

文章编号:1673-2049(2013)02-0082-05

# 复杂周边高层建筑风压分布特性试验

鞠开林<sup>1</sup>, 李秋胜<sup>1,2</sup>

(1. 湖南大学 建筑安全与节能教育部重点实验室, 湖南 长沙 410082;

2. 香港城市大学 土木与建筑工程系, 香港)

**摘要:**结合某复杂周边高层建筑的风洞试验,分析了该建筑物在有无干扰下平均风压系数和脉动风压系数的分布特性。结果表明:无干扰时迎风面平均风压为正值,其余各面为负值;湍流度对脉动风压有影响,迎风面和背风面脉动风压系数要比侧面小很多;相距较近的建筑物并列布置时,会形成峡谷效应,风压分布以施扰建筑物高度为分化点,超过这一高度风压发生分离。所得结论可为相应的工程提供参考。

**关键词:**复杂周边;高层建筑;风洞试验;风干扰特性

**中图分类号:**TU973 **文献标志码:**A

## Experiment on Characteristics of Mean Wind Pressure Distribution of Tall Buildings in Complex Terrain Field

JU Kai-lin<sup>1</sup>, LI Qiu-sheng<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Building Safety and Energy Efficiency of Ministry of Education, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China; 2. Department of Civil and Architectural Engineering,

City University of Hong Kong, Hong Kong, China)

**Abstract:** Based on the wind tunnel test of a tall building in complex terrain field, distribution characteristics of mean wind pressure coefficient and fluctuating wind pressure coefficient of the building were analyzed in different conditions. The results show that without interference, the mean wind pressure of the windward side is positive, and the rest side is negative. The fluctuating wind pressure is affected by turbulences intensity, the fluctuating wind pressure coefficient of windward and leeward is much smaller than that of crosswind side. When buildings are arranged side by side closely, this may cause a canyon effect. The wind pressure may dissociate at the height of the interference building. The results can provide reference for the corresponding engineering.

**Key words:** complex terrain field; tall building; wind tunnel test; wind interference characteristic

## 0 引言

复杂建筑群体间的风干扰效应是目前结构风工程领域的研究热点<sup>[1]</sup>。一般情况下,规则建筑物的风压计算可以通过规范得到,但本文工程实例中的

建筑周边环境复杂,处在建筑物密集的城市中心地区,由于“遮挡效应”、“峡谷效应”等的存在,可能会导致不可预见性的灾害,在设计时压力系数需要通过风洞试验来确定<sup>[2-4]</sup>。建筑物外表面上的风压分布大多呈现体面分布,沿高度方向和水平方向都是

收稿日期:2013-02-04

基金项目:国家自然科学基金项目(51178179)

作者简介:鞠开林(1988-),男,湖北襄阳人,工学硕士研究生,E-mail:jukailin2011@163.com。

变化的,笔者通过试验的方法对某高层建筑在不同工况、不同风向角下的风压测点层分布特性和沿高度分布特性进行了研究。

## 1 试验概况

该建筑物(1号楼)地面以上42层,设计高度195.8 m,西南面与之相邻有1座高约161 m的待建建筑(2号楼)。周边环境较为复杂,四面分布多栋高100 m左右的高层建筑,其中1号楼与2号楼相距较近,共同拥有一个大盘裙楼底座。

本次试验是在湖南大学建筑安全与节能教育部重点实验室的HD-3大气边界层风洞实验室中完成。该风洞试验段长17 m,截面尺寸为3.0 m×2.5 m,风速为0~20 m·s<sup>-1</sup>且连续可调。地貌类型按照《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)<sup>[5]</sup>中的C类地貌考虑,地貌粗糙度系数(指数率) $\alpha=0.22$ 。试验前,用被动方法模拟流场,采用二元尖塔和粗糙元来模拟C类地貌的平均风速和湍流度分布,如图1所示。图1中, $Z$ 为高度, $V$ 为平均风速, $u$ 为湍流度, $n$ 为频率, $S_v(n)$ 为顺风向脉动风速功率谱, $\sigma$ 为顺风向脉动风速根方差。

风洞试验模型是用ABS板制成的刚体模型,具有足够的强度和刚度。模型与实际建筑在外型上保持几何相似,缩尺比例为1:300,周边模型缩尺比例也为1:300,满足堵塞度小于5%的要求。

风洞试验模型如图2所示。试验分2种工况进行:工况1为单体,本文中称无干扰;工况2为考虑周边所有建筑,本文中称有干扰。每种工况风向角从0°到360°变化,间隔为15°。主体模型和周边模型具体相对位置及风向角见图3。

