离区域具有明显的非高斯特性,并给出了非高斯性的判断准则。楼文娟等[9]对带切角的菱形超高层建筑表面风压的非高斯特性进行研究,指出在实际应用中对非高斯区的峰值因子取值偏小。Huang 等[10]提出了 TTP (Translated-Peak-Process)方法对非高斯过程的峰值因子进行了合理估算,并采用 CAARC 高层建筑标准模型风压试验结果进行了有效验证。

近年来,随着城市用地的紧张及建筑功能的需求,大量 L 型截面高层建筑开始在各地兴建。相对于矩形或方形截面高层建筑,强风作用下此类平面不规则建筑表面的气流分离、涡脱现象更加复杂,简单地依据规范建议值进行抗风设计显然不合理。因此,有必要对 L 型截面高层建筑的风压分布及风荷载特性开展相关风洞试验研究。对于结构主体风荷载,笔者已经进行了详细研究并建立了相应的数学模型[11] [12]。本文将基于风洞试验结果,对单轴对称 L 型截面高层建筑各立面脉动风压的非高斯特性进行研究。

2. 风洞试验

2.1. 风场模拟

风洞试验在湖南大学建筑与环境风洞实验室进行,建筑模型与试验风场的缩尺比例均为 1:500。风洞试验段截面尺寸为 3.0 m (宽) × 2.5 m (高),风速范围在 0~20 m/s 内可调。试验中采用二元尖塔和粗糙元来模拟边界层风场特性。风场调试时,地貌类型按国家《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2012) [13] 的 B 类地貌考虑。图 2(a)为风洞转盘中心位置测得的 B 类地貌平均风速和湍流强度剖面。可以看出,平均风速剖面模拟的结果与规范建议值吻合很好,除个别高度湍流强度有所偏离外,湍流强度剖面与规范建议值吻合较好。图 2(b)为 0.6 m 高度处的顺风向脉动风速功率谱与各经验谱的比较。可以看出,试验风速谱与 Davenport 经验谱吻合较好。

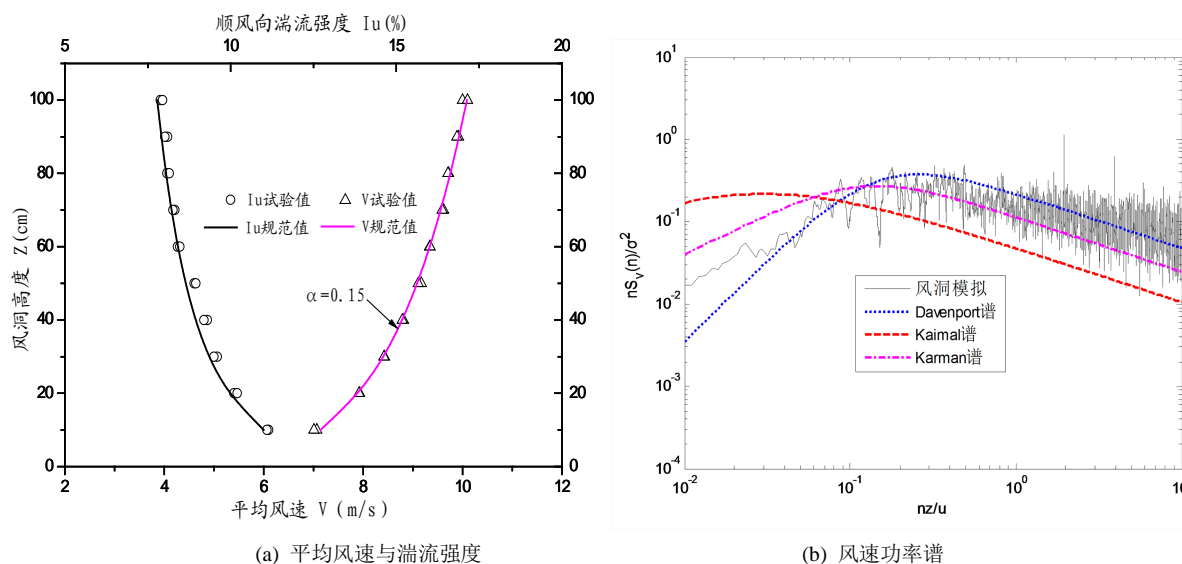


Figure 2. Simulation of wind field in boundary layer
图 2. 边界层风场模拟

2.2. 试验模型与工况布置

试验模型的几何尺寸为 500 mm × 100 mm × 100 mm × 40 mm，采用 ABS 板制作，具有足够的强度和刚度。图 3 给出了模型表面压力测点的平面和立面布置情况。每个测点层由 32 个测点组成，沿立面上密下疏共 10 个测点层。各压力测点的孔径为 1.1 mm，测压管路与电子扫描阀采用 PVC 管连接。试验前，对测压管路系统的频响函数进行修正，以保证压力测量结果的可靠性。试验过程中，风向角从 0° 到 360° 变化，变化间隔为 10°，逆时针旋转，同时对 45°、135°、225° 和 315° 也进行了采集。试验过程中，每个角度各测点风压时程采样频率为 312.5 Hz，采样时间为 32 秒，即每个测点在每个风向角下记录了 10000 个风压时域信号数据。试验过程中，控制风速为 12 m/s。图 4 给出了试验过程中风向角示意图。

