

攒尖四坡屋盖风荷载特性的数值模拟研究

张昊洋

安徽省建筑工程质量第二监督检测站 安徽合肥 230000

摘要: 攒尖四坡屋盖形式多用于民用建筑及帐篷的设计中, 由于轻质材料被广泛应用, 其受风荷载的破坏程度也越来越大, 本文采用有限元软件 Ansys-Fluent 对其进行风场模拟, 分析了不同风速及风向角对屋面风压分布的影响, 并指出极值风压出现的位置, 结果表明: 风速越大, 风压数值越大, 但极值风压的位置并没有产生变化, 正值风压出现在建筑迎风立面, 而负风压出现在建筑屋顶迎风处的屋脊上。在风向角转换到 30° 时, 迎风面分摊到两个立面上, 因此正风压的分布面积增大了, 且屋面在 0° 风向角下未出现的正风压区域也出现在了屋脊处, 但极值风压的数值并未变化, 在风向角转到 60° 时, 建筑立面及屋顶被大面积的正压力所覆盖, 风向角转为 90° 时, 负极值风压仅为 -120Pa, 相比于 0° 风向角减小了 1/4。

关键词: 拱形屋盖; 数值模拟; 屋面风压; 湍流模型

Numerical simulation study on wind load characteristics of pyramidal hipped roof
Zhang Haoyang

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

Abstract: Tip four slope roof form is mostly used in the design of civil buildings and tents, because lightweight materials are widely used, the degree of damage by the wind load is also increasing, this paper uses finite element software Ansys-Fluent to simulate the wind field, analyze the influence of different wind speeds and wind direction angles on the wind pressure distribution of the roof, and point out the location of the extreme wind pressure, the results show that the greater the wind speed, the greater the wind pressure value, but the location of the extreme wind pressure does not change, the positive extreme wind pressure appears on the wind facade of the building, Negative wind pressure occurs on the roof ridge of the building roof where the wind is facing. When the wind angle is converted to 30°, the windward surface is divided into two facades, so the distribution area of positive wind pressure is increased, and the positive wind pressure area that does not appear under the wind direction angle of the roof at 0° also appears at the roof ridge, but the value of the extreme wind pressure does not change, when the wind angle is turned to 60°, the building façade and roof are covered by a large area of positive pressure, and when the wind direction angle is turned to 90°, the negative extreme wind pressure is only -120Pa, which is reduced by 1/4 compared to the 0° wind direction angle.

Keywords: pyramidal hipped roof; numerical simulation; roof wind pressure; turbulence model

引言

攒尖四坡房屋形式常被民用和野营房屋所采用, 由于轻质高强度材料被广泛应用, 其对风荷载的作用十分敏感, 因此结构设计时风荷载是造成结构破坏的主导荷载, 而国内外对此类有坡度的建筑风荷载研究主要集中在双坡屋盖, 则在实际工程设计中, 对此类建筑的理论支持较少。

针对有坡度屋盖风压分布情况, 戴益民^[1]、李秋胜^[2]等在沿海台风风场环境下进行现场实测, 获取了低层房屋在台风风场作用下的风压实测数据, 表明我国建筑结构荷载规范对于低矮双坡建筑的迎风屋面前沿及屋面体型系数的取值偏不安全。而后 Ginger 和 Holmes^[3]通过风洞试验的手段研究了长宽比和坡角对双坡屋面风压分布的影响, 发现随着房屋长宽比的增加, 背风屋面的风压有大幅度的增加, 后续随着计算机的发展, 结果优良且试验成本更低的数值模拟方法被越来越多的学者采用, 吕少琳^[4]、夏少军^[5]采用不同湍流模型模拟低矮双坡屋盖的表面风压, 发现 RNG k-ε 湍流模型的结果更贴合风洞试验及实测的结果。随后焦焯烽等^[6]对相邻低矮四坡屋面建筑进行数值模拟, 发现当存在周围建筑干扰, 且风向角垂直于屋面时, 迎风屋面风压变化最为明显, 在实际工程设计中, 应当增大该部位体型系数。

因此, 本文在计算入口采用均匀流入口, 并选用 RNG k-ε 湍流模型对攒尖四坡屋盖模型进行表面风压模拟, 分析了其在不同风速和风向角下的屋面风压及流场风速的变化规律, 总结了在不同风向角下风压极值分布的位置, 为相似实际工程的设计提供建议。

1 数值模拟和计算模型

1.1 控制方程

Moin^[7]指出, 在运用 Standard k-ε 湍流模型时, 较大的时均应变率可能产生负的正应力。为了使流动符合湍流的物理定律, 必须给正应力施加某种约束。文献^[8]认为要实现这种约束, 湍动粘度计

