

DOI: 10.7511/jslx20210319002

大型户外广告牌面板极值风压分布的试验研究

汪大海^{*1}, 黄洪量¹, 邓宇帆¹, 梁枢果², 邹良浩²

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 武汉 430070; 2. 武汉大学 土木建筑工程学院, 武汉 430070)

摘要: 大型户外广告牌作为城市典型的风灾易损性结构, 在强风作用下的毁坏倒塌发生频繁, 存在巨大的安全隐患。本文针对大型户外独立柱广告牌结构设计的薄弱环节, 即广告牌面板的极值风压破坏, 通过开展三种湍流度不同的风场的测压试验, 考虑面板风压时程的高斯/非高斯特性, 使用三种不同的极值风压计算方法, 给出了极值风压与风场之间的联系, 同时也比较了不同风场下这三种极值计算方法的优劣, 对实际广告牌面板结构的设计以及广告牌面板易损性的研究有一定参考价值。

关键词: 广告牌面板; 非高斯; 脉动风压; 风压极值;

中图分类号: O39

文献标志码: A

文章编号: 1007-4708(2022)02-0250-07

1 引言

户外单立柱广告牌是一种常见的高耸悬臂结构, 其上部迎风面积相对较大, 具有头重脚轻和轻柔等特点, 其风灾破坏时有发生, 是一类典型的城市风灾易损性结构。Tamura 等^[1]发现在风灾中广告牌结构易产生碎片, 对人体或其他构筑物有造成二次伤害的危险。因此, 国内外学者在这个方向开展了大量的研究。汪大海等^[2]基于试验, 为三面广告牌风荷载取值提供了可靠的试验数据和计算依据; 赵雅丽等^[3]在试验中发现脉动风压系数随湍流度增大而增大; 顾明等^[4]发现广告牌面板边缘附近的平均风压系数绝对值及脉动风压系数要比面板内部区域大; 汪大海等^[5]分析了风压时程, 探究了广告牌面板上风压时程的分布特性; Wang 等^[6]通过风洞试验, 测量了板表面的同步动压力, 研究了局部压力、各单板和整体结构的整体力特性; Li 等^[7]通过气弹模型风洞试验, 开展了双面广告牌的风振响应规律及理论算法的研究; 申琪等^[8]基于试验, 开展了广告牌结构的风振系数和等效风荷载的研究。这些研究初步完善了三面广告牌结构的防灾设计理论, 为风荷载的计算提供了一种理论方法。

研究还发现, 由于气流在广告牌面板边缘会发生分离、涡流及再附等现象, 会导致一部分广告牌面板上的风压时程呈现出明显的非高斯性。文献

[9,10]指出结构边缘处的风压往往不符合高斯分布; 文献[11,12]发现, 与高斯风压相比, 同等风速下的非高斯风压造成结构破坏的概率会提高 15%~30%; 全涌等^[13]提出了一种基于块极大值的极值风压计算方法; 吴凤波等^[14]对非高斯风压极值估计时使用的矩转换法进行了对比研究; 张爱社等^[15]通过流体力学数值仿真方法考察了方柱结构表面瞬态风压分布特性。上述研究为完善三面广告牌结构的防灾设计方法提供了重要的借鉴。

目前, 各国规范仅给出了单面板的设计风压取值, 我国《建筑结构荷载规范(GB 50009-2012)》仅给出了单面板广告牌的顺风向的整体体型系数, 未考虑风压的非高斯性及局部风压系数。美国荷载规范(ASCE/SEI 7-10)中, 基于试验直接给出了单板的顺风向和扭转极值风压系数; 对于三面广告牌这种特殊的多面板开敞式结构, 若将所有面板的风压体型系数均按照单面板结构进行取值并不合理。

本文通过刚性模型的测压风洞试验, 开展了典型三面广告牌面板在不同地貌类型下的面板风压测试, 分析了面板风压时程的高斯/非高斯特性, 采用三种方法给出了非高斯极值风压的分布特性。并考察了不同湍流度对极值风压的影响。此项研究对广告牌面板结构的设计风压体型系数的取值, 以及广告牌面板的抗风易损性的研究提供了基础数据和计算方法。

2 广告牌结构的测压风洞试验

2.1 试验模型设计

三面单立柱开敞结构广告牌是我国常见的户外

收稿日期: 2021-03-19; 修改稿收到日期: 2021-05-07.

基金项目: 国家自然科学基金(51878527; 51478373)资助项目.

作者简介: 汪大海*(1975-), 男, 博士, 教授, 博士生导师
(E-mail: wangdahai@whut.edu.cn).

