

切角高层建筑表面风荷载特性的有限元分析

唐俊尧

安徽省建筑工程质量第二监督检测站 安徽合肥 230000

摘要: 切角高层建筑与传统的低矮建筑相比, 抗侧刚度减小, 柔度增加, 对风荷载更敏感, 分析和明确切角高层建筑表面的风荷载特性是十分必要的。本文基于有限元软件对切角高层建筑表面的气动力时程变化及风压分布进行分析, 结果表明: 切角高层建筑升力系数变化较为平缓, 阻力系数变化剧烈, 两个系数最大值均出现在1s左右, 分别为1.12和1.46。建筑迎风面为正压力, 风压变化最剧烈, 侧立面和背风面为负压力, 极值之差不超过0.12。风压分布沿计算域中轴具有明显的对称性, 风压最大值为-1.13, 位于左立面背风侧上, 背风面风压系数最小。

关键词: 切角高层建筑; 有限元分析; 气动力时程; 风压分布

Finite element analysis of wind load characteristics on the surface of a high-rise building with cut Angle

Junyao Tang

The Second Supervision and Inspection Station of Construction Engineering Quality of Anhui Province, Hefei, Anhui, 230000

Abstract: Compared with the traditional low-rise building, the high-rise building with a cut Angle has less lateral stiffness and more flexibility and is more sensitive to wind load. It is necessary to analyze and identify the wind load characteristics of the surface of high-rise buildings with cut angles. Based on the finite element software, this paper analyzes the aerodynamic time history variation and wind pressure distribution on the surface of a high-rise building with a cut Angle. The results show that the lift coefficient of the high-rise building with a cut Angle changes gently, while the drag coefficient changes sharply. The maximum values of the two coefficients appear around 1s, which are 1.12 and 1.46, respectively. The windward side of the building has positive pressure, and the wind pressure changes the most dramatically. The side facade and leeward side have negative pressure, and the difference between the extreme values is not more than 0.12. The wind pressure distribution has obvious symmetry along the axis of the calculation domain. The maximum wind pressure is -1.13, which is located on the leeward side of the left facade, and the wind pressure coefficient on the leeward side is the smallest.

Keywords: Corner-cutting high-rise building; Finite element analysis; Aerodynamic Time course; Wind pressure distribution

引言:

风是空气相对于地面的运动。有研究表明, 风灾所造成的经济损失占自然灾害损失总量的40%以上。工程中常采用气动措施减小风荷载, 其中建筑切角是减小风荷载控制作用最有效的措施之一, 该措施是基于流体对高层建筑的作用机理, 从根源上减小结构表面的风压和风致响应。因此, 研究切角高层建筑的气动时程及风压分布对实际工程设计具有重要的参考意义。

已有文献表明, 当切角率为10%时, 横风向和顺风向的位移响应能减少35%左右^[1-2]。Tanaka^[3]对30余种不

同截面的建筑进行综合讨论, 并对比了不同模型的气动特性。Kawai^[4]研究了不同切角率的方形建筑和矩形建筑的涡激振动和气动阻尼。王新荣^[5]通过刚性模型测压试验, 提出切角率小于15%的切角建筑气动特性基本不随雷诺数改变。此外, 也有学者采用数值模拟方法研究切角高层建筑。Tamura^[6]采用大涡模拟方法计算了方形建筑和切角建筑, 发现切角能够大幅改善结构气动性能。在此基础上, 郑德乾^[7]进一步研究切角对方形建筑气动性能的影响, 并分析角部措施对建筑表面风压分布和气动力的作用机理。

本文采用大涡模拟方法对切角率为10%的切角高层建筑进行数值模拟研究,明确了切角高层建筑的升力及阻力时程变化规律,并基于气动力变化结果研究风压分布机理,为切角高层建筑在实际工程中的应用提供参考。