试验过程中,测压信号采样频率为312.5 Hz,每个测点采样时间为32 s,即每个测点在每个风向角下记录了10 000个风压时域信号数据,满足文献[6]中提出的信号采样频率的要求。试验参考点高度为63.3 cm(与模型顶部同高),参考点控制风速为8.5 m·s<sup>-1</sup>。该建筑物体型复杂,造型独特,典型测点层测点布置见图4。

## 2 数据处理

风压符号规定为:压力向内、向下为正,向外、向上为负。建筑表面各点的风压系数为

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

式中: $C_{Pi}$ 为测点 $i$ 处的风压系数; $P_i$ 为测点 $i$ 处的

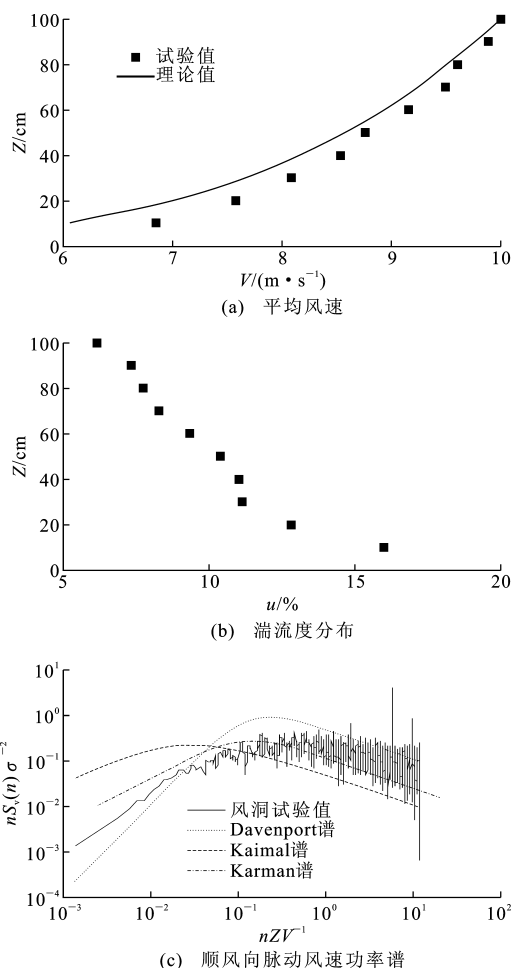


图1 风洞中模拟C类地貌风场参数

Fig. 1 Simulated Wind Field Parameters of Terrain Categories C in Wind Tunnel

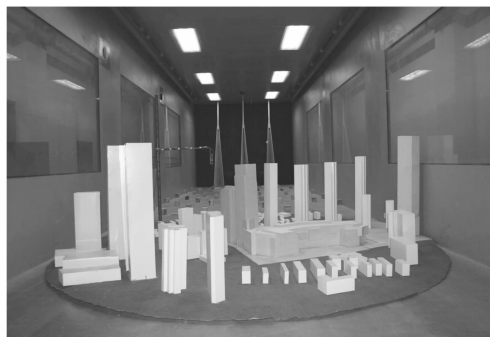


图2 风洞试验模型

Fig. 2 Model of Wind Tunnel Experiment

风压力; $P_0$ ,  $P_\infty$ 分别为参考点处测得的平均总压和平均静压。

对于外露的玻璃挡板位置(内、外表面对应布置2个测压孔),风压差系数由内、外表面对应的测压点测出的压力相减得到,即

$$\Delta C_{Pi} = \frac{P_i^u - P_i^d}{P_0 - P_\infty} \quad (2)$$

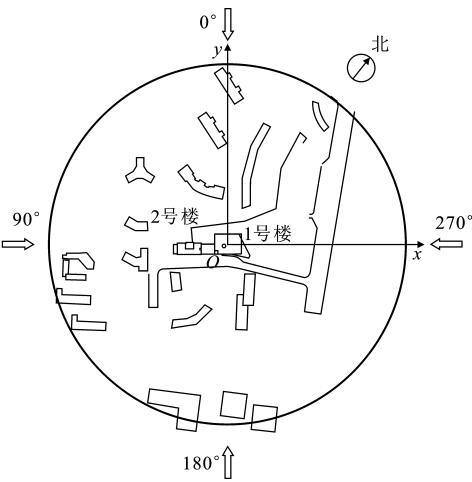


图 3 模型位置及风向角

Fig. 3 Model Site and Wind Angle

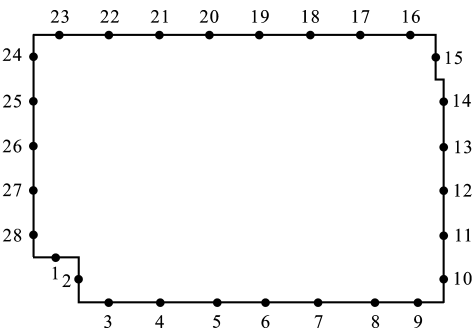


图 4 典型测点层测点布置

Fig. 4 Measuring Point Distributions of Typical Measuring Point Layer