独立柱广告牌,此次试验模型的原型是由国家建筑标准设计图集《户外钢结构独立柱广告牌》(07SG526)的G3-6×18广告牌,参数列入表1。

表1 广告牌型号及总体参数
Tab. 1 Billboard model and general parameters

广告牌 型号	面板尺寸/m		结构尺寸/m		总质量 /kg	
	宽	高	长	宽		
G3-6×18	18.0	6.0	17.4	15.3	20.8	32524

此次刚性模型采用 $\lambda_L=1:20$ 几何缩尺比制作模型进行试验,风洞阻塞率为4.85%,满足要求。考虑到风压分布在气流分离处的变化,本次试验在面板测点布置时采用边密中疏、中心对称的布置方式,单侧布置84个测点,总测点数为 $84\times 2=168$ 。测压管从面板模型的支撑骨架和圆管立柱内走线,尽可能减少了测压管外形对风压测量精度的影响。本文试验中测压管长度均在1.3 m左右,符合《建筑工程风洞试验方法标准(JGJ/T 338-2014)》规定的要求。在试验中,先采用频域方法对本次试验中风压的信号在频域进行修正,再转换为时域信号进行后文的分析。

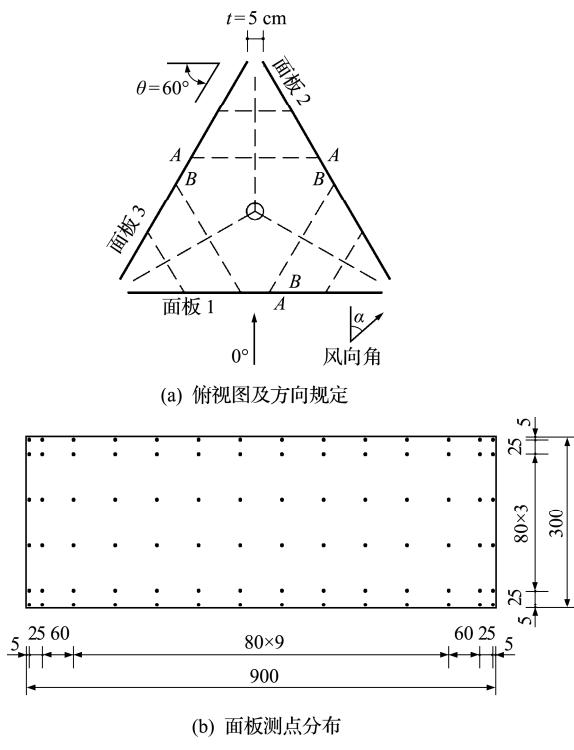


图1 模型主要参数
Fig. 1 Main parameters of the model

2.2 风场模拟

风洞试验在武汉大学WD-1风洞进行,试验模拟了规范的B类和C类地貌,试验模型风速的缩

尺比为 $\sqrt{\lambda_L}$ 。 z_{ref} 为参考高度,试验中参考高度取距地面1米,参考高度处平均风速 $U_{ref}^2=8\text{ m/s}$ 。经过调试,风洞中模拟的B类和C类地貌下的具体风场分布与我国荷载规范参数基本吻合。

试验使用美国PSI扫描阀公司生产的DTC-net电子式压力扫描阀测压系统测量风压时程,采样频率332 Hz。实际工程应用中,风压的设计标准值往往取标准时长 $T=10\text{ min}$ 。本次测压试验中,依据时间相似比,对应标准测试时长 $t_0=135\text{ s}$ 。在均匀流工况中采用 t_0 ;对B类和C类地貌的湍流风场工况,为获得足够的风压极值分布的信息,每个工况采样时长为 $3t_0$ 。试验中,风向角测试范围 $\alpha=0^\circ\sim 60^\circ$,每 15° 一个测试工况。试验工况列入表2。

表2 三面广告牌刚性测压试验工况
Tab. 2 Test conditions for rigid pressure measurement of three-sided billboards

试验 工况	地貌 类型	参考风速 U_{ref}^2 $/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	风向角范围/增量 $(^\circ)$
1~5	B		0~60/15
6~10	C	8	0~60/15
11~15	均匀		0~60/15

3 数据处理方法

3.1 非高斯区域的划分方法

对于非高斯时程,均值和方差不足以完整地描述其概率特征,必须引入三阶中心矩(偏度skewness)及四阶中心矩(峰度kurtosis)统计量来表征,

$$Sk = \frac{E[(x-\mu)^3]}{\sigma^3}, Ku = \frac{E[(x-\mu)^4]}{\sigma^4}$$

当峰度大于3时可视为软化非高斯过程,当峰度小于3时可视为硬化非高斯过程。本文参考Kumar等^[16]的研究结果,将偏度和峰度绝对值分别大于0.5和3.5的风压时程定为非高斯风压时程。当风场的湍流度增大,广告牌各面板上的非高斯性皆有一定增强。其中背风面面板三上非高斯性的增强十分明显。因此,后文将以面板三为例,研究其极值风压的分布情况。

3.2 风压时程统计最大值(样本统计法)

试验中首先同步采集到面板外侧A面风压时程 P_{Aj} 和内侧B面同一位置测点风压 P_{Bj} 的时程数据,通过式(3)叠加得到对应测点数据净风压 P_{ij} ,其中*i*为广告牌单个面板的编号,分别为1~3;*j*为*i*面板上采集点的编号,分别为1~84。

$$P_{ij}(\alpha, t) = P_{Aj}(\alpha, t) - P_{Bj}(\alpha, t) \quad (1)$$

$$C_{\text{peak},ij}(\alpha) = P_{\text{peak},ij}(\alpha) / (0.5\rho U_{\text{ref}}^2) \quad (2)$$

式中 对时程 P_{ij} 取峰值得到极值风压 $P_{\text{peak},ij}$ ， $P_{\text{peak},ij}$ 为与该点平均风压符号相同的大风压。进而可依据式(4)得到该测点的极值风压系数 $C_{\text{peak},ji}(\alpha)$ ，式中 ρ 为空气密度。对于湍流风场工况，将 $3t_0$ 时长的风压时程分为 30 段，然后依次将相连的 10 段作为一个时长 t_0 的样本，标记为样本 k ，采用式(4)可计算得到 $C_{\text{peak},ji,k}(\alpha)$ 。然后按照式(5)取均值作为本节方法(样本统计法)的极值风压系数 C_s ，

$$C_s = \frac{1}{30} \sum_{k=1}^{30} C_{\text{peak},ji,k \sim k+9}(\alpha) \quad (3)$$

严格来讲，当一段平稳各态历经风压时程的自相关系数接近于 0 时，时程的极值具有统计意义^[13,17]。图 2 以 B 类流场 15° 风向角下的 $20^\#$ 测点的 $P_{120}(15^\circ)$ 为例，给出 30 个样本时程的自相关系数曲线，可以发现，当时距 τ 大于 1 s 后，相关系数 $\rho(\tau)$ 迅速衰减而骤降至 0 左右，考虑到样本长度 $t_0 = 135$ s，远大于 1 s，因此，本文使用统计法计算得到的极值风压系数是合理可靠的。

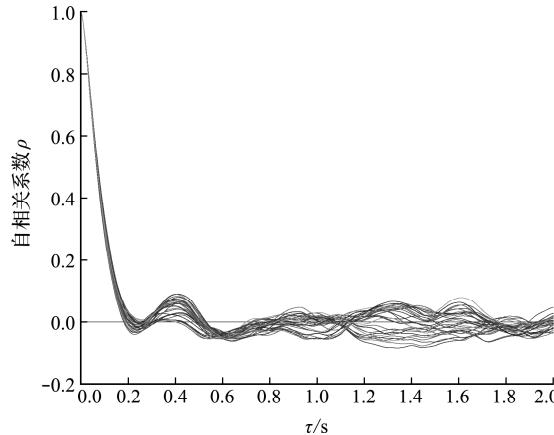


图 2 风压时程自相关系数

Fig. 2 Autocorrelation coefficient of wind pressure time history

3.3 基于 Hermite 四阶矩转换的极值计算方法

对于广告牌面板而言，其上风压时程几乎全部属于软化非高斯时程。故此处仅给出软化非高斯时程的计算方法，即将非高斯时程标准化，可得到均值为 0 和方差为 1 的标准非高斯过程 $X(t)$ 。 $X(t)$ 可以通过一个单调转换函数与一个基本标准高斯过程 $U(t)$ 产生联系，

$$x = g(u) = F_x^{-1}[\Phi(u)] \quad (4)$$

式中 x 和 u 分别为标准化非高斯过程和标准高斯过程的值， $g()$ 为转换函数， F_x 和 Φ 为 $X(t)$ 和 $U(t)$ 的 CDF 曲线， F_x^{-1} 为 F_x 的反函数。这类转化的系数和统计矩之间的关系可以 Hermite 多项展开式

的两侧取方差、偏度和峰度来建立^[16]。

对于峰度 α_4 处于 $3 \sim 15$ 的过程，基于非高斯过程和 Hermite 模型，以偏度和峰度的差异最低为最优原则，给出了转换系数解析表达式为

$$\kappa = 1/\sqrt{1 + 2h_3^2 + 6h_4^2} \quad (5)$$

$$h_3 = \frac{\alpha_3}{6} \left[\frac{1 - 0.015|\alpha_3| + 0.3\alpha_3^2}{1 + 0.2(\alpha_4 - 3)} \right] \quad (6)$$

$$h_4 = h_{40} (1 - 1.43\alpha_3^2/\alpha_4 - 3)^{1-0.1(\alpha_4)^{0.8}} \quad (7)$$

$$h_{40} = \{ [1 + 1.25(\alpha_4 - 3)]^{1/3} - 1 \} / 10 \quad (8)$$

式中 α_3 和 α_4 分别为过程的偏度和峰度， κ 和 h_n 为模型系数。转化为标准高斯过程的平均 0 上穿越率 v_0 可计算为

$$v_0 = \dot{\sigma}_U / 2\pi \approx \dot{\sigma}_X / (2\pi\sigma_X) \quad (9)$$

