

矢跨比对大跨拱形屋盖抗风性能的影响分析

马承明

安徽省建筑工程质量第二监督检测站 安徽合肥

【摘要】拱形屋盖为工业厂房、仓储等建筑广泛应用，屋盖体型是影响结构受风载大小的重要因素。本文采用 CFD 数值模拟方法，分析了不同矢跨比下拱形屋盖的风压及风速变化，并总结了矢跨比增加对建筑前后流场的影响，结果表明：拱形屋盖表面风速极值区域一般出现在屋顶位置，建筑两侧在矢跨比为 1/8 时，中心位置风速为负值，而随着矢跨比增大，负值风速逐渐转变为正值，前流场建筑立面底部也由一开始的负值风速转为正值。而屋面风压系数皆为负值，即结构屋面受风吸作用很大，且在屋面最顶部位置负风压系数最大，随着矢跨比增大，该位置处负值风压继续增大。

【关键词】拱形屋盖；数值模拟；屋面风压；湍流模型

Effect of vector span ratio on wind resistance of large span arch roof

Chengming Ma

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

【Abstract】 Arch roof is widely used in industrial plant, storage and other buildings. The size of the roof is an important factor affecting the wind load size of the structure. This paper uses CFD numerical simulation method, analyzes the wind pressure and wind speed change of the arch roof, and summarizes the influence of the increase of the extreme wind speed area of arch roof surface generally appears on the roof position, on both sides of the ratio, the central wind speed is negative, and with the negative wind speed gradually changed to positive, the bottom of the building facade from the initial negative wind speed to positive. The roof air pressure coefficient is all negative, that is, the structural roof is greatly affected by air absorption, and the negative wind pressure coefficient is the largest at the top position of the roof. As the sagittal span ratio increases, the negative wind pressure at this position continues to increase.

【Keywords】 Arch roof; Numerical simulation; Roof wind pressure; Turbulence model

引言

大跨拱形结构广泛应用于仓库、厂房、展厅等建筑，由于建筑材料向轻质、大跨发展，风荷载对此类建筑的影响很大。历年来，轻质钢结构厂房受暴风引发灾害事件屡屡发生，因此，国内外学者针对此类事件对大跨结构的屋面风压进行深入研究，其成果对工程及规范的修订有一定借鉴意义。

国内外对大跨结构屋面风荷载的研究方法主要分为三种：实测、风洞试验、数值模拟。其中，王旭^[1]通过实测方法分析了高度、坡度等参数对建筑屋盖风压分布的影响。Chen^[2]、Hatem^[3]等学者通过建立缩尺模型，并进行风洞试验研究了多因素影响

下的建筑风压分布以及屋面风压极值的检测。付迎娟^[4]建立了封闭式拱形结构，分析了结构矢跨比、纵跨比、跨度和倾斜角等因素对结构分压的影响，并建立了大量的计算模型，通过对比总结，得出了结构表面风压分布情况和流场运动规律。夏少军^[5]采用 Fluent 二次开发工具 UDF 将指数型风剖面导入数值模拟中，总结了不同山体布置形式对低矮房屋屋面风压分布的规律。

因此，本文在计算入口采用指数型风剖面，并选用 Realizable k-ε 湍流模型对大跨拱形屋盖实体模型进行模拟，分析了其在不同矢跨比下的屋面及流场风速的变化规律，并计算出建筑表面风压系数，

总结了风荷载对不同矢跨比拱形屋盖的作用力大小，以此为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

文献^[6]指出，CFD 计算流体力学中 Standard k-ε 模型在计算时可能产生负应力。为了使流体运动符合湍流的物理定律，必须给正应力施加某种约束。其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，而不可以认定为常数。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：

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

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

1.2 计算模型及网格

模型取一拱形屋盖，长度 L 为 40m，跨度 B 为 30m，檐高 h 为 10m，模型高度 H 按照矢跨比 (H-h)/B=(1/8, 1/5, 1/4, 1/3) 设置，计算域尺寸为 240m×200m×50m。为了使计算网格数降低，计算域整体采用结构化网格，且仅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 0.1m，总网格数为 200 万。

1.3 入流速度及边界条件

为契合实际风场环境，本文采用指数型风剖面入流，以 B 类地貌为对象，通过 Fluent 二次开发接口 UDF 将以下公式编译及导入：

$$v(z) = v_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha \quad (3)$$

式中： v_0 为参考高度处风速（本文取 10m/s）， z_0 为参考高度（本文取 10m）， α 为地面粗糙度（B 类地面取 1.5）

边界条件：入口边界条件采用速度入口，出口边界条件采用压力出口，计算域顶部及两侧采用对称边界，地面及建筑采用无滑移壁面。

2 矢跨比对风速影响分析

由于采用指数型风剖面，不同的模型高度其屋面风速是不同的，如图 1 所示，从图 a 到 d 依次为矢跨比为 1/8, 1/5, 1/4, 1/3 的屋面及建筑周围风速云图，可以发现：矢跨比越大，拱形屋面顶部风速越大，而且最大风速分布面积也是越来越大，建筑两侧在矢跨比为 1/8 时，中心位置风速为负值，而随着矢跨比增大，负值风速逐渐转变为正值，前流场建筑立面底部也由一开始的负值风速转为正值。