式中： $\Delta C_{Pi}$ 为测点*i*处的风压差系数； $P_i^u, P_i^d$ 分别为测点*i*处上(外)、下(内)的风压力。

为了简化叙述，本文中均采用风压系数  $C_{Pi}$  来表示式(1)，(2)这 2 种情况。

对于脉动风压，可以通过式(3)求得脉动风压均方根  $C_{prms}$ ，即

$$C_{prms} = \sqrt{\sum_{k=1}^N (C_{Pik} - \bar{C}_P)^2 / (N - 1)} \quad (3)$$

式中： $C_{Pik}$ 为样本*k*在测点*i*处的风压系数； $\bar{C}_P$ 为平均风压系数；*N*为样本数。

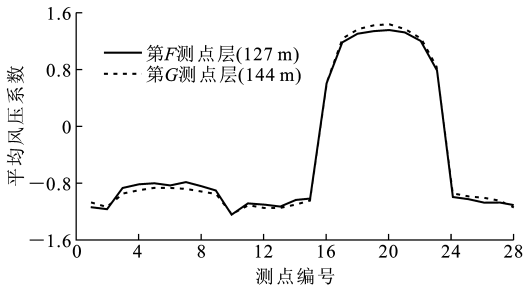
3 结果分析

3.1 同一高度的风压分布特性

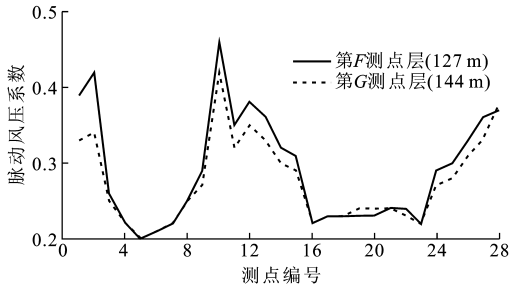
选择 0° 风向角来研究同一高度风压系数分布特性。2 种工况下的第 *F* 测点层和第 *G* 测点层的表面风压系数分布情况如图 5 所示。

由图 5 可以看出：

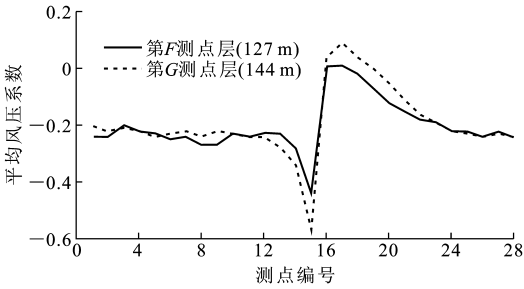
(1)无干扰时，迎风面平均风压系数均为正值，



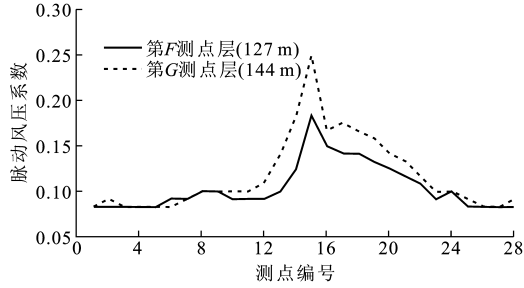
(a) 无干扰平均风压系数



(b) 无干扰脉动风压系数



(c) 有干扰平均风压系数



(d) 有干扰脉动风压系数

图 5 测点层风压系数水平分布特性

Fig. 5 Horizontal Distribution Characteristics of Mean Wind Pressure Coefficients of Measuring Point Layer

且呈现中间大两边小的特点，其余各面均为负值；侧风面平均风压系数沿顺风方向有逐渐减小的趋势；背风面平均风压系数的曲线走势和迎风面的形状大致相同，中间测点负值小，两边测点负值大；迎、背风面脉动风压系数比侧风面要小；建筑物有切角时，可能对平均风压和脉动风压产生影响。