式中 $\dot{X}(t)$ 为 $X(t)$ 的一阶导数， $\sigma_{\dot{X}}$ 为 $\dot{X}(t)$ 的标准差，可以通过过程 x 的功率谱密度函数 $S_X(\omega)$ ： $\sigma_{\dot{X}}^2 = \int_0^\infty \omega^2 S_X(\omega) d\omega$ 估计得到。Davenport^[18] 给出高斯时程 $X(t)$ 的峰值因子 g 的表达式为

$$g = \sqrt{2 \ln(v_0 T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ln(v_0 T)}} \quad (10)$$

进一步，可计算出对应的软化非高斯过程 $U(t)$ 的极值因子 g_{NG} 为

$$g_{NG} = \kappa [g + h_3(g^2 - 1) + h_4(g^3 - 3g)] \quad (11)$$

最终，Hermite 计算的极值风压系数的期望值 C_H 可以计算为

$$C_H = C_{\text{mean}} + g_{NG} C_{\text{rms}} \quad (12)$$

式中 C_{mean} 和 C_{rms} 分别为平均风压和脉动风压，其中脉动风压是风压系数时程的标准差。

3.4 最佳线性无偏估计方法(BLUE 法)

最佳线性无偏估计 BLUE(Best Linear Unbiased Estimation)，是一种基于块极大值估计风压时程极值风压系数的方法，由 Lieblein^[19] 提出。此方法较为突出的优点是只需要利用数据的一阶和二阶矩就可以进行估计，因此适用于实际工程。

将整个时长的风压系数时程分成 N 个样本 (N 在 $4 \sim 100$ 取值)，本文为了保证计算的精度，在后文的所有极值风压系数分析中，均取 $N = 100$ 。依据式(4)提取每个风压系数时程样本的峰值，当样本的平均风压为正时，按升序排列 ($C_{\text{peak},1} < C_{\text{peak},2} < \dots < C_{\text{peak},N}$)，反之按降序排列，其中， $C_{\text{peak},i}$ 表示第 i 个风压系数样本的峰值。假设该序列服从极值 I 型分布，根据 BLUE 方法，单个样本持续时间内的极值风压系数可计算为

$$C_{\text{peak}} = \sum_{i=1}^N C_{\text{peak},i} (A_i + \lambda_p B_i) \quad (13)$$

$$C_{\text{peak},n} = C_{\text{peak}} + \ln(n) \sum_{i=1}^N B_i C_{\text{peak},i} \quad (14)$$

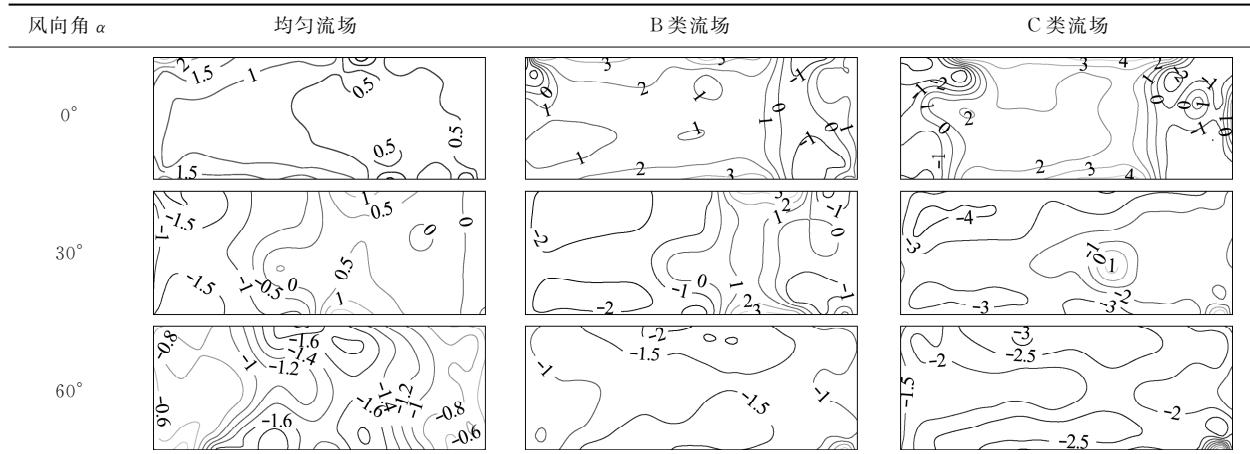
式中 A_i 和 B_i 分别为加权系数 ($i=1, 2, 3, \dots, N$) , 依据文献查表可得^[19]; $\lambda_p = \log(-\log(p))$ 根据极值 I 型分布中期望对应的保证概率 $p=57.04\%$ 计算得到 $\lambda_p=0.5772$ 。 n 为用于估计极值时所取的样本数量, 由于本文整个时长为 $3t_0$, 所以计算标准时长 t_0 对应的极值期望时, $n=N/3$ 。为了与前述方法区别, 通过式(16)得到的极值期望采用 $C_B=C_{\text{peak},n}$ 表示。

4 分析对比

对比上述的三种方法, 其中统计法和 BLUE 法都是将样本分块, 对这些块取峰值, 然后通过一定方法将这些峰值进行组合, 是基于样本时程来统计极值。而 Hermite 法是基于样本的概率特征参数计算极值, 与前两者有本质上的区别。

表 3 面板 3 的极值风压系数的等值线 (Hermite 法)

Tab. 3 Equivalent line diagram of extreme wind pressure coefficient for panel 3 (Hermite method)



从三种流场的横向对比可见, 风场的湍流度越高, 风压时程的非高斯性就越强, 极值风压系数的均值亦有显著提高, 说明风压时程的非高斯性强弱与极值风压系数的大小有明显的关系。同时, 极值风压系数最大值出现在面板的边缘, 而面板边缘的风压时程大多具有更显著的非高斯性。在同等风速下, 风压时程的非高斯性越强, 极值风压系数越大, 也表明非高斯风压更容易使结构发生破坏。

除此之外, 本文还将使用 Hermite 法与统计法计算的极值风压系数进行了对比, 表 4 给出了两种方法计算结果的包络图以及这些包络图之间的偏差率。由于面板的抗风连接设计以负风压作为控制工况, 因此有必要对三种方法得到的负压包络图进行比较和分析, 可定义负压包络图由各个测点的最大负值 $C_{j,\min}$ 绘制, $C_{j,\min} = \min[C_{\text{peak},ij}(\alpha)]$ 。

4.1 Hermite 法与统计法

首先, 选择紊流度较小的均匀流场、 0° 风向角和面板一, 图 3 给出 Hermite 法与统计法计算结果的偏差率, 偏差率 ϵ 定义为

$$\epsilon = (C_H - C_S)/C_S \times 100\%$$

式中 C_H 和 C_S 分别为采用 Hermite 法和统计法计算得到的极值风压系数。

此时这两种方法的计算结果几乎没有区别, 这说明使用 Hermite 法计算极值风压系数具备良好的精度。同时, 为了研究风场湍流度提高对极值风压系数的影响规律, 表 3 分别给出了均匀流场、B 类流场和 C 类流场的极值风压等值线。

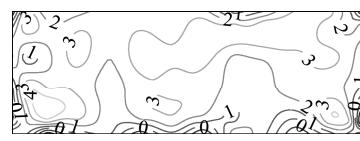
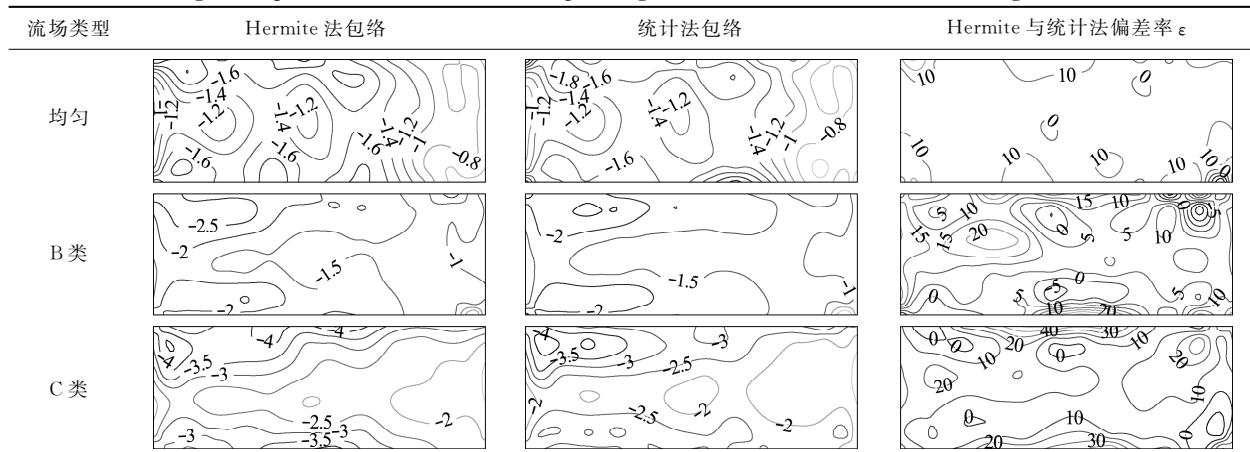


图 3 偏差率 ϵ 等值线 (单位: %)
Fig. 3 Deviation rate ϵ contour diagram (unit: %)

由表 4 可知当风场为均匀流场时, 两种计算方法的偏差率不大, 在 10% 以下; 而当风场为 B 类流场时, 其之间的偏差率就增加至 15% 左右; 当风场湍流度进一步增加时, 二者的偏差趋向更大。最大处超过 30%, 使用基于 Hermite 四阶矩转换的风压极值计算方法得出的结果偏于安全。值得一提的是, 偏差基本出现在面板边缘, 面板中心位置的计算结果始终相似, 这说明计算时没有出现错误。

此外, 两种计算方法偏差的最大值往往出现在面板边缘, 而这些位置风压时程的非高斯性也往往较强, 这说明非高斯性越强的风压时程, 越不适合简单取风压时程最大值为极值风压。并且, 简单地依据时程取最大值的方法得到的极值风压系数往往偏小, 使得抗风设计偏于危险。

表 4 负压极值包络及偏差率 ϵ (单位: %)Tab. 4 Negative pressure extreme envelope diagram and deviation contour diagram ϵ (unit: %)

4.2 BLUE 法与统计法

图 4 给出在风向角为 0° 时, 均匀流场下面板上 BLUE 法计算极值与统计法计算结果的偏差率。与图 3 相同, 从图 4 可以看出两种方法计算的偏差率很小, 与上文类似, 这说明使用 BLUE 法计算极值风压系数具备良好的精度。表 5 给出了 BLUE 法计算的极值风压系数等值线。

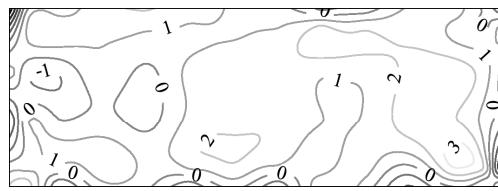
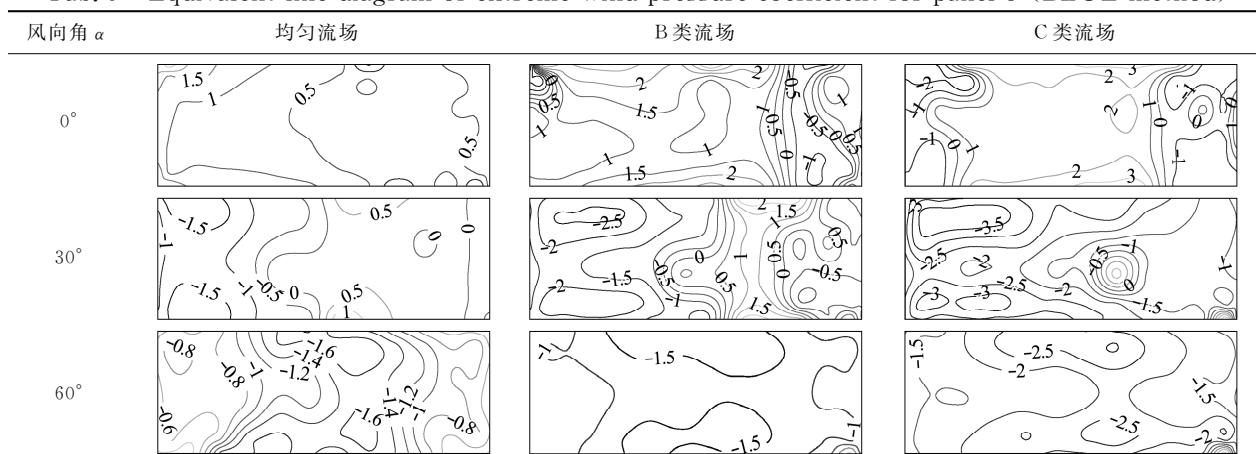
图 4 偏差率 ϵ 等值线(单位: %)Fig. 4 Deviation rate ϵ contour diagram (unit: %)

表 5 面板三的极值风压系数的等值线(BLUE 法)

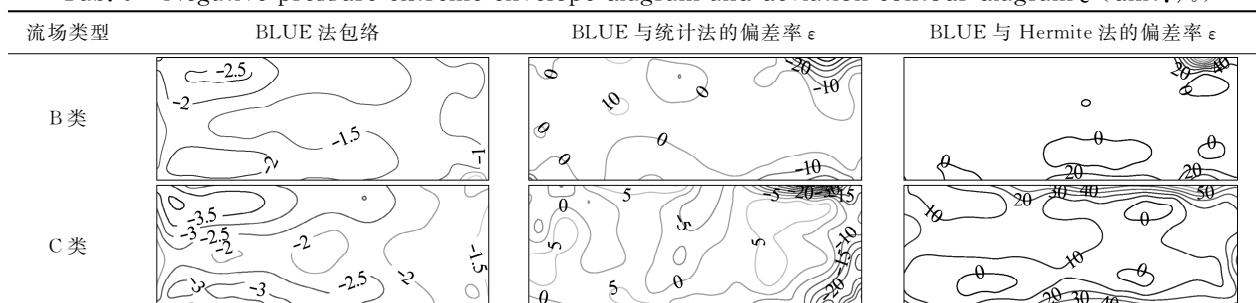
Tab. 5 Equivalent line diagram of extreme wind pressure coefficient for panel 3 (BLUE method)



