

封闭式多跨双坡屋面的抗风性能研究

王 涛

安徽建工检测科技集团有限公司 安徽合肥 230000

摘 要: 多跨双坡屋盖形式多用在工业厂房及仓储建筑设计中, 风荷载是这类建筑损毁的主要荷载之一。本文基于 RANS 时均法, 对多跨双坡屋盖在不同风场条件及房屋几何参数的变化下屋面风压系数的变化情况进行分析, 结果表明: 风速越大, 屋盖平均风压系数数值越大。低风速下屋盖整体受上拔力作用, 但平均风压系数数值并不大, 高风速下跨中位置的平均风压系数部分转为正值, 且压力系数增幅较大。坡度越大, 跨中位置的风压越大, 且在坡度为 30° 以上是迎风屋面的风压皆转为正值, 平均风压系数在 1 左右, 而凹陷区域的基本都被负压所覆盖, 这是由于坡度升高后, 凹陷区域的湍流影响使此处的压力呈上拔的趋势作用。

关键词: 多跨双坡屋盖; 数值模拟; 平均风压系数; 湍流模型

Study on wind resistance of enclosed multi-span double slope roof

Tao Wang

The Construction Engineering Inspection Technology Technology Group Limited of Anhui Province, Hefei 230,000

Abstract: Multi-span slope roof form is mostly used in industrial plant and storage building design, wind load is one of the main loads of such building damage. Based on the RANS time-average method, the change of the roof wind pressure coefficient under different wind field conditions and housing geometric parameters shows that the greater the wind speed, the greater the value of the average wind pressure coefficient of the roof. Under the low wind speed, the roof is affected by the upward force, but the average wind pressure coefficient is not large. Under the high wind speed, the average wind pressure coefficient of the middle position of the high wind speed becomes positive, and the pressure coefficient increases greatly. The greater the slope, the greater the wind pressure across the middle position, and when the slope is above 30, the wind pressure of the windward roof is positive, the average wind pressure coefficient is about 1, and the depression area is basically covered by negative pressure, which is due to the slope of the turbulence in the depression area makes the pressure here on the trend.

Keywords: multi-span double-slope roof; numerical simulation; mean wind pressure coefficient; turbulence model

引言

近年来, 极端天气频发, 强风天气对人们的生命及财产安全构成了极大的威胁, 且现如今工业厂房及仓储的设计中常采用多跨结构的形式, 因此本文着重对有坡度影响的多跨双坡屋盖抗风性能进行研究, 以对相关实际工程风荷载的取值提供建议。

国内外对于屋盖风荷载特性研究的手段主要分为三种: 实地测量、风洞试验和数值模拟。早年, 国内外众多学者针对美国德克萨斯理工大学试验楼进行了一系列的实测, 而其原因是该大楼下部有转盘, 可以随意转动变换风向角进行测量。实测获取的数据虽然最贴切实际, 但模型的建立与数据监测的难度却十分巨大, 而后很多学者采用风洞试验的方法来进行风荷载的试验, 其中全涌^[1]、顾明^[2]等人利用风洞试验方法对低矮双坡屋盖表面分压分布进行分析, 并对坡度、风向角等因素影响下风荷载的变化规律进行了总结。而随着计算流体力学软件的发展, 数值模拟的结果也越发精确了, 且其在参数变换分析、模型建立的成本和便利性上都有不错的优点, 王相军^[3]利用 Fluent 中多个湍流模型对低矮双坡屋盖进行模拟, 结果表明数值模拟结果与风洞试验结果较为相似。胡晓兵^[4]利用大涡模拟对高层建筑标准模型的脉动风压特性进行模拟分析, 发现在采用 NSRFG 方法和 CAARC 两种方法模拟时, 采用 NSRFG 方法能更好地反映建筑表面脉动风压的非高斯特性。

综上所述, 本文采用 RANS 时均法对封闭式多跨双坡屋盖进行模拟, 通过流场发展、平均风压的分布分析了建筑表面风荷载的分布特性, 并讨论了在风速以及坡度变化后, 风压极值位置的分布情