3. 结果分析

3.1. 脉动风压非高斯特性

脉动风压的非高斯特性通常采用偏度 Sk 和峰度 Ku 两个多阶统计量进行描述。偏度为压力信号时程的三阶统计矩，反应了风压随机过程概率分布的偏离程度；峰度为压力信号时程的四阶统计矩，反应了风压随机过程概率分布的凸起程度。两者的定义分别如下：

$$Sk = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Cp_i - Cp_{i,mean})}{Cp_{i,rms}} \right]^3 \tag{1}$$

$$Ku = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Cp_i - Cp_{i,mean})}{Cp_{i,rms}} \right]^4 \tag{2}$$

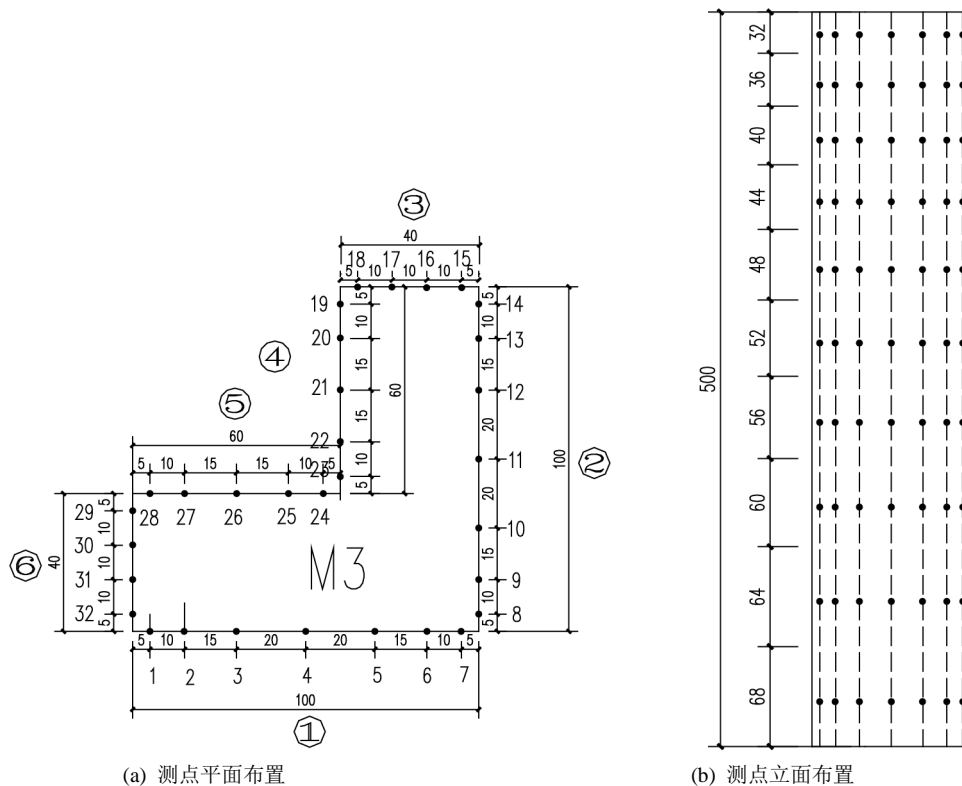


Figure 3. Pressure taps arrangement
图 3. 模型压力测点布置示意图

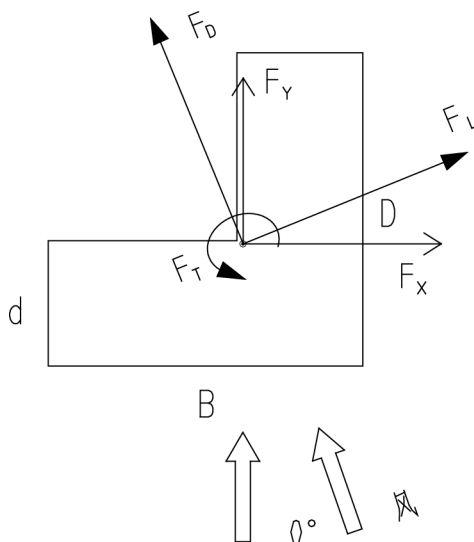


Figure 4. Schematic diagram of wind directions
图 4. 风向角示意图

式中, n 为统计样本的个数。 $Cp_{i,mean}$ 和 $Cp_{i,rms}$ 分别为测点 i 风压系数时程 Cp_i 的均值和根方差值。

针对单轴对称 L 型截面建筑,我国荷载规范给出了 270° 和 225° 两个来流方向的体型系数建议值[13]。限于篇幅,本文也仅对 270° 和 225° 来流时,模型立面的偏度和峰度分布进行讨论,如图 5、图 6 所示。从图 5 可以看出, 270° 风向来流时,面①脉动风压系数的偏度值在 $-0.17\sim-0.85$ 之间,均值为 -0.52 ,峰度值在 $3.12\sim4.35$ 之间,均值为 3.66 ;面②脉动风压系数的偏度值在 $-0.05\sim-1.76$ 之间,均值为 -0.55 ,峰度值在 $2.49\sim6.52$ 之间,均值为 4.15 ;面③脉动风压系数的偏度值在 $-0.12\sim-1.42$ 之间,均值为 -0.67 ,峰度值在 $3.20\sim6.12$ 之间,均值为 4.31 ;面④脉动风压系数的偏度值在 $-0.11\sim0.33$ 之间,均值为 0.10 ,峰度值在 $2.84\sim3.41$ 之间,均值为 3.08 ;面⑤脉动风压系数的偏度值在 $-0.41\sim0.31$ 之间,均值为 0.03 ,峰度值在 $2.85\sim3.83$ 之间,均值为 3.13 ;面⑥脉动风压系数的偏度值在 $-0.06\sim0.38$ 之间,均值为 0.10 ,峰度值在 $2.79\sim3.17$ 之间,均值为 3.02 。