面板上极值风压系数随风向角和湍流度变化的规律和 Hermite 法基本一致, 这两种截然不同的计算方法得出一致的结果也可以说明两种计算

方法都适于计算广告牌面板的极值风压系数。

表 6 第一和第二列给出 BLUE 法与统计法的计算结果包络图进行对比。

表 6 负压极值包络及偏差率 ϵ (单位: %)Tab. 6 Negative pressure extreme envelope diagram and deviation contour diagram ϵ (unit: %)

除面板上下边缘,这两种计算方法的计算结果没有明显的区别(5%左右)。但是在面板边缘处(非高斯性较强位置),BLUE法计算的极值风压系数明显小于统计法,而且随着湍流度上升,面板边缘处的偏差率越来越大,最大达到30%。这表明大部分情况下,时程的非高斯性越强,BLUE法的计算结果相对于统计法越小。同样,面板中心位置的计算结果始终相似,计算时没有出现错误。

4.3 BLUE法与Hermite法

表6第三列给出BLUE法与Hermite法计算结果包络图的差值(同样仅给出负压)。与表4中Hermite法与统计法的差值对比可以发现,BLUE法与Hermite法的差值在边缘位置的差值明显更大。但这两种差值随湍流度变化的规律大致相同,与表6观察到的现象吻合。

而在实际使用中,由于Hermite法使用了风压时程的三阶与四阶矩,BLUE法仅使用了一阶和二阶矩,统计法更是直接对时程进行处理,在方法的计算速度上有明显的区别,统计法与BLUE法的计算速度明显快于Hermite方法。

5 结 论

(1)从三种流场的横向对比可见,风场的湍流度越高,风压时程的非高斯性越强,广告牌面板上极值风压系数的均值亦有显著提高,所以风压时程的非高斯性强弱与极值风压系数的大小有明显的关系。同时,广告牌面板上极值风压系数最大值出现在面板的边缘,而面板边缘的风压时程大多具有较强的非高斯性,这说明在同等风速下,非高斯性较强风压时程的极值风压系数更大,这也表明面板分离区的非高斯负风压更容易使结构发生破坏。

(2)依据《建筑结构荷载规范(GB 50009-2012)》及《户外广告设施钢结构技术规程(CECS148-2003)》,本文试验对象的极值风压系数分别为2.1(B类地貌)和2.6(C类地貌)。然而,依据本文试验,背风面面板局部区域的负风压面板上极值风压已经分别为2.5(B类地貌)和3.5(C类地貌)。使面板连接及支撑结构抗风设计值偏小,易导致面板或面板支撑结构的风灾破坏。

(3)在工况为均匀流场,0°风向角时,面板上统计法、Hermite法和BLUE法的极值风压系数的计算结果几乎没有区别。但随着风场湍流度增加,风压时程的非高斯性增强,三者间的差别也变得更大。在处理非高斯时程时,极值风压系数的计

算结果大小排序为Hermite法>统计法>BLUE法,而且随着非高斯性的增强,偏差率也随之增加。使用Hermite转化的理论方法的风压极值计算方法得出的结果偏于安全。

(4)综合上述三种计算方法对非高斯风压极值的分析和比较,可依据不同情况选取合理的极值计算方法:由于BLUE法与Hermite转换法对风压时程的长度要求不高,当试验风压时程较短,风场的湍流度较小时,可采用BLUE方法;当试验风压时程较短,且湍流度较大时,可采用Hermite方法;若试验风压时程足够长,可采用直接统计法。

参 考 文 献 (References):

- [1] Tamura Y, Shuyang C. Climate change and wind-related disaster risk reduction [A]. Proceedings of the APCWE-VII[C]. 2009.
- [2] 汪大海,向越,罗烈,等.大型三面广告牌结构风荷载特性的风洞试验[J].同济大学学报(自然科学版),2020,48(1):16-23. (WANG Da-hai, XIANG Yue, LUO Lie, et al. Investigation of wind load characteristics of three-plate billboard using wind tunnel testing[J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2020,48(1):16-23. (in Chinese))
- [3] 赵雅丽,全涌,黄鹏,等.典型双坡屋面风压分布特性风洞试验研究[J].同济大学学报(自然科学版),2010,38(11):1586-1592. (ZHAO Ya-li, QUAN Yong, HUANG Peng, et al. Wind tunnel test study on wind pressure on typical gable roofs of low-rise buildings[J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)*, 2010,38(11):1586-1592. (in Chinese))
- [4] 顾明,陆文强,韩志惠,等.大型户外独立柱广告牌风压分布特性[J].同济大学学报(自然科学版),2015,43(3):337-344. (GU Ming, LU Wen-qiang, HAN Zhi-hui, et al. Characteristics of wind pressure distribution on large single colum supported billboards [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2015,43(3):337-344. (in Chinese))
- [5] 汪大海,程浩,张玉青,等.大型双面广告牌面板风压特性的试验研究[J].振动与冲击,2017,36(22):172-177. (WANG Da-hai, CHENG Hao, ZHANG Yu-qing, et al. A study of wind pressure characteristics of large double-plate billboards through wind tunnel testing [J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2017,36(22):172-177. (in Chinese))
- [6] Wang D H, Chen X Z, Li J, et al. Wind load characteristics of large billboard structures with two-plate and three-plate configurations[J]. *Wind and Structures*, 2016,22(6):703-721.

