

不同风向下阶梯型屋面的风环境对比研究

郭安琪

安徽建工检测科技集团有限公司 安徽合肥 230000

【摘要】基于ANSYS fluent19.2, 选用Realizable k-ε 湍流模型, 在雷诺数为 6.6×10^4 的均匀流场下, 对高低屋盖进行模拟研究, 模拟得到高低屋盖高屋盖及低屋盖表面的风压系数和流场分布, 并将两者结合判断高低屋盖的风压分布机理。结果表明: 高屋盖与低屋盖的迎风侧分离点处风压分布相似, 均为先减小后增大, 低屋盖风压分布较为均匀, 风压系数集中在 $-0.2 \sim -0.5$, 高屋盖风压变化剧烈, 系数值为 $0.4 \sim 1.5$; 高低屋盖流场会产生三个旋涡, 小尺度旋涡产生在低屋面迎风侧, 中尺度旋涡位于整个低屋面上, 大尺度旋涡位于高低屋面后方。

【关键词】高低屋盖; 数值模拟; Realizable k-ε 湍流模型; 风压系数; 流场分布

引言

高低屋盖是一种典型的大跨度屋面形式, 在实际工程中具有广泛的应用。而建筑风环境常常会影响建筑周边的布局, 引发风灾害, 因此目前国内外学者对风环境相关问题展开了一系列研究。

风环境研究手段主要包括现场实测、风洞试验和数值模拟。现场实测能够获取第一手资料, 是最有效的研究方法。例如张明金、沈炼、黄国庆^[1-4]等人分别对山区峡谷桥址的平均风速、风向、风攻角、湍流度、湍流积分尺度和功率谱等风特性进行了测量和分析。李秋胜、龙水、张传雄^[5-7]等人在台风过境时获得了风环境的风速、风向及风压时程数据, 并利用统计学方法对数据进行了相关性分析。由于场地和成本的限制, 数值模拟逐渐发展起来。祝志文^[8]以区域地形图为计算域地面边界, 对桥址峡谷风场进行了数值模拟计算, 再现了峡谷气流运动。张博^[9]基于实际地形数据, 对某输电线路所在区域的风环境进行分析, 发现了线路舞动现象出现的原因及其机理。

本文基于雷诺平均方法, 选用Realizable k-ε 湍流模型, 在雷诺数为 6.6×10^4 的均匀流场下, 以高低屋盖为研究对象, 对不同风向角下高低屋盖周围风速及流场分布进行数值模拟研究。

1 基本控制方程

1.1 质量守恒方程

质量守恒方程如下:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

式中, ρ 表示空气密度; t 代表时间; u 、 v 、 w 为速度在 x 、 y 和 z 方向的分量。

1.2 动量守恒方程

动量守恒方程可表示为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \text{div}(\rho u u) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + F_x \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \text{div}(\rho v u) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + F_y \\ \frac{\partial \rho w}{\partial t} + \text{div}(\rho w u) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + F_z \end{aligned} \quad (1)$$

式中, p 为微元体上的压力; τ_{xx} 、 τ_{xy} 、 τ_{xz} 表示粘性应力 τ 的分量; F_x 、 F_y 、 F_z 为微元体上的体力。

2 计算模型及参数设定

本文数值模拟在来流速度为 5m/s 的均匀流场进行, 对应流场雷诺数为 6.6×10^4 。计算域及网格划分见图1和图2, 模型总高 200mm , 长 500mm , 高屋盖与低屋盖高度比为 $1:2$, 长度比为 $2:3$ 。二维模拟计算域大小为 $16L$ (流向 x) $\times$ $15H_2$ (竖向 y), 为保证风场的稳定和发展, 计算域前流场长度为 $5L$, 后流场长度取 $10L$ 。网格采用非均匀结构化网格, 核心区域网格数占总网格数的 50% 以上, 边界层网格高度为 5mm , 增长率为 1.1 。

