

方形截面建筑绕流特性的数值模拟研究

赵亨特

安徽省建筑工程质量第二监督检测站 安徽合肥

【摘要】 方形截面是最常见的建筑截面形式之一，分析和明确方形截面建筑绕流特性和表面风荷载是十分必要的。本文对比了四种网格方案，并基于最优方案确定方形截面建筑的平均阻力系数、脉动升力系数、斯托洛哈数及风压分布。结果表明：当近壁面网格无量纲距离小于 1 时，大涡模拟方形建筑绕流满足精确性要求。方形建筑的平均阻力系数为 2.269，脉动升力系数为 1.428，斯托洛哈数为 0.131。建筑的平均风压系数和脉动风压系数在迎风面转角处发生突变。迎风面平均风压系数为正值，脉动风压系数最小；侧立面和背立面平均风压系数为负值，脉动风压系数在侧立面达到最大值。

【关键词】 方形截面建筑；数值模拟；平均阻力系数；脉动升力系数；风压系数

The numerical simulation of flow around a square-section building

Hengte Zhao

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

【Abstract】 Square cross-section is one of the most common forms of building cross-section. It is necessary to analyze the flow characteristics and surface wind loads of square-section buildings. In this paper, four grid schemes are compared, and the mean drag coefficient, fluctuating lift coefficient, strouhal number and wind pressure distribution are determined based on the optimal scheme. The results show that when the dimensionless distance of the grid near the wall is less than 1, the accuracy of the large eddy simulation of the flow around a square building is satisfied. The average drag coefficient of the square building is 2.269, the fluctuating lift coefficient is 1.428, and the strouhal number is 0.131. The mean and fluctuating wind pressure coefficients of the building change abruptly at the corner of the windward surface. The mean wind pressure coefficient of the upwind face is positive, and the fluctuating wind pressure coefficient is the smallest; the mean wind pressure coefficient of the side elevation and the back elevation is negative, and the fluctuating wind pressure coefficient reaches the maximum value in the side elevation.

【Keywords】 Square section building; Numerical simulation; Average drag coefficient; Fluctuating lift coefficient; Coefficient of wind pressure

引言

方形截面是实际工程中最为常见的截面形式之一，由于其分离点位置确定且截面形式简单，一直是数值模拟的主要研究对象之一，方形截面建筑绕流问题也是计算流体力学的基础问题之一，一直备受广大学者的关注。因此，研究和确定方形截面建筑的气动力系数及风压分布对计算流体力学领域和实际工程领域均具有重要的参考意义。

在数值模拟研究中，方形截面建筑常被简化为方柱结构，目前国内外学者对方柱绕流展开了一系列研究。李真子^[1]对雷诺数 22000 的方柱绕流进行了细致的模拟研究，并研究了其瞬态流场和尾流发展的轨迹。周强^[2]对高雷诺数下的方柱绕流特性进行了数值模拟研究，并定量的给出了一系列细致的结果。秦浩^[3]利用 PIV 技术对大雷诺数下的方柱绕流进行分析，并基于 POD 方法重构流场。郜阳^[4]研

究了二位方柱的阻塞效应,对比方柱平均阻力系数、脉动升力系数和斯托罗哈数随阻塞率的变化规律。也有学者对类方柱结构进行研究,杜晓庆^[5]采用数值模拟方法,对低雷诺数下的6种类方柱进行了研究,并对比了其气动性能。此外,也有学者研究方柱绕流的噪声特性。顾梦凡^[6]采用FW-H方程结合大涡模拟方法研究了方形绕流的噪声特性,对比分析了流速流场对方柱周围声场的影响规律。

本文采用大涡模拟方法对方形截面建筑进行数值模拟研究,选择了最优的模拟方案,对比了四种方案的平均阻力系数、脉动升力系数和斯托罗哈数,并给出了平均风压系数和脉动风压系数的分布规律,为方形截面建筑在实际工程中的应用提供参考。

1 数据处理方法

为了更直观的对比结果,文中各参数均采用无量纲化系数:

$$C_p = \frac{2P}{\rho U_0^2} \quad (1)$$

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

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho U_0^2 LH} \quad (3)$$

式中: P 为测点风压, 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, L 、 H 分别为方柱迎风面宽度和高度; C_p 表示测点风压系数; C_D 表示阻力系数; C_L 为升力系数。

2 网格疏密度的影响

将边界层第一层网格的无量纲距离用 y^+ 表示,即:

$$y^+ = \mu y / \nu \quad (4)$$

其中 μ 为摩擦速度, y 为近壁面网格尺寸。

数值模拟计算的精度和效率与计算域网格的疏密程度直接相关。为了明确网格疏密度对模拟结果的影响程度,本文采用方案1~方案4四种网格形式,在高雷诺数下,对比了四个方案的平均阻力系数、脉动升力系数和斯托罗哈数,如图1所示。表1给出了四个方案的参数数据,其中方案1的网格数量最少,网格尺寸最大。由图可知,方案1的平均阻力系数和脉动升力系数明显小于其他三个方案,其中平均阻力系数相差幅度大于10%,脉动升力系数相差超过30%,精度较差。方案2~方案4三个参数

的模拟结果相差均不超过5%,但66方案3的脉动升力系数精度更高。因此,基于以上的对比结果,本文的网格方案采用方案3中所给参数进行。

表1 网格参数对比

方案	第一层网格尺寸	壁面 y^+	网格数量
方案1	0.01L	10	560000
方案2	0.001L	2.5	950000
方案3	0.0005L	1	1400000
方案4	0.0001L	0.25	1800000