算公式中的系数 C_μ 应该与应变率相关联, 而不能认定为常数。于是, 便提出了 Realizable k-ε 模型。该模型中 k 和 ε 的输运方程如下:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 E \epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{v \epsilon}} \quad (2)$$

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.2, C_2 = 1.9$$

$$\text{式中, } C_1 = \max \left(0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right) \quad (3)$$

$$\eta = (2E_{ij} \cdot E)^{1/2} \frac{k}{\epsilon}, E_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

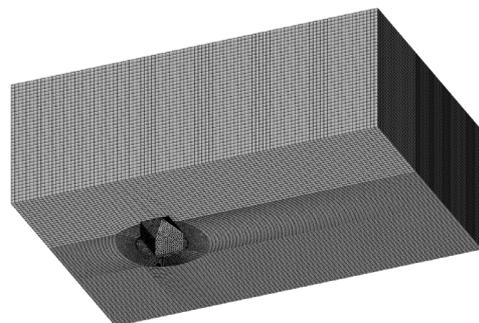


图1 模型及网格
Fig.1 Model and mesh

1.2 计算模型及网格

模型计算域尺寸为 $L \times B \times H=104m \times 70m \times 36m$ ，模型取一攒尖四坡屋面，其长为 10m，宽为 8m，檐高为 5m，屋顶高度为 7m，为了便于不同风向角的建模工作更便利，本文采用混合格网，即在模型周围采用圆柱体包裹，并在圆柱体内进行非结构网格的划分而圆柱体外的流体域采用结构化网格划分，这样既减小了网格数目，又保证了计算结果的准确性。计算域在结构周围进行网格加密，以便于保证提取数据的准确性，最小网格高度为 0.5m，总网格数为 170 万。

1.3 入流速度及边界条件

入流速度为 10m/s，并采用均匀流入口，入口边界条件采用速度入口 velocity-inlet，出口边界条件采用压力出口 pressure-outlet，

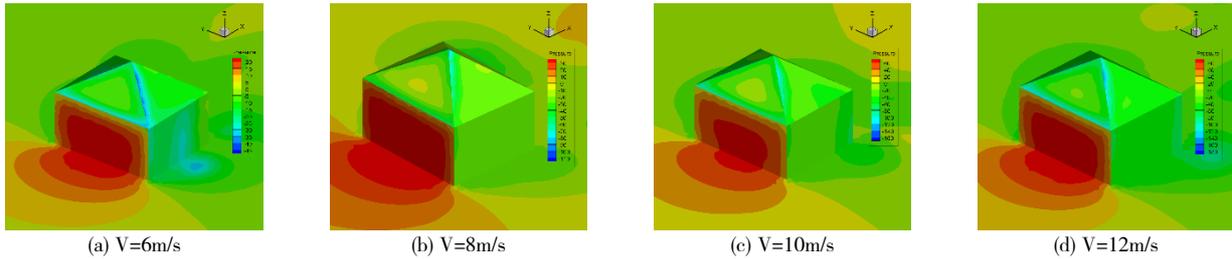


图2 不同风速下屋盖风压分布云图

Fig.2 Wind pressure cloud map of roof cover at different wind speeds

3 风向角对风压的影响分析

图3为不同风向角下模型整体风压分布情况，由图可知，风向角对风压分布的形式影响很大，其中在风向角转换到 30° 时，迎风面分摊到两个立面上，因此正风压的分布面积增大了，且屋面在 0° 风向角下未出现的正风压区域也出现在了屋脊处，但极值风压的

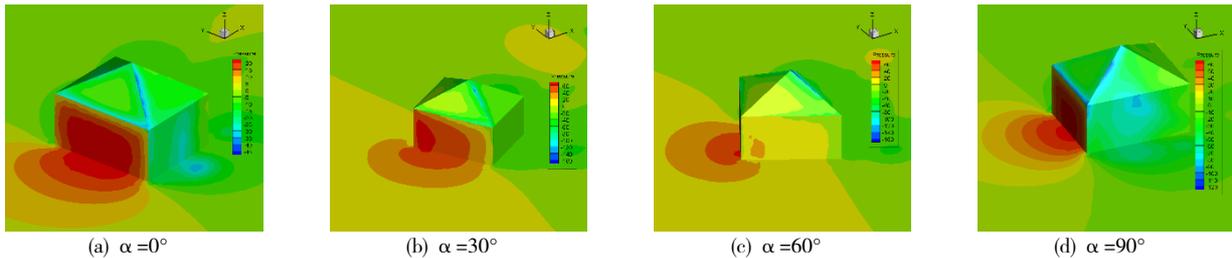


图3 不同风向角下风压分布云图

Fig.3 Cloud map of wind pressure distribution under different wind direction angles