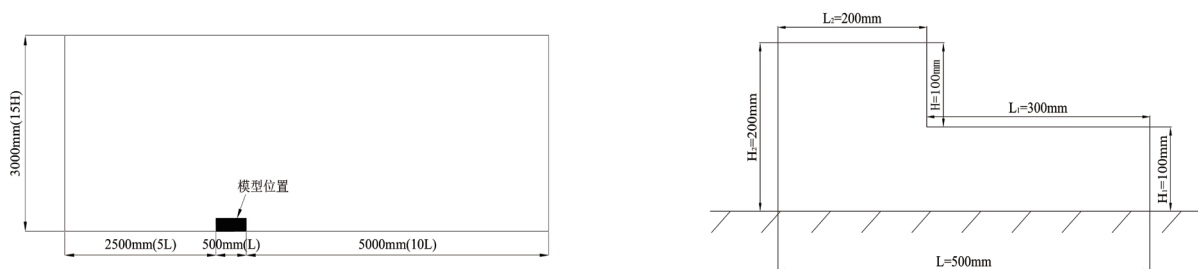
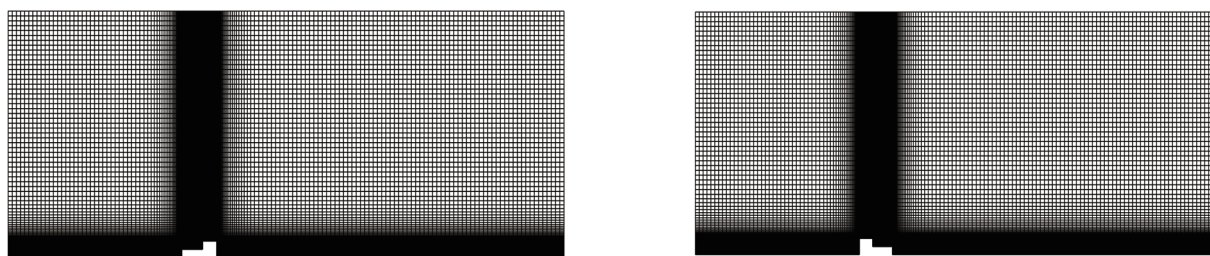


图1 计算域及模型尺寸

Fig. 1 Computational domain and model dimensions



(a) 低屋盖迎风

(b) 高屋盖迎风

图2 不同风向工况的网格划分

Fig. 2 Grid division for different wind direction conditions



(a) 低屋盖迎风

(b) 高屋盖迎风

图3 不同风向下阶梯型屋盖的风场风速分布

Fig. 3 Distribution of wind speed in the wind field of stepped roof under different wind directions

3 结果与讨论

3.1 高低屋盖周边风速分布

通过公式 (3) 计算高低屋盖的高屋盖和低屋盖的平均风压系数, 计算公式为:

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

式中: P 为测点风压, ρ 为空气密度, U_0 为来流风速, 对应 C_p 为无量纲风压系数。

平均风压系数结果如图3所示。由图可知, 高屋盖和低

屋盖平均风压系数相差较大, 在交界处 ($x = 0.3m$) 风压突减。低屋盖风压分布较为平稳, 风压系数最大值与最小值之间相差不超过0.2, 风压沿顺风向缓慢增大, 在低屋盖根部 ($x = 0.3m$) 达到最大值。高屋盖风压变化较大, 风压系数最小值位于高屋盖迎风侧, 最大值处于高屋盖背风侧, 风压沿顺风向增大。总体来看, 高屋盖与低屋盖的迎风侧分离点处风压分布相似, 均为先减小后增大, 低屋盖风压分布较为均匀, 风压系数集中在 $-0.2 \sim -0.5$, 高屋盖风压变化剧烈, 系数值为 $0.4 \sim 1.5$ 。