(2)有干扰时，施扰建筑对该高层建筑的平均风压和脉动风压影响都较大。由于干扰的存在，迎风面有可能出现负压，并且脉动风压系数的分布也没有规律。

### 3.2 风压系数沿高度的变化规律

取各测点层测点 15,16,23,24,研究  $0^\circ$  风向角下分离区风压系数沿相对高度的变化规律,如图 6 所示。

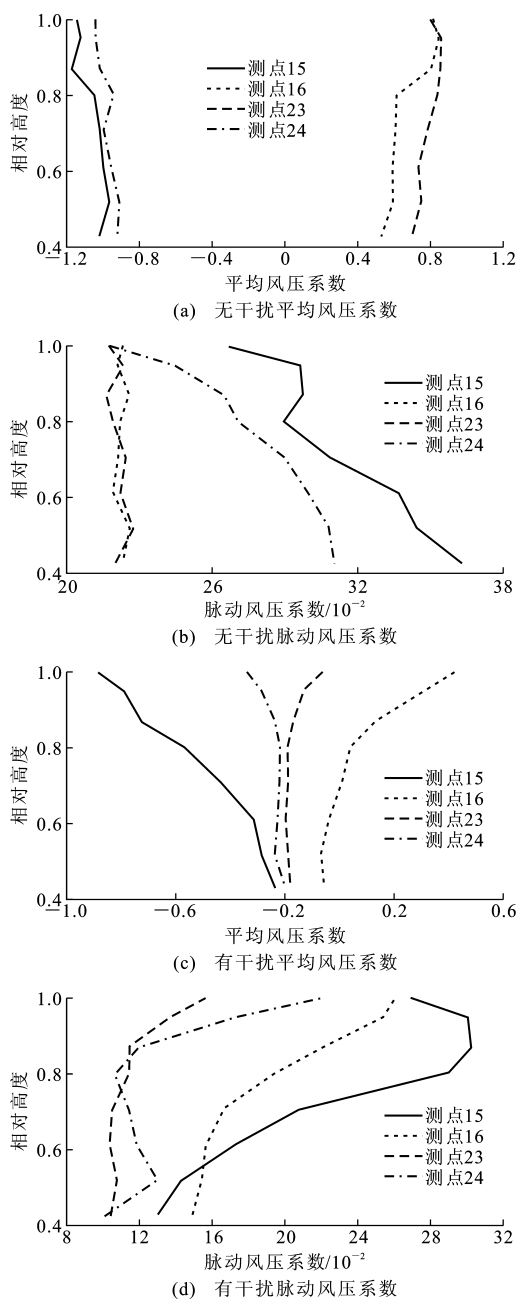


图 6  $0^\circ$  风向角下典型测点风压系数随相对高度变化

Fig. 6 Variations of Wind Pressure Coefficients of Typical Measuring Points with Relative Heights Under  $0^\circ$  Wind Angle

由图 6 可以看出:

(1)迎风面平均风压系数随高度增加而增加,侧风面和背风面的平均风压系数沿高度变化不大;迎风面脉动风压系数随高度增加有减小的趋势,但减小幅度不大,侧风面和背风面脉动风压系数沿高度

变化很大,脉动风压系数随高度增加逐渐减小,与文献[7]研究结果一致,这可能与紊流度有关,说明湍流度对侧风面和背风面的脉动风压有一定影响。

(2)有干扰时,迎风面平均风压系数随高度增加而增大,如测点 16,侧风面气流分离处平均风压系数随高度也有显著变化,这主要与施扰建筑物的位置有关系,如测点 15;从整体上看,脉动风压系数随高度增加都表现出增大的趋势,但没有一定规律可循;测点 23,24 平均风压系数在相对高度为 0.8(实际高度为 143 m)时发生分离,随高度增加,测点 24 负压增大,测点 23 负压减小,这主要是由于 1 号楼西面正好有一高度为 143 m 的高层建筑,由于 2 栋楼较近,产生了峡谷效应<sup>[8-14]</sup>,使得在施扰建筑物高度以下,气流分离处的测点压力相近,超过这一高度后,峡谷效应消失,气流明显分离,两点压力也分别发生变化。

## 4 结 语

(1)建筑物迎风面处于正压区,平均风压系数为正值;而侧风面处于分离区,平均风压系数为负值;背风面也是负压区。

(2)湍流度对背风面和侧风面脉动风压有影响,迎风面和背风面脉动风压系数要比侧风面小很多,在维护结构和玻璃幕墙的抗风设计时,应特别注意脉动风压的影响。

(3)并列布置时,由于存在峡谷效应,在施扰建筑物高度处,风压会发生变化,超过这一高度风压发生分离。

(4)当建筑群,尤其是高层建筑群的房屋相互间距较近时,由于旋涡的相互干扰,房屋某些部位的局部风压会显著增大,设计时应予以注意。对比较重要的高层建筑,建议在风洞试验中考虑周围建筑物的干扰因素。