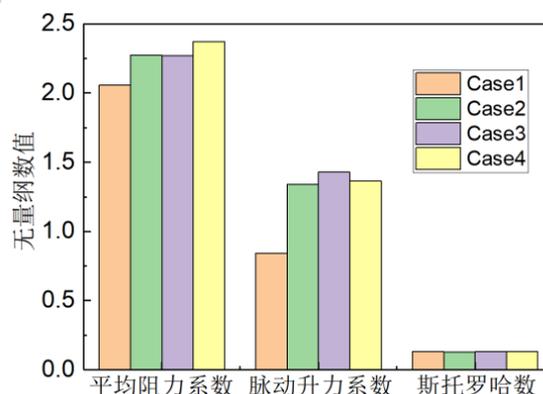


图1 三种参数对比

3 方形建筑风压分析

为了展示方形建筑的风压分布规律,图2和图3给出了方形建筑1/2处的平均风压分布和脉动风压分布,图中原点为建筑迎风面中点。由图可知,建筑的平均风压和脉动风压在建筑转角处会发生突变,平均风压系数在迎风面转角处由正值迅速转变为负值,说明此时风压的方向由正压力转变为负压力,建筑侧立面和背立面的平均阻力系数差距不大,风经过背风面转角时,平均阻力系数没有明显的变化;脉动升力系数在侧面达到最大值,最大值约为0.8,当风经过背风面转角时,建筑的脉动升力系数有明显的下降趋势,随后趋于平稳。为了验证所得结果的准确性,本文对比了Tamura^[7]模拟所得的平均风压系数结果和脉动风压系数结果,通过对比可知,本文模拟结果与文献结果基本一致。数值模拟的平均风压系数与文献值最大偏差不超过3%,对于脉动风压系数来说,本文的模拟结果与文献结果相差不超过5%。综合上述结果表明,本文所得的各项系数具有良好的精确性和可靠性。

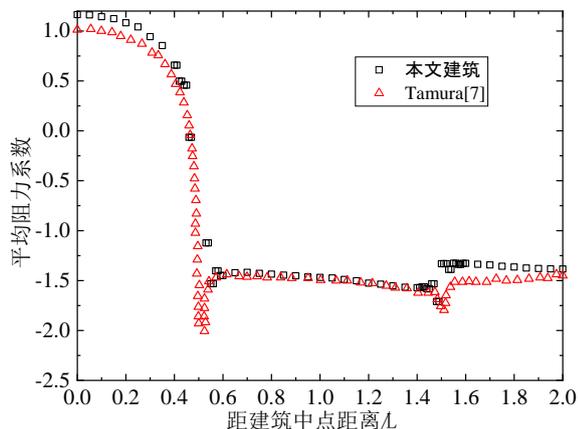


图2 平均风压系数比较

4 结论

本文对位于雷诺数为 22000 的均匀流场中的方形截面建筑进行了大涡模拟研究,提出了四种网格方案,对比了其平均阻力系数、脉动升力系数和斯托罗哈数,并给出了方形建筑平均风压和脉动风压的分布规律,得到以下结论:

(1) 数值模拟结果与网格的疏密程度相关,但当网格数达到一定程度后,进一步加密网格并不会影响数值模拟结果的准确性。对于大涡模拟来说,影响数值模拟结果的决定性因素为近壁面网格尺寸 y^+ , 建议计算时 $y^+ < 1$ 。

(2) 方形建筑的平均阻力系数为 2.269, 脉动升力系数为 1.428, 斯托罗哈数为 0.131。

(3) 方形建筑迎风面的平均风压系数为正值,且脉动风压系数最小。迎风面转角处,平均风压系数和脉动风压系数发生突变,平均风压系数由正值转变为负值,脉动风压系数在侧立面达到最大值。

参考文献

[1] 李真子,林自城,高志栋,叶建.Reynolds 数 22000 的孤立方

柱绕流的大涡模拟[J].气体物理,2017,2(03):17-23.

[2] 周强,廖海黎,曹曙阳.高雷诺数下方柱绕流特性的数值模拟[J].西南交通大学学报,2018,53(03):533-539.

[3] 秦浩,肖姚,宋文武,孙延国.大雷诺数下方柱绕流 PIV 试验及数值模拟[J].工程热物理学报,2018,39(08):1731-1737.

[4] 郜阳,全涌,顾明.二维方柱绕流阻塞效应的大涡模拟[J].同济大学学报(自然科学版),2018,46(08):1018-1025.

[5] 杜晓庆,刘延泰,施定军,马文勇.低雷诺数下类方柱绕流的数值模拟研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2020,39(05):49-57.

[6] 顾梦凡,宋保维.基于大涡模拟的方柱绕流噪声特性研究[J].西北工业大学学报,2020,38(03):465-470.

[7] Tamura T, Ono Y. LES analysis on aeroelastic instability of prisms in turbulent flow[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2003,91:1827-1846.

收稿日期: 2022 年 9 月 10 日

出刊日期: 2022 年 10 月 25 日

引用本文: 赵亨特, 方形截面建筑绕流特性的数值模拟研究[J]. 工程学研究, 2022, 1(4): 25-27
DOI: 10.12208/j.jer.20220112

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