4 结论

本文基于有限元模拟软件 Ansys-Fluent，对攒尖四坡屋面在不同风速及风向角作用下表面风压的变化进行分析，总结了风压极值的分布位置及数值大小的变化规律，结果如下：

(1) 在不同风速下，屋面整体风压皆为负值。在风速为 6m/s 时，由于风速相对较低，屋面整体压力分布比较均匀，仅在迎风面屋脊处出现极值风压，风速为 8m/s 时的极值风压分布面积最大，且在屋顶迎风面正中心出现正压，结构除迎风立面及屋顶外，其余位置皆被负压所覆盖。

(2) 风速越大，风压数值越大，但极值风压的位置并没有产生变化，正极值风压出现在建筑迎风立面，而负压出现在建筑屋顶迎风处的屋脊上。

(3) 在风向角转换到 30° 时，迎风面分摊到两个立面上，因此正风压的分布面积增大了，且屋面在 0° 风向角下未出现的正风压区域也出现在了屋脊处，但极值风压的数值并未变化，在风向角转到 60° 时，建筑立面及屋顶被大面积的正压力所覆盖，风向角转到 90° 时，负极值风压仅为 $-120Pa$ ，相比于 0° 风向角减小了 $1/4$ 。

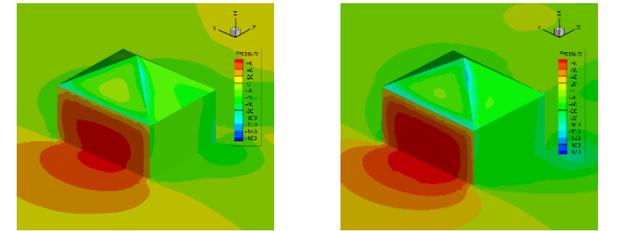
参考文献：

[1]戴益民，李秋胜，李正农. 低矮房屋屋面风压的实测及分析

计算域顶部及两侧采用对称边界 symmetry，地面及建筑采用无滑移壁面 wall。

2 风速对风压的影响分析

图2为不同风速下屋盖风压分布云图，在不同风速下，屋面整体风压皆为负值。在风速为 6m/s 时，由于风速相对较低，屋面整体压力分布比较均匀，仅在迎风面屋脊处出现极值风压，风速为 8m/s 时的极值风压分布面积最大，且在屋顶迎风面正中心出现正压，结构除迎风立面及屋顶外，其余位置皆被负压所覆盖，但随着风速的继续增大，屋脊处极值风压逐渐减小，且屋面迎风区域正风压分布的面积也越来越小，综合流场整体风压来看，风速越大，风压数值越大，但极值风压的位置并没有产生变化，正极值风压出现在建筑迎风立面，而负压出现在建筑屋顶迎风处的屋脊上。



数值并未变化，在风向角转到 60° 时，建筑立面及屋顶被大面积的正压力所覆盖，主要原因是转换风向角后，迎风面积变得更大了。而风向角转为 90° 时，屋顶基本被负压力所覆盖，分布情况与 0° 时相似，但负极值风压仅为 $-120Pa$ ，相比于 0° 风向角减小了 $1/4$ 。

[J]. 建筑结构, 2009, 39 (7): 88-89+96.
[2]李秋胜, 胡尚瑜, 戴益民. 低矮房屋屋面实测峰值风压分析 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版), 2010, 37 (6): 11-16.
[3]Ginger J D, Holmes J D. Effect of building length on wind loads on low-rise buildings with a steep roof pitch[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2003, 91 (11): 1377-1400.
[4]吕少琳. 低层双坡屋面房屋屋面风荷载影响因素的数值模拟 [D]. 浙江大学, 2006.
[5]夏少军. 低矮双坡房屋风荷载数值模拟研究[D]. 华南理工大学, 2017.
[6]焦燊烽, 于英霞, 陈水福. 相邻低层四坡屋面房屋在风荷载下的相互干扰作用[J]. 四川建筑科学研究, 2009, 35 (6): 24-27.
[7]Moin P
Moin P. Progress in large eddy simulation of turbulent flows[C]//35th Aero space Sciences Meeting and Exhibit. 1997: 749.
[8]Shih T H, Liou W W, Shabbir A, et al. A new k-epsilon eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows[J]. Computers & Fluids, 1995, 24 (3): 227-238.