- [7] Li Z H, Wang D H, Chen X Z, et al. Wind load effect of single-column-supported two-plate billboard structures[J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2018, **179**: 70-79.
- [8] 申琪, 汪大海, 罗烈, 等. 基于试验的大型单立柱广告牌结构设计风荷载研究[J]. 特种结构, 2020, **37**(5): 75-82. (SHEN Qi, WANG Da-hai, LUO Lie, et al. Wind load study on structural design of large single-column billboard based on wind tunnel tests [J]. *Special Structures*, 2020, **37**(5): 75-82. (in Chinese))
- [9] Harris R I. *The Response of Structures to Gusts*[M]. Teddington: Her Majesty's Stationery Office, 1965.
- [10] Vaicaitis R, Simiu E. Nonlinear pressure terms and alongwind response [J]. *Journal of the Structural Division*, 1977, **103**(4): 903-906.
- [11] Holmes J D. Wind action on glass and Brown's integral[J]. *Engineering Structures*, 1985, **7**(4): 226-230.
- [12] Gioffrè M, Gusella V. Damage accumulation in glass plates[J]. *Journal of Engineering Mechanics*, 2002, **128**(7): 801-805.
- [13] 全涌, 顾明, 陈斌, 等. 非高斯风压的极值计算方法[J]. 力学学报, 2010, **42**(3): 560-566. (QUAN Yong, GU Ming, CHEN Bin, et al. Study on the extreme value estimating method of non-Gaussian wind pressure [J]. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2010, **42**(3): 560-566. (in Chinese))
- [14] 吴凤波, 黄国庆, 刘敏, 等. 非高斯风压极值估计: 基于矩的转换过程法的抽样误差对比研究[J]. 振动与冲击, 2020, **39**(18): 20-26, 43. (WU Feng-bo, HUANG Guo-qing, LIU Min, et al. Extremes estimation of non-Gaussian wind pressures: A comparative study on sampling errors based on a moment-based translation process model [J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2020, **39**(18): 20-26, 43. (in Chinese))
- [15] 张爱社, 高翠兰, 王元雷. 并列三柱体风致干扰 DDES 模拟分析[J]. 计算力学学报, 2021, **38**(6): 748-753. (ZHANG Ai-she, GAO Cui-lin, WANG Yuan-lei. DDES analysis of wind-induced interference effect on three prisms aligned in parallel [J]. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 2021, **38**(6): 748-753. (in Chinese))
- [16] Kumar K S, Stathopoulos T. Wind loads on low building roofs: A stochastic perspective [J]. *Journal of Structural Engineering*, 2000, **126**(8): 944-956.
- [17] Ditlevsen O, Mohr G, Hoffmeyer P. Integration of non-Gaussian fields [J]. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 1996, **11**(1): 15-23.
- [18] Davenport A G. Note on the distribution of the largest value of a random function with application to gust loading [J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 1964, **28**(2): 187-196.
- [19] Lieblein J. Efficient Methods of Extreme-Value Methodology[R]. National Bureau of Standards, 1974.

Experimental study on extreme wind pressure distribution of large outdoor billboard panels

WANG Da-hai^{1*}, HUANG Hong-liang¹, DENG Yu-fan¹, LIANG Shu-guo², ZOU Liang-hao²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430070, China)

Abstract: As a typical structure vulnerable to a wind disaster, large-scale outdoor billboards collapse frequently under strong wind, which makes a huge potential safety hazard. This paper focuses on the weak link of structural design of large outdoor independent column billboard: damage of billboard panels under extreme wind pressure. The pressure measurement experiment of three wind fields with different turbulence degrees were carried out. Gaussian and non-Gaussian characteristics of panel wind pressure time history are considered, and three different extreme wind pressure calculation methods are used to obtain, the relationship between the extreme wind pressure and the wind field. Additionally, the advantages and disadvantages of the three extreme value calculation methods under different wind fields are compared. This study has a certain reference value for the structural design of billboard panels and the research of the damage probability of the billboard panel.

Key words: Billboard plates; non Gaussian; fluctuation pressure; extreme wind pressure

引用本文/Cite this paper:

汪大海, 黄洪量, 邓宇帆, 等. 大型户外广告牌面板极值风压分布的试验研究[J]. 计算力学学报, 2022, **39**(2): 250-256.

WANG Da-hai, HUANG Hong-liang, DENG Yu-fan, et al. Experimental study on extreme wind pressure distribution of large outdoor billboard panels[J]. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 2022, **39**(2): 250-256.