况, 以此为后续多跨双坡形式房屋的设计提供理论依据。

1 数值模拟和计算模型

1.1 控制方程

在使用求解 N-S 方程 (Navier-Stokes 方程) 时, 为使方程闭合, 需引入湍流模型, 由于本模拟在低雷诺数下模拟, 采用 SST k- ω 湍流模型进行求解。较标准 k- ω 模型, 该模型有效地提高了 k- ω 模型在近壁面自由流中模拟精度和收敛性。SST k- ω 模型增加了方程中的交叉扩散项和一个合并的方程, 使得该模型在近壁面和远离壁面的区域都能很好的应用; 同时修改了湍流粘度的计算公式, 用以考虑湍流的剪切应力; 并在模型中采用了不同的常数项。这些改进使得 SST k- ω 模型应用更广, 同时具有更高的精度和可靠度^[5]。

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \omega u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega \quad (2)$$

式中, G_k ——平均速度梯度引起的湍动能的产生项;

G_ω —— ω 的产生项; Y_k 、 Y_ω —— k 与 ω 的耗散项; Γ_k 、 Γ_ω —— k 与 ω 的耗散项; D_ω ——交叉扩散项。

1.2 计算模型及网格

模型设置取单跨为双坡屋盖联合组成的多跨双坡屋盖, 单跨迎风宽度为 12m, 长度为 10m, 因此模型总长度为 30m, 屋檐高度取 5m, 计算域尺寸为 210m × 100m × 50m (长 × 宽 × 高), 模型建于距迎风面 60m 位置处。网格划分采用混合网格的形式, 模型周围利用四面体网格划分, 其余计算域部分采用结构化网格划分。其最小网

格高度设置为 0.2m, 计算域总网格数为 200 万。

1.3 入流速度及边界条件

入口边界条件采用速度入口 velocity-inlet, 入流面风速采用指数率分布, 风速随高度增大而增大: 计算公式如下:

$$V(z) = V_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha \quad (3)$$

式中, $V(z)$ 为离地高度 z 处平均风速, z_0 为参考高度; V_0 为参考高度处平均风速; α 为不同地貌的地面粗糙系数(本文取 B 类地貌, 数值为 0.16)。

$$k = 1.5(vI)^2 \quad (4)$$

$$\omega = \frac{k^{1/2}}{C_\mu^{0.25} l} \quad (5)$$

其中 $C_\mu = 0.09$, I 、 l 为湍流强度和湍流积分尺度, 根据日本建筑荷载规范(2004) [8] 设置。其计算公式如下:

$$I = \frac{k^{0.5}}{C_\mu^{0.25} l} \begin{cases} 0.1 \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^{-\alpha_2 - 0.05} & Z \leq Z_b \\ 0.1 \left(\frac{Z}{Z_G} \right)^{-\alpha_2 - 0.05} & Z > Z_b \end{cases} \quad (6)$$

$$l = \begin{cases} 100 & Z \leq 30 \text{ m} \\ 100 \left(\frac{Z}{30} \right)^{0.5} & 30 \text{ m} < Z \leq Z_G \end{cases} \quad (7)$$

式中, Z_0 为梯度风高度, 取值为 450 m; Z_b 为截断高度, 取值为 5m; α_2 取值 0.15。

出口边界条件采用压力出口 (pressure-outlet), 计算域顶部及两侧采用对称边界 (symmetry), 地面及建筑表面采用无滑移壁面 (wall)。

2 风速及坡度对风荷载特性的影响

2.1 流场分析

建筑立面以及屋脊的突出位置皆受来流的直接作用, 前流场在建筑近壁面会产生回流效应, 且在建筑两侧有“马蹄涡”产生。坡度较小的屋盖, 上部流场较为平滑, 但凹陷区域还是会由于屋脊阻挡而产生低风速区域, 相对于参考高度处的入流风速而言, 屋脊对风速有极大的削弱作用。

2.2 平均风压系数

平均风压系数是判断建筑屋面风压分布的有效手段, 是指建筑物在受到风力作用时, 风力对建筑物表面的压力与动压力的比值。平均风压系数的计算与建筑物的形状、高度、风速、风向等因素有关。其计算公式如下:

$$C_p = \Delta p / (0.5 \rho u_H^2) \quad (8)$$

式中, ρ 为空气密度, 取 1.225 kg/m³; u_H 为参考高度 H 处的风速。

2.3 风速对平均风压系数的影响

不同风速下建筑表面平均风压系数的分布云图, 从风速增大后, 屋面整体的平均风压数值而言, 风速越大, 屋盖平均风压系数数值越大, 当参考高度处风速在 5m/s 以下时, 建筑仅在里面的 C_p 为正值, 其余位置都为负值, 低风速下屋盖整体受上拔力作用, 但平均风压系数数值并不大, 而且分布位置较为均匀, 但当风速增大至 7m/s 以上时, 跨中位置的平均风压系数部分转为正值, 且压力系数增幅较大, 在风速为 9m/s 时, 迎风屋面 C_p 最大值达到了 -4.5。

2.4 坡度对平均风压系数的影响

图 1 为不同坡度下的建筑平均风压系数的分布云图, 由图可知: 当坡度为 10° 时, 屋脊位置的平均风压系数皆为负值, 根据上文流场示意图看来, 屋脊直接受均匀来流作用, 但由于坡度较小, 其对来流的阻挡作用并不大, 因此屋面凹陷区域的 C_p 数值仅在 0 左右。随着坡度的增大, 坡度为 20° 时迎风位置第一跨的屋脊产生极值风压, C_p 达到了 -3 左右, 且第一跨凹陷处的数值增大到了 -1.5。当坡度继续增大, 迎风屋面的风压皆转为正值, 平均风压系数在 1 左右, 而凹陷区域的基本都被负压所覆盖, 这是由于坡度升高后, 凹陷区域的湍流影响使此处的压力呈上拔的趋势作用。

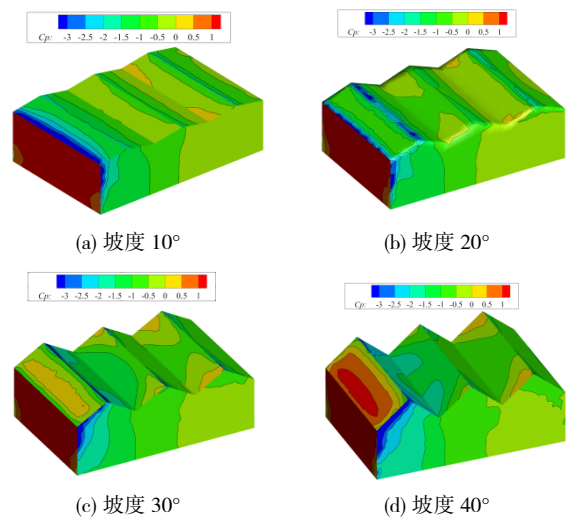


图 1 不同坡度下平均风压系数

3 结论

本文依托计算流体力学软件对多跨双坡模型进行离散求解, 采用低雷诺数 SST 湍流模型, 并在入流面设置指数型风剖面对建筑表面风压分布进行分析, 其结果如下:

(1) 坡度较小的屋盖, 上部流场较为平滑, 凹陷区域由于屋脊阻挡而产生低风速区域, 相对于参考高度处的入流风速而言, 屋脊对风速有极大的削弱作用。

(2) 风速越大, 屋盖平均风压系数数值越大。低风速下屋盖整体受上拔力作用, 但平均风压系数数值并不大, 高风速下跨中位置的平均风压系数部分转为正值, 且压力系数增幅较大。

(3) 坡度越大, 跨中位置的风压越大, 且在坡度为 30° 以上是迎风屋面的风压皆转为正值, 平均风压系数在 1 左右, 而凹陷区域的基本都被负压所覆盖, 这是由于坡度升高后, 凹陷区域的湍流影响使此处的压力呈上拔的趋势作用。

参考文献:

[1]全涌,陈斌,顾明等.外形几何参数对双坡低矮建筑屋盖上最不利风压系数的影响[J].工程力学,2010,27(07):142-147.
[2]顾明,顾玮理.外形几何参数对双坡屋盖升力系数极值的影响[J].同济大学学报(自然科学版),2011,39(02):209-213.
[3]王相军.风特性参数对低矮房屋表面风压影响的研究[D].湖南科技大学,2014.
[4]胡晓兵,杨易.高层建筑标准模型脉动风压特性大涡模拟适用方法研究[J].建筑结构学报,2022,43(10):95-103.
[5]王福军.计算流体力学分析-CFD 软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.