从图 6 可以看出, 225° 风向来流时,面①脉动风压系数的偏度值在 $-1.57\sim-0.07$ 之间,均值为 -0.40 ,峰度值在 $2.94\sim7.73$ 之间,均值为 3.97 ;面②脉动风压系数的偏度值在 $-1.99\sim-0.14$ 之间,均值为 -0.52 ,峰度值在 $2.96\sim7.54$ 之间,均值为 4.05 ;面③脉动风压系数的偏度值在 $-1.45\sim0.26$ 之间,均值为 -0.35 ,峰度值在 $2.40\sim7.82$ 之间,均值为 3.92 ;面④脉动风压系数的偏度值在 $-0.16\sim0.30$ 之间,均值为 0.04 ,峰度值在 $2.87\sim4.13$ 之间,均值为 3.12 ;面⑤脉动风压系数的偏度值在 $-0.28\sim0.33$ 之间,均值为 0.02 ,峰度值在 $2.86\sim3.54$ 之间,均值为 3.11 ;面⑥脉动风压系数的偏度值在 $-1.58\sim0.14$ 之间,均值为 -0.47 ,峰度值在 $2.21\sim5.94$ 之间,均值为 3.68 。

服从高斯分布的脉动风压的偏度和峰度分别为 0 和 3。显然,若严格按照高斯分布对偏度和峰度的要求,两个风向角下各立面测点中绝大部分不符合高斯分布。若从各立面偏度和峰度的均值统计结果来看,迎风立面的结果则基本符合高斯分布,其他立面的结果则有所偏差。但是由于脉动风荷载的随机特性以及测量过程中存在的误差等,使得将高斯过程的偏度值和峰度值限定在一定范围更为合理实用[8] [9]。

3.2. 非高斯区域判别

根据中心极限定理可知:高斯分布的随机变量是广泛存在的。偏度-峰度检验法是检验总体分布是否为高斯分布的常用方法[14]。设 X_1, X_2, \dots, X_n 是来自总体 X 的样本,则随机变量 X 的偏度 S 和峰度 K 的矩估计量分别为:

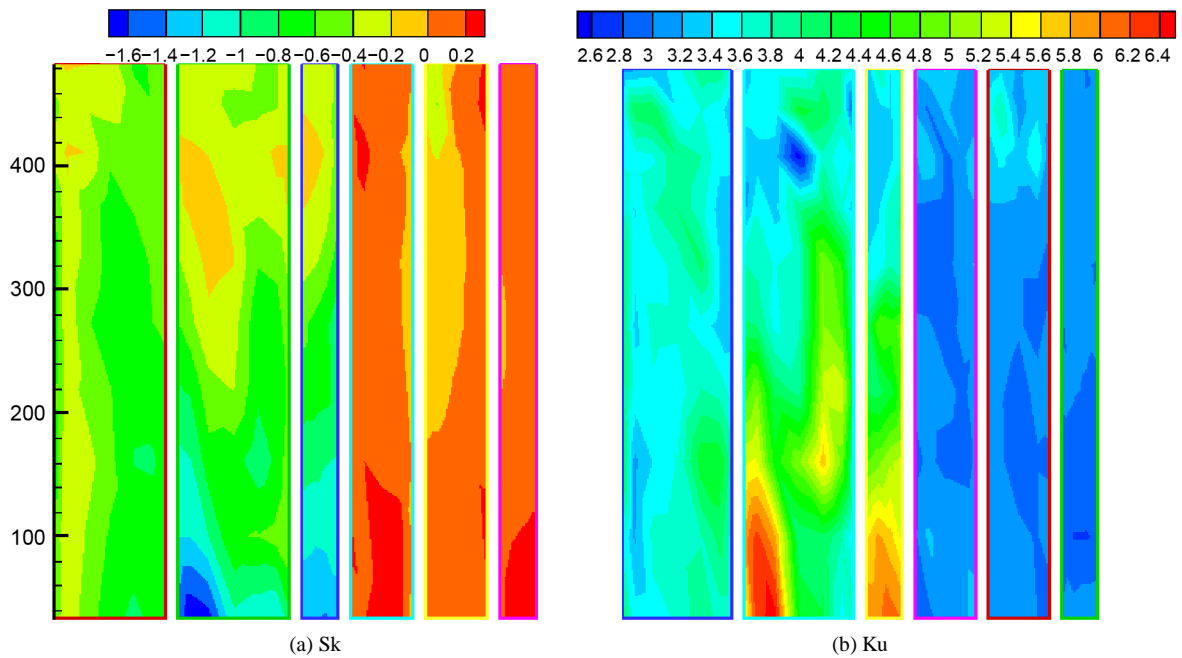


Figure 5. Skewness and Kurtosis distributions of fluctuating wind pressure coefficients on each elevation under wind direction of 270°