3.2 高低屋盖的流场分布

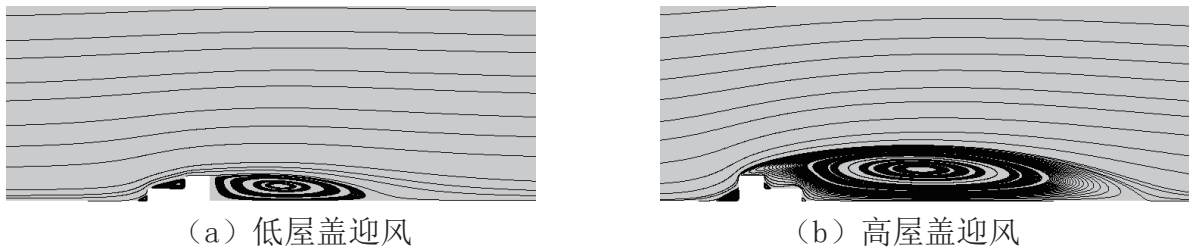


图4 不同风向阶梯型屋盖的流场分布

Fig. 4 Flow field distribution of stepped roof with different wind directions

为了明确风压与流场之间的关系,分析风压分布机理,

分别取 $t = 125s$ 、 $250s$ 、 $375s$ 和 $500s$,将流场演化的不同阶段总结为图4。

流场在不同时刻的分布完全相同,在高低屋盖迎风风面前侧,形成一个尺度非常小的旋涡,使此处形成一个风速减弱区。由于风在低屋盖迎风点分离,出现了风加速区,这与上述分离点处的风压分布规律相吻合,由于风达到高低屋盖交界处被反弹,存在逆风向速度,因此低屋盖上产生了一个分离涡,此分离涡尺度与低屋盖跨度几乎相同,由于旋涡的影响,低屋盖上均为风速减弱区。与低屋盖分离点相似,风经过高屋盖分离点同样会加速产生不稳定风压,但高屋盖上不产生分离涡,不存在低风速区域。风经过高屋盖后,由于惯性作用会沿高屋盖迹线继续运动,这就会使高低屋盖后侧产生一个真空区域,此区域负压较大,导致空气向此区域挤压,形成旋涡。这个旋涡尺度很大,接近高低屋盖跨度的3倍。

4 结论

本文采用Realizable $k-\epsilon$ 湍流模型,以高低屋盖为研究对象,对其风压分布以及流场分布进行研究,并基于流场分布对风压的分布机理进行判断。本文首先对湍流模型进行了介绍,并展示了数值模拟的参数取值和设定。之后给出了高低屋盖风压分布的定量结论,与其流场分布相结合,分析了高低屋盖风压分布的机理,为实际工程取值和进一步研究奠定基础。

参考文献:

- [1] 张明金,李永乐,唐浩俊,等.高海拔高温差深切峡谷桥址区风特性现场实测[J].中国公路学报,2015,28(03): 60-65.
- [2] 张明金,李永乐,余传锦,等.深切峡谷桥址区高空风特性现场实测研究[J].西南交通大学学报,2019,54(3): 542-547.
- [3] 沈炼,韩艳,蔡春声,等.山区峡谷桥址处风场实测与数值模拟研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2016,43(7): 16-24.
- [4] 黄国庆,彭留留,廖海黎,等.普立特大桥桥位处山区风特性实测研究[J].西南交通大学学报,2016,51(02): 349-356.
- [5] 李秋胜,戴益民,李正农,等.强台风“黑格比”登陆过程中近地风场特性[J].建筑结构学报,2010,31(4): 54-61.
- [6] 龙水,李秋胜,王云杰.强台风“尤特”近地风特性实测分析[J].自然灾害学报,2014,23(6): 70-78.
- [7] 张传雄,王艳茹,黄张琦,等.台风“玛莉亚”作用下风场结构特征现场实测研究[J].自然灾害学报,2019,28(4): 100-110.
- [8] 祝志文,张士宁,刘震卿,等.桥址峡谷地貌风场特性的CFD模拟[J].湖南大学学报(自然科学版),2011,38(10): 13-17.
- [9] 张博,任贺贺,陈文礼,等.尖山地区复杂地形下的风场模拟[J].自然灾害学报,2017,26(6): 22-31.