1 计算模型及参数设定

本文采用雷诺数为22000的均匀流场,来流速度根据雷诺数计算。方柱边长为L,竖向高度4L。计算域大小为40L×20L×4L,建筑前流场长度为10L,为使风场充分发展,后流场长度取30L。网格采用非均匀六面体网格,近壁面网格加密处理。计算域入口为速度入口;出口为压力出口;上、下表面以及两侧面均采用对称边界条件模拟自由滑移壁面;建筑表面采用无滑移壁面。亚格子模型选用动态Smagorinsky模型,求解方法采用SIMPLEC法,动量方程为二阶精度,收敛残差控制为 5×10^{-4} ,时间步长设定为0.0005s。

2 建筑气动力分析

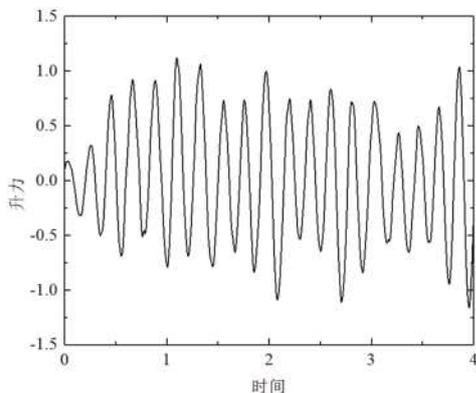
为方便分析,本文的升力和阻力均采用无量纲化处理,如(1)式和(2)式所示:

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho U_0^2 DH} \quad (1)$$

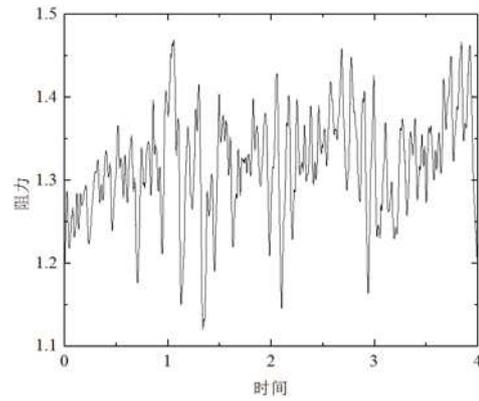
$$C_L = \frac{2F_L}{\rho U_0^2 DH} \quad (2)$$

式中: F_D 、 F_L 分别为阻力和升力; ρ 为空气密度, U_0 为来流风速,D、H分别为方柱迎风面宽度和高度。

本文给出了切角高层建筑在4s内的升力和阻力时程变化曲线,如图1所示。由图可知,切角建筑的升力时程曲线较平滑且均匀,阻力时程变化较大,分布不均匀。这说明切角高层建筑横风向荷载变化较小,而对顺风向响应较为敏感。其中,结构升力系数最大值出现在1s左右,达到1.12;阻力系数最大值为1.46,同样出现在1s时的风场中。总体来说,切角高层建筑的平均升力系数约为0,脉动升力系数为0.55,平均阻力系数为1.32,脉动阻力系数约为0。



(a) 升力时程



(b) 阻力时程

图1 气动力时程

Fig.1 Aerodynamic time history

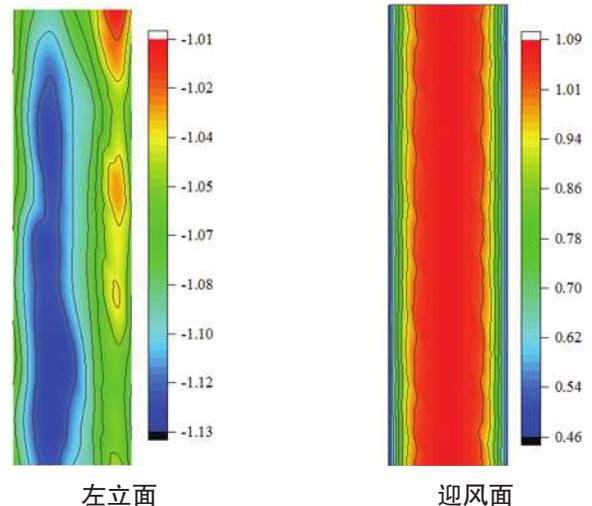
3 建筑风压分析

本文的表面风压均采用风压系数表示,如下式(3):