图 5. 270° 风向角下各立面脉动风压系数的偏度和峰度分布云图

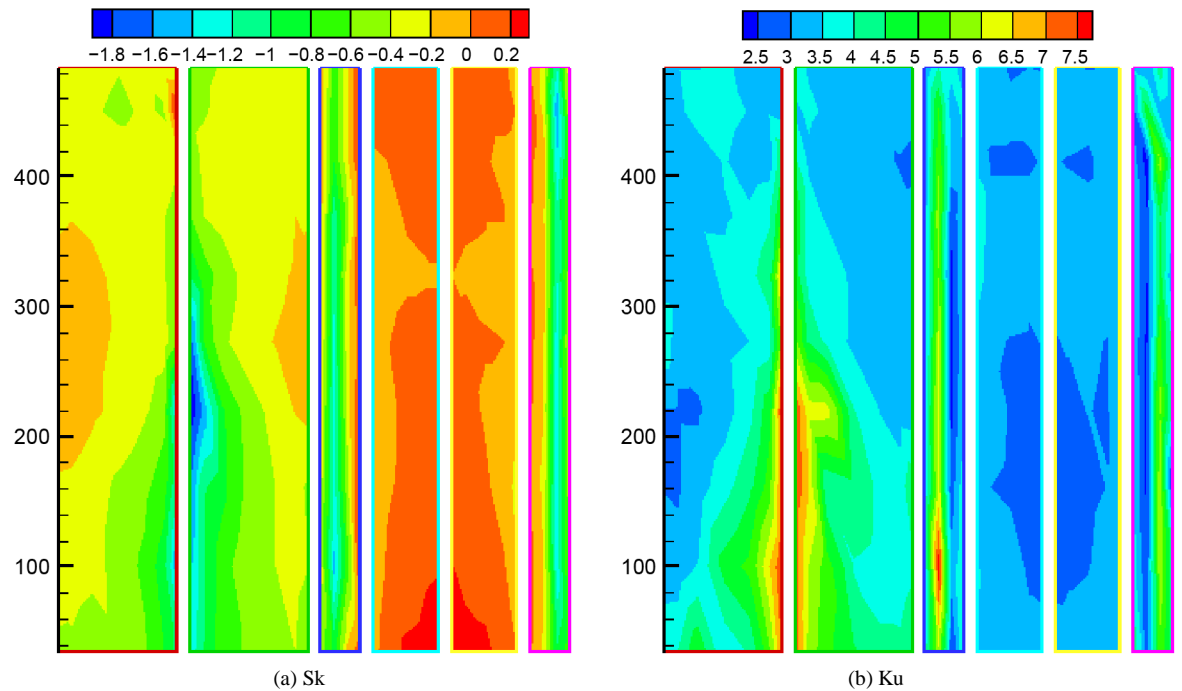


Figure 6. Skewness and Kurtosis distributions of fluctuating wind pressure coefficients on each elevation under wind direction of 225°

图 6. 225° 风向角下各立面脉动风压系数的偏度和峰度分布云图

$$S' = B_3 / B_2^{3/2}, K' = B_4 / B_2^2 \quad (3)$$

式中， $B_k (k = 2, 3, 4)$ 为样本的 k 阶中心矩， S', K' 分别为样本的偏度和峰度。

若总体 X 为高斯分布随机变量, 当样本长度 n 足够大时, 近似地有:

$$S' \sim N\left(0, \frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}\right) \quad (4)$$

$$K' \sim N\left(3 - \frac{6}{n+1}, \frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}\right) \quad (5)$$

利用 χ^2 检验法对总体的分布进行正态性检验时, 犯第 II 类错误的概率较大。现在检验假设 $H_0: X$ 为高斯分布总体。

当 H_0 为真且 n 足够大时, 近似地有:

$$u_1 = \frac{S}{S'} \sim N(0,1), \quad u_2 = \frac{K - \left(3 - \frac{6}{n+1}\right)}{K'} \sim N(0,1) \quad (6)$$

样本的偏度和峰度 S', K' 依概率分别收敛于总体的偏度和峰度 S, K 。一般来说, S' 与 $S=0$ 的偏离不应太大, 而 K' 与 $K=3$ 的偏离也不应太大, 即 u_1 或 u_2 的值过大时就可拒绝 H_0 。取显著性水平为 α 时, H_0 的拒绝域为:

$$|u_1| \geq k_1 \text{ 或 } |u_2| \geq k_2 \quad (7)$$

其中, k_1, k_2 可由以下两式确定:

$$P_{H_0 \text{ 为真}}\{|u_1| \geq k_1\} = \alpha/2, \quad P_{H_0 \text{ 为真}}\{|u_2| \geq k_2\} = \alpha/2 \quad (8)$$

$P_{H_0 \text{ 为真}}\{\cdot\}$ 表示 H_0 为真时事件 $\{\cdot\}$ 发生的概率, 即有 $k_1 = k_2 = z_{\alpha/4}$ 。因此, H_0 的拒绝域为 $|u_1| \geq z_{\alpha/4}$ 或 $|u_2| \geq z_{\alpha/4}$ 。

本文中, 各测点的风压采样频率为 312.5 Hz, 采样时间为 32 s, 对应每个样本的长度 $n=10000$ 。代入公式(4)和公式(5), 可知:

$$S' \sim N\left(0, \frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}\right) = N(0, 0.0245^2) \quad (9)$$

$$K' \sim N\left(3 - \frac{6}{n+1}, \frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}\right) = N(2.9994, 0.0495^2) \quad (10)$$

取显著性水平 $\alpha=0.025$, 对应的保证率为 99.38%, 与荷载规范规定一致。由此可得,

H_0 的拒绝域为 $|u_1| \geq 2.5$ 或 $|u_2| \geq 2.5$ 。相反地, 如果 $|u_1| < 2.5$ 且 $|u_2| < 2.5$, 则可以接受 H_0 , 认为样本符合高斯分布。因此, 可得到样本偏度和峰度的临界范围:

$$-0.06 < S' < 0.06 \text{ 且 } 2.88 < K' < 3.12 \quad (11)$$

对比分析图 5 和图 6 可以发现, 同一风向角下, 偏度和峰度的分布形状比较类似, 说明偏度和峰度存在一定的相关性。为详细研究两者之间的相关性, 图 7 给出了模型在 270° 风向角和 225° 风向角下各立面所有测点的偏度—峰度关系图。其中, 横坐标为各测点的偏度值, 纵坐标为各测点的峰度值。可以看出, 虽然偏度和峰度为非线性的关系, 但偏度和峰度的整体变化趋势基本一致。同时, 从图中也发现, 绝大部分测点的偏度在 -0.4~0.4 之间, 峰度在 3~4 之间。综合偏度—峰度检验法及所有测点的偏度、峰度的统计结果, 本文最终认定划分为单轴对称 L 型截面高层建筑表面脉动风压的非高斯性区域的判别标准为:

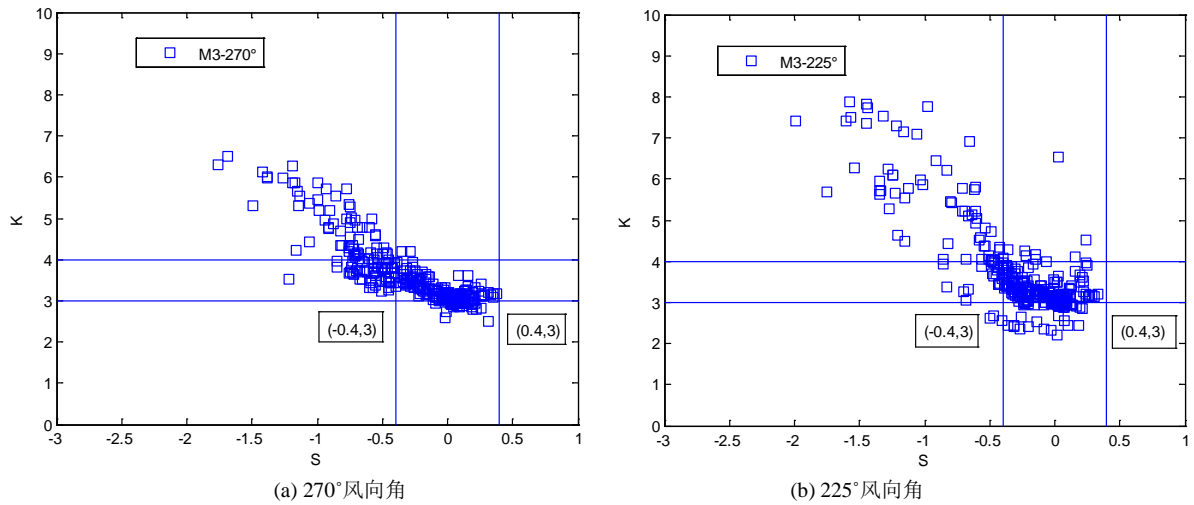


Figure 7. The relationship of Skewness and Kurtosis
图 7. 偏度 - 峰度关系图

$$|S| > 0.4 \text{ 且 } |K| > 4.0 \tag{12}$$

3.3. 极值风压

对于幕墙结构抗风设计来说，结构设计师关注的是在一定保证率下的极值风压。峰值因子是计算极值风压的关键参数。对于高斯分布来说，可以采用 Davenport 基于零值穿越理论给出了峰值因子的估算方法。然而，对于非高斯区域，若仍采用高斯分布的假定及相应的峰值因子对建筑表面幕墙风压进行估算，则会导致幕墙结构抗风设计的不安全[15]。针对非高斯分布的极值风压估计问题，研究人员先后提出了 Kareem & Zhao [16]法、Sadek & Simiu [17]法。然而，这些方法的共同理论基础为零值穿越理论，而零值穿越理论又是以时程服从高斯分布为基础，这使得以上方法的适用性受到限制。本文将基于广义极值理论，对单轴对称 L 性截面高层建筑表面峰值风压进行研究。经典极值理论认为，不论随机过程的母体分布如何，大量相互独立的数据样本的观察极值都会近似服从三种分布形式的一种。这三种分布形式可以总结为统一的广义极值分布(GEV)形式，其概率分布函数表达式为[18]：

$$F(x_e) = \exp\left\{-\left[1 - k(x_e - u)/\sigma\right]^{1/k}\right\} \tag{13}$$

其中， k 为形状参数， σ 为尺度参数， u 为位置参数。当 $k < 0$ 时，广义极值分布为极值 II 分布(Frechet 分布)； $k \rightarrow 0$ 时，为极值 I 型分布(Gumbel 分布)，当 $k > 0$ 时，为极值 III 型分布(Weibull 分布)。

广义极值分布对应极值的期望值如下：

$$\bar{x}_e = u + \frac{\sigma}{k} [1 - \Gamma(k+1)] \tag{14}$$

式中， $\Gamma(\cdot)$ 为伽玛(Gamma)函数。取极限 $k \rightarrow 0$ ，可得到基于极值 I 型分布的期望：

$$\bar{x}_e = u + \gamma\sigma \tag{15}$$

其中， γ 为欧拉常数， $\gamma = 0.5772$ 。

图 8 和图 9 分别给出了 270°风向角下 E 层代表性测点风压系数的极大和极小峰值的概率分布，并利用广义极值分布(GEV)和极值 I 型(Gumbel)分布对观察极值进行拟合。结果表明：测点的平均风压系数为正时，其极大峰值风压系数服从极值 I 型分布，极小峰值风压系数则基本服从极值 III 型分布；测点的平

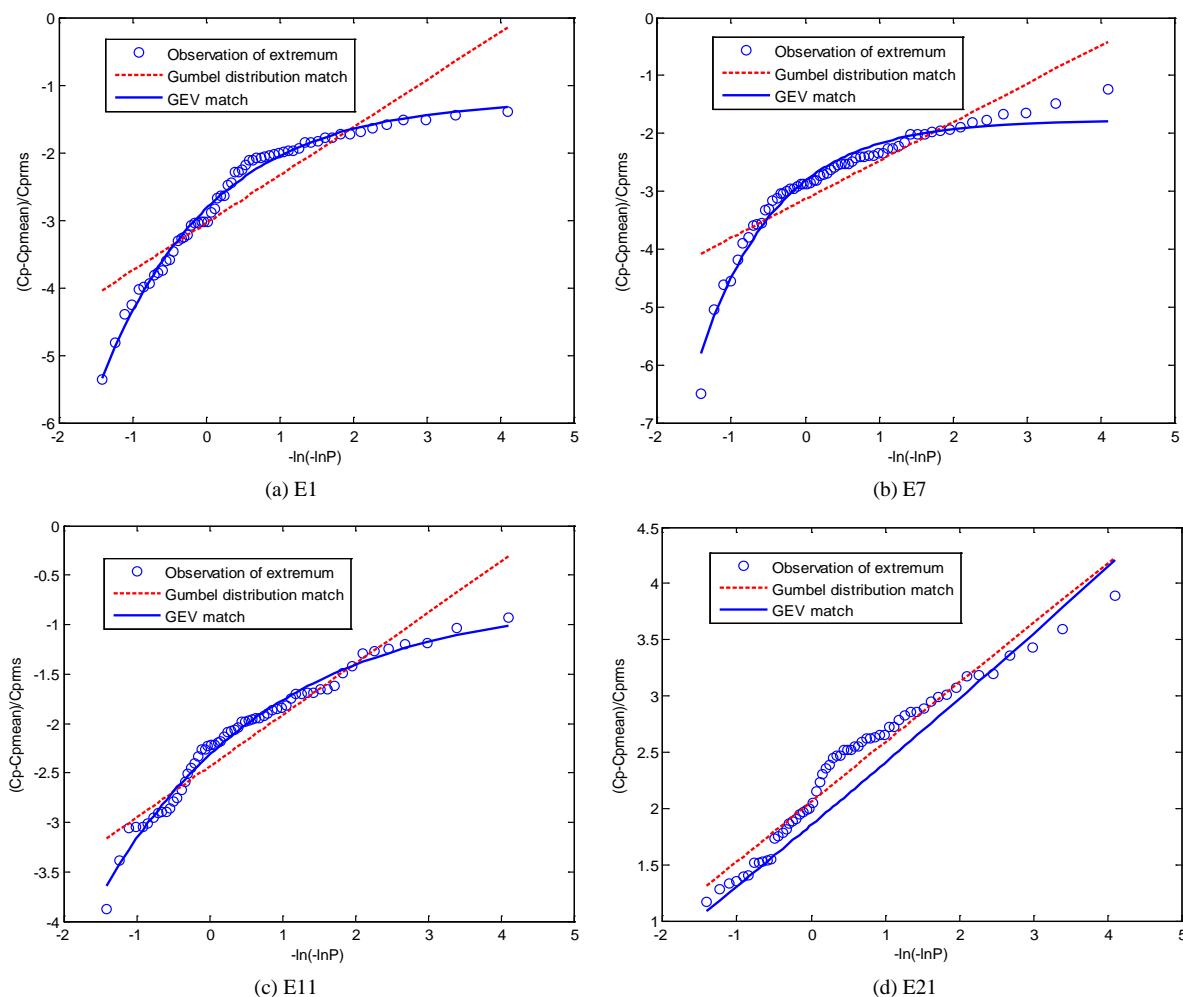


Figure 8. Fitting results of probability distribution of the maximum peak pressure coefficients

图 8. 极大峰值风压系数概率分布拟合

均风压系数为负时, 其极大峰值风压系数服从极值 III 型分布, 极小峰值风压系数服从极值 I 型分布。通过对其他测点的概率分布进一步分析可以看出, 脉动风压系数的概率并没有出现极值 II 型分布, 这与 Kasperski 的结论一致[19]。总的来说, 单轴对称 L 型截面高层建筑模型表面脉动风压系数的概率分布均服从广义极值分布。

图 10 给出了利用不同峰值因子的估算方法对代表性测点 E7、E21 的样本极值进行估算的结果。从图中可以看出, 随着风向角的变化, 位于高斯区域的测点的不同峰值因子估算方法结果比较接近, Kareem & Zhao 法、Sadek & Simiu 法及 GEV 法的结果比 Davenport 法略大; 在非高斯区域, Kareem & Zhao 法、Sadek & Simiu 法的结果虽然有一定的改善和提高, 但还是有所不足, 尤其在侧风向来流时, 对旋涡脱落区域的峰值因子估算明显偏小。通过对更多的数据进行分析, 可以发现利用广义极值理论对脉动风压的峰值因子进行估计, 结果的可靠性及准确性都较高。