## 参考文献:

## References:

- [1] KHANDURI A C, STATHOPOULOS T, BEDARD C. Wind-induced Interference Effects on Buildings—A Review of the State-of-the-art[J]. Engineering Structures, 1998, 20(7): 617-630.
- [2] 李庆祥,孙炳楠,沈国辉,等. 湖州大剧院屋盖及幕墙的风荷载分布特性[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(9): 1531-1536.
- LI Qing-xiang, SUN Bing-nan, SHEN Guo-hui, et al. Wind Load Distribution on the Roof and Curtain Wall

- of Huzhou Grand Theater[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(9): 1531-1536.
- [3] 李会知. 高层建筑风压试验研究[J]. 实验力学, 2000, 15(2): 157-162.
- LI Hui-zhi. An Experimental Investigation for the Wind Pressure Distribution on a High Building[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2000, 15(2): 157-162.
- [4] 杨有根, 刘光栋. 体育馆屋盖的风洞试验研究和数值计算[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2007, 34(1): 9-13.
- YANG You-gen, LIU Guang-dong. Wind Tunnel Tests of the Stadium Cantilevered Roofs and Mathematical Calculation[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2007, 34(1): 9-13.
- [5] GB 50009—2012, 建筑结构荷载规范[S].
- GB 50009—2012, Code for Load of Building Structures[S].
- [6] LETCHFORD C W, SANDRI P, LEVITAN M L, et al. Frequency Response Requirements for Fluctuating Wind Pressure Measurements[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1992, 40(3): 263-276.
- [7] 顾明, 叶丰. 超高层建筑风压的幅值特性[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2006, 34(2): 143-149.
- GU Ming, YE Feng. Characteristics of Wind Pressure Amplitude on Super-tall Buildings[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2006, 34(2): 143-149.
- [8] 谢壮宁, 朱剑波. 群体高层建筑的平均风压分布特征[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2011, 39(4): 128-134.
- XIE Zhuang-ning, ZHU Jian-bo. Distribution Characteristics of Mean Wind Pressure on Tall Buildings[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2011, 39(4): 128-134.
- [9] 冯海英, 赵鹏燕, 高洪俊. 数值风洞的工业厂房屋面体形系数分析[J]. 西安科技大学学报, 2011, 31(5): 549-553.
- FENG Hai-ying, ZHAO Peng-yan, GAO Hong-jun. Shape Coefficient Analysis of Industrial Workshop Roof Based on Numerical Wind-tunnel[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2011, 31(5): 549-553.
- [10] 周月庭, 吕令毅. 高层建筑三维非定常风场并行计算的数值模拟[J]. 建筑科学与工程学报, 2007, 24(1): 42-46.
- ZHOU Yue-ting, LU Ling-yi. Numerical Simulation of 3-D Unsteady Wind Field Around High-rise Building on Parallel Computation[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2007, 24(1): 42-46.
- [11] 王松帆, 汤华. 超高层建筑的风振响应及等效静风荷载研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2010, 27(1): 102-107.
- WANG Song-fan, TANG Hua. Research on Wind Vibration Response and Equivalent Static Wind Loads of Super High-rise Buildings[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2010, 27(1): 102-107.
- [12] 汪权, 王建国, 张鸣祥. 高层建筑结构随机风速场的数值模拟及风振控制[J]. 建筑科学与工程学报, 2011, 28(2): 32-37.
- WANG Quan, WANG Jian-guo, ZHANG Ming-xiang. Numerical Simulation of Stochastic Wind Velocity Field and Wind Vibration Control of High-rise Building Structures[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2011, 28(2): 32-37.
- [13] 汤华, 王松帆. 基于风洞试验的高层建筑风荷载研究及抗风设计[J]. 建筑科学与工程学报, 2012, 29(2): 96-101.
- TANG Hua, WANG Song-fan. Wind Load Research and Wind-resistant Design of High-rise Buildings Based on Wind Tunnel Test[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2012, 29(2): 96-101.
- [14] 武岳, 陈波, 沈世钊. 大跨度屋盖结构等效静风荷载研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2005, 22(4): 27-31.
- WU Yue, CHEN Bo, SHEN Shi-zhao. Research on Equivalent Static Wind Loadings of Large-span Roof Structures[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2005, 22(4): 27-31.