$$C_p = \frac{2P}{\rho U_0^2} \quad (3)$$

式中P为测点风压,其余各参数设定与升力和阻力系数的计算相同。

图2给出了单切角方柱四个立面的平均风压系数分布结果。风压分布具有良好的对称性,建筑侧立面(左、右立面)平均风压系数高于迎风面和背风面的风压系数,且左、右立面的风压系数相同,分布对称,其中侧立面的低风压区域位于立面迎风侧(靠近迎风面的一侧),高压区域位于立面背风侧。建筑迎风面表现为正压,风压分布沿计算域中轴对称,风压系数最大值为1.09;侧立面与背风面均呈负压分布,背风面平均风压系数最小,最大值仅为-0.93。平均风压系数最大值位于左立面上,取值为-1.13。迎风面风压系数变化最剧烈,最大值与最小值差为0.63,侧立面和背风面此差值均不超过0.12。



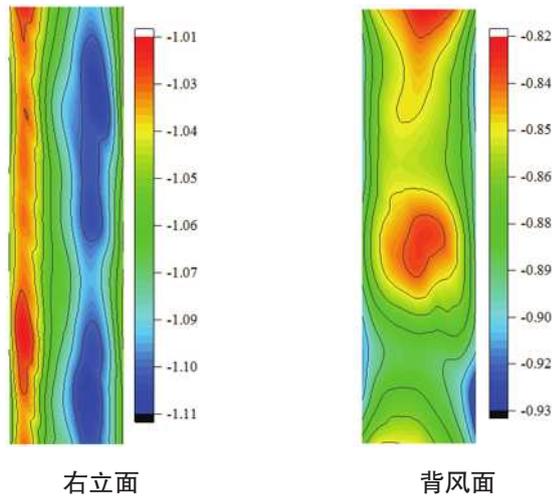


图2 平均风压系数分布图

Fig.2 Average wind pressure coefficients distribution

4 结论

本文基于数值模拟软件对位于雷诺数为22000的均匀流场中的切角高层建筑进行了大涡模拟研究，总结了其阻力系数及升力系数的变化规律，并对建筑不同立面的风压分布特点进行了分析，得到以下结果：

(1) 切角高层建筑的升力系数时程分布均匀且围绕0上下波动，脉动升力系数为0.55，说明升力系数在风场中变化不剧烈；阻力系数时程变化较大，其中平均阻力系数为1.32而其脉动阻力系数接近0。

(2) 建筑风压分布呈对称分布，其中迎风面和背风面的风压分布沿计算域中轴对称，而左立面和右立面的风压分布相互对称。

(3) 切角高层建筑迎风面为正压，表现为风压力；

侧立面和背风面为负压，表现为风吸力。其中风压最大值位于左立面背风侧，平均风压系数达到-1.13。

参考文献：

[1]Gu M, Quan Y. Across-wind loads of typical tall buildings[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2004, 92(13): 1147-1165.

[2]KWOK K C S. Effect of building shape on wind-induced response of tall building[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1988, 28(1): 381-390.

[3]Tanaka H, Tamura Y, Ohtake K, et al. Experimental investigation of aerodynamic forces and wind pressures acting on tall buildings with various unconventional configurations[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2012, 107(8): 179 - 191.

[4]Kawai H. Effect of Corner Modifications on Aeroelastic Instabilities of Tall Buildings[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1998, 74(2): 719-729.

[5]王新荣, 顾明.角部处理的二维方柱风压分布特性的试验研究[J].土木工程学报, 2016, 49 (07): 79-88.

[6]Tamura T, Miyagi T. Numerical prediction of unsteady pressures on a square cylinder with various corner shapes[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1998, 74(2): 531-542.

[7]郑德乾, 刘帅永, 马文勇, 陈华为.倒角切角对方柱气动性能影响的大涡模拟研究[J].振动与冲击, 2021, 40 (01): 8-14.