4. 结论

本文通过对单轴对称 L 型截面高层建筑进行刚性模型测压风洞试验, 详细研究了此类建筑表面脉动风压的非高斯特性。首先, 给出了典型风向角下模型各立面脉动风压系数的偏度和峰度分布云图, 讨论

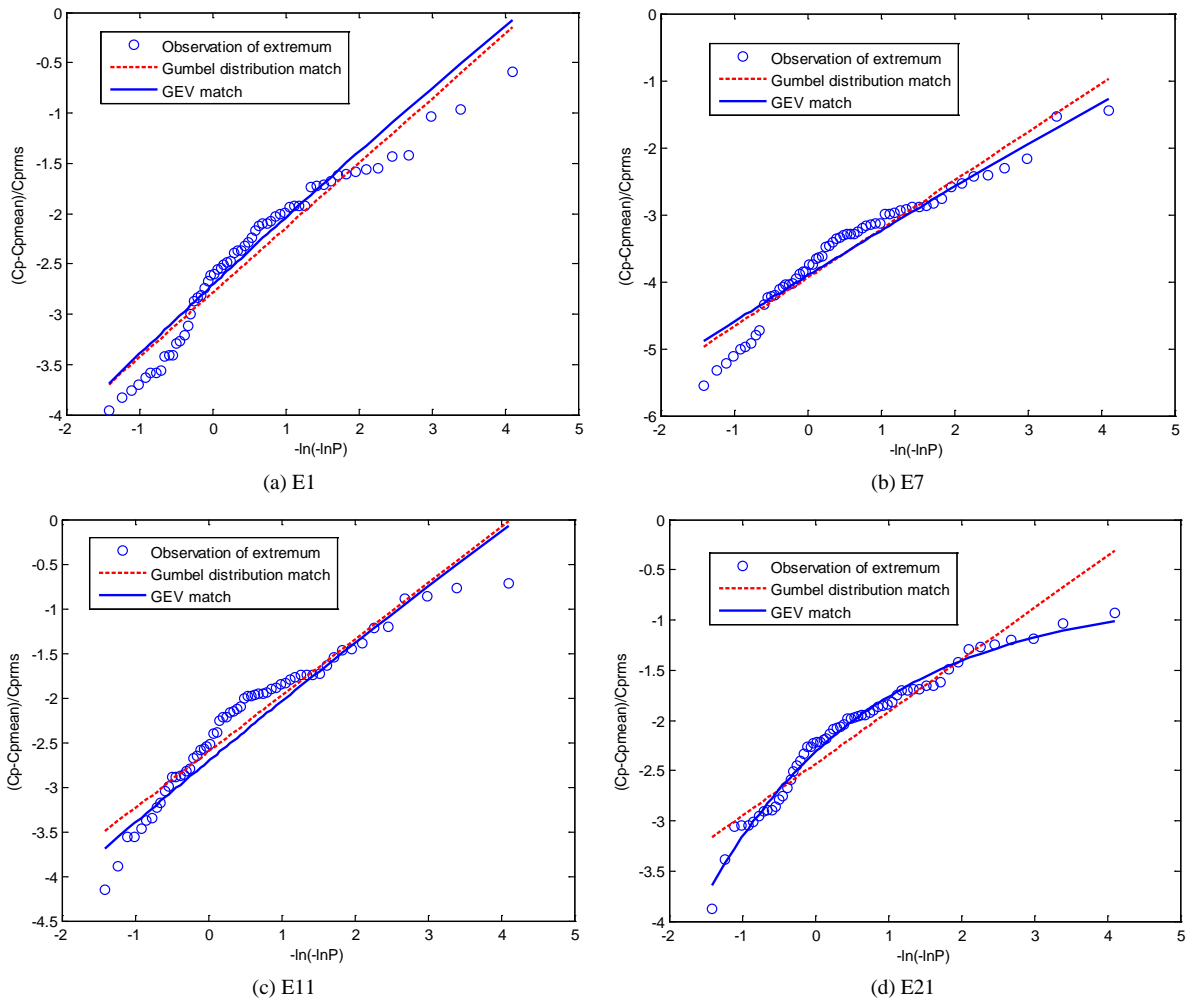


Figure 9. Fitting results of probability distribution of the minimum peak pressure coefficients

图 9. 极小峰值风压系数概率分布拟合

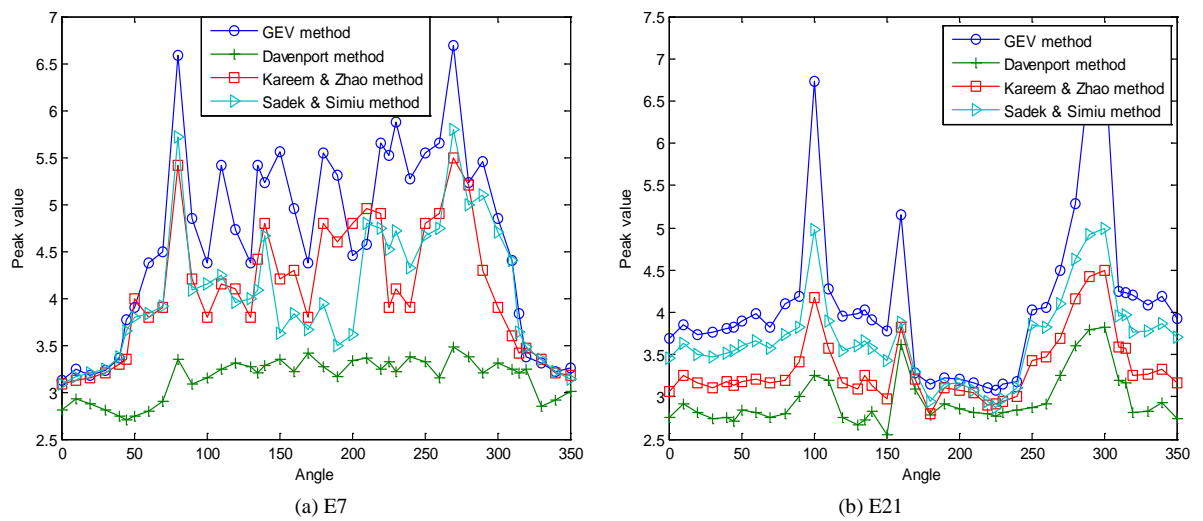


Figure 10. Comparisons between different estimation methods for peak factor

图 10. 不同峰值因子估算方法的比较

了脉动风压的非高斯特性。其次, 利用偏度 - 峰度检验法, 并结合偏度和峰度相关性分析, 给出了此类建筑表面脉动风压非高斯区域的判别准则。最后, 基于广义极值分布理论, 对极值风压系数的概率分布进行拟合, 比较了不同峰值因子估算方法的结果, 结果表明, 基于广义极值分布理论的峰值因子法能对 L 型截面高层建筑的非高斯区域的极值风压进行合理的估计。

基金项目

国家自然科学基金项目(51708207, 51178179)。

参考文献 (References)

- [1] Tamura, Y. and Kareem, A. (2013) *Advanced Structural Wind Engineering*. Springer, Japan. <https://doi.org/10.1007/978-4-431-54337-4>
- [2] 上海市工程建设规范 DGJ08-56-2012. 建筑幕墙工程技术规程[S]. 上海:上海市建筑建材业市场管理总站, 2012.
- [3] Davenport, A.G. (1961) The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures. *ICE Proceedings*, **19**, 449-472. <https://doi.org/10.1680/icep.1961.11304>
- [4] Peterka, J.A. and Cermak, J.E. (1975) Wind Pressures on Buildings-Probability Densities. *Journal of Structural Division. ASCE*, **101**, 1255-1267.
- [5] Kareem, A. and Cermak, J.E. (1984) Pressure Fluctuation on a Square Building Model in Boundary Layer Flows. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **16**, 17-41. [https://doi.org/10.1016/0167-6105\(84\)90047-3](https://doi.org/10.1016/0167-6105(84)90047-3)
- [6] Gioffre, M., Gusella, V. and Grigoriu, M. (2001) Non-Gaussian Wind Pressure on Prismatic Buildings. I: Stochastic Field. *Journal of Structural Engineering*, **127**, 981-989. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2001\)127:9\(981\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2001)127:9(981))
- [7] Gioffre, M., Gusella, V. and Grigoriu, M. (2001) Non-Gaussian Wind Pressure on Prismatic Buildings. II: Numerical Simulation. *Journal of Structural Engineering*, **127**, 990-995. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2001\)127:9\(990\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2001)127:9(990))
- [8] 韩宁, 顾明. 方形高层建筑风压脉动非高斯特性分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2012, 40(7): 971-976.
- [9] 楼文娟, 李进晓, 沈国辉, 等. 超高层建筑脉动风压的非高斯特性[J]. 浙江大学学报(工学版), 2011, 45(4): 671-677.
- [10] Huang, M.F., Lou, W.J., Chan, C.M., et al. (2013) Peak Distributions and Peak Factors of Wind-Induced Pressure Process on Tall Buildings. *Journal of Structural Engineering*, **139**, 1744-1756.
- [11] Li, Y. and Li, Q.S. (2016) Across-Wind Dynamic Loads on L-Shaped Tall Buildings. *Wind and Structures*, **23**, 385-403. <https://doi.org/10.12989/was.2016.23.5.385>
- [12] Li, Y., Li, Q.S. and Chen, F.B. (2017) Wind Tunnel Study of Wind-Induced Torques on L-Shaped Tall Buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **167**, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.04.013>
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中华人民共和国国家标准 GB50009-2012. 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2012.
- [14] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [15] Holmes, J.D. (1985) Wind action on Glass and Brown's Integral. *Engineering Structures*, **7**, 226-230. [https://doi.org/10.1016/0141-0296\(85\)90001-X](https://doi.org/10.1016/0141-0296(85)90001-X)
- [16] Kareem, A. and Zhao, J. (1994) Analysis of Non-Gaussian Surge Response of Tension Leg Platforms under Wind Loads. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, **116**, 137-144. <https://doi.org/10.1115/1.2920142>
- [17] Sadek, F. and Simiu, E. (2002) Peak Non-Gaussian Wind Effects for Database-Assisted Low-Rise Building Design. *Journal of Engineering Mechanics*, **128**, 530-539. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2002\)128:5\(530\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2002)128:5(530))
- [18] 王飞, 全涌, 顾明. 基于广义极值理论的非高斯风压极值计算方法[J]. 工程力学, 2013, 30(2): 44-49.
- [19] Kasperski, M. (2000) Specification and Codification of Design Wind Loads. Ph.D. Thesis, Ruhr University Bochum, Bochum.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org