3 风压系数分析

风压系数是结构风压的无量纲化形式，可以有效反应风荷载对建筑的影响，其计算公式如下：

$$C_p = \frac{P_i - P_H}{\frac{1}{2} \rho v_H^2} \quad (4)$$

式中： P_i 为测点平均压力，本文取静压， P_H 为参考高度处静压，本文取 10m 高度处， ρ 为空气密度，取 1.225Kg/m³。

图 2 为模型整体风压系数分布情况，由图可知，在矢跨比为 1/8 时，屋面风压系数皆为负值，即结构屋面受风吸作用很大，且在屋面最顶部位置负压系数最大，随着矢跨比增大，该位置处负值风压继续增大，而屋面迎风端分压开始转为正值，且随着矢跨比增大，正压分布面积也越开越大，这是由于矢跨比增大后，檐口处屋面倾斜角度越来越大，而上部结构对前流场分流的阻碍作用越来越大，导致屋面迎风端风压力大于风吸力，而顶部由于后流场落差变大，其分流的回旋作用也就越来越大，因此屋盖顶部负值风压越来越大。

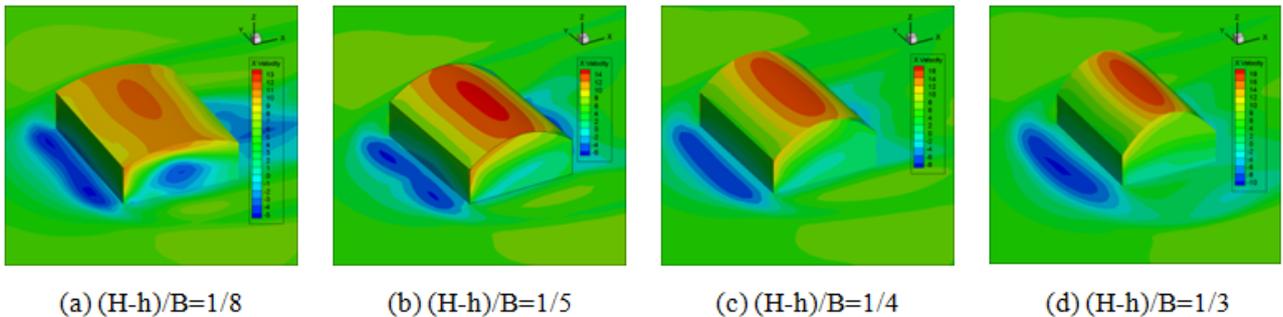


图 1 屋盖风速云图

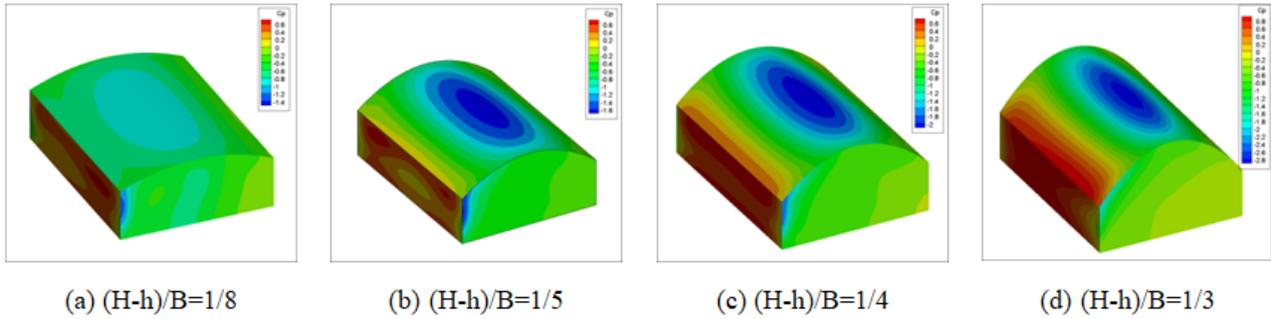


图2 建筑表面风压系数分布云图

4 结论

本文基于 CFD 数值模拟, 利用二次开发工具 UDF 将指数型风剖面导入计算, 分析了不同矢跨比下拱形屋盖屋面风速和风压系数的变化规律, 结果如下:

(1) 拱形屋盖表面风速极值区域一般出现在屋顶位置, 建筑两侧在矢跨比为 1/8 时, 中心位置风速为负值, 而随着矢跨比增大, 负值风速逐渐转变为正值, 前流场建筑立面底部也由一开始的负值风速转为正值。

(2) 在矢跨比为 1/8 时, 屋面风压系数皆为负值, 即结构屋面受风吸作用很大, 且在屋面最顶部位置负风压系数最大, 随着矢跨比增大, 该位置处负值风压继续增大。

(3) 矢跨比增大后, 檐口处屋面倾斜角度越来越大, 上部结构对前流场分流的阻碍作用越来越大, 导致屋面迎风端风压力大于风吸力, 顶部由于后流场落差变大, 其分流的回旋作用也就越来越大, 导致屋盖顶部负值风压数值越来越大。

参考文献

- [1] 王旭, 黄鹏, 顾明. 海边坡角可调试验房风荷载现场实测研究[J]. 振动与冲击, 2012, 31(5): 144-147.
- [2] Bo Chen, Hang Cheng, Haoran Kong, et al. Interference effects on wind loads of gable-roof buildings with different roof slopes[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2019, 189: 198-217.

- [3] Hatem Alrawashdeh, Ted Stathopoulos, et al. Wind pressures on large roofs of low buildings and wind codes and standards[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2015, 147: 212-225.
- [4] 付迎娟. 特殊体型空间结构风荷载体型系数的 CFD 数值分析[D]. 山东大学, 2016.
- [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] Moin P, Moin P. Progress in large eddy simulation of turbulent flows[C]//35th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. 1997: 749.

收稿日期: 2022 年 8 月 10 日

出刊日期: 2022 年 9 月 25 日

引用本文: 马承明, 矢跨比对大跨拱形屋盖抗风性能的影响分析[J]. 工程学研究, 2022, 1(3): 64-66
DOI: 10.12208/j.